B-75

多質点系オンライン地震応答実験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 Multi-Degree of Freedom System Pseudo-Dynamic Testing

○甲斐圭亮[1]，山田雅一[2]，寺木亨[3]，臼倉由記[1]
Keisuke Kai[1], Masaichi Yamada[3], Toru Teraki[2], Yoshiki Usukura[1]

Abstract : In this paper , we examined the effect of the difference in correction method of experimental error on liquefaction behavior by multi-degree of freedom system pseudo-dynamic testing system.

1. はじめに

オンライン地震応答実験システムとは，コンピュータと試験機をオンライン化させ，実験によって得られた復元力を取り込んで応答計算を行うものである．地盤の地震応答解析では一般的に地盤の復元力特性を求める際に多くのパラメータを要してモデル化を行うが，その復元力特性は非線形性が強いため扱いが複雑であり，高度な工学的知識・技術を要する．オンライン地震応答実験では復元力特性のモデル化を行うことなく地盤の挙動を直接的に評価できるため，複雑な挙動を示す地盤の応答解析に適しているといえる．

また，オンライン地震応答実験では復元力を取り込む過程で実験誤差が生じ，その蓄積は応答結果に大きく影響を与える．よって，実験誤差の補正が重要である．

その実験誤差の補正方法について，日下部ら[1)]は初期剛性を用いた誤差補正方法を提案しているが，あるひずみレベルを超えると補正を打ち切っている．一方で，寺木ら[2)]は 1 質点系オンライン地震応答実験において接線剛性による誤差補正方法を提案し，大きなひずみ領域に対しても実験誤差の補正を行っている．

本報では，最小の多質点系である 2 質点系地盤を解析対象としたオンライン地震応答実験を行い，誤差補正方法の違いが液状化挙動に与える影響について検討する．

2. オンライン地震応答実験

2.1. システム構成

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 2 台用いて 2 質点系オンライン地震応答実験を行う．また，制御プログラム LabVIEW を使用し全自動で，電動ジャッキによるアクチュエータの制御を行い，精度の向上を図っている．

2.2. 誤差補正方法

オンライン地震応答実験では，各ステップでコンピュータに復元力を取り込んで応答計算を行い，その計算によって得られた応答変位を目標値として供試体に与え，測定されたせん断ひずみを測定ひずみとする．実験では目標ひずみと測定ひずみを一致させることが理想であるが，実験精度やノイズの影響により誤差が生じてしまい，応答結果に大きな影響を与える．

日下部ら[2)]によって初期剛性を用いた誤差補正方法が提案されているが，剛性がひずみに大きく依存する地盤の性質上ひずみレベルが大きくなると正しい補正を行うことができない．そのため，日下部はひずみが 2×10^{-3} に達した後は誤差補正を打ち切っている．

一方で，中島・加藤[3)]は，オンライン地震応答実験による位置決め制度の誤差に対しては，接線剛性荷重修正法が有効であるとしている．また，質点数の増加に伴って実験誤差の増加が推定されると述べており，多質点地盤を解析対象とした実験では，補正方法の違いによる応答結果の差が増大すると考えられる．本研究では，接線剛性による補正が十分可能な処理能力を有するコンピュータを用いて，中島・加藤[3)]の知見を基に，接線剛性による誤差補正を行う．詳しい誤差補正方法については，寺木ら[2)]を参照されたい．

3. 実験概要

試料には豊浦砂（$\rho=2.631\,\mathrm{g/cm^3}, e_{max}=0.98, e_{min}=0.61$）を用い，供試体は空中落下法により作製した中空円筒供試体である．相対密度 Dr は上層・下層ともに 60%，地盤深さは各 5m 計 10m を想定し，拘束圧は上層・下層それぞれの中点における有効上載圧とした．地盤は飽和状態（B 値＞0.95）である．実験条件の詳細を Table1 に示す．入力地震波は Elcentro-NS 成分（最大加速度 270gal、刻み時間 0.01 秒、継続時間 10 秒）を用いた．本研究では，初期剛性と接線剛性を用いた誤差補正方法でオンライン地震応答実験を行い，それらの応答結果を比較することで，誤差補正方法の違いが液状化挙動に与える影響について検討する．

Table1. Experimental Conditions

補正方法	層	層厚 (cm)	相対密度 (%)	初期剛性 (kN/m^2)	湿潤密度 (g/cm^3)
初期剛性	上層	500	56	38166	1.922
	下層	500	58	61178	1.926
接線剛性	上層	500	62	36564	1.932
	下層	500	63	66641	1.935

1：日大理工・学部・建築　2：日大理工・教員・建築　3：日大理工・院・建築

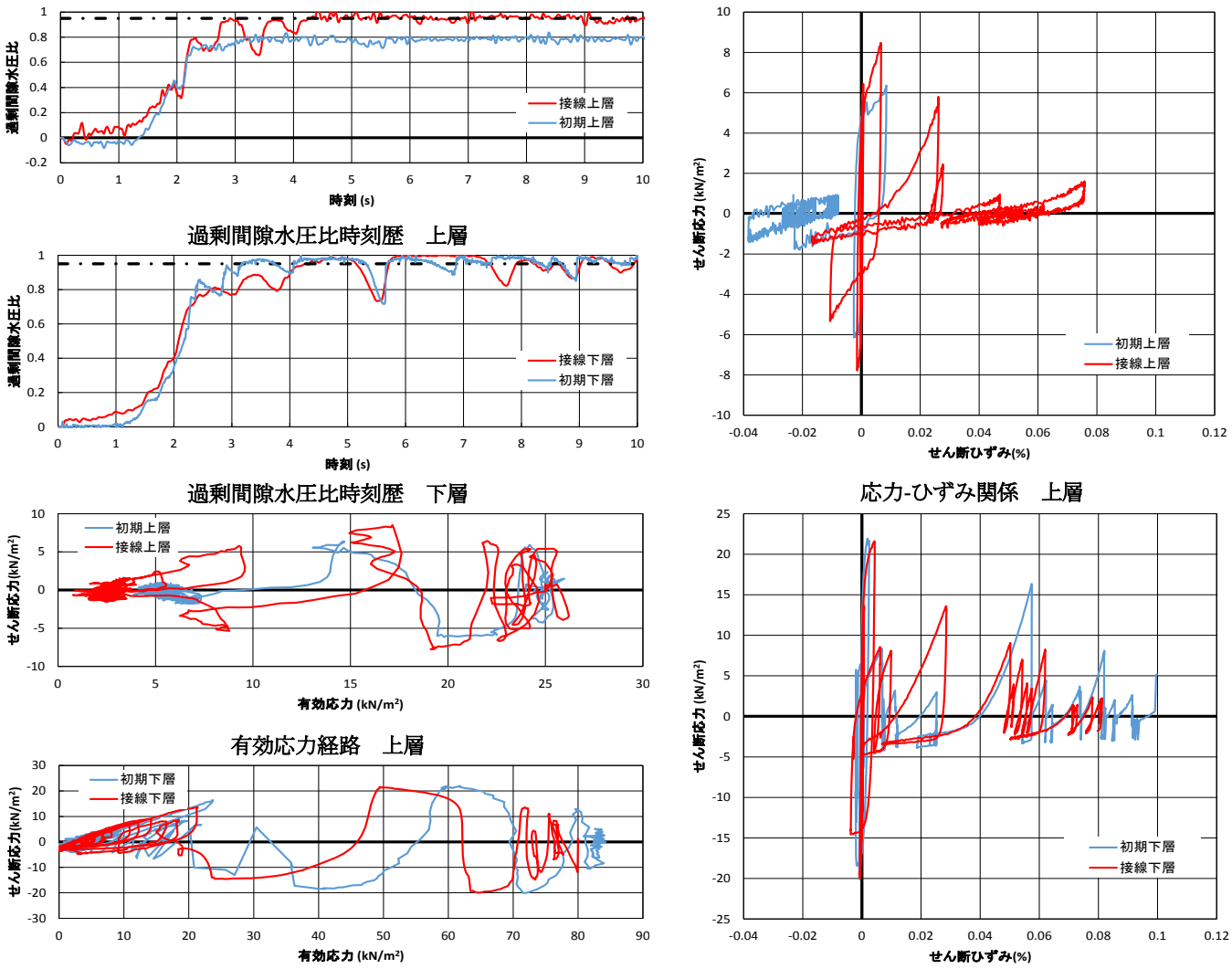

Figure 1 . Results of Two-Degree of Freedom System Pseudo-Dynamic Testing

4. 実験結果

本研究で得られた実験結果を Fig 1 に示す．下層の過剰間隙水圧比の時刻歴より，初期剛性と接線剛性の両方の結果で，水圧比が 0.95 を上回り液状化していることが確認できる．また，双方の下層においては土粒子骨格の再構成による剛性の回復現象であるサイクリックモビリティが生じており，おおむね液状化挙動を再現できていると考えられる．一方で上層の過剰間隙水圧比の時刻歴を見ると，接線剛性による誤差補正を行った実験では下層と同様に液状化していることとサイクリックモビリティが確認できるのに対し，初期剛性による誤差補正を行った実験では水圧の上昇が抑制され，液状化していないことが見てとれる．初期剛性を用いた誤差補正では，過大な剛性を用いた誤差補正を行っているために、ひずみが小さく評価され，過剰間隙水圧の上昇が抑制されていると考えられる．

下層よりも上層の方が誤差補正方法の違いによる影響が顕著に表れていることから，質点数が増加するほど誤差補正方法の違いが液状化挙動に与える影響も大きくなることが確認された．以上のことから，多質点系のオンライン実験において，初期剛性よりも接線剛性を用いた誤差補正を行う方が液状化挙動の再現性が高いと考えられる．

5. 結論

本報では 2 質点系オンライン地震応答実験において誤差補正方法の違いが液状化挙動に与える影響について検討を行った．その結果，接線剛性を用いた誤差補正方法では質点数が増加しても液状化挙動の再現性が高いことを示唆した．また，本システムを用いることでサイクリックモビリティ現象を室内試験で再現できることが確認された．

【参考文献】

1) 日下部伸：オンライン地震応答実験による地盤の動的挙動に関する研究，山口大学大学院社会建設工学科博士論文, 1996
2) 寺木亨　他：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，日本大学理工学部学術講演会論文集,pp. 143-144，2015
3) 中島正愛・加藤博人：仮動的実験における実験誤差増加の制御，日本建築学会構造系論文報告集，第 401 号，pp. 121-138，1989