

## 7. 地盤防災 地震一般

太 田 直 之  
(公財) 鉄道総合技術研究所

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災のうち「地震一般」として発表された6編について総括する。

### 2. 研究及び技術動向

発表された6編のうちの4編が東北地方太平洋沖地震の被災事例の分析、1編が過去に発生した様々な地震の被災事例に基づく被災形態の分析、1編が津波ハザードマップの適用についての発表であった。このうち発表件数の多かった東北地方太平洋沖地震関連の発表については多くの質疑が集中し、注目度の高さがうかがえた。

東北地方太平洋沖地震関連の発表のうち、2編は宅地に関する発表であった。本発表は都市近郊の広範囲な宅地について調査した結果をまとめた点について特筆すべきと考える。盛土地盤上の建物は素地や切土地盤上の建物よりも被災するケースが多いことは従来報告されてきたが、ひとつの地震による広範囲な被災事例調査でも明らかにされたことは意義が深い。また、宅地造成法等規制法の適用時期を境にその前後で被災件数に顕著な違いがあり、当該法令適用の効果を定量的に把握したことは非常に興味深い。技術の進歩とその普及が社会資本整備に大きく寄与することを改めて認識できる発表であった。

東北地方太平洋沖地震に関する他の2編は鉄道盛土の被災事例の分析結果についての発表であった。巨視的お

よび微視的の両観点から被災要因を定量的に分析した結果を示した。盛土の耐震補強を進める際の手法の提案に繋がる研究であると考えられ、分析のさらなる深度化が期待される。

一方、過去の様々な地震による被災形態の分類に関する発表では、発表者がこれまでに収集してきた膨大な資料を基に分析した結果の一部が発表された。主に直接基礎形式の建物の補強対策に資する有益な資料となり得る報告であった。

また、本セッションでは1編のみの発表であったが、津波ハザードマップに関連した取り組みについての報告があった。既往のシミュレーションを用いた解析結果を示し、現行対策の不備を指摘する内容の報告であった。近年その重要性が注目されているリスクコミュニケーションのありかたを問う発表であるとの印象を受けた。

### 3. まとめ

本セッションで発表された研究は、いずれもハザードマップ作成技術への活用が期待されるものであった。海溝型地震の連動による地震被害の大規模化が危惧される昨今にあつては、ハザードマップの果たす役割は極めて重要である。本セッションで発表された研究テーマを含め、より適正なハザードマップの作成に向けた研究の推進が期待される。

## 7. 地盤防災 液状化被害

石 川 敬 祐

東京電機大学 理工学部

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災（液状化被害）のセッションについて総括する。本セッションは、主に東日本大震災による液状化被害に関連した報告であり、合計7編の発表があった。このうち、液状化に伴う鉄道構造物の被害分析（754）、東京湾岸域の千葉市や浦安市を対象とした液状化発生条件や実測沈下量と液状化被害程度の分析（755, 758）、微地形と液状化の起こり易さに関するもの（756, 757）、液状化に伴い被害を生じた構造物の損失評価に関するものであった（759, 760）。

### 2. 研究及び技術動向

液状化に伴う東日本大震災時の鉄道構造物の被害分析では、液状化指数  $P_L$  と構造物被害の状況が分析されていた。本震災での鉄道橋脚や高架橋の被害は、地震動による上部構造物の被害が大半であり、液状化に起因した地盤変形に伴う構造物被害は確認されていなかった。

東京湾岸域の千葉市や浦安市を対象とした液状化発生条件や実測沈下量と液状化被害の分析では、 $P_L$  値を用いた被害程度の分析が行われていた。液状化発生条件に関する報告では、液状化箇所と非液状化箇所ではシルト層の有無が問題となり、シルト層を液状化層とするか非液状化層と判断するかで  $P_L$  値が大きく異なることが指摘された。実測沈下量と液状化被害の報告では、地震前後の航空レーザー測量を用いて液状化に伴う地盤沈下量を算出し、 $P_L$  値と実測沈下量の関係が分析されている。その結果では、表層部の状況の違いによって沈下量は異なり、舗装が無い状態に比べて路盤がしっかりしている車用道路では沈下量が小さく、このような計測事例は非常に興味深かった。

微地形と液状化の起こり易さに関する報告では、関東地方と東北地方では液状化が発生した微地形には特徴的な違いが見られた。関東地方では、埋立地や河川・海岸

沿いの旧河道や三角州・海岸低地等で多く液状化が確認されている。一方、東北地方では河川沿いの後背湿地や自然堤防でも確認されているが、丘陵地や砂礫質台地などの低地以外でも液状化が確認された。この報告は、250m メッシュ内で液状化が発生したか否かを整理されたもので、液状化有のポイントデータがある場合にはそのメッシュは液状化発生と評価されている。

液状化被害を生じた構造物の損失評価に関する報告では、液状化に伴う構造物被害のリスクを評価する手法に関して、本震災の構造物外構被害に対する損失関数を提案し、評価されていた。この報告では、公共構造物の外構部の液状化被害に対する損失関数であったが、このような手法が一般の戸建て家屋等の小規模建築物へ適用され、普及することが望まれる。

### 3. まとめ

本セッションは、液状化被害ということであったが、液状化被害の調査報告は少なく、被災原因やメカニズムの検討、今後の対応・対策といった話題であった。

液状化の被害の程度を予測・評価する際には、現在、道路橋示方書や建築基礎構造設計指針等に示されている  $F_L$  法に従って算出された  $P_L$  値や地表変位  $D_{cy}$  を用いて評価されている。

討議では、 $P_L$  値や  $D_{cy}$  の持つ工学的な意味やその経緯に関して行われた。 $F_L$  法は、液状化強度  $R$  と地震外力  $L$  の比で表され、簡便であることから広く一般的に用いられているが、その判定結果の精度はどの程度なのか？実際に液状化した層はどこなのか？その際の液状化層の変形はどの程度なのか？といったように予測から定量的な評価へ繋げていかなければいけないと感じた。また、東日本大震災の液状化被害を教訓として、細粒分を多く含む砂質土や沖積砂質土層の液状化強度の推定方法、地震外力の設定方法など過去の経緯を踏まえながら改善していく必要があるのではないかと感じた。

## 7. 地盤防災 地震動と液状化

清 田 隆  
東京大学 生産技術研究所

### 1. はじめに

今年度の研究発表会では、地盤防災の分野の中で液状化に関するセッションが 11 枠設けられた。この数は筆者の知る限り過去最多である。2011 年東北地方太平洋沖地震以降、多くの方々が液状化被害調査、液状化の評価および対策に尽力し、地震から 3 年を経てその成果が表れてきたのだと感じる次第である。この多くの液状化に関するセッションのうち、本報告では、地震動との関連に焦点を当てた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、地震動と液状化に関する合計 7 編の発表がなされた。研究手法に関して統一性はあまりなかったが、東北地方太平洋沖地震の特徴である継続時間の長い地震動や本震の約 30 分後に発生した比較的大きな余震が、東京湾岸地区の液状化の程度や地盤改良の効果に及ぼした影響について検討されたものが主体であった。

印象深い発表として、論文番号 764 の地震動の連成と液状化層・非液状化層の互層構造を考慮した実験的研究を挙げる。非液状化層に上面をキャップされた液状化層は、過剰間隙水圧の消散が阻害されるため、液状化の状態が長時間継続する可能性はこれまでの研究でも紹介されてきた。東北地方太平洋沖地震のように本震後も大きな余震が続いた場合を想定した本研究の実験では、その影響は非常に大きくなることが示された。必然的に、そのような傾向を引き起こす非液状化層の層厚はどれほどか、それは一般的なボーリング調査で抽出可能かという疑問が生じるが、質疑応答でもこの点について議論がなされた。

本セッションで発表された数値解析に基づく研究発表のうち、3 編は本学会東日本大震災対応調査委員会「地盤変状メカニズム研究委員会」に関連するものであった。研究テーマは、長時間地震動に対しても SCP 改良工法が有効であることを示したもの（論文番号 763）、および入力地震動の多方向性が液状化に及ぼす影響を検討したもの（論文番号 766）などがあった。前者については、杭間要素の硬化現象は確認できなかったが、SCP が改良体周辺の応力も受け持つことにより、上部の盛り土の変形を抑制する効果を示すことができた。現場の定量的な計測結果との比較は示されなかったが、原位置でも確認された改良効果の表現に成功した例である。

後者の発表は、東北地方太平洋沖地震の甚大な液状化被害を説明するためには、従来の解析で用いられる 1 方向加震だけでなく、現実には即した 2 方向同時加震を考慮する必要があるとのスタンスで行われた研究であろう。本震と余震の間に過剰間隙水圧の消散が全く無いという仮定は質疑でも話題となり、更に埋立地盤よりもその下位の自然地盤の方が液状化の程度が大きいという解析結果は実際のイメージと異なるものであったが、入力地震動の多方向性が液状化の程度に及ぼす影響を解析的に示した点では興味深い発表であった。本発表に続いて、同一解析手法に基づき、表層が液状化するか否かにより、地震後の粘性土層の圧密沈下量が大きく異なることを示す報告がなされた（論文番号 767）。その詳細なメカニズムは議論し尽くされなかったが、実測結果も明確にその傾向を示していることから、今後の研究の進展に注目したい。

### 3. まとめ

本報告で触れた発表のほか、本震前後の地盤振動特性に焦点を当てた強震記録の分析、道路橋示方書地震動特製の補正係数  $C_w$  に着目した実験的研究があった。また、1995 年兵庫県南部地震を対象とした地震動再現解析における全応力解析と有効応力解析の比較に関する発表もなされた。液状化に及ぼす地震動の影響に着目したこれらの発表は、多くの方々の興味を引き、本セッションの会場は立ち見が出るほど盛況であった。南海トラフを念頭に置けば、東北地方太平洋沖地震による液状化の検証と対応の策定は適切かつ早急に行われるべきであるが、本会議での関連セッションの盛況振りから、先輩諸兄姉の皆様には心強さを覚える次第である。

一点、著者が気になることを挙げるとすれば、多くの発表が東北地方太平洋沖地震の地震動の特殊性のみに着目して検討されているものの、過去の地震と総合的に説明を試みている例があまり見られないことである。例えば、東京湾の埋立地盤を検討対象とするならば、1987 年千葉県東方沖地震（M6.7）で生じた部分的な液状化や、2012 年 4 月 13 日の地震（M6.1）で液状化が生じなかったことも、同一地盤モデルで表現されることが望ましい。また、1964 年新潟地震（M7.5）では 3 年前の地震より液状化被害のインパクトは大きかったが、地震動継続時間が特別長かった訳ではない。このような過去の事例を取り入れつつ、3 年前の地震の解釈を深めることで、将来の想定地震に向けた適切な対応につながると考える。

## 7. 地盤防災 地盤と液状化

原 忠

高知大学

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災のうち、表層の液状化発生に及ぼす傾斜基盤の影響、互層砂質地盤における液状化および噴砂の発生メカニズム、厚い飽和砂層の液状化発生に及ぼす加振中の排水の影響、細粒分を多く含む砂地盤の液状化強度評価法、礫を用いた外構の液状化低減に関する実験、原位置採取試料の液状化強度の評価法、浦安砂の繰返し強度に及ぼす影響因子の検討など、地盤と液状化に関する幅広い研究内容について総括する。

### 2. 研究及び技術動向

全7編の発表のうち、数値解析による研究が1編、遠心模型実験による研究が4編、室内要素試験による研究が2編あった。

東北地方太平洋沖地震で被災した浦安埋立地盤の液状化に及ぼす傾斜基盤の影響を数値解析的に検討した論文によれば、基礎部の傾斜により傾斜基端部から表面波が生成され、表層の継続的な揺れを引き起こすことや、傾斜部直上では加速度が局所的に大きくなり主要動終了後も強い揺れが継続することで液状化被害が拡大することが報告された。液状化発生地点の面的な不均一性や、盆地地形での地震被害の甚大化はメキシコ地震（1985年）以降もしばしば報告されており、今後の液状化危険度判定の新しい考え方として参考になろう。

地盤内に複数の薄い液状化層を有する互層地盤における液状化や噴砂の発生メカニズムを遠心模型実験により検討した研究によれば、1m程度の比較的薄い液状化層であっても地盤内に複数存在することで噴砂の発生や局所的な沈下が生じる可能性があると考えられた。薄層に対する液状化の判断基準や液状化対策の必要性はしばしば課題に挙げられるものの体系的な整理には至っていない。今後は非液状化層と薄層との透水係数との関係や、液状化層の深さなどの様々な要因を実験により分析しながら、数値解析を組み合わせた検討を行う必要がある。

加振中の排水が過剰間隙水圧や液状化層厚の影響を遠心模型実験や数値解析で調べた研究によれば、地盤の透水性や液状化層厚の変化に応じて加振中の体積変化が生じ、排水が生じていると考えられた。液状化判定法として広く用いられている $F_L$ 法は、非排水状態を想定した評価法で、透水性のより高い礫質土などでは安全側の判定となる可能性が考えられる。引き続き、粒度組成や透水性、液状化層厚などに着目しながら、室内要素実験や数値解

析などと組み合わせながら定量的に調べる必要がある。

礫による外構の液状化被害軽減に関する遠心模型実験は、液状化による道路被害を低価格で効果的に軽減させる提案として興味を引いた。液状化層で発生する水圧の消散に必要な礫層や排水溝を設けることで噴砂を抑制し、道路の液状化被害を軽減されることを実験的に示した。平面道路の液状化対策は今後検討すべき課題であり、既存施設を供用しながら低コストで周辺環境に配慮した施工法の提案がなされることを期待する。

細粒分を含む浦安砂の液状化特性を調べた実験的研究も多く報告された。遠心模型実験により細粒分含有砂の液状化強度と相対密度との関係を、浦安砂を含むいくつかの試料について調べた研究では、現行の土質試験法を拡大適用して求めた相対密度は液状化や液状化後の沈下量の推定に使用することは困難であるとされ、圧密試験により発生する沈下量をパラメータとした予測法が提案された。現地より採取された攪乱・不攪乱試料を対象とした三軸繰返し非排水載荷試験結果では、微小せん断剛性率に基づく原位置での液状化強度の評価が試みられたが、地盤の軟硬により乱れの影響が異なり、シンウォールチューブによる不攪乱試料を用いた場合は液状化強度を過大評価する可能性があることが示された。浦安砂の繰返し非排水せん断強度に及ぼす影響因子を調べた研究では、過圧密、セメント添加、不飽和化などによりせん断強度が改善されるとされたが、各パラメータの影響度合いや組み合わせによる改善効果が示されれば、実務面で有用と感じられた。

### 3. まとめ

東北地方太平洋沖地震から既に3年が経過し、浦安埋立土のメカニズムの解明や各種構造物を対象とした評価法の高度化が進みつつある。本セッションは、開始時刻から立ち見が出るほど注目され、液状化分野に対して関心の高さがうかがえた。

最近の研究の動向として、地盤の透水性を適切に評価し、振動中の排水の影響を考慮した合理的な液状化判定法が模索されている。実際の地盤構成は埋立層であっても複雑で不均質性に富み、粒度組成や年代効果など様々な因子により液状化特性が大きく異なることが既往の研究により知られている。地盤や地形条件に着目した合理的な耐震設計法を確立するためには、室内試験、模型実験、数値解析などの複数の手法に基づき液状化の影響因子を詳細に解明することが望まれる。

## 7. 地盤防災 液状化評価

渦 岡 良 介

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

本報告では、「7. 地盤防災 液状化評価」のセッションについて総括する。本セッションでは、液状化判定法に関わる問題や液状化による地盤変状の予測に関わる研究発表と質疑応答がなされた。

### 2. 研究及び技術動向

液状化判定においては、 $N$  値との液状化強度の経験式の信頼性評価、土層モデルにおける液状化対象層の判定、液状化ハザードマップ作成時のボーリング補間の問題などに関する研究発表がなされた。いずれも簡易的な液状化判定法である FL 法をベースにしたものである。原位試験に基づく土層モデルの評価、 $N$  値などのサウンディング試験結果と液状化強度との関係など、実地盤を対象とした場合には、種々のばらつきが避けられない。液状化判定法の基本的な考え方に関わる問題であり、今後ともこれらを考慮した信頼性評価に基づく液状化判定の検討が必要と思われる。また、セッションでは液状化対象層としてのシルト層の扱いが議論になった。検討対象地点だけでなく、周辺の地盤状況も考慮する必要性が指摘された。さらにシルトの液状化強度評価については引き

続きデータの蓄積が必要である。

FL 法の問題として、地震動履歴の影響を適切に考慮できないことが挙げられるが、この問題に対してエネルギー法が提案されている。エネルギー法においては、砂質地盤の液状化発生に必要な単位体積当たり損失エネルギーと、地震動により供給される上昇波の単位面積当たりのエネルギーの比較によって液状化判定が行われる。セッションではエネルギー法の FL 法に対する優位性を示す事例が紹介され、エネルギー法の有効性について活発な討議がなされた。FL 法をベースにしながらも地震動波形の補正係数が不要となる点で適用性が高いと思われる。

### 3. おわりに

FL 法は簡易であり、判定上安全側の評価を与えると理解されているため、設計実務で広く用いられている。FL 法は一次的な液状化判定としては有用であるが、特定の地震動を対象として液状化予測を行うなら、上記のエネルギー法、さらには有効応力解析などが必要となる。最後に、会場から意見があったように、FL 法は提案されてから 30 年以上も経過しており、学会としてあるべき液状化判定を提案する時期が近いと感じている。

## 7. 地盤防災 液状化対策③

永 尾 浩 一

佐藤工業株式会社 技術研究所

### 1. はじめに

本報告では、7. 地盤防災（液状化対策③）のセッションについて総括する。本セッションは、戸建て住宅の液状化対策工法として期待される杭基礎工法、砂圧入工法、丸太打設工法を中心とした密度増大による液状化対策の合計7編の論文で構成される。

### 2. 研究および技術動向

戸建て住宅の液状化対策工法は、これまでの主な大型構造物を対象に開発されてきた技術とは違い、狭い施工範囲で、経済的に改良ができることが要求される。

このことから、特に東北地方太平洋沖地震以降、戸建て住宅への適用を目的とし、狭い場所での施工性や対策効果、費用などの調査・検討が活発に行われている。

以下に今回発表された対策技術を紹介する。

杭基礎を使用した戸建住宅は、東日本大震災において一部の住宅で液状化による沈下被害が確認されなかったことから、液状化による沈下低減にも効果があると考えられている。

発表では、液状化層厚と杭長の関係に着目した振動台実験により、密度増加効果や過剰間隙水圧の早期消散が確認され、液状化層厚が薄い地盤であれば沈下抑制効果が発揮されることが示された。

砂圧入式静的締固め工法は、地盤に砂を圧入し密度を増大させ液状化対策を行うものであるが、施工機械が小型で既設住宅直下でも施工でき、自然材料を使用することから、施工性や環境面に優れた工法である。

発表では、改良対象地盤の物理的性質が密度増大効果に及ぼす影響を室内三軸試験供試体の空洞拡張実験により検討した結果が報告された。同一条件下での物理特性の異なる様々な試料での試験により、密度増加には細粒分の影響が大きく、同じ物性値の土でも粒度分布、粒子形状が密度増加に大きく関与していることが示唆された。

丸太打設工法は、地盤内に間伐材で発生した丸太を打設し、地盤を密実化させ液状化対策するものであり、液状化対策効果だけでなく、地球温暖化緩和、森林林業再生や地域の雇用創出にも有効とされる工法である。

発表では、既設構造物周辺に丸太を打設し、住宅直下

地盤のせん断剛性を向上させ、過剰間隙水圧発生や沈下抑制の効果があることを振動台実験で確認した事例が報告されたほか、東日本大震災に液状化被害を免れた杭基礎構造物の杭を調査した結果、地下水位以下の腐朽・劣化の程度が低いことが示された。

また、密度増大工法で問題となる周辺地盤への影響を検討した発表では、丸太打設による周辺地盤の変位は限定的であり、騒音・振動においても問題なく、市街地や構造物が近接する場所でも施工可能なことが示唆された。

施工品質に関しては、施工地盤の調査結果が紹介され、丸太に近い方が密度増加が大きく、密度がばらつく傾向はあるものの、実施工での改良率は倍程度あり、丸太間地盤は比較的均一と考えられることが示された。

また、丸太打設地盤の浅層から不攪乱採取された試料により、密度、せん断波速度、液状化強度の増大が示唆された。

質疑では、戸建て住宅にこれらの工法を適用して行くに当たり、対象となる住民（クライアント）への対策効果の説明をどうするか議論がなされた。

戸建て住宅の液状化対策は、先に述べたように施工性や費用面などが制限がされることから、レベル2程度までの確実な液状化対策を行うことは難しいと判断され、今後対策効果をどこまで担保出来るかが問題となる。

発表された杭基礎や丸太打設工法など、想定以上の地震動が発生した場合でも、被害が抑制されることが示唆されており、減災の観点から見た対策工法としての解決策が必要であると考ええる。

### 3. まとめ

今回発表された工法が、要求される経済性と対策効果がうまくマッチングし、今後多くの戸建て住宅の有効な液状化対策工法として、適用、普及されることに期待したい。

最後に本セッションも含め、液状化に関するセッションは、全体的に参加者も立ち見が出るほどの盛況であった。質疑も非常に多くの方に参加していただき、戸建て住宅の液状化対策への興味が高いことが伺えた。来年もセッションが盛況になることを期待し、本総括の結びとする。

## 7. 地盤防災 液状化対策④

前 田 幸 男

佐藤工業㈱

### 1. はじめに

本報告では、「7. 地盤防災 液状化対策④」のセッション計 8 編の研究報告について総括する。

2011 年東北地方太平洋沖地震では、東京湾沿岸部や利根川下流域において、広範囲に液状化が発生し、戸建て住宅の液状化被害が問題となった。

本セッションは、宅地の液状化対策に関する研究、宅地対策に用いられる工法を対象とした研究に関する発表が主であった。

### 2. 研究及び技術動向

戸建て住宅の液状化対策は、施工スペースが狭いことによる使用機械の制約、隣接家屋や既存ライフライン等への影響、個人の負担費用の制約などが問題となる。さらに、既設住宅の場合には、新設に比べてより厳しい条件での施工となる。個人負担が基本となる住宅地の対策では、コストが重要な課題となることから、こうした背景をふまえた工法、設計方法に関する内容が多かった。

各発表の内容は、液状化対策の効果を数値解析で検証するものが 5 編、現場実証実験や室内実験によるものが 3 編であった。また、対象とする工法は、浸透固化が 1 編、格子状改良が 2 編、過剰間隙水圧消散（浅層固化併用、締固め効果考慮を含む）が 5 編であった。各研究の内容を以下に示す。

格子状改良を対象とした発表では、非液状化層厚の影響についての 3 次元 2 相系動的 FEM 解析を行い、発生沈下量、過剰間隙水圧比に及ぼす格子間隔と非液状化層厚の影響が示され、この結果、非液状化層厚に応じて、格子間隔を大きくできることが報告されている。また、

宅地区画域を想定した格子間隔が大きい場合についての 2 次元動的解析では、格子部複合体の剛性評価法が報告されている。

過剰間隙水圧消散工法を対象とした発表では、液状化層厚、地下水位、ドレーン間隔、ドレーン杭径比等の条件が、過剰間隙水圧、沈下量に及ぼす影響について検討されている。グラベルパイル工法を対象とした発表では圧入による締固め効果を考慮した検討、ドレーン改良域にマクロエレメント法を用いた発表では効率的な解析手法の検討、半円盤型モデルの三次元解析の発表では解析結果をチャート化してドレーン間隔を設定する手法の検討が行われている。また、遠心振動台実験では、模型サイズ、地下水位、ドレーン径・間隔、間隙流体の粘性をパラメータとして、対策効果に及ぼす影響の検討が行われている。さらに、浅層固化併用の模型振動台実験では、浅層固化の有無、地下水位、ドレーン長の影響について検討されている。

浸透固化は、コストダウンを目的とした結束細管と薬液分岐システムを用いた多点注入による急速施工の実証実験について報告されている。

発表された各工法の基本的な考え方は、従来どおりであったが、施工条件、コストの制約を考慮した経済的、合理的な設計方法の検討に関する討議がなされた。

### 3. まとめ

東北地方太平洋沖地震以降の戸建て住宅を対象とした液状化対策工法は、厳しい制約条件下で社会ニーズに対応するため、様々な検討、提案が成されてきた。今後、地震動レベルに応じた性能評価法やより経済的な設計・施工方法の確立に向けて進展を期待したい。

## 7. 地盤防災 液状化対策⑤

大 矢 陽 介  
港湾空港技術研究所

### 1. はじめに

本報告では、「7. 地盤防災 液状化対策⑤」のセッションについて統括する。このセッションの発表はいずれも液状化地盤を対象とした対策工と変位予測に関連するものであり、合計7編の発表があった。そのうち、4編が盛土を対象とした鋼矢板・鋼管矢板による変形抑制工法に関するもの、他3編は護岸を対象とした腹付工による変形抑制工法、護岸の側方流動による変位量の簡易推定法および繰返し微小ひずみを与えた液状化強度の評価に関するものと多岐にわたっていた。

### 2. 研究及び技術動向

性能設計の普及に対応して、要求性能に応じて地盤を全面改良することなく、レベル2地震動に対してある程度の損傷を許容し、コスト削減が可能な対策工法が実務設計において採用されている。例えば、盛土構造物に対して法尻部に鋼矢板等を設置することで、盛土の沈下変形を抑え被害を軽減する方法は、対象構造物の直下地盤を改良する必要がないことから、既設構造物に対してコスト・施工面で有利である。一方では、直下地盤は未改良のまま残るため、地震動が大きくなると地盤の過剰間隙水圧が発生するため、盛土の変形を完全に防ぐことはできない。このため、要求性能を満足するか判断するために変位予測が重要となる。

セッションでは、鉄道盛土に対して鋼矢板、河川堤防に対して鋼管矢板による変形抑制工法に関する報告がなされた。いずれも実断面を対象に有効応力解析において検討が行われ、対策工の有無や根入れ深さ、地盤のモデル化の違いなどについて比較した結果が示された。河川堤防の事例に関して、液状化層の側方流動に加えて、その下の厚い粘性土層で発生した滑りが堤体の被害を拡大させる解析結果は、非常に興味深い。

また、盛土法尻部ではなく盛土堤体内に2重に鋼矢板を配置した補強方法に関する報告がなされた。これは、南海トラフの地震など巨大地震を想定して、2重鋼矢板により地震時には盛土の変形を抑え、背後地を地震に続く津波から防護するのに必要な天端高さを鋼矢板で締め切られた堤体部で確保しつつ、その後の津波波力に対しても粘り強い構造を発揮することを期待した構造である。大きな地震動に対する補強効果確認を目的とした1g場模型振動実験、変形予測手法の確立を目的とした有効応力解析による検討結果が示された。前述の盛土法尻部の

鋼矢板による対策と同様に、基礎の液状化地盤を残すため、大きな地震動に対して堤体と堤体の直下地盤は変形するが、鋼矢板で仕切られた堤体の沈下量は抑制された。また、このような実験結果を有効応力解析により概ね再現できることが示された。

腹付工による護岸の沈下抑制工法について、遠心模型実験により対策効果を検討した報告がなされた。腹付工は地盤改良を必要とせず、施工も難しくないため、コスト面で有利な方法である。腹付工により護岸の沈下量を低減することは可能であるが、腹付けの幅を広くとっても沈下量を無対策の半分以下にすることが難しいことは、興味深い知見であった。腹付工がただ堤体の水平変位を抑えているだけなのか、堤体の振動抑制や上載圧増加による基礎地盤の強度増加には寄与していないのか、腹付工による変位抑制メカニズムの解明が期待される。

液状化に伴う側方流動による変位量の照査には、実務でも有効応力解析が広く用いられるようになった。一方では、有効応力解析は計算コストが高いため、検討範囲が広く断面が多い場合など、予め簡易な方法で変位量を推定し、有効応力解析の実施が必要な断面を抽出することが行われている。セッションで報告された変位量の簡易推定法は、液状化判定の延長線上にあることに利点を感じた。ただ、初期せん断応力比を求める際に2次元有限要素法による解析結果を用いることから、やや計算コストが高い印象を受けた。変位量の推定精度を明らかにするために被災事例との対応を示す必要があり、今後の研究の進展が期待される。

盛土の耐震性照査に必要な液状化強度の評価について、予め繰返し微小せん断ひずみを与えた試料の液状化強度の報告がなされた。サンプリング時の試料乱れを補正することで、 $N$ 値ベースの液状化強度よりも大きな液状化強度となることが示された。 $N$ 値ベースの液状化強度の利用に際して、実務上での困難さについて発表や質疑を通じて説明が加えられた。

### 3. まとめ

液状化地盤を対象とした変位予測手法の精度の更なる向上が期待されるなか、 $N$ 値や室内試験で得られた対象地盤の液状化強度をそのまま有効応力解析に用いることで計算が収束しない、または、再現性が低いとの報告があり、解析手法の精度を検証する上で地盤パラメータの評価が重要であることが再認識されるセッションであった。

## 7. 地盤防災 液状化一般①

新 坂 孝 志

三信建設工業(株)

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災のうち、液状化一般①セッションについて総括する。本セッションは、液状化対策に関する論文と、液状化の諸問題に関する論文で構成されている。液状化対策に関しては2編の論文があり、いずれも微生物固化処理土に関連したものであった。液状化に関しては6編の論文があり、液状化強度の年代効果に関するもの、液状化による被害状況を再現したもの、および地域地盤の液状化特性や液状化対策効果に関連したものであった。

### 2. 研究および技術動向

2011年の東日本大震災を受けて、様々な機関で地震被害の発生メカニズムの分析や検証が行われている。また、被災した箇所と被災しなかった箇所の比較や、被災の規模の検証が行われており、今後の液状化予測・判定の精度の向上に向けた取り組みが行われている。

一方で、東日本大震災では戸建て住宅の液状化被害が多数発生しており、宅地向けの液状化対策が検討されている。そのひとつとして、道路などの公共施設と宅地との一体的な液状化対策を行う『市街地液状化対策事業』の検討が、被災した地域で実施されている。そして、これに伴う新たな液状化対策工法の研究・開発が行われている。本セッションの発表は、いずれもこれらの成果に関するものである。

微生物固化処理土に関する発表は、土壌の微生物機能により地盤改良効果を得る地盤処理技術で、ここ数年、強度増加等の研究成果が発表されている。既設構造物の直下に適用でき、環境への影響が少なく、かつ安価であるということが期待できることから、戸建て住宅の液状化対策としての適用が期待されるものである。今回の発表は、繰返し三軸試験により液状化対策工法としての可能性を検証したもので、いずれの発表も液状化対策としての適用性を示唆したものであった。ただし現状では原位置の微生物を利用したものではなく、またカルシウム

源の供給が必要であるなど、実用化に向けての課題も残っており、今後の研究に期待したい。

年代効果による液状化強度の向上に関する発表は、年代効果を推定したもの、年代効果を考慮した再現解析に関するもの、および年代効果の要因について研究したものなどであった。また、市街地液状化対策事業の発表の中でも、年代効果を考慮しての検討がなされていた。液状化予測や土構造物の耐震性能評価の精度を向上させる上で、年代効果を定量的に評価することは重要であると思われる。いずれの発表も、「年代が古いものほど液状化強度が増加する」という基本概念は同じである。ただし、どの程度の効果があるかについての評価手法については、現時点では研究段階であり、定量化が望まれる。その中で、年代効果の要因として「土粒子移動」に着目し、圧密時に発生する土粒子の移動を微視的に観察し、液状化強度との関連性を研究した発表は、特に興味深いものであった。

地域地盤の液状化対策効果に関連した発表のひとつは、稲敷市における市街地液状化対策事業での検討結果を取りまとめた報告であった。この報告では、東日本大震災における被害の程度を再現するために、従来の液状化判定とは異なる評価手法を採用した点が述べられている。地域地盤に応じた評価手法を適用することにより、より精度の高い液状化判定が可能となる。この報告では、具体的な評価手法が示されており、今後の同様な液状化判定をする上で、参考になるものであった。

### 3. まとめ

本セッションの発表の中でも指摘されていたが、東日本大震災の被害からみると、これまでの液状化判定や耐震性能評価が、一部で過大なものとなっている。「安全側」という見かたもできるが、今後の対策を進める上では適正に評価をすることが重要であると思われる。本セッションの発表は、いずれもこれらの精度の向上に通じるものであり、さらなる研究の発展に期待したい。

## 7. 地盤防災 液状化一般②

山 田 卓  
大阪市立大学 工学部

### 1. はじめに

本セッションにおける発表論文は 6 編であり、2 編が模型実験関連（噴砂発生機構、振動台実験用土層の調査）、3 編が液状化試験関連（液状化強度・挙動、供試体の微視構造）、1 編が液状化リスクマネジメントに関する内容であった。いずれも液状化に関する研究であるが、内容が多岐にわたるため、ここでは全体の研究動向を統括するのではなく、個々の発表を順に紹介することとする。

### 2. 研究及び技術動向

(826)液状化に起因する舗装亀裂からの噴砂発生のメカニズムを模型実験で調べた研究である。地表面と舗装の間隙の水平流により砂が運ばれ、舗装亀裂から噴出する様子が動画で紹介された。また、流速、粒径、動水勾配の噴砂発生に必要な条件の検討結果が示された。

(827)細粒分含有率を種々に変化させた砂質土の非排水繰返しせん断試験挙動について損失エネルギーを用いて評価した実験結果が報告された。過剰間隙水圧とせん断ひずみは損失エネルギーで評価可能であり、損失エネルギーを用いた液状化判定方法の根拠となることが紹介された。

(828)再構成砂と不攪乱砂の液状化強度と S 波速度の関係を非排水繰返し三軸試験と BE 試験で調べた結果が報告された。不攪乱砂と再構成砂の S 波速度と液状化強度の比較から、原位置液状化強度に及ぼす年代効果の影響を、S 波速度を用いて評価できる可能性があることが示された。

(829)液状化試験の精度向上を目的として、液状化試験における複数供試体の性質の同一性を把握するために、供試体の保水性に着目し、その微視構造を評価すること

を試みた研究である。供試体作製方法及び堆積方向を種々に変化させて土の吸水性を検討した結果、吸水性から供試体の微視構造を評価できる可能性があることが報告された。

(830)振動台実験で用いる土層に関する文献調査及び振動台実験の経験を有する研究機関に対する面談調査より、埋立て地盤の液状化に係る振動台実験に適したせん断土層の仕様の検討がなされた。その結果、埋立て地盤の堆積構造、地盤材料の粒度の相似性、地盤調査の実施、数値解析の計算条件等を考慮して、大規模な引出し型せん断土層（地盤高さ 10m）が好適であると結論付けられている。

(831)地震動の不確実性を考慮した液状化危険度評価モデルを実在する河川堤防の液状化被害リスク算定に適用し、堤防崩壊による経済被害額及び対策の費用対効果を試算した結果が報告された。リスクに基づき、具体的な対策優先箇所や対策方法が示され、合理的な河川堤防の維持管理計画案の策定に有用な方法であると紹介された。

### 3. まとめ

2011 年東北地方太平洋沖地震以降、特に液状化に関する地盤防災分野では、地盤調査、原位置試験、室内要素・模型実験、危険度予測の高精度化や結果の解釈に新たな工夫が施されつつある。本セッションで発表されたいずれの研究テーマもその流れの中にあり、基礎的研究ではあるが斬新なものばかりであった。本セッションの座長を務めた者として、これらの研究成果が遠からぬ未来に実務に適用され、我が国の防災力強化に寄与されることを期待する。

## 7. 地盤防災 地震時の斜面安定①

中 島 進  
鉄道総合技術研究所

### 1. はじめに

本報告では、「地盤防災 地震時の斜面安定①」のセッションについて総括する。本セッションでは、表-1 に示すように、全7編の発表があった。

### 2. 発表内容の分類

全7編の発表のうち、全てが地震時被害事例の分析を行ったものであった。解析対象については、宅地造成斜面に関する解析が多く、2011年東北地方太平洋沖地震において、仙台市の宅地造成斜面が大きな被害を受けたこと、1978年宮城県沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震と地震の観測波形が得られていることから、仙台市の宅地造成斜面の分析・解析が多く、5編が仙台市の宅地造成斜面の被害事例分析を行っていた。また、残り2編については急傾斜地法と宅地造成法、崖条例などについて、規制対象範囲や維持管理も含めた内容となっており、宅地造成斜面に関する研究者・実務者の関心の高さがうかがえた。

### 3. 発表内容の特徴

被害事例分析については、広範な宅地造成斜面の中で、被害程度の差を評価しようとする試みが多かった。解析手法についても、動的FEM解析を行っている例が多く、地震動の計測密度・精度が向上してきていることと関係があると考えられる。一方で、地盤調査結果、地下水位などの情報が不十分な場合も多く、解析結果と実被害事例の対応が必ずしも良好でない解析結果も多く存在した。

また、円弧すべり安定解析については、崖条例に基づく建築禁止距離に関して、一次すべり、二次すべりを考慮して被害事例との整合性を向上させた上で、多数の斜面に対して安定解析を実施して、より合理的な建築禁止距離の提案を行う目的で実施されていた。

### 4. 質疑応答の概要

各発表者の発表後、活発な質疑応答がなされた。宅地造成斜面では被害事例の分析を行う場合でも、前述の通り地盤調査結果や地下水位の位置等、解析結果に大きな影響を及ぼすパラメータが必ずしも十分では

ないため、各発表者ともに限られた情報をもとにして、合理性のあるモデルを構築するかに頭を悩ませている印象であった。実際に質疑応答でも、モデル設定の根拠に関する質疑が多かった。

また、表-1には座長の方から見た議論のポイントも併せて記載しているが、限られた情報から如何に解析条件を設定するかについて、著者が各々の考え方で仮定を設定し、解析を実施している点が興味深かった。実際の地盤や地下水位にはばらつきがあると想定されるため、今後はこれらの影響を考慮した評価も重要になるだろうと考えられる。

また、今回の発表者の中で鉛直動の影響を考慮している解析が一つもなかったことも興味深い点であった。今回多くの発表者が検討対象とした仙台市の宅地造成斜面では鉛直動の影響がさほど大きくなかったという事であるが、地盤工学会の他のセッションにおいても鉛直動は無視されている傾向が強い。

斜面の被害事例分析の多くは、将来的に対象斜面の安全性を評価し、震前対策の提案などを目的として実施されるものと考えられる。このため、被害事例分析を行い、被害・無被害の差異を論ずるためには、作用としての地震動や地盤調査結果や地下水位の評価など、どこまでの情報が必要であるのか、どこまで地盤や構造物のモデル化を精緻に行う必要があるのかなどを整理する必要もあると考えられる。

表-1 発表タイトル・内容と論点のまとめ

| 論文番号 | タイトル(著者)                                                                                                                     | 内容                                                       | 論点・今後の展開(point)                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 832  | 滑动崩落防止施設の保全の保わる法令等についての一考察                                                                                                   | 被害事例分析<br>法令の分析                                          | ・ 急傾斜地法と宅造法の選定<br>・ 通常の維持管理行為の内容<br>・ 工事履歴の管理                      |
| 833  | 2011年東北地方太平洋沖地震で被災した造成宅地における推定地震動に関する概観                                                                                      | 被害事例分析<br>サイト特性                                          | ・ 入力条件の設定<br>・ 微動の計測点                                              |
| 834  | 1978年宮城県沖地震における宅地造成斜面での地震動の推定とその解釈(秦ら)                                                                                       | 被害事例分析<br>地震動の評価                                         | ・ 仮定するすべり土塊<br>・ 強度定数の設定<br>・ 片側必要強度スペクトル                          |
| 835  | Preliminary study on seismic performance evaluation of a residential fill slope due to the past earthquake(NIGGEMANN et al.) | 被害事例分析<br>(case study)<br>変形解析<br>(deformation analyses) | ・ 強度定数の設定(setting of soil parameter)<br>・ 地下水位(ground water level) |
| 836  | 大規模地震による宅地造成斜面の崩壊範囲の評価～崖条例による建築禁止距離に関する新提案～(駒井ら)                                                                             | 被害事例分析<br>すべり安定解析<br>法令の分析                               | ・ 強度定数の設定<br>・ 解析上考慮した震度<br>・ 地下水位                                 |
| 837  | 仙台市の造成宅地における局所地盤条件と地震動増幅との関係について(若井ら)                                                                                        | 被害事例分析<br>FEM                                            | ・ 場所によるN値の差異<br>・ 地下水位<br>・ 土留め壁などの構造物の影響                          |
| 838  | 造成宅地斜面を構成する個々の宅地の地震時残留変形量の差異について(深津ら)                                                                                        | 被害事例分析<br>FEM                                            | ・ 杭間地盤のすり抜け<br>・ 解析と実被害との対応                                        |

## 7. 地盤防災 地震時の斜面安定②

鍋 島 康 之  
明石工業高等専門学校

### 1. はじめに

本報告では、セッション「地震時の斜面安定②」で発表された7編の研究発表の報告である。関連するセッション「地震時の斜面安定①」に続いて、多様な斜面を対象とした地震時の安定問題に関する研究が紹介され、発表内容は大型振動台実験による模型実験から、数値解析、被災斜面復旧に関する内容など多岐にわたっている。ここでは、本セッションで発表された特徴的な内容および質疑応答で行われた議論をまとめ、今後の参考になるよう整理しておきたい。

### 2. 研究および技術の動向

2011年東北地方太平洋沖地震以後、地震時の斜面安定問題に関する論文は明らかに増加しており、地震による斜面崩壊事例のシミュレーションなど、その内容は多岐にわたっている。本セッションの7編の発表の内、2件は東北地方太平洋沖地震による宅地地盤被害に関するものであったが、その他の発表は特に東北地方太平洋沖地震に係わらず、地震時の斜面崩壊メカニズムおよびその要因に関する内容であった。以下に、本セッションの発表の概略を述べる。

839, 840, 841 は局所的な破壊が進展して斜面全体の崩壊へとつながる進行性破壊現象に関する研究であり、斜面内に局所的にひずみ（変形）が発生し、それがどのように成長して破壊面を形成していくのかについて、振動台実験や数値シミュレーションを用いて検討している。特に、斜面崩壊のパターンを①地震時に斜面が不安定化して崩壊するパターン、②地震後も不安定な状態が継続し変形が停止せずに崩壊するパターン、③地震終了時に変形が停止するパターンの3種類に分類し、この様な不安定化の原因について、ひずみ軟化の観点から検討している点が興味深く、すべり面の形成において、破壊ひずみの小さい部分に変形が集中して破壊が進行していくことが指摘され、いずれの崩壊パターンになるのかに影響

している。

842 と 844 は地震時の斜面安定問題を斜面内に存在する弱部の影響、ならびに先行降雨や斜面内の地下水分布の観点から検討するものであり、これらの内容は進行性破壊ならびに宅地盛土被害に及ぼす地下水位の研究と関するテーマであった。

843 と 845 は東北地方太平洋沖地震における宅地被害に関する発表で、対象となる地区は仙台市内でも宅地被害の規模が大きい地域であった。宅地盛土被害の場合、宅盤変状あるいは滑動と呼ばれる盛土地盤全体の移動や滑落が問題であり、このような現象に及ぼす地下水の状況や地下水位について改めて指摘がなされた。兵庫県南部地震における宅地盛土被害でも盛土内の地下水位の高さが指摘されており、現在国が進めている大規模宅地盛土のスクリーニング作業の結果が待たれるところである。

### 3. ま と め

本セッションでは地震時の斜面安定問題について崩壊現象だけでなく、地震時に発生する変形についても取り上げられ、対象となる斜面により許容される変形量や変形モードが大きく異なることを認識した。

自然斜面の場合、限界状態設計法的な考え方を取り入れれば、地震後に変形が停止し、許容範囲内で使用可能と判断されれば対策工の考え方はかなり選択肢が広がるため、どの程度の変形量を許容するのかが今後の課題となる。一方で、大規模宅地盛土に関しては、質疑応答の際に仙台市の事例について現状や地下水対策について紹介されたが、宅地地盤の場合は大規模な滑動崩壊を避けることができたとしても、戸建て住宅では微小な傾斜でも全壊被害と判断される場合があり、許容される変形量はかなり小さい。この様にどのような斜面を対象にするかが重要になる。

最後に、地震時の斜面安定問題は対象となる斜面の特性を踏まえつつ、適切な対策が行われるよう引き続き研究されることを期待したい。

## 7. 地震防災 地盤震動

大 塚 悟  
長岡技術科学大学 工学部

### 1. はじめに

セッションの論文数は9篇で、地震観測に関する論文2篇、地震応答解析に関する論文5篇、地盤の固有周期に関する論文2篇の内訳である。大会最終日ということもあり、発表者を中心とした参加者であったが、専門家の集まりのために活発な討議が行われた。

### 2. 研究及び技術動向

セッションの課題は、地盤振動を予測するための地盤調査や地震動のモニタリングに関する発表と、地震応答解析の発表の2つに大別される。発表論文はどの論文も興味深い報告であるが、重複を避けてセッションの概要を代表する論文に絞って紹介する。

地震動の調査では地盤特性の非線形性を取り扱う論文が多い。論文847は地震動の大きさによる地盤特性の非線形性について、地震動の計測結果により報告した。論文では事例紹介が報告されているが、中小の地震動の計測からどのように大地震の振動特性を精度よく予測するのか、事例の把握から応用への展開に関する研究の進展が期待される。

論文854は地盤の固有周期を複数の情報より予測する方法を提案している。広域的な地盤振動特性の把握は情報量の多い、標準的な地盤情報を基に推測されることが多い。しかし、複数の地盤情報を利用できる場合には、それらの情報を活用することにより推測の高精度化が期待される。その方法論は他分野にも応用できる基礎技術であり、統計解析の殻を破って、推測精度を向上する基礎技術の開発を期待したい。同様の研究に論文852がある。地盤特性と地形分類の相関に関する研究が報告されているが、相関関係の物理・力学的な根拠（バックグラウンド）が明確にされると、実務的な応用に向けて環境が整備されるように思われる。

地震応答解析では論文850,851が不整形地盤や不規則

地盤構造の地盤振動特性に及ぼす影響について報告している。広域的な視点に基づく地震動の応答解析は地盤振動の差異を明らかにする有力な分析手法（アプローチ）である。一方、論文848は地盤構造では単純な成層構造であるものの、多層系地盤の応答解析の問題点について異なる視点から検討している。具体的には細粒分含有率の異なる中間土が層状に堆積する地盤の振動特性を分析して、地盤物性の調査位置によって応答解析の精度に与える影響を検討した。問題の解決には深度方向に連続して計測される地盤情報の活用が求められるが、問題を解決するにはサブシステムの高度化が必要であり、研究リソースが積み上げられる必要がある。

論文849は新潟地震における液状化地盤の地震波を再現する研究である。観測波をよく表現しており、現在の地震動解析の学術レベルを表す論文と言える。特に震源モデルによる広域的な地震動の解析と地盤材料の構成関係を用いた応答解析を融合する解析的検討は、既存の数値解析に対して地盤挙動の一气通貫の解析とも言え、興味深い解析事例である。門外漢には解析精度が高く驚くばかりであるが、解析の（成功と失敗の）経験を積み重ねがより実用的な地震動解析の開発に繋がるように思われた。更なる研究の進展を期待したい。

### 3. まとめ

地震動の予測は地盤の表層土の地盤特性に影響されるために、個別地点の精密な予測は地震モデルなどの学術的な問題の他に調査法の問題が存在して大変難しい。本セッションでも、個々の設計の要求性能を満たすために様々な研究が行われているが、これらの研究の進展がより大きなシステムを支えるサブシステムを構築している。座長にはセッション全体を通して、当該分野の学術研究が相互に関係して有機的に進展しているように感じられた。

## 7. 地盤防災 斜面安定（維持管理・対策）

酒 井 直 樹

（独）防災科学技術研究所

### 1. はじめに

本報告では、斜面安定（維持管理・対策）のセッションについて総括する。本セッションでは、道路、鉄道、河川に関連した盛土の維持管理や対策に関して、実験、解析的評価等に関する計8編の報告があり、それぞれ活発な議論がなされた。本報告では話題になったトピックについて報告する。

### 2. 研究及び技術動向

ここでは盛土の維持管理に関連して湧水や地山からの浸透を考慮した盛土内の地下水の推定に関する課題や、現行の排水対策に対する課題に関して報告する。

盛土内の地下水は観測井から推定することが多いが、現地の盛土に見られる湧水の評価を考慮した地下水の推定法は確立していない。ここでは、逆解析を用いて湧水の影響を評価し盛土内の地下水状態を推定した。地下水の存在は盛土内部の不均質性により評価するのは難しく、湧水はその影響を定量的に評価できる一つの指標であると考えられる。一方で谷渡り盛土では、降雨の浸透だけでなく地山から浸透水も外力として加え、浸透流解析を行い、より合理的な地下水位の設定が可能となる。以上のように局所的な現象に合わせた地下水の推定が可能と

なれば、適切な排水パイプの打設間隔及び長さの検討を行うことが可能となる。さらに盛土の局所的な特性を考慮した地下水の推定法とその合理的な排水対策の評価に関する議論が活発に行われた。

一方、一般的な法先の排水対策は、1000mmを超える集中豪雨時には堤体内部全域が飽和し機能しないことが解析的に明らかになったため、排水層の形状の検討を行い、排水層の形状を大きく変化させることで、集中豪雨にも耐える対策が可能であることが明らかにされた。また、堤体内におけるドレーンの効果として空気の排出ができないために頂部に乾燥領域が残り斜面の安定度に影響を与えることが示唆される実験結果が示された。以上のことは既存の排水対策をしていても、排水が追いつかない場合や残存空気が安定度低下させるという課題が示され、それらについて活発な議論がなされた。

### 3. まとめ

盛土構造物の維持管理では、現状の評価とその後の劣化過程をどう評価するかが重要である。そのため、地下水の把握とともに盛土自体の強度も変化すると考えリスク評価することが必要である。そして本セッションで指摘されたような課題を取り込みながら、合理的な維持管理手法が構築されることを期待したい。

## 7. 地盤防災 斜面安定（一般）

後 藤 聡

山梨大学 大学院医学工学総合研究部

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災（斜面安定（一般））のセッションについて総括する。本セッションでは、斜面安定（一般）が示すように、さまざまなテーマの発表であった。あえて、テーマ的に分類すると、融雪に関する研究（2編）、切土工事中の崩壊事例（1編）、排水施設が原因による法面災害と模型実験（1編）、親綱固定方法によるアンカーの検討（1編）、吹き付け法面崩壊の計測事例（1編）、水位変動と河岸斜面の安定問題（1編）、以上7編の発表であった。

7編の発表であったので、40分程度の討議を行うことができた。以下に本セッションについて、研究内容等の取りまとめを行う。

### 2. 研究及び技術動向

融雪に関する研究が2編あったが、ひとつは融雪期に発生する道路斜面災害の評価手法に関する研究(865)である。雨量による道路管理手法はよく行われているが、融雪量を定量的に評価した道路管理手法については、端緒についたばかりで、北海道の一般国道230号中山峠付近で発生した道路斜面災害の事例を基に検討が行われた。その結果、総累計量（累計雨量と融雪換算量を加えたもので、換算計数は0.5とする）が180mmを越えると道路斜面災害発生危険度が増すが、事例から読み取れる。

もうひとつの融雪に関する研究(866)は、斜面ライシメータを用いた斜面融雪浸透に関する実測例の紹介である。ここで、ライシメータ（lysimeter）とは、農業土木標準用語事典によると「蒸発散量や土壌中の水収支を測定するために金属やコンクリートで造られた土壌槽」のことである。筆者らが考案した斜面ライシメータにより、融雪水および雨水の積雪底面からの流出量を測定することができる。さらに、土壌水分計により地中に浸透した土中水（体積含水率）も同時に計測している。このように筆者らは、融雪による斜面崩壊の機構を直接解明するために、斜面上で融雪水量および浸透した土中水を実測している。融雪期の土中水の挙動は降雨時の応答とは異なり、飽和度の高い状態が継続する期間において、斜面不安定化を懸念すべきである等の重要な示唆を与えている。

切土工事中の崩壊事例(863)について報告がなされた。

中生層の黒色粘板岩を切土工事中に発生した斜面崩壊の原因について考察されている。崩壊は論文の「大規模崩壊に至るまでの日雨量と累積雨量」に示すように、通常の降雨3日後に発生しているのが特徴である。崩壊の素因は局的に分布する厚さ数mの脆い黒色粘板岩であり、粘土化が進み、亀裂が多く存在することが崩壊後のボーリング調査によって判明した。局所的に分布する弱層の断面的な調査を事前に行うことが重要である。

高速道路において、豪雨時に発生する土砂災害の発生要因に関する研究(864)では、排水施設からの溢水現象に注目している。排水構造物に起因するのり面崩壊は、切土の場合約42%、盛土の場合57%と非常に高いことを報告している。模型実験により排水合流部における溢水メカニズムを検討し、新しい排水構造を開発する必要性があるとしている。

親綱固定方法によるアンカーの検討(867)では、のり面作業時の安全性を確保するために、アンカー径や打設深さ、形状、親綱の擦れ防止方法などについて検討し、実験盛土において衝撃载荷による親綱固定アンカーの引き抜き実験を実施している。いくつかの重要な実験結果が示され、引き抜き量がアンカーの根入れ長の35%を超えると一瞬で抜けることが示された。またアンカーが抜ける前には挙動が異なる傾向があり、閾値として利用できる可能性がある。

吹き付け法面崩壊の計測事例の研究(868)では、MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）型三軸傾斜計を用いて、崩壊直前のデータを捉えることに成功している。実際の斜面において、のり面崩壊に繋がる挙動を捉えた報告は少ないので、貴重な記録である。

水位変動と河岸斜面の安定問題(869)では、ベトナムのホーチミン市を流れるサイゴン川において、河岸斜面の崩壊が頻発しているので、その安定性について検討したものである。原位置透水試験、河川水位・地下水位の計測、各種土質試験等により、浸透・安定連成解析を行い、水位低下時に斜面が不安定になること、繰返し水位変動を受けることで徐々に斜面が不安定になることを示した。

### 3. まとめ

本セッションより、斜面の地盤防災の分野がとても多岐に渡ることが分かる。

## 7. 地盤防災 斜面安定（モニタリング）①

酒 匂 一 成

鹿児島大学大学院 理工学研究科

### 1. はじめに

本報告では、斜面安定（モニタリング）①のセッションについて総括する。本セッションでは、がけ崩れ・土石流・地すべりの各種土砂災害に対する計測手法およびモニタリング結果を用いた運転規制や復旧作業時の安全性の確保方法に関する研究成果が報告された。

### 2. 研究及び技術動向

降雨時の土砂災害についてモニタリングを実施する場合、雨量、土中の水分量、地下水位の変動、地盤変動を計測されることが多い。本セッションでの発表においても、水位計を用いた地下水位の変動、伸縮計や傾斜センサーを用いた地盤変動のモニタリング手法が用いられている。これらの手法は、これまでの研究成果の蓄積もあり、技術的にはほぼ確立してきている。よって、モニタリング結果を得るのみではなく、どのように運転規制や復旧作業時の安全性確保などの判断指標を設定するかを目的とした研究が行われている。広域の管理斜面のどこを計測すれば良いか、また、基準値（閾値）の設定をどのようにすれば良いかについては、地質や地形情報に加え、技術者の知識や経験に依るところが大きく、今後の課題と考えられる。

また、新たなモニタリング技術に関する手法としては、

光ファイバの光強度を利用した地盤内の状態評価や比抵抗探査法を用いた斜面内部の水分移動モニタリングなどに関する実験的研究がなされている。従来のモニタリング手法に加え、新たな手法を用いたモニタリング技術が数多く提案され、実績を積み上げていくことが重要であると思われる。

### 3. まとめ

斜面モニタリングには、土砂災害発生メカニズムを明らかにするためのモニタリングと住民の避難や道路・鉄道の通行・運転規制などを行うためのモニタリングがあり、それぞれの立場でモニタリング内容やモニタリング結果の解釈を変える必要があると考えられる。

2014年は、日本各地で異常な集中豪雨が発生し、多くの方が土砂災害の犠牲となった。土砂災害による被害を少しでも軽減するため、都道府県や気象庁で発令される雨量指標を用いた土砂災害警戒情報などの情報から斜面崩壊発生に至るまでに、どのような物理量を計測し、どのような避難基準値（閾値）を設定していけばよいか、避難解除をどのように判断するかなどについて、今後、さらに検討していく必要があると思われる。土砂災害発生メカニズムの解明および住民の避難警報などの斜面モニタリング技術やモニタリング結果の解釈法に関する研究のさらなる発展が望まれる。

## 7. 地盤防災 斜面安定（モニタリング）②

布 川 修

鉄道総合技術研究所 防災技術研究部

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災（斜面安定（モニタリング）②）のセッションについて総括する。本セッションでは6編の論文があり、モニタリングそのものの精度を向上させる技術ではなく、いずれもモニタリング結果や調査データの活用方法に関する論文であった。活用方法としては、危険箇所の抽出を目的とする研究が1編、危険箇所の状況把握方法を省力化することを目的とする研究が1編、危険箇所での対応を目的とする研究が4編であった。

### 2. 研究及び技術動向

通行規制に資するデータを得るために、モニタリング結果を踏まえて数値解析を実施する報告が複数あった。ここでは、こうした危険箇所での対応を目的とする研究の動向について紹介する。

通行規制は過去の災害履歴や降雨履歴から経験的に定められることが多いが、今後、こうした研究を発展させることで地盤工学的な観点で通行規制を検討することが求められていくと感じている。こうした検討の際には、降雨量、モニタリング結果、解析結果を組み合わせることで、どのように最適な通行規制を得るのかという観点

が必要であると考え。討議でも質問があったが、最終的に降雨量を指標として通行規制を実施する場合には、時間雨量、累積雨量、土壌雨量指数、実効雨量など、どのような降雨量の指標をその斜面の危険性の代表値とすべきなのかという検討が重要であると思われる。

また、間隙水圧と間隙空気圧の計測結果から間隙空気圧の影響により雨水浸透が妨げられている可能性があることや、同じような地点での複数の体積含水率の計測結果が異なる挙動を示す可能性があることが報告にあった。これらの原因をまず明らかにすることが重要であるが、モニタリングにより斜面の状態を把握して通行規制等を検討する際には、モニタリング結果がその斜面の代表値となりうるかどうか、あるいはどの結果を代表値とすべきかを判断することが重要であるといえる。

### 3. まとめ

モニタリングの技術を発展させるためには、モニタリング結果や調査データをどのように地盤防災に活用するのかということを明確にしたうえで、過去の災害事例や解析結果などを組み合わせることが重要であり、こうした研究・技術の発展に期待している。

## 7. 地盤防災 斜面安定（不安定化メカニズム）

笠 間 清 伸

九州大学大学院

### 1. はじめに

本セッションでは、降雨に起因する斜面崩壊に関して斜面内に水位計、土壌水分計、傾斜計、間隙水圧計などを多数設置した模型実験と原位置試験ならびに降雨条件下における数値解析などについての9編の研究成果が報告された。本報告では、斜面安定（不安定化メカニズム）のセッションについて、「模型実験と現地観測実験」、「不安定化の前兆現象」および「斜面内の降雨浸透」に着目して総括を試みる。

### 2. 模型実験と現地観測実験

模型実験では、密度や飽和度などの地盤の初期状態を調整でき、降雨量や境界条件を適切に設定できるので、比較的予想通りの降雨浸透やそれに伴う斜面の不安定化が再現されている。しかしながら、実際の土砂災害の調査に携わってみると、自然地盤の初期状態は不明なことがほとんどで、さらに土質の不均一性に起因して透水係数や強度定数が大きくばらついているのは言うまでもない。また、実際の崩壊斜面では、降雨量や降雨浸透以外の地下水流入の境界条件まで、調査するのは非常に困難であるため、自然斜面の崩壊現象の原因を突き止めるのは極めて困難といわざるを得ない。そこで、模型実験で得られた有用な知見を実際の自然斜面の不安定化現象に結びつけるには、本セッションでの発表でもあったように、実際の自然斜面に計測器などを設置した現地観測実験とうまく連携させながら不安定化メカニズムを検討することが不可欠である。

### 3. 不安定化の前兆現象

実際の斜面崩壊の前兆現象を観測して斜面箇所を事前に特定する場合に、斜面の変位や変形の状態を直接計測するのがいいのか？安全率や応力比などの危険度指標に換算できる間隙水圧やサクションなどを計測する方がいいのか？については、非常に悩ましい問題である。

埋没型傾斜計を用いて降雨時における実地盤内のせん断ひずみを計測した結果から、降雨時には傾斜方向にせん断ひずみが生じ、乾燥時には傾斜とは逆方向にひずみが回復し、降雨イベントごとにその挙動を繰り返すことが明らかとなった。特に、降雨時に傾斜方向のせん断ひずみが一定以上発生するとそのひずみが回復せず、最終的に残留ひずみが発生することが明らかとなった。したがって、降雨時において斜面方向のせん断ひずみが蓄積し、最終的には斜面崩壊が生じることになる。今後、残

留ひずみが生じ始める閾値に関して、地盤深度、降雨量および地盤内の飽和度などに着目して詳細に検討することが必要であるが、現地において斜面内のせん断ひずみを直接計測することは、斜面崩壊の前兆現象を捉える手法として有効であると考えられる。

また、伸縮計で計測した斜面変位のクリープ速度を用いて斜面崩壊の前兆現象を捉える報告があり、地表面変位のみでは崩壊の前兆現象を捉えることは難しいが、地表面変位を速度に換算することで、地表面の挙動を微増期、等加速度的増加期、減速期および累乗的增加期に分割して斜面崩壊の危険度を判断できることが明らかとなった。特に、斜面の変位速度が累乗的に増加していき斜面崩壊が生じる直前においては、地下水位の変化率は大きくないという興味深い結果も得られている。

### 4. 斜面内の降雨浸透

降雨時の斜面内では、最初に降雨の鉛直浸透が発生し、地下水面を形成した後で斜面と平行な側方流が発生するという考え方が主流である。現地計測の結果から降り始めから6時間程度で「側方流」が生じ、斜面の表層に近いほど側方流の流量が大きいことが明らかとなった。また、自然斜面の土質の不均一性、植物根や小動物の通路などに起因して、透水係数が周辺に比べて大きく、優先的に地下水が流れる現象は「パイプ流」と呼ばれる。パイプ流による斜面内の急速浸透は、砂防学や森林保全学などで用いられる考え方であり、実際の斜面の不安定化メカニズムを検討するうえで検討すべき課題であると思われる。さらに、降雨浸透と不飽和土の強度特性を考慮した剛塑性有限要素解析から、降雨時の浸透力によっても斜面の安全率が大きく変化することも明らかとなった。

### 5. まとめ

今年も地球規模で生じている気象変動に起因して、局所的なゲリラ豪雨が発生し、非常に広域のかつ同時多発的に土砂災害は発生した。斜面崩壊の前兆現象ならびに降雨に起因した斜面崩壊の発生メカニズムについては、地盤工学的に非常に詳細に検討され明らかにされつつある。一方、気象庁、地方自治体および道路事業者が発令する土砂災害危険情報や自動車通行規制などでは、災害の誘因である降雨条件によってのみ検討されることが多い。これら地盤工学的な知見をいかに組み込んでいくかが課題であり、本セッションにおける研究成果が、土砂災害における事前防災技術として確立し、避難勧告の発令基準などへと応用される日も近いと期待している。

## 7. 地盤防災 平成 23 年台風 12 号に関する地盤災害報告①

三 田 村 宗 樹  
大阪市立大学 大学院 理学研究科

### 1. はじめに

平成 23 年台風 12 号に伴う豪雨によって紀伊半島を中心に多くの土砂災害が生じた。このセッションでは、地盤工学会関西支部を幹事団体とする『『想定外』豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会』の調査・研究活動のうち、奈良県域の大規模崩壊と降雨特性の報告(2 件)について、和歌山・三重両県における花崗斑岩を主とする斜面崩壊、土石流被害の報告(6 件)がなされた。これら 2 つに分けて、以下総括する。

### 2. 大規模崩壊に関わる先行降雨の影響

平成 23 年の台風 12 号に伴う記録的な降雨によって、紀伊半島南部では、大規模な斜面崩壊や土石流に伴う土砂災害が発生したが、それに先行する大きな降雨として 45 日ほど前に通過した台風 6 号の降雨(7 月 17~19 日)があり、解析雨量の評価が行われている。台風 6 号の降雨強度は、台風 12 号に比べて約半分程度ではあるもの、その分布範囲は両者とも紀伊半島南東部のほぼ同じ区域であり、最大時間雨量の分布域も両者で重なる地域が多い。

奈良県天川村冷水では、台風 12 号の降雨によって大規模な崩壊が発生した。この地区では、これまで斜面より湧水があり飲料用に活用されていたが、台風 6 号の降雨後に湧水が止まっていたことが聞き取りから明らかになっている。気象庁土壌雨量指数は、台風 6 号では最大値 210 となり、注意報値を上回っていた(平井ほかの報告)。同様に、十津川村長殿濁谷においても、土壌雨量指数の評価が行われ、警報値を上回る 220 を示していた(伊藤ほかの報告)。濁谷は台風 12 号の降雨によって、先行する直下流域の大崩の崩壊により湛水状況にあった熊野川に、崩壊土砂が土石流化して流れ込み、それによる段波が発生し、上流に位置する長殿発電所が被災している。

岩盤斜面での大規模な崩壊では、従来から、前駆的なクリープ変形が進み、引き金となる大きな降雨によって、崩壊に至るとされている。これら 2 つの地区だけでなく、多くの箇所では、斜面変動地形が認められる箇所でも崩壊に至っている。気象庁土壌雨量指数が注意情報値を上回る状況で斜面は変動を起こす状況にあり、類似の降雨浸透・流出解析は地区における斜面不安定の評価と、避難指標の一つとして有効なものとみられ、今後の改良・活用が望まれる。

### 3. 紀伊半島南東部での斜面崩壊の要因

紀伊半島南東部の熊野酸性火成岩類(中新世火成岩類)

と熊野層群(新第三紀層)の分布域では、多数の斜面崩壊・土石流が発生し、多くの地域で被害が生じている。斜面崩壊や土石流源頭部のほとんどが熊野酸性火成岩類の花崗斑岩分布域であり、三重県域では 290 箇所のうち 90%以上にのぼる 262 箇所にも及ぶ。

熊野酸性火成岩帯は南・北の 2 つの岩帯に分けられ、南岩帯では斜面傾斜 30~40°、標高 500~200m、北岩帯では 35~45°、800~500m、の斜面で発生し、北岩帯で全般に発生標高が高く、相対的に 5°程度急な斜面であり、崩壊発生域は南向き斜面であった(酒井ほか報告)。降雨特性と発生個所の関係は、いずれの地域も累積降水量 800mm 以上の地域で、時間降水量は南岩帯で 70mm/h 以上、北岩帯で 90mm/h 以上で崩壊が発生している。南北両岩帯でやや地形・降雨特性に違いが認められ、北岩帯では、南岩帯に比べてより大きな降雨強度によって崩壊が発生している。

和歌山県那智山周辺の斜面崩壊については、浸透性の高い強風化部から浸透した降水は、花崗斑岩に発達する柱状・板状節理の節理系に沿って流動し、パイピングを伴って表層風化部を主とする表層崩壊に至っている(石田ほか報告)。降雨浸透・斜面安定解析の概略計算の検討(藤本ほか報告)から、これらの斜面では、降雨ピーク前に崩壊域の浅層部は飽和状態に至っていたとみられる。

南北両岩帯の崩壊特性の違いは、花崗斑岩の岩質・節理系の違いや風化状況の違いなど地質的な差異なのか、過去の降雨の違いからくる雨量に対する免疫的な違いであるのかは、さらなる検討が必要であるとみられる。

### 4. まとめ

斜面崩壊に関わる地形・地質、降雨特性との関係については、現地調査や降雨解析と崩壊のタイミングなどから明確になりつつあり、地域差なども明らかになってきた。四万十帯の付加体斜面での大規模な崩壊域、強風化と規則性のある節理系の発達する花崗斑岩域では、降雨浸透と斜面内の地下水変動には、降雨特性と崩壊発生時の関係の違いから、崩壊に至る斜面内地下水の状況は異なるとみられる。

降雨と斜面内の地下水とのより具体的な関係が明示されれば、より詳細な降雨浸透解析と斜面安定解析が行えるとみられる。しかし、斜面内の地下水状況については、これまでに、それほど明確な情報が示されていない。今後、関連するこれらの地質体からなる斜面での、斜面内地下水状況の観測やその評価が望まれる。

## 7. 地盤防災 平成 23 年台風 12 号に関する地盤災害報告②

深 川 良 一  
立命館大学理工学部

### 1. はじめに

本報告の対象は、地盤工学会関西支部等の 4 学協会の合同委員会である『「想定外」豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会』の研究成果をまとめた 21 編の論文のうちの 6 編である。6 編中 3 編は斜面表層崩壊、他の 3 編は河川堤防崩壊に関するものであった。

### 2. 研究および技術動向

台風 12 号襲来に際しては多くの場所で大規模斜面崩壊や大規模土石流が発生したため、これらに関心が集中しがちであるが、当然ながら斜面表層崩壊も多発している。本セッションの最初の 3 編は、奈良県野迫川村にある表層崩壊現場を対象とし、原位置試験、室内試験、崩壊メカニズムの推定を行ったものである。原位置試験としては大型定体積一面せん断試験が、室内試験としては物理特性、透水特性、保水特性を推定するための一連の試験および定圧一面せん断試験が実施された。以上の成果を利用して、最終的に無限平衡斜面を仮定した安定解析が試みられた。結果的に表層に 1m 程度降雨浸透が起こることで、安全率が 1 を下回るという結論が得られている。これらの研究発表に対して質問が寄せられたが、定体積条件を選定した理由、試料飽和化の方法等、試験条件に関するものが多かった。

後半 3 編のうちの 2 編は和歌山県内の河川堤防崩壊、

1 編は L 型コンクリート擁壁堤防の安定性に関するものである。最初の 2 編に関しては、まず和歌山県内のいくつかの河川における特徴的な被災事例および被災位置と旧地形の関係について紹介された。次に、その中で特徴的だった切目川の被覆堤防に焦点を当て、その破壊過程と対策の提案を目的として模型実験が実施されている。次の 1 編に関しては、L 型コンクリート擁壁堤防の洪水水位低下過程における安定性について、小型模型実験および弾塑性有限要素解析によって検討している。最終的に浸透条件下では擁壁型堤防の安定性が低下することを明らかにした。これらの発表に関しては、河川構造物被災と上流部のダム洪水調節との関係、被覆堤防の堤体材料として砂を用いた理由等に関して質問がなされた。

### 3. まとめ

斜面表層崩壊のメカニズムは、大規模崩壊等に比して推定が容易であろう。また、河川堤防は人工構造物であるため、一般にその崩壊メカニズムはより理解し易いはずである。しかし、それでもなお斜面・河川堤防崩壊の再現計算は容易ではない。本セッションで紹介されたような、注意深い現地調査に基づく現地斜面・河川堤防のモデル化、およびそれらを踏まえたモデル実験や数値シミュレーションの事例をさらに積み上げることが重要である。

## 7. 地盤防災 平成 23 年台風 12 号に関する地盤災害報告③

酒 井 俊 典

三重大学大学院

### 1. はじめに

本セッションは、平成 23 年台風 12 号による豪雨により発生した紀伊半島における地盤災害に対する調査・研究のため、地盤工学会関西支部を中心に、日本応用地質学会関西支部、関西地質調査業協会、中部地質調査業協会の合同委員会として立ち上がった『「想定外」豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会』の研究成果のうち、奈良県、和歌山県、三重県における主に大規模崩壊を対象とした 7 編の発表であった。

### 2. 研究及び技術動向

大規模崩壊に限らず表層崩壊においても崩壊が発生する要因として、降雨や地質と併せて植生の影響が指摘されていることから、崩壊地の表層被服状況の把握を行うため植生の分類に有効な近赤外線域にスペクトルバンドを持つ Landsat5 号 TM データを用いた検討が行われた。提案された手法により大規模崩壊カ所と表層崩壊カ所における植生と崩壊との関連を求めた結果、大規模崩壊では崩壊カ所とそうでないカ所に植生の大きな差は見られなかったが、表層崩壊では落葉樹において崩壊発生が若干多い傾向があることが示された。本論で使用した衛星データは 1985 年 6 月と古いことや、現時点の評価において林地の手入れの状況や樹種の正確な判別までは至っておらず、崩壊と植生との関係を明らかにする上で今後さらなる解析手法の進展を期待したい。

大規模崩壊の崩壊メカニズムの解明において、付加帯を含めた地質構造の把握が必要である。平成 23 年台風 12 号により発生した大規模崩壊のうち奈良県、和歌山県では四万十帯における発生があったとの報告がなされているが、三重県では秩父帯においても発生が見られ、これらの大規模崩壊カ所の崩壊状況調査についての報告があった。四万十帯における崩壊について、濁谷・野尻地

区および伏菟野地区においては、断層構造に伴う破碎・せん断作用を受けた領域で崩壊が発生し、崩壊は断層構造に伴う影響があることが示された。また、これら断層等の影響により地盤内には局所的に透水性が高い部分が形成されている可能性も指摘された。秩父帯の崩壊である東又谷では、四万十帯で見られる崩壊に比べ崩壊深度が深く、チャート層が明瞭に確認出来るとともに、チャート層上位のせん断された黒色泥岩のスラスト境界において湧水が確認されることが示された。また、現地で層状の堆積層から採取された木片の年代測定を行った結果、約 18000 年前の木片であることが確認され、この周辺では過去に大規模な崩壊が生じ、土砂ダムが形成されていた可能性が示された。

大規模崩壊の発生メカニズムについて解析により検討を行うため、浸透流・安定解析による崩壊シミュレーションが行われ、地下水の pipe flow による影響を考慮する必要があることが示された。提案された解析では、水位や強度等のパラメータが不明な中での検討のため推定の域を出ておらず、今後必要なパラメータ等を入手することでさらに解明が進むことを期待したい。

### 3. おわりに

紀伊半島では平成 23 年台風 12 号による豪雨により多大な被害が見られた。近年集中豪雨等による地盤災害が毎年のように発生しており、その発生メカニズムの解明および適切な対策手法が求められている。地盤災害の発生メカニズムを解明する上で、地質、土質、水理、植生等の多方面にわたる検討が必要であり、これら多方面からの検討を行うことは大変意義深いと考える。『「想定外」豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会』では、多方面から豪雨による地盤災害の検討を行っており、今後の研究成果が期待される。

## 7. 地盤防災 大規模崩壊・土石流

杉 本 知 史

長崎大学大学院 工学研究科

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災-大規模崩壊・土石流のセッションについて総括する。本セッションでは、8件の発表が行われ、おおよそ80名前後の聴講者が参加した。表-1に示すように、半数の発表が平成25年10月に伊豆大島で発生した台風26号に伴う土石流に関する調査・研究の内容であり、発表に対する質問やコメントも多く出され、聴講者の多くが強く関心を寄せていることが伺えた。その他の発表も、全て豪雨に関わる土砂崩壊をテーマとした内容であった。

### 2. 研究及び技術動向

これらの発表は、伊豆大島を中心に、新潟、京都、山口と広い地域に亘るとともに、表層崩壊機構の解明や広域斜面危険度予測、流出土砂の物理的特性の把握という幅広い内容が含まれていた。

伊豆大島で発生した土石流の崩壊については、模型実験ならびに数値計算による評価、現地調査に基づく評価、物理試験の結果に基づく評価など、多量の水を含んだ降下火山灰の流出による崩壊について、異なる立場の発表者が様々な角度から検証を行っていた。物理的な面については、崩壊土と非崩壊土に分けそれぞれの特性に基づき、自然含水比や粒度による分類を行ったもの、地層構成に着目し、表層崩壊機構を分析していた。特に後者において、大規模な表層崩壊を引き起こした原因が、元町溶岩と呼ばれる層が作り出した起伏の少ない広い斜面の存在とする点に、素因としての地層構成の寄与度の高さが伺えることは興味深く感じられた。

また、力学的な面については、レスならびに火山砂を用いた互層斜面の遠心模型実験とこれに合わせた斜面の安定計算による分析が行われていた。特に前者においては、間隙水圧の測定結果より、数度の変動が生じる中で不透水層上に浸透流が溜まり、やがて水みちを経て表層に達した後、表層崩壊を引き起こしたとする詳細な分析が行われていた。

その他、上下流部に異なる主測線と土塊を持つ2つの地すべりに関する原位置計測の状況、ならびに不安定土塊除去のための数値解析による検討といった内容や、GISにより構築されたデータベースに基づく広域斜面危

表-1 研究発表一覧（敬称略）

|                                                     |
|-----------------------------------------------------|
| 912（本明ほか）<br>台風26号による伊豆大島土砂災害の表層崩壊機構の検討（その1:遠心模型実験） |
| 913（横内ほか）<br>台風26号による伊豆大島土砂災害の表層崩壊機構の検討（その2:解析的検討）  |
| 914（稲垣）<br>平成25年10月伊豆大島土砂災害の特徴                      |
| 915（栃本ほか）<br>三郡変成岩地帯で発生した大規模斜面崩壊事例                  |
| 916（中川ほか）<br>7・13新潟福島水害の事例解析による広域斜面危険度予測手法の基礎的研究    |
| 917（秋間ほか）<br>伊豆大島における台風26号災害での崩壊土と非崩壊土の土質物理試験結果の比較  |
| 918（正田ほか）<br>豪雨時決壊ため池の下流域土砂物性について                   |
| 919（細田）<br>平成24年8月宇治豪雨時に下流浸水域に堆積した土砂の起源について（その2）    |

険度予測手法の提案、豪雨により流出した土砂特性の分析に関する内容の発表が行われた。

### 3. まとめ

豪雨による地盤災害が絶えず発生し、過去の災害調査・事例研究から得られたノウハウを以下に蓄積し、今後の防災・減災の計画立案に生かすかが課題になるものと考えられる。特に今年は、異常気象に伴う断続的な豪雨が日本各地を襲っており、特に岐阜や広島では大規模な土砂災害に見舞われている。素因となる各地に分布する土質、地形に加え、誘因となる降雨について、地域性を考慮した地盤防災の対応が求められる中、気象学、水文学、地質学さらには地盤工学それぞれのこれまで得られている知見を結集する形で、総合的な分析を行っていく必要があるものと考えられる。

## 7. 地盤防災 地すべり①

日 下 部 祐 基

土木研究所 寒地土木研究所

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災（地すべり①）のセッションについて総括する。

自然、人工のいずれの斜面でもその斜面安定の問題は、人間活動の基盤となる社会資本整備を担う土木の分野で直面する大きな問題である。丘陵地や山地が国土の7割を超える日本列島では、代表的な斜面災害として地すべり現象があげられる。

一般に「地すべり」は、移動する斜面土塊の規模が大きく、移動速度が相対的に緩慢であることが特徴である。そのため、地すべりを止めるための対策は、大規模になる場合が多く、またその発生は森林育成、農地、土木・建築物などに損害を与え、経済的損失も大きくなる。地すべりを含めて斜面安定の問題を扱う場合には、斜面土塊の持つ強度や斜面災害の規模（範囲や深度）、地下水の挙動などを把握する必要がある。

ここでは、セッションの発表論文を大まかに「残留強度」、「すべり面」、「水と地すべり」の3つに分類してコメントし、最後にまとめとして全体を総括する。

### 2. 研究及び技術動向

#### 2.1 論文分類「残留強度」

室内試験による地すべり面粘土の残留状態でのクリープ破壊特性を研究したものとして、2編の論文が発表された。

一般的な地すべりの運動様式は、緩速度で変形するクリープの要素が強い現象として現れる。この現象を把握する目的で、クリープせん断破壊試験を行って検討した。その結果、一定クリープ荷重と残留強度の比としたクリープ応力比や、2次クリープから3次クリープに変わるときのせん断変位量を限界変位としてこれらの相関を確認し、回帰分析により破壊予測モデルを算出した。また、せん断速度と残量強度の関係などを示した。今後はこれらの実斜面への適用性を検証する必要があると考える。

#### 2.2 論文分類「すべり面」

活動を休止している地すべりに対して、すべり面の決定手法、およびすべり面の性状に応じた強度のゾーニングについての論文2編が発表された。

すべり面の決定手法としては、コアに認められる粘土層の観察、ボアホールスキャナ孔壁観察、コアの破砕度区分などを用いて、地質構造およびすべり面形状の決定

手法を示した。一方、強度のゾーニングに関しては、地すべり面の性状により残留強度と完全軟化強度に分類してゾーニング強度に適用し、安定解析により安全率を求めて有効性を示した。これらの研究では、コア観察やゾーニングなどに地質学的な知見が必要であり、土木・地盤工学と地質学を組み合わせた研究が有効と考える。

#### 2.3 論文分類「水と地すべり」

準三次元浸透流解析や水—土連成弾粘塑性有限解析などの数値解析による地下水排除工の検討、および世界を対象とした地球規模の海底地すべりの特徴に関する3編の論文が発表された。

地すべり対策としての地下水排除工はコスト面から有効な対策工であるが、排除工とする集水井や水平ボーリング孔などの数や配置の設計精度の向上が望まれる。今後、ここで用いられた解析法の実用化が期待される。また、海底地すべりの研究に関しても、今後それによる津波被害などの防災に繋がることを期待したい。

### 3. まとめ

地すべりに関する研究は、衆知のように2つの異なった観点から研究されているのが現状である。1つは、地すべりが地表面を侵食する自然過程と考える地質学での研究である。地質学の研究者は、地すべり現象を原因、経過、そしてその結果形成される地形について、外面剝離過程の1つとして研究している。

それに対して土木・地盤工学の研究者は、計画された斜面上の構造物の安全性の観点から斜面を研究し、斜面安定の評価法や安定させるための対策工に関する研究に発展させている。地すべりに関する研究は、これら2つの研究の組み合わせによって達成できると考えられ、すなわち、地すべりの原因、性格、発達を認識することで、危険の程度の察知いわゆる安定度の評価や、地すべり地域の規制や対策工による解決法を見いだすことを可能にする。

このことから地すべりの研究は、地質学、土木・地盤工学それぞれの研究者にとって、理論的かつ実的な重要性を有しているといえる。本セッションでは、土木・地盤工学の研究発表が主であったが、質疑では地質学、土木・地盤工学の研究者による議論となり、有意義なものであったと考える。これらの研究が、今後さらに発展して結合され、地すべり防災の発展に寄与されることを期待したい。

## 7. 地盤防災 地すべり②

笹原 克夫

高知大学

### 1. はじめに

本セッションでは7件の発表が行われた。先に行われた「地すべり①」のセッションの発表では、傾斜が比較的小さく、広い範囲が徐々に移動する、いわゆる「再活動型」の地すべりを対象とする発表が多かったのに対し、本セッション「地すべり②」では、斜面のモニタリングや広域的な斜面災害の発生要因の分析、岩盤斜面など多岐にわたるテーマの発表があった。また本セッションにおいては7件の発表のうち、36歳未満の若手発表者が5名、そのうち学生の発表者が4名あったことは喜ばしいことであった。

### 2. 研究及び技術動向

本セッションにおける7件の発表をテーマ別に以下に挙げる。

#### (1) 斜面のモニタリング

927：モニタリング事例

928：モニタリングシステムの構築と計測結果

929：静電容量式の変位計の開発

#### (2) すべり面粘土の化学的性質

930：陽イオン吸着・交換によるX線回折強度の変化

#### (3) 広域的な斜面災害発生原因の検討

931：地質、湿度、そして降水量と斜面崩壊の関係

#### (4) 亀裂を有する斜面の崩壊機構

932：岩盤斜面の亀裂の劣化と崩壊しやすさ

933：鈎壁の不連続面の方向と崩壊

(1)の「斜面のモニタリング」について、モニタリング機器の有用性の検討と解釈すると、斜面安定（一般）、斜面安定（モニタリング）①、斜面安定（モニタリング）②のセッションでも数多く報告されている。そして「モニタリング結果の解釈に基づく崩壊発生予測」に関するデータの解析や解釈に関する研究事例も含めると、斜面安定（不安定化メカニズム）や他の斜面及び地すべり関係のセッションで広く扱われているテーマとなる。本セッションでの報告事例もモニタリング機器やシステムの開発、モニタリング事例といった「斜面のモニタリング」に関する発表であるが、近年の地盤工学研究発表会でも毎年数多く発表されているテーマである。ただし発表されるモニタリング機器やシステムの開発の事例の中には「どのような規模やメカニズムの斜面崩壊・地すべりを対象とするのか」がはっきりしないものも多いと考える。例えば固い岩盤の変位を計測するための精度や定格容量

と、柔らかい土の地すべりの計測の精度や定格容量は異なるのであり、計測機器の開発にはこの点を十分に注意するべきであることは自明である。これを認識し、計測後のデータの解釈を想定した機器やシステムの開発を行わないと、地盤工学の研究者・技術者の存在意義がなくなりかねないことを危惧しているところである。また「データの解釈と崩壊発生予測」に関する研究が不十分であるとする。崩壊発生にいたる斜面の変形のモデル化等を十分に認識しないと、計測機器やシステムの開発も行えないはずである。今後この「モニタリングデータの分析や解釈と崩壊発生予測への適用」に関する研究事例の発表がより多くなることが望まれる。

(2)の「すべり面粘土の科学的性質」については一件の発表であったが、すべり面粘土の化学的性質を変化させ、せん断強度を増加させるという方向性のもとに行われた研究であった。フロアの関心も高いと感じた。新しい対策に繋がるおもしろい発想であるので今後の発展を期待したい。

(3)の「広域的な斜面災害発生原因の検討」ではマレーシアを対象に検討を行っている。国全体の斜面災害発生危険度判定を行うための基礎的な検討であり、重要であることは承知しているが、長年土砂災害や斜面災害に携わっている座長から見ると、30年前に急傾斜地崩壊の発生危険度評価手法が検討された頃と比べて、学術的に目新しいところはないように思える。手法自体はGISを用いた大量のデータ処理を行うなど現代的であるが、過去の関連分野の既往研究のレビューが必要であるとする。

(4)の「亀裂を有する斜面の崩壊機構」について、932は岩盤斜面の亀裂の劣化を弾性係数で評価し、弾性係数と遠心模型実験における崩落時の加速度の関係を検討した。933は1G場において斜面との交角が異なる不連続面を有する模型斜面を作製し、法尻を掘削して崩壊させる実験を行っている。両者ともに重要なテーマを扱っていることは自明である。その意味で一連の研究の成果が、どのように亀裂を有する岩盤斜面等の崩壊の予測に反映されるのか、という先の見通しを知りたいと感じた。崩壊機構の検討だけでなく、崩壊予測の考え方も示すことができるように研究を進めていただくことを期待する。

### 3. おわりに

以上やや厳しいコメントをさせていただいたが、「崩壊予測」を意識した研究を進めていただけると幸いであるとする。

## 7. 地盤防災 落石

若 井 明 彦

群馬大学

### 1. はじめに

本セッションで行われた発表は、落石現象とそれに関連する技術課題を扱った計9件の研究発表であり、その内訳は順に、地盤の振動計測1件、模型実験3件、運動シミュレーション2件、落石防護柵の模型実験とその解析1件、そして落石緩衝材に関する実験2件である。

### 2. 研究及び技術動向

落石に関する研究は、従来から運動特性の解明とそのモデル化に関するものが多い。発生源の斜面上における落石危険要因を完全に除去するのは容易ではないため、一般に、運動開始後の転動径路を推定し、適切な防護工を設置し、保全対象への被害を最小限にとどめるという実務的要請に基づくものである。しかし、落石の運動形態ならびにその径路は、落石自身の特性や幾何学形状、そして落石が着地する地盤表面の特性や状態にそれぞれ強く依存するとともに、極めて短時間に生ずる衝突現象の連続に支配されるため、その統一的かつ一般的な理論化はなかなか進んでいないのが実情である。

本セッションの9件の内容を概観する。

最初の地盤振動の計測に関する研究は、落石を誘発する可能性のある強風時の樹木揺動が周辺地盤を振動させることに着目したもので、基礎的な研究ながらも、これまであまり見られない視点からの研究である。

それに続く計5件の発表は、小型あるいは実大の落石

模型実験とそれらの数値シミュレーションに関するものであり、衝突時のエネルギー損失等を含む詳細な衝突事象の解明ならびに運動径路の高精度予測を目標としている。特に、球形以外の不規則な形状を有する落石を多数回落下させた実験結果の分析からは、運動径路を支配する多様な要因が解明できる可能性があり、興味深い。

後半の3件はいずれも対策工に関するものであるが、うち1つは落石防護柵の基礎杭に水平衝撃力が作用したことを想定した実験および解析的検討である。一方、その他の2件は、落石緩衝材の特性を解明するための実大および小型模型実験である。緩衝材内部の動的変形と巨視的な衝撃吸収性能との関係を解明する上で重要な試みであると思われる。

### 3. まとめ

落石に関する研究を、現象の各段階に対応させて再整理するならば、発生（の誘因）、運動過程、対策工、という3段階に分類できよう。セッション最初の地盤振動計測についての研究は“発生に関わる誘因”の分析に、後半3つの落石防護柵ならびに緩衝材に関する研究は“対策工”にそれぞれ分類され、その他の5つの研究はいずれも“運動過程”の解明に属するものと考えられる。それら各現象段階での研究がさらに進展、深化し、やがて統合化されることで、将来、総合的な落石管理システムの構築に寄与することを期待したい。

## 7. 地盤防災 津波・浸透破壊

佐々木 哲也

(独) 土木研究所

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災ー（津波・浸透破壊）のセッションについて総括する。本セッションでは、10編の発表があり、地盤洗掘のメカニズム、防潮堤の津波越流破壊メカニズムと対策、橋台背面盛土の津波による被災メカニズムと対策、内部侵食挙動の検討、河川堤防の浸透破壊現象に対する剛塑性有限要素解析の適用性に関する発表があった。

### 2. 研究及び技術動向

地盤洗掘のメカニズムに関し、要素実験や模型実験により、洗掘現象には地盤内の間隙水圧の発生、変動が大きく影響することが紹介された。内部侵食に関する研究においては、粒度分布による土粒子の流出特性の違いや、動水勾配の変動に伴う内部侵食の進行、目詰まりの発生について検討を加えている。今後、地盤内の水圧、動水勾配、地盤内あるいは土粒子間の応力状態等を踏まえた、浸食や内部侵食のメカニズムの解明が望まれる。

防潮堤の津波に対する安定性に関しては、遠心模型実験により詳細な分析と対策効果の検証が行われている。防潮堤内外の水位差に伴う浸透流と津波越流の連成作用

が、ケーソン端部のマウンド部の洗掘、マウンド支持力破壊、流動、ケーソン不安定化といった一連の挙動につながることで、腹付け工の施工により安定性が大きく向上することを示している。

橋台背面盛土の耐津波性に関しては、模型実験によりその損傷評価やのり面補強の効果に関する研究が行われている。今後は、橋台部の局所的な流れの評価とともに、基礎地盤を含めた地盤内の水圧挙動等を踏まえた現象の解明、評価、対策技術の開発が望まれる。

### 3. まとめ

本セッションの報告では様々なアプローチにより津波による洗掘や浸透破壊に関する検討の報告がなされた。これまで、洗掘については流速により、内部侵食については局所導水勾配や流速による評価が主体であったが、地盤内の水圧変動、浸透力、有効応力の減少等が大きく影響していることを示唆する結果が得られている。これらのメカニズムの解明、侵食破壊・浸透破壊の理論構築とともに、これらの現象を踏まえた洗掘・浸透破壊の評価、対策技術の開発に向けたより一層の研究が期待される。

## 7. 地盤防災 地震時の地盤と構造物

桑 野 玲 子

東京大学 生産技術研究所

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災（地震時の地盤と構造物）のセッションについて総括する。本セッションでは9編の発表があり、うち4件が実験や解析により基礎や地盤改良体等の地震時挙動を調べる研究で、5件が路面下空洞特性や地下空洞充填の事例の分析および報告であった。

### 2. 研究及び技術動向

前述のように本セッションでは発表内容が二つに大別されるため、以下2つに分けて報告する。

#### 2.1 地盤と構造物の地震時挙動

杭、地盤改良体、バラスト軌道の地震時挙動についての研究が報告された。研究対象、手法、内容ともにそれぞれ別個であり動向を論じるのは困難なため、個々の内容について簡単に紹介する。

- ・断層帯に設置された杭基礎の変形について、遠心載荷実験で上載厚の影響を調べた。過去の地震で断層変形による杭の損傷例も報告されている。
- ・長周期振動に伴う東京湾岸のタンクのスロッシングによる内容液の溢流の可能性を指摘し、対策として地盤改良が有効かどうか検討した
- ・東日本大震災における浦安の液状化発生地域における液状化対策工（SCP、GD）の効果を、沈下解析により検証した。
- ・バラスト軌道の地震時および地震後の道床横抵抗力を実物大振動台実験で検討した。

地震に対する土構造物や地中構造物の安定性は従来から関心が高いところであるが、さらに一歩踏み込んだ、地震による土構造物の損傷度合とその定量評価、および地震後挙動の把握までニーズが進んでいる。地盤中の構

造物の複雑な挙動を詳細な模型実験で再現しメカニズムを理解しようという努力がうかがえた。

#### 2.2 路面下空洞および空洞充填

路面下空洞の実態を分析しとりまとめた一連の成果、および亜炭採掘跡の坑道を充填材により対策した事例について報告された。

路面下空洞は地震時のみならず常時においても頻発し、放置すると路面陥没を引き起こす危険がある。本セッションでは、常時と地震時の空洞の特性、空洞周辺のゆるみ領域、応急復旧対策として空洞を充填した場合の経過観察について、多数の空洞探査・対策事例を分析した結果が報告された。路面下空洞は、最近まであまり研究対象になっておらず、定量的評価や知見が不足している分野といえる。このように事例が積極的に公表・分析されて、今後の対策に生かされることを望むものである。空洞充填事例についても、本セッションの発表のように簡潔にまとめられ公表されることにより、ひとつひとつの経験が貴重な公知の蓄積となりうる。

### 3. まとめ

地震時の地盤と構造物の挙動の把握、および地盤防災上の対策は、我が国の技術者にとって従来から最重要課題のひとつである。考慮すべき対象や範囲はますます多岐にわたり細分化し、東日本大震災以降新たに生じた課題もあり、ひとくくりに総括できない。また、本セッションでは地下空洞に関して実務者からの事例分析および報告をいただいた。言うまでもなく、学術研究がどんなに進んでも実事例との照合やフィードバックが無くては方向を見誤る危険がある。今後も実務者からの積極的な参加を期待したい。

## 7. 地盤防災 Geohazard and Ground Improvement

飛 田 哲 男  
京都大学 防災研究所

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災 (Geohazard and Ground Improvement) のセッションについて総括する。本セッションは、第6回日本台湾ジョイントワークショップ「地盤工学における自然災害」のディスカッションセッションとして設定された特別英語セッションであった。本セッションでは、日本各地の大学に留学中の学生が、地盤災害と地盤改良に関する研究テーマについて、模型実験や数値解析による研究成果を発表し、それぞれに対して活発な議論がなされた。

### 2. 研究及び技術動向

全7編の発表の内、地盤災害のメカニズムの解明や被害軽減法に関する研究が5編、地盤改良に関する研究が2編であった。地盤災害としては、津波の越流によるマウンドの洗掘 (模型実験と SPH: 1件, 模型実験: 1件)、トンネル掘削が近傍の杭基礎に与える影響 (模型実験と 2DFEM)、降雨による斜面崩壊 (2件ともに模型実験と数値解析(FEMとSPH)) を対象とするものであった。地盤改良としては、重力式岸壁の背後地盤をタイヤチップ混合地盤としたときの地震動特性について数値解析的に検討したものと、群杭基礎の深度方向に部分的な地盤改良を施した場合の振動特性を3次元 FEM により検討したものである。

テーマが多岐にわたり、すべての研究発表が新鮮で興味を引かれるものであった。中でも興味を引かれたのは、966 番の "Deep tunnel excavation considering existing structure at different positions - model tests and numerical simulations" である。本研究は、都市域の大深度地下におけるトンネル掘削による地盤の緩みが、既存の杭基礎に及ぼす影響を模型実験と数値解析により定量的に評価しようとするものである。実験は、地盤を模擬するため積層アルミ棒を用い、その中にトンネル掘削を模擬するための装置を設置している。この装置の横断面は円形であり、掘削を模擬するためその径を縮めることができる。このときのアルミ棒の変位を側面から連続撮影し、PIV により変位を計測している。実験では、杭基礎下端よりもトンネルの方がやや深いところ (地表面からトンネル径の4倍の深度) に位置し、両者の距離を 0.0B から 2.0B

(B はトンネルの直径) まで4段階に変化させている。数値解析は  $t_{ij}$  モデルによる 2DFEM モデルを用いている。実験と解析の比較はトンネル周辺のせん断ひずみ分布で示されるが、非常に良い一致を示している。また、トンネルの近傍に杭基礎が存在する場合、掘削に伴う地盤の緩みによって杭基礎に沈下が発生することが示されており、トンネル掘削が大深度であっても近傍に杭基礎がある場合には、これらの相互作用は無視できないほど大きい可能性があることを示唆している。

研究の動向としては、SPH を地盤に適用した研究事例が2件報告された。この点、2014 年現在、特に目新しいことではないかもしれない。しかし、地盤を対象とした場合、有限要素法の限界を超える数値計算法の一つとして徐々に適用事例を増やしてゆくことは、この分野の発展にとって、また地盤災害の軽減にとっても望ましいことのように思われる。特に 968 番の "SPH simulations of slope and dike failure under heavy rainfall considering the effect of air" では、豪雨時の斜面の安定問題における地盤内の気泡の影響について検討している。現実には斜面の安定に対して気泡がどれほどの影響があるのかは、今後詳細な検討が必要である。しかし、そのような解析ができることが示されており、今後この計算手法の大きな発展が見込まれるように思う。

### 3. まとめ

地盤防災と地盤工学との関連について言えば、近年頻発する豪雨や地震に起因する斜面災害の軽減に直接適用できる研究成果が求められる。斜面災害については、定性的な発生メカニズムの解明やハザードマップの作成に当たって、主に地質分野の研究者が携わっており、地盤工学分野の研究者の貢献度が小さいのではないかとと思われる。斜面災害に関する研究分野は、地盤工学にとって身近な学際分野であり、地質・地形学や水文学等の知見が必要とされる。これまで斜面災害の発生メカニズムに関する研究や被災後の調査報告等は多くなされている。しかし、毎年のように発生する斜面災害を減らすためには、対象地点に的を絞った具体的、定量的な研究が必要であると思われる。本年8月に広島県で発生した大規模な土砂災害を鑑みても、今後地盤工学の斜面災害分野へのもう一歩踏み込んだ研究の必要性を感じる。

## 7. 地盤防災 Liquefaction

豊田 浩史  
長岡技術科学大学 工学部

### 1. はじめに

本報告では、地盤防災（Liquefaction）のセッションについて総括する。本セッションは、液状化に関する英語論文を7編集めた英語セッションとして開催された。英語ということで、日本の技術者の参加は減ってしまうと思われるが、日本語の不自由な留学生でも討論に参加できることを目的とした画期的なセッションであった。

ここで取り扱われたテーマは、基礎的な液状化挙動に関するものから液状化対策まであり、また、その手法も要素試験、1G場の模型振動台試験、遠心場の模型振動台試験、数値シミュレーションと大変幅が広いものであった。

### 2. 研究及び技術動向

要素試験から液状化挙動を研究したものとして、非塑性細粒分の影響と不飽和砂の液状化を取り扱ったものがあつた。まず、細粒分の影響であるが、この問題に関しては、古くから取り扱われているものの、結果のまとめ方については統一の見解が得られていないのが現状である。今回は、空中落下法で供試体を作製して液状化挙動を調べたものであるが、この作製方法と実地盤との対応関係についても検討していく必要があろう。不飽和砂の液状化問題に関しては、これまでは簡易的な三軸試験でしか実験されていなかったが、サクシンの測定、不飽和土の理論に基づいた複雑な制御とかなり精巧な試験が行われるようになってきた印象である。

模型試験からは、透水係数の低い層を含んだ地盤の液状化による変状が報告された。地表面沈下量は、この透水係数の低い層の有無によらずほぼ一定となるが、透水係数の低い層の直下で鉛直方向、水平方向ともにひずみの集中がみられた。今後は、このような地盤の液状化および流動対策をどのように行うのが問題となろう。

液状化対策工法として、シートパイル工法について2編の発表があつた。それぞれ、堤防の沈下と構造物の沈下抑制に関しての提案である。液状化そのものを防ぐより、変状（特に側方流動）を押さえる効果が高いことが報告されている。簡易な施工ですむことより、今後、このメカニズムをよく理解した上での利用が増えてくるであろう。

その他の液状化対策として、気泡混入による飽和度の低下と埋め込み柱による側方流動抑制が報告された。気泡混入工法については、その手軽さから既存構造物への対策工法として着目されている。解析的にもその効果が確認できるようになってきており、効率のよい注入法や注入箇所などについて今後も検討が行われていくものと思われる。埋め込み柱による対策では、その柱の配置により、効果に差があることが報告された。ただ、効率的な配置を決めるには、様々な要因が存在しているということで、今後も実用化に向けて一つずつ知見を蓄積していく必要がありそうである。

### 3. まとめ

まず、液状化の土要素試験による基礎的検討では、細粒分にせよ不飽和土にせよ、すべての技術者で共有できる指標の設定が不可欠であると感じた。簡易な指標だと使いやすいが議論できる現象も限られてくる。ただし、実務的にも広く用いられるものを考える必要があろう。

液状化対策は現在、大変着目されている分野であろう。それぞれの工法の有効性が様々な報告から示されており、どの工法も液状化対策として、有効に働くことは期待できる。今後は、そのメカニズムを理解した上での利用法と、最適な設定（設計）方法について検討していくことで、対策工法の費用低減がはかられ、利用機会が増えていくものと思われる。

## 7. 地盤防災 Slope Stability, Landslides and Debris Flow

Netra Prakash Bhandary

愛媛大学大学院理工学研究科

### 1. Session outline

A summary of the session under theme ‘Geo-disaster Mitigation (地盤防災)’, entitled ‘Slope Stability, Landslides, and Debris Flow’ is reported here. As it was probably the first time any national convention of the Japanese Geotechnical Society was planned to include three English sessions, this report has been prepared in English too.

In this session, there were six papers presented in different aspects of geo-disaster mitigation by international students of the graduate schools of the University of Tokyo (three papers), Tsukuba University (one paper), Kobe University (one paper), and Ehime University (one paper). The presented papers were from a wide range of geo-disaster mitigation including field measurements, model tests, GIS application, early warning, and deformation measuring device development, etc. A discussion on all presented papers was conducted in the end, and so as to make discussion process smooth, the presented papers were grouped in three categories of 1) measurement and early warning, 2) GIS and model test, and 3) case study.

### 2. Research issues and objectives

As one of the most important problems faced and dealt in the field of geotechnical engineering, slope instability has always attracted a great deal of scientific attention since the time soil mechanics was developed as an engineering subject. The fundamentals, basically of slope stability analysis were well developed decades ago, but what have changed today are computer-aided attempts to adopt 3-D stability analysis for precise estimation of factor of safety, precise measurements in the instability fields, precise numerical and physical modeling, precise failure prediction, and so on. However, the slope instability problem covered in soil mechanics or geotechnical engineering textbooks is still limited to dealing with a single problem at one attempt of analysis in contrast to the problem we face of multiple slope instabilities or landslides in a particular area or region at the same time. When we use slope stability analysis method to deal with mass landslide or debris flow disaster mitigation in an unknown area, we surely come across serious questions about reliability of the results unless and until we precisely estimate soil properties and slope physics. Moreover, predicting slope failure locations through slope stability analysis methods is still a less practiced engineering solution to disaster management.

Landslides, slope failures, and debris/mud flows are probably the most frequent geo-hazards all over mountainous areas in the world today. The worldwide annual disaster damage due to landslide-related phenomena still stands at billions of dollars and thousands of human deaths. So, managing these slope instability-related geo-hazards is a big challenge to geotechnical engineers. This session was planned to include six research papers that have dealt with early warning solution to rain-induced slope failures through field-based suction measurement and elastic wave velocity measurement, the role of root reinforcement in slope stability through model-based hydraulic property evaluation, the deformation measurement for failure prediction, field data-based debris deposition modeling for predicting area of influence, and regional-scale landslide hazard prediction through GIS-based statistical analysis.

### 3. Remarks

Early warning of rain-induced slope failures or landslides has always been a major issue in landslide disaster mitigation. As suction in an unsaturated slope material decreases with increased moisture content, precise measurement of suction in less stable slopes may help accurately predict failure. Likewise, elastic wave velocity through soil material decreases with increased saturation, which may be well utilized in predicting the saturation level of ground and thereby in predicting slope failure. Moreover, evaluating the role of vegetation root network in slope stabilization has always been complex in terms of incorporating increased material cohesion and increased rate of infiltration. It is important to estimate the amount of change in material strength and hydraulic properties for precise evaluation of root-reinforced slopes. It is equally important to measure material deformation so as to predict failure. So, developing precise but economical devices for such purposes cannot be overlooked when planning disaster mitigation.

Some recent landslide-related disasters have put a question mark against our understanding. This often necessitates an enhanced understanding of the phenomena so as to predict the area of disaster influence. Finally, regional-scale landslide hazard assessment is also equally important, and recent advancements in GIS techniques have somehow made it possible to prepare high probability hazard maps. However, coupling geotechnology and GIS is still a major challenge towards increased reliability of hazard maps.