

余震が液状化に及ぼす影響に着目したオンライン実験

日本大学 学生会員 ○横山 諒宜 斉藤 和寿
日本大学 正会員 仙頭 紀明

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、本震で液状化した地盤において余震により液状化被害が拡大することが観測された。現在の液状化予測手法では余震の影響が考慮されておらず、その影響を適切に把握することは重要な課題である。

上田ら¹⁾は東北地方太平洋沖地震における浦安市の事例を対象に、地盤の液状化に及ぼす余震の影響を調べるため、間隙水の移動を考慮した有効応力解析を行った。その結果、過剰間隙水圧が残留する地盤では再液状化が発生する可能性があることや、液状化後の沈下量に及ぼす余震の影響が無視できないことを示した。

そこで本研究では、本震後に過剰間隙水圧が残留した状態で、余震を受けることを想定したオンライン実験を行った。具体的には、要素試験層を含む仮想の飽和砂質地盤に、浦安市で観測された東北地方太平洋沖地震の波形を本震として入力し液状化させた。その後、過剰間隙水圧比を調節して残留させ、余震波形を与え、液状化の程度の違いを比較した。

2. 実験方法

実験には、中空ねじりせん断試験機を用いた。試料には豊浦砂を用いた。試料の土粒子の密度は 2.64g/cm^3 、最大間隙比は0.968、最小間隙比は0.611である。供試体寸法は、外径7cm、内径3cm、高さ10cmの円筒状で、空中落下法により作製し、相対密度 D_{rc} の目標は60%とした。その後、10kPaで予備圧密をし、 CO_2 を通した後、脱気水を通水した。その後、背圧を100kPa 載荷し、B値が95%以上であることを確認した。圧密は有効拘束圧100kPaにて等方圧密を行った。圧密終了後に非排水条件で本震と余震を供試体に与えた。

表-1に想定した地盤モデルを示す。地盤モデルは仙頭ら²⁾のオンライン実験で用いられた10層の水平成層地盤モデルとした。各層厚は2mで地下水位は地表面に設定し、8層目をオンライン層とした。オンライン層以外の層は双曲線モデルとした。

実験ケースを表-2に示す。ケース1~4は本震を与えて液状化させた後、排水により過剰間隙水圧比を表の値に調節して残留させた後、余震を加振した。

表-1 地盤モデル

層番号	層厚 (m)	密度 (t/m^3)	せん断波速度 (m/s)	規準ひずみ (%)	平均有効応力 (kPa)	モデル
1	@2.0	2.0	200	0.1	-	双曲線モデル
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9			240	0.1	-	要素実験
10			400	-	-	双曲線モデル
基礎	-	-	-	-	弾性基礎	

表-2 実験ケース

ケース	相対密度 (%)	本震	本震後の残留過剰間隙水圧比	余震
1	60	東北地方太平洋沖地震 K-NET 浦安 最大加速度 117.9Gal	0	東北地方太平洋沖地震 K-NET 浦安 最大加速度 50.6Gal
2			0.2	
3			0.4	
4			0.7	
5			-	
6	70	-	-	-

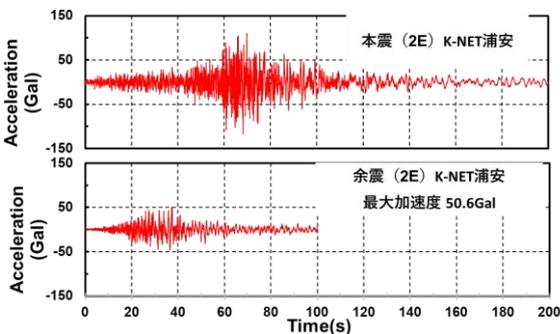


図-1 実験で使用了本震と余震の加速度の時刻歴

キーワード 液状化 余震 オンライン実験

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地

日本大学工学部土木工学科地盤防災工学研究室 TEL024-956-8710

ケース5は余震のみを与えた。ケース6は余震のみを与えた相対密度70%の実験である。

実験に用いた本震と余震の加速度の時刻歴を図-1に示す。最大加速度はそれぞれ117.9Gal、50.6Galである。

3. 試験結果及び考察

図-2に本震加振時のせん断応力、せん断ひずみ、過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。同じ傾向なのでCase1のみ示した。

図-3に余震加振時の過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。余震でケース1、2、5、6は液状化しなかったが、ケース3、4は液状化した。これらのことから、本震後過剰間隙水圧比が0.4くらい残留していると今回入力したレベルの余震であれば再び液状化が生じる可能性が高いと考えられる。

またケース1と5に着目すると、ケース1の余震加振時の相対密度は73.4%であり、ケース5の60%より密である。しかし、ケース1の方が早く過剰間隙水圧比が上昇している。加えて、両者の過剰間隙水圧比は0.2まで上昇した。これは、ケース1では本震履歴で液状化したことにより、骨格構造に乱れが生じたためと思われる。そこで、相対密度を70%(ケース6)で作製した供試体に余震のみを与え実験を行った。その結果、過剰間隙水圧は0.13までしか上昇しなかったことから、本震のせん断履歴が余震加振時の過剰間隙水圧比の上昇に影響したと考えられる。

図-4に各ケースの本震、余震加振後の再圧密後の体積ひずみの結果を示す。本震の再圧密体積ひずみは概ね2.6%前後であった。余震も含めた全体の体積ひずみで見ると余震で液状化していないケース1、2に比べ、液状化したケース3、4の方が再圧密体積ひずみが大きくなった。

4. まとめ

本研究では、本震後に過剰間隙水圧が残留した状態で、余震を受けることを想定したオンライン実験を行い、以下のことが分かった。(1)本震で液状化した地盤に過剰間隙水圧比が0.4程度以上残留していれば、今回用いたレベルの余震を受けると再液状化する可能性がある。(2)本震を受けた地盤は、密度が同じであっても余震のみを受けた地盤に比べ過剰間隙水圧比が上がりやすい。(3)余震で液状化が発生すると本震も含めた再圧密体積ひずみが大きくなる。

参考文献

- 1) 上田恭平・井澤淳・室野剛隆・井合進 (2014): 余震の発生が地盤の液状化挙動に及ぼす影響に関する解析的検討, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.70, No4, pp.578-585.
- 2) 仙頭紀明・風間基樹・渦岡良介 (2004): 非排水繰返しせん断履歴後の再圧密実験と体積収縮特性のモデル化, 土木学会論文集, No.764/III-67, pp307-317.

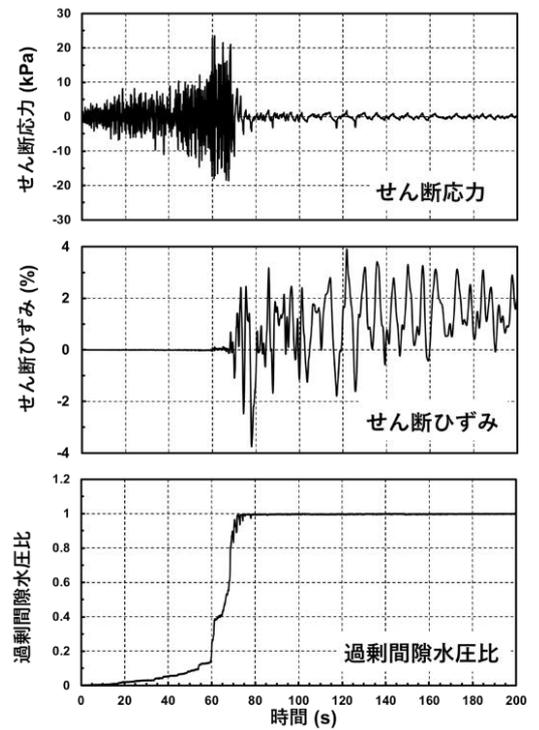


図-2 本震加振時の実験結果の時刻歴(Case1)

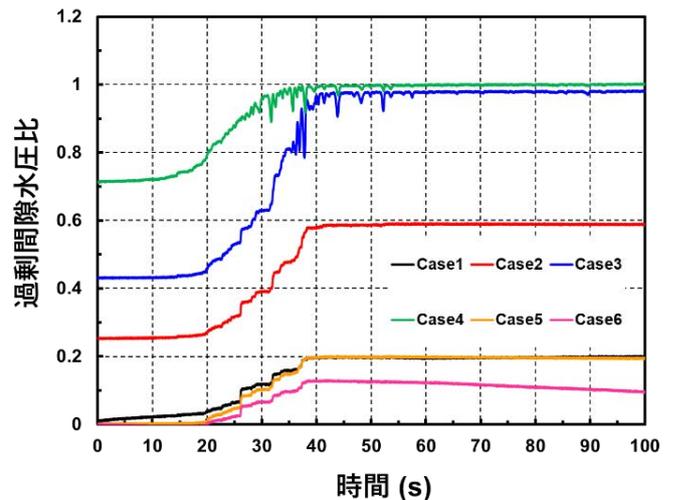


図-3 余震加振時の過剰間隙水圧比の時刻歴

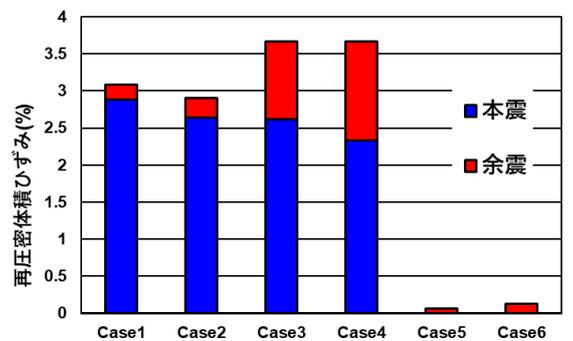


図-4 各ケースの本震、余震加振後の再圧密後の体積ひずみ