東日本大震災における河川堤防の被害事例解析

(独)土木研究所 正会員 〇脇中 康太 正会員 石原 雅規 正会員 佐々木哲也

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、東北・関東の河川堤防が広範囲にわたって液状化による被 害を受けた.被害箇所は 2,000 箇所を超え、なかには堤防機能を失う大規模な被害も生じた.本研究は、現状 の耐震性能手法の問題点を抽出し、今後の改善等に資することを目的に、東日本大震災における河川堤防の被 害事例を対象に残留変形解析を実施した.

2. 解析手法

検討に用いた解析手法は, 液状化時には液状化層の剛性を低下させ 自重による地震時残留変形を求める有限要素法である安田らの方法」 である. 解析は初期応力解析, 液状化による剛性低下を考慮した自重 解析,過剰間隙水圧消散に伴う沈下解析の順に行い,液状化による自 重解析と過剰間隙水圧消散に伴う沈下解析による変形を足し合わせ て変形量を求めた.液状化による自重解析は応力解放法¹⁾により行っ た.この時、液状化時の応力-ひずみ関係は下に凸なバイリニアモデ ルで表現され、微小抵抗領域のせん断剛性 G₁は液状化強度比 R₁と液 状化安全率 FLから図-1 に示すチャートにより設定した. このチャー トは安田・稲垣の式²⁾を元に作成された³⁾ものである。また、液状化 層より上の非液状化層については, 簡易弾塑性モデルを用いた. 簡易 弾塑性モデルにおいては,引張りとせん断の両方の破壊基準を考慮す

ることができ、どちらか一方の弾塑性モデルに比べ、より実際の変形挙動に近い解析結果を得ることができる と考えられる.弾塑性モデルを用いることから,築堤履歴に応じた初期応力解析を実施した.

解析に必要な地層構成や地層の入力パラメータ等は、地震後の地盤調査結果(標準貫入試験と物理試験結果) より決定した.地下水位は堤体の液状化による被害事例の解析結果を踏まえ,ボーリング孔内水位より 50cm 上昇⁴⁾させて解析を実施した.なお,液状化の判定については,標準貫入試験と物理試験をもとに河川構造物 の耐震性能照査指針⁵⁾に準じて実施した.

河川名

阿武隈川

新江合川

阿武隈川 小斉

被災 分類

堤体 No.1

(状化

No.

No.3

3. 解析対象断面

解析対象は, 東日本大震災の影響を受けて, 地盤調査を実施した中から表-1に示す3断面 を抽出した.

解析モデルを図-2に示す.いずれの断面も堤体直下に粘性土層(Ac1層)が堆積しており,築堤により圧密沈 下し堤体下部に飽和領域が形成された断面である. No.1 と No.2 は堤体が液状化して被災したケースであり, No.3 は No.1 の近傍の断面であるが変状が確認されなかった断面である.堤防の被害は、堤防周辺の地盤変形 や噴砂等の状況から堤体のみの液状化によるものと判断された断面であるが,その後の液状化判定上は基礎地 盤にも液状化層が存在すると判定された.このため、本研究では深部に分布する砂礫層(Ag 層)、砂層(As 層) も液状化層として取り扱って解析を行った.

キーワード 河川堤防,液状化,数値解析

〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6(独)土木研究所 TEL029-879-6771 連絡先



表-1 解析対象断面一覧表 実測沈下量

距離標

R32.9k+70

R2.84

R32.8k

地先名

小斉

榆木

堤防高さ

5.9

5.4

推定加速度

575

503

593

液状化層厚(m)

基礎地盤

9.1 0.17

8.98 0.20

12.56

堤体

2.3

1.50

繰返し三軸強度比R

堤体

0.186

基礎地盤

0.29

4. 解析結果

解析結果は天端沈下量に着目して取りまとめを行った.解析 沈下量は法肩と天端中央の沈下量を平均して算出した.図-3に No.1の変形図を,図-4に実測沈下量と計算沈下量の関係を示す. 解析結果は被災断面である No.1,No.2 で実測を大きく上回る沈 下量となった.また,無被災断面である No.3 においても 2m を 超える大きな沈下量となった.

前述した通り,堤防周辺の地盤変形や噴砂等の状況から堤体 のみの液状化によるものと判断されている.このため,実態を 考慮して基礎地盤を全て非液状化層として解析を実施した.解 析結果は No.2 が実測をやや上回る結果が得られているが,概ね 図の中央にプロットされており,実態に近い沈下量となった.





● 基礎地盤液状化
◆ 基礎地盤非液状化

実測沈下量(m)

図-4 計算沈下量と実測沈下量の関係

5. 考察

今回対象とした断面の基礎地盤の液状化層は、実際に液状化が生じた可能性も否定できないが、堤体及び周 辺地盤の変状、噴砂の状況等から堤防の変状にはほとんど寄与しなかったと考えられる.この原因としては、 地震応答や水圧伝搬、液状化層より上の非液状化層の取扱い、堆積年代等の様々な影響が考えられる.しかし、 解析上は、基礎地盤の液状化層の変形が非常に大きく、結果的に実測沈下量に比べかなり大きな沈下量となっ た.そこで本来は各種原因に着目し液状化判定法の見直しも含め検討すべきところではあるが、当面、基礎地 盤の液状化層の剛性を拘束圧あるいは液状化強度比に応じて上昇させるなどの比較的簡便な方法により、実測 沈下量の再現性を高めることも有効であると考える.

6. おわりに

解析にあたっては、安田進教授をはじめとする ALID 研究会のメンバーに全面的な協力を頂いた.特に、株 式会社地盤ソフト工房の安達健司氏には、メッシュやパラメータの設定に関する助言など様々な形で協力頂い た.ここに深く感謝の意を表する.

参考文献

- 1) 安田ら他5名:液状化に伴う流動の簡易評価手法,土木学会論文集,1999.
- 2) 安田ら他4名: 液状化を含む繰返し軟化時における種々の土の変形特性, 地盤工学研究発表会, 2005.
- 3) 豊田・石原:自重解析による河川堤防の地震被害事例の解析,土木学会年次学術講演会,2005.
- 4) 脇中・石原・佐々木:東日本大震災における堤体の液状化による河川堤防の被害事例解析,地盤工学研究 発表会, 2013.
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局治水課:河川構造物の耐震性能照査指針・解説, 2012.

-048