

オンライン地震応答実験による高盛土の挙動の評価

山口大学工学部	正員	兵動 正幸
復建調査設計(株)	正員	藤井 照久
山口大学工学部	正員	中田 幸男
山口大学大学院	学生員	福田賢二郎
山口大学大学院	学生員	○山根 祐輔

1.まえがき

兵庫県南部地震において、多くの道路盛土、河川堤防が崩壊した。これを契機にレベル 2 地震動に対する道路用高盛土の地震時安定設計手法の検討が求められている。本研究では、地震応答解析と要素試験を連結させたオンライン地震応答実験を不規則波と規則波に対して行ない、地震時における高盛土の挙動及び変形量について考察した。

2.オンライン地震応答実験の概要

オンライン地震応答実験の原理を図-1 に示す。このシステムは、日下部ら¹⁾により開発されたものである。オンライン実験のアルゴリズムは以下の通りである。まず、解析対象地盤を質点系にモデル化し、基盤面から地震動を入力する。そして、コンピュータにより質点系の振動方程式を解き、各質点の応答変位を求める。次に得られた変位に相当するせん断ひずみをコンピュータ制御により供試体に与え、その時自動計測された復元力を用いて次のステップの応答変位を計算する。この過程を地震動が継続する間繰り返す。すなわち、時々刻々に変化する地盤の非線形な復元力を要素試験の供試体から直接求め、オンラインで応答解析に結びつけ、地震時の地盤の挙動をシミュレートする方法である。この方法によれば複雑な土の構成式に頼らずに、土の実際の挙動を評価した地震応答解析が可能になる。

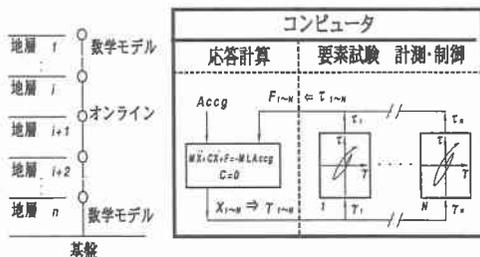


図-1 オンラインの概念図



図-2 解析対象モデル図

3.実験条件

本研究では、図-2 に示す高盛土の解析対象モデルのうち変形が大きいと予想される S1~S3 層までをオンライン層とし、その他の層を修正 R-O モデルとしてオンライン地震応答実験を行なった。なお対象断面は 2 次元であるが、実験は図に示すように 1 次元の質点系モデルに置き換えて行なった。このため実験は静的 FEM 解析で求めた初期応力を供試体に作用させたのちに行なった。また加振中は図-3 に示すように非排水状態で側方変形および鉛直変形を許容する Shake Down モードを想定して実験を行なった。載荷装置は、簡易直接せん断試験機²⁾を用いた。入力地震動には、兵庫県南部地震で観測された波形(不規則波)および正弦波(規則波)を用いた。なお地震動の継続時間は実験の制約上 10 秒とした。また、規則波の周期は不規則の卓越周期に相当する 1Hz とした。試料には実際に施工で使用された盛土材料の 2mm ふるい通過分を最適含水比により締固めたものを使用した。

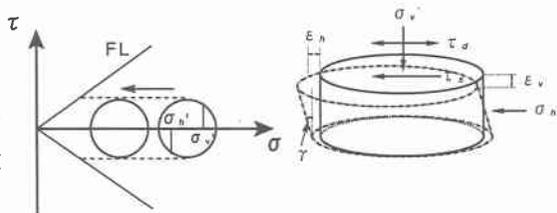


図-3 土の要素状態

4.種々の波形に対する高盛土の挙動

図-4 にオンライン地震応答実験で得られた各質点の応答加速度時刻歴の一例を示す。(a)が兵庫県南部地震のJR 鷹取駅周辺で観測された N-S 成分を入力としたときの入力加速度と各層の応答加速度であり、(b)が規則波最大加速度 $\alpha_{max}=500Gal$ の入力加速度と各層の応答加速度である。図より基盤面から入力された加速度は、上層にいくにつれて振幅が減衰し、盛土天端において増幅していることが認められる。また上層にいくにつれて長周期化し、位相もずれていることがわかる。同様な傾向は規則波にも見られる。図-5 は、不規則波を用いた場合のオンライン層(3 層)のせん断応力-せん断ひずみ関係と、せん断応力-鉛直ひずみ関係を示したものである。この図よりせん断ひずみは初期せん断応力を作用している方向に残留している様子が見られる。鉛直ひずみにおいても常に一定の軸差応力が作用している応力状態の為にひずみが蓄積されている。図-6 は不規則波（鷹取 N-S 成分）の応答水平変位の時刻歴である。この図より盛土天端の質点(m1)では加振中に最大で 60cm 程度の応答水平変位が発生し、また加振後には、初期せん断応力が作用している方向に 30cm 程度の残留変形が発生していることがわかる。次に不規則な地震動を、それと等価な損傷を盛土に与える規則波に置き換えることを試みた。まず各規則波振幅で求められた最大水平変位を各振幅で整理した。その図が図-7 である。この図より、規則波においては入力加速度振幅が大きくなるとほぼ直線的に最大応答変位が増加していることが認められた。この関係を用いて各不規則波の最大応答変位と等価な最大応答変位を生じる規則波の加速度振幅を求めた。図中の破線がそれぞれの対応関係を示すものである。図より各不規則波の最大入力加速度を規則波の入力加速度振幅に換算すると 350~450Gal 程度であることがわかった。

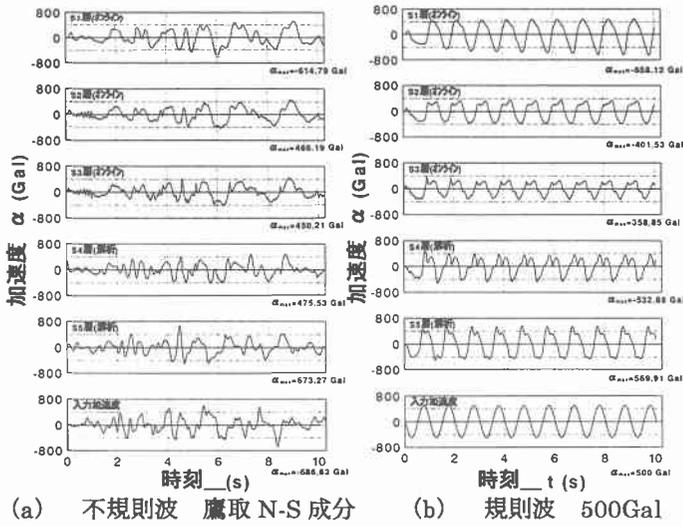


図-4 入力加速度と応答加速度の時刻歴

図-5 は、不規則波を用いた場合のオンライン層(3 層)のせん断応力-せん断ひずみ関係と、せん断応力-鉛直ひずみ関係を示したものである。この図よりせん断ひずみは初期せん断応力を作用している方向に残留している様子が見られる。鉛直ひずみにおいても常に一定の軸差応力が作用している応力状態の為にひずみが蓄積されている。図-6 は不規則波（鷹取 N-S 成分）の応答水平変位の時刻歴である。この図より盛土天端の質点(m1)では加振中に最大で 60cm 程度の応答水平変位が発生し、また加振後には、初期せん断応力が作用している方向に 30cm 程度の残留変形が発生していることがわかる。次に不規則な地震動を、それと等価な損傷を盛土に与える規則波に置き換えることを試みた。まず各規則波振幅で求められた最大水平変位を各振幅で整理した。その図が図-7 である。この図より、規則波においては入力加速度振幅が大きくなるとほぼ直線的に最大応答変位が増加していることが認められた。この関係を用いて各不規則波の最大応答変位と等価な最大応答変位を生じる規則波の加速度振幅を求めた。図中の破線がそれぞれの対応関係を示すものである。図より各不規則波の最大入力加速度を規則波の入力加速度振幅に換算すると 350~450Gal 程度であることがわかった。

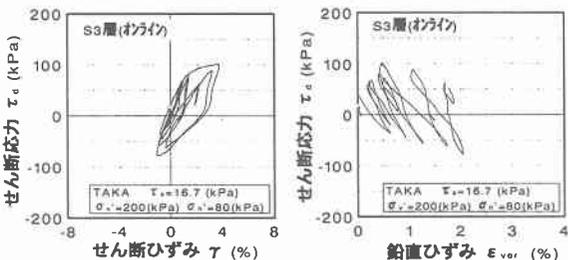


図-5 せん断応力-ひずみ関係（鉛直、側方）

5.あとがき

本研究では、レベル 2 地震時における高盛土の挙動を評価するため、オンライン地震応答実験を不規則波と規則波に対して行うことにより試みた。その結果、不規則波の最大入力加速度を規則波の入力加速度振幅に換算すると、ある程度低減していることが認められた。

参考文献 1) 日下部伸, 森尾敏, 有本勝二: オンライン地震応答実験による 2 層系砂地盤の液状化挙動, 土質工学論文報告集

2) 日下部伸, 森尾敏, 岡林巧, 藤井照久, 兵動正幸: 簡易単純せん断試験装置の試作と種々の液状化試験への適用, 土木学会論文集, No. 617/III, pp. 299-304, 1999.

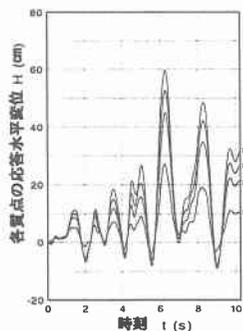


図-6 応答水平変位の時刻歴

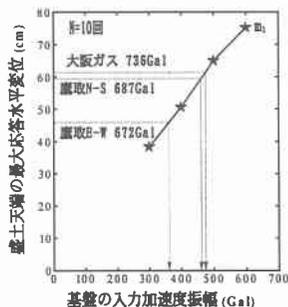


図-7 最大応答水平変位と規則波振幅の関係