海岸保全施設のチャート式耐震診断手法の検討

Examination of Simple Earthquake Proofing-Related Evaluation Technique

合川聖二郎*・一井康二**・東島義郎***・金子英久**** AIKAWA Seijiro, ICHII Kouji, HIGASHIJIMA Michio and KANEKO Hidehisa

* 前 (財)沿岸技術研究センター 企画部 主任研究員
** 前 (独)港湾空港技術研究所 地盤・構造部 構造振動研究室 主任研究官
*** 国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 所長
**** 国土交通省 近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 調査課長

It is important whether a coastal dike maintain its functions soundly in case of a tsunami owing to a giant earthquake. However, in the present conditions, it is almost impossible to check the seismic performance of all the dikes. -The reason is because of insufficient labor and budget to conduct the performance check for all numerous dikes. For a development of a practical seismic performance check scheme, we suggest a simple seismic performance evaluation technique from a result of experiments and numerical analyses considering the shape of a dike and the ground conditions.

Key Words : tsunami, dike, seismic performance evaluation technique

1. はじめに

近年,巨大地震の発生とそれによる津波の来襲が懸念 されており、今後30年間に南海トラフで大規模な地震が 発生する確率は非常に高いと言われている.

海溝型地震に伴う津波に対して,防潮堤等の海岸保全 施設が越流防止機能を保持しているかどうかによって, 背後地への浸水状況が大きく異なる.そのため,被災シ ナリオに基づいた対策を検討する際には,海岸保全施設 が地震によって,どの程度変位(沈下)するかを把握す ることが重要である.しかしながら,施設の変位量をシ ミュレーション等により算定するためには,多くの費 用・時間を必要とする.そのため,多くの海岸保全施設 の耐震診断が実施されていない状況である.

地震時における海岸保全施設のおよその変位量を推定 することができる簡易な耐震診断手法があれば、津波来 襲時の状況をより正確に把握し、背後の状況等から施設 の重要性を考慮した効果的な津波対策を実施することが できる.

本稿では、海岸保全施設の形状と地盤の強度の情報から、地震時の施設の残留変位量を簡易に評価するために、 模型実験や二次元有効応力解析を用いたパラメトリック スタディ等の結果からとりまとめたチャート式耐震診断 システムを紹介する.

2. チャート式耐震診断システムの検討

2.1 概要

本検討では、海岸保全施設の直立型(重力式)および 傾斜型(護岸・堤防)を検討対象とした。

各構造形式についての調査を基に標準的と思われる形 状や地盤条件を設定し、地震時の施設の変位量に影響す ると考えられるパラメータについて、FLIP¹⁾によるパラ メトリックスタディを実施し、それらのパラメータが変 位量に与える傾向を検討した.

FLIP については、耐震強化岸壁の変形照査を中心とし て種々の実務に使われており、また、解析精度の向上が 図られているが、対象となる構造形式によって解析条件 による精度に違いが出るため、適切な解析条件を設定す る必要がある.そのために、既往の被災事例、16場の模 型振動実験、遠心載荷模型実験及びFLIPの比較検討から パラメトリックスタディの条件を設定した. 本検討のフローを図-1 に示す.



2.2 模型実験

(1) 1G場の模型振動実験

平成15年度に実施された徳島県の既設護岸を対象とした1G場の模型実験による検討結果²⁾を基に,さらに精度向上のための実験手法の調整を目的とした実験(CS1~CS3:表-1参照)を実施した.

表-1 1G場の模型振動実験ケース

ケース	目的	実験模型における CS1との違い				
CS1	基礎地盤の相対密度Drの影響 把握 Dr=30%程度	H15年度は, Dr = 65~50%				
CS2	裏埋土の不飽和土の強度増加 の影響(変形の拘束)把握	背後地盤模型にガ ラスビーズ層を使 用				
CS3	透水係数について相似則を満 足させた場合の液状化強度や 沈下特性への影響把握	間隙水に水+グリ セリンを使用				

実験より、以下のような考察が得られた.

- ・相対密度が低いほど、液状化が発生し易く、沈下量 も大きくなると考えられる.
- ・透水係数が小さくなると水圧の消散が遅れるため, 液状化が発生し易くなるが,沈下量には影響を及ぼ さないと考えられる.
- ・細粒分の存在に伴う液状化強度の調整は、相対密度 の調整よりも透水係数の調整で行うことが望ましい.

(2) 遠心載荷模型実験

1G場の模型振動実験の結果について,詳細に確認する ために,より実態に近い遠心載荷模型実験を実施した.

実験モデルを図-2に示す.



実験の結果は、1G場の模型振動実験と整合する結果と なった.

また,兵庫県南部地震での被災事例(淀川河川堤防) を用いて,遠心載荷模型実験の再現性を確認したが,一 部異なる結果となり,使用する砂などに検討課題を残した.

2.3 FLIP によるパラメトリックスタディ

(1) 解析ケース

実験とFLIP 解析との比較検討により、以下のパラメト リックスタディの条件で解析を実施した.

- · 改良型非線形反復計算法
- ・過剰間隙水圧モデル temp7モデル
- レーレー減衰 β=0.002
- ・捨石の直背後の地盤は透水性がよいものとし、過剰 間隙水圧の発生を考慮しない.

それぞれの構造形式毎に地盤条件,形状,地震動についてパラメータを設定し,表-2~表-4に示す解析ケースを実施した.

直立型(重力式)については、平成11年度にFLIPに 基づく簡易耐震性能照査法研究会によって提案された簡 易耐震性能照査手法³⁾を基本に解析条件を設定した.た だし、平成11年度の検討では、長周期で繰り返し回数が 多い海溝型地震動や大きな加速度のレベル2地震動は考 慮されていないことが、今回と異なる.

表-2 直立型(重力式)の解析ケース





表-4 傾斜型(堤防)の解析ケース



沿岸センター研究論文集 No.5 (2005)

(2) 解析結果

FLIP によるパラメトリックスタディの結果を評価して, 各構造形式毎に次のような結果が得られた.

- <直立型(重力式)>
 - ・加速度が大きくなると、残留水平変位、残留鉛直変 位ともに増大する.
 - ・重力式護岸の幅が広くなる(W/Hが大きくなる)と, 残留水平変位は抑制されるが,残留鉛直変位に対し ては明確な相関はない.
 - ・置換砂(液状化対象層)の厚さが厚くなると,残留水 平変位,残留鉛直変位ともに増大する.
 - ・地盤の等価 N 値が大きくなると、残留水平変位、残 留鉛直変位ともに減少する.
 - ・重力式護岸の残留水平変位と残留鉛直変位は、線形 的な関係があると評価できる.
- <傾斜型 (護岸) >
 - ・加速度が大きくなると、残留水平変位、残留鉛直変 位ともに増大する.
 - ・捨石部の傾斜, 捨石厚および護岸高が大きいほど残 留鉛直変位は大きくなるが, その影響は小さい.
 - ・基礎地盤の液状化対象層厚に対して、残留鉛直変位は 影響を受けない。
 - ・基礎地盤の等価 N 値が大きくなると,残留鉛直変位 は減少する.
- <傾斜型(堤防)>
 - ・加速度が大きくなると、残留水平変位、残留鉛直変位 ともに増大する. なお、重力式護岸や傾斜型護岸と比 較すると水平変位は小さく、鉛直変位は大きい傾向に ある.
 - ・天端幅が増大すると、液状化の発生を抑制するため 残留鉛直変位は減少する.
 - ・法勾配が緩いと残留鉛直変位は減少する.
 - ・堤体高さが高いほど残留鉛直変位は大きくなるが、 その増加率は減少していく.
 - ・水深は、残留鉛直変位にほとんど影響しない.
 - ・基礎地盤の液状化対象層厚が大きくなると、残留鉛 直変位は増大するが、その増加率は減少していく.
 - ・基礎地盤の等価 N 値が大きくなると,残留鉛直変位 は減少する.

3. まとめ

前述の FLIP 解析によるパラメトリックスタディの結 果を評価し、チャート式耐震診断システムのとりまとめ を行った.

各構造形式について、入力した項目から標準タイプに おける地震時の変位量を算定し、地盤条件、地震動、お よび形状によるパラメータが水平変位や鉛直変位に与え る影響を補正係数として評価し、標準タイプの変位量に それらを乗じて施設の変位量を推定するものとした.

ただし、傾斜型(護岸・堤防)については、それぞれ

沿岸センター研究論文集 No.5 (2005)

次の理由から水平変位については評価しなかった.

護岸)実験結果と解析結果との整合性がとれていない. 堤防)水平変位量が非常に小さい.

直立型(重力式)と傾斜型(護岸)について,入力項目 と出力項目および計算例を表-5に示す.

|--|

<直立型(重力式)>

入力項目	備考	入力例
高さ:H (m)		10.0
幅:W (m)		11.0
置換砂厚:D1 (m)		5.0
地盤の等価N値	0<等価N値≦25 (別途算定プログラムあり)	7
基盤最大加速度 (gal)	100gal~600galが概ね適応範囲	400
地震動のタイプ	1=直下型 2=海溝型 3=海南波(海溝型) 4=撫養港波(海溝型) 5=羽田波(海溝型)	2

博進なノマの坦人	残留水平変位 (m)	1.75
標準タイノの場合	残留鉛直変位 (m)	0.57
補正係数(各パラメータ毎の	水平変位	1.05
補正係数の積)	鉛直変位	2.04

	出力項目		備考	計算例
1	天端標高	(m)	値は、D.L表示	4.7
2	液状化の発生する可能			高い
3	残留水平変位	(m)		1.9
4	残留鉛直変位(沈下量)	(m)	正の値=沈下	1.2
5	津波高さ	(m)	値は、D.L表示	4.1
6	護岸形状による津波高 の補正係数	さ	当面の間は、1.0	1.0
\bigcirc	排水沈下量	(m)	正の値=沈下	0.15
8	地盤沈降量	(m)	正の値=沈下	0.95
9	余裕高さ	(m)	9=1-4-5×6-7-8	-1.70

<傾斜型(護岸)>

入力項目	備考	入力例
地盤高さ (m)	概ね4.5~10が適応範囲	3.0
捨石厚 (m)	概ね0.5~3が適応範囲	1.0
勾 配	概ね1:1~1.3が適応範囲	1:2
液状化対象層厚 (m)	基礎地盤対象で概ね0~10.5が適 応範囲	6.0
背後地盤の等価N値	0<等価N値≦25	10
基礎地盤の等価N値	0<等価N値≦25ただし≧背後地盤 等価N値	15
基盤最大加速度 (gal)	概ね100gal~600galが適応範囲	450
地震動のタイプ	1=直下型 2=海溝型 3=海南波(海溝型) 4=撫養港波(海溝型) 5=羽田波(海溝型)	2

標準タイプの場合
残留鉛直変位(m)
補正係数
鉛直変位

	出力項目		備考	計算例
1	天端標高	(m)	値は、D.L表示	6.0
2	液状化の発生する可能			高い
3	残留鉛直変位(沈下量)	(m)	正の値=沈下	2.7
(4)	津波高さ	(m)	値は、D. L表示	4.5
5	護岸形状による津波高 の補正係数	さ	当面の間は、1.0	1.0
6	排水沈下量	(m)	正の値=沈下	0.15
$\overline{\mathcal{O}}$	地盤沈降量	(m)	正の値=沈下	0.95
8	余裕高さ	(m)	8=1-3-4×5-6-7	-2.3

4. 今後の課題

今回の検討によって、海岸保全施設の地震時における 沈下等の変位について、簡易な手法による推定がある程 度可能になったと言える.ただし、その精度、使用面、 対象範囲等については、まだ多くの課題が残されている.

地震時における施設の挙動については、詳細な検討方 法においてさえ、その精度について解明すべき多くの課 題が残されている。今回のチャート式耐震診断システム についても、より実挙動に近づけるために実際の被災事 例や実験、詳細な解析手法との比較検討を継続して進め る必要がある。

また、今回の検討は、直立型(重力式)と傾斜型(護 岸・堤防)についてのみ行ったもので、その他の構造形 式についての検討が残されている.

さらに、今回の構造形式においても限られた解析ケースの結果を評価したものであるため、より多くの施設の 条件に応じるために様々な施設に対しての試行とその結果の評価が重要になると思われる.

使用面においても計算プログラムは複雑ではないが, その入力項目のデータがなければならない. 必要データが揃っていない施設については、その他の既

をデータをどう評価して必要データを補い、本システム を活用するかという課題も残されている.

前述のような課題を解決していく第一歩として,国土 交通省近畿地方整備局では平成17年度にいくつかの自治 体や海岸管理者を対象とした本システムの説明・試行を 行い,その結果をさらに今後のシステムの改良に活かす ことに取り組んでいる.

本稿は、国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術 調査事務所発注の「港湾における簡易耐震診断手法に関 する検討調査」をとりまとめたものである.

参考文献

- 井合 進,松永康男, 亀岡知弘: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, 港湾技術研究所報告,第29巻, 第4号, pp.27-56, 1990.12.
- 五洋建設株式会社:平成16年度 極大地震下の護岸構造物の耐震性評価に関する16場模型振動実験(基礎実験)報告書,200p.,2004.3.
- (財)沿岸開発技術研究センター:重力式岸壁の簡易耐震 性能照査の手引き(案),39p.,1999.7.
- 4) 国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所: 港湾における簡易耐震診断手法に関する検討調査報告書, 250p., 2005.3.

0.14

19 51