

自重解析による河川堤防の地震被害事例の解析

土木研究所 正会員 ○豊田耕一

土木研究所 正会員 石原雅規

1. はじめに

地震時における堤防の機能として、被害を受けても浸水等の二次災害を防止することが期待される。「建設省河川砂防技術基準(案)同解説」¹⁾によれば、耐震性能評価では地震後の堤防の変形量を評価できることが望まれるとしている。本研究では、液状化に伴う変形量を求めるために自重解析を用いて、河川堤防の地震被害事例を対象とした解析を行うとともに、代表的なパラメータの一つである液状化強度比 R_L の感度分析を行った。解析結果の評価・分析においては、天端沈下量に着目して整理を行った。

2. 自重解析手法

本研究では、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²⁾を解析手法として使用した。解析は、初期応力解析、液状化による自重解析、圧密沈下解析の順に行い、液状化による自重解析と圧密沈下解析による変形を足し合わせた結果から天端沈下量を求めた。まず、全ての要素を線形弾性体とし、初期応力を算出した。次に、応力解放法²⁾により液状化による自重解析を行った。この時、液状化層の応力-ひずみ関係は下に凸なバイリニアモデルで表現するが、その剛性は液状化強度比 R_L と液状化強度 F_L から安田・稲垣のチャート³⁾により設定した。また、非液状化層および盛土については初期応力解析時と同じく線形弾性体であるが、その剛性は天端中央直下非液状化層下端の要素に引張り応力が発生しない値をイタレーションにより求めて与えた。これは、引張り応力解除の非線形解析を線形弾性体で擬似的に表現したものである。また、イタレーションを簡単に行うために、非液状化層と盛土の初期剛性が異なる場合でも、液状化による自重解析時には非液状化層と盛土に同じ剛性を与えた。非液状化層や盛土のポアソン比は全て 0.333 を与え、初期応力解析時と液状化による自重解析時では体積弾性係数が一定となる解析を行った。最後に、過剰間隙水圧消散に伴う圧密沈下量は、石原・吉嶺の体積ひずみに関する実験⁴⁾を基に、有限要素法により求めた。なお、全ケースにおいて、相対密度は 50%とした。本研究のような大きな残留変形を伴う事例では、大変形理論や弾塑性非線形解析などを適用することも考えられるが、今回は、簡単のため微小変形理論および液状化流動解析時の液状化層以外は線形弾性体モデルによる解析を適用した。

3. 解析対象断面の概要及び解析条件

表-1 に検討対象とした河川堤防断面の諸元を示す。No.2 と No.4 は、北海道南西沖地震による被害が確認されなかった箇所である。それ以外は、地震による被害が確認されている箇所である。液状化層は、上部と

表-1 解析対象断面諸元

	河川名	推定 加速度	実測天端 沈下量	盛土高さ	非液状化 層厚	第1液状化層		第2液状化層	
		gal	m	m	m	層厚	RL	層厚	RL
No. 1	後志利別川	260	2.6	5.1	2.5	1.8	0.222	4.6	0.178
No. 2		320	0	2.8	5.1	2.9	0.250	-	-
No. 3		225	1.3	5.0	1.6	5.6	0.203	-	-
No. 4		280	0	3.3	2.4	1.9	0.254	-	-
No. 5		290	0.6	5.2	2.0	0.6	0.245	2.7	0.235
No. 6	淀川	265	2.7	6.0	2.5	5.1	0.192	3.6	0.261
No. 7		260	0.3	4.9	2.5	1.6	0.267	4.6	0.259
No. 8	北上川	300	1.9	6.3	0.0	5.4	0.233	4.0	0.274
No. 9	阿賀野川	250	3.34	4.2	2.8	6.0	0.183	5.8	0.233
No. 10	中海干拓承水路	200	1.4	2.6	1.2	3.5	0.162	2.9	0.245

キーワード 液状化, 河川堤防, 残留変形, 自重解析

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (独) 土木研究所耐震研究グループ TEL:029-879-6771

下部で物性が異なると考えられる場合には、2層に分けた。解析に入力する代表的な物性値は R_L であり、地盤調査結果を基に設定した。また、解析では推定加速度が地表面に働いているものとして液状化層の F_L を算定した。

4. 解析結果

上述の方法による液状化による自重解析時の主応力（有効応力）図を図-1に示す。天端中央非液状化層下端要素の引張り応力が発生しないように剛性を設定したことにより、非液状化層や盛土に引張り応力がほとんど発生していないことが確認できる。

全断面について、計算を行ったところ、図-2に示す計算沈下量と実測沈下量の関係が得られた。No.10を除けば、比較的高い相関関係が得られた。No.10が大きく外れている原因としては、後述するように、 R_L 値が小さい場合は実際との誤差がわずかでもあっても大きな計算沈下量となることが考えられる。

図-3に堤防 No.3 を対象に R_L の値を変化させた場合の天端沈下量の変化を示す。 R_L が小さいほど R_L の微小な変化が計算沈下量に大きな影響を及ぼす傾向にあることが見て取れる。このため、 R_L の信頼性を高めるために、粒度分布などの十分な地盤調査結果を得た上で設定することが望ましいと考えられる。

5. おわりに

自重解析により河川堤防の地震被害事例の解析を行った。その結果、地震による天端沈下量に関しては、比較的高い適用性が高いことが確認できた。ただし、妥当な計算結果を得るためには、入力パラメータの設定に十分配慮する必要があり、特に液状化強度比 R_L については十分な地盤調査結果に基づいて設定することが望ましい。

最後になるが、本研究にあたっては、安田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)地盤ソフト工場の安達氏には、プログラムの改良及び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して頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 建設省河川局：建設省河川砂防技術基準(案)同解説，1997
- 2) 安田ら：液状化に伴う流動の簡易評価手法，土木学会論文集，No.638/III-49，pp71-89，1999 など
- 3) 安田ら：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，第40回地盤工学研究発表会，2004
- 4) Ishihara, K. and Yoshimine, M: Evaluation of Settlement in Sand Deposits Following Liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations, vol.28, No.1, pp.173-188,1992
- 5) (財)国土技術研究センター：河川堤防の地震時変形量の解析手法，2002

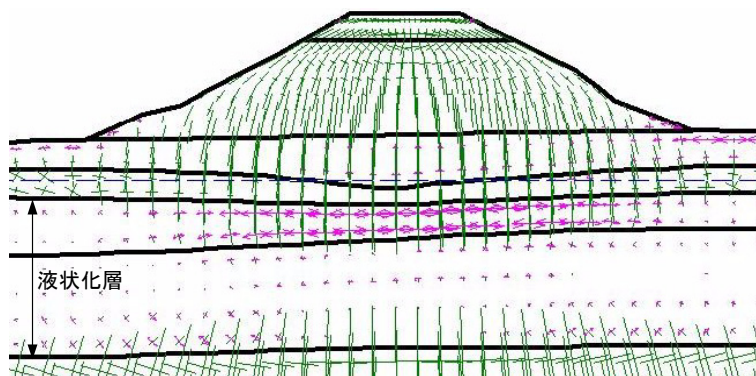


図-1 No.1の主応力（有効応力）図
（横両矢印が引張り）

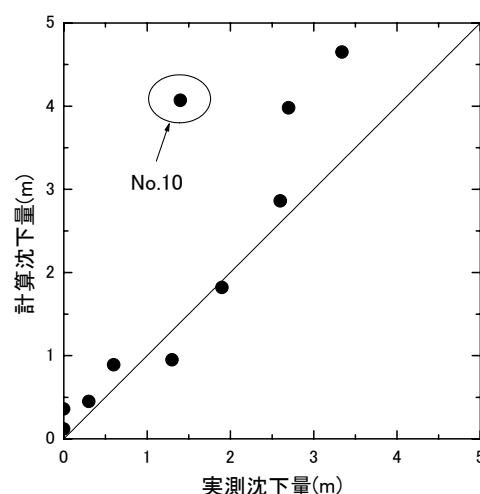


図-2 計算沈下量と実測沈下量の関係

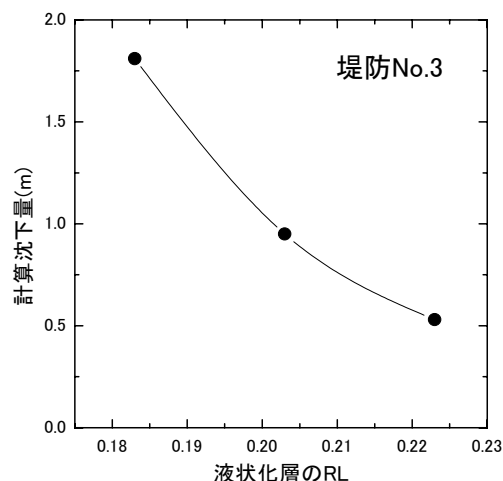


図-3 堤防 No.3 の計算沈下量と R_L の関係