

東北地方太平洋沖地震で被災した河川堤防に対する被災再現シミュレーション

徳島大学 学生会員 ○阿南悠佑

正会員 渦岡良介

正会員 上野勝利

正会員 鈴木尋

1. 研究の背景と目的

地震動による河川堤防の被害において、砂質土地盤の液状化による堤体の破壊のメカニズムは広く研究されており、これによる被害の対策も過去の地震で立証されている。堤体内の液状化による堤体の破壊のメカニズムが研究され始めたが、明確には解明されていない。2011年東北地方太平洋沖地震では、基礎地盤と盛土下部の両方が液状化する被害¹⁾もみられ、より安全で経済的な対策工の導入のためにも、破壊メカニズムの解明が求められている。本研究では、河川堤防の基礎地盤と堤体内の両方の液状化による応力減少が地震応答に対する影響を、動的三相連成解析を通して明らかにし被害形態を再現する。

2. 解析手法²⁾

本研究では、土骨格と間隙水および間隙空気からなる3相系の不飽和多孔質体を対象とした有限変形多孔質体理論^{2), 3)}に基づき、土骨格の変位 u^s ・間隙水圧 p^w ・間隙空気圧 p^a を未知数とする基礎式²⁾を用いる。空間離散化には有限要素法を、時間離散化にはNewmarkの時間積分法(準静的問題では後退差分法)を用いている。土の構成式の応力計算は陰的応力積分^{2), 3), 4)}に基づいており、非線形となる基礎式とともにNewton-Raphson法を用いて、各計算時間ステップにおける解を求めている。

3. 研究対象地点

北上川下流左岸橋浦地区(5.60km¹⁾)の被災写真を写真1に示す。堤防高は4.7m被災延長は460mである。堤体土質は、堤体下部に砂質土、その上部に粘性土材料が主体となっており、礫質土により川裏側に嵩上げ・拡幅したと考えられる。基礎地盤は、粘性土の上部に砂層が厚く堆積し堆積している。天端および川表のり面に縦断クラックが生じており、川表側へのはらみ出しがみられる。天端沈下量は1.7mである。地下水位は河川水位と同程度であり、沈下した堤体下部は飽和域となっていることから、基礎地盤砂層および飽和した堤体下部の砂層の一部が液状化したものと考えられる。

4. 河川堤防の静的および動的解析

北上川下流左岸橋浦地区を二次元有限要素モデル化し、二次元平面ひずみ条件下で自重解析・地震応答解析を行う。作成した有限要素モデルを図2に示す。盛土と地表面の基礎地盤は弾塑性材料であると仮定し、それより下の基礎地盤は線形弾性材料であると仮定した。材料パラメータは主に土質試験結果に基づいて決定する。

堤防および基礎地盤の飽和度分布を図1に示す。基礎地盤はほぼ飽和状態にあり、堤防下部も毛管水によって飽和度が高いことがわかる。地震時には基礎地盤の砂質土層および堤防下部で液状化が発生する可能性がある。

動的解析は、静的解析終了時の有効応力、間隙水および空気圧を初期状態として考える。底部での土骨格は鉛直方向に固定し、側面境界は疑似自由地盤として、自由地盤の挙動を再現する。間隙水および空気の境界条件は静的解析と同じく、全水頭を0.09mで設定、空気圧を地表面で0とする。2011年東北地方太平洋沖地震の本震においてK-net北上で観測された地震動³⁾をもとに工学的基盤に引き戻した入力加速度を図3に示す。基盤の粘性境界にこの加速度を入力する。時間増分は0.0025秒で計算時間は230秒で行い、Newmark法の係数は $\beta=0.3025$ 、 $\gamma=0.6$ として計算する。動的解析の計算が122秒で発散したため、ここでは、122秒を出力時刻として結果を示す。

堤防および基礎地盤の骨格応力減少比の分布と時刻歴を図4、図5に示す。ここで骨格応力減少比の式は $1-p'/p'_0$ と表せ、 p' は任意の時刻の平均骨格応力、 p'_0 は初期平均骨格応力である。赤く表示されている部分で骨格応力減少比が1となり、液状化が生じている。第1波がきてから骨格応力減少比が上昇し始め、第2波に少し影響されるものの、その後は安定する。122秒の時点では、川側基礎地盤表層のみで液状化が確認できた。

堤防および基礎地盤の鉛直変位の分布と時刻歴を図

6, 図7に示す. 第1波が来て一様に沈下し始めたが, 第2波が来て挙動がそれぞれ異なり, 川側のり面では沈下し続けたが, 盛土天端では隆起が見られた.

5. まとめ

本研究では, 2011年東北地方太平洋沖地震で被災した宮城県石巻市橋浦地区の河川堤防の再現解析を行った. 結果としては, 橋浦地区の現地調査で観測された変形は再現できなかった. 理由として, 地下水位の設定や地表面の応答加速度が関係している可能性がある. 今後は, 解析条件を見直して解析精度向上に努めたい.

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, 2012
- 2) Uzuoka, R. and Borja, R. I.: Dynamics of unsaturated poroelastic solids at finite strain, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 36, 1535-1573, 2012.
- 3) 独立行政法人防災科学技術研究所: 強震観測網 K-NET 北上, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>



写真1 橋浦地区被災写真 1)

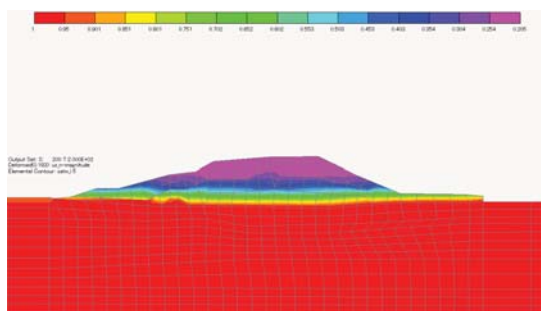


図1 飽和度の分布図

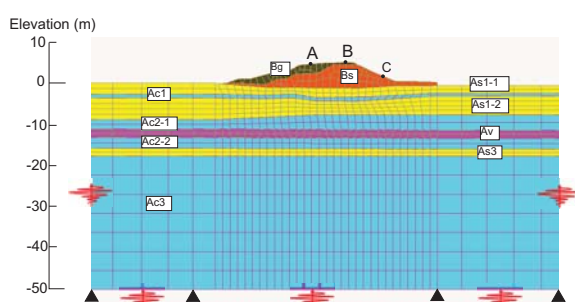


図2 動的有限要素モデル

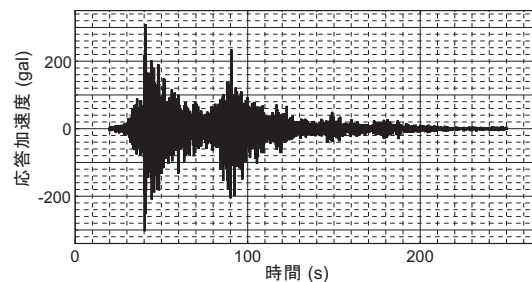


図3 入力水平加速度の時刻歴 3)

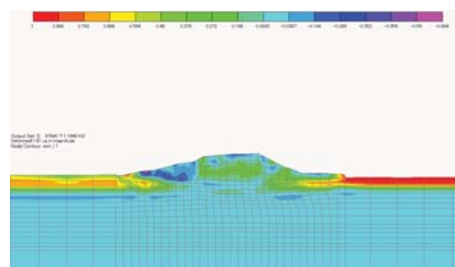


図4 骨格応力減少比の分布

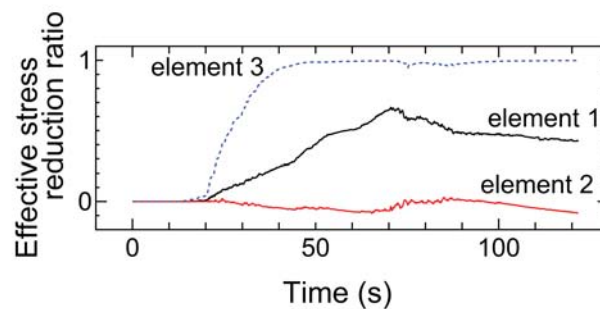


図5 骨格応力減少比の時刻歴

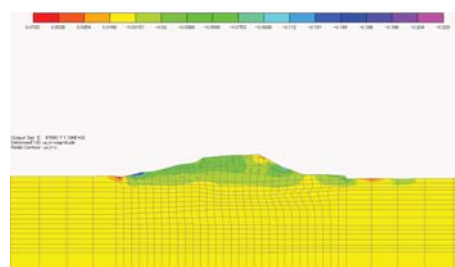


図6 鉛直変位の分布

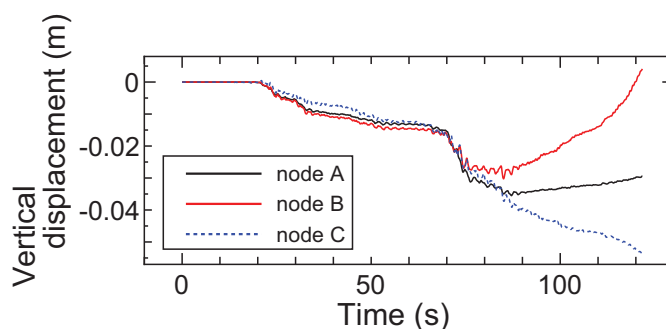


図7 鉛直変位の時刻歴