



中部ミニフォーラム優秀論文

2021

連続加圧方式による保水性試験の加圧方法が水分特性曲線に及ぼす影響

中部土質試験協同組合 ○石原 聖子 伊吹 卓紘 清水 亮太 法安 章二

1. はじめに

土の保水性試験は、地盤の不飽和浸透特性を評価する重要な試験であるものの、高度な試験技術を要することや試験期間が非常に長いため、適切な時機に試験結果を提供できないという問題を抱えている。

このような問題に対し、畠山ら¹⁾は試験の簡便化および短期間化を目的として連続加圧方式による保水性試験装置の開発および新たな試験方法を提案している。

本研究では、畠山らに倣い、連続加圧方式による保水性試験の加圧速度と載荷方法を変えて試験を行うことで、水分特性曲線に及ぼす影響について比較を行った。

2. 従来の試験方法と連続加圧方式の違い

保水性試験における従来の加圧法(加圧板法)²⁾では、毛管飽和させた供試体に正の空気圧を負荷し、水分平衡に達するまで排水量の計測を行う。一般的には、排水過程および吸水過程でそれぞれ4段階から6段階の異なる空気圧を順次負荷することで水分特性曲線を求めるが、水分平衡に達するまでの時間は1段階で数日要することも多く、試験期間は長期にわたる。

一方、本研究で用いた連続加圧方式では、供試体中心部に設置したマイクロテンシオメータで間隙水圧 u_w を計測しながら空気圧 u_a を一定の速度で連続的に与える。空気圧 u_a と間隙水圧 u_w の圧力差をサクション s と定義し、次式で算定する。

$$s = u_a - u_w \quad (1)$$

これにより、水分平衡を待たずにサクション s が求められるため、試験期間の大幅な短縮を図ることができる。

3. 試験試料と供試体作製条件

本研究では、DLクレイを用いて試験を行った。DLクレイの物理特性と粒径加積曲線を図-1に示す。シルト分を86.8%有し、粘性がほとんどない非塑性の試料である。

供試体は、最適含水比近傍に含水比を調整した試料を用いて、直径5cm、高さ5cmの試験容器に3層の締め固めによって作製した。供試体の作製条件を表-1に示す。

作製した供試体の底面中心にマイクロテンシオメータを挿入するための孔をあけ、毛管飽和を24時間行った。

なお、供試体作製の際に用いた試験器具や作製手順の詳細は文献1)を参照されたい。

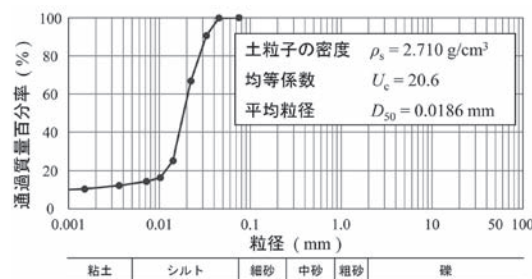


図-1 DLクレイの物理特性と粒径加積曲線

表-1 供試体作製条件

締め固め特性		供試体の状態 (締め固め度 $D_c = 95\%$)	
最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.484	設定乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	1.410
最適含水比 w_{opt} (%)	21.9	設定含水比 w (%)	21.5

4. 加圧速度と載荷方法

本研究では、加圧速度と載荷方法の違いが水分特性曲線に及ぼす影響を調べることを目的としている。そこで、加圧速度は0.1kPa/minと10.0kPa/min、載荷方法は所定の空気圧に到達した後にすぐに減圧過程に転じる三角載荷と、所定の空気圧に到達した後に圧力を保持する台形載荷とし、計4種類の加圧方法によって試験を行った。加圧方法の模式図を図-2に示す。なお、負荷する空気圧の最大値は200kPaとし、圧力保持時間は24時間とした。

CASE-1は加圧速度が0.1kPa/minの三角載荷、CASE-2は加圧速度が10.0kPa/minの三角載荷、CASE-3は加圧速度が0.1kPa/minの台形載荷、CASE-4は加圧速度が10.0kPa/minの台形載荷である。

	CASE-1	CASE-2	CASE-3	CASE-4
載荷方法	三角載荷	三角載荷	台形載荷	台形載荷
加圧速度 (kPa/min)	0.1	10.0	0.1	10.0
負荷経路 (kPa)	0 → 200 → 0(※) ※24時間保持	0 → 200 → 0(※) ※24時間保持	0 → 200(※) → 0(※) ※24時間保持	0 → 200(※) → 0(※) ※24時間保持

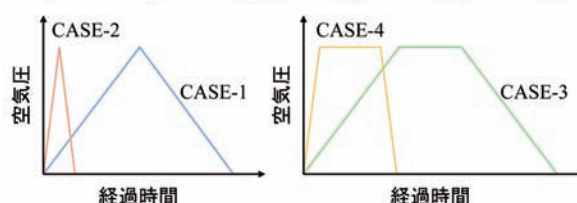


図-2 加圧方法の模式図

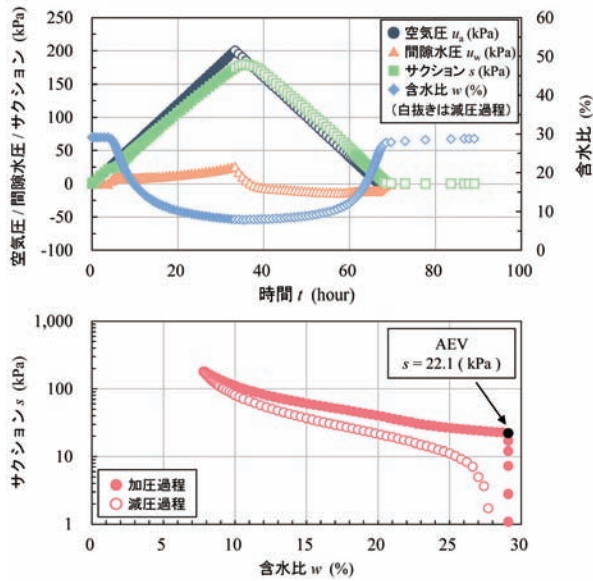


図-3 各諸量の経時変化と水分特性曲線 (CASE-1)

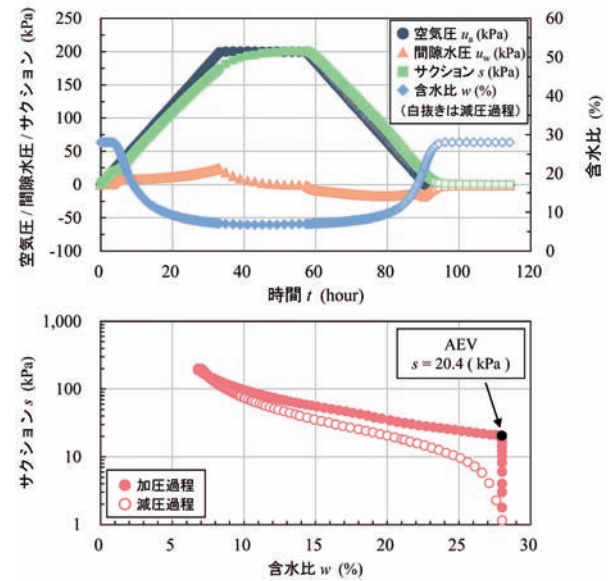


図-5 各諸量の経時変化と水分特性曲線 (CASE-3)

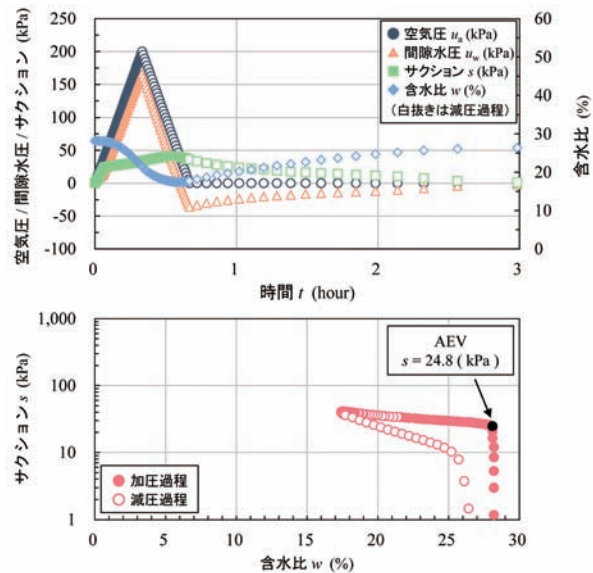


図-4 各諸量の経時変化と水分特性曲線 (CASE-2)

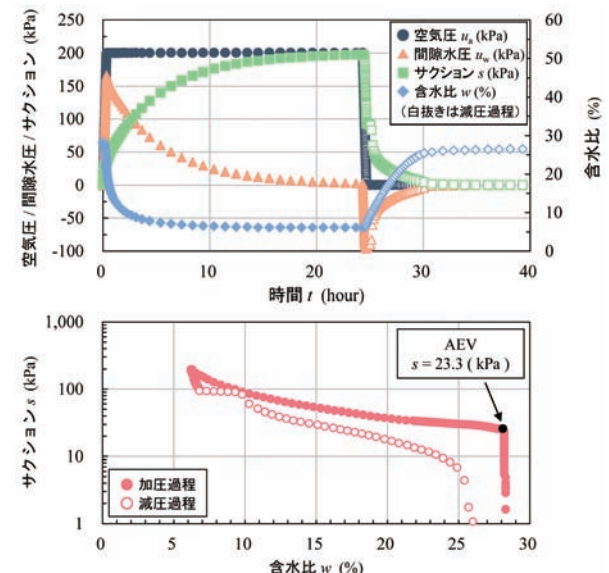


図-6 各諸量の経時変化と水分特性曲線 (CASE-4)

5. 試験結果と考察

試験結果を図-3～図-6に示す。各図の上部には空気圧・間隙水圧・サクション・含水比の経時変化を表し、下部には水分特性曲線と空気侵入値(AEV)を示した。

加圧速度が等しく、載荷方法の異なるCASE-1とCASE-3の水分特性曲線を比較すると、ほぼ同様の果が得られていることが分かる。これは0.1kPa/minの速度で加圧している間に十分な排水が行われるため、圧力保持時間の有無による差が少なかったものと考えられる。

同様にCASE-2とCASE-4を比較すると、CASE-2のサクションの値が小さいうちから減圧過程に転じており、排水が不十分であることが分かる。また、CASE-4に着目すると、減圧開始直後にサクションが急激に小さくなっていることが分かる。これは空気圧が200kPaから0kPaまで急激に減圧したことに対し、間隙水圧は大気圧との差分以上の負圧を計測できないためであると考えられる。

6. おわりに

本研究では、加圧方法の違いが水分特性曲線に及ぼす影響について、加圧速度と載荷方法の異なる4つの加圧方法で試験を行った。その結果、加圧速度が0.1kPa/minの場合は、載荷方法に関わらず類似した水分特性曲線が得られた。しかし、加圧速度が10.0kPa/minの三角載荷では、十分に排水が行えず、部分的な水分特性曲線しか得られなかった。また、10.0kPa/minの台形載荷においても、急激な減圧が間隙水圧に影響を及ぼすことが分かった。

《引用・参考文献》

- 1) 畠山 正則, 京野 修, 川原 孝洋: 連続加圧方式による保水性試験装置の開発, 応用地質技術年報, No.34, pp.23-54, 2015.
- 2) 地盤工学会: 地盤材料試験の方法と解説-第一回改訂版-, pp.184-198, 2020.

横坑内ボーリング作業の安全管理

株式会社アサノ大成基礎エンジニアリング ○斉藤 倫久 廣瀬 義純

1. はじめに

ボーリング調査には、平地や山岳地さらには水上等の様々な現場条件がある。現場管理者の重要な責務は、個々の現場条件に応じて事故や災害が起こる前に十分な対策を講じ、作業員の安全と健康を守ることである。また、当然ながら労働安全衛生法¹⁾(以下、安衛法)及び労働安全衛生規則²⁾(以下、安衛則)を遵守し、作業環境の整備や対策を実施する必要がある。

本論は、“横坑内”という特殊条件下のボーリング調査において、我々が留意・工夫して実践した安全管理の対応事例を紹介するものである。

2. 横坑の作業条件

横坑は、ダム建設事業に伴う“調査横坑”として、地質観察を目的に幅1.5m、高さ2.0mで掘削されたものである。入り口付近等の一部でH鋼や木材による支保が設置されているが、大部分は自然状態の岩盤(今回の対象地では美濃帯の砂岩及び粘板岩)が露出したままの素掘り横坑である。

今回の調査では、2本の横坑(昭和60年と平成10年施工)の内部で、長さ70mの水平ボーリングを行った。作業に最低限必要となる空間は、横坑掘削の専門業者に委託して、ボーリング調査前に幅4.5m×3.5m、高さ2.5mの範囲で拡幅工事をして設けた(図-1)。

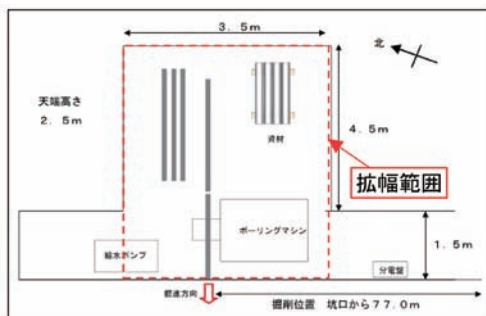


図-1 ボーリング作業箇所(拡幅後)の概略図

3. 横坑内の作業リスク

作業計画にあたってはリスクアセスメントを行い、事前に作業上のリスクを抽出した。横坑内作業のリスクは、以下が考えられた。

- ①岩盤の弱線や亀裂の緩みによる落盤・落石リスク
- ②狭小な閉鎖空間であることによる酸素欠乏症リスク
- ③その他のリスク(照明及び連絡手段の確保)

(1)落盤・落石リスク

ボーリング作業箇所の岩盤は、天端と側壁に連続した弱線やクラックが発達する亀裂性岩盤であった(写真-1)。これより、地震やボーリングの振動等によって、弱線やクラックの緩みが進行し、落盤・落石事故が発生する可能性が懸念された。本来、このような亀裂性岩盤ではロックボルトや吹付等により完全に固定してしまうことが望ましいが、地質観察用の調査横坑であることから、設置撤去が可能な仮設対策が求められた。

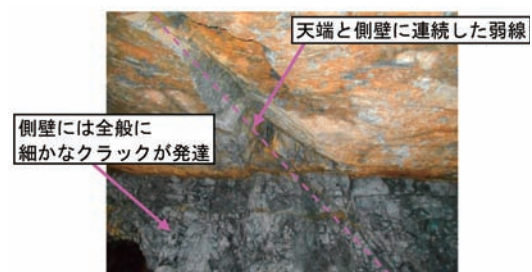


写真-1 ボーリング作業箇所の弱線とクラック

(2)酸素欠乏症リスク

ボーリング作業箇所は、横坑入口から約80m奥に進んだ位置にあることから、外気と内気の循環が悪く、安衛法上の“酸素欠乏危険場所”となる可能性が懸念された。自然界において、酸素濃度は通常21%程度であり、18%を下回ると健康状態に支障をきたし、10%以下で死の危険がある。作業場所の酸素濃度は、20.9%で外気と同程度であったが、換気の悪い状況では作業員の呼気等により減少する可能性が考えられる。また、酸素濃度の低下に伴って酸素欠乏危険場所としての対応が必要となった場合には、有資格者を配備することが必要となる。

なお、一酸化炭素やメタンガスは、事前の測定で検出されなかったこと、さらに横坑内で使用する機械の動力は内燃機関不可(全て電気式モーターの使用に限定)としたことから、対策は不要とした。

(3)その他のリスク(照度及び連絡手段の確保)

横坑内で安全に作業を行うためには、適切な照度(照明)を確保することは必要かつ絶対条件である。また、調査地は携帯電話の電波状態が悪いエリアにあったことから、作業従事者間で常時連絡が取り合える連絡手段を確保すること等が課題と考えられた。

4. 各リスクの対応策

(1)落盤・落石対策

落盤・落石対策は、仮設設備であることを基本として、

- 作業範囲の天端全体を支える支保工を仮設した。支保工の構造は、「安衛則394条」に基づき以下の対策を行った。
- ・ H鋼を主材、パイプサポートを柱として支保を組み、アルミ製の足場板を渡して天端を保護した(写真-2)。
 - ・ 横坑は幅1.5mと狭いため、資材は人力運搬可能なものに限定された。H鋼は、想定される落石の最大重量10kNに対し耐久性能を保持できるものとして、100H型(長さは3.5m)を採用した。H鋼は重量0.6kN程度であり、1本につき2人がかりで運搬した。
 - ・ パイプサポートは、許容強度(重量)20kNのMB-4型を採用した。H鋼には両端に穴を開け、ボルトを用いてパイプサポートと確実に固定した。現場合わせの工夫として、片側の穴の数はパイプサポートの穴の数(4箇所)よりも多い6箇所とした。支保工の建込み間隔は1.5mとし、パイプサポート同士を単管とクランプで縦横方向に連結し、転倒・倒壊・ねじれを防止した。
 - ・ 足場板の上には5cm四方程度の網目のネットを被せ、拳大の石を受け止められるようにした。
 - ・ 支保工の仮設撤去時は、落石の衝撃を吸収するバックプロテクターを装着して作業を行った。
 - ・ 日々の安全管理として、それぞれの横坑について、各5箇所程度クラックや緩みの定点観測箇所を設け、毎日の作業開始前に目視で観察(一部クラックスケールで計測)し、クラックの変化を点検表に記録した(表-1)。
 - ・ 作業員には、作業中の天端や側壁からの落石の有無を毎日の作業報告時にあわせて報告することの他に、KY用紙にも記録を残すことを指示し実施させた。



写真-2 ポーリング作業箇所の仮設備状況

表-1 横坑内の定点観測点検表

項目	写真	点検結果	点検者	点検日
1. 天端		クラック発生	山田	2023.03.01
2. 側壁		クラック発生	山田	2023.03.01
3. 底面		クラック発生	山田	2023.03.01
4. 天端		クラック発生	山田	2023.03.01
5. 側壁		クラック発生	山田	2023.03.01
6. 底面		クラック発生	山田	2023.03.01

(2)酸素欠乏症対策

酸素欠乏症対策は、「事業者は坑内作業場に衛生上必要な分量の空気を送給するための通気設備を設けること」(安衛則602条)に則り、以下を行った。

- ・ 酸素欠乏症対策は、φ200mmのダクトを80m接続して作業場と外をつなぎ、横坑入口に置いた送風機を使って外気を送り込み、換気を行った。
- ・ 人の呼気に対しては、1人につきおよそ3m³/min程度の換気が必要とされている³⁾。送風機から送られた風がダクト内を80m通過する間に摩擦によって生じる損失を考慮して、作業員2名分に相当する6m³/min換気が可能となる風量50m³/min程度の送風機を採用した。
- ・ 酸素濃度が低下した場合の万が一に備え、酸素欠乏危険作業主任者の有資格者を2名配備した。
- ・ 毎日昼頃に酸素濃度を測定し、また作業員の健康状態をヒアリングして健康管理を行った。

(3)その他の安全対策(照度及び連絡手段の確保)

照明設備は「安衛則604条」(表-2)を参考に計画した。

表-2 照度の基準(安衛則604条)

作業の区分	照度の基準
精密な作業	300ルクス
普通の作業	150ルクス
粗な作業	70ルクス

- ・ ボーリング作業場の照明器具は、手元が見えて、かつ照明の眩しさで作業に支障がない照度として100ルクスを目安とし、3万ルーメンスのバルーンライトを採用した(写真-3：左)。
- ・ 通路は、歩行中のつまずき・転倒防止に必要な照度として、200ルーメンスの乾電池式の人感センサー付きライトを5mおきに設置した(写真-3：右)。
- ・ 坑口付近は、既設支保工の天端が低く、頭部が接触する危険があるため、点滅灯を設置して視認性を高めた。
- ・ 連絡手段は、各作業員にトランシーバーを貸与して日常連絡で活用すると共に、非常事態の備えとした。

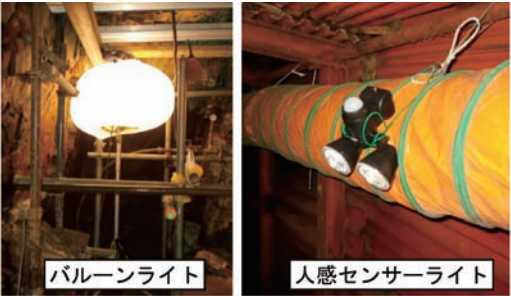


写真-3 現場で使用した照明器具

(左：ボーリング作業箇所、右：通路)

4. おわりに

横坑内という特殊条件下のボーリング作業において、支保工の設置、日々の点検、換気設備の整備等の対策を行い、無事故・無災害で現場を完了することができた。今後も、場毎のリスクアセスメントを十分に検討・実践し、様々な現場条件に適切に対応していきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 労働安全衛生法：昭和47年法律第57号。
- 2) 労働安全衛生規則：昭和47年労働省令第32号。
- 3) 山岳トンネルのずり出し方式実態調査報告書：平成21年3月社団法人日本トンネル技術協会

中部ミニフォーラム2021の概要と講評

技術委員長 深谷 雄二

1. 開催の概要

今年度もコロナウイルス感染拡大の影響で一時は開催も危ぶまれましたが、9月末をもって緊急事態宣言が解除され、予定していた10月22日、名古屋国際会議場にて、開催することができました。昨年度と同様、徹底的な感染対策を施したうえでの開催となりましたが、発表者・聴講者・スタッフ等関係者を合わせて47名のご参加をいただきました。

■開催日時：令和3年10月22日(金)13:00～17:35

■後援：(公社)地盤工学会 中部支部

■開催場所：名古屋国際会議場

1号館3階133+134会議室

■内容：3部構成(プログラム参照)

第1, 2セッション 技術発表8編

第3セッション 特別企画

■交流会：今年度も中止

本フォーラムの開催の主旨であります「技術力・発表力向上、地質調査業の社会的地位向上」を目指し、若手～中堅技術者の皆さんに日頃の研究や業務等で経験した内容を積極的に発表していただくことで、その論文内容も含めたプレゼンテーション能力の向上を目指しています。また経験豊富な技術者にも参加していただき、質疑を通して技術的なアドバイスを行うことにより、発表者のみならず参加聴講者にも技術を伝承する場となるよう企画・運営しています。

今年度の発表編数は8編と昨年度の7編とほぼ同じで、「若手・中堅技術者の発表練習の場」という位置付けとしました。昨年度の特別講演で実施した各発表に対する講評について、アンケート結果では良かったとの意見を多くいただいたことから、今年度は各発表内で質疑と講評を行うこととし、発表12分、質疑・講評で8分の時間配分としました。講評は、事前に査読した技術委員が担当させていただきました。各セッションでは、講評に加え、活発な質疑応答・意見交換が行われ、非常に有意義な時間となったと思います。

特別講演は、昨年度のアンケートでご意見をいただいた施工サイドからの地質調査のあり方についてという観点でサンコーコンサルタント本社地質部の今井博氏に「建設業における物理探査」というテーマで、ご講演をいただきました。物理探査の基礎から、調査や施工での実用例について解説していただきました。かなり専門的な内容ではありましたが、質問も多くあり、物理探査に対する関心が高いと感じました。

発表会終了後には例年であれば場所を移動して、引き続き発表者を囲むでの交流会を兼ねた懇親会を行うところですが、今回も残念ながら中止となりました。

2. 講評

【プログラム】

13:00～13:05	開催挨拶	理事長
13:05～13:10	留意点の説明(コロナ対応、質疑その他)	技術委員会
13:10～14:30	第1セッション ～土質調査・室内土質試験～	
1.	沖積層におけるN値とスウェーデン式サウンディング試験より求められる換算N値の比較	鶴岡賢太郎 富士開発㈱
2.	ため池の耐震調査事例	横山啓之 東邦地水㈱
3.	鉄道高架化に伴う軌道構造物基礎地盤の留意点	原寿次 ㈱建設コンサルタントセンター
4.	連続加圧方式による保水性試験の加圧方法が水分特性曲線に及ぼす影響	石原聖子 中部土質試験協同組合
14:30～14:40	休憩	
14:40～16:00	第2セッション ～岩盤調査～	
5.	切土法面で発生した崩壊と原因調査	木村朝人 玉野総合コンサルタント㈱
6.	結晶片岩分布地域における掘削率の高い切土のり面条件と裸地化による変状発生メカニズム	高林健太 基礎地盤コンサルタンツ㈱
7.	高品質ボーリングが求められる最近の業務事例	山口受之 ㈱ダイヤコンサルタント
8.	横坑内ボーリング作業の安全管理	斉藤倫久 ㈱アサノ大成基礎エンジニアリング
16:00～16:10	休憩	
16:10～17:10	第3セッション(特別企画)	
テーマ：「建設業における物理探査」	今井 博氏	サンコーコンサルタント㈱
17:10～17:20	アンケート記入	技術委員会
17:20～17:30	優秀論文発表	理事長
17:30～17:35	閉会挨拶	技術委員長

論文査読・審査、発表審査には技術委員が当たりました。論文審査は6項目について査読後の最終稿で、発表審査は5項目について評価しました。いずれも技術的な難易度については評価しておりません。

以下、論文及び発表についての講評と審査結果です。まず、応募から発表までの一連において、発表された全員が真摯に向き合っていたことに感謝します。経験値に関係なく、表現力・論文執筆ルールへの適合度等に個性が見られました。今回の「練習の場」を糧にますます腕を磨いていただくことを期待します。実務では、正しさはもちろんのこと、お客様に十分理解していただけるようなわかりやすい報告書の作成と説明が必須です。技術力・プレゼン力、この両方を引き上げるため日々研鑽をお願いします。

審査の結果、かなりの接戦になりましたが優秀論文発表者は以下の2名の方に決まりました。①の論文は、試験期間短縮のための試験方法の改良について取り組んだ内容で、論文の完成度が高くpptの出来・発表力が高く評価されました。②の論文は、安全管理に関する内容で、通常の業務報告とは違った視点で、現場の特殊条件下において安全対策を工夫して実施している内容やpptの出来・発表力が高く評価されました。

■優秀論文発表者(2名)

①「連続加圧方式による保水性試験の加圧方法が水分特性曲線に及ぼす影響」

：石原 聖子(中部土質試験協同組合)

②「横坑内ボーリング作業の安全管理」

：斉藤 倫久(㈱アサノ大成基礎エンジニアリング)

中部ミニフォーラムは毎年開催の予定です。若手～中堅技術者の皆さんの「技術の伝承」の登竜門となるように、技術委員会一同、真剣に取り組んでおりますので、多数の応募をお待ちしております。