

2011 東北地方太平洋沖地震による霞ヶ浦周辺堤防の液状化沈下解析

愛媛大学大学院 学生会員 ○藤原憲

愛媛大学工学部

陣内尚子

愛媛大学大学院 国際会員 岡村未対

表 1 解析対象地点の堤防と加速度

地点	対策有無	被害有無	堤防天端幅 (m)	堤防高さ (m)	堤防勾配	国総研最大加速度 (gal)	SHAKE最大加速度 (gal)
①	矢板+割栗石 (矢板9m)	無	6.7	2.7	1:2 対策有1:5 対策済	333	142
①'	矢板+割栗石 (矢板15m)	無	3.7	4.9	1:2.6 対策有1:4.6 対策済	334	273
①''	矢板+割栗石 (矢板15m)	無	3.7	4.3	1:2 対策有1:5 対策済	310	103
②	矢板+割栗石 (矢板9.5m)	無	4.6	2	1:2 対策有1:5 対策済	607	172
③	無 (矢板10.5m)	無	5.4	2.4	1:2 未対策	625	172
④	無 (矢板10m)	無	7.8	2	1:3.5 未対策	632	123
⑤	矢板+緩傾斜	無	4.5	3.8	1:2.4 対策有1:5 対策済	503	375
⑥	排水機能付き矢板	無	5	3.5	1:2 対策済	496	279

はじめに

1995 年兵庫県南部地震以降、河川堤防は円弧滑り法による安全率に基づく耐震性照査により対策区間を定め、L1 地震に対する耐震対策が行われてきた。その後 2007 年からは L2 地震動に対する耐震点検が行われ、そこでは液状化流動解析法 ALID 等の変形解析法により天端沈下量が評価されている。

2011 年東北地方太平洋沖地震では、L1 点検箇所を含む広い範囲で堤防が強い地震動の作用を受けた。これまでに耐震対策を施された堤防が地震の作用を受けた事例は少なく、実際の地震被害事例を通じた耐震対策効果の検証はほとんどされていない。また、地震時変形解析法は、改良の余地が残されているため、実事例の解析を積み重ねていくことが重要である。

本研究では、東北地方太平洋沖地震により強い揺れを受けた霞ヶ浦周辺の堤防のうち、耐震対策を施してある堤防を中心に ALID による変形解析を行い、解析結果と実際の被災状況を比較することにより、ALID の適用性を検討した。また、対策工の有無による天端沈下量を比較し、対策工の有効性についても調べた。

研究概要

解析対象地点と耐震対策の概要を図 1・表 1 に示す。霞ヶ浦左岸及び中岸の堤防（地点①～⑤）と北利根川左岸堤防（地点⑥）を対象とした。ただし地点①に関しては 3 箇所を対象としたのでそれぞれ①①'①''とする。これら全ての箇所が L1 対策で要対策とされ、このうち①①'①''②⑤⑥は法尻矢板と堤体法面の緩傾斜化による対策済箇所、③④は対策未実施箇所である。

何れの解析地点でもボーリング調査が実施されている。各地点の土質柱状図を図 2 に示す。道路橋示方書の方法に従い、東日本大震災での各地点での地表面加速度を用いて液状化判定を行い、FL が 1 以下の層については FL 値と相対密度を柱状図内に示している。なお、相対密度に関しては次式を用いた。

$$D_r = \sqrt{\frac{N}{(0.7 + \sigma_v'/98)}} \quad (1)$$

ここに、N：原地盤の N 値、 σ_v' ：有効上載圧(kN/m²)である。ALID の解析で用いた各地点の地表最大加速度は、国総研地震防災研究室が国交省地震計ネットワーク 205 地点、K-NET・Kik-NET598 地点、気象庁 38 地点の観測データを用いて、単純



図 1 対象地点の位置図

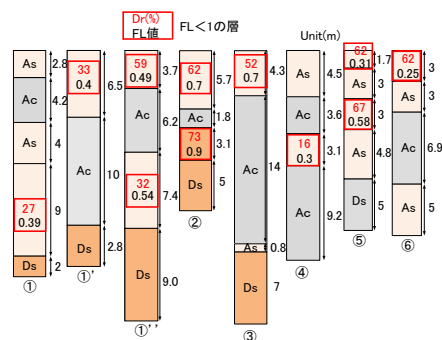


図 2 各地点の土質柱状図 (FL は SHAKE 加速度)

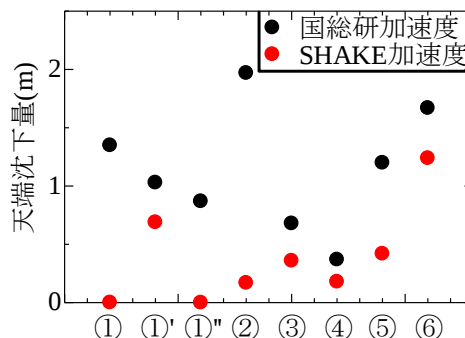


図 3 天端沈下量と最大加速度の関係

型 KRIGING 法による補間で求めたもの(以下、国総研加速度)を用いた。霞ヶ浦周辺の解析対象地点の国総研加速度は、いずれも近傍の洪積台地上に設置された K-Net のデータにより決まっている。しかしながら解析対象地点は何れも霞ヶ浦の軟弱な地盤に位置するため、地震応答解析 (SHAKE) による地表面最大加速度を求め (以下、SHAKE 加速度)、これを用いた ALID 解析も行った。そこでは、まず近傍の強震観測点 (IBRH17 霞ヶ浦) におけるアレー観測記録を元に、洪積層 ($V_s \approx 300\text{m/s}$) 上部の加速度を地震応答解析により求め、これを各地点における洪積層上面の入力加速度として解析を行った。得られた地表面加速度 (以下 SHAKE 加速度) を国総研加速度と共に表 1 に示す。

結果と考察

国総研加速度と SHAKE 加速度を用いて求めた各地点の天端量を図 3 に示す。310~632gal と大きな国総研加速度による解析では、ほとんどの地点で 1m 以上の沈下となっており、全ての地点において実際には無被害であったという事実には整合しない。一方、SHAKE 加速度による解析では、地点⑥以外の沈下量が 70cm 以下と小さい。地盤の振動特性を反映した地震応答解析による地表面加速度を用いることにより、実際の被害状況に近い ALID の沈下量が得られた。

地点⑥では実際には被害が無かったにも関わらず、解析天端沈下量が 1m を超えている。この地点の地盤の特徴は、地表に FL が 0.25 と非常に小さな液状化層が存在することである。図 4 に地点⑥の解析結果を示す。この液状化層が左右に大きく流動し、それにより天端が大きく沈下していることがわかる。このように実際の被災状況と乖離した結果となった原因としては、地盤定数と入力加速度が考えられる。この地点では近傍でもボーリング調査が行われており、調査結果には大きな差がない。したがって、地震応答解析による加速度の影響が強いものと推測される。

SHAKE 加速度を用い、矢板対策断面と無対策断面について求めた各地点の天端沈下量を図 5 に示す。何れの地点でも法尻矢板対策の有無による天端沈下量の差は小さい。一例として図 4 に示した地点⑥でも、打設した矢板により堤外側に向かう地盤流動は若干抑制されているが、堤内側への流動変形に変化はなく、天端沈下量にも矢板の有無による違いはほとんどない。矢板の打設位置が法尻の外側であり、また打設地点の地表まで液状化していることが矢板による変形抑制効果が小さいことの原因である。

図 6 は ALID で求めた矢板有の場合の天端沈下量を、液状化流動による沈下量とその後の圧密による沈下量とに分けて示したものである。今回の解析対象地点の液状化層厚は比較的薄く、また相対密度も比較的大きいために圧密沈下量は最大でも約 30cm と小さいものであった。

まとめ

ALID を用いて霞ヶ浦周辺の耐震対策箇所を中心に堤防の沈下解析を行った。沈下量は、用いた地表面加速度に強く影響を受ける結果となり、事例解析における加速度の設定が極めて重要であることが確認された。今後このような事例解析を積み重ねてゆくことにより、解析精度の向上に繋がることが期待できる。

参考文献 1)国総研地震防災研究室：<http://www.nilim.go.jp/lab/rdg/index.htm>/

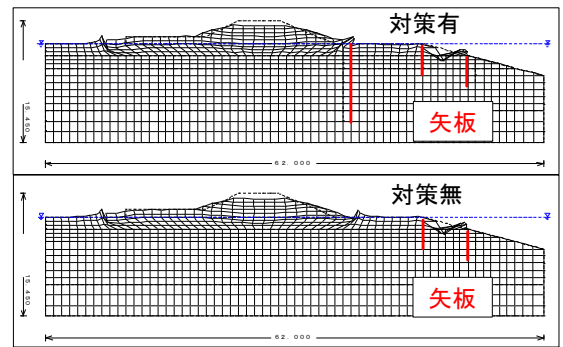


図 4 地点⑥の変形図(上：対策有 下：対策無)

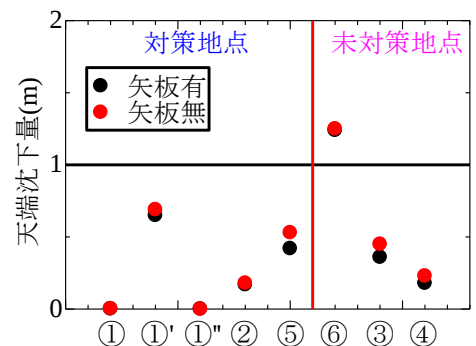


図 5 天端沈下量と対策・矢板の有無の関係

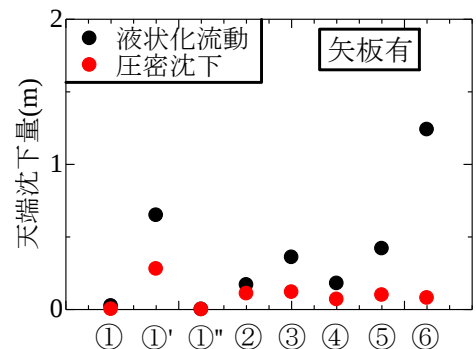


図 6 液状化流動と圧密による天端沈下量 (SHAKE 加速度 矢板有)