

## 4. 地盤挙動

### 【地盤改良①】 (株)不動テトラ 鈴木亮彦

#### 1. はじめに

本報告の対象は、地盤挙動の内、地盤改良に関する9編の論文である。

#### 2. 研究及び技術動向

論文で対象としている地盤改良工法の内訳は、薬液注入工法3編、真空圧密工法2編、高圧噴射工法3編であり、その他に盛土工事に関する全般的な対策が1編となっていた。全体を通じて、地盤改良の「品質」をテーマとした研究・報告が多かったと感じられた。ただし、そのアプローチは品質の確認手法と、品質の向上策に分けられる。

例えば、品質の確認手法として、薬液注入工法の出来型を確認するために電気比抵抗と弾性波速度を指標として用いるための研究が、それぞれ発表された。また、真空圧密工法では、改良効果という意味の品質として、動態観測結果を元に考察が行われた。

品質の向上策では、高圧噴射工法の改良体に短繊維を混入させることでねばり強さ（引張り強さ）を持たせる工法の開発や、改良体の均一性を高めて建築基礎としての基準を満足する品質を目指す論文が挙げられる。他にも、薬液注入工法の注入材から粗粒分を除去して浸透性を高める工夫も、品質向上策といえる。

薬液注入工法と高圧噴射工法の論文が全体の3分の2を占めているが、これらは、同じ固化系の改良工法である機械攪拌式深層混合処理工法と比べると、品質や出来型が原地盤の性状に左右されやすい。薬液注入工法は地盤の透水係数が低いと浸透距離が短くなってしまうが、この課題に対して、品質の確認手法の工夫や材料の工夫が盛んに行われているものと思われる。一方、高圧噴射工法も、地盤の硬さや粘性が噴射距離に影響するが、その相関はすでに既往の実績である程度説明がされている。本セッションで発表された論文は、むしろ改良体の高機能化を目指したものであり、高圧噴射工法の適用範囲を広げるといふ点で意義深いものとなっている。

#### 3. まとめ

地盤改良工法は、成果品である改良体が、原位置の地中で造成されるものが多く、施工管理や品質の可視化が求められている。本セッションの論文はそうしたニーズに答え、地盤改良技術の信頼性を高めることに繋がると思われる。

### 【地盤改良②】 東京工業大学 北誥昌樹

#### 1. はじめに

本総括で対象の発表論文はNo. 463～471の9編であり、地盤改良工法の中の‘締固め工法’に関するものである。各論文の分類、紹介は別表に取りまとめているので参照されたい。

#### 2. 研究及び技術動向

締固め工法に関しては、これまでバイブレーターを用いた振動式締固め工法が海上工事で広く用いられてきた。しかし、現在陸上工事に関しては、振動式締固め工法よりも低騒音で低振動の静的締固め工法が広く用いられている。本セッションでの論文もほとんどが静的締固め工法に関するものである。さらに、最近開発された砂圧入式静的締固め工法（SAVE-SP工法）と小型機械による静的圧入締固め工法（CPG工法）に関する論文が多くを占めている。

砂圧入式静的締固め工法（SAVE-SP工法）は、通常の砂に添加剤を混和してポンプ圧送可能な状態にした砂を地盤内に圧入して緩い砂地盤を締固め工法である。一連の発表論文では、原地盤の条件や流動化砂の条件が圧入性（砂の圧入量や圧入圧力）に及ぼす影響を室内土槽実験で検討した研究、現地での施工事例とその改良効果に関する研究が発表された。論文では河道掘削砂の再利用についても報告されており、本工法の今後のさらなる発展が期待されている。

静的圧入締固め工法（CPG工法）はこれまでも数多くの適用事例がある工法である。今回の発表では、2011年の東日本大震災で被災した多くの戸建住宅の液状化対策を念頭に小型の施工機械の開発に関する研究が発表された。一連の研究では、まず戸建住宅への適用に関する施工機械やプラントなどの課題の整理がされ、施工機械の開発ならびに現地施工試験結果が報告されている。研究では、通常機械と同等の施工性で同等の改良効果が得られ、また周辺地盤への影響も少ないことが報告された。大震災後に戸建住宅向けの地盤改良工法が相次いで開発されているが、本工法も今後の適用が大いに期待される工法である。

#### 3. まとめ

地盤改良工法は、厳しい要求性能や施工環境に対応するためにこれまで非常に勢いで発展してきた。本セッションでも、締固め工法に関する新しい工法・機械が紹介された。紹介した工法はいずれも既設構造物直下地盤の地盤改良も可能な技術で今後の適用が期待されている。一方でこれらの工法で造成される改良体はこれまでの工法とは異なる形状や配置である。現行設計では、改良体

の形状や配置は考慮されていないが、今後は各工法の特徴を生かした設計法が求められるであろう。

表—1 研究分野の分類 (9編)

項目	発表 件数	内容
グラベルド レーン工法	1	柱状碎石補強体の現地透水試験 (463)
静的締固め 砂杭工法	2	改良効果(464), 造成時押力(471)
砂圧入式静 的締固め工 法	3	室内土槽実験による圧入性に及ぼす影響の検討(465), 現地施工事例報告と改良効果(466, 467)
小型機械に よる静的圧 入締固め工 法	3	戸建住宅適用に当たっての課題整理(468), 小型機械の開発と改良効果の評価(469, 470)

【地盤改良③】 鹿島建設(株) 藤崎勝利

1. はじめに

本セッションは、地盤改良技術のうち機械攪拌式深層混合処理工法を主としており、品質管理 (3編)、工法開発・施工事例 (4編)、設計 (1編)に関する合計8編の論文が発表された。様々な地盤改良工法のうち、機械攪拌式深層混合処理工法は最も一般的な工法に分類できる。

2. 研究及び技術動向

品質管理に関する研究は、地盤改良体の品質 (一軸圧縮強さとはばらつき) の早期評価法、モールドコアとボーリングコアの強度の差異に関するものである。このうち、品質の早期評価に関する研究は、品質を早期に判定し、必要があれば追加施工などの措置を行うという本来あるべき品質管理の実現に繋がるものと考えられる。また、地盤改良体の強度 (多くの場合、一軸圧縮強さ) のばらつきが大きいことは本工法の特徴と言えるが、電気比抵抗法で施工直後の地盤改良体の均質性の評価を試みた研究は、品質評価方法の新たな方向性を示すものと考えられる。

工法開発・施工事例の論文4編のうち、2編はいずれも比較的小型のベースマシンを使用し、かつ直径1.2~2m程度の改良体を施工する新工法に関する論文である。また、地中に既設基礎杭などの障害物が存在する場合、その背面の改良が困難であることは良く知られているが、高圧噴射攪拌工法の場合、障害物背面に固化材ミルクが廻り込むことがある。この現象について、現場試験で検討した論文も発表された。これらの論文は、いずれも既設構造物周囲の地盤改良を想定したものと考えられる。

設計については、非着底型深層改良地盤における、地盤改良体の周面摩擦抵抗発現メカニズムに関する論文が発表された。地盤改良体の周面摩擦を設計的に考慮する

ことで、地盤改良設計の合理化に繋がる可能性もあり、興味深いものであった。

3. ま と め

東北地方太平洋沖地震を契機として、地盤改良は既設構造物の耐震補強や液状化対策の有力な工法として注目されている。従来は仮設物として施工されることが多かった機械攪拌式深層混合処理工法であるが、近年は構造物基礎への適用や地中構造物の耐震補強など本設物として適用される事例も増加している。一方、地盤改良体を“地盤”, または“構造物”と捉えるかという点については、コンセンサスが得られているとは言い難い。この地盤改良体の捉え方は、地盤改良の設計や施工における品質管理の考え方に大きく影響するものである。

今後も地盤改良の設計および施工、品質管理などに関するソフト、ハード両面からの研究を期待したい。

【圧密沈下①】

(株)高速道路総合技術研究所 安部哲生

1. はじめに

本報告の対象は、4 地盤挙動 圧密沈下①セッションの9編の論文である。本セッションでは、主に、真空圧密工法に関する論文や沈下予測に関する論文の発表が行われた (表—2参照)。

2. 研究及び技術の動向

真空圧密工法に関する発表としては、中間砂層が与える地盤改良効果への影響に関するものなどがあり、沈下予測に関する発表としては、施工履歴や圧密対象層の応力状態を踏まえた解析による沈下予測などがあった。また、そのうち実験を伴ったものが2編あった。

真空圧密工法においては、地盤改良対象層内に砂層が存在する場合、真空ポンプが、ドレーンを介してその中間砂層からの水を主体的に引いてしまい地盤改良の効率が損なわれるのではないかと懸念が前からあった。これに対し、中間砂層を模した土層実験による評価や解析手法を駆使しての評価の発表が行われた。また、沈下予測においては、特に、長期 (残留) 沈下の予測が重要となってくるが、これに対し、施工時の状況や載荷盛土の形状、沈下対象層の過圧密度合いなど施工履歴が残留沈下量に大きく影響してくるといった内容の発表が行われた。興味を引いた発表としては、真空圧密工法の場合、改良対象地盤に負圧を作用させるが、その際に改良地盤内が不飽和状態になることを実験により突き止めたこととした発表が挙げられる。これまで多くの場合、改良対象層の地盤は地下水位下のため飽和地盤として取り扱ってきたが、その考え方に一石を投じるものであった。

3. ま と め

長期沈下予測など圧密沈下解析は、これまではいかにして正確に地盤の物性を求めるか、いかにして実現象を

表-2 4 地盤挙動 圧密沈下セッション発表一覧表

論文番号	発表者	論文名	キーワード
489	新舎博* (宮本健児)	中間砂層からの吸水がある場合の粘土地盤の真空圧密効果に関する実験	真空圧密, 中間砂層, PBD
490	竹嶋正勝	軟弱地盤盛土の安定が長期沈下に及ぼす影響(2)	長期沈下, 側方流動, 盛土安定
491	杉江茂彦	泥炭が厚く堆積する地盤での真空圧密併用盛土の荷重伝搬について	泥炭, 盛土, 真空圧密工法
492	Son Nguyen Hong	Estimation of in-situ initial condition of an ultra-soft ground containing peat in Mukasa area	Peat, soil skeleton structure, consolidation
493	田代むつみ	真空圧密工法を併用した盛土載荷による超軟弱ピート地盤の沈下の再現と将来予測	ピート, 骨格構造, 水~土連成解析
494	石黒直紀	有機質土が厚く堆積した地盤における圧密沈下検討事例	二次圧密, 圧密沈下, 有機質土
495	柴田俊文	大気圧工法を施した地盤における同定パラメータを用いた擁壁の挙動予測	大気圧工法, データ同化, 粒子フィルタ
496	山田正太郎	ドレーン内の水圧を未知数にとるマクロエレメント法によるウェルレジスタンス現象の再現	マクロエレメント, パーチカルドレーン, ウェルレジスタンス
497	橘伸也	真空圧密による粘土地盤の不飽和化	真空圧密, 不飽和, 地盤改良

※代理発表

うまく表現する解析モデルを構築するかといった点に力点が置かれてきたように思う。いずれも、より精度の高い沈下予測をする上で必要不可欠な情報や手段であり、今後、より一層の精度向上が求められるであろう。しかし、それだけでは十分とはいえず、本セッションの中でも話題となったが、どのような施工履歴を受けてきたかを正確に把握し、解析にあたっては、それをいかに忠実に再現することができるかが解析精度の更なる向上を図る上で重要であると考えられる。そのためにも、施工時の状況をしっかり記録し残すということが重要である。

【圧密沈下②】 埼玉大学 橘 伸也

1. はじめに

本報告の対象は、地盤挙動 圧密沈下②のセッションで発表された合計8編の発表論文である。外的作用に伴う軟弱地盤の経時的な変形状の再現・予測を主題として、数値解析的なアプローチが多岐に亘って紹介された。

2. 研究及び技術動向

FEMによる実問題への適用事例が4件報告された。この内、軟弱地盤上の盛土の沈下挙動を、地震時を含め長期にわたって、再現・予測した研究が大変興味深かった。盛土の構築から高速道路としての供用後のオーバーレイ、そして地震までの一連の応力・変形履歴を再現し、さらに同じモデル、パラメータを用いたまま、その後の沈下挙動を予測している点において、解析技術の高さが窺えた。会場から、地震後に生じる即時沈下のメカニズムについての質問があり、地震時に生じた過剰間隙水圧の消散による沈下というよりも、対象地盤では、側方流動に伴って生じた沈下が支配的な要因であることが解析結果より示されたという回答があった。地震後の土構造

物の品質評価や補修計画を立案する上で、予測精度の向上や変形メカニズム解明は重要な位置を占めることから、このような解析技術のますますの発展が期待される。

二次圧密をキーワードとする研究として、アイソタック概念による二次圧密量の予測手法の提案が報告された。室内試験で得られる圧密曲線から予測される沈下量に対して、二次圧密によって生じる沈下量を、原位置ひずみ速度に応じて簡便に予測するチャートが示されており、実務への応用が期待される。一方で、塑性論的なアプローチから二次圧密による疑似過圧密化効果を表現する弾粘塑性構成モデルの提案も報告された。過去に提案されたモデルの弱点を克服し、より広範囲な応力状態に対して時間依存性挙動の豊かな表現を可能としつつも、モデルパラメータの数は実質一つしか増えておらず、効果的なモデルの改良を成し得た研究であると言えよう。

3. まとめ

ディスカッションの中で、ある地点の実測沈下量を再現する際に、解析者が選択したモデルありきで解析が行われていないかを指摘するコメントがあった。対象とする地盤の力学特性や境界条件を吟味した上で、適切なモデルを選択すべきであるという趣旨だと理解した。このコメントは、数値解析に携る地盤技術者が耳を傾けるべき内容であると思う。モデルや手法は、シンプルなものから複雑なものまで多様であるが、いずれも理論的な部分を十分理解し、適用範囲を踏まえた上で、解析に適用することを心掛けたい。

【圧密沈下③】 大阪大学大学院 小田和広

1. はじめに

本セッションでは、いわゆる“圧密”の定義を網羅する非常にバラエティに富んだ9編の発表が行われた。

## 2. 研究及び技術動向

本セッションの発表を圧密の過程に着目したものと圧密のそのものの2つに分ける。前者については、まず、浚渫粘土の圧密特性をテーマにした発表があった。浚渫粘土の埋立て処分に関する発表では、七尾港浚渫粘土の圧密特性と北九州浚渫粘土のそれが比較されていた。風土という言葉があるように土地毎に土は異なっている。今後、浚渫土の土質の違いが圧密特性に及ぼす影響について研究することは、成果の国内外における展開に寄与することになるだろうと感じた。次に、除荷過程におけるクリープ現象に関する発表では、分割圧密試験機を用いた非常に精緻な実験が行われていた。除荷時にもクリープによる圧縮が生じることがあることはよく知られている。その挙動を系統性に整理が必要であろう。さらに、3編にわたり舞鶴若狭自動車道の試験盛土の観測事例が報告された。試験盛土が行われた地盤は、軟弱粘性土と腐植土によって構成されおり、既に10 m以上の沈下が生じていながら未だに圧密沈下は終了していない。観測はかなり長期間にわたって行われており、非常な貴重な知見が提供されている。今後も動態観測を継続されることと論文集などへの報告が期待される。また、実地盤における圧密挙動を粘土のひずみ速度依存性の視点から考察することの重要性を認識した。

さて、圧密そのものに関する研究として、まず、盛土の水浸沈下の発表があった。この現象については、未解明な点が多く、その定量的な評価方法は定まっていない。盛土を含め地盤の品質判定は学会の重要な役割の一つである。水浸沈下に対する試験方法の開発や系統的な試験の実施など今後の研究の進展が望まれる。次に、震災廃棄物土砂を建設用土砂に活用するための技術開発に関わる発表があった。首都圏直下型地震や南海トラフ巨大地震が今後予想されている現在では、このような技術の開発は必要不可欠であると感じた。最後に、粘土の力学挙動に及ぼす温度変化について、非常に精緻な試験に基づく研究成果が発表された。今後はメカニズムの解明についても検討されたい。

## 3. ま と め

地盤工学用語辞典で「圧密」という言葉を調べると、

「土が内部間隙水の排水を伴いながら徐々に圧縮していく現象をいい、その間に生じる現象の推移を圧密過程と呼ぶ」とある。また、間隙水の排出がなくて間隙空気の圧縮や排出によって圧縮する土、飽和していても圧密がごく短時間に終了する砂礫土において体積が減少する現象も圧密と呼ばれるとあった。なるほど、「圧密 (Consolidation)」というテーマは永遠に不滅であることを再認識した。

## 【凍結・凍上】 鹿島建設(株) 上本勝広

### 1. はじめに

本報告では、凍結・凍上の9編の論文について総括する。凍結・凍上については、都市部における非開削工事の補助工法として用いられる人工地盤凍結工法もあるが、本セッションの大半は寒冷地における凍結融解・凍上に関連する研究であった。

### 2. 研究及び技術動向

本セッションでは、斜面や道路の凍上対策に関する実証的な研究と凍結融解による地盤材料の劣化・強度低下・沈下挙動を実設計に反映するための基礎的な研究がバランス良く発表された。

興味深い発表は、舗装嵩上げによる道路の凍上対策である。これまで道路の凍上対策に用いられていた置換工法や断熱工法に代わって舗装嵩上げによって凍上を低減できるため、コスト的にも工期的にも大幅に優れた対策工法である。

また、現在進められている斜面の凍上対策に関する設計指針の作成に関して報告があった。当指針では、これまで不十分であった斜面の凍上対策に対して調査手法、工法選定の判定手法、凍上対策の設計手法が具体的に示される予定であり、本指針により寒冷地における凍上被害の低減が進むものと期待される。

### 3. ま と め

今後も凍結融解、凍上、解凍沈下について基礎的研究、実証的研究、解析的評価に関する研究が活発に行われ、凍結による被害軽減に繋がることを期待する。