

[別紙2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 MOHAJERI MASOUD

地震力によって土構造物に発生する変形は近年、大いに注目を集めている問題である。従来の手法では、震度法と許容応力度の組み合わせ、すなわち安全率の計算に依存して破壊の有無を判定するだけであった。しかしこの手法では、90年代以降に設計で想定される地震荷重が強大化するにつれ、1より大きい安全率を確保することが困難になって来た。材料としてのせん断強度に限りのある土を使う限り、耐震設計が困難になって来たのである。

このような行き詰まりを打開するための戦略が、地震時の許容変形量に基づく設計思想である。土構造物には修復が比較的容易であるという特長があり、強大な地震動に見舞われても変形が一定の限度以下に収まれば、地震後の迅速な修復作業により、被害(社会への影響)を最小限に留めることが可能である。この変形の限度を地震時許容変形量と呼称し、残留変形量を予測して、これが許容変形量以内に収まれば可とするのが、新しい耐震設計法の考え方である。

本論文は世の中に無数存在する盛土構造物を対象にして、その耐震設計の新しいあり方を探ったものである。盛土構造物の例には、道路や鉄道などの交通基盤施設、河川堤防、宅地造成地等があり、その総数は無数である。さらに総延長も計り知れず、それが多様な基礎の地盤条件の上に設置されている。設置の費用も安価であることが期待されている。以上のような状況の下で耐震設計の革新を達成する為には、残留変形の予測が合理性を保持しつつも、なるだけ簡便なものであることが必須である。現場の土の不攪乱サンプルの採取と繰り返しせん断実験とを要する手法は時間と費用の面から考えて機能しないし、建設予定中の未設置盛土ではなおさらである。河川盛土を削孔して試料を採取することは、洪水時の安全の見地から忌まれる行為である。

以上のような視点から本研究では、必要最小限の土質パラメータを使って地震時の残留変形を予測できるようにしたい、と考えている。種々の貫入試験によってせん断強度を推定すること、常時微動観測から(微小ひずみ時の)せん断剛性を決定することが、その内容である。繰り返しせん断時の変形特性など、これ以外の情報については、本研究の中で数種の土の実験を行って基本的な知見を得ておき、将来のプロジェクト毎に土質実験が要求されないようにする。また交通施設や堤防のように常時は水浸していない地表面より上の盛土を対象に定め、飽和土における過剰間隙水圧発生の問題を対象外とした。

本論文は全体で八章から成っている。その第一章は問題の所在、研究の構成を記述するとともに、盛土の地震被災事例についても若干の説明をしている。

当該分野の既往の研究を振り返ってまとめたのが第二章である。土構造物の地震時残留変形予測法には幾つかの提案例があり、状況に応じて使い分けをしなければならない。その内で本研究のような不飽和盛土に適している、と考えられているのがニューマークの剛体すべり解析法である。この方法は概念的には簡潔で理解しやすい特長を有している。しかし「土のせん断強度」が排水・非排水・繰り返し強度

などのいずれ(もしくはそれ以外)であるのかははっきりしていないこと、強度に満たない外力の下では変状が一切算出されないこと、一定振幅繰り返し载荷時には変形が蓄積しないという、実験的にはやや現実に反するようにも思われる解析であることなどが、疑問を抱かせる諸点である。

実験方法が第三章で述べられている。繰り返しせん断実験には既存の単純せん断装置を使用した。また実験材料には豊浦標準砂に加えて、東京有楽町層上部砂のように細粒分を含む砂、千葉県産の関東ローム層を用い、現実の盛土に使われる土、今後の使用を検討すべき土をも視野に入れた。これと併せて模型斜面の振動実験を行ない、より実際に近い条件で残留変形の蓄積過程を観察した。

第四章において繰り返し単純せん断試験の結果を報告した。締め固めた供試体に静的なせん断応力が作用したままの状態クリープ変形させ、その後に繰り返しせん断荷重を重ね合わせた。

せん断ひずみの蓄積の記録によれば、一定振幅の繰り返し応力が作用する実験では、第一サイクル中の変形発生が全体の内でも格別に重要である。これは豊浦砂のみならずロームに於てもあてはまる。それに比べると体積収縮すなわち揺すりこみ沈下は、後続サイクルによる貢献分も、ある程度重要である。実験の途中で応力の振幅を減ずると、せん断変形、体積収縮ともにほとんど進行しない。反対に応力振幅を増すと、変形が再び大きく進展する。また、クリープした土には単調载荷試験の応力ひずみ関係よりも大きな剛性を示す挙動が見られたが、繰り返しせん断にも同様の効果のある点が、興味深い。

第五章では模型振動実験の結果が報告されている。無限長斜面の一部を模擬した有楽町層砂の堆積をせん断箱中に造り、傾けた底版上に設置した後、水平に加振した。加振サイクル数とともに変形が蓄積すること、第一サイクルの貢献が大きいことは、前章の考察と同様である。クリープさせることにより地震時変形が小さくなることも見出された。模型地盤の力学的性質を、スウェーデン貫入試験と共振試験の二通りの方法で、測定した。前者は土のせん断強さに関わるものであり、後者は微小ひずみ時のせん断剛性を推定するものである。実際の盛土の変形解析に於ても、何らかの貫入試験(コーン貫入試験や最も手軽なスウェーデン貫入試験)で土の強度を推定し、常時微動の測定から土のせん断剛性を推定させることは、決して過重な現場調査とは言えない。

クリープと圧密時間の影響については前述したが、再度これについて議論したのが第六章である。また第七章では、土の骨格応力ひずみ関係を双曲線で近似し、せん断強さと剛性とを入力パラメータとして残留変形解析を試みた。既存のニューマーク型すべり解析に比べて、破壊に至らない载荷重の下でも残留変形が生ずる点で、現実に近くなっている。また繰り返し载荷時の変形蓄積も考慮されている。従来のニューマーク法では、これらの諸因子を全てまとめて「強度」というあやふやなパラメータの中に閉じ込めていたが、本論文では諸因子を別々に扱うことにしたので、却ってモデルの構造が明確になった。

第八章は結論である。

以上をまとめると本論文は、盛土に代表される土構造物の耐震設計を許容変形という見地から革新する、という目標に向けて、実験的な立場から研究したものである。その成果は河川堤防や道路盛土のように比較的安価でありながら総延長が長い施設の耐震性向上のために有用であり、地盤工学と耐震工学上の業績は大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。