地震時における港湾構造物の隅角部挙動に関する研究

- 西日本高速道路株式会社 正会員 〇片山 雅夫
 - 京都大学防災研究所 正会員 井合 進
 - 京都大学防災研究所 正会員 飛田 哲男
- 国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所 正会員 鈴木 紀慶
- 国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所 正会員 野口 孝俊

1. はじめに

既往の地震被害事例より,空港や港として利用される埋立て海上施設では,設計断面となる一般部と隅角 部の被害状況は異なり,隅角部の方が軽微であることが知られている。これは,隅角部の3次元的な構造が 変位を拘束する効果があるためであると考えられる。しかし,隅角部では二方向に解放面があり,初期応力 や変位が両解放面の影響を受けるため地震時の変位が大きくなる可能性もある。そこで本研究では,神戸港 六甲アイランドのケーソン式岸壁のうち隅角部を含む RC-3 岸壁を対象にモデル化を行い,2次元解析,3次 元解析の比較を通じて,隅角部の3次元的な挙動を明らかにすることを目的とした。

2. 既往の被災事例における隅角部の挙動

1995年兵庫県南部地震時に被災した神戸港六甲アイランド¹⁾を対象に,設計断面と隅角部における海側への水平変位量の違いを把握するため,図1に被災後の法線の変位図を示す。水平変位量は2から5mであるが,隅角部の水平変位量は2.5m程度までと一般部の半分以下であった。また水平変位の卓越方向と地震動の速度軌跡の卓越方向について調べたところ,概ね一致していたが,2次元的な標準断面の方向と必ずしも一致しない傾向にあった。

3. 神戸港六甲アイランド(実物モデル)の数値解析

神戸港六甲アイランド RC-3 岸壁(図1の南西角)を対象に,実物モデル の2次元および3次元解析を行った。数値解析には多重せん断モデルに基づ く有効応力解析プログラム FLIP²⁾を使用した。土の物理的性質は震災後,図 1の△部分で実施された凍結サンプリング資料や PS 検層等から求め,液状化 パラメータは凍結サンプリングを用いた非排水繰返しせん断試験によって求 めた液状化強度曲線から設定した(表1)³⁾。図2に示す2次元,3次元解析 のメッシュでは,対象岸壁は全体の幅60m,高さ30m程度であるが,モデル 化に際してメモリ不足,計算時間を考慮し1/4~1/3 スケールとし,解析寸法 は幅20m,高さ8mとした。ケーソンと背面地盤の滑りを考慮し,さらにケ







ーソン同士の目地の開きは、ある間隔でケーソンのヤング率を低下させることで実現した(図2下の黒色部 に該当)。入力波は神戸ポートアイランド波(X,Y方向)と神戸港工事事務所波(X方向)とした。

土層名	質量密度	間隙率	変形特性									液状化特性					
			初期せん断剛性	体積弾性係数	平均有効拘束圧	ポアソン比	拘束圧依存係数	内部摩擦角	粘着力	履歷減衰上限値	十層名	変相角	液状化パラメータ				
	$\rho(kN/m^3)$	n	G _{ma} (kPa)	K _{ma} (kPa)	σ' _{ma} (kPa)	ν	m	φ _f (°)	c(kPa)	h _{max}	ш/д і н	φ _n (°)	W ₁	p ₁	p ₂	c1	S ₁
埋立土	1.8	0.45	7.94×10 ⁴	2.07×10 ⁵	98	0.33	0.5	36	0	0.24	埋立土	28	7.5	0.45	0.85	2.2	0.005
置換砂	1.8	0.45	5.83×10 ⁴	1.52×10 ⁵	98	0.33	0.5	37	0	0.24	置換砂	28	9.0	0.6	0.9	1.8	0.005
粘性土	1.7	0.45	7.50×10 ⁴	1.96×10 ⁵	98	0.33	0.5	40	0	0.24							
裏込石・捨石	2.0	0.45	1.80×10 ⁵	4.69×10 ⁵	98	0.33	0.5	40	0	0.24							

表 1. 解析に用いた土の物理的性質と液状化パラメータ

隅角部 3次元 有効応力解析 ケーソン

京都大学防災研究所地盤災害部門地盤防災解析分野(〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 0774-38-4093)

3.1 数值解析結果

神戸ポートアイランド波を入力した場合のケーソン周 囲の節点水平変位量を図3に示す。隅角部の水平変位量 は、一般部や解析境界付近に比べ小さく現れる傾向にあ り、既往の被災事例の傾向と類似している。その要因を 調べるためにケーソン背面の最大土圧に注目した(図4)。 土圧はケーソン背面へ垂直に作用する軸応力とし、各要 素において最大値を採用した。ケーソン直背面(0から -4m) に作用する最大土圧はどの場所においても 30 から 図3. 40kPa とほぼ一定であった。次に、ケーソン周囲の節点 加速度時刻歴について検討する(図5)。変位量が境界部 に向けて大きく現れることに伴い、加速度は減衰する傾 向にある。また隅角部では X, Y 方向で 0.3 秒程度位相 差が確認されたことを加味すると、隅角部の挙動はその 3 次元的な加速度応答に依存する傾向にあることがわか る。また、神戸港工事事務所波を入力した場合に図2の A-A'断面における液状化層(置換砂,埋立土)の過剰間



図 5. ケーソン周囲の節点加速度時刻歴

隙水圧比時刻歴,応力ひずみ関係図(図6,7)をみると,置換砂に限り,2次元解析は液状化に至らず,0.4 ほどで推移している。図6より,3次元解析では水圧の立ち上がり部分から振幅とその変動が大きいのが特 徴である。また,多方向せん断の影響を受ける3次元解析の場合には,応力やひずみ(図7)も3次元解析 の方が顕著に現れていることがわかる。



- 4. 結論
- 過去の地震被害から、一般部と隅角部付近の水平変位量は、大きく異なる傾向がある。水平変位の卓越 方向と地震動速度軌跡の卓越方向とは、2次元的な標準断面の方向と必ずしも一致しない。
- 2) 隅角部の水平変位量は、ケーソン中央部や境界部に比べ小さく現れる。また既往の被災事例との比較から整合的な結果が得られ、解析結果の妥当性が確認された。またケーソン背面に加わる最大土圧はどの場所においてもほぼ一定となり、3次元的な挙動における水平変位を支配する要因とは考えにくく、むしろ隅角部の3次元的な加速度応答に依存する傾向が見られた。
- 3) 2次元解析と3次元解析では液状化の傾向は大きく異なり、多方向せん断の影響を受ける3次元解析の 方が顕著であった。また、応力やひずみの発生からもその特徴が確認できる。

参考文献

1)運輸省港湾技術研究所: 1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告(港湾技研資料 No.857), 1997. 2) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.(1990): Strain space plasticity model for cyclic mobility, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.29, No.4, pp.27-56, 1990. 3) 小堤治: 液状化地盤上の地盤・構造物系の地震被害に関する数値解析法の研究, 2003.