

人工バリア等の性能保証に関わる研究の
サイクル機構における取り組み（その2）
（研究報告）

2004年3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 reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

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

人工バリア等の性能保証に関わる研究のサイクル機構における取り組み（その2）
（研究報告）

栗原雄二*，藤田 朝雄**，川上 進**，神徳 敬**，油井三和**，杉田 裕**

要 旨

国が策定する安全基準・指針等に今後の研究開発成果等がどのように反映されるかを明確にするための検討が，これまでに核燃料サイクル開発機構において実施されてきた。ここでは地層処分の長期安全性の観点から処分施設構成要素の性能保証項目が抽出され，その評価方法や今後の課題が整理されている。本報告では，処分場構成要素の内，埋め戻し材，プラグ，坑道および処分孔について，これまでの検討で示されている今後の課題に関する核燃料サイクル開発機構における現在の取り組み状況および今後の計画について整理した。

* 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

Activity of studies on the performance guarantee of the Engineered Barrier System
for the geological disposal of High-level Radioactive Waste (Vol. 2)
(Research Document)

Yuji KURIHARA*, Tomoo FUJITA**, Susumu KAWAKAMI**,
Takashi JINTOKU** and Mikazu YUI**, Yutaka SUGITA**

Abstract

In order to contribute to the safety standards and guidelines which Japanese safety authorities will decide, reviews on how to reflect the result obtained by R&D to them were conducted and reported in the JNC technical reports. In those reports, from a view point of long-term safety on geological disposal of high level radioactive waste, the items which should be guaranteed for the performance of each element of the repository were extracted, and the draft was shown how to guarantee the performance about these items.

In this report, the status of each item of closure element, disposal tunnel and pit in JNC was reported.

* 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

目 次

1 はじめに	1
2 目的	1
3 取り組み状況の調査・整理	1
3.1 性能保証項目（案）の整理で抽出された今後の課題	1
3.2 実施の方法とその状況	3
4 おわりに	19
参考文献	20

付録

付 - 1 埋め戻しの効果に関する感度解析的検討	付(1)
--------------------------	------

表 目 次

表 3.1-1	埋め戻し材の性能保証項目(案)	2
表 3.1-2	プラグの性能保証項目(案)	2
表 3.1-3	坑道の性能保証項目(案)	2
表 3.1-4	処分孔等の性能保証項目(案)	3
表 3.2-1	埋め戻し材の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (1/3)	6
表 3.2-2	埋め戻し材の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (2/3)	7
表 3.2-3	埋め戻し材の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (3/3)	8
表 3.2-4	プラグの性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法	11
表 3.2-5	坑道の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (1/2)	13
表 3.2-6	坑道の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (2/2)	14
表 3.2-7	処分孔等の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (1/3)	16
表 3.2-8	処分孔等の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (2/3)	17
表 3.2-9	処分孔等の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (3/3)	18

図 目 次

図 3.2-1	隙間膨潤を模擬した試験概念	4
図 3.2-2	密度分布解析結果と試験結果の比較	4
図 3.2-3	ニアフィールド水理場の変遷に関する影響の概念	5
図 3.2-4	スウェーデンにおける PRP 試験の概念	5
図 3.2-5	カナダの TSX 試験における圧力とプラグのひずみ	9
図 3.2-6	TSX 試験におけるコンクリートプラグ概念と試料サンプリング位置	9
図 3.2-7	TSX 試験における透水量の計測結果	10
図 3.2-8	TSX 試験において想定している掘削影響領域 (D,D',E)	10
図 3.2-9	低アルカリ性コンクリートの圧縮強度	12
図 3.2-10	炭素鋼の平均腐食深さと孔食係数の関係	15
図-付 1	埋め戻し材の検討概念モデル	付(1)
図-付 2	埋め戻しが坑道の平均透水係数に与える影響	付(3)
図-付 3	プラグ設置概念モデル	付(3)
図-付 4	プラグの設置が坑道の平均透水計数に与える影響	付(4)

1 はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全規制に係わる基本的考え方が「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について(第1次報告)」(原子力安全委員会,2000)において示され,ここでは今後安全審査,安全確認等に係る指針・技術基準を策定していくことが示されている。また,「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」(通商産業省,2000)では,国および関係機関が最終処分の安全規制・安全評価のために必要となる研究開発を積極的に進めていくことを求めている。これら安全規制に係わる指針・基準を策定していくためには適宜技術情報を整備しておく必要がある。

このような背景を受けて,川上ほか(2003)および杉田ほか(2003a)の検討(以下,「進め方と反映先報告書」とする)では,処分場の構成要素について長期的安全性の観点から性能を保証すべき項目を抽出し,その性能をどのように評価するのか,そのために必要なデータベースは何か,現状に照らして今後の課題は何かの整理を行った。

本書は,処分場構成要素の内埋め戻し材,プラグ,坑道,処分孔について抽出された課題が核燃料サイクル開発機構(以下,サイクル機構とする)においてどのように取り組まれているかを示したものである。これにより,今後の処分事業の進展や安全基準・指針の策定等で必要となる処分技術の基盤情報整備が図られるものと考ええる。

2 目的

本検討では,「進め方と反映先報告書」での性能保証項目(案)・課題等の抽出・整理に引き続き,各項目・課題に対してのサイクル機構における具体的取り組み状況を調査・整理するものである。

3 取り組み状況の調査・整理

3.1 性能保証項目(案)の整理で抽出された今後の課題

「進め方と反映先報告書」では性能保証項目について以下のような整理を行っている。

- 1) 何を保証すべきか
- 2) それをどう保証(評価)するか
- 3) 評価にあたり今度の課題は何か

表 3.1-1～表 3.1-4 に埋め戻し材,プラグ,坑道,処分孔等に関する性能保証項目(案)を示す。なおここで坑道とは,アクセス坑道,連絡坑道,主要坑道と豎置き方式における処分坑道を意味し,処分孔等とは,豎置き方式の処分孔と横置き方式の処分坑道を意味する。

表 3.1-1 埋め戻し材の性能保証項目(案)

処分場における時間軸	何を性能保証するか(性能保証項目)	
	役割	基準のポイント
飽和後	核種移行のクリティカルパスにならない	処分坑道の変形による緩み域の増加を抑えるため、必要な剛性を持つこと。
		支保工の設置が想定される場合も考慮して、埋め戻し材に十分な膨潤性能を持たせること。 充填された密度を長期的にわたり維持し、地下水の流れで流出しないこと。
	坑道内の透水性を要求レベル以下に抑えること。	
人工バリアの性能発揮に悪影響を与えない	緩衝材の膨潤圧に対して著しく変形せず、膨出を抑えること、または変形評価が可能なこと(竖置き)。	
	緩衝材を劣化させる要因とならないこと。	

表 3.1-2 プラグの性能保証項目(案)

処分場における時間軸	何を性能保証するか(性能保証項目)	
	役割	基準のポイント
埋め戻し中	埋め戻し材、緩衝材の膨出を押さえる(強度プラグ)	埋め戻し材、緩衝材の膨潤圧により機能を喪失しないこと。
埋め戻し後	人工バリアの性能発揮に悪影響を与えない(強度プラグ)	プラグ材料が悪い影響を与えないこと、もしくはその影響が評価されていること。
	坑道に沿った地下水の移動を遮断する(止水プラグ)	プラグ部分の透水性を低くすること。 支保工、掘削影響領域を含めたプラグ周囲の低透水性を確保すること。 連続性を遮断すること。

表 3.1-3 坑道の性能保証項目(案)

処分場における時間軸	何を性能保証するか(性能保証項目)	
	役割	基準のポイント
建設, 操業, 埋め戻し	建設, 操業, 埋め戻し作業のための空間を確保する	空洞安定性が確保されること。
飽和後	坑道に沿ったルートが核種移行のクリティカルパスにならない	緩み域の物質移行評価が可能なこと。
		支保工部分の物質移行評価が可能なこと。 坑道内埋め戻し部分の物質移行評価が可能なこと
	人工バリア, 埋め戻し材および岩盤の性能発揮に悪影響を与えない	支保工材料が緩衝材, オーバーバック, 埋め戻し材および岩盤の性能に悪影響を与えないこと。 緩衝材の温度を制限温度以下に抑えること。

表 3.1-4 処分孔等の性能保証項目(案)

処分場における時間軸	何を性能保証するか(基準の内容)	
	役割	基準のポイント
建設, 操業, 埋め戻し	人工バリアを内部に設置する	空洞安定性が確保されること
		緩衝材定置に支障のない湧水状態であること
		緩衝材の定置作業に支障のない寸法的余裕を持つこと
緩衝材膨潤中～膨潤後	人工バリアが所定の性能を発揮すること	緩衝材の性能に悪影響を与えない湧水状態であること
		緩衝材の性能に悪影響を与えない形状寸法であること
		緩衝材の性能に悪影響を与えない亀裂状態であること
	坑道に沿ったルートが核種移行のクリティカルパスにならない	緩み域の物質移行評価が可能なこと
		支保工部分の物質移行評価が可能なこと
	人工バリアおよび岩盤の性能発揮に悪影響を与えない	支保工材料が緩衝材, オーバーパックおよび岩盤の性能に悪影響を与えないこと
緩衝材の温度を制限温度以下に抑えること		

3.2 実施の方法とその状況

「進め方と反映先報告書」で抽出された課題に対してのサイクル機構における取り組みを「実施中」と「計画中」に分けて整理する。整理においては、第2次取りまとめ以降に公開された技術資料等最新の情報に基づき具体的な実施の方法を提示する。サイクル機構において関連する研究が実施されておらず、かつ他の研究機関において研究が行われている課題については、「JNC以外の機関での実施が適切」として整理する。

また、幌延の深地層の研究施設において計画されている原位置試験も計画中として整理する。以下に計画中の原位置試験項目を示す。なお、試験項目、内容については検討が続けられており、今後変更される可能性がある。

【人工バリアの長期挙動評価に関する試験】

- 人工バリア試験(熱-水-応力-化学連成試験)
- 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

【建設・操業・閉鎖の工学技術に関する試験】

- 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

3.2.1 埋め戻し材

埋め戻し材の課題に対する実施の方法を表 3.2-1～表 3.2-3 に示す。また、表において実施中としたものについて、以下に最近の取り組みの概要を示す。ここで附した BKF の番号は表の右端の欄の番号と対応する。なお、埋め戻しが保証すべき性能として低透水性が上げられているが、

その要求レベルは定量的に定められていない。これについては今後とも検討が必要であるが、埋め戻し部分の透水性の変動が掘削影響領域を含む坑道全体の透水性にどの程度の影響を及ぼすかの感度解析的検討結果を付録 - 1 に示す。

BKF1：緩衝材を対象とした隙間膨潤挙動の基礎試験を基に埋め戻し材の検討を行っている。この試験においてはベントナイト材料の 3 次元的隙間膨潤挙動を確認している（杉田・菊池，2002）。図 3.2-1 は膨潤実験前後の状況を示したものであり、膨潤前にセル下端より 18cm の位置にあった径 7mm の金属棒（左図の ）が、膨潤後にはセル下端より 23cm の位置（右図の 位置）まで上昇しセルの中心に近づいている。このことから、ベントナイト材料は膨潤により均一化の方向に向かうことがわかる。今後は長期試験による密度分布および変位を確認するとともに、X 線 CT 装置 を用い、より精緻な検証データを取得する。

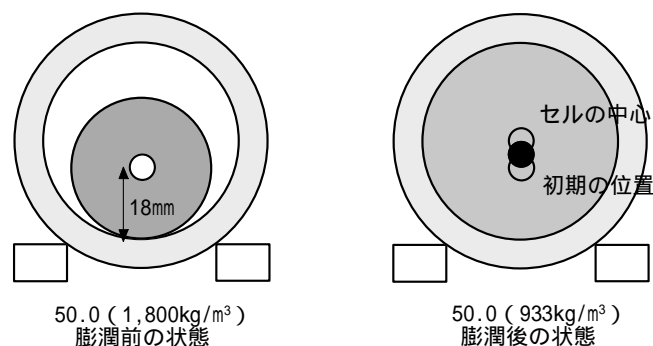


図 3.2-1 隙間膨潤を模擬した試験概念

BKF2：岩盤亀裂中への緩衝材の流出／侵入現象の長期予測評価モデルの確立に向け、固相拡散現象に基づいたモデル開発を行い、侵入現象におけるベントナイトの密度分布の解析および試験結果との比較，検討を行っている（岩田ほか，2004）。今後，より大きな供試体を用いた試験を含め，感度解析を継続し，評価方法，モデルの妥当性の検討をさらにすすめる。

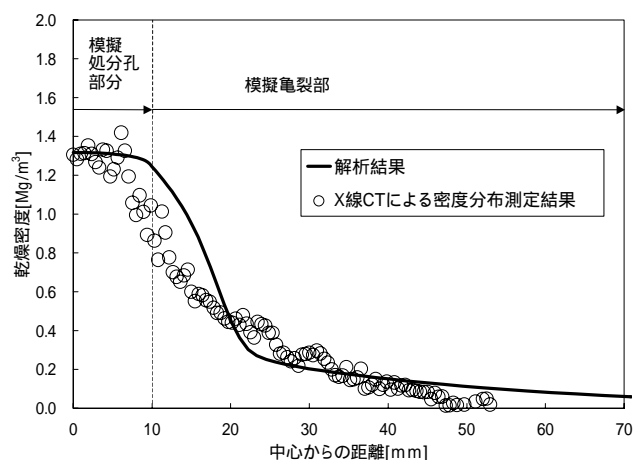


図 3.2-2 密度分布解析結果と試験結果の比較

BKF3 : (隙間膨潤については , BKF1 に記述)

低レベル放射性廃棄物 (TRU 廃棄物) 処分研究開発において , セメント系材料由来の高 pH プルームによるベントナイト / 岩盤の長期変質への影響検討を行うと共に , バリア材料の力学的変遷および水理場の変遷に係わるデータ取得ならびにモデル構築に関する検討を行っている (サイクル機構 , 2003b ; 高瀬ほか , 2002) 。

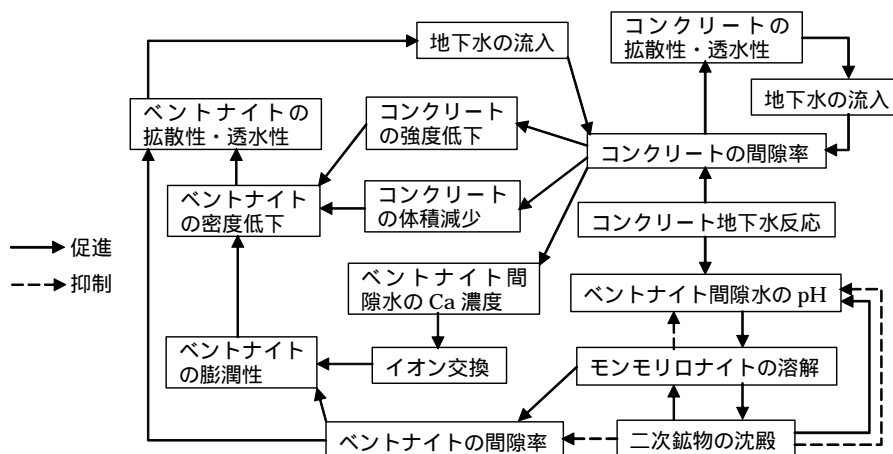


図 3.2-3 ニアフィールド水理場の変遷に関する影響の概念

BKF4 : PRP 試験では , 図 3.2-4 に示すような縦置き方式の人工バリアと上部坑道には斜め締固めで埋め戻し材が施工されている。密度測定による埋め戻し層の乾燥密度は部位によってばらついておりその範囲は 1,500 から 1,700 kg/m³ (ゾーン 1 (1,700 kg/m³) , ゾーン 2 (1,600 kg/m³) , ゾーン 3 (1,500 kg/m³)) となっている。今後 5 から 20 年間モニタリングを行い , 緩衝材 - 埋め戻し材接触部の挙動に関するデータを取得する (杉田ほか , 2003b) 。

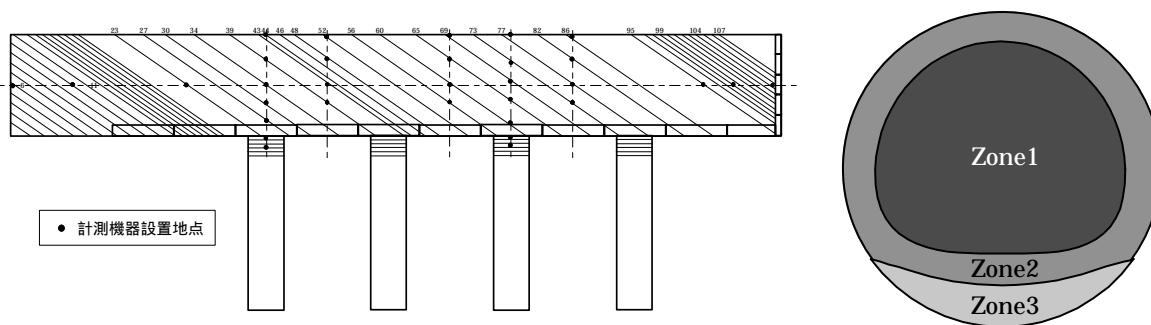


図 3.2-4 スウェーデンにおける PRP 試験の概念

表3.2-1 埋め戻し材の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (1/3)

時期	何を性能保証するか (基準の内容)		どう保証するのか (方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
飽和後	核種移行のクリティカルパスにならない	処分坑道の変形による緩み域の増加を抑えるため、必要な剛性を持つこと。	隙間をふさぐ機能を有するように十分な量のベントナイトを混合した埋め戻し材を用いること。*1	<ul style="list-style-type: none"> 施工方法 (現場締め固め方式、ブロック方式等) による隙間の発生を定量的に評価し、隙間を考慮した膨潤挙動を実験により確認する。 また、その挙動を解析モデル (大変形モデル等) により補充する。 	<ul style="list-style-type: none"> すき間が充填されることを示すため、すき間、密度、試験水 (蒸留水、人工海水) をパラメータとしたすき間膨潤試験 (室内・原位置) を実施する。 すき間を埋める大変形モデルを開発する。 	JNCにおいて以下の研究を実施中 <ul style="list-style-type: none"> 隙間膨潤に関する要素試験 隙間膨潤要素試験のモデル評価 ベントナイト混合率を下げた埋め戻し仕様の試験を実施 隙間充填に関する挙動評価 (X線CT測定) JNCにおいて以下の研究を計画中 <ul style="list-style-type: none"> 幌延における坑道閉鎖試験、人工バリア試験 	BKF1
		充填された密度を長期にわたり維持し、地下水の流れで流出しないこと。	十分な密度が得られる充填手法・技術を適用すること。	流出挙動の解析ツールを適用した長期にわたる埋め戻し材流出の定量的な評価を行ない、流出量を考慮した充填密度の設定を行う。	<ul style="list-style-type: none"> 流出挙動の解析ツールを適用した長期にわたる埋め戻し材流出の定量的な評価を行ない、流出量を考慮した充填密度の設定を行う。 	JNCにおいて以下の研究を実施中 <ul style="list-style-type: none"> 流出モデルの構築に関しては、緩衝材のモデルの適用を検討 JNCにおいて以下の研究を計画中 <ul style="list-style-type: none"> 幌延における坑道閉鎖試験 	BKF2

*1: ベントナイト混合材に代わる膨潤性の材料も検討対象になり得る

表3.2-2 埋め戻し材の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (2/3)

時期	何を性能保証するか(基準の内容)		どう保証するのか(方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
飽和後	核種移行のクリティカルパスにならない	坑道内の透水性を要求レベル以下に抑えること。*1	埋め戻し部分の透水性を評価すること。	<ul style="list-style-type: none"> 埋め戻し施工における隙間を考慮した膨潤実験および大変形モデル等による解析により埋め戻し材の膨潤挙動を評価し、膨潤応力と力学特性を把握する。 支保工(コンクリート)の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性変化を評価する。*2 支保工の影響による岩盤と埋め戻し材の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性および水理特性変化を評価する。*2 上記を入力条件として、支保工部分と埋め戻し部分の力学変形挙動評価を行う。*2 上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。*2 岩盤の変形を条件として支保工/埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。(必要に応じて繰り返す。)*2 岩盤/支保工/埋め戻し部分の力学変形挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。*2 	<ul style="list-style-type: none"> 埋め戻し施工における隙間を考慮した膨潤実験および大変形モデル等による解析により埋め戻し材の膨潤挙動を評価し、膨潤応力と力学特性を把握する。 支保工(コンクリート)の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性変化を評価する。*2 支保工の影響による岩盤と埋め戻し材の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性および水理特性変化を評価する。*2 上記を入力条件として、支保工部分と埋め戻し部分の力学変形挙動評価を行う。*2 上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。*2 岩盤の変形を条件として支保工/埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。(必要に応じて繰り返す。)*2 岩盤/支保工/埋め戻し部分の力学変形挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。*2 	<ul style="list-style-type: none"> JNCにおいて以下の研究を実施中 <ul style="list-style-type: none"> 隙間膨潤に関する要素試験 隙間膨潤要素試験のモデル評価 ベントナイト混合率を下げた埋め戻し仕様の試験 支保工(コンクリート)の化学的劣化挙動と、その劣化に伴う力学特性および水理特性変化に関する研究*2 支保工の影響による岩盤と埋め戻し材の化学的劣化挙動と、その劣化に伴う力学特性変化に関する研究*2 上記を入力条件とした、支保工部分と埋め戻し部分の力学変形挙動評価*2 化学的劣化および力学変形挙動を考慮した透水性の評価*2 JNCにおいて以下の研究を計画中 <ul style="list-style-type: none"> ベントナイト含有率を下げた埋め戻し材に関する試験 幌延における坑道閉鎖試験、セメント影響試験、緩衝材/岩盤クリープ試験 	BKF3
			低透水性を確保するためベントナイトを混合すること。*3	ベントナイト含有率と透水性の関係を評価する。	ベントナイト含有率、供試体規模、試験水をパラメータとした透水試験を実施する。	<ul style="list-style-type: none"> JNCにおいて以下の研究を実施中 <ul style="list-style-type: none"> 降水系に関しては透水試験によるデータを取得済 JNCにおいて以下の研究を計画中 <ul style="list-style-type: none"> 海水系におけるベントナイト混合率を下げた埋め戻し材仕様の試験 幌延における坑道閉鎖試験、セメント影響試験 	-

*1: 母岩の透水性及び掘削影響領域の透水性を考慮する

*2: 低レベル放射性廃棄物(TRU廃棄物)処分技術開発(以下、TRU研究)にて実施中(核燃料サイクル開発機構, 2003a)

*3: ベントナイト混合材に代わる低透水性の材料も検討対象になり得る

表3.2-3 埋め戻し材の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (3/3)

時期	何を性能保証するか(基準の内容)		どう保証するのか(方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
飽和後	人工バリアの性能発揮に悪影響を与えない	緩衝材の膨潤圧に対して著しく変形せず、膨出を抑えること、または変形評価が可能なこと(豎置き)。	十分な充填密度、圧縮剛性を有するように設定すること。	緩衝材の膨潤挙動、周辺岩盤の変形挙動を考慮した緩衝材の膨出挙動解析を評価する。(緩衝材の評価手法に準ずる)	<ul style="list-style-type: none"> 境界条件を規定する緩衝材の「膨潤特性、圧密特性」、「岩盤の変形特性」を評価する詳細モデルを開発し、緩衝材の特性を埋め戻し材に適用して総合的な解析評価を行う。 緩衝材、岩盤のクリープ特性試験を実施する。 	JNCにおいて以下の研究を実施中 <ul style="list-style-type: none"> PRPプロジェクトにおける緩衝材-埋め戻し材接触部の挙動に関するデータを取得 JNCにおいて以下の研究を計画中 クリープモデルの構築に関しては、緩衝材のモデルを有効に適用する 幌延地下水を用いた埋め戻し材の力学試験 幌延における坑道閉鎖試験緩 	BKF4
		緩衝材を劣化させる要因とならないこと。	人工バリアの性能発揮に悪影響を与えるような埋め戻し材自身あるいは骨材*1を使用・混合しないこと。	-			

*1: セメント、モルタル等を使用する場合は、十分な検討・評価が必要である

3.2.2 プラグ

プラグの課題に対する実施の方法を表 3.2-4 に示す。また、表において実施中としたものについて、以下に最近の取り組み概要を示す。

PLG1：TSX 試験では、力学的な閉鎖機能を期待するコンクリートプラグを施工し、注水層の水圧を上げて、その有効性を確認している。水圧の変化に伴うプラグのひずみの変化を図 3.2-5 に示す。水圧の変化に伴い、プラグの周方向のひずみに比べて、軸方向のひずみの敏感な反応が見られた。試験開始より、全体を通して、強度プラグとして安定している (Chandler et al., 2002)。

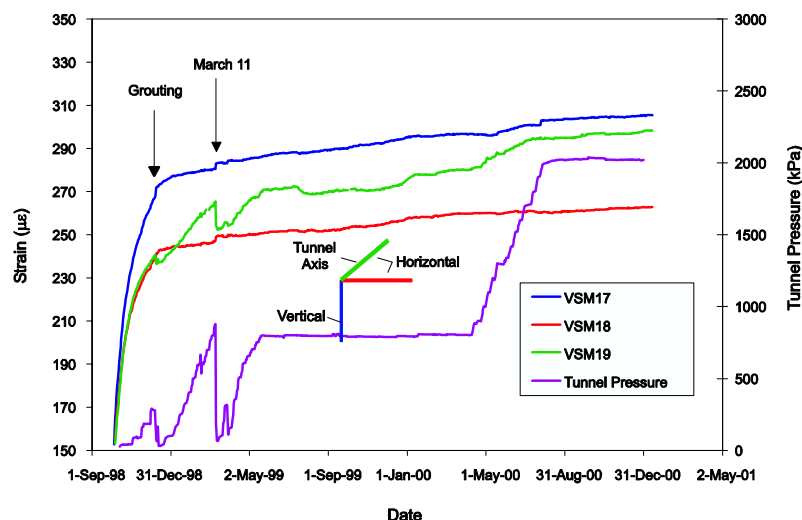


図 3.2-5 カナダの TSX 試験における圧力とプラグのひずみ

PLG2：TSX 試験では、コンクリートとの接触による岩盤等の影響を把握するために、コンクリートプラグの境界部に着目し、試料サンプリングによりその影響を評価している (図 3.2-6 参照) (Chandler et al., 2002)。(TSX 試験以外のセメント影響評価研究は、埋め戻しの BKF3 に記述。)

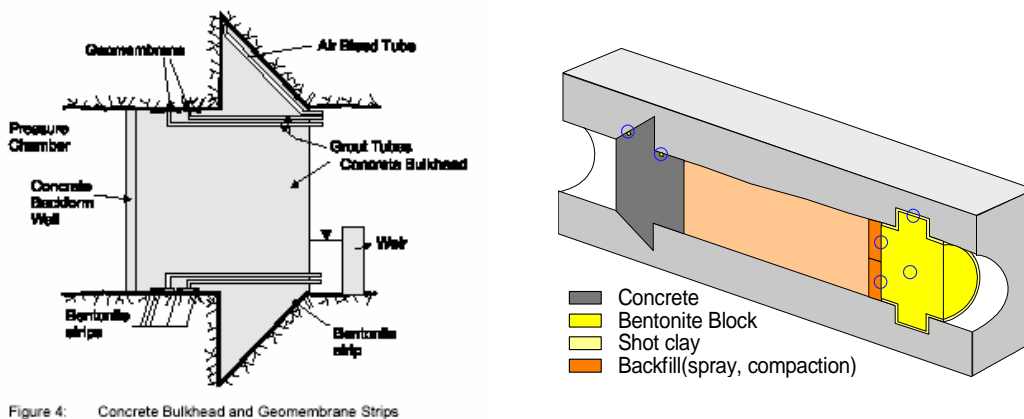


Figure 4: Concrete Bulkhead and Geomembrane Strips

図 3.2-6 TSX 試験におけるコンクリートプラグ概念と試料サンプリング位置

PLG3 : TSX 試験では加圧状態におけるコンクリートプラグと粘土プラグの湧水量を測定している (図 3.2-7 参照)。圧力上昇に伴う湧水量の増加は見られるものの、両プラグからの湧水量は小さく、粘土プラグ全体 (プラグ周辺の掘削影響領域も含む) の透水係数は 10^{-11} m/S という結果を得ている (杉田ほか, 2004)。

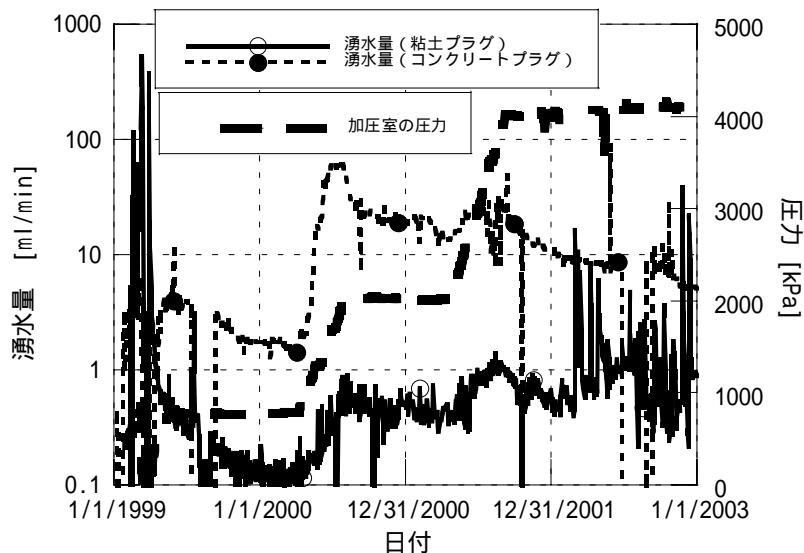


図 3.2-7 TSX 試験における湧水量の計測結果

PLG4 : TSX 試験では、切欠き部設置による坑道に沿った掘削影響領域の分断効果に関して、図 3.2-8 の領域全体の透水性を評価している (Chandler et al., 2002)。今後、図の E 部と D' 部について透水試験による確認を行うとともに、別途実施中のトレーサ試験時のトレーサ通過部分をサンプリングにより確認する予定である。

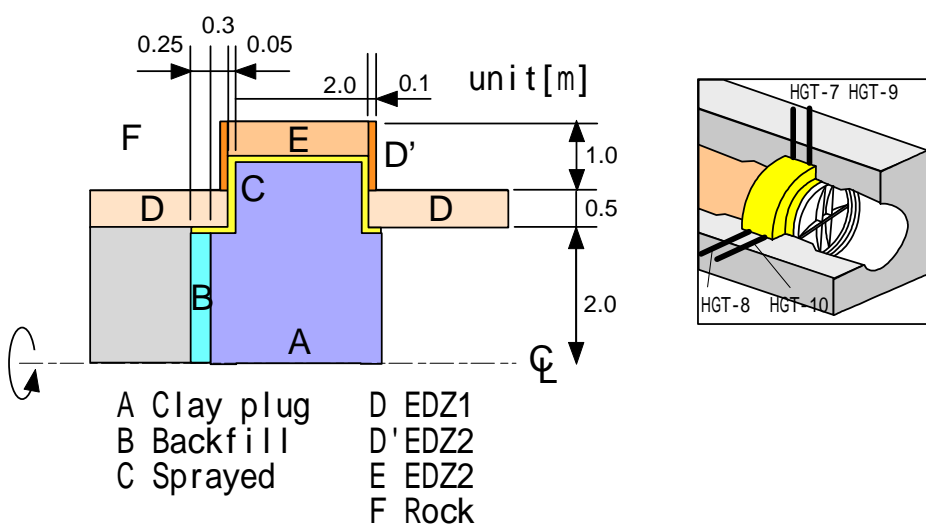


図 3.2-8 TSX 試験において想定している掘削影響領域 (D,D',E)

表3.2-4 プラグの性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法

時期	何を性能保証するか(基準の内容)		どう保証するのか(方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
埋め戻し中	埋め戻し材、緩衝材の膨出を押さえる(強度プラグ)	埋め戻し材、緩衝材の膨潤圧により機能を喪失しないこと。	プラグにかかる圧力を設定し、強度評価を実施するとともに、所定の期間以上、強度を維持すること。	プラグ本体そのものの強度の評価とともに、設置する岩盤条件(強度、亀裂頻度、掘削影響領域の広がり等)に基づくプラグ形状の設計・施工を包括したプラグ周囲の総合的な力学的安定性を解析コードにより評価する。	・硬岩に関しては、AECLとの共研TSXでの試験結果により検証データを取得するとともに、評価を行う。 ・軟岩に関しては、幌延での試験によって検証データを取得し、評価を行う。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・TSXプロジェクト JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における坑道閉鎖試験	PLG1
埋め戻し後	人工バリア等の性能発揮に悪影響を与えない(強度プラグ)	プラグ材料が悪い影響を与えないこと、もしくはその影響が評価されていること。	コンクリートをを用いた場合は、プラグ材*1(普通コンクリート、低アルカリ性コンクリート等)が緩衝材等に与える影響を評価すること。	プラグ材料の緩衝材や埋め戻し材、処分場環境への影響評価(透水係数、地化学特性等)を、実験に基づく評価モデルにより評価する。	・コンクリート部分の性能評価への長期的影響の定量的評価を行う。 ・低アルカリ性コンクリート部分の性能評価への長期的影響の定量的評価を行う。 ・地下研関連、及びTRU関連で、施工性などの研究を実施する。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・TSXプロジェクト ・セメント影響評価研究(TRU研究と連携) JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における坑道閉鎖試験、セメント影響試験	PLG2
	坑道に沿った地下水の移動を遮断する(止水プラグ)	プラグ部分の透水性を低くし、シーリング性能を有すること。	当該部分に低透水性かつ、シーリング性能を有する材料で障壁を設けること。 十分な量のベントナイトを混合すること。	透水係数の評価。 (緩衝材の透水性評価に準ずる)シーリング性能を実験により確認する。	・硬岩に関しては、AECLとの共研TSXでの試験結果により検証データを取得するとともに、評価を行う。 ・軟岩に関しては、幌延での試験によって検証データを取得し、評価を行う。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・TSXプロジェクト JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における坑道閉鎖試験	PLG3
		支保工、掘削影響領域を含めたプラグ周囲の低透水性を確保すること。 連続性を遮断すること。	切欠き部を設け岩盤と密着させること。 十分な量のベントナイトを混合し、適切な密度で施工すること。*2	・設置する岩盤条件(強度、亀裂頻度、掘削影響領域の広がり等)に基づくプラグ形状の設計・施工を包括したプラグ周囲の総合的な低透水性を評価する。 ・浸透流解析により、プラグ周囲の浸潤挙動を解析評価する。	・硬岩に関しては、AECLとの共研TSXでの試験結果により検証データを取得するとともに、評価を行う。 ・軟岩に関しては、幌延での試験によって検証データを取得し、評価を行う。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・TSXプロジェクト JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における坑道閉鎖試験	PLG4

*1: 鋼材, セラミック, 岩石等もプラグ材料の検討対象となり得る

*2: ベントナイト混合材に代わる低透水性の材料も検討対象になり得る

3.2.3 坑道

坑道の課題に対する実施の方法を表 3.2-5, 表 3.2-6 に示す。また, 表において実施中としたものについて, 以下に最近の取り組み概要を示す。

TNL1 : 時間依存挙動が坑道の支保工や周辺岩盤の安定性に及ぼす影響を把握するため, 堆積軟岩のコアの室内試験で得られた物性値を用いた掘削時の時間依存挙動の解析的検討を行うと共に, 時間依存挙動を表す指標を提案し, その指標を用いた感度解析により支保工の安定性と指標の関係を示した(山本ほか, 2003)。

TNL2 : (セメント影響評価研究については, 埋め戻し材の BKF2 に記述)

TNL3 : (セメント影響評価研究については, 埋め戻し材の BKF2 に記述)

pH11 以下を目標とした低アルカリ性セメントの開発を行っている。このセメントは普通セメントに多量のシリカフュームとフライアッシュを混合させたもので, 以下の4項目を課題として開発している。吹付けコンクリート, 場所打ちコンクリート, グラウトとしての施工性を確認すること, 要求される圧縮強度を確保し(図 3.2-9 参照), pH が 11 以下になることを確認すること, フライアッシュの品質に起因するコンクリート品質の変動を把握すること, 鉄筋の腐食挙動を把握し, 供用期間における耐久性を評価すること(サイクル機構, 2003b)。

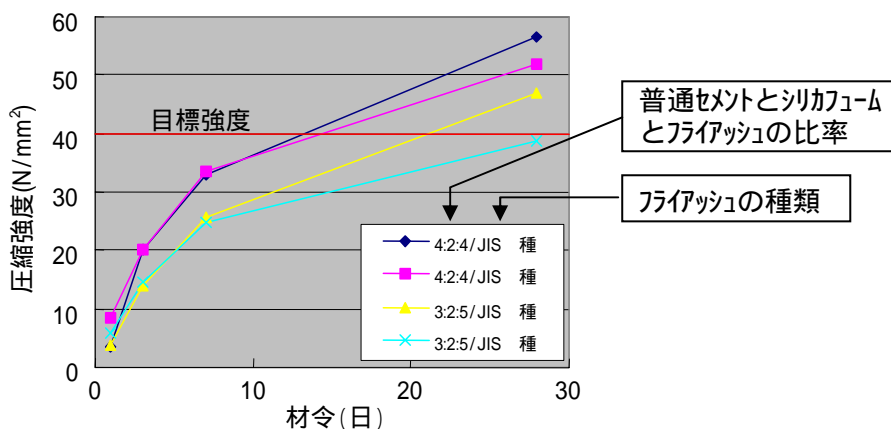


図 3.2-9 低アルカリ性コンクリートの圧縮強度

表3.2-5 坑道の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法（1/2）

時期	何を性能保証するか（基準の内容）		どう保証するのか（方法、解説）		今後の課題	実施の方法	取組概要	
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 （評価方法、データベース）				
建設、操業、埋め戻し	建設、操業、埋め戻し作業のための空間を確保する	空洞安定性が確保されること。	掘削時、供用期間経過時、地震時の空洞安定性を評価すること。	<ul style="list-style-type: none"> 弾性、弾塑性、粘弾性、弾粘塑性等、地質特性とフェーズを考慮したモデルにより評価する。 地震時は静的手法または動的手法により評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 供用期間中の岩盤の時間依存性挙動評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> JNCにおいて以下の研究を実施中 施設設計への反映を目的とした軟岩の長期挙動研究 JNCにおいて以下の研究を計画中 深地層の研究施設（幌延等）における施設設計手法の適用性確認 	TNL1	
飽和後	坑道に沿ったルートが核種移行のクリティカルパスにならない	緩み域の物質移行評価が可能なこと。	岩盤損傷の少ない施工方法を採用すること。	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤損傷に関する施工方法を比較評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工方法の違いによる岩盤損傷の定量的評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> JNCにおいて以下の研究を計画中 深地層の研究施設（幌延等）における掘削影響試験 	-	
		支保工部分の物質移行評価が可能なこと。	支保工材料の透水性を評価すること。	<ul style="list-style-type: none"> 埋め戻し施工における隙間を考慮した膨潤実験および大変形モデル等による解析により埋め戻し材の膨潤挙動を評価し、膨潤応力と力学特性を把握する。 支保工（コンクリート）の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性変化を評価する。^{*1} 支保工の影響による岩盤と埋め戻し材の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性および水理特性変化を評価する。^{*1} 上記を入力条件として、支保工部分と埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。^{*1} 上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。^{*1} 岩盤の変形を条件として支保工/埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。（必要に応じて繰り返す。）^{*1} 岩盤/支保工/埋め戻し部分の力学挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。^{*1} 	<ul style="list-style-type: none"> 埋め戻し施工における隙間を考慮した膨潤実験および大変形モデル等による解析により埋め戻し材の膨潤挙動を評価し、膨潤応力と力学特性を把握する。 支保工（コンクリート）の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性変化を評価する。^{*1} 支保工の影響による岩盤と埋め戻し材の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性および水理特性変化を評価する。^{*1} 上記を入力条件として、支保工部分と埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。^{*1} 上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。^{*1} 岩盤の変形を条件として支保工/埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。（必要に応じて繰り返す。）^{*1} 岩盤/支保工/埋め戻し部分の力学挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。^{*1} 	<ul style="list-style-type: none"> JNCにおいて以下の研究を実施中 支保工（コンクリート）の化学的劣化挙動と、その劣化に伴う力学特性および水理特性変化に関する研究^{*1} 支保工の影響による岩盤と埋め戻し材の化学的劣化挙動と、その劣化に伴う力学特性変化に関する研究^{*1} 上記を入力条件とした、支保工部分と埋め戻し部分の力学挙動の再評価^{*1} 化学的劣化および力学挙動を考慮した透水性の評価^{*1} JNCにおいて以下の研究を計画中 ベントナイト含有率を下げた埋め戻し材に関する試験 幌延における坑道閉鎖試験、セメント影響試験、緩衝材/岩盤クリープ試験 	TNL2	
		坑道内埋め戻し部分の物質移行評価が可能なこと。	埋め戻し部分の透水性を評価すること。	<ul style="list-style-type: none"> 上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。^{*1} 岩盤の変形を条件として支保工/埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。（必要に応じて繰り返す。）^{*1} 岩盤/支保工/埋め戻し部分の力学挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。^{*1} 	<ul style="list-style-type: none"> 上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。^{*1} 岩盤の変形を条件として支保工/埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。（必要に応じて繰り返す。）^{*1} 岩盤/支保工/埋め戻し部分の力学挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。^{*1} 	<ul style="list-style-type: none"> 上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。^{*1} 岩盤の変形を条件として支保工/埋め戻し部分の力学挙動の再評価を行う。（必要に応じて繰り返す。）^{*1} 岩盤/支保工/埋め戻し部分の力学挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。^{*1} 	<ul style="list-style-type: none"> JNCにおいて以下の研究を計画中 ベントナイト含有率を下げた埋め戻し材に関する試験 幌延における坑道閉鎖試験、セメント影響試験 	-
		低透水性を確保するためベントナイトを混合すること。 ^{*2}	低透水性を確保するためベントナイトを混合すること。 ^{*2}	<ul style="list-style-type: none"> 低透水性を確保するためベントナイトを混合すること。^{*2} 	<ul style="list-style-type: none"> 低透水性を確保するためベントナイトを混合すること。^{*2} 	<ul style="list-style-type: none"> ベントナイト含有率、供試体規模、試験水をパラメータとした透水試験を実施する。 	<ul style="list-style-type: none"> JNCにおいて以下の研究を実施中 降水系に関しては透水試験によるデータを取得済 JNCにおいて以下の研究を計画中 海水系に関してベントナイト混合率を下げた埋め戻し材仕様の試験 幌延における坑道閉鎖試験、セメント影響試験 	-

*1：TRU研究にて実施中（核燃料サイクル開発機構，2003a）
 *2：ベントナイト混合材に代わる低透水性の材料も検討対象になりえる

表3.2-6 坑道の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (2/2)

時期	何を性能保証するか (基準の内容)		どう保証するのか (方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
飽和後	人工バリア、埋め戻し材、および岩盤の性能発揮に悪影響を与えない	支保工材料が緩衝材、オーバーバック、埋め戻し材および岩盤の性能に悪影響を与えないこと。	支保工材料が緩衝材、オーバーバック、埋め戻し材および岩盤に与える影響を評価すること。 (処分坑道のみ)*1	・支保工に起因するアルカリ性が緩衝材、オーバーバック、埋め戻し材および岩盤に及ぼす影響 (変質 力学/水理特性) を評価する。 *2	・支保工に起因するアルカリ性が緩衝材、オーバーバック、埋め戻し材および岩盤に及ぼす影響 (変質 力学/水理特性) を評価する。 *2 ・低アルカリ性コンクリートの施工性開発を行い、幌延の地下研究施設で施工性の確認を行う。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・セメント材料 (支保工) に起因する岩盤と緩衝材等の化学的変質評価手法の開発*2 ・岩盤と緩衝材等のセメント材料による変質に伴う力学/水理特性評価手法の開発*2 ・低アルカリ性コンクリートの施工性開発 JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における低アルカリ性コンクリート施工性確認試験	TNL3
		緩衝材の温度を制限温度以下に抑えること。 *3	処分坑道間隔を適切に設定すること。	熱解析により緩衝材の温度履歴を評価すると共に、空洞安定性解析で処分坑道間隔の確認を行う。			

*1: 鋼製支保工等も支保工の対象となりえる

*2: TRU研究にて実施中 (核燃料サイクル開発機構, 2003a)

*3: 第2次取りまとめでは、制限温度を100 と設定。今後詳細な検討が必要。

3.2.4 処分孔等

処分孔等(縦置き方式の処分孔と横置き方式の処分坑道)の課題に対する実施の方法を表 3.2-7 ~ 表 3.2-9 に示す。また、表において実施中としたものについて、以下に最近の取り組み概要を示す。

PIT1 : (軟岩の長期挙動研究については、坑道の TNL1 に記述)

PIT2 : 緩衝材ブロックの施工で生じると考えられるブロック間の隙間を模擬した試験装置を設計・製作し、隙間条件、溶液条件を変えて約 60 日 ~ 150 日間の浸漬試験を実施した。浸漬期間中の環境条件(温度分布, Eh)と炭素鋼の自然電位を測定するとともに、腐食減量、腐食深さを測定し、緩衝材中における炭素鋼の腐食の局在化の検討を行った。得られたいずれのデータもこれらの孔食係数に比較して十分に小さいことがわかる。また、隙間の有無による違いも認められなかった。よって本試験条件の範囲では、緩衝材中に隙間部が存在してもそれによる顕著な腐食の局在化が発生しないことが確認された(図 3.2-10 参照)(サイクル機構, 2003b)。

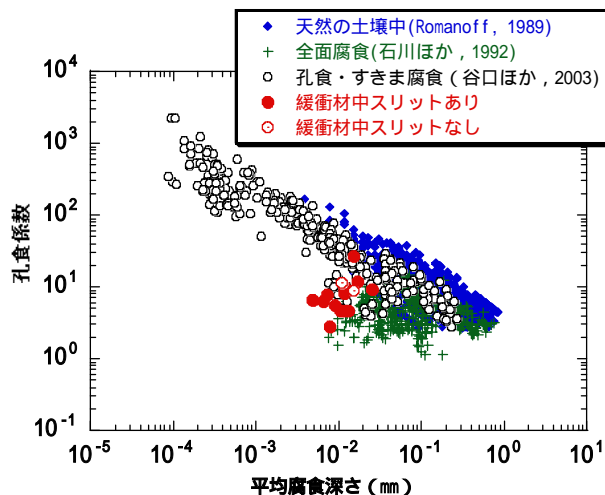


図 3.2-10 炭素鋼の平均腐食深さと孔食係数の関係

PIT3 : (セメント影響評価研究については、埋め戻し材の BKF2 に記述)

PIT4 : (セメント影響評価研究については、埋め戻し材の BKF2 に記述)

(低アルカリ性コンクリートについては、坑道の TNL3 に記述)

表3.2-7 処分孔等の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法(1/3)

時期	何を性能保証するか(基準の内容)		どう保証するのか(方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
建設、 操業、 埋め戻し	人工バリア を内部に設置する	空洞安定性が確保されること。	掘削時、空洞維持期間の空洞安定性を評価する。	・弾性、弾塑性、粘弾性、弾粘塑性等、地質特性とフェーズを考慮したモデルにより評価する。	・岩盤の時間依存性を考慮した評価を行う。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・施設設計への反映を目的とした軟岩の長期挙動研究 JNCにおいて以下の研究を計画中 ・深地層の研究施設(幌延等)における施設設計手法の適用性確認	PIT1
		緩衝材定置に支障のない湧水状態であること。	湧水状態と緩衝材の定置状態の関連を評価する。	・湧水量や局部湧水が緩衝材の定置状態に及ぼす影響を評価する。	・湧水量や局部湧水が緩衝材の定置作業や定置直後の状態に及ぼす影響を評価する。		
		緩衝材の定置作業に支障のない寸法的余裕を持つこと。	処分孔の形状寸法と緩衝材の定置状態の関連を評価する。	・処分孔の径、傾き、底面状態、肌落ちなどが定置状態に及ぼす影響を評価する。	・処分孔の径、傾き、底面状態、肌落ちなどが定置作業や定置直後の状態に及ぼす影響を評価する。		
緩衝材 膨潤中 ～膨潤 後	人工バリア が所定の性能を発揮すること	緩衝材の性能に悪影響を与えない湧水状態であること。	湧水状態と緩衝材の膨潤挙動の関連を評価する。*1	・湧水量や局部湧水及び湧水下での定置状態が緩衝材の膨潤挙動に及ぼす影響を評価する。	・湧水量や局部湧水及び湧水下での定置状態が緩衝材の膨潤挙動に及ぼす影響を評価する。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・緩衝材の隙間がオーバーバックの腐食に与える影響評価研究 ・隙間を考慮した緩衝材等の膨潤挙動解析手法の開発 JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における定置精度確認試験 *2	PIT2
		緩衝材の性能に悪影響を与えない形状寸法であること。	処分孔の形状寸法と緩衝材の膨潤挙動の関連を評価する。*1	・処分孔の径、傾き、底面状態、肌落ちなどが膨潤挙動に及ぼす影響を評価する。	・処分孔の径、傾き、底面状態、肌落ちなどが膨潤挙動に及ぼす影響を評価する。		
		緩衝材の性能に悪影響を与えない亀裂状態であること。	亀裂の位置や頻度、特性と緩衝材の膨潤挙動の関連を評価する。*1	・亀裂の位置や頻度、特性と緩衝材の膨潤挙動の関連を評価する。	・亀裂の位置や頻度、特性と緩衝材の膨潤挙動の関連を評価する。		

*1: 評価の結果、不具合が生じる場合は必要な処置を講じる

*2: 他機関との連携が適切

表3.2-8 処分孔等の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法(2/3)

時期	何を性能保証するか(基準の内容)		どう保証するのか(方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
緩衝材 膨潤中 ～膨潤 後	坑道に沿ったルートが核種移行のクリティカルパスにならない	緩み域の物質移行評価が可能なこと。	岩盤損傷の少ない施工方法を採用すること。	・機械掘削工法を採用している。	機械掘削工法における岩盤損傷の定量的評価を行う。	JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における機械掘削による坑道の掘削影響試験	—
		支保工部分の物質移行評価が可能なこと。	緩み領域の範囲と透水性を評価すること。	<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材施工における隙間を考慮した膨潤実験および大変形モデル等による解析により緩衝材の膨潤挙動を評価し、膨潤応力と力学特性を把握する。 ・支保工(コンクリート)の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性および水理特性変化を評価する。*1 ・支保工の影響による岩盤と緩衝材の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性変化を評価する。*1 ・上記を入力条件として、支保工部分と緩衝材部分の力学変形挙動評価を行う。*1 ・上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。*1 ・岩盤の変形を条件として支保工/緩衝材部分の力学挙動の再評価を行う。(必要に応じて繰り返す。)*1 ・岩盤/支保工/緩衝材部分の力学変形挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。*1 	<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材施工における隙間を考慮した膨潤実験および大変形モデル等による解析により緩衝材の膨潤挙動を評価し、膨潤応力と力学特性を把握する。 ・支保工(コンクリート)の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性および水理特性変化を評価する。*1 ・支保工の影響による岩盤と緩衝材の化学的劣化挙動を評価すると共に、劣化に伴う力学特性変化を評価する。*1 ・上記を入力条件として、支保工部分と緩衝材部分の力学変形挙動評価を行う。*1 ・上記結果を内圧条件として周辺岩盤のクリープ解析を行い、岩盤の変形挙動を評価する。*1 ・岩盤の変形を条件として支保工/緩衝材部分の力学挙動の再評価を行う。(必要に応じて繰り返す。)*1 ・岩盤/支保工/緩衝材部分の力学変形挙動からそれぞれの間隙率を評価し、間隙率と透水性の関係を求め、劣化による水理特性変化と合わせて各部位の透水性を評価する。*1 	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・支保工(コンクリート)の化学的劣化挙動と、その劣化に伴う力学特性および水理特性変化に関する研究*1 ・支保工の影響による岩盤と緩衝材の化学的劣化挙動と、その劣化に伴う力学特性変化に関する研究*1 ・上記を入力条件とした、支保工部分と緩衝材部分の力学変形挙動評価*1 ・化学的劣化および力学変形挙動を考慮した透水性の評価*1 JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における、セメント影響試験、緩衝材/岩盤クリープ試験	PIT3

*1: TRU研究にて実施中(核燃料サイクル開発機構, 2003)

表3.2-9 処分孔等の性能保証に関わる今後の課題に対する実施の方法 (3/3)

時期	何を性能保証するか(基準の内容)		どう保証するのか(方法、解説)		今後の課題	実施の方法	取組概要
	役割	基準のポイント	設計の要件	評価内容 (評価方法、データベース)			
緩衝材 膨潤中 ～膨潤 後	人工バリア および岩盤 の性能発揮 に悪影響を 与えない	支保工材料が緩衝材， オーバーバックおよび 岩盤の性能に悪影響を 与えないこと。	支保工材料が緩衝材 に与える影響を評価 する(処分坑道の み)こと。	・支保工に起因するアルカリ性が岩 盤と緩衝材に及ぼす影響(変質 力 学/水理特性)を評価する。	・支保工に起因するアルカリ性が岩盤と緩衝材に 及ぼす影響(変質 力学/水理特性)を評価す る。*1 ・低アルカリ性コンクリートの施工性開発を行 い、実工事において施工性の確認を行う。	JNCにおいて以下の研究を実施中 ・セメント材料(支保工)に起因する岩盤と緩衝 材等の化学的変質評価手法の開発*1 ・岩盤と緩衝材等のセメント材料による変質に伴 う力学/水理特性評価手法の開発*1 ・低アルカリ性コンクリートの施工性開発 JNCにおいて以下の研究を計画中 ・幌延における低アルカリ性コンクリート施工性 確認試験	PIT4
		緩衝材の温度を制限温 度以下に抑えること。 *2	処分孔間隔を適切に 設定すること。	熱解析により緩衝材の温度履歴を評 価すると共に、空洞安定性解析で処 分孔間隔の確認を行う。			

*1: TRU研究にて実施中(核燃料サイクル開発機構, 2003)

*2: 第2次取りまとめでは、制限温度を100 と設定。今後詳細な検討が必要。

4 おわりに

本報告では、「進め方と反映先報告書」で整理された課題に対するサイクル機構での取り組みを整理した。これにより安全規制の観点から性能を保證すべき項目と、サイクル機構における研究開発の関係が明確となり、今後の処分事業の進展や安全基準・指針等の策定に対する基盤情報となるものとする。ただし、本報告の内容は完結したものではなく、今後の研究開発の進展に従って最新の情報により見直しを行っていく。

今後は性能保証項目（案）を評価するツールとなるモデル、評価手法やデータベースなどについての現状をとりまとめる予定である。

参考文献

- 原子力安全委員会：高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方について（第1次報告），原子力安全委員会，平成12年11月6日。（2000）。
- 通商産業省：特定放射性廃棄物の最終処分に係る基本方針，通商産業省告示第591号，平成12年10月2日。（2000）。
- 核燃料サイクル開発機構：“概況報告（環境保全対策），1.3 低レベル放射性廃棄物（TRU 廃棄物）の処分技術開発”，サイクル機構技報，No.19，2003.6，pp.98。（2003a）
- 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。（2003b）
- 川上進，杉田裕，栗原雄二，神徳敬，谷口直樹，油井三和，棚井憲治，柴田雅博，本間信之：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，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 2002-026。（2003）
- 杉田 裕，菊池広人：人工バリアにおける緩衝材の隙間膨潤挙動に関する基礎試験，サイクル機構技術資料，JNC TN8430 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。（2003a）
- 杉田 裕，伊藤 彰，川上 進：プロトタイプ処分場プロジェクトにおける処分環境条件および計測項目，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 2002-027。（2003b）
- 杉田 裕，藤田朝雄，川上 進，油井三和，戸井田克：原位置における実規模プラグのシーリング性能に関する研究（ ），日本原子力学会 2004 年春の大会要旨集。（2004）
- 岩田 裕美子，菅野 毅，松本 一浩，棚井 憲治：緩衝材の流出 / 侵入現象評価(2) - 固相拡散モデルの開発 - ，日本原子力学会 2004 年春の大会。（2004）
- 高瀬博康，青山裕司，大井貴夫，三原守弘，佐原史浩：TRU 廃棄物処分における N.F.水理場の変遷に関する研究(2) ニアフィールド水理場の長期的変遷評価システムの構築 ，日本原子力学会 2002 年秋の大会予稿集（第 分冊），pp.642-643。（2002）
- N. Chandler, A. Cournut, D. Dixon, C. Fairhurst, F. Hansen, M. Gray, K. Hara, Y. Ishijima, E. Kozak, J. Martino, K. Masumoto, G. McCrank, Y. Sugita, P. Thompson, J. Tillerson, and B. Vignal : THE FIVE YEAR REPORT ON THE TUNNEL SEALING EXPERIMENT AN INTERNATIONAL PROJECT OF AECL, JNC, ANDRA and WIPP , AECL-12127. (2002)
- 山本卓也，青木智幸，瀧 治雄，城まゆみ：堆積軟岩の長期挙動に関する調査試験研究，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 TJ5400 2003-001。（2003）
- Romanoff, M.: Underground Corrosion, Originally Issued by NBS in 1957, Reprinted by NACE, p.80. (1989)
- 石川博久，本田 明，鶴留浩二，井上邦博，小畑政道，佐々木憲明：オーバーパック候補材料選定と炭素鋼オーバーパックの寿命評価，動燃事業団技術資料，PNC TN8410 92-139。（1992）
- 谷口直樹，川崎 学，川上 進，鈴木治雄：弱アルカリ性およびアルカリ性環境における炭素鋼オーバーパックの局部腐食進展挙動，サイクル機構技術資料，JNC TN8400 2003-016。（2003）

付 - 1 埋め戻しの効果に関する感度解析的検討

処分場建設のために掘削された坑道を放置しておくと、地圧の作用により坑道の力学的安定性が損なわれたり、それ自身が地下水の卓越した水みちとなるなど、処分場全体のバリア性能に有意な影響を及ぼすことが予測される。また、地下施設と地上とを結ぶ空洞が残置されていると、処分場と生活圏とを直結する流路になる。また、処分場に人間が不用意に接近することも考えられる。処分場を人間とその生活圏から隔離するという、地層処分の基本概念に影響を与えないように、地下施設の坑道は適切に処置しておく必要がある。坑道は人工バリアを設置するための輸送経路であり、人工バリアが設置された後は、その性能を損なわないように残された坑道を充填することが必要となる。

したがって、埋め戻し材の役割は大きく、「核種移行のクリティカルパスにならない」こと、「人工バリアの性能発揮に悪影響を与えない」ことである。

しかし、埋め戻し部がクリティカルパスとならないための要件は明確になっておらず、現状では保守的に天然バリア（岩盤）と同等の低透水性を有することとされている。可能性として埋め戻しが不十分であっても人工バリアが十分に機能を発揮し、天然バリアを経由するケースが基本となるのであれば処分の安全性は確保される。

このような観点から、埋め戻し材やプラグが有すべき性能に関して、透水性に着目した定量的な検討を行った。

検討概要：横置き方式における 100m の連絡坑道を比較的に密に埋め戻す部分と粗に埋め戻す部分を設けた場合、連絡坑道 100m の平均透水係数を算出した。

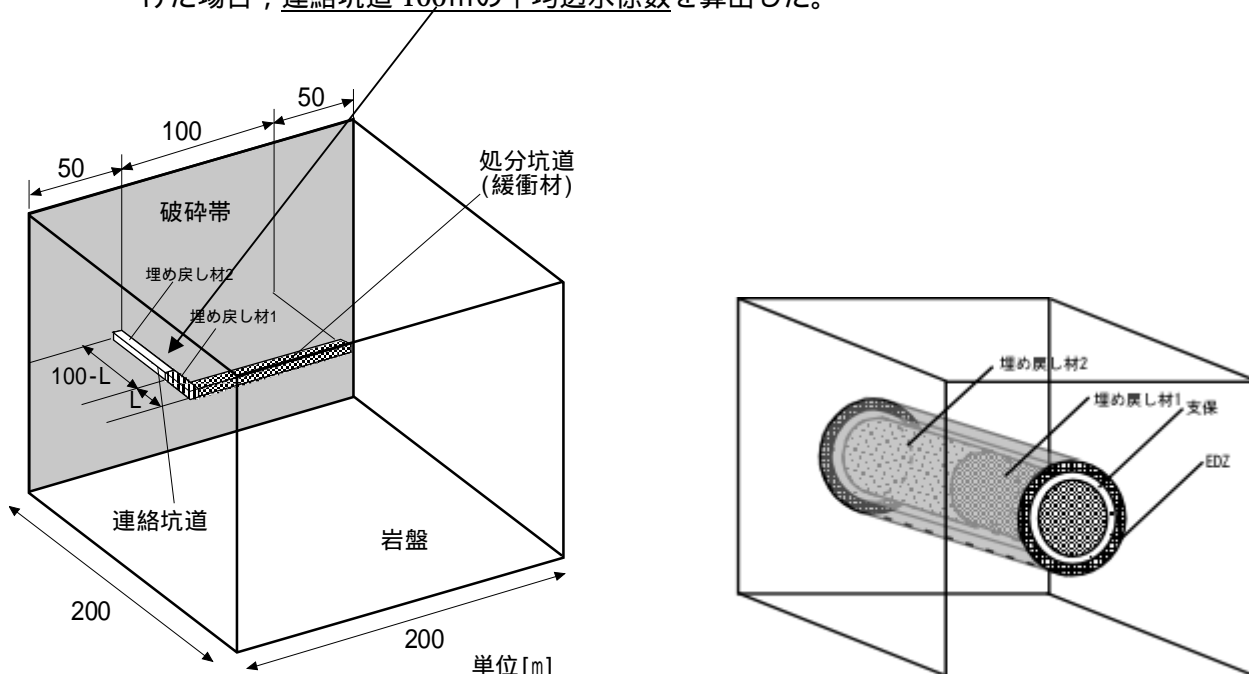


図-付 1 埋め戻し材の検討概念モデル

K：連絡坑道 100m の平均透水係数， K_r ：岩盤の透水係数， K_z ：EDZ の透水係数， K_s ：支保の透水係

数, K_{f1} : 埋め戻し材 1 の透水係数, K_{f2} : 埋め戻し材 2 の透水係数, r_f : 坑道半径, r_z : EDZ 厚さ, r_s : 支保厚さ, とすると,

連絡坑道 100m の平均透水係数 K は 透水係数の並列複合および直列複合の関係式(後述の 参考 参照) から次のように求められる。

$$K = \frac{100K_1K_2}{LK_2 + (100-L)K_1} = \frac{100K_1K_2}{L(K_2 - K_1) + 100K_1} \quad (1)$$

ここに,

$$K_1 = \frac{(2r_f + 2r_s + r_z)r_zK_z + (2r_f + r_s)r_sK_s + r_f^2K_{f1}}{(r_z + r_s + r_f)^2}$$

$$K_2 = \frac{(2r_f + 2r_s + r_z)r_zK_z + (2r_f + r_s)r_sK_s + r_f^2K_{f2}}{(r_z + r_s + r_f)^2} \quad (2)$$

また, 各透水係数を岩盤の透水係数であらわすと次のようになる。

$$K_{f1} = aK_r, \quad K_{f2} = bK_r, \quad K_s = cK_r, \quad K_z = dK_r \quad (3)$$

ここに, a, b, c, d は定数

(3) の関係を (2) に用いると次のような関係が求まる。

$$K_1 = K_r \frac{d(2r_f + 2r_s + r_z)r_z + c(2r_f + r_s)r_s + ar_f^2}{(r_z + r_s + r_f)^2}$$

$$K_2 = K_r \frac{d(2r_f + 2r_s + r_z)r_z + c(2r_f + r_s)r_s + br_f^2}{(r_z + r_s + r_f)^2} \quad (4)$$

ここで, $r_f=2.5\text{m}$, $r_z=2\text{m}$, $r_s=0.5\text{m}$ とし, 岩盤の透水係数 K_r を第 2 次取りまとめの設計用岩盤特性データセットより 10^{-9}m/s , EDZ の透水係数 K_z を岩盤の 10 倍の 10^{-8}m/s , 劣化コンクリートを想定した支保工の透水係数 K_s を砂相当の 10^{-5}m/s とすると $c=10^4$, $d=10$ となり, (4) 式は,

$$K_1 = K_r(1740 + 0.25a) \quad K_2 = K_r(1740 + 0.25b) \quad (5)$$

となり, これを (1) 式に代入すると,

$$\frac{K}{K_r} = \frac{(174000 + 25b)}{\frac{L(b-a)}{(6960 + a)} + 100} \quad (6)$$

の関係が得られる。

ここで, K_{f1} K_{f2} とし, 上記の条件から,

$10^{-9}\text{m/s} < K_{f1}$ K_{f2} 10^{-5}m/s となり, したがって a, b は, $1 < a$ b 10^4 となる。

この条件の基で K/K_r と L との関係を見ると図-付 2 のようになる。

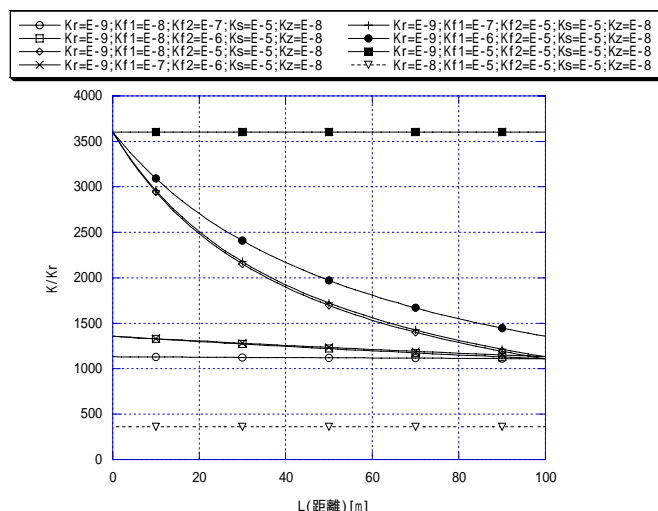


図-付 2 埋め戻しが坑道の平均透水係数に与える影響

連絡坑道の平均透水係数 K は、岩盤の透水係数 K_r と支保工の透水係数 K_s との差によって支配されるものであり、このことから埋め戻し材の透水係数が岩盤と支保工の間であれば坑道全体に対する影響はそれほど大きくないと言える。

整理すると、支保工、EDZ も含めて坑道がクリティカルパスとならないように埋め戻すためには、支保工、EDZ、埋め戻し部分を岩盤と同等以上の性能をもつようにする。

- (1) 支保材の長期評価を行いその中から岩盤と同等以上の性能を持つ材料を選択する。
- (2) 長期に岩盤と同等以上の性能を持つよう EDZ を改良するグラウトを行う。
- (3) 岩盤と同等以上の性能を持つように埋め戻し材のベントナイト配合比を多くする。

粘土プラグを適切に施工して、支保工、EDZ、埋め戻し部分がクリティカルパスとならないようにする。

- (1) 支保材、グラウト材、埋め戻し材には長期性能を期待しない。
- (2) 粘土プラグの長期評価を行い、支保工、EDZ、埋め戻し部分を遮断する長期性能を期待する。

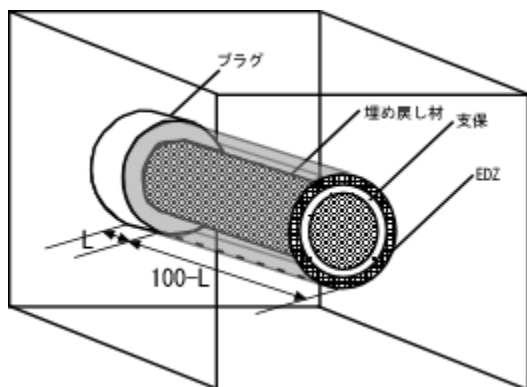


図-付 3 プラグ設置概念モデル

上記 の考え方に基づき下記のようにプラグがある場合を想定した連絡坑道の平均透水係数を算出する（図-付 3 参照）。

K : プラグを含めた連絡坑道の平均透水係数, K_r : 岩盤の透水係数, K_z : EDZ の透水係数, K_s : 支保工の透水係数, K_f : 埋め戻し材の透水係数, K_p : プラグの透水係数

L : プラグの長さ r_f : 坑道半径, r_z : EDZ 厚さ, r_s : 支保厚さ,

連絡坑道の平均透水係数 K は、透水係数の並列複合及び

直列複合の関係式から次のように求められる。

$$K = \frac{100K_1K_2}{LK_2 + (100-L)K_1} = \frac{100K_1K_2}{L(K_1 - K_2) + 100K_2} \quad (7)$$

ここで、

$$K_1 = \frac{(2r_f + 2r_s + r_z)r_z K_z + (2r_f + r_s)r_s K_s + r_f^2 K_f}{(r_z + r_s + r_f)^2}, \quad K_2 = K_p \quad (8)$$

また、各透水係数を岩盤の透水係数であらわすと次のようになる。

$$K_f = aK_r, \quad K_s = cK_r, \quad K_z = dK_r, \quad K_p = xK_r \quad (a,b,c,d \text{ は定数}) \quad (9)$$

(9) の関係を (8) に用いると次のような関係が求まる。

$$K_1 = K_r \frac{d(2r_f + 2r_s + r_z)r_z + c(2r_f + r_s)r_s + ar_f^2}{(r_z + r_s + r_f)^2}, \quad K_2 = xK_r \quad (10)$$

ここで、 $r_f=2.5\text{m}$ 、 $r_z=2\text{m}$ 、 $r_s=0.5\text{m}$ とし、岩盤の透水係数 K_r を 10^{-9}m/s 、EDZ の透水係数 K_z を 10^{-8}m/s 、支保の透水係数 K_s を 10^{-5}m/s とすると $c=10^4$ 、 $d=10$ となり、(10) 式は、

$$K_1 = K_r(1740 + 0.25a) \quad (11)$$

となり、(7) 式に代入すると下記の関係が求められる。

$$\frac{K}{K_r} = \frac{(174000 + 25a)}{\frac{L(1740 + 0.25a - x)}{x} + 100} \quad (12)$$

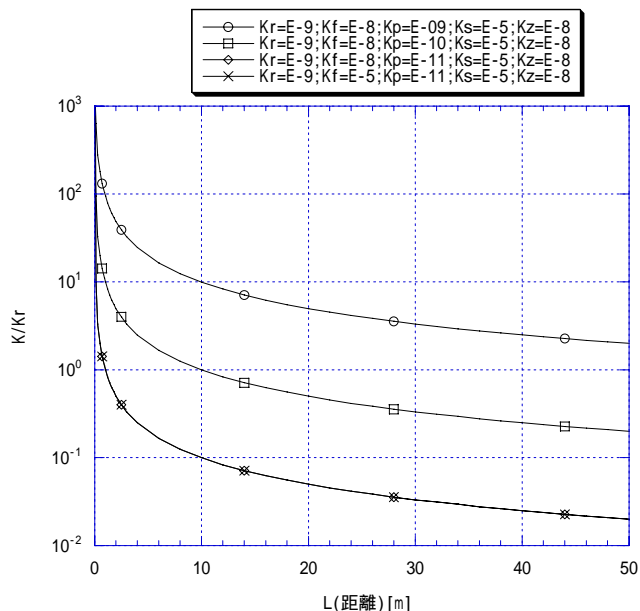


図-付 4 プラグの設置が坑道の平均透水計数に与える影響

図-付 4 はプラグを設置した場合のプラグを含めた連絡坑道 100mの平均透水係数 K の変化を示した

ものであり、図から K/K_r の値はプラグの透水係数 K_p に支配されており、このことから埋め戻し材の透水係数の影響はほとんどないことになる。したがって、

粘土プラグを適切に施工して、支保、EDZ、埋め戻し部分がクリティカルパスとならないようにする。

(1) 支保材、グラウト材、埋め戻し材には長期性能を期待しない。

(2) 粘土プラグの長期評価を行い、支保、EDZ、埋め戻し部分を遮断する長期性能を期待する。

の考え方に基づけば、100m内に10m程度の低透水性のプラグを施しておけば、今回設定したモデルおよび物性値の範囲において、支保工、EDZ、埋め戻し部分がクリティカルパスになることはない。

しかしながら、プラグや埋め戻しの果たすべき役割や機能を合理的に評価するためには、異なるモデル設定や物性値の設定など、より多面的な検討が必要であると共に、支保工材、プラグ材、埋め戻し材の長期挙動評価も重要な検討課題である。

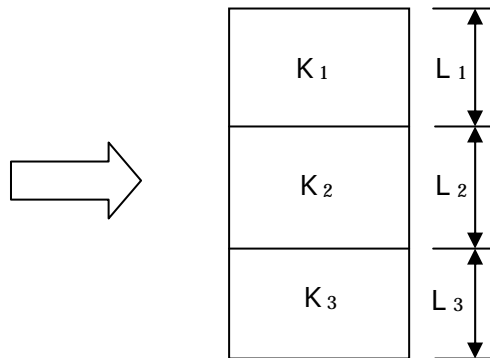
参考

1. 複合部材の透水係数の算定

並列複合（埋め戻し材 + 支保工 + E D Z の透水係数算定に適用）

全体透水係数 K は，

$$K (L_1 + L_2 + L_3) = K_1 L_1 + K_2 L_2 + K_3 L_3$$



直列複合（坑道 + プラグの透水係数算定に適用）

全体透水係数 K は，

$$(L_1 + L_2 + L_3) / K = L_1 / K_1 + L_2 / K_2 + L_3 / K_3$$

