

高強度プレストレストコンクリート杭の 変形性能とその評価法

星限順一¹・大塚久哲²・津田和義³・長屋和宏⁴

¹正会員 工修 建設省土木研究所耐震研究室研究員(〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

²フェロー会員 工博 九州大学工学部建設都市工学科教授

³正会員 (社)コンクリートパイル建設技術協会

⁴正会員 建設省土木研究所耐震研究室

高強度プレストレストコンクリート杭の変形性能の向上を目的として、実寸規模の単杭に対して正負交番載荷実験を行い、スパイラル筋の量と中詰めコンクリートが変形性能に及ぼす影響について検討を行った。そして、杭体の変形性能を評価するために、杭体に生じた損傷度と残存耐力の観点から、使用限界変位と終局限界変位を定義した。その結果、スパイラル筋を十分に配置して中詰めコンクリートを充填すれば、高強度プレストレストコンクリート杭の使用限界変位や終局限界変位が向上することを明らかにした。さらに、中詰めコンクリートを充填した高強度プレストレストコンクリート杭の変形性能を、スパイラル筋によるコンクリートの拘束効果を考慮して解析した。その結果、本解析手法により求められる終局曲率は、実験結果から推定される使用限界時の曲率とよく一致することを明らかにした。

Key Words: prestressed high strength concrete pile, flexural ductility, cyclic loading test, moment-curvature analysis, seismic design

1. はじめに

道路橋の耐震設計においては、震度法をベースとした許容応力度設計から、部材の耐力や変形性能を考慮して設計する限界状態設計法へと移行する趨勢にある。橋脚基礎については、地中の構造物であり震災直後における被災の発見や被災に対する迅速な復旧が困難であることから、橋全体としての耐震設計を考えた場合、橋脚基礎に大きな損傷を生じさせるような設計は好ましくないと考えられる。こうした観点から、地震時保有水平耐力の照査では、橋脚基礎には橋脚躯体と同等もしくはそれ以上の耐力を確保しておくことが求められている¹⁾。しかしながら、壁式や小判型橋脚を有する基礎の橋軸直角方向に対しては、設計地震力に対する橋脚躯体の地震時保有水平耐力の余裕度が非常に大きくなるため、基礎の耐力を橋脚躯体と同等以上にすることが合理的でない場合もある。また、地盤が液状化して基礎に対する水平地盤反力度が低下するような場合には、基礎に大きな水平変位が生じることも考えられる。したがって、設計条件に応じては、基礎に対しても変形の非線形特性を考慮した耐震設計法が必要とな

る。

基礎の耐力や変形性能は、基礎本体の曲げモーメント-曲率の特性、水平地盤反力度-水平変位の特性、杭頭反力-杭頭軸方向変位の特性に応じて変化するため、これらの諸特性を適切に評価することが重要である。水平地盤反力度-水平変位の特性ならびに杭頭反力-杭頭軸方向変位の特性については、実杭や模型杭に対する既往の載荷実験結果を基に、統計的な分析が行われ、設計用としてのモデルが提案されている²⁾。一方、基礎本体については、基礎形式に応じて構造特性が異なることから、基礎形式ごとに曲げモーメント-曲率の特性を適切にモデル化する必要がある。ここで、基礎には様々な形式があるが、本研究では、高強度プレストレストコンクリート杭（以下、PHC杭と呼ぶ）を対象としている。

PHC杭は、導入したプレストレスにより運搬中や打込み中に発生するひびわれが防止できるとともに、設計においても杭体に80MPa程度の高強度コンクリートを用いていることから、30MPa程度のコンクリートが用いられるRC杭と比較すると許容応力が大きく確保できる等の特徴を有していることから、

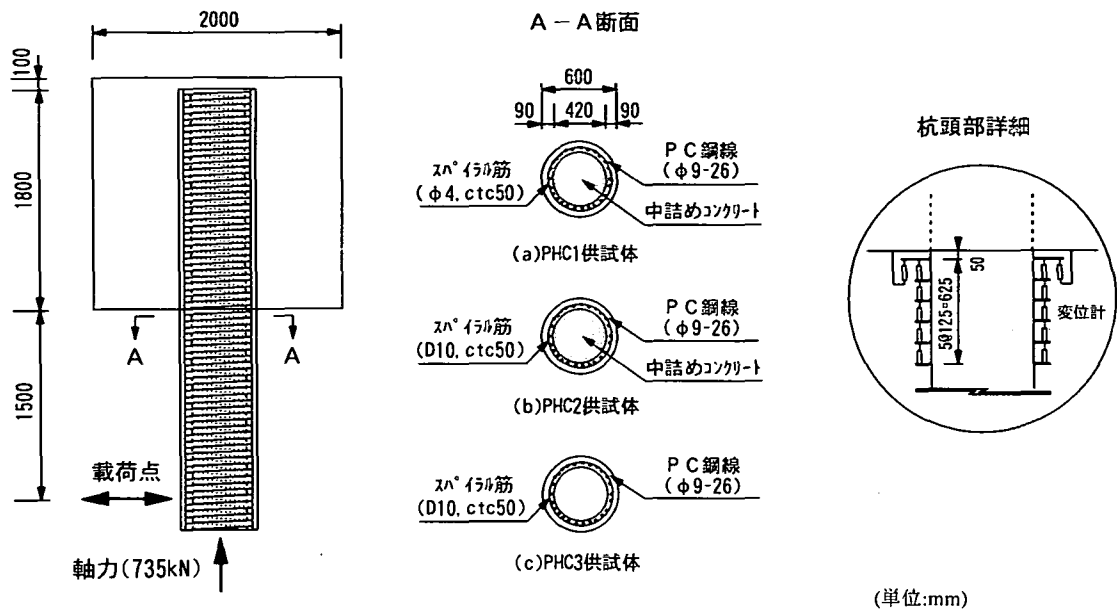


図-1 供試体の諸元と詳細

現在では既製コンクリート杭の中ではPHC杭が採用されることが多くなっている。しかしながら、耐震設計が許容応力度設計から限界状態設計法へと移行すると、変形性能の評価法の確立が要求されることになる。PHC杭は、高強度コンクリートを用いてプレストレスを導入している点が構造的な特徴であり、許容応力度設計の体系の中では合理的な部材であるが、変形性能の観点から見ると、これらの特徴が逆に不利な条件となる点に注目すべきである。本研究でPHC杭を対象としたのは、PHC杭がこのような構造的特徴を有しているためであり、従来からあるPHC杭のメリットを保持しつつ、さらに変形性能をも確保できるようなPHC杭ならびにその耐震計算法の開発が必要と考えたためである。

PHC杭が地震時保有水平耐力レベルの地震力を受けて被災した例としては、1978年宮城県沖地震において建築物の基礎として用いられていたPHC杭が杭頭部でせん断破壊した事例³⁾がある他、1995年兵庫県南部地震でも建築物のPHC杭において損傷が確認されている^{4),5)}。このような被害経験から、1978年宮城県沖地震以降、PHC杭の耐力に着目した研究が進められており^{6)~9)}、曲げ耐力やせん断耐力の評価法に関しては既に貴重な知見が得られている。一方、変形性能に関しては、これまでに実験的な検討^{10),11)}は行われているものの、耐震設計に用いる評価法としてまとめられた研究は少ないの

表-1 実験供試体とパラメータ

供試体	スパイラル筋	中詰めコンクリート
PHC1	φ4 ctc50	有り
PHC2	D10 ctc50	有り
PHC3	D10 ctc50	無し

が現状である。

こうした背景から、本研究では、変形性能と損傷度の関係に着目してPHC杭の正負交番載荷実験を行った。さらに、PHC杭に対する変形性能の評価手法を提案するとともに、杭体に生じた損傷度の観点から計算値と実験結果との比較を行い、本評価手法の妥当性を検討した。

2. PHC杭の正負交番載荷実験

(1) 実験供試体

実験供試体は図-1に示すように、外径が60cm、内径が42cm、有効プレストレスが7.85MPaのPHC杭である。PHC杭の変形性能を向上させるためには、実際の被害に見られるようなせん断破壊を防止するとともに、塑性ヒンジとなる領域には中詰めコンクリートを充填し、スパイラル筋による拘束効果を効率的に発揮できるような構造とすることが有効

表-2 供試体に用いた材料強度

(a)コンクリートの材料試験値

	杭体コンクリート	中詰めコンクリート
圧縮強度(MPa)	86.4	20.9
弾性係数(MPa)	4.00×10^4	2.13×10^4

(b)鋼材の降伏強度(MPa)

軸鉄筋	スパイラル筋	
	鉄線(φ4)	鉄筋(D10)
PC鋼線	1396	444
	469	444

であると考えられる。そこで、本実験では、スパイラル筋の効果と中詰めコンクリートの効果を実験パラメータとして設定し、表-1に示す3体の供試体を製作した。

PHC1供試体では、スパイラル筋としてφ4の鋼線(SWM-B)が50mmのピッチで配筋されている。ただし、実際の施工では、杭体とフーチングを接合するために、杭頭部の中空断面にはコンクリートが充填されることが一般的であることを考慮し、PHC1供試体には中詰めコンクリートを充填した。PHC2供試体は、スパイラル筋をD10(SD295)に変更し、せん断耐力と横拘束効果を増大させたものである。また、PHC3供試体は、スパイラル筋はD10であるが、中詰めコンクリートを充填していない。なお、供試体で使用したコンクリートならびに鋼材の材料特性は表-2の通りである。

供試体の製作は、まず杭長500cmのPHC杭を長さが362cmになるように杭頭をカットオフし、これをフーチングの型枠内に埋込み長が180cmとなるようにセットした後、フーチングコンクリートを打設した。杭頭接合法としては道路橋示方書IV下部構造編に示されているA方法であり、これに従えば、杭の埋込み長さは60cmあれば杭頭カットオフによるプレストレスの損失の影響が無視できるが、本実験では、反力壁や加振機との位置的な取り合いから、フーチング厚を190cmとする必要があったため、これに合わせて杭の埋込み長にも十分な余裕を確保した。

本実験では、杭頭から載荷点までの長さを150cmとし、せん断支間比を2.5に設定した。せん断支間比を2.5とした理由は、宮城県沖地震で被害を受けたPHC杭のせん断ひびわれの進展状況³⁾から判断すると、杭頭部付近の地震時応力状態はせん断支間比に換算して2.5程度であることから決定したもの

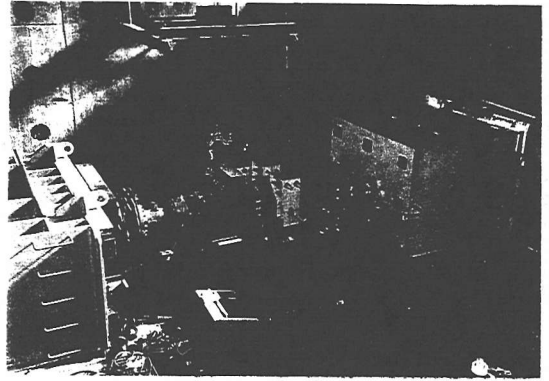


写真-1 載荷状況

である。もちろん、地震時に杭頭部に生じる応力は、上部構造と橋脚躯体の慣性力や杭-地盤系の相互作用によるものであり、また、曲げモーメントとせん断力の割合は、地盤条件によって様々に変化するため、これを一律には決定できない。しかしながら、既往のこの種の研究では、実際のPHC杭の被害を基にせん断支間比を2.5前後としている実験が多いことから⁷⁾⁻¹¹⁾、本実験でもこれに従うこととした。

(2) 載荷方法

載荷状況を写真-1に示す。実験は、供試体を横にした状態で死荷重反力に相当する軸力を杭端部に与えながら、反力壁に取り付けた動的加振機により水平荷重を加えた。軸力としては、上部構造、橋脚、フーチングの重量を想定し、本実験では735kNとした。

本実験供試体に対する予備解析の結果、最外縁のPC鋼線が降伏する時の水平荷重が約400kNであったことから、本実験では、水平荷重がおおよそ400kNとなった時の水平変位を降伏変位 δ_y とし、その整数倍の変位を加振機に入力して正負交番に変位制御で載荷した。ただし、加振機に入力した変位と載荷点に設置した変位計が示す値は必ずしも一致はしていない。ここで、各供試体の降伏変位 δ_y は、PHC1供試体で6.7mm、PHC2供試体で6.0mm、PHC3供試体で7.1mmであった。載荷変位は正弦波とし、載荷速度は3cm/sec、各載荷ステップでの載荷繰返し回数は3回とした。

なお、本実験では、塑性ヒンジ領域となる杭頭部付近での曲率を計測するために、図-1に示すように、杭体の両側面に配置された2つの変位計により、計測区間内の平均曲率を計測した。計測断面は6断面であり、ゲージ長は杭頭部の1断面が50mmで、他の5断面では125mmとした。また、フーチング自

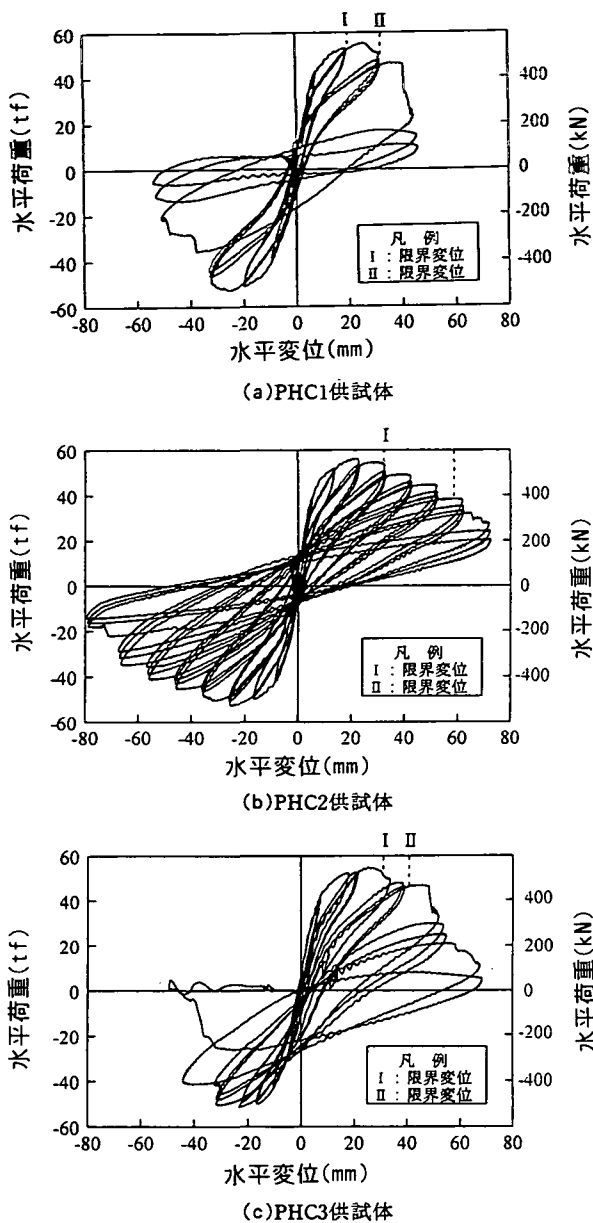


図-2 水平荷重-水平変位関係の履歴曲線

身の回転に対する実験結果の補正が行えるようにも配慮した。

(3) 履歴曲線と損傷の進展状況

図-2は、各供試体の荷重点位置における水平荷重-水平変位の履歴曲線を示したものである。ただし、水平変位については実測値からフーチング自身の回転による水平変位を差し引いた値であるが、杭体のフーチングからの抜け出しに関しては補正を行っていない。これより、PHC杭にはプレストレス

が導入されているため、履歴曲線が原点指向型であり、除荷時の残留変位も小さく、復元特性に優れていることがわかる。また、PHC1及びPHC3供試体では、最大耐力を示した後、水平力が急激に低下しているが、PHC2供試体では、そのような急激な水平力の低下は見られず、最大耐力後の水平力の低下する勾配が緩やかになっていることがわかる。

図-3は、各供試体の損傷の進展状況を示したものである。PHC1供試体では、 $2\delta_y$ の荷重で杭頭部においてX状の斜めひびわれが発生し、 $3\delta_y$ の荷重で杭頭部において最外縁のかぶりコンクリートが剥落し始めるとともに、斜めひびわれが荷重点の方へと進展した。そして、 $4\delta_y$ 荷重の1波目においてスパイラル筋が破断して杭体がせん断破壊し、これに伴って鉛直支持力が失われ、軸力によりPC鋼線が座屈した。

スパイラル筋をD10に変更したPHC2供試体では、 $2\delta_y$ の荷重で杭頭部において水平ならびに斜め方向のひびわれが発生した。 $3\delta_y$ の荷重では、最外縁のコンクリートがわずかに剥落したが、斜めひびわれは進展しなかった。 $5\delta_y$ の荷重で、基部から約30cmの範囲においてかぶりコンクリートが剥落し、スパイラル筋が露出した。そして、 $7\delta_y$ の荷重で、スパイラル筋が拘束されていたコアコンクリートが損傷し始めるとともに、PC鋼線が座屈した。 $8\delta_y$ の荷重で、座屈したPC鋼線が6本破断し、ここで荷重を終了した。破壊形態は曲げ破壊であり、塑性ヒンジを形成したが、プレストレスが導入されているためにひびわれの本数が少なく、フーチングからの距離が5~10cmの範囲の断面に損傷が集中した。

一方、スパイラル筋はD10であるが中詰めコンクリートのないPHC3供試体では、 $2\delta_y$ の荷重で斜めひびわれが発生し、 $3\delta_y$ の荷重で杭頭部の最外縁のかぶりコンクリートが剥落した。 $4\delta_y$ の荷重では、かぶりコンクリートの剥落が大きく進展し、PC鋼線やスパイラル筋が露出した。そして、 $5\delta_y$ の1波目で、PC鋼線よりも内側にあるコンクリートが断面内部の中空部に剥落した。これにより、杭頭部において鉛直支持力が失われ、軸力により押しつぶされるように破壊した。

(4) 曲率の分布

図-4は、杭頭部で計測を行った曲率の高さ方向分布を示したものである。ここで、曲率の値は正側と負側の荷重におけるそれぞれの曲率を平均したものである。また、いずれの供試体とも、曲率は $2\delta_y$ ないしは $3\delta_y$ の荷重までしか計測結果が得られていない。これは、杭体に生じた損傷により変位計の取

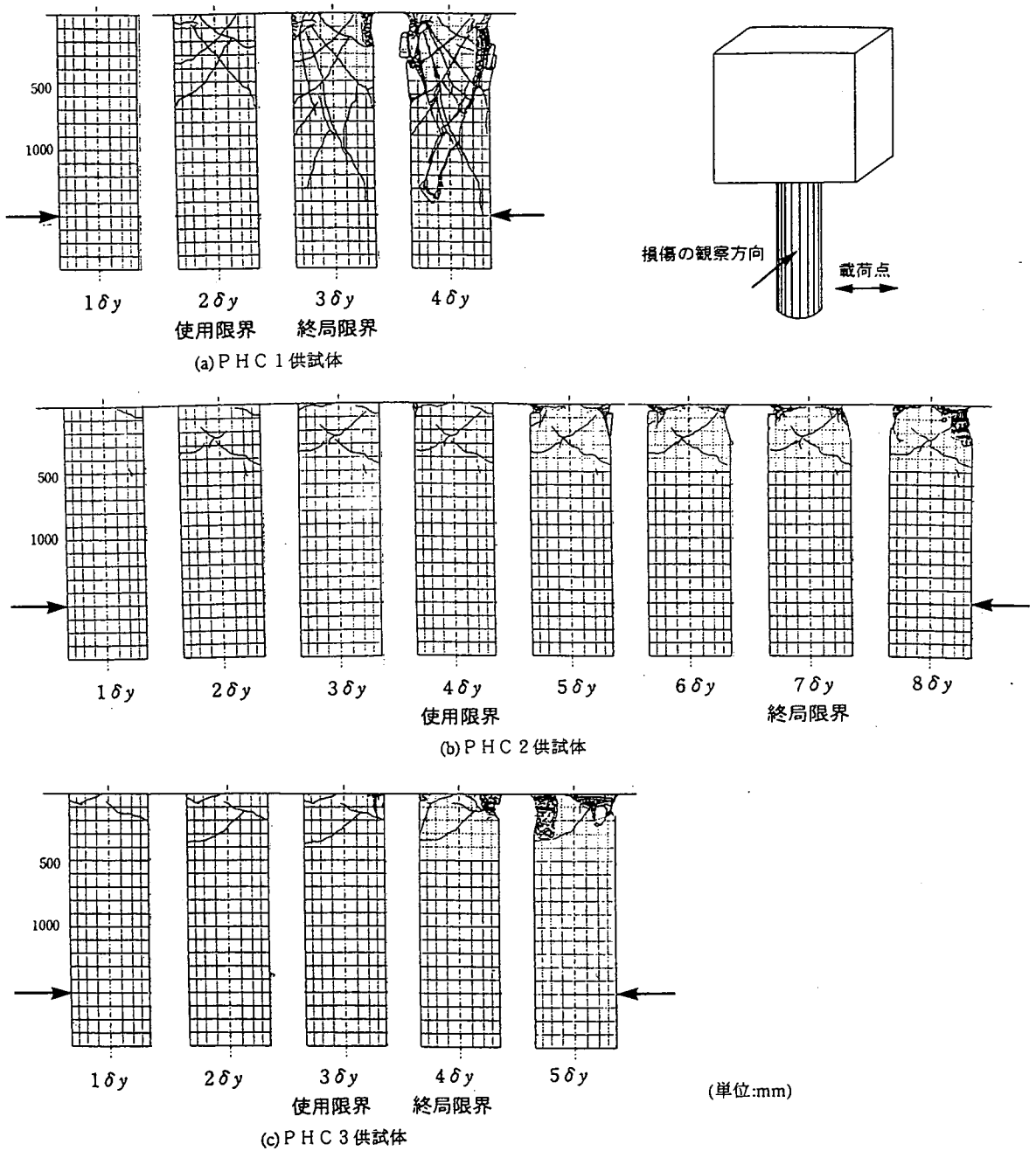


図-3 損傷の進展状況

り付け治具が外れたために、それ以降の荷重では曲率の計測が不可能となったものである。

限られた範囲でしか曲率は実測できていないが、塑性ヒンジを形成して曲げ破壊を呈したPHC2供試体では、損傷の集中したフーチングから5~10cmの範囲で曲率が大きくなる傾向があり、損傷の分布と曲率の分布が概ね対応していることがわかる。なお、杭頭から5cmの範囲の曲率は、フーチング下面と杭

体間の相対変位から計測された値であり、これには杭体のフーチングからの抜けだしの影響が含まれていることから、他の断面よりも大きな値となっている。

(5) 耐力と変形性能

図-2より、水平荷重の最大値はいずれの供試体とも540kN前後であり、これは3δyの荷重ステップ

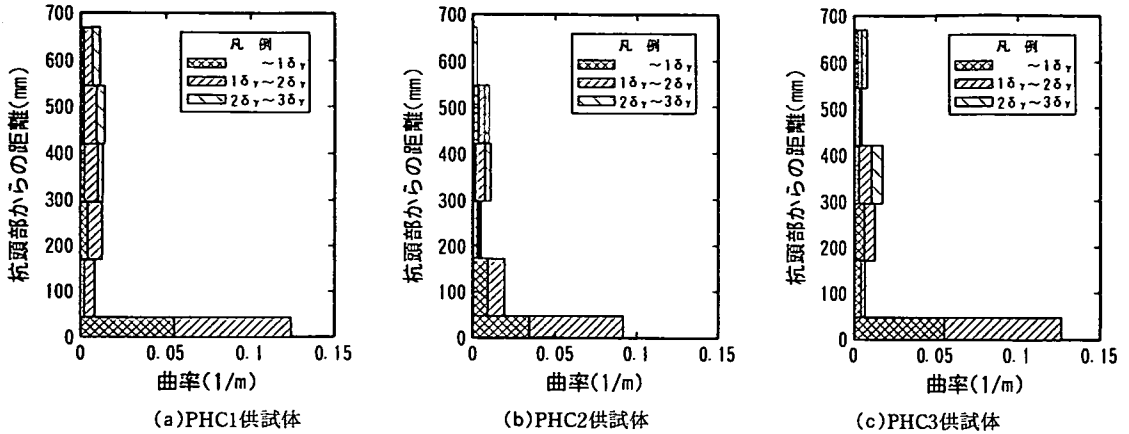


図-4 杭頭部における曲率分布

表-3 限界変位の定義

	損傷の程度	残存水平耐力
限界変位 I	ひびわれの発生やスパイラル筋が露出しない程度のわずかなかぶりコンクリートの剥落	最大水平耐力レベル
限界変位 II	P C 鋼線の座屈やコアコンクリートの損傷に至る直前の損傷	降伏水平耐力レベル

表-4 実験により計測された限界変位

	PHC1	PHC2	PHC3
限界変位 I (mm) (a)	20	30	30
限界変位 II (mm) (b)	30	55	40
(b)/(a)	1.50	1.80	1.33

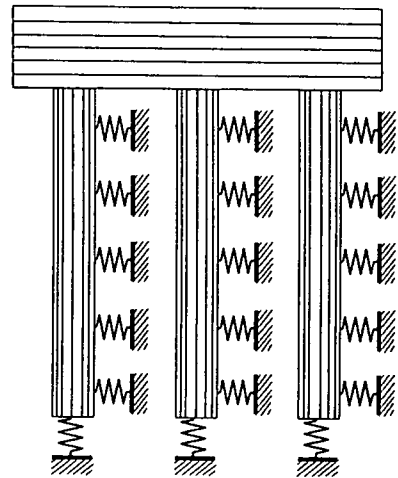


図-5 杭基礎の解析に用いられるばね支承モデル

において得られている。

変形性能に関しては、一般に、柱状部材の正負交番載荷実験に関する研究では、終局限界変位を実験により得られた水平荷重-水平変位の履歴曲線の包絡線を基に評価することが多い。しかしながら、耐震設計において、震後における迅速な復旧が可能であることを目標とするような場合には、部材が保有している残存耐力に加えて、損傷度から見た限界状態を設定しておく必要がある。そこで、本文では、表-3に定義する限界変位 I と限界変位 II を用いて変形性能を評価することにした。ここで、限界変位 I とは、損傷がひびわれの発生もしくはスパイラル

筋が露出しない程度のわずかなかぶりコンクリートの剥落程度に相当する変位であり、再度この限界変位 I に相当する変形が生じたとしても、従前と同等の最大水平耐力を発揮し得る状態とする。また、限界変位 II とは、P C 鋼線の座屈やコアコンクリートの損傷等、震後において杭としての機能を果たせなくなるレベルの損傷に至る直前の状態に相当する変位であり、これは水平耐力が降伏水平耐力レベルにまで低下した状態に相当する。

限界変位をこのように定義すると、各供試体の限界変位 I ならびに限界変位 II は、図-2に示した履歴曲線と図-3に示した損傷度を基に、表-4のように評価できる。これより、PHC2供試体では、他の供試体と比較して限界変位 I、限界変位 II がともに向上していることがわかる。また、限界変位 II は限界変位 I のおよそ1.8倍であり、使用限界に対する終局限界の余裕度も他の供試体よりも高くなって

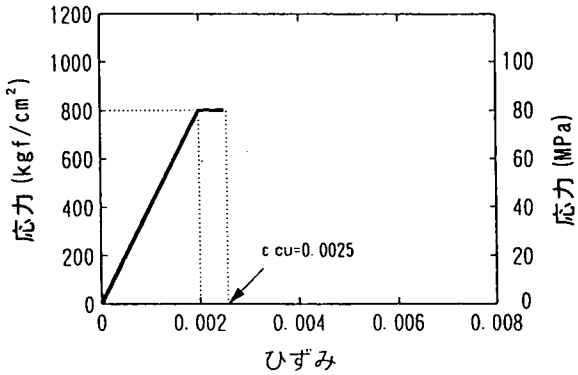


図-6 バイリニア型のコンクリートの応力度-ひずみ曲線

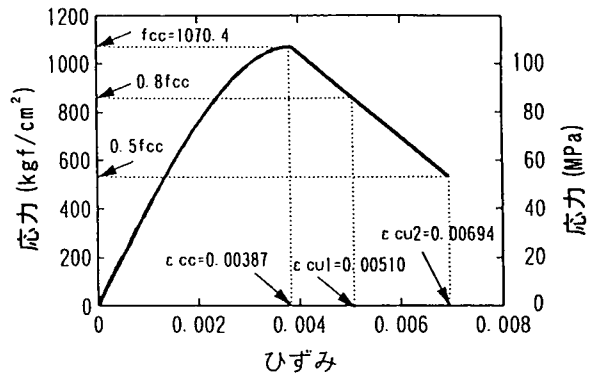


図-7 解析に適用したコンクリートの応力度-ひずみ曲線

いる。したがって、スパイラル筋を多く配筋することと中詰めコンクリートを充填することにより、PHC杭の変形性能を向上させることができると判断される。

3. 曲げ耐力と変形性能の評価

(1) 解析方法

杭基礎の地震時保有水平耐力や変形性能を評価する手法として、図-5に示すように、杭基礎を地盤反力ばねによって支持されたラーメン構造にモデル化して解析する方法が用いられている^{1), 2), 3)}。ここでは、杭種毎にその構造特性に応じて杭体の曲げモーメント-曲率関係を適切に評価しなければならない。前述のように、弾性域を超えて塑性域にまで達するような断面では、中空部にコンクリートを充填して変形性能を高めておくことが有効であることから、ここでは、中詰めコンクリートを充填することを前提として、曲げ耐力と変形性能の解析を行うことにする。

PHC杭の構造特性としては、①コンクリートが高強度であること、②プレストレスが導入されていること、③スパイラル筋により横拘束度を高めていることの3点が挙げられる。一般に、①と②の特性は、コンクリートの終局ひずみを小さくする要因であり、③は逆に終局ひずみを大きくする要因である。したがって、PHC杭の変形性能を解析するためには、これらの影響を適切に評価できるようなモデルが望ましい。

一般に、鉄筋コンクリート柱部材の耐力や変形性能に関する計算法としては、コンクリートの応力度-ひずみ曲線を仮定し、断面の釣合い条件から曲げモーメント-曲率の関係を算出する手法が耐震設計では実用されている。また、建築においては、PH

C杭に対する耐力や変形性能の評価において、断面の曲げモーメント-曲率の関係を基にした評価手法が既に耐震設計で用いられている^{1), 3)}。そこで、本研究でもこのような評価手法の考え方を基本とするが、PHC杭に固有な構造的特徴を考慮するため、以下に示す解析モデルを設定した。

- ①断面内の応力分布の設定では、中詰めコンクリートを無視して中空断面として計算する。
- ②有効プレストレスを軸力として付加する。
- ③スパイラル筋による拘束効果を考慮してコンクリートの応力度-ひずみ曲線を設定する。

ここで、断面内の応力分布の設定において、中詰めコンクリートを無視した理由は、一般に終局時には、断面圧縮縁から中立軸までの距離が短くなり、PHC杭では圧縮応力のほとんどを杭体断面で負担することになるためであり、設計計算用として簡便なモデルとしたものである。ただし、コンクリートを中詰めすることにより、スパイラル筋による拘束力が断面内部へ伝達されるようになるため、拘束効果を期待することができるようになる。そこで、中詰めコンクリートの効果としては、拘束効果のみを考慮するものとし、これを応力度-ひずみ曲線に見込むものとした。

ここで、建築におけるPHC杭の耐震設計では、コンクリートの応力度-ひずみ曲線として、図-6に示すようなバイリニア型モデルが適用されており、ここではコンクリートの終局ひずみは一律に0.25%と定義されている^{1), 3)}。ただし、この終局ひずみは、設計基準強度49.0MPaのコンクリートが最大強度を示す時のひずみとして定義された値であり、終局限界耐力を求める際の計算上の仮定として用いられてきたものである。したがって、変形性能の評価においては、スパイラル筋による横拘束の効果を考慮してコンクリートの終局ひずみを正しく設定しなけれ

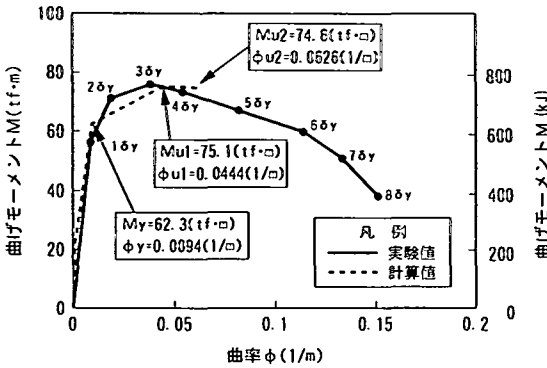


図-8 曲げモーメント-曲率関係の計算値と実験値との比較 (杭頭から11.25cmの断面)

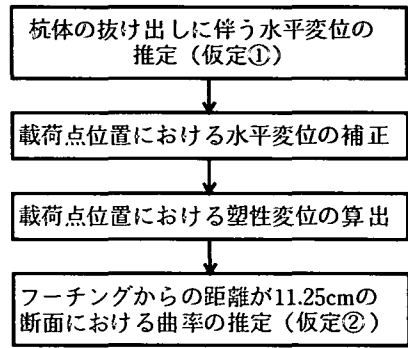


図-9 曲率の推定フロー

ばならない。そこで、本研究では、コンクリートの応力度-ひずみ曲線として、鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査用として提案されている星隈らのモデル⁴⁾を適用することとした。本モデルでは、横拘束筋による拘束効果が定量的に評価され、コンクリートの終局ひずみが、コンクリートの設計基準強度や帯鉄筋体積比に応じて算出することができる。

(2) 曲げモーメント-曲率関係の解析と実験結果との比較

上述の解析手法の妥当性を検証するため、塑性ヒンジを形成して曲げ破壊したPHC2供試体に対して、曲げモーメントと曲率の関係の解析を行った。図-7は、解析に適用したコンクリートの応力度-ひずみ曲線を示したものである。ここでは、コンクリートの終局ひずみを、圧縮応力が最大値の80%に低下した時のひずみ($\epsilon_{c0.8}$)ならびに50%に低下した時のひずみ($\epsilon_{c0.5}$)として2ケースを設定した。

図-8は、フーチングから11.25cmの断面における曲げモーメント-曲率関係を計算し、これを実験結果と比較して示したものである。ここで、曲率の実験値は、フーチングからの距離が5~17.5cmの区間で計測を行った値である。これは、PHC2供試体では、フーチングからの距離が5~10cmの範囲に損傷が集中して生じており、この範囲を跨ぐようにして曲率を計測していた区間を選定したものである。ただし、図-4で示したように、この区間における曲率は $2\delta_y$ の荷重までしか実測できていない。そこで、 $3\delta_y$ 以降の曲率は、以下の仮定を基に図-9に示すフローに従って推定した値である。

①荷重点水平変位に含まれる杭体のフーチングからの抜け出しによる変位は、荷重点に与えた水平変

位に比例すると仮定し⁵⁾、 $2\delta_y$ の荷重までに計測された抜け出しによる変位を外挿してそれ以降の抜け出し変位を推定する。

② $3\delta_y$ の荷重以降は水平荷重は増加しないため、荷重点に与えられた水平変位から降伏変位を差し引いた塑性変位は、フーチングからの距離が5~17.5cmの範囲にある断面の塑性回転により生じる。ここで、 $2\delta_y$ の荷重までの荷重点水平変位に含まれる杭体のフーチングからの抜け出しによる変位は、フーチング下面と杭体間の相対変位(計測長5cm)を基に算出した。

図-8より、解析の結果得られたフーチングから11.25cmの断面における曲げモーメント-曲率の関係は、実験結果の傾向とよく一致していることがわかる。また、コンクリートの圧縮応力が最大値の50%にまで低下したときのひずみを終局ひずみとして解析すると、終局曲率は 0.0626m^{-1} と算定された。これは、図-8からわかるように、 $4\delta_y$ から $5\delta_y$ の荷重における曲率に相当するものである。したがって、本解析により算定される終局曲率時には、杭体のかぶりコンクリートが剥落する程度の損傷が生じることになる。これは使用限界を若干超える損傷であるが、終局限界に対しては余裕が確保されている。また、コンクリートの圧縮応力が最大値の80%にまで低下したときのひずみを終局ひずみとして解析した場合には、終局曲率は 0.0444m^{-1} と算定され、これは $3\delta_y$ から $4\delta_y$ の荷重における曲率に相当している。この時の損傷は、ひびわれが発生し、わずかにかぶりコンクリートが剥落する程度であり、これは使用限界時の損傷に相当するものであることがわかる。

一方、曲げ耐力については、解析値と実験値がよい一致を示した。したがって、本解析モデルにより、

中詰めコンクリートを有するPHC杭の曲げ耐力と変形性能を適切に評価できるものと考えられる。

6) 本解析モデルにより算出される曲げ耐力は、実験値とよく一致した。

4. 結論

本文では、高強度コンクリートを用いてプレストレスを導入したPHC杭を対象として、変形性能に着目して正負交番載荷実験を行うとともに、PHC杭の地震時保有水平耐力の照査を行う際に必要とされる曲げモーメント-曲率関係の評価手法を提案し、損傷度の観点から実験結果との比較を行った。本研究の結論をまとめると、以下の通りである。

- 1) せん断支間比を2.5とした正負交番載荷実験の結果、断面中空部に中詰めコンクリートを充填していても、スパイラル筋として $\phi 4$ を用いたPHC杭では、脆性的なせん断破壊を生じた。一方、スパイラル筋としてD10を用いたPHC杭では曲げ破壊となり、杭頭部で塑性ヒンジを形成した。ただし、プレストレスが導入されていることにより、損傷は5cm程の狭い範囲の断面に集中して生じた。
- 2) スパイラル筋によるコンクリートの拘束効果を高め、変形性能を向上させるためには、PHC杭の中空部に中詰めコンクリートを充填するのが効果的である。
- 3) PHC杭の変形性能を評価するために、損傷度と残存耐力の観点から、限界変位Ⅰと限界変位Ⅱの2種類の限界変位を定義した。
- 4) 中詰めコンクリートを充填したPHC杭の保有する曲げ耐力ならびに変形性能を計算するための解析モデルを提案した。ここでは、スパイラル筋によるコンクリートの拘束効果を考慮した。
- 5) 本解析モデルにより算定される終局曲率とその時に杭体に生じる損傷度の関係を、繰返し回数が3回の正負交番載荷実験の結果と比較した。その結果、コンクリートの応力度-ひずみ曲線の下降域において、圧縮強度が最大値の50%にまで低下した時のひずみを終局ひずみとした場合には、計算で求まる終局曲率時には、杭体にはかぶりコンクリートが剥落する程度の損傷が生じている。また、コンクリートの圧縮強度が最大値の80%にまで低下した時のひずみを終局ひずみとして解析すると、終局曲率時にはわずかにかぶりコンクリートが剥落する程度の損傷が生じており、これは使用限界時の損傷とよく一致している。

参考文献

- 1) 建設省道路局：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様、1995年2月。
- 2) 岡原美知夫、高木章次、中谷昌一、木村嘉富：単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究、土木研究所資料第2919号、平成3年1月。
- 3) 杉村義広、大岡弘：1978年宮城県沖地震による既製コンクリート杭の被害調査報告、建築研究資料No.31、建設省建築研究所、1981年7月。
- 4) (社)コンクリートパイル建設技術協会、(社)コンクリートポール・パイル協会：兵庫県南部地震被害調査報告書(その1)、1995年5月。
- 5) (社)コンクリートパイル建設技術協会、(社)コンクリートポール・パイル協会：兵庫県南部地震被害調査報告書(その2)、1995年12月。
- 6) (社)コンクリートポール・パイル協会：既製コンクリート杭の性能確認試験報告、第一巻、1980年10月。
- 7) 倉橋修雄、城攻、柴田拓二、大野和男：PC杭の曲げせん断抵抗性状について(軸力=0の場合)、建築学会大会学術講演梗概集、pp.1559-1560、1981年9月。
- 8) 小沢昭彦、真柄祥吾、城攻、柴田拓二：フーチングに接合した高強度PC杭の耐力変形性能、建築学会大会学術講演梗概集、pp.1749-1750、1982年10月。
- 9) 杉村義広、中田慎介、川島俊一、阿部道彦：高強度プレストレストコンクリート杭の曲げせん断実験、建築研究報告No.106、建設省建築研究所、1984年6月。
- 10) 黒正清治、和田章、小林克巳、武秀彦、堀井昌博、木原碩美：高強度PC杭の曲げ変形性能に関する実験研究(その1)~(その3)、建築学会大会学術講演梗概集、pp.2135-2140、1982年10月。
- 11) 池田尚治、椿龍哉、山口隆裕：プレストレストコンクリート杭の靱性向上に関する研究、第4回コンクリート工学年次講演会論文集、pp.365-368、1982年。
- 12) 西村昭彦：限界状態設計法による杭基礎の試設計例、土と基礎Vol.42、No.9、pp.39-44、1994年9月。
- 13) 日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990)、1990年10月。
- 14) 星限順一、川島一彦、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリートの応力-ひずみ関係、土木学会論文集、No.520/V-8、pp.1-11、1995年8月。
- 15) 村山八洲雄、須田久美子、三村長二郎：RC橋脚の変形性能に及ぼす柱筋の抜け出しの影響、コンクリート構造物の靱性とその評価法に関するコロキウム、II 99-II 108、1988年3月。

(1996. 5. 7 受付)

A SEISMIC EVALUATION FOR FLEXURAL DUCTILITY OF PRESTRESSED HIGH STRENGTH CONCRETE PILE

Jun-ichi HOSHIKUMA, Hisanori OTSUKA, Kazuyoshi TSUDA
and Kazuhiro NAGAYA

To enhance the flexural ductility of the prestressed high strength concrete pile, a series of full-scale cyclic loading tests were conducted, and the effect of spiral bars and infilled concrete is examined. Two ultimate stages are determined here based on the damage level and the residual lateral strength, to measure the flexural ductility of the prestressed high strength concrete pile. Test results show that the spiral bars and infilled concrete improve the flexural performance. A moment-curvature relation of the pile with enough spiral bars and infilled concrete was analyzed taking account of the confinement effect. The ultimate curvature calculated by the analysis shows good agreement with the test results.