

3. 地盤材料

【粘性土（試験法）】 中部地質俵 斉藤 茂

1. はじめに

本セッションでは、新たな強度推定法・試料の品質評価法の紹介、漸増載荷圧密試験の結果報告、亀裂進行方向に関する研究、異なる試験・国際間の試験結果比較の報告がなされた。

2. 研究及び技術動向

ひずみ速度や不均質な土質で生じる排水～非排水のせん断に対し、排水係数で正規化したせん断強度推定法が非常に興味をひいた。部分排水せん断強度は現実に即した有意性の高いものであり、今後、実用化に向けた施工・土質に応じたひずみ速度に関する研究が期待される。

サンプリング試料と原地盤のS波速度、せん断弾性係数Gの対比から試料の品質評価、e-logG曲線からひずみ速度に依存しない圧密降伏応力の評価は、更なるデータを蓄積し、手法の確立が望まれる。

高精度な制御による漸増載荷圧密試験（CLR）と、段階載荷、定ひずみ速度載荷試験を対比し、試験結果が報告された。CLRでは実施工と同様に一定速度で載荷増させることから、載荷で生じる間隙水圧、ひずみ速度の挙動が得られる他、試験時間が短いなど利点も多い。今後、ひずみ速度による影響など適用性の研究が望まれる。

岩盤節理の亀裂断面模様から、亀裂進展方向が容易に判明でき、粘土表面にみられる乾燥ひび割れの進展方向も同様である研究報告が紹介された。

国際規格ISOのTS（技術仕様）となった英国、スウェーデンの異なるフォールコーン試験による液性限界は、ほぼ同一とみてよく、試験方法としてかなり有用である。フォールコーン試験は、国内で馴染みが低いものの、試験者の個人差が入りにくい試験であり、国際標準化に向け今後の進展が期待される。

同じ試験方法（国内規格）で実施した国際間の物理試験結果は、明らかに異なる値が得られた。これは無作為に依頼した試験機関の結果であるが、その要因には、両国の試験技能とは別に、規格で明記されない細かな試験準備・試験器具の違いが含まれている。また、国内の試験でも試験機関間の偏りは少なくないのが現状である。

3. ま と め

土木技術分野では、グローバル化に伴い国際標準化を推進させているが、土質試験分野ではまだ国際標準化まで至っていない。

本セッションの研究・報告から、国際標準化の確立を進める必要性を痛感すると共に、より現実問題に即した試験法、評価法の研究に技術者の熱意を感じ、今後ま

すの進展が期待される。

【粘性土（解析）】 名古屋大学 野田利弘

1. はじめに

本セッションは、粘性土の構成式に関するものが中心で、①構成式（構成モデル）の提案あるいは構成式が具備すべき基本概念に関する報告と、②構成式の初期値・境界値問題への適用に関する報告がなされた。最後の1編が辞退のため、報告は全体で8編であった。

2. 研究及び技術動向

①については、砂だけでなく粘土の力学挙動の記述も念頭に拡張した構成式の提案とその検証（212, 213, 214）や、砂も粘土も共通概念下で記述できるよう修正した構成式の報告（215）がなされた。あわせて、構成式のモデル化において中間主応力を考慮した応力パラメータを用いる必要性に関する報告（216）、そして変形勾配の乗算分解と超弾性体に基づいて回転硬化異方性を表現する有限変形弾塑性構成式の提案（217）がなされた。

実務で遭遇する土質材料は、きれいな砂や粘土ばかりではなく、それらが混在した土などさまざまで、しかも間隙比、構造、過圧密などの状態量が異なった状態で存在する。だから、これらの土を対象とする実務の複雑な問題・課題に対処するには、砂と粘土をそれぞれ別個の土質材料として、あるいは異なる状態量を別々に扱う「専用構成式」では不十分である。このため今回の報告にあったように、同一の理論的枠組みまたは基本概念の中で、砂と粘土や中間土（砂混じり粘性土や粘土混じり砂など）の違いを記述するような構成式研究は今後一層展開されるのではないかと感じた。またその上で、有限変形場に対応できる構成式の開発など地道な取り組みも大事であると思った。

②については、粘性土地盤に関し、一つの構成式と解析技術を用いて、地震前の圧密沈下挙動、地震中挙動、地震後挙動を連続的に解析しようとした試みが報告された（210, 211）。上述のように実務の多くの課題を解決するためには、静的な圧密変形だけ、動的解析だけのように、ある限定的な事象だけを対象にした「専用解析」では全く不十分であるから、静的・動的の外力形態を問わないで計算できる解析技術が一層必要となると感じた。

3. おわりに

構成式研究も解析の研究も極端な「専用化」への流れは、さまざまな事象間の連成効果を見落とし、相互連関／階層構造を見誤ることに繋がりがかねない。だから例えば、粘土をターゲットにした構成式研究の場合でも、砂

と比べて何が同じで何が違うのかを考えたり、その構成式を初期値・境界値問題の中で働かせた上で検証したりする姿勢が必要ではないか。また、静的事象として単調載荷時の挙動が当座の研究対象となる場合でも、動的事象を含めて繰返し載荷時の挙動も意識する必要があるのではないか。今後、地盤力学研究は、対象としている事象の周辺あるいは地盤力・工学学全体により広く目を向けながら進められてゆくものと思う。

【粘性土（変形）】 信州大学 梅崎健夫

1. はじめに

本セッションでは、219～224の6編の発表があった。それらのキーワードを本文に記載の通りに列挙すると、219（室内試験、粘性土、構造）、220（圧密、構造、年代効果）、221（異方性、剛性、粘土）、222（粘性土、圧密、乱れ）、223（せん断剛性、繰返し三軸試験、間隙径分布）、224（海成堆積物、圧密試験、非排水せん断試験）である。すべてに関連するものは、不攪乱粘土の堆積構造と異方性である。

2. 研究及び技術動向

粘土の構造は、一般に、ランダム構造、綿毛構造、配勾構造の3つの基本構造に分類して考察されるが、これらは、堆積条件（物理的条件のほか、間隙水に含まれるイオンの種類などの化学的条件も含む）と応力履歴（もしくは、その結果としてのひずみ履歴）に応じて形成される。さて、周知のように、粘土の応力・ひずみ関係は非可逆性であり、試験結果として得られる圧密・強度・変形特性も構造の発達程度に大きく影響され、繰返し粘土の特性と大きく異なる。このような研究は1980年代までに盛んに実施され、圧密降伏応力や圧縮指数の増加、せん断抵抗角の増加やダイレイタンスーの変化（過剰間隙水圧の減少）など粘土の擬似過圧密化として解釈されている。また、構造を表す相対的な指標として、液性指数や鋭敏比が取り上げられ、特性の評価が試みられている。さらに、堆積構造の発達した粘土は、圧密・強度・変形特性において異方性を示すことも併せて知られている。異方性は、初期異方性と誘導異方性の2つに分類されて研究されているが、両者は相互に関連しており、さらに問題を複雑にしている。一方、その後の研究では、例えば、構成式における名古屋大学の一連の研究のように、不攪乱粘土の上記の特性の幾つかが評価できるまでに至っている。

3. ま と め

220～223では、圧密試験および三軸試験の結果に対して、弾性係数やせん断剛性に着目したものが多く、ベンダーエレメント試験や低ひずみ速度制御の載荷試験など比較的新しい試験が実施されており、今後、さらに新たな知見や定量的な評価パラメータが得られることを期待する。また、219と224は、それぞれ、宅地の液化化

判定やその調査方法に関わる新たな知見とメタンハイドレートの採取に関わる地盤特性に関する発表である。いずれも喫緊の課題であり、実用性を重視した具体的な成果と提案が期待される。本セッションには、粘土の学術的な材料特性に関する研究と実務の具体的な課題に取り組んだ研究の両方の研究が含まれている。これらは地盤工学の両輪であり、同じ枠の中で議論できたことは非常に有意義であった。

【粘性土（物理化学的性質）】 応用地質㈱ 三上武子

1. はじめに

本セッションにおける発表は、4編がベントナイト、2編がコンシステンシー限界関連、残り2編がこれらに対する塩分の影響に関する内容であった。ベントナイトは、放射性廃棄物処分において拡散防止の要であり、その工学的性質に問題があるとすれば喫緊に対応しておくことが、この国の地盤工学会に対する期待であろう。本報告では、ベントナイトの発表について紹介する。

2. 研究及び技術動向

放射性廃棄物処分においてベントナイトは数十万年の長期にわたって、物理化学的性質を保持または適切に管理させる必要がある。230は、ベントナイトの飽和度が100%以上に計算される頻度が多いことに対して、モンモリロナイト結晶層間（スタック間）の水の密度が、大気圧環境下の水の密度より大きい値を示す可能性があることを示した。このことは、スタック間隔と、何か物理化学的な要因（たとえば膨潤圧等）との関連を想起させ、今後の展開が望まれる。ベントナイトの拡散防止材としての性能は、透水係数と膨潤圧で評価される。膨潤圧はベントナイト特有の性質であるが、その特性は複雑である。229は乾燥密度が1.5 Mg/m³以上のベントナイトの膨潤圧は、スタック内におけるフレークの底面間隔の変化による電気拡散2重層中の陽イオン濃度の変化による浸透圧に起因しているのに対して、乾燥密度が1.5 Mg/m³以下のベントナイトの膨潤圧は、スタック間に作用する力の変化に起因しているとした。これに基づき提案された膨潤圧～乾燥密度関係に関する解析モデルは、実験を良好に再現しており、ベントナイト施工の管理に資する成果を得ている。

3. ま と め

東京電力福島第一原子力発電所の廃炉事業、特に汚染水の処理状況を見るにつけ、我が国の原子力発電関連事業は、中止するか否かにかかわらず、放射性廃棄物処分の問題は今すぐに対応を迫られる最重要事項である。放射性廃棄物処分において拡散防止の要であるベントナイトの物理および化学的性質を明らかにする研究は重要であり、それぞれ、ますます進展される必要がある。それに加えて、放射性廃棄物処分という目的に対してそれぞ

れの研究が横断的に結びつき、工学的に完結した成果が得られることもまた待たれていると強く感じたセッションであった。

【粘性土（動的性質）】 応用地質 榎 大向直樹

繰返し载荷後の変形・強度特性の変化、繰返し载荷後の圧密変形、繰返し载荷に伴う過剰間隙水圧挙動、解析コード GEOASIA によるひずみの局所化に伴い生じる加速度波に関する検討、地震応答解析に用いる変形特性のひずみ履歴の影響など、粘性土の構造劣化を含む様々な視点からの研究成果が報告された。大規模地震の発生が懸念されている昨今、いずれの発表も非常に興味深い内容であり、これらの研究の発展および成果の活用が期待される。

【中間土（強度・動的性質）】

埼玉大学 桑野二郎

1. はじめに

本セッションは中間土の強度・動的性質に関するものであるが、室内要素試験による静的及び動的強度・変形特性、地盤調査、室内模型実験による噴砂挙動の把握と、幅広い内容が含まれている。

2. 研究報告と議論

先に述べたように、本セッションでは全体を通した流れは見られなかったため、ここでは順次紹介することとする。

240は斜面崩壊の1g振動台実験での引張亀裂に関連して、ベントナイト系の低強度供試体について純粋引張強度を求める一軸および三軸試験結果を紹介したものである。純粋引張破壊と残留強度状態における破壊との関係について質疑があった。

241では、降雨後の地震で崩壊した道路盛土から採取した試料について実施した定体積単純試験結果を、同一試料について以前実施した一面せん断試験結果と比較している。室内試験結果と実際の盛土被害との関係についてコメントがあった。241は降雨後の地震で崩壊した東名牧の原の盛土材料のせん断特性を定体積単純せん断試験により再評価した報告である。以前の一面せん断試験でも実験結果の整合性に問題があったが、今回も同様な問題が見られ、崩壊盛土材料の特異性が示唆されている。供試体の準備方法について質疑があった他、著者の一人から、研究の狙いとして、水が入ったため流動的破壊が生じたのではないかという従来の見解に必ずしも納得していない旨の説明があった。

242では中空ねじりせん断試験により細粒分含有率が所定の値となるよう砂と粘土を混入させた試料の繰返しせん断特性が報告された。著者らが提案している等価骨格間隙比を用いることで、細粒分含有率が異なる試料の変形特性のひずみレベル依存性を上手く整理できるとしている。寄与率 b というパラメータは混入する粘土に

より異なるようであり、 b を繰返しせん断試験実施前に評価する方法があるのか疑問が残った。

243も砂と粘土を混合して作製した中間土について非排水繰返し三軸試験を実施し、こちらは剛性低下率と正規化損失エネルギーの関係を調べている。

244と245は、細粒分を含む砂地盤の液状化強度に関する調査結果を報告している。まずは関東地方の沖積平野14地点について、採取試料やサウンディングデータを分析し、深さ方向の不均質性とその素因である形成環境を検討している。層相は数 cm～数10 cm オーダーで変化しているため、30 cm の標準貫入試験や10 cm の液状化試験供試体ではその中でのばらつきが無視できず、調査法自体の精度に影響することが指摘された。さらに採取された試料について、原位置と室内での物理・力学特性のばらつきを検討し、液状化強度評価式について、細粒分含有率や密度の影響を再評価している。細粒分含有率が非常に高い場合や細かい互層となっている場合のその深さを代表する試料についての議論があった。

246では液状化地盤における噴砂のメカニズムについて、振動台実験による検討結果が報告された。圧力差により地表面の亀裂から液状化した砂が圧密排水、または周囲からの絞り出しにより噴出するというメカニズムを想定していることに対し、噴砂孔の下が陥没したという実験後の観察結果との関係について質疑がなされた。

3. ま と め

本セッションでは、上で紹介したように、幅広い内容が含まれており、このセッションのみでの傾向がどうかというまとめは容易ではない。ただ、報告者が20年ほど前、やみくもに細粒分を含む砂の液状化特性の実験をやっていた頃と比較すると、きれいな砂の相対密度に相当するような状態を記述するパラメータに関する有用な提案や地盤や試料の不均質性を前提としての検討など、検討や考察が随分と深くなっている。一方で、例えば一口に液状化と言っても、対象材料の特性が異なると、現れる現象も大きく異なるため、一括りで扱うことが容易ではなくなっている。新潟地震などを契機とした当初の緩いきれいな砂の液状化研究では、非排水繰返しせん断によりまさしく急激な流動変形が起きたのに対し、例えば重要構造物の洪積砂層への立地に備えるなどのために密な砂の液状化研究が行われるようになり、その場合は瞬間的に有効応力がほぼゼロになっても、それが液体のような流動変形には至らない。しかし想定する構造物によっては無視できない変形量となりうる。さらに、細粒分を含む砂の場合には、有効応力はなかなかゼロには近づかなくても、大きな変形が生じる場合がある。きれいな砂やきれいな粘土の間に位置する中間土は、同一の土であってもその状態を記述することが困難である上に、液状化やせん断破壊など、問題を生じうる土の状態変化が単純ではない。要素としての土の破壊の定義と地盤・構造物被害との関係を改めて考える必要があるのではないかと感じた。

【中間土（ガスハイドレート）】

筑波大学 松島亘志

1. はじめに

今年の3月、我が国がメタンハイドレート（MH）を海底で分解してガスを産出することに世界で初めて成功した、というニュースは広く国民に知られるところとなり、将来のエネルギー資源としての期待がいっそう膨らむこととなった。そのような流れを受けて、本セッションでも、今後のMH調査及び生産に関わる地盤工学的側面の発表が7件あり、非常に活発な議論が交わされた。

2. 研究報告と議論

海底地盤中のMHは、土粒子の隙間に存在しており、その存在形態や含有率が、地盤要素の力学特性に影響を及ぼす。特にMHを分解した際の地盤要素の振る舞いは、MHがどのような地盤条件で生成されたかなどの履歴の影響まで含むことになる。一方で、MHは、地上の圧力・温度条件では気化してしまうため、海底深部の状態をそのままにMH含有土を採取して、詳細に力学的な検討を行うことは困難である。すなわち、単に建設現場の不攪乱試料を採取して力学特性を「計測する」という方法とは異なる、本当の意味での「予測する」力が地盤工学に問われている。本セッションでは、海底・湖底からの採取試料（247, 248）、あるいは再構成試料（249～253）の実験的検討に関するものが主であったが、様々な実験結果に対して「なぜそのような結果になるのか？」といった基本的な問いに対する研究者のアイデアが詰まっており、非常に刺激的であった。247, 248では、海底地形と土質の関係が「どのようにしてMHが生成されたか」という履歴の痕跡を示していそうな点が興味深かった。249～253に関しては、それぞれのグループで異なる方法で作成したMH含有模擬土が示す力学応答の差異を比較し、その原因を考えることで、微視構造に及ぼすMHの役割について考察することができると感じた。

3. まとめ

全体的に、とても興味深いセッションであった。今後とも引き続き活発な研究が行われ、MH生産の実務に反映されるような地盤工学からの有益なアウトプットが出てくることを期待したい。

【砂質土（強度）】 京都大学 木元小百合

1. はじめに

本報告では地盤材料 砂質土（強度）のセッションについて総括する。本セッションでは合計8編の研究内容について発表があった。

2. 研究及び技術動向

まず、対象とする材料については、合計8編の発表のうち、4編（No. 255～258）が火山灰土あるいは火山灰質土の変形および強度特性に関するものであった。そのほか、マイカを含有する砂（No. 254）、細粒分を含む砂質土（No. 261）、粒径分布にギャップのある珪砂（No. 259）、珪砂（No. 260）をそれぞれ対象とした研究内容であった。

今回4編の発表があった火山成土は、北海道や南九州をはじめ日本に広く堆積しており、盛土材料として各地で使用されている。火山灰質砂質土の力学的性質については、一般に、構成粒子が脆弱で粒子破砕が生じやすい、土粒子密度が小さいなどの特徴があり、地震時や豪雨時の災害事例がこれまで多く報告されている。本セッションでも、東北地方太平洋沖地震により崩壊した谷埋め盛土を構成する火山灰土の強度特性に関して、破砕性粒子に着目した内容が報告された（No. 255）。また、南九州では霧島山新燃竹岳や桜島などの地域で近年噴火が相次いでおり、火山灰処分場の容量が逼迫しているため、早急なりサイクルが望まれているなどの事情がある（No. 256）。特に、長期安定性の検討のため、凍結融解、乾湿による風化履歴の影響について骨格構造に着目した研究内容が発表された。

そのほか、マイカ含有砂や細粒分含有砂については、密度の指標等について議論された。また、粒径にギャップのある砂質土の浸透による不安定性についても報告された。

3. まとめ

火山灰土など破砕性粒子を含む砂質土の締固め特性や強度特性についての研究が多くみられた。粒子破砕や風化による影響については未解明な部分も多く、今後は不飽和領域も含めてミクロな視点からのメカニズムの解明が期待される。

【砂質土（動的性質）】 東電設計(株) 中瀬 仁

1. はじめに

本セッションにおける発表は、すべて液状化に関する内容であった。内訳は、累積ひずみ（累積損失）エネルギーと過剰間隙水圧や体積ひずみの関係2編、過圧密・長期圧密・鉛直載荷履歴を受けた試料の液状化強度3編、再液状化関係2編、物理特性と液状化強度1編、地震波形の影響1編である。

2. 研究及び技術動向

累積ひずみ（累積損失）エネルギーと過剰間隙水圧や体積ひずみとの関係を定式化する取り組みが継続的になされており、本セッションでは地盤材料によらない普遍的な関係を求める工夫についての発表があった。しかしながらそこでは、結局対象とする地盤材料に対する液状

化試験が必要とされる。これに対して材料の物理特性と液状化強度を整理しようとする取り組みについても発表があった。究極の目標は粒子の組成と相対密度を調べるだけで液状化強度が明らかになることであろう。しかしながら、そう簡単にはいかないのが粒子構造の問題である。すなわち、同一の地盤材料、相対密度であっても、試験体の作成方法により液状化強度が異なるケースについて本セッションでも紹介された。また、再液状化した試料に同様の傾向が認められる場合について別の発表者により紹介された。

さて、新しい研究テーマとして、液状化により大変形を起こした場合の地盤特性の把握があげられる。薄いリングを積み重ねた単純せん断装置（乾燥状態で中空ねじり試験のようなせん断力を作用させる装置）が開発され、再液状化に関する研究が開始されている。現状では、試験装置と試料との摩擦が予想外に大きくこれを低減する努力がなされている。発表ではこの装置による試験結果が示された。乾燥状態であるにもかかわらず液状化現象が見事に再現されている。

3. ま と め

液状化試験において繰り返しせん断を加える過程で、有効応力が容易に下がらない粘り強い時期があって、あるとき急に有効応力が低下し、ひずみが大きくなる局面がある。この劇的な状態変化は、粒子構造の変化の瞬間であり、その瞬間は材料の履歴（圧密、振動、再液状化）によらず同一の状態変化である。また、教科書が教えるところの「粒子が水中に浮遊している状態」には決してならない。同一の地盤材料、相対密度であっても、液状化強度が異なる理由を解く鍵にもなりうる。数値実験による分析を組み合わせて解明したい興味深いテーマである。

【砂質土（変形）①】 神戸大学 飯塚 敦 多岐にわたる 8 編の発表があった。

地盤材料の力学特性の把握とは、基礎や土構造物などの「構造体」に求められる性能・機能を発揮できるように、その形式や施工を決定する作業において、材料としての特性、すなわち剛性や強度などを事前に知っておく行為である。当初は、適当な寸法の供試体を用いたせん断試験などによって、剛性や強度が測られているが、地盤材料それぞれの固有性が剛性や強度に無視できない影響を与えることから、より詳細な検討がなされるようになっていった。

砂質土の場合、粒状性の卓越に起因する数々の要因が指摘されるようになった。構成粒子の形状や大きさの分布、荷重作用における粒子の破碎に伴う粒状性変化の影響、粒子配置や構造に起因する供試体内部での不均質場の発達の影響、当然、間隙分布に支配される透水性や間隙物質の拡散性も影響を受ける。主要な地盤材料として、粘土と砂が対比的に語られる。粘土における圧密のような時間的遅れを伴う圧縮変形に対して、砂における振動荷重による即時沈降変形、粘土における粘着力の発現に

対して、砂における安息角の存在などである。

このような違いは、地盤材料として単位ボリュームを思い浮かべたとき、粘土と砂とで、単位ボリュームに占める粒状性の多寡によって考察できる。粘土のベッドや鉱物結晶も粒子と呼ぶのを許してもらえらるなら、砂は粘土に比べて、一粒一粒の大きさを有意に無視できないため、粒子間の化学的・物理的作用力や構造に及ぼす間隙流体の作用などに対して、粒子ひとつひとつの体積と質量が無視できなくなり、粒子への重力作用が相対的に顕在化するためであると考えられる。ならば、地盤材料としての砂質土の理解は、粒状性を引数とした関数としてなされねばならない。本セッションでの多岐にわたる発表も、上記のような下敷きを用意すれば、互いにつながりをもった研究と理解できる。すでに発表内容の分類は不用と思われるが、大雑把に再記すれば次のようになる。供試体内部での粒子破碎の把握（271, 272）、粒状性の定量化（275, 277）、粒状性に起因する力学特性の弾塑性モデル化（278）、载荷に伴い砂質供試体に顕在化する不均質場の表現（273, 274）、地震応答解析における砂質土の取り扱い（276）である。

【砂質土（変形）③】

名古屋大学 山田正太郎

1. はじめに

地盤材料・砂質土（変形）③では、8 編の研究報告があった。これら 8 編は、締固めと弾性波速度のいずれか、もしくは両方に関連する発表であった。以下では、この内容について簡単に報告する。

2. 研究動向

現場での締固め管理は、室内締固め試験で得た乾燥密度 ρ_d ～ 含水比 w 関係に基づいて行われることが多いが、現場での締固めエネルギーを実際に把握することは難しいとの理由から新たな締固め管理を提案する研究が 3 編あった。具体的には、最適含水比が締固めエネルギーに依存するのに対し、最適含水比をとるときの飽和度（最適飽和度）は締固めエネルギーによらないことを利用して、乾燥密度 ρ_d と飽和度 S_r の関係に基づいて締固め管理を行うことの妥当性を主張する内容であった。これら一連の発表の中では、締固め土の CBR 値を締固めエネルギーレベルに独立な ρ_d と S_r の変数分離関数として表現できるとの説明があった。また、フロアとのディスカッションにおいては、 ρ_d と S_r による管理法は久野や河上による空気間隙率 V_a 等による管理法と整合するとの見解が示された。また、実験結果に基づいた砂質土系試料の相対密度の拘束圧依存性に関する研究発表があった。細粒分を多く含む、砂質土系試料としては比較的圧縮性の高い試料では無視できない問題であると感じた。その他に、現場で締固めを行う際に、巨石が締固めを阻害するとの報告もあった。

弾性波速度に関する研究としては、砂・粘土混合土の

粒度特性との関係について調べたものや、月面模擬土を対象に、応力状態や粒度の影響について調べたものがあった。砂・粘土混合土を用いた研究では、締固めて作製した供試体の一軸圧縮強度とせん断波速度の関係が示された。また、今回使用した試料では、砂と粘土の混合比3:7を境にして性質が変化することであった。既往の研究成果に基づいて、これらの混合比を境に骨格構造を形成する主体が砂なのか粘土なのかが分かれることに起因するのではないかとの見解が示された。月面模擬土を用いた実験では、豊浦砂と比較して小さめの弾性波速度が得られるが、応力状態が与える影響は、地球上の土と同様であるとの説明があった。今後、これらの詳細な議論が実際の月面探査でどのように生かされるのか見守りたい。

3. ま と め

このセッションではベンダーエレメント試験による弾性波速度に関する研究が3編あった。その他のセッションでもベンダーエレメント試験による研究を幾つも目にした。維持管理の時代において、例えば既設盛土の表面波探査など、非破壊試験により既設土構造物の健全性を面的に把握しようとする試みが増加していることを反映しているように感じた。

【礫質土】 (一財)電力中央研究所 石丸 真

1. はじめに

本報告では、地盤材料のうち礫質土のセッションについて総括する。本セッションでは実験的な研究を中心に6編の発表があり、試験方法や結果の解釈について活発な議論がなされた。

2. 研究及び技術動向

南海トラフ地震など、今後発生が想定される大規模な地震時には、河川堤防基礎地盤等の礫質土においても液状化の発生が懸念されている。本セッションでも、礫質土の液状化特性や液状化後の体積変化に着目した研究の報告がなされた。

礫質地盤は砂質地盤に比べて透水性が高い場合も多く、地震時に過剰間隙水圧がそれほど高く上昇しないことも想定される。こういった観点から、排水条件によって三軸圧縮試験におけるせん断挙動が大きく異なることを示したうえで、実地盤での液状化の発生については、透水性を考慮することの重要性を示唆した研究報告があった。また、その一方で、岩ズリ材料による埋立地盤に関して、高い透水性から地震時の過剰間隙水圧の発生は抑制できるが、繰返しせん断によりゆすり込み沈下が発生する可能性があるとの報告もあった。これらの研究は礫質地盤の液状化程度や地震後変形量を定量的に予測するうえで非常に重要と考えられ、今後の研究の進展が期待される。

礫質土の室内試験においては従来から課題として認識されているが、大きな礫を含む礫質土の場合、原粒度の

まま室内試験を実施することは試験装置の制約から困難である。このような状況に対しては、相似粒度やせん頭粒度等の粒度調整試料を用いることがほとんどであるが、原地盤の力学特性を正確に評価できているかどうかは不明確である。本セッションにおいても、締固め特性およびせん断時の変形・強度特性に及ぼす粒度調整の影響に関して検討した報告がなされたが、礫質地盤の特性を正確に把握するうえで今後ますます取り組むべき課題と考えられる。

3. ま と め

礫質土は幅広い粒度分布であることに加えて、粒径の大きな礫の特性によって全体の力学特性等が支配される場合もある。非常に難しい地盤材料であるが、礫質土を含む地盤は多いため、地盤災害の防止に向けて研究成果を蓄積していくことが重要と考えられる。

【軟岩・硬岩①】 首都高速道路㈱ 並川賢治

1. はじめに

新たな試験方法の提案、室内試験結果と分析など、軟岩・硬岩の力学的性質、挙動を把握しようとする研究について発表がなされた。引張り強さや圧縮強さを測る技術および予測する方法と、熱エネルギーやスレーキングが材料に与える影響を解析し解析する内容であり、実用に向けた展開が期待できる有益な研究である。

2. 研究及び技術動向

試験方法に関する2編の発表は、いずれも地盤材料の引張り強さを精度良く求めようとするものであり、割裂引張り試験で生じる帯荷重の影響や一軸引張り試験における荷重の偏心、片効きの改善を試みたものである。遠心力やセンターガイドを用いる試験方法は、これらの要因を取り除き引張り強さを適切に評価する一つの手段として期待される。供試体を用いて圧縮強さを予測する研究は、実際の地盤に適用するために材料の内部構造や不連続面の圧縮破壊挙動を事前に把握、予測することが必要であり、更なる整理が求められる。

大量の熱エネルギーが地盤の短期・長期の安定性に与える影響を数値的に解析する発表がなされた。異なる温度環境下における三軸圧縮試験結果と線膨張率を導入した構成式を用いて実施したシミュレーション、同様の環境下における三軸クリープ試験結果と時間依存性モデルを用いたシミュレーション、二次元・三次元解析による温度と偏差ひずみの経年変化を予測した結果は、定性的にそれらの挙動を表現しており興味深い内容であった。長期的な挙動予測については、モデルの精度や等時性、材料の経年劣化など、研究が精力的に行われている分野であることから活発な意見交換が行われた。

スレーキングや経年劣化した地盤材料は、既に埋め立てや盛土材料として使用されており、この分野の研究は盛んである。経年劣化が材料に与える影響として、粒子

単体や集合体、錬返しや絞固めの状態、経年劣化の度合いに着目した研究の発表がなされ、既に施工されている事例との整合性などが意見交換された。碎石集合体のせん断挙動に関する発表は、絞固めによって強度増加が期待できるものであり、実用性の高いものとして今後、研究成果が期待される。

3. ま と め

地盤材料の特性を新たな試験装置や特殊な材料を用いて評価する動きは、自然または人工的に地盤材料に加えられる影響を適切に把握するために不可欠であり、社会に有益な研究成果を残すために継続されるべきである。研究成果は、実用に供するためにどのように適用するのか、局部または全体挙動を把握するために必要なものであるかなど、利用者が使いやすいように整理・体系化されることを期待する。

【軟岩・硬岩②】

木更津工業高等専門学校 石井建樹

1. はじめに

地盤材料のうち、軟岩・硬岩②のセッションでは、合計9編の研究が発表された。それぞれの発表は、実現場における事例発表が3編、不連続性岩盤や軟岩の力学的特性を調査した研究発表が4編、光学的測定を用いた研究が2編と多岐に及ぶ内容であった。

2. 研究及び技術動向

実際の現場における事例発表では、実際のトンネル現場に採用された構造形式に基づく現場試験として、路盤支持杭を用いた現場試験結果が報告された。工法選定と抱き合わせて施工における妥当性を検討する手法として興味深い発表であった。また一つは、実地盤の変形特性はサンプリングや試験方法による岩の変形特性のばらつきを報告したものであり、試験方法の特徴をよく把握して実施することの重要性を再認識させられる発表であった。

不連続性岩盤や軟岩の力学的特性評価に関しては、異方性の強い岩盤材料に対する室内試験の結果をどのように理解すべきかを提言する基礎研究が2編、破壊までを含めた材料モデルの構築を目指して、繰返し試験により岩盤の変形特性を調査する研究が2編発表された。それぞれの研究は異なるアプローチを採用していたが、いずれの場合も、ある程度の破壊までを許容して岩の特性を調査する研究であった。

光学的測定を用いた岩の特性評価では、近赤外分光解析やX線回析を利用して、材料組成の観点から岩盤特性を調査していた。材料の組成情報を利用することから、風化区分などの材料劣化に対して有効な情報を提供しようという試みであった。

3. ま と め

不均一な材料である軟岩・硬岩に対しては、様々な規模の対象やアプローチによる研究が現在も行われている。発表内容からは、工学的な課題となる軟岩の劣化・破壊に関する研究が多いようである。

本セッションだけを見ても、施工現場における大きな岩盤全体を対象に工学的に有為な特性を抽出する試験が試みられている一方で、不連続面の影響から岩石の劣化・風化といった比較的小さな対象の特性が議論されていた。それぞれは岩盤の基本的な特性であるが、全てを体系化して工学的特性を把握することは未だ難しいようである。今後ますますの発展が期待される。

【リサイクル材料①】

御防災科学技術研究所 谷 和夫

1. はじめに

リサイクル材料をテーマとするセッションは3つ(①～③)あり、そのうち①セッションの7編は、材料として火山灰、廃陶磁器、廃石膏、焼却灰、石炭灰・クリンカアッシュ、採石副産物等を対象としていた。リサイクルの用途としては、一般的な盛土材料・道路の基盤材料の他にも、藻場の基盤部材や軟弱地盤の改良材という特定の材料を意図したものもあった。

なお、論文番号317は発表者が不在のため、口頭発表はされなかった。

2. 研究及び技術動向

地盤工学におけるリサイクルの研究の出発点は、有効利用したい粒状・泥状の材料(主に廃棄物や副産物)の特徴を把握して、その弱点(施工性や環境への影響等の劣性)を補い、他の材料にない優位な特異性を活かす用途の設定にある。一般に、原材料が単体で所要の性能を満足することは難しいため、ほとんどの場合に他の材料と配合(ブレンド)される。要求性能を満足し、かつ経済性が高い最適の材料の組み合わせと配合がアイデアの出し所である。さらに、原材料の品質と安定供給や用途の需要とのバランスも重要な配慮事項である。要するに、考慮する項目が多く、しかもトレードオフの関係にある要件(特に経済性)も多いため、総合的な視野が求められ、研究としては難しい。

用途(主に盛土や道路の基盤)の要件として力学的な特性(主に強度・剛性)が重要であるため、多様な試験(三軸試験、締固め試験・CBR試験、ロサンゼルス試験、乾湿繰返し試験等)が行われていた。さらに、原材料を特徴付けるために、単粒子破砕試験が行われている(論文番号320)。原材料の特性は、化学的な成分や含水比、粒度分布等で評価されることが多いが、支配的な特性については、オリジナルな特徴付けの方針も重要であり、注目に値する。

3. ま と め

すべての発表が大学での研究成果であり、かつ大学院生や若手教員の発表がほとんどだった。良く準備されており、非常に上手なプレゼンであった。聴衆は100名程度で少なくはないと思うが、質疑は低調だった。対象とする原材料や用途が異なると、共通の関心を得るトピックスやテーマが設定し難いからであろう。若手が困難な課題に果敢に取り組むことを頼もしく思う一方で、分野として成熟してきたので技術として体系化するための議論の軸が浮かんでくると良いと感じた。

【リサイクル材料②】 熊本大学 棕木俊文

1. 研究の動向

本セッションは、廃タイヤ、廃プラスチック、災害廃棄物を地盤材料として資源化する視点で、「各材料の材料特性に着目した研究」、「廃棄物の再資源化のアプローチとして地盤材料に適用した研究」そして「軟弱地盤や汚泥に新たに材料を混入した新地盤材料の材料特性に関する研究」について議論されたセッションであった。タイヤチップを地盤材料として使用する研究については、現場でタイヤチップを使用する場合、地盤材料に例える礫材料に相当する粒径のタイヤチップを利用する一方、室内試験では土質試験法に合わせて実験をするため、タイヤチップの粒径を2 mm以下に揃えることについて、相似則は成り立っているかなどの議論が交わされた。またマイクロCTスキャナ装置内でゴムチップ混合処理土の三軸圧縮試験を実施し、さらに得られたCT画像データをFEM線形弾性解析について発表があった。現象に対して解析領域が小さすぎるという問題が残っているものの、CT画像データを直接FEM解析に導入できるようになりつつあることは、今後の材料の構成式に関する研究の進展に期待が持たれた。

東日本大震災で発生したがれき材料を地盤材料として再生使用する研究については、瓦礫をコンクリート破砕剤、瓦礫破砕剤、大谷石堀破砕剤に分類し、それぞれの締固め特性について議論された。瓦礫剤が地盤材料よりも破砕することについて、セメント固化系材料との混合使用により、破砕に伴う締固め特性の変化のばらつきを抑制できることが提案された。軽量地盤材料への有効利用として廃棄発泡プラスチック材の衝撃吸収性に関する研究では、混入量にほぼ線型的に比例して廃棄発泡プラスチック材料の衝撃吸収性があることが示された。

PVA繊維を混合させた流動化処理土の力学特性を評価する研究では、混入量の増加に伴い残留強度と材料の靱性効果を発揮できることを示した。産業廃棄物である下水汚泥、浄水発生土等を混合し、発酵させた堆肥にスギ木チップ、細粒木炭を混合させた腐植土にあたる緑化基盤材に粘着材として蒟蒻の製造過程における残渣である“とび粉”を用いた発表では、温度を制御できれば、小規模でも緑地帯の形成に成功する事例が報告された。

2. ま と め

地盤材料・リサイクルの部門では、廃棄物の有効利用に着眼点が置かれている研究が多い。廃棄物処理問題の解決としては重要な課題であるが、最終的に完成したものが他の材料と混合し、目標強度や耐震性が得られ、環境基準値を下回る吸着効果が得られたとしても、リサイクル材料（廃棄物）を地球上に拡散させている側面があることも忘れてはならない。廃棄物地盤材料の上に構造物を建造する時代が到来した時、対象材料の複雑性からその力学的数値モデルの構築は容易ではないだろう。今後、この分野の研究の方向性として、Waste Mechanics（廃棄物力学）が発展することを期待したい。

【リサイクル材料③】 名古屋大学 中野正樹

1. はじめに

「地盤材料—リサイクル材」は、3つのセッションからなる。本報告の対象はそのうちの1セッション、7編の論文である。

2. 研究及び技術動向

本セッションでは、4編が浚渫土に製鋼スラグを改質材として添加した混合土に関するものであった。用いられる製鋼スラグは、転炉系製鋼スラグであり、従来は廃棄されていたものを、長年の地道な研究により成分管理、粒度調整することで、浚渫土と相性のよい改質材となっている。発表では、潜堤材として用いる際、投入方法の違いによる安定性を模型実験で評価したものや、海上埋立材として利用する際、品質管理指標を造成地盤調査により確認したものが報告された。実際施工を想定した研究である。また模型実験土槽に製鋼スラグ、浚渫土の順に投入し、427日間放置してコーン貫入試験、EPMA（Electron Probe Micro Analyzer）分析により、製鋼スラグの固化進行過程を調べた報告は、以下の貴重な結果を示していた。すなわち、今回の試験条件においては、固化は84日まで急速に進行すること、固化領域もスラグと浚渫土の境界からある範囲にまで広がること、その範囲は、EPMA分析でも評価できることなどである。製鋼スラグに限らず他の改質材も対象に、同様の実験をして固化進行過程を調べることなど応用が広がる。

新聞紙を繊維補強材とした流動化処理土の研究では、三軸試験で速度を変化させた際の E_{tan}/E_0 値に注目して補強効果を評価していた。また高分子剤による汚泥の造粒化の研究では、汚泥の液塑性限界、初期含水比が造粒化に影響するというもので、改良される側の土の状態にも注意が必要であることを示唆している。同じ造粒化でも、塩分を含む軟弱底泥の処理の研究では、通水試験と振とう試験による塩分溶出特性を通水液固比に対応させて調べていた。力学特性だけでなく環境基準に関する特性にも注目すべきことを示唆するとともに、東日本大震災での津波被災土の除塩対策にも貢献する研究と思われる

る。

3. ま と め

今大会の全セッションを見渡すと、「改良土」の5セッション、「改良土・軽量土」の2セッションは、「そのままでは使うことが困難な不良土を、改質材・改質代替材などの混合により再生資材として使えるようにする」という意味では本セッションと同じ分類となろう。すると地盤材料の半分以上がリサイクル材料などの人工材料となる。従来からの研究対象である砂、粘土などの自然材料の研究を十分に踏まえて、リサイクル材料の研究を進め、発展させてゆくべきであろう。そして、改良原理や周辺環境への影響について力学以外の化学作用などをいかに力学の枠組みに取り入れていくかが重要となろう。周辺環境への影響については、土対法など厳しい基準に縛られ、リサイクル材の有効利用が制限されているが、研究の発展は縛られてはならない。多くの研究成果を集結して、たとえば学会から基準の見直しを提言するなど、必要に応じて発信してゆくべきである。

【補強土①】

苫小牧工業高等専門学校 中村 努

1. はじめに

本報告では地盤材料のうち、補強土に関するセッションについて総括する。本セッションの研究で対象とする補強材はジオグリッド及び鋼製帯状補強材である。これらを用いた工法は広く行われているが、今後も技術的な発展が大いに期待される分野でもある。

2. 研究及び技術動向

浚渫により発生した高含水比の超軟弱地盤に対するジオグリッドを用いた表層処理に関する一連の発表では、ジオグリッドの変形挙動や摩擦特性に関する基礎研究に加え、現場計測結果も報告された。また、覆土材として鉄鋼副産物である水砕スラグやアッシュストーンを用いる等新たな試みも紹介された。これらの一連の発表に関する質疑では、引抜き試験におけるテクニックや強度定数の求め方などに関する議論がなされた。

ジオグリッドを対象とした発表は他に GRS 一体橋梁の設計法の確立を目的とした研究が2編発表された。両研究共に、土中引抜き試験および気中引張試験に関する詳細な試験結果から得られた引抜き剛性に着目している。拘束圧の影響や繰返し载荷による引抜き剛性の低下について考察がなされており、多くの有益な知見が示された。

鋼製帯状補強材による補強土壁工法を対象とした発表は4件であり、その内容は多岐にわたっている。この中で室内試験に関する研究は、クリンカアッシュやセメント系固化材による固化処理土内での引抜き抵抗に関する発表であり、利用範囲の拡大等これからの発展が大いに期待される。また、積雪寒冷地で施工された帯鋼補強

土壁を用いた補強材の実現場引抜き試験結果の報告があり、冬季施工の注意点やコネクティブの変形に関して質疑が活発に行われた。鋼製帯状補強土壁工法の東北地方太平洋沖地震による被災調査に関する発表では、さまざまな被災状況の報告とともに、計画時の調査や対策工によって耐震性能が向上することが出来ることが示された。

3. ま と め

本セッションでの9編の発表は、補強土構造物の機能向上や適用範囲の拡大が期待される、大変興味深いものであった。これらの工法のこれからの普及、発展へ向け詳細な実験から得られる基礎データから実構造物を対象とした試験や被災調査まで幅広い情報の蓄積が重要であると感じた。

【補強土②】

(公財)鉄道総合技術研究所 小島謙一

ジオシンセティクス、帯鋼、セメント改良と、土と他の材料を組み合わせることにより土の材料特性や土構造物、地盤の性能を向上させる工法・手法に関する7編の報告があった。室内試験などの基本特性に関するものから、室大試験や被害事例という実務的な研究まで多岐にわたるものであった。

近年では、補強土が一般的な工法として認識されており、応用的な開発が進められている。本セッションではその1つとして地盤補強への適用が紹介されている。盛土補強に用いる場合よりも、地盤補強では軟弱地盤や地盤内での敷設など、施工性が非常に重要であり、経済性にも大きく影響する。工法の選定や設計を行う場合には対策効果のみならず、施工性、経済性を適切に考慮することが必要であると考えられる。

ジオシンセティクスの用途の1つとして排水材としての適用がある。この排水材の排水不良が要因の1つと想定される被災事例が示されている。排水機能の低下は長期的な観点ではあると考えられるが、短期的に影響を及ぼすことは想定しにくい。しかし、このような事例を踏まえて今後配慮していくことが重要である。排水量のみならず、水質など現場特有の条件や排水機能の長期的な耐久性およびその影響等を設計時に配慮することが重要である。

セメント改良土についても一般的な工法として用いられている。本セッションではセメント改良土に関して、強度特性、作成方法、化学特性と切り口の異なる3つの研究が示された。土よりも化学特性が強くなり、土と混合するセメントのそれぞれの特性、量によっても異なるものが異なるセメント改良土については、このような多角的な観点からの検討が必要であると考えられる。また、供試体の作成方法によるCBRの違いが示すように、施工方法によっては完成する構造物の特性が異なることが考えられる。設計時の想定と試験時の条件、施工方法の連携が適切でないと、作られる構造物が要求しているものと異なる恐れがあると考えられる。

本セッションでは、内容が多岐にわたるため総括することは難しいが、いずれの場合においても設計、試験、施工の連携が重要であると考えられる。「施工・現場を意識（把握）した設計」、「設計を理解した試験・施工」が求められると考えられる。

【補強土③】 防衛大学校 平川大貴

1. はじめに

本報告の対象は地盤材料、補強土③のセッションで発表された8編の論文である。本セッションで発表された論文は全て短繊維を混合することによって土の工学的性質を改善するという短繊維混合補強土に関するものであった。土を材料として様々な構造物を構築しているが、近年では土だけでは要求性能を満たすことができなくなりつつあり、様々な地盤改良技術が提案・実用化に至っている。短繊維混合補強土は近年、世界中で研究が進んでいる新しい地盤改良技術である。

2. 研究及び技術動向

短繊維混合補強土は、文字通り短い繊維を土に混合することによって土の工学的性質を改善するという地盤改良技術である。使用する繊維は合成繊維に限らず、天然繊維も含まれる。藁など天然繊維の混合による壁土のひび割れ防止など、発想の原点は古い。本セッションにおいても、天然繊維による壁土の収縮ひび割れの抑制に関する発表があった。使用する繊維の材質には違いがあるものの、同様な研究はコンクリート工学分野でも盛んに行われている。コンクリート工学分野では収縮ひび割れ抑制に限らず、短繊維を混合することによってコンクリートの強度の向上を目指した研究も盛んである。壁土においても収縮ひび割れの抑制だけでなく、強度や長期耐久性の向上など繊維補強することの利点を明確にするような研究の進展が望まれる。

一方、合成繊維を用いた土の補強技術に関する本格的な研究は1990年前後から行われている。我が国における合成繊維を用いた土の補強方法に関する研究は、当初は建設発生土などの有効利用を目的とする傾向が強かった。近年では低品質の土質材料への混合に限らず、様々な用途や適用先の検討がなされるようになってきた。本セッションでも、堤防本体や最終処分場表層への適用、盛土の液状化抑制に対する利用の検討結果が報告された。土の工学的性質を改善する方法として、異なる原理に基づいた多様な工法の確立は、事業者がその特性とコストなどを考慮して選択できるという点で社会的に大きな意味がある。短繊維混合土においては適用先の検討だけでなく、施工性や混合土の耐久性、コストなども含めた研究の発展を期待したい。

3. ま と め

短繊維、特に合成繊維を用いた短繊維混合補強土技術は発展途上の地盤改良技術である。最適な短繊維の太

さ・長さ・形状や混合量など、現状では基礎データさえ十分ではない。一方、我が国の材料工学、高分子工学分野の技術革新はめざましく、世界的にもその技術レベルは高い。我が国ではコンクリート補強向けに様々な短繊維が開発・製品化されているのに対し、地盤補強向けの短繊維の製品化は進んでいない。適用先の検討とともに、土に混合することに対して短繊維に求められる条件を明確にすることがこの補強技術の大きな進展のためには必要である。多様な観点に基づいた基礎データの蓄積と、それに基づいた様々な地盤補強用の短繊維の製品化が望まれる。

【改良土（リサイクル材）】

九州大学 ハザリカ・ヘマンタ

地盤改良に用いるリサイクル材（特に鉄鋼スラグ、高炉水砕スラグ、クリンカアッシュ、軽量混合固化処理土等）の改良効果、材料特性について報告があった。スラグの有効利用に関して4編の発表があった。その中で源位置試験あるいは現場測定による評価方法の報告は興味深く思われた。また、室内試験によるせん断変形特性について報告もあった。他の2編の発表では、混合固化処理土の低拘束圧での圧縮特性に関する報告ならびに締固めおよび透水試験による、クリンカアッシュ混合土の地盤改良効果の評価について報告があった。

【改良土（安定処理）】

独港湾空港技術研究所 高橋英紀

1. はじめに

本報告では、地盤材料-改良土（安定処理）のセッションに投稿された合計7編の論文とセッションで議論された点をまとめておく。土に種々の改良材を混合することで土の物性を改良し、その土を土木材料として利用することは古くから実施されてきたことである。しかしながら、新たな改良材の開発や廃棄物の改良材としての利用、そのより効果的な活用方法、改良土の性能向上など、研究する課題は多く残されている。

2. 研究及び技術動向

土に混ぜる材料としてセッションで新たに提案されたのは、貝殻由来の材料やスペントカーバイド（カーバイドからアセチレンガスを発生させた残滓）などであった。議論の中では、コストなどの問題も残るが、廃棄物を有効活用できる利点や、セメントなどの固化材とは異なり中和作用などの固化以外の効果を生み出せる可能性も紹介され、将来的な展望が開けた。

石灰処理土が海水によって劣化して圧密沈下する現象が懸念されており、海水で劣化させた土の圧密特性を間隙の大きさ（水銀圧入式ポロシメータ試験で計測）から検討した研究も発表された。この手法については、劣化による圧密のメカニズムを解明するための新たな研究アプローチとして、今後の成果が期待される。また、改良

時の特性だけでなく、維持管理も含めた長期的な安定性の検討も今後活発になっていくことが示唆された。

粘土を安定処理した上で粒状体に改良する造粒技術についての発表もあった。改良材の添加量を調整することで粒径をコントロールできることが示され、改良土の性能向上に寄与すると考えられる。また、複合地盤のせん断強度を把握することを目的に、2種類の強度の粘土を互層に積み上げ、UU試験を実施した発表も注目された。互層になった粘土の変形挙動について議論があったが、手法としては興味深く、今後の研究成果が期待される。

その他の発表としては、石灰改良土の一軸圧縮強さ～CBR～コーン指数の関係を調査した研究発表もあった。統計処理のみだけでなく、各試験の供試体の挙動と結びつけた関係性の説明を加えることで、より有用性が増すものと考えられる。最後に、伝統的なたたき土（消石灰とにがりを添加し、叩き固めた土）の特性を工学的に把握しようという試みもあった。低環境負荷の地盤材料でもあり、このような古きを活かした新たな改良土の研究も望まれるところである。

3. ま と め

繰り返しになるが、本セッションが対象とした改良土に関する研究課題は多く残っており、今後も研究が活発に行われることが望まれる。特に、リサイクル材料や廃棄物などの利用による改良手法の検討、劣化を考慮した維持管理に関する検討が望まれるところである。

【改良土（薬液改良）】

東京理科大学 塚本良道

1. はじめに

本報告の対象は、地盤材料のうち、改良土（薬液改良）に分類される合計10編の論文である。本セッションを担当して、本テーマの研究・技術開発は、進むべき方向に着実に進み、着実に研究発表が行われているという感想を持った。

2. 研究及び技術動向

薬液改良の研究と技術動向を理解するには、薬液の化学物性と化学反応が改良土の物理的な強度や耐久性にどのような影響をもたらすかを理解することから始める必要がある。多角的な見識を必要とする。筆者にその見識があるかと問われると疑わしいが、発表論文に忠実に、読者の利益となるように、まとめてみることにする。

耐久性に乏しいとされる水ガラスアルカリ系薬液に代わり、酸性系薬液の技術開発が進められている（375, 376, 380）。酸性薬液は2分類される。水ガラスの劣化要因となるアルカリ成分をイオン交換法で除去し増粒した活性シリカコロイドは、液状化対策など恒久的な本設施工への適用が図られている。水ガラスのアルカリ成分を酸性反応剤で中和したシリカゾルは、中長期的な改良効果の持続を期待し仮設施工への適用が図られている。

とくに、水ガラスのアルカリ成分の中和に利用される酸性反応剤には、近接コンクリートの劣化への影響も考慮し、種類を選択する必要がある。酸性反応剤の違いは、ゲルタイムと強度へ影響を及ぼし、固化にともなう体積収縮やシリカ溶脱の大小をもたらしと考えられる。固化にともなう体積収縮やシリカ溶脱は、強度へ影響を及ぼすことになる（375, 376, 380）。

薬液改良土の出来高確認と改良効果の確認は重要である。弾性波速度を利用した非破壊検査法の技術開発も、引き続き行われている（377, 379）。

高濃度のシリカ液、バイオポリマー、超微粒子懸濁型地盤改良材である浸透性耐久グラウト材などの新しい改良材の開発や、実施工に適した可塑性セメント系グラウトの開発も引き続き行われている（378, 382, 383, 384）。

3. ま と め

大震災により、宅地の液状化対策や沿岸域に位置するエネルギー施設の液状化・地盤流動対策の問題が提起されている。宅地の問題では、コストの問題を抜きに考えることはできない一方、施設の問題では、最適な対策法を柔軟に検討していく必要がある。薬液改良は、柔軟な対応が可能と言えるが、それから派生する諸問題を的確に解決していく必要性もあると言える。

【改良土（セメント固化）①】

長崎大学大学院 杉本知史

1. はじめに

本報告の対象は、地盤材料-改良土（セメント固化）①のセッションで発表された8件の研究テーマであり、長期の強度や耐久性に関する内容を中心に、改良土の締固めやばらつきといった広い範囲に亘っていた。これらについて一部を紹介する。

2. 研究及び技術動向

セメント改良による固化に関する研究においては、これまで多様な土質、固化材の適用性について、鋭意取り組まれていることは周知のとおりであり、最近では、改良土の長期強度や表層部分の劣化に対する安定性の話題が多く見受けられるようになってきている。本セッションでも、河川築堤やフィルダム、ため池の堤体の改修において利用される地盤材のセメント改良に対する長期耐久性や表層劣化に関する発表があり、原位置からサンプリングした不攪乱試料を用いて、一軸圧縮強度や針貫入試験による表層劣化の深さ、さらには浸水試験による形状維持に関する評価が行われていた。各条件下において、十分に目標強度を維持していたり、長期的な強度増加による劣化に対する安定性を示唆したりする結論を示された。

また、新幹線の橋台背面盛土に用いる礫質土をセメント安定処理し、締固めをした場合の変形、強度特性や養生日数の影響に関する発表があり、セメント礫比や締固

め度、養生日数を種々設定した条件において、排水三軸圧縮試験による評価が行われていた。これらより、同一のセメント礫比において、締固め度が大きくなると強度や剛性が著しく大きくなること、養生日数が長期に亘っても強度増加が確認されたことについて言及された。

その他、セメント改良柱のばらつきを考慮したシミュレーションについて、いわゆるランダム FEM を用いて行う際に、コアサンプリング等から得た既知データに基づく条件付き解析を行うことで、精度を向上させる挙動評価手法を提案する内容や、海面処分場に用いるセメント固化処理した土砂系遮水材に対し、長期的に強度発現を遅延、抑制することで自然堆積粘性土と同等程度の強度や変形特性を有するものを作製する手法を提案する内容など、興味深いテーマの発表があり、今後の進展が期待された。

3. ま と め

セメント固化による地盤改良の技術は、多数の施工実績のもと、実務上一般的に広く普及している状況にあるものの、改良対象の土質やその状態、周辺環境により、改良材の適用性は未解明であったり、環境に配慮した材料、施工法の開発が求められていたりすることから、今後も継続的な研究、技術開発が求められる。また、改良地盤や改良体の維持管理の面で重要となりうる長期的耐久性を維持できる施工法の開発、管理手法の提案が期待されるものと考えられる。

【改良土（セメント固化）②】

九州大学大学院 石蔵良平

1. はじめに

本報告では、地盤材料—改良土（セメント固化）②のセッションにおける 9 編の論文について総括する。本セッションの発表は、主としてセメント固化処理土の材料特性に関する内容であった。特に、時間的および空間的な視点に立った強度特性に関する発表が多く見られ、固化処理土の精度よい強度予測への取り組みが目立った。

2. 研究及び技術動向

本セッションは、固化遅延（1 編）、早期強度発現（1 編）、変形・強度特性の関係（1 編）、配合強度式の比較（1 編）、実大強度の予測（3 編）、長期耐久性の評価（2 編）に関する内容が発表された。

固化遅延と早期強度発現に関しては、グルコン酸を遅延剤として用いたり、極超微粒子セメントを用いた場合の遅延効果や早期強度発現について、いずれも室内試験レベルでの結果について報告がなされた。

セメント固化処理土の強度管理に用いる一軸圧縮強度と、変形パラメータや配合強度式との関係について発表があった。長年、一軸圧縮強度のばらつきの大きさについては指摘されているが、試験の簡便性を考えれば、強度管理に用いる指標は大きな課題である。

品質管理の高度化を目指した実大改良体の強度評価手法の開発については、議論が集中した。一連の発表では、改良体の実大強度に影響を与えるコアサンプルの平均強度や空間的ばらつき、未固化率などをパラメータとして、実大強度を予測する方法が提案され、適用事例などが紹介された。特に、固結部の強度分布と未固結部の分布が個別に考慮されており、パラメータの解釈についていくつかの質問があった。強度の空間的ばらつきを支配する因子の選定は重要であり、今後もこの点について、議論を進めていく必要があろう。当該テーマでは、改良方法や土質の違いによらず、実大強度を予測することが最終目的であると考えられることから、今後も実大改良体の強度に関するデータ蓄積が重要である。

セメント固化処理土の長期耐久性に関する発表では、変質量や水和生成物の変化に着目し、劣化深度等に対する考察が行われた。近年、セメント固化処理した土構造物の海水環境下での劣化が注目されており、当該テーマの重要性は増している。

3. ま と め

土構造物の設計・施工管理、長期耐久性評価や維持管理といった視点は、今後の地盤工学の重要課題の一つであり、他の土木分野と比較して、検討の余地が多く残されている。今後も土構造物の合理的な品質管理や劣化予測に関する研究の発展が期待される。

【改良土・軽量土①】 榎大林組 山田祐樹

1. はじめに

本報告の対象は、地盤材料のうち、改良土・軽量土①の 1 セッション、合計 7 編の論文である。

2. 研究及び技術動向

本セッションは、セメント固化処理土の長期強度特性に関する発表が 4 編、流動化処理土の品質管理に関する発表が 2 編、セメント改良土の動的変形特性に関する発表が 1 編であった。

セメント固化処理土の長期強度特性に関する発表のうち、海水浸漬により劣化したセメント固化処理土の強度特性並びに劣化深度の評価に関する 2 編の発表があった。セメント系固化材による固化処理は、軟弱地盤対策として広く用いられている。しかしながら、長期間海水環境下に曝されると、固化材の種類によっては、劣化することが近年の研究成果により明らかになってきている。劣化による影響を評価するためには、劣化後の強度特性や劣化の深度を定量的に評価する必要があり、今回の発表は非常に興味深い内容であった。発表に対して、セメント添加量が多い場合の劣化速度や土質による違いなどに関する質疑があった。これらについては、まだ十分なデータが得られておらず、今後の研究成果に期待したい。劣化速度や劣化深度の評価など、今後海水環境下においてセメント固化処理を行う場合には、劣化による影響を

考慮していく必要があると考えられる。

3. ま と め

最近の研究の動向として、セメント固化処理土の長期的な強度特性や動的変形特性に関する動きがみられる。性能設計が普及していくなか、セメント改良土の強度特性をより詳細に把握することにより、合理的な設計が可能になると考えられ、今後の進展が期待される。

【改良土・軽量土②】

(独)港湾空港技術研究所 渡部要一

1. はじめに

本稿では、改良土・軽量土②のセッションで発表された、セメント系固化処理土（3編）、土質系遮水材（2編）、気泡混合処理土（2編）、深層混合処理（1編）に関する計9編の発表論文を総括する。

2. 研究及び技術動向

セメント固化処理土に関する研究では、処理土の強度特性に対する固化阻害因子が調べられており、アロフェン、フミン酸などの含有量に着目した研究発表（2編）と粘土鉱物に着目した研究発表（1編）があった。これらの研究の成果は固化処理土の配合を検討する際に参考になるものであり、研究がさらに進めば、実務において役立つものと期待される。

土質系遮水材に関する研究では、浚渫土のセメント系固化処理土（1編）並びに砂のベントナイト混合土（1編）に関する研究発表があった。前者は、海底の汚染浮泥を封じ込めるために、硬めと柔らかめの2種類の配合を使い分ける施工法を提案しており、目的に応じた施工上の工夫の報告である。後者は、遮水性と施工時のポンプ圧送性能を満足するために行われた配合検討結果の報告である。

気泡混合処理土に関する研究では、現場の施工性や品質管理（2編）と室内試験による繰返しせん断による強度特性の変化（1編）に関する研究発表があった。前者は、打設箇所として過去最大の水深に適應するため、室内試験と原位置との強度比や消泡率に着目し、事前配合の検討と施工時の品質管理手法について施工例を通じて研究成果の報告である。一方後者は、繰返し変形によって生じる体積変化等に着目した研究である。

原位置の固化処理工法の高度化を図るための研究（1編）では、深層混合処理時に気泡を利用することによって流動性を向上させ、さらに、消泡により排出土砂減少を目指した室内試験結果の報告であり、今後の技術開発が期待されるものである。

3. ま と め

本セッションで扱われている工法などは既に実用化されているものが多いが、施工方法や品質管理手法の改善により、適用範囲が拡大できることを示したものが多く、

今後の研究を通じて、これらの工法のさらなる普及と、これらの研究成果をヒントにして、派生的に出てくる新しい工法の開発にも期待したい。

【不飽和土①】

東京農工大学大学院 向後雄二

本セッションでは、下表に示した8件の発表があった。実験と解析に関するものがそれぞれ4件ずつである。不飽和土の力学的試験では、長時間を要する実験が必要である。そのため実用に供されることが少ない。本セッションでは、そのような試験時間の短縮を目的とした新たな試験方法が提案された。すなわち、真空蒸気圧法を用いた収縮限界を求める試験方法と保水特性を求めるための連続加圧方式である。特に、連続加圧方式の普及は土の保水特性を短時間で求める方法として有力となる可能性がある。今後の研究に期待したい。

不飽和土の力学的特性を同定するには、二つのサクシジョン効果^{1),2)}を考慮する必要がある。一つはサクシジョンの増加による有効応力の増加であり、もう一つはサクシジョンの増加による降伏応力の増加である。実際の土中では、水分は不均一に分布している。土中の飽和に近い部分では、サクシジョン（現実問題では、負の間隙水圧）は有効応力的に作用する。一方、飽和度が低く間隙水が土粒子と土粒子の接触点の周りにメニスカスを作って保持されている部分では、サクシジョンは土粒子同士を引き付ける力（毛管力）を生む。その力は糊のような働きをし、土粒子を動き難くする。このことは、降伏応力が増加することと同じである。降伏応力が増加するとピーク強度が増加すること、より過圧密的な挙動を生む等の現象が現れる。この点を親水性の土と疎水性の土との一面せん断試験から明らかにした実験結果も示されていて、興味深かった。

不飽和土を対象とした構成式^{2),3)}のモデル化では、不飽和土の状態変数を用いるなどの小手先の方法でなく、上述したようなサクシジョンの作用を十分に考察してモデル化することが重要である。この点は我々が強く長年にわたって主張してきたところである。つまり、サクシジョンの作用は有効応力的に作用する場合と内部拘束として作用する場合がある。これら二つの作用は分離でき、前者はCritical stateでの強度とサクシジョンの関係から定式化でき、後者は状態面（不飽和土の正規圧密領域）を定式化することによってモデル化できる。今後は、実用問題への適用^{4),5)}を念頭に、降雨による斜面崩壊や地震時の安定性の問題に不飽和土の土質力学が応用されることを期待したい。

参 考 文 献

- 1) Kohgo, Y., Nakano, M. and Miyazaki, T.: Theoretical aspects of constitutive modelling for unsaturated soils, Soils and Foundations, Vol. 33, No. 4, pp. 49~63, 1993.
- 2) 向後雄二・浅野 勇・林田洋一：二つのサクシジョン効果を考慮した修正弾塑性モデル，農業土木学会論文集，農業土木学会，217, pp. 9~18, 2002.

表一 不飽和土①セクションの発表内容

	題名・発表者	キーワード	目的および手法	備考
418	圧密再構成粘性土における間隙水の真空蒸発特性 ○梅崎（信大）他	真空圧，蒸発速度，最小間隙比	真空蒸発法の適用	脱気純水，NSF粘土，千曲川シルト等6種類の土
419	圧密再構成粘性土の乾燥に伴う収縮および不飽和化特性のモデル化 ○河村（信大）他	収縮曲線，収縮限界，飽和度	乾燥収縮過程のモデル化	
420	不飽和土のモデル化で用いる基底応力および有効応力の考察 ○山口（名工大）他	不飽和土，サクシオン，せん断変形	不飽和土三軸試験機を用いた圧縮と伸長試験の実施，不飽和土の応力変数の妥当性の検討	山砂
421	ボンディング効果を利用した不飽和土の力学挙動のモデル化 ○塚本（名工大）他	不飽和土，構成式，ボンディング	弾塑性モデルの構築，変数 ρ および ω によるボンディング力の定式化	
422	慣性力に対応可能な空気～水～土骨格連成解析による土供試体の均質一様変形場の実現 ○野田（名大）他	慣性力，連成解析，不飽和土	空気～水～土骨格連成解析による均質一様変形場の実現の可能性の考察	有限変形有限要素解析
423	各種排気・排水条件下で制御された不飽和三軸シルト供試体の力学挙動の数値シミュレーション ○吉川（名大）他	不飽和土，連成解析，有限変形	空気～水～土骨格連成解析による不飽和シルトの種々の排水条件下での有限要素解析の可能性	有限要素解析
424	親水・疎水材を用いたメニスカスの存在がせん断強度に及ぼす影響について ○金（神戸大）他	親水材，疎水材，メニスカス	一面せん断試験によりせん断強度へのメニスカスの影響	韓国標準砂
425	連続加圧方式による新しい保水性試験方法について（その3） ○川原（応用地質）他	不飽和土，水分特性曲線	連続加圧方式保水試験機を用いた保水試験結果	砂

- 3) Kohgo, Y., Nakano, M. and Miyazaki, T.: Verification of the generalized elastoplastic model for unsaturated soils, Soils and Foundations Vol. 33, No. 4, pp. 64～73, 1993.
- 4) Kohgo, Y., Takahashi, A. and Suzuki, T.: Centrifuge model tests of a rockfill dam and simulation using consolidation analysis method, Soils and Foundations, Vol. 50, No. 2, pp. 227～244, 2010.
- 5) 向後雄二・高橋 章・鈴木朋和：不飽和土弾塑性モデルを用いた実ダムの築堤・湛水挙動解析，土木学会論文集 C, Vol. 66, No. 1, pp. 183～195, 2010.

【不飽和土②】 京都大学大学院 肥後陽介

1. はじめに

当該セッションでは不飽和土の変形・強度特性に関する未解明なメカニズムに迫る報告及び議論がなされた。不飽和土の強度特性に関する研究（4編），剛性に関する研究（2編），温度の影響に関する研究（1編），締固め時の強度発現メカニズムに関する研究（1編）を総括する。

2. 研究発表と主な議論

強度特性に関しては，サクシオンのせん断強度に与える影響を議論する場合，せん断前の水分履歴，間隙比を明らかにすることの重要性が議論された。浸透によるサクシオンの低下などでは，初期状態および浸透後の状態が，その材料の水分特性曲線のどこに位置しているのかを明らかにする必要がある。また，せん断前の吸水／排

水過程における間隙比の変化を考慮して整理する必要がある。特に，表層すべりなどの低拘束圧条件下では低サクシオンでも強度特性に対する影響が大きいため，正確な強度評価のために重要である。なお，低サクシオンの制御には微細多孔質膜が有利であることが改めて示された。他には，不飽和土の繰り返しせん断強度の周波数依存性が報告されたが，明確な傾向が見られなかった。単調載荷時の場合も含めて，不飽和土の時間依存性挙動は不明な点が多くさらなる研究が必要である。

不飽和土のせん断剛性に関しては，せん断剛性の飽和度依存性および乾燥過程での剛性回復に関する実験データが示された。飽和度が低下すると剛性は概して増していたが，乾燥状態に近づくとも減少に転じる。今後，水分保持特性と関連した考察がなされる事が期待された。

不飽和土の温度依存性は，温度が変形・強度特性に与える影響及び温度圧密現象において，飽和土と同じ傾向であることが報告された。ただし，地表面付近の地熱利用に伴う地中温度変化の観点から工学的に有意な温度変化（20℃から40℃程度）では，温度の影響がそれ程大きくないことが示された。また，概念的に広く理解されている締固めによる強度発現のメカニズムを明らかにするため，締固め試験時のサクシオンの経時的な変化が報告された。締固め層数の影響や静的締固めと突き固めの相違などがサクシオンの発現メカニズムに関連している可能性が示され，さらなる実験データの蓄積が望まれた。

3. ま と め

不飽和土のせん断強さや剛性に関する特性は、概ねの知見がこれまでの研究で示されてきており、モデル化や解析手法も開発されてきているものの、本セッションで報告されたような未解明な点も残されており、基礎的な実験的研究がさらに必要である。材料の基本的な水分保持特性、水分履歴、実験条件を明確にしておく事は、実験結果を十分に解釈するために重要である。

【特殊土①】 山口大学大学院 中田幸男

1. はじめに

本セッションは、地盤材料の特殊土に分類された7編の発表を対象としたものである。内訳は、サンゴ礫混じり土に関する発表3編、沖縄の赤土に関する発表、タイの貝殻の発表、廃棄物に関する発表、セメント固結に関する発表であった。

2. 研究動向

沖縄県の沿岸域には、広くサンゴ礫混じり土が分布している。沿岸域における港湾構造物の整備に対して、このサンゴ礫混じり土の力学特性の把握が重要となる。しかし、複雑かつ破碎しやすいサンゴ礫を含むため、乱れの少ない試料採取が難しいのが実情であった。近年、サンゴ礫混じり土のような採取が難しい試料に対する高品質サンプリング手法が開発された。ここでは、この手法により得られた試料の力学特性および、サンゴ礫の含有量の影響が検討されている。ただし、セッションでも話題に挙がったが、乱れの少ない試料採取方法であっても、もともとの地層の特性としての不均一性も存在することを考慮する必要がある。また、サンゴ礫の含有率に対する検討では、混合材料に対する考え方の活用が必要である。つまり、サンゴ礫混じり土の力学特性は、サンゴ礫が少ない試料ではシルトの、サンゴ礫の割合が多くなるとサンゴ礫の力学特性に支配される。ここでは、シルト質砂礫であることから、細粒分を間隙とみなした状態を想定した粗粒分間隙比を用いて検討されていた。この粗粒分間隙比が同一であれば、高品質試料と再構成試料の試験結果は、同一の傾向となることが示された。

沖縄県の赤土は、土壤侵食を受けやすく、農地から流出することで、水産業、観光業、サンゴ等の生息環境に影響を与える。ここでは、裸地区画流末部に施した適用策の赤土流出抑制効果に対する現場試験が実施され、リアルタイムシステムによる1年間の計測にもとづく検討が紹介された。その結果、植生帯による赤土の通過率の低下が赤土流出抑制に効果的であることを示された。

タイの露天掘り鉱山内で発見された貝殻化石の斜面の安定性評価のため、AE測定技術の適用性が検討されて

いる。貝殻化石は、クラックの進展時や、せん断時に容易に破碎する。この破碎で生じる音響を捉らえて、危険予知を行う、基礎的検討としての実験結果が報告された。発表では、一次元圧縮におけるAEの測定とその評価であったが、斜面安定の評価という点でせん断時のAE測定に対する実験成果が期待される。

【特殊土②】 鹿児島大学大学院 酒匂一成

1. はじめに

本報告では、特殊土②のセッションについて総括する。本セッションでは、特殊土の地盤工学的特性およびその地盤材料として利用や管理に関する研究が発表されている。

2. 研究及び技術動向

本セッションで対象となっていた特殊土は、火山灰質土、有機質粘土、泥炭などであった。例えば、火山灰質土でもロームやスコリアなどがあり、その性質は多様である。よって、特殊土を盛土材などへの利用、液状化の危険性の検討を行う際には、その物理特性や強度特性などを十分に把握する必要がある。本セッションでの発表では、富士山麓の火山灰質土（ロームやスコリア）を盛土材として利用するための、物理探査法、物理特性、透水特性、強度特性などに関する研究、火山灰質土を貯水池のベントナイトシート保護層の材料に使用する場合は、締め固め効率を向上させるための含水比調整法の研究、灌漑用パイプラインの埋設管の基礎材としての火山灰質土の利用における物理的性質や液状化抵抗などの検討が行われており、比較的安価な火山灰質土を効果的かつ安全に利用するための基礎的な研究が行われている。火山灰質土の締め固め度と水深沈下などの関係についての実験など、今後の火山灰質土の施工管理において重要な点であると思われる。

また、メタンハイドレードの賦存地盤の変形・強度特性の研究では、試料が貴重なものであること、有機質粘土や泥炭の動的変形特性に関する研究においては、試料中の有機物の除去が必要であることなどから、不攪乱試料による土質実験が困難であることが課題となっているが、着実に変形・強度特性が蓄積されてきている。

3. ま と め

特殊土が、盛土や基礎材など多くの場面で利用されている。しかしながら、その性質の多様性から、利用するためには、材料特性や強度特性などを十分に把握していくことが重要となる。今後の適用範囲や技術の向上のためにも、地盤調査結果、土質試験結果、施工内容（方法や課題など）などを着実に蓄積し、技術を伝承していく必要がある。