

### 3.3.4 杭頭半剛接合構法を採用した建物の地震時挙動に関する研究

## 目 次

### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 3ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成15年度業務目的

### (2) 平成15年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法
  - 1) 実験装置
  - 2) 模型試験体
  - 3) 計測項目
  - 4) 実験ケース
- (c) 業務の成果
  - 1) 杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の比較
  - 2) 杭頭半剛接合試験体における上下動入力の影響
  - 3) 杭・基礎梁の曲げモーメント、上部構造物の応答における杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の比較（全実験ケース）
- (d) 結論ならびに今後の課題
  - 1) 結論
  - 2) 今後の課題
- (e) 引用文献
- (f) 成果の論文発表・口頭発表等
- (g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

### (3) 平成16年度業務計画案

- (a) 杭頭半剛接合構法を採用した杭基礎建物と地盤の模型振動実験（半剛接合試験体[変動軸力の大きい建屋モデル]）
- (b) 杭頭接合条件を考慮した実建物の地震時挙動に関する解析的検討
- (c) 杭頭半剛接合構法を採用した構造物の耐震設計法の構築

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 杭頭半剛接合構法を採用した建物の地震時挙動に関する研究

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
大成建設株式会社 技術センター 建築技術研究所 構工法研究室	室長	真島 正人
	課長	長尾 俊昌
		石崎 定幸
	課長代理	青島 一樹
	課長代理	船原 英樹

(c) 業務の目的

1995年兵庫県南部地震では、杭頭部の破壊によって、多数の構造物に不同沈下や傾斜などの被害が生じた。これらの被害事例によって、従来の杭頭接合方法（剛接合）が過大な地震力に対しては不利であることが再認識された。これを契機に、杭頭をピン接合や半剛接合とする新しい杭頭接合方法（以後、杭頭半剛接合構法と総称する、図1参照）の研究開発が精力的に進められ、地震時に杭頭部や基礎梁の応力を低減し、耐震安全性向上に有効であることが明らかにされつつある。しかし、既往の研究では、主に杭頭接合部の構造性能に着目した静的な検討（写真1）に留まっていることが多く、動的相互作用を考慮した構造物全体での有効性を実験的に検証したものは少ない。

本研究では、杭頭半剛接合構法による建物を対象として、杭および建屋の地震時挙動を解析並びに実験を通じて明らかにするとともに、合理的な耐震設計手法を構築することを目的とする。

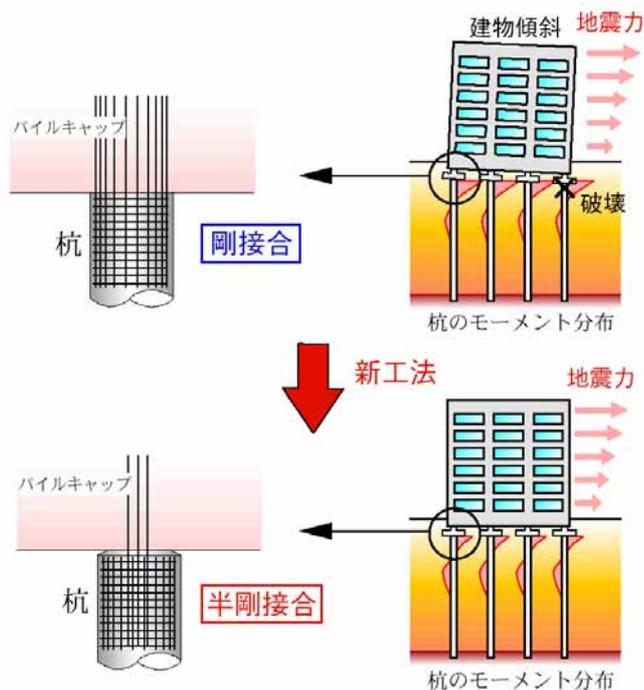


図1 杭頭半剛接合構法の効果



剛接合（従来工法）



半剛接合（新工法）

写真 1 静的構造実験による検証事例

(d) 3 ヶ年の年次実施計画

1) 平成 14 年度：

既往の研究事例に関する文献調査

杭頭接合条件を考慮した実建物の地震時挙動に関する解析的検討

2) 平成 15 年度：

杭頭半剛接合構法を採用した杭基礎建物と地盤の模型振動実験（杭頭剛接合、半剛接合試験体[変動軸力の小さい建屋モデル]）

3) 平成 16 年度：

杭頭半剛接合構法を採用した杭基礎建物と地盤の模型振動実験（杭頭半剛接合試験体[変動軸力の大きい建屋モデル]）

杭頭接合条件を考慮した実建物の地震時挙動に関する解析的検討

杭頭半剛接合構法を採用した構造物の耐震設計法の構築

(e) 平成 15 年度業務目的

杭頭半剛接合構法を採用した杭基礎建物と地盤の模型振動実験を実施し、杭頭半剛接合構法の杭基礎被害軽減に対する有効性と、上部構造物の応答に与える影響を検証する。また、杭頭半剛接合構法を採用した建物の設計上留意すべき事項を抽出する。

(2) 平成 15 年度の成果

(a) 業務の要約

杭頭接合方法（剛接合・半剛接合）、上部構造物周期（長周期・短周期）、入力地震波、上下動の有無をパラメーターとした杭基礎建物と地盤の模型振動実験を実施した。実験結果から、1）杭頭半剛接合試験体では、剛接合試験体と比較して、杭・基礎梁の曲げモーメントが低減すること、2）杭頭接合条件が建屋応答に与える影響は少ないこと、3）杭頭半剛接合試験体では、転倒モーメントによる軸力変動の影響により、押込み側と引抜き側で杭頭曲げモーメントに差異が生じることなどを明らかにした。

(b) 業務の実施方法

1) 実験装置

実験には、大成建設株式会社所有の3軸振動台およびせん断土槽(2.7(W)×1.2(D)×1.5m(Z))を使用した。表1に3軸振動台の仕様を示す。

表1 3軸振動台の仕様

積載荷重	最大196kN
振動台寸法	4 m × 4 m
最大変位	X ±20cm, Y ±20cm, Z ±10cm
最大速度(単軸加振)	X ±100cm/s, Y ±100cm/s, Z ±50cm/s
(3軸加振)	X ±45cm/s, Y ±45cm/s, Z ±22.5cm/s
最大加速度	X ±1.0G, Y ±1.0G, Z ±1.0G
加振振動数	DC ~ 50Hz

2) 模型試験体

a) 想定した建物、基礎および地盤

想定した建物、基礎および地盤は表2に示す通りである。

表2 想定した建物、基礎および地盤

建屋	短周期	RC造11階建てラーメン構造, 6×6m スパン(周期 0.8s), 重量: 6500kN/杭一本
	長周期	S造14階建てラーメン構造, 6×6m スパン(周期 1.5s), 重量: 6500kN/杭一本
杭	場所打ちRC杭, 軸部 1200mm	
地盤	表層地盤深さ 25m, $\gamma=16\text{kN/m}^3$ , N値 10, $V_s=150\text{m/s}$ 程度	

b) 模型則

模型則には、井合<sup>1)</sup>が示した「1G場の地盤-建物-流体系の振動台実験における相似則」を採用した。井合の模型則では、3つの物理量「長さ、密度、ひずみ」の比をもとに、1G場における他の物理量の相似則を表3のように誘導している。

実験で作成する模型地盤は、単位体積重量  $16\text{kN/m}^3$  程度であり、密度の相似比は ( $\rho_m/\rho_s=1$ ) となる。次に、模型地盤の目標せん断弾性波速度は  $150\text{m/s}$  程度であり、想定地盤のそれと等しい。また、せん断弾性係数が原地盤・模型地盤共に、拘束圧の  $1/2$  乗に比例すると仮定すれば、原地盤と模型地盤の対応する深さでのせん断弾性係数は等しくなる。以上から、せん断弾性係数の相似比の条件より ( $\mu_m/\mu_s=1$ ) となり、( $\rho_m/\rho_s=1$ ) が成立する。以上より、実験の相似則は、長さの縮尺 ( $L_m/L_s=1/15$ ) のみを用いて表3のように表すことができる。

なお、せん断土槽の大きさ、三軸振動台の加振限界振動数を考慮して、長さの縮尺は  $1/15$  とした。

表 3 実験で採用した模型則

物理量		1G場における模型実験の相似比 <sup>1)</sup>	今回の実験での相似比	
			( $\rho = 1, \mu = \mu, L = L$ )	$L = 15$
長さ		$1/L$	$1/15$	$1/15$
密度		$1$	$1$	$1$
ひずみ		$1/15$	$1/15$	$1/15$
全応力		$1/L$	$1/15$	$1/15$
加速度		$1$	$1$	$1$
変位		$1/L$	$1/L^2$	$1/225$
時間		$1/(L)^{0.5}$	$1/15$	$1/15$
力		$1/L^3$	$1/3375$	$1/3375$
地盤	せん断弾性係数	$1/(L/L)$	$1$	$1$
構造物	モーメント	$1/L^4$	$1/15^4$	$1/50625$
	せん断力	$1/L^3$	$1/3375$	$1/3375$
	軸力	$1/L^3$	$1/3375$	$1/3375$
	回転角	$1/L$	$1/15$	$1/15$

c) 模型地盤

模型試験体の全景を写真 2 に、その概要を図 2 に示す。模型地盤は 5 号硅砂を用いて作成した。実験では同一の模型地盤を用いて複数回実験を実施する計画であり、地盤の目標相対密度は 90% 程度とし、加振実験毎の地盤特性の変化をできるだけ少なくした。

地盤の作成方法は、せん断土槽内に 5 号硅砂を散布し、パイプレーターで締め固めながら相対密度 90% になるように管理して作成した。具体的には、事前に相対密度 90% となる単位体積重量を把握しておき、散布する砂の重量と体積（高さ）を管理した。

後述の杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体それぞれに対して地盤を製作し、相対密度はそれぞれ 94%、92% であった。加振前後の相対密度の変化はわずかであった。

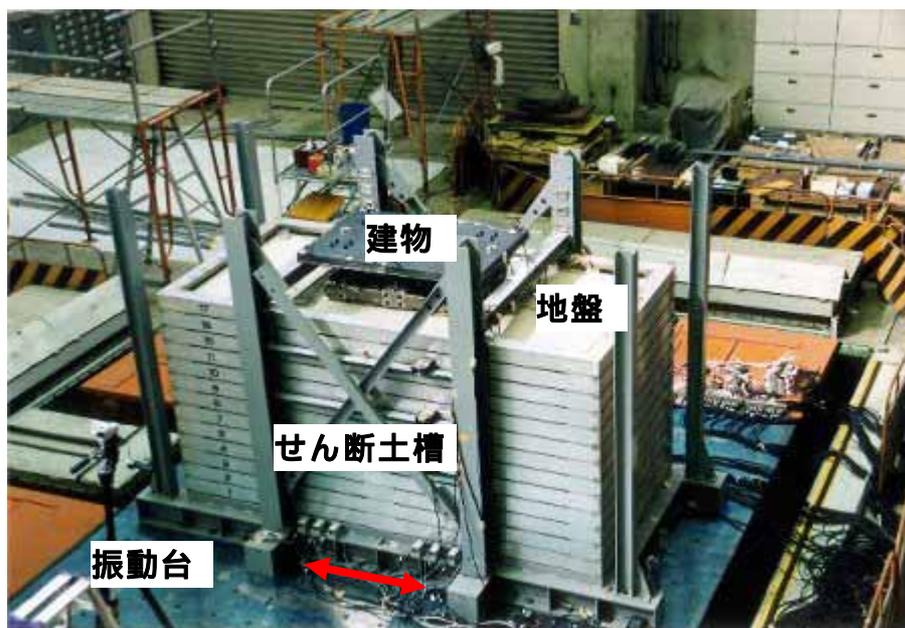


写真 2 試験体全景

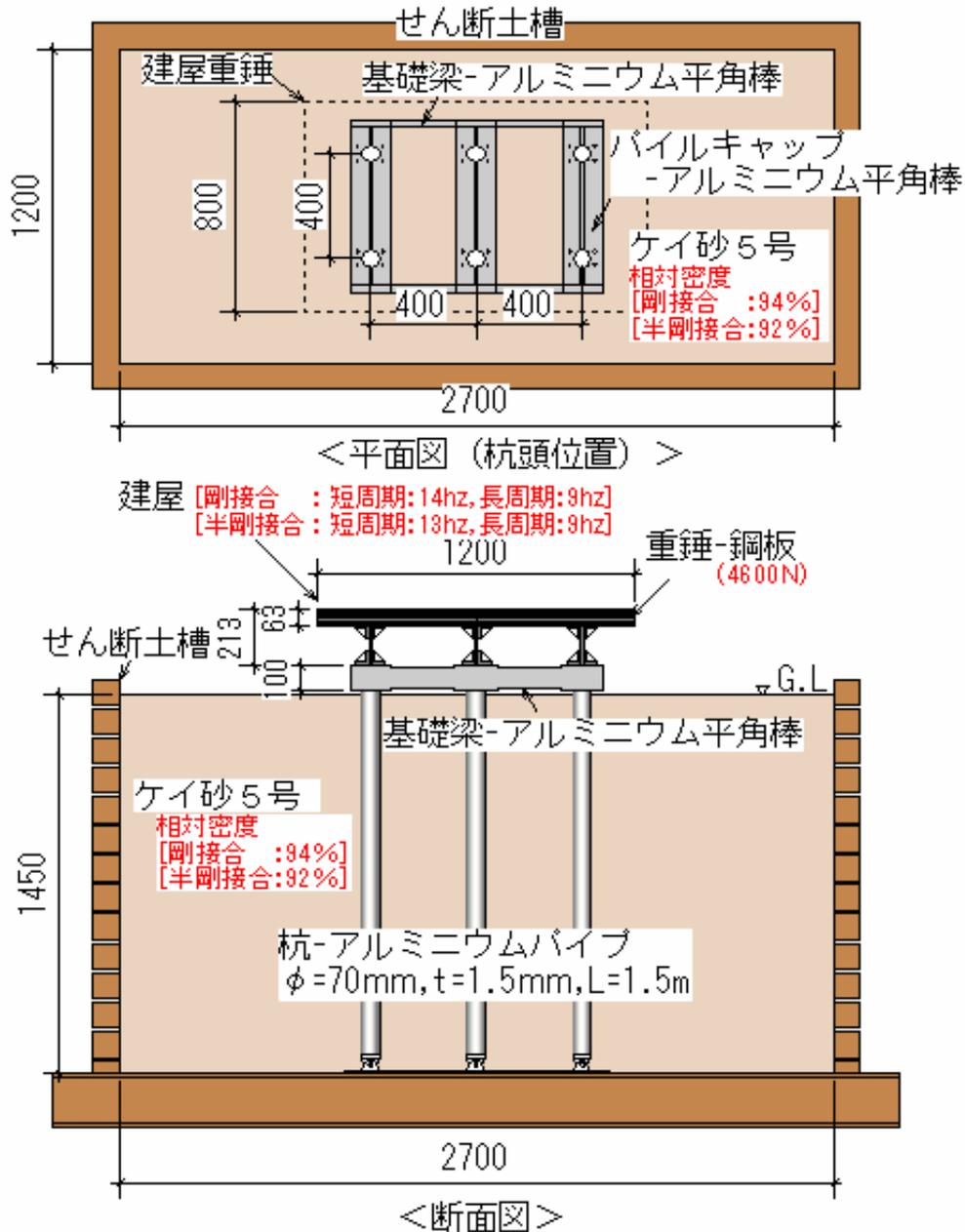


図2 模型試験体概要

d) 模型杭

模型杭の諸元を表4に示す。杭は、端杭と中杭の応力状態の差異を把握するため加振方向2スパン（奥行き方向1スパン）とした。杭先端はピン条件とした。杭頭部は剛接合あるいは半剛接合としてパイルキャップに結合し、パイルキャップを基礎梁で連結した（図2）。

表4 模型杭の諸元

材質	外形 mm	肉厚 m	内径 mm	断面積 mm <sup>2</sup>	断面2次モーメント mm <sup>4</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>
アルミニウム合金	70	1.5	67	323	189000	7.06E+04

e) 杭頭接合部

剛接合

剛接合の仕様は、杭頭部に石膏を充填し、二つ割したパイルキャップ（アルミニウム平角棒）で挟み込む方式とする（写真3）。

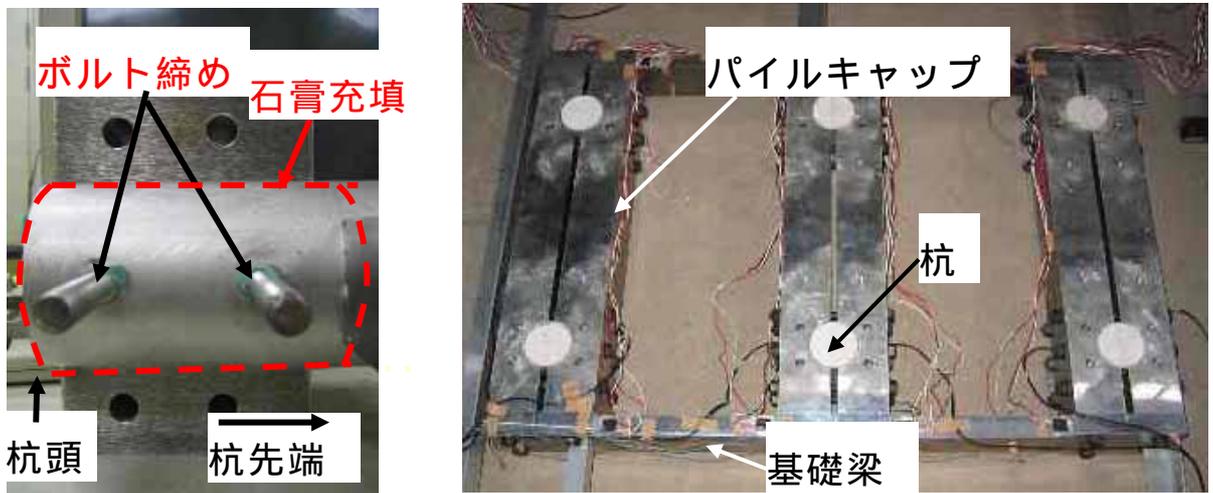


写真3 杭頭接合部（剛接合試験体）

半剛接合

半剛接合の仕様は、実物同様に<sup>2)</sup>、杭頭部にパイルキャップを載せただけの構造とする（図3、写真4）。杭の固定度は、杭頭接合面の軸力を管理することにより調整できる仕組みとなっている。実験では、建屋基礎架構を組み立てた際に、特定の杭がパイルキャップと接しない可能性が考えられた。そのため、杭頭部とパイルキャップを繋ぐ軸力導入用ボルトを設け、プレストレスを導入した。

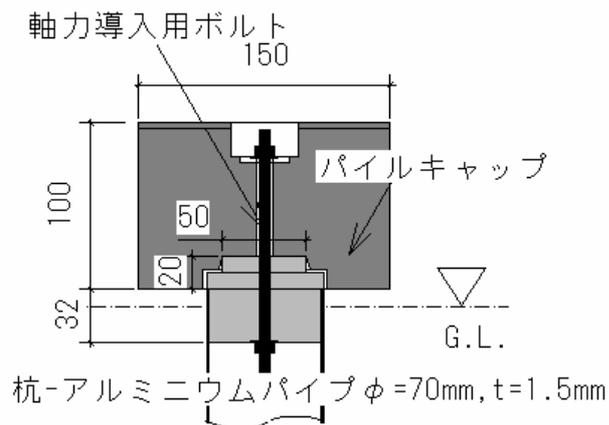


図3 杭頭接合部断面図（半剛接合試験体）



写真4 杭頭部（半剛接合試験体）

杭頭接合部については、あらかじめ予備実験を実施し、その回転性能を把握している。実験方法は図4に示す片持ち梁形式とし、杭頭部にモーメントを作用させた。杭頭半剛接合試験体については、初期軸力を変えて試験を実施した。杭頭部の曲げモーメント-回転角の関係を杭頭剛接合と半剛接合試験体で比較して図5に示す。杭頭半剛接合試験体の曲げ

モーメント-回転角の関係は、剛接合試験体と比べて、初期剛性が小さく、モーメントが大きくなるに従い回転角が急激に増大している。

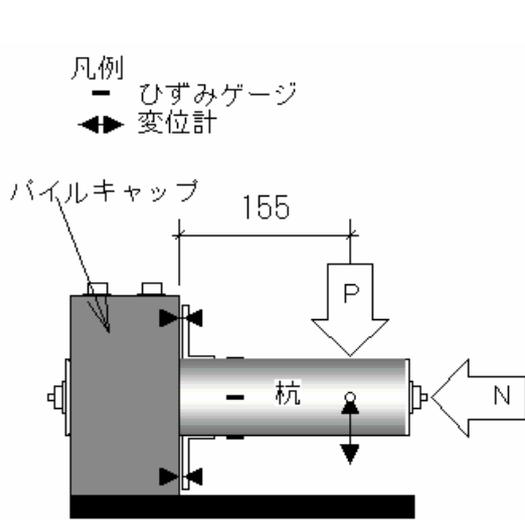


図4 杭頭接合部予備試験方法

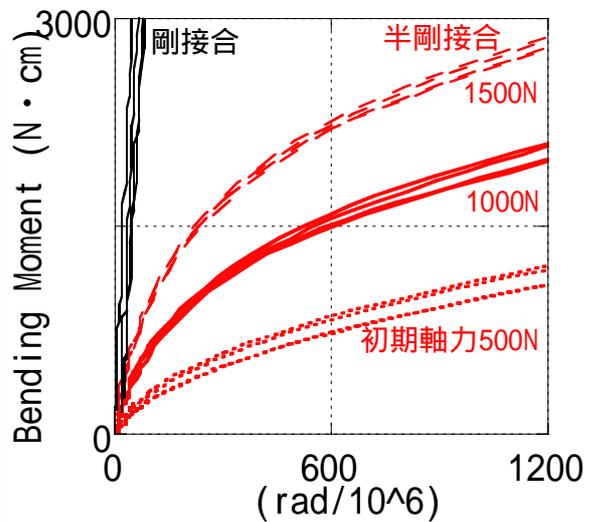


図5 杭頭接合部予備試験結果

#### f) 建屋架構

建屋は、重錘（4650N）と板バネから構成され、パイルキャップ上にアングルを用いて固定している。今回の実験では、重錘の高さを短周期モデルと長周期モデルで同一とし、想定した周期になるよう板バネの厚みを調節した。写真5に建屋架構を示す。

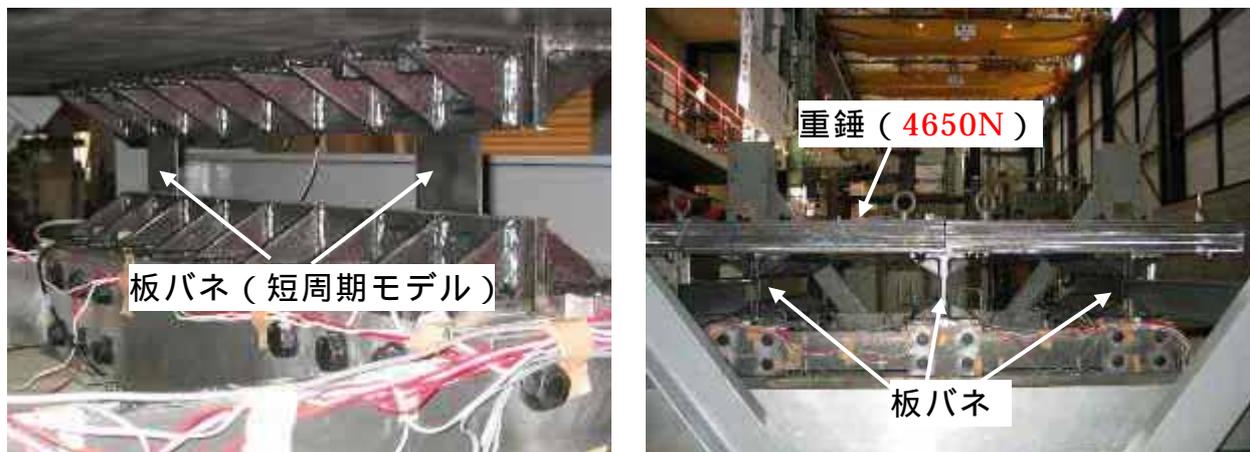


写真5 建屋架構

#### 3) 計測項目

動的な計測項目を表5に、その概要を図6に示す。また、杭頭半剛接合試験体については、加振前に、杭および杭頭接合部の軸力導入用ボルトのひずみを測定し、初期軸力を把握した。

表5 動的な計測項目

項目	部位	方向	測点数	合計
加速度	地盤	水平	7	
		鉛直	5	
	杭	水平	5	
		鉛直	3	
	基礎	水平	2	
		鉛直	4	
		面外	1	
建屋	水平	2		
	鉛直	2		
	面外	1		
振動台	水平	2		
	鉛直	2		
	面外	1		
	変位計計測フレーム	水平	1	38
ひずみ	杭	曲げ	22	68(71)
		軸	34	
	基礎梁	曲げ	6	
		軸	4	
上部構造物	軸	2		
杭頭半剛接合部ボルト	軸	(3)		
変位	杭頭部	上下	6	12
	基礎	水平	2	
	上部構造物	水平	1	
	せん断土槽	水平	3	
合計				118(121)

ただし、( )内は杭頭半剛接合試験体

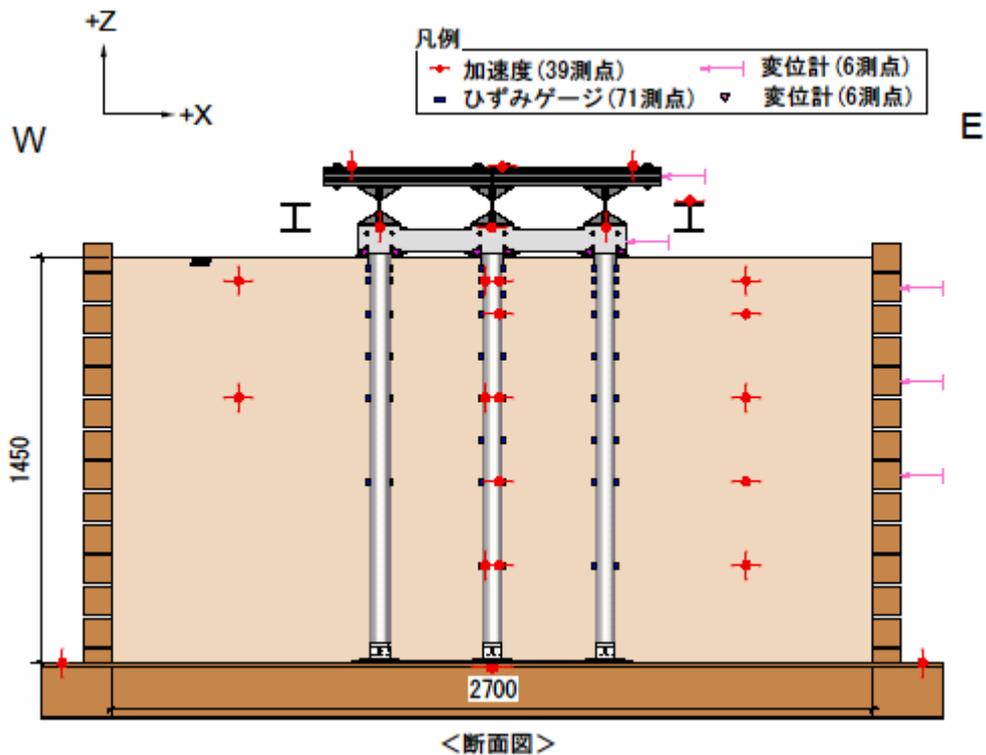


図6 計測項目の概要

#### 4) 実験ケース

試験体ケースおよび加振ケースを表 6、7 に示す。

表 6 試験体ケース

杭頭接合条件	建屋	建屋の固有周期 (s)
杭頭剛接合	短周期モデル	0.069
	長周期モデル	0.113
杭頭半剛接合	短周期モデル	0.077
	長周期モデル	0.113

表 7 加振ケース

No	入力レベル	入力波	上下動
1	30gal	ホワイトノイズ	無
2	レベル1	地震波(告示波)	無
3	レベル1	地震波(八戸波)	無
4	レベル1	地震波(八戸波)	有
5	レベル2	地震波(告示波)	無
6	レベル2	地震波(八戸波)	無
(7)	レベル2	地震波(八戸波)	有

まず、試験体の振動特性を把握する目的で、最大加速度 30gal のホワイトノイズ加振を行った。ホワイトノイズ加振において、建屋加速度とパイルキャップ加速度のフーリエスペクトルの比より求めた建屋の 1 次固有周期を表 6 に合わせて示す。建屋長周期モデルでは、杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の建屋固有周期は等しいが、短周期モデルでは両者間で建屋固有周期に違いがあった。

地震波加振では、入力波を告示波(模擬地震波)および八戸波 NS 成分(実地震波)とした。告示波は、建告 1461 号をターゲットスペクトル(稀に発生する地震動: レベル 1、極めて稀に発生する地震動: レベル 2)として、一様乱数位相を用いた正弦波重ね合わせ法を用いて作成した。八戸波は、レベル 2 を最大速度 50cm/s、レベル 1 を最大速度 25cm/s として振幅を調整した。また、八戸波加振では、水平上下加振も実施した(杭頭剛接合試験体建屋短周期モデルを除いた試験体については、加振 No.7 八戸波レベル 2 上下動有の実験も実施した)。図 7 に告示波および八戸波レベル 2 の時刻歴波形を示す。

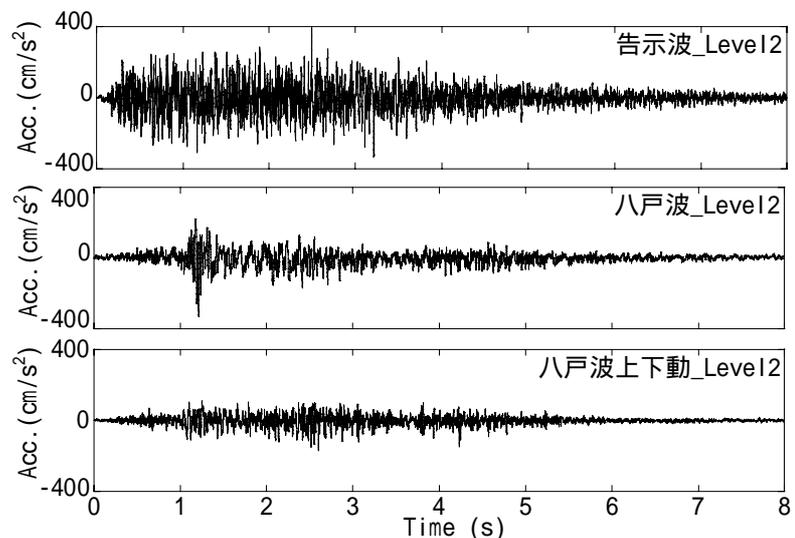


図 7 入力地震波

(c) 業務の成果

1) 杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の比較

ここでは、例として建屋長周期モデル、八戸波レベル2加振の結果について、杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の比較を行う。

建屋に慣性力が作用した時の杭・基礎梁のモーメント分布の模式図を図8に示す。杭頭部および基礎梁の曲げモーメントは図に示す位置で評価した。

杭頭半剛接合試験体の、加振前の杭頭軸力を図9に示す。ここで、杭頭軸力とは、杭のひずみから求めた軸力と軸力導入用ボルトのひずみから求めた軸力を足し合わせて求めている。各杭の軸力はばらついており、杭頭回転性能も軸力に応じて差があると考えられる。そのため以下では、杭・基礎梁のモーメント・せん断力は、各列で平均した値で評価する（例えば、Pile-AとDを平均し、Pile-ADと表す）。

a) 主要な時刻歴

得られた主要な時刻歴を図10に示す。パイルキャップ、建屋の加速度・変位（図10(a)~(d)）には、剛接合と半剛接合試験体の違いは少ない。

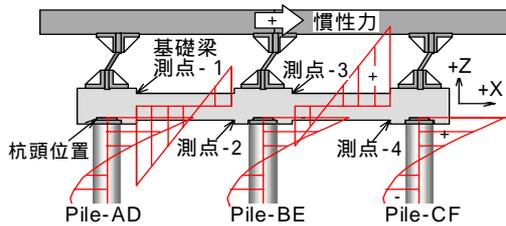


図8 杭・基礎梁に生じるモーメント

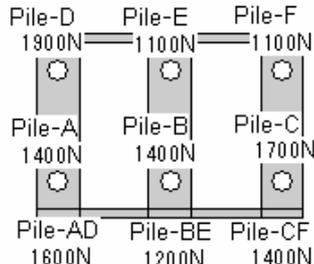


図9 半剛接合試験体の八戸波加振前の軸力

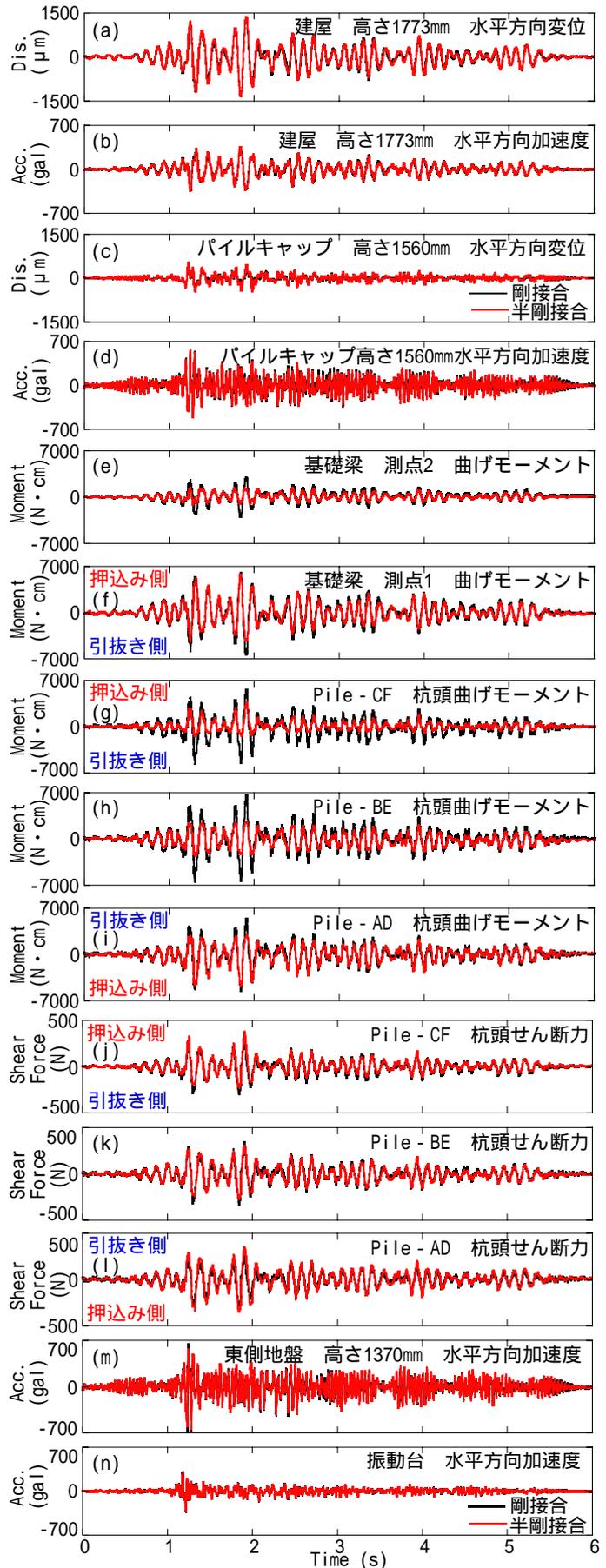


図10 主要な時刻歴

中杭(PileBE)の杭頭曲げモーメント(図10(h))は、剛接合試験体に比べて大きく低減している。一方、端側の杭(PileAD,CF)では、転倒モーメントにより圧縮力が作用する押込み側と引張力が作用する引抜き側で、モーメントの低減傾向が異なっている(図10(g),(i))。すなわち、押込み側の場合、半剛接合試験体のモーメントは剛接合に近い値を示すが、引抜き側の場合、剛接合試験体に比べて大きく低減している。

半剛接合試験体の杭頭せん断力は、各杭でばらつきがある。すなわち、Pile-BEでは、剛接合試験体に比べて若干減少し、Pile-ADでは若干増加している(図10(k),(l))。また、Pile-CFでは、押込み側の場合、剛接合試験体に比べて若干増加している(図10(j))。

#### b) 杭・基礎梁の曲げモーメント分布

建屋の変位が-(マイナス)X側に最大値を示す時刻( $t=1.84375s$ )の杭・基礎梁の曲げモーメント分布を図11に示す。杭頭半剛接合試験体のモーメントは、杭頭剛接合試験体に比べて、杭頭で減少し地中部で増大し、反曲点の位置が高くなっている。また、半剛接合試験体の押込み側杭(PileAD)では、せん断力が集中し、杭頭曲げモーメントが杭頭剛接合試験体に近い値を示している。一方、引抜き側となる半剛接合試験体のPile-CFでは、杭頭モーメントは小さく、杭頭ピン接合条件の曲げモーメント分布に近い形状となっている。

半剛接合試験体の基礎梁の曲げモーメントは、接続する杭の杭頭曲げモーメントに対応し、測点-1では、剛接合試験体に近い値を示し、測点-4では大きく低減している。

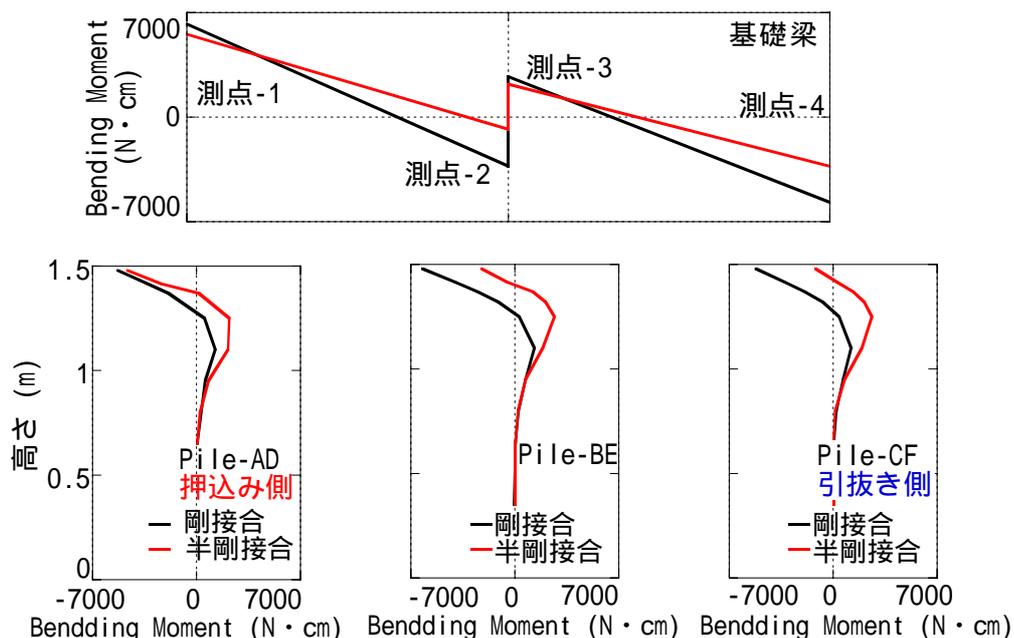


図11 杭・基礎梁の曲げモーメント(建屋-(マイナス)X方向最大変形時)

#### c) 杭頭曲げモーメント-回転角および杭頭軸力-回転角の関係

杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体における杭頭曲げモーメント-回転角の関係を図12(a)~(c)に示す。また、半剛接合試験体については軸力と回転角の関係を図12(d)~(f)に示す。杭頭半剛接合試験体の杭頭曲げモーメント-回転角の関係は、剛接合試験体と比較して初期剛性が低く、非線形弾性的な挙動を示している。また、半剛接合試験体の軸力変動の少ない中杭(PileBE)では、正側と負側でほぼ原点对称の形状を示し、曲げモーメントが頭打ちし、回転角が増大している。一方、端側の杭(PileAD,CF)では、押込み側の場合、

軸力に対応してモーメントが増大し、引抜き側の場合、モーメントは頭打ちし回転角が増大する傾向にある。

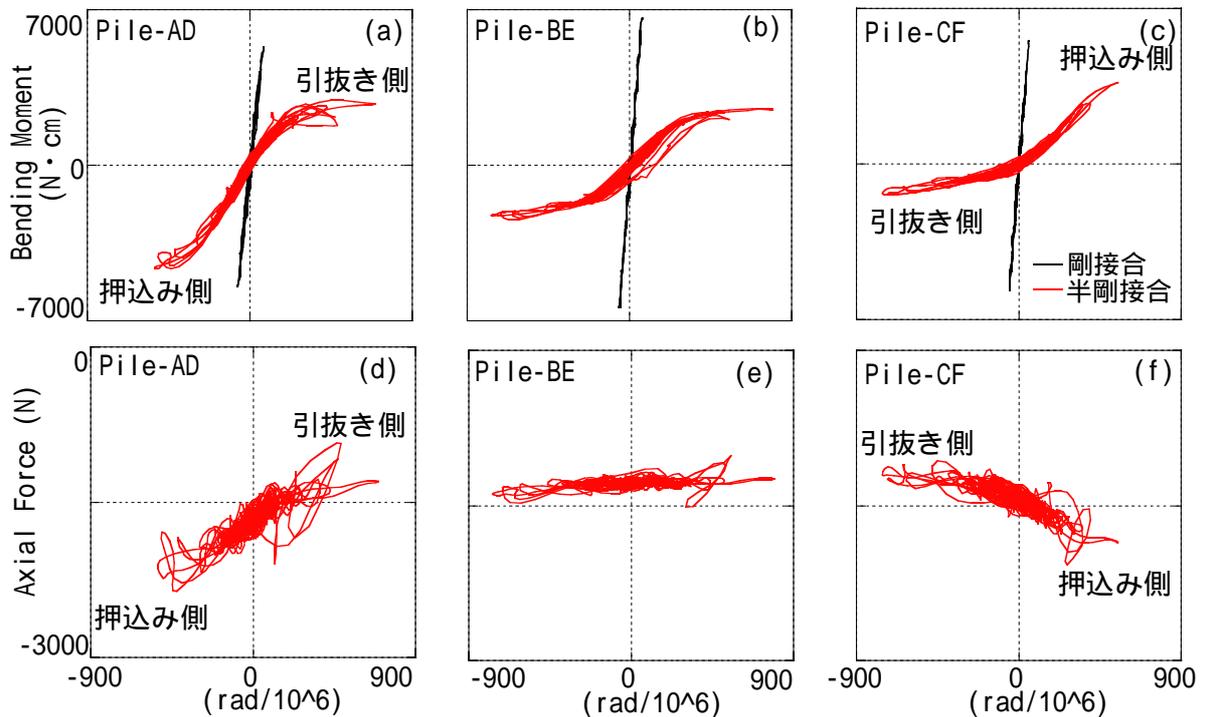


図 1.2 杭頭曲げモーメント-回転角、杭頭軸力-回転角の関係

## 2) 杭頭半剛接合試験体における上下動入力の影響

ここでは、杭頭半剛接合試験体の建屋長周期モデルにおいて、八戸波レベル 2 水平加振と水平上下加振の結果を比較し、上下動入力の影響を検討する。

### a) 主要な時刻歴

建屋加速度、杭頭モーメント・軸力の時刻歴を図 13、14 に示す。水平上下加振の場合、建屋上下方向加速度に上下動の影響が確認でき、杭頭軸力の変動量が增大している(図 13(a),(b),図 14(a)~(c))。一方、建屋水平加速度・杭頭曲げモーメントにおける上下動の影響は顕著でない(図 13(c),図 14(d)~(f))。

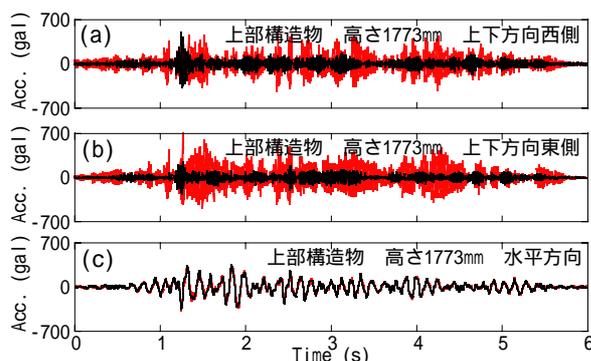


図 1.3 建屋加速度

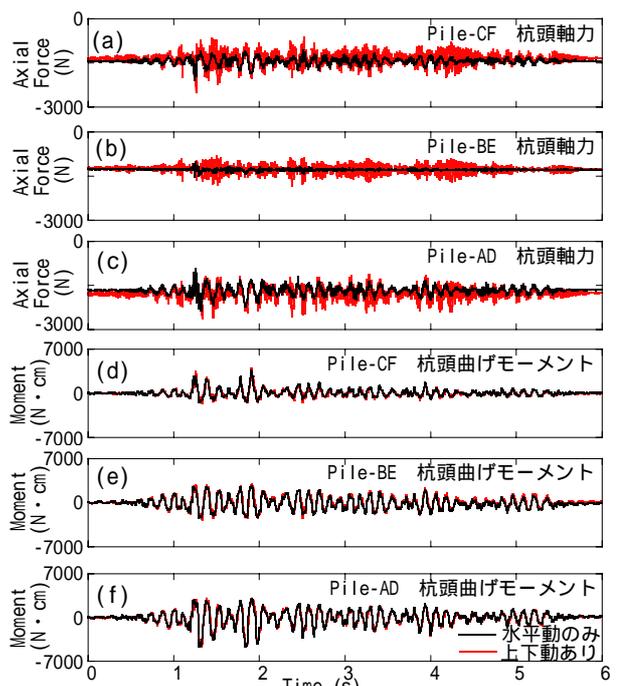


図 1.4 杭頭曲げモーメント・軸力

b) 杭頭曲げモーメント-回転角および杭頭軸力-回転角の関係

杭頭曲げモーメント-回転角の関係、杭頭軸力と回転角の関係を図 1 5 に示す。軸力-回転角の関係において確認できる上下動の影響が、曲げモーメント-回転角の関係にも現れていることがわかる。

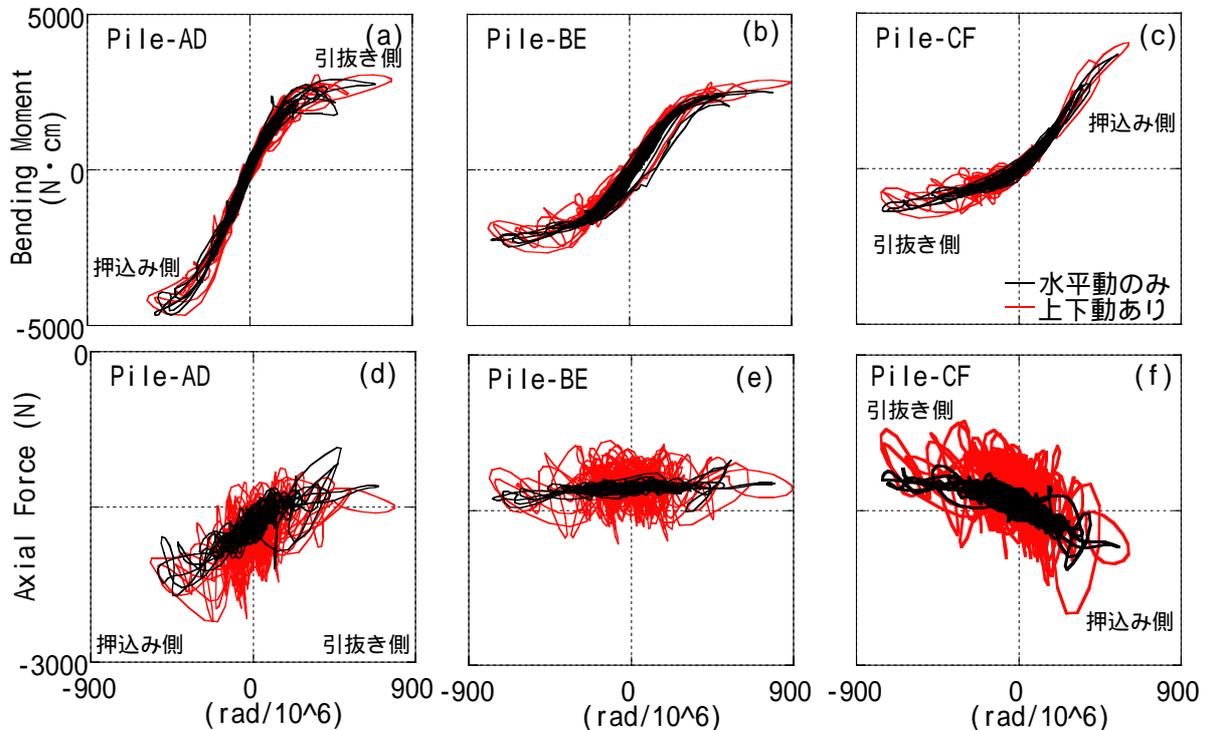


図 1 5 杭頭モーメント-回転角、軸力-回転角の関係

3) 杭・基礎梁の曲げモーメント、上部構造物の応答における杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の比較（全実験ケース）

ここでは、全実験ケースについて、杭・基礎梁の最大曲げモーメントおよび建屋の応答値を剛接合試験体と半剛接合試験体で比較する。杭頭半剛接合試験体の実験前(全加振前)の長期軸力を図 1 6 に示す。長周期モデルでは、端杭の軸力が大きい、短周期モデルでは、中杭に大きな軸力が生じている。また、建屋短周期モデルは、剛接合試験体と半剛接合試験体で、建屋の固有周期が異なっている(表 6)。

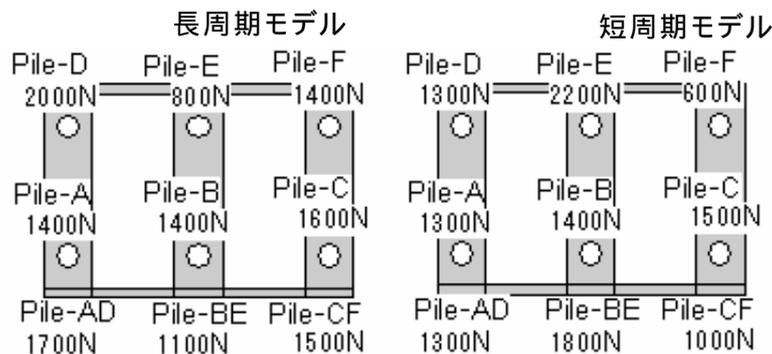


図 1 6 実験前の長期軸力

a) 杭に生じる最大曲げモーメント

杭に生じた最大曲げモーメントを図 17 に示す。ただし、杭の最大曲げモーメントとは、全深度での最大値とする。

1) 杭頭剛接合試験体に生じる最大曲げモーメント

杭頭剛接合試験体の中杭(PileBE)には、端杭 (PileAD,PileCF) に比べて大きなモーメントが生じている。これは、中杭杭頭が基礎梁により両側から固定されているためと考えられる。短周期モデルでは、建屋周期の影響により、長周期モデルと比べて大きなモーメントが生じている。

2) 杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の比較

半剛接合試験体では、剛接合試験体と比べて、長周期モデル・短周期モデルともに中杭の曲げモーメントが端杭に比べて大きく低減している。この主な要因は、変動軸力の少ない中杭では、曲げモーメントが頭打ちし、安定した低減効果が得られたためと考えられる。

入力レベルの比較では、レベル 1 入力の場合に比べて、レベル 2 の方が曲げモーメントの低減量が大きいことがわかる。

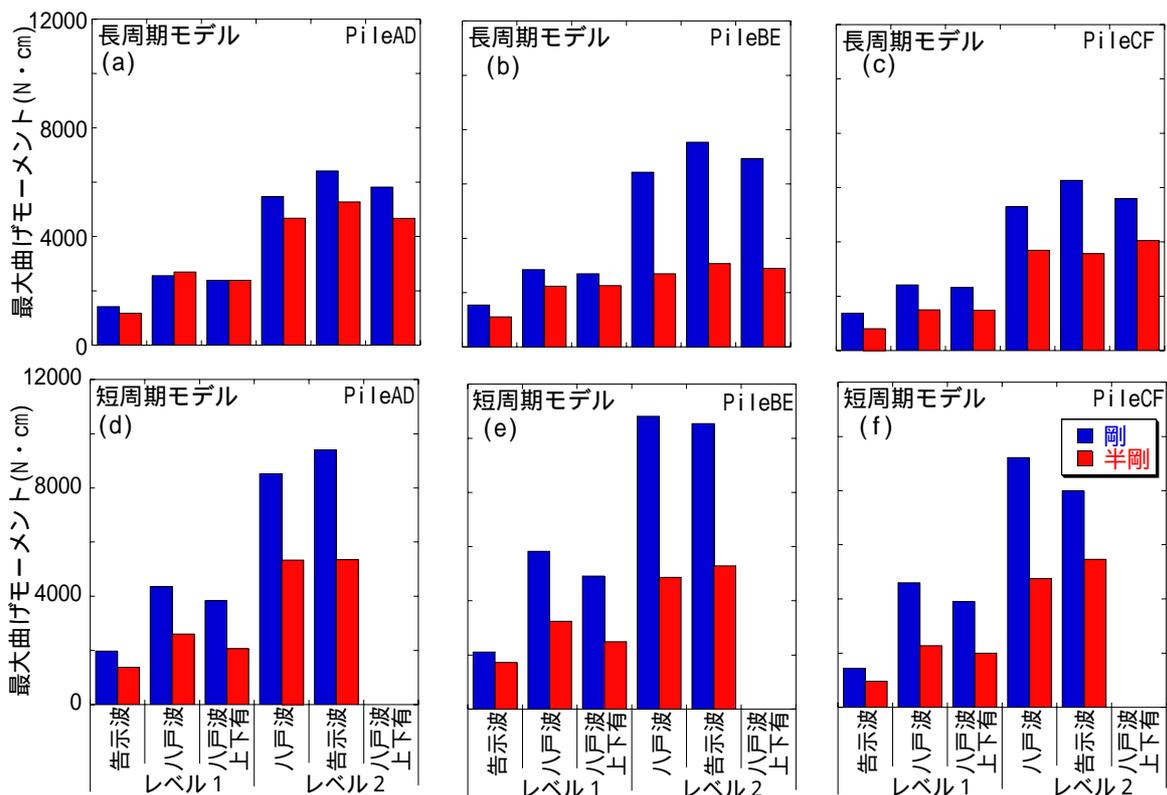


図 17 杭の最大曲げモーメント

b) 基礎梁に生じる最大曲げモーメント

基礎梁の最大曲げモーメントを図 18 に示す。ただし、測点 2、3 については、両測点での最大値を比較した。半剛接合試験体の基礎梁の曲げモーメントは、杭のモーメントと同様に、低減する傾向にある。しかし、長周期モデルの測点 1 の低減量は小さい(図 18 (a))。これは、長周期モデルでは、PileAD の初期軸力が最も大きい事および変動軸力の影響に

より、PileAD の杭頭部の性状が剛接合に近づいたためと考えられる。このことは、長周期モデル PileAD の最大曲げモーメントの低減量が小さいこと(図 17 (a))とも対応する。

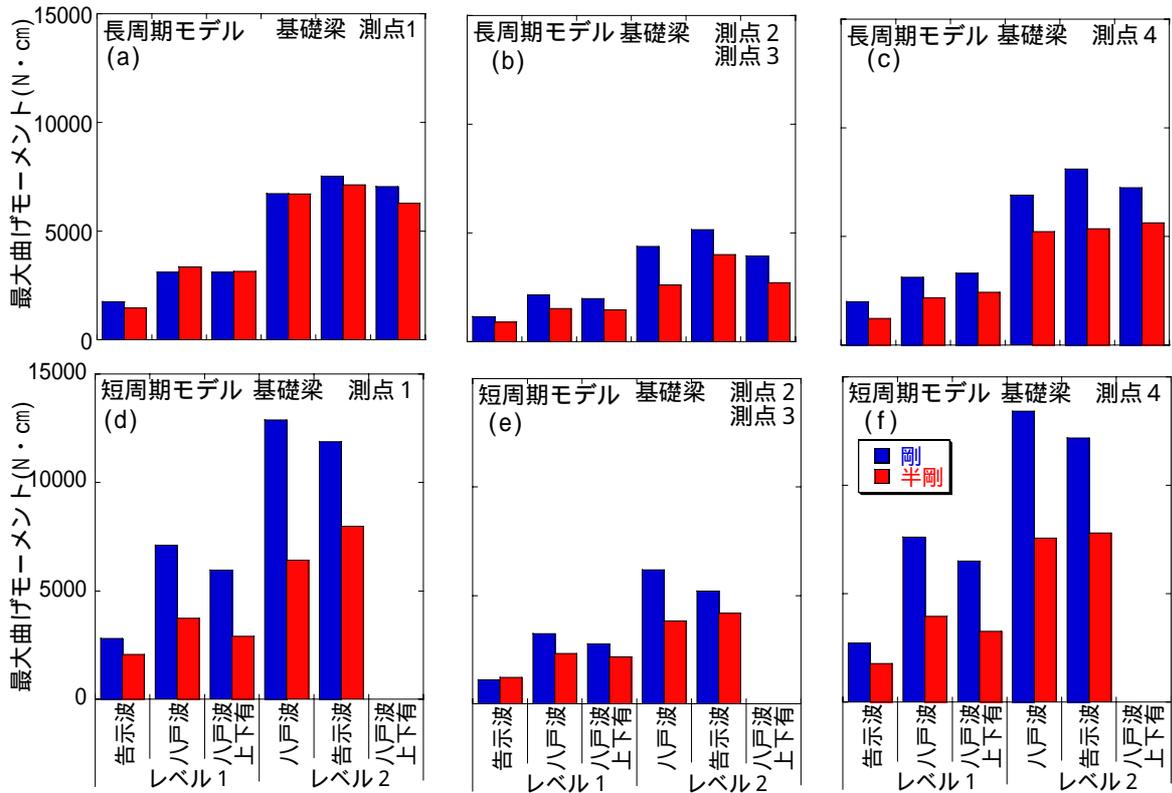


図 18 基礎梁最大曲げモーメント

c) 建屋に生じる最大加速度

建屋の加速度の最大値を図 19 に示す。長周期モデル建屋加速度は、剛接合試験体と半剛接合試験体で顕著な差異はない(図 19 (a))。ただし、レベル 2 加振の場合、半剛接合試験体の建屋加速度が若干減少している。短周期モデルでは、杭頭剛接合試験体の最大加速度値が入力レベルによらず、半剛接合試験体に比べて大きな値を示している(図 19 (b))。この違いには、建屋周期の違いの影響が含まれていると考えられる。

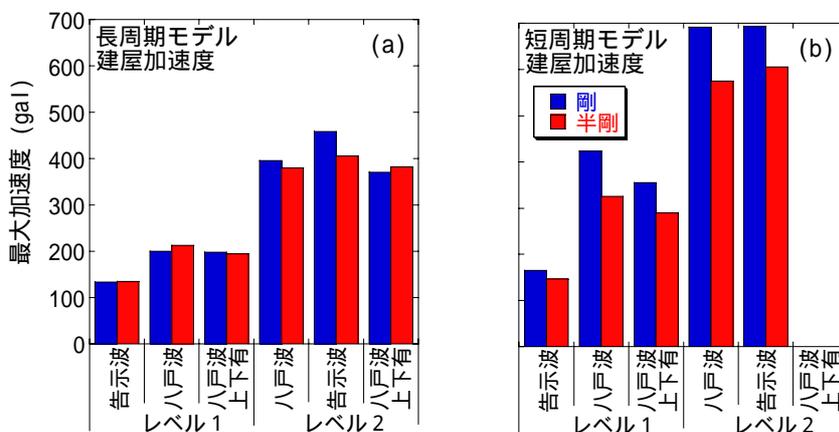


図 19 建屋最大加速度

d) 基礎に生じる最大変位

基礎の最大変位を図20に示す。長周期モデルにおいて、基礎の最大変位量は、杭頭半剛接合試験体の方が若干増大する傾向が確認できる。短周期モデルでは、入力地震波によって、剛接合試験体と半剛接合試験体の最大変位量の大小関係は異なっている。このことは、建屋周期の違いにより剛接合試験体の加速度応答が増大することと半剛接合試験体の変位が若干増大する傾向が合わさった結果と考えられる。

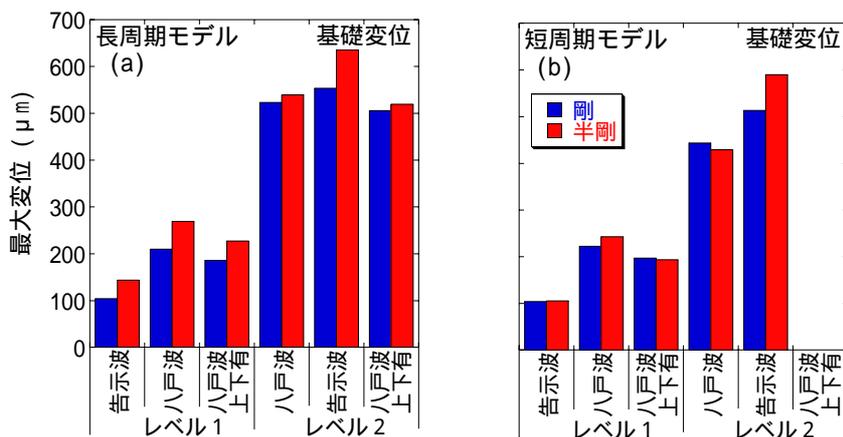


図20 基礎最大変位

(d) 結論ならびに今後の課題

1) 結論

杭頭接合方法（剛接合・半剛接合）、上部構造物周期（長周期・短周期）、入力地震波、上下動の有無をパラメーターとした杭基礎建物と地盤の模型振動実験を実施した。その結果、以下の結論を得た。

杭頭半剛接合試験体の杭および基礎梁の曲げモーメントは、剛接合試験体と比較して低減した。特に軸力変動の少ない中杭では、安定した低減効果が確認できた。

杭頭半剛接合試験体と杭頭剛接合試験体で、建屋の応答（加速度）に顕著な違いは確認されなかった。ただし、半剛接合試験体では、基礎の変位量が若干増大する傾向も確認された。

杭頭半剛接合試験体では、転倒モーメントによる軸力変動の影響により、押込み側と引抜き側で杭頭曲げモーメントに差異が生じた。

2) 今後の課題

結論（3.3.4-(2)-(d)-1）のうち、 $\gamma$ については、これまで行われてきた静的な実験結果<sup>例えは2)</sup>と、 $\gamma$ については、平成14年度実施した実大建物の動的解析の結果<sup>3)</sup>と対応している。平成16年度は、大きな変動軸力が発生する建屋モデルを用いた模型振動実験を実施し、 $\gamma$ については、さらに検証を進める。ただし、本研究における模型振動実験では、以下の点が考慮できておらず、将来の課題である。

根入れの影響

液状化地盤などの強非線形領域に達する地盤における検討

杭・建屋非線形模型による検討  
実大構造物と地盤による検討

(e) 引用文献

- 1) Iai, S.: Similitude For Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1g Gravitational Field, Soils and Foundations Vol.29, No.1, pp105-118, Mar. 1989
- 2) 原孝文, 安田聡, 川端一三, 小室努、是永健好、辰濃達：主筋を基礎に定着させない場所打ちコンクリート杭の開発その1～2, 日本建築学会大会, 構造 , pp.187-190 , 2002.8.
- 3) 船原英樹, 青島一樹, 真島正人, 石崎定幸, 藤井俊二：杭頭半剛接合構法を採用した建物の地震時挙動に関する解析的検討, 日本建築学会大会, 構造 , pp693-694, 2003.9.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
石崎定幸 真島正人 長尾俊昌 青島一樹 船原英樹 堀井良浩	杭頭半剛接合構法を採用した杭基礎建物と地盤の模型振動実験 その1 実験概要	2004年日本建築学会大会	平成16年8月 (発表予定)
石崎定幸 真島正人 長尾俊昌 青島一樹 船原英樹	杭頭半剛接合構法を採用した杭基礎建物と地盤の模型振動実験 その2 杭頭剛接合試験体と半剛接合試験体の比較	2004年日本建築学会大会	平成16年8月 (発表予定)

(g) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

### (3) 平成16年度業務計画案

#### (a) 杭頭半剛接合構法を採用した杭基礎建物と地盤の模型振動実験（半剛接合試験体[変動軸力の大きい建屋モデル]）

平成15年度に引き続き、模型振動実験により、杭頭半剛接合構法の杭基礎被害軽減に対する効果と建屋応答に与える影響を把握する。平成16年度は、図21に示すように建屋模型のアスペクト比を大きくし、長期軸力以上の変動軸力が外側の杭に生じるモデルとする。この実験結果から、大きな変動軸力が生じる建物における杭頭半剛接合構法の効果を検証することができる。

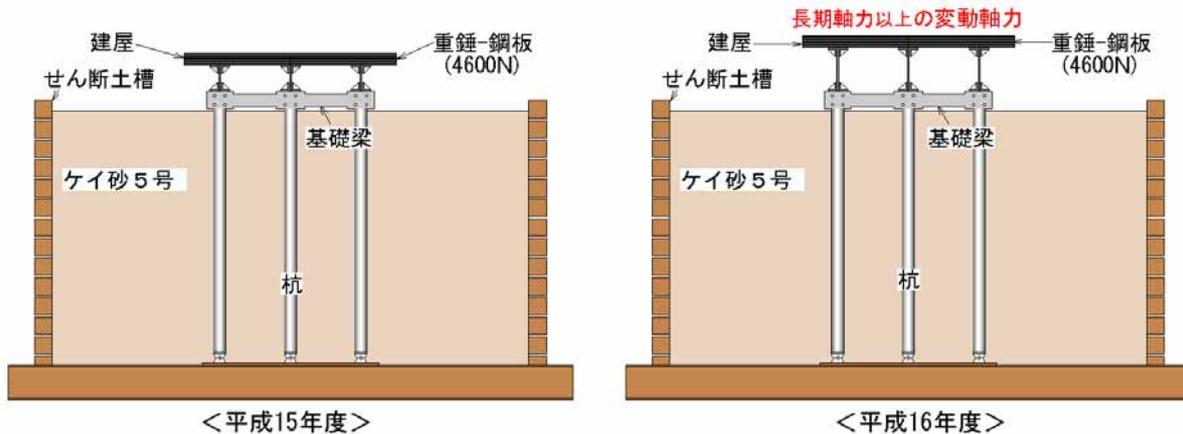


図21 平成16年度模型振動実験

#### (b) 杭頭接合条件を考慮した実建物の地震時挙動に関する解析的検討

平成14年度は、実大構造物を対象に、杭頭接合条件などをパラメーターとした数値解析を実施し、杭頭半剛接合構法の効果と建屋応答に与える影響を把握した。平成14年度の解析結果は今年度の模型振動実験結果の傾向と対応しており、平成16年度は、実験に対するシミュレーション結果を参考にし、さらに解析精度の向上を図る。具体的には、軸力変動を考慮した杭頭回転バネモデルの改良などが挙げられる。

#### (c) 杭頭半剛接合構法を採用した構造物の耐震設計法の構築

杭頭半剛接合構法に関する模型振動実験および解析的検討を集約し、杭頭半剛接合構法を採用する際の耐震設計法を構築する。

