



Geo-Labo Chubu ニュースレター

発行：中部土質試験協同組合

〒463-0009 名古屋市守山区緑ヶ丘 804 番

url：<http://www.geolabo-chubu.com>

No.126 2012年 8 月

TEL (052) 758-1500 FAX (052) 758-1503

e-mail：info@geolabo-chubu.com

1. 前理事長 加藤辰昭氏のご逝去に寄せて



故 加藤 辰昭 前理事長

中部土質試験協同組合前理事長 加藤辰昭氏（富士開発株式会社 代表取締役社長）におかれましては、去る平成 24 年 6 月 24 日に急逝されました。70 歳のご生涯でした。6 月 4 日～6 月 10 日に中国への訪問直後でした。

加藤前理事長は、昭和 17 年に名古屋市にお生まれになり、学校法人愛知学院 愛知高校を同 36 年 3 月に卒業された後、同年 4 月に富士開発株式会社に入社されました。入社後は、黒部ダムなどの止水グラウト等でご活躍され、昭和 64 年 1 月に取締役就任されるとともに、三重事務所所長として、ご活躍されました。平成 2 年に代表取締役に就任され、その後のご活躍は、皆様のよくご存じのことです。

加藤辰昭氏は、社業に専念される傍らで、中部地質調査業協会、中部土質試験協同組合、日本ウェルポイント協会、全国さく井協会など（なお中部地質調査業協会傘下の愛知県地質調査業協会においてもめざましいご活躍でした）の理事長、理事として発展にご尽力されると共に、とりわけ NPO 法人沙漠緑化ナゴヤでも、中心的な働きをされていました。この緑化活動に対しては、平成 20 年 12 月に「地球温暖化防止活動環境大臣表彰」を、NPO 法人が受賞されています。この緑化事業に関しては、中部地質調査業協会に関連された数人から、一度一緒に中国に連れて行っていただき、加藤前理事長の働きを紹介していただくという計画が実現できなかったことが、今となっては非常に残念に思います。この件と併せて、今年の 5 月にお会いしたときに、7 月中旬に、中国チベットに行かないかとお誘いがありました。良い機会でしたが、地盤工学会全国大会とブッキングしていたことから、日程変更をお願いしていましたが、この件も実現ができなくなりましたことが残念でなりません。

加藤前理事長は、当組合には平成 12 年度から理事として就任されており、平成 22～23 年度に代 15 代理事長に就任されました。この間、全国に位置している土質試験協同組合の連携を行っているジオ・ラボネットワーク副代表（平成 22 年度）、統括者（平成 23 年度）としても就任され、東北震災後のより強固なネットワーク作りに多大な貢献をされました。

組合の運営では、福利厚生委員長を主に担当され、まさに「加藤旅行社」のご活躍で、特に組合の周年事業での海外研修旅行では欠かせぬ存在でした。創立 20 周年事業の中国桂林への旅行、創立 30 周年事業での中国北京への旅行が組合員の皆様の脳裏に新しいと思います。この 30 周年事業では旅行社を介さず、「加藤旅行社」の計画で、組合員・準組合員の皆様の賛同を得て、建国 60 周年記念式典の翌日に北京にはいるという行程で実施いたしました。特に、加藤旅行社の関係で依頼した中国の添乗員の任さんは責任感のあふれた方で、「羊のしゃぶしゃぶ」店では、任さんが味見をして、納得してから皆様にお出しするように、スタッフに指示していました。おかげで、非常においしく頂いたことが記憶に新しく思い出されます。

加藤前理事長は、社長に就任された後は、中部地質調査業協会の理事長をはじめとして、永年にわたり理事・総務委員会委員長を務められるなど協会事業にも多大なご尽力をなされました。この間、平成 13 年 8 月には、中部地方整備局との意見交換会で協会理事長として、全体をリードされました。この意見交換会は、今でこそ全国の各協会で開催されていますが、現在の形式での各地整との意見交換会は、中部地質調査業協会が先陣を切ったことが特筆されます。全国地質調査業協会連合会、中部地質調査業協会、中部土質試験協同組合への多大なご貢献を忘れることはできません。

最後に、これまでのご活躍に改めて敬意を表しますと共に、心よりご冥福をお祈り申し上げます。

（中部土質試験協同組合 理事長 坪田邦治）

2. 中部地質調査業協会平成 24 年度見学会に参加して

技術部 岩田 暁



岩田 暁

はじめに

平成 24 年 6 月 20 日、中部地質業協会主催の現場見学会に参加させていただきました。季節はずれの台風により開催が心配されましたが、前夜には東海地方を通過したため、当日は天候も回復し、予定通り決行されることとなりました。参加者は総勢 31 名で、岐阜県にある東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所(瑞浪市)・ペレトロン年代測定装置(土岐市)と亜炭採掘跡坑道(御嵩町)を視察しましたので報告します。

1. 見学会開催概要

- ・見学会開催名：平成 24 年度 中部地質調査業協会 現場研修会
- ・見学先：①(独)日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター
②御嵩町亜炭採掘跡坑道
- ・開催日：平成 24 年 6 月 20 日(水)
- ・参加者数：31 名

2. 東濃地科学センター

(1) 瑞浪超深地層研究所(瑞浪市)

将来、高レベル放射性廃棄物を地層処分する際に、必要となる研究データを集めるための施設です。この施設が最終処分場になるわけではないのですが、まずは地下水や岩盤等の地下環境や地下でどのような現象が起こっているのかを研究するために、平成 14 年から瑞浪市で事業が始まりました。現在、深部地質環境の総合的な技術開発の場として、国内外から大きな注目を集めています。

また、日本の代表的な岩石である堆積岩と花崗岩を対象として研究を進めているため、北海道幌延町にも同様の施設が設けられています。北海道幌延町では堆積岩を、岐阜県瑞浪市では花崗岩を対象地質として研究が行われています。

現在この施設では、研究坑道の掘削を伴う研究をしており、深度 500m の水平坑道を掘削中ということです(図-1)。掘削方法は、ただ「穴を掘る」というものでなく、地下が花崗岩であるため、爆薬を使って発破しながら掘り下げ、壁面を観察し、コンクリートで固めていくという作業工程で進められています。

一回の発破により、1.3m 掘削されます。確かに花崗岩を直接ショベルで掘ることは困難です。しかしながら発破後のズリを外に出し、少しずつ掘り下げていくのは、なんとも気の遠くなる大変な作業です。

施設の概況説明を受けた後、地下 300m の研究坑道を見学する班とペレトロン年代測定装置を見学する班に別れました。残念ながら私は後者の班であったため、今回 300m の研究坑道には行くことはできませんでしたが、少なくとも日本の最先端技術で安全に掘削し、技術開発が進められているスケールの大きな事業を知ることができました(p-1~p-3)。

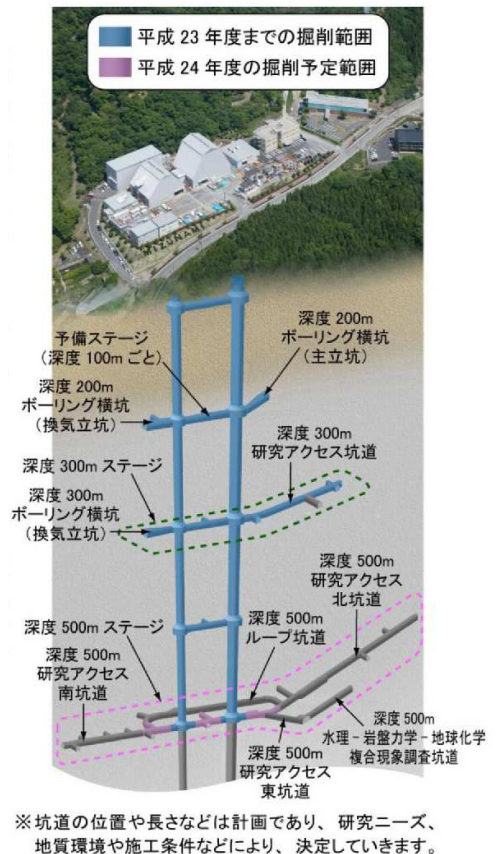


図-1 研究坑道の掘削範囲¹⁾



p-1 防音ハウス



p-2 主立坑



p 3 研究坑道

(2) 東濃地科学センター（ペレトロン年代測定装置(土岐市)）

ペレトロン年代測定装置は、瑞浪超深地層研究所から車で約30分のところにある土岐市の施設に設置されています。

深地層の科学的研究の一つとして、地下水の滞留年代や地層の形成年代についての調査が必要不可欠であることから、この装置が導入されました。現在では、同センター内で得られた試料だけでなく、外部の仕事も受けられており、年間約1000件もの年代測定をされています。

この施設では、ペレトロン年代測定装置を用いて、主に放射性炭素(^{14}C)年代法のための炭素同位体の測定を行っています。

放射性炭素(^{14}C)年代法(図-2)は、自然界で生成されている炭素同位体のうちの放射性炭素 ^{14}C が時間とともに壊変するため、試料中の ^{14}C 濃度を測定することにより、年代値を推定するものです。

測定に用いるペレトロン年代測定装置は、炭素元素中のたった1兆分の1しか含まれない炭素 ^{14}C を測定するため、様々な装置を組み合わせなければなりません。

同センターのパンフレットより装置各部の紹介(炭素測定を例として)を図-3に示しました。

試料は、カソードに詰められた後、ホイールに充填され、①固体試料用イオン源にセットされます。

試料は、そこでイオン化された後、②逐次入射システムで同位体ごとに分離され、③加速器に送られます。加速器では、二段階のイオンの加速が行われ、検出器に運ばれます。 ^{12}C 及び ^{13}C は④ファラデーカップ検出器で、量の少ない ^{14}C は⑤重イオン検出器で検出されます(p-4~p-6)。

③加速器タンク内にはペレットチェーンと呼ばれるプラスチックと金属が交互に連結したチェーンがあり、電荷を運ぶベルトの役割をしています。このチェーンの特徴は耐久性が高く、電荷を安定して供給することができるそうです。ちなみに、ペレトロンとはこのペレットチェーンから名付けられています。

聞き慣れない専門用語が多く短時間の見学であったため、すべてを理解するまでには至りませんでしたが、初めて知る分野として単純に驚嘆しました。瑞浪市の深地層で採取された試料がここで分析され、さらなる研究開発が行われていることを知り、地層処分の実現に向けて私たちの知らないところで多くの方たちが研究に勤しんでおられることを知りました。

放射性炭素 (^{14}C) 年代法

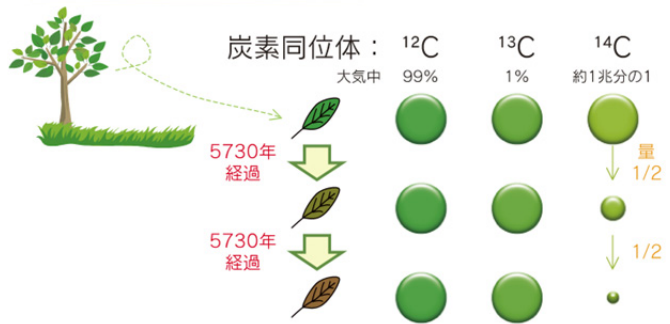


図-2 放射性炭素 (^{14}C) 年代法²⁾

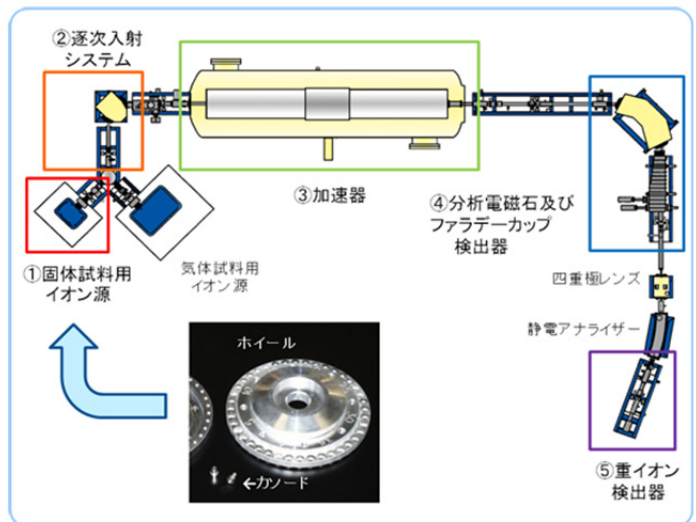


図-3 測定装置配置図²⁾



p-4 熱心に耳を傾ける参加者
(右から2人目は大久保理事長)



p-5 ペレットチェーン
(電荷を運ぶベルトの役割を果たす)



p-6 重イオン検出器
(量の少ない ^{14}C を検出可能)

3. 亜炭採掘跡坑道(御嵩町)見学

午後からは御嵩町亜炭採掘跡坑道へ移動しました。瑞浪市から御嵩町までは車で約45分、のどかな田園風景が広がっていました。

東海地方において、特に美濃炭田と尾張炭田は規模が大きく、最盛期は日本の亜炭の40%以上を産出し、この地方の繁栄を燃料にて支えていました。しかし良質なエネルギー源の台頭により、亜炭鉱は全て閉山されました。これらの亜炭鉱の坑道は坑道のまま残されていたものが多く、「ツボ抜け」と呼ばれる地盤沈下や陥没の原因となりました。陥没被害はかなり少なくなったようですが、現在も続いているようです。特に御嵩町に関しては、町の約1割の地域で亜炭の採掘が行われていました。

バスを降り、田んぼ道から続く細い道を山のほうに向かって少し登ったところに亜炭鉱の入口がありました。今回は御嵩町役場の方々の引率で中へ入ることとなりました。中に入るとすぐに感じたのは、温度の変化でした。坑道は涼しく、まるで鍾乳洞に入ったかのようにでした。また、想像していたよりも大きな坑道で、高さが約3~5m、奥行きも50~100mほどありました。さらには主坑道より横穴がいくつか空いているのも確認できました。前日の雨で坑道内の地面はややぬかるんでおり、濡れた亜炭で坑道全体が黒く光っていたのが印象的でした(p-7~p-10)。

坑道を見渡して感心したことが、よくこの大きさの穴を掘ったものだということです。先人の方々の努力の賜物であることは間違いないですが、現在これが地盤沈下や陥没という大きな問題に発展していることも間違いありません。

地表が陥没した際、これまでは地下の坑道部分には手をつけず、陥没した表面だけを埋めるにすぎなかったもので、もし東海沖・東南海地震など震度6クラスの地震が襲えば、どこが陥没するかわからず危険であることは確かです。然りとて、大きな坑道の埋め戻し工事には莫大な費用がかかります。ではその費用をどこが補填するのか、あるいは別のかたちで安全性を確保していくのか、地震への危機意識が高まるなか、災害時の住環境について今一度、皆が真剣に考えなければならないと思いました。

東北大地震以降、原子力発電の賛否が問われていますが、今後、仮に放射性廃棄物がなくなったとしても、現時点ですでに今まで使用した分の廃棄物は存在しています。電気をつくと同時に、廃棄物も生まれました。便利さの代償の大きさを改めて感じました。地層処分は、放射能が地上にしみ出さないように安全に閉じ込めなければいけません。また御嵩町のみならず、全国の亜炭鉱坑道の陥没も解決しなければいけない問題の一つです。明るい未来のためにも、まずこれらの現実がもっと多くの人に伝わるよう願わずにはいられません。最後に、このような貴重な見学会を開催してくださった中部地質業協会の皆様に改めてお礼を申し上げます。(編集者追記：実はこの見学会も、中部地質調査業協会 加藤研修副委員長が同行する予定でした。)

(引用資料) 1) (独)日本原子力研究開発機構 HP : <http://www.jaea.go.jp/04/tono/jigyou/120423/h24.pdf>, 2012.8

2) (独)日本原子力研究開発機構：ペネトロン年代測定装置(パンフ), 2010.7



p-7 亜炭鉱入口



p-8 亜炭鉱坑道内の様子 (人が十分歩ける高さ・広さ)



p-9 一部埋積されている坑道 p-10 整然と積まれている側壁

3. 地盤工学会代 47 回地盤工学研究発表会参加報告

坪田邦治・久保裕一

H24年7月14日～16日の3連休を活用して、八戸工業大学（青森県八戸市，p-1）にて開催された，第 47 回地盤工学研究発表会に，久保裕一とともに参加してきました。

筆者の一人が参加した内容は，表-1 の通りであった。今年の開催地は，青森県八戸市ということで，交通アクセスに少し難点があったように感じた。ただ，八戸市の人口は 24 万人とのことで，意外に都会なことも再認識できた。

- ・一般発表：1028 編（1025 編+DS9 の 3 編含）（注：DS1-11 部門を含）
- ・展望・特別講演セッション
（本セッションは一般公開でした。）



p-1 会場の八戸工大正面

(1) 展望・特別講演

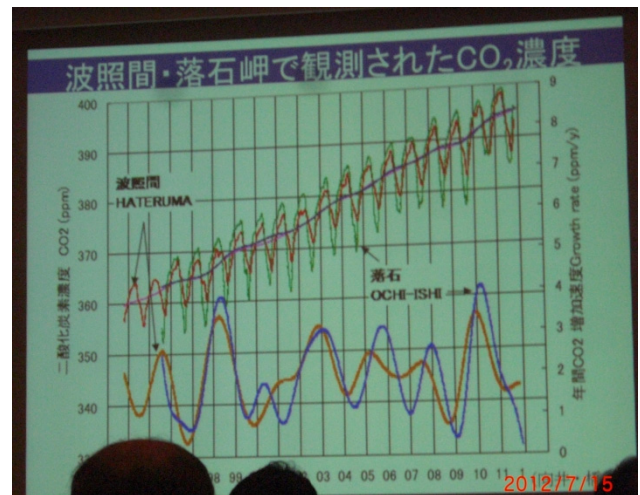
(展望) 大垣眞一郎氏（(独)国立環境研究所理事長）：環境研究のいま-地球，地域，そして，災害時の環境-

これらは，全セッションを中止して，会場を交流会会場に移動しての展望と特別講演でした。展望では，環境の課題は多岐にわたり，公害対策の時代を経て，実に多様な課題が生まれてきた。地球規模から室内空間まで，空間的にも時間的にもその広がりが大きい。国立の研究機関として，幅広い研究の最前線を紹介されました。その中では，災害環境研究と東日本大震災と原子力発電事故を受けた新しい環境研究も含まれる。化学・技術の新しい展開の一側面をお伝えしたいとの内容（前刷りから引用）でした。

ご講演の中では，国立環境研究所の組織，地球環境の変遷（CO₂の継続的増加），福島原発事故によるセシウム 137（¹³⁷Cs）の流出量の解説（大規模降雨による土砂流出がセシウムの流出を促進している等）がありました。また，環境工学・環境科学から見た科学技術の 150 年間の時代区分の解説がありました。



p-2 展望のご講演の大垣理事長



p-3 CO₂の増加状況（継続して増加中）

(特別講演) 岡田康博氏（青森県教育庁文化財保護課長）：縄文人の土木工事 - 知恵と工夫に学ぶ -

縄文文化は，紀元前 13,000 年前に成立し，温暖湿潤の気候の下，約 10,000 年間継続した日本列島特有の新石器時代の文化である。列島内の多様な生態系に適応し，本格的な農耕と牧畜を選択せず，狩猟・採集・漁労を基盤としながら，人類史の大きな画期である定住を達成した。定住の成熟と共に，日常生活の拠点である集落は様々な施設や機能を充実させた。

その中には，土木工事と呼べるような，多くの労働力を伴い，専門的な技術を必要とする活動も見られた。しかし，それらは，再生可能，持続可能な生活システムの中に留まるものであり，自然との共生を逸脱するものではなかった（前刷りから引用）。というような内容で，非常に熱心なご講演でした。

講演の中では、全国の遺跡数は約 46 万ヶ所あり、縄文遺跡は約 8 万 8 千ヶ所で、その内の 4 割は、北海道～北東北に所在するとの報告がありました。縄文時代の土木工事としては、盛土・切土等の土地造成、道路(造成、木道、石積み階段)、掘削(住居、記念物、ため池)、護岸(盛土、杭)、植林(縄文里山)等がなされており、この背景には、定住生活が確立されたことと、社会の発達に伴って、作業可能な技術や組織の存在が関係しているとの解説でした。最後に縄文人・弥生人の再現をした PPT の紹介がありました。これに関しては、PPT を写真に撮りましたが、現代の美人に例えるならば、縄文人の代表は吉永小百合さんで、弥生人の代表は岩下志麻さんとの解説でしたが、筆者の個人的な好みは、縄文人ですが、皆様はいかがですか？



p-4 ご講演中の 岡田康博氏



p-5 縄文人(左側)と弥生人(右側)の再現

(2) 一般発表セッション

筆者の内の一人が参加したセッションを一覧表にしました。最後のセッションは、帰りの新幹線の都合で参加できませんでした。これらの内容を詳細には記述できませんが、今後の業務に生かせると考えています。

表-1 参加したセッション

日程	9:00～10:30	10:45～12:15	13:00～14:30	14:45～16:15	16:30～18:00
7月14日	No.748 ～ No.754	No.755 ～ No.760	No.602 ～ No.608	No.178 ～ No.185	No.195 ～ No.201
	住宅地の液状化	地盤と液状化	土留め	砂質土 (強度)	砂質土 (動的性質)
	(地盤防災)	(地盤防災)	(地盤と構造物)	(地盤材料)	(地盤材料)
	森 友宏 (東北大学)	仙頭紀明 (日大)	高橋真一 (大林組)	小高猛司 (名城大学)	新坂孝志 (三信建設工業)
7月15日	No.274 ～ No.281	No.52 ～ No.58	No.782～788	特別講演会	
	改良土 (物理化学的性質)	被害調査	液状化判定	(展望) 大垣眞一郎 (独:国立環境研究所) ・環境研究の今	(特別講演) 岡田康博 (青森県教育庁) ・縄文人の土木工事 -知恵と工夫に学ぶ-
	(地盤材料)	(調査・分類)	(地盤防災)		
	御手洗義夫 (東亜建設工業)	高橋一雄 (テクノ長谷)	吉田 望 (東北学院大学)		
7月16日	No.736 ～ No.741	No.89 ～ No.96	No.25 ～ No.31	(新幹線の時刻の関係 で欠席)	
	地質と地盤	圧密沈下②	粘性土		
	(地盤防災)	(地盤挙動)	(地盤材料)		
	片岡俊一 (弘前大学)	飯塚 敦 (神戸大学)	萩野俊寛 (秋田大学)		

(特に印象に残った発表:No. 760 浅岡顕ほか:深部地層傾斜がもたらす表層地盤の液状化被害の非一様性)

・東日本大震災で、浦安地区の液状化が大きな問題となっており、これらに関連した発表が非常に多かった。当組合も一部の地盤材料試験で関連させていただいているが、「地盤と液状化」セッションでの浅岡先生の発表は、参加されている方々からも多くの関心が寄せられた(塩井幸武先生他)。

内容を少し紹介しますが、是非、この論文をご一読されることを希望します。

- 問題点: 浦安市をはじめとする東京湾沿岸部の液状化被害の特徴としては、①震源から離れており、震度 5 程度 (K-net などの地表面観測記録で最大 100～200gal 程度) の揺れであるにもかかわらず、甚大な液状化被害が発生したこと、②液状化地域周辺から採取した試料の粒度特性を調べたところ、従来は液状化しにくいと考えられてきた細粒分を多く含む土であったこと、③液状化被害の程度が空間的に非一様で、そのばらつきが大きいことが特徴としている。特に、液状化被害が軽微であった陸側は沖積粘土層厚が薄いのに対し、液状化被害が甚大であった海側へ向かうほど厚くなっている地層構成に着目。

●解析結果：液状化層の深部に堆積する粘土層の存在およびその地層傾斜に着目して、多層系地盤の弾塑性地震応答解析を実施した。その結果、深部傾斜境界の存在によって、地層傾斜部では局所的なせん断変形が卓越し、地盤内に液状化が非一様に発生することを示した。実地盤は材料・状態が不均一であるが、均質な地盤を仮定しても、地層構成／傾斜によって地盤変状が局所的かつ不均一に発生する。これらは、浦安で観測された非一様かつ甚大な液状化被害の一要因として捉えることができるとしている。

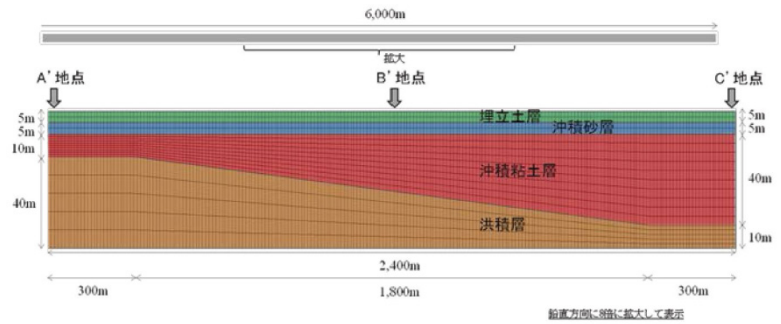


図1 解析に用いた有限要素メッシュ
(浅岡先生のNo. 760より引用)

●今後：地盤工学会東日本大震災対応調査研究委員会「地盤変状メカニズム研究委員会（委員長：浅岡顕）」の成果に期待したい。今後、No.135で発表された中井健太郎先生による浦安地区で得られたデータを直接入力された上での解析結果が楽しみな所です。

(当組合の久保裕一の発表報告：土の繰返し三軸試験における過剰間隙水圧の挙動に関する一検討)

●発表の要旨：繰返し三軸試験における過剰間隙水圧の挙動について検討を加え、荷重制御で沖積砂質土を試験する場合、計測範囲が $\gamma=2\%$ 付近が限界であること、粘性土でも、 $\Delta u/\sigma'_c$ が50～60%まで上昇することから、次のステージ載荷の過剰間隙水圧消散に十分注意が必要であることを指摘した。試験の簡易さから、荷重制御方式で試験を実施しているが、荷重制御方式はひずみ間隔を制御できないため、ひずみ制御方式と比較して、試験者の技量の差による試験結果への影響が生じる可能性が高いと考えていることなどを紹介した(巻末に、投稿論文を掲載しましたのでご参照下さい)。

また、最近の地震応答解析では、入力地震動が大きくなり、併せて、大ひずみ領域の計測が必要とされてきていることから、上記も含めて、試験方法、報告事項などについて、見直しや再検討する時期に来ていると考えていること等を発表した。今後、繰返し三軸試験のより適正な評価のために、過剰間隙水圧等の情報を報告可能なように、データシートの見直し等に継続されていくと望ましいと考えている。



p-6 久保の発表：会場には浅岡先生、小高先生、中井先生も参加) p-7 期間中に、関西組合さんとの交流も実施

この他、各セッションで、繰返しせん断試験が発表されていたが、適用されている供試体のサイズが、今のところ種々様々であることが、試験組合としては興味があり、各発表者にコンセプトをお聞きした。今後のことを考慮すると、本試験の動向にも留意しておく必要があると感じています。

(4) 技術展示会 (41社)

CDM、不動テトラ、前田工織、ライト工業などの多くの展示がなされていました。組合員関係では、川崎地質(株)、(株)ダイヤコンサルタント、日特建設(株)、準組合員からは、応用地質(株)が出展。41ブースの出展は近年では比較的多くの参加があり、会計的にもプラス側にシフトしていると感じてきました。

この他には、試験機メーカーから、丸東製作所・マルイが参加していました。

4. 平成 24 年度職員旅行実施報告

平成 24 年度の組合職員旅行を 6 月 9 日(土)～10 日(日)に実施してきました。今年度は、明石海峡大橋～淡路島(野島断層見学館)～鳴門大橋(うず潮)～阿波の土柱(図-1 参照)という、地盤に深く関連した職員旅行でした。

(1) 世界三大奇勝と称されている阿波の土柱

-土柱礫層(引用元:石田啓祐他, 阿波学会紀要, 2010. 7)-

吉野川北岸地域には、半～未固結の礫・砂・泥からなる河成層が分布しており、須鎗他は見学地を模式地として、土中礫層と名付けた(1965)。土柱礫層の層相は、和泉層群に由来する砂岩・頁岩・凝灰岩の礫から構成されており、角礫～亜角礫で、円磨度も低く、淘汰をほとんど受けていない。これらの礫層の中には、薄い砂層やシルト～粘土層を挟在していることがあるが、連続性に乏しいとされている。

一般的に、扇状地は扇頂部、扇央部、扇端部と分類されるが、見学した地域は、扇頂部で形成された扇状地型礫層であるとされ、北に分布する阿讃山脈から土石流として供給されたと考えられている。

なお、見学地の堆積層は、全体的に北東に約 20° 傾斜しており、中に分布する火山灰の同定によると、Ss-Pnk に対比される可能性が高いとされている。Ss-Pnk は、大分県に広く分布する耶馬溪火砕流堆積物に伴う広域火山灰(およそ 100 万年前)で、四国・近畿・北陸・関東にもおよぶとされている(町田・新井, 2003)。これらのことから、当地域の堆積年代は、前期更新世(258～78 万年前)とされている。



図 -1 観光バス走行ルートと観光主要ポイント



p-1 阿波の土柱の中心的露頭である波濤嶽(国指定の天然記念物:昭和 9 年 5 月 1 日)



p-2 波濤嶽をバックに集合写真



p-3 波濤嶽を上から見ました。

(アメリカのロッキー山脈とイタリアのチロルの土柱と阿波市にしかない貴重なもので、世界三大奇勝と称されている)



p-4 波濤嶽を横からも観察(緩やかな傾斜が見える)

(2) 大鳴門橋とうず潮 (大鳴門橋に関する引用元：野村 直茂 (財)道路保全技術センターに一部加筆)

大鳴門橋は、淡路島門崎と鳴門市大毛島の最短部 1,300m を連絡する中央支間 876m、橋長 1629m の 2 ヒンジ道路・鉄道併用つり橋です。その側塔 1 基と主塔 2 基に多柱式基礎が採用されている。この多柱式基礎は、以下のような特徴を有している。

- ① 柱 1 本ごとの施工単位が独立していて、 施工期間中の不安定な時間を短縮できる。
- ② 剛体式基礎に比べ、掘削・コンクリートなどの施工数量が少ない。
- ③ 潮流方向の投影面積が小さいため、 潮流による後流域への影響が少ない。
- ④ ロータリー式大口径掘削機によってケーシング管内の循環泥水方式でずり揚げを行えるため、海水の汚濁を極力抑えることができる。
- ⑤ 掘削に発破を用いないため、周辺岩盤の掘削による乱れが少ない。

調査は、基礎地盤 C・サンコーC調査JV が担当し、プレシオメーターを用いて、基礎地盤である和泉層群の評価が実施されています。この調査の前提に、長崎県の平戸大橋調査（第三紀層の砂岩・頁岩を対象に高圧プレシオメーターが多用されている）があることをご存じの方もこの業界で少なくなったようです。



p-5 淡路側からみた大鳴門橋



p-6 船の上からみたうず潮(中潮でこのクラス)と多柱基礎



p-7 大鳴門橋のうずの道からうず潮の観潮もしました。



p-8 うずの道から観察できる和泉層群の互層

(3) 野島断層保存館 (野島断層記述の引用元：ウィキペディア)

野島断層保存館に行くのは何度目だろうか。最初は、名古屋に赴任したばかりの平成 7 年度 愛知県地質調査業協会の見学会だった。このときは、急逝された加藤前理事長が団長となり、阪神大震災の発生後半年くらいで訪問している。現在、保存されている断層のずれも大変シャープであったような記憶があるが、今回は、少しなだらかになっている様な気がした。筆者は、平成 7 年 1 月には、神戸市民であり、震度 6 を体験した。そのときの記憶はまだ鮮明であり、ここを訪問するたびに、南海トラフ大地震に備えなければと思う。1995 年(平成 7 年) 1 月 17 日午前 5 時 46 分に発生した兵庫県南部地震の際に活動した六甲・淡路島断層帯を構成する断層の一つで、震源に最も近い断層。地震発生の際に断層南東側が南西方向に約 1m ~2m 横ずれした横ずれ断層であり、同時に南東側が約 50cm~1.2m 隆起した逆断層となっている。



p-9 野島断層保存館は、北淡 震災記念公園にあります。



p-10 保存館の中の野島断層（すこしなだらかに?）

(4) 明石海峡大橋（明石海峡大橋記述の引用元：ウィキペディアを加筆）

全長 3,911m（大震災で全長が 1m 伸びた）、中央支間 1,991m で世界最長の吊り橋である。明石大橋（正式には、明石海峡大橋）の主塔の高さは海面上 298.3m であり、国内では東京スカイツリー（634.0m）、東京タワー（332.6m）、阿部野橋ターミナルビル（あべのハルカス：300.0m ※2014 年竣工時の高さ）に次ぎ、横浜ランドマークタワー（296.3m、海拔は 300m で同じ高さとなる）を超える高さの構造物である。

この海峡部の地盤調査には、SEP-KAJIMA が使われ、24 時間体制で、基礎地盤 C.+サンコーC.JV で調査が実施された。明石礫層のサンプリングには、φ=300mm の三重管サンプラーが適用された。この試料は、神戸側の舞子に、「橋の科学館」があり、入り口付近に展示されていた（入社当時、神戸にありました試験室に大型三軸試験があり、試験の応援に通っていたことが懐かしい）。

この科学館は、本州四国連絡橋の建設に使われた、世界最高水準の架橋技術を一堂に集め、人々の知的向上心を高める学習の場として、また架橋技術の広報の場として、本州四国連絡橋公団が設置したサイエンスミュージアムとされている。

今回は、訪問できなかったが、いつか再訪問したいミュージアムである。



p-11 雄大な明石海峡大橋を淡路島側から眺める。対岸は、神戸市。



p-12 明石海峡大橋を背景に、淡路島 SA での集合写真（往路）



p-13 淡路島側での海鮮バーベキューで旅行締め乾杯（復路）。

土の繰返し三軸試験における過剰間隙水圧の挙動に関する一検討

土質試験，せん断ひずみ，変形特性

中部土質試験協同組合 正会員 ○久保 裕一

正会員 坪田 邦治

1. はじめに

兵庫県南部地震以降，レベル 2 地震動が考慮されるようになり，実務面でも地震応答解析が多く適用されるようになった。このため，解析に必要な $G-\gamma$, $h-\gamma$ 関係を求める「地盤材料の変形特性を求めるための繰返し三軸試験」(以降，繰返し三軸試験)が実務でも多用されるようになってきた。繰返し三軸試験は，中空ねじり試験と比較して試験方法が簡単で，試験費用も経済的などの利点がある。しかし，せん断ひずみ(γ)が 0.1%以上となる中ひずみ領域では，応力-ひずみ関係が定常化しなくなるとともに，ステージ間排水の影響により供試体が密実化していくなどいくつかの問題点が指摘されている¹⁾。これらは，繰返し载荷中に発生する過剰間隙水圧が主たる原因と考えられている。この過剰間隙水圧については，現在の学会基準では，データシートに記入欄がないことからほとんど報告されておらず，挙動に関する報告も少ないのが実情である。本報では，濃尾平野から採取された沖積粘性土，沖積砂質土について，繰返し三軸試験の過剰間隙水圧の挙動について検討するとともに，その試験結果の報告内容についても課題を提起したい。

2. 試験試料及び試験方法

表-1 検討に用いた粘性土データ

表-2 検討に用いた砂質土データ

(1) 検討に適用した試験試料

今回使用した試料は，濃尾地域で採取された乱れの少ない沖積粘性土 14 試料(表-1)，沖積砂質土 14 試料(表-2)である。

(2) 試験方法

試験は，地盤工学会基準 JGS 0542-2009 に準拠し，周波数 0.1Hz の荷重制御で実施した。

試料	W n (%)	ρ_s (g/cm ³)	Fc (%)	ρ_t (g/cm ³)	σ_{rc} (kN/m ²)	E_{eq} (MN/m ²)
1	68.5	2.744	97.8	1.598	140	67
2	64.1	2.725	97.4	1.620	180	86
3	46.6	2.753	96.9	1.753	220	127
4	72.2	2.713	96.1	1.574	140	70
5	53.7	2.689	83.2	1.661	190	116
6	50.6	2.730	97.6	1.720	230	119
7	63.0	2.722	96.3	1.608	210	110
8	48.8	2.704	93.2	1.706	220	125
9	63.8	2.694	98.5	1.610	240	116
10	65.6	2.697	97.3	1.602	260	117
11	58.3	2.700	90.9	1.646	100	97
12	60.6	2.703	96.7	1.643	140	110
13	61.6	2.763	96.7	1.635	200	122
14	60.4	2.744	96.6	1.623	230	132

試料	W n (%)	ρ_s (g/cm ³)	Fc (%)	ρ_t (g/cm ³)	σ_{rc} (kN/m ²)	E_{eq} (MN/m ²)
1	23.6	2.683	20.3	1.929	60	111
2	23.1	2.658	14.1	1.836	80	135
3	24.5	-	2.0	1.870	70	103
4	23.3	-	11.0	1.858	70	120
5	25.0	-	9.2	1.871	120	155
6	30.1	-	9.2	1.806	120	139
7	29.4	2.719	24.5	1.935	110	169
8	27.1	2.699	34.2	1.938	120	182
9	15.1	2.709	12.5	2.005	50	164
10	28.9	2.667	25.7	1.853	250	216
11	22.7	2.665	19.8	1.891	100	128
12	31.6	2.720	9.3	1.808	50	149
13	26.0	2.627	14.6	1.873	120	172
14	13.2	2.670	22.1	1.831	300	266

供試体径は，粘性土・砂質土ともに直径 5cm，高さ 10cm とし，供試体をセルに設置後に，CO₂ と背圧 200kN/m² を作用させ B 値を高めた。粘性土では，等方圧密後に B 値 0.95 以上を確認している。ただし，今回のデータは当組合で実施した試験データを用いて考察しているため，試験結果の判読には，拘束圧条件が一定でないことに留意が必要と考える。

3. 繰返し载荷回数の違いによる過剰間隙水圧比の変化

(1) 粘性土

粘性土の繰返し载荷回数による過剰間隙水圧比の挙動を図-1 に示す。過剰間隙水圧比 ($\Delta u/\sigma'_c$) は，せん断ひずみ(γ)が 0.02% 付近から上昇し始め， $\gamma=0.1\%$ 付近では $\Delta u/\sigma'_c$ が 5~10% 程度まで上昇している。また， $\gamma \geq 0.1\%$ になると，繰返し载荷回数ごとに上昇する割合に差が生じ， $\gamma=1\%$ 付近で比較すると，载荷回数 10 の $\Delta u/\sigma'_c$ 値が，载荷回数 2 の約 1.5 倍になっている。これは， $\gamma \geq 1\%$ の領域になると，繰返し载荷回数ごとに過剰間隙水圧が上昇し，せん断ひずみが徐々に増加していくことによると考えられる。繰返し载荷回数 10 回の $\gamma=2\%$ 付近では， $\Delta u/\sigma'_c \approx 50 \sim 65\%$ 付近まで上昇している。

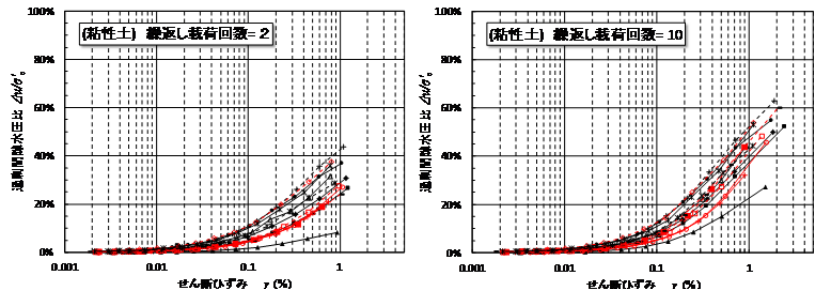


図-1 粘性土のせん断ひずみと過剰間隙水圧比の関係

(2) 砂質土

粘性土と同様に，砂質土の状況を図-2 に示すが， $\gamma=0.01\%$ 付近から $\Delta u/\sigma'_c$ が上昇し始めており，粘性土より上昇開始が早いことが判る。 $\gamma=0.03\%$ 付近から粘性土と同様に，繰返し载荷回数ごとに $\Delta u/\sigma'_c$ の上昇に差が生じる。繰返し载荷回数 10 回の $\gamma=0.2\%$ 付近の $\Delta u/\sigma'_c$ は，繰返し载荷回数 2 回の 1.5~2 倍程度に上昇し， $\gamma=2\%$ 付近では $\Delta u/\sigma'_c = 90\%$ 程度まで上昇していることが判った。砂質土の特徴として，繰返し载荷回数ごとの過剰間隙水圧の上昇割合が大きいために， γ が増

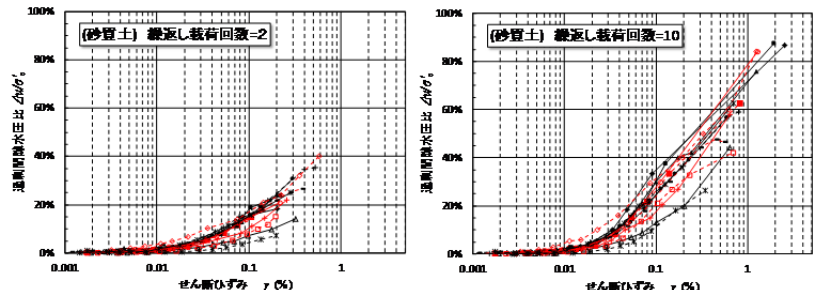


図-2 砂質土のせん断ひずみと過剰間隙水圧比の関係

An examination of excess pore water pressure behavior in cyclic triaxial test to determine deformation properties geomaterials

Y.Kubo, K.Tsubota: Chubu Soil Research Co-operation (Geolabo-Chubu)

加していく割合も大きいと考える。この傾向は、 γ が増加していくごとにより顕著となり、繰返し載荷回数 10 回の $\gamma=2\%$ は、繰返し載荷回数 2 回の場合 ($\gamma=0.2\sim 0.4\%$) と比較すると、せん断ひずみが 1 桁増加していることが判った。

4. せん断ひずみ $\gamma=1\%$ 付近の供試体の状態

砂質土と粘性土において、 $\gamma=1\%$ 付近の代表的な供試体の状態を図-3 に示し、その特徴を以下に記述した。

(1) 過剰間隙水圧比～繰返し載荷回数関係

砂質土では、繰返し載荷回数 11 回で $\Delta u/\sigma'_c=90\%$ 付近まで上昇しており、7 回以降では上端が凹になる曲線が得られている。これは、繰返し三軸試験でよく見られる現象であり、ほぼ液状化していると考えられる。これに対して、粘性土では、砂質土と比較して上昇の割合が小さく、砂質土で見られる上端が凹になる曲線も出現してこないことが判った。

(2) 軸差応力～平均有効応力関係

砂質土では、繰返し回数ごとに $\Delta u/\sigma'_c$ が上昇し、平均有効応力が減少 (左に移動) し、(1) と同様に、この関係からも、繰返し載荷回数 7 回から曲線の形が変化し変相していることが判る。この変相は、繰返し三軸試験でよくみられる現象で、ダイレイタンスー特性が変化する場合に起ると考えられる。また、この現象は、密な試料ほど発生しやすく、緩い試料では変相に至らず液状化することが多いことから、ここに表示した供試体はやや密な状態であったと考えられる。

粘性土では、繰返し回数ごとに過剰間隙水圧が上昇し、曲線の間隔も徐々に狭くなる。しかし、砂質土のように大きく形が変化することはなく、同じような形で平均有効応力が減少するが多い。このことから、供試体の応力状態が大きく変化しているとは考えにくい。このように、有効応力経路図があれば、供試体の状態をよく把握できると考える。

(3) 応力～ひずみ関係

砂質土では、繰返し回数ごとにせん断ひずみが極端に増加する。この場合、増加していくのは引張方向で、圧縮方向はほとんど増加していないといえる。粘性土でも、繰返し回数ごとにせん断ひずみが増加するが、砂質土と比較してせん断ひずみの増加割合が小さく、また、圧縮側でもせん断ひずみが増加していることが特徴といえる。

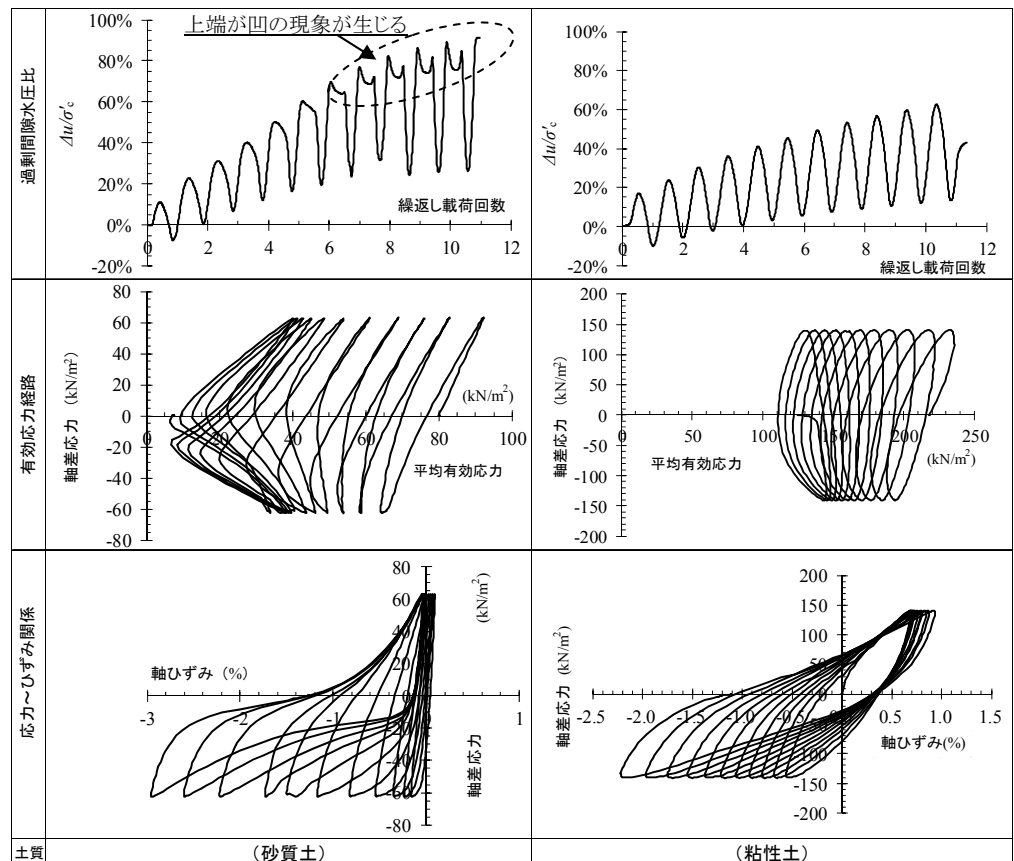


図-3 せん断ひずみ 1% 付近の供試体状況

5. まとめ

繰返し三軸試験における過剰間隙水圧の挙動について検討を加えた。

a. 繰返し載荷回数 10 回の $\gamma=2\%$ 付近では、粘性土で約 50~60%、砂質土で約 85~90% 程度まで $\Delta u/\sigma'_c$ が上昇していること

が判った。このことから、砂質土ではほぼ液状化している状態と考えられる。このことから、荷重制御で沖積砂質土を試験する場合、計測範囲が $\gamma=2\%$ 付近が限界であると考えられる。なお、荷重ステップを極端に小さくすれば、計測は可能になるが、ステージごとに供試体が密実化することが考えられ、適切な試験方法ではないと考えられる。

b. 粘性土でも、 $\Delta u/\sigma'_c$ が 50~60% まで上昇することから、次のステージ荷重の過剰間隙水圧消散に十分注意が必要である。

c. ここで指摘したように、試験中に発生する過剰間隙水圧情報は重要で、データシートで報告することが望ましいと考える。また、試験の簡易さから、荷重制御方式で試験を実施しているが、荷重制御方式はひずみ間隔を制御できないため、ひずみ制御方式と比較して、試験者の技量の差による試験結果への影響が生じる可能性が高いと考える。

最近の地震応答解析では、入力地震動が大きくなり、併せて、大ひずみ領域の計測が必要とされてきていることから、上記も含めて、試験方法、報告事項などについて、見直しや再検討する時期に来ていると考えている。

最後に、本検討に際し、試験結果を提供して下さいました組合員の技術者の皆様方に、深謝の意を表します。

(参考文献) 1) 吉田望・三上武子:時代の要請に応える土の繰返しせん断変形特性試験の確立を、地盤工学会誌, vol.58-2, pp.1~5, 2010.