

東日本大震災で被災した河川堤防の基礎地盤粘性土の圧縮およびせん断特性

名城大学大学院 学生会員 ○大野雄貴

名城大学 正会員 小高猛司・崔 瑛

オリエンタルコンサルタンツ(元名城大院) 正会員 吉田賢史

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災において、多くの河川堤防や道路盛土において変状被害が発生した。特に軟弱な粘性土を基礎地盤とする河川堤防において、堤体の一部が液状化して大変状した事例(写真 1)が多く発生している。国土交通省東北地方整備局が発行した「北上川等堤防復旧技術検討会 報告書」¹⁾では、その変状メカニズムは、基礎地盤が軟弱な粘性土地盤である場合、堤体の築堤により圧密沈下が発生し、それに伴い堤体下部がゆるみ、さらにゆるみ領域に水が浸入することで粘性土上の堤体下部に閉封飽和域が発生し、その部分が地震時に液状化したためだと結論づけられている。すなわち、堤体の地震時の変状はあくまで堤体の液状化による流動的な側方変形であり、粘土地盤の地震時変形については全く考慮されていない。



写真 1 河川堤防の変状被害
(東北地方整備局 HP より)

著者ら²⁾は不攪乱沖積粘土を用いて異方応力条件下の粘土の繰返し単純せん断試験を行い、盛土荷重などが載荷されている異方応力状態にある粘性土地盤においては、継続時間の長い地震においては 3%程の鉛直ひずみが即時的に発生する可能性があることを示した。これは、粘性土層が厚く堆積している場合には無視できない即時沈下量であり、粘性土基礎地盤の地震時挙動について、より詳細な検討が必要であると考えている。本報では、地震時の粘性土基礎地盤の挙動を解析的に明らかにするため、東日本大震災で実際に被害を受けた河川堤防の基礎地盤粘性土の CRS 圧密試験ならびに三軸圧縮試験を実施し、圧縮およびせん断特性についての基礎データの取得を行った。

2. 試験概要

試験試料は、宮城県大崎市の北上川水系鳴瀬川 30.3k 左岸堤外地から採取した不攪乱試料(以下、不攪乱鳴瀬川粘土)である。サンプリング位置の選定は、既往ボーリング調査結果や被災履歴などを踏まえ、被災箇所付近の無被災箇所からサンプリングを行った。CRS 圧密試験における供試体寸法は、直径 60mm、高さ 20mm の円柱形であり、載荷速度 0.02%/min で載荷した。圧密試験においては、不攪乱試料の他、再構成試料でも実施した。供試体作製方法は、液性限界程度の含水比になるように蒸留水を加え、気泡が入らないように攪乱した鳴瀬川粘土のペースト試料を一面せん断試験装置の厚い円型せん断箱に入れ、有効上載圧 20kPa で約 24 時間予備圧密した後に、CRS 試験用に供試体を成型した。

三軸試験における供試体寸法は、直径 50mm、高さ 100mm の円柱形であり、供試体をセルに設置した後、二重負圧法によって飽和化を行い、背圧を 200kPa 作用させ、24 時間圧密後(CU 試験)、非排水条件でせん断を実施した。せん断過程は、ひずみが 15%になるまで載荷速度 0.1%/min で単調載荷を行った。

3. 試験結果

表 1 に CRS 圧密試験で用いた供試体の試料番号、初期含水比、初期間隙比および CRS 試験結果から得られた圧密降伏応力、圧縮指数を示す。図 1 に CRS 圧密試験結果を示す。なお、圧密降伏応力はキャサグランデ法により決定した。S-6_3、S-5_6 試料はともに圧密降伏応力が 200kPa 程度であるが、圧縮指数をみると、S-6_3 試料については一般的な粘土の圧縮指数 0.3~1.0 の範囲内ではあるが低い値を示しており、砂に近い試料であることが分かる。一方、S-5 および S-6_5 試料は圧縮指数が高い軟弱粘性土であることがわかる。

表 1 供試体の初期含水比，間隙比，圧密降伏応力，圧縮指数

試料番号	深度(m)	初期含水比	間隙比	圧密降伏応力	圧縮指数
S-6_3	10.00~10.90	49.29%	1.37	200kPa	0.37
S-6_5	再構成	81.68%	1.99	18kPa	0.47
S-5_6	8.00~8.90	60.41%	1.63	210kPa	0.61

表 2 供試体の初含水比，拘束圧，載荷方法，間隙比

Case	試料名	初期含水比	有効拘束圧	載荷方法	間隙比
Case A	S-6_5	77.1%	100 kPa	CU	2.12
Case B	S-6_4	54.5%	200 kPa		1.53
Case C	S-5_5	61.8%	50 kPa		1.72
Case D	S-5_7	54.3%	100 kPa		1.48
Case E	S-6_3	49.2%	100 kPa	UU	1.43

表 2 に三軸圧縮試験で用いた各供試体の試料名，初期含水比，有効拘束圧，試験方法ならびに試験前の間隙比を示す。各供試体は実堤防で採取した不攪乱試料であったため，同じ深度の試料でも，外見および含水比とともに大きく異なる。

図 2 に三軸試験結果を示す。CU 試験である Case A～D に着目すると，CU 試験の応力～ひずみ関係ではいずれも明確なピークは見られず，軸差応力が増加した後，徐々に軟化している。有効応力経路では，S-6 試料は載荷に伴い有効応力が減少して限界状態線に達した後，ひずみ軟化挙動が見られる。S-5 試料はどちらも正のダイレイタシーの発現によって過圧密挙動が見られた。また，破壊応力比は，Case A, C で 1.69，Case B, D で 1.56 である。

一方，UU 試験（Case E）結果の応力～ひずみ関係においても，明確なピークは見られないが，軸差応力は単調増加している。表 2 からわかるように，Case B, D および E は初期含水比も低く，砂質土が卓越した試料であった。圧密降伏応力に近い 200kPa の有効拘束圧の CU 試験である Case B の結果は，UU 試験の Case E に比較的近い最大軸差応力を発揮している。

4. まとめ

本報では，実際の粘性土堤防基礎地盤の不攪乱試料を用い，圧密およびせん断特性を検討した。同じ軟弱粘性土層とされている地層からサンプリングしても，同深度のチューブ内の試料においても粘性土と砂質土が卓越した部分が混在していた。砂質土卓越部分では圧縮特性は小さくなるとともに，せん断特性は破壊応力比が若干小さくなることが示された。さらにそのような砂質土が卓越土では，液状化も懸念された。今回の震災で閉封飽和域と判断された基礎地盤は画一的に粘性土と考えられているが，詳細に見るとその前提も再検討すべき可能性もある。少なくとも砂，粘土どちらが卓越しているかに拘わらず，正確なモデル化を行い，地震時の基礎地盤の変形を検討すべきであろう。今後は試験本数を増やして，基礎地盤粘性土の力学的な評価を実施する。

参考文献：1) 国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会：北上川等堤防復旧技術検討会報告書本編，2011。2) 大野ら：異方応力条件下の粘土のひずみ制御繰返し単純せん断試験，第 68 回土木学会年次学術講演会，2013。

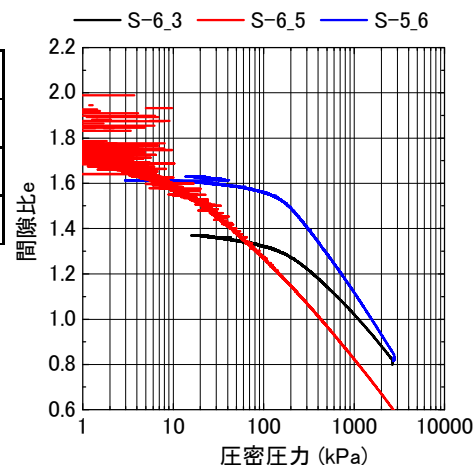
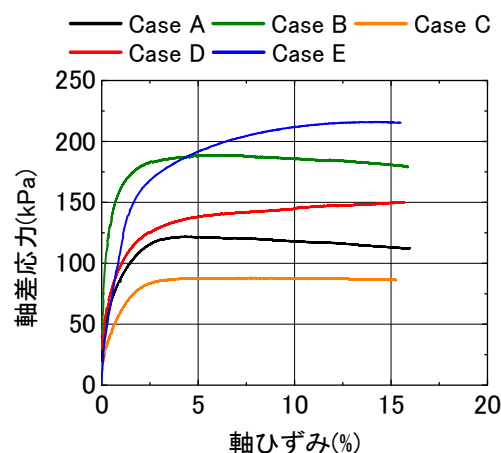
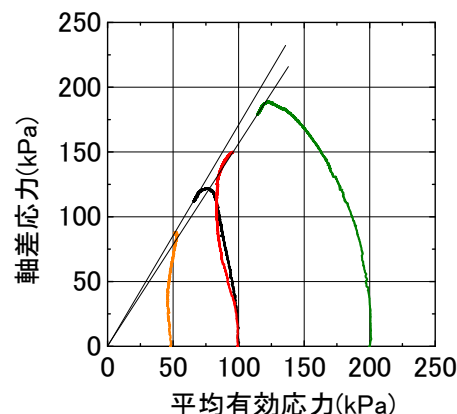


図 1 CRS 圧密試験結果



(a) 応力～ひずみ関係



(b) 有効応力経路

図 2 三軸試験結果