JNC TN8400 99−044

地層処分場のレイアウトに関する検討

（研究報告）

１９９９年１１月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

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。

〒319-1194　茨城県那珂郡東海村大字村松４－３３

核燃料サイクル開発機構　東海事業所

運営管理部　技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Information Section,

Administration Division,

Tokai Works,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194,

Japan

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

1999

Ⓚ

JNC TN8400 99－044
１９９９年１１月

地層処分場のレイアウトに関する検討
（研究報告）

棚井憲治[1)]，岩佐健吾[2)]，長谷川宏[2)]
郷家光男[3)]，堀田政國[3)]，納多勝[4)]

要　旨

原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会報告書「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について」では，人工バリアと処分施設の設計，製作・施工，建設などに関し，安全性を実現するための信頼性の高い人工バリア並びに処分施設についての設計要件を提示するとともに，これらが現実的な工学技術によって合理的に構築できることを示すこととされている。

そのため，本報告書では，これらの目標に対して，地層処分場地下施設のレイアウト設計の考え方や設計要件を整理するとともに，それらに基づいてより現実的な設計を行うために我が国の幅広い地質環境を参考に仮想的な地質モデルを設定した。それに基づいて実際に硬岩系および軟岩系岩盤を対象とした地下施設のレイアウト設計を試みた。

また，建設，操業，埋め戻しそれぞれに必要となる地上施設および設備について，カナダ EIS レポートや建設，操業，埋め戻し技術の検討結果から，地上施設のレイアウト例を示した。

さらに，国の基本方針等を前提条件とし，建設・操業・埋め戻しの各技術の検討結果に基づいた建設開始から閉鎖終了までの全体スケジュールの検討を行い，概念的なスケジュールの例示を行った。

---

1)　東海事業所　環境保全・研究開発センター　処分研究部　処分バリア性能研究グループ
2)　本社　2000年レポートチーム　統合化グループ
3)　清水建設　技術研究所
4)　大林組　東京本社　土木技術本部

JNC TN8400 99－044
November. 1999

Investigations on Repository Layouts

Kenji Tanai[1)], kengo Iwasa[2)], Hiroshi Hasegawa[2)]
Mitsuo Gouke[3)], Masakuni Horita[3)], Masaru Noda[4)]

Abstract

This report consists of three items :

(1) Study of the repository configuration,

(2) Study of the surface facilities configuration for construction, operation and buckfilling,

(3) Planning schedule.

In the repository configuration, the basic factors influencing the design of the repository configuration are presented, and the results of studies of various possible repository configurations are presented for both hard and soft rock systems. Here, the minimum conditions regarding geological environment required to guide design are assumed, because it is difficult to determine the repository configuration without considering specific conditions of a disposal site.

In the surface facility configuration, it is illustrated based on the results of construction, operation, buckfilling studies for underground disposal facility and EIS report of CANADA.

In the schedule, the overall schedule corresponding to the repository layout is outlined in link with the milestone of disposal schedule set forth in the government's basic policy.
The assumptions and the basic conditions are summarized to examine the General Schedule from start of construction to closure of a repository. This summary is based on the technologies to be used for construction, operation and closure of a repository. The basic national policies form the framework for this review of the general schedule.

---

1) Tokai Works, Japan Nuclear Cycle Development Institute

2) Head Office, Japan Nuclear Cycle Development Institute

3) Shimizu Corporation

4) Obayashi Corporation

目　　次

1. はじめに …… 1
2. 地下施設の検討 …… 2
2.1 設計の基本的考え方 …… 2
2.1.1 処分場位置の検討における考え方 …… 3
2.1.2 処分パネルの検討における考え方 …… 6
2.1.3 アクセス坑道の検討における考え方 …… 12
2.1.4 主要・連絡坑道の検討における考え方 …… 24
2.2 仮想地質モデルの構築 …… 27
2.2.1 基本的考え方 …… 27
2.2.2 仮想地形の検討 …… 29
2.2.3 仮想地質モデルの設定 …… 30
2.3 仮想地質モデルにおける地下水流動 …… 33
2.3.1 前提条件 …… 33
2.3.2 モデル化条件 …… 34
2.3.3 解析結果 …… 40
2.4 地下施設のレイアウト検討 …… 61
2.4.1 前提条件 …… 61
2.4.2 処分場位置の検討 …… 64
2.4.3 処分パネルの検討 …… 69
2.4.4 アクセス坑道の検討 …… 82
2.4.5 主要坑道・連絡坑道の配置の検討 …… 84
2.5 処分場レイアウト …… 90
3. 地上施設の検討 …… 105
3.1 カナダの検討例 …… 105
3.2 地上施設の全体レイアウト …… 107
4. 全体工程の検討 …… 111
4.1 検討の進め方 …… 111
4.2 前提条件の整理 …… 111
4.3 実施事項の整理 …… 114
4.4 全体スケジュールの策定 …… 120
4.5 全体工程の実現性の評価 …… 120
5. まとめ …… 138
6. 引用文献 …… 139

1. はじめに

地層処分研究開発の主要な研究分野の一つである「地層処分の工学技術」の目標は，人工バリアと処分施設の設計，製作・施工，建設などに関しては，安全性を実現するための信頼性の高い人工バリア並びに処分施設についての設計要件を提示するとともに，これらが現実的な工学技術によって合理的に構築できることを示すことである。

ここでは，この目標に対して処分施設の設計の考え方や設計要件を示し，これに基づいて実際に処分施設レイアウトの設計を行うとともに，そのレイアウト例に基づいて，処分施設の建設，操業および埋め戻しに関わる全体スケジュールの検討を実施した。

地上と地下を結ぶアクセス坑道，廃棄体を定置するための処分坑道，処分坑道を取り囲む主要坑道と主要坑道を結ぶ連絡坑道から構成される地下施設のレイアウト設計においては，設計検討上必要となる設計要件や設計検討フロー，さらには処分場の位置，処分パネル・アクセス坑道の形状，規模，配置および主要・連絡坑道の配置等についての基本的考え方を整理した。また，具体的な地下施設のレイアウト検討を行うため，検討の対象として地形，割れ目の位置および地下水流動等の地質条件を仮想的に設定した地質モデルを硬岩系岩盤および軟岩系岩盤それぞれについて作成し，それらに対してレイアウトの検討を行った。

地上施設については，カナダの EIS レポートを参考としつつ，建設，操業および埋め戻しの各要素技術において示された種々の施設をもとに，地上施設レイアウトの検討を行った。

2. 地下施設の検討

地下施設は，図 2-1 に示すように地上と地下を結ぶアクセス坑道，廃棄体を定置する処分坑道，処分坑道を取り囲む主要坑道，処分坑道群と主要坑道より構成される処分パネルおよびそれぞれの処分パネルを連絡する連絡坑道により構成される。

本検討では，処分パネルと各坑道群それぞれについて個々に検討を行ったうえで，それらを反映し地下施設全体のレイアウトの設計例を示す。

なお，これらの検討に際しては，処分場が成立するための条件やレイアウト設計で考慮すべき要件を整理することとした。

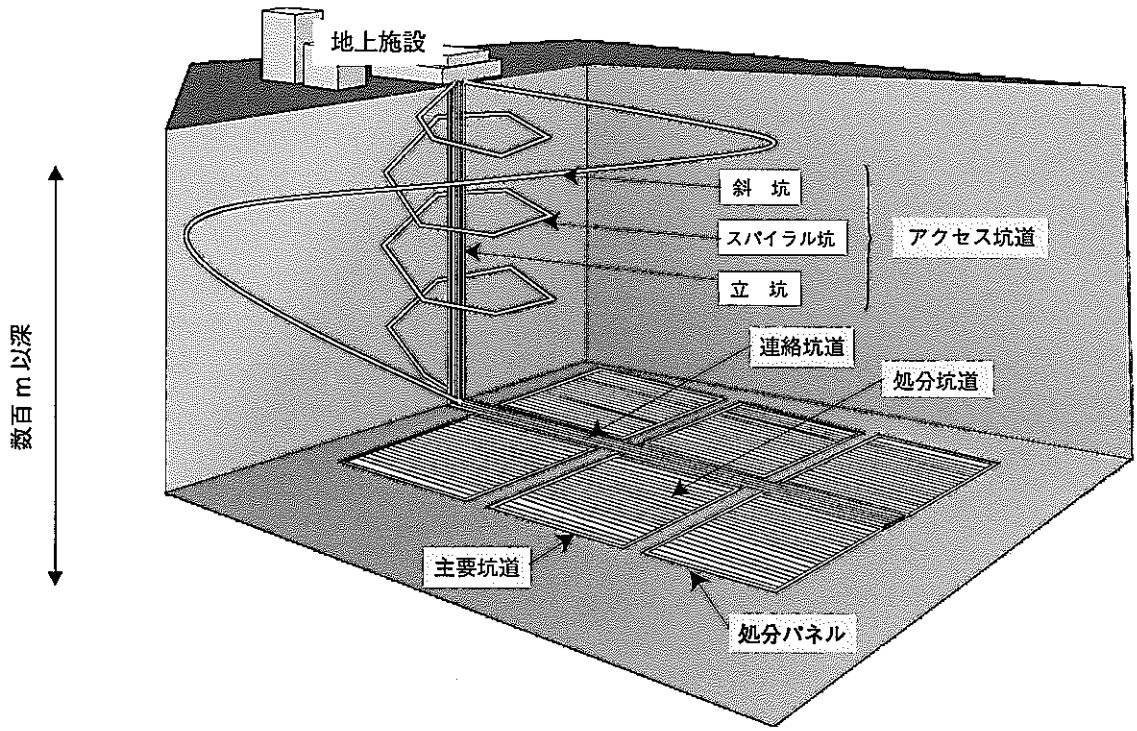


図 2-1 処分施設の基本概念

2.1 設計の基本的考え方

地層処分場レイアウト設計のための基本的な検討フローは，概略，図 2-2 のような流れになると考えられる。まず，廃棄体の処分本数，廃棄体の埋設密度，処分場の深度，処分形態，全体工程，人工バリアの仕様などといった設計条件や，サイト特性調査から得られる地質環境条件から処分場のおおまかな位置を検討し，次いで処分パネルやアクセス坑道および主要・連絡坑道それぞれの検討が行われる。なお，これらの検討は相互に関連していることから，実際にはここに示すフローのように単純なものとはならない。

このような検討フローに基づきレイアウトの設計を行うにあたっては，処分場位置，処分パネル，アクセス坑道，主要・連絡坑道のそれぞれの検討部位に対して考

慮すべき要件を整理しておくことが必要である。そこで，処分場が成立するための条件，それらの項目に対してレイアウト設計で考慮すべき内容および検討対象となる部位について，表 2-1 に整理した。なお，表中の「条件として考慮する内容」に関しては，必ずしも全てが成立するわけではなく，相互に矛盾する場合も考えられることから，その場合には優先度も踏まえて総合的に判断する必要がある。

また，処分場における建設時の掘削・ズリ出し，操業時の廃棄体や緩衝材の搬送・定置等は相当な頻度で実施されることが予想される。したがって，処分場のレイアウトを検討する上では，表 2-1 に示したように，経済性，建設・操業・埋め戻しの各作業時の安全確保，物流経路および各作業に必要な空間の確保等に関連する項目について十分に考慮しておく必要がある。また，水理的な影響に対しても核種移行遅延性能上不利とならないようにレイアウト設計で配慮しておくことも重要である。

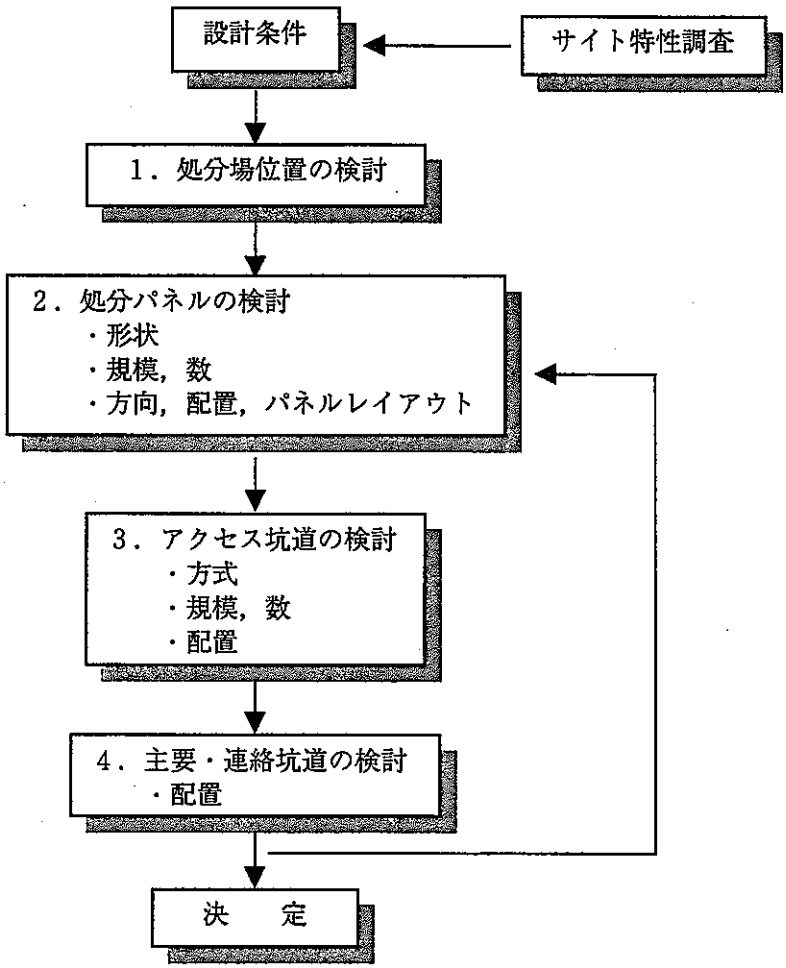


図 2-2 レイアウト設計の検討フロー

2.1.1 処分場位置の検討における考え方

処分場位置の検討に際しては，技術的には地形，核種移行遅延性能に有意な影響を及ぼす可能性がある割れ目の位置および地下水流動方向・流速等を考慮する必要がある。

地形を考慮する際には，物流ルートの確保や地上施設設置のしやすさ等も含め種々の要件を総合的に判断することが必要と考えられる。

また，サイト特性調査により確認されると考えられる核種移行遅延性能に有意な影響を及ぼす可能性がある割れ目に対しては，その水理的影響を考慮して適切な離隔距離を確保して処分パネルや廃棄体などを配置しておくことが必要である。その場合，レイアウトの自由度を高めるという観点から割れ目で仕切られたエリアがなるべく広いことが望ましいが，我が国の地質条件を考えた場合，必ずしも理想的なエリアを確保できない場合も考えられる。そのような場合は，図 2-3 に示すような処分パネルのレイアウトによって対処することが可能である。地下水流向・流速については，地下水流速が遅い，地下水流向が下向きである，または上向きでも流速が遅いような位置を選ぶことにより核種移行遅延性能に有意な影響を与えないよう配慮することが可能である。

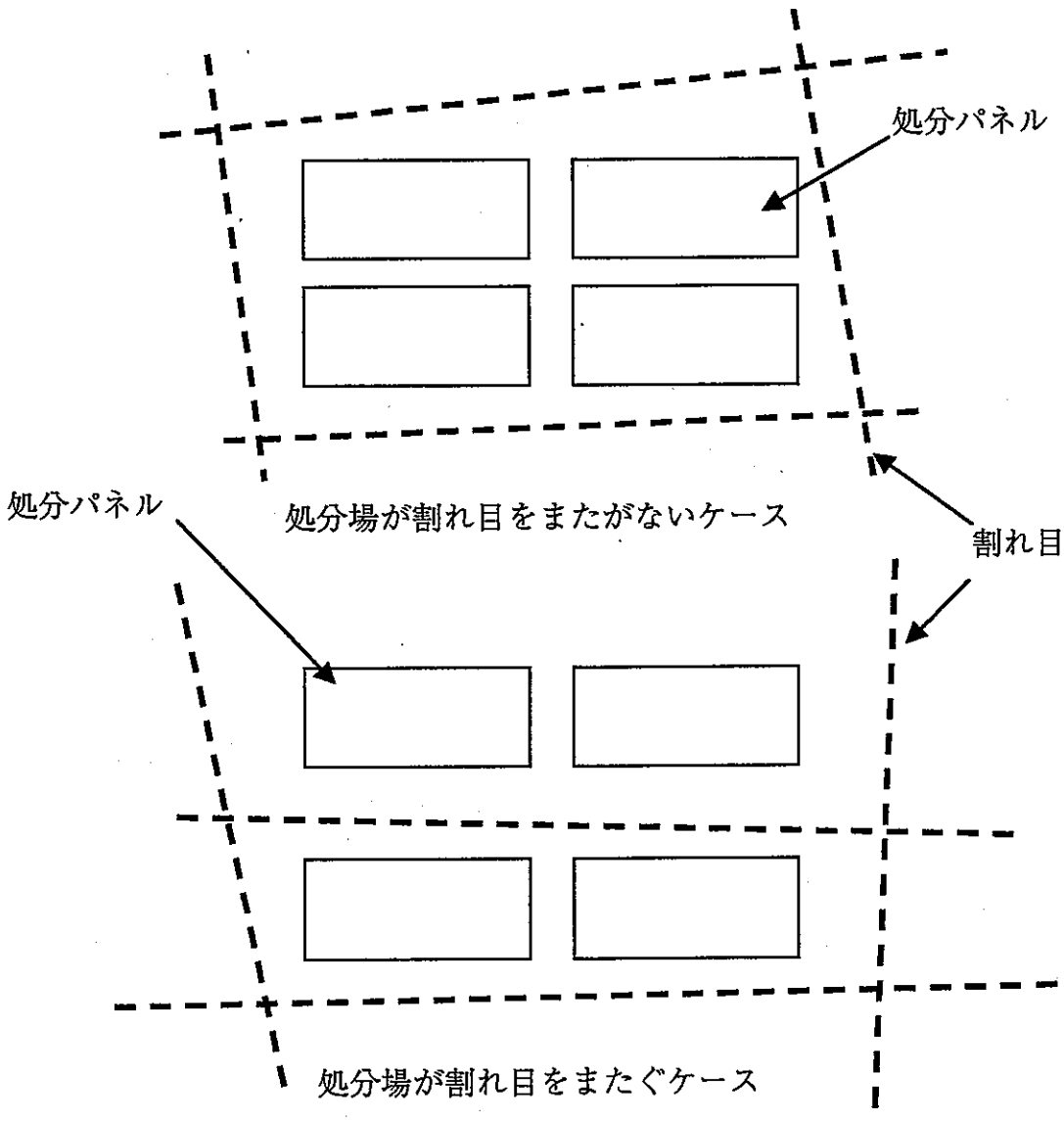


図 2-3 割れ目と処分パネルの配置関係

表 2-1 レイアウト設計上考慮すべき項目

処分場が成立するための条件	レイアウト設計で考慮する内容		対象部位							
	設計により対処する内容	条件として考慮する内容	処分場	処分パネル			アクセス坑道			主要・連絡坑道
			位置	形状	規模/数	方向・配置，ﾊﾟﾈﾙﾚｲｱｳﾄ	方式	本数	配置	配　置
安全に建設・操業・閉鎖が実施できること。	・事故の発生・拡大が防止できるように作業時の安全性に配慮する。				○	○	○	○	○	○
	・換気，排水，避難に関わる経路が確保できるようにする。			○	○	○	○	○	○	○
廃棄体を含む物流経路が確保できること。	・物流，避難経路を確保する。			○	○	○	○	○	○	○
	・各経路の輸送能力を確保する。				○	○	○	○	○	○
	・建設，操業，埋め戻しの手順に影響を与えないようにする。				○	○	○	○	○	○
操業に必要な空間が確保できること。	・建設，操業，埋め戻しの各作業が円滑に行えるよう作業性を考慮する。			○	○	○	○	○	○	○
空洞の力学的安定性が確保されていること。		・割れ目の卓越した方向に対して空洞の力学的安定性上不利とならないように配慮しておく。 ・主応力方向に対して空洞の力学的安定性上不利とならないように配慮しておく。		○／△	○	○／△	○	○	○	○
設計上の前提となる条件を満たすこと。	・所要の操業期間で操業できるようにする。	敷地条件（地形，面積，形状）に適合するようにする。	△	○／△	○	△	○	○	○	○
核種移行遅延性能に有意な影響を与えないように配慮がなされていること。		核種移行遅延性能に有意な影響を及ぼす可能性のある割れ目から，適切な距離で離隔する。 地下水の流向・流速に対しては，核種移行遅延性能に有意な影響を与えないように考慮する。	△		△	△			△	

注１：表中の対象部位に示す記号の意味は以下のとおりである。

○；「設計により対処する内容」について考慮するもの，　△；「条件として考慮する内容」について考慮するもの

注２；物流とは廃棄体，資材（建設材料，機材，緩衝材，埋め戻し材等を含む），人員，ずりの輸送を指す。

2.1.2 処分パネルの検討における考え方

(1) 形状

処分パネル内においては，建設時の掘削・ズリ出し，操業時の廃棄体や緩衝材の搬送・定置等が相当な頻度で実施されることが想定される。したがって，作業性の観点から作業（特に車両の走行）の輻輳を避けるために物流は一方通行が望ましく，できる限り作業ルートは一方通行を確保できるような坑道配置を考慮したパネル形状が望ましいと考えられる。また，坑道内での火災・放射性物質漏洩等の事故に対して避難する際には風上側に避難する必要がある。さらに，消防法に基づく 2 方向避難を確保するためには坑道が行き止まりにならないよう配慮する必要がある。しかしながら，実際には建設時の坑道切羽，横置き方式における操業途中での処分坑道および埋め戻し途中の坑道など，行き止まりとなるケースが発生することもあるので，これらについては事故の発生・拡大防止に関して十分な対策を施す必要がある。

また，処分パネルの形状の検討においては，地下施設に多数の坑道交差部が存在することを考慮しておく必要がある。すなわち，それら交差部は一般部に比べて地山の応力が増加することになる。このような応力増加に対しては，支保等で適宜対処することが基本であるが，交差部における坑道の力学的安定性について「山岳トンネルの坑内交差部の設計・施工に関する研究報告書」（日本トンネル技術協会，1985）に記載されている以下のような設計の基本的考え方が参考になる。

①交差部の安定は本質的に地山で得ることになるので，できるだけ地山の良好な個所に交差部を選定する必要がある。
②交差部における地山応力の集中の度合いは，一般部と比べて交差角 90° の場合 1.6 倍，60° の場合 2 倍，30° の場合 2.7 倍となり，交差角が小さいほど大きくなる。したがって，交差角はできるだけ直角に近づけるのが望ましい。
③地山応力が増加する範囲は，鋭角側で 60° の場合 2 倍，30° の場合 4 倍で，この点からも交差角は大きい方が望ましい。
④交差角の覆工の一部はアーチの支持部が切断された形となるため，この部分の覆工はアーチとして作用するのではなく，版ないしは殻として作用することになり，構造としての剛性が低下するとともに複雑な応力状態下に置かれる。すなわち軸力部材として働くのではなく，曲げ部材として働かなければならない部分が生ずる。
⑤アーチの支持部が切断された部分の荷重は，隣接部に伝達される。その結果，隣接部の覆工は大きな荷重を受け軸力が増加する。

以上のことから，特に軟岩系岩盤のように一般部においても空洞の安定性が問題となる場合には，坑道交差部はできるだけ直角に近い接続とするのが望ましいと考

えられる。一方，物流の観点から坑道交差部を考えた場合については，以下のような点が考えられる。

①直角接続の場合：搬送機器の仕様にもよるがレール方式の場合には回転半径分のすりつけ区間が必要となる。
②鋭角接続の場合：廃棄体の搬送路が鋭角な回転を強いられ，場合によってはスイッチバックが必要となる。
③鈍角接続の場合：すりつけ区間が少なくでき，最もスムーズな接続になることから物流上は好ましい。

さらに，換気の面からは，そのルートは入気側から排気側へ向けて物流と同様のルートとなることが考えられることから，圧力損失の低減の観点から斜め接続（鈍角）が望ましいと言える。これらの結果から接続形式としては，鈍角接続タイプが最も望ましく，次いで直角接続タイプが望ましいといえるが，仮に割れ目の回避等の要件から一部に鋭角接続が生じたとしても，切り返し坑道の設置による対応が可能である。このような接続角については，空洞の力学的安定性や換気の圧力損失低減の観点に加えて作業性の要件も考慮して設定する必要がある。

なお，実際に処分坑道や主要坑道等の建設時に際しては，核種移行遅延性能に有意な影響を及ぼす可能性のある割れ目に遭遇する可能性は否定できないと考えられる。したがって，坑道掘削中にこのような割れ目に遭遇した場合の処分パネルの拡張性についても考慮しておく必要がある。坑道掘削中に割れ目に遭遇するケースとして図 2-4 に示すような場合が考えられるが，万一，処分坑道と割れ目が交差するような場合，当該区域における廃棄体の埋設を放棄して，連絡坑道として扱い，かつ減少した処分面積を確保するためにパネルを拡張するなどの対応が必要である。これについては，割れ目に遭遇した時点で割れ目の拡がりを把握するための調査（トモグラフィー等）を行い，健全な岩体中にパネルを拡張することで対処可能である。この場合，図 2-4 に示すように割れ目を回避するようにパネルを拡張する方法や割れ目横断部を連絡坑道として割れ目を横断した先にパネルを拡張する方法などが考えられる。なお，パネルの拡張性は，隣接する処分パネルとの位置関係からの制約を受けるため，パネル形状に対しては割れ目の拡がりに応じて適宜設定することが必要である。

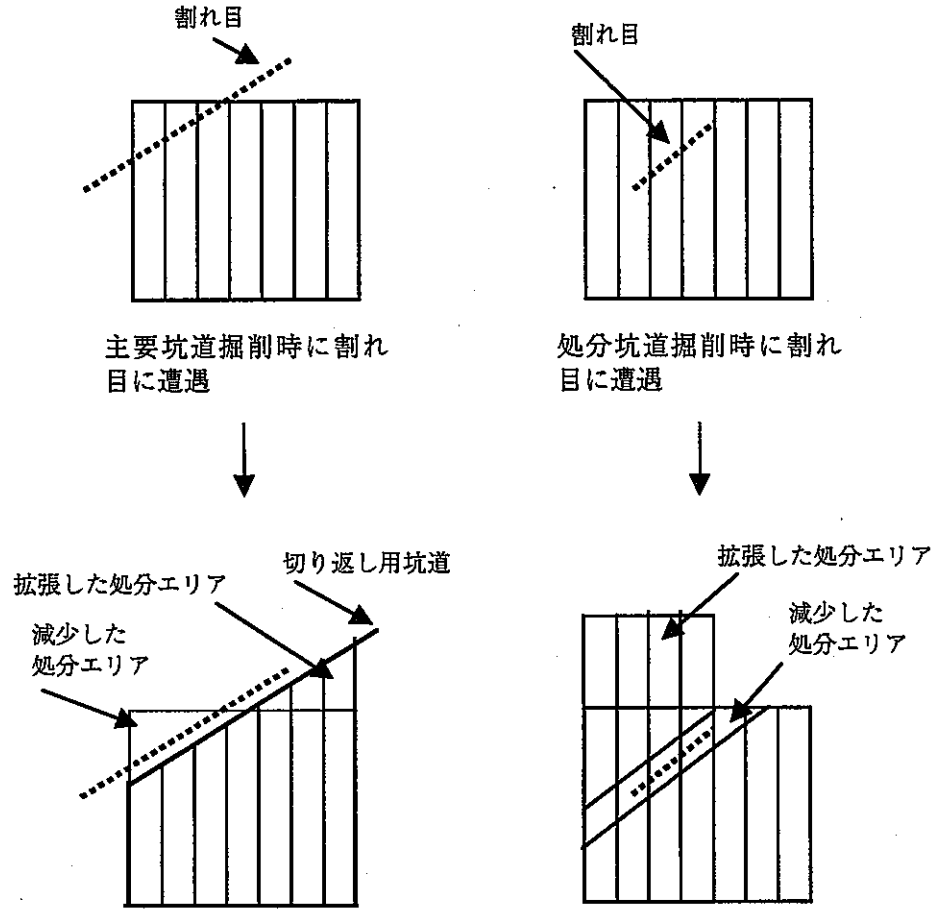


図 2-4 割れ目との遭遇に対する対処方法の一例

(2) 規模・数

処分パネルの規模は，処分本数，坑道離間距離と廃棄体ピッチ，処分パネルの数，割れ目の位置等の地質環境条件，工程および避難経路の確保等の観点から総合的に決められる。例えば，処分パネルの規模を大きくした場合（大分割）と小さくした場合（小分割）とでその優劣を定性的に比較すると以下のようなことがいえる。

①大分割

- 建設着工後，早期に操業を開始したい場合には，小分割に比べて一般にその開始時期は遅くなる。
- 処分パネルが少ないことにより全体としての埋設密度が高くなり，地下施設全体の必要なエリアは小分割に比べ小さくなる。
- 小分割に比べ主要坑道の延長が短くなる。

②小分割

- 一つの処分パネルの規模が小さくなることにより，建設工期も短くなると考えられるため，大分割よりも早期の操業開始が可能となる。
- 全体としての埋設密度が低くなり，地下施設全体の必要なエリアは大きくなる。
- 各処分パネルへ連絡するための主要坑道の延長が長くなる。

建設・操業・埋め戻しに係わる安全性，作業性，物流等の観点から，各処分パネルでこれらの作業が互いに独立に並行して行われることを想定すれば，処分パネルの数は最低でも 3 パネル以上は必要になることも考えられる。この場合の全体工程のイメージは図 2-5 に示すようなものとなる。すなわち，建設が終了したパネルを順次操業が追いかけ，操業が終了したパネルを順次埋め戻しが追いかけることにより，パネル毎の独立並行作業が確保される。この時，パネルの規模が小さいほど，最終パネルの埋め戻し期間が短くなることから，その後の連絡坑道およびアクセス坑道の埋め戻しが終了するまでの期間も短くなる。なお，複数の処分パネルとした場合，上記のような工程管理上，各パネルの規模は全て同程度の大きさとしたほうが有利と考えられる。

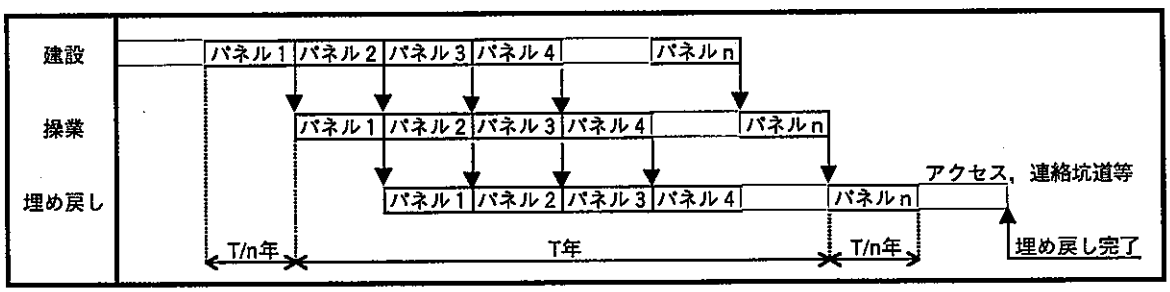


図 2-5 全体工程のイメージ

また，図 2-5 より各処分パネルの建設・操業・埋め戻しに要する全体の工期は，各作業期間を T 年，パネル数を n とすると，T+2T／n（年）となる。これによりパネル規模が同一で，かつパネル毎の作業速度が同一であるという条件下では，パネル数を多くする程全体工程が短くなる。表 2-2 にはパネル数に応じた全体工期を示す。なお，表 2-2 の結果は，T を仮に 30 年とした場合の例である。

表 2-2 処分パネルの数と全体工期

パネル数	全体工期（年）
3	50
4	45
5	42
6	40
7	38．6
8	37．5
9	36．7
10	36
11	35．5
12	35
13	34．6
14	34．3
15	34
16	33．8

例えば，作業の安全性の観点からは，パネルの規模が大きくなるほど，事故が拡大し得る範囲が広がると考えられることから，事故拡大防止のためにはパネル数を多くしてその規模を小さくすることが望まれる。一方，パネル数が増えれば，処分坑道延長，主要坑道延長，坑道交差部および処分場面積などの数量は増えることになる。また，全体工程については，最もクリティカルになるのが，操業を始めるまでの建設期間と考えられるため，処分パネルの規模がこの期間で建設できる規模のうち最も大きくなるようなパネル数を選択することが合理的となる。実際に配置できるパネルの規模や数は，これらに加えサイトの形状や地質環境条件，処分パネルの形状と方向との相互の関係等を総合的に判断することにより決まると考えられる。

(3) 方向・配置およびパネルレイアウト

各坑道の方向・配置およびパネルレイアウトの検討に当たっては，建設・操業・埋め戻しの各作業時の安全確保，物流経路の確保のほか，主応力方向，割れ目方向，地下水流動方向等の地質環境条件についても考慮しておくことが重要である。

岩盤の主応力方向に対する坑道の方向については，最大主応力方向に坑道軸方向を一致させた方が坑道の変形は小さく空洞安定性の面で有利である。しかし，処分場は処分坑道，主要坑道および連絡坑道など様々な坑道群から構成されており，全ての坑道の方向を一致させることは困難である。なお，これらの坑道群のうち，処分坑道は他の坑道に比べ総延長が長いことから，処分坑道の支保工の厚さによる経済性への影響は大きくなる。したがって，処分坑道を最大主応力方向に一致させた方が経済的には有利となる。

一方，割れ目と坑道の方向の関係については，「電力施設地下構造物の設計と施工」（電力土木技術協会，1988）における地下発電所の考え方によると，坑道軸方向は割れ目に直交させるように配置することが空洞の安定上望ましいとの考え方が示されている。なお，卓越した地圧の作用方向と割れ目の卓越方向が一致しない場合については，両者の空洞への影響の度合いを考えた場合，後者の方が影響が大きくなることから，最大主応力方向より割れ目などの地質的不連続面との関係を重視して決めるほうが望ましいとの考え方が示されている。

また，処分坑道の方向や地下施設全体形状と主要地下水流動方向との関係についても考慮しておく必要がある。
処分坑道と主要地下水流動方向との関係としては，以下の３つが考えられる。

①地下水の主要流動方向と処分坑道が平行した場合
②地下水の主要流動方向と処分坑道がある角度をもった場合
③地下水の主要流動方向と処分坑道が直交した場合

これらのうち地下水の主要流動方向と処分坑道を直交させた方が，処分坑道とその掘削影響領域が潜在的に卓越した水みちとなる可能性を低くできると考えられるため，核種移行遅延性の観点からは最も有利と考えられる。
また，地下施設全体形状と主要地下水流動方向との関係については，図 2-6 に示すように地下施設の形状の短辺方向が主要地下水流動方向と直交する方（処分場が主要地下水流動方向に対して細長い方）が，パネルを通過する地下水流量は少なくなり核種移行遅延性上の観点からは有利と考えられる。

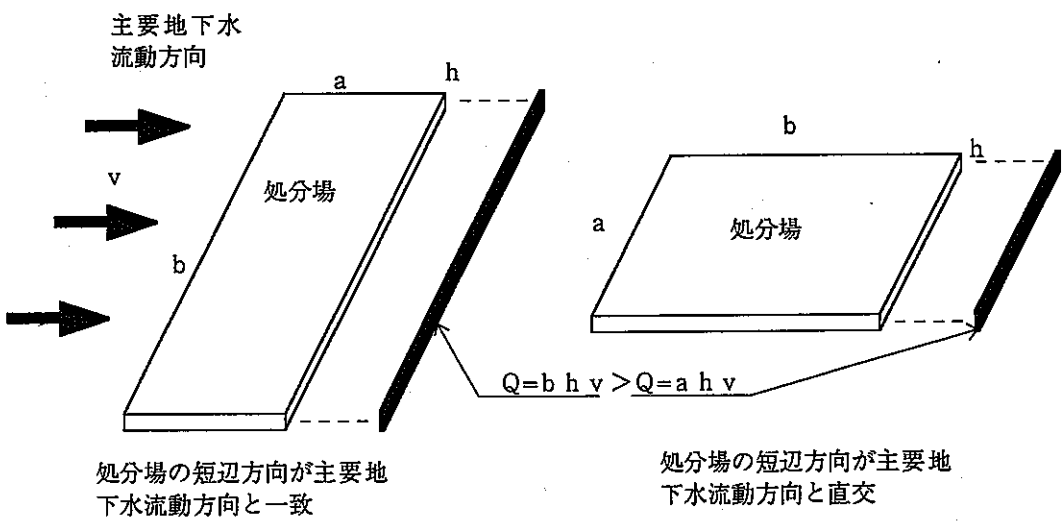


図 2-6 主要地下水流動方向と処分場の方向

パネルレイアウトに関しては，アクセス坑道底部から各処分パネルへの建設資材，廃棄体，緩衝材，埋め戻し材等の搬送，各処分パネルからアクセス坑道底部への建設資材や掘削ズリの搬送等を考えた場合，処分パネルが傾斜していたりあるいは多層配置の場合には，水平搬送，鉛直搬送，斜路搬送が混在することになり，荷物の積み替えの手間等を考慮すると物流の円滑さの面では不利になるものと考えられる。したがって，地質条件としてある程度の広がりをもった岩盤が確保できるサイトでは，平面的なレイアウトが有利である。一方，岩盤の広がりに制約がある場合には，処分パネルの設置レベルを変えて鉛直方向に重ねるような多層配置のレイアウトも考えられる。

2.1.3 アクセス坑道の検討における考え方

(1) アクセス方式

地層処分施設は，ガラス固化体の受け入れ，検査，オーバーパックへの封入および廃棄体を地下深部の施設に搬送するための地上施設と，廃棄体を定置するために地下深部に建設される地下施設から構成される。

地下施設のうちアクセス坑道は，地上から地下への連絡，物流の経路を提供するものであり，地下施設の建設，操業，埋め戻しの各作業段階で廃棄体の搬入，人員・資材の運搬，掘削ズリの搬出，換気，排水，エネルギーなどの供給，緊急時避難等，多様な目的に使用される。

地上から地下施設へのアクセス方法としては，基本的に物流手段としてエレベータ等を用いる立坑方式と，車両あるいはベルトコンベアを用いる斜坑方式（斜坑あるいはスパイラル坑）に大別される。アクセス坑道における物流方法の比較を表 2-3 に示す。

表 2-3 アクセス坑道における物流方法の比較

項目	立　坑	斜　坑		
	エレベータ	トラック	インクライン	その他
勾配	鉛直	～10%未満	10%以上	
搬送能力	断続的な搬送となる。	従来の地下建設工事でも実績があり，必要な搬送能力を確保できる。	急角度の斜坑において使用されている実績があるが，搬送距離が長くなると能力不足となることが考えられる。	ベルトコンベア方式等，建設時の掘削ズリなどの搬送する用途によって，適用できる可能性がある
搬送距離	エレベータの鋼製ワイヤーの自重による制限がある。 乗り換えなしで1,000m以上の実績がある。	制限はないが，実績ある内燃機関動力では換気に留意しなければならない。	制限はないが速度が遅く，実用上は延長が大きくなる問題がある。	ベルトコンベア方式の場合，中継設備を設ければ対応可能である。 実績は数百 m 程度である。
設　備	坑外に巻き上げ設備が必要である。	有人で操作する場合は，照明設備や逸走防止設備が必要となる。 また，制動機加熱防止のために水平部分を導入する必要がある。	動力源であるバッテリの充電設備が必要である。	ベルトコンベア方式では大きな坑底施設が必要となる。
その他	基本的に照明設備は不要である。	有人で 10km 程度の単調な地下坑道を走行するための考慮が必要である。	通常の粘着式軌道では3.5%勾配が限度である。	用途が限定される。

ここでは，地上と地下施設を鉛直に結ぶ坑道を立坑，それ以外のものを斜坑として区分する。また，立坑は線形が直線のみに限定されるが，斜坑は直線や直線の組み合わせで結ばれる場合のほか，らせん状または多角形のスパイラルもありうることから，アクセス方式を表 2-4 に示す 5 方式に分類した。

表 2-4 アクセス方式の分類

アクセス方式	線　形	勾　配
立坑方式	直　線	鉛　直
斜坑方式	直　線	緩勾配（10%程度以下）
	直　線	急勾配（10%程度以上）
	スパイラル方式（らせんまたは多角形）	緩勾配（10%程度以下）
	スパイラル方式（らせんまたは多角形）	急勾配（10%程度以上）

また，各アクセス方式の概念と主な特徴および国内での実績，国内外の処分関連施設等の検討例を以下に示す。

1) 立坑方式

物流手段はエレベータ方式に限定され物流は断続的になるが，アクセス坑道延長が最短であり，大深度地下構造物へのアクセス方法として本方式を採用している実績が最も多い。一般的に工費，工期の面から深度 200 m を超える場合には立坑によるアクセスが有利となってくる（土木学会，1994）。

2) 斜坑方式（直線，緩勾配）

物流手段としてタイヤ方式が使用でき物流効率は良いが，アクセス坑道延長が長くなるので，比較的深度の浅い場合のアクセス方法として採用される例が多い。国内では山岳トンネルの工事用斜坑や石油地価備蓄施設の作業用トンネルなどの実績が比較的多い。地層処分関連施設では米国のユッカマウンテン処分場での実施例がある（U.S. Department of Energy，1998）。

3) 斜坑方式（直線，急勾配）

立坑方式と斜坑方式（緩勾配）の中間的なアクセス方式である。物流手段はインクラインによる軌道方式あるいはベルトコンベア方式となる。斜坑方式（緩勾配）と比較して物流効率は低くなるがアクセス坑道延長は短くなる。この方式は，地下発電所の導水トンネルや鉱山での掘削ズリ・鉱石搬出用トンネルおよび軌道方式による山岳トンネルの工事用斜坑などの実績がある（土木学会，1994）。

4) 斜坑方式（スパイラル，緩勾配）

斜坑方式（緩勾配）と基本的には同じアクセス方式である。地層処分関連施設ではスウェーデンの HRL（地下研究施設）やフィンランドの VLJ 処分場（中低レベル廃棄物処分場）へのアクセス坑道の一部に部分的に採用されている（Rhén et al.，1995；Nykyri and Oy，1991）。

5) 斜坑方式（スパイラル，急勾配）

斜坑方式（急勾配）と基本的には同じアクセス方式であるが，実績はほとんどない。

さらに，物流，換気，排水，避難，施工性，地上施設と地下施設の位置関係，敷地条件，地層条件，および新たな地下水経路の可能性の観点から各アクセス方式の優劣について定性的な比較検討を行った結果を表 2-5 から表 2-13 に示す。

表 2-5 物流の観点からみた各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式（直線，緩勾配）	斜坑方式（直線，急勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
搬送効率	搬送距離は短いが，断続的な搬送となる。また，一度に搬送できる量に制限があり，タイヤ方式より搬送能力は劣る。しかし，一回の搬送速度は大きい。	搬送距離は長いが，連続的な搬送を行うことが可能である。また，大量の搬送も可能であり，搬送効率，搬送能力は高い。	軌道方式では断続的な搬送となり，搬送速度が小さく，搬送能力は低い。ベルトコンベア方式の搬送能力は大きいが用途が限定される。	斜坑（緩勾配）とほぼ同じである。ただし，曲線部分が多くなるため，斜坑（緩勾配）よりやや搬送能力は劣る。	斜坑（急勾配）とほぼ同じである。ただし，曲線部分が多くなるため，斜坑（急勾配）よりやや搬送能力は劣る。
作業の安全性	エレベータの落下に留意する必要がある。	車両の逸走，衝突，車両と人員との接触等に留意する必要がある。	車両の逸走，衝突，脱線，車両と人員との接触等に留意する必要がある。	斜坑（緩勾配）と同じ。	斜坑（急勾配）と同じ。
経済性	エレベータの櫓や巻き上げ施設などの地上施設が必要となる。大量のズリ搬出や埋め戻し材の搬入には不利であり，搬送能力により工程が影響される。	特別の搬送設備を必要としない。大量の搬送を必要とするズリや埋め戻し材の搬送効率が高く，建設や埋め戻しの工程には有利である。	軌道方式では動力供給設備，ベルトコンベア方式ではズリの小割設備などが必要となる。軌道方式では，搬送速度が小さいため，工程への影響が大きい。	斜坑（緩勾配）と同じ。	斜坑（急勾配）と同じ。

表 2-6 換気の観点から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式（直線，緩勾配）	斜坑方式（直線，急勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
換気量 換気設備	アクセス坑道の延長が短いこと，内燃機関を使用しないため換気量は少ない。	アクセス坑道の延長が長くなり，損失が大きい。また，内燃機関を使用するため換気量は多い。延長が長いため，排ガスの滞留が生じやすく，複数本の換気立坑の設置を考慮する必要がある。	アクセス坑道の延長が長くなり損失が大きい。延長が長いため，排ガスの滞留が生じやすく，複数本の換気立坑の設置を考慮する必要がある。	斜坑（緩勾配）とほぼ同じ。ただし，曲線が多くなるため損失は斜坑（緩勾配）より大きい。また，ｽﾊﾟｲﾗﾙ坑道を連続的に繋ぐように換気立坑を配置することができ，斜坑（緩勾配）より換気用立坑の本数は少なくて良い。	斜坑（急勾配）とほぼ同じ。ただし，曲線が多くなるため損失は斜坑（急勾配）より大きい。また，ｽﾊﾟｲﾗﾙ坑道を連続的に繋ぐように換気立坑を配置することができ，斜坑（急勾配）より換気用立坑の本数は少なくて良い。
作業の安全性	アクセス坑道内での排ガスの滞留は少ない。	坑道延長が長くなることと，内燃機関の車両を使用するため，アクセス坑道内での排ガスの滞留が生じやすい。	延長が長くなるため，アクセス坑道内での排ガスの滞留が生じやすい。	斜坑（緩勾配）と同じ	斜坑（急勾配）と同じ。
経済性	換気量は少なく設備数量は小さい。	アクセス坑道延長が長いため，換気設備数量は大きくなる。換気用の立坑が必要な場合には，さらに設備数量が増大する。	アクセス坑道延長が長いため，換気設備数量は大きくなる。換気用の立坑が必要な場合には，さらに設備数量が増大する。	斜坑（緩勾配）と同じ	斜坑（急勾配）と同じ。

表 2-7 排水の観点から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式（直線，緩勾配）	斜坑方式（直線，急勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
排水設備	アクセス坑道の延長が短いことから，排水ポンプ，配水管等の排水設備が少ない。また，損失も少ない。	アクセス坑道の延長が長くなり，排水設備延長も長く，損失も大きくなる。また，ポンプの設置台数も多くなる。	排水設備数量は立坑と斜坑（緩勾配）の中間と考えられる。	斜坑（緩勾配））とほぼ同じ。ただし，曲線部分が多くなるため，斜坑（緩勾配）より損失は大きい。	斜坑（急勾配））とほぼ同じ。ただし，曲線部分が多くなるため，斜坑（急勾配）より損失は大きい。
湧水量	アクセス坑道の延長が短いことから湧水量も小さくなる可能性がある。	アクセス坑道の延長が長くなり，湧水量も多くなると考えられる。	湧水量は立坑方式と斜坑方式（緩勾配）の中間と考えられる。	斜坑（緩勾配）と同じ。平面的には比較的狭い範囲であるため湧水量の多い地層を回避できる可能性もある。	湧水量は立坑と斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）の中間と考えられる。平面的には比較的狭い範囲であるため湧水量の多い地層を回避できる可能性もある。
作業の安全性	アクセス坑道掘削中に異常出水あるいは排水設備の故障等が生じた場合，避難に対する裕度は小さい。	アクセス坑道掘削中に異常出水あるいは排水設備の故障等が生じた場合，避難に対する裕度は大きい。	アクセス坑道掘削中に異常出水あるいは排水設備の故障等が生じた場合，避難に対する裕度は小さい。	斜坑（緩勾配）と同じ。	斜坑（急勾配）と同じ。
経済性	排水設備数量は最も少ない。	設備数量が多くなる。	設備数量は立坑と斜坑（緩勾配）の中間と考えられる。	損失が大きくなることから，斜坑（緩勾配）より設備数量が増える。	損失が大きくなることから，斜坑（急勾配）より設備数量が増える。

表 2-8 避難の観点から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式 （直線，緩勾配）	斜坑方式 （直線，急勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
避難距離	避難距離は最も短い。	避難距離は長い。	避難距離は立坑と斜坑（緩勾配）の中間である。	斜坑（緩勾配）と同じ	斜坑（急勾配）と同じ。
避難ルートの確保	エレベータを使用できる場合，断続的な避難になる。エレベータを使用できない場合は，梯子や階段による避難ルートを確保する必要がある。	車両，歩行による避難が可能である。断面の大きさを考えると，最も避難ルートを確保しやすい。	インクラインを使用する場合，避難は断続的になる。	斜坑（緩勾配）と同じ	斜坑（急勾配）と同じ。
自力避難	避難ルートは確保できるものの，500 m 以上を避難するのは極めて困難である。	歩行による避難が可能である。ただし，避難距離が長いので容易ではない。	ある程度勾配が急になると，歩行による避難は著しく困難になる。	斜坑（緩勾配）と同じ	斜坑（急勾配）と同じ。
一時退避	エレベータによる避難が断続的になるため，立坑底に緊急待避施設が必要となる。	アクセス坑道内にも緊急待避施設を設けることが可能である。	斜坑（緩勾配）と同じ	斜坑（緩勾配）と同じ	斜坑（緩勾配）と同じ

表 2-9 地上施設と地下施設との位置関係から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式 （直線，緩勾配）	斜坑方式 （直線，急勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
アクセス坑道の延長	地上施設と地下施設の位置関係によらず坑道延長は変わらない。しかし，地上施設と地下施設が離れている場合には，立坑底と地下施設を結ぶ連絡坑道が必要になる。	地上施設と地下施設が離れている場合には坑道延長が長くなる。ただし，線形を配慮することにより影響を小さくすることが可能な場合もある。	斜坑（緩勾配）と同じ。	地上施設と地下施設が離れている場合，地下施設に向かってらせん状に掘削すると坑道延長は長くなるが，地下施設の直下に掘削すると，坑道延長は変わらない。ただし，地下施設を結ぶ連絡坑道が必要になる。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。
経済性	地上施設と地下施設の位置関係により，数量・工程は変化しない。ただし，連絡坑道の数量・工程が増える。	地上施設と地下施設の位置関係により，数量・工程が増加する場合がある。	斜坑（緩勾配）と同じであるが，影響の程度はより大きい。	斜坑（緩勾配）と同じであるが，場合によっては施工性が極めて悪くなるため工程への影響が大きい。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。

表 2-10 施工性の観点から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式 （直線，緩勾配）	斜坑方式 （直線，急勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
施工実績	1,000 m 以上の深度にも施工実績がある。	地下発電所，備蓄施設等での施工実績は多いが，数百 m 以深での施工実績は比較的少ない。	数百 m 以深での施工実績は少ない。特殊な用途に限定され施工実績は比較的少ない。	施工実績はほとんどない。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。
施工のしやすさ	ズリ出しや資材の搬出入の点で斜坑より施工性は劣る。湧水の対処が最も難しい。	施工性は水平坑道に近い。ズリ出しや資材搬出入などの点で最も施工性が良い。	急勾配になるほど施工性は立坑と変わらなくなる。	曲線が多く，施工精度は劣る。	曲線が多く急勾配であるため，斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）よりさらに施工性は悪くなる。
作業の安全性	墜落や飛来落下物対策が悲痛用である。	墜落や飛来落下の点で安全であるが，車両との接触等に留意する必要がある。	車両との接触等に留意する必要がある。立坑と同様に墜落，飛来落下に留意する必要がある。	墜落や飛来落下の点で安全である。曲線区間が長いため，車両走行の安全性に問題がある。	車両との接触，墜落や飛来落下等に留意する必要がある。曲線区間が長いため，車両走行の安全性に問題がある。
経済性	櫓，巻き上げ施設等の付帯設備数量は多くなる。しかし，延長が短いので坑道内の各種設備数量は少なくなる。ズリ出し効率により建設工程は大きな影響を受ける。	地上に特別な施設を要しないが，坑道延長が長くなるため坑道内の設備数量は多くなる。	坑道内の各種設備数量は立坑と斜坑（緩勾配）の中間である。軌道方式の場合，ズリ出し効率に建設工程が左右される。ベルトコンベア方式の場合，搬送効率は高くなるが，ズリの小割設備が必要となる。	曲線区間が多いため，斜坑（緩勾配）より工程的には不利である。	曲線区間が多いため，斜坑（急勾配）より工程的には不利である。

表 2-11 敷地条件の観点から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式 （直線，緩勾配）	斜坑方式 （直線，急勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
アクセス坑道の延長	敷地条件に係わらず立坑の延長は処分深度によって決まるが，処分区画と連絡する坑道が必要になる場合がある。	敷地条件により，坑道延長が長くなる。ただし，線形を配慮することにより影響を小さくすることが可能な場合もある。	斜坑（緩勾配）と同じ。	敷地条件により，坑道延長が長くなる。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。
経済性	敷地条件により，数量・工程は変化しない。ただし，連絡坑道の数量。工程が増える。	敷地条件により，数量・工程が増加する場合がある。	斜坑（緩勾配）と同じであるが，影響の程度はより大きい。	斜坑（緩勾配）と同じであるが，場合によっては施工性が極めて悪くなるため工程への影響が大きい。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。

表 2-12 地層条件の観点から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式 （直線，緩勾配）	斜坑方式 （直線，急勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式 （ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
断層，破砕帯との遭遇可能性	坑道延長が短く，断層や破砕帯に遭遇する可能性は小さい。仮に遭遇した場合，回避は難しいので対策工を施す必要がある。	坑道延長が長く，断層や破砕帯に遭遇する可能性が大きい。線形を配慮することにより，断層，破砕帯を回避することが可能な場合もある。	斜坑（緩勾配）と同じ。	比較的狭い範囲をらせん状に掘削するため，断層や破砕帯に遭遇する可能性は斜坑（緩勾配）より小さい。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。
空洞安定性	断面が円形であり，力学的には有利である。	車両の走行から円形断面を採用しにくいため構造的には不利である。	斜坑（緩勾配）と同じ。	斜坑（緩勾配）と同じ。	斜坑（緩勾配）と同じ。
地下水経路	周辺地層を乱す領域が小さく相対的に地下水経路の範囲は小さくなると考えられる。	地層を乱す領域は大きく，相対的に地下水経路の範囲は大きくなると考えられる。	地下水経路の距離や範囲は立坑方式と斜坑（緩勾配）の中間程度と考えられる。	地層を乱す領域は斜坑（緩勾配）より小さいが，ｽﾊﾟｲﾗﾙ坑道の内側の地層の擾乱の程度は斜坑（緩勾配）より大きいと考えられる。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。
経済性	断層や破砕帯への対処，プラグやグラウト施工個所は少なく工程への影響も小さい。	断層や破砕帯への対処，プラグやグラウト施工個所は多くなり工程への影響が大きい。	断層や破砕帯への対処，プラグやグラウト施工個所は立坑と斜坑（緩勾配）の中間と考えられる。	平面的には比較的狭い範囲であるので，断層や破砕帯への対処，プラグやグラウト施工個所は斜坑（緩勾配）より少ない。	平面的には比較的狭い範囲であるので，断層や破砕帯への対処，プラグやグラウト施工個所は斜坑（急勾配）より少ない。

表 2-13 新たな地下水経路の可能性から見た各アクセス方式の優劣

比較検討項目	立坑方式	斜坑方式（直線，緩勾配）	斜坑方式（直線，急勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）	斜坑方式（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，急勾配）
地下水経路の距離，範囲	掘削影響領域が最短の地下水経路となる可能性がある。しかし，地下水経路となる範囲は小さい。	掘削影響領域が新たな地下水経路となっても距離は長い。しかしながら，地下水経路となる範囲は広い。アクセス坑道が断層，破砕帯等の地下水経路に繋がる可能性がある。	新たな地下水経路の距離や範囲は立坑方式と斜坑〔緩勾配〕の中間である。	地下水経路の距離や範囲は斜坑〔緩勾配〕と同じであると考えられる。平面的には比較的狭い範囲であるので，断層，破砕帯等の地下水経路に繋がる可能性は小さい。	新たな地下水経路の距離や範囲は立坑方式と斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）の中間である。平面的には比較的狭い範囲であるので，断層，破砕帯等の地下水経路に繋がる可能性は小さい。
周辺地層への影響	地層を乱す領域は少ない。	地層を乱す領域は大きい。	地層を乱す領域は立坑方式と斜坑（緩勾配）の中間程度と考える。	地層を乱す領域は斜坑〔緩勾配〕より小さいが，ｽﾊﾟｲﾗﾙ坑道の内側の地層の擾乱の程度は斜坑〔緩勾配〕より大きいと考えられる。	斜坑（ｽﾊﾟｲﾗﾙ，緩勾配）と同じ。

以上，立坑方式と斜坑方式に大きく分類し，それらの実績や定性的優劣について概略述べた。サイトが特定されればサイト条件に応じて表 2-1 に示した要件と建設・操業・埋め戻しの各作業段階における目的や機能等を考慮して最適な方式が選定されることになる。なお，各作業の目的や機能等に応じて立坑方式と斜坑方式を使いわけるという考え方も採用可能である。

(2) アクセス坑道の本数

建設・操業・埋め戻しの各作業エリアの放射線管理面からの区分，事故防止等の観点からの同一エリア内での輻輳の回避などを考慮すると，各作業が独立した処分パネルの中で同時並行で作業することが考えられる。その場合，仮に放射線管理が地上部から行われるのであれば，図 2-7(a)に示すように各作業毎に独立した坑道を設けることが考えられる。また，アクセス坑道坑底部から放射線管理の区別がなされる場合には，図 2-7(b)に示すように各作業共通のアクセス坑道を設けることが考えられ，アクセス坑道の本数を減らすという意味で工事数量的には有利となる。ただし，各作業毎にサイクルタイムの入念な調整が必要となり，いずれかの作業で不具合が生じたときには，他の作業へ波及しやすい不利な面もある。

また，アクセス坑道の本数を増やせば，数量の点では不利となるが，むやみに減らすことは，所要の輸送能力の確保が困難となり，全体工程の延長に繋がることから全体的な経済性の面で好ましくないといえる。したがって，処分スケジュールや安全性も含めて総合的に判断することが必要になる。

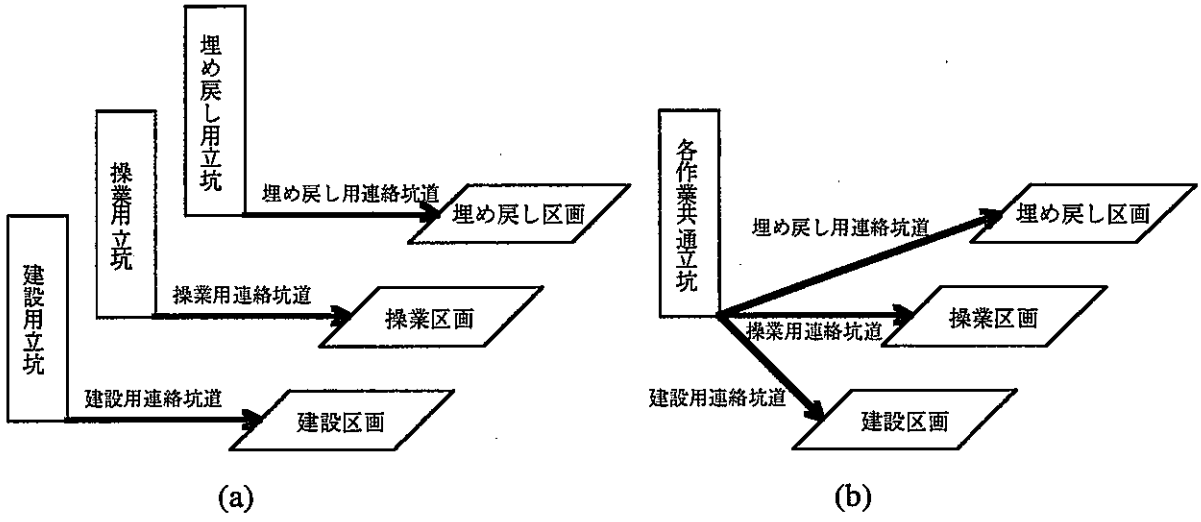


図 2-7 アクセスパターン

(3) アクセス坑道の位置

処分場の閉鎖後，アクセス坑道およびその周辺の掘削影響領域が地下水を媒体とした廃棄体からの核種移行経路となる可能性がある。これについては，アクセス坑道の埋め戻しの際の品質管理，隙間の充填精度およびアクセス坑道の掘削影響領域等を考慮した安全評価結果のフィードバックを含めた総合的な判断が必要である。設計においてその可能性を低減する方法として，地下水流動方向に対して廃棄体が定置されている処分パネルよりも下流側にアクセス坑道を配置しないようにしておくことも重要であると考えられる。また，地上施設へのアクセスや設置部の地形等を総合的に判断する必要もある。

2.1.4 主要・連絡坑道の検討における考え方

「2.1.2 処分パネルの検討における考え方」でも述べたように，作業の輻輳の回避，坑道内での火災，放射性物質漏洩等の事故時における避難に対して十分配慮した坑道配置を検討する必要がある。処分坑道の掘削は，主要坑道から発進するものとして，処分坑道，主要坑道，連絡坑道の配置と物流・換気ルートとの関係を表す模式図を図 2-8 に示す

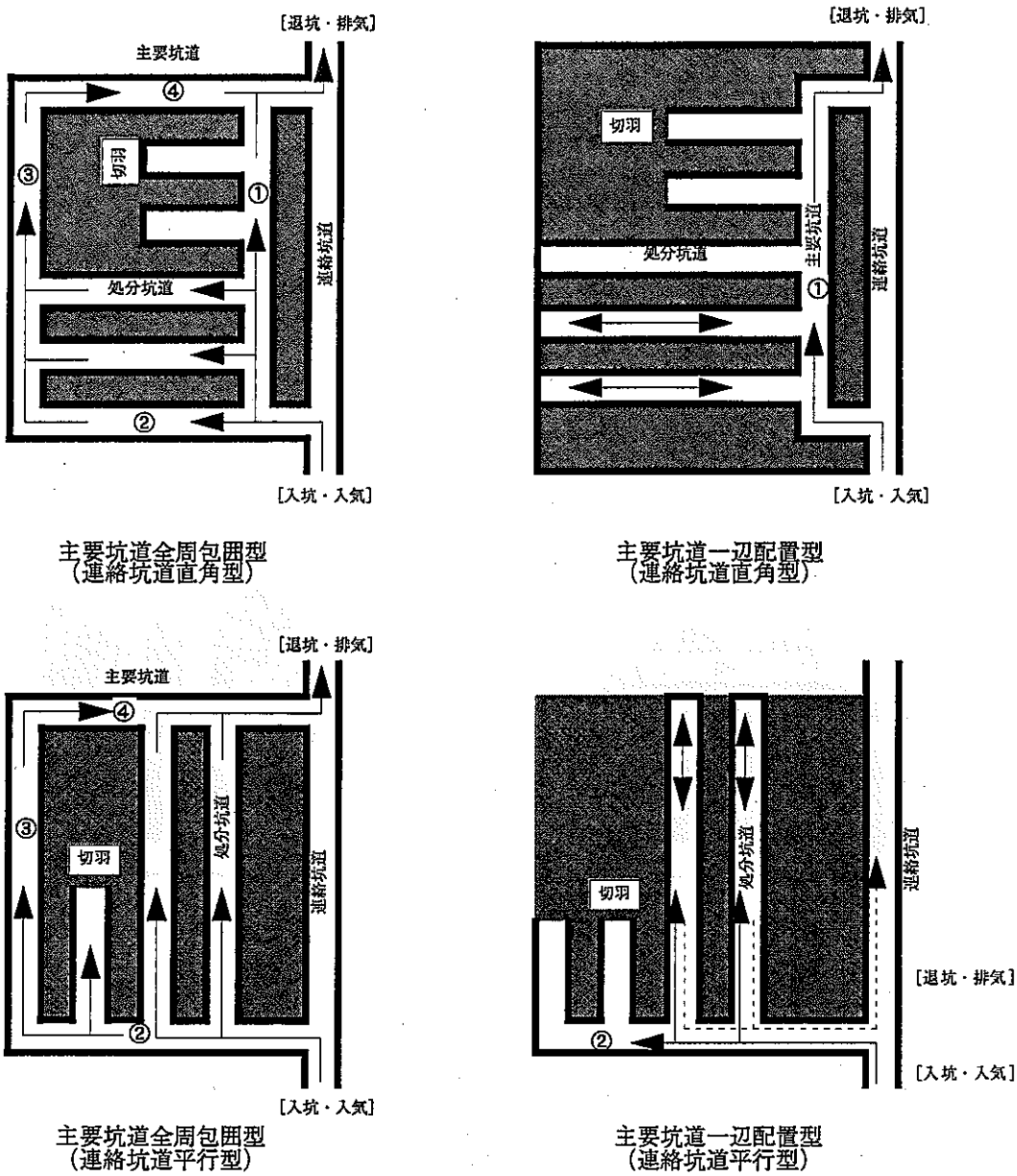


図 2-8 主要坑道の配置と物流・換気ルート

図 2-8 では，連絡坑道に平行している最も近い主要坑道を①とし，時計廻りに②，③，④の番号を付している。主要坑道が全周包囲型の場合，作業時の一方通行ルートの確保が可能であるが，主要坑道が一辺配置型の場合，処分坑道内で設備を後退させる必要が生じることになる。したがって，作業ルートの一方通行性を確保するためには，主要坑道全周包囲型が有利であると考えられる。

また，図 2-8 の主要坑道全周包囲型における①，②，③，④の主要坑道の必要性について考えてみる。①の主要坑道については，処分坑道の掘削が主要坑道から発進するものとして図中に示したが，建設・操業・閉鎖の各作業をパネルごとに独立して進められるとした場合，図中の連絡坑道が各作業毎に専用のルートとして設けられているとすれば不要となる。

②の主要坑道については（図 2-9），連絡坑道平行型の場合，処分坑道掘削のために必須となる。一方連絡坑道直角型の場合においては，③，④の主要坑道を掘削するために必要であるが，連絡坑道の退坑側から③，④の主要坑道の掘削を許容するならば，必ずしも必要ではないと考えられる。ただし，この場合，主要坑道の掘削は一方通行ではなくなることになる。さらに，③の主要坑道長さにもよるが，処分坑道の掘削は退坑側から行われることも考えられ，③の主要坑道掘削のための後方設備と処分坑道の掘削が終了して退坑する設備とが輻輳する場合が生じることとなる。

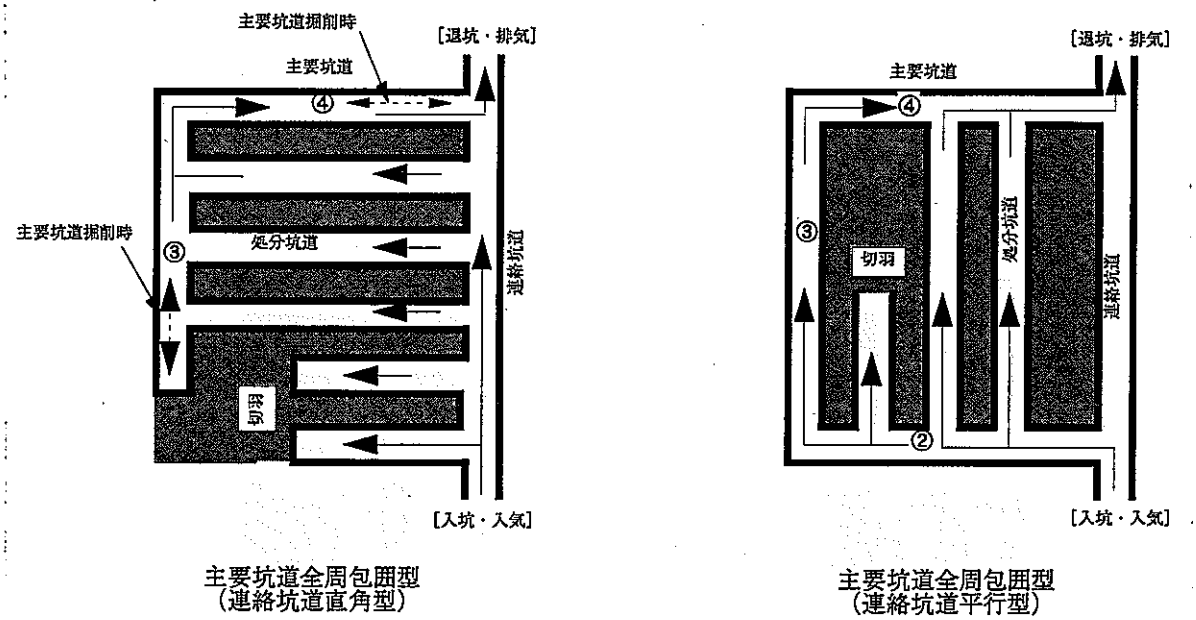
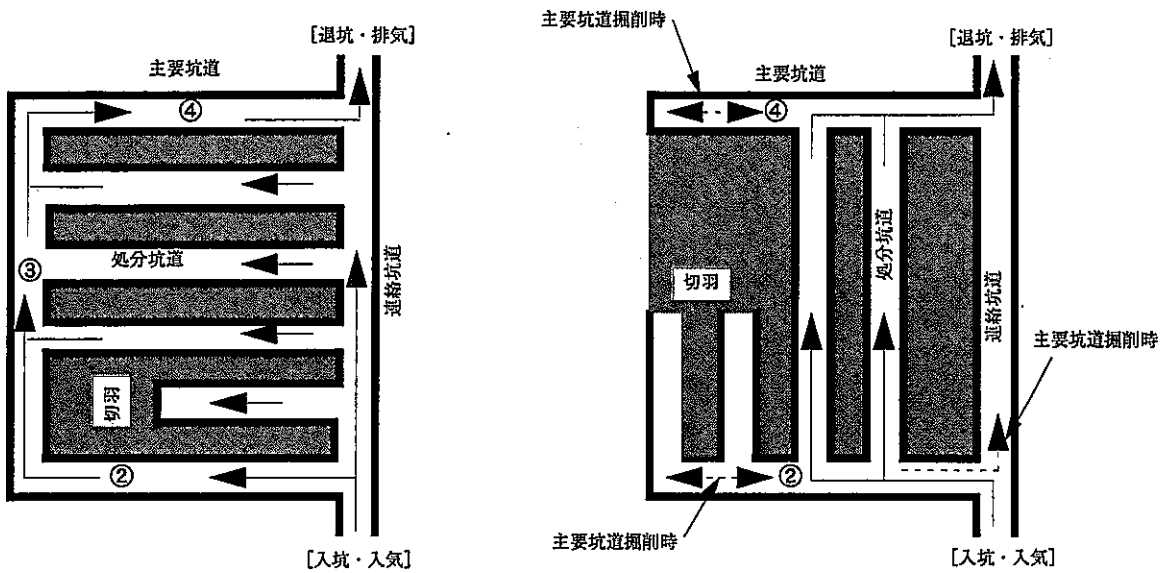


図 2-9 ②の主要坑道の必要性

③の主要坑道については（図 2-10），連絡坑道直角型の場合，作業の一方通行ルートを確保して連絡坑道に戻るために必須となる。一方，連絡坑道平行型の場合については，②，④の主要坑道の掘削のみ一方通行でなくなることを許容すれば必ずしも必要とはならない。ただしこの場合，②，④の主要坑道の長さにもよるが②の主要坑道掘削のための後方設備と処分坑道の掘削のために入坑する設備との輻輳，④の主要坑道掘削のための後方設備と処分坑道の掘削が終了して退坑する設備とが輻輳する場合が生じることになる。



主要坑道全周包囲型
（連絡坑道直角型）

主要坑道全周包囲型
（連絡坑道平行型）

図 2-10 ③の主要坑道の必要性

図 2-8 より，主要坑道が全周包囲型の場合，主要坑道延長は長くなるが物流や換気のためのスムーズなルート確保が可能となる。また，主要坑道が一辺配置型の場合，主要坑道延長は短くなるが，一方通行ルートは確保できず，処分坑道内で設備を後退させる必要性が生じることになる。これらの図から，物流・換気ルートの確保および事故時の避難の観点から，主要坑道全周包囲型が最も有利であると考えられる。

また，処分パネル毎に作業の独立性を確保するためには，アクセス坑道→連絡坑道→処分パネル→連絡坑道→アクセス坑道という作業動線は各作業毎に閉じるようにするとともに，各作業動線が交差しないように連絡坑道や主要坑道を配置することが必要である。

2.2 仮想地質モデルの構築

「2.1 設計の基本的考え方」に従って，より具体的な処分場レイアウトの検討を実施するためには，地形や割れ目の位置，地下水流動等の地質条件等が必要である。しかしながら，現時点ではサイトが特定されていないことから，ここでは我が国の地質条件等の概略的な傾向から仮想的な地質モデルを構築することによって，具体的なレイアウトの設計検討に資することとした。

2.2.1 基本的考え方

仮想地質モデルの構築に際しては，まず，仮想的な処分場候補エリアとして便宜的に 10km×10km の広さを考え，次いで，同領域内にて具体的な処分場の位置やパネル配置を検討する際の一情報となる広域地下水流動を把握するため，その仮想的

な処分場候補エリアがほぼ中心となるような広域地質モデル（約 30km×約 30km）を作成することとした。また，広域地下水流動解析においては，モデル内の割れ目の影響のみならず，塩淡境界の影響に関する検討も行えるよう海岸線を含んだモデルとした。また，モデルを作るにあたっては，以下に示す事項についても考慮した。

①割れ目群の三次元的な分布を天然の条件に類似した不規則性を有するものとした。

②地質構造についても，ある程度は天然バリアの分布状況に関する不規則性を考慮した。

③割れ目分布の不規則性，地質構造の不規則性のみではなく，形状の不規則性についても仮想することとした。

④これらの仮想条件については，我が国の実際の地質条件を考慮して，極端な想定とならないよう留意した。

以上のような点に注意して，仮想地質モデルの岩種，地形，地質構造，割れ目区分，割れ目の分布間隔について以下のように検討を進める。

(1) 岩種

ここでは，硬岩系岩盤として結晶質岩系を，軟岩系岩盤として新第三紀堆積岩系（以下，堆積岩系という。）をそれぞれ想定した。

(2) 地形

地形状況は地質構造を反映すると考えられるが，地質と地形の相関性について参考となる文献は見いだせなかったため，我が国の地形状況を結晶質岩系および堆積岩系の分布する地形にわけて概観し，その特徴を整理するとともに，それらを参考にして仮想地形を想定することとした。着目した地形の特徴項目は，水系パターンと地形傾斜である。

(3) 地質構造

代表的な結晶質岩系岩盤である花崗岩は，比較的均質な大規模岩体として存在する。結晶質岩系の地質構造としては，地表部に数 m の厚さの表土が存在する単一の岩種からなる岩体を想定した。

一方，堆積岩系には砂岩，泥岩等の粒度や組成の異なる岩石が互層状に重なって分布する場合，あるいは泥岩などの単一の組成からなる地層が比較的存在する場合がある。ここでは，単一岩種の軟質岩としては，泥岩が処分深度に分布し，その上位には砂岩が分布しており，これら複数の地層が単斜構造をなして成層するものとし，褶曲構造は想定しないこととした。また，割れ目の分布構造については，既存の文献を参考にして仮定した。

(4) 割れ目

割れ目については，その長短に着目し，その各々の割れ目がどのように分布するのかを設定することとした。以下にその検討結果を示す。

1) 割れ目の連続性

地層の特性を記述するための我が国独自の割れ目分類方法としては，鉱山における割れ目調査用の分類案（天野ほか，1995；動燃事業団，1996）があるが，この分類はニアフィールドにおける微視的な地化学モデルを解明するための分類であるため，施設の配置設計を行う際に着目すべき分類としては準拠しにくい。

NAGRA（Thury, et al.，1994）や SKB（Pusch, et al.，1991）での研究では，以下のように割れ目の分類を行っている。

NAGRA においては，いくつかの長さをもつ割れ目として，以下の 4 つに着目している。

①10km 以上の連続性を有する割れ目

②数 km～10km の連続性を有する割れ目

③数 10m ～数 km の連続性を有する割れ目

④10m オーダーの連続性を有する割れ目

また，SKB においては，以下のような割れ目を考慮している。

①数 km 間隔で数 10km の連続性を有する割れ目

②数 100m 間隔で数 km の連続性を有する割れ目

③50～150m 間隔で 50～150m の連続性を有する割れ目

これらは，今後のサイトを特定した段階における技術基準策定の議論の中で参考情報とすることができる。

2) 割れ目分布間隔

前項で検討した割れ目の分布間隔を設定するために，緒方・本荘（1981），大野・小島（1992，1993），井上ほか（1992）の既存文献を用いて割れ目の存在頻度について，検討を行った。

これらの文献を参考にすると，我が国の結晶質岩系における一般的な割れ目分布密度は，数 km～数百 km といった範囲でばらつきや偏りを有するものと考えられる。

一方，堆積岩系については，緒方・本荘の研究結果における地質年代別断層密度から，地質年代が新しいほど断層の分布密度は少ないという傾向が見られる。新第三紀堆積岩における分布密度は，結晶質岩の密度分布に比べて 1/3～1/5 程度であることから，堆積岩系の割れ目本数は，結晶質岩系に比べて少ない分布となる傾向にある。

2.2.2 仮想地形の検討

地形は我が国の地理的条件あるいは地質構造と何らかの相関をもっていると考え

られることから，結晶質岩系および堆積岩系の分布する地域の地理的な特徴を参考にして仮想的な地形を設定した。参考とする地形の特徴として，水系パターンおよび地形傾斜である。

(1) 硬岩系岩盤の仮想地形の設定

水系パターンとしては，土木学会「ダムの地質調査」にて紹介されている以下の6つのパターンに分類できる。

①平行状；主要な河川が近接してほぼ平行して流れるもの。
②格子状；主要な河川がほぼ平行して流れるが，それら支流は所々に直角に折れて隣接する主流に合流し，小支流もほぼ直角に合流するもの。
③樹枝状；本流に対して支流が鋭角で合流し，さらに小支流が支流に鋭角で合流し，あたかも1本の木の枝のような型を示すもの。
④放射状；錐状火山によくみられる。
⑤環　状；硬軟の互層した地層がドーム状に隆起した場合にみられる。
⑥縮緬状；小支流が細かいちりめん状に蛇行するもの。

以上のような分類にもとづき結晶質岩の分布する地域を概観した結果，一般的に認められる水系は，概略，平行状，格子状およびそれらが複合したパターンである。したがって，これらのパターンを含み，かつ平均的な河川流路長（河口～最長支流までの距離）が6～7kmとなるような水系を仮定した。

一方，地形はその地域の地質，風化作用，降雨や河川水による侵食等によって様々な特徴を有する。このうち侵食作用は最も大きな営力であり，地形傾斜が大きく影響する。そこで，我が国の地形を概観するとともに，前述した水系を考慮した結果から，ここでは極端に起伏のある場所を除き，おおよそ8°～30°程度の地形傾斜を有し，最高標高1200m程度の地形を仮定した。

(2) 軟岩系岩盤の仮想地形の設定

堆積岩系の分布する地域に一般的に認められる水系は平行状パターンであり，単位河川には縮緬状の蛇行があることから，平行状パターンの水系が主となるようにし，かつ，平均河川流路長が5～6km程度となるような水系を仮定した。

地形傾斜については，堆積岩の場合，結晶質岩の分布する地域に比べてやや緩傾斜となることから，0°～15°程度の傾斜を有し，最高標高 700m 程度の地形を想定した。

2.2.3 仮想地質モデルの設定

仮想地質モデルの設定に際しては，処分施設の立地場所および処分場レイアウトの設定条件の一つとして地下水流動を考慮するため，比較的広域な領域のモデルとした。以下に，前述までの検討結果等をもとに，硬岩系および軟岩系岩盤のモデル設定条件を整理する。

(1) 硬岩系岩盤

①モデル領域は，仮想的な処分場候補エリアが 10km×10km の範囲で与えられるものと仮定し，候補エリアおよびその周辺の広域地下水流動状況を予測することを踏まえ東西 30km×南北 25km×深さ 2km とした。

②岩種は花崗岩として表層部を除き単一岩体とした。

③水系パターンは格子状と平行状を含むようにする。

④地形傾斜は 8°～30°程度とし，最高標高は 1,200m 程度とした。なお，標高 1,200m 級の山岳地の南側にはより大きな山地が近接していないものとした。

⑤割れ目の長さおよび分布は，前述した我が国における割れ目分布密度等の傾向から想定した。

⑥割れ目の方向については，仮想地形のなかで妥当と考えられる部分（谷地形，傾斜変換線，尾根鞍部）に設定した。また，系統として 2 方向が卓越し，各々は交差または切るようにした。

⑦割れ目の傾斜については，80°～90°とした。

⑧割れ目の空間的広がりについては，水平方向の長さと垂直方向の長さが等しい板状のものとした。

これらから設定した仮想地質モデルを図 2-11 に示す。

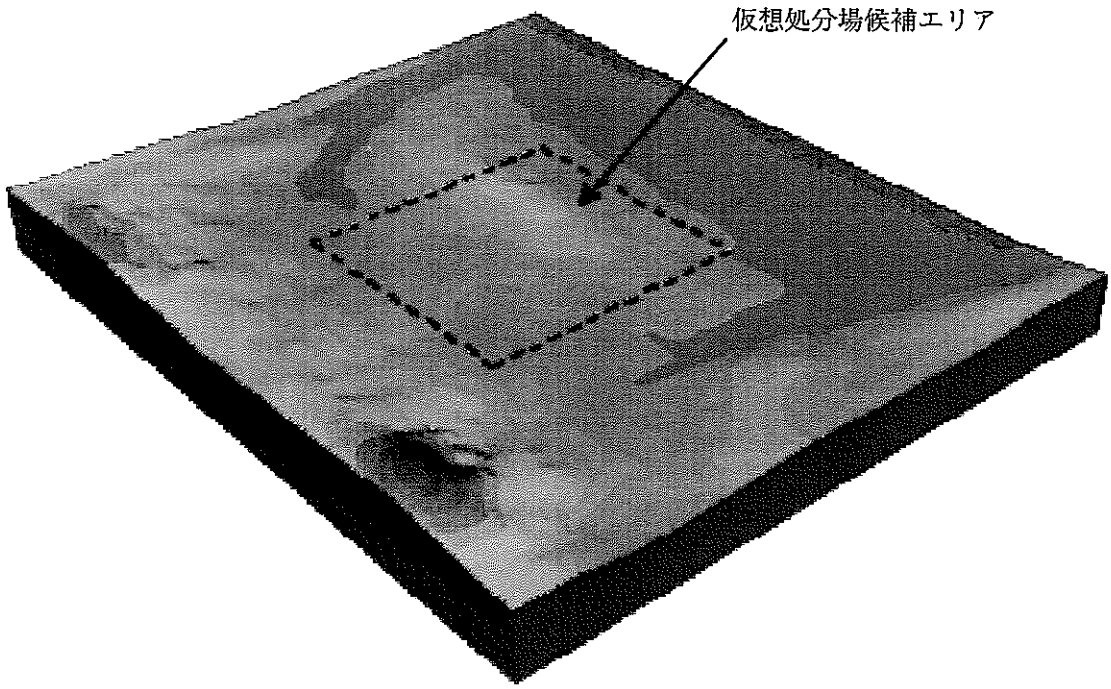


図 2-11 硬岩系岩盤仮想地質モデル

(2) 軟岩系岩盤

①モデル領域は，仮想的な処分場候補エリアが 10km×10km の範囲で与えられるものと仮定し，候補エリアおよびその周辺の広域地下水流動状況を予測することを踏まえ東西 30km×南北 20km×深さ 2km とした。

②岩種は表層部を除き複数の地層が単斜構造を成して成層し，処分深度として 500m 付近に泥岩が分布し，その上位に砂岩および泥岩の互層が分布するように仮定した。また，各地層の層厚は 300m～500m とし，基盤岩（花崗岩）までの深度を 1,500m～2,000m とした。さらに，各地層の傾斜を 5° と仮定した。

③水系パターンは平行状が主となるようにした。

④地形傾斜は 0° ～15° 程度とし，最高標高は 700m 程度とした。

⑤割れ目の長さおよび分布は，前述した我が国における割れ目分布密度等の傾向から想定した。

⑥割れ目の方向については，仮想地形のなかで妥当と考えられる部分（谷地形，傾斜変換線，尾根鞍部）に設定した。また，系統として 2 方向がするようにした。

⑦割れ目の傾斜については，90° ～75° とした。

これらから設定した仮想地質モデルを図 2-12 に示す

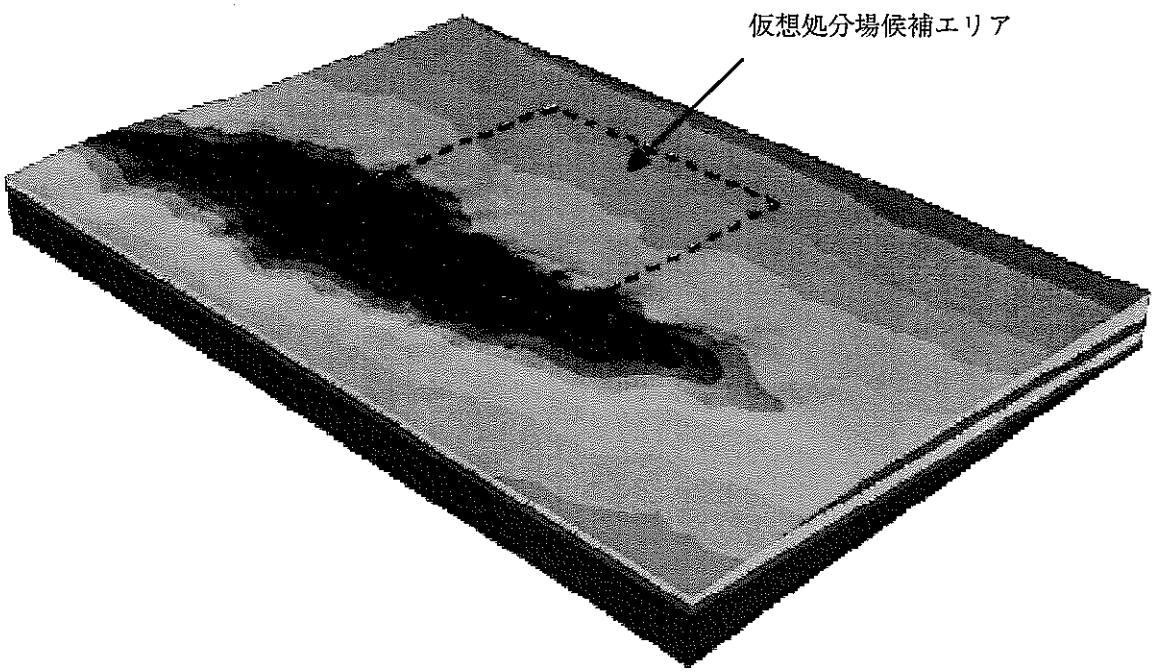


図 2-12 軟岩系岩盤仮想地形モデル

2.3 仮想地質モデルにおける地下水流動

ここでは，処分場施設位置設定に資するための地下水流動に関わる参照データを提供するために仮想地質モデルを用いた広域地下水流動解析を行う。すなわち，立地判断に関わる地下水流動状況について，定性的な評価のみではなく解析的な手法を用いることにより定量的なデータとして示すことを目的としたものである。

2.3.1 前提条件

本検討において採用する地下水解析手法，モデル等について，その選定理由とともに以下に示す。

(1) 解析手法およびモデル

地下水はほぼ地表面に並行して存在すること，また，処分施設の対象深度は表層付近ではなく深部が対象となるため，表層付近を詳細に評価する不飽和解析の必要はないと判断し，地表面と地下水面とは等しい（大気圧境界：圧力水頭＝0）と考える飽和解析手法を用いることとした。

モデルについては，3 次元的な地下水流動を把握するため，3 次元 FEM モデルを用いることとした。ただし，割れ目については，シェル要素（平面要素）でモデル化するものとした。このことは，ソリッドモデルによるモデル化が困難であること（幅が薄い），また透水性の高いゾーンであること（周辺よりも透水性が小さいとシェル要素は適用できない）によるものである。

また，表層部（風化部あるいは表土）については，深部地下水流動に与える影響が小さいことからモデル化しないものとした。

岩盤物性については，谷口ら（1999a）の検討結果を参考とし，硬岩系および軟岩系岩盤それぞれを表 2-14 に示すとおり仮定した。

表 2-14 解析物性値

部　位	物　性	硬岩系岩盤	軟岩系岩盤
岩　盤	透水係数	1×10^{-8} m/s	1×10^{-7} m/s（砂岩主体の互層）
			1×10^{-8} m/s〔泥岩〕
			1×10^{-8} m/s（花崗岩）
	飽和密度	2650 kg/m^3	2200 kg/m^3
	静弾性係数	35 GPa	2.8 GPa
	ポアソン比	0.25	0.26
	熱伝導率	2.78 W/m/K	1.88 W/m/K
	比　熱	0.96 kJ/kgK	1.26 kJ/kgK
	地温勾配	3℃/100m	3℃/100m
	鉛直応力	0.027×h MPa	0.022×h MPa
	側圧係数	148 / h+1.02	148 / h+1.02
割れ目	透水係数	1×10^{-6} m/s	1×10^{-6} m/s

なお，塩水領域における便宜上の透水係数については，上記の 1/100 とする。また，塩淡境界境界を考慮した地下水流動解析を行うため，仮想地質モデルでは海岸を含んだ形で設定した。これに伴い，塩水と淡水の水圧がつり合う面を塩淡境界面と仮定し塩水側の透水性を小さく考慮することによって，便宜的に塩淡境界を不透水条件として淡水側の流れを評価する簡易手法を適用した。この手法は厳密に塩水の移流・分散を評価する手法ではないため，塩水領域の流動の評価は妥当ではない（塩水はほとんど動かないものと仮定）が，淡水領域については比較的現実的な結果が得られると考えられる。

2.3.2 モデル化条件

解析領域の設定に際しては，仮想地質モデル領域全体を対象とはせず領域内の地形条件を考慮し，側方境界条件を設定しやすい範囲を切り出すように設定し解析モデル領域とした。

地形条件と側方境界条件の関係は以下のように対応できる。

①尾根線；分水嶺として考慮できることから不透水境界とする。

②谷　線；尾根線と同様に不透水境界とする。

③ 海　；できるだけ海岸線より沖合に設定することにより，不透水境界とすることができる

なお，地表面については，前述のように大気圧境界（地表面で圧力水頭＝0），海底面は塩水による静水圧境界，底部境界は不透水境界とする。底部境界深度については設定が困難であるが，ここでは，解析上 EL-2,000m と設定する。なお，この値は以下の観点からほぼ妥当な値であると考えられる。

①処分施設の設置深度がGL-1,000m程度とすると，モデル深度としては2倍程度は必要である。

②EL-2,000mは地下深部であり，地下水流動は非常に緩慢であることが予想され，不透水境界条件としても問題ないと考えられる。

③地質構造が予測，調査可能な深度としては，現状ではEL-2,000m程度が限界である。

解析モデル作成にあたり硬岩系および軟岩系岩盤の2つの解析領域および境界条件を設定し3次元FEMモデルを作成する。

(1) 硬岩系岩盤の解析領域およびモデル化

図 2-13 に設定された解析領域（破線領域）および境界条件を示す。南側，東側，西側の3面については，基本的に尾根線，谷線を境界とし，側方境界条件としては不透水境界とする。北側については，淡水が海底面へ流出する可能性が考えられることから，解析領域を数 km 程度延長し不透水境界とする。表 2-15 に境界条件を整理して示す。

表 2-15 境界条件一覧（硬岩系岩盤）

モデル位置	境界条件
モデル上面：地表面	大気圧境界（地表面で水頭固定；圧力水頭＝0）
海底面	海水静水圧境界（海水準；EL±0m，比重；1.03）
モデル側面：北　側	数 km 沖合部分で不透水境界
南　側	不透水境界（尾根線）
東　側	不透水境界（尾根線と谷線）
西　側	不透水境界（尾根線と谷線）
モデル底面	EL-2,000m 深度で不透水境界

また，図 2-14 に割れ目の連続性評価結果について示す。解析領域内には数 10km の連続性を有する割れ目が1本，数 km～10km の連続性を有する割れ目が 15 本，数 100m～10km の連続性を有する割れ目が多数存在しており，これらの割れ目についてはシェル要素としてモデル化し，解析に反映させる。図 2-15 に作成した硬岩系解析モデルを示す。また，解析モデル諸元を以下に整理する。

①節点総数；147,375

②要素総数；160,902

（岩盤部ソリッド要素数：134,946，割れ目シェル要素数：25,956）

③要素形状；岩盤部（8節点アイソパラメトリック要素）

割れ目（4節点アイソパラメトリック要素）

3次元モデルの作成にあたり，硬岩系の場合，岩盤は均質であるが割れ目の分布が

複雑であることから，平面的な 2 次元 FEM モデルを作成した後，深度方向に拡張する方法により 3 次元モデルの作成を行った。水平方向の基本的な要素の大きさは 1 辺約 300m，深度方向の要素層数は 14 層であり，地表面の形状と平行に作成している（底部境界については，EL-2,000m で平坦)。また処分深度対象となる EL-500m～EL-1,000m の範囲については，解析の信頼性向上のために要素の大きさを小さくしている。割れ目のモデル化にあたっては，傾斜は考慮せず全て垂直な割れ目としてモデル化を行っている。なお，地形の起伏が激しいことから，特に大きな谷線，尾根線には節点を配置することにより地形勾配のモデル化精度の向上を図っている。

(2) 軟岩系岩盤の解析領域およびモデル化

図 2-16 に設定された解析領域（破線領域）および境界条件を示す。南側側面については，基本的に尾根線を境界とし側方境界条件としては不透水境界とする。東側および西側については，尾根線部で不透水境界とする。北側については，淡水が海水面へ流出する可能性が考えられることから解析領域を数 km 程度延長し不透水境界とする。表 2-16 に境界条件を整理して示す。

表 2-16 境界条件一覧（軟岩系岩盤）

モデル位置	境界条件
モデル上面：地表面	大気圧境界（地表面で水頭固定；圧力水頭＝0）
海底面	海水静水圧境界（海水準；EL±0m，比重；1.03）
モデル側面：北　側	数 km 沖合部分で不透水境界
南　側	不透水境界（尾根線）
東　側	不透水境界（尾根線）
西　側	不透水境界（尾根線）
モデル底面	EL-2,000m 深度で不透水境界

また，図 2-17 に割れ目の連続性評価結果について示す。解析領域内には数 10km の連続性を有する割れ目が 1 本，数 km～10km の連続性を有する割れ目が 3 本，数 100m～10km の連続性を有する割れ目が約 10 本存在しており，これらの割れ目についてはシェル要素としてモデル化し，解析に反映させることとした。

図 2-18 に作成した軟岩系解析モデルを示す。また，解析モデル諸元を以下に整理する。

①節点総数；33,927

②要素総数；182,036

（岩盤部ソリッド要素数：174,965，割れ目シェル要素数：7,071）

③要素形状；岩盤部（4 節点アイソパラメトリック要素）

割れ目（3 節点アイソパラメトリック要素

3 次元モデルの作成にあたり，軟岩系モデルは複数の地質と割れ目が交差し複雑で

あることから，地層構造と割れ目の関係をできるだけ正確にモデル化するため，四面体要素により 3 次元 FEM モデルを作成した。四面体要素 1 辺の長さは，基本的に約 300m としている。割れ目のモデル化にあたっては，傾斜は考慮せず全て垂直な割れ目としてモデル化を行っている。

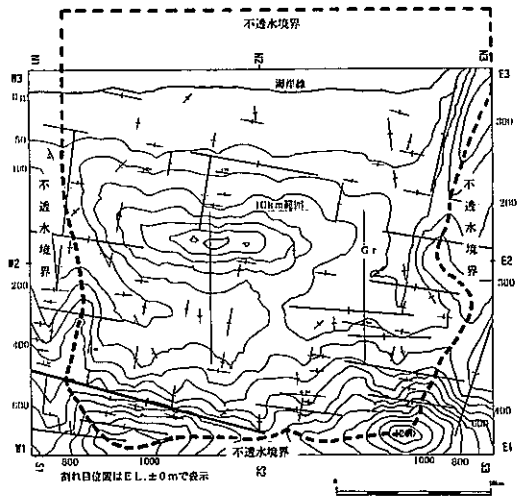


図 2-13 解析領域および境界条件（硬岩系岩盤）

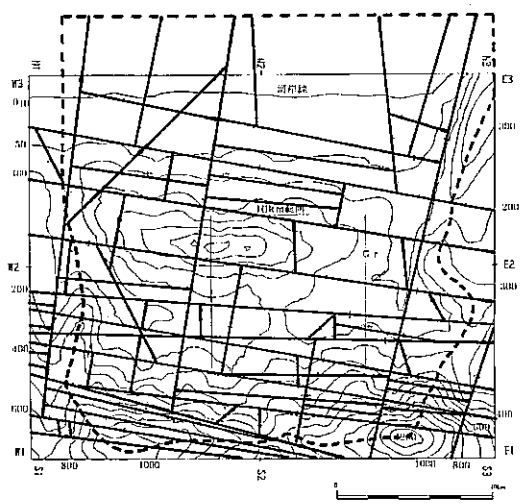
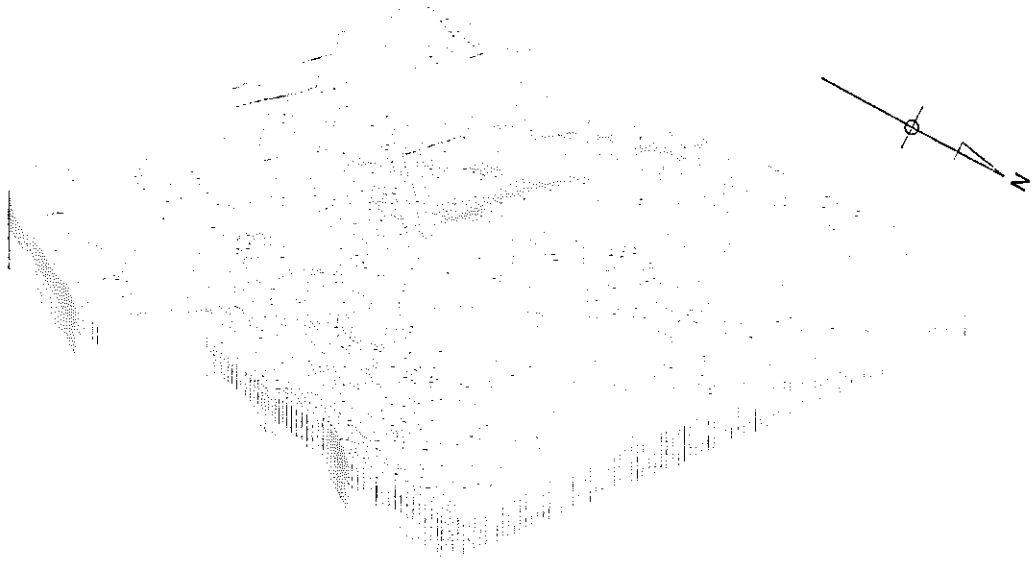
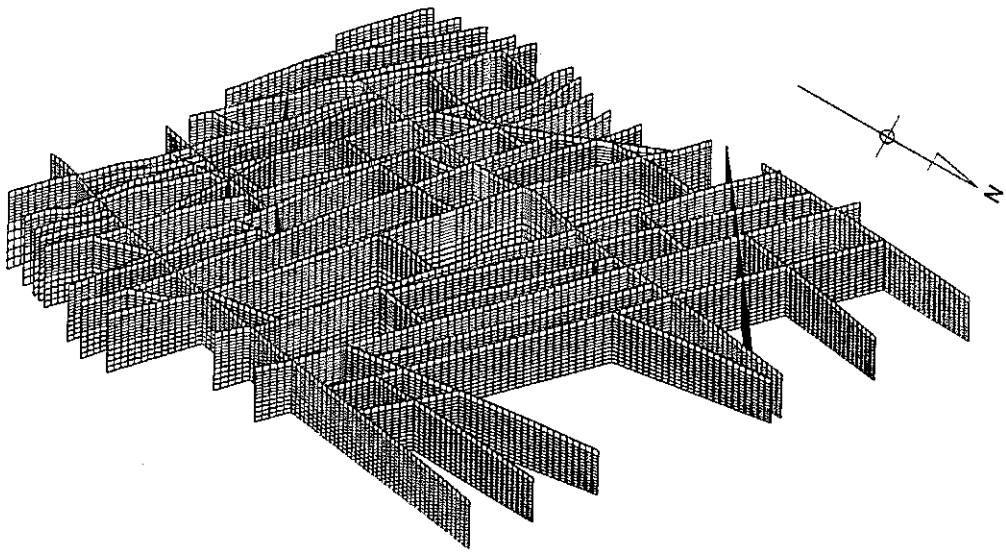


図 2-14 割れ目の連続性評価結果（硬岩系岩盤）



(a) 岩盤部ソリッド要素（要素数；134,946）



(b) 割れ目部シェル要素（要素数；25,956）

図 2-15　3 次元 FEM 解析モデル図（硬岩系岩盤）

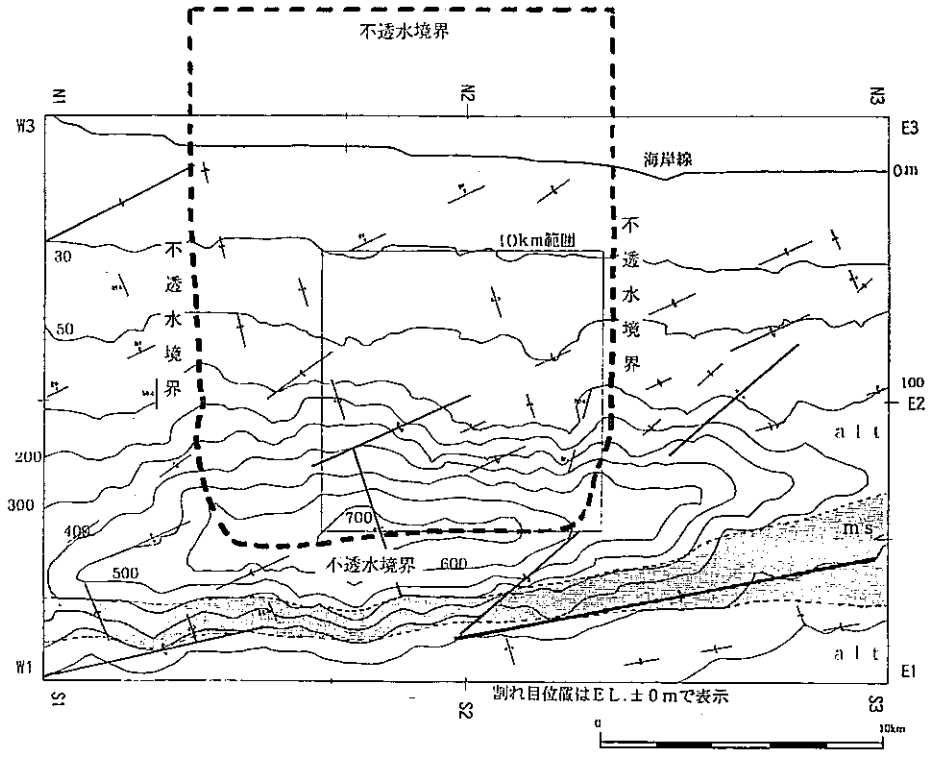


図 2-16 解析領域および境界条件（軟岩系岩盤）

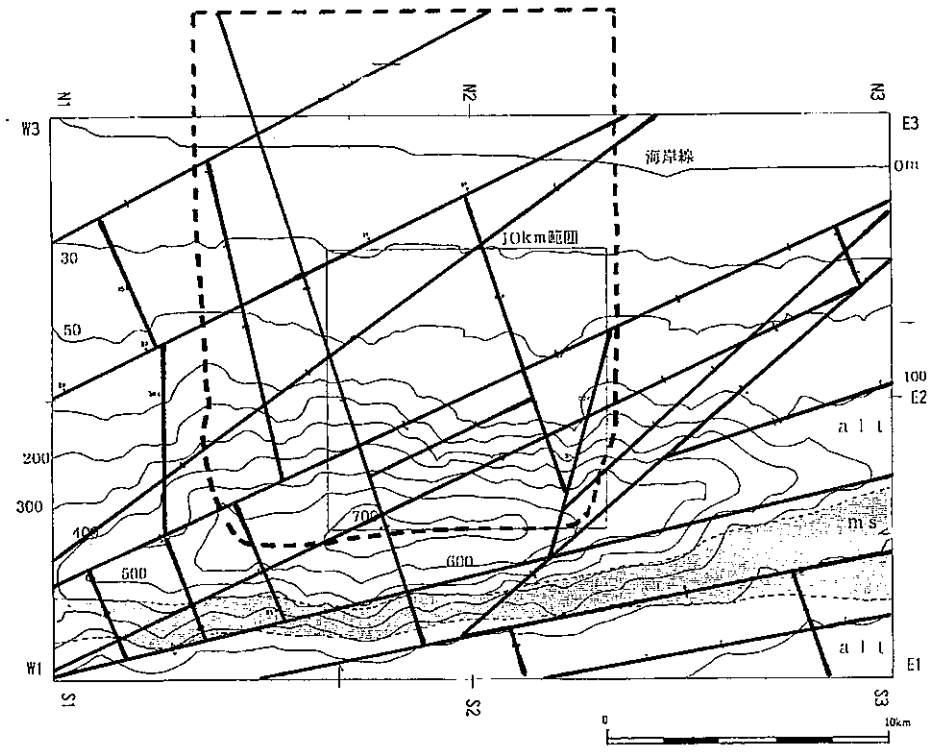
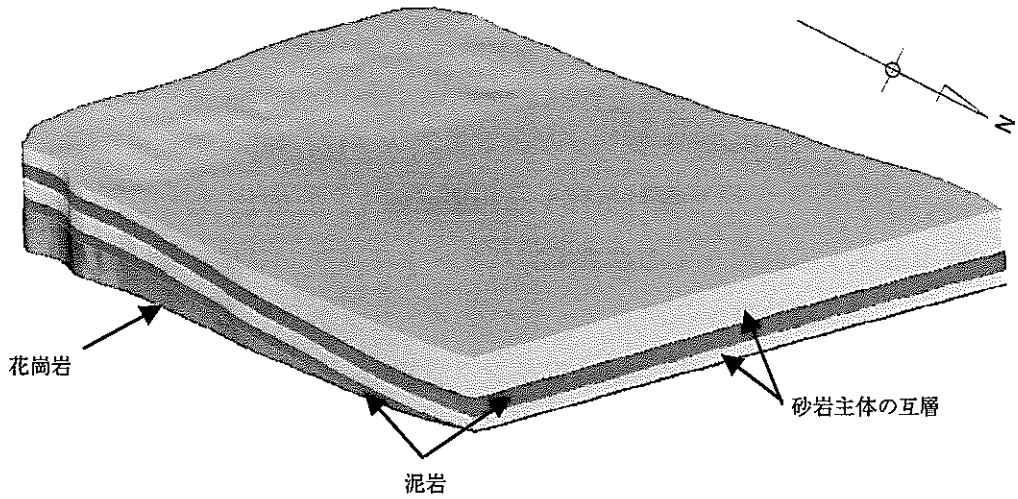
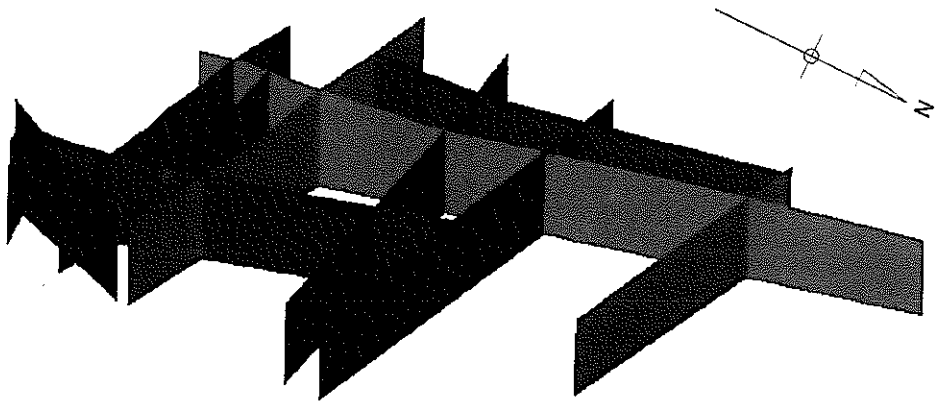


図 2-17 割れ目の連続性評価結果（軟岩系岩盤）



(a) 岩盤部ソリッド要素（要素数；174,965）



(a) 割れ目部シェル要素（要素数；7,071）

図 2-18　3 次元 FEM 解析モデル図（軟岩系岩盤）

2.3.3 解析結果

(1) 硬岩系岩盤

1) 全水頭分布

図 2-19～図 2-21 に各深度における水平断面の全水頭コンター図を示す。これより仮想処分場候補エリア内の地下水流動についてみると，候補エリア内の地下水流向

は一様ではなく北西部は北向き（海側），北東部は北～北東～東向き，中央部は南→西あるいは南→東向き，南西部は北→西向き，南東部は北→北東向きと複雑であることがわかる。地表面形状が値か深部にまで及んでおり，深度が異なっても地下水の平面的な流向はさほど変わらない。

また，図 2-22 および図 2-23 に鉛直方向の全水頭コンターを示す。平面的な地下水流向の違いから，仮想処分場候補エリアを大きく 4 等分した各エリアの中心をとおる南北および東西方向断面を選定し，南北方向 2 断面，東西方向 2 断面について示す。南北方向 A-A 断面より候補エリア北部の山地が分水嶺となり北側と南側の流動系が異なることがわかる。また，北部は動水勾配が大きいが流向は下向き，南部は動水勾配は小さいが流向は上向きとなっている。B-B 断面についてみると，候補エリア北部では全水頭の変化が小さく動水勾配が小さいと判断できる。東西方向 C-C 断面よりちょうど候補エリアの西側境界付近が分水嶺となり候補エリア内（北部領域）の流向は東側向きであり，下向き流れの成分を有することが分かる。また，D-D 断面より候補エリア内（南部領域）は全水頭の変化が小さく，動水勾配が小さいが，若干の上向き流れ成分を有していると判断できる。

2) ダルシー流速分布

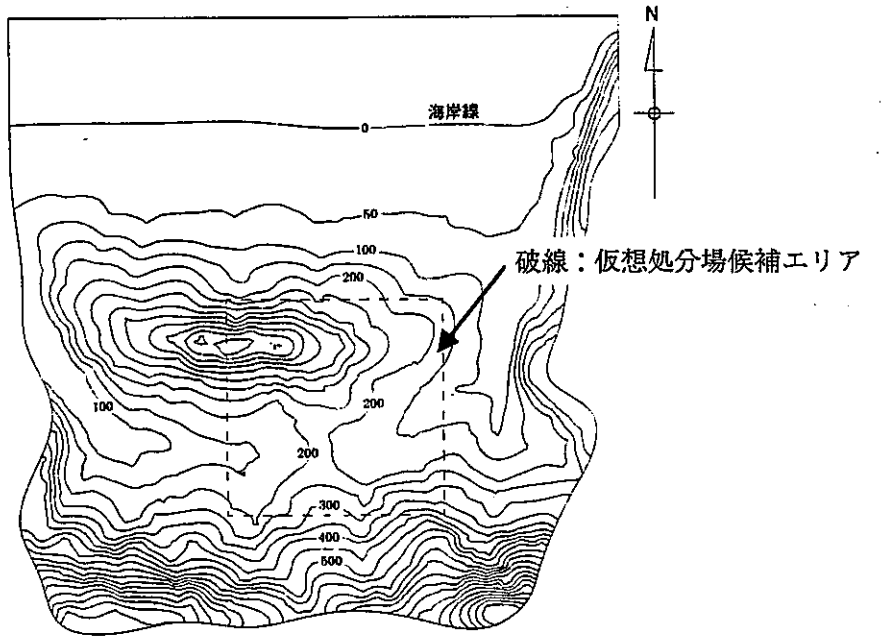
図 2-24 に EL-300m および EL-750m レベルにおける水平断面のダルシー流速コンター図を示す。これは，岩盤内の流速のみを対象とした図化の結果であり，割れ目の流速については無視したものとなっている。なお，解析領域内の地下水流速の最大値は，岩盤内で 0.112m/y，割れ目内で 7.488m/y であった。EL-300m レベルの流速コンターより，仮想処分場候補エリア内の地下水流速は 0.05m/y 未満であり，北西部および南側の山地部を除くと 0.02m/y 未満程度の流速であることが分かる。EL-750m レベルについてもほぼ同様であり，全体的に流速が小さくなっている。地下水流速の傾向としては，山地部は流速が大きく沢部は比較的流速が小さくなっている。

また，図 2-25 および図 2-26 に鉛直断面のダルシー流速コンターを示す。南北方向断面（A-A および B-B 断面）をみると，必ずしも深部流速が遅いわけではないことが分かる。これは，割れ目の影響によるものと考えられる。東西方向断面（C-C および D-D 断面）では，深部ほど流速が小さくなる傾向が認められる。鉛直断面における地下水流速の傾向としてもやはり同一深度では山地部よりも沢部の方が流速が小さくなっている。

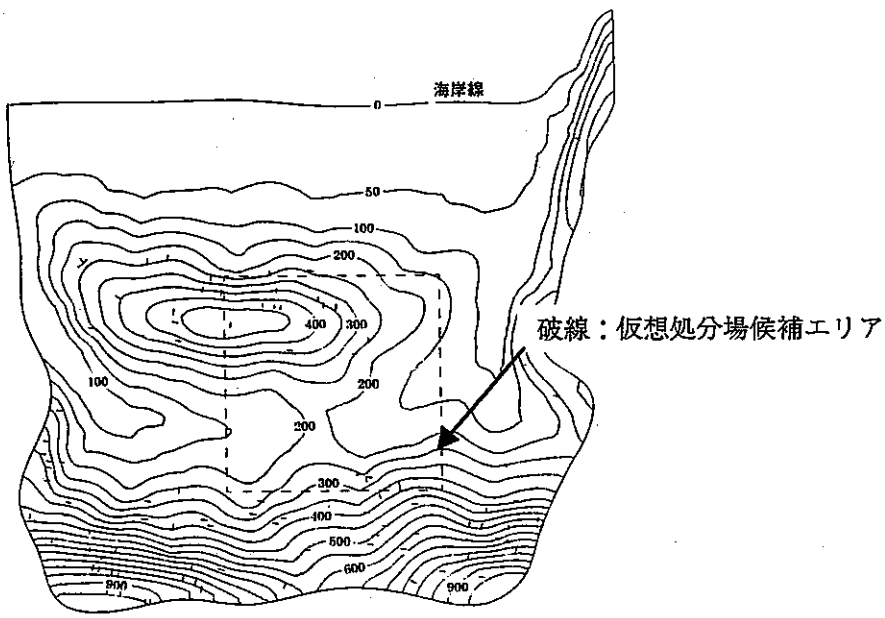
3) Z 方向ダルシー流速分布

地下水の流向に着目し，主に上下方向の流速成分を評価するために図 2-27～図 2-29 に各断面における Z 方向（鉛直方向）のダルシー流速分布を示す。前述のように，水平断面および鉛直断面の結果をみると，仮想処分場候補エリア北部の山地は主に

下向き流れ（緑色の部分）で，南部の沢部は上向き流れ（黄色の部分）であることが分かる。上向き流れ成分の値としては，浅い深度（～EL-300m）で 0.02m/y 未満，それ以深では 0.01m/y 未満である。

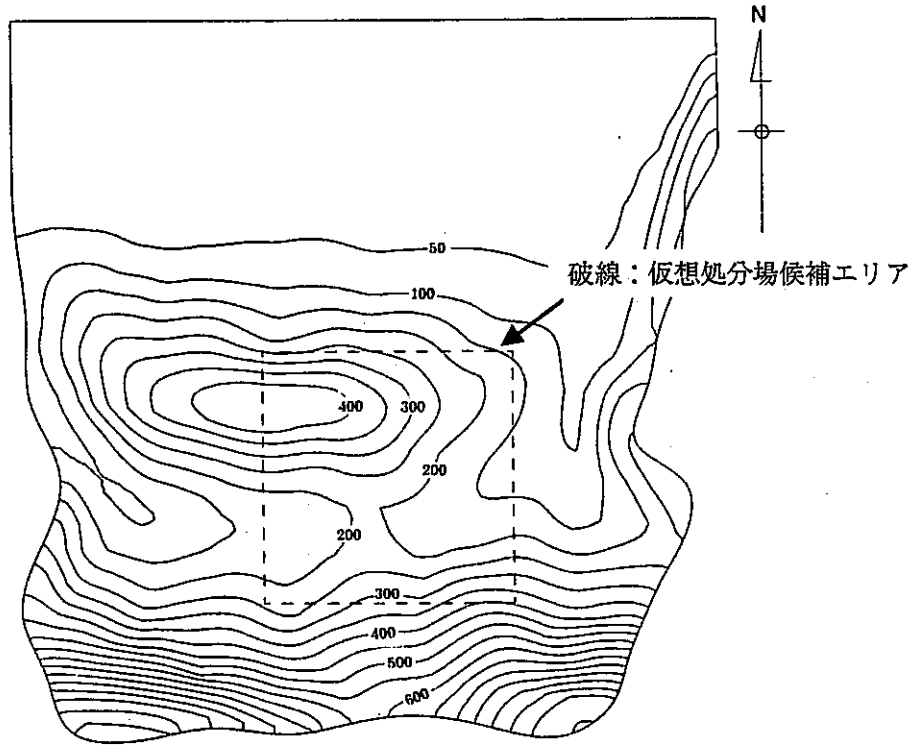


(a) 地表面での全水頭コンター図（標高コンター）

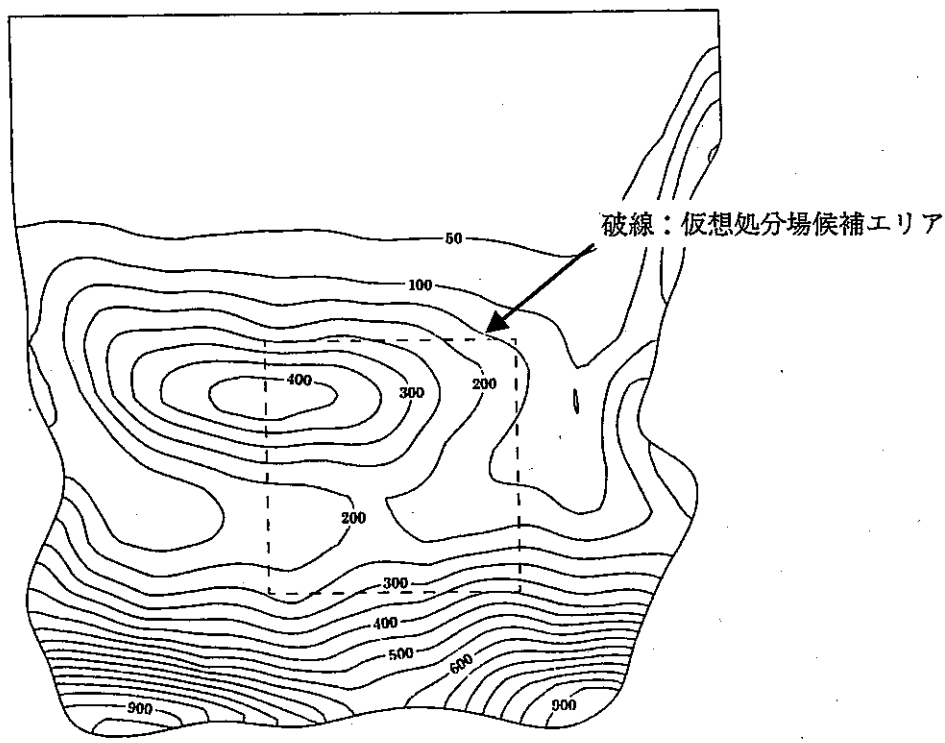


(b) EL±0m レベルでの全水頭コンター図

図 2-19 全水頭コンター図（その１）

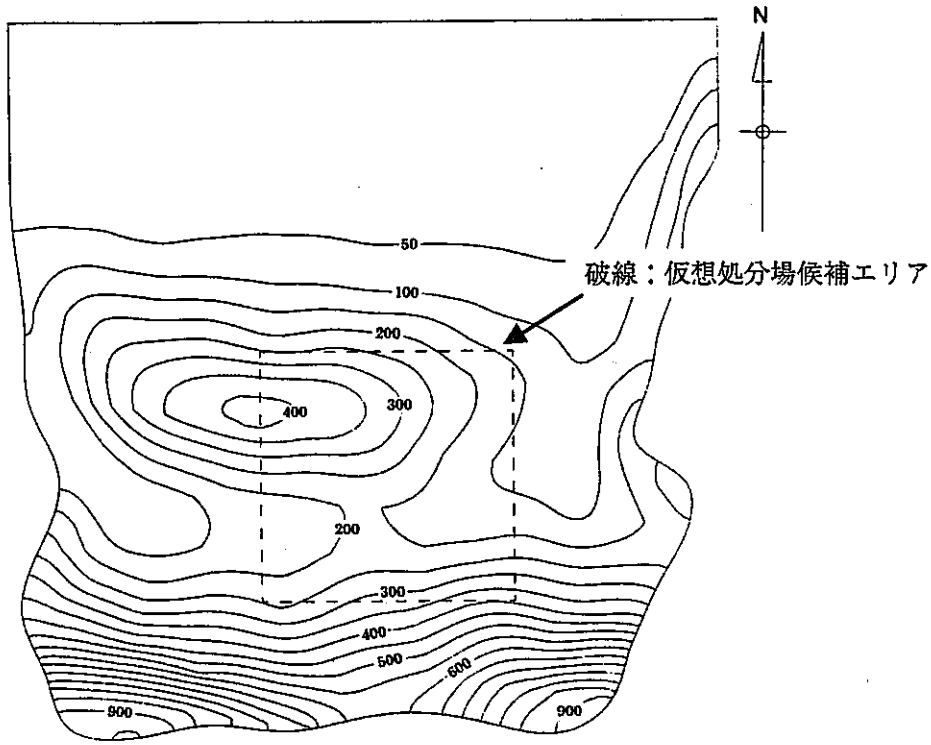


(a) EL-300m レベルでの全水頭コンター図

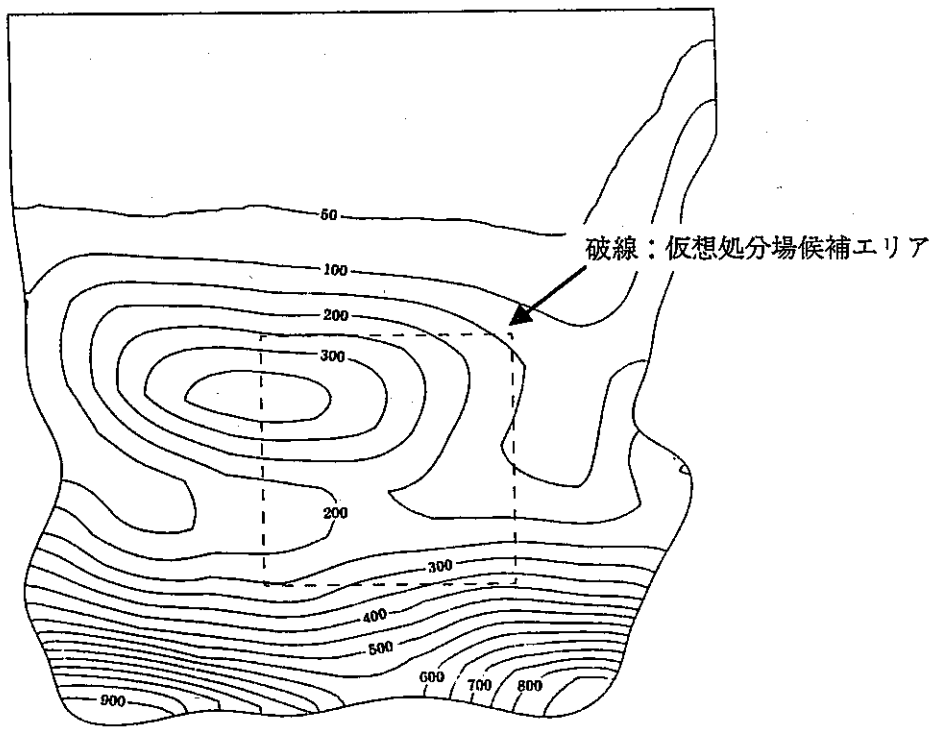


(b) EL-500m レベルでの全水頭コンター図

図 2-20 全水頭コンター図（その２）

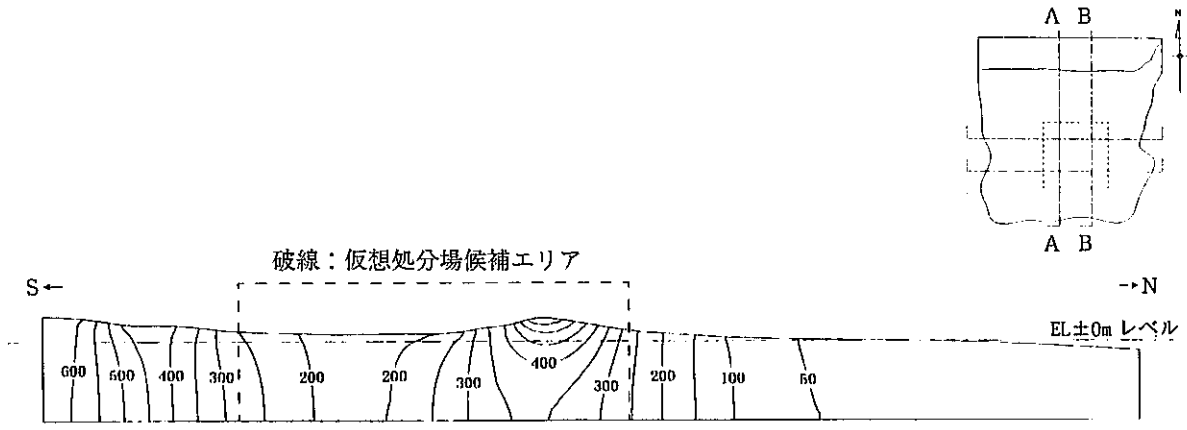


(a) EL-750m レベルでの全水頭コンター図

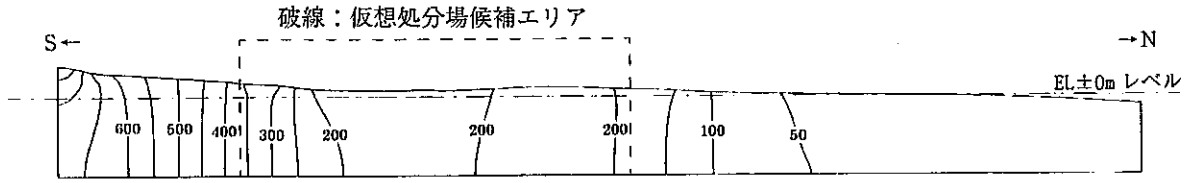


(b) EL-1000m レベルでの全水頭コンター図

図 2-21 全水頭コンター図（その３）

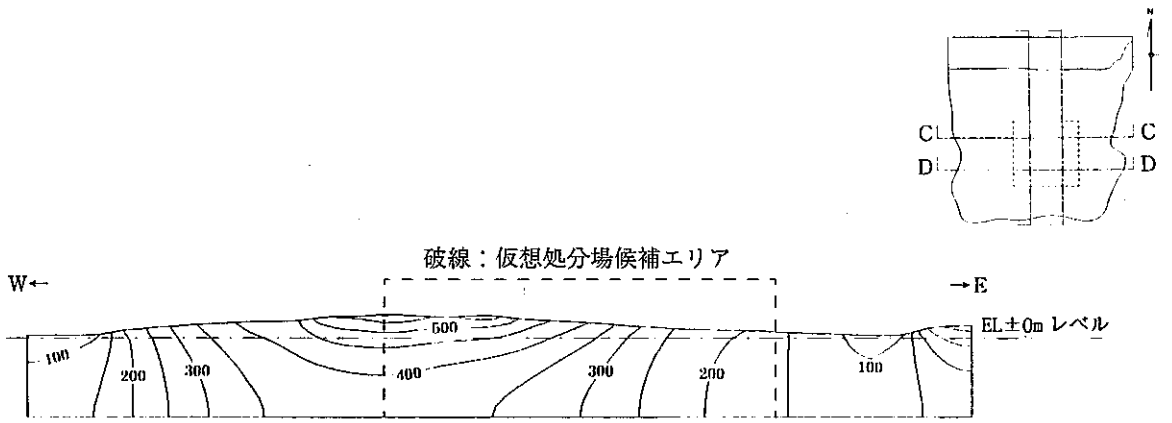


(a) 南北方向断面（A-A 断面）での全水頭コンタ

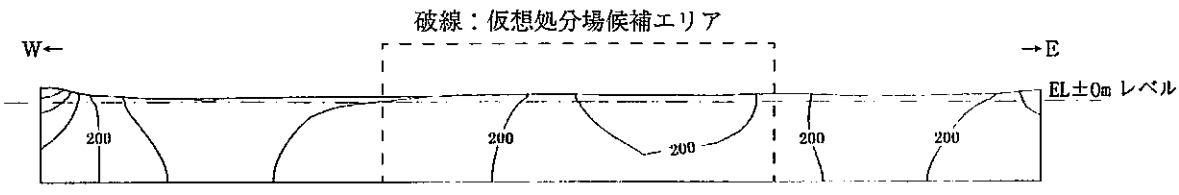


(b) 南北方向断面（B-B 断面）での全水頭コンタ

図 2-22 全水頭コンター図（その４）

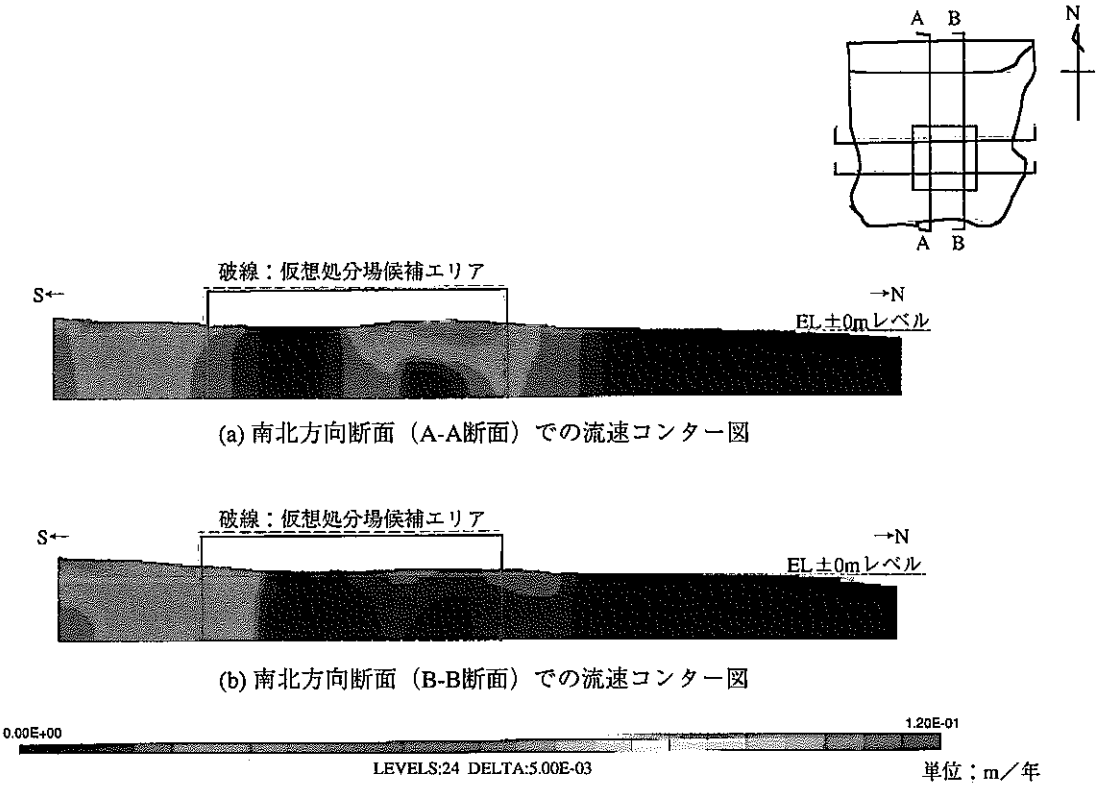


(a) 東西方向断面（C-C 断面）での全水頭コンタ



(b) 東西方向断面（D-D 断面）での全水頭コンタ

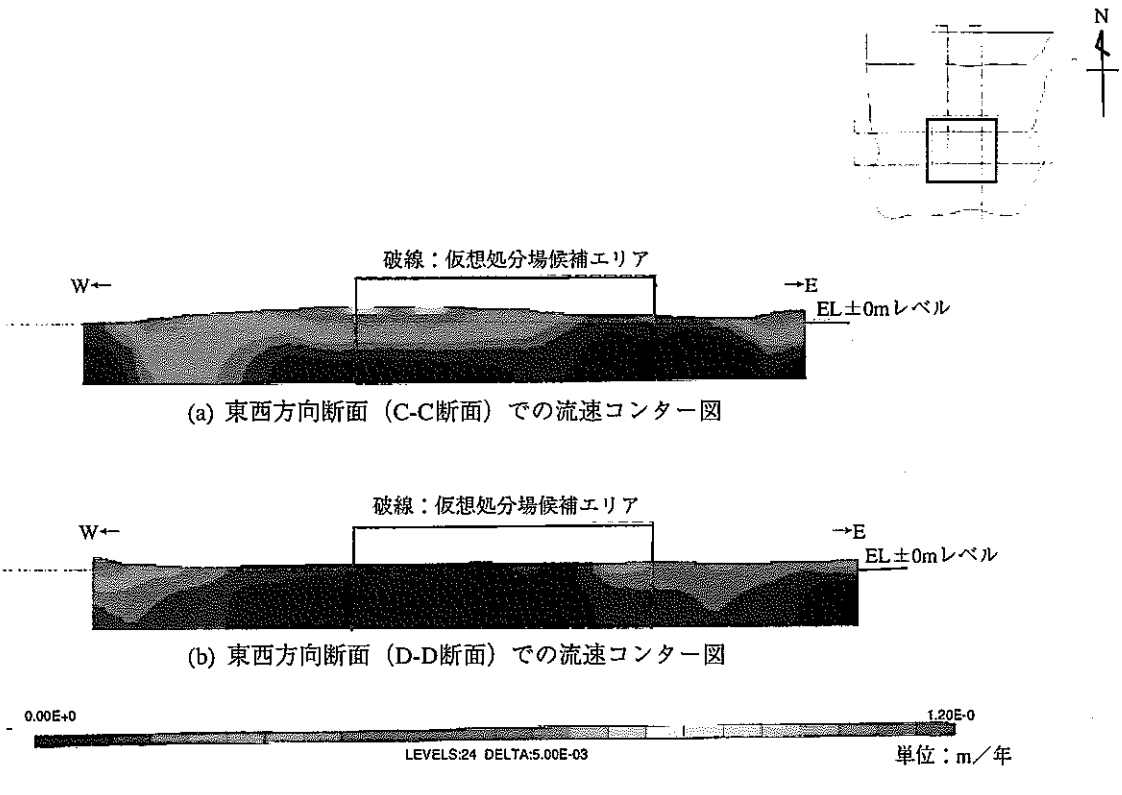
図 2-23 全水頭コンター図（その５）



(a) 南北方向断面（A-A断面）での流速コンター図

(b) 南北方向断面（B-B断面）での流速コンター図

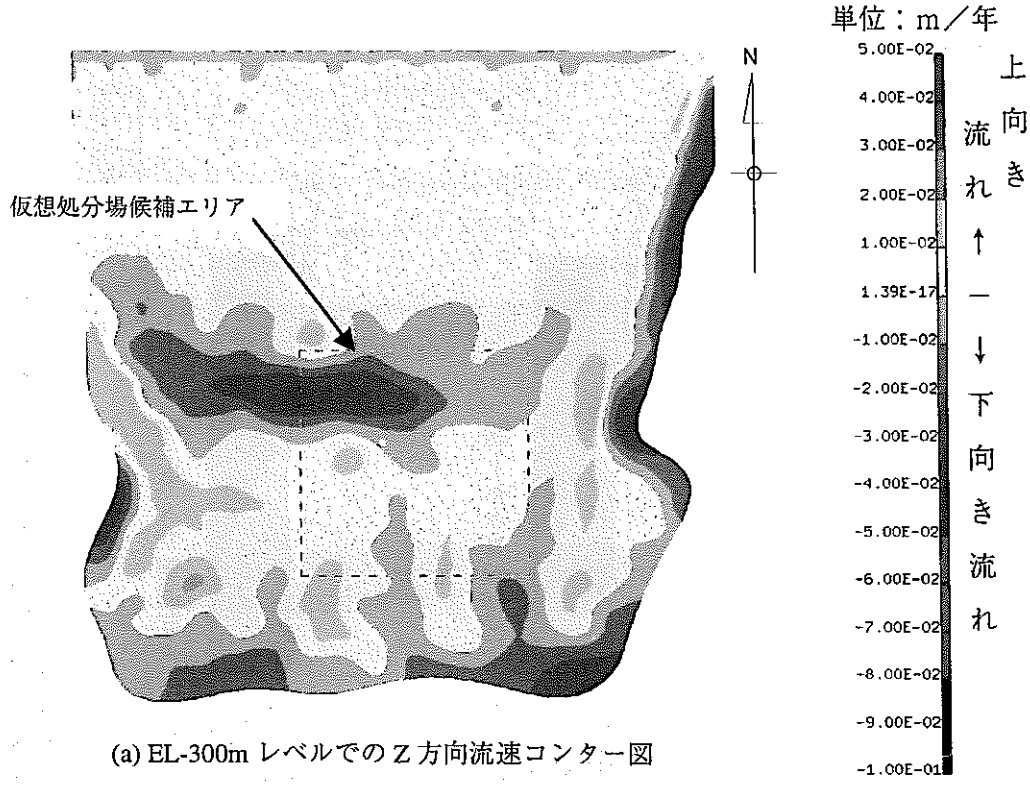
図 2-25 流速コンター図（その 2）



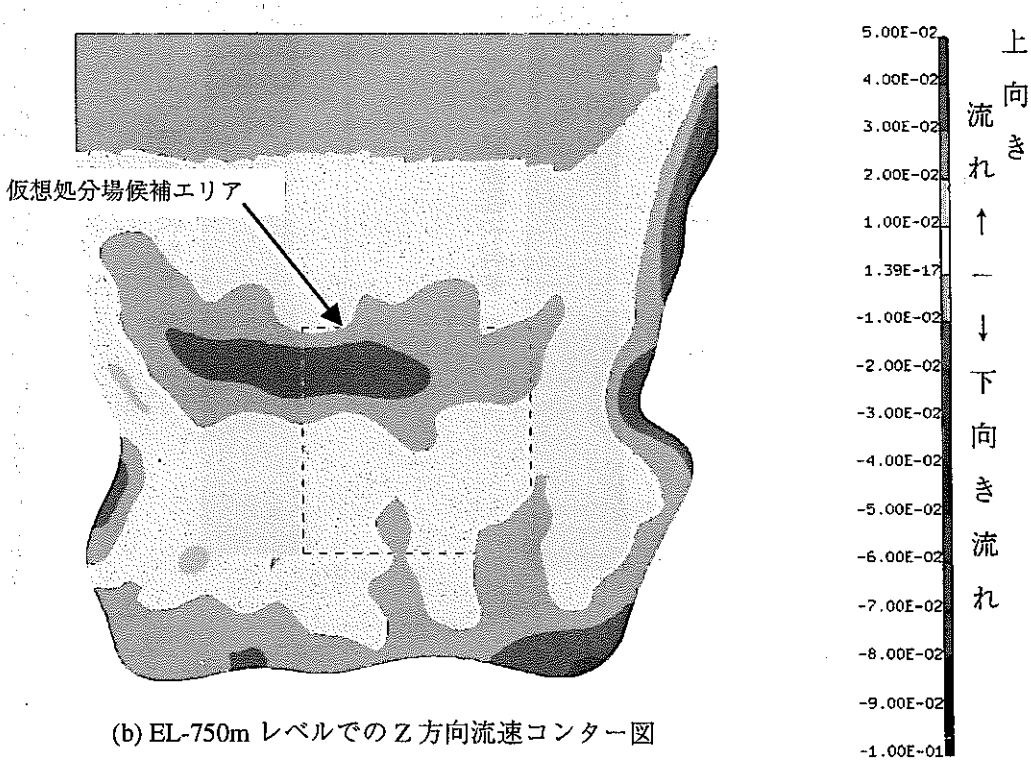
(a) 東西方向断面（C-C断面）での流速コンター図

(b) 東西方向断面（D-D断面）での流速コンター図

図 2-26 流速コンター図（その 3）



(a) EL-300m レベルでのＺ方向流速コンター図



(b) EL-750m レベルでのＺ方向流速コンター図

図 2-27 Ｚ方向流速コンター図（その１）

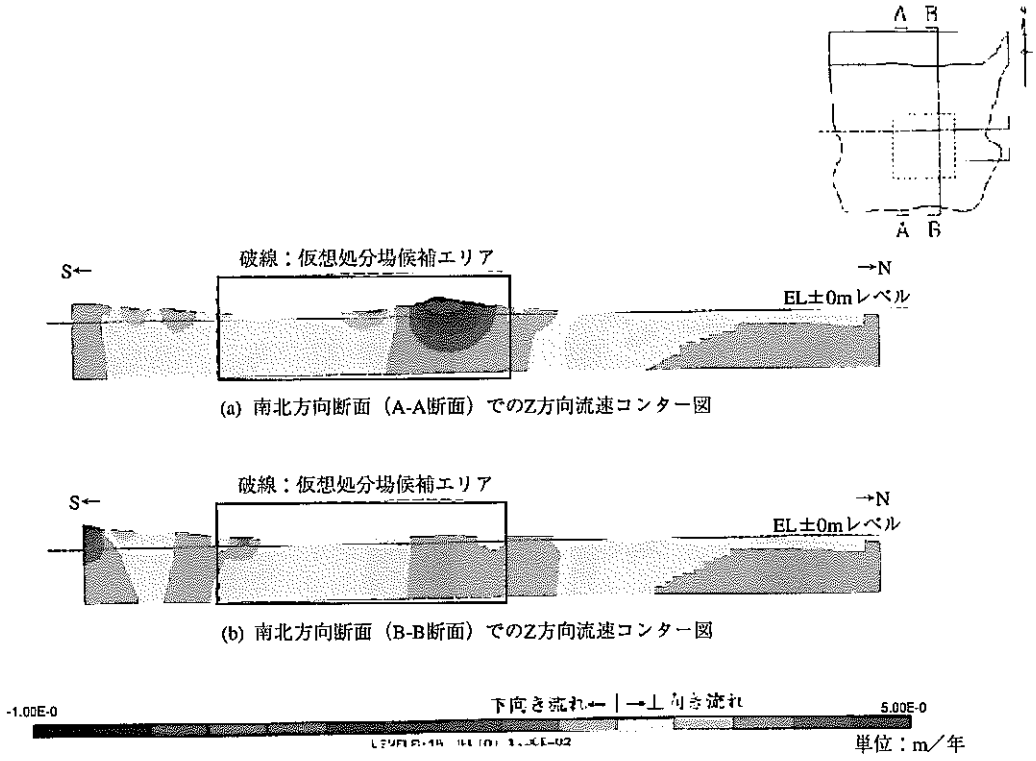


図 2-28 Z 方向流速コンター図（その 2）

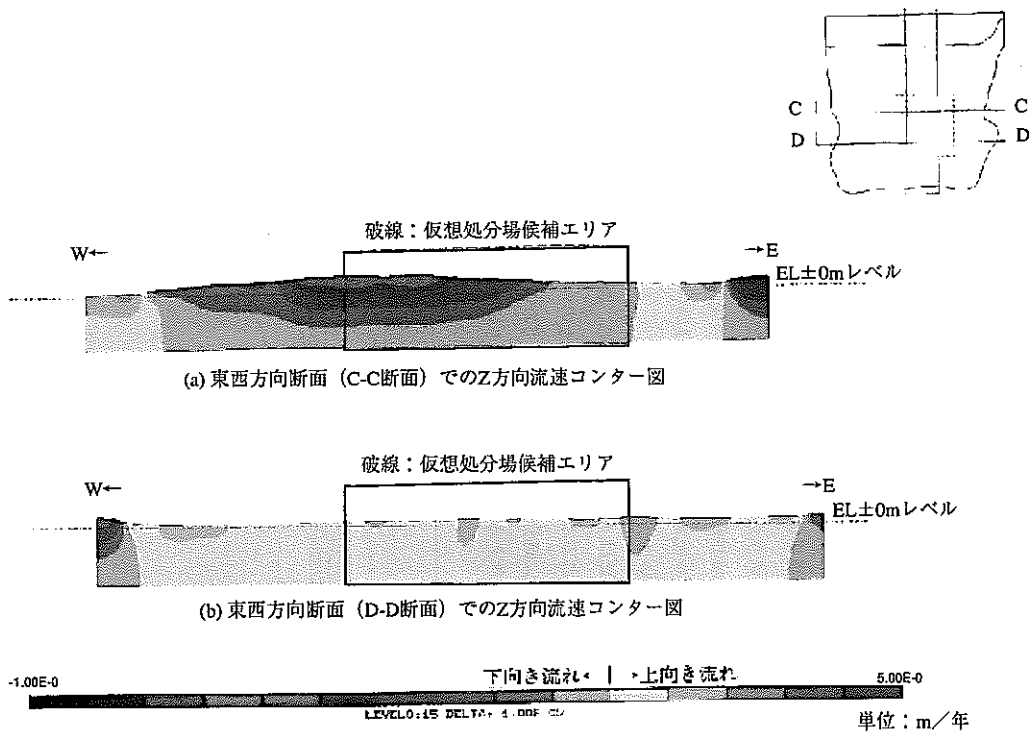


図 2-29 Z 方向流速コンター図（その 3）

4) 塩淡境界

簡易評価手法に基づいて得られる塩淡境界面を図 2-30 および図 2-31 に示す。図 2-30 は各深度における塩淡境界線を平面に投影したものであり，図 2-31 は仮想処分場候補エリア内をとおる南北断面（A-A および B-B 断面）における塩淡境界線を示したものである。これらより，塩淡境界は海岸線よりほぼ直線的に内陸側に存在し，塩水領域はくさび状に淡水の下部に入り込んでいる。なお，平面投影図（図 2-30）おけるモデル北東部では塩淡境界線と海岸線が交差（塩淡境界線が海岸線の沖側にある）しているが，これはモデル北東部が半島状の地形であり，淡水の動水勾配が大きく塩水を押し出す形となっているためである。評価上は，塩淡境界面は不透水境界的であるため，塩淡境界周辺の淡水の地下水流動は境界面に沿って流れることになり，境界面付近の地下水流向は上向き成分を有することになる。ただし，候補エリアについてみると塩淡境界は入っておらず，領域内の地下水流動に与える塩淡境界の影響は小さいと考えられる。

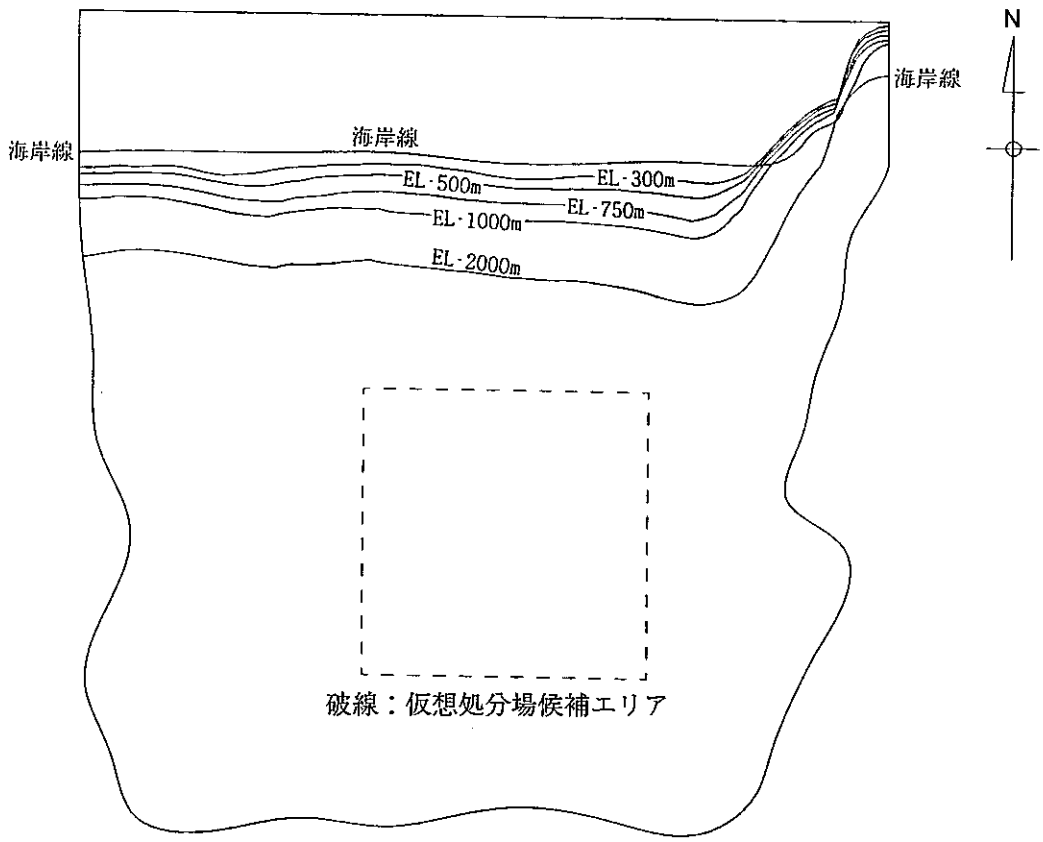


図 2-30 塩淡境界の平面投影図

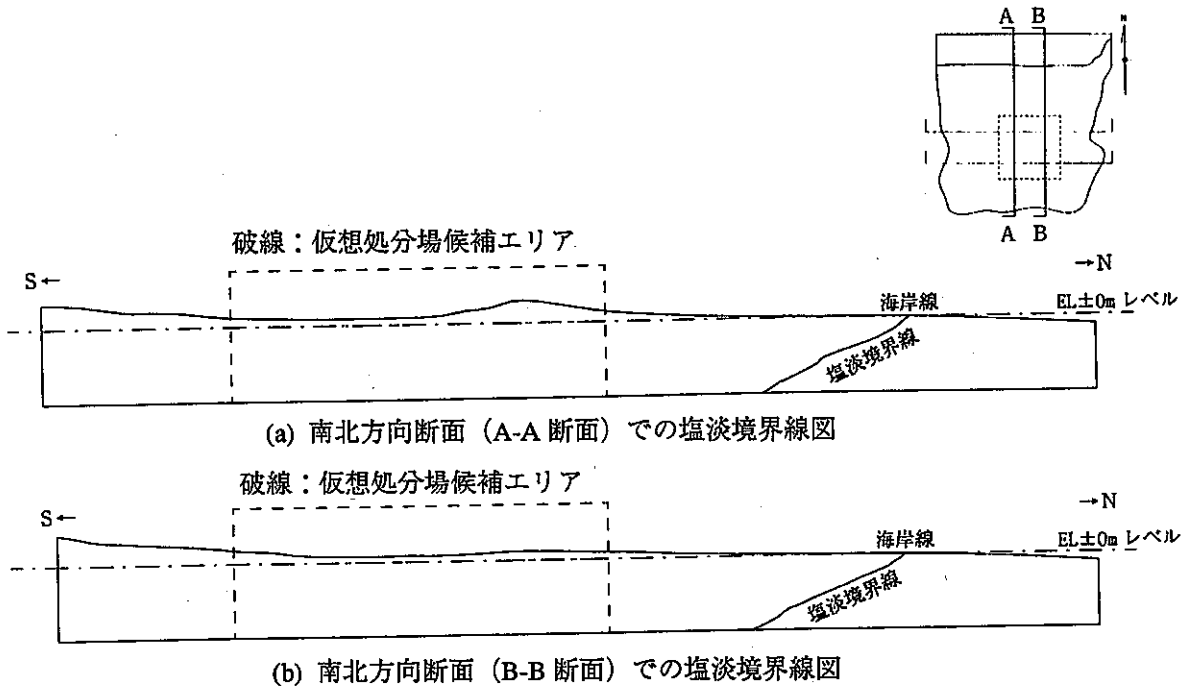


図 2-31 南北方向断面での塩淡境界線図

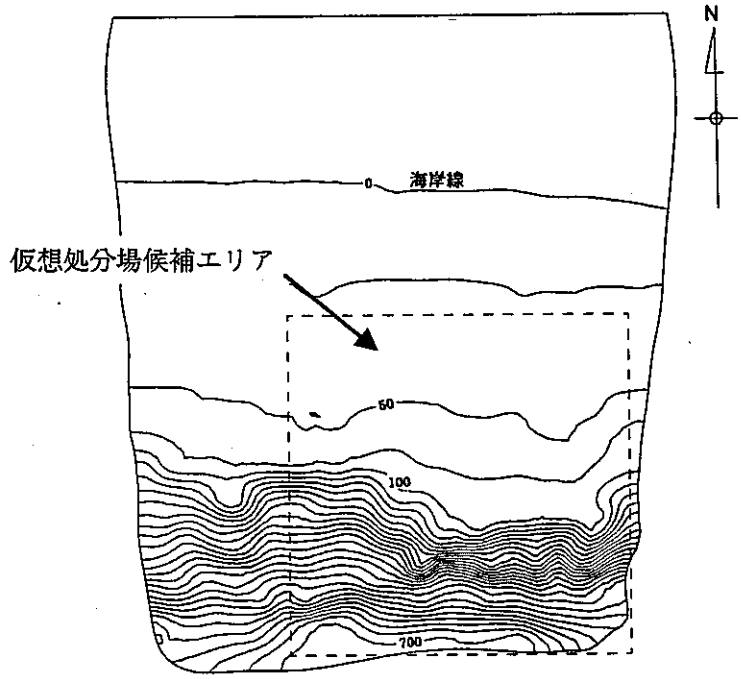
(2) 軟岩系岩盤

1) 全水頭分布

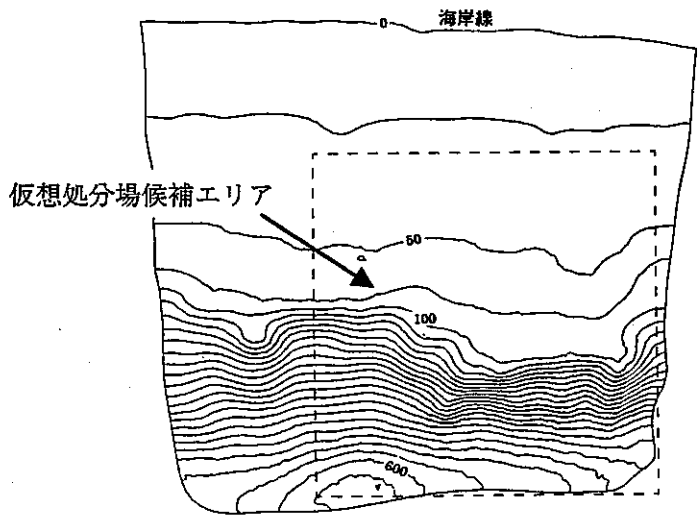
図 2-32～図 2-34 に各深度における水平断面の全水頭コンター図を示す。これより仮想処分場候補エリア内の地下水流動についてみると，同エリア内での地下水流向は北向き方向でありほぼ一様であることが分かる。この傾向は地表面形状からも予測可能なものであり，深度が異なっても地下水の平面的な流向はさほど変わらない。

また，図 2-35 に鉛直断面の全水頭コンターを示す。上記のように南北方向の一様流れ場であることから，仮想処分場候補エリアの中心部をとおる南北方向 1 断面について示している。南北方向断面より透水性の比較的高い砂岩を主体とする互層部ではほぼ全水頭コンターが直立する静水圧分布であるが，透水性の低い泥岩層では，山地部は下向き動水勾配，平野部では上向き動水勾配を示す全水頭コンターとなっている。これは，透水性の低い泥岩層がキャップロックとして作用しているためであると考えられる。均質地盤の場合，基本的に山地部で潜り込んだ地下水は平野部にて湧き上がる傾向となるが，ここでは透水性の低い泥岩層によりその上下に存在する砂岩互層内地下水の水頭差がより大きく生じるため，砂岩層内の上向きおよび下向き動水勾配が顕著となる。仮想候補エリアに着目すると，堆積岩系における処分対象深度の岩種は上部の泥岩層に相当するが，特に上記のような流れの傾向が顕著であることが分かる。しかし，透水性の小さい泥岩層であること，仮想候補エリア北部の平野部では全水頭コンターの密度が粗いことなどから，上向き流れといえども地下水流速は非常に小さいと考えられる。なお，下側の砂岩互層およびその深

部の泥岩層，花崗岩の水頭がほぼ静水圧分布を示していることから，地下水はほぼ砂岩互層をメインに流動していると考えられる。

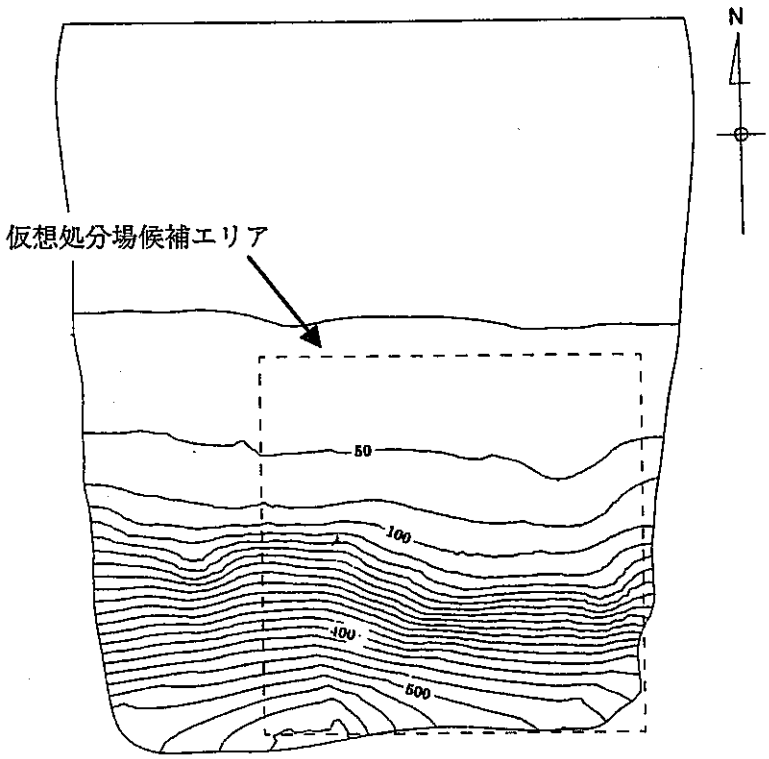


(a) 地表面での全水頭コンター図（標高コンター）

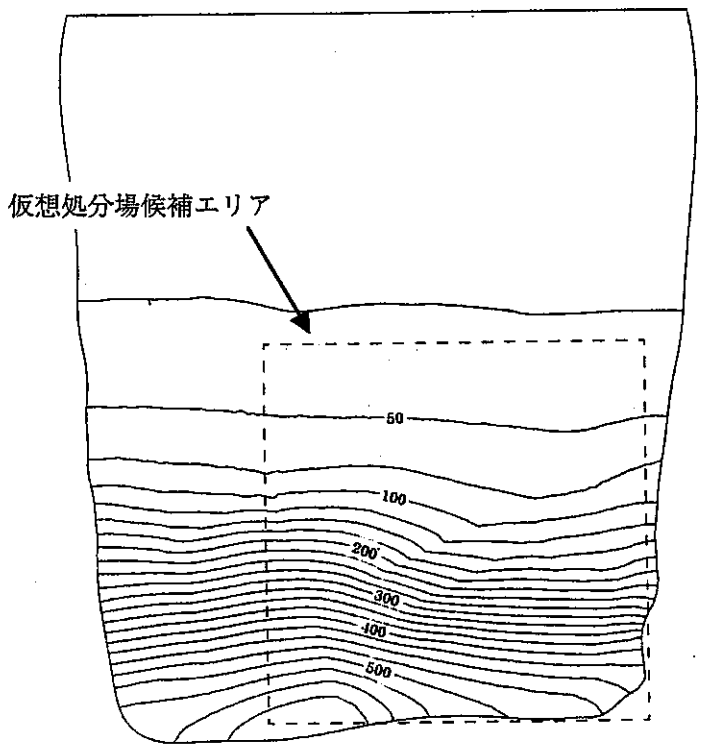


(b) EL±0m レベルでの全水頭コンター図

図 2-32 全水頭コンター図（その１）

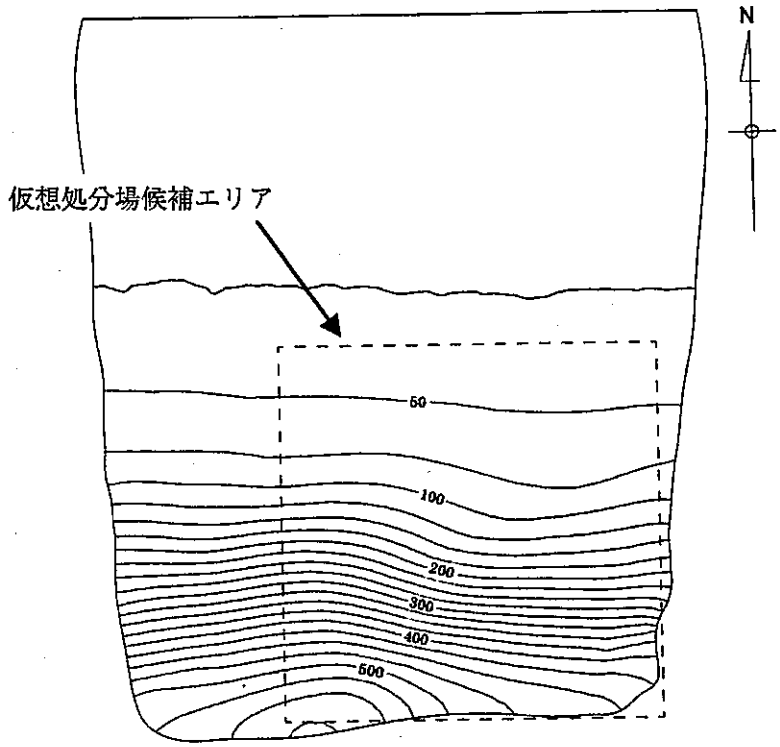


(a) EL-250m レベルでの全水頭コンター図

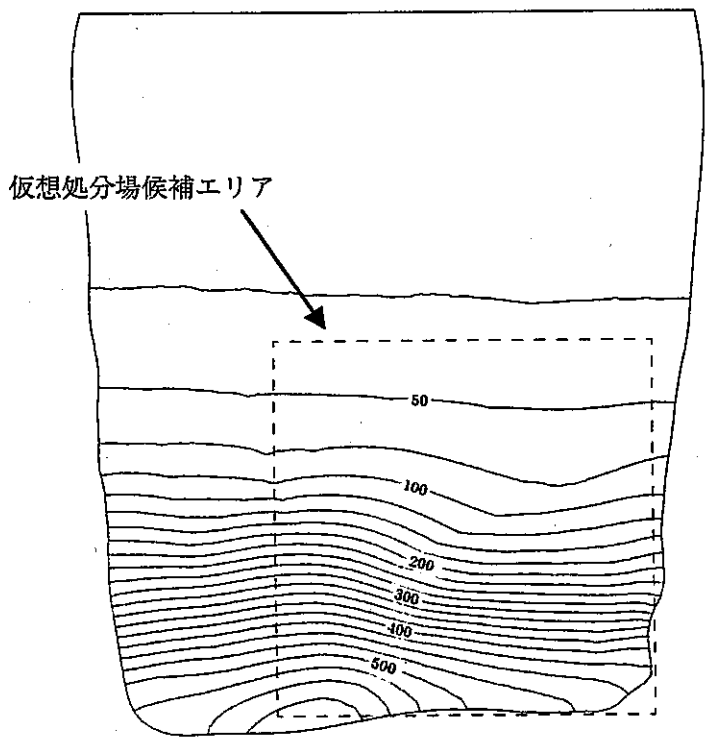


(b) EL-500m レベルでの全水頭コンター図

図 2-33 全水頭コンター図（その２）



(a) EL-750m レベルでの全水頭コンター図



(b) EL-1000m レベルでの全水頭コンター図

図 2-34 全水頭コンター図（その３）

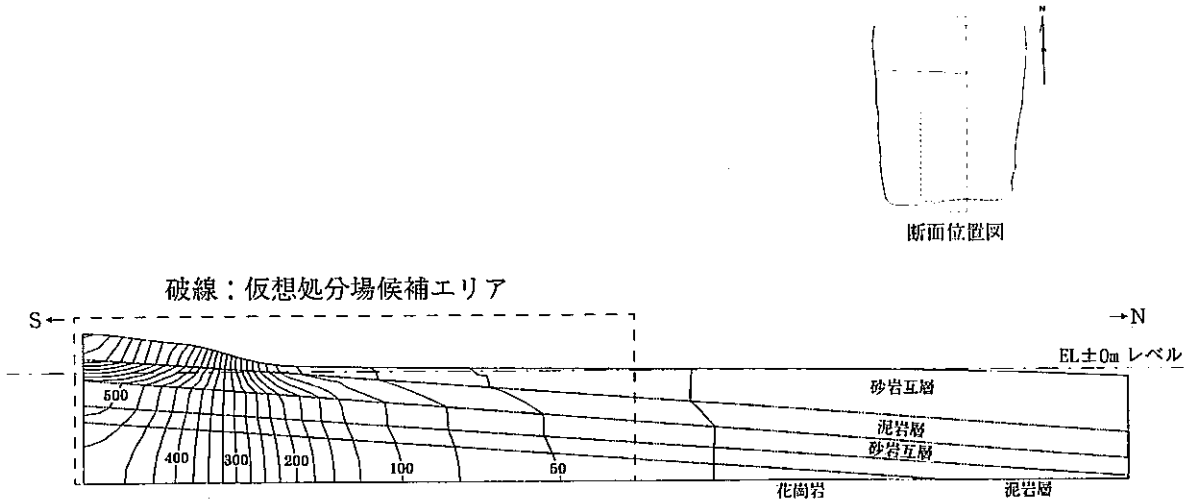
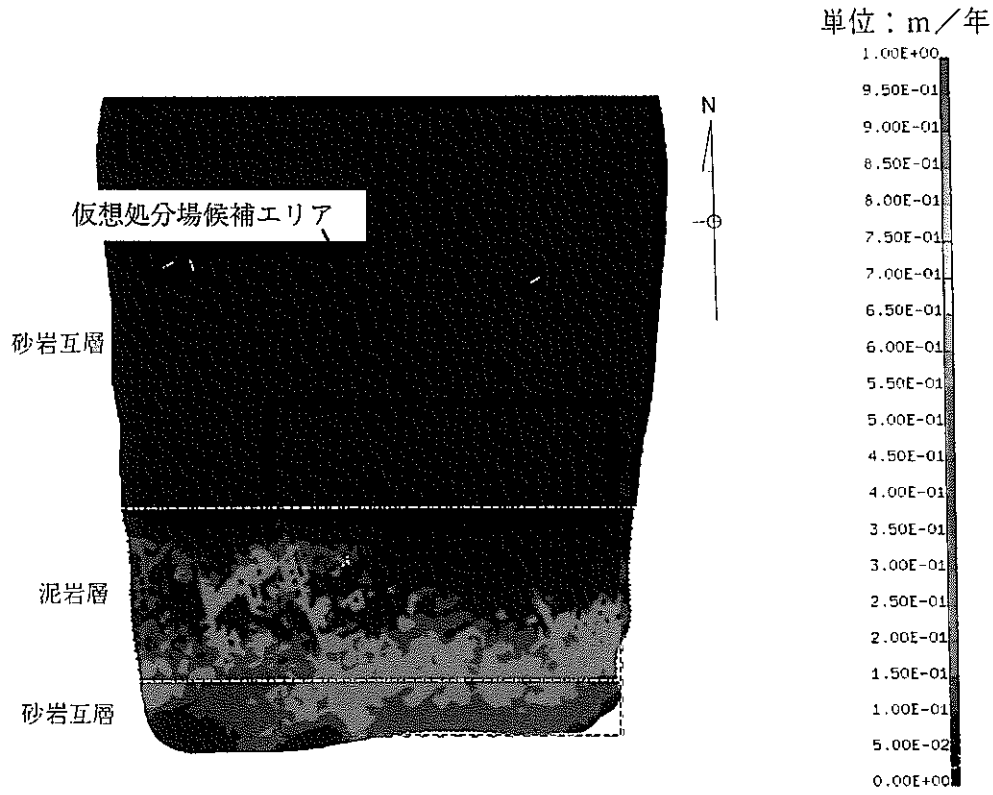


図 2-35 全水頭コンター図（その４）

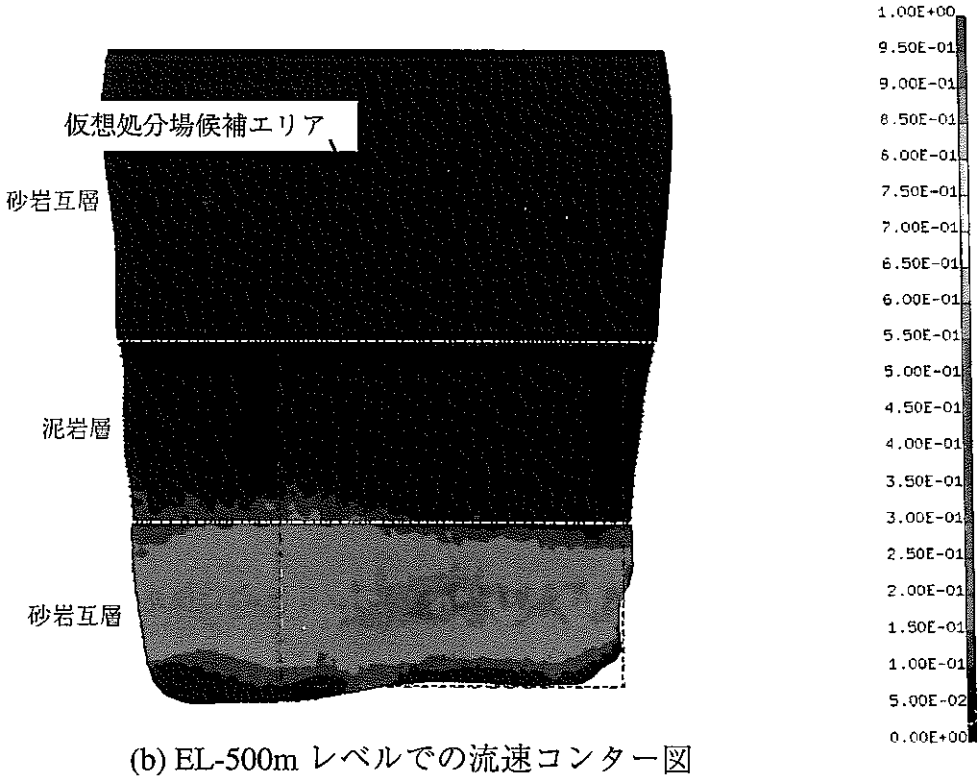
2) ダルシー流速分布

図 2-36 に EL-250m および EL-500m レベルにおける水平断面のダルシー流速コンター図を示す。これは岩盤内の流速のみを対象とした図化結果であり，割れ目の流速については無視したものとなっている。なお，解析領域内の地下水流速の最大値は，岩盤内で 0.977m/y，割れ目内で 6.410m/y であった。EL-250m レベルでは仮想処分場候補エリア中央部が泥岩層，北部および南部が砂岩互層であるが，地層分布とは特に関係なく北部平野部の流速が小さく，南部山地部の流速が大きいことが分かる。ただし，平野部の地下水流速は 0.05m/y 未満であり，山地部においても 0.3m/y 未満程度の流速となっている。EL-500m レベルでは仮想処分場候補エリアの北部が泥岩層，南部が砂岩互層に二分されるが泥岩層の地下水流速は 0.05m/y 未満，砂岩互層においては 0.4m/y 未満程度であり，透水性の小さい泥岩層の方が地下水流速は小さいことが分かる。

また，図 2-37 に南北方向鉛直断面のダルシー流速コンターを示す。図 2-37 より，やはり仮想候補エリア南部の山地付近は地下水流速が速く，北部平野部は流速が遅いことが分かる。また，地層の違いでは透水性の高い砂岩互層の流速が他の地層よりも速いことが分かる。



(a) EL-250m レベルでの流速コンター図



(b) EL-500m レベルでの流速コンター図

図 2-36 流速コンター図（その１）

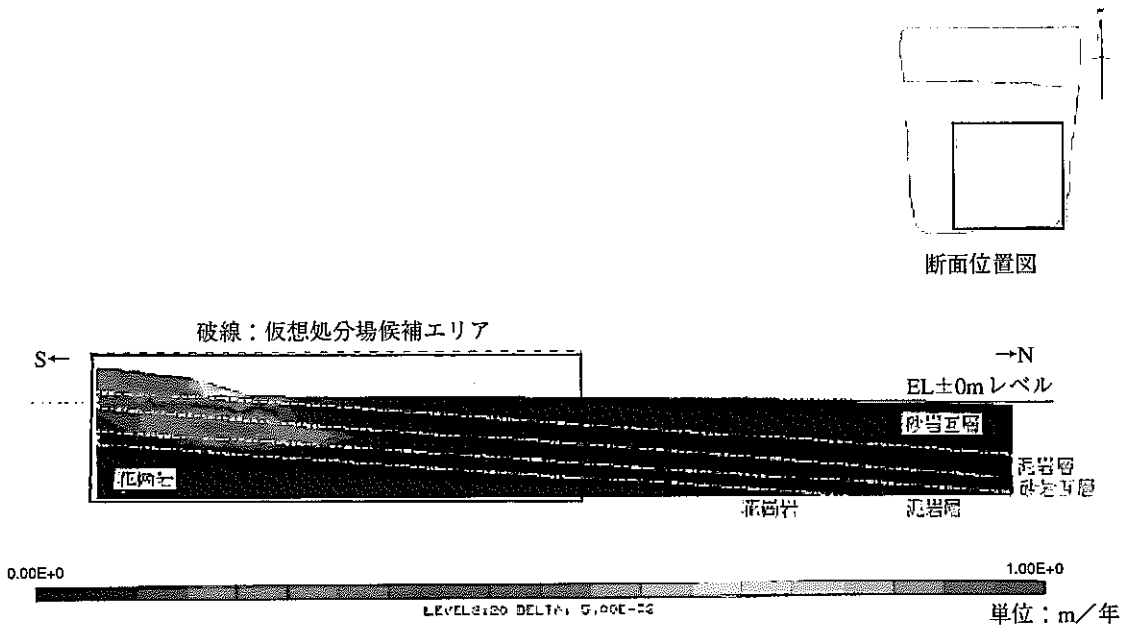
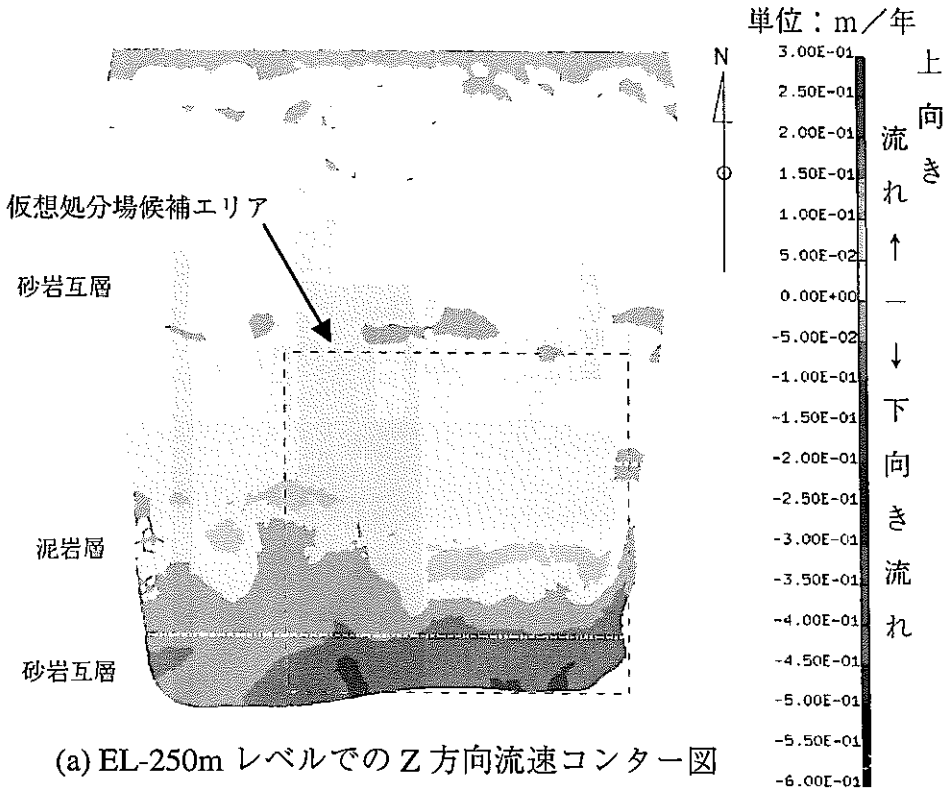


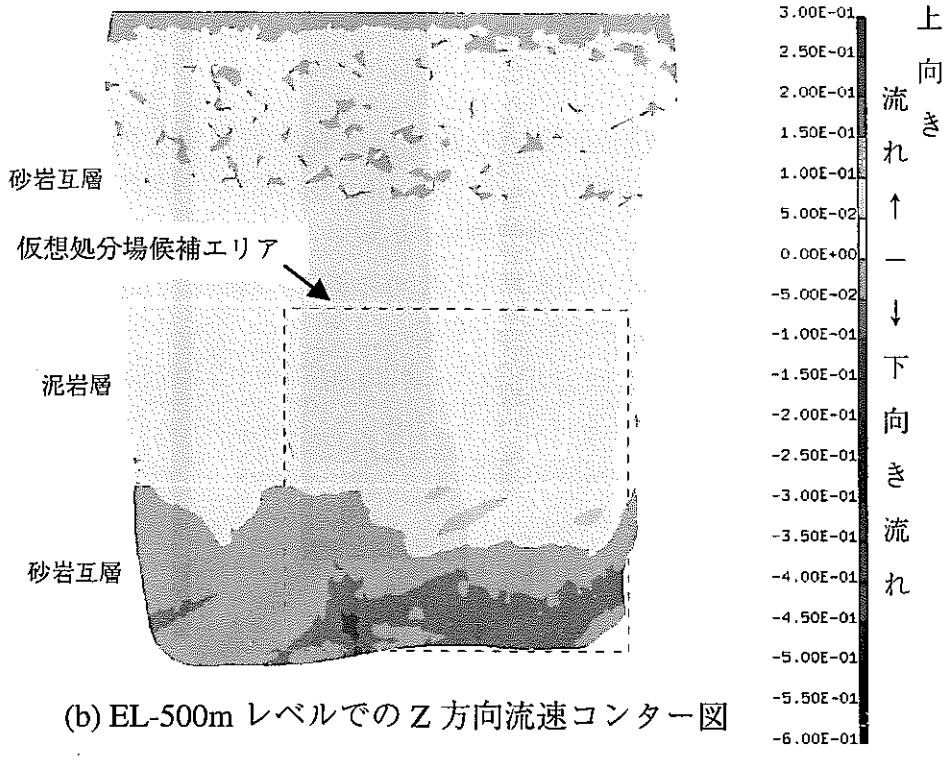
図 2-37 流速コンター図（その２）

3) Z 方向ダルシー流速分布

地下水の流向に着目し，主に上下方向の流速成分を評価するため，図 2-38 および図 2-39 に各断面における Z 方向のダルシー流速分布を示す。前述のように，水平断面および鉛直断面の結果をみると，仮想処分場候補エリア南部の山地は主に下向き流れ（緑色の部分）で，北部の平野部では上向き流れ（黄色の部分）であることが分かる。特に山地から地形勾配が緩やかになる流出点での上向き流れ成分が大きい。平野部では深部でも上向き流れ成分が認められるが，これは塩淡境界の影響によるものと考えられる。地層区分の違いによる明確な影響は認められないが，仮想処分場候補エリア内での上向き流れ成分の値としては 0.05m/y 未満であり，非常に小さいと考えられる。



(a) EL-250m レベルでの Z 方向流速コンター図



(b) EL-500m レベルでの Z 方向流速コンター図

図 2-38 Z 方向流速コンター図（その１）

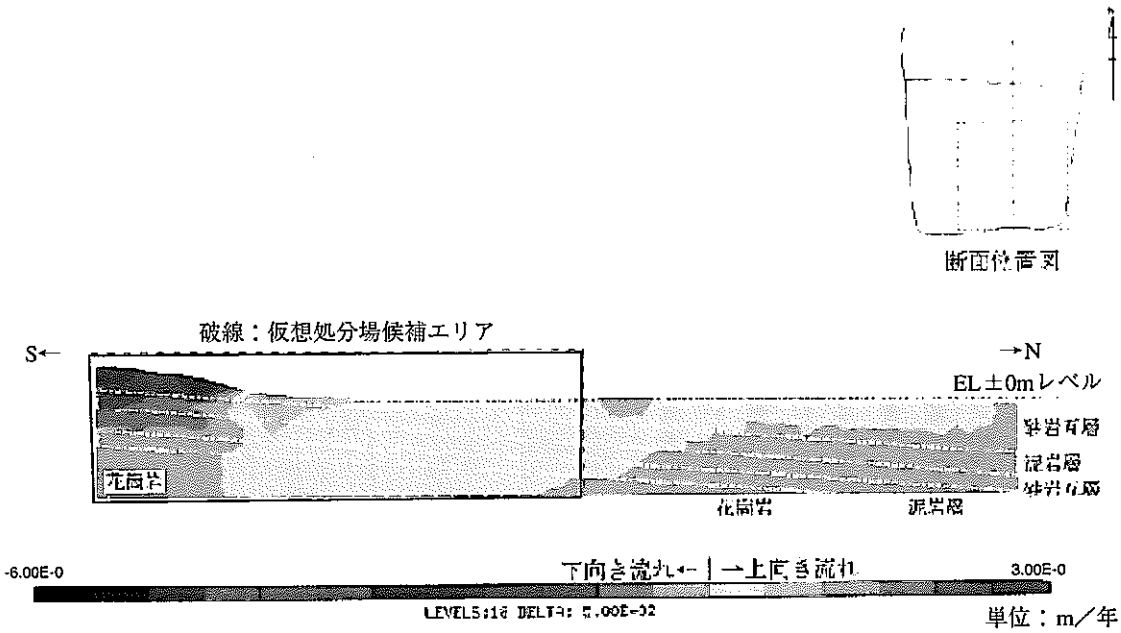


図 2-39 Z 方向流速コンター図（その 2）

4) 塩淡境界

簡易評価手法に基づいて得られる塩淡境界面を図 2-40 および図 2-41 に示す。図 2-40 は各深度における塩淡境界線を平面に投影したもので，図 2-41 は仮想処分場候補エリア中央をとおる南北断面における塩淡境界線を示したものである。これらより，塩淡境界は海岸線からほぼ直線的に内陸側に存在し，塩水領域はくさび状に淡水の下部に入り込んでおり，仮想処分場候補エリア深部においても塩水領域が浸入する結果となっている。ただし，地層構造の違いによる二重塩淡境界現象（浅部と深部で塩淡境界が異なる場合）は見られない。評価上は，塩淡境界面は不透水境界であるため，塩淡境界周辺の淡水の地下水流動は境界面に沿って流れることになり，境界面付近の地下水流向は上向き成分を有することになる。仮想処分場候補エリアについて見ると，北部領域の深部には塩淡境界が入り込んでおり，このため領域内の地下水流動に上向き成分を与えていると考えられる。

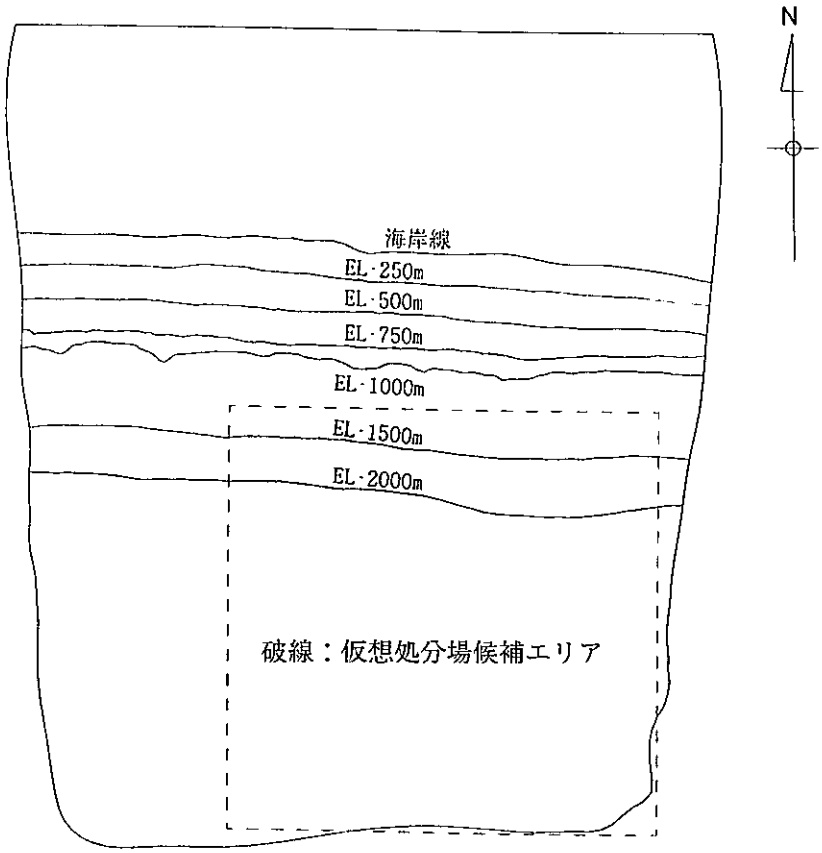


図 2-40 塩淡境界線の平面投影図

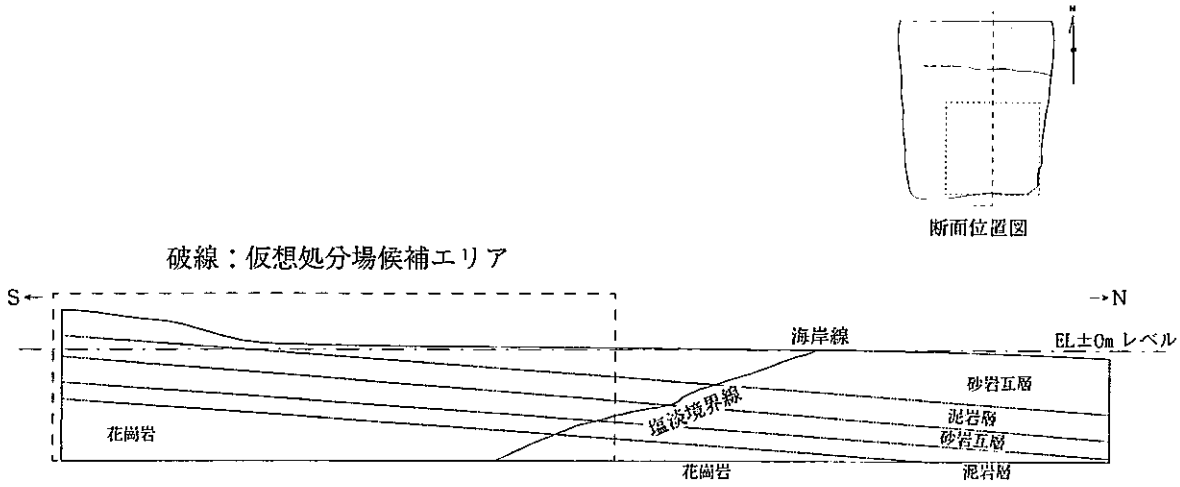


図 2-41 南北方向断面での塩淡境界線図

2.4 地下施設のレイアウト検討

ここでは，「2.2 仮想地質モデルの構築」において設定されたモデルを対象に，かつ「2.3 仮想地質モデルにおける地下水流動」および「2.1 設計の基本的考え方」に沿って硬岩系および軟岩系岩盤それぞれについて，地下施設に関わるレイアウトの設計検討を行った。なお，レイアウトの検討ケースは以下の4ケースである。

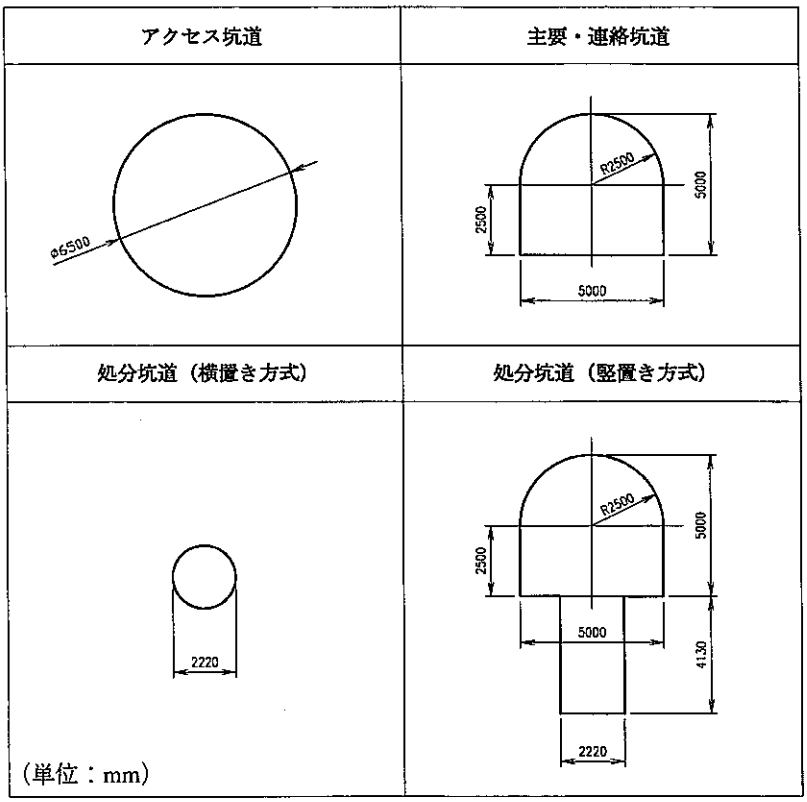
①硬岩系岩盤，処分坑道横置き方式
②硬岩系岩盤，処分孔竪置き方式
③軟岩系岩盤，処分坑道横置き方式
④軟岩系岩盤，処分孔竪置き方式

2.4.1 前提条件

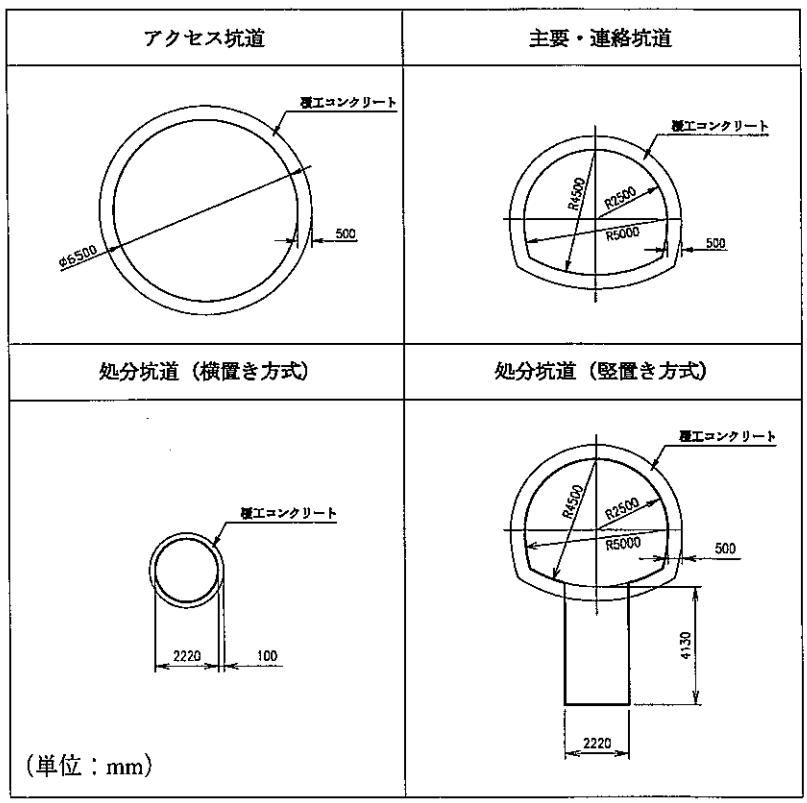
レイアウトの設計検討に際して前提とした条件を表 2-17 に整理する。ここで，廃棄体埋設間隔と坑道中心間距離については「ニアフィールドの熱解析」（谷口ほか，1999b）を，また坑道離間距離については，「地下空洞の力学的安定性評価」（黒木ほか，1999）をもとに設定した。さらに，各坑道断面については，図 2-42 に示す「地下空洞の力学的安定性評価」（黒木ほか，1999）の結果を使用した。

表 2-17 検討条件一覧表

項　　目	設　定　条　件
処分本数	40,000 本を一ヵ所の処分場に処分
ガラス固化後の貯蔵期間	50 年
廃棄体 1 本当たりの発熱量	約 350W/本（50 年）
地温勾配	3℃／100m（地表温度：15℃）
検討深度	硬岩系岩盤；1,000m，軟岩系岩盤；500m
対象とする処分形態	処分坑道横置き方式，処分孔竪置き方式
アクセス方式	すべて立坑方式とする。
操業期間	50 年間
操業開始時期	2,030 年代から遅くとも 2,040 年代半ば
緩衝材の仕様	緩衝材厚さ；0.7m
建設・操業・埋め戻しの並行作業の有無	互いに独立した区画の中で同時並行に作業
物流・換気・避難ルートの独立性	各作業ごとに独立とする。
割れ目と処分坑道の位置関係	処分坑道は核種移行遅延性能に有意な影響を与える可能性がある割れ目から 100m 以上離す。
処分パネルの数	最低 3 パネル以上
廃棄体埋設間隔と坑道中心間距離	1) 硬岩系岩盤 坑道中心間距離；13.32m（横置き），10.0m（竪置き） 廃棄体埋設間隔；3.13m（横置き），4.44m（竪置き）
	2) 軟岩系岩盤 坑道中心間距離；9.99m（横置き），13.0m（竪置き） 廃棄体埋設間隔；3.13m（横置き），6.66m（竪置き）
坑道離間距離（主要・連絡坑道）	硬岩系岩盤；10.0m 以上（中心間） 軟岩計岩盤；13.0m 以上（中心間）
坑道離間距離（その他）	3D 以上（D は掘削径，中心間）



(a) 硬岩系岩盤における各坑道断面



(b) 軟岩系岩盤における各坑道断面

図 2-42 各坑道の断面

2.4.2 処分場位置の検討

(1) 硬岩系岩盤

1) 地形

仮想地質モデル中で比較的平坦な場所が地上施設の位置となるように便宜的に標高 250m 前後の場所を地上施設の場所として選定した。これにともない処分場が展開されるレベルは標高-750m 前後のレベルとなる。

2) 地下水流動

図 2-43 と図 2-44 に地下水流動解析による硬岩系岩盤モデルにおける全水頭図と鉛直方向流速コンター図を示す。ここで，硬岩系岩盤モデルでは地下水流動場が比較的複雑な流れとなっているので，鉛直方向流速コンターは平面図で表現した。図 2-43 によると，地下水流動は処分場が設置されるような地下深部においても概ね地形の影響を強く受けている。すなわち，硬岩系岩盤モデルでは，南側の山地および北西部に存在する山からの地下水が，敷地の東部および西部の沢へ集まり，沢に集まった地下水が敷地北西部の山を迂回して北側へ向かう流動場となっている。そして，図 2-44 より，上向き流速が大きいエリアとして仮想処分場候補エリア西部および東部の沢付近を処分場位置から除外するものとした。

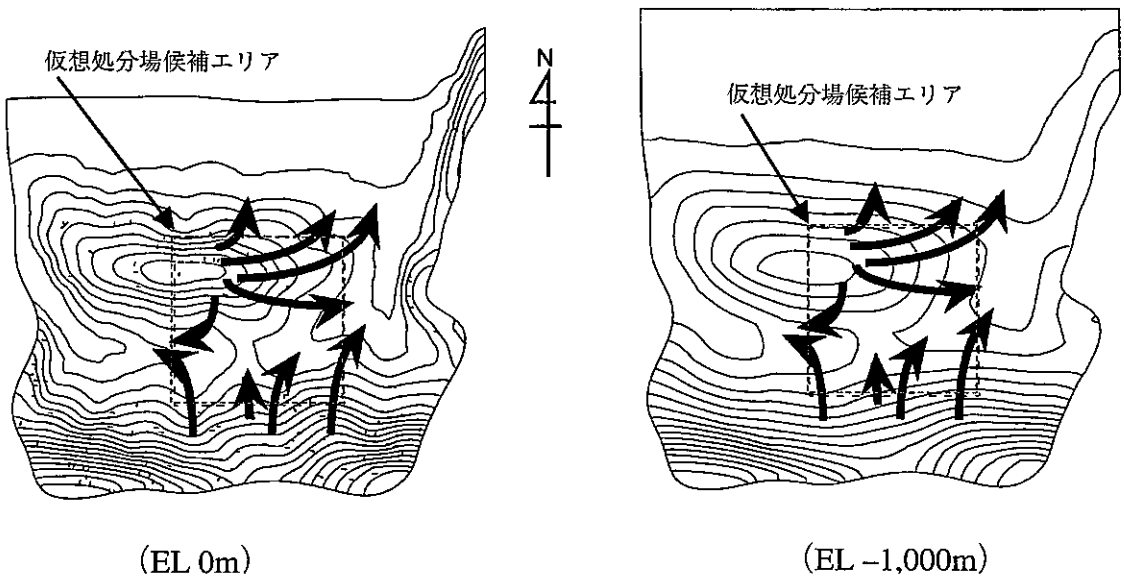


図 2-43 全水頭図（硬岩系岩盤モデルにおける主要地下水流動方向）

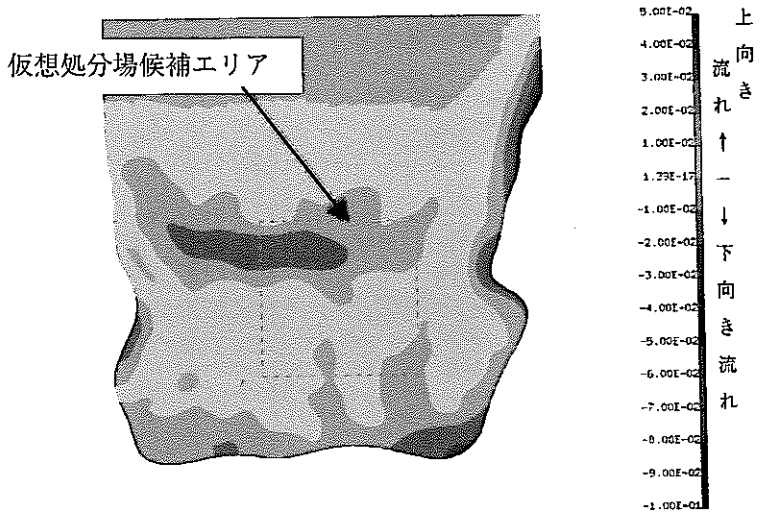


図 2-44 鉛直方向流速コンター図（硬岩系岩盤モデル，EL-750m）

3) 割れ目から必要な距離の確保

ここでは，前提条件に基づき核種移行遅延性能に有意な影響を及ぼす可能性のある割れ目から 100m 以上確保できる処分場候補位置を選定する。また，その際に仮想地質モデルで設定された割れ目は，その延長線上にも連続しているものとして仮定した。

割れ目で仕切られた範囲の広さを判断する材料としては，表 2-18 に示す処分パネル数と 1 パネル当たりの概略面積の関係に基づいた。ここで，廃棄体 1 本当たりの面積は坑道中心間距離と廃棄体埋設間隔から求めたものである。

表 2-18 処分パネル数と 1 パネル当たりの概略面積

パネル数	1 パネル当りの廃棄体本数	横置き方式	竪置き方式
		パネル面積（km^2）	パネル面積（km^2）
3	13,334	0.60	0.60
4	10,000	0.45	0.45
5	8,000	0.36	0.36
6	6,667	0.30	0.30
7	5,415	0.24	0.24
8	5,000	0.23	0.23
9	4,445	0.20	0.20
1 0	4,000	0.18	0.18
		廃棄体専有面積を $45m^2$／本として計算	廃棄体専有面積を $45m^2$／本として計算

注）廃棄体本数は，1 パネル当たりの本数である。

表 2-18 によれば，処分パネルを 3 以上とした場合，割れ目で仕切られたエリアの面積が 0.60km^2 以上でなければ，そのエリア内に処分パネルを置くことができないことになる。ただし，処分パネルの必要とする面積に対して，エリアの面積に余裕がない場合やエリアの形状がいびつであったり，縦横比が大きい場合はレイアウトの自由度が少なかったり，処分パネルの形状が整然としたものになりにくくなることが考えられる。

上記の硬岩系岩盤モデルでの地形，地下水流動，割れ目からの距離の確保および割れ目で仕切られた範囲の広さを考慮して，絞り込んだ処分場候補位置を図 2-45 に示す。なお，処分場位置の絞り込みを行った結果，その位置が当初設定した仮想処分候補エリア（10km×10km）の隅部となったため，当初のエリア外に存在する割れ目の連続性に関わる影響を見落とす可能性が考えられた。そこで，図 2-45 については，当初のエリアを北東部に 2km 程度ずらし，処分場候補位置がほぼ中央にくるような図としてある。この図からも分かるように絞り込まれた処分場候補位置は，当初のエリア外に存在する割れ目の連続性に対する影響はない位置となっている。

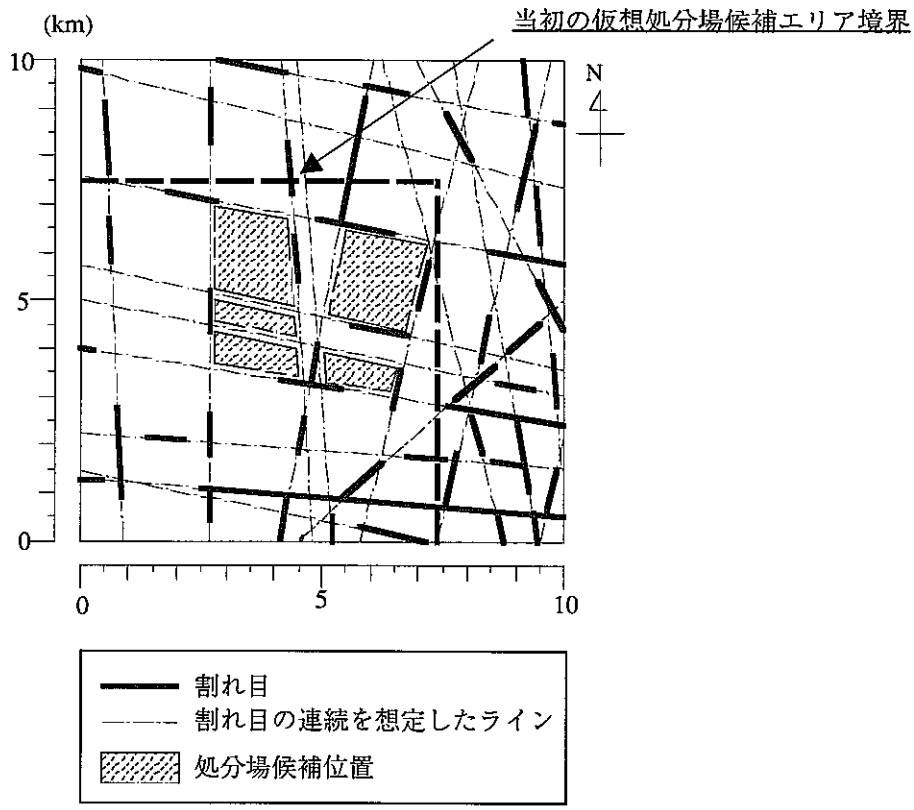


図 2-45 処分場候補位置絞り込み結果（硬岩系岩盤）

(2) 軟岩系岩盤

1) 地形

仮想地質モデル中で比較的平坦な場所が地上施設の位置となるように便宜的に標

高 50m 前後の場所を地上施設の場所として選定した。これにともない処分場が展開されるレベルは標高-450m 前後のレベルとなる。

2) 地下水流速

図 2-46 と図 2-47 に地下水流動解析による軟岩系岩盤モデルにおける全水頭図と鉛直方向流速コンター図を示す。ここで，軟岩系岩盤モデルでは地下水流動場が平面的には比較的単純な流れとなっているので，鉛直方向流速コンターは南北方向鉛直断面で表現する。図 2-46 によると，地下水流動は硬岩系岩盤モデルと同じように地下深部においても地形の影響を強く受けており，南側の山地から北側の海方向に向かう比較的単調な流れとなっている。そして，図 2-47 より，軟岩系岩盤モデルで地表面が急勾配から緩勾配に急変する場所では，上向き流速が大きくなっていることがわかる。また，標高-450m 前後の泥岩層は上向き流速が遅いことがわかる。

以上の結果より，処分場予定地は敷地の北半分の標高-450m の泥岩中とした。

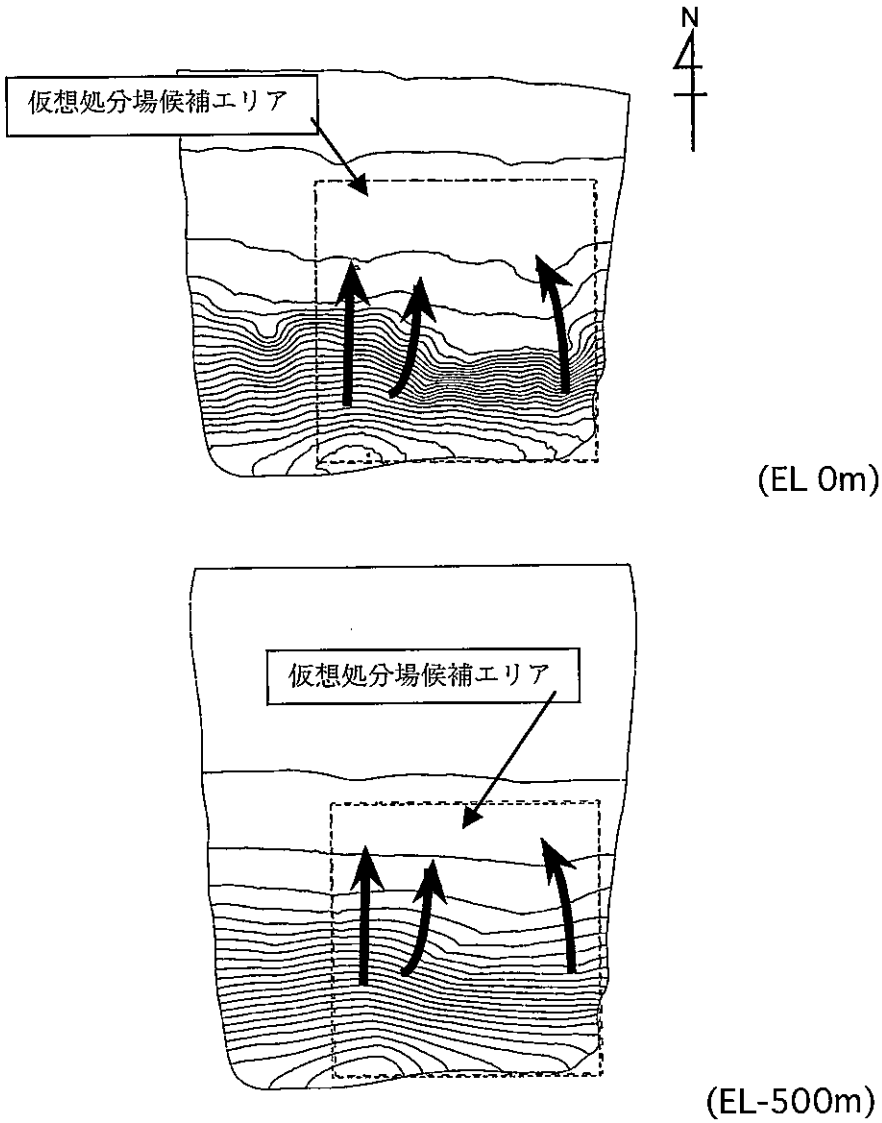


図 2-46 全水頭図（軟岩系岩盤モデルにおける主要地下水流動方向）

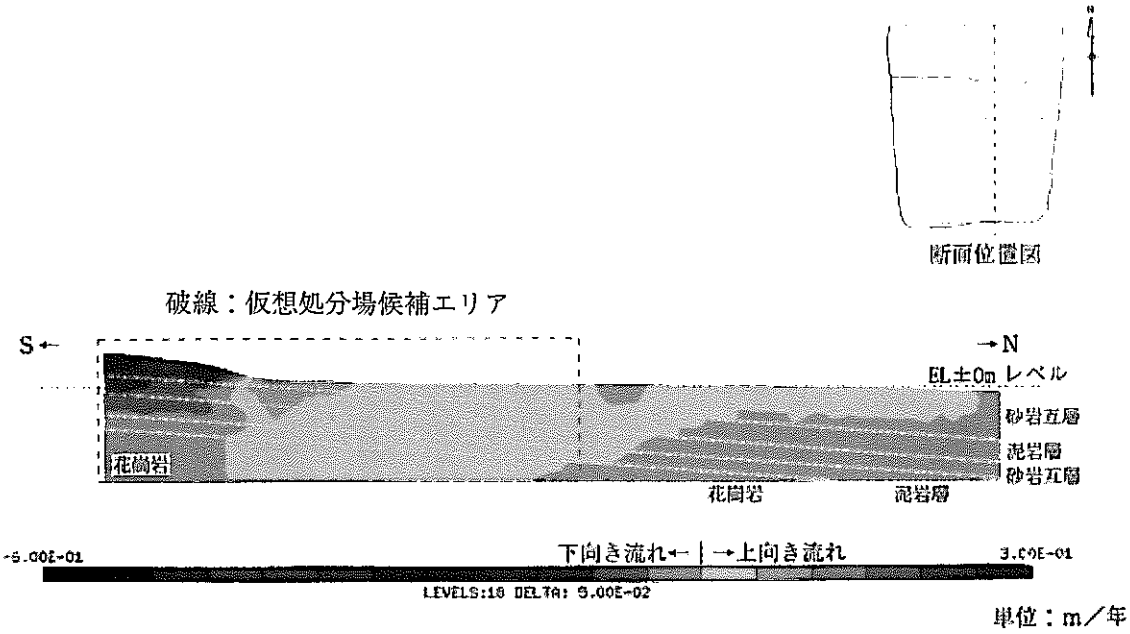


図 2-47 鉛直方向流速コンター図（軟岩系岩盤モデル，南北方向）

3) 割れ目から必要な距離の確保

ここでは，硬岩系岩盤と同様，前提条件に基づき割れ目から 100m 以上確保できる処分場候補位置を選定する。また，その際に仮想モデルで設定された割れ目は，その延長線上にも連続しているものとして仮定した。

割れ目で仕切られた範囲の広さを判断する材料としては，表 2-19 に示す処分パネル数と 1 パネル当たりの概略面積の関係に基づいた。ここで，廃棄体 1 本当たりの面積は坑道中心間距離と廃棄体埋設間隔から求めたものである。

表 2-19 処分パネル数と 1 パネル当たりの概略面積

パネル数	1 パネル当りの廃棄体本数	横置き方式	竪置き方式
		パネル面積（km^2）	パネル面積（km^2）
3	13,334	0.47	1.20
4	10,000	0.35	0.90
5	8,000	0.28	0.72
6	6,667	0.23	0.60
7	5,415	0.20	0.49
8	5,000	0.18	0.45
9	4,445	0.16	0.40
1 0	4,000	0.14	0.36
		廃棄体専有面積を $35m^2$／本として計算	廃棄体専有面積を $90m^2$／本として計算

注）廃棄体本数は，1 パネル当たりの本数である。

表 2-19 によれば，処分パネルを 3 以上とした場合，割れ目で仕切られたエリアの面積が横置き方式では 0.47km^2 以上，竪置き方式では 1.20km^2 以上でなければならないことが分かる。

上記の硬岩系岩盤モデルでの地形，地下水流動，割れ目からの距離の確保および割れ目で仕切られた範囲の広さを考慮して，絞り込んだ処分場候補位置を図 2-48 に示す。

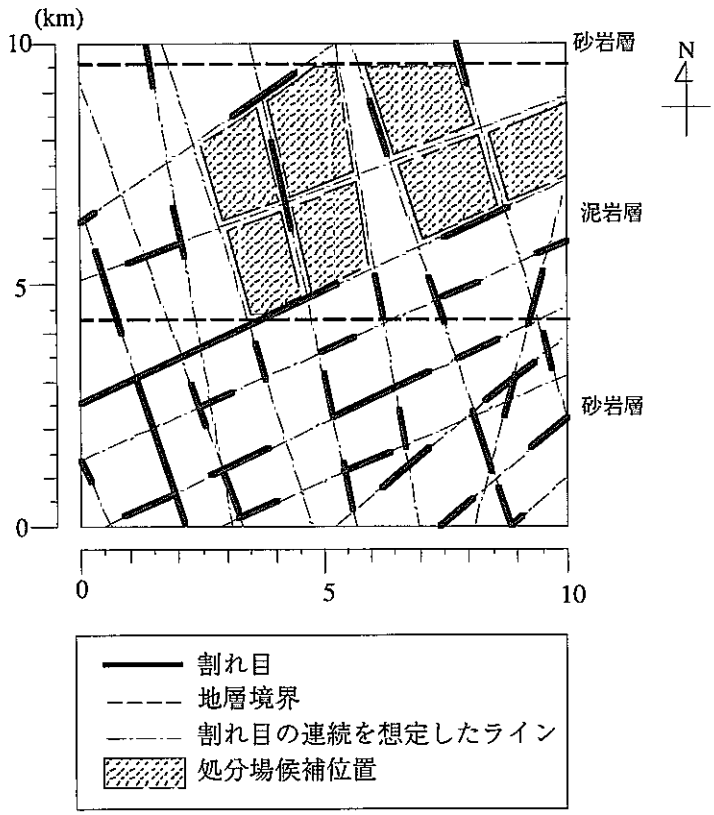


図 2-48 処分場候補位置絞り込み結果（軟岩系岩盤）

2.4.3 処分パネルの検討

「2.1 設計の基本的考え方」により，すべてのケースの処分パネルに共通する事項を以下に示すように想定した。

①一方通行の物流を確保するとともに，換気ルートも物流と同様のルートとなるようにする。また，避難ルートとして 2 方向避難を確保できるように処分パネルは主要坑道で取り囲む形状とする。

②坑道の接続角度はなるべく高角度とする。

③車両運行の観点から，坑道交差部の曲率半径は 40m を確保する。

④処分坑道の方向を決める要因の順位は，節理面の卓越方向，主応力卓越方向，主要地下水流動方向とする。

④処分場の形状の短辺方向が主要地下水流動方向に直交するようにする。
⑤処分パネルは平面的なレイアウトとなるようにする。
⑥処分パネルは各ケースにおいて同一の大きさとする。

(1) 硬岩系岩盤
1) 横置き方式
(a) 形状の検討

処分坑道と主要坑道の接続部については，車両の運行等を考慮し曲線とした。また，このすりつけ部においては，坑道離間距離が通常より狭くなり，交角と処分坑道離間距離によっては処分坑道すりつけ部はラップしてしまうことが考えられる。そこで，接続部で隣接する処分坑道のラップ部分ができるだけ少なくなるように処分坑道と主要坑道の交角（図 2-49）を定めることとした。

ここでは，処分坑道離間距離が 13.32m，すりつけ部の掘削径が 5.0m，曲率半径が 40m であることを考慮して，処分坑道と主要坑道の接続部の交角は 135° とした。これに伴って，主要坑道で包囲した処分パネルの基本形状は平行四辺形となる。

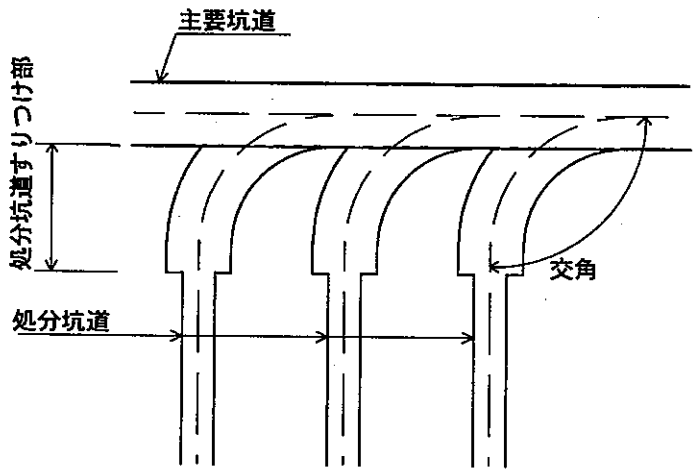


図 2-49 横置き方式における処分坑道と主要坑道の取合い

(b) 規模・数

「2.4.2 処分場位置の検討」において選定された処分場設置エリアの大きさから，パネル数が 3 以上であれば，選ばれたエリア内に処分場をレイアウトできる可能性が示された。本検討では，「2.1 設計の基本的考え方」で示した経済性や工程に関わる検討を鑑みて，パネル数を仮に 6 パネルとして設定した。

(c) 配置・方向

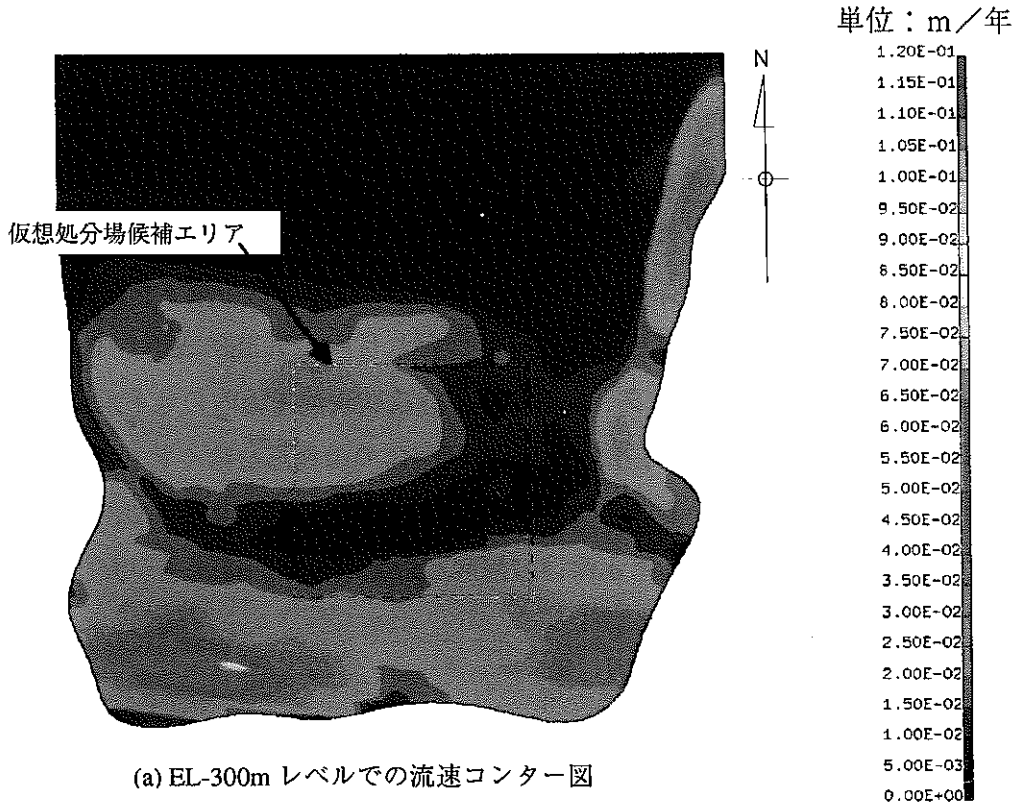
硬岩系岩盤モデルでは，節理に関する情報を取り込んでいないことから，これに

ついては考慮しないものとした。ただし，同モデルでは，北側が海で南側が山地であることから，主応力卓越方向は南北圧縮場と想定される。したがって，「2.1 設計の基本的考え方」に沿って，処分坑道の軸方向を南北方向とした。

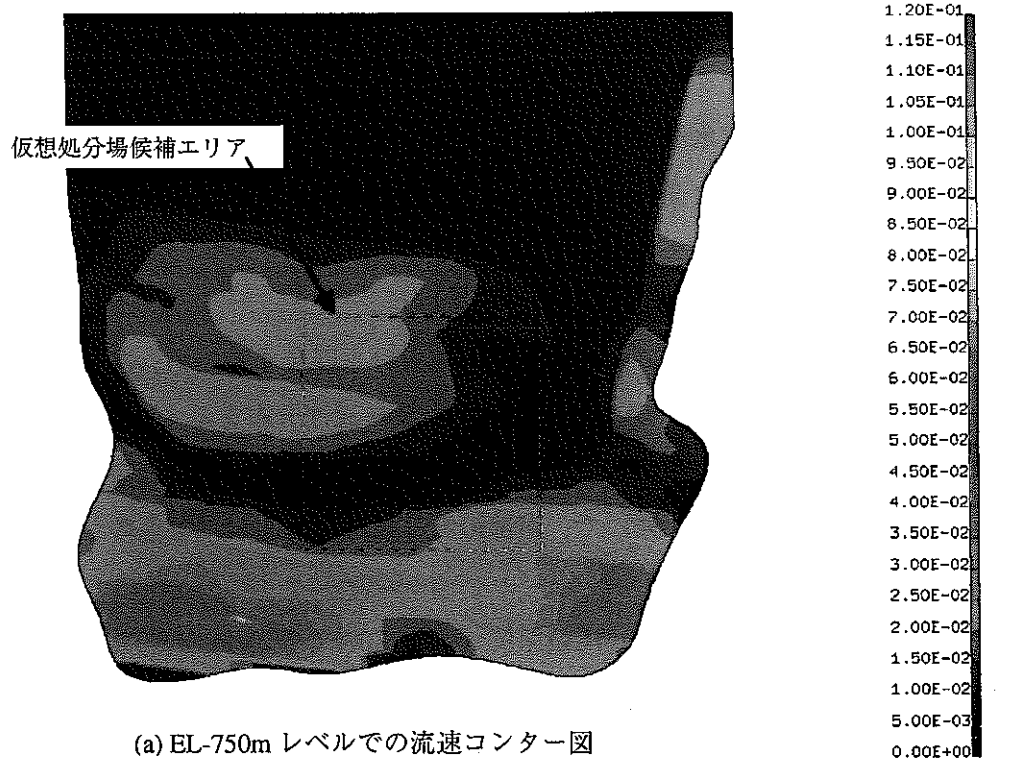
パネルの概略形状は，パネル数に応じた処分本数が与えられれば，処分坑道間隔および廃棄体埋設間隔と図 2-50 に示す“a”，“b”により決定する。a，b の長さは坑道交差部の影響，プラグの設置，物流における搬送性の面から曲線区間が設けられる可能性があること等を考慮して決めるが，ここでは曲線区間が 40m であることから a，b ともに約 40m とした。

また，「2.4.2 処分場位置の検討」で絞り込まれた処分場エリアの形状と規模を考慮して，処分場のパネル配置を検討するときに用いる概略形状の処分坑道本数を 25 本とした。その結果，パネルの概略形状は図 2-51 のとおりとなる。ここでは，パネル外側の寸法で概略寸法を示している。坑道パネル間には連絡坑道が半径 40m の円弧でUターンする箇所があることが予想されることと，坑道交差部を有する坑道の離間距離が 30m 以上になることから，ここではそれらを加えてパネル間距離を 110m 以上とした。そして，これらのパネルの形状とパネル間距離により配置の検討を行った。

「2.4.2 処分場位置の検討」で絞り込まれた位置では，地下水流動方向が西から東へ向かっていることから，図 2-52 に示したように 6 個の処分パネルを東西方向に並べることにした。これにより，処分場全体が主要地下水流動方向に対して細長くなるようにパネルが配置されることとなる。また，全ての処分パネルが処分場候補エリア内に収まる結果となり，実際に処分場を設計するときもこのパネルの並びを参考にすれば，全ての処分坑道が核種移行遅延性能に有意な影響を及ぼす可能性がある割れ目から 100m 以上の離隔を確保できる。



(a) EL-300m レベルでの流速コンター図



(a) EL-750m レベルでの流速コンター図

図 2-24 流速コンター図（その１）

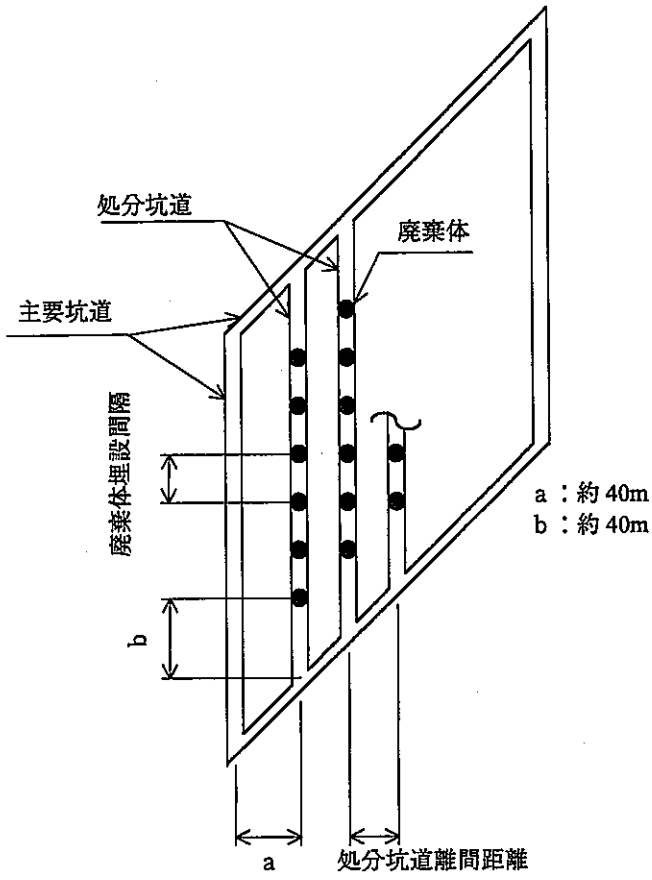


図 2-50 処分パネル規模の模式図

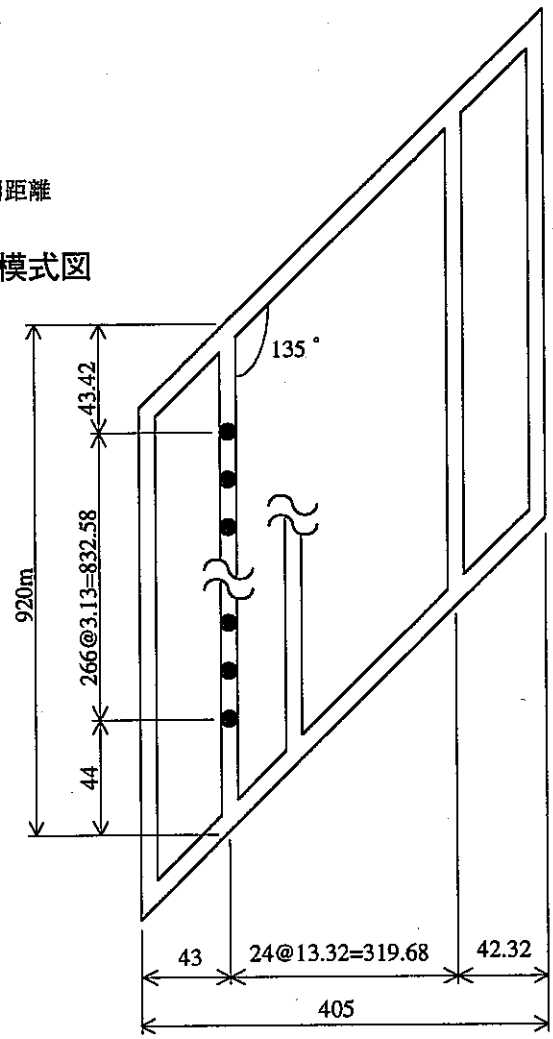


図 2-51 処分パネル概略形状
（硬岩系岩盤，横置き方式）

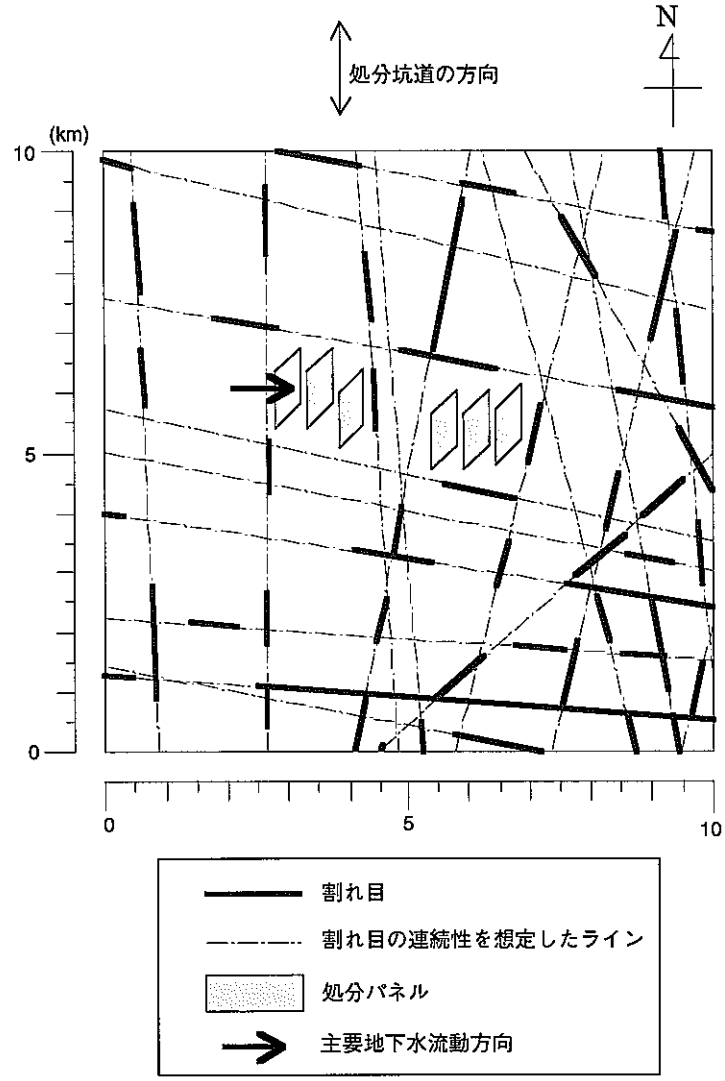


図 2-52 処分場の概略全体形状（硬岩系岩盤，横置き方式）

2) 竪置き方式

(a) 形状

竪置き方式の場合においても，車両運行上，接続部の処分坑道すりつけ部は曲線となるので，処分坑道すりつけ部の接続は斜め接続となる。また，この部分での離間距離は通常よりも狭くなるので，接続部で隣接する処分坑道がラップしてしまう部分ができるだけ少なくなるように，処分坑道と主要坑道の交角（図 2-53）を定めた。処分坑道離間距離が 10m，すりつけ部の掘削幅が 5m，曲率半径が 40m であることを考慮して処分坑道と主要坑道の接続部の交角を 150° とした。この結果，処分パネルの基本形状は横置き方式と同様に平行四辺形となる。

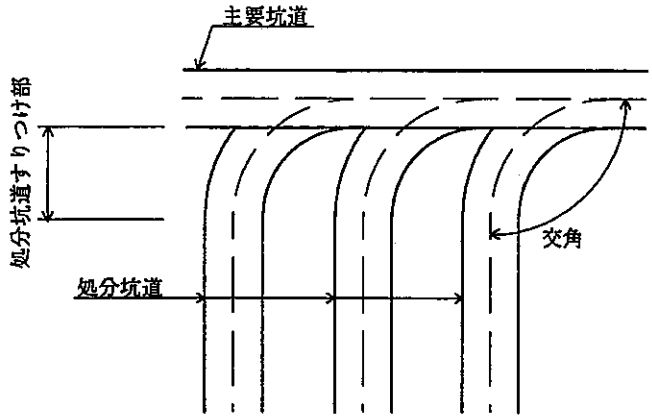


図 2-53 竪置き方式における処分坑道と主要坑道の取合い

(b) 規模・数

横置き方式と同様に考えてパネル数は 6 とした。

(c) 配置・方向

処分坑道の方向は定置方式に関わらず，地質条件によって決められると考え，処分坑道の軸方向は南北方向とした。また，「2.4.2 処分場位置の検討」で絞り込まれた処分場位置の形状および規模を考慮して，パネル配置を検討するときに用いる概略形状の処分坑道本数を 27 本とした。その結果，パネルの概略形状は図 2-54 のとおりとなる。パネル間距離は，横置き方式と同様に 110m 以上とした。そしてこれらのパネルの形状とパネル間距離により配置の検討を行い，図 2-55 に示すように横置き方式と同じく，6 個の処分パネルを東西方向に並べることにした。これにより，横置き方式と同じように処分場全体が主要地下水流動方向に対して細長くなるように配置され，かつ，すべての処分坑道が割れ目から 100m 以上の離隔を確保できる。

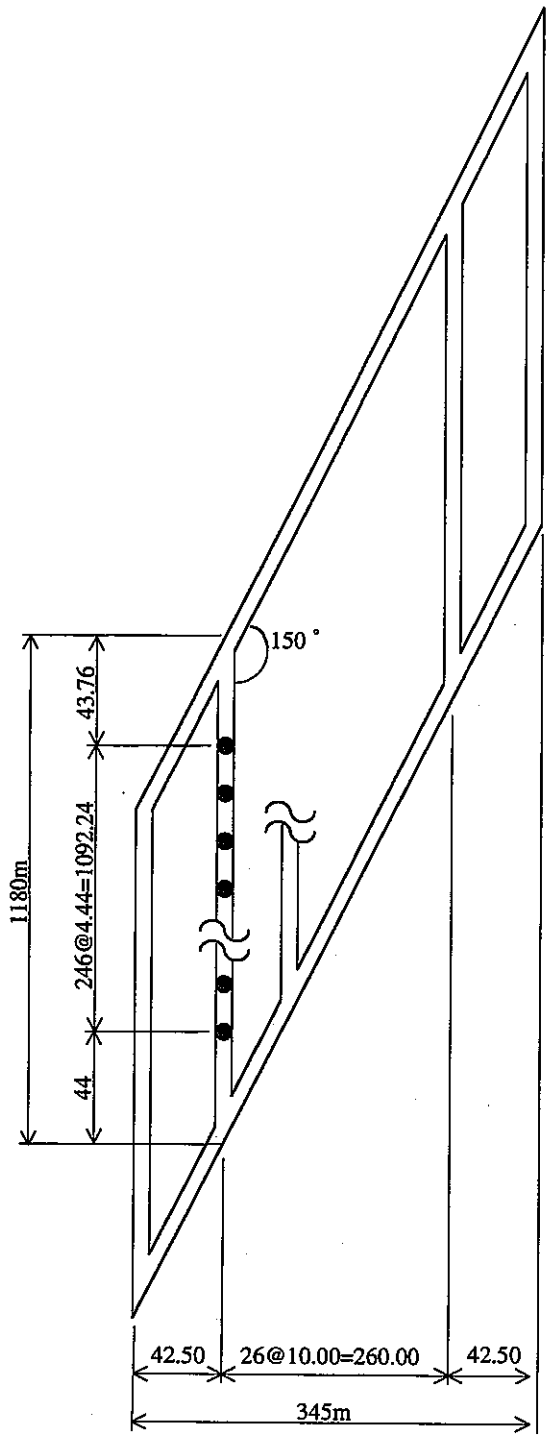


図 2-54 処分パネル概略形状（硬岩系岩盤，竪置き方式）

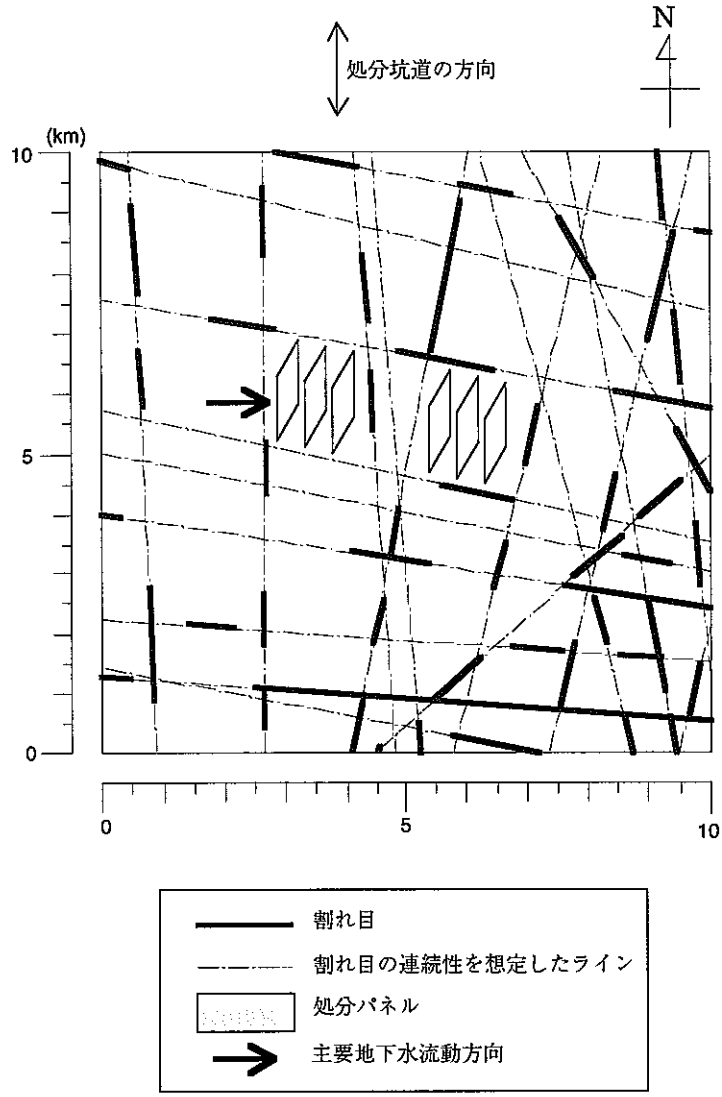


図 2-55 処分場の概略全体形状（硬岩系岩盤，竪置き方式）

(2) 軟岩系岩盤

1) 横置き方式

(a) 形状の検討

岩盤の種類および定置方式に関わらず車両運行上の観点から，処分坑道すりつけ部は曲線となる。したがって，すりつけ部の接続は斜め接続となる。接続部で隣接する処分坑道がラップしてしまう部分ができるだけ少なくなるように，処分坑道と主要坑道の交角を定めた。ここで，処分坑道離間距離が 9.99m，すりつけ部の掘削径が 6m，曲率半径が 40m であることを考慮して処分坑道と主要坑道の接続部の交角を 150° とした。

(b) 規模・数

硬岩系岩盤モデルと同じように，「2.4.2 処分場位置の検討」で選定された処分場設置エリアの大きさから，パネル数が 3 以上であれば選ばれたエリア内に処分場をレイアウトできる可能性が示された。また，処分坑道離間距離と廃棄体埋設間隔は異なってはいるが，軟岩系横置き方式でパネル数を 6 とした場合でも工程が成立していることが示されている（「4.全体工程の検討」参照)。したがって，ここでは，硬岩系岩盤モデルと同様，パネル数を 6 パネルとした。

(c) 配置・方向の検討

軟岩系岩盤モデルにおいても節理に関する情報を取り込んでいないことから，これについては考慮しないものとした。ただし，軟岩系岩盤モデルでは北側が海で南側が山地であることから，主応力卓越方向は南北圧縮場と想定される。したがって，処分坑道の軸方向は南北方向とした。

また，「2.4.2 処分場位置の検討」で絞り込まれた処分場位置の形状を考慮して，処分パネルの配置を検討するときに用いる概略形状の処分坑道本数を 35 本とした。その結果，パネルの概略形状を図 2-56 のとおりとした。パネル間には連絡坑道が半径 40m の円弧でUターンする箇所があることが予想されることと，坑道交差部を有する坑道間の離間距離が 40m 以上になることから，ここではそれらを加えてパネル間距離を 120m 以上とした。そして，これらのパネルの形状とパネル間距離により配置の検討を行った。「2.4.2 処分場位置の検討」で絞り込まれた処分場エリアでは地下水主要流動方向は南から北へ向かっているので，図 2-57 に示したように，4 つの候補地内に 6 個の処分パネルを南北に長くなるように配置した。これにより，全ての処分パネルが処分場候補地内に収まることがわかり，処分坑道が割れ目から 100m 以上の離隔を確保できる。

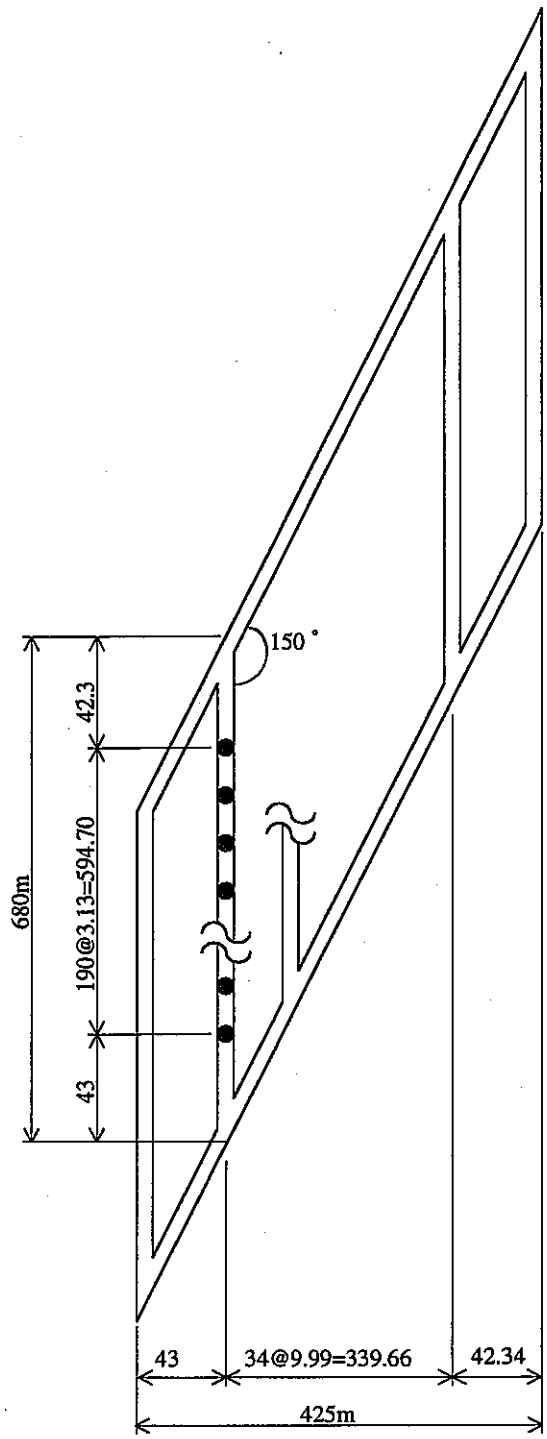


図 2-56 処分パネル概略形状（軟岩系岩盤，横置き方式）

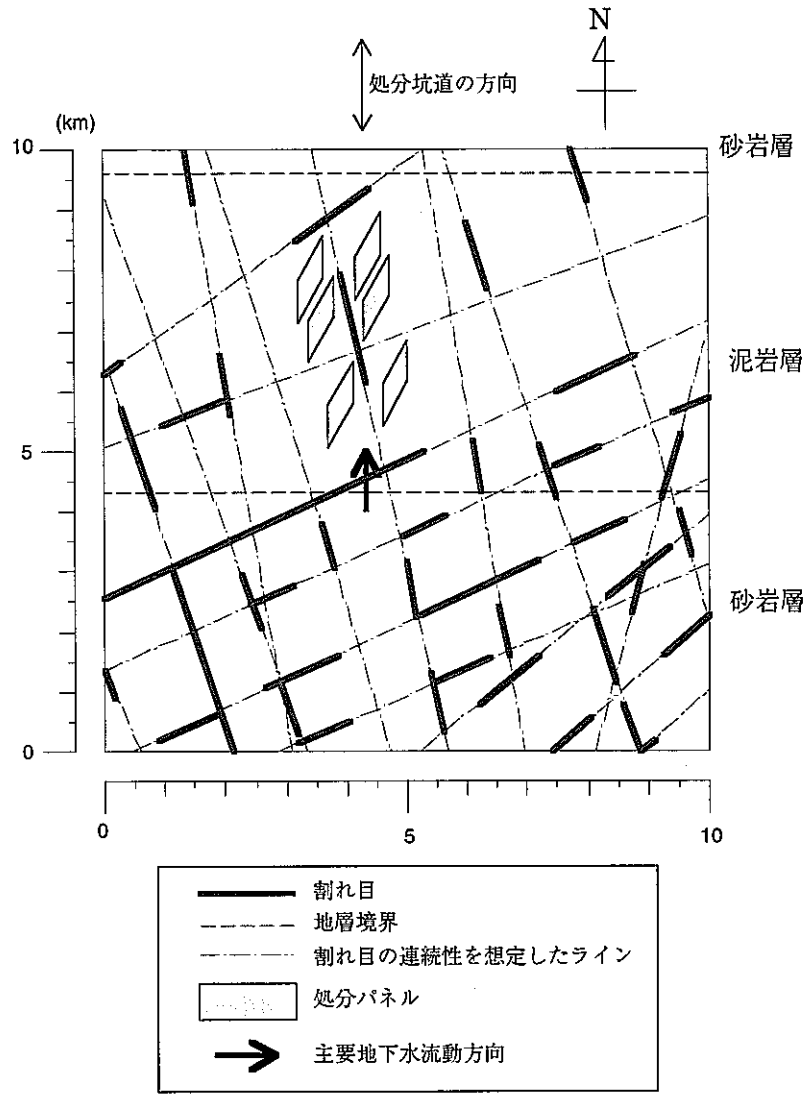


図 2-57 処分場の概略全体形状（軟岩系岩盤，横置き方式）

2) 竪置き方式

(a) 形状の検討

このケースにおいても，接続部の処分坑道すりつけ部は曲線となるので，処分坑道すりつけ部の接続は斜め接続となる。また，接続部で隣接する処分坑道がラップしてしまう部分ができるだけ少なくなるように，処分坑道と主要坑道の交角を定めた。ここで，処分坑道離間距離が 13m，すりつけ部の掘削径が 6m，曲率半径が 40m であることを考慮して，処分坑道と主要坑道の接続部の交角を 135° とした。

(b) 規模・数の検討

横置き方式と同様に考えてパネル数を 6 パネルとした。

(c) 配置・方向

処分坑道の軸方向は，軟岩系岩盤モデルの主応力卓越方向から横置き方式と同様に南北方向とした。また，「2.4.2 処分場位置の検討」で絞り込まれた処分場候補地の形状を考慮して，パネル配置を検討するときに用いる概略形状の処分坑道本数を 50 本とした。その結果，パネルの概略形状は図 2-58 に示すとおりとなった。また，パネル間距離は横置きと同様に 120m 以上とした。そしてこれらのパネルの形状とパネル間距離により配置の検討を行った。その結果，横置き方式のように 4 つの候補地内に 6 個の処分パネルを配置することができないので，4 個の処分パネルを敷地の中央，残りの 2 個の処分パネルを東側に離した位置に配置し，全ての処分パネルが候補地内に収まるようにした。図 2-59 に示すように中央の 4 つの処分パネルで一つの群を成していて，また，東側の 2 つのパネルでもう一つの群を成してみなすことができるので，それぞれの群が南北に長くなるように配置した。また，すべての処分坑道は割れ目から 100m 以上の離隔を確保できる。

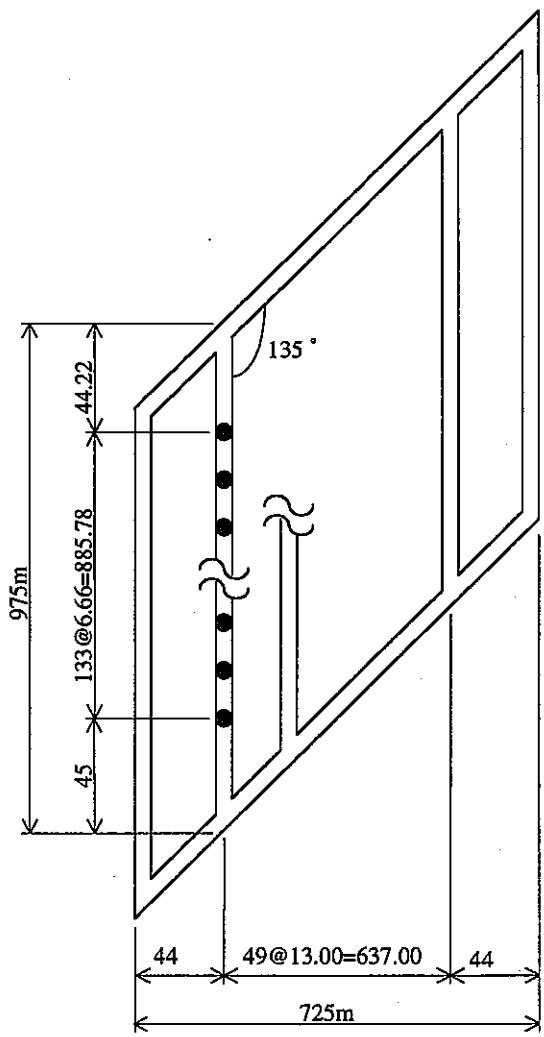


図 2-58 処分パネル概略形状（軟岩系岩盤，竪置き方式）

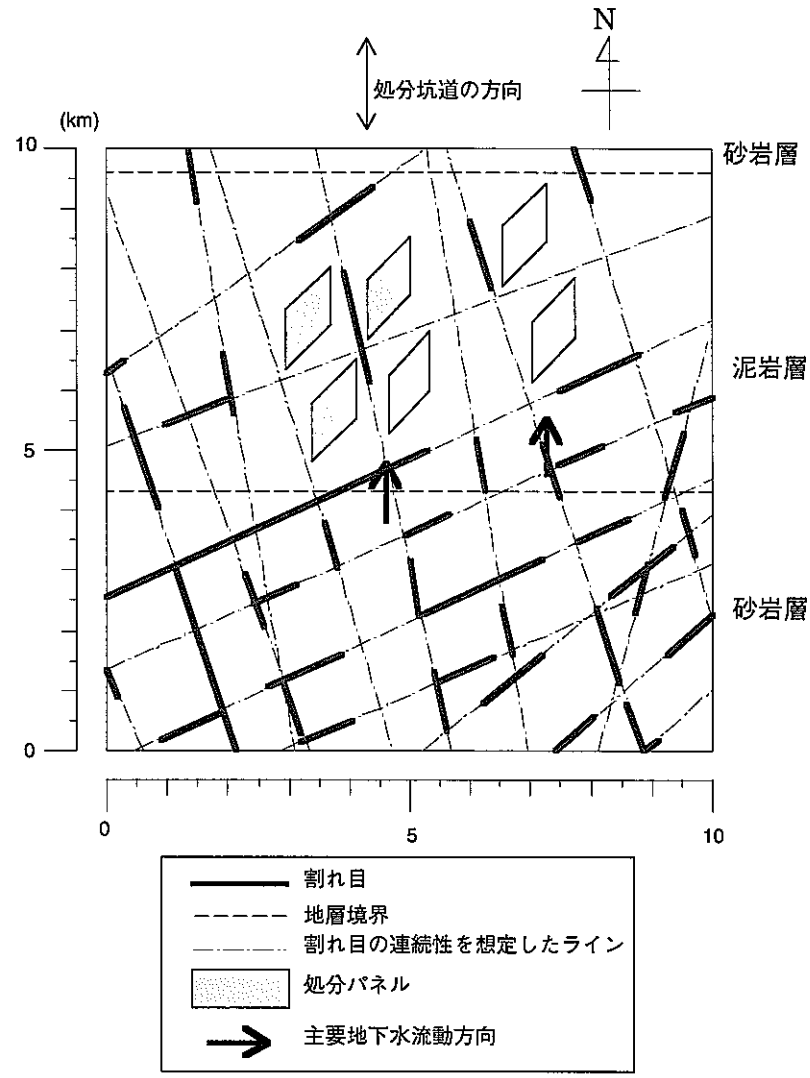


図 2-59 処分場の概略全体形状（軟岩系岩盤，竪置き方式）

硬岩系および軟岩系それぞれの岩盤における処分パネルの検討結果を以下に整理する。

①処分パネル数は全て 6 個とし，パネルは各ケースとも同一規模および形状とした。

②処分パネル形状は平行四辺形で，主要坑道で取り囲む形状とした。処分坑道と主要坑道の交角は硬岩系岩盤横置き方式および軟岩系岩盤竪置き方式で 135° とし，硬岩系岩盤竪置き方式および軟岩系岩盤横置き方式では 150° とした。

③硬岩系岩盤モデルの処分場候補地の形状より，横置き方式の処分パネルの概略形状は長辺 920m，高さ 405m（1 パネル当たりの処分坑道本数 25 本）とし，また，竪置きでは長辺 1,180m，高さ 345m（1 パネル当たりの処分坑道本数 27 本）とした。

④軟岩系岩盤モデルの処分場候補地の形状より，横置き方式の処分パネルの概略形状は長辺 680m，高さ 425m（1 パネル当たりの処分坑道本数 35 本）とし，また，竪置きでは長辺 975m，高さ 725m（1 パネル当たりの処分坑道本数 50 本）とした。

⑤空洞安定性の観点から，処分坑道軸方向は主応力卓越方向（南北方向）と一致させた。

⑥主要地下水流動方向から，処分場の概略全体形状は図 2-52，図 2-55，図 2-57，図 2-59 に示す形状とした。

2.4.4 アクセス坑道の検討

(1) アクセス方式の検討

「2.1.3 アクセス坑道の検討における考え方」において示したように立坑方式，斜坑方式ともに長所，短所を有しており一義的に決定できない。したがって，ここでは硬岩系および軟岩系岩盤モデルいずれにおいても立坑方式を採用した場合を例にとって検討を行う。

(2) アクセス坑道の本数の検討

1) 建設・操業・埋め戻しの同時並行作業

「2.1 設計の基本的考え方」に示すように，処分パネルごとに各作業が並行に独立して行われるということ，放射線管理の観点から各作業区域が独立し区別されること，いずれかの作業にて不具合が生じたとしても他の作業への波及しないこと等を考慮して，本検討では，建設・操業・埋め戻しの各作業エリアを地上部およびアクセス坑道においても区別するものとし，各作業ごとにアクセス坑道を専用に設けるものとした。

2) 輸送能力の確保

ここでは，

①輸送能力を判断する最も支配的な要因は建設時のズリ出しであると考えられる。

②建設工程の遅れは以降の操業・埋め戻し工程にも影響を及ぼし，操業開始時期の制約を考えると建設工程の遅れは悪影響が大きい。

③パネルの建設中に事前に予知できなかった破砕帯に遭遇し，パネル拡張に伴う掘削数量の増加の可能性がある。

④人員運搬用と資材運搬用の運送機は，適用される安全率が異なることが考えられる。

等を考慮し，建設用立坑は 2 本とし，うち 1 本はズリ搬出専用とした。

埋め戻し用立坑の本数については，具体的な作業手順や数量の検討結果に基づき判断する必要があるので，ここでは最低 1 本以上を基本に考える。本検討では，建

設用立坑の本数検討にて述べた④の要因を考慮し，埋め戻し用立坑は２本とした。

操業用立坑の本数については，具体的な作業手順や数量の検討結果を基に判断する必要があるので，ここでは最低 1 本以上を基本に考える。ただし，操業時の廃棄体は遠隔操作による搬送も考えられるため，廃棄体専用立坑が必要と考えられる。

また，以下のような点も考慮して，換気専用立坑を設けるものとした。

①操業用立坑が２本（廃棄体用，人員用）のみであると，いずれかが排気経路となる。地下施設で火災，廃棄物飛散等の事故時を想定すると，いずれかのアクセス坑道は緊急時の対応には使用できなくなる。

②放射性物質にて地下施設の空気が汚染された場合を想定する。この時，兼用坑道の場合，排気側では空気の流れと物流が一致し，汚染された空気と物が一緒に地上に上がってくることになる。よって，地上にて空気と物を分離するような施設が必要になる。もし，換気専用立坑があれば，空気と物の流れが別々になり，容易に分離することができる。

以上のことから，操業用立坑を３本とした。

ここでは，放射線管理区域を独立して区別することを想定して建設・操業・埋め戻しの各作業ごとにアクセス坑道を専用に設けることとしたが，建設および埋め戻し作業では非管理区域にて作業が行われると考えられるため，これらの作業においてはアクセス坑道の転用や兼用も考えられる。表 2-20 に立坑の用途別利用例を示す。

表 2-20 立坑の用途別利用例

	立坑１	立坑２	立坑３
建設用	・人員運搬 ・資材運搬 ・入気 ・緊急避難 ・ユーティリティ	・ズリ出し ・排気 ・緊急避難 ・ユーティリティ	
操業用	・緩衝材搬入 ・人員運搬 ・資材運搬 ・入気 ・緊急避難 ・ユーティリティ	・廃棄体搬入 ・入気 ・緊急避難 ・ユーティリティ	・排気 ・ユーティリティ
埋め戻し用	・人員運搬 ・資材運搬 ・入気 ・緊急避難 ・ユーティリティ	・閉鎖材搬入 ・排気 ・緊急避難 ・ユーティリティ	

(3) アクセス坑道位置の検討

処分場の埋め戻し後，アクセス坑道（立坑）およびその周辺の掘削影響領域が，

核種移行経路となる可能性があることに対して，地下水の流動を考えると，廃棄体が定置されている処分パネルよりも上流側に立坑を配置しておくのが有利と考えられる。したがって，ここでは主要地下水流動方向に対して処分場の上流側に立坑を配置することとした。以上のことより，仮想地質モデルにおけるアクセス坑道の位置を以下に示すとおり選定した。

1) 硬岩系岩盤モデル

図 2-52 および図 2-55 に示した処分場の概略全体形状に対して，この部分の地下水流動は西側から東側へ向かう流動場となっている。したがって，処分場の西側に立坑を配置するものとした。

2) 軟岩系岩盤モデル

図 2-57 および図 2-59 に示した処分場の概略全体形状に対して，地下水流動は南側から北側へ向かう流動場である。したがって，処分場の南側に立坑を配置するものとした。

(4) アクセス坑道の離間距離

アクセス坑道の離間距離は，表 2-17 に示したように掘削径の 3 倍以上の長さを確保するものとした。したがって，硬岩系岩盤の場合，アクセス坑道の掘削径は 6.5m であるから，その離間距離は 20m 以上，また，軟岩系岩盤の場合，掘削径は 7.5m であることから，離間距離は 23m 以上とした。

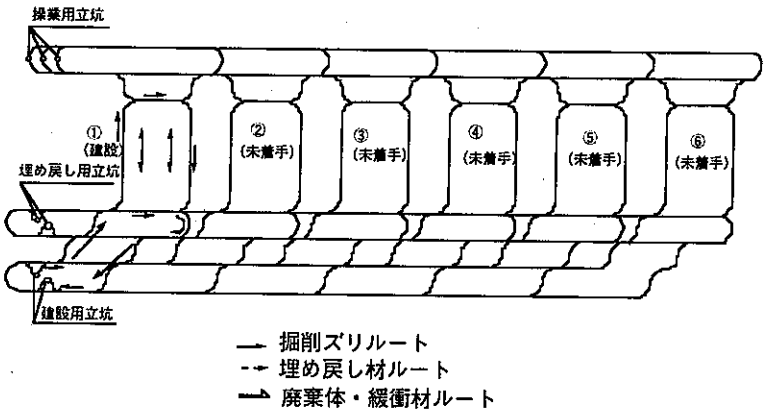
2.4.5 主要坑道・連絡坑道の配置の検討

(1) 物流・作業性

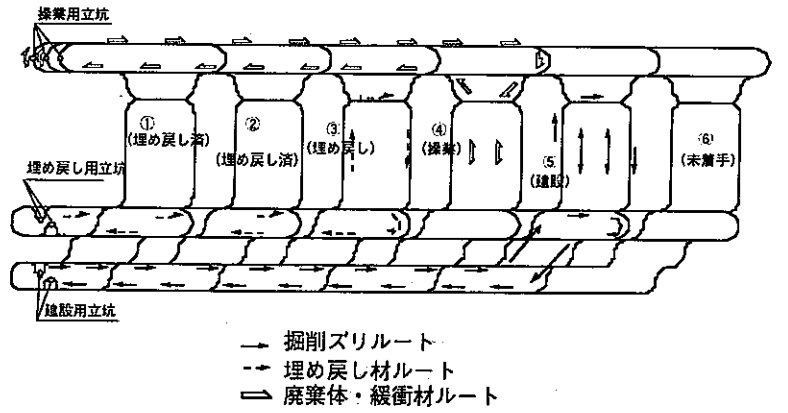
2.1 に示した基本的な考え方に基づいて，主要坑道は全周包囲型とし，各処分パネルごとに作業の独立性を確保するために，アクセス坑道→連絡坑道→処分パネル→連絡坑道→アクセス坑道という作業動線は各作業ごとに閉じるようにするとともに，各作業動線が交差しないように連絡坑道や主要坑道を配置する。「2.4.3 処分パネルの検討」および「2.4.4 アクセス坑道の検討」にて設定した処分パネルの配置やアクセス坑道の位置に対し，連絡坑道を配置して各作業段階ごとの物流の推移を示したものを図 2-60～図 2-63 に示す。この図では，処分パネルを平行四辺形ではなく長方形に置き換えて表現しているが，概念的には同じものである。また，処分坑道については省略してある。これら図のように連絡坑道を配置することにより，各作業が独立したルートで行われることが可能になる。

また，作業性の観点から，車両運行の確実性確保を考慮し，坑道交差部の接続は斜め接続の曲率半径 40m とした。また，隣接する連絡坑道間を連絡する連絡坑道を設ける場合には，図 2-64 に示すように半径 40m の円弧を適宜組み合わせて設置した。

1．①建設



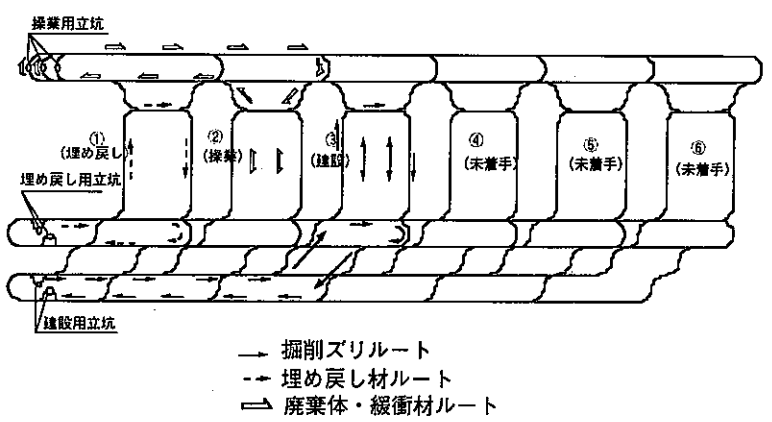
5．⑤建設、④操業、③埋め戻し



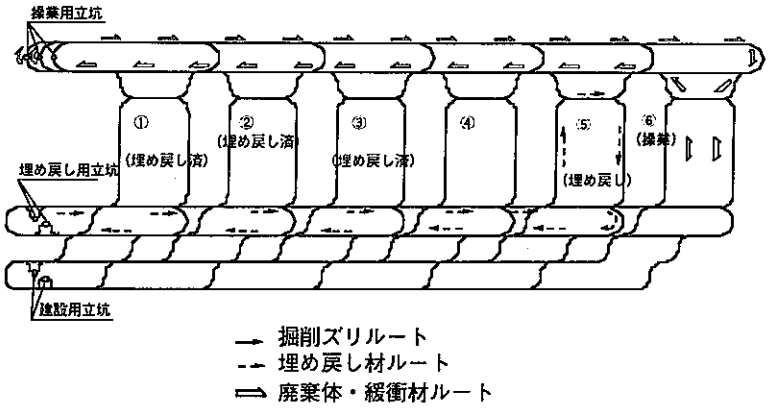
2．②建設、①操業

6．⑥建設、⑤操業、④埋め戻し

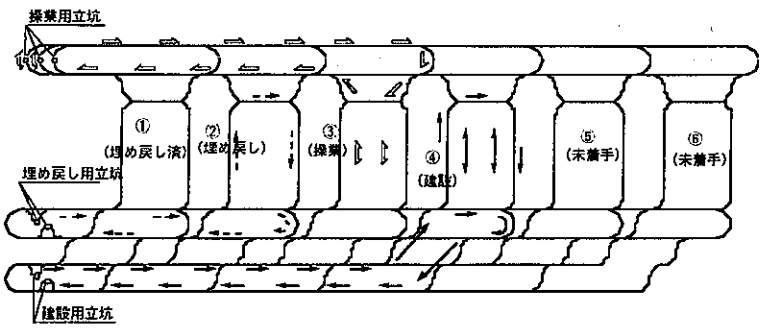
3．③建設、②操業、①埋め戻し



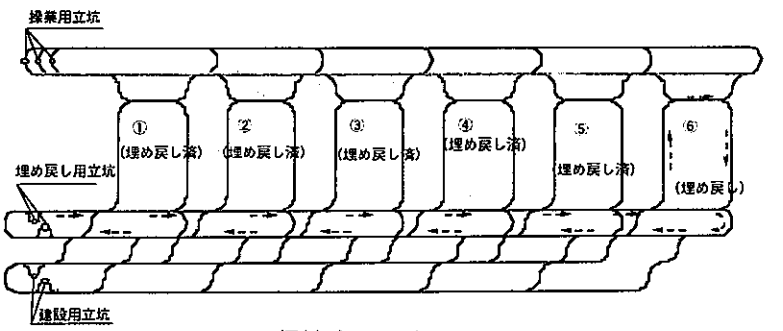
7．⑥操業、⑤埋め戻し



4．④建設、③操業、②埋め戻し



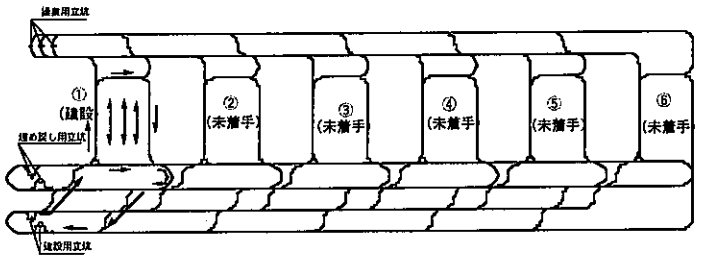
8．⑥埋め戻し



注）上記表に示す①～⑥は，各パネルの番号を示す。

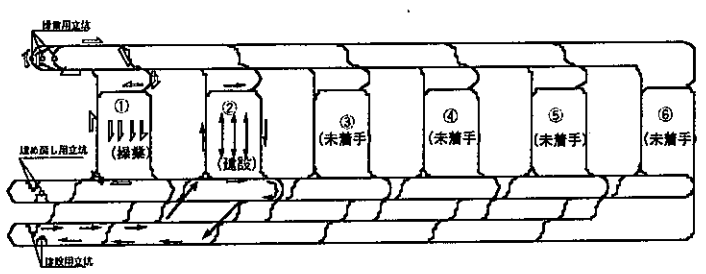
図 2-60 作業動線の推移（硬岩系岩盤，横置き方式）

1．①建設



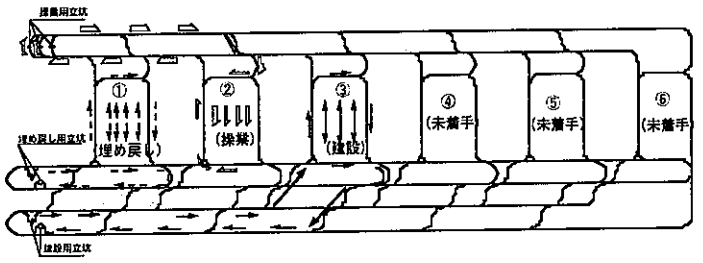
→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

2．②建設、①操業



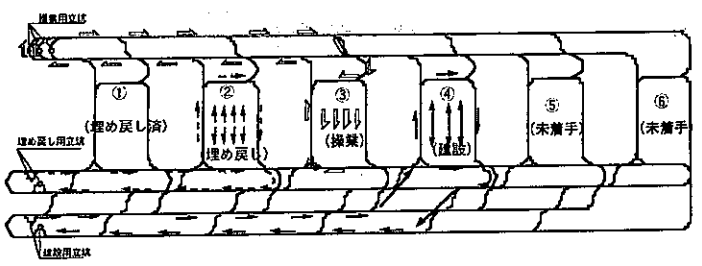
→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

3．③建設、②操業、①埋め戻し



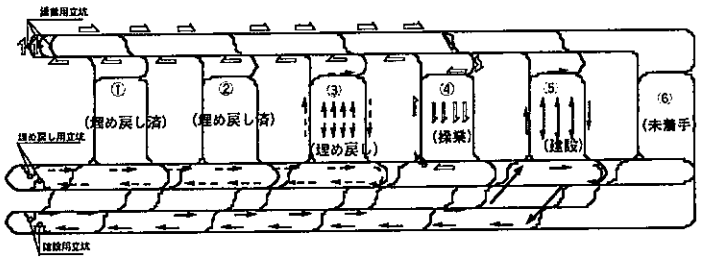
→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

4．④建設、③操業、②埋め戻し



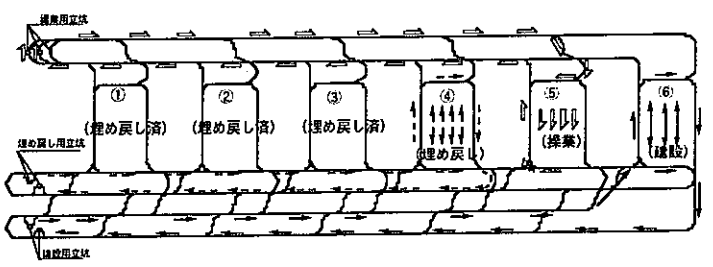
→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

5．⑤建設、④操業、③埋め戻し



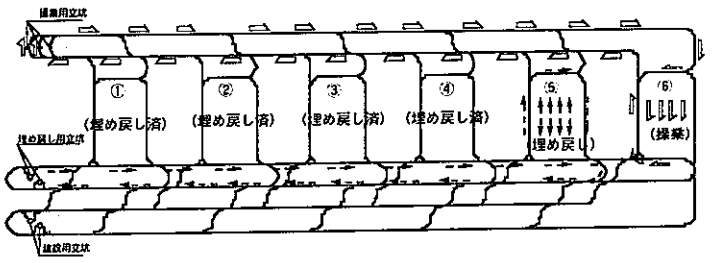
→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

6．⑥建設、⑤操業、④埋め戻し



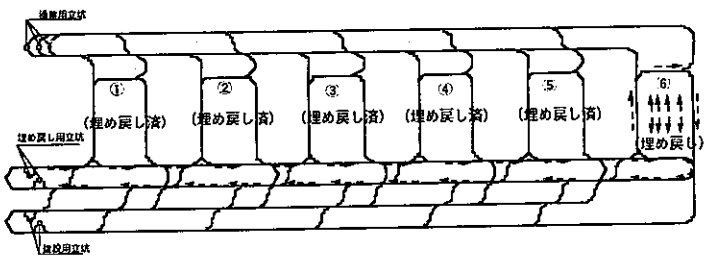
→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

7．⑥操業、⑤埋め戻し



→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

8．⑥埋め戻し



→ 掘削ズリルート
-→ 埋め戻し材ルート
⇨ 廃棄体・緩衝材ルート

注）上記表に示す①～⑥は，各パネルの番号を示す。

図 2-61 作業動線の推移（硬岩系岩盤，竪置き方式）

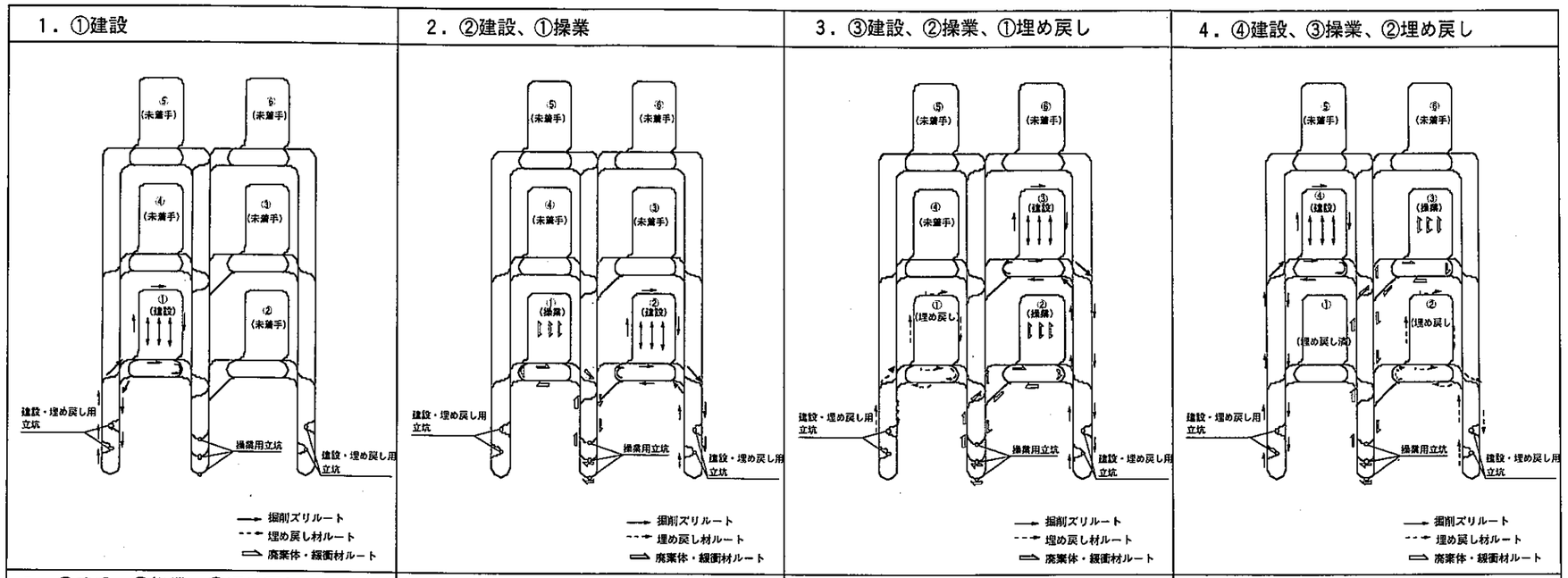
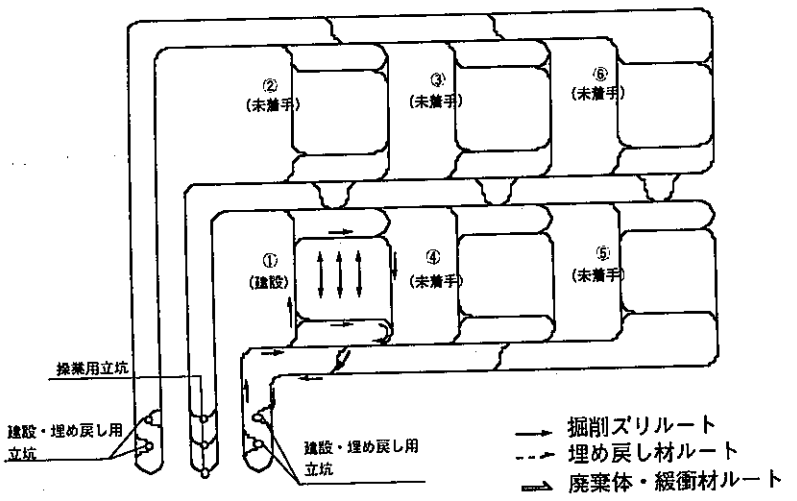


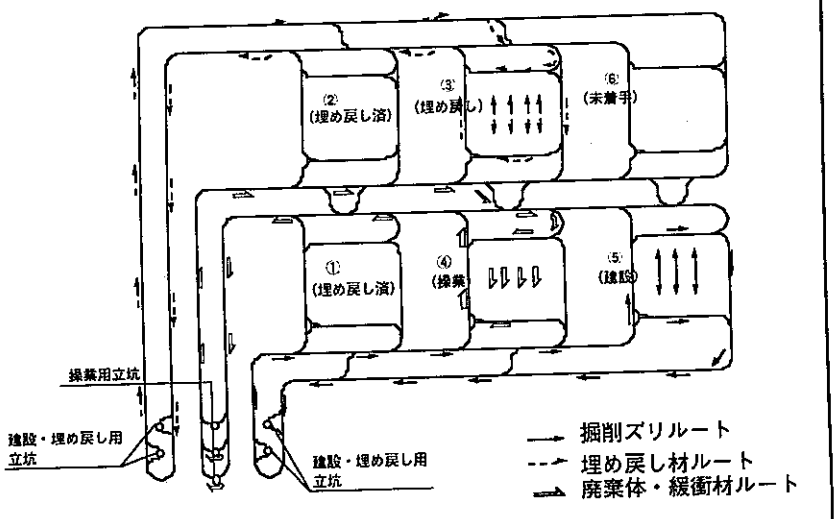
図 2-62 作業動線の推移（軟岩系岩盤，横置き方式）

注）上記表に示す①～⑥は，各パネルの番号を示す。

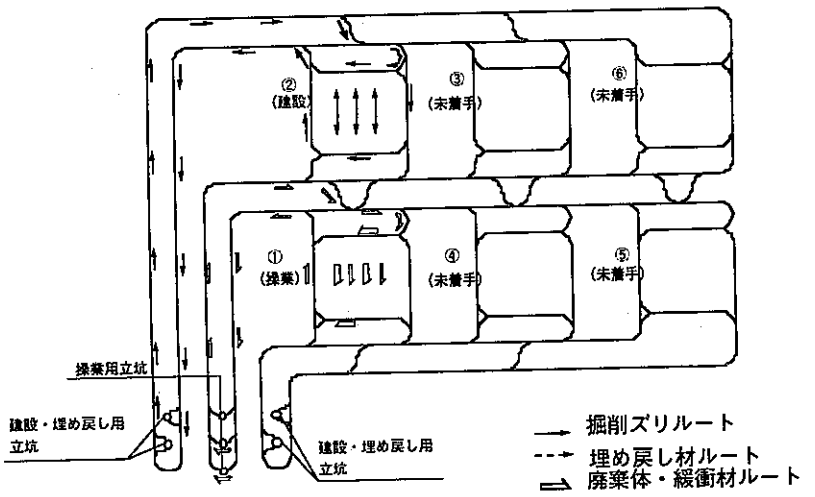
1．①建設



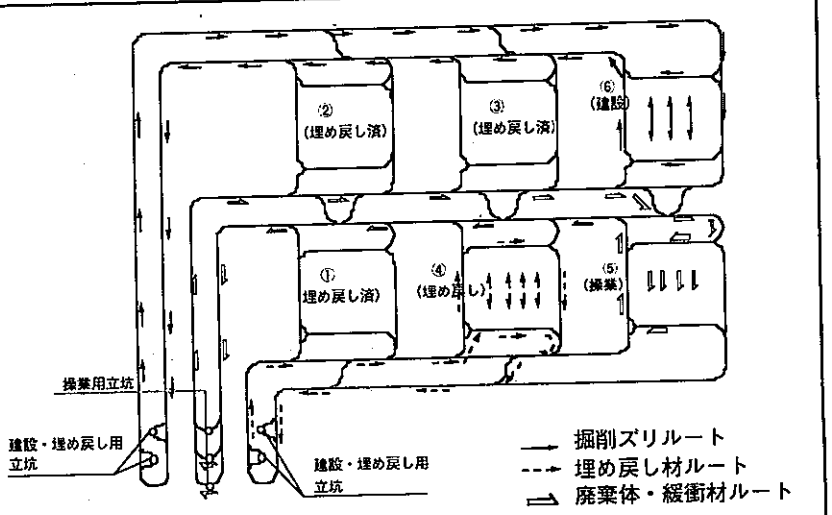
5．⑤建設、④操業、③埋め戻し



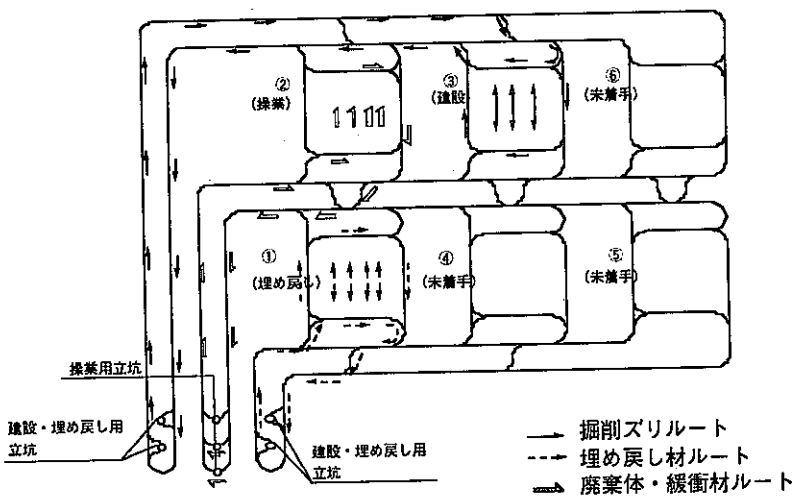
2．②建設、①操業



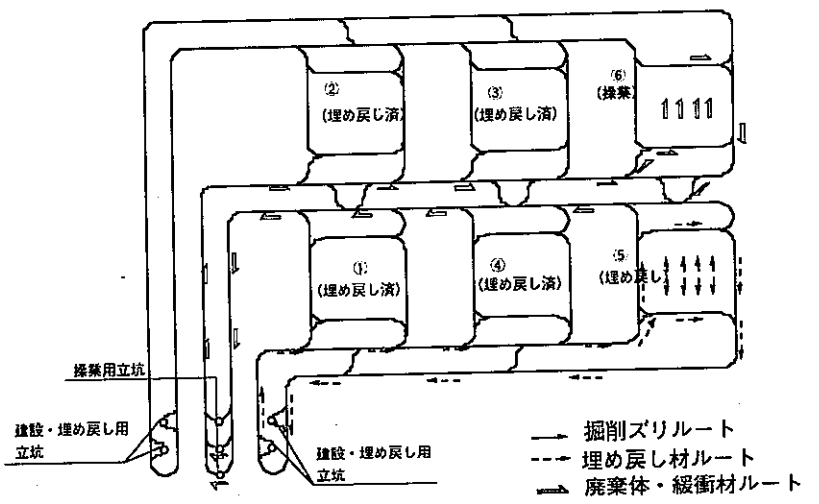
6．⑥建設、⑤操業、④埋め戻し



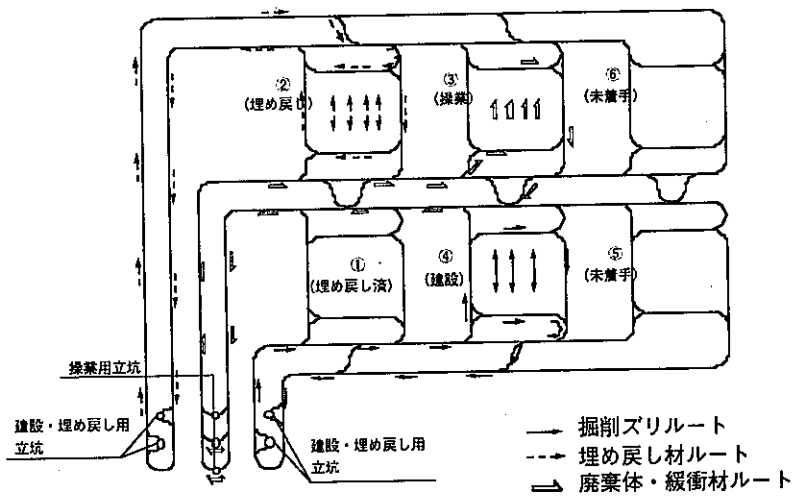
3．③建設、②操業、①埋め戻し



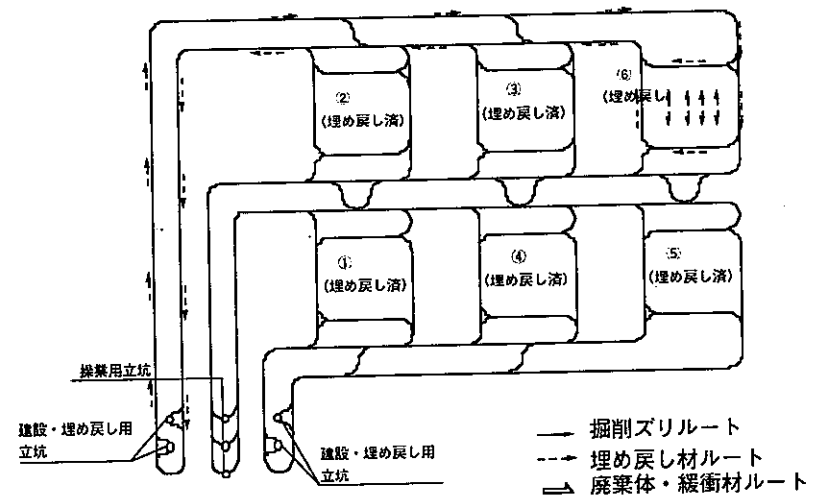
7．⑥操業、⑤埋め戻し



4．④建設、③操業、②埋め戻し



8．⑥埋め戻し



注）上記表に示す①～⑥は，各パネルの番号を示す。

図 2-63 作業動線の推移（軟岩系岩盤，竪置き方式）

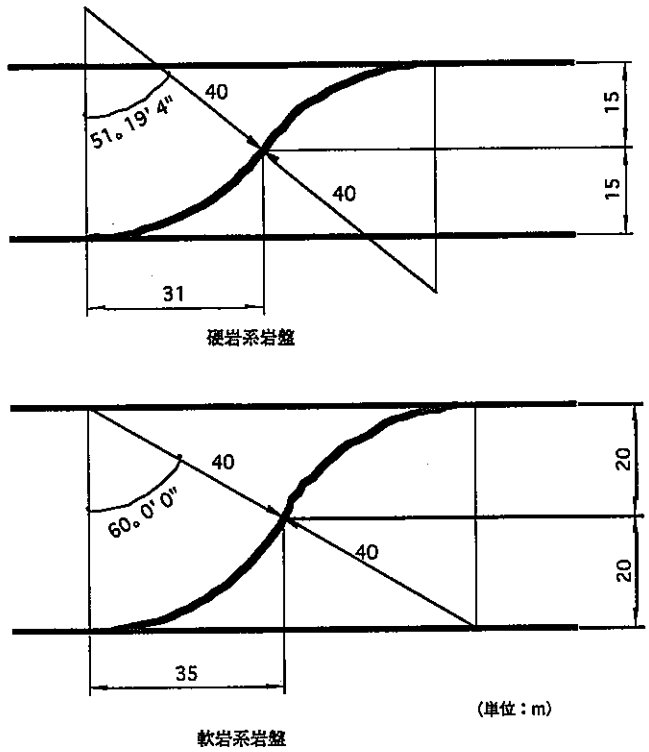


図 2-64 連絡坑道の基本仕様

(2) 空洞の安定性

図 2-60～図 2-63 に示したように連絡坑道には多くの坑道交差部が存在することになり，斜め接続の場合，等価な掘削径が 2 倍近くになる。また，双設空洞がお互いに影響を及ぼさない中心間距離として掘削径の 3 倍以上としたことに伴い，交差部のある連絡坑道では，中心間距離は 6D 以上とする。したがって，硬岩系岩盤の場合，連絡坑道の掘削径が 5m であることから，交差部のある連絡坑道の中心間距離を 30m 以上，また，軟岩系岩盤の場合，掘削径が 6m であることから，中心間距離を 40m 以上とした。また，応力集中の問題から，坑道の同一側壁側から 2 本の坑道が交差すること，図 2-65 に示すように，空洞安定性の観点から坑道離間距離が設定された 2 坑道間に坑道交差部を設けることは行わないこととした。空洞安定性の観点から設定した坑道離間距離の纏めとして，双設空洞の取りえるパターンおよび坑道離間距離を図 2-66 に示す。

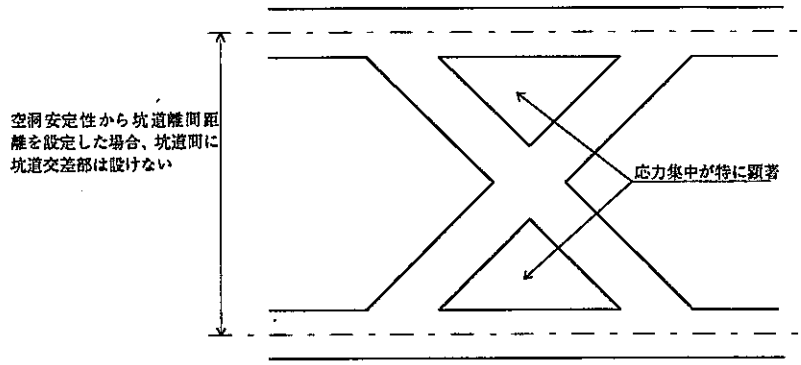


図 2-65 坑道間における坑道交差と応力集中

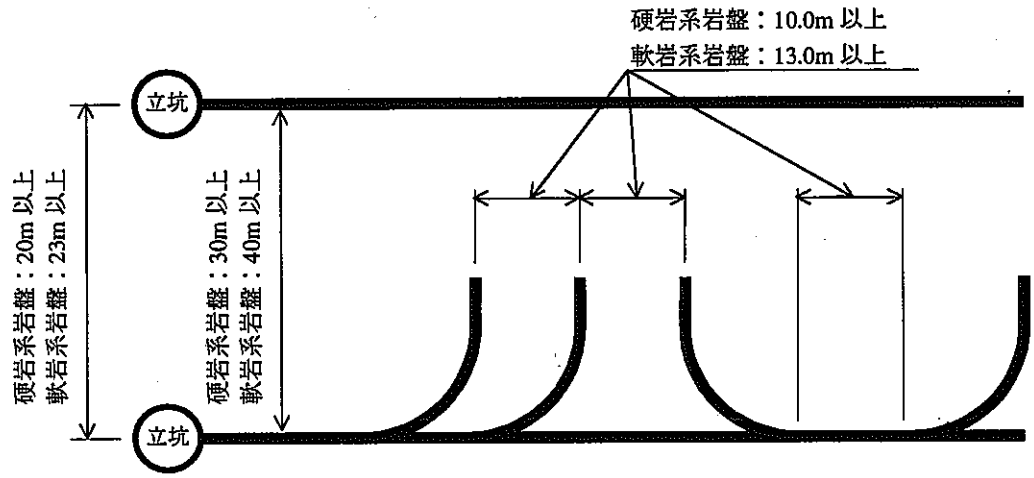


図 2-66 空洞の安定性から設定した坑道の離間距離

2.5 処分場レイアウト

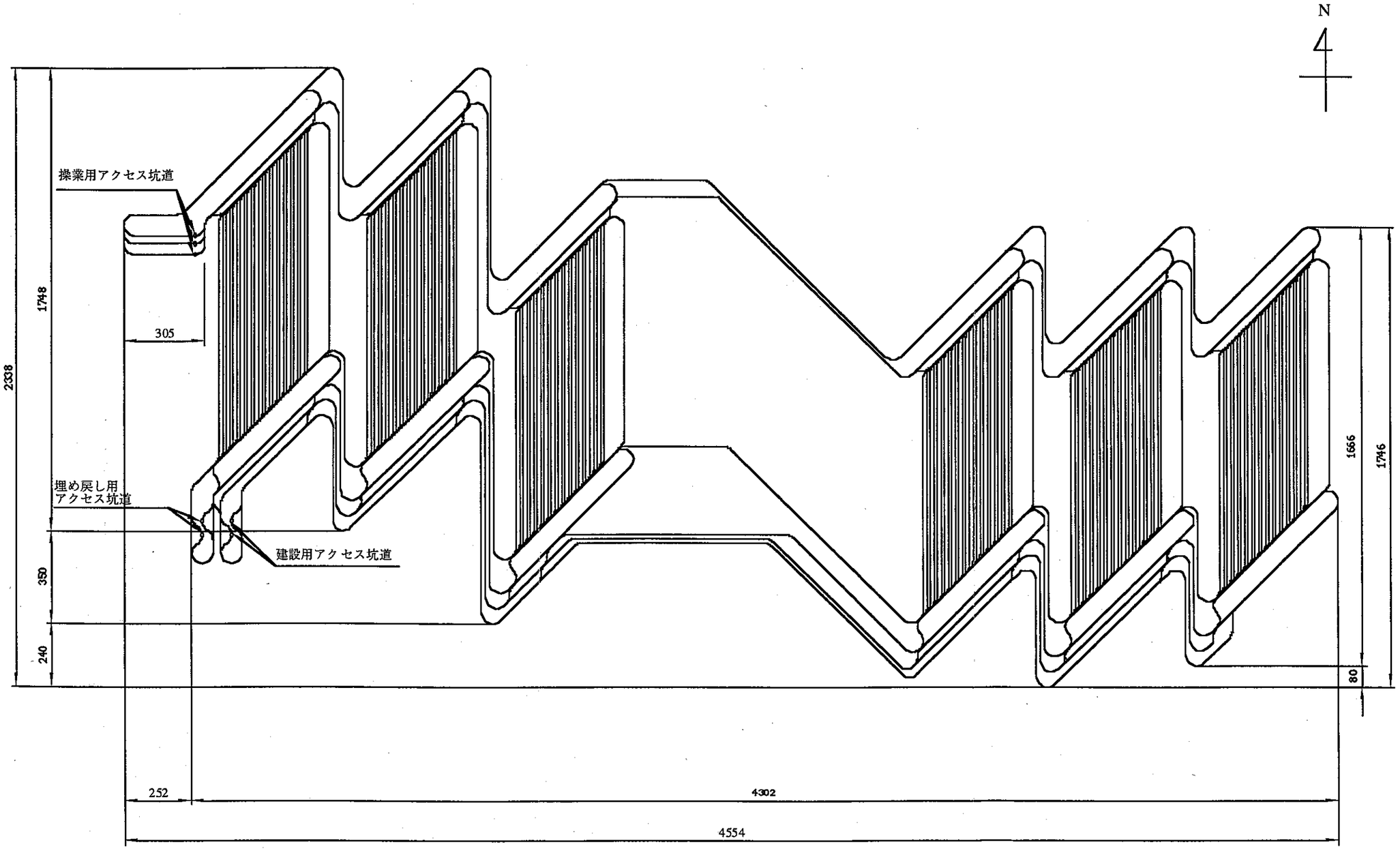
前項までの検討結果を集約し，かつ，以下の点を考慮して調整した各ケース毎の処分場レイアウトを図 2-67～図 2-70 に示した。また，各ケース毎の処分パネルの詳細を図 2-71～図 2-75 に，処分場の鳥瞰図を図 2-76～図 2-79 に示す。

①連絡坑道は，アクセス坑道→連絡坑道→主要坑道→処分坑道→主要坑道→連絡坑道→アクセス坑道という物流が実現するように，図 2-60～図 2-63 を参考にして配置した。この時，各坑道の接続部には適宜曲率半径 40m の円弧を設けた。

②「地層処分場の建設技術に関する検討」（棚井ほか，1999）により横置き方式の処分坑道の両端は TBM の組み立て・解体に必要な発進，到達基地とするために，主要坑道と同断面のすりつけ部とした。また，このすりつけ部は曲率半径 40m の曲線部に 10m の直線部を加えたものとしている。硬岩系岩盤の場合，この部分は発破工法にて施工するため，処分坑道廃棄体定置部への影響を考慮して，すりつけ部から 10m 以内の範囲には廃棄体を設置しないものと

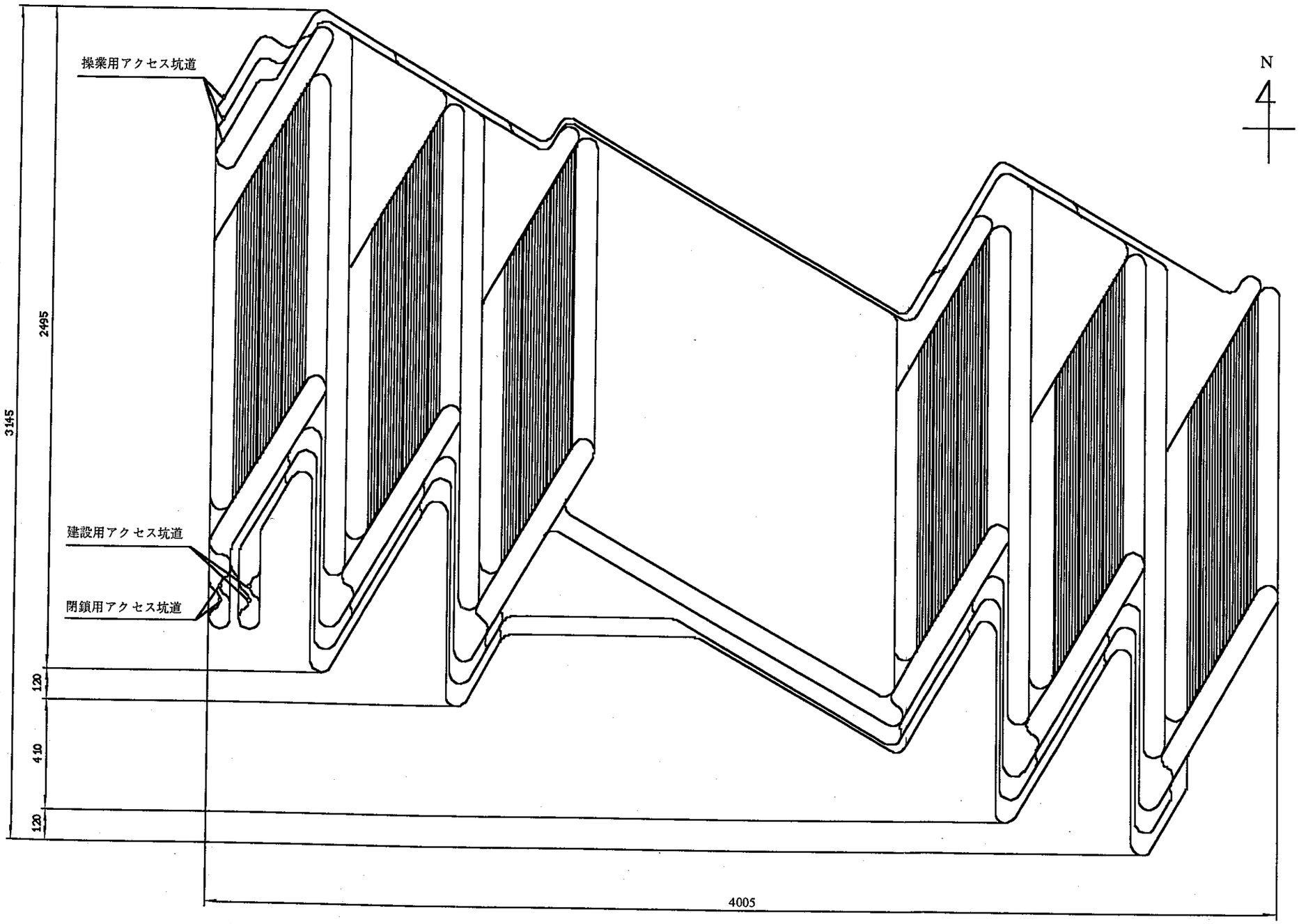
した。軟岩系岩盤の場合は，TBM 初期発進時の地山の乱れを考慮して，すりつけ部から 10m 以内の範囲には廃棄体を設置しないものとした。さらに，処分坑道の直線部は廃棄体埋設間隔と個数から決まる必要長さに余長（5m×2）を加えたものとした。これにより，処分パネルの形状が平行四辺形であっても，廃棄体を碁盤の目のように配置することができる。

③竪置き方式の処分坑道の直線部は，廃棄体埋設間隔と個数から決まる必要長さに余長（10m×2）を加えたものとした。これにより処分パネルの形状が平行四辺形であっても，横置き方式と同様に廃棄体を碁盤の目のように配置することができる。



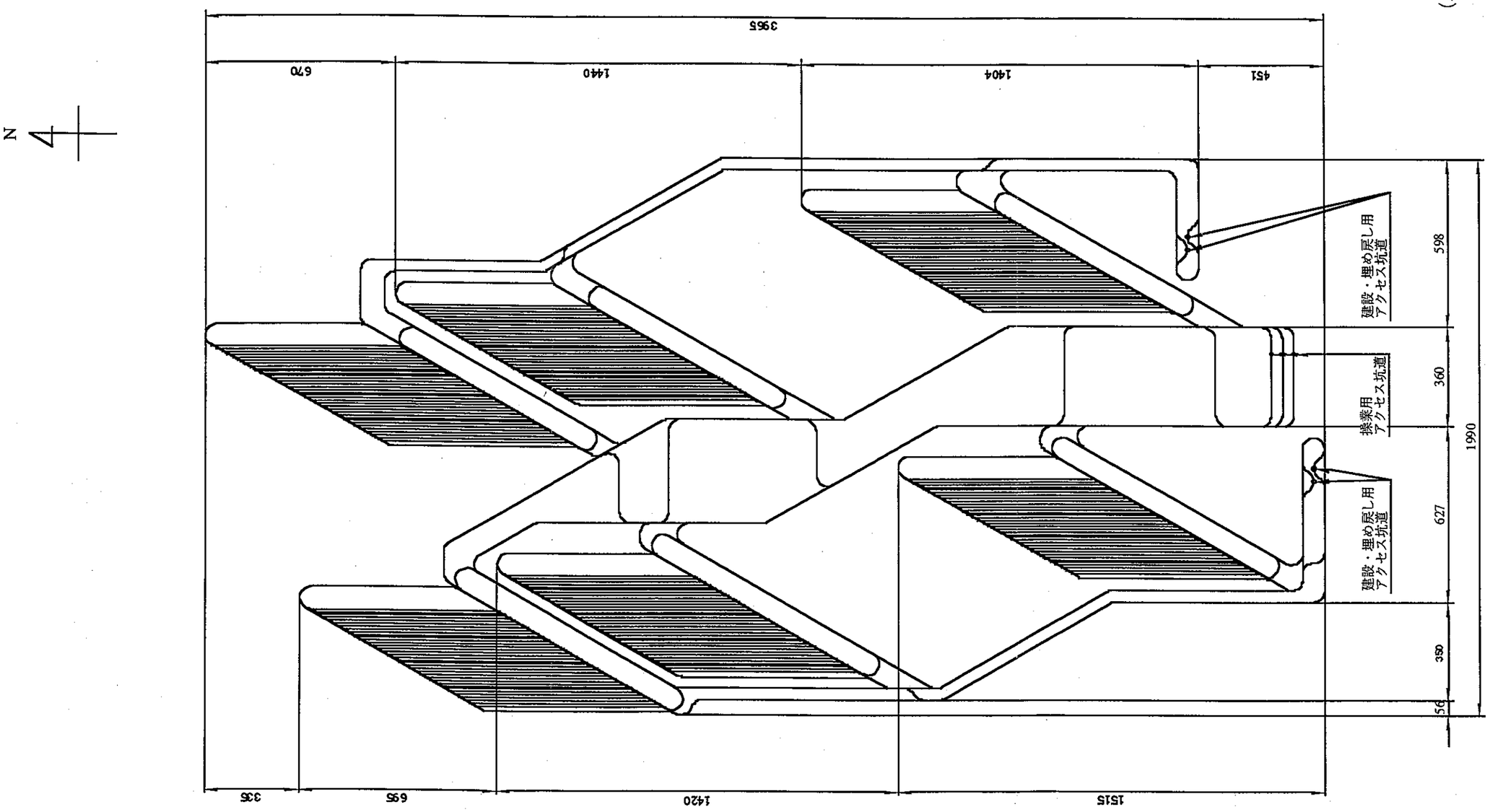
（単位：m）

図 2-67 処分場レイアウト図（硬岩系岩盤，横置き方式）



（単位：m）

図 2-68 処分場レイアウト図（硬岩系岩盤，竪置き方式）



（単位：m）

図 2-69 処分場レイアウト図（軟岩系岩盤，横置き方式）

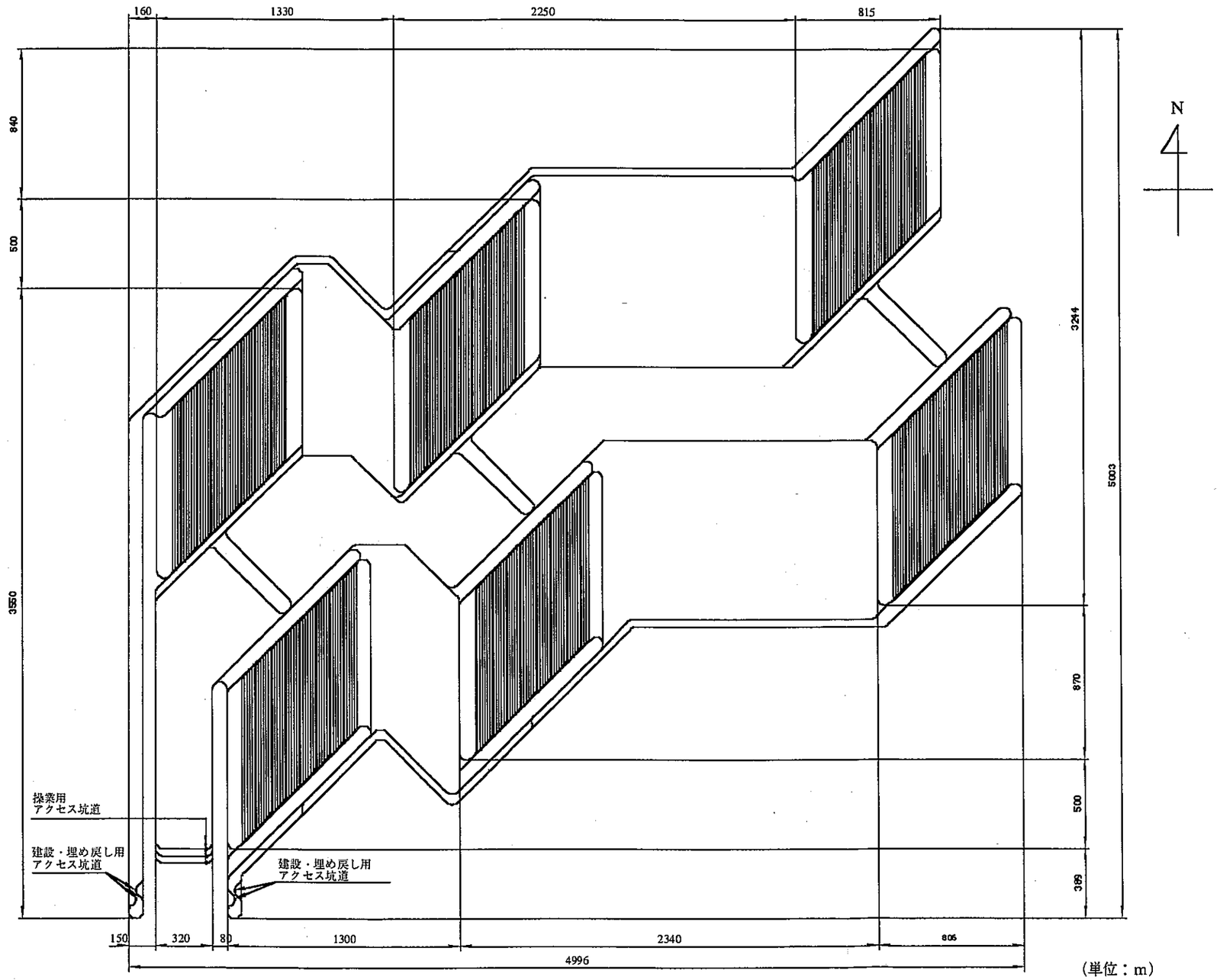


図 2-70 処分場レイアウト図（軟岩系岩盤，竪置き方式）

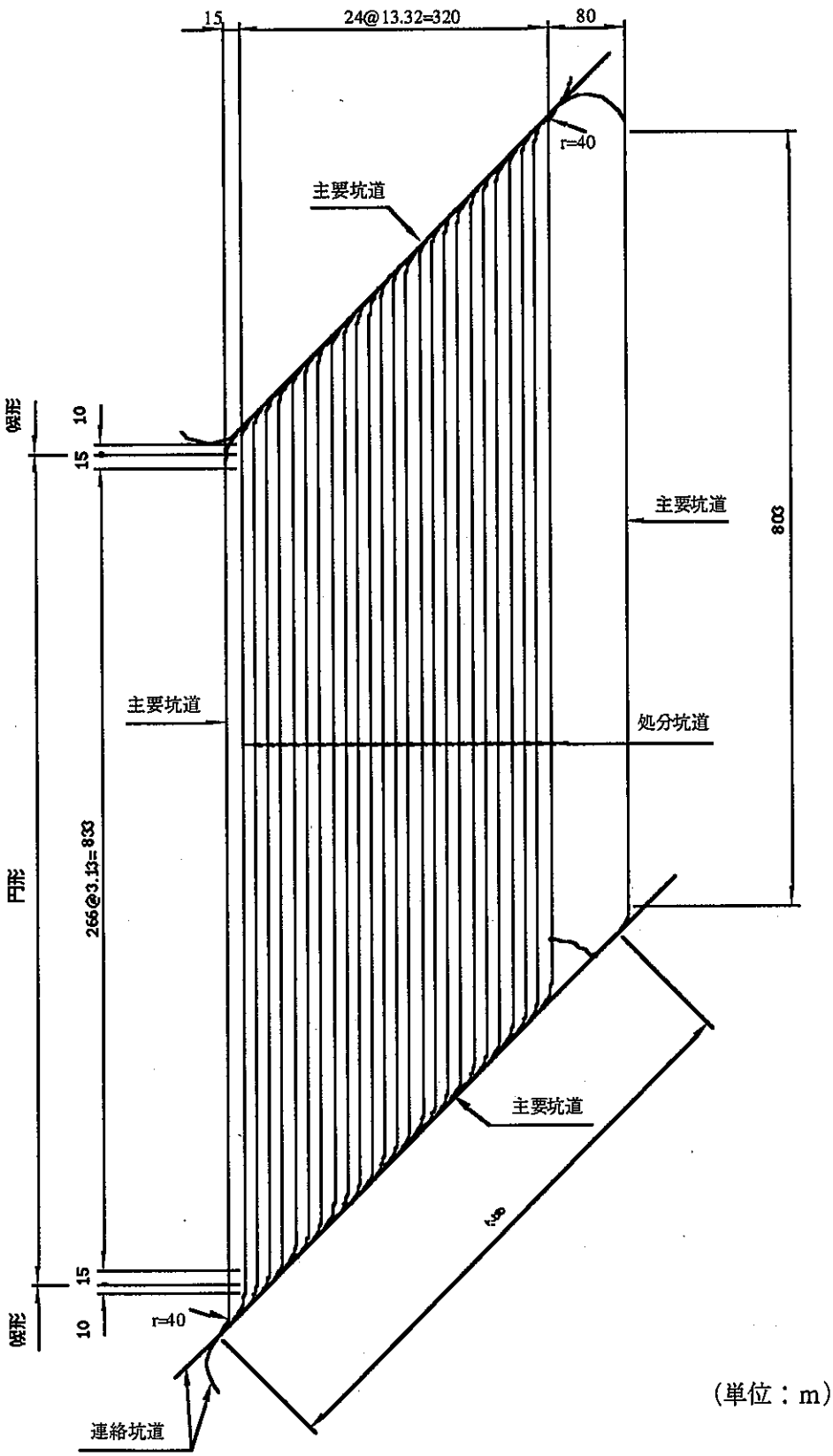
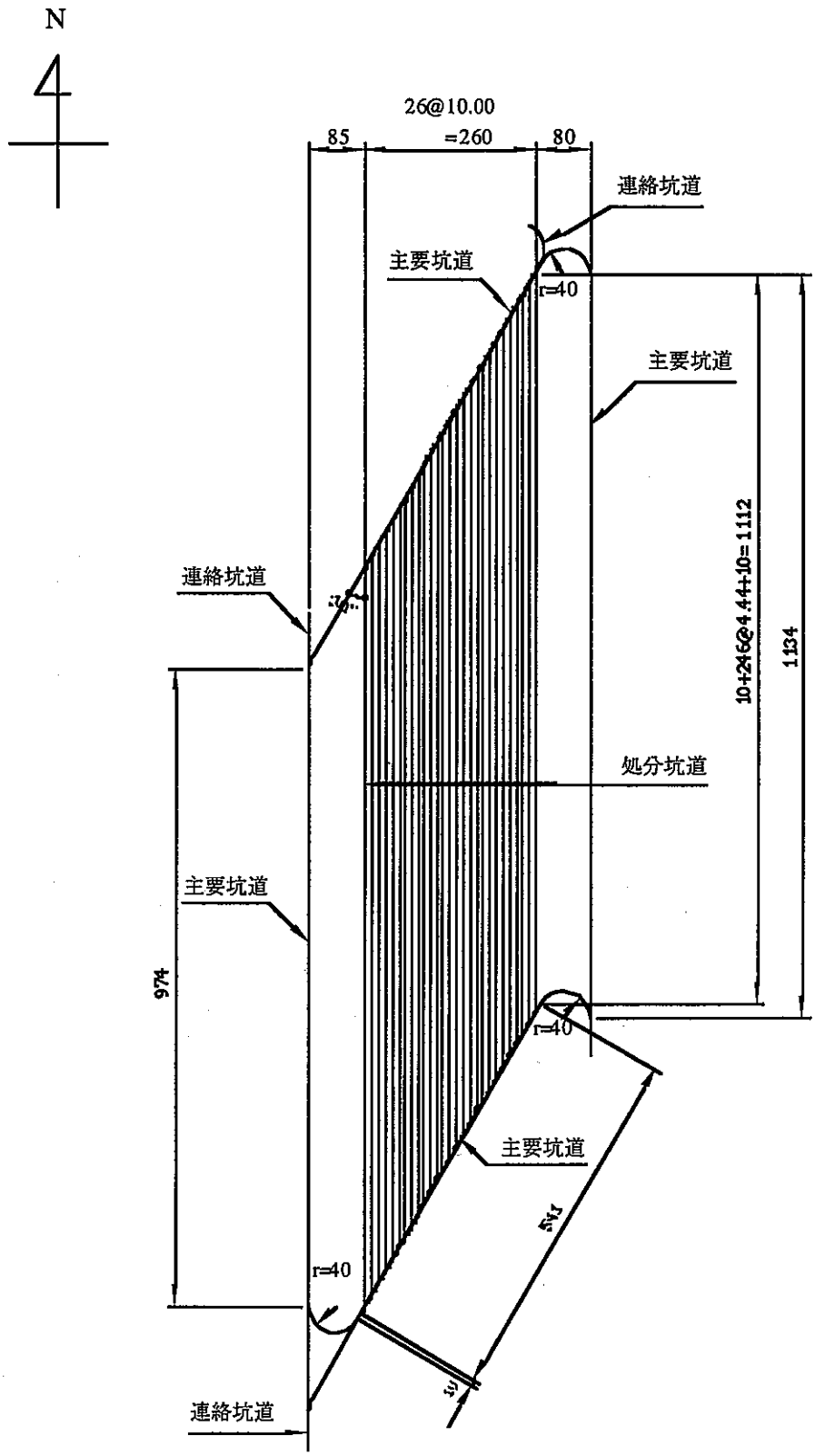


図 2-71 処分パネルの詳細図（硬岩系岩盤，横置き方式）



（単位：m）

図 2-72 処分パネルの詳細図（硬岩系岩盤，竪置き方式）

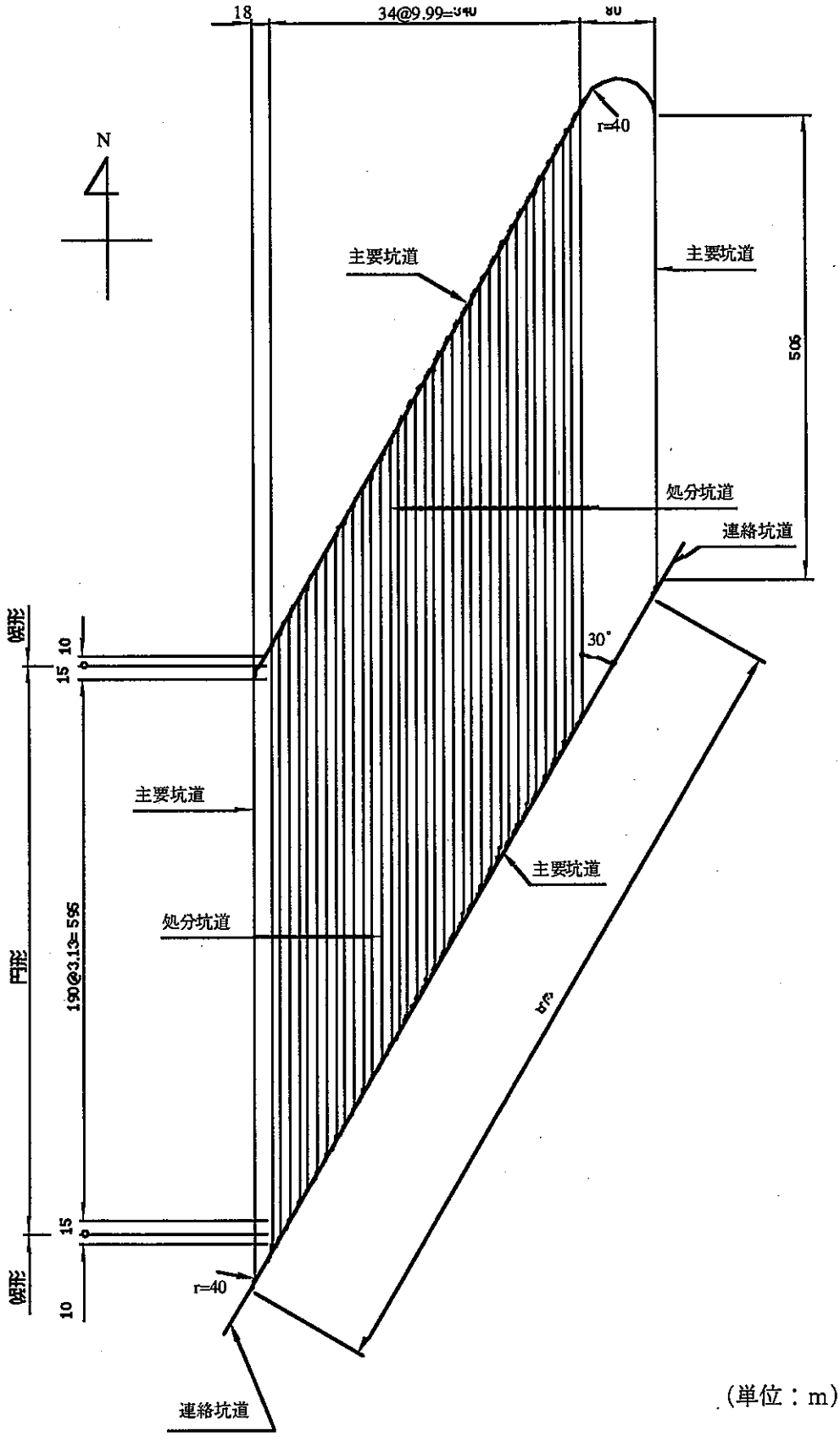
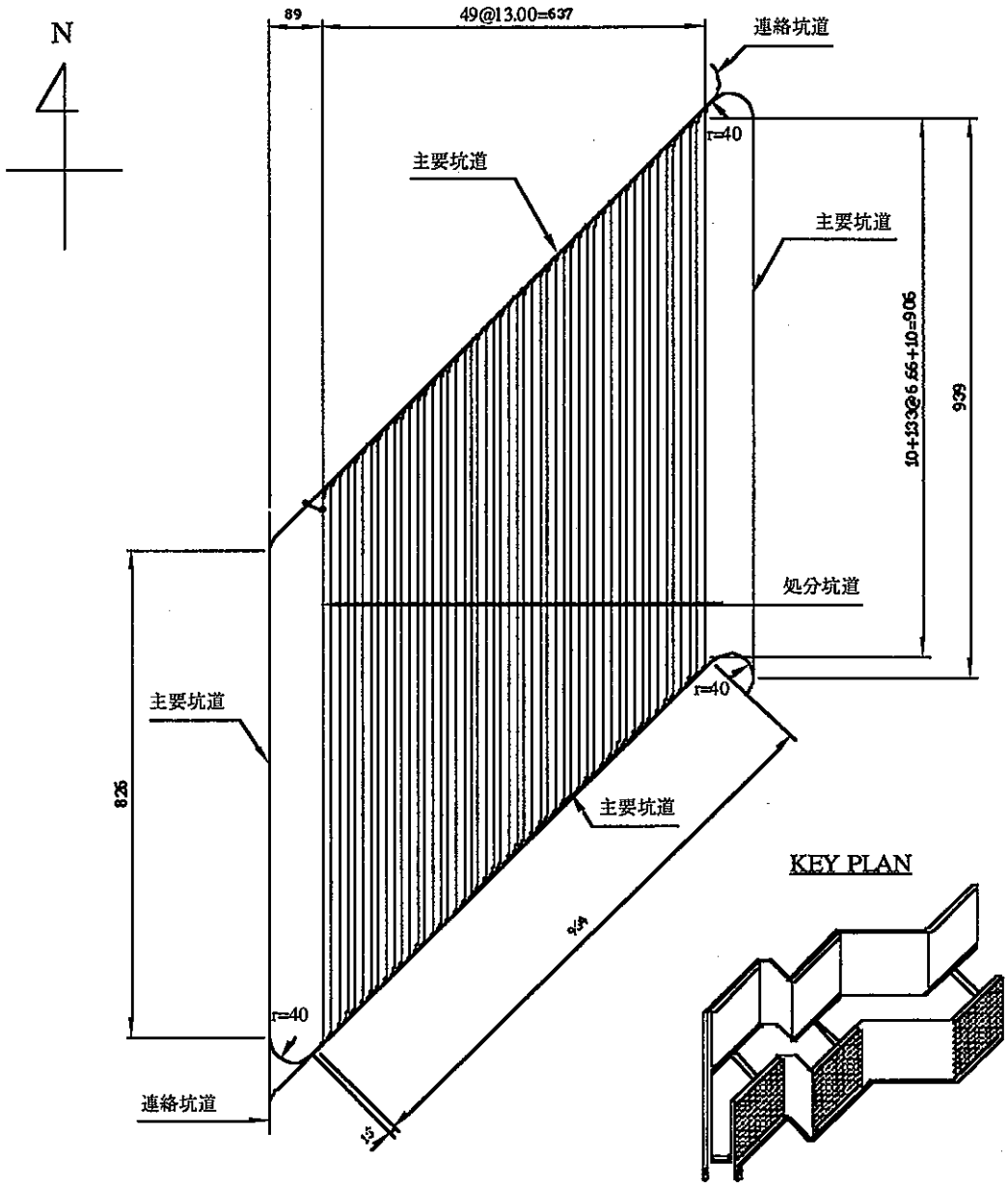
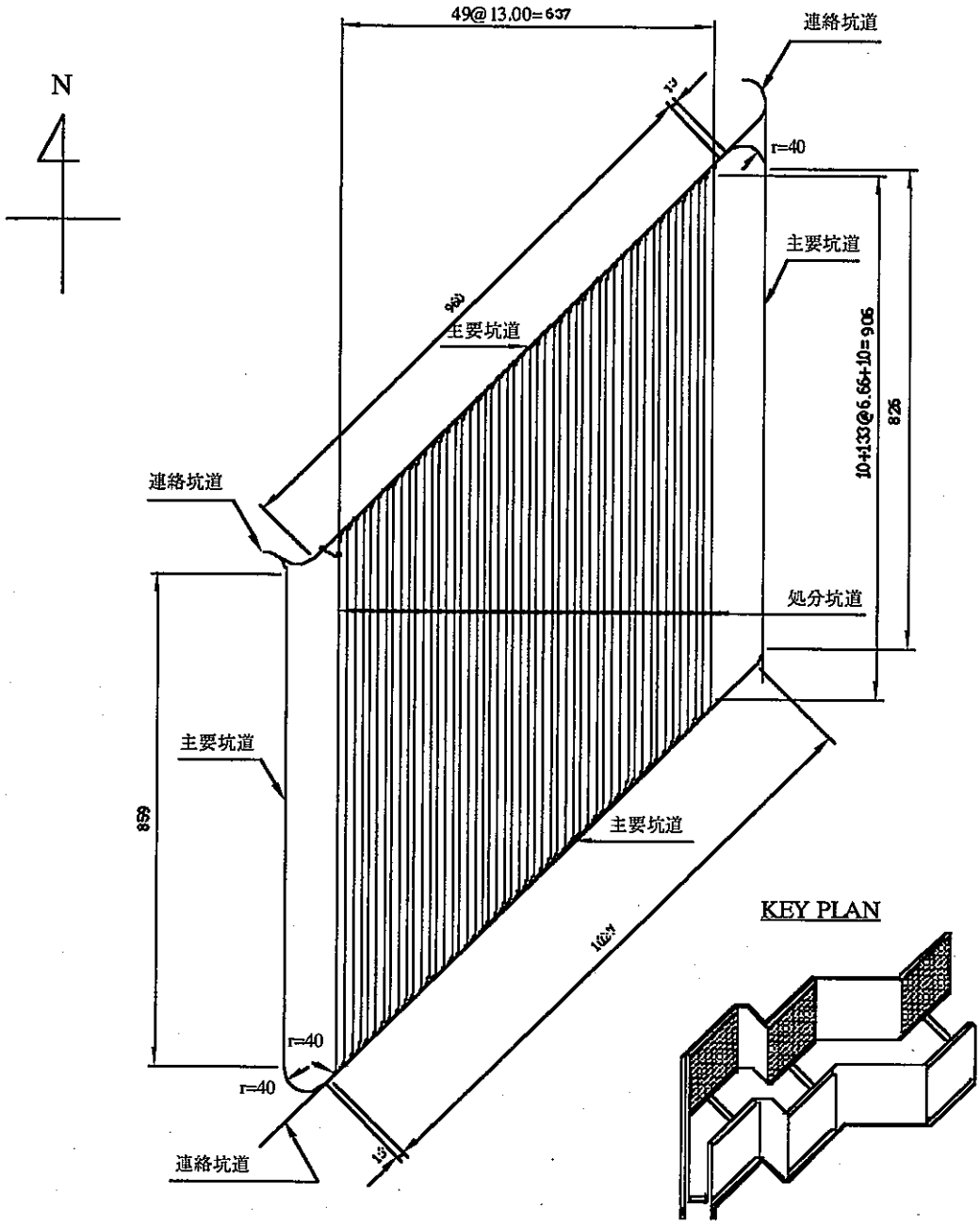


図 2-73 処分パネルの詳細図（軟岩系岩盤，横置き方式）



（単位：m）

図 2-74 処分パネルの詳細図（軟岩系岩盤，竪置き方式，その１）



（単位：m）

図 2-75 処分パネルの詳細図（軟岩系岩盤，竪置き方式，その２）

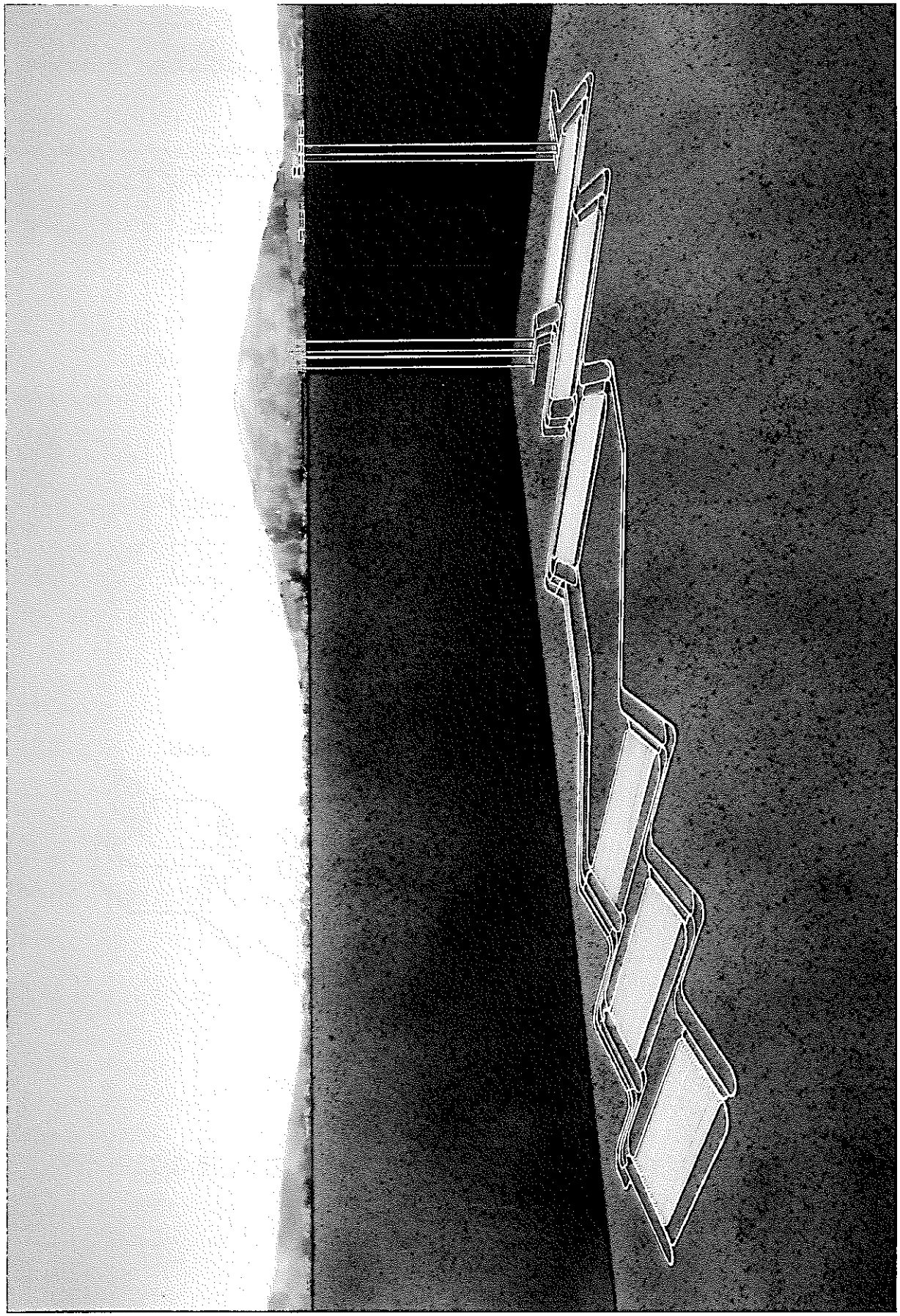


図2-76 全体鳥瞰図（硬岩系岩盤，横置き方式）

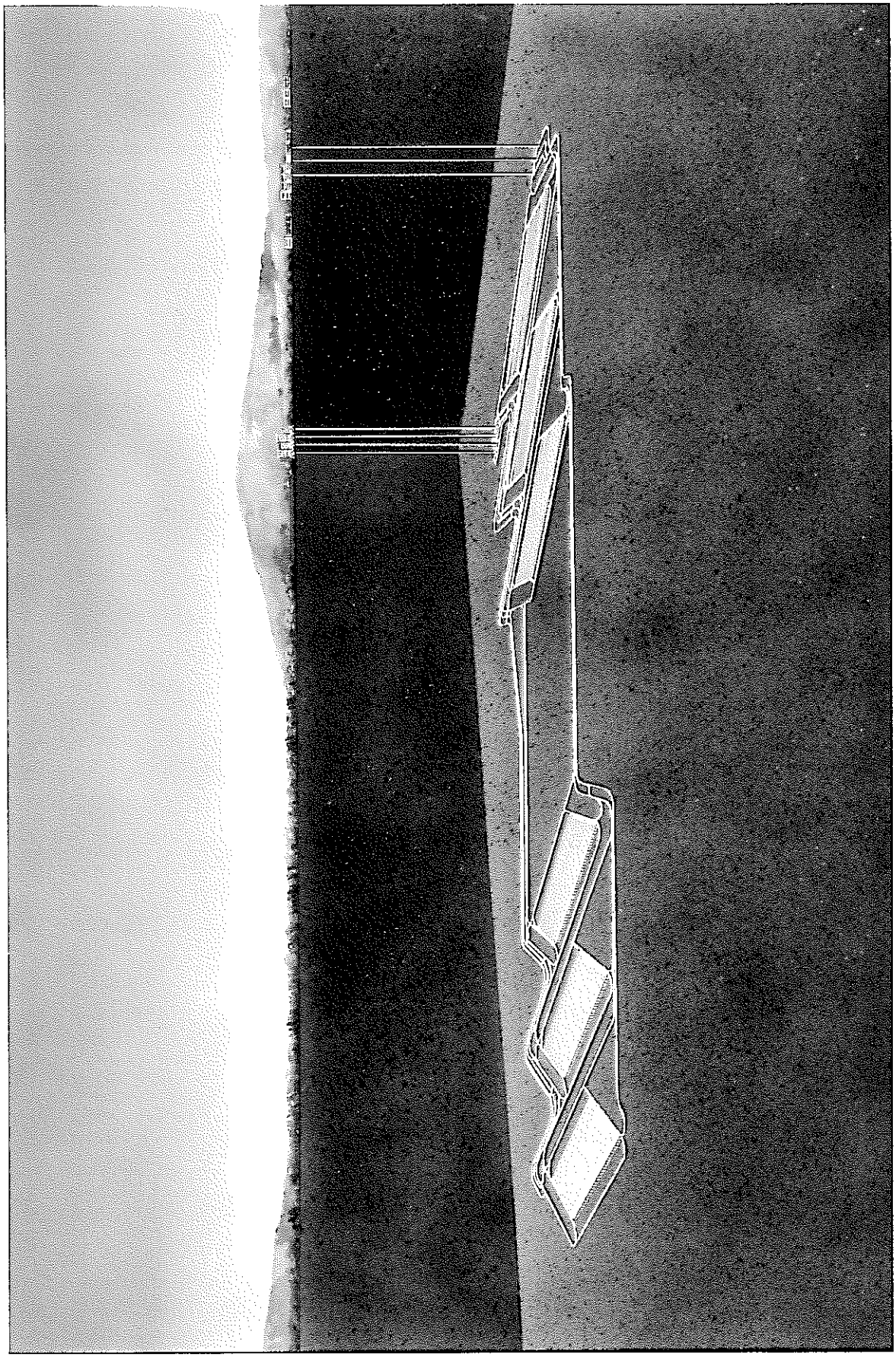


図2-77 全体鳥瞰図（硬岩系岩盤，竪置き方式）

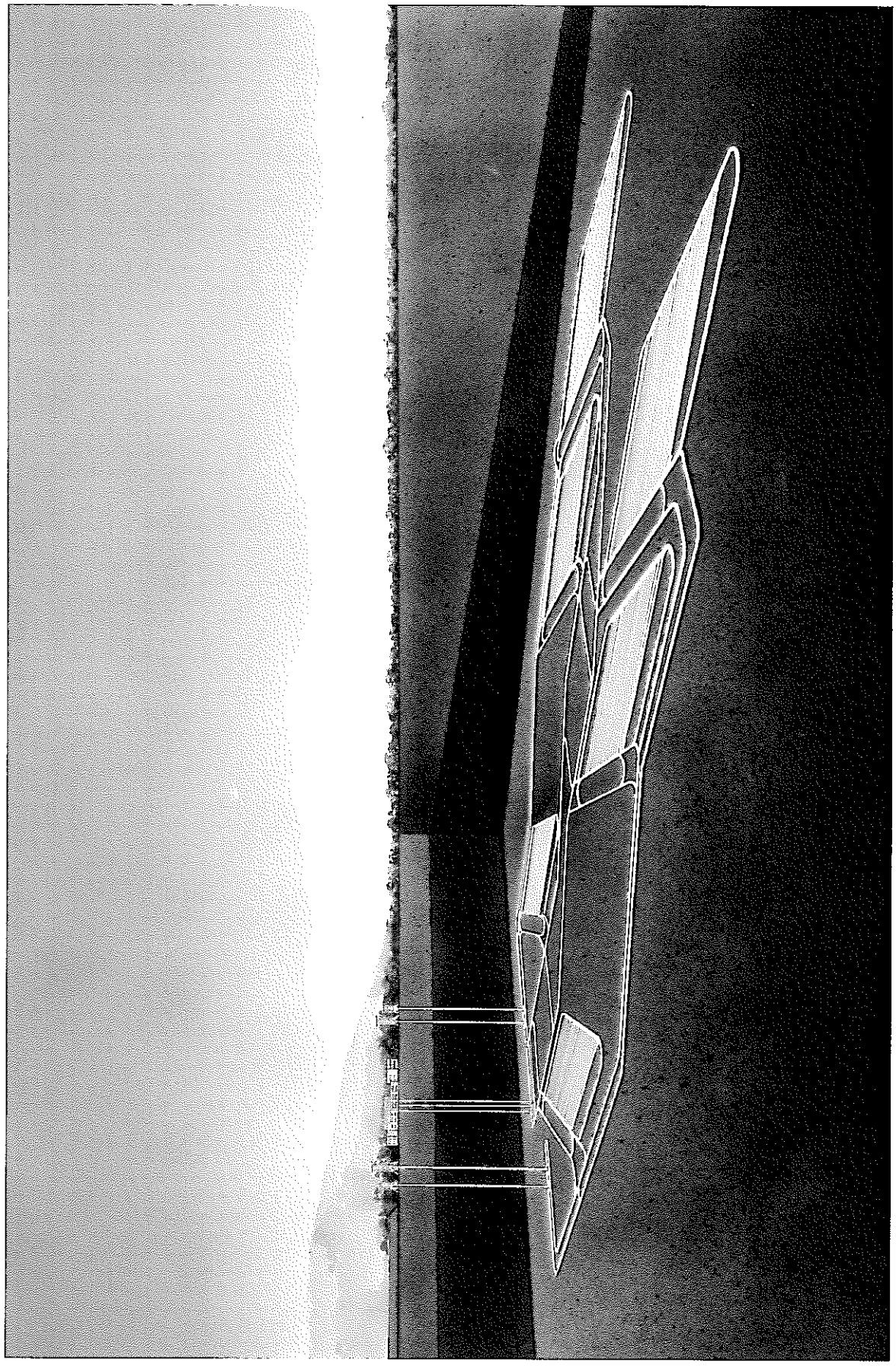


図2-78 全体鳥瞰図（軟岩系岩盤，横置き方式）

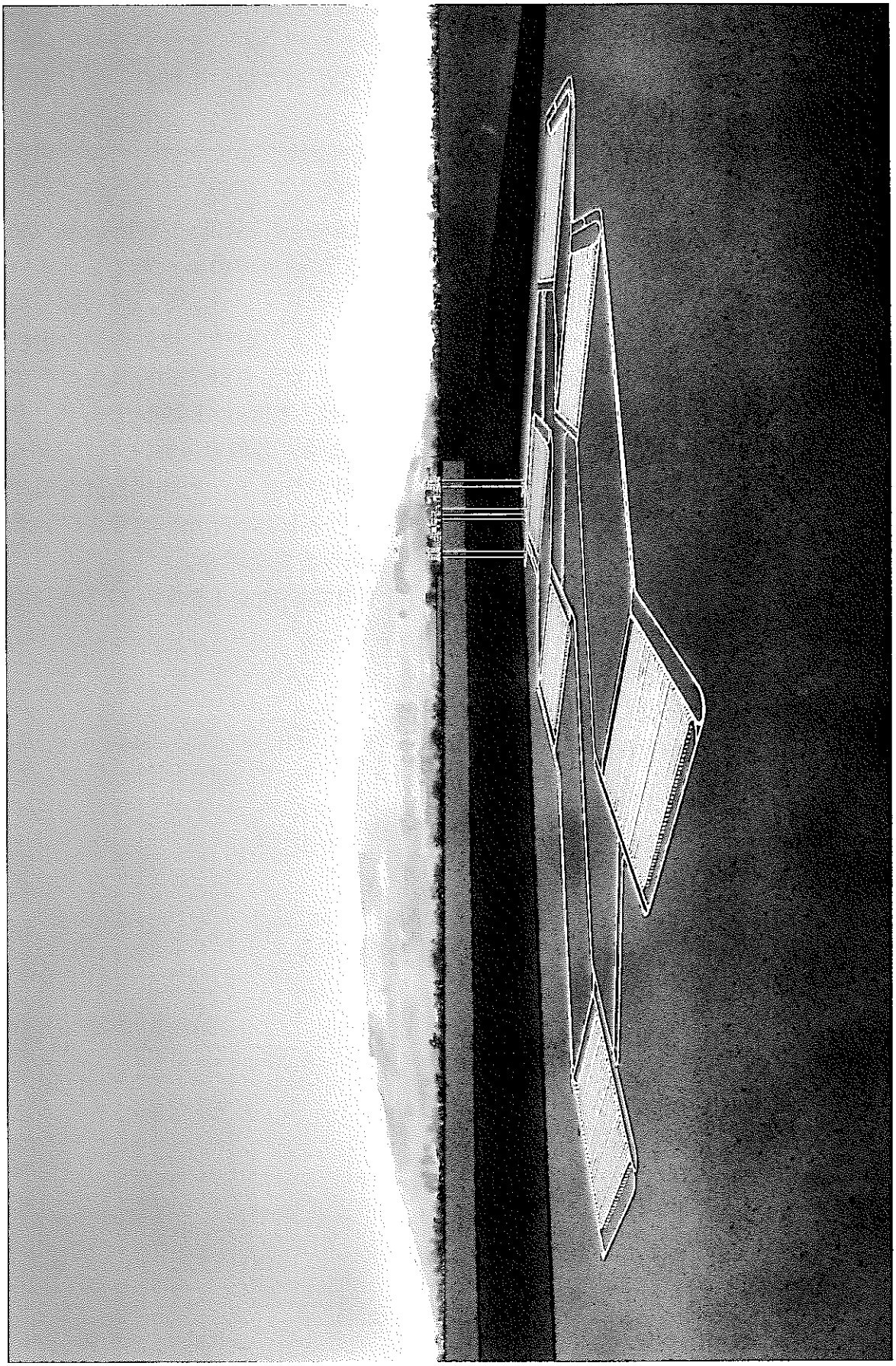


図2-79 全体鳥瞰図（軟岩系岩盤，竪置き方式）

3. 地上施設の検討

ここでは，地上施設について詳細に検討されているカナダの研究例をもとに地上施設および設備等について調査し，地上施設の概念を整理する。また，これらの研究例を参考に，かつ，建設，操業および埋め戻しの各技術の検討結果から地上施設の全体レイアウトの一例を示す。

3.1 カナダの検討例

カナダの EIS レポートにおける"Engineering for a Disposal Facility"（Simmons and Baumgartner，1994）では電気，排水処理，給水施設，防消火等のユーティリティー施設から地下施設および操業関係のコンクリートバッチャープラント，埋め戻し用掘削ずり粉砕プラント等のレイアウトやコミニュケーション設備，補助建屋の屋内レイアウト等について詳細な検討がなされている。ここで示されている地上エリアの概要を図 3-1 に示す。この図から地上部の所有面積は，3.0km×5.2km であり，そのエリアには 2.0km×2.0km の地下施設エリア，換気施設，各種地上施設，コンクリートバッチャープラント，埋め戻し用掘削ズリの粉砕プラント，掘削ズリ置き場が配置されている。図 3-2 には各種地上施設，コンクリートバッチャープラント，埋め戻し用掘削ズリの粉砕プラント，掘削ズリ置き場等の配置を示す。
また，これらの検討において挙げられている施設を概略整理すると以下のようになる。

①廃棄体の受け入れ・検査関連施設
②オーバーパック封入・検査関連施設
③緩衝材製作・検査関連施設
④建設・埋め戻し関連施設
⑤通信，セキュリティー関連設備
⑥換気・排水施設
⑦廃棄物処理関連施設
⑧電気，圧縮空気，防消火，駐車場，倉庫等に関するユーティリティー施設
⑨修理・輸送施設

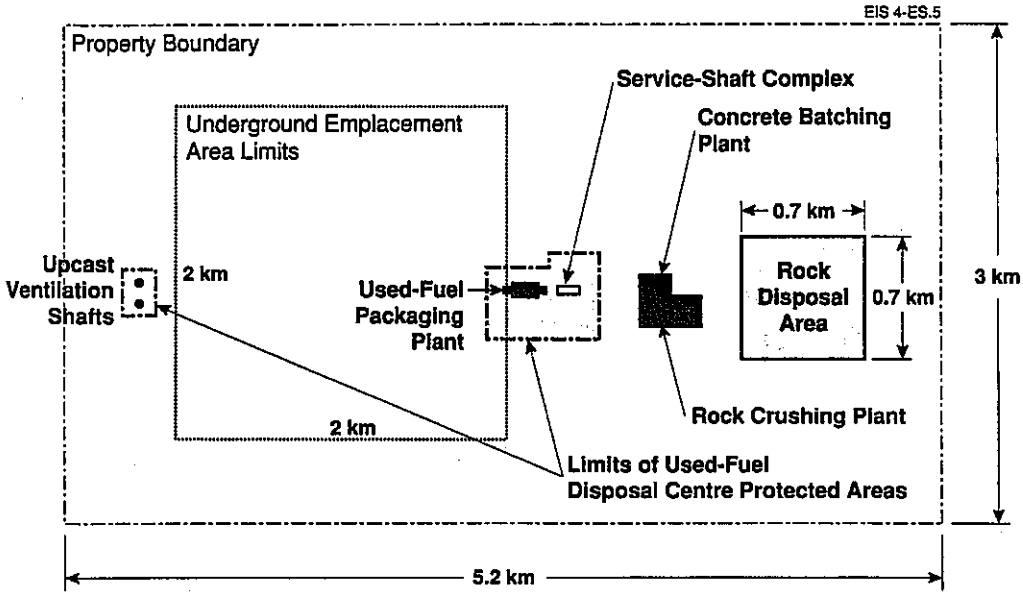
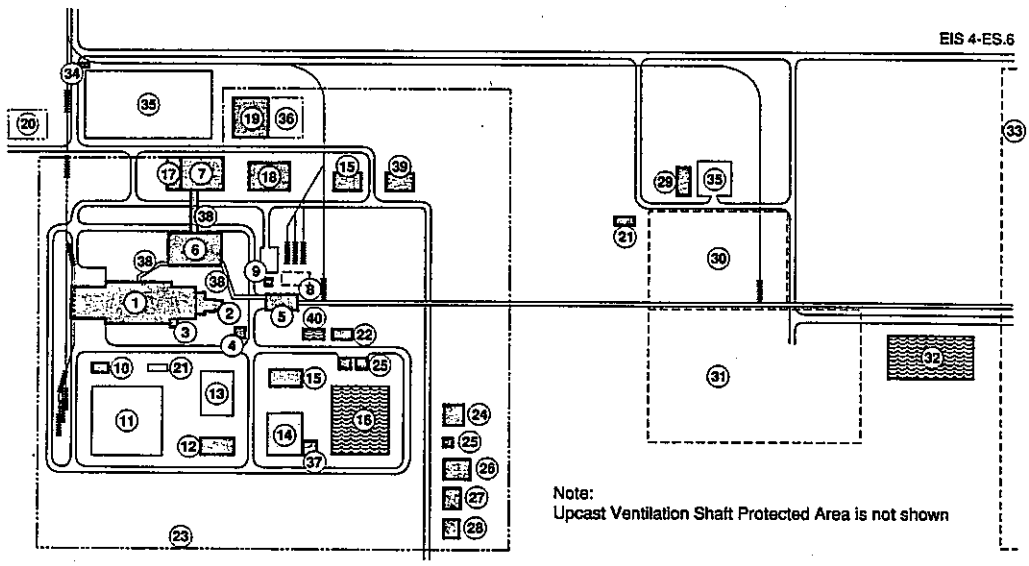


図 3-1 地上エリアの概要



1. Used-Fuel Packaging Plant
2. Waste-Shaft Headframe
3. Stack
4. Downcast Ventilation Shaft
5. Service-Shaft Complex
6. Auxiliary Building
7. Admin. Bldg. Including Firehall
8. Sealing Material Storage Bins
9. Dust Collection Bag House
10. Active-Solid-Waste Handling Building
11. Waste Management Area
12. Active-Liquid-Waste Treatment Building
13. Low-Level Liquid Waste Storage Area
14. Sewage Holding Pond
15. Garage
16. Storm Runoff Holding Pond
17. Cafeteria
18. Basket and Container Fabrication Plant
19. Warehouse
20. Switchyard
21. Transformer Area
22. Air Compressors
23. Security Fence (Main Protected Area)
24. Powerhouse
25. Fuel Tanks
26. Water Storage Tanks
27. Water Treatment Plant
28. Pumphouse and Intake
29. Quality Control Offices and Laboratory
30. Concrete Batching Plant Area
31. Rock Crushing Plant Area
32. Process-Water Settling Pond
33. Rock Disposal Area
34. Guard House
35. Parking Area
36. Storage Yard
37. Sewage Treatment Plant
38. Overhead Corridor
39. Hazardous Materials Storage Building
40. Service-Shaft Complex Water Settling Pond

図 3-2 地上施設のレイアウト

3.2 地上施設の全体レイアウト

カナダの検討例および建設，操業，埋め戻しそれぞれの検討結果（棚井ほか，1999；本間ほか，1999；杉田ほか，1999）から，必要と想定される施設とそれぞれの施設の概要を以下に整理するとともに，硬岩系および軟岩系岩盤それぞれの地上施設の全体レイアウトの一例を図3-3および図3-4に示す。

①埋め戻し材製造設備；立坑及び横坑の埋め戻しに使用する材料を製作する設備で，建設時に発生する掘削ズリとベントナイトを混合して製造され，製作設備，検査設備及び保管設備から構成される。

②緩衝材製作設備；緩衝材を製作する設備で，ベントナイトと砂をミキサープラントで練り混ぜた後所定期間養生し，プレス機械によりベントナイトブロックを製作する。その他検査設備，保管設備を設置する。

③建設関連地上施設；地下施設の建設に関連する施設で，建設用立坑や立坑用地上設備，ズリストックヤード，泥水処理設備などの掘削に関わる設備やコンクリートプラント，電気設備を設置した施設。

④プラグ関連地上施設；閉鎖時のプラグ設置に関連する施設。プラグは高圧縮成型した粘土ブロックで，湧水量の多い割れ目に対し挟み込み，止水性能を確保する。

⑤輸送容器保管施設；ガラス固化体を収納したキャスクを保管する施設。

⑥廃棄体受入検査施設；キャスク受入れ・検査，ガラス固化体抜き出し・検査，廃棄体封入・検査および廃棄体払い出しを取り扱う施設である。

⑦ズリ置場；地下施設の建設で発生するズリを選択して埋め戻し材として再利用するため，処分場内に仮置きする。

⑧固体廃棄物保管設備；処分の操業中に発生する固体廃棄物を保管しておく施設。固体廃棄物はドラム缶に詰め，セメント等で充填した後保管する。

⑨中央防消火設備；処分場の防消火設備の中心となる施設で，消防自動車２台の駐車スペースを有し，消火用ポンプ・水槽を配置する。

⑩閉鎖用立坑；埋め戻しに関わる作業専用の立坑で作業性から２本設置される。

⑪操業用立坑；廃棄体の搬送専用の立坑と緩衝材等の搬送用立坑および換気専用の立坑のそれぞれ１本とする。

⑫建設用立坑；地下施設の建設作業専用の立坑で，ズリ搬出用立坑と人荷用立坑のそれぞれ１本とする。

⑬正門守衛室；正門に設置する守衛所で，来場者の確認を行う。
⑭廃棄体出入門守衛所；廃棄体を処分場に運搬する出入門に守衛所を設置し，守衛により出入の確認を行う。
⑮歩行者出入門守衛所；徒歩により通勤する従業員専用の出入門に設置する守衛所。
⑯裏門守衛所；裏門に設置する守衛所。
⑰中央管理棟；従業員の執務室，大・小会議室および放射線管理・安全管理を行う中央管理室等からなる。
⑱ＰＲセンター；一般市民に対し事業内容や進捗状況をＰＲするための施設とし，管理区域外に設置するものとする。

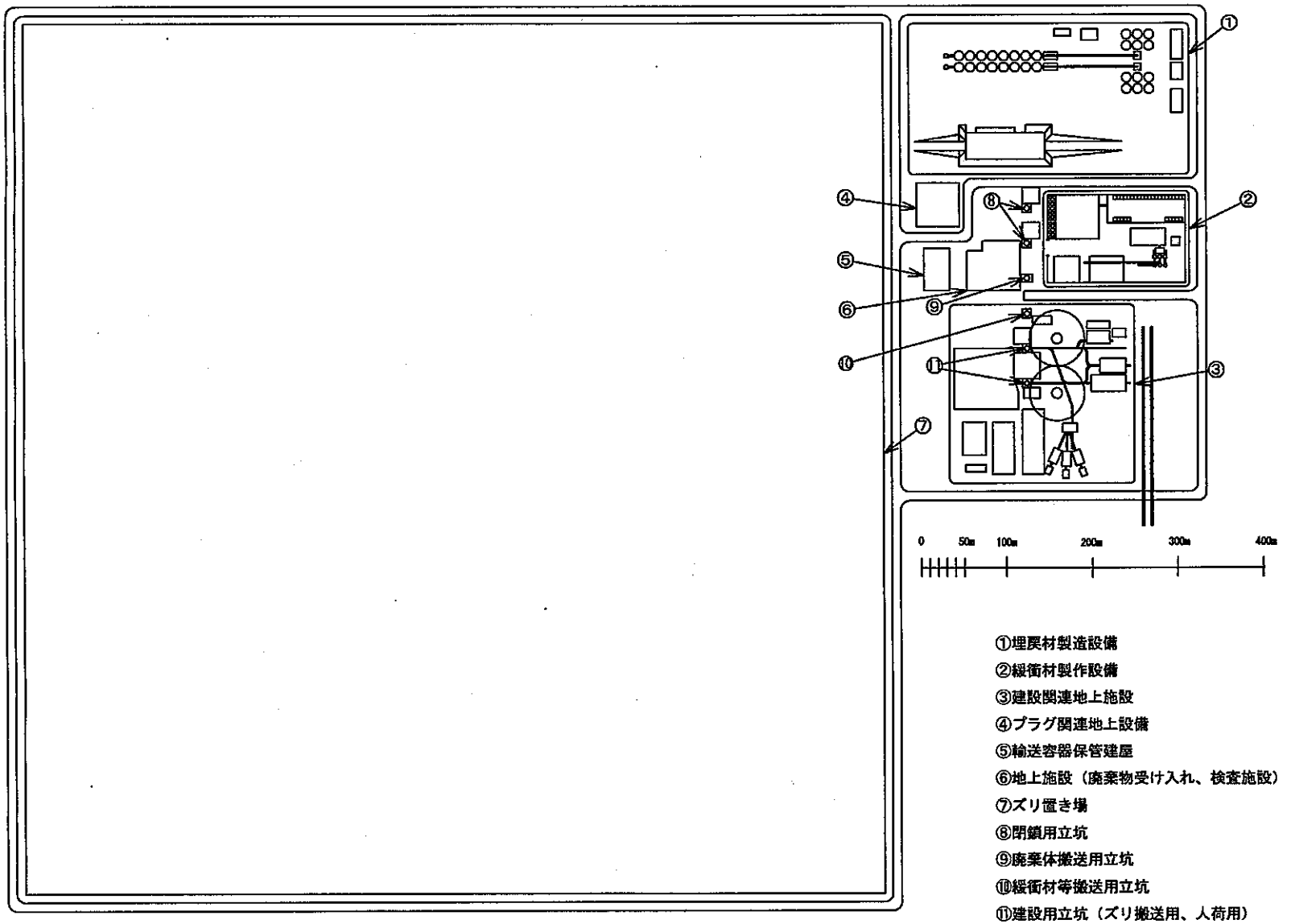


図 3-3 硬岩系岩盤における地上施設の全体レイアウト例

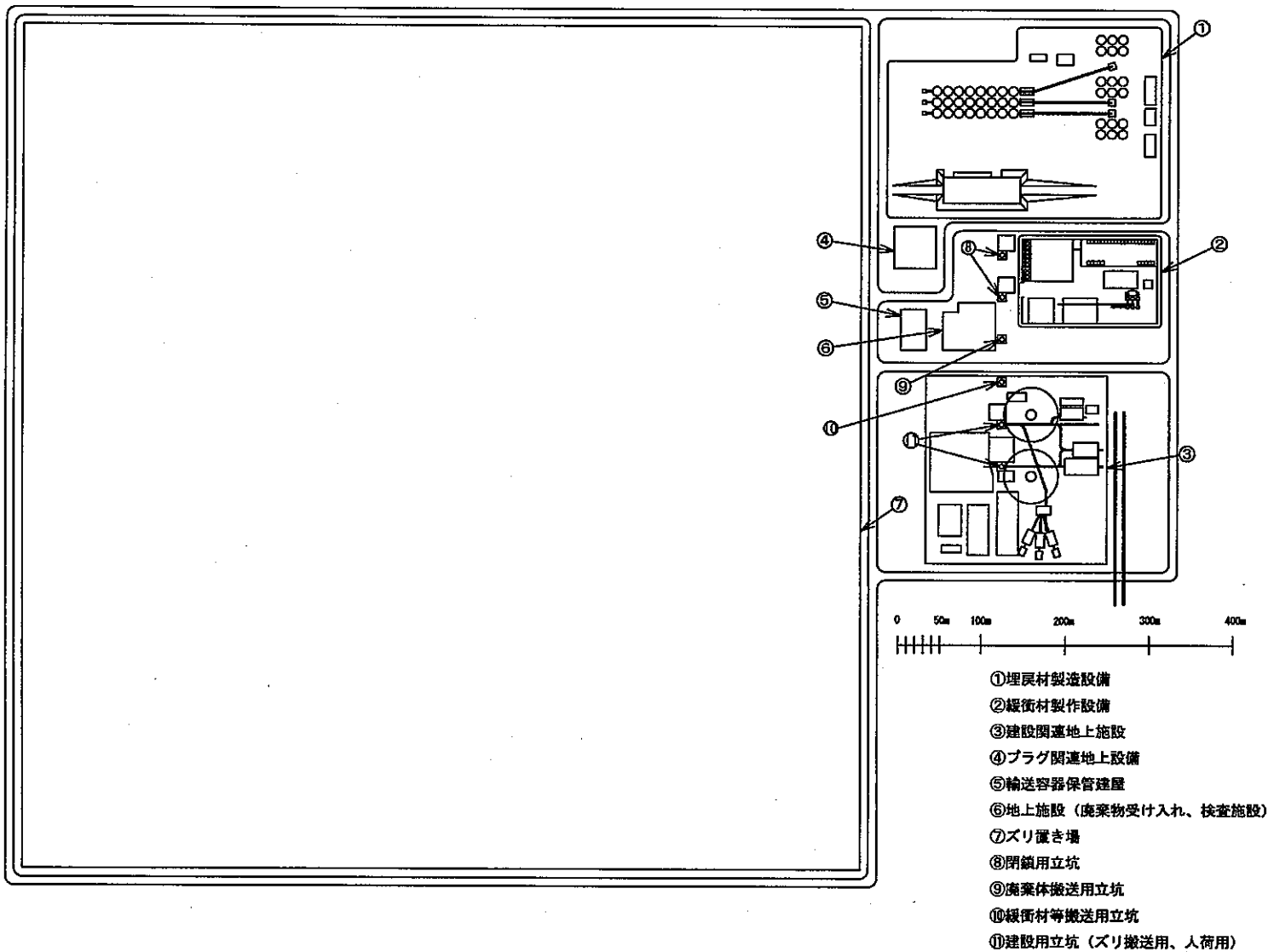


図 3-4 軟岩系岩盤における地上施設の全体レイアウト例

4. 全体工程の検討

ここでは，国の基本方針等（原子力委員会，1994；高レベル事業推進準備会の中間とりまとめ，1995；高レベル放射性廃棄物処分懇談会の報告書，1998）を前提条件とし，前述したレイアウトに対して建設・操業・埋め戻しの各技術における検討結果（棚井ほか，1999；本間ほか，1999；杉田ほか，1999）に基づいき処分場の建設開始から閉鎖までの全体スケジュールの検討を行うとともに，国の基本方針等から想定される基本スケジュールとの比較を行いその技術的実現性を評価した。

4.1 検討の進め方

本検討の目的となる全体スケジュールの技術的実現性の評価に至る検討は以下の4つの段階で進める。

(1) 前提条件の整理

国の基本方針等からまず処分事業スケジュールを整理し，次いで建設，操業，埋め戻しに関わる前提条件等を整理する。これらの条件の整理に基づき想定される基本スケジュールを設定する。

(2) 実施事項および各工程の検討および整理

全体工程立案における実施事項および各工程の整理を行う。建設，操業，埋め戻しの実施項目と工程は，建設，操業および埋め戻し技術の検討（棚井ほか，1999；本間ほか，1999；杉田ほか，1999）の結果を基本とする。

(3) 全体工程の立案

抽出した実施事項の各工程を積み上げた全体スケジュールを検討する。ケースは軟岩系岩盤，硬岩系岩盤の 2 タイプにそれぞれに廃棄体の定置方式として横置き，竪置きの2方式を考慮し，合計4ケースとする。

(4) 全体工程の実現性の評価

全体工程と基本スケジュールを比較・検討することにより，工程の技術的実現性を評価し，クリティカルパスを中心とした影響要因の抽出と整理を行う。

4.2 前提条件の整理

基本スケジュールの設定は，原子力開発利用長期計画（原子力委員会，1994），高レベル事業推進準備会の中間とりまとめ（高レベル事業推進準備会，1998），高レベル放射性廃棄物処分懇談会の報告書（原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会，1998）および建設，操業，埋め戻しの各検討（棚井ほか，1999；本間ほか，1999；杉田ほか，1999）における基本的考え方を勘案して行う。

平成 6 年に示された「原子力開発利用長期計画」においては，以下のように記述されている。

処分事業の実施主体については，処分場の建設スケジュールを考慮し，2000 年を目安にその設立を図っていくことが適当であり，高レベル放射性廃棄物対策推進協議会（国，電気事業者及び動力炉・核燃料開発事業団により構成される）の下に設けられた高レベル事業推進準備会において，実施主体の在り方についての検討やその設立に向けた準備を進めていきます。

地層処分については概ね以下の手順で進めることとします。

1)実施主体は，地層処分の候補地として適切と思われる地点について予備的に調査を行い，処分予定地を選定し，国は，立地の円滑化を図る観点から必要な措置を講ずるため，その選定の結果を確認します。ただし，その地点を処分予定地とするに当たって，実施主体は地元にその趣旨を十分に説明し，その了承を得ておくものとします。

2)次に実施主体は，実際の処分地としての適性を判断するため，処分予定地において地下施設による所要のサイト特性調査と処分技術の実証を行います。

3)実施主体は処分地として適当と判断すれば，処分場の設計を行い，処分に係わる事業の申請を行いますが，国は，処分に係わる事業を許可するに当たり，必要な法制度等の整備を図るとともに安全審査を行います。

処分場の建設・操業の計画は，処分場建設に至るまでに要する期間や再処理計画の進展などの今後の原子力開発利用の状況等を総合的に判断して，2030 年代から遅くとも 2040 年代半ばまでの操業開始を目途とします。』

また，高レベル事業推進準備会の中間とりまとめ（高レベル事業推進準備会，1998）では，操業開始までの処分事業スケジュールの概要として，実施主体設立から処分予定地での調査開始までの期間（予備的な調査段階）を 10 年間程度，処分予定地での調査開始から事業許可取得および処分場の建設までの期間（サイト特性調査段階）を 15 年程度，処分場の建設開始から操業開始までの期間（建設段階）を 10 年程度としている。以上の方針等から基本スケジュールのマイルストーンとなる事項を抽出すると以下のようになる。

・ 2000 年：実施主体の設立
　　↓　予備的な調査段階（以下，事前調査段階と示す）
・ 2010 年：選定された処分予定地での調査開始
　　↓　サイト特性調査段階
・ 2025 年：処分場の建設開始
　　↓　建設段階
・ 2035 年：操業開始

一方，建設，操業および埋め戻し技術の検討において前提とされた条件あるいは検討結果等は以下のようなものである。

①対象岩種；硬岩系岩盤および軟岩系岩盤を対象とする。
②処分深度；硬岩系岩盤では1,000m，軟岩系岩盤では500mとする。
③処分形態；坑道横置き方式および処分孔竪置き方式を対象とする。
④建設・操業・埋め戻しの各作業手順；互いに独立したパネルの中で同時並行的に作業を行う。
⑤処分場レイアウトおよび各部位の仕様；前章で検討された地下施設のレイアウトを基本とする。

また，基本スケジュールの設定で必要となる条件として，操業期間および閉鎖期間が挙げられる。ここでいう閉鎖とは地下施設を地上から隔離することを目的として行われる，連絡坑道，アクセス坑道および試錐孔等の埋め戻しおよび地上施設の解体をいう。

そこで，操業期間については，50 年を前提条件として仮定するが，竪置き方式の場合，処分坑道の埋め戻しに要する期間を考慮しなければならないことから，40 年として考える。一方，閉鎖期間としては10年として仮定した。

以上のような国の基本方針や建設，操業，埋め戻しの各技術における条件あるいは仮定等から設定した基本スケジュールを以下に示す。

・2000年：実施主体の設立
　↓　予備的な調査段階（以下，事前調査段階と示す）
・2010年：選定された処分予定地での調査開始
　↓　サイト特性調査段階
・2025年：処分場の建設開始
　↓　建設段階
・2035年：操業開始
　↓　操業および埋め戻し段階
・2085年：操業終了
　↓　閉鎖段階
・2095年：閉鎖

後述する全体工程の実現性評価は，上記の基本スケジュールをベースとするものであり，基本スケジュールの設定変更とともに評価・分析結果も変動することに留意する必要がある。例えば，ガラス固化体の中間貯蔵期間は，前述の原子力開発利用長期計画に30年～50年の期間が示されており，当該期間は操業開始までの基本スケジュールに直接的に関連する。本基本スケジュールでは操業開始までの期間を厳

しく設定することを目的として，固化後の貯蔵期間を30年間と想定した。

また，原子力開発利用長期計画において，「処分予定地において地下施設による所要のサイト特性調査と処分技術の実証」と示されているようにサイト特性調査および処分技術の実証のために地下施設による所要の調査等が行われるものと考えられ，これらの目的で調査用立坑や調査用坑道が処分場の建設に先立ち掘削されるものと想定される。また，調査用立坑については，通常の地下施設から想定し換気用立坑も別途掘削されるものと考えられる。

全体スケジュールの検討に当たっては，この調査用立坑あるいは調査用坑道の流用の可否が大きく影響する。一方，これらの坑道を処分施設として流用する場合には，最終的な処分施設仕様での建設が必要となり，サイト特性調査段階の工程に影響することも考えられる。全体工程の検討では，これらを考慮し合理的なスケジュールを策定するため，サイト特性調査段階で掘削されると想定される調査用立坑（換気用も含め 2 本）を処分場の建設に流用できるものとして仮定した。なお，調査用坑道については，長期的な計測あるいはモニタリング用坑道としての利用などその利用方法が不透明なことから，その転用は考慮しないものとした。

さらに，連絡坑道，主要坑道および処分坑道の掘削においては，「地層処分場の建設技術に関する検討」（棚井ほか，1999）で示されたように通常のトンネル施工にも増して綿密な施工管理が行われるものと考えられる。これらの調査による時間的な遅れは全体工程上影響することになるが，ここではどの程度の遅れが発生するか想定できないことから，全体工程の検討においては，これらの調査による時間の遅れは考慮しないものとした。

4.3 実施事項の整理

(1) 建設段階

建設技術の検討の結果（棚井ほか，1999）から，本段階の実施項目およびその工程を整理し，基本スケジュールで設定した 2025 年の建設開始から，建設が終了する時期までの工程を検討する。本段階の実施事項を整理すると以下のとおりとなる。

①インフラ施設の整備と用地の造成
②地上施設の建設
③建設用立坑の掘削
④連絡坑道の掘削
⑤パネルごとの主要坑道の掘削
⑥パネルごとの処分坑道の掘削
⑦操業計画の立案と埋設の承認

上記に示した実施事項のうち，①については廃棄体受け入れを想定した取り付け

道路のルート，用地内道路のルート等の確保や処分施設建設のための用地造成が挙げられるが，サイト特性調査段階においてサイト特性調査および処分技術実証のために建設される調査立坑，調査坑道のために最低限の用地造成や道路の確保は行われているものと想定される。また，基本スケジュールによれば処分予定地での調査開始から処分場の建設開始までに 15 年の期間を有することになる。したがって，インフラ施設の整備と用地造成に有する期間としては十分な期間であり，全体スケジュールの検討上，本事項はほとんど影響しないものと考えられる。

また，②は搬入された廃棄体の検査，オーバーパックへの廃棄体の封入および地下施設まで廃棄体を搬送するための設備等を含む施設の建設を意味するが，建設開始から操業開始までの期間として 10 年間を有しており，地下施設の建設と並行して地上施設の建設を進めるとすれば十分な期間である。したがって，①と同様に全体スケジュールの検討にはほとんど影響しない。

以上のことから，上記の①，②に関しては全体スケジュールに組み込まないものとし，立坑の掘削，連絡坑道掘削，パネル毎の主要坑道掘削，パネル毎の処分坑道掘削，パネル毎の処分孔掘削および操業計画の立案と埋設の承認に関わる工程のみを考慮することとした。以下にこれらの事項を整理する。

1) 立坑の掘削

前章で示したように建設用立坑 2 本，操業用立坑 3 本および埋め戻し用立坑 2 本の計 7 本を掘削することになるが，そのうちサイト特性調査段階で掘削される調査用立坑を建設用立坑に転用することとしたため，残り 5 本となる。また，硬岩系および軟岩系岩盤それぞれを対象とした立坑の建設期間としては，「地層処分場の建設技術に関する検討」（棚井ほか，1999）において示されたサイクルタイムから立坑 1 本当りの建設期間は以下のように計算できる。

①硬岩系岩盤における立坑の建設期間；27.6 月／本×5 本＝138 月（11.5 年）

②軟岩系岩盤における立坑の建設期間；16.2 月／本×5 本＝81 月（6.75 年）

立坑 5 本を 1 本づつ順次掘削するとして最大 11.5 年（硬岩系岩盤の場合）となるが，複数本並行して掘削することを考慮すれば基本スケジュールで設定された期間（例えば，建設開始から操業開始までの期間＝10 年）において十分対応可能であると考えられる。

本検討では，残る 5 本の立坑のうち，操業用立坑 3 本の掘削を並行して進め，その後，埋め戻し用立坑 2 本を同時に掘削することとした。

2) 連絡坑道掘削

連絡坑道の掘削は，「地層処分場の建設技術に関する検討」（棚井ほか，1999）から立坑設備工事（坑底施設の建設），立坑周辺掘削工事，坑内仮設工事，本体部工事，二次覆工，インバート工事，撤去工事からなり，各パネル間の離間距離により掘削延長が異なるが，各ケースにおいて表 4-1 のように算定した。

表 4-1 連絡坑道の建設期間

岩種	定置方式	建設期間
硬岩系岩盤	横置き	9.6ヶ月～28.7ヶ月
	竪置き	9.4ヶ月～30.1ヶ月
軟岩系岩盤	横置き	8.8ヶ月～29.5ヶ月
	竪置き	9.6ヶ月～30.3ヶ月

3) パネルごとの主要坑道掘削

各パネル毎の主要坑道の掘削は，「地層処分場の建設技術に関する検討」（棚井ほか，1999）から準備工事，本体部工事，二次覆工，インバート工事，撤去工事からなり，その工程は各ケースにおいて表 4-2 のように算定した。

表 4-2 主要坑道の建設期間

岩種	定置方式	建設期間
硬岩系岩盤	横置き	17.9ヶ月
	竪置き	21.6ヶ月
軟岩系岩盤	横置き	18.8ヶ月
	竪置き	25.0ヶ月

4) パネルごとの処分坑道掘削

各パネル毎の処分坑道の掘削は，5～13 切羽の並進（棚井ほか，1999）とし，各パネルの主要坑道の掘削後に順次実施される。その工程は「地層処分場の建設技術に関する検討」（棚井ほか，1999）における各ケースにおいて表 4-3 のように設定されている。

表 4-3 処分坑道の建設期間

岩種	定置方式	建設期間
硬岩系岩盤	横置き	24.0ヶ月
	竪置き	31.5ヶ月
軟岩系岩盤	横置き	35.0ヶ月
	竪置き	44.4ヶ月

5) パネルごとの処分孔掘削

硬岩系岩盤タイプでは，前提条件として，処分孔は処分坑道の掘削と並行して掘削することとする。処分孔掘削機は 10 機／パネルを使用し，1 日当たり 1 孔の掘削が可能であるとする。処分坑道の掘削は 10 切り羽並進（掘削速度：98.9m／月／切羽）で行われ，処分坑道 1 本（処分坑道延長：1112.24m，処分坑道本数：27 本／パ

ネル）の工期は 11.2 ヶ月である。処分坑道 1 本当たりの廃棄体本数は 247 本であり，処分坑道 1 本当たりの処分孔掘削工期は 11 ヶ月（≒10.8 ヶ月=247 / 1 / 23）となり，処分坑道掘削工事との並行作業が可能となる。

軟岩系岩盤タイプでも，前提条件として，処分孔は処分坑道の掘削と並行して掘削することとする。処分孔掘削機は 13 機／パネルを使用し，1 日当たり 1 孔の掘削が可能であるとする。処分坑道の掘削は 13 切り羽並進（掘削速度：92.0m／月／切羽）で行われ，処分坑道 1 本（処分坑道延長：905.78m，処分坑道本数：50 本／パネル）の工期は 9.85 ヶ月である。処分坑道 1 本当たりの廃棄体本数は 134 本であり，処分坑道 1 本当たりの処分孔掘削工期は 6 ヶ月（≒5.8 ヶ月=134 / 1 / 23）となり，並行作業が可能となる。表 4-4 に処分孔の建設期間をまとめて示す。

表 4-4 処分孔の建設期間

岩種	定置方式	建設期間
硬岩系岩盤	竪置き	11 ヶ月
軟岩系岩盤	竪置き	6 ヶ月

6) 操業計画の立案と埋設の承認

処分坑道の掘削を終了し，最終的な処分場レイアウトの決定後の操業計画の立案は，埋設の承認と並行に実施されるとした。埋設の承認期間の設定は困難であるため，その期間は 1.5～2 年間と仮定した。

(2) 操業段階

操業技術の検討の結果から（本間ほか，1999；杉田ほか，1999），本段階の実施項目およびその工程を整理し，基本スケジュールで設定した 2035 年の操業開始から，処分区画の埋め戻し終了までの工程を検討する。
本段階の実施事項を整理すると以下のとおりとなる。

①パネルごとの緩衝材と廃棄体定置（定置状況の確認と埋め戻しの承認を含む）
②パネルごとの処分坑道の埋め戻し
③パネルごとの主要坑道の埋め戻し
④最終埋め戻しの確認

以下に各実施項目の工程を整理する。

1) 各パネルにおける緩衝材と廃棄体の定置

操業技術の検討では，40,000 本の廃棄体を，横置き定置の場合で 50 年間で連続定置し，竪置き方式の場合で 40 年間で定置することを想定し，廃棄体の受け入れは横置き，竪置きでそれぞれ，4 本／日と 5 本／日となる。1 本の廃棄体の定置に必要と

なる最小所要定置時間は概ね1日かかることから，操業の系列数はそれぞれの日当たりの設置数分だけ必要となる（本間，1999)。各パネルの操業において，定置作業そのものには4本／日と5本／日のペースで月当りの実稼働日数を23日とすれば，

①横置き方式；40,000本／6パネル／（4本／日×23日／月）＝約73月

②竪置き方式；40,000本／6パネル／（5本／日×23日／月）＝約58月

かかるが，処分坑道端部のプラグの設置（処分坑道両端部にはコンクリートプラグの設置が計画されている)，定置装置の点検・維持修理，定置状況の確認と埋め戻しの承認に要する期間などのような不確実性を考慮し，操業期間は6パネルを50年間で終了させるために，各パネルの操業期間を100ヶ月と設定した。

2) 処分坑道埋め戻し

定置方式が竪置き方式の場合には処分坑道の埋め戻しが必要となる。処分坑道の埋め戻しは，各処分坑道での廃棄体設置作業の終了直後に実施されるので，次サイクルの廃棄体設置中に完了させることができる。主要坑道の埋め戻しの施工速度は，硬岩系岩盤および軟岩系岩盤の両ケース共通で表 4-5 のとおりである。竪置き方式の埋め戻し期間にはプラグ設置のための期間2ヶ月を加えることとする。

表 4-5 処分坑道の埋め戻し期間

岩種	定置方式	施工速度	埋め戻し延長	埋め戻し期間
硬岩系岩盤	竪置き	32.0m/日	1133.68m/本	3.6ヶ月
軟岩系岩盤	竪置き	64.0m/日	938.92m/本	2.7ヶ月

3) 主要坑道埋め戻し

主要坑道の埋め戻しは，1パネル分の処分坑道の定置およびプラグ設置後に行う。主要坑道の埋め戻しの施工速度，数量，期間を表4-6に示す。

表 4-6 主要坑道の埋め戻し期間

岩種	定置方式	施工速度	埋め戻し延長	埋め戻し期間
硬岩系岩盤	横置き	32.0m/日	2,933m	2.0ヶ月
	竪置き	32.0m/日	3,684m	2.6ヶ月
軟岩系岩盤	横置き	64.0m/日	2,908m	1.0ヶ月
	竪置き	64.0m/日	4,053m	1.4ヶ月

4) 閉鎖を行うための確認

アクセス立坑の埋め戻しの段階への確認期間は，現時点において想定し得ないことから，全体スケジュールへの組み込みは無いものとした。

(3) 閉鎖段階

埋め戻し技術の検討の結果から，本段階の実施項目およびその工程を整理し，処分区画の埋め戻し終了から立坑の埋め戻し完了（閉鎖段階）までの全体工程を立案する。本段階の実施事項を整理すると以下のとおりとなる。

①連絡坑道の埋め戻し
②坑底施設および実証エリアの埋め戻し
③立坑の埋め戻し

以下に各実施項目の工程を整理する。

1) 連絡坑道の埋め戻し

連絡坑道の埋め戻しは，全てのパネルの操業，主要坑道の埋め戻しが終了し，閉鎖を行うための確認の後に行う。連絡坑道の埋め戻しの施工速度，期間を表 4-7 に示す。埋め戻し期間にはプラグ設置の期間を加えたものである。

表 4-7 連絡坑道の埋め戻し期間

岩種	定置方式	施工速度	埋め戻し期間
硬岩系岩盤	横置き	32.0m/日	32.1 ヶ月
	竪置き	32.0m/日	34.9 ヶ月
軟岩系岩盤	横置き	64.0m/日	24.4 ヶ月
	竪置き	64.0m/日	27.3 ヶ月

2) 坑底施設および実証エリアの埋め戻し

坑底施設および実証エリアの埋め戻しは連絡坑道埋め戻しとできる限り並行して実施し，工程上のクリティカルパスにならないようにした。

3) 立坑の埋め戻し

立坑の１本当たりの埋め戻しは，立坑上部のコンクリートプラグの設置と坑道の埋め戻しで構成される。プラグ長さは 10mであることから，埋め戻し材の設置区間長は，

・ Case.1 硬岩系岩盤： 1000 + 35 - 10 = 1025m
・ Case.2 軟岩系岩盤： 500 + 35 - 10 = 525m

となり，立坑埋め戻しの進捗は，硬岩系岩盤および軟岩系岩盤ケースで共通で 0.574 m/日となる。また，コンクリートプラグ 1 箇所あたりの施工に必要となる期間は，28 日であることから，立坑１本当たりの工期は表 4-8 のようになるがこれらの埋め

戻し期間は全立坑において並行して埋め戻す場合である。

表 4-8 立坑の埋め戻し期間

岩種	施工速度	埋め戻し延長	埋め戻し期間
硬岩系岩盤	0.57m/日	1,045m	81.9 ヶ月
軟岩系岩盤	0.57m/日	525m	42.2 ヶ月

4.4 全体スケジュールの策定

設定した基本スケジュールを満足していることを確認するために全体スケジュールを策定する。

硬岩系岩盤／横置きケース， 硬岩系岩盤／竪置きケース，軟岩系岩盤／横置きケース，軟岩系岩盤／横竪置きケースのそれぞれの全体スケジュールを図 4-1～4-4 に，また，その詳細版を図 4-5～4-16 に示す。

サイト特性調査段階に建設した調査立坑を建設立坑として転用することにより，立坑周辺の連絡坑道の掘削を直ちに開始することが可能となる。パネル①の主要坑道の掘削は，連絡坑道の掘削がパネル①を通過した時点（28 ヶ月）で開始され，工期を短縮する。各パネルの主要坑道および処分坑道の掘削は，パネル操業期間となる 100 ヶ月と比較して余裕があることから，直列的に展開することとした。各ケースともパネル①の操業開始は 2035 年となり，基本スケジュールを満足する結果となる（軟岩系岩盤／竪置きケースのみ承認期間が 1 年半となる）。パネル①の操業と並列に，パネル②の建設が順次展開され，パネル⑥の操業終了は 2085 年となり，基本スケジュールで設定した 50 年間の操業が可能となる。

全てのパネルに対する操業終了後，連絡坑道，坑底施設，アクセス坑道の埋め戻し期間を閉鎖段階とする。連絡坑道の埋め戻しは，全てのパネルの埋め戻し終了後の閉鎖を行うための確認を受けて開始するとした。立坑の埋め戻しは，建設用・閉鎖用の各 2 本ずつと操業用の 3 本の合計 7 本の埋め戻しは並行で実施することとした。すべての立坑の埋め戻し終了は，操業終了後概ね 10 年後の 2095 年となる。

4.5 全体工程の実現性の評価

(1) 影響要因の抽出

策定した全体スケジュールより，工程の実現性に影響を及ぼす項目を抽出する。次に，全体工程は基本スケジュールを満足しているが，実施手順の変更により全体工程への影響が大きい項目として，2025 年の処分施設の建設開始から 2035 年の操業開始に至るパネル①の掘削完了までの期間がある。パネル①の処分坑道掘削終了までの期間は，調査立坑の建設立坑への流用，連絡坑道と主要坑道の並進など，工程を最適化することにより，各ケースとも 10 年以内となる（24 ヶ月の承認期間を含む，軟岩系岩盤／竪置きケースのみ承認期間が 1 年半となる）。建設用立坑の掘削期間は，

硬岩系岩盤の最も短いケースで 28 ヶ月，であり，立坑の建設を 2025 年から開始する場合には，2035 年での操業開始が困難となる。建設用立坑は，現状では 2 本必要と考えらることから，許認可申請以前のサイト特性調査段階に 2 本の立坑の掘削が可能か，そして，調査用立坑を施設の坑道として流用の可能性について，今後さらに詳細な検討が必要である。

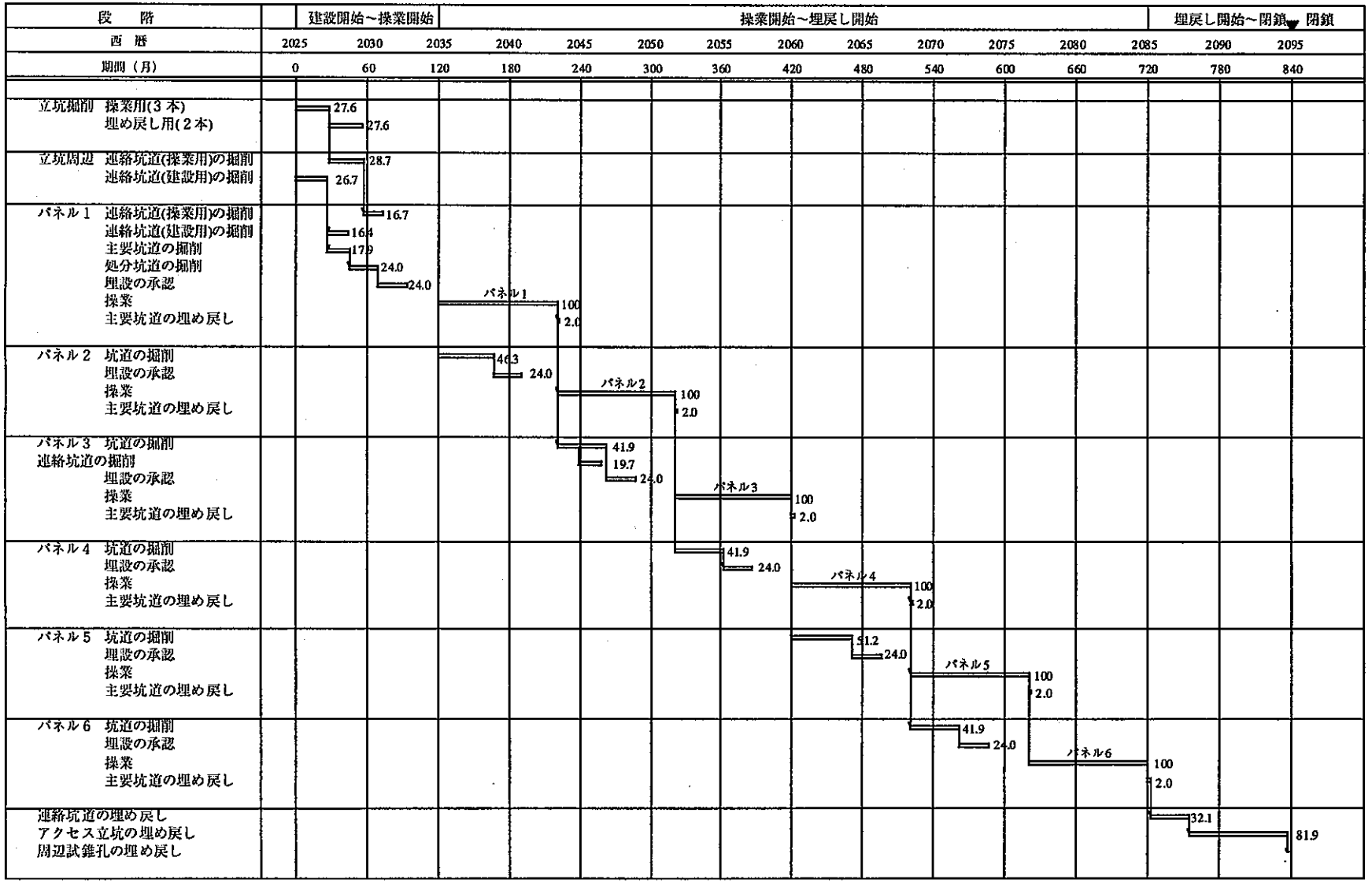


図 4-1 硬岩系岩盤，横置き方式の全体工程概要

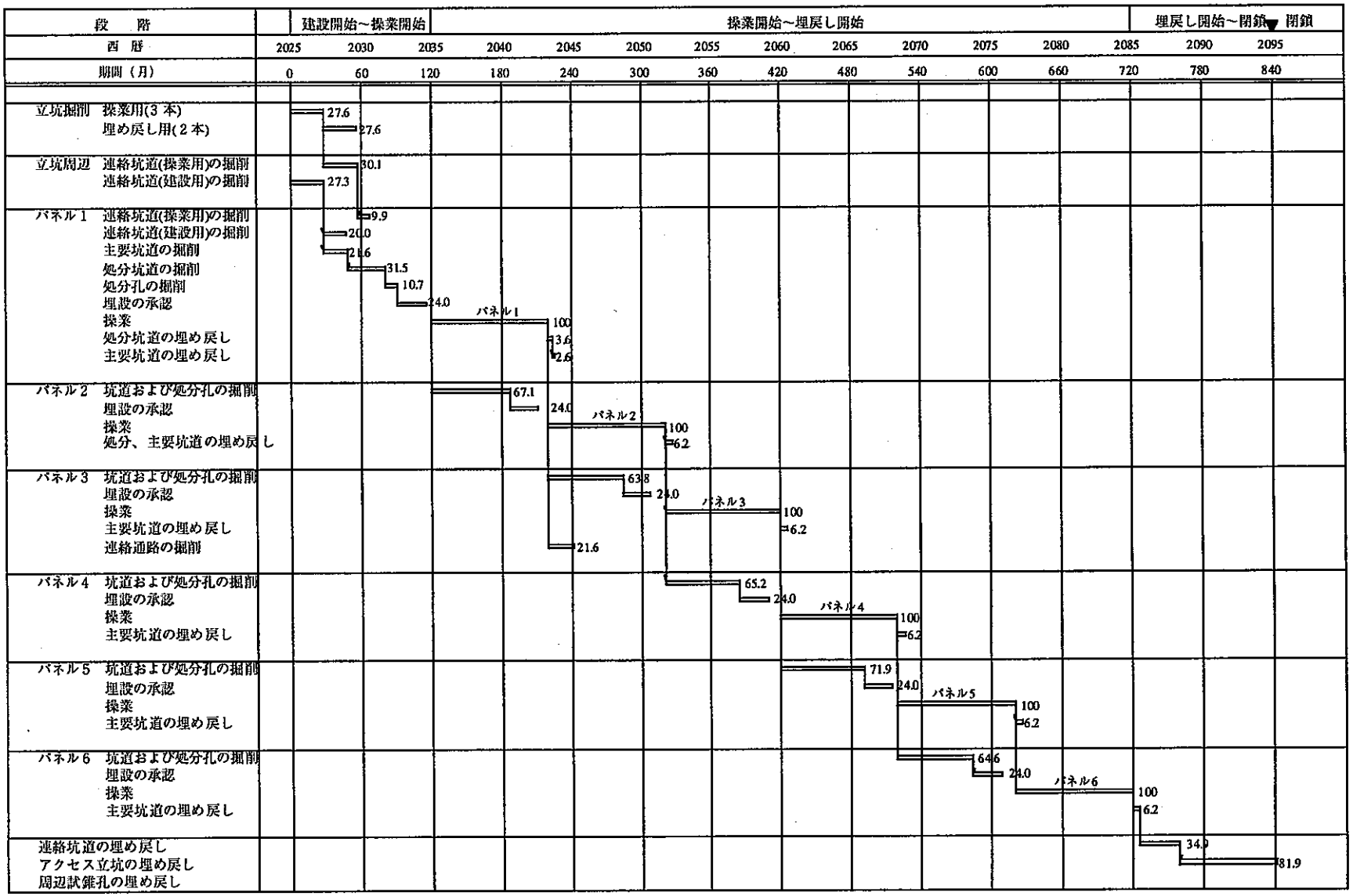


図 4-2 硬岩系岩盤，竪置き方式の全体工程概要

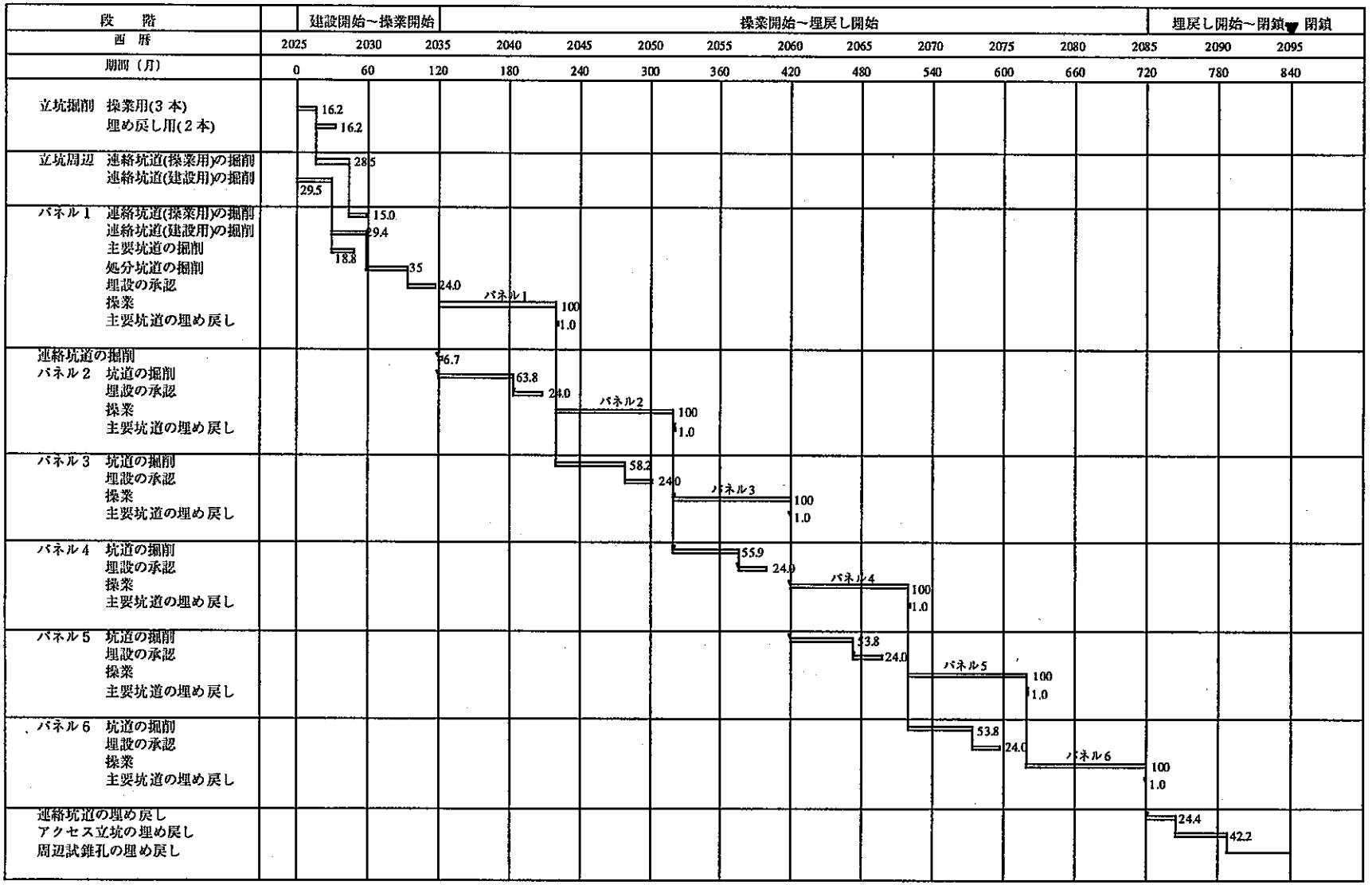


図 4-3 軟岩系岩盤，横置き方式の全体工程概要

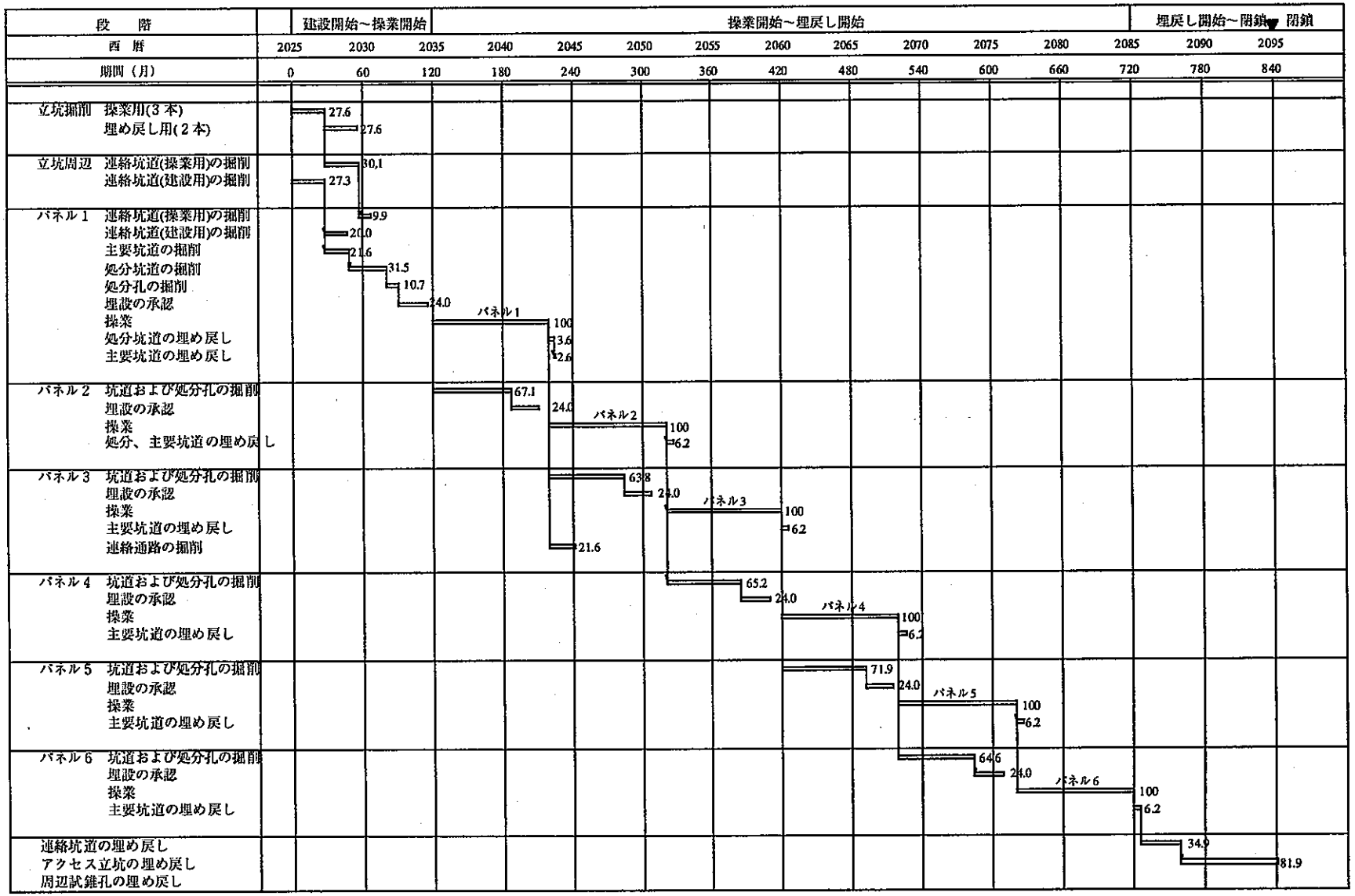


図 4-4 軟岩系岩盤，竪置き方式の全体工程概要

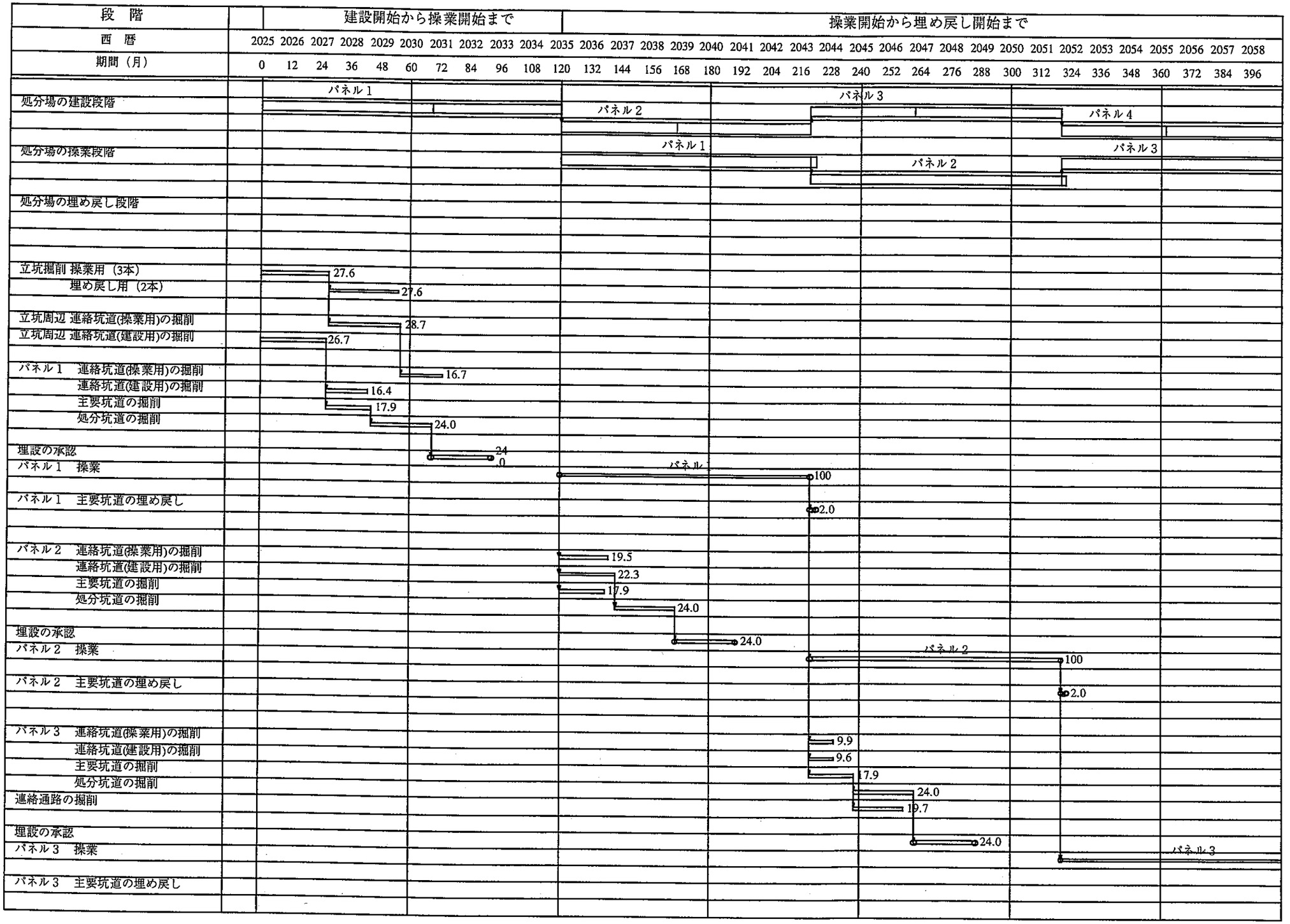


図 4-5 硬岩系岩盤，横置き方式の全体工程（その１）

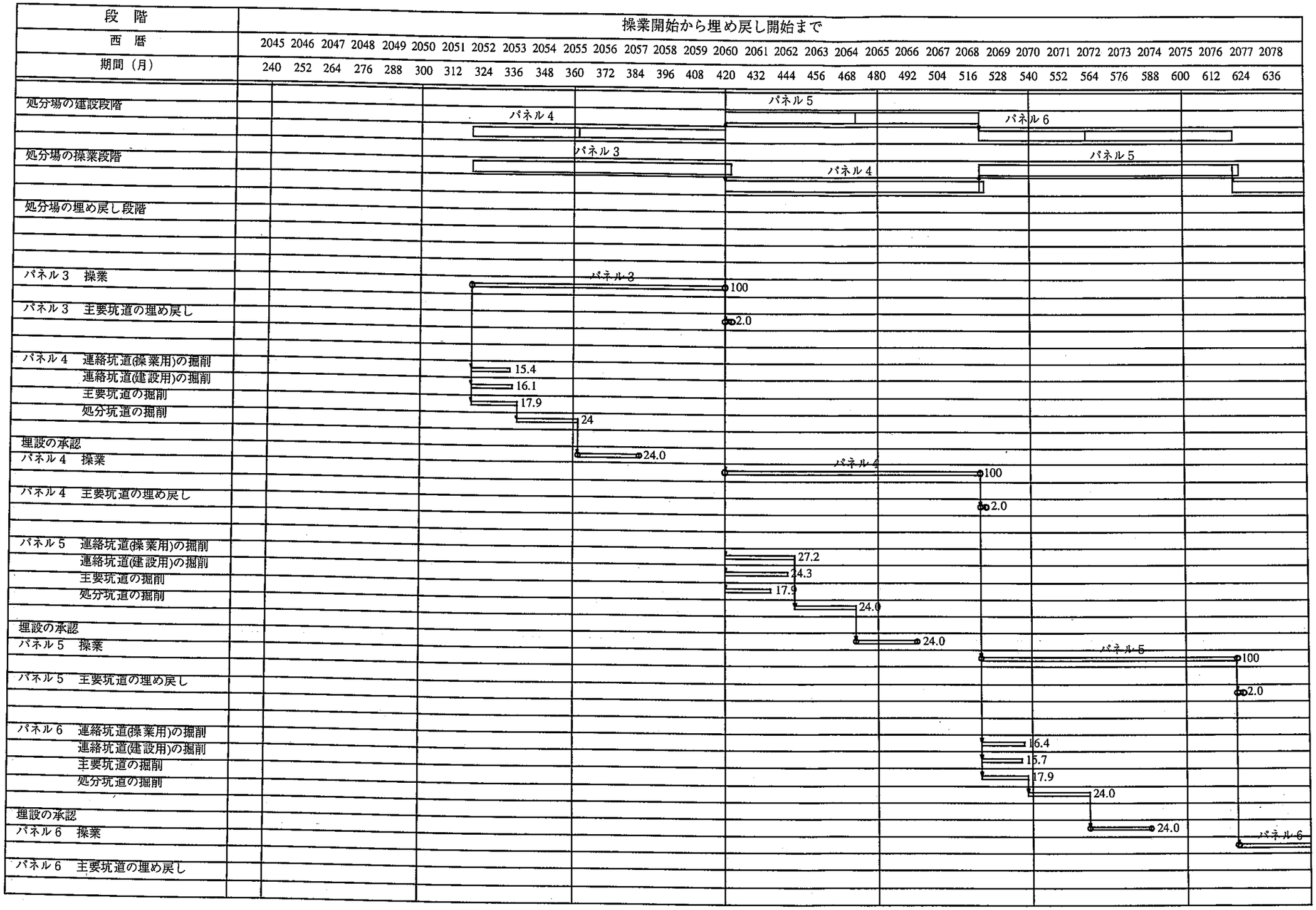


図 4-6 硬岩系岩盤，横置き方式の全体工程（その２）

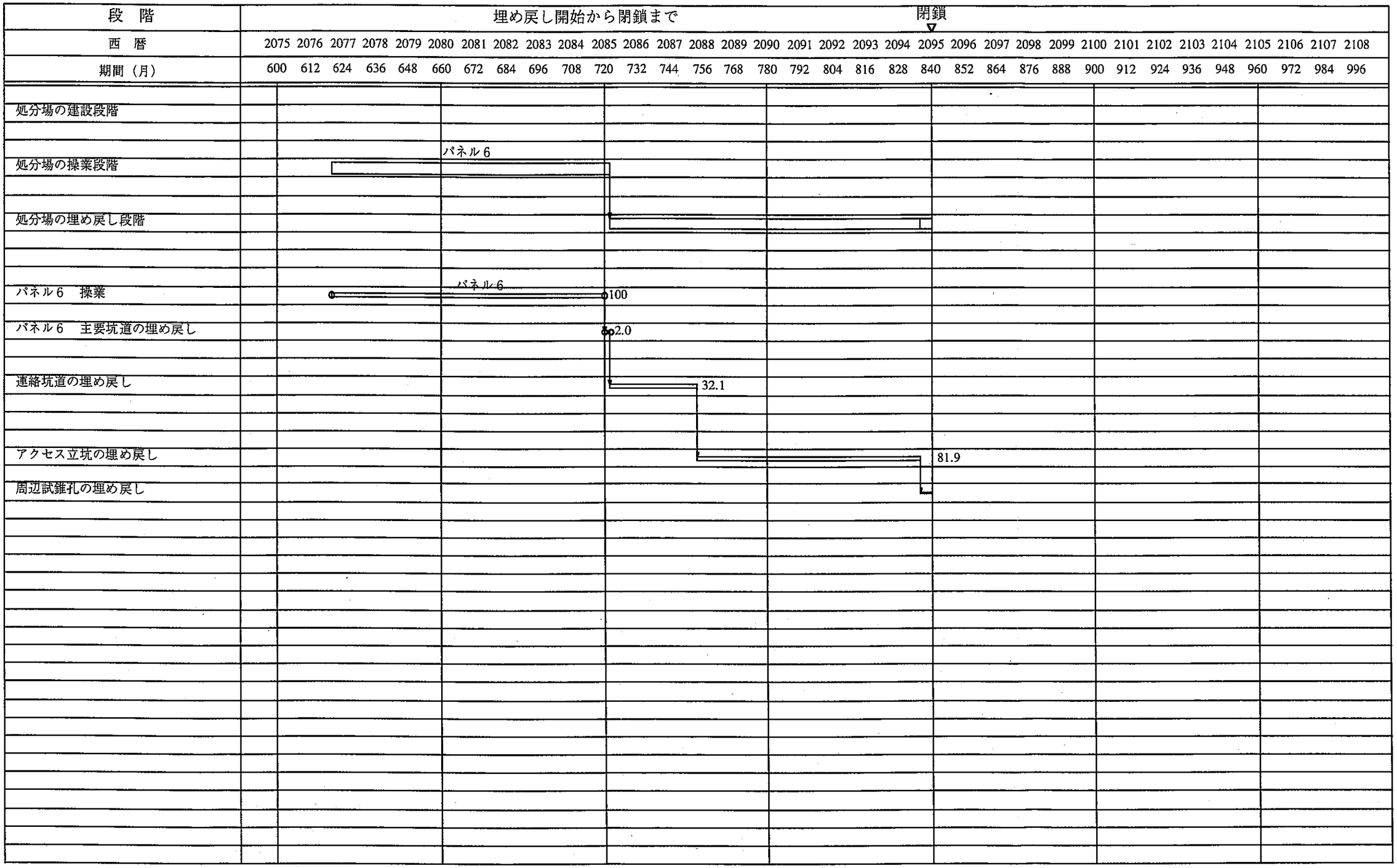


図 4-7 硬岩系岩盤，横置き方式の全体工程（その３）

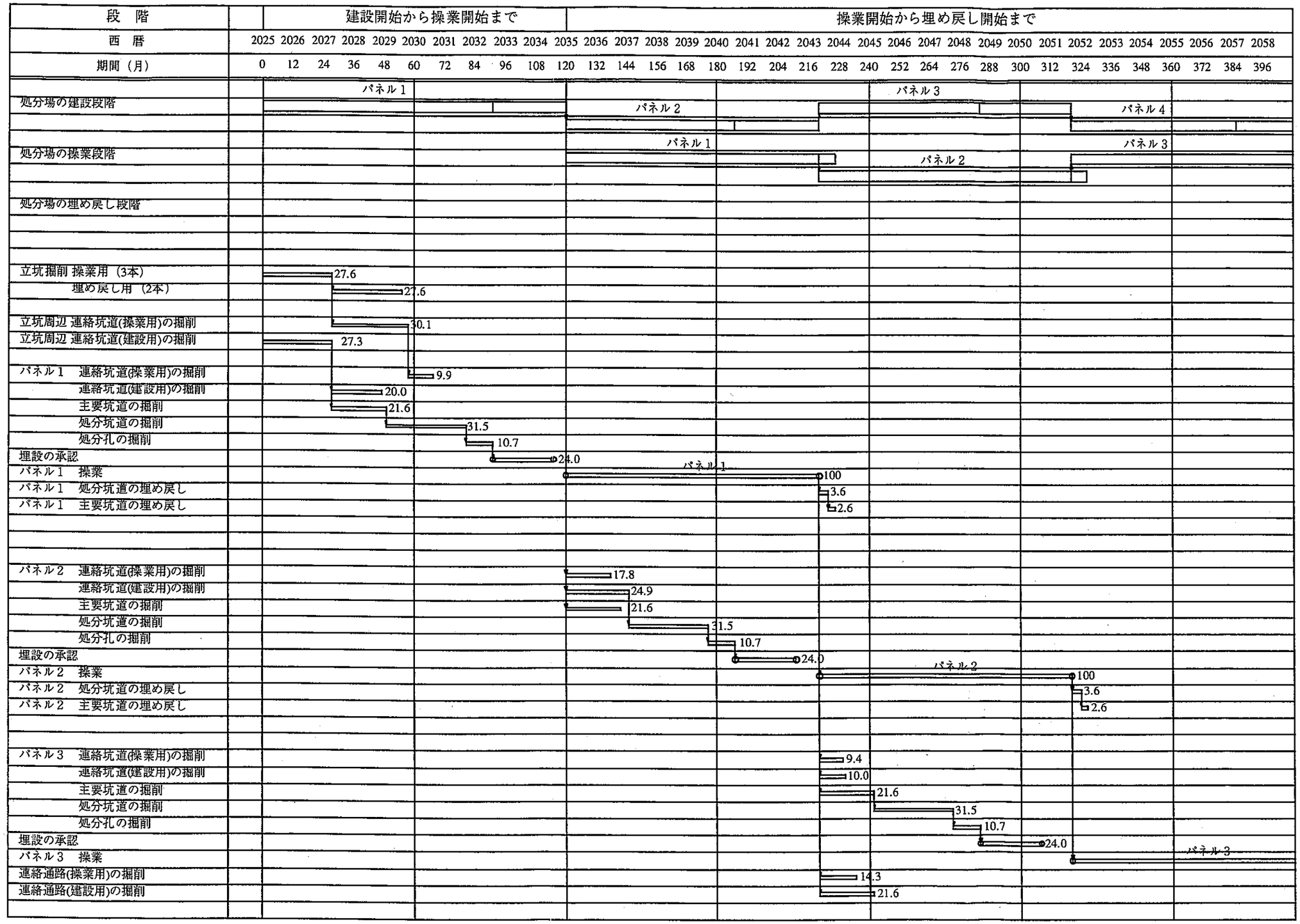


図 4-8 硬岩系岩盤，竪置き方式の全体工程（その１）

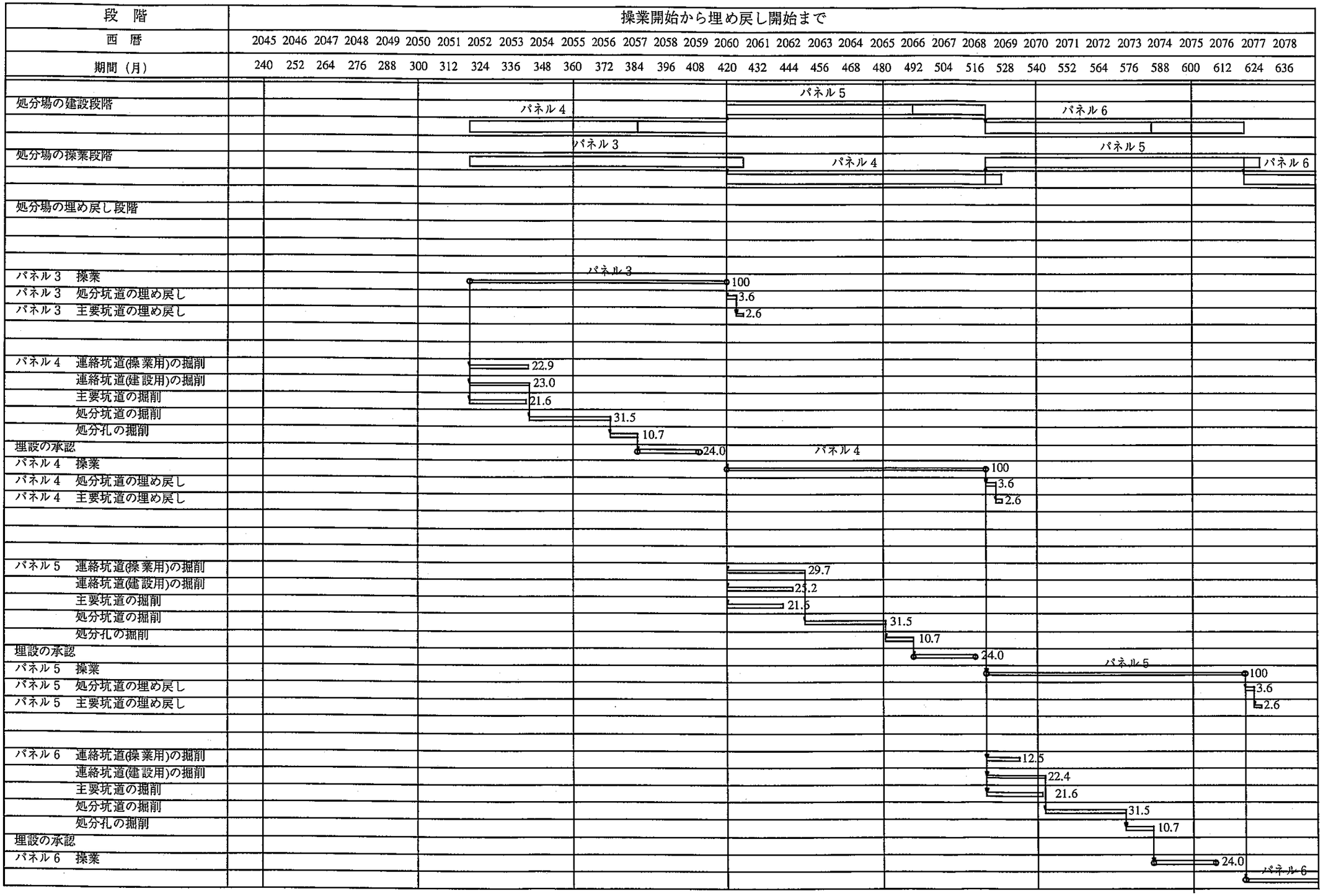


図 4-9 硬岩系岩盤，竪置き方式の全体工程（その２）

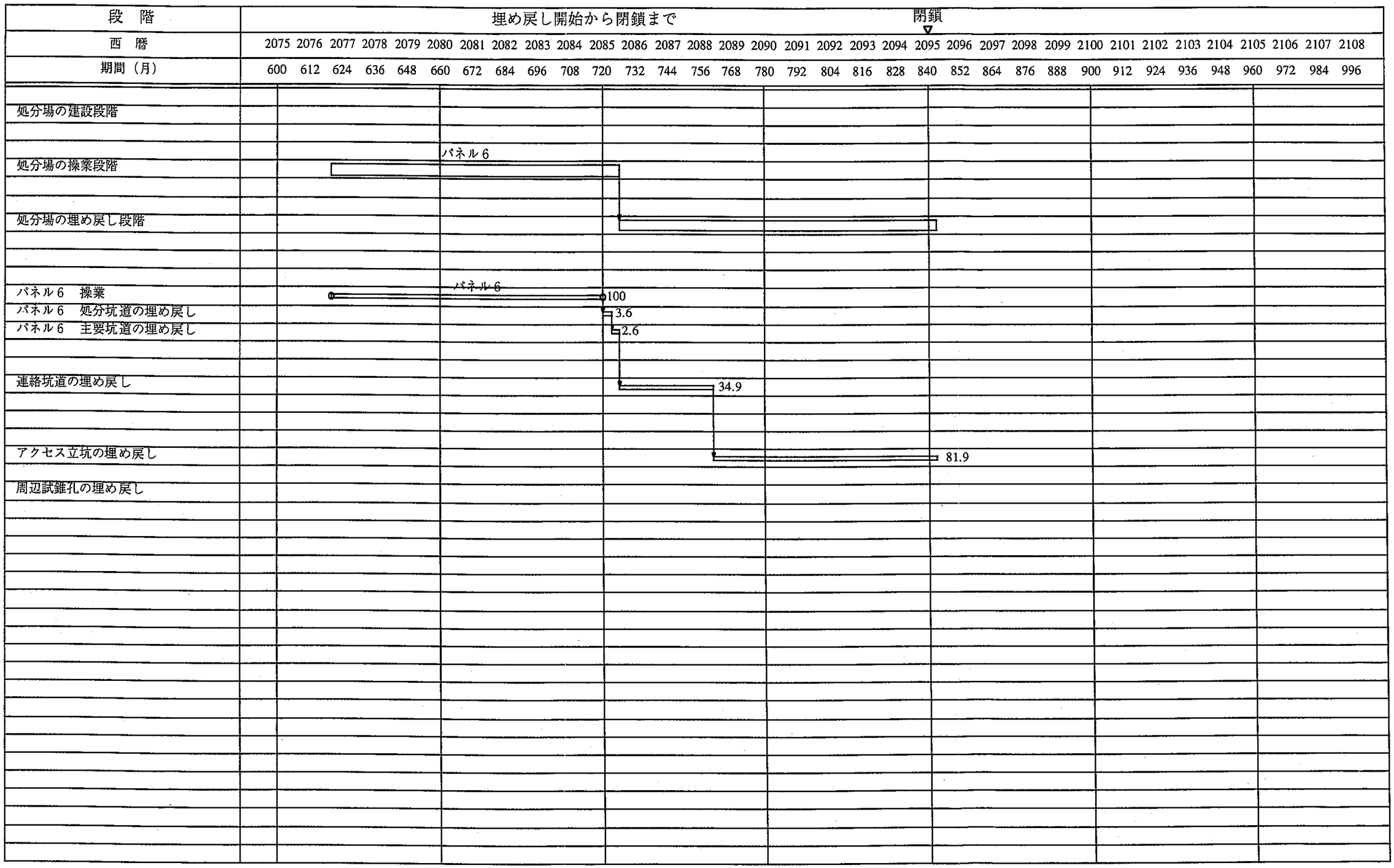


図 4-10 硬岩系岩盤，竪置き方式の全体工程（その３）

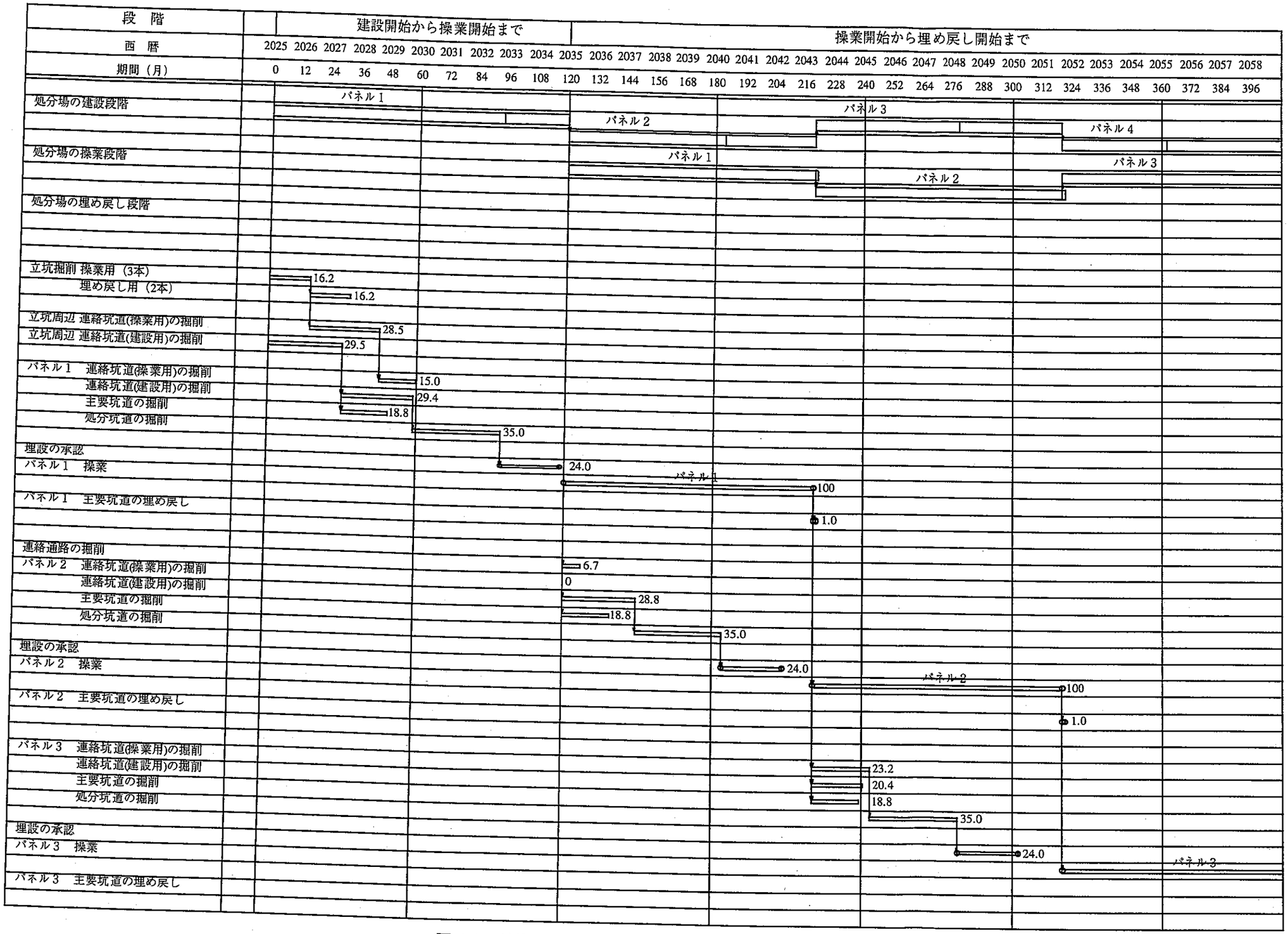


図 4-11 軟岩系岩盤，横置き方式の全体工程（その１）

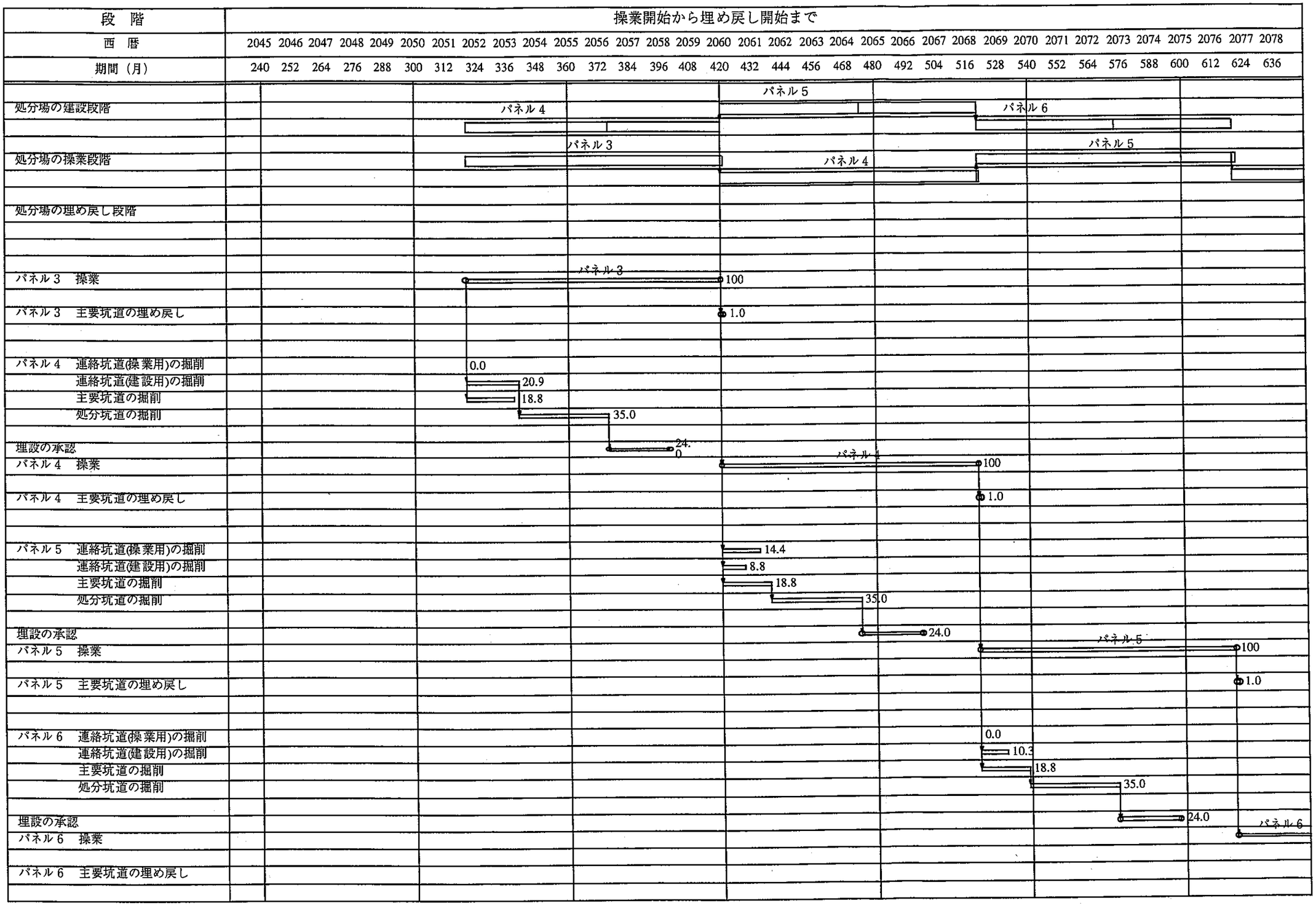


図 4-12 軟岩系岩盤，横置き方式の全体工程（その２）

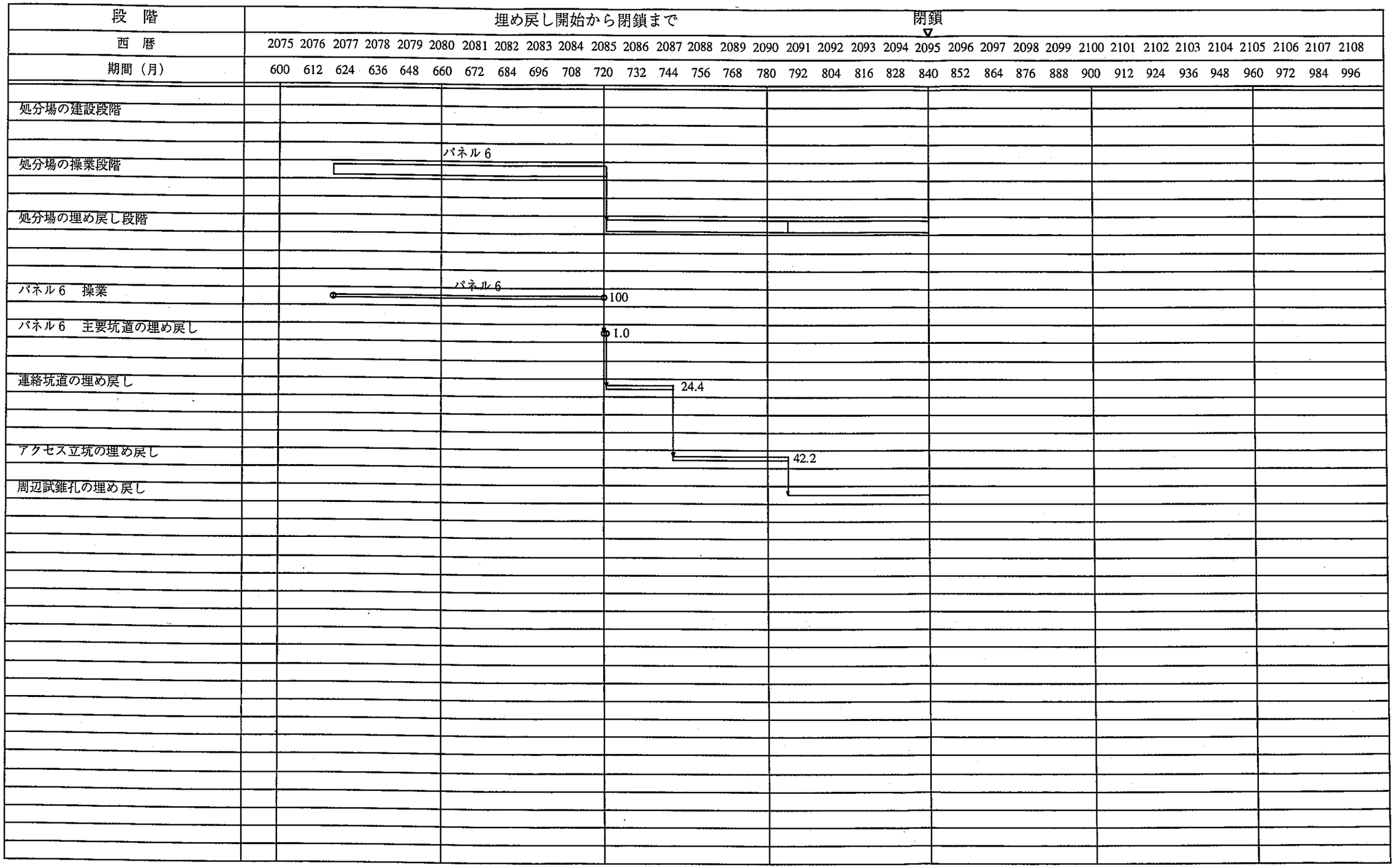


図 4-13 軟岩系岩盤，横置き方式の全体工程（その３）

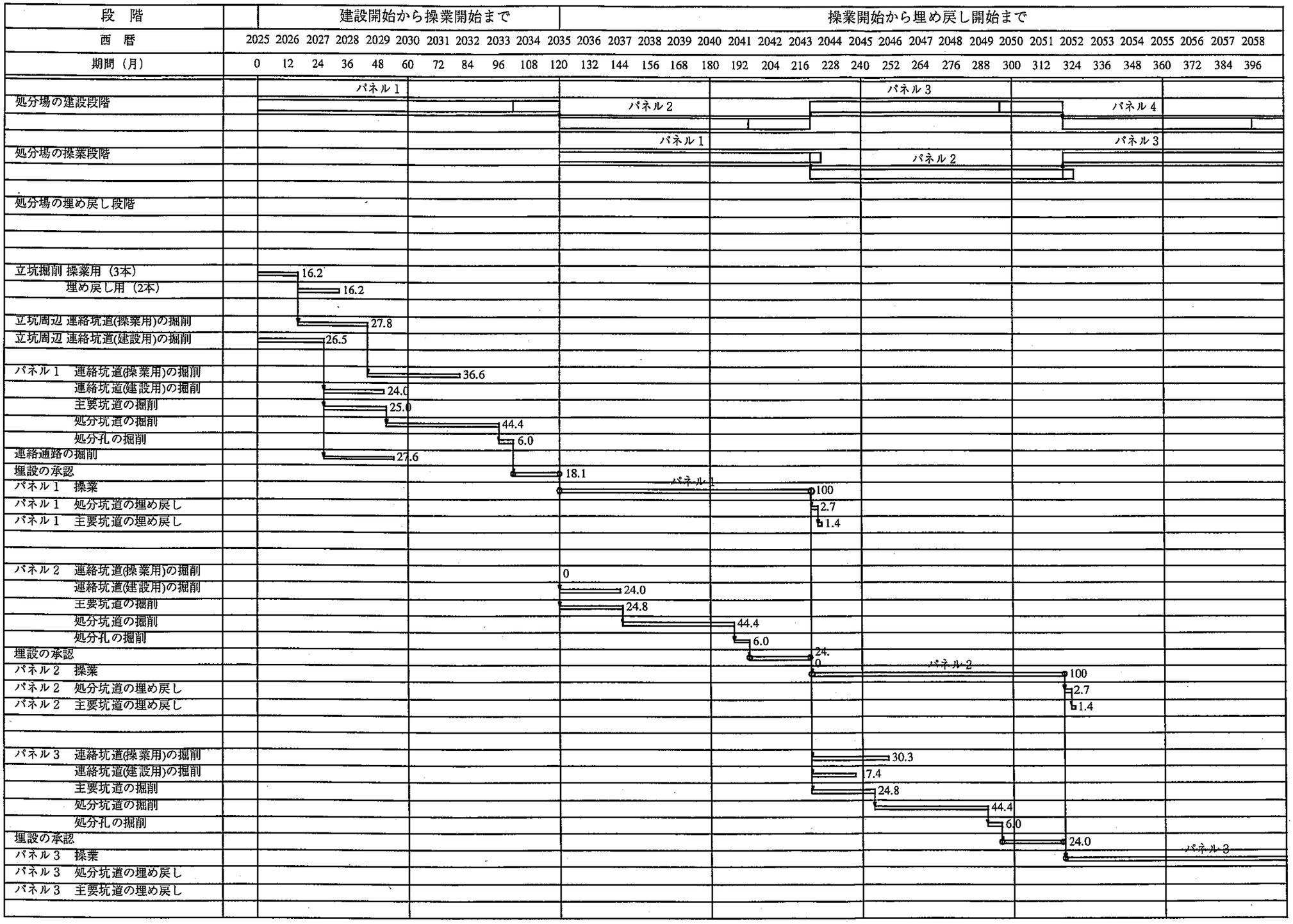


図 4-14 軟岩系岩盤，竪置き方式の全体工程（その１）

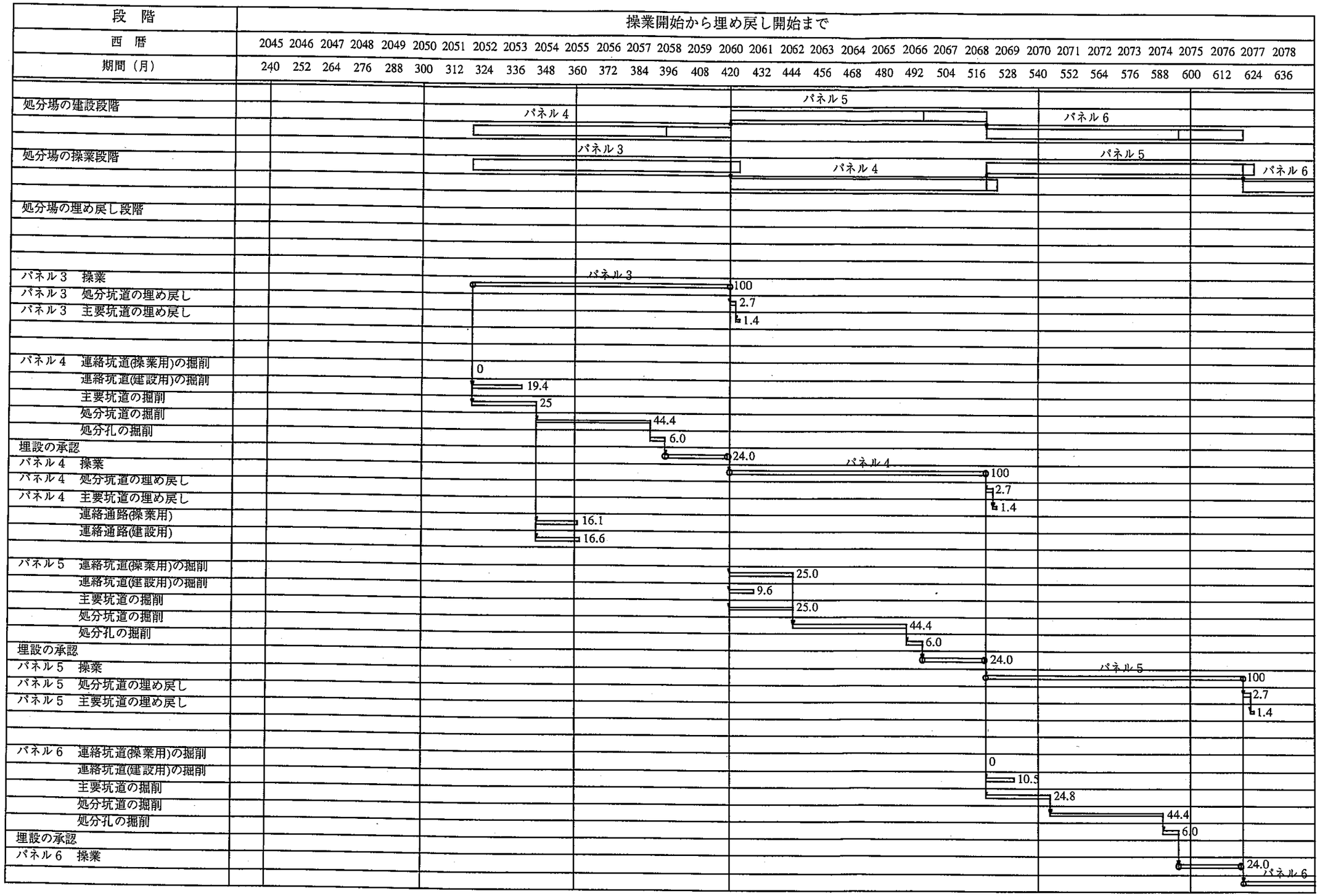


図 4-15 軟岩系岩盤，竪置き方式の全体工程（その２）

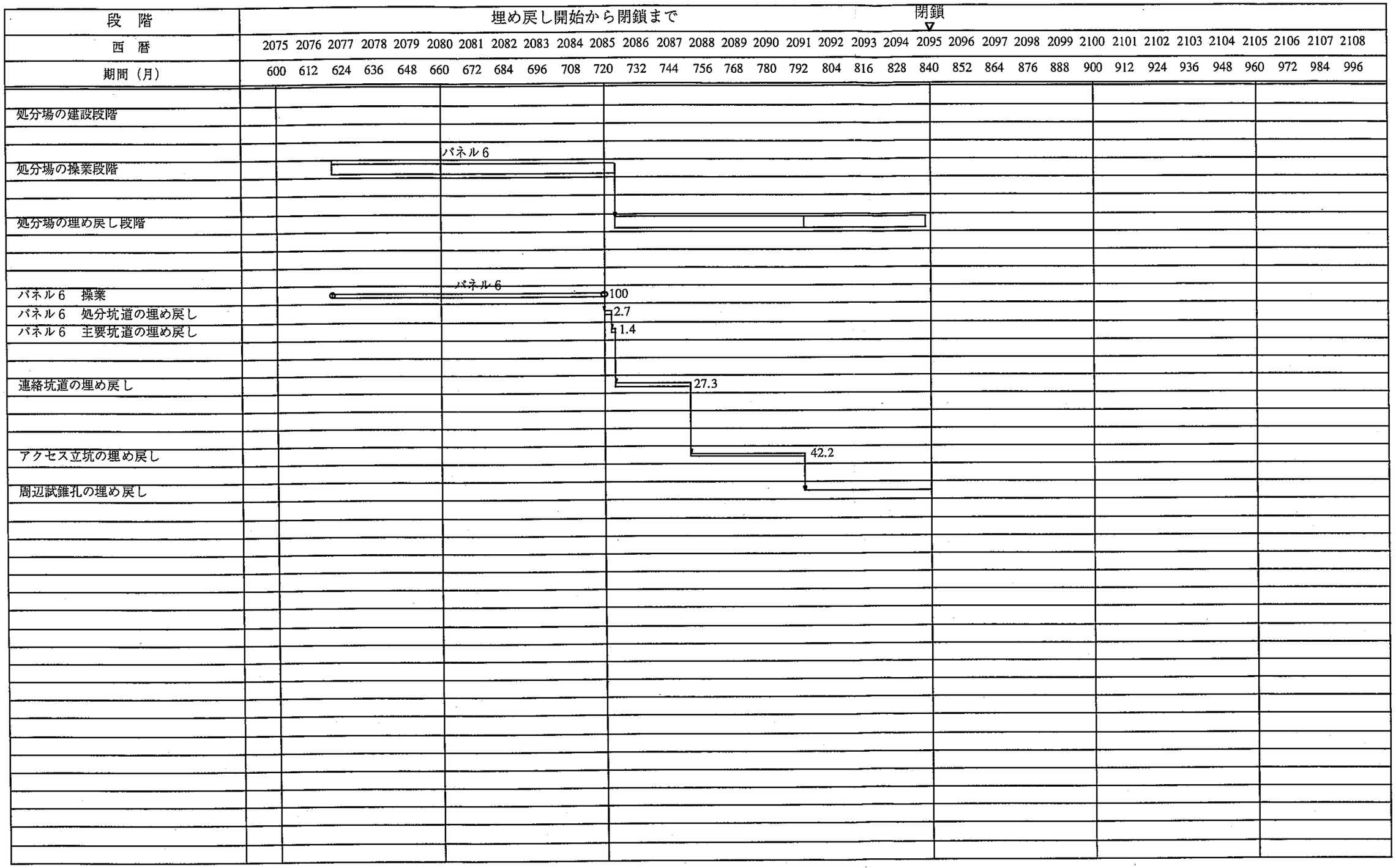


図 4-16 軟岩系岩盤，竪置き方式の全体工程（その３）

5. まとめ

地下施設のレイアウト設計では，処分場の位置，処分パネルの形状や配置，アクセス坑道の本数や配置および主要・連絡坑道の配置等，地下施設のレイアウトを決定する上での基本的考え方や設計要件を整理した。また，わが国の幅広い地質環境条件から仮想的な地質モデルを作成し，それに基づきレイアウトの設計例を示した。これらの検討結果から，わが国の幅広い地質環境条件に柔軟に対応したレイアウト設計が十分可能であることが示された。なお，サイトが特定されれば，地形条件や地質環境条件，より詳細な建設・操業方法，さらには経済性などを考慮することにより，より合理的なレイアウト設計が可能となり，本検討で示されたレイアウトがより最適化されることとなる。

地上施設のレイアウト検討では，国内の原子力施設や海外での検討結果をもとに概略的にそのレイアウトを例示したが，地形条件，敷地面積，操業用地上施設の詳細仕様，アクセス方式，その他施工方法などによりこれらのレイアウトは変化し得る。したがって，上記で示した条件が詳細化した時点でより具現的なものとしていく必要がある。

全体工程については，国の基本方針等にもとづき前提条件を整理し，かつ，建設・操業・閉鎖技術の検討結果をもとに地層処分場の建設から閉鎖までの全体工程の検討を行った。検討に際しては，調査立坑の流用，モニタリング期間，さらには国の許認可等，幾つかの点を仮定あるいは想定することにより行ったが，現在，国の基本方針等で示されている概略スケジュール内で対応可能であるとの結果が示された。

6．引用文献

天野健治，吉田英一，笹本広（1995）；釜石鉱山における栗橋花崗岩体中の割れ目形態と空隙構造，応用地質学会中部支部年会要旨，p 9－14.

電力土木技術協会（1988）；電力施設地下構造物の設計と施工，pp.305-307.

土木学会（1994）；トンネルライブラリー　第７号　山岳トンネルの立坑と斜坑.

動燃事業団（1996）；地層処分研究開発の現況，動燃年報，人工バリア周辺岩盤中の核種移行に関する研究 p 191－193，物質移動に関する研究 p274－276，PNC TN1410 96-071.

原子力委員会（1994）；原子力の研究，開発および利用に関する長期計画（平成６年）.

原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会（1998）；高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について.

本間信之，千葉恭彦，棚井憲治（1999）；地層処分場の操業システムに関する検討，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-050.

井上大榮，水落幸広，桜田裕之（1992）；リニアメントの断裂系としての特性とその評価，応用地質３３巻，３号　p 147－156.

高レベル事業推進準備会（1995）；高レベル放射性廃棄物処分事業に関する検討，中間とりまとめ（平成７年度）[基礎的検討]

黒木繁盛，谷口航，小尾繁，長谷川宏，杉野弘幸，窪田茂，堀田政國（1999）；地下空洞の力学的安定性評価，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-037.

日本トンネル技術協会（1985）；山岳トンネルの坑内交差部の設計・施工に関する研究報告書，pp.42-43.

Nykyri, M. and Oy, T.V.（1991）: A Digest of the Safty Assessment of TVO's VLJ Repository.

緒方正虔，本荘静光（1981）；電力施設の耐震設計における断層活動性の評価，応用地質２２巻，１号　p67－87.

大野博之，小島圭二（1992）；岩盤割れ目のフラクタル（その１）－フラクタル分布－，応用地質３３巻，３号　p 133－146.

大野博之，小島圭二（1993）；岩盤割れ目のフラクタル（その２）－フラクタル特性と分布のばらつき－，応用地質３４巻，２号　p 58－72.

Pusch, R., Borgesson,L., Karnland,O. and Hokmark,H.（1991）；Final Report on Test 4 – Sealing of Natural Fine Fracture Zone, SKB TR 91-26.

Rhén, I., Stanfors, R., Wikberg, P. and Forsmark, T.（1995）：Comparative Study Between the Cored Test Borehole KA3191F and the First 200 m Extension of the TBM Tunnel, SKB Progress Report 25-95-09.

杉田裕，藤田朝雄，棚井憲治，長谷川宏，古市光昭，奥津一夫，三浦一彦（1999）；地層処分場における地下施設の埋め戻し，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-039.

Thury, M., Gautschi,A., Mazurek, M., Muller, W.H., Naef, H., Person, F.J., Vomvoris, S. and Wilson, W.（1994）；Geology and Regional Investigations 1981 – 1993 within the Nagra Radioactive Waste Disposal Programme, NAGRA TR 93-01.

谷口航，長谷川宏，岩佐健吾，佐藤稔紀（1999a）；地層処分場設計のための地質環境基本特性，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-053.

谷口航，岩佐健吾（1999b）；ニアフィールドの熱解析，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-051.

棚井憲治，岩佐健吾，長谷川宏，三浦一彦，奥津一夫，小林正明（1999）；地層処分場の建設技術に関する検討，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 99-046.

U.S. Department of Energy（1998）；Viability assessment of a repository at Yucca Mountain, Volume 2 : Preliminary design concept for the repository and waste package.