

京都大学	博士（工学）	氏名	五十嵐 徹
論文題目	半地下構造物の耐震設計法に関する基礎的研究		
<p data-bbox="188 488 448 521">（論文内容の要旨）</p> <p data-bbox="172 533 1420 779">土木構造物の構造形式は、躯体の大部分が地上に露出している地上構造物、躯体全体が地盤内に設置される地下構造物、大部分が地中にあるが地表面付近に配置され、上載土が無いか薄い半地下構造物に分類できる。地震時には、地上構造物は慣性力の影響が支配的であり、地下構造物は主に地盤の応答変位の影響を受けるとされ、耐震設計法としてはそれぞれ震度法、応答変位法が一般的に用いられてきた。一方、半地下構造物に対しては、標準的な耐震設計法が未だに開発されていない。</p> <p data-bbox="172 790 1420 1081">半地下構造物に対する耐震設計法を開発するためには、構造物躯体に外力として作用させる地震時土圧の評価が最も重要となる。地表面付近は慣性力の影響が大きいと考えられるが、拘束圧が小さいことから地盤のせん断破壊挙動に支配される。一方、より深い領域では地下構造物と同様な応答を示すと考えられる。水道施設の耐震設計基準では、震度法と応答変位法からそれぞれ得られる地震時土圧の大きい方を採用することとしているが、その値が実現象を適切に評価しているかどうかは示されていない。</p> <p data-bbox="172 1093 1420 1294">構造物躯体と周辺地盤を精密にモデル化し、これらを一体として三次元非線形動的解析を実施して、耐震設計を行うのが本来の在り方である。複雑な構造物躯体と地盤の非線形挙動との動的相互作用の結果として、構造物躯体に作用する地震時土圧や、躯体の応力・ひずみが評価されなければならないからである。しかしながら、実務上はコストが過大となるため実施は難しい。</p> <p data-bbox="172 1305 1420 1462">本論文では、水道施設の半地下構造物を念頭に置き、効率的で合理的な耐震設計法の開発に寄与することを目的とし、地震時土圧のメカニズムを調べた上で、耐震設計のプロセスと、地震時土圧を推定する簡易モデルの提案を行なっている。本論文は、以下に示す5章から構成される。</p> <p data-bbox="172 1473 1420 1585">第1章では、研究対象である半地下構造物の定義を行うとともに、地上構造物と地下構造物に対する一般的な耐震設計法や、地震時土圧に関する既往の研究について、レビューを行っている。</p> <p data-bbox="172 1597 1420 1971">第2章では、構造物躯体の設計を行うためのモデル化と、構造物～地盤一体モデルの検討を行なっている。まず、実在する大規模なRC配水池について、二次元と三次元の構造物躯体モデルに対して非線形静的解析を行い、二次元解析の適用性について調べた。その結果、現実的な大規模半地下構造物では内部構造が複雑なため、計算の簡略化を目的とした二次元解析では適切なモデル化が困難であることと、三次元解析を用いることで躯体断面が合理化され施工コストが縮減されることを明らかにした。以上のように構造物躯体に対しては三次元モデルが必須であるが、これと周辺地盤を三次元で一体解析するのは実務上現実的ではないので、三次元効果を考慮した構造物躯体モデルと周辺地盤を二次元で一体解析することにより地震時土圧を求め、それを独</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	五十嵐 徹
<p>立した三次元の構造物躯体モデルに入力するプロセスを提案し、三次元効果を考慮して構造物躯体を二次元でモデル化する方法を一般的な配水池を例に示している。</p> <p>第3章では、半地下構造物に作用する地震時土圧と地震後の残留土圧について、単純化したモデルを用いた数値解析を実施することで、そのメカニズムを検討している。地盤は表層一層としてモール・クーロンの破壊基準による完全弾塑性モデルを用い、入力地震動は正弦波とした。また、構造物の重量が小さく剛性が高いほど動的相互作用の影響が大きくなるので構造物は質量の無い剛体と仮定し、構造物の深さ、表層地盤厚さ、入力地震動周期と振幅の異なる11ケースの二次元非線形動的解析を実施した結果、特徴的な地震時および地震後の土圧分布が求められ、以下の知見を得ている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 静止土圧より大きい受働側の土圧が作用する構造物側壁の反対側の側壁には、静止土圧より小さい主働側の土圧が同時に作用するが、それぞれ受働土圧と主働土圧により制限される。 ・ 正弦波入力に対して、地表面付近では受働土圧と主働土圧が交互に発生するが、深い位置では鉛直方向応力（拘束圧）が大きいため主働土圧のみ発生する。受働土圧が発生する領域の最深部で土圧は最大となり、以深は側壁下端部で主働土圧に近づく土圧分布となる。その値は線形動的解析結果や既存の耐震設計法で評価される土圧より大きい。 ・ 構造物近くの地盤のせん断変形は、主働側すなわち地盤が水平方向に伸長する変形となる。この変形が原因となって構造物付近の地表面では沈下が発生する。 ・ 地震後に、地表面付近では静止土圧より大きな土圧が残留するが、その値は受働土圧と主働土圧のほぼ中間の値となる。 <p>第4章では、半地下構造物に作用する地震時土圧と地震後の残留土圧を推定する簡易モデルを提案している。応答変位法で求めることを念頭に、地盤線形条件での地震時土圧に基づき、地盤のせん断破壊と構造物全体系のつり合いを考慮し、構造物底面のせん断応力の変動を無視する。この仮定によって、主働土圧によって制限される影響を反対側の側壁へ外力として与え、地表面付近で受働土圧によって制限される影響を深部に再配分するモデルを導いている。また、構造物側壁と地盤間の摩擦力の影響を鉛直方向応力に最大限反映させる定式化としている。構造物の剛性と重量の影響、実地震動波形と複雑な土層構成への適合性、構造物側壁と地盤間の摩擦の影響について条件を変えた16ケースについて、二次元非線形動的解析結果と提案法の比較を行った。この結果、半地下構造物の地震時と地震後の土圧分布が概ね適切に推定できることが確認されたが、摩擦係数が大きい場合の極表層おける受働側地震時土圧は動的な鉛直方向応力に提案式が追随しきれず過小評価となった。構造物側壁に作用する土圧の合力と側壁基部中心の合モーメントについて定量評価を行った結果、提案法が約5～25%大きい値となることが確認された。このことは、構造物底面でのせん断力の変化を無視する仮定が主因と考えられ、設計手法として安全側の値を与えることを意味している。</p> <p>第5章では、得られた結論をまとめ、今後の展望を述べている。</p>			

氏名	五十嵐 徹
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、水道施設の配水池構造物等を念頭におき、大部分が地中にあるが地表面付近に配置され、上載土が無いか薄い「半地下構造物」に対する、効率的で合理的な耐震設計法の開発を目的とし、特に構造物躯体に外力として作用させる地震時土圧の発生メカニズムの解明と、その簡易なモデル化の方法について研究した成果についてまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 構造物躯体の設計には三次元解析が必須であることを示した上で、三次元効果を考慮した構造物躯体モデルの作成法を示し、これと周辺地盤を二次元で一体解析することにより地震時土圧を求め、それを独立した三次元の構造物躯体モデルに入力する設計プロセスを提案している。
2. 地震時土圧と地震後の残留土圧について、できるだけ単純化したモデルを用いた二次元非線形動的解析を実施することで、特徴的な土圧分布となることを示し、さらにそのメカニズムの詳細について明らかにしている。
3. 地盤線形条件での地震時土圧に基づき、地盤のせん断破壊と構造物全体系のつり合いを考慮し、構造物底面のせん断応力の変動を無視することによって、地盤非線形時の地震時土圧および地震後の残留土圧を簡易に推定する方法を開発している。

以上の成果を総合することにより、震度法によって地上構造物を設計する場合や応答変位法で地下構造物を設計するのと同程度の手間で、半地下構造物を合理的に設計できるようになるだけでなく、構造物躯体と地盤を一体とした非線形動的解析を用いて設計する場合にも、適切な初期断面を与えることができる。

本論文は、地盤と半地下構造物間の非線形動的相互作用を耐震設計実務に合理的に取り入れる方法を示しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年7月26日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第14条第2項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。