

深部粘性土の状態の違いが河川堤防の地震時挙動に及ぼす影響

名古屋大学 学生会員 ○尾崎奨, 加藤健太
名古屋大学 正会員 中井健太郎
名古屋大学 フェロー会員 野田利弘

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、河川堤防の多くにおいて沈下や変形などの被害が生じた。このような被害は、近い将来に起こるとされている南海トラフ巨大地震等においても同様に発生すると予測され、地震時における河川堤防の精緻な変状予測は急務である。本報では、砂・粘土互層地盤上に築堤された河川堤防を対象とし、液状化層深部に堆積する粘性土層の状態の違いが地震時挙動に及ぼす影響を数値解析的に検討した。用いた解析コードは、土の骨格構造とその働きに着目して砂から粘土、その両者が混じり合った中間土を同一の理論的枠組みで記述できる SYS カムクレイモデル¹⁾を搭載した、水～土骨格連成有限変形解析コード²⁾である。

2. 構造の程度が異なる粘性土の圧縮挙動

図 1,2 は仙台平野³⁾および濃尾平野から採取した不攪乱粘土試料の標準圧密試験結果を示す。図中の練返し圧縮線は、液性限界試験結果をもとに、圧縮指数 $\tilde{\lambda}$ を Skempton(1944)の式⁴⁾(式(1))から、切片 N ($p' = 98.1 \text{ kPa}$ における比体積)は田代らの提案式⁵⁾(式(3))から算出している。

$$C_{cr} = 0.007 \{w_L - 10(\%)\} \quad (1)$$

$$\tilde{\lambda} = 0.4343 C_{cr} \quad (2)$$

$$N = 0.014 w_L + 1.3 \quad (3)$$

図 1 を見ると、濃尾平野の粘性土は練返し圧縮線の外側に応力状態をとっており、嵩張っている状態にあるのに対し、仙台平野の粘性土は嵩張っていない。土の骨格構造概念¹⁾に基づくと、この嵩張りを構造の程度として定量化することができ、濃尾平野の粘性土は「構造高位」として、仙台平野の粘性土は「構造低位」としてモデル化できる。構造高位な粘性土は載荷荷重

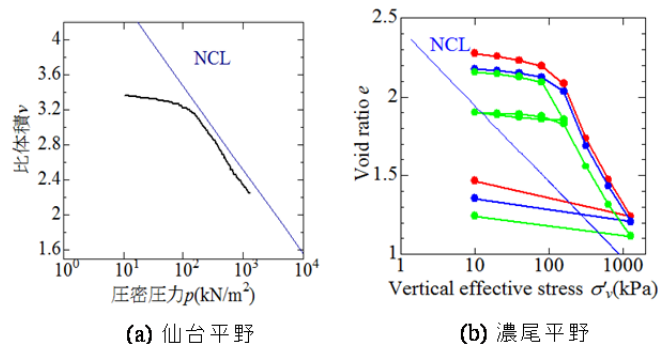


図 1 標準圧密試験結果

が大きくなると、構造の低位化とともに圧縮量が増大し、次第に練返しの圧縮線に近づいていく。堆積環境／状態にもよるので一概には言えないが、仙台平野に比べて濃尾平野の粘性土は N 値が小さく鋭敏であることが多いと言われている。本報では濃尾平野でよくみられる砂・粘土互層の単純化地盤モデルを用いて、基礎地盤粘性土の状態(構造の程度)の差異が、河川堤防の地震時の変状に及ぼす影響についての解析的評価を行う。

3. 解析条件

基礎地盤は、東海地方を想定した砂・粘土互層の水平成層地盤とし、地層構成は下から、基盤層となる洪積層 5m, その上部に粘性土 10m, 表層は液状化の危険性の高い砂質土 5m となっている。左右両端および下端は非排水境界、上端は大気圧境界とし、地下水位は上端と一致させた。初期状態に関しては、骨格構造の程度(構造, 過圧密, 異方性)および初期応力比は各層で一定とし、比体積を土被りに応じて分布させた。堤防高は 5m であり、左岸天端を 14m, 右岸天端を 7m, 法面勾配 1:1 の堤防を有限要素メッシュ追加の手法で築堤した後、河道を掘削し、河川水位を T.P.+1.2m まで上昇させている。なお、盛土部分の初期状態は締固めを想定し、各層で間隙比が均一、土被り圧に応じて過圧密比を分布させた。水理境界として、川表側の要素には水位に応じた水圧を与えるような排水境界を設定している。材料定数は東海地方の河川堤防で平成 23 年に採取

地震時応答解析, 河川堤防, 互層地盤, 構造

された不攪乱試料を用いた力学試験結果（図 1(b)を含む）を SYS カムクレイモデルで再現することによって決定し、粘性土層の初期状態のみを構造高位と構造低位な状態の 2 通りに変えて地震応答解析を実施した。入力地震波は、平成 16 年に中央防災会議にて策定された名古屋港付近での東海・東南海・南海 3 連動地震を工学的基盤でのせん断波速度を考慮して加速度を 2 倍に増幅させたものを使用し、地盤下端部の全節点に等しく入力した。下端は $V_s=400\text{m/s}$ 相当の粘性境界とし、断面左右端には等変位条件を与えて周期境界を設定した。

4. 解析結果

図 3 に地震動終了直後のせん断ひずみ分布を示す。砂質土はともに液状化に伴う地盤沈下と側方流動が発生し、大きなせん断ひずみが発生している。粘性土部分では、構造低位な場合はせん断ひずみの発生がほとんど見られないが、構造高位な場合は堤防直下の粘性土が起点となって大きなせん断ひずみが発生し、河床にまで到達するようすべり面を形成している。

図 4 と図 5 は、堤防直下部および堤防から十分に離れた水平成層地盤上における粘性土の要素挙動を比較したものである。水平成層地盤では地震後も高位な構造を残しており、初期構造の程度によらず似た挙動を示す。しかし堤防直下では、構造の低位化が大きく進行し、構造低位な粘性土に比べては構造高位な粘性土はせん断ひずみおよび平均有効応力の低下の程度が大きい。構造物直下のように偏荷重を受ける箇所では、地震動によって地盤が乱され（構造が低位化し）地盤変状が大きくなる危険性を示唆している。また、粘性土の透水性は小さいため、変状は長期にわたって継続することが予想される。

5. おわりに

河川堤防の地震時評価において、液状化層である砂質土層のみならず、粘性土の評価・モデル化も重要であることを示した。水平成層地盤や構造低位な状態では粘性土の地震被害は発生しにくい、偏荷重を受けつつ、鋭敏で構造高位な状態にある場合は地震時に大きな地盤変状に繋がる危険性を指摘した。

参考文献

- 1) Asaoka, A., Noda, T., Yamada, E., Kaneda, K. and Nakano, M.: An elasto-plastic description of two distinct volume change mechanisms of soils, S&F, 42(5), pp. 47-57, 2002.
- 2) Noda, T., Asaoka, A. and Nakano, M.: Soil-water coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model, S&F, 48(6), pp.771-790, 2008.
- 3) 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報告書資料編, 2011.
- 4) Skempton, A. W. (1944): Notes on the compressibility of clays, Quart. J. Geol. Soc., London, C, pp119-135.
- 5) 田代むつみ他: 練返し試料の圧縮曲線に及ぼす試料作成時の含水比の影響, 地盤工学ジャーナル, 5(1), pp.81-8, 2010.
- 6) 加藤健太他: 砂・粘土互層地盤の軟弱地盤上に築造された河川堤防の地震応答解析, 1 回地盤工学から見た堤防技術シンポジウム, 土木学会堤防小委員会, pp. 79-82, 2013.

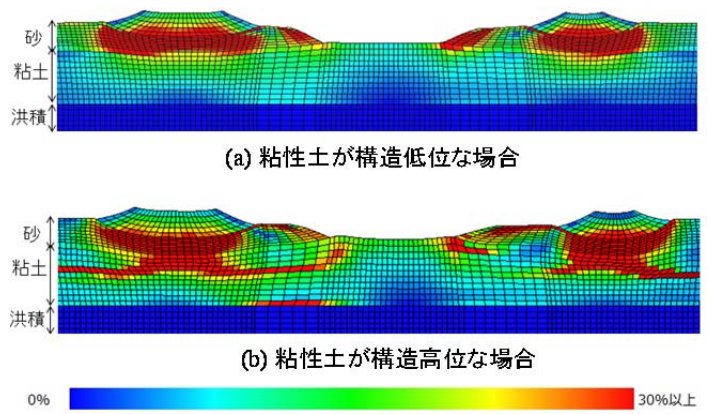


図 2 地震終了直後のせん断ひずみ分布

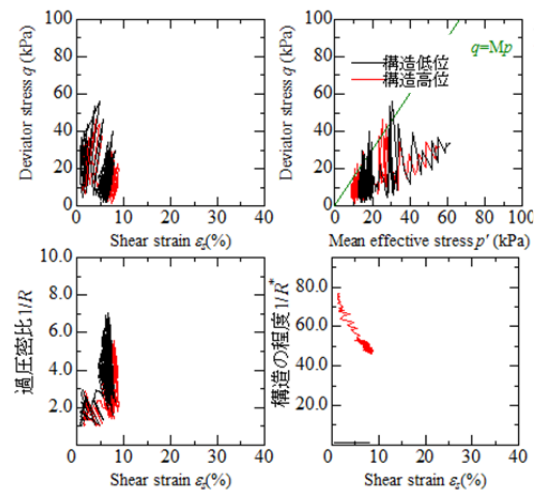


図 3 水平成層地盤での粘性土の要素挙動

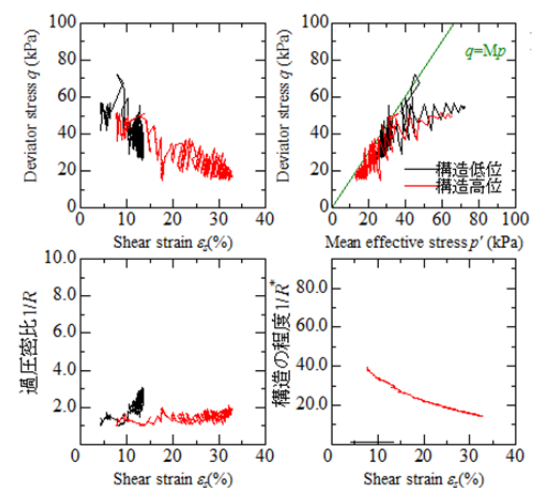


図 4 堤防直下での粘性土の要素挙動