

7. 地盤防災

【地震（一般）①】 東京大学 清田 隆

1. はじめに

本セッションでは地盤防災の中でも主に宅地造成地や道路盛土などの人工地盤において発生した地震被害と復旧について、計8編の報告がなされた。

2. 研究及び技術動向

調査・分析の対象となった地震は、2011年東北地方太平洋沖地震、2009年駿河湾沖の地震、2004年中越・2007年中越沖地震であった。東北地方太平洋沖地震による宅地造成地の被害に関しては、水道被害箇所の地盤環境に関する詳細な報告があった。また、常時微動計測により複雑な造成地の地盤が振動特性に及ぼす影響を検討した報告や、今まさに進行中である造成地の復旧・対策現場の現状や課題に関する報告がなされた。また、高速道路については盛土高さと地質に着目した被害分析に関する報告があった。いずれも将来における造成地のライフラインや住環境、及び道路盛土の地震地盤防災に向けて重要な情報が提供されたと共に、被害箇所の事前予測の困難さや既存住宅がある中ででの工事立案・施工の困難さも、発表や質疑を通じて参加者に伝えられた。その他液状化被害が深刻であった浦安市に関しては、埋立地盤の下位に分布する沖積粘性土層の圧密沈下速度が2011年3月の地震により増加したこと、そしてその傾向は事前の沈下対策の有無の影響があったことが報告された。

2009年駿河湾沖の地震に関しては、スレーキングによる盛土材料の劣化を考慮した道路の耐震補強設計事例の報告がなされた。土工ではスレーキングしやすい泥岩が用いられる場合も多いことから、今後このような発表事例は道路盛土だけでなく様々な造成地盤でも参考になろう。一方、現場試料による室内試験結果はばらついており、またスレーキングの速度は現場により大きく異なるため、地盤定数の適切な設定が今後の課題となるであろう。2004年中越・2007年中越沖地震に関する発表では、地震被害家屋と震度の関係に及ぼす地盤条件と建築年代の影響について報告がなされた。発表者らはこれらの関係について地震に依らず普遍的な特徴を明らかにすることを目指しており、今後のデータの蓄積が期待される。

最後に、想定レベル2地震による無人の海上人工島の護岸の挙動と土砂流出による航路閉塞に関するシミュレーションの報告がなされた。通常のインフラとは異なる構造物に対し、経済性を考慮してどのように性能を設定するか等、興味深い発表がなされた。

3. ま と め

本セッションでは、発表者らによる現場調査、机上調査、GIS上の分析等、多くの有用なデータが示された。災害に強い街づくりに向けて、これらのデータに多くの技術者がアクセスし、有効に利用されることを望む。

【地震（一般）②】 日本大学 仙頭紀明

1. はじめに

本報告の対象は主に地震による地盤変位、具体的には、地殻変動、断層変位、震動を取り扱った8編の論文である。

2. 研究及び技術動向

断層変位を考慮した設計法に関する発表では、断層変位に対する構造的な対処方法に関する技術的方法を示すとともに、安全性の判断基準として新たな終局限界の概念が提案された。不確かさ、不連続性の取り扱い、想定を超えた事象に対する対応、社会的合意形成等の困難な問題が山積しているものの、地盤工学会として真摯に取り組むべき課題であり、今後、研究を推進する必要があると考える。関連して、断層変位が種々の基礎構造に及ぼす影響に関する模型実験が近年行われるようになり、今回も2編の発表があった。断層変位の影響を基礎構造物の設計にどのように反映させるかがキーポイントである。具体的には基礎に荷重として外力を作用せるか、応答変位法のように地盤ばねを介して変位を与えるか等の方法が考えられる。ただし設計法を検証するためのケーススタディーや実験データも限られているため、本発表のような実験データを蓄積していくことは重要である。

震動については、断層を考慮した地震動の設定、地盤の不連続性に着目した被害事例、杭基礎被害事例が報告された。特に杭基礎被害事例では東日本大震災でレベル1地震動相当の地震動にもかかわらず、杭頭が圧縮せん断破壊し、その結果建物が沈下したことが報告された。これは地表付近に堆積した腐植土層の圧密沈下により杭頭が突出状態になったことが原因であると結論付けている。地震による杭基礎の被害事例は液状化や側方流動のように過度の地盤変位が原因のものがほとんどであり、今回の報告は貴重な事例といえる。特に高有機質土が広く分布する北海道や東北地方でも同様の被害が発生しても不思議ではないため、注意喚起となるであろう。また、近年の地震では、粘性土が地震の繰返し載荷に伴う過剰間隙水圧の発生とその後の消散が原因で長期にわたって沈下が発生していることが報告されていることから、これらの沈下が杭頭突出をもたらすことも懸念されるため、

その影響を今後検討する機会があるかもしれない。

その他にも、東北太平洋沖地震直後に関東平野で観測された地下水位低下を広域の地殻変動により説明しようとする試み、プレート沈み込み境界付近の堆積軟岩の異方性の発達に関する実験的研究があった。これらの現象はこれまでに想定していなかった外力が地盤に作用したことにより生じるものであり、メカニズムの解明が期待されるところである。

3. おわりに

地盤変位を予測し設計に反映させるためには、不連続性、不確実性の考慮が大きな課題であると感じた。そのためには、より多くのケーススタディーから得られた知見に基づき手法を改善していくことが必要であろう。また技術者・研究者が経験していない(想定できなかった)事象があったこと、これからもあることを謙虚に踏まえた研究への取り組みが必要であると考え。

【液状化被害】 関東学院大学 規矩大義

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。このセッションで発表された8編の論文はいずれも東日本大震災の液状化被害に関連するものであるが、液状化発生地点の地盤調査(850)、河川堤防の被害事例解析(851)、被災住民に対する意識調査(852)、被害の損失評価に関する調査・検討(853, 854)、路面下の空洞に関する事例・検証実験・調査法(856, 857, 858)と多岐にわたっている。震災から2年が経つこともあり、他のセッションを含め、液状化被害の調査報告(1次報告)は幾分少なくなり、被災原因やメカニズムの検討、今後の対応や個別の対策の話題が増えつつあるが、東京湾臨海部で見られた液状化の激しさや、僅かな地盤条件の違いによる被害の有無や程度の差異について十分に解明されるまでには至っていないのも事実である。

震災後、液状化による被害を受けた地域、或いは液状化の発生が確認された地盤では、相当数の調査が実施されている。それら多くの地域で、「液状化が発生するに値する地盤(の弱さ)であり、液状化安全率を求めると1.0を切っていた」という事実は重要なことであるが、それを決める要素は N 値(換算 N 値)や相対密度、細粒分含有率などの情報のみである。今回の震災では、情報からは同じような値を示していても、僅かに場所がずれただけで液状化が発生していなかったり、被害の程度が大きく異なったりした事例も多数見られた。液状化するかどうかのギリギリの条件だったことや、地震動の特性にも依存していることは理解できるが、一方で、 N 値や細粒分含有率だけでは十分に表現できない地盤の特徴や履歴が影響しているものと思われる。

また、表層地盤の僅かな違いで、液状化が発生しているにもかかわらず住宅被害に大きな差が生じた事例も多い。セッションの論文でも、今回の震災では被害を受けた戸建住宅や低層住宅の住民が、地震前に地盤の脆弱性

や被災後の復旧費用などについてほとんど意識していなかったとの調査結果が報告されている。しかし今後は、個人レベルでも、対処すべき次の地震において「自分の敷地で液状化は発生するのか」、「被害はどの程度か」を知りたいという要求は当然のことながら出てこよう。そのときに面としての液状化の傾向だけでなく、点としての予測、固有の地盤条件を反映させた予測、そしてそうした予測に耐え得る、精度を保ちつつ、リーズナブルな調査手法の確立も重要になってくるものと考えられる。

【地盤と液状化①】 東北学院大学 吉田 望

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、広域で大規模な液状化が発生した。本セッションの発表は、ほとんどがこれに関係するものであり、合計8編の発表があった。そのうち、2編が微地形と液状化の起こりやすさに関するもの、2編が液状化対象層の下にある粘性土層の影響に関するもの、残りの4編は地震応答解析や実験に関するものであった。

2. 研究の動向

液状化が発生する地盤は微地形とも関係していることはすでに知られている。しかし、大規模平野を有する地域とそれ以外の地域で液状化の起こりやすさを調べると、前者の方が震度の増大に伴う液状化の発生率が高くなっている傾向が見られている。2011年東北地方太平洋沖地震の際には、東北地方と関東地方で液状化の発生頻度が違ったが、これも、このような観点で説明できる。

浦安は、粘土層の層厚が厚いほど被害は大きくなっていることが統計的に示された。また、粘土層の存在により地震動が増幅され、また揺れる時間が長くなることなどが数値計算で示された。ただ、前者ではそのメカニズムに触れておらず、また、後者では再現性についての議論が行われておらず、完成された状態ではないと考えられる。

液状化の発生予測に関し地震記録が得られたサイトの有効応力解析が行われている。関東圏の2地点でいずれも液状化の発生が見られない地点であったが、解析でも液状化しなかった。

地震の継続時間が長かったことの液状化の発生への影響が、モデル地盤に対して遠心力载荷試験とその有効応力解析によるシミュレーションにより確かめられた。

3. ま と め

ところで、工学として液状化の問題を捉えてみると、判断を下すためには定量的な評価が必須である。しかし、本セッションの結果を見ると、このような観点が不足しているように見える。例えば、同じ微地形でも液状化発生が異なるという知見は重要なものであるが、その原因を定量化しないと、個別の地点の予測には使うことはできない。このような研究は現状の認識の不足を突

くという事で将来の研究方向を示唆するもので重要であるが、実用的にはもう少し発展が必用であろう。

地震応答解析の研究では、結論は大昔からほとんど同じで、例えば、解析により現象が概ね説明できたというレベルである。具体的に何がどの程度説明できているのかが説明できない限り、精度が明瞭にならない。発表の内容を見ると、数値で表現できているところもあるので、それらを一般的に表現するための努力が必要と考えられる。例えば数値で誤差を表現し、そのような解析結果が蓄積していくことで、解析の客観的な評価が可能になると考えられるが、これまでのように概ね説明できているというような表現では、都合の良いところだけを取り出しているような印象がつかまい、客観的な評価には結びつかないと考えられる。

【地盤と液状化②】 高知大学 原 忠

1. はじめに

本報告では、地盤と液状化に関する研究のうち、地震中の間隙水圧挙動、本震と余震、長継続時間地震動、地盤の透水性、排水の影響、地下水位などに着目した現地調査、数値解析、模型実験結果を総括する。

2. 研究及び技術動向

現地観測に関しては、2011年東北地方太平洋沖地震で計測された液状化過程での間隙水圧挙動の事例が報告された。埋設から20年以上経過した間隙水圧計の計測誤差を、地下水位の推定結果から補正する試みが紹介された。このような現地観測は、実地盤の液状化特性を適切に評価するために必要不可欠であり、埋設から時間が経過した計測器を活用するための方向性を示唆している。

地盤の地震応答解析に関しては、2011年東北地方太平洋沖地震で得られた埋立地の被災記録を参考に、本震・余震の影響や振動終了後の過剰間隙水圧の消散、地盤の透水性、液状化強度曲線の形状に着目した成果が報告された。解析結果から、本震後の残留水位が余震時の過剰間隙水圧の上昇に影響を及ぼすこと、地層境界の透水係数の違いは長継続時間地震動であっても液状化過程より過剰間隙水圧の消散過程に影響を及ぼすこと、低加速度であっても地盤の液状化が生じ、若齢な粒径の細かい粒度分布のなだらかな地盤で液状化が生じやすいことなどが紹介された。

液状化特性に及ぼす排水、地下水位の影響に関しては、遠心模型実験や数値解析を組み合わせた事例が報告された。粘性土地盤上に築堤された河川堤防のような薄い飽和層の排水の影響を検討した研究では、透水係数や時間係数がある一定以上の範囲では排水の影響により液状化しにくくなることが紹介された。また、地下水位を変化させた遠心模型実験から、地下水位が低い地盤では過剰間隙水圧の消散速度が速く、地表面沈下量が減少傾向を示すことなどが報告された。

3. ま と め

最近の研究の動向として、液状化や液状化後の変形性を一体として評価する動きがある。さらに、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により液状化特性は大きく異なることが知られている。さらに、地盤特性が類似する場合であっても、入力加速度の大小や、振動継続時間の違いにより被災程度は変化する。地盤条件や地震動の影響を考慮しながら合理的な設計法を確立するためには、液状化特性のみならず液状化後の変形性などに及ぼす影響因子を解明するための実験的研究が必要であり、一連の地盤挙動を精度よく表現するための解析ツールの高度化が求められる。

【住宅地の液状化対策】

三信建設工業(株) 新坂孝志

1. はじめに

本報告では、「地盤防災—住宅地の液状化対策」セッションの合計8編の研究報告について総括する。

2. 研究及び技術動向

2011年の東日本大震災では、東北から関東にかけて広範囲で液状化が発生し、多くの構造物に被害を与えた。戸建て住宅においても多くの液状化被害が発生しており、その対策が重要な課題となっている。2012年6月に公開された地盤工学会の提言(第二次)においても、一般の新設・既設の戸建て住宅の液状化対策や、広い範囲の地区全体での液状化対策工法の開発が急務であると述べられている。

戸建て住宅への液状化対策は、密集した住宅地においても施工可能な工法である必要がある。特に既設の戸建て住宅に対しては、より厳しい環境下での施工となる点に留意が必要である。また、個別の対策だけでなく、地区全体で対策を行う場合も考慮する必要がある。これらに加え、個人負担が基本となる住宅地の対策では、コスト面についての配慮も重要な要素となる。本セッションの各研究テーマは、いずれもこれらの背景をふまえたものであった。

研究発表内容は、液状化対策の効果の検証方法として数値解析によるものが4編、模型実験によるものが3編、実物大の実証実験によるものが1編であった。また、研究対象とする工法としては、密度増大工法、固結工法、間隙水圧消散工法、不飽和化工法、せん断変形抑制工法に分類されるものであった。主な研究としては、以下のとおりである。

数値解析による研究では、締固め式ドレーン工法により改良した地盤や、浅層盤状に改良した地盤における地震後の不同沈下量やめり込み沈下量の推定を行っている。

また、経済的な設計へ反映させるため、効率的な仕様を工法ごとに検討したケーススタディの結果が報告されている。

模型実験による研究では、ドレーンと浅層改良を組み合わせた工法や、薄鋼矢板により囲い込む工法に関し、効果的な仕様についての検証結果が報告されている。

実物大の実証実験による研究では、不飽和化による対策の効果が得られる範囲についての結果が報告されている。また、新しい品質確認の方法についても検討されている。

いずれの発表も、具体的な施工方法や液状化対策の効果などについて、活発な討議がなされた。

3. ま と め

本セッションの報告は、東日本大震災以降に研究が行われたものであり、社会のニーズに対して迅速に対応した成果である。本セッションで報告された研究だけでなく、住宅地の液状化対策に関する研究がさらに発展し、社会的貢献を果たすことを期待したい。

【液状化対策①】 五洋建設㈱ 海野寿康

1. はじめに

本報告の対象は、地盤防災のうち、液状化対策①の8編の論文である。発表内容は、2011年東北地方太平洋沖地震の液状化被害を教訓として検討されたものや被災後の復旧・復興に関連したものと見受けられた。

2. 研究及び技術動向

液状化に伴う変形への対策や復旧に用いることを目的に静的締固め工法や過剰間隙水圧消散工法、薬液注入工法などの効果に関する報告が行われた。基本的な工法概念などは、従来工法の延長上にあるものがほとんどであったが、これまで以上に“液状化対策”が普及するようにコストを抑えた方法を模索することや広範囲に施工しても負担のかからない方法を検討するなどの特徴が見受けられた。

以下、発表において検討対象とされた液状化工法の分類である。

- | | |
|---------------------|----|
| ・静的締固め工法 | 1件 |
| ・過剰間隙水圧消散工法 | 3件 |
| ・薬液注入工法 | 1件 |
| ・置換工法（液状化しない材料への置換） | 2件 |
| ・その他（構造変更による対策） | 1件 |

特徴としては、昨年度の大会同様に人工材ドレーンやグラベルによる過剰間隙水圧消散工法に関する発表件数がある程度まとまった数発表されている。また、置換工法については、排ガラスや瓦粉碎物などのリサイクル材料への置換を検討しているが、リサイクル材の粒度組成が比較的分以上サイズの多いなどにより透水係数が大きいなど過剰間隙水圧消散工法のドレーン材としてリサイクル材を使うということであった。

過剰間隙水圧消散工法は、セメント改良や薬液注入などの工法よりも経済性に富んだ工法であるため、コストを抑えた工法を提案しようとすると比較的優位であるため、メカニズムを採用されるのではと考える。

各報告の検討手法は、振動実験や有効応力解析、要素試験などバラエティーに富む内容であったが、どの報告においても検討対象の工法が液状化による地盤の変形に一定の効果を発揮するものであるという内容であった。

3. ま と め

コストを抑えても十分な効果が発揮できる工法を開発するためには、液状化やそれに伴う永久変形のメカニズムを十分に把握した上で、さらにそれらを抑え込む方法を変形の許容量や安全率などを考慮した上で見つけなければならない。液状化後の残留変形に関するメカニズムが詳細には解明されておらず研究途中であることも踏まえ、工法のメカニズムを十分に検討した上で、適用されることが望まれる。

今回報告にあった工法を含め各種液状化対策工法自体のますますの高度化が期待される。

【液状化対策②】 佐藤工業㈱ 永尾浩一

1. はじめに

本報告では、地盤防災のうち、液状化対策②のセッションについて総括する。本セッションは、新たな液状化対策工法として期待される空気注入不飽和化による液状化対策と丸太打設による液状化対策の2つの工法の合計8編の論文で構成される。

2. 研究及び技術動向

東日本大震災以降、これまでの液状化対策の有効性が照査されるとともに、各対象構造物の条件に応じた対策方法の必要性も明らかとなった。中でも甚大な被害を受けた住宅地のような狭い場所でも施工ができ、減災の考えに基づく経済的で、かつ環境に配慮した工法の適用が急がれる。

空気注入不飽和化工法は、環境に優しく、施工がシンプルであり、大幅なコスト低減ができる工法として注目されている。セッションでは、施工性や品質管理を向上した方法の現場実証実験、解析による実験結果との比較が発表された。新しい施工方法では、従来の注入方法に比べ注入量が約7倍となり、施工性が格段に向上されたほか、品質管理では、飽和度の計測において、特殊な凍結サンプリング法に代わる懸濁気泡水を利用したコアサンプリング法の可能性が示唆された。また、気液二層流解析による現場実験との比較では、空気浸入領域の拡がり確認された。討議では、戸建て住宅地盤への適用も議論されたが、条件による適用の検討が必要とされる。今後この成果が活かされ、様々な場所で適用されることを期待する。

丸太打設液状化対策は、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液状化対策工法である。発表では、実現象に近い大型模型振動実験での丸太打設による沈下や変形の抑制効果が示され、その対策効果は、サンドコンパクションパイル工法などの密度増大方法と同等、または条件によってはそれ以上が期待でき、想定外の地震動が発生した場合でも、フェールセーフの役割を果たすことが示唆された。また、改良効果についても、丸太による杭としてのせん断ひずみの抑制効果について議論されたほか、実験で色々なサウンディング試験による地盤調査も行っており、今後、丸太打設による密度増大効果と杭の複合材料としての地盤強度増加効果の評価が望まれる。

3. ま と め

東日本大震災以降、経済的にかつ環境に配慮した工法が望まれており、本セッションで発表された2つの工法が、さらなる施工性の向上とコストダウンがなされ、社会に貢献できる技術とし、普及されることに期待したい。

最後に質疑において、同じ研究の連続発表に対し、論文をまとめるべきとの意見があった。限られた発表論文の中で、大規模な研究になると発表数も増えると思われるが、他の研究発表のことを考え、なるべく論文をまとめていただくようお願いし、研究発表会関係機関に申し送る。

【液状化対策③】 清水建設㈱ 田地陽一

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震により東京湾沿岸部や利根川下流域の戸建て住宅では、液状化により傾斜、沈下する被害が生じた。宅地向けの液状化対策工法として、地下水位低下工法や格子状改良などの工法の適用が考えられ、研究が進められている。

ここでは、「地盤防災 液状化対策③」のセッションで発表された上述の2つの工法に関する論文8編に関して総括する。

2. 研究及び技術動向

地下水位低下工法は、川崎市の石油タンク群、兵庫県尼崎市や新潟県柏崎市において宅地を対象とし実施された事例がある。本セッションでも、茨城県内の自治体において、実用化に向け原位置試験が計画、実施されているとの報告があった。同工法の課題として、地下水位低下時の地盤沈下と建物傾斜の評価が挙げられた。原位置試験における地盤沈下量と事前の圧密沈下解析結果を比較すると、前者が小さくなる傾向があり、その原因についてさらなる研究が望まれる。また、地盤の層構成に応じて沈下量が異なることから、地区ごとに地下水位の低下量を設定する必要があること、想定する沈下量によっては他工法との併用が望ましいことが報告された。併用する工法として、排水工法の適用性について実験による

検証結果が報告された。周辺地盤への沈下の影響を低減するために、当該宅地を矢板で囲んだ後、地下水低下を行う工法も提案されており、今後の報告が待たれる。

一方、格子状改良については、通常の格子状改良の上部に蓋状の改良を組み合わせる特殊形状の工法に関する実験、解析、原位置試験の一連の研究成果が報告された。改良壁の設計法（強度や壁のピッチ）、数値解析の精度、改良壁の引張強度の合理的な評価法や隅角部、ラップ部の施工法、強度管理について活発な質疑が行われた。一連の報告のように宅地向けに格子状改良の適用が検討されているが、実際に宅地に適用した事例はない。コストの削減や施工に伴う周辺への影響も考慮し、適用に向けてさらなる課題の解決が望まれる。

3. ま と め

2011年東北地方太平洋沖地震を契機に、既設宅地を対象とした経済的な液状化対策工法の提案が一段と求められるようになった。地下水位低下工法と格子状改良は有力な工法であるが、地震動レベルに応じた性能評価、施工性の検討、周辺地盤への影響評価など課題は残されている。実用化に向けて今後の進展を期待したい。

【地盤と構造物】

㈱港湾空港技術研究所 大矢陽介

1. はじめに

本報告では、「地盤防災 地盤と構造物」のセッションについて総括する。本セッションの8編の研究手法は数値解析、遠心模型実験、1g場模型実験及び現地調査に関するものであったが、いずれも地盤の液状化に関連した研究内容であった。

2. 研究及び技術動向

近年の性能設計の普及に対応して、要求性能やコストに応じて、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た対策工法に関する研究が多くなっている。このような対策工法の技術開発には模型実験や数値解析が用いられ、実地盤適用の際には数値解析により性能照査されることが多くなっている。本セッションは、実地盤における数値解析による性能照査と模型実験による技術開発に関する研究発表が中心であった。

数値解析については、将来発生するであろう大規模地震時の港湾構造物の被災予測及び対策工法に関する研究の報告があった。解析モデルや解析結果の評価方法に関するものを中心に多くの質疑が活発に行われ、質疑時間が不足するほどであった。

遠心模型実験については、流動閉塞杭により傾斜地盤の液状化による流動を抑制する研究の報告があった。また、1g場模型実験に関しては、ライフラインを対象とした排水管による過剰間隙水圧消散工法、住宅を対象とした変位抑制工法に関する研究の報告があった。模型実

験に関する質疑の多くは、実験の条件設定や結果の評価方法に関する内容であった。粘性流体を模型実験で用いた場合、過剰間隙水圧の消散速度や沈下量に影響を与えるだけではなく、液状化範囲の分布にも影響を与えることが示された。特に液状化層の浅いところでは、粘性流体が地表面のせん断抵抗にも寄与し、液状化しない結果は興味深いものであった。相似則において正しい現象なのか確認が必要と考えられる。

現地調査について、連続打撃動的貫入試験により薬液改良土の N 値の増加特性の把握に関する研究の報告があった。得られた実地盤の N 値のばらつきに加えて、細粒分が多い地盤において N 値が過大評価されることが示され、現地調査の困難さが示唆された。

3. ま と め

模型実験では現象を単純化し、目的の現象を表現するために、液状化層を厚くしたり、地震動の継続時間を長くしたり、と実地盤より厳しい条件で実験されることも多い。その場合、明瞭な対策効果が現れないことも多く、実地盤、実現象とどのように関係しているのか、把握しておく必要がある。

【液状化判定】 東京都市大学 末政直晃

1. はじめに

2011年東北地方太平洋地震では、茨城県や千葉県を中心に、極めて広い範囲に液状化が発生した。これは地震マグネチュードが大きかったことと、地震継続時間が長かったことによるとされているが、このことは今後の液状化判定のあり方に対しても多くの課題を残す結果となった。

本セッションは、液状化判定に関する8編の論文からなっていて、判定法に関する新しい提案や現行基準の整合性の確認と問題点の把握に関するものであった。以下では、それらの中からいくつかをピックアップして取りまとめた。

2. 研究及び技術動向

現行液状化判定法の整合性については、論文番号919と921で報告された。PL法やDcy法は被災状況を概ね説明することはできるが、過大な沈下量を与える場合があることが指摘されている。その理由として、地下水位が地震時と異なることや地震時の地盤応答が実際と異なることなどが指摘されている。地下水位については、一年間の変動が大きい地域・場所もあることから、推定に際してどのような値を使うべきかの議論もある。また、等価線形解析を行うことが推定精度の向上につながるということが報告されているものの、“簡便であるべき”論からは遠ざかる。しかし、そもそも液状化判定にどの程度の精度を要求するべきかの議論が必要ではないかと思っている。その上で、筆者は地震動が不確定であることから、あまり精度の高い液状化判定は難しく、現行法でも全然

合わなかった部分だけを直していけばよいのではないかとすぼんやり感じている。

その一方で、本セッションではエネルギー法や累積損失理論を推奨する論文が多く発表され、これに大変興味を持った。理由は、先に挙げたマグネチュードと継続時間の問題を解決できる性能を有する点と、応答の深度分布を加味できる点である。構造物の躯体と同じように、耐震性能の評価精度を上げようとすればその靱性に言及すべきであり、液状化判定もそのレベルに向かわざるを得ないのかもしれない。

3. ま と め

FL法は、抵抗力 R と作用力 L の比で表されるが、本セッションでは L の議論がまだ中心であった。非塑性シルトの液状化や年代効果をどのように考え、評価するかなど、 R の議論も活発に行う必要があろう。

【液状化一般①】 徳島大学大学院 渦岡良介

1. はじめに

本セッションは液状化に関わる諸問題を対象としており、地域の液状化危険度評価、液状化した地盤の挙動評価、砂質土の液状化強度の評価に関する研究発表と質疑応答がなされた。

2. 研究及び技術動向

地域の液状化危険度評価では、空間的に密な地盤調査に基づく研究や、多くの材料パラメータを必要とする有効応力解析に基づく研究などがあり、従来の液状化危険度評価手法より精度を高める工夫がみられる。実務的には、空間的に疎な地盤調査結果に基づきFL値やPL値で簡易的に液状化危険度を評価する方法が定着しているが、今後はこれらの研究成果のように、より詳細な地盤調査とそれを用いた詳細な液状化危険度評価が行われることが期待され、地表面に現れる地盤変状の評価などを考慮した精度の高い液状化危険度評価が普及することが望まれる。

液状化した地盤の挙動評価では、住宅などの直接基礎構造物の沈下の簡易予測法、歩道突き上げの原因となった液状化地盤の揺動現象、地表面に現れる噴砂の評価に関する研究があった。いずれも液状化地盤において地表面に現れる地盤変状を対象としたものであり、これらの予測は前段の液状化危険度予測に通じるものである。特に、地下水位以浅の非液状化層の挙動評価については、地下水位以下の液状化地盤と比較して不明な点が多い。住宅などの比較的軽量の構造物を対象とした場合、表層地盤の挙動評価は重要であることから、今後の研究の進展が期待される。

砂質土の液状化強度の評価では、非塑性細粒分と体積圧縮・液状化強度との関係、液状化強度とコーン貫入抵抗値の関係に関する研究があった。非塑性細粒分が液状化強度に与える影響は塑性細粒分とは異なることが明ら

かになっているが、きれいな砂の相対密度のように液状化強度と一意的な関係にある指標の提示、原位置でのサウンディングで得られる指標との関係などに関して、今後のデータの蓄積が望まれる。

3. ま と め

有効応力解析の普及によって液体化の発生からそれに伴う地盤変状を計算できる環境は整ってきているものの、本セッションで議論になったように地下水位で浅い非液状化層の挙動評価や非塑性細粒分を含めた多様な地盤材料に対する構成モデルの適用性など、さらに検討が必要と思われる。

【液状化一般②】 復建調査設計(社) 中澤博志

1. はじめに

本報告では、室内試験を通じ、液状化強度・挙動の評価及び液状化による地盤の破壊・液状化後の残留変形を中心とする計8編の研究発表があった。

2. 研究・技術動向

液状化強度・挙動の評価に関し、S波速度による砂の骨格構造の変化に着目した液状化強度の評価、不飽和化による改良地盤、あるいは過剰間隙水圧の消散による間隙の再配分を考慮した液状化特性に関する研究が報告された。S波速度による液状化強度評価の意図として、年代効果、骨格構造の安定化と液状化強度の関係についての解釈を試みている。一方、地震動の繰返し履歴が液状化の発生に与える影響について、先行して微小な繰返しせん断を砂質土に与えることで、骨格構造が変化し液状化抵抗が増大する旨の発表もなされた。液状化する地盤材料の年代効果については、様々な議論はあるかと思われるが、長い年月が経過した地盤の液状化については、現地被災調査等を含め、定量的な検討は少ないと思われる。このような相対密度の変化に現れないが液状化強度が増加している地盤に対し、上述の研究のように、セメンテーション構造の発達、あるいは繰返しせん断履歴の影響等、その他の考えられる影響因子を含め研究の進展が望まれる。また、液状化層では、過剰間隙水圧消散と砂粒子の再体積が生じ収束することとなる。この際、液状化層内で、深部ほど密、浅部ほど緩く堆積する間隙の再配分を考慮した部分排水試験が試みられている。このような現象を考慮することで、繰返しせん断挙動だけでなく、例えば、再液状化のメカニズム等の現象説明等に至るまでの発展的な展開が期待される。

液状化による地盤の破壊・液状化後の残留変形に関しては、繰返しせん断時の破壊性状を検討し、相対密度、初期せん断と破壊性状パターンについての研究、及び液状化後の体積ひずみに着目した研究発表がなされた。特に、最近の性能設計の普及に伴い、事前調査やそれを通じた被災予測の重要性が増してきていることから、このような破壊性状パターンの整理は、実務上で大いに参考

になることが期待される。また、液状化後の体積ひずみに関し、供試体の条件が同様であれば、不攪乱試料よりも攪乱試料の体積ひずみが大きいことが示されている。これは、液状化強度・挙動の評価も含め、在来自然地盤と埋立・人工改変地盤等の液状化被害の相違が示唆される研究として、非常に興味深い。

3. ま と め

最近の性能設計の普及に伴い、試験技術や信頼性の確保もさることながら、場合によっては、原位置の条件を的確に反映すること、事前に想定される現象を考慮した室内試験による対応が求められるケース等、必ずしも一般的な試験だけで対処できないこともあり得ると考えられる。本セッションで発表されたような、原位置で想定される現象を考慮した液状化強度や液状化挙動に関する試験・研究が実務上でも大いに参考となることを期待したい。

【地震時の斜面安定①】

東京工業大学 高橋章浩

1. はじめに

本報告の対象は、セッション「地震時の斜面安定①」で発表された8編の研究報告である。発表内容は、大型振動台実験の模型斜面の施工管理から、安定性の計算・評価手法や危険度判定法の適用、被災斜面の復旧仕様を決定するための強度設定法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更なる検討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

斜面の地震に対する危険度判定は、効率的な対策の推進や地震直後の被災箇所推定等において、極めて重要である。発表の一つは、斜面崩壊の誘因である地震動の大きさを表すPGAやPGVに代わるインデックスとして基盤上昇波エネルギーを取り上げ、既往の被害分布との対比からその有効性を検討するものであった。ほかにも、素因に着目して点数付を行う危険度判定事例の紹介もあった。危険度判定の高精度化は、その簡便性を損なう可能性もあるが、被災や実験事実、物理的な考察を踏まえて、更なる合理化が必要であろう。

被災斜面の復旧仕様の決定は、耐震補強と同様、復旧・補強前の斜面の状態や耐震性能の評価が容易ではないため、大変悩ましい。本セッションでは、被災宅地盛土の復旧仕様決定に必要な、土の強度や必要抑止力を求めるための、(仮想)すべり面の同定法と被災程度(盛土の変形程度)に応じた安全率のおおよその値を示している発表があった。実務における簡便性を考えると、道具(安定計算法)を決めて、これを使ったときに不合理な結果とならないよう、必要なパラメータをキャリブレーションによって求めておくことは、全く悪いことではないが、その経緯が忘れ去られて、数字だけが独り歩

きしてしまう可能性があることから、注意が必要であろう。

宅地盛土の耐震対策として、斜面の滑動崩落防止工法は頻繁に用いられている。この種の工法で想定されている地震時永久変形レベルは、戸建て住宅の許容変位・傾斜量と比べるとかなり大きい（1 オーダー以上）ことから、効果的な変形抑制工法（地表面付近の変形を小さくする工法等）の開発が必要であることを指摘している発表もあった。

3. おわりに

地震時の斜面安定は古くて新しい問題であり、既存の手法や慣習にとらわれることなく、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。

【地震時の斜面安定②】 群馬大学 若井明彦

1. はじめに

本報告の対象は、災害報告 3 件、模型実験に基づく地震時挙動の検討 3 件、その他の模型実験 2 件、計 8 件の研究発表である。関連するセッション「地震時の斜面安定①」に続き、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た。

2. 研究及び技術動向

地震時の斜面安定に関する最近の研究は、斜面崩壊の力学機構とそれに伴って顕在化する変形の詳細な予測に関するものが多い。度重なる大地震を経て、斜面の保有耐震性能を論ずる際の入力地震動レベルが近年次第に大きくなった結果、研究対象とする変位量の主眼は、滑動崩落を含む斜面の終局状態や、こうした条件下で減災効果を発揮する対策工の挙動などに推移しつつある。

本セッションの 8 件の内容を概観する。

2011 年東北地方太平洋沖地震に関する災害事例および業務報告は計 3 件含まれているが、このうち 2 件は仙台市内の丘陵地における造成宅地盛土斜面の被害に関するもの、残りの 1 件は栃木県内の鉄道切土斜面の地すべり被害に関するものである。いずれも深刻な斜面変状の状況とその発生機構に関する力学的考察がなされた。

以上に続く計 3 件の発表は、模型実験に基づく地震時の斜面挙動が検討されたものであり、大型振動台によるものや動的遠心実験装置による研究が紹介された。これらの内訳も、アンカー工や杭工の耐震効果を把握する目的のものや、加振後の降雨の影響の評価を目的としたものなど、多様な観点からの検討が試みられた。実務において経済的かつ効果的な対策工の開発が急務であることがうかがわれる。

最後の 2 件は、崩壊斜面における二次災害（労働災害）を防ぐための計測技術に関するもの、及び遠心場での静的な載荷試験に基づく斜杭の抵抗機構を調べたものであり、地震時の斜面安定問題を考えるために有用な参考情報となるものであった。

3. ま と め

同じ斜面の地震時安定性を論ずる際にも、例えば、造成宅地盛土斜面、道路盛土や鉄道盛土、河川堤防などでは、それぞれ許容される変形量や変形モードが大きく異なる。例えば、丘陵地の宅地盛土の滑動崩落を考えてみると、仮に事前対策によって斜面全体の大規模な滑動崩落を避けることができたとしても、宅地上の戸建住宅にしてみれば極めて小さな傾斜が生じただけでも全壊被害を免れないことがある。土構造物の用途に応じて異なる立場を踏まえつつ、適切な対策工の工種と量の選択を行うための基礎的検討が引続きなされることを期待したい。

【地盤振動】 東海大学 北 勝利

1. はじめに

本セッションでは、振動の発生伝播、震源や岩盤、深層表層地盤構造の影響、地盤震動特性の空間分布評価など、9 編の研究発表が行われた。

2. 研究及び技術動向

954 では地震における断層破壊現象を念頭に、基礎の支持力破壊問題で解析対象空間を広くとった上で、地盤の破壊に伴う振動の発生・伝播や破壊域での応力降下について、数値材料力学の視点より検討している。

表層地盤の非線形振動応答または残留変形挙動に関しては、観測記録や地盤データを基に評価した地盤剛性のひずみ依存性など非線形性状（955）、3 次元不整形性を伴う谷埋め盛土の残留変形特性（956）、長時間地震動による沿岸部埋め立て地盤挙動の有効応力解析における水平 2 方向入力や振動応答性状に及ぼす振動方向と近接構造物の影響（959）、に着目した研究発表が行われた。

震源や深層地盤の評価に関わる研究は 2 件報告された。957 では、地盤不整形性が水平成層構造を仮定した H/V スペクトルに基づく速度構造の同定結果に及ぼす影響について数値実験より検討し、不規則領域では同定波形の一致度が高い場合でも基盤位置推定誤差が大きくなる場合があることなどが報告された。958 では疑似点震源モデルによる強震波形シミュレーションの内陸地震への適用結果について紹介され、末観測点での波形評価方法に関する質疑応答が行われた。

地盤震動特性の空間分布評価について 3 件発表された。地震観測記録を用いた評価として、都内におけるピーク地震動や震度の相対的増幅度とばらつきの分析事例（960）、応答スペクトル比に基づく工学的基盤レベルにおける短および長周期帯での揺れやすさと地形地質分布との対比結果（961）、が報告された。一方 962 では、常時微動の H/V スペクトルによる地盤評価と地形分類との対応について検討している。

3. ま と め

地盤解析で用いられる精緻な構成関係を適用した破壊に伴う振動シミュレーションは、断層破壊や地震動発生伝播など地震諸現象の新しい視点からのアプローチとして、今後の展開が注目される。また東日本大震災や南海トラフ沿いの巨大地震などが議論されている現状で、長時間地震動による地盤挙動評価の精度向上が期待される。

【土石流】 和歌山大学 江種伸之

1. はじめに

土石流セッションの6編の発表を報告する。なお、本セッションは7編の発表が予定されていたが、1編(No. 969)の発表が都合により取り止めになった。

2. 研究及び技術動向

6編中3編は、豪雨由来の土石流に関する現地調査に関するもので、2編が平成24年8月京都府南部豪雨、1編が平成21年7月中国・九州北部豪雨を対象にしている。現場調査では、今後の防災・減災対策の推進につなげるためにも、災害発生機構の解明が非常に重要である。この場合は、地形、地質、地盤、植生といった素因に注目することになるが、今回の発表では地質・地形分析を実施したのものが(No. 964, 965)、土石流の規模や高速道路の危険度評価手法について考察されている。また、粉末X線分析による堆積土砂の起源推定(No. 963)や放射性炭素年代測定による土石流の発生頻度推定(No. 965)なども行われている。このような分析方法は、実施例を増やして精度を高めていく必要があるが、今回は良い結果が得られており、今後の展開が期待される。

現地調査以外では、現地モニタリングシステム、土石流モデル、および室内実験方法に関する発表があった。現地モニタリングシステムに関する発表(No. 966)では、アドホックネットワークを利用した土石流監視システムが提案されている。まだ課題がいくつも残されているようであるが、コストや運用・管理の柔軟性といった観点から、できるだけ早く実用化まで進むことが期待される。

土石流モデルに関する発表(No. 967)では、比較的簡易な一次元スティック・スリップモデルにより石礫型流れの状態について水理学的考察がなされている。石礫型流れで発生する分級が流速と内部波速度に注目したフルード数で規定されることは非常に興味深い知見であった。

室内実験方法に関する論文(No. 968)では、粉体工学や機械工学で材料の混合や分離に用いられる回転ドラムを利用した実験法が検討されている。実験自体はガラスビーズを用いた基礎的なもので、実際の土を使った実験や流動した土砂を対象とした実験など、実用化までには何度も試行錯誤がなされるはずである。しかし、デジ

タル画像を利用した実験法は、地盤工学だけでなく水理学などでも検討が進んでおり、今後の展開が注目される。

3. ま と め

本セッションで対象とされた2つの豪雨以外にも、平成23年9月紀伊半島豪雨、平成24年7月九州北部豪雨、平成25年7月山口島根豪雨、平成25年7月山形豪雨など、毎年のように豪雨災害が発生しており、土石流をテーマにした研究の重要性は今まで以上に増している。本セッションで発表された内容は基礎から応用まで幅広く、またそれぞれが特徴的であるが、このような多様な研究が土石流を対象とした防災・減災対策の推進につながるはずである。

【斜面安定(現地調査・計測)】

独防災科学技術研究所 酒井直樹

1. はじめに

本報告では、地盤防災の分類のうち、斜面安定に関する現地調査・計測セッションの内容を報告する。

2. 研究および動向

本節では、特に斜面崩壊危険度評価に関して地盤内の水の動きに着目した興味深い話題をいくつか紹介する。

豪雨に襲われた地域で同時に多数の表層崩壊が発生する現象が見られ、その原因の一つとして、パイプ流や湧水が考えられる。今後はそれらも考慮した降雨時の崩壊予測を行うべきとの発表があった。パイプ流は砂防分野では主流であり、地盤工学分野ではあまり話題にされてこなかった。今後より地域性を考慮した危険度を評価するためには、それらを考慮した手法を開発する必要があるが、その地盤内のパイプ流をどうモデル化するのか議論となった。

地域性の強い斜面崩壊は地質の影響も強くうける。それは、同じ地質では、地盤の風化具合や強度の低下機構等の特徴が似ているためである。そこで風化度や強度の低下機構を知るために、地質が異なる不攪乱試料をサンプリングし、それらの試料に対して、豪雨時を想定した浸水状態と通常の含水状態での2種類の一面せん断試験を行い、また風化度計測としてSiO₂含有量や強熱減量を用い、それらを比較した。その結果、SiO₂含有量が多く強熱減量が大きい土の強度低下が大きかった。これは、風化度が大きい土の強度低下量が大きいことを示す。今後データを蓄積していけば、現地から採取した試料に対して風化度を調べれば、強度低下しやすい土かどうかを判別する指標となる可能性がある。

寒冷地における斜面崩壊は融雪期に発生することが多いに関わらず、融雪水の斜面へ浸水機構やその崩壊に及ぼす影響はまだよくわかっていない。それは降雨量の計測と違い、気温・湿度・日照などの気象条件に左右される融雪水量を計測・予測することが難しいからである。そこで融雪期に融雪水量と地中水分量を計測し、気象条

件に応じた融雪水量の予測モデルの開発を行った研究が発表された、それに関して融雪水が崩壊に及ぼす影響や、その評価手法に関する活発な討議が行われた。

3. ま と め

以上のように、本セッションでは、降雨時の斜面浸透挙動だけでなく、斜面内パイプ流や融雪水、地盤の風化度や植生根の影響など、多岐にわたる要因に関する研究が発表された。まだいずれも実用段階には至っていないがどれも重要なトピックである。今後、個別の斜面の危険度評価をするためには、斜面計測技術の開発と、今回の発表にあったような地域にあった浸透機構をモデル化した適切な崩壊予測手法を開発する必要があると思われる。今後の発展が多いに期待される。

【斜面安定（解析）】

長岡技術科学大学 大塚 悟

1. セッションの概要

セッションの内容を大きく部類すると、斜面の崩壊予測（4編）、安定解析手法の高度化（3編）、地盤の侵食（3編）に関する3つのグループがある。各グループの概要について報告することとする。

2. 斜面の崩壊予測

斜面の崩壊予測は広域斜面崩壊と個別斜面の予測がある。広域斜面崩壊の予測は降雨の連続雨量や時間雨量を用いた予測が広く行われているが、地形や地盤材料の力学特性を取り入れる必要がある。論文979, 983は個別斜面の崩壊特性の数値解析的検討に基づいて広域斜面の崩壊予測を行うことを目的とするが、モデル斜面の解析が中心であり、個別斜面から広域斜面への展開に新たなアイデアが必要に感じた。論文977, 978も基本的には同様のアプローチであるが、実務に適用可能な簡易崩壊予測法の開発を目指す点で研究目標はより明快である。リアルタイム広域斜面崩壊予測へ向けて各研究が多方面から実施されている。2013年前半は過去にない時間雨量で、長時間連続する降雨が頻発した。このような降雨が常態化するか不明であるが、降雨形態も近年の異常気象を取り入れて、新たな災害事象への迅速な対応を期待したい。

3. 安定解析手法の高度化

斜面の安定解析法の高度化は不飽和土の力学特性の解析の評価（980, 981, 982）に集中する傾向が見られる。地盤物性（ループ型水分特性曲線）の導入や新しい解析スキーム（気液二層混合解析, SPH 弾塑性連成解析）の導入が図られているが、各種法の導入上の必然性が実務的に明示されると研究への支持がより高まるように感じた。斜面安定では地盤情報の不足から簡便解析が用いられてきた経緯があるが、簡便解析では表現できない現象も数多く在ると推察される。これらの問題の現象（力

学機構）と解析法の対応力が分かりやすく示されることを期待する。

4. 地盤の侵食

地盤の侵食は古くて新しいテーマである。数値解析の技術や地盤の侵食モデルも未だ確立していない分野である。論文984, 985は地下水の浸透による地盤の内部侵食に関する実験および数値解析である。実験と数値解析が相互に影響して発展するのは理想的であり、更なる発展と高度化が期待される。985では粒状体で形成される地盤の粒子移動の数値解析が提案されるが、外にも連続体に基づく解析手法の発展にも期待したい。解析手法にはメリットとデメリットがあるが、多くのモデルが検討されることによって健全な研究の発展があるように思われる。論文986は津波による地盤の表面侵食の数値解析に関する研究である。東日本大震災では津波による防潮堤の広域被害もあり、基礎地盤の侵食による防潮堤の安定性低下問題は喫緊の研究課題である。防潮堤の越流水と基礎地盤内の浸透水の同時解析と、侵食モデルの開発など解決すべき課題は多く、今後の研究進展が期待される。

【斜面安定（実験）】

九州大学大学院 笠間清伸

1. はじめに

本セッションでは、降雨に起因した斜面崩壊現象に関する模型実験及び原位位置試験についての9編の研究結果が報告された。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することで、①斜面崩壊の前兆現象および②斜面崩壊メカニズムについて高精度かつより定量的な把握が可能となっている。

2. 研究及び技術動向

①については、斜面内の変位速度、傾斜角度、せん断ひずみ及び斜面内のサクション応力を考慮した応力増分比などを使って、検討が行われていた。これらの前兆現象を観測して斜面崩壊を予測する場合に、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。個人的には、降雨を受けた斜面の変形速度が増加した後で、一旦減少し、さらに急激に増加する現象が目をついた。この前兆現象は、今後の崩壊予測に有益な知見であると考えられる。

②については、降雨浸透により不飽和状態である斜面が表面から徐々に飽和し、その湿潤面が不透水層に到達することで地下水位が発生し、斜面内に正の間隙水圧が発生するようになる。斜面崩壊の危険度評価においては、飽和状態における斜面の応力状態をいかに定量的に把握するかが重要である。また、短期的な降雨量が増加する場合には、斜面内部の応力状態の変化が急激であり、特に、斜面下端周辺が弱部になることも明らかとなった。

さらに、斜面の密度が大きく降雨が強くなる時ほど、斜面は進行性破壊を示す傾向にある。

以上のように、斜面崩壊の前兆現象並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、地盤工学的には非常に詳細に検討され明らかにされつつある。一方で、地方自治体や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など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土砂災害危険情報や自動車通行規制に組み込んでいくかが課題である。

3. 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、日本では局所的なゲリラ豪雨が発生し、非常に広域的かつ同時多発的に土砂災害は発生した。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応用される日も近いと期待している。

【斜面安定（モニタリング）】

（公財）鉄道総合技術研究所 布川 修

1. はじめに

本報告の対象は、斜面のモニタリングを対象とした合計8編の論文である。論文の内容を目的別に分けると、崩壊時斜面の挙動を把握するためなど基礎的な目的を対象とした研究が3編、斜面や災害の監視システム、調査結果の把握、対策効果の確認など具体的な目的を対象とした研究が5編であった。本セッションでは、モニタリングそのものの技術のみならず、具体的な活用方法やその可能性についても議論が行われた。

2. 研究及び技術動向

報告全体を通した研究・技術動向として、まずモニタリングに関して低コスト化を図り、その上で精度を検証する報告が多いことが挙げられる。低コスト化の方法としては、センサそのものだけでなく、センサの設置方法やセンサの校正方法を工夫するなどの報告があった。これは、対象が斜面であり広範囲にわたるモニタリングが必要となることを想定した場合、低コスト化を図らなければ実務上利用できない可能性があるためである。今後も、低コスト化を図りながら精度も同程度以上となるセンサの開発と実験や実現場での精度検証が必要になると思われる。

斜面の監視システム構築を目的とした場合には、上記に加えて耐久性の検討も重要であることが討議された。モニタリング技術の実現場への適用事例の報告もあったが、実現場に適用するあるいはこのことを想定することによって、よりよいモニタリングにするための課題等が明らかになる。すなわち、設置から計測、維持管理という全体の流れを踏まえて、モニタリングする目的に応じて研究・技術開発を行うことが重要になると思われる。

3. ま と め

モニタリングは、実斜面の現象を把握するために必要な技術である。モニタリングを活用した実斜面の現象把握の深度化、監視システムの信頼性・精度向上を図るためには、モニタリングの結果と過去の災害事例の分析結果、モデルを用いた解析結果等とを組み合わせることが必要になると思われる。こうした研究・技術の発展に期待している。

【斜面安定（対策工）】

室蘭工業大学 川村志麻

1. はじめに

本報告では、斜面安定（対策工）において報告された7編について総括する。近年の土砂災害の多様化・大型化を考えれば、対策工の提案は設計、施工、維持管理に極めて重要な影響を与えるものであり、今後の進展が期待される。

2. 研究及び技術動向

このセッションでは、ハード対策として排水工と植生工、ソフト対策として地盤災害情報を活用した維持管理法についての報告が行われた。

排水工に関しては、鉄道盛土において多くの実績がある排水パイプ工の排水特性や盛土構造物の排水効果に関する実験的・解析的研究が報告された。質疑では、排水パイプの敷設長やその間隔の違いによる排水特性の変化、排水効果の持続性と現時点における問題点ならびに斜面の排水対策と期待される斜面安定の定量的な評価について、多くの活発な議論が行われた。より合理的で信頼性のある工法の提案・評価に向けて、その方向性が示唆された。

一方、植生工については、束柴工、挿し木工、植栽工の3種類の工法の斜面に与える補強効果を調べた研究が報告された。従来の侵食防止効果のみを期待したものではなく、斜面崩壊抑制効果を具体的に調査した研究であった。実務への適用・評価については、その適用限界など議論しなければならない点もあるが、今後、期待される研究であった。

最後に、地盤災害データベースを利用し、管理技術者に有用な情報を提供する手法についての報告が行われた。限られた情報の中で、管理技術者が簡便に、有効に利用できる維持管理手法を提案された点は評価される。

3. ま と め

土砂災害の多様化・大型化にともない、対策工や災害予測の高度化に対する期待は高い。しかし、多くの未解明な部分が存在することも事実である。議論を通して、より信頼性の高い対策工を提案するためには、地域性・特異性をより詳細に考慮する必要があることを強く感じた。一方で、高度化・複雑化している現状を考えると、

対策工としての有用な情報とは何かを十分に議論する必要もある。この分野のさらなる進展に期待したい。

【地すべり】 日本大学 梅村 順

1. はじめに

本報告での対象は、地盤防災の地すべりセッションで発表された9編の論文である。近年、豪雨や地震などを誘因とした斜面変動災害が多く生じて新しい知見が次々と蓄積されつつあり、それらを踏まえた新しい技術の発展が期待されている。本セッションでは降水、地下水誘因の地すべりに関する報告が多くあった。

2. 研究及び技術動向

地すべりに関する調査、研究は、防災の観点から、事前予測、機構と対策、検証に大別できる。

事前予測に関して、広域の危険度予測に関するもの、対象地での計測に基づくものに関するものが発表された。

広域の危険度評価では、その評価モデル、説明変数の選択と定量化、基準変数の設定、及び、構築した評価式での閾値などが課題になる。危険度評価モデルの比較と、誘因である地下水の評価と定量化の検討が発表されたが、このような積み重ねが、今後、より高確度、より汎用性のある評価手法の構築に不可欠である。

また、原位置計測に関して、低コスト、高精度、省電力、大記憶容量のハードウェアシステムの開発が目覚ましく、それらを利用した工夫や計測の事例が報告された。事前予測の観点から、これらで計測されたデータと現象との対応が重要であり、今後さらなる積み重ねと、それに基づく進展が期待される。

機構と対策では、土の力学挙動に関して、残留変形量、残留強度などの評価、また、地下水の挙動に関して、現地調査に基づく地すべり変動との関係についての報告があった。

残留変形量に関する報告では、剛塑性FEMで進行性破壊の評価にひずみ軟化挙動を考慮、適用を目指したものであった。また、残留強度に関する報告では、強度回復に焦点を当てたものであった。これら評価手法は、地すべりの挙動予測や対策工策定に重要な情報を与えるツールであり、さらなる発展が望まれる。

検証では、中越地震時の妙見地すべりを対象とした動的シミュレーション解析や、地すべり土塊がダムに突入した際の段波形成の発表があった。解析手法は、複雑なほどブラックボックスになりがちだが、このような事例解析は、その適用範囲を検討する上で大切である。また、段波形成は従来、水理学の分野で研究がなされているが、地盤工学からの検討は新たな成果を期待でき、興味深い。

3. ま と め

地すべりは周知のように、地質や気象条件などの地域性を強く反映し、多くの原因因子が絡み合い、発生から停止・堆積までいくつものステージからなる複雑な現象

である。そのため、地形や地質などの自然科学に関する知識や、原位置での観察や計測技術が重要である。また、予測や対策工策定に必要なモデルの構築や、既往のモデルの利用の際には、現象の複雑さから万能なモデルは存在しないので、その理論背景を明確にし、原位置との適合性や適用範囲に、特に留意する必要がある。

【落石（評価）】

独土木研究所寒地土木研究所 日下部祐基

1. はじめに

地形が急峻で脆弱な地質を有する我が国では、梅雨や台風に加え最近の異常気象による豪雨、多発する地震や積雪寒冷地での積雪や融雪水により、落石災害の発生が少なくない。近年、各種災害に対する安全安心が社会的に強く要望されているが、落石災害発生の子知予測は極めて難しく、さらに落石対策や防災施設を設計するための落石の運動形態や衝突現象についても不明な点が多い。

これを受けて本報告の対象セッションでは、6編の研究発表があった。研究発表の内容は3つに分類して、落石災害の現地調査結果や健全度判定基準を提案した論文（以下、「基準・現地調査」）、落石解析に個別要素法を用いた論文（以下、「解析・DEM」）、同じく解析に不連続変形法を用いた論文（以下、「解析・DDA」）である。

2. 研究及び技術動向

「基準・現地調査」では、斜面上の転石に加速度計を固定して加振時の加速度波形より根入れ深さを推定して落石の危険度を求め、落石シミュレーションによる到達確率を組み合わせる落石の健全度判定基準を提案した研究と、山岳道路に設置された道路防護柵の落石などによる被災状況と損傷原因を調査して、今後の防災施設の設計について考察した研究が発表された。

2編とも実務に直結する内容であり、提案された判定基準については実現場における妥当性の検証が、現場調査結果については今後の設計への反映が課題になると考えられる。

「解析・DEM」では、落石の形状を考慮してDEMで解析する場合の形状表現精度をどの程度確保するかについて考察した研究、落石衝撃の緩衝材として用いられる敷砂の衝撃吸収効果のメカニズムについてDEMを用いて考察した研究、落石の跳ね返り挙動について斜面表土の層厚や傾斜角度、落石の入射角度や角速度の影響をDEM解析により考察した研究が発表された。

「解析・DDA」では、落石形状の影響を調べるための落石モデル実験をDDAにより解析して、落石形状が落石速度と軌跡に及ぼす影響を考察した研究が発表された。

各種解析によるシミュレーションでは、解析に用いる定数の設定方法や解析精度が問題となるが、解析法や解析結果の実務への利用方法も念頭に置いて研究を進めるべきと考える。

3. ま と め

東日本大震災以降、想定外ということが許されないような傾向にある。このことから落石などの予測が困難な地盤災害に対する防災技術の発展は、不可欠なものになっている。本セッションで報告された研究が、今後さらに実務に供する技術として発展することを期待したい。

【落石（対策工）】

西日本旅客鉄道㈱ 深田隆弘

1. はじめに

本セッションでは、落石について5編、雪崩について1編の計6編の発表があった。その内容は次のとおり。

- ・高エネルギーな待受け工とポケット式防護網の開発（2編）
- ・建設後15～34年が経過する落石防護覆道上の緩衝材の性能に関する実態調査
- ・立山砂防工事を支える専用軌道における落石対策の現状と課題
- ・落石防護補強土壁の設計手法の基礎的検討
- ・流体解析手法を応用した雪崩シミュレーションの検討

2. 研究及び技術動向

落石は様々な要因が複雑に絡み合って発生する事象であり、予知・予測の難しい斜面災害である。

このような落石の被害を最小限に抑えるために、事業者は発生の恐れのある場所の特定や落石規模の推定に関して、検査の充実とハザードマップ等の整備などにより対応しているところである。

一方で、落石対策はというと、例えば当社のように山岳部を縫って走る路線を多く持つ事業者は、広範な沿線斜面の膨大な落石注意箇所に対して、優先順位を決めて計画的に対策を施していかなければならない。この時必要となることは、新設対策工の設計、既設の機能と健全性の確認と評価、必要な場合の補修・補強・取替の合理的選択。いずれも事業者が防災投資の意思決定を行う際に、欠かせない技術である。

発表にもあったように、対策工の機能及び健全性の確認技術、より大きな外力に対する防護設備の開発とその設計手法の確立に対する取組みがますます重要となっている。

3. 今後の展望

活発な質疑応答の後、進行役として発表者に以下のようにお願いを申し上げて、本セッションを締めくくった。

- (1) 新しい対策工の検討では、最も重要な対策効果の検証に加えて、実際に事業者が新製品を採用する際の判断材料のひとつとなる「コスト」についても十分に意識を持って開発を進めていただきたい。
- (2) 落石防護補強土壁の設計は合理的な設計を追求しつ

つも、実務者が理解して使える簡便な設計手法として完成させていただきたい。

- (3) 雪崩流動のシミュレーションは防護工の損傷事例などから得られるデータも参考に、一層の精度向上に努めていただきたい。

【平成23年台風12号に関する地盤災害報告①】

立命館大学 深川良一

1. はじめに

本報告の対象は、地盤工学会関西支部、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20編の論文のうちの前半11編である。いずれも2011年9月に発生した台風12号による紀伊半島の大規模土砂災害を対象としている。後半9編は次セッションで発表された。

2. 研究及び技術動向

上記委員会の活動は、被害実態の把握、崩壊メカニズムの解明、崩壊に対する対策工・検知システムの提案に大別できる。台風12号に伴う災害は和歌山、奈良、三重の3県で主として発生し、その数、量とも膨大であったため、過去2年間の活動は被害実態の把握と崩壊メカニズムの解明に力点が置かれてきた。本セッションで発表された論文もほとんどこれらの分野に関するものであった。

被害実態の解明のためには、降雨特性、現地の地形・地質特性の評価が欠かせない。降雨特性に関しては、積算雨量と最大時間雨量の傾向が地域によって異なること、また、その降雨特性と深層崩壊や土石流の発生の傾向が対応していることが報告された。すなわち、深層崩壊はより累積雨量との関連が強く、大規模土石流はより時間雨量との関連が強いということである。地形・地質特性に関しては、特に大規模斜面（深層）崩壊がプレート沈み込みによって形成された付加体で発生し、かつ地形的には流れ盤であること、また和歌山、三重における大規模土石流は多くが熊野酸性岩と呼ばれる地層で発生していること等が明らかにされた。以上のことは災害予知にとって重要な観点であり、今後さらに解明が進むことを期待したい。

研究発表に対して種々の質問がなされたが、多くは現地における地質調査関連の質問であった。現地での地質、露頭判断については、情報を共有するためにできるだけ写真等の客観的資料を利用するべきであるという意見があり、印象に残った。

3. ま と め

本セッションは2011年に発生した台風12号に伴う紀伊半島の歴史的な大土砂災害に関する“特殊な”セッションであったが、2012年の九州北部豪雨災害や今年度の

各地で相次ぐ集中豪雨に伴う土砂災害を見ていると、今や決して特殊ではないことが分かる。「想定外」委員会は、今後は大規模土砂災害を経験した他地域とも連携しながら、防災対策や警報システム開発も視野に入れて活動を継続する予定である。

【平成23年台風12号に関する地盤災害報告②】 大阪市立大学 三田村宗樹

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、地盤工学会関西西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、和歌山、三重両県における世界遺産被害、土石流被害、河川氾濫被害、自主防災活動の実態についての報告（9件）がなされた。

2. 研究報告の概要

熊野古道や熊野那智大社では、周辺の山地斜面や溪流での斜面崩壊と土石流によって、社殿への土砂流入、古道の流出・損壊が生じた（報告2件）。熊野那智大社周辺は神域でもあり、入山も制限される中で、大規模な対策工事ではなく神域を守りながらの対応となっている。熊野古道の被害の復旧に関しても、今後の被害拡大を防止しながら、従来の景観や環境を復元する、古道の敷石などの復元の問題など、世界遺産保護の観点を含めた多角的な対応が求められる点が指摘された。

和歌山県那智川・色川流域での土石流と、地形・地質との関係が示された（報告2件）。その多くが熊野酸性岩と熊野層群境界部での小規模崩壊による土砂流出とその下流域に堆積した旧土石流堆積物の再移動によるものとみられる。地形・雨量と共に、三重県側の同様の地域との比較検討が必要である。

和歌山県内の河川被害に関して氾濫危険水位に対して河川水位が1.4～1.6倍以上に及ぶ状況であった。現河川堤防で仕切られた河川の流れを想定して、橋梁や避難所などが設定されているが、大幅な河川水位上昇によって、沖積面のほぼ全域に及ぶ氾濫を生じている状況がうかがえる（報告4件）。しかし、本来の自然河川の流路であったような箇所が堤内地となっており、橋梁や主要道路も現河川流路に沿って構築されている。このため従来の河道域に及ぶ河川氾濫時には、堤内地側でも特に川の流れが集中し、構造物の大きな損壊が見られる。

三重紀宝町の輪中堤内の自主防災組織の避難状況の報告（報告1件）では、ハザードマップの整備や住民への周知で住民の防災意識は高かったが、輪中堤へ過信から逃げ遅れて救助される住民も少なからずあり、想定外の事態での避難、自助・共助のあり方の問題点が示された。

3. ま と め

歴史的遺産の災害時の復旧と防災対策、大幅に想定を超える自然現象への構造物計画や避難行動計画への対応、広域での災害状況の取りまとめから見える今後の防災減災対策への活用などが重要であることが議論された。今回のセッションでの議論を受け、今後、このような点も委員会の調査・研究取りまとめでの検討事項となろう。

【耐津波化構造】 東京理科大学 菊池喜昭

1. はじめに

本報告では、当該セッション（2コマ分）で発表された18編の論文について報告する。このセッションでは防波堤構造に関するものが9編、防潮堤及び盛土構造に関するものが7編、岸壁構造に関するものが2編報告された。さらに、地盤構造物耐津波化検討委員会の委員会報告がなされた。

2. 研究及び技術動向

2011年の東日本大震災では、津波による構造物の被害が深刻であり、また、それによる社会的損失も甚大であった。この地震では、これまでの想定をはるかに超える津波が来襲したため、津波が防波堤や防潮堤を越流したことが構造物の被害の増大に大きな影響を及ぼした。このセッションで報告された内容はいずれも今後このようなことが起こらないように、今後の対策を検討したものである。

防波堤構造に関する研究では、津波による防波堤の被災原因に関する研究として、マウンド及び基礎地盤中の浸透、マウンド周辺の流れ、越流水の地盤への打ち込みなどが地盤の支持力、洗掘に及ぼす影響の検討が報告された。また、防波堤の津波に対する抵抗性の増大のための補強対策の提案に関する研究が報告された。

防潮堤および盛土に関する研究では、法勾配の違いが侵食性に及ぼす影響、落掘と盛土被害の関係、液状化と津波の複合的な作用が盛土の安定性に及ぼす影響など、防潮堤の被災原因に関する研究と防潮堤の補強対策に関する研究などが報告された。また、防潮堤や盛土構造物の粘り強さに対する考察を議論した研究も報告された。

岸壁構造に関する研究では、岸壁の被災状況の類型化と被災要因との関係を議論した研究と、鋼矢板岸壁に焦点を当ててその被災要因を検討した研究が報告された。

いずれの構造物に対してもそれぞれ被災原因の究明と構造物強化のための研究の両方がなされてきている。

委員会報告では、研究委員会の各WGの報告として、津波水理、洗掘侵食、防波堤・防潮堤、岸壁に関するこれまでの研究の進捗と今後のとりまとめ方針について報告があった。

3. ま と め

各種地盤構造物の津波被害に関する研究では、強い水

の流れとそれによる構造物の挙動を考えるべきである。そのため、多くの実験研究が水路を用いた研究となっていた。このような研究では、地盤関係の研究者と水理関係の研究者とのコラボレーションが必要となる。

地盤周辺の強い水の流れ、それに伴う間隙水圧等の変化が地盤の安定性にどのように影響するかという問題に関する研究はまだ始まったばかりという感が強く、今後の研究の飛躍的な進展が期待される。