

地震時挙動を考慮したフーチングの耐震設計に関する解析的研究

九州工業大学大学院 学生会員 安藤高士
 阪神高速道路公団 正会員 足立幸郎

九州工業大学 正会員 幸左賢二
 独立行政法人土木研究所 正会員 白戸真大

1. はじめに

杭基礎フーチングは、地震時に橋脚に生じる慣性力の作用により、下面引張側と上面引張側が発生する。このうち上面引張側では、柱および杭からの引張力の作用に対して設計することになるが、そのような引張荷重状態を想定した載荷実験が行われた事例はほとんどなく、その耐荷力機構は明らかになっていない。そこで、フーチングの地震時挙動再現実験を対象として2次元弾塑性FEM解析を行い、上面引張側での破壊メカニズムの検討を行った。

2. 解析手法

試験体は阪神大震災によりCランクの損傷が生じた橋梁を1/3スケールでモデル化し、橋脚・杭・フーチングを一体とした構造である。図-1に試験体構造図を示す。解析手法としては2次元弾塑性FEM解析を用いた。載荷条件としては柱天端に上部死荷重を載荷した状態で柱上部に変位増分による単調水平載荷を与え、境界条件は杭下端を完全固定とした。降伏基準は、コンクリート圧縮側ではDrucker-Pragerの降伏基準を用い、引張側では最大主応力基準を用いた。コンクリートの応力-ひずみ関係は、圧縮上昇域では圧縮強度までを2次放物線としその後は応力を減少させ、引張域では最大引張応力まで直線的に応力が増加するとしその後は破壊エネルギーを考慮した1/4モデルを用いた。鉄筋の応力-ひずみ関係は、鉄筋降伏強度に達した後に降伏棚領域を設け、その後はひずみ硬化を考慮したモデルを用いている。

3. 解析結果および考察

3. 1 上面引張側フーチングの曲げ挙動の検討

図-2に水平載荷位置における荷重-変位関係を示す。実験では、フーチング上面鉄筋が降伏した後に、水平変位が増加し、最大耐力以降荷重の低下現象が見られた。解析結果においても、フーチング上面鉄筋が降伏し、水平変位の増加が見られたが、荷重の低下現象を再現できなかった。また、実験でのひび割れはフーチング上面載荷側に生じたが、解析でも引張側上面に水平方向のひずみが発生しており、同様の曲げ損傷が生じていると考えられる。

3. 2 上面引張側フーチングのせん断挙動の検討

図-3に水平変位15mm時の引張側フーチングにおける最大主ひずみ分布を示す。また、図-4に実験での最大荷重時におけるフーチング損傷状況を示す。実験では、フーチング側面に上面から下面に達する斜め方向のひび割れが確認できた。解析においても、せん断スパンにあたる位

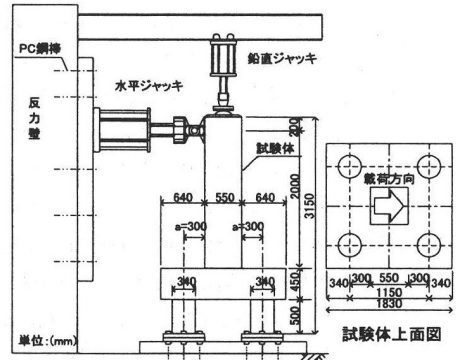


図-1 実験試験体構造図

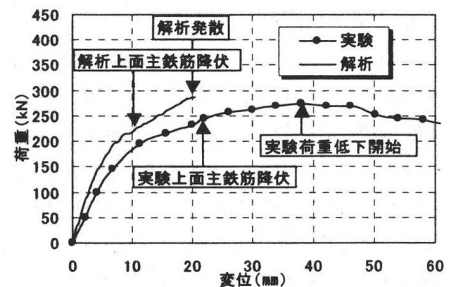


図-2 水平載荷位置における荷重-変位関係

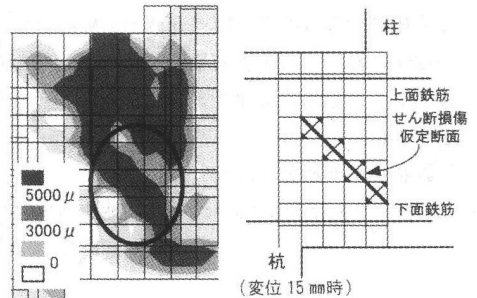


図-3 引張側フーチング最大主ひずみ分布

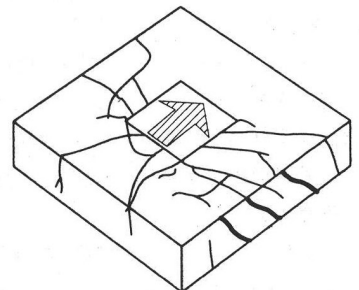


図-4 フーチング損傷状況

置で曲げ損傷とは異なる斜め方向の最大主ひずみが生じた。このひずみは45度方向に発生していたためせん断損傷と考えられ、ひずみに対して90度のせん断損傷断面を仮定した。

図-5にせん断損傷仮定断面に発生する最大主ひずみと載荷点変位の関係を示す。上面鉄筋降伏までは、最大引張応力に達するようなひずみは発生していないが、上面鉄筋が降伏するとひずみの急増が見られた。またこのとき、フーチング下面主鉄筋はフーチング上面鉄筋が降伏に達すると引張ひずみが生じる現象が実験・解析ともに見られた。

図-6にフーチング部材でのせん断作用力模式図を示す。せん断損傷に支配的な力として、柱および杭の引抜作用による鉛直方向のせん断力と、作用慣性力による水平方向のせん断力が考えられる。しかしながら、フーチング上下面鉄筋の損傷状態を考慮すると、上面引張側フーチングのせん断損傷は水平方向のせん断力により生じると考えられた。

図-7に作用水平せん断力に対するコンクリートおよび鉄筋の負担状況と載荷点変位との関係を示す。ここで、水平せん断力は柱基部に作用する水平力から杭頭に作用する水平力を差し引くことにより算出した。フーチングが弾性状態にあるときはコンクリートによってほとんどの水平力を受け持っているが、フーチング上面に曲げひび割れが生じるとコンクリートの負担作用力は減少し、上面鉄筋の負担作用力が上昇していることが分かる。このことから、この区間の挙動は比較的曲げ挙動に近いものと考えられる。上面鉄筋が降伏状態に達した後、通常の曲げ挙動であれば下側主鉄筋に作用する圧縮力が増大すると考えられるが引張力が生じ、コンクリートの負担せん断力がさらに減少していることが分かる。

図-8に作用水平せん断力によるフーチング損傷の模式図を示す。フーチングのせん断損傷は、杭頭および柱基部に作用する水平力により生じると考えられる。このとき、柱の回転挙動によりフーチング上面が引張状態となるが、上面主鉄筋が降伏すると作用せん断力に対してはコンクリートのみでしか抵抗できないため、フーチング腹部においてせん断損傷が生じると考えられる。また、せん断損傷が生じて下面鉄筋の効果により脆性的な破壊には至らないと考えられる。

4. 結論

- (1) フーチングのせん断損傷は作用水平せん断力により、上面鉄筋が降伏に達した後に生じると考えられる。
- (2) 水平せん断損傷は、フーチング下面主鉄筋の効果により脆性的な破壊に至らない傾向にあると考えられる。

参考文献：1) 白戸真大・福井次郎・幸左賢二・梅原剛：ディープビーム・フーチングのせん断耐力算定式に関する研究，構造工學論文集，vol.47A，pp.1315-1325，2001.3.

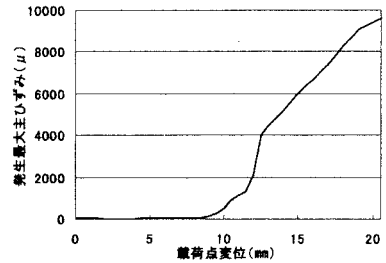


図-5 引張側フーチング最大主ひずみ分布

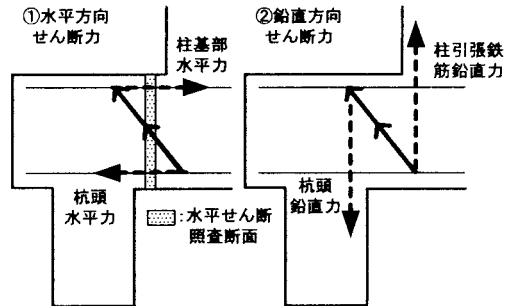


図-6 フーチング部材のせん断作用力の模式化

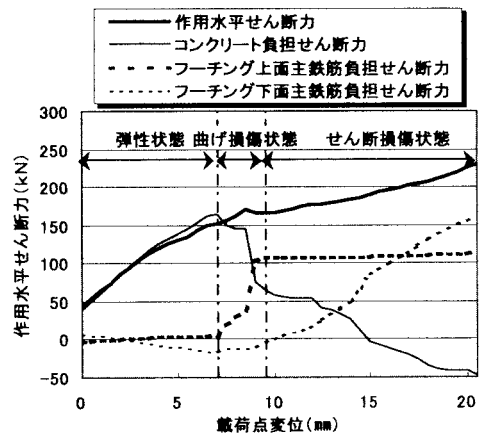


図-7 作用水平せん断力の負担状況

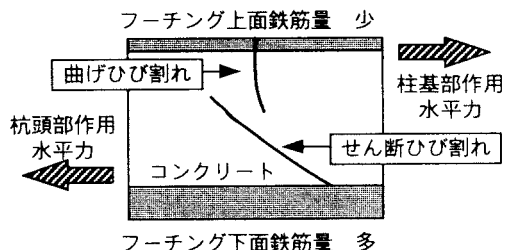


図-8 フーチングのせん断損傷模式図