

場所打ちコンクリート杭の杭頭半剛接合に関する解析的研究

杭頭接合条件と解析モデルの影響

田畑 卓* 西原 寛*

Analysis Study on Semi-Rigid Connection on Cast-in-Place Concrete Pile Head

Influence of pile head connection and analytic model

by Taku TABATA and Hiroshi NISHIHARA

Abstract

The HR-Pile is a method of semi-rigid pile head connection aimed at reducing the bending moment in the pile head. With regard to the structural performance of the pile head connection and the evaluation of rotational stiffness, the validity has already been confirmed by structural tests. In order to examine the application of HR-Pile, push-over analyses were carried out in the case of fixed pile head connection and HR-Pile. Moreover, the effects of the vertical ground resistance and the foundation beam stiffness on the analytical results were examined.

要 旨

HR パイル工法はフーチングと杭頭部との回転変形を許容することで、杭頭曲げモーメントの低減を図る杭頭半剛接合工法である。杭頭部の構造性能と回転剛性の評価方法については、既に構造実験より妥当性を確認している。本報では HR パイル工法の適用性を検討するため、杭基礎・地盤で構成される分離モデルの静的荷重増分解析を実施し従来杭との性状比較を行った。また、地盤の鉛直方向の抵抗や基礎梁の剛性をパラメータとする解析から、モデル化の影響を把握した。

キーワード：杭頭半剛接合 / 場所打ち杭 / 非線形応力解析 / 地盤 / 軸力

1. はじめに

前報[1]では、従来の固定杭に対し、基礎フーチングと杭頭部との接合部における回転を許容することで、杭頭部曲げモーメントを低減しようとする、杭頭半剛接合工法「HRパイル工法」について工法概要と構造実験結果を報告した。

HR パイル工法においては、杭頭接合部の回転剛性は通常の RC 部材と同様、接合部の断面諸元や軸力条件に応じて変化するものとして評価される。従って、従来の設計で慣用的に良く利用される Chang 式などのように、杭頭部の接合条件を固定度という形で一義的に表現するのは困難であり、設計の際は

杭頭接合部を回転ばね等で適切に表現したフレームモデルによって応力解析を行うことになる。その結果、各杭では杭頭回転ばねの特性に応じて、負担せん断力が分配されるとともに、杭体の応力や変形性状が変化する。

本報ではHRパイル工法の適用性を検討するため、杭基礎・地盤で構成される分離モデルによる静的荷重増分解析を行う。具体的には従来の場所打ちコンクリート杭との比較検討を行うとともに、基礎梁の剛性評価や鉛直地盤ばねのモデル化の有無といった解析条件の違いが解析結果に及ぼす影響を調べることを目的としている。なお、本解析は当社保有の一

* 技術研究所構造研究室

貫構造計算プログラムADAMによっており、杭の曲げ特性は軸力相関のないM-φモデルで表現している。各杭では当該設計時の杭頭軸力に基づく断面曲げ解析より、一定軸力下でのM-φ関係をモデル化した。

2. 検討対象建物

2.1 建物概要

検討に用いた建物は文献[2]による鉄筋コンクリート造 14 階建て(地下なし)の共同住宅で、桁行き方向は 6 スパン 2 構面のラーメン構造、張間方向は 1 スパン 7 構面の独立連層耐力壁構造の整形建物である。杭は杭頭レベルが GL-2.8m、杭先端レベルが GL-34.5m であり、元設計においては杭径 2.2m の場所打ちコンクリート杭(杭頭固定)が採用されている。図 1 に杭伏せ図、表 1 に地盤条件を示す。

2.2 外力条件

表 2 に軸力条件を示す。これらは基礎梁下をピン支持とした上部建物の応力解析結果による。地震時の杭頭水平力は次に示す通りである。

1 次設計時： $Q_o=22,255\text{kN}$

2 次設計時： $Q_{px}=33,383\text{kN}(D_s=0.3 \text{ 桁行き方向})$
 $Q_{py}=44,510\text{kN}(D_s=0.4 \text{ 張り間方向})$

2.3 解析フレームモデル

解析モデルは基礎梁、杭、地盤とで構成される立体フレームモデルである。図2に解析モデルの概要を示す。

Model-Aは、地盤をWinkler型の水平ばねで評価し、杭先端をピン支持としたモデルである。ここで基礎梁は剛とし、杭軸部をM-φモデル、杭頭部は回転ばね(M-θ関係)でそれぞれ表現している。Model-Bは、Model-Aに対して鉛直方向の地盤ばね(周面摩擦ばね、杭先端地盤ばね)も考慮したモデルである。

Model-CおよびModel-Dは、基礎梁の剛性(非線形性モデル)を考慮したモデルであり、杭頭にはそれぞれ1階柱脚の曲げモーメントを付加させている。基礎梁は **$b \times D=1000 \times 3000\text{mm}$** である。

なお、いずれの解析モデルも杭軸部の軸剛性およびせん断剛性は完全弾性とした。

2.4 地盤モデル

地盤ばねは以下に示す基礎指針[3]の評価に則り、バイリニアあるいはトリリニア型にモデル化する。

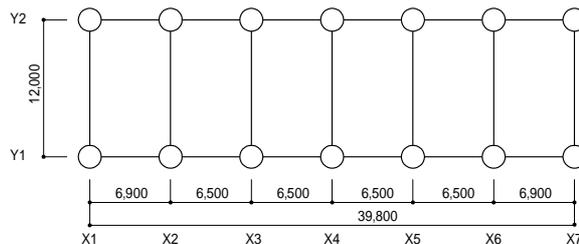


図 1 杭伏せ図

表 1 地盤条件

層種	下限深度 (GL-m)	層厚 (m)	平均 N 値
粘性土	3.0	0.90	0.5
粘性土	5.1	2.10	1.4
砂質土	6.3	1.20	2.0
粘性土	7.2	0.90	8.0
砂質土	10.0	2.80	47.0
粘性土	10.8	0.80	15.0
砂質土	12.7	1.90	44.0
粘性土	15.1	2.40	23.0
砂質土	20.0	4.90	48.0
砂質土	22.7	2.70	22.0
砂質土	28.7	1.40	19.0
粘性土	33.0	4.30	14.0
砂質土	34.5	1.50	50.0

表 2 軸力条件

		長期 NL (kN)	1 次設計時		2 次設計時	
			Nex (kN)	Ney (kN)	Nmx (kN)	Nmy (kN)
Y1	X1	6771	-1063	-869	-6100	-9300
	X2	9743	9715	3182	10119	-3423
	X3	9681	9542	3118	9297	-3279
	X4	9742	9719	3184	9625	-3339
	X5	9638	9798	3086	10051	-3264
	X6	9735	9765	3195	8613	-3433
	X7	6761	14145	-843	20467	-9383
Y2	X1	6981	-183	14621	-5487	21816
	X2	10199	10584	16760	11632	24575
	X3	10398	10460	16961	10605	23318
	X4	10636	10611	17194	10694	23823
	X5	10087	10048	16639	10187	22975
	X6	10188	9804	16728	8257	24589
	X7	6975	14139	14579	19576	21860

a. 水平地盤ばね

$$k_{ho} = \alpha \cdot E_o \cdot D^{-3/4} \tag{1}$$

$$k_h = k_{ho} \cdot y^{-1/2} \tag{2}$$

$$p = k_h \cdot \delta_y^{1/2} \tag{3}$$

ここで、

k_{ho} : 基準水平地盤反力係数(kN/m³)

α : 地盤の変形係数による係数

E_o : 地盤の変形係数(kN/m³)

D : 単位 cm とする無次元化杭径

k_h : 水平地盤反力係数(kN/m³)
 y : 単位 cm とする無次元化水平変位
 p : 水平地盤反力(kN/m²)
 δ_y : 杭の水平変位(m)

b. 周面摩擦ばね

$$S_i \leq S_{fi} \text{ のとき } \tau_i = k_{fi} \cdot S_i \quad (4)$$

$$S_i > S_{fi} \text{ のとき } \tau_i = \tau_{fi} \quad (5)$$

ここで、

S_i : i 層の杭の沈下量
 S_{fi} : i 層の最大周面摩擦応力度時沈下量
 砂質土 : $S_{fi} = 20\text{mm}$
 粘性土 : $S_{fi} = 10\text{mm}$
 τ_i : i 層の周面摩擦応力度
 τ_{fi} : i 層の最大周面摩擦応力度(kN/m²)
 砂質土 : $S_{fi} = \tau_{fi} = 3.3N$
 粘性土 : $S_{fi} = Cu$ ($Cu = qu/2$)

c. 杭先端支持ばね

$$(S_p/d_p) = 0.03\lambda + 0.07\lambda^2 \quad (6)$$

$$\lambda = (R_p/A_p)/(R_p/A_p)_u \quad (7)$$

ここで、

S_p : 杭先端の沈下量
 d_p : 杭先端の直径
 R_p : 杭先端の抵抗力
 A_p : 杭先端の断面積
 $(R_p/A_p)_u$: 極限先端支持力(kN/m²)

2.5 杭体モデル

本解析では、基礎梁下をピン支持とした上部建物の荷重増分解析から求められる支点反力を、杭頭軸力として考慮する。つまり、各杭ではこれらの作用軸力に応じた断面曲げ解析を行って非線形の曲げ特性を評価、モデル化を行う。図3に杭軸部の曲げ特性のモデル化を示す。

HRパイル工法における杭頭部回転ばねは、断面曲げ解析結果に基づき、芯鉄筋の抜け出しやコンクリートのめり込みの影響を考慮した形で、バイリニアあるいはトリリニア型にモデル化する。一方、従来杭では設計上、杭頭接合条件を完全固定とする場合が多いが、ここでは文献[4]を参考に基礎フーチングからの主筋の抜け出しに起因する杭頭部回転剛性の低下を考慮した。具体的には杭頭部の $M-\phi$ 関係を図3のようにモデル化した後、式(8)および式(9)を用いて、これを $M-\theta$ 関係に変換した。

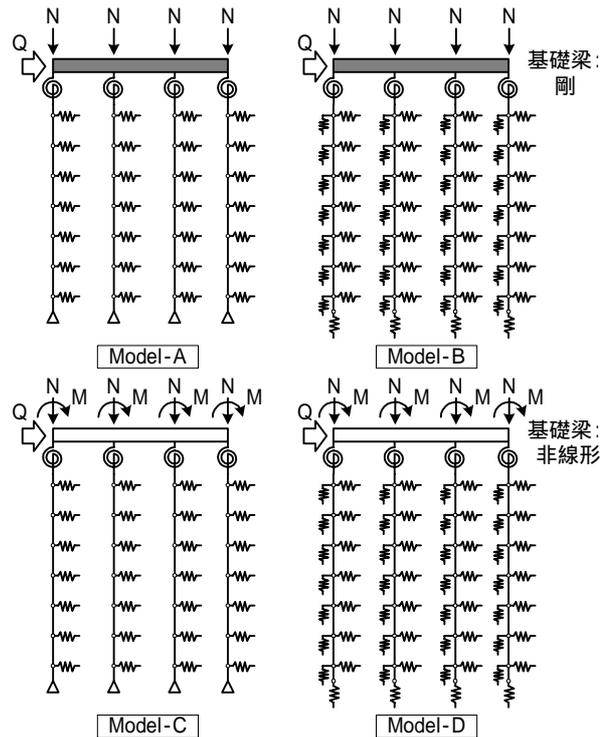


図2 解析フレームモデル

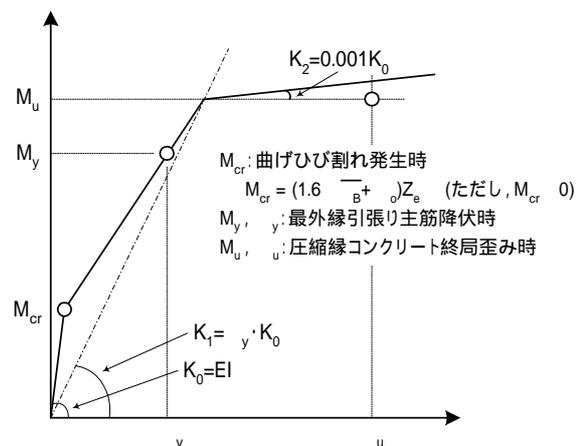


図3 杭軸部のモデル化

$$\theta_{cr} = \phi_{cr} \cdot L \quad (8)$$

$$\theta_y = \phi_y \cdot \alpha \cdot d_b \quad (9)$$

ここで、

L : 要素高さ

α : 杭主筋の無次元化抜け出し量(=20)

d_b : 杭主筋径

3. 従来杭との性状比較

3.1 パラメータおよび検討方法

本章では、図2に示したフレームモデルのうち Model-A を対象として、杭頭部の接合形式(接合条

件)が解析結果に及ぼす影響を検討する。

表3に杭断面諸元を示す。検討用の杭は全3種類であり、このうち杭断面F1および断面F2は杭頭部の接合形式として従来工法を用いた場合、断面HRはHRパイル工法を用いた場合である。F1およびF2では1次設計時のせん断力に対して式(10)による短期許容耐力(Q_s)を満足するように杭軸径を仮定した。ただし、F1では従来の設計法を踏襲するものとして設計用せん断力を1.5倍に割り増し、F2では2次設計まで行うことを前提としてせん断力の割り増しを行わない場合を想定したものである。

$$Q_s = 1.5 \times 3/4 \times \min(0.49 + F_c/100, F_c/30) \times A_p / \kappa \quad (10)$$

ここで、

A_p : 杭軸部断面積

κ : せん断応力度分布係数(=4/3)

3.2 解析結果

図4～図6に1次設計時における張間方向加力時の応力変位分布を例示する。同図中には杭頭接合条件を完全固定とし、かつ杭を弾性モデル($M/\phi=EI$)とし

表3 杭断面諸元

断面名称	杭頭形式	杭軸径 (mm)	F_c (N/mm ²)	杭主筋 (下段: 芯鉄筋)
F1	固定	2200	30	40-D35(SD390)
F2	固定	1900	30	45-D35(SD390)
HR	半剛	1900 (1330)	30 (54)	30-D35(SD390) 15-D41(USD685)

た場合の結果も併せて示す。杭の非線形性を考慮した場合には、作用軸力に起因する曲げ剛性の差異により、各杭の負担せん断力が変化するため、結果として圧縮側杭では杭を弾性モデルとした場合に対して負担せん断力が增大することになる。圧縮側杭と引張側杭の負担せん断力の差は、断面F1よりも断面F2で、断面F2よりも断面HRで大きい結果を示している。

杭頭曲げモーメントに関しては、断面F1と断面F2で殆ど違いは見られない。一方、断面HRでは断面F1に対して引張側杭(Y1通り)で57%、圧縮側杭(Y2通り)においても83%まで低下する結果を示しており、1次設計レベルから杭頭半剛接合の効果に明確に表れている。なお、断面HRでは杭頭部曲げモーメントの低下に伴い、杭地中部の曲げモーメント

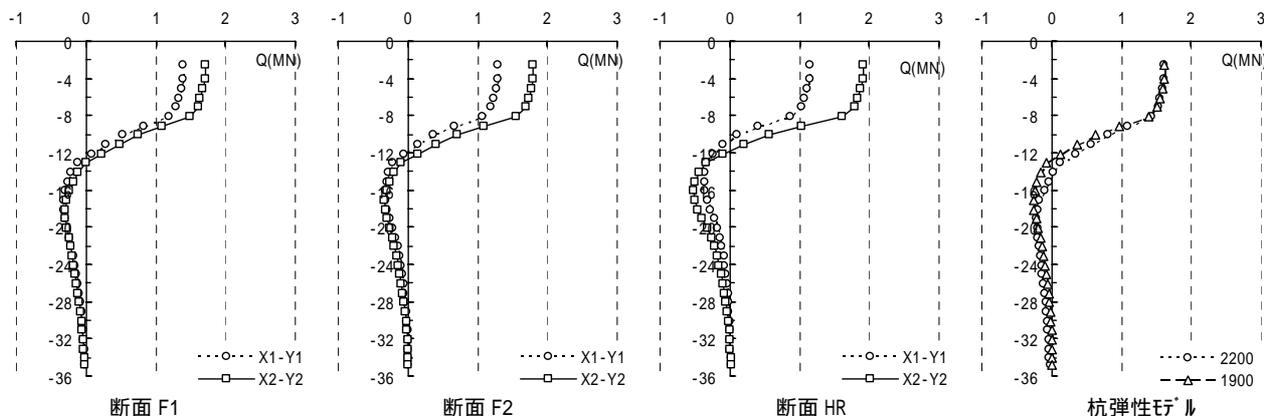


図4 せん断力分布(1次設計張間方向加力時)

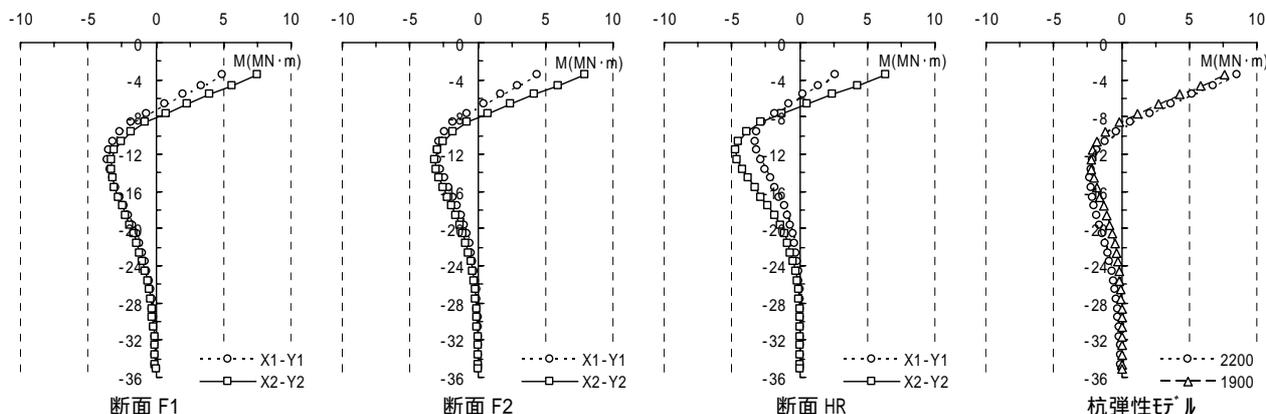


図5 曲げモーメント分布(1次設計張間方向加力時)

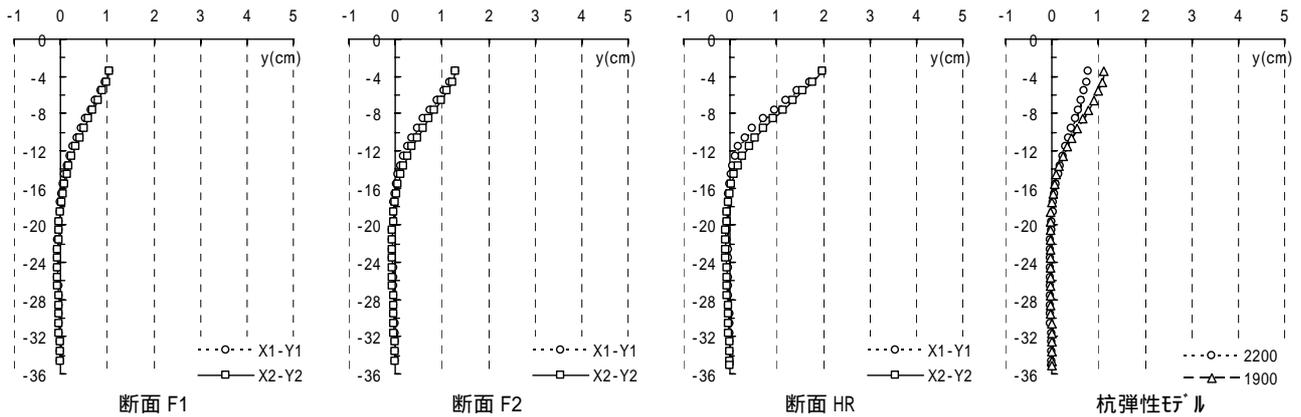


図6 水平変位分布(1次設計張間方向加力時)

が増大するものの、地中部最大曲げモーメントは杭頭部と同程度以下に収まっていることがわかる。杭頭水平変位は断面F1と断面F2で1cm程度、断面HRでは2cm程度であった。

図7は2次設計時における張間方向加力時の応力分布である。図はそれぞれ左側がせん断力分布、右側が曲げモーメント分布を示す。2次設計時には、1次設計時よりさらに圧縮側杭と引張側杭の負担応力の差が増大している。ここで、同図中の2本の杭から圧縮側杭の負担せん断力の割合を求めると72~84%であり、断面F1, F2に対しては断面HRの方が大きい結果となっている。ただし、いずれの断面も曲げ降伏耐力(図3の第2折れ点)には達していない。断面F1と断面F2の曲げモーメントの違いは1次設計レベルの場合と同様にごく僅かであるが、断面HRの杭頭曲げモーメントは、断面F1に対して引張側杭で48%、圧縮側杭で65%となり、1次設計レベルよりもさらに杭頭半剛接合の効果が增大している。地中部の最大曲げモーメントはやはり、杭頭と同程度以下である。杭頭水平変位は断面F1で3.2cm、断面F2で4.3cmであり、断面HRではこれらの2倍以上となる9.5cmに達した。

図8に1次設計時、図9に2次設計時のM-N関係を示す。図8中には参考として前述した杭弾性モデルの結果も併せて示してある。断面F1, 断面F2ともに杭を弾性モデルとして評価した場合には許容曲げ耐力以内に収まっているが、杭の非線形性を考慮すると、引張り側杭で許容曲げ耐力に対する余裕が増す反面、圧縮側杭の余裕が減少し、特に断面F2では杭頭接合部で幾分、許容曲げ耐力を越えている。これは軸力に係わる杭の曲げ特性の違いによって圧縮側杭の負担せん断力が増加するためである。杭の断面設計においては従来、杭を弾性モデルとして設計

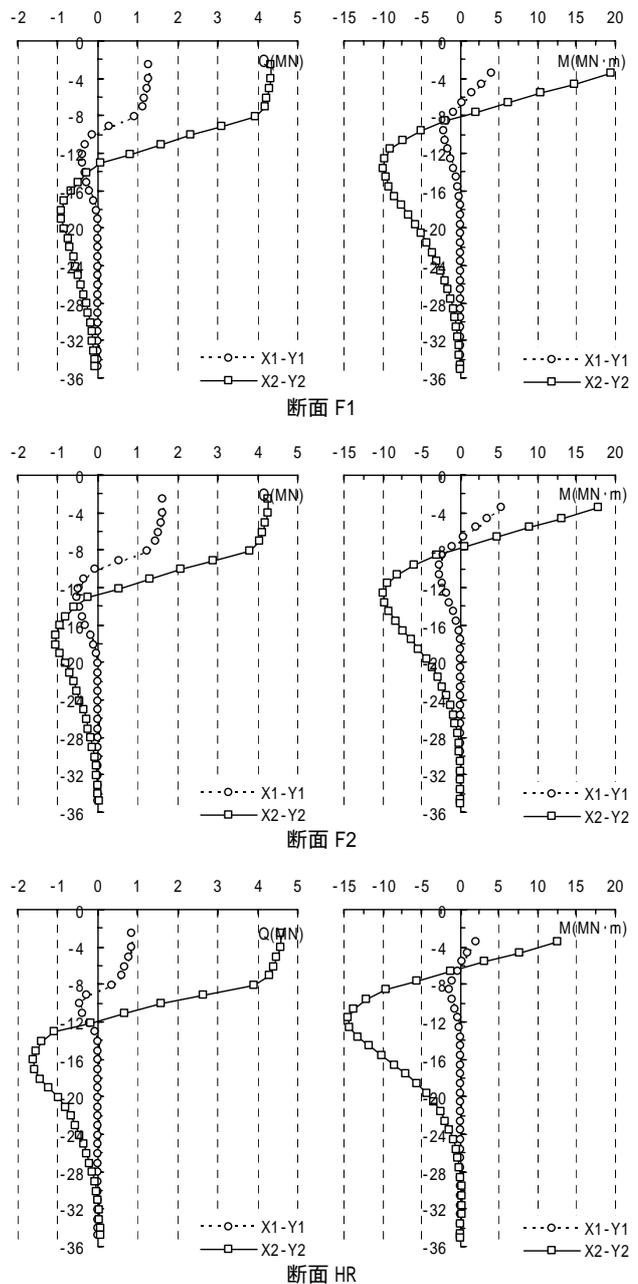


図7 せん断力、曲げモーメント分布(2次設計張間方向加力時)

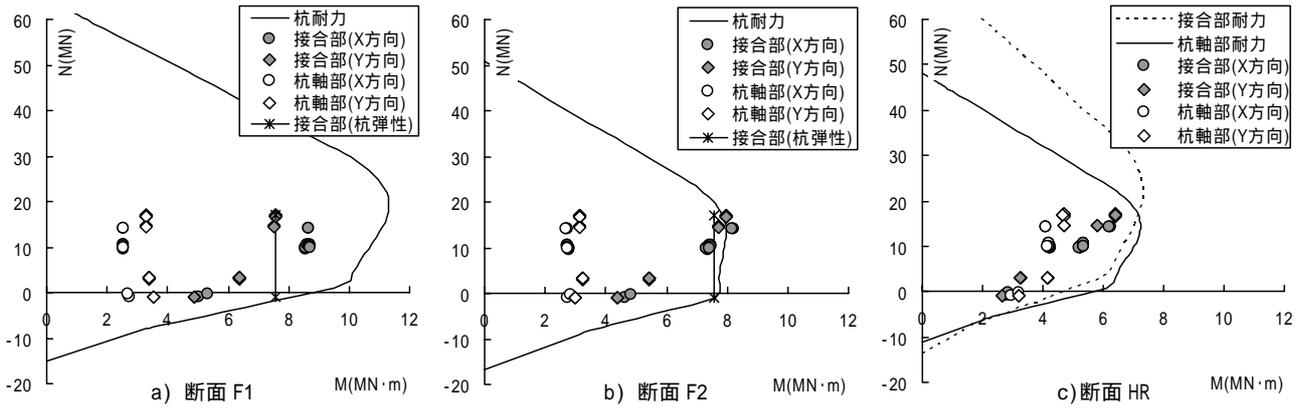


図8 1次設計時のM - N関係 (解析結果と短期許容曲げ耐力の比較)

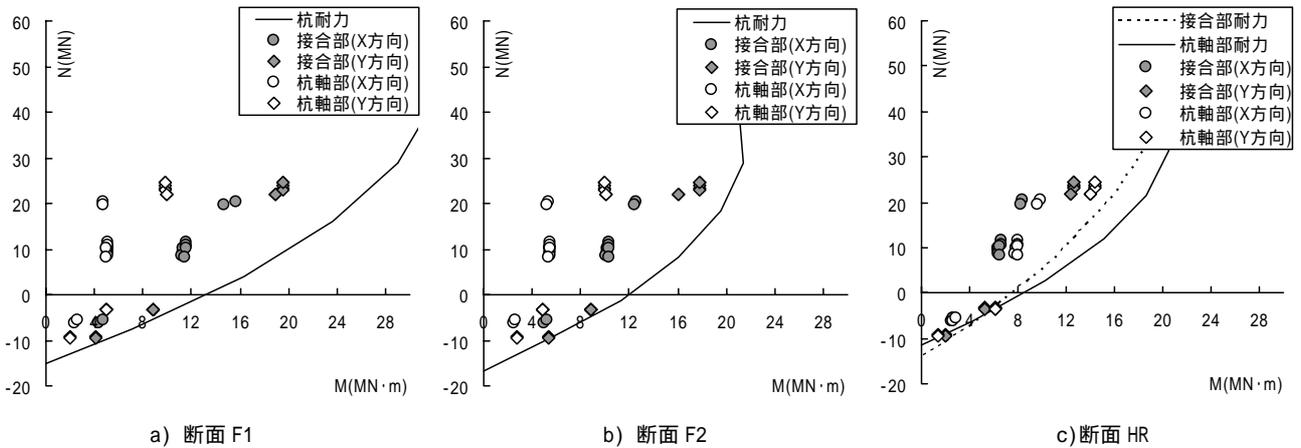


図9 2次設計時のM - N関係 (解析結果と終局曲げ耐力の比較)

用応力を求めるのが一般的であると考えられ、この場合には引張軸力時の許容曲げ耐力が支配的となるが、杭の非線形性を考慮した場合には、このように圧縮側で断面が決定する可能性がある。なお、HRパイル工法では、2次設計時における杭頭部および引張側杭軸部の曲げ降伏を許容しているため、曲げ設計の観点からは1次設計で杭断面が決定する可能性が高い。

4. 解析モデルの違いによる影響

4.1 パラメータ及び検討方法

ここでは、前章に示したHRパイル工法による杭断面(断面HR)を対象として、各要素のモデル化が解析結果に及ぼす影響を検討する。

表4に解析条件を示す。このうち、Model-Aは前章の断面HRに相当する。解析モデルは図3に示した通りである。なお、本建物の張間方向は独立連層耐力壁構造であるため、基礎梁を非線形モデルとしたModel-CおよびModel-Dの検討は、桁行き方向のみについて行った。

表4 解析ケース一覧

解析ケース	解析モデル	想定外力	基礎梁モデル	杭曲げ特性 想定軸力
A-SX	Model-A	1次	剛	軸方向一様
A-SY				
A-UX				
A-UY				
B-UX	Model-B	2次	剛	軸方向変化
B-UY				
BR-UY				
C-UX	Model-C	2次	非線形	軸方向一様
D-UX	Model-D			

解析ケース記号の末尾は加力方向を表す

4.2 解析結果 (桁行き方向加力時)

a. 軸力

図10は2次設計桁行き方向加力時における杭頭軸力の解析結果(応答値)を解析条件により比較したものである(圧縮軸力を正值で示す)。基礎梁を剛としたA-UX, B-UXは直線的な軸力分布であり、外力として与えた設定軸力が基礎梁によって再配分された形となっている。このことは、本解析では上部構造の支点反力に基づき杭の曲げ特性をモデル化し

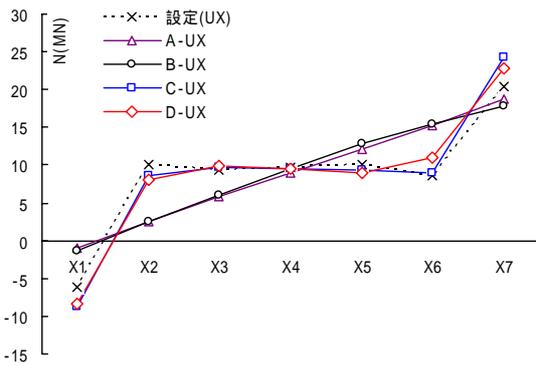


図 10 杭頭部の軸力(2次設計桁行き方向加力時)

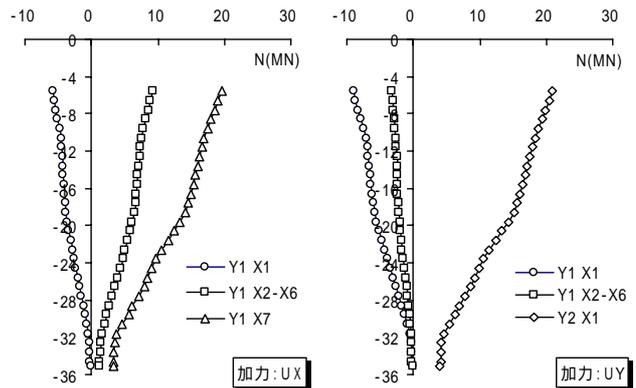


図 11 材軸方向の杭軸力分布(2次設計時)

ているため、この影響を受けないが、プログラム内部で軸力相関モデルが自動設定される場合は配慮が必要である。基礎梁を非線形モデルとし、且つ、杭・基礎梁の接点に1階柱脚の曲げモーメントを付加したC-UXおよびD-UXでは、杭頭軸力が設定した軸力分布とほぼ一致する結果となった。

図 11 は杭頭軸力と設定軸力を等値して求めた材軸方向の軸力分布である。本検討条件では、杭先端の軸力は殆どゼロであり、杭頭軸力の大部分は周面摩擦地盤ばねによって支持されている。

b. 杭の水平変位と応力

図 12～図 14 に 2 次設計桁行き方向加力時の応力変位分布を例示する。同図より、基礎梁を剛とした A-UX と B-UX とではほぼ等しい結果であり、鉛直地盤ばねの有無による明確な影響はみられない。一方、基礎梁を非線形モデルとした D-UX は、同じく鉛直地盤ばねを有する B-UX に比べると、引張側杭(X1 通)のせん断力、曲げモーメントに関して基礎梁のモデル化による明確な違いはみられないが、圧

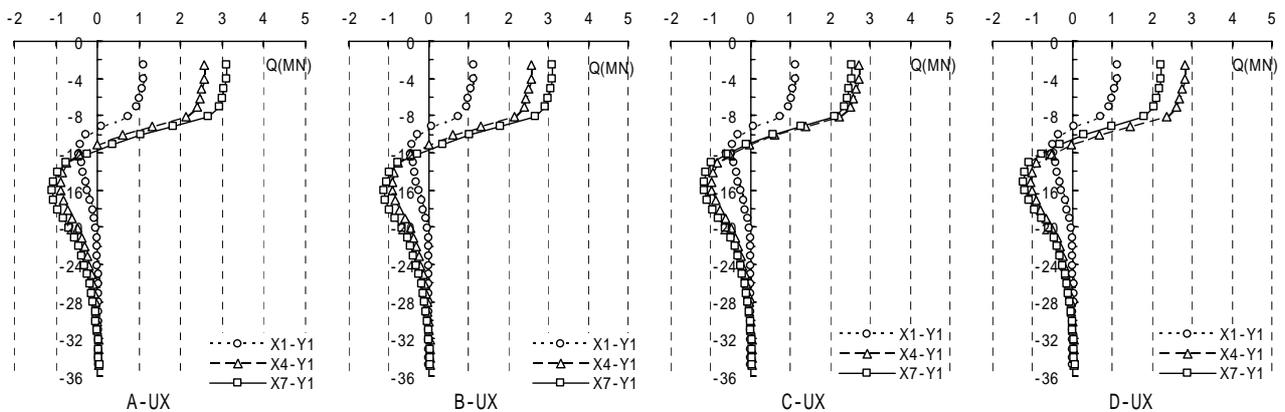


図 12 せん断力分布(2次設計桁行き方向加力時)

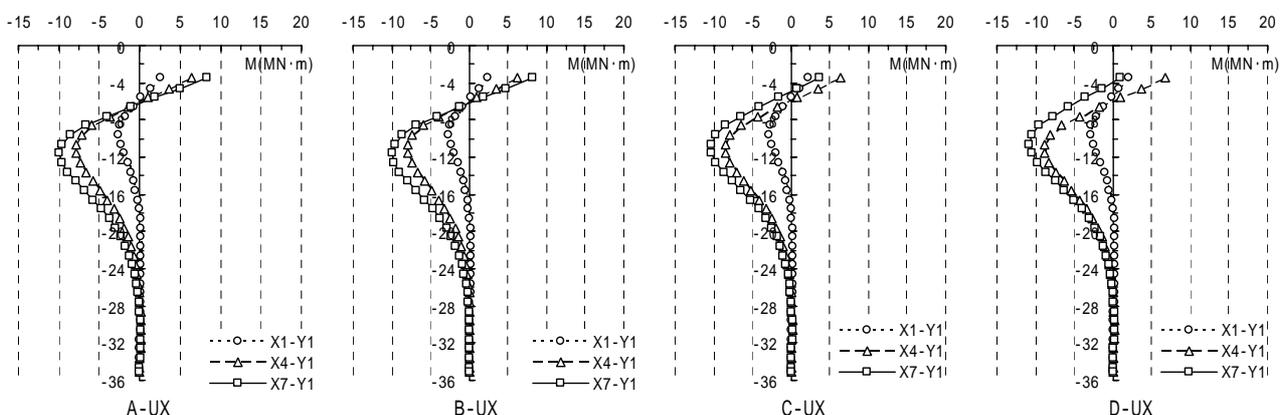


図 13 曲げモーメント分布(2次設計時桁行き方向加力時)

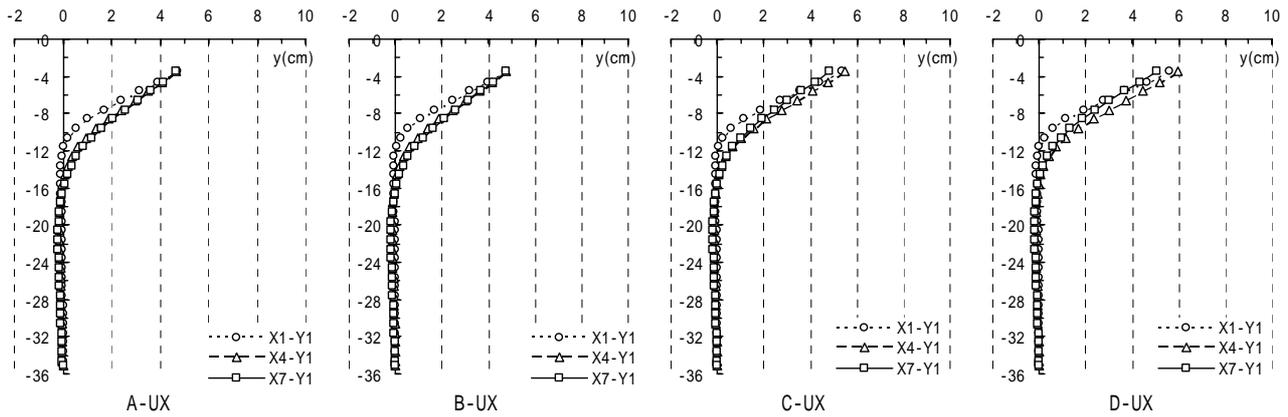


図 14 水平変位分布(2次設計桁行き方向加力時)

縮側杭(X7 通り)では、B-UX に対して杭頭せん断力が 75%、杭頭曲げモーメントが 30%程度にまで減少している。D-UX ではこれに伴い中通り杭(X4 通り)の杭頭せん断力が増大し、結果として圧縮側の杭を上回るまでに至った。ただし、中通り杭の杭頭曲げモーメントに関しては D-UX と B-UX とで明確な差異はない。鉛直地盤ばねを無視し杭先端をピン支持とした C-UX は、B-UX と D-UX の中間的な性状を示し、杭頭曲げモーメント、杭頭せん断力は圧縮側杭と中通り杭とでほぼ拮抗する結果となった。従って、Model-D の解析結果を勘案すると、基礎梁を剛として杭の設計応力を評価する場合には、中通り杭について十分なせん断余裕度を確保しておくことが望ましく、圧縮側杭についていえば、むしろ基礎梁を剛とした方が安全側の評価を与えると考えられる。なお、図 14 では C-UX と D-UX における各杭の杭頭水平変位にばらつきがみられるが、これは基礎梁の変形に伴ってフーチングが回転変形したこと起因する(本解析条件では基礎梁芯高さの水平変位が各杭で一致するようにモデル化している)。基礎梁芯高さの水平変位はそれぞれ 4.7cm(A-UX)、4.9cm(B-UX)、5.7cm(C-UX)、6.2cm(D-UX)であった。

図 15 に杭頭部 $M-\theta$ 関係の骨格曲線と解析結果を示す。杭頭曲げモーメントはいずれの解析条件も第 2 折れ点以下である。また、A-UX や B-UX と、基礎梁の非線形性を考慮した D-UX を比較すれば、D-UX の圧縮側杭は引張側杭に対して、曲げモーメントだけでなく、回転角も大きく低下している。

c. 基礎梁とフーチングの変形

図 16 に基礎梁の変形(δ_b)を示す。基礎梁を剛とした A-UX や B-UX では基礎梁全体が回転変形を生じているのに対して、基礎梁を非線形モデルとした

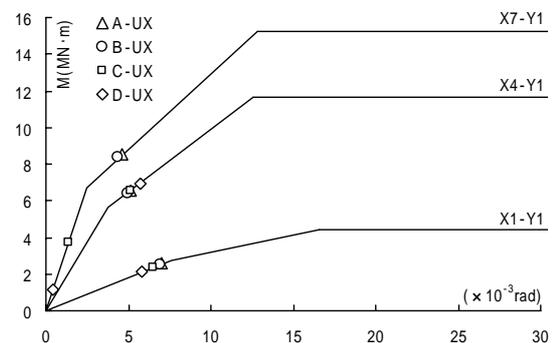


図 15 杭頭部 M - 関係

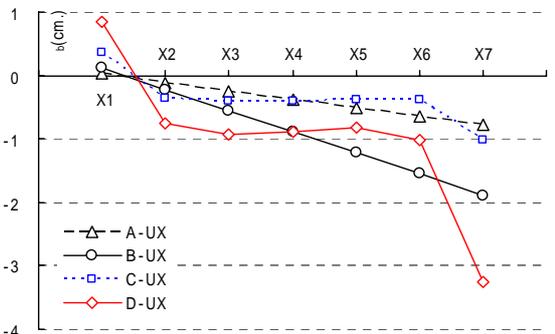


図 16 基礎梁の変位

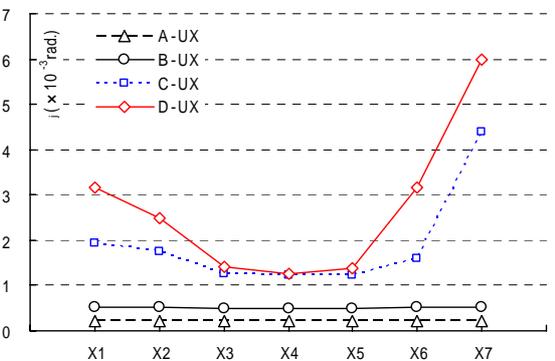


図 17 フーチングの回転角

C-UX や D-UX では X1 通りおよび X7 通りの変形が卓越する結果となっている。

図 17 は基礎梁と杭との交点にあたるフーチングの絶対回転角(θ_f)である。基礎梁を剛とした A-UX と B-UX とでは、A-UX に対して鉛直地盤ばねを考慮した B-UX の θ_f が 0.3×10^{-3} rad.程度増大している。基礎梁を非線形モデルとした C-UX や D-UX はこれらと比べ、全体に θ_f が増大しているが、特に建物両端で θ_f の増大が大きいことがわかる。

ここで、図 15 に示した A-UX と B-UX の杭頭回転角の差は、フーチングの回転角の差とほぼ対応しており、フーチングの回転によって幾らか杭頭部の回転が緩和された形となっている。しかし一方で、C-UX および D-UX では前述したように、X1 通りと X4 通りの杭頭曲げモーメントは A-UX や B-UX とさほど変わらない。これは C-UX および D-UX では杭頭水平変位が C-UX や D-UX よりも大きく、このことがフーチングの回転による効果を希薄にしたものと考えられる。

4.3 解析結果（張間方向加力時）

前項までに示した解析は、いずれも杭頭軸力が杭先端まで一様に作用するものとして杭の曲げ特性をモデル化している。しかし解析上、鉛直地盤ばねを考慮すると杭に作用する軸力は材軸方向にも変化することになる。そこで、ここでは Model-B の 2 次設計張間方向加力時を対象として、杭の曲げ特性に、このような鉛直地盤ばねによる杭材軸方向の軸力変化を考慮した場合(BR-UY)と無視した場合(B-UY)の解析を行った。

図 18～図 20 に解析結果を示す。BR-UY では B-UY に対して杭の曲げ特性に軸力変化を考慮することにより、引張側の Y1 通り杭の地中部曲げモーメントが倍増しているが、これらは双方とも曲げ耐力に達しており、破壊モードの変化は生じていない。また、杭頭せん断力は B-UY に対して BR-UY の引張側杭で負担が大きくなっているが、せん断設計上は圧縮側杭の作用せん断力が支配的であるため、これらは特に問題にならないと考えられる。圧縮側の Y2 通りでは地中部曲げモーメントの違いはごく僅かであり、杭頭の水平変位についても明確な差はみられなかった。

5. まとめ

本報では HR パイル工法の適用性を検討するため、立体フレームによる静的荷重増分解析を行い、従来杭との性状比較、および解析モデルの違いによる影

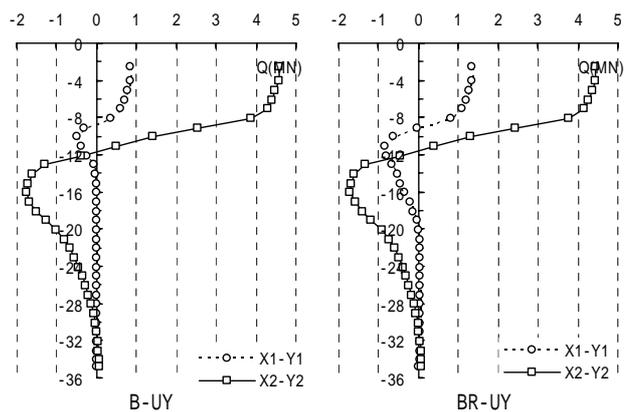


図 18 せん断力分布(2次設計張間方向加力時)

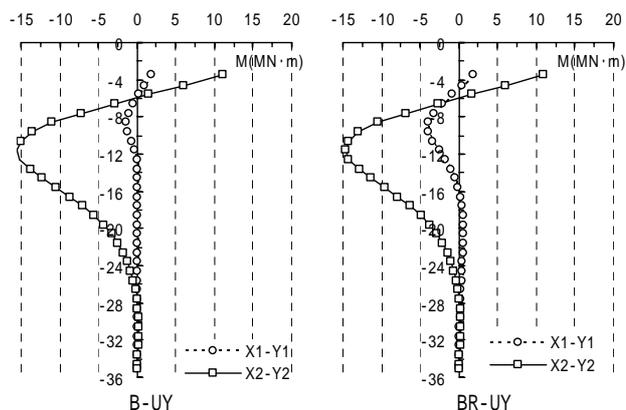


図 19 曲げモーメント分布(2次設計張間方向加力時)

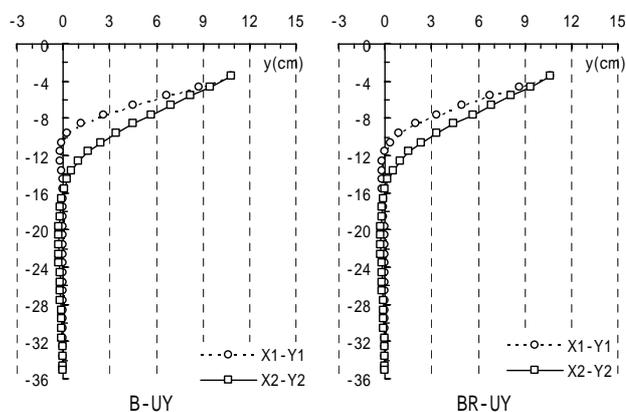


図 20 水平変位分布(2次設計張間方向加力時)

響を検討した。本検討より得られた知見を以下に述べる。

- 1) HR パイル工法を用いた杭では、従来の場所打ちコンクリート杭に比して、1 次設計レベルから杭頭部の曲げモーメントが減少した。杭地中部の曲げモーメントは逆に増大するが、これらは 2 次設計レベルにおいても杭頭部と同程度であった。
- 2) 杭の非線形性を考慮した場合には、軸力に応じ

て各杭の負担せん断力が変化する。これらは特に、杭を弾性モデルとした場合に対して圧縮側杭の負担せん断力が増大するため配慮が必要である。

- 3) 基礎梁を剛とした場合には、鉛直地盤ばねの考慮の有無が解析結果に及ぼす影響は殆どみられなかった。
- 4) 基礎梁を非線形モデルとした場合には、剛梁とした場合に比して、引張側の杭応力は殆ど変わらないが、圧縮側の杭では杭頭せん断力、杭頭曲げモーメントともに大幅に低下した。ただし、地中部の最大曲げモーメントに関してはその影響はみられなかった。
- 5) 一方で、これら圧縮側杭の負担応力の低下に伴い、中通りの杭では負担せん断力が増大する性状を示した。この傾向は鉛直地盤ばねを考慮したモデルではさらに大きくなり、この場合、杭頭せん断力、曲げモーメントとともに中通り杭が圧縮側杭を上回る結果となった。

参考文献

- [1]田畑卓，西原寛，野中康友：場所打ちコンクリート杭の半剛接合に関する実験的研究，安藤建設技術研究所報，Vol.11，pp97-105，2005
- [2]プレハブ建築協会：プレキャスト建築技術集成 第4編 P-PCの設計，pp215-341，2003.1
- [3]日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001.10
- [4]小林勝巳，丸隆宏，大西靖和，寺岡勝，和田章：水平力を受ける場所打ち杭-基礎梁部分架構の力学的特性に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第509号，pp83-90，1998.7