

# [197] PHC 杭の曲げせん断性能に関する補修前後の実験結果の比較

正会員 ○杉村義広 (建設省建築研究所第3 研究部)  
平出 務 (建設省建築研究所第3 研究部)

## 1. はじめに

PHC (高強度プレストレストコンクリート) 杭の震害と復旧は、この種の杭の出現が昭和40年代と、比較的新しいこともあって、余り事例は多いとはいえないが、宮城県沖地震 (1978) に至ってかなり大きな被害例がみられたことから、耐震性上の重要な問題点として浮かび上ってきた。この地震による被災PHC杭の復旧については、例えば志賀の報告<sup>1)</sup>に詳しいが、直接基礎形式への変更とか、杭の増設と被害杭に対する鋼管巻きなどの補修工法が採用され、原型としての杭はもはや期待しないという考え方が主流をなしている。復旧工法は被害程度との関係で選定されるべきであるから、杭体の圧壊などを伴った被害に対する補修方法として、これらは当然といえるが、もし、被害が杭体のひびわれ程度に留まり、樹脂注入などの補修方法で健全な姿を復元できるなら、労力および経費の上で有効性を発揮することになる。

本論文では、以上の観点から、実験室内においてPHC杭の曲げせん断実験を行い、その最大耐力まで載荷し杭体に曲げおよびせん断ひびわれを生じさせた後、エポキシ樹脂注入によるひびわれ補修を行い、再度同一の実験を行って、補修前後の杭の曲げせん断性能を比較することにした。なお、補修前の実験は、PHC杭および杭頭接合部に関する構造性能についての一連の研究の一環として行ったものであり<sup>2)</sup> その一部は本論文に重複して紹介することにする。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

試験体の概要を図1および表1に示す。杭は市販されている直径50cmのPHC杭C種 (有効プレストレス100 kg/cm<sup>2</sup>) である。この場合、φ9のPC鋼材24本が主筋として用いられ、φ4の用心鉄筋がらせん状に配筋されている。杭頭接合部は、杭をPC鋼材とも切断した後、フーチング内に10cm埋込む方式であり、杭体内部には杭径分の長さまで鉄筋を配置し、コンクリートはフーチングと一体打ちとされている。なお、フーチングの配筋がやや多めであること、フーチング端面から杭中心までの最短距離が約1.7倍であること、運搬中の保護などのためのPCストランド貫通用のシースが配置されていることなど、実際とは異なる条件があることには注意しておく必要がある。

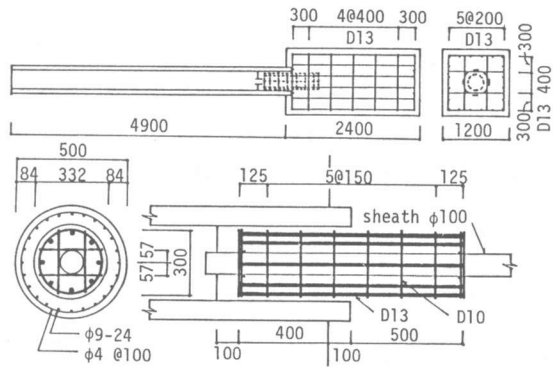


図1 試験体の概要および接合部の詳細

### 2.2 載荷方法

加力方式は、地盤中の杭が水平力の作用によって経験する曲げモーメント分布に類似させることを意図して図2に示すような載荷方法を採用している。加力点および支点は、テフロン支承を用いることにより、回転に対しては自由になるように配慮している。載荷段階は、杭の短期許容、設計ひびわれ曲げモーメントに対応する荷重Pを、接合端部が固定であったとした場合について算定し、それぞれの荷重を最大値として、3サイクルおよび5サイクル繰り返した後、破壊に至らしめることにした。なお、杭への軸力はなしの条件下で実験を行っている。

表1 試験体の実測値による諸元 ( ) 内は公称値

	径 B (cm)	肉厚 t (mm)	コンクリートの圧縮強度と ヤング率 (kg/cm <sup>2</sup> )	
			F <sub>c</sub>	E <sub>c</sub>
杭 (C種)	50	84(80)	954(800)	4 × 10 <sup>5</sup>
フーチング	—	—	187	2.41 × 10 <sup>5</sup>

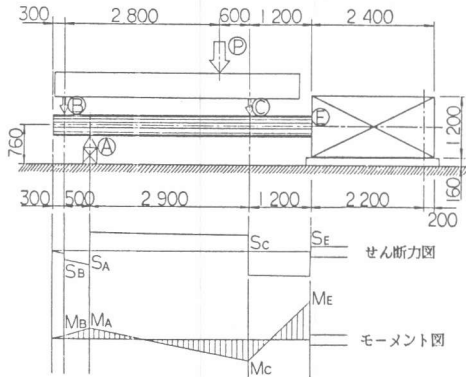


図2 採用した加力方式と杭体の応力図

### 2.3 補修状況

試験体のひびわれ補修状況は写真1, 2に示すように以下の手順で行っている。ひびわれに沿い、適当な間隔(10-20cm)で注入用パイプを接着した後パテ状の接着剤で、ひびわれ表面をふさぐ。次いでエポキシ樹脂グラウト材を注入して数日の養生後、表面をみがいて終了する。ひびわれはフーチングにも生じているが、殆どが杭体に集中しているため、杭体の補修が中心となっている。なお、注入したグラウト材の主要な強度は表2に示すとおりである。

### 3. 実験結果

実験結果の一例として、加力点Cにおける曲げモーメントとたわみの関係を図3に、接合端部E点における曲げモーメントと杭頭回転角およびフーチングの回転角の関係を、それぞれ図4および図5に示す。各図では第1サイクル、第4サイクルと第9サイクル以降のみを履歴曲線として示しているので連続してはいない。また、補修前の試験体(50CY00)では、第9サイクルで初期ひびわれが明確に確認できたので、その時点で一度除荷し、第10サイクルで破壊に至らしめている。これに対し補修後の試験体(51CY00)では、初期ひびわれの確認が、補修前の微小ひびわれとの判別がかなり困難で遅れたこともあって、除荷せず第9サイクルでそのまま破壊まで載荷している。CおよびE点の曲げモーメントは、加力点B, Cの荷重および支点Aの反力の測定値を用い、アーム長を乗じることによって求めている。なお、杭と載荷装置の自重による影響も加算しており、各図の初期値はこれらの値で示されている。

図5からは、フーチングの回転角が補修前後の試験体でやや異なることがみられる。したがって、両者を比較するために、この影響を除去して補正直した関係を図6に示した。すなわち、フーチングの回転角による支点Aの反力成分およびC点の変位成分を、それぞれ減じて求めたものを  $M_C^1$ ,  $M_E^1$ ,  $y_C^1$  としている。ただし、同図では処女荷重についてのみ示し、自重による曲げモーメントも除いている。また、初期ひびわれと表示した段階は、杭体表面に貼付したストレインゲージの測定値から判定されたもので、観察よりもやや小さい荷重段階に対応している。

以上により、補修前後の試験体を比較すると、補修後の試験体の方が、 $M_C^1 \sim y_C^1$  関係はややなだらかになるが、破壊耐力は同程度であり、破壊変位はむしろ大きくなっている。すなわち、補修により、構造性能は補修前と比べて同等か、むしろ向上する傾向にあるといえよう。

写真3, 4には、フーチングに向かって杭体右側面の最終状況を比較して示す。また、図7には、杭体両側面の最終状況のスケッチを示す。実線は補修後、点線は補修前のひびわれである。これらからは、

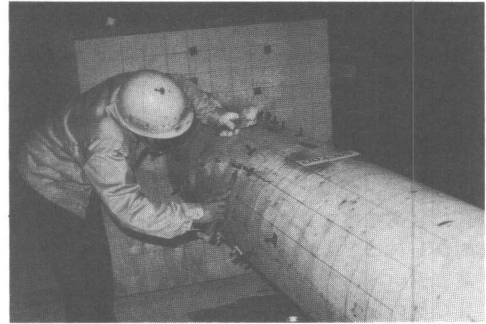


写真1 パテ状接着材の塗布状況

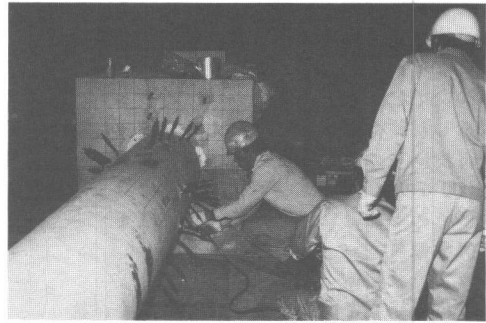


写真2 エポキシ樹脂の注入状況

表2 エポキシ樹脂系注入材の力学的性質  
(単位: kg/cm<sup>2</sup>)

曲げ強度	400
圧縮強度	500
弾性係数	$(1.5 \sim 4.0) \times 10^4$
引張強度	200
せん断強度	130

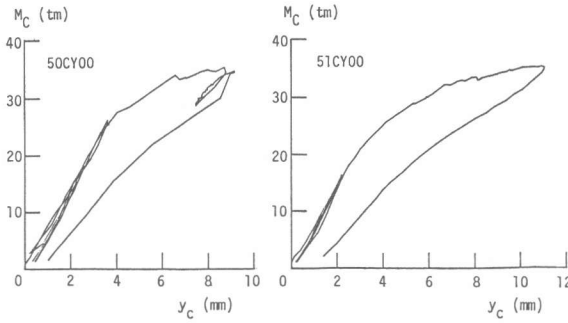


図3 加力点における曲げモーメントとたわみの関係

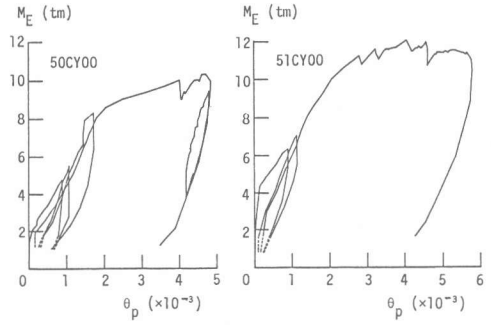


図4 杭頭における曲げモーメントと回転角の関係

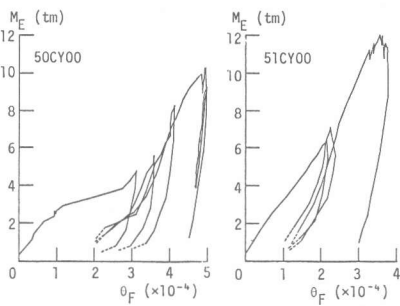


図5 杭頭における曲げモーメントと  
フーチング回転角の関係

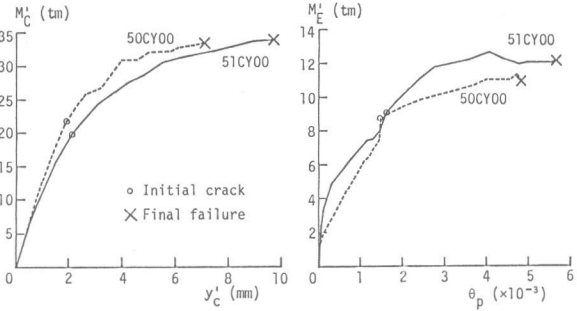


図6 フーチング回転角の影響を補正した曲げモーメントと  
たわみまたは杭頭回転角の関係

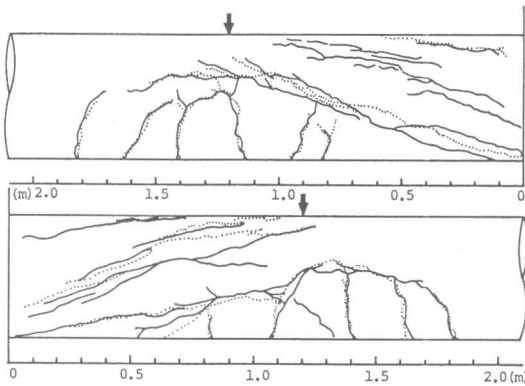


図7 最終状況スケッチ (実線: 補修後, 点線: 補修前)

以下の特徴がみられる。すなわち、加力方式が同一であるので破壊状況が類似のものになるのは当然として、補修後のひびわれは補修前の位置そのものに現われるのではなく、その極く近傍に生じていることである。このことは樹脂注入により補修されたひびわれが健全性を回復していることを証明しているといえる。なお、ひびわれ幅は、補修前後の試験体とも斜めひびわれの中央付近で最も大きく現われ、その値は約1.5 mmであることが観察されている。

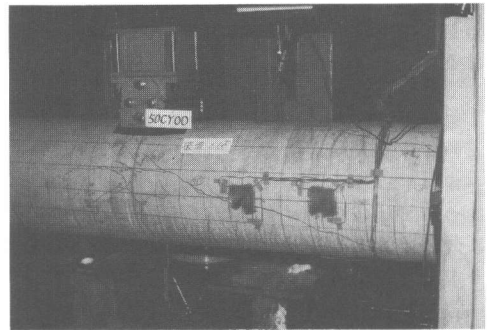


写真3 補修前の試験体最終状況

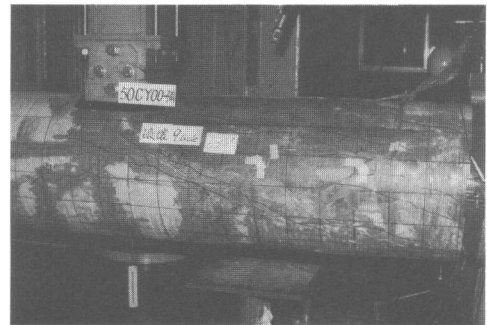


写真4 補修後の試験体最終状況

#### 4. 考察

##### 4.1 杭頭固定度について

杭の水平抵抗に関する実務設計では、杭頭接合部の回転拘束度が重要なパラメータとなる。これは、杭頭に生ずる実際の曲げモーメントを  $M_0$  とし、杭頭完全固定として求められる理論値を  $M_{0f}$  とすれば次式による比  $\alpha_r$  で示される。<sup>2)</sup>

$$\alpha_r = \frac{M_0}{M_{0f}} \quad (1)$$

$\alpha_r$  は、杭頭固定のとき1、ピンのとき0となるので杭頭固定度とも呼ばれる。今回の実験結果にこの定義を適用し、 $M_0$  として  $M_E^1$  を用いれば、杭の短期許容曲げモーメント以内では、ほぼ補修前  $\alpha_r = 0.53 \sim 0.55$ 、補修後  $\alpha_r = 0.54 \sim 0.57$  となる。補修後の値がやや大きいのは、図6で51CY00の  $\theta_p$  が小さめに出ていることと対応している。これは、杭頭接合部についても樹脂注入したことが、接合部の剛性を高める効果をもたらしたものと考えられる。

##### 4.2 杭のせん断ひびわれ耐力について

図8には、前報<sup>2)</sup>で示した杭のせん断耐力の一覧図に、今回の実験結果を追加したものを示す。ここで、解析値は以下の式によるものである。

$$\text{cal}Q_{cr} = \frac{2tI}{S_0} \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_g + 2\phi\sigma_t)^2 - \sigma_g^2} \quad (2)$$

$$\sigma_g = \frac{N}{A_e} + \sigma_e \quad (3)$$

ここで、 $t$ 、 $S_0$ 、 $I$ 、 $A_e$  は杭の肉厚、断面1次モーメント、断面2次モーメント、換算断面積であり、 $N$ 、 $\sigma_e$  は軸力および有効プレストレスである。 $\sigma_t$  はコンクリートの引張強度で圧縮強度  $F_c$  の7%の値をとる。また、 $\phi$  は補正係数で0.5とする。

図8から、全体的には実験によるPHC杭のせん断ひびわれ耐力は、(2)式で求められる計算値に対する比として、平均値0.993に標準偏差0.124を加減算した範囲に入るものが多いといえる。ただし、杭の断面やコンクリート強度については、実測値を用いていることから、比1.0を割るものについては(2)式がせん断耐力をやや過大に評価することになる点を注意しておく必要がある。今回の2つの試験体の実験結果は、いずれも平均的な値に近く、補修前後のせん断耐力を比較すると、余り差はないが補修後の値の方がやや高くなる傾向がみられる。これは、前述のようにひびわれに注入されたエポキシ樹脂がみかけ上コンクリートの引張強度を高める作用をした結果と考えられる。

#### 5. 結論

以上にみてきたように、杭の被害が完全圧壊に至らずエポキシ樹脂注入による補修が可能である程度のひびわれ破壊であれば、補修による注入剤がみかけ上コンクリートの引張強度の向上に寄与するので、補修後の杭は補修前と同等またはそれ以上のせん断性能を有しているといえる。したがって、このような補修は、かなり有効な方法といえよう。

謝辞 本研究の実験の実施にあたっては、コンクリートポールパイル協会の関係者各位に多大の協力を頂いた。ここに改めて記し、謝意を表する次第です。

##### 参考文献

- 1) 志賀敏男：宮城県沖地震における杭の被害とその復旧，建築技術No.344，昭和55年4月，PP.79-91
- 2) 杉村義広，藤沢正視，平出務，平池正博，土田伸治：PHC杭の杭頭固定度と破壊耐力に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，B構造I，昭和60年10月，PP.991-998

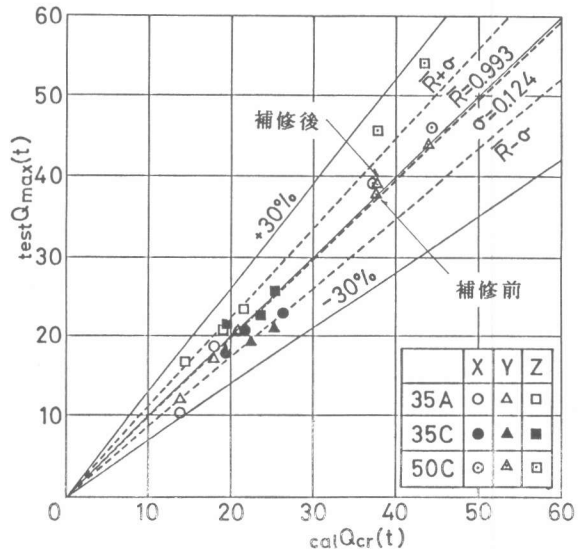


図8 杭材のせん断ひびわれ耐力の実験値と解析値