

## 審査の結果の要旨

氏名 溜 幸生

本論文は、カルバートや共同溝など、解析上も剛体とは見なし得ない埋設構造物を対象として、周辺地盤が地震時に液状化した場合に、地盤から構造物へ作用する土圧について、詳細な模型実験と結果の分析を行ない、設計に有用な土圧推定手法を研究したものである。従来から埋設構造物を剛体と見なし構成されて来た土圧理論と比べて今回得られた土圧値は小さく、従来の手法が過大な土圧を与えていたことが見い出された。

本論文は全体で九章から構成されている。第一章はまえがきであり、研究を始めるにあたって既往の知見を取りまとめ、本研究の主題を定義している。

第二章は実験の方法を説明している。本研究ではせん断土槽と呼ばれる容器の中に、埋設構造物模型およびゆる詰め砂層を設け、全体を水平加振して液状化を起こさせ、構造物や地盤の応答を計測した。砂の締め固め度や加振周波数、加速度振幅を変化させて繰り返し実験を行なった。実験の回数は合計15である。

第三章では、振動台実験の結果をまとめて報告している。模型地盤中で間隙水圧が上昇するに伴って、地盤・埋設構造物の系の固有振動数が低下し、ある時点で加振振動数と一致、共振し、動的応答の最大になる現象が観察された。また、この時以降、埋設構造物の基礎と頂部の振動に、位相差が顕著になる現象も、観察された。

第四章は、本研究の核心を構成する部分である。従来の同種の研究では、振動の強弱や過剰間隙水圧の上昇率を構造物に作用する土圧に直接関連づけ、経験的な相関公式を導いたり、ないしは剛体壁の理論式の妥当性を検討することが、多かった。これに対して本研究では、構造物側壁に接触する部分の地盤では応力ひずみ関係がどのようになっているのかを実験的に再構成し、それをもとに地震時土圧の発生機構を解明することを目指した。このような作業に使用できる実験データには、地盤中の横方向土圧（土圧計で計測）、地盤の動的水平変位（水平加速度応答を二度積分）、構造物の側壁の変位と土圧（壁の曲げひずみをもとに算定）、そして地中の過剰間隙水圧があった。これらを用いれば壁に作用する土圧と地盤の水平直ひずみ（およびひずみ速度）との関係が再構成できるのみならず、地盤の水平方向のせん断応力／ひずみ関係も、構造物の影響を加味して再構成できる。従来の実務では、壁面土圧を土のひずみに関連づける応答変位法が広く使われているが、液状化問題に関しては原理的に疑問が持たれており、前者のデータ検討は、この疑問に対する解答を目指すものであった。また後者のデータ検討は、構造物の影響まで含めてより信頼性の高い研究を目指したものであり、構造物を無視するデータ検討法に比べて、はるかに妥当な応力ひずみ挙動や応力経路を得ることができた。

第五章では埋設構造物の動的応答を検討した。上記の第四章で構成したデータ検討手法

にもとづき、過剰間隙水圧上昇に伴って地盤の剛性が低下する状況を定量的に追跡し、模型地盤の共振周波数低下と最大応答発生とが、定量的に把握できた。構造物頂部と底部との振動の比率（増幅度）は共振時に2.5～3.0で、このころから両者の位相差が90度に達して明瞭になった。さらに完全液状化の時点では、増幅率が1.0～1.5に下がる一方で、位相差は150度以上に拡大した。

第六章は、側壁の曲げひずみから壁のたわみ変位を逆算する作業と結果の検証に費やされている。数学的には変位逆算はひずみの鉛直方向への二回積分に過ぎないが、上述したように地盤の直ひずみの推定に重要なデータであり、論文提出者は変位推定値の検証を重視した。構造物の頂部で変位計により実測された変位時刻歴と推定値とを比較し、共振や液状化後のように変位が大きくなった時点では、両者がよく一致した。しかし、まだ変位の小さい加振初期では、両者の対応があまりよくなかった。このことから、地盤ひずみの議論は、共振の時点以降に限られる。

第七章は、埋設構造物に作用する土圧の実験データを検証する、本論文で最も重要な部分である。まず周辺地盤の水平方向のせん断応力とひずみも関係を検討し、構造物の影響を考慮することによって、要素せん断実験の結果と整合する、よい結果が得られていることを示した。次に土圧と地盤直ひずみとの相関を検討した。従来から設計によく使われる応答変位法では、土圧と直ひずみとの間に正の相関を期待し、両者の関係をバネで表現して来た。この視点から本研究の成果を再検討すると、液状化以前の、地盤に剛性が残留している状態では、ある程度の非線形性が現われるものの、応答変位法的考え方があてはまる。そして、構造物の変位を抑制する支持／抵抗機構として、地盤は機能している。しかし共振から完全液状化の段階では挙動が全く変化し、土圧と直ひずみは相関を失う。この状態で土圧を支配しているのは振動の加速度／慣性力であり、よい相関が見い出された。そして土圧の作用方向は構造物の変位を拡大する方向であり、地盤は構造物を支えるのではなく、むしろ荷重として機能している。ただし例外は、周辺地盤に正のダイレイタンスが著しく、一時的に有効応力が回復して地盤に剛性が発生する時である。

第八章では、本研究のテーマである土圧の成果を実務に展開することを目指し、土圧の実用的な推定方法を構築した。推定結果を実測データと比較し、共振と液状化時により一致を得るとともに、従来の剛体壁の理論では、土圧を過大推定してしまうことも示した。

第九章は全体のまとめ、今後の課題の提示である。

以上を要するに、本研究は地中構造物の耐震設計上の重要な課題である液状化問題を取り上げ、荷重としての土圧について模型実験を通じて詳しい検討を行なったものである。そして従来つかわれていた考え方が不適切であることを実証し、それに代わる実用的な土圧推定法を提案した。これは地震工学上での学術および技術水準向上への貢献が著しく、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。