

基礎梁の降伏を利用した上部構造の地震応答抑制

正会員○ 長江 拓也\*1 同 内村 均\*2 同 小林 恒一\*3

キーワード：基礎梁 杭基礎 ピロティ建物 連成解析

同 吉田望\*4 同 林 静雄\*5

1. はじめに 建物に対する耐震設計は既に性能評価型に移行しており、今後は上部構造のみでなく、基礎構造も含めた建物全体としての構造性能を十分吟味することが必要となる。その上で、建築構造部材の中では特に大断面になる基礎梁および杭に関しても、より合理的な断面設定が求められることとなる。本研究では、こうした背景を踏まえ、基礎構造をとにかく強くするのではなく、上部構造とのバランスを考えてある程度スリム化し、大地震時にはそのエネルギー吸収も視野に入れる

ことを提案する。文献1では、鉄筋コンクリート杭の降伏が上部構造の応答に与える影響を述べたが、本報告では基礎梁が降伏する場合に焦点をあて、上部構造・基礎構造連成の地震応答解析を行う。

2. 解析概要 対象とした建物は、2階以上が連層耐震壁で1階が独立柱となる12階建て鉄筋コンクリート共同住宅である。基準階伏図を図-1(1)に、立面図および解析モデルを図-1(2)に示す。各部材の諸元を表-1に示す。

基礎梁 表-1 各部材諸元

種別	B (mm)	D (mm)	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$P_t$ (%)	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\lambda$
G13	900	2500	24	1.300	350	-
G085	900	2500	24	0.850	350	0.96
G0775	900	2500	24	0.775	350	0.87
G07	900	2500	24	0.700	350	0.81

B:幅, D:成,  $F_c$ :コンクリート強度,  $P_t$ :引張鉄筋比(複筋比1),  $\sigma_y$ :主筋降伏強度,  $\lambda$ :降伏耐力比

<共通>

「2-12階連層耐震壁」:付帯柱900mm×900mm, 壁厚 $t=20$ cm

「1階柱」:900mm×900mm,  $F_c=36$ , 全主筋比 $P_g=1.5\%$ (+芯鉄筋0.5%), 主筋降伏強度 $\sigma_y=400$ N/mm<sup>2</sup>

「杭」:径1600mm,  $F_c=24$ , 全主筋比 $P_g=2.5\%$ , 主筋降伏強度 $\sigma_y=400$ N/mm<sup>2</sup>

基礎梁は断面形状を一定として主筋量を変化させた。降伏に対して十分に余裕のある引張鉄筋比 $P_t=1.3\%$ の場合に対して、降伏を前提とする場合を $P_t=0.85, 0.775, 0.7\%$ と等間隔で3段階に分けた。杭は降伏に対して十分な主筋量を確保している。

敷地地盤に設定した台場地区の敷地地盤概要を表-2に示す。

各要素のモデル化の概要を図-2に示すが、詳細は文献1を参照されたい。

静的プッシュオーバー解析(図-3, 基礎梁の降伏につづき、1階柱の柱頭が降伏し、層としての剛性が低下するが、最終的には1階柱の柱脚も降伏し、1階柱の両端ヒンジで決まる保有耐力に収束する)より求めた降伏耐力比 $\lambda$ (「上部構造の保有耐力時1階層せん断力」に対する「基礎梁降伏時1階層せん断力」の比)を表-1に示す。

工学的基盤における地震動は、国土交通省告示1461号に示される「極めて希に発生する地震動」の加速度応答スペクトルに対応させた模擬地震動であり、位相特性としてEl Centro 1940 NSを用いる<sup>1)</sup>。

表-2 敷地地盤概要

地層分類	深度 (m)	$V_s$ (m/s)	N値
M	-3.0	110	3
U	-5.5	110	3
Yuc	-7.5	80	1
	-14.5	130	2
Tos	-17.5	170	10
	-20.5	260	34
Toc	-28.1	190	7
Tog	-32.5	370	>50
Eds	-46.5	370	>50

L:層厚,  $V_s$ :せん断波速度

1階層せん断力係数

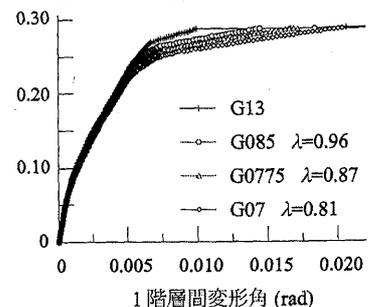


図-3 静的プッシュオーバー解析の結果

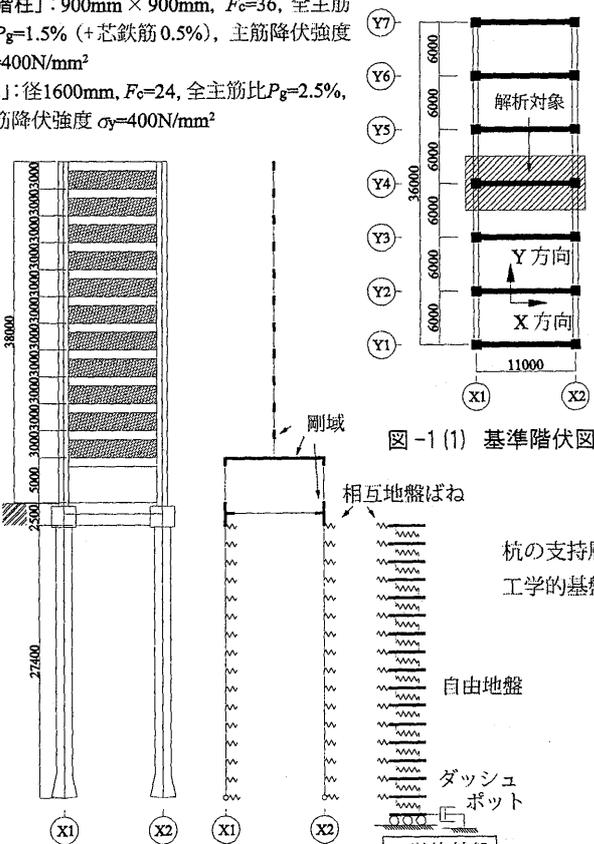


図-1(2) 立面図および解析モデル

図-1(1) 基準階伏図

壁:弾性  
1階柱:軸力変動を考慮したディグレーディングトリニアモデル  
基礎梁:ディグレーディングトリニアモデル  
杭:軸力変動を考慮したディグレーディングトリニアモデル  
相互地盤ばね: Masing 則に基づく双曲線モデル  
自由地盤ばね: Masing 則に基づく Ramberg-Osgood モデル

図-2 解析に際してのモデル化<sup>1)</sup>

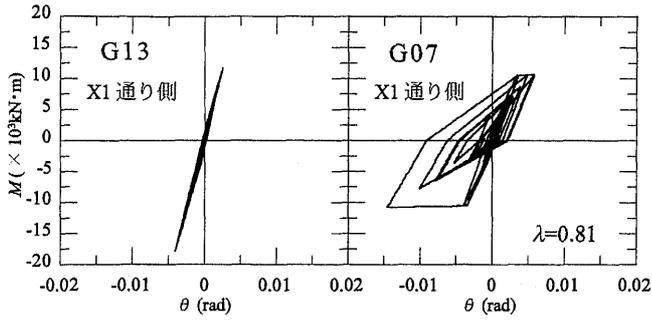


図-4 基礎梁の地震応答

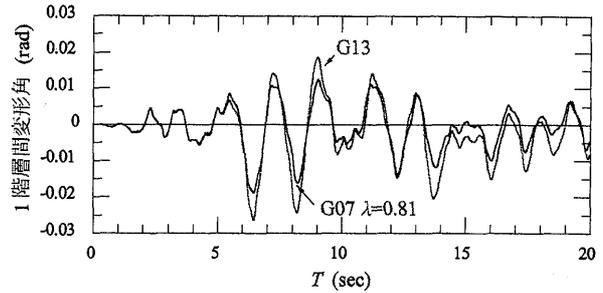


図-5 1階層間変形角の時刻歴波形

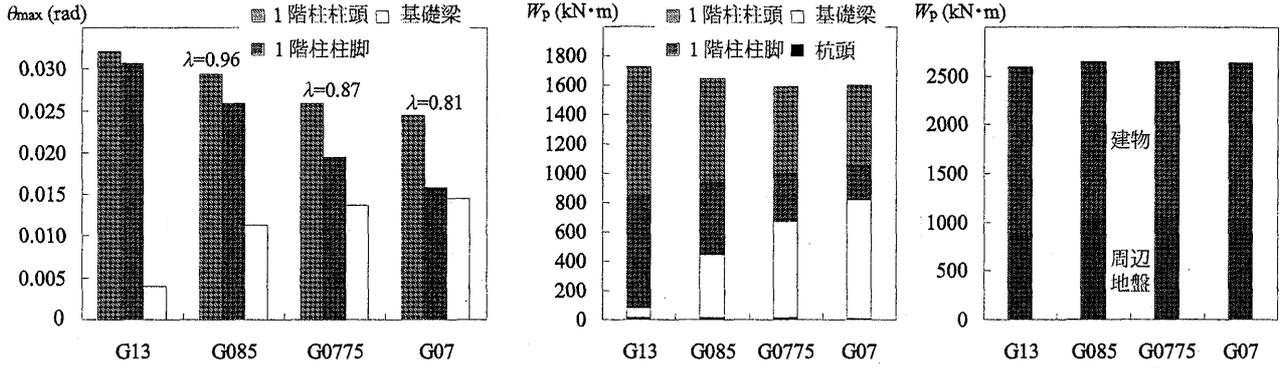


図-6 材端ばねの最大回転角

(1) 建物の各部分 (2) 建物と周辺地盤

図-7 建物および周辺地盤の累積消費エネルギー

3. 建物の地震応答 基礎梁の地震応答(材端ばねの $M-\theta$ 関係)を図-4に示す。図-5には1階層間変形角の時刻歴波形を示すが、基礎梁が降伏することにより(G07)、地震応答が抑制されている。これらの比較として、1階柱および基礎梁の材端ばねにおける最大回転角 $\theta_{max}$ を図-6に示す。降伏耐力比 $\lambda$ が小さくなるに従い、基礎梁の最大回転角が増大し、1階柱の最大回転角が減少している。

4. 建物の累積消費エネルギー 図-7には建物の累積消費エネルギーを示す。上部構造の累積消費エネルギーに関しては1階柱の消費した履歴吸収エネルギーを、基礎に関しては基礎梁と杭頭の消費した履歴吸収エネルギーを対象とする。図において、上部構造と基礎の比率は降伏耐力比 $\lambda$ によって大きく異なり、最大回転角とエネルギー消費量との関係を比較すれば、比較的大断面で剛性および降伏モーメントが大きな基礎梁を降伏させることで、効率よくエネルギー吸収できることがわかる。一方、建物として消費するエネルギーの総和自体も降伏耐力比 $\lambda$ が小さくなるに従って減少する傾向にある。

5. 周辺地盤の影響 杭頭が降伏する場合には、杭頭付近の変位が増大することで周辺地盤の吸収するエネルギーが大きくなり、建物の消費するエネルギーが減少するとされている<sup>1)</sup>。すなわち、基礎が降伏する場合には、その周辺地盤も含めてエネルギー消費の変化を検討する必要がある。

図-8に杭頭位置における相互地盤ばねの応答を示すが、基礎梁が降伏することにより(G07)、履歴面積がが大きくなって

いる。これは基礎梁降伏以降に杭頭固定度が大きく低下し、1階柱および杭が、1本の突出杭として作用したためである。図-7に地盤ばねの累積消費エネルギー(履歴吸収エネルギー)の総和と建物の累積消費エネルギーをあわせて示す。地

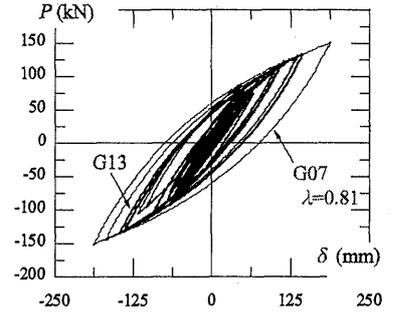


図-8 相互地盤ばねの履歴

盤ばねが消費したエネルギーは、降伏耐力比 $\lambda$ が小さくなるに従って増大する傾向にあり、杭頭降伏の場合と同様、上部構造の消費エネルギーを減少させた一つ要因となっている。ただし、その差は大きくなく、結果的に、基礎梁のエネルギー吸収量の増大が、上部構造すなわちピロティ階のエネルギー消費に大きな影響を与えている。

6. まとめ 基礎梁のエネルギー吸収を利用することにより、エネルギー吸収要素の少ない上部構造の地震応答を効果的に抑制できる。

謝辞 本研究の一部は文部省科研費(代表者:長江拓也,日本学術振興会PD)を受けて行われました。

参考文献 1)長江拓也,内村均,小林恒一,吉田望,林静雄:鉄筋コンクリート靱性杭に支持される建物の損傷バランス,日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1 構造 I, pp.461-466, 2002

\*1 東京工業大学建築物理研究センター 特別研究員・博士(工学)  
 \*2 佐藤工業 博士(工学)  
 \*3 ジオトップ 工博  
 \*4 応用地質 工博  
 \*5 東京工業大学建築物理研究センター 教授・工博

\*1 JSPS Research Fellow, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.  
 \*2 Sato Kogyo Corporation, Dr. Eng.  
 \*3 Geotop Corporation, Dr. Eng.  
 \*4 OYO Corporation, Dr. Eng.  
 \*5 Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.