

フーチングの地震時挙動の解析的研究

九州工業大学 学生員 安藤高士
九州工業大学 正会員 幸左賢二
新構造技術(株) 正会員 水田和之

1. はじめに

これまで、地震によるフーチングの被害例は少なく損傷状況も軽微であったが、その形状が複雑なことから、破壊メカにズムや終局挙動については明確にされていない。そのため、現行道路橋示方書ではフーチングを梁部材と見なして設計しているが、設計水平震度の増加とともに、部材や鉄筋量の大幅な増加が報告されており、フーチングの厚さやスラブ構造の効果を考慮した合理的な設計手法の確立が望まれる。そこで本研究では、地震時のフーチング終局挙動実験を解析的に検討し、破壊メカニズム・終局挙動を評価した。

2. 解析モデル

解析モデルとした実験試験体を図-1に示す。試験体はせん断スパン比 $a/d=0.75$ で、橋脚の天端に上部工死荷重に相当する鉛直荷重(48.4tf)を載荷した後、柱天端から200mmの位置に単調増加の水平載荷を行っている。

解析手法にはFEM静的2次元弾塑性モデルを用いた。また、本解析は2次元モデルを用いているが、鉄筋の配筋などをほぼ実物に対応させてモデル化を行い、コンクリートには平面応力要素、鉄筋には埋め込み鉄筋要素を用いている。解析で用いたコンクリートおよび鉄筋の物性値を表-1に、コンクリートの応力-ひずみ関係を図-2に示す。圧縮強度と引張強度は強度試験のデータから設定した。図-2に示すようにコンクリートの応力-ひずみモデルは圧縮域ではバイリニアモデルを用い、また引張域では引張強度以降の強度低下を考慮している。鉄筋については、部材によって材料は異なるが、引張試験の結果に大差が見られなかったため全て同一の材料定数を用いた。また、鉄筋の応力-ひずみモデルでは $8.5 \epsilon_y$ の区間の降伏棚領域を設け、その後はひずみ硬化を考慮したモデルを用いている。

表-1 コンクリート・鉄筋の材料特性

	圧縮強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性係数 (N/mm^2)	ポアソン比
柱部	28.028	2.107	2.2×10^4	0.2
フーチング・杭部	25.284	1.637	2.2×10^4	0.2
	弾性係数 (N/mm^2)	降伏点強度 (N/mm^2)	降伏ひずみ (μ)	引張強度 (N/mm^2)
鉄筋	2.0×10^5	345	1640	490

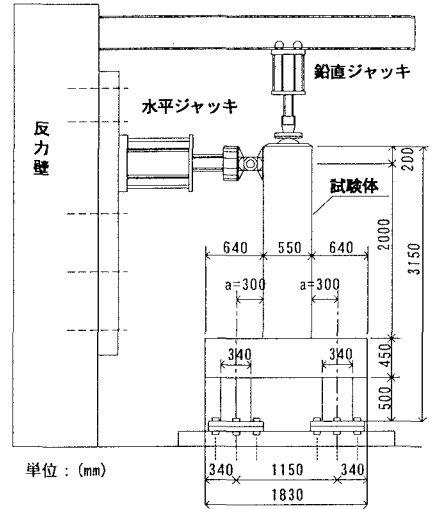


図-1 実験試験体図

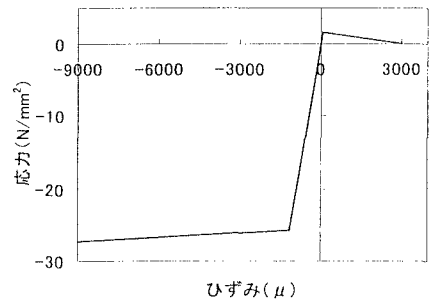


図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係

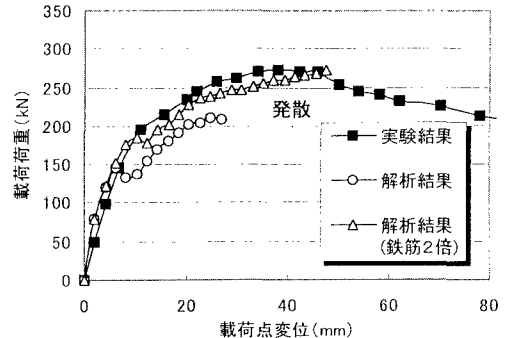


図-3 荷重-変位曲線

3. 解析結果

試験体の変位や鉄筋のひずみについて実験値と解析値を比較・検討した結果の一部を以下に示す。

図-3に柱の水平荷重載荷点における荷重-変位曲線を示した。解析結果は、150kN 付近までは実験結果とほぼ同様の挙動を示すが、150kN 以降急激に変形が増加する結果となっている。図-3に最大荷重 280kN、変位 28mm で解が発散する結果となった。また、フーチング上面の鉄筋量を2倍とした解析結果を同時に示している。試験体の耐力が大きくなっていることから、終局挙動はフーチング上面の損傷によって支配されていることが分かる。

図-4に柱軸方向鉄筋のひずみ分布を示した。実験値よりもやや大きなひずみが見られるが、分布形状は比較的類似しており、柱の曲げ挙動はある程度再現できている。しかし、フーチング内部の柱軸鉄筋のひずみは解析のほうがかなり大きくなった。

図-5にフーチング上面に配筋された鉄筋のひずみ分布を示した。解析でのフーチング上面鉄筋は実験と比べ早い段階で鉄筋の降伏ひずみ近傍に達しているが、ピークの位置は引き抜き側の柱外縁部で実験と一致していた。また、フーチング下面鉄筋では、押し込み側の柱外縁部に大きなひずみが生じていたが、上面のような極端に大きなひずみには達していない。この傾向は、実験にも認められる。

図-6に実験でのフーチング上面の損傷状況を、図-7に解析における荷重 200kN 時の最大主ひずみ分布を示した。実験では、フーチングの損傷に対して支配的なひび割れは載荷側に生じ、最終的には載荷側にコーン状の引き抜き破壊を起こしている。これに対し、解析においても引き抜き側のフーチング上面に引張強度を超えるような引張応力が広く分布していることから、フーチング上面・柱接合部の引き抜き側近傍より損傷が生じていると考えられ、実験と同様の傾向が得られている。

4. まとめ

本解析では、フーチングの地震時挙動実験の評価に2次元弾塑性解析を用いた。コンクリートの軟化挙動や鉄筋の応力分担の評価に課題があることが分かったが、変形のモードや鉄筋のひずみ分布は実験と同じ傾向にあるものが得られた。終局に至る挙動は、解析においても柱とフーチング上面の接合部における損傷の影響が大きいことが分かった。本解析ではフーチングでは現行設計手法で想定する曲げやせん断破壊の傾向は見られなかった。今後は、この結果を踏まえ鉄筋量やせん断スパン比をパラメータとした解析を行い、各要因が耐力および終局挙動に与える影響を定量的に評価し、フーチングの合理的な補強方法や設計方法の検討を行う必要がある。

(参考文献)

- 1) 森田修二・幸左賢二・藤井康男・水田和之：杭を有するフーチングの終局挙動に関する解析的検討，土木学会第54回年次学術講演会，第V部門，p544～555

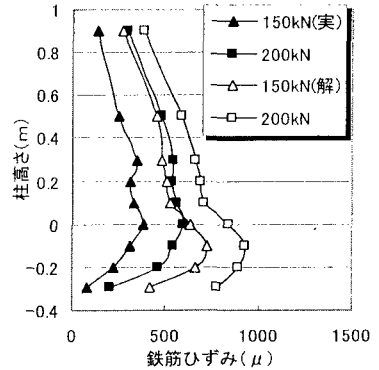


図-4 柱軸方向鉄筋 (引張側) ひずみ分布

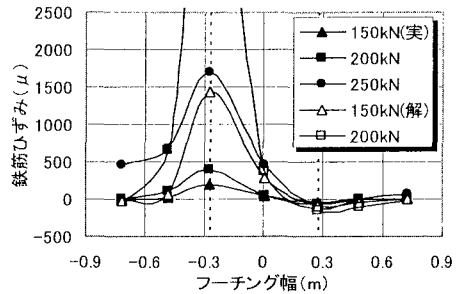


図-5 フーチング上面鉄筋ひずみ分布

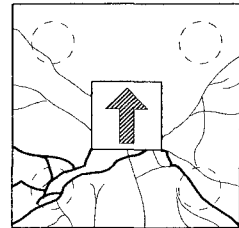


図-6 損傷状況図

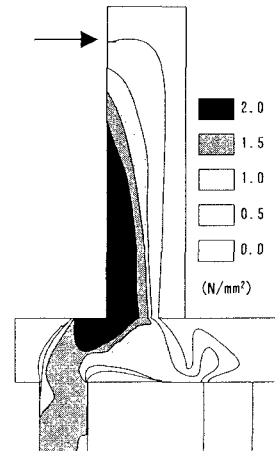


図-7 200kN 時最大主応力分布