

6. 地盤と構造物 ダム・堤防①

松島 健一

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（ダム・堤防①）のセッションについて総括する。本セッションでは、8編の報告がなされ、ダム・堤防の盛土材料、基礎地盤の変形、盛土内への浸透、地震や液状化に関する報告が行われた。発表は、土質材料の締固め・透水性などの土の物性評価、河川堤防、海岸堤防および道路盛土などを対象とした被災分析や被災メカニズムなど広範に渡っている。

2. 河川堤防の被災率と被災メカニズム

河川堤防に関しては、東日本大震災で被災した堤防の被災分析および被災メカニズムについて論じられた。膨大な調査結果に基づき地震力や地形条件等の要因分析が実施されている。特に、微地形によって被災率が異なることが示され、現河道・水面、旧河道及び干拓地で高くなることが報告された。また、これに関連して軟弱地盤上に構築された河川堤防内の水分・応力状態に関する遠心模型実験と数値解析の報告があった。軟弱地盤の沈下に伴い堤防が沈み込むことで、液状化被害を拡大させる可能性が指摘された。今回の発表では、被災を受けやすい地形条件が明確に示されるとともに、その一部について実験的あるいは解析的アプローチにより堤防の被災メカニズムの解明が進められた。

3. 盛土内の浸透水と崩壊メカニズム

盛土内の浸透水による土構造物の不安定化現象は古くから研究されてきたテーマであるが、近年では豪雨災害が増加傾向にあり、予防・対策の面でもますます重要な分野になっている。降雨時における法尻部の進行性破壊を対象とした比較的大規模な実験では、詳細に計測された法尻付近の動水勾配と変位の関係が提示され、一定の動水勾配に達すると変位が生じることが報告された。また、浸透に伴う補強構造物の安定性評価に関しては、土水連成解析によりサクシオン効果の喪失、間隙水圧の上昇に伴う強度低下などが再現され、常時と降雨時における安定性の変化が解析的に示された。従来まで降雨による土の強度低下などについて、設計ではあまり考慮されることがなかったが、今後とも常時、地震時に加えて、降雨時の不安定化・排水対策などについて引き続き研究を進めていくことが重要と言える。

4. 盛土材料の透水性

盛土材料の透水性は、非常に古くから研究されてきたテーマである。特に、フィルダム等の貯水構造物等においては、貯水機能及び堤体の安定性を確保する上で重要な課題である。フィルダムの設計基準では、乾燥密度を高めて間隙を小さくすることで、透水係数が低くなること、そして、締固め後の飽和度を高めることで、透水係数を低くなることが記載されている。これにより十分によく締固めれば、間隙が小さくなり、同時に間隙中に占める水の割合が増加するので、上記の2つの効果で透水係数が一層低下する。しかしながら、飽和度と乾燥密度が透水係数にどのような影響を及ぼしているのかは系統的に示されていない。例えば、ため池などの築堤工事では、盛土材をあえて過転圧にして遮水性を高めることがあるが、これは設計で十分に考慮されていない。

本発表では、締固めと透水性に関して、飽和度が増加してサクシオンが低下し、締固め時に細かい粒子の塊が壊れて粗粒子骨格の間隙内に細粒子が分散し間隙が小さくなり、飽和後の透水係数が低下する。また、同時に細かい粒子が粗粒子骨格の安定に対する貢献が低下して強度・剛性が低下することが示された。また、盛土の透水係数が締固め時の乾燥密度と飽和度の関数で表せることも示された。これらの成果は、盛土材の高い性能（透水性・強度）を実現するための、合理的な土の締固め管理方法に繋がるものと期待される。

5. 盛土材料の耐侵食性

盛土材料の耐侵食性は、波浪・降雨・越流時などの問題に関連して古くから研究されている。一般に粘着性の盛土材は侵食に強いとされ、河川堤防などの分野で先行的な研究が実施されてきた。本発表では、難透水性に起因する盛土材料の耐津波性に関して、津波越流時の経過時間と盛土内の浸潤前線到達距離の関係が示された。そして難透水性の盛土材は、浸透に伴う土のせん断強度の低下が小さいので、越流時の侵食が抑制されると述べられた。

東日本大震災において津波に耐えた盛土の存在が確認されており、この事実を説明する理由として、上記の難透水性に起因する耐津波性の考え方は、非常に興味深い。現在、津波に対して粘り強い海岸堤防の開発が各方面で進められているが、堤防の主材料である盛土材についても、より一層の研究が進んでいくことが望まれる。

6. 地盤と構造物 ダム・堤防②

前田 健一

名古屋工業大学 工学部 都市社会工学科

1. はじめに

本セッションの発表は、浸透、漏水、越流に対する堤防の安定性、耐震性と液状化への耐力を対象とし、実験、現地計測、事例分析および数値解析を用いた研究発表内容である。多岐に渡った内容であったが、活発な議論がなされた。

2. 研究及び技術動向

まず、本セッションは、降雨や洪水のハザードに対する堤防の安定性評価に関する発表から始まった。

浸透や侵食に関する堤防の監視強化が図られるとともに、自治体の避難勧告等の発令判断に資する出水時の情報の提供の見直しが求められている。したがって、漏水に関わるデータの蓄積と堤体の健全性を評価する方法を進化させることは重要な課題である。本セッションでも、海岸堤防の老朽化に伴う漏水現象の調査及び事象解析、堤防における小動物孔の実態調査、挟在砂層に着目した堤防漏水調査結果が報告され、注目をあびた。これらのデータをいかに活用できるかが、議論になった。一方で、現状では、堤体の安定度と漏水との関係が十分に理解されていないことも課題、との認識をもった会場の方々も少なくなかったようである。漏水が発見された時点での堤体の安定性、漏水中の漏水の濁りの変化や量の変化、漏水が発生した堤防がさらに負荷を受けたときの堤体の応答など、貴重な観測結果を活かすための包括的な研究が不可欠であることが実感された。築堤の際に埋もれてしまった情報を引き出す方法の検討も必要と考えられる。

また、堤体に大きな損傷を与えるすべりの検討は、堤体の安定性評価において重要である。解析手法にコンシステントな土の破壊挙動を捉えるための精力的な研究成果の発表があった。地盤工学の真ん中の内容である。河川堤防の安定性照査に用いるべき強度定数を求めるための三軸試験条件について議論された。解析モデルと整合性をとりながら、設計定数としての有用性を高めるため

の一連の検討が注目された。

さらに、越流による不安定化とその対策について、河川工学分野からの実物大実験結果も報告された。討論する時間が限られてものであったが、洗掘のダイナミクスに関する貴重な情報であった。地盤工学で見逃していた現象、地盤の知見が活かせる新たなテーマへの示唆があったと思われる。

つぎに、地震動、液状化に対する安定性についても議論がなされた。固有値指標を用いた堤防の耐震性区分方法、河川堤防の液状化解析事例、基礎地盤の液状化に対するアースダム堤体の補強効果など多岐にわたった。発表の着眼点および議点で共通しているのは、地震・液状化による堤防の変状形態であった。これらは、変状後に堤体にどれだけの能力を期待できるのか、対策のポイントは何か、を考える上でも、有益なものであった。解析手法によって結果が異なる場合の比較においても、上記のポイントが重要と考えられる。また、被災履歴の情報をを用いる場合には、地震波形が異なる被災履歴をどのように比較して扱うのかなどについて、今後、分かり易い解説を期待したい。液状化を想定していなかった重要な土構造物の補強方法については、堤体の変状形態を理解し、それを考察した対策案については、多くの参加者が興味をもったと考えられ、今後、重要なテーマになると考えられる。

3. まとめ

近年、堤防に関する研究発表件数は増えており、その対象は、いわゆる、古くて新しいものである。古くからある問題を、新たな視点で見直した内容も増えている。ここ数年においても先駆的研究も多くある。

今後、堤防が研究対象としてより魅力あるものとなり、成果が治水・利水に大きく貢献するためにも、互いの研究成果を引用しあい、エッセンスや新たな課題が浮き彫りになっていくことを望む次第です

6. 地盤と構造物 ダム・堤防③

石原雅規

(独)土木研究所

本セッションにおける共通のテーマは、津波に対して如何に強い盛土を作るかであった。これに対して、全く異なるコンセプトの3つの構造が登場した。

1つ目は、表面をコンクリートのブロックで覆い、ブロックにはジオテキスタイルがつなげ、さらにジオテキスタイルはセメント改良土と一体化されている構造である。この構造について、対津波実証模型実験、ブロックとジオテキスタイルの接合部の構造、施工に関する発表があった。2つ目は、最もシンプルな盛土である。ブロック等で覆うような対津波補強を行わない盛土でも津波に対して強い場合があることから、盛土自体の持っている対津波性能を評価するという観点で発表があった。3つ目は二重矢板であり、津波の水圧と液状化に伴う過剰間隙水圧に対する安定性の観点からの発表があった。

3つの構造の乖離は大きく、あえて強調して換言すれば、一方は重武装が必要だ、一方は素手で十分だということで、正反対あるいは矛盾したもののようにも思えて

しまう。しかし、そうではなく、期待する性能の差や条件の差、用地の制約条件の差などからこれらの構造の位置づけが異なるもの（可能性がある）と理解すべきであろう。東日本大震災では、越流した盛土でも流出せずに残ったものも多かったが、一方で流出した盛土もあった。流出する条件が明らかとなってくれば、重武装すべき条件も明らかとなり、効率的・効果的な対策が可能となるであろう。

また、越流する津波に対して対策を行うということは、越流するような津波が来るときまで機能を維持していくことが求められる。少なくとも数百年という、これまで考えてきた施設の耐用年数を大幅に超える。当然、維持管理や更新によって機能を維持していくことになるが、施設設計の基本的なスタンス（ライフサイクルコスト等）についても改めて考え直す必要があると考える。加えて、越流は海岸や河川の分野との境界に位置する問題である。このような分野とも連携していくことも重要である。

6. 地盤と構造物 ダム・堤防④

小 高 猛 司
名城大学 理工学部

1. はじめに

本セッションでは、河川堤防に関する研究が5編の他、砂防堰堤およびアースダムに関する研究がそれぞれ1編と2編であった。学会初日にダム・堤防に関して合計4セッションが開催され、そこで河川堤防に関する様々な研究が多く発表された。また、最終日の地盤内の物質移動のセッションにおいても、河川堤防に関する研究がいくつも発表されており、昨今の盛り上がりが見てとれる。

十個もの台風が我が国に上陸した平成16年、数々の豪雨災害により、足羽川、円山川、五十嵐川などの河川堤防が破堤し、日本中を震撼させた。それから十年間、豪雨災害は常に我々の生活を脅かし続け、社会基盤としての河川堤防の重要性が再確認されてきた。それとともに、河川堤防の照査・設計は、従来の形状規定から、地盤構造物として学理的に性能評価する方向へ転換すべき局面を迎えており、昨今の堤防研究の盛り上がりはそれを反映したものであると言える。

2. 研究及び技術動向

平成24年7月の九州北部豪雨によって、矢部川堤防がパイピングをきっかけとして破堤した。HWLを長時間超えていたとはいえ、近年なかった越流なき堤防決壊のインパクトは絶大であった。筆者も含めて、樋門などの堤防の弱部となる構造物が無ければ、盛土堤体部だけではたとえ少々のパイピングがあっても破堤まで至ることはないだろうというのが暗黙の共通認識ではなかった。矢部川破堤は、その共通認識を改めるに余りある災害事例であった。この矢部川破堤のメカニズムを室内実験などで検証を試みているのが490の研究である。被災してからのこの2年間の調査・研究によって、被災堤防の地盤構成に関して、難透水の粘性土堤体の下に透水性の高い砂層が存在していたという特殊事情が明らかになったが、とは言えその地盤構成はどこの堤防でもありそうなのが河川管理者を悩ませている。さらに、なぜそのような地盤構成が内部浸食を伴うパイピングを促進し、なおかつ、破堤にまで至らしめるのかは今もって明確ではない。490の模型実験では、極端に異なる粒度の砂層が隣接する場合には細粒分が顕著に流失し、内部浸食が進行して堤防に致命傷を与えるようなパイピングが発生す

るとしている。議論の中で示された、パイピングは堤防破壊のきっかけであり、その後の法面の進行性破壊によって堤体が全体破壊に至るという模型実験の観察過程は、パイピングと破堤の関係について示唆に富んでいた。

極端に透水性が異なる物質間で発生するパイピングは、突き詰めていけば493で扱っている樋門のような構造物周りの浸透の問題に行き当たる。構造物周りが堤体の弱部になることは十分承知されながら、さらに実際の破堤事例も過去に多く認知されながら、今なお十分に破壊メカニズムの解明が進んでいるとはいいがたい。490も493も根は同じ問題であり、研究の進展が期待される。ただし、樋門周りの浸透問題に関しては、最終日のセッションでも扱われており、同じセッションで議論されれば、より実りがあったと思われる。堤防関連研究の発表セッションの選択の難しさを感じさせる。

491は最新の数値解析の粒子法SPHによって、浸透時の法すべりのモードを浸潤線との関連から検討したものである。パイピングとすべりとの関連性、つまりどこまでパイピングでどこからがすべり破壊であるのか実は分けるのが難しいことを示唆するものであり、実はパイピングをきっかけとする破堤問題の490とも結びつく。

また、堤体の安定性に強く関連する堤体水分量は、降雨の影響を強く受けるにも拘わらず、未だその予測には課題が多く残されている。492は実効雨量を用いた堤体内水分量の予測モデルの構築を試みており、今後の発展が期待される。

494は本セッションでは唯一堤防の耐震性評価をテーマにしたものである。東日本大震災の河川堤防の被災実態と現状の液状化判定法との溝を埋めるために、比較的薄く地震中に排水しうる飽和層に着目した精緻な遠心模型実験を実施したものであり、今後の液状化判定基準をより高度化することが期待される。

3. まとめ

地盤工学的見地からの堤防研究が活発化していることが実感できた。次年度は発表セッションの選択で迷うこともなく、基礎から応用まで堤防研究が横断的に議論されるようなセッションが生まれることを期待したい。

最後に、紙面の都合により、本文で触れることができなかった研究発表もあることをお詫びしたい。

6. 地盤と構造物 道路・鉄道盛土①

中野正樹
名古屋大学

1. はじめに

近年、豪雨や地震による盛土被害が頻繁に発生している。本セッションは、そのような背景のもと、健全な盛土の構築・維持管理、異常時への備えなどに関する8編の発表がなされた。最終日の朝のセッションにも拘わらず、多くの参加者と有意義な議論がなされた。

2. 研究及び技術動向

盛土災害に対し、そのメカニズムを解明することは、盛土建設だけでなく今後の維持管理・補強にとっても重要である。503は、2009年に地震により崩壊した東名牧之原盛土の盛土材料に対し、圧密締固め一定体積単純せん断試験を行って、浸水による強度劣化機構を解釈した。崩壊土砂は泥土状態であったが、残留盛土は十分に締固められた健全な状態であったとの貴重な情報も紹介された。501は、東北地方太平洋沖地震で破壊した盛土の残留変位量を、過去に発生した地震（経験地震）の被害情報を考慮し算定するという研究であった。経験地震より土質定数を設定し、改良O型Newmark法により得られた残留変位量は、実被害のそれとほぼ等しくなった。地盤工学では伝統的な設計法である動態観測法に対し、経験地震の被害状況を取り入れたものである。499は、まさに動態観測法の適用研究である。厚い軟弱粘土地盤上の高盛土に対し、盛土立上りから2.3年までの沈下観測結果を用い、10年後の沈下を予測、周辺地盤の沈下低減対策として、押え盛土の一部撤去を行った。将来にわたる沈下には数値解析により予測している。頻度は少なくても、供用後も計測を継続的に行うことができれば、载荷除荷過程を経た軟弱地盤の変状機構に対する貴重なデータとなるであろう。504は、遠心模型実験を実施して、液状化砂地盤の地震時応答に及ぼす過圧密履歴と密度増加の影響を把握するという研究である。現場での計測値がない場合は、境界条件も明確で、再現性も期待できる模型実験が有力な道具となる。

盛土崩壊を未然に防ぐためには、対象盛土に対するモニタリング技術の発展による現場計測の高精度化、そしてまず何をモニタリングするか、が重要となる。498は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 加速度センサICタグによる斜面モニタリング手法の実用化に向けた

研究である。本センサにより、鉄道斜面地盤の降雨に伴う卓越周波数の変化をモニタリングできることを示した。会場からモニタリングした周波数の詳細に関することや、そもそもICタグはいつごろから開発されたものかとの質問があった。502は、鉄道沿線の石積み擁壁の変状に対し、模型実験から石積み擁壁の安定性評価と対策工検討を行った研究である。モニタリングの指標として「はらみ出し指数」に注目し、その適用性を確認し、早急な対策工を要するかの判断基準を求めた。ここでの基準指数は4であった。500は、モニタリングとしては原位置試験と室内試験であるが、表面波探査、室内ベンダーエレメント試験、室内一面せん断試験による既存谷埋め盛土の健全性評価方法を提案している。提案する評価方法には、詳細な方法と簡略化された2つの方法が示された。谷埋め盛土は、東北地方太平洋沖地震で、多くの被害をもたらした。メカニズム解明とともに簡易な設計法の提案が望まれている。以上、モニタリング技術は年々急速に進歩している。冒頭にもあるように、何を計測するかを地盤力学に基づいて示すべきである。

497は今までとは違い、盛土のり面の有効利用に関する研究である。盛土のり面に面状設備を設置する際のアンカーとして、ねじり平鋼アンカーを検討し、引抜き試験により効果を把握した。従来から使われている同径の異形棒鋼（アンカーピン）に比べ、約3倍の引抜き強度が得られた。質疑でも施工性にも問題とならないとの回答であり、盛土補強土工法にも応用できると感じた。

3. まとめ

東北地方太平洋沖地震では、盛土被害も多く起こったが、たとえば高速道路が緊急輸送道路となることで「くしの歯作戦」が可能になったり、津波に対する堤防の役目を果たしたりした。盛土構造は再び注目されている。それは、「道路・鉄道盛土」セッションが今大会4セッション組まれているなどからもわかる。今回、多岐にわたる研究が発表され、盛土に関する研究は着実に進歩している。しかし、様々な盛土材料、締固めメカニズム、不飽和土の挙動、実際規模と室内試験との関係などなど、まだ解決しなければならない課題も山積していると感じた。

6. 地盤と構造物 道路・鉄道盛土②

石川 達也

北海道大学大学院 工学研究院

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（道路・鉄道盛土②）のセッションについて総括する。本セッションでは、土の締固め特性の実験的検討に関連した発表4編、道路舗装・鉄道軌道の挙動解明に関連した発表5編の計9編の発表があった。前者は、盛土材や道路舗装の下層路盤材の締固め特性あるいは強度・変形特性に関する発表であり、後者は、融雪時の道路陥没メカニズムの解明、舗装構造の変形係数の推定、道床バラストの繰返し変形挙動の数値解析に関する発表であった。

2. 研究及び技術動向

盛土や路盤など土構造物を締め固めて構築する場合、材料土の性能を最大限に引き出す施工法を選定し、所定の品質を供用期間中十分確保することが重要である。このため、一般的に利用されている締固め機械（大型ローラ）と室内締固め試験による盛土材の締固め特性を比較した研究が報告された。発表では、室内試験結果に基づく最大乾燥密度を基準とした締固め度管理では、必ずしも適切な盛土の品質管理が行えない可能性のあることや、土質や含水状態にかかわらず加速度応答値と締固め土の乾燥密度に相関があることが示された。これに対し、動線圧による振動ローラの転圧エネルギーの計算方法の妥当性や、加速度応答法の土質や含水比に対する適用範囲に関する質問があった。また、含水比あるいは飽和度が締固め土の強度・変形特性に影響を及ぼす重要な因子であることが報告された。特に、保水性が高く排水性が悪い盛土材の場合、時間の経過とともに初期含水状態より湿潤な含水状態に移行する結果、強度・変形特性が低下することがあるという発表は興味を引いた。

一方、道路舗装・鉄道軌道の挙動解明に関連した発表は、その研究目的が被災原因の究明、合理的な設計方法・維持管理方法の開発と多様である。富士山林道で融雪時に発生した道路陥没の要因を現地調査、気象分析および土質試験から検討した発表では、路床材として用いられているスコリアが突固め等により粒子破碎され細粒分が増加した結果、その透水性が低下し凍上による亀裂を増加させ、被災直前の集中豪雨と急激な気温上昇に伴う融雪により亀裂からの地盤内への大量の浸透水を許し道路

下の砂利等の流出、陥没を誘起したとの報告がなされた。近年の気候変動と関連した複合地盤災害の一例として非常に興味深い発表であった。また、性能照査型設計手法である道路舗装の理論的設計方法では、舗装各層の弾性係数とその構造計算に必要である。このため、室内要素試験・原位置試験あるいは数値解析による路盤・路床の弾性係数の評価・推定方法に関する発表が多く報告された。これらの発表における主要な研究課題は、路盤・路床材の変形特性の応力レベル依存性や含水状態依存性といった多くの場合不飽和状態にある路盤・路床の非線形変形挙動に起因するものであった。加えて、本セッション最後の発表では、列車荷重繰返し載荷時のバラスト軌道の塑性変形挙動を予測するため、弾性限界面を考慮した下負荷面モデルの提案とバラストの繰返し三軸圧縮試験に対する数値シミュレーションの予測精度の検証が行われ、繰返し載荷時の塑性変形を概ね良好に予測できることが報告された。このような路盤・路床材の変形特性に焦点を当てた道路舗装や鉄道軌道の挙動解明・予測に関する研究が発表されている現状を考えると、今後の道路舗装や鉄道軌道の設計や維持管理方法の合理化には、路盤・路床に関する研究成果の蓄積が重要な役割を果たすと考えられる。

3. まとめ

本セッションで報告された研究発表は、道路・鉄道・空港の設計施工・維持管理の合理化・省資源化を主要な研究テーマとする交通地盤工学の研究分野に主に分類される。近年の道路舗装や鉄道軌道に対する性能照査型設計方法への移行・導入に伴い、より詳細な実務設計への基礎的な地盤工学的知見の活用が、前述のようにこの分野での今後の研究主題になると考えられる。この場合、①地盤材料の材料特性試験方法の高度化や試験結果の充実、②非破壊試験による交通地盤構造物の健全度評価手法の整備、③材料特性試験結果を利活用した交通地盤構造物の構造解析方法の開発が、それぞれ重要なポイントになると感じた。今後、現在までに蓄積された研究成果を昇華するための基礎的な研究の継続と、実務への応用を見据えた個々の基礎技術の連成と更なる研究の進展を期待したい。

6. 地盤と構造物 道路・鉄道盛土③

外 狩 麻 子

東日本旅客鉄道㈱ JR 東日本研究開発センター

1. はじめに

本セッションでは、「地盤と構造物(道路・鉄道盛土③)」のタイトルの下で合計9編、うち若手発表者から2件の発表があった。セッション・タイトルのとおり、交通インフラを支える土構造物として盛土が対象であり、このことが本セッションの唯一の共通点であった。その他は、例えば、外力条件や外的要因として、豪雨・地震・津波・地下水・浸透水のように様々な想定された研究による9編であった。

2. 研究及び技術動向

自然営力による盛土の機能障害や崩壊危険性を研究成果の目指すゴールとしているのは、これまでと余り変わりはない。しかし、本セッションでの発表では、この外力・外的要因に対する切り口が特徴的なものが多かったように思われる。

まずは津波である。3.11の震災以降、堤防や盛土に対する津波による浸透水や越流水の影響については、注目すべき課題となった。これに対し、盛土を模した剛体模型にセンサーを多く取り付けて、かかる外力を受ける模型側から確実に計測する水理実験の報告があった。これらは、地震そして津波の越流に対して柔軟に抵抗できる粘り強い盛土構造の提案を目指している。

もう1つは浸透水である。盛土内への浸透水であり、内部に留まった地下水であり、地表面からの地表水である。盛土が、どこまで・どのように強度を保ち耐えうるかだけではなく、盛土という構造物のどこに・どの位の力が、どういう力の成分として作用しているのかに着目している研究が目立った。

研究の手法としては、実験が5編、実盛土での実測が4件であった。意外なことに、数値解析を研究のコアとしているものが1編もなかった。このことは、想定している状況や外力の作用などの事象や現象の解釈が十分ではないため、尤もらしい数値解析方法に至っていないとも言える。

3. まとめ

冒頭で述べたように、本セッション全体の唯一の共通点は盛土が対象ということだけである。しかしながら、複雑ではある事象を紐解く切り口に、ある意味個性豊かな研究発表が多く、それらにちょっとした驚きも感じながらのセッション・タイムであった。これは、座長である私だけではなく恐らく会場の参加者も同じであったと確信しているのは、討議が活発で、時計を睨みつつの進行をさせて頂くことができたからである。最後に改めて、本セッションの発表者及び参加者の皆様に感謝を申し上げ、セッションの総括とさせて頂く。

6. 地盤と構造物 道路・鉄道盛土④

小島 謙 一

(公財)鉄道総合技術研究所 地震動力学研究室長

1. はじめに

地盤と構造物（道路・鉄道盛土④）のセッションを総括する。本セッションでは、道路・鉄道盛土における10編の研究論文が発表された。表-1に本セッションの論文一覧を示すが、内容は盛土の調査・診断、材料特性、挙動評価と多岐にわたる。

表-1 論文一覧（地盤と構造物（道路・鉄道盛土④））

No.	タイトル	概要
523	真空圧密を併用した道路盛土の長期沈下予測（その1）	変形解析 真空圧密
524	真空圧密を併用した道路盛土の長期沈下予測（その2）	変形解析 真空圧密
525	のり面における植生生育状況と土質性状の関係について	土質試験 緑化工法
526	表面波探査を用いた既設鉄道盛土の調査法に関する一考察	表面波探査 既設盛土
527	橋台等背面盛土の調査結果による盛土内部の状態評価	削孔調査 橋台背面盛土
528	降雨履歴を受ける火山灰質盛土の動的力学挙動	振動実験 火山灰盛土
529	強震応答実験装置を用いた2ヒンジプレキャストアーチカルバートに対する振動実験	振動実験 アーチカルバート
530	脆弱岩の粒度、含水比に対する強度低下について	土質試験 泥岩盛土
531	泥岩碎石集合体のスレーキング ¹ 進行に伴う力学挙動の変化	土質試験 泥岩盛土
532	スレーキング進行・締固め度の異なる泥岩盛土の地震応答解析	地震応答解析 泥岩盛土

本報告ではセッションでの論文をもとにして、道路や鉄道盛土における現状や今後の方向性について述べる。

2. 新設盛土について

土木構造物の新設に際しては環境に対する影響が重要課題となっている。盛土においても同様であり、建設発生土や地盤の悪い箇所の有効利用が検討されている。

建設発生土はあまり良質なものでないものは産業廃棄物として取り扱われ、その処理に時間とコストがかかるうえ、環境にも影響がでる。これを盛土材として有効利用できるならば、もたらす効果は非常に大きい。しかし、

建設発生土を用いるにあたっては材料特性を明確にし、材料の適用範囲・適用限界や構築した盛土の性能の検証が必要となる。建設発生土の実構造物への展開には、試験項目、試験方法や設計手法の整備が求められる。

狭い国土の有効利用を考えていくと、土木構造物の良質地盤上での建設は減少していく傾向にあると考えられる。これまでは地盤が悪いため避けられてきた箇所も、建設現場として適用する必要性が出てくる。地盤改良技術の発展により、このような現場でも施工が可能になってきた。しかし、適用にあたっては改良効果、長期的な観点を含めた地盤挙動を適切に評価する必要がある。土の数値解析技術は様々な手法が提案され、より精緻な挙動評価が検討されている。要求される精度とコスト、入力データの質と解析モデルの質のバランスを勘案した挙動評価が望まれる。

3. 既設盛土について

土木構造物の老朽化、維持管理はキーワードの1つとなっている。盛土は年を経ることで、締まってくる構造物であるためコンクリート構造物等の構造物よりも比較的、老朽化・維持管理の問題は少ない。しかし、近年構築された盛土は材料の規定、適切な施工管理のもとで構築されているため高い品質が確保することができるが、古い時代に構築された盛土は必ずしも十分な品質が保持されているとは限らない。そのため、盛土においても維持管理等の問題が出てきている。盛土は不均質である上に、内部の状態を知ることが非常に難しく、現状の性能の正確な評価が課題となる。探査技術の進展も見られるが、ばらつきも大きいのが現状であり、盛土の効率的な診断手法の発展が待たれるところである。

近年では温暖化やゲリラ豪雨など気象の変化が著しい。降雨の影響を大きく受ける盛土は地震と合わせて降雨など日常的な自然環境に対しても配慮が必要となる。盛土構造物全体その他、のり面工として植生など天然の植物を利用しているものについても、現地の自然環境にあったものの適用が望まれる。現状の環境変化をとらえつつ、適切な維持管理を考えていくことが重要となる。

4. おわりに

盛土においても他の土木構造物と同様に環境問題や老朽化・維持管理への対応が重要となっている。これらの課題に対する積極的な取組みにより、環境にやさしく、耐久性の高い盛土への発展が期待される。

6. 地盤と構造物 基礎一般①

上野 勝利

徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部

1. はじめに

地盤と構造物（基礎一般①）のセッションでは、533～541の計9編の報告がなされた。キーワードを列挙すると、「不同沈下」に関する報告が2件、「軟弱地盤上の支持力改善」を目的としたものが3件、「木杭の活用」に関するものが2件（うち1件は支持力改善と重複）、「施工法」に関する研究が2件、「杭基礎の引き抜き試験」に関する研究が1件、貫入メカニズムに着目した「模型実験」が1件であった。基礎一般ということで、種々の課題についての研究発表が行われた。以下、簡単に紹介する。

2. 研究及び技術動向

不同沈下の評価に関する研究1件は、具体的な構造物を対象とした研究である。軟弱地盤上に建設されるボックスカルバートを有する道路盛土を対象に、解析を用いて深層混合処理による地盤改良の検討が行われた。不同沈下を制御する方法として、盛土高さに応じて改良深さを調整することを試み、解析により効果を評価している。

鉄道近傍における場所打ち杭の施工に関連して、孔壁防護のための地盤改良体の強度特性について、一軸圧縮試験と三軸圧縮試験による評価についての報告もあった。

地盤保証制度に関連し、住宅の不同沈下リスクの評価を試みた研究では、住宅保証会社等に寄せられた事例を対象に、不同沈下に影響を及ぼす要因の検討について報告された。住宅紛争の原因となる不同沈下の指標として、最大傾斜角 $3/1,000$ を許容値として提案している。評価方法等についてもフロアの関心が高く、活発な意見交換が行われた。今後も事例が蓄積され、良質な宅地の経済的な提供のためにも、研究が進展することが期待される。

戸建住宅などの小規模構造物の支持力改善を目的とした研究では、ジオセルマットレスによる変形拘束効果による支持力の効果を検証した現場載荷実験の結果が報告された。セルサイズや改良厚の違いによる効果について言及されている。

変形拘束効果に加え、補強材に杭部材としての効果も

期待した遠心模型実験による研究も報告された。補強材の打設方法や密度について実験的に効果を検討し、支持力の評価方法を提案している。補強材として有効な利用方法の少ない小径の間伐材を想定している。間伐材の利活用促進を通じて、森林環境保全や中山間地の活性化といった効果も期待される。

木杭の有用性を担保する研究として、長期間鉄道橋梁の基礎として利用されてきた木杭の調査結果が報告された。約100年間の供用期間を経た後でも腐朽せず、基礎として健全性を維持していたことが、ピロディン貫入試験や杭の引き抜き試験から確認された。古くから木杭の耐久性については、よく知られるところであるが、鉄道橋など、重荷重を負担する構造物についても事例研究の蓄積がなされることは、有意義であろう。

狭隘な敷地の地盤改良を実現する、超小型の施工機の開発に関する報告があった。幅1mのスペースでの施工や、人力による移動が可能とのことで、既存宅地の液状化対策や地盤の耐震補強などへの活用が期待される。

そのほか、原発事故後の太陽光発電所の急速な普及を反映して、ソーラーパネルの基礎杭に関する研究報告があった。ソーラーパネルでは、風荷重が主要な荷重となり、引抜きによる破壊が問題となる。そこで引抜き試験方法が提案され、SWSによって評価された換算 N 値と引抜き耐力 f_t との関係が示された。結果を拝見すると、従来の杭の周面抵抗と同様に $f_t=5N(\text{kN/m}^2)$ と評価すると、試験結果の下限を表現できると思われた。

矢板の貫入メカニズムについて室内実験を行った研究では、X線CT装置とデジタル画像相関法を用いて、貫入時の矢板や地盤内の変位を可視化した結果が示された。貫入に伴いコの字型の矢板模型が開いていく様子や、矢板の形状による地盤内変位の変化が示された。

3. まとめ

本セッションで報告された研究は、震災後に顕在化した課題を反映した研究が中心であった。特に戸建て住宅やソーラーパネルなど、小規模構造物を対象とした新技術開発のニーズが高くなってきていることが感じられた。

6. 地盤と構造物 基礎一般②

吉 田 誠

五洋建設株式会社 土木部門土木本部土木設計部

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、防波堤の津波対策に関する研究が3編（542, 543, 548）、平板載荷試験に関する研究が2編（544, 549）、ニューマチックケーソン基礎の施工に関する研究が1編（545）、地中連続壁に関する研究が1編（546）、傾斜荷重を受ける基礎に関する研究が1編（547）、支持地盤の液状化に関する研究が1編（550）、合計9編の発表が行われ、いずれも興味深い内容だった。

2. 研究及び技術動向

防波堤の津波対策に関しては、腹付工や鋼管矢板などの各種対策工法が提案され、防波堤ケーソンの支持力向上効果について、実験や数値解析による評価がなされている。特に基礎マウンド中の浸透力の評価について、質疑応答で熱い議論が展開され、津波の影響を評価するにあたって課題が残されていることが示唆された。

実験的研究に関しては、溝壁の安定性、浅い基礎の支持力、液状化の影響など多岐に渡っていた。実験ではX

線 CT スキャナが用いられるなど様々な工夫がなされていた。液状化に関する研究では、液状化の継続時間が支持力に与える影響を評価するとともに、その実験手法についても言及されていた。いずれの実験も今後の発展が期待されるものであった。

一方で、現地試験や施工に関しては、支持力に関する新しい評価法の研究や創意工夫の事例報告についての発表が行われた。いずれも設計や施工の合理化に資するものであった。

3. まとめ

2011年東北地方太平洋沖地震では津波による防波堤の被害や地震による液状化被害が多数発生した。本セッションでは、このような被害に対する研究が多くみられ、新しい技術が提案されている。これらの技術の迅速な実務化により、近い将来の発生が危惧されている極大地震に対し、安全性の高い方策が期待される。一方、基礎的な研究や実務に関する研究も重要である。建設投資が減少傾向にある中で、基礎の支持力に関する評価精度の向上や施工法の改善により、社会基盤整備の合理化が期待される。

6. 地盤と構造物 基礎一般③

小 椋 仁 志

ジャパンパイル(株)

1. はじめに

本セッションでは8編の論文が発表された。

- 551 丸太打設5年経過後の丸太鉛直支持力
- 552 軟弱粘性土中の木杭の支持力特性について
- 553 圧入工法で打設した先端加工鋼矢板静的載荷試験
- 554 地盤改良体による基礎杭の施工および支持性能
- 555 小口径鋼管杭の配置が斜面崩壊の抑止効果に与える影響
- 556 本設杭に用いるソイルセメント柱列壁の荷重伝達機構に関する研究
- 557 杭基礎のイノベーション (2)
- 558 信頼性解析に基づく杭基礎構造物の性能評価

2. 研究テーマ

このセッションの論文はいずれも杭基礎に関するもので、木杭(551,552)や鋼杭(553,554,556)の鉛直支持力、杭の水平抵抗(555,557)、信頼性解析(558)に分けられる。

木杭は今までほとんど地盤改良のセッションで発表されていたが、最近では基礎杭として再認識されていることもあって杭基礎のセッションでも発表されるようになった。木杭は耐久性(腐食)が問題になることが多いが、551は打設後5年、552は1年経過後の支持力を確認し

て、いずれも低下は見られなかったと報告している。さらに長期間経過した後の調査を期待したい。

鋼杭では、支持性能を向上するため先端を加工した鋼矢板(553)、地盤改良と組み合わせたH鋼杭(554)、ソイルセメント柱との付着を高めるためのスタッドを付けたH鋼杭(556)の新しい工夫は注目される。

555の崩壊抑止杭の多段配置、558の信頼性解析も新たなテーマといえる。このテーマの今後の発展が期待される。557は最近の杭工法を大所高所から論じたもので、新工法開発に際して参考になる論文である。

3. 研究手法

551~554は現場実験、555と556は模型実験である。いずれも実験の前に良く検討されて行われたことが分かる論文といえる。ただ、たとえば測定されたひずみ値から軸力を求める際に、地盤改良体の剛性の扱いなどが気になった。実験後のデータの扱いにも、実験計画・実施時と同様、慎重な配慮をする必要がある。

4. 質疑応答

論文発表後、質疑応答が行われた。昨年目についた答に窮する発表者も本セッションでは見られず、活発で有意義な質疑応答であった。

6. 地盤と構造物 耐震補強

三 辻 和 弥

山形大学 地域教育文化学部

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（耐震補強）のセッションについて総括する。本セッションでは、施工実施例の事後調査、遠心模型実験、振動台実験、数値解析など多岐にわたる内容から7編の発表があり、樋管や直接基礎、杭基礎の液状化対策、既存杭基礎の耐震補強に関する話題を中心に活発な議論が行われた。

2. 研究及び技術動向

基礎構造の耐震補強としては、既存基礎に構造物を付加して補強する方法、地盤改良や地下水位低下などにより地盤の変形を抑制し、支持力を増加させる方法、及びその両者を用いる方法が考えられる。したがって、耐震補強に関する研究の方向として、どのような基礎形式・地盤条件を対象とするか、地盤の液状化を考慮するか、といった点が重要となる。本セッションにおいては、基礎形式として、樋管、直接基礎、杭基礎を対象とした研究発表が行われた。地盤については、液状化を対象として地下水の影響を考慮した研究と地盤改良により地盤の支持力を増加させる研究に大別された。発表7編のうち5編が液状化地盤あるいは飽和地盤についての検討を行っており、他に泥炭性地盤を扱った研究発表も行われた。

樋管及び直接基礎を対象とした研究では主に液状化地盤における対策が議論された。直接基礎の液状化対策に関する研究の方向は大きく分けて、地下水の挙動を扱うものと地盤改良を行うものとに大別される。地下水に着目した研究としては、基礎外周に礫層を設置して、その上に基礎を拡幅することで、構造物の傾斜を抑制する工法の提案があった。礫層によって過剰間隙水圧の消散を促進させるとともに、礫層の支持力にも期待する提案で、偏心を有する基礎に対する遠心模型実験により、構造物の傾斜抑制や支持力の確保について検討されている。ここでは、支持力を検討する場合と礫の透水性を検討する場合で、実験における相似則の違いに関する議論がなされた。また、個別の構造物だけでなく、住宅地などの広い範囲全体の液状化対策として、液状化対象範囲の鋼矢板による囲い込みと地下水位低下工法の組み合わせで、液状化を抑えつつ構造物の沈下・傾斜を防ぐ工法の提案がなされた。これは東日本大震災の際に、千葉県浦安市などで起きた住宅地における大規模な液状化に対する対策として検討されている。

地盤改良を行う研究では、実際の河川堤防部排水樋管

の施工現場において多点注入による薬液注入工法で施工した地盤改良の例が報告された。改良地盤の一軸圧縮強度を計測することにより改良効果の検証が行われている。改良地盤の一軸圧縮強度については、後述する杭基礎に対する地盤改良効果に関する研究でも、振動台実験において改良地盤の一軸圧縮強度が計測されているが、そこでの計測例とは強度の値に大きな差があり、その違いの理由や原因についても議論がなされた。

一方、杭基礎を取り扱った研究では、液状化地盤対策として、鋼矢板（シートパイル）を用いて根入れ深さに対する杭応力の低減効果が数値解析により検討されている。このように杭基礎の耐震補強としては、連続地中壁や鋼矢板で基礎周辺を囲い込む工法の他に、増し杭や地盤改良を行う工法が主なものとして挙げられる。増し杭を行う際の杭配置が群杭の挙動に与える影響を有限要素解析によって検討した研究発表では、遠心模型実験をシミュレートした2本杭の解析に基づき、3本杭の場合の数値解析を通して、杭配置によって各杭の荷重分担比の変動は大きくなるが群杭効率についてはあまり変化しないという報告がなされた。

杭基礎周辺地盤を改良することによって耐震補強を実施する研究では、杭基礎周辺の地盤を深さ方向に多段式に地盤改良することにより、より経済的に効率よく耐震補強を行う提案がなされた。この研究では1G場での振動台実験から実験の再現性が議論されており、杭の曲げモーメント分布から、杭頭部での曲げモーメント低減効果が得られている。また、泥炭性軟弱地盤に対して組杭基礎の周辺を地盤改良することによる耐震補強効果が振動台実験により検討されている。

セッションの後半では基礎構造の耐震補強を進めるための技術者・研究者として何をすべきか議論された。

3. まとめ

近年、基礎構造に対する耐震診断手法が提案され、上部構造の耐震診断とリンクする形で既存基礎の耐震性能を検証する動きが進んでいる。耐震診断の結果、耐震性能不足と判断された構造物基礎には耐震補強が施されるべきであるが、基礎構造の場合、上部構造に比べると施工上の制約が大きく、耐震補強方法のバリエーションが乏しくなりがちである。今後、この分野の研究・技術開発が進み、上部構造と連携しながら、基礎構造の耐震補強技術がより発展することが望まれる。

6. 地盤と構造物 杭基礎①

眞 野 英 之
清水建設 技術研究所

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物 杭基礎① のセッションについて総括する。本セッションでは、7 編の報告がなされ、主に水平力を受ける群杭、パイルド・ラフト基礎の挙動に関する報告が行われた。発表は、1G 下の鉛直・水平載荷模型実験、大規模実大基礎の水平載荷試験、ロッキング動に着目した遠心模型実験の3つに分類される。

2. 研究及び技術動向

杭基礎①では水平力における群杭効果が主な論点として取り上げられた。群杭効果は、古くから検討されているテーマではあるが、杭本数、杭配置（杭径、杭剛性などの違いも含む）、地盤条件、地盤と杭の剛性、荷重レベル、荷重の種類（慣性力、地盤変位など）など多くの条件により変化するため、未解明な点が多く残されている課題である。

今回の発表では、既存 LNG タンクの基礎を用いて 63 本という大規模群杭の水平載荷試験結果が報告されている。杭間隔 5d なので、本来群杭効果はそれほど大きくな

らない予想もできたが、実際には杭位置によるせん断力負担率には大きな差が見られた。最前列杭が最も剪断力を負担するのは予想どおりだが、実験では最後列もせん断力の負担がそれより前の杭に比べ増加しており、群杭挙動解明に向け貴重なデータといえる。

模型実験でも、再度基本的な実験に戻り挙動確認を行った事例や、基礎の回転が群杭効果に与える影響など新たな視点のデータが提供された。

3. まとめ

水平力を受ける杭基礎、パイルド・ラフト基礎の群杭効果に関しては、既往多くの研究がある。しかし、研究では、同じく性能の杭が均等な間隔で並んでいる群杭を扱ったものがほとんどであり、実際の建物のように杭性状が場所により異なったり、杭間隔が均等でない群杭の挙動などは、今でも設計には容易には取り込めないのが実情である。群杭挙動は、建物の応答や、杭の応力に大きな影響を与えるため、今後もより一層の研究が期待される。

6. 地盤と構造物 杭基礎②

松本樹典

金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系

1. はじめに

本報告では、地盤材料（改良土・軽量土⑤）のセッションについて総括する。

2. 研究及び技術動向

本セッションでは、表-1にあるように、計7編の発表があった。

表-1 本セッションにおける発表の概要

No.	発表タイトル	発表者	キーワード
573	模型実験における地盤内応力分布に基づく群杭の沈下剛性についての検討	青山翔吾	群杭, 鉛直地盤反力係数, 応力分布
574	土槽実験における模型杭鉛直載荷時の地盤の横方向の挙動	後藤茂	模型杭, 土槽実験, 地盤の横方向挙動
575	小口径回転圧入鋼管杭の現地偶力載荷試験 (その1: 試験概要)	中澤公博	群杭, 小口径回転圧入鋼管杭, 偶力載荷試験
576	小口径回転圧入鋼管杭の現地偶力載荷試験 (その2: 試験結果)	加藤久也	群杭, 小口径回転圧入鋼管杭, 偶力載荷試験
577	小口径回転圧入鋼管杭の急速載荷試験事例	中山敦	鉛直載荷試験, 小口径回転圧入鋼管
578	良質層に着底しない杭のヤング係数が基礎の沈下低減効果に及ぼす影響	浅香美治	杭, ヤング係数, 遠心実験
579	水平荷重・モーメント荷重を受けるパイルドラフト基礎の力学挙動	澤田幸平	パイルドラフト, 水平抵抗, 遠心模型実験

573 概要: 9 本杭群杭模型および単杭模型の鉛直載荷実験。地盤は珪砂 5 号, $Dr = 90\%$ 。杭中心間隔比 $s/D = 2.5$ と 5。土槽底面に作用する鉛直土圧分布の計測。

結果: 弾性範囲では, 1) 地盤反力係数は杭の沈下に伴って線型に増加。2) 地盤反力係数は s/D が小さくなるとともに減少。3) 5.0D 群杭を用いた載荷実験の結果は, 相互作用を無視できる。

降伏以降では, 1) 2.5D 群杭と単杭や 5.0D 群杭との間明確な差違は消失し, 載荷履歴の増加による地盤反力係数の変化もほとんど見られない。

574 概要: 群杭鉛直載荷時の地盤の横方向挙動を調べる。色砂層の変形や可視化実験の PIV 解析結果および傾斜計による地盤側方変位の計測。土槽側面に作用する水平土圧分布の計測。

結果: 杭間隔 2.5D の群杭は単杭の大型杭のごとく挙動。575 概要: 回転圧入鋼管杭を群杭利用し地中梁を省略した 1 柱一複数杭形式を対象。杭中心間隔を羽根径の 1.5 倍とした回転圧入鋼管杭の現地偶力載荷試験を実施。単杭での押し込み試験と引抜き試験も実施。

結果: 載荷初期ではほぼ同様の曲線となり, 単杭と群杭とで明確な差異は確認できないものの, 降伏以降は偶力載荷の方が大きな杭頭荷重となった。

576 概要: 群杭の支持力性能について, 杭先端ばね定数と基準先端支持力による評価。

結果: 押し込み側では, 単杭の鉛直載荷試験と群杭の偶力載荷試験で明確な差異は確認されなかった。一方, 引抜き側では, 支持地盤の降伏以降 (先端変位 20 mm 以降) で, 単杭の鉛直載荷試験に対して, 群杭の偶力載荷試験で発生する杭先端軸力が小さくなる。基準変位量における杭先端ばね定数は, 押し込み側と引抜き側で同程度。

577 概要: 小口径の鋼管杭に対し, 静的載荷試験 (SLT) と急速載荷試験 (RLT) の両試験を実施。RLT については, 除荷点法解析による静的抵抗力の算出と, マッチング解析による周面摩擦力の算出。

結果: 1) SLT と RLT から求めた極限支持力は非常に近い結果。2) RLT の波形マッチング解析は, 先端抵抗力・各層毎の周面摩擦力ともに SLT の結果とよく一致。3) 第 2 限界抵抗力時の沈下剛性値が SLT と RLT で近い値。

578 概要: パイルド・ラフト基礎における杭のヤング係数・面積率が沈下低減効果に及ぼす影響を検討。粘土地盤において良質層に着底しない摩擦杭のヤング係数・面積率を変化させた模型を作製し, 遠心場において剛板を介して地盤と杭を単調載荷。

結果: 1) 杭が良質層に着底しない場合, 杭/地盤ヤング係数比が 2.4~30 の範囲では, 沈下低減効果は, 杭体のヤング係数による影響が小さく, 面積率に影響を受ける。2) 杭/地盤ヤング係数比が 2.4 では, 良質層への杭の着底の有無が沈下低減効果に及ぼす影響は小さく, 杭/地盤ヤング係数比が 30 では, 良質層への杭の着底による沈下低減効果が大きい。

579 概要: パイルド・ラフト (PR) 基礎のモーメント抵抗, 水平抵抗の発現メカニズムを明らかにすることを目的とし, 遠心加速装置を用い PR 基礎, 杭基礎, 直接基礎の水平載荷実験を実施。P4 本杭 PR の交番水平載荷試験結果を報告。

結果: 1) PR 基礎は杭基礎, 直接基礎よりも大きな水平抵抗を示す。2) 基礎の鉛直荷重が増加すると, PR 基礎

と直接基礎の水平抵抗は増加するが、杭基礎の水平抵抗は減少する。3) PR 基礎の自重による抵抗の違いは、主にラフトの水平抵抗の違いに起因する。

3. おわりに

本セッションの発表のすべてに関連するキーワードは、「載荷実験」といえよう。模型実験および現場実験に

おいて、単杭あるいは杭基礎の載荷実験を実施し、この結果に基づいて、各種の載荷を受ける杭あるいは杭基礎挙動のメカニズムを検討・考察している。実際の杭基礎構造物の載荷実験を実施することは、難しい場合が多い。しかし、現場における基礎要素（例えば、単杭）の載荷実験と適切な解析を組み合わせることで、杭基礎構造物の挙動予測精度の向上が期待される。

6. 地盤と構造物 杭基礎③

西岡 英俊

鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物 杭基礎③ のセッションについて総括する。対象は以下の8編である。

- 580: 成層地盤における水平荷重を受ける鉛直有限長杭のたわみ挙動の重複反射法による計算法
- 581: 水平荷重を受ける支柱-杭一体構造の重複反射法による弾性設計の試算
- 582: 側方流動を受ける多層地盤中の杭の弾塑性解析
- 583: 不整形な支持層に建つ杭基礎建物の基礎上で地震応答
- 584: 液状化地盤下での鋼管杭の動座屈発生メカニズムに及ぼす変動軸力の影響
- 585: 送電用鉄塔杭基礎の動態観測
- 586: 組合せ荷重を受ける上下部構造物の一体解析手法の検討
- 587: 軟弱粘性土地盤における杭の極限水平抵抗力の数値解析

これらを研究対象という観点で区分すると、主に杭の水平地盤抵抗に着目したものが4編(580, 581, 582, 587)、杭の鉛直抵抗に関するものが1編(584)、構造物全体系の応答の中での杭基礎の挙動に関するものが2編(583, 585)とであった。586は、組み合わせ荷重を受ける直接基礎の問題を取り扱っており、「杭基礎」というセッションには若干そぐわない内容となっていた。

一方、研究手法の観点で区分すると、理論的設計法・解法の提案・検証が3編(580, 581, 582)、実構造物での計測事例が2編(583, 585)、FEMや骨組み解析等の数値解析による検討が3編(584, 586, 587)であった。

2. 研究及び技術動向

583は、東北地方太平洋沖地震で被災した集合住宅に対する計測事例である。不整形な支持層の上で構造物の長手方向で両端が逆位相となって全体がねじれるような応答をしていることが示唆される結果となっており、杭長の違いによって3次元的に複雑な挙動となることを示す貴重な知見が得られている。限られた条件の中で工夫して計測を行った努力に敬意を表すとともに、今後の追加計測の報告を期待したい。

584は、液状化地盤で地盤の拘束を失った鋼管杭の座屈挙動について、遠心模型振動実験において静的な座屈荷重よりも小さい荷重で座屈を生じたという事象の発生メカニズムを検討したものである。機械分野で知られている「係数励振現象」という概念で、鋼管杭の動座屈挙動が生じることが説明されており、これまで十分に知られていない破壊メカニズムの存在を明らかにする重要な知見が報告された。ただし、この現状については実務上はかなり限定的な条件(死荷重レベルがかなり高い特殊な設計条件)で発生するものと想定されるので、検討条件が実務的にどのような条件に相当するのかをもう少し明確に示すことで、知見が有効活用されていくものと思われる。

587は、粘性土地盤中の杭の水平抵抗の極限支持力について、剛塑性有限要素法を用いて考察したものである。現状では、理想的な境界条件でBromsの提案と同等の評価となることが検証できている段階であるが、今後、杭表面の境界条件のモデル化を実際の挙動に近づけることで、実務上も有用な知見が得られることを期待したい。

3. まとめ

これまでの長年にわたる杭基礎の研究により、理想的な境界条件であればその挙動は概ね明らかとなっており、近年の杭基礎の実務上の課題は、施工の影響を考慮した特殊な境界条件や実地盤の詳細な材料条件を考慮することとなってきているといえる。こういった状況において、杭基礎に関する研究テーマを設定する際には、場合によっては、「重箱の隅を突く」ようなテーマになりかねないことに十分注意する必要がある。テーマ設定の背景について既往の研究や実務上の課題についてレビューを行うことが重要である。本セッションにおいては、既往研究のレビュー不足を指摘する意見や、「設計上の課題」としたものが単に「実務的な割り切り」であり本質的な技術課題ではないのではないかと指摘など、テーマ設定に関する本質的な議論がなされた。研究発表会がこういった議論が十分になされることにより、当該分野の研究レベルの維持・向上に寄与することを期待した。

6. 地盤と構造物 杭基礎④

永 井 宏
室蘭工業大学

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（杭基礎④）のセッションについて総括する。本セッションでは、杭の鉛直支持力に関する8編の論文発表が行われた。杭の先端部に羽根を有する回転貫入杭に関する論文が5編、ストレート鋼管杭や鋼管ソイルセメント杭の先端支持力に関する論文が3編であった。

2. 研究及び技術動向

杭基礎の設計においては、支持力と沈下量が検討対象となる。本セッションでは、特に各種杭の支持力に関して実験的に検討された論文が多かった。

[588]では原位置での回転貫入杭の載荷試験結果に基づいて、現行の杭基礎設計便覧で示されている引抜き支持力推定式（先端翼によるアンカー効果）の係数に関して検討されていた。現行の推定式では適用する係数が2度の推定プロセス（標準貫入試験のN値からせん断抵抗角 ϕ 、 ϕ から引抜き係数 β ）を経る。実務上、大深度の条件では小さめの ϕ で評価されることから、この問題点を改善するべく新たに1つの係数で表現することが提案されていた。しかし、提案された係数に関して、フローアから「係数 $F=3.0N/(L/Dp)$ の物理的意味は何か」、「 L/Dp とする実験的な裏付けはあるのか」など多くの質問・意見が寄せられた。推定式の精度が向上することは図示されていたが、どのような実現象を反映しているのか明確な根拠の提示が必要となろう。

また、回転貫入杭の引抜き支持力に関しては、模型実験による検討も行われていた。[590]では1方向載荷、[589]や[592]では交番載荷による検討であった。交番載荷試験による検討では、1方向載荷との結果比較が示された。交番載荷試験での支持力の低下、特に周面抵抗力が1方向載荷よりも大幅に低下する結果に対して、フローアからは「原位置での実杭の載荷試験と室内での模型杭の載荷実験では引抜き変位量に大きな差（模型実験では杭径程度の変位量）があり、交番載荷による引抜き抵抗力が大幅に低下しているのではないか」との指摘があった。また、「羽根上部の地盤が持ち上げられ、摩擦が小さくなる領域」に関して回転貫入杭の引抜き支持力機構の観点から重要となろう。

また、「杭の貫入率が支持力パラメータになるのか」、「施工時の押込み力と施工トルクの関係性」といった杭の施工の観点から支持力への展開に関する質問がなされた。実杭では杭の施工に伴って杭体には残留応力が生じる。設計上はこの影響も考慮しなくてはならず、模型試験においてもこれを再現・考慮する必要がある。

[594]では小口径鋼管杭と杭先端部の地盤改良（グラウト、改良土）を併用した工法に関する報告が行われた。人工地盤での載荷試験を実施して先端支持力の向上を確認すると共に、施工性に関する先端攪拌ビット形状や攪拌方法の実験的検討が行われていた。支持力の向上のためには、改良体の品質管理（圧縮強度や剛性のばらつき）が重要となるが、一軸圧縮強度を確認したコアサンプル数はまだ各1体であった。支持力が増大するメカニズムや実地盤での支持力の検証など今後のデータ蓄積が望まれる。

[595]では開端杭の閉塞現象や閉塞効果について、室内模型実験を実施して杭貫入量と杭内土の流入高さ、貫入抵抗を詳細に検討されていた。大口径の開端鋼管杭を対象とした先端支持力の推定を目的にしているが、杭の肉厚や寸法比などより現実的な関係での実験により、フローアからの質問にもあった「外径と肉厚との関係」が明確になり、定量的な評価に繋がることを期待したい。

3. まとめ

杭の支持力に関する研究では、支持力機構や支持性能の把握が重要となる。支持力の定量的な評価のためには、杭の寸法や形状、施工方法に伴う残留応力、荷重方向や履歴など対象とする杭の載荷試験データの蓄積が行われ、支持力算定式が構築されると共に、原位置載荷試験結果との比較から精度の検証が必要となる。

回転貫入杭は、羽根部のアンカー効果による引抜き支持力があり、地震などの建物の転倒モーメントによる押込みと引抜きの繰返し荷重の作用に対しても期待できよう。また、地盤改良との併用やソイルセメント複合杭、大口径杭など高支持力を得ようとする杭の開発が今後も行われるであろう。支持力算定式は、実務上は簡便な式であることが望ましいが、信頼できるサウンディング試験や土質試験データと共に、支持力メカニズムに基づいた精度の良い支持力算定式が構築されることが望まれる。

6. 地盤と構造物 杭基礎⑤

富澤 幸一

土木研究所 寒地土木研究所

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（杭基礎⑤）のセッションについて総括する。本セッションでは、主に杭に鉛直支持機構の実験及び解析に関する8編の報告があった。それは、概ね杭の押込みと引抜き抵抗力、杭鉛直支持力の有効応力解析、羽根付き回転杭の支持力特性に区分される。

2. 研究及び技術動向

杭基礎の力学挙動は、杭と周辺地盤の相対剛性により決定する。そのため、本セッションの報告においても、杭鉛直支持機構のメカニズムを地盤の相対密度や排水条件あるいは多層系別に整理し、詳細に検証されている。

本セッションでは、遠心力モデルによる単杭の押込み試験と底板付き杭の引抜き抵抗力の実験検証の発表があった。いずれも計測工や可視化により、杭抵抗特性を明らかにしている。

また、有効応力法非線形解析 FLIP を用いた杭の鉛直支持力シミュレーションの発表が3編あった。FLIPは液状化を含めた地震時応答解析に有用とされる確立された解析コードである。ただし同種の解析法はいくつかあるが、2次元および多層系での杭支持機構の同定においては、非線形ばね評価や杭～地盤接点モデル化に多少の工夫が必要のディスカッションがあった。

他に、複数羽根を有する回転杭の支持力特性に関する3編の発表があった。通常、回転杭は先端部のみに羽根を付ける手法が一般的であるが、本手法は杭の深さ方向

に複数の羽根を付けることで杭周面抵抗力の増加を図るもので、多数の実験結果よりそれを明らかにしている。さらに、試験成果から独自の杭支持力式やフレーム解析法を提案しており、ほぼ確立された工法と判断される。回転杭は施工精度などからこれまで採用が避けられてきた経緯があるが、現在は斜杭も含め多くの機関で活用されている。回転翼により擬似的に杭断面と剛性が大きくなることでの先端支持力・曲げ応力・杭頭結合への効果が今後の興味である。

今後の地盤工学において、新技術・新工法の活用が望まれるが、本セッションのいずれの報告もそれを示唆するものと判断される。

ただしこれらの杭基礎に関する技術は、現場条件及び地盤種別さらに基礎形式に応じた適用性・施工性・コストなどを明示することが望ましいと思われる。

3. まとめ

工学的研究は、実用化されて始めて研究成果に成るといえる。そのため一部の閉塞された議論で、新技術・新工法を暗に否定し地盤工学の発展を妨げることがあってはならない。ただし一方で、近年の大規模地震の経験からも、無秩序な技術乱用はあってならず、詳細な実験検証や解析に基づく工法の妥当性および倫理的な説明責任は必須と考える。

それらの地盤工学の観点からも、本セッションの杭基礎の鉛直支持機構に関する一連の報告は、非常に貴重かつ今後期待されるものである。

6. 地盤と構造物 杭基礎⑥

山本 春行

広島大学大学院 国際協力研究科・開発技術

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（杭基礎⑥）のセッションについて総括する。本セッションでは、杭の鉛直支持力に関する発表と議論がなされたが、その内容は打設施工法・周面摩擦抵抗・先端抵抗・地盤の粒子破碎ならびに模型杭の鉛直载荷中の Acoustic Emission 観測等、非常に多義に亘る内容であった。

2. 研究及び技術動向

杭の大径化に対応する施工法として、ウォータージェット併用バイブロハンマーで打設する先端根固め鋼管杭に関する一連の研究発表があり、施工時のウォータージェットの圧力系、根固め部のソイルセメントの均一性と強度ならびに実杭の载荷試験による先端抵抗に関する議論があった。特に大径化に対応させる為、杭外周のジェットノズルの斜め内向きの噴射方向と杭の開端に取り付けた噴射ノズル付き一文字プレートの工夫があり、これらは大径化に対応する技術として今後のさらなる進展が期待される。本発表に対して、施工中の水量の制御・先端根固め部の出来上り形状・杭周セメントミルクの充填状況・実杭の载荷試験における最終荷重時の変位の補正法等についての質疑と応答があった。

杭鋼材とモルタルの摩擦特性に与える垂直応力の影響に関する研究では、「付着力」のみの場合と「ずれ止め筋」を設置した場合でその特性を比較しており、付着力のみの場合には繰返し垂直応力が作用すると周面抵抗は低下するので、ずれ止め筋が必要となる。この結果は、杭周面へのセメントミルク注入工法において参考となろう。本発表に対して、せん断面とずれ止め筋との位置関係ならびに破壊モード・モルタルと地盤間の摩擦挙動との関係等についての質疑と応答があった。

節付き地中連続壁の節部摩擦特性に関する研究では、節突起部を取り出した模型摩擦実験結果によりその摩擦特性について議論された。実現象に対する実験での定体積条件の意味、ならびに地盤のせん断強度定数として粘

着力Cのみしか考慮されていない点等があり、条件設定をさらに明確にした検討が望まれる。本発表に対して、実施工における節施工の確実性と泥膜の影響・定体積条件・節部摩擦という用語と現象の不整合の指摘・盤ぶくれ現象への適用性等についての質疑と応答があった。

拡底杭等における先端形状が先端鉛直支持力に及ぼす影響についての解析的研究(英文発表)では、地盤の粒子破碎モデルと大変形問題との複合非線形解析を行っており、模型実験結果との整合性が良いことが示され、杭先端近傍地盤の変形や応力状態、破碎指数の詳細な検討がなされている。ただし、このような精緻な解析方法とその結果を実地盤での実杭の鉛直支持挙動にどのように関連させていくのかという点も重要な検討課題である。本発表に対して、破碎指数～塑性仕事関係の計算における解析結果からの塑性仕事の算出法についての質疑と応答があった。

砂地盤中の杭の鉛直载荷中に発生する放出音(Acoustic Emission)を計測することにより、その支持力特性を捕らえようとする研究(英文発表)では、荷重～沈下曲線と放出音の発生頻度には明確な関係があること、ならびに粒子が圧縮破碎する場合とせん断破碎する場合には、放出音の周波数特性に非常に明確な差があること等の報告があった。このような測定方法を実杭の鉛直载荷にどのようにして適用していくかについての検討がさらに必要であろう。本発表に対して、粒子の圧縮破碎(Sand crushing)ならびにせん断破碎実験(Sand slide)についての質疑と応答があった。

3. まとめ

本セッションは杭の鉛直支持力に関する研究で構成されていたが、前述のようにその内容は非常に多義に亘っており、論点が不明確となった点、ならびに最終日の最後のセッションであった為、参加者が非常に少なくなり発表者のモチベーションの低下が懸念されたことを記し、まとめとする。

6. 地盤と構造物 抗土圧構造物（擁壁）

近藤 政弘

西日本旅客鉄道株式会社 構造技術室

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（抗土圧構造物、擁壁）のセッションについて総括する。本セッションでは、7編の報告がなされ、擁壁の耐震補強、維持管理に関する発表の他、新工法の擁壁施工に関する発表等が行われた。

2. 研究及び技術動向

既設擁壁の耐震補強法について、石積み壁とL型擁壁を対象とした報告があった。石積み壁は古い年代に施工された擁壁の代表的なものであるが、壁面に一体性が無く、地震時には脆性的に崩壊する可能性がある。この耐震補強について、崩壊防止ネットと地山補強材を組合せた工法の提案がなされた。縮小模型による傾斜・振動台実験を行い、補強効果や補強メカニズムを把握し、耐震補強設計法が提示されている。また、L型擁壁の耐震補強法としては、擁壁背面を地盤改良する工法に着目、傾斜実験を行って地盤改良後の土圧低減効果を把握し、合理的な地盤改良範囲についての提案がなされた。

擁壁の維持管理については、振動試験による健全度判

定手法の報告があった。橋脚基礎に対しては、計測される固有振動数をもとに健全性を評価する手法が確立されているものの、擁壁は土圧を受けているため振動モードの特定が困難であり、本手法の適用はされていなかった。この課題を改善するため、加振試験による評価手法が提案された。これは加振した振動数ごとの擁壁の応答性状により評価を行うものである。

新しい施工法の提案としては、プレキャストRC土留め壁を仮設土留めとして用い、そのまま本設の躯体側壁として活用する工法の報告があった。本構造の施工過程における土圧計測が実施され、設計値よりも全体的に小さい結果が報告された。

3. まとめ

土木構造物の耐震性向上に向け、擁壁も対象として検討され始めた。既設擁壁の耐震補強をいかに合理的に行うか、今回の補強法をはじめとして、各種工法の検討が活発に行われることが期待される。また、長く供用された擁壁は多く、今後の維持管理のため、精度が高い健全度評価法や合理的な補修・補強工法が望まれる。

6. 地盤と構造物 抗土圧構造物（土留め）

渡 辺 健 治
(公財) 鉄道総合技術研究所

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（抗土圧構造物，土留め）のセッションについて総括する。本セッションでは、8編の発表があり、掘削施工時の仮土留めとして用いる鋼矢板土留めに関する実験的研究や数値解析的研究の他に、掘削施工の合理化を目指した研究に関する発表があった。

2. 研究及び技術動向

抗土圧構造物のうち擁壁や橋台の場合、背面には盛土が施工されるが、掘削土留め工は背面および前面（掘削底面）に元々存在していた現地盤と接する。一般に地盤は、人工的に施工された盛土と比較して材料特性の評価が難しいため、矢板への作用土圧や前面抵抗の評価が課題となる場合が多い。本セッションの発表においては、数値解析による研究事例として、周辺地盤の変状評価事例、情報化施工事例、浅層改良を併用する効果についての検討事例が報告された。これらの発表では、数値解析に用いる材料パラメータの設定や、施工時において当初予想よりも鋼矢板の変形が大きく発生することなどが技術的な課題として報告される事例があった。

上記以外に掘削施工の合理化の目的とした斜め土留め開発、摩擦低減剤の開発、ソイルセメント壁の流動化、鋼矢板の貫入プロセスの評価の報告がなされた。

発表後にはフロアから非常に活発な質疑応答がなされた。数値解析事例に対しては、解析に用いた剛性に関するパラメータや境界条件の妥当性、地盤の3次元的な変形の影響に関する質疑、セメント改良体を連続体として取り扱う場合のセメント改良率の考え方の質疑がなされた。また、情報化施工事例に対しては、現場での管理基準値の考え方に関する意見交換がなされた。

一方、新しい技術開発事例として報告された斜め土留めについては、新たなリスクとしてボイリングやヒーピングが生じる可能性について指摘があり、高分子摩擦低減材については従来材料との違いについて質問があった。

3. まとめ

掘削仮土留め工に関する技術開発は、現場での施工管理値・実測値、施工前や施工中に行う数値解析結果、各種材料試験とのリンクが非常に重要となる。そのため、現場での施工条件や、対象とする地盤材料の力学的な特性を十分に勘案した新しい工法および情報化施工法の開発が重要となる。また、言うまでもなく、数値解析により施工事例を逆解析する場合には、現場の状況を十分に考慮した境界条件の設定や各種数値パラメータの設定が重要となる。今後、さらに技術開発がなされ、仮土留め工の合理的な設計・施工法につながることに期待したい。

6. 地盤と構造物 抗土圧構造物（岸壁・護岸）

高橋英紀

港湾空港技術研究所 地盤研究領域

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（抗土圧構造物、岸壁・護岸）のセッションについて報告する。本セッションでは、岸壁や護岸を対象とした研究について発表が行われた。時代を反映して、発表内容は地震動による液状化や、既存施設の改良・補強、維持管理に関するものが中心であった。研究の手法としては、遠心模型実験や数値解析などが多く利用されていた。最終日の午後のセッションということもあり、参加者は30～40名程度と幾分少ない人数ではあったが、各発表に対して広く質疑が行われた。次節では、質疑内容を中心に研究及び技術動向について述べる。

2. 研究及び技術動向

地震国である我が国では、地震力のみならず、地震動によって液状化した地盤が構造物に与える影響を適切に評価することは重要である。この背景の下、本セッションで最も発表と質疑が多かった研究は、地盤が液状化して側方に流動する現象を取り扱ったものであった。セッションで発表された3編は、液状化地盤内に地盤改良杭あるいは鋼管杭を打設することによって側方流動量を減少させようという試みであった。その中の2編は、杭の打設配置を工夫することによって、より側方流動量を減らそうというものであり、もう1編は、側方流動量だけでなく、抗土圧構造物である矢板の変形量も低減しようというものであった。杭によって側方流動量を低減する方法は、側方流動対策に要するコストを低減できるだけではなく、対策を施しても地下水の流れを阻害しないなどのメリットもある。一方で、液状化を許容しつつ、構造物の性能を満足させる必要があり、側方流動によって発生する変形量を十分に予測・把握することが重要である。セッションでもその点の重要性が議論され、再確認された。

その他の興味深い質疑としては、流動した土が杭間をすり抜ける問題についてのものである。遠心模型実験に対しては、すり抜けがモデル化できているかという観点

で、杭径や土などの模型実験条件をどのように決定したか質問があった。また、3次元の数値解析に対しては、杭と地盤の摩擦抵抗も含めて、すり抜けが適切に評価できているかということが議論となった。今後、本問題へより適切に対応できるように、遠心模型実験や数値解析の技術が発展することが望まれる。

液状化以外の地震時の課題としては、背後を岩ずり（岩層）で埋め立てた岸壁の地震時挙動についての研究があった。これは、重力場での水中模型振動実験を動的数値解析で再現する試みであった。ダイレイタンシー特性をモデル化するパラメータをフィッティングさせることで、実験での沈下特性を再現できることが示された。

一方、既存施設の改良・補強、維持管理に関する研究としては、既設の岸壁ケーソン下のマウンドを固化し、それを一部掘削することで岸壁の増深を図るといったものがあった。実験室レベルでは固化の施工技術は確立されており、現場への適用を図っている段階にあることが質疑の時間に紹介された。今後、現場への適用性の検討が期待される。また、護岸の耐津波性能を向上するため、護岸側面に矢板を打設して、地盤内の動水勾配を低減する方法の提案があった。遠心模型実験によってその有用性が示され、この方法についても、今後の発展が期待される場所である。最後に、維持管理を念頭において、現場の護岸の健全度を衝撃振動実験と起振器試験による護岸の振動特性から推定する方法について発表された。観測されたスペクトルから護岸の健全度を推定する手法について、スペクトルのどの値を指標にするかで議論が行われた。このような非破壊検査による健全度評価手法は、多くの構造物が維持管理段階に入った我が国では、必要不可欠な技術となることが再確認できた。

3. まとめ

岸壁・護岸に関する研究では、地震時の検討が欠かせない。また昨今では、既存施設の改良・補強、維持管理に関する技術開発も重要である。本セッションはこれらの内容がバランスよく発表された。今後も、これらの分野の研究発展が望まれる。

6. 地盤と構造物 地中構造物（トンネル・シールド）

岩 波 基

長岡工業高等専門学校 環境都市工学科

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物 地下構造物（トンネル・シールド）のセッションについて総括する。本セッションでは、シールドトンネルに関する4編、増設された開削トンネルの2編、防水型トンネルについて1編が報告された。近年、地盤工学研究発表会においてシールドトンネルの報告が少なくなっており、前回は9編、前々回も9編と少ないが、今回はさらに少ない4編となっている。この傾向は、土木学会年次学術講演会でも同様であり、昨年の地盤工学の3部門では9編、一昨年は7編と投稿数が少ない。しかし、シールドトンネルに関する研究課題は多くあり、土木学会年次学術講演会の6部門では、昨年は31編、一昨年は40編が投稿されている。このようにシールドトンネルの研究の投稿数は未だ多くあるにもかかわらず、地盤工学の分野への投稿が少ないのは、シールドトンネルで切り上げ工事や超近接施工などの複雑で高度な施工事例が多く、研究課題は多いが、トンネル構造の挙動報告に留まり、地盤の挙動まで分析するところまで、研究が深まっていないためではないかと考える。また、同じ施工方法が何度も採用されず、施工技術のみを改良するだけで学術的に挙動を解明することが求められないことも要因になっていることが考えられる。

2. 研究及び技術動向

本セッションでは、前述の通りシールドトンネルだけでなく開削トンネル等についても報告があった。研究の対象構造物の内容の概要を表1にまとめる。

シールドトンネルについては、東日本大震災以後、東

表1 研究概要表

講演番号	対象構造物	内 容
640	増設された開削トンネル	地盤反力係数の推定用載荷幅の検討
641		地震時の挙動検討
642	防水型トンネル	排水・非排水境界における湧水の注意喚起
643	シールドトンネル	地盤隆起中のシールドトンネル挙動の再現
644		双設トンネルの地震時作用土圧
645		
646		

南海地震や東京直下地震に対する対応が求められることから、シールドトンネルへの地震時における地盤の作用についての研究が報告された。今年報告されたものは鉄道や道路で多く採用されている双設トンネルの施工順序を考慮した場合の実験と解析を比較した結果である。これによると、先行掘削されたトンネルでは後行掘削の影響で地震時土圧が大きくなる興味深い結果であった。

また、ここ3年にわたって報告されている東京東部に生じた地下水位回復に伴う地盤隆起が粘性土中のシールドトンネルに与える影響について、今年も遠心載荷装置を用いた実験結果の報告と解析によって水圧を考慮した報告の2編が投稿されていた。実験結果は、実際の計測結果と異なるものであったというものであったが、その原因として聴衆から圧密現象では遠心載荷下の状況と実際の状況では違いがあるのではないかという指摘があった。また、水圧を考慮した解析については3次元解析の必要性に関するコメントがあった。

シールドトンネル以外では、最近工事が増えており、課題が多い開削トンネルの改良工事に関する報告が2編あった。1編は増設した開削トンネルを設計する上での地盤反力係数を算定する載荷幅の設定方法についてであり、もう1編は同様な増設トンネルの地震時挙動に関するものであった。

3. まとめ

シールドトンネルに関する研究課題として重要なものは、今年も報告があった地震時挙動と供用中に作用する地盤変動に対する維持管理である。この両テーマについて実構造物での計測結果を分析し、それを実験で再現して対策を確立することが必要である。しかし、多くの計測データを収集して十分に分析が終わった状況には至っていないのが現状である。そのことから、新しい工法の開発に関する研究だけでなく、既存トンネルにおいても長期にわたって計測を継続し、そのデータを分析することがシールドトンネル分野には必要であると考えられる。

開削トンネルの改良工事では、今回報告があった完成後の課題もあるが、周辺構造物への影響の評価方法の精度向上や既設トンネルを供用しながら工事を行う場合の安全性確保の方法など多くの課題がある。

6. 地盤と構造物 地中構造物（立坑・山岳トンネル）

蔣 宇 静
長崎大学 工学研究科

1. はじめに

本報告では、地中構造物（立坑・山岳トンネル）のセッションについて総括する。本セッションでは、6編の報告がなされ、主に大深度立坑の構造設計とその合理化、山岳トンネルの施工中の計測管理と供用中の維持管理に関する報告が行われた。質疑・討議されたのは、解析モデルの適用条件や境界条件の設定、検討手法、今後の適用性などであった。

2. 研究及び技術動向

大都市圏ではシールドトンネルには掘削深度 50m を超える円形の立坑を使用する可能性が増えている。現行の設計基準では、円形立坑に作用する設計荷重については学術的な根拠に基づく裏付けがほとんどないまま設定が行われており、浅い円形立坑の土留め壁における設計荷重がそのまま準用されていることになっている。

本セッションの発表では、大深度立坑の土留め壁の設計用に提案した荷重と3次元効果を考慮した2リングばねモデルを用いた場合の試算が行われた。特に、側圧について、土圧係数の算定では、粘性土層における土水分離を採用したために、連壁の壁厚を薄くする可能性を示した。なお、側壁を薄くするために、具体的な考え方として、側壁を土留め壁の存在を考慮した荷重による設計と、浮力に対して土留め壁の重量も抵抗するものとして設計する考えがあるが、壁厚を通常の設計方法の半分以下にする可能性も確かめられた。

山岳トンネルに関連した発表は、施工中の計測管理と供用中の維持管理に分けられる。

山岳トンネルの施工において合理的な施工方法による建設コストの縮減や工期短縮が求められている。その取り組みの一つである一掘進長延伸は、支保規模の削減や施工の効率化につながる可能性があり、注目されている。しかしながら、一掘進長延伸をすることで、素掘面の面積が大きくなることによる岩塊の抜け落ちなどの施工安全性の低下や支保に発生する応力の増加による中長期的な支保の不安定化などの可能性があるため、適用するにあたっては効果が見込める地山条件を明らかにした上で、施工時の安全性や中長期的な支保の安定性などの検証が必要であると考えられる。試験施工が2例で少なかったが、一掘進長を延伸しても変位や支保工応力は増加しない傾向にあることを確認できた。ただし、現状の切羽評価や計測では判断が難しい部分があるようであるので、

切羽面・素掘り面に着目した評価手法や一掘進長延伸を判断する地山・施工条件、それに工期短縮とコスト縮減に関する検討が今後必要と思われる。

供用中トンネルの維持管理を施すにあたり、トンネルの使用性と安全性の確保から、変状形態と発生原因の究明が重要であり、それに対応した補修・補強を選定することにより、より合理的な維持管理が実現できる。発表された二つの事例は、路面隆起による変状と覆工コンクリートの背面空洞の対策提案であるが、その取組みは今後類似な現場での対応の参考になろう。

路面隆起が徐々に進行する供用中の高速道路トンネルの地山特性について、建設時の切羽等の岩判定により堅硬な岩盤と判定され、インバートがない支保パターンで施工されたが、供用開始2年後には路面に隆起などの変状の発生が認められ、現在も継続している。適切な対策検討のために実施されたボーリング調査や地中変位観測は、膨張性を示す地質が路面下に局所的に存在することと、変状が継続するメカニズムの解明に繋がった。

一方、山岳トンネルにおける覆工背面に空洞が存在する場合（在来工法ではよく存在するが）、空洞の両側に応力集中が生じるので、覆工コンクリートが変状しやすくなることが知られている。対策として裏込め注入がよく用いられているが、注入材の強度などの物性をどう定めるかは解明されたわけではない。トンネルの耐荷力に直結すると考えられる覆工の応力状態と裏込め注入材の剛性の関係について検討した事例として、得られた次の知見は興味深い。つまり、軟質な地山において外力が作用する場合は、十分な剛性を有する裏込め注入材を用いる必要があるとともに、極端に剛性の大きな注入材を用いても大幅な応力低減を見込めない。地山が硬質な場合は、地山よりも大幅に剛性の小さい裏込め注入材を用いても、覆工における引張縁応力の発生を解消できる場合があるが、覆工に発生する応力は比較的小さく、亀裂による岩塊の崩落等を防止することを目的とした裏込め注入材を選定することが必要となる場合が多いと考えられる。

3. まとめ

大深度立坑の土留め壁の設計では、土圧係数の算定によって壁厚が大きく変わるので、実験的検証と試設計を重ねた検討は今後期待される。一方、トンネルの維持管理では、アセットマネジメントが主な流れとなっているため、変状メカニズムの解明は勿論なこと、劣化予測と優先順位を含めた維持管理計画の策定がより重要になる。

6. 地盤と構造物 埋設管

山本健太郎

鹿児島大学 工学部

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（埋設管）のセッションについて総括する。本セッションでは、埋設管に関する研究、主として実験的研究が紹介された。また、老朽化した管路の損傷が起因する地盤陥没や老朽既設管の更新工法などについても発表され、活発な議論が行われた。

2. 研究及び技術動向

全7編の発表のうち、実験的研究や現地計測が6編、数値解析が1編であった。近年は、埋設管の多くが老朽化し、耐用年数を迎えようとしている。また、老朽化した埋設管の損傷により、管内への土砂流出や管外への管内内容物の漏出により、埋設管周辺の地盤中に空洞や水みちが発生し、それらの進展に伴い、道路陥没事故が増加してきている。本セッションにおいても3編がそのメカニズムを実験や数値解析（個別要素法）により解明しようとするものであり、興味を引いた。

また、老朽既設管の更新工法である管路更生工法の採用において、老朽既設管が更生管に与える影響を遠心模

型実験により検討しようとした研究なども、今後、老朽既設管の更新が増加してくるので、重要になってくるものと考えられる。さらに、北見市での埋設管の改良・更新やコストを考慮し、埋設深さを浅くし、その現場計測とモニタリングを実施した研究なども発表され、埋設管の凍結リスクを考える上では、今後、貴重なデータと考えられる。

3. まとめ

最初は、本セッションの参加者は少し少なめかと思っただが、途中から参加者も増加し、予想よりも活発な議論が行われた。埋設管に関する研究は、実現象の挙動が完全には把握しにくいいため、実験的にも再現するのは難しく、現時点ではあまりポピュラーな研究とは言えないと考えている。しかしながら、我が国では高度経済成長期に水道管や下水道管などの埋設管が集中的に整備されてきた。そして、その多くが今、老朽化し、更新が急務となってきている。また、老朽化した埋設管の損傷により、道路陥没事故が増加傾向にある。当然ではあるが、埋設管に関する研究がより活発になり、道路陥没事故の防止策やより合理的な管路更生工法の開発などが期待される。

6. 地盤と構造物 複合構造物（盛土の補強）

宮 田 喜 壽

防衛大学校 建設環境工学科

本報告では、複合構造物（盛土の補強）のセッションについて総括する。本セッションでは、ジオシンセティックスを用いた耐津波性能向上技術：2件、地山補強土技術による耐震性能向上技術：2件、チェーンを用いた補強土技術、杭と大型蛇籠（ふとん籠）の併用技術、ジオグリッドの長期耐久性、ジオシンセティックスを用いた盛土天端補強による液状化対策に関する発表がなされた。以下、個々の発表の内容と質疑応答のポイントを紹介し、最後に筆者の感じたことを述べたい。

耐津波性能に関する研究では、水路模型実験の結果が発表された。模型実験で使用した供試土の選定方法、津波作用の時間ステップの与え方、各実験結果を比較する際の考え方について議論がなされた。地山補強土技術による耐震性能向上に関する研究では、模型実験結果、地震時安定解析や動的すべり解析に基づく耐震効果の試算結果が発表された。実験条件や計測方法、提示された設計ノモグラムの活用について議論がなされた。チェーン補強土技術では、引抜き試験の結果とその結果に基づく盛土材料の選定基準について発表がなされた。長期耐久性や引抜き抵抗モデルの考え方について議論がなされた。杭と蛇籠の併用に関する研究では、極限つり合い解析

による併用効果の検討結果が発表された。施工方法や杭の設置位置について議論がなされた。ジオグリッドの耐久性に関する研究では、20年間屋外暴露および土中埋設された9種類のジオグリッドの強度および伸び率の試験結果が発表された。試験条件の詳細と結果の解釈について議論がなされた。盛土天端補強に関する研究では、数値解析による補強効果の検討結果が発表された。側方変形抑制と沈下抑制効果の違いなどについて議論がなされた。

盛土の補強に関する研究には、旧来から追及されてきた常時・地震時安定性性能に関するものと、近年のイベントを経てその重要性が認識されるに至った長寿命化や耐津波性能に関するものがある。性能設計の導入によって、新しい技術が実際のプロジェクトで採用されるチャンスが大きくなる機運がある。今後も、実験と解析による技術進展が期待される分野である。現場で新技術が容易に採用されるような仕組みを早くつくる必要がある。安価に試験施工をできるヤードを確保し、第3者機関がその性能を検証するようなくみを作れないかと、今回のセッションを運営し改めて思った。

6. 地盤と構造物 複合構造物（補強土）

平川 大貴
防衛大学校 建設環境工学科

1. はじめに

本報告の対象は「地盤と構造物—複合構造物（補強土）」のセッションである。本セッションでは、盛土補強工法として擁壁構造（一体橋梁形式を含む）に関するものが6編、支圧板付きロックボルトによる切土斜面の補強が1編、舗装構造物において路盤への地盤補強技術の適用を検討した2編、の計9編の発表が行われた。

2. 研究及び技術動向

上述の様に、本セッションで発表された論文の対象は盛土、切土、舗装と多岐にわたる。土構造物あるいは自然斜面への地盤補強技術に関する様々な検討は、土だけでは要求された性能を満たすことができなくなりつつある状況を示している。この傾向は我が国に限らず世界的にも共通しており、新たな適用先や作用力について様々な検討がなされ、より効果的な地盤補強技術の確立に向けての検討が継続的になされている。

盛土補強土工法ではジオグリッド等の高分子材料や金属ストリップ等が補強材として用いられ、地山補強土工法では主としてアンカーといった金属材料が用いられる。我が国では高分子工学分野の活動が盛んであることから様々な材質・形状を有する高分子補強材の開発が進んでおり、これに対応して土構造物/地盤への適用に関する検討が行われてきた。本セッションにおいても新たに製造された高分子材料の帯状補強材を用いた補強土擁壁の一連の実大実験が3編報告されている。実大実験では実施可能な載荷試験は限定されるが、壁面に作用する土圧値や補強材張力の把握ができるだけでなく、施工性や施工の留意点等についても検討できるという利点がある。また、本実大実験においては使用した高分子補強材の長期クリープ特性について促進試験による検討結果が示された。補強土擁壁においては補強材の健全性が全体系の安定に直結するため、補強材の長期安定性についてのより詳細な評価は構造物の信頼度につながる。したがって、施工性や長期性能まで含めた構造物の全体的な特性を把握することは、補強土構造物には必要なことと思われる。

一方、現在ではICT技術の普及が著しく、供用中における社会基盤構造物の挙動の測定が簡便に行えるようになってきた。補強土構造物は過去の巨大地震での事例から高い耐震性能を有することが知られているものの、耐震メカニズムについては不明なところがある。本セッ

ションでは構築された実大補強土擁壁の長期観測中に得られた地震時での補強材力等の計測結果が示された。この補強土壁擁壁は金属製補強材（タイロッド）が用いられており、端部には支圧プレート、タイロッド中間部には摩擦プレートが設置されている。この形式の補強土擁壁では有効拘束圧が小さい領域では支圧プレートの効果が大きくなることが示され、現在の耐震設計の妥当性についての質疑がなされた。実用化されている様々な形式の補強土構造物においてこのような実測結果が蓄積されれば、被災する構造物と被災しない構造物の違いや要因なども把握できることになる。より安定的な土構造物の構築に向けて、実構造物の実測が進んで知見が蓄積されることが望まれる。

また、本セッションにおいては地盤補強技術の舗装への適用事例が2編発表された。これらは作用力の違いはあるものの、ともに構造物近傍で生じる舗装の段差抑制に関するものであった。諸外国では舗装へのジオグリッド補強の適用はかなり進んでいる一方で、我が国では基礎的な知見でさえ極めて限定的である。本セッションで発表された2編においても、未固化の路盤材を3次元のハニカム構造を有するジオセルで補強するものと、セメント固化した路盤の上下を面状のジオグリッドで補強するという異なった補強方法が検討されており、段差抑制を実現する方法論について模索されている様子が伺えた。両者ともに段差抑制効果が確認されているが、補強効果の定量評価、補強材の選定方法や長期耐久性等についての基礎的な知見の蓄積が望まれる。さらに、諸外国での地盤補強技術の舗装への適用の目的は、主に交通載荷による舗装の変状を抑制することにある。本セッションで示された舗装に関する2編の検討内容は、交通載荷に対する舗装の長寿命化にもつながるものと考えられる。盛土や地山だけに限らず、舗装への地盤補強技術の適用性に関する多様な研究が活発に行われることを期待したい。

3. まとめ

地盤補強技術は様々な土構造物/地盤に適用でき、対象とする土構造物/地盤の安定性を効果的に向上できる一方で、内部境界場が複雑となるために詳細な補強メカニズムが把握しにくくなるという一面がある。本セッションでの発表と質疑を通じて、土構造物/地盤の安定性を向上させるための技術革新には基礎研究の蓄積が必要であることが改めて認識された。

6. 地盤と構造物 動的問題（土構造物）①

小林 義和
日本大学 理工学部

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物—動的問題（土構造物）①について総括する。本セッションでは8編の講演があったが、その中の4編が高速道路盛土を対象とした空気注入不飽和化工法に関する連番の講演であった。また、2編は格子状補強シートによる液状化地盤上の盛土の沈下抑制に関する連番の講演であり、1編は液状化地盤上の盛土に対し、液状化地盤の地盤改良領域の幾何形状が盛土の沈下量に与える影響を数値解析的に検討したもの、1編が鋼管杭による斜面の耐震補強効果に与える影響を実験的に検討したものであった。本セッションでは、空気注入不飽和化工法に関する連番の講演が、実験サイトにおける不飽和化工法を前提とした調査、施工計画の作成、及び実際の施工とその施工結果に関する知見が現地観測と数値解析による検討を併せて報告されており、今後同様な工法を採用する際に考慮すべき点が示唆されていた。また、格子状補強シートによる盛土の沈下抑制に関する講演についても、実験的及び解析的な検討を実施していたことから、本報告では、これらの講演について報告することとする。

2. 研究及び技術動向

空気注入不飽和化工法に関する一連の講演では、高速道路盛土への適用性検討として、実地盤を対象とした検討及び実施結果が報告されている。実地盤における空気注入工法では、対象領域に確実に気泡を注入する必要があるが、これを実現するために、一連の発表によれば、現地の事前調査を経た上で予備注入実験を実施し、シーム層の空気侵入への影響評価と注入深さの検討を実施している。さらに、気液二相流解析によって空気の注入状態を解析的に明らかにすることを試み、それによって注入孔の間隔及び注入時間に関する検討を実施している。本注入では、この検討結果に基づいて注入孔間隔を決定し、空気の注入を実施しているが、その結果について、数値解析による想定と実際の注入状況については詳細な比較が無く、若干の差異があるような印象であり、この原因の究明及び予測精度の向上について検討が進むことが期待される。しかし、この一連の計画の検討過程と、その計画に基づいて施工をした結果が明らかにされたことは、今後の研究方向に影響を与えるものであると考え

られ、より定量的な注入孔の間隔及び注入時間の決定方法が確立されることによって、本工法の有用性がより向上されることが期待される。なお、これらの報告では、施工直後までの空気の注入状況等について報告されており、長期的なモニタリングについては、今後の検討課題とされているが、長期的な品質管理の観点から、実用的なモニタリング手法に関する検討及び品質管理手法の開発が期待される。

格子状補強シートによる液状化地盤の不同沈下対策に関する一連の講演においては、模型実験を対象として、無補強、格子状補強シートを盛土底部に設置した場合及び盛土直下の地盤を改良した事例について遠心実験を行い、格子状補強シートの不同沈下対策への有用性を示していた。一方、解析的な検討についても、遠心実験で対象とされた無補強、格子状補強シートを盛土底部に設置した場合及び盛土直下の地盤を改良した事例を想定して解析を実施し、その有用性を確認している。しかし、実験的な検討においてはジャケットの曲げ剛性の役割が重視されているような論文記述及び発表がなされていたものの、解析的な検討においては、解析条件に関する質問に対して、インターフェース要素などが設置されていないことから、ジャケットが盛土及び地盤と節点を共有しており、これによってジャケットの引張剛性が盛土の側方への変形を拘束することにより、沈下量が低減されているという回答があり、実際の沈下抑制メカニズムと解析条件の関係が不明確な点もあった。このため、数値解析による沈下量の推定精度を向上させるためには、沈下量の抑制メカニズムを明らかにし、解析条件に対して、より詳細な検討をする必要があるように思われる。

3. まとめ

本セッションにおいては、土構造物の動的問題を主なテーマとするセッションであったが、講演の半数が空気注入不飽和化工法に関するものであった。しかし、その講演内容は、計画、施工、品質管理の観点から貴重な情報を提供するものであり、今後の発展が期待されるものであった。また、講演においては、実験的及び数値解析的な検討を実施していたケースが多かったが、その数値解析的な検討については、実用化に向けた研究の進捗は感じられるものの、未だ多くの課題が残されているように思われ、今後の研究の発展が望まれるものであった。

6. 地盤と構造物 動的問題（土構造物）②

高橋章浩

東京工業大学 大学院理工学研究科

1. はじめに

本報告の対象は、セッション「地盤と構造物 動的問題（土構造物）②」で発表された8編の研究報告である。発表内容は、盛土の振動特性に関する模型実験、液状化模型実験に関する相似則や装置の開発から、数値解析手法の開発、盛土の被災事例の再現解析など、多岐にわたっていた。ここでは、これらの発表の中から、特徴的なものや今後の更なる研究が期待されるものについて、簡単に紹介する。

2. 研究及び技術動向

遠心模型実験は、実務に近い研究においても多用されるようになってきているが、装置の大きさによる制約から、対象としたい構造物を直接模擬できないことが多い。本セッションでは、重力場における地盤構造物の模型振動実験を対象として構築された相似則と、遠心模型実験の相似則を組み合わせ、縮尺率を小さく（想定構造物寸法を大きく）する拡張相似則の、液状化による側方流動問題への適用性を確認した実験結果についての発表があった。元々、ひずみのレベルがあまり大きくない地盤の振動問題への適用を考えて構築された拡張相似則であるが、変形が一方向に累積するような比較的大きな変形を伴う問題に対しても適用可能であることが示されていた。ただし、なぜ想定していない状況に対しても相似則

が適用可能であったのかについては特に説明がなかったので、今後の研究に期待したい。

水の影響を受ける盛土の地震時安定問題は、関心の高いテーマであり、本セッションにおいても、着眼点は異なるが、3件の発表があった。地震に対する盛土の変形解析をする上で、地震前の盛土内水位の推定は、結果を大きく左右することから、不飽和状態での浸透流解析や地震前の状態を推定する解析が重要となってくる。不飽和盛土を扱った2件の発表では、特にこれに関する議論はなかったが、地震前の状態の差異が、盛土の応答（変形）に与える影響については示されていた。もう1件の発表では、泥岩質盛土材のスレーキングによる強度低下が盛土の地震時変形に与える影響について検討しており、スレーキングを構造の低位化という形で表現したところ、盛土材のスレーキングによって、永久変形量が格段に大きくなるという結果を示していた。地盤構造物の長寿命化や効率的な維持管理のためには、土の物性の変化や浸透流による内部浸食の進展など、地盤構造物の経時劣化を予測する技術が不可欠であるため、今後の研究に期待したい。

3. まとめ

土構造物の耐災性評価や耐災性向上のためには、予測技術等の高度化等、更なる研究開発が必要であることを再認識させられるセッションであった。

6. 地盤と構造物 動的問題（土構造物）③

李 圭 太
(株) 建設技術研究所

1. はじめに

本報告では、地盤と構造物（動的問題（土構造物）③）のセッションについて総括する。本セッションでは、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火山灰土の凍結融解による液状化抵抗を評価した、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大規模な被害が生じた粘性土地盤上の河川堤防の地震時の挙動を遠心模型実験により変形のメカニズムを考察しており、堤体盛土による圧密時の2次元的な変形による密度低下が堤防変状に極めて大きな影響を及ぼす可能性を示唆している。また、堤体の初期密度の違いに着目し、最大乾燥密度の90%とした実験では粘土地盤の圧密沈下に伴う堤体底部の密度低下領域では液状化が生じるものの、その周辺の初期密度が保持された領域がせん断抵抗を發揮し、堤体の変形は大幅に抑制される成果を得ている。解析的研究として、河川堤防の築堤から地震中・地震後までを「空気～水～土骨格連成静的／動的有限変形解析コード」を用いてシミュレーションを行っており、閉封飽和域の形成過程を示し、地震中における盛土下部の閉封飽和域では平均有効応力が著しく低下し、過剰感水圧と感水空気圧が高くなり、地震後は盛土表面からの排気が盛土内の空気圧のみならず水圧も減少させ平均有効応力を回復させるというメカニズムを示した。特に、地震後90日経過時に盛土内の飽和土・水位が上昇した結果を示し、この現象を粘土地盤の塑性圧縮による水圧の上昇と地震後10時間経過時に生じた排気に伴う盛土内の水圧の低下により、地盤と盛土の間に生じた高い動水勾配によるものと考察し

ている点は被害調査結果における河川水位、地下水位より堤内水位が高い箇所に見られていたことを説明するものとも考えられる。

室内繰返し三軸試験による動的強度特性に関する研究では、凍結融解履歴が火山灰質土の水分保持特性に影響を与えることと液状化抵抗はせん断時の飽和土に強く依存されることが発表された。締固め度が非排水せん断強度及ぼす研究として締固め度が高いと非排水せん断強度が増加するだけでは無く、非排水繰返し载荷に伴う強度低下率が小さくなり、強度低下速度が緩慢になることを示した。

ため池堤体における地震時変形解析に関する研究では、非排水繰返し载荷による強度低下を考慮したため池堤体の地震時残留変形解析手法として、Newmark-D法の開発成果を用いて従来法と比較検討し、締固め度が高い土は初期非排水単調载荷速度が大きい上に、同じ繰返し荷重でも損傷ひずみが小さくなり非排水繰返し载荷による強度低下が小さくなることから地震中に高い強度が維持されて残留変位が全く生じないか小さい変位した生じない結果が示された。一方、締固め度が低い土のように地震の影響により繰返しせん断による土の損傷が発生する場合には、従来の標準Newmark法では堤体の締固め効果を過小評価し安定性の十分な評価ができない結果を示した。

3. まとめ

粘性土地盤上の河川堤防の地震時変形抑制にあたり盛土の品質管理として最大乾燥密度の90%以上とすることが有用である知見が得られた。3相系の動的挙動を有限変形解析でシミュレーションすることで地震時の挙動をより詳細に検討することが可能になると考えられ、この解析手法を用いた対策工の検討が望まれる。

6. 地盤と構造物 動的問題（基礎構造物）①

阿部慶太

(公財) 鉄道総合技術研究所

1. はじめに

本報告では、動的問題（基礎構造物）①のセッションについて総括する。本セッションは、実験的な研究から解析的な研究まで多岐にわたる8編の発表があり、特に杭基礎の挙動について活発な議論がなされた。

2. 研究及び技術動向

本セッションの発表は主に以下の4つのテーマに分けられた。

- ・液状化による沈下量増加，水平抵抗低下（2編）
- ・杭種，杭形式が動的挙動に与える影響（2編）
- ・コッターによる格子状地盤改良体への水平力伝達機構の解明（3編）
- ・並列計算による高速化（1編）

液状化による沈下量増加，水平抵抗低下に関する研究においては，支持地盤の液状化に伴うフーチング直下の空洞化と火山灰質地盤での水平地盤反力の低下が議論された。液状化の懸念がある地盤は，設計上および維持管理上ともに熟慮を必要とする地盤であり，特に今回の発表では，特殊な構造形式および地盤種別を扱ったケースであり新規性が高いと感じた。一方，ともに液状化に伴う杭体への損傷に関する考察については議論がなかった。特にフーチング直下に空洞ができるケースでは，杭体が損傷する可能性も高いことから，液状化に伴う杭体損傷後の挙動の変化に関する議論も今後必要ではないかと感じた。

杭種，杭形式が動的挙動に与える影響に関する研究に

おいては，杭体の破壊挙動と斜杭の動的相互作用に焦点をあてた研究発表が行われた。杭体の破壊挙動に焦点をあてた研究では，杭体の損傷に伴う応答スペクトル特性の変化について議論されており，杭体の維持管理にも応用できる可能性を感じた。一方，スペクトルの変化は周辺地盤の拘束圧変化にも影響を受けることから，この影響と杭体損傷の影響の関係について議論が必要ではないかと感じた。

コッターによる格子状地盤改良体への水平力伝達機構の解明に関する研究においては，格子状地盤改良体に凹凸部（コッター）を設けることで，改良体へ水平力を効率的に伝達させる構造を提案しており，簡易な施工ながら，水平抵抗力の増加が期待できる有望な研究であると感じた。発表においては，コッター接触面で回転が生じると水平抵抗力が減少することが示されたことから，今後，ロッキング挙動が卓越した際の水平力伝達機構への影響について検討する必要性を感じた。

並列計算による高速化に関する研究については，スーパーコンピュータ「京」を用いた先進的な研究であると感じた。並列化が解析精度に与える影響もほとんどないという回答もあり，今後ますます需要が高まる研究内容であると感じた。

3. まとめ

杭基礎に関する動的挙動評価から新しい構造の提案に至るまで多岐のテーマにわたるセッションであった。杭基礎の力学的メカニズムは未解明な点も多く，今後も精力的な検討が必要であると感じた。

6. 地盤と構造物 動的問題（基礎構造物）②

石井 裕 泰
大成建設 技術センター

1. はじめに

本セッションでは、地盤の動的挙動を扱う全8編の研究が報告された。検討対象としては、遺跡に用いられた基礎形式に関するものが1編、液状化を扱ったものが6編、さらに重要構造物と周辺地盤の一体挙動に関するものが1編であった。いずれも興味深い内容であったことが反映したものと思われるが、最終日の最後の時間帯に関わらず、多くの方々にご参加いただいた。その他の内訳としては、実験・解析による内容がそれぞれ5・3編、民間・大学関係者によるものがそれぞれ5・3編である程度バランスしていたが、35歳未満の若手発表者は1名、女性の発表者は0名で片寄が見られた。セッション運営については一般的な形態をとり、すべての発表後、簡単な座長総括を行い、約25分の質疑・討議の時間を持った。

2. 発表内容および質疑・討議

検討対象として大半を占めた液状化に関する研究では、まず対策原理と液状化要因の組み合わせに着目したものが3編あった。このうち、構造物直下地盤の軽量化による沈下作用力の軽減と杭による沈下抗力の確保を併用した研究では、遠心模型実験を用いた対策あり、なしでの比較検討結果が示された。質疑・討議においては、不等沈下の低減効果に対する両者の寄与度について指摘、質問が複数上がり、発表者からは見解が提示されたり報文に記載外の実験結果が紹介されたりした。また、同じく液状化を扱ったもののうち2編については、3次元的な配置の格子状改良を2次元静的有限要素解析で評価する手法に関する連番発表であった。2次元解析による実務での対応方法と改良効果の評価に関して、現状と課題を説明した上で、3次元挙動への換算手法を提案し、精度の検証結果が示された。質疑・討議においては、地震の作用力方向に対する換算手法の適用性について質問があり、現状での適用限界が明示された。

遺跡に用いられた基礎形式に関する研究では、植物縄で礫を詰めて籠状にしたものを積み上げた「シクラ基礎」がまず紹介された。その免震効果に着目した所以が説明された上で、振動台実験で確認した免震効果が明示された。質疑・討議においては、遺跡における設置状況と振

表 本セッションでの発表タイトル

709	シクラ基礎の転がり免震機構に関する検証実験
710	杭と浮き基礎を併用した戸建て住宅の液状化対策
711	液状化対策としての地下水水位低下工法の課題とその克服(第4報：他工法との併用)
712	深層混合処理工法による木造住宅基礎の液状化対策
713	格子状地盤改良における格子間隔と地下水位に関する実験
714	格子状地中壁工法に対する解析モデルの検討 -その1：2次元解析モデルの適用性について-
715	格子状地中壁工法に対する解析モデルの検討 -その2：2次元モデルによる解析結果から3次元への変換方法について-
716	時間領域エネルギー伝達境界の高速化の検討

動台実験での設定条件の違いについて質問があり、発表者からは遺跡そのものの挙動や効果を検証するためには更なる検討が必要となる旨の説明があった。

その他の発表では、解析条件の設定方法の詳細や、実験でより効果的な知見を得るための条件設定に関して指摘や質問があった。

3. まとめ

質疑・討議では、冒頭から複数の方々に挙手を頂き、大変活発かつ有意義な時間を持つことができた。結果的に座長からの質問や誘導は不要となり、進行役の立場では負担が軽減されたセッションであった。改めてご参加いただいた方々には感謝申し上げたい。

東日本大震災から3年が過ぎ、各種基礎の耐震補強、液状化対策が進む一方で、効率化やコスト削減の要望は収まることがない。本セッションが扱う内容は、技術者のみならず一般の方々も興味を示す分野であり、継続的な取り組みが社会的にも望まれるものと考えられる。来年以降も、所属、年齢等多様な会員にご参加いただき研究の活性化につなげていただくことを期待したい。

6. 地盤と構造物 動的問題（抗土圧構造物）

河 邑 眞
豊橋技術科学大学

1. はじめに

本セッションでは、抗土圧構造物の地震時挙動に関する発表が5編あり、液状化による側方流動を抑制する地盤改良杭の挙動、津波の引き波が作用する護崖の挙動、アーチ作用を考慮した地すべり抑制杭の挙動に関する発表が各1編あり、合計8編の発表があった。発表者は、鉄道総合技術研究所、土木研究所、港湾空港技術研究所に所属する研究者が5名、京都大学、九州大学の大学に所属する方が3名であった。

研究の目的は、主として地震時の抗土圧構造物の挙動、もしくは耐震対策に関するものであった。

研究内容の一覧を、下記の表に示す。

研究の内容（その1）

地震動による抗土圧構造物の挙動

講演番号	対象構造物	研究目的 (研究方法)	着目点
717	隣接抗土圧構造物 (二重直壁)	動土圧特性の解明 (振動台模型実験に対するFEM解析)	土圧、慣性力、変位、 設置間隔、壁体下部境界条件
718	橋台(鉄道橋)	耐震補強工法の効果 (振動台模型実験)	土圧、慣性力、変位、 地盤改良体、アンカーの効果
719	杭支持された橋台 (道路橋)	EPS盛土の地震時挙動 (遠心載荷模型実験)	土圧、慣性力、変位、 地震入力、
720	同上	盛土材料の影響 (同上)	橋台基部の曲げモーメント、 基礎杭の曲げひずみ
721	重力式岸壁	地震動特性の影響	速度のPSI値 残留変位

研究の内容（その2）

種々の外力による抗土圧構造物(体)の挙動

講演番号	対象構造物	研究目的 (研究方法)	着目点
722	重力式護岸	津波の引き波の影響 (遠心載荷模型実験、およびFEM解析)	水圧、浸透、変位、 裏込石の幅、
723	杭式改良体	液状化による側方流動抑制 (遠心載荷模型実験)	間隙水圧、曲げモーメント、 杭頭条件
724	地すべり抑制杭	砂地盤におけるアーチ効果 の評価 (理論、FEM解析)	塑性状態、アーチ効果、 杭反力
724 (In English)	Stabilizing Piles	Arch effect in sandy soil (New theory, FEM analysis)	Plastic deformation, Arch effect, Reaction force of piles

2. 研究及び技術動向

抗土圧構造物の地震時における挙動ならびに地震対策をトピックとして取り上げ、関連研究について紹介する。

橋台背後の盛土地盤の違いが橋台及び杭基礎の地震時挙動に与える影響を遠心載荷模型実験で検討した篠原氏

(720)の発表では、背面盛土が無い場合、盛土が軽量盛土(EPS)の場合および土の盛土である場合について、レベル2の地震動を加えて実験を行っている。実験結果として、橋台躯体の基部に発生する曲げモーメントについては、背面盛土の違いによる土圧の影響よりも上部構造や橋台躯体に作用する慣性力の影響が大きいとしており、杭基礎の挙動についても盛土の違いが与える影響は小さいとしている。この発表に対して、「橋台、背後盛土の振動特性の組み合わせによっては土圧の影響が大きくなる場合もあるのではないか」という質問があり、「振動特性の組み合わせについては、実験により検討できるケース数は限られるので数値解析などで検討することが考えられる」との回答が発表者からあった。

特性の異なる地震動が作用した場合について重力式岸壁の地震時挙動を水中振動台模型実験により検討した小濱氏(721)の発表では、加速度レベル、位相特性、継続時間が異なる10種類の地震動入力を与え、岸壁の残留変位などの地震時挙動の違いを調べている。実験結果として、ケーソンの残留水平変位と入力地震波形の速度PSI値には相関がみられるとしている。この発表に対して、「速度に関するPSI値と岸壁の残留変位との関係を求めているが、加速度レベルも岸壁の滑り出しなど変位に影響しているのではないか」との質問があり、「加速度レベルが小さくても継続時間が長い場合にはPSI値が大きくなるが、このような場合残留変位はそれほど大きくない。このような場合には、加速度の大きさも考慮することが考えられる」との回答が発表者からあった。

橋台の耐震補強の効果について振動台模型実験により検討した猿渡氏(718)の発表では、橋台に作用する土圧軽減を目的として橋台背後に柱状地盤改良体を設置した対策工法と桁慣性力による橋台の前面方向への変位を抑制するため盛土体を反力としてアンカーで引き止める工法について検討している。実験結果として、高い入力加速度レベルでは、土圧軽減を考慮した工法では効果が小さかったが、橋台変位を抑制する工法の効果が認められたとしている。この発表に対して、「実際の構造物でどのように盛土体でアンカーを取るのか」という質問があり、「盛土内にアンカーを取る杭を設置することなどが考えられる」との回答が発表者からあった。

3. まとめ

抗土圧構造物の動的問題では、大規模地震対策などが大きな課題となっていることが実感された。

6. 地盤と構造物 動的問題（地中構造物）

磯 部 公 一

北海道大学大学院 工学研究院

1. はじめに

本報告では、マンホールや埋設管などの地中構造物と地盤の動的問題に関するセッションの7編の発表について総括する。本セッションでの研究対象の構造物は、ボックスカルバート、マンホール、埋設管・更生管、固化改良処理土杭と多岐にわたり、すべて地震時の挙動を念頭に置いた発表であった。このうち、5編は液状化を対象としており、要素試験や模型実験による検討手法を採用したものが4編、数値解析による検討手法を採用したものが3編の構成であった。

2. 研究及び技術動向

ボックスカルバートのような地中構造物の耐震補強工法では、躯体内部からの補強が困難である場合がある。そのため、躯体外部からの補強工法の開発が求められている。このようなニーズに応えるために開発されたベントナイト壁工法は、地盤の変形による地中構造物への影響を緩衝、低減させるベントナイト壁が地中構造物の周囲に免震壁として施工される工法である。この工法が有用に機能するためには、周辺地盤とベントナイト壁のせん断波速度比が0.6以下となることが重要とされている。今回の発表では、周辺地盤を攪拌しながらベントナイト壁を施工する実際の過程を考慮して、ベントナイトと珪砂の混合供試体の有効粘度密度、せん断波速度および一軸圧縮強さの相関を、一軸圧縮試験およびベンダーエレメント試験を用いて検証された。その結果、有効粘度密度とせん断波速度および一軸圧縮強さの相関性は高いこと、珪砂混合供試体はベントナイトのみと比べてもよりせん断波速度が低下していることが確認され、実用化に資する貴重なデータが報告された。

続いて、既設マンホールの液状化による浮上抑制技術に関する2つの異なる発表が行われた。ひとつは重量化工法と呼ばれ、既設マンホールの地表面側のみを拡張した形状を有し、拡張部の重量増加により浮上安全率を向上させるもので、もうひとつはマンホール内部から施工可能な浮上り抑止棒を水平に施工し浮上力に抵抗しようとする工法である。どちらの発表においても、浮上抑止効果を検証するために振動台模型実験が用いられ、無対策のケースと比較することで、その有用性が検証された。両工法ともに浮上抑制には一定の効果を発揮することが示されたものの、重量化工法の場合には液状化時に回転が発生する課題が確認され、回転を防止する対策が必要

であるとの見解が示された。これまでも同様な対策工法は多く提案され、実用化されているものも存在している。しかし、対策が必要なマンホールの数は膨大であることから、より一層、施工性と経済性、さらには維持管理の容易さを考慮した工法の開発が重要となる。それぞれの発表者には、既存の工法にとらわれない新たなアイデアで、より経済性に優れた効果的な対策技術の開発に期待したい。

続いての発表では、現在の液状化時の更生管の設計、すなわち既設管が終局状態でかつ液状化時の状態では必要となる更生管の管厚が過小評価されていることが指摘された。上記の条件で安定性を確保するためには管厚を増やす必要が生じるが、マンホールと同様、埋設管の総延長は膨大であることから、経済性の追求が欠かせない。そのため、既設管が終局状態でかつ液状化時の状態という極めて過酷な状況を設計上どこまで考慮する必要があるかという根本的な設計思想を改めて議論する必要があることが示された。

続いての発表では、埋戻し部の不整形性がもたらす液状化地盤のひずみ分布への影響に着目した、遠心場における振動台模型実験の結果が報告された。不整形な非液状化地盤が液状化地盤下に存在すると、液状化後の地盤は不整形地盤の影響を受け、埋設管は曲げ変形が卓越し、たわみやすくなることが示された。これは言い換えると、埋戻し部の不整形性が地盤の不同沈下を誘発することを示唆するものである。一方、埋戻し部の不整形性は地盤の地震時応答特性にも影響をもたらす、整形地盤よりも大きな応答値を示し、液状化が発生しやすくなることも懸念される。今後は多角的な観点から、不整形性がもたらす液状化地盤のひずみ分布への影響に関するデータの蓄積に期待したい。

続いての発表では、精緻な弾塑性構成式を搭載した水～土連成解析を用いて、液状化地盤における地中埋設管の地震時挙動、浮上り現象を再現可能であることが報告された。本発表から、地盤工学分野における最先端の数値解析技術の発展、高度化が着実に進展している印象を受けた。今後、これまでの地盤工学では再現が難しい現象への挑戦、現象の解明への貢献、数値解析手法の成熟に期待が膨らむ報告であった。

最後に、タイヤチップを混合した固化処理土を、土壌および地下水の汚染防止のための遮水壁として利用する工法について発表が行われた。遮水壁が地震時にも有用に機能するためには強度や高い遮水性に加えて、靱性の

高い変形，破壊挙動を呈することが求められる。今回の発表では，タイヤチップを混合させた場合と，無混合の場合の固化改良処理土杭の地震時挙動の差異を地震応答解析で評価する内容であった。報告された数値解析では弾性挙動のみを評価していたため，タイヤチップの混合による靱性の向上効果に関する有意な差が得られていない。塑性変形時の挙動こそがこの研究の重要な課題と考えられるので，今後は塑性挙動も正しく評価できる数値解析手法による検討の必要性を感じた。

3. まとめ

東日本大震災による地中構造物の被災の経験から，今後もより一層，耐震，防災技術の開発が求められる。膨大な数にのぼる既設の地中構造物に対する耐震技術の開発に当たっては，施工性，維持管理の容易さに加えて，如何にコストを抑えるかが対策を進めるうえで最重要課題である。一方で，数多くの被災経験がきっかけで進展，改良される設計基準において，どこまでを想定内と判断し，どこからは想定外と線引きするかという設計思想をきちんと説明できるよう議論を深める必要がある。それには，技術者にはますます高い技術力と高度な判断が求められる。