

平成 16 年度
幌延技術検討会議報告
第 1 回～第 4 回
(業務報告)

平成 17 年 6 月

核燃料サイクル開発機構
幌延深地層研究センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-49

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）

ファックス：029-282-7980

電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to :

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構（Japan Nuclear Cycle Development Institute）
2005

平成16年度 幌延技術検討会議報告 第1回～第4回
(業務報告)

白戸 伸明^{*}、松井 裕哉^{**}、森岡 宏之^{***}、畑中 耕一郎^{**}、
竹内 竜史^{****}、畠山 信也^{***}、大原 英史^{**}、
中島 崇裕^{*****}、國友 孝洋^{*****}

要旨

地層処分技術に関する研究開発にかかわる事業所間の連携強化を目的として、平成16年度は全4回の幌延技術検討会議を行った。

第1回は幌延地下施設実施設計などについて行った。第2回は幌延の地質、水理、地球化学および安全評価手法の検討などについて行った。第3回は地下施設設計における通気網解析について行った。第4回はACROSSを用いた遠隔監視システムについて行った。

この報告は、上記会議の内容についてまとめたものである。

*：元幌延深地層研究センター 施設建設グループ，**：幌延深地層研究センター 深地層研究グループ，
：幌延深地層研究センター 施設建設グループ，*：元幌延深地層研究センター 深地層研究グループ，
*****：東濃地科学センター 陸域地下構造フロンティア研究プロジェクト

Report of Horonobe technical review meetings (FY 2004)

1st to 4th meetings

(Document on Present State of Affairs)

Nobuaki Shirato^{*}, Hiroya Matsui^{**}, Hiroshi Morioka^{***},
Koichiro Hatanaka^{**}, Ryuji Takeuchi^{****}, Nobuya Hatakeyama^{***},
Hidefumi Ohara^{**}, Takahiro Nakajima^{*****}, Takahiro Kunitomo^{*****}

Abstract

For the purpose of strengthening of cooperation among departments in JNC, that is about research and development on geological disposal, we held Horonobe technical review meetings 4 times a year.

The first meeting is for the plan of Horonobe underground research laboratory and others. The second meeting is for geology of Horonobe area, modeling study, data acquisition for safety assessment methodology and others. The third meeting is for ventilation network analyses on URL plan. The fourth meeting is for the remote monitoring system using ACROSS. This report is records of these meetings.

* : former Horonobe Underground Research Center Geoscience Facility Construction Group ,

** : Horonobe Underground Research Center Underground Research Group ,

*** : Horonobe Underground Research Center Geoscience Facility Construction Group ,

**** : former Horonobe Underground Research Center Underground Research Group ,

***** : Tono Geoscience Center Earthquake Frontier Research Project

目 次

第 1 回幌延技術検討会議	1
議事録	2
説明資料	7
幌延技術検討会議資料 16-1-1	8
幌延技術検討会議資料 16-1-2	9
幌延技術検討会議資料 16-1-3	14
幌延技術検討会議資料 16-1-4	23
コメント票	31
第 1 回幌延技術検討会 主要コメント一覧	32
コメント票	34
第 2 回幌延技術検討会議	45
議事録	46
説明資料	54
幌延技術検討会議資料 16-2-1	55
幌延技術検討会議資料 16-2-2	90
幌延技術検討会議資料 16-2-3	166
幌延技術検討会議資料 16-2-4	194
幌延技術検討会議資料 16-2-5	227
コメント票	254
第 2 回幌延技術検討会 主要コメント一覧	255
コメント票	256
第 3 回幌延技術検討会議	265
議事録	266
説明資料	269
幌延技術検討会議資料 16-3-1	270
コメント票	297
第 3 回幌延技術検討会 主要コメント一覧	298
コメント票	299

第4回幌延技術検討会議	302
議事録	303
説明資料	310
幌延技術検討会議資料 16-4-1	311
幌延技術検討会議資料 16-4-2	347
幌延技術検討会議資料 16-4-3	365
幌延技術検討会議資料 16-4-4	385
コメント票	391
第4回幌延技術検討会 主要コメント一覧	392
コメント票	394

幌延技術検討会議

第 1 回

平成 16 年 9 月 1 日

平成 16 年度 第 1 回「幌延技術検討会議」議事録

日 時：平成 16 年 9 月 1 日 15:30 ~ 17:30

場 所：幌延深地層研究センター 第 1、2 会議室（TV 会議）

参加者：

本社：石丸、藤島

東海：油井次長、内田 GL、澤田、前川、小西、青柳、菊池、藤田、西村、小川

東濃：茂田 GL、佐藤、仙波、尾方、

幌延：山崎副所長、福島次長、馬場所長、一安主幹、青木 GL、畑中 SGL、松井、大原、
瀬尾、竹内、中山、佐々木、高橋、操上、石井、舟木、白戸、畠山、小島、森岡、
広瀬、新里、瀬谷（記録）

配布資料：

資料 16-1-1「幌延技術検討会議について」

資料 16-1-2「幌延地下施設実施設計（H16 年度）における建設工程見直しの現状について」

資料 16-1-3「幌延地下研究施設レイアウト変更案に関する検討（松井最終）」

資料 16-1-4「幌延地下施設実施設計（H16 年度）における工程・レイアウトについて」

議事次第：

1. 「幌延地下施設実施設計（H16 年度）における建設工程見直しの現状について」の
説明（白戸）
2. 「幌延地下研究施設レイアウト変更案に関する検討（松井最終）」の説明（松井）
3. 「幌延地下施設実施設計（H16 年度）における工程・レイアウトについて」の説明
（森岡）
4. 「幌延技術検討会議について」の説明（青木）
各説明後に質疑応答

討議内容：

1. 「幌延地下施設実施設計（H16 年度）における建設工程見直しの現状について」の説
明に関して
 - ・建設工程については予算の制約上、見直さざるを得ない。8/23 の河田理事同席の高レ
調整会議でこの件（22 年完成 25 年完成）は了承。1 本先行着工についても、バッ
クエンドとして了承。また、9/2 に経産省、9 月上旬に地元の説明する予定となってお
り、1 本先行を今変更することは難しい。ただし、水平坑道の位置（深度）・レイ
アウトなどについては実施設計の中で見直すこともできる。（青木）
 - ・建設コストはどのように変化したのか。総額で教えて欲しい。（油井）
総額としては、20 億円ほど減額している。ただし、塩水系地下水の処理費については
未定である。（白戸）

- ・単年度ではどうか？（油井）

H17が8億円、H18-20が20億円、H21-25が20-40億円となっている。（白戸）

1本先行で着工することにより櫓の設置本数が3本から1本となり、当面数年間の固定費が削減されることが重要なポイントと認識している。工程の見直しにあたっては、高レベル全体の予算年度展開が90億円前後で推移するように検討した。（石丸）

最初の予定だと東海+東濃+幌延（高レベル全体）で、たとえばH19には総額約160億円となり、到底認められない額となっていた。そのため、幌延ではレイアウトを見直し、工費を減額するとともに、各年度の予算の平準化を図り、このような案となった。（青木）

- ・塩水の対策費についてはどうなっているのか。（内田）

現時点では、脱塩処理する案と直接放流する案の2案を検討しているが、どちらにするかまだ決まっていない。（白戸）

- ・第3段階の研究はいつから始まるのか。（青柳）

現時点では言い切れないが、深度400mの水平坑道の掘削が完了しなければ、本格的に始めるのは難しいと考えている。したがって、深度400mの水平坑道が掘り上がるH26から始まると考えるのが妥当である。（松井）

- ・建設費の見積もりについては、どのような査定を行っているのか。（油井）

建設費は基本設計業務で算出されたものを査定し算出している。（白戸）

- ・どのような積算基準を用いたのか。（油井）

幌延で十分に吟味した積算基準を用いている。（白戸）

- ・西立坑に比べて、東立坑が深い理由は何か。（仙波）

対外的に深度500m程度と公言しているので、500mまで掘らない訳にはいかない。ただ、予算の制約もあり、調査試験研究の観点からも400m以深は必須ではないので、折衷案としてこのようなレイアウトとなった。（青木）

- ・深く掘るのはどちらの坑道（東立坑もしくは西立坑）でもよいのか。（仙波）

その通り。（青木）

- ・掘削順序について、換気立坑掘削後、東立坑掘削中に連絡坑道を掘削するが、例えば、

深度125m坑道はT字型の坑道の先端で行き止まりになるということか。（石丸）

その通り。（白戸）

2. 「幌延地下研究施設レイアウト変更案に関する検討（松井最終）」の説明に関して

- ・（説明の前に）今度配布する「幌延深地層研究計画 第2、第3段階における全体研究計画案」は3本同時着工を前提としているので、先ほど説明した工程の変更に伴い、どのように研究計画を修正するのかについて説明する。（青木）

- ・試験坑道を深度400mとした理由は何か。もっと浅くしてもよいのではないか。（藤田）
研究上の必然性はないが、デモンストレーションの意味で深い方がよいと思う。ただし、人工バリア試験については、深度300mより浅い箇所ということはある得ない。

なお、深度約 280m～380m は珪藻質泥岩と硬質頁岩の漸移帯であり、そこを避けたという意味もある。(松井)

- ・ 深度 400mに決めた理由として、工費は関係あるのか。(藤田)
水平坑道の位置を多少ずらしても工費への影響は小さいので、工費は関係ない。(白戸)
- ・ 人工バリア試験を最優先するということだが、東海と検討した試験項目は全て入っているのか。(油井)
研究計画を策定する際には、東海の栗原さんに協力していただいているので、東海と検討した試験項目は網羅している。(松井)
- ・ 低アルカリセメントの施工試験も実施するのか。(油井)
実施する予定。ただし、試験箇所については未定。(松井)
- ・ ガス移行試験については、飽和するのに時間がかかるという理由だけで浅い箇所を実施するのであれば、無理に浅い箇所で行う必要はないと思う。今後、試験坑道のレイアウトについて、再検討もあり得るのか。(油井)
レイアウトの変更はあり得る。ガス移行試験については、余り坑道掘削が進展していない時期に実施した方がよいと思う。(松井)
- ・ ガス移行試験については、当方の担当者とさらに検討を行って欲しい。(油井)
試験エリアを足すことは難しいと思う。ガス移行試験についての検討は行う。(松井)
- ・ 深度 280mの水平坑道から斜めにボーリングするのはよいアイデアだと思う。心配なのは、試験同士の相互干渉である。掘削につれて水位の低下なども考えられるので、水理学的な環境の変化に敏感な試験は深いところで実施した方がよいことになる。すると、深い箇所では試験が混み合い、互いに悪影響を与えることも考えられる。これを避けるため、試験坑道のレイアウトは可能な限りフレキシブルにしておいた方がよいと思う。また、深部の試験坑道のレイアウトなどは、深度 280mからのボーリングで水理状況などを把握してから決めた方がよいのではないかと。(内田)
- ・ 深度 100m付近で塩淡境界を調査するのは難しいのではないかと。(内田)
鉱物学的な痕跡などは別だが、掘削に伴い、どんどん変化すると思う。(内田)
- ・ 試験課題のリストアップと優先順位付けはキチンとしておいた方がよい。特に性能評価試験関係は再検討して欲しい。(内田)
ここまで、資料 16-1-3 で説明した内容については、まだ決定事項ではない。今後、さらに東海・東濃とも連絡を密にして検討していきたい。(青木)

3. 「幌延地下施設実施設計 (H16 年度) における工程・レイアウトについて」の説明に関して

- ・ 条件 で、基本レイアウトを 5 点にしているが、本来は 3 点ではないのか。また、条件 「取得データ解釈の容易さ」については、調査研究が主目的である以上、もっと重視していいのではないかと。(小西)

条件 については、基本レイアウトそのままが最善という意味で最高点の5点とした。また、条件 については、解釈が難しくなるとはいえデータが劣化する訳ではなく、必要な手間を掛ければキチンとした結果が得られるため、他のランクB、Cの条件と比較した場合、相対的に重要度が低いと判断している。(森岡)

- ・レイアウト7を実施設計のレイアウトとして選定した場合、マイナーチェンジも可能ということだが、どの程度の変更ならば可能なのか。(石丸)

周回坑道については固定であり、レイアウト変更は困難と考えている。試験坑道、連結坑道については変更可能と考える。(森岡)

- ・今後はレイアウト7を基に調査研究計画の策定が行われると予想するが、現状のA、F、Cの試験坑道配置では、各種の試験研究を実施する際に問題となる相互影響の観点からは、離隔距離が小さ過ぎるのではないか。(尾方)

近い方が防災上は問題が少なくなる。レイアウト7案でも、厳密に言えば防災基本コンセプトに反しているので、試験坑道の箇所には特別の対策が必要となる。ただし、試験に影響があっても困るので、試験で要求している条件についてはキチンと把握して設計に反映するつもりである。(森岡)

- ・試験研究担当と十分に打合せしておいた方がよい。(尾方)
- ・レイアウトについては、やはり(参考2)のレイアウトが試験研究側からすれば最も望ましい。水理的な試験については相互干渉に注意しなければならない。試験場所の確保という物理的な意味だけでなく、相互干渉を避けるという意味でも十分なスペースが必要である。そのためには、外周が広い方がオプションが多いと思われる。(内田)

オプションの重要性については承知している。試験坑道については、実施設計でも最終的に決定されるわけではなく、研究上の必要性で変更できる。(松井)

- ・「周回坑道最小条件」の式について教えて欲しい。(油井)
(周回坑道の内空幅の $1/2 + \text{支保厚}$) + $3 \times \text{立坑掘削径}$ + (立坑内空半径 + 支保厚)
で計算している。(森岡)

- ・3Dの根拠は。(油井)
厳密な根拠はないが、これだけ離れれば掘削の影響範囲外ということである。(森岡)
3Dについては、道路公団などでも用いられている一般的な値である。(小川)

- ・R30は。(油井)
鋼車の最小回転半径である。(森岡)

- ・試験の内容について担当者がもっと具体化し、試験場所やレイアウトに関する必要な条件などを詰める必要があると思う。今ならまだ、レイアウトその他に対して試験研究側の要望を反映できる余地があると思われるが、どうか。(青木)

- ・それらについて、いつまでにクリアにすればよいのか。(油井)
今まで行ってきた検討以上のことをするには、さらにデータが必要なので、もう少し

後でなければできない。いずれにせよ実施設計には間に合わないが、実施設計を行う際には変更する可能性があることを念頭において設計してもらうことになる。(松井)

- ・「第2、第3段階における全体研究計画案」について、HDB-6孔のデータは加味してあるのか。(青木)

HDB-6孔のデータは考慮していない。この計画書は、実施すべき調査項目について検討した計画書であり、試錐データが付加されても調査研究項目自体に大きな変更はないと考えている。(松井)

4. 「幌延技術検討会議について」の説明に関して

- ・処分技術関係と性能評価関係の進め方については、今後さらに検討を進めた方がよいと思う。(油井)

そのようにしたいと思う。(青木)

- ・決定に至る過程に透明性がないように思われる。また、技術検討会議の場で何かを決定するのが無理なのであれば、参加者の位置付けに疑問が残る。(内田)

決定のプロセスの透明性については、今後明確にしたいと考えている。(青木)

その他

- ・次回開催は9月中旬を予定している。(青木)

以 上

第 1 回 幌延技術検討会議

説明資料

資料 16-1-1 「幌延技術検討会議について」

資料 16-1-2 「幌延地下施設実施設計（H16 年度）における建設工程見直しの現状について」

資料 16-1-3 「幌延地下研究施設レイアウト変更案に関する検討（松井最終）」

資料 16-1-4 「幌延地下施設実施設計（H16 年度）における工程・レイアウトについて」

平成 16 年 9 月 1 日

研究調整グループ

幌延技術検討会議について

本会議は、幌延深地層研究計画の技術的重要事項および成果について議論し、東海および東濃の経験、知見、技術的課題を幌延の調査研究及び施設計画に反映する。

本会議は、技術情報(および非技術的制約条件を含む)を共有する場として位置づけ、研究の進捗につれて情報共有がおろそかになることを防ぐための手段の1つとする。また、既存情報を整理する機会にもなることから、平成 16 年度においては、計画的に開催することとする。

現在別途進行中の H17 とりまとめ作業会および協働作業と直接の関係はないが、これらの作業のベースとなる幌延の成果の質を向上させるために本技術検討会議を位置づける。

議題候補として考えられるものを以下に列挙する。

地下施設・地上施設設計(白戸・森岡) 第1回(9/1)

幌延技術検討会議の位置づけについて(青木) 第1回(9/1)

地質・地質構造に関する研究の現状と今後の課題

(石井・高橋・舟木) 第2回(9/16)

H16 ボーリング調査計画(国丸・竹内・石井) 第2回(9/16)

地質環境長期安定性研究の現状と今後の課題

(新里・大原・安江) 第3回(9/29)

岩盤力学に関する研究の現状と今後の課題(松井) 第3回(9/29)

地下水水理に関する研究の現状と今後の課題

(竹内・瀬尾・操上) 第4回(10月上旬)

地下水地球化学に関する研究の現状と今後の課題(国丸) 第4回(10月上旬)

国内外の研究機関との研究協力の現状(濱) 第5回(10月中旬)

コントロールボーリング技術開発(早川・瀬谷) 第5回(10月中旬)

以上

平成 16 年 9 月 1 日
幌延深地層研究センター
施設建設グループ(白戸)

幌延地下施設実施設計 (H16 年度) における建設工程見直しの現状について

1. はじめに

幌延地下施設については、全体工事費の削減ならびに各年度の地下施設工事費の平準化を図るため、竣工時期を数年間繰り延べるとともに、研究坑道の掘削延長を削減する方向で調整が行われている。

以下に、現状での幌延地下施設建設工程 (8/23 高レ調整会議で確認されたもの) について報告する。

2. 予算上のレイアウトと建設工程

基本設計時 (H15 年度) からの主要な変更内容を以下に示す。

基本レイアウト (添付資料 2 - 1)

水平展開坑道は 400m 坑道の 1 深度 (基本設計: 250m, 500m の 2 深度) に縮小。

水平坑道掘削延長は約半分の 900m (基本設計: 1,869m) に短縮。

西立坑は延長 405m (基本設計: 505m) に短縮。

建設基本工程 (添付資料 2 - 2)

竣工時期に関して、平成 25 年度を目途に繰り延べる (基本設計: 平成 22 年度竣工)。

掘削する切羽が可能な限り 1 箇所となるように工程を計画する (基本設計: 立坑 3 本同時着工 (切羽 3 箇所))。

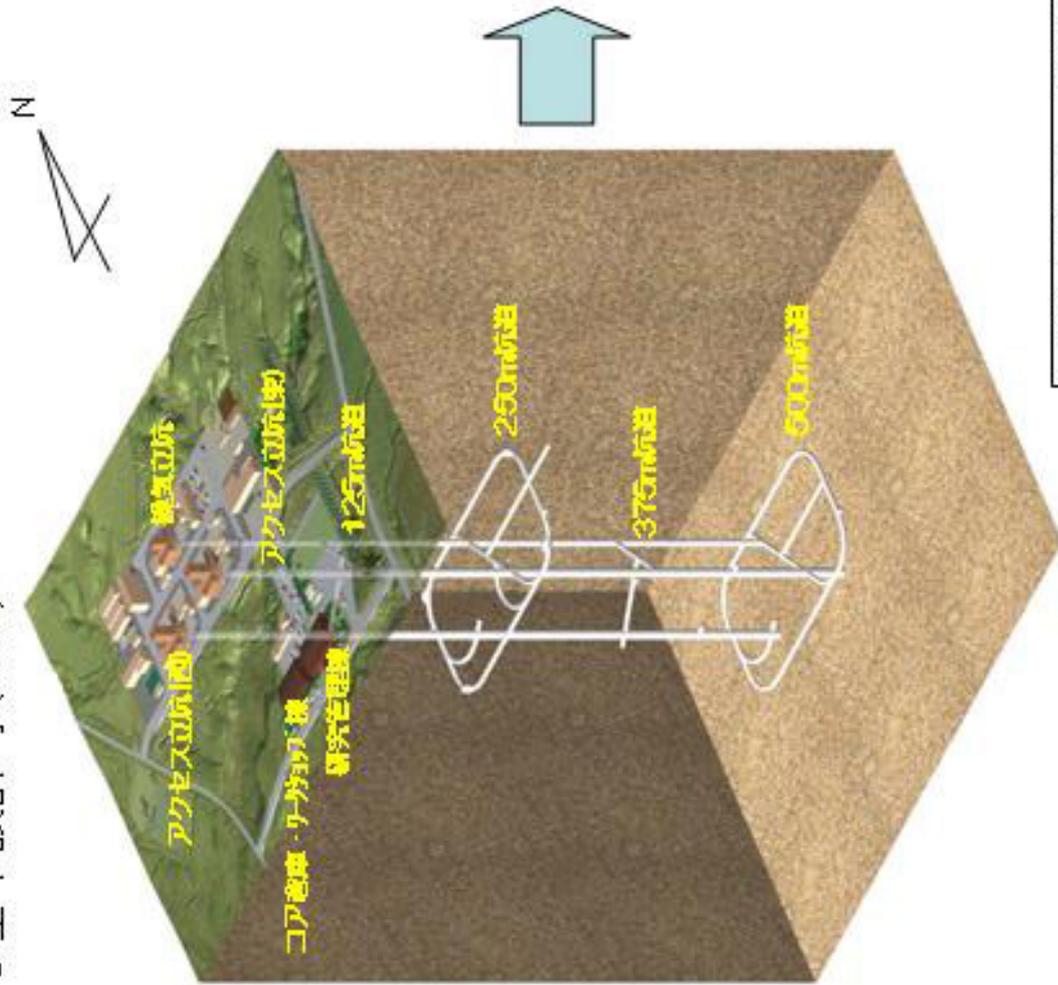
換気立坑の掘削を最初に実施する。(添付資料 2 - 3)

* 上記のレイアウトと工程を踏まえた地下施設掘削順序については、添付資料 2 - 4 に示す。

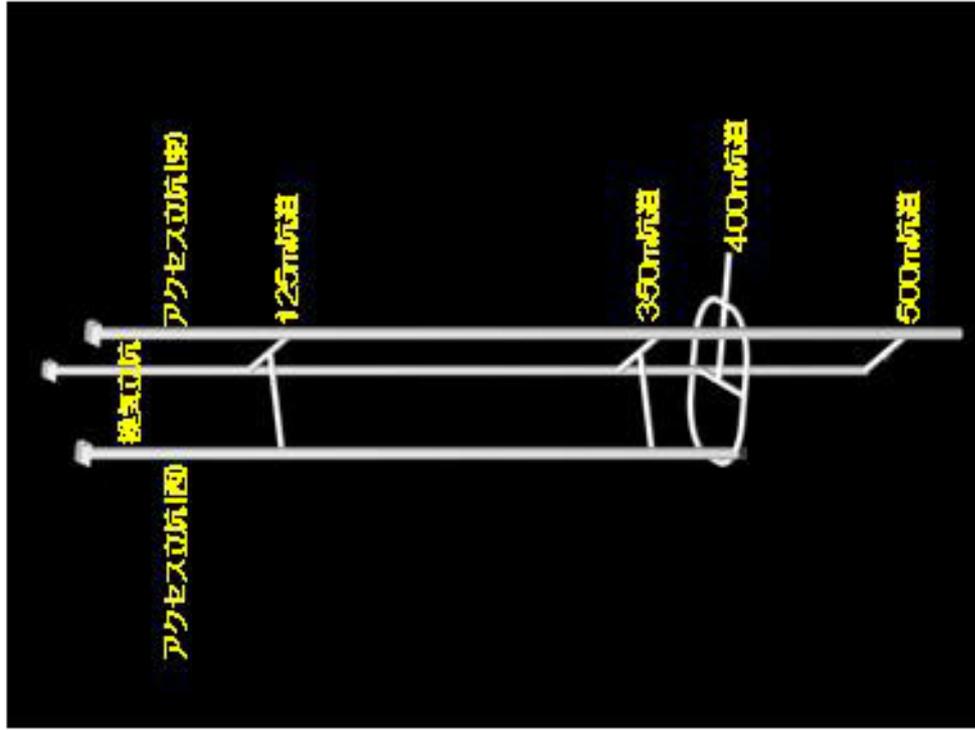
以 上

地下施設レイアウト

○基本設計時(H15)



○予算上レイアウト(H16)



アクセス立坑 : 円形, 内径6.5m
 換気立坑 : 円形, 内径4.5m
 水平坑道 : 3心円馬蹄形, 内空幅4m

平成 16 年 8 月 9 日
幌延深地層研究センター
施設建設グループ

**幌延深地層研究計画 地下施設工事の坑道掘削順序について
(平成 17 年度着工～平成 25 年度竣工案、換気立坑先行掘削案)**

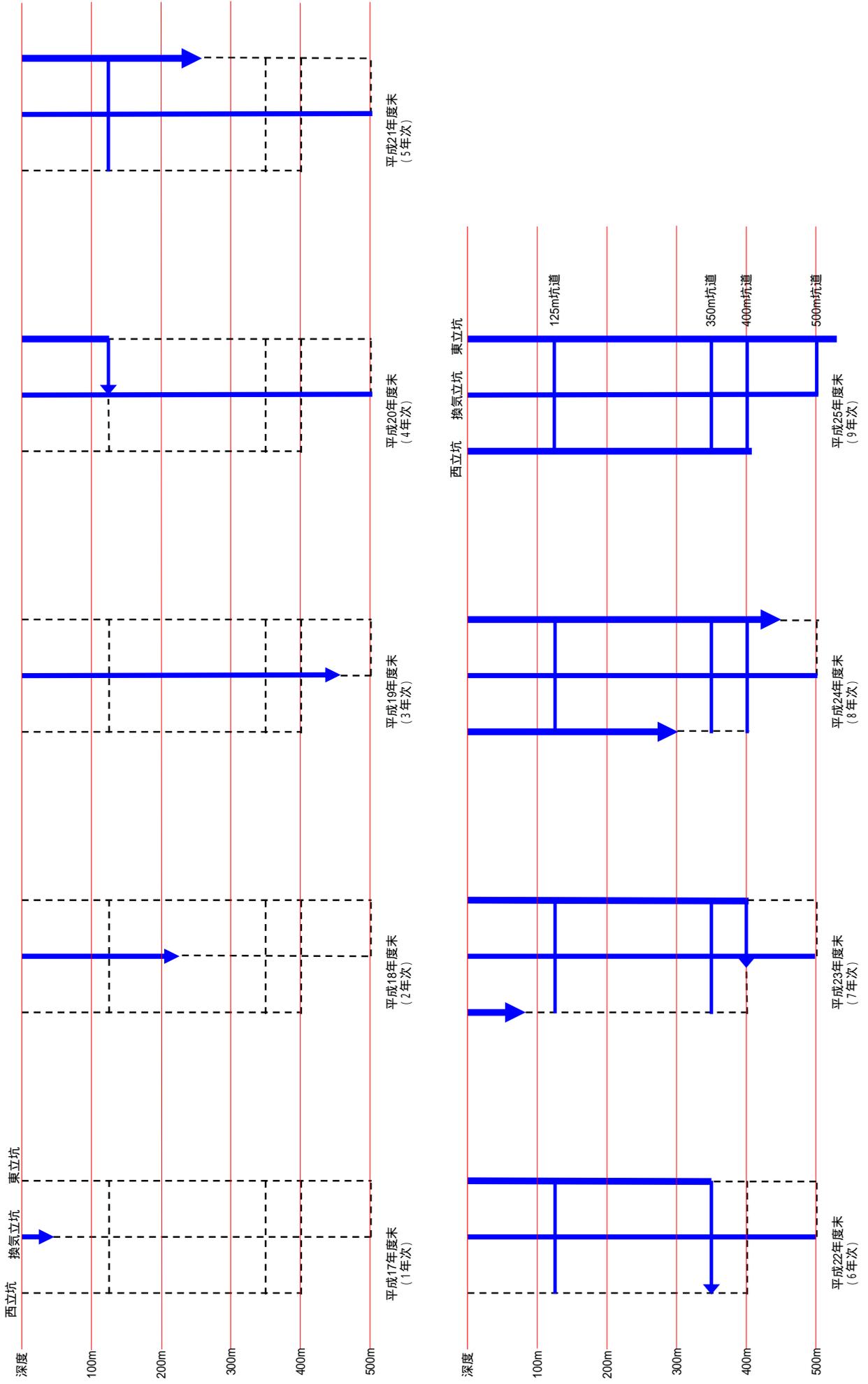
- 1.各年度の地下施設工事費の平準化を図る目的から、できるだけ掘削の切羽が1箇所になるよう工事工程を計画した。(添付資料2-1)
- 2.立坑の掘削順序は、換気立坑を先行掘削し、順次、東立坑、西立坑を掘削する。東立坑は、水平坑道の設置深度に到達した段階で水平坑道を掘削し、所定の深度まで掘り下がる。(添付資料2-4)
東立坑から各深度の水平坑道の掘削は、先行掘削した換気立坑と貫通し、立坑単独の換気から東立坑を入気・換気立坑を排気にした坑道換気に切替えることにより効率的な換気と災害時の2方向の避難経路の確保ができ、安全性を向上させる。
- 3.東立坑先行掘削案については、各水平坑道の設置深度に到達後、水平坑道を掘削した場合、換気立坑は事前掘削されていないため、水平坑道は行止り坑道となり、効率的な換気と災害時の2方向の避難経路が確保できず安全性が低下する。そのため、東立坑を先行掘削した場合は、各深度の水平坑道を東立坑終了後から着工することになり効率的な施工ができない。工程遅延になる。
換気立坑から水平坑道の掘削は、水平坑道掘削用の自由断面掘削機の搬入が不可で効率的な水平坑道の掘削ができず、工程遅延となる。

追記

瑞浪の水平坑道の掘削は、ジャンボ(大型削孔機械)により掘削することとしているが、この機械は主立坑からのみ搬入が可能のため、水平坑道の大部分は主立坑より掘削する。換気立坑からはレッグハンマ(小型削孔機械)による迎え掘程度となる。

以上

地下施設工事掘削順序(H17年度着工～H25年度竣工、換気立坑先行掘削案)



平成 16 年 9 月 1 日
深地層研究グループ
松井

幌延地下研究施設レイアウト変更案に関する検討（松井最終）

1. 経緯

H17 年度以降の予算が地下施設建設開始にもかかわらず増額されないため、現要求の予算をほぼ MAX として、年度予算ができるだけ平坦化されるように現在地下施設の建設工程やレイアウトが調整されている。

これにより基本設計までで検討してきた工程やレイアウトは大幅に変更されることとなり、合わせて検討してきた第 2、3 段階研究計画についてもその見直しをせざるを得ない状況になっている。

上記の情勢変化等を考慮し、予算の観点からのみ検討されている地下施設レイアウト案に対し、第 2、3 段階研究実施の観点から再度検討を加えることとする。

2. 検討にあたっての前提条件

昨今の予算の情勢を鑑み以下の事項はほぼ固定条件として考える

工程：3本の立坑を1本ずつ掘削していく（とりあえず400mまで掘削）。これにより400m深度までの3本の立坑掘削および水平坑道掘削が終了するのは平成25年度（当初はH22年度）となる。

レイアウト：基本設計にあった250m坑道はなくなり、深度400m地点に水平坑道が展開される形となる（予算の問題から坑道総延長をできるだけ短縮するため）。

予算：プロジェクトに対する予算増はほとんど望めない。

基本設計時は、立坑は3本同時着工で250m周回坑道が存在し平成22年度に地下施設完成という工程での検討を行っていた。本来幌延深地層研究計画はトータル20年（開始は平成13年度）すれば、全体スケジュールの延長なしとした場合は、第3段階の研究期間が3年程度短くなる（地元との関係から、掘削工程の延長分程度のプロジェクト全体の期間延長は認められる可能性の方が高いということではあるが）。

なお、上記の条件は決して研究上出てきたものではなく、あくまで予算上の話から出てきたものであり、この変更に対して研究上の理由付けを行うことはしない（できない）。以降の検討はあくまで与えられた条件に対する検討であることを付記しておく。

3. レイアウト案の検討

施設建設グループからは、研究上の視点からレイアウト案を提示して欲しい旨の要望を受けている。とは言え、現実的な問題が可能な限りクリアーされていないレイアウトでは、今後の検討でもまた大きな変更を余儀なくされる可能性がある。これらを踏まえ、以下のような条件を設定し、レイアウトの再検討を行った。

3.1 “研究”の観点からの検討

地下研究施設における第2段階、第3段階の調査試験研究はそれぞれ下記の目標のために実際されるものである。

幌延プロジェクト全体：	地質環境を体系的に調査・モデル化する技術の確立と地層処分に係わる技術の実証
段階目標：第1段階	概念モデルの構築、地下施設建設に伴う影響予測結果の提示、人工バリア等原位置試験仕様の試設計等
第2段階	第1段階予測の検証、第3段階試験位置選定に必要なデータ取得
第3段階	坑道スケールのモデル化、坑道周辺部の調査技術の適用性確認、人工バリア等原位置試験による処分技術の実証および安全評価手法の適用性確認

第2段階について

第2段階の第1段階予測の検証データ取得のうち、地質および力学関連については影響範囲が狭いあるいは考慮しないことから、2.の工程やレイアウト変更は取得データの品質には影響をほとんど及ぼさないと考えられる。

他方、水理・地球化学に関する検証データは、1本の立坑をほぼ2年かけて掘削するスケジュールとなっていることと、水理学的影響範囲は力学等のそれに比べはるかに大きいことから、東立坑および西立坑を掘削する際には換気立坑掘削による水理学的影響が両立坑掘削位置までおよぶ可能性は否定できない(基本設計の際には立坑3本同時着工で、水平坑道掘削の有無はあるにせよほぼ平行して立坑掘削が行われる計画であったことと、立坑間の離間距離は70mしかないため)。従って、昨年度までの検討では最小限であった換気立坑掘削時の調査内容を見直し、様々な調査を実施することが検証データ取得の観点からは必要不可欠となる。

また、上記のような想定をした場合、換気立坑以外の場所において、昨年度まで検討していたような、坑道周辺岩盤で生じるような連成挙動の評価といったことは難しくなる可能性がある。極論すればすべての坑道が掘削終了した最終状態の影響範囲が把握できるようなレイアウトを考えておけばいいことになる(中途で出てくる現象は基本設計時の同時掘削工程よりもかなり複雑になると思われるため)。この場合にも第1段階の予測結果の検証データ取得という意味では、地表～深度500m程度までの範囲で三次元的にデータ取得できる余地を残しておくことが重要である。

第3段階試験位置選定に必要なデータ取得については、基本設計時には250mレベル周回坑道よりの長試錐孔で500m周回坑道の周辺の地質環境を調査・確認し、第1段階で実施した試設計の条件を満たしうる場所を選ぶ計画としていたが、それがかなり困難な状況となる。このプロセスは、坑道掘削を伴う精密調査前半において実施される可能性のあるものであり、かつ第1段階の試設計と第3段階における実証試験をきちんとリンクさせる上で必要不可欠なものと考えているため、規模は縮小するが必ず実施できるようにしておく

要がある。

第3段階について

第3段階における坑道スケールのモデル化については、250m 周回坑道の全廃に伴い珪藻質泥岩中での試験はかなり制限されることから 400m 周回坑道の領域すなわち硬質頁岩層の部分がメインとなる。ただし、当初から試験時間の確保を要望されていたガス移行試験については、現時点で特に岩種の制約もないことからできるだけ早い段階で実施できるようなエリアを確保することとする。

坑道周辺部の調査技術の適用性確認については、立坑部周辺の調査に適用したものの以外の適用性確認を 400m 周回坑道掘削時に行うこととなる。また、人工バリア等原位置試験の実施は、幌延プロジェクトの必須事項であるためどのような状況下にあっても実施すべきと考える。基本設計時には人工バリア等原位置試験のための試験用坑道は別途掘削することとしていたが、予算的に先行きが非常に不透明な状況にあることから、現在の施設レイアウトでも最低限実施することが可能なスペースを確保することが現時点では望ましいと考える。

人工バリア等原位置試験はその初期条件として EDZ の情報が必要となる場合が多いことから、現在わかっている主応力方向に対し平行・あるいは直交する方向に坑道を展開することが、後の試験結果の評価を容易にする上で考慮すべき事項となる。

当初は地層科学研究の観点から掘削影響試験を実施する予定としていたが、人工バリア等原位置試験の初期条件を与えるだけの目的に特化するならば、立坑部と同様にどの程度の広さまで EDZ が広がっていてその特性はどの程度かが判明すればいい(すなわち坑道掘削後に調査を行うだけで良い)。ただし、EDZ の長期変化は堆積軟岩系における一つの重要課題であるため、継続して坑道周辺の EDZ の変化を追跡できる場所での試験が必要である。不飽和・REDOX 試験も埋め戻し試験の初期条件を与えるという観点に特化すれば、試験坑道掘削後から埋め戻し試験が開始されるまでの間に広がった不飽和域の範囲やその水理学的・地球化学的性質がわかればいいため、ことさらに坑道掘削前からの調査を行う必要性は低い。

人工バリア等原位置試験のエリアは、実証試験という意味合いから、坑道周辺岩盤へのダメージを極力抑えた工法で掘削されている場所が望ましい。この観点からは、これらの試験を行う坑道は機械掘削した領域である必要がある。

物質移行関連(安全評価手法に関する研究)では、基本設計時に検討した3つのスケール(人工バリア内、ニアフィールド(坑道周辺)、ファーフィールド)のうち、ファーフィールドについて現時点でどの方向が地下施設からの移行経路になりうるかの見通しが無いため、それが把握された時点で経路上でのトレーサー試験等を実施できるように、所定の深度から任意の方向に長試験錐孔が掘削可能なスペースを確保しておく必要がある(地表からの調査・予測の時点で概ね経路が定まるようであればこの限りではない)。

3.2 実務的観点からの検討

試験実施時の作業性について

基本設計時は、立坑3本が同時着工であり、かつ250m 周回坑道が存在するという条件で調査試験計画も検討していた。これが立坑を1本ずつ掘削し250m 周回坑道がないという条件に変更されることから、実際の調査試験の実施に当たっては以下のような問題が生じると考えられる。

- ・ 400m 周回坑道は、大規模な原位置試験が複数同時に行われる可能性があるため、安全面からも大量の資材運搬等が可能なかぎりスムーズに行える

- ような形状であることが必要。
- ・ 第3段階の研究期間も限られていること、人工バリア等原位置試験では長期モニタリングを必要とする試験が多いことから、複数の試験を同時に実施できるようなレイアウトとする必要がある。
 - ・ 換気立坑および東立坑ができた段階においても、防災上の観点から立坑3本というレイアウトになっている関係上、この時点で調査試験に用いる機材は防爆仕様を要求される可能性もある（試験費用自体の著しい増加を招く恐れがある）

他の要因

考慮すべき他の要因としては以下のような事項がある。

- ・ H17以降のとりまとめ
現在、進められているH17とりまとめ（概要調査～精密調査前半に反映）以降も処分事業の進展に合わせ、H22年度（精密調査に反映）やH27年度にも成果のとりまとめを行う可能性がある。本レイアウト変更に伴い、H22年度までにできているのは換気立坑・東立坑の2本であり、この2本の立坑掘削時にデータを取得することで、少なくとも第1段階に実施した地下施設設計手法の妥当性の検証や地下施設周辺の地質環境への影響予測の一部の検証が行える。この意味では、H22年度にとりまとめを行うとすれば、それに対して最低限の成果は記述できるものと考えられる。H27年度については、すべての施設が完成し第3段階試験が開始された程度のスケジュールとなるため、記述できる内容としては、地表からの調査段階における予測の妥当性評価と留意点および第3段階試験位置選定の考え方とその仕様などとなると予想される。
- ・ 他機関からの要請
地下施設掘削が本格化すると、現状でもあるように他の研究機関から施設を使わせて欲しい旨の要望が多数でてくる可能性がある。これについては、変更レイアウトでは少なくともすべての坑道掘削が終了するまでは、自らの調査試験を行うこと以上の作業空間を確保することは極めて困難と思われる。従って、このような要望への対応は、平成26年度からとなる可能性がある。
- ・ 安全の確保
地下施設最深部は、一般見学者が常時立ち入ることを考慮し、試験エリア以外はできるだけ2方向の避難経路が確保できるようなレイアウトとする。

4. 幌延深地層研究計画における地下施設レイアウトで考慮されるべき条件

2.,3.1,3.2 の結果をまとめると地下施設レイアウトを検討する上での条件は以下のように整理される。

前提条件

- ・ 立坑は3本
- ・ 予算を平坦化した工程案をできるだけ踏襲した形とする
- ・ 周回坑道は最深部のみとし、250m周回坑道はなしとする。
- ・ 500mまで立坑が到達する場合はありえるが、現状では3本すべてが到達する可能性は低く、その場合安全上の問題が大きいことから500m地点を試験エリアにおいて大規模な調査・試験を行うことは想定しない

“研究”の観点からの条件

(第2段階)

- ・ 第2段階では第1段階の検証データの取得とその品質の確保を主眼とし、地表から地下施設最深部までの地質環境データを3次元的に取得可能な坑道レイアウトとする
- ・ ガス移行試験エリアは第2段階途中から開始できるエリアを確保する。
- ・ 第3段階試験位置選定のための調査が実施できるレイアウトとする。

(第3段階)

- ・ 第2段階中に人工バリア等原位置試験のためのエリアを確保する。また、複数の試験が同時に実施可能なエリアを確保する
- ・ 人工バリア等原位置試験のための坑道レイアウトは、機械掘削が可能でかつ主応力方向に対し平行あるいは直交するレイアウトとする。
- ・ 物質移行関連の試験については、長い試錐孔(数10m~数100m)を任意の方向に延ばせる空間を確保する。

“実務的”観点からの条件

- ・ 地下施設最深部における坑道は、複数の大規模試験が同時平行的に行われる可能性が高いため、資材の搬出入をスムーズに行うため周回坑道でそれらを連結する。周回坑道は立坑と直接接続せず枝坑によって連結する。
- ・ 安全を考え、可能な限り避難経路が確保できるレイアウトとする。

5. 結論

4.をふまえ松井の方で考えられるレイアウト案（水平坑道のみ）を図に示す。なお、前回案に対して、地下施設最深部より上の連結坑道は最低3深度必要という日建設計からのコメントがあったため、それも考慮している。

最終的な水平坑道の深度は今後の実施設計により定めることとするが、仮設定として以下の4深度とする。それぞれの坑道のレイアウトは図に示すが、おのこの坑道の役割は以下の通りである。

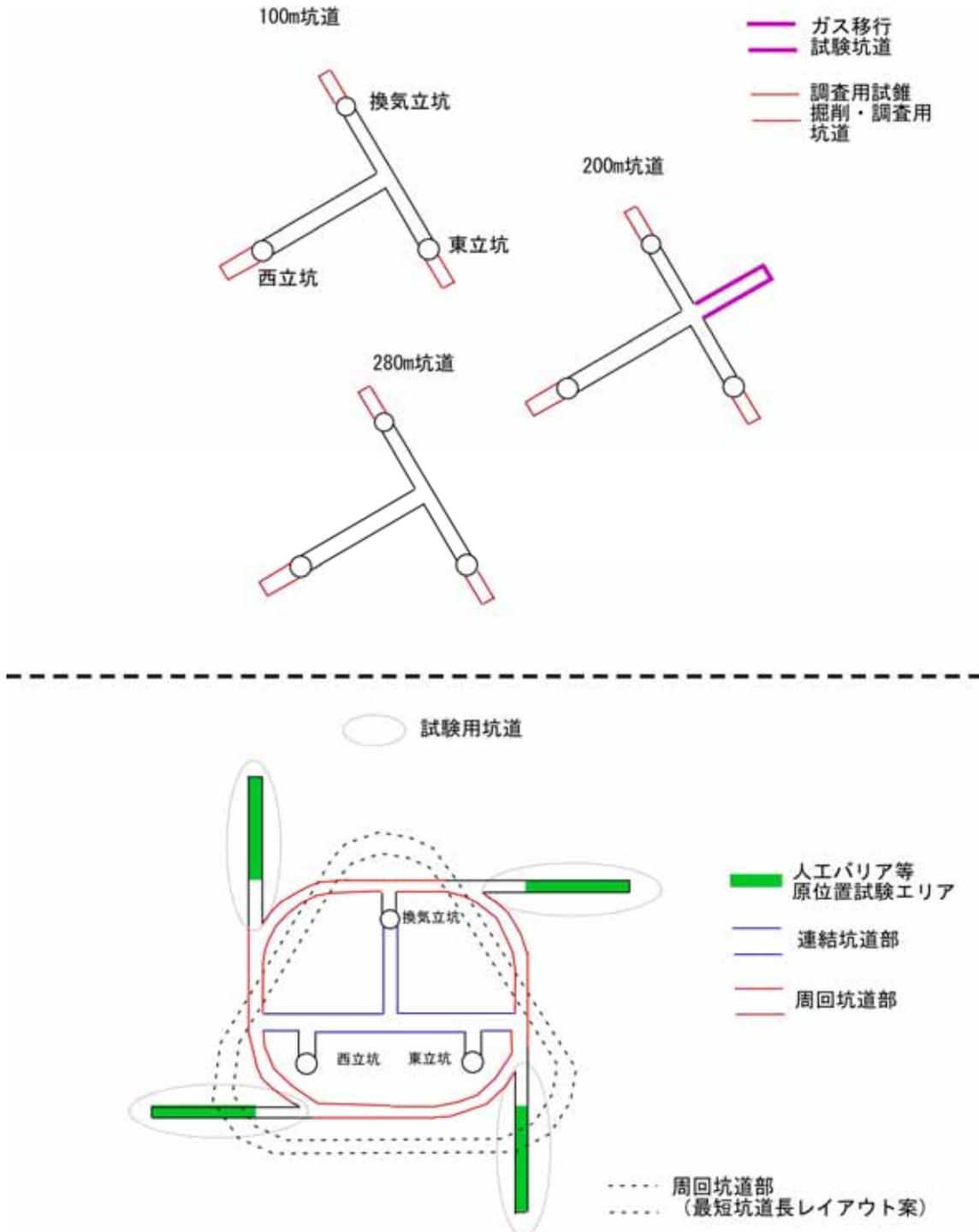
- 100m 坑道・・・声問層中の検証データの取得。浅い深度を対象とした地質環境特性調査および物質移行関連試験用坑道
- 200m 坑道・・・声問層中の検証データの取得、物質移行関連試験及びガス移行試験用坑道
- 280m 坑道・・・声問層、稚内層（遷移層）中の検証データ取得および第3段階試験位置選定用調査、物質移行関連試験用坑道
- 400m 坑道・・・稚内層（硬質頁岩）中の検証データ取得、掘削影響関連試験、人工バリア等原位置試験および物質移行試験用坑道

100,200,280m 坑道には、外側に10m程度の試験用坑道（立坑が発破掘削になる場合、坑道長が短いと設置機材に対し発破防護をしなければいけなくなるため）を追加するとともに、200m坑道部には20m程度（接合部近くの複雑な応力状態の領域外で試験を行うため）のガス移行試験用坑道を追加する。

400m 坑道のレイアウトは図に示す通りとする。特徴は以下の通りである。

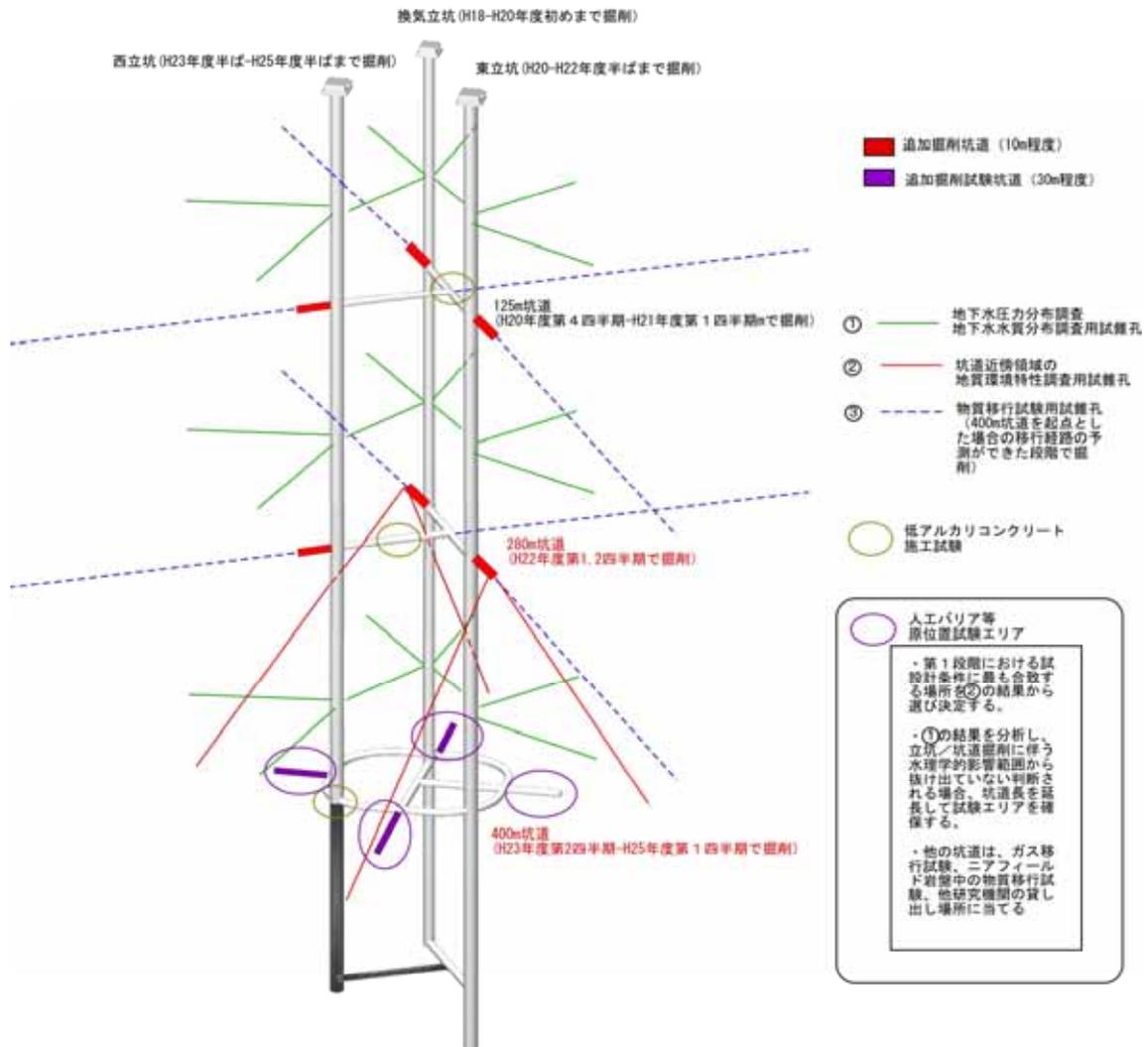
- ・ 前述の通り、周回坑道（赤線）は、各立坑を取り囲むようにし、坑道掘削方向は主応力方向に対し平行あるいは直交方向となるようにする。周回坑道は機械工法で掘削する。これにより周回坑道上でEDZ調査をした場合の結果の評価が容易となる。
- ・ 周回坑道と立坑は枝坑により接合する。これにより、周回坑道上の資材の移動および立坑からの資材の搬出入がスムーズにできるようになる。
- ・ 周回坑道上の4か所から、人工バリア等原位置試験用坑道を4本配置する（掘削長は30m程度）。坑道掘削方向は主応力方向に対し平行あるいは直交方向になるようにする。これにより、人工バリア等原位置試験の初期条件となるEDZの調査・評価が容易に行えるとともに、4か所での同時平行的な試験の実施が可能となる。周回坑道端部にすりつけることで、試験用坑道も機械により掘削することが可能。
- ・ 安全上の観点から、可能な限り通気を確保しつつ2方向避難が可能となるようにするため、周回坑道両辺を接合する坑道（連結坑道：青線）を設け、そこから枝坑にて東・西立坑を接合する。これにより、周回坑道上で火災が発生したとしても通気制御により避難経路を確保することができると思われる。
- ・ 400m 坑道については周回坑道および試験用坑道は自由断面掘削機で掘削し、それ以外の立坑部からの枝坑等は発破工法で掘削する。発破工法での掘削部と機械掘削部でのEDZ調査を行うことでその工法依存性を評価することができる（連結坑道部：青線）。

換気立坑部においても立坑周辺岩盤中の力学的・水理的・地球化学的影響に関する調査を実施することで、最もシンプルな状態での影響評価が行え、かつ地下施設設計の妥当性や第1段階での予測結果の検証の一部が実施できるため、平成17年度以降のとりまとめ(H22を想定)についてもそれらの内容を取りまとめることが可能となる。



6. 5. までに示したレイアウトでの研究計画（試錐孔配置や実施場所等）

図に 5.までに示したレイアウトでの第 2、第 3 段階の研究レイアウトの概念図を示す（本レイアウトは前回の CAD 図面のものであるため、5.までの坑道レイアウトを忠実に反映したものではない）。



施設建設Gr提案レイアウトからの変更点

- ・ 350m坑道を工程表上のH22年度開始時点での立坑到達深度まで浅くする (350m→280m程度)
- ・ 125m坑道と280m坑道の所に、調査用試験錐のため10m程度の坑道を付け加える (それぞれ30m程度の延長増 (それぞれ2か月程度の工期延長))
- ・ 400m周回坑道上に試験用坑道 (30m) を3本加える (400坑道延長が90mの増、月進15mとして半年程度の工期延長)

7. 前年度までの坑道レイアウトと比較した場合の研究面からのメリット・デメリット

(デメリット)

250m 周回坑道がなくなることと、工程の変更に伴い以下の当初計画していた研究内容のうち以下のものについて影響があると思われる。

- ・ 立坑掘削影響試験
換気立坑の掘削による水理学的影響が東・西立坑掘削時にその場所までおよんでいる可能性があるため、当初期待していた水—応力連成挙動の評価といったことは難しいと考えられる。
- ・ 周辺岩盤中の水圧・水質分布調査
上記と同様に換気立坑掘削により東・西立坑掘削時には影響がおよんでいる可能性があるため、初期状態を把握することが難しいと考えられる。
- ・ 水平坑道における掘削影響試験 / 不飽和・REDOX 調査
坑道掘削前の段階からデータを取得することは難しいと考えられる（そのためには坑道を掘削するための予算確保は難しい）
- ・ 断層を対象にした地質環境特性調査（+トレーサー試験）
250m 坑道がなくなったため、声問層中での試験はほとんど不可能に近い。従って、岩盤中の物質移行評価という観点では、稚内層中のデータのみとなる可能性がある。

(メリット)

3本の立坑を順次掘削していくため、1本の立坑掘削による影響とその後の立坑・水平坑道掘削による干渉の影響が把握できるため、第1段階の予測結果の検証としてはより複雑な現象を評価対象とすることとなり、より高いレベルでの予測結果の評価が可能となる（特に、水理・地球化学関連）。

また、H17 年度以降のとりまとめを考えた場合、昨年度までの工程では3本の立坑掘削と調査終了が H22 となり結果のとりまとめに割ける時間が非常に限られているが、今回の工程案の場合換気立坑の調査結果を主体にまとめることにより時間的な余裕がある。

以上

平成 16 年 9 月 1 日
幌延深地層研究センター
施設建設グループ (森岡)

幌延地下施設実施設計 (H16 年度) における工程・レイアウトについて

1. はじめに

幌延地下施設については、予算上各年度の地下施設工事費の平準化を図る目的から、3 本同時着工から切羽を 1 つにして、竣工時期を平成 22 年度から数年間繰り延べる方向で進んでいる。これを受け、本年度地下施設実施設計では、限られた予算枠の中で最大限の研究成果を得ることを念頭に置き、詳細なレイアウト・工事工程・施工方法の検討を進めている。

2. 水平坑道レイアウトの調整

地下施設の工程・レイアウトの変更内容 (資料 16 - 1 - 2 参照) ならびにそれに伴う地下施設内での試験・研究内容の見直し (資料 16 - 1 - 3 参照) を考慮し、本年度実施設計を行う地下施設のレイアウトについて検討を行った。

連絡 (水平) 坑道

立坑間の連絡坑道は、研究上の目的から 5 深度 (100m, 200m, 280m, 400m, 500m) に設置することとした。(各連絡(水平)坑道の目的については、資料 16 - 1 - 3 を参照)

5 深度の連絡坑道を考慮したレイアウト鳥瞰イメージ図を図 - 1 に示す。

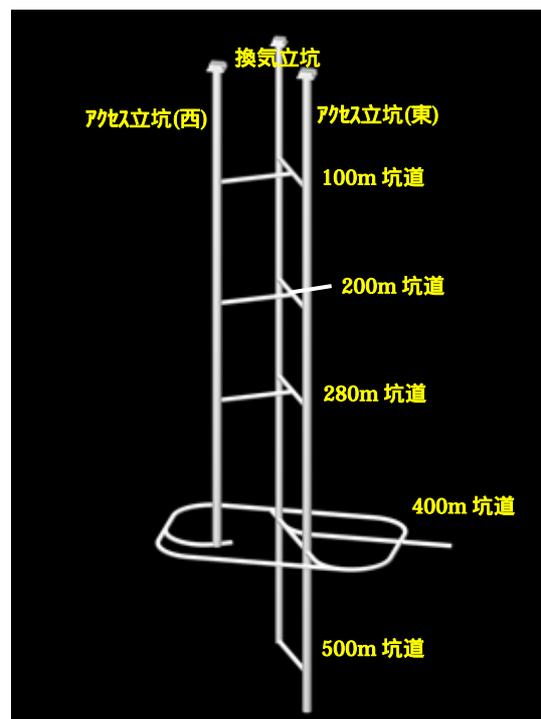


図 - 1 地下施設レイアウト鳥瞰イメージ図

400m 水平坑道のレイアウト

主要試験坑道の位置づけとなる 400m 坑道については、研究目的・防災面・施工性・工事費等の条件を総合的に評価し、現時点での最適レイアウトの選定を行った。

検討にあたっては、研究目的を達成しうる最小限のレイアウトから諸条件に対して有利となるレイアウトを 7 ケース抽出し（添付資料 4 - 1）、評点法により総合評価を行った。

(1)400m 坑道に要求される条件

試験場所の確保（試験目的の達成）	ランク A
防災基本コンセプトの遵守（通気計画）	ランク A
掘削総延長の短縮（工事費削減）	ランク B
空洞の力学的安定性の確保	ランク B
作業安全性の向上（避難経路・視認性等）	ランク C
施工方法の効率化（機能性・利便性）	ランク C
取得データ解釈の容易性	ランク D
デザインの美しさ	ランク E
レイアウト変更に伴う社会的影響	ランク B

ここで、重要度ランク n の位置付けは以下のとおりとした。

ランク A ：必ず遵守しなければならない必須条件

ランク B ：優先的努力目標

* 力学的安定性については必須条件であるが、ここでは重支保への変更である程度対応可能であることを踏まえ、ランクを 1 段階落とした。

ランク C ：追加条件 1（あれば効果的）

ランク D ：追加条件 2（あれば便利）

ランク E ：デザイン（研究成果・機能とは無関係）

(2)第 2・第 3 段階に必要となる試験坑道

現時点での第 2・第 3 段階の試験研究計画によれば、以下の A～F の 6 つの調査試験領域が必要となる。

A．試験ピット坑道（主に人工バリア試験用坑道）

T-H-M-C 試験，オバ・ハック腐食試験（ピット），セメント影響試験（ピット），岩盤・緩衝材クリープ試験

B．試験ピット坑道（主に人工バリア試験以外用坑道）

断層/割れ目帯周辺の地質環境特性調査，地震時の地質環境変動の観測，原位置トレーサ試験（天然バリア・断層）

C．実規模ピット坑道（主に定置試験用）

定置精度確認試験，オバ・ハック腐食試験（実規模），セメント影響試験（実規模），原位置トレーサ試験（人工バリア）

D．実規模ピット坑道（主に閉鎖試験用）

坑道閉鎖試験，試錐孔埋め戻し試験

E．掘削影響試験用坑道

水平坑道掘削影響試験，不飽和 REDOX 試験

F．併設坑道安定性評価試験用坑道

併設坑道安定性評価試験

このうち、「E．掘削影響試験」については第2段階（坑道掘削中）を対象としており，それ以外については第3段階での実施を計画している。

また，試験坑道A，C，Dは，周辺の坑道掘削の影響を避けるため，周回坑道より外向きの坑道を必要とする。さらに，試験坑道Dについては，閉鎖試験という性格上，人工バリア試験関係坑道から離れた位置に配置することが望ましい。

本検討においては，掘削工程の遅延に伴う第3段階試験期間の短縮により，各種試験坑道の掘削を地下施設工事に加え，掘削工事終了後に並行して試験を開始できることを条件とした。（基本設計時は，地下施設工事では試験坑道Eのみ考慮し，それ以外には第3段階での別途発注）

また，400m 坑道で実施される各種試験の実施内容（工程・仕様・掘削方法など）は現時点で確定していないため，本検討では試験坑道A，C，Fを近接する1箇所にとり，試験坑道Dとともに周回坑道から外向きに配置することとした。

(3)最適レイアウトの選定

評点法による評価方法は，400m 坑道に要求される上記9条件に対し，各レイアウト案を点数評価（5段階）し，条件の重要度に応じたランク（5段階）により重み付けを行って，総合点数を算出することとした。

各条件に対する評点は，基本設計時のレイアウトを基準とした相対評価を行った。

各レイアウト案に対するメリット・デメリットを添付資料4-2に，採点結果を添付資料4-3示す。

その結果，レイアウト7（基本設計時レイアウト+試験坑道A,C,D,F）が総合点で他のレイアウトを上回る結果となった。よって，最適案としてレイアウト7を選定することとした。

なお，レイアウト7の周回坑道の縦横寸法の設定根拠は，添付資料4-4に示す。

3．まとめ

以上の検討結果から，H16年度地下施設実施設計において採用するレイアウトは，連絡（水平）坑道を5深度（100m,200m,280m,400m,500m）に設置することとし，400m坑道については，レイアウト7を用いて検討（設計・施工計画・積算等）を実施することとする。

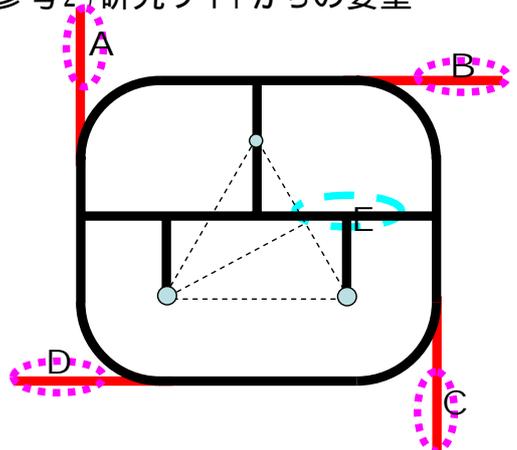
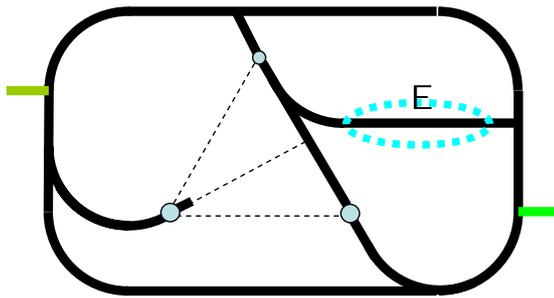
ただし，地下施設内で実施される調査・試験については，試験の詳細な実施計画が未確定であることから，それらが確定した段階で再度検討を行い，必要に応じて坑道レイアウトを見直すものとする。

以上

400m坑道検討レイアウト 検討ケース

(参考2) 研究サイドからの要望

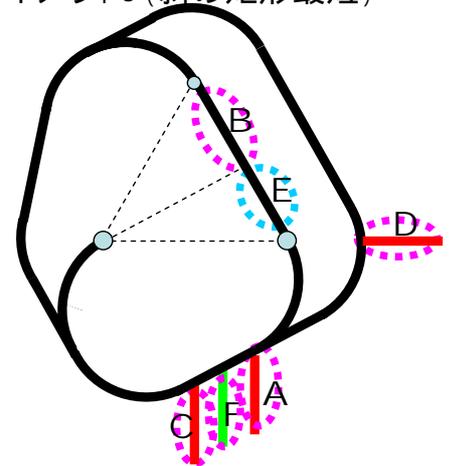
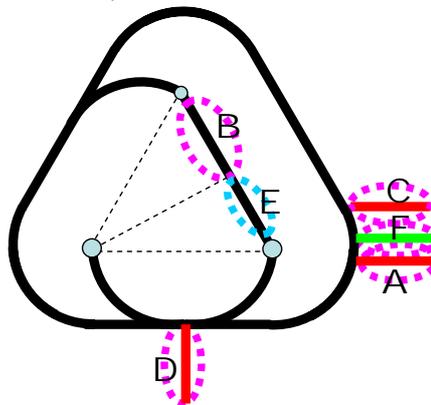
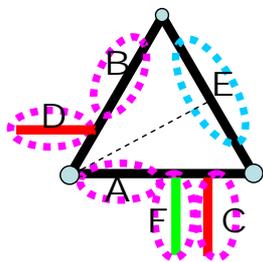
(参考1) 基本設計500m坑道



レイアウト1 (最短三角)

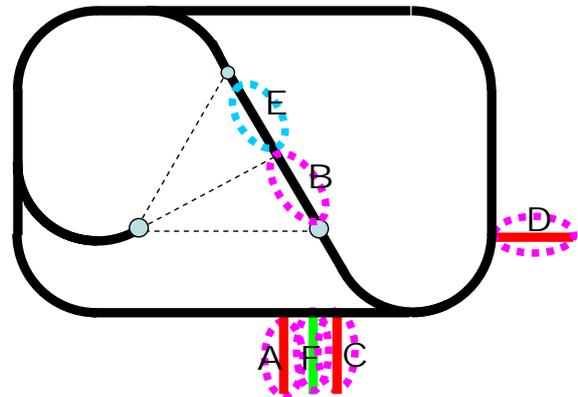
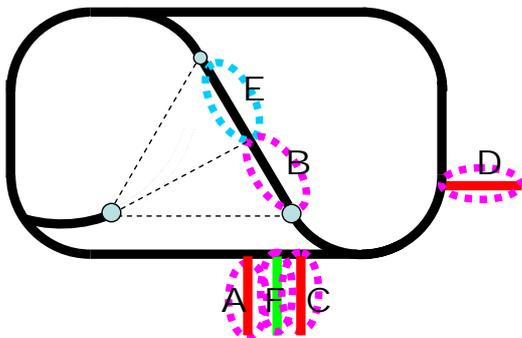
レイアウト2 (換気・施工重視の三角形)

レイアウト3 (斜め矩形最短)



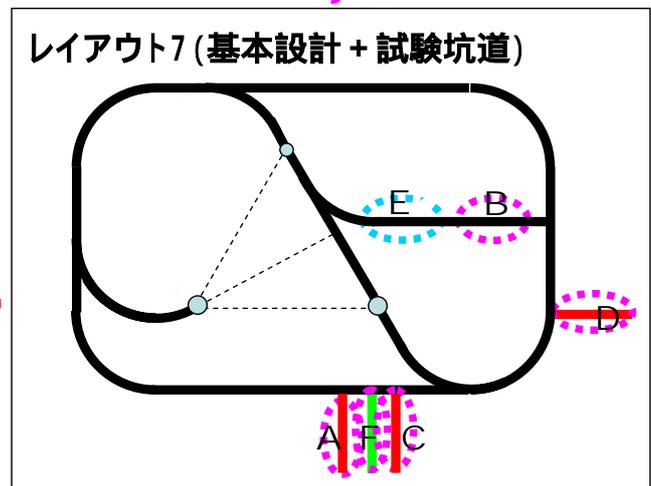
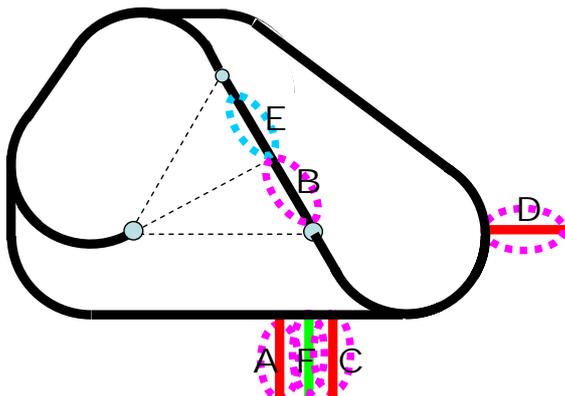
レイアウト4 (東西矩形・離隔無視)

レイアウト5 (東西矩形安定考慮)



レイアウト6 (東西矩形隅切り)

レイアウト7 (基本設計 + 試験坑道)



400m坑道レイアウト 比較総括表(1/2)

[添付資料4 - 2]

<評点の基準>
 ・非常に大きな改善効果がある 5点
 ・相対的に有利である 4点
 ・標準(基本設計時を基準) 3点
 ・相対的に劣る 2点
 ・かなり条件が劣る 1点
 ・条件不適合 x

* 水平坑道延長の目標が500mであることを考慮し、基本設計時の評点を2とした。
 * 掘削工事費比率は、基本設計時500m坑道の掘削工事費を100とした場合の比率。

検討条件 条件の重要度ランク	条件 : 試験場所の確保 ランクA	点	条件 : 防災基本コンセプト ランクA	点	条件 : 掘削総延長・工事費比率 ランクB ()内は追加試験坑道を含まない延長	点	条件 : 空洞の力学的安定性 ランクB	点	条件 : 作業安全性の向上 ランクC	点
条件の概要	・研究のための施設であることが大前提。必要とされる研究成果が得られるレイアウトの選定を行うことが必須の第一条件。 ・第3段階の試験坑道については、第3段階検討期間の縮小に伴う早期着工が求められているため、実施設計では試験坑道を追加して検討する。		・選定された基本レイアウトに対して、「防災基本コンセプト」を守るように、試験坑道の詳細位置などを調整する。 ・あらゆる場所での火災時に試験坑道作業者が、火災ガス排気ルート上を通ることなく地表に脱出できることが要件。 ・火災時の避難路確保の観点から、周回坑道上に立坑を配置することは望ましくない。 ・周回坑道は、火災ガス排気ルートとなるため、試験領域に選定しない(ボーリング・計器設置などの常時監視可能で特別な安全対策の取れる簡易作業は除く)。		・条件を満たすことを前提として、掘削延長(工事費)を最小にするレイアウトを目指す。 ・追加試験坑道の形状については、掘削方法が現時点で未定のため、周回坑道にほぼ直交する30m坑道を配置。		・空洞が研究期間中安定であることは、条件と同様に最重要課題であるが、基本的に支保設計で対応可能と考えられるため、条件の重要度は1ランク下げた。 ・水平面内地圧に偏圧が見られる場合、最大主応力方向を長辺、最小主応力方向を短辺とする坑道配置とするのが一般的。 ・立坑と周回坑道の離隔は、掘削面間で立坑掘削径の3倍(3D)以上確保することが望ましい。		・「防災基本コンセプト」以外の作業安全性の向上に寄与する内容(火災時避難距離の短縮、坑道内での視認性の向上など)の評価。 ・周回坑道での視認性を高める意味で、曲線区間は少なく、四角を超える多角形状は望ましくない。	
(参考1) 基本設計500m坑道	・第2段階をターゲットとした「掘削影響試験関係」の試験坑道のみ考慮。 ・第3段階の試験坑道については、別途発注とし、地下施設工事には含まないため、このレイアウトでは試験目的を達成できない。	x	・周回坑道以内ではあらゆる火災に対して地上避難が可能なレイアウト。掘削影響試験坑道が連結坑道となり、避難経路の短縮を実現。 (試験坑道がないため下記レイアウトとの比較不可)	x	・坑道延長 845m ・掘削工事費比率 100	2	・周回坑道との離隔は十分。	3	・周回坑道が矩形であるため、視認性が良い。	3
(参考2) 研究サイドからの要望レイアウト(不適)	・基本的な要件は満たしている。	3	・試験坑道C,D間の周回坑道上で火災が発生した場合、どちらかの作業者の避難ルートがガス排気ルート上になる。(条件を満たすためには、周回坑道南側から中央部への連結坑道が必要(最低30mの掘削延長増)) (試験坑道は分散配置するより、できるだけ集中して配置することが、防災コンセプトを守る上で重要)	x	・坑道延長 926m(686m) ・掘削工事費比率 109.6 * 追加試験坑道を自由断面掘削機で掘削する条件を無くせば、掘削延長は120m減。 (以下のケースでは上記条件を撤廃)	2	・周回坑道との離隔は十分。	3	・周回坑道が東西矩形であるため、作業者自身の位置認識が容易で、視認性もよい	3
レイアウト1(不適) * 基本三角形を周回坑道に	・現状の試験位置区分で試験項目が密集しているため、現時点で想定していない試験(外部機関との共同研究など)を実施できる領域がかなり制限される。	2	・換気立坑近傍では排気方向が特定されるため、高確率で火災ガスが背面から迫る歩行避難が余儀なくされる。(不適) ・試験A,Bの領域は、火災位置によって火災ガス排気ルート上になる(不適) (周回坑道での試験は基本的に不可) ・試験坑道Dは、西立坑との間で火災が発生した場合、逃げ遅れと孤立状態に陥る。 ・将来、さらに試験坑道を追加掘削する場合、通気上の制約を受ける可能性が高い。	x	・坑道延長 300m(210m) ・掘削工事費比率 35.4	5	・立坑上で鋭角に水平坑道が2本交差する構造は空洞安定上かなり不利。慎重な設計・施工が必要。	1	・メインの通気ルート上の周回坑道を試験区間として使用することは、避難ルートや通気上の障害となり望ましくない。(試験区間も歩行者通路が確保できれば物理的には可能)	1
レイアウト2 * 条件 重視の三角配置	・基本的な要件は満たしている。	3	・試験坑道B,E区間での作業は、400m以深の坑道を排気坑道として使用し、500mからの排気中に換気立坑を横断する通路が確保できることが前提条件。 ・試験坑道A,F間で火災が発生した場合、どちらかの試験坑道の避難ルートが、火災ガス排気ルートと一致することになる。(近距離のため、特別な対策を講じることで、コンセプト適用除外とする。)	2	・坑道延長 735m(615m) ・掘削工事費比率 86.6	4	・最大主応力方向により多くのトンネルを配置する(空洞の力学的安定性に対する)セオリーに反するが、正三角形ならこのレイアウトとせざるを得ない。 ・試験坑道D付近に分岐部が集中し、空洞安定上好ましくない。	2	・周回坑道上を試験区間にしないこと。立坑上に周回坑道を配置しないことで、メインの換気・避難ルート上の障害物がない。	3
レイアウト3 * レバーク出入口方向を考慮	・基本的な要件は満たしている。	3	・試験坑道B,E区間での作業は、400m以深の坑道を排気坑道として使用し、500mからの排気中に換気立坑を横断する通路が確保できることが前提条件。 ・試験坑道A,F間で火災が発生した場合、どちらかの試験坑道の避難ルートが、火災ガス排気ルートと一致することになる。(近距離のため、特別な対策を講じることで、コンセプト適用除外とする。)	2	・坑道延長 795m(675m) ・掘削工事費比率 93.7	3	・最大主応力方向により多くのトンネルを配置する(空洞の力学的安定性に対する)セオリーに反する。	1	・隅角部が多く(5角形)坑道内での視認性が若干劣る。	2
レイアウト4 * 東西方向矩形最短	・基本的な要件は満たしている。	3	・試験坑道B,E区間での作業は、400m以深の坑道を排気坑道として使用し、500mからの排気中に換気立坑を横断する通路が確保できることが前提条件。 ・試験坑道A,F間で火災が発生した場合、どちらかの試験坑道の避難ルートが、火災ガス排気ルートと一致することになる。(近距離のため、特別な対策を講じることで、コンセプト適用除外とする。)	2	・坑道延長 705m(585m) ・掘削工事費比率 83.5	4	・最大主応力方向により多くのトンネルを配置する(空洞の力学的安定性に対する)セオリーに従ったオーソドックスなレイアウト。 ・立坑と周回坑道の離隔3Dが確保できない(中心間で15m)ため、相当慎重な施工が必要。(工事費に考慮していないが)支保費用もかなり増の見込み	1	・周回坑道が東西矩形であるため、作業者自身の位置認識が容易で、視認性もよい	3
レイアウト5 * 4案に離隔3Dの条件を付加	・基本的な要件は満たしている。	3	・試験坑道B,E区間での作業は、400m以深の坑道を排気坑道として使用し、500mからの排気中に換気立坑を横断する通路が確保できることが前提条件。 ・試験坑道A,F間で火災が発生した場合、どちらかの試験坑道の避難ルートが、火災ガス排気ルートと一致することになる。(近距離のため、特別な対策を講じることで、コンセプト適用除外とする。)	2	・坑道延長 860m(740m) ・掘削工事費比率 101.6	2	・最大主応力方向により多くのトンネルを配置する(空洞の力学的安定性に対する)セオリーに従ったオーソドックスなレイアウト。	3	・周回坑道が東西矩形であるため、作業者自身の位置認識が容易で、視認性もよい	3
レイアウト6 * 東西方向隅切り	・基本的な要件は満たしている。	3	・試験坑道B,E区間での作業は、400m以深の坑道を排気坑道として使用し、500mからの排気中に換気立坑を横断する通路が確保できることが前提条件。 ・試験坑道A,F間で火災が発生した場合、どちらかの試験坑道の避難ルートが、火災ガス排気ルートと一致することになる。(近距離のため、特別な対策を講じることで、コンセプト適用除外とする。)	2	・坑道延長 780m(660m) ・掘削工事費比率 92.1	3	・基本的に横長形状であるため、主応力方向によるレイアウトのセオリーには従っていると言える。	2	・隅角部が多く(6角形)坑道内での視認性が若干劣る。	2
レイアウト7 * 基本設計 + 試験坑道	・基本的な要件は満たしている。	3	・試験坑道A,F間で火災が発生した場合、どちらかの試験坑道の避難ルートが、火災ガス排気ルートと一致することになる。(近距離のため、特別な対策を講じることで、コンセプト適用除外とする。) ・東西連結坑道上で試験B,Eを実施するため、400m以深の坑道を排気ルートとして使用せずに排気が可能。	3	・坑道延長 960m(840m) ・掘削工事費比率 113.4	1	・最大主応力方向により多くのトンネルを配置する(空洞の力学的安定性に対する)セオリーに従ったオーソドックスなレイアウト。	3	・周回坑道が東西矩形であるため、作業者自身の位置認識が容易で、視認性もよい	3

400m坑道レイアウト 比較総括表(2/2)

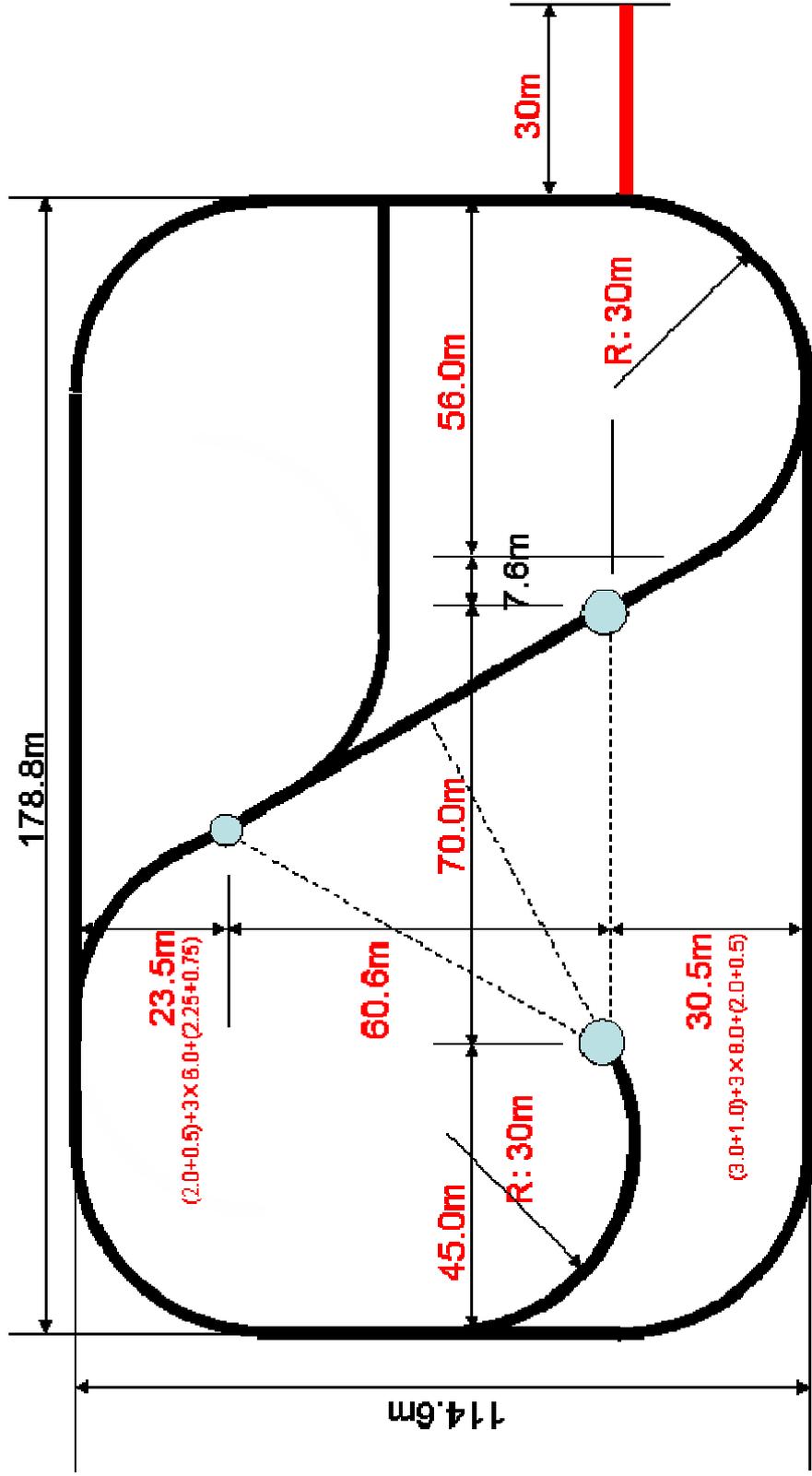
* 基本設計時と同じであることが最善であることから、基本設計を5点とした。

検討条件 条件の重要度ランク	条件 : 施工方法の効率化 ランクC	点	条件 : 取得データ整理の容易性 ランクD	点	条件 : デザインの美しさ ランクE	点	条件 : 変更に伴う社会的影響 ランクB	点
条件の概要	・レイアウトを工夫することで、施工方法が効率化される内容(隅角部の曲率、立坑への取り付け角度など)。 ・坑道内での資機材運搬は、東西立坑から鋼車により直接運搬することが効率的。エレベータの改造やターンテーブルの増設は好ましくない。		・試験・計測データ整理時に、データの整理・解釈において、理解しやすい(誤認を防ぐ)意味で、坑道配置を最大・最小主応力方向に統一することが有利。		・本質的な機能・品質に直接影響する話ではないが、幅広く注目を集める施設であることを考慮すると、格好の悪い施設は作れない。 ・周回坑道は三角もしくは四角形がシンプルで美しい。		・基本設計時以前のレイアウトを大幅に変更することは、今までの検討の妥当性を含めて社会的影響がかなり大きい。 (周回坑道の形状は長方形が望ましい。)	
(参考1) 基本設計500m坑道	・鋼車による資機材搬出入を考慮したレイアウト(30R・エレベータ出入口)。	3	・掘削影響試験が周回坑道と平行に実施できるため、データ取得・整理が容易。	3	・R30による滑らかでかつ左右対称に近い落ち着きのあるレイアウト。	3	-	5*
(参考2) 研究サイドからの要望レイアウト(不適)	・追加試験坑道全線を自由断面掘削機で施工可能。 ・各立坑からの掘削スリ・資機材の搬出入が困難(スカフォードの改良および最低2箇所のターンテーブル設置、もしくは2回の積替作業が必要)。	1	・掘削影響試験が周回坑道と平行に実施できるため、データ取得・整理が容易。	3	・連結坑道・枝坑が整然と配置され、全体が左右対称に近い非常にシンプルで美しいレイアウト。	4	・基本設計時の基本レイアウトを踏襲しているため影響は少ない。	3
レイアウト1(不適) * 基本三角形を周回坑道に	・東立坑～換気立坑間以外の坑道へは資機材の搬出が困難(スカフォードの出入口を2方向に改良する、もしくはスカフォード上にターンテーブルを配置する必要がある) ・隅角部の曲率半径が30m確保できないため、自由断面掘削機が使用できない。(発破・ブレイカ掘削であれば対応可)	1	・追加試験坑道は最大・最小主応力方向に配置されており、問題なし。	3	・単純な三角形形状は非常にシンプルで美しい。無駄のないすっきりとしたレイアウト。	4	・大幅な変更を印象付けるレイアウト。	1
レイアウト2 * 条件 重視の三角配置	・西立坑からの資機材の搬出が困難(スカフォードの出入口を2方向に改良する、もしくはスカフォード上にターンテーブルを配置する必要がある) ・自由断面掘削機による掘削と鋼車による資機材運搬を考慮することで利便性向上。	2	・試験坑の方向は最大もしくは最小主応力方向と一致させることにより、各種試験結果の分析が容易	4	・R30による滑らかでかつ左右対称に近い落ち着きのあるレイアウト。	3	・大幅な変更を印象付けるレイアウト。	1
レイアウト3 * エレベータ出入口方向を考慮	・エレベータ出入口を上位連絡坑道と同方向に配置することで、効率的な資機材搬出入が可能。 ・自由断面掘削機による掘削と鋼車による資機材運搬を考慮することで利便性向上。	3	・追加試験坑道は最大・最小主応力方向に配置されており、問題なし。	3	・形状としては均整のとれた5角形ではあるが、3本立坑をベースにした北側上向きを図面では、30度傾いた形状になる。	2	・大幅な変更を印象付けるレイアウト。	1
レイアウト4 * 東西方向矩形	・エレベータ出入口を上位連絡坑道と同方向に配置することで、効率的な資機材搬出入が可能。 ・連結坑道(南北)の換気立坑側の掘削に際して、自由断面掘削機の反転が必要。 ・連結坑道完成後は、鋼車の方向をターンテーブルなしで転換できる。	3	・追加試験坑道は最大・最小主応力方向に配置されており、問題なし。	3	・R30による滑らかでかつ左右対称に近い落ち着きのあるレイアウト。	3	・基本設計時の基本レイアウトを踏襲しているため影響は少ない。	3
レイアウト5 * 4案に離隔3Dの条件を付加	・エレベータ出入口を上位連絡坑道と同方向に配置することで、効率的な資機材搬出入が可能。 ・連結坑道(南北)の換気立坑側の掘削に際して、自由断面掘削機の反転が必要。 ・連結坑道完成後は、鋼車の方向をターンテーブルなしで転換できる。	3	・追加試験坑道は最大・最小主応力方向に配置されており、問題なし。	3	・R30による滑らかでかつ左右対称に近い落ち着きのあるレイアウト。	3	・周回坑道は基本設計時のレイアウト	4
レイアウト6 * 東西方向隅切り	・エレベータ出入口を上位連絡坑道と同方向に配置することで、効率的な資機材搬出入が可能。 ・連結坑道(南北)の換気立坑側の掘削に際して、自由断面掘削機の反転が必要。 ・連結坑道完成後は、鋼車の方向をターンテーブルなしで転換できる。	3	・追加試験坑道は最大・最小主応力方向に配置されており、問題なし。	3	・R30による滑らかな線形であるが、周回坑道が左右非対称。	2	・基本設計のレイアウトに対して、隅角部を短縮し、合理的な設計を追及したというスタンスで説明できる。	2
レイアウト7 * 基本設計 + 試験坑道	・エレベータ出入口を上位連絡坑道と同方向に配置することで、効率的な資機材搬出入が可能。 ・連結坑道(南北)の換気立坑側の掘削に際して、自由断面掘削機の反転が必要。 ・連結坑道完成後は、鋼車の方向をターンテーブルなしで転換できる。	3	・試験坑道はすべて最大・最小主応力方向に配置されており、問題なし。	4	・R30による滑らかでかつ左右対称に近い落ち着きのあるレイアウト。	3	・追加試験坑道以外は基本設計のレイアウトとほぼ同じ	5

最適レイアウトの選定

	素 点										評点(重み付け後)								総合点
	条件 : 試験場所の確保	条件 : 防災基本コンセプト	条件 : 掘削総延長(工事費)	条件 : 空洞の力学的安定性	条件 : 作業安全性の向上	条件 : 施工方法の効率化	条件 : 取得データ整理の容易性	条件 : デザインの美しさ	条件 : 変更に伴う社会的影響	条件 : 試験場所の確保	条件 : 防災基本コンセプト	条件 : 掘削総延長(工事費)	条件 : 空洞の力学的安定性	条件 : 作業安全性の向上	条件 : 施工方法の効率化	条件 : 取得データ整理の容易性	条件 : デザインの美しさ	条件 : 変更に伴う社会的影響	
	重み										5	5	4	4	3	3	2	1	
参考 - 1 * 基本設計500m坑道レイアウト	×	×	2	3	3	3	3	3	5	×	×	8	12	9	9	6	3	20	-
参考 - 2 * 研究サイドからの要望レイアウト	3	×	2	3	3	1	3	4	3	15	×	8	12	9	3	6	4	12	-
レイアウト1(不適) * 基本三角形を周回坑道に	2	×	5	1	1	1	3	4	1	10	×	20	4	3	3	6	4	4	-
レイアウト2 * 条件 重視の三角配置	3	2	4	2	3	2	4	3	1	15	10	16	8	9	6	8	3	4	79
レイアウト3 * 斜め矩形	3	2	3	1	2	3	3	2	1	15	10	12	4	6	9	6	2	4	68
レイアウト4 * 東西方向矩形最短	3	2	4	1	3	3	3	3	3	15	10	16	4	9	9	6	3	12	84
レイアウト5 * 4案に離隔3Dの条件を付加	3	2	2	3	3	3	3	3	4	15	10	8	12	9	9	6	3	16	88
レイアウト6 * 東西方向隅切り	3	2	3	2	2	3	3	2	2	15	10	12	8	6	9	6	2	8	76
レイアウト7 * 基本設計 + 試験坑道	3	3	1	3	3	3	4	3	5	15	15	4	12	9	9	8	3	20	95

レイアウト7(周回坑道寸法設定条件)



(周回坑道最小条件)

南北・換氣立坑～周回坑道距離3D(c.t.c.)	23.5m	* 赤字はクリアイカルの条件
立坑間(正三角形高さ)	60.6m	
換氣立坑～周回坑道距離3D(c.t.c.)	30.5m	
[東西]・西立坑～周回坑道30R区間	45.0m	計 114.6m
東西立坑中心間	70.0m	
東立坑～30Rへの摺り付(緩衝区間)	7.8m	
東立坑～周回坑道30R区間	56.0m	計 178.8m

[添付資料4 - 4]

- [坑道延長]: 960m(840m)
- ① 周回坑道: 約530m
 - ② 連結坑道: (南北)約140m
(東西)約100m
 - ③ 試験坑道: 30×4=120m
 - ④ 枝坑: (西)約70m

第1回 幌延技術検討会議

コメント票

第1回 幌延技術検討会議 主要コメント一覧

- 1 . 第3段階の研究はいつから始まるのか。(東海事業所：青柳氏) 16 - 研究計画 - 1
- 1 . 西立坑に比べて、東立坑が深い理由は何か。(東濃地科学センター：仙波氏) 16 - 施設建設 - 1
- 1 . 試験坑道を深度 400mとした理由は何か。もっと浅くしてもよいのではないか。(東海事業所：藤田氏) 16 - 施設建設 - 2
- 1 . ガス移行試験については、飽和するのに時間がかかるという理由だけで浅い箇所を実施するのであれば、無理に浅い箇所を実施する必要はないと思う。今後、試験坑道のレイアウトについて、再検討もあり得るのか。(東海事業所：油井次長) 16 - 物質移行 - 1
- 1 . 深度 280mの水平坑道から斜めにボーリングするのはよいアイデアだと思う。心配なのは、試験同士の相互干渉である。掘削につれて水位の低下なども考えられるので、水に敏感な試験は深いところで実施した方がよいことになる。すると、深い箇所では試験が混み合い、互いに悪影響を与えることも考えられる。これを避けるため、試験坑道のレイアウトは可能な限りフレキシブルにしておいた方がよいと思う。また、深部の試験坑道のレイアウトなどは、深度 280mからのボーリングで水理状況などを把握してから決められた方がよいのではないか。(東海事業所：内田 G L) 16 - 研究計画 - 2
- 2 . 深度 100m付近で塩淡境界を調査するのは難しいのではないか。鉱物学的な痕跡などは別だが、掘削に伴い、どんどん変化すると思う。(東海事業所：内田 G L) 16 - 研究計画 - 2
- 3 . 試験課題のリストアップと優先順位付けはキチンとしておいた方がよい。特に性能評価試験関係は再検討して欲しい。(東海事業所：内田 G L) 16 - 研究計画 - 2
- 1 . 条件 で、基本レイアウトを5点にしているが、本来は3点ではないのか。また、条件 「取得データ解釈の容易さ」については、調査研究が主目的である以上、もっと重視していいのではないのか(東海事業所：小西氏) 16 - 施設建設 - 3
- 1 . レイアウト7を実施設計のレイアウトとして選定した場合、マイナーチェンジも可能ということだが、どの程度の変更ならば可能なのか。(本社：石丸氏) 16 - 施設建設 - 4
- 1 . 今後はレイアウト7を基に調査研究計画の策定が行われると予想するが、現状のA、F、Cの試験坑道配置では、各種の試験研究を実施する際に問題となる相互影響の観点からは、離隔距離が小さ過ぎるのではないか。(東濃地科学センター：尾方氏) 16 - 施設建設 - 4
- 1 . 試験の内容について担当者がもっと具体化し、試験場所やレイアウトに関する必要な条件などを詰める必要があると思う。今ならまだ、レイアウトその他に対して試験研究側の要望を反映できる余地があると思われるが、どうか。(幌延：青木 G L) 16 - 研究

計画 - 3

- 1 . 処分技術関係と性能評価関係の進め方については、今後さらに検討を進めた方がよいと思う。(東海事業所：油井次長) 16 - 研究計画 - 4
- 1 . 決定に至る過程に透明性がないように思われる。また、技術検討会議の場で何かを決定するのが無理なのであれば、参加者の位置付けに疑問が残る。(東海事業所：内田 G L) 16 - その他 - 1

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 研究計画 - 1

コメント（東海事業所：青柳氏）

1. 第3段階の研究はいつから始まるのか。

コメント対応（梶延：松井氏）

1. 現時点では言い切れないが、深度 400mの水平坑道の掘削が完了しなければ、本格的に始めるのは難しいと考えている。したがって、深度 400mの水平坑道が掘り上がるH26 から始まると考えるのが妥当である。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 1

コメント（東濃地科学センター：仙波氏）

1. 西立坑に比べて、東立坑が深い理由は何か。

コメント対応（梶延：青木GL）

1. 対外的に深度 500m程度と公言しているので、500mまで掘らない訳にはいかない。ただ、予算の制約もあり、調査試験研究の観点からも 400m以深は必須ではないので、折衷案としてこのようなレイアウトとなった。深く掘るのはどちらの坑道（東立坑もしくは西立坑）でもかまわない。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 2

コメント（東海事業所：藤田氏）

1. 試験坑道を深度 400mとした理由は何か。もっと浅くしてもよいのではないか。

コメント対応（梶延：松井氏）

1. 研究上の必然性はないが、デモンストレーションの意味で深い方がよいと思う。ただし、人工バリア試験については、深度 300mより浅い箇所ということはある。なお、深度 280mから下に 100mほどは珪藻質泥岩と硬質頁岩の漸移帯であり、そこを避けたという意味もある。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 物質移行 - 1

コメント（東海事業所：油井次長）

1. ガス移行試験については、飽和するのに時間がかかるという理由だけで浅い箇所を実施するのであれば、無理に浅い箇所を実施する必要はないと思う。今後、試験坑道のレイアウトについて、再検討もあり得るのか。

コメント対応（梶延：松井氏）

1. レイアウトの変更はあり得る。ガス移行試験については、余り坑道掘削が進展していない時期に実施した方がよいと思う。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 研究計画 - 2

コメント（東海事業所：内田GL）

1. 深度 280mの水平坑道から斜めにボーリングするのはよいアイデアだと思う。心配なのは、試験同士の相互干渉である。掘削につれて水位の低下なども考えられるので、水に敏感な試験は深いところで実施した方がよいことになる。すると、深い箇所では試験が混み合い、互いに悪影響を与えることも考えられる。これを避けるため、試験坑道のレイアウトは可能な限りフレキシブルにしておいた方がよいと思う。また、深部の試験坑道のレイアウトなどは、深度 280mからのボーリングで水理状況などを把握してから決めた方がよいのではないかな。
2. 深度 100m付近で塩淡境界を調査するのは難しいのではないかな。鉱物学的な痕跡などは別だが、掘削に伴い、どんどん変化すると思う。
3. 試験課題のリストアップと優先順位付けはキチンとしておいた方がよい。特に性能評価試験関係は再検討して欲しい。

コメント対応（梶延：青木GL）

1. 今後、さらに東海・東濃とも連絡を密にして検討していきたい。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 3

コメント（東海事業所：小西氏）

1. 条件 で、基本レイアウトを5点にしているが、本来は3点ではないのか。また、条件 「取得データ解釈の容易さ」については、調査研究が主目的である以上、もっと重視していいのではないのか。

コメント対応（梶延：森岡氏）

1. 条件 については、基本レイアウトそのままだが最善という意味で最高点の5点とした。また、条件 については、解釈が難しくなるとはいえデータが劣化する訳ではなく、必要な手間を掛ければキチンとした結果が得られるため、他のランクB、Cの条件と比較した場合、相対的に重要度が低いと判断している。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 4

コメント（本社：石丸氏）

1. レイアウト7を実施設計のレイアウトとして選定した場合、マイナーチェンジも可能ということだが、どの程度の変更ならば可能なのか。

コメント対応（梶延：森岡氏）

1. 周回坑道については固定であり、レイアウト変更は困難と考えている。試験坑道、連結坑道については変更可能と考える。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 4

コメント（東濃地科学センター：尾方氏）

1. 今後はレイアウト7を基に調査研究計画の策定が行われると予想するが、現状のA、F、Cの試験坑道配置では、各種の試験研究を実施する際に問題となる相互影響の観点からは、離隔距離が小さ過ぎるのではないか。

コメント対応（梶延：森岡氏）

1. 近い方が防災上は問題が少なくなる。レイアウト7案でも、厳密に言えば防災基本コンセプトに反しているなので、試験坑道の箇所には特別の対策が必要となる。ただし、試験に影響があっても困るので、試験で要求している条件についてはキチンと把握して設計に反映するつもりである。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 研究計画 - 3

コメント（梶延：青木GL）

1. 試験の内容について担当者がもっと具体化し、試験場所やレイアウトに関する必要な条件などを詰める必要があると思う。今ならまだ、レイアウトその他に対して試験研究側の要望を反映できる余地があると思われるが、どうか。

コメント対応（梶延：松井氏）

1. 今まで行ってきた検討以上のことをするには、さらにデータが必要なので、もう少し後でなければできない。いずれにせよ実施設計には間に合わないが、実施設計を行う際には変更する可能性があることを念頭において設計してもらうことになる。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - 研究計画 - 4

コメント（東海事業所：油井次長）

1. 処分技術関係と性能評価関係の進め方については、今後さらに検討を進めた方がよいと思う。

コメント対応（梶延：青木GL）

1. そのようにしたいと思う。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

山崎副所長	福島次長	一安主幹	青木GL	

第1回 技術検討会議コメント票

16 - その他 - 1

コメント（東海事業所：内田GL）

1. 決定に至る過程に透明性がないように思われる。また、技術検討会議の場で何かを決定するのが無理なのであれば、参加者の位置付けに疑問が残る。

コメント対応（梶延：青木GL）

1. 決定のプロセスの透明性については、今後明確にしたいと考えている。

幌延技術検討会議

第 2 回

平成 16 年 10 月 19 日

平成 16 年度 第 2 回「幌延技術検討会議」議事録

日 時：平成 16 年 10 月 19 日 13:20 ~ 17:00

場 所：幌延深地層研究センター 第 1、2 会議室（TV 会議）

参加者：

本社：石丸、瀬尾、藤島

東海：油井次長、内田 GL、澤田、前川、小西、青柳、菊池、藤田、西村、小川

東濃：仙波、尾方

幌延：福島次長、馬場所長、青木 GL、畑中 SGL、松井、濱、瀬尾、竹内、中山、高橋、
操上、石井、舟木、山口、瀬谷（記録）

配布資料：

資料 16-2-1「Horonobe URL Project The Present Status in the Investigation from
-Geology and Rock Mechanics-」

資料 16-2-2「Geology」（資料 16-2-1 の補足資料）

資料 16-2-3「Modeling Study and Data Acquisition for Safety Assessment Methodology」

資料 16-2-4「Key Issues for Disposal Technologies at the Surface-based Investigations
(Phase-1)」

資料 16-2-5「水理調査の現状」

議事次第：

- 1 . 第 2 回「幌延技術検討会議」について（青木）
- 2 . 「Horonobe URL Project The Present Status in the Investigation from -Geology and Rock Mechanics-」の説明（松井）
- 3 . 「Modeling Study and Data Acquisition for Safety Assessment Methodology」の説明（畑中）
- 4 . 「Key Issues for Disposal Technologies at the Surface-based Investigations (Phase-1)」の説明（畑中）
- 5 . 「水理調査の現状」の説明（竹内）
各説明後に質疑応答

討議内容：

- 1 . 第 2 回「幌延技術検討会議」について
 - ・ 今回の会議の目的は、近々開催される国際ワークショップに向け、会議の中で発表される内容を整理することである。そして、対外的な発表の可否という観点で意見をいただきたいと思う。（青木）
- 2 . 「幌延地下研究施設レイアウト変更案に関する検討（松井最終）」の説明に関して

- ・他国に比べて新しい地層を対象としているので、地層の年代についてもっと明確に紹介した方が良いと思う。(瀬尾)
 - ・大曲断層の地表でのトレースが変更されたことについて、断層を1本に限定して考えることをやめれば良いのではないか。断層帯という形で、複数の断層群が存在しているということは考えられないか。少なくともそのような可能性があることも触れてはどうか。(瀬尾)
 - ・fracture の type1 と type2 の時代関係はどうなっているのか。共役なのか、時代に差があるのか。もし、時代に差があるのであれば、fracture を形成した地質運動の活動時期によってステージ分けするようなことも検討してはどうか。(瀬尾)
- 地層の年代についてはもっと明確に紹介するようにする。(松井)
- 断層の活動様式も含めて、可能性については言及する。(松井)
- fracture の時代関係については、資料 16-2-2 の中で、type1 と type2 の「切った切られた関係」を示している(図 - 1)。その結果、type1 と type2 の fracture は同時期に形成されたものと判断している。したがって、ステージ分けできるものではない。(松井)



図 - 1

- ・大曲断層は1本の断層と見なしているのか。ある程度の幅を持つ断層帯、あるいは途中で枝分かれしているというような捉え方はしていないのか。(内田)
- 幌延センターとしては、大曲断層について1本ではなく枝分かれしているような形態

と見なしている。なお、大曲断層については、場所によって確実性の低い部分もあると思うので、地質図上での表現については考慮したい。(松井)

- ・この図だと、1本の断層がそのままズレているとしか読めないのではどうか。(内田)
- ・資料 16-2-2 の 9 枚目(表紙含む)の図「Kanekiyo,1999」(図 - 2)にあるように、深い箇所では分岐しているような可能性も意識はしている。(青木)

(Kanekiyo,1999)

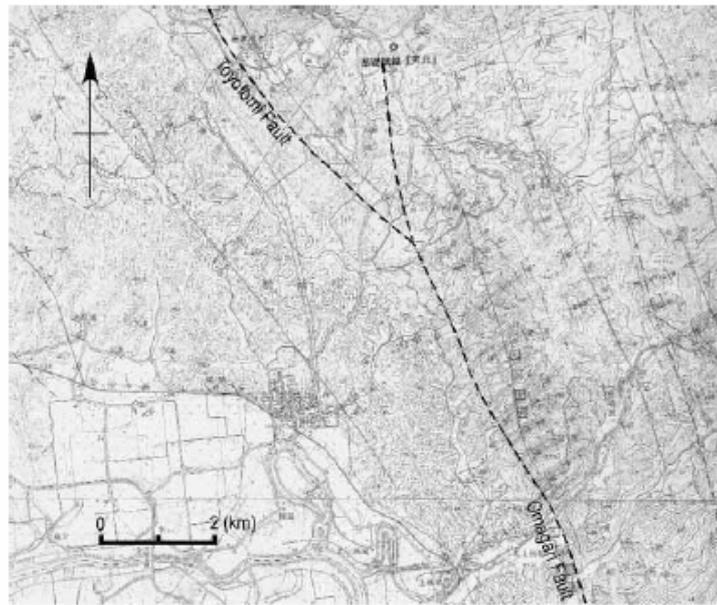


図 - 2

- ・分岐ではなく、平行な断層が雁行状に発達しているような地域もあるので、そういった可能性も考慮してはどうか。(内田)

了解。断層帯として捉えるかどうかは、改めて検討する。ただし、物理探査の測線位置図を見ていただければ分かると思うが、大曲断層の推定位置と弾性波探査のイベントとは概ね適合している。弾性波探査のイベントと AMT 探査における低比抵抗帯を結ぶと想定した大曲断層のトレースとなる。大曲断層推定箇所以外の低比抵抗部については、今後解釈を試みる。(松井)

3. 「Modeling Study and Data Acquisition for Safety Assessment Methodology」の説明に関して

- ・性能評価について発表するということだが、一般的な性能評価という幅が広いので、あくまでも掘削の影響を考慮しない自然状態における、長期的な評価についての限定的なものだということを示した方が良い。(内田)
- ・大曲断層について、透水性には言及しているが、水理バリアとして機能する可能性があると言及すべきでは。(内田)

- ・大曲断層について逆断層かつ左横ズレとしているが、もっと複雑な動きをしていることも考えられるのではないかと。地域全体の応力場の性質が変化するようなことも考えられると思う。(内田)
- ・type1 と type2 の fracture について大きな時代差はないということだが、それならなぜ透水性に差があるのか分からない。透水性の違いの理由について言及してもらいたい。(内田)
- ・type2 の fracture について slip folding と言っているが、type1 と同時という事と矛盾しているのではないかと。(内田)

大曲断層については、いろいろなセンスの活動をしたという事も当然考えられるし、そのような内容の既存文献もある。しかし、およそ 3Ma 以降に限定すれば逆断層かつ左横ズレが良いと思う。(石井)

fracture の透水性については、type1 は横ズレ断層、type2 は逆断層であり、その違いを反映していると考えている。(石井)

大曲断層の遮水性については否定しないが可能性は小さいのではないかと判断している。大曲断層の露頭を見ると、固結性の断層岩 (ex. カタクラサイト) もないし、断層粘土 (fault core に相当) も薄い。それと対称的にダメージゾーンの幅は広いので、総体的に高透水性 (水みち) になると考えている。(石井)

- ・資料中の写真では良く分からないのだが、type1 と type2 の fracture について、大きさ (連続性) に違いはあるか。(内田)

露頭で見ると、どちらも連続性は良く、大きさは同程度と思われる。(石井)

- ・ $l = 0.1 \sim 2\text{km}$ ということか。(内田)

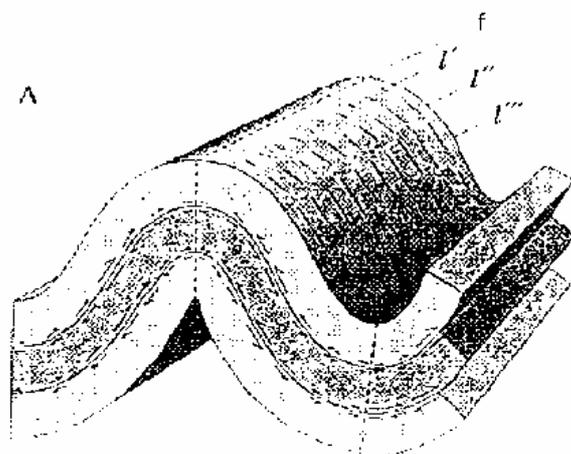
それは、type1 の fracture zone の長さである。Fracture 自体の長さについては計測出来てはいない。ただ、幅としては最大 10cm 程度なので、それに準じた長さだと思われる。(石井)

- ・10m程度ということか。(内田)

最大 300m程度と考えている。(石井)

なお、資料中の写真では高角度のものが type1 で、緩傾斜のものが type2 である。ちなみに、type2 の形成に密接な関連のある flexural slip folding を簡単に説明すると、層理面沿いにズルズルすべる平行褶曲である。資料 16-2-2 の中のモデル図 (図 - 3) を参照していただきたい。(石井)

type1 と type2 の「切った切られた関係」についても同資料中に図示してある。(青木)



(Twiss and Moores, 1992)

図 - 3

- ・どちらかの fracture type が再活動している可能性もあると思うが、了解した。(内田)
- ・不連続面の幅と長さの関係式で、長さを結果として求めているのであれば、 $W = 0.032 \times L$ という式の書き方は変えた方が良い。(内田)

~~~~~

記録担当がやむを得ず中座したため、この部分の記録はありません。

~~~~~

- ・サンプルをどこから取ってきたか、それを確認すれば良い。(青木)
了解。(畑中)
- ・最後の部分については alternative modeling という事なので、不確実性についても言及した方が良いと思う。(内田)
- ・地質モデルについて固まったということは分かったが、数学的モデルについてはどうか。資料 16-2-5「水理調査の現状」の最後に割れ目帯のモデルがあるが、資料 16-2-1 に出て来るモデル (fracture zone network) とは明らかに異なっており、これで今後どこまで出来るか不安が残る。(沢田)
大成と前田に委託してモデル化を行っているところである。(畑中)
- ・割れ目帯モデルについて、どのくらい煮詰まっているのか。性能評価試験を行うに当たって十分なモデルなのか。(沢田)
亀裂についてのパラメーターは今後変更する可能性もあるが、これが現時点では最新のものである。(畑中)
- ・どちらのモデルも有効ということか。(沢田)
資料 16-2-5 のモデルについては古いモデルであり、資料 16-2-1 のモデルの方が最新である。(竹内)
- ・現時点でモデルはどこまで絞り込まれているのか。ニューメリカルモデルに渡せる状態になっているのか。(沢田)
まだである。地層構成と断層位置については OK。ただし、現時点でのモデル対象範囲が比較的狭い範囲なので、今後もっと広域のモデルと整合性を取る必要があるが、現在その作業を行っているところである。(竹内)
割れ目モデルについても、割れ目の発生条件の整理が終わった段階であり、現在その条件をモデルに取り込んでいる段階。11 月中にはモデル化出来る予定。(竹内)
資料 16-2-5 のモデルについては差し換える。(竹内)
- ・以上のような現状が分かるように、今後の課題については表現を考えた方が良いと思う。(沢田)
了解。(畑中)
- ・課題として残されているのはマトリックス部の取り扱いについても同じだと思うので、同様に言及してはどうか。(内田)
- ・type1 と type2 の fracture の透水性について、測定しているのか。(尾方)

実際には測定していない。(畑中)

- 透水性を把握してないということだが、fracture の type 分けについてはモデル化に反映するのか。何を目的に type 分けしているのかが分からない。(尾方)

亀裂の記載を行っていくのに従い、自然に type 分けされたものである。透水性については、試錐の検層データなどから、集合的な透水性を把握出来ているので、そのデータから類推した。(畑中)

今までの調査結果から、type1 の fracture と岩盤の透水性には関係があると判断している。type1 はせん断性の亀裂で、type2 は層内すべりに起因する亀裂であり、type1 は岩盤の透水性と高い相関を示している。(青木)

- 今後、モデル化に伴い、type 分けをどのように取り込んでいくのか、というのが質問の趣旨である。(尾方)

現サイトにおいては、ローカルな範囲を対象とする場合、ポーラスメディアではなくフラクチャーメディアとして扱う必要があるのではないかと。堆積岩 = ポーラスメディアという認識を改める必要があるのではないかと。(青木)

今後、亀裂の取り扱いについても検討しながらモデル化を行って行きたい。(畑中)

- fracture の定義を定量的に再確認すべきではないか。外国での例などを見ると、サイズによって fracture の名称を使い分けているような場合もある。幌延では、fracture のスケール、fracture zone のスケール、大曲断層のスケール、となると思うが、外国の事例ではスケールが連続しているのに対し、幌延では必ずしも連続的でないようにも思える。いずれにせよ、定義はきちんと行うべきである。(内田)

資料 16-2-2 の 34 枚目(表紙含む)の図「Caine et al., 1996」(図 - 4)が、その間に関する答えの一つになっている。幌延の状況は、図中の Distributed Conduit に相当すると考えている。定量的な定義については検討したい。(青木)

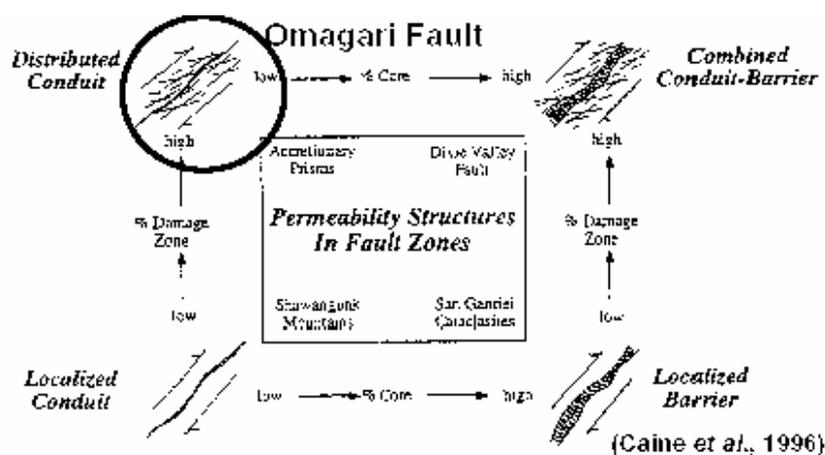


図 - 4

- 上の質問は、大曲断層だけについて言っているのではなくて、サイト内で見られる様々な不連続面をスケールで区分すべきではないのか、ということである。少なくとも、現在認定している不連続面についてはスケールを明示して、連続的な表示を試みては

どうか。(内田)

既存の文献などにも例があるが $l = 3\text{km}$ をしきい値として分類することも考えられる。

(石井)

- ・外国での不連続面区分の例も参考にしてみてもどうか。(内田)
- ・出来るだけ単純な区分が出来るように整理を行いたい。(石井)

4 . 「Key Issues for Disposal Technologies at the Surface-based Investigations (Phase-1)」の説明に関して

- ・内容については、今後当方と幌延とで検討を進めて行きたい。(青柳)
- ・ガス移行試験については、目的が明確でないので書き方を変えた方が良い。(青柳)
- ・了解。(畑中)
- ・幌延深地層研究計画に関する全体計画のようなものはあるのか。(操上)
- ・性能評価についての計画はない。(畑中)
- ・実験深度が不統一なので修正した方が良い。(藤島)
- ・了解。(畑中)
- ・資料中の 17 枚目の図に一部間違いがあるので修正が必要。(谷口)
- ・了解。(畑中)

5 . 「水理調査の現状」の説明に関して

- ・「研究対象スケールと目的」について、スケール毎の検討内容と使ったモデルは整理されているのか。(沢田)
 - ・現状では不十分なので、今後まとめる。(竹内)
 - ・実測値の対比、地下水流動方向の解析などは広域スケールの結果を使っているのか。(沢田)
 - ・モデル化は全て広域スケールで行っている。(操上)
 - ・地質構造モデルは施設スケールだと思うが、プレゼンのストーリーに矛盾はないか。(沢田)
 - ・今後は広域スケールでも割れ目帯のモデリングをしたいと考えている。ただし、実作業としてはそこまで進んでいない。(竹内)
 - ・今回のプレゼンでは基本的に広域スケールについて扱っているのか。(沢田)
 - ・その通り。その点については、もう少し全体的に整理したい。(竹内)
 - ・「モデル化の目標」として、比抵抗分布を説明できるモデルを構築する、と書いてあるが、割れ目帯の存在だけで再現できるのか。キャップロックを想定することなども必要になるのではないか。(内田)
- 稚内層中の割れ目帯は、浅部では透水性が高いが深部になると透水性が小さくなる。また、東側では稚内層は浅く分布し、西側では深い深度に分布している。つまり、東側は淡水が浸透しやすく、西側は淡水が浸透しやすいことが想定でき、このような条

件を考慮すれば比抵抗分布について再現できるのではないかと考えている。(竹内)

- ・調査に当たっては、何らかの仮説を常に持っていることが大切だと考えている。その仮説を検証するために調査するのであって、初めに調査ありきでは決してない。幌延については、連続的な透水係数の分布が得られていないので、極端な事を言えばどんな仮説も排除できないと思う。ただし、何らかの仮説を持って調査に当たっていることは分かった。(内田)

その他

- ・次回開催は11月中旬を予定している。(青木)

以 上

第 2 回 幌延技術検討会議

説明資料

資料 16-2-1 「Horonobe URL Project The Present Status in the Investigation from Geology and Rock Mechanics-」

資料 16-2-2 「Geology」

資料 16-2-3 「Modeling Study and Data Acquisition for Safety Assessment Methodology」

資料 16-2-4 「Key Issues for Disposal Technologies at the Surface-based Investigations (Phase-1)」

資料 16-2-5 「水理調査の現状」

Horonobe URL Project The Present Status in the Investigation from -Geology and Rock Mechanics-

Overall procedure of the Project

- **Step 1 : Selection of the main study area in Horonobe-cho**
- **Step 2 : Selection of the location of URL in main study area**
- **Step 3 : Detail investigation around URL in main study area**

The investigation programs were planned from 2001 in consideration of above steps. The main goals in geology and rock mechanical investigations in Phase I are to predict the geological environment of the area and the impact of constructing the URL facilities on geological environment. The predictions will be validated with the data acquired during the investigation during the construction of the URL facility (Phase II). The objectives for geoscientific studies on the geology and rock mechanics are shown below.

Objectives

- ***Geology***
 - **To understand the geology and geological structure of the URL area. .**
 - **To construct 3-D geological structural model for the basis of groundwater flow, rock mechanical and geochemical modeling.**
- ***Rock mechanics***
 - **To understand the mechanical properties distribution and in-situ stress state in the area for the selection of a URL site.**
 - **To provide the mechanical properties and in-situ stress for the URL design**

Overview of the investigations from 2001 to 2003

- **Step 1 :Collection of existing data, surface geological survey, Air-bone geophysical survey, borehole investigation in HDB-1, HDB-2**
- **Step 2 : surface geological survey, geophysical measurements from ground surface (seismic reflection, resistivity), borehole investigation in HDB-3, HDB-4 and HDB-5**
- **Step 3 : surface geological survey , geophysical measurements from ground surface (seismic reflection, resistivity), borehole investigation in HDB-6, HDB-8**

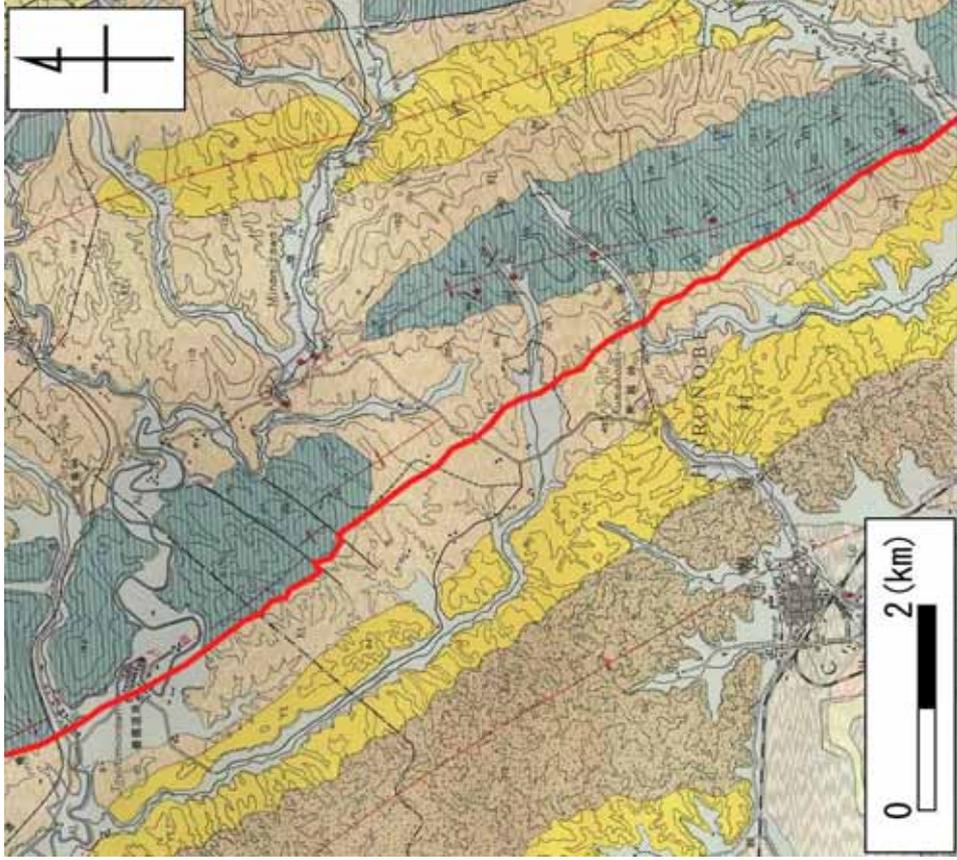
Concept of planning of the investigation

- **Geology**
 - **First concept: Geology can be described with several kind of soft sedimentary rock(Sarabetu, Yuuchi, Keoti and Wakkanai Formations)**
 - **Main issues**
 - **Definition of lithostrophic classification**
 - **Detect the position of major fault (Omagari fault et.al.) and feature, geometry of the major faults**
 - **Distribution of minor faults/fracture zones**
- **Rock mechanics**
 - **First concept: porous, continuum and soft materials and small influence of fractures to rock mass properties because of soft rock**
 - **Main issues**
 - **Three dimensional distribution of mechanical properties of several rocks.**
 - **In-situ stress condition near/around the position of URL**

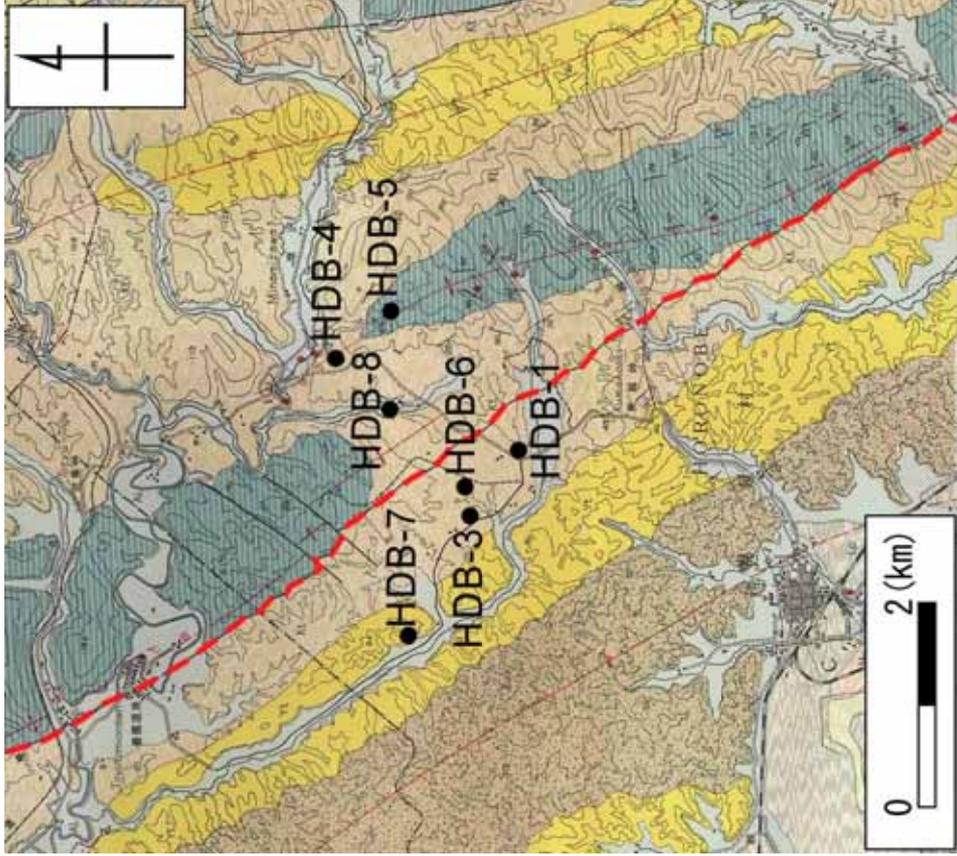
Preliminary Results(Geology)

- **Definition of lithostratigraphic classification**
 - **Difficulty: Diatomaceous mudstone and hard shell is same origin (Diatom)**
- **Present definition**
 - **Two types of rocks**
 - **rock which consists of Opal-CT, which Opal-A was changed by diagenesis, defined hard shale,**
 - **the rock which consists of Opal-A (amorphous-silica) was defined diatomaceous mudstone.**
 - **There is transition layer between hard shale and diatomaceous mudstone. Wakkanai formation is composed of the transition and hard shell layer, and Koetoi formation is correspond with diatomaceous layer.**
 - **The first surface geological map has been correcting with present definition.**

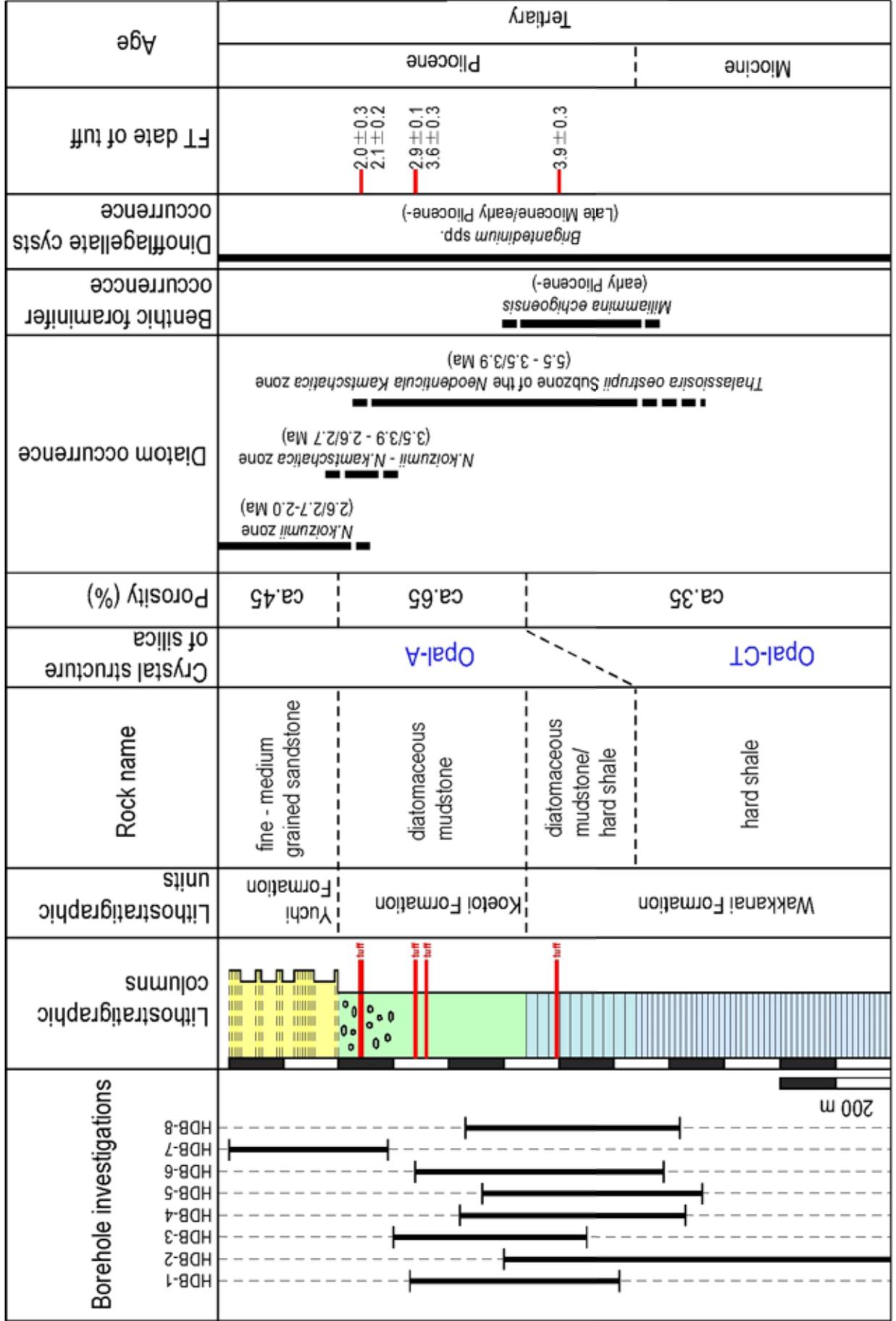
Existing Geological map (URL area)



Layout of borehole investigation(URL area)



Compiled geologic column



Lithofacies of Wakkanai Formation and Koetoi Formation

Koetoi F.
(diatomaceous mudstone)

■ Photographic image by SEM



HDB-1 : 288.33 m

Wakkanai F.
(hard shale)

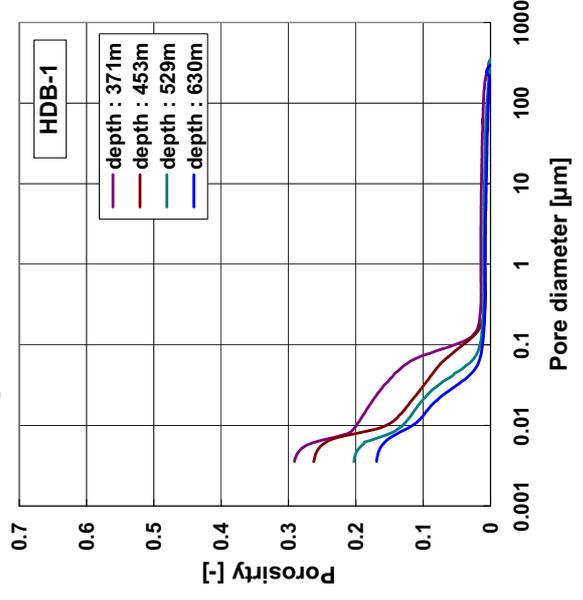
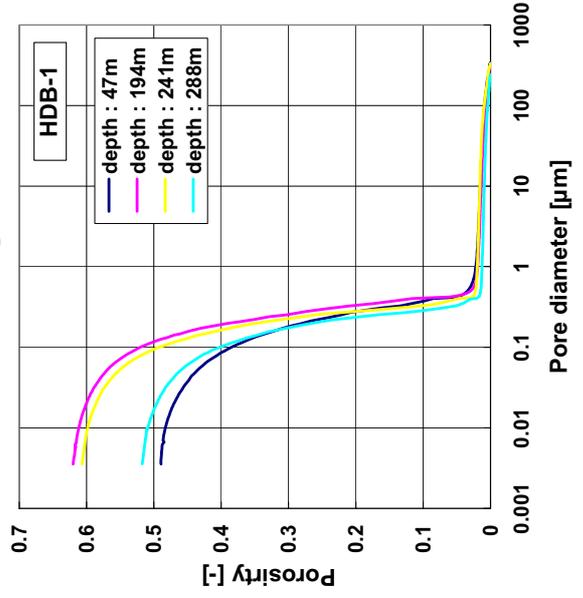


HDB-1 : 528.77 m

Burial diagenesis



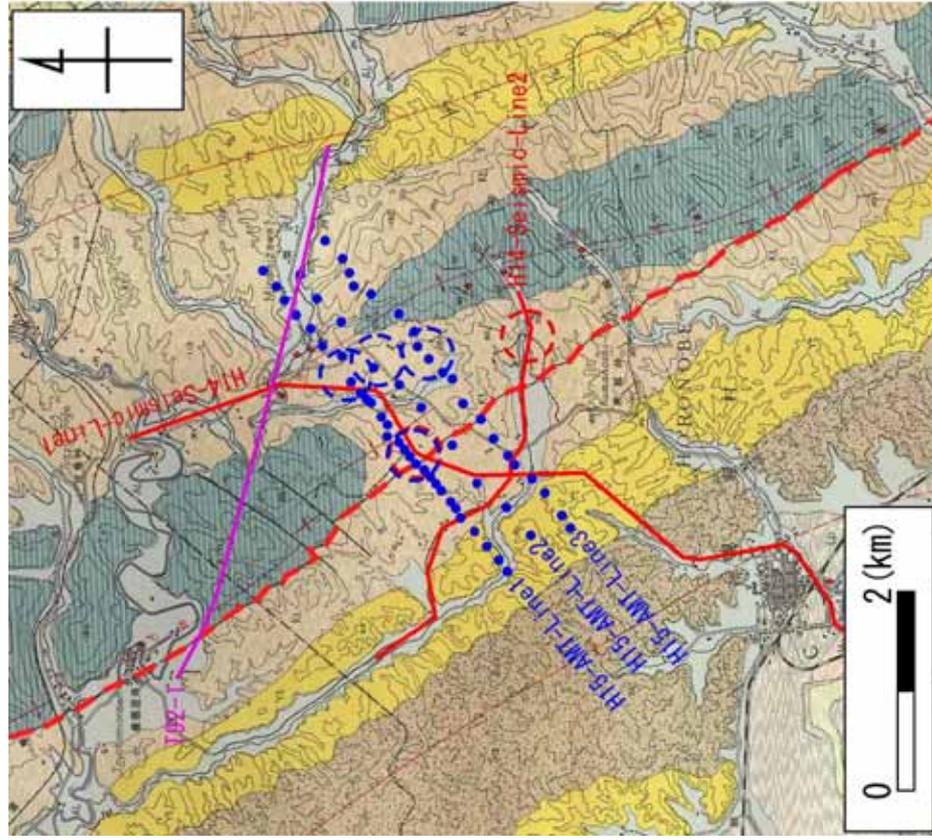
■ Cumulative porosity measured by mercury porosimetry



Preliminary Results(Geology)

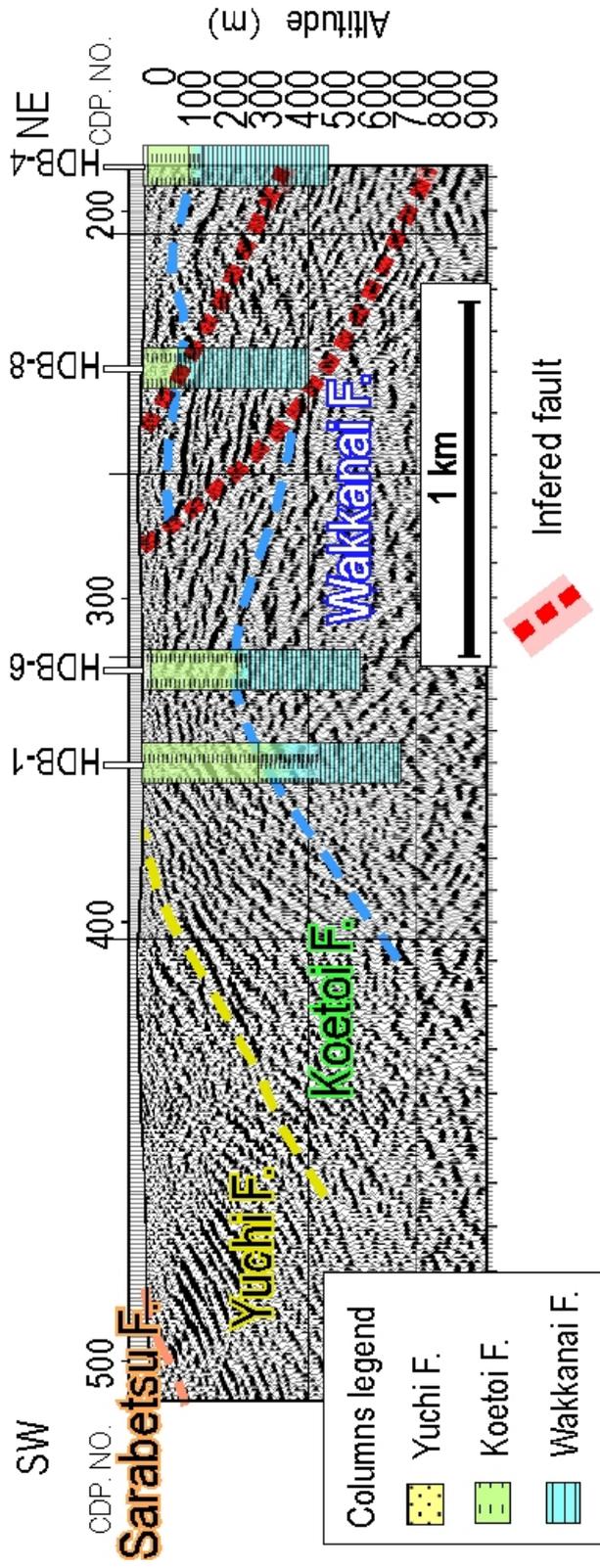
- **Detect the position of major fault (Omagari fault et.al.) and feature, geometry of the major faults**
- **The position of major fault (Omagari fault) in main study area is inferred to be within between HDB-6 and HDB-8 and close to HDB-4 by the results of the reflection seismic survey, audio-frequency magnetotelluric survey and borehole investigations. By the shallow borehole investigations between HDB-6 to HDB-8 including the gas measurements, the position of Omagari fault was not detected. On the other hand, based on the detailed interpretation of the reflection seismic survey, the gaps of the Wakkanai/Koetoi formation boundary were detected clearly between HDB-6 and HDB-8. The gaps location is corresponding to one of the two high-resistivity areas found by audio-frequency magnetotelluric survey, and the other is close to HDB-4.**

Geophysical survey in URL area



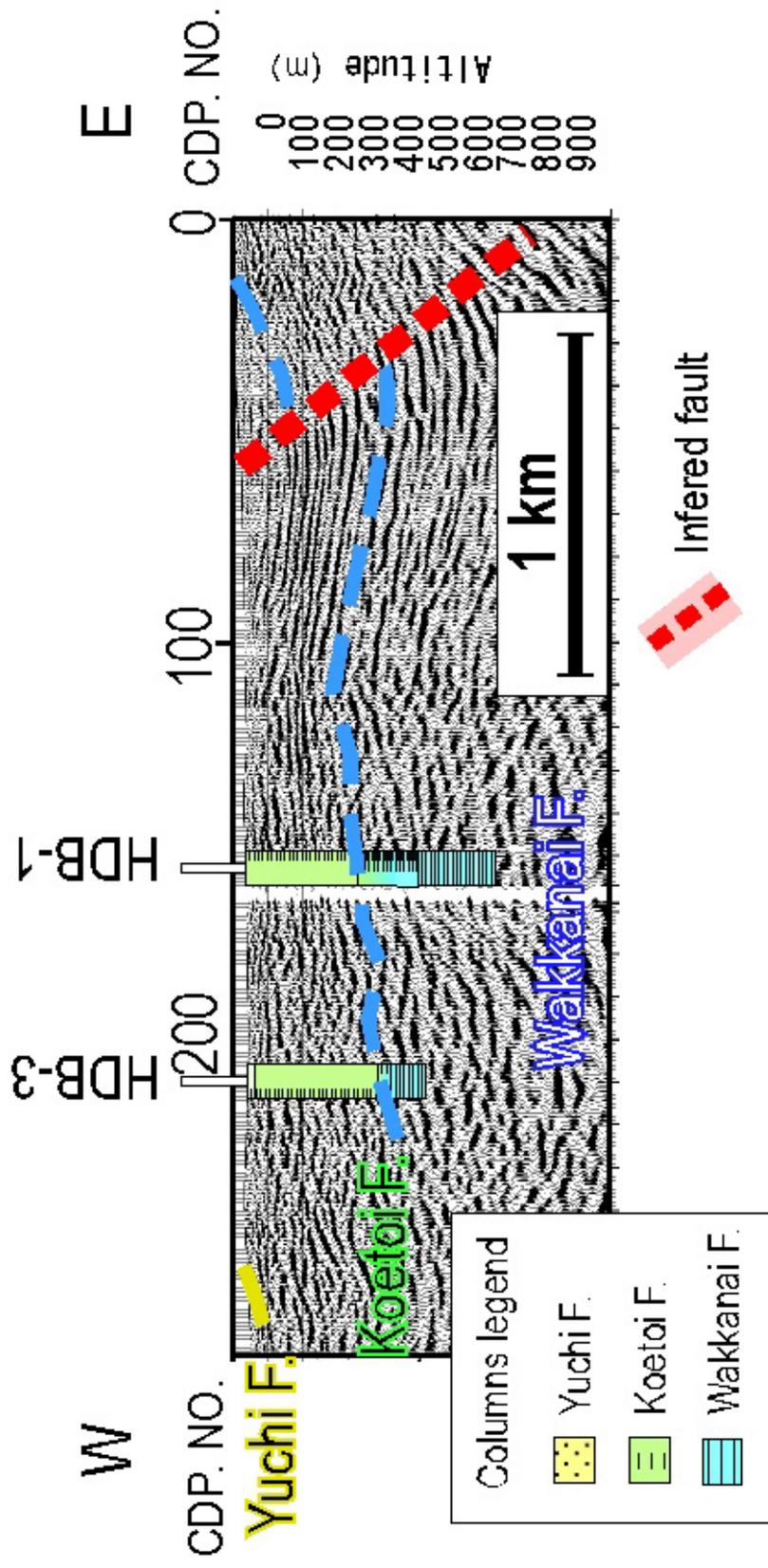
- Estimated position of Omagari fault by seismic reflection survey
- Estimated position of Omagari fault by resistivity survey

Reflection seismic data (H14-Seismic-Line1)



Distributions of formation boundaries and major faults are inferred.

Reflection seismic data (H14-Seismic-Line2)

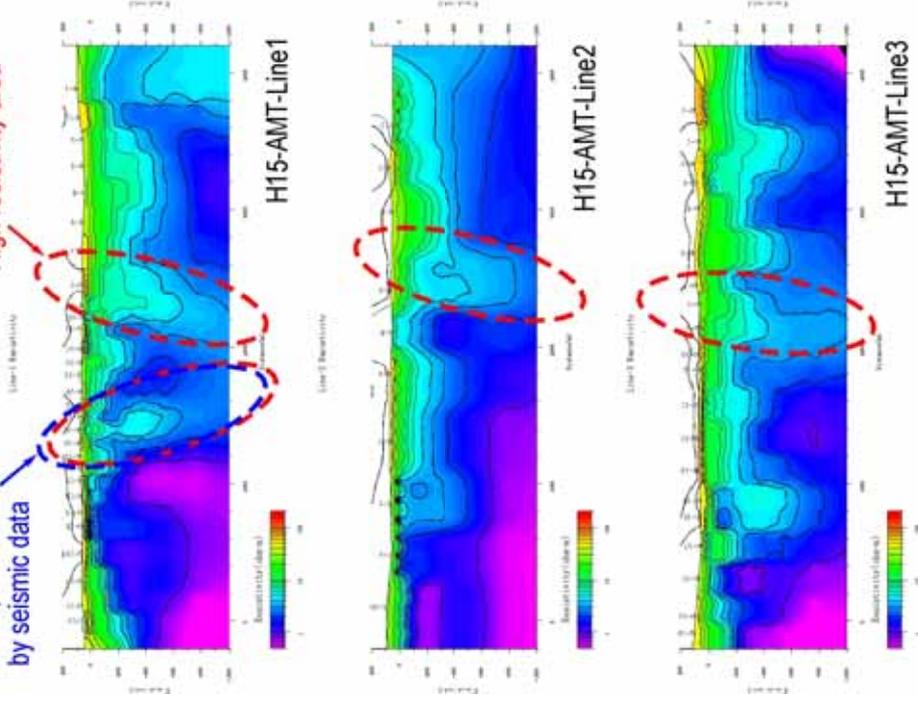


Distributions of formation boundaries and a major fault are inferred.

Resistivity distribution

Fault position inferred by seismic data

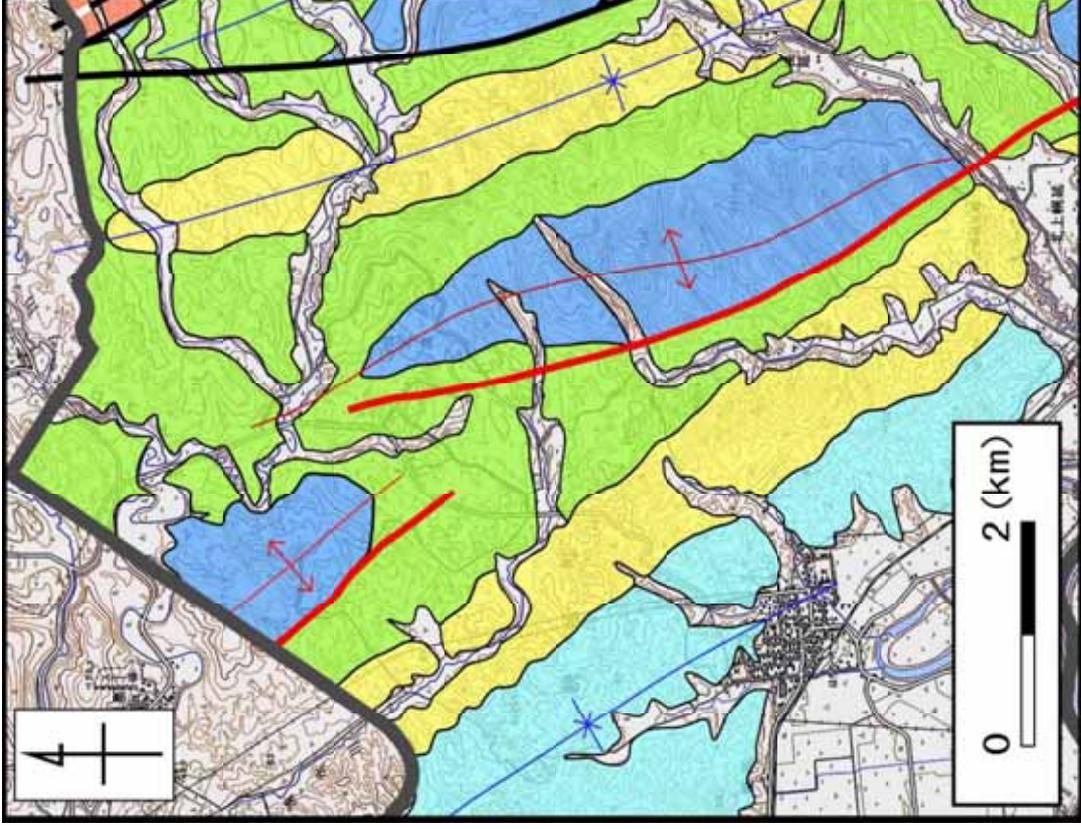
High resistivity area



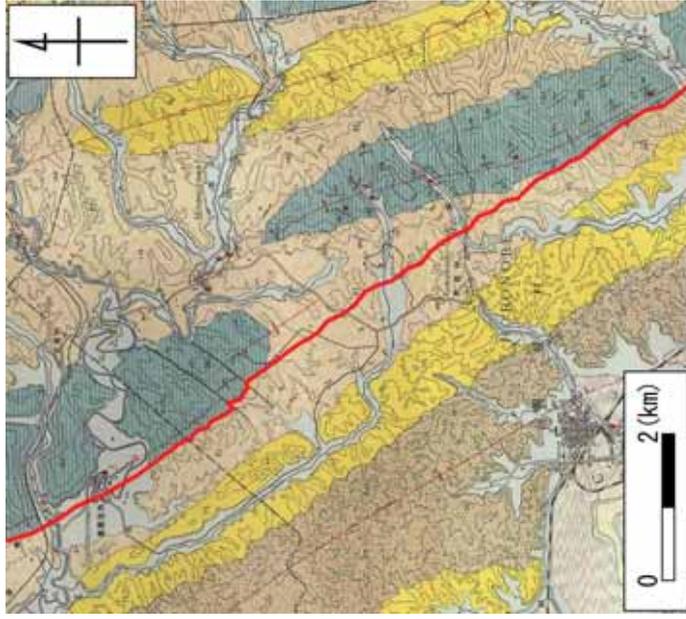
High resistivity area is corresponding to the position of Omagari Fault estimated by reflection seismic survey. In addition 3 high resistivity area is identified.

Example of the modified geology

Present geology in the URL area



Previous geology in the URL area



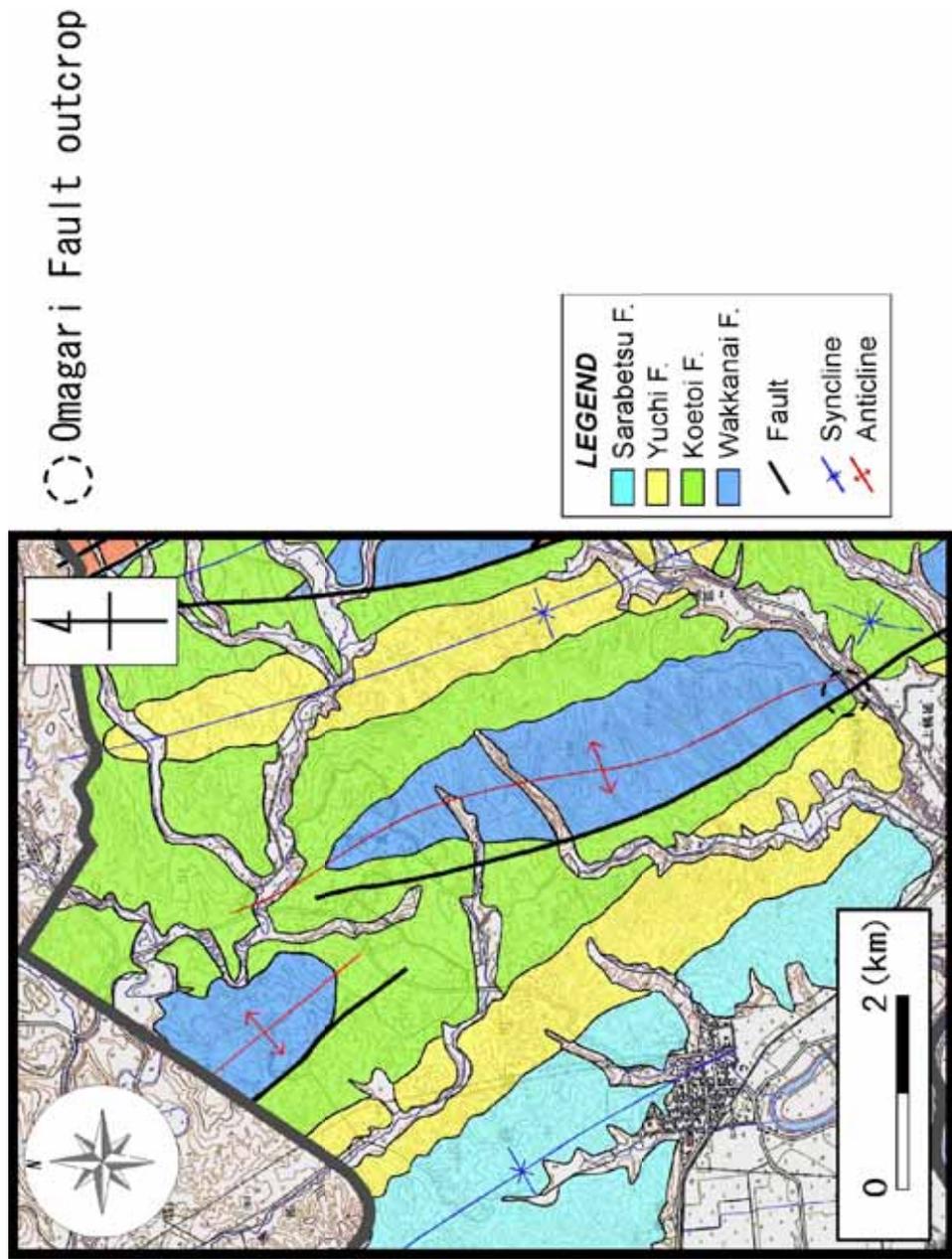
Input

geological mapping

borehole investigation

geophysical survey from surface

Location of Omagari Fault outcrop



Shear plane of Omagari Fault



Shear plane corresponds to facies boundary between hard shale and diatomaceous mudstone.

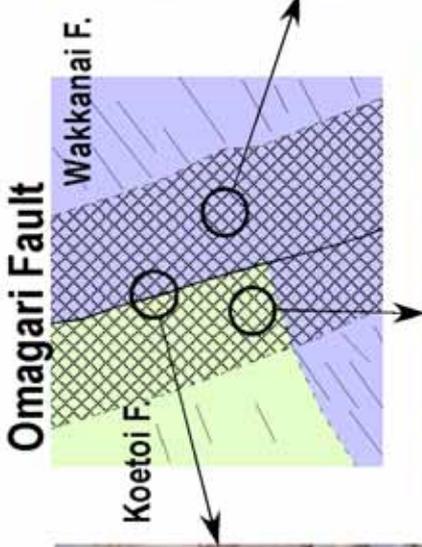


Fault breccia with 10 cm width is observed.

Architectural components of Omagari fault



Fault core
Width: >10 cm



Damage zone in Wakkanai Formation.
Width: about 150 m



Damage zone in Koetoi Formation.
Width: 50-150 ? m

Omagari Fault is composed of thin fault core and wide damage zone.

Preliminary Results(Geology)

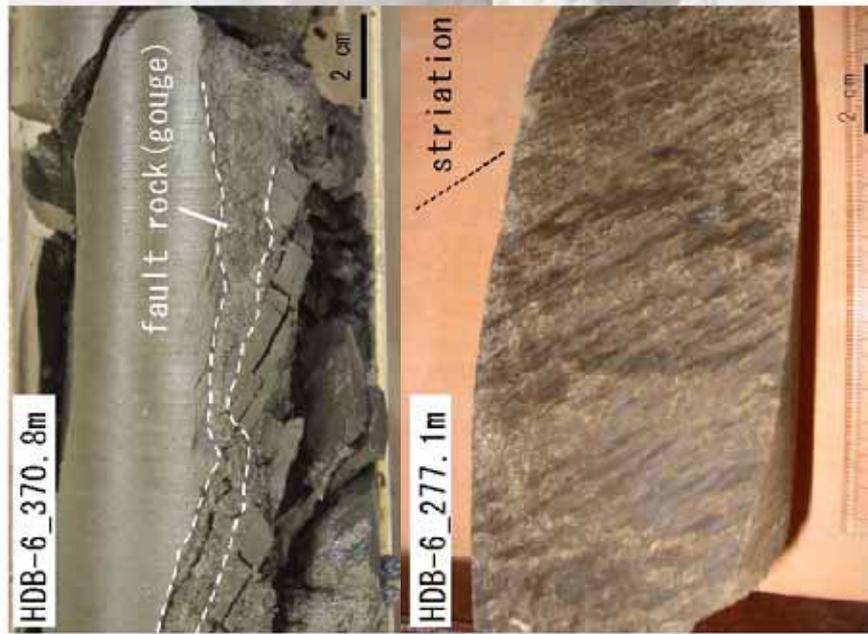
- **Distribution of minor faults/fracture zones**
 - **In the geological and hydrogeological point of view, the fractures observed in rock mass in main study area were classified two types (figure.1). One is the fracture crossing a bedding plane at a high angle, frequently with fault rock/striation/slickenside. The other is the fracture parallel to a bedding plane, rarely with fault rock/striation/slickenside.**

Classification of fractures

- **Fractures found in the Wakkanai Formation and the Koetoi Formation in the study area can be divided into two type.**
- **Type 1 :**
 - A fracture crossing the bedding plane at a high angle**
- **Type 2 :**
 - A fracture parallel to the bedding plane**

Observed type 1,2 fracture on core observation

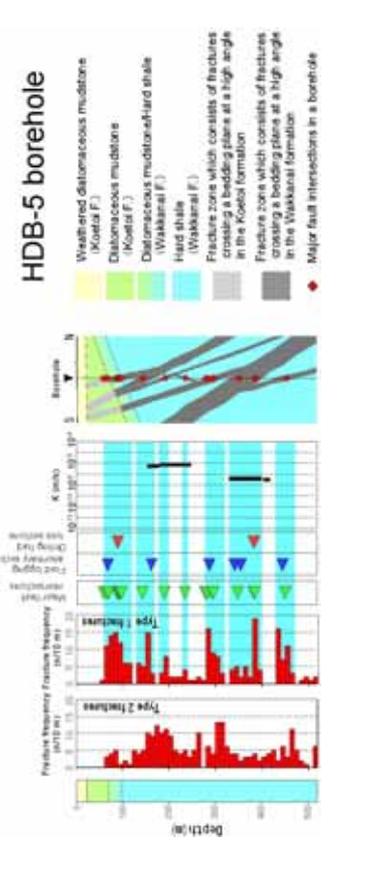
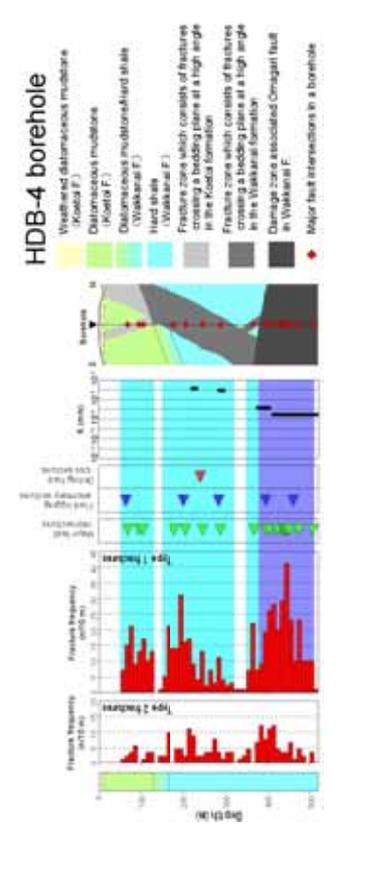
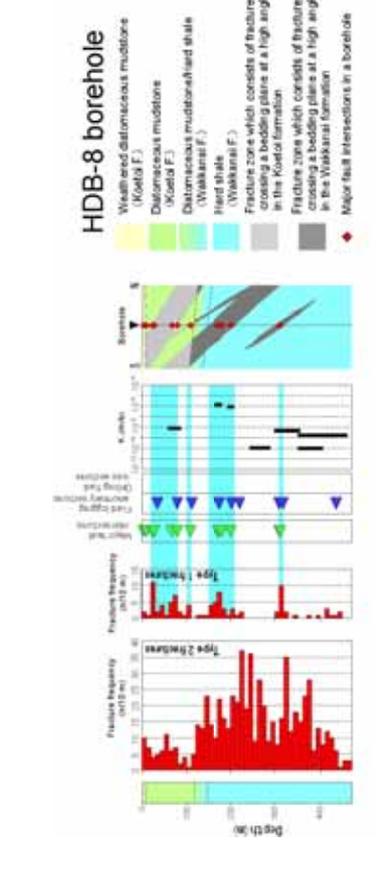
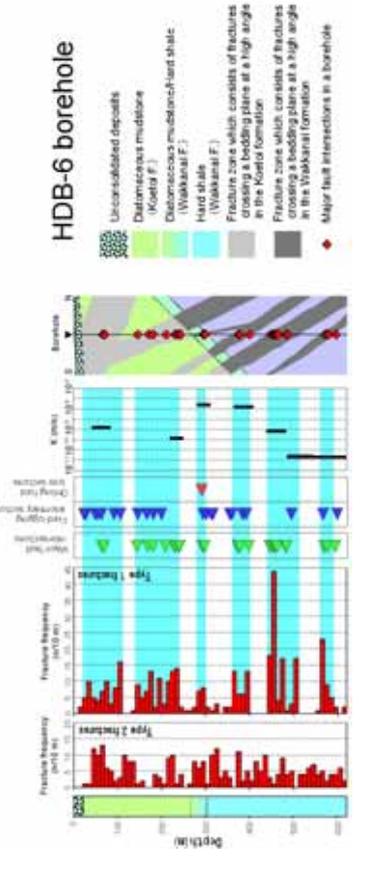
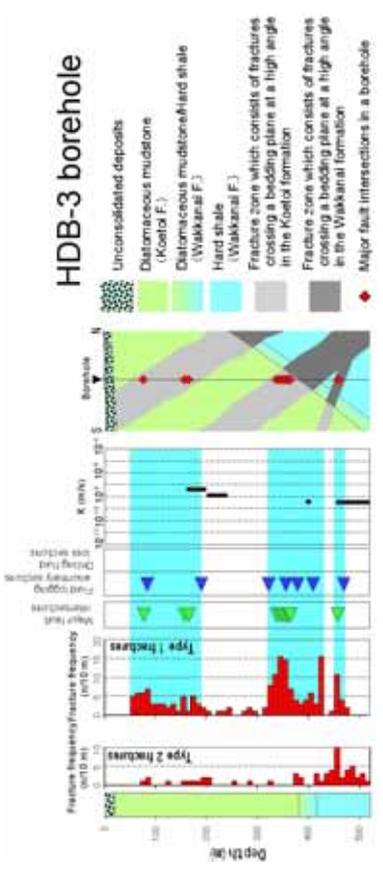
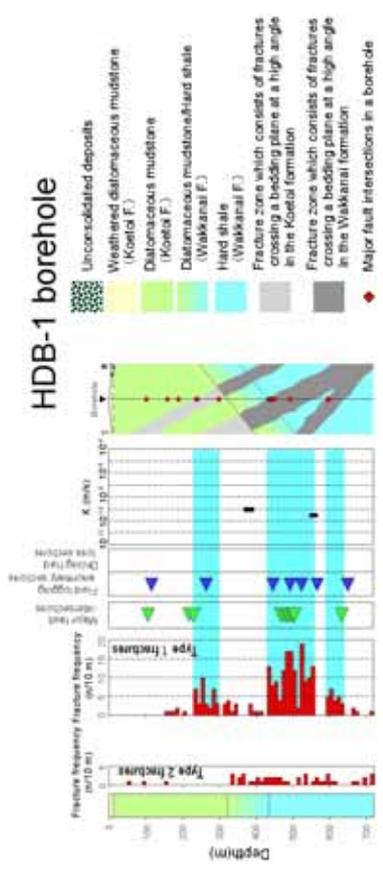
Type 1 fracture



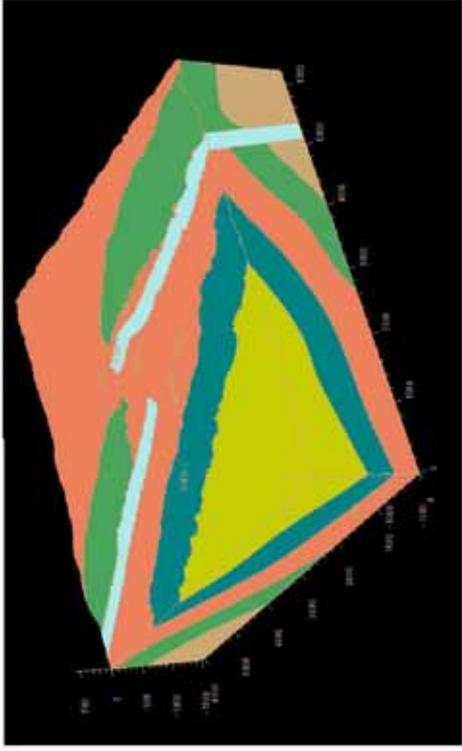
Type 2 fracture



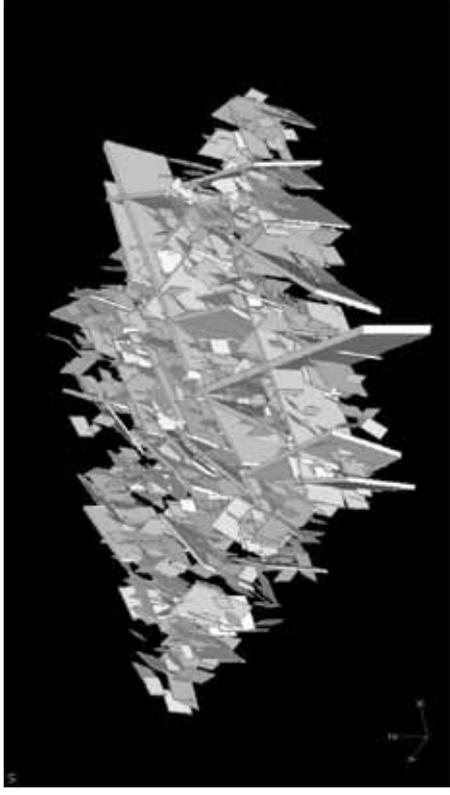
Distributions of Type 1,2 fractures in each boreholes



Present Geological Structure Model

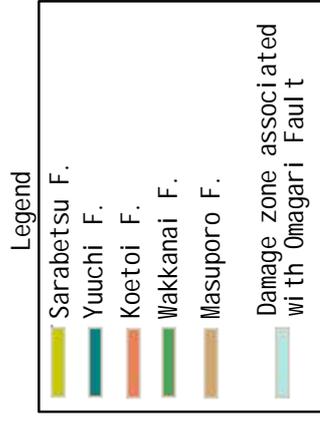


+



Geological formations with Omagari fault

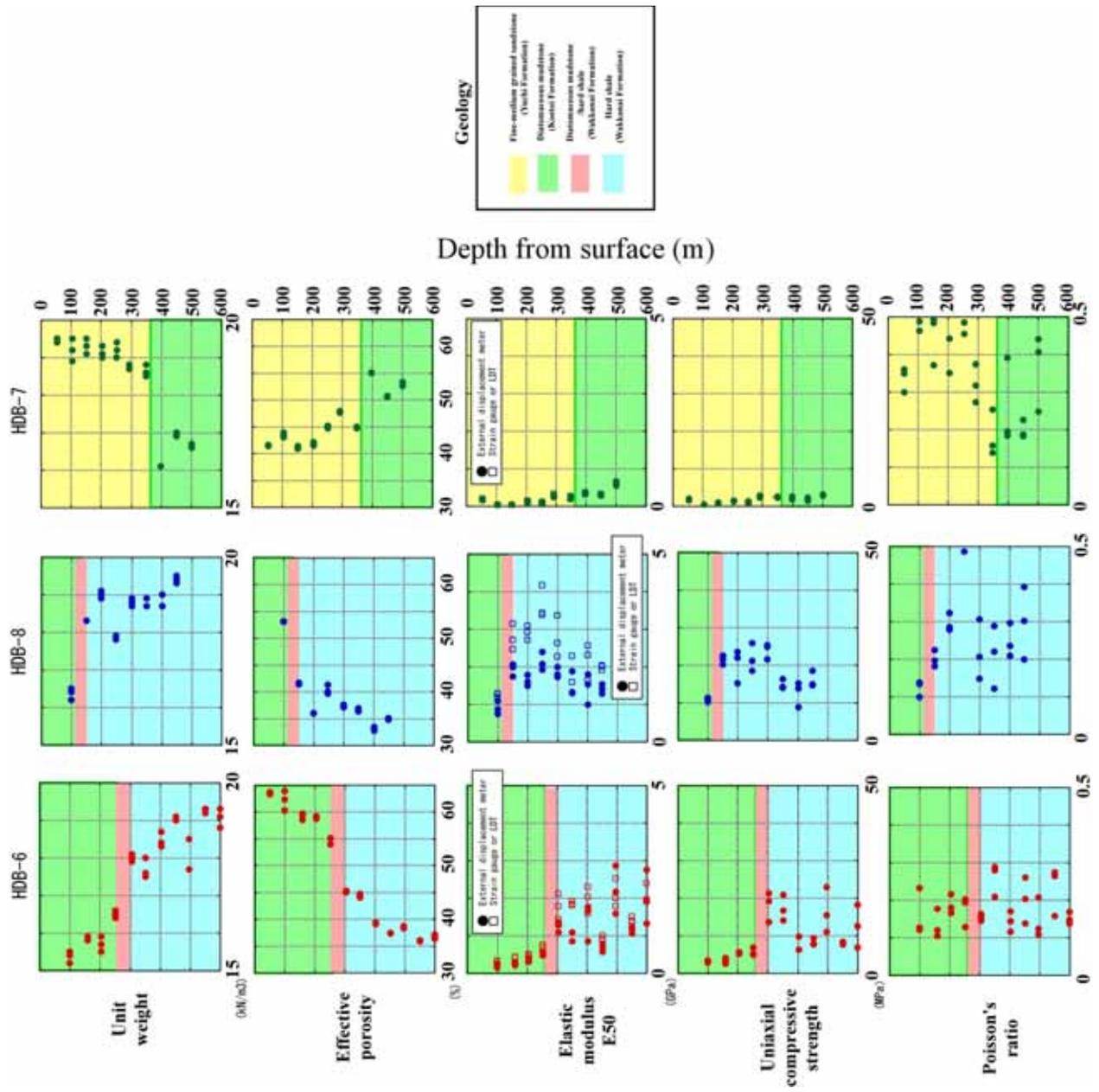
Fracture zone network



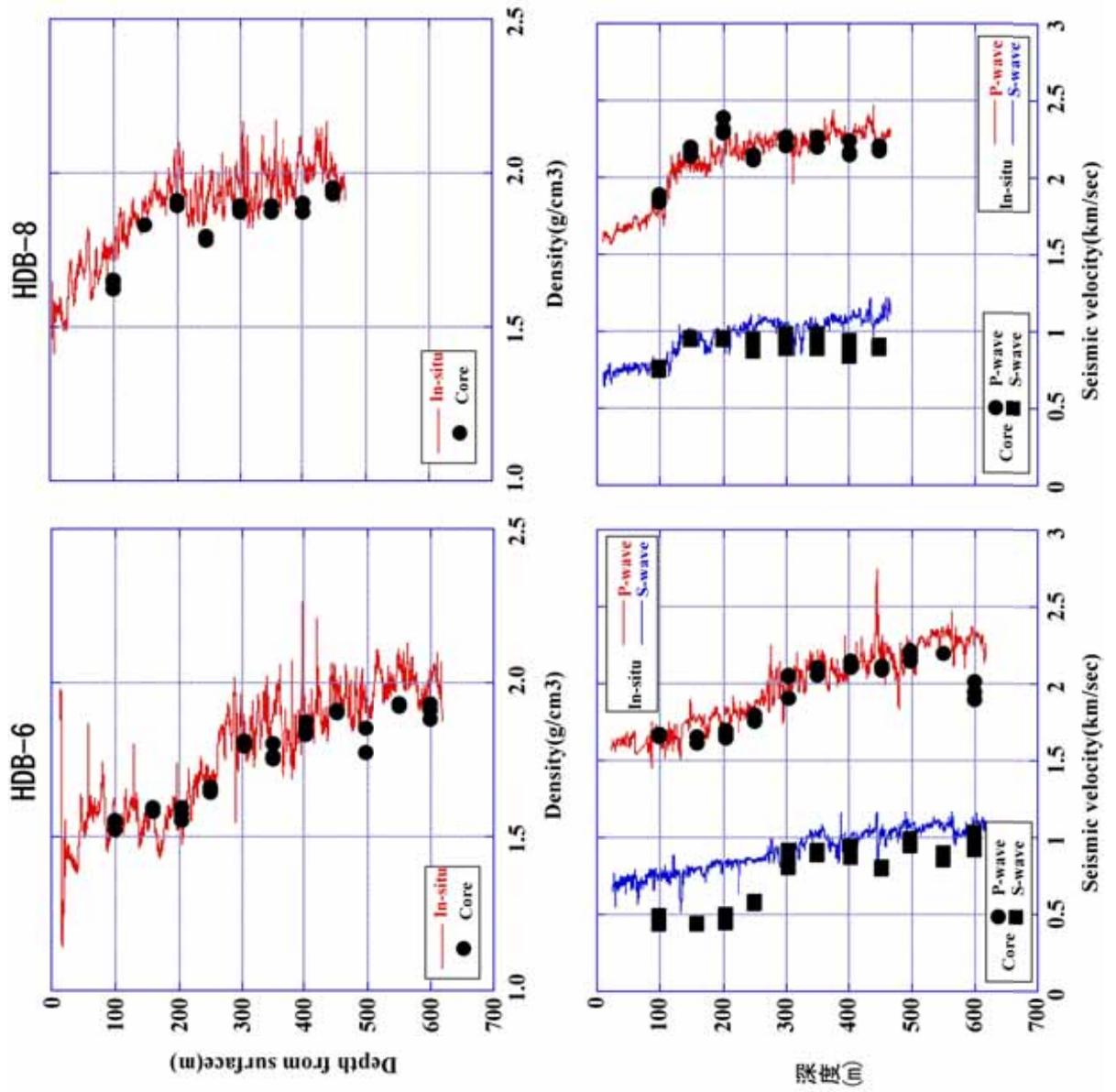
Preliminary Results (Rock mechanics)

- **Three dimensional distribution of mechanical properties of several rocks.**
 - **Diatomaceous mudstone has large effective porosity (50 to 65 %), below 1 GPa of elastic modulus and 5MPa of ν**
 - **The porosity of hard shale is around 30% and elastic modulus and ν distribute 1 to 3GPa, 5 to 20MPa**
 - **The transition zone where shows sudden and continuous properties change is considered a specific feature at Horonobe**
 - **The influence of fractures to mechanical properties in rock mass is small. Furthermore, the distributions of the rock properties can be interpreted uniformly at any given point in main study area**

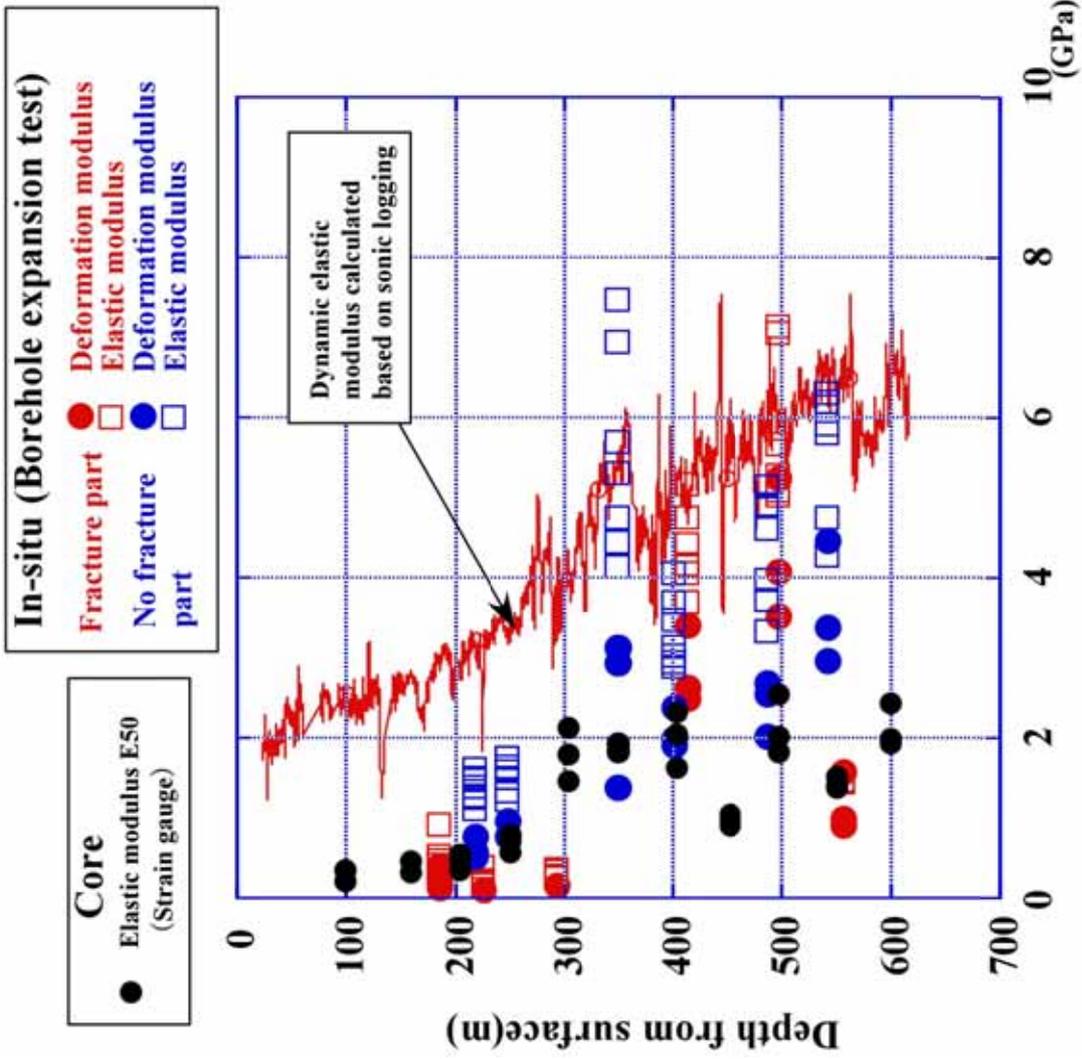
Example of the results of Laboratory tests



Comparison of measured seismic velocity on core and in-situ



Deformability estimated by different methods



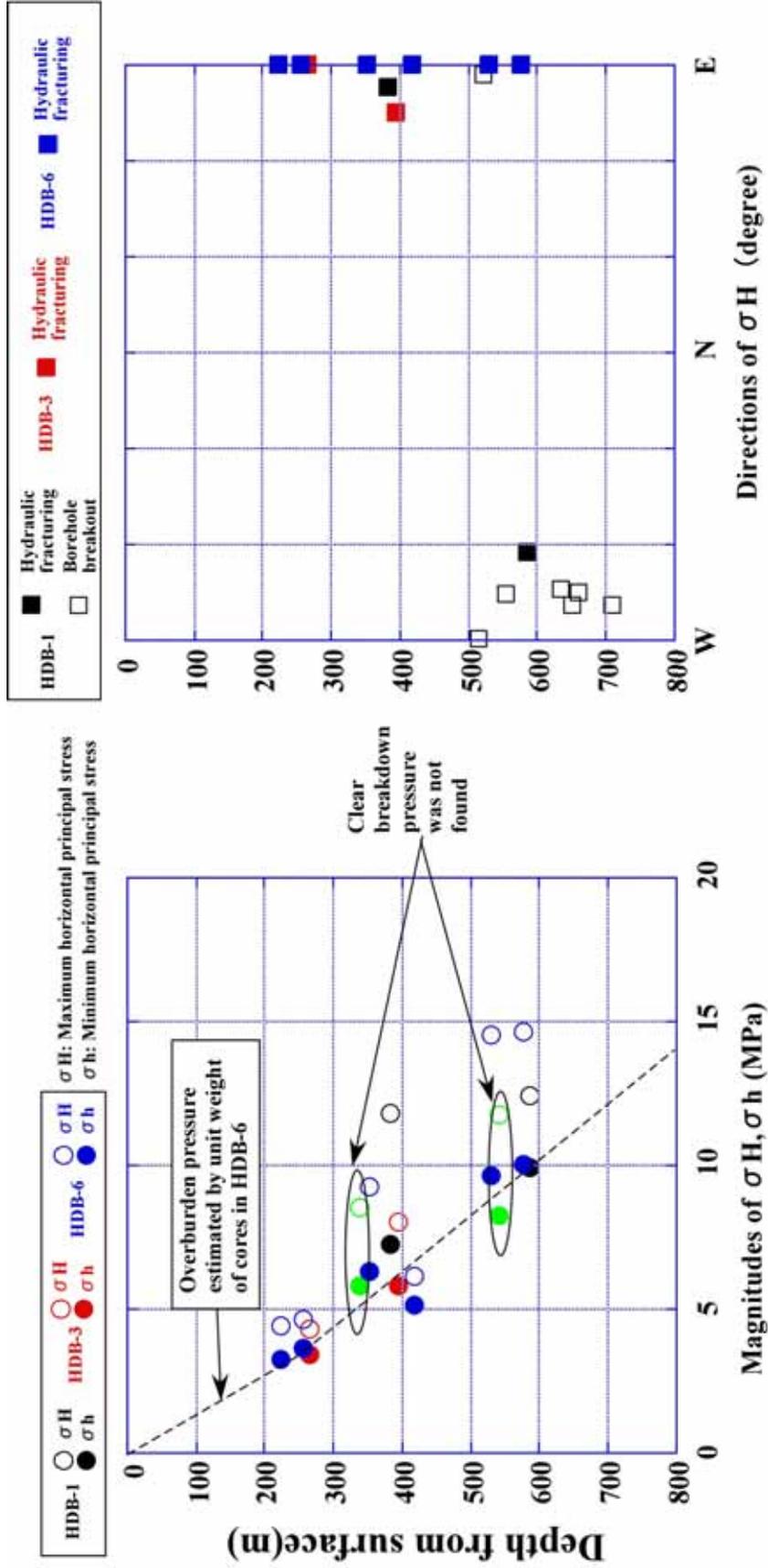
Elastic modulus E50(Core),

Deformation modulus • Elastic modulus(Borehole expansion test)

Preliminary Results(Rock mechanics)

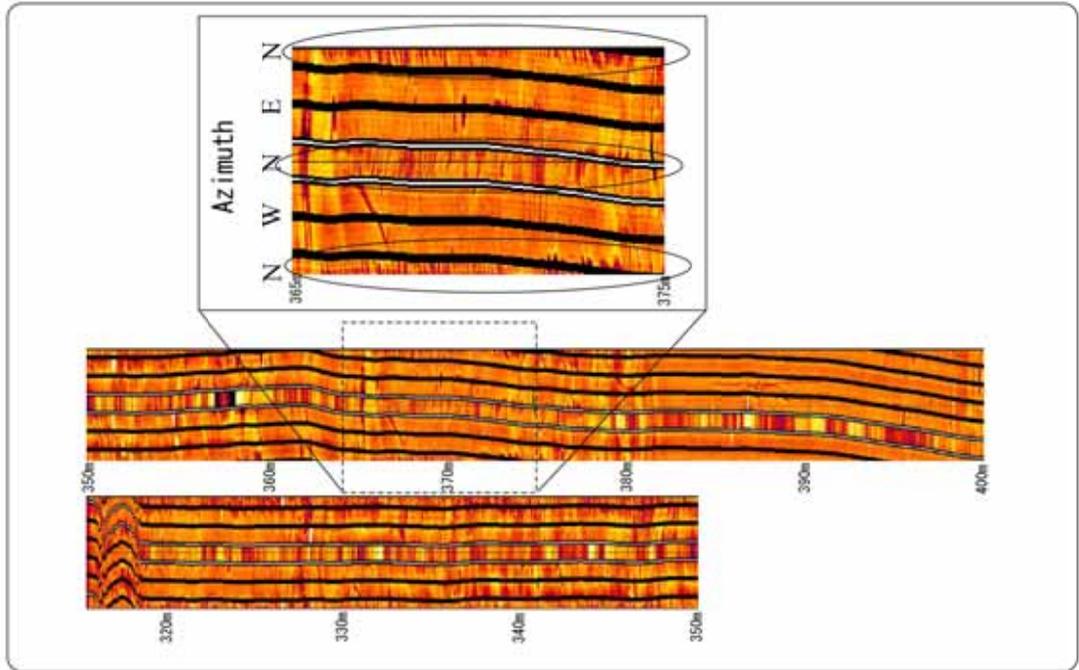
- **In-situ stress condition in/around the position of URL**
 - **Magnitudes of the measured maximum horizontal principal stresses (H) do not exceed 1.5 times that of minimum horizontal principal stresses (h). h ' s are almost equal with overburden pressure (v)**
 - **The direction of observed borehole breakout show the directions of H to be almost E-W up to 700m depth with no change due to depth.**

In-situ stress condition measured by hydraulic fracturing

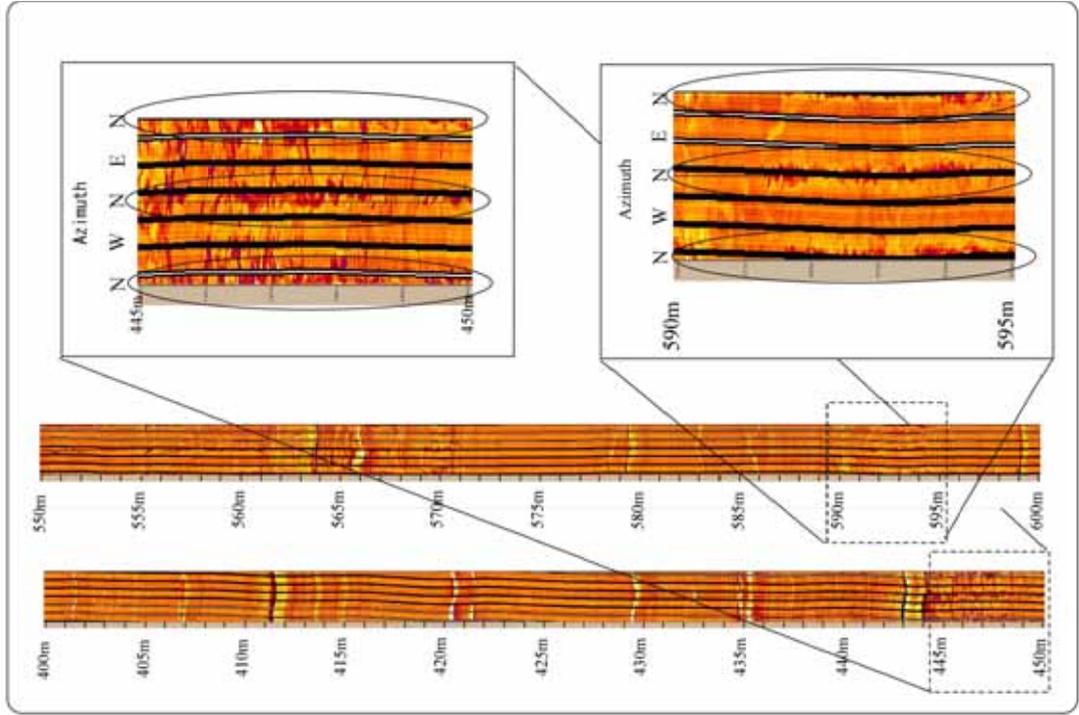


Example of borehole breakout observed by EMI logging

HDB-3

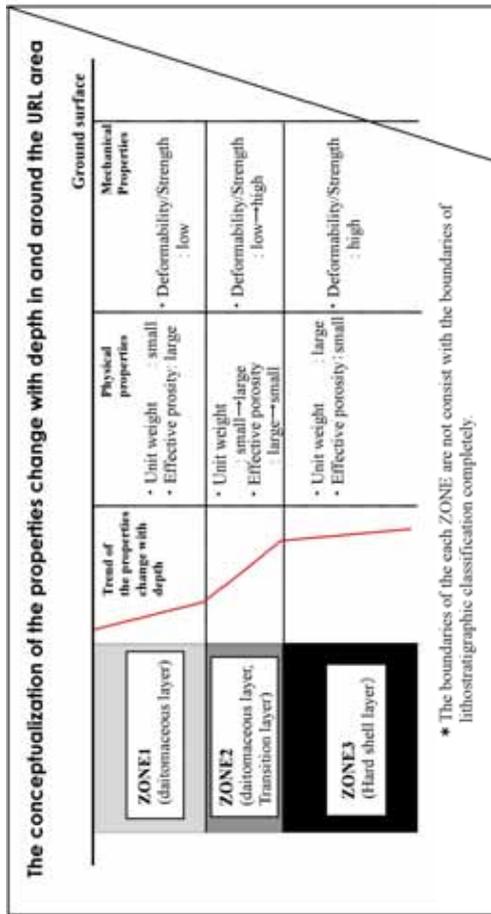


HDB-6

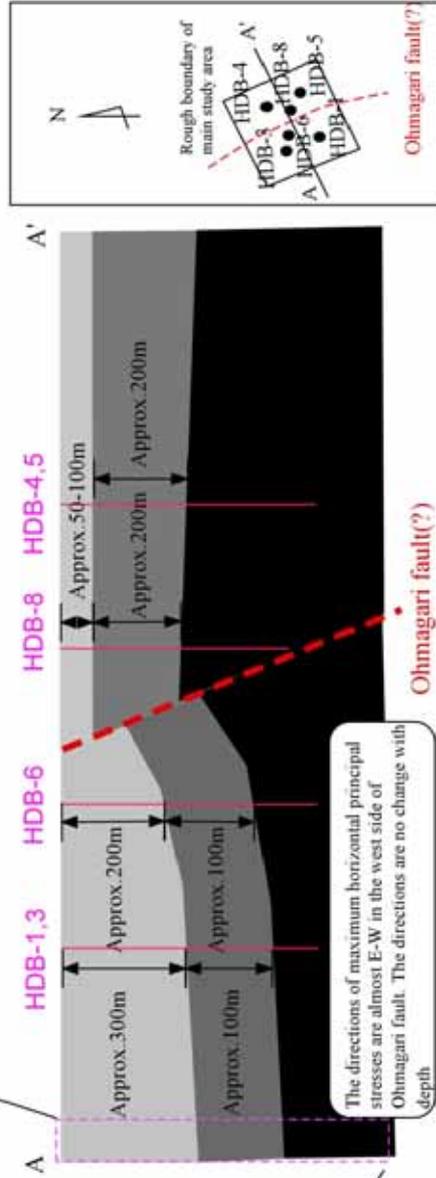


Borehole breakout
observed by EMI logging

Present conceptual model on rock mechanics



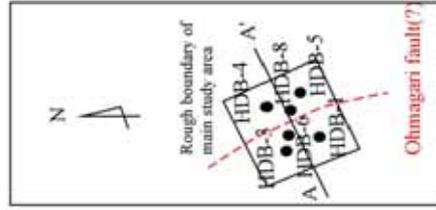
Distribution of physical and mechanical properties in the URL area



Ohmagari fault(?)

* Distribution of the properties is assumed to be not significant change to parallel to the Ohmagari fault based on the existing geological information

* The thickness of ZONE1 in the east side of Ohmagari fault is thin and the boundary of ZONE1 and ZONE2 is not clear



Schematic layout of the boreholes in the URL area (Plane view)

Ohmagari fault(?)

Concluding remarks

- **Geology**
 - **Lithology in main study area can be characterized by three types of rocks, which are diatomaceous mudstone, hard shale and the transition part.**
 - **The position of major fault (Omagari fault) in main study area is inferred to be within between HDB-6 and HDB-8 and close to HDB-4.**
 - **Fractures found in main study area can be divided into two types. One is the fracture crossing a bedding plane at a high angle. The other is the fracture parallel to a bedding plane. The formers form the fracture zones which are considered with water conductive feature in main study area.**

Concluding remarks

- **Rock mechanics**
 - **The distribution of the mechanical properties in main study area can be described by the model consist of three zones in mechanical point of view.**
 - **The fractures in rock mass in main study area are seems to be small influence to mechanical properties in in-situ rock mass.**
 - **The magnitudes of the maximum horizontal principal stresses are within 1.5 times of minimum horizontal principal stresses and the directions is almost E-W from near surface to 700m depth on the west side of Ohmagari fault. The magnitudes of the minimum horizontal principal stresses are almost equal overburden pressure.**

Remaining tasks on geological and rock mechanical investigation for the prediction

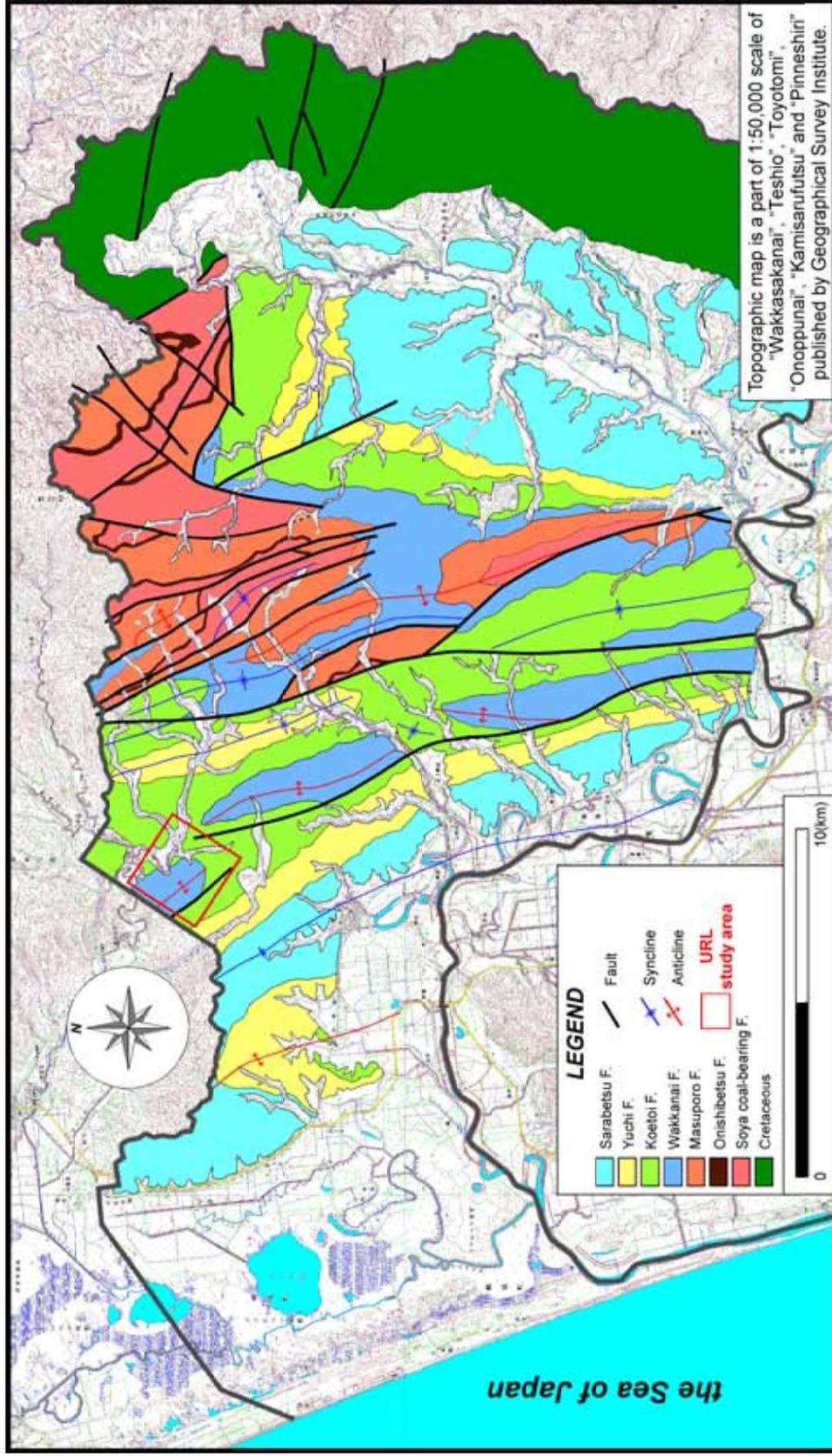
- ***Geology***
 - **To identify a position, distribution and feature of major fracture zone including Omagari fault. For this purpose, shallow borehole investigation and detail seismic reflection survey including VSP will be performed.**
- ***Rock mechanics***
 - **Quantitative estimation of the stress dependency of the mechanical properties of rock**
 - **Modeling of the mechanical behavior with EDZ for the prediction.**

Geology

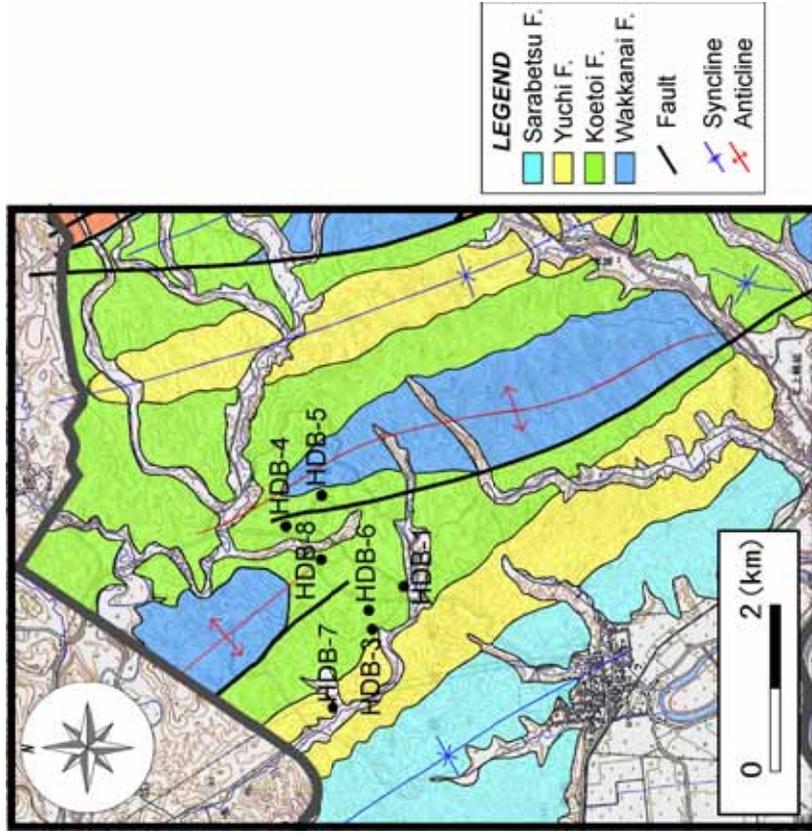
Geological Features in the study Area

- **The study area is composed mainly of the Wakkanai Formation and the Koetoi Formation.**
 - **Wakkanai Formation : hard shale**
 - **Koetoi Formation : diatomaceous mudstone**
- **Omagari Fault as major water-conductive feature is inferred to be exist within the study area.**
- **Fracture zones are distributed in the Wakkanai Formation and the Koetoi Formation.**

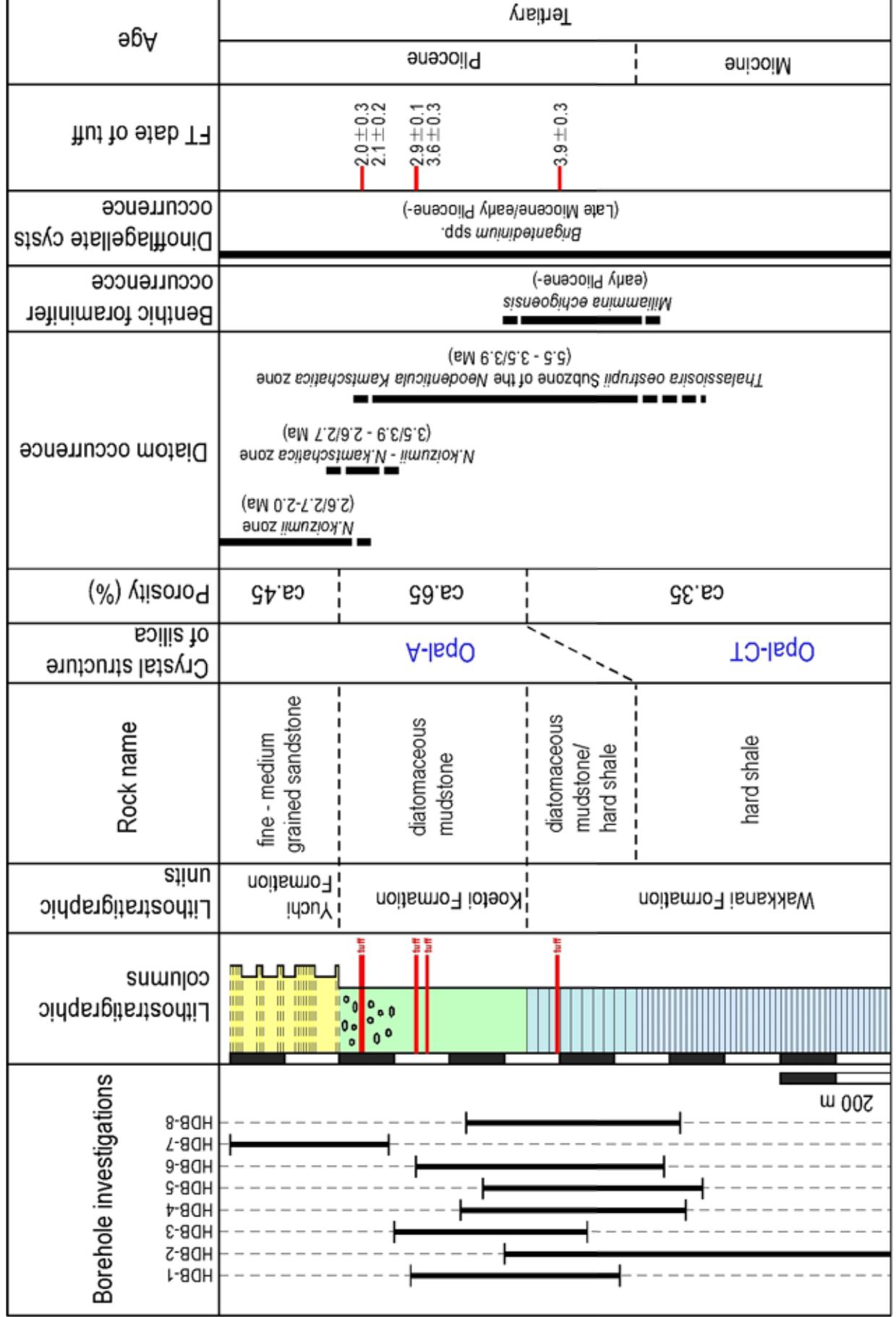
Geologic map (regional area)



Geologic map (main study area)



Compiled geologic column



Lithofacies of Wakkanai Formation and

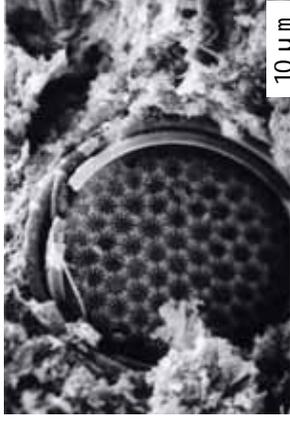
Koetoi Formation

Koetoi F.
(diatomaceous mudstone)

Burial diagenesis

Wakkanai F.
(hard shale)

■ Photographic image by SEM

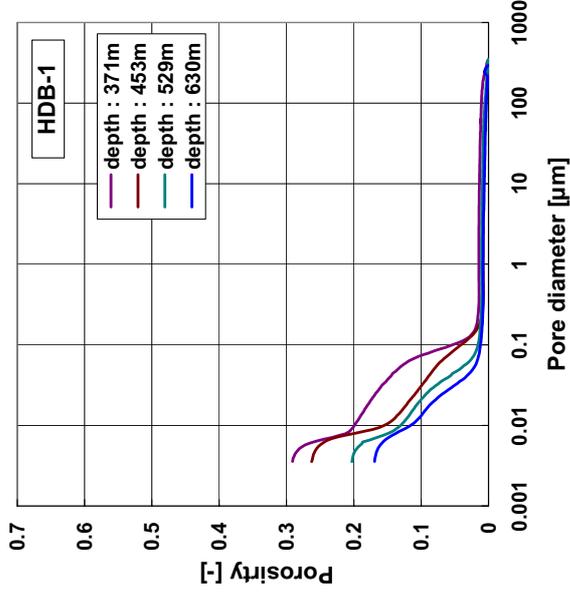
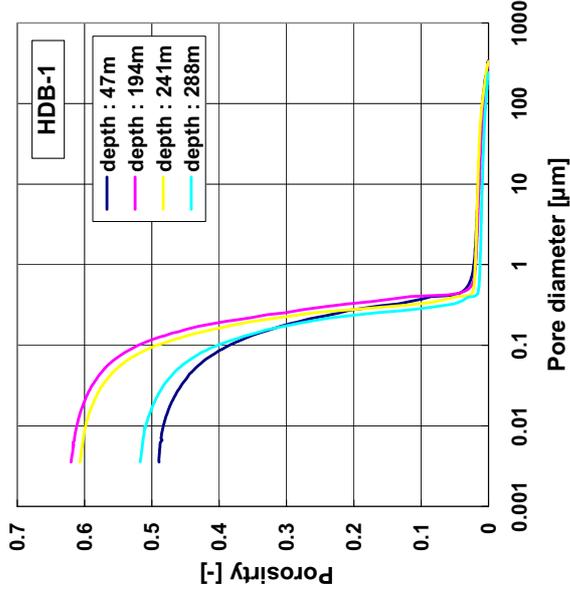


HDB-1 : 288.33 m



HDB-1 : 528.77 m

■ Cumulative porosity measured by mercury porosimetry

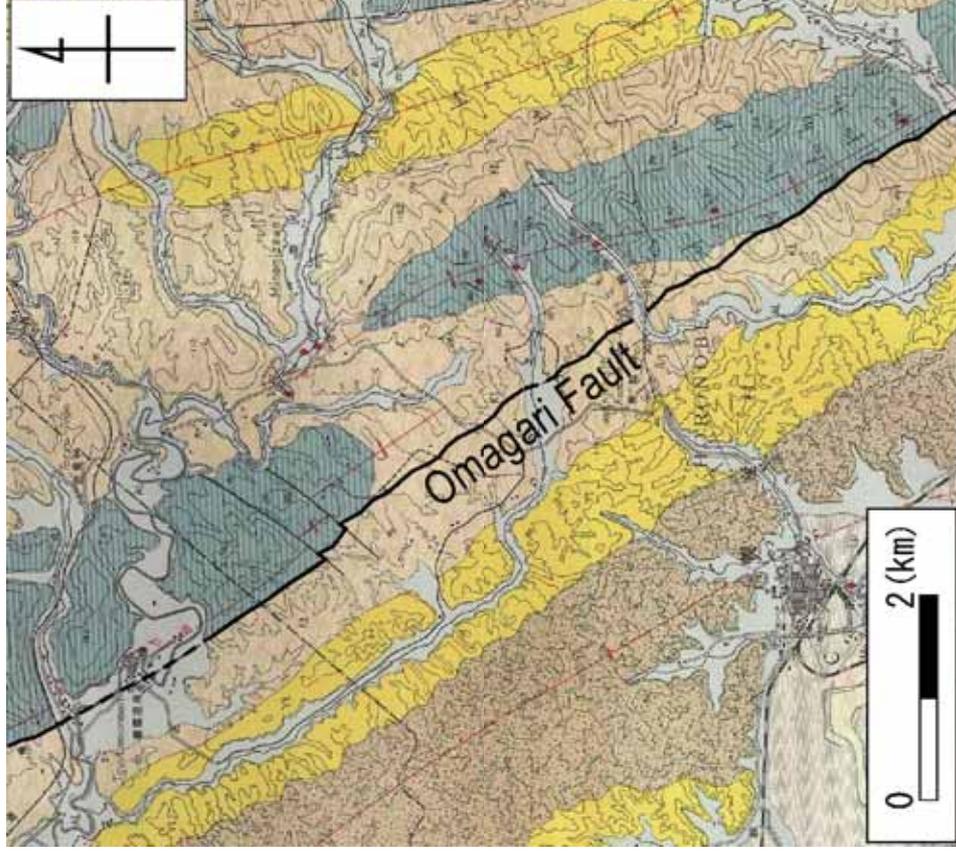


Investigations for Omagari Fault

Omagari Fault is identified and estimated by following investigation methods

- Outcrop investigations**
- Surface geophysical explorations**
 - Reflection seismic survey**
 - Audio-frequency magnetotelluric survey**
- Borehole geophysical explorations**
 - EMI logging**
 - Borehole TV**
 - Flow logging**

Omagari Fault position (Nagao, 1960)



The Omagari Fault is showed as a single trace.

Omagari Fault position (Kanekiyo, 1999)



The Omagari Fault branches and steps to left.

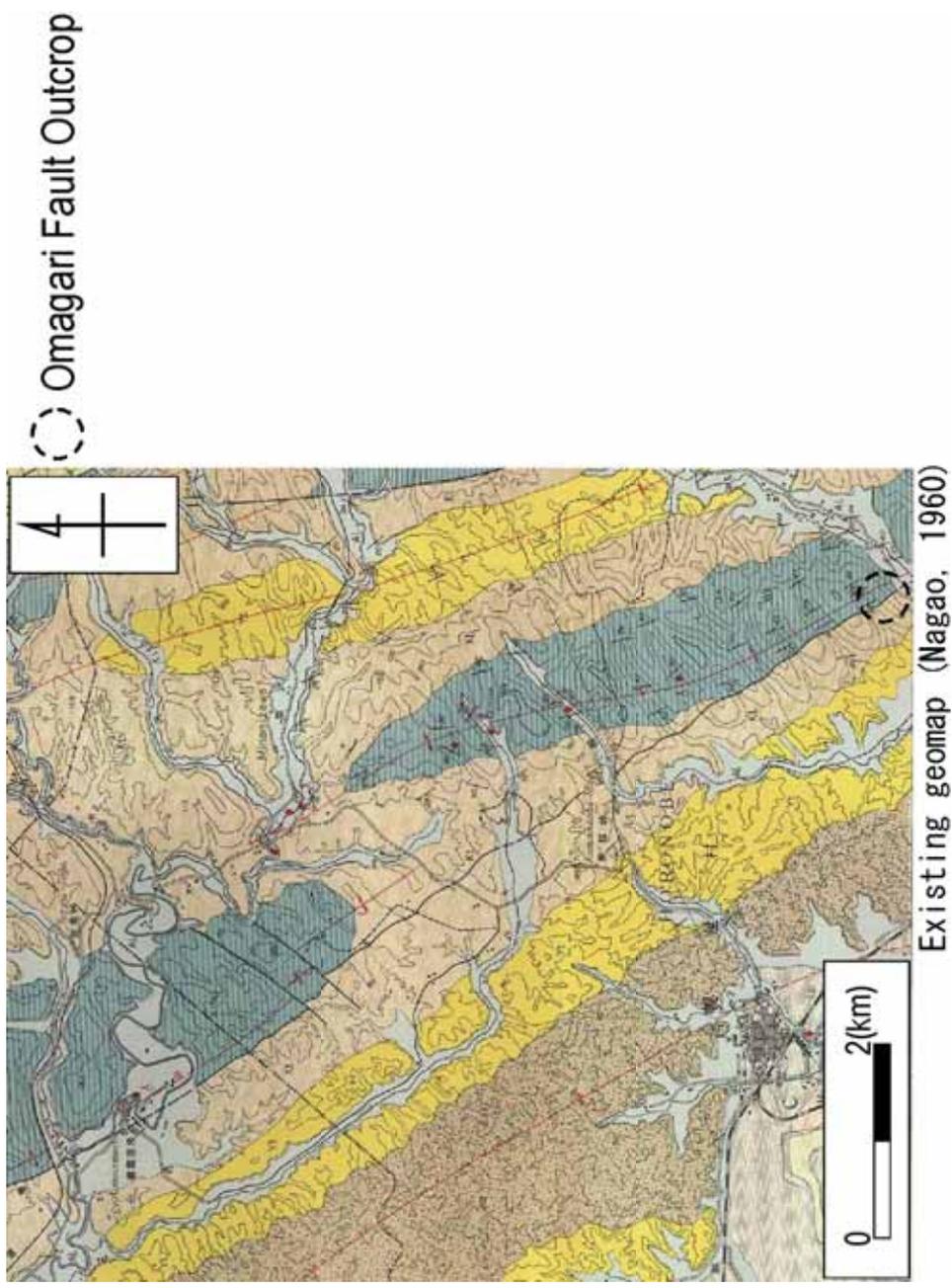
Width, Length, Strike

- **Crush zone width: 30-50 m (Nagao and Makino, 1959; Nagao, 1960)**
- **Fault length: >25 km (Nagao and Makino, 1959; Nagao, 1960; Matsui, 1961; Mitani *et al.*, 1971)**
- **Strike trend: NNNW-SSE (Nagao and Makino, 1959; Nagao, 1960; Matsui, 1961; Mitani *et al.*, 1971)**

Sense

- **Normal fault with uplift of east side (Nagao and Makino, 1959; Nagao, 1960; Matsui, 1973)**
- **Reverse fault with uplift of east side (Nagao, 1969; Mitani *et al.*, 1971; Oka, 1986; Ogura and Kamon, 1992; J.N.O.C, 1995)**
- **Reverse fault with left-lateral strike-slip component (Fukusawa, 1987)**

Location of Omagari Fault outcrop



Shear plane of Omagari Fault



Shear plane corresponds to facies boundary between hard shale and diatomaceous mudstone.



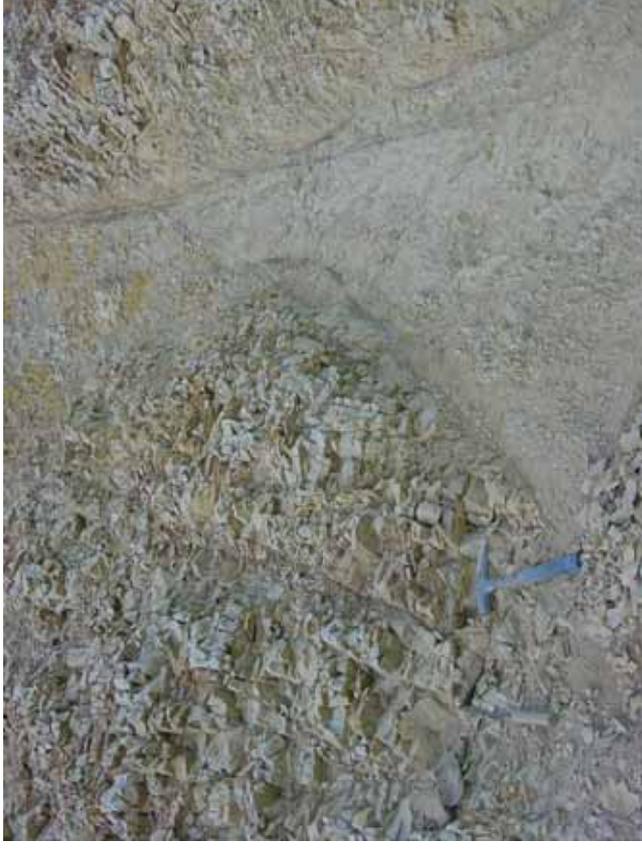
Fault breccia with 10 cm width is observed.

Occurrence of Koetoi F. near shear plane of Omagari Fault



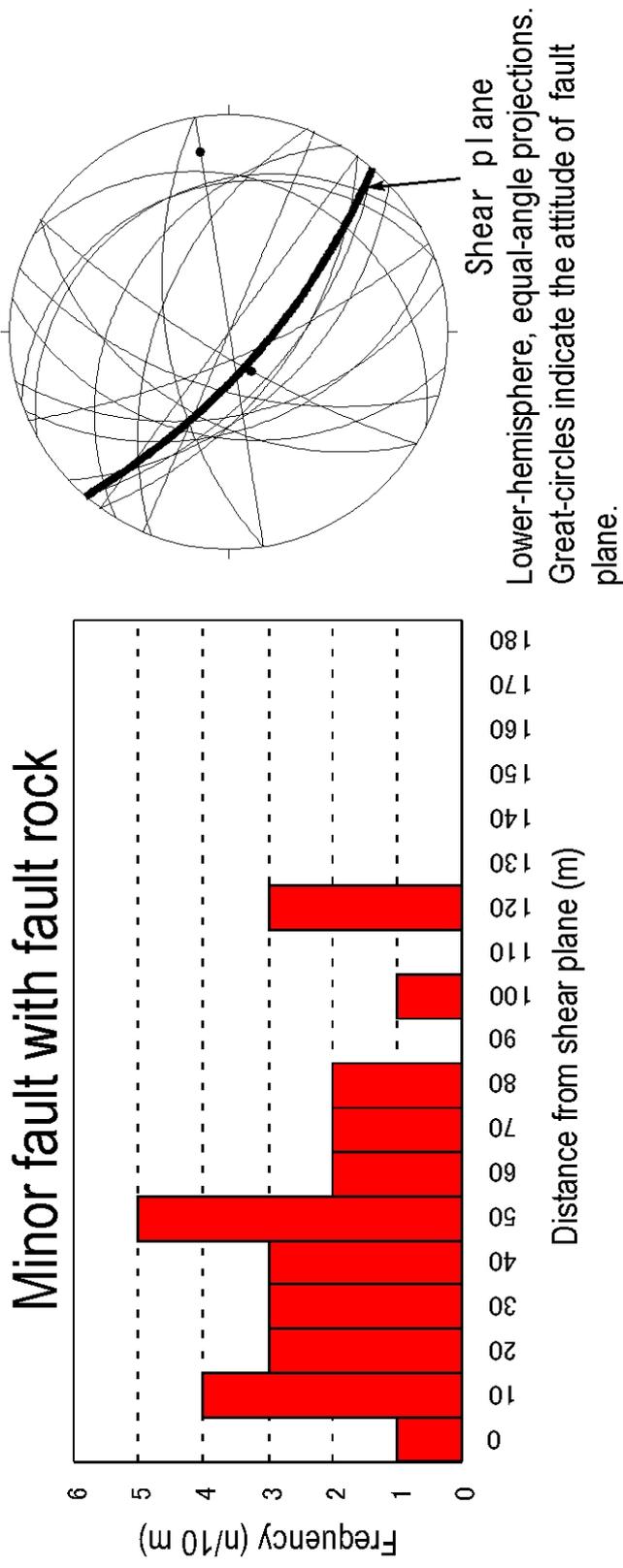
At the outcrop, facies of submarine sliding sediments is observed. The occurrence of the damage zone of original Koetoi Formation is not fully described yet. Probably, width of the zone is inferred to be 50-150 m.

Occurrence of Wakkanai F. near shear plane of Omagari Fault (1)



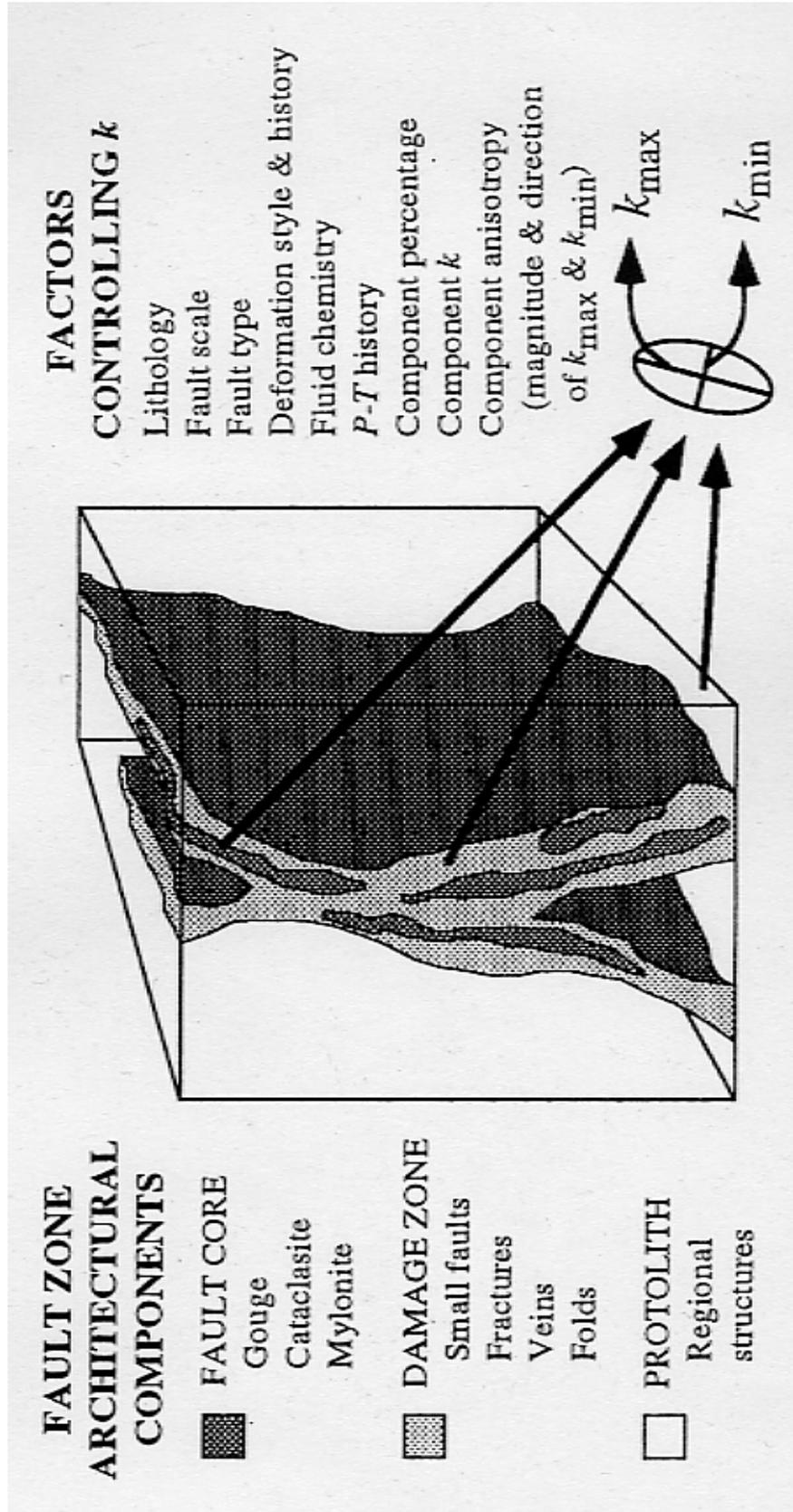
**Highly fracturing zones are observed from
shear plane to about 150 m distance.**

Occurrence of Wakkanai F. near shear plane of Omagari Fault (2)



Minor faults with fault rock are frequently observed from shear plane to about 150 m distance.

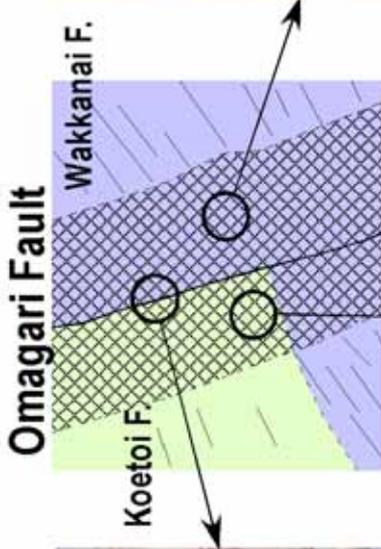
Fault zone architectural components (Caine et al., 1996)



Architectural components of Omagari fault



Fault core
Width: >10 cm



Damage zone in Wakkanai Formation.
Width: about 150 m



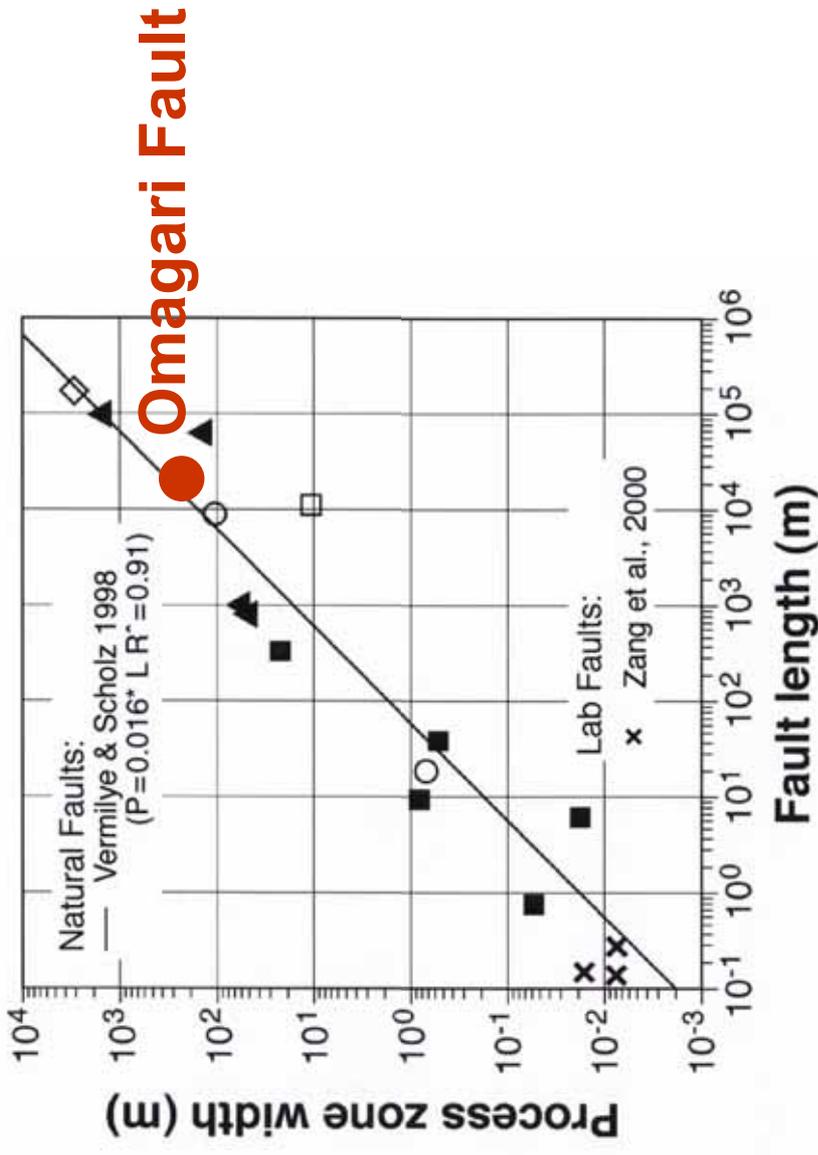
Damage zone in Koetoi Formation.
Width: 50-150 ? m

Omagari Fault is composed of thin fault core and wide damage zone.

Characteristics of Omagari fault

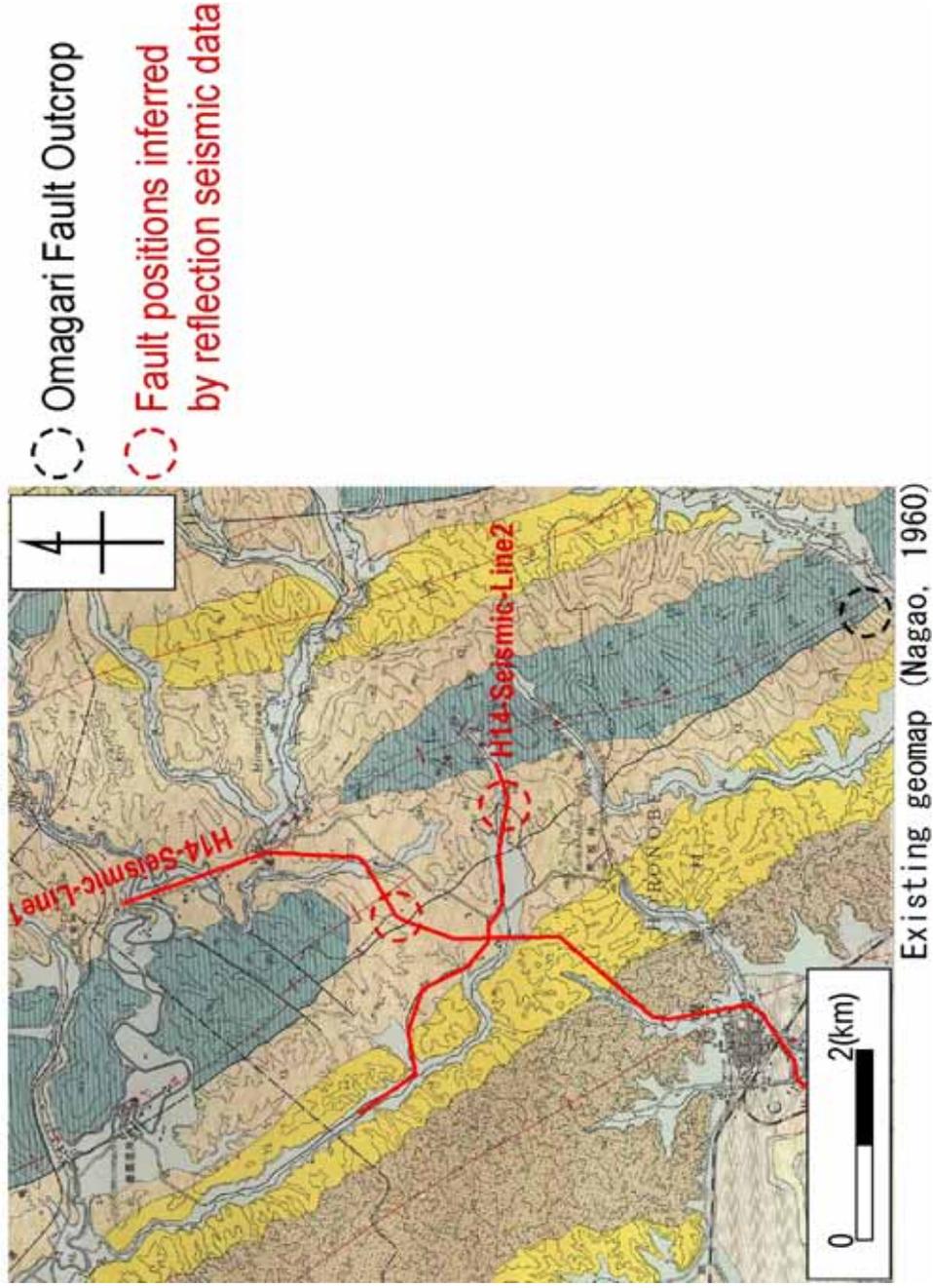
- **Fault core width: >10 cm**
- **Damage zone width: >200-300 m**
- **Fault length: >25 km**
- **Strike trend: NNNW-SSE**
- **Sense: Reverse fault with left-lateral strike-slip component**

Relationship between damage zone (process zone) and fault length

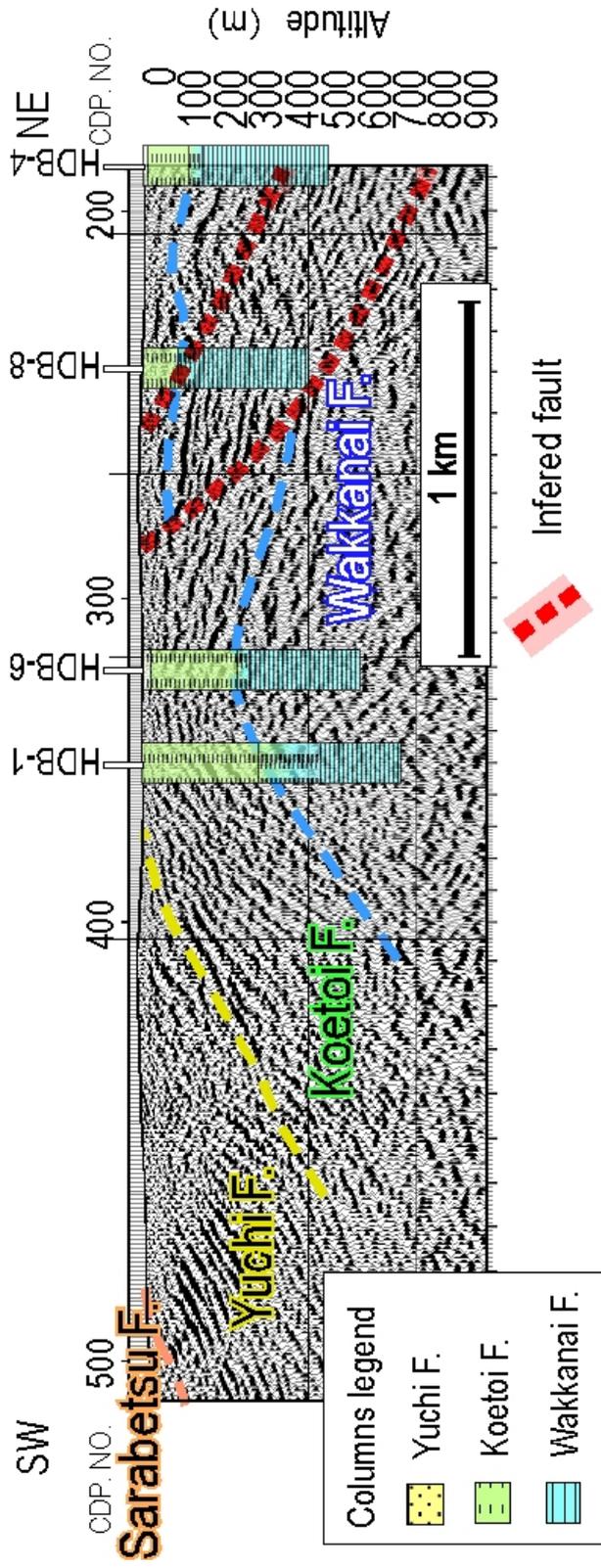


If a damage zone corresponds to a process zone (Kanaori, 2001), a relationship between a width and a length of Omagari fault accords with result of vermilye and scholz (1998).

Reflection seismic survey

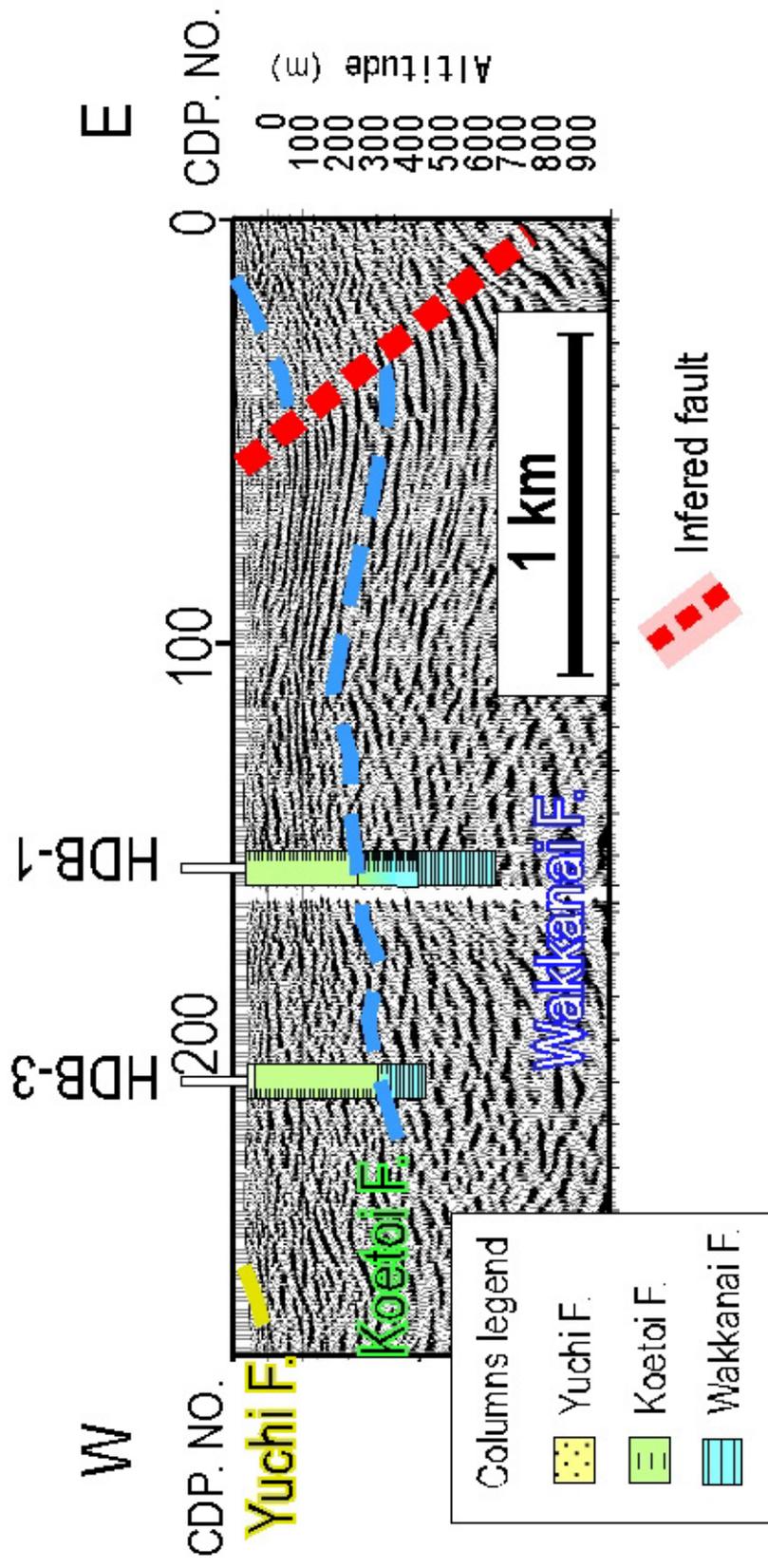


Reflection seismic data (H14-Seismic-Line1)



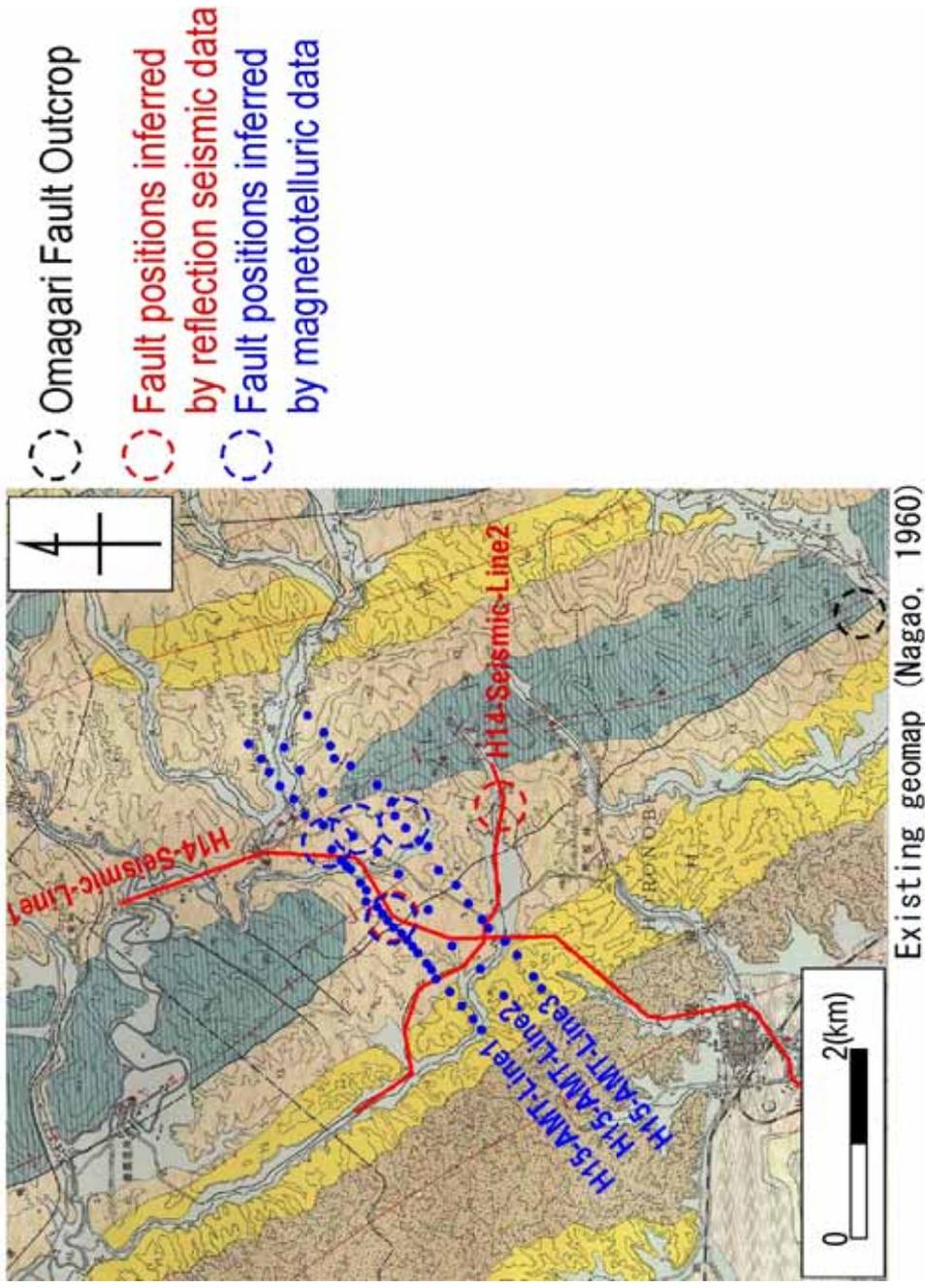
Distributions of formation boundaries and major faults are inferred.

Reflection seismic data (H14-Seismic-Line2)

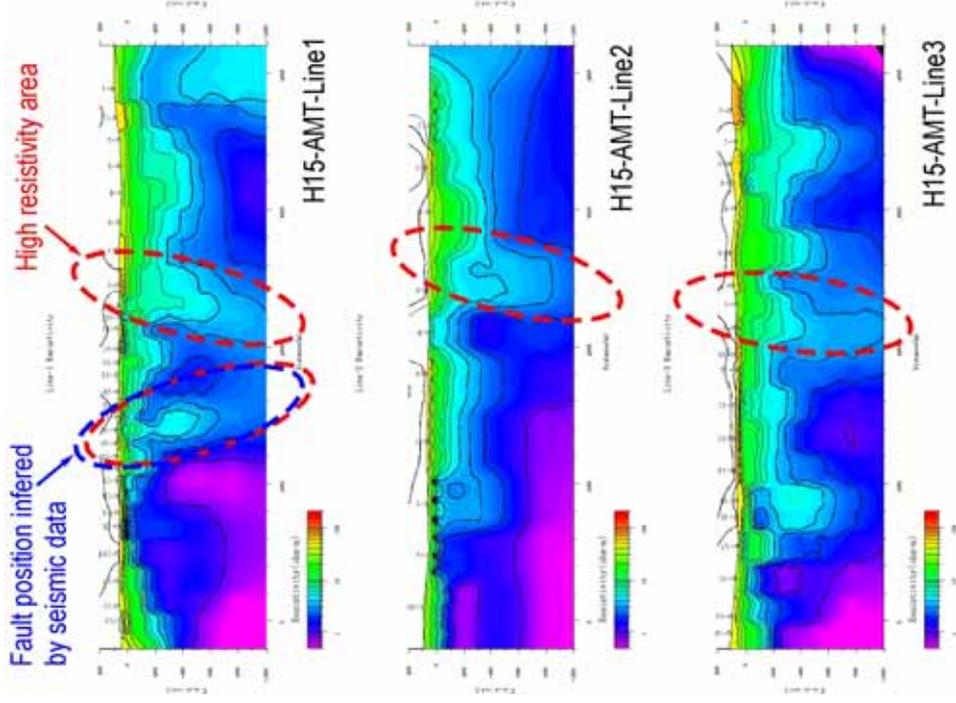


Distributions of formation boundaries and a major fault are inferred.

Audio-frequency magnetotelluric survey

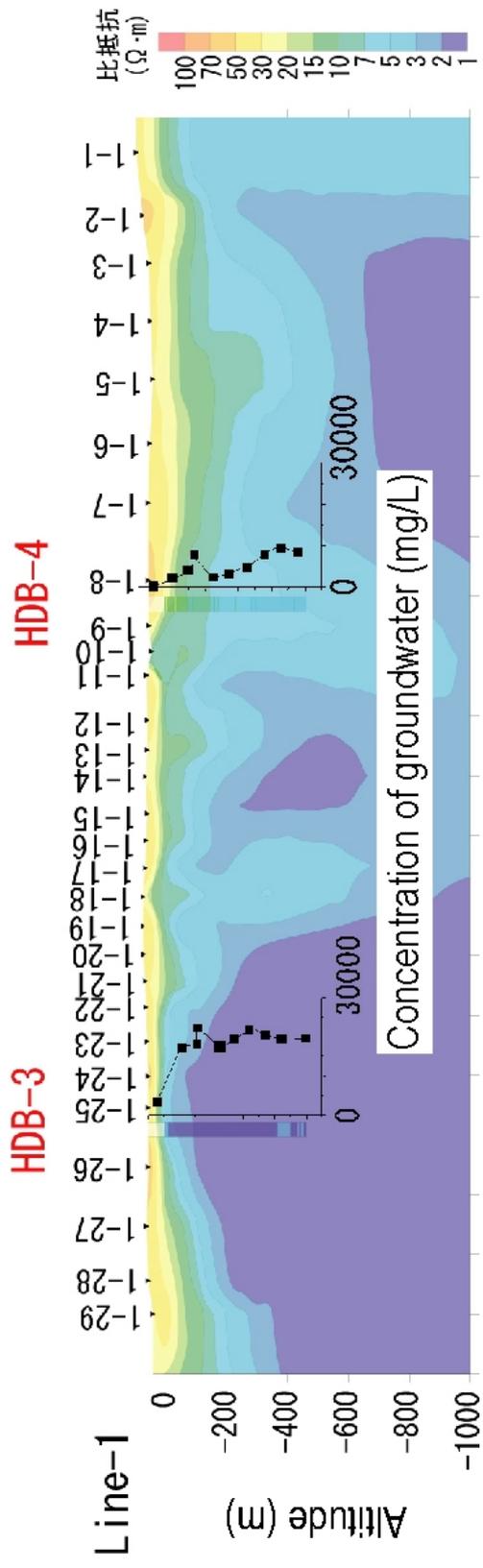


Resistivity distribution



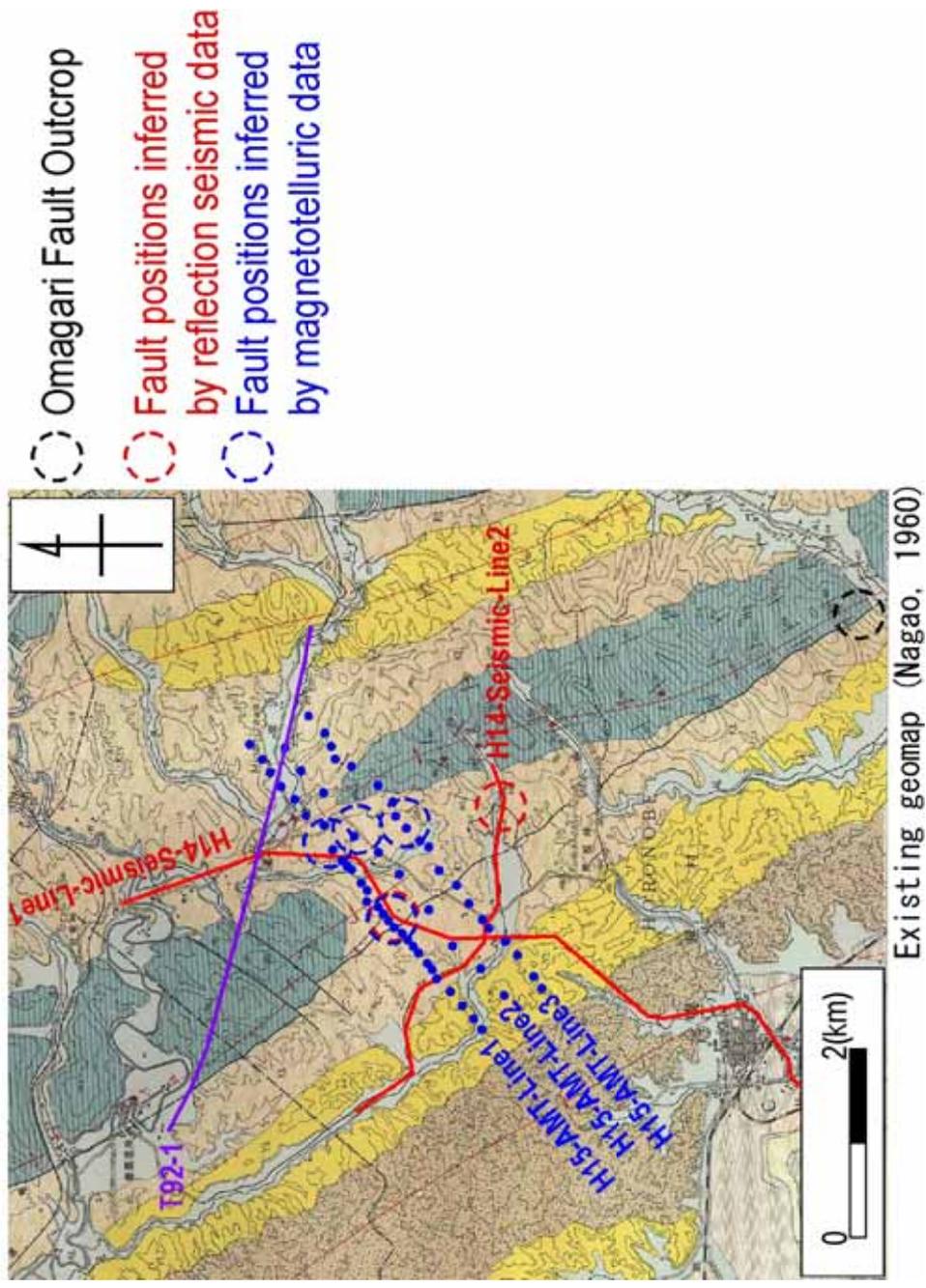
High resistivity are is corresponding to the position of Omagari Fault estimated by reflection seismic survey. In addition 3 high resistivity area is identified.

Comparison of resistivity distribution with concentration of saline groundwater

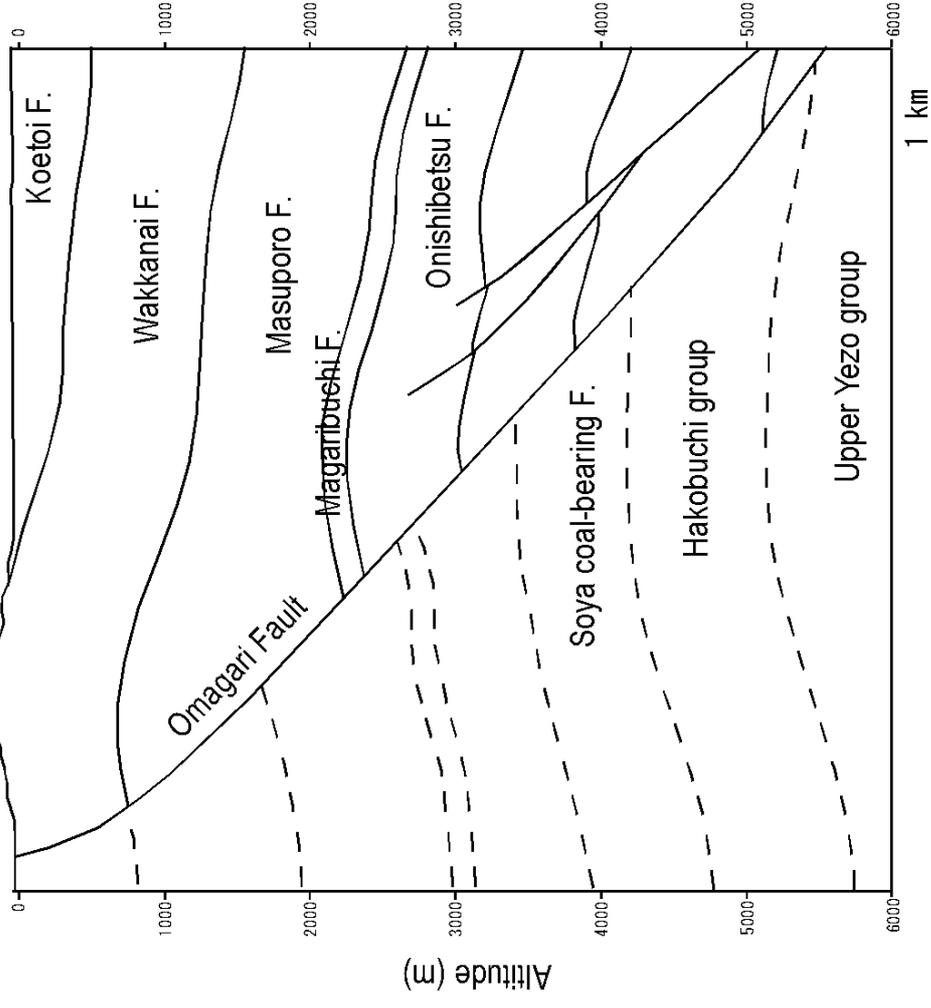


Resistivity distribution obtained by Audio-frequency magnetotelluric survey can be explained by the measured conc. of saline type groundwater

Existing geological cross section; T92-1 (Kanekiyo, 1999)

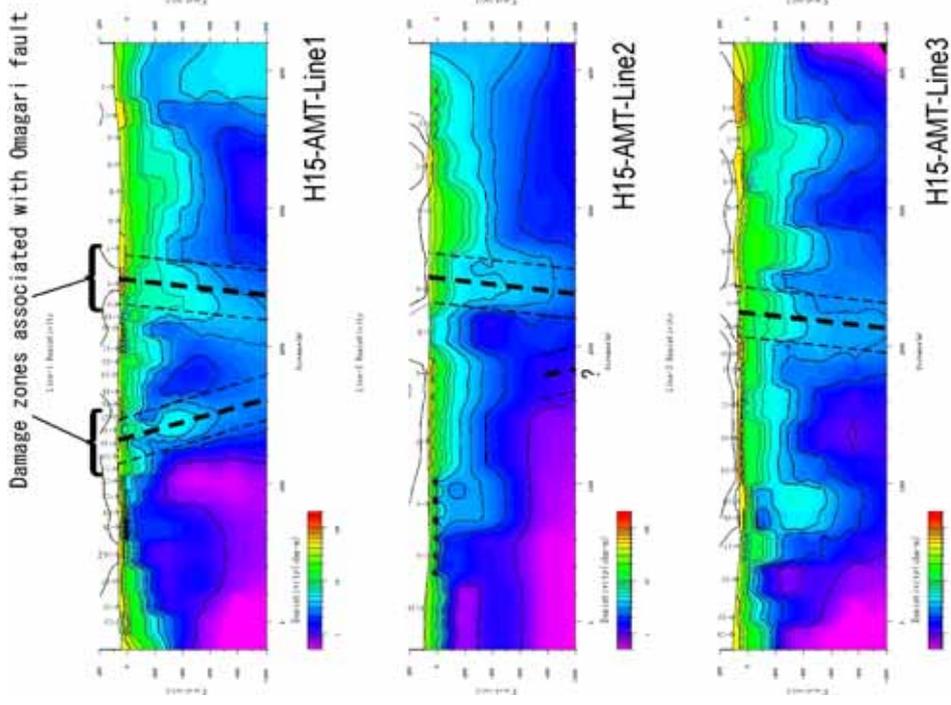


Geological cross section (Kannekiyo, 1999)



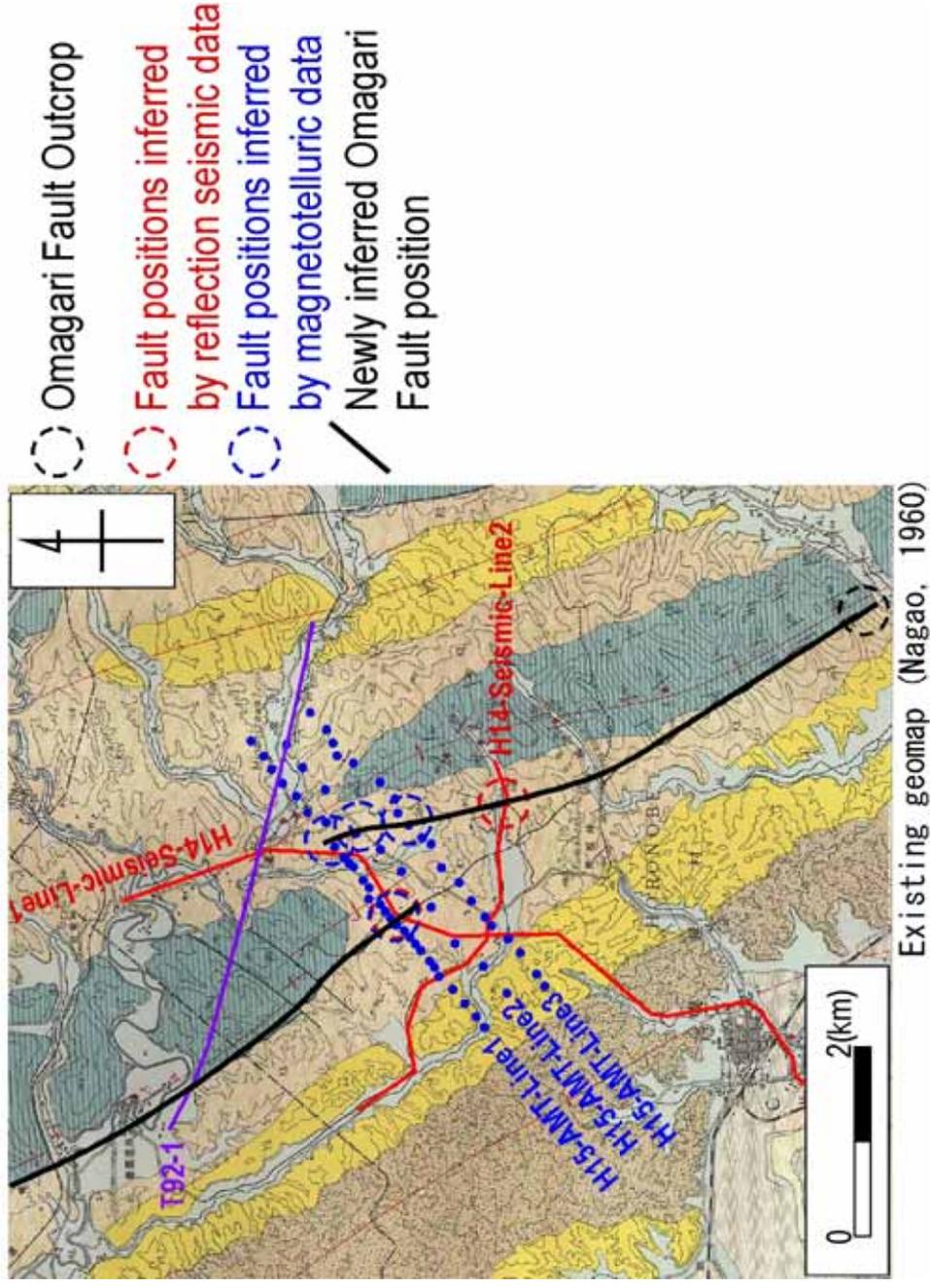
Omagari Fault branches in this section, but the only one fault attain to the surface.

Omagari fault positions inferred by resistivity distribution

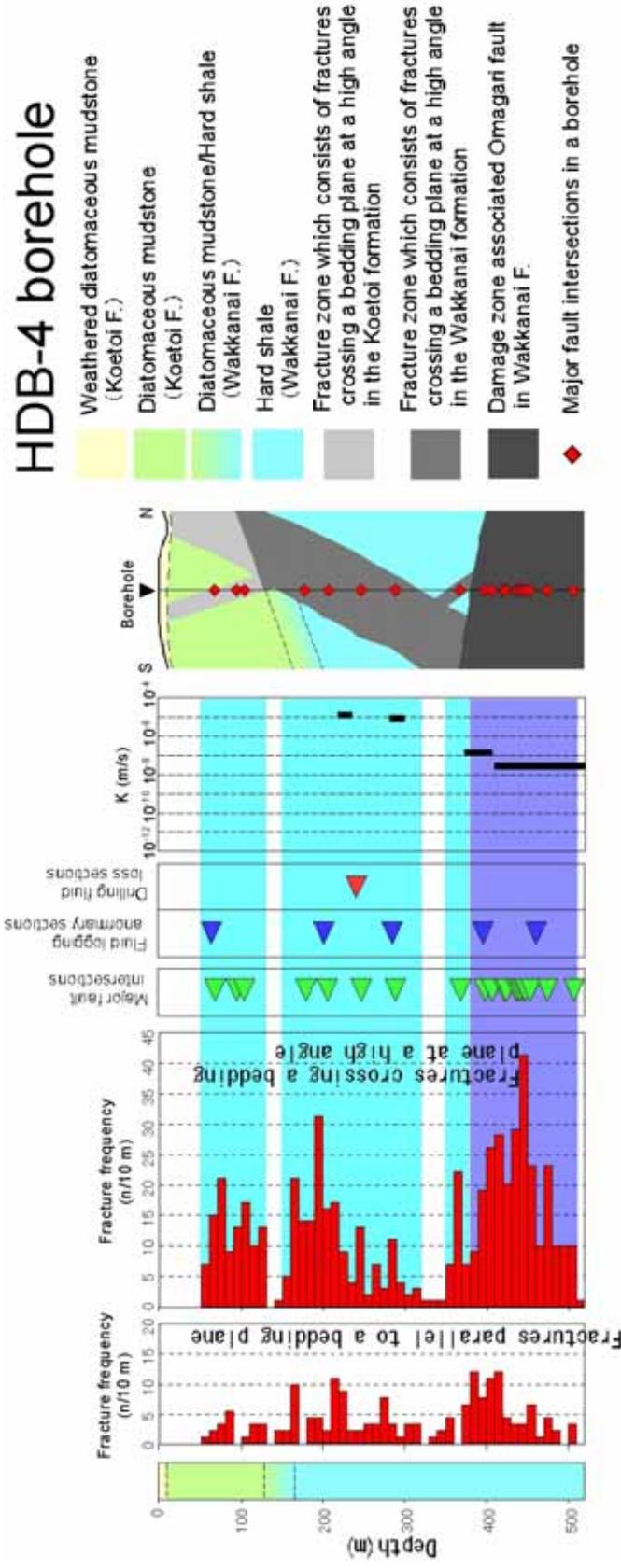


Omagari Fault branches in the study area. The fault width accords with a inferred width of about 300 m.

Newly inferred Omagari Fault position

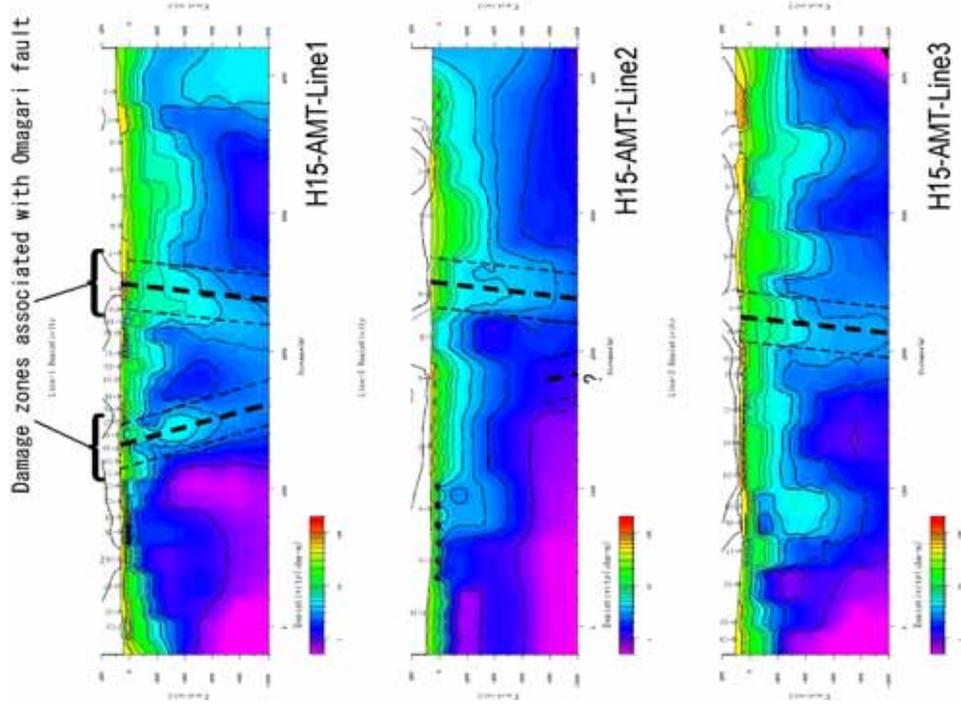


Information on permeability of Omagari Fault (1)



Comparatively high permeability is obtained by in-situ hydraulic test at a section of 380-520 m depth in HDB-4 where a damage zone associated with Omagari fault might be intersecting the borehole.

Information on permeability of Omagari Fault (2)

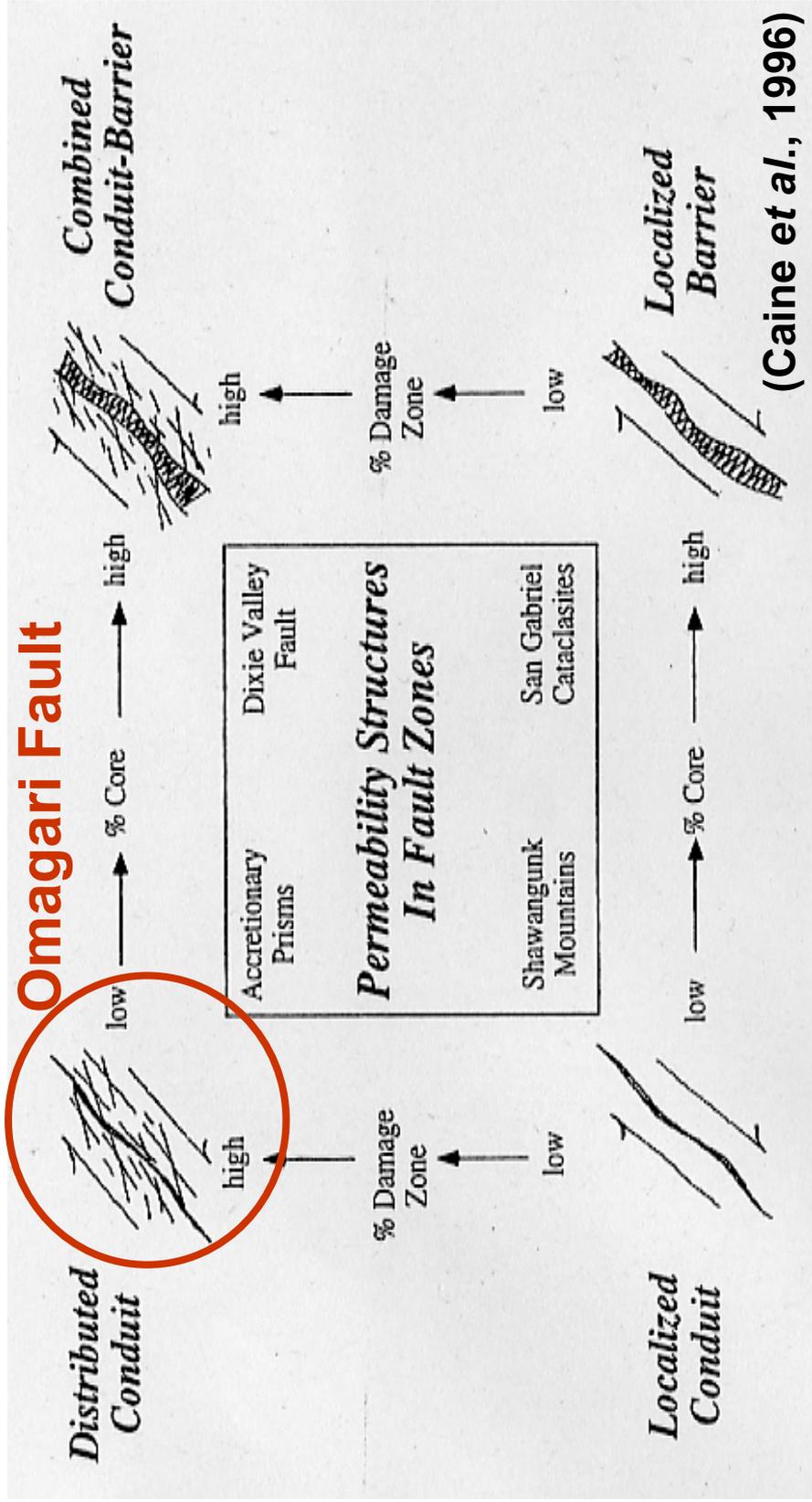


High resistivity in inferred positions of Omagari Fault suggests freshwater penetrating from the surface by high permeability of Omagari Fault.

Information on permeability of Omagari Fault (3)

Oil and gas showings that are frequently observed near inferred positions of Omagari Fault suggest high permeability of Omagari Fault.

Information on permeability of Omagari Fault (4)



Omagari Fault is thought to be conductive from the geological structure.

Characteristics of Omagari fault

- **Fault core width: >10 cm**
- **Damage zone width: >200-300 m**
- **Fault length: >25 km**
- **Strike: NNW-SSE direction**
- **Sense: Reverse fault with left-lateral strike-slip component**
- **permeability: Qualitatively high**

Investigations of fractures

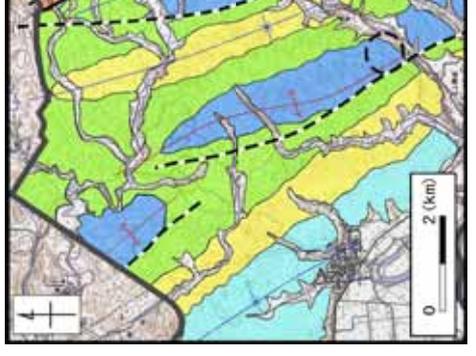
Fractures are identified and estimated by following investigation method.

- Outcrop investigations
- Drilled core observation
- Borehole geophysical explorations
 - EMI logging
 - Flow logging

Classification of fractures

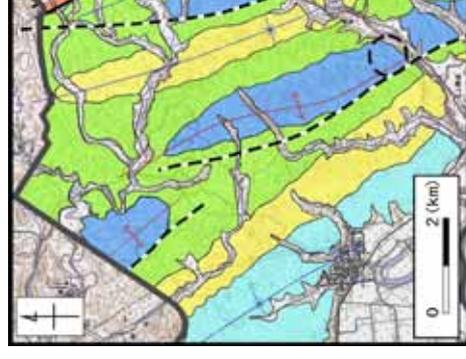
- **Fractures found in the Wakkanaï Formation and the Koetoi Formation in the study area can be divided into two type.**
- **Type 1 :
A fracture crossing the bedding plane at a high angle**
- **Type 2 :
A fracture parallel to the bedding plane**

Occurrence of type 1 fractures (1)



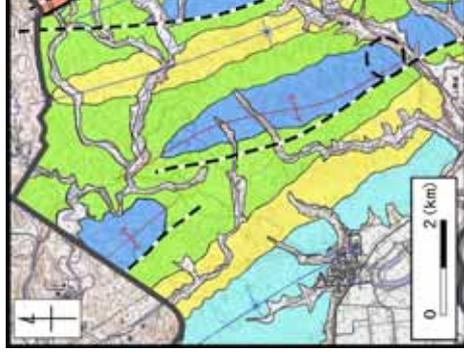
Fault gouge is observed in type 1 fractures.

Occurrence of type 1 fractures (2)



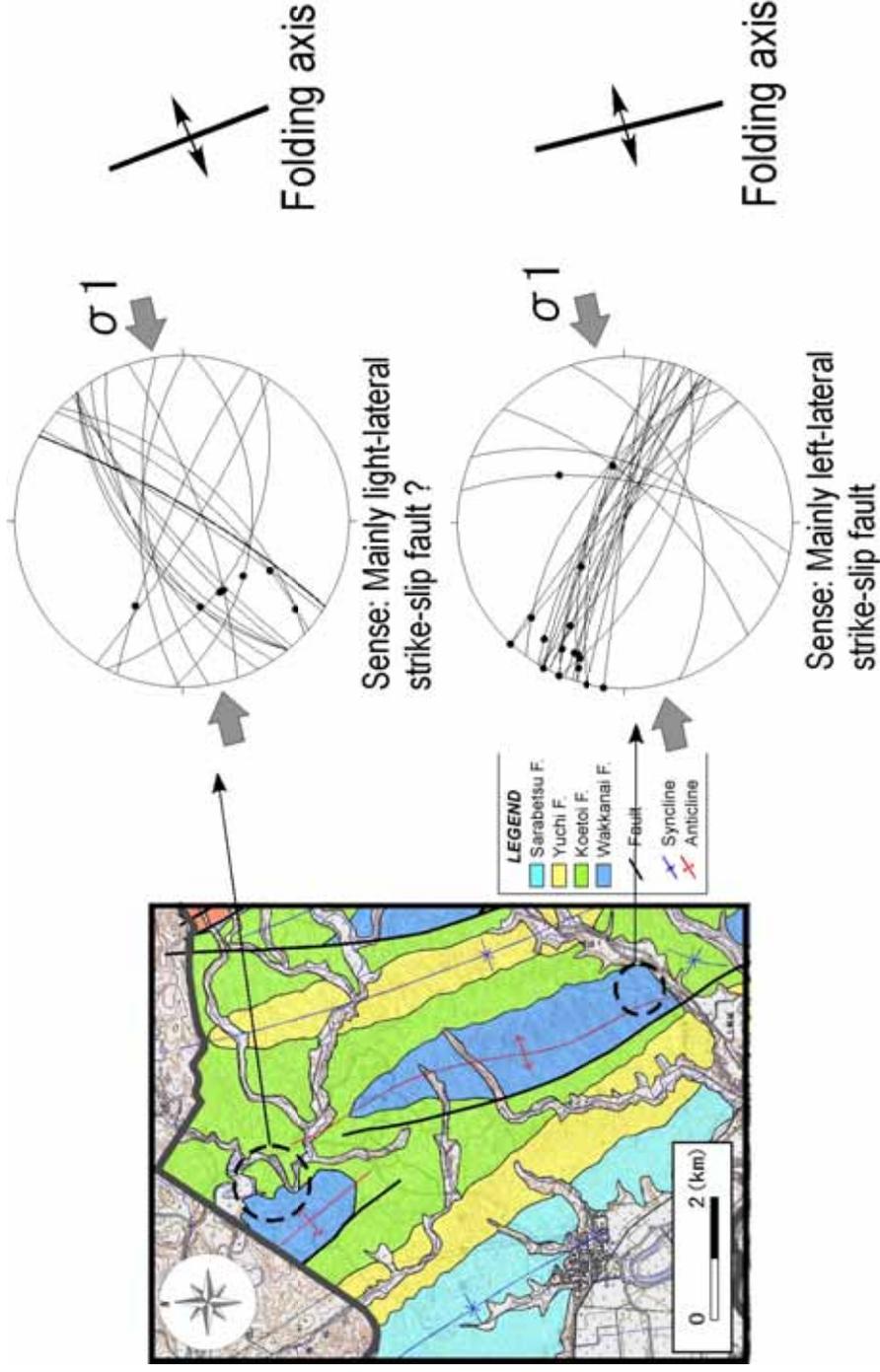
Fault gouge is observed in type 1 fractures.

Occurrence of type 1 fractures (3)



Striation is observed on type 1 fracture planes.

Slip direction of type 1 fractures



A regional σ_1 direction inferred by the slip direction is nearly perpendicular to a folding axis direction.

Characteristics of type 1 fractures

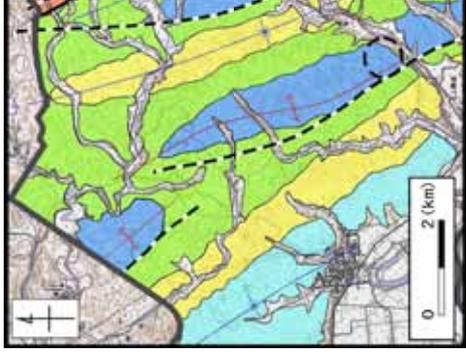
- Fracture planes is crossing the bedding plane at a high angle.
- Fault rocks or striations are observed.
- A slip direction is near a horizontal direction.
- A regional 1 direction inferred by the slip direction is nearly perpendicular to a folding axis direction.

Type 1 fractures are thought to be strike slip faults generated under a condition with a regional 1 direction perpendicular to a folding axis direction.

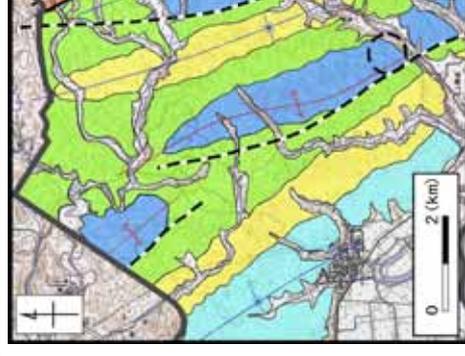
Occurrence of type 2 fractures (1)



Fault breccia is observed in type 2 fractures.

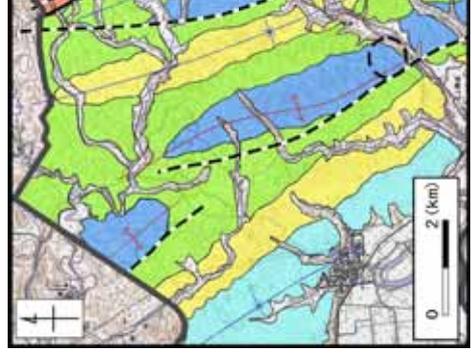


Occurrence of type 2 fractures (2)



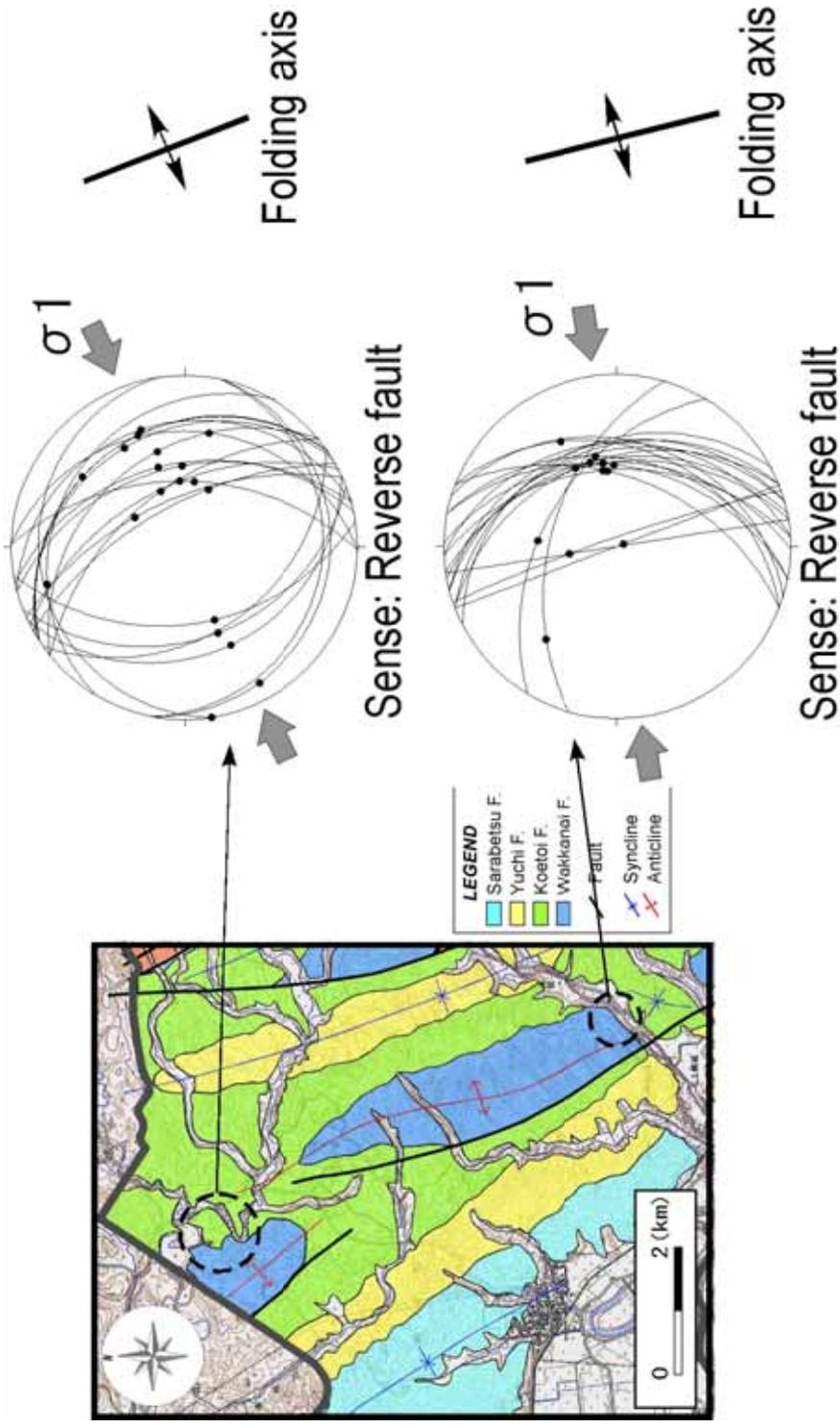
Fault gouge is observed in type 2 fractures.

Occurrence of type 2 fractures (3)



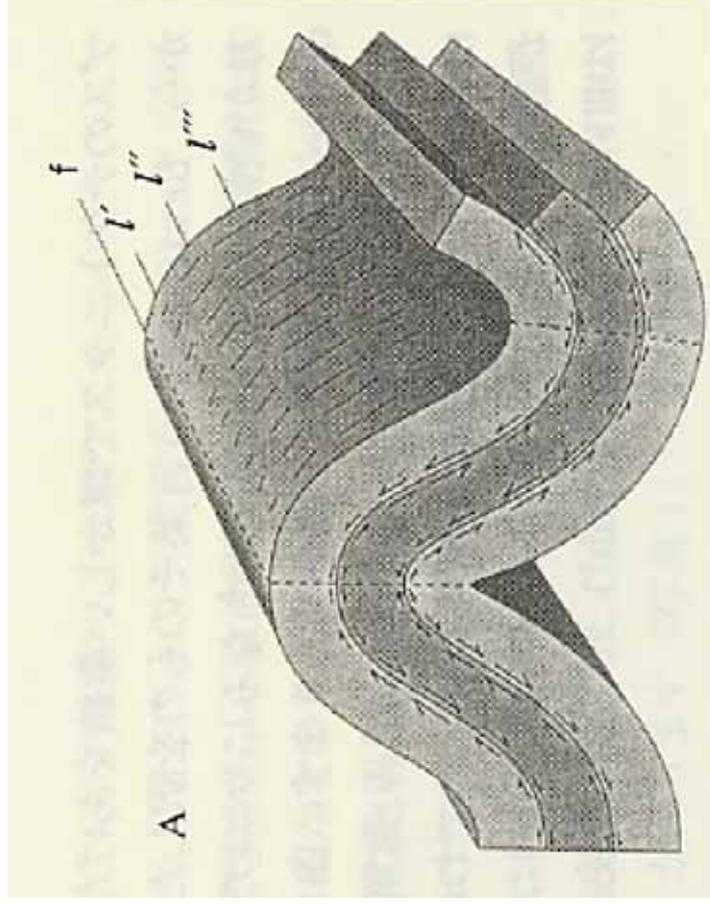
Striation is observed on type 2 fracture planes.

Slip direction of type 2 fractures



A slip direction and a regional σ_1 direction inferred by the slip direction are nearly perpendicular to a folding axis direction.

Genetic model for a type 2 fracture



(Twiss and Moores, 1992)

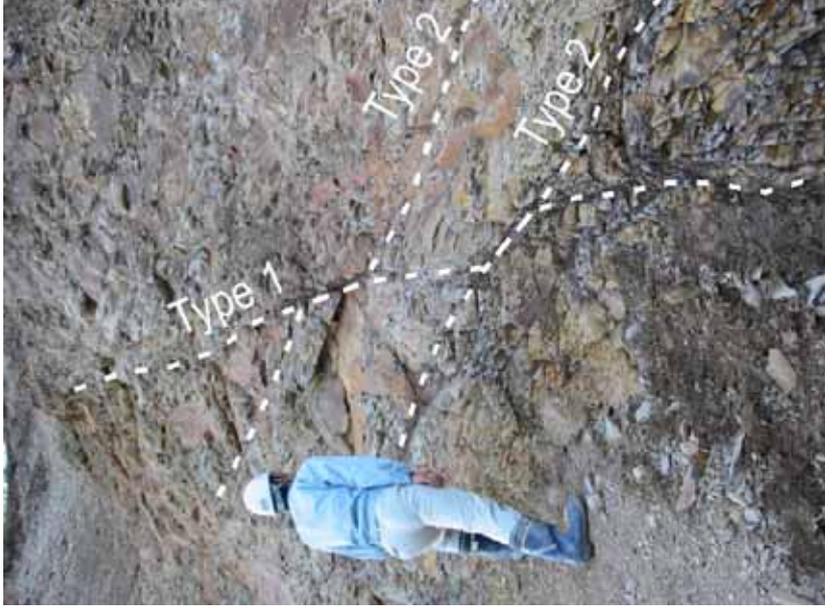
Bedding faults are generated by flexural slip folding.

Characteristics of type 2 fractures

- The attitude is nearly parallel to a bedding plane.
- Fault rocks or striations are observed.
- Sense of fracture is reverse fault.
- A slip direction and a regional σ_1 direction inferred by the slip direction are nearly perpendicular to a folding axis direction.

Type 2 fractures are thought to be bedding faults associated with a flexural slip folding, generated under a condition with a regional σ_1 direction perpendicular to a folding axis direction.

Intersection relation between a type 1 and type 2 fracture



Two type fracture have a cutting-mutually relation.

Genetic hypothesis of two type fractures

- Both of regional 1 directions inferred by the slip directions of two type fractures are nearly perpendicular to a folding axis direction.
- Two type fracture have a cutting-mutually relation.

Both of two type fractures are thought to have generated at the same period. Probably, strike slip faults are estimated to have formed under a condition with strike-slip faulting, also accompanied by bedding slip in a bedding plane of weak structure.

Characteristics of fractures by outcrop observations

Type 1 fractures :

- **Crossing the bedding plane at a high angle**
- **Generated by strike-slip faulting**

Type 2 fractures :

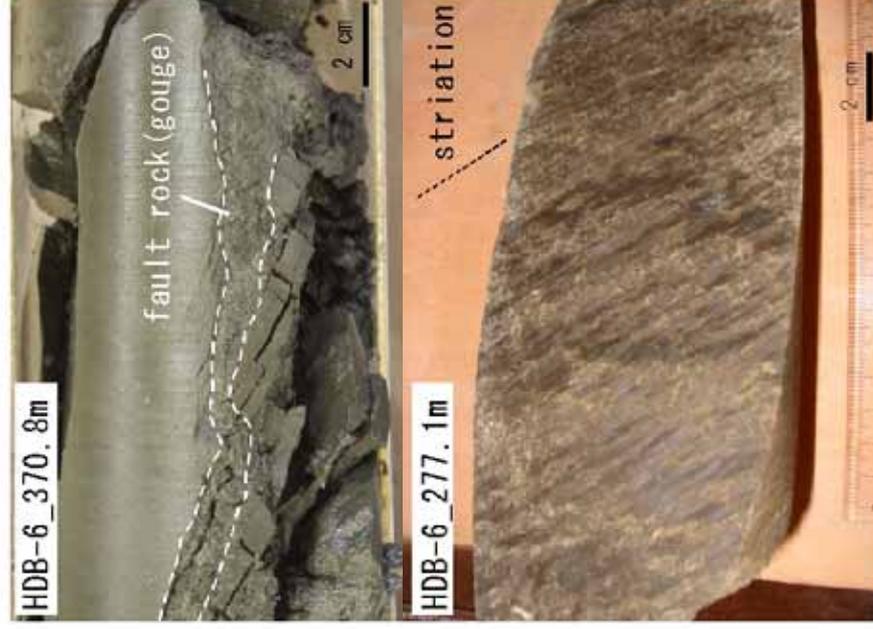
- **Parallel to the bedding plane**
- **Generated by flexural slip folding**

Both of two type fractures:

- **generated at the same period**
- **generated under a condition with a regional 1 direction perpendicular to a folding axis direction**

Drilled core observation

Type 1 fracture

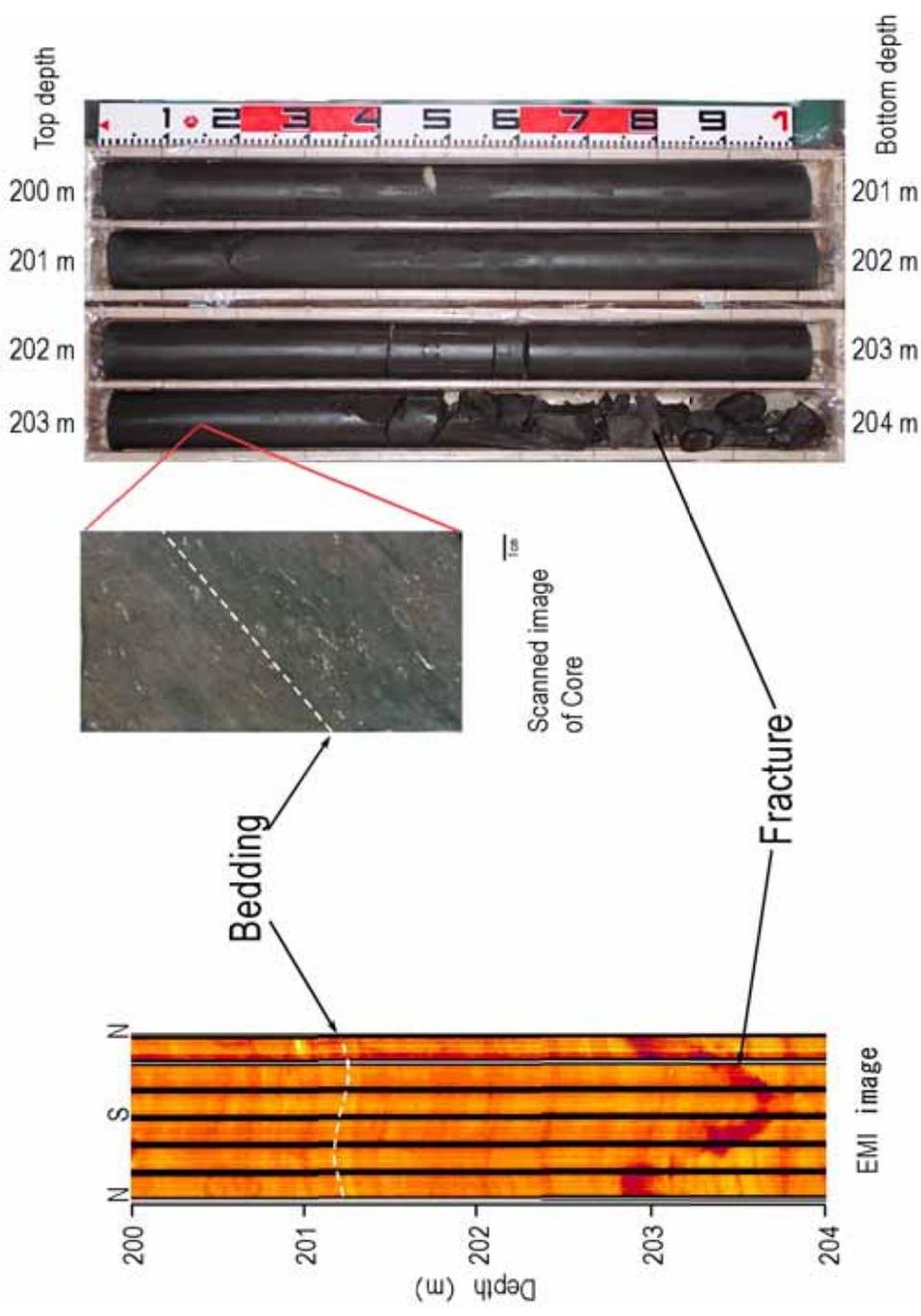


Type 2 fracture



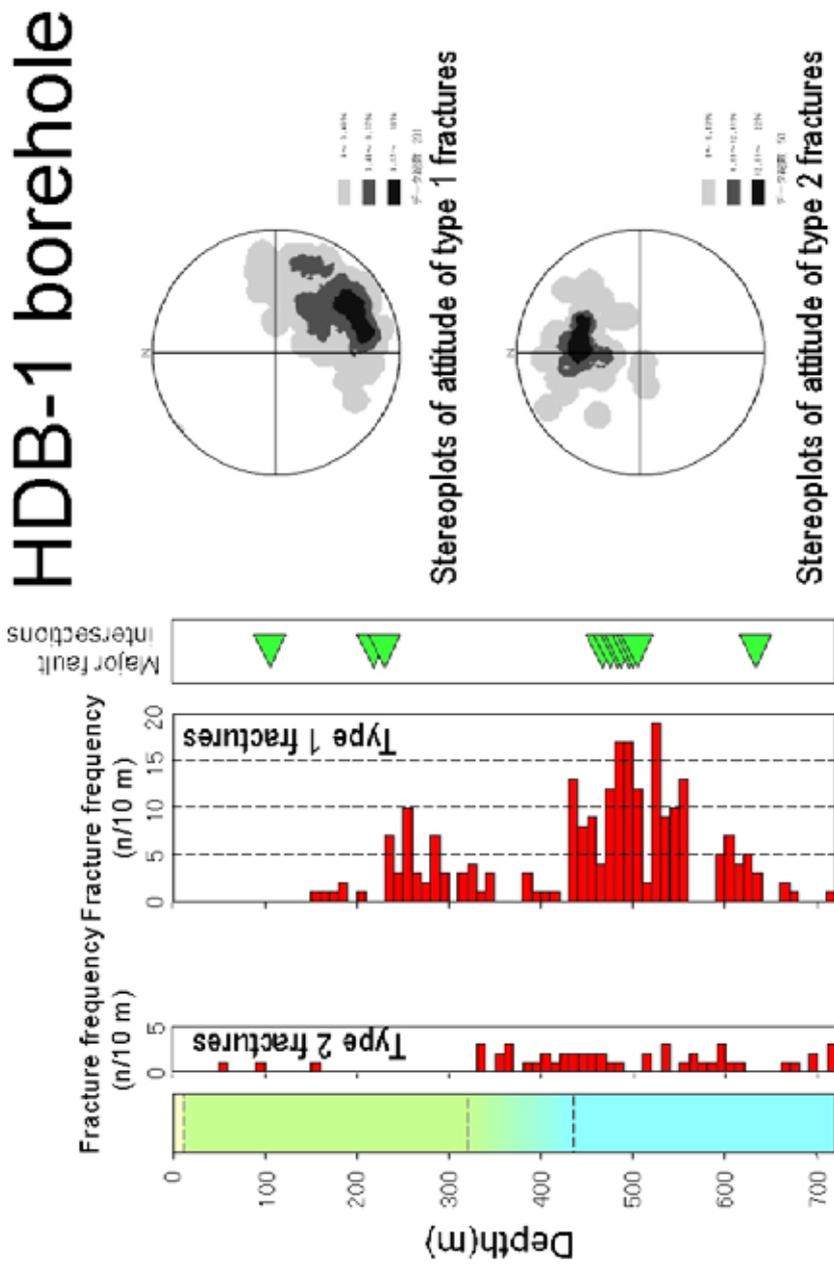
Two type fracture are observed also in boreholes.

EMI logging



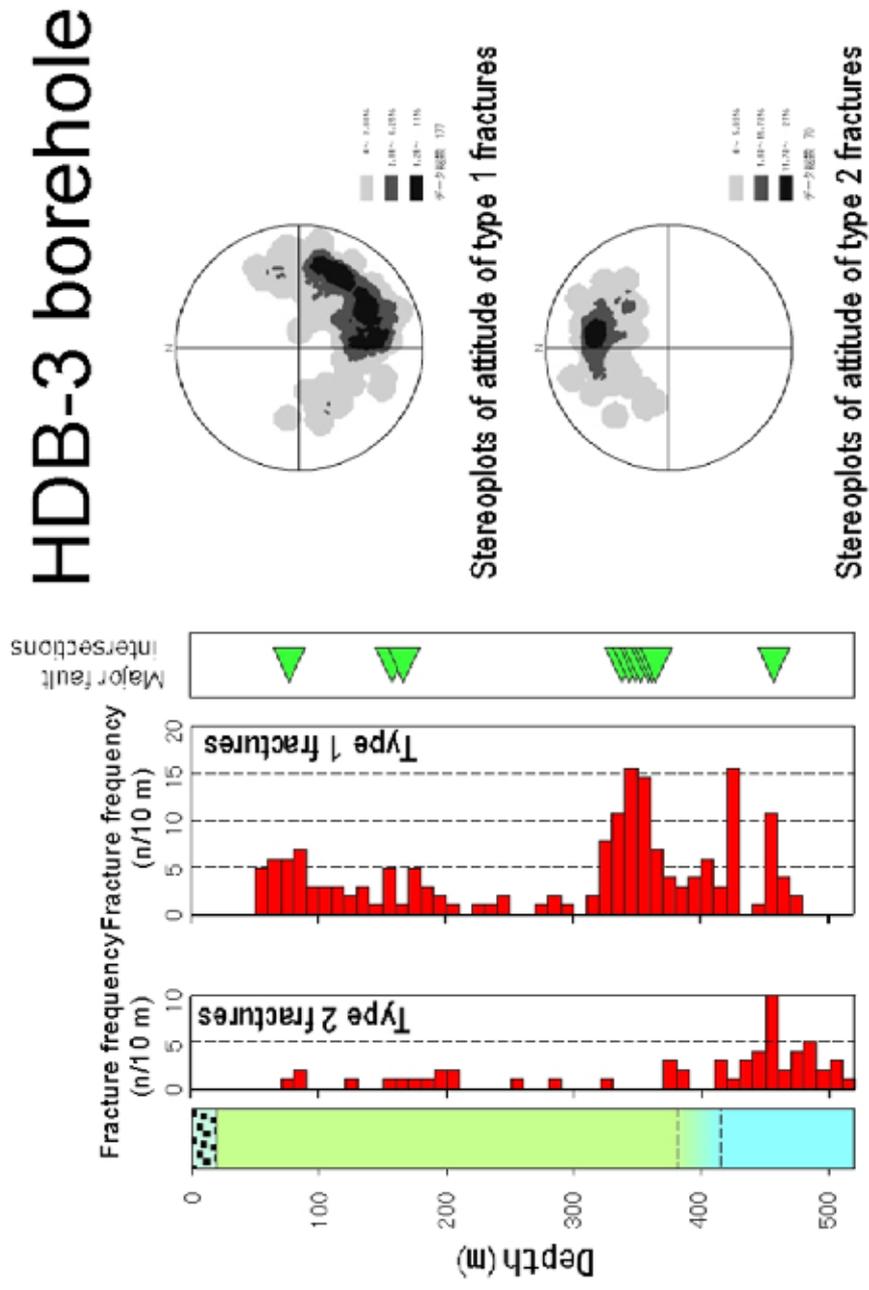
Data for fracture orientation were obtained by EMI logging.

Geological logging of fractures in HDB-1



Two type fracture are observed in a borehole.

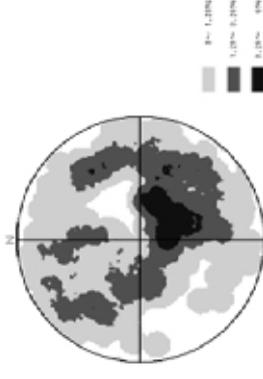
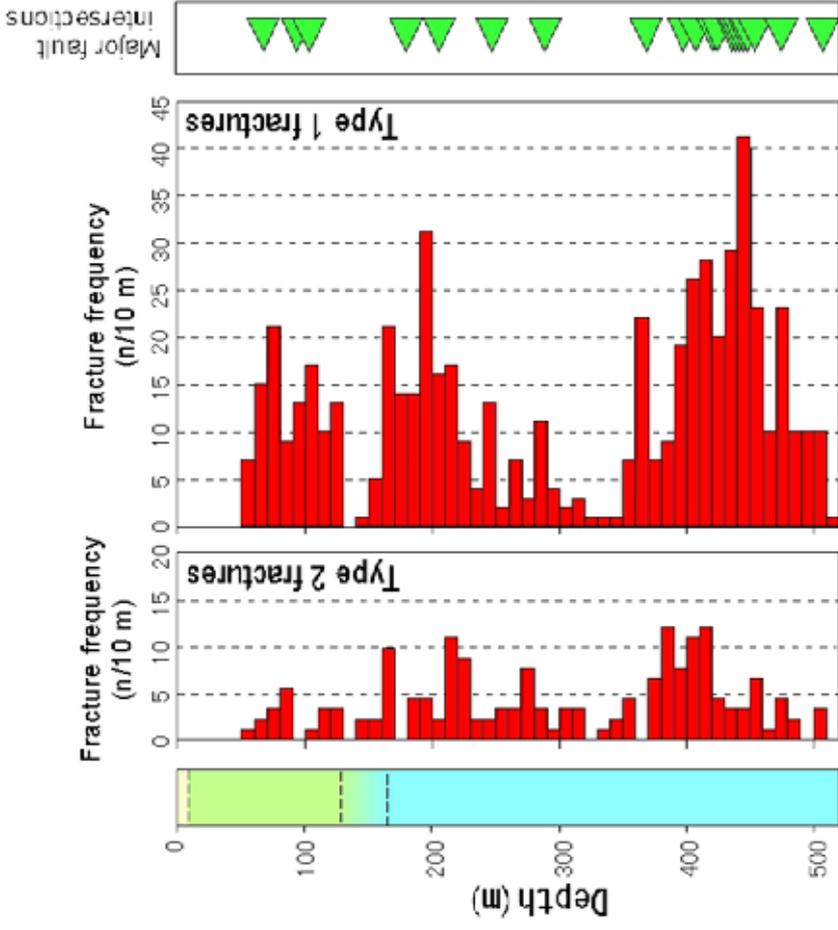
Geological logging of fractures in HDB-3



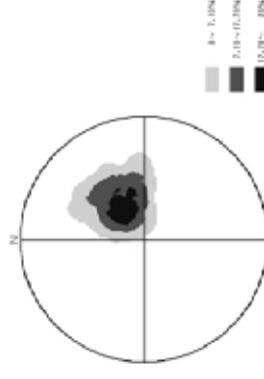
Two type fracture are observed in a borehole.

Geological logging of fractures in HDB-4

HDB-4 borehole



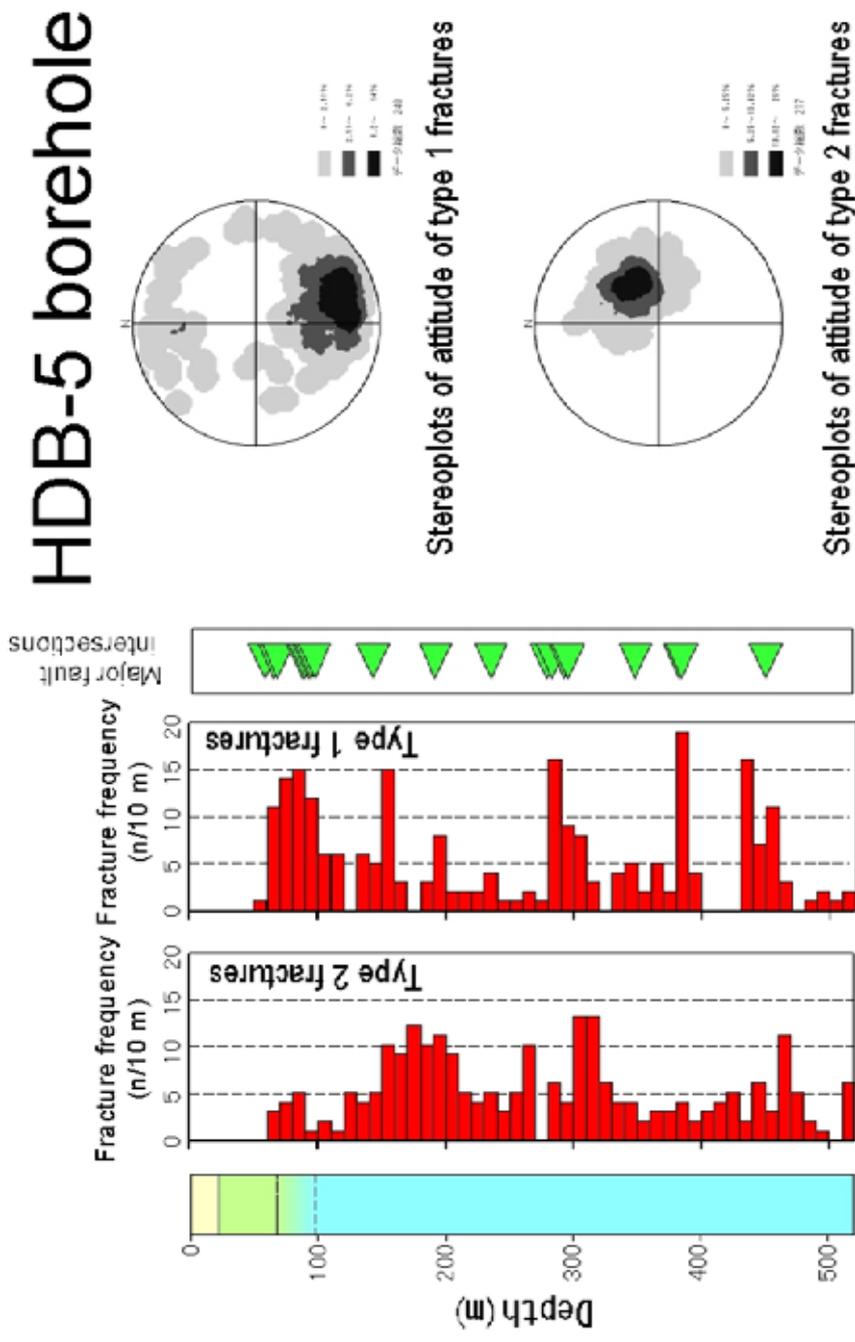
Stereoplots of attitude of type 1 fractures



Stereoplots of attitude of type 2 fractures

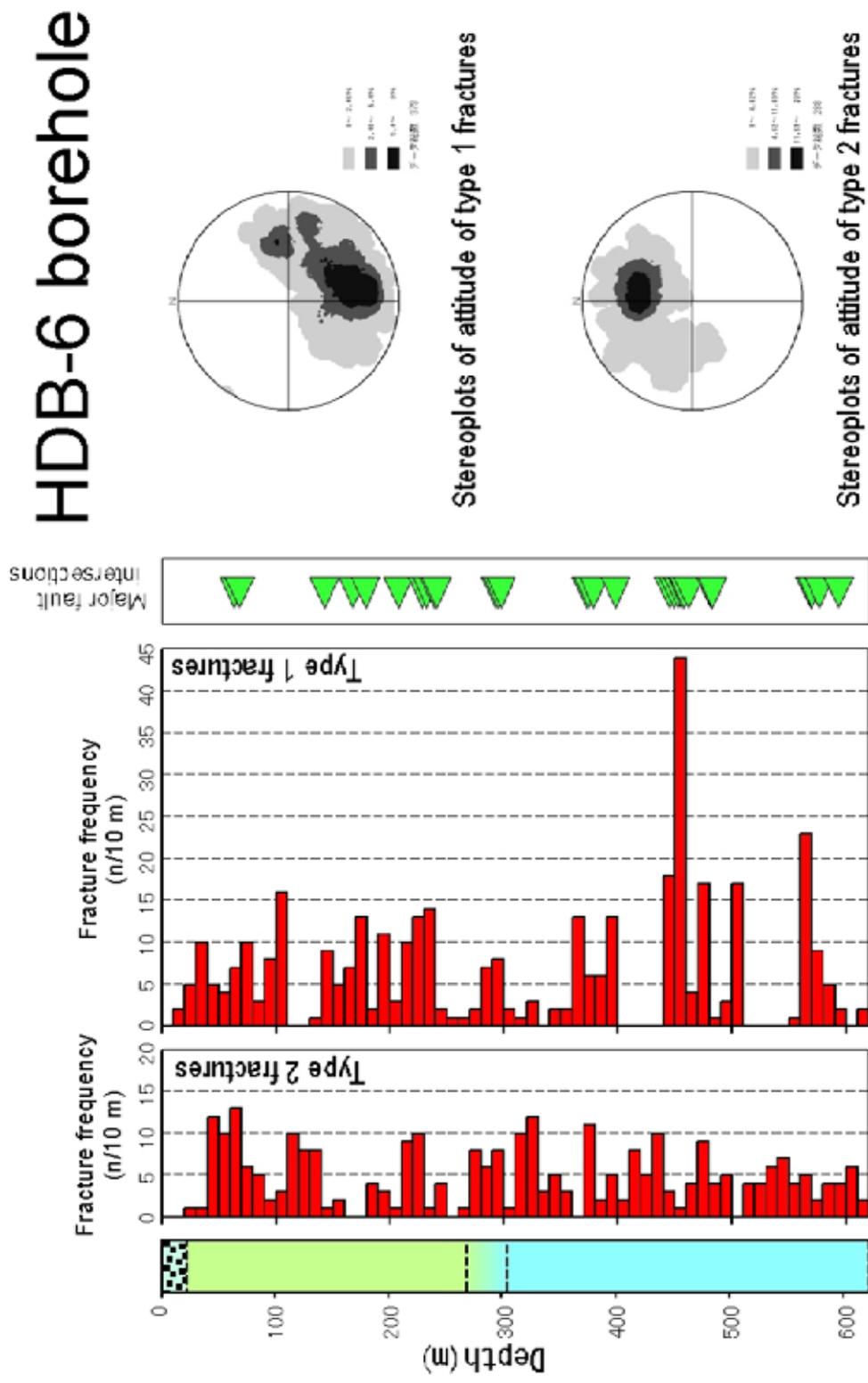
Two type fracture are observed in a borehole.

Geological logging of fractures in HDB-5



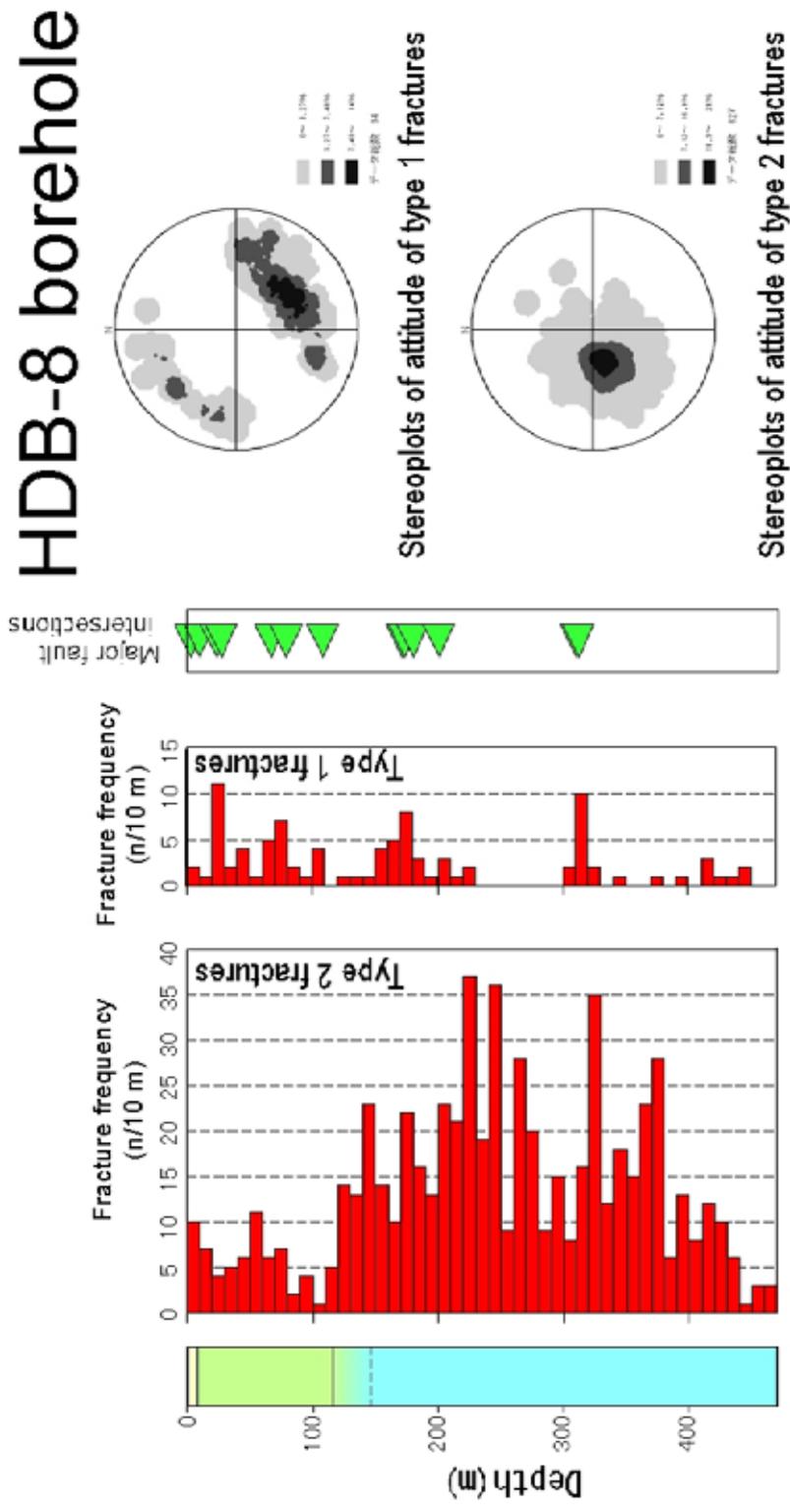
Two type fracture are observed in a borehole.

Geological logging of fractures in HDB-6



Two type fracture are observed in a borehole.

Geological logging of fractures in HDB-8



Two type fracture are observed in a borehole.

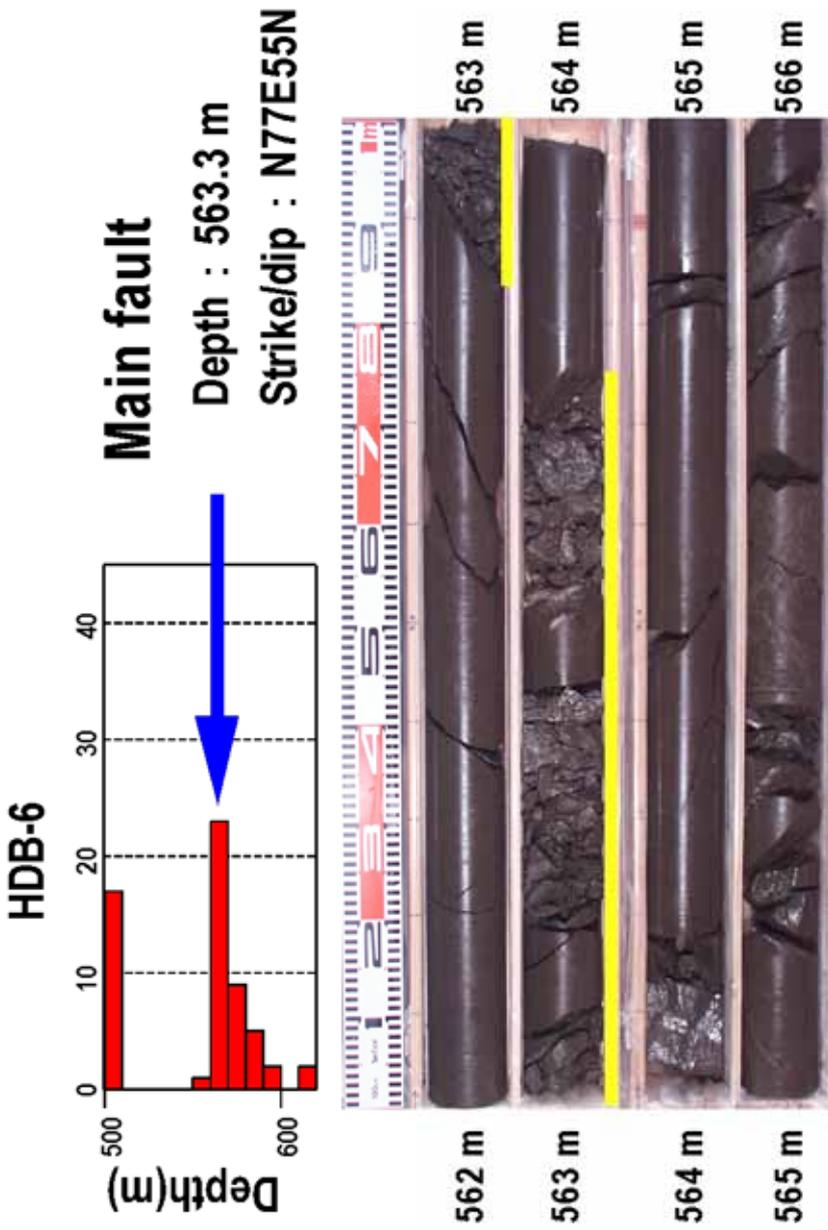
Characteristics of distributions of fractures in the boreholes

- **Two type fractures are observed also in boreholes.**
- **Type 1 fractures are closely distributing and form fracture zones.**
- **At the sections which type 1 fractures are closely distributing, minor faults with fault rock are observed.**

Definitions of a fracture zone (1)

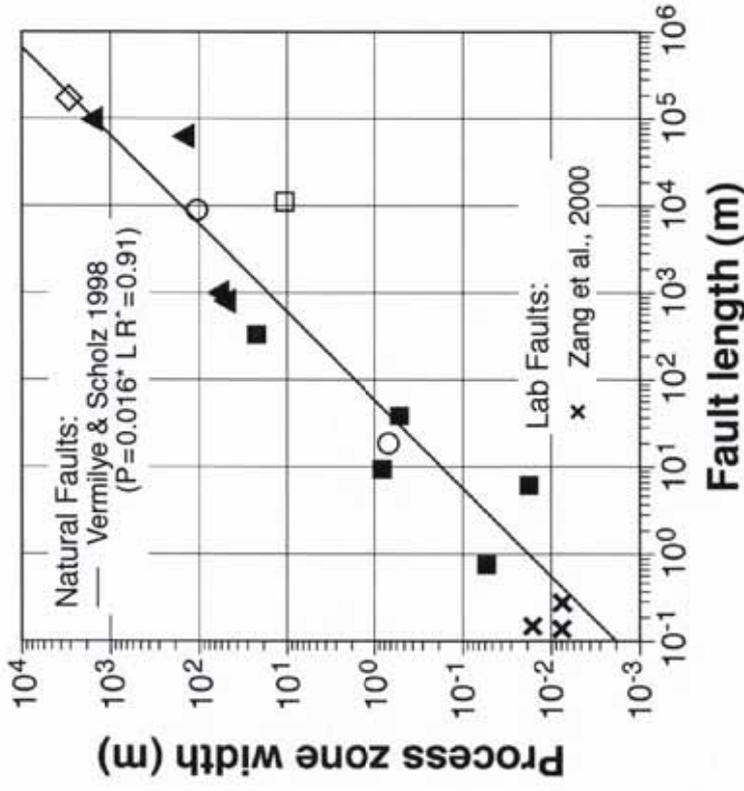
- Fracture zone is composed of type 1 fractures.
- Frequency of type 1 fractures in a fracture zone is more than 3 numbers per 10 m.
- Fracture zone includes type 1 fractures with fault rock.

Definitions of a fracture zone (2)



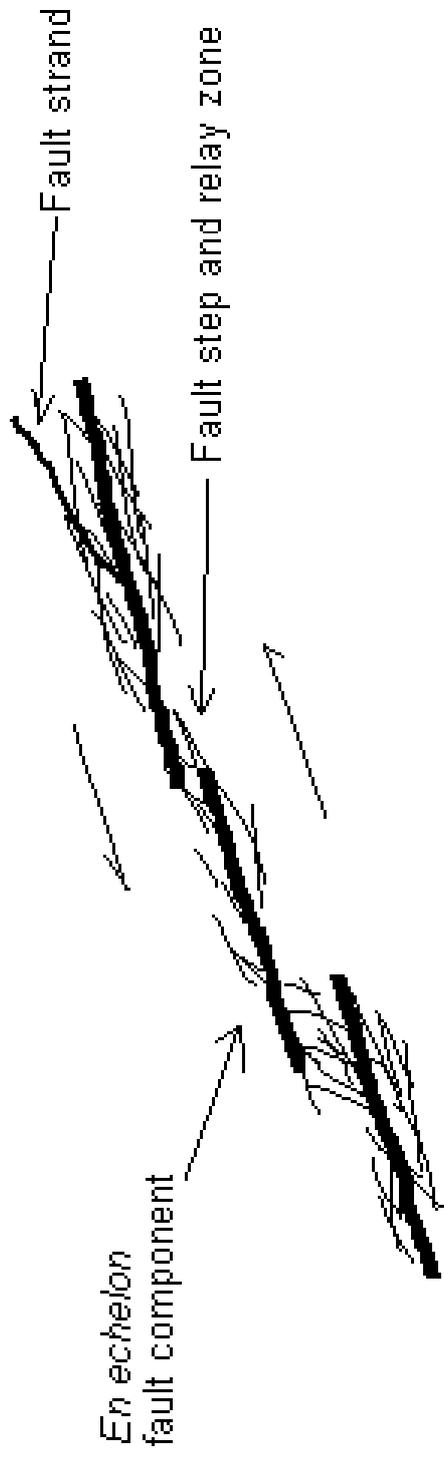
A attitude of fracture zone uses the strike dip of the main fault observed in the section where fracture frequency is the highest in a fracture zone.

Definitions of a fracture zone (3)



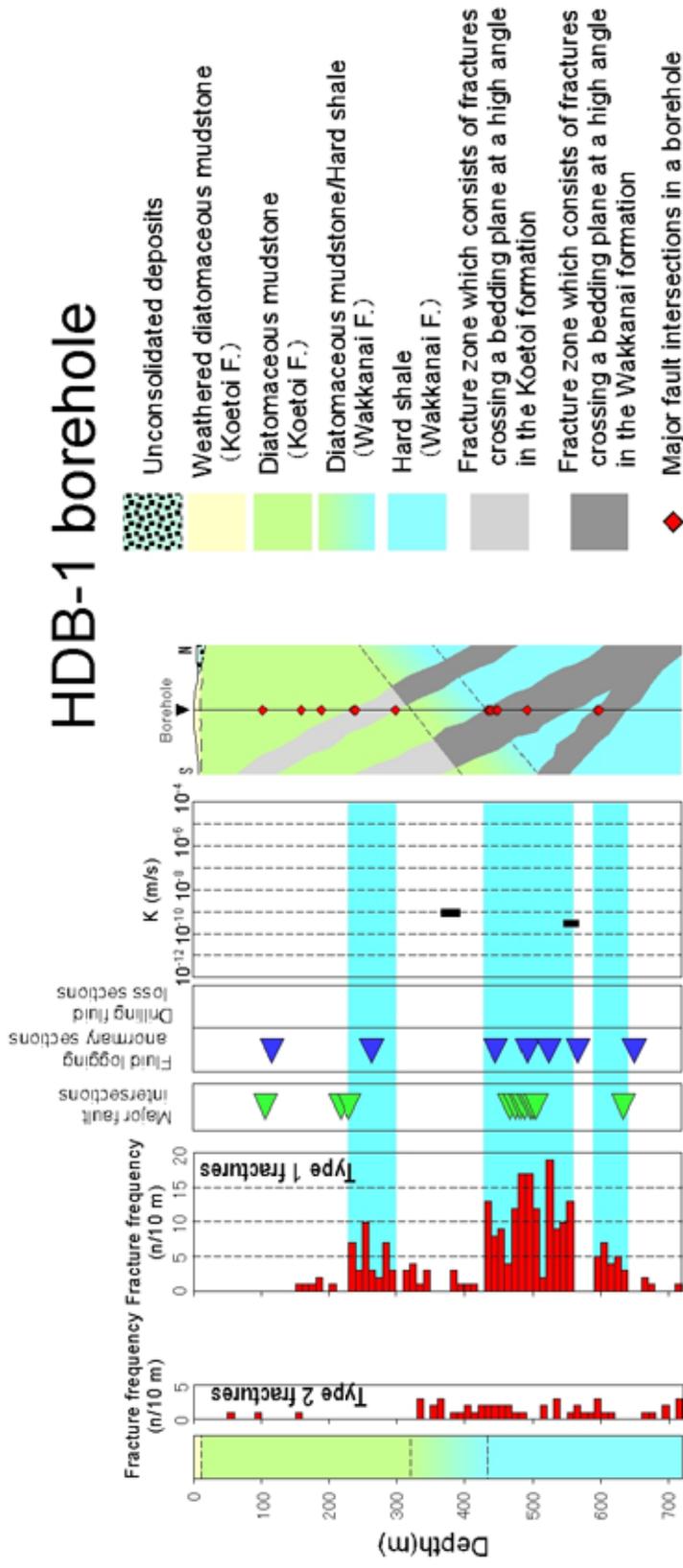
A length of a fracture zone is estimated by fracture zone width obtained by borehole investigation, and empirical relationship between width and length (Vermilye and Scholtz, 1998).

A image of a fracture zone



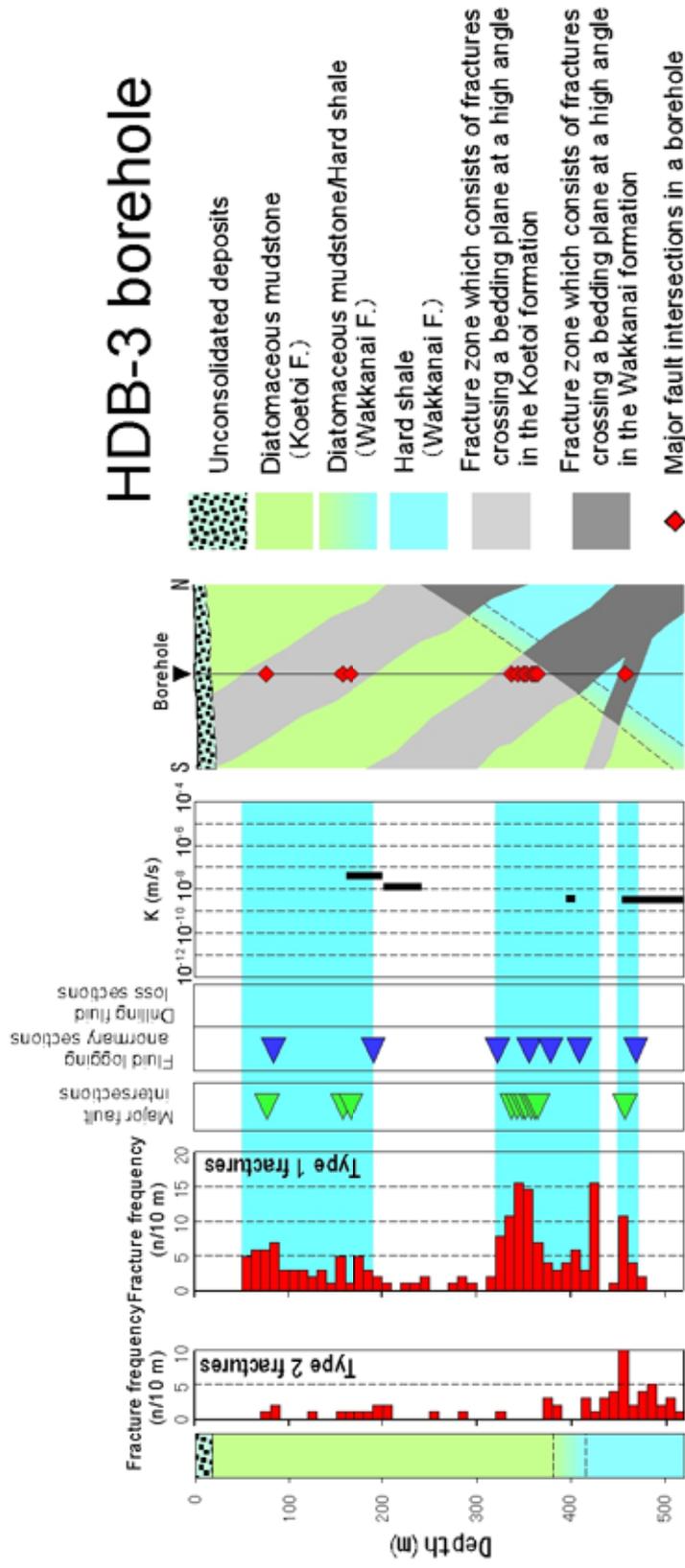
Fracture zone consists of en echelon faults.

Distributions of fracture zones in HDB-1



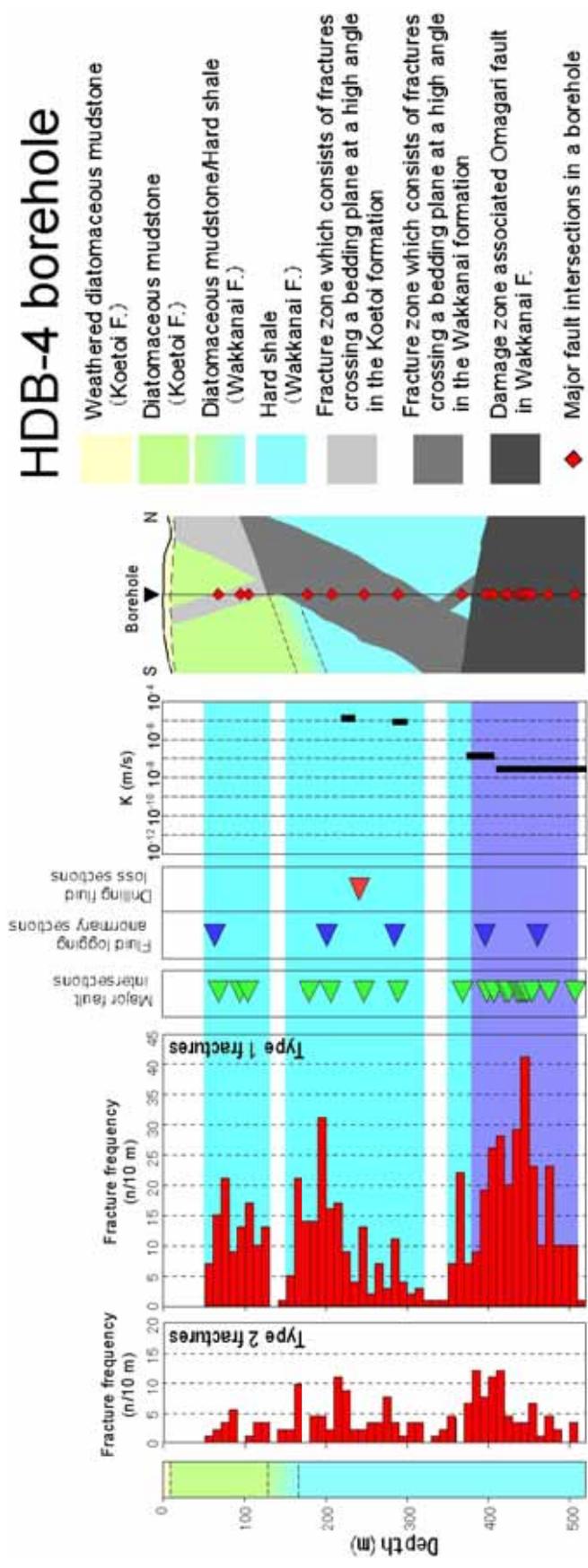
3 fracture zones are identified in a borehole.

Distributions of fracture zones in HDB-3



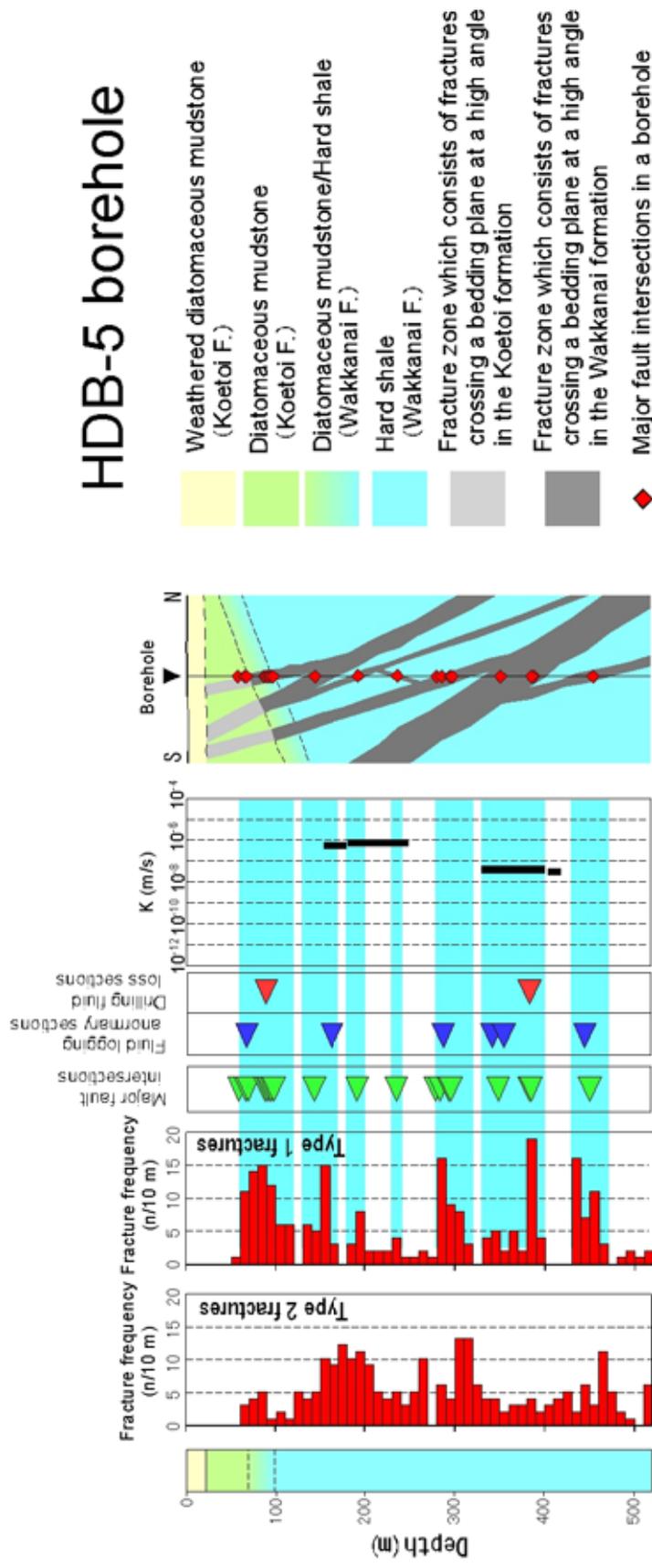
3 fracture zones are identified in a borehole.

Distributions of fracture zones in HDB-4



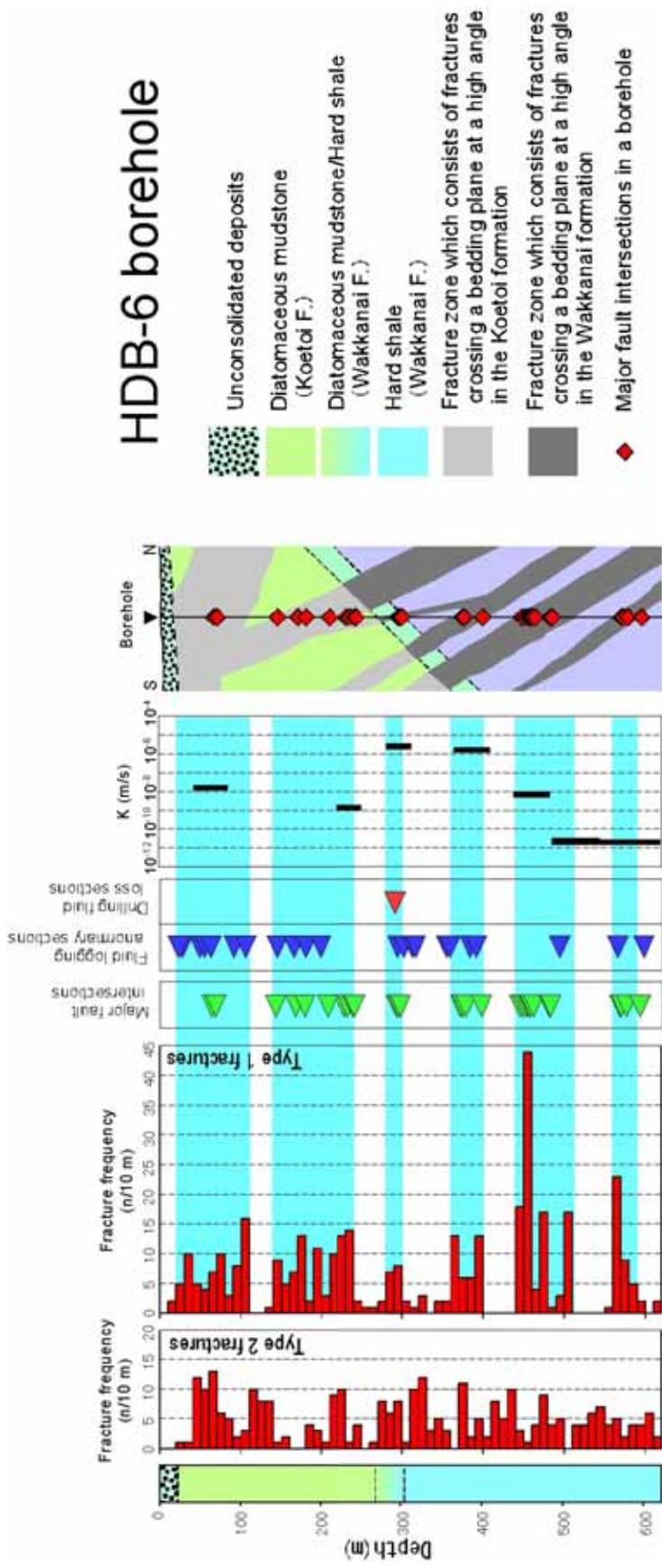
3 fracture zones and a damage zone of Omagari Fault are identified in a borehole.

Distributions of fracture zones in HDB-5



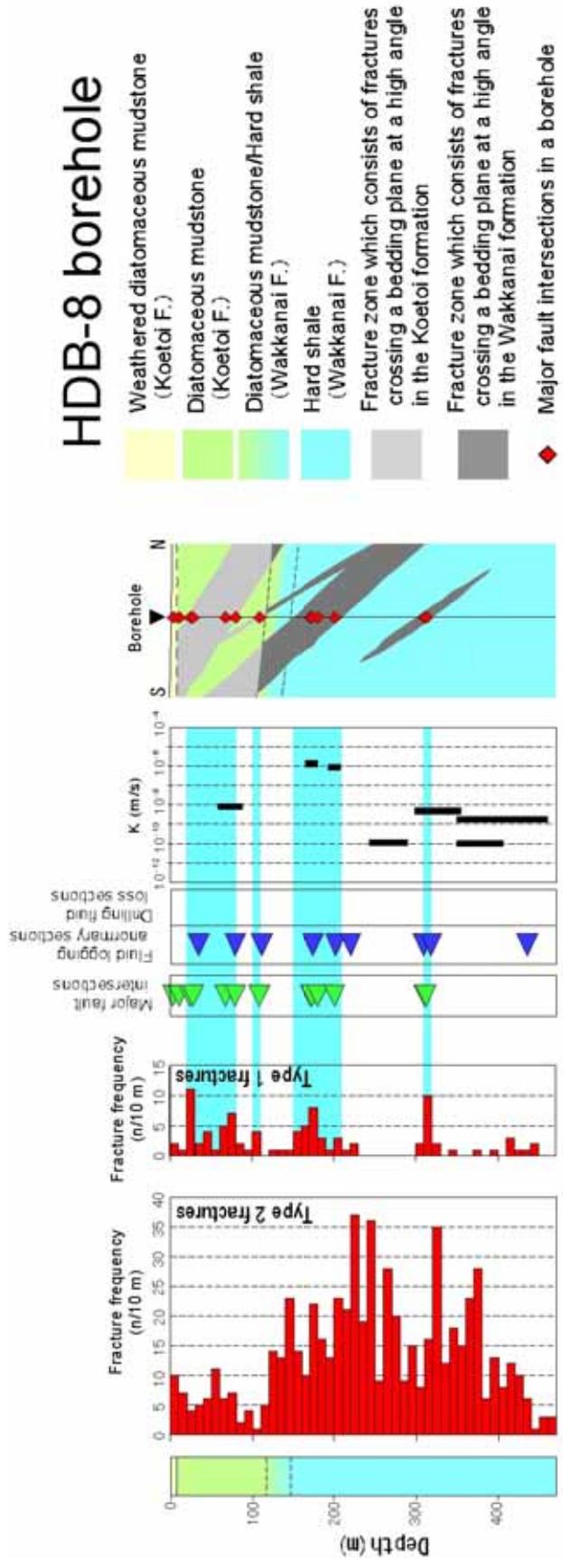
7 fracture zones are identified in a borehole.

Distributions of fracture zones in HDB-6



6 fracture zones are identified in a borehole.

Distributions of fracture zones in HDB-8



4 fracture zones are identified in a borehole.

Identified fracture zones list

	top level (m)	base level (m)	azimuth	dip	width(m)	length (km)
HDB-1	-160.90	-230.90	344	63	32	0.7
	-240.90	-280.90	353	66	16	0.4
	-310.90	-320.90	261	64	4	0.1
	-360.90	-490.90	12	64	57	1.2
	-520.90	-570.90	296	64	22	0.5
HDB-3	8.19	-131.81	356	58	74	1.5
	-261.81	-371.81	322	60	55	1.2
	-391.81	-411.81	282	60	10	0.3
HDB-4	13.61	-66.39	334	78	17	0.4
	-86.39	-256.39	198	61	81	1.6
	-286.39	-316.39	336	56	17	0.4
	-316.39	-446.39	278	49	85	1.7
HDB-5	16.77	-43.23	4	74	17	0.4
	-53.23	-93.23	12	64	18	0.4
	-103.23	-123.23	355	71	7	0.2
	-153.23	-163.23	9	52	6	0.2
	-203.23	-243.23	163	77	9	0.2
	-253.23	-323.23	328	75	18	0.4
	-353.23	-393.23	350	58	21	0.5
HDB-6	40.21	-49.79	355	24	82	1.6
	-79.79	-179.79	343	67	39	0.9
	-219.79	-239.79	305	83	2	0.1
	-299.79	-339.79	355	67	16	0.4
	-379.79	-449.79	349	60	35	0.8
	-499.79	-539.79	347	55	23	0.5
HDB-8	50.05	-9.95	309	46	42	0.9
	-29.95	-39.95	318	65	4	0.1
	-79.95	-139.95	350	49	39	0.9
	-239.95	-249.95	13	56	6	0.2

29 fracture zones are identified in 6 boreholes.

Characteristics of fracture zones in the boreholes

- **Width: several m - 100 m**
 - **Length: 0.1 – 2.0 km**
- Estimated by empirical equation proposed
by Vermilye and Scholtz (1998)**
- Width = $0.032 \times \text{Length}$**
- **Strike: NS-NE-EW direction**
 - **Dip: 45 – 90 degrees**
 - **Frequency: ca. 10 (n/km)**

Evaluation of estimation of fracture zone length

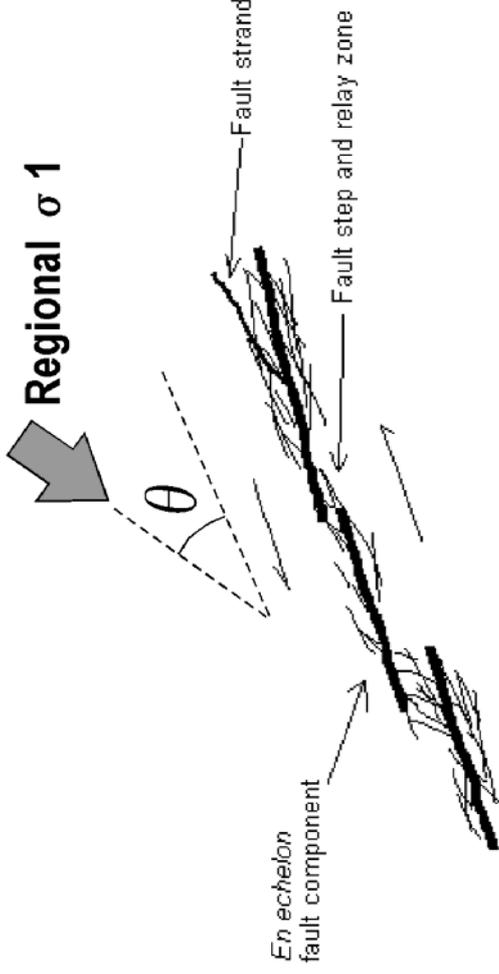
Length: 0.1 – 2.0 km

accords with the result proposed by Inoue *et al.*(1992) that a lineament length of a small-scale fault zone or the joint zone is below 3 km.

Evaluation of estimation of fracture zone strike

Strike: NS-NE-EW direction

accords with a direction ± 45 degrees perpendicular to a folding axis direction (about NE direction).



= 0-45 degrees

Regional σ_1 direction is perpendicular to folding axis direction.

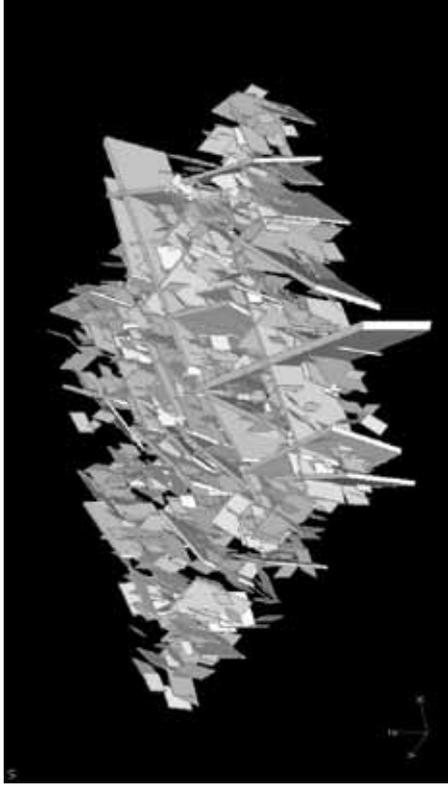
Characteristics of fracture zones in the study area

- Width: several m - 100 m
 - Length: 0.1 - 2.0 km
- Estimated by empirical equation proposed by Vermilye and Scholtz (1998)
- $$\text{Width} = 0.032 \times \text{Length}$$
- Strike: direction ± 45 degrees perpendicular to a folding axis direction (ie, NS-NE-EW direction)
 - Dip: 45 - 90 degrees
 - Frequency: ca. 10 (n/km)

Geological Structure Model

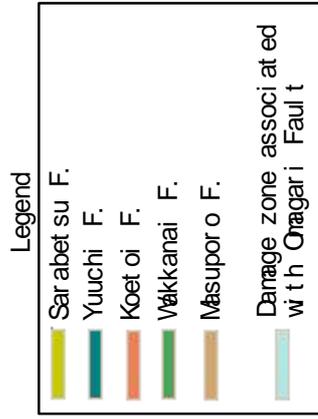


+



Geological formations with Omagari fault

Fracture zone network



Horonobe Underground Research Laboratory Project

**Modeling Study and Data Acquisition
for Safety Assessment Methodology**

Horonobe International Workshop
October 26, 2004

JNC Horonobe Underground Research Center
Koichiro Hatanaka

Outline of the Presentation

- Objectives
- Main characteristics of geological environment in Horonobe URL area
- Present activity on the study of performance assessment in Horonobe URL project
- Evaluation of geological data
- Hydraulic properties from in-situ and laboratory tests
- Transport properties from laboratory tests
- Conclusion
- Issues for the next step

Objectives of the Modeling Study on Performance Assessment in Horonobe

- (1) Understand characteristics of specific geological environment in the URL area in the view point of flow and transport**
- (2) Understand hydro-geological data obtained by in-situ and laboratory tests**
- (3) Develop conceptual models for groundwater flow and mass transport in the geological environment of the URL area**
- (4) Derive mathematical models based on the conceptual models**
- (5) Parameter setting, model calculation and performance assessment**
- (6) Establish the performance assessment methodology by iterating (1) – (5) at the stepwise investigations in the Horonobe URL project**

Main Characteristics of Geological Environment in the URL area

During the surface-based investigations so far, the URL area is mainly characterized as follows in the view point of flow and transport.

- Sedimentary soft rock**
- Omagari fault**
- Many fractures**
- Saline type groundwater in deep underground**
- Excess pore water pressure in some locations**
- Dissolved methane gas in groundwater**

Present Activity on the Study of Performance Assessment in Horonobe URL project

In the viewpoint of flow and transport, following research activities are in progress.

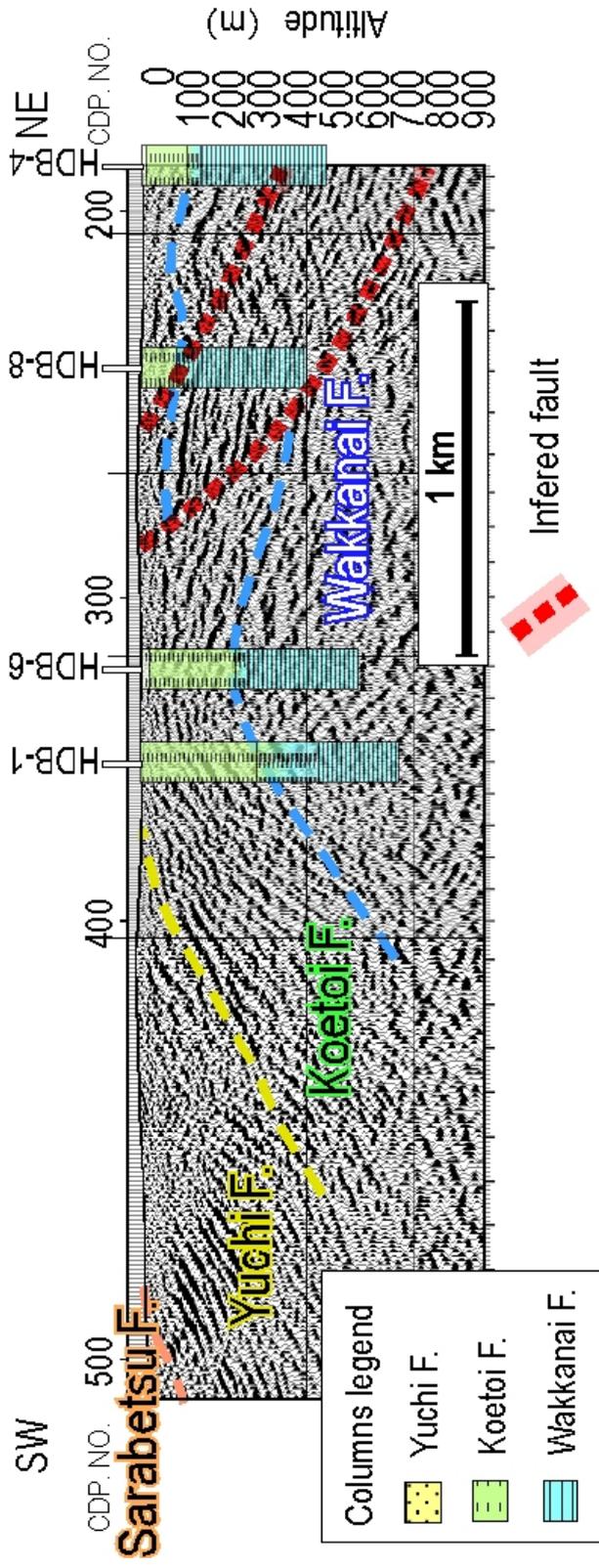
- Evaluation of geological data to characterize the water-conducting features in the URL area**
- Modeling of geological structure**
- Data acquisition for properties of flow and transport**
- Discussion for the key issues to be resolved**

Evaluation of Geological Data to Characterize the Water-conducting Features in the URL Area

- **Omagari fault is inferred to exist in the URL area and to act as a major water-conducting feature**
- **In both Koetoi Formation and Wakkanai Formation, many fractures generated by folding and faulting expected to exist**
- **Portion of these fractures are closely distributing and forming fracture zones**
- **Fractures and fracture zones as water-conducting features are identified by comparing the locations with data from flow loggings and hydraulic tests.**
- **Saline type groundwater is observed in deep underground in the URL area**

Estimated Geological Structure in the URL area

- Geological structure is updated based on information from geological investigations



Characteristics of Omagari Fault

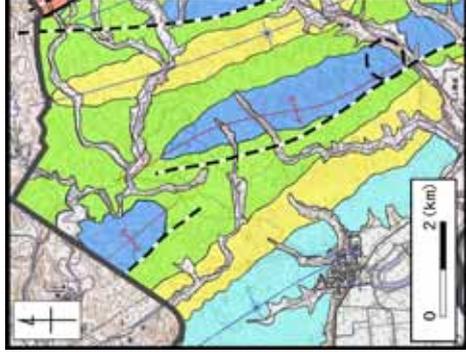
- **Fault core width : >10 cm**
- **Damage zone width : >200-300 m**
- **Fault length : >25 km**
- **Strike : NNW-SSE direction**
- **Sense : Reverse fault with left-lateral strike-slip component**
- **Permeability : Qualitatively high water-conductive**

Characteristics of Fractures

- **Fractures found in the Koetoi Formation and the Wakkanai Formation in the URL area can be divided into two type of fractures.**
- **Type 1 :**
 - **Fractures crossing the bedding plane at a high angle**
 - **Generated by strike-slip faulting**
 - **Closely distributing and forming fractured zone**
 - **Crashed filling materials and striation in the fractures**
- **Type 2 :**
 - **Fractures parallel to the bedding plane**
 - **Generated by flexural slip folding**

Outcrop observation of Fractures

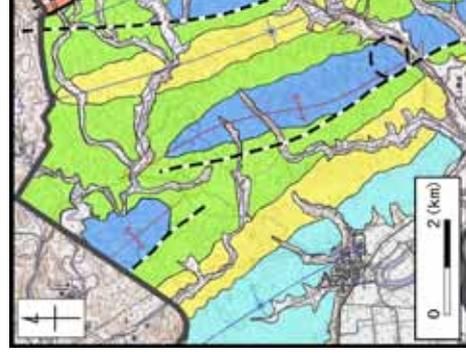
- Type 1 fractures



Location of the outcrop

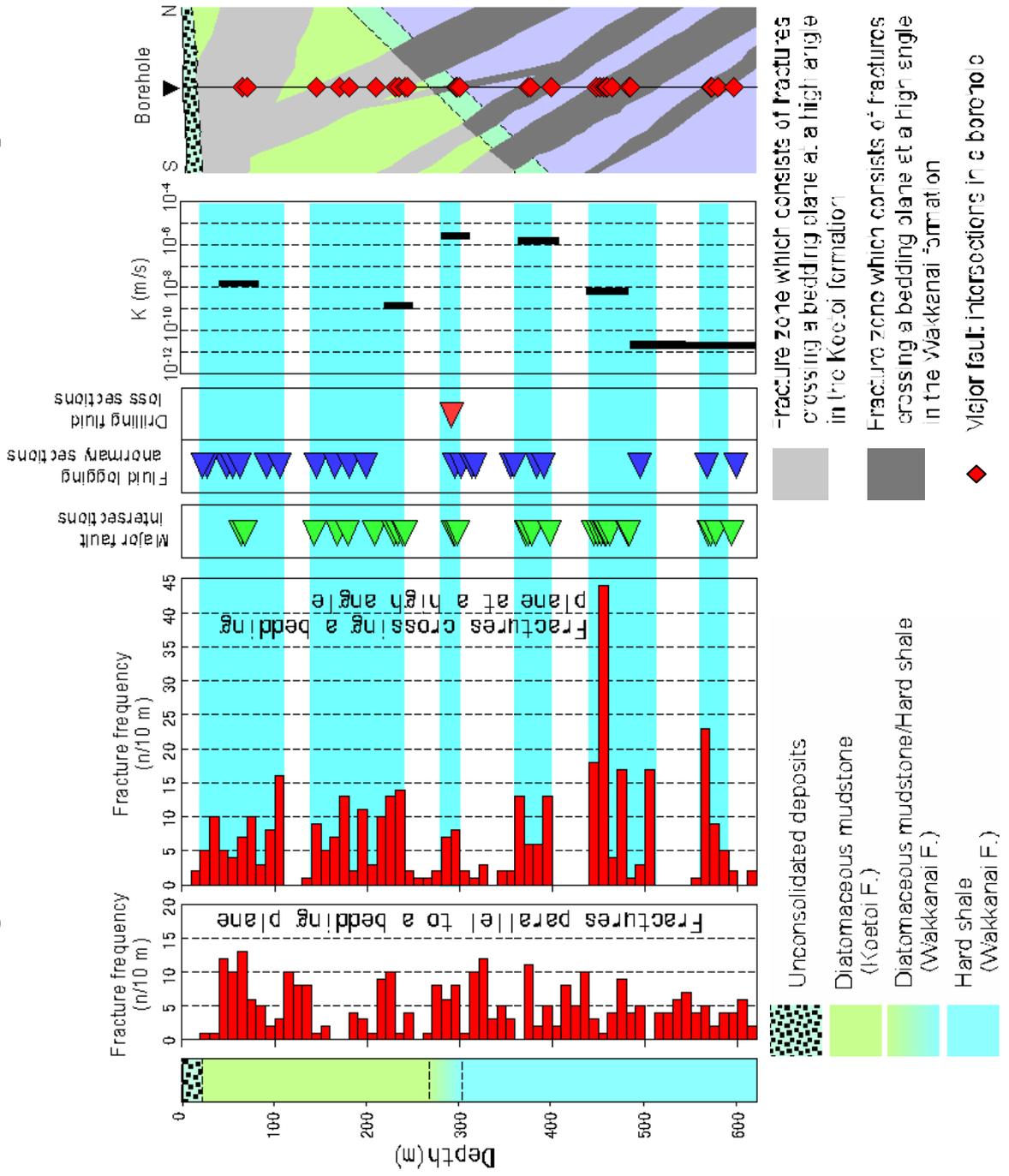
Outcrop observation of Fractures

- Type 2 fractures



Location of the outcrop

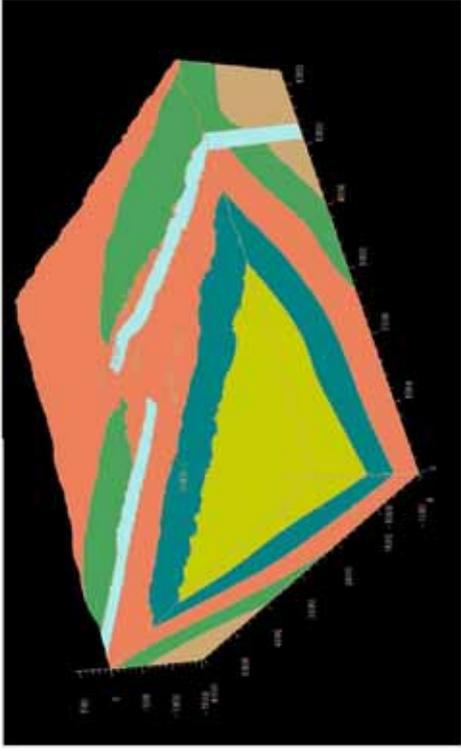
Fractures Measured by Borehole Geophysical Explorations (HDB-6)



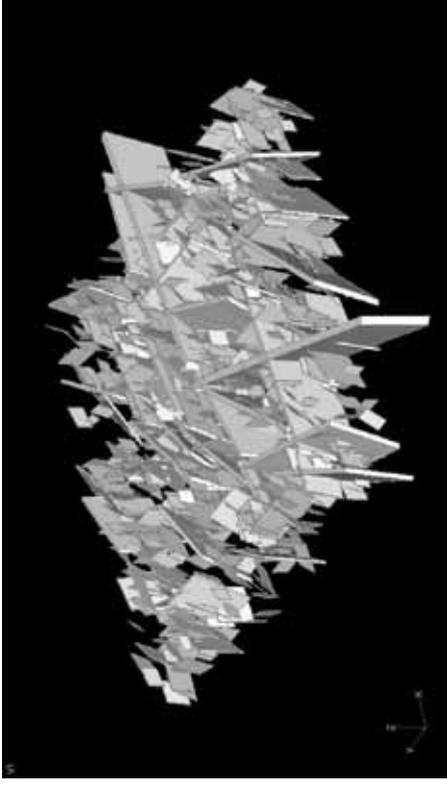
Characteristics of Fracture Zones

- Formed by closely distributed Type 1 fractures
- In total, 29 fracture zones are identified from investigations of 6 boreholes in the URL area
- Width: several m - 100 m
- Length: 0.1 – 2.0 km
- Width = 0.032 x Length (Vermilye and Scholtz (1998))
- Strike: NS-NE-EW direction
- Dip: 45 – 90 degrees
- Frequency: ca. 10 (n/km)

3-D Model of Geological Structure in the URL Area



+



Geological formations with Omagari fault



Fractured zone network



Legend

- Surface
- Yuuchi F.
- Sarabetu F.
- Ohmagari F.
- Koetoi F.
- Wakkanai F.
- Masuhoro F.

Properties of Flow and Transport in Water-conducting Features

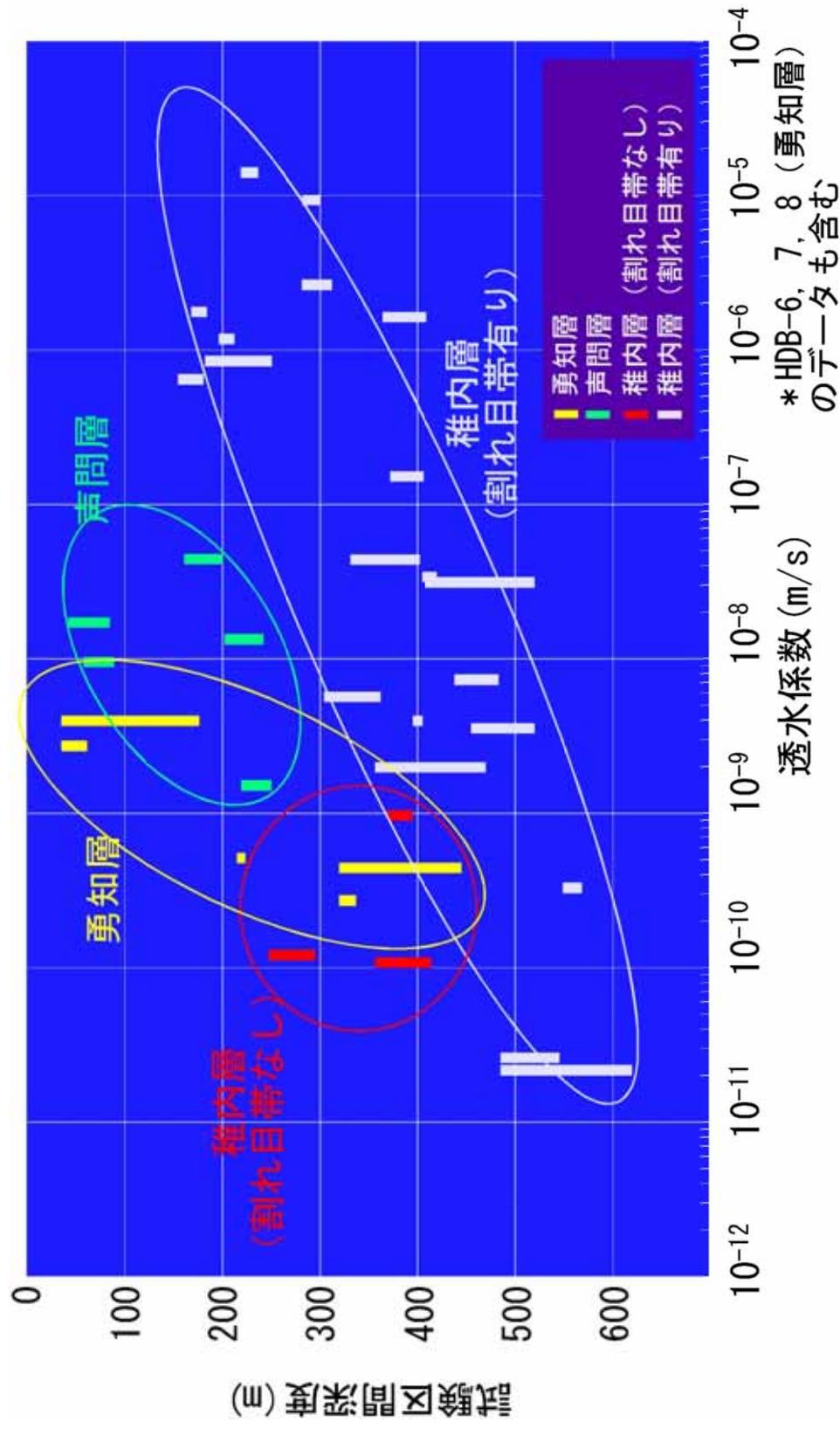
- **By conducting geological investigations, following possible water-conducting features were identified.**
 - **Omagari Fault**
 - **Type 1 fractures**
 - **Type 2 fractures**
 - **Fracture zones**
- **To understand properties of flow and transport in these water-conducting features, in-situ and laboratory tests using rock core samples were conducted.**
- **In addition, laboratory tests using intact rock samples were also conducted**

Flow properties obtained from in-situ and laboratory tests

- **By conducting in-situ hydraulic tests and laboratory tests using rock core samples, hydraulic conductivities were measured.**

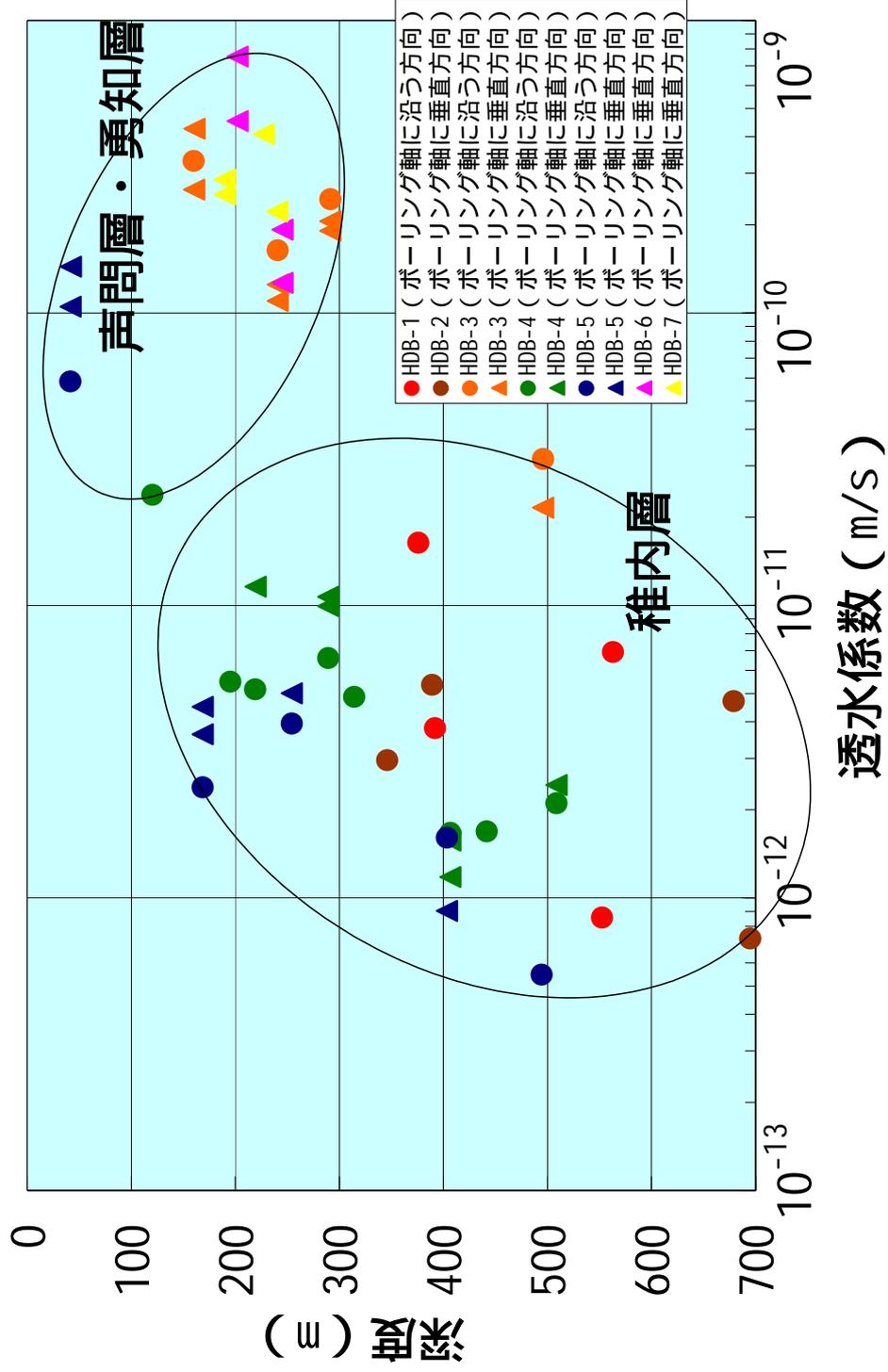
Hydraulic Conductivity obtained by In-situ Hydraulic Test

- Koetoi Formation : 10^{-9} – 10^{-7} m/s
- Wakkanai Formation : 10^{-11} – 10^{-5} m/s



Hydraulic Conductivity Obtained by Laboratory Tests Using Intact Core

- Koetoi Formation : 10^{-11} – 10^{-10} m/s
- Wakkanai Formation : 10^{-12} – 10^{-11} m/s

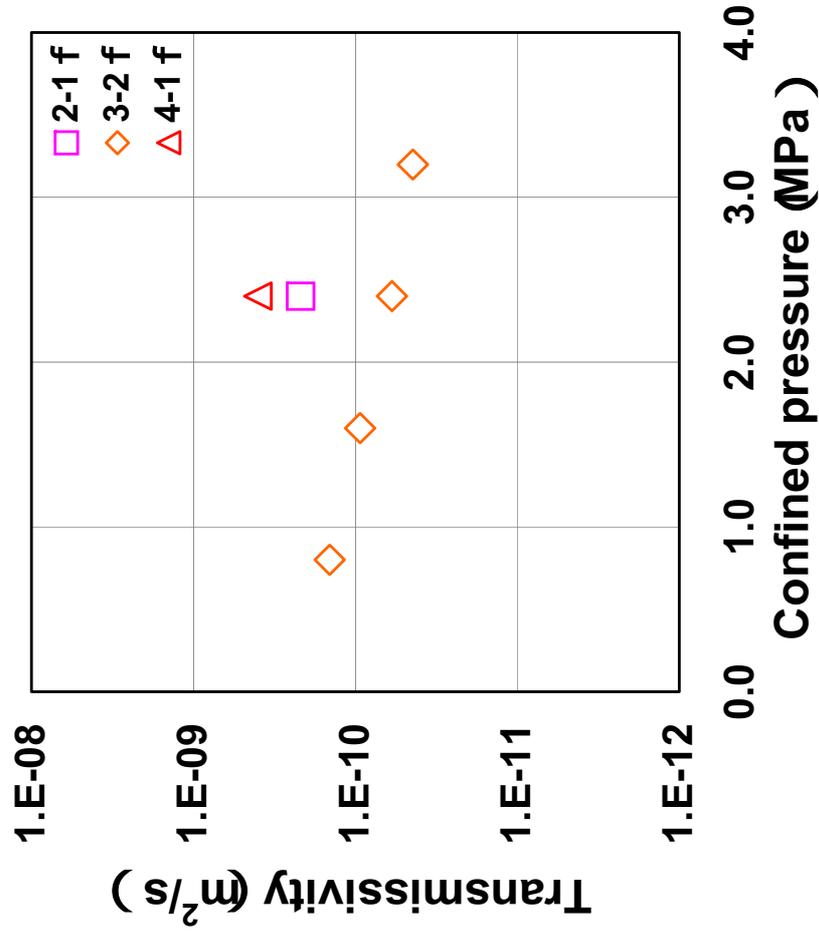


Transport Properties Obtained from Laboratory Tests

- **By using core with single fracture of Type 2 and intact core in the laboratory tests, following transport properties were obtained.**
 - **Properties on single fracture of Type 2**
 - Transmissivity**
 - Hydraulic aperture**
 - Transport aperture**
 - Dispersivity**
 - **Properties on Intact sedimentary rock**
 - Effective diffusion coefficients**
 - Effective porosity**
 - Distribution coefficient**
 - Other basic properties**

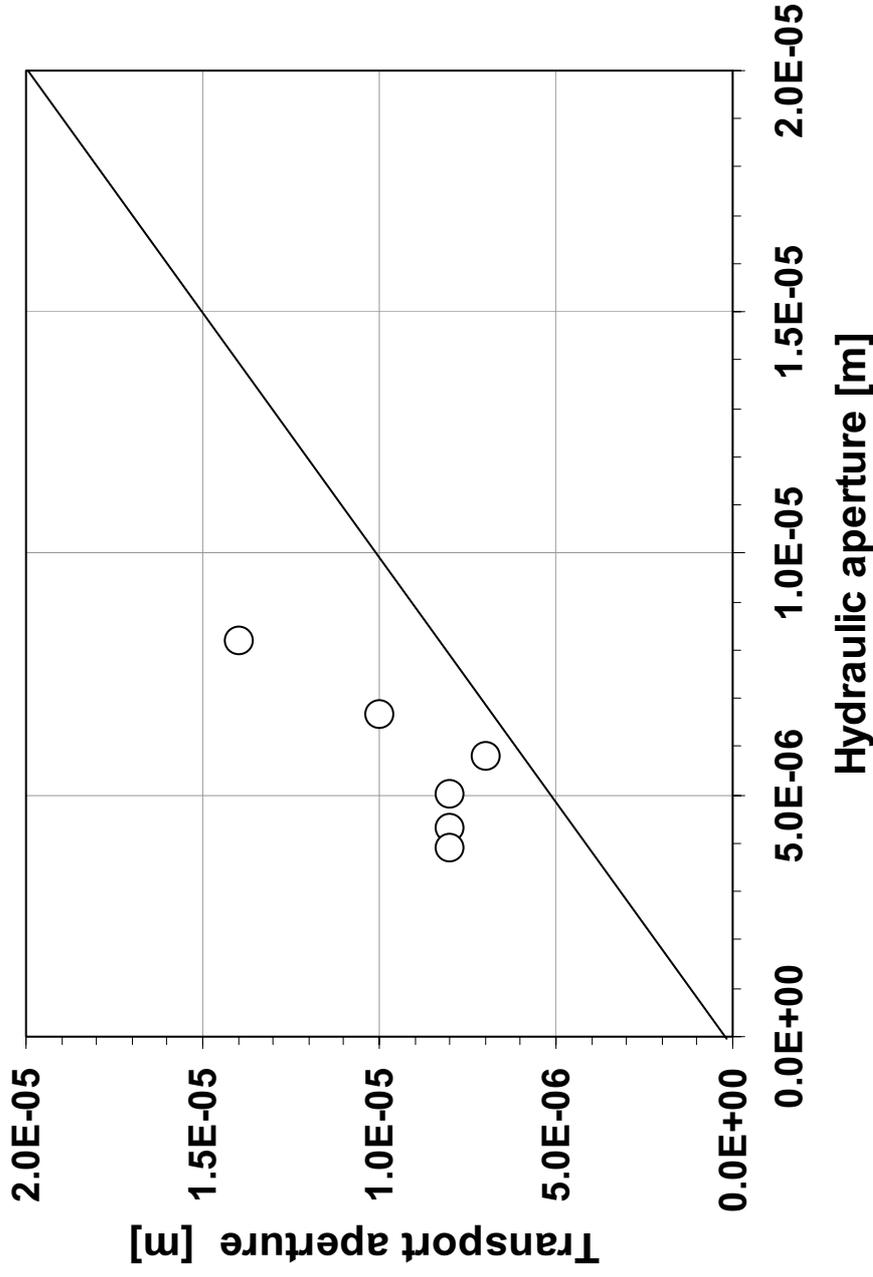
Transmissivity

- Transmissivity of Type 2 fracture decrease as confined pressure increase due to closing aperture.



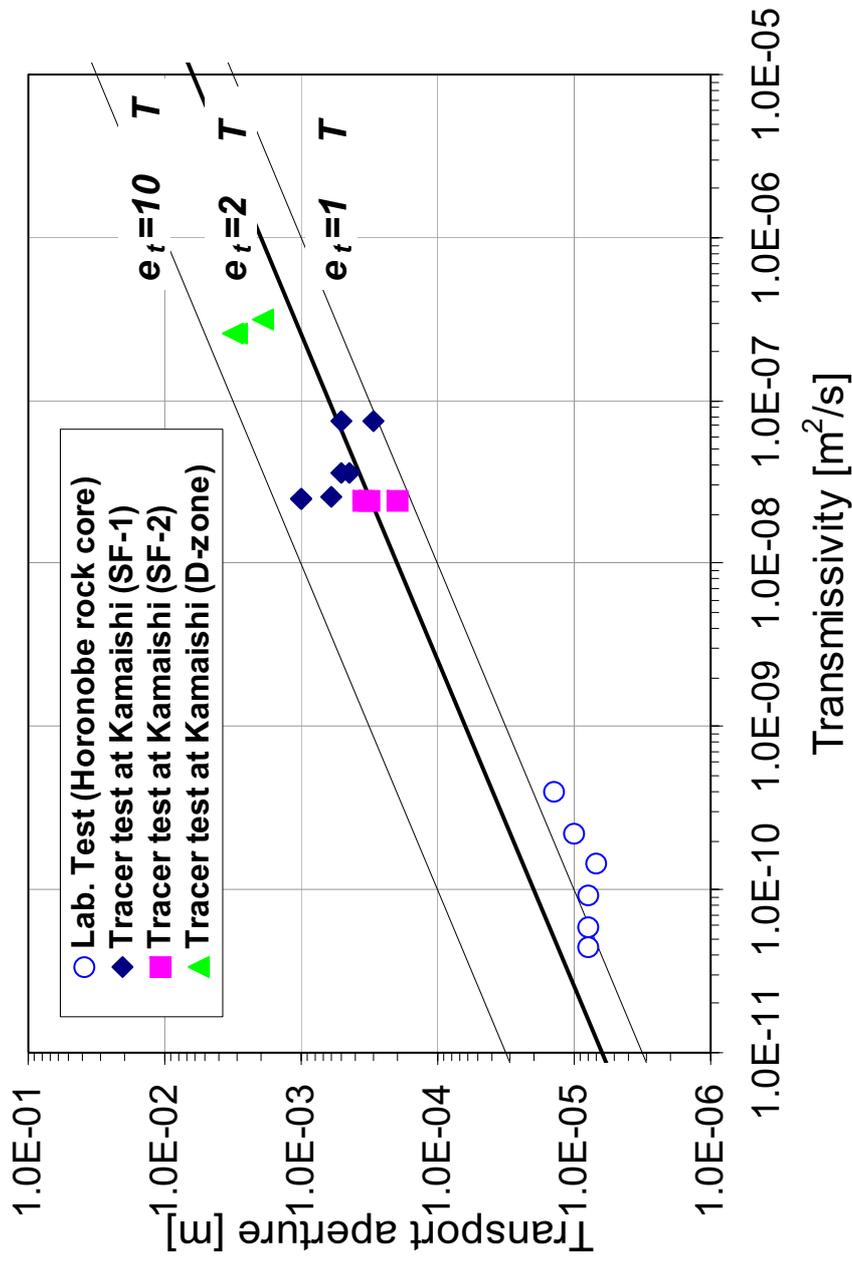
Relationship between hydraulic and transport apertures

- Transport aperture is several factors of magnitude larger than hydraulic aperture.



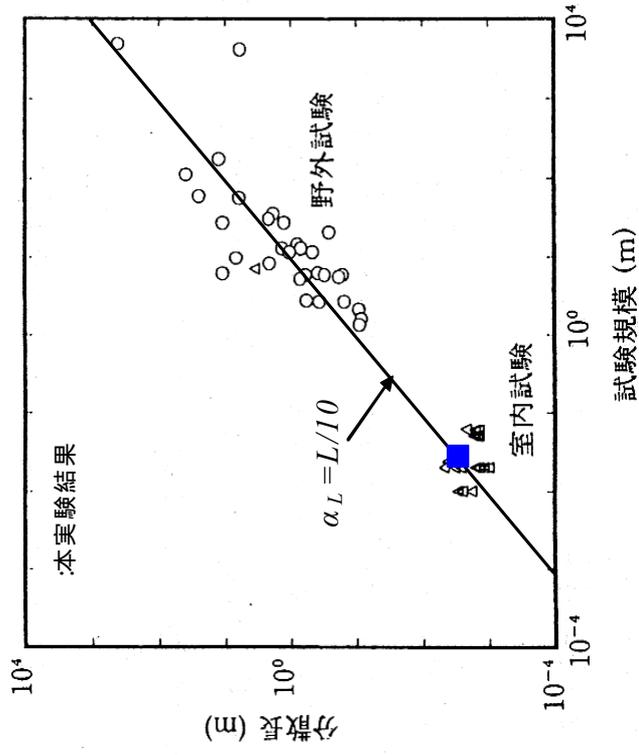
Relationship between Transmissivity and transport aperture

- The results obtained by the laboratory tests using rock cores in Horonobe are consistent with the results by in-situ tracer tests in Kamaishi.



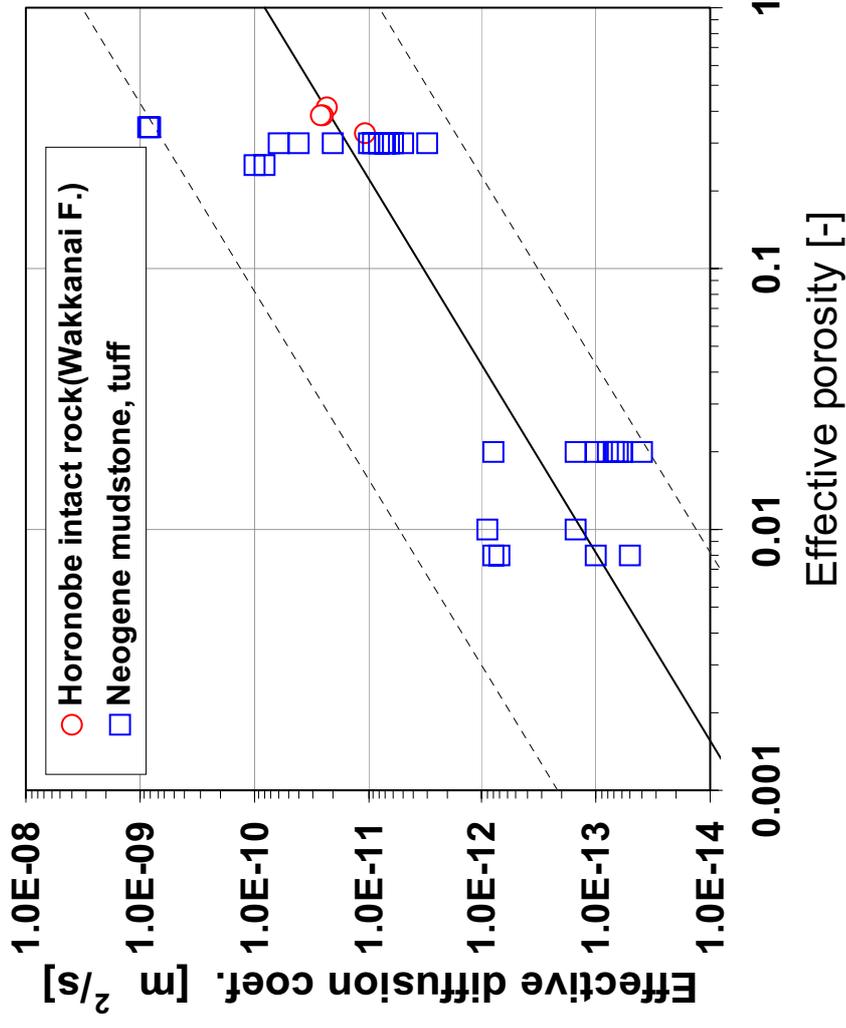
Relationship between dispersivity and test scale

- Dispersivity obtained in the laboratory tests are consistent with that obtained by field tests. (Shindo et al., 1995)



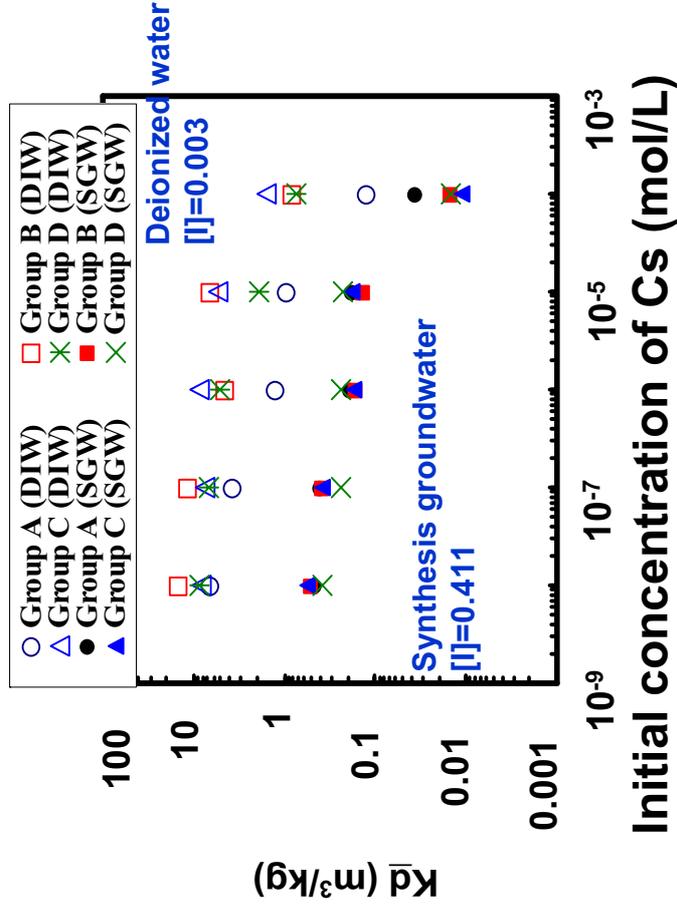
Relationship between diffusion coefficient and porosity

- The effective diffusion coefficient of intact sedimentary rock in Horonobe is consistent with existing data.



Cs sorption onto Sedimentary Rock under Saline Type Groundwater Condition

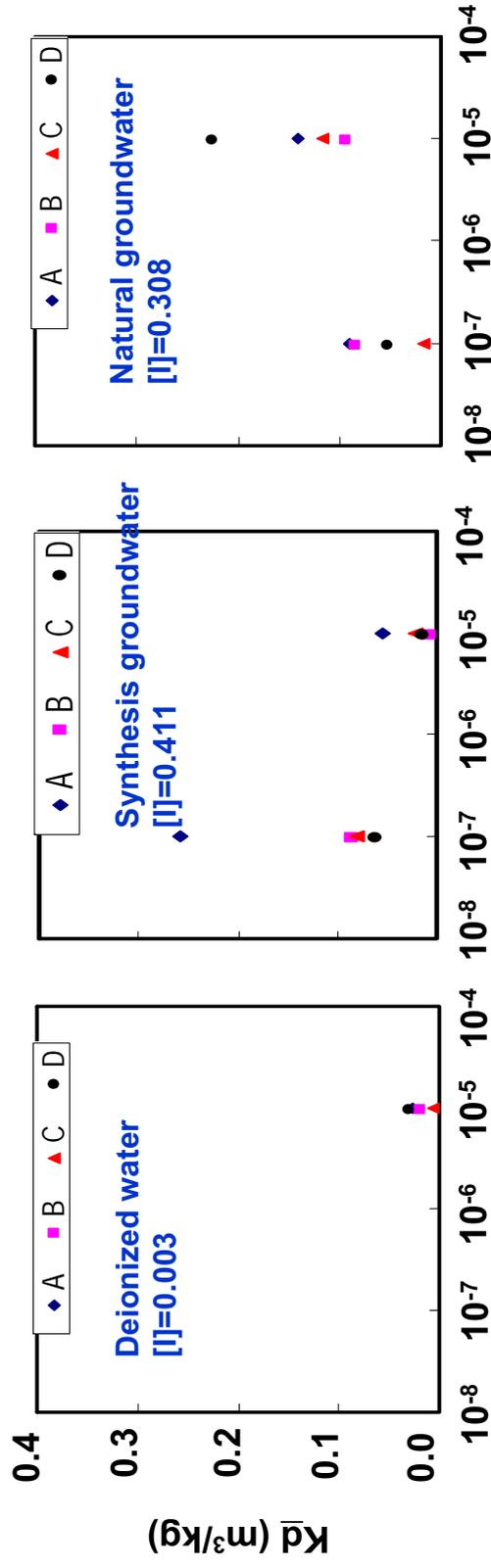
Relation between the initial concentration of Cs and sorption coefficient (Kd)



In case of Cs, Kd's using deionized water are one order of magnitude larger than those using synthesized saline type groundwater and natural groundwater.

Se sorption onto Sedimentary Rock under Saline Type Groundwater Condition

Relation between the initial concentration of Se and sorption coefficient (K_d)



Initial concentration of Se (mol/L)

In case of Se, K_d 's using synthesized saline groundwater and natural groundwater were several factors of magnitude larger than those of K_d 's using deionized water.

Conclusion

- **Based on the present understanding of geological features in the URL area, geological structure model in the stage of surface-based investigation phase was developed.**
- **Possible water-conducting features were identified by geological investigations.**
 - **Omagari Fault**
 - **Type 1 fractures**
 - **Type 2 fractures**
 - **Fracture zones with Type 1 fractures**
- **By conducting in-situ and laboratory tests, basic parameters of flow and transport in the water-conducting features and the intact rock were obtained and evaluated.**

Issues for the next step

- **Conceptual and mathematical modeling of flow and transport through the water-conducting features and the surrounding rocks**
- **Data setting for PA calculation**
- **Trial of PA calculation, clarification of issues and the improvement of present PA approach**
- **Continuation of data acquisition for basic properties of flow and mass transport**
- **Alternative modeling such as excess pore water pressure, caprock structure, density driven flow, etc. and evaluation of these influences to flow and transport**

Horonobe Underground Research Laboratory Project

**Key Issues for Disposal Technologies
at the Surface-based Investigations
(Phase-1)**

Horonobe International Workshop

October 26, 2004

***JNC Horonobe Underground Research Center
Koichiro Hatanaka***

Outline of the Presentation

- **Objectives of R&D for Disposal Technologies in the Horonobe URL Project**
- **Overview of geological environment in the URL area**
- **Characteristics of geological environment in the URL area**
- **Key issues for the disposal technology under the characteristics**
- **Progress of R&D of the disposal technology in Phase 1**
- **Plans for in-situ experiments in Phase 2 and 3 to resolve the key issues**
- **Conclusion**

Objectives of R&D for Disposal Technologies in the Horonobe URL Project

Based on the characteristics of geological environment in the URL area,

- **Design underground facilities and in-situ experiments related to EBS**
- **Apply present engineering technology and evaluate the reliability**
- **Understand important processes by conducting in-situ experiments**
- **And demonstrate reliability of the disposal technology in specific geological environment in the URL area**

Overview of geological environment in the URL area

- The Wakkainai Formation and the Koetoi Formation are mainly distributed.
- The Koetoi Formation is composed of diatomaceous mudstone, σ_1 is several - 10 MPa and K is 10^{-9} - 10^{-7} m/s.
- The Wakkainai Formation is composed of hard shale, σ_1 is 10 - 20 MPa and K is 10^{-11} - 10^{-5} m/s.
- Saline groundwater is observed in deep underground.
- Many fractures are observed in outcrop and borehole investigations.
- Methane generation is observed.

Main Characteristics in Horonobe URL study area

Geological environment in the URL area is mainly characterized as follows, in the view point of disposal technology.

- Sedimentary soft rock**
- Many fractures**
- Saline type groundwater in deep underground**
- Methane gas generation**

Based on these characteristics, key issues related to designs of underground facilities, EBS, and in-situ experiments were picked up and classified.

Key Issues for Sedimentary Soft Rock

- **Mechanical stability of cavern**
- **Creep of rock/buffer**
- **Concrete support**
- **Low alkaline concrete**
- **Thermal, hydrologic, mechanical and chemical (THMC) coupling processes**
- **EBS emplacement**
- **Sealing of cavern**

Key Issues for Saline Type Groundwater

- **Corrosion behavior of overpack**
- **Gas migration**
- **Swelling and sealing of buffer material and backfill material**
- **THMC coupling processes**

Key Issues for Methane Gas Generation

- **Construction method considering methane gas**

Progress of On-going Study related to The Key Issues

- **To resolve the key issues on sedimentary soft rock, many fractures and saline groundwater, laboratory experiments to obtain basic data are conducted as R&D of disposal technology.**
- **Concerning the key issue on methane gas generation during the construction, the countermeasure is considered in designing the URL facilities.**

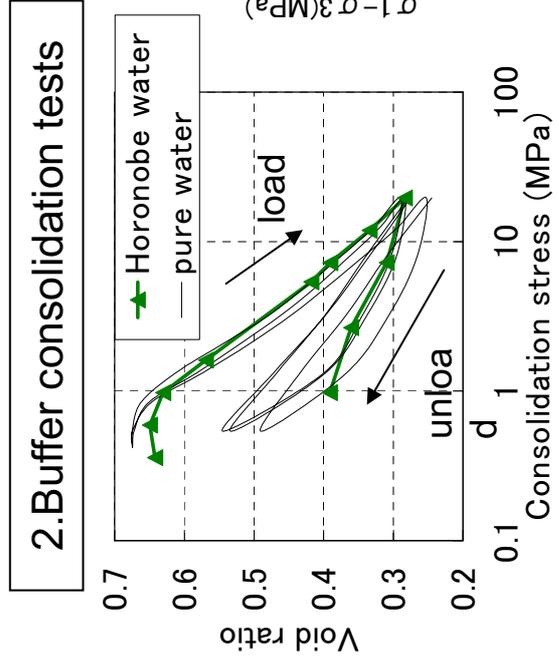
Status for Study on Mechanical Stability of the Underground Cavern

- **Present activity**
 - **Re-evaluation of input parameters for the mechanical stability analysis including new information from borehole investigation in HDB-6**
 - **Detailed mechanical stability analysis by elasto-perfect plastic and stain-softening model for the shafts and galleries**
- **Obtained results**
 - **Re-evaluated dataset for mechanical stability of shafts and galleries is almost fixed.**
 - **Detailed mechanical stability analysis by elasto-perfect plastic and stain-softening model for the shafts and galleries are still going on.**

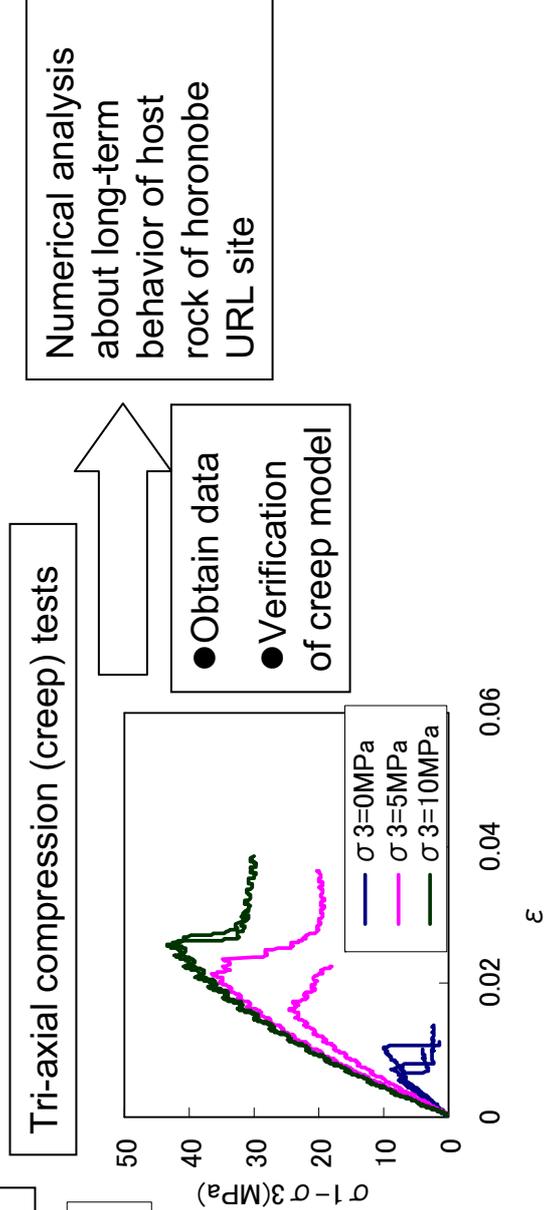
Status for Study on Creep of Rock / Buffer

- **Present activity**
 1. Development of the model coupling mechanical behavior of rock/buffer
 2. Clarification of the basic mechanical behavior of buffer material under Horonobe geochemical condition by laboratory tests
 3. Evaluation of creep behavior and EDZ of host rock near a deposition hole affected by overburden pressure
 4. Verification of the Influence of heat and dry-wet process on progress of rock creep behavior

- **Obtained results**



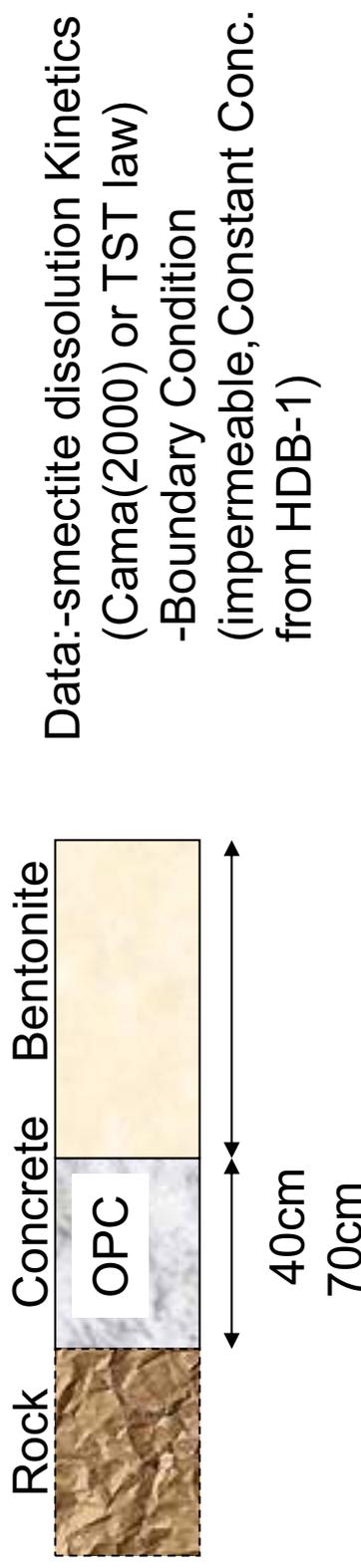
3.Rock creep behavior



Status for Study on High-pH Plume Effects on Rock/Bentonite Alteration by Cement Material

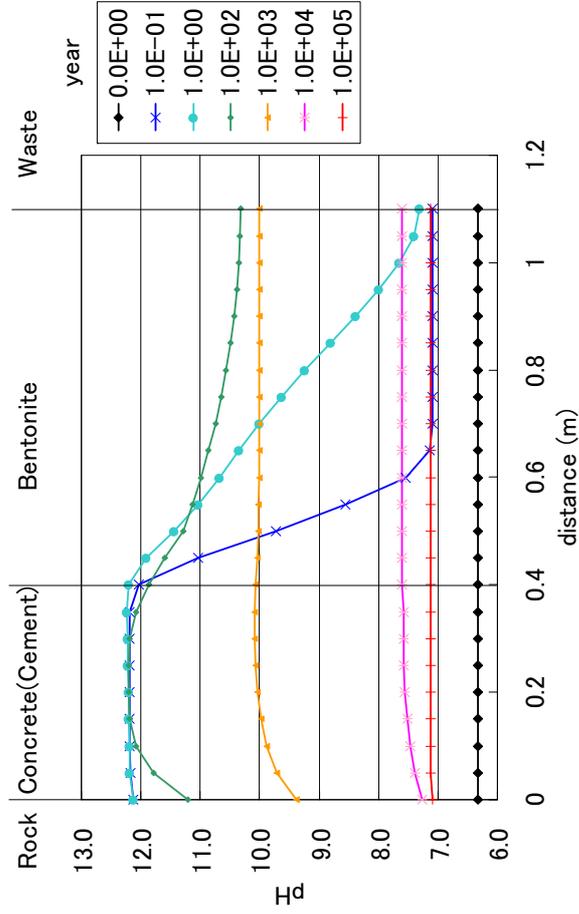
- Present activity
 - Laboratory Experiments/Database Development
 - Laboratory Experiments
 - Smectite (Major Component of Bentonite) Dissolution Rate
 - Rock Alteration Behavior of the GMT Site (A part of HPF Project)
 - Geochemical Database Development
 - Thermodynamic Data for Cement, CHS Minerals and Zeolite
 - Kinetic Data for Smectite and Rock Forming Minerals

Preliminary Modeling of Bentonite Alteration under Horonobe Groundwater Chemistry

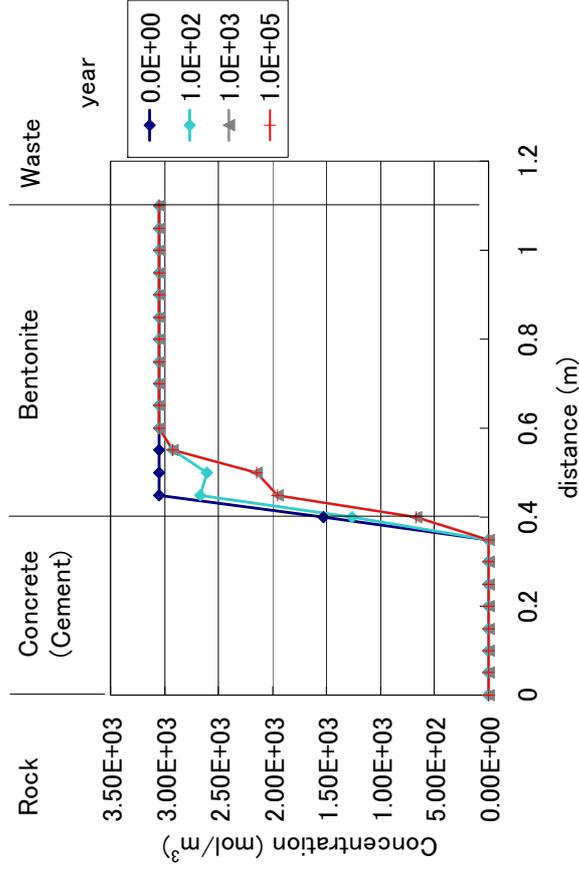


- **Obtained results**

Modeling Results of pH/Smectite Mass Evolution (TST law, Constant Conc. from HDB-1)



(a) pH Evolution



(b) Smectite Mass Evolution

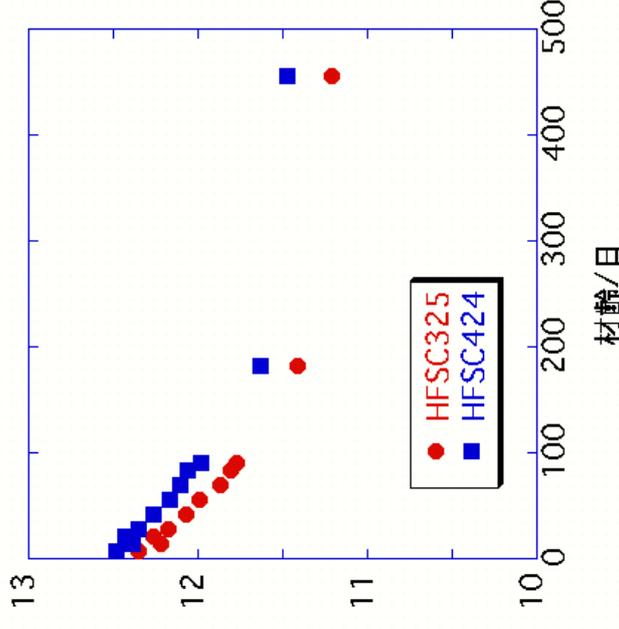
Status for Development of Low Alkaline Cement (HFSC*)

*High Flyash contained Silicafume Cement

- **Requirements for Low Alkaline Cement**
 - Low pH value
 - Constructability (for shotcrete, grout etc.)
 - Quality (compressive strength, durability)

- **Obtained results**

- pH value: model to describe decrease in pH value is developed
- Constructability: practical, but not in the same way as normal cement (OPC)
- Compressive strength: seems high enough; but scattering caused by FA has to be considered
- Re-bar corrosion: has to be evaluated of the durability, or use other materials than steel



Status for Research on the Evaluation of a Coupled THMC Processes

- **Present activity**
 - Development of the coupled THMC model
 - Validation of code through laboratory experiments (COUPLE) and the benchmark test (DECOVALEX-THMC)
- **Obtained results**
 - Understand and assess the long-term performance of the near-field of a HLW repository through numerical experiments on the coupled T-H-M-C processes
 - Predict by the coupled THMC model;
 - Near-field chemistry for overpack corrosion and radionuclide migration
 - Near-field long-term integrity by chemical degradation

Status for Emplacement Test of Engineered-Barriers

- **Present activity**

Engineered barrier system (buffer, waste package) is installed in the space of a repository using the remote control technique. Block type buffer installation technique has the problem on the effects of the gaps between blocks until the swollen blocks fill them.

- Assessment of barrier performance of block type buffer material focused on gap effects.
- Assessment of corrosion behavior of waste package (carbon steel) under heterogeneity of water content or porewater chemistry in buffer material around a gap between the buffer material blocks.

- **Obtained results**

- Understand and assess the barrier performance on the gap effects based on laboratory studies.

Status for Study on Corrosion of Overpack

- **Material Selection among Candidate Materials (Carbon Steel, Titanium, Copper) :**

Carbon Steel

- 1) **Expected to have enough corrosion resistance in Horonobe groundwater environment (Table-1)**
 - No localized corrosion
 - Predictable general corrosion depth
- 2) **Good manufacturability**
 - Good weldability
 - Simple and economic design
 - Sufficient experience of manufacturing as structural material

Table-1 Example of Horonobe Groundwater Composition(HDB-3)

Component	Conc. (mg/l)
Na ⁺	6900
K ⁺	320
Li ⁺	22
Ca ²⁺	220
Mg ²⁺	210
Cl ⁻	11600
SO ₄ ²⁻	38
HCO ₃ ⁻	2463
pH	~7

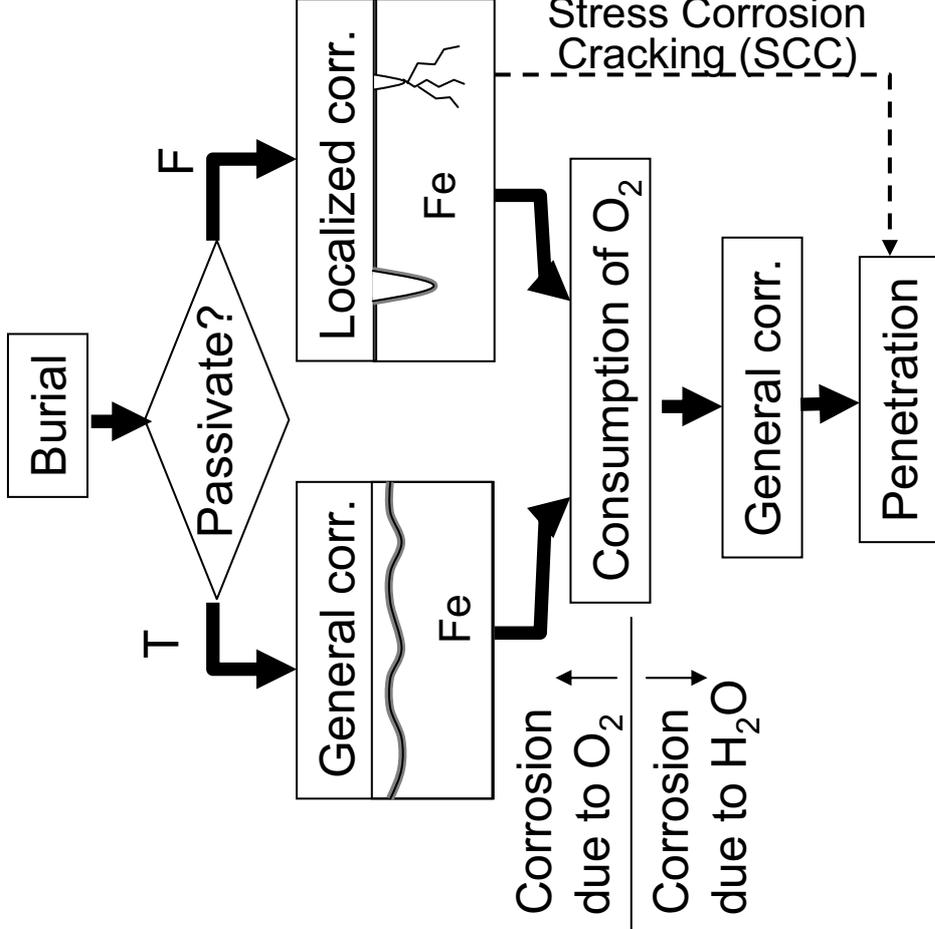
Status for Study on Corrosion of Overpack

- Present activity

Material : **Carbon Steel**

Study Item:

- (1) Corrosion Type
(General Corrosion or Localized Corrosion ?)
- (2) Corrosion Depth due to O_2
- (3) Corrosion Depth due to H_2O
- (4) Stress Corrosion Cracking Susceptibility



Corrosion Scenario for Carbon Steel Overpack

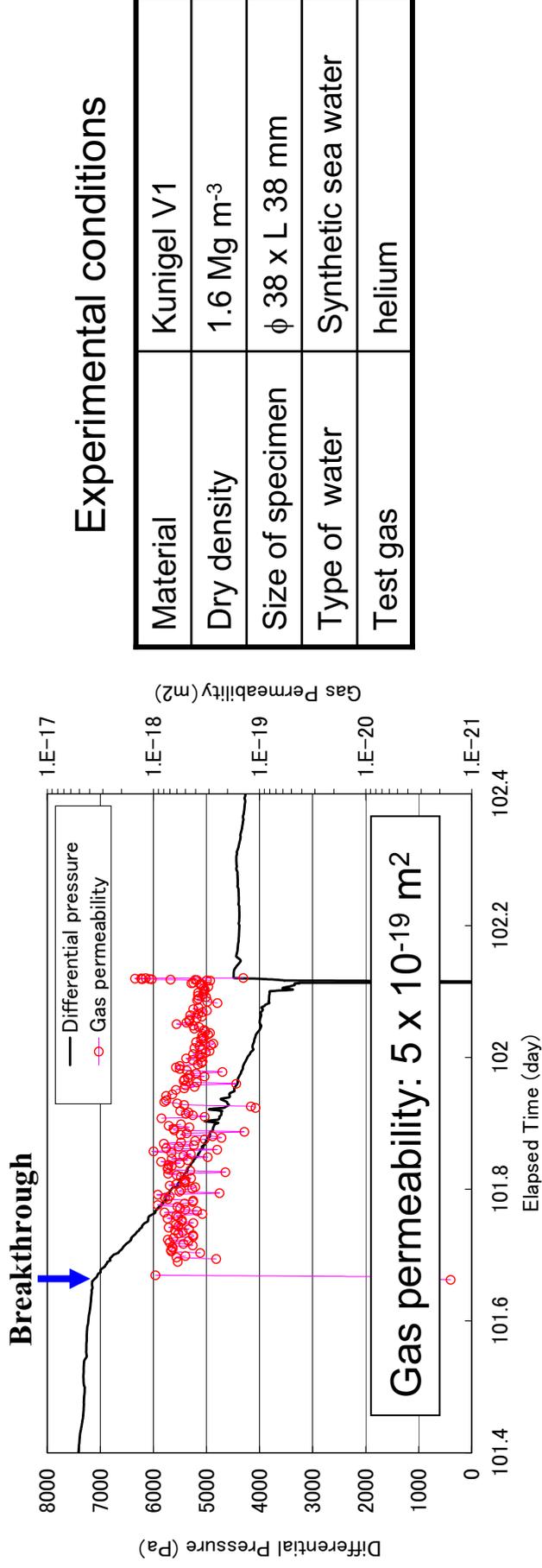
- Obtained results

Experiments are in progress, or in planning

Status for Gas Migration Study

- **Present activity**
 - To obtain the fundamental properties such as gas permeability, breakthrough pressure, etc. for bentonite and bentonite/sand mixtures material under the sea water and Horonobe ground water condition.
 - To develop the gas migration model

- **Obtained results**



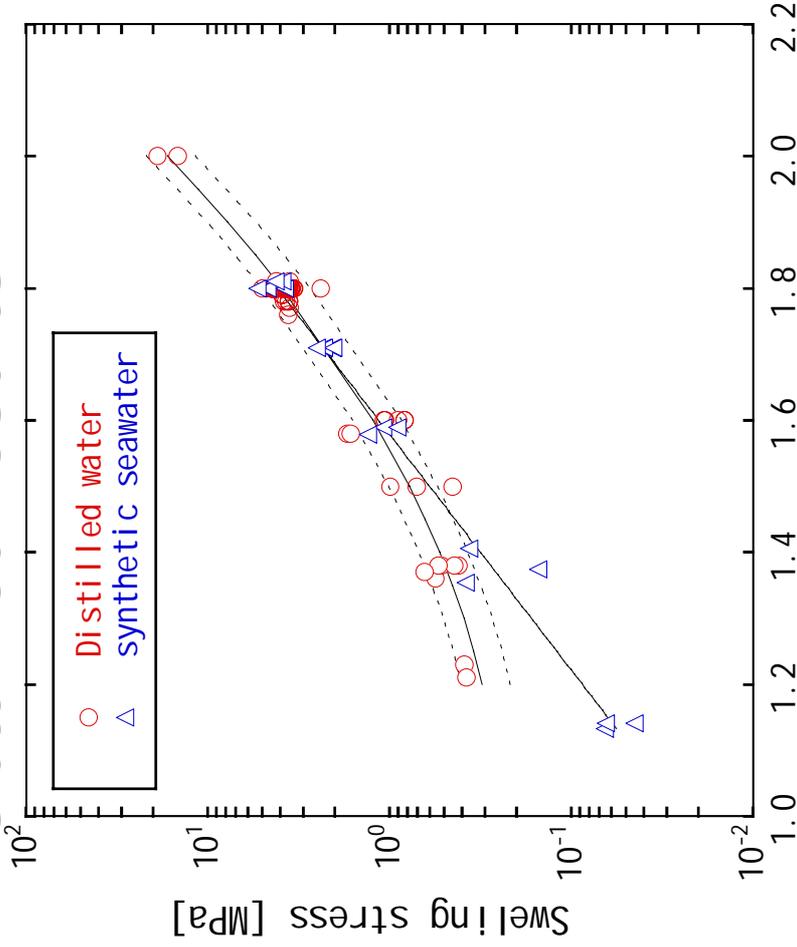
Experimental results

Status for Study on Swelling Property of Buffer Material

- Present activity

The swelling pressure was measured to examine the swelling property of the bentonite/sand mixture material under the synthetic seawater condition and Horonobe ground water(HDB-6).

- Obtained results



Effective clay density [Mg/m³]

Swelling stress as a function of effective clay density

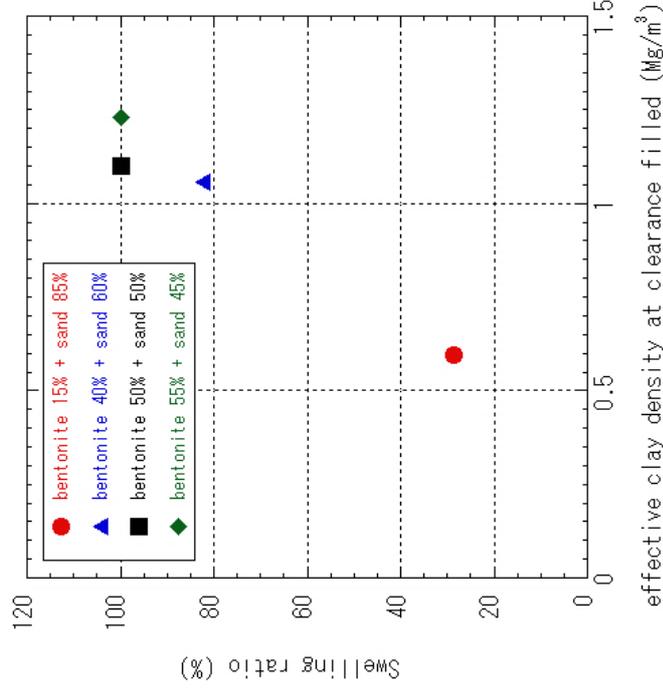
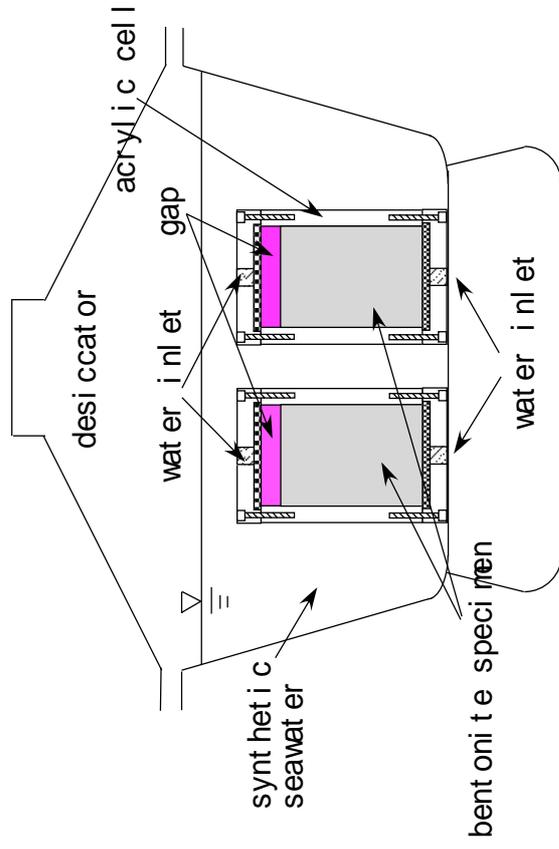
This Figure shows the relationship between the swelling stress and the effective clay density. It is clear that as the effective clay density increases, the swelling stress increases. The swelling stress, under synthetic seawater condition, is similar to that under distilled condition used. The relationship between the swelling stress (σ) and the effective clay density (ρ) can be expressed by the following;

- distilled water:
 $\sigma = \exp(3.8497\rho^2 - 7.333\rho + 2.0856)$
- synthetic seawater;
 $\sigma = 3.7952 \times 10^{-5} \exp(6.4482\rho)$

Status for Study on Self-sealing Performance of backfill material

- **Present activity**

The swelling ratio was measured to examine the self-sealing performance of the bentonite/sand mixture material under the synthetic seawater condition and Horonobe ground water(HDB-6).



- **Obtained results**

Swelling ratio as a function of Effective clay density

In synthetic seawater, 50% and more bentonite was required to fill the clearance.

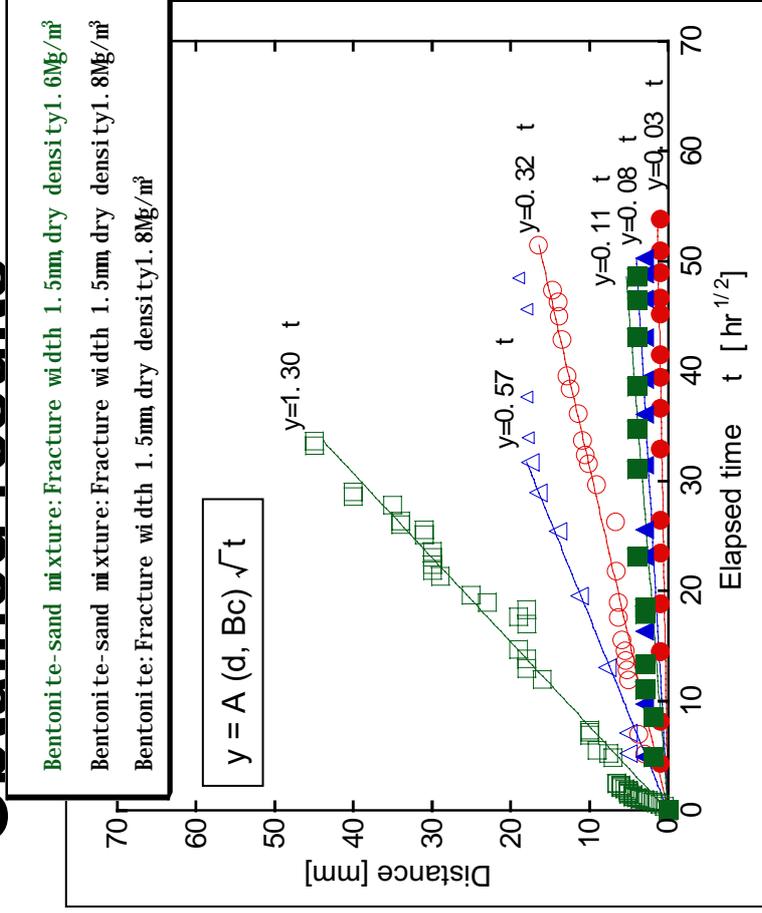
The synthetic seawater examination, the basic clearance filling curve was obtained.

Status for Study on Extrusion Behavior of Buffer Material

- **Present activity**

The objective of extrusion experiment is to obtain the relationship between bentonite gel front and time, and density distribution of bentonite into fractures, to evaluate density change of the buffer due to extrusion into fractures.

- **Obtained results**



Distilled water and Synthetic seawater

- Extrusion distance proportional to square root of time.

- Extrusion velocity under distilled water condition depends on crack widths and bentonite contents.

- The relationship between bentonite gel front and time under synthetic seawater condition is small than distilled water condition.
 ⇒ not likely significant under sea water condition.

Plan for In-situ Experiments in Phase 2 & 3

- **By taking basic data related to key issues into consideration, outline of the in-situ experiments in Phase 2 & 3 are discussed and planned.**

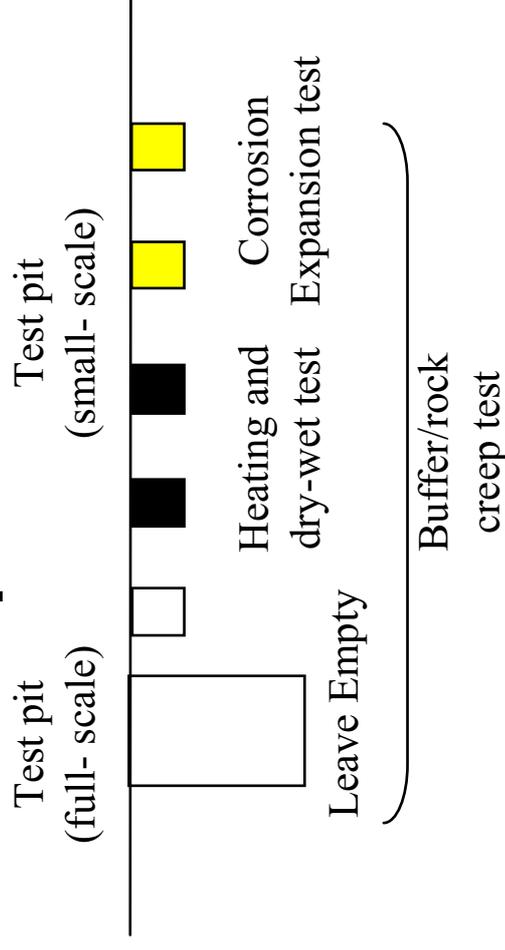
Planning In-situ Experiment on Mechanical Stability of the Underground Cavern

- **Objectives**
 - To establish the methodology for the design of underground cave on sedimentary rock
 - To demonstrate the technology of the excavation
- **Outline of the experiments**
 - Realistic support design of underground cavern on soft sedimentary rock based on the data from borehole investigations
 - Demonstration of excavation technique etc. by URL construction

Planning In-situ Experiment on Creep of Rock / Buffer

- **Objectives**
 1. To Verify Creep Models
 2. To Verify the Inhibitive Effect on Rock's Creep Deformation with Buffer and the Degree of Decrease in Buffer Thickness Brought by Rock Creep
 3. To Verify the Stress on Overpack Affected by Deformation of Rock and Buffer
 4. To Evaluate the Deformation of Rock and Buffer Occurred by the Corrosion Expansion of Overpack
 5. To Verify the Creep Behavior and the EDZ of Host Rock near a Deposition Hole Affected by Overburden Pressure (Considering the Influence of Heat and Dry-Wet Process)

- **Outline of the experiments**

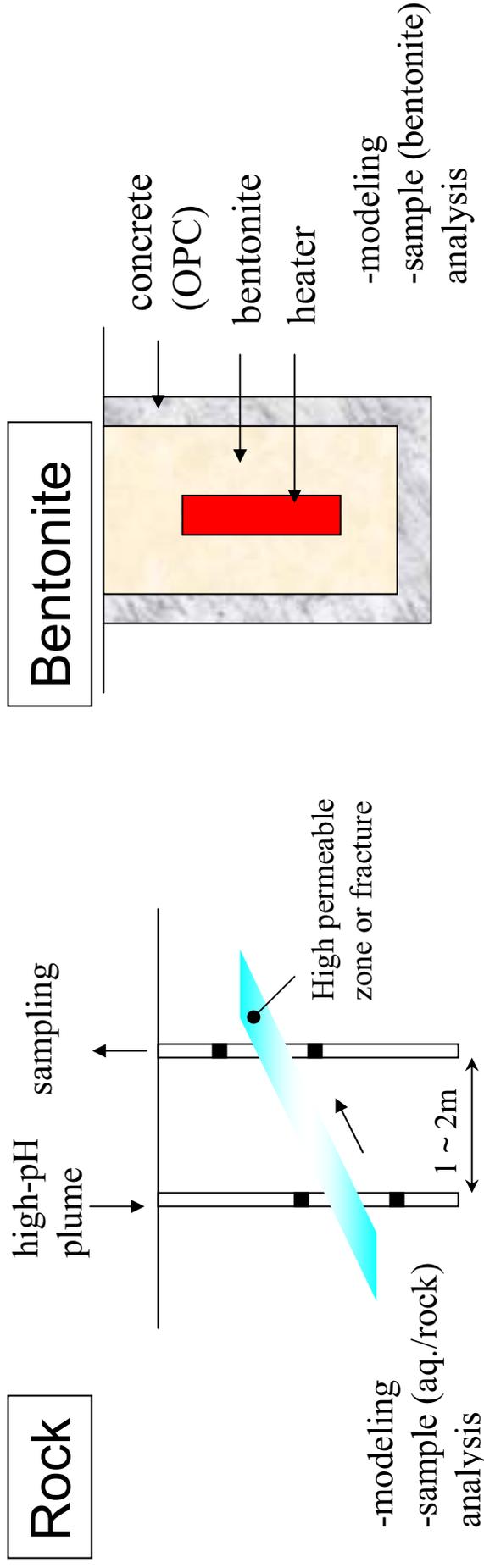


Planning In-situ Experiment on High-pH Plume Effects

- **Objectives**

To Obtain the Data for Confirming the Model to Evaluate Effects of the Cement Material on the Buffer/Rock

- **Outline of the experiments**



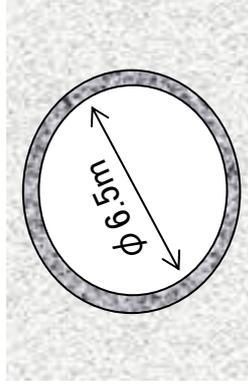
In case that feasibility study indicates that effective results can be obtained in the short term. Scale of experiment will be considered carefully.

Planning In-situ Demonstration of HFSC Use

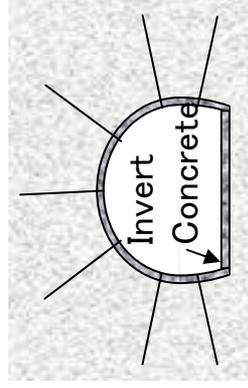
- **Objectives**
 - Demonstrate construction and performance as tunnel supports
 - Demonstrate construction and performance as plug, grout and etc
 - Identify QA procedure for construction (e.g., reinforcing steel corrosion) and performance (HFSC effects on other barriers)

- **Outline of the demonstrations**

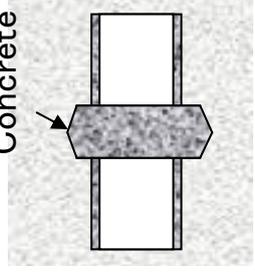
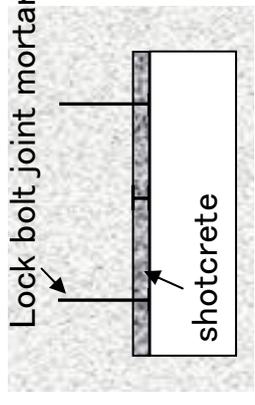
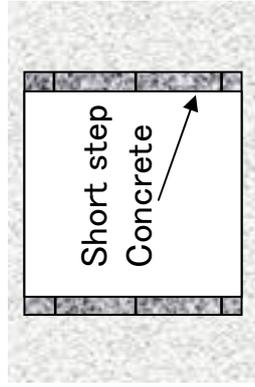
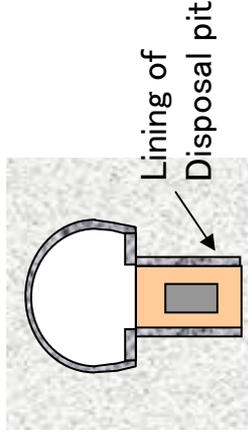
<shaft>



<horizontal tunnel>



<cement influence>

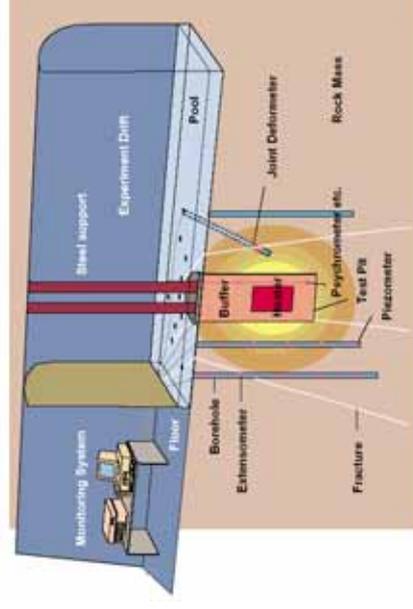
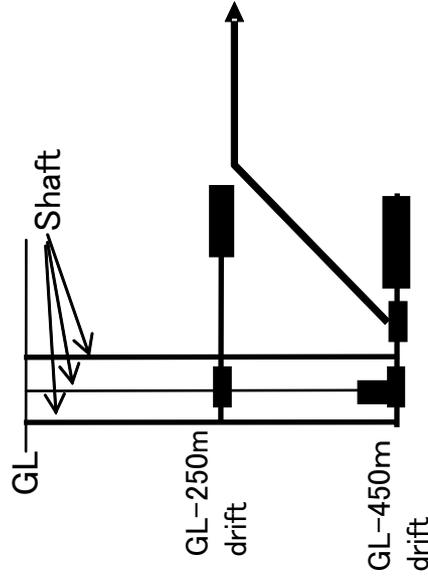


The demonstration will be conducted at the deepest depth.

Planning In-situ Experiment on the Evaluation of a Coupled THMC Processes

- **Objectives**
 - To evaluate the EBS resaturation behavior, e.g. water movement, deformation, mass transport and geochemical reaction under unsaturated conditions.
 - To validate the coupled THMC model
 - To confirm the long-durability performance of the sensors to monitor the coupled processes in the Near-Filed

- **Outline of the experiments**

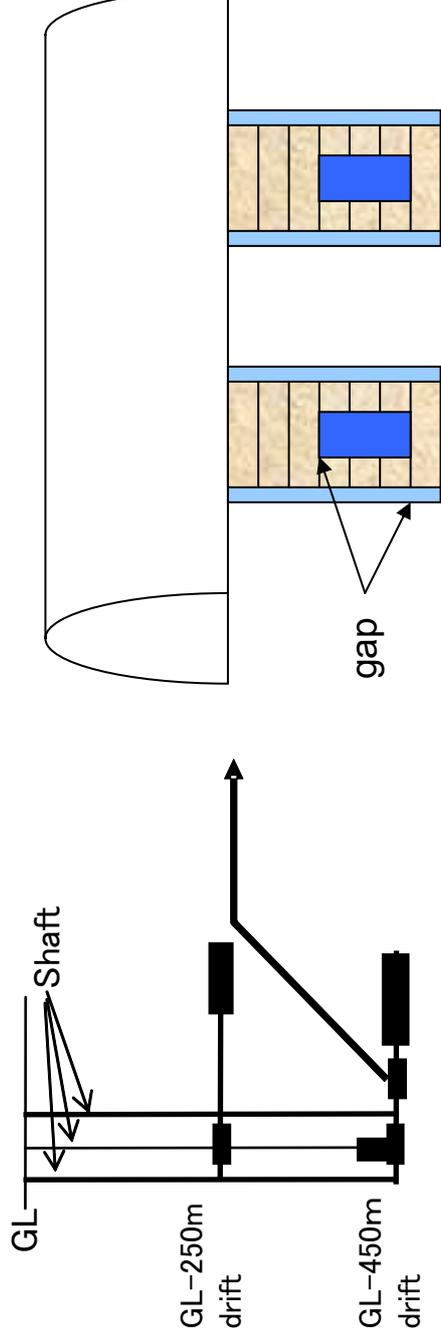


Schematic View of Experiment

Planning In-situ Experiment on Emplacement Test of Engineered Barriers

- **Objectives**
 - To assess the barrier performance, e.g. corrosion behavior of carbon steel and gap filling behavior of buffer material.
 - To select the installation technique of buffer material, e.g. block type or in-situ compaction type.

- **Outline of the experiments**

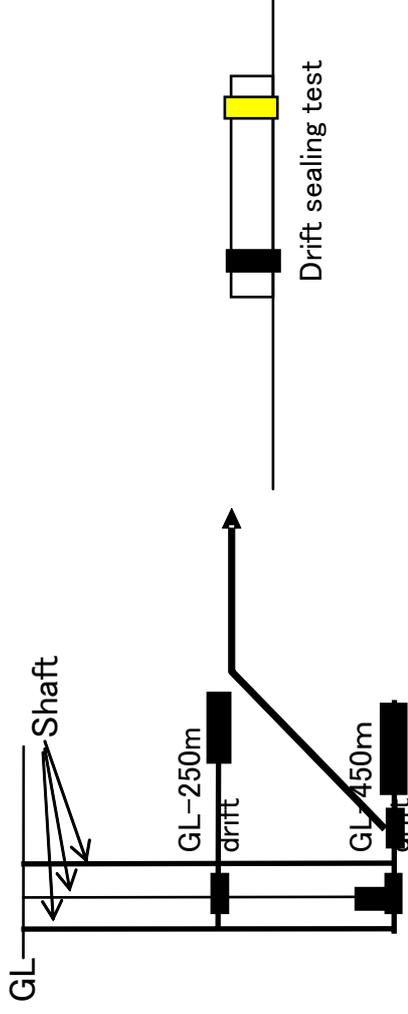


Planning In-situ Experiment on Tunnel Sealing Technology

- **Objectives**
 - To assess the applicability of technologies for construction of sealing technology in sedimentary rock
 - To evaluate the performance of each plug, including backfill, grout and EDZ
 - To identify and document the parameters that affect that performance

222

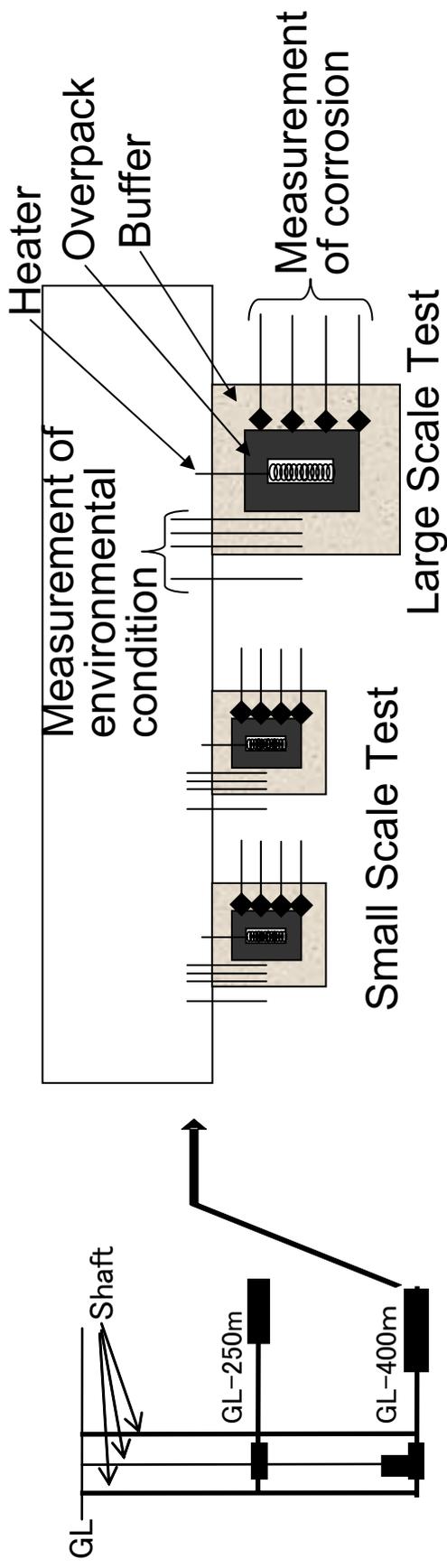
- **Outline of the experiments**



Planning In-situ Experiment on Corrosion of Overpack

- **Objectives**
 - To assess the applicability of monitoring techniques for corrosion behavior and environmental condition.
 - To monitor the change in corrosion behavior and environmental condition under oxidizing condition.
 - To verify the applicability of corrosion assessment model for oxidizing phase established in H12 report

- **Outline of the experiments**

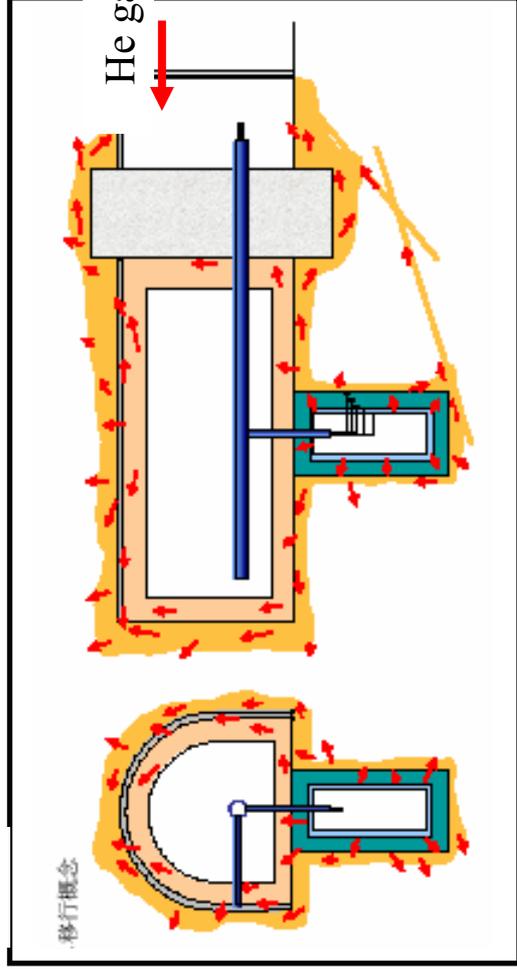
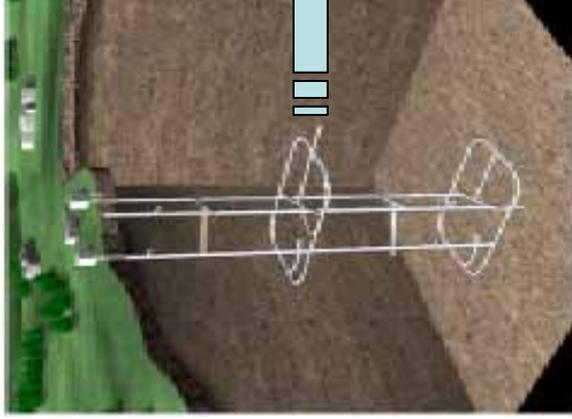


Planning In-situ Experiment on Gas Migration Study

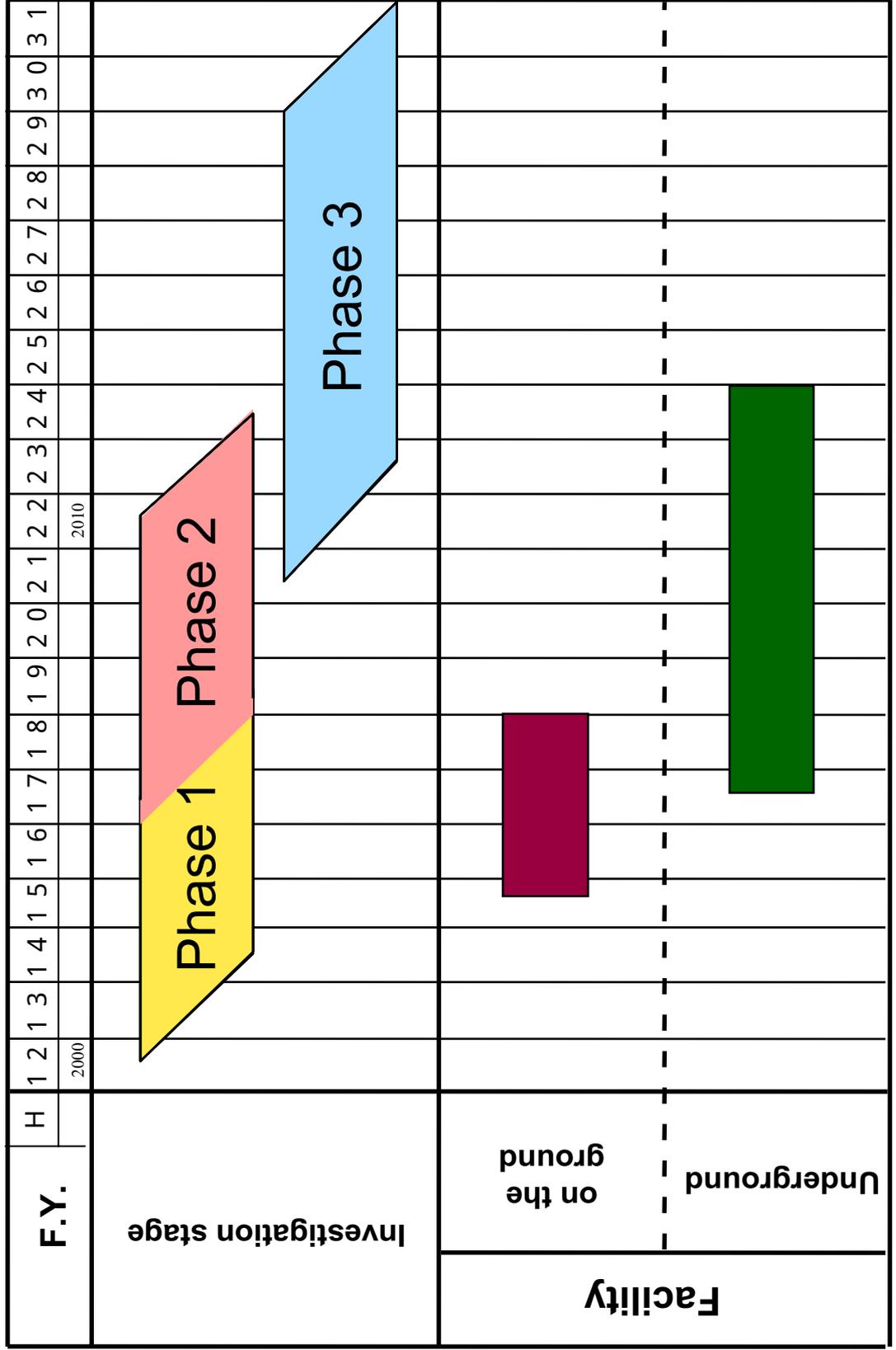
- **Objectives**

The objective of this test is to conduct a large-scale gas injection test to provide data to improve process understanding and validate the model which might be used in performance assessment.

- **Outline of the experiments**



Schedule of Horonobe URL Project for 20 years



Conclusion

- **Key issues on the disposal technologies were discussed and identified by considering the characteristics of the geological environment in Horonobe.**
- **In order to resolve the key issues, laboratory experiments have been conducted and the progress is briefly summarized.**
- **In addition, concepts of in-situ experiments and the preliminary plans were developed by considering URL construction schedule**
- **Based on the achievements obtained in this work, we will make effective plans for in-situ experiments in the Phase 2 & 3 of Horonobe URL project.**

水理調査の現状

- 1．表層水理調査
- 2．深層水理調査（試錐調査）
- 3．モデル化、解析

1. 表層水理調査

目的

表層地下水流動系の把握とその結果に基づく地下水涵養量の推定

実施項目

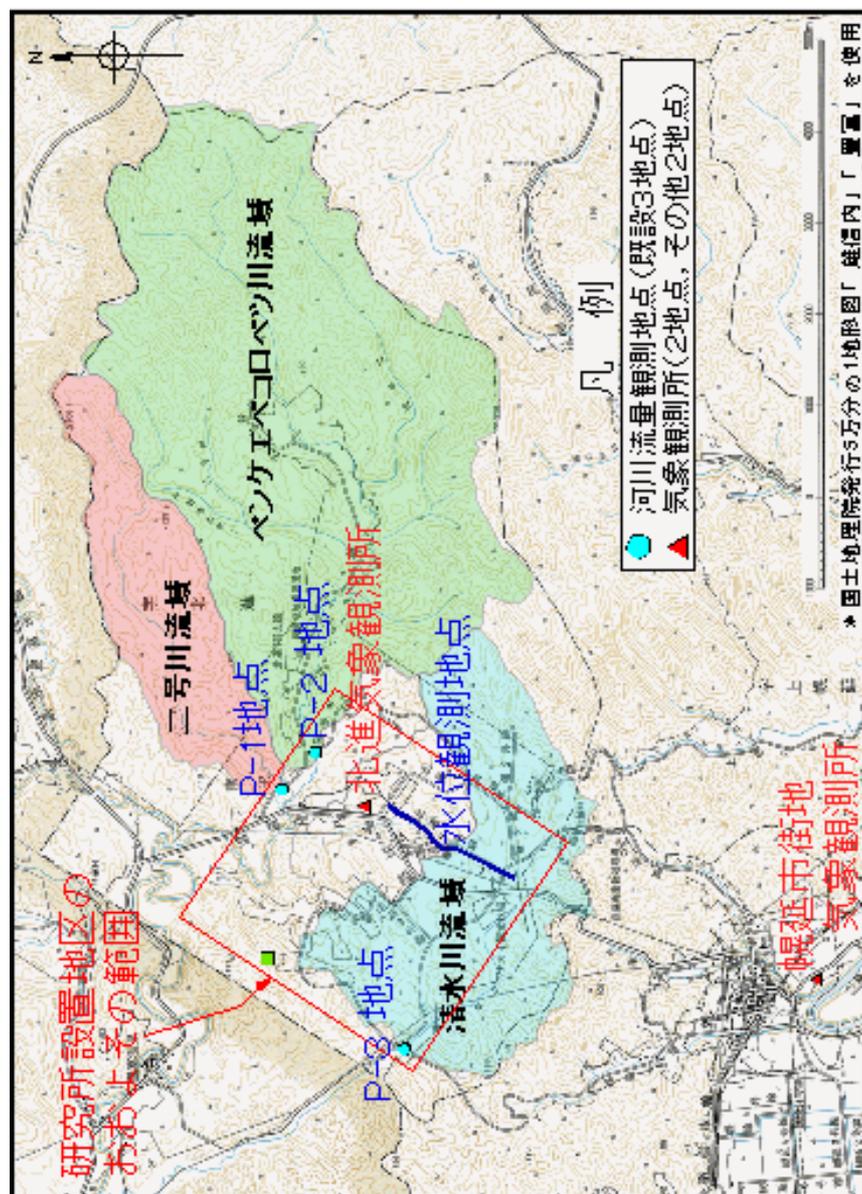
- ・ 水収支法による地下水涵養量の推定
地下水涵養量 = 降水量 - 蒸発散量 - 河川流量
/ 降水量観測
- / 蒸発散量の推定に必要な気象観測
- / 河川流量観測
- ・ 地盤水理学的手法による地下水涵養量の推定
/ 地下水位観測
/ 土壌水分観測等

これまでの実施内容

- 平成12年度
 - ・幌延町内4地点での気象観測（継続）
 - ・地下水涵養量を調べるための観測手法・機器に関する検討
 - ・研究計画に関する検討
- 平成13年度
 - ・幌延町内4地点での気象観測（継続）
 - ・雨水の地下涵養量を調べるための適正な観測手法・機器を検討するための基礎情報の整理（地形・地質・被覆（植生）
 - ・寒冷地特有の条件などに対応した表層水量観測システム（気象観測など）の検討（冬季の河川流量観測，積雪面蒸発量測定手法の適用試験）
- 平成14年度
 - ・幌延町内4地点での気象観測（継続）
 - ・河川流量観測開始（研究所設置地区とその周辺：3地点）

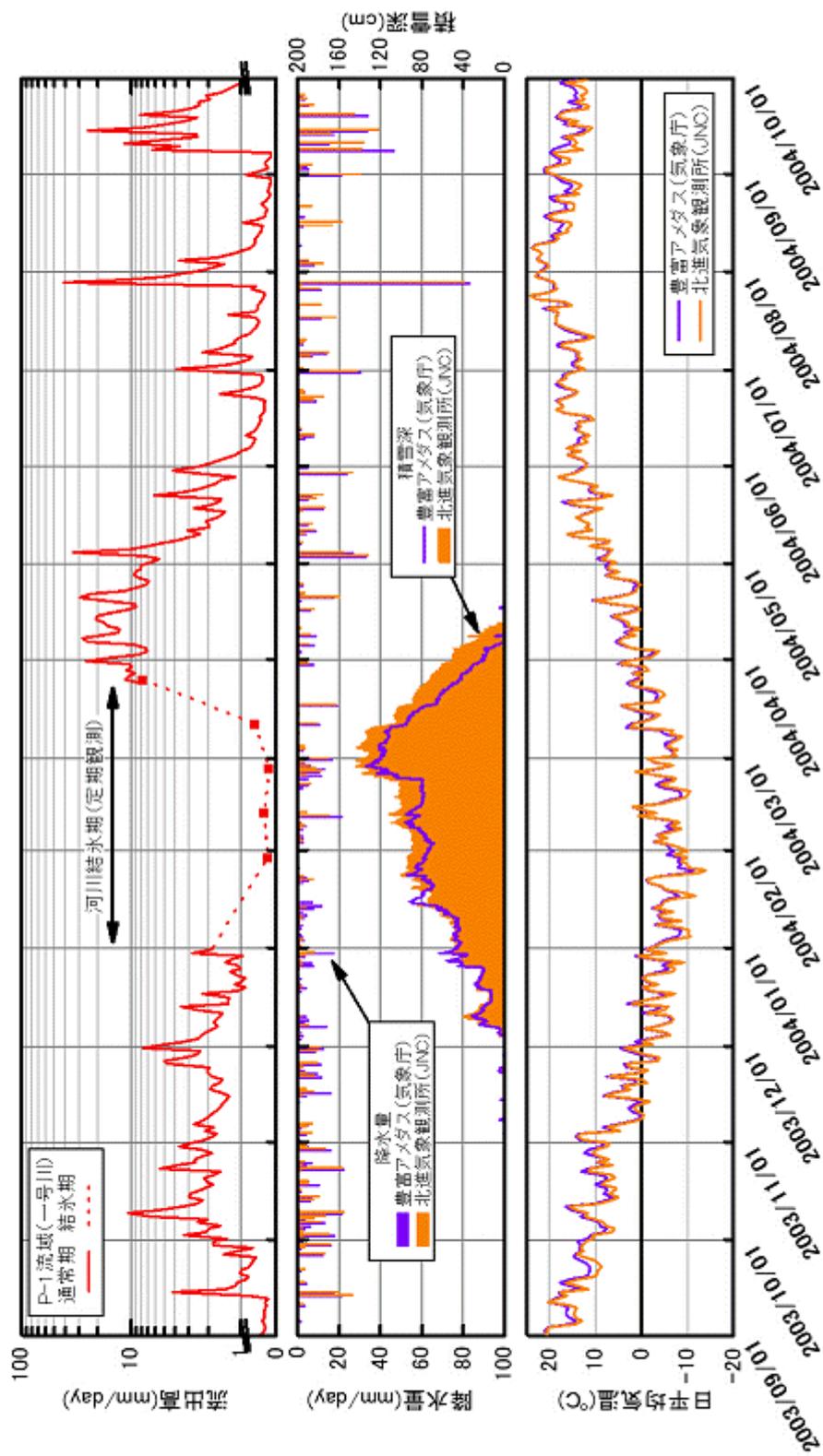
平成15年度

- ・幌延町内4地点での気象観測（開進気象観測所終了 北進気象観測所設置（8月から））
- ・河川流量観測（継続）
- ・研究所設置場所が含まれる清水川流域（平成13年度調査で未検討）の地形・地質・被覆（植生）等の流域特性を整理
- ・清水川流域を含む研究所設置地区およびその周辺の流域特性を考慮して樹冠上蒸発散量および降水量に関する増設検討，観測手法および観測地点の検討
- ・河川流量観測地点の研究所設置場所北辺流域への移設に関する検討



これまでの成果

- ・ 水収支法による地下水涵養量の算定に必要なデータを取得
するための観測体制（気象観測、河川流量観測）の整備



蒸発散量算定手法に関する検討

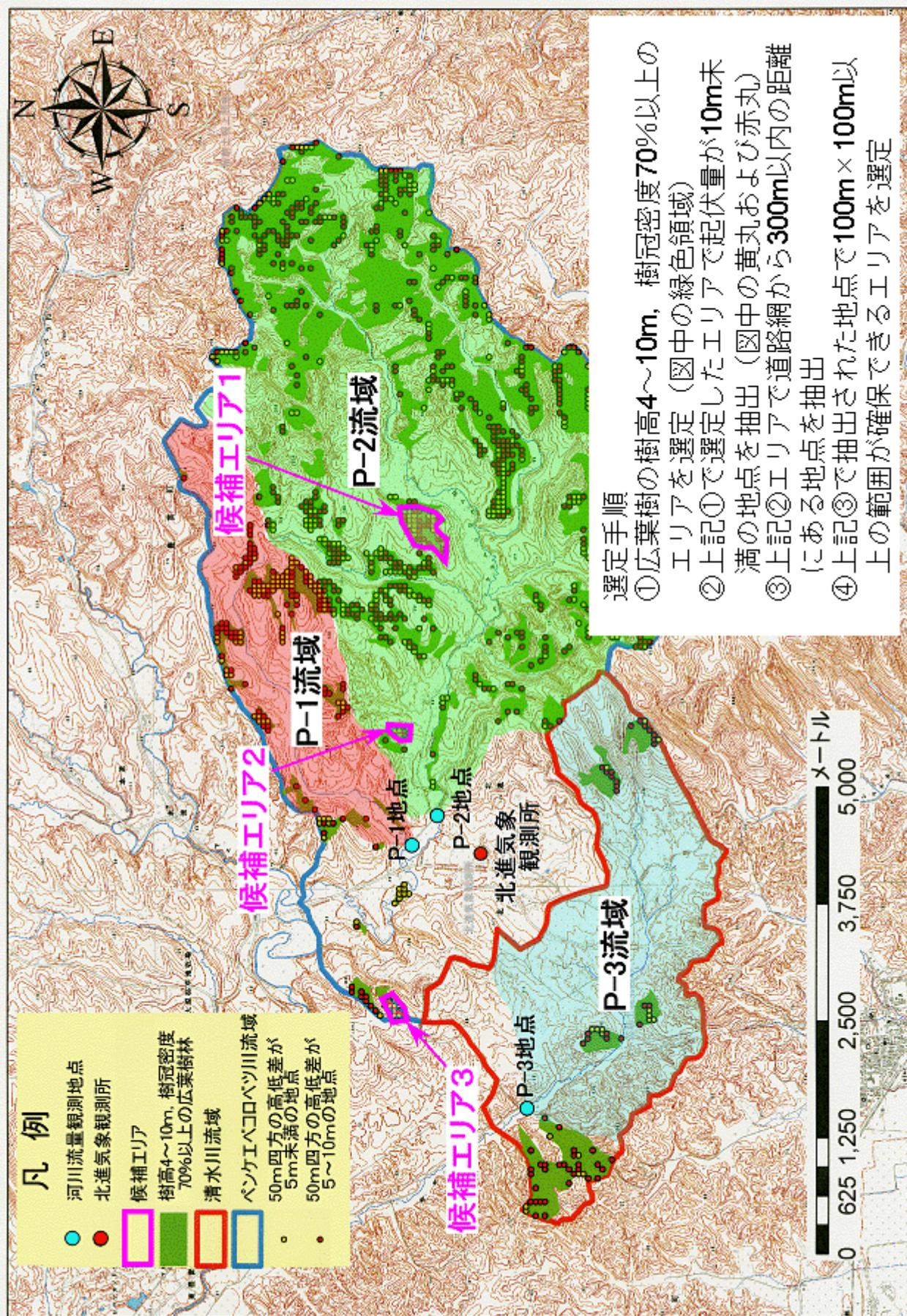
蒸発散量算定手法	ペンマン法	傾度法	ポーエン比 熱収支法	バルク法	渦相関法	ソーンズウ エイト法	ハーモン法
a) データ管理の労力					×		
b) データ取得の容易性		×	×				
c) 地形の影響		注1)			×		
d) 冬季の計測	×						
e) 機器のメンテナンス					×		
f) 樹林での適用性	×			×		×	×
g) 草地での適用性				×		×	×
h) 雪面での計測	×	×	×		×	×	×
広葉樹林への適用性評価	注2) ×	注1)		注2) ×		注2) ×	注2) ×
牧草地への適用性評価				注3) ×		注3) ×	注3) ×
積雪期での適用性評価	×						

注1) 適用可能な起伏の小さい観測地点が設定できることが条件。

注2) f) 項が × の場合は適用しない。

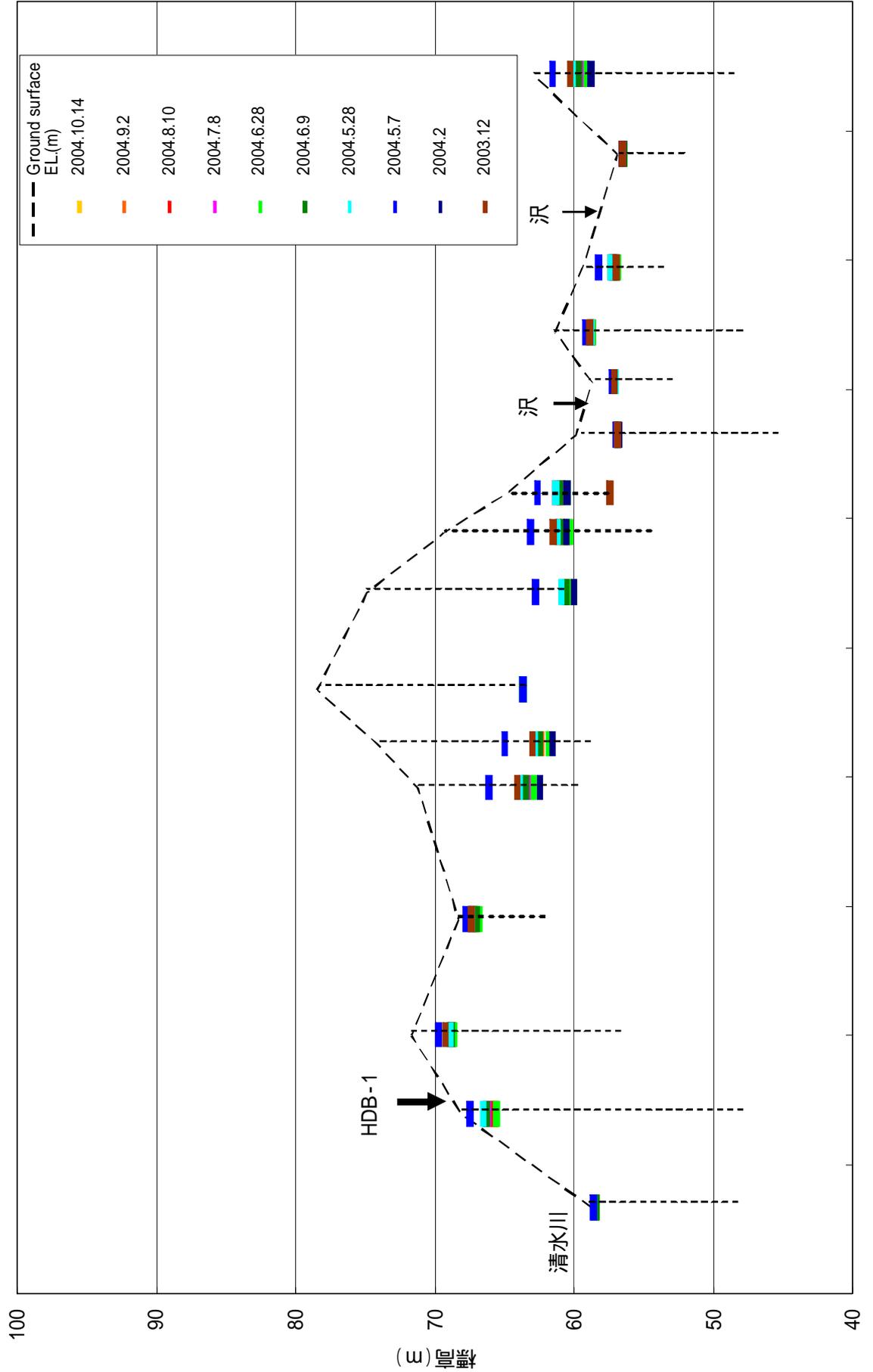
注3) g) 項が × の場合は適用しない。

樹冠上蒸発散量観測地点の選定



地下水水位観測

南 ← 北



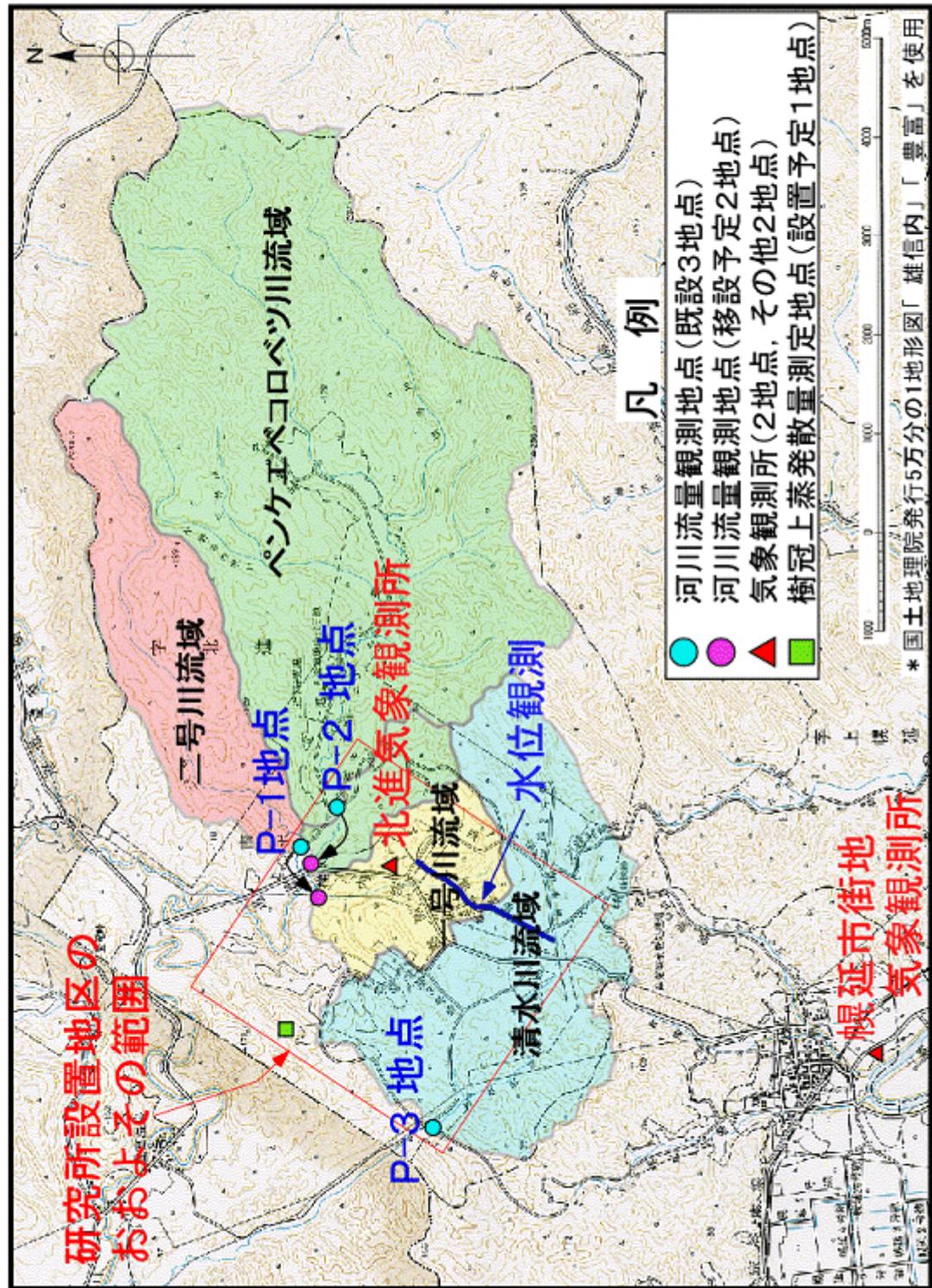
(平成16年度実施内容)

水収支法による地下水涵養量の推定

- ・幌延町内4地点での気象観測（継続）
- ・河川流量観測（継続および移設）
- ・樹冠上蒸発散量測定に関する観測機器の新設

地盤水理学的手法による地下水涵養量の推定に必要な観測体制の整備

- ・土壌水分計測機器の新設
- ・地下水計測の実施



2. 深層水理調査（試錐調査）

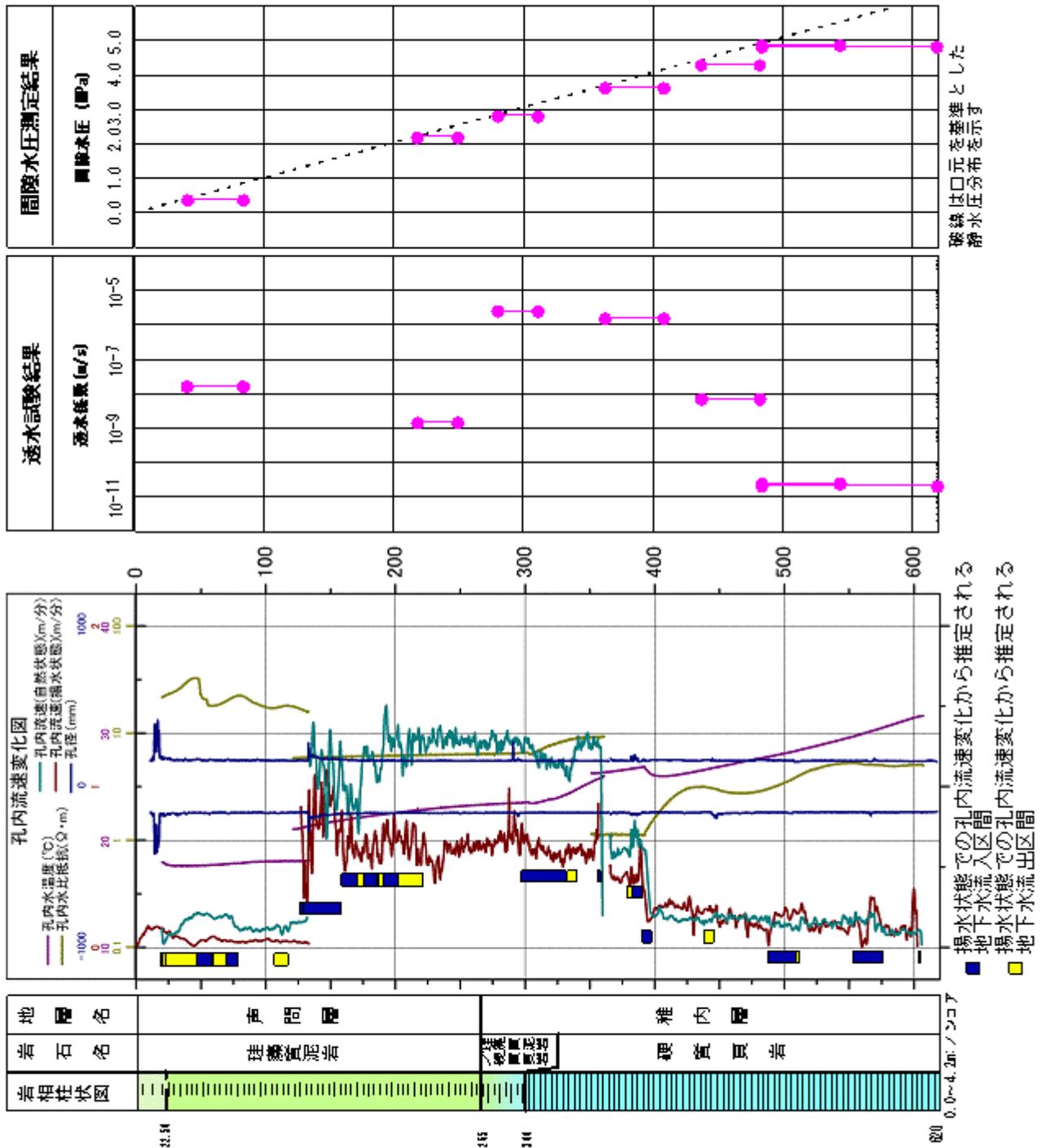
目的

地下深部の地下水流動系の把握

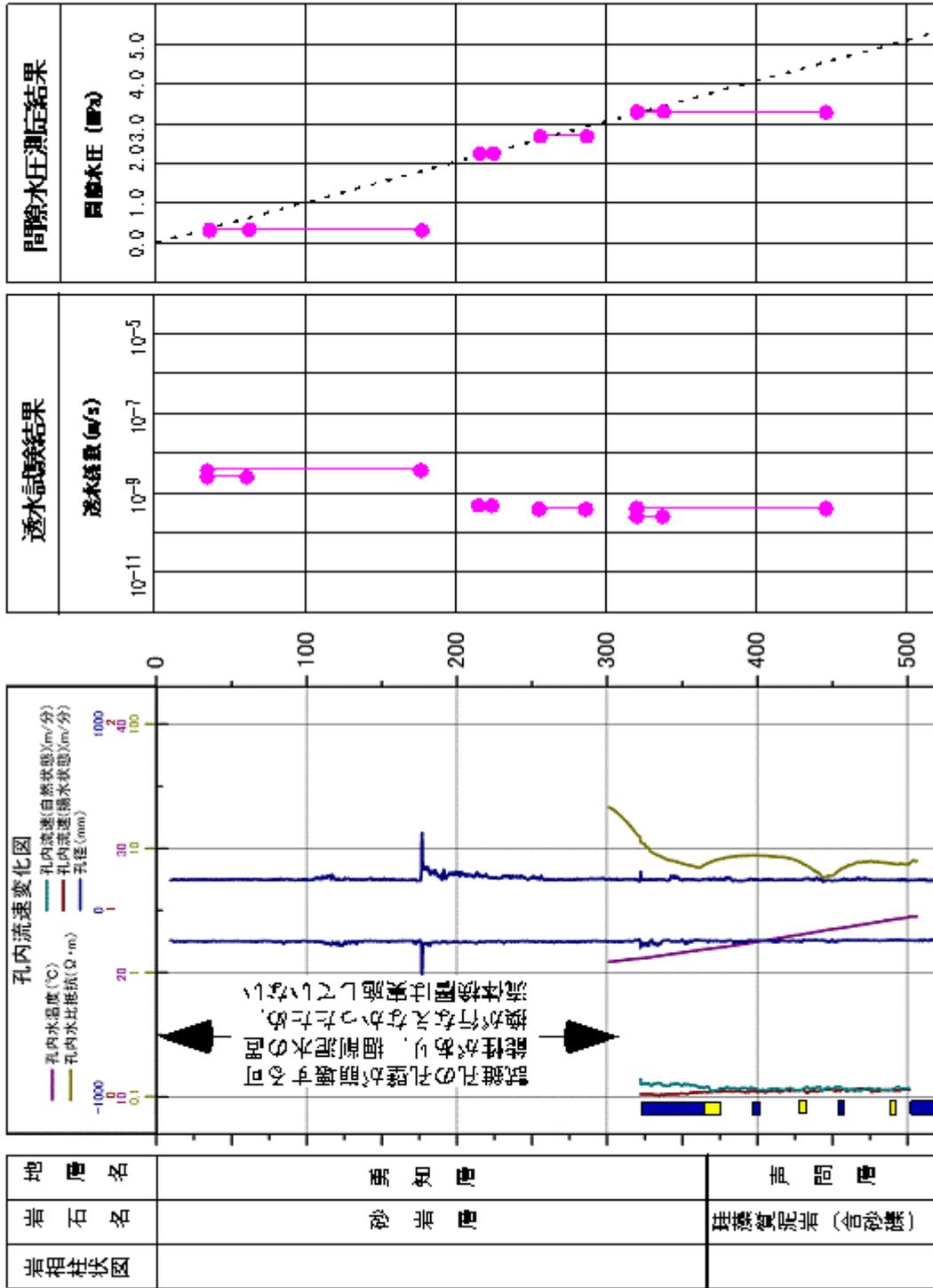
実施項目

- ・水理試験（室内透水試験含む）
- ・流体検層
- ・地下水水圧の長期観測

試験結果 (HDB-6孔)



試験結果 (HDB-7孔)

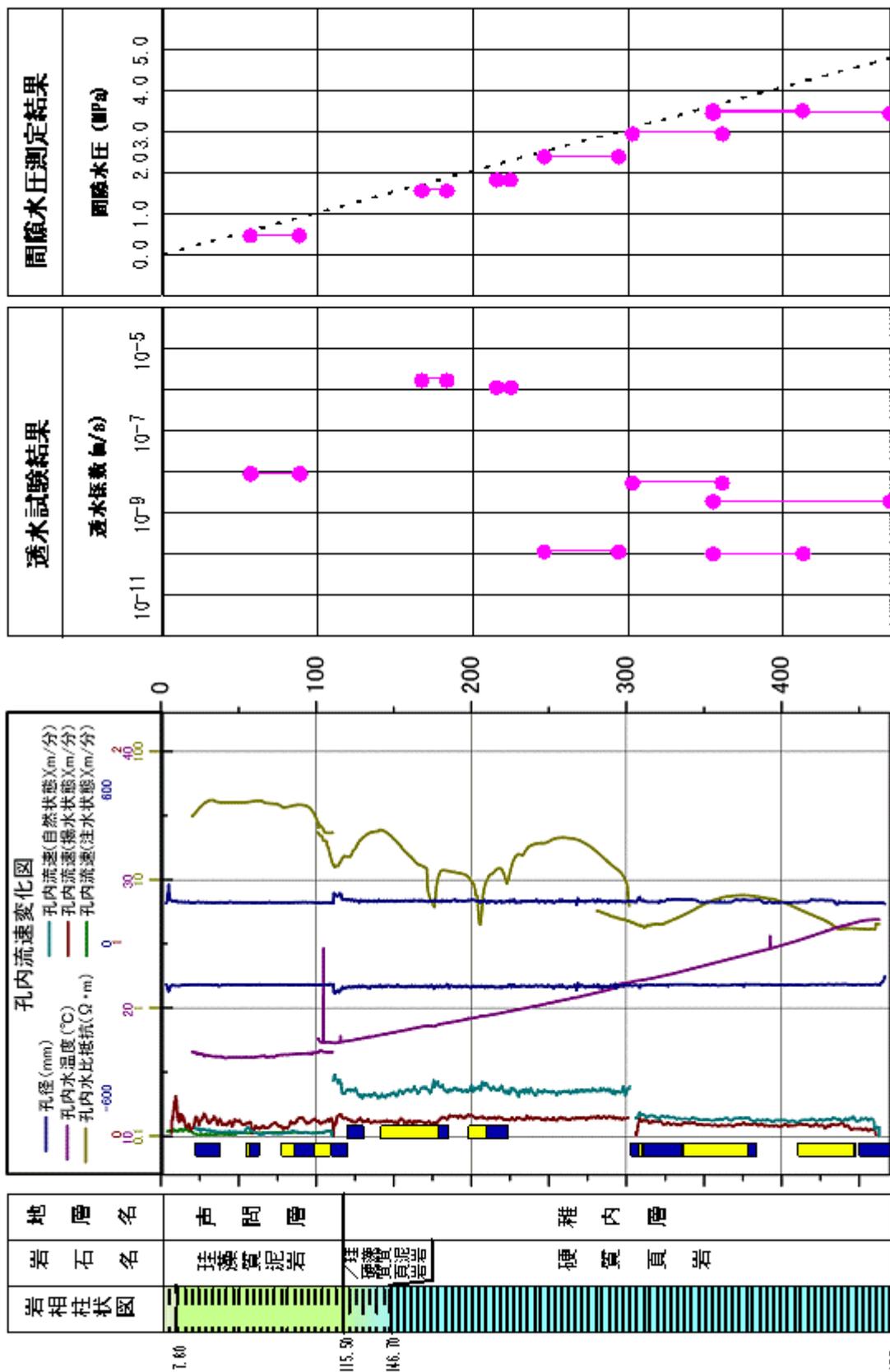


破線は口元を基準とした
静水圧分布を示す

揚水状態での孔内流速変化から推定される
■ 地下水流入区間
□ 揚水状態での孔内流速変化から推定される
■ 地下水流出区間

この試験結果は、試験管の
位置が正確に設定されてお
り、かつ試験管の径が
一定であることを確認し
て実施した試験結果とし
て報告いたします。

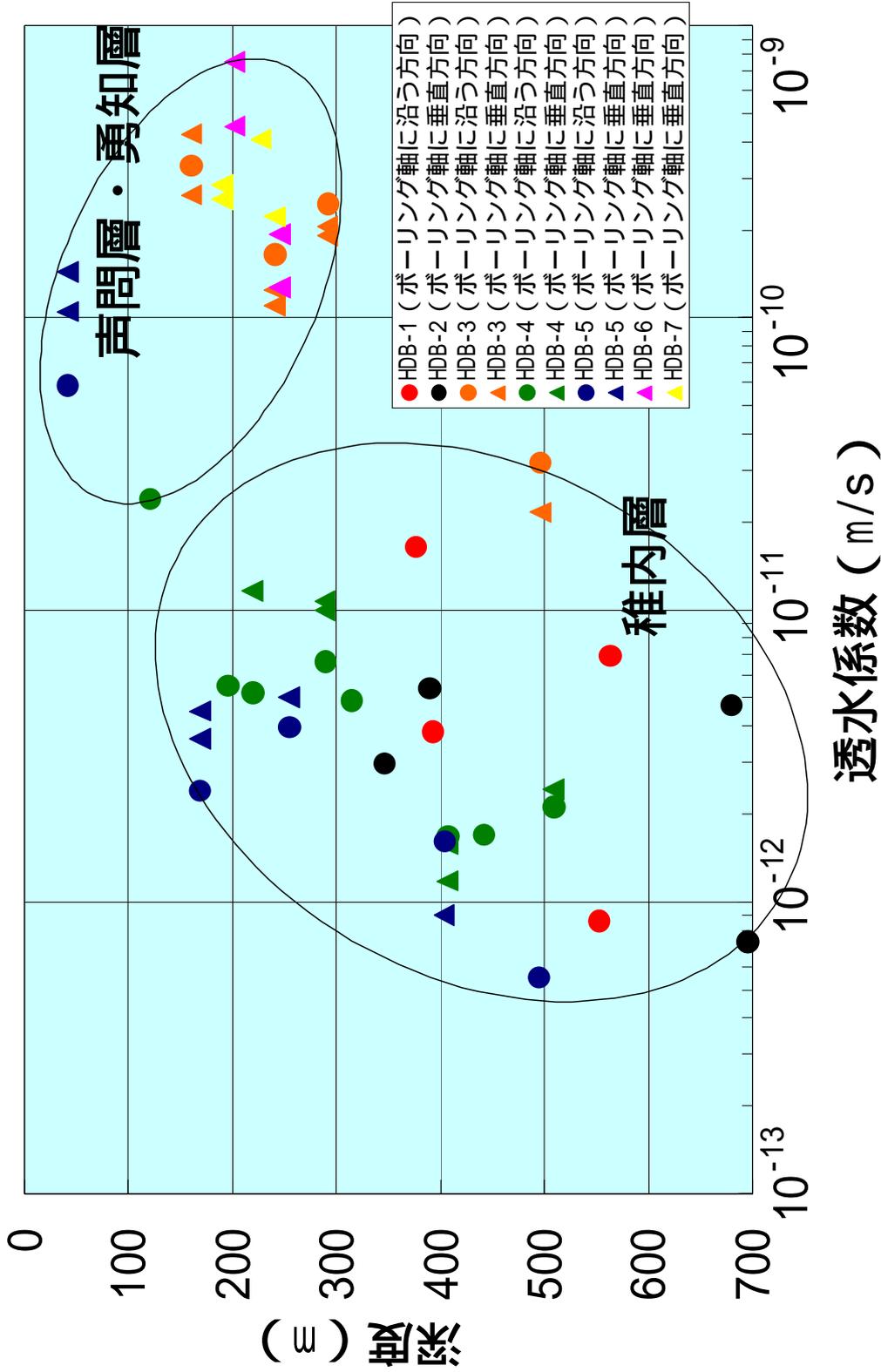
試験結果 (HDB-8孔)



破線は口元を基準とした
静水圧分布を示す

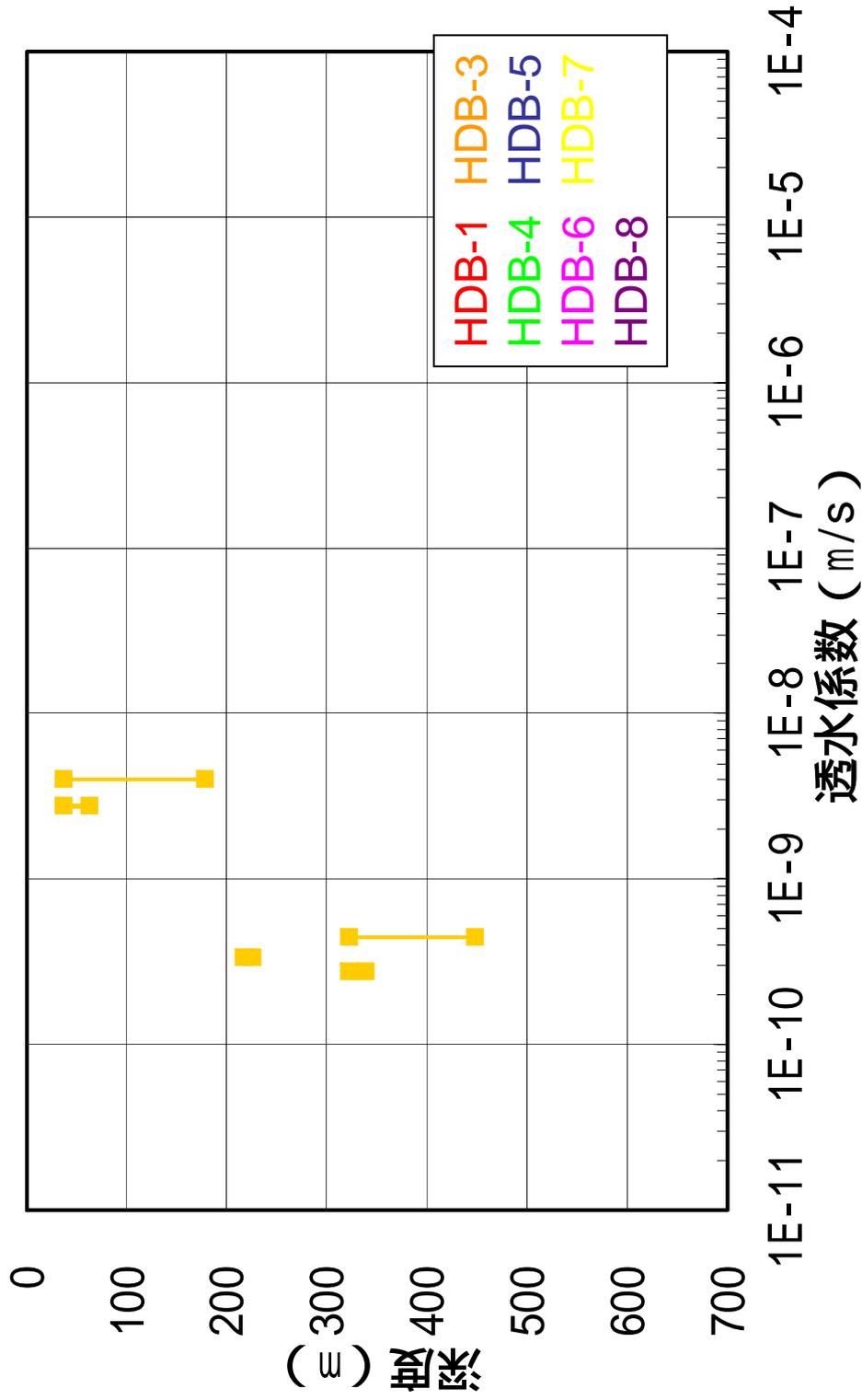
揚水状態での孔内流速変化から推定される
地下水流入区間
揚水状態での孔内流速変化から推定される
地下水流出区間

室内透水試験結果



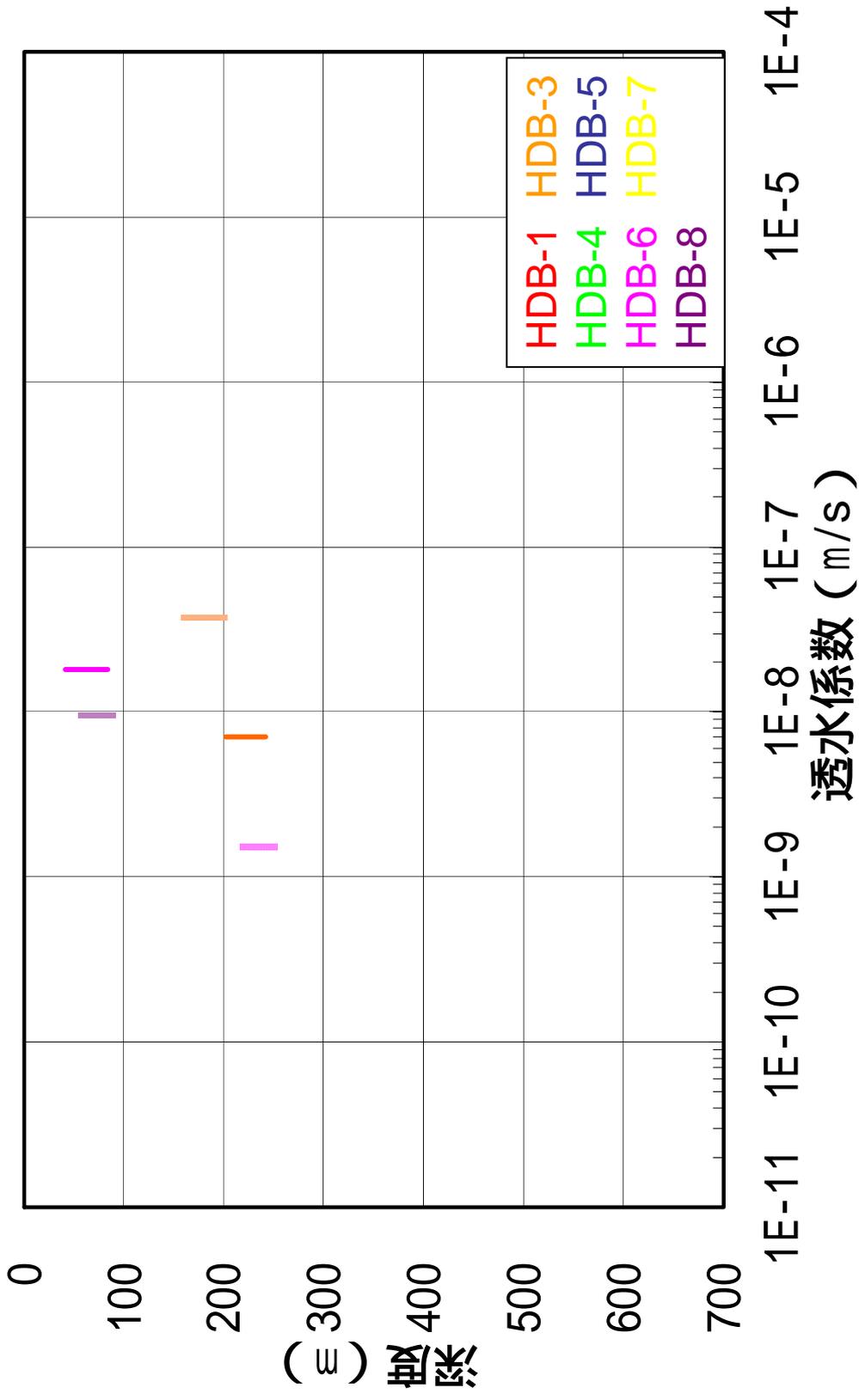
- 深度が深くなるほど、透水係数は小さくなる傾向が認められる
- 顕著な透水異方性は認められない

水理試験結果（勇知層）



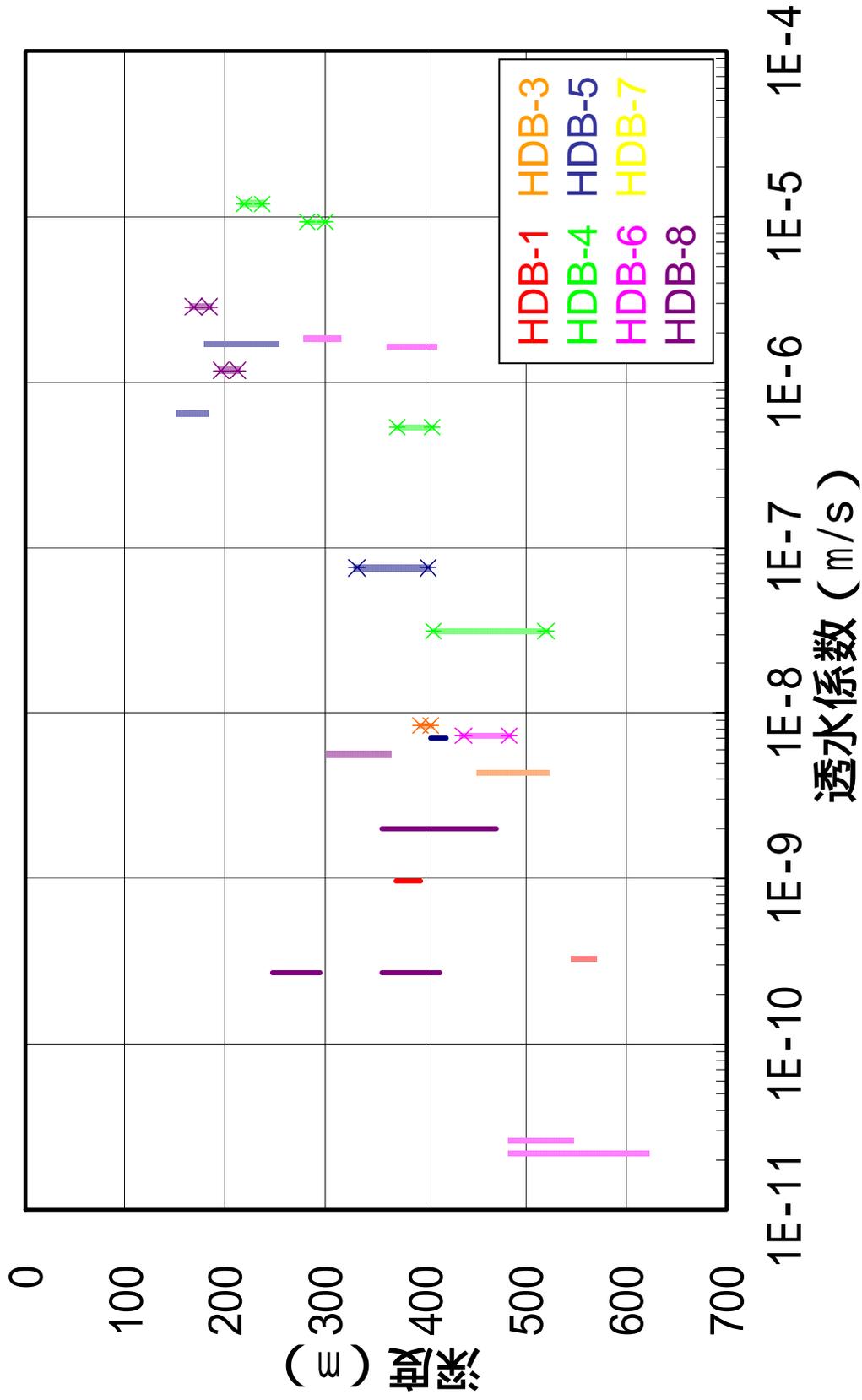
- 透水係数： $10^{-9} \sim 10^{-10}$ m/s
- 深度依存性を示す傾向あり

水理試験結果（声問層）



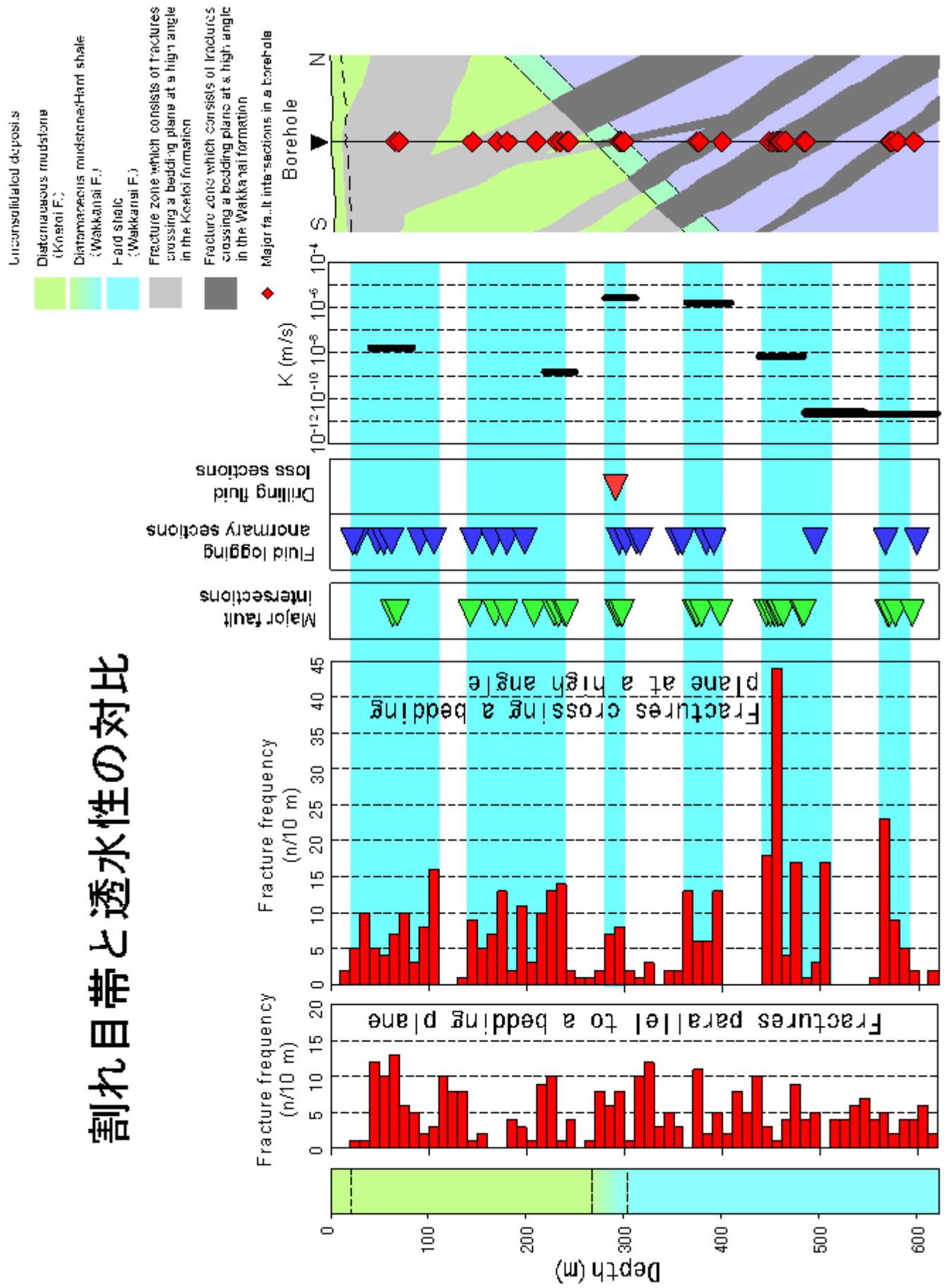
- 透水係数： $10^{-8} \sim 10^{-9}$ m/s
- 深度依存性を示す傾向あり

水理試験結果（稚内層）

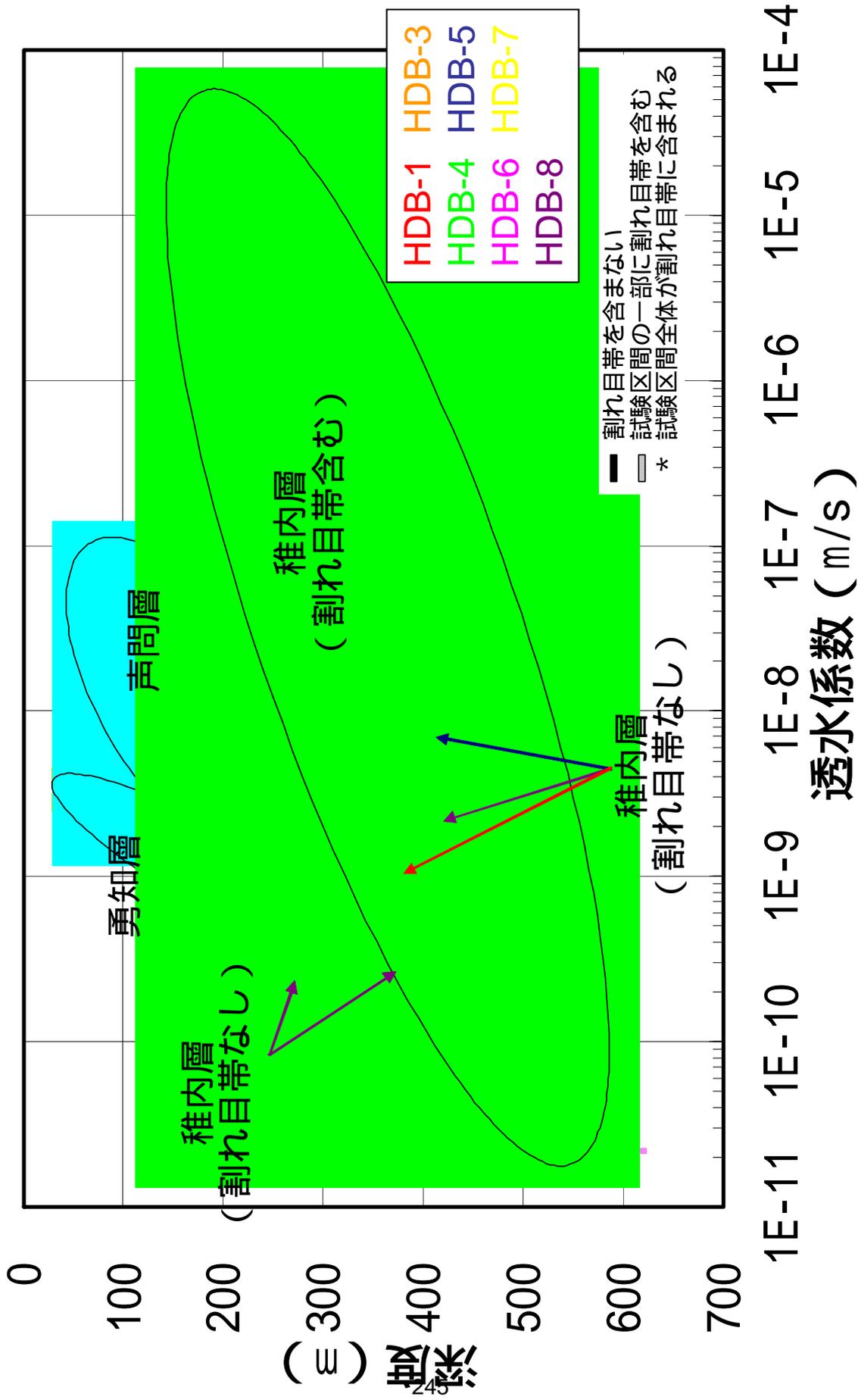


- 透水係数： $10^{-5} \sim 10^{-11}$ m/s
（深度400m以浅において特に透水係数の幅が大きい）
- 深度依存性を示す傾向あり（？）

割れ目帯と透水性の対比



水理試験結果



割れ目帯：層理面に高角に交わるセン断性の割れ目が3本 / 10 m以上存在するゾーン

地下水水圧の長期観測

- 地下水水圧の観測
観測結果は水理試験での間隙水圧分布と概ね整合
深度100m以浅：GL-0m程度
深度100m以深：GL+10m程度
- 観測機器の適用性確認
HDB-1,3,4孔：MPシステム
HDB-2孔　　：SPMPシステム
- H16年度実施内容
HDB-1,2,3孔での水圧観測の継続
HDB-6,7,8孔へのMPシステムの設置

モデル化・解析

目的

- 地下水流動系の理解(地質環境調査)
- 地下施設建設に伴う地下水流動系の変化の予測

キーポイント

- － 塩分濃度の高い地下水
- － 割れ目帯中の流れ
- － 大曲断層の特性
- － 異常高圧層(?)

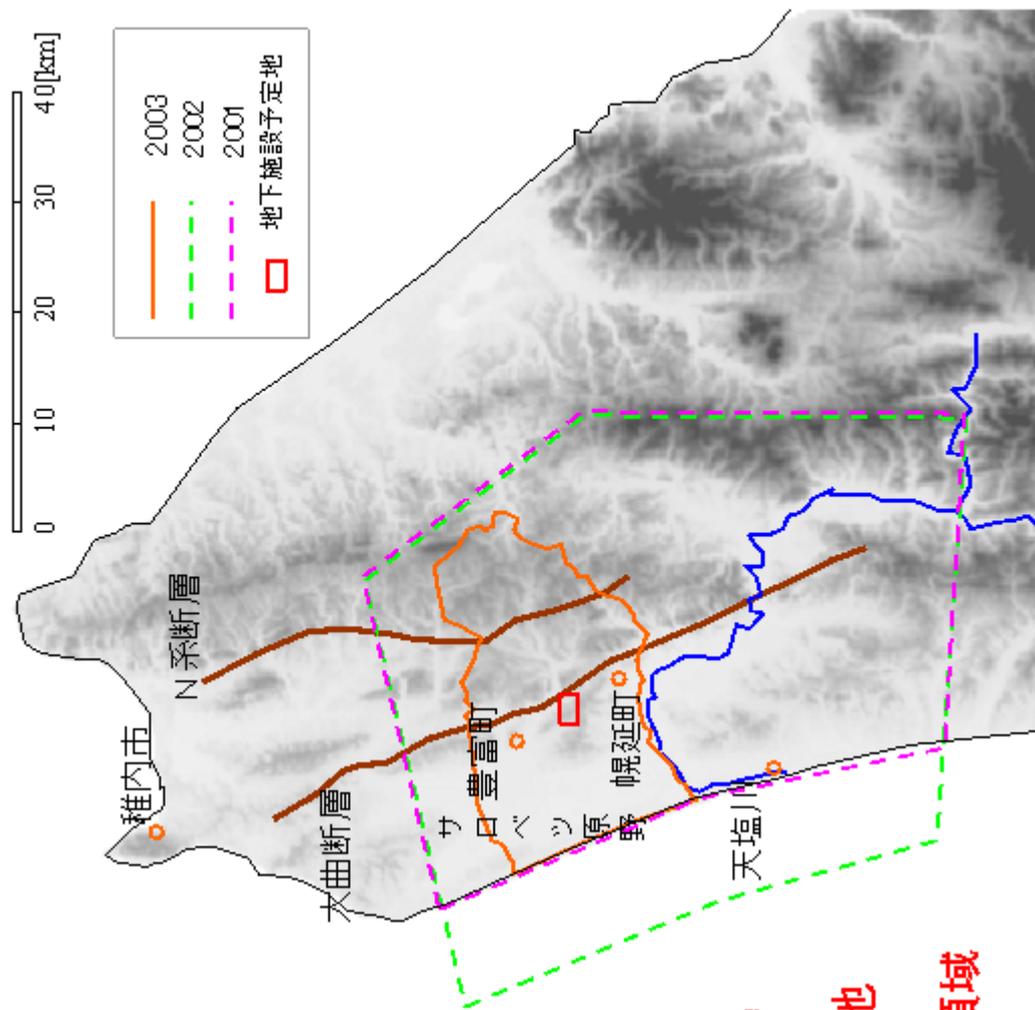
研究対象スケールと目的

- **研究所設置地区選定前**

- 文献調査段階に対応
- 幌延町全域を含む領域
- 主に感度解析による検討

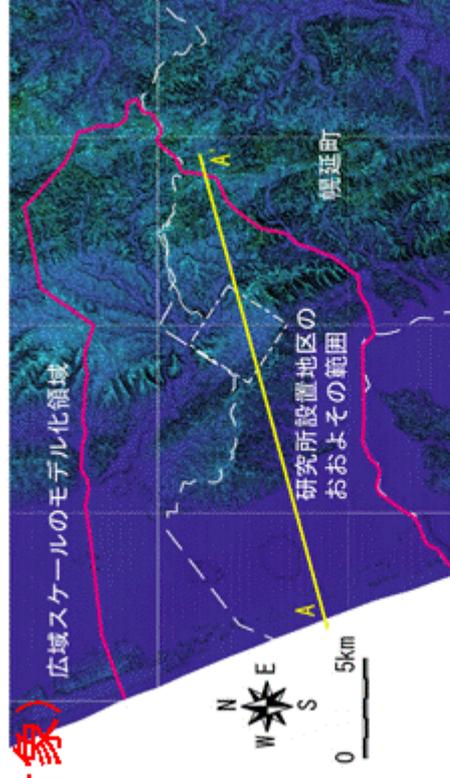
- **研究所設置地区選定後**

- 概要調査段階に対応
- 平成14年以降
- 水理地質環境の理解 (Site description)
- 地下施設建設に伴う水理地質環境の変化の予測
 - ・ 研究所設置地区を含む領域 (広域スケール)
 - ・ 研究所設置地区周辺 (施設スケール)

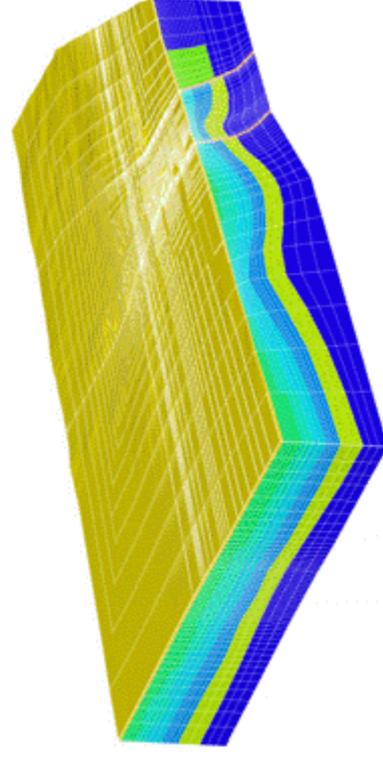


H15年度 広域スケールの解析

- ・ 3次元淡水解析
- ・ 3次元の塩淡解析
(洗い出しを仮定し、300万年間の挙動を対象)
 - 密度を考慮した解析(断念)
 - 密度を考慮しない解析
- ・ 2次元塩淡解析
 - 密度を考慮した解析
 - 密度を考慮しない解析
- ・ 条件
 - 使用コード: Dtransu
 - 境界条件
(淡水)
 - ・ 沿岸: 静水圧固定
 - ・ その他周囲(山・谷)および底面: 不透水境界
 - ・ 上面: 降雨一定(浸出面境界)
 - 境界条件
(塩水)
 - ・ 沿岸: 濃度固定
 - ・ その他: 流出入なし
- 初期条件(塩淡解析)
 - ・ 全領域で海水と同等の塩分濃度



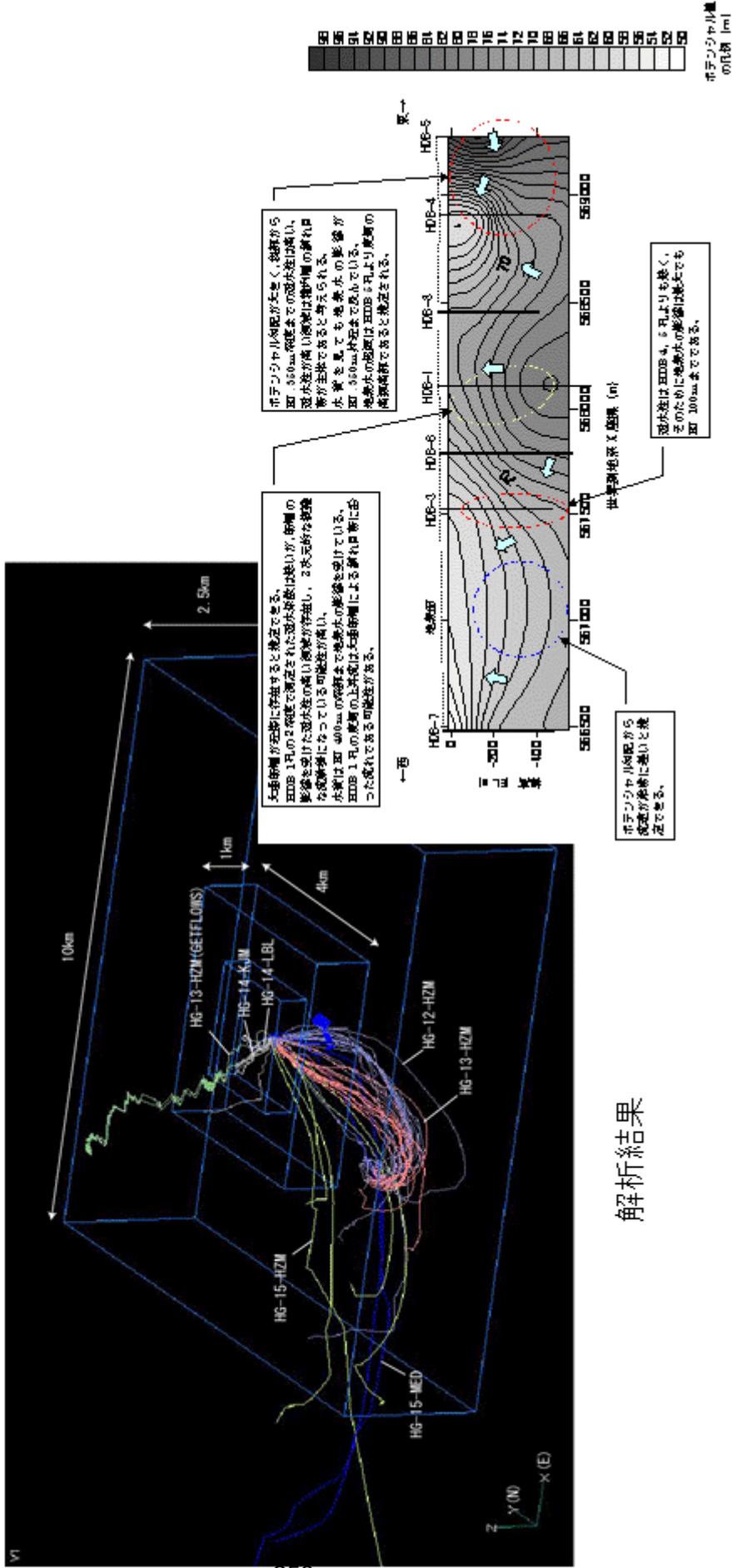
解析領域



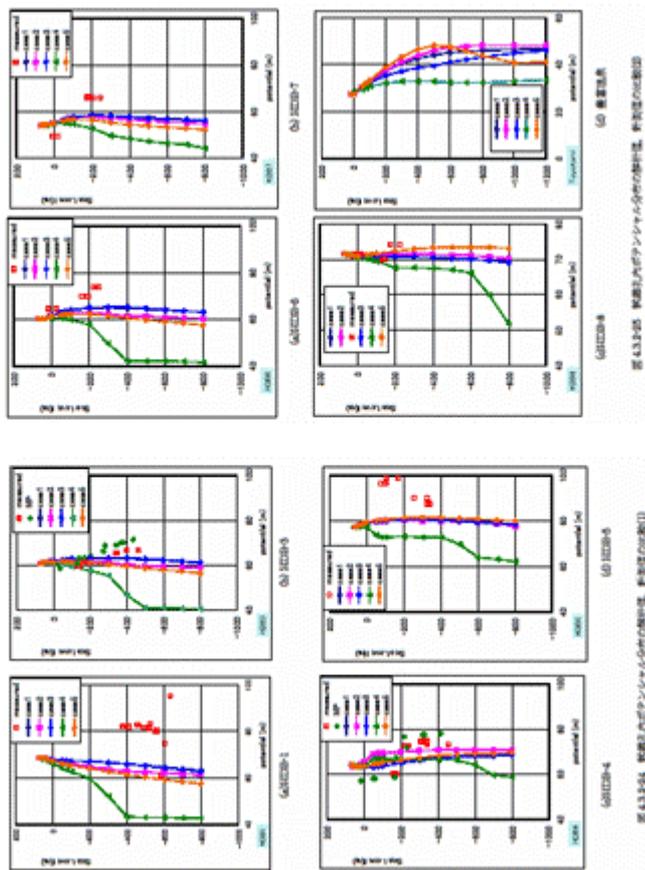
3次元解析メッシュ

・研究所設置地区周辺の地下水の流動方向

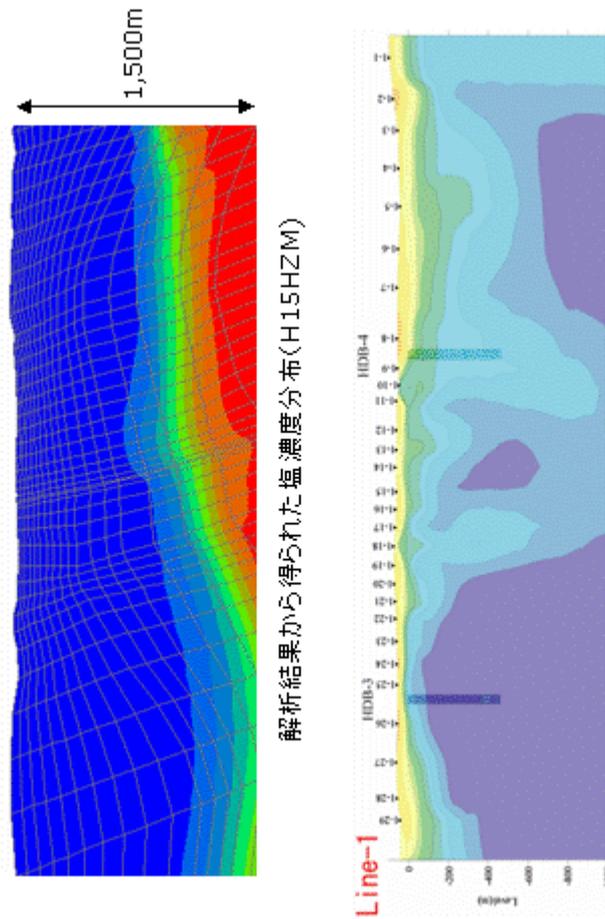
- 一 解析結果からは南西方向で下降流
- 一 但し一部の結果は北西方向で上昇流
- 一 水圧分布(実測値)を単純に解釈すると北西方向で上昇流



- ・水圧分布、塩濃度分布
 - 一 実測値と解析結果は十分に整合していない



水圧分布

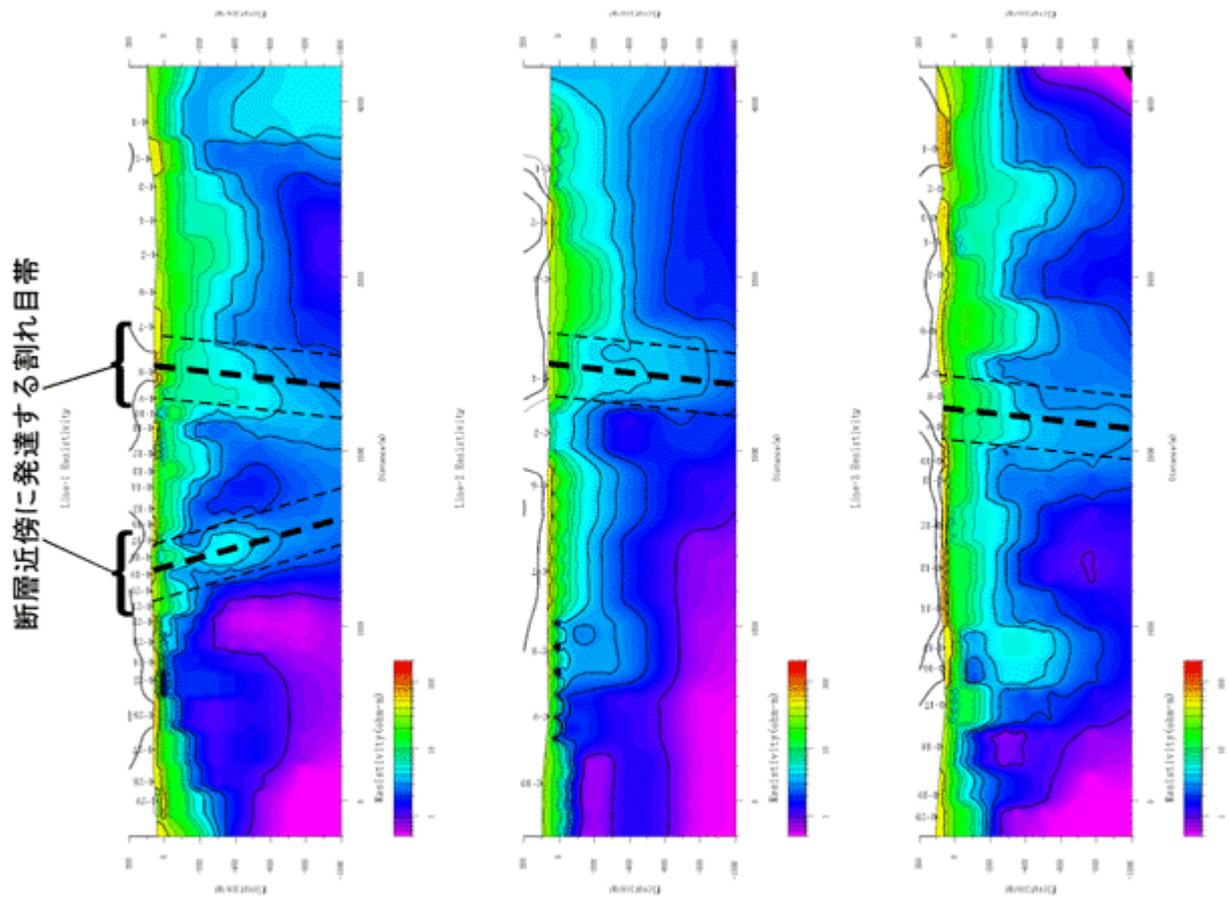


塩濃度分布

水理地質構造のモデル化について

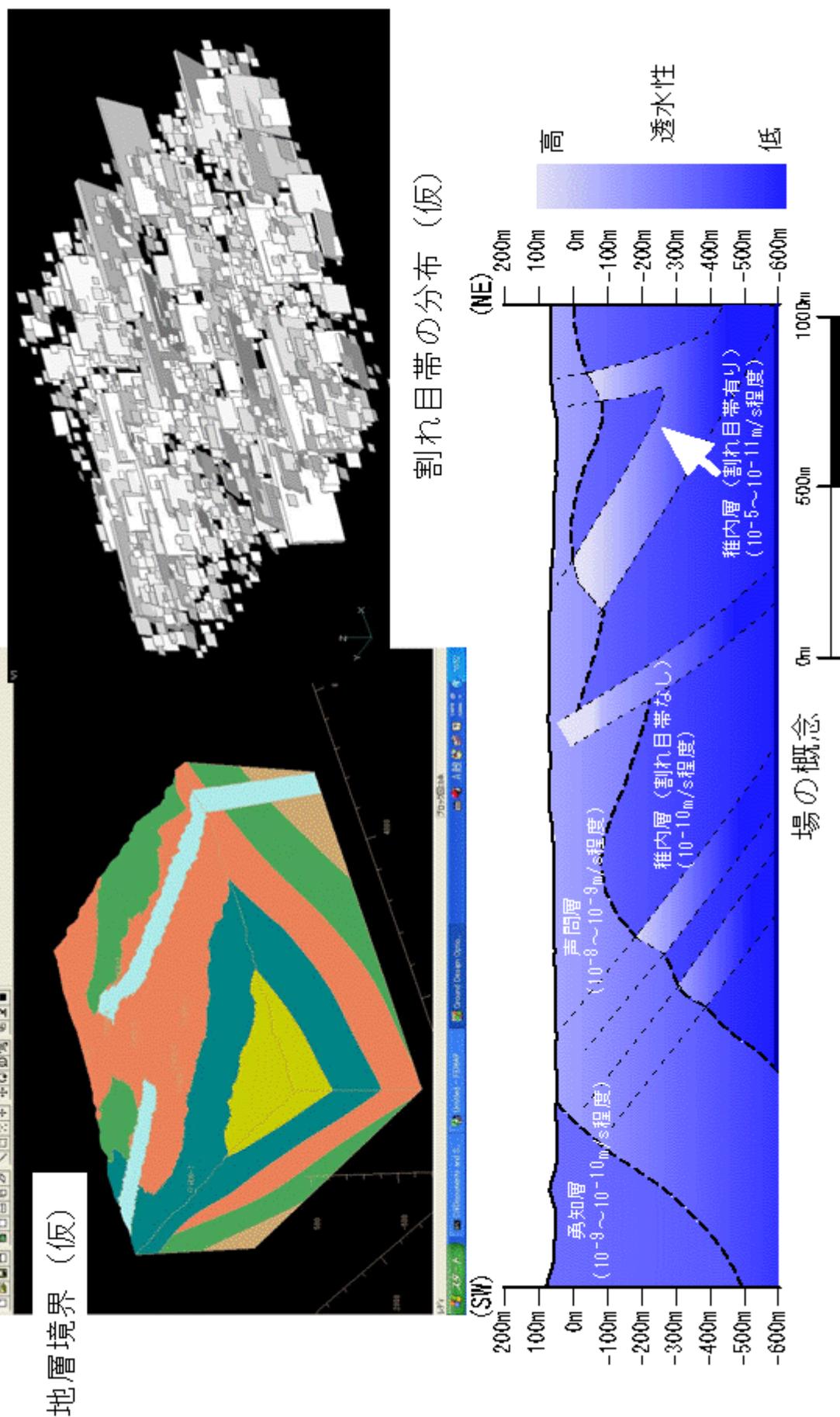
- ・幌延の場の概念：
 - 大曲断層および、層理面に高角な割れ目帯にそって地表からの水（高比抵抗水）が浸透している。
 - それ以外の箇所については塩分濃度の高い水（低比抵抗水）が存在している。

- ・モデル化の目標：
 - 比抵抗分布を上手く説明できるモデルを構築する



●水理地質構造モデルの構築(H16年度方針)

- ・層境界、大曲断層の位置については地質構造モデルを踏襲
- ・層理面に高角な割れ目帯をモデル化



第2回 幌延技術検討会議

コメント票

第2回 技術検討会議 主要コメント一覧

- 1 . 他国に比べて新しい地層を対象としているので、地層の年代についてもっと明確に紹介した方が良いと思う。(本社：瀬尾氏) 16 - 地質 - 1
- 1 . fracture の type1 と type2 の時代関係はどうなっているのか。共役なのか、時代に差があるのか。もし、時代に差があるのであれば、fracture を形成した地質運動の活動時期によってステージ分けするようなことも検討してはどうか。(本社：瀬尾氏) 16 - 地質 - 2
- 1 . 大曲断層の形態について、どのように捉えているのか。1本の断層なのか、枝分かれしているのか、複数の断層(雁行状)からなる断層帯なのか。(本社：瀬尾氏) 16 - 地質 - 3
- 1 . 大曲断層について、透水性には言及しているが、水理バリアとして機能する可能性もあるので言及すべきでは。(東海事業所：内田 G L) 16 - 地質 - 4
- 1 . 大曲断層について逆断層かつ左横ズレとしているが、もっと複雑な動きをしていることも考えられるのではないか。地域全体の応力場の性質が変化することも考えられると思う。(東海事業所：内田 G L) 16 - 地質 - 5
- 1 . type1 と type2 の fracture について大きな時代差はないということだが、それならなぜ透水性に差があるのか分からない。透水性の違いの理由について説明してもらいたい。(東海事業所：内田 G L) 16 - 地質 - 6
- 2 . type1 と type2 の fracture について、大きさ(連続性)に違いはあるか。(東海事業所：内田 G L) 16 - 地質 - 6
- 1 . 今後、モデル化に伴い、fracture の type 分けをどのように取り込んでいくのか。(東濃地科学センター：尾方氏) 16 - 地質 - 7
- 1 . fracture の定義を定量的に連続性を持つように再確認すべきである。(東海事業所：内田 G L) 16 - 地質 - 8
- 1 . 「研究対象スケールと目的」について、スケール毎の検討内容と使ったモデルは整理されているのか。(東海事業所：澤田氏) 16 - 水理 - 1

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 1

コメント（本社：瀬尾氏）

1. 他国に比べて新しい地層を対象としているので、地層の年代についてもっと明確に紹介した方が良いと思う。

コメント対応（梶延：松井氏）

1. 拝承。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 2

コメント（本社：瀬尾氏）

- 1 . fracture の type1 と type2 の時代関係はどうなっているのか。共役なのか、時代に差があるのか。もし、時代に差があるのであれば、fracture を形成した地質運動の活動時期によってステージ分けするようなことも検討してはどうか。

コメント対応（梶延：松井氏）

- 1 . fracture の時代関係については、資料 16-2-2 の中で、type1 と type2 の「切った切られた関係」を示している。その結果、type1 と type2 の fracture は同時期に形成されたものだと判断している。したがって、ステージ分けできるものではない。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 3

コメント（本社：瀬尾氏）

1. 大曲断層の形態について、どのように捉えているのか。1本の断層なのか、枝分かれているのか、複数の断層（雁行状）からなる断層帯なのか。

コメント対応（幌延：松井氏）

1. 幌延センターとしては、大曲断層について1本ではなく枝分かれているような形態と見なしている。断層帯として捉えるかどうかは改めて検討するが、大曲断層の推定位置と弾性波探査のイベントとは概ね適合しており、弾性波探査と AMT 探査の結果などの結果を考慮した上で最も整合性の高い解釈である。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 4

コメント（東海事業所：内田GL）

1. 大曲断層について、透水性には言及しているが、水理バリアとして機能する可能性もあるので言及すべきでは。

コメント対応（梶延：石井氏）

1. 大曲断層の遮水性については否定しないが可能性は小さいのではないかと判断している。大曲断層の露頭を見ると、固結性の断層岩（ex. カタクラサイト）もないし、断層粘土（fault core に相当）も薄い。それと対称的にダメージゾーンの幅は広いので、総体的に高透水性（水みち）になると考えている。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 5

コメント（東海事業所：内田GL）

1. 大曲断層について逆断層かつ左横ズレとしているが、もっと複雑な動きをしていることも考えられるのではないかと。地域全体の応力場の性質が変化するようなことも考えられると思う。

コメント対応（梶延：石井氏）

1. 大曲断層については、いろいろなセンスの活動をしたという事も当然考えられるし、そのような内容の既存文献もある。しかし、およそ 3Ma 以降に限定すれば逆断層かつ左横ズレが良いと思う。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 6

コメント（東海事業所：内田GL）

1. type1 と type2 の fracture について大きな時代差はないということだが、それならなぜ透水性に差があるのか分からない。透水性の違いの理由について説明してもらいたい。
2. type1 と type2 の fracture について、大きさ（連続性）に違いはあるか。

コメント対応（梶延：石井氏）

1. fracture の透水性については、type1 は横ズレ断層、type2 は逆断層であり、その違いを反映していると考えている。
2. 露頭で見える限り、どちらも連続性は良く、大きさは同程度（最大 300m程度）と思われる。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 7

コメント（東濃地科学センター：尾方氏）

1. 今後、モデル化に伴い、fracture の type 分けをどのように取り込んでいくのか。

コメント対応（梶延：青木GL，畑中 SGL）

1. 今後、亀裂の取り扱いについても検討しながらモデル化を行って行きたい。
1. 少なくとも現サイトにおいては、堆積岩 = ポーラスメディアという認識を改める必要がある。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 地質 - 8

コメント（東海事業所：内田GL）

1. fracture の定義を定量的に連続性を持つように再確認すべきである。

コメント対応（梶延：石井氏）

1. 出来るだけ単純な区分が出来るように整理を行いたい。既存の文献などにも例があるが $l = 3\text{km}$ をしきい値として分類することも考えられる。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - 水理 - 1

コメント（東海事業所：澤田氏）

1. 「研究対象スケールと目的」について、スケール毎の検討内容と使ったモデルは整理されているのか。

コメント対応（梶延：竹内氏）

1. 現状では不十分なので、今後まとめる。

幌延技術検討会議

第3回

平成 17 年 1 月 14 日

平成 16 年度 第 3 回「幌延技術検討会議」メモ

日 時：平成 17 年 1 月 14 日 10:15 ~ 11:30

場 所：幌延深地層研究センター 第 1、2 会議室（TV 会議）

参加者：

本社：藤島

東海：前川、小西、青柳

東濃：茂田 GL、山本 GL、佐藤、見掛

幌延：福島次長、宇津 GL、一安主幹、青木 GL、畑中 SGL、澤畑、白戸、遠藤、畠山、
小島、森岡、雨宮、濱、中山、瀬尾、高橋、大原、舟木、山口、瀬谷（記録）

配布資料：

資料 16-3-1「幌延地下施設設計における通気網解析と模型実験について」

議事次第：

1. 「幌延地下施設設計における通気網解析と模型実験について」（畠山）
説明後に質疑応答

討議内容：

1. 「幌延地下施設設計における通気網解析と模型実験について」について（畠山）
 - ・幌延の防災基本コンセプトでは災害時に入坑者が安全に地上まで避難できることを前提としているのに対し、東濃では災害時にある程度の籠城を想定している。幌延の場合は軟岩地域であり、可燃性ガスの噴出も想定されるためこのような基本コンセプトとしている訳だが、双方の基本コンセプトに差があるという理解でよいか。（青木）
その通り。ただ、立坑の本数の違いも大きな理由である。（佐藤）
 - ・条件が違うので防災基本コンセプトに差が出るのも当然だし、外部にもそのように説明していく。（青木）
 - ・幌延には東濃での防災基本コンセプトは適用出来ないということか。（青柳）
幌延は堆積岩地域で可燃性ガスが湧出する。火災の際にファンが停電などで停止して坑内のガス濃度が上昇し爆発することもあり得るため、そういった危険を避けるため入坑者の即時避難を基本方針とした。（畠山）
 - ・東濃と幌延の防災基本コンセプトの違いについては対外的な説明などに必要なので、宇津 GL とも相談の上、早急にまとめる。（青木）
 - ・実験をするに当たって、坑内での上限温度は設定しているのか。もし、温度を上昇させないのであれば散水設備のようなものが必要になると思うが、そのような検討はしているか。（小西）
火災温度の 800 というのはこれまでの事例から妥当な値である。火災ガスの冷却については消火設備とは別にウォータースプレーのような設備も効果がある。これにつ

いては実施設計の中で検討する。(畠山)

- ・発火点での温度ではなく、火災時の一般部における温度の上限値を定めているのか、という質問である。上限値があって、初めて対策を検討することになるのでは。(小西)

坑内における温度の上限値については設定していない。坑内のどこでも火災が起り得るという前提で検討を進めている。(畠山)

- ・それは、必要ないからしていないのか、できないからしていないのか。(青木)

東濃でも過去に、火災に際して覆工コンクリートが爆裂しないのかという質問を受けたが、覆工コンクリートが爆裂するまでは相当の時間がかかり、それまで立坑直下に誰かが残っているということは考えられず、検討の必要性はないということになったことがある。そのように個々の状況を想定して重要度を判断すれば良いのではないか。(佐藤)

- ・それでは、実験において温度の測定値は何に使用するのか。また、有毒ガスの濃度分布などを解析するとして、ガス濃度、風速のデータは取らないのか。(小西)

ガス濃度、風速については計測している。(畠山)

- ・ガス濃度の制限値は設定しているのか。解析・実験を行うに当たっては何らかの制限値を設定しておいた方がよいのではないか。(小西)

実験の際、温度測定をする理由は火災ガスの挙動をより詳細に把握して、より適切な近似式を求めるためである。ガス濃度、風速についても、これまでの解析結果の検証のためと近似式を作るために計測している。(畠山)

- ・幌延の防災基本コンセプトとしては、火災ガスの温度に関わらず、一切火災ガスに出会わずに安全に避難できるというものであって、火災ガスの温度については重要な要素ではないと理解しているが、それでよいのか。(福島)

その通り。(畠山)

- ・東海にお伺いするが、実際の処分場のレイアウトとして、立坑と水平坑の割合については、どの程度か(ex. 鉱山などでは立坑：水平坑 1：10、地下研では1：1)。(青木)

即答は出来ない。(東海)

- ・地下研の成果を反映させる上で、立坑と水平坑の比は考慮すべき事柄と思う。また、模型実験については相似則を満足させることが重要である。(青木)

- ・今回紹介した一連の検討は、実施設計の一環として行っていることではあるが、将来、安全指針、技術基準などに成果を反映するに当たって、分かりやすい典型的な良い事例になると思う。研究計画の大きな柱の一つにしてもいいのではないか。(青木)

その通りだと思う。東濃においては、システム検証のためのセンサーの配置を計画しており、センサーと解析ソフトを連携させたシステム、管理者用のツールの開発も行っている。(佐藤)

- ・通気網解析の妥当性については、必ず安全審査の場で問題にされるテーマだと思う。これについては、一連の検討・解析・実験で説明して行く訳だが、その中でも模型実験については東海の仕事として相応しいと思うがどうか。(青木)
検討する。(前川)
- ・通気網解析については、可燃性ガスの湧出という特性があったにせよ、模型実験は幌延だけで行われている。今後、なぜ幌延だけで実験が行われたのかという質問に答えるためにも、意思の統一を図り、情報を共有させていただきたい。今後、東濃の設計の中にも幌延での結果を取り込んでいきたい。(山本)
まずは、東濃と幌延を対比した資料をまとめたい。また、第2段階計画にどのように取り込んでいくかを検討するので、東濃の方にも参加していただきたい。今後、九大の井上先生の所へ行く際なども同道してはどうか。サイクル機構の地下研のプロジェクトとして共同して実施していけたらと思う。(青木)
- ・こちらも人を出して行きたいと思う。(山本)
とりあえずは、日建設計の中に検討委員会があるので、そちらに参加してはどうか。(青木)
- ・検討する。(山本)

その他

- ・次回開催は決めていないが早目に予定を連絡して相談したい。年度内に、あと2～3回開催する予定である。(青木)

以 上

第3回 幌延技術検討会議

説明資料

資料 16-3-1 「幌延地下施設設計における通気網解析と模型実験について」

施設建設グループ 畠山

幌延地下施設設計における通気網解析と模型実験について

1. 幌延地下施設における防災の考え方

1) 幌延地下施設の特徴と検討すべき重要な災害の想定
(特徴)

- ・地下深部(堆積軟岩)に建設されること
 - 空洞安定性の確保対策(合理的な支保設計と施工等)
 - 坑内環境確保対策(温度,湿度,風速,粉じん対策等)
 - 地下水の排水,可燃性ガスの湧出対策(排水設備,換気,設備防爆化等)
 - 災害時の避難対策(通気制御,避難路確保等)
- ・一般見学者が入坑すること
 - 入坑者の安全確保対策(機械力による地上避難等)

(検討すべき重要な災害の想定)

- ・坑内火災
- ・ガス爆発・突出

2) 防災基本コンセプトの設定

可燃性ガスの発生を念頭において、「如何なる箇所で火災等の災害が発生しても,通気制御により安全区画を確保し,入坑者が安全に地表まで避難することができる防災システムを構築すること」とし,防災対策を立案

2. 防災対策立案における通気網解析の役割

地下施設レイアウトをもとに,防災基本コンセプトを満足できるかどうか検証・確認

坑内環境の予測(風量解析,熱環境解析)

設定した通気システムの評価,熱環境の評価の妥当性の確認

火災発生時の火災ガス煙の挙動予測(火災時解析)

通気制御方式,地上までの避難路確保など防災対策立案に適用

1) 通気網解析を採用した理由

本地下施設は深度 500m に及ぶ立坑を主体として水平坑道を組み合わせた複雑な構造となっており,一般の道路トンネル等の地下構造物に比べて深度が大きく,換気ファン等の通気施設数も増大し,換気回路も複雑となる。

一方,我が国の炭鉱や金属鉱山では更に複雑な坑道の配置を有しているものもあり,通

気網解析手法による坑内の通気設計が既に普及していることから、本地下施設における防災対策を立案する上で通気網解析手法を採用することとした。(添付資料1.「石炭鉱山、一般土木地下構造物等における通気、換気等の考え方の比較」参照)

2) 通気網解析の概要

解析に使用しているプログラムは九州大学井上助教授が開発したもので、風量解析、火災時解析、熱環境解析、退避解析等からなり、解析プログラムとしては風量解析プログラムと熱環境解析プログラムから構成され、火災時解析プログラムや退避解析プログラムは風量解析プログラムのサブプログラムとして位置づけられている。

(1) 風量解析

一般に温度条件を考慮しなくて良い通気回路からなる解析モデルで用いられ、解析手法は、坑内各点の圧力を未知数として求める節点解法といわれるものである。入力データは各節点の標高、温度、各坑道の通気抵抗値、換気ファンの特性曲線などの適切な設定が重要である。

坑道や風管などを組み合わせた複雑な通気回路からなる通気網を流れる風量を計算する。

(2) 熱環境解析

坑内の熱環境の把握が重要である場合や初期岩盤温度が高い場合、坑内設備等の発生熱が大きい等強い自然通気圧が働く場合に用いられ、空気と岩盤及び坑内の熱源との熱交換、坑道壁面の湿潤度を考慮して、坑内空気の温度、湿度を計算する。実際には、上記の風量計算と温度・湿度の逐次計算により、坑道を流れる空気の温度・湿度を求める。

(3) 火災時解析

平常時の通気網解析と通気温度計算を組合せ、更に火災時解析に必要な計算手法を加えて発展させたもの。任意の節点(坑口、坑道分岐部、坑道途中などに設定)に火災温度を与え、坑道壁面による冷却を考慮した火災ガスの挙動や温度変化、火災ガス濃度などを求める。

3. H15 年度までの成果

1) H13 年度: ガス発生 の 予測評価、防災対策の検討

ガス発生量の予測結果に基づき、防災の考え方を整理し、適切な換気システムの確保、必要風量の算定、施設完成後の火災等を想定した換気及び避難経路等の防災対策を検討した。

検討にあたっての防災基本コンセプトは「坑内からの発生ガスによるガス爆発等の発生を防止するとともに、如何なる箇所でも火災等の災害が発生しても、通気制御により安全区画を確保し、入坑者が安全に地表まで避難することができる防災システムを構築すること」

とした。

本地下施設は立坑主体の地下構築物であり、自然通気の影響が大きいこと、また火災等の非定常時の通気挙動は予測しがたいことから、今後通気網解析技術を用いた詳細な解析が必要であるとした。

2) H14 年度:基本計画の検討

基本計画図、ガス発生量の予測結果および平成13年度に設定した防災基本コンセプトに基づき、必要風量の見直し算定、通気システムの設定(主要換気は坑道換気、局部換気は局部ファンと風管)、熱環境解析及び火災時解析を実施して、坑内熱環境を評価し、火災ガスの挙動を予測して想定した通気制御方式の妥当性を評価した。その結果、基本レイアウトにおいて地下施設完成後は防災コンセプトを満足できることを検証した。

(1)実施した通気網解析の概要

風量解析

- ・施工ステップ毎に切羽風量および風向を評価
- ・ファンの作動点が適正運転範囲にあるかチェック

熱環境解析

- ・施工ステップ毎に坑内全域における夏季及び冬季の熱環境を評価
設定温度(作業箇所 28 以下、その他 37 以下)を満たしているか否かをチェック
入気温度は夏季(8月平均気温)20、冬季(2月平均気温)-10とした。

(解析結果)

- ・夏季:28 を超える箇所が掘削切羽で一部見られるが、切羽押込側局部ファンの風量抑制で対応可能
- ・冬季:入気立坑以外でも、掘削中は立坑掘削切羽、水平坑道掘削切羽の一部で 0 以下となる。また、第2段階の研究終了段階では250m坑道、500m坑道で -1 から -5 と想定され、坑口暖房等の凍結防止対策が必要であるとした。

火災時解析

- ・火災発生箇所毎に想定した地上避難のための通気制御方式の妥当性を評価

(解析条件)

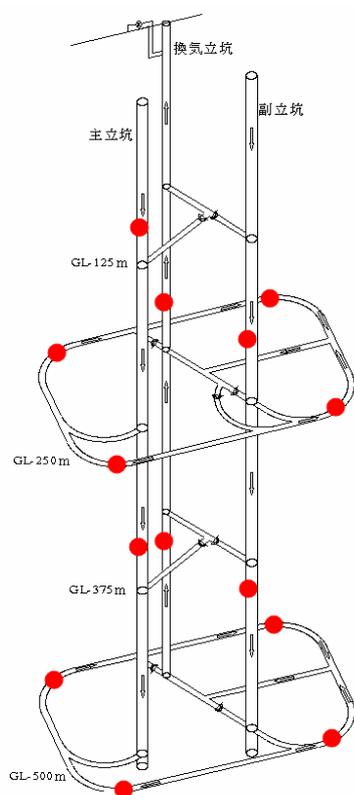
解析ケース:第2段階研究終了時点の冬季

火災発生箇所:坑内の全域に14ヶ所設定(第1図)

火災温度:800

通気制御方針:風門の調節(開、閉、風量調整)を実施して、火災ガス・煙を最短距離で換気立坑から排出し、水平坑道の汚染範囲を最小限にとどめると共

に、最も入坑者の集まりやすい試験坑道の汚染を避ける



第1図 火災発生箇所設定位置

(解析結果の概要)

火災ガス・煙挙動は大まかに5つのパターンに分類出来る(実際には重複し、火災状況別の明確なパターン分けは困難)。

いずれのパターンでも適切な通気制御(主要換気ファンの単段運転から連合運転への切替え, 風門開閉等)により安全区画を確保可能。

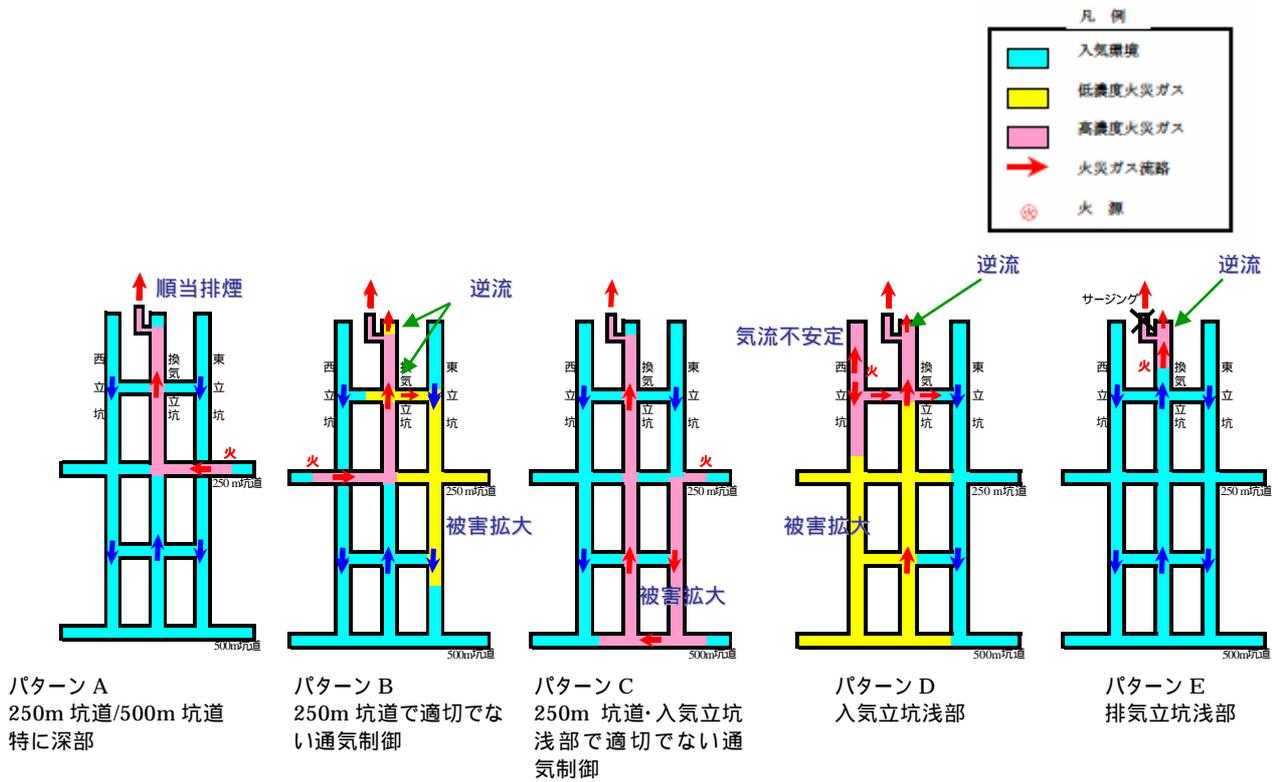
パターンA: 逆流も無く通気制御も容易で十分に火災ガス・煙を制御できる。

パターンB: 火災ガス・煙は換気立坑から地表に排出されるが、火災により発生する大きな自然通気圧により125m坑道や375m坑道から入気立坑側に逆流し、坑内各所に火災の影響範囲が及ぶ。

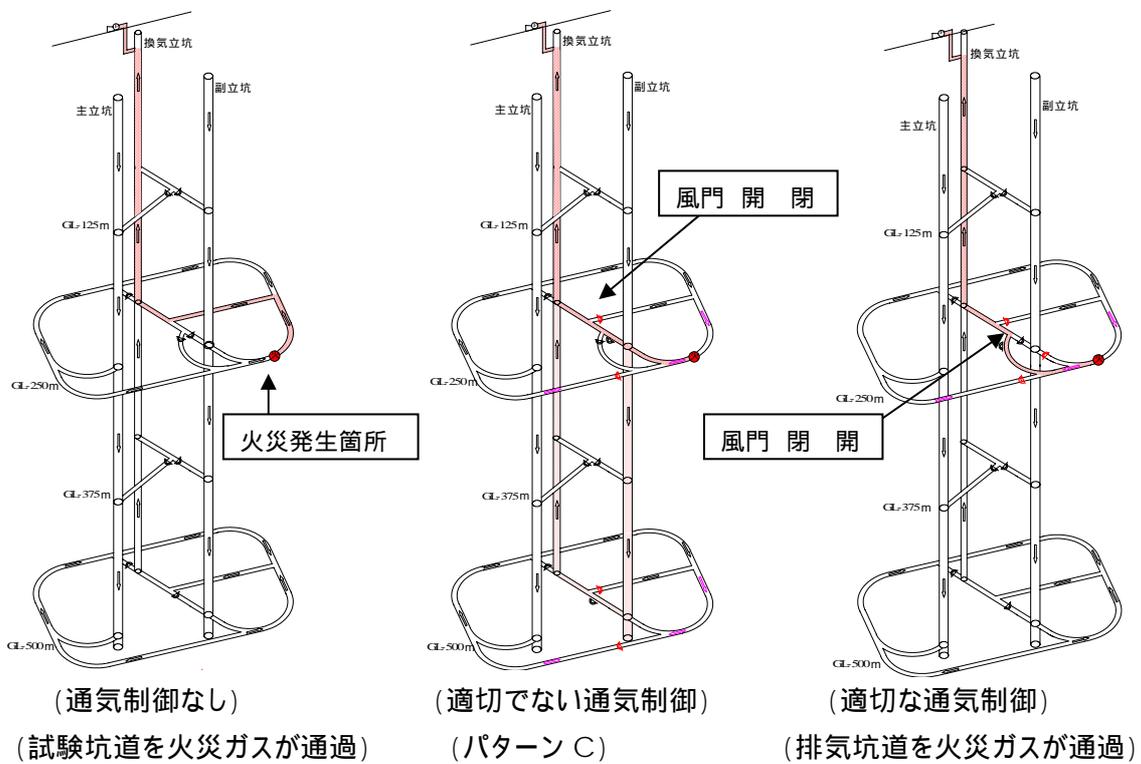
パターンC: 風門制御で火災ガス・煙を換気立坑に誘導しようとしても、入気立坑を降下して深部を汚染し被害が拡大する。

パターンD: 火災により発生した大きな自然通気圧により、火災ガス・煙が入気立坑に逆流して上昇したり下降したりする不安定なパターン。

パターンE: 火災により発生した大きな自然通気圧により、主要ファンの吸込み側圧力が吐出側圧力よりも高くなり、主要ファンがサージングを起こす。



第2図 火災ガス挙動パターン(通気制御なし) (基本計画検討)



第3図 適切でない通気制御と適切な通気制御の例 (基本計画検討)

(課題)

- ・施工ステップ毎のより詳細な解析を実施して通気制御方法を設定する必要あり
- ・下向きに風が流れる立坑や斜坑に火災ガスが流入すると、上向きの自然通気圧が働くため坑道内で対流現象を起こしながら流動するという考えもあり、解析結果と一部異なることも考えられることから、実験的手法による検証と解析精度の向上を図る必要性について言及

3) H15年度:基本設計

代表的な施工ステップ毎に火災時の通気制御パターンを設定し、避難路の安全確保と火災ガスによる被害の拡大防止が可能であるか検討。その結果、施工ステップ毎に想定される火災に対応した適切な通気制御を行うことにより、火災ガスが坑内に拡散する範囲を最小限に抑え、地上までの避難のための安全区域を確保できること、掘削中の坑道においても避難のための安全区域を確保できることを検証。

(1)実施した通気網解析の概要

熱環境解析

施工ステップ毎に坑内全域の熱環境を評価し設定温度(作業箇所 28℃以下、その他 37℃以下)を満たしているか否かをチェック。冬季の入気温度は坑口暖房を実施して 0℃とした。

(解析結果)

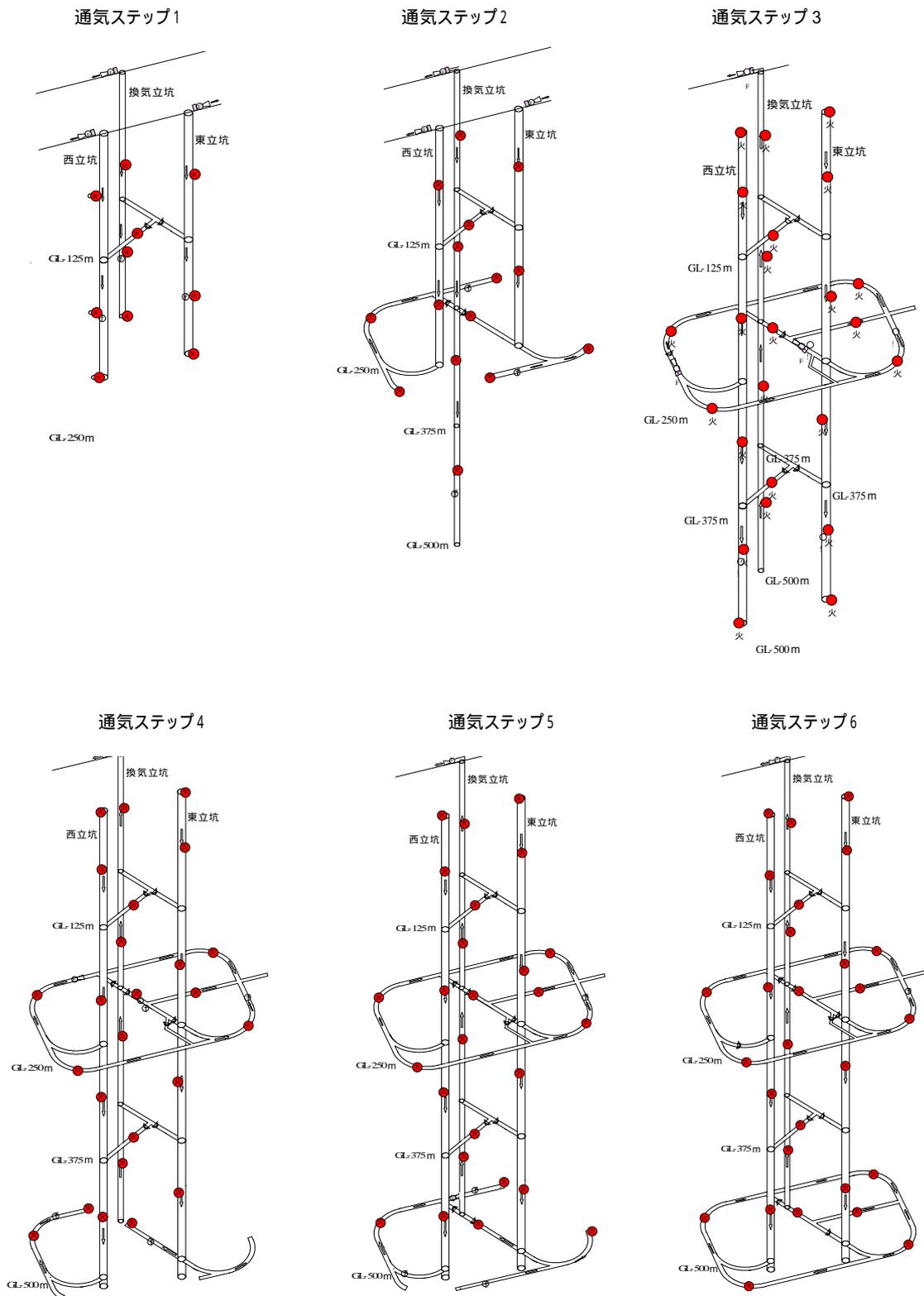
全ての施工ステップにおいて、夏季は高湿、切羽周辺で 24～25℃、その他で概ね 20℃以下。冬季は低湿、0℃以上、一部設備発生熱で 10℃であり、設定温度を満足することを検証した。

火災時解析

代表的な施工ステップ毎に、設定した火災発生箇所に対応した火災ガスの挙動を把握、想定した通気制御方式(防災基本コンセプトに基づいた避難路の安全区画化、被害拡大防止のための火災ガス誘導)の妥当性を評価

(解析条件)

- ・火災発生箇所 : 最大 26 箇所(第4図)
- ・火災温度 : 低温(気流挙動が変化する場合は変化点付近の温度)と 800
- ・解析季節 : 冬季(自然通気圧の大きい季節)
- ・冬季坑外温度 : 坑口暖房により 0
- ・通気制御パターン: 風門制御(開閉)、主要ファン制御(停止、連合運転へ切替)、
局部ファン制御(停止)



第4図 施工段階毎の火災発生源設定位置

(解析結果の概要)

・坑道換気が行われている場合

適切な通気制御で地表避難可能

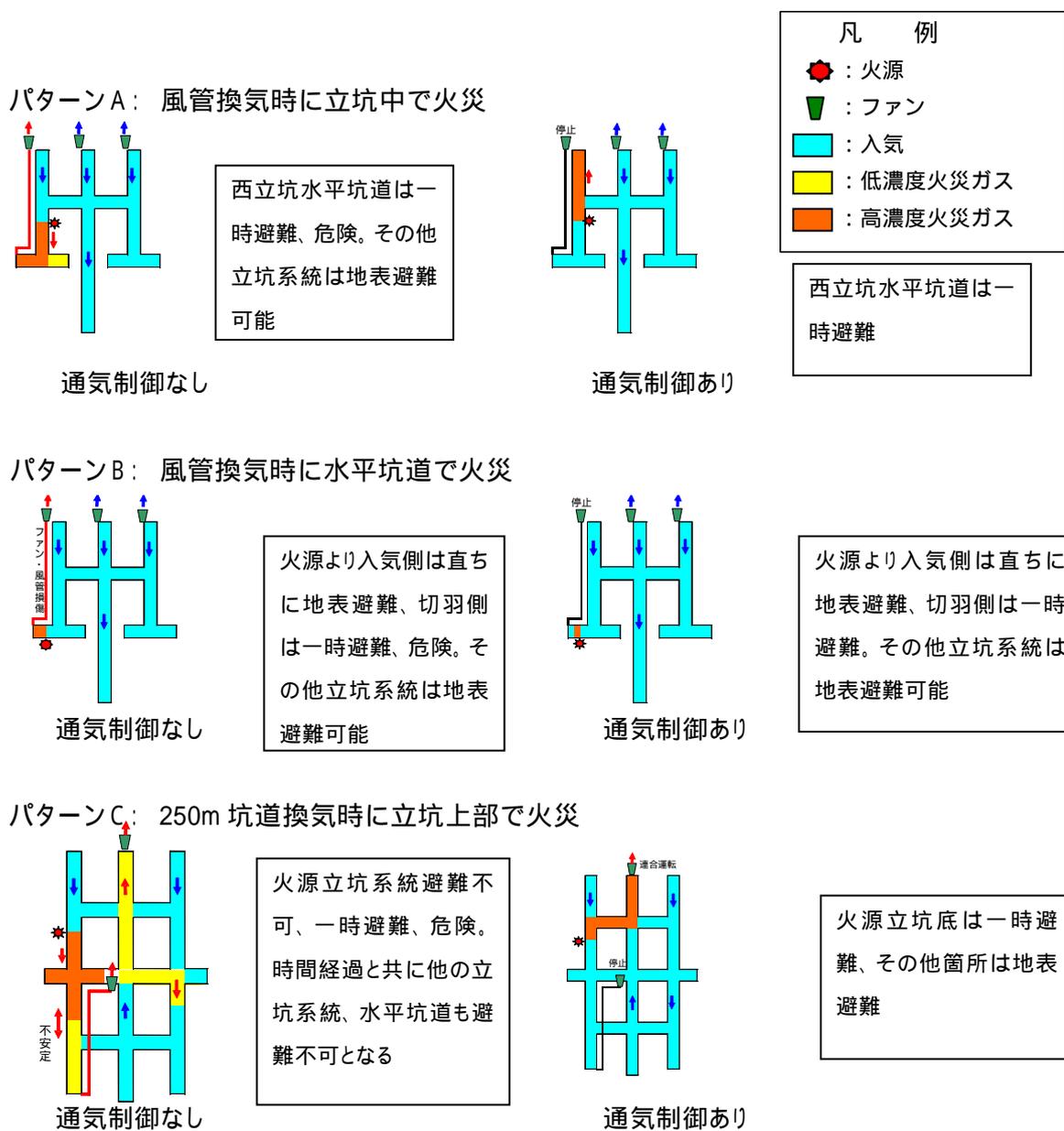
・掘削中の行止り坑道の場合

道中で火災時は地表避難不可，通気制御で火災ガスの誘導・停滞による切羽近傍の一時避難所の安全確保

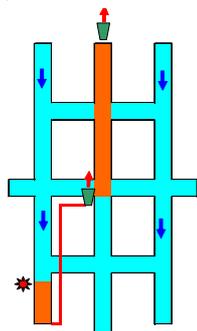
・施工段階毎の火災ガス挙動

おおまかに6パターン化

以下に6種類のパターンにおける通気制御が無い場合と行った場合の火災ガスの挙動を示す。

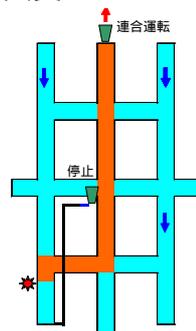


パターンD： 250m 以深風管換気時に立坑中で火災



通気制御なし

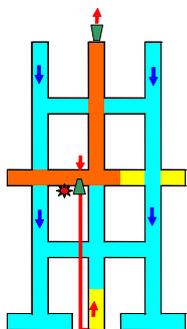
火源立坑避難不可、一時避難、危険。その他立坑系統および水平坑道は直ちに地表避難



通気制御あり

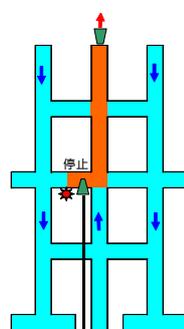
火源立坑底は一時避難、その他箇所は地表避難

パターンE： 250m 以深風管換気時に水平坑道で火災



通気制御なし

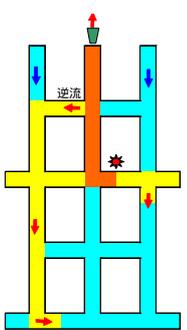
250m 坑道避難ルート限定、遠距離となって時間を要し、危険拡大
500m 坑道および東西立坑は直ちに地表避難



通気制御あり

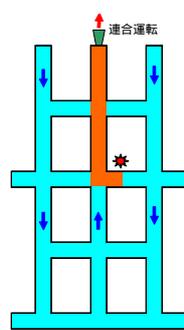
全域地表避難

パターンF： 250m 以深風管換気時または 500m 坑道換気時に水平坑道(250m)で火災



通気制御なし

250m 坑道避難ルート限定、遠距離となって時間を要し、危険拡大
500m 坑道および東西立坑は直ちに地表避難



通気制御あり

全域地表避難

第5図 6種類のパターンにおける、火災ガスの挙動 (基本設計)

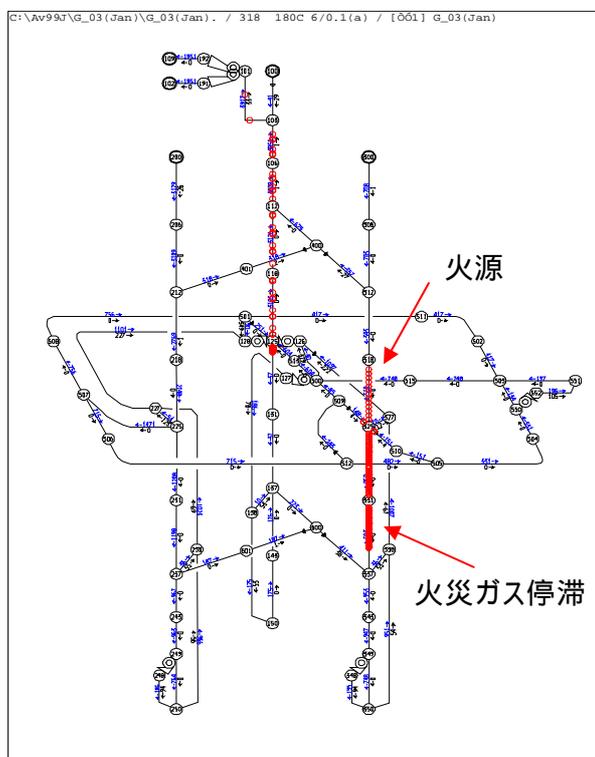
(通気網解析プログラムに対する課題)

複雑な地下構造(坑道配置)を有する本地下施設の防災対策を検討する上で、通気網解析は非常に重要な手法であるが、以下のような解析上の課題が存在する。

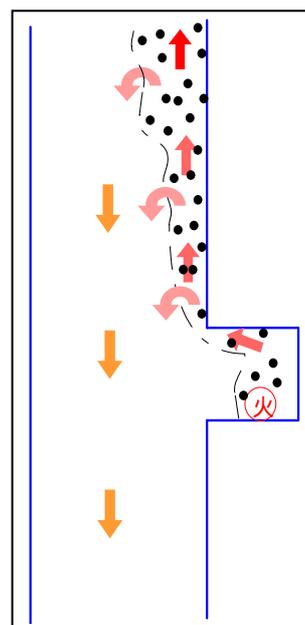
火災ガスの挙動は、水平坑道においては浮力効果は殆ど働かず、絞り効果(温度による空気の体積の膨張による壁面との摩擦増大)により通気速度が低下するだけである。しかし立坑や斜坑など落差のある坑道においては、浮力効果が働き、通気速度増加、減少、停滞、逆流など様々な現象が生じると考えられる。

通気網解析においては坑道内流れを1次元として取り扱っているため、実際の火災ガス挙動との相違がある可能性がある。例えば解析では停滞していても、実際には同一立坑内で対流現象を起こしていることも考えられる。その例として、第6図にステップ3の東立坑浅部における火災ガスの挙動を示す。ここでは火災ガスは東立坑を降下し、250m 坑道を經由して換気立坑から排出されるが、一部のガスはそのまま東立坑を降下し、途中で停滞している。実際には高温の火災ガスは浮力により立坑上部に流れようとし、壁面で冷却されたガスは壁面に沿って降下しようとすると考えられ、さらにガスによる汚染範囲が広がっている可能性がある。本プログラムではこのような2相のガスの流れを評価することが出来ない。第7図に実際の火災ガスの流れの予想図を示す。

シミュレーションのロジックの検証方法としては、一般に実験的手法が用いられるが、火災時解析上の課題解決方法としては、実規模実験が困難であることから、模型実験を行う方法が妥当と考えられる。



第6図 火災ガスが停滞する解析例



第7図 火災ガス挙動の予想

4. H16 年度計画:実施設計

レイアウトの変更及び建設工程の変更(3 本同時着工 換気立坑から順次シリーズ掘削)に伴い,400m 以深は 2 本立坑となり,建設中の 2 本立坑状態の期間が長期化するため,H15 基本設計で実施した熱環境解析及び火災時解析を見直す。

並行して通気網解析上の課題解決策として通気挙動模型実験を実施する。(添付資料2「模型実験計画書」,添付資料3「模型実験途中経過」 参照)

4.1 模型実験の成果の反映先と今後の予定

実施設計への反映

実施設計では,既存の解析プログラムによる火災時解析結果のうち,実際の挙動と異なりと予想されるケースについて,模型実験結果による補完を実施する。また,解析プログラムを修正するための近似式を構築する。

今後の予定

- ・解析プログラム修正
- ・修正プログラムによる火災時解析
- ・骨格(全体)モデルでの模型実験
- ・二期工事の防災対策に反映

地下施設建設工事への反映

防災基本コンセプトを満足するためには,火災時の火災ガス挙動予測,通気制御,一時避難所への避難誘導方法,地上への避難方法などの火災時対策の信頼性向上が重要である。そのためには,立坑を主体とした坑内での火災ガス挙動を,より高い精度でかつ短時間で把握・予測できることが前提となる。

修正した解析プログラムを坑内情報管理システムに組み込むことにより,より精度の高い火災影響範囲の予測が可能となり,防災基本コンセプトを満足するための,よりの確な通気制御,避難方法指示が可能となると考えられる。具体的には,

- ・立坑を主体とした地下施設での火災ガス挙動を,より高い精度でかつ短時間に把握・予測できる
- ・坑内情報管理システムにおける火災影響範囲の予測,通気制御方法の表示と指示,一時避難所への避難路の表示と指示,消火方法の指示などの火災時対策の信頼性が向上する
- ・火災時の迅速な対応に必要な防災マニュアルに反映される
- ・坑内情報を収集する各種センサなどの防災関連設備などへ反映される

これらの成果反映が幌延地下施設に期待される時期は,以下の通りである。

- ・第2段階の通気制御が重要となる坑道換気切替え後(H21以降)の防災対策

- ・第3段階の防災対策
- ・将来の地層処分場建設の防災設計

以 上

(参考) 石炭鉱山、一般土木地下構造物等における通気、換気の考え方の比較

	坑内掘石炭鉱山	一般の土木地下構造物	地下研究施設等
坑道掘削の目的	<ul style="list-style-type: none"> ・採掘作業が目的 ・掘削は数10年～100年程度 ・骨格構造は水平坑道主体 ・自然通気圧の影響は全体と比較して小さい 	<ul style="list-style-type: none"> ・完成後の用途に供することが目的 ・掘削は数年～10年程度で完了する一過性 ・建設目的により様々な形態 	<ul style="list-style-type: none"> ・地層処分研究が目的 ・高低差の大きい立坑主体の場合、深部の初期岩盤温度が高く自然通気圧が大きいため、全体通気力への影響も大きくなる
坑道断面	<ul style="list-style-type: none"> ・坑道断面は比較的小さい ・回路の通気を取扱う 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に坑道断面が大きい ・大空間の場合、空洞内の気流挙動も考慮 	<ul style="list-style-type: none"> ・坑道断面は比較的小さい ・回路の通気を取扱う
坑内環境	<ul style="list-style-type: none"> ・可燃性ガスの発生 ・深部化するにつれて地熱上昇 ・坑道は複雑で網の目のように入り組んでいる ・坑内状況は常時変化し続け、メソライツとして、膨大な量の空気の挙動を適切に管理制御 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に道路トンネル等では比較的単純な構造 	<ul style="list-style-type: none"> ・堆積岩系では可燃性ガス湧出が予想される場合あり ・通気施設数が増大、換気回路の複雑化
通気・換気設計の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ・開発の初期段階から坑内レイアウト、坑道断面形状、目貫間隔等の設計に通気システムを反映 ・石炭の賦存条件や自然条件が炭鉱毎に異なり、夫々独自の技術を開発・蓄積されてきたため、マニュアル化されていない ・作業環境保全はもとより、長大かつ複雑な通気網への合理的な通気配分、可燃性ガスの希釈や制御 ・災害発生時の退避ルート確保のための通気制御等、防災面も重視 	<ul style="list-style-type: none"> ・必要換気量の算定、適正ファンの選定に主眼 ・マニュアル化により設計施工が容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・火災時解析の結果を坑道設計に反映
通気網解析	<ul style="list-style-type: none"> ・通気挙動は数値解析により容易に予測可能、解析信頼性が高い ・1980年代以降、国内全ての炭鉱に解析ソフトが普及、独自に通気網解析を実施 ・通常作業時における坑道の貫通、部内展開に際しての通気変更の予測解析に効果的 	<ul style="list-style-type: none"> ・換気設備設計は数値解析によらなくとも可能 ・重要課題は、粉じん対策ガイドラインを如何にしてクリアするか 	<ul style="list-style-type: none"> ・可燃性ガスの希釈や制御 ・災害発生時の退避ルート確保のための通気制御等、防災面を重視 ・必要換気量を確保できることの検証、熱環境解析、火災時解析に使用。
入坑者教育	<ul style="list-style-type: none"> ・入坑者は一定レベルの教育を受けた者に限られる 	<ul style="list-style-type: none"> ・入坑者は一定レベルの教育を受けた者に限られる 	<ul style="list-style-type: none"> ・入坑者全員が十分な教育を受けることは困難、非常事態時の対応に問題

通気挙動模型実験 実施計画書

1. 概要

幌延で計画されている深地層研究施設のように落差のある立坑では、浮力効果が働き、通気速度の増加、減少、停滞、逆流など様々な現象が生じ、現在の火災時解析（火災ガス温度計算における近似式）では、火災ガスの挙動を予測することは難しい。しかしながら本研究施設の防災対策を検討する上では、火災時解析は極めて重要な検討方法と言える。

このため、地下施設実施設計において実施する火災時解析を検証するために、実験により、風速・火災温度・ガス濃度などの条件を変化させた場合に発生する火災ガスの挙動を把握できる模型実験を実施する。

実験は、地下施設の構造を単純化した立坑模型での火災実験（地下施設立坑部分での火災想定箇所 - 図1参照）を実施し、従来の火災時解析プログラムの評価および修正のためのデータを取得し、プログラム修正のための近似式を構築する。また、実験結果は、実施設計における既存の火災時解析プログラムによる解析を補完し、反映させるものとする。

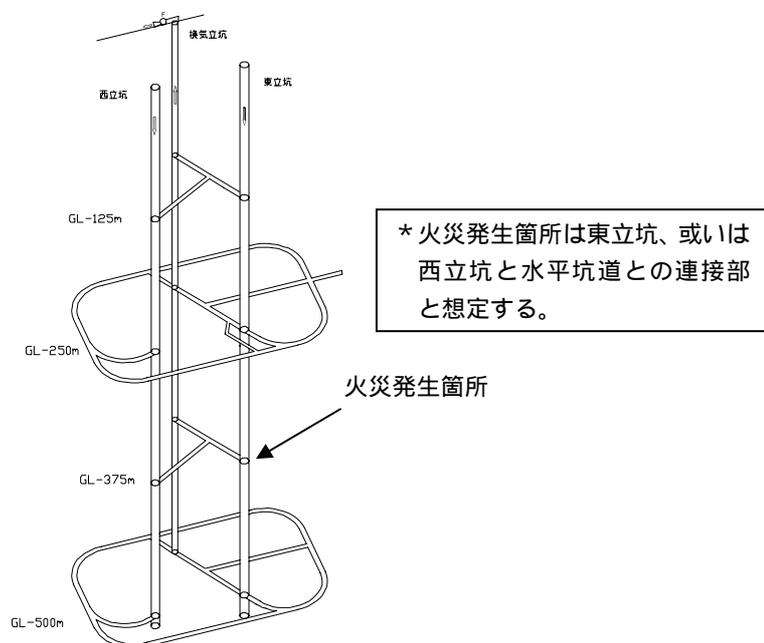


図1 模型実験による火災発生箇所

2. 業務範囲

- (1) 実験方法の計画、検討
- (2) 実験場所の手配
- (3) 実験用模型の手配
- (4) 模型実験の実施
- (5) 実験結果の分析、評価
- (6) 火災時解析プログラム修正用近似式の構築
- (7) 報告書作成

3. 業務内容

- (1) 実験計画を作成すると共に実験用模型の手配を行う。実験では、風速・火災温度・ガス濃度などの条件を変化させた場合に発生する火災ガスの挙動を把握できるようにする。実験内容の検討にあたっては、必要に応じ有識者の意見を反映する。
- (2) 実験は通気・防災に関する学識経験者のご指導とご協力を得ながら実施するものとする。
- (3) 実験方法は、次の通りとする。

模型寸法: 模型は四角で、内寸約 200mm × 約 200mm × 高さ約 3400mm × 横約 2700mm (実験室状況により多少変更、添付模型概要図参照)

模型の立坑部分は、重量が嵩むために 3 分割が可能なようにし、1 ユニットは 1m 程度の分割型とする。模型の固定は、模型のアルミ支柱から実験室の床面および天井に固定する。

中間部には発熱体の設置スペースや CO₂ 等の不活性ガス^{注 1)}の放出口、発熱体のセットのための横への張出部を設ける。

発熱体から発生した煙挙動を観察できるように、模型の 2 面は耐熱ガラスとし、他の 2 面はアルミ壁とする。必要に応じアルミ壁には断熱材を貼り付ける。

発煙方法としては、発熱体 (電気ヒーター等) に油を滴下させる等の方法を用いる。

煙はそのままでは観察できないので、模型上部からレーザー光線を当てて可視化する。煙挙動は、ビデオおよびカメラで記録する。

立坑の空間各所に測定箇所を設け、センサを取り付けて必要箇所でデータを測定する。

立坑上部には風速計を設け、風速を測定する。立坑内では CO₂ 濃度・

温度等を測定する。温度測定には熱電対を使用し、データロガ等に取り込む。

排気は、小型ファンで吸引し室外へ排出する。ファンの回転数を変化させ、風量（風速）を変える。

排気は高温になるため、模型の坑底出口側に散水設備を設け、冷却する。

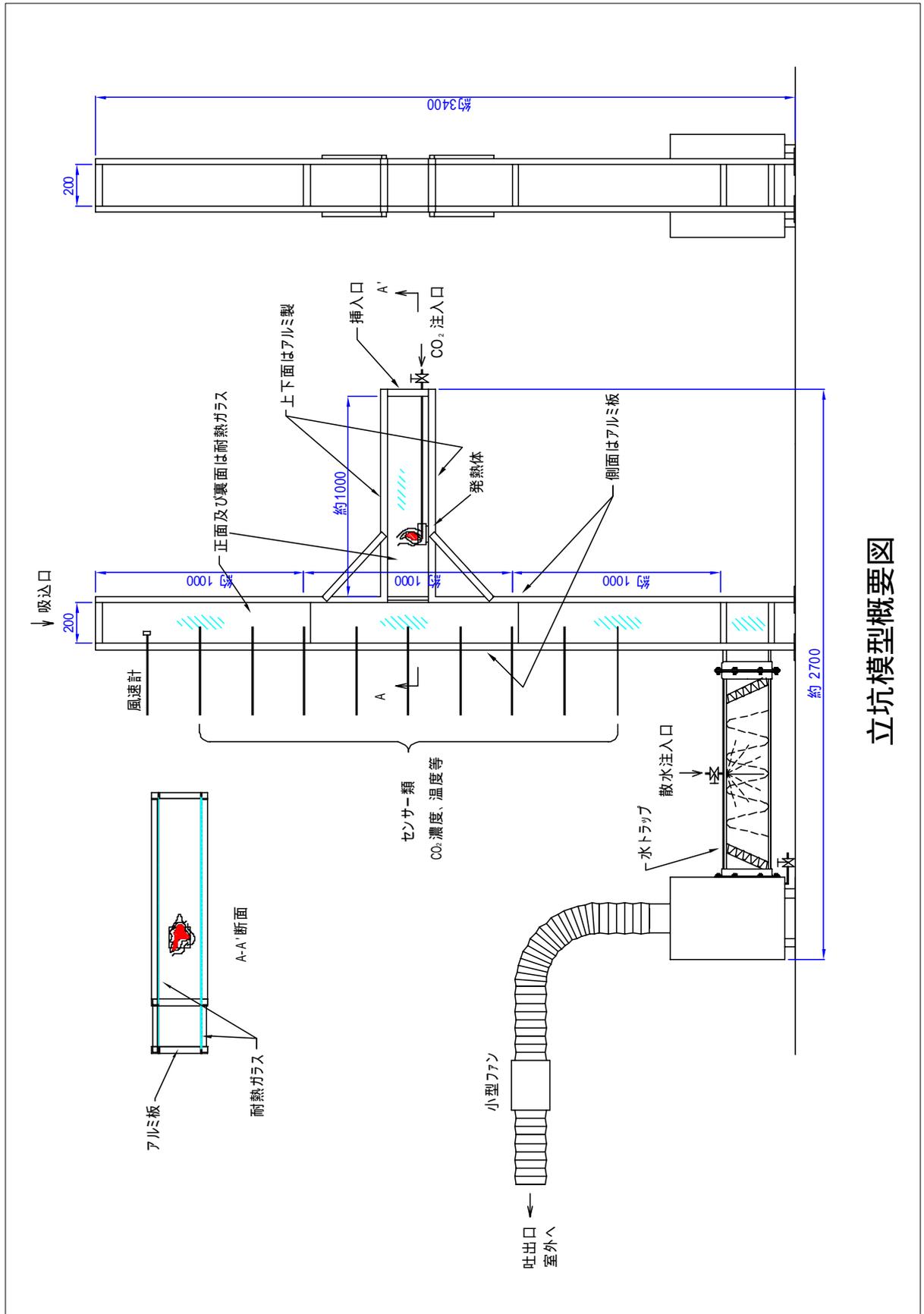
注 1):実際の火災では CO が発生するが、実験に CO を使用することは危険であるため CO₂ を用いる。

- (4) 模型実験の結果を整理・分析し、従来の火災時解析プログラムの評価および修正のための基礎データを取得するとともにプログラム修正のための近似式を構築する。
- (5) 本年度の実験結果を基に、近似式を使ったプログラムにより地下施設における通気挙動を検証する計画を策定する。
- (6) 上記(1)～(5)の検討・実験について、検討経緯・設計条件の根拠等に関わる内容の詳細を記載した報告書を作成する。

4. 実験スケジュール

項目	年 月		2004 年					2005 年		
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
計画、検討、設計	■									
模型製作、改良		■.....								
模型実験				■						
データ整理				■						
実験結果の分析・評価						■				
火災時解析プログラム修正用近似式の構築							■			
実験の評価							■			
報告書作成								■		

以 上



立坑模型概要図

1. 模型実験における通気速度の設定

本模型実験の場合は、気流の流れの慣性力と火災により発生する浮力の影響が実験を大きく支配しており、慣性力と浮力の比を同じにして相似則を満足するようにする。

慣性力と浮力を考慮した場合、次の関係を満たせば良い。

$$F = \frac{v}{\sqrt{lg}} \sqrt{\frac{\rho}{\Delta\rho}} \dots\dots (1)$$

v : 風速 m/sec、l : 代表長さ m、g : 重力加速度 m/sec²、 ρ : 空気の密度 kgf/m³
 $\Delta\rho$: 通常と火災発生時の空気密度の差 kgf/m³

一般に $\frac{v}{\sqrt{lg}}$ をフルード数と定義している。

従って(1)式を模型と実際とで同じにすれば良いことになる。代表長さ l を内径寸法 d に置き換え、実際に a(actual)、模型に m(model)、火災時に f(fire)の添え字を付けて、模型実験の場合の通気速度 v(m/sec)を求めると、次のようになる。

$$v_m = v_a \frac{\sqrt{d_m}}{\sqrt{d_a}} \sqrt{\frac{\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_{mf}}}{\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_{af}}}} \dots\dots (2)$$

となり、模型の通気速度は、実物と模型の立坑寸法と温度で決まる。

立坑模型の内寸は 20cm×20cm の四角であるが、この断面積と同じ面積を持つ円に見立てた場合、その直径は、 $d^2/4 = 20 \times 20$ より $d = 22.6\text{cm}$ となる。本模型実験は、浮力が大きく実験を支配しており、四角の模型の断面積を同じ円の断面積に見立てて、上記のように条件設定すれば、形状が実験に与える影響は無視して良い。

実物との相似則を保つための模型での通気速度を求める。坑内温度及び実験室の室内温度を 20 とし、火災温度を 800 とすると、ヒーター温度は直上 1 cm ~ 2cm 付近で約 250 なので、通気速度は次のようになる。

寸法 : 模型 $d_m=0.226\text{m}$

実物 $d_a=6.5\text{m}$

温度 : 模型 $T_m=20 = 293^\circ\text{K}$ 、 $T_{mf}=250 = 523^\circ\text{K}$

実物 $T_a=20 = 293^\circ\text{K}$ 、 $T_{af}=800 = 1073^\circ\text{K}$

東西の入気立坑での風量を 2000m³/min とすれば、立坑直径 6.5m なので、

$$v_a = (2000/60) \div (6.5^2 / 4) = 1.0 \text{m/sec}$$

(2)式より模型の風速 v_m は

$$v_m = v_a \sqrt{\frac{0.226}{6.5}} \sqrt{\frac{\frac{1}{293} - \frac{1}{523}}{\frac{1}{293} - \frac{1}{1073}}} = v_a \times 0.19 \times \sqrt{\frac{0.00150}{0.00248}} = 0.19 \times 0.78 \times v_a$$

$$= 0.148 v_a = 0.148 \times 1.0$$

$$0.15 \text{m/sec}$$

従って、実物での 1.0m/sec の風速は、模型では 0.15m/sec の風速になる。このため模型実験では 0.1m/sec、0.15m/sec、0.20m/sec の 3 つの風速で実験を行った。

2. 実験方法

煙玉のみ、煙玉とレーザー、線香とレーザーの 3 ケースについて、ヒーター位置を図 2-1 のように変え、更に風速を 0.1m/sec、0.15m/sec、0.2m/sec と変えて実験を行った。

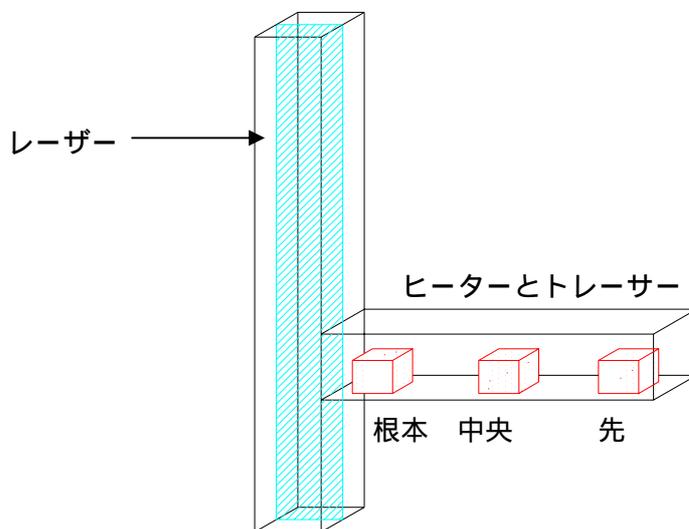


図 2-1 ヒーターとトレーサーの位置

ヒーターとトレーサーの位置を変えたのは、位置によって立坑内に流れる煙の挙動に違いがあるか確認するためであり、結果的にはほとんど差は無かった。

また、立坑内の温度を測定するために熱電対を図 2-2 のように設置した。

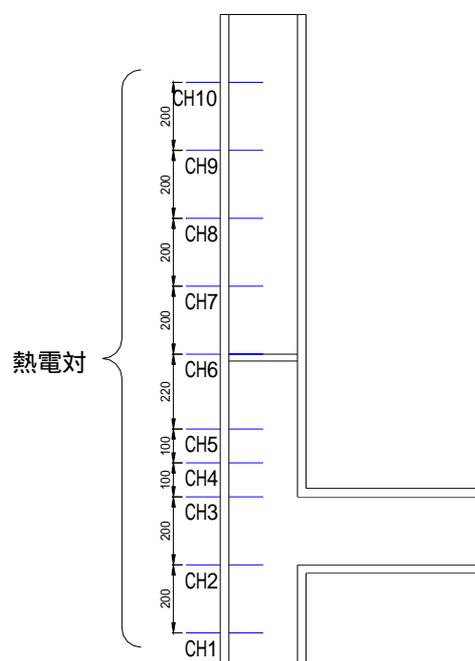


図 2-2 熱電対設置図

図では温度測定位置は立坑断面の中心（壁から 10cm）となっているが，実際は壁から 1cm，5cm，10cm，15cm，19cm の各点で測定した。

3. 実験結果

3.1 可視化について

(1) 煙玉

煙の発生当初は立坑内への流れはわかるが、立坑内では煙が拡散され薄くなり流れの観察は難しい。また、煙玉の持続時間が短く、観察時間も短い。



ヒーターを入れない場合：煙は下に流れる（通気方向に流れる）。



風速 0.15m/sec、ヒーター中央

ヒーター入れた場合：煙は逆流する。煙の発生当初は立坑内で逆流する状況が良くわかるが、煙が立坑内で段々と拡散されて観察は難しくなる。また、見やすさは煙の色にもよる。

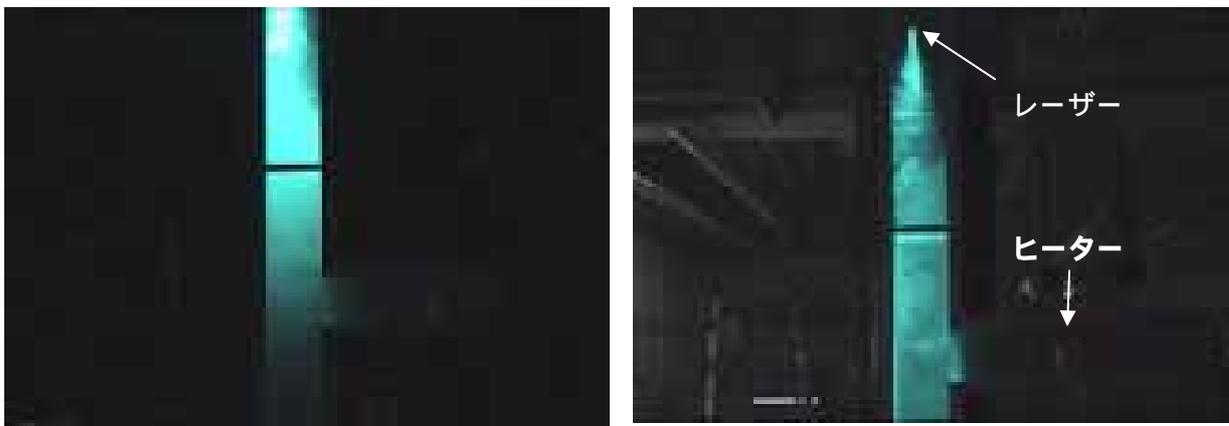
(2) レーザーと煙玉

レーザーを使用すると、立坑内での煙の流れがよく分かるが、見えすぎるために煙の発生につれ立坑内が煙で充満し、全体が白くなってしまい流れの観察が困難になる。



煙玉位置中央： 風速 0.15m/sec

煙の流れ始め。水平坑から立坑に上昇するのが分かる。



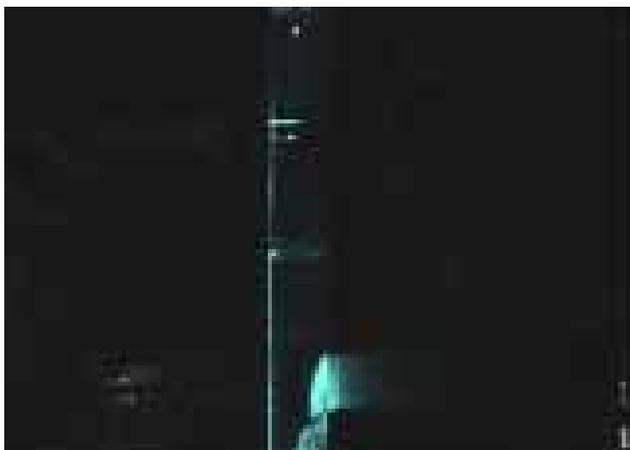
煙玉位置中央： 風速 0.10m/sec

煙が立坑内に充満して流れの観察は困難。

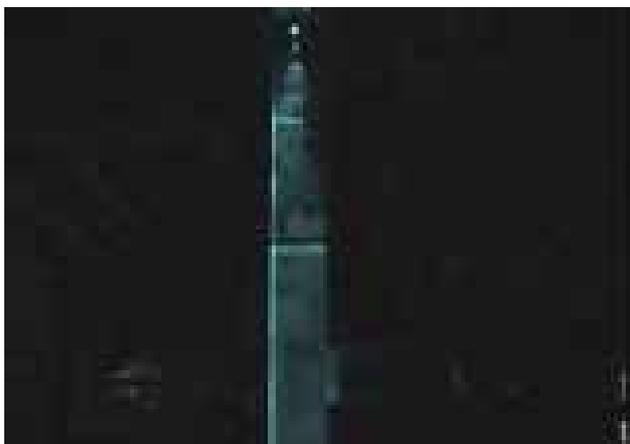
0.15m/sec

(3) レーザーと線香

線香の場合(20本程度) レーザーでの観察が良くできる。また線香の燃焼時間が長いのでゆっくりと観察できる。

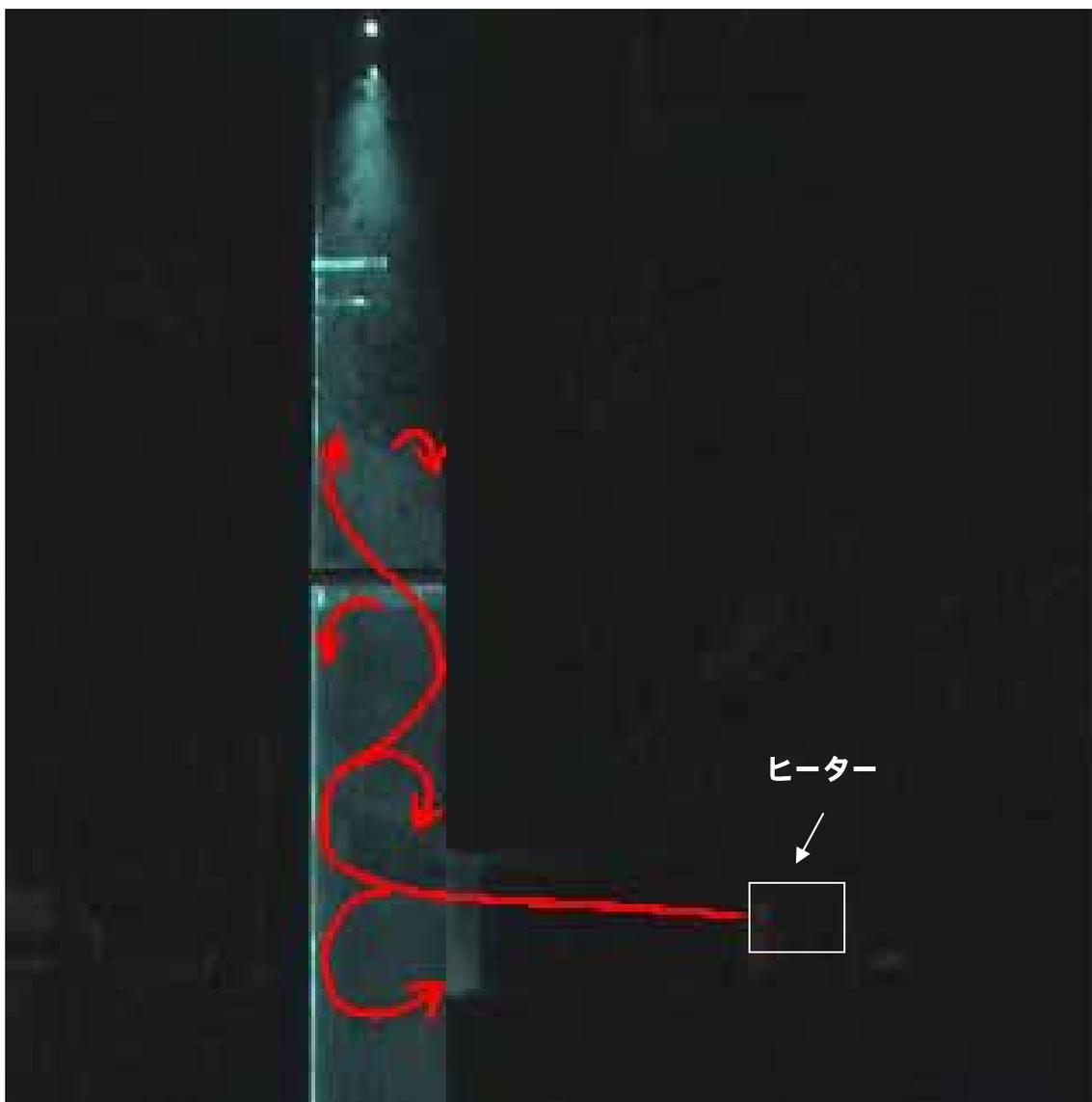


風速 0.1m/sec で、ヒーターの電源を入れた直後である。煙はまだ、下の方に流れている。



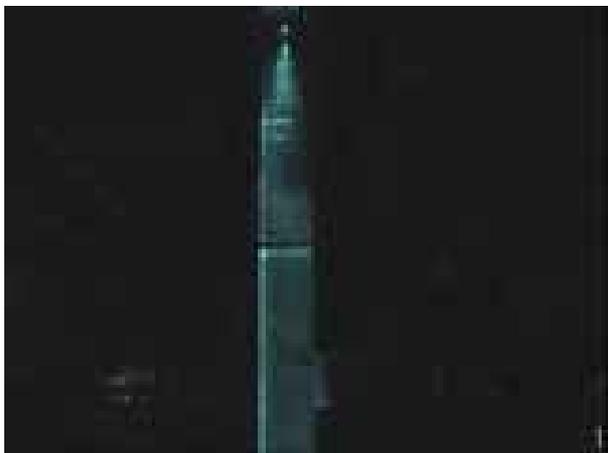
風速 0.1m/sec で、ヒーターが暖まった後である。煙はレーザーの所まで逆流する。

3.2 立坑内の煙の状態について



煙の動きは一様ではないが、大まかな傾向としては上図のような動きが見られる。水平坑から出てきたところで上昇する気流と下降して渦を巻く気流の流れがある。上昇した気流は壁側を下降する。これは壁が冷却効果により立坑内部より温度が低いためと思われる。

煙の上昇については、0.1m/sec、0.15m/sec、0.2m/secのいずれの実験においても立坑上部のレーザー設置箇所まで上昇するが、通気速度が遅い場合ほど上部に上がる煙の量が多い



ヒーター中央、風速 0.1m/sec



ヒーター中央、0.15m/sec



ヒーター中央、風速 0.2m/sec

3.3 立坑内温度分布について

図 2-2 にあるように、立坑内に 10 個の熱電対（熱電対の番号は下が CH1 で上が CH10）を設置して温度分布を測定した。水平坑でのヒーター設置箇所と立坑接続部での温度測定結果を図 3-1 に、立坑内での温度測定結果の 1 例を図 3-2 に示す（この値は速報値）。

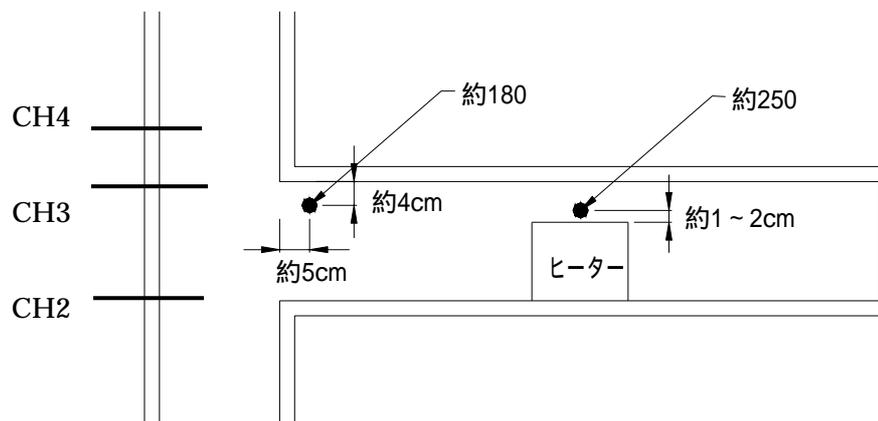


図 3-1 水平坑での温度

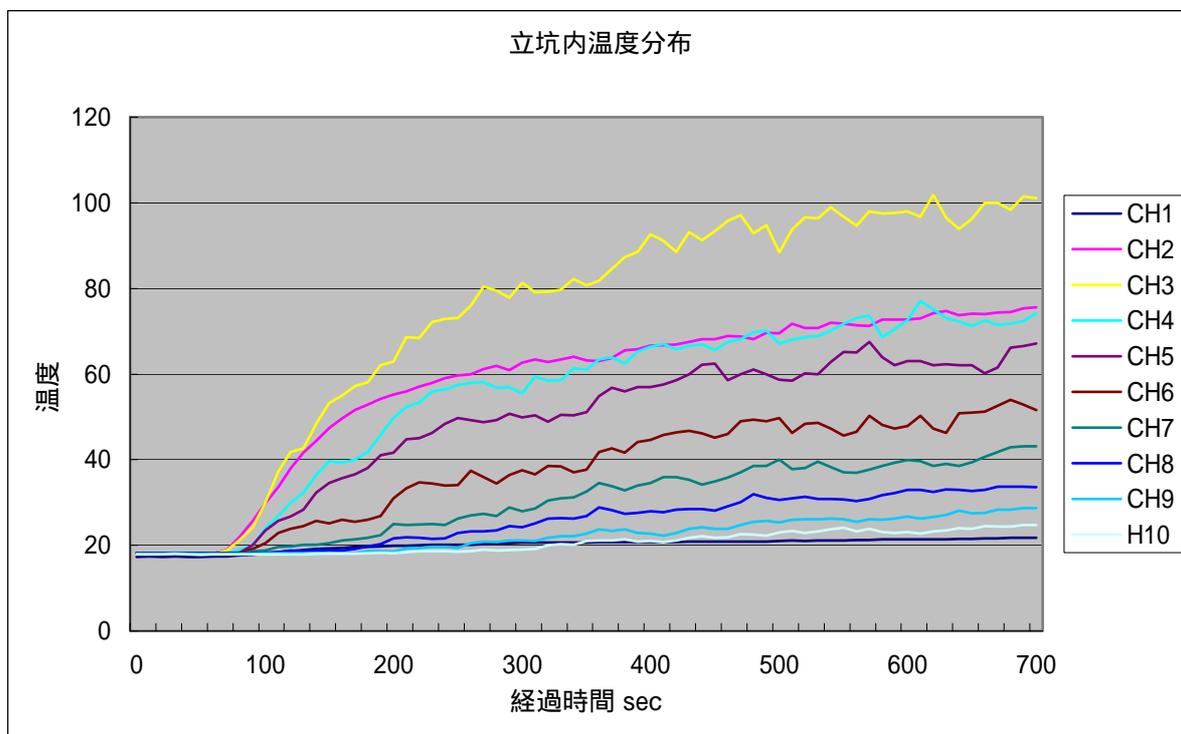


図 3-2 立坑内温度分布図（ヒーター位置中央、風速 0.1m/sec、熱電対位置立坑中央）

グラフからも分かるように、CH3 が最も高い温度を示し、次に CH2、CH4 が続いている。これは熱せられた空気が上昇気流となって立坑を上昇し、一部は接続部で下向きの渦を巻いている煙の流れと一致している。立坑上部の温度はあまり上昇せず、最上部の CH10 では 25 程度で、約 7 の温度上昇が見られた（開始時 18 ）。

4 . 今後の予定

各風速(0.1m/sec、0.15m/sec、0.2m/sec)に対応する立坑内の温度分布計測

CO₂ 濃度分布計測

データの整理・分析・評価

火災時解析プログラム修正用近似式の構築

第3回 幌延技術検討会議

コメント票

第3回 技術検討会議 主要コメント一覧

1. 幌延と東濃の防災基本コンセプトはどのように違うのか。(幌延：青木氏、東海：青柳氏) 16 - 施設建設 - 5
1. 検討に当たって、坑内での上限温度は設定しているのか。もし、温度を上昇させないのであれば散水設備のようなものが必要になると思うが、そのような検討はしているか。また、ガス濃度の上限値についてはどうか。(東海：小西氏) 16 - 施設建設 - 6
1. 通気網解析については、可燃性ガスの湧出という特性があったにせよ、模型実験は幌延だけで行われている。今後、なぜ幌延だけで実験が行われたのかという質問に答えるためにも、意思の統一を図り、情報を共有させて欲しい。(東濃：山本氏) 16 - 施設建設 - 7

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第3回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 5

コメント（幌延：青木氏、東海：青柳氏）

1. 幌延と東濃の防災基本コンセプトはどのように違うのか。

コメント対応（幌延：畠山氏）

1. 幌延は堆積岩地域で可燃性ガスが湧出する。火災の際にファンが停電などで停止して坑内のガス濃度が上昇し爆発することもあり得るため、そういった危険を避けるため入坑者の即時避難を基本方針とした。また、立坑の本数が幌延は3本あるため、避難経路を確保できるのも大きな理由である。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第3回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 6

コメント（東海：小西氏）

1. 検討に当たって、坑内での上限温度は設定しているのか。もし、温度を上昇させないのであれば散水設備のようなものが必要になると思うが、そのような検討はしているか。また、ガス濃度の上限値についてはどうか。

コメント対応（幌延：福島氏、島山氏）

1. 幌延の防災基本コンセプトは、火災ガスの温度・濃度に関わらず、一切火災ガスに出会わずに安全に避難できるというものであり、そのため火災ガスの温度・濃度の上限値については設定していない。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
その他		

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第3回 技術検討会議コメント票

16 - 施設建設 - 7

コメント（東濃：山本氏）

1. 通気網解析については、可燃性ガスの湧出という特性があったにせよ、模型実験は幌延だけで行われている。今後、なぜ幌延だけで実験が行われたのかという質問に答えるためにも、意思の統一を図り、情報を共有させて欲しい。

コメント対応（幌延：青木氏）

1. 東濃と幌延を対比した資料を作成する。また、第2段階計画に通気網解析の結果をどのように取り込んでいくかを検討するので、東濃の方も参加してはどうか。

コメント対応（東濃：山本氏）

2. 検討する。

幌延技術検討会議

第4回

平成17年3月15日

平成 16 年度 第 4 回「幌延技術検討会議」メモ

日 時：平成 17 年 3 月 15 日(火) 15:00 ~ 17:30

場 所：幌延深地層研究センター 第 1 会議室 (TV 会議)

参加者：

本社：-

東海：前川、小西

東濃：中島、國友、長尾

幌延：武田副所長、青木 GL、畑中 SGL、大原、津久井、中山、新里、佐々木、安江、瀬尾、舟木、山口、瀬谷(記録)

配布資料：

資料 16-3-1「遠隔監視システム(アクロス)について」

資料 16-3-2「電磁アクロスの開発とその試験観測」

資料 16-3-3「弾性波アクロスについて」

資料 16-3-4「Developing a Remote Monitoring System Using ACROSS in Horonobe Underground Research Laboratory」(参考資料)

議事次第：

1. 資料 16-3-1 についての説明(大原)
 2. 資料 16-3-2 についての説明(中島)
 3. 資料 16-3-3 についての説明(國友)
- 説明後に質疑応答

討議内容：

1. 「遠隔監視システム(アクロス)について」の説明に関する質疑応答
 - ・磁力計のセンサーは Y 成分が 0 になるように設置したのか。(長尾)
そのように設置した。(大原)
 - ・そうだとすると女満別との比較において、H 成分(女満別) = X 成分(幌延)と見なしてかまわない。また、D 成分(女満別) = Y 成分(幌延)という説明があったが、それについてはその通りであると思う。(長尾)
 - ・女満別のデータと比較していたが、このような場合、双方のデータがどの程度一致しているかを示すために、何か適切なデータ処理の方法はないか。(青木)
例えば広範囲な地下電気伝導度の特性を見るような場合は低周波領域での比をとったりするが、データ処理をどうするかは、基本的に何を見たいかによる。(長尾)
 - ・資料中の図では、H 成分(女満別)と X 成分(幌延)を比較している訳だが、例えばグラフのピーク位置を比較したり、値の比を取ったりするなど、両者が良く一致していることを示すためのデータ処理としてはどのようなものが考えられるのか。(青木)

双方のグラフを見る限り、よく似ているので、よい観測をしていると判断できる。ただ、それ以上のことについてはこの図からだけでは判断できない。(長尾)

現時点では、本格的な女満別 - 幌延の対比を行うのが目的ではなく、本当に磁力のデータが取れているかを確認するために気象庁のデータと確認しているに過ぎない。今後、解析の中で低周波数のノイズ(日変動量)を取り除きたいような場合には、必要に応じて女満別のデータを使うことも考えられるが、現時点ではそこまで実施していない。(中島)

- ・女満別はプロトン磁力計による計測で地磁気の絶対値が得られるのに対し、幌延ではフラックスゲート型磁力計を用いており0点補正をして測定結果としている。そのため、絶対値同士として比較するには無理があると思われる。比較としてはX - Yプロットを作って相関を見るくらいしかできないのではないか。(津久井)

現時点では絶対値を比較しているのではなく、磁力の変動について信頼できる値と同じかどうかを比較しているだけである。もし、絶対値を比較するのであれば幌延でもプロトン磁力計を使う必要がある。(中島)

- ・女満別のデータを使って長周期変動を取り除く際には、どのような処理を行えばよいか。(津久井)

まず、幌延のローカルな地磁気に対する要因を評価した上で、女満別のデータを基にして幌延で測定されるであろう値を計算で求める。そして、その計算値と実際の観測データの差を取るなり、比を求めるなりして日変動を取り除く、ということを経験的には考えている。(中島)

- ・資料の p.28 で、「地下からの反射波」と「浅部を伝播する波」について研究対象としてランク付けをしているが、反射波を強調すると受信点でアレーを組んだ意味が弱くなってしまいうため、p.28 中の表現で「主として」「その他」という表現を削除していただきたい。(國友)

- ・弾性波アクロスでは反射波がターゲットの一つではあるが、反射面が時間変動をするかどうか、また、それを捉えられるかどうかは未知数である。従って、最も確実なのは直接波を利用する方法であり、立坑・水平坑道の色々な箇所・深度に地震計を設置して観測すると、掘削に伴う地質環境の変化をよく把握できるのではないかと思う。(國友)

表現の変更は了解した。(大原)

- ・現在、深度 140m、280m、400m、500mに試験坑道を計画しており、そこで観測を行う訳だが、直接波の観測については短期間の臨時的な観測でかまわないのか。(青木)

掘削中のイベントに対応する変化を観測するものであり、例えば掘削中の突発湧水など必ずしもそのイベントの発生を予測できるものではないため、連続観測が望ましい。また、短期間の観測では、その都度観測機器の同期を調整するなどもあり、かえって

手間がかかると思う。(國友)

- 掘削中に水の動きがあった場合は弾性波ではなく電磁波の方に影響が出てくるので、地震計だけでなく電磁波の受信機も設置した方がよいと思うが、どうか。(青木)
もちろん両方設置した方がよいが、弾性波だけでも意味がない訳ではない。水の動きに伴うクラックの開閉などに起因する弾性的性質の変化が地震の際などに観測されており、地下施設の掘削でもそのような変化が観測できるのではないかと期待している。(國友)

- 現時点では、坑内でのアクロス受信の予算は取っていない。(青木)

- 個人として AE 観測にも注目している。最近の AE の解析手法の進展もあり、弾性波アクロス、電磁アクロス、AE 観測の3つを同時に行うべきだと思っているが、どうか。(青木)

掘削によって水の変化だけでなく応力の再配分が起こり、それに伴い微小破壊が発生して AE が観測されることは十分にあり得る。AE の震源分布が分かれば応力の変化した箇所が分かり、そういったデータと弾性波および電磁アクロスの結果を合わせて解釈すれば、地質環境の変化がより分かりやすくなると思われるので、AE 観測には賛同する。(國友)

- 最近の研究では、AE の発生源を非常に精密に把握できるようになってきているらしい(ex. 東北大 森谷先生)。例えば、地熱地帯における大量の水の移動などでは、水が動く位置と経時変化も分かるようである。従って予算の制約はあるが、この3つの観測を同時に行うと非常に良い結果が出ると思っている。(青木)

- 弾性波アクロスの振動は、AE を観測する際に悪影響を及ぼさないのか。(瀬谷)

AE は比較的高い周波数領域の振動であるのに対し、弾性波アクロスは高くても 50Hz 程度の周波数であり、しかも制御された振動であるため、観測結果から2つの振動は容易に分離することが出来る。(國友)

2. 「電磁アクロスの開発とその試験観測」の説明に関する質疑応答

- 降雨量との比較をしていたが(13枚目)、これは発信のチェック、受信のチェックに続き、降雨量との比較をすることによってチェックするという理解でよいのか。(青木)

まず、送信については非常に安定した送信が行われていることを確認している。受信については数値としては信頼できるが、地下のどの部分の電気伝導度が変わったのか、ということについては把握していない。この図では、一番上のグラフで示している誤差範囲を超える変動が生じ、その変動の原因を考えた時に降雨の影響が原因の一つとして挙げられる、ということを示している。(中島)

- 電気伝導度は比抵抗の逆数であり、幌延でも AMT 探査を実施しているので、その結果と比較することは非常に意味があると思う。東濃では、比抵抗分布との比較はしているのか。(青木)

コントロールソースからどのような電磁波を発信するのかを開発している段階であり、地下にどのような構造があり、どのような変動が出るか、ということについては今後の課題である。単に AMT 探査として行ったのであれば、そういう対比も当然だが、コントロールソースを使ったということで難しい面もあり、まだそのような比較は行っていない。(中島)

- ・ CSMT のデータは東濃にあるが、それはコントロールソースなので、すぐには比較できないということか。(青木)

CSMT の解析は平面波で行われる。現在取っているデータには、平面波となる far field のデータと near field の場の両方が含まれており、そういったものに対して平面波だけを扱う CSMT の解析手法を当てはめると間違った結果が出る可能性があり、そういったことについて整理が付くまで手を出していない。(中島)

- ・ 幌延では CSMT ではなく AMT で探査しており、容易に比較できるのではないか。(青木)

CSMT なり AMT で比抵抗構造が分かっているというのは解析の大きな助けとなるが、データを解釈するに当たって、その比抵抗構造をコントロールソースで揺すった時にどうなるかというのは順問題のコードが出来ていないと完全には求められないし、現時点ではそういったことの整理がまだ十分されていない。(中島)

- ・ 送信点・発信点のレイアウトを見ると、送信点が地下施設の間近にあり、受信点が離れた位置にあるにあるが、こういう配置が最適なのか。送信点と受信点の間辺りに地下施設が位置しているような配置が最も適しているように思うがどうか。(武田)

確かに、地下施設と同じような深度で、地下施設を挟んで同じ程度離れたところに発信点と受信点があるようなレイアウトが一番好ましいが、実際にそのような配置は取れなかった。地下施設に近接した範囲の掘削の影響については送信点モニタを使って把握したいと考えている。一方、変動がどれだけ及ぶのかということを抑えるために遠目に受信点を設置している。また、受信点には断層を挟んで配置しているものもあり、断層の両側での差異を抑えることが出来る。(中島)

- ・ 坑道掘削によって地下水に変動が生じ、それを捉えるということだが、地下水の大きな流れとして北東 南西の流れがあり、掘削の影響は下流側により多く出ることが考えられる。そういう意味で、坑道よりも下流側に受信点を設置する方がよいと思うが実際の配置は逆である。これもやはり敷地の制約の問題があるのか。(武田)

HDB-8, HDB-4 近辺は試錐調査、物理探査などによって構造がよく分かっている場所であり、そういったことを利用して結果を解釈できるため、設置箇所として選定した。下流側に影響が大きいということについては、考慮していなかった。(中島)

この設置箇所を検討した際には、広域的な流動場が東 西ということは余り考慮に入れなかった。それよりも、データが豊富ということでボーリング孔の位置を優先して、設置箇所を選定した。なお、坑道掘削位置の西側、特に南西側は地形が比較的険しく

てボーリングを掘削するのが困難である。(青木)

- ・坑道の西側にボーリング孔はないのか。(武田)

HDB-7があるが、相当離れているので伝播距離の問題もあり、設置箇所としては考慮していない。(青木)

- ・適用性を優先したということか。(武田)

その通り。(青木)

3. 「弾性波アクロスについて」の説明に関する質疑応答

- ・地震の時の変化の説明に関して、これは紀伊半島で起きた地震の影響が瑞浪付近に現れたということによいのか。(瀬谷)

具体的には今後検討する必要があるが、タイミング的には一致している。その時、2回地震が起きているが、その双方に対応する反応があるので間違いないと思っている。ただ、走時が遅れる、あるいは進む、1回変化したものがだんだん回復していく、ということが具体的に何を示しているかということの説明しないと、深い議論は出来ない。

なお、淡路島でも同様の観測が行われていて、鳥取県西部地震で大きな変化が観測されており、その位離れていても変化が生じ得るということである。そのような変化は地下水・歪・応力の変化などに対応していると考えられ、今後それを検討していきたい。(國友)

4. 全体に関する質疑応答

- ・幌延では、東濃が9年かけてやってきたことを受けて実施しようということなのだと思うが、東濃で何がどこまで分かっている、幌延で何をしたいのか、ということをもう少し整理したほうが良いと思う。

東濃については、地質構造の推定手法という目的を挙げているが、これまで行ってきた試錐調査の結果や地下水解析の結果などとの比較・照合を行っているのか。

また、アクロスシステムについて、地下水流動や岩盤力学的な影響との関係について、今回の説明ではその有効性がよく分からないが、どうなのか。(前川)

資料16-3-2の最後の図を参照していただきたいが、幌延では次の2つのことを知りたいと考えている。一つは、地下施設の建設によって周辺の地質環境がどのように変化するのか、ということである。つまり、掘削の進行に伴う受信点での信号の変化(の有無)を捉え、理想としては逆解析によって信号の変化から掘削の進捗状況を判断できるようにすれば、と考えている。

もう一つは、大曲断層を挟んで設置してある受信点を利用して、この断層の位置、3次元形状、物性について知りたいと考えている。ただし、現状では解析プログラムが不十分なので当面は無理であろう。それでも、解析手法の進歩によって将来的には解析可能となるかも知れないので、少なくともデータだけはきちんと取っておきたいと

考えている。

ここで重要なのは、東濃で完成した技術を幌延に適用しているわけではない、ということである。東濃で開発中のアクロスというシステムを使って、幌延の目的に沿うように幌延でも開発を行う、という認識である。両者とも開発中なので現時点では出来ないこともあるが、データだけは取っておきたいということである。(青木)

- ・了解した。ただ、外部などからは、東濃と幌延で同じ事をやっているが、どこが違うのかというような目で見られ勝ちなので、東濃での目的、幌延での目的というものを常に意識・整理しておく必要があるということを目指したい。(前川)

それについては、発表者がその都度きちんと言う必要があると思う。なお、東濃については地震研究として行っており震源域の変化に伴うデータの変動を調査していると理解しているが、その点も含めて國友氏ないし中島氏からご説明をお願いしたい。(青木)

おっしゃる通り、東濃では地震研究の範疇で考えていて、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う東海地震の発生をターゲットとして調査している。それで、遠方および深部の観測を行う場合に邪魔となる近傍での変化を取り除きたいという観点から、設置場所付近での水の流れなども研究の対象としている訳だが、実際にはマンパワーと時間が足りずに十分にアプローチ出来ていないというのが現状である。

また、地下水を専門に研究している部署との協同ということだが、残念ながら客員研究員という立場もあり、そういう環境にはない。できればそうしたいところだが、なかなか難しいのが現状である。

立坑掘削に伴う地下水などの変化についても、基本的には東濃での研究の範囲外にあると考えているので、これについては幌延主体でやっていただき、東濃としてはサポートしていきたいと考えている。(國友)

- ・客員研究員の立場は理解できるが、東濃における別のプロジェクトの研究についても非公開でやっているわけではないので資料も手に入るだろうし、研究している人間がすぐ近くにいるのであるから、話をすることも可能であろうと思う。そういった観点も考慮に入れて研究を進めていただけたらと思う。(前川)

もちろん研究結果などについては入手して検討済みであるが、解決につながる道筋が見出されていないというのが現状である。研究者として、出来るだけのことはしたいと考えているので、所内での協同についても全くないわけではないということをご理解いただきたい。(國友)

- ・了解した。(前川)

水の動きなどが捉えられたかという点については、資料 16-3-2 についての説明の中でも降雨との関係などが指摘されており、まだ明確ではないが有望と考えている。なお、電磁アクロスについては比抵抗分布との比較が重要ではないかとの感想を持った。(青木)

- ・遠隔監視システム、アクロスであるが、これは非常に優れた重要な技術であり、3/8の地層処分報告会で「日本が世界に誇るアクロス技術」と紹介したが、この技術を JNC の技術として完成させたいと考えている。熊川先生も言われるように処分場のモニタリングの基礎となり得る技術だと思う。

フロンティア研究として東濃で H17 まで行うが、その後も JNC が関与を続け、JNC の技術として完成させたい。体制については、今後、東濃・幌延で考えてやっていかなければならないが、フロンティア研究としては継続できない。一方、幌延では研究項目としてモニタリング技術を掲げており、今後きちんと取り組まなければならない。その方法の一つが地下水モニタリングの MP システムであり、もう一つが遠隔監視システムである。いずれにせよ、幌延の調査研究項目の大きな柱であり、遠隔監視システムを積極的に取り入れ、しっかりとやっていきたいと考えている。(武田)

以 上

第 4 回 幌延技術検討会議

説明資料

資料 16-4-1 「遠隔監視システム（アクロス）について」

資料 16-4-2 「電磁アクロスの開発とその試験観測」

資料 16-4-3 「弾性波アクロスについて」

資料 16-4-4 「Developing a Remote Monitoring System Using ACROSS
in Horonobe Underground Research Laboratory」

遠隔監視システム(アクロス)について

- 1-1 設置について(幌延 大原, 津久井, 新里)
 - 現在の進捗と今後の計画 -
- 1-2 電磁アクロスについて(東濃 中島)
- 1-3 弾性波アクロスについて(東濃 國友)

遠隔監視システム(アクロス)について

- 1. 幌延への遠隔監視システム導入の目的
- 2. 遠隔監視システムの送受信点設置地点の検討
- 3. 電磁アクロスの送受信点の設置
- 4. 電磁アクロスの試験観測の状況
- 5. 弾性波アクロス送受信点の検討
- 6. 今後の課題

幌延における遠隔監視システム導入の目的

- 地質環境(地震波の伝播速度、比抵抗など)の変化をモニタリングする遠隔監視システムとして、弾性波/電磁アクロスの現地適用性確認を行う。
- 地下施設建設に伴う地質環境の変化を捉える。
- 東濃地科学センターでは、9年間にわたって、アクロスの研究開発が行われてきており、幌延では、これを遠隔監視システムとして導入する。

遠隔監視システムの設置・観測スケジュール

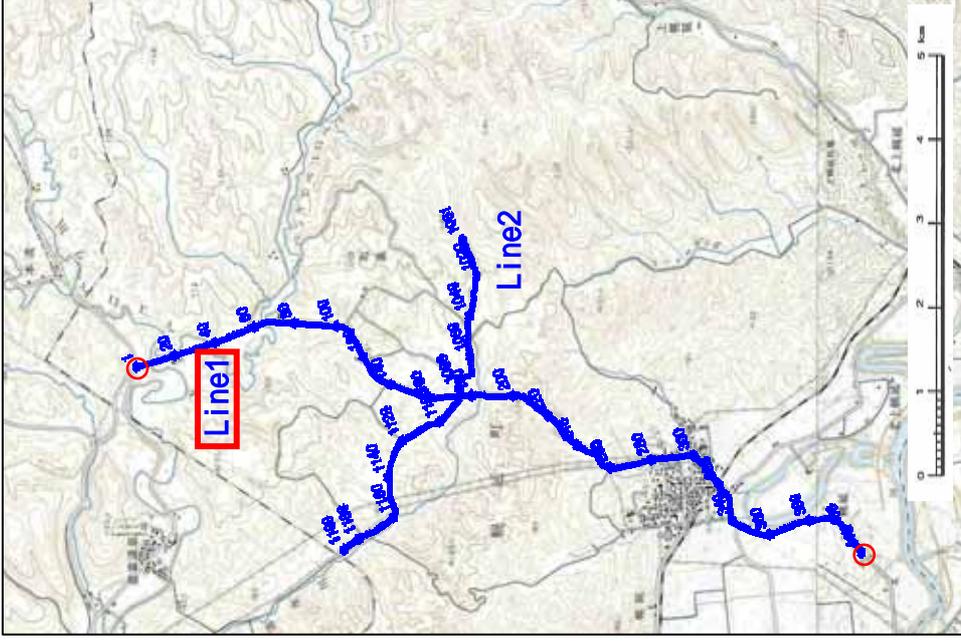
	H13	H14	H15	H16	H17	H18	...
アクロス機器の 整備	[Green bar]						
事前調査 (機器/設置箇所等)	[Green bar]						
電磁アクロス 機器の設置・試験観測				[Yellow arrow pointing right]	[Red bar]		
弾性波アクロス 機器の設置・試験観測					[Blue bar]		
解析手法の検討 など(東濃と連携)	[Orange bar]						
地下施設建設 立坑の掘削						[Dark red bar]	

目次

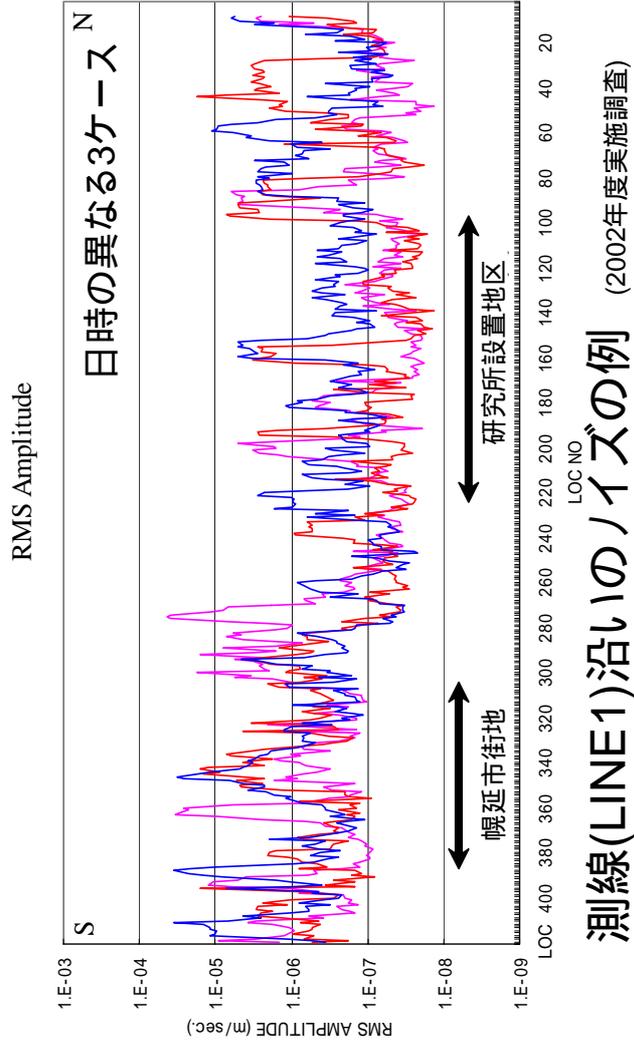
- 1. 幌延への遠隔監視システム導入の目的
- 2. 遠隔監視システムの送受信点設置地点の
検討
- 3. 電磁アクロスの送受信点の設置
- 4. 電磁アクロスの試験観測の状況
- 5. 弾性波アクロス送受信点の検討
- 6. 今後の課題

バックグラウンド・ノイズの検討(1/2)

幌延町市街地と研究所設置地区
では、およそ1桁のノイズの差が
ある。



反射法地震探査の測線
(国土地理院 1:50000地形図に加筆)



測線(LINE1)沿いのノイズの例 (2002年度実施調査)

バックグラウンド・ノイズの検討(2/2)

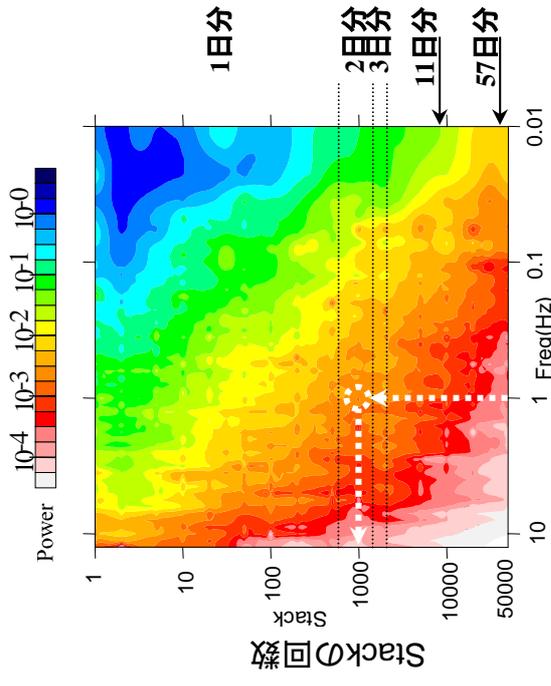
ノイズの低減手法
↑ Stack(データの重ね合わせ)

アクロスは、位相と周波数を精密に制御した連続的な信号を送信する。

このような信号は、観測データを重ね合わせることにより、ノイズレベルが低減される。
(= SN比が良くなる。S: signal, N: noise)

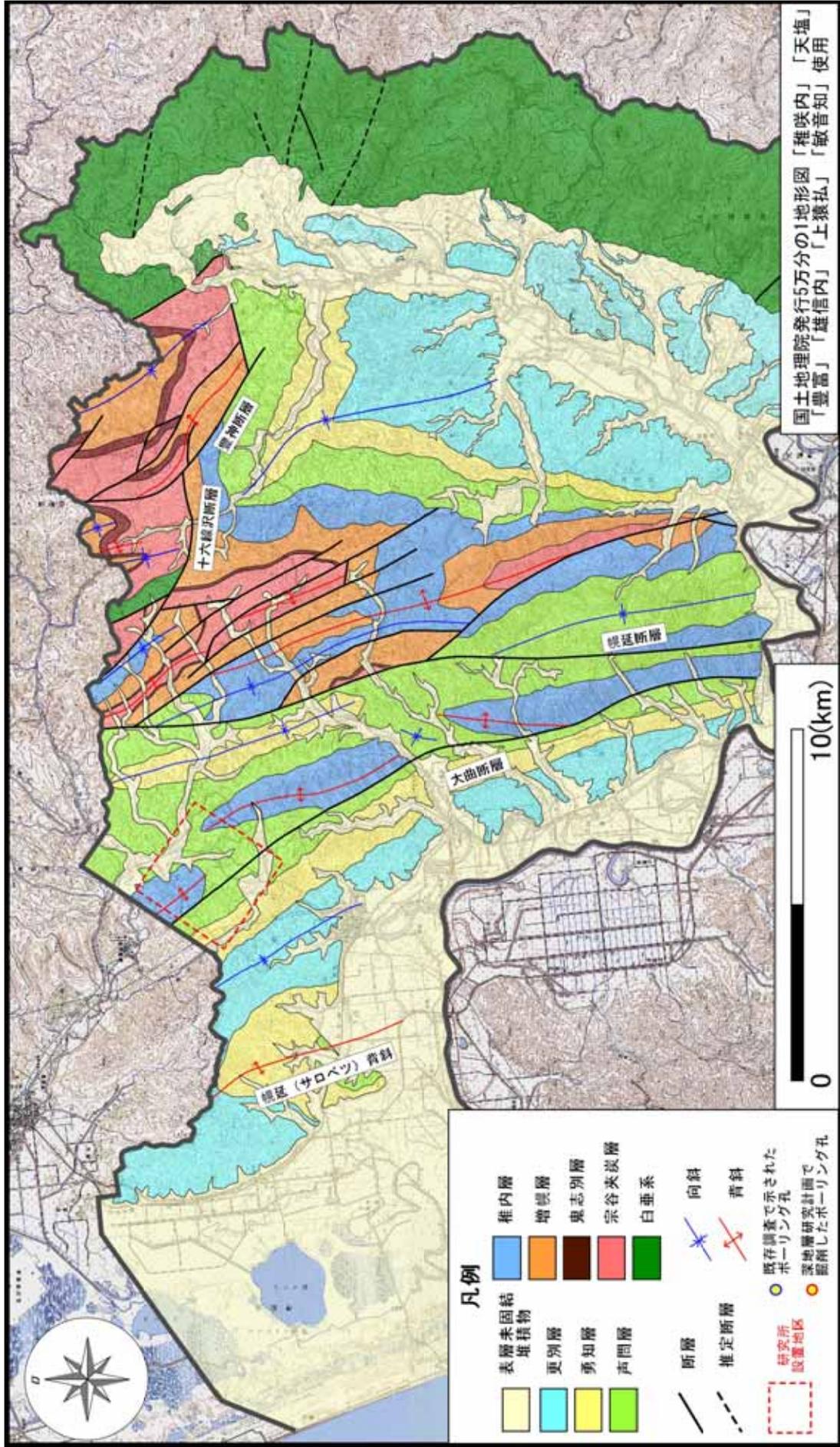


アクロスでは、観測データをSTACKし、SN比を上げて扱う。こうして得られるSN比の高いデータを既知の情報と比較・検討することにより、地質環境の変化として検知する。

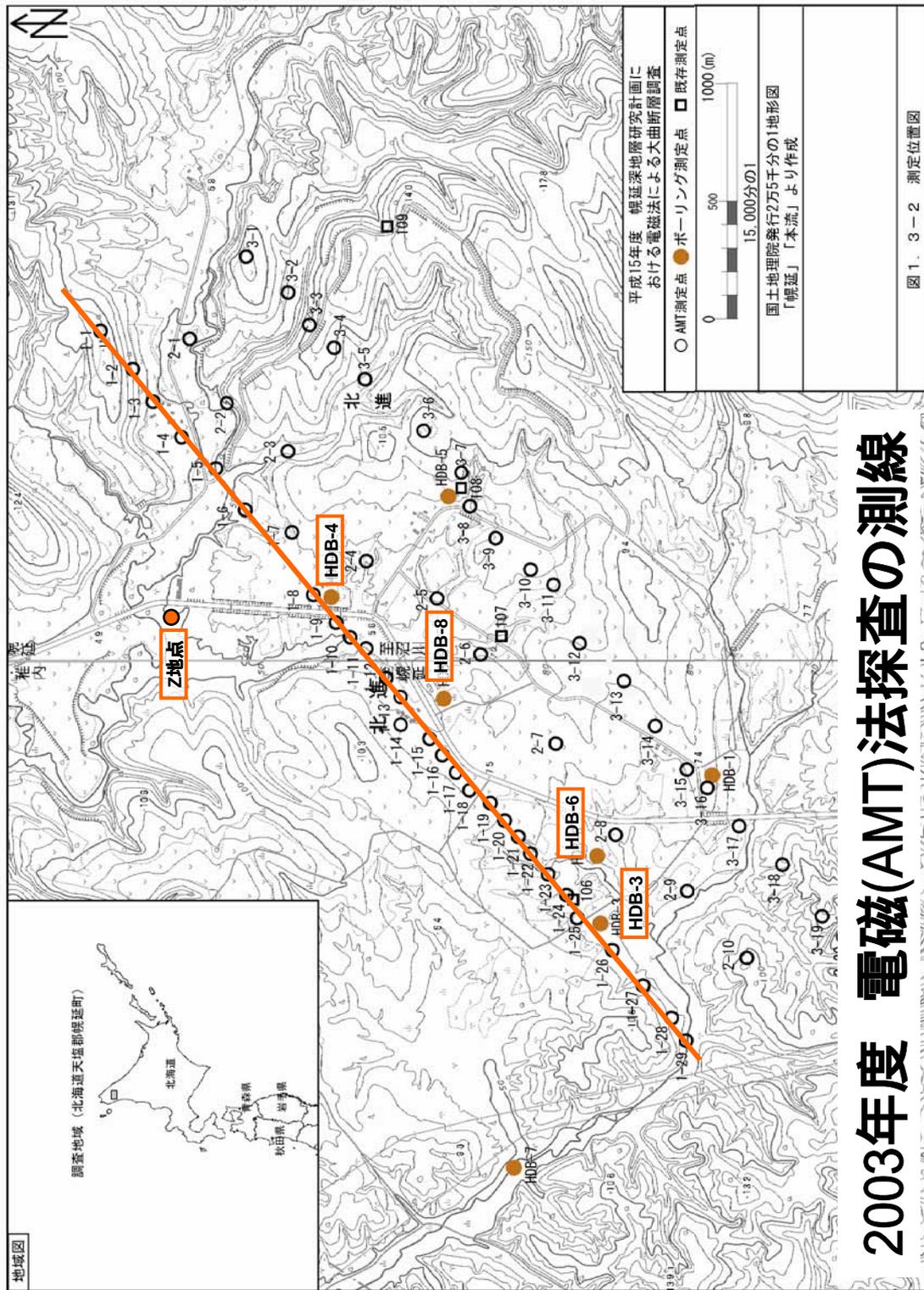


STACKによるノイズレベル低減の例
(1イベントのデータは、100秒間) (2001年度MT法調査)

幌延町内における地表地質分布



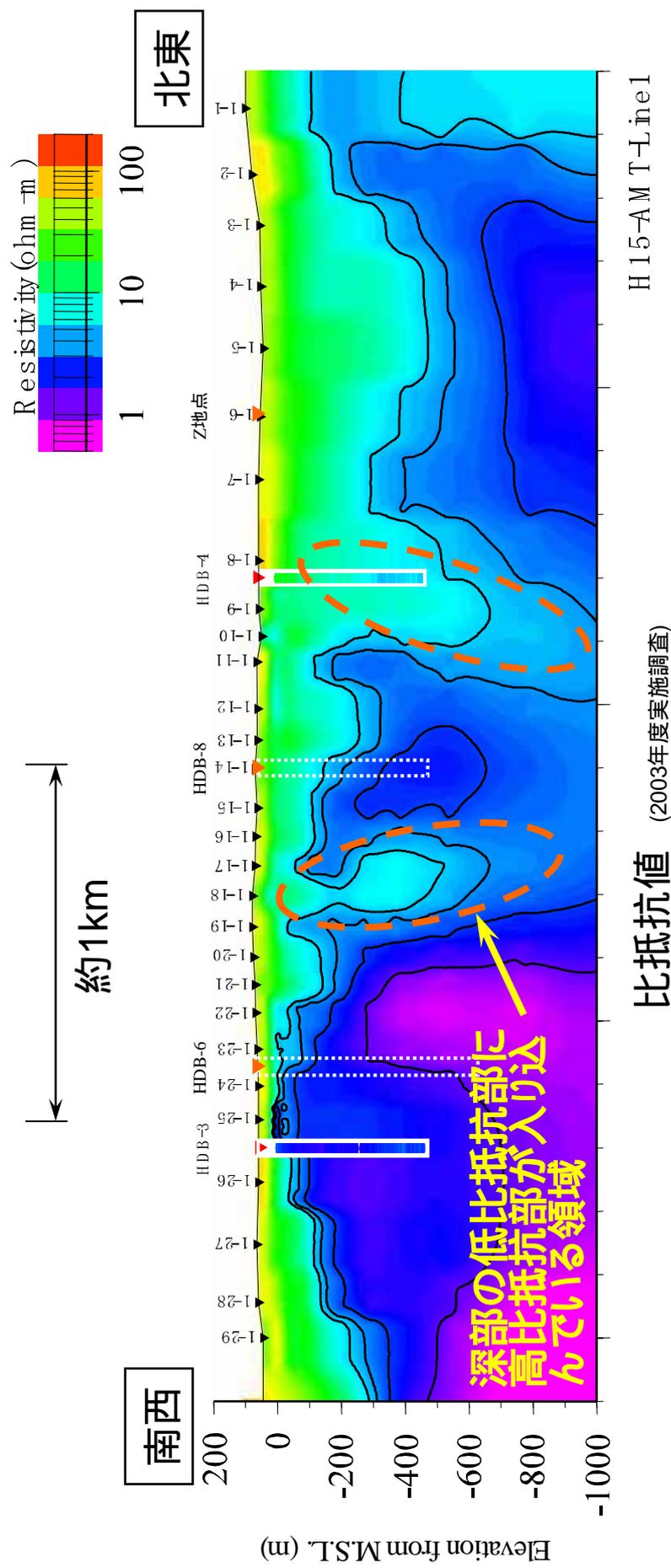
研究所設置地区周辺における地下構造(1/3)



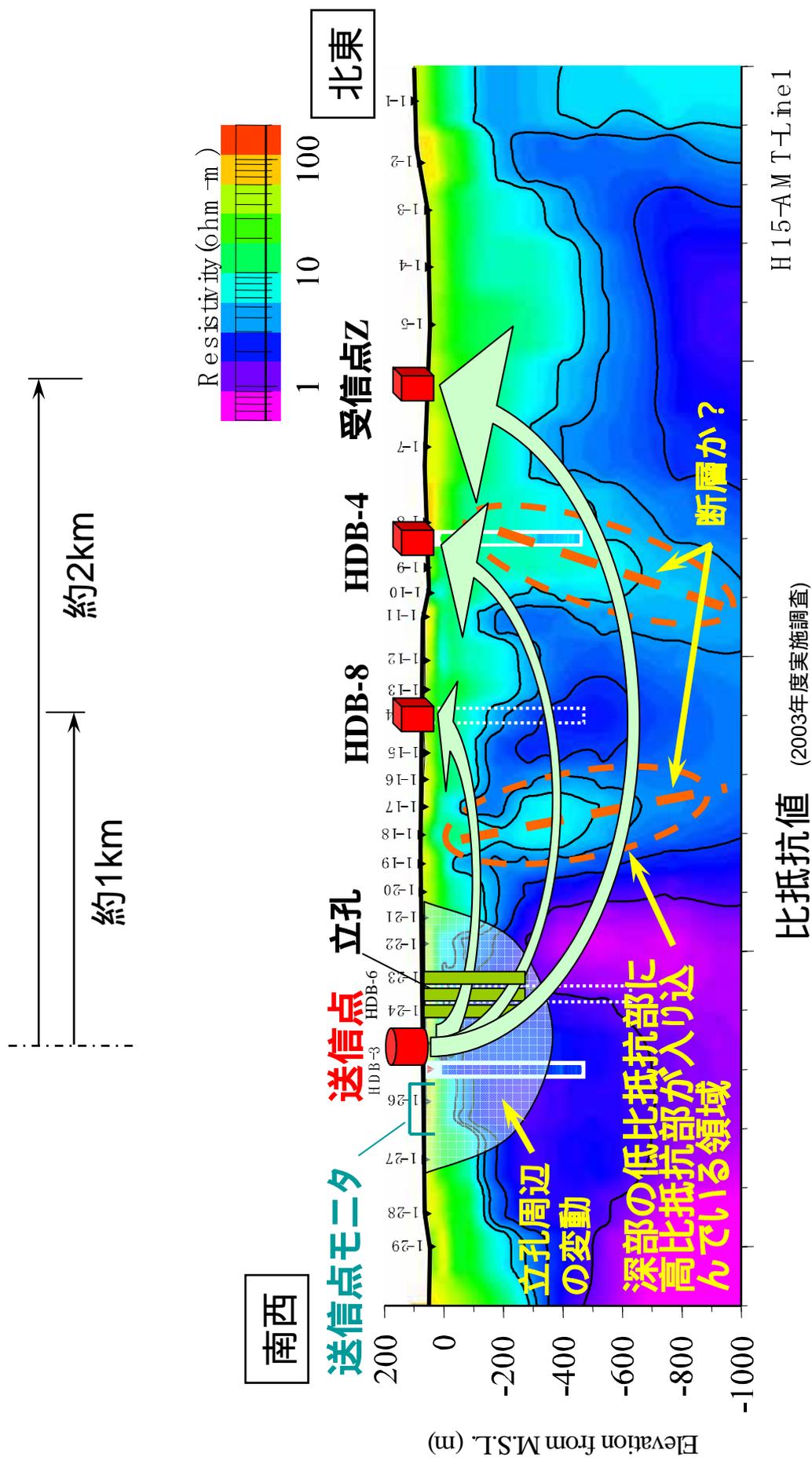
2003年度 電磁(AMT)法探査の測線

研究所設置地区周辺における地下構造(2/3)

幌延町北進地区(研究所設置地区周辺)における地下比抵抗断面図

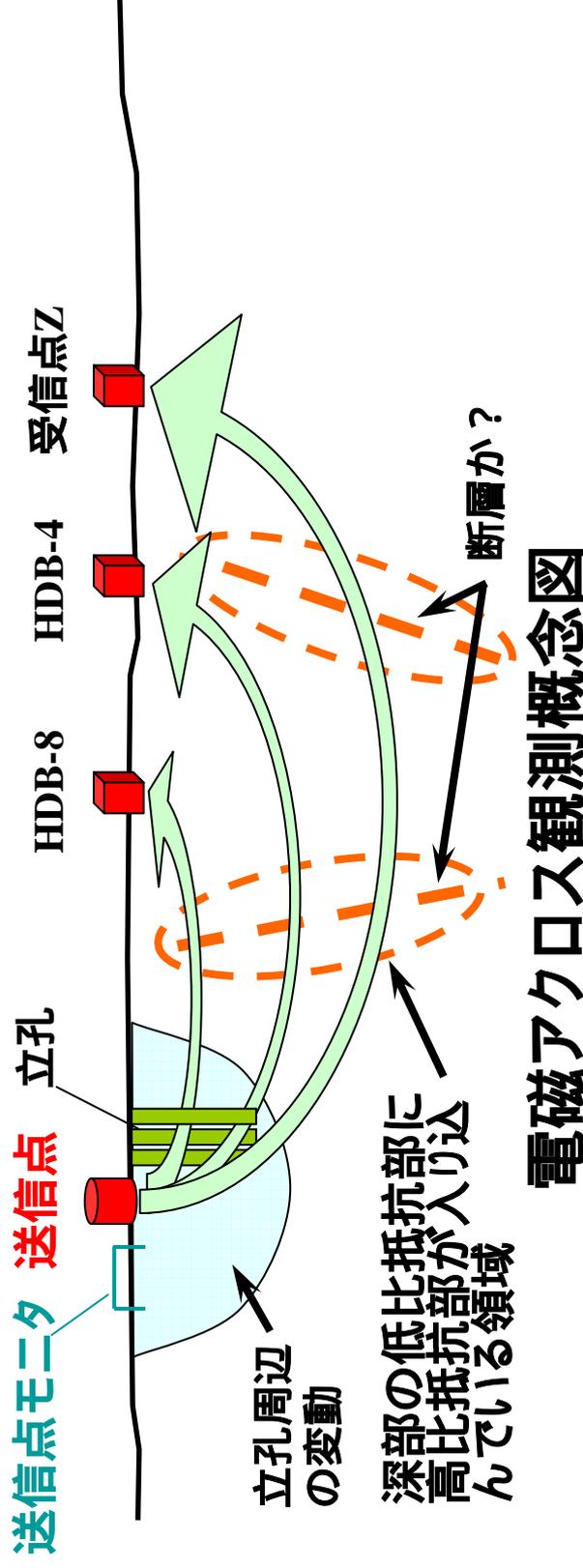


研究所設置地区周辺における地下構造(3/3)



電磁アークロスのターゲット

1. 立坑掘削の影響を調べる：送信モニタ, HDB8
2. これまでの比抵抗構造の結果で、変化のあったところを挟んで観測する：HDB4,8
3. 得られた変動が、全体的なものか、局所的なものかを離れた観測点と比較する：北星園MT観測点など

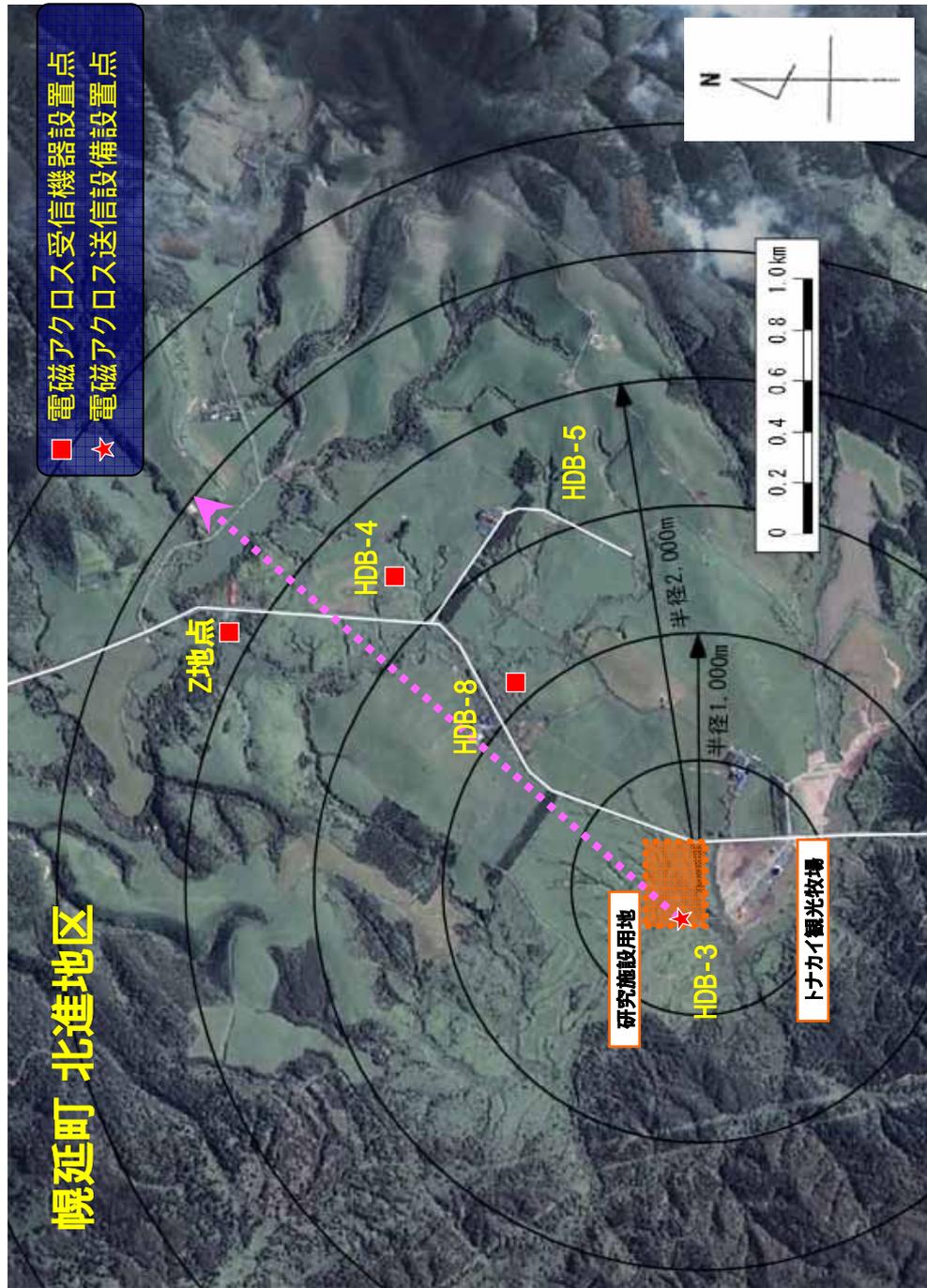


電磁アークロス観測概念図

目次

- 1. 幌延への遠隔監視システム導入の目的
- 2. 遠隔監視システムの送受信点設置地点の検討
- **3. 電磁アクロスの送受信点の設置**
- 4. 電磁アクロスの試験観測の状況
- 5. 弾性波アクロス送受信点の検討
- 6. 今後の課題

電磁アクロス送受信点の配置



送信点における機器の配置

送信ダイポール1：地質構造に対して平行

送信ダイポール2：観測アレイに対して斜交（電磁場の全成分観測可能）



受信電極/モニタ電極
(非分極電極)



送信電極(銅板設置状況)

設置した観測機器



送信装置
(GPS, PC, FG, アンブ)



受信装置(HDB4の例)
(GPS, 磁力計, アンブ, PC)

電磁アクロス送受信機器の比較

	幌延	東濃
送信点	送信の向き	2方向(接続変更することにより)
	増幅器性能	最大印加電圧: 200V 最大電流: 10A 出力周波数: DC ~ 10kHz
	記録計	最大ch: 16, (うち5,6ch使用) サンプリング周波数: 1kHz AD: 16ビット
受信点	観測点数	2地点(もうすぐ3地点)
	磁場	3地点 Bartington MAG-03 3成分(南北・東西・鉛直)
	電場	鉛・塩化鉛電極 2成分(南北・東西)

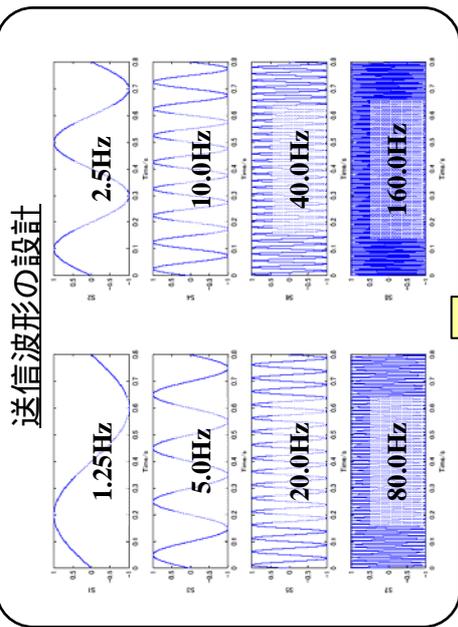
目次

- 1. 幌延への遠隔監視システム導入の目的
- 2. 遠隔監視システムの送受信点設置地点の検討
- 3. 電磁アクロスの送受信点の設置
- 4. **電磁アクロスの試験観測の状況**
- 5. 弾性波アクロス送受信点の検討
- 6. 今後の課題

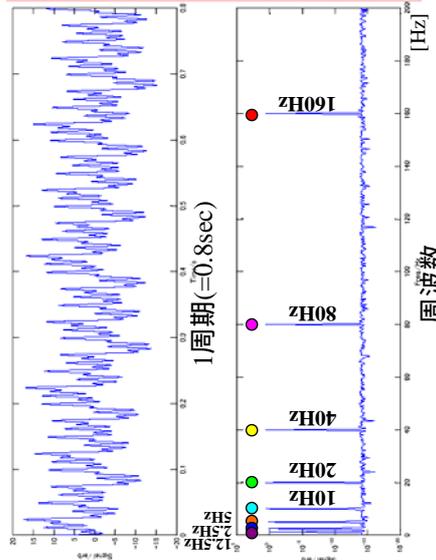
電磁アクロスの原理

送信側

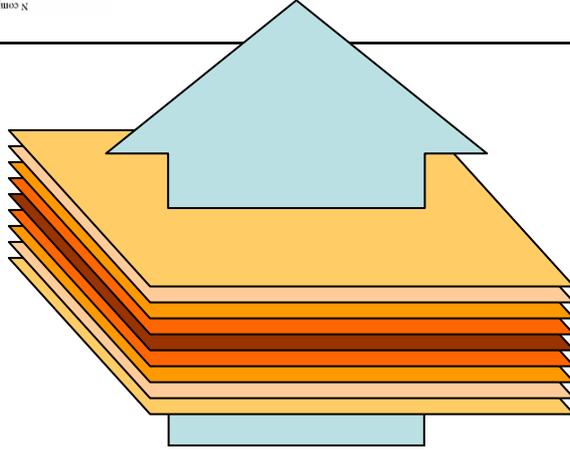
周波数と位相を制御した波形を送信



送信波形

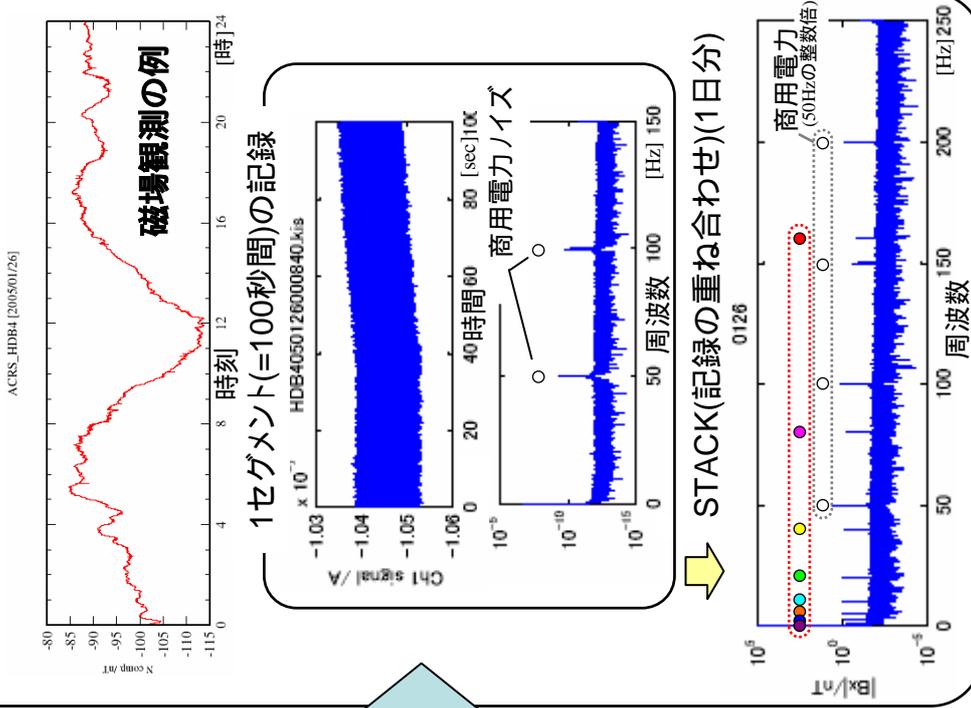


対象とする
地盤の変動等



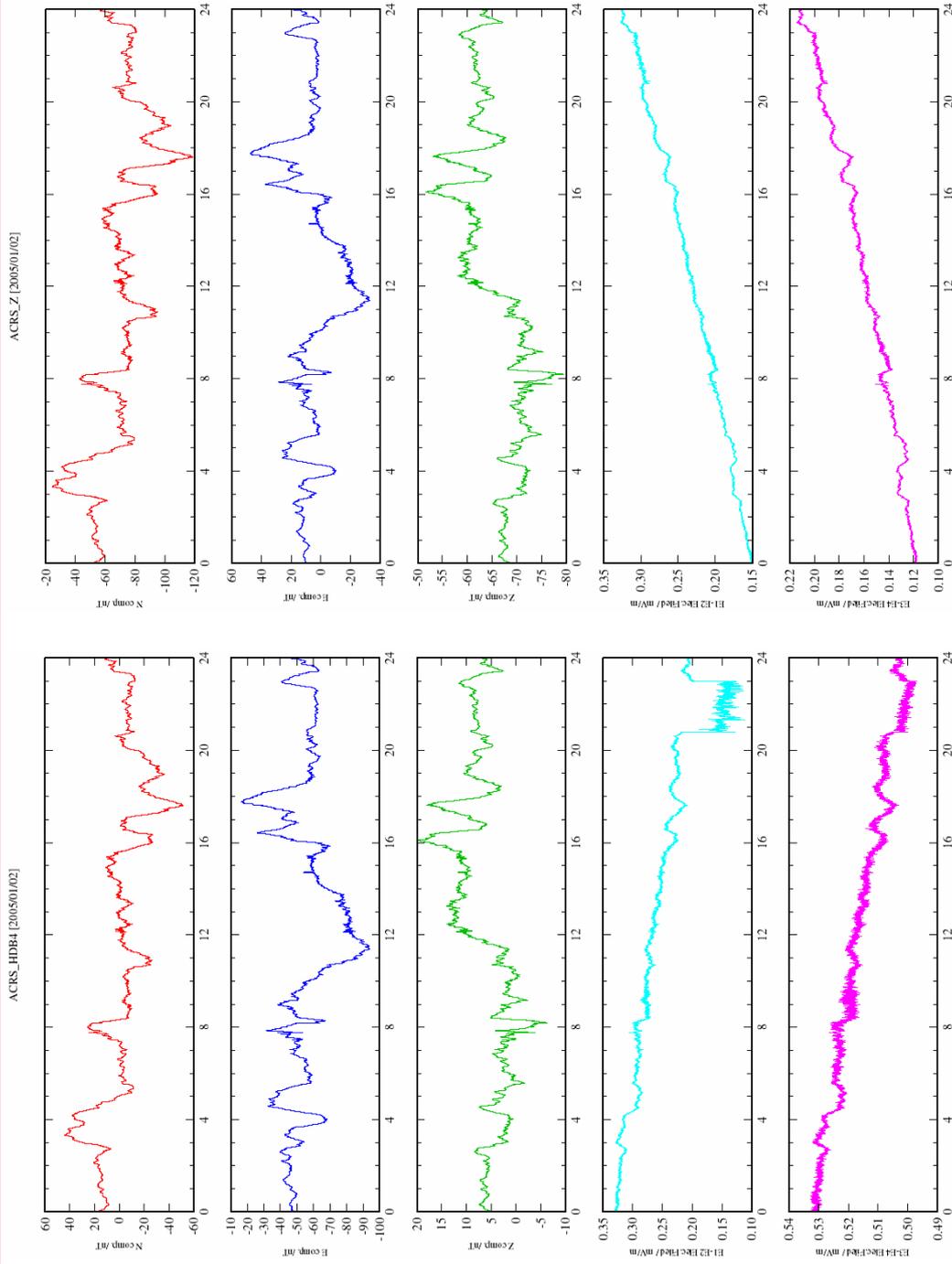
受信側

磁場・電場を観測し、STACKして、アクロスの信号を抽出する。



観測記録の例(1日の変化)

電場2成分
E(Y方向) N(X方向) Z(方向) E(Y方向) N(X方向)

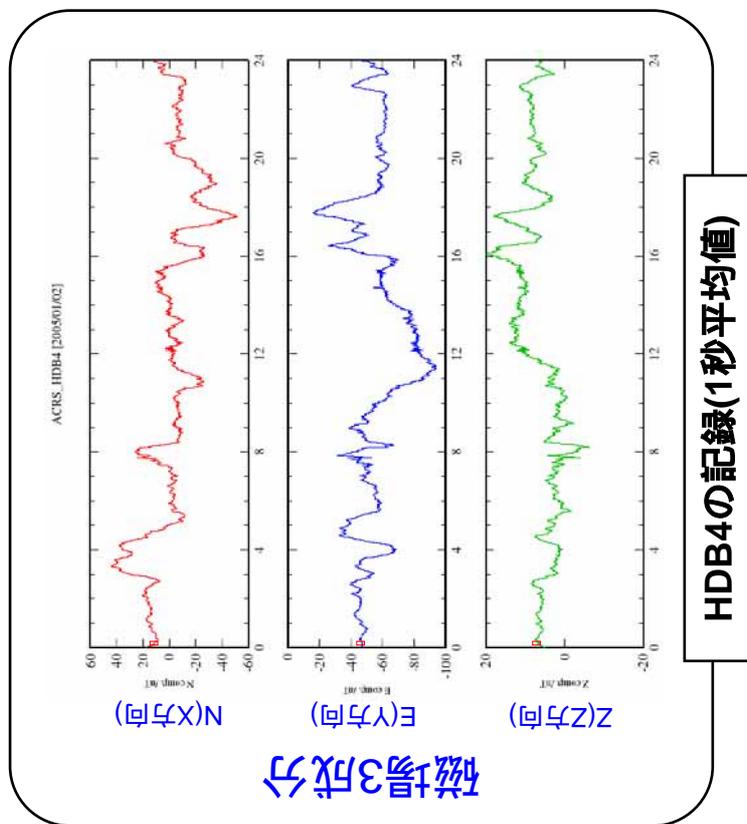
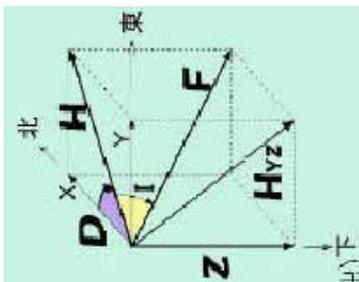


HDB4観測点(2005/1/2)

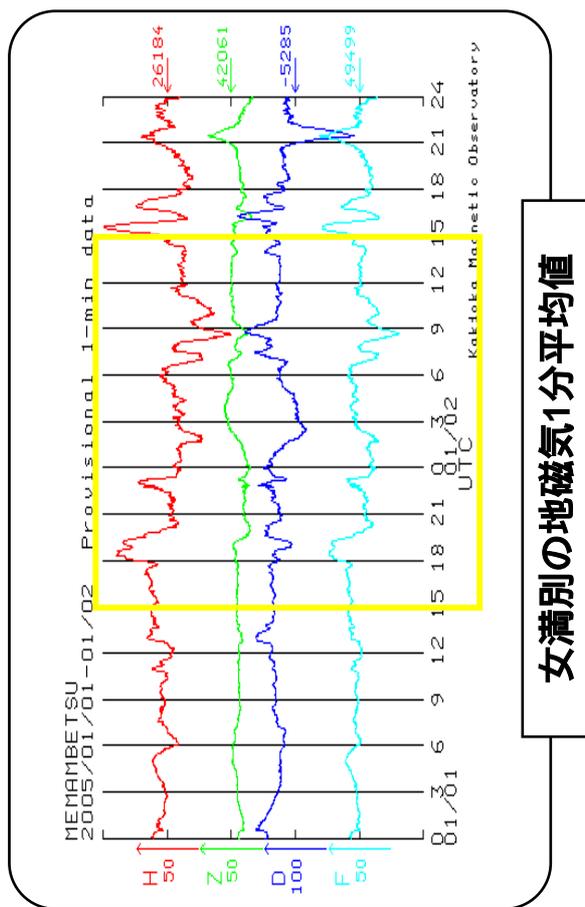
Z観測点(2005/1/2)

女満別地磁気観測所との磁場観測記録の比較

公開されている女満別地磁気観測所の
地磁気1分平均値と、比較する。

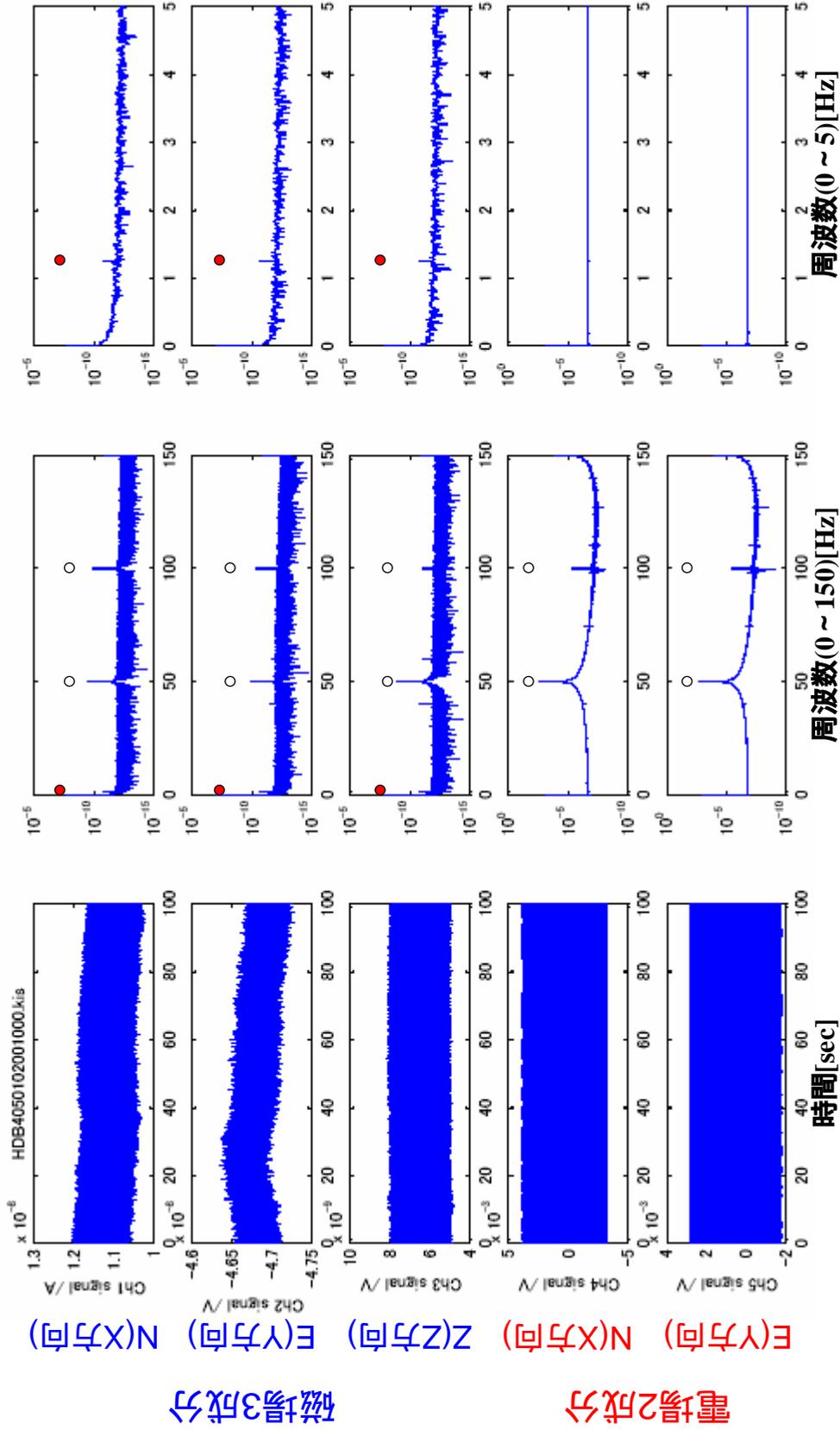


(2005年1月2日の記録例)



↑ 幌延で観測された地磁気は、女満別と同様の傾向

観測記録の例(HDB-4,100秒間)



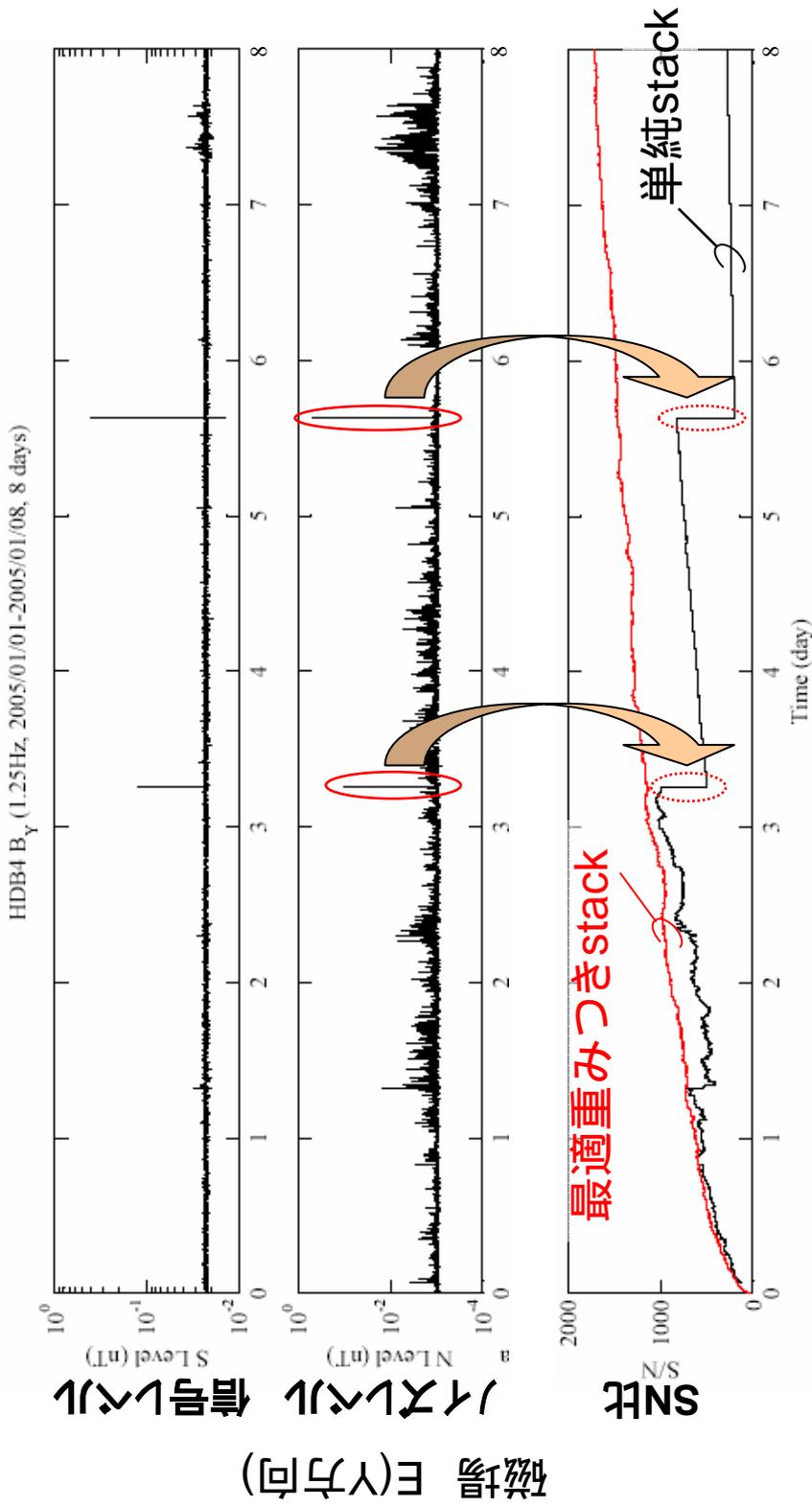
電場2成分 (E(Y方向) N(X方向) Z(方向) E(Y方向) N(X方向) Z(方向))
 磁場3成分 (Ch1 signal / V Ch2 signal / V Ch3 signal / V Ch4 signal / V Ch5 signal / V)

HDB4での受信記録の例

H16 第4回 幌延技術検討会議

2005/03/15

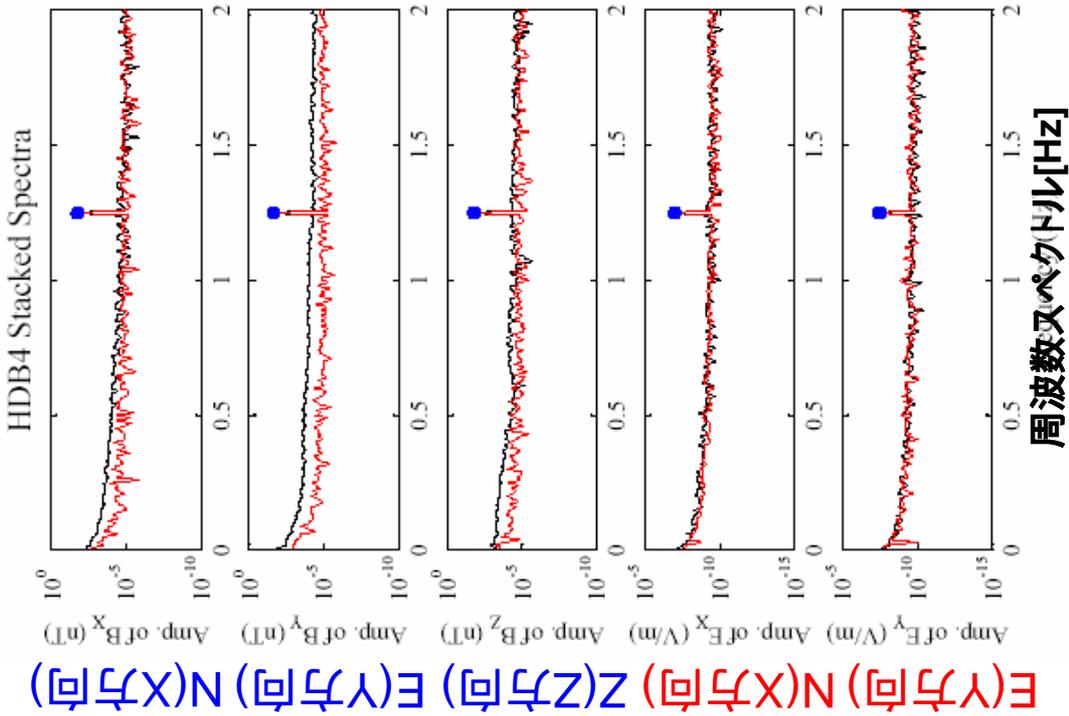
Stack(データの重ね合わせ)の例(HDB-4)



最適重みつきstackと単純stackの比較: 2005/1/1 ~ 1/8(8日間)
(送信信号: 1.25Hzの1周波数)

Stack(データの重ね合わせ)の例(HDB-4)

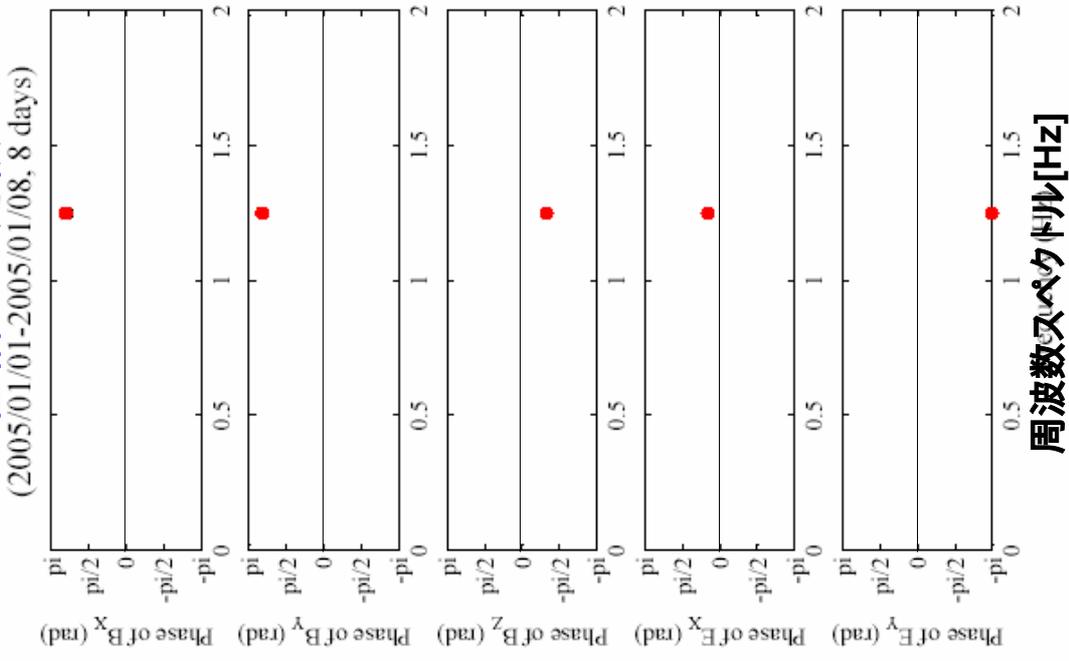
SN比の比較



磁場3成分

電場2成分

位相差の比較



電磁アクロス試験観測 今後の進め方

< 掘削前までに取得すべきデータ >

- ・送信地点から各観測地点間の周波数ごとの信号の伝達特性(受信/送信)の把握
- ・2つのダイポールを使ったテンソル*伝達関数の取得
- ・バックグラウンドとしての、平均的な電磁波伝播特性の把握と日変動、季節変動、降雨(雪)の影響の大きさについての把握
- ・バックグラウンドの測定やMT、AMTなどの探査を参考に、変動を捉えるのに適した周波数帯の推定

*テンソル:代数系の一つ。座標変換に伴う物理量の変化を示すもの。

目次

- 1. 幌延への遠隔監視システム導入の目的
- 2. 遠隔監視システムの送受信点設置地点の検討
- 3. 電磁アクロスの送受信点の設置
- 4. 電磁アクロスの試験観測の状況
- **5. 弾性波アクロス送受信点の検討**
- 6. 今後の課題

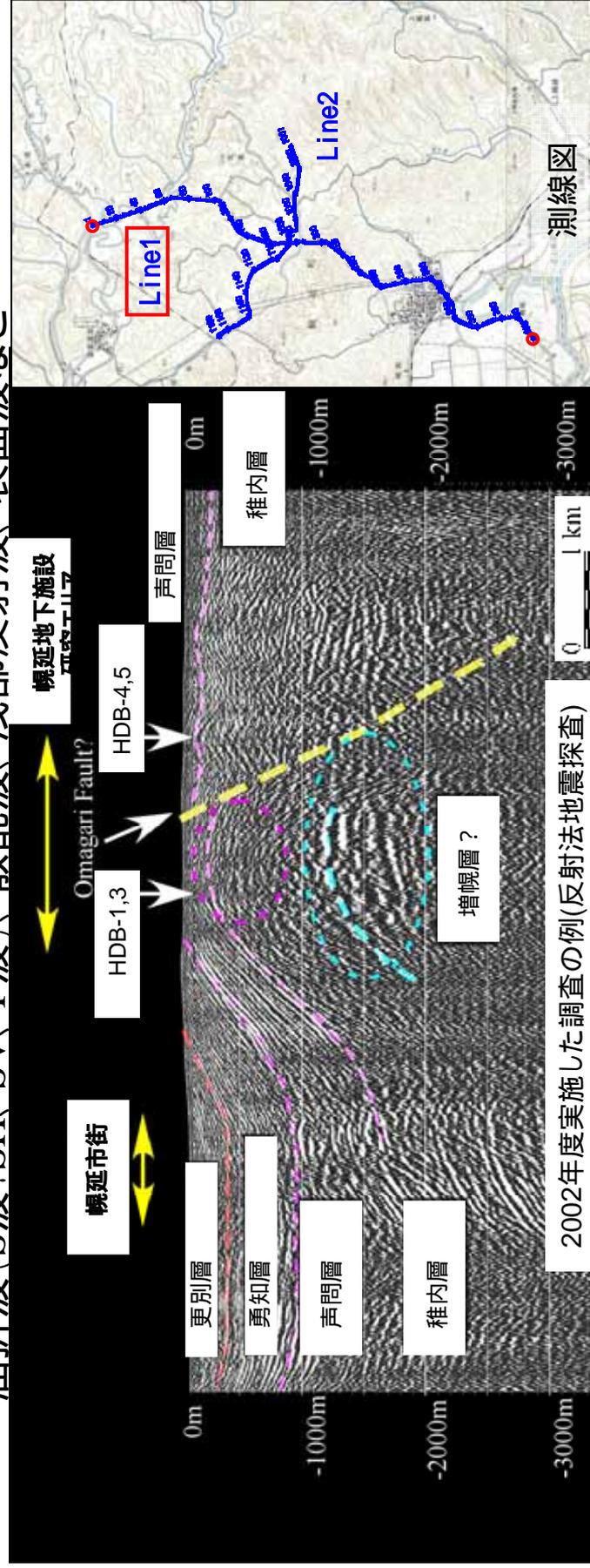
弾性波アクロスの送受信点のターゲット

主として、地下約1.5kmからの反射波(増幌層と稚内層の境界面? : 赤色破線)の時間変動を狙う。

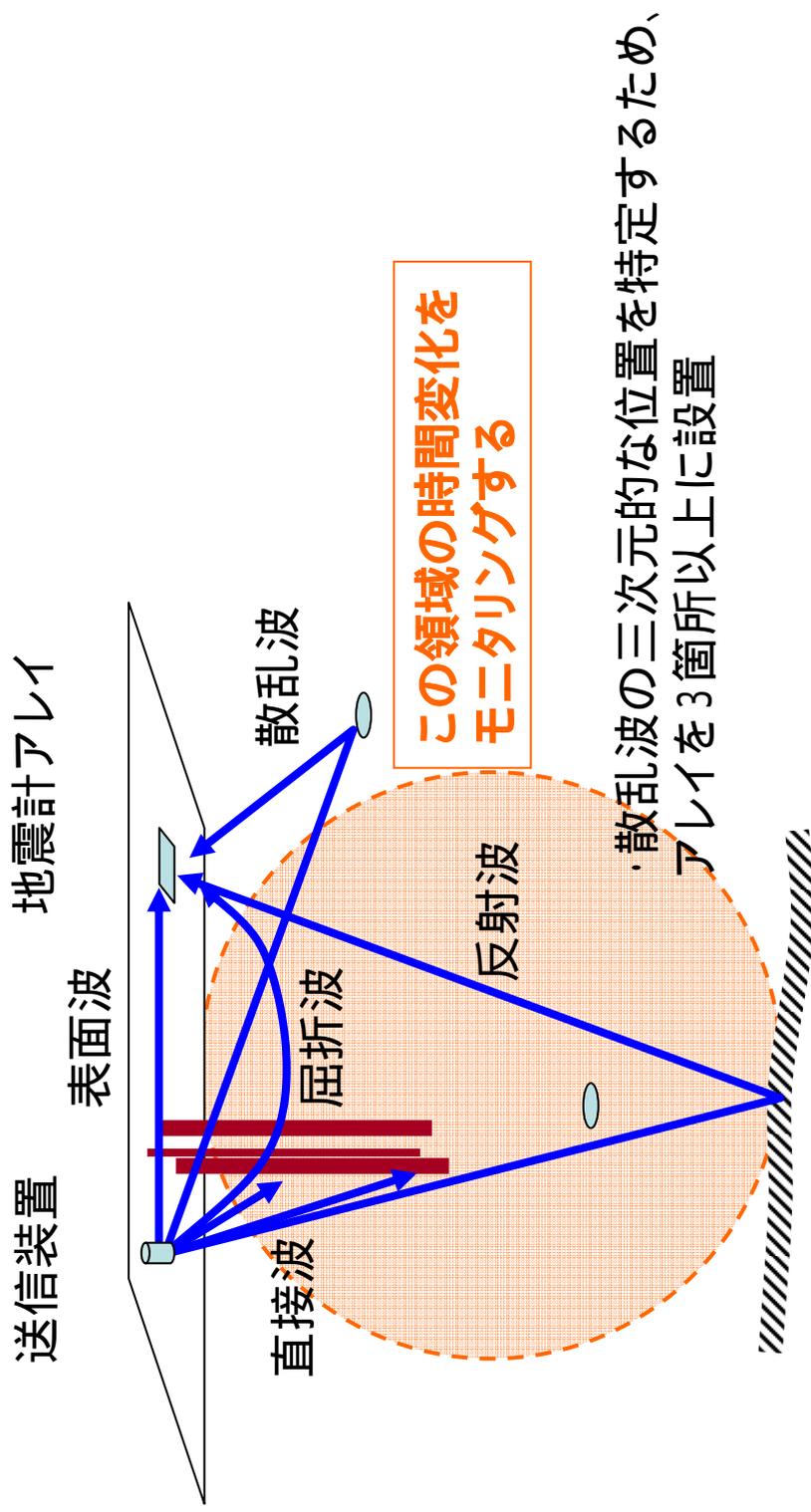
反射面が安定していれば、掘削に伴う地表～反射面間の時間変動(地下水流動に伴うS波の走時変化など)が取得できる。

立坑の掘削中や掘削が終了してからの長期的な変化が追跡できる。その他、浅部を伝播する波の同定と時間変動の検出を行う。

屈折波(S波:SH, SV, P波)、散乱波、浅部反射波、表面波など

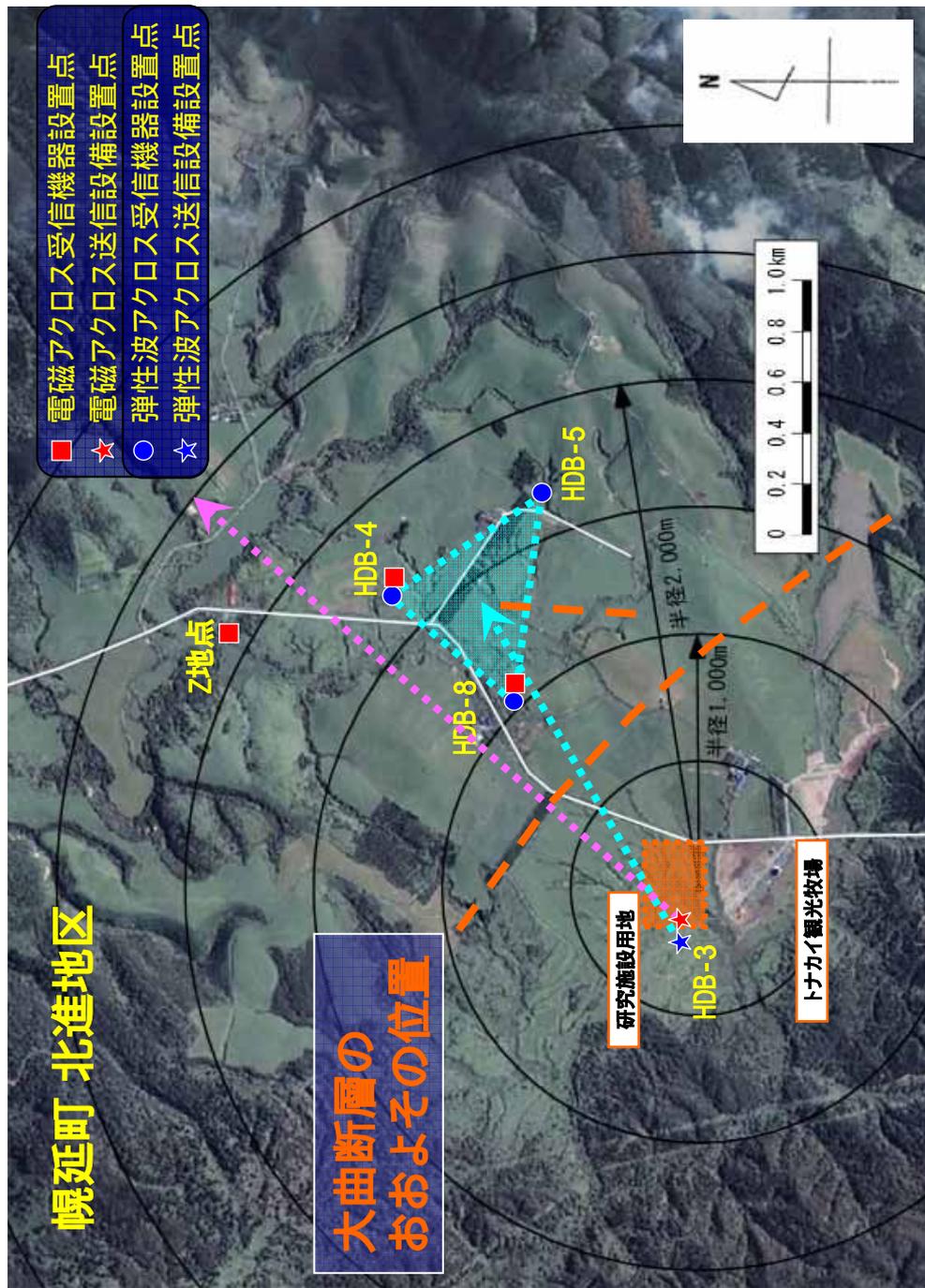


弾性波アクロスの送受信点の検討



地震波伝播のイメージ

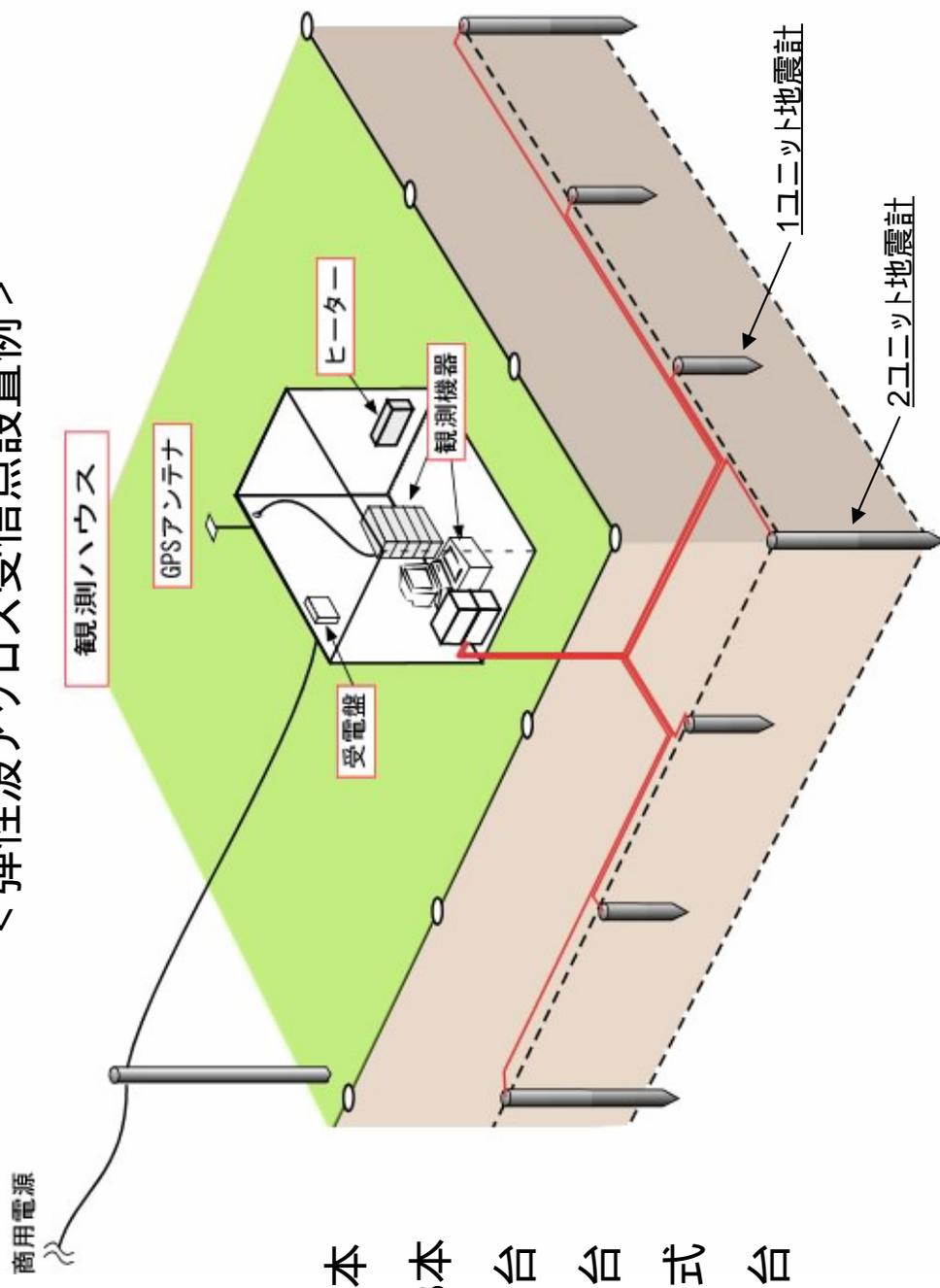
弾性波アクロスの送受信点の検討



弾性波アクロスの送受信点の検討

< 受信点 >

< 弾性波アクロス受信点設置例 >



< 観測ハウス >

- ・地震計 1ユニット:4本
- 2ユニット:3本
- ・GPS時計 :1台
- ・制御用PC :1台
- ・観測機器 :1式
- ・ヒーター :1台

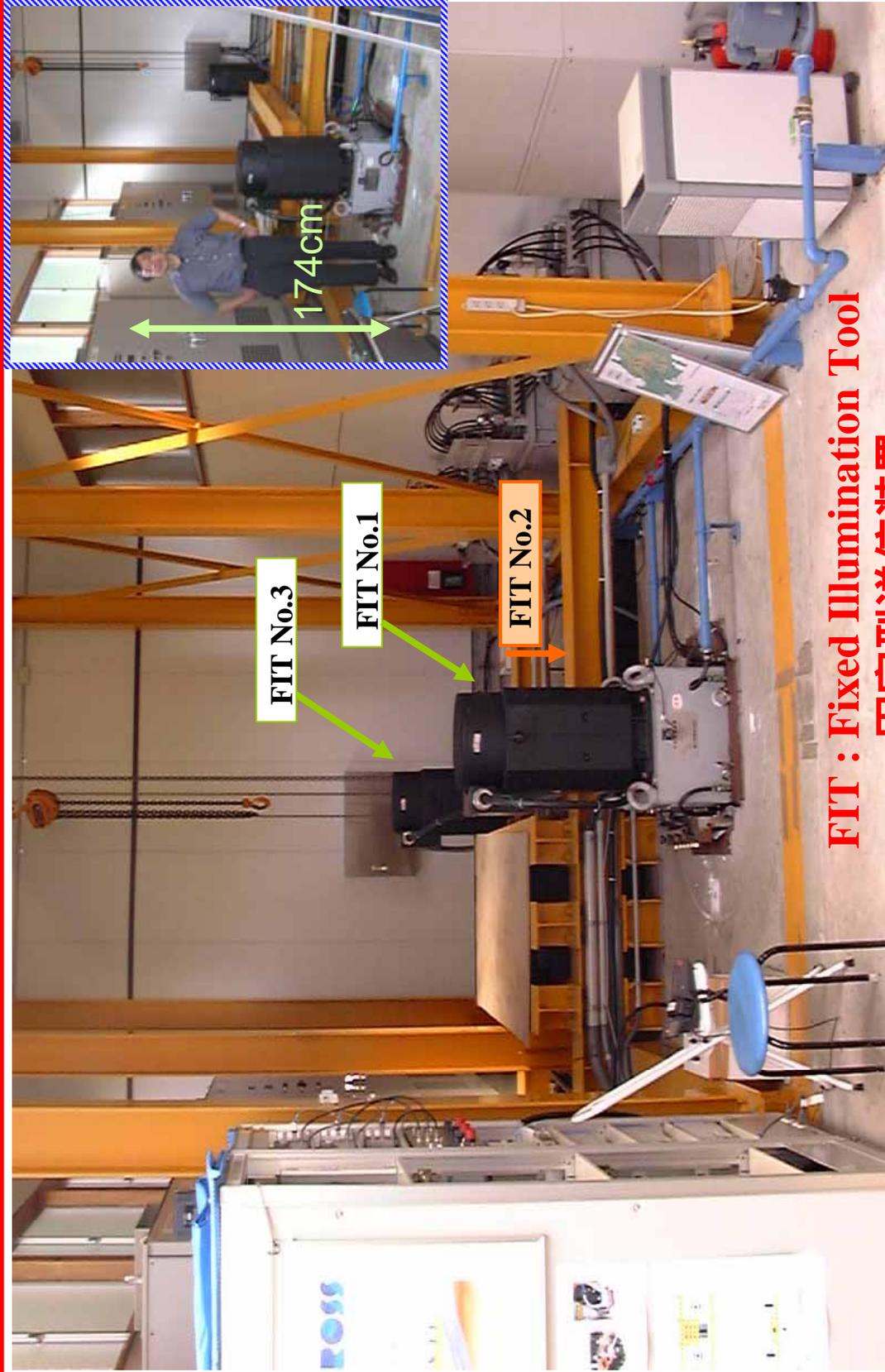
弾性波アクロスの送受信点の検討

<送信点>

HDB-3孔敷地に送信装置を設置 (東濃鉱山の送信機器の一部を移設)

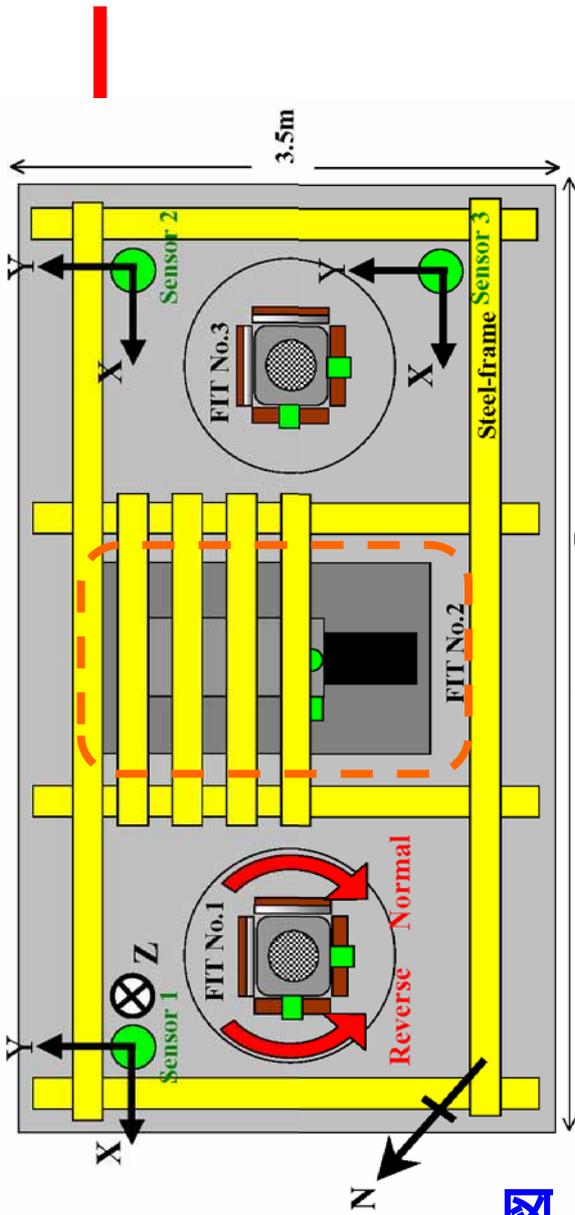
- 岩盤カプラーのサイズは検討中
HDB-3: 柔らかい凝灰質粘土 cf.東濃: 瑞浪層群の固い泥岩
- 近傍での観測(岩盤カプラーの真下)
20m以上のポアホールにサーボ式加速度計を設置
(送信装置直下の状態監視)

東濃鉦山 弾性波アクロス送信所

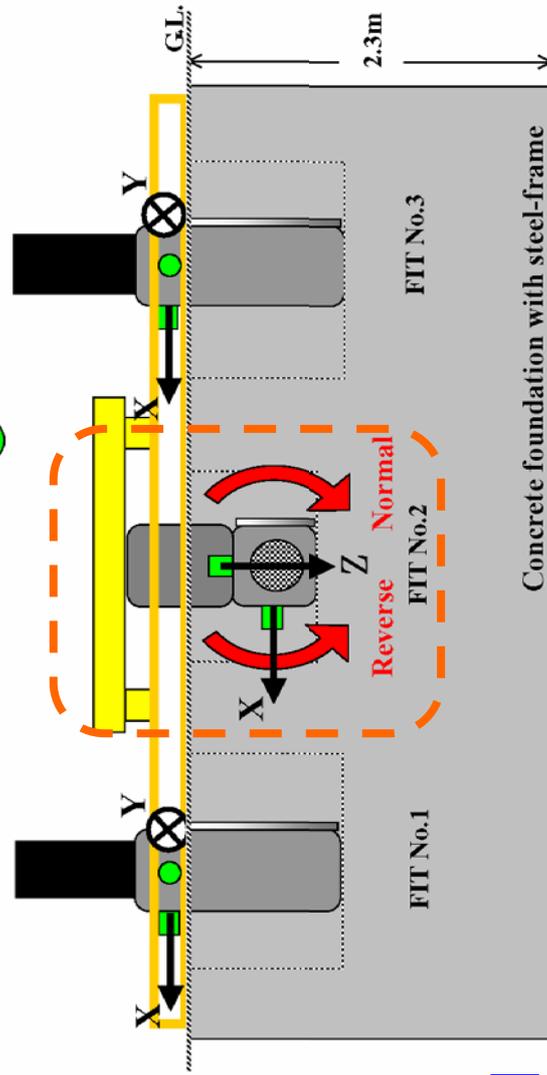


**FIT : Fixed Illumination Tool
固定型送信装置**

東濃鉦山
 弾性波アクロス
 送信所
 見取り図



平面図

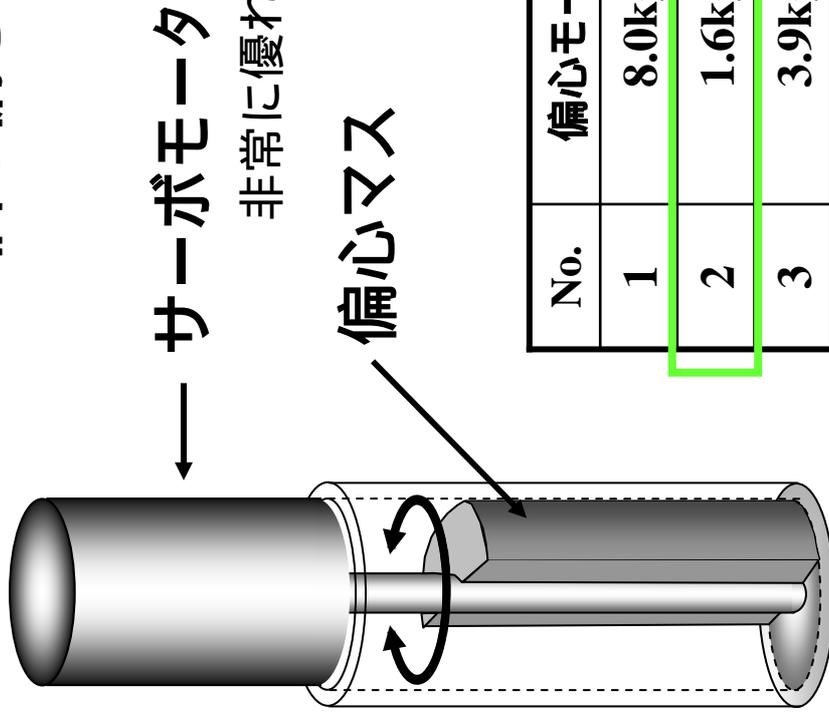


側面図

■ Accelerometer(V403)

東濃鉦山の送信装置

シングルユニット：1台のサーボモータで
1個の偏心マス回転させる



非常に優れた位相・周波数精度を実現できる

偏心マス 発生力 $F=MR^2$

周波数によって送信信号の振幅が異なる

No.	偏心モーメント	最大周波数	最大発生力
1	8.0kgm	25Hz	$2.0 \times 10^5 \text{N}$
2	1.6kgm	50Hz	$1.6 \times 10^5 \text{N}$
3	3.9kgm	35Hz	$1.9 \times 10^5 \text{N}$

緑枠内はH17移設予定の弾性波アクロス送信装置

6. 今後の課題

1. 弾性波アクロスの送信機器の移設・受信機器の設置を速やかに行う。
2. 掘削前のバックグラウンドの地盤の状態を観測し、信号の伝達特性を把握する。
3. 解析手法に習熟する。

電磁アークロスの開発とその試験観測

中島崇裕（東濃 陸域PJ 客員研究員）

発表概要

- ・電磁アークロスの概要
- ・電磁アークロスの開発について
- ・東濃地域での電磁アークロス連続送受信について
伝達関数の取得
- ・最新の動向、および今後の課題
- ・まとめ

研究の目的・意義

地下を見る手段として、地下を伝播する波を使う

弾性波、電磁波

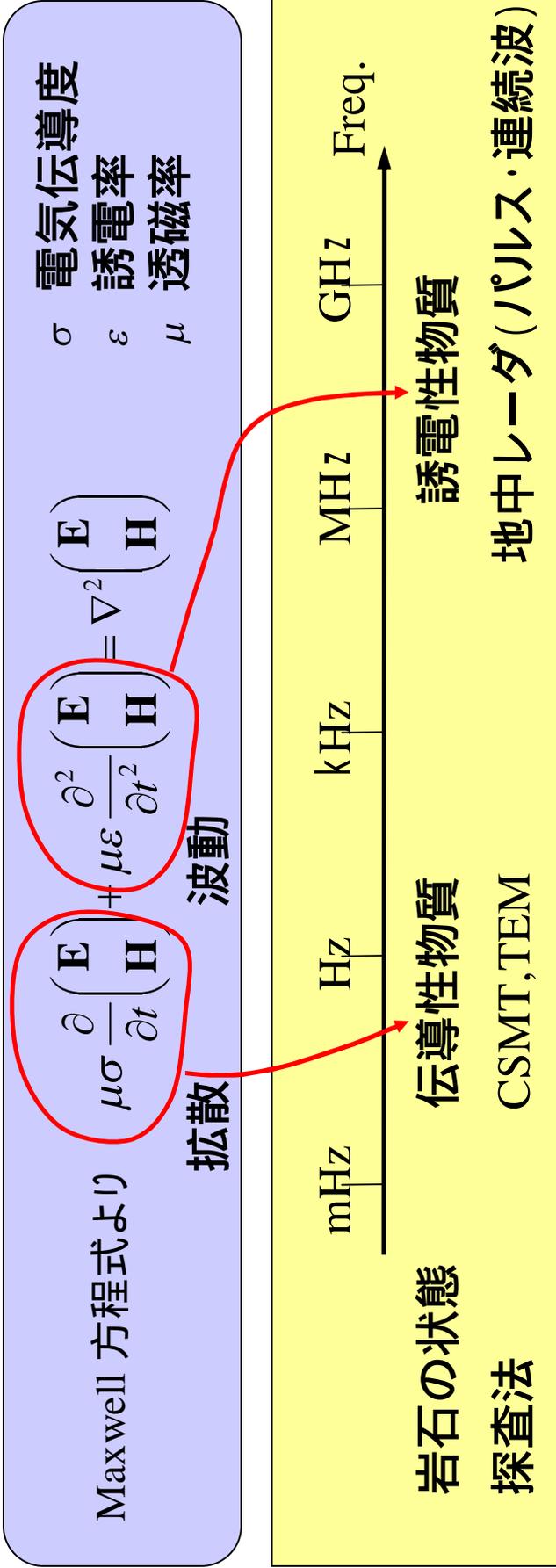
弾性波では弾性波速度(応力)分布の変化検出に有効

電磁波では電気伝導度分布の変化検出に有効

電気伝導度は H_2O の量と状態の把握やその変化に依存し、 H_2O に関する現象の理解に役立つ

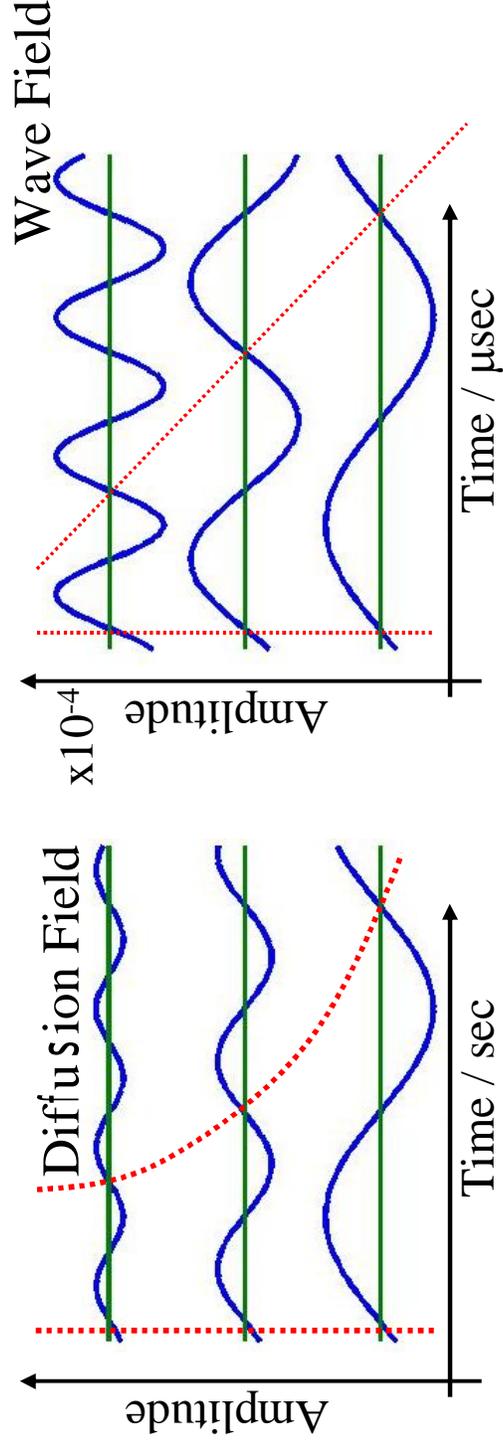
地下の電磁気物性の構造や H_2O の状態変化を観測する手法確立のため、電磁アークロスの開発を進めてきた。

電磁波による探査

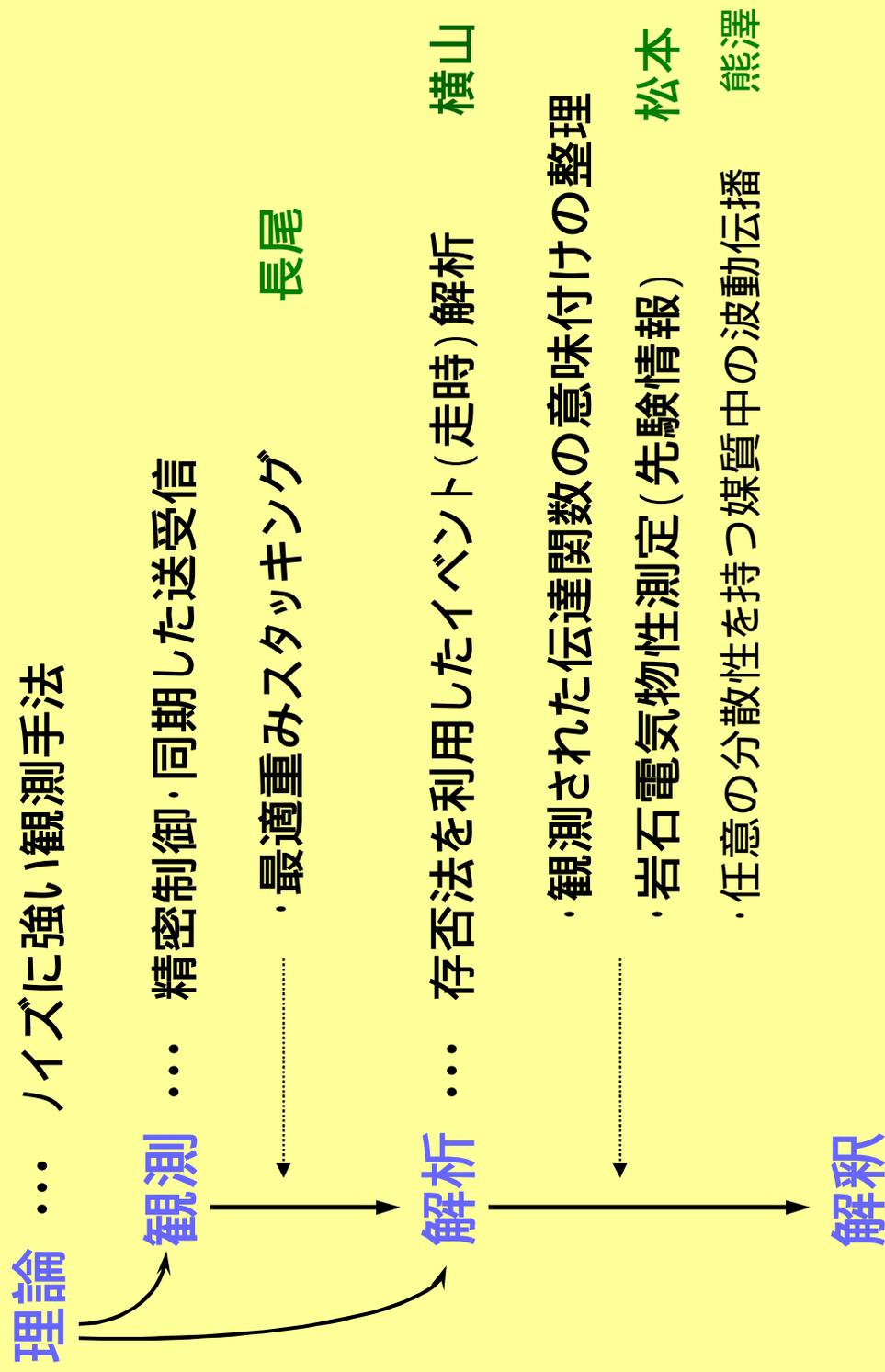


アクロスでは
拡散場・波動場
においても電磁
波伝播速度を
考えることが
できる。

定常電磁波励起時に観測される信号



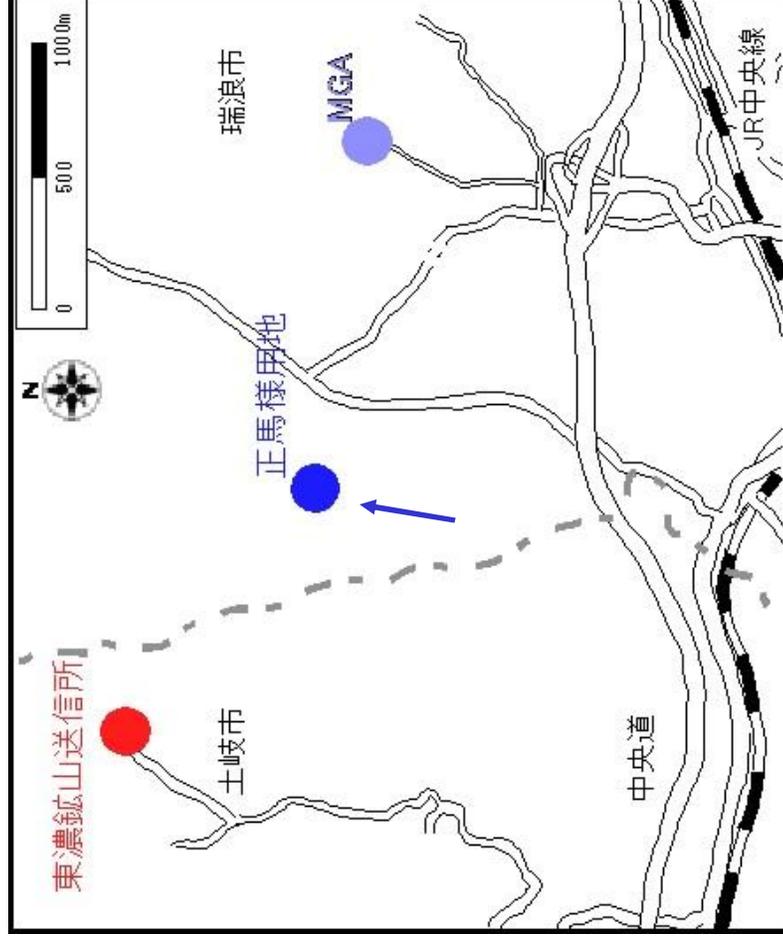
電磁アクロスによる探査の流れ



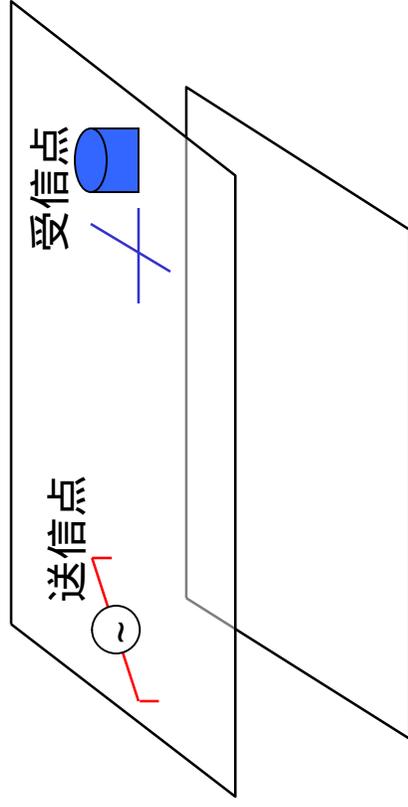
テストサイト(東濃鉾山を周辺とした地域)

探査周波数として、1kHzより低い拡散場領域での探査システムを開発してきた

信号振幅の減衰が小さく、遠方まで信号が届くことが期待される



探査概念図

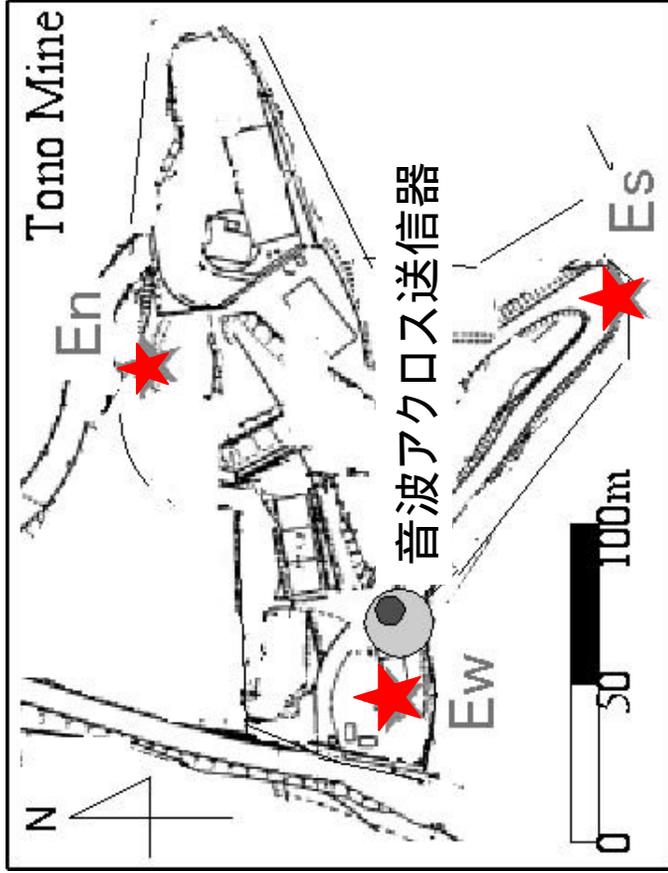


・約100m地下に不整合
(第三紀層と花崗岩)

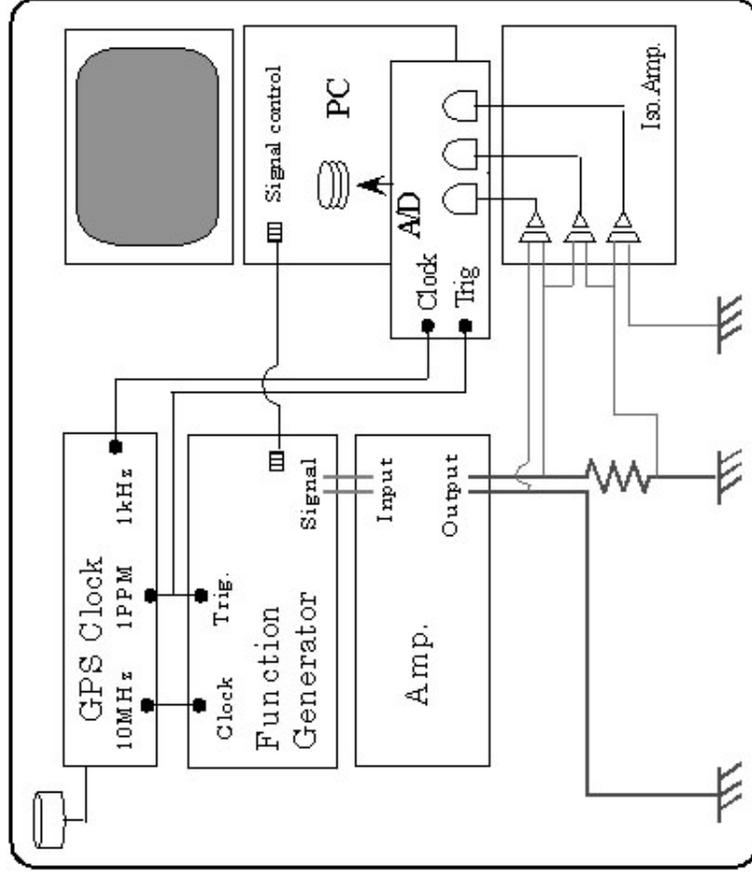
・弾性波と並行観測

送信側

2003/1月から長期連続送受信開始



送信信号発生およびモニタ機器



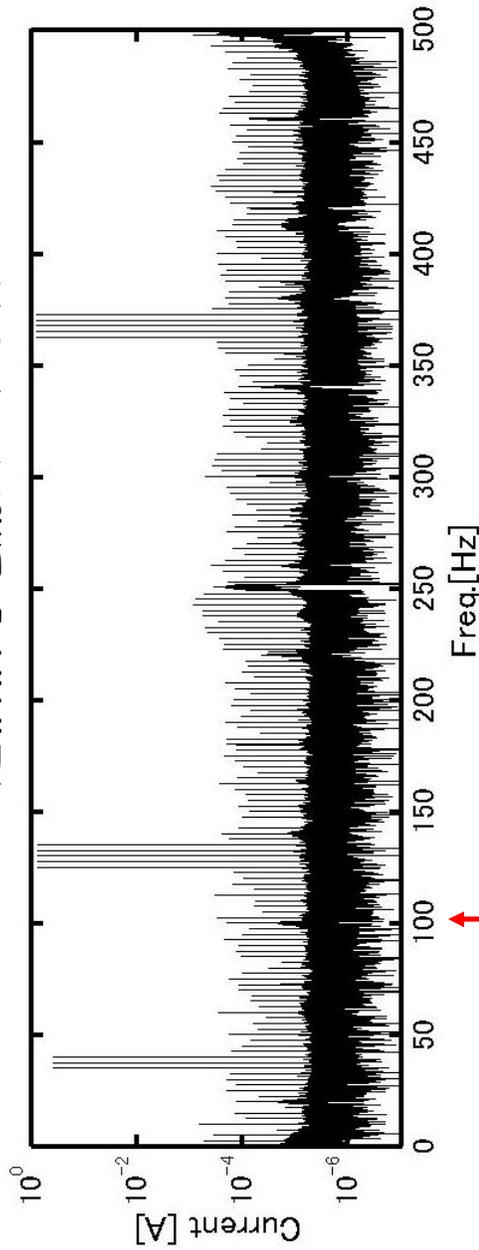
東濃鉾山敷地内に3点の接地電極を設置し、その2点間に電流を流すことによって、電磁波を送信する。

今回の発表では、EnとEw電極を送信源とした結果を示す。

GPS時計からのタイミングパルスに同期して送信信号が放射される。
また同時に送信信号の電流値と電圧値をモニタする。

送信信号：送信周波数帯設定と送信信号設計が必要

送信信号電流スペクトル



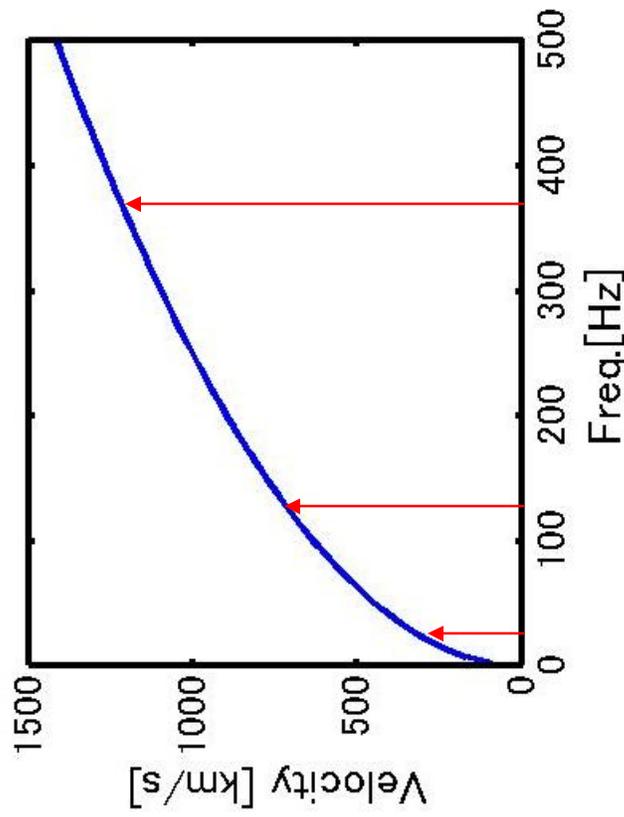
信号のレベル

一般雑音のレベル

伝播速度が帯域別でほぼ等間隔になるように周波数を設定

比抵抗100 mの媒質の速度

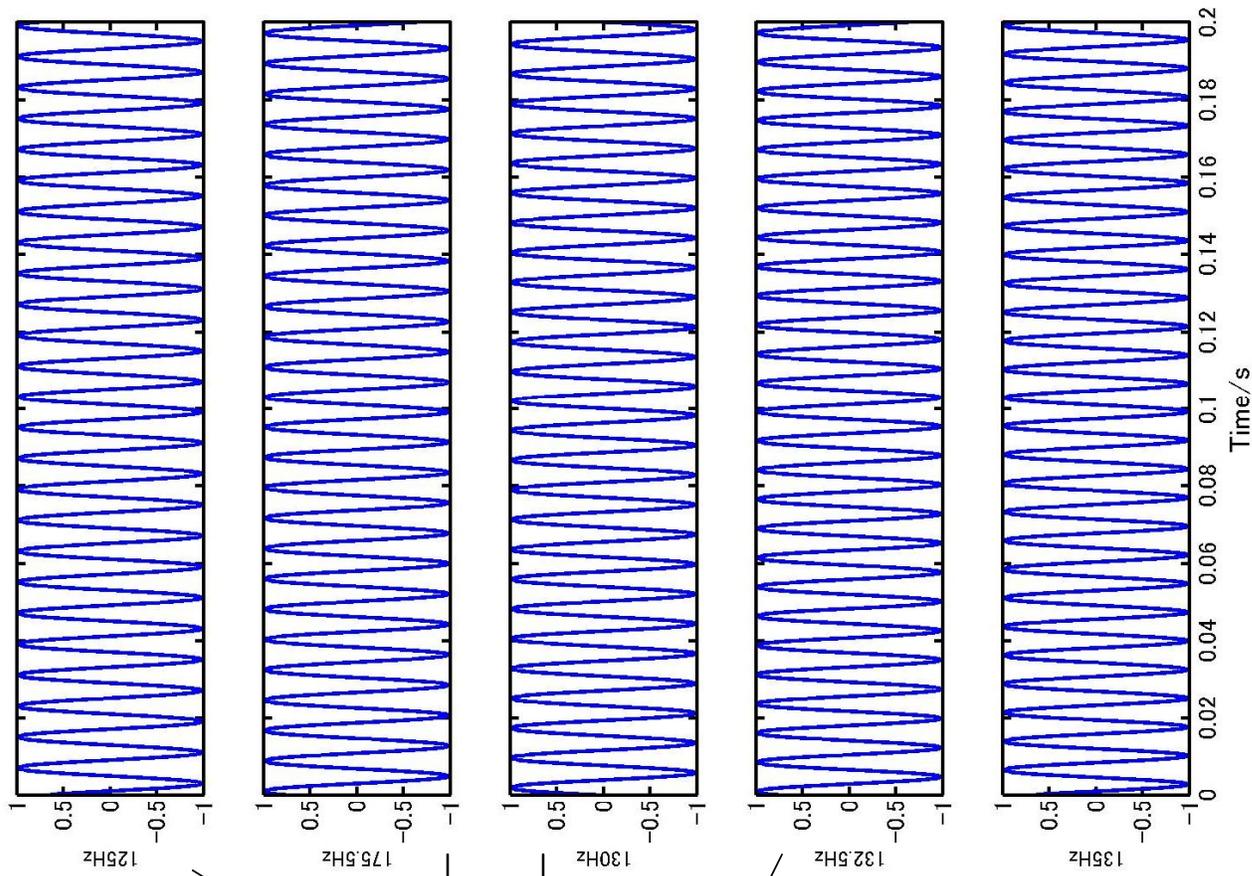
$$\text{Group Vel. } \frac{d\omega}{dk} = 2\sqrt{\frac{2\omega}{\mu\sigma}}$$



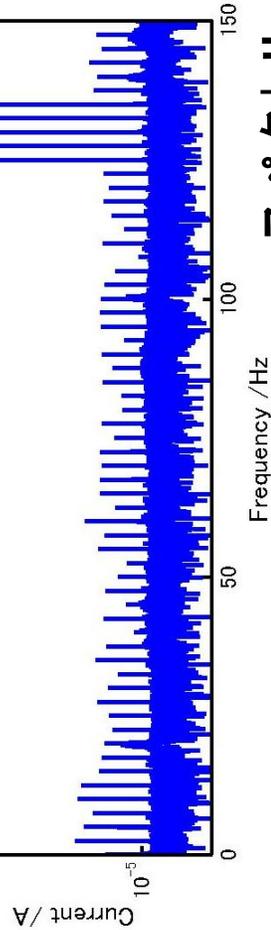
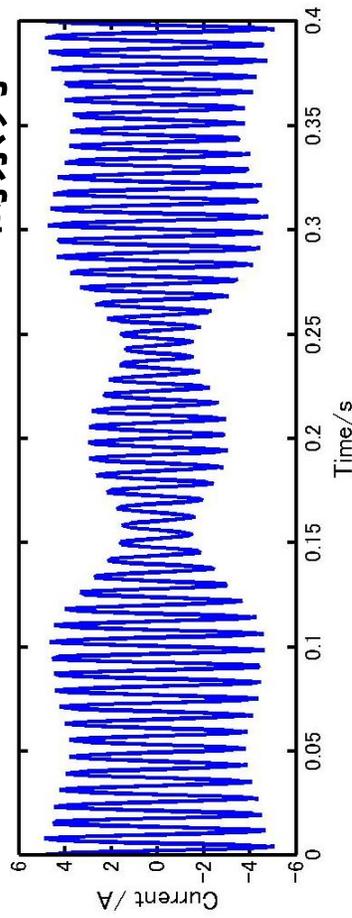
送信信号設計

合成波の最大値・最小値の差が最小
になるように初期位相を調整。
(ここでは125~135Hzの5本の周波数
の場合を示す)

各周波数成分の時系列



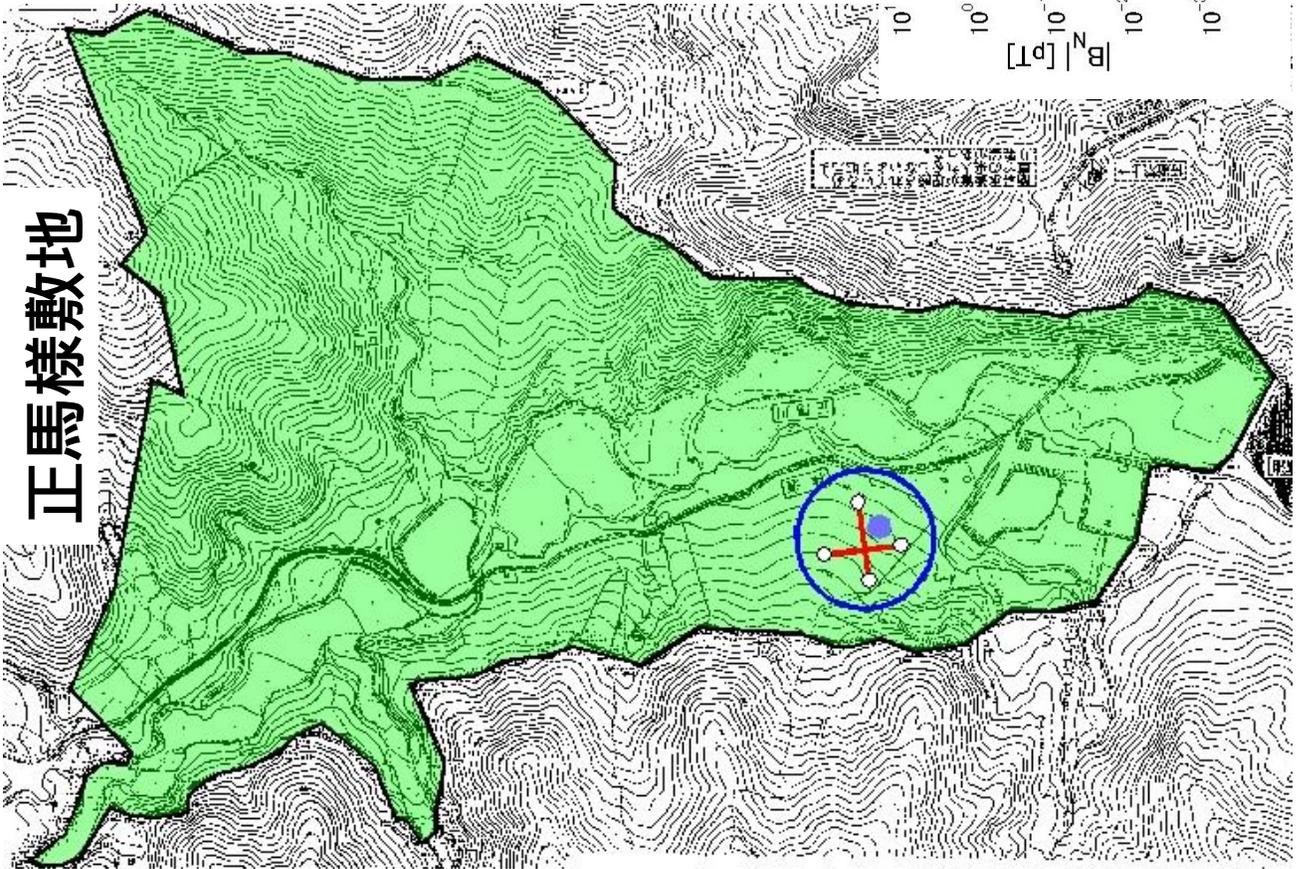
時系列



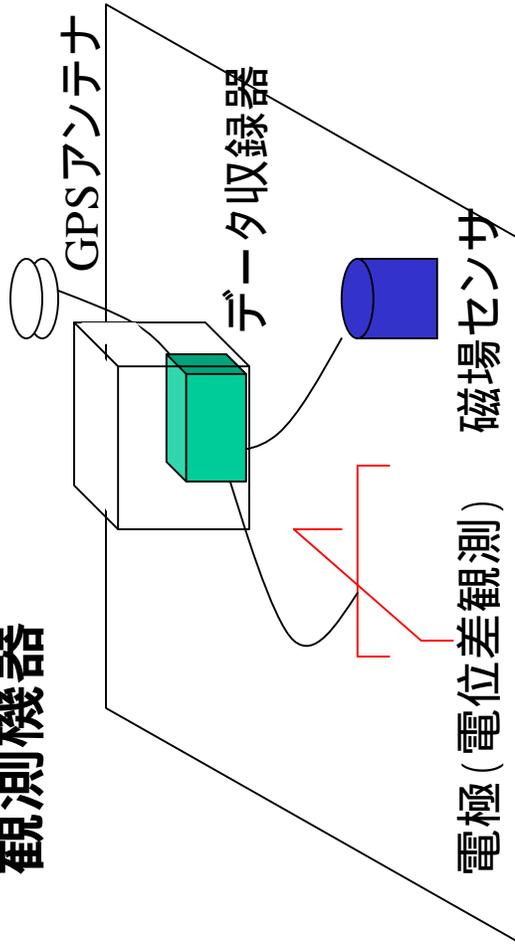
スペクトル

電磁波受信について

正馬様敷地



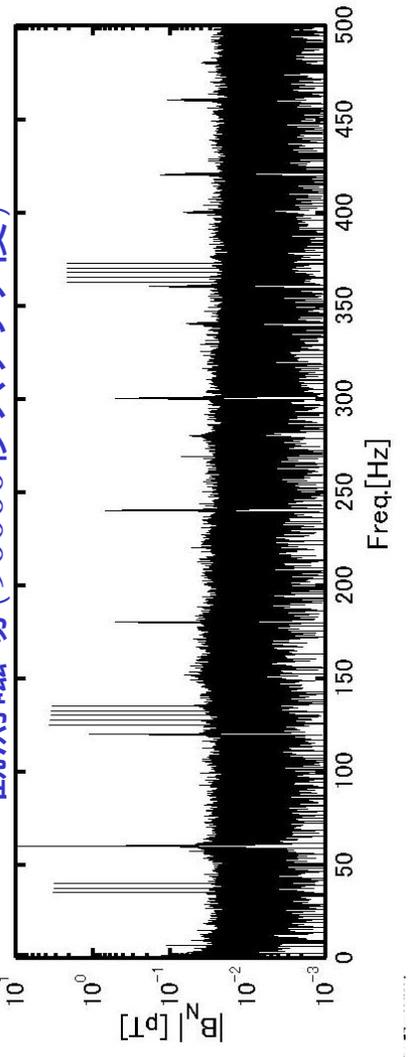
観測機器



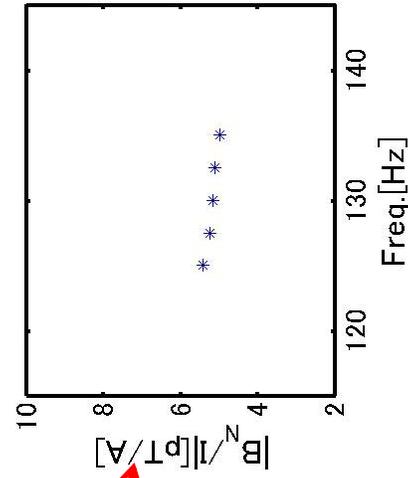
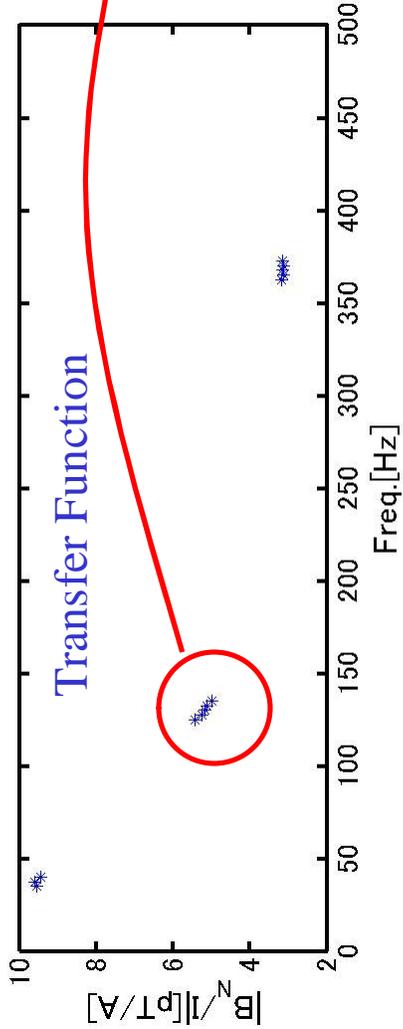
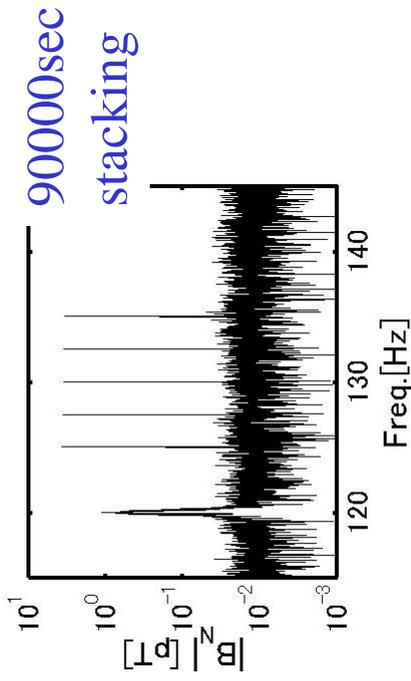
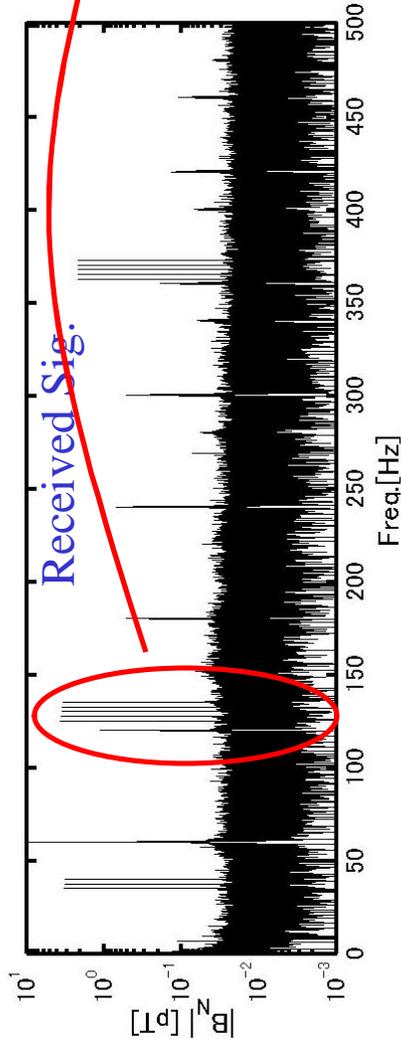
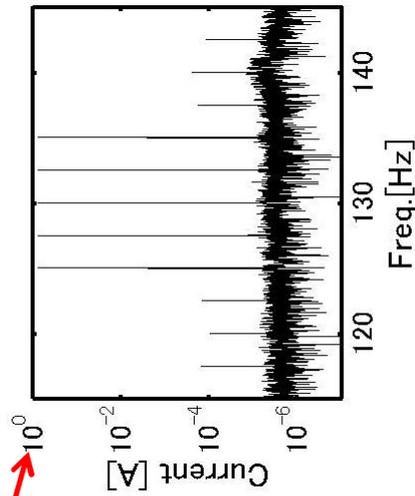
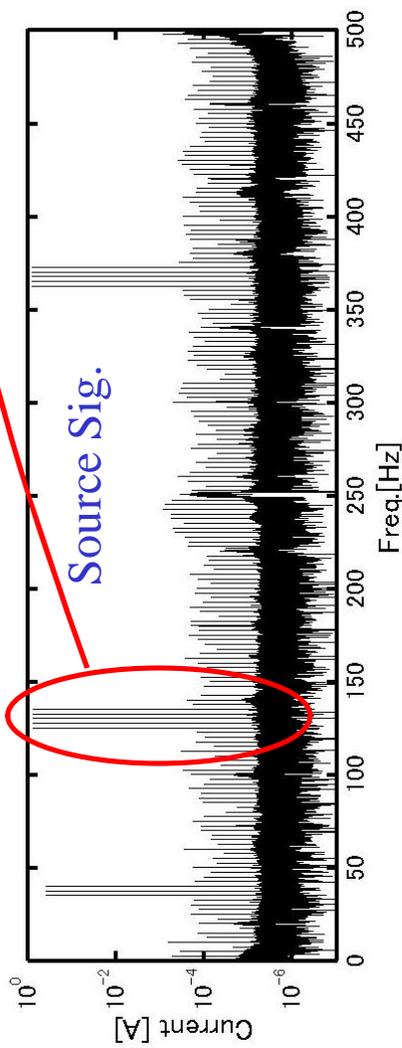
受信側：電場電極間隔33m

磁場 Fluxgate

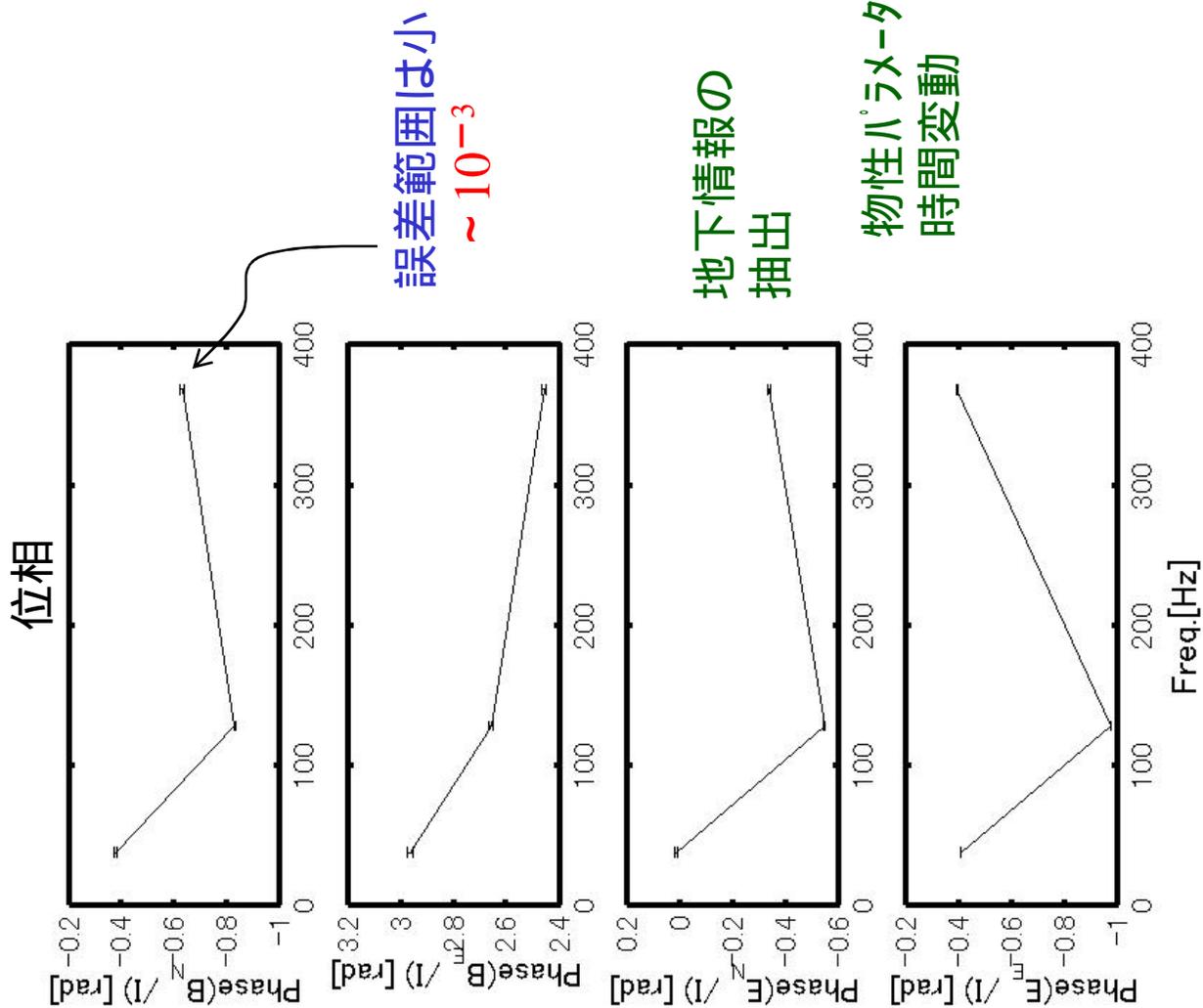
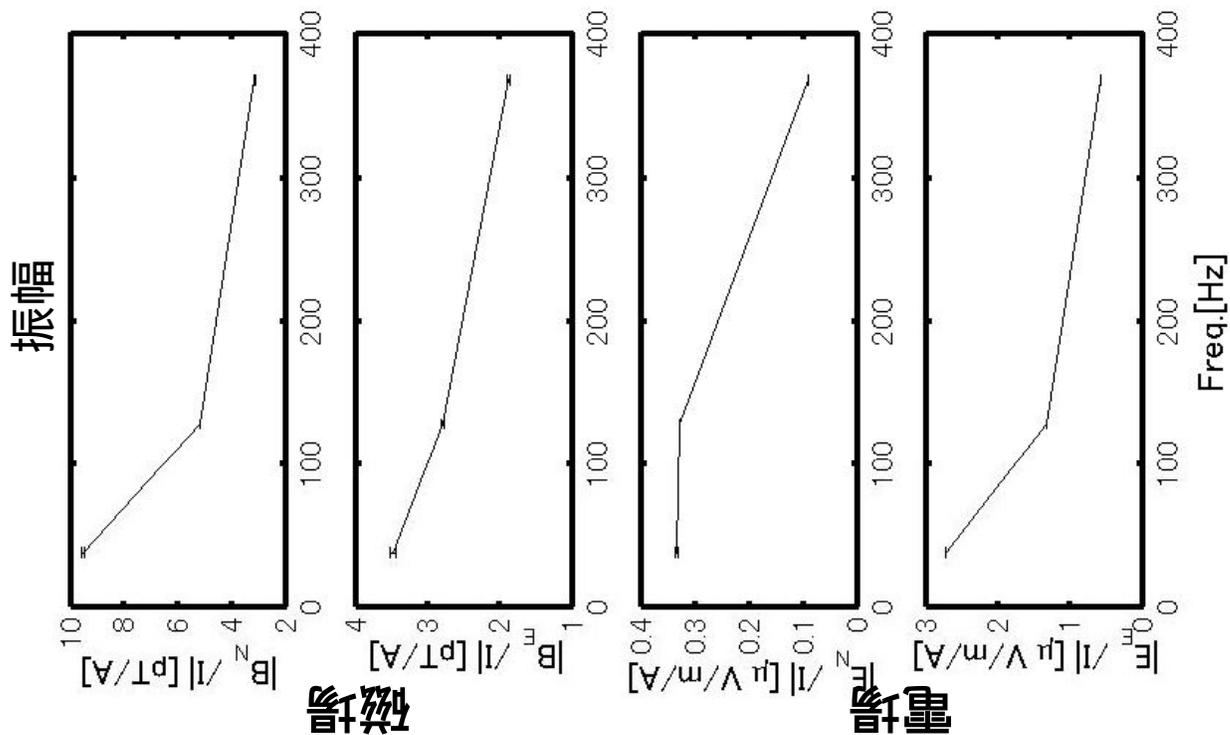
観測磁場 (90000秒スタック後)



伝達関数 = 受信信号 / 送信信号



90000秒平均の伝達関数 (磁場 / 電場観測)



誤差範囲は小
~ 10^{-3}

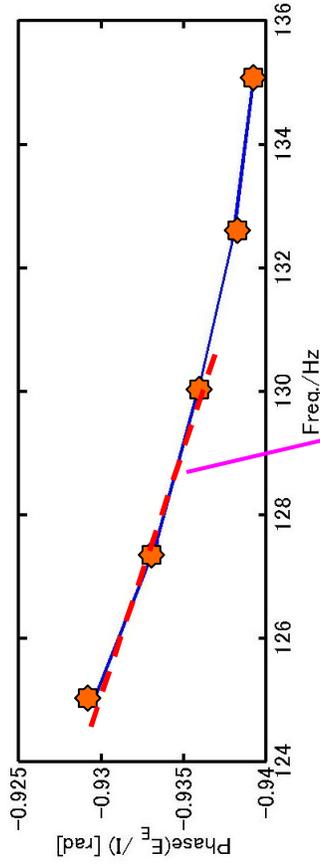
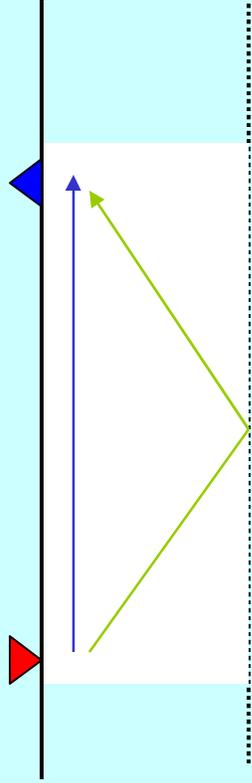
地下情報の
抽出

物性パラメータ
時間変動

物性パラメータ推定へのアプローチ

伝播波としての表現

伝達関数を伝播パスごとの情報に分離。
主に波動領域で利用 横山(2000)



(平均の速度構造)

周波数範囲125 ~ 130Hzで位相のズレ

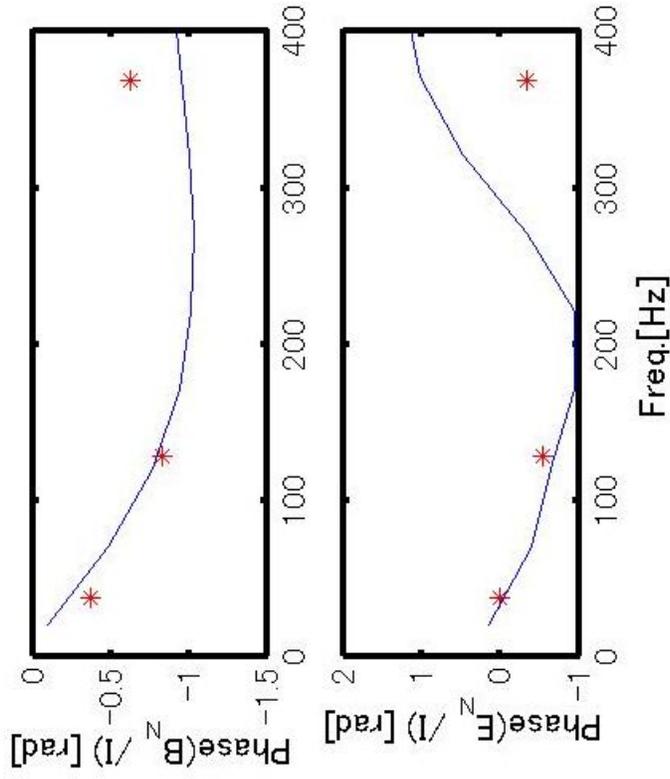
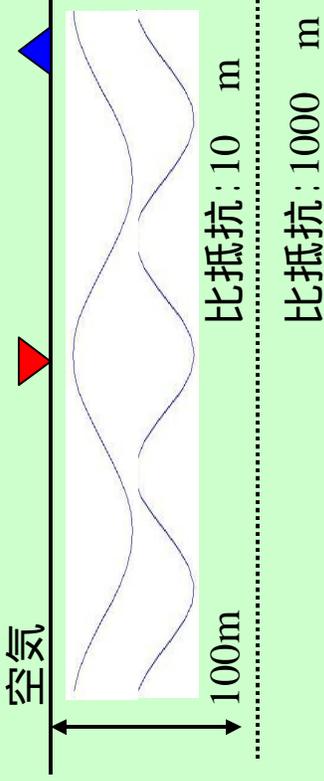
: 0.007rad/ 5Hz

走時は、 $0.007 / 5 / 2 = 2.2 \times 10^{-4} \text{ s}$

見かけの波の伝播速度: $\approx 3.2 \text{ m}/\mu\text{s}$

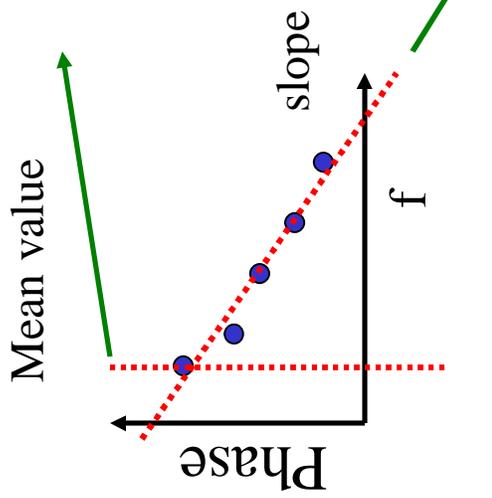
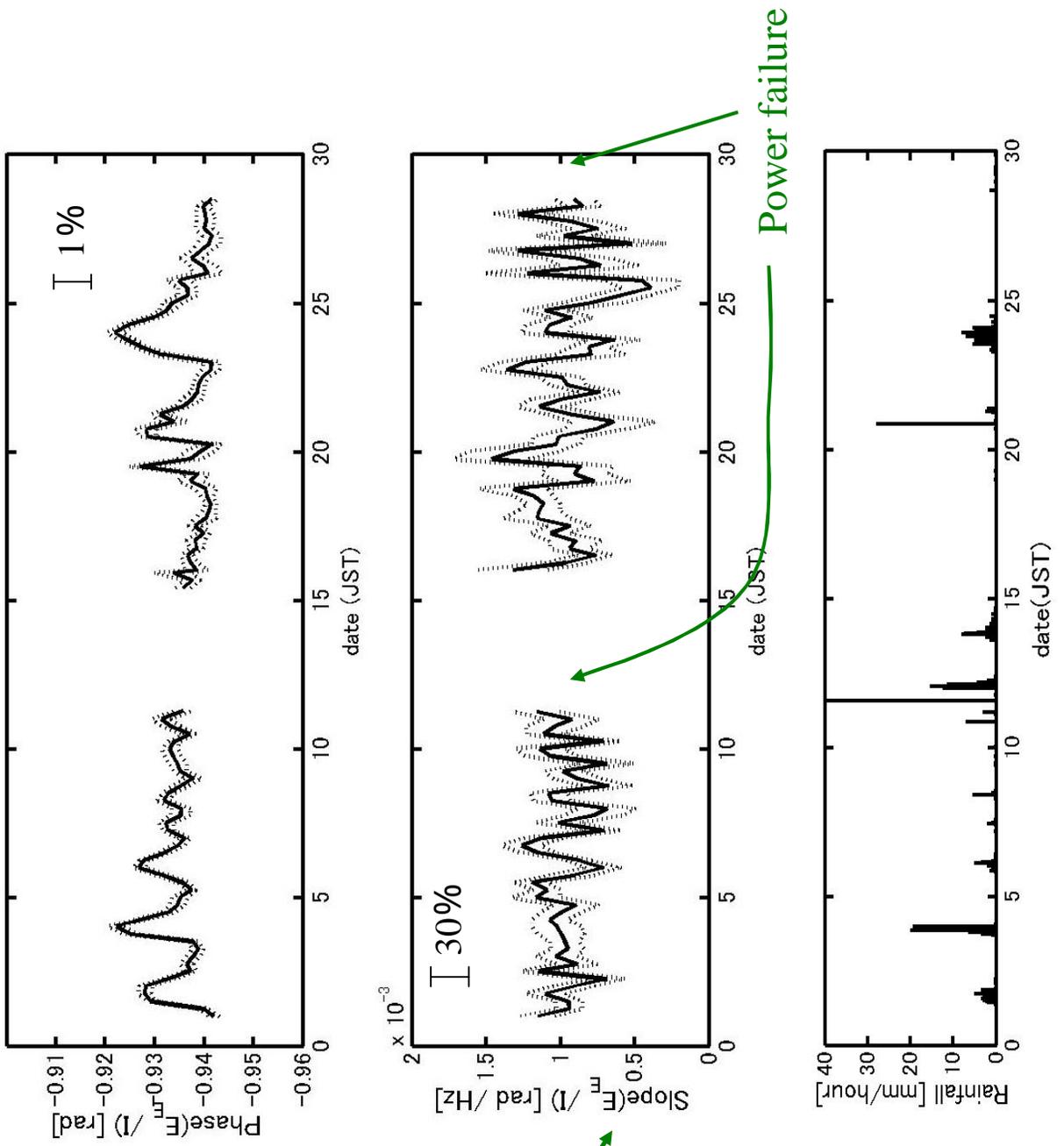
定在波としての表現

波を地下構造に即したモードで表し、
その総和として伝達関数を表現する。



時間変動の検出

2003年7月の伝達関数の位相の変動

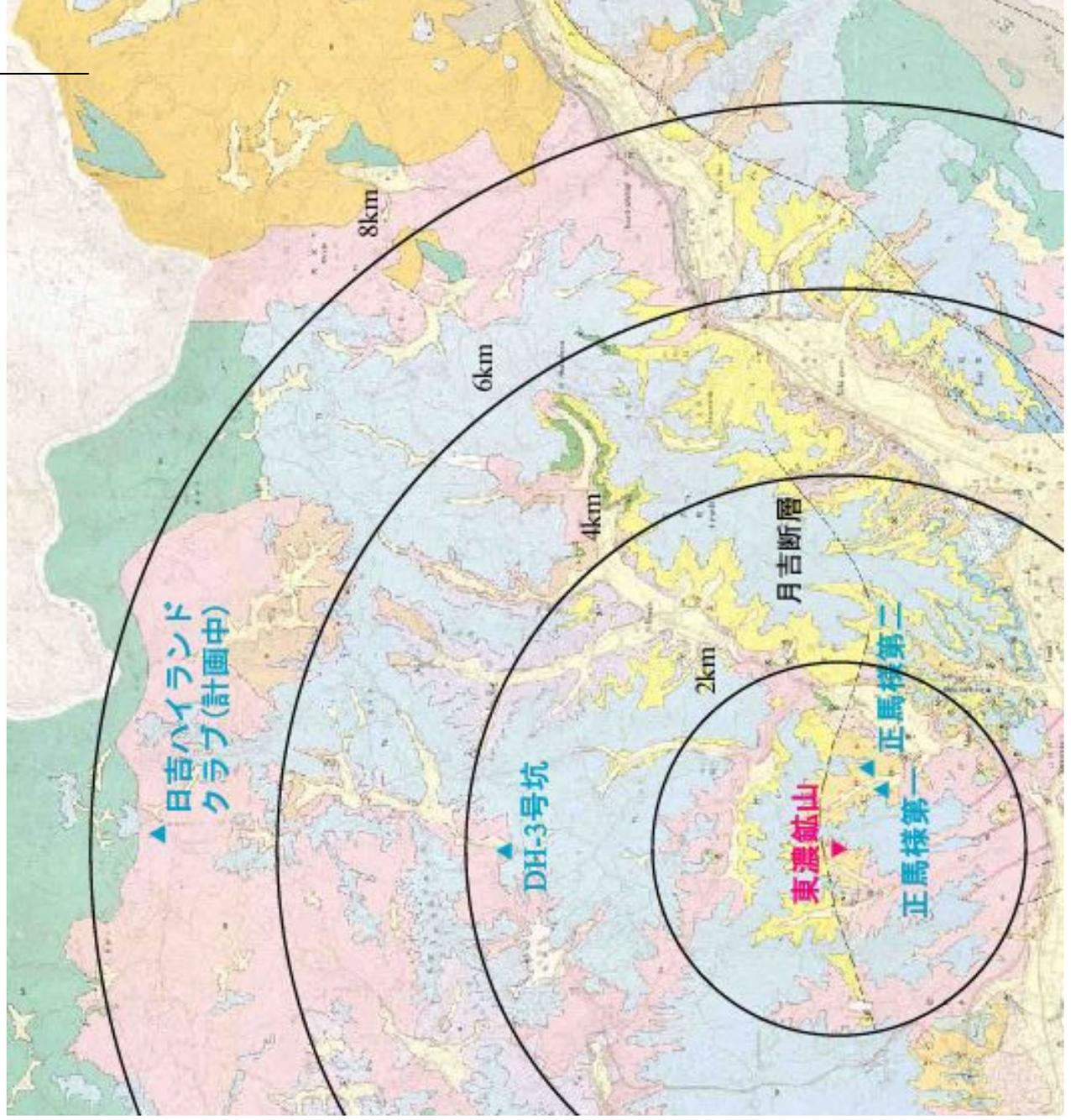


5 components
between 125 to 135 Hz

東濃鉾山での
降雨量との比較

新規観測点について

瑞浪地域の地質図



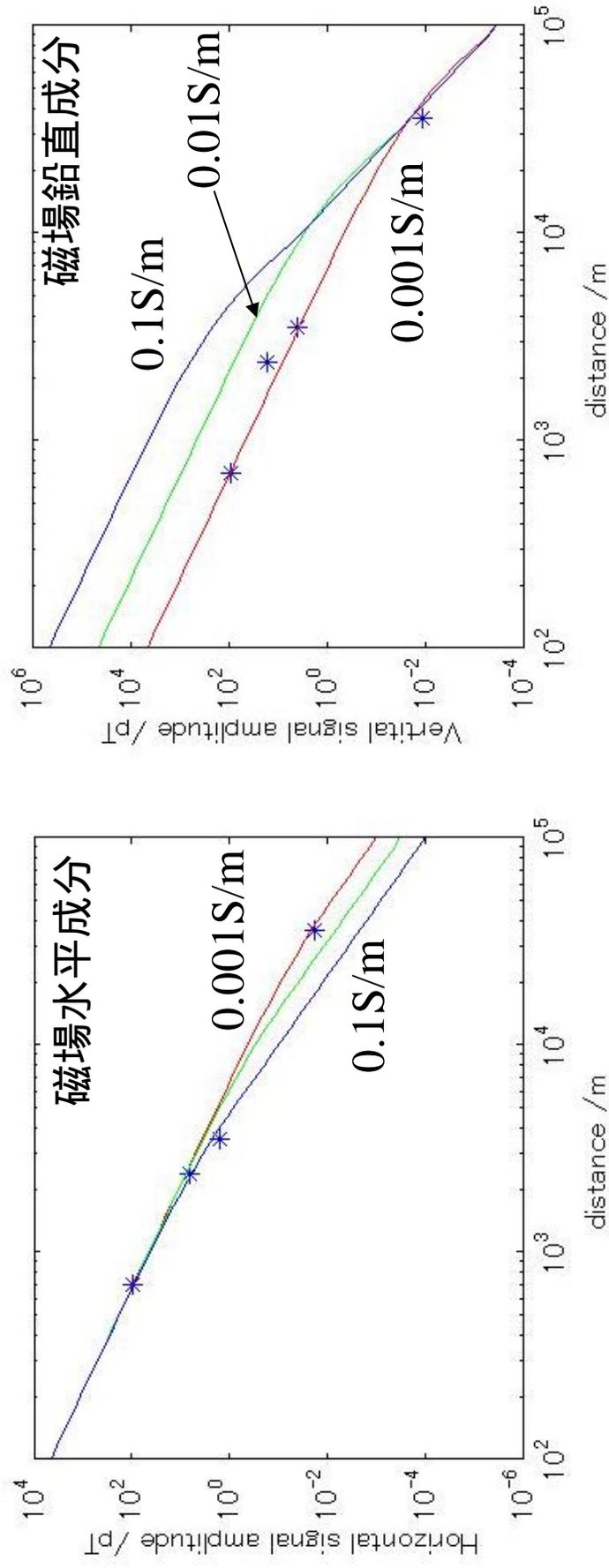
同じ岩帯(土岐花崗岩)での信号伝播の距離依存性確認や、変動域推定のための観測点を設置

東海大と協力し、より遠方(約40km)での観測も実施中

観測結果から地下の状態の推定への試み(多点観測の場合)

Near Field, Far Field の発生、コントラストの大きい面での反射、空中を伝わる波の同定のために、ダイポールからの電磁波計算コードを準備中

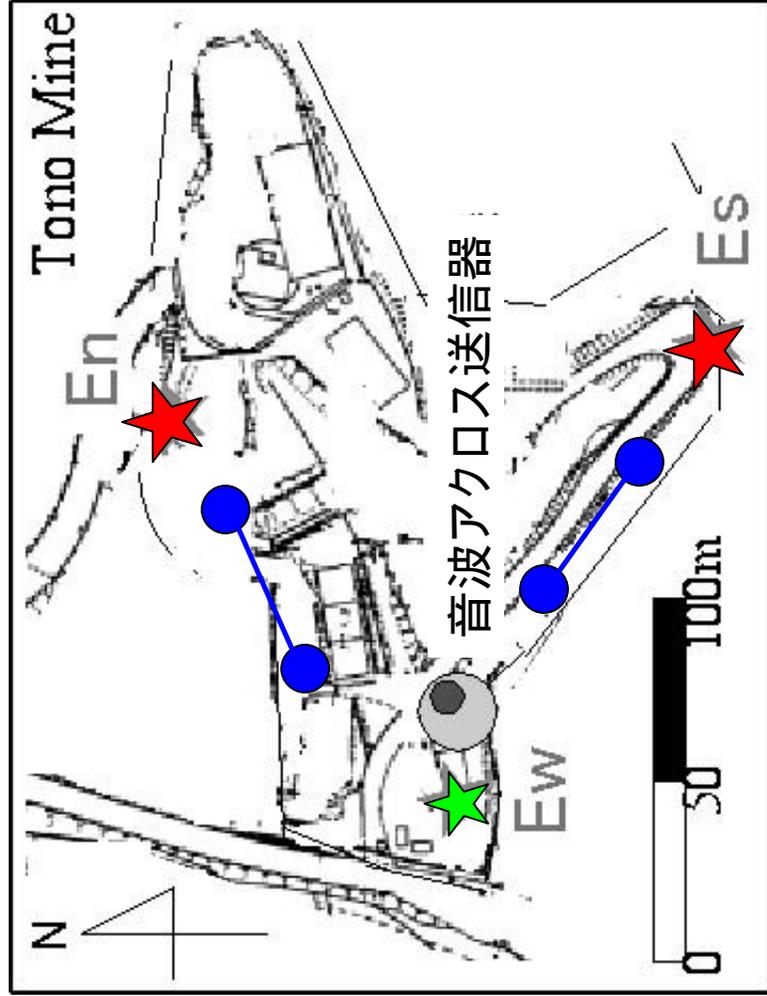
東濃地域の観測結果との比較の一例(半無限一様構造@1Hz)



- Near/Far field の区別なく観測される観測データの第一次近似
 - 波動のRay/Mode の相互関係理解
- に適用

2003年度後半に行った観測システム改良について

より効率と精度のよい観測のための改良を行った。



- ★ 接地抵抗の低減
- モニタ用電極

1. 送信用電極の接地抵抗を下げる

同じ電圧でも電流量大：信号振幅大

2. モニタ用電極の設置

地下に放射された電磁場のモニタ
送信点近傍の変動の把握

今後の課題

1. 地下物性パラメータとして解釈するための理論的考察の整理
この地域に即した周波数帯での観測
2. 時間変動の考察のための、電磁アクロス以外のデータとの比較
地震波アクロス / 地下水データ / その他との比較
変動域の推定
3. 地下の異方性(構造および物性)の検出のための観測
 - ・ベクトル送信
 - ・異なる地質環境における送受信試験

展望

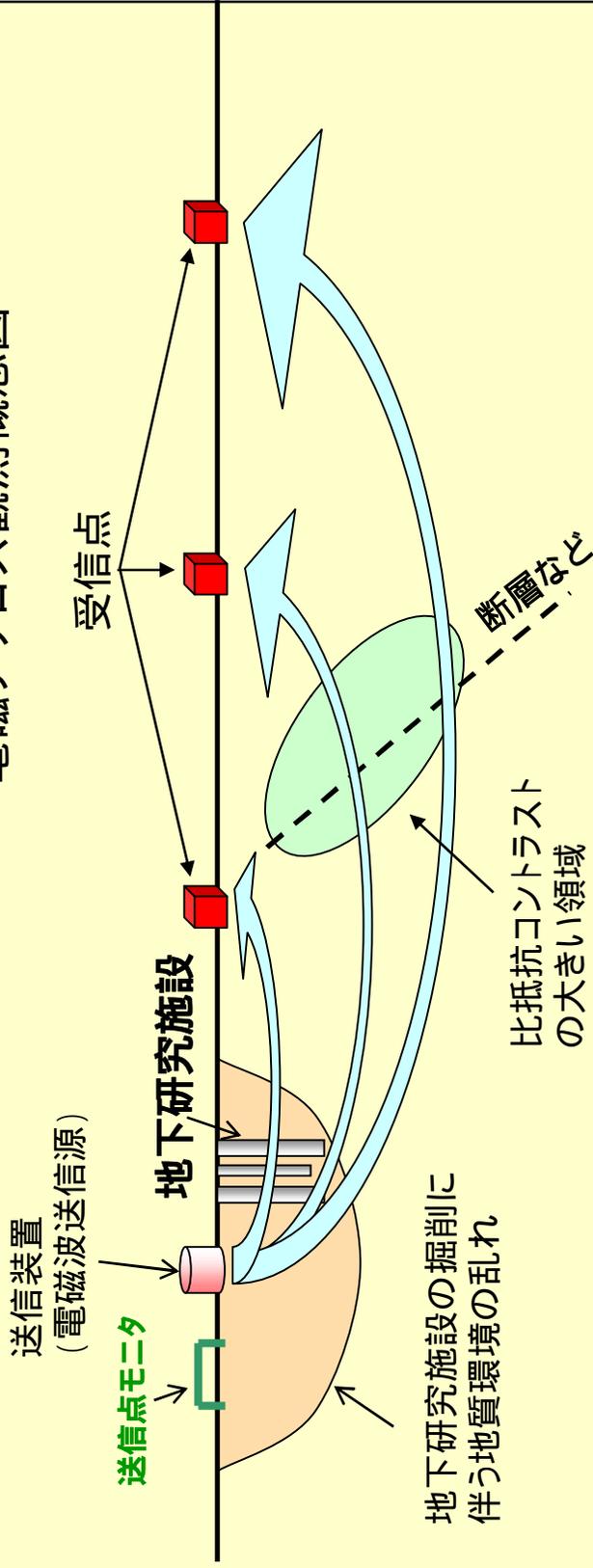
- 地下の H_2O の状態変化を観測するための手法としての適用例
- ・東海大学との共同観測
 - ・幌延深地層研究所での孔道掘削の影響のモニタリングなど

地質環境モニタリング技術の開発(幌延)

アクロス(精密制御定常信号システム)による観測

電磁波アクロス

電磁波アクロス観測概念図



送信点モニタと他受信点について、電磁波伝播状態の時間変動を観測・比較

掘削に伴う地質環境の変化を把握

大曲断層をささんだ観測

掘削に伴う地質環境の変化において、断層境界の影響を把握

遠方において電磁波伝播状態の時間変動を観測

北進地区全域の変動か、地下研究施設周辺の変動かを比較検討するためのリアレンス

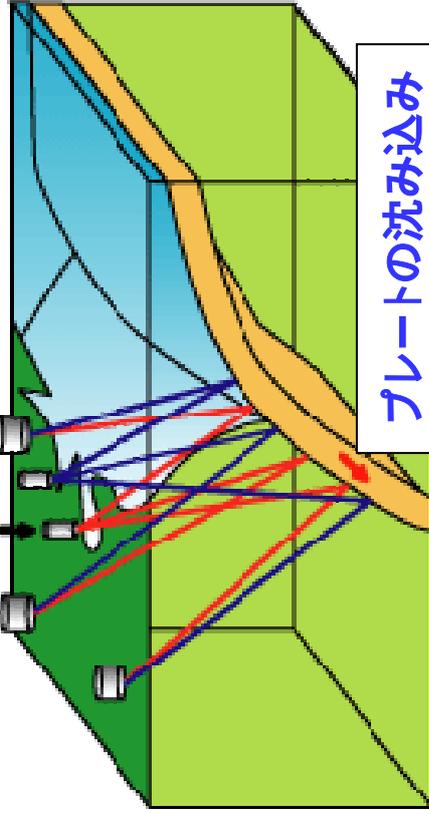
弾性波アクロスについて

陸域地下構造フロントティア研究プロジェクト
アクロス研究チーム
國友孝洋

東海地震震源域のアクティブモニタリング

弾性波アクロス送信装置

受信装置



プレートの沈み込み

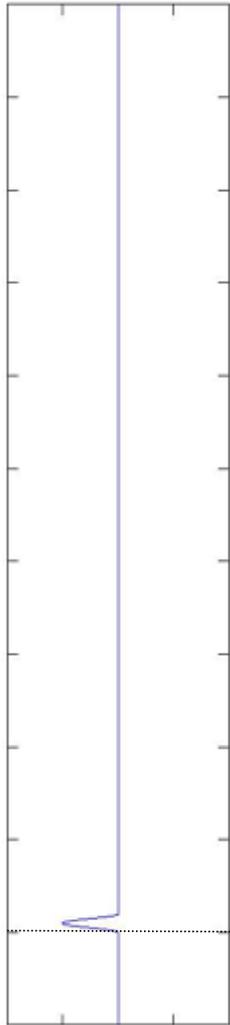
ref. 「サイクル機構ホームページ」
「地層を科学する (アクロス概念図)」

弾性波アクロスとは

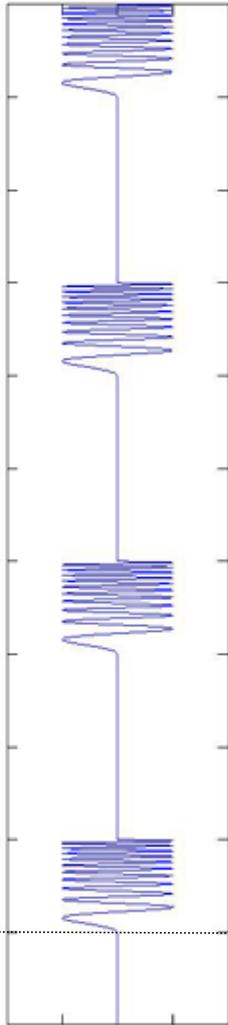
位相と振幅を精密に制御した
弾性波を常時送信し、地下
構造とその状態の変化を能動的に観測するシステム

従来の人工震源との比較

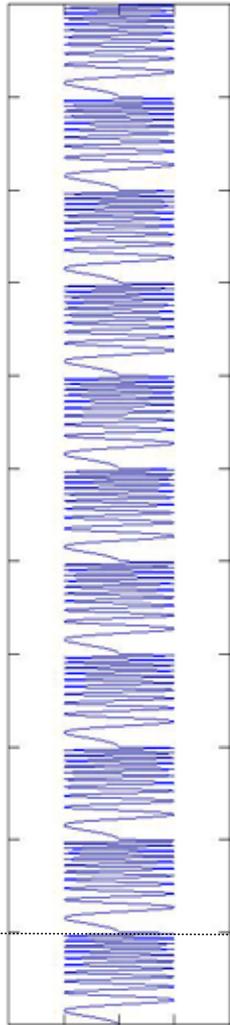
インパルス型(重錘落下、発破など)



断続的スイープ型(パイプサイスなど)



連続波型(アクロス)



時間/s

同じ発生力の震源を用いて比較した場合、アクロスのような連続波型震源が(時間積算で)地下へ最も多くのエネルギーを送ることができる。

連続波型の使用例

- 1) 非破壊で長期連続送信を行い、地下や構造物の連続監視を行う。同時に長時間観測(スタッキング)でS/Nを稼ぐ。
- 2) 多少破壊的でも、パワーを大きくして、短時間で大きなS/Nのデータを取得する。

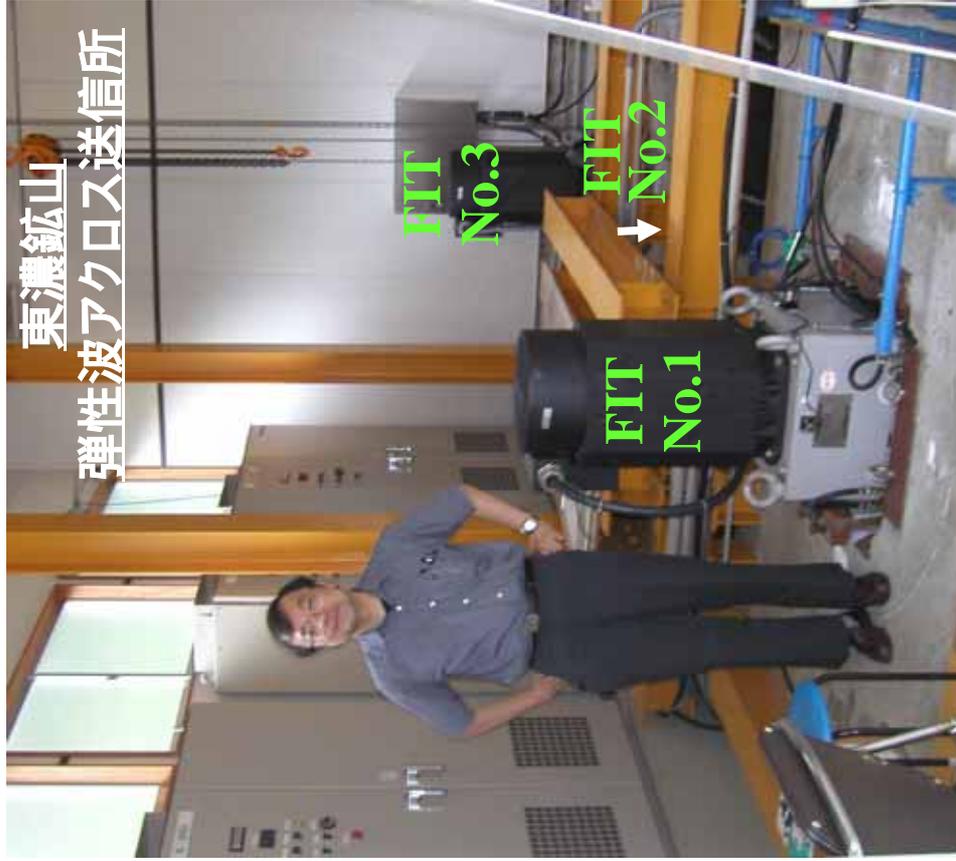
走時の考え方

伝達関数

$$= \text{受信スペクトル} / \text{送信スペクトル}$$

伝達関数の中に、送信された信号がどれだけ遅延して観測点に到達するかの情報が入っている(存否遅延解析など)。

弾性波アクロス送信装置



FIT : Fixed Illumination Tool

装置の概念図

なぜ回転型？
なぜ錘が1つ？

サーボモータ

GPS時計による世界協定時を基準として1μ秒以内の時間精度で回転し、地盤を加振し続ける。

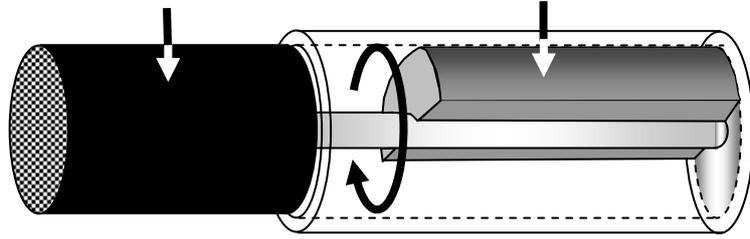
偏心錘

$$\text{Force} = MR^2$$

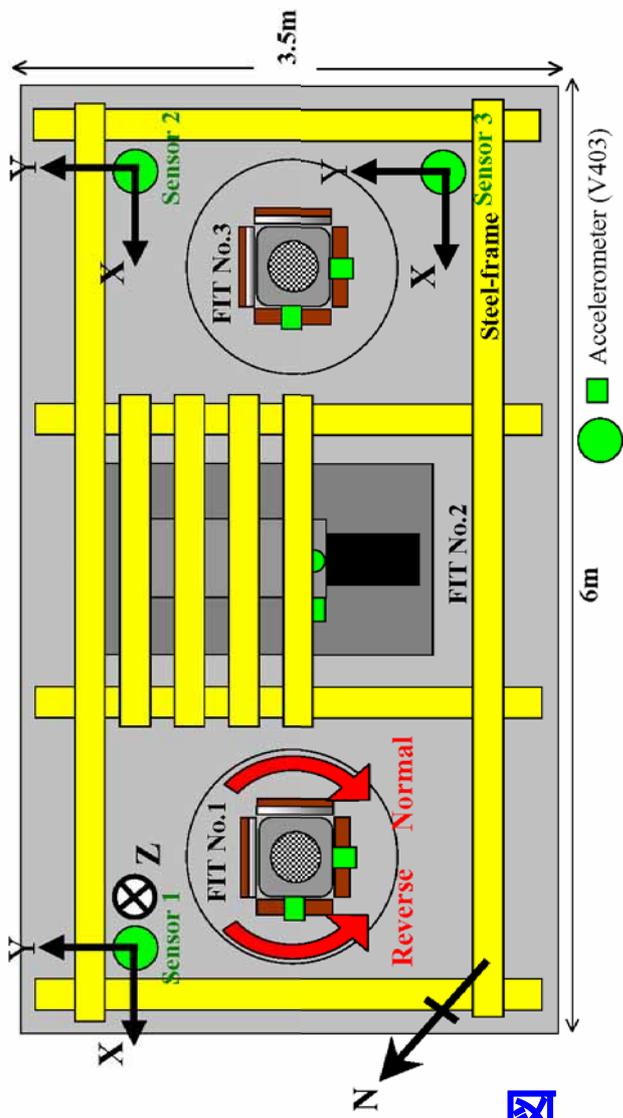
M: 質量

R: 回転半径

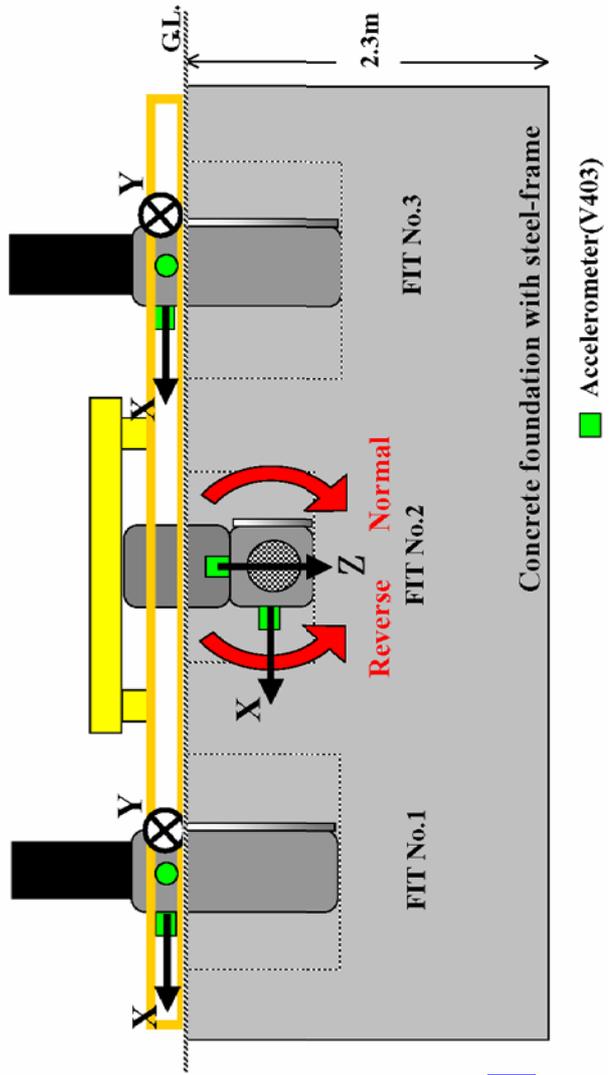
: 角周波数



東濃鉦山 弾性波アクロス 送信所 見取り図



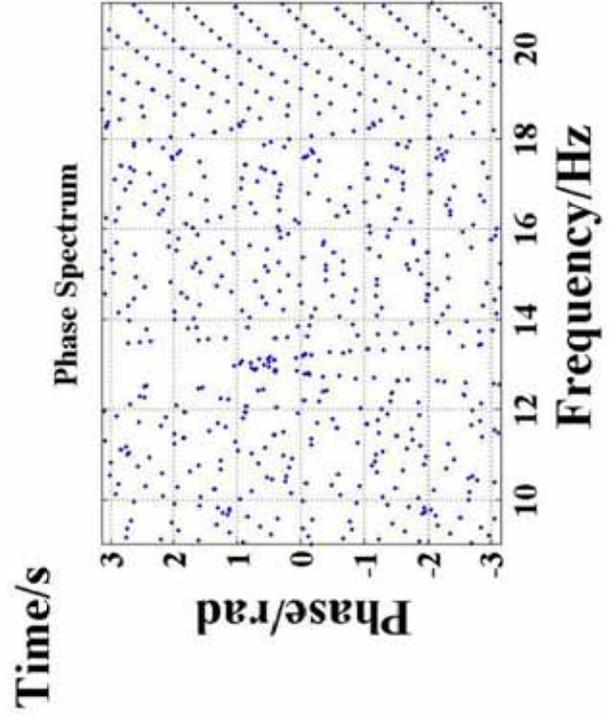
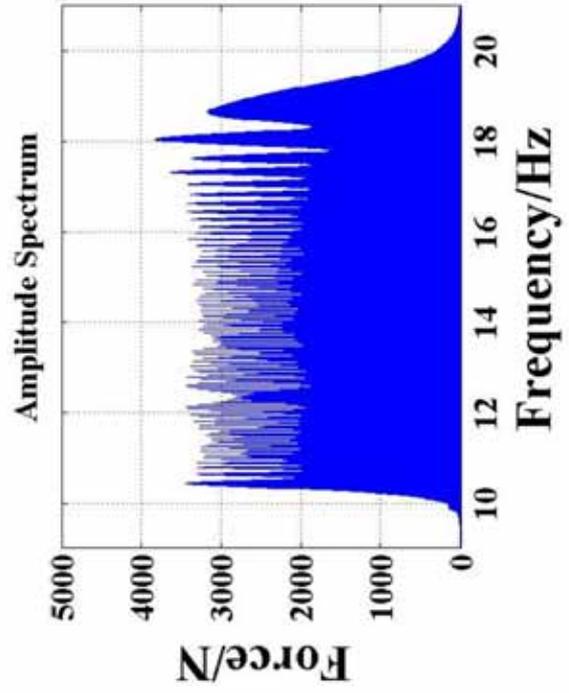
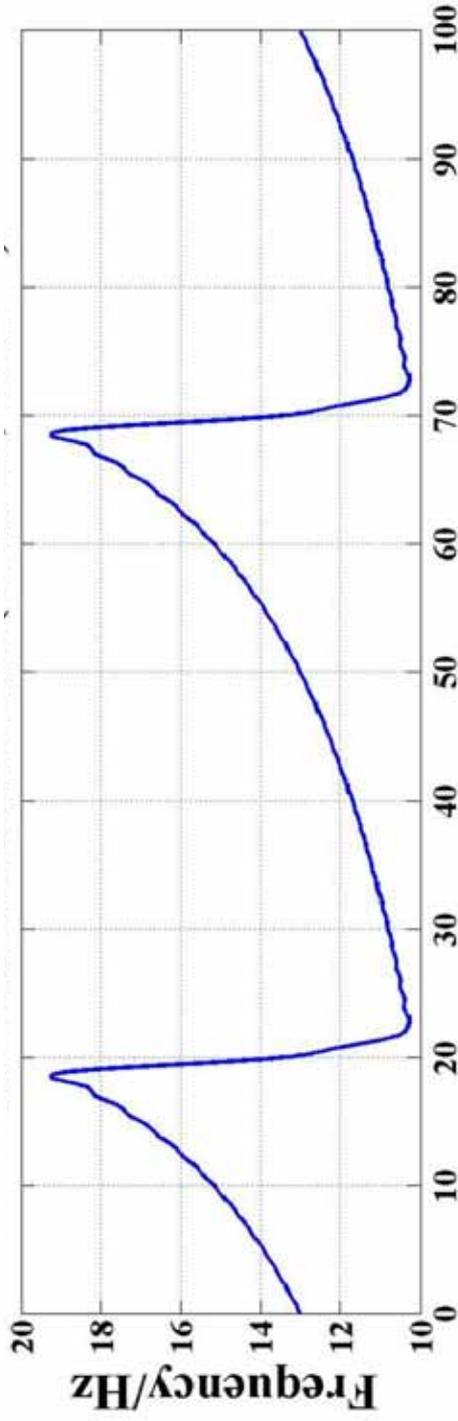
俯視図



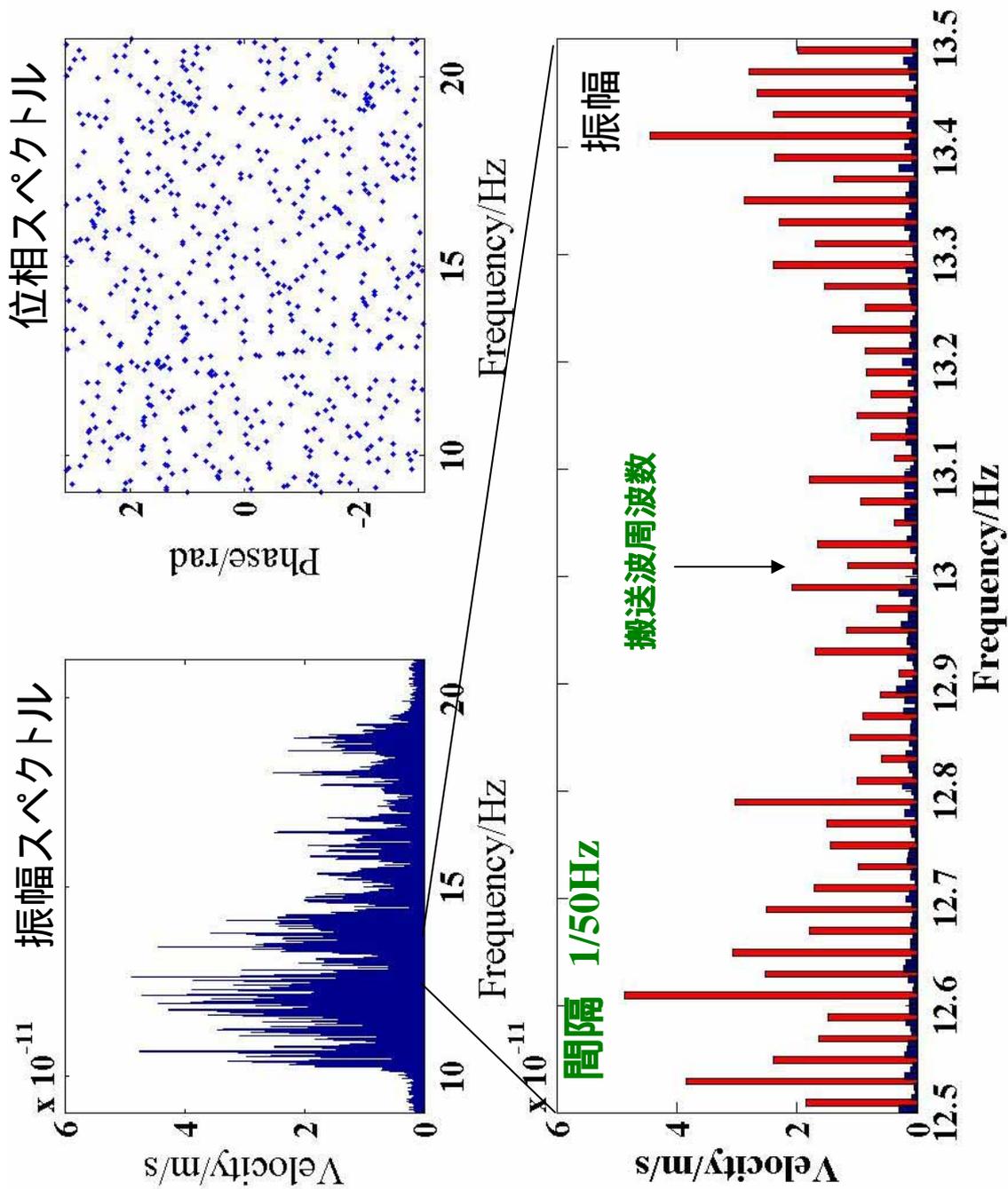
側面図

第5回試験送信 (2004年2月20日17時 - 現在)

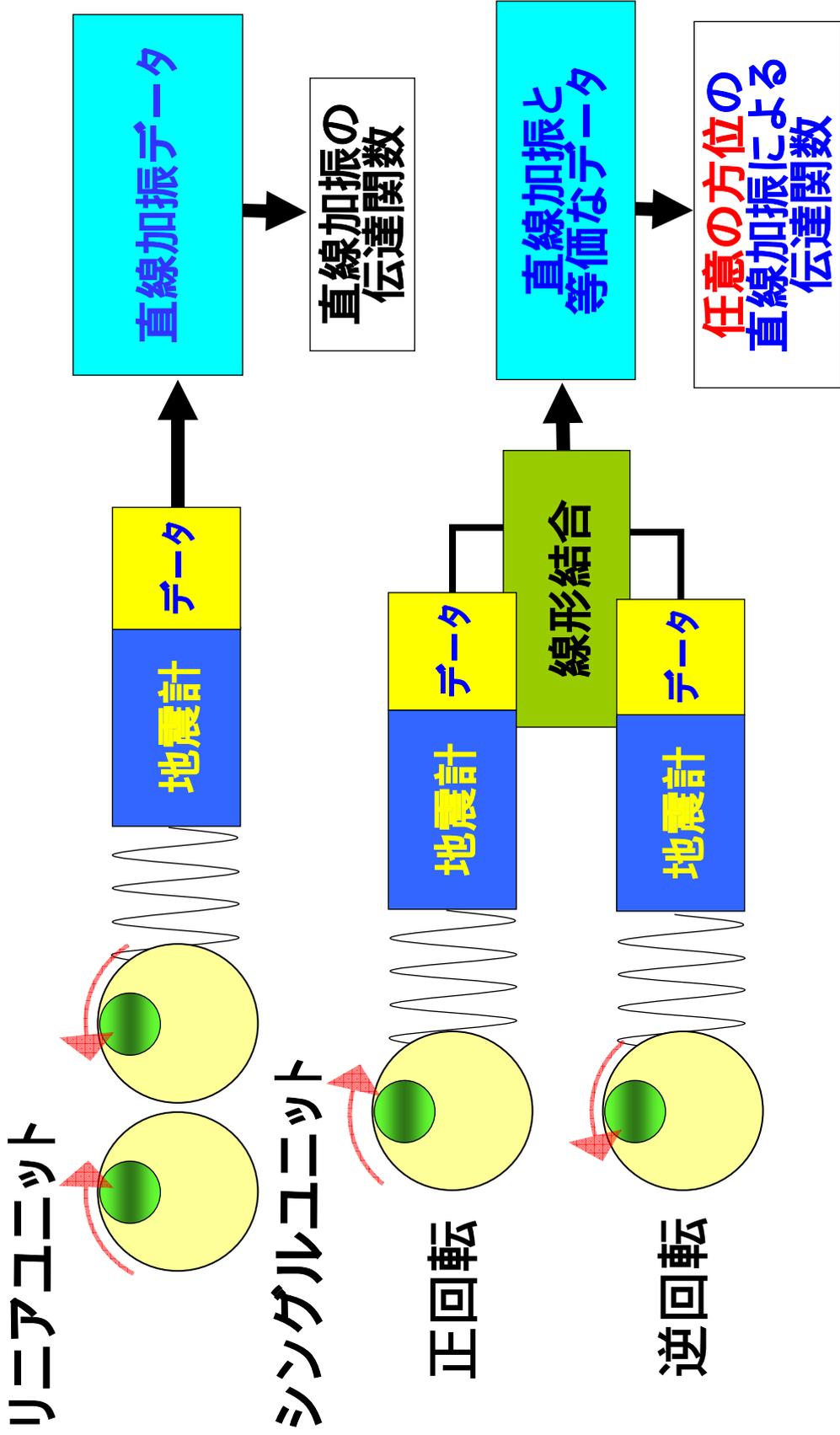
搬送波周波数:13.01 Hz 変調幅:9 Hz 変調周期:50 s



観測スペクトルの例(Hi-net八百津観測点)



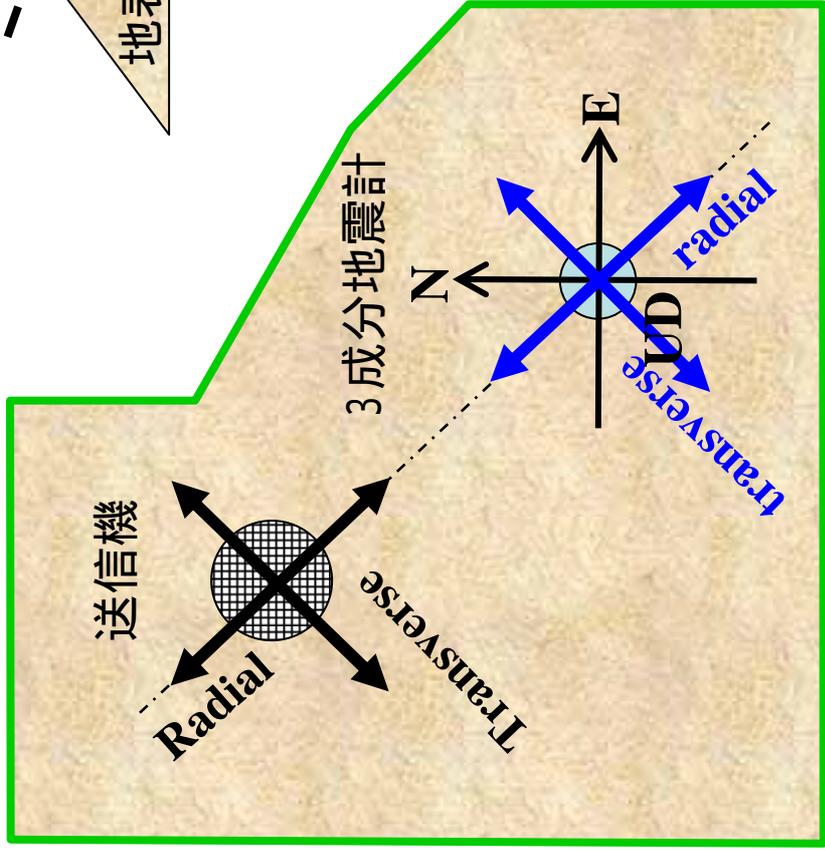
直線加振に対する伝達関数の取得



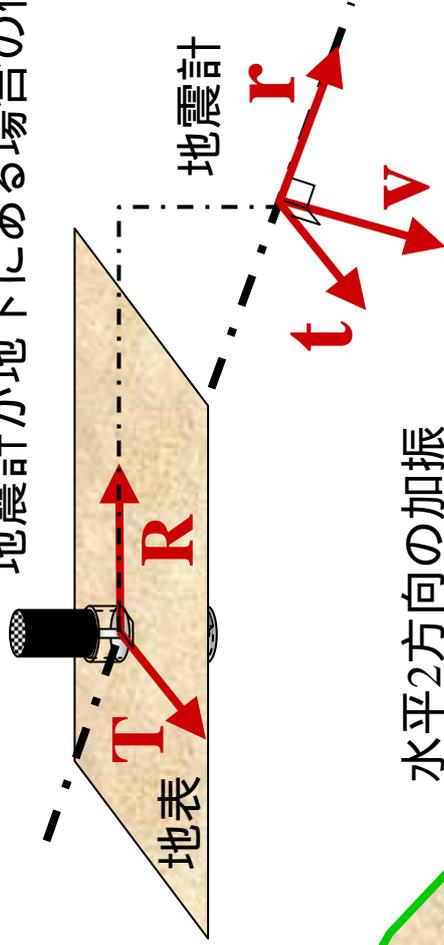
シングルユニットによる直線加振記録の取得

地震計の3成分記録を合成することにより任意の方向の振動記録が得られる

地震計が地表にある場合の例



地震計が地下にある場合の例



水平2方向の加振
6成分の伝達関数

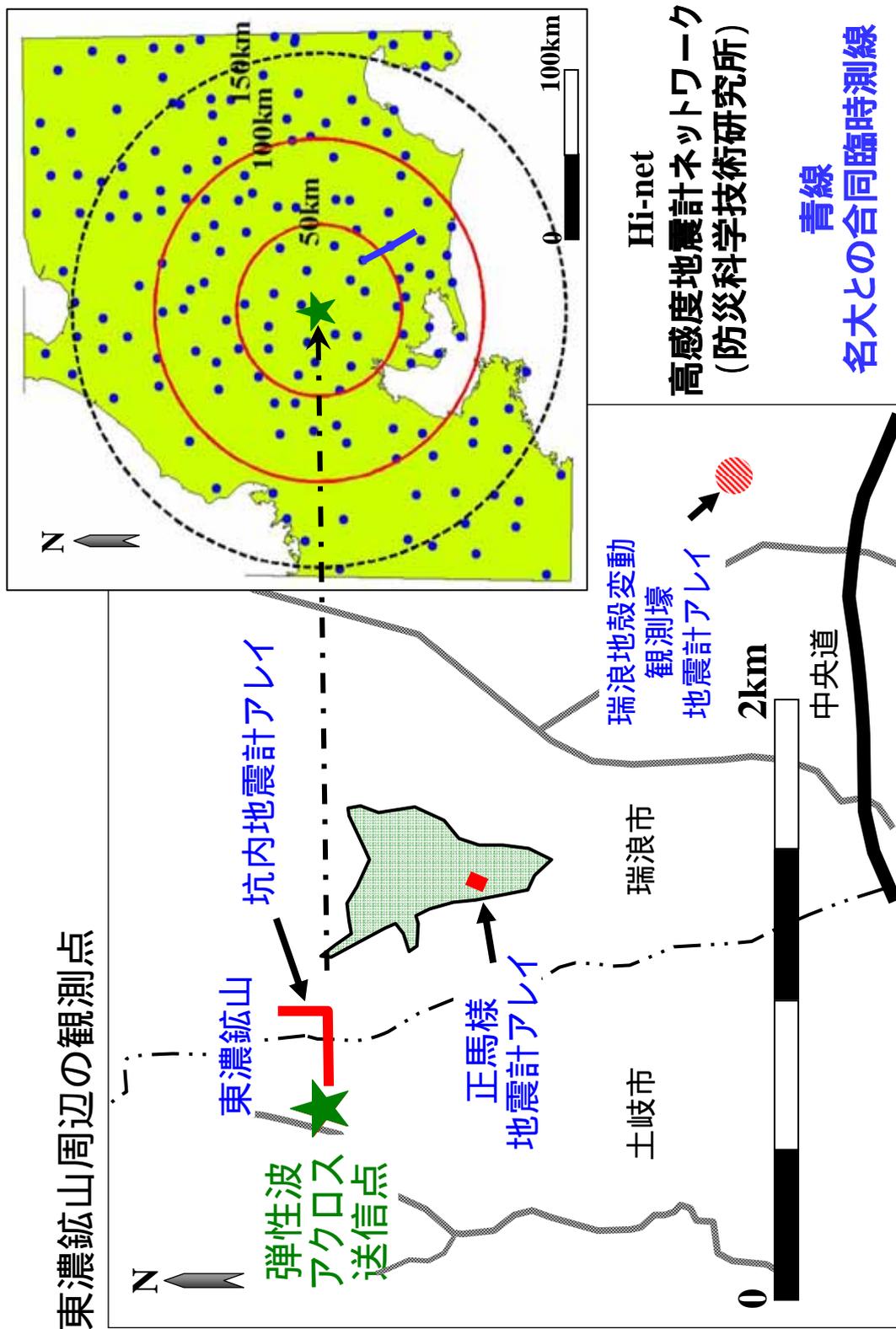
$$\begin{pmatrix} U_r \\ U_t \\ U_v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{rR} & H_{rT} \\ H_{tR} & H_{tT} \\ H_{vR} & H_{vT} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_R \\ F_T \\ F_Z \end{pmatrix}$$

観測
(変位)

伝達関数

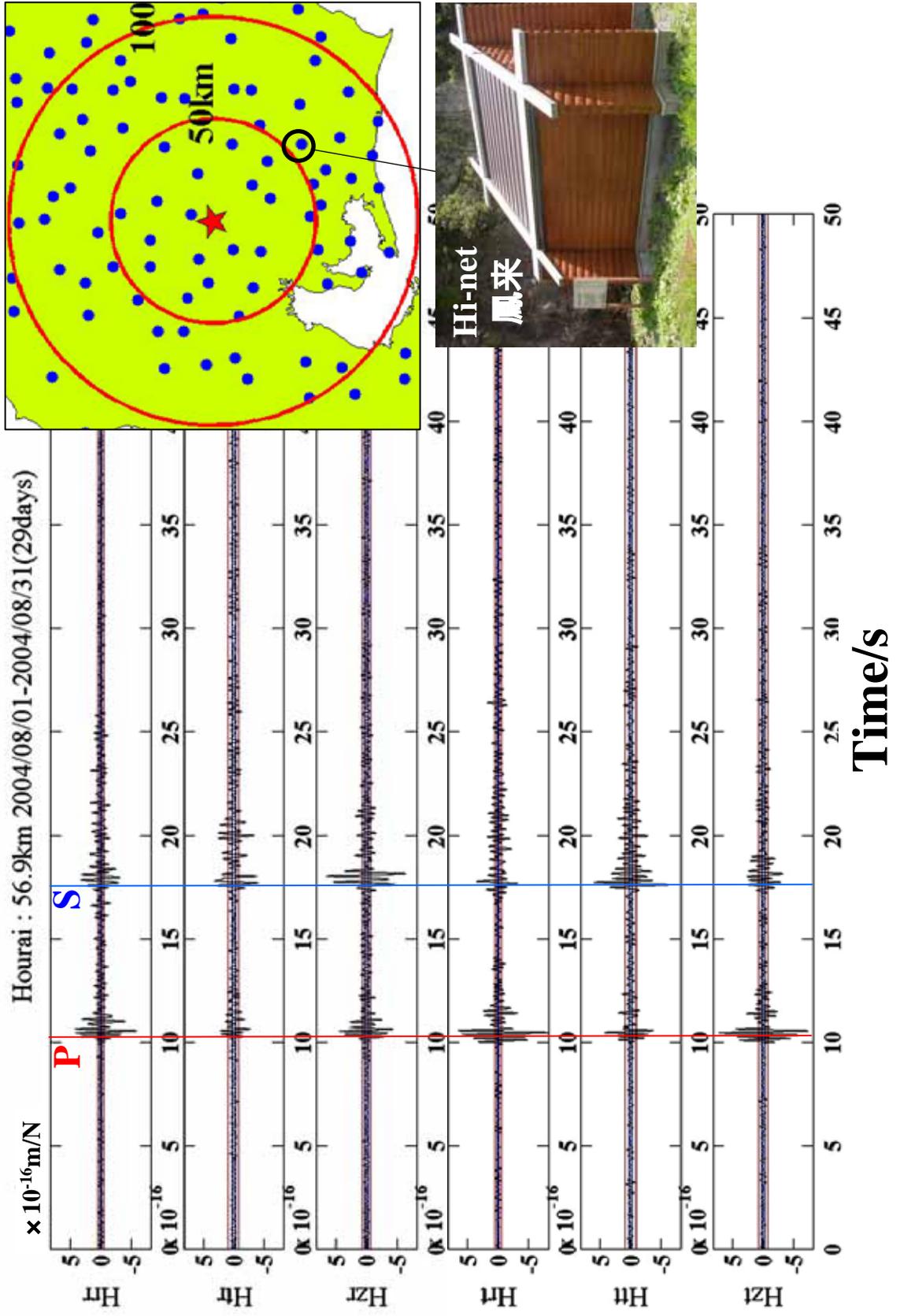
発生力

東濃鉦山周辺～中部地方の観測点



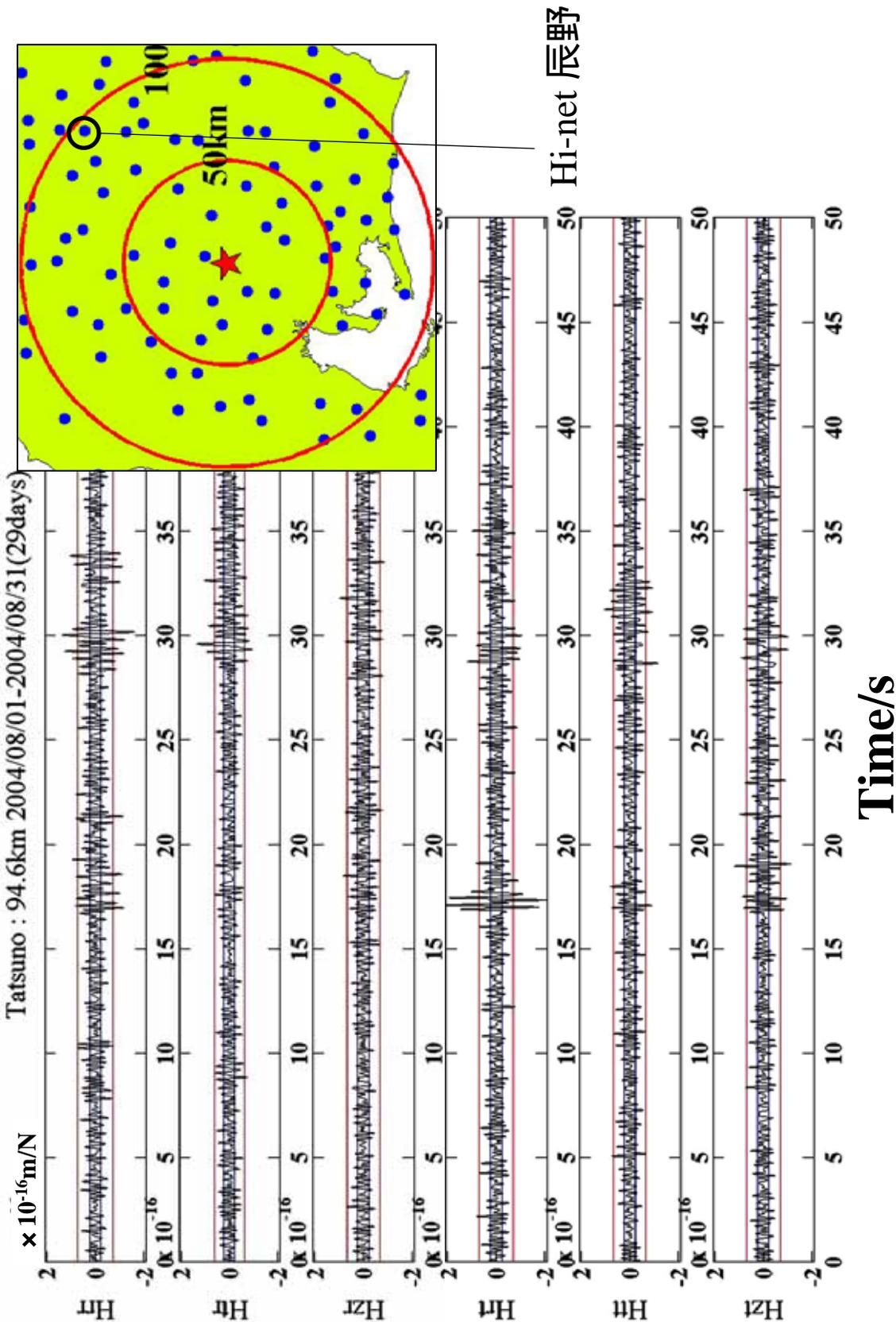
観測例2

Hi-net 鳳来観測点 56.9km 約29日間スタッキング(解析中)



観測例3

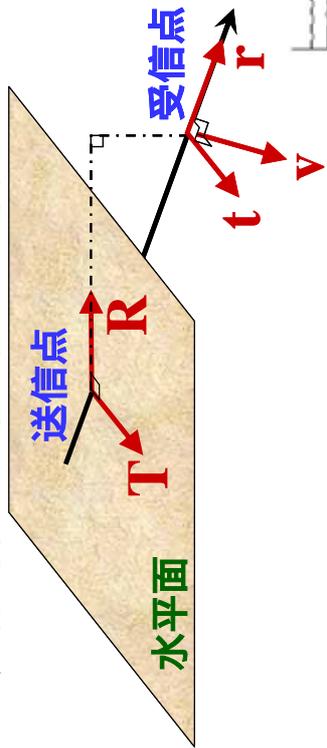
Hi-net 辰野観測点 94.6km 約29日間スタッキング(解析中)



東濃鉾山における観測



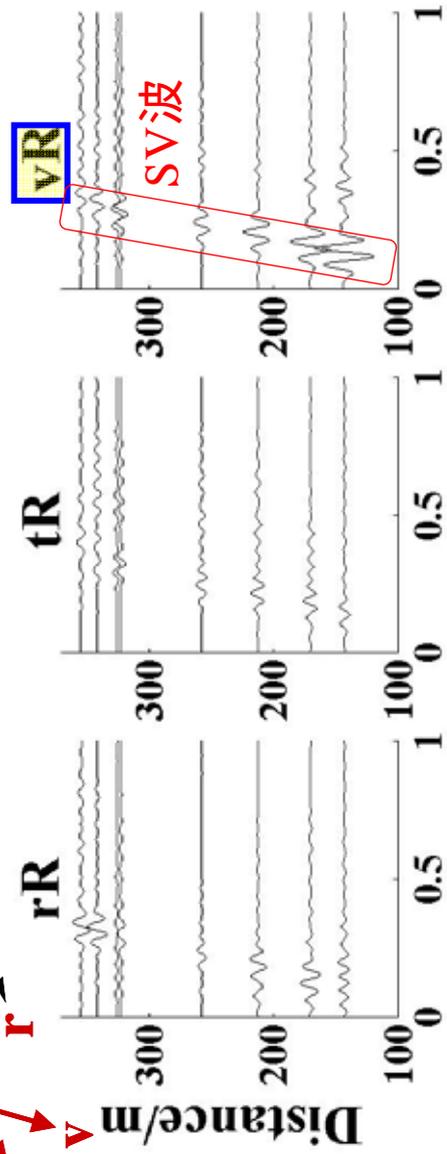
加振方向と受信成分の定義



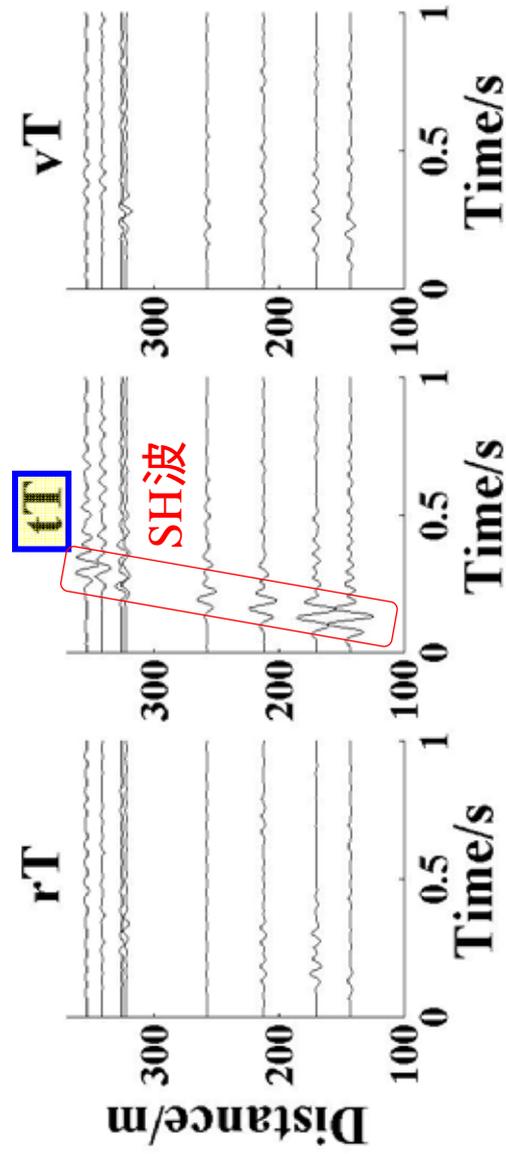
東濃鉾山坑内地震計による観測
第2回試験送信

(2002年11月19日18時-2002年12月2日18時)

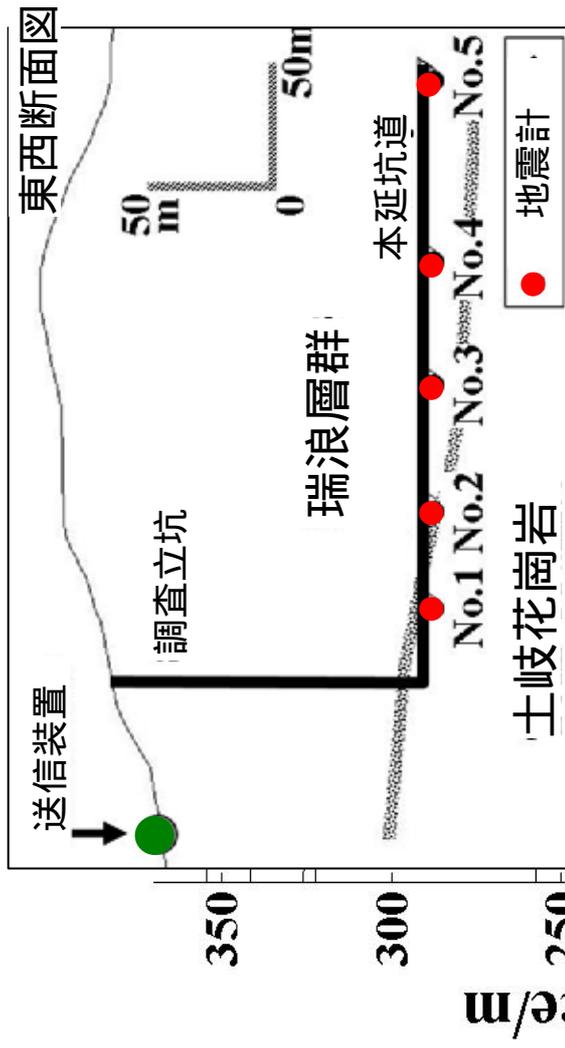
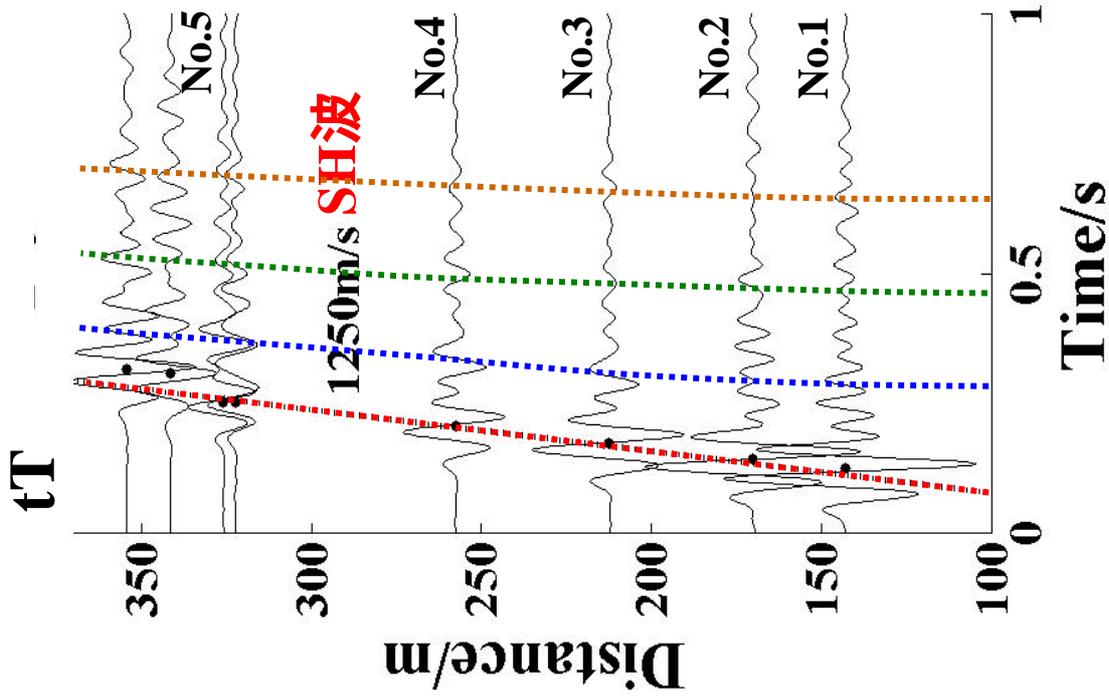
Radial加振



Transverse加振

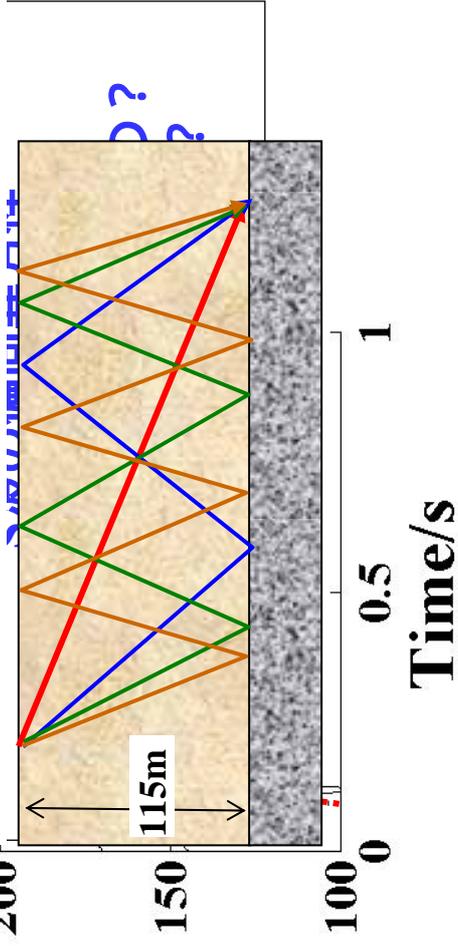


S波の偏向異方性



○振動方向によってS波の伝播速度が

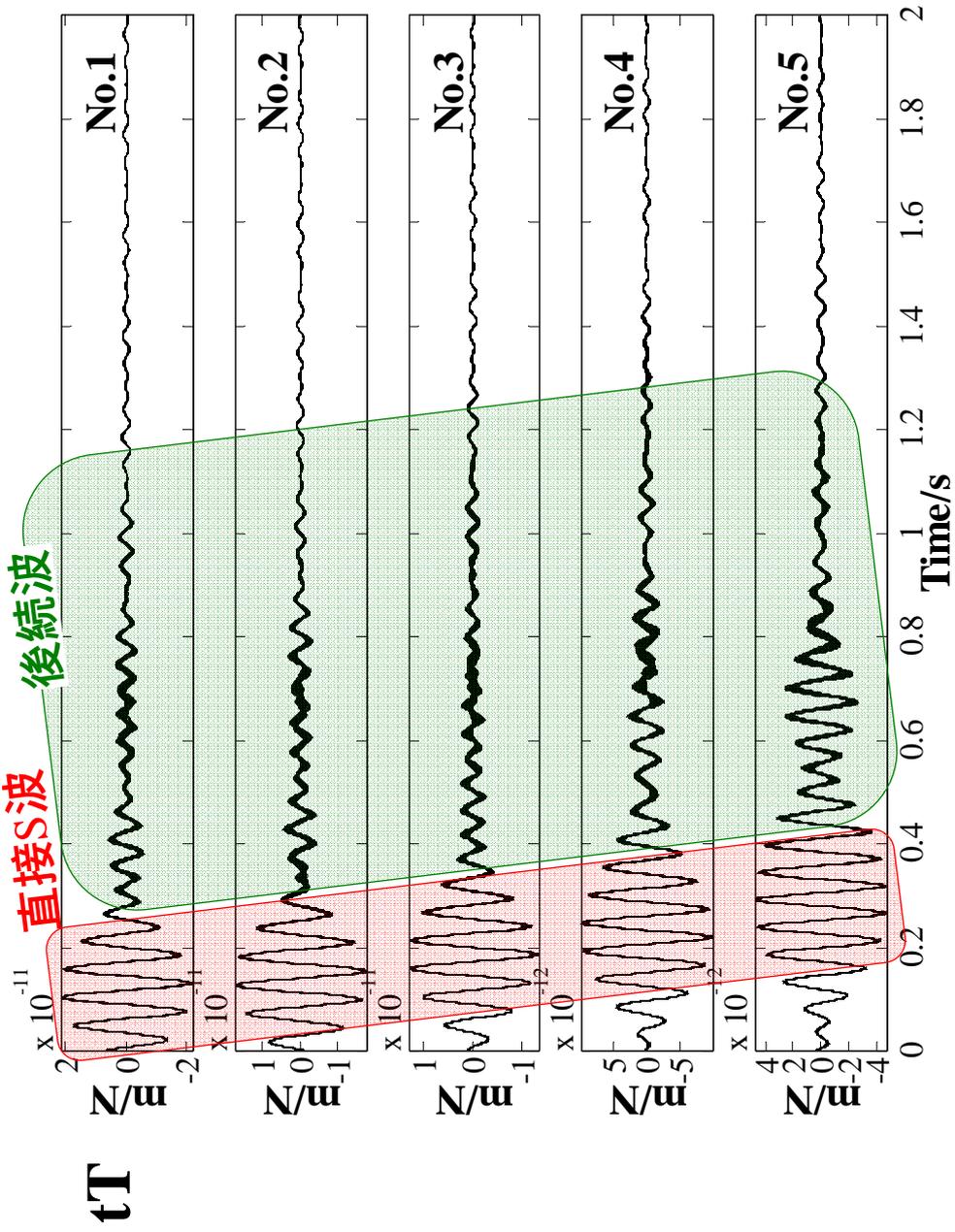
後続波を花崗岩上面と地表間の多重反射で説明



時間変化の例

第4回試験送信(2003年9月18日0時 - 2003年10月12日0時)

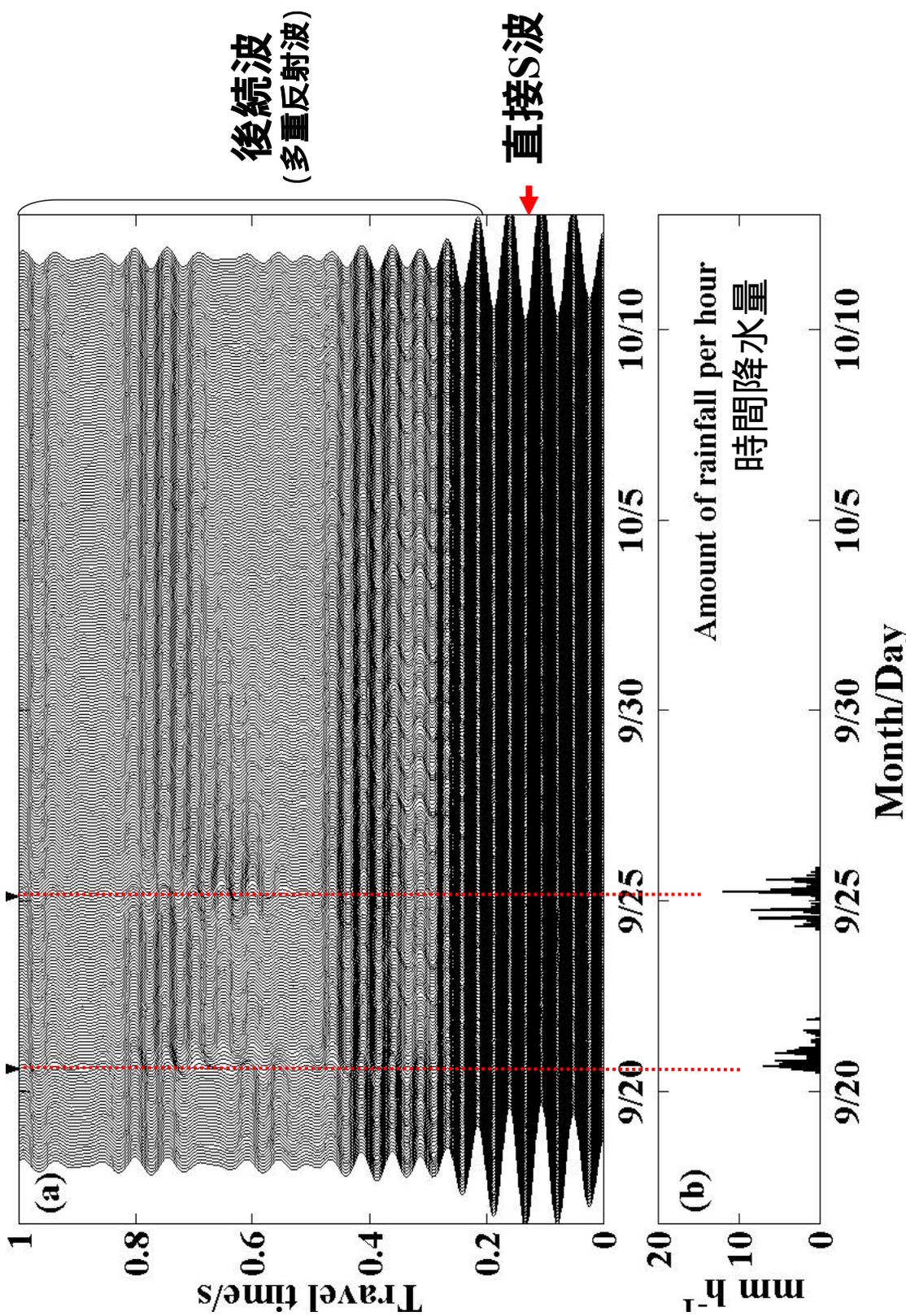
1時間毎に得られた波形(576時間分)の最初の2秒間を重ね描きした



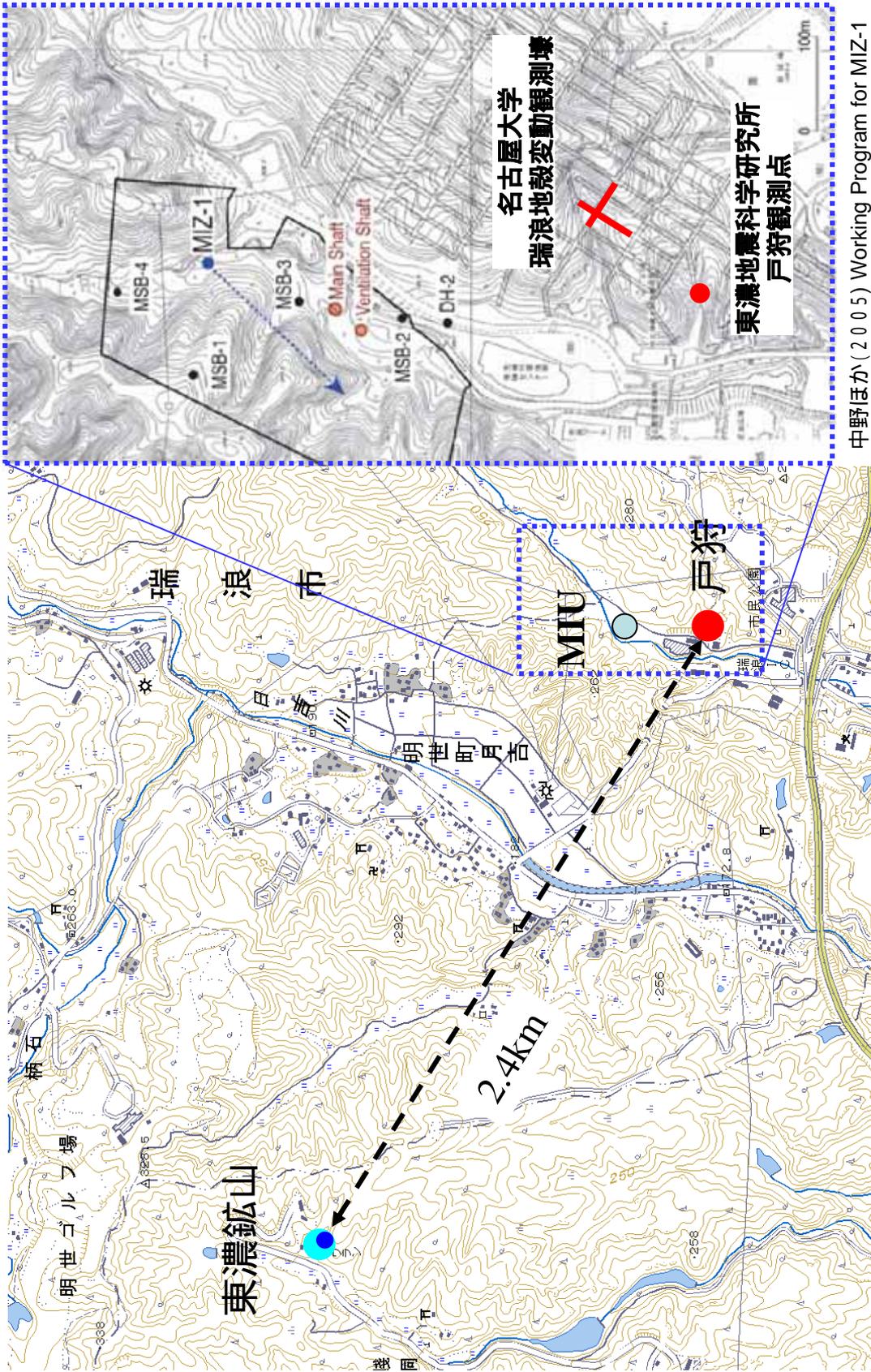
後続波の時間変化の原因

第4回試験送信(2003年9月18日0時 - 2003年10月12日0時) No.1

2時間毎に得られた波形の最初の1秒間を縦方向に時間軸をずらして描いた

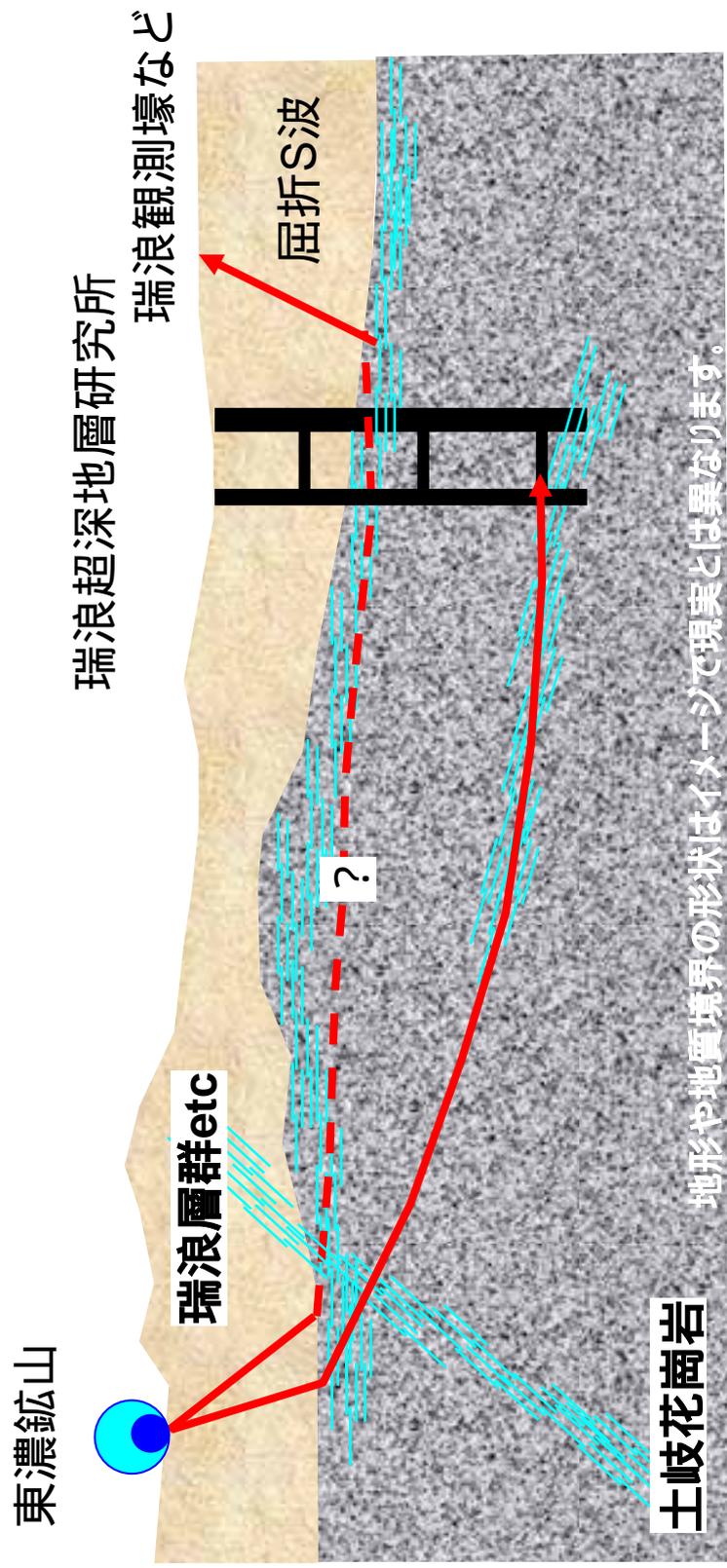


超深地層研究所近傍の観測点



中野ほか(2005) Working Program for MIZ-1
Borehole Investigations

立坑掘削影響が弾性波で見えるか？



立坑が、花崗岩の割れ目帯を貫通する時が狙い目か。最初の好機は、瑞浪瑞浪層群との不整合面を貫通する頃か。

Developing a Remote Monitoring System Using ACROSS in Horonobe Underground Research Laboratory

*Routa TSUKUI, Tadafumi NIIZATO, Kazuhiro AOKI and Tatsuo FUKUSHIMA

Horonobe Underground Research Center, Japan Nuclear Cycle Development Institute

ABSTRACT

Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC) is developing a remote monitoring system using seismic and electromagnetic ACROSS (Accurately Controlled Routinely Operated Signal System) in the Horonobe Underground Research Laboratory (URL). The Horonobe URL project is devoted to the technological development for a safe geological disposal of high level radioactive wastes over a 20-year period from March 2001 in Horonobe-cho in northern Hokkaido, Japan. Installation of a monitoring system before the shaft excavation would permit assessment of the system's reliability by analyzing data before, during and after the excavation. The source and receiver system of electromagnetic ACROSS and the receivers of a seismic ACROSS will be installed in the fiscal year 2004, while the source of the seismic ACROSS will be transported from Tono Geoscience Center in 2005.

KEYWORDS: Horonobe Underground Research Laboratory, ACROSS, remote monitoring system

INTRODUCTION

JNC is pursuing an underground research laboratory (URL) project to conduct a systematic research on geological disposal in a Neogene sedimentary rock in Horonobe-cho, Hokkaido (Figure 1). The project was commenced in March 2001 to better assess the methodology of understanding deep underground environment and to build confidence in the technical feasibility of the geological disposal of high level radioactive wastes.

The Horonobe URL project is planned over a period of about 20 years with three phases. The first phase is surface-based investigation (6 years), phase 2 is investigations during construction of the underground facility (6 years) and phase 3 is experiments using the constructed facility (9 to 11 years) [1]. There are some overlaps between these phases, and the period of each investigation may change depending on the progress of the project.

The project consists of two major researches: 'Geoscientific Research', a scientific study of the deep geological environment, and 'Research and Development on Geological Disposal' for improvement of reliability on the geological disposal technologies and advancement of safety assessment methodologies [1]. The 'Geoscientific Research' is divided into the four categories of a) developing investigation technologies for the geological environment, b) developing monitoring technologies for the geological environment, c) studying the long-term stability of the geological environment, and d) developing the basis for engineering technologies in deep underground [1].

Research and development of a remote monitoring system is conducted under 'development of monitoring technologies for geological environment.' Installation of a monitoring system before the shaft excavation would permit assessment of the system's feasibility by enabling evaluation of data collected before, during and after the excavation. A new technology called the Accurately Controlled Routinely Operated Signal System (ACROSS) has been selected to monitor any such changes in the geological environment related to the shaft excavation. First proposed by Kumazawa and Takei (1994) [2] as seismic monitoring system, this system uses a vibrator together with newly designed data recorders and a new method of analysis. A seismic monitoring system of high signal-to-noise ratio and high temporal stability, ACROSS was invented in order to detect the temporal variation of the wave

propagation within the earth, primarily associated with earthquakes and volcanic activity. Another version of ACROSS using an electromagnetic source (EM-ACROSS) will also be installed to contribute to the development of a more comprehensive remote monitoring technique.

This paper delineates the purpose, method, and future plan of a remote monitoring system using seismic and electromagnetic ACROSS as well as the results of preliminary researches on the geological environment.

CURRENT STATUS OF INVESTIGATIONS AND RESEARCHES IN THE HORONOBE URL PROJECT

Air-borne (using electromagnetic survey and) and ground geophysical surveys (using MT/AMT and seismic reflection method) (Figure 2), geological survey and drilling (7 boreholes of average 500m in depth) have been performed in the URL main study area from June 2001 to March 2004. The following are results obtained in the fields of geology, hydrogeology, and hydrochemistry [3][4].

Geology: The Horonobe URL area is in the eastern part of the Neogene basin (Teshio Basin), with the Miocene-Pliocene sediments (Soya coal-bearing, Masuporo, Wakkanai, Koetoi, Yuchi and Sarabetsu formations) overlying the Cretaceous-Paleogene basement. Wakkanai (hard shale) and Koetoi (diatomaceous mudstone) formations are distributed with a thickness of over 500m in this area (see Table 1 for characteristics of Wakkanai and Koetoi). Their strikes are in a NNW-SSE direction and the Omagari Fault is considered to intersect these formations in a NW-SE direction, although not clearly identified as of yet (Figure. 3).

Hydrogeology: Hydraulic conductivity in the matrix part of Wakkanai formation is in the order of 10^{-12} m/s while that for Yuchi and Koetoi formations is 10^{-10} m/s. It has a tendency to decrease with depth, regardless of geological formations. As for dry density, data was collected only for the matrix part of Wakkanai formation, measuring approximately 1.5g/cm^3 . No data was obtained for the matrix parts of Yuchi and Koetoi formations. The results of hydraulic tests and flow logging have revealed that most sections with high transmissivity are found in the fractured zones of Wakkanai formation. Transmissivity in such zones measured in the order of $10^{-11}\sim 10^{-10}$ m²/s.

Hydrochemistry: Chemistry of groundwater samples taken from boreholes sealed with double packers and of pore water squeezed from cores has been compared. No significant difference was recognized between the two water samples. Both showed a gradual transition from fresh to saline water with the increase in depth. The actual transition depth varies from borehole to borehole. The results of isotopic analyses of oxygen and hydrogen suggest that the present groundwater is a mixture of meteoric water from the surface and saline water found in the deep underground, having also reacted with the surrounding rocks. The dissolved gas has been identified as methane for the most part, but whether it is of thermogenic or biogenic origin is yet to be ascertained.

Designing of the underground facilities was also pursued during the same period. The underground facilities presently planned consist of three shafts: a ventilation shaft of 4.5m in diameter and east and west access shafts of 6.5m in diameter. Their depth is to be about 500m. Installation of the remote monitoring system should be completed before the start of the shaft excavation planned for 2005.

REMOTE MONITORING SYSTEM

The Horonobe URL project is developing a remote monitoring system using both seismic and electromagnetic ACROSS in order to monitor the change of the geological environment such as rock properties and resistivity change induced by water flow. Initial states of the geological environment before the construction of the underground facility, and changes occurring during and after the construction are observed by the system.

ACROSS has been developed for the underground exploration and monitoring of geological structures and physical states under the Earthquake Frontier Program. This new technology uses stationary transmission of frequency-modulated signal of accurately controlled elastic and/or electromagnetic waves. The transfer function between a transmitter and a receiver is determined in frequency domain by means of accurate synchronization to a GPS clock.

A new electromagnetic sounding method called EM-ACROSS was subsequently proposed by Ogawa and Kumazawa (1996)[5]. The method uses accurately controlled electromagnetic waves to determine the accurate transfer function from source signal to observed signal. The purpose of the system is to continuously monitor the temporal variation of the electric 3D structure. Development of the hardware system and the field test of EM-ACROSS was carried out in the Tono area. The transmitting test and trial observations with a rectangular wave signal from a current dipole showed that the system worked well up to 100Hz. Data stacking showed a reduction in the observation noise as accurately as theoretically expected (Nakajima et al., 2000) [6]. The EM-ACROSS system plans to have plural transmitters and receivers that are synchronized using a GPS clock.

The physical dispersion of electromagnetic waves is significantly larger than that of ordinary elastic waves and shows a large variability depending on the states and textures of material. For example, there may be an absorption peak at the characteristic frequency reflecting the natures of charge carriers and their paths. Such physical dispersion depends mostly on the state of H₂O molecules in the rock textures with a structure-sensitivity of physical properties. A small change in stress would lead to a large change in physical dispersion, indicating its potential utility in the remote monitoring of the underground state. Incorporation of EM ACROSS to seismic ACROSS would be most useful for the monitoring of underground state (Kumazawa, 1998) [7].

Installation of Seismic ACROSS

The result of seismic reflection survey conducted in 2002 suggests the following underground structure for the Horonobe URL main study area (Figure 4).

- 1) A strong reflector can be recognized at the depth of about 1,500m. The reflector is considered to be the boundary between the Wakkanai and Masuporo formations.
- 2) No clear reflector can be recognized from the surface to the depth of about 1,500m, which suggests that the region consists of mostly homogenous materials with some exceptions found at sources of scattered waves. Such inhomogeneous parts suggest possible fractured zones or existence of groundwater. In order to locate the sources of scattered waves on a three-dimensional plane, at least three receiving array sites are necessary. The purpose of seismic ACROSS is as follows.
 - 1) To monitor the temporal variations in the P- and S-wave travel times of reflected wave from the strong reflector detected at the depth of about 1,500m. If the reflector is stable enough, temporal variation can be detected in the S-wave's travel time associated with groundwater flow between the surface and the reflector caused by shaft excavation. A long term change in the geological environment can be traced during and after the shaft excavation.
 - 2) To locate the source of scattered wave and map them after identifying the shallow wave propagation of refracted wave (S-wave: SH, SV, and P-wave), scattered wave, shallow reflected wave, and surface wave (Figure 5).

To monitor the temporal variations of travel times of the P- and S-waves, the elastic waves emitted from the ACROSS vibrators located at the surface near borehole HDB-3 are observed with seismometers. The receivers will be located at three boreholes of HDB-4, 5, and 8, placed in a triangular shape. Figure 5 (upper diagram) shows a schematic diagram indicating the location of the source and receivers of seismic ACROSS and the various ray paths such as reflected, refracted, scattered and surface waves in relation to the position of the shafts.

Vibration source of ACROSS

Sinusoidal vibrators are used instead of impulsive sources such as air-guns because sinusoidal vibration is much less destructive than impulses. For long-term monitoring, non-destructiveness is one of the most important characteristics required for a source. The vibrator is designed to generate a sinusoidal force by rotating an eccentric mass around an axis. The rotational source called FIT(Fixed Illumination Tool) No.2 of eccentric moment 1.6 kgm is designed to produce a sinusoidal wave of up to 50Hz with a maximum force of 1.6×10^5 N. The source which has been developed and tested in the Tono Geoscience Center will be transported to Horonobe and reinstalled in 2005 at the surface of borehole HDB-3 located about 300m west of the three shafts (Figure 7).

Figure 6 shows the position of the source and receivers of seismic ACROSS in the main study area of about 3 km square. The source of seismic ACROSS is located at borehole HDB-3 which was drilled from 2002 to 2003.

Installation of EM-ACROSS

It is important to characterize H₂O in the sedimentary formation by remote observation and simultaneously to monitor the wave propagation characteristics in contributing to a change even of barely observable quantity such as propagation characteristics of seismic waves and electromagnetic waves traveling through the materials. EM-ACROSS is expected to be a potential tool that would enable us to realize the remote monitoring of H₂O.

Porosity of Koetoi formation composed mainly of diatomaceous mudstone is about 60 to 70 percent, while that of Wakkanai hard shale is 30 to 50 percent. Hydraulic conductivity is measured in the order of 10^{-7} to 10^{-9} , 10^{-9} to 10^{-10} , and 10^{-5} to 10^{-11} m/s for the Koetoi formation, Wakkanai formation (without fractures), and Wakkanai formation (with fractures), respectively. The presence of H₂O as a fluid as well as a chemical agent in the rock texture is the most important factor in the structure-sensitivity of materials in the sedimentary formation. The structure-sensitivity here is defined as the small change in physical condition such as stress giving rise to small or large change in structures of the material and the induced structure change leading to some significantly large change in their physical properties. The resulting change in the physical properties induces a change in barely observable quantities such as propagation characteristics of seismic waves, electromagnetic waves traveling through the materials, and additional observable phenomena such as acoustic and electromagnetic emissions.

Simultaneous remote monitoring of the structural sensitivity by means of both EM and seismic ACROSS is expected to substantially increase the quality of information on the physical states of the geological environment (ACROSS research team, 1998) [9].

Figure 5 (lower) shows the scheme for placing the remote monitoring system being developed at the Horonobe URL. The source of EM-ACROSS will be located at borehole HDB-6 which is very close to the three shafts of the URL. The receivers of the system will be located at three locations of boreholes of HDB-8, HDB-4, and point A in a straight line (Figure 6). This line is perpendicular to the general trend in geological structure (strike of formations shows a NNW-SSE direction).

The purpose of conducting an EM-ACROSS observation is as follows.

- 1) To detect the degree of shaft excavation effect and region affected through array observation at borehole HDB-8 and data stacked at receivers located near the EM-ACROSS source (see Figure 7).
- 2) To confirm or check the resistivity change between boreholes HDB-8 and HDB-4 analyzed by electromagnetic geophysical survey conducted in 2003 (see Figure 8). This resistivity change suggests the existence of the Omagari Fault whose existence itself is yet unclear and its exact position not known although estimated to be between boreholes HDB-8 and HDB-4.
- 3) To compare the result monitored by the receiver at point A with that by the receiver at the reference point of Hokuseien and ascertain whether the variation is local or regional.

Figure 7 indicates the presently planned layout for placing the EM-ACROSS source consisting of electrodes and cables, receivers and cables, and power supply unit in relation to the position of the three shafts. The receivers are for monitoring the condition around the EM-ACROSS. Dipole 1 is parallel to the general trend in geological structure, while dipole 2 is perpendicular to the observation array in order to enable detection of all components in the electromagnetic field.

PRELIMINARY RESEARCHES RELATED TO THE INSTALLATION OF ACROSS

In the remote monitoring system, accuracy depends on the S/N (signal to noise) ratio of the observed data. "Background noise" around the Horonobe URL main study area was analyzed in 2002 to select suitable sites for placing the ACROSS receivers. For 'noise level analysis,' seismic reflection survey data [6] was used for ground vibration noise. The noise level for ground vibration around the Horonobe URL area is very low, or only 10^{-5} ~ 10^{-7} m/s root mean square (RMS) even during the daytime (probably more quiet at night, although no measurement was taken). Since there is no big source of noise, a very high S/N ratio can be expected in this area. So, the Horonobe URL main study area is suited for obtaining high S/N ratio that will lead to high resolution data, even if seismic waves may be attenuated because of the Wakkanai and Koetoi formations being soft and porous.

Magnetotellurics (MT) survey data [10] and MT monitoring data [11] were checked for electromagnetic noise. Resistivity is very low in this area where it shows nearly 100 ohm-m for fresh groundwater in the shallower part and 2 ohm-m for saline groundwater in the deeper part, and its contrast is high. The Horonobe URL main study area is stable and quiet in terms of electromagnetic noise level and thus is suited for installing the EM-ACROSS. In this area, saline groundwater distribution seems to have a strong impact on resistivity [12]. Thus monitoring of the resistivity change will be a good way to monitor the change in the groundwater level caused by the shaft excavation.

FUTURE PLAN

The remote monitoring system using ACROSS features 'high accuracy,' 'high resolution,' and 'high reproducibility' without being 'destructive' and can detect even a very weak signal through long term observation. It is thus suited for the following future plans for research.

- 1) To detect more detailed changes in the physical property around a drift by using direct (not reflected) S-waves to be caught by ACROSS receivers placed in the experimental drift at GL-250 (Figure 9) as the construction of underground facility proceeds.
- 2) To detect temporal variation of the reflected wave propagation from the deep earth crust associated with earthquakes. In this case, a more powerful vibrator may be used.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Dr.Kunitomo, Dr.Nakajima, and Mr.Shigeta for their advice about the site selection of ACROSS

observatory and many helpful suggestions during the course of this work. Mr. Eki played a substantial role in planning and pursuing the monitoring system. They are also grateful for the cooperation of Mr.Yamasaki and colleagues at the Horonobe Underground Research Center. Sincere appreciation is extended to the local organizing committee of IWAM04 for the opportunity to present this paper.

REFERENCES

- [1] Japan Nuclear Cycle Development Institute, *Horonobe Underground Research Laboratory Project Plans for Surface-based Investigations (Phase 1)*, Technical Document JNC TN5510 2003-002, 2003.
- [2] Kumazawa M. & Takei Y. (1994): *Active method of monitoring underground structures by means of ACROSS .2. Purpose and Principle*. Abstracts of the Seismological Society of Japan 2,158.
- [3] Takuya Yamamoto, Michito Shimo, Yasushi Fujiwara, Hiromichi Hattori, Teruo Tadokoro, Hikoe Iwama, Makito Nago and Sou Kumamoto (2002): *HDB-1 Borehole Investigations in Horonobe Underground Research Center*, JNC TJ1400 2002-010
- [4] Japan Nuclear Cycle Development Institute, *Working Program for Deep Borehole Investigations –HDB-6,7,8 borehole-*, Technical Document JNC TN5400 2003-002.
- [5] Katsuro Ogawa and Mineo Kumazawa (1996), Towards the continuous remote sensing of H₂O, tectonic stress and physical states in the Earth's crust by means of acoustic and electromagnetic ACROSS, Abstract at the seismological society of Japan 1996 fall meeting, 45.
- [6] T. Nakajima, T. Kunitomo, M. Kumazawa, and Y. Yokoyama, Development of EM-ACROSS and Its Field Test, Bull.Earthq.Res. Inst.Univ. Tokyo, Vol.75, p.413-428, 2000
- [7] Mineo Kumazawa (1998) : Theoretical basis, development and prospect of EM ACROSS—An approach unifying low frequency MT (magnetotelluric) and high frequency radar, Abstract of international workshop on frontiers in monitoring science and technology for earthquake environments, A2-21-22.
- [8] Motonori Higashinaka, Routa Tsukuwi and Yohichi Ohta (2002): *Exploration of the underground structure using seismic reflection method in the Horonobe underground research program*, JNC TJ1410 2002-002.
- [9] ACROSS research team (1998): Potentiality of simultaneous application of AC and EM ACROSS towards the characterization and monitoring the structural sensitivity originated from H₂O molecules in the earth crust, Abstract of international workshop on frontiers in monitoring science and technology for earthquake environments, AP4-21.
- [10] Munemaru Kishimoto, Jun-ichi Takayama and Koichi Yokoi (2001): *Geophysical Survey by Electromagnetic Method*, JNC TJ1420 2001-036.
- [11] Munemaru Kishimoto, Takeharu Takahashi and Koichi Yokoi (2003): *Resistivity Monitoring for the Depth of Underground Structure by Using MT Method*, JNC TJ1410 2002-004.
- [12] Koichi Matsuo, Tateyuki Negi, Koichi Yokoi, Takeharu Takahashi and Minoru Teshima (2004): *The survey of the Omagari Fault using Audio frequency Magnetotelluric method in Horonobe research project for the Subsurface Environment*, JNC TJ5410 2004-002.
- [13] Hara Akio (2004): Data acquisition for hydrology and transport properties of sedimentary rocks, pore size distribution and chemical composition of the Horonobe area, JNC TN8400 2003-052. (Japanese with English abstract)

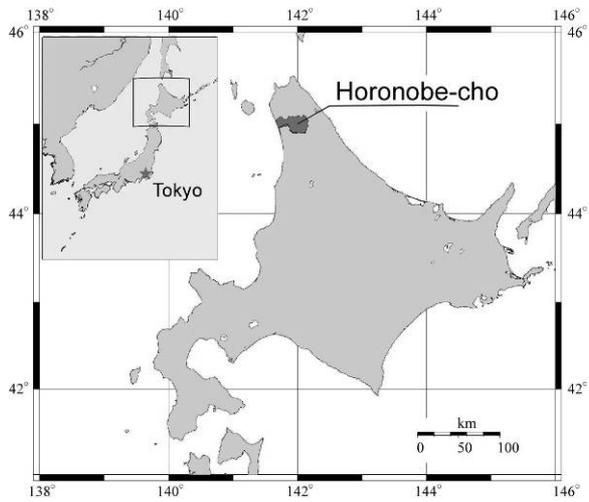


Figure 1. Locality of the Horonobe-Cho

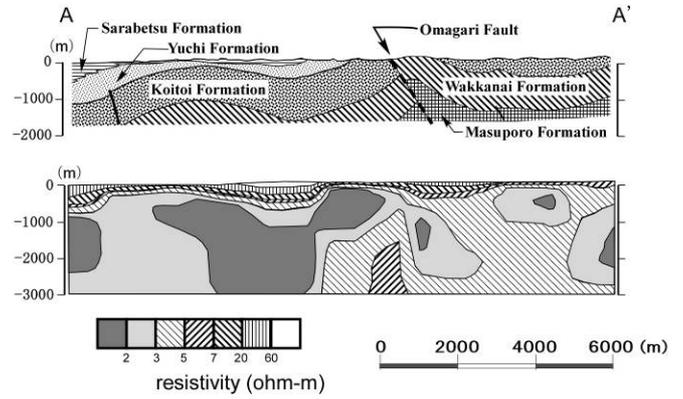


Figure 2. Geological cross section (upper) and resistivity profile obtained by regional MT survey (lower) around the URL

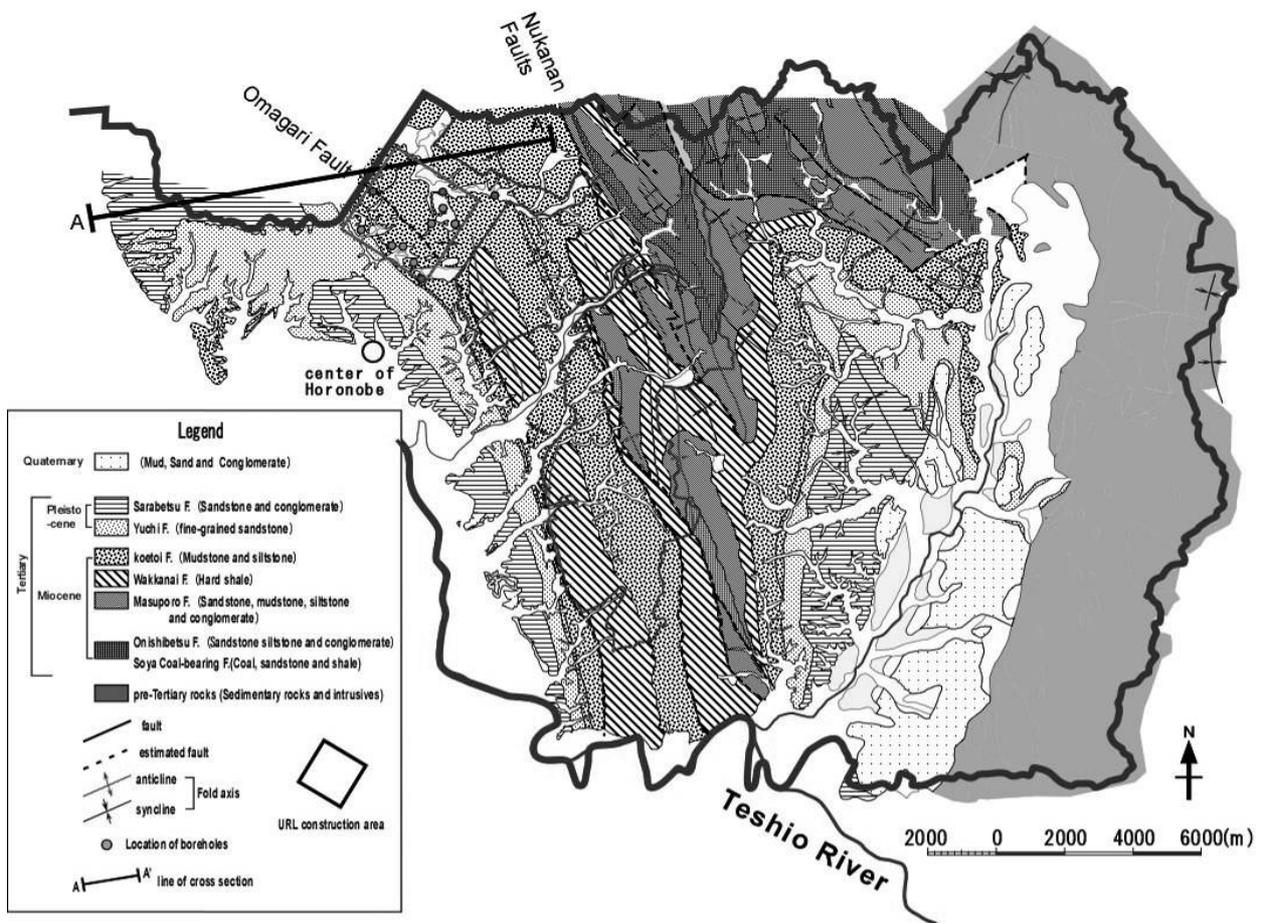


Figure 3. Geological map around the URL

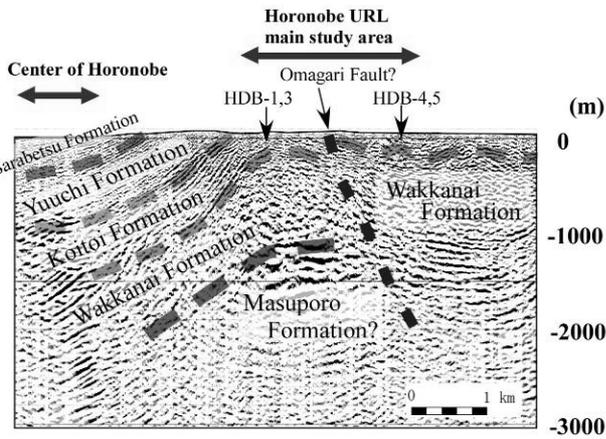


Figure 4. Seismic section around the URL

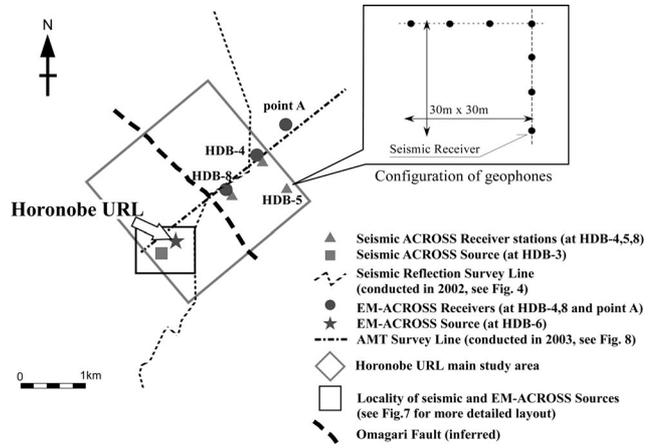


Figure 6. Layout of Seismic and EM-ACROSS receivers around the URL main study area

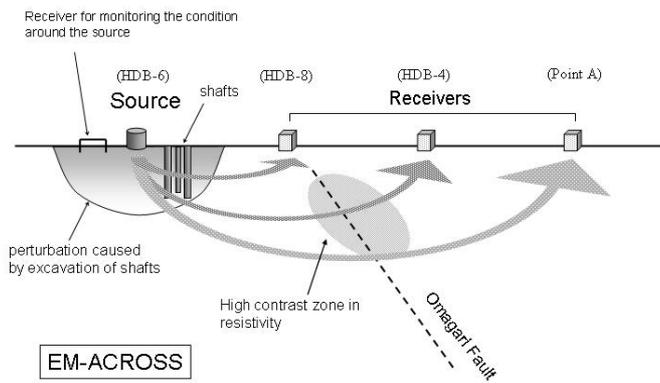
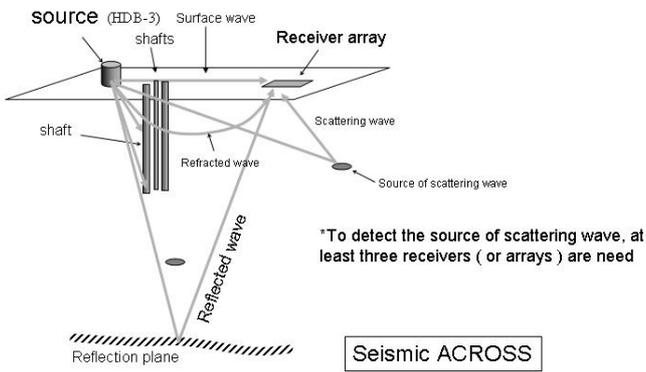


Figure 5. Scheme for placing the remote monitoring system

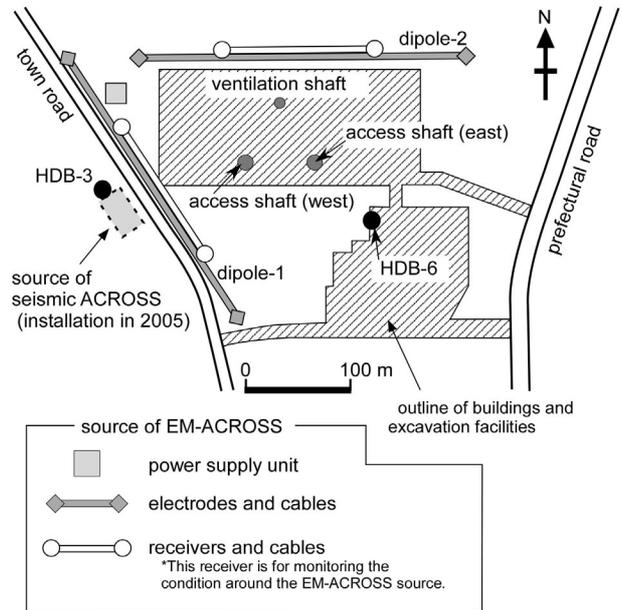


Figure 7. Planned layout of Seismic and EM-ACROSS Source in relation to the position of three shafts

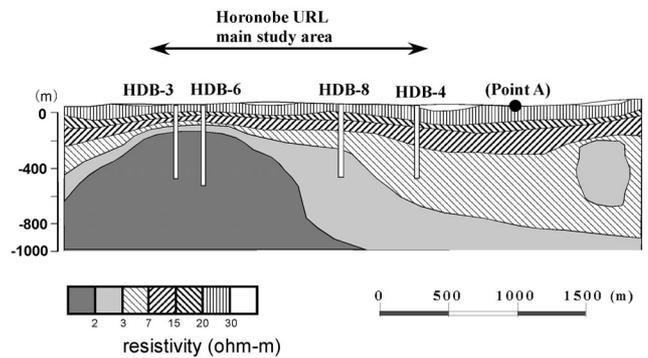


Figure 8. Resistivity section around the URL

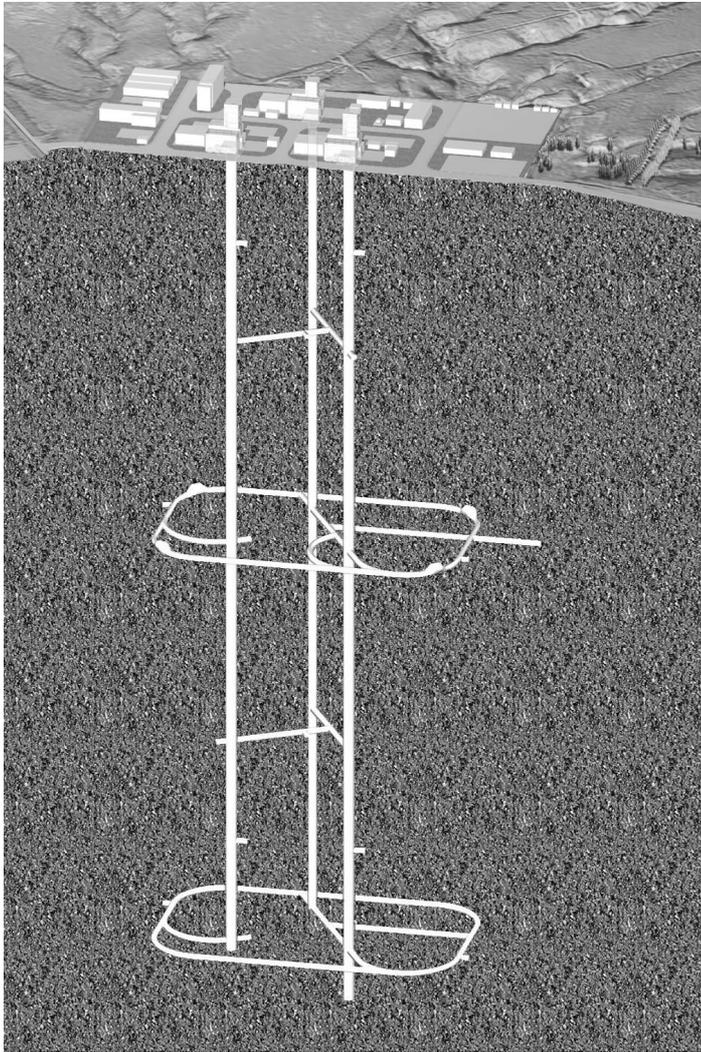


Figure 9. Image view of the underground facility.

Table 1. Characteristics of Wakkanai and Koetoi Formations

		Koetoi Formation	Wakkanai Formation
Rock type		Diatomaceous mudstone	Hard shale
Diatom fossil content		Abundant	None - poor
Crystal structure of silica		Opal-A (Quartz index <1)	Opal-CT (Quartz index >1)
Porosity ^[13]		60 - 70 %	30- 50 %
Bulk density		15 KN/M ³	18 KN/M ³
Solid density		20 - 22 KN/M ³	23 - 24 KN/M ³
Velocity	P-wave	1.5 - 1.9 km/s	2.0 - 2.5 km/s
	S-wave	0.6 - 0.9 km/s	0.9 - 1.2 km/s
Hardness(L*)		350	500

*Leeb value: It is measured by hardness tester. The value is a ratio of the impact velocity to the rebound velocity.

Routa TSUKUI
 Horonobe Underground Research Center, Japan Nuclear Cycle
 Development Institute, Miyazono-machi, 1-8, Horonobe-cho,
 Hokkaido, 098-3207, JAPAN,
 email: tsukui.routa@jnc.go.jp

第4回 幌延技術検討会議

コメント票

第4回 技術検討会議 主要コメント一覧

1. 女満別のデータと比較していたが、このような場合、双方のデータがどの程度一致しているかを示すために、何か適切なデータ処理の方法はないか。(幌延：青木氏) 16 - E-列ソグ - 1
1. 女満別のデータを使って長周期変動を取り除く際には、どのような処理を行えばよいか。(幌延：津久井氏) 16 - E-列ソグ - 2
1. 弾性波アクロスでは反射波がターゲットの一つではあるが、反射面が時間変動をするかどうか、また、それを捉えられるかどうかは未知数である。従って、最も確実なのは直接波を利用する方法であり、立坑・水平坑道の色々な箇所・深度に地震計を設置して観測すると、掘削に伴う地質環境の変化をよく把握できるのではないかと思う。(東濃：國友氏) 16 - E-列ソグ - 3
1. 試験坑道で観測を行うにあたり、直接波の観測については短期間の臨時的な観測でかまわないのか。(幌延：青木氏) 16 - E-列ソグ - 4
1. 掘削中に水の動きがあった場合は弾性波ではなく電磁波の方に影響が出てくるので、地震計だけでなく電磁波の受信機も設置した方がよいと思うが、どうか。(幌延：青木氏) 16 - E-列ソグ - 5
1. 個人として AE 観測にも注目している。最近の AE の解析手法の進展もあり、弾性波アクロス、電磁アクロス、AE 観測の3つを同時に行うべきだと思っているが、どうか。(幌延：青木氏) 16 - E-列ソグ - 6
1. 弾性波アクロスの振動は、AE を観測する際に悪影響を及ぼさないのか。(幌延：瀬谷氏) 16 - E-列ソグ - 7
1. 降雨量との比較をしていたが(13枚目) これは発信のチェック、受信のチェックに続き、降雨量との比較をすることによってチェックするという理解でよいのか。(幌延：青木氏) 16 - E-列ソグ - 8
1. 電気伝導度は比抵抗の逆数であり、幌延でも AMT 探査を実施しているので、その結果と比較することは非常に意味があると思う。東濃では、比抵抗分布との比較はしているのか。(幌延：青木氏) 16 - E-列ソグ - 9
1. 送信点・発信点のレイアウトを見ると、送信点が地下施設の間近にあり、受信点が離れた位置にあるにあるが、こういう配置が最適なのか。送信点と受信点の間辺りに地下施設が位置しているような配置が最も適しているように思うがどうか。(幌延：武田氏) 16 - E-列ソグ - 10
2. 坑道掘削によって地下水に変動が生じ、それを捉えるということだが、地下水の大きな流れとして北東 南西の流れがあり、掘削の影響は下流側により多く出ることが考えられる。そういう意味で、坑道よりも下流側に受信点を設置する方がよいと思うが実際の配置は逆である。これについてはどうか。(幌延：武田氏) 16 - E-列ソグ - 10

- 1 . 地震の時の変化の説明に関して、これは紀伊半島で起きた地震の影響が瑞浪付近に現れたということによいのか。(幌延：瀬谷氏) 16 - モニタリング - 11
- 1 . 幌延では、東濃が 9 年かけてやってきたことを受けて実施しようということなのだと思うが、東濃で何がどこまで分かっている、幌延で何をしたいのか、ということをもう少し整理したほうが良いと思う。(東海：前川氏) 16 - モニタリング - 12
- 1 . 遠隔監視システム、アクロスであるが、これは非常に優れた重要な技術であり、この技術を JNC の技術として完成させたいと考えている。処分場のモニタリングの基礎となり得る技術だと思う。

フロンティア研究として東濃で H17 まで行うが、その後も JNC が関与を続け、JNC の技術として完成させたい。体制については、今後、東濃・幌延で考えてやっていかなければならないが、幌延では研究項目としてモニタリング技術を掲げており、今後きちんと取り組まなければならない。その方法の一つが遠隔監視システムであり、いずれにせよ幌延の調査研究項目の大きな柱なので、遠隔監視システムを積極的に取り入れ、しっかりとやっていきたいと考えている。(幌延：武田氏) 16 - モニタリング - 13

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 1

コメント（幌延：青木氏）

1. 女満別のデータと比較していたが、このような場合、双方のデータがどの程度一致しているかを示すために、何か適切なデータ処理の方法はないか。

コメント対応（東濃：長尾氏、中島氏、幌延：津久井氏）

1. 双方のグラフを見る限り、よく似ているので、よい観測をしていると判断できる。現時点では、本格的な女満別 - 幌延の対比を行うのが目的ではなく、本当に磁力のデータが取れているかを確認するために気象庁のデータと確認しているに過ぎない。今後、解析の中で低周波数のノイズ（日変動量）を取り除きたいような場合には、必要に応じて女満別のデータを使うことも考えられるが、現時点ではそこまで実施していない。
2. 女満別はプロトン磁力計による計測で地磁気の絶対値が得られるのに対し、幌延ではフラックスゲート型磁力計を用いており0点補正をして測定結果としている。そのため、絶対値同士として比較するには無理があると思われる。比較としてはX - Yプロットを作って相関を見るくらいしかできないと思う。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 2

コメント（幌延：津久井氏）

1. 女満別のデータを使って長周期変動を取り除く際には、どのような処理を行えばよいか。

コメント対応（東濃：中島氏）

1. まず、幌延のローカルな地磁気に対する要因を評価した上で、女満別のデータを基にして幌延で測定されるであろう値を計算で求める。そして、その計算値と実際の観測データの差を取るなり、比を求めるなりして日変動を取り除く、ということを理論的には考えている。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 3

コメント（東濃：國友氏）

1. 弾性波アクロスでは反射波がターゲットの一つではあるが、反射面が時間変動を
するかどうか、また、それを捉えられるかどうかは未知数である。従って、最も確実
なのは直接波を利用する方法であり、立坑・水平坑道の色々な箇所・深度に地震計
を設置して観測すると、掘削に伴う地質環境の変化をよく把握できるのではないか
と思う。

コメント対応（幌延：大原氏）

1. 拝承。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 4

コメント（梶延：青木氏）

1. 試験坑道で観測を行うにあたり、直接波の観測については短期間の臨時的な観測でかまわないのか。

コメント対応（東濃：國友氏）

1. 掘削中のイベントに対応する変化を観測するものであり、例えば掘削中の突発湧水など必ずしもそのイベントの発生を予測できるものではないため、連続観測が望ましい。また、短期間の観測では、その都度観測機器の調整なども必要で、かえって手間がかかる。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 5

コメント（梶延：青木氏）

- 掘削中に水の動きがあった場合は弾性波ではなく電磁波の方に影響が出てくるので、地震計だけでなく電磁波の受信機も設置した方がよいと思うが、どうか。

コメント対応（東濃：國友氏）

- もちろん両方設置した方がよいが、弾性波だけでも意味がない訳ではない。水の動きに伴うクラックの開閉などに起因する弾性的性質の変化が地震の際などに観測されており、地下施設の掘削でもそのような変化が観測できるのではないかと期待している。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 6

コメント（梶延：青木氏）

1. 個人として AE 観測にも注目している。最近の AE の解析手法の進展もあり、弾性波アクロス、電磁アクロス、AE 観測の3つを同時に行うべきだと思っているが、どうか。

コメント対応（東濃：國友氏）

1. 掘削によって水の変化だけでなく応力の再配分が起こり、それに伴い微小破壊が発生して AE が観測されることは十分にあり得る。AE の震源分布が分かれば応力の変化した箇所が分かり、そういったデータと弾性波および電磁アクロスの結果を合わせて解釈すれば、地質環境の変化がより分かりやすくなると思われるので、AE 観測には賛同する。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 7

コメント（梶延：瀬谷氏）

1. 弾性波アクロスの振動は、AE を観測する際に悪影響を及ぼさないのか。

コメント対応（東濃：國友氏）

1. AE は比較的高い周波数領域の振動であるのに対し、弾性波アクロスは高くても 50Hz 程度の周波数であり、しかも制御された振動であるため、観測結果から 2 つの振動は容易に分離することが出来る。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 8

コメント（梶延：青木氏）

1. 降雨量との比較をしていたが（13枚目）、これは発信のチェック、受信のチェックに続き、降雨量との比較をすることによってチェックするという理解でよいのか。

コメント対応（東濃：中島氏）

1. まず、送信については非常に安定した送信が行われていることを確認している。受信については数値としては信頼できるが、地下のどの部分の電気伝導度が変わったのか、ということについては把握していない。この図では、一番上のグラフで示している誤差範囲を超える変動が生じ、その変動の原因を考えた時に降雨の影響が原因の一つとして挙げられる、ということを示している。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 9

コメント（幌延：青木氏）

1. 電気伝導度は比抵抗の逆数であり、幌延でも AMT 探査を実施しているので、その結果と比較することは非常に意味があると思う。東濃では、比抵抗分布との比較はしているのか。

コメント対応（東濃：中島氏）

1. CSMT なり AMT で比抵抗構造が分かっているというのは解析の大きな助けとなるが、データを解釈するに当たって、その比抵抗構造をコントロールソースで揺すった時にどうなるかというのは順問題のコードが出来ていないと完全には求められないし、現時点ではそういったことの整理がまだ十分されていない。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 10

コメント（梶延：武田氏）

1. 送信点・発信点のレイアウトを見ると、送信点が地下施設の間近にあり、受信点が離れた位置にあるにあるが、こういう配置が最適なのか。送信点と受信点の間辺りに地下施設が位置しているような配置が最も適しているように思うがどうか。
2. 坑道掘削によって地下水に変動が生じ、それを捉えるということだが、地下水の大きな流れとして北東 南西の流れがあり、掘削の影響は下流側により多く出ることが考えられる。そういう意味で、坑道よりも下流側に受信点を設置する方がよいと思うが実際の配置は逆である。これについてはどうか。

コメント対応（東濃：中島氏）

1. 確かに、地下施設と同じような深度で、地下施設を挟んで同じ程度離れたところに発信点と受信点があるようなレイアウトが一番好ましいが、実際にそのような配置は取れなかった。地下施設に近接した範囲の掘削の影響については送信点モニタを使って把握したいと考えている。一方、変動がどれだけ及ぶのかということをつかえるために遠目に受信点を設置している。また、受信点には断層を挟んで配置しているものもあり、断層の両側での差異を捉えることが出来る。
2. HDB-8, HDB-4 近辺は試錐調査、物理探査などによって構造がよく分かっている場所であり、そういったことを利用して結果を解釈できるため、設置箇所として選定した。下流側に影響が大きいということについては、考慮していなかった。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 11

コメント（梶延：瀬谷氏）

1. 地震の時の変化の説明に関して、これは紀伊半島で起きた地震の影響が瑞浪付近に現れたということによいのか。

コメント対応（東濃：國友氏）

1. 具体的には今後検討する必要があるが、タイミング的には一致している。その時、2回地震が起きているが、その双方に対応する反応があるので間違いのないと思っている。そのような変化は地下水・歪・応力の変化などに対応していると考えられ、今後それを検討していきたい。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 12

コメント（東海：前川氏）

1. 幌延では、東濃が9年かけてやってきたことを受けて実施しようということなのだと思うが、東濃で何がどこまで分かっている、幌延で何をしたいのか、ということをもう少し整理したほうが良いと思う。

コメント対応（幌延：青木氏）（東濃：國友氏）

1. 幌延では次の2つのことを知りたいと考えている。一つは、地下施設の建設によって周辺の地質環境がどのように変化するのか、ということである。もう一つは、大曲断層の位置、3次元形状、物性について知りたいと考えている。もし、解析プログラムが現状では不十分であるとしても、データだけは取っておきたい。
ここで重要なのは、東濃で完成した技術を幌延に適用しているわけではない、ということである。東濃で開発中のアクロスというシステムを使って、幌延の目的に沿うように幌延でも開発を行う、という認識である。
2. 東濃ではアクロスを地震研究の範疇で考えていて、フィリピン海プレートの沈み込みに伴う東海地震の発生をターゲットとして調査している。それで、遠方および深部の観測を行う場合に邪魔となる近傍での変化を取り除きたいという観点から、設置場所付近での水の流れなども研究の対象としている訳だが、実際にはマンパワーと時間が足りずに十分にアプローチ出来ていないというのが現状である。

研究計画	地質	水理
地球科学	岩盤力学	物質移行
物理探査	試錐	施設建設
モニタリング	その他	

福島次長	一安主幹	青木GL	畑中 SGL	

第2回 技術検討会議コメント票

16 - モニタリング - 13

コメント（幌延：武田氏）

1. 遠隔監視システム、アクロスであるが、これは非常に優れた重要な技術であり、この技術を JNC の技術として完成させたいと考えている。処分場のモニタリングの基礎となり得る技術だと思う。

フロンティア研究として東濃で H17 まで行うが、その後も JNC が関与を続け、JNC の技術として完成させたい。体制については、今後、東濃・幌延で考えてやっていかなければならないが、幌延では研究項目としてモニタリング技術を掲げており、今後きちんと取り組まなければならない。その方法の一つが遠隔監視システムであり、いずれにせよ幌延の調査研究項目の大きな柱なので、遠隔監視システムを積極的に取り入れ、しっかりとやっていきたいと考えている。

コメント対応

1. 拝承。