

[別紙 2]

## 審査の結果の要旨

氏 名 Sendir Seda (姓: せんでいーる 名: せだ)

本論文は「A study on seismic residual displacements of rock fill dams for their performance-based design by 1-G model tests and hollow cylindrical torsional shear experiments (フィルダムの性能設計のための地震時残留変形予測に関する模型振動実験とくり返しせん断実験)」と題し、近年の地盤耐震工学の分野でも導入と実用化の動きが高まっている耐震性能設計を推進することを、目指したものである。

本論文は七章から構成されている。まず第一章はイントロダクションであり、耐震性能設計の考え方、意義を説明している。従来から行なわれて来た設計の考え方では地震時の外力と抵抗とを比較し、後者の方が大きいこと(安全率 $>1$ )を要求して来た。しかし近年、地震時の安全性への要求が社会的に高まり、それに応じて抵抗力を高めざるを得ない状況が生まれている。しかしこれは必然的にコストの上昇をもたらしてしまう。現下の社会ではコスト削減への要求も高いため、施設の安全性を確保しつつ不要なコストを省く努力が求められている。このような複雑な社会の要請に応えるものが性能設計である。

土構造物の耐震性能設計では、震後に残留する変位・変形の予測が大きな役割を果たす、この予測を実用的かつ正確に行なうことが重要であり。得られた予測値を許容するか、あるいは過大であるとして設計変更を要求するのかが、設計上の判断である。本論文は水を貯めるダムのような土構造物を対象として、残留変位の推定を実践し、また耐震性の高いアースダム・ロックフィルダムの性能を実証するため、模型振動実験を行なった。

第二章では、既往の地震時におけるアースダムの被害例を紹介している。古い時代に行なわれていたセミハイドロリックフィル式の築造法では、土の締め固めが不十分である。そのため地震による崩壊が起こった。それに対して締め固めが一般的になって以後のダムでは全面的な崩壊が見られなくなり、天端の沈下、貯水池側の法面の変形・すべり程度の被害に止まるようになった。

第二章では、堤体の残留変形を予測する方法も紹介している。方法には多様なものがあるが、すべり土塊の動的解析は簡単に過ぎ、動的非線形有限要素解析は、構成方程式の能力が複雑な土の挙動を把握しきれていないのが問題である。そこで本研究ではひずみポテンシャル法を採用した。この方法では現場の震前と地震時の応力変動を簡単な有限要素法で推定し、これを実験室で実際の状態に近い試験体に載荷して残留ひずみを測定する。これをひずみポテンシャルと称する理由は、実験装置の試験体と実際の土構造物中とは土に対する拘束条件が異なるため、現場のひずみはまた異なるものになるからである。本方法では実験室でのひずみを剛性低下に換算し、これを簡略な有限要素解析に入力して現場の変形を推定する方法を採る。ただし試験体への応力載荷法、剛性低下の決定法には議論と将来の改良の余地があるであろう。

第三章は、実験的研究に使用した材料や装置、及び実験の方法を説明している。特に振動実験では、実際のダムと同様に、片側にだけ貯水池を設けて加振を行なった。またアースダムの形式としては、従来の中央に粘土のコアを持つタイプ、かつ砂部を締め固めた形式の他に、過去のセミハイドロリックフィル形式をも想定して、ゆる詰め堤体をも実験対象とした。さらに施工費用が安価なダムとして、コアを持たない表面遮水型のダムについても実験を行なった。

土のひずみポテンシャルを計測するためのせん断実験には、中空ねじり式装置を用いた。近年の装置は軸力とねじり力の双方を独立に制御することが可能であり、多次元応力下に

ある現場の状況をより正確に再現することができる。

第四章は、ひずみポテンシャル計測の実験に必要なダム堤体内の静的及び地震時応力の算定法を説明している。

第五章では、模型振動実験と中空ねじりせん断試験の結果を説明している。まず前半の振動実験では、相対密度 20%のゆる詰めダム模型において、上流側の法面が陥没し下部へ流動変形を起こした。すべり面を境に変位が不連続となるタイプの変状ではなく、大せん断ひずみが生じたことが特記される。このような変形の程度は、ダムの締め固め度が高まるとともに減少した。さらに特筆すべきは表面遮水型ダムであり、その残留変形は無視し得る程度であった。このタイプのダムでは遮水膜（舗装）からの漏水によるダム崩壊例が報告されているものの、貯水池の水圧を堤体の有効応力に転換する、という強度発現機構が働くことにより、耐震性が向上するのである。

第五章後半では、現場の静的及び地震時応力を試験体に載荷してひずみポテンシャルを計測した中空ねじりせん断実験の結果を報告している。従来手法では地震時のせん断応力一成分しか制御できなかったのに対し、装置の進歩により軸差せん断応力とねじり応力の二成分を制御・載荷できるようになったことが、新しい。その結果から剛性低下が定量的に測定された他、ダムのような密詰め砂では大地震の繰り返しによって材料強度が増大すること、静的な軸差応力とねじり応力のどちらが卓越するかによって地震荷重後の残留変形のパターンも、軸変動主体とねじり変形主体に分かれること（塑性ポテンシャルの考え方）、常時の安全率が高い箇所の方が間隙水圧は「上昇しやすい」こと等が見出された。

上記の成果を承けて第六章では低下前と後の剛性を用い、変形解析が二通り実施された。そして両者の差として、地震により誘起される変位が算定された。

第七章は全体の結論と今後の研究課題を述べている。

以上のように本研究は地震時のダムの挙動の実験と算定を通じて、耐震性能設計への動きを具体的な形で推進したものであり、地震工学、地盤工学の進歩に対する貢献が大きい。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。