

セグメント固体群の地震時転倒安全性に関する研究

石川島建材工業(株) 正会員 ○阿部 義

石川島建材工業(株) 正会員 橋本 博英

首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 学生会員 寺島 博明

首都大学東京 大学院 都市環境科学研究科 正会員 長嶋 文雄

1. はじめに

ストックヤードに多段に積まれて備蓄されている大型コンクリート2次製品(シールドトンネル・セグメント)を対象として、これらの固体群としての地震時転倒安全性に関する検討をしている。これまでに、理論的検討と正弦波入力による転倒実験及びシミュレーション解析を行い、崩壊挙動等を明らかにしてきた^{1)~3)}。本報告は、6種類の実地震記録波を用いた3次元有限要素シミュレーション解析を行い、地震波の周波数特性(内陸型/海溝型 | 地盤種)による転倒安全性の違いを明らかにする試みを行ったものである。

2. シミュレーション解析の概要

2.1 解析条件

接触問題を扱うことのできる汎用動的応答解析プログラム LS-DYNA を用いてシミュレーション解析を行った。入力変位は内陸型、海溝型の地盤

I種、II種、III種で観測されたものを用いた。

記録地点、最大加速度などを表-1に示す。また解析モデルは単体のものと3段3列のもの2種類

とした。3段3列の場合のモデルの概観を図-1に示す。地盤を模擬した剛体平板上に3本の台木を置き、地盤全体に実地震加速度記録波から計算された地動変位を入力した。セグメント及び台木は弾性体としたが、それぞれの物性値を表-2にまとめて示す。

2.2 気象庁型補正による変位波形算出

地震記録加速度波形をそのまま数値積分すると、速度、変位にドリフトが生じる。ドリフトの原因は計測器の周波数特性にあり、時間軸つまり基線がずれていると考えられる。これを取り除くために基線補正が行われるが、気象庁ではローカットフィルター(速度用: $f \leq 0.2$ の範囲に対して $10^{2.097} f^{3.0}$, 変位用: $f \leq 0.15$ の範囲に対して $10^{1.637} f^{2.035}$, 図-2 に変位波形への変換用フィルターを例示)を用いて数値積分を行っている。単純に2.5秒間毎に基線補正を行えば、これはカットオフ周波数を $1/(2.5 \times 4) = 0.1$ Hz に設定したことになり、気象庁型の基線補正とほぼ同様の結果が得られる。ここでは気象庁型補正を用いて、元の加速度データからフーリエ積分で速度波形、変位波形を求めた。

2.3 SI値を用いた地震強度の基準化

地盤種別によるセグメント挙動の違いを調べるためには、地震動の強さを同程度に基準化する必要がある。本研究では、スペクトル・インテンシティ(Spectrum Intensity: SI値)を等しくすることによって基準化することにした。SI値とは、速度フーリエスペクトル(図-3に内陸型I種

表-1 入力波として用いた実地震記録波の概要

地盤種別	地震名	マグニチュード	震央距離(km)	記録場所	最大加速度(gal)
内陸型	I種 兵庫県南部地震	7.2	16	気象庁神戸海洋気象台地盤上	820
	II種 兵庫県南部地震	7.2	11	JR鷹取駅構内地盤上	610
	III種 兵庫県南部地震	7.2	30	阪高東神戸大橋周辺地盤上	330
海溝型	I種 1978年宮城県沖地震	7.4	80	開北橋周辺地盤上	102
	II種 1968年日向灘沖地震	7.5	100	板島橋周辺地盤上	118
	III種 1983年日本海中部地震	7.7	110	津軽大橋周辺地盤上	140

表-2 セグメント、台木の物性値

	セグメント	台木
質量密度 ρ_0 (kg/mm ³)	2.45E-06	2.77E-07
ヤング係数 E (N/mm ²)	2.30E+07	1.30E+07
ポアソン比 ν_0	1.80E-01	1.50E-01

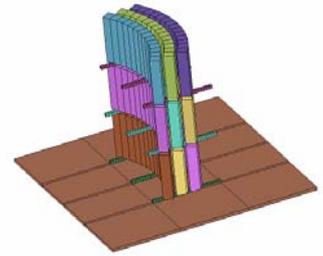


図-1 解析モデル図(3段3列)

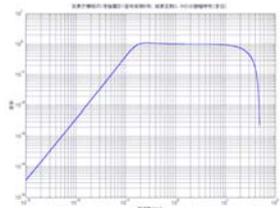


図-2 変位波形算出用ローカットフィルター

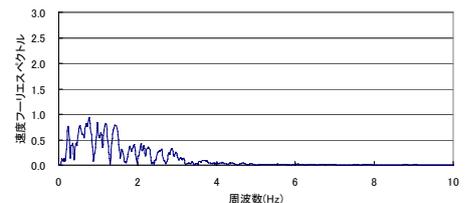


図-3 内陸型I種の水速度フーリエスペクトル

キーワード: セグメント, 備蓄製品, スtockヤード, 耐震安全性, 安定供給

連絡先: 〒100-0006 東京都千代田区有楽町 1-12-1 石川島建材工業(株)セグメント事業本部 TEL 03-5221-7240

の場合を例示)の周波数領域 0.4Hz~10Hz における面積である。本報告では内陸型 I 種の SI 値を基準とした。表-3 に各入力地震波の SI 値の値と基準化係数を示した。

表-3 SI 値と等価係数

	地盤種別	SI 値	基準化係数
内陸型	第 I 種地盤	90.700	1.000
	第 II 種地盤	111.456	0.814
	第 III 種地盤	52.115	1.740
海溝型	第 I 種地盤	16.212	5.596
	第 II 種地盤	22.695	3.996
	第 III 種地盤	35.363	2.565

3. シミュレーション解析結果

(1) セグメント単体の場合：転倒限界加速度値は、図-4 に示すように、セグメントのロッキング動が大きくなり、その重心 G' がロッキング中心点 O よりも外側に出るようになる時刻まで最大の地震加速度値とした。セグメント単体における転倒限界加速度値が高かったため、内陸型、海溝型の地盤 I 種~III 種において加速度のスケールをそれぞれ 1.0, 1.5, 2.0 の 3 ケースと増加させ、計 18 ケースのシミュレーション解析を行った。解析結果を表-4 に示す。転倒限界加速度は低い順に、海溝型 I, II, 内陸型 II, III, I 種となり、内陸型に比べ、海溝型の転倒限界加速度が低くなる傾向が見られた。実地震波による入力ではスケール 1.5 倍でも、どのケースも転倒に至らなかった(表内に-と表記)ことから、セグメント単体の場合の転倒限界加速度は約 1,000gal 程度であると思われる。

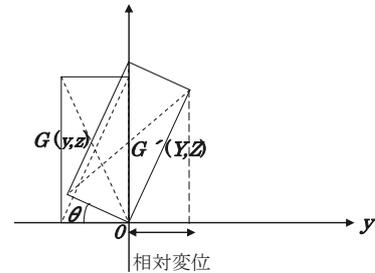


図-4 転倒限界に関する説明図

表-4 実地震記録波における解析結果 (単体)

地盤種別	スケール	ロッキング開始時刻 (sec)	転倒限界到達時刻 (sec)	ロッキング加速度(gal)	転倒限界加速度(gal)
内陸型 I 種	1.0	-	-	-	-
	1.5	17.60	-	885	-
	2.0	17.58	20.24	1080	1640
内陸型 II 種	1.0	-	-	-	-
	1.5	-	-	-	-
	2.0	9.30	12.34	688	976
内陸型 III 種	1.0	-	-	-	-
	1.5	-	-	-	-
	2.0	10.42	12.52	905	1148
海溝型 I 種	1.0	-	-	-	-
	1.5	19.90	-	856	-
	2.0	19.64	25.68	856	856
海溝型 II 種	1.0	-	-	-	-
	1.5	18.10	-	599	-
	2.0	18.04	36.42	599	943
海溝型 III 種	1.0	-	-	-	-
	1.5	-	-	-	-
	2.0	38.18	-	693	-

(2) 3 段 3 列の場合：3 段積み(上・中・下段それぞれ 3 列)にして、内陸型 I ~ III 種、海溝型 I ~ III 種においてスケール 1.0 倍として解析を行った。3 段積みの結果を表-5 に示す。3 段積みの場合、上・中・下段に拘らずロッキング開始加速度はほとんど変わらない値となった。これに対して、転倒限界加速度は低い順に、海溝型 III, II 種、内陸型 II 種、海溝型 I 種、内陸型 III, I 種となった。図-5 に単体の場合を含めて転倒限界加速度をまとめて示した。海溝型地震の方が転倒加速度は低い転倒に至るまでの時間が掛かる(退避のための時間がある)傾向が見られた。

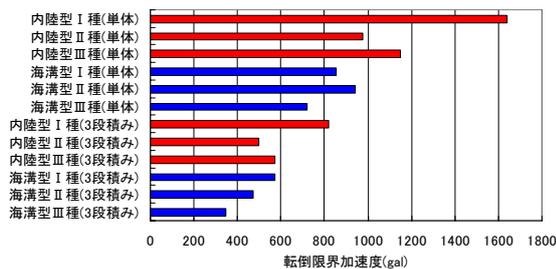


図-5 転倒限界加速度 (単体、3 段積み)

表-5 実地震記録波における解析結果 (3 段 3 列)

地盤種別	段	列	ロッキング開始時刻 (sec)	転倒限界到達時刻 (sec)	ロッキング加速度(gal)	転倒限界加速度(gal)
内陸型 I 種	上段	前方	17.32	19.58	300	820
		中央	17.32	19.52	300	820
		後方	17.50	19.40	450	820
	中段	前方	17.34	-	320	-
		中央	17.36	-	350	-
		後方	17.50	-	450	-
	下段	前方	17.32	-	300	-
		中央	17.40	-	350	-
		後方	17.50	-	450	-
内陸型 II 種	上段	前方	7.68	11.90	323	497
		中央	7.70	11.90	323	497
		後方	7.74	12.00	334	497
	中段	前方	7.74	-	334	-
		中央	7.60	-	323	-
		後方	7.80	-	350	-
	下段	前方	8.26	-	350	-
		中央	7.80	-	350	-
		後方	7.74	-	334	-
内陸型 III 種	上段	前方	10.48	12.10	452	574
		中央	10.40	12.08	452	574
		後方	10.18	12.14	331	574
	中段	前方	9.74	15.68	209	574
		中央	9.66	13.66	143	574
		後方	10.08	12.76	331	574
	下段	前方	10.14	15.68	331	574
		中央	9.86	-	278	-
		後方	9.80	-	209	-
海溝型 I 種	上段	前方	11.66	14.80	571	571
		中央	11.66	15.06	571	571
		後方	11.94	16.48	571	571
	中段	前方	12.34	15.62	571	571
		中央	11.68	15.76	571	571
		後方	11.96	18.88	571	571
	下段	前方	12.10	-	571	-
		中央	11.72	-	571	-
		後方	11.76	-	571	-
海溝型 II 種	上段	前方	4.22	16.36	172	472
		中央	4.18	16.34	172	472
		後方	4.20	15.72	172	472
	中段	前方	4.20	16.50	172	472
		中央	3.86	16.24	172	472
		後方	4.64	16.20	172	472
	下段	前方	4.48	-	172	-
		中央	4.58	-	172	-
		後方	4.58	-	172	-
海溝型 III 種	上段	前方	10.94	23.02	121	346
		中央	10.92	-	121	-
		後方	14.52	-	190	-
	中段	前方	15.64	-	267	-
		中央	15.62	-	267	-
		後方	14.90	-	195	-
	下段	前方	15.56	-	267	-
		中央	14.96	-	195	-
		後方	15.06	-	198	-

4. おわりに

実地震記録波を用いたシミュレーション解析を行い、地震のタイプと地盤種がセグメントの耐震安全性に及ぼす影響を明らかにし、セグメントの積み上げ段数に関する知見を得た。

[参考文献] 1) 阿部・橋本・長嶋・木築：ストックヤードにおけるセグメントの耐震安全性に関する研究、土木学会講概集、H17 年 9 月。 2) 寺島・長嶋・橋本・阿部：セグメントの多段積み備蓄時耐震安全性に関するシミュレーション解析 H18 年 9 月。 3) 寺島・阿部・長嶋・橋本：備蓄製品の固体群としての地震時転倒安全限界に関する検討、第 29 回土木学会地震工学研究発表会、H19 年 8 月。