

重力式防波堤の微小変形解析と大変形解析

株式会社 ニュージェック 正会員○瀬戸口修造, 曾根照人, 楠謙吾
 (前) 一般財団法人 沿岸技術研究センター 非会員 白井博己
 一般財団法人 沿岸技術研究センター 非会員 秋本泰治
 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 非会員 萩原博美, 藤井秀和
 京都大学防災研究所 正会員 井合進
 国立研究開発法人 港湾空港技術研究所 正会員 菅野高弘
 広島大学大学院 正会員 一井康二

1 はじめに

防波堤のFLIP解析は、過剰間隙水圧発生モデルを従来法、非線形反復計算法を従来型とすることで、実験結果や被災事例と調和的な結果が得られることが知られている^{1),2)}。一方、同構成則を用いて解析を実施した場合、地震応答解析直後にスパイク状のノイズが発生することが報告されており、この現象に対応した手法として状態変数 S_0 を定式化に忠実に解く改良型非線形反復計算法が提案されている。また、有限変形理論に基づき拡張されたFLIP/TULIPでは、マルチスプリング要素を用いた解析事例の報告は少ない。そこで本稿では、①兵庫県南部地震の際に被災した神戸第7防波堤の再現解析を実施し、改良型非線形反復計算法、およびFLIP/TULIPの適用性について確認を行った。また、②モデル断面による解析結果と既往の実験結果³⁾とを比較しFLIP⁴⁾とFLIP/TULIP⁵⁾の比較を行った。

2 兵庫県南部地震における神戸第七防波堤の解析

解析ケースは、表1に示す5ケースを実施した。解析手法は、微小変形解析、大変形解析 TL法及び大変形解析 UL法とした。過剰間隙水圧モデルは従来法とし、非線形反復計算法は従来型と改良型を用いた。解析モデルを図1に、入力地震動を図2(図中青色)に示す。解析パラメータは佐藤ら²⁾のものと同様とした。神戸第7防波堤の被災調査では水平変位で0.6m程度、鉛直変位で1.4~2.6m程度の変形が報告されている。非線形反復計算法を改良型とした場合、従来型に比べ変形量が小さくなるが、被災調査結果の範囲となり再現性の確認ができた。また大変形解析を用いた場合、微小変形解析と比べ小さくなるが、被災調査結果の範囲であることが確認できた。大変形解析は、TL法を用いた

場合と UL法を用いた場合の解析結果に大きな違いは見られず両者は等価な解析方法であることが分かる。

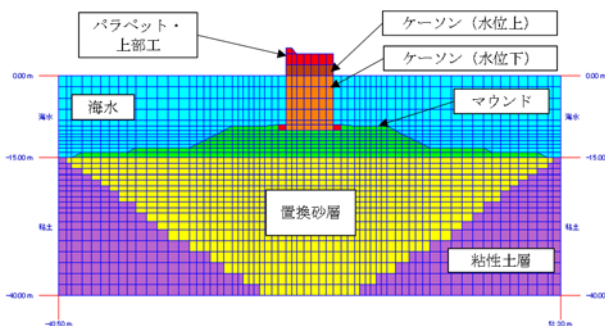


図1 解析断面主要部(神戸第7防波堤断面)

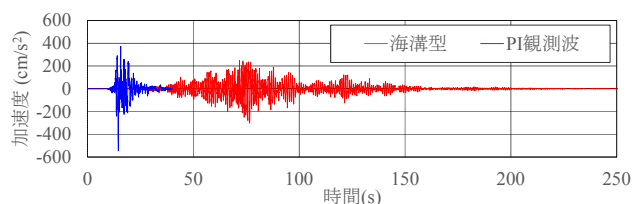


図2 入力地震動

表1 解析結果

case No.	※1 解析手法	構成則		残留変形量 ^{※2,※3}		※4 再現性
		過剰間隙水圧発生モデル	非線形反復計算法	水平変位(m)	鉛直変位(m)	
被災調査	—	—	—	0.6程度	1.4~2.6程度	—
A1	微小変形	従来法	改良法	-0.39	1.51	○
A2	大変形TL	従来法	従来法	0.39	1.59	○
A3	大変形TL	従来法	改良法	-0.45	1.52	○
A4	大変形UL	従来法	従来法	0.31	1.60	○
A5	大変形UL	従来法	改良法	-0.45	1.51	○

※1 微小変形：微小変形解析、大変形TL：大変形解析TL法、大変形UL：大変形UL法
 ※2 排水沈下量(液状化層厚の3%=0.7m)は考慮されていない。
 ※3 水平変位は港内側への変形(右側への変形)を+、鉛直変位は沈下(下向きへの変形)を+とする。
 ※4 鉛直変位が被災調査結果と整合していれば再現性とする。

3 微小変形解析と大変形解析の比較

解析ケースは表2に示す8ケースを実施した。過剰間隙水圧モデルは従来法とし、非線形反復計算法は改良型を用いた。解析手法は微小変形解析及び大変形

キーワード：防波堤、地震応答解析

連絡先：東京都江東区亀戸 1-5-7 錦糸町プライムタワー13F(株)ニュージェック東京本社 Tel.03-5628-7546

解析 TL 法とした。解析断面を図 3 に示す。地盤は水平成層地盤とし、液状化層の等価 N 値は 5 及び 15 の 2 種類とし、液状化層の下には等価 N 値 25 相当の非液状化層とした。入力地震動は、港湾地区における海溝型地震を対象とした予測地震動を、加速度最大振幅が 300gal、600gal に振幅調整した 2 種類を用いた(図 2 中に 300gal に振幅調整した波形を示す)。解析パラメータはスペースの関係上割愛する。液状化層の等価 N 値を 15 とした場合、地震動レベルに関わらず微小変形解析結果

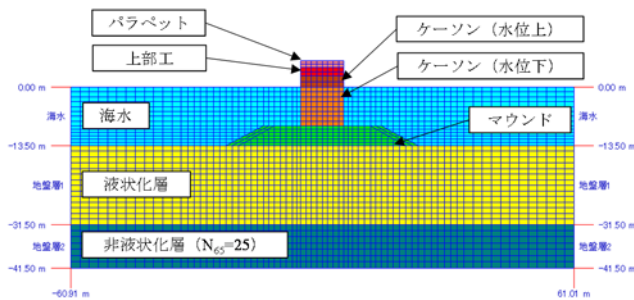


図 3 解析断面主要部 (モデル断面)

表 2 解析ケースと解析結果

case No.	解析手法※	構成則		加速度最大振幅 (gal)	速度の PSI 値 (cm/s ^{1/2})	等価 N 値	残留鉛直変形量 (m)※
		過剰間隙水圧発生モデル	非線形反復計算法				
B1	微小変形	従来法	改良型	300	90	15	1.49
B2	微小変形	従来法	改良型	600	180	15	2.63
B3	微小変形	従来法	改良型	300	90	5	6.74
B4	微小変形	従来法	改良型	600	180	5	7.65
B5	大変形TL	従来法	改良型	300	90	15	1.45
B6	大変形TL	従来法	改良型	600	180	15	2.51
B7	大変形TL	従来法	改良型	300	90	5	3.82
B8	大変形TL	従来法	改良型	600	180	5	4.15

※ 微小変形：微小変形解析、大変形TL：大変形解析TL法、大変形UL：大変形UL法
 ※ 排水沈下量(液状化層厚の3%=0.7m)は考慮されていない。

(caseB1、caseB2)と大変形解析結果(caseB5、caseB6)の違いは5%未満と小さく、変形量は変わらない結果を示した。しかしながら、液状化層の等価 N 値を 5 とした場合、大変形解析(caseB7、caseB8)に比べ微小変形解析(caseB3、caseB4)は1.8倍程度の変形量となり大きな違いが確認できた。また、既往実験より海溝型長継続時間地震動に対する砂地盤上の防波堤沈下挙動に関する模型実験が実施されており、地震動レベル(速度のPSI値)と防波堤天端での沈下量との関係が示されている。ここで、速度のPSI値⁶⁾は速度波形の二乗積分値の平方根を取った値を示す。この実験結果と解析結果を比較したものを図4に示す。模型実験の砂地盤の等価 N 値は相対密度によりマイヤホフの提案式を用いて推定すると6.5程度となる。等価 N 値5の解析結果に着目すると、変形量は微小変形解析(caseB3)に比べ、大変形解析(caseB7)の方が実験結果(Case1-1(PI))と調和的な結果となった。

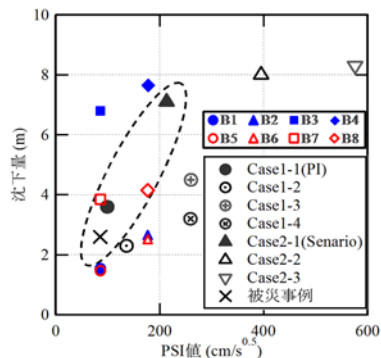


図 4 既往実験と解析結果の比較

4 まとめ

①兵庫県南部地震における神戸第7防波堤の再現解析を実施し、過剰間隙水圧モデルに従来法、非線形反復計算法に改良型を用いた場合、微小変形解析及び大変形解析において被災事例の再現することができることを確認した。

②モデル断面において地盤条件と地震動条件を変化させ微小変形解析と大変形解析 TL 法の比較した結果、ある変位レベルまでは両者の違いは小さいが、変形量が大きくなるに従い両者の差が大きくなる。変形量が大きい場合には、既往の実験結果と大変形解析は調和的であるのに対し、微小変形解析は実験結果よりも大きい変形量を示した。

参考文献

1) 井合,一井,森田:兵庫県南部地震における防波堤の有効応力解析;第24回地震工学研究発表会講演論文集、

pp.477-480、1997.7

2) 佐藤,亀山,大塚,森,小堤,井合,安田:非排水有効応力地震応答解析における捨石材のモデル化に関する検討;第46回地盤工学シンポジウム、pp.29-30、2001.11

3) 大矢,小濱,野津,菅野:海溝型長継続時間地震動に対する砂質地盤上の防波堤沈下挙動に関する模型実験;港湾空技術研究所資料 No.1275、2013.7

4) Iai, S.: Similitude for Shaking Table Test on Soil-Structure Model in 1G-Gravitational Field, Report of Port and Harbor Res Inst, Vol27, No.3, pp3-24, 1998.

5) 上田:砂の力学モデルとしての多重せん断モデルの他大変形解析の定式化およびその適用性に関する研究;京都大学博士論文、2010.6

6) 野津,井合:岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察;平成12年度土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、pp.18-19、2001