

6. 地盤と構造物

【盛土の被害事例と評価法】

幌延地圏環境研究所 荒牧憲隆

1. はじめに

本報告の対象は、地盤と構造物の内、盛土の被災事例に関する論文が4件、盛土の評価法に関する論文が4件、計8編であった。本セッションで対象となる土構造物は、いずれも高速道路の盛土であった。

2. 研究及び技術動向

盛土の被害事例に関しては、東北地方太平洋沖地震での盛土被害と地下水上昇による谷埋め盛土の変状であった。東北地方太平洋沖地震での盛土被害に関しては、関東・東北地方の広域にわたって盛土被害があったことが報告された。また、その中で、旧地形が河道であり、その埋立て地盤の液状化による盛土被害について焦点が当てられている。これまでの地震での被害を含めたデータベース化等、今後の進展が期待される。また、軟岩を基礎地盤とする谷埋め盛土に関して、地下水位の上昇による盛土の変状調査及びその対策工、軟岩すべりについて発表された。地すべり地形を呈していない軟岩中でのすべり面を対象とし、盛土の安定性の観点から、周辺地質構造と軟岩の堆積状況の関連性が考察している。事例も少ないことから、データの蓄積が望まれるものであった。

盛土の評価法については、盛土材の材料特性から将来の盛土の安定性に関する内容と盛土の内部状態の健全性に関するものであった。まず、将来の盛土の安定性に関しては、盛土材の劣化の模擬方法や模擬した材料特性の評価について議論された。一方、盛土の内部状態からの健全性評価に関しては、表面波探査と力学試験を併用している。しかし、今回は、盛土健全性評価のための初期値であることから、今後の進展が期待される。

3. ま と め

近年、地震だけではなく、局所的な豪雨も多くなっており、盛土に限らず、土構造物の被害事例や調査報告は重要となってくる。特に、特殊な地形・地質での事例調査は貴重な成果であり、その原因究明や実務への展開に向け、今後、更なるデータの公開・蓄積が望まれる。

また、脆弱岩を盛土材とした場合の盛土の評価法において、将来的に材料の劣化は予想されるが、現在のところ、地盤材料のどのような状態量で表現すれば、任意の時間における盛土の内部構造、材料特性を的確に捉えているかの議論が成熟していない感がある。材料の劣化特性を示す方法は各種あるが、盛土の経年変化に伴う劣化状況を表現、予測する新たな手法を開発する必要があると思われる。

【堤防の被害事例と評価法】

㈱村尾地研 村尾英彦

1. はじめに

地震時の被害に関連した検討が主であり、液状化、すべりを対象とした発表が行われた。発表は、大きく分類して、以下に示す3つのテーマに分けられる。

2. 研究及び技術動向

テーマ1. 地震時に堤防に生じる現象の解明

2011年東北地方太平洋沖地震において生じた、堤体自体が液状化する現象を対象としたものである。変状機構や特徴についての検討や、液状化判定法の盛土への適用性を検討した報告が行われた。今後、堤体の液状化発生の有無を判定する手法や、対策工法の研究をすすめることが必要であると示唆された。

テーマ2. 確立された手法の検証・改良

堤防基礎地盤の液状化被害に関して、マルチスプリングモデル及び非排水要素を用いた、2次元有効応力解析手法による検討結果が報告された。堤防天端の沈下量を高精度で再現できる一方で、法尻部の水平変位については、再現性が低いという結果が得られている。再現性向上のためには、過剰間隙水圧の消散過程の考慮が必要で、カクテルグラスモデル及び排水要素を用いた検討に期待が寄せられる。

テーマ3. 計画・設計時の指標・手法の確立

地震時の堤防の液状化・すべりを対象とした発表では、地盤の固有振動数を比較し、新たに提案された、正規化固有振動数の有効性が示唆されている。今後、被災形態との関連、地形・地質を考慮した検討により、計画・設計時の新たな指標としての確立が期待される。

地震時の道路盛土のすべりを対象とした発表では、DEMから、山岳道路盛土部の抽出を行っており、高精度な盛土部の抽出を行うことが可能であると報告された。また、様々な地形を対象とした、盛土部抽出が可能なモデル式の構築が今後の課題である。

ICT施工導入によるフィルダムの品質管理の合理化・高度化を対象とした発表では、盛立材料を全粒径レベルで管理可能な項目の検討が報告された。飽和度は、遮水性を間接的に管理できる項目である可能性があり、RI試験法を用いた多点計測と併せて、迅速な遮水性の把握が可能であることが示唆された。

3. ま と め

本セッションでは、大地震の発生に伴って新たな現象が判明したことから、現象の解明、新たな指標の確立、手法の高精度化に取り組む発表が主であった。これらは、防災という観点から急務であり、今後の更なる研究の加

速が求められる。また、現象の機構説明は勿論のこと、最終的には、被害を軽減することができる予測手法の確立が必要であるという、強い意思を発表者の方々から感じ取ることができる有意義なセッションであった。

【盛土の透水・排水】

福井工業高等専門学校 吉田雅穂

1. はじめに

本文では「地盤と構造物—盛土の透水・排水—」のセッションの内容について報告する。対象構造物は盛土3編、道路路盤2編、鉄道道床1編、道路舗装1編であった。

2. 研究及び技術動向

常時・地震時問わず盛土構造物の排水対策は重要な課題である。低盛土直下に透水層を敷設する液状化対策の検討では、限定的な対策で壊滅的な被害を防ぎ、災害時の道路確保を目的としていた。過剰間隙水圧の消散を目的とした液状化対策工法の効果は東日本大震災でも確認されており、経済的な工法として期待できる(570)。また、盛土に排水パイプを設置する工法に関しては、合理的な安定性評価手法が提案されており、本工法も経済的な工法として興味深い(571)。さらに、谷埋め盛土に関しては、2007年能登半島地震の被害をケーススタディとした地震応答解析の結果を用いて、地下水の影響に関する知見が示された(572)。

インフラの老朽化問題は様々な構造物に生じており、路面下の空洞問題もその一つである。橋やトンネルとは異なり重大事故に繋がる可能性は少ないかもしれないが身近な問題である。最終目的である空洞規模の推定へのアプローチが今後期待される(573)。

鉄道では乗り心地の向上や騒音の低減を目的としてロングレールが採用されているが、一方で温度変化に伴う軸力発生という課題がある。模型実験で群杭効果の影響を指摘していたが、今後、実構造物を用いた実験での検証を求めたい(574)。

資源リサイクルの観点において地域資源の活用は持続可能な社会を構築する上で必要不可欠である。琉球島嶼部ではサンゴがその一つである。アスファルト舗装材への適用事例が紹介されたが、課題は既存材料に対して経済性で優位に立てるかであり、今後、製造や流通の関連企業との連携が必要である(575)。

道路の透水性向上は走行安全性の向上や沿道環境の保全に繋がり、保水性向上はヒートアイランドの抑制や地下水涵養の効果が期待できる。路盤材の土に高分子ポリマーを添加し団粒状にする方法では、透水性とともに保水性も合わせ持つ路盤材を目指していた。技術的課題はあるものの高機能道路への活用に期待できる(576)。

3. ま と め

分野が多岐にわたり、かつ、7編中6編が優秀論文発

表者賞の対象であったため、1編ずつ質疑応答を行う形式でセッションを進行した。そのため、発表者とフロアの方々の協力で満遍なく質疑応答を行うことができたが、テーマである盛土の透水・排水について深く議論することは困難であった。社会基盤を整備するうえで、経済性と安全性の追求、そして、それを実現するための合理的設計法の確立を目指すことが重要である。いずれの発表も、このような実務への適用という視点が明示されており、今後の研究の進展が期待できると感じた。

【盛土及び基礎の補強】 金沢大学 高原利幸

1. はじめに

本報告は、「地盤と構造物—盛土及び基礎の補強—」のセッションの総括で、8編の発表が行われた。

度重なる地震被害から盛土構造物への要求性能も高くなっているが、現在の設計法では過大設計になりかねない場合も多く、適切な性能と環境負荷も含めた経済性を考慮した補強が必要とされている。

2. 研究及び技術動向

8編中3編が遠心模型を利用し、2編が1g場の実験で、実施工が1編、計算を利用した性能設計や検討事例が2編であった。

数値計算によって、経済的な対策工法を選定し、性能設計を行おうという試みや、鉄道盛土の耐震基準として、ニューマーク法による滑動量を基準にしようという試みがなされていたが、採用した数値計算がもたらす値と実挙動とは乖離があり、設計基準や指針にそのまま取り入れることはできないはずで、どのような担保がなされるべきかの議論が今後必要であろう。最後にフロアからも同様な趣旨の質問があったものの、十分な時間をとっての議論ができなかったが、特に滑動量に関するニューマーク法はメカニズム的にも全く実現象とは異なる簡易法であり、十分注意して利用する必要がある。

その他、実験条件にはやや問題があったが、靱性の高い短繊維混合処理土など新しい性質を持つ対策工なども提案されており、環境にも配慮した杉丸太材を利用した補強と合わせて、適用範囲を明確化すれば、経済性ともあいまって、今後の利用が見込めるのではないかと思われた。杉丸太材の検討では、模型実験と実物大実験が組み合わされており、長期計測による検証も期待できる。

地盤の不法和化による液状化対策は今後不飽和の保持期間などメンテナンスに関する検討が必要であろう。

3. ま と め

設計法と事後の予測法はおそらく同じではない。設計に用いる方法は多くの場合最大値を予測するもので、実際の挙動予測に用いる際には十分な注意が必要であり、実現象との相関をきちんと把握した上で、性能設計法への導入が望まれるのではないかと。このため、安易な解析手法の援用には注意を促したい。

液状化対策だけではないが、完全に止めるか、被害を低減させればよいのか、一時的か恒久的かなど要求に合わせた多様な基準が求められているように感じられた。今回の講演では触れられていなかったが、これらの多様性を実現するためには、盛土の健全性をどのような方法で評価するのかということに関して、今後真剣に取り組む必要性があるのではないだろうか。

【堤体の管理・評価】

徳島大学大学院 上野勝利

1. はじめに

本セッションでは破碎性凝灰岩のロックフィル材としての締固め特性に関して1編(585)、土工の現況調査と管理基準に関する研究が1編(586)、給排水による堤防の損傷に関する模型実験を実施した研究が2編(587, 588)、堤防内への浸透について現場計測を行った研究が1編(589)、フィルダムの透水試験の高精度化に関して2編(590, 591)、ウェルドレーン工法について1編(592)、合計8編のそれぞれ興味深い発表が行われた。これら8編の発表には、材料特性、試験・評価法、施工・品質管理、浸水破壊と維持管理といったトピックが含まれており、昨今の頻発する豪雨災害への対応や、構造物の維持管理の高度化につながるテーマともいえる。

2. 研究及び技術動向

土工の現況調査と管理基準に関する研究は、空気間隙率 v_a に着目した管理基準について多くの事例が整理されており、特にフロアの関心が高かった。空気間隙率 v_a は、浸水に対する抵抗性に影響する。 v_a が低下する最適含水比 w_{opt} よりも低い含水比で締固められた土は、浸水抵抗性が低いことが危惧される。この発表で示された堤体の施工時の含水比 w_n と v_a の関係を整理した結果では、 w_{opt} よりも低い含水比で施工された事例が少なからず存在することが目を引いた。これらの事例では、 v_a の値が河川土工マニュアルの管理基準を逸脱することも示された。一方、砂質土については w_{opt} 以上で施工された事例は、おおむね v_a の基準も満足していた。この研究がさらに進展し、締固め度 D_c だけでなく v_a も考慮した合理的な管理手法の構築につながることを期待される。

コア材など透水性の低い材料の現場透水試験では、室内試験の結果に比べ、得られる透水係数が大きくなる傾向があり、室内試験結果から実構造物の透水性を推定する際の障害となっているとのことである。その要因として試験中の蒸発散の影響に着目し、実験と解析から検討を行った研究があった。現場透水試験の装置や方法の開発も含めて、今後の発展に期待したい。

浸透破壊や空洞化に関する2つの実験的研究では、土質材料の選定が難しいと感じたものの、まずは再現しやすい材料を用いて現象を再現し、破壊形態、浸透の影

響範囲や空洞の好発箇所などに関する知見を蓄積することは重要と思われる。多数のセンサを埋設した現場計測事例も貴重である。一つのアプローチとして、浸水や空洞化を検出できる安価なセンサやモニタリング方法の開発も、維持管理に必要なツールであろう。模型実験や現場計測による知見が蓄積され、堤体の破壊や空洞の発生を未然に防ぐ、あるいは発生初期に対策を施すなど、経済的な対策工の開発につながることを期待される。

【盛土の施工・管理】

京都大学大学院 藤澤和謙

1. はじめに

本報告は、代表的な土構造物である盛土に関連して、その施工・管理を中心に議論された発表セッションを総括するものである。本セッションでは、8件の研究発表がなされ、それらは真空圧密地盤と盛土の安定、締固め度の現地評価、最新の盛土の品質評価技術、補強盛土の津波に対する耐久性についてのものであった。

2. 研究及び技術動向

盛土の施工と管理に関して、締固めの重要性が経験的な観点からだけでなく、学術的な側面からも再認識されている。本セッションの8件の研究発表のうち、6件が締固めをキーワードとしたものであった。実務上重要であり、分かりやすい発表は、転圧機械と盛土材料の粒度の組み合わせが、材料の締固まり易さに及ぼす影響を164件にも及ぶ現場の実験事例から整理した報告と、コーン貫入試験から既設盛土の締固め度を推定する研究であった。

締固めのメカニズムはその方法によって異なり、締め固めに対する応答は材料によって変化する。締固めのメカニズムについては、現在研究が進んでいる段階にあるが、不飽和土の圧密現象をベースにした研究例が多い。本セッションでは、振動ローラによる転圧をモデル化し、地盤の振動解析を通して締固め密度を予測する研究発表がなされ、締固めの方法を反映した研究が進み出したものと考えられる。振動ローラの転圧に対する地盤の応答加速度を計測することで、盛土の品質評価を行う大型実験についての研究報告もなされた。

振動ローラによる転圧では、転圧回数が増加すると、オーバーコンパクションのように一度密度の減少が見られ、その後、再び密度が増加する様子が異なる2件の発表で報告された。この現象についての質問があり、発表者間で議論がなされた結果、粒子破碎が関係しているのではないかとの見解が示された。

3. ま と め

古くから知られる締固めによる土の密度の増加現象は、土の強度を増加させるため、盛土の施工・管理では非常に基本的な点検項目となる。現在、この現象が学術的に見直され、実務への展開が期待されるとともに、高品質

な盛土が要求される現状が締固めの評価技術の向上を推進している。本セッションは、このような状況を反映し、高精度でありながら、経済的または効率的な土の締固め（若しくはその評価）を目指した研究に象徴された。

【堤体・ダムの間隙水圧】

岐阜大学流域圏科学研究センター 沢田和秀

1. はじめに

本セッションでは、外力に対するダム及びため池の湛水機能を確保するために、堤体等の変状メカニズムを対象とした7編の発表があった。多くは、地震を外力と想定するものである。

2. 研究及び技術動向

東日本大震災での、ため池崩壊災害を受けて、特に耐震性評価の手法を検討する研究が多かった。しかし、土構造物として古くから存在するダムやため池は、堤体の構造がはっきりと分かっているものは多くないと考えられる。したがって、堤体の健全度や耐震性を評価するにあたって、現在の堤体のコンディションをどのように把握できるかが大きなカギとなる。

堤体の地震時挙動を実験的に予測するために、遠心載荷装置を用いた室内実験が実施され、それらの結果を数値解析で再現し、実験では捕捉できない現象を詳細に把握することが試みられている。国内だけでも現存するダム及びため池の全体数が非常に多いことから、周辺地盤との関係を含めた堤体の地震時の挙動などは、多岐に渡ると考えられる。そのため、ある特殊なケースについての実験とその再現解析が実施されていることになるが、丁寧な実験と精緻な数値シミュレーションが行われており、堤体基礎や堤体内部の力学挙動を詳細に把握できていると考えられ、そこから派生するアイデアが、今回発表された形態でないダムやため池についての力学挙動を予測する際の手助けになる。

それぞれの発表では、地盤工学的な課題を抽出し、堤体内部や周辺地盤の間隙水圧の影響による強度変化を捉え、適切に課題の明確化とその対策案の提案が試みられているが、いつどのように構築され、どのような状態であるかを評価できる手法が同時に提示されるとよいと感じた。

3. ま と め

東北地方太平洋沖地震を起因とするため池崩壊災害を受けて、アースダム及びため池に関する耐震性について社会の関心が高くなっている。ため池等の存在箇所や数量は各自自治体等で調査されているが、それぞれの耐震性評価や対応策などは遅れているのが現状である。本セッションによって発表されている技術から、効率的に安全性を確保できる方策が期待される。

【越流・堤体強度】

大阪大学大学院 小田和広

1. はじめに

東日本大震災以来、表面を流れる水による土構造物の侵食の問題が大いに注目を集めている。本セッションでは、タイトルにあるように、越流や内部侵食などによる堤体の崩壊の問題に関する8編の発表が行われた。

2. 研究及び技術動向

まず、津波を対象とした越流に対する堤体補強の効果に関する一連の水理模型実験の報告では、堤体の裏法肩部の被覆工に対するジオテキスタイルによる補強効果の有効性が検証されている。被覆工が剥がれるタイミングや実際の津波と水理模型実験における波との関係など、外力としての波について議論があった。堤体の裏法面の侵食特性に及ぼす津波高さと法面勾配の影響に関する数値解析では、解析対象となった模型実験との相違、特に、底面での境界条件について質疑があった。越流に対する堤体の安定性に関する数値解析では、洪水と津波の違いを越流経過時間として考慮し、堤体内への浸透の影響について検討されていた。数値解析手法や安全率の定義、破堤の定義などについて議論が集中した。河川堤防の破堤実験では、堤体下部が侵食を受け、堤体上部が崩れ落ちるという破堤の進行過程が、それに及ぼす堤体材料の影響も含め明らかにされた。このような実大実験は非常に貴重な知見をもたらしており、今後も継続的な研究が望まれる。裏法侵食に伴う海岸堤防の不安定化に関する数値解析では、越流などによる裏法面の侵食特性ではなく、それによってもたらされる堤体の不安定化に着目されていた。解析対象としているベトナムの堤防の断面形状が日本のそれとは異なる点や不安定化を自重の倍数で表すことの妥当性などについて議論があった。裏法尻部の保護工として現位置攪拌混合固化工法の適用事例の報告では、目標強度とセメント添加量の関係や2段階施工における継ぎ目の処理等の実務的な観点からの質疑があった。これら以外にも、地下浸透流による細粒分の流出が盛土の不安定化に与える影響に関する報告や海岸護岸の耐震対策工法に関する報告があった。前者では、細粒分の移動と衝撃荷重載荷時における間隙水圧の関係、後者では消波ブロックのモデル化に関して質疑があった。

3. ま と め

本セッションでは、水理学的な見知からの発表と地盤工学的な見知からの発表が混在していた。お互いの言葉の概念に関する相互理解に関する問題は未だ残っているが、お互いの交流が盛んになれば、解消していく方向に向かうであろう。侵食の問題は堤体だけに止まらず、豪雨時の斜面についても起こりうる。今後、新たな分野として益々研究が盛んになることを期待する。

【杭基礎一般】

㈨港湾空港技術研究所 水谷崇亮

1. はじめに

本セッションは、「杭基礎一般」というタイトルからも分かるとおり、特定の課題・切り口ではなく、広く杭基礎に関係する研究が集められており、計9編の発表があった。発表を大きく分類すると、施工報告・現地調査に関わるもの、数値解析に関わるもの、模型実験に関わるものに分けられ、発表件数は概ね均等であった。数値解析と模型実験については、双方を実施して検討を行っているものもあった。9編のうち地震に直接的に関係する発表は1/3程度であり、杭基礎に関しては地震時挙動以外にも様々な課題が残されていることが示唆される状況であった。

2. 発表内容

個々の研究内容については、紙面の都合もあるので講演集で御確認頂くこととして、ここでは省略する。発表の内容を大きく見ると、数値解析・模型実験に関しては、杭基礎の基本的な挙動に関わる研究が多い印象であった。つまり、原理・現象を理解し、それを解析にどのように反映させるかという視点で検討を進められていると感じられた。数値解析等のツールが非常に発展している今日においては、ともするとそういったツールに頼りがちで、現象の理解が十分でないような例も見られるが、その点において、本セッションの発表は好印象なものが多かった。

一方で、施工報告・現地調査に関しては、新しい施工法や調査法、新しい基礎形式についての発表も多数含まれていた。いずれも今後の発展性が期待できる興味深いものであった。

3. おわりに

本セッションは初日の1コマ目というスケジュールで、聴講者の出足が鈍いのではないかと心配していたが、セッション開始時から満席で、間もなく多くの立ち見が出る状況であった。また、討議も活発に行われ、座長は進行をするのみで非常に楽をさせていただいた。発表件数が多かったこともあり、討議の時間を十分に確保できなかった点については、座長の責務を十分に果たせなかったものと反省しているところである。

最後に、本セッションの発表者及び参加者の皆様に改めて感謝を申し上げ、セッションの総括とする。

【鉛直①】 ジャパンパイル㈱ 小椋仁志

1. はじめに

本セッションでは、基礎杭の鉛直支持力や沈下に関する以下の8編の論文が発表された。

- 625 軟岩支持鋼管杭の現場急速載荷試験
- 626 不完全支持杭に関する遠心模型実験

- 627 開端杭の内空面積比を変えた先端閉塞の模型実験
 - 628 施工法を変えた鋼管杭の先端閉塞の模型実験
 - 629 排水条件を変えた地盤中の杭支持力の模型実験
 - 630 繰返し回数・振幅を変えた杭の支持力の模型実験
 - 631 矩形杭の沈下に関する弾性解析
 - 632 薄層を設けた杭の群杭効果に関する遠心模型実験
- 以下、筆者が特に感じた事項について述べる。

2. 研究テーマ

杭の鉛直支持力は古くから研究されてきた。このセッションでも支持層の問題(625, 626)、開端杭の閉塞効果(627, 628)、繰返しの影響(630)、群杭効果(632)などは以前から取り上げられてきたテーマに、他の条件を加えた研究といえる。その中で629は近年多くなっている急速載荷試験に及ぼす排水条件(乾燥砂と飽和砂)の違いに着目しており、新たなテーマと思える。研究の結果、静的載荷試験では差がみられないが、急速載荷試験では差が生じるとしている。今後、実際の杭に急速載荷試験を適用する場合、結果の解釈にあたっては地盤の排水条件に十分な注意を払う必要があることが認識された研究である。

3. 研究手法

625は現場実験、631は数値解析による研究であるが、他は模型実験を主とした研究となっている。模型実験の場合は相似則・再現性・実現場への適用性等の検討は必須になると考えられる。応力の相似則については、遠心模型実験(626, 632)では満足されるが、他の模型実験では地盤内応力の検討が十分ではないように感じられた。また、幾何学的相似則は遠心模型実験を含めて必ずしも満足されない(例: 模型杭は小さくできても、土の粒子は小さくできない)ため、実現場への適用には注意が必要となる。模型実験では実験時の少しの誤差が結果に大きく影響されることが多いため、同じ条件での試験を数回行って再現性をチェックすることが不可欠となる。本セッションの論文では、試験結果の妥当性についての質問も出されており、これに答える意味でも今後は再現性について検討した模型実験を行うことが期待される。

4. 質疑応答

論文発表後、活発な討議が行われた。ただ、基本的な事項の質問に対して答えに窮する発表者が目についた。優秀発表者選定への影響のためか共同研究者からの答えも無く、疑問が解消されないままになったのが残念である。

【鉛直②】 金沢大学 松本樹典

1. はじめに

本セッションでは、計9編の論文(No. 633~641)の発表と質疑応答が行われた。論文は、その研究内容から、4つのグループに大別される。

2. 研究及び技術動向

第1のグループは、「超高層集合住宅を支持する場所打ち節付き杭基礎」に関する3編の論文(No. 633～635)である。建物の節付き場所打ち杭(杭節付き杭)群杭基礎の常時及び大地震時に挙動解析を行い、基礎全体の挙動及び群杭効果が節部抵抗力に与える影響を検討している。No. 633は、基礎構造計画と単杭の鉛直載荷解析を述べている、No. 634は、群杭基礎全体の挙動解析結果、常時の沈下解析、大地震時の群杭効果を述べている。No. 635では、常時における群杭基礎の軸力計測結果を示し、本基礎構造計画の合理性を定量的に確認している。

第2のグループは、群杭挙動を調べるために、PIV手法を適用した3編の論文(No. 636～638)である。No. 636では、単杭と群杭モデルの鉛直載荷試験を行い、PIVシステムの検証を行っている。No. 637では、載荷履歴の無い地盤に対して群杭を載荷した際の相互作用について検討している。No. 638では、節杭群杭の載荷実験を実施している。No. 637と638では、PIVによる地盤挙動の観察を行っている。

第3のグループは、単杭を対象とした「杭周辺地盤のPIVによる可視化実験」に関する2編の論文(No. 639～640)である。No. 639では、PIV解析による単杭支持力機構の検討を行っている。No. 640では、PIVをよって引抜き力を受ける回転貫入杭の支持力機構の検討を行っている。

第4のグループは、「多層地盤における拡張杭の引抜き抵抗力に関する個別要素法解析」に関する1編の論文(No. 641)である。極限引抜き荷重に達した後の拡張杭の引抜き挙動を把握するため、多層地盤における拡張杭の引抜き試験に関する二次元個別要素法解析を実施している。

本セッションの論文の、重要なキーワードは、「群杭挙動」である。群杭効果は、地盤を介した杭どうしの相互作用である。そのため、単杭と群杭の載荷における地盤挙動の相違を調べることは、群杭効果を解明するために不可欠である。そのため、第1と第2グループでは、PIV手法を積極的に導入している。No. 641の解析では、地盤の側方に繰返し境界条件を適用することで、無限本数の群杭解析を行えるようになっている。

群杭効果は、各杭の極限支持力(あるいは引抜き抵抗)と沈下(あるいは引抜き変位)剛性に関するものに、大別できよう。第1のグループを除けば、どちらかといえば、極限支持力に関する群杭効果に着目している。極限支持力に関する群杭効果では、特に先端支持力に関する群杭効果が重要であろう。一方、基礎の変形予測が設計課題の一つとなる性能規定型設計では、沈下剛性に関する群杭効果の解明がより重要である。

もう一つのキーワードは、異径杭(節杭、拡底杭、拡径杭)である。同じ杭長であっても、その支持力(あるいは引抜き力)を直杭に比べて増加するのに、異径杭の

利用は、有効な手段である。

3. ま と め

現場において群杭基礎の載荷試験を実施することは、實際上不可能である。しかし、単杭の載荷試験は十分に可能である。第1のグループの研究のように、現場での単杭の載荷試験を利用して、解析的に群杭基礎の変形予測を実施することは、非常に好ましいアプローチであろう。この観点からも、本セッションでの研究は、貴重なものである。

【鉛直③】 室蘭工業大学 永井 宏

1. はじめに

本セッションでは、杭基礎の鉛直支持力に関する7編の論文が報告された。全ての論文が有限要素法(FEM)を用いた解析的な検討であり、1編が薄層地盤(杭径に比べて支持層厚が薄いケース)での支持力メカニズム、6編が解析コードFLIPを利用した杭の周面摩擦力及び先端支持力に関する内容であった。

2. 研究及び技術動向

薄層の支持問題については、支持地盤の剛性と杭先端直下での地盤の破壊域の進展やパンチング破壊との関係が示された。これに対して、会場からは支持層(砂層)の厚さや下方にある粘土層との剛性比の影響、地盤の剛性と強度定数の関係について議論が行われた。薄層(中間層)への杭支持は合理的な工法として普及が期待される。原位置載荷実験や近年では杭近傍の地盤を可視化した模型実験なども散見されており、これらから支持力メカニズムが解明され、実用的な設計法へ展開されることを期待したい。

杭の周面摩擦力に関しては、原位置での載荷試験(押し込み、引抜き)のケーススタディから、杭の施工過程による影響、すなわち杭の押し込みに伴って地盤が押し広げられ杭の周面抵抗が増大する効果を解析で反映させる手法(杭体積分の地盤を側方へ押し広げる、地盤の体積弾性係数の増大、杭と地盤間のジョイント要素に修正係数を導入)に関する基礎的な検討が示された。また、杭の先端支持力に関しては、遠心場での模型載荷実験のシミュレートから解析モデルの設定手法を検討した事例が示された。これらに対して、三次元的な問題を二次元でモデル化して表現する際どこまで再現する必要があるのか、実現性に近づくのか、また地震時における急速な水圧上昇を伴う場合に地盤の物性値の設定に対する考え方に関して質問・指摘があった。杭の施工過程によって周辺の地盤性状は変化するが、実現性と各種調査・試験との照査・整合性に基づいて杭一地盤間の滑りや杭近傍の地盤内での塑性化の現象を解析で再現させ、杭の支持性能の適切な評価に繋がることに期待したい。

3. ま と め

杭基礎の鉛直支持力問題に有限要素法を利用することは古くから行われていたが、近年では解析が高度化すると共に大規模な三次元解析も散見される。実挙動を解析で適切に評価でき、実構造物等の性能照査や、実際の設計へフィードバックされていくことが望まれる。

【鉛直④】 大成建設㈱ 石崎定幸

1. はじめに

本セッションでは、杭の鉛直支持力特性に関連して、羽根付杭の引抜抵抗特性に関する模型実験、根固め径と支持力特性の関係に関する解析的研究、狭隘地での施工性に重点をおいたマイクロパイルの原位置試験や地盤改良併用 H 型鋼杭の模型実験、先端プレロード場所打ち杭の模型実験などが発表された。

2. 研究及び技術動向

羽根付杭に関する研究は、支持地盤への根入れ深さ、上載圧、あるいは羽根径をパラメータとした模型杭の載荷試験であった。その中で、施工時の打ち止めトルクと引抜抵抗力に相関があるという結果は、今後、施工管理への応用が期待できる。また、新しい知見として、羽径が大きくなると繰返し載荷による引抜抵抗力の減少が少なくなるという結果があった。また、研究段階ではあるが、引抜荷重が繰返し作用する塔状建物などへの適用が期待できる。今後の課題として、粘性土の場合や、回転貫入時の乱れの影響、引抜抵抗力や浮き上がり量の定量的な評価などが考えられる。

発表されたマイクロパイルの施工方法は、低空頭（高さ 3.5 m～4.0 m）の機械を用い二重管削孔後、鋼管を建て込み、グラウト（加圧なし）を充填するものであり、原位置載荷試験について報告があった。地盤改良併用 H 型鋼杭は、低空頭の機械を用い地盤改良体の築造後、H 型鋼を建て込むというものであった。H 型鋼の先端部の面積を大きくするなどの補強を行い、その支持力増大効果について模型実験による検討を行っていた。極限支持力の発現メカニズムは、前者は地盤の破壊により、後者は改良体の破壊により決まるという内容であった。会場からは、改良体にクラックが生じても支持力はあまり低下しないという意見もあり、そのメカニズムや評価式との関係について活発な議論が行われた。

先端プレロード場所打ち杭は、施工時の応力解放やスライムの影響を小さくし、支持力増大効果を期待するものであった。発表内容は、加圧土槽における載荷試験であったが、施工時の応力解放とプレロードを再現していた。プレロード圧が大きくなるほど、初期の沈下剛性、降伏荷重が大きくなる効果が確認された。このような沈下剛性の大きい場所打ち杭工法の開発は、沈下量に関して厳しい施工管理が要求される構造物や、一本当たりの軸力が大きい超高層建物などへの適用が期待できる。

3. ま と め

今後の発展・普及が期待できる工法の発表が多く見られた。一方で、さまざまな効果のメカニズムが具体的に解明されていないと感じるものもあった。次の段階として、新しい可視化技術や解析手法などを併用したメカニズムの解明、原位置試験に基づく支持力や沈下量、支持力増大効果等の定量的な評価、設計法の構築が望まれる。

【水平】 清水建設㈱ 眞野英之

1. はじめに

今年は全て杭の水平抵抗に関するものであり、実験、解析を併せ、計 9 編の発表があった。

2. 研究及び技術動向

近年続いている傾向であるが、今年も杭と地盤改良を組み合わせるにより、杭の水平抵抗を向上させる発表が目立った。地盤改良としては、ソイルセメント系のものと、締固め系（杭の鉛直プレロードの影響もこれに含まれると考えられる）のものが見られた。前者は、改良の形状が比較的自由になるため、杭の周囲全体に行うものの他、格子状改良の交差部に杭を設けたもの、改良形状を円形、方形、杭の片側のみ改良など多くのバリエーションが見られた。ソイルセメント改良により、見かけ上杭径が増加した、若しくは地盤剛性が増加した効果が見込めるため、いずれも杭の水平抵抗は向上した報告となっている。その一方、正負交番載荷試験を行った場合などでは、杭と改良地盤との剥離や改良地盤に生じるひび割れのため、杭の水平抵抗が大きく影響を受けているとの報告があり、巨大地震（大きな水平荷重、多数回の繰返し）や、二度目の地震に対する性能確保において考慮すべき重要な事項といえる。ひび割れ抑制のため、繊維材を混入したソイルモルタルを用いた発表があり、良好な結果を得ていたが、繊維を混入すると施工性が著しく悪くなる可能性があり、実用化にはコストと併せ施工性改善の研究が望まれる。また、改良範囲が狭いうちは杭径が増加した効果となり、非常に広くなると地盤剛性が増加した効果に収束すると考えられるが、改良範囲の増加による水平抵抗の変化がどのように変化するかは、まだ十分には明確とはなっておらず、今後の研究が望まれる。

改良との併用の他、大変形時の特性や根入れ抵抗が杭の水平抵抗に与える影響などが報告された。根入れ抵抗による地盤変位は、建物中央部でも無視できない大きさになることは興味深い。杭応力への影響は比較的小さいようであるが、今後実験により検証が行われることを期待する。

3. ま と め

設計地震力の増大や高支持力、高耐力の杭の普及により、杭の水平抵抗の確保が厳しくなっている事例も

見受けられ、地盤改良と組み合わせることで、効率的に水平抵抗を確保しようとする試みは、今後更に発展していくものと考えられる。今回の発表でも見られたが、大変位、多数回繰り返し荷重に対する性能の確保に関する研究の発展を期待したい。

【振動・耐震】 ㈱竹中工務店 濱田純次

1. はじめに

本報告の対象は、地盤と構造物のうち、振動・耐震のセッション9編の論文である。

2. 研究及び技術動向

本セッションでは遠心模型や1g場での実験的研究、高精度の数値解析及び設計法として簡略化した梁ばねモデルと1質点系での解析的研究の発表があった。各発表の着眼点は、繰返しロッキング荷重による杭基礎とパイルド・ラフト基礎の沈下差、杭頭部に滑り材を用いた杭挙動、多段に地盤改良した杭の曲げ低減効果、幾何学非線形を考慮した上部と基礎の一体解析の提案、斜杭特有の逆ロッキング挙動を考慮した設計法、圧密沈下による斜杭の曲げモーメントが振動によって消散されることなど、多岐にわたっていた。全ての研究発表が杭に関するものであるが、様々な課題が残されていることが分かる。特に、圧密沈下により生じた杭の曲げモーメントが、地震時にどのようになるか検討した事例は、対象は狭いかも知れないが興味深い研究成果であった。また、液状化や動的問題は別のセッションで発表されているが、杭の振動・耐震問題としても、各研究者が新たな耐震要素の工夫を施し杭の安全性、上部架構の安全性評価を合理的に行えるように工夫しており、今後の発展が期待される。

3. ま と め

性能設計に対応するために大地震時の挙動評価や安全性の保障は、重要な課題である。そのためには、地震時観測では得難い大地震時、大変形時の解析が精度よく行えるツールの開発や、遠心模型実験を用いた水平載荷実験や振動実験は今後益々重要になると考えられる。一方、高度な解析ツールだけに頼らない実現現象を理論的に単純化した評価方法も重要である。設計時の評価法と照査としての数値解析、それを裏付ける振動実験の発展が望まれる。

【基礎一般①】 五洋建設㈱ 池野勝哉

1. はじめに

本セッションでは、電柱根入れ効果に関する実験、宅地液状化対策として鋼矢板を用いた実験及び解析、木杭の支持力機構に関する報告、シートパイル基礎に関する性能照査型設計法の提案、グラウンドアンカーの緊張力に関するモニタリング報告など非常に多岐に渡り、計9

編の発表に対する活発な議論がなされた。

2. 研究及び技術動向

2011年東日本大震災では、河川付近の低地や若齢埋立地等で大規模な液状化が発生し、宅地の不等沈下や傾斜などの被害が数多く報告されている。既存戸建て住宅の液状化対策は、施工範囲が小規模であるため施工単価が高くなることから十分な普及が図られておらず、安価な工法の開発が求められている。本セッションでは、住宅の一街区を道路に沿って鋼矢板で囲い、矢板で囲まれた地盤内の地下水位を下げることで、液状化の発生と宅地の不等沈下を抑制する効果について報告があった。戸建一戸ではなく、ある程度まとまった街区を対策する試みであり、ランニングコストも含めた今後の検討に期待したい。

最近の基礎杭に関するトピックとして、東京駅の丸の内駅舎保存・復元工事が挙げられる。駅舎建屋の基礎に使われていた松杭がほぼ健全な状態で試掘され、関東大震災では駅舎の被害がほとんどなかったと言われている。杭基礎の最初は木杭であり、1964年新潟地震では木杭基礎が用いられた箇所ではその周囲が液状化したにもかかわらず無被害であり、打設後50年以上経過した今でもなお基礎として機能している。木杭利用は地球温暖化対策の観点からも、省エネ・エネルギー代替・炭素貯留効果が期待でき、今後の宅地基礎や軟弱地盤対策への積極活用が望まれる。

3. ま と め

近年、構造物の大型化や重量化、設計震度の増大に伴い、基礎杭は大口径・高強度化される傾向にある。しかし、旧舎の復元工事で木杭の支持力効果や耐久性が見直されるなど、真の暴露試験から新たな事実が得られている。今後は、劣化評価手法や支持力機構を明らかにすることで、戸建住宅をはじめその適用範囲は広がるものと思われる。

【基礎一般②】 芝浦工業大学 並河 努

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（基礎一般②）のセッションについて総括する。本セッションでは、主に浅い基礎の沈下及び支持力に関する実験及びFEM解析の結果が発表された。

2. 研究及び技術傾向

構造物基礎の設計において、沈下量と支持力が検討対象となる。本セッションにおいても、主に浅い基礎を対象とした模型実験結果やFEM解析結果にもとづく沈下量及び支持力の評価に関する研究報告が行われた。

最近では、支持杭を用いるのではなく直接基礎に沈下抑制を付加した基礎工法の適用が増加しているが、本セッションにおいてもフローティング基礎やパイルドラフト

基礎に関連する沈下予測や応力分担に関する研究の発表が行われた。このような工法の場合、構造物の沈下と周辺地盤の沈下間の相対沈下量が問題となることが多いが、質疑においても相対沈下量の評価等に関して議論がなされた。

戸建住宅の沈下及び支持力に関する研究の発表も行われた。実際に不同沈下が問題となった戸建住宅の実測沈下量と現行設計法による沈下計算の比較に関する研究成果が報告されたが、質疑において設計法の適用に関する問題点に関して議論が行われた。

いくつかの研究においては、遠心模型実験結果にもとづき沈下量の評価が行われたが、使用した模型や模型地盤条件等の実験手法に関しても質疑及び討論が行われた。地盤分野の研究において遠心模型実験が本格的に実施されるようになり40年以上経過したが、対象としている現象に対する遠心模型実験の適用性の検討は重要であることが認識された。

3. ま と め

基礎の沈下及び支持力に関する研究では、実構造物の沈下量に対する提案方法の予測精度が重要であるといえる。その予測精度を検証するために、模型実験やFEM解析が実施されるが、それら実験及び解析と実現象の間にも少なからず乖離がある。遠心模型実験結果やFEM解析結果を正解として研究が行われる例が多いが、今後の予測精度の向上には実験結果や解析結果も正解でないことを認識しておく必要がある。

【ケーソン】

(株)港湾空港技術研究所 森川嘉之

1. はじめに

本セッションでは、同じケーソンでも構造物の基礎としての「ニューマチックケーソン」と上部構造物としての防波堤の「ケーソン」を対象とした研究発表があった。このため、セッションを「ケーソン」の一言でとりまとめるのは些か困難であったが、各発表に対しては熱心な討議がなされ、全体としては盛況であったと考えている。

2. 発表内容

本セッションの計8編の発表のうち6編が「ニューマチックケーソン」に関するもので、実構造物を対象としたものが多かった。なかでも琉球石灰岩層に着底したケーソン基礎に関する一連の発表は、取り扱いが難しい地盤への施工事例であり、事業全般に亘る内容ということもあって、事前調査、設計、施工法に関する多くの質疑があった。これらとは別に、マクロ分析による外力とケーソン基礎の応答や基礎建設時の圧入力との相関性に関する発表もあった。実構造物を対象とした検討の結果は、将来の設計、施工の合理化に繋がるものであり、さらなる情報の蓄積・活用が望まれる。

また、基礎建設時の重要な検討課題である施工中の周

辺地盤挙動の予測手法に関する発表もあった。MPS法という地盤工学では新しい解析手法が対象であったことから、計算手法から解析結果の解釈まで幅広い内容の議論がなされた。本解析法の実務への適用にはいくつかの課題があるとのことであったが、ケーソン基礎施工の事前検討の手法の一つとして今後の発展が期待される。

防波堤のケーソンに関する2編は、裏込めにより耐津波性を向上させた混成堤ケーソンの安定性に関するもので、質疑は安定性検討時の外力の評価手法などが中心であった。東北地方太平洋沖地震後の社会的要請への対応として防波堤の耐津波性向上は喫緊の課題であり、参加者の関心の高さがうかがえた。

3. おわりに

上述のように、セッション全体としては盛況であり、参加者にとって関心の高い発表が多かったと考えられる。それだけに、発表を半数に分けて質疑応答を行うというセッション運営に、座長としてももう少し工夫が必要であったのではないかと反省している。

【抗土圧構造物（擁壁）】

前田工織(株) 竜田尚希

1. はじめに

本セッションでは、擁壁に関する研究発表が8件あり、大まかに内容を分類すると、①新しい形式の擁壁に関する性能や構造に関する研究と、②擁壁の維持管理について、その健全度評価と補修・補強技術に関する研究に大別される。

2. 研究及び技術動向

2.1 新形式の擁壁に関して

新しい形式の擁壁に関する研究では、より狭い場所での適用を目指した構造形式であったように思う。例えば、L型擁壁の性能と、H型鋼自立擁壁の傾斜土槽による地震時の変形性能を比較した研究や、ジオセルというジオシンセティックスを使用した擁壁の研究があった。H型鋼自立擁壁の挙動はL型擁壁に比べ粘り強い挙動を示す。もともと狭い用地での使用に適しているジオセルについては、ジオグリッド補強材と連結することでより適用範囲を広げようとしている。

その他に、宅地擁壁の透水層を従来の碎石からジオテキスタイル透水マットに置き換えて、擁壁の長期排水性能を高めようという研究があった。今後の経過が、期待される。

2.2 擁壁の維持管理について

擁壁の健全度評価技術と擁壁の補修・補強技術のそれぞれについての研究があり、建設から50年以上経過する構造物が急激に増える情勢のなかでは、特に重要な研究であるといえる。

擁壁の健全性は、外観で一見して把握できるものではなく、現状では、定性的な評価しかできないのが現状で

ある。これを、簡便に定量的な評価が可能となれば、維持管理のコストを抑えることに大きく貢献できることとなる。今後の研究に大いに期待したい。

また、古い構造物には、耐震性など現行の基準を満たさない構造物が多数存在する。これらを、共用したまま合理的に補強する技術についての研究もあり、早急な実用化が望まれる。

その他に、1000年以上経過した石垣の復元についての研究があり、文化財としての価値を保持するために、当時の材料と構造のままで、安全な構造物として復元するという内容であった。ここに、現代の排水技術と、盛土の固化技術が活用されている。

3. ま と め

我が国では、高度経済成長期に構築された施設が一斉に老朽化する。今後、維持管理費用の急激な増加が見込まれる。擁壁のストックは膨大であり、より簡便に健全度を評価でき、より合理的に補修・補強できる技術の開発が急務であると考ええる。

【抗土圧構造物（土留め）①】

中央大学研究開発機構 石井武司

1. はじめに

本セッションは、仮設構造物の発表が7編、本設構造物の発表が1編であった。仮設構造物は、経済的かつ安全性を高めるような工夫や新たな工法を比較的自由に採用できる構造物である。ここでも多くの工夫や新たな工法及び施工現場の対応などが報告された。本設構造物では、東日本大震災を反映して、二重鋼矢板堤防の耐震性能に加えて耐津波性能を扱った研究であった。

2. 研究及び技術動向

設計に関する研究では、浅い根切り工事を対象に浅層改良体を土留め壁として利用する工法の設計・施工と、仮設土留め工の地震時設計手法の検討内容が発表された。浅層改良体の利用は、深層混合処理工法の改良体を利用した従来の設計法に準じたものである。ただし、改良対象が地表付近の土であるため、場所によっては土質のばらつきの影響などにより、構造体としての強度発現に課題が残っている。地震時設計手法は施工期間が長期に及ぶ土留め工事を対象としたものである。応答変位と地震時土圧による2つの手法を比較しているが、それらの妥当性を動的解析や模型実験で検討することが必要となろう。今後、設計方法の確立とその適用範囲、さらには設計標準への取込みに関心が寄せられる。

施工の工夫として、自然由来の重金属含有土が分布する地盤の掘削工事において、掘削効率を向上させるために支保工の配置を見直した事例の考え方と計測結果が簡潔に提示された。土留め壁の心材仕様の変更や切梁のプレロード導入によって架構を簡素化し、分別処理土の低減と掘削効率の向上が図られている。施工現場の対応と

して、大規模掘削工事で土留め壁の構築時に近接する鉄道高架橋の直接基礎に沈下を生じさせたが、工法の変更により無事に工事した事例が報告された。高架橋の基礎は玉石混じりの砂礫層で支持されている。それよりも深い土留め壁の先行削孔時に基礎以下の地盤を緩めたことで基礎の沈下が生じたと判断し、施工を3軸から短軸に変更することで沈下の低減を実現した。掘削時の開口範囲が近接構造物に影響することを示した事例である。

二重鋼矢板堤防は液状化と津波に耐える粘り強い構造を有する。鋼矢板の根入れ長に着目してその性能を数値解析で検討した結果が報告された。堤防の適用可能条件などの検討が進めば、模型実験による検証も必要になるう。

3. ま と め

東日本大震災の経験により、新たな課題として、従来はあまり問題視されなかった仮設構造物の耐震性能や堤防の津波性能が提示された。地震時挙動も含めて、これらの設計手法が引き続き活発に検討されることが望まれる。施工時に近接構造物に変位を与えた事例の報告は少ない。このような事例は実務者にとって成功事例よりも貴重であり、参考になる。今後も多くの報告を期待したい。

【抗土圧構造物（土留め）②】

明石工業高等専門学校 鍋島康之

1. はじめに

本セッションでは、当初7編の発表が予定されていたが、828の発表が追加され8編の発表となった。内容は土留め工で問題となる近接施工や厳しい制約条件下での施工、工期短縮やコスト縮減などに関する研究や技術開発である。

2. 研究及び技術動向

土留め工は、空間的・工期的・経済的な制約がある条件下で施工される仮設構造物であることから、土留め壁と支保工に関して様々な研究が行われている。

まず、土留めは通常鉛直に打設されるが、土圧を軽減するために斜めに傾斜させた自立土留め壁を施工した場合の遠心模型実験が紹介された。また、土留め壁の強度を上げるために、深層混合処理された山留め部分にH鋼を引張部材として導入した施工事例が紹介され、支保工なしで施工ができたことが報告されている。また、近接施工時に周辺構造物への影響を正確に予測するために、過去の施工事例で収集した計測結果を用いて予測精度の向上を図る事例も紹介された。これらの研究は、土留めの水平変位を正確に予測することや、水平変位を抑えるための研究である。

次に、土留め支保工に関しては、グラウンドアンカーと切梁に関する研究が報告された。アンカー式土留めについてはアンカー長や根入れ長に関する数値解析が紹介

され、また別の発表ではアンカーのモデル化について新しい試みが発表された。また切梁に関しては温度制御により軸力を導入するというアイデアが紹介された。実用化にはまだ余地があると思われるが、切梁のプレロードは支保効果に大きく影響するため、実用化されればジャッキ等が不要となるため今後の成果を期待したい。

また、土留め工は一般に仮設構造物であり、土留め壁として使用された H 鋼や鋼矢板が一定期間後に撤去される。その際に土と鋼材の摩擦により表面に多量の土が付着して周辺地盤の沈下などの問題が生じることを防ぐため、鋼材表面に吸水性高分子摩擦低減剤を塗布するという研究が発表された。今回の発表では摩擦低減剤の性質に及ぼす塩分濃度の影響に関する発表がされたが、仮設構造物である土留め壁の撤去は重要な問題であり、多くの質問があった。特にこのテーマに関してはネガティブフリクション対策など別方面への応用の可能性について質問があった。

全体的な傾向として、仮設構造物である土留め工をいかに経済的に短期間で施工するかという課題に対する研究や技術開発の発表が多いように感じた。

3. ま と め

本セッションで発表された内容は、数値解析、模型実験、実物大実験、施工報告など多岐にわたり、実際の土留め工における安全性、施工性や経済性を向上させるため、非常に有用であると考えられる。今後の更なる研究成果の蓄積を期待したい。

【埋設管①】 神戸大学 河端俊典

1. はじめに

本報告の対象は、近年多発する下水道管路などが損傷に起因する道路陥没事故や地下空洞の発生メカニズム並びにその調査方法に関するもの、また、パイプライン地震時被災率に関する報告さらにパイプ断面の局所変形から安全性を照査する計測手法に関する報告が主体であった。

2. 研究及び技術動向

年間5 000件を超える道路陥没事故の主要因である下水道の劣化などを対象に、地下水の下水道管路内への流入に関する各種模型実験を遂行し、管内へ流入メカニズムに関して土粒子粒径から検討精査するとともに、地下空洞の発生・発達を対象とした各種モニタリング手法の開発に関する発表・討議が行われた。これらの課題は、いずれも社会資本の維持管理の面から極めて火急の技術的確立を果たさなければならない課題であり、今後ますますの発展が不可欠であると考えられる。

また、地震時における埋設管路の被災調査結果を基にした、地盤軸方向ひずみと被災率の関係に関する検討ならびに地盤の不均一性を考慮に入れた管路被災率算定に関する報告があったが、今後はさらに系統立てた、被災

要因分析やより精度の高い予測式の提案に取り組む必要があると考えられる。

大口径圧力管路では、施設の長寿命化の観点から、その安全性評価技術の確立が望まれているところであることは言うまでもない。報告では、管材料の曲率を精査することにより、その管の限界状態を現場レベルで照査する手法に関して報告されている。今後、特に大口径薄肉管路においてはストックマネジメントの面からの極めて重要な課題であると思われる、異なる口径への展開が望まれる。

さらに、擁壁裏込め地盤内にパイプラインが配置された場合、そのパイプ材料が擁壁の安定性に与える影響に関するアルミ棒積層体を用いた実験に関する報告があった。このような、地盤と埋設管をはじめとする地中構造物の相互作用に関する研究は、今後増加するものと考えられる。

3. ま と め

近年の埋設管に関する研究では、下水道管路の老朽化に起因する地盤から管内への地下水の流入に伴う道路陥没などに関する研究が増加してきているが、メカニズム解明もさることながら、現場での対策工法の確立が急務であると考えられるため、対策工法関連の研究成果が期待される場所である。また、東日本大震災以来、「防災から減災」への流れの中で、パイプラインの地盤の液状化を含めた耐震性の評価、被害予測などに関する研究が急務であると思われる。さらに、農業用パイプラインでは施設の長寿命化の観点から、大口径圧力パイプラインの調査・診断・評価・対策工法の選定など、複雑多岐にわたる課題が残存しているが、各分野の新技术の融合に期待する場所である。

【埋設管②】 農研機構農村工学研究所 堀 俊和

1. はじめに

本報告の対象は、地盤と埋設管の相互作用の観点から埋設管の安全性を論じた6件の論文に関する総括である。地震時の動的荷重や液状化にともなう埋設管の変形や破壊、静的に劣化した既設管や不均一地盤の破壊の問題について発表、議論が行われた。

2. 研究及び技術動向

上下水道、農業用パイプライン等の埋設管は、高度成長期以降、長大なインフラ資源として整備されてきたが、その数多くが更新時期を迎えている。埋設管自体の経年劣化とともに、埋戻し地盤の流亡等の相互作用により、埋設管の安定性が損なわれる場合がある。また、東日本大震災では、長時間の地震動、それに伴う液状化により、多大な損害が発生している。埋設管は、一旦、破壊すると復旧に長い時間を要するため、高い安全性が要求される。

本セッションでは、埋設管と地盤との相互作用の観点から、動的、静的な埋設管の安定性について議論が行われた。始めに、動的問題として、地盤の液化化にともなう埋設管のバックリングの可能性、地盤の単純せん断変形に伴って埋設管の安定性を評価する方法について議論がなされた。特に、遠心載荷実験や有限要素解析によるせん断変形時のパイプ挙動の評価について、実験手法や解析手法に関する質疑が行われた。

埋設管の静的な問題としては、管路更生工法において、既設管の老朽度が更生管に及ぼす影響について活発な議論がなされた。従来は、更生管の強度に対して、既設管の残存強度がプラスに働くというのが、一般的な見解であった。しかし、本セッションの発表では、破断した既設管の作用で更生管に応力集中が発生することにより、更生管単体の場合よりも既設管を有するときの方が安全性が小さくなるという報告があり、セッションでは活発な討議が行われた。

また、従来は埋設管の断面方向での安全性評価のみが主に行われてきたが、三次元的な評価が重要である。本セッションの発表では、基礎材料が局所的に流亡した場合にパイプに作用するねじりをテーマにされていた。今後は、三次元的な曲げやねじりの問題、管断面だけでなく継ぎ手を含めた管縦断方法の安全性の問題についても研究を行っていく必要がある。

【シールド】

(公財)鉄道総合技術研究所 津野 究

1. はじめに

本報告の対象は、シールドのセッションで発表された8編の論文である。

2. 研究及び技術動向

これまで、シールド建設のプロジェクトに関連した技術開発の報告も多かったが、今回は近接施工や維持管理を対象とした調査研究の報告が中心であった。

近接施工に関しては、切羽圧、裏込注入圧、シールドの姿勢制御といった施工時荷重を考慮した影響解析手法が報告され、実務への適用が期待できる。また、トンネル掘削が杭基礎に及ぼす影響を遠心模型実験で検討し、PIVでモニタリングした新規性のある研究も報告された。

維持管理については、地下水位の回復に伴う地盤隆起が発生し、これに伴う既設トンネルへの影響を検討した論文が3編発表された。地下鉄トンネルの長期的な変形の要因となっている可能性が示された一方、トンネルの挙動が解析で十分表現できていない等の課題もある。今後、シールドトンネルの維持管理で重要な課題となる可能性もあり、さらなる検討と現象解明が望まれる。

この他、大深度円形立坑の設計荷重に関する研究と、限界状態設計法における荷重係数に関する研究が、それぞれ1編報告された。現在、土木学会でトンネル標準

示方書が改訂作業中であるが、どちらも改訂の格子となる話題である。また、凍結温度を低温化した凍結工法について、大型土槽実験で効果を確認した検討例も発表された。シールド切上げ等に活用されることが期待される。

3. ま と め

シールド工法は、都市トンネルの主要なトンネル掘削工法として技術が確立された面もある。一方、未知の領域が多い大深度地下や輻輳する空間での建設など、今後ますます施工条件が厳しくなることが考えられ、さらなる技術開発が必要である。また、維持管理も主要な研究課題となってきており、今回発表された地下水位回復の話題もその1例である。維持管理は将来に亘って続けていくものであり、横断的にデータを積み重ね、地道に現象を解明し、これを解決する技術を確立し、効果を確認して修正するという過程を地道に継続していくことが重要であると思われる。今回報告されたような調査研究が今後も継続され、実務に結びつき、シールド技術のさらなる発展に結びつくことが期待される。

【トンネル・シールド】

東京地下鉄(株) 小西真治

1. はじめに

本報告の対象は、トンネル・シールドの合計7編の論文である。内容は、新しい線路下横断工法・トンネル地山補強材料の開発、シールドトンネルの縦断方向の性能評価、トンネルの地震時挙動・大深度影響評価で、検討アプローチは施工実績、実験、解析と多岐に渡っている。

2. 研究及び技術動向

線路下横断はワイヤーソーによる地盤切削機能を付加した新工法の発表で、列車徐行無しで施工した例である。安全性向上が図れており、当工法の普及が楽しみである。

新しい補強材料の開発は、マイクロパイル用にディンプルをつけた鋼管を開発した発表で、簡易に大きな付着力を得ることができる。H鋼や矢板等の材料への展開を希望する意見もあり、さらなる展開が望ましい技術である。

シールドトンネルの縦断方向の性能評価は、トンネルの弱点である地盤急変部の圧密・地震等の影響評価の基礎的な研究である。まだ研究を始めた段階であり、今後使用上問題となる継目の評価等がされることを期待する。

トンネルの地震時挙動については、実験と解析でトンネルに地盤を介してせん断変形を与えたものである。興味深い結果が示されてはいるが、地盤条件が一種類のみであるため、一般的な議論とはなりにくい。条件を変えた検討結果が待たれる。

大深度掘削の影響評価についても、実験と解析でトンネル掘削が近接の杭等の構造物に与える影響を調べたもので、大深度においても影響があることを示したもので

ある。しかし、地盤条件が浅深度と同じ柔らかい地盤条件1種類で検討されている。一般的に大深度の利用は、硬い地盤を探して行われるため、この結果ですぐ影響があると結論付けるのは無理がある。大深度に合わせた条件での検討が待たれる。

3. ま と め

当セッションでは、トンネルに関する様々な問題の検討が報告されていた。地盤を対象としたトンネルに関する研究が、かなり多様化していることの現われであると感じられた。このため、検討手法や結果の判断も多様化していた。また、まだ研究に取り組み始めたという段階のものも多かった。今後、基本に帰って、実際起こっている現象や実現現場での条件を詳しく分析するというプロセスを強化し、さらに研究を進めれば、貴重な結果が出てくるものと考えられ期待している次第である。

【トンネル】 鈷土木研究所 砂金伸治

1. はじめに

本セッションでは、主として山岳トンネルの設計・施工に関する内容について7編の報告が行われた。内容は、1)施工前・施工中の調査及びそれに基づいた結果の解釈に関する報告、2)支保構造や地山挙動に関して実験・解析等を通じた検討に関する報告と大別することができる。

2. 研究及び技術動向

1)に関する報告では、表面波探査による手法、三次元反射法弾性波探査による手法が取り上げられ、技術の内容や実施工への適用結果が報告された。また、用地制限が課せられている低土盛り区域でのトンネル施工時の計測結果が報告された。トンネルでは設計段階までに行われる調査結果のみから地質構造を正確に予測することは困難であることが多く、施工中に予期できない地質構造に遭遇するリスクが存在する。そのため、施工段階の探査を行うことで地質の予測が可能となり、安全かつ経済的な施工が可能となる場合もあると考えられる。本セッションにおいても手法の精度や計測や分析に要する時間、コスト等の観点からの議論が行われた。また、計測結果の解釈については、安全の確認や経済性の確保の観点から重要な位置づけにあるものであり、実例を通して得られた知見の共有が図られた。

また、2)に関する報告では、超近接双設トンネルに関するインバート早期閉合と地盤改良の効果、鋼製支保工の降伏時における剛性低下を考慮した支保設計、塑性圧を受けるトンネルにおけるロックボルトの補強効果、さらに落し戸の安定性解析に関する報告が行われた。近年は小土盛りにおける施工や近接施工といった条件の厳しい事例が増加している。その結果、標準的な支保構造の組合せだけでは対応が困難な場合も出ており、また、従来の上半工法の適用範囲を超えた施工法も採用される

ようになってきている。さらに、施工終了後に大幅に時間が経過した後に変状が発生するケースも見られている。本セッションでは実際の施工や計測を通じたこれらの検討例をもとに、数多くの議論がかわされた。また、これらの問題を解決しうる基礎となる実験結果の解析手法に関する報告も行われ、理論と実務のバランスがとれた研究開発の進展がトンネル技術のさらなる発展につながるという印象を受けた。

3. ま と め

今後条件の厳しい施工が増加していくといった背景や、維持管理の視点を設計・施工時から考慮する必要性といった社会的要請も念頭に置きながら、研究等を進める必要があると考えられる。本セッションでは実例を通じた質疑応答が非常に活発に行われ、これらの研究や技術開発に対する関心の高さを感じた。

【複合構造物（補強土）①】

三井化学産資(株) 平井貴雄

1. はじめに

本報告の対象は、地盤と構造物（複合構造物）のうち、補強土に関する8編の論文である。ジオシンセティックスや帯状補強材を用いた補強土壁・補強盛土の安定性に関して「水の作用の評価と対策」、「耐震性の評価」、「補強材配置の影響、新たな適用事例、管理基準」といったテーマでの報告である。

2. 研究及び技術動向

補強土壁に影響を及ぼす「水の作用の評価と対策」では、補強土構造物の安定性に大きな影響を与える降雨や水辺での水の作用に対する安定性の評価とこれらの影響を設計に反映するための手法や対策工法の提案が行われた。特に、降雨の影響により補強土壁の盛土材に浸透する水の対策では、既存の形態と異なる新しい発想のジオシンセティックスや排水管、集水井戸を用いた排水対策工が、実験（模型や実物大）や浸透流解析に基づいた結果を元に提案された。

補強土壁の性能規定に対応した「耐震性の評価」では、地震後の残留変形を合理的に評価することが必要である。今回の報告では補強材の配置や盛土材の条件に注目した遠心模型実験や傾斜模型実験によって補強土壁の変形特性を確認し、変形を加味した耐震性能設計の提案に向けた検討結果が報告された。

この他に補強材の最適配置と崩壊メカニズムに関する基礎研究、新しい適用事例として、地すべり対策工としての補強盛土による押え盛土の事例報告、補強土壁の管理基準値（変位）についての考察などが報告された。

また、質疑応答では、耐震性や水の作用の評価に関する研究手法の細部にわたる議論と共に、補強土の健全性を評価する上での留意点や補強土の性能を十分に維持するための最適な排水工の考え方といった大きな視点から

の意見交換も行われ、今後の研究課題や工法開発にとって非常に有意義な議論であった。

3. ま と め

近年の補強土の研究報告では、より高性能な補強土構造物の提案と共に、既存の構造形式の補強土壁に関して、性能規定化に向けた評価や維持管理のための管理指標に関する課題をテーマとした研究が増えており、本セッションもこれらをテーマした報告が多く行われた。

背景としては、近年頻発している大規模地震や局地的豪雨による土工構造物の被害により、土の状態に左右されやすい補強土構造物の性能についても、新たな課題としてその対策方法や評価方法のバージョンアップが期待されているのであろう。

【複合構造物（補強土）②】

東京大学 内村太郎

1. 研究発表の概要

8編の研究発表のうち6編は補強土擁壁一体化橋梁に関するもの、2編は補強土擁壁の地震時の振動と底面の滑動のモデル化に関するものだった。

補強土擁壁一体化橋梁は、RC壁体を持つ補強土擁壁のRC壁面に、RC桁を剛結して、橋梁を構成するものである。6年ほど前から開発が進められてきた。桁の両端が剛結されていることから、温度変化による桁の熱応力が研究課題の一つであり、今回は実物大の試験施工で、1年間かけて、桁と補強土壁にかかる熱応力や変位を測定した結果や、壁体への水平力載荷試験が報告された。また、耐震性に関して、小型の模型振動実験が報告された。

また、補強土擁壁の振動と滑動のモデル化は、擁壁全体を1質点系の倒立した弾性梁とし、その支点部が一定以上の水平力で滑動するという状況を考えて、擁壁の剛性（固有周期）や加振周期と、滑動変位の関係を数値的に考察したものである。

2. 地盤構造物を構造力学のスタイルで

地盤工学で、力学的な問題を考える場合、ほとんどは「応力」「ひずみ」「すべり面」などの材料力学の概念をベースにする。しかし、このセッションでは、構造力学的な議論が展開された。

本当は立体的な擁壁を、1質点の振動系にまで単純化して、振動に伴って支点にかかる滑動力を考える、という手法は構造力学そのものである。そこには、全体を代表する質点の質量、剛性、支点の滑動条件、振動数などのパラメータしか存在しない。

補強土擁壁一体化橋梁も同様である。質点や梁のような明示的なモデル化はしないが、擁壁裏込め部のセメント改良部は実質的に剛体と考えられ、一体化したRC壁体と桁は、線形弾性の骨組構造と考えられる。そのため、全体の水平荷重や地震動に対する応答は、壁体とセメン

ト改良部の間にある未改良部の幅と、そこに入っている補強材の剛性の2つのパラメータで、特徴付けられる。橋梁の設計に近い感覚である、という発言も出た。

全く別の2つの研究グループからの発表だったが、地盤構造物をどう捉えるかという点で共通項のある、面白いセッションだった。

【複合構造物（その他）】

（公財）鉄道総合技術研究所 神田政幸

1. はじめに

本セッションの対象論文は、地盤と構造物の諸問題のうち、「複合構造物（その他）」に分類される、合計7編の論文である。そのため対象構造物は特定されず、トンネル・橋台、水流による洗掘、あるいは補強土といった多種多様な研究論文群から構成されるセッションとなった。

2. 研究及び技術動向

発表前に各研究論文のキーワードを座長から参加者に説明し、発表後のディスカッションでは、「動的問題」と「静的問題（対象は動的問題であっても、本研究のアプローチ方法が静的対象方法も含めた）」の2つのグループに分けて進めた。

「動的問題」の研究論文群では、アーチカルバートと橋台の近接度と動的相互作用に関する研究論文の他、地震被害を受けた実大ジオグリッド補強土壁の地震時挙動に関する研究論文が興味深いものであった。前者では、条件として橋台が安定していることから近接度が高まるにつれ、橋台やカルバートに発生する変形や断面力が緩和される結果が示されたが、橋台の安定性が低下すれば結果が大きく異なるであろうことも議論された。後者では8m高さの分割型補強土壁が300gal程度の地震動を受け、壁面中央で前面に90cm程度はらみ出しが生じた結果を安定解析より分析した。根入れの効果から壁面中央がはらみ出すモードが卓越したものと推察されたが、損傷の程度と復旧性に議論が進展し、非破壊試験や現地調査の他、補強方法の選定など、今後の研究展開が気になるものとなった。

一方、「静的問題」の研究論文群では、段差対策に用いるプレストレス導入の補強土工に関する模型実験の他、小口径鋼管杭の地すべり対策に関する模型実験に注目した。前者では、ジオグリッドと碎石を組み合わせた補強土にプレストレスを導入することで曲げ剛性が増加する。曲げ剛性が増加することで、一定の段差に対する補強土勾配が滑らかになるものである。後者では、地すべり対策の小口径鋼管杭の設計の考え方として、抑止杭の設計の他、補強土の設計議論がなされた。

3. ま と め

本セッションは、多種多様な研究論文が報告され、構造物・地盤間の相互作用は施工、施工後広範な諸問題が

存在し、未だに明らかになっていないものもある。これらを設計体系に落とし込むことも問題の複雑さから、まだ時間がかかりそうである。しかしながら、多種多様の問題をどのようにアプローチし解決の糸口を探るかが重要で、本セッションの研究論文は、これに貢献するものと考えている。

【動的問題（土構造物）①】

（株）建設技術研究所 李 圭太

1. はじめに

本セッションは、河川堤防やため池といった盛土構造物を対象とした地震時の挙動を実験や解析により研究したものと、東日本大震災における河川堤防の被災率を地形や地震動の強さとの関係について整理した、合計8編の論文である。

2. 研究及び技術動向

東北地方太平洋沖地震では河川堤防に甚大な被害が生じ、その多くが基礎地盤の液状化と堤体の液状化が原因と考えられていることから、地震時の変状を液状化による挙動としてとらえた実験、解析の研究が多く、本セッションでは、これらの発表に対して、液状化挙動にのみフォーカスすることへの疑問も挙げられた。

堤体の液状化の対策工に関する研究では、遠心模型実験を適用し、法尻部にドレーン工、矢板を設置した際の対策効果を、変位や間隙水圧の挙動を計測し比較することで示しており、無対策のケースとの比較検討を行い、破壊メカニズムを考察し、今後の対策工の方向性を示唆している。

解析の研究では、河川堤防盛土の地震時の被災形態として天端、開口型の亀裂が多く見られ、中には短冊状に亀裂が発生する場合もあることから、地震時に引張応力を受けることで発生すると考えられ、この亀裂、変位不連続面の形成過程を考慮できる解析手法の発表があった。この地震応答解析が可能で亀裂を考慮可能な手法としてX-FEMを適用しており、これまでは土骨格のみによる検討を行っていたが、地盤の間隙水の影響を考慮し、亀裂を有する材料に対する有効応力解析手法として、X-FEMに $u-p$ 形式に基づき間隙水圧を考慮した有効応力解析手法を開発した発表が行われた。このX-FEMの精度検証にあたっては、線形等方弾性体の準静的な非排水条件下での亀裂先端近傍応力場の解析解との比較を行い、良い一致を示したことを確認している。

3. まとめ

実験的、解析的研究とも、堤体、基礎地盤の液状化に限定せず、地震時挙動のメカニズムをさらなる研究を行い、長大な河川堤防の耐震対策に寄与されたい。

【動的問題（土構造物）②】

名古屋大学 中井健太郎

1. はじめに

本セッションは、地盤と土構造物の地震時安定性評価という主題のもと、従来用いられてきている手法の高度化への取り組み、そしてその適用性に関する報告が中心であった。

2. 研究の動向

790は、地下水位低下工法の効果検証のために、過剰間隙水圧を考慮したニューマーク法を提案し、盛土内水位が地震時安定性に与える影響を検討した報告であった。盛土の締固め度によらず、地下水位低下によって盛土の滑動量は著しく抑えられることが示された。

791は、ため池の地震時崩壊予測に関する報告であった。ALID（残留変形解析）、ニューマーク法、FLIP（有効応力地震応答解析）といった既存の手法を組合わせて、地震時に予測されるため池の崩壊パターンを算出したところ、東北地方太平洋沖地震で見られたため池の崩壊現象とよい整合性が得られ、提案手法の有効性が示された。

792と793は関連する報告であり、等価線形解析に用いる歪依存曲線の新しい補間方法の提案と地盤の応答に与える影響に関して発表された。従来のような直線補間ではなく、放物型や双曲線型補間を行うことにより、大きい歪領域においてもスムーズな骨格曲線を描くことができ、解析誤差の減少にも繋がることが示された。

794は、三相多孔質体理論に基づく動的解析手法を開発し、その適用性を検討した報告であった。振動台実験との比較から、疑似二相解析や二相解析と比較して、三相解析では不飽和領域でのひずみが生じやすいことが示され、初期応力の適切な評価や水分特性曲線の設定が重要であることが報告された。

795と796は関連する報告であり、斜面の地震時すべり変位の簡易算定法として広く用いられているニューマーク法の問題点を指摘するとともに、その問題点改善のための改良を行ったものであった。従来は考慮されてこなかった、非排水繰返し載荷に伴う強度低下、及び、すべり変位発生に伴うひずみ軟化を考慮した解析手法の開発とその試計算結果が報告され、詳細なモデル化によってすべり変位量が大きくなる危険性が指摘された。

797は、乾燥砂地盤の動的挙動に対する拡張型相似則の検証に関する報告であった。模型実験で対象とする構造物の大型化が望まれているが、装置の制約上、実験できる模型寸法には限界があるが、拡張型相似則を用いることにより、遠心加速度を実験可能なレベルに保ちつつ、大縮尺の模型実験が可能となることであった。

3. おわりに

セッションへの参加者が多かっただけでなく、討議の時間中に質問が途絶えることがなく、地盤や土構造物の

地震時安定性に対する関心が高いことがうかがえた。今後ますます、変形予測手法の高度化や新しい手法の開発が進んでいくものと思われる。

【動的問題（直接基礎）①】

大成建設㈱ 石井裕泰

1. はじめに

本セッションでは、液状化発生時の直接基礎の沈下、傾斜の発生とその対策工に関して、全7編の報告があった。定員72名の会場に45名ほどの聴講者を迎え、一通りの発表と簡単なセッション総括のあと、終了時間いっぱいまで活発な質疑・討議を頂いた。

2. 研究及び技術動向

いくつかの発表タイトルには、「戸建て」、「家屋」などが含まれ、戸建住宅や中・小規模建造物の液状化やその対策に関する内容で構成された。検討対象となる改良原理としては、後続セッションの「直接基礎②」にまとめられた格子状改良以外の、締固め（SCP）、地下水位低下、排水が含まれ、遠心載荷模型実験による検討が5編、数値解析による検討が2編であった。

前者5編のうち3編（No. 799～801）は、液状化時の進行性破壊に着目して排水促進を図る工法に関するもので、1)実験モデルにおける進行性破壊の再現、2)基礎拡張及び礫による置き換え排水層設置による対策法・実験方法の概要、3)加振終了後の液状化継続期間で特に明瞭となった沈下・傾斜抑制効果、の順に連番発表された。質疑・討議においては、モデル地盤の選定経緯、改良原理、適用可能な構造物規模について補足説明されるとともに、実験で観察された噴砂やすべり破壊の発生メカニズムに関して意見・見解が交わされた。

また、2編（No. 802, 803）は、地下水位低下と排水工法を併用した手法に関するもので、1)実験概要と排水工法の効果、2)地下水位低下の効果と余震の影響、に分けて連番発表された。質疑・討議においては、構造物模型やドレーンの配置の設定根拠についての補足説明や、余震に伴う沈下・傾斜に及ぼす地下水位高さの影響について見解が示された。

また、数値解析による検討を行った2編（No. 798, 804）で扱われた余震の影響や排水ドレーンのモデル化については、他5編にも関わる内容として、現状の検討レベルや将来的な展望について、説明や見解が示された。

3. ま と め

本セッションで扱われた戸建て住宅を含む中・小規模の液状化とその対策については、東日本大震災で甚大な被害があったこともあり、社会的にも取り組みが求められるものと考えられる。引き続きの検討と、コストダウンに代表される実務適用につながる成果を期待したい。

【動的問題（直接基礎）②】

㈱大林組 伊藤浩二

1. はじめに

本セッションでは、直接基礎建物の地震応答に関する遠心場の実験的研究が2編、橋梁群の地盤免震基礎の地震応答に関する解析的研究が1編、空港舗装の格子状固結工法に関する重力場の実験的、解析的研究が2編、既設戸建て住宅の格子状固結工法に関する遠心場の実験的、解析的研究が3編である。

2. 研究及び技術動向

直接基礎建物では、遠心場の振動実験、遠心場の水平載荷実験結果に基づく極限転倒モーメントのメカニズムを分析し、地盤の局所的破壊のモードと誘発上下動に伴う浮上りのモードが混在することが示され、振動実験から推定した転倒モーメントの算定方法、誘発上下動による極限転倒モーメントのメカニズムについて議論された。

地盤免震基礎では、直接基礎と杭基礎における構造物の損傷度、構造物の応答の比較より、地盤免震基礎の適用の可能性が示され、支持力を確保するために地盤改良を想定しており、地盤免震基礎が成立するための改良諸元（強度、剛性）について議論された。

空港舗装の格子状固結工法では、格子寸法比 L/H が0.8（標準）、2.0（広い）、無対策の比較より、格子状固結工法の液状化防止、変状防止の効果が示され、重力場の実験のため、舗装、固結体の実験諸元（強度、剛性）と重力場の相似則との対応、実験で得られた防止効果の入力波の地震動特性の依存性について議論された。

既設戸建て住宅の格子状固結工法では、格子寸法比が1.0、地下水位が $GL-1$ m で液状化防止、建屋の沈下防止の効果が大きいこと、格子形状が $15\text{ m} \times 18\text{ m}$ 、 $15\text{ m} \times 22.5\text{ m}$ 、 $15\text{ m} \times 30\text{ m}$ の比較より、短辺方向加振で液状化防止、沈下防止の効果が小さいこと、格子形状が $13\text{ m} \times 13\text{ m}$ 、 $26\text{ m} \times 13\text{ m}$ 、 $32\text{ m} \times 26\text{ m}$ 、無対策の比較より、格子間隔を狭くすると液状化防止、変状防止の効果が大きいことが示された。

短辺方向加振において液状化防止、沈下防止の効果が小さくなるメカニズムについて議論された。

3. ま と め

性能設計の普及に伴い、直接基礎構造物の要求性能に応じた地盤免震基礎等の新しい基礎形式が提案されている。その耐震設計では、構造物、地盤の材料非線形、幾何非線形を設計モデルに組み込むことから、振動実験で得られる相互作用メカニズムと設計モデルとの整合が重要である。

格子状固結工法では、敷地制約、経済性の観点から、液状化の発生を許容するものの構造物の要求性能を満たす経済的な格子間隔の設定が試みられている。構造物の性能として沈下、傾斜を指標とする場合では、地震時、地震後の適切な残留変位予測方法が重要である。

【動的問題（杭基礎）①】

鉄道総合技術研究所 西岡英俊

1. はじめに

本報告の対象セッションは、杭基礎の動的挙動に関する論文7件が報告され、うち5件が数値解析に関するもの、2件が遠心場での振動実験に関するものであった。

2. 研究及び技術動向

数値解析上で杭と地盤との相互作用をモデル化する上では、3次元的な杭間の地盤のすり抜け挙動の取扱いが重要となる。本セッションの5件の数値解析に関する発表では、この問題に対して様々なアプローチでの研究成果が報告されており、これらを比較できるという非常に面白いセッションであった。

3次元モデルで杭体と地盤を直接的にモデル化する場合であっても、その境界面の処理の問題や、解析時間という処理能力上の制約も影響する。処理能力に関しては、「ハイブリッド並列化」により、従来は数日を要した大規模な解析が数時間程度まで効率化できるとの発表があり、今後の普及が期待される。

2次元モデルで実務的な適用性が高い方法として、杭と地盤との相互作用をばね要素としてモデル化することによって杭間の地盤のすり抜けを表現する手法があり、本セッションでも2件は液状化地盤中の杭の挙動をこの手法で解析したものであった。このうち1件は斜杭（矢板式係船岸の控え杭）の相互作用ばねの設定法について検討した発表であったが、杭軸方向の相互作用ばねについての評価にはまだ課題が多いと感じられた。斜杭に限らず上部構造物の重心が高い場合など、構造形式によっては地震時に杭に大きな軸力変動が生じる可能性があるため、本手法の鉛直方向の杭と地盤との相互作用ばねについて、実務的な手法の確立に向けた研究が期待される。

3. ま と め

実務においては、解析時間や効率の観点まで含めれば、「万能な」解析法（あるいは実験法）など存在するはずもないが、各解析手法の進化や解析環境の向上によって「最適な」解析法は徐々に変化している。我々地盤工学の技術者・研究者には、対象とする構造物の実際の挙動をイメージし、それを的確に表現するための「最適な」ツール（解析、実験）を選択する能力が求められているということを改めて実感したセッションであった。

【動的問題（杭基礎）②】

ジャパンパイル㈱ 本間裕介

1. はじめに

本報告の対象は、地盤と構造物 動的問題（杭基礎）②のセッションであるが、特に耐震性を向上させるテーマの研究が主であった。

2. 研究及び技術動向

最近、高架橋の基礎に斜杭を用いた場合の効果について、研究が盛んに行われているようである。本セッションに限らず、数セッションで斜杭に関する発表報告がなされていた。斜杭を用いた場合、地震時に高架橋が逆ロッキング動を起こし高架天端の応答を抑制する効果が期待できるなど新たな知見が得られている。

また、液状化地盤における鋼管杭の動座屈性状に関する研究発表があった。想定される地震外力に対して、杭基礎の保有耐力や変形性能を明確にすることは重要である。液状化地盤では杭周囲の地盤の水平拘束効果が失われるため、地震時の変動鉛直荷重によっても杭が動座屈を生じる可能性があり、このような座屈について定量的な評価を試みている。

さらに、既設杭基礎の耐震補強技術に関する研究報告があった。既設杭基礎の耐震補強技術に関しては、地盤改良で補強する方法やシートパイルなどを補強材として用いる方法など種々提案されているが、本セッションではモノレールの運河内橋基礎の耐震補強工法の技術紹介がなされた。同工法は杭頭部付近を鋼殻及びコンクリートで補強し、杭地中部を地盤改良で補強する工法であった。

会場では、明らかに耐震性が不足している既設基礎や老朽化・損傷が認められる場合には耐震補強の必要性があると認識しつつも、現状としてどの程度行われているのか、今後どのように耐震補強を考えていくべきかなどの議論が活発に行われた。

3. ま と め

近年、大規模の地震が多発しており、構造物の基礎には所要の耐震性能の確保が求められている。しかしながら地中にある基礎の損傷を見極めることは難しく、また補強には多大な費用が必要となる。そのため、耐震補強の必要性を判断できる手法の確立が今後重要になると思われる、広く議論がとり行われることを期待する。

【動的問題（複合構造物）】

東北大学 河井 正

1. はじめに

本報告の対象は、地盤と構造物のうち、動的問題（複合構造物）に関するものであり、具体的な対象は、斜角橋台、地中構造物、埋設管と構造物の相互作用、石垣、貯水池法面、盛土補強土壁と多岐にわたり、その検討手法も実験、数値解析、観測と様々である（827～833）。

2. 研究及び技術動向

斜角橋台や城郭石垣の補強土工法に関する実験や地中埋設鋼管と地上構造物の相互作用に関する数値解析は、理想化・単純化した条件ではいずれも予測が困難な現象を対象にしており、それぞれ興味深い結論が得られてい

る。その一方で、境界条件や模型材料・寸法が大きく影響するこの種の検討は、それらが実験や数値解析の結果の解釈を困難にする場合がある。

例えば、実験に関しては、実物には存在しない土槽境界と検討対象との摩擦が定量的な計測結果に影響するのみならず、条件によっては変形メカニズム等の定性的な傾向まで変えてしまう可能性がある。その点においては、数値解析による検討に分があるものの、数値解析においては、多様な応力変動の元での土の挙動を厳密に再現できる構成式というものが存在しないため、ブラックボックス的に数値実験を行うことはできない。構成式の特徴を踏まえた上で、ここで検討されているように、支配的

なメカニズムとその影響を明らかにするような比較解析を行い、十分に考察することが必要であろう。その妥当性を検証するためには、実物の挙動を観測し、その結果を詳細に分析した盛土補強土壁の地震時挙動の観測のような実物を対象にした研究なども重要である。

3. ま と め

実験、数値解析、観測はいずれも重要であり、それらは相互に補完し合うものである。いずれのアプローチによっても真実に迫ることは可能ではあるが、そのためには現象を支配するメカニズムについて深く考察することが必要不可欠である。