

III-B 10 兵庫県南部地震により損傷を受けた場所打ち杭の非線形解析

大 阪 大 学 正 松 井 保
大 阪 大 学 正 小 田 和 広
阪 神 高 速 道 路 公 団 正 石 崎 浩
鹿 島 建 設（株） 正 ○ 東 尾 啓 司

1. はじめに

兵庫県南部地震により道路橋構造物は甚大な被害を受けたが、阪神高速道路公団5号湾岸線においては震災調査の中で橋脚基礎の健全度評価を行ってきた。橋脚基礎で主として採用されている場所打ちコンクリート杭については、ボアホールカメラと直接観察によって杭がある程度の損傷を受けている事が確認された。そこで、場所打ち杭の損傷の状況分析と、基礎を再利用する場合の安全性を評価するため、「複合非線形フレーム解析システム（SLAP）」¹⁾を用いて非線形解析を行ったところ、杭体の応力特性を良好に表現できたので、ここに報告する。

2. 解析手法

本解析では、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に関わる仕様」²⁾に準拠し、以下のような解析条件を設定した。

（1）解析モデル

橋脚基礎の非線形解析を実施するため、「複合非線形フレーム解析システム（SLAP）」を用いた。SLAPによる解析イメージは図-1に示すとおりであり、杭断面をセル状に分割したファイバーモデルで構成されている。

（2）解析パラメーター

非線形解析パラメーターについては、下記の考え方に基づいて設定した。これによって、復旧仕様に示された杭体や地盤の非線形性をモデル化することができる。

- ①杭軸方向の反力は杭軸方向ばねで求めるが、支持力の限界値（極限押し込み力及び極限引き抜き力）を設定した。
- ②杭軸直角方向の地盤反力は杭軸直角方向ばねで求めるが、地盤反力の上限値をC o u l o m b の受働土圧とした。また、変形の増大に伴い後列杭の抵抗力が前列杭の影響により低下する事を考慮し、最前列以外の杭については水平地盤反力の上限値を1/2とした。
- ③杭体コンクリートの応力とひずみの関係は図-2のとおりとし、帯鉄筋による拘束効果を考慮した。また、鉄筋の応力とひずみの関係は降伏点を上限とする図-3に示す関係を用いた。

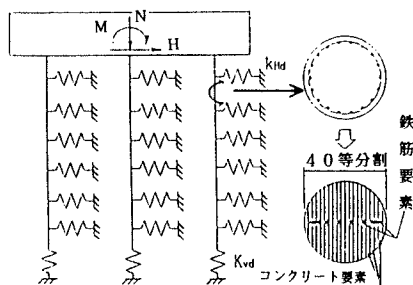


図-1 解析イメージ図

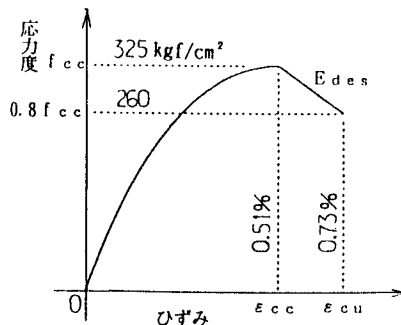


図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係

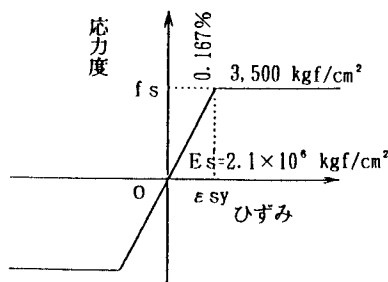


図-3 鉄筋の応力-ひずみ関係

3. 解析事例

(1) 解析条件

本手法を適用した場所打ち杭基礎の諸元を図-4に示す。外荷重は当初設計の計算値に基づき、軸力（N）は固定とし、水平力（H）および転倒モーメント（M）を増加させながら、設定した破壊状態まで載荷する。当初設計震度（ $K_h = 0.30$ ）相当の荷重は以下のとおりである。

$$N=13000\text{tf}, \quad H=2100\text{tf}, \quad M=42000\text{tf}\cdot\text{m}$$

当基礎の地盤条件は図-4のとおりであり、地表面付近から厚さ約1.7mがN値10程度の埋め立て土である。解析に先立って埋立土層の液状化の検討を行った結果、300gal以上の地震時には液状化の可能性が高いと判定されたため、道路橋示方書の方法により地盤定数を低減した。

(2) 解析結果

フーチング中央での荷重-変位曲線を図-5、杭頭部の応力経路を図-6、終局時における曲げモーメント分布を図-7に示す。これらの解析結果を損傷状況と比較考察した結果、下記のように要約される。

- ①解析によると、基礎が終局状態に達する震度 K_h は0.55である。神戸付近での最大加速度観測値は300~800 galであるので、解析結果から杭がある程度損傷していることが推察できる。実際には、杭のボアホールカメラ調査でもクラックが確認されており概ね一致している。
- ②解析結果では、荷重の増加に伴い、押し込み側の杭に発生する曲げモーメントは引き抜き側より大きくなる。このため、押し込み側と引き抜き側の杭は、ほぼ同時に降伏あるいは終局耐力近傍に達している。一方、調査の結果でも杭のクラックは端部の杭だけでなく中央部の杭にも同様に発生しており、解析結果はこの現象を良好に表現している。線形のフレーム解析によれば、引き抜き側の杭だけが損傷する結果しか得られず、この点が今回の非線形解析の最大の特長と言える。
- ③杭の曲げ応力については、段落し部も杭頭部とほぼ同様の解析結果が得られた。クラックの発生深度については、杭頭部だけでなく地中部の比較的深い位置（段落し部）においても確認されており、解析結果と調査結果とはよく一致している。

4. まとめ

以上のように場所打ち杭基礎の非線形解析結果と損傷状況を比較した結果、杭の応力特性を良好に表現できることが確認された。今後は、下部構造物における限界状態設計法への移行に鑑み、種々のケースについて同様な非線形解析を実施し、側方流動圧の評価法を含めた設計法について検討を進める予定である。

【参考文献】 1) 沖見芳秀・右近八郎：「複合非線形フレーム解析システムの開発」，土木学会誌，Vol. 80，pp. 14~17，1995

2) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に関わる仕様」の準用に関する参考資料（案）

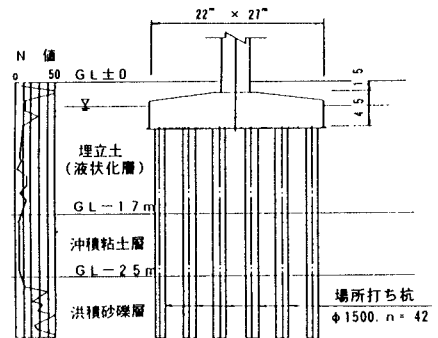


図-4 場所打ち杭基礎の諸元

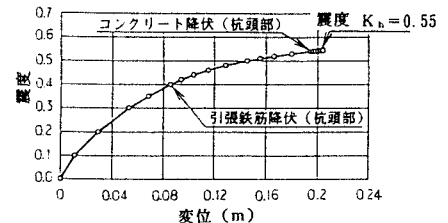


図-5 荷重-変位曲線図

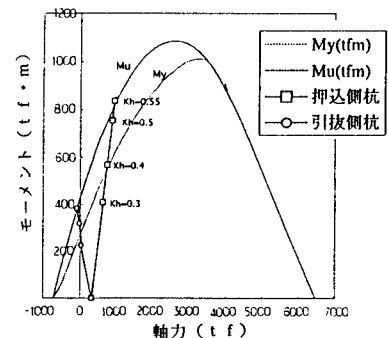


図-6 杭頭部の応力経路

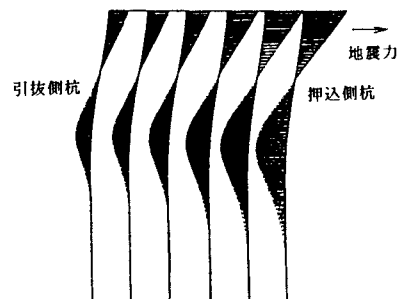


図-7 終局時の曲げモーメント分布図