

第2期中期計画とりまとめ

②深地層の研究施設計画成果の取りまとめの考え方について —b. 岩盤中の水理—

地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット
幌延深地層研究ユニット

個別研究成果における達成度(水理分野)

反映先	達成目標	必要な 研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
サイト選定 に関する 意思決定 (その1)	地下水の 流束分布 が小さく、 移動距離 の長い領 域を選定 できる	地下深部にお ける水理特性 や地下水流束 の三次元分布 を推定するた めの調査技術 や観測技術	✓ 調査を展開する際には、当該時点において地下水流動解析結果に与える影響の大きい不確実性要因を優先的に調査することが合理的であることが明らかとなった。 ✓ 地下水圧応答を観測することによって、水理地質構造の連続性や水理地質学的コンパートメントを把握することが可能となった。 ✓ 水理地質学的コンパートメント毎に観測孔を配置することによって、地下水流束の空間分布やコンパートメントを構築している水理地質構造の水理特性を評価することが可能となった。 ✓ 幅広い透水性を有する岩盤を対象とした水理試験技術を開発し、試験データの品質を確保した合理的な試験を実施することが可能となった。 ✓ 電気伝導度検層の適用性を確認した結果、一般的な流体検層と比較して2桁程度低い透水性割れ目まで抽出することが可能となった。	◎

個別研究成果における達成度(水理分野)

反映先	達成目標	必要な 研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
サイト選定 に関する 意思決定 (その2)	地下水の 流束分布 が小さく、 移動距離 の長い領 域を選定 できる	各分野の調査 結果を網羅的 に整理し、地下 水流動モデル を構築するた めの技術	✓地質環境モデル構築支援ツールを開発し、情報量の増加等に伴うモデルの修正や解析の実行を短期間で行うことが可能となった。 ✓モデル化・解析に関わる専門家の意思決定に関わるノウハウ・判断根拠等を表出化し、他の技術者が閲覧することが可能となった。	○
			✓作業仮説として整理した短期変動データを用いた水理地質構造モデル更新の考え方の妥当性や適用性を確認中(取りまとめまでに完了予定)	○

個別研究成果における達成度(水理分野)

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
建設に関する意思決定 (その1)	地下水流動が地下施設の建設及び維持に支障を及ぼさないことを判断できる	地下施設建設に伴う地下水流入量や地下水圧の変化を予測するための調査技術やモデル化・解析技術	✓パイロットボーリング孔を用いた調査をすることによって、地下施設建設の前に地下水流入量の予測精度を向上できることが明らかとなった。 ✓水理地質学的コンパートメントを含む水理地質構造分布の不均質性を考慮した観測孔や観測区間を設置することによって、水理地質構造の水理特性を把握することが可能となった。	○
		地下水流入量や地下水圧の変化を最小化するための施設設計・施工技術	✓パイロットボーリング調査結果に基づきグラウチング計画を策定することによって、適切なグラウチング区間設定やグラウチング手法の選択が可能となった。	○

個別研究成果における達成度(水理分野)

反映先	達成目標	必要な 研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
建設に関する 意思決定 (その2)	地下水流動が地下施設の建設及び維持に支障を及ぼさないことを判断できる	地下施設建設に伴う地下水流入量の観測技術	✓ 区間湧水量を測定することによって、水理特性の不均質性を評価することが可能となった。 ✓ スキン効果(人工構造物やグラウト、亀裂の透水性変化など)が地下水流入量に影響を与えていることが把握できた。	○
			✓ 観測機器の維持管理方法の構築、関連するノウハウの蓄積および品質管理の考え方を構築中(取りまとめまでに完了予定)	○
		地下施設建設に伴う地下水压の変化の観測技術	✓ 水理地質学的コンパートメントを含む水理地質構造分布の不均質性を考慮した観測孔や観測区間を設置することによって、水理地質構造の水理特性を把握することが可能となった。	○
			✓ ガス対策を含む観測機器の維持管理方法の構築、関連するノウハウの蓄積および品質管理の考え方を構築中(取りまとめまでに完了予定)	○

個別研究成果における達成度(水理分野)

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
処分開始に関する意思決定 (その1)	施設閉鎖後に、好ましい地下水流動特性の回復・維持が見込まれることを判断できる	施設閉鎖に伴う地下水流動特性の変化を予測するための調査技術やモデル化・解析技術	✓ 水理地質学的コンパートメントを含む水理地質構造分布の不均質性を考慮した観測孔や観測区間を設置することによって、水理地質構造の水理特性を把握することが可能となった。	○
			✓ 再冠水試験や坑道埋戻し試験によって、湧水量の空間的不均質性が埋戻し材に及ぼす影響について、調査技術やモデル化・解析技術の適応性の確認が必要であることが明らかとなった。	△
			✓ 観測機器の耐久性向上、遠隔モニタリング技術の開発、観測機器の維持管理方法の構築、関連するノウハウの蓄積、および品質管理の考え方の構築が必要であることが明らかとなった。	△
	処分坑道近傍の透水性や流束分布を予測・確認できる	処分坑道近傍(EDZを含む)の透水性や流束分布を予測するための調査技術やモデル化・解析技術	✓ 坑内からのボーリング孔を用いて高透水性から低透水性に至る幅広い透水性の割れ目を連続的に評価可能な調査技術の開発が必要であることが明らかとなった。 ✓ 実際の割れ目の性状を考慮した亀裂ネットワークモデル化技術を開発する必要があることが明らかとなった。	△

個別研究成果における達成度(水理分野)

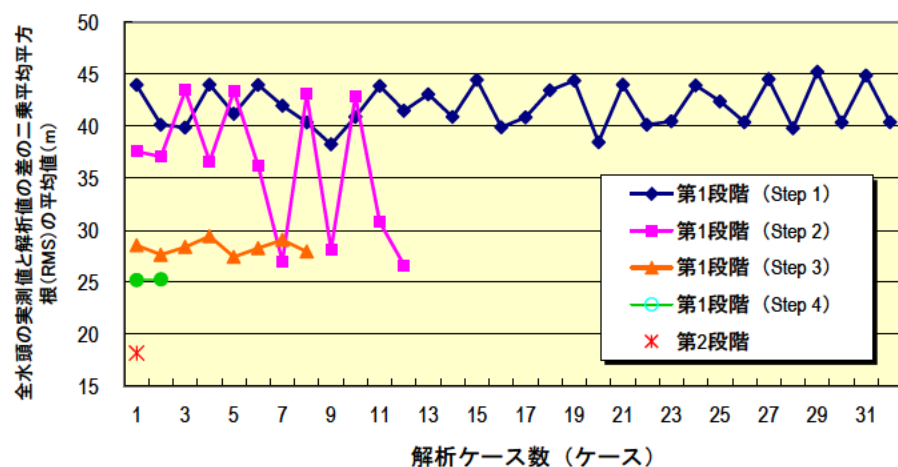
反映先	達成目標	必要な研究開発項目	具体的成果(ノウハウなどの一例)	達成
処分開始に関する意思決定 (その2)	水理特性や地下水流動特性の長期安定性を推定できる	地下水流束分布の長期的な変動幅を推定するための調査技術やモデル化・解析技術	✓ 自然事象等に伴う地下水流動特性の長期変化に及ぼす影響を概括的に理解するためには、地形変化や気候変動を考慮した地下水流動解析が有効であることが明らかとなった。 ✓ 地震に伴い地下水圧が短期的に変化するものの、2年程度で初期状態に回復することや動水勾配は大きく変化しないことが確認できた。	○
			✓ 考慮すべき自然事象や、それらが影響を及ぼす地質環境特性の抽出に関わる体系的な調査・解析・評価技術を構築する必要があることが明らかとなった。 ✓ 地震に伴う地下水圧変化の発生メカニズムや、それが水理特性や地下水流動特性に与える影響を把握する必要があることが明らかとなった。	△

成果ダイジェストA1) 地質環境の初期状態の理解

ー水理特性や地下水流束の三次元分布を推定するための調査方法ー

調査を展開する際には、当該時点において地下水流動解析結果に与える影響の大きい不確実性要因を優先的に調査することが合理的

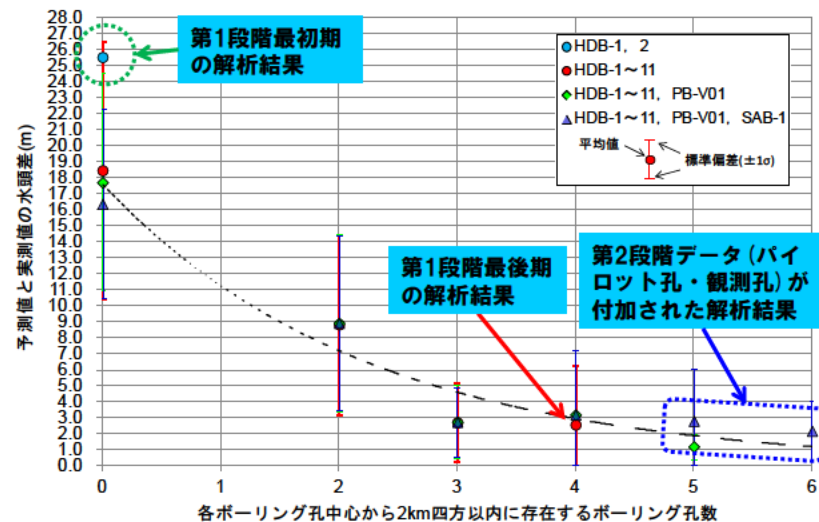
(瑞浪)



調査の進展と地下水流動解析による水頭分布の再現性の変遷

- 第1段階では、調査のステップごとに断層の水理特性の不確実性に着目した感度解析を実施し、解析結果に与える影響の大きい断層を抽出し、次期調査計画へ反映
- 第2段階では、湧水量や水圧低下に基づきモデルを更新

(幌延)



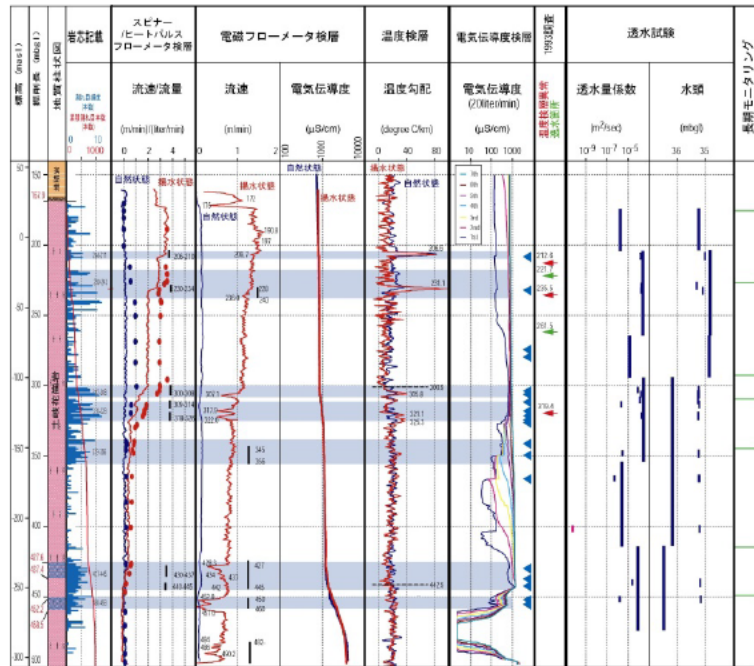
調査の進展と地下水流動解析による水頭分布の再現性との相関

- 調査の進展に伴い、水頭分布の予測値と実測値の差は低減するが、一定以上のボーリング調査の情報を追加しても、誤差の低減に与える影響は小さい
- 調査数量の増加により、地下水流動解析による水頭分布の再現性がどのように変化するかについて検討し、現在の調査解析技術を用いた際の予測精度と、その精度を達成するために必要なボーリング孔数について明らかにした

成果ダイジェストA1) 地質環境の初期状態の理解 —水理特性や地下水流束の三次元分布を推定するための調査方法—

電気伝導度検層の適用性を確認した結果、
一般的な流体検層と比較して2桁程度低い透水性割れ目まで抽出することが可能

(瑞浪／幌延)



DH-2孔における流体検層結果

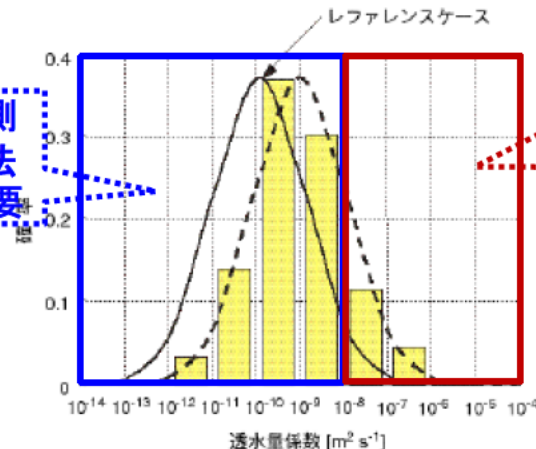
●観察により得られた知見

深層ボーリング孔を利用した電気伝導度検層により、 $10^{-8} \sim 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ よりも大きい透水量係数を有する透水性割れ目を検出することが可能であることを確認

●残された課題

高透水性から核種の遅延効果が期待できる低透水性に至る幅広い透水性の割れ目を坑内からのボーリング孔を用いて連続的に調査可能な技術の開発が必要

この範囲を測定できる手法の開発が必要



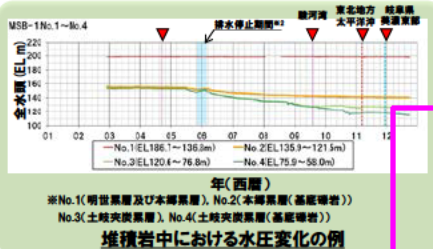
既存技術で測定可能

高透水性から低透水性に至る幅広い透水性の割れ目を連続的に調査可能な技術の開発が必要

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —地下水流入量や地下水圧の変化を予測するための調査方法—

水理地質学的コンパートメントを含む水理地質構造分布の不均質性を考慮した
観測孔や観測区間を設置することによって、水理地質構造の水理特性を把握することが可能

(瑞浪)



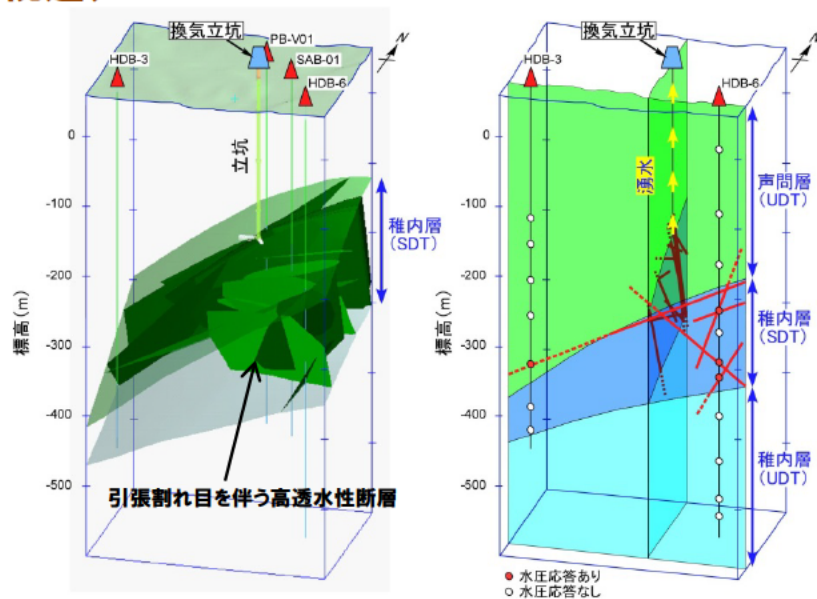
坑道湧水に伴う水圧応答

- 断層面に直交方向が低透水性の断層を境に、水圧変動の傾向が大きく異なることを確認



- 地上からの調査段階で構築した水理地質構造モデルと整合的であることを確認

(幌延)



- 断層運動に伴って引張割れ目が発達しやすい領域(図中のSDT)では水圧応答が認められるが、発達しにくい領域(図中のUDT)では認められない

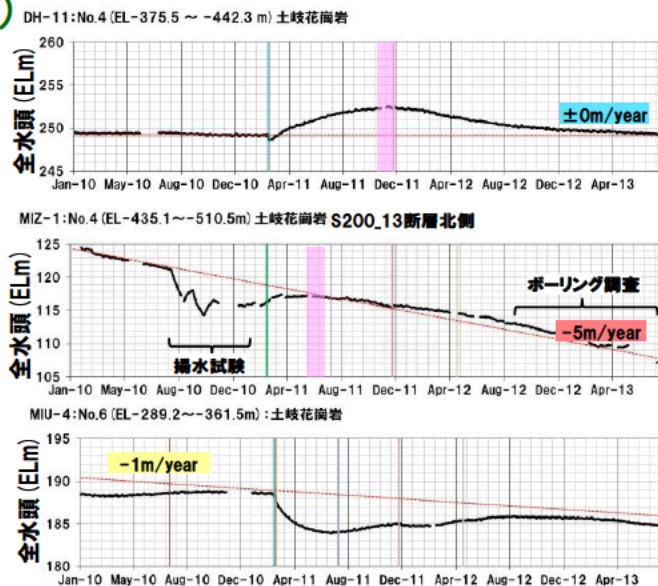


地質環境の短期変動データを用いた水理地質構造モデルの更新の考え方の整理に反映
坑道閉鎖(埋戻し)後の地質環境特性の回復、定常化過程に関わる知見の蓄積

成果ダイジェストA3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解 —地下水流束分布の長期的な変動幅を推定するための調査方法や解析手法—

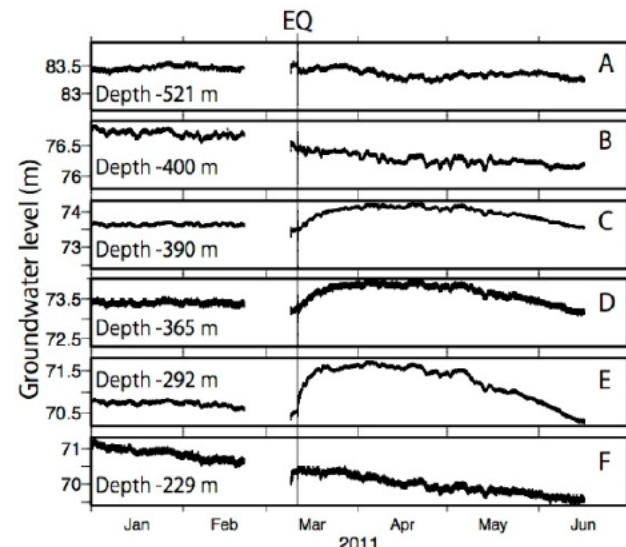
地震に伴い地下水水圧が短期的に変化するものの、
2年程度で初期状態に回復することや動水勾配は変化しないことを確認

(瑞浪)



- 地震の発震機構から推定される岩盤の体積歪みに整合した地下水の水圧変化が地震直後に発生
- 地震後の水圧値および水圧の変化の傾向は、1.5年～2年程度で地震前の状態に回復
- 動水勾配は鉛直方向、水平方向ともに大きく変化していないことを確認
- 水圧の変化傾向の違いから、断層が地下水流動場の境界となる可能性を示唆

(幌延)



Groundwater level change from Jan, 2011 to Jun, 2011.
EQ: Earth quake, Hydraulic conductivity (m/sec): A 2.0×10^{-11} ,
B 4.0×10^{-9} , C 1.6×10^{-6} , D 1.6×10^{-6} , E 3.0×10^{-6} , F 1.0×10^{-9} .

HDB-6孔における間隙水圧モニタリング結果

- ボーリング孔を用いた間隙水圧の長期モニタリングの結果、比較的高い透水性領域($\geq 10^{-6}$ m/sec: 図中のC, D, E)で地震に伴う地下水位変化が認められ、その後、水位は回復傾向を示す
- 水位の回復に要する時間と透水性との間に明確な関連性は認められない

地下水圧変化の発生メカニズムや、それが水理特性や地下水流動特性に与える影響の把握

A1) 地質環境の初期状態の理解:

地下水流動特性を適切に理解するために必要な個別技術を構築するとともに、それらの組み合わせた調査・解析・評価技術を構築し統合化データフローやKMSとして取りまとめ

例えば,

- 地下深部における水理特性や地下水流束の三次元分布を推定するための調査技術や観測技術
 - ✓ 調査を展開する際には、当該時点において地下水流動解析結果に与える影響の大きい不確実性要因を優先的に調査することが合理的であることが明らかとなった。
 - ✓ 地下水圧応答を観測することによって、水理地質構造の連続性や水理地質学的コンパートメントを把握することが可能となった。
 - ✓ 水理地質学的コンパートメント毎に観測孔を配置することによって、地下水流束の空間分布やコンパートメントを構築している水理地質構造の水理特性を評価することが可能となった。
 - ✓ 幅広い透水性を有する岩盤を対象とした水理試験技術を開発し、試験データの品質を確保した合理的な試験を実施することが可能となった。
 - ✓ 電気伝導度検層の適用性を確認した結果、一般的な流体検層と比較して2桁程度低い透水性割れ目まで抽出することが可能となった。
- 各分野の調査結果を網羅的に整理し、地下水流動モデルを構築するための技術
 - ✓ 地質環境モデル構築支援ツールを開発し、情報量の増加等に伴うモデルの修正や解析の実行を短期間で行うことが可能となった。
 - ✓ モデル化・解析に関わる専門家の意思決定に関わるノウハウ・判断根拠等を表出化し、他の技術者が閲覧することが可能となった。

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解:

施設建設・操業時の地下水流動特性の変化を合理的かつ精度よく把握するためのモニタリング手法や、調査・解析・評価技術を構築

例えば、

- 地下施設建設に伴う地下水流入量や地下水圧の変化を予測するための調査技術や解析技術
 - ✓ パイロットボーリング孔を用いた調査をすることによって、地下施設建設の前に地下水流入量の予測精度が向上することが明らかとなった。
 - ✓ 水理地質学的コンパートメントを含む水理地質構造分布の不均質性を考慮した観測孔や観測区間を設置することによって、水理地質構造の水理特性を把握することが可能となった。
- 地下水流入量や地下水圧の変化を最小化するための施設設計・施工技術
 - ✓ パイロットボーリング調査結果に基づきグラウチング計画を策定することによって、適切なグラウチング区間設定やグラウチング手法の選択が可能となった。
- 地下施設建設に伴う地下水流入量の観測技術
 - ✓ 区間湧水量を測定することによって、水理特性の不均質性を評価することが可能となった。
 - ✓ スキン効果(人工構造物やグラウト、亀裂の透水性変化など)が地下水流入量に影響を与えていることが把握できた。
- 地下施設建設に伴う地下水圧の変化の観測技術
 - ✓ 水理地質学的コンパートメントを含む水理地質構造分布の不均質性を考慮した観測孔や観測区間を設置することによって、水理地質構造の水理特性を把握することが可能となった。

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解:

地質学的時間スケールにおける地下水流動特性の長期変動幅を推測するための個別の調査技術や観測技術, モデル化・解析技術を構築

例えば,

➤ 地下水流束分布の長期的な変動幅を推定するための調査技術や解析技術

- ✓ 自然事象等に伴う地下水流動特性の長期変化に及ぼす影響を概括的に理解するためには, 地形変化や気候変動を考慮した地下水流動解析が有効であることが明らかとなった。
- ✓ 地震に伴い地下水水圧が短期的に変化するものの, 2年程度で初期状態に回復することや動水勾配は大きく変化しないことが確認できた。

次の研究計画において対象とすべき課題

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	課題	重要度
処分開始に関する意思決定	施設閉鎖後に、好ましい地下水流動特性の回復・維持が見込まれることを判断できる	施設閉鎖に伴う地下水流動特性の変化を予測するための調査技術や解析技術	✓再冠水試験や坑道埋戻し試験によって、湧水量の空間的不均質性が埋戻し材に及ぼす影響について、調査技術やモデル化・解析技術の適応性の確認が必要であることが明らかとなった。 ✓観測機器の耐久性向上、遠隔モニタリング技術の開発、観測機器の維持管理方法の構築、関連するノウハウの蓄積、および品質管理の考え方の構築が必要であることが明らかとなった。	◎
	処分坑道近傍の透水性や流束分布を予測・確認できる	処分坑道近傍（EDZを含む）の透水性や流束分布を予測するための調査技術や解析技術	✓坑内からのボーリング孔を用いて高透水性から低透水性に至る幅広い透水性の割れ目を連続的に評価可能な調査技術の開発が必要であることが明らかとなった。 ✓実際の割れ目の性状を考慮した亀裂ネットワークモデル化技術を開発する必要があることが明らかとなった。	◎

次の研究計画において対象とすべき課題

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	課題	重要度
処分開始に関する意思決定	水理特性や地下水流動特性の長期安定性を推定できる	地下水流束分布の長期的な変動幅を推定するための調査技術やモデル化・解析技術	✓ 考慮すべき自然事象や、それらが影響を及ぼす地質環境特性の抽出に関わる体系的な調査・解析・評価技術の構築が必要 ✓ 地震に伴う地下水圧変化の発生メカニズムや、それが水理特性や地下水流動特性に与える影響の把握が必要	◎

次の研究計画において対象とすべき課題

反映先	達成目標	必要な研究開発項目	課題	重要度
部分的埋戻しに関する意思決定	坑道で得られる情報に基づき,	部分的埋戻し時の地下水流入量や地下水位の変化の観測方法・解析手法	✓坑道閉鎖を模擬した試験研究による知見のフィードバックが必要	◎
	部分的埋戻しの利点や必要性を提示できる	部分的埋戻し時の地下水流入量や地下水位の変化を考慮した設計・施工方法(優先的パネル閉鎖の考え方など)		
廃棄体定置終了、最終閉鎖に関する意思決定	前段階までの情報に基づき, 施設後の流束分布の回復、長期的安定性の蓋然性を判断できる	URL閉鎖後の観測及び解析による事例の提示	✓URL全体閉鎖時のモニタリングによる実証や解析技術に関わる事例研究が必要	○

今後の課題 メッセージ案(水理分野)

A1) 地質環境の初期状態の理解(サイト選定～処分開始に関する意思決定への反映):

処分環境に近い低透水性岩盤中の水理特性の不均質性や地下水流動特性を評価する技術の開発

- 高透水性から低透水性に至る幅広い透水性の割れ目を連続的に調査可能な技術の開発
- 実際の割れ目の性状を考慮した亀裂ネットワークモデル化技術の開発が必要

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解(処分開始～最終閉鎖に関する意思決定への反映):

施設閉鎖に伴う地下水流動特性の変化を予測するための調査技術やモデル化・解析技術の構築

- 観測機器の耐久性向上, 遠隔モニタリング技術の開発, ガス対策を含む観測機器の維持管理方法の構築, 関連するノウハウの蓄積, および品質管理の考え方の構築
- 坑道閉鎖(埋戻し)後の地質環境特性の回復, 定常化過程に関わる知見の蓄積

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解(処分開始～追加対策に関する意思決定への反映):

地下水流束分布の長期的な変動幅を推定するための体系的な調査・解析・評価技術の開発と地震に伴う地下水圧変化に関わる現象理解

- 考慮すべき自然事象や, それらが影響を及ぼす地下水流動特性の抽出に関わる体系的な調査・解析・評価技術を構築
- 地震に伴う地下水圧変化の発生メカニズムや, それが水理特性や地下水流動特性に与える影響の把握