

Workshop on Physics and Chemistry of Bentonite for Radioactive Waste Disposal

報告

横山信吾*1 横地琢哉*2 佐藤努*3 小峯秀雄*4 小崎完*5

9月18日に北海道大学工学部において、Workshop on Physics and Chemistry of Bentonite for Radioactive Waste Disposal が開催された。ワークショップには、総勢78名の参加者があり、冒頭に、北海道大学准教授の佐藤努氏よりワークショップ開会の挨拶があり、その後、Stability Session, Geotechnical Session, Diffusion Session の順に基調講演、招待講演などが行われた。また、ワークショップ前日には、総勢63名が参加した Welcome Dinner やワークショップ後には、洞爺湖周辺巡検(9月19日:参加者14名)、幌延深地層研究センター見学(9月20-21日:参加者18名)も開催され、大変充実した内容のワークショップであった。以下にワークショップの概要について報告する。



佐藤努氏による開会の挨拶

Report on “Workshop on Physics and Chemistry of Bentonite for Radioactive Waste Disposal”, by Shingo Yokoyama (shingo@cripi.denken.or.jp), Takuya Yokoji, Tsutomu Sato, Hideo Komine and Tamotsu Kozaki

- *1 (財)電力中央研究所 地球工学研究所 バックエンド研究センター
Nuclear Fuel Cycle Backend Research Center, Civil Engineering Research Laboratory, Central Research Institute of Electric Power Industry,
〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646
- *2 北海道大学 大学院工学研究科 エネルギー環境システム専攻
Division of Energy and Environmental Systems, Graduate School of Engineering, Hokkaido University
〒060-8626 札幌市北区北13条西8丁目
- *3 北海道大学 大学院工学研究院 環境循環システム部門
Division of Sustainable Resources Engineering, Faculty of Engineering, Hokkaido University
〒060-8626 札幌市北区北13条西8丁目
- *4 茨城大学 工学部 都市システム工学科
Department of Urban & Civil Engineering, Ibaraki University
〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1
- *5 北海道大学 大学院工学研究科 エネルギー環境システム部門
Division of Energy and Environmental Systems, Graduate School of Engineering, Hokkaido University
〒060-8626 札幌市北区北13条西8丁目

Stability Session

Stability Session では、ベントナイトの長期安定性についての講演と議論があった。まず、はじめに、北海道大学准教授の佐藤努氏より、“Long term stability of bentonite in radioactive waste disposal” と題した基調講演が行われた。ここでは、初めに、ベントナイトの長期変質のシナリオが紹介され、その中でも主要構成鉱物のスメクタイトの溶解速度に関する定量的理解の必要性が説明された。また、2000年以降のスメクタイトの溶解速度に関する研究の進展は目覚ましいものがあるが、処分場で使用されるような圧縮系への適用の問題が残されていることが強調されていた。さらに、圧縮系での速度論的理解や長期変質の理解のために最近進められている研究例として、北大で進められている圧縮系での通水カラム試験とX線CT観察を組み合わせた研究、RWMC等で進められているX線吸収分光によるセメント-ベントナイト界面の鉱物の定性・定量に関する研究、JAEAで進められている鉄-ベントナイトの長期相互作用の実験的研究、RWMCや北大・慶応大で進められているフィリピンにおけるセメント-ベントナイト相互作用のナチュラルアナログ研究などの概要が紹介された。

基調講演に引き続いて、Äspöにおける研究結果を中心に、SKBを中心としたヨーロッパのベントナイトの長期安定性に関する研究動向について、スウェーデン Clay Technology AB社のOla Karnland氏より、“Alteration of bentonite in the Äspö HRL experiments” と題した招待講演が行われた。講演ではÄspöにおける原位置試験についての紹介があり、特にスメクタイトの鉱物学的変質やCECの変化、塩濃縮に対する熱影響を調べた研究について詳細が説明された。

続いて、ベントナイトの安定性を研究している若手研究者の一人である北海道大学のYogarajah Elakneswaran氏により、“Modeling of multi-ionic transport and alteration in concrete/bentonite materials” と題した講演が行われた。講演では、表面錯体モデルやスメクタイトの溶解速度論を導入したベントナイト-セメント界面における様々なイオンの存在下での反応輸送モデルの解析結果が紹介され、界面での鉱物学的変化、間隙水中のイオン分布の時間変化、ベントナイトの変質に大きな影響を与える因子について考察されていた。

各講演直後の討論の時間では活発な議論が展開された。

特に、圧縮ベントナイトの長期変質においては、変質のカギを握る水酸化物イオンの物質移行や変質後の密度を含む構造変化等の理解の重要性を共通認識として持つことができた。この点でも、今回のワークショップでは他のセッション分野とのコラボレーションの必要性を再認識させられた。また、印象深かったのは、ヨーロッパでは、バクテリアのアクティビティを抑制するためにベントナイトの膨潤圧を維持しなければならないという認識があり、そのためにもベントナイトの安定性の理解は重要であるという視点で研究されていることであった。

Geotechnical Session

Geotechnical session では、土木工学・地盤工学の観点から、ベントナイトの力学的挙動に関する研究アプローチについて議論された。まず、はじめに、茨城大学教授の小峯秀雄氏より、“Bridge between physics and chemistry of bentonite from the viewpoint of geotechnical engineering”と題した基調講演が行われた。従来の土木工学・地盤工学において、様々な土の力学挙動の調査と数学モデル・構成式の提案がなされてきたが、その多くは、地盤内の応力条件を考慮したものであり、地盤内の化学的な因子についてはあまり触れられてこなかった。放射性廃棄物の地下処分においては、応力条件に対応するものだけでは不十分であり、地下の水質環境、地温や崩壊熱に起因する温度環境、コンクリートなど他の部材が形成する化学的環境、不飽和から飽和に至る長時間、さらに長時間環境におけるベントナイトの変質などを考慮できる力学挙動調査と数学モデル・構成式の発展が必要であることが、本基調講演で強調された。ベントナイト系材料に係る土木工学・地盤工学者が忘れてはいけぬのは、放射性廃棄物処分プロジェクトにおいて要求される性能が発揮できるように、ベントナイトの種類を選定、乾燥密度や厚さ、配合などの材料仕様を設定できるように技術開発することである。研究のための研究ではなく、施設設計を可能とする技術を開発するための研究である。その意味では、基調講演で示された Fig.1 の設計フローの概念を念頭におき、今後、ブラッシュアップを図る必要がある。

基調講演に引き続き、神戸大学教授の飯塚敦氏による招待講演 “Theoretical framework of geomechanics, initial boundary value problems and predictions” が行われた。本講演では、土木工学・地盤工学分野で発展してきた土の構成式と数値解析に関する考え方とその変遷をベースに、フィルダムや道路盛土の挙動予測での実績と実務的応用について紹介された。土の挙動評価において、初期条件を適切に設定することがとても重要であり、不飽和状態にあるベントナイトが徐々に飽和していく課程で、いかなる変形挙動をするのかを適切に予測することの重要性が強調された。会場からは、このような土の力学挙動に関する構成式

に、粘土科学分野での知見を、如何に導入していくかについて、議論があった。

基調講演および招待講演の後に、今後を担うであろう学生と実務者からの研究・技術開発の最新情報の発表がなされた。茨城大学の遠藤さち恵氏と小山田拓郎氏から、“Brand-new experimental data of water diffusion coefficient of bentonite and research plan in Ibaraki University” と題した発表がなされ、不飽和状態のベントナイトが飽和していく状況の定量的調査に関する新しい実験技術が紹介された。また、大林組の山本修一氏から、“Hydro-mechanical characteristics and their modeling for coupled THM processes of bentonite buffer” と題して、熱・水・応力連成解析において、ベントナイトの膨潤挙動を導入する試みの研究紹介がなされた。

セッション全体として、土木工学・地盤工学と粘土科学や原子力工学との学術的 “Bridge” を如何に形成していくかが議論された。これについては、会場において、基調講演者である小峯秀雄氏から、自分の専門以外の研究者が、ベントナイトをいかなる視点で見ているかを互いに知り、お互いに歩み寄るような姿勢で研究を展開し、施設設計を可能とする技術につながるよう進めることが重要であると主張された。

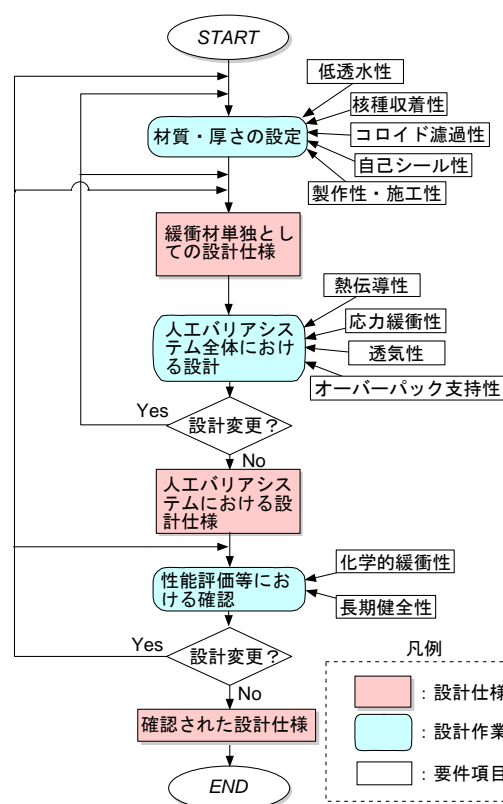


Fig. 1 Basic concept of flow chart for designing bentonite based buffer[1] shown by Prof. Komine.



活発な議論が行われている様子

Diffusion Session

Diffusion Session では、ベントナイト中の核種移行を支配する拡散挙動について議論された。まず、はじめに、北海道大学准教授の小崎完氏より、“Current studies on diffusion behaviors of nuclides in bentonite” と題した基調講演が行われた。ここでは、ベントナイト中の放射性核種の拡散挙動がベントナイトの内部微細構造と密接に関連していることを、拡散の活性化エネルギーや XRD によって決定されたスメクタイトの底面間隔の実験データを基に説明された。また、最近の研究例として、界面動電法や X 線ナノ CT 装置などによる実験的アプローチ、分子動力学計算、さらにはそれらに基づくモデリングなどの概要が紹介された。

基調講演に引き続いて、その分子動力学計算による最新の研究例として、米国カリフォルニア大学パークリー校の Aric Newton 氏より、“Modeling diffusion at the clay basal surface –An atomistic approach” と題した招待講演が行われた。モンモリロナイト外表面の Na^+ イオンの拡散挙動を計算した、同氏らによる最新の研究では、そこでの拡散の活性化エネルギーが自由水中の拡散に対する値より低くなること、またこれが既報の実験値と一致することが示された。

続いて、拡散現象のモデリングに関連した 2 件の招待講演が行われた。まず、フィンランド VTT 研究所の Mr.Jarmo Lehtikoinen 氏が、“Diffusion model for ions from the viewpoint of EDL theory” と題して、電気二重層モデル (Gouy-Chapman model) を用いたベントナイト中のイオンの拡散現象の解析結果を紹介した。また、その中で、陽イオン、陰イオン、中性種 (HTO) のすべての拡散係数に対する合理的な説明は、2 種類の空隙を仮定した拡張モデルによってなされ得ることが示唆された。一方、スウェーデン Clay Technology AB 社の Martin Birgersson 氏は、“Ion equilibrium between montmorillonite interlayer space and an

external solution –Consequences for diffusional transport” と題した招待講演において、モンモリロナイト層間の拡散への寄与を考慮に入れたモデルを紹介した。これは、ドナン平衡に基づいて層間と層間外の溶液中のイオン濃度差を拡散モデルに組み入れるものであり、これによって陽イオンのみならず、陰イオンに対しても実験値をモデルで再現できることが説明された。

招待講演直後の討論の時間には、原子力機構・高橋宏明氏に急遽登壇を願い、X 線ナノ CT 装置によるベントナイト内部微細構造観察とそれに関連づけた拡散実験研究をご紹介頂いた。限られた時間内のご説明であったが、微細構造に基づく拡散現象理解が、最先端装置による知見も取り入れながら、着実に進展していることを示す好例であった。

本 Diffusion Session から、今後は、拡散単独の現象にとどまらず、他の物理・化学現象との相互作用も考慮に入れた展開が必要と思われた。

おわりに

今回のワークショップでは、放射性廃棄物処分に係る“ベントナイト”をキーワードに国内外で研究をリードする研究者や今後を担う若手研究者による最新の研究内容を含む 11 件の講演が行われた。特に、共通の研究対象である“ベントナイト”を長期安定性、土木工学・地盤工学、拡散挙動といった異なる観点から研究されている方々が一堂に会して活発な議論が展開されたのは印象深かった。Fig.1 に示されているようにベントナイト系緩衝材の設計を行う上では、共通の研究対象を多角的にとらえた研究成果を多分野の専門家がお互いに理解、共有し、分野を超えて研究・技術開発を行うことが重要であると再認識させられた。

参考文献

- [1] 緒方信英, 小崎明郎, 植田浩義, 朝野英一, 高尾肇: 高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術—その 4 人工バリアの設計と製作—. 原子力バックエンド研究 **5**, 103-121 (1999).

