

V-272

杭を有するフーチングの終局挙動に関する解析的検討

(株)奥村組 正会員 森田修二
 九州工業大学 正会員 幸左賢二
 阪神高速道路公団 正会員 藤井康男
 新構造技術(株) 正会員 水田和之

1. まえがき

兵庫県南部地震によるフーチングの被害は事例も少なく、損傷程度も軽微であったが、その耐力や終局挙動については明確にされていない。本研究は、地震時のフーチングの損傷メカニズムを検証するために実施した杭を有するフーチングの載荷実験を解析的に検討したものであり、コンクリートや鉄筋が引張り強度に達した段階で弾性係数を低減させる3次元の非線形弾性解析を行った。なお、以前にも同様の解析を実施しており、塑性後のひずみ軟化挙動¹⁾を考慮しない非線形弾性解析の範囲でも構造体の終局挙動を一定評価できることを確認²⁾しており、実験結果との対比を含め検討を行なった。

2. 解析の概要

実験は図-1に示すような供試体で、せん断スパン比 a/d (柱前面から杭中心の距離 a と床版有効高さ d の比、 d は一定) やフーチングの鉄筋量を変えた3つの供試体を用いて、橋脚の天端に上部荷重に相当する鉛直荷重 (48.4t) を載荷した後、単調増加の水平載荷を行なっている。解析手法には有限要素法を用いた静的な3次元応力・変形解析を用いたが、実験模型がXY面に関して対称なので半分の領域を解析の対象とした。

また、鉄筋については配筋の位置をほぼ実物に対応させてモデル化を行い、コンクリートにはソリッド要素、鉄筋にはトラス要素を用いており、剛性については土木学会コンクリート標準示方書にしたがいコンクリートは *by-linear* の非線形弾性のモデル、鉄筋は *tri-linear* のモデルを用いた。解析に用いたコンクリートの物性値を表-1に示す。圧縮強度と引張り強度は強度試験のデータから設定したが、弾性係数は圧縮強度近傍での非線形性を考慮するために、圧縮強度時のひずみ ε_{cmax} を実験式(1)を用いて圧縮強度 σ_c から求め、式(2)から割線弾性係数を設定した。

$$\varepsilon_{cmax} = (1.37 \times \sigma_c + 1690) \times 10^{-6} \quad (1)$$

$$E = \sigma_c / \varepsilon_{cmax} \quad (2)$$

なお、強度を超えた要素については、その剛性を解析に影響を与えずに無視できる程度に低減させた。また、鉄筋は部材によって材料は異なるが、引張り試験の結果に大差が見られないことから、降伏点強度を $35(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ 、引張り強度を $50(\text{kgf}/\text{mm}^2)$ 、降伏ひずみを $1640(\mu)$ 、弾性係数を $2.0 \times 10^4 (\text{kgf}/\text{mm}^2)$ で全て同一の値を用いた。なお、*tri-linear* モデルの第1折点を降伏点強度、第2折点を引張り強度でコンクリートと同様に段階的に剛性を低減させた。

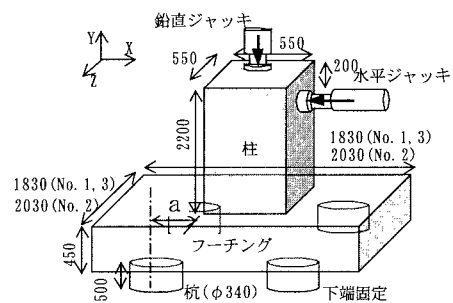


図-1 実験に用いた供試体

表-1 コンクリートの物性値

供試体 番号	部材	引張り強度 $\sigma_t (\text{kgf}/\text{cm}^2)$	圧縮強度 $\sigma_c (\text{kgf}/\text{cm}^2)$	圧縮強度ひずみ $\varepsilon_{cmax} (\mu)$	弾性係数E (kgf/cm^2)
①	柱	21.5	286	2072	1.38×10^5
	フーチング・杭	16.7	258	2031	1.27×10^5
②	柱	21.5	290	2109	1.38×10^5
	フーチング・杭	16.7	262	2071	1.27×10^5
③	柱	21.1	288	2079	1.39×10^5
	フーチング・杭	16.5	264	2050	1.29×10^5

キーワード：フーチング、耐力、数値解析

連絡先：〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町 2-2-2

(株)奥村組 TEL:06-6625-3772 FAX:06-6623-7699 E-mail:oku06986@gm.okumuraguni.co.jp

3. 解析結果と考察

供試体の変位や鉄筋のひずみについて実験と解析で検討した結果の一部をここで示す。供試体 No. 1 と No. 3 のせん断スパン比は $a/d=0.75$ であり、供試体 No. 2 は $a/d=1.0$ である。また、フーチング鉄筋量は No. 3 は No. 1 の約 1.5 倍、No. 2 は No. 1 の約 1.2 倍である。図-2～図-4 に柱の水平変位を示した。実験結果から、供試体 No. 1 の耐力(最大荷重)は約 28tf、No. 2 は約 38tf、No. 3 は約 37tf である。No. 2 は最大荷重以後、急激に耐力が低下しており、せん断スパン比の大きさによる影響と推測される。No. 3 の耐力の増加は鉄筋量の増加によるものと考えられる。一方、解析では供試体による耐力の変化が見られず、最大荷重以後の耐力低下が現れていないが、それらはコンクリートのひずみ軟化を考慮していないためと考えられる。

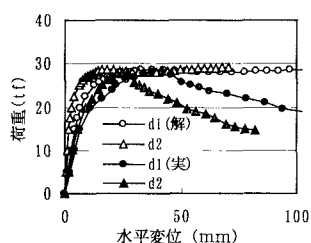


図-2 柱水平変位(No. 1)

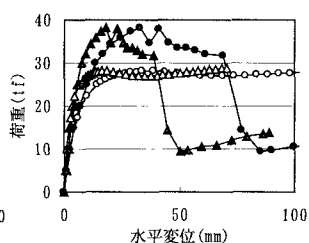


図-3 柱水平変位(No. 2)

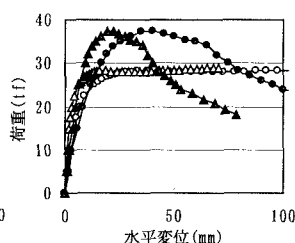


図-4 柱水平変位(No. 3)

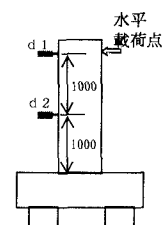


図-5～図-7 にはフーチング下面の中央で水平載荷軸方向に配筋された鉄筋のひずみを示した。白抜きが解析結果、黒塗りが実験結果である。解析結果は荷重が 20tf、25tf、28tf(最大荷重)、29tf(終局)におけるひずみを示したが、実験結果は供試体ごとに構造体としての挙動が解析と対応すると思われる荷重段階のひずみを示した。ひずみの値は実験と解析で差違があるが、ピーク位置は押込み側の柱外縁で実験と解析で一致しており、全ての供試体で共通している。供試体の終局時には、柱との接合部付近でフーチングの上面や下面鉄筋に大きなひずみが生じている。ここで示した結果はその一部であるが、ひずみの相対的な分布状況は実験と解析で一致していることから解析によっても一定の評価が可能であることがわかった。

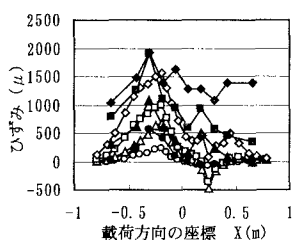


図-5 鉄筋ひずみ(No. 1)

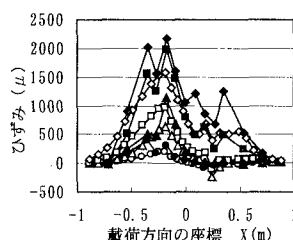


図-6 鉄筋ひずみ(No. 2)

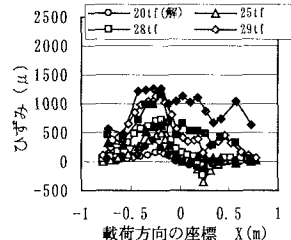
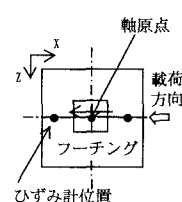


図-7 鉄筋ひずみ(No. 3)



4. 結論

本報では、フーチングの単調漸増載荷実験の評価にコンクリートのひずみ軟化を考慮しない非線形の弾性解析を用いた。鉄筋の荷重分担や最大荷重以後の耐力低下の評価に課題があることがわかったが、変形のモードや鉄筋のひずみ分布は一定の評価ができており、構造体としての終局挙動を検討する上で有益な知見が得られた。今回の実験と解析結果から、せん断スパン比は構造体の耐力よりも靱性に関わりが強いこと、フーチングの鉄筋補強は耐力の増加が期待できることがわかった。また、終局に至る挙動は、柱との接合部でフーチングの鉄筋ひずみが大きくなり、接合部の変形が進み構造体としての終局に達すると思われる。

【参考文献】

- 1) コンクリート技術シリーズ、構成モデル小委員会(301)成果報告書、土木学会、1997. 7
- 2) 幸左賢二・藤井康男・森田修二・水田崇志、フーチングの損傷メカニズムに関する解析的検討、第2回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、pp. 83～88、1998. 12