JNC TN8400 2004-002

幌延深地層研究計画における
処分技術に係わる原位置試験概念の検討

（研究報告）

2004年4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。

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村村松４番地４９
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and protection should be addressed to :
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2004

Ⓦ

JNC TN8400 2004-002
2004 年 4 月

幌延深地層研究計画における
処分技術に係わる原位置試験概念の検討
（研究報告）

栗原雄二*，油井三和**，棚井憲治**，川上　進**，杉田　裕**，谷口直樹**，平井　卓**，
小川豊和*，三原守弘***，松井裕哉****，藤島　敦+，盛口　洋++，
宮野前俊一+++，本間信之++++

要　　旨

第２次とりまとめの分冊２に工学技術として取り上げられた人工バリア設計，施設設計，長期挙動評価，建設・操業・閉鎖技術それぞれについて，現状における課題を抽出し，その課題を解決するための研究として，室内実験によるデータ取得や現象理解，現象のモデル化とそのモデルによる現象の予測評価と共に，原位置試験の実施が有効であると考えられるものを抽出し，それぞれについて原位置試験項目を設定した。

また，設定された原位置試験を有効なものとするために試験概念の要素として試験規模（実規模 or 縮小規模），セメント条件（支保工の有無），地下水質，人工バリアの定置方式（竪置き or 横置き），試験実施深度それぞれについて検討を行った。この検討の結果を踏まえて，各原位置試験の概念をとりまとめた。また，試験概念と合わせてその原位置試験を含む研究テーマ全体の概要をとりまとめた。本書で設定した原位置試験項目は，以下に示すとおりである。

・人工バリア試験（連成試験）
・緩衝材／岩盤クリープ試験
・ガス移行挙動試験
・オーバーパック腐食試験
・セメント影響試験
・低アルカリ性コンクリート施工性確認試験
・定置精度確認試験
・坑道閉鎖試験

---

*　東海事業所　環境保全・研究開発センター　処分研究部　システム解析グループ
**　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
***　東海事業所　環境保全・研究開発センター　処分研究部　処分材料研究グループ
****幌延深地層研究センター　深地層研究グループ
+　バックエンド推進部　深地層施設計画グループ
++　大成建設株式会社
+++　前田建設工業株式会社
++++石川島播磨重工業株式会社

JNC TN8400 2004-002
April, 2004

Studies on the in-situ experiments with respect to Disposal Engineering in Horonobe underground research laboratory
(Research Document)

Yuji KURIHARA*, Mikazu YUI**,Kenji TANAI**, Susumu KAWAKAMI**,
Yutaka SUGITA**,Naoki TANIGUTI**,Takashi HIRAI**,Toyokazu OGAWA*,
Morihiro MIHARA***,Hiroya MATSUI****,Atsusi HUJISHIMA+,
Hiroshi MORIGUCHI++,Shunichi MIYANOMAE+++, Nobuyuki HOMMA++++

Abstract

In this paper, the items of in-situ experiments at Horonobe URL with respect to the technical issues about reliability of long-term behavior of engineered barrier system were extracted. And the concepts of the experiments were studied from several points of view such as verification of models and getting the actual behavior. Extracted items of the in-situ experiments are as follows.

Coupled Phenomena Test (THMC Test)
Buffer & Rock Creep Test
Gas Migration Test
Over-pack Corrosion Test
High-pH Influence Test
Low Alkaline Concrete Execution Test
Engineering-Barrier Emplacement Test
Tunnel Plugging Test

* Repository system analysis group, Waste isolation research division,
Waste management and fuel cycle research center, Tokai works
** Barrier performance group, Waste isolation research division,
Waste management and fuel cycle research center, Tokai works
*** Materials research group, Waste isolation research division,
Waste management and fuel cycle research center, Tokai works
****Geotechnical science and engineering group, Horonobe underground research center
+ Underground research laboratory planning group, Nuclear cycle research divivion
++ Taisei Corporation
+++ Maeda Corporation
++++ Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd

目　　次

1　はじめに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
2　処分技術における課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
2.1　処分技術における課題の分類　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
2.2　人工バリア設計の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
2.3　施設設計の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
2.4　人工バリアの健全性評価における課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
2.5　建設技術の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
2.6　操業技術の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
2.7　閉鎖技術の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6
2.8　モニタリング技術の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
3　原位置試験項目の選定　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
3.1　人工バリア設計技術　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
3.2　施設設計技術　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
3.3　人工バリア長期挙動評価　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・7
3.4　建設・操業・閉鎖技術　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
3.5　原位置試験項目のまとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・8
4　海外の地下研究施設における原位置試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
4.1　Mt.Terri　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
4.2　Bure　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11
4.3　Mol　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
4.4　Äspö　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
4.5　海外の地下研究施設と幌延における原位置試験　・・・・・・・・・・・・・・16
5　原位置試験の概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
5.1　試験概念の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・18
5.2　原位置試験の概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
6　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
7　今後の課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46
7.1　試験計画の具体化　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46
7.2　試験計画の具体化に伴う試験実施の判断　・・・・・・・・・・・・・・・・・47
7.3　制約への対応（合理化検討）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
8　おわりに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・49

参考文献　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・50

表　目　次

表 2-1　人工バリア長期挙動評価の概要と課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5
表 4-1　Bure における原位置試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・13
表 4-2　幌延と海外地下研究施設における原位置試験　・・・・・・・・・・・・・・・・17
表 5-1　人工バリア試験：試験概念の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・19
表 5-2　緩衝材／岩盤クリープ試験：試験概念の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・20
表 5-3　ガス移行挙動試験：試験概念の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・21
表 5-4　セメント影響（人工バリア）／オーバーパック腐食試験：試験概念の検討　・22
表 5-5　セメント影響（岩盤）試験：試験概念の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・23
表 5-6　低アルカリ性コンクリート施工性確認試験：試験概念の検討　・・・・・・・・24
表 5-7　定置精度確認試験：試験概念の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・25
表 5-8　坑道閉鎖試験：試験概念の検討　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・26
表 5-9　人工バリア試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・28
表 5-10　人工バリア試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・29
表 5-11　緩衝材／岩盤クリープ試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・・・・・・・・30
表 5-12　緩衝材／岩盤クリープ試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・・31
表 5-13　ガス移行挙動試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・32
表 5-14　ガス移行挙動試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・33
表 5-15　オーバーパック腐食試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・・・・・・・・・34
表 5-16　オーバーパック腐食試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・・・35
表 5-17　セメント影響試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・36
表 5-18　セメント影響（緩衝材）試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・37
表 5-19　セメント影響（岩盤）試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・・38
表 5-20　低アルカリ性コンクリート施工性確認試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・39
表 5-21　低アルカリ性コンクリート施工性確認試験（原位置試験）　・・・・・・・・・40
表 5-22　定置精度確認試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・41
表 5-23　定置精度確認試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・42
表 5-24　坑道閉鎖試験（研究テーマ）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・43
表 5-25　坑道閉鎖試験（原位置試験）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・44

図　目　次

図 2-1　第 2 次とりまとめにおける設計の流れ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2
図 2-2　処分技術全体の課題とその解決方策　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3
図 3-1　処分場と地下研の処分技術の対応　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・10
図 4-1　Mt.Terri プロジェクトにおける原位置試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
図 4-2　Mol における原位置試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・14
図 4-3　Äspö における原位置試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
図 5-1　一般的な原位置試験の位置づけ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・27
図 6-1　原位置試験概念図のまとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・45
図 6-2　原位置試験の時間軸による分類　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・46
図 7-1　試験計画具体化に必要な実施事項　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
図 7-2　原位置試験実施の判断手順の例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・47
図 7-3　実施形態による原位置試験の分類　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
図 7-4　原位置試験における対応とその問題点　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・48
図 7-5　原位置試験の合理化の例　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・49

1　はじめに

本書は，幌延深地層研究計画の主に第３段階（地下施設での調査研究段階）に実施する処分技術関連の原位置試験の概念を検討したものであるが，この検討に当っては原位置試験の位置付けやその必要性に重点を置いた。つまり，第２次取りまとめ以降の処分技術に関する課題に対して実施される個々の研究テーマごとに，原位置試験の実施の有無を検討すると共に，研究テーマ全体の中での原位置試験の位置付けを明確にした。また，原位置試験の実施に当って試験規模や実施深度などの試験概念については，定性的ではあるが複数の観点からの評価を行っている。また，本書で検討対象としているのは第２次取りまとめの分冊２（地層処分の工学技術）の範囲であり，分冊３（地層処分システムの安全評価）については別途検討が必要である。

なお，本検討はまだ概念検討の段階であるため，幌延で取得された調査データは反映されていない。よって，今後試験概念を具体的な試験計画とするためには，対象とする現象に関する検討や調査データに基づいた試験仕様や試験期間の検討が必要となる。

2　処分技術における課題

2.1　処分技術における課題の分類

地層処分における処分技術の全体スコープとして，第２次取りまとめに示された処分場の設計の流れを図 2-1 に示す（サイクル機構，1999)。図 2-1 に示された処分技術をその内容から分類すると，人工バリア設計，施設設計，長期挙動評価，建設・操業・閉鎖に分けられる。それぞれに内容は異なるものの，総体的には図 2-2 に示すような課題と解決のための方策が考えられ，その実施により処分技術の信頼性向上が図られるものと考える（サイクル機構，2003)。本書では図 2-2 の内，　　の部分について具体的な検討を加えている。

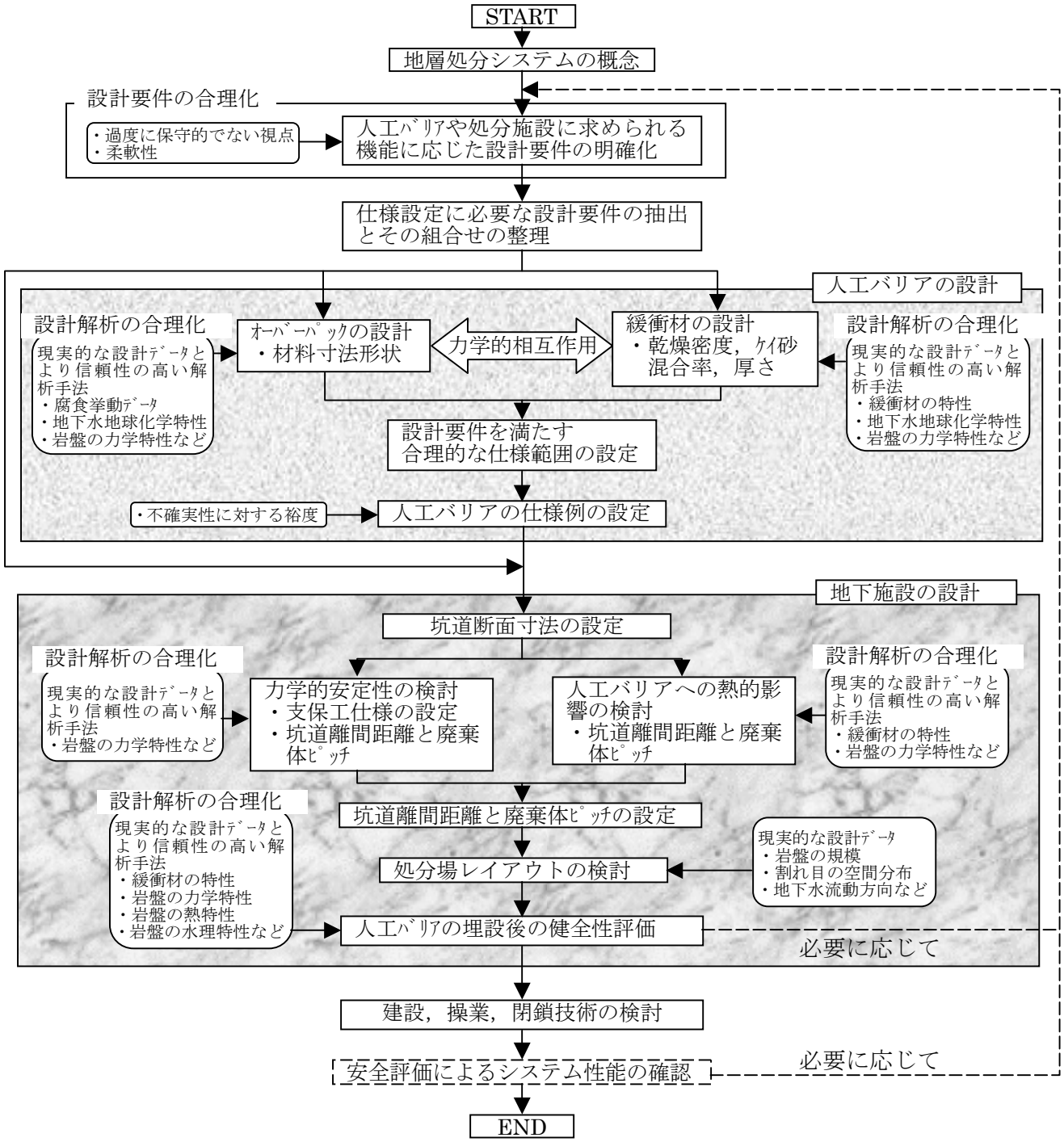
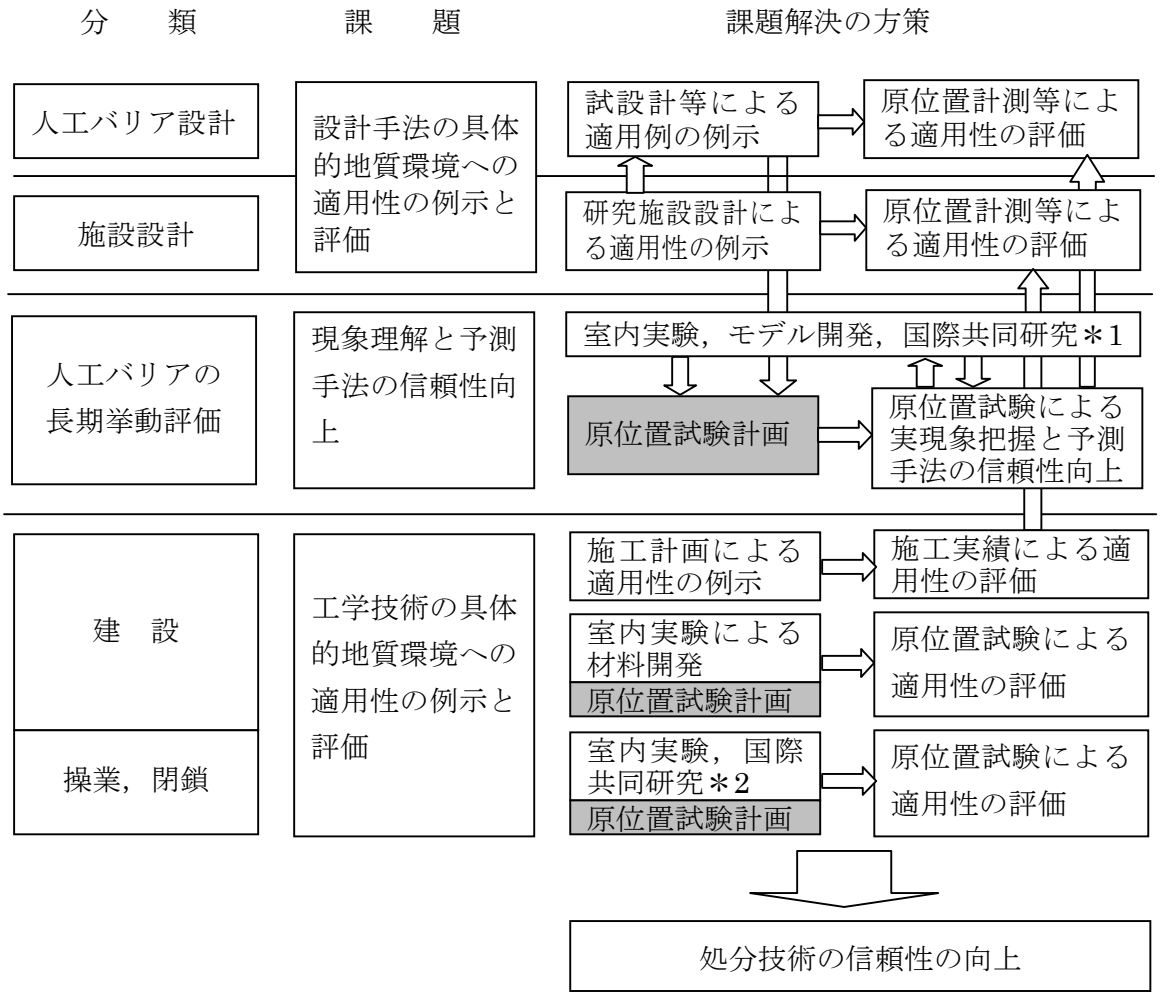


図 2-1　第 2 次取りまとめにおける設計の流れ



国際共研＊1：DECOVALEX，GAMBIT，ｽｳｪｰﾃﾞﾝ:PRP，ｽｲｽ:HPF 等
国際共研＊2：ｶﾅﾀﾞ:TSX，ｽｳｪｰﾃﾞﾝ:PRP

図 2-2　処分技術全体の課題とその解決方策

2.2　人工バリア設計の課題

第 2 次取りまとめでは,釜石,東濃をはじめ全国のデータからジェネリックな地質環境(HR, SR-A,B,C,D,E）を設定し，軟岩系岩盤では代表として SR-C の物性値を設計入力データとして設計要件を満足する仕様を設定した。これに対しては，具体的な地質環境に対する適用性の確認が課題としてあげられており，ここでは幌延の地質環境を条件とした人工バリア設計を想定することとする。実際の地質条件の設定を考えた場合，主な課題は「限られたデータを条件として,設計仕様が設計要件を満足していることの信頼性をいかに高めるか」であり，次いで「保守性を損なわずに，いかに合理的な仕様とできるか」であると考えられる。この信頼性の評価を行うためには設計時の性能担保の考え方に応じた原位置での計測が必要となる。また，設計に当っては材料特性のデータが必要となるが，特に塩水系環境における特性データが十分ではなく，この取得が必要であると共に取得方法の標準化も必要である。

「第 2 次取りまとめ」では人工バリアに対する設計要件として，オーバーパックでは耐食性，耐圧性，閉じ込め性などが，緩衝材では低透水性，収着性，コロイド濾過機能，化学的

緩衝性などが上げられている。これらの要件は長期にわたり満足することが求められていることから，要件が満足されていることの評価は人工バリアの埋設後の健全性評価と深く係わっている。よって，人工バリア設計手法の適用性評価は，その多くの部分が人工バリアの健全性評価に関する原位置試験によって行われるものと考える。

2.3　施設設計の課題

課題の考え方は基本的に人工バリア設計と同様「限られたデータを条件として，保守的であることの信頼性をいかに高めるか」であり，次いで「保守性を損なわずに，いかに合理的な仕様とできるか」と考えられる。

幌延における地下施設の特徴として第一に挙げられるのが堆積軟岩を対象に大深度まで掘削することであり，このことから最も重要なのは空洞安定性評価である。幌延の地質条件が「第 2 次取りまとめ」で設定した軟岩系岩盤モデルデータセット SR-C より厳しく「第 2 次取りまとめ」に示した設計手法がそのまま適用できなくなる場合には，評価方法の違いやその根拠付けが課題となる。この他の幌延の特徴としてはガス発生と塩水環境があげられ，これらへの対処も設計および施工上の課題と考えられる。幌延を対象とした地下施設設計については，以下の成果および計画がある。

①平成 10 年度：堆積岩を対象とした地下へのアクセス坑道に関する研究
（文献調査を基に地質条件を設定）（杉原，1998）
②平成 13 年度：幌延深地層研究計画／地下施設建設技術に関する研究
（HDB-1 孔，HDB-2 孔等を基に地質条件を設定）（窪田，2001）
③平成 14 年度：幌延深地層研究計画／地下施設建設に関する基本計画の検討
（HDB-1 孔，HDB-2 孔等を基に地質条件を設定）（窪田ほか，2003）
④平成 15 年度：幌延深地層研究計画／地下施設基本設計
（HDB-1 孔，HDB-3 孔等を基に地質条件を設定）
⑤平成 16 年度：（予定：地下施設の詳細設計）

上記に示すように，異なる時期に異なる地質情報に基づいた設計が行われている。これらの設計については，用いた地質調査・試験結果から入力物性値の設定に至る過程，解析手法の選定，安定性評価指標の設定から坑道仕様の設定に至る経緯を設計事例として取りまとめることが重要である。また，これらの設計事例に対しては，第 2 段階において空洞安定性評価の方法に対応した計測を行うことにより設計の妥当性評価を行うことになる。さらに，軟岩の特性として時間依存性挙動を設計で考慮した場合には，引き続き第 3 段階まで計測を行い設計手法の適用性を評価することとなる。

2.4　人工バリアの健全性評価における課題

第 2 次取りまとめでは人工バリアの長期健全性評価として以下の 5 項目を取り上げ，現状技術における評価を行い健全性は保たれるとしているが，同時に各項目についてより一層の信頼性向上が必要とされている。

①再冠水時の人工バリア挙動評価
②構造力学安定性評価
③耐震安定性評価

④ガス移行評価
⑤緩衝材の岩盤内侵入の評価

さらに，上記５項目に加え人工バリアの長期健全性に関する重要な項目として，⑥人工バリアの劣化変質評価が挙げられる。変質の要因としてはセメント材料に起因する高ｐＨ環境が重要なものとして考えられている。

以上の６項目について，その概要と課題を表 2-1 に示す。

表 2-1　人工バリア長期挙動評価の概要と課題

項　目	概　要	課　題
再冠水時の人工バリア挙動評価	再冠水までの地下水の緩衝材への浸入と廃棄体の発熱に伴う挙動を熱-力学-水理-化学の連成現象としてとらえ，塩の蓄積等人工バリアに有意な影響を及ぼす可能性のある挙動を評価する。	連成現象のモデル化が十分でない，連成現象に係わるデータ取得が十分でない，具体的な地下環境条件における予測評価が必要。
構造力学安定性評価	地圧や緩衝材の膨潤圧力，オーバーパックの腐食膨張圧力の総合的な作用により，オーバーパックの破損，岩盤の破壊，緩衝材厚さ減少の可能性がある。また，オーバーパックの自重による圧密沈下や支持力不足による沈下や傾斜によっても緩衝材厚さ減少の可能性が考えられることから，各現象により発生する応力とひずみを評価する。	モデルの信頼性が十分でない，オーバーパックー緩衝材ー岩盤の総合的な評価がなされていない，海水系や熱環境におけるデータ取得が十分でない。
耐震安定性評価	地震による人工バリアの破壊，過大な変形，岩盤の亀裂進展や掘削影響領域の増加の可能性について評価する。	限界状態の定量的な評価がなされておらず，またそのために必要な情報（長期にわたる地震の発生頻度と地震波の伝播に伴うサイトでの変位量，変位速度，加速度）が十分でない。
ガス移行評価	オーバーパック腐食によるガスが蓄積され圧力が高くなると緩衝材の力学的安定性に影響を及ぼす可能性がある。また，ガスの移行により緩衝材中の間隙水が押し出されることによる移行促進の可能性があることから，これらガス移行に伴う挙動を評価する。	処分環境における緩衝材の透気特性データ取得が十分でない，現象のモデル化が十分でない。
緩衝材の岩盤内侵入の評価	亀裂性岩盤において，膨潤圧による緩衝材の岩盤亀裂への侵入や，地下水流による亀裂内への流失（浸食）により緩衝材密度が低下する可能性があるため，これを評価する。	処分環境におけるデータ取得が十分でない，浸食現象発生のしきい値が把握できていない，掃流力と浸食の関係の定量的把握が十分でない。
人工バリアの劣化変質評価	高ｐＨ環境における緩衝材の化学的変質により，自己シール性，止水性，コロイド濾過性などが影響される可能性がある。また，オーバーパックの腐食については，初期の酸化性雰囲気において局部腐食発生の可能性があることから，セメントの影響を定量的に評価する。	緩衝材変質評価モデルの信頼性が確認されていない，そのためのデータ取得も十分でない。実規模の不均質環境でのオーバーパック腐食挙動が把握されていない。

上記の課題に対してはほぼ共通して，評価モデルの開発，室内実験による現象理解とデータ取得およびモデルの検証，原位置試験によるデータ取得とモデルの有効性評価を行うことが重要と考えられる。

2.5 建設技術の課題

(1) 坑道建設技術，対策技術

坑道建設技術では基本的に現状技術の具体的地質環境に対する適用性確認が課題となるが,地山条件が厳しい場合には現状技術の適用のみならず,掘削方法や支保工の架設方法,対策工の選定なども課題となる。これらの課題に対しては，事前の施工計画と施工実績の比較による事前計画の妥当性評価を行うと共に，実施工を通して個々の建設技術の適用性を評価することとする。対策技術では，膨圧対策，ガス対策などについて，実施工を通した事前計画の妥当性評価や対策技術の適用性評価，情報化施工や前方探査による現象予知の有効性評価などを行う。

(2) 処分孔掘削技術

坑道建設と異なり，処分孔掘削は既往の施工機種で対応できない可能性があり，この場合坑内施工用に改良が必要となる。この開発と適用性の確認は，地下施設の施工技術開発として行われるが，適用性の確認については後述の人工バリア試験および定置精度確認試験等における処分孔掘削をとおして実施される。

(3) 新しい支保工材料の施工技術

セメント材料に起因する高 pH の影響への懸念から，低アルカリ性コンクリートの処分施設への適用が考えられているが（サイクル機構，2002)，その施工性は実工事において確認されておらず，また鉄筋腐食における耐久性など確認すべき事項も残されている。これらの課題に対しては室内実験等で基本的な部分についての確認を行い，これに基づき深地層の研究施設における実施工をとおして最終的な適用性の確認を行う。

2.6 操業技術の課題

操業技術の課題としては，オーバーパックの受入検査，オーバーパックの溶接，緩衝材の製造保管，立坑／水平坑道の搬送，定置，物流制御，管理区域設定などが挙げられるが，処分の長期安全性に係わるものとして，ここでは定置技術を取り上げる。定置技術では工学技術としての遠隔自動化技術の実証（モックアップ）と，定置に対する要求精度の明確化の２つが課題と考えられるが，ここでも長期安全に係わるものとして定置精度の明確化を重要課題と考える。この課題に対しては，室内実験やモデル解析により定置に要求される精度を設定し，その精度を原位置において確認することが考えられる。

2.7 閉鎖技術の課題

閉鎖技術の課題としては，プラグや埋め戻しが実際にどれだけの性能を持つかという工学技術の適用性確認と，閉鎖材料の特性把握，特にベントナイト材料の塩水環境における特性把握があげられる。これらの課題に対しては，室内実験と共に結晶質岩について海外の地下研究施設で共同研究を進めているが，堆積岩についても原位置試験を実施する必要があると考えられる。

2.8　モニタリング技術の課題

建設・操業・閉鎖に伴うモニタリング（処分場の閉鎖終了までのモニタリング）の内，処分技術で中心となるのは人工バリアに関する性能確認モニタリングである。ここでの課題としては，モニタリング項目（計測可能な代用特性）の設定，計測機器の長期対応性，機器設置による人工バリア等の性能への影響評価などが考えられる。

3　原位置試験項目の選定

ここでは前述の課題を受け，その解決に当たって幌延における原位置試験の実施が有効と考えられる項目を選定する。

3.1　人工バリア設計技術

人工バリアの設計については 2.2 の課題で触れたように長期挙動評価が設計の信頼性を支えることになる。よって，設計の信頼性を検証するために有効な原位置試験は 3.3 人工バリア長期挙動評価の項で選定する。

3.2　施設設計技術

施設設計の課題に対しては，地下研究施設の設計を通して設計技術の適用性を例示し，施設建設によりその適用性を確認することになるが，現在地下研究施設の設計は別途進められているため，原位置試験項目としては本書の対象外とする。

3.3　人工バリア長期挙動評価

再冠水時の人工バリア挙動評価の課題に対しては，国際共同研究 DECOVALEX，スウェーデンアスポ島の PRP への参加や東海における室内実験や COUPLE での工学規模の試験による THMC 連成モデルの開発を行うと共に，モデルの検証とデータ取得を目的とした幌延における実規模原位置試験 人工バリア試験 を実施する。また，人工バリア試験においては性能確認モニタリング技術の適用性確認を行う。

構造力学安定性評価の課題に対しては，緩衝材と岩盤双方についての東海事業所における室内要素試験，工学規模試験（CREEP, DEFORM,TRIAX），モデル開発を実施すると共に，幌延において原位置試験 緩衝材／岩盤クリープ試験 を実施する。

耐震安定性評価については表 2-1 に示した課題はあるが，大地震時においても緩衝材やオーバーパックの基本性能を損なうような変位や応力は発生せず，緩衝材の液状化の可能性もないことがある程度の信頼性を持って評価されており，課題の優先度は高くない。地震に関連して東海では断層活動の影響評価として人工バリアの限界状態に関する BORE-SHEAR による実験を行っているが，現在原位置試験を実施する予定はない。しかし，地震時挙動評価の信頼性向上に向け，人工バリアおよびその周辺に加速度計を設置し地震時の応答特性データ取得や，地震時の岩盤の掘削影響領域の増加や亀裂の進展を観測することは今後検討に値する。

ガス移行評価の課題に対しては，国際共同研究 GAMBIT の一環として東海事業所でのAFS, HYDROGEN-ⅡおよびＸ線ＣＴ装置による実験を行い緩衝材中ガス移行のモデル開発を行うと共に，岩盤中のガス移行に関して二層流モデルの開発を行っている。よって，この両者の連携を図ると共に，緩衝材／岩盤／埋め戻し材の複合条件におけるガス移行現象に関する原位置試験 ガス移行挙動試験 を実施する。

緩衝材の岩盤内侵入の評価の課題に対しては，東海の BENTFLOW 及びＸ線ＣＴ装置による実験で現象の把握を行っている。この課題は基本的に亀裂性岩盤に対するものであることから現在幌延での原位置試験は計画していないが，今後の調査により対象となり得る亀裂が存在する場合には,人工バリア試験等の試験終了後に亀裂を含む岩盤サンプリングを行う，あるいは亀裂を横切るボーリング孔内に緩衝材を充填し一定期間後にオーバーコアリングして侵入状況を観察するなどの検討を行う。

人工バリアの劣化変質評価の課題に対しては，国際共同研究 HPF および東海での室内実験による高 pH 環境での緩衝材変質評価モデルの開発やオーバーパック腐食挙動評価研究を行うと共に，原位置においてオーバーパック，緩衝材および岩盤に対する高ｐＨ影響評価に関する原位置試験 オーバーパック腐食試験 セメント影響試験 を実施する。

3.4　建設・操業・閉鎖技術

建設技術では事前に策定された施工計画に基づく施設建設を通じて適用性確認を行う。この範疇に納まらない処分孔掘削技術と新しい支保工材料の施工技術については別途とする。処分孔掘削技術の開発と適用性の確認に関する具体的な計画は今後の検討による。新しい支保工材料である低アルカリ性コンクリートについては，室内実験や屋外実験により基本的な施工性を開発し施工品質を把握すると共に，総合的な施工性確認として幌延の地下施設建設への適用による 低アルカリ性コンクリート施工性確認試験 を実施する。

操業技術の課題である定置精度の明確化に対しては，緩衝材のすき間を模擬した室内実験や緩衝材の膨潤変形挙動試験等により定置に要求される精度を設定し，その設定精度を原位置で確認するための 定置精度確認試験 を実施する。なお，定置技術の適用性確認としての原位置試験は現在計画していないが，これについては関係機関（原子力環境整備・資金管理センターなど）との連携を図っていく必要がある。

閉鎖技術の課題に対しては，国際共同研究（AECL　TSX）や，東海における工学規模の実験（CLUE）を実施すると共に，安全確保の観点から閉鎖の役割の明確化を進めている（杉田ほか，2003)。これらの知見に基づいて原位置試験 坑道閉鎖試験 を実施する予定である。

3.5　原位置試験項目のまとめ

3.1～3.4 の検討に基づき設定した原位置試験項目を以下に示す。なお，定置精度確認試験における工学技術の適用性確認の側面（モックアップ試験）は未定であるため４章の試験概要では対象としていない。また，坑道閉鎖試験では工学技術の適用性確認の部分（プラグ，埋め戻し性能の確認）を対象とする。

＜長期挙動評価＞

・人工バリア試験

・緩衝材／岩盤クリープ試験
・ガス移行挙動試験
・オーバーパック腐食試験
・セメント影響試験

＜工学技術の適用性＞

・低アルカリ性コンクリート施工性確認試験
・定置精度確認試験
・坑道閉鎖試験

幌延の深地層の研究施設での原位置試験を含む処分技術関連の研究事項と，その成果の反映先である地層処分における処分技術の対応を図 3-1 に示す。

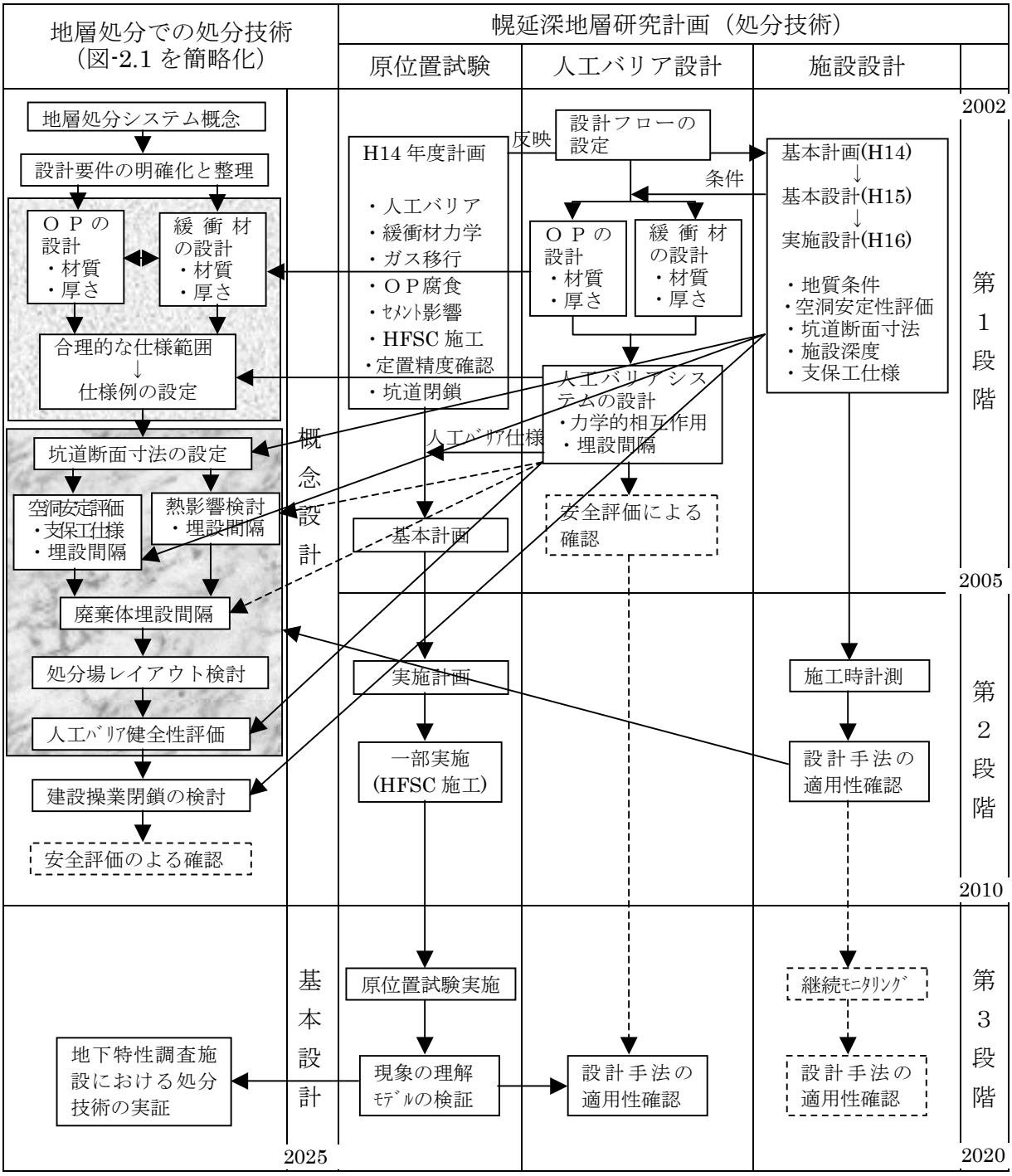


図 3-1　処分場と地下研の処分技術の対応

4　海外の地下研究施設における原位置試験

幌延で実施する原位置試験の検討に当っては海外で計画または実施されている原位置試験が参考となることから，堆積岩を中心とした海外の地下研究施設の調査を行った（本間ほか，2002）。対象としたのは堆積岩では，スイスの Mt.Terri，フランスの Bure，ベルギーの Mol，結晶質岩ではスウェーデンの Äspö である。

4.1　Mt.Terri

スイス北西部のモンテリ道路トンネルの避難用トンネル内において，中生代ジュラ紀のオパリナス粘土層を対象として国際共同研究プロジェクトが実施されている。このプロジェクト全体の目的は以下のように設定されている。

・泥質の堆積岩層が有する水理学，地球化学，岩盤力学的な特性を把握すること
・坑道掘削に伴うそれらの特性の変化を評価すること
・一連の調査研究を通じて適切な調査技術を開発・確立すること

図 4-1 に試験の目的とそれに対応した試験項目を示す。図においてハッチの試験項目は本書で対象とする処分技術に対応すると考えられるものである。

4.2　Bure

フランス東部の Bure の地下研究所は，ジュラ紀中期～後期 Callovo-Oxfordian の頁岩層（深度 422～552 m，層厚 130 m）中に計画されている。そこでの研究は 2006 年まで行われ，処分場候補地の選定規準（criteria）に関する報告書が取りまとめられる予定となっている。地下研究所の目的として以下があげられている。

・リバーシブルあるいはイリバーシブルな処分場概念の建設可能性の確認
・立坑，横坑，坑道のシーリング性能の確認
・処分場建設による最小限の擾乱の確認
・Callovo-Oxfordian 層の閉じ込め性能の確認
・生物圏への核種移行の条件の評価

Bure における原位置試験名とその目的，概要を表 4-1 に示す。図 4-1 と同様ハッチの部分は本書で対象とする処分技術と考えられるものである。

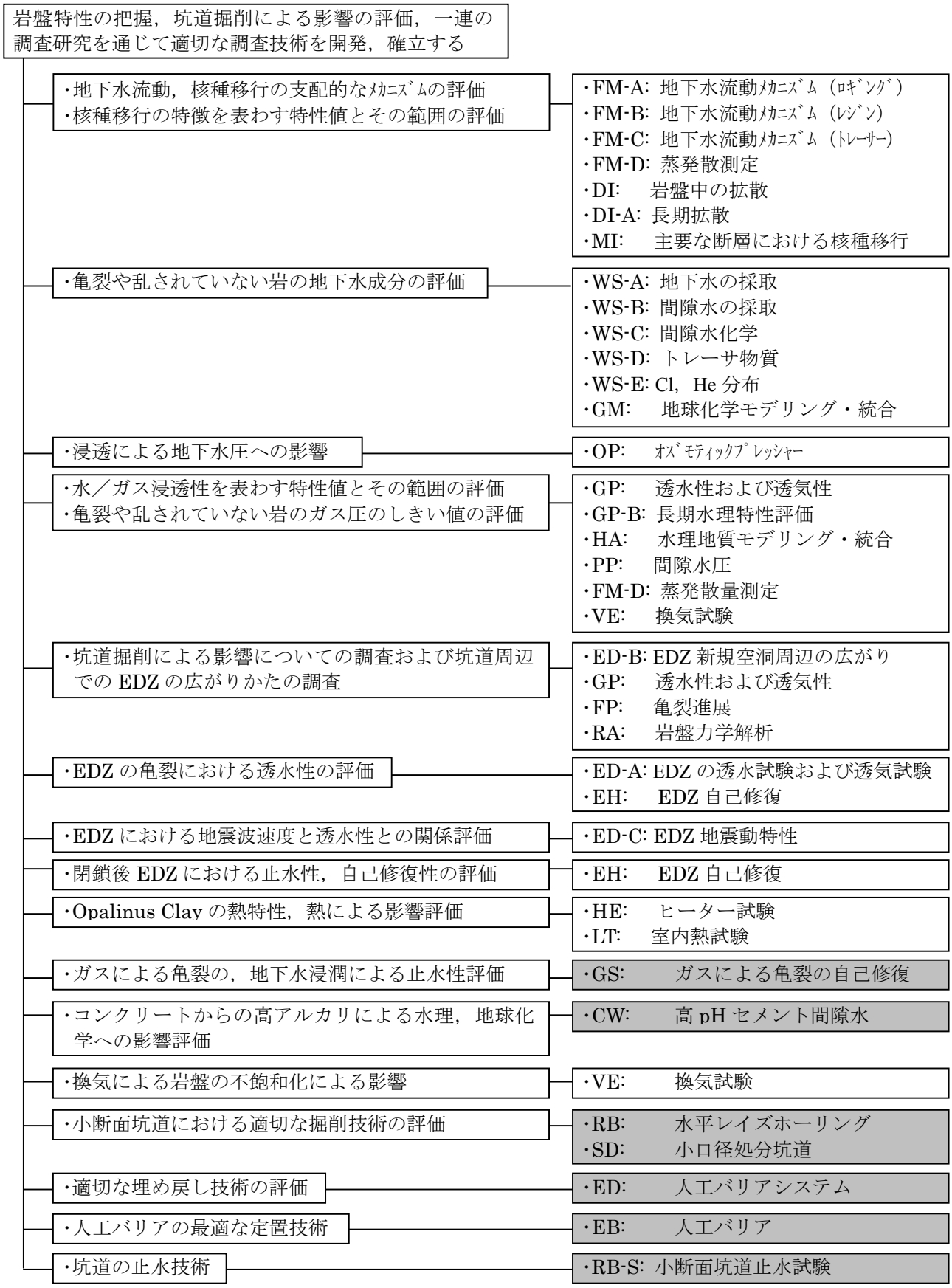


図 4-1　Mt.Terri プロジェクトにおける原位置試験

表 4-1　Bure における原位置試験

試験名	試験の目的	試験概要
地質踏査，文献調査	・地下研究所周辺の広範囲の地質，地層構成を把握する	・地表地質分布や井戸や泉による水理データ，そして主に弾性波測定を用いた油層探鉱による大量の地質情報を収集･分析し，地質状況を推定する
コア採取，水理試験	・地質の物理化学や熱，水理特性を特定するためのデータを得る	・1 km 程度の深い 2 つのボアホールを，5 km の間隔で穿孔しコアを採取する。またその孔を用いて水理試験を行う。
コア採取，弾性波探査	・地質データの精密化を計る	・10 個の浅いボアホールを用いて弾性波探査を行う。深いボアホールを穿孔し，コアを採取する。このボアホールで調べた地層により，弾性波で得た地質構造データの精密化を計る。地下水流動を調べるために，水理計測装置(圧力計)を設ける。
透水係数の測定	・地下研究所を予定している地点における透水係数を測定する	・パッカーに挟まれたボアホール区間内で，水を加圧または減圧する。区間内の水圧変化の速度から透水係数を推定する。
コア採取，電気検層，ガンマ線検層	・地層断面や，地質の 3 次元的な概要を取得する	・ボアホールを穿孔し，コアを採取する。ボアホール内で電気抵抗や自然放射線の測定（検層）を行う
掘削に伴う坑道の挙動試験	・実験のために掘削される坑道の挙動を予測する	・立坑や横坑の掘削に伴い，地質の構造的な状況を確認する。地下実験を実施するにあたり，坑道壁面に亀裂が発生することがあるかどうかなどの検討に用いる。また試験期間中は，坑道に等間隔に設けられた計測器により構造挙動を観測する
初期応力計測	・地山初期応力を取得する	・ボアホールの変形を調べる
掘削影響評価試験（力学，透水）	・坑道掘削による影響領域の進展を確認し，評価する	・試験坑の掘削が進行する前方に 20～40 m のボアホールを穿孔する。各種測定器を設置したボアホールの間に坑道を掘削し，切羽の進行に伴う透水係数，変形や波速の変化を調べる
プラグの性能試験	・プラグの性能を評価する	・小規模のプラグをボアホール内に設置する。プラグの吸水および膨潤が完了した後，プラグに水圧を作用させる。試験後，プラグのサンプルから飽和度，透水係数を測定し，プラグの耐久性を調べる
実規模プラグ施工試験	・プラグ材料の均質性を調べる。閉鎖後のプラグの密度維持性について知見を得る	・坑道内に実規模のプラグを構築する。プラグ内に計測器を埋め込み，密度や間隙率，含水率，応力を測定する。小規模プラグによる試験結果と比較する
掘削影響評価試験（不飽和状態）	・坑道掘削によって発生すると考えられる，坑道周辺の不飽和状態が閉じ込め性に及ぼす影響を調べる	・坑道掘削による影響領域において，水圧や飽和度と掘削から経過した時間との関係や，坑道からの距離の関係を調べる。また，サンプルも採取する
熱影響試験	・廃棄体の発熱による影響や，許容温度を評価する	・坑道から穿孔した垂直ボアホール内で電気ヒーターを数ヶ月間，発熱させる。ヒーターから異なる距離に数箇所計測用ボアホールを穿孔し，温度，水圧，変形，応力を計測する。試験終了後に地下水を採取し，鉱物化学的変化を調査する
化学的影響評価試験	・坑道掘削によって外部から持ち込まれる物質(外気，コンクリート，鉄)による化学的影響を調べる	・処分場によって持ち込まれると予想される化学成分をボアホールから注入する。サンプルから地質の化学成分に関する影響や，影響の伝達，岩盤の劣化について試験する。酸化フロントの広がりをボアホールからモニタする
岩盤の拡散試験	・岩盤の拡散係数および核種固定能力を評価する	・拡散係数を取得するため，岩盤と相互作用しないトレーサをボアホールから注入し，距離に応じたトレーサ濃度を調べる。放射性核種と相似の特性をもつトレーサを注入し，移流速度の違いから岩盤の核種固定能力を定量化する
地下水分析	・核種移行特性を評価するために必要な，地下水成分を取得する	・間隙水や岩を損なわないまま取り出すため，間隙水の詳細な化学特性を調べるために特別なボアホール(清潔，無菌，イオン排除そして脱気された水で満たされた)を穿孔する
岩盤の透水試験	・地下水流動特性を評価するために必要な，地下水位分布を取得する	・ボアホールネットワークを地下研究所に設置し，水頭分布を調べる。10 m のボアホールに設けた 2 つのプラグ間に数ヶ月間水圧を作用させることにより透水係数を測定する
掘削影響評価試験（水理モデル）	・解析に用いる水理モデルの精度を向上させる	・既設(地下研掘削開始前)のボアホールにより，地下研上部に位置する石灰岩層の水圧，温度，透水係数を数年間にわたり測定する。立坑掘削前後のデータから，地下水流に対する影響を評価する

4.3 Mol

ベルギーにおいては，ヨーロッパ共同体委員会（旧 CEC：Committee of European Community）による地層処分対象可能母岩の調査結果に基づいて，粘土層が選択された。地質学的条件などからサイト特性研究の場として，モル - デッセル地域の地下約 180～280 m に分布する新第三紀の Boom clay（ブーム粘土）層が選ばれた。各試験は，地層処分対象母岩として想定されているブーム粘土層に関するデータと知見の蓄積，および処分場の建設・操業・閉鎖に関わる工学技術や長期安全性などのデモンストレーション（地層処分の実現可能性のデモンストレーション）を目的としている。図 4-2 に試験の目的とそれに対応した試験項目を示す。図におけるハッチ部分は，本書で対象とする処分技術と考えられるものである。

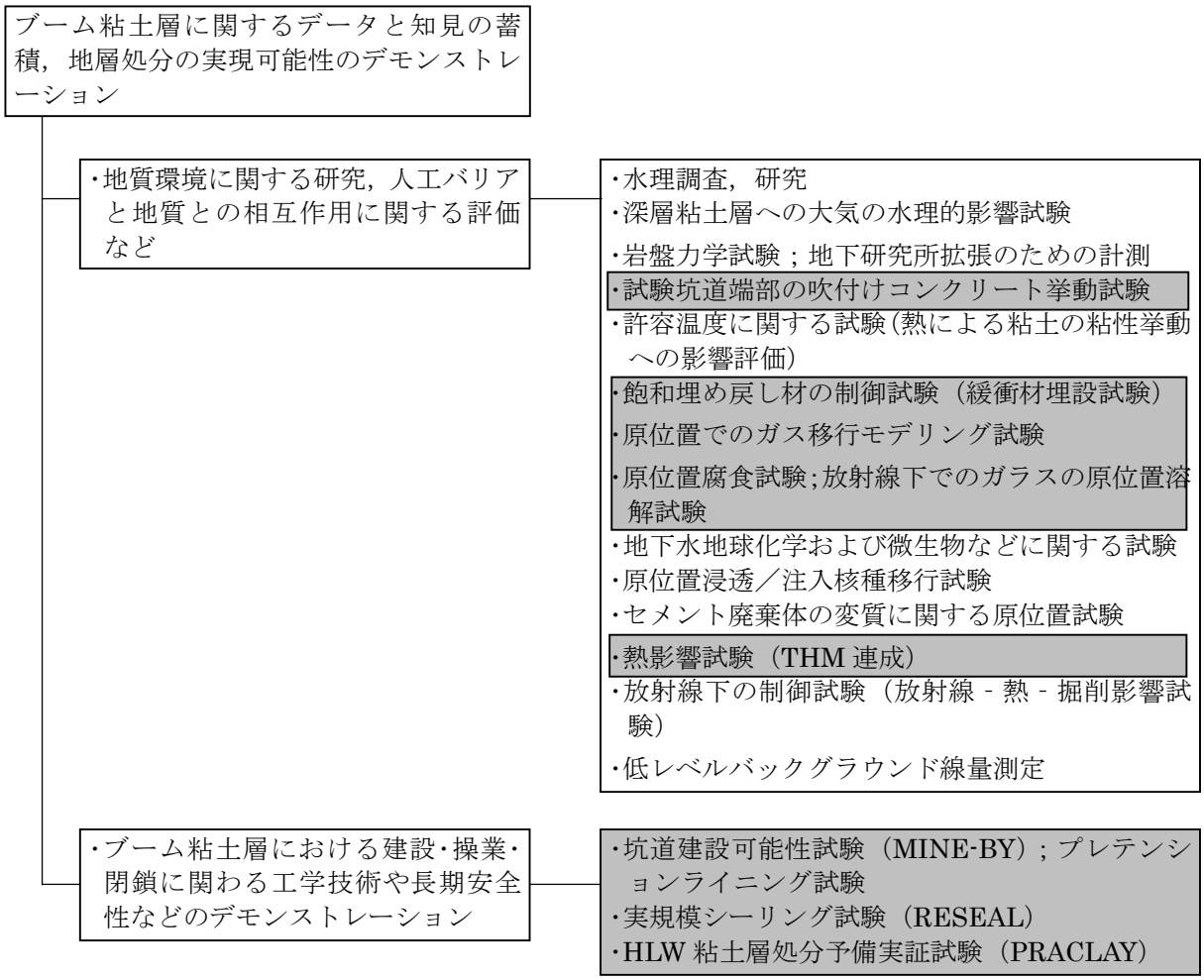


図 4-2　Mol における原位置試験

4.4 Äspö

SKB が Äspö 硬岩研究所（HRL）の建設を決定した基本的な動機は，処分場で想定される深度の現実的かつ乱されていない地質環境において，研究開発およびデモンストレーションの機会を提供することにあった。Äspö HRL のオペレーション・フェーズにおいては，以下

の事項を目的としたプロジェクトに重点が置かれている。

・処分場の安全裕度についての科学的な理解の向上

・安全性を損なうことなく処分概念を簡略化し，費用を削減する技術の試験と確認

・処分場で使用される技術のデモンストレーション

また，Äspö HRL では 4 つの段階目標が設定されている。

・段階目標 1：事前調査方法の確認

地上および試錐調査により，処分深度における岩盤の安全性に関わる重要な特性について，十分なデータを提供できることをデモンストレーションする。

・段階目標 2：詳細な調査方法論の取りまとめ

詳細なサイト調査で岩盤の特性評価に必要な方法および技術を改良し，検証する。

・段階目標 3：地下水流動および核種移行モデルのテスト

処分場の操業中および閉鎖後の地下水流動，核種移行，および化学的条件の記述方法とモデルを開発し，テストする。

・段階目標 4：処分場システムの重要な部分の機能および技術のデモンストレーション

処分場の長期安全性に重要な実規模の構成要素について試験，研究およびデモンストレーションを行うとともに，システム構成要素の設計，建設および操業において高い品質を達成できることを示す。

図 4-3 に段階目標に応じた原位置試験項目を示す。図におけるハッチ部分は，本書で対象とする処分技術対応すると考えられるものである。

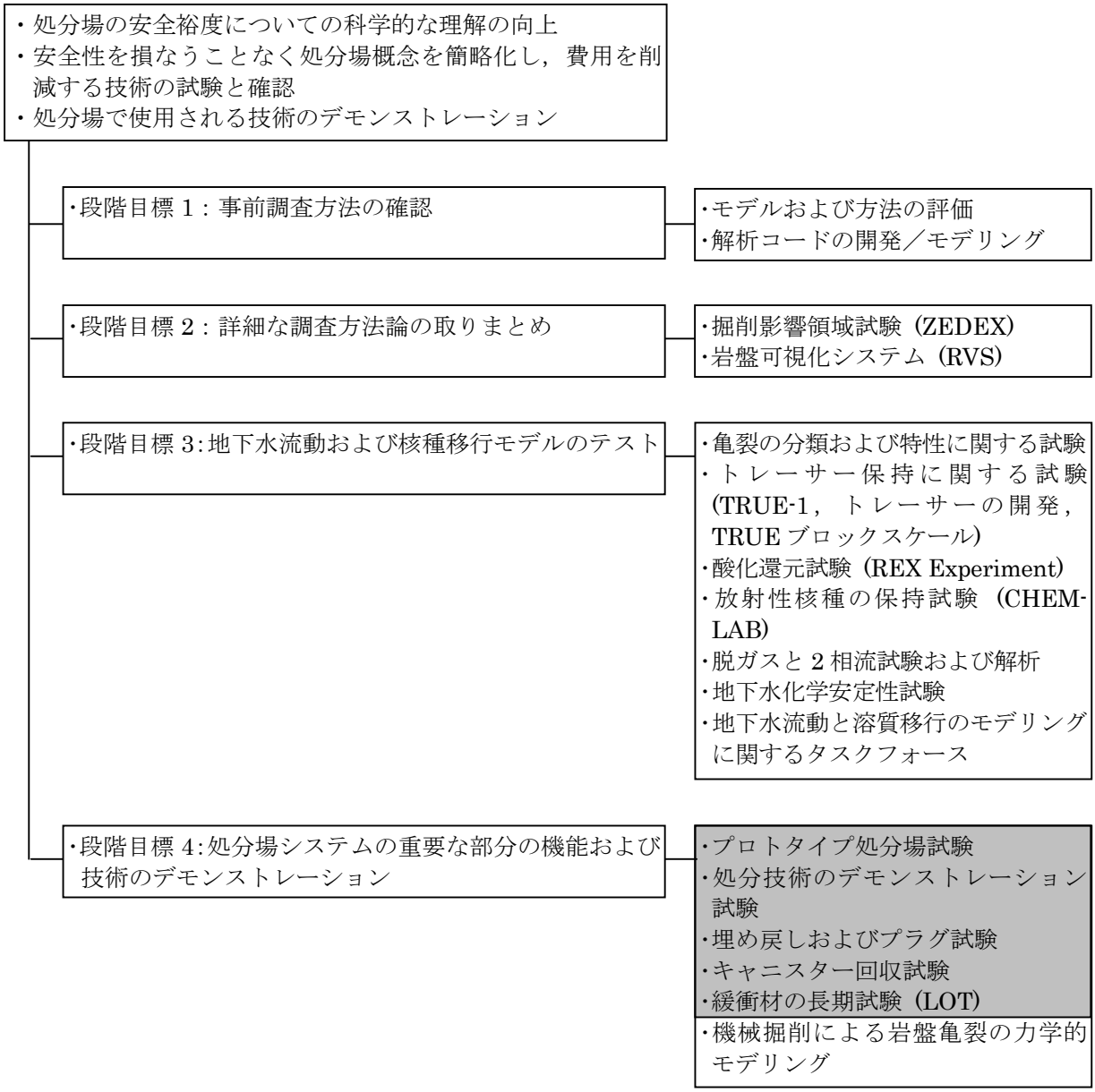


図 4-3　Äspö における原位置試験

4.5　海外の地下研究施設と幌延における原位置試験

上記の調査では，本書で対象としている処分技術に関する原位置試験に関して上記の調査と，3.5 節で設定した幌延における試験項目をまとめて表 4-2 に示す。

表 4-2　幌延と海外地下研究施設における原位置試験

分類	幌延での原位置試験	海外地下研究施設での原位置試験
建設可能性に関する試験	・低アルカリ性コンクリート施工性試験	・吹付けコンクリート挙動試験（Mol）
		・水平レイズホーリング（MT） ・小口径処分坑道試験（MT） ・坑道建設可能性試験（Mol）
人工バリアの工学技術とＮＦ性能に関する試験	・人工バリア試験	・人工バリア試験（MT） ・熱影響試験（Meu） ・熱影響試験（THM 連成）（Mol） ・処分予備実証試験（Mol） ・プロトタイプ処分場試験（Asp）
	・緩衝材／岩盤ｸﾘｰﾌﾟ試験	・掘削に伴う坑道の挙動試験（Meu）
	・ガス移行挙動試験	・ガスによる亀裂の自己修復試験（MT） ・ガス移行モデリング試験（Mol）
	・ＯＰ腐食試験	・原位置腐食試験（Mol）
	・セメント影響試験	・高 pH セメント間隙試験（MT） ・化学的影響評価試験（Meu） ・緩衝材の長期試験（Asp）
	・定置精度確認試験	・人工バリアシステム試験（MT） ・緩衝材埋設試験（Mol） ・処分技術のデモンストレーション試験（Asp）
		・キャニスター回収試験（Asp）
閉鎖技術と閉鎖性能に関する試験	・坑道閉鎖試験	・小断面坑道止水試験（MT） ・プラグの性能試験（Meu） ・実規模プラグ施工試験（Meu） ・実規模シーリング試験（Mol） ・埋め戻しおよびプラグ試験（Asp）

次章 5 に示す幌延における原位置試験概念は，上記の調査を含め，海外の地下研究施設における成果や国際共同研究の成果などを踏まえたものとなっている。以下に例として海外の成果を踏まえた幌延における人工バリア試験（THMC 連成試験）の意義や必要性を示す。

幌延における人工バリア試験は，人工バリアおよびその周辺岩盤を含めたニアフィールドにおける熱的，水理的，力学的，化学的プロセスが相互に影響しあう連成現象の調査（現象理解）とともに，この連成現象を予測・評価するために開発中である熱-水-応力-化学連成モデルの検証・高度化を目的として計画されている。

海外においては前述したように，既に地下研究施設を用いて人工バリア等に関わる連成挙動の把握等を目的として原位置試験が実施されている。海外地下研における以下に示す成果・知見は，幌延における人工バリア試験計画へも反映される。

①モニタリング技術・項目，センサー配置

②設計・施工技術

③解体・サンプリング技術

④海外地下研における原位置連成データを用いた連成挙動モデルの検証

特に，④については，国際共同研究 DECOVALEX や PRP に参画することにより，海外地下研における試験データによる連成挙動モデルの検証，各国の連成挙動モデルとのベンチマーク試験を既に実施し，成果が得られている。

しかしながら，堆積軟岩系岩盤については人工バリアの連成挙動データがまだ十分とはいえない。また，同様に軟岩系岩盤に対する設計・施工技術や支保工のコンクリート影響につ

いても知見が少なく，幌延における原位置試験によるデータ取得等が重要である。以下に，海外地下研では得られない幌延における人工バリア試験の成果を示す。

・わが国の人工バリア概念・仕様による原位置における連成挙動の把握
・軟岩／海水系環境における人工バリア等の連成挙動の把握
・軟岩／海水系環境に対する人工バリア試験の設計・施工・モニタリング技術
・国民の地層処分への理解醸成に資するデモンストレーション

5　原位置試験の概要

5.1　試験概念の検討

原位置試験はある目的を持った研究テーマのもとに室内実験やモデル開発と組み合わされて実施される。そこでその目的に対しどのような概念（実施規模，定置方式，支保工の有無など）で原位置試験を実施すべきかを定性的に評価したものを表 4-1～表 4-8 に示す。ここで試験概念として取り上げたのは，規模，セメント，水質，定置，深度の５項目であり，その内容は以下に示すようなものである。

①規模：試験を実施する規模であり，実規模で行う必要があるか，早期に飽和させるため縮小規模で実施する必要があるか，などの検討が必要
②セメント：空洞安定性確保のために処分孔にコンクリート支保工が設置された場合，試験の目的に照らして避けるべきものか，許容できるものか，必要か，などの検討が必要。
③水質：試験環境として，湧水が淡水の場合と塩水の場合とでは，どちらが好ましいか，どちらでもよいか，両方の場合が必要か，などの検討が必要。
④定置：定置方式が竪置きの場合と，横置きの場合とでは試験の目的に照らして，どちらが好ましいか，どちらでもよいか，両方の場合が必要か，などの検討が必要。
⑤深度：試験の実施深度として，深い位置での実施が必要か，浅い位置でもかまわないか，深度依存性を把握するため複数深度での実施が必要か，などの検討が必要。

また，上記５項目の試験概念の検討は以下の４項目の観点から行った。

①モデルの検証：目的の主要な部分を占めると考えられる挙動予測モデルの検証という観点からはどのような概念が適切か。
②実現象の把握，実際の地下環境でどのような現象が起きているかを把握するという観点からはどのような概念が適切か。
③第２次取りまとめ概念との整合：第２次取りまとめで提示した処分概念との整合（処分孔支保工の有無など）という観点からはどのような概念が適切か。
④作業性・安全性・費用面での実現性：計測の容易さ，作業安全の確保，坑道掘削等の費用の観点からはどのような概念が適切か。

表 5-1～表 5-8 は各原位置試験について上記５つの試験概念と４つの検討の観点を表にまとめたものであり，検討の結果を「試験の基本概念」欄に示している。この試験の基本概念は，複数の観点からの相反する概念を定性的な優劣評価により取捨選択して設定したものである。よって，今後空洞安定性の解析，飽和期間の算定などの定量的な検討により表に示した試験の基本概念の見直しを行う必要がある。

表 5-1　人工バリア試験：試験概念の検討

	モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念	備　考
規　模	縮小～実規模 試験の規模はモデルの検証に対して大きく影響しない	実規模 実現象の把握という観点では，実規模が望ましい 廃棄体相互の熱影響等の把握には複数本設置が望ましい	実規模	縮小～実規模 竪置き裸孔の場合は空洞安定性の面で実規模は問題となる可能性がある	実規模を基本 飽和状況と試験期間を考慮して判断 廃棄体相互の熱影響等の把握には複数本設置が望ましい	緩衝材の定置方法，すき間の処理をどのように設定するか要検討 埋め戻しを行うかどうか要検討
セメント	なし又はあり セメントの存在により化学的環境が複雑になる 力学的環境としては支保工有りの方が単純な条件となる	なし＋あり 竪置きは裸孔，横置きは支保工有りの条件が実現象であり，両方の現象の把握が望ましい	なし 第２次取りまとめではセメント有りでの連成評価はしていない。	なし又はあり 支保工設置した場合膨潤に必要な地下水が遮断される可能性がある 支保工設置した方が安全上は好ましい	なしを基本 竪置き裸孔条件での実現象把握を基本とする	実規模／支保有と縮小規模／支保無の選択となった場合は実規模を基本に考える
水　質	淡水又は塩水 基本的現象の検証には淡水系が，化学の連成に重点をおくなら塩水系が好ましい	淡水＋塩水 淡水系，塩水系両者での試験がベター	淡水 降水系に関して，THM モデルでの検討を実施 海水系に関する検討はしていない	淡水又は塩水 安全性・作業性に対する影響小さい 機器の絶縁，耐久性の点では淡水が好ましい	淡水又は塩水 現象把握や検証は水質に大きく依存しないので，原位置の代表的な水質を基本とする	塩水系の場合，緩衝材膨潤・止水性能を把握しておく必要あり 水質より必要な地下水量の確保が重要
定　置	竪置き又は横置き モデル検証の観点からは竪，横に本質的な差は無い	竪置き又は横置き 竪，横両方の試験が可能ならベター	竪置き 第２次取りまとめでは竪置きで連成評価を実施	竪置き又は横置き 竪置きは裸孔で安全性に劣る 横置きは計器設置等の作業性に劣り，費用面での実現性に課題	竪置きを基本 試験のやりやすさから判断 可能であれば横置きも実施	
深　度	浅い又は深い 検証に関して深度依存性はあまりない 浅い方が試験期間の点で有利	深い又は浅い 処分環境に近いという点では深い方が，試験期間からは浅い方が好ましい	深い 第 2 次取りまとめでは 1000m 竪置きを条件とし，水圧と岩盤の透水性はﾊﾟﾗﾒｰﾀとして評価	浅い 竪置き裸孔の場合，浅い方が安全性が高い	最深部を基本 実現象把握の観点から最深部での実施を基本に考える	浅部／水理環境良と深部／水理環境不良の選択となった場合は要検討

表 5-2　緩衝材／岩盤クリープ試験：試験概念の検討

		モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念
規　模	岩盤	実規模 平均的な物性の取り扱いが可能かつ変位計測が容易なこと	実規模 規模が大きいほどクリープ顕著であり，計測および現象把握に有利	実規模	小規模 竪置き裸孔の場合径が大きくなる程不安定，また複数孔の場合不経済	実規模+小規模 実規模：基本 小規模：支保工条件等を変えたケース
	緩衝材 ／連成	1/10～1/5 飽和に時間を要するので小規模が良いが，小規模すぎると計測が困難かつ室内試験との差が無くなる	1/5～実規模 平均的な物性の取り扱いが可能かつ変位計測が容易でしかも飽和可能な規模			1/5 程度 緩衝材飽和のため
セメント	岩盤 緩衝材 ／連成	なし 境界条件が明確かつ岩盤のクリープが顕著	なし 変位が顕著な方が現象把握に有利 長期挙動を把握する上で剛な支保工は不可	なし	あり 支保工設置した方が安全上は好ましい	なし 変位を拘束しない方が計測に有利
水　質	岩盤 緩衝材 ／連成	淡水又は塩水 原位置の水であれば水質はあまり影響しない	淡水及び塩水 （同左）	淡水又は塩水 第 2 次取りまとめでは水質は考慮せず 淡水 第 2 次とりまとめでは淡水で評価	淡水又は塩水 安全性・作業性に対する影響小さい 機器の絶縁，耐久性の点では淡水が好ましい	淡水又は塩水 水質の影響は小さい
定　置	岩盤	竪置き又は横置き 竪置きは応力場が複雑，横置きは支保工により挙動が複雑	竪置き 裸孔で変位の大きい竪置きが有利	竪置き 第２次取りまとめでは横置きで評価	竪置き又は横置き 竪置きは裸孔で安全性に劣る 横置きは計器設置等の作業性に劣り，費用面での実現性に課題	竪置き 裸孔のため変位量が大きくなる竪置きが有利
	緩衝材 ／連成	竪置き 連成の観点から裸孔で変位の大きい竪置きが有利		竪置き又は横置き 第２次取りまとめでは両方評価		
深　度	岩盤 緩衝材 ／連成	深い＋浅い 深い：大きな変位が得られる 浅い：長期計測が可能	深い＋浅い （同左）	深い 第 2 次取りまとめでは 500m を設定	浅い 竪置き裸孔の場合，浅い方が安全性が高い	深い＋浅い 深い：大きな変位が得られる 浅い：長期計測が可能

表 5-3　ガス移行挙動試験：試験概念の検討

	モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念	備　考
規　模	小規模～実規模 実岩盤を対象とした検証にはある程度の規模が必要だが，大規模ほど飽和時間が長く検証のための試験期間が短くなる	小規模～実規模 実現象の把握という観点では，実規模が望ましいが，大規模ほど現象把握のための試験期間が短くなる	実規模 第２次取りまとめの結果の再現であれば実規模が望ましい	ある程度の規模 対費用効果を考慮すれば合理的な計画が必要。	ある程度の縮小規模 試験期間，事前調査や飽和に要する時間，ならびに費用などから判断する必要ある	
セメント	なし 対象とする定置方法に関連するが,単純系における検証が好ましい	なし又はあり 竪置きは裸孔，横置きは支保工有りの条件を実現象と考える	なし 2次取りまとめのガス移行検討では竪置き，横置き共に緩衝材外側は母岩としている	なし 安全性に問題なければない方が実験的にやりやすい	なし 境界条件，実験的やりやすさ，安全面から判断	
水　質	淡水又は塩水 淡水系，塩水系どちらかの場で検証ができれば可	淡水又は塩水 淡水系，塩水系どちらかの場で現象把握ができれば可	淡水	淡水又は塩水 安全性・作業性に対する影響小さい 機器の絶縁，耐久性の点では淡水が好ましい	淡水又は塩水 現象把握や検証は水質に大きく依存しないので，原位置の代表的な水質を基本とする	水質で膨潤性に差のある場合，ガス破過に関しては淡水系が，破過後のシールに関しては塩水系が保守的な条件となる
定　置	竪置き又は横置き 竪置きまたは横置きのどちらかで検証ができれば可	竪置き又は横置き 竪置きまたは横置きのどちらかで現象把握ができれば可	竪置き又は横置き ２次取りまとめでは両方の概念を検討している	竪置き又は横置き 竪置きは裸孔で安全性に劣る 横置きは計器設置等の作業性に劣り，費用面での実現性に課題	竪置きを基本 試験のやりやすさから判断	
深　度	深い又は浅い 検証に関して深度依存性はあまりない 試験期間からは浅い方が好ましい	深い又は浅い 処分環境に近いという点では深い方が，試験期間からは浅い方が好ましい	深い G.L.-500m に近い深度	浅い 竪置き裸孔の場合，浅い方が空洞安定性よく安全性高い	ある程度の深度 試験期間の確保が重要	

表 5-4　セメント影響（人工バリア）／オーバーパック腐食試験：試験概念の検討

	モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念	備　考
規　模	実規模 モデルの検証には実規模が好ましい ただし，飽和時間の短縮のため小規模とすることもあり得る	小規模 実現象の把握すなわちセメント影響の有無の把握に実規模は必要ない	実規模	小規模 費用面から及び裸孔内作業安全の面からは小規模が好ましい	実規模＋小規模 基本ケース（検証ケース）は実規模，他の比較ケースは小規模	
セメント	あり モデル検証にはセメント環境が必要	あり＋なし 比較評価のためには支保工なし，OPC，HFSC の３ケースが必要	あり又はなし 竪置きの場合はあり，横置きの場合はなし	あり 横置きはありが前提，竪置きの場合もありの方が安全	あり＋なし 実規模ケースは支保工あり，小規模の比較ケースは支保工なし，OPC，HFSC の３ケース	地下水をセメントに浸潤させる方法（緩衝材飽和に必要な流量の確保）
水　質	淡水又は塩水 ２次取りまとめの水質範囲であれば問題はない	淡水又は塩水 ２次取りまとめの水質範囲であれば問題はない	淡水及び塩水 ２次取りまとめでは両ケースを含め，化学種の濃度範囲を設定している	淡水又は塩水 安全性・作業性に対する影響小さい 機器の絶縁，耐久性の点では淡水が好ましい	淡水又は塩水 ２次取りまとめの水質範囲であれば問題はない。	硝酸塩等特殊なものがなければ問題ない
定　置	竪置き又は横置き 定置方法によらずモデルの検証は可能	竪置き又は横置き 定置方法によらず実現象の把握は可能	竪置き又は横置き 第２次取りまとめではセメント影響と定置方法は関連付けられていない	竪置き 実験的には竪置きの方がやりやすい	竪置き又は横置き 両者に差はない	
深　度	深い又は浅い モデル検証には深い方が好ましい 試験期間の点では浅い方が好ましい	深い又は浅い 応力下でのOP腐食現象把握には深い方が好ましい 比較評価目的では浅くても可	深い G.L.-500m に近い深度	浅い 竪置き裸孔の場合，浅い方が空洞安定性よく安全性高い	深い又は浅い 試験期間を考慮して判断 同一の水質環境とするため同一深度での実施が望ましい	初期状態が還元性又は酸化性であることが及ぼす影響の考慮

表 5-5　セメント影響（岩盤）試験：試験概念の検討

	モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念	備　考
規　模	数m規模	数m規模			数m規模 坑道から数ｍ規模の試錐２本（注入孔と回収孔）による試験	他の試験における岩盤とセメントの接触面の調査も行う
セメント	あり又はなし 支保工が影響しない所まで試錐を行い試験を行うため支保工の有無は問題とならない	あり又はなし （同左）		あり 安全上坑道に支保工は必要	あり 支保工ありの試験坑道から試錐を行う	試錐孔の安定性確保の観点からセメンチングが必要となる可能性はないか？　その場合注入液との干渉に対する考慮
水　質	淡水又は塩水 ２次取りまとめの水質範囲であれば問題はない	淡水又は塩水 （同左）	淡水及び塩水 ２次取りまとめでは両ケースを含め，化学種の濃度範囲を設定している	淡水又は塩水 安全性・作業性に対する影響小さい 機器の絶縁，耐久性の点では淡水が好ましい	淡水又は塩水 ２次取りまとめの水質範囲であれば問題はない	
定　置					（関係しない）	
深　度	深い モデル検証には深い方が好ましい	深い又は浅い 現象把握の観点では深い，浅いのどちらでも問題ない	深い G.L.-500m に近い深度	作業性，安全性について深さはあまり関係しない	深い モデル検証の観点から深い方が望ましい	初期状態が還元性又は酸化性であることが及ぼす影響の考慮

表 5-6　低アルカリ性コンクリート施工性確認試験：試験概念の検討

	モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念	備　考
規　模		試験の目的から，規模に関しては実規模が前提			実規模の施工確認を行う	
セメント	試験の目的から，セメントに関してはＨＦＳＣの使用が前提				ＨＦＳＣを使用する	
水　質	塩水 鉄筋腐食への耐久性を評価するためには塩水環境の方が適切			淡水 地下施設の安全確保からは鉄筋腐食は好ましくなく，淡水が好ましい	淡水又は塩水 塩水環境の場合，必要に応じて防錆剤等の措置を行う	
定　置				竪置きを基本 横置きの場合，セグメントの可能性があるが鉄筋腐食がまだクリアされていない	竪置きを基本	今後の HFSC の施工性開発による
深　度	・材料の持つ固有の施工性を確認するためには地山条件のよい場所（通常は浅部）で実施する	・適用範囲の限界などを把握するためには厳しい地山条件（通常は深部）で実施する			浅部＋深部 浅部と深部の両深度で実施する	

表 5-7　定置精度確認試験：試験概念の検討

	モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念	備　考
規　模	小規模～実規模 膨潤挙動の検証には実規模が，膨潤後の状態確認には期間の点で小規模が好ましい	小規模～実規模 （同左）	実規模	縮小～実規模 竪置き裸孔の場合は空洞安定性から実規模は安全性で問題となる可能性がある	実規模及び小規模 膨潤挙動把握は実規模，条件を変えた比較評価は小規模（複数）	実規模は人工バリア試験等とのリンクを考慮
セメント	なし又はあり 地質環境影響の検証にはなしが，条件の違いを検証するにはありの方が条件制御しやすい	なし又はあり 竪置きは裸孔，横置きは支保工有りの条件を実現象と考える	なし又はあり 竪置きは裸孔，横置きは支保工有り	あり 横置きはありが前提，竪置きの場合もありの方が安全	なし＋あり 竪置き裸孔条件を基本とする 条件比較では一部あり	人工バリア試験等とのリンクを考慮
水　質	淡水又は塩水 モデルの検証に水質は大きく影響しない	淡水又は塩水 淡水系，塩水系どちらかの場で現象把握ができれば可	淡水 第２次取りまとめでは淡水のみの取り扱い	淡水又は塩水 安全性・作業性に対する影響小さい 機器の絶縁，耐久性の点では淡水が好ましい	淡水又は塩水 現象把握や検証は水質に大きく依存しないので，原位置の代表的な水質を基本とする	水質の変化による影響の把握は，要素試験での確認が必要 偏膨潤の確認には一定以上の水圧条件が必要
定　置	竪置き＋横置き 検証として両方できればベター	竪置き＋横置き （同左）	竪置き＋横置き ２次取りまとめでは両方の定置概念を提示している	竪置き又は横置き タテは裸孔で安全性に劣る 横置きは計器設置等の作業性に劣り，費用面での実現性に課題	竪置きを基本 試験のやりやすさ，費用面から判断 可能であれば横置きも実施	人工バリア試験等とのリンクを考慮
深　度	深い又は浅い 地質環境影響の検証には深い方が，支保工設置し環境を制御するなら試験期間の点で浅い方が好ましい	深い又は浅い 処分環境に近いという点では深い方が，試験期間からは浅い方が好ましい	深い G.L.-500m に近い深度	浅い 竪置き裸孔の場合，浅い方が空洞安定性よく安全性高い	ある程度の深度 試験期間を考慮して判断	人工バリア試験等とのリンクを考慮

表 5-8　坑道閉鎖試験：試験概念の検討

	モデルの検証	実現象の把握，実証	第２次取りまとめ概念との整合	作業性・安全性 費用面での実現性	試験の基本概念	備　考
規　模	小規模 早期に飽和させ試験期間を確保するためには小規模が望ましい	実規模 実現象の把握には実規模が必要	実規模	実規模 小規模では所定の能力を持った施工機械が使えない可能性がある	実規模を基本 実規模における坑道内部の挙動を対象とした試験を基本とする	試錐孔の閉鎖についても検討の要あり 予備坑道でのトライアルが必要(TSX での経験から)。
セメント	あり 支保工を前提とした検証を行う	あり 支保工を前提とした現象を把握する	あり	あり	あり 支保工を前提とした試験 ただし，プラグ部分は撤去する	
水　質	淡水又は塩水 水質は検証に大きく影響しない ただし，塩水条件での埋め戻し材特性の事前把握が必要	淡水又は塩水 水質は実現象の把握に対して大きく影響しない	淡水	淡水又は塩水 安全性・作業性に対する影響小さい 機器の絶縁，耐久性の点では淡水が好ましい	淡水又は塩水 現象把握や検証は水質に大きく依存しないので，原位置の代表的な水質を基本とする	室内要素試験では採取できる複数の水質を考慮する
定　置	竪置き 処分孔上部の緩衝材との相互作用も検証の対象とする	竪置き （同左）	２次取りまとめでは定置に関連なく水平坑道の閉鎖概念を示している	竪置き 竪置き処分坑道を想定しておけば，横置き主要坑道の閉鎖もカバーできることから効率的	竪置き 処分孔上部の緩衝材との相互作用も現象把握及び検証の対象とする	
深　度	深い又は浅い 坑道内部の現象は深度依存性弱いが，プラグ周りの力学挙動は深度考慮の要あり 試験期間からは浅い方がよい	深い又は浅い 処分環境に近いという点では深い方が，試験期間からは浅い方が好ましい	深い G.L.-500m に近い深度	浅い プラグ設置に伴う支保工撤去部の空洞安定性確保には浅い方が好ましい	深い又は浅い 場の環境条件と試験期間を考慮して判断	

5.2　原位置試験の概要

一般的に一つの目的を持った研究テーマ全体スコープの中で原位置試験は図 5-1 に示すような位置づけにあるものと考えられるが，個々にはその研究テーマに適したアプローチが考えられる。よって，各原位置試験項目ごとに研究テーマ全体のスコープと，その中での原位置試験の位置づけを示すこととした。

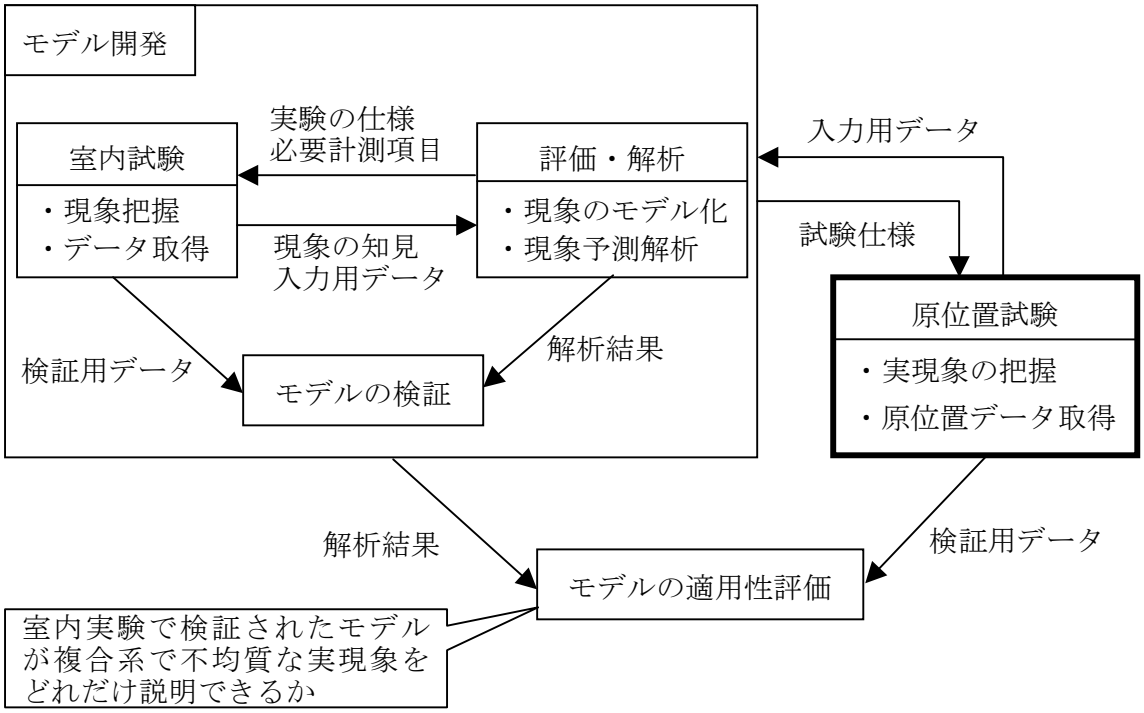


図 5-1　一般的な原位置試験の位置づけ

＜研究テーマ＞	＜原位置試験項目＞
熱-水-応力-化学連成挙動に関する研究 人工バリア性能確認に関わる検討	人工バリア試験
緩衝材／岩盤の力学的変形挙動に関する研究	緩衝材／岩盤クリープ試験
緩衝材ガス透気回復挙動に関する研究	ガス移行挙動試験
炭素鋼オーバーパックの腐食挙動に関する研究	オーバーパック腐食試験
人工バリアの変質・劣化挙動に関する研究	セメント影響試験（EBS と NBS）
人工材料の開発	低ｱﾙｶﾘ性ｺﾝｸﾘｰﾄ施工性確認試験
人工バリア搬送・定置に係る検討	定置精度確認試験
閉鎖技術の検証試験	坑道閉鎖試験

上記の研究テーマ全体スコープと原位置試験の概要を表 5-9～表 5-25 に示す。

表 5-9　人工バリア試験（研究テーマ）

研究テーマ名	熱-水-応力-化学連成挙動に関する研究／人工バリア性能確認に関わる検討（モニタリング）　（原位置試験名：人工バリア試験）	1/2

概要とねらい

・人工バリアおよび周辺岩盤における熱，水，応力，化学場の長期的変遷について重要な現象をモデル化し，オーバーパック腐食や核種移行の現実的な環境条件を数値解析により予測する。
・人工バリア性能モニタリングについて，基本的な考え方および計測項目，計測技術の検討を実施し，安全規制の観点からの整理を行う。

研究全体の実施項目

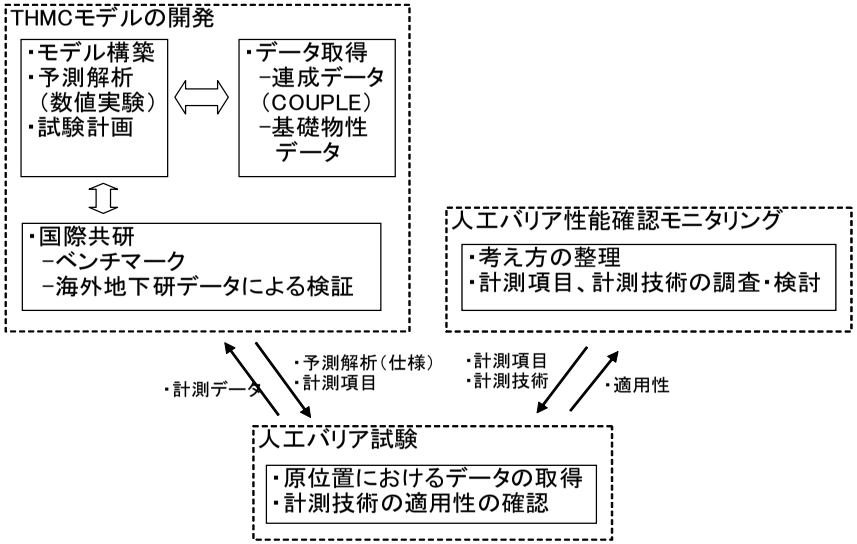
[熱-水-応力-化学連成挙動に関する研究]
・熱-水-応力-化学連成評価モデルを構築する。幌延に向けた予測解析を実施する。
・連成試験設備COUPLEによる連成挙動データや塩の蓄積等の基礎物性データを取得し，モデル検証に資する。
・国際共研（DECOVALEX，PRP）への参画によりモデルの検証・高度化を図る。
（・幌延における人工バリア試験に関する計画を立案，実施する。）

[人工バリア性能確認に関わる検討（モニタリング）]
・安全規制の観点から求められる人工バリア性能モニタリングの基本的な考え方を整理する。
・人工バリア性能モニタリングにおける計測項目を設定する。
・人工バリア性能モニタリングを実施するために必要となる技術を調査する。

問題点

・化学に関して，リアルタイムに挙動を計測する技術の確立。
・原位置試験において緩衝材飽和までを試験対象とした時に，透水性が低いため試験期間内に飽和しない可能性がある。このため縮小スケールや強制注水も考慮しておく必要がある。

研究の進め方



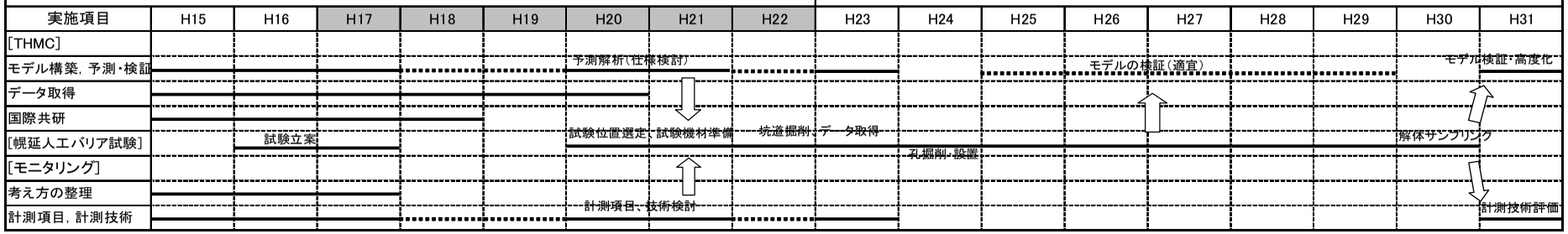


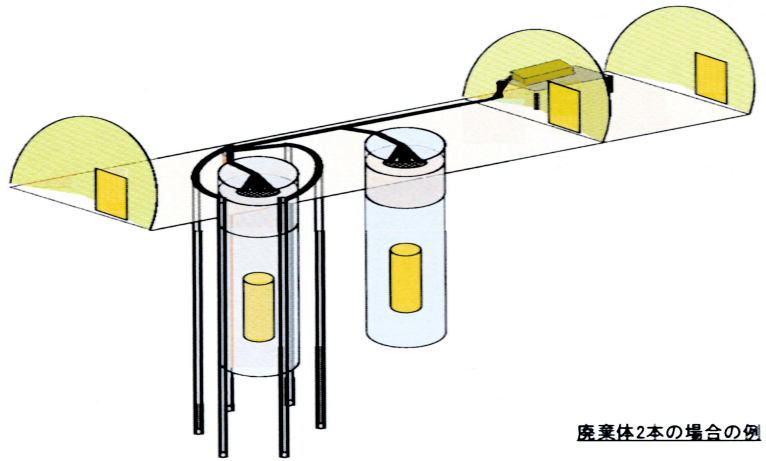
表 5-10　人工バリア試験（原位置試験）

原位置試験名	人工バリア試験	2／2
試験の目的	・熱−水−応力−化学連成挙動評価モデルの検証 ・人工バリアおよび周辺岩盤における熱−水−応力−化学連成挙動に関するデータの取得 ・人工バリア性能確認のための計測技術の適用性の確認	
試験の必要性	・開発したTHMCモデルについて，実際の地質環境に適用し予測した値と実測値との比較による検証は，室内試験データにより構築されたモデルの信頼性向上に必要不可欠である。 ・堆積岩中におけるTHMC連成挙動に関する人工バリア及び周辺岩盤のデータおよび計測技術は，今後進められるサイト選定や予定地におけるモニタリングのための貴重な知見となる。	
予想される成果と反映先	・より現実的な評価により，人工バリア設計や安全評価の信頼性を向上させるとともに一般への理解醸成を促進できる。 ・精密調査地区で行われる地下特性調査での評価技術へ反映される。	
試験概念・環境　規　模	実規模を基本とする。ただし，緩衝材への地下水浸潤状況と試験期間を考慮した規模の設定を行う。 熱等の廃棄体相互の影響把握には複数本設置が望ましい。	
試験概念・環境　定　置	裸孔条件での実現象把握を基本とするため竪置きとする。	
試験概念・環境　支保工	裸孔条件での現象把握のため孔の支保は無し。 ただし，安全性に問題がある場合は緩衝材への地下水浸潤を考慮した上で支保工設置も考慮する。	
試験概念・環境　深　度	実現象把握の観点より最深部での試験実施を基本とする。	
試験概念・環境　地　質	緩衝材への地下水浸潤と試験期間を考慮して，ある程度の湧水・水圧が必要である。	
試験概念・環境　地下水	現象把握やモデルの検証は水質に大きく依存しないため，水質の適，不適は問わない。	

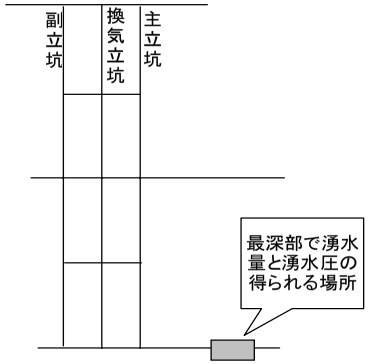
試験内容

①試験計画の立案（H16～）
②具体的な地質環境に対するTHMC連成挙動モデルによる予測解析（人工バリア仕様の設定）
③予測解析と実測値との比較によるモデルの検証
④原位置における計測項目・計測技術の設定および計測技術の適用性の確認
⑤人工バリアおよび周辺岩盤における連成挙動データの取得（試験坑道建設段階～試験期間）
・試験坑道周辺岩盤測定（試験坑道掘削段階～試験期間）：水理，熱，力学，地球化学物性
・人工バリア測定（試験期間）：水理，熱，力学，化学
・人工バリア解体サンプリング（試験終了後）：水理，化学

試験概念図



試験位置図



施設建設への制約

試験孔掘削およびオーバーパック，緩衝材搬入定置が可能な坑道内空が必要

試験開始後は，水理的影響を及ぼす範囲での施設建設は避ける。

試験エリアの考え方

・実規模の人工バリアを設置でき，各種計測データ取得エリアが確保できる広さが必要。
　試験エリア：20m（含計測ｴﾘｱ5m），孔深さ：4.13m
　離間距離（隣合う坑道がある場合）：2.6D（13m）
参考：釜石原位置試験ー試験エリア10m，計測エリア5m

・他試験との緩衝距離は大きな水理的影響を受けない距離（10～20m程度）。

工程表

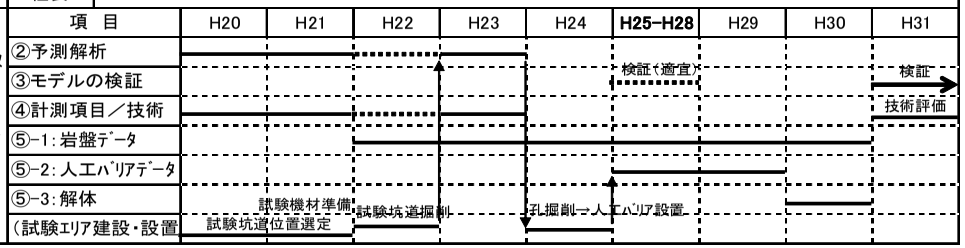


表 5-11　緩衝材／岩盤クリープ試験（研究テーマ）

研究テーマ名	緩衝材／岩盤の力学的変形挙動に関する研究 （原位置試験名：緩衝材／岩盤クリープ試験）	1/2

概要とねらい

一般の岩盤と緩衝材を対象に検討してきた，力学モデルにより予測される処分性能や安全評価に大きく係わる現象が幌延サイトの地質条件，水理条件の中でどの程度の精度で予測可能か，予測される現象や効果が発生するかどうかを検証する。

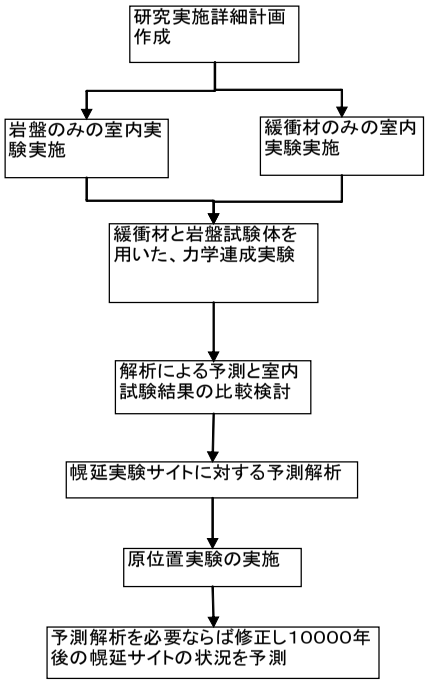
研究全体の実施項目

下記を研究課題として，室内実験，予測解析および原位置試験を実施する。

＜緩衝材／岩盤複合系＞
①緩衝材による岩盤クリープ変形抑制効果の確認とこれに伴う緩衝材厚の減少速度の検証。
②岩盤・緩衝材の変形によるオーバーパック作用応力の検証。
③オーバーパック腐食膨張にともなう緩衝材，岩盤変形量，EDZ幅の検証。
＜岩盤単独系＞
④地圧による処分孔周辺岩盤のクリープ挙動，EDZ領域幅の検証。
⑤岩盤クリープの進行への熱や乾湿繰り返しの影響の検証。

問題点

研究の進め方

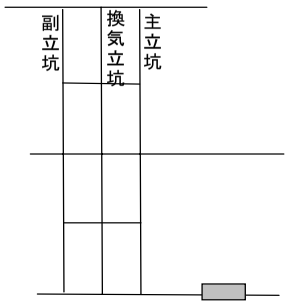


実施項目	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
室内実験	→	→	→	→	→	→	→	→	→								
岩盤・緩衝材連成						試験坑道位置選定			予測解析								
								試験坑道掘削									
								初期データ取得		孔掘削→緩衝材設置→データ取得							
処分孔掘削放置実験						坑道位置選定、掘削、初期データ、予測解析											
										孔掘削→データ取得							

表 5-12　緩衝材／岩盤クリープ試験（原位置試験）

原位置試験名	緩衝材／岩盤クリープ試験	2／2
試験の目的	・緩衝材の岩盤クリープ変形抑止効果と緩衝材厚減少程度の検証 ・岩盤・緩衝材の変形に対するオーバーパック作用応力の検証 ・オーバーパック腐食膨張による岩盤・緩衝材変形，EDZ領域幅の検証 ・地圧による処分孔周辺岩盤クリープ挙動（熱，乾湿の影響まで考慮），EDZ領域幅の検証	試験内容
試験の必要性	緩衝材が岩盤へ一部浸透すれば，目詰まり効果により岩盤，緩衝材境界の排水条件が非排水に近い条件になることが予測される。この排水条件は，緩衝材の岩盤変形抑止効果などに大きく影響し，しかも原位置の岩盤亀裂や水理条件により，サイトに依存した特性である。したがって，原位置試験で効果を検証する必要がある。また，処分孔が掘削された状態で10年程度放置される場合が想定されるがこの場合に変位やEDZがどの程度進展するかを確認し，放置期間についての目安を立てるためには処分環境の応力下，境界条件下の実岩盤での検証が必要である。	①試験坑道位置の選定，試験仕様検討（規模，注水）のための予備解析 ②試験坑道掘削，処分孔位置選定，地質環境初期データの取得，力学挙動の予測解析 ③処分孔掘削，機器設置，データ取得 ④予測解析と計測値の比較による予測手法の適用性の評価
予想される成果と反映先	成果は同様の岩盤に対する，信頼性の高い岩盤・緩衝材クリープ変形の最大値予測と予測手法の確立。これらの成果はNUMOの行う詳細地区選定，設計法に反映される。	
試験概念・環境　規　模	縮小規模実験：規模が大きすぎると緩衝材の飽和に時間がかかるため。 実規模実験：処分孔放置実験は実規模でも可能。	
試験概念・環境　定　置	タテ置き：横置きだと支保工があるため岩盤変位が生じにくい。	試験概念図
試験概念・環境　支保工	なし：支保工があると岩盤変位が生じにくい。	
試験概念・環境　深　度	・浅い場合長期計測が可能，深い場合応力開放が大きく大きなクリープ挙動となり計測に有利 ・現象に対する深度依存の影響が大きいと予想される場合には，複数深度での実施が好ましい ・→現状では深部で実施することを基本とする	
試験概念・環境　地　質	均質であることが望ましい	
試験概念・環境　地下水	塩水の方が厳しい条件となるが特にこだわらない。	

試験位置図

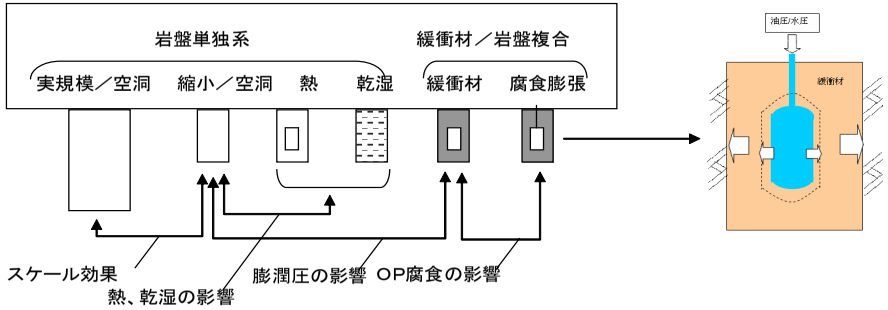


施設建設への制約

試験開始後の施設建設は力学的影響のない範囲（2～3D以遠）なら制約はない。水理的影響は大きなものでなければ問題ない。

試験エリアの考え方

処分孔相互に力学干渉のない間隔で設置できるスペース（延長20m～30m程度）。
他試験との緩衝区間としては10m程度。



工程表

項　目	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26～29	H30	H31
位置選定，予備解析									
試験坑道掘削									
地質データ取得									
予測解析									
処分孔掘削									
データ取得									
予測手法適用性評価									

表 5-13　ガス移行挙動試験（研究テーマ）

研究テーマ名	緩衝材ガス透気回復挙動に関する研究 （原位置試験名：ガス移行挙動試験）	1/2

概要とねらい

種々の環境条件を考慮して緩衝材等バリア構成材料の基本的な透気特性に関するデータを取得するとともに，緩衝材及び岩盤中のガス移行現象を総合的に把握するとともに，各バリア構成材料に対する移行モデルの開発を進め，炭素鋼製オーバーパックの腐食により発生する水素ガスの影響を定量的に評価する。

研究全体の実施項目

1．室内試験
　地下水圧条件，地下水化学（降水系及び海水系），温度等を考慮して緩衝材，岩盤等に対する基本的な透気特性データを取得し，またX線CTを用いてリアルタイムに移行現象を把握することによりバリア中のガス移行の特徴を明確化し，移行機構の理解とモデル化に資する。

2．バリア中ガス移行モデルの開発
　緩衝材中のガス移行については，室内試験結果を基に国際共同研究において開発を進めている，応学場を考慮した連成モデル及びアップスケーリングへの対応を実施する。
　セメント系材料等その他の人工バリア中のガス移行については，室内試験結果を基に2相流モデルの適用性を確認する。
　岩盤中のガス移行については，室内試験及び原位置試験によりデータを取得するとともに，2相流モデルの適用性を確認する。

3．2相流モデルの適用範囲の明確化
　緩衝材に適用した場合の適用性について整理する（珪砂配合による適用性への影響）。
　その他の人工バリア及び岩盤については，亀裂性媒体，異種媒体界面への対応，アップスケーリング手法の検討を行い，適用モデルへの反映，解析ツールの改良を行う。

4．評価体系の構築
　緩衝材中のガス移行モデルと，2相流モデルを基本としたその他の人工バリア，及び岩盤中の移行モデルとを連携することにより，多重バリア中の一連の移行を評価可能なガス影響評価ツールの構築を実施する。

5．ガス移行原位置試験
　実際のバリア構成及び，各種の不確実因子を含む規模の試験設備を用いることにより，4．で構築されたツールに対してその妥当性を検証する。

問題点

①実施主体が精密調査地区において実施を予定する原位置試験に本研究の成果が反映されるためには，遅くとも平成29年度頃までに本研究の成果を取りまとめる必要がある。
②このため，試験坑道（-250m levelでの実施を想定）の完成が予定される平成20年以降，速やかに試験，評価を実施する必要がある。
③高圧ガスの使用，地層ガスへの対策を検討する必要がある。

研究の進め方

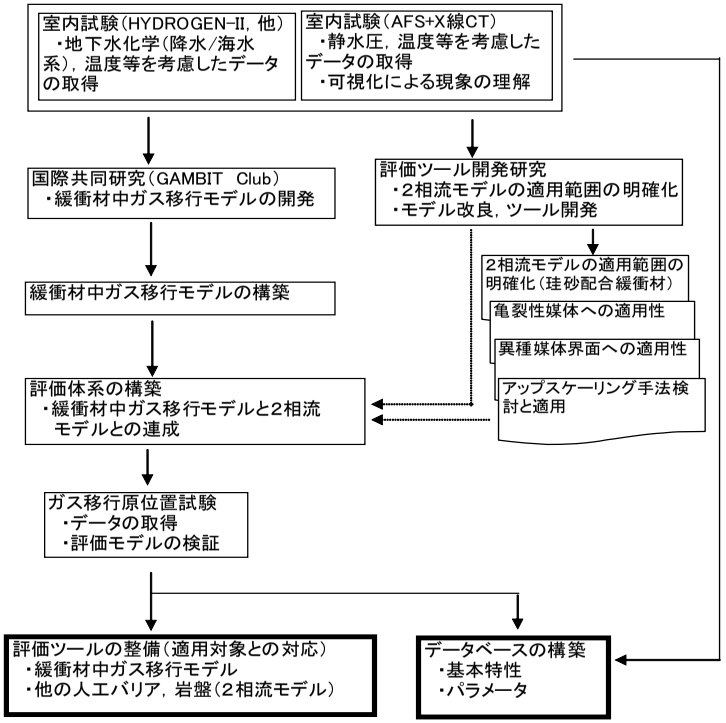


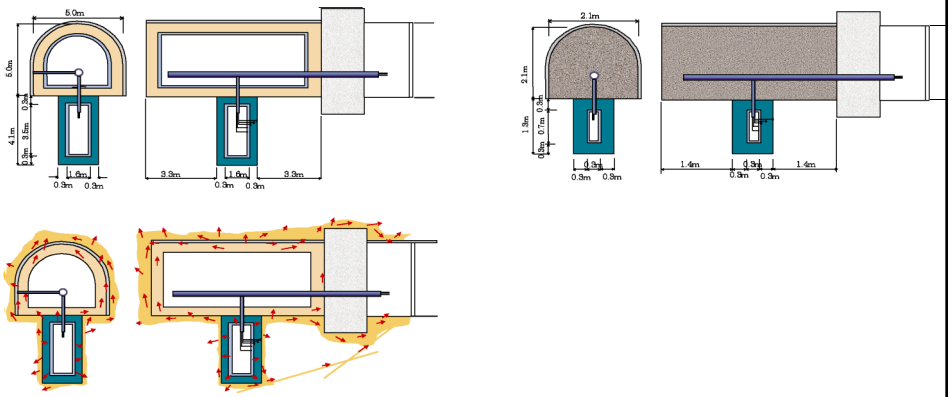
表 5-14　ガス移行挙動試験（原位置試験）

原位置試験名	ガス移行挙動試験	2／2
試験の目的	・堆積岩系岩盤内において実際のバリア構成でのガス移行挙動を再現し，移行挙動を把握する。 ・異なる移行機構を有する媒体に対して開発されたガス移行解析ツールの適用性を確認する。	
試験の必要性	異なる移行機構に対するモデルの統合，アップスケーリングへの対応，異種媒体界面での移行挙動に対する評価ツールの適用性評価，ならびに原位置データの評価への適用手法を確認する観点で必要。	
予想される成果と反映先	成果　：信頼性の高い評価ツール及びデータベースの整備 反映先：実施主体による処分施設建設地の選定，及び国による安全審査	
試験概念・環境　規　模	・ﾓｯｸｱｯﾌﾟ試験：緩衝材厚さ　n×10^0cm～1×10^1cm規模 ・工学規模試験　：緩衝材厚さ　n×10^1cm規模 （施工／飽和に要する期間，処分孔の力学的安定性等により決定）	
試験概念・環境　定　置	施工性の観点から処分孔竪置き方式を第一候補とする。	
試験概念・環境　支保工	処分孔壁に支保は適用しない。	
試験概念・環境　深　度	早期に試験を実施する必要があることから，-250mレベルでの実施を前提とする。	
試験概念・環境　地　質	・処分孔が自立，安定する強度を有する岩盤であること。	
試験概念・環境　地下水	原位置地下水（海水系），もしくは人工地下水（非海水系）	

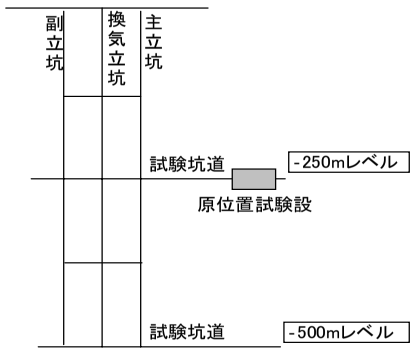
試験内容

第１段階：試錐孔からのコアを用いた実内透過特性試験
第２段階：試錐孔を用いた透水／透気試験
第３段階：室内／坑道内でのモックアップ試験（緩衝材厚さ：数～10cm規模）
・周辺岩盤特性調査：ボーリング孔を掘削し，水理学的及び力学的データを取得する。
・ガス移行試験：緩衝材の給水，飽和，ガス注入，終了後サンプリングを行い，ガス移行挙動，試験装置の基礎データを取得する。
・試験結果の解析評価を行い，試験モデル，工学規模試験の施設設計，試験工程／条件に反映する。
第４段階：工学規模試験（緩衝材厚さ：数10cm規模規模）
・試験施設建設：処分孔の掘削，緩衝材ブロックの設置，センサー類の配置等を実施するとともに，施工中のデータの取得を行う。
・ガス移行試験：緩衝材の給水，飽和後，ガスの供給，終了後サンプリングを行い，移行データの取得を行うとともに，評価手法の評価及び取りまとめを実施する。

試験概念図



試験位置図



施設建設への制約

：声問層（珪藻質泥岩，～-321m(HDB-1孔)）の一軸圧縮強度は2～7MPaであり，試験設備建設の可能性について確認する必要がある。
：割れ目の存在については，可能な限り均質性の高い，割れ目の少ない部位が望ましい。
：地層中のガスの存在については，多量のガスが溶存する地層では試験結果に影響を及ぼす可能性がある。

試験エリアの考え方

：本原位置試験では可燃性ガスを使用しないが，地層中の可燃性ガスに対する処置について検討する必要がある。
：使用ガスの注入圧力が1MPaを超えると予想されるため，高圧ガス保安法，及び鉱山保安法との関連，対応について検討する必要がある。

工程表

表 5-15　オーバーパック腐食試験（研究テーマ）

研究テーマ名	炭素鋼オーバーパックの腐食挙動に関する研究 （原位置試験名：オーバーパック腐食試験）	1/2

概要とねらい

炭素鋼オーバーパック腐食研究の目的は1000 年間の腐食量を評価し，腐食しろの設定に反映させることである。なお，原位置試験におけるオーバーパック材料は当面，基本材料である炭素鋼として計画を進める。原位置試験場における地下水水質が2次取りまとめ設定範囲を大きく超えている場合などで明らかに炭素鋼の使用が適さない場合に代替材料であるチタン，銅等の使用を検討する。

研究全体の実施項目

1。環境条件の把握
オーバーパックの表面温度，オーバーパックに接触する地下水の化学特性とその経時変化を予想する。

2。腐食シナリオの検討
環境条件の変遷に対してオーバーパックに起こりうる腐食現象をあげ，その因果時系列を整理する。

3。個別現象の生起／進展挙動評価
挙げられた各現象に対してその発生／進展挙動を評価する。また，その現象に及ぼす環境因子，材料因子の影響を評価する。

4。寿命評価シナリオの設定
個別現象それぞれの挙動に関する試験，研究を基に処分環境において寿命評価上考慮すべき項目を抽出する。

5。寿命評価
抽出された項目に対して，評価モデル（評価式）を決定し，処分環境条件，人工バリア条件を設定し，腐食深さを算出する。算出された各項目の腐食深さを合算し，1000年間のトータルの腐食深さを見積もる。

6。ナチュラルアナログによる検証
ナチュラルアナログ研究により推定される1000年間の腐食深さと比較する。

7。原位置試験による検証
原位置試験により，評価シナリオ，腐食深さ推定値などの妥当性を検証する。

問題点

研究の進め方

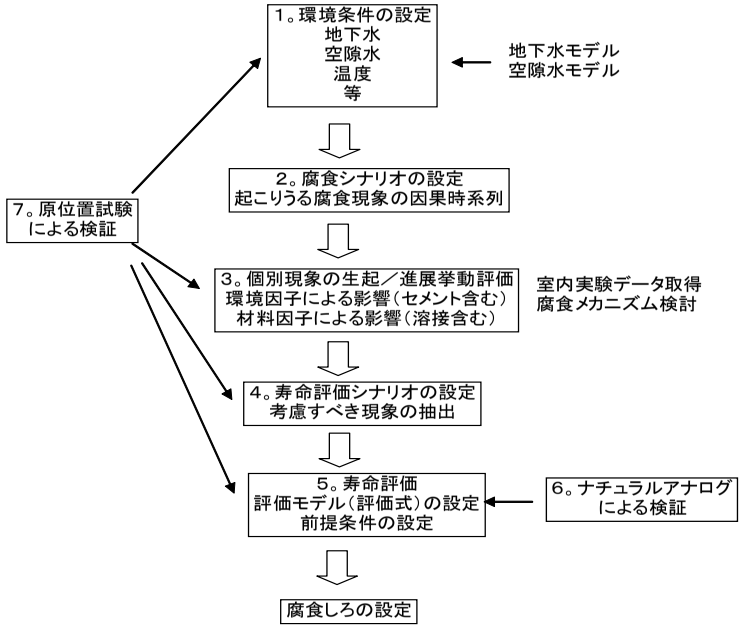


表 5-16　オーバーパック腐食試験（原位置試験）

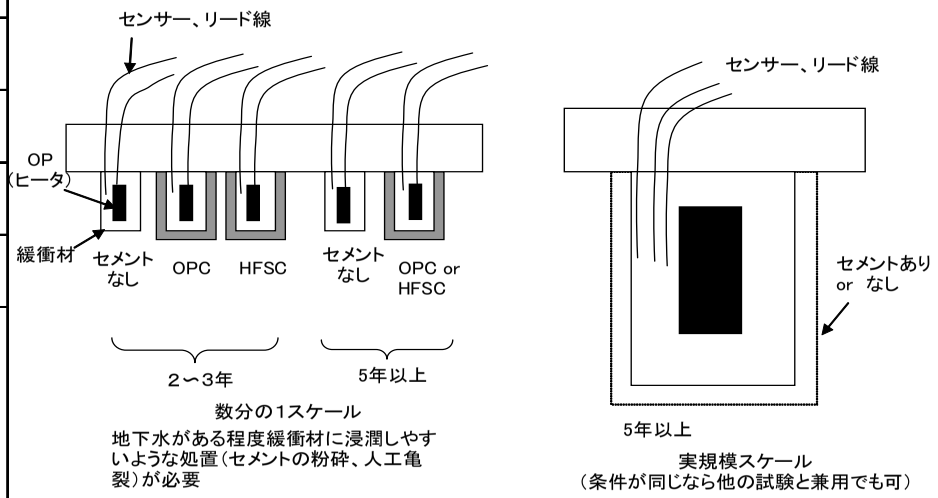
原位置試験名	オーバーパック腐食試験	2／2
試験の目的	処分開始初期の酸化性期間における腐食局在化評価の妥当性を検証する。また，環境条件の変遷とそれに伴う腐食挙動の変化を確認し，寿命評価シナリオの妥当性を検証する。	
試験の必要性	エントリーでの腐食試験は水溶液中，飽和ベントナイト中など単純化された条件での実験に限定される。実際の不飽和緩衝材中のような環境条件が過渡的かつ不均一な複雑な系での腐食挙動は原位置試験でなければ確認できない。また，実験規模もエントリーでは試験片レベルであり，できるだけ実機に近い実験データの取得が望まれる。	
予想される成果と反映先	実際の不飽和緩衝材中で生じる腐食局在化の程度と室内実験結果に基づく評価モデルでの推定値を比較して実際の環境での腐食局在化のほうが小さいことを示す。オーバーパック周囲の環境条件が確実に酸化性から還元性に向かい，それに伴い腐食速度も低下していくことを示す。これらの成果はオーバーパックの長期信頼性向上に反映される。	
試験概念・環境　規　模	実規模および数分の1規模	
試験概念・環境　定　置	基本的に定置の方向は影響しない。実験のやりやすさから竪置きとする	
試験概念・環境　支保工	セメントの影響が重要であり，裸孔，普通セメントによる支保工，低アルカリ性セメントによる支保工の3条件とする	
試験概念・環境　深　度	深い場所	
試験概念・環境　地　質	得になし	
試験概念・環境　地下水	第2次取りまとめでの設定範囲であれば可。地下水中成分，濃度，濃度範囲の情報は必要である。	

試験内容

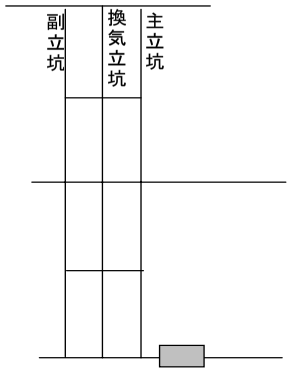
数分の1スケールの試験（5体程度，加熱あり，溶接あり）
・測定項目（浸漬期間中）：炭素鋼の電位，腐食速度，緩衝材中環境条件（Eh，水分など）モニタリング
・測定項目（浸漬終了後）：平均腐食深さ，腐食深さ分布，亀裂の有無
・パラメータ：セメントの有無，種類（但し今後の研究でもっと重要な因子が見い出されればそれをパラメータとする）

実規模スケールの試験（厳しい条件を選んで1～2体，加熱あり，溶接あり）
・測定項目（浸漬期間中）：緩衝材中環境条件（Eh，水分など）モニタリング
・測定項目（浸漬終了後）：平均腐食深さ，腐食深さ分布，亀裂の有無

試験概念図



試験位置図



施設建設への制約

試験エリアの考え方

離間距離2Dとすると
数分の1スケール：7～8m（5体の場合）
実規模スケール：約8m（2体の場合）
計測エリアを含めて20m程度
他試験との緩衝距離は10m程度

工程表

項　目	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
埋設									
計測									
取り出し					短期もの			長期もの	
評価									

表 5-17　セメント影響試験（研究テーマ）

研究テーマ名	人工バリアの変質・劣化に関する研究　（原位置試験名：セメント影響試験）　＊オーバーパックへの影響については，オーバーパックの腐食試験で記載	1/3

概要とねらい

セメント系材料の処分システムに対する影響について，評価モデルの開発やデータベース開発を行うと共に，実際の地質環境条件及び比較的大きな体系にて試験することにより，室内試験を基に開発を行ってきたセメント系材料の影響評価モデルの確証を行うためのデータを取得する。

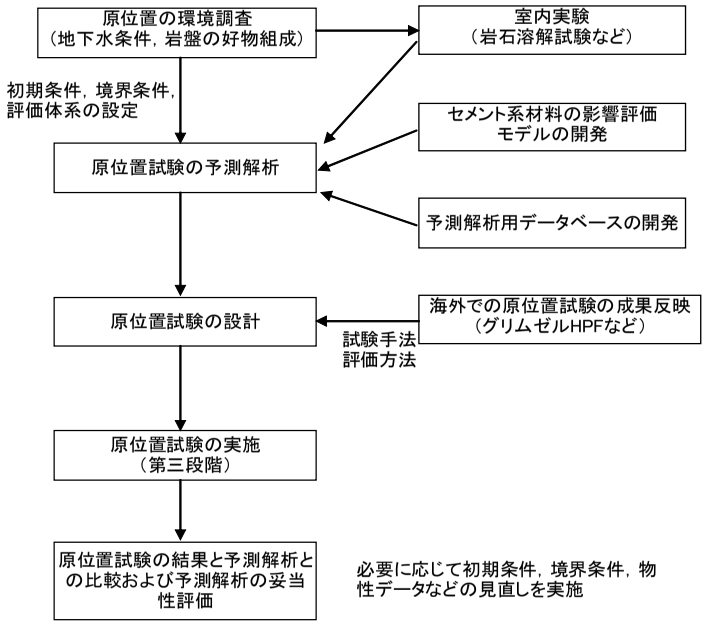
研究全体の実施項目

①原位置の環境調査（地下水組成，湧水量，岩盤の鉱物組成・真密度・間隙率・間隙構造・透水係数）
②室内実験（実地下水とセメント材料（OPC，HFSC）とのバッチ式反応試験，実地下水を用いたセメント系材料の通水試験，セメント系材料浸出液を用いたベントナイト及び岩石のバッチ式反応試験，実地下水のセメント系材料浸出液を用いたベントナイト及び岩石通水試験）
③セメント系材料の影響評価モデルの開発（化学反応速度−物質移行連成モデルの開発）
④予測解析用データベースの開発（鉱物の熱力学・溶解速度データなどの整備）
⑤原位置試験の予測解析（ベントナイトや岩盤の変質厚さなどの評価）
⑥海外における類似の試験の調査・整理
⑦原位置試験の設計・準備・施工方法検討（試験規模，資材準備，施工方法検討）
⑧原位置試験の実施
⑨原位置試験の結果と予測解析との比較及び予測解析の妥当性評価

問題点

原位置試験期間が最長で数年（実質試験期間）であり，原位置試験の予測解析において影響の範囲及び程度を見極める必要がある。このため，原位置の岩盤とセメント系材料の浸出液の室内試験を実施した後に試験実施の可否を検討する必要あり。

研究の進め方



実施項目	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
①原位置の環境調査																	
②室内実験																	
③評価モデルの開発																	
④データベースの開発																	
⑤予測解析																	
⑥試験の調査・整理																	
⑦設計・準備・施工方法					試験規模，資材準備，施工方法検討等												
⑧原位置試験						場所選定		坑道掘削、岩盤調査		処分孔掘削、計測開始						解体調査	
⑨評価			TRU取りまとめ														

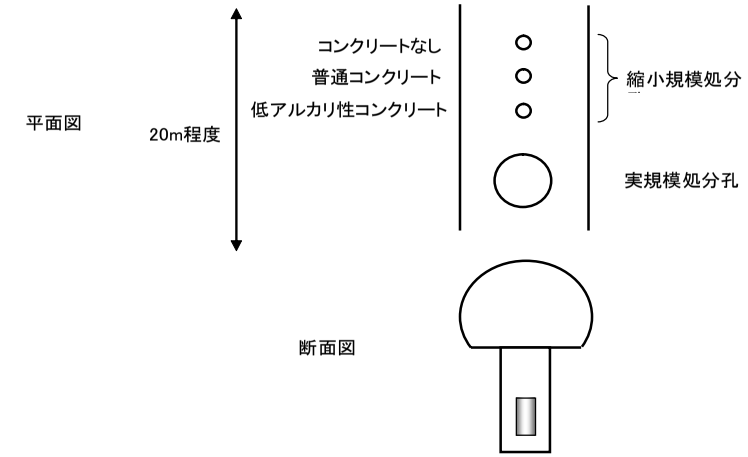
表 5-18　セメント影響（緩衝材）試験（原位置試験）

原位置試験名	セメント影響（緩衝材）試験	2／3
試験の目的	セメント系材料の緩衝材への影響評価モデルの確証を行うためのデータを取得する。	
試験の必要性	実際の地質環境条件および試験のスケール効果を考慮したデータを取得するために原位置試験は必要である。これらのデータは，室内試験では取得できない。	
予想される成果と反映先	・支保工材料として，普通コンクリートが使用が可能か否かの判断材料として本成果が反映される。	
試験概念・環境　規　模	中規模～実規模（冠水期間及び予測解析の結果より決定）	
試験概念・環境　定　置	縦置きを基本（どちらでも良い）	
試験概念・環境　支保工	支保工なし，普通コンクリート，低アルカリ性コンクリートの三種類が必要。	
試験概念・環境　深　度	最深部を基本とする。	
試験概念・環境　地　質	EBSを再冠水させるため，湧水がある場所がベター。	
試験概念・環境　地下水	海水，降水系どちらでも良い。	

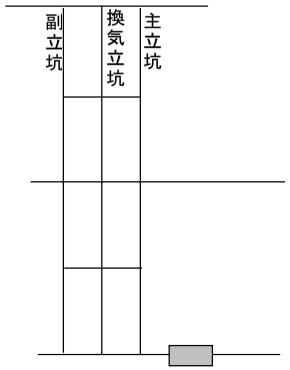
試験内容

①場所選定及び条件の把握（湧水量，地下水組成の確認）
②処分孔の掘削
③EBSの定置
④冠水（支保工の破壊など）
⑤モニタリング
⑥解体調査（EBSの水分状態，ベントナイトの組成変化，微生物の存在状況，オーバーパックの腐食状況など）
⑦評価とまとめ

試験概念図



試験位置図



施設建設への制約

試験エリアの考え方

処分孔相互に水質の干渉がない間隔で設置できるスペース（延長20m程度）。
他試験との緩衝区間としては10m程度。

工程表

項　目	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
①条件の把握	―								
②処分孔の掘削		―							
③EBSの定置		―							
④冠水			―	―					
⑤モニタリング				―	―	―	―		
⑥解体調査								―	
⑦評価とまとめ								―	―

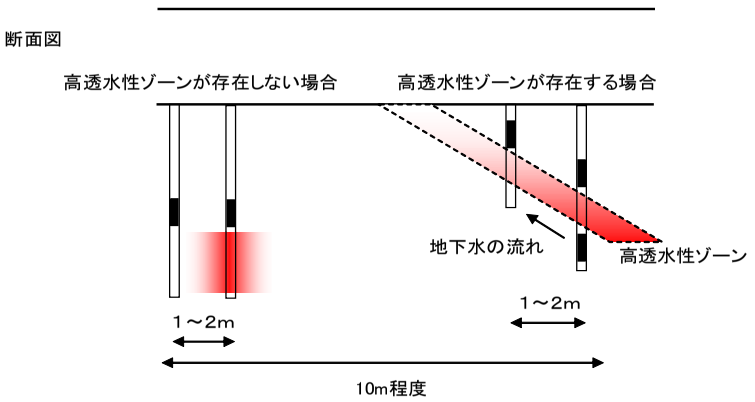
表 5-19　セメント影響（岩盤）試験（原位置試験）

原位置試験名	セメント影響（岩盤）試験	2／3
試験の目的	セメント系材料の岩盤への影響評価モデルの確証を行うためのデータを取得する。	
試験の必要性	実際の地質環境条件および試験のスケール効果を考慮したデータを取得するために原位置試験は必要である。これらのデータは，室内試験では取得できない。	
予想される成果と反映先	・支保工材料として，普通コンクリートが使用が可能か否かの判断材料として本成果が反映される。	
試験概念・環境　規　模	関係しない（概念図参照）	
試験概念・環境　定　置	関係しない（概念図参照）	
試験概念・環境　支保工	支保があっても良い。	
試験概念・環境　深　度	最深部を基本とする。	
試験概念・環境　地　質	水理状態が分かればどこでも良い。	
試験概念・環境　地下水	海水，降水系どちらでも良い。	

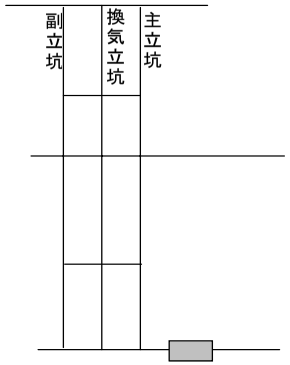
試験内容

①場所選定及び条件の把握（湧水量，地下水組成の確認）
②コアの掘削
③試験装置の定置
④高アルカリ水注入
⑤モニタリング
⑥オーバーコアリングによる調査
⑦評価とまとめ

試験概念図



試験位置図



施設建設への制約

試験エリアの考え方

坑道幅×長さ10m程度（試験概念図参照）。
他試験との緩衝区間は10m程度

工程表

項　目	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
①場所選定・条件の把握	―								
②コアの掘削		―							
③試験装置の定置		―							
④高アルカリ水注入			―	―	―	―	―		
⑤モニタリング			―	―	―	―	―		
⑥オーバーコアリングによる調査								―	
⑦評価とまとめ								―	―

表 5-20　低アルカリ性コンクリート施工性確認試験（研究テーマ）

研究テーマ名	人工材料の開発　（原位置試験名：低アルカリ性コンクリート施工性確認試験）	1/2

概要とねらい

支保工材料のアルカリ性低減を目的に開発された低アルカリ性コンクリートについて，施工に必要な硬化前性状，硬化後品質として要求される圧縮強度，透水性，目標pHを満足する材料配合を選定し，鉄筋腐食に関して供用期間中の耐久性を評価する。これらの成果，知見に基づき幌延の地下施設建設に適用し，第2次とりまとめで推奨した低アルカリ性コンクリートの施工性を確認する。また，坑道閉鎖等の工学試験にも使用し，その適用性を確認する。

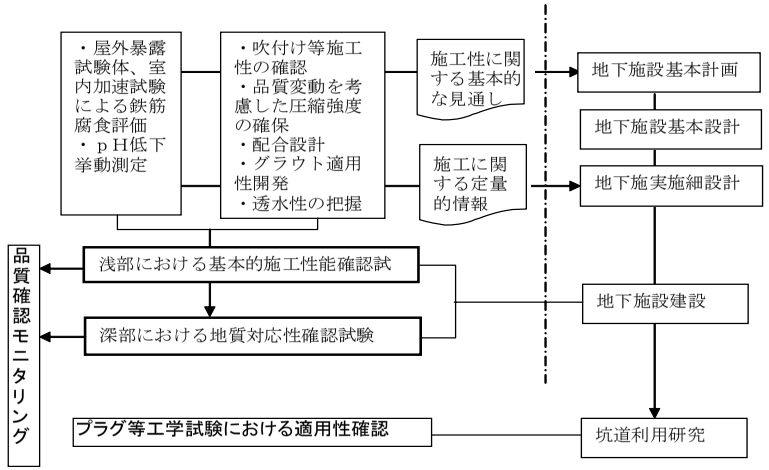
研究全体の実施項目

・硬化前性状，圧縮強度，透水性，pH低下挙動，鉄筋腐食挙動，グラウト施工性に関する室内実験を行い，フライアッシュの混合に伴う品質変動を考慮した品質把握を行い，幌延に用いる配合を選定する。
・鉄筋腐食実験結果に基づき，鉄筋コンクリートとしての耐久性を評価し，耐久性確保に必要な措置の提案を行う。
・現地にて試験練りを行い，最終的な実行可能性を確認する。
・立坑，トンネルでの施工位置を選定し，施工確認試験における確認項目，計測項目等の具体的計画を立案する。
・施工確認試験の実施（立坑10スパン，トンネル10スパン程度×浅部と深部）
・施工後のモニタリング
・プラグ等の工学試験における適用（計画立案と実施）。

問題点

・電中研，カナダの材料をどう使うか。
・強度の変動が大きいと，基準値を満足できなくなる可能性がある。
・立坑では脱枠に必要な強度発現が遅い場合，工期に影響する可能性がある。
・試験工事と本工事の安全管理，仮設共有に関するルール，体制

研究の進め方



実施項目	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
室内実験																	
鉄筋腐食評価			5年評価														
現地試験練り																	
試験計画の立案																	
施工確認試験				横坑・浅部	立坑／横坑・深部												
モニタリング						鉄筋腐食、pH、変形、ひび割れ、漏水											
工学試験計画								プラグ等の工学試験での適用性確認									
工学試験実施																	

表 5-21　低アルカリ性コンクリート施工性確認試験（原位置試験）

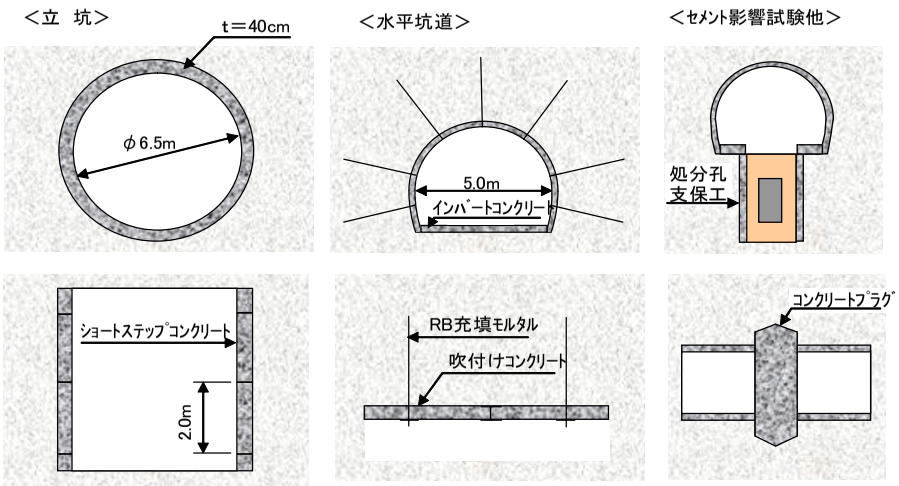
原位置試験名	低アルカリ性コンクリート施工性確認試験　低アルカリ性セメント：HFSC(Highly Flyash contained Silicafume Cement)	2／2
試験の目的	・坑道支保工としての基本的施工性の確認および適用範囲の把握 ・プラグ，グラウト等閉鎖工としての施工性の確認 ・鉄筋腐食等施工後の品質確認	
試験の必要性	・現実の建設工事の一部として使用することで得られる施工信頼性が必要 ・実験的な試験施工では量に限りがあり，十分な施工信頼性が得られない。	
予想される成果と反映先	・2010年ころ施工歩掛りデータが得られ，精密調査地区の地下特性調査施設の計画に反映される（間に合えば処分場の概念設計に反映される） ・2015年ころ閉鎖工としての施工性や耐久性が実証され，地下特性調査施設における処分技術の実証計画に反映される	
試験概念・環境　規　模	試験の目的から実規模が前提	
試験概念・環境　定　置	φ6.5m 定置方法は直接関連しない。横置きの場合セグメントの可能性があり，現時点で鉄筋腐食の問題は完全に解決されていない。	
試験概念・環境　支保工	現時点では，支保工形態として，立坑はショートステップコンクリート，水平坑道は吹付けコンクリートを想定している。	
試験概念・環境　深　度	浅部で基本的施工性確認を行い，深部で地質適用性確認を行う。	
試験概念・環境　地　質	浅部では湧水がなく，自立性のよい地山，深部ではある程度の湧水があり，自立性のそれほどよくない地山を想定	
試験概念・環境　地下水	塩水環境の場合，使用する鋼材，ロックボルト等の防錆措置が必要になる可能性がある。	

試験内容

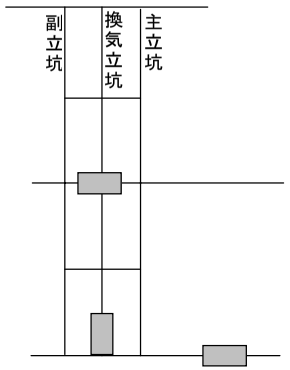
＜坑道支保工施工＞
①計画：プラント計画，材料供給計画，施工計画，計測計画，モニタリング計画等の立案
②準備：プラント設置，試験練り
③施工：コンクリート打設，施工時の計測，モニタリング機器設置
④評価：施工計画との比較による施工性の評価
⑤モニタリング：鉄筋腐食，pH，変形，ひび割れ，漏水等の計測

＜プラグ等工学試験＞
①計画：施工計画の立案
②施工：コンクリート打設，施工時の計測
③施工計画との比較による施工性の評価
＊上記以外は閉鎖試験等にて実施

試験概念図



試験位置図



施設建設への制約

・HFSC用プラント設備の設置
・OPCとHFSCの切り替えに伴う施工管理の変更，切り替えに要する時間
・立坑ショートステップ工法の養生時間が長くなり，工程に影響する可能性がある

試験エリアの考え方

施工データのばらつき（標準偏差）を把握するためには，10回程度の施工が望ましく，立坑は10×2m＝20m，横坑は10×1m＝10m程度の施工延長となる。

工程表

項　目	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24
計画立案									
プラント設置試験練り									
施工（浅部）				連絡坑道					
施工（深部）					換気立坑	連絡坑道			
モニタリング									
工学試験									

表 5-22　定置精度確認試験（研究テーマ）

研究テーマ名	人工バリア搬送・定置に係わる検討 （原位置試験名：定置精度確認試験 ）	1/2

概要とねらい

想定される定置精度をパラメータとした人工バリア挙動を把握し，所定の密度が人工バリアに定置されることにより，人工バリアが健全に機能することを示す。

研究全体の実施項目

室内要素試験

1. OP－緩衝材複合挙動試験
   ブロック隙間を模擬した室内試験（温度勾配を考慮し，オーバーパック表面の現象を再現する）
   隙間の存在，隙間幅，試験水をパラメータとし，オーバーパックの腐食挙動へのこれらパラメータの影響を把握する。

2. 均一膨潤確認試験
   模擬隙間，模擬オーバーパックの変位，緩衝材の密度分布挙動を実験で確認
   浸潤試験（浸潤期間，竪横の影響）
   X線CT探査による内部状況の非破壊・連続観察

3. 均一膨潤に関するモデル化手法の開発
   均一膨潤の試験結果を評価するモデルの開発する。
   モデル化で考慮するもの（隙間充填，密度均一化挙動）

原位置試験

1. 室内要素試験に基づく試験の設計
   室内要素試験の結果に基づき，原位置試験で確認するべき内容，規模，パラメーターを設定する。

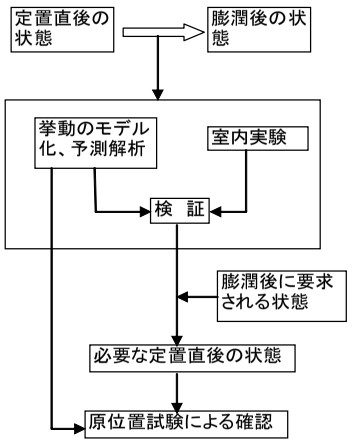
2. 定置精度確認試験
   人工バリア試験とリンクさせた実規模試験
   パラメータを複数設定した個別要素試験

問題点

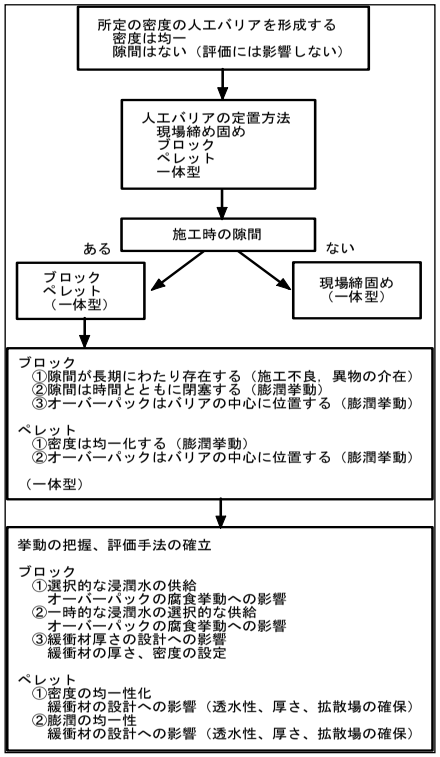
考慮すべき点
人工バリア試験との兼用の可能性
搬送・定置装置に関する他機関との連携

研究の進め方

研究全体の概要



緩衝材形態による検討事項



	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
OP-緩衝材複合試験	データの拡充																
均一膨潤試験	室内試験 モデル化手法の開発																
						（人工バリア試験と同一）											
定置精度確認試験	室内要素試験の結果に基づく試験の詳細検討	開発要素の設計製作				試験位置選定		坑道掘削、岩盤調査		緩衝材設置、計測開始							

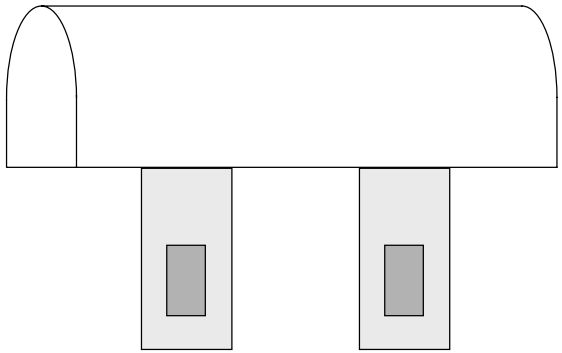
表 5-23　定置精度確認試験（原位置試験）

原位置試験名	定置精度確認試験	2／2
試験の目的	所定の緩衝材が施工（定置）されることにより人工バリアが，所期の機能を発揮するに至る初期挙動を示すことを確認する。	
試験の必要性	実スケールで不均質な環境条件における緩衝材の膨潤挙動の把握を行うためには原位置試験が必要である。	
予想される成果と反映先	膨潤挙動が予測可能であり，かつ所期の性能を発揮するであろうことを示すことにより，人工バリアの信頼性向上が図れる。	
試験概念・環境　規　模	実規模を基本とする	
試験概念・環境　定　置	竪置き方式を基本。試験のやりやすさ，費用の面から判断する。可能であれば横置き方式も実施する	
試験概念・環境　支保工	竪置き方式の支保工なしを基本とする。条件比較では一部にあっても良い。	
試験概念・環境　深　度	ある程度の深度を必要とする。緩衝材の飽和期間と試験実施機関との兼合いを考慮する必要がある。	
試験概念・環境　地　質	竪置き方式での処分孔が無支保で掘削できる強度を有することが望ましい。	
試験概念・環境　地下水	淡水または塩水。現象把握や検証は水質に大きく依存しない。原位置の代表的な水質を基本とする。	

試験内容

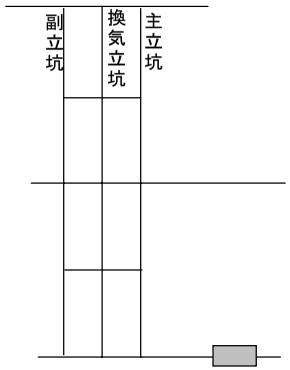
①予測解析：想定される条件での予測解析により原位置試験の仕様を設定すると共に，試験位置での膨潤挙動予測解析を行う
②試験坑道位置選定：水平坑道の展開に伴い，原位置試験の実施に適切と思われる場所を選定する
③試験坑道掘削：試験の実施に必要な延長の試験坑道を掘削する
④人工バリア設置：模擬廃棄体と緩衝材を設置する
⑤調査計測：試験の開始前に境界条件把握のための調査を開始すると共に，試験開始後の膨潤挙動の計測を行う
⑥解体／サンプリング：緩衝材をサンプリングし，その特性を調査する
⑦評価／まとめ：解析結果と計測結果の比較等を行い，定置直後に求められる状態（定置精度）の妥当性を確認する
（試験坑道および処分孔は，人工バリア試験と兼用とする）

試験概念図



（2孔設置の場合）

試験位置図



施設建設への制約

試験孔掘削およびオーバーパック，緩衝材搬入定置が可能な坑道内空が必要

試験開始後は，水理的影響を及ぼす範囲での施設建設は避ける。

試験エリアの考え方

（人工バリア試験と同じ）

工程表

項　目	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26～H29	H30	H31
予測解析	解析→仕様検討			挙動予測					
試験坑道位置選定									
試験坑道掘削							比較評価		
人工バリア設置									
調査計測			岩盤調査			膨潤挙動計測			
解体／ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ									
評価／まとめ									

表 5-24　坑道閉鎖試験（研究テーマ）

研究テーマ名	閉鎖技術の検証試験　（原位置試験名：坑道閉鎖試験　）	1/2

概要とねらい

閉鎖システムを構築する道具を揃え，処分場の安全性に影響を及ぼさない閉鎖システムを構築する。

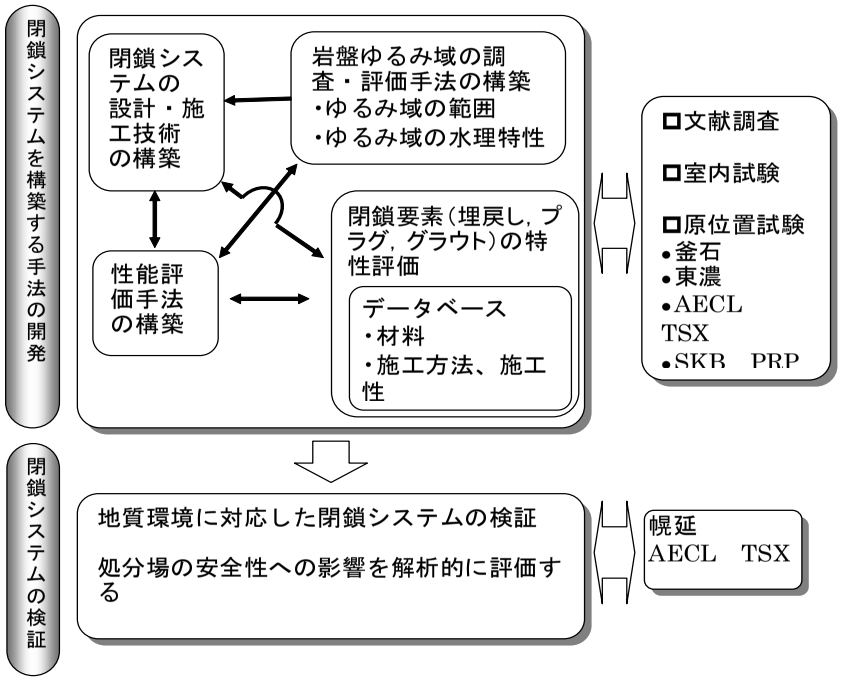
研究全体の実施項目

岩盤水理挙動の把握
　掘削影響領域における水理特性
閉鎖要素の性能の把握
　室内試験（ベントナイト混合材料の性能）
　ブロック透水試験
　釜石原位置試験（粘土ｸﾞﾗｳﾄ）
　コンクリート影響（低アルカリ性，TRU研究開発）
　海外共同研究（PRP 埋戻し材の特性）
　海外共同研究（TSX プラグの特性）
　原位置試験（坑道閉鎖試験）
システムとしての閉鎖性能の把握
　海外共同研究（PRP 埋戻し材ー緩衝材の相互作用）
　海外共同研究（TSX プラグのシステム止水性能）
　原位置試験（坑道閉鎖試験）
設計・施工手法の確立
　海外共同研究（PRP 埋戻し材の設計・施工）
　海外共同研究（TSX プラグの設計・施工）
　原位置試験（坑道閉鎖試験）
安全評価へのインパクト
　閉鎖システムの設計・性能評価モデル

問題点

掘削影響領域における水理挙動の把握。坑道規模での挙動の把握方法。
安全評価研究とのリンク
幌延での掘削影響領域試験とのリンク

研究の進め方



実施項目	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31
岩盤水理挙動の把握																	
要求性能の把握	海外共同研究の活用																
システム性能の把握		海外共同研究の活用															
設計手法の確立		海外共同研究の活用															
岩盤水理挙動の把握								幌延での検証データ									
要求性能の把握	幌延の地質環境でのデータ取得																
システム性能の把握	結晶質岩の技術の堆積岩への適用性			坑道閉鎖試験の設計研究				試験坑道掘削、岩盤調査	閉鎖施工→幌延での検証データ								

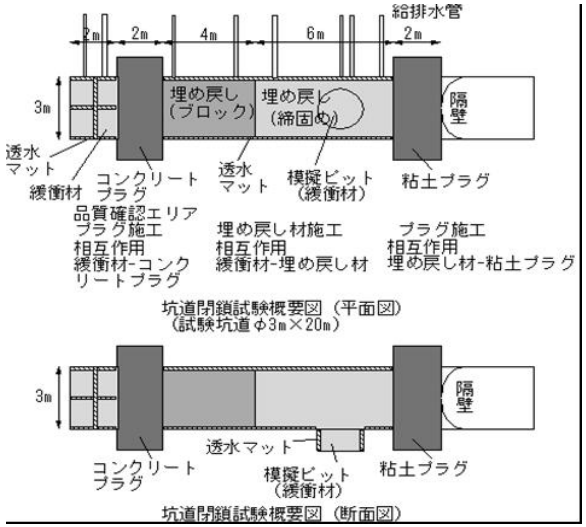
表 5-25　坑道閉鎖試験（原位置試験）

原位置試験名	坑道閉鎖試験	2／2
試験の目的	堆積岩における閉鎖システムを構築する道具を揃え，処分場の安全性に影響を及ぼさない閉鎖システムを構築する。	
試験の必要性	閉鎖性能の評価が行われて安全評価の仮定を裏付けることができる。 安全評価の前提条件を覆さないためにも閉鎖システムの評価手法が不可欠である。	
予想される成果と反映先	堆積岩に関して閉鎖システムを評価する手法が確立され，解析的に処分場の安全性（閉鎖システムが機能すること）を示す。	
試験概念・環境　規　模	実規模を基本とする。	
試験概念・環境　定　置	竪置き方式を基本。処分孔上部の緩衝材との相互作用も現象把握および検証の対象とする。	
試験概念・環境　支保工	支保工を前提とするが,プラグ部分は撤去できる構造とする。	
試験概念・環境　深　度	深いかまたは浅い。試験場の環境条件と試験期間を考慮して判断する。現状では最深部を基本とする。	
試験概念・環境　地　質	竪置き方式で裸孔で試験孔が掘削できる強度を有することが望ましい。	
試験概念・環境　地下水	淡水または塩水。現象把握や検証は水質に大きく依存しない。原位置の代表的な水質を基本とする。	

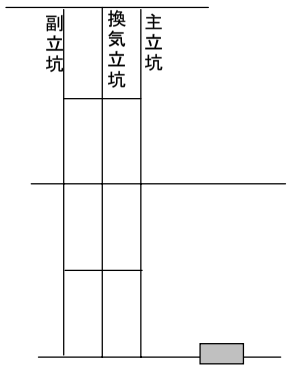
試験内容

坑道閉鎖試験の設計研究
試験領域の岩盤水理挙動データ取得
試験坑道掘削
閉鎖要素（埋め戻し，プラグ）の設計・施工
閉鎖性能データ取得
予測解析（坑道掘削時，坑道閉鎖後）
閉鎖設計・施工手法の確立

試験概念図



試験位置図



施設建設への制約

試験開始後は，水理的影響を及ぼす範囲での施設建設は避ける。

試験エリアの考え方

坑道閉鎖区間約10m，計測区間を含めて約20m。
他試験との緩衝距離は大きな水理的影響を受けない距離（10～20m？）。

工程表

項　目	H21	H22	H23	H24	H25	H26～28	H29	H30	H31
設計研究	―								
水理挙動データ取得		―	―	―	―				
坑道掘削		―							
プラグ設置，埋め戻し				―					
閉鎖性能データ取得					―	―	―	―	―
挙動予測解析	―		―	―					

6　まとめ

前章で個々に示された試験概要から，試験概念図をまとめて図 6-1 に示す。また，各原位置試験の対象とする現象を時間軸で整理したものを図 6-2 に示す。なお，この試験概念図は概略のイメージを与えるものであり，試験坑道や試験孔の数や配置は具体的な検討に基づいたものではない。

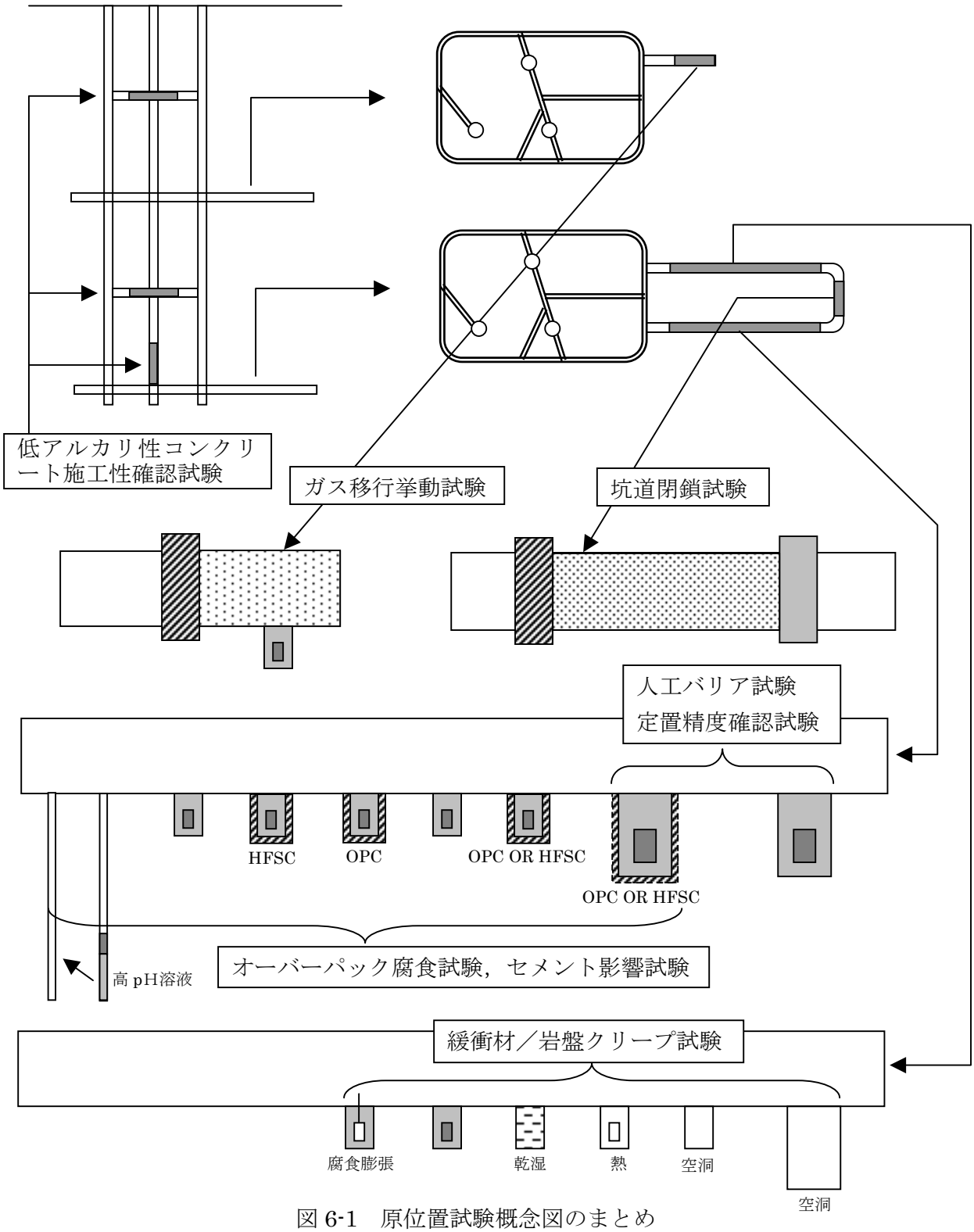


図 6-1　原位置試験概念図のまとめ

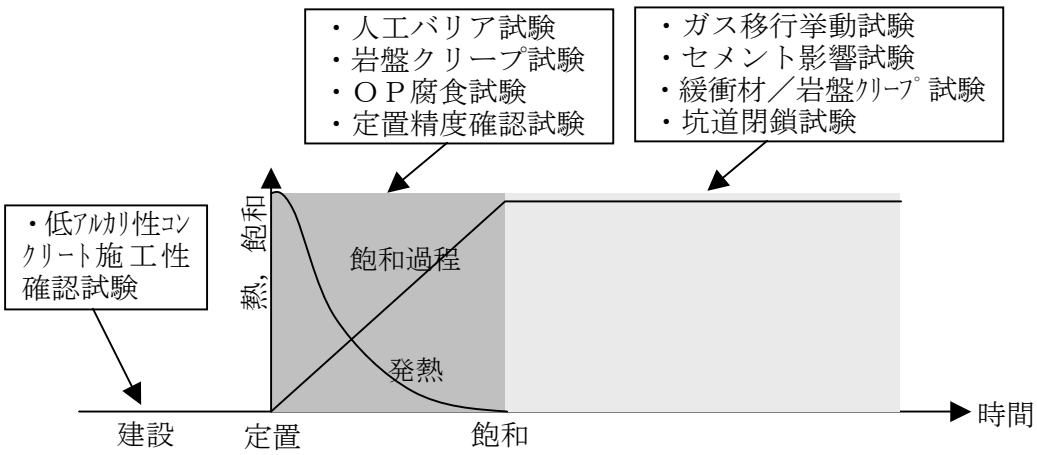


図 6-2　原位置試験の時間軸による分類

7　今後の課題

本書では，実施が望ましいと考えられる原位置試験を列挙したものであり，また試験概念も具体的データに基づく検討から得られたものではない。よって，今後は以下の課題に取り組む必要がある。

・具体的にどのような地質環境／概念で実施するか
・本当に原位置でやる意義があるか
・時間的・費用的制約等が加わった場合，どのように対処するか

7.1　試験計画の具体化

ここで言う試験計画の具体化とは，実施規模，試験工程，実施深度／場所，試験条件（支保工の有無，人為的載荷の有無，注水の有無，その他加速手段等）などを順次定量化し，試験仕様を決定することを意味する。具体化のポイントとしては，以下の項目が考えられる。

・どの程度の湧水量か？⇒満足な湧水が期待できない場合の対処方法
・試験期間に必要なデータ取得できるか？⇒規模縮小や注水等の加速手段の採用と実現象からの乖離の兼ね合いの検討
・深い位置で実規模かつ裸孔条件が確保できるか？⇒深度／規模／支保工の兼ね合いの検討
・実際の処分環境との違いをどう考えるか？（処分は還元性環境⇔試験は酸化性環境，処分は高圧条件⇔試験は大気圧条件，pH の変化，溶質の沈殿など）

なお，計画の具体化のためには図 7-1 に示すような作業が必要と考えられる。

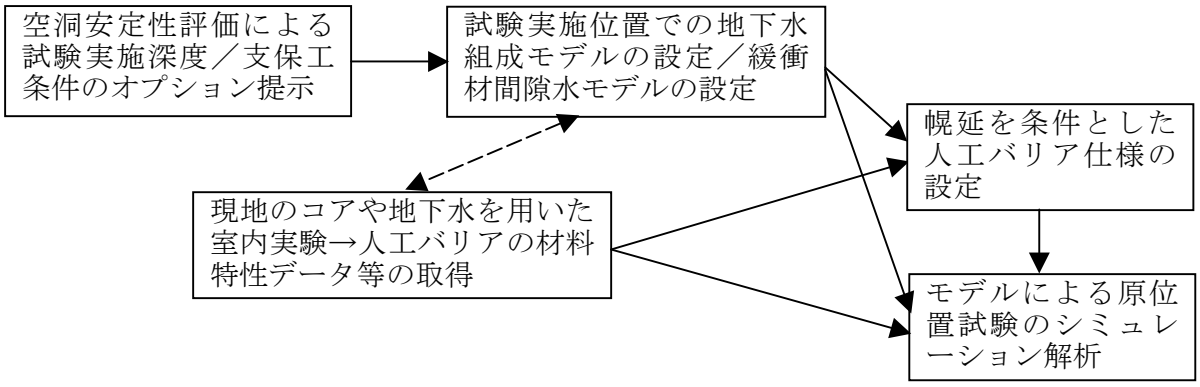


図 7-1　試験計画具体化に必要な実施事項

7.2　試験計画の具体化に伴う試験実施の判断

原位置試験計画の具体化を通じて，得られる成果の見通しや実行可能性を評価し，試験実施の判断を行う。判断の手順としては図 7-2 のような例が考えられる。

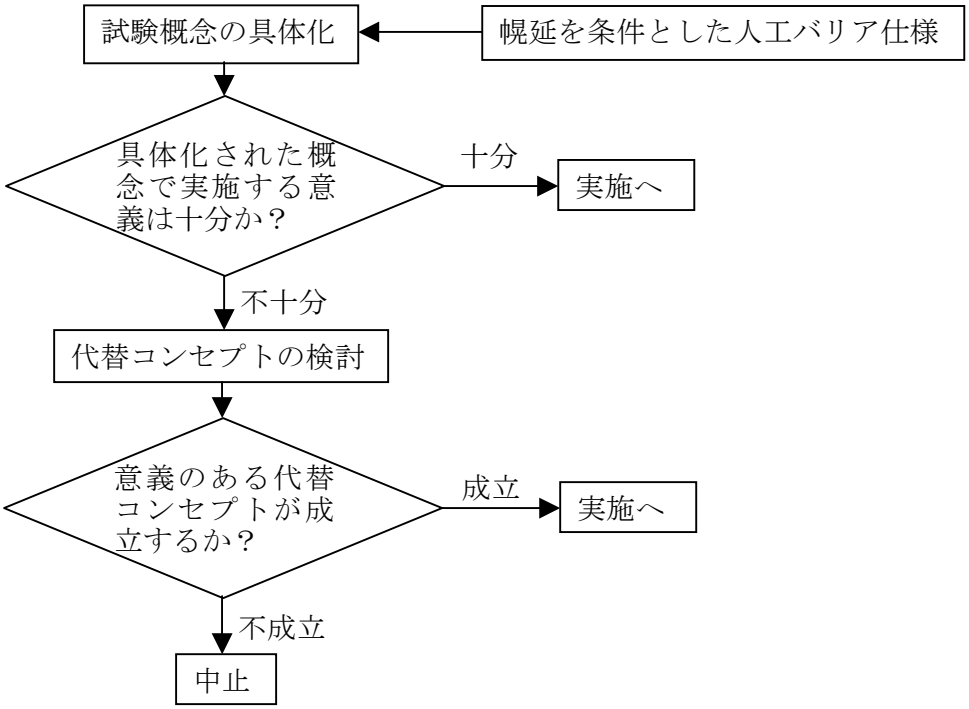


図 7-2　原位置試験実施の判断手順の例

7.3　制約への対応（合理化検討）

7.2 の技術的な実施の判断とは別に，現実問題として，予算，要員，工程，場所，物流などの制約により試験の実施は制約される。よって，フルスペックに近い本書の内容は制約に従った合理化が必要になる。合理化は，順序として 7.1，7.2 の具体化⇒実施の判断の後が望ましいが，制約が明らかになった時点で検討を開始する必要がある。この場合は 7.1，7.2 の検討と平行して進めることになる。

制約への対応として，試験に優先順位を付けて下位のものから中止する方法と，実施形態の類似した試験を統合する（同じ孔で試験を行う）方法が考えられる。ここでは合理化という観点から後者について考える。図 7-3 に実施形態による試験の分類を示す。

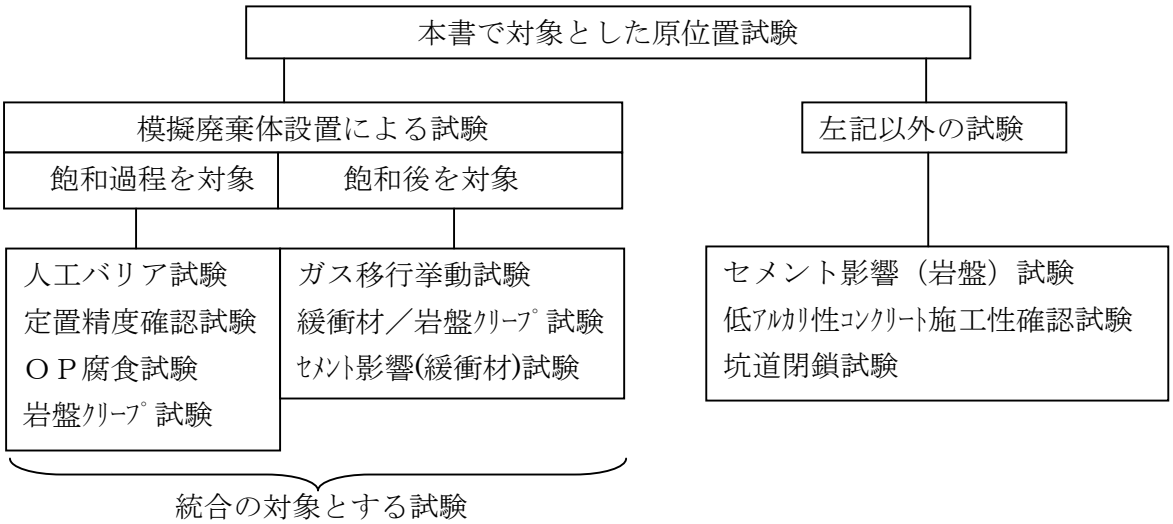


図 7-3　実施形態による原位置試験の分類

飽和過程を対象とする試験では，基本的に加熱状態での計測となり，これは飽和後を対象とする試験にとっては，時間的加速とみなせるプラスの側面と，実現象と異なる可能性が生じるというマイナスの側面がある。また，飽和後を対象とした試験は，強制注水しても問題は少ないが，飽和過程を対象とした試験では問題となる（図 7-4）。よって，統合の第 1 段階として２つの試験グループそれぞれの中での統合を考え，制約に対応しきれない場合は第 2 段階としてグループを跨いだ統合を考えることとする。

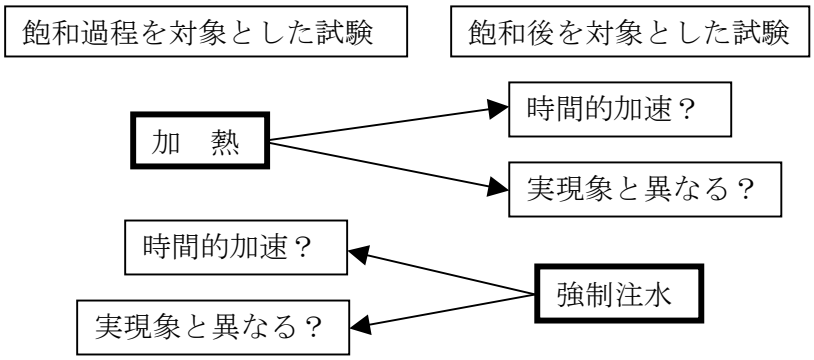


図 7-4　原位置試験における対応とその問題点

図 7-5 に，先に示した原案と統合による合理化案の例を示す。

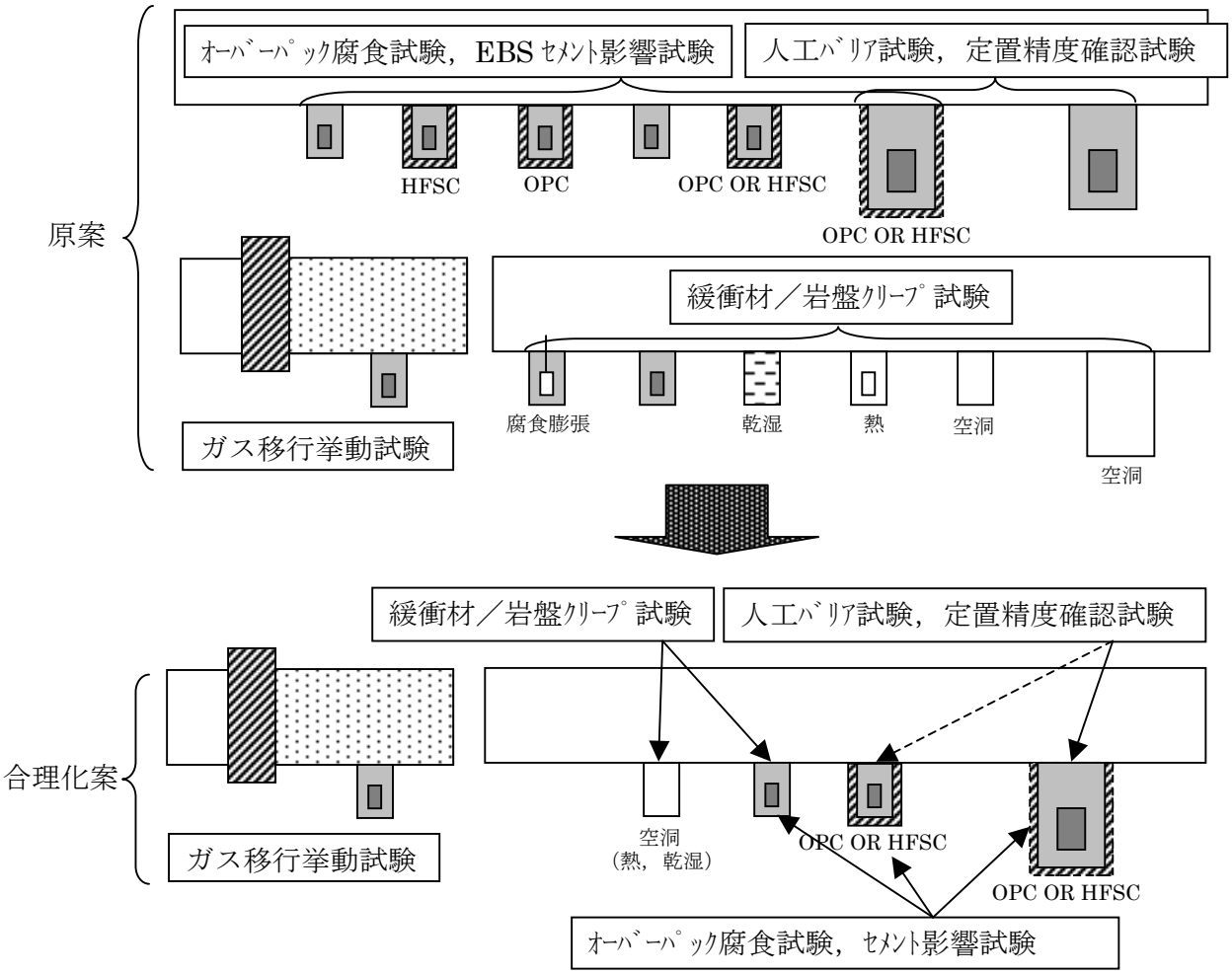


図 7-5　原位置試験の合理化の例

8　おわりに

本書では「第 2 次取りまとめ」以降の処分技術に関する課題の抽出から，幌延の深地層の研究施設で実施が必要と考えられる原位置試験項目を設定し，それぞれについて海外地下研究施設等の成果を踏まえて試験概念の構築を図った。さらに，今後の計画具体化検討の方針を示した。この試験概念はまだ幌延の具体的な地質調査結果を反映したものとはなっていないが，幌延における処分技術に関する原位置試験の基本的な概要が構築されたものと考えている。

今後は本書に示された今後の方針を踏まえて，原位置試験の具体化に向けた研究開発を進めていく予定である。

参考文献

核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ－分冊 2 地層処分の工学技術，サイクル機構技術資料，JNC TN1410 99-022，(1999)

核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発－平成 14 年度報告－，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2003-004，(2003)

杉原　豊：堆積岩を対象とした地下へのアクセス坑道に関する研究，サイクル機構技術資料（研究委託報告書，大成建設株式会社），JNC TJ1410 98-001，(1998)

窪田　茂：幌延深地層研究計画　地下施設建設技術に関する研究（平成 13 年度），サイクル機構技術資料（研究委託報告書，大成建設株式会社），JNC TJ1400 2001-005，(2001)

窪田　茂，納多　勝，戸井田克，岩佐健吾：幌延深地層研究計画　地下施設建設に関する基本計画の検討（平成 14 年度）サイクル機構技術資料（研究委託報告書，大成建設株式会社，株式会社大林組，鹿島建設株式会社，清水建設株式会社），JNC TJ1400 2002-003(1)，(2002)

核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発－平成 13 年度報告－，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2002-003，(2002)

杉田　裕，栗原雄二，川上　進，神徳　敬，油井三和：高レベル放射性廃棄物の地層処分における人工バリア等の性能保証に関わる研究の進め方と反映先（その２），サイクル機構技術資料，JNC TN8400 2003-015，(2003)

本間信之，棚井憲治，長谷川宏：海外の地下研究施設における研究内容の調査および研究課題の整理，サイクル機構技術資料，JNC TN8420 2001-007，(2002)