

地盤系オンライン地震応答実験システムにおける 誤差補正方法の違いが応答結果に及ぼす影響

Influence of Error Correction Method on Response Results by Pseudo-Dynamic Testing

○寺木亨¹, 山田雅一², 安達俊夫², 山田峻作¹

*Toru Teraki¹, Masaichi Yamada², Toshio Adachi², Syunsaku Yamada¹

Abstract: The objective of this study is to incorporate technological changes in the existing pseudo-dynamic testing. In this paper, the pseudo-dynamic tests on subsurface ground of single-degree-of-freedom system were conducted, and then examined the effect of response results on correction method of experimental error.

1. はじめに

地震応答解析において非線形振動をする地盤の挙動を再現する際に、復元力特性が非常に複雑であるため復元力特性を完全に数値モデル化することは困難である。このように復元力特性のモデル化が困難な地盤の応答を正確に把握する手段として、解析と実験を組み合わせたオンライン地震応答実験システムが片田・伯野ら¹⁾によって提案された。

オンライン地震応答実験システムは、実験によって得られた復元力を直接コンピュータに取り込み、解析を行って地震時の応答を求めるものである。したがって、地盤の非線形的な復元力特性に対しモデル化を介することなく、地震時の地盤における非線形性状、強度・変形特性並びに間隙水圧の挙動を直接的かつ同時に評価できる特徴を有する。

一方で、オンライン地震応答実験システムは、復元力を取り込む過程において実験誤差の蓄積が応答結果に大きな影響を与える。それ故、実験誤差の補正が非常に重要となる。その実験誤差に対し、日下部ら²⁾により初期剛性を用いた誤差補正方法が提案されているが、大きいひずみレベルでは補正が行われていない。よって、本報では大ひずみ領域にも対応した接線剛性を用いた誤差補正方法を提案する。

本報では、1 質点系表層地盤におけるオンライン地震応答実験を行い、その際の実験誤差の補正方法が応答結果に及ぼす影響について比較・検討を行う。

2. 地盤系オンライン地震応答実験システム

2.1 概要

地盤系オンライン地震応答実験システムは、対象地盤を質点系として捉え、微小時間間隔ごとに地震加速度を入力し、コンピュータで数値積分法を用いて振動方程式を計算し応答変位を求める。この応答変位に相当するせん断ひずみを供試体に与え、その時の復元力より次のステップの応答変位を求め、順次繰返すことで地震時の挙動を再現する。

また、オンライン地震応答実験システムは、応答値が復元力特性の精度によって大きく左右されてしまうため、原地

盤における土要素の応力・変形状態を比較的忠実に再現できる中空ねじり試験機を用いる。さらに供試体に载荷する上で高精度な実験を再現するために制御プログラム(LabVIEW)を用いて自動で電動ジャッキによるアクチュエータの制御を行う、そのシステム概要図を Fig.1 に示す。

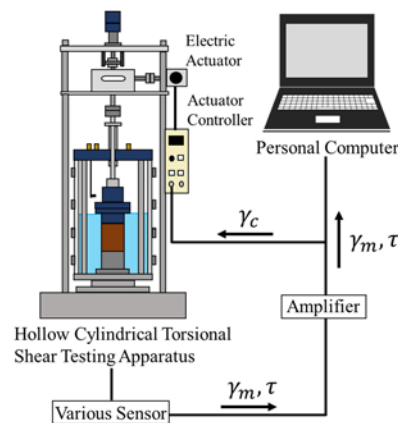


Fig.1 Pseudo-Dynamic Testing System

2.2 誤差補正方法

本報では、中島・加藤ら³⁾の知見を基に地盤のオンライン実験において接線剛性を用いた誤差補正方法を提案する。接線剛性を用いて逐次誤差補正を行うことで、液状化後にひずみが增大しても正確な補正を行うことが出来るものと考えられる。なお、接線剛性は本ステップと前ステップの応力とひずみを用いて微小時間間隔ごとに求めるものとする。本システムの接線剛性 G_n の算出式を(1)式に示す。

$$G_n = \frac{|\tau_n - \tau_{n-1}|}{\gamma_n - \gamma_{n-1}} \quad (1)$$

ここで、 τ_n は本ステップのせん断応力、 τ_{n-1} は前ステップのせん断応力、 γ_n は本ステップのせん断ひずみ、 γ_{n-1} は前ステップのせん断ひずみである。接線剛性 G_n を用いた補正応力 $\Delta\tau$ は(2)式で表される。

$$\Delta\tau = G_n \times \Delta\gamma_{cm} \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\gamma_{cm}$ は目標ひずみ γ_c と測定ひずみ γ_m の差である。

1: 日大理工・院・建築 2: 日大理工・教員・建築

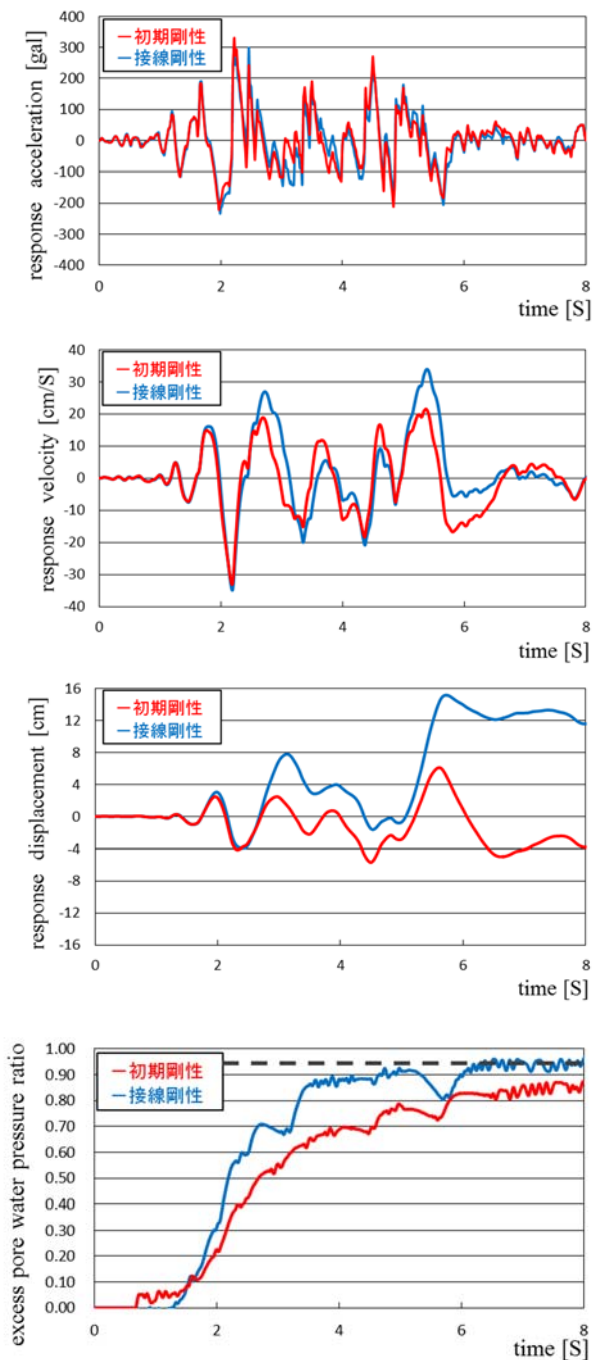


Fig.2 Time History of Pseudo-Dynamic Test

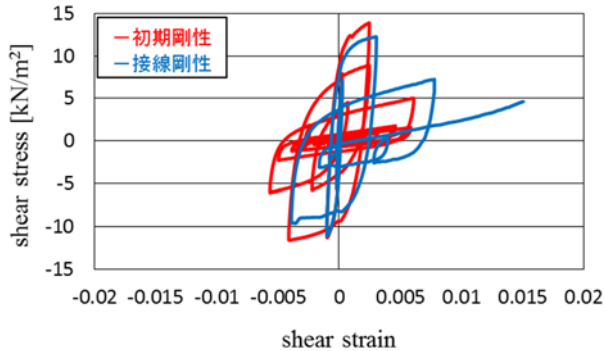


Fig.3 Relationship Between Stress and Strain

3 実験概要

オンライン地震応答実験には豊浦砂 ($\rho = 2.631 \text{ g/cm}^3$, $e_{max} = 0.977$, $e_{min} = 0.608$) を用いて、供試体は空中落下法により作製した中空円筒供試体で相対密度 $D_r = 60\%$ の地盤を想定した。地盤の諸元として深さ 10m, 設定拘束圧は層厚中点の有効上載圧 49 kN/m^2 を再現し、等方圧密を行った。なお、B 値が 0.95 以上の飽和地盤である。

入力地震波は Elcentro-NS 成分 (最大加速度 270 gal , 刻み時間 0.01 秒, 継続時間 8 秒) を用いた。本報では、初期剛性を用いた誤差補正方法と接線剛性を用いた誤差補正方法について 1 質点系オンライン地震応答実験を行い、その応答結果について比較・検討を行う。

4 誤差補正方法が応答結果に及ぼす影響

オンライン地震応答実験で得られた実験結果の時刻歴を Fig.2 に示す。また、過剰間隙水圧比時刻歴の図中には、室内試験における液状化の判断に用いられる過剰間隙水圧比 0.95 のラインを点線で示す。

同図より、初期剛性を用いて誤差補正を行ったオンライン実験では、過剰間隙水圧比が 0.95 に達しておらず液状化していないことが見てとれる。一方で、接線剛性を用いた誤差補正方法での実験結果は、過剰間隙水圧比が 0.95 に達し液状化している。この要因として、初期剛性を用いた誤差補正では、ひずみの増大に伴って応力を過大に補正しているため変位が過小評価され、過剰間隙水圧の上昇を抑制していることが考えられる。

したがって、オンライン地震応答実験では、初期剛性を用いた誤差補正では過大な応力補正や大ひずみ域で補正が行えないことから、液状化の発生に影響を及ぼす可能性があり、大ひずみ域においても逐次応力の補正ができる接線剛性を用いた誤差補正が望ましいと考えられる。

5 まとめ

本報告では、地盤系オンライン地震応答実験システムによる誤差補正の方法が応答に与える影響について検討を行った。その結果、液状化を評価する上で、大ひずみ域においても逐次応力の補正ができるため、接線剛性を用いた誤差補正が有用であることが示唆された。

今後、誤差補正の影響がより顕著に現れるとされる多層系での展開を試み、より詳細に本誤差補正方法による妥当性を検証していく予定である。

【参考文献】

- 1) 片田 敏行他: オンライン実験による液状化地盤の非線形振動解析, 土木学会論文報告集, 第 318 号, pp.21-28, 1982
- 2) 日下部 伸他: 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, 土質工学会論文報告集, Vol.30, No.3, pp.174-184, 1990
- 3) 中島正愛他: 仮動的実験手法による地震応答実験精度, 第 7 回日本地震工学シンポジウム, No.213, pp.1273-1278, 1986