

長周期・長継続時間地震動を受ける 重力式岸壁の挙動に関する模型振動実験

小濱英司¹・菅野高弘²・宮田正史³・野口孝俊⁴

¹独立行政法人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
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:kohama@pari.go.jp

²独立行政法人港湾空港技術研究所 地盤・構造部構造振動研究室 室長
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail:sugano@pari.go.jp

³国土交通省国土技術政策総合研究所港湾研究部港湾施設研究室 主任研究官
(〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

E-mail: miyata-m92y2@ysk.nilim.go.jp

⁴国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所 設計監理課長
(〒144-0041 東京都大田区羽田空港3-3-1)

E-mail: noguchi-t83ab@pa.ktr.mlit.go.jp

近年における構造物の耐震設計では、任意の地点について想定した震源断層や深部堆積地盤の影響等を考慮した設計入力地震動が用いられつつあり、これまであまり考慮されてこなかった周波数特性や継続時間を有する地震動についても、構造物の挙動を検討する必要性が生じてきている。本研究では重力式岸壁を対象とし、長周期・長継続時間地震動の与える影響について検討することとし、重力場および遠心力場において従来より設計に用いられている地震動と新たに想定した地震動による模型振動実験を行った。各ケースにおける加速度の周波数特性やその非定常性を分析し、また、Newmarkの剛体滑動モデルを用い、ケーソン残留変位との関係を考察した。

Key Words : centrifuge test, shake table test, gravity type quay wall, long-period and long-duration ground motion

1. はじめに

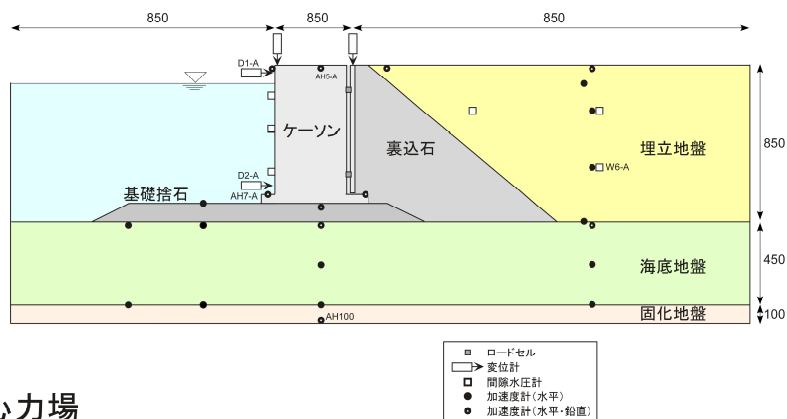
重要構造物に関する耐震設計では、地震動レベルを2段階とした耐震設計が一般的となっており、施設の供用期間中に発生する確率は低い大きな強度を有する地震動（レベル2地震動）による耐震設計が求められている。また、耐震設計で用いられる地震動に関する研究は近年進歩し、任意の地点における設計入力地震動を想定することが可能となった。そして、この想定された地震動には震源断層や堆積地盤等の影響が考慮されており、場所によっては非常に長い周期成分や長い継続時間を有した地震動が想定されることもある。

一方、重力式岸壁の動的挙動と残留変形に関しては、三浦ら¹⁾や風間ら²⁾が質点-バネ系の振動モデルを用いて検討している。また長尾ら³⁾は、地震動の周波数特性および岸壁の応答特性を考慮して設計に用いる震度を算出する手法を提案している。

本研究では、地震動の長周期成分および長継続時間がどのように岸壁変形に影響するかについて検討することを目的とし、重力場および遠心力場において模型振動実験を行った。入力地震動には、現行の設計で用いられる従来型のレベル2地震動と、構造物の建設予定地点について個別に推定されるレベル2地震動の例の2種類の設計入力地震動を用いた。シナリオ地震動は長周期成分を多く含み、継続時間も長い地震動である。これらの地震動による加振結果を比較し、ケーソンの滑動のみに着目してNewmarkの剛体滑動モデルによる簡単な解釈を加えることで、地震動の特性とケーソン変位の関係を明らかにする。

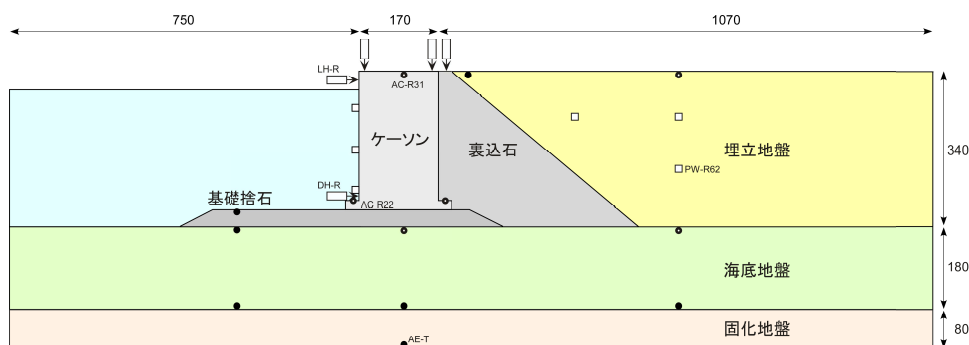
2. 実験概要

重力場



(a)

遠心力場



(b)

図-1 実験模型 (a) 重力場実験, (b) 遠心力場実験

表-1 使用した縮尺比

パラメータ	実物/模型	
	重力場	遠心力場
長さ	20	50
密度	1	1
時間	$20^{0.75}$	50
応力	20	1
加速度	1	1/50
速度	$20^{0.75}$	1
変位	$20^{1.5}$	50

表-2 振動台諸元

	重力場	遠心力場
台寸法	直径 6 m	2.2 m × 1.07 m
搭載質量	30 t	3 t
最大加速度	水平 2.0 G	50 G
	鉛直 1.5 G	
最大速度	水平 75 cm/s	90 cm/s
	鉛直 50 cm/s	
最大変位	水平 200 mm	5 mm
	鉛直 100 mm	
制御振動数	0~100 Hz	20~400 Hz

表-3 地盤材料

	1G場	遠心場
背後地盤	珪砂5号Dr=70% 水中落下, バイブレーションによる水中締固め	珪砂4号Dr=70% 気中落下
海底地盤	珪砂5号Dr=90% 気中落下, 加振による締固め	珪砂4号Dr=90% 気中落下, バイブレーションによる締固め
基礎捨石マウンド	砕石5号 (粒径13~20mm程度)	砕石8号(粒径5mm以下)
裏込石	砕石6号 (粒径5~13mm程度)	砕石8号(粒径5mm以下)
固化地盤	珪砂5号とセメントの混合	珪砂8号とセメントの混合

(1) 実験模型

模型振動実験は、図-1に示されるように高さ15m、水深-11mのケーソン式護岸構造物を対象として、重力場および遠心場のそれぞれで行った。相似率は重力場、遠心場のそれぞれで1/20、1/50としている（表-1）。ここで、重力場の相似則では、井合⁴⁾により導かれた相似則に則って、密度およびひずみに関する縮尺をそれぞれ $\lambda_p=1$ 、 $\lambda_s=\lambda^{0.5}=20^{0.5}$ としている。

模型断面は、使用土槽の制限により海底地盤層厚と模型全体幅が少し異なるが、他はすべて実物スケールにおいて等しくなるよう設定している。用いた遠心载荷装置の最大回転半径は7.00mであり、本実験での計画地盤高における有効半径は6.65mとなる。それぞれで用いた振動台の仕様を

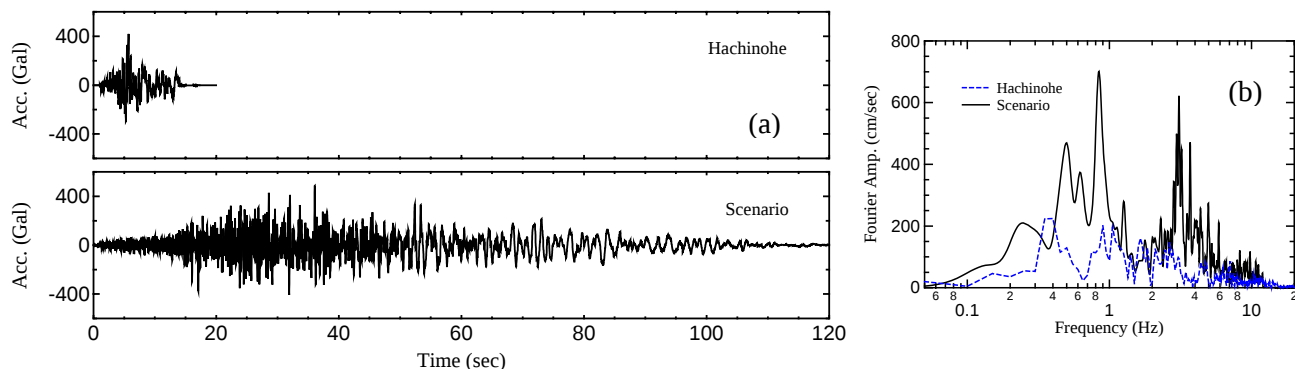


図-2 入力地震動 (a) 時刻歴, (b) フーリエスペクトル
スペクトルには、バンド幅 0.1Hz の Parzen ウィンドウを適用

表-4 実験ケース

		入力波
1 G 場	case-1	八戸波 0.5倍
		八戸波 1.0倍
		八戸波 1.5倍
		八戸波 2.0倍
		シナリオ波 1.0倍
	case-2	シナリオ波 1.0倍
遠心場		シナリオ波 0.5倍 シナリオ波 1.0倍

表-2 に示す。

用いた地盤材料を表-3 に示す。本実験では、岸壁は液状化対策が施されているものと想定し、液状化が発生しないよう考慮しており、背後および海底の砂地盤での密度を大きめに設定している。さらに遠心実験では透水性を良くすることによって液状化を抑制することとし、粒径の比較的大きな硅砂 4 号を用いることとした。

ケーソン模型は重力場、遠心場ともにアルミニウム製函とし、内部に砂および錘を入れることにより、全体重量および重心位置を調整した。重力場実験でのケーソン模型では、背面の受圧板およびロードセルによって土圧を計測している。重力場および遠心場それぞれにケーソン模型を 3 個用い、土圧計測用ケーソン模型 1 函を中央に設置し、両側には土槽側面の影響を排除するためのダミー函を設置した。模型ケーソンは設計震度を 0.15 として設計している。また他に、図-1 のように計測器を設置し、地盤と構造物の加速度、変位、間隙水圧を測定した。

加振波には、港湾の設計でよく用いられる 1968 年十勝沖地震の際に八戸港において記録された地震波（以下「八戸波」と呼ぶ）と、震源断層や堆積地盤の影響等が考慮された長周期・長継続時間のシナリオ L2 地震波（以下「シナリオ波」と呼ぶ）の、2 種類を用いた。シナリオ波は、検討サイトを羽田空港として南関東地震を想定したもの

であり、1923 年関東地震（M7.9）の震源モデル⁵⁾および羽田空港における強震観測を基に経験的グリーン関数法により合成されたものである。強震観測結果より、羽田では長周期成分に対する増幅特性が強く、継続時間が長くなることが明らかにされており⁹⁾、シナリオ波にはそれらの特徴が含まれている。原スケールにおける八戸波およびシナリオ波の時刻歴およびフーリエスペクトルを図-2 に示す。シナリオ波は八戸波より約 10 倍長い継続時間を有し、加速度振幅も大きい。シナリオ波のスペクトルはほとんどの周波数域において八戸波よりも大きく、非常に大きなエネルギーを有している。以下に示す重力場および遠心場での振動台実験では、これらの波形をそれぞれの相似則に則して時間軸を圧縮、振幅を拡大した波形を用いた。すなわち、重力場実験では時間軸を $1/20^{0.75}$ 、遠心場実験では時間軸を $1/50$ 、加速度振幅を 50 倍に調整した。

(2) 実験ケース

模型振動実験は、重力場および遠心場のそれぞれにおいて表-4 に示されるようなケースについて実施した。

重力場での実験においては、模型作成は二度行った。case-1 では、八戸波により加速度振幅を段階的に大きくするステージ加振を行い、その後にシナリオ波によるステージ加振を実施した。一方 case-2 では、本加振前に S 波速度測定のための予備加振等のみを行い、模型地盤に動的履歴を極力与えない状態でシナリオ波による加振を行った。遠心場における実験では、シナリオ波による加振のみを行った。

3. 実験結果および考察

(1) 岸壁挙動および入力地震動の比較

重力場、遠心力場における 2.0 倍の八戸波、1.0 倍のシナリオ波による加振での背後埋立地盤内での過剰間隙水圧、振動台加速度、およびケーソン

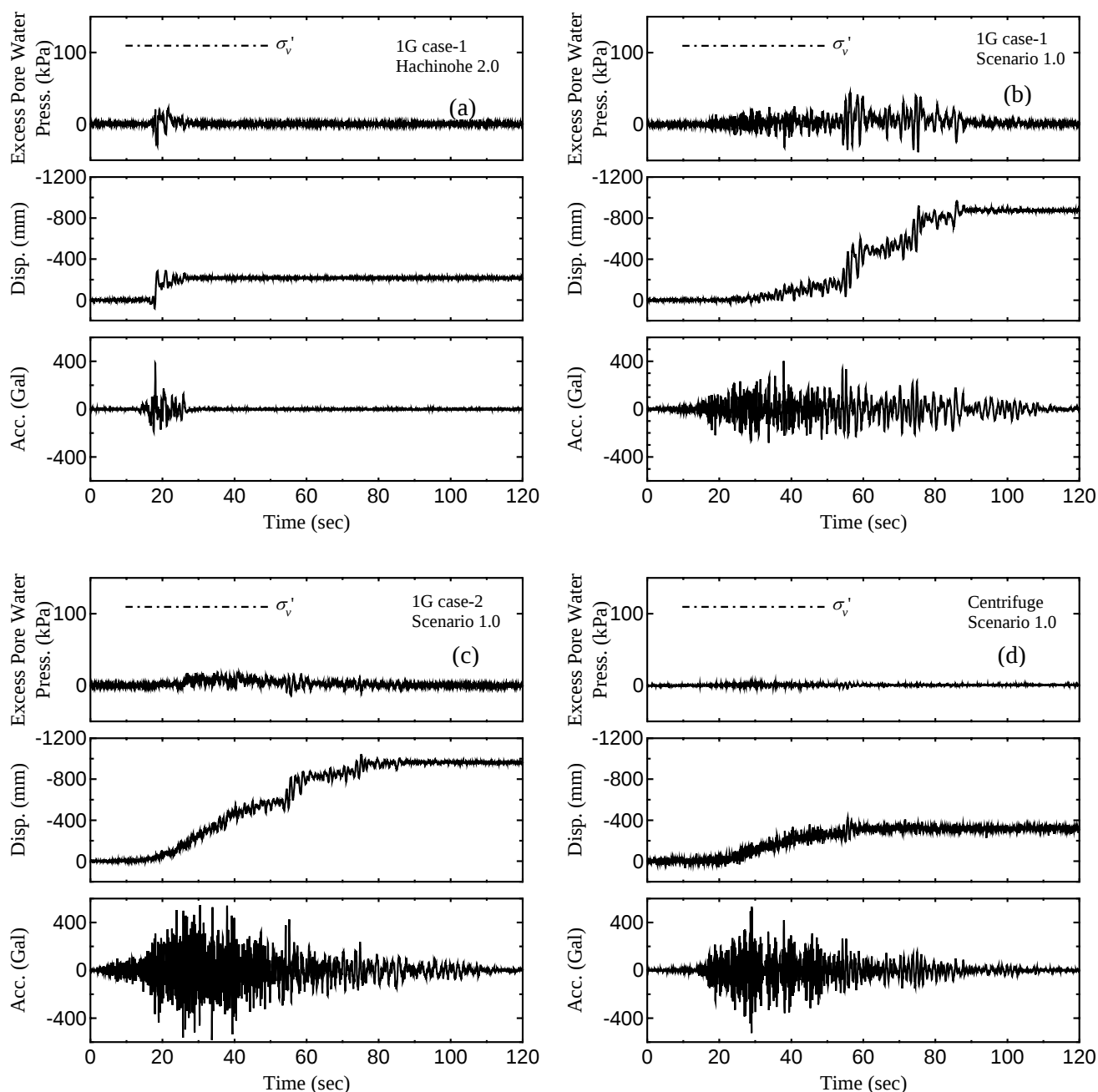


図-3 振動台加速度，埋立地盤内での過剰間隙水圧，およびケーソン水平変位の時刻歴

(a)重力場case-1八戸波2.0倍加振，(b)重力場case-1シナリオ波1.0倍加振，
(c)重力場 case-2 シナリオ波 1.0 倍加振，(d)遠心力場シナリオ波 1.0 倍加振
間隙水圧の計測位置は，図-1 での W6-A または PW-R62.

上端変位の時刻歴を図-3 に示す．ここでは，それぞれの相似則に基づいて，実物スケールで値を示している．

実験では，地盤中の複数の点で間隙水圧を計測した．間隙水圧は加振とともに動的に変動したが，模型作成時の地盤密度から求められた有効土被り圧に比べてその蓄積量は小さく，どの実験においても液状化は発生していないと判断された．ケーソン変位については，八戸波加振（振幅 2.0 倍）では，残留変位量のほとんどが 18sec 付近で発生しており，その他の時間ではあまり変位が生じていない．重力場でのシナリオ波加振では，case-1 では

55sec 付近と 75sec 付近で大きな変位が生じている．case-2 でも同じ時間帯で変位が生じているが，case-1 ほど小さくなく，case-1 とは対照的に，20sec 付近から徐々に変位が大きくなっている．遠心力場の実験では残留変位量は重力場実験と比較して小さく，その半分以下となった．図-4 は重力場，遠心力場での実験終了後における岸壁の変形の様子を示している．図では示されていないが，実験後の模型側面の確認から，重力場実験では海底地盤の変位がなく，ケーソン変位の多くは滑動変位によるものであることが観察された．この傾向は case-2 でも同様であった．一方，遠心力場実験では浅部

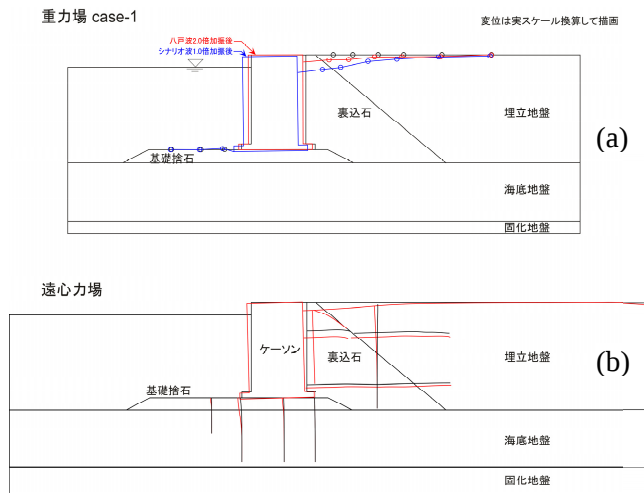


図-4 実験終了後の岸壁の残留変形
(a) 重力場case-1, (b) 遠心力場
重力場実験は変位を原スケールに換算して描画

に変形が少し見られた。遠心実験では海底地盤部の締固めを遠心力载荷前のバイブレータで行っており、振動台加振による締固めを行った重力場実験ほど密ではなかったことが考えられる。

図-5 に加速度増幅スペクトルを示すように、ケーソン上端での加速度について、その増幅スペクトルは遠心力場、重力場の各ケースで大きな違いは見られない。よって、それぞれの模型の振動特性に大きな違いは無く、同等の模型が作成されたと見ることができる。

すべてのケースでの振動台での最大加速度と残留変位の関係を示すと、八戸波、シナリオ波ともに、加速度振幅の増加とともに変位は増加している(図-6)。しかしその傾きは一樣ではなく、実験ケースごとに異なり、ばらつきも大きい。たとえば、重力場実験では、シナリオ波の入力加速度レベルが八戸波と同等あるいは2倍に達しないレベルであっても、そのケーソン残留変位は大きく異なる。したがって、最大加速度だけでケーソンの残留変位を説明するのが難しいことを示している。ここでの変位は重力場実験と遠心力場実験のそれぞれの相似則に基づいて実物スケールで示しており、相似則が同じではないことによる差も存在することがあるものの、これらの要因だけで結果の差をすべて説明するのは困難であり、他にも要因があると考えられる。実際、実験では同じシナリオ波を目標として重力場、遠心力場で加振を行ったが、完全に同一の入力波形とはならなかった。以下ではこれらも含め、入力波形の継続時間や周波数特性の違いによる岸壁挙動への影響について検討する。

(2) 入力地震動の比較

本実験では所定の入力地震動により加振実験を行ったが、機械性能の都合上、振動台が完全に入力地震動を再現することは難しかった。図-2 と図-

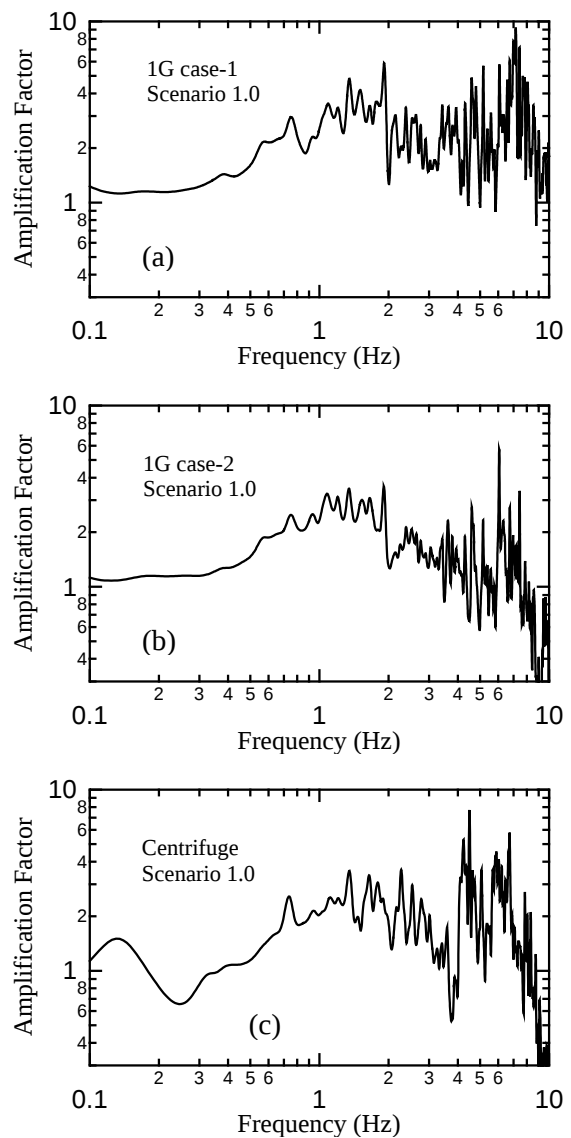


図-5 振動台加速度に対するケーソン上端加速度の増幅スペクトル(シナリオ波1.0倍)
(a)重力場case-1, (b)重力場case-2,
(c)遠心力場
バンド幅 0.1Hz の Parzen ウィンドウを適用

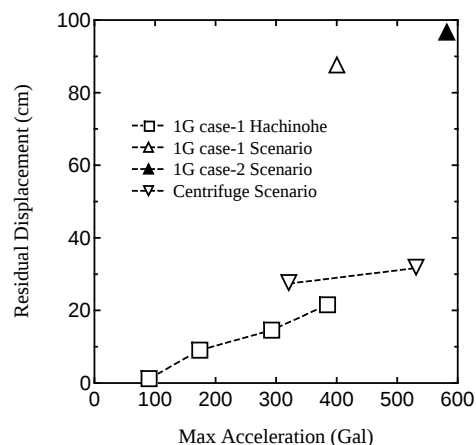


図-6 振動台最大加速度と残留変位の関係

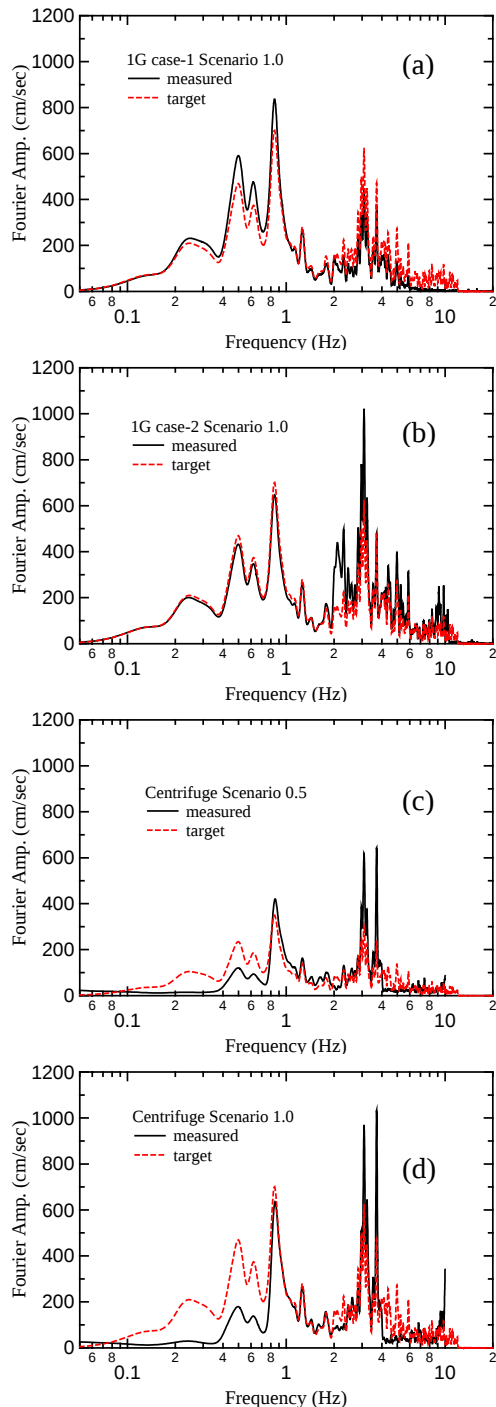


図-7 振動台加速度のフーリエスペクトル
 (a)重力場case-1シナリオ波1.0倍,
 (b)重力場case-2シナリオ波1.0倍,
 (c)遠心力場シナリオ波0.5倍,
 (d)遠心力場シナリオ波1.0倍
 バンド幅 0.1Hz の Parzen ウィンドウを適用

3 の 1.0 倍のシナリオ波加振時の振動台での加速度時刻歴を比較すると、重力場実験の case-1 は目標に比べて振幅が小さく、case-2 ではやや大きい。遠心力場の実験では、60sec 以降で振幅が小さい。

振動台加速度の差は、周波数領域でも見ることができる。図-7 に重力場と遠心力場でのシナリオ

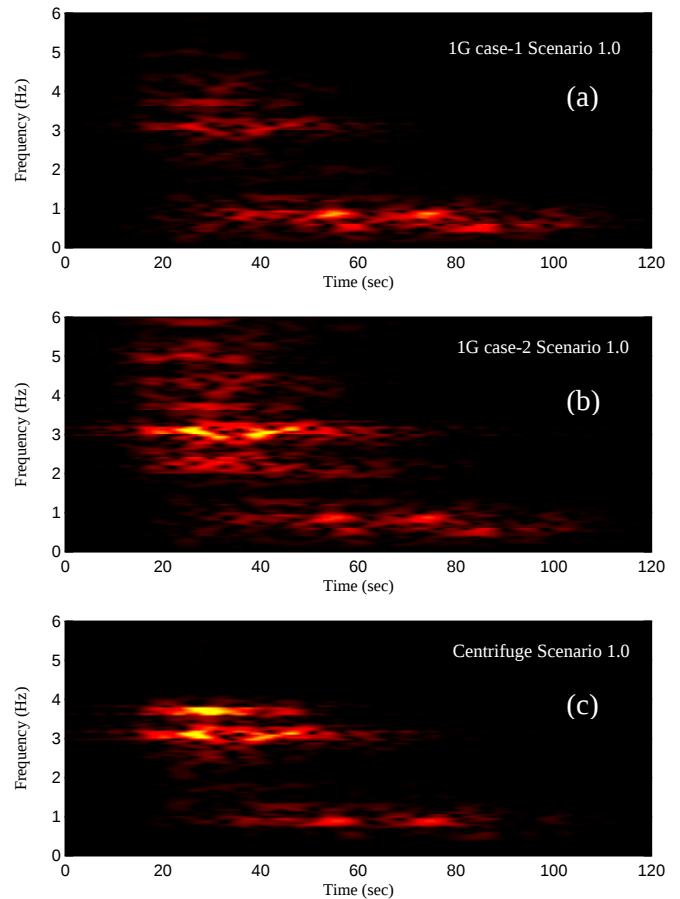


図-8 シナリオ波加振での振動台加速度の非定常スペクトル
 (a) 重力場case-1シナリオ波1.0倍,
 (b) 重力場case-2シナリオ波1.0倍,
 (c) 遠心力場シナリオ波1.0倍
 バンドパスフィルターにより各周波数近傍で抽出された波の包絡線を求め、それらを周波数軸（縦軸）に沿って並べたもの。

波加振時におけるそれぞれの振動台加速度のフーリエスペクトルを示す。重力場、遠心力場での 1.0 倍のシナリオ波を比較すると、遠心実験では重力場と比べて短周期成分は多く含まれているが、0.8Hz より小さい長周期域の成分があまり再現されていない。これは、使用した油圧サーボ式の振動台が持つアクチュエーターの容量の限界により、シナリオ波の周期の長い揺れを再現することが困難であったためである。遠心力場での 0.5 倍のシナリオ波加振でも、長周期域では目標に比べて振幅が小さい。重力場実験での case-1 と case-2 の比較では、振動台加速度のフーリエスペクトルが目標スペクトルと一致するように制御する補正加振を行った case-2 では目標波形をよく再現できているが、補正加振を行わなかった case-1 では短周期域の成分があまり含まれていない。

入力波の周波数特性の非定常性を示すため、図-8 にシナリオ波加振での振動台加速度の非定常スペクトルを示す。これらの図から、シナリオ波の特徴として、2Hz 以上の短周期の成分は約 10～60sec

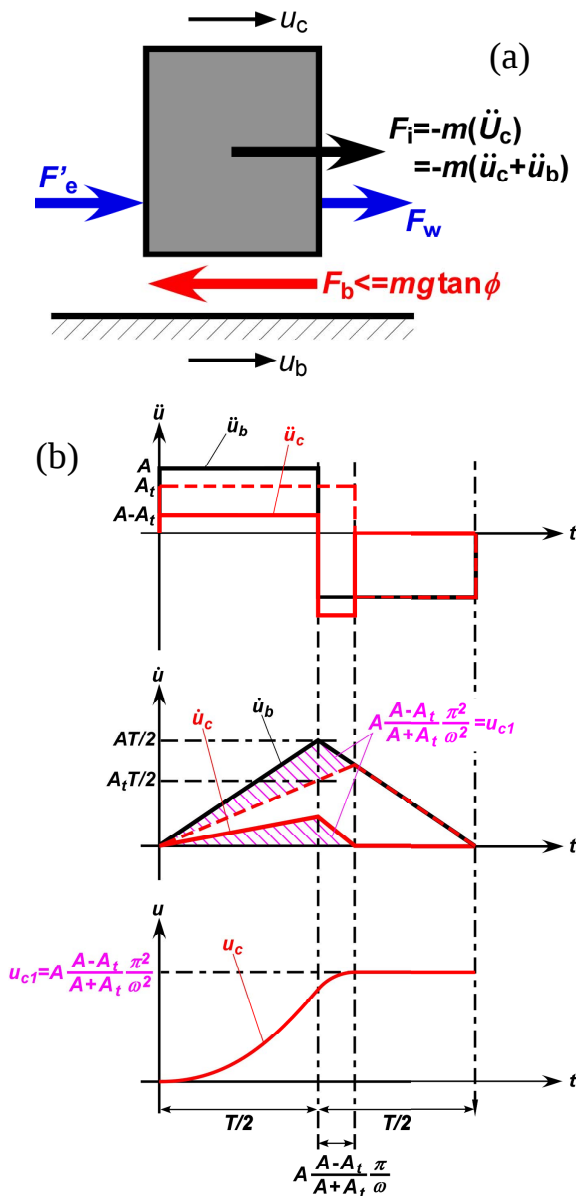


図-9 Newmarkの剛体滑動モデル
(a) 考慮する外力,
(b) 矩形波入力時の振幅, 周期と変位量の関係

で大きく, 1Hz 以下の長周期成分は約 40~80sec に多いことが示されている。ただし実験ケースごとにそれらの成分の大小は異なり, 重力場の case-1 の実験では長周期成分は多く含まれているが, 遠心実験ではあまり含まれておらず, 特に 1Hz より小さい成分はほとんど見られない。

この図と図-3 の変位時刻歴を見比べると, 重力場の case-2 の 1.0 倍のシナリオ波加振では 20sec 付近から変位が徐々に生じ始めるが, これは 3Hz を中心とする短周期の成分が大きく寄与していることが想像できる。一方 case-1 では, 55sec と 75sec 付近で変位が大きくなっているが, これは 1Hz 以下の長周期成分が大きいためであることが分かる。このように, 非定常スペクトルを見ることで, どの周期域の成分が変位に寄与しているかを見るこ

とができる。

(3) Newmark の剛体滑動モデルおよび長継続時間および長周期成分の影響

前項において検討したように, ケーソン変位は地震動の特性との関係が予想されるが, その詳細は明らかでない。そこで, ここではケーソン変位を底面での滑動によるものとし, Newmark の剛体滑動モデルを用いて, ケーソン滑動に対するメカニズムおよび長周期成分, 継続時間の影響について検討する。

ケーソンに作用する力として, 慣性力, 前面での動水圧, 背面での土圧を考慮する (図-9(a))。慣性力はケーソン底部での慣性方向の加速度にケーソン質量を乗じたものとし, 動水圧は Westergaard の近似式を用いて算出した。ケーソンの底面摩擦については, 設計条件をもとに $\tan \phi = 0.6$ とした。図-10 に Newmark の剛体滑動モデルを用いて求めた変位と実験結果をあわせて示す。遠心実験では計測チャンネル数の制限によりケーソン背面の土圧を計測していないため, ここでは模型設計時に用いた $k_h = 0.15$ の物部・岡部の地震時土圧を用いることとした。重力場実験では計測された土圧と $k_h = 0.15$ の地震時土圧のそれぞれについて計算しており, case-1 の 1.0 倍シナリオ波加振では残留変位に少し差が見られるが, 他のケースではほぼ同等であり, 変位の生じる時間は一致している。また case-1 のシナリオ波加振ではそれまでに既に 4 度加振しているのに対して, case-2 は模型地盤を作成したあとの最初の加振 (表-4 参照) であり, より変位が生じやすかったと考えられる。図-10(d, e) の遠心実験では, 計算による残留変位は実験結果よりも小さい。前々項の図-4 で述べたように, 遠心実験では遠心力载荷前にパイプレタにより海底地盤部の締固めを行っており, 重力場実験ほど密ではなく, 海底地盤の変形によるケーソン変位が生じやすかったと考えられる。

Newmark モデルによる計算結果は, 実験によるものと完全には一致しないが, 各ケースの大小関係は示している。また, 振動中における変位の生じる時間については実験結果とよく一致している。したがって, このモデルの詳細を検討することによって, ケーソン変位のメカニズム, 入力地震動との関係を明らかにできると考えられる。

剛体滑動モデルにおいて, 滑動限界を超える矩形波が 1 波入力したときのその振幅, 周期と変位量の関係を検討する (図-9(b))。簡単のためにケーソン前面での動水圧は無視すると, 以下のような式が導かれる。

$$u_{c1} = A \frac{A - A_t}{A + A_t} \frac{\pi^2}{\omega^2} \quad (1)$$

$$A_t = \frac{mg \tan \phi - F_e'}{m} \quad (2)$$

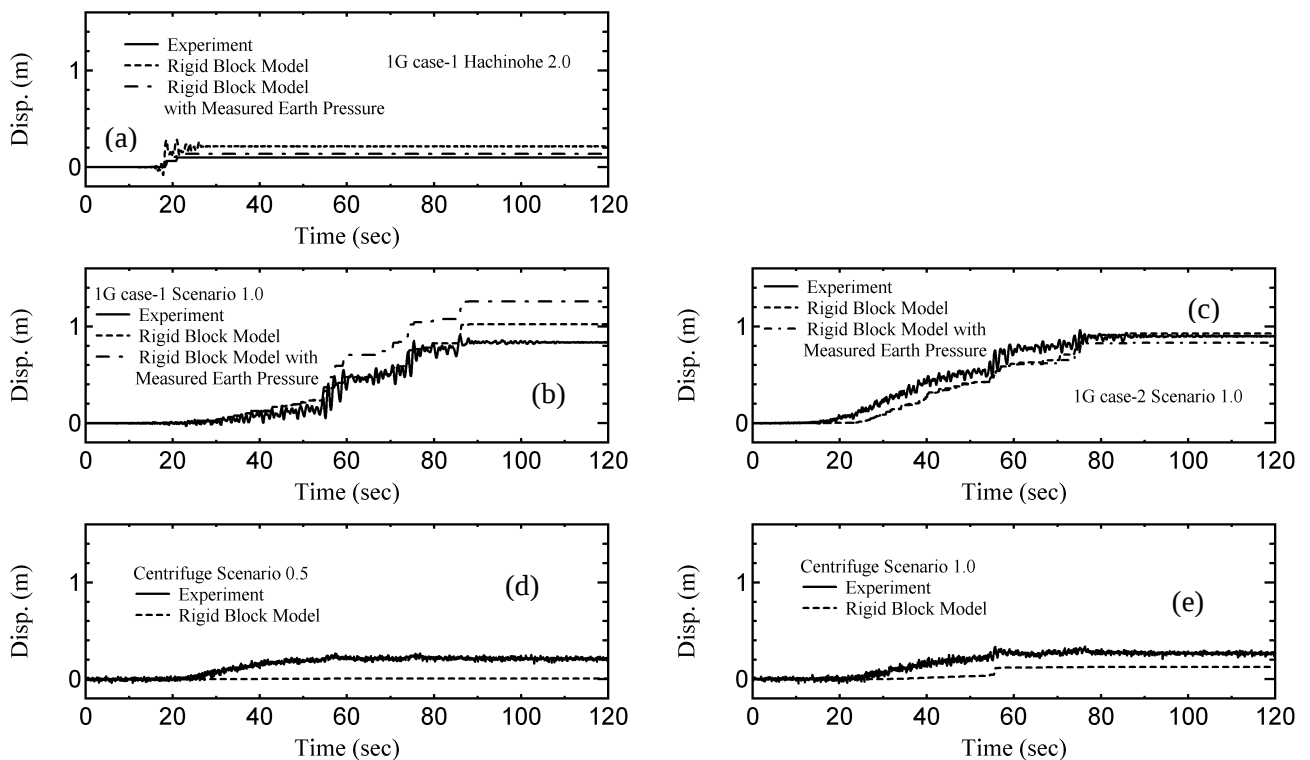


図-10 Newmark剛体滑動モデルによる計算値と実験結果の比較

(a)重力場case-1八戸波2.0倍加振, (b)重力場case-1シナリオ波1.0倍加振,
(c)重力場case-2シナリオ波1.0倍加振, (d)遠心力場シナリオ波0.5倍加振,
(e)遠心力場シナリオ波 1.0 倍加振

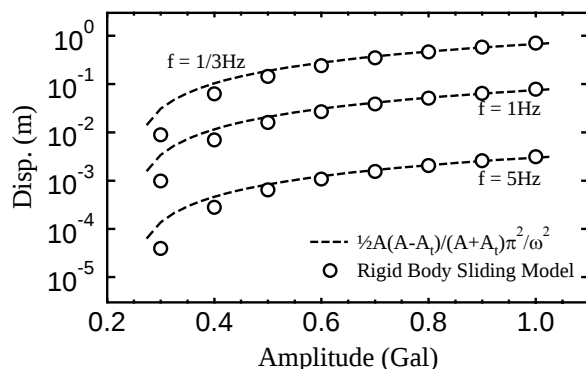


図-11 Newmark 剛体滑動モデルにおける正弦波 1 波
入力時の滑動変位と加速度振幅の関係

ここで, u_{cl} : ケーソンの滑動変位
 A : 入力加速度振幅 (矩形波)
 A_r : 滑動限界加速度
 ω : 角振動数, $=2\pi f$
 m : ケーソン質量
 g : 重力加速度
 ϕ : ケーソン底面摩擦角
 F_e : ケーソンへの水平力 (土圧,
 残留水圧等)

したがって, 矩形波を 1 波入力したときの変位
 量は周波数の 2 乗に反比例 (周期の 2 乗に比例) す

る. 加速度振幅については少し複雑であるが, そ
 れでも, その値が大きくなるにつれて振幅の比例
 に収束する. 図-11 は剛体滑動モデルによる, 正
 弦波を 1 波入力したときの加速度振幅と変位の関
 係を示している. 図中には式(1)での $u_{cl}/2$ の値もあ
 わせて示しており, 剛体滑動モデルによる計算値と
 それほど大きな差は無い. よって正弦波による変
 位も矩形波と同様に式(1)を基準に考えることが
 でき, 加速度振幅, 周期と関係付けることができる.

実際の不規則な地震動の周期成分を検討する場
 合は, フーリエ解析により, それに含まれる周期
 成分の大小を検討することが多い. しかしその場
 合, 時間領域における振幅の大きさの情報は失わ
 れてしまう. Newmark の剛体滑動モデルのような
 非線形な挙動を検討するときにはそれでは不十分
 であり, 時間領域における振幅の大きさが重要と
 なる. したがってここでは, 加速度時刻歴をゼロ
 クロッシング法によって分析し, 加速度振幅と周
 期との関係を検討することとした (図-12). こ
 こでは, 剛体滑動モデルでの入力波の変位に与え
 る効果と同等にするため, 加速度時刻歴はケーソ
 ン底部での加速度とし, 振幅はゼロクロッシング
 で求められた 1 波での正の極大値としており, 負
 の値は無視している. 式(1)に示したように, 一つ
 の波による変位は周期の 2 乗に比例する. また, 大
 まかに言えば, 加速度振幅にも比例する. したが
 ってこの図において, 設計震度 $k_h=0.15$ を超える加

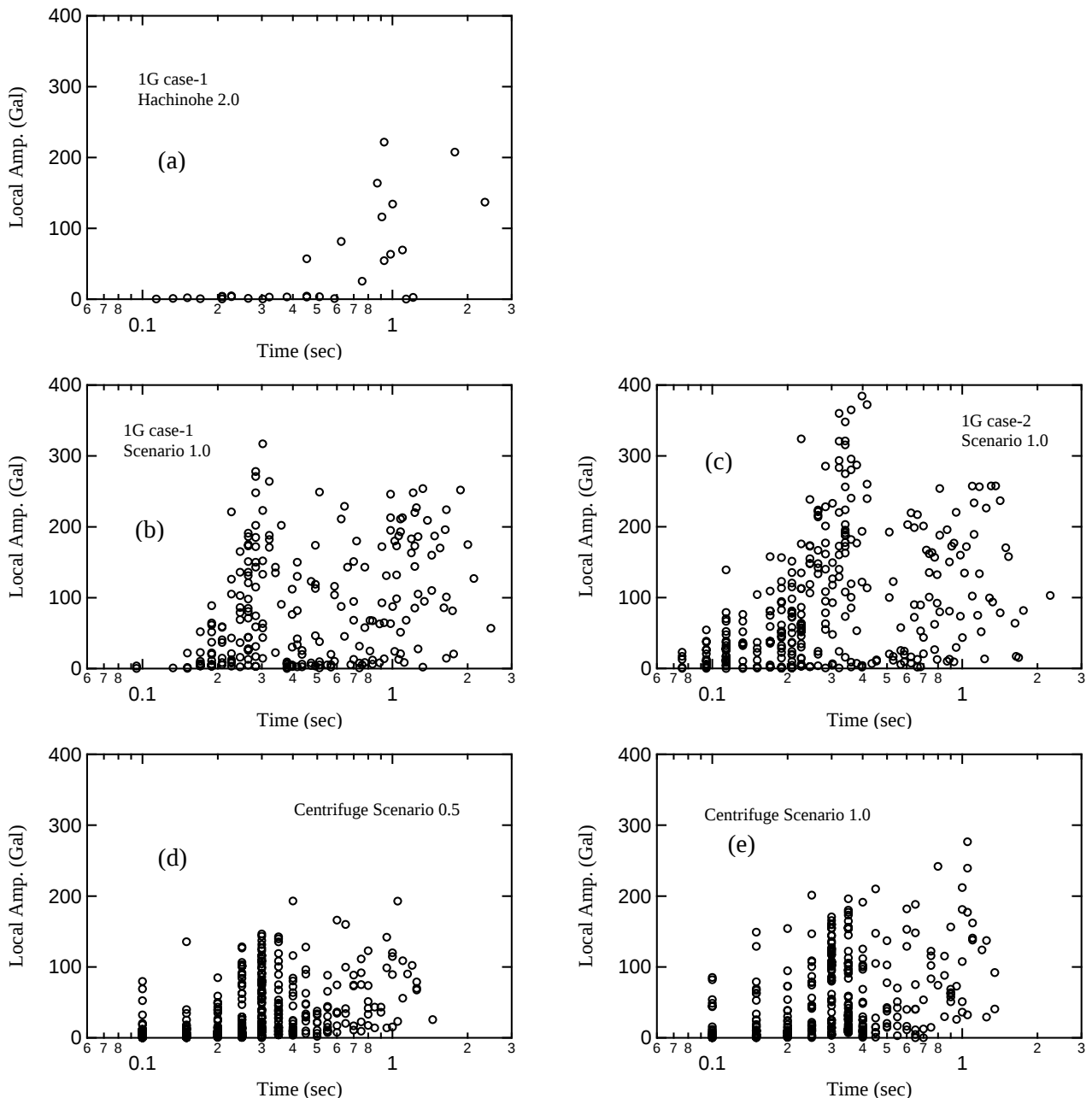


図-12 ゼロクロッシング法により求められた周期と局所加速度振幅の関係
 (a)重力場case-1八戸波2.0倍加振, (b)重力場case-1シナリオ波1.0倍加振,
 (c)重力場case-2シナリオ波1.0倍加振, (d)遠心力場シナリオ波0.5倍加振,
 (e)遠心力場シナリオ波 1.0 倍加振

速度の波の数が多いほど変位は大きくなり、周期が長い波が多く含まれているほど、それぞれの周期の 2 乗に比例した変位が累積して大きくなる。また言い換えれば、設計震度を超える各点（各波）についての変位（たとえば式(1)のような振幅および周期との関係を用いて求めた変位）をすべて足し合わせると、その入力波によるケーソンの残留変位となる。

結果を比較すると、八戸波加振では設計震度 $k_h=0.15$ を超える加速度の波が周期 1sec 以上で数波ある程度なのに対して、シナリオ波では短周期から長周期まで数多く存在し、継続時間が長いことを表現している。また重力場、遠心力場でのシナ

リオ波加振の結果を比較すると、遠心力場での実験では長周期側に加速度の大きな波があまりなく、短周期側に多く分布している。遠心力場での 0.5 倍と 1.0 倍のシナリオ波加振を比較すると、加速度振幅は 0.5 倍加振のほうがやや小さいが、振幅-周期の分布の差は重力場実験との差に比べて小さい。式(1)に示したように、一つの波による変位は周期の 2 乗に比例するため、長周期側に大きな加速度の波を多く持つ重力場実験のほうが、ケーソンの滑動を大きくしやすい。よって、このことが要因で重力場での実験は遠心力場での実験よりも変位量が大きくなったと考えられる。

図-12においては、ケーソン底部の加速度を分析

しているため、そこには基盤から入力した波が岸壁の動的特性によって応答したものが含まれている。これは構造物の応答特性を考慮しない Newmark の滑動モデルに対応させたためである。よって、純粋に滑動挙動だけを考慮すると、加速度の振幅と周期は式(1)のように影響する。構造物の応答も考慮に入れて地震動の周波数特性の影響を検討する場合には、三浦ら¹⁾や風間ら²⁾のような質点-バネ系の振動・滑動モデルを用いて検討する必要がある。

4. まとめ

本研究では、長周期・長継続時間地震下における重力式岸壁の挙動を検討するため、現行の設計で用いられる従来型のレベル 2 地震動および、構造物の建設予定地点について個別に推定したレベル 2 地震動の例を用いて振動台実験を行った。結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 重力場および遠心力場において、液状化を発生させない条件で模型振動実験を行った。それぞれのケースでの模型の振動特性に大きな違いは無く、同等の模型を作成することができた。シナリオ波の入力加速度レベルは八戸波と同等あるいは 2 倍に達しないレベルであっても、それらの比率以上にケーソン残留変位は大きく異なった。
- (2) シナリオ波による加振での振動台加速度は、用いた振動台の性能により、遠心力場では重力場と比較して短周期成分が大きく、長周期成分は小さくなった。重力場実験においては、case-1 では短周期域の成分があまり含まれておらず、case-2 でより目標波形を再現できた。これらの非定常スペクトルと変位時刻歴を比較し、変位に寄与した周期域と時刻との関係を示した。
- (3) Newmark の剛体滑動モデルを用いてケーソン変位に与える地震動特性の影響について検討し、1 波の入力では、大まかには、加速度振

幅に比例、周期の 2 乗に比例して変位が大きくなることを明らかにした。これに基づき、ゼロクロス法によって周期と加速度の正の極大値の関係を示し、振幅の加速度時刻歴の分析を行った。その結果、遠心力場の実験では加速度の大きな長周期成分を再現できなかったために、変位量が重力場での実験よりも小さくなったことが明らかとなった。

本研究においては、電源開発 中山義紀氏、JFE 技研 塩崎禎郎氏、大林組 樋口俊一氏に多くの貴重なアドバイスを頂いた。また、港空研構造振動研究室 枝秀紀氏には模型実験の実施において多くの協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 三浦均也, 小濱英司, 吉田望, 渡邊潤平: すべり土塊および抗土圧構造物の固有振動数を考慮した地震時滑動量の推定法, 地震工学論文集, 土木学会, 第28巻, 論文番号 201, 2005.
- 2) 風間基樹, 鈴木崇, 小濱英司, 菅野高弘: 初期土圧を考慮した重力式ケーソン岸壁の滑動解析, 地震工学論文集, 土木学会, 第28巻, 論文番号092, 2005.
- 3) 長尾毅, 岩田直樹, 藤村公宜, 森下倫明, 佐藤秀政, 尾崎竜三: レベル 1 地震動に対する重力式および矢板式岸壁の耐震性能照査用震度の設定手法, 国土技術政策総合研究所資料, 第310号, 2006.
- 4) Iai, S.: Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1G Gravitational Field, Report of the Port and Harbour Research Institute, Vol.27, No.3, pp.3-24, 1988.
- 5) Wald, D.J. and Somerville, P.G.: Variable-Slip Rupture Model of the Great 1923 Kanto, Japan, Earthquake: Geodetic and Body-Waveform Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.85, pp.159-177, 1995.
- 6) 野津厚, 佐藤陽子, 菅野高弘: 羽田空港の地震動特性に関する研究 (第2報) スペクトルインバージョンによるサイト特性, 港湾技術研究所報告, 第42巻, 第2号, pp.251-283, 2003.

(2007.4.6受付)

MODEL SHAKE TABLE TEST ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF GRAVITY TYPE QUAY WALL DURING LONG-PERIOD AND LONG-DURATION EARTHQUAKE MOTION

Eiji KOHAMA, Takahiro SUGANO, Masafumi MIYATA and Takatoshi NOGUCHI

Design input earthquake motions considering influence of characteristics of earthquake source fault and soil deposit are being used in seismic design of structures in recent years. It is becoming necessary to examine the behavior of the structure under ground motions with period and duration property which had hardly been taken into consideration. A series of gravitational and centrifugal model tests was conducted in this study, to investigate influence of long-period and long-duration earthquake motion on gravity type quay walls. Relation of residual displacement of a caisson with wave characteristics is considered, analyzing the test results and examining Newmark's rigid body sliding model.