



瑞浪超深地層研究所 湧水抑制対策検討委員会  
(2008年度会議報告)

Report on Activities of "Technical Committee for Reducing Water Inflow  
into the Deep Shafts at the Mizunami Underground Research Laboratory (FY2008)"

施設建設課

Geoscience Facility Construction Section

東濃地科学センター

Tono Geoscience Center

March 2010

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2010

瑞浪超深地層研究所 湧水抑制対策検討委員会（2008 年度会議報告）

日本原子力研究開発機構  
東濃地科学センター  
施設建設課

（2009 年 12 月 25 日受理）

瑞浪超深地層研究所の研究坑道掘削工事において、湧水抑制対策の工法や評価方法及び施工計画に大学や研究機関における専門家による助言を反映していくため、「湧水抑制対策検討委員会」を 2006 年に設置した。

本資料は、2008 年度に開催した委員会の会議報告を取りまとめたものである。

**Report on Activities of “Technical Committee for Reducing Water Inflow into the Deep Shafts  
at the Mizunami Underground Research Laboratory (FY2008)”**

Geoscience Facility Construction Section

Tono Geoscience Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received December 25, 2009)

This technical committee was organized for the purpose of obtaining technical comments and recommendations from specialists belonging to universities and research institutes, and for deliberating on specific matters concerning the measures for reducing water inflow into the deep shafts at the Mizunami Underground Research Laboratory.

This report presents an outline compilation of the minutes of meetings held in FY2008.

Keywords: Reducing Water Inflow, Deep Shafts, URL (Underground Research Laboratory)

目 次

1.	はじめに	1
2.	湧水抑制対策検討委員会の構成	2
3.	第 6 回湧水抑制対策検討委員会の開催概要	3
3.1	議事概要	3
3.2	委員会議事録	3
3.3	委員会個別説明議事録	5
4.	第 7 回湧水抑制対策検討委員会の開催概要	18
4.1	議事概要	18
4.2	委員会議事録	18
4.3	委員会個別説明議事録	21
5.	第 8 回湧水抑制対策検討委員会の開催概要	30
5.1	議事概要	30
5.2	委員会議事録	30
5.3	委員会個別説明議事録	32
6.	おわりに	38
付録 1	第 6 回湧水抑制対策検討委員会 会議資料	CD-R
付録 2	第 7 回湧水抑制対策検討委員会 会議資料	CD-R
付録 3	第 8 回湧水抑制対策検討委員会 会議資料	CD-R

CONTENTS

1. Introduction.....	1
2. Members of the Technical Committee for Reducing Water Inflow into the Deep Shafts at the Mizunami Underground Research Laboratory .....	2
3. Summary of the committee (6th Time) .....	3
3.1 Agenda .....	3
3.2 Minutes of the committee .....	3
3.3 Minutes of the individual committee .....	5
4. Summary of the committee (7th Time) .....	18
4.1 Agenda .....	18
4.2 Minutes of the committee .....	18
4.3 Minutes of the individual committee .....	21
5. Summary of the committee (8th Time) .....	30
5.1 Agenda .....	30
5.2 Minutes of the committee .....	30
5.3 Minutes of the individual committee .....	32
6. Conclusion .....	38
Appendix 1: Materials for the Technical Committee (6rd Time) .....	CD-R
Appendix 2: Materials for the Technical Committee (7th Time) .....	CD-R
Appendix 3: Materials for the Technical Committee (8th Time) .....	CD-R

## 1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構は、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の基盤となる深地層の科学的研究の一環として、岐阜県瑞浪市において深地層の研究施設である瑞浪超深地層研究所の建設を進めている。瑞浪超深地層研究所は花崗岩を主な対象として研究を行っており、2本の立坑（主立坑及び換気立坑）と複数の水平坑道からなる研究坑道の掘削工事を行っている。

2003年（平成15年）に開始した研究坑道掘削工事は、2005年（平成17年）10月27日時点で主立坑の深度172.6m、換気立坑の深度191.0mまで進捗していた。当該深度における立坑からの排水量は両立坑を合わせて約550m<sup>3</sup>/日であった。研究坑道掘削工事に伴い発生する地下水は排水処理設備により処理した上で水質汚濁防止法に基づく排水基準に適合させ近傍河川へ放流していた。この排水の水質は排水基準を超えてはいないものの、放流先河川の水質のうち2項目（ふっ素及びほう素）が環境基本法に基づく環境基準を超えていたことが2005年（平成17年）10月に判明した。このため関係自治体と協議を行い、排水を停止した上で既存排水処理設備にふっ素及びほう素の濃度低減のための設備を付加し、環境基準以下の水質に浄化できる設備とし、岐阜県および瑞浪市と瑞浪超深地層研究所に係る環境保全協定書を締結（2005年（平成17年）11月14日）した。その後、排水を再開するとともに、研究坑道への湧水量を低減するための湧水抑制対策を講じる検討を進めていくこととした。

湧水抑制対策の有力な手段はグラウトであるが、現状では立坑を対象としたグラウト技術は確立されておらず、当該技術の構築が急務であり、また、長期的視野に立って技術者を養成することも必要である。さらに、研究・建設を着実に進展させて情報発信を行っていくことが求められている。このような状況を踏まえて、瑞浪超深地層研究所研究坑道建設工事における掘削時の湧水抑制対策について、有識者の知見を集約し技術の蓄積を行いつつ、湧水抑制対策の最適化を図ることを目的として、「湧水抑制対策検討委員会」を2006年に設置した。

本資料は、2008年度に開催した第6回委員会から第8回委員会の会議資料をまとめるとともに、委員会で委員から頂いたご意見等とその回答、そして次回委員会への対応について示したものである。

なお第1回委員会から第5回委員会については、「瑞浪超深地層研究所 湧水抑制対策検討委員会（2006年-2007年度会議報告）JAEA-Review 2008-084」を参照されたい。

2. 湧水抑制対策検討委員会の構成

委員会の構成員を表 2-1 に示す。

表 2-1 湧水抑制対策検討委員会 構成員

委員長	西垣 誠	岡山大学大学院 環境学研究科
委員	小島 圭二	地圏空間研究所 (東京大学名誉教授)
委員	徳永 朋祥	東京大学大学院 新領域創成科学研究科
委員	吉田 英一	名古屋大学 博物館
委員	渡辺 邦夫	埼玉大学 地圏科学研究センター
委員	大藪 勝美	財団法人水資源協会
委員	角江 俊昭	東京電力株式会社
委員	山口 嘉一	独立行政法人土木研究所
W G	松島 博之	大林・大成・間特定建設工事共同企業体
W G	草野 隆司	清水・鹿島・前田特定建設工事共同企業体
W G	納多 勝	株式会社大林組東京本社 土木技術本部原子力環境技術部
W G	金田 勉	株式会社大林組東京本社 土木技術本部トンネル技術部
W G	下茂 道人	大成建設株式会社 技術センター土木技術研究所
W G	鈴木 雅行	株式会社間組 土木事業本部 技術部
W G	延藤 遵	清水建設株式会社土木技術本部技術第二部バックエンドグループ
W G	穂刈 利之	清水建設株式会社 技術研究所
W G	戸井田 克	鹿島建設株式会社 技術研究所地下水・地盤環境グループ
W G	久慈 雅栄	前田建設工業株式会社 土木事業本部土木部設計グループ
W G	内田 義博	日本基礎技術株式会社 技術本部・技術部
W G	澁市 秀雄	ライト工業株式会社 営業本部ダム技術営業部
W G	阿部 義宏	日特建設株式会社 技術本部技術開発グループ
W G	三橋 清己	ケミカルグラウト株式会社 基礎本部
W G	龍田 圭亮	株式会社環境総合テクノス 土木部土木エンジニアリンググループ
W G	白土 博司	東電設計株式会社 土木本部地下環境技術部
W G	西本 吉伸	電源開発株式会社 環境エネルギー事業部

### 3. 第 6 回湧水抑制対策検討委員会の開催概要

#### 3.1 議事概要

第 6 回委員会の議事概要を表 3-1 に示す。また委員会資料については、付録にてまとめた。

表 3-1 第 6 回委員会議事概要

第 6 回湧水抑制対策検討委員会 －議事概要－	
1.	日時：平成 20 年 7 月 18 日（金）13:30～17:00
2.	場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 1 会議室
3.	出席者 (委員) 西垣委員長、小島委員、角江委員、山口委員
4.	資料 付録 1 参照
5.	議事 ・開会挨拶 ・主な報告、議論 換気立坑一般部プレグラウチング施工結果 深度 200m 以深の地質環境情報 ・閉会挨拶

#### 3.2 委員会議事録

第 6 回委員会の議事録を下記に示す。なお、委員会時の各委員のご意見と当日の回答及び今後の対応についての詳細については、後の委員個別説明時に頂いたご意見と回答及び今後の対応も含め、表 3-2 に示す。

##### (1) 換気立坑一般部プレグラウチング施工結果

- ・パイロットボーリング及びボーリング横坑からのボーリング孔でのセメンチングの効果が大きかったということであれば、それらの結果を整理することが重要である。合わせて、パイロットボーリング等で計測した透水係数や注入量を記載した方がよい。
- ・単位注入セメント量及びルジオン値の傾向のデータは、接続部、ボーリング横坑や立坑のデータをすべてまとめているが、前段のところでは効果が有ったものと無かったもので分けたり、

施工条件などを考慮して整理した方がよい。

- ・初期配合の違いによる注入量への影響は、本来グラウトによる改良を要求している 2Lu 以上での結果で判断する方がよい。現在の結果では配合切替の方針を導くのは難しいが、定性的には正しいと思われる。
- ・0次孔（改良孔）は高濃度配合注入を行うという「配合切替の方針」は、現在までのデータを論拠にして決定するのは難しいが、1次孔・2次孔を対象とした浸透理論に基づく初期配合設定等を踏まえれば施工の方向性として導き出された結果としてはこれでよい。
- ・次段階施工におけるグラウチングの削孔は掘削部分の外側3mに先端部分が位置する配置とされているが、湧水が発生した深度で削孔の先端部分が掘削部分の外側3mに位置するように配置した方がよい。
- ・掘削の進捗等によって地下水位が下がることから湧水圧が小さくなると思われる。周囲のモニタリングデータを確認して、湧水圧との関係性を評価し、今後のグラウチング計画や施工管理の整理において参考にするとうい。
- ・低角度割れ目が集中した領域であることから、下向きの注入孔と交差しやすいため、現在の孔間隔で対応できたが、今後遭遇する可能性のある高角度亀裂にはどのようにして対応するのか？ また、現在計画されている探り削孔では、切羽に近い部分の湧水が把握できないのではないか。
- ・立坑掘削深度の増加に伴う解放応力の影響によるグラウト効果の低減や、亀裂性状を踏まえた超微粒子などの注入材の選定を検討すること。
- ・今回の施工でうまくいった結果を、どこの現場でも使うことができるように、改良していくことが必要である。
- ・ポストグラウチングの注入順序は上側から下側に向かって行う方が容易ではあるが、先に注入孔を複数削孔し、ルジオン値の大きなところから注入していった方がよい。
- ・湧水処理費と湧水対策費のバランスから、コストの面で最適解を求めることができるのではないか。
- ・掘削壁面から得られる施工結果は重要であり、計画段階で推定したストーリーを説明、補強するものとして活用すること。

## (2) 深度 200m 以深の地質環境情報

- ・換気立坑の深度 200m 以深における壁面観察の結果から、プレグラウチングによるグラウト材と、それ以前に実施したボーリング孔（パイロットボーリング、先行変位ボーリング）からのグラウト材を判別できるような工夫は必要である。LAFZ②では、低角度割れ目の集中している深度から外れた位置において湧水が認められることから、フローメータの結果も含め確認する必要がある。単一亀裂から湧水する場合もあるので、フローメータの情報に加え、透水係数なども含めて評価すること。ボーリング孔において湧水が発生したそれぞれの位置の湧水量は、削孔時における掘削モニタリングのデータを用いて、湧水量の積算値の差分からその位置における湧水量を算出している。そのため、より深い位置の湧水量は、上位区間の湧水がノイズとなるため、精度が低下する。

- ・プレグラウチングを実施する前に、以前に実施した周辺のボーリング孔からのセメンチングによるグラウト材の有無を確認するためには、BTVによるグラウト孔の観察を実施したほうがよい。
- ・換気立坑の周辺においては、LAFZ に分布する低角度割れ目は連続性を有するため、パイロットボーリングなどの周辺のボーリング孔からの注入は、ある程度改良の効果があつたと思われる。
- ・孔間トモグラフィ探査はプレグラウチングや先行変位ボーリングにおけるセメンチング以前に実施している。
- ・孔間トモグラフィ探査の結果に基づく解釈は、対象となるボーリング孔において取得した水理試験のデータや物理検層データと対比しながら行う必要がある。

### 3.3 委員会個別説明議事録

第6回委員会へ出席がかなわなかった委員については、それぞれ個別説明を行い、ご意見を頂いた。資料は第6回委員会と同じものを使用している。

個別説明の議事録を下記に示す。なお、個別説明時の委員のご意見と当日の回答及び今後の対応についての詳細については、委員会や他の個別説明時に頂いたご意見と回答及び今後の対応も含め、表3-2に示す。

#### 3.3.1 個別説明(1)

日 時：平成20年7月24日(水) 13:50~16:50

場 所：東京大学

出席者：徳永委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

#### (1) 換気立坑一般部プレグラウチング施工結果

- ・研究用ボーリングにおけるグラウチング等、今回の施工結果に対し、影響を及ぼす要因を考慮し、仮改良の必要性等を評価した方がよい。
- ・これまでに得られたデータについては評価を確実にを行い、今後の関連技術開発につなげるようにしてもらいたい。
- ・例えば湧水予想箇所にて探り削孔の孔数を増やし、その結果グラウチング不要になり、結果的にコストダウンに繋がる可能性もある。よって、地山状況に応じて、孔位置・数を変更するとよい。
- ・パイロットボーリング結果と坑道掘削後の透水性評価を実施することで、グラウチングによる改良効果が明確になると考える。
- ・ポストグラウチングについては、水平坑道を利用する等、対応策を増やしておくとうい。

(2) 深度 200m 以深の地質環境情報

- ・パイロットボーリングにおける電磁フローメータ検層結果のデータ評価方法について、教えてもらいたい。
- ・ボーリングにおける湧水位置の確認はフローメータ検層の結果のみならず、温度検層データも合わせて評価するとよい。
- ・近年、海外での研究事例として、原位置における応力方向と透水性割れ目の関係に関する報告がなされている。瑞浪でのデータもこの事例に当てはまるか検討して頂きたい。
- ・MIU におけるトモグラフィ結果については、解析対象が広範囲にわたることから評価が難しい。よって、物理探査の専門家に解析結果を相談した方がよい。また本件は MIU の技術開発的要素も含まれるので、十分な評価を実施してもらいたい。

3.3.2 個別説明(2)

日 時：平成 20 年 7 月 30 日（水）10:00～12:15

場 所：名古屋大学博物館

出席者：吉田委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問、及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

(1) 換気立坑一般部プレグラウチング施工結果

- ・今後 MIU の坑道施工においては、グラウチングをせざるを得ないと思われることから、掘削及びグラウチングの実施方法についてオプションを増やす方がよい。
- ・今回は結果的にグラウトが効いていたとの結論であり、教訓が少ない。対象とする割れ目のキャラクタライズを行い、ターゲットとする割れ目のサイズ、連続性、開口幅などを想定した上で、それらに対する結果を評価することが研究機関として重要である。
- ・今後のグラウトには、可能であればグラウトに色素を混ぜておくことのような割れ目にどの段階でのグラウチングにて充填されたのか明確になる。
- ・パイロットボーリング結果と坑道掘削後の透水性評価を実施することで、グラウチングによる改良効果が明確になると考える。
- ・MIU でのグラウトの実施に対する目的・考え方については、将来の処分場事業への反映を見据え、オプションを増やすべきである（例えば、不飽和領域の形成を抑制するための技術開発など）。

(2) 深度 200m 以深の地質環境情報

- ・深度 200m 付近で得られた知見を今後どのように活かすのか、明確にしておいてほしい。
- ・不整合から深度 250m 付近までの透水性構造と、それ以深（特に、深度 300m 付近の割れ目）の特性の違いについて、データを整理し割れ目の成因・発達過程を検討する必要がある。また、地下水の水質についても割れ目の特性を区分（整理）する上でも重要と考える。
- ・整理した割れ目のデータをグラウトの注入仕様に反映していくことが今後の課題になる。

- ・グラウト材の注入状況に関する岩石鏡下サイズでの観察は重要である。
- ・遮水性断層を挟んだ地質構造の違いについては、地化（水質）や水頭の変化などを複合的に検討していく必要がある。
- ・トモグラフィによって得られるデータと切羽観察結果の精度は異なり、得られる知見には差異が生じる。よって、トモグラフィから得られたデータの検証方法を再確認しておいた方がよい。

### 3.3.3 個別説明(3)

日 時：平成 20 年 8 月 8 日（金）13:35～16:15

場 所：水資源協会

出席者：大藪委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問、及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

#### (1) 換気立坑一般部プレグラウチング施工結果

- ・グラウト改良範囲の妥当性確認のため、掘削時の周辺ボーリング孔の地下水位の変化にも着目しておくことよい。
- ・今後大深度での改良範囲については、改良範囲、地下水位、岩盤強度等勘案して決めるべきである。またこれまでのグラウチングは経験が主とならざるを得ない状況もあったが、浸透理論に基づく初期配合設定のように、注入仕様を理論的に体系化しておいてもらいたい。
- ・ポストグラウチングについては、まず地下水の流れを止めない限り効果は低いものとする。このため、ゲルタイムの短い注入材で仮止水し、その後セメントミルクで本止水するとよい。
- ・今後大深度での掘削において、微細亀裂でも高圧湧水になり、グラウチングを実施しなければならないのは理解できる。しかしながら、これまでの経験上普通セメントが駄目なら超微粒子セメントも駄目な場合が多い。よって、最初から超微粒子セメントを使用せず、これまでと同様に普通セメントで注入し、それで駄目なら超微粒子セメントを使用する方がよい。
- ・高透水箇所における配合切替方針は JAEA 提案内容でよいと思う。なお超微粒子セメント使用時にも、普通セメントミルクと基本的に注入材の粘性に大差はないと思うので、普通セメントミルク用の配合切替基準でよい。
- ・今後は他地点の実績に比べ、これまでのグラウチング実績より高水圧下での施工となることから、いままでの常識は通用しないことも考えられる。よって、状況に応じた対応が大切である。
- ・地下水の流れが速い場合は、コストアップ要因であるが高濃度で注入し、近傍で別に注入孔を設け注入仕様に基づく注入をすると、比較的確実に改良可能であると思う。
- ・浸透理論に基づく初期配合設定の妥当性については、試験室レベルで構わないので確認しておくことよい。
- ・立坑では高角度亀裂から突発湧水が出現する可能性があることから十分注意すること。

(2) 深度 200m 以深の地質環境情報

- ・割れ目の成因によって湧水の出現状況が異なると考えられることから、割れ目に着目した整理もしておくといよい。

3.3.4 個別説明(4)

日 時：平成 20 年 8 月 19 日（火）13:00～14:50

場 所：埼玉大学地圏科学研究センター

出席者：渡辺委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

(1) 換気立坑一般部プレグラウチング施工結果

- ・GL-200mと GL-400～450m付近の割れ目の特性については異なるようであることから、湧水抑制対策もそれに留意して実施してもらいたい。
- ・LAFZ 中の大量湧水帯は、先行して実施したボーリング調査中のグラウチングにより大量湧水の発生を抑制したものと考えられる。
- ・ルジオン値での管理は、仮に 1 本の割れ目が湧水に効いている場合、試験区間長によってルジオン値の算定値が異なる。よってルジオン値等の透水性評価結果については、湧水量管理を併用する等、十分留意すること。

(2) 深度 200m 以深の地質環境情報

- ・立坑のスケッチの展開図については、解釈を踏まえた表現となるようにしてほしい。高角度割れ目と低角度割れ目の連結部やステップ状の割れ目面の段差の部分、雁行状に配列した割れ目の移り変わる部分が水みちになっていることがあるので解釈を踏まえることは重要である。これらの解釈から割れ目を形成した運動（せん断なのか引張なのか）について検討してほしい。さらには低角度割れ目の成因について検討を進めてほしい。
- ・トモグラフィ結果については、解釈をあてはめるのではなく岩盤の緩み域等の評価に使用する程度でよいと思われる。

表 3-2 第 6 回委員会で各委員から頂いたご意見と回答について

	コメント	回答
地質・地質構造	孔間トモグラフィ探査の結果に基づく解釈は、対象となるボーリング孔において取得した水理試験のデータや物理検層データと対比しながら行う必要がある。	孔間トモグラフィ探査については、物理探査の専門家とともにボーリング孔において取得した水理試験のデータや物理検層データとの対比やシミュレーションによる解析・解釈結果の妥当性の確認を行いながら、より確度のある解釈結果となるよう解析・解釈・評価を実施している段階です。
	MIU におけるトモグラフィ結果については、解析対象が広範囲にわたることから評価が難しい。よって、物理探査の専門家に解析結果を相談した方がよい。また本件は MIU の技術開発的要素も含まれるので、十分な評価を実施してもらいたい。	
	トモグラフィによって得られるデータと切羽観察結果の精度は異なり、得られる知見には差異が生じる。よって、トモグラフィから得られたデータの検証方法を再確認しておいた方がよい。	
	トモグラフィ結果については、解釈をあてはめるのではなく、岩盤の緩み域等の評価に使用する程度でよいと思われる。	今回実施したトモグラフィ探査は、立坑間の地質構造分布の把握を目的としたものであることから、岩盤の緩み領域の評価は困難であると考えております。緩み領域の評価については、今後、研究坑道を利用した調査研究において実施していきます。
	ボーリングにおける湧水位置の確認はフローメータ検層の結果のみならず、温度検層データも合わせて評価するとよい。	ご指摘の通り、温度検層のデータも参考にして湧水位置を特定しています。今後も、湧水位置を特定する重要なデータとして、地下水の温度に関する情報を活用していきます。
	深度 200m 付近で得られた知見を今後どのように活かすのか、明確にしておいてほしい。	得られた知見については、今後のグラウチング施工計画、湧水量予測、トモグラフィ評価など、さまざまな点について活用していくことを目的として、現在取りまとめ作業を行っています。
	壁面観察結果によれば、高・低角度割れ目がステップ状に連結しているように見える。上部割れ目帯は、せん断運動による割れ目の可能性が考えられる。よって壁面観	これまでの調査結果においては、上部割れ目帯がせん断運動により形成されたことを示唆する証拠はほとんど確認されていないことから、全体としては伸縮性の割れ

	<p>察結果により確認された岩盤内割れ目のうち、特に低角度割れ目が生成した要因について、一般的な評価で構わないので検討してもらいたい。また、湧水に対し、低角度割れ目が与える影響について検討してもらいたい。</p>	<p>目帯であると考えています。しかし、正馬様用地で実施したボーリング調査では、上部割れ目帯中に条線を伴った低角度割れ目が確認されていることから、ご指摘の点を踏まえつつ、割れ目の再動の観点も含めて調査を継続します。</p>
<p>水理・水理地質モデル・湧水量</p>	<p>LAFZ②では、低角度割れ目の集中している深度から外れた位置において湧水が認められることから、フローメータの結果も含め確認する必要がある。単一亀裂から湧水する場合もあるので、フローメータの情報に加え、透水係数なども含めて評価すること。</p>	<p>湧水を伴う割れ目は、削孔時における掘削モニタリングのデータやフローメータ検層、温度検層の結果に基づき特定しています。掘削モニタリングのデータについては、湧水量の積算値の差分からその位置における湧水量を算出しています。そのため、より深い位置の湧水量は、上位区間の湧水がノイズとなるため、正確に読み取れません。このように上位区間の情報の混入が避けられないため、掘削モニタリングのデータは掘削中の湧水や孔壁崩壊等への対策のための速報的な情報として取り扱い、フローメータ検層等の結果により補完し評価を行っています。</p>
<p>予測</p>	<p>近年、海外での研究事例として、原位置における応力方向と透水性割れ目の関係に関する報告がなされている。瑞浪でのデータもこの事例に当てはまるか検討して頂きたい。</p> <p>不整合から深度 250m 付近までの透水性構造と、それ以深（特に、深度 400～450m 付近の割れ目）の特性の違いについて、データを整理し割れ目の成因・発達過程を検討する必要がある。また、地下水の水質も割れ目の特性を区分（整理）する上でも重要と考える。</p> <p>遮水性断層を挟んだ地質構造の違いについては、水質や水頭の変化などを複合的に検討していく必要がある。</p>	<p>ご指摘の点については、研究所に分布する遮水性機能を有する断層や割れ目帯等の構造発達過程と合わせて、検討を進めてまいります。地下水の水質については、深度 200m の研究坑道で実施している地下水採水調査などの結果を踏まえて検討を継続していきます（次年度以降も継続）。</p>
	<p>パイロットボーリングおよびボーリング横坑からのボーリング孔でのセメンチングの</p>	<p>坑道掘削に先立ち実施したプレグラウチングの結果と、その前の段階で実施したボ</p>

	<p>効果が大きかったということであれば、グラウチング実施前の水理学的な条件として、パイロットボーリング等からのセメンチング実施時に計測した透水係数や注入量を示し、グラウチングへの効果が読み取れるような記載がよい。</p>	<p>ーリング孔からのセメンチングによる湧水割れ目に対する注入結果を整理し、それらの結果をもとにグラウチングの効果を評価する予定です。</p>
<p>グラウト結果評価</p>	<p>単位注入セメント量及びルジオン値の傾向のデータは、接続部、ボーリング横坑や立坑のデータをすべてまとめているが、前段のところで効果が有ったものと無かったものでわけたり、施工条件などを考慮して整理した方がよい。</p>	<p>施工箇所ごとの単位注入セメント量及びルジオン値を整理したものを、すべての施工箇所についてまとめた内容を提示いたしました。今後は、効果の有無などの観点といった条件によって整理していく予定です。なお、各施工箇所における傾向としては、いずれも注入孔の次数が進むに伴い、単位注入セメント量、ルジオン値とも減少する傾向が見られております。</p>
	<p>初期配合の違いによる注入量への影響は、本来グラウトによる改良を要求している2Lu 以上での結果で判断する方がよい。現在の結果では配合切替の方針を導くのは難しいが、定性的には正しいと思われる。</p>	<p>配合切替の方針については、ご指摘の点に留意し、施工やグラウチング結果の検討を通じて改善を続けていきます。</p>
	<p>0 次孔（改良孔）は高濃度配合注入を行うという「配合切替の方針」は、現在までのデータを論拠にして決定するのは難しいが、1 次孔・2 次孔を対象とした浸透理論に基づく初期配合設定等を踏まえれば施工の方向性として導き出された結果としてはこれでよい。</p>	
	<p>掘削壁面から得られる施工結果は重要であり、計画段階で推定したストーリーを説明、補強するものとして活用すること。</p>	<p>掘削壁面から得られるデータは非常に重要であることは認識しており、壁面観察などに重点を置いた調査を実施中です。今後も結果を整理し、グラウチングの結果と比較検討を行っていきます。</p>
	<p>プレグラウチングを実施する前に、以前に実施した周辺のボーリング孔からのセメンチングによるグラウト材の有無を確認するためには、BTV によるグラウト孔の観察を実施したほうがよい。</p>	<p>施工サイクルの関係もあり、また必ずしもグラウチング孔が以前にセメンチングを行って効果が現れた亀裂に遭遇するとも限らないため、すぐに実施するというのは難しいです。しかし当方（機構）で BTV</p>

	<p>カメラを購入しており、実施できる可能性もあることから、今後、施工中の対策としてのグラウチングではなく、坑道を利用した研究のテーマと位置付け、水平坑道における研究計画として検討します。</p>
<p>換気立坑の周辺においては、LAFZ に分布する低角度割れ目は連続性を有するため、パイロットボーリングなどの周辺のボーリング孔からの注入は、ある程度改良の効果があつたと思われる。</p>	<p>現在、グラウチングの評価を行っている段階であり、ご指摘の点に留意し検討を行っていきます。また、ご指摘の点や得られた知見については、今後のグラウト計画の参考といたします。</p>
<p>坑道掘削後に透水性評価を実施し、パイロットボーリング結果と比較することで、グラウチングによる改良効果が明確になると考える。</p>	<p>現在、グラウチングの評価を行っている段階であり、ご指摘の点に留意し検討を行い、仮改良の必要性やグラウチング実施前の水理学的な条件等について評価していく予定です。</p>
<p>研究用ボーリングにおけるグラウチング等、今回の施工結果に対し、影響を及ぼす要因を考慮し、仮改良の必要性等の評価した方がよい。</p>	
<p>割れ目の成因によって湧水の出現状況が異なると考えられることから割れ目に着目したコア観察をし、整理もしておくことよい。</p>	<p>これまでのグラウトの配合と湧水抑制効果や、割れ目を充填しているグラウトの幅が見掛け上、概ね数 mm から数十 mm 程度であること等を考慮すると、湧水抑制の観点では、グラウト材の配合や材料の種類については、これまでの仕様を基本として問題は無いと考えています。しかし、ご指摘の通り、グラウトが注入した岩盤の顕微鏡サイズの観察を行っていないことから、今後はこれについて調査を行い、必要に応じて効果的なグラウトの注入仕様の立案に反映していきます（次年度以降も継続）。</p>
<p>整理した割れ目のデータをグラウトの注入仕様に反映していくことが今後の課題になる。</p>	
<p>今回は結果的にグラウトが効いていたとの結論であり、教訓が少ない。対象とする割れ目のキャラクタライズを行い、ターゲットとする割れ目のサイズ、連続性、開口幅などを想定した上で、それらに対する結果を評価することが研究機関として重要である。</p>	
<p>グラウト材の注入状況に関する岩石鏡下サイズでの観察は重要である。</p>	
<p>今回の施工でうまくいった結果を、どこの現場でも使うことができるように、改良していくことが必要である。</p>	<p>これまでのグラウチングは既往実績にもとづき基本仕様を設定し実施してまいりましたが、今後は当地点で得られた実績を加</p>

	<p>これまでに得られたデータについては評価を確実にし、今後の技術開発につなげるようにしてもらいたい。</p>	<p>味した仕様、施工方法を検討していきます。さらに注入圧力や注入量などを整理し、他現場にも水平展開をすることができるようグラウチングの評価を行い、施工方法の改善を引き続き実施します(次年度以降も継続)。</p>
	<p>各注入孔の注入圧力、注入量、注入チャート(孔ごとの累計注入量の曲線も含む)について整理し、効果的な注入方法について詳細に検討する必要がある。</p>	
	<p>グラウト改良範囲の妥当性確認のため、掘削時の周辺ボーリング孔の地下水位の変化にも着目しておくとうい。</p>	
	<p>掘削の進捗等によって地下水位が下がることから湧水圧が小さくなると思われる。周囲のモニタリングデータを確認して、湧水圧との関係性を評価し、今後のグラウチング計画や施工管理の整理において参考にするとうい。</p>	
	<p>LAFZ 中の大量湧水帯は、先行して実施したボーリング調査中のグラウチングにより大量湧水の発生を抑制したものと考えられる。</p>	
<p>今後</p>	<p>次段階施工におけるグラウチングの削孔は掘削部分の外側 3m に先端部分が位置する配置とされているが、湧水が発生した深度で削孔の先端部分が掘削部分の外側 3m に位置するよう配置した方がよい。</p>	<p>これまでのグラウチングでは、坑道周辺の改良範囲を 3m に設定し注入孔を配置しました。今後の計画については、この設定の考え方を基本として探り削孔の結果等を考慮し、地質や湧水状況に応じた注入孔の配置としていきます。</p>
<p>ト 計 画</p>	<p>低角度割れ目が集中した領域であることから、下向きの注入孔と交差しやすいため、現在の孔間隔で対応できたが、今後遭遇する可能性のある高角度亀裂にはどのようにして対応するのか？</p>	<p>今回提示した計画図は不変というものではありませんが、これまでの施工方法を基本とし湧水の可能性のある高角度亀裂帯の亀裂に交差するように配置や角度を調整するなど地山の状況に応じて臨機応変に対応していく予定です。</p>
	<p>現在計画されている探り削孔では、切羽に近い部分の湧水が把握できないのではないのか。</p>	<p>切羽中心部にはパイロットボーリングがあり、パイロットボーリングからの情報と現在実施している探り削孔の両方の結果を踏まえることにより、切羽部分を含めた湧水を把握できると考えております。</p>

<p>今後の区間について、探り削孔時に多量の湧水が確認された場合は、所定の削孔延長に至らない場合でもその段階で削孔を中止し、注入することも考えておいたほうがよいと思います（削孔中止基準の作成）。</p>	<p>これまでも大量湧水時には削孔を中止し、直ちに注入を実施しており、ご指摘の通り今後も継続します。</p>
<p>ポストグラウチングの注入順序は上側から下側に向かって行う方が容易ではあるが、先に注入孔を複数削孔し、ルジオン値の大きなところから注入していった方がよい。</p>	<p>ポストグラウチングの計画においては、ご指摘の点を検討していきます。</p>
<p>湧水処理費と湧水対策費のバランスから、コストの面で最適解を求めることができるのではないかと。</p>	<p>湧水に溶解している成分、濃度、量、処理方法等のほかに処理設備場所、社会的条件など様々な要素があり、最適解を求めることは容易ではありません。このため、湧水処理設備の処理能力を超える湧水が発生しないよう、グラウチングにより湧水量を抑制しつつ立坑掘削を進めております。</p>
<p>例えば湧水予想箇所にて探り削孔の孔数を増やし、その結果グラウチングが不要になり、結果的にコストダウンに繋がる可能性もある。よって、地山状況に応じて、孔位置・数を変更するとよい。</p>	<p>湧水箇所に遭遇した場合には、切羽観察の状況を踏まえた上で探り削孔を追加することなど対応します。</p>
<p>ポストグラウチングについては、水平坑道を利用する等、対応策を増やしておくとうい。</p>	<p>水平坑道からのポストグラウチングに関して適用可能な箇所があれば工期やコストの面等を考慮した上で検討します。</p>
<p>今後 MIU の坑道施工においては、グラウチングをせざるを得ないと思われることから、掘削及びグラウチングの実施方法についてオプションを増やす方がよい。</p>	<p>オプションに関する検討としては、条件として工期やコスト、現状の掘削設備仕様等を考慮し実施可能なものがあるか判断する必要があると考えております。技術開発の観点については、坑道を利用した研究段階において検討を進めることを考えております（次年度以降も継続）。</p>
<p>MIU でのグラウトの実施に対する目的・考え方については、将来の処分場事業への反映を見据え、オプションを増やすべきである（例えば、不飽和領域の形成を抑制するための技術開発など）。</p>	
<p>換気立坑の深度 200m 以深における壁面観察の結果から、プレグラウチングによるグラウト材と、それ以前に実施したボーリング孔（パイロットボーリング、先行変位ボ</p>	<p>ご指摘の通りグラウト材に色素を混ぜればグラウチングを行った時期を特定できると考えられ、GL-200m 避難所や GL-300m のアクセス坑道パイロットボーリングに</p>

<p>ーリング) からのグラウト材を判別できるような工夫は必要である。</p>	<p>において一部実施しております。今後コスト等を考慮し実施する予定です(次年度以降も継続)。</p>
<p>今後のグラウトには、可能であればグラウトに色素を混ぜておくと、どのような割れ目が、どの段階のグラウチングで充填されたのかが明確になる。</p>	
<p>今後大深度での改良範囲については、地下水位、岩盤強度等勘案して決めるべきである。</p>	<p>注入仕様に関する体系化の観点から、従来の基準や経験則と、検討している浸透理論にもとづく設定の考え方との整合、妥当性、差異などを整理し、試験室レベルにおける実験の可能性も含め、今後も検討を続けていきます。(次年度以降も継続)</p>
<p>これまでのグラウチングは経験が主とならざるを得ない状況もあったが、浸透理論に基づく初期配合設定のように、注入仕様を理論的に体系化しておいてもらいたい。</p>	
<p>浸透理論に基づく初期配合設定の妥当性については、試験室レベルで構わないので確認しておくといよい。</p>	
<p>ポストグラウチングについては、まず地下水の流れを止めない限り効果は低いものとする。このため、ゲルタイムの短い注入材で仮止水し、その後セメントミルクで本止水するとよい。</p>	<p>ご指摘の通りであり、過去のポストグラウチング施工ならびに今回提示したポストグラウチング案において、水ガラス系の材料によって仮止水範囲を設けた後に本止水を行っております。今後のポストグラウチングへの反映についても検討いたします。</p>
<p>これまではシーティングジョイントが主体でありポルトランドセメントで効果があったが、今後大深度での掘削において微細亀裂でも高圧湧水になり、グラウチングを実施しなければならないのは理解できる。しかしながら、これまでの経験上、超微粒子セメントが普通セメントより有効とは限らない。よって、経済性を踏まえると、最初から超微粒子セメントを使用せず、これまでと同様に普通セメントで注入し、それで駄目なら超微粒子セメントを使用する方がよい。</p>	<p>深度の増大に伴い水圧も増大することから、これまでより小さな亀裂からの湧水に対して、これまで通りの普通セメントのグラウトでは十分な湧水抑制効果が得られないことも考えられます。そのため、亀裂性状に対応して超微粒子セメントなど注入材の選定も行っていく予定です(次年度以降も継続)。</p>
<p>立坑掘削深度の増加に伴う解放応力の影響によるグラウト効果の低減や、亀裂性状を</p>	

<p>踏まえた超微粒子などの注入材の選定を検討すること。</p>	
<p>高透水箇所における配合切替方針は JAEA 提案内容でよいと思う。なお超微粒子セメント使用時にも、普通セメントと基本的に注入材の粘性に大差はないと思うので、普通セメント用の配合切替基準でよい。</p>	
<p>今後は他地点の実績に比べ、これまでのグラウチング実績より高水圧下での施工となることから、いままでの常識は通用しないことも考えられる。よって、状況に応じた対応が大切である。</p>	<p>高水圧下では、これまでより微細な亀裂からの湧水が予想されますので、このような条件に対応した注入方法、注入材料、注入機械などの選定を行っていく予定です(次年度以降も継続)。</p>
<p>地下水の流れが速い場合は、コストアップ要因であるが高濃度で注入し、近傍で別に注入孔を設け注入仕様に基づく注入をすると、比較的確実に改良可能であると思う。</p>	<p>壁面や切羽からのリークやグラウト逸走の観点に立った施工的に有意義なご意見であり、参考とさせていただきます。</p>
<p>ルジオン値での管理は、仮に1本の割れ目が湧水に効いている場合、試験区間長によってルジオン値の算定値が異なる。よってルジオン値等の透水性評価結果については、湧水量管理を併用する等、十分留意すること。</p>	<p>透水性の評価等については、ルジオン値に加えて湧水量の変化について注意します。</p>
<p>現在の注入量が 10L/min と少ないので、もう少し能力のある注入ポンプの使用を検討することも必要と思われる(工程短縮効果がある)。今回穿孔長が 10m と短いのでどの程度がもっとも望ましいか検討課題ですが、青函トンネルでは 40L/min のポンプを使用しました。</p>	<p>グラウチングの工程短縮という観点においてはご指摘の通りであり、実施に向けた検討としては増大する注入圧力に対応したパッカーや大きな機械の設置スペース等の確保が課題として考えられます。</p>
<p>今回の注入孔については全て所定の 3,000L 注入をしているが、注入圧力と配合により、最後の 1:1 の注入を入れた後、例えば 30 分程度経過した段階で注入を停止するなど、注入終了基準を採用することも検討したほうがよい。</p>	<p>現在の換気立坑一般部標準施工フローにおいては、注入圧<math>\geq</math>規定圧となった場合かつ注入速度<math>\leq</math>0.2L/min/m となった場合はダメ押しを 30 分行っておりますが、総注入量を超えた場合は再注入を行うことになっております。そのため、最後はダメ押しを 30 分行うこととなり、ご指摘と同じになります。</p>

<p>現在機械式パッカーを使用しているが、現在の 3MPa 程度の圧力では対応できているものの、今後高圧注入には現状の機械式パッカーでは十分な能力を発揮しないことや、注入圧力により飛び出してきて危険な状況も考えられる。現在のパッカーの使用注入圧力限度の確認と今後の高圧注入をにらんだ高圧注入用のパッカーを検討してみてはいかがでしょうか。例えば、青函トンネルの最終注入圧 8MPa の注入時のパッカーは、φ120mm のガス管を 10m 程度事前に入れて、注入剤で固定後本格的な注入をしました。今後の高圧注入に向けてのパッカーの検討を 300m ステージの横坑で安全を確認しながら試験してみるのも 1 つの方法です。</p>	<p>今後大深度における高圧湧水に対するグラウチングにおいては、ご指摘の通りに高圧注入用のパッカーを採用する必要があり、注入装置や施工の安全方策も含めて、今後の課題とさせていただきます(次年度以降も継続)。</p>
<p>今回立坑周辺の注入として 3m の範囲を注入したが、その注入範囲の確認をする目的で、注入完了区間について、透水試験を 50cm ピッチで行い、改良区間と未改良区間を確認する方法もあると思います。</p>	<p>今回行ったプレグラウチング施工区間はすでに掘削しているため、当該区間ではご指摘の方法による確認を行うことはできませんが、今後、坑道を利用した研究のテーマと位置付け、水平坑道における研究計画の参考とさせていただきます。</p>
<p>立坑では高角度亀裂から突発湧水が出現する可能性があることから十分注意すること。</p>	<p>今まで行った地質調査、パイロットボーリング結果、トモグラフィ結果などを用いて湧水が発生する箇所を予測するとともに、一定長ごとに探り削孔を行って湧水の有無を確認するなど、湧水出現に対する注意を払った上での施工を続けております。ご指摘の点を参考とし、突発湧水の可能性を念頭に置いた施工を行っていきます。</p>

#### 4. 第7回湧水抑制対策検討委員会の開催概要

##### 4.1 議事概要

第7回委員会の議事概要を表4-1に示す。また委員会資料については、付録にてまとめた。

表4-1 第7回委員会議事概要

第7回湧水抑制対策検討委員会 －議事概要－	
1.	日時：平成20年12月5日（金）13:30～17:00
2.	場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第1会議室
3.	出席者 (委員) 西垣委員長、小島委員、吉田委員、大藪委員、角江委員
4.	資料 付録2参照
5.	議事 ・開会挨拶 ・主な報告、議論 平成20年度事業計画の一部変更について 超深地層研究所計画の現状と今後の予定、深度300mの調査研究用水平坑道の現状 委員会報告書の取りまとめ ・閉会挨拶

##### 4.2 委員会議事録

第7回委員会の議事録を下記に示す。なお、委員会時の各委員のご意見と当日の回答及び今後の対応についての詳細については、後の委員個別説明時に頂いたご意見と回答及び今後の対応も含め、表4-2に示す。

###### (1) 平成20年度事業計画の一部変更について

・今後重要となってくるのは、接続空洞掘削による影響と、地下水等の環境の長期的変化である。単一坑道の掘削による調査研究ではわからないことであり、かつ今後の地層処分の研究では必要な内容と思うが、今後の計画で検討してほしい。

- ・ 300m の割れ目が国内の結晶質岩中の割れ目と比べどのような特徴を持っているのか、湧水割れ目をグラウチングで止水できましたという話で終わってしまうのは、技術開発としては不十分な気がするので、評価の段階で検討すること。
- ・ 高水圧下の施工を考慮し、深度 300m 調査研究用水平坑道でも新しいグラウチング技術を適用してみることも視野に入れたらどうか。
- ・ 地下発電所や大被り下のトンネルなど、大深度でのグラウチング技術が磨かれてきたという実績と施工技術がある。そのため、深度 300m 調査研究用水平坑道では、グラウチングと関連した形での地下水の地球化学的性質の変化に関する調査や、物質の移動に関する調査研究等を行うことが、従来のグラウチング技術開発にはない重要な研究開発要素と思われる。

(2) 超深地層研究所計画の現状と今後の予定、深度 300m の調査研究用水平坑道の現状

- ・ 数日前に切羽を見せていただいたが、シングルフラクチャーに粘土鉱物が介在しているような高角度割れ目が何本かあった。今後は、熱変質鉱物で充填しているものと、そうでないものの組み合わせを意識しながら、水みちの性状を見られたらどうか。水みちの性状を分類することにより、割れ目の特徴を意識したレイアウトでのグラウチング手法が課題として出てくると思われる。
- ・ チェック孔は注入する計画とあるが、丁寧すぎる施工のように思える。湧水量の制限があるから慎重に行っていることは理解できるが、今後チェック孔のルジオン値が 2Lu 以下であれば、注入を省略するというのも検討に値するのではないか。
- ・ チェック孔をそのままにするというのは、万が一掘削中に湧水が発生したことを考えると、危険側と思われるため、注入を行う方向性は理解できる。
- ・ 坑道掘削における湧水量低減目標の設定において、今回は排水処理設備の能力を基準に算定しているが、本来なら次の 4 つの考え方があろうと思う。

- ① 立坑内に設置してある排水ポンプの能力に合わせて、湧水量を抑制する
- ② 排水処理設備の能力に合わせて、湧水量を抑制する
- ③ 周囲の地下水環境を変化させても問題がない許容範囲まで、湧水量を抑制する
- ④ 立坑掘削に支障がない程度まで、湧水量を抑制する

地層処分への技術基盤の提供という観点からは、例えばこの 4 つのどれを優先的に考慮して湧水量を抑制すべきかといった考え方を提示することが重要と思われる。このような考え方は、地下の岩盤を対象とした湧水抑制のためのグラウチング計画の指針を作る上で重要と考える。

- ・ 今までのグラウチングでは、周辺環境への影響といった観点では余り考慮されてこなかった。今後は、グラウチングによって坑道内への湧水を止める視点に加えて、グラウチングの有無により周辺環境にどのような影響があるのかを考慮してもらいたい。また現在そのような計測を行い、データがあるのであれば、それを施工にフィードバックする等の工夫をしてほしい。
- ・ 過去に花崗岩体を使ってセメントミルクによるグラウチングの注入実験を行った経験から、平行平板モデルは、亀裂性岩盤におけるグラウチングの浸透挙動を正確に表現しておらず、

実際はモデルより入りにくい。初期配合の目安として使うのだからこれでよいとも思うが、実際はどうだったか確認した方がよい。

- ・ グラウチングは今まで数多く行われてきた経験があるのだから、平行平板モデルを用いて初期配合の妥当性を検討しなくても、経験則で初期配合を決定してもよいのではないか。
- ・ ルジオン値と注入量、注入圧、注入速度などのデータを比較し、検証を行ってほしい。

### (3) 委員会報告書の取りまとめ

- ・ 従来のグラウチング技術と、瑞浪で新規に適用した技術との違いを鮮明にしてほしい。
- ・ この目次を見るかぎりでは、グラウチングの施工についてしか記載されていない。この委員会の初期に色々行われた議論、検討内容を書いてほしい。このままではグラウチングのレポートで終わっている。貴重な資料ではあるが、これだけでは寂しい。
- ・ 瑞浪ではポンプアップを行うことによる経済性の問題、立坑から出てきた排水の処理費用等の現実的な問題が重視されてきたが、地層処分を想定すると、坑道内でベントナイトを取り扱うため、その作業環境確保のためのグラウチングを行うことも考えられる。本委員会はその点が出発点であるため、最初に記載すべきである。
- ・ 坑道掘削の影響により地下水環境がどのように変わるか、もしくは変わらないかといった点についても、今すぐには答えが出ないかも知れないが、報告書の中で触れておくべきである。
- ・ 地層処分への技術基盤の提供を考えると、湧水量の予測と実測の検証まで記述できれば非常によい。
- ・ 地層処分が必要となるグラウチング計画立案の全体フローを作成し、今回、検討した部分を強調すれば、報告書の方向性が見えるのではないか。
- ・ 同じ壁面で、グラウトが充填されているコアと、充填されていないコアをセットで取っているか。またグラウト材が充填されている割れ目と、充填されていない割れ目は同じ構造なのか、それとも異なるかをキャラクタライズしてほしい。地質モデルや割れ目の性状などがレポート内にあれば、次の段階の研究における基礎データとなる。
- ・ 瑞浪の立坑では、湧水帯において周囲 3m をプレグラウチングしている。それがライニングにどう影響を与えるのか。今はまだ深度が 300m だが、これが 500、1000m となった場合、地下水圧がどういう形でライニングへ影響を与えるのか。大深度における安全性を考慮する上で、非常に大事な議論となる。坑内変位も注視しておいた方がよい。また、深度の増加に伴い、応力解放や山はねという問題が今後生じてくる。今までは力学的なものを考慮する必要がなかったのかも知れないが、今後のグラウチング施工では踏み込んでもらいたい。
- ・ 今までのグラウチングはうまくいきすぎたため、逆に淡々とした報告書となってしまっている。しかし、LPG などでは結晶質岩におけるグラウチングでも水が止まらないという事例があるので、参考にして今後の課題として示してほしい。
- ・ 地層処分事業において立坑掘削は発破工法だけではなく TBM で進められることも考えられる。掘削を TBM で行えば、EDZ や接続空洞掘削の問題などがかなり解決されると思っている。日本の TBM の技術は世界最高峰である。掘削を TBM で行うことになると、グラウチングを実施する際の条件設定がかなり変わってくる。現時点では色々な制約があるためできないことは承

知しているが、条件を広げた基盤技術の検討を行った方がよい。

- ・湧水抑制として長期操業ということを考えると、鉱山のように水抜き坑道を作ることも考えられる。またトンネルではグラウチングではなく、水抜きボーリングを行うところが多い。グラウチングではなく水抜きによって制御するという方が安い可能性もある。地層処分事業における長期操業の観点も含めて、一般論として色々な工法を比較しておく必要がある。

#### 4.3 委員会個別説明議事録

第7回委員会へ出席がかなわなかった委員については、それぞれ個別説明を行い、ご意見を頂いた。資料は第7回委員会と同じものを使用している。

個別説明の議事録を下記に示す。なお、個別説明時の委員のご意見と当日の回答及び今後の対応についての詳細については、委員会や他の個別説明時に頂いたご意見と回答及び今後の対応も含め、表 4-2 に示す。

##### 4.3.1 個別説明(1)

日 時：平成 20 年 12 月 24 日（水）14:00～16:15

場 所：東京大学

出席者：徳永委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

##### (1) 平成 20 年度事業計画の一部変更について

- ・中期目標の達成指標である中間深度までの到達については、施工実績として到達した深度ではなく、それまでに取り組んだ研究の内容が適切に評価されるような仕組みになるよう、内部的な努力をすべきであると認識している。

##### (2) 深度 300m 調査研究用水平坑道の現状

- ・先行ボーリングで確認された東北東系の透水性割れ目が顕著な水みちと考えているのであればその特性を評価していくべきである。
- ・先行ボーリングで確認された割れ目の特性と、坑道掘削時の壁面からの湧水状況との関係は極めて重要である。その意味で、先行ボーリングから得られる情報と合わせて施工から得られる情報（例えば壁面観察など）について地質研究者の評価が重要である。

##### (3) 委員会報告書の取りまとめ

- ・報告書には、結果的に湧水が抑制されました、ということではなく、割れ目の特性（例えば亀裂開口幅）とグラウトの関連、MIU の施設規模（立坑径、坑道断面）におけるグラウト（量）の最適化、等のある程度の一般化を目指した検討を加えてほしい。処分事業へのフィードバックの観点では、必要であると認識している。
- ・“まとめ”の前に、処分事業を想定した検討を記述してはどうか。

- ・研究用地周辺の地質環境等の内容については別の報告書などに記載されているので、委員会の報告書では省略してよいと思う。

#### 4.3.2 個別説明(2)

日 時：平成21年1月27日（火）10:00～11:30

場 所：土木研究所

出席者：山口委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

##### (1) 深度300m 調査研究用水平坑道の現状

- ・プレグラウチングの配合で1:1.5を省略していることについて、1:2から1:1に切り替える際に目詰まりが発生せずに注入ができていたのであれば、修正した配合切替基準で注入を実施することに問題はないと思われる。
- ・配合切替時に目詰まりなど注入に不具合が生じることが多いので、注入チャートなど注視するなど、切替時の状況に留意し、1:2から1:1に切り替える際に目詰まりが頻発するようであれば1:1.5を入れる対応とすればよい。
- ・注入終了後の注入孔の養生時間については、できるかぎり時間を長くとるほうが効果的であるので、作業工程を考慮し設定する。
- ・坑道掘削時の湧水量が少なく、掘削の進捗に伴った湧水量の増加がみられないことは、グラウチングの効果であることと、坑道掘削からの時間経過により、坑道周辺の地下水圧などの水理学的な地質環境に変化が生じていることも考えられるのではないかと。

##### (2) 委員会報告書の取りまとめ

- ・報告書は公開図書としていただき、参考文献、学会発表文献などを記載し、今後引用できる報告書としていただきたい。

#### 4.3.3 個別説明(3)

日 時：平成21年3月10日（火）14:00～16:00

場 所：埼玉大学 地圏科学研究センター

出席者：渡辺委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

##### (1) 深度300m 調査研究用水平坑道の現状

- ・研究所用地周辺のボーリング孔での観測において、先行ボーリング掘削、グラウチング、坑道掘削などの作業との関係を把握し履歴を残しておくことが重要であり、地下水流動解析の検証のためのデータとして有用となる。

- ・既存のグラウト技術を用いているなかで、何か新しい知見を提示できるとよい。例えば、坑道掘削時の壁面地質観察結果について、グラウトが注入された割れ目が面的なのか、一次元的なのかなどを系統的にまとめてみると注入状況の傾向がわかるのではないか。
- ・壁面地質観察では、割れ目の形態がステップ状なのか開口性なのか、などに留意して記載するとよい。
- ・配合 1:1、1:0.75 の高濃度のグラウトが多く注入されていることから、透水性の大きな水みちに充填され、透水性の低下に寄与していると考えられる。1孔あたりのグラウトの注入量をグラフ化するとわかりやすい。

(2) 委員会報告書の取りまとめ

- ・高い湧水圧においてグラウトを注入する場合の検討として、注入機材のポンプ能力や設備仕様などの項目があれば今後の対応として参考となるので記述してはどうか。

表 4-2 第 7 回委員会で各委員から頂いたご意見と回答について

	コメント	回答
地質・地質構造	300m の割れ目が国内の結晶質岩中の割れ目と比べどのような特徴を持っているのか。湧水割れ目をグラウチングで止水できましたという話で終わってしまうのは、技術開発としては不十分な気がするので、評価の段階で検討すること。	透水性割れ目の特性評価（例えば介在鉱物や開口幅等）については、可能な範囲で検討を行います。また、今回の湧水抑制の成果を深度 300m 調査研究用水平坑道での施工対策影響評価に反映させていきたいと考えております。
	数日前に切羽を見せていただいたが、シングルフラクチャーに粘土鉱物が介在しているような高角度割れ目が何本かあった。今後は、熱変質鉱物で充填しているものと、そうでないものの組み合わせを意識しながら、水みちの性状を見られたらどうか。水みちの性状を分類することにより、割れ目の特徴を意識したレイアウトでのグラウチング手法が課題として出てくると思われる。	透水性割れ目を含め、亀裂や断層等の不連続構造の成因について、ご指摘の観点で検討を継続しているところです。
	同じ壁面で、グラウト材が充填されているコアと、充填されていないコアをセットで取っているか。またグラウト材が充填されている割れ目と、充填されていない割れ目は同じ構造なのか、それとも異なるかをキャラクターライズしてほしい。地質モデルや割れ目の性状などがレポート内であれば、次の段階の研究における基礎データとなる。	現状では、顕微鏡観察などに適したグラウト材が充填されているサンプルは取得できていませんが、地質モデルや割れ目の性状などご指摘の点を念頭に置き、調査を継続していきます。サンプルの採取につきましては、今後の深度 300m 調査研究用水平坑道や立坑の掘削に伴い、グラウト材が充填されたコアの採取を、施工との兼ね合いを見ながら状況に応じて実施することを考えています。
グ ラ ウ ト 結 果 評 価	チェック孔は注入する計画とあるが、丁寧すぎる施工のように思える。湧水量の制限があるから慎重に行っていることは理解できるが、今後チェック孔のルジオン値が 2Lu 以下であれば、注入を省略するというのも検討に値するのではないか。	ご指摘にある通り、最初は安全側に施工を行うため、チェック孔に注入を行ったという経緯があります。今後は安全性を踏まえ、ルジオン値が低い場合、チェック孔からの湧水量を確認し、湧水量が少ない場合にはチェック孔への注入を省略することも検討します。チェック孔からの湧水量については、施工においてデータを蓄積することにより目安を定めていくことを考え
	チェック孔をそのままにするというのは、万が一掘削中に湧水が発生したことを考えると、危険側と思われるため、注入を行う	

	<p>というのは理解できる。</p>	<p>ています。</p> <p>なお1月中旬までの施工については、チェック孔からの湧水が見られたため、全て孔埋めを行っております。</p>
	<p>ルジオン値と注入量、注入圧、注入速度などのデータを比較し、検証を行ってほしい。</p>	<p>ご指摘の点は施工技術の検証という観点で非常に重要な項目であり、実施する予定であります。</p>
今後のグラウト計画	<p>高水圧下の施工を考慮し、深度300m調査研究用水平坑道でも新しいグラウチング技術を適用してみることも視野に入れたらどうか。</p>	<p>東濃では現在行っておりませんが、資源エネルギー庁から受けた公募事業「地下坑道施工技術高度化開発委員会」の中で高水圧下におけるグラウチングの研究を行っております。立坑がより深くなるにつれ、高水圧下のグラウチングが想定されるので、今後はそちらの研究成果を展開し、東濃において適用することも視野に入れております。</p>
	<p>地下発電所や大被り下のトンネルなど、大深度でのグラウチング技術が磨かれてきたという実績と施工技術がある。そのため、深度300m調査研究用水平坑道では、グラウチングと関連した形での地下水の地球化学的性質の変化に関する調査や、物質の移動に関する調査研究等を行うことが、従来のグラウチング技術開発にはない重要な研究開発要素と思われる。</p>	<p>ご指摘にあるように、地球化学的性質の変化に関する調査や、物質の移動に関する調査研究に踏み込んで詳しいデータを取られた現場は少ないです。グラウチング後の周辺環境を把握することは地層処分における安全性の評価において重要な条件のひとつとなります。現在はその基礎的な情報を収集するとともに、現在の技術で地下環境をどこまで把握できるのかといった点を考慮し、研究を進めて参ります。</p>
	<p>坑道掘削における湧水量低減目標の設定において、今回は排水処理設備の能力を基準に算定しているが、本来なら次の4つの考え方があろうと思う。</p> <p>①立坑内に設置してある排水ポンプの能力に合わせて、湧水量を抑制する</p> <p>②排水処理設備の能力に合わせて、湧水量を抑制する</p> <p>③周囲の地下水環境を変化させても問題がない許容範囲まで、湧水量を抑制する</p>	<p>調査研究用水平坑道から出てくる湧水についても、フッ素やホウ素等の含有成分は深度300mまでの立坑からの湧水とほぼ変わらないため、今までと同じ処理をする必要があります。そのため、今回の300m調査研究用水平坑道における湧水抑制の検討については、②にある排水処理設備の能力を最優先しましたが、今回の説明ではその前提条件の説明において不十分でありました。今後の説明では誤解を受けないよ</p>

<p>④立坑掘削に支障がない程度まで、湧水量を抑制する</p> <p>地層処分への技術基盤の提供という観点からは、例えばこの4つのどれを優先的に考慮して湧水量を抑制すべきかといった考え方を提示することが重要と思われる。このような考え方は、地下の岩盤を対象とした湧水抑制のためのグラウチング計画の指針を作る上で重要と考える。</p>	<p>う、湧水の水質についても事前にご説明し、把握していただくようにする所存です。</p> <p>また今回の湧水量低減目標を設定した考え方につきましては、ご指摘いただいた4つの考え方を組み込む形で、報告書に記載いたします。</p>
<p>今までのグラウチングでは、周辺環境への影響といった観点では余り考慮されてこなかった。今後は、グラウチングによって坑道内への湧水を止める視点に加えて、グラウチングの有無により周辺環境にどのような影響があるのかを考慮してもらいたい。また現在そのような計測を行い、データがあるのであれば、それを施工にフィードバックする等の工夫をしてほしい。</p>	<p>グラウチングに伴う周辺環境への影響評価は、本研究における最重要項目の一つと認識しており、現在、周辺環境の水位、水圧、水質等について長期にわたる連続的な測定を行いデータの変化をモニタリングしております。これらのモニタリングデータをもとに、施工におけるイベントとモニタリングデータの応答との関係について随時確認しております。現状では周辺の環境条件に対して施工による顕著な影響は見られないことから、施工を変更した等の例はありませんが、今後、グラウト改良幅やグラウト材料等の検討へ用いることも視野に入れております。</p>
<p>過去に花崗岩体を使ってセメントミルクによるグラウチングの注入実験を行った経験から、平行平板モデルは、亀裂性岩盤におけるグラウチングの浸透挙動を正確に表現しておらず、実際はモデルより入りにくい。初期配合の目安として使うのだからこれでよいとも思うが、実際はどうだったか確認した方がよい。</p> <p>グラウチングは今まで数多く行われてきた経験があるのだから、平行平板モデルを用いて初期配合の妥当性を検討しなくても、経験則で初期配合を決定してもよいのではないか。</p>	<p>今回の理論的な検討は、これまで用いられている初期配合について、従来の設定が経験則であることに加えて理論的な検討によっても設定が妥当な範囲であることを確認するために行ったものです。検討においては、実際の浸透挙動に対してモデルを単純化し境界条件等を設定していることから、今後、施工において初期配合における注入量等のデータを取得し、注入量の設定値と実測値を比較することによって、初期配合の設定が妥当であるかどうかを確認していくこととします。</p>
<p>瑞浪の立坑では、湧水帯において周囲 3m</p>	<p>立坑の覆工は裏面排水を設置しております</p>

	<p>をプレグラウチングしている。それがライニングにどういう影響を与えるのか。今はまだ深度が 300m だが、これが 500、1000m となった場合、地下水圧がどういう形でライニングへ影響を与えるのか。大深度における安全性を考慮する上で、非常に大事な議論となる。坑内変位も注視しておいた方がよい。また、深度の増加に伴い、応力解放や山はねという問題が今後生じてくる。今までは力学的なものを考慮する必要がなかったのかも知れないが、今後のグラウチング施工では踏み込んでもらいたい。</p>	<p>すが、打継目への止水板も覆工背面への防水工も設置しておらず、ウォータータイトトンネルではありませんので、水圧は作用しないと考えております。これは一般的な道路トンネルの構造と同じ考え方です。水圧や地山の応力などの力学的な問題に関しては、水圧で最大 9MPa、地圧で 27MPa 程度と思われまますので、地山の軸圧縮強度 150～200MPa に対して 1/4、つまり地山強度比 4 となり、安定を損ねることは無いと考えております。</p> <p>覆工後の坑内変位につきましては、内空変位測定や覆工コンクリート応力計測等、今まで通りの計測を続けていき、注視します。応力解放や山はねなどについては、工学技術の方で研究を進めております。</p>
<p>報告書</p>	<p>従来のグラウチング技術と、瑞浪で新規に適用した技術との違いを鮮明にしてほしい。</p>	<p>既存技術の組み合わせではありますが、立坑におけるプレグラウチング技術についてまとめられた事例は少ないと認識しております。また立坑特有の施工技術につきましては、違いを鮮明にしつつ記載する予定です。</p>
	<p>この目次を見るかぎりでは、グラウチングの施工についてしか記載されていない。この委員会の初期に色々行われた議論、検討内容を書いてほしい。このままではグラウチングのレポートで終わっている。貴重な資料ではあるが、これだけでは寂しい。</p>	<p>今までに行われた議論、検討内容については、現在印刷中である 2006 年-2007 年度会議報告との分担を考慮の上、必要事項については報告書に記載する予定です。</p>
	<p>瑞浪ではポンプアップを行うことによる経済性の問題、立坑から出てきた排水の処理費用等の現実的な問題が重視されてきたが、地層処分を想定すると、坑道内でベントナイトを取り扱うため、その作業環境確保のためのグラウチングを行うことも考えられる。本委員会はそこが出发点であるため、最初に記載すべきである。</p>	<p>地層処分を想定したグラウチングについては、現在印刷中である 2006 年-2007 年度会議報告との分担を考慮の上、必要事項については報告書に記載する予定です。</p>
	<p>坑道掘削の影響により地下水環境がどのよ</p>	<p>地下水環境の状況については、現在までの</p>

	うに変わるか、もしくは変わらないかといった点についても、今すぐには答えが出ないかも知れないが、報告書の中で触れておくべきである。	経過報告という形で報告書に記載する予定です。
	地層処分への技術基盤の提供を考えると、湧水量の予測と実測の検証まで記述できれば非常によい。	現在までの湧水量予測の手順や結果につきましては、報告書の中に記載する予定です。
	地層処分で必要となるグラウチング計画立案の全体フローを作成し、今回、検討した部分を強調すれば、報告書の方向性が見えるのではないか。	グラウチング計画立案の全体フローにつきましては、報告書に記載する予定です。
	今までのグラウチングはうまくいきすぎたため、逆に淡々とした報告書となってしまっている。しかし、LPG などでは結晶質岩におけるグラウチングでも水が止まらないという事例があるので、参考にして今後の課題として示してほしい。	グラウチングにつきましては、本委員会における数々のご意見を取り入れることによって、現在までは湧水を目標値以下にまで低減することができました。その結果につきましては報告書の中に記載します。他現場につきましては我々も文献調査等を行っておりますが把握していないところもあると思われまますので、そのような事例につきましてはご教授いただきたくお願いいたします。
その他	今後重要となってくるのは、接続空洞掘削による影響と、地下水等の環境の長期的変化である。単一坑道の掘削による調査研究ではわからないことであり、かつ今後の地層処分の研究では必要な内容と思うが、今後の計画で検討してほしい。	ご指摘にあるような接続空洞掘削による影響と、地下水等の環境の長期的変化などにつきましては我々もその重要性について認識しております。水平坑道における本格的な研究は500m、1000mのステージで行う予定であり、研究の詳細な内容について今後具体的な検討を進めてまいります。
	地層処分事業において立坑掘削は発破工法だけではなくTBMで進められることも考えられる。掘削をTBMで行えば、EDZや接続空洞掘削の問題などがかなり解決されると思っている。日本のTBMの技術は世界最高峰である。掘削をTBMで行うことになると、グラウチングを実施する際の条件設定がかなり変わってくる。現時点では色々な制約があるためできないことは承知している	TBMによる大深度立坑掘削は、コストや施工の安全性、接続空洞の掘削といった様々な点を考えると、実用化にはまだ至っていないと我々は捉えております。施工条件を色々変えた基盤技術の検討につきましては、第三段階に水平坑道において実施することを検討しています。

<p>が、条件を広げた基盤技術の検討を行った方がよい。</p>	
<p>湧水抑制として長期操業ということを考えると、鉱山のように水抜き坑道を作ることにも考えられる。またトンネルではグラウチングではなく、水抜きボーリングを行うところが多い。グラウチングではなく水抜きによって制御するという方が安い可能性もある。地層処分事業における長期操業の観点も含めて、一般論として色々な工法を比較しておく必要がある。</p>	<p>一般的にトンネルにおいても排水や地下水位低下による影響を受け入れられれば、水抜きボーリング等の排水工法が有利となりますが、周辺環境や社会環境への影響が少ないグラウチングなどの止水工法が採用されることもあります。瑞浪では、後者の周辺環境や社会環境の観点からグラウチングを採用しました。</p> <p>上記の検討結果につきましては、報告書に記載する予定です。</p>

## 5. 第 8 回湧水抑制対策検討委員会の開催概要

### 5.1 議事概要

第 8 回委員会の議事概要を表 5-1 に示す。また委員会資料については、付録にてまとめた。

表 5-1 第 8 回委員会議事概要

第 8 回湧水抑制対策検討委員会 — 議事概要 —	
1.	日時：平成 21 年 3 月 27 日（金）12:00～17:00
2.	場所：日本原子力研究開発機構 瑞浪超深地層研究所 セミナールーム
3.	出席者 (委員) 西垣委員長、小島委員、吉田委員、角江委員、山口委員
4.	資料 付録 3 参照
5.	議事 ・開会挨拶 ・主な報告、議論 超深地層研究所計画の現状 深度 300m 調査研究用水平坑道の施工結果（速報） 委員会報告書の取りまとめ ・閉会挨拶

### 5.2 委員会議事録

第 8 回委員会の議事録を下記に示す。なお、委員会時の各委員のご意見と当日の回答及び今後の対応についての詳細については、後の委員個別説明時に頂いたご意見と回答及び今後の対応も含め、表 5-2 に示す。

#### (1) 深度 300m 調査研究用水平坑道の施工結果（速報）

・配合 1:1、1:0.75 の高濃度セメントミルクと、低濃度セメントミルクを注入量で区分けしてまとめているが、他のデータも考慮して検討する必要がある。特に、注入チャートより、配合切替時における注入圧の変動を確認するべきである。また、注入箇所における透水性も検討する必要がある。グラウト充填状況を注入されたセメント量のみで判断するのは誤解を生

じる結果となるので、今回のプレグラウチング結果を今後に生かすためには、それらの要素も含めた検討を行ってほしい。

- ・報告書では付録としてチャートを掲載すると、広くご意見や評価を頂くことが期待できる。
- ・壁面観察結果に基づいて割れ目をカウントする基準として、スプリングラインを通過、または2m程度以上連続した割れ目としているが、この方法では割れ目が短くてもスプリングラインを通過したものをカウントしている結果となる。基準をどう設定するかは難しいが、スケールリングを変えることにより、全割れ目の頻度でも凹凸が出てきて、グラウト材が確認された割れ目頻度との相関が見えてくると思われる。
- ・主立坑を通過する北北西走向の断層・変質帯の影響範囲では、規模の大きな湧水は生じにくいと考えられているようだが、現時点ではその解釈がなされるだけの理由ならびにデータが揃っていないように思われる。地質データ等を精査した方がよい。
- ・今回のまとめを見ると、グラウト材がどのような割れ目に充填されて水を止めたかということと、地質学的にどのような割れ目では湧水が発生していないかという二つの観点をまとめて検討されているように思われる。湧水抑制という観点では、まずグラウチングがどのような割れ目に効果的だったかということを整理・解析し、地質学的な面から相関を求めていくことが必要である。それが、新たな場での結晶質岩におけるグラウチング施工の指標として繋がっていくと考えられる。
- ・今回の調査研究用水平坑道のように湧水抑制の対象範囲を連続して設定してグラウチングする考え方もあるが、大量湧水が発生する箇所さえわかっているならば、その箇所を局部的にグラウチングすることによって湧水量の低減目標が達成できる可能性もある。今後大深度に向かうにつれて、そのような方法を検討してみるのも一つの方法である。
- ・立坑周辺にある複数のボーリング孔で間隙水圧の観測を行っているようだが、水圧の影響の大小を線で結んだ結果を地質観察結果と比較し、相関を見ることにより新たな解釈ができると思われる。
- ・掘削対象領域における卓越方位の割れ目の分布を把握することによって、グラウチングを計画する前提条件にできるということは、実際の処分場を計画する際にはグラウチングの効果が得られやすい方向に水平坑道の方位を決めた方がよいと言い換えることができる。ただ、水平坑道の力学的安定性も考慮しなければならないことから、グラウチングの施工計画のみで水平坑道の方位を決定することは難しい。
- ・今までの結果からは、CM級やCL級の岩盤の方が水を通しにくい自然のバリアができていると考えられる。今後の立坑掘削において、B～CH級の岩盤で高角度亀裂が生じるような場所では大量湧水が発生する恐れがあるので、注意して施工する必要がある。
- ・D断面やF断面のようにグラウト充填量が少なかったり、ルジオン値が低い値を示したりする断面については、先行ボーリングで行ったセメンチングの効果と、前の断面から行ったプレグラウチングによってグラウトが設定注入区間以上に広がり、当該区間の注入以前に割れ目に充填されたからということが考えられる。
- ・グラウト材に着色することによって、設定した以上にグラウトの広がりが確認されたなどの結果が得られたので、さらに結果を整理することによって、グラウトの広がりについて評価

をまとめてほしい。

- ・設定した湧水量の低減値より、実際の湧水量はさらに低かった結果となっている。これは、想定以上にグラウチングの効果が現れたということに加え、深度 300m 調査研究用水平坑道の掘削を進めるうちに坑道周辺の間隙水圧が下がったという可能性も考えられる。間隙水圧とグラウチング後のルジオン値の結果に整合性を見つけることができると、今後の合理的なグラウチング計画に生かすことができる。

## (2) 委員会報告書の取りまとめ

- ・立坑を対象としたグラウチング技術の成果をまとめてもらいたい。
- ・第 10 章における今後の課題として、高圧注入ポンプの検討が挙げられている。現状では立坑内に設置可能な機種はないため、早急な検討が必要である。

## (3) その他

- ・来年度の前半で報告書を取りまとめ、皆様にレビューをして頂く。年度後半で機構内の審査、手続きを経て、図書として発刊する予定である。
- ・委員会は本日で終了となるが、グラウチング技術の検討は今後も続けていくので、必要に応じ、関係者のご協力をお願いしたい。

## 5.3 委員会個別説明議事録

第 8 回委員会へ出席がかなわなかった委員については、それぞれ個別説明を行い、ご意見を頂いた。資料は第 8 回委員会と同じものを使用している。

個別説明の議事録を下記に示す。なお、個別説明時の委員のご意見と当日の回答及び今後の対応についての詳細については、委員会や他の個別説明時に頂いたご意見と回答及び今後の対応も含め、表 5-2 に示す。

### 5.3.1 個別説明(1)

日 時：平成 21 年 3 月 30 日（月）13:30～16:30

場 所：水資源協会

出席者：大藪委員

配布資料により委員会資料の説明を行い、質問及び意見を頂いた。主な内容については以下の通り。

#### (1) 深度 300m 調査研究用水平坑道の施工結果（速報）

- ・先行ボーリングにおけるグラウチングが坑道掘削時の湧水抑制に効果があったと考えられることから、坑道掘削時のプレグラウチングのセメント注入量に加えて、先行ボーリングにおけるグラウチングのセメント注入量とグラウト充填割れ目の分布状況・特徴等の情報をもとに、湧水抑制効果について解釈を進めるとよい。
- ・坑道掘削時の湧水量実測値をみると、グラウチングがよく効いていることがわかる。グラウ

チングの設定以上の改良範囲、透水性の低下となっていることも考えられるので、湧水量の実測値から理論式をもとにどの程度の改良範囲、透水性の低下となっているか想定できるのではないか。

(2) 委員会報告書の取りまとめ

- ・ 研究坑道掘削において実施したグラウチングの設定において、湧水量をどの程度まで低減させるか目標設定の考え方を示し、その方向性にもとづき取りまとめていくことが重要である。

表 5-2 第 8 回委員会で各委員から頂いたご意見と回答について

	コメント	回答
地質・地質構造	<p>壁面観察結果に基づいて割れ目をカウントする基準として、スプリングラインを通過、または 2m 程度以上連続した割れ目としていますが、この方法では割れ目が短くてもスプリングラインを通過したものをカウントしている結果となる。基準をどう設定するかは難しいが、スケーリングを変えることにより、全割れ目の頻度でも凹凸が出てきて、グラウト材が確認された割れ目頻度との相関が見えてくると思われる。</p>	<p>現場における割れ目等の記載（スケッチ）については、施工サイクルや安全上の観点から、現状の記載の仕様（記載する割れ目の分布やスケール）を変更することは困難であると考えています。しかし、壁面観察時には、スケッチのほか可視画像や三次元レーザー計測などの計測を行っているもので、それらの結果を参照することにより、スケッチで記載出来ない（スプリングラインを通過しない、連続性に乏しいなどの）割れ目などを抽出・評価することができます。スケッチとともに、そのような計測データを用いて、不連続構造の分布や特性の評価を補完していくとともに、解析・評価手法についても、割れ目の頻度を三次元的に表現する手法などの検討を行っていきます。</p>
	<p>主立坑を通過する北北西走向の断層・変質帯の影響範囲では、規模の大きな湧水は生じにくいと考えられているようだが、現時点ではその解釈がなされるだけの理由ならびにデータが揃っていないように思われる。地質データ等を精査した方がよい。</p>	<p>変質に伴う粘土化により、断層およびその周辺の岩盤が低透水性となり、湧水が抑制されていると考えています。今後、300m 研究アクセス坑道において、透水性割れ目の分布と変質特性の詳細な調査・研究を行っていきます。</p>
	<p>今回のまとめを見ると、グラウト材がどのような割れ目に充填されて水を止めたかということと、地質学的にどのような割れ目では湧水が発生していないかという二つの観点をまとめて検討されているように思われる。湧水抑制という観点では、まずグラウチングがどのような割れ目に効果的だったかということを整理・解析し、地質学的な面から相関を求めていくことが必要である。それが、新たな場での結晶質岩におけるグラウチング施工の指標として繋がっていくと考えられる。</p>	<p>これまでのところ、顕微鏡下のスケール（数 mm オーダー）までの割れ目へのグラウト材の浸透状況についての検討は実施していないことから、今後、300m 研究アクセス坑道の露岩部における試料採取・鉱物試験などを通してグラウト材の浸透と割れ目の幅・連続性・充填物質の関係について検討を行っていきます。</p>

	<p>立坑周辺にある複数のボーリング孔で間隙水圧の観測を行っているようだが、水圧の影響の大小を線で結んだ結果を地質観察結果と比較し、相関を見ることにより新たな解釈ができると思われる。</p>	<p>現在、立坑周辺を含めた研究所およびその周辺の間隙水圧分布の三次元可視化を進めており、その結果と地質構造の対比・検討を行います。</p>
	<p>今までの結果からは、CM 級や CL 級の岩盤の方が水を通しにくい自然のバリアができていると考えられる。今後の立坑掘削において、B~CH 級の岩盤で高角度亀裂が生じるような場所では大量湧水が発生する恐れがあるので、注意して施工する必要がある。</p>	<p>今までの地質調査やパイロットボーリング等の結果に基づき大量湧水が発生する恐れがある箇所を想定しておりますが、ご指摘のように高角度亀裂において大量湧水が発生する恐れがあるため、約 10m おきに探り削孔を実施することにより、切羽前方の湧水状況を確認しております。</p>
<p>グ ラ ウ チ ン グ 結 果 評 価</p>	<p>配合 1:1、1:0.75 の高濃度セメントミルクと、低濃度セメントミルクを注入量で区分けしてまとめているが、他のデータも考慮して検討する必要がある。特に、注入チャートより、配合切替時における注入圧の変動を確認するべきである。また、注入箇所における透水性も検討する必要がある。グラウト充填状況を注入されたセメント量のみで判断するのは誤解を生じる結果となるので、今回のプレグラウチング結果を今後に生かすためには、それらの要素も含めた検討を行ってほしい。</p>	<p>今回の評価は速報ということで注入量による区分けを行いました。ご指摘のようにチャートによる注入圧変動の確認や、注入箇所の透水性も含めた幅広い検討を行う必要性は認識しております。今後はそれらの要素も含めた検討を行っていき、次のプレグラウチングに水平展開していきます。</p>
	<p>報告書では付録としてチャートを掲載すると、広くご意見や評価を頂くことが期待できる。</p>	<p>注入結果について、報告書の付録として代表的な注入チャートを添付するよう検討します。</p>
	<p>今回の調査研究用水平坑道のように湧水抑制の対象範囲を連続して設定してグラウチングする考え方もあるが、大量湧水が発生する箇所さえわかっているならば、その箇所を局所的にグラウチングすることによって湧水量の低減目標が達成できる可能性もある。今後大深度に向かうにつれて、そのような方法を検討してみるのも一つの方法である。</p>	<p>ご指摘の点も一つの考え方ではありますが、立坑や立坑から延びる水平坑道の場合は湧水発生による影響が大きいことも考えられます。参考意見とし今後の検討の選択肢の一つとさせていただきます。</p>
	<p>掘削対象領域における卓越方位の割れ目の</p>	<p>水平坑道の方角は敷地面積の関係も含め</p>

<p>分布を把握することによって、グラウチングを計画する前提条件にできるということは、実際の処分場を計画する際にはグラウチングの効果が得られやすい方向に水平坑道の方位を決めた方がよいと言い換えることができる。ただ、水平坑道の力学的安定性も考慮しなければならないことから、グラウチングの施工計画のみで水平坑道の方位を決定することは難しい。</p>	<p>た様々な要素が入ってくるため、グラウチングの施工を優先させるのは難しいと思われます。今後、超深地層研究所計画において水平坑道の方位を検討する際には、検討すべき項目として、グラウチングが必要と想定される場合には力学的安定性だけではなく、対象領域における割れ目の卓越方位に関する条件を参考とするよう留意いたします。</p>
<p>D断面やF断面のようにグラウト充填量が少なかったり、ルジオン値が低い値を示したりする断面については、先行ボーリングで行ったセメンチングの効果と、前の断面から行ったプレグラウチングによってグラウトが設定注入区間以上に広がり、当該区間の注入以前に割れ目に充填されたからということが考えられる。</p>	<p>ご指摘の通り、プレグラウチングによってグラウトが設定注入区間以上に広がって、当該区間の注入以前に充填されたと思われます。またそのことは着色したグラウト材によって証明が得られたと思われます。グラウトの広がりについては設計掘削断面より外の範囲について確認することは難しいですが、得られた結果をもとにグラウトの広がりについて検討し、学会等への発表、公開に向けて取りまとめていく予定です。</p>
<p>グラウト材に着色することによって、設定した以上にグラウトの広がりが確認されたなどの結果が得られたので、さらに結果を整理することによって、グラウトの広がりについて評価をまとめてほしい。</p>	
<p>設定した湧水量の低減値より、実際の湧水量はさらに低かった結果となっている。これは、想定以上にグラウチングの効果が現れたということに加え、深度300m調査研究用水平坑道の掘削を進めるうちに坑道周辺の間隙水圧が下がったという可能性も考えられる。間隙水圧とグラウチング後のルジオン値の結果に整合性を見つけることができると、今後の合理的なグラウチング計画に生かすことができる。</p>	<p>湧水量を予測する上で、対象領域の間隙水圧分布の変化を把握することは重要であり、今後、ルジオン値の結果などのデータからご指摘の整合性について検討し、湧水量の評価を進めていきます。また、湧水量予測に対し坑道近傍の水理状況が影響すると考えられることから、坑道周辺の間隙水圧分布を調べるために深度300mボーリング横坑（換気立坑）において、換気立坑近傍から半径方向に沿って鉛直下向きにボーリング孔を3本掘削し（掘削長約50m）、深度350m付近を観測区間として間隙水圧計を設置し、立坑からの距離と間隙水圧との関係を把握するための観測を行います。</p>

<p>今後 の グ ラ ウ ト 計 画</p>	<p>第 10 章における今後の課題として、高圧注入ポンプの検討が挙げられている。現状では立坑内に設置可能な機種はないため、早急な検討が必要である。</p>	<p>東濃では現在行っておりませんが、資源エネルギー庁から受けた公募事業「地下坑道施工技術高度化開発委員会」の中で高水圧下におけるグラウチングの研究を行っており、その中で高圧注入ポンプの開発を進めております。今後はそちらの研究成果を展開し、東濃において適用することも視野に入れていきます。</p>
<p>報 告 書</p>	<p>立坑を対象としたグラウチング技術の成果をまとめてもらいたい。</p>	<p>平成 21 年度に作成する予定の報告書において、今回までの委員会および施工を通して得られた知見をまとめる予定です。また今後の施工につきましても、学会発表や報告書に取りまとめ、順次公開する予定です。</p>

## 6. おわりに

委員会においていただいたご意見等については、研究開発や建設工事の実施に迅速に反映させてきた。岡山大学大学院 環境学研究科 西垣 誠教授を委員長として、小島 圭二委員（地圏空間研究所（東京大学名誉教授））、渡辺 邦夫委員（埼玉大学 地圏科学研究センター）、吉田 英一委員（名古屋大学 博物館）、徳永 朋祥委員（東京大学大学院 新領域創成科学研究科）、大藪 勝美委員（財団法人水資源協会）、角江 俊昭委員（東京電力株式会社）、山口 嘉一委員（独立行政法人土木研究所）、WG の方々には有益なご意見、ご指導とともに多大なご協力を頂き、ここに記して感謝申し上げます。本委員会で得られた知見やそれをもとに施工を行い得られた成果については、研究報告書としてまとめる予定である。

# 国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立方メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電流量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光照度	ルーメン	lm		cd sr <sup>(c)</sup>
放射線量	ルクス	lx		lm/m <sup>2</sup>
放射線種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		m <sup>2</sup> cd s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についての、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で「radioactivity」と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> =s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> =s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> kg s <sup>-2</sup>
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
表面電荷	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> =kg s <sup>-3</sup>
	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>-1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	zepto	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	yocto	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t=10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm) <sup>2</sup> =10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn=10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> cd m <sup>-2</sup>
ファ	ph	1 ph=1 cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx
ガラ	Gal	1 Gal=1 cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≐ (10 <sup>3</sup> /4π) A m <sup>-1</sup>

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 f=1 fm=10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 <sup>-6</sup> m

