

SCG068-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 11:45-12:45

陸上スラスト帯における地質変動評価：アナログモデル実験による検討 Evaluation of long time deformation around Horonobe area using modelling techniques

中務 真志^{1*}, 山田 泰広¹

Masashi Nakatsukasa^{1*}, Yasuhiro Yamada¹

¹ 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

¹ Kyoto University

原子力発電には高レベル放射性廃棄物の排出という課題がある。廃棄物の放射能が人体に影響のないレベルに低下するまでの期間は数万～数十万年であるため、廃棄物を安全に隔離する方法として地層処分が計画されている。地層処分を行うためには様々な地質環境における長期変動を予測して処分場の安全性に関する評価を行う必要がある。特に処分地が地質変動によって隆起すると、隆起分が風化浸食によって削剥されるため、結果として廃棄物が地表に接近することが予想される。また、隆起域が削剥されて上載荷重が減少すると、既存の（休眠）断層活動が（再）活性化する可能性も考えられる。そこで本研究では、堆積層分布域において短縮変形に伴う隆起・削剥が生じる状況を想定し、アナログモデル実験によって、今後100万年間程度の陸上スラスト帯における地質変動を評価した。

アナログモデル実験とは、模擬物質を用いることで実際の現象を実験室スケールで再現する実験である。本研究では、実験装置として透明アクリル製の箱を使用し、側面から断面変形形態を観察した。岩石の破壊挙動を力学的に近似できる豊浦標準砂を模擬物質として堆積させ、これを固定壁に押し付けることで圧縮変形させた。そして圧縮によって隆起した部分を一定の時間間隔で除去した。実験を数回実施し、削剥頻度の影響を観察した。また、断面画像を解析することで実験モデルの変形挙動（特に移動量、せん断ひずみ分布）を時系列に観察した。

モデル実験によって観察された現象と実際の地質状況（形態と変動）を対比させた結果、今後100万年間の陸上スラスト帯における地質変動（断層運動・隆起）はほぼ一定となることが分かった。

キーワード: 地層処分, 地質構造, 削剥, アナログモデル実験

Keywords: geological disposal, geological structure, denudation, analogue model experiment

概要調査に向けた断層の水理特性の調査・評価手法に関する検討：断層のタイプ分類とその検証

Development of Hydrologic Characterization Technology of Fault for Preliminary Investigations: Fault Type Classification

田中 姿郎^{1*}, 上田圭一¹, 佐々木俊法¹, 伊藤久敏¹, 濱田崇臣¹, 長谷川琢磨¹, 木方建造¹, 宮川公雄¹, 佃十宏¹, 後藤淳一², 唐崎建二³

Shiro Tanaka^{1*}, Kiichi Ueta¹, Toshinori Sasaki¹, Hisatoshi Ito¹, Takaomi Hamada¹, Takuma Hasegawa¹, Kenzo Kiho¹, Kimio Miyakawa¹, Kazuhiro Tsukuda¹, Junichi Goto², Kenji Karasaki³

¹ 電力中央研究所, ² 原子力発電環境整備機構, ³ ローレンスバークレー国立研究所

¹CRIEPI, ²NUMO, ³LBNL

概要調査における断層の水理特性を、断層の地質特性との関連性に着目し、合理的・効率的に把握・推定するための体系的な調査・評価手法の開発が、原子力発電環境整備機構とローレンスバークレー国立研究所と共同で進められている。その中で著者らは、断層の地質特性から間接的に水理特性を推定できるようなタイプ分類し、断層の水理特性を効率的に評価するための断層の調査・評価フローを作成することを目的に、断層の地質特性と水理特性に関わる文献調査を実施してきた。本発表では、米国カリフォルニア州の Wildcat 断層にタイプ分類を適用し、地質調査結果と水理試験結果からタイプ分類の妥当性を検討した結果を報告する。

主に国内の工事誌と主要な断層に関する論文を対象に、断層の地質特性と水理特性に関するデータを収集した。収集したデータに基づき、断層の構造や水理特性を示す「要素」として、断層破砕帯やダメージゾーンの幅と連続性、透水係数や湧水量、間隙率等のデータを断層毎に整理した。また断層の構造や水理特性を変化させると考えられる地質学的な「要因」として、断層系全体における位置、断層系の発達段階、母岩の種類や地質年代、物性値、深度等のデータについて整理した。次に、断層の構成物（断層ガウジ、断層角礫、破砕帯、ダメージゾーン）の組み合わせから断層を分類し、さらに要素 - 要素解析、要素 - 要因解析を行い、(1) 断層形状、断層型、空間的位置などによる断層構造や断層構成物とその組み合わせなどの傾向、(2) 断層構造と水理特性との関係、(3) 断層の地質特性と水理特性の関連性について取りまとめた。断層の構成物の水理特性を考慮した地下水流動の概念モデルを作成した。そこでは、断層の水理特性及び地下水流動への影響範囲の大きさやその程度は、断層を構成する「低透水性ゾーンもしくは遮水ゾーンとして機能する断層ガウジ」の有無とその連続性と、「高透水性ゾーンとして機能するダメージゾーン」の空間的拡がりによって支配されると想定している。これらの結果と合わせて、国内外の断層に関わる文献調査結果を参考に、断層の地質特性から間接的に水理特性を推定するための断層のタイプ分類フローを作成し、Wildcat 断層に適用した。

Wildcat 断層の北部は断層の直線部に相当し、(1) 断層核周辺の高透水性となる範囲は広く、(2) 断層ガウジは連続するため難透水性ゾーンは連続性を示し、(3) 透水性の異方性が高いことが予想され、Wildcat 断層の南部は断層が屈曲する箇所に対応し、(1) 断層核周辺の高透水性となる範囲は広く、(2) 断層ガウジは不連続なため難透水性ゾーンは不連続性を示し、(3) 透水性の異方性が低いことを予想した。

現地調査は Wildcat 断層の南部を対象とし、地表地質調査、トレンチ調査とあわせて、Wildcat 断層を挟む鉛直ボーリングと断層を貫通する傾斜ボーリングによるコア調査と、これらのボーリング孔を利用した水理試験を実施した。地質調査の結果から、ガウジを伴う主要な断層を4条以上確認し、それらが Wildcat 断層および Wildcat 断層の活動に関連した断層であると判断した。水理試験の結果から、断層を跨ぐ方向で水理的な連通性が遮断されており、一方で断層に平行な方向には透水性の比較的高いゾーンが存在し水みちを形成している可能性が示された。このようにタイプ分類からは、断層核の不連続性により断層に直交する方向への水理的な連通性があることを予想したが、調査結果からは、断層の屈曲部においても断層核が遮水壁を形成していることが予想される。今後は、調査結果をもとに、タイプ分類と地下水流動の概念モデルを更新していくことが課題である。

キーワード: 断層, 水理特性, タイプ分類, 概要調査

Keywords: Fault, Hydrologic characterization, Type classification, Preliminary Investigation

SCG068-P03

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 11:45-12:45

概要調査に向けた断層の水理特性の調査・評価手法に関する検討：カリフォルニア州 Wildcat 断層の近傍の地質・構造特性 Development of Hydrologic Characterization Technology of Fault Zones for Preliminary Investigations

濱田 崇臣^{1*}, 伊藤 久敏¹, 上田 圭一¹, 田中 姿郎¹, 佐々木 俊法¹, 長谷川 琢磨¹, 木方 建造¹, 宮川 公雄¹, 佃 十宏¹, 後藤 淳一², 大西セリア智恵美³, 唐崎 建二³

Takaomi Hamada^{1*}, Hisatoshi Ito¹, Keiichi Ueta¹, Shiro Tanaka¹, Toshinori Sasaki¹, Takuma Hasegawa¹, Kenzo Kiho¹, Kimio Miyakawa¹, Kazuhiro Tsukuda¹, Junichi Goto², Tiemi Celia Onishi³, Kenzi Karasaki³

¹ 電力中央研究所, ² 原子力発電環境整備機構, ³ ローレンスパークレー国立研究所

¹CRIEPI, ²NUMO, ³LBNL

概要調査における断層の水理特性を, 断層の地質特性との関連性に着目し, 合理的・効率的に把握・推定するための体系的な調査・評価手法の開発が, 原子力発電環境整備機構とローレンスパークレー国立研究所(LBNL)と共同で進められている。その中で, 著者らは, LBNL 敷地内を通る Wildcat 断層を対象として, 断層やその周辺の地質構造の把握および原位置での水位・水圧測定, 水理試験などのためにボーリング調査を実施してきた。本報告では, ボーリングコア観察, コア試料を用いた微化石分析・放射年代測定(U-Pb法), 薄片観察の結果およびBHTVとコアとの対比による割れ目の方向性調査から得られた Wildcat 断層の近傍の地質・構造特性について報告する。

ボーリング調査に先立ち, LBNL 敷地周辺の空中写真判読および敷地内でのトレンチ調査を行い, 断層の通過位置およびトレンチ箇所での断層の性状を明らかにしてきた。ボーリングは, 空中写真判読とトレンチ調査の結果に基づいて, まず, 断層の通過箇所を横切る断面上の3点(WF-1~3)で鉛直孔を掘削した。その結果, 複数の主要な断層が西へ傾斜することが明らかとなったため, 次に, 断層を貫くため, 東傾斜30度の斜めボーリング(WF-4)を1本, 掘削した。それぞれ掘削長は, WF-1(529ft), WF-2(492ft), WF-3(512ft), WF-4(691.2ft)である。コア観察に基づいて, 岩相・層序区分を行うとともに, 断層の分布を調査した。これらの結果およびトレンチ調査, 地表地質踏査の結果をもとにボーリング孔間を結び, 地質断面, 断層分布を推定した。

ボーリングコアで観察される岩石は, 中期~後期中新世の地層で, 下位から Claremont 層, San Pablo 層群, Orinda 層である。

Claremont 層は, lamina の発達する珪質な泥岩と黒色無層理の頁岩の互層からなり, 一部では, 堆積構造の認められない sand dyke 状の砂岩を伴う。Claremont 層の互層状の泥岩は, 未固結時~半固結時に形成された小断層や層内褶曲などが認められるが, 比較的整然とした堆積構造をもつ部分が多い。石灰質ナンノ化石によれば, 年代は CN3~5 帯(18.3~11.3/10.9 Ma)であり, 明瞭な年代ギャップや地層の逆転は認められない。また, U-Pb 法による放射年代値は, San Pablo/Orinda 層を含め, 中新世の堆積物であることが推定され, 微化石の示す年代とは矛盾しない。

San Pablo 層群は, 比較的整然とした堆積構造が認められる海成砂岩層を主体とする地層である。WF-2 の深度 51ft からは, 浅海性の堆積環境を示すと見られる底生有孔虫が産出した。薄片観察によると, 砂岩の構成粒子は, チャートの碎屑片や海緑石, 変成岩由来の碎屑物を含むため, Claremont 層の砂岩との区別が可能である。Orinda 層は, San Pablo 層群の同時異相の湖成層とされ, 両者は, 指交関係で漸移する。

ボーリングコアで確認される断層は, 規模の小さいものも含めると数多く存在する。このうち規模の大きい主要な断層帯には, 地質境界となるものや葉片状カタクレーサイト, 貫入性の産状を示す“凝灰岩”角礫状凝灰岩”などの特徴的な岩石を伴う。主要な断層について, BHTV データから方向性を求め, それぞれの断層の連続性を検討した。各断層帯の特徴は, 以下の通りである。

Fa: Orinda 層/San Pablo 層群内に発達する断層帯で, 軟岩特有の幅広い破碎帯を示す。

Fb: Orinda 層/San Pablo 層群と Claremont の境界をなす断層。

Fc: Claremont 層内に発達する断層帯だが, 断層間に Orinda 層/San Pablo 層群が楔状に狭長に分布する。葉片状カタクレーサイト, “凝灰岩”を伴う。

Fd: Claremont 層内に発達する断層帯で水圧破碎に伴う角礫帯を伴う。

これらの断層帯のうち, Fa, Fb, Fc は北北西-南南東走向で西傾斜, Fd は西北西-東南東走向で南傾斜と推定され, 全体として, デュープレックス状の構造をもって南東に分岐する構造を示している。空中写真判読結果および既往の資料によれば, ボーリング調査を行った LBNL 敷地付近は, Wildcat 断層の南部の断層屈曲部に相当しており, 断層は, 北部の直線部に比べて複雑に分岐した分布形態を示していると考えられる。

SCG068-P04

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 11:45-12:45

地表ソース型空中電磁探査法の沿岸域への適用性検討について Applicability of the grounded source airborne electromagnetics to coastal areas

佃 十宏^{1*}, 伊藤 久敏¹, 木方 建造¹, 海江田 秀志¹, 鈴木 浩一¹, 茂木 透², Abd Allah Sabry², 城森 明³, 結城 洋一⁴
Kazuhiro Tsukuda^{1*}, Hisatoshi Ito¹, Kenzo Kiho¹, Hideshi Kaieda¹, Koichi Suzuki¹, Toru Mogi², Sabry Abd Allah², Akira Jomori³, Youichi Yuuki⁴

¹ 電力中央研究所, ² 北海道大学, ³ ネオサイエンス, ⁴ 応用地質株式会社

¹CRIEPI, ²Hokkaido Univ., ³NeoScience Co., ⁴Oyo Co.

我が国の高レベル放射性廃棄物の地層処分において、沿岸域は有力な処分地候補の一つである。そして、地表調査とボーリング調査が主体となる概要調査における地表調査計画を効率的に立案することが重要である。

沿岸域では、海水起源の塩水と陸水起源の淡水の境界である塩淡水境界の分布形態を知ることが重要であり、これを探査する手法として電磁（電気）探査が有効と考えられる。この探査を地表から効率的に実施するためには、事前に空中からの探査により概要を把握することが必要となる。

従来の周波数領域の空中探査では海水の影響により、海上で分解能を得られないこと、探査深度が浅いことが課題であった。この点、地表ソース型空中電磁探査は時間領域の測定データを取得するため、探査深度が深い。

今回、概要調査における地表調査計画立案への適用性を検討するために、堆積岩の分布する沿岸域での現地調査を実施した。その結果、既往調査結果と概ね整合的であり、堆積岩の分布する沿岸域における適用可能性を示すことができた。

キーワード: 空中電磁探査, 地層処分, 沿岸域

Keywords: Airborne electromagnetics, Geological disposal, Coastal area

SCG068-P05

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 11:45-12:45

沿岸域の地質環境評価に係るコア管理手法の体系化 Systematization of the management methodology on borehole core for evaluation the geological environment in coastal area

越谷 賢^{1*}, 丸井敦尚¹, 町田 功¹, 井川玲欧¹, 吉岡正光², 西崎聖史³, 萩原育夫², 吉澤拓也³, 佐々木勝司⁴, 伊藤成輝⁵
Masaru Koshigai^{1*}, Atsunao Marui¹, Isao Machida¹, Reo Ikawa¹, Masamitsu Yoshioka², Seiji Nishizaki³, Ikuo Hagiwara², Takuya Yoshizawa³, Katsuji Sasaki⁴, Narimitsu Ito⁵

¹ 産業技術総合研究所地圏資源環境研究部門, ² サンコーコンサルタント株式会社, ³ 産業技術総合研究所(日本工営在籍),
⁴ 株式会社長大, ⁵ 産業技術総合研究所(ニュージェック在籍)

¹GSJ, AIST, ²Suncoh Consultants Co., Ltd., ³GSJ, AIST; NIPPON KOEI Co., Ltd., ⁴Chodai Co., Ltd., ⁵GSJ, AIST; Newjec Inc.

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、多重バリアシステムによって長期的な安全確保がなされる。この処分システムの成立性や安全性に関わる信頼性をより一層高めるためには、天然バリアである地下深部の地質環境の状況把握と将来変化に関わる調査評価技術の信頼性の向上が重要である。沿岸域には、核種移行経路となりうる塩淡水境界や伏在断層など沿岸域に特徴的な地質環境が存在し、その調査・評価手法の高度化開発が求められている。産総研は、北海道幌延町において深度1,004mまでのオールコアボーリングを実施し、連続的なコア試料を採取するとともに、採取コアの各種室内試験を行っている。コア試料の解析・分析は沿岸域の深部に及ぶ地質環境を明らかとするために重要であり、必要となる情報は地下水、岩石物性、地質に係る情報と多岐にわたる。しかしながら、コア管理の手法は、解析・分析の項目によって異なり、求める情報が多いほど複雑となる。そして、コア管理を誤った場合には解析・分析の結果に多大な悪影響が及ぶ。そのため、コア管理手法を徹底し、解析・分析へ及ぶ影響を最小限とすることが、調査評価技術の信頼性の向上にとって重要となる。本研究では、現地作業から室内分析まで作業項目、留意点を洗い出し、体系的なコア管理手法の確立を図った。構築したコア管理手法を適用した結果、解析・分析結果へ及ぶ影響を最小限に収めることが可能となった。ただし、計画変更に伴う柔軟性やさらなる作業効率の向上が課題として挙げられた。本報では、作業項目、留意点の具体例を初め、適用したコア管理手法の内容について報告したい。

謝辞：本研究は、経済産業省よりの委託研究「沿岸域塩淡水境界・断層評価技術高度開発」の研究成果の一部である。そして、経済産業省よりの委託である「平成21年度中小企業支援型研究開発制度」および産業技術総合研究所の研究プロジェクト「工業用地下水源の再開発・合理化研究」において採取されたコア(株式会社ニュージェック、ハイテック株式会社が実施)の一部も使用した。また、本研究を行うにあたり、幌延町と日本原子力研究開発機構幌延深地層研究ユニットの関係各位に大変お世話になった。ここに記して謝意を表します。

キーワード: 体系化, 管理手法, ボーリングコア, 地質環境, 沿岸域

Keywords: Systematization, Management methodology, Borehole core, Geological environment, Coastal area

SCG068-P06

会場:コンベンションホール

時間:5月22日 11:45-12:45

遠心力载荷装置による高レベル放射性廃棄物処分施設周辺の長期挙動に関する実験的研究

Experimental study for a long term behavior of near-field of HLW disposal hole by centrifuge model test

西本 壮志^{1*}, 岡田 哲実¹, 澤田 昌孝¹

Soshi Nishimoto^{1*}, Tetsuji Okada¹, Masataka Sawada¹

¹(財)電力中央研究所

¹CRIEPI

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設周辺(ニアフィールド)では,長期間にわたり,地下水の流れに悪影響を与える物理的・力学的・水理的現象などが発生する可能性がある。これらの長期挙動を明らかにするために,プロトタイプテストや数値解析による検討が行われているが,場所・時間・経済的な制約や解析モデルの妥当性検証などの課題点がある。これらの欠点を補うことが出来る遠心加速度を利用したニアフィールドの縮小模型実験が可能になれば,より実証的なデータの取得によって処分施設の長期間の安全評価の信頼性向上が期待される。そこで本研究では,高レベル放射性廃棄物処分施設ニアフィールドの長期力学挙動評価のために,遠心力载荷装置を用いたニアフィールド模型実験を行った。縮小模型供試体は模型処分孔を空けた岩盤と,ベントナイトおよび模型オーバーバック対から成る。処分孔模型において,岩盤部は180mm円柱状の田下凝灰岩を使用した。緩衝材および埋め戻し材には圧縮ベントナイト(クニゲルV1)を用いた。模型廃棄体はステンレス鋼材(SUS430)にエポキシ樹脂を被覆し作成した。これらは電中研・電事連共同研究報告書(1999)において提案されている処分孔サイズの約1/30の大きさである。供試体は圧力容器に封入された後,所定の拘束圧(2,5,10MPa)を等方圧で付与し30Gの遠心場において試験を行った。透水試験のための注水圧は全水頭の半分(拘束圧の半分),背圧は0.5MPaとして一定制御し,供試体下面より注水した。試験において,ベントナイトの上端に設置した土圧計および非接触変位計で,ベントナイトの膨潤圧,オーバーバックの沈下量を測定した。また,岩石試料にはひずみゲージを貼付し,ひずみを測定した。TG-01(封圧2MPa,注水圧1MPa)において,ベントナイトの膨潤圧は約30時間経過時まで急激に上昇した。その後,約160時間経過時までほぼ一定の値を示したが,その後再度急激に膨張を示し,230時間経過時以降若干の減少の傾向を示した。この間の最大膨潤圧は1.7MPaであった。オーバーバックの変位量(非接触変位計)は,30時間経過時まで沈下傾向を示したが,その後は段階的に浮上傾向,すなわちベントナイトの膨潤圧の変化と似たような傾向を示した。この間の最大沈下量は,実物換算変位量にして約1.5mmであった。ひずみゲージの変化は,30時間経過時まで膨張の傾向を示し,その後は一部のゲージを除きほぼ一定の値を示した。また,160時間経過時以降,ベントナイトの再膨張と同じようなタイミングで収縮の傾向を示した。TG-03(封圧5MPa,注水圧2.5MPa)において,膨潤圧は120時間経過時まで上昇を続け,その後はほぼ一定~若干の減少を示した。最大膨潤圧は1.6MPaであった。オーバーバックの沈下量は,実験の初期段階で急激に沈下後,50時間経過時以降はほぼ一定の値を示した。沈下量は換算変位量にして,約1.5mmであった。TG-05(封圧10MPa,注水圧5MPa)において,膨潤圧は30時間経過後から急激に膨張が始まり,160時間付近でピーク,その後緩やかに低下の傾向を示した。ピーク時の膨潤圧は約3MPa,最終的には2.1MPa程度まで低下した。膨潤圧の大きさ,低下ともほかの2ケースと比べ明らかに大きな値を示している。オーバーバックの変位量は,初期の10時間程度の0.1mm程度の沈下が観察され,その後,膨潤圧と同様に急激に変化,すなわち,急激な浮上が観察された。160時間経過時以降は緩やかな浮上傾向を示している。最終的な変位量は0.7mm程度,実物換算変位で21mmとほかの2ケースに比べ大きな結果となった。側面に貼付したひずみは10~60時間経過時まで急激な膨張,その後,緩やかな低下傾向を示した。供試体上端面に貼付したひずみは,60時間経過時まで急激な収縮が見られたが,その後はほぼ一定の値を示した。

キーワード: 遠心力载荷装置, 高レベル放射性廃棄物, ニアフィールド, 長期挙動, 模型実験

Keywords: Centrifuge, High-level radioactive waste, Near-field, Long term behavior, Model test