基礎構造の降伏による上部構造の応答抑制効果に関する研究 —応答スペクトル法の妥当性についての動的解析による検討—

動的相互作用 累積消費エネルギー 基礎梁 杭基礎 連成解析

1. はじめに

現行の設計基準は、上部構造と下部構造は独立に設計すると いう思想に基づいて体系化されているが、本来両者は一体のも のであり、上部・下部構造を一体として扱うことができれば、 より合理的な設計が可能となることが期待できる。その過程に おいて、基礎梁、杭頭接合部等を耐震要素としてとらえ、これ らのエネルギー吸収能を有効に利用することが考えられる。既 往の研究では、杭及び基礎梁の降伏が上部構造の応答を抑制す ることは、地震応答解析により検証されている^{1,2)}。しかし、 今後、上部・基礎構造の関係を吟味した設計が普及するために は、静的解析による簡便な手法が要求される。そこで本研究で は、静的増分解析と応答スペクトル法に基づく方法(以下、静 的解析手法と言う)を提案し、この手法により基礎構造の降伏 が上部構造の応答に与える影響について検証する。又、この方 法の妥当性を検証する目的で、同一の一体モデルにおいて静的 解析と地震応答解析を行い、比較する。

2. 静的解析手法と地震応答解析の解析概要

2.1 解析対象建物と解析モデル

解析対象は 6 階建て鉄筋コンクリ ート造事務所とし、その一部を取り出 したものをモデル化する(図1)。 2.2 モデル化

梁、柱はディグレーディングトリリ ニア型骨格曲線にモデル化した。1階 と6階以外の柱は弾性部材とした。

杭は 50cm ごとの要素に分割し、杭 先端はピン支持とした。又、トリリニ ア型骨格曲線にモデル化し、杭頭長期 軸力を使用し断面解析により算定し た曲げ強度(*M*)ー回転角(θ)関 係において、降伏モーメント My を終 局モーメント Mu の 0.9 倍とした。

地盤は水平地盤バネのみを設定し、 水平抵抗はBromsの塑性地盤反力を上限

値とするトリリニア型の骨格曲線にモデル化した。初期剛性は $p = k_{k0} \cdot y^{1/2} (k_{k0} = 60 \cdot E_0 \cdot \overline{B}^{-3/4})$ (1)

の変位0.1cmの点と原点を結ぶ線の勾配とし、第2剛性は0.2cmと1.0cmを結んだ線の勾配とした。

2.3 解析パラメーター

地盤は平均 N 値 4、層厚 21.5mの粘性土地盤とした(表1)。 この地盤において、杭が先行して降伏する場合(杭頭降伏型 Py)、 基礎部材が降伏しない場合(非降伏型 ny)、基礎梁が降伏する



図1 解析モデル

E会員	ОЩП	ひとみ*1	同	八尾	真太郎* ²
同	桝井	健* ³	同	吉田	望* ⁴

場合(基礎梁降伏型 By)を設定。杭頭降伏型と非降伏型の基礎 梁、杭諸元を表2に、又基礎梁降伏型と非降伏型の基礎梁、杭 諸元を表3に示す。尚、非降伏型はどちらの場合も同一である。 又、降伏耐力比んとは「上部構造の保有耐力時1階層せん断力」 に対する「基礎部材降伏時1階層せん断力」の比とする。

表1 粘性土(平均N值4-地盤層厚21.5m)

24.1		(1) 11		21.5 111)
土質	深度	N值	せん断波速度	単位体積重量
	(m)		$V_S(m/s)$	ρ (t/m^3)
粘性土	-6	2	130	1.8
粘性土	-12	4	160	1.8
粘性土	-21.5	5	175	1.8
礫		50	420	2.0

表2 基礎梁、杭諸元(杭頭降伏型、非降伏型)

種別	土質	杭 鉄筋量	杭径 (<i>m</i>)	鉄筋比 pg (%)	降伏耐力比 λ	基礎梁 鉄筋量	基礎梁 寸法(m)
Ру	お性土	12-D25	1.4	0.38	0.84	16-D32	760×1500
ny	層厚21.5m)	51-D32	1.5	2.32	-	16-D32	760×1500

表3 基礎梁、杭諸元(基礎梁降伏型、非降位	`型)
-----------------------	-----

種別	世	基礎梁 鉄筋量	基礎梁 寸法 (m)	基礎梁 引張鉄筋比 <i>pt</i> (%)	降伏 耐力比 <i>λ</i>	杭 鉄筋量	杭径 (<i>m</i>)
By	お性土	5-D32	760×1400	0.41	0.84	51-D32	1.5
ny	層厚21.5m)	16-D32	760×1500	1.23	-	51-D32	1.5

2.4 静的解析手法概要

解析モデルを変位増分によりプッ シュオーバー解析し、その結果を用い 限界耐力計算方法に従って、基礎を含 めた等価 1 自由度縮約系モデルの荷 重-変位関係を求める。図2に概念図 を示す。尚、外力分布は、上部構造は A_i分布に基づき、基礎位置はベース シェアが $C_{B} = 0.2$ の時に杭頭位置で 水平震度: k = 0.1 となるように設定し た。解放工学的基盤で規定した標準加 速度応答スペクトル(告示 1416 号)に 増幅率を掛けて求めた地表面の加速 度応答スペクトルと建物の等価1自 由度縮約系モデルの耐力曲線より応 答値を算出する。さらに、各パラメー ターにおいて繰り返し載荷を行い、累 積消費エネルギーを算出する。



なお、上部構造の減衰定数はディグレーディングモデルを想 定し、式(2)により算定し、塑性率 μ は式(3)により算定す る。 K_1 は $Q-\delta_B$ 関係において降伏ステップの一つ前のステッ プと原点を結んだ直線の勾配のことで、 δ_B は代表変位から基 礎位置の変位 δ_{SW} を差し引いた値である。基礎部分の減衰定数 h_{SW} は式(4)により算定した。 ΔW はループを想定した図 3

Suppression of Response of Superstructure Using Yield of Foundation Members

-Study of Validity of Response Spectrum Method by Dynamic Analysis-

YAMAGUCHI Hitomi, YAO Shintaro, MASUI Takeshi, YOSHIDA Nozomu

の薄い灰色に塗った部分で、 W は $0.5 \cdot Q \cdot \delta_{SW}$ で図 3 の濃 い灰色の部分である。また、 建物全体の減衰定数は式 (5) により算定し、式 (7) より低 減率を算定する。加速度応答 スペクトルに低減率をかけ、 地震入力を低減する。尚、式 (6) の 0.03 は建物の粘性減衰。



基礎位置の減衰定数

 $h_{B} = \frac{1}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) \qquad (2) \qquad \mu = K_{1} \cdot \frac{\delta_{B}}{Q} \qquad (3)$ $h_{SW} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{\bigtriangleup W}{W} \qquad (4) \qquad h_{e} = h_{B} + h_{SW} \qquad (5)$ $h'_{e} = h_{e} + 0.03 \qquad (6) \qquad Fh = \frac{1.5}{1 + 10h'_{e}} \qquad (7)$

2.5 地震応答解析概要

告示1461号の標準加速度応答スペクトル(減衰定数5%時) にほぼ一致する模擬地震動(図4)を工学的基盤面に与え、地 盤応答解析を行い、地盤変位を求める。各パラメーターにおけ る上部構造ー杭基礎一体モデルにおいて、図5のように、杭先 端に模擬地震動を入力すると同時に、求めた地盤変位を地盤バ ネを介して入力することにより、地盤変位を考慮した地震応答 解析を行う。各パラメーターでの各部材の履歴吸収エネルギー を算出する。

尚、瞬間剛性比例型の粘性 減衰を用いており、一律に3% とする。又、地盤応答解析に は解析プログラム**DYNEQ**³⁾ を用いた。



3. 有効繰り返し回数

静的解析により累積消費エネルギーを算出する方法として は、以下に示す有効繰り返し回数の考え方に基づく。

図6に示す様に、((応答時の*Sa/G*):(降伏点での*Sa/G*) = α : β …①とする。図7に示す様に、入力地震動の最大加速 度*Amax*に対し、①で求めた α : β の比が成立する加速度を 求める。エネルギー吸収に寄与するのは塑性域に入ってからで あるので、式(8)より有効繰り返し回数*N*を算出する。 ここで、 $\sum \widetilde{A}$ は β の線を越える加速度の和。尚、繰り返し載荷 回数1回とは半サイクルのことを意味する。

*1 関西大学大学院工学研究科(現:(株)ナカノフドー建設) *2 関西大学環境都市工学部建築学科 教授・工博 *3 関西大学環境都市工学部建築学科 准教授・博(工) *4 東北学院大学工学部環境建設工学科 教授・工博



図6 耐力曲線と応答スペクトル 図7 入力地震動

4. 静的解析と地震応答解析の累積消費エネルギー比較

図 8~11 に静的解析と地震応答解析により求めた累積消費 エネルギーと累積消費エネルギー割合を示す。近しい結果とな っており、提案手法が妥当であるということが検証できた。又、 基礎部材先行降伏型設計が上部構造の応答抑制に有効である ことが分かる。



5. まとめ

静的解析に基づいた上部・下部構造一体解析のための手法を 提案し、静的解析と地震応答解析による累積消費エネルギーの 比較の結果、応答スペクトル法に基づく静的解析手法の妥当性 を確認した。さらに、基礎部材先行降伏型設計が上部構造の応 答抑制に有効であることを確認した。

謝辞

本研究を行うにあたり、ジャパンパイル(株)小林恒一氏、(独) 防災科学技術研究所長江拓也氏、伊丹市山岸徹哉氏、関西大学森田浩史 氏,吉田有里氏に協力して頂きました。深く感謝いたします。 参考文献

- ●ラス配

 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 靭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梗 概集、B-1構造Ⅰ、pp.461-466、2002
- 2) 長江拓也、内村均、小林恒一、吉田望、林静雄:基礎梁の降伏を利 用した上部構造の地震応答抑制、日本建築学会大会学術梗概集、B -1構造 I、pp.585-586、2003
- 3) 吉田望、末富岩雄: DYNEQ: 等価線形法に基づく水平成層地盤の 地震応答解析プログラム、佐藤工業(株)技術研究所報、pp.61-70、 1996

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Kansai Univ.

Prof., Dept. of Architecture, Kansai Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Kansai Univ., Dr. Eng.

Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng., Tohoku Gakuin Univ., Dr. Eng.