ISSN 0386－5878
土木研究所資料第3445号

土 木 研 究 所 資 料

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

平成８年６月

建 設 省 土 木 研 究 所
耐震技術研究センター耐震研究室

Copyright © (1996) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は，土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって，本報告書の全部又は一部の転載，複製は，土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

土 木 研 究 所 資 料
第3445号平成1996年6月

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

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

耐震技術研究センター　耐震研究室　室　長　大塚　久哲
研究員　星隈　順一
研究員　長屋　和宏

要　旨

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。

キーワード：　プレストレストコンクリート杭、変形性能、正負交番載荷実験
曲げモーメント－曲率解析、耐震設計

目　　次

1．はじめに …… 1

2．ＰＨＣ杭の正負交番載荷実験 …… 3

(1) 実験供試体 …… 3

(2) 載荷方法 …… 5

(3) 履歴曲線と損傷の進展状況 …… 5

(4) 曲率の分布 …… 8

(5) 耐力と変形性能 …… 8

3．曲げ耐力と変形性能の評価 …… 11

(1) 解析方法 …… 11

(2) 曲げモーメント－曲率関係の解析と実験結果との比較 …… 13

4．結　　論 …… 16

参考文献 …… 17

謝　　辞 …… 18

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する耐震設計では、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、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。

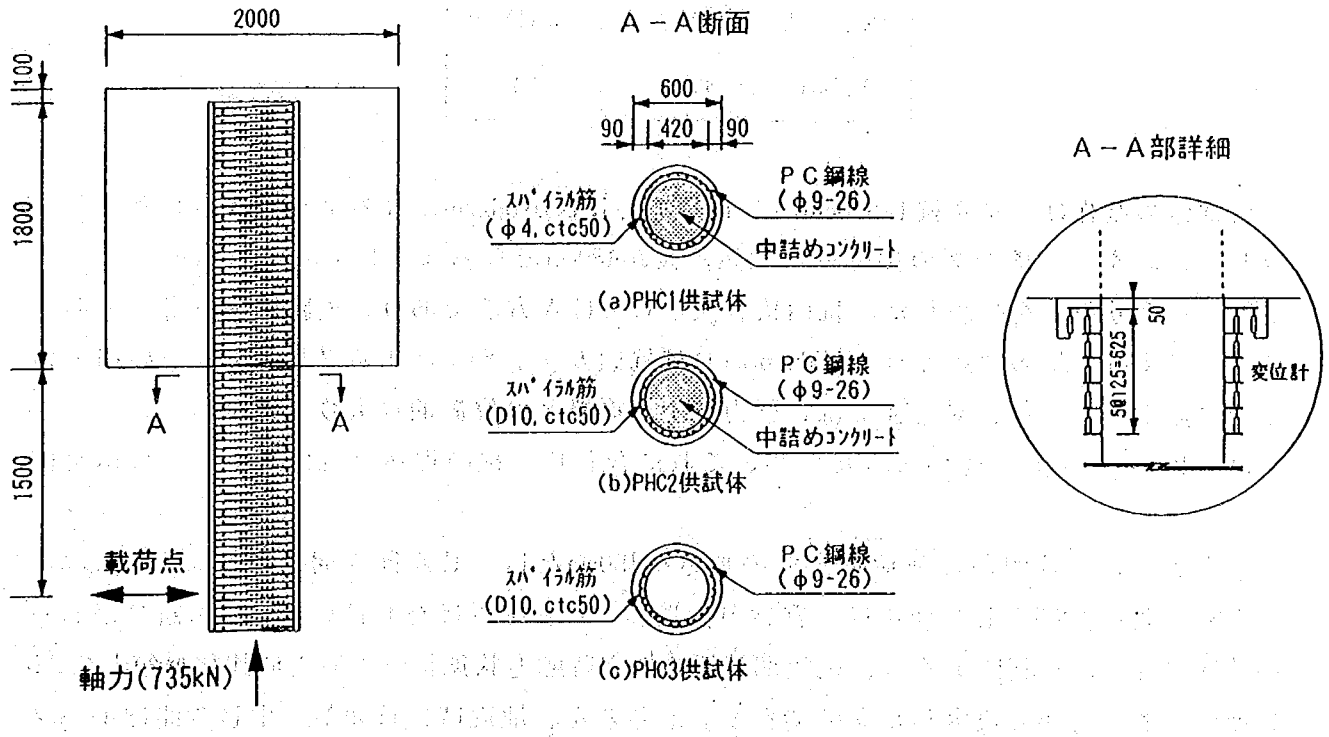
こうした背景から、本研究では、変形性能と損傷度の関係に着目してＰＨＣ杭の正負交番載荷実験を行った。さらに、ＰＨＣ杭に対する変形性能の評価手法を提案するとともに、杭体に生じた損傷度の観点から計算値と実験結果との比較を行い、本評価手法の妥当性を検討した。

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のＢ種のＰＨＣ杭（有効プレストレス75kgf/cm²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。



図－１　供試体の諸元と詳細

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	D 10 ctc50	有り
PHC3	D 10 ctc50	無し

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(kgf/cm^2)	881	213
弾性係数(kgf/cm^2)	407000	217000

(b)鋼材の降伏強度(kgf/cm^2)

軸鉄筋	スパイラル筋	
PC鋼線	鉄線(φ4)	鉄筋(D10)
14240	4786	4531

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Ａ方法であり、道路橋示方書Ⅳ下部構造編に従えば、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。

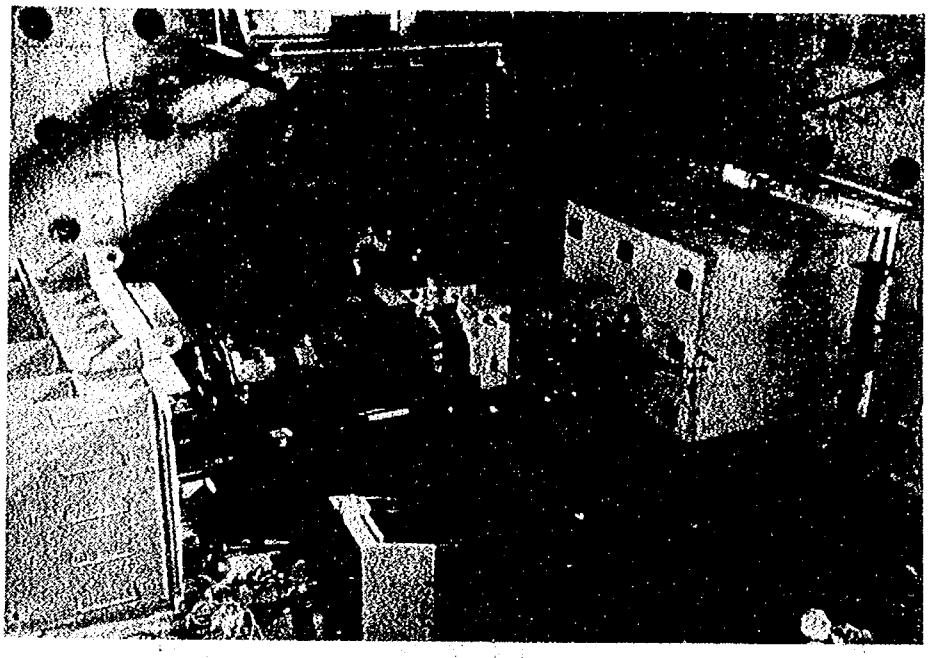
本実験では、杭頭から載荷点までの長さを150cmとし、せん断支間比を2.5に設定した。せん断支間比を2.5とした理由は、宮城県沖地震で被害を受けたＰＨＣ杭のせん断ひびわれの進展状況[3]から判断すると、杭頭部付近の地震時応力状態はせん断支間比に換算して2.5程度であることから決定したものである。もちろん、地震時に杭頭部に生じる曲げモーメントとせん断力の割合は、地盤条件によって様々に変化するため、これを一律には決定できないが、既往のこの種の研究では、せん断支間比を2.5前後としている実験が多いことから[7)-11)]、本実験でもこれに従うこととした。

(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95tf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40tfであったことから、本実験では、水平荷重がおよそ400kNとなった時の水平変位を降伏変位とし、その整数倍の変位を正負交番に変位制御で載荷した。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に示すように変位計をセットした。曲率の計測断面は6断面であり、ゲージ長は杭頭部の1断面が5cmで、他の5断面では12.5cmとした。また、フーチング自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。

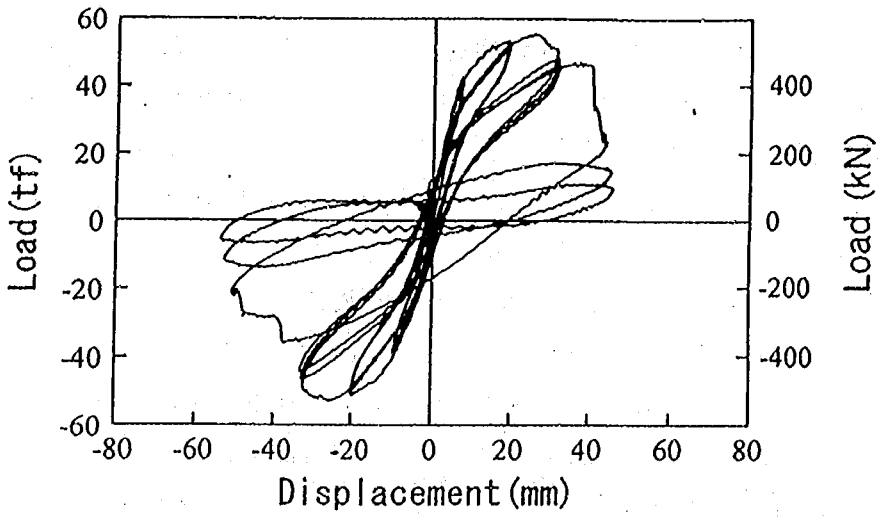


写真－１　載荷状況

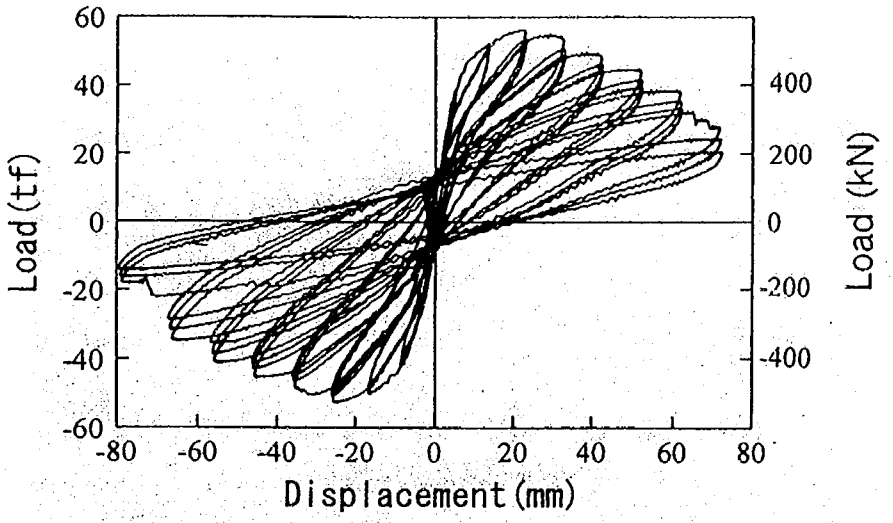
(3) 履歴曲線と損傷の進展状況

図－２は、各供試体の載荷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。

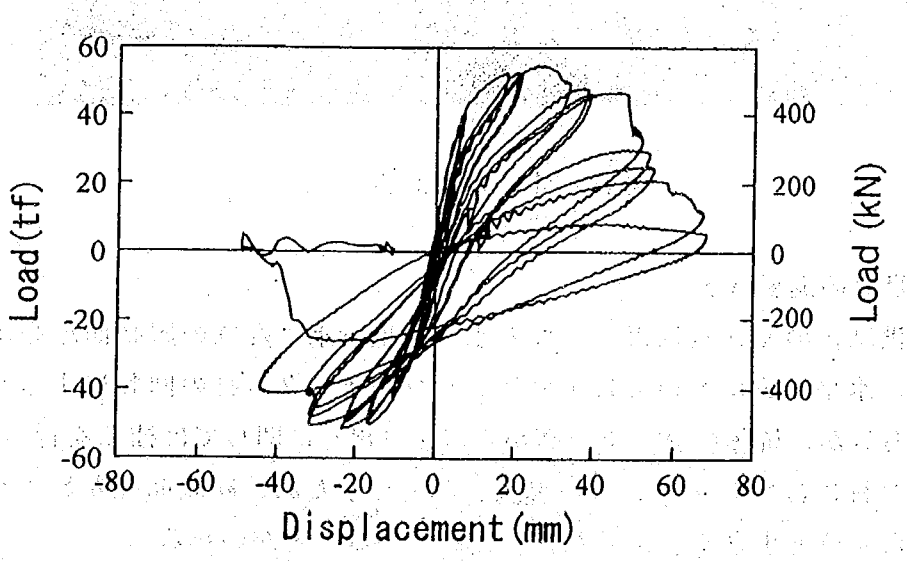
図－３は、各供試体の損傷の進展状況を示したものである。PHC1供試体では、$2\delta_y$の載荷で杭頭部においてＸ状の斜めひびわれが発生し、$3\delta_y$の載荷で杭頭部において最外縁の



(a) ＰＨＣ１供試体

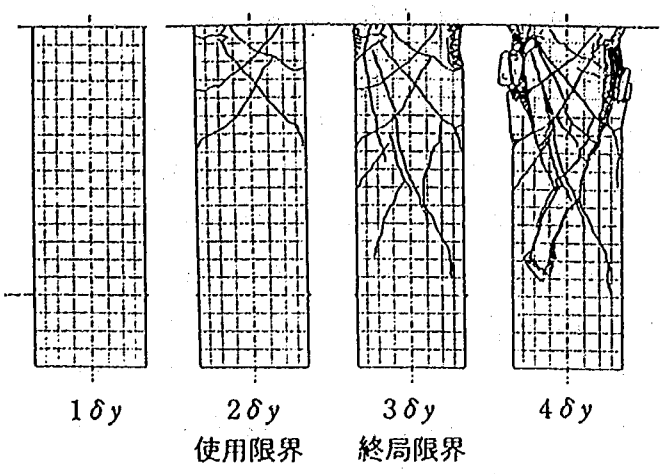


(b) ＰＨＣ２供試体

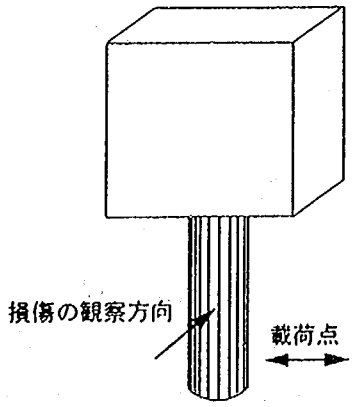


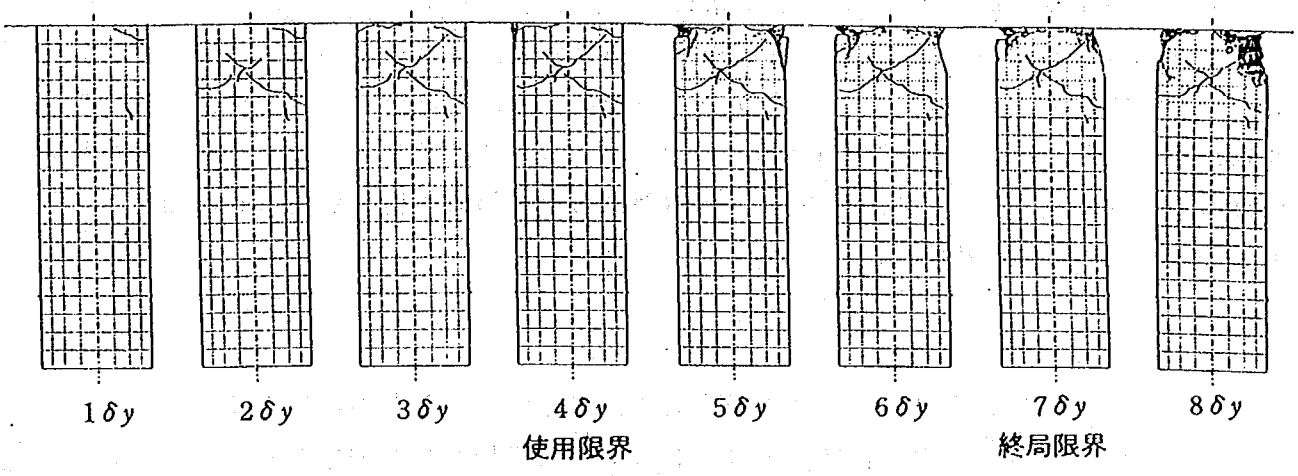
(c) ＰＨＣ３供試体

図－２　水平荷重－水平変位関係の履歴曲線

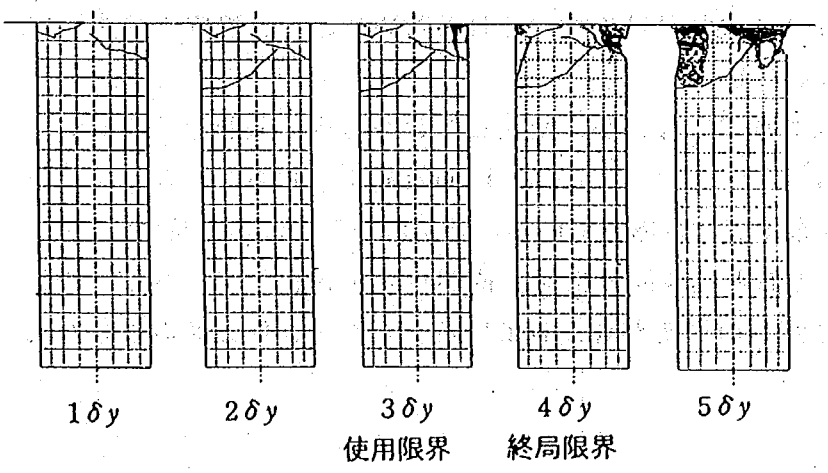


(a) ＰＨＣ１供試体





(b) ＰＨＣ２供試体



(c) ＰＨＣ３供試体

図－３　損傷の進展状況

かぶりコンクリートが剥落し始めるとともに、斜めひびわれが載荷点の方へと進展した。そして、4δ_y載荷の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、2δ_yの載荷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。3δ_yの載荷では、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。5δ_yの載荷で、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、7δ_yの載荷で、スパイラル筋で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。8δ_yの載荷で、座屈したＰＣ鋼線が6本破断し、ここで載荷を終了した。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、2δ_yの載荷で斜めひびわれが発生し、3δ_yの載荷で杭頭部の最外縁のかぶりコンクリートが剥落した。4δ_yの載荷では、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、5δ_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

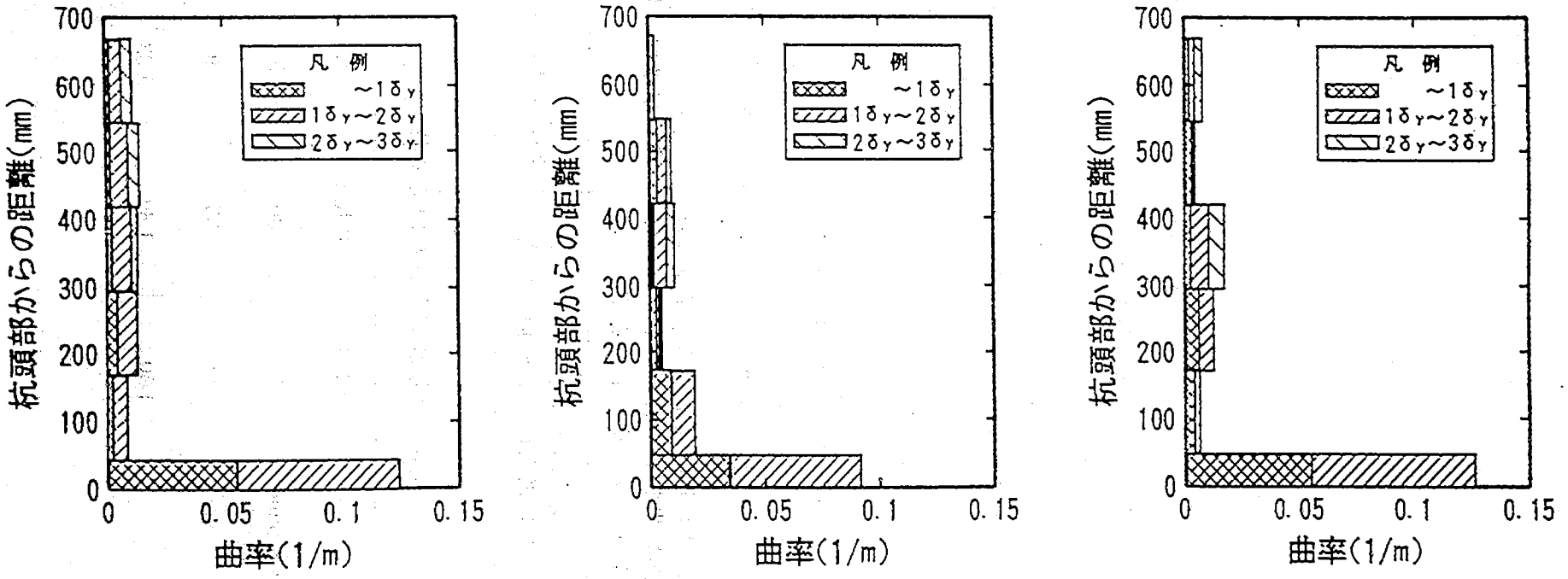
図－４は、杭頭部で計測を行った曲率の高さ方向分布を示したものである。ここで、曲率の値は正側と負側の載荷におけるそれぞれの曲率を平均したものである。また、いずれの供試体とも、曲率は2δ_yないしは3δ_yの載荷までしか計測結果が得られていない。これは、杭体に生じた損傷により変位計の取り付け治具が外れたために、それ以降の載荷では曲率の計測が不可能となったものである。

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3δ_yの載荷ステップ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



(a)PHC1供試体　(b)PHC2供試体　(c)PHC3供試体

図－4　杭頭部における曲率分布

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に定義する使用限界変位と終局限界変位を用いて変形性能を評価することにした。ここで、使用限界変位とは、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、再度この使用限界変位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、終局限界変位とは、ＰＣ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、各供試体の使用限界変位ならびに終局限界変位は、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使用限界変位、終局限界変位がともに向上していることがわかる。また、終局限界変位は使用限界変位のおよそ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。

表－３　限界変位の定義

	損傷の程度	残存水平耐力
使用限界変位	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
終局限界変位	ＰＣ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
使用限界変位①(mm)	20	30	30
終局限界変位②(mm)	30	55	40
②／①	1.50	1.80	1.33

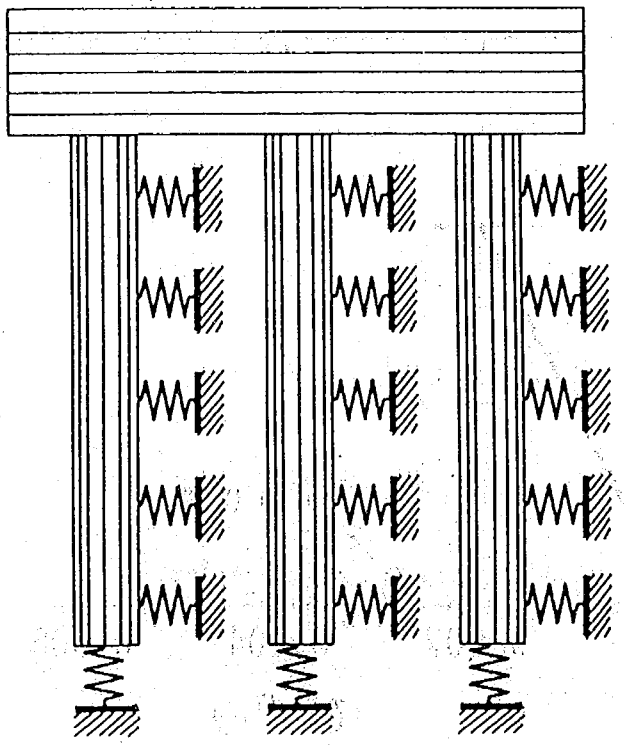
3．曲げ耐力と変形性能の評価

(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)12)13)]。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杭頭付近の断面では、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と曲率の関係



図－5　杭基礎の解析に用いられるばね支承モデル

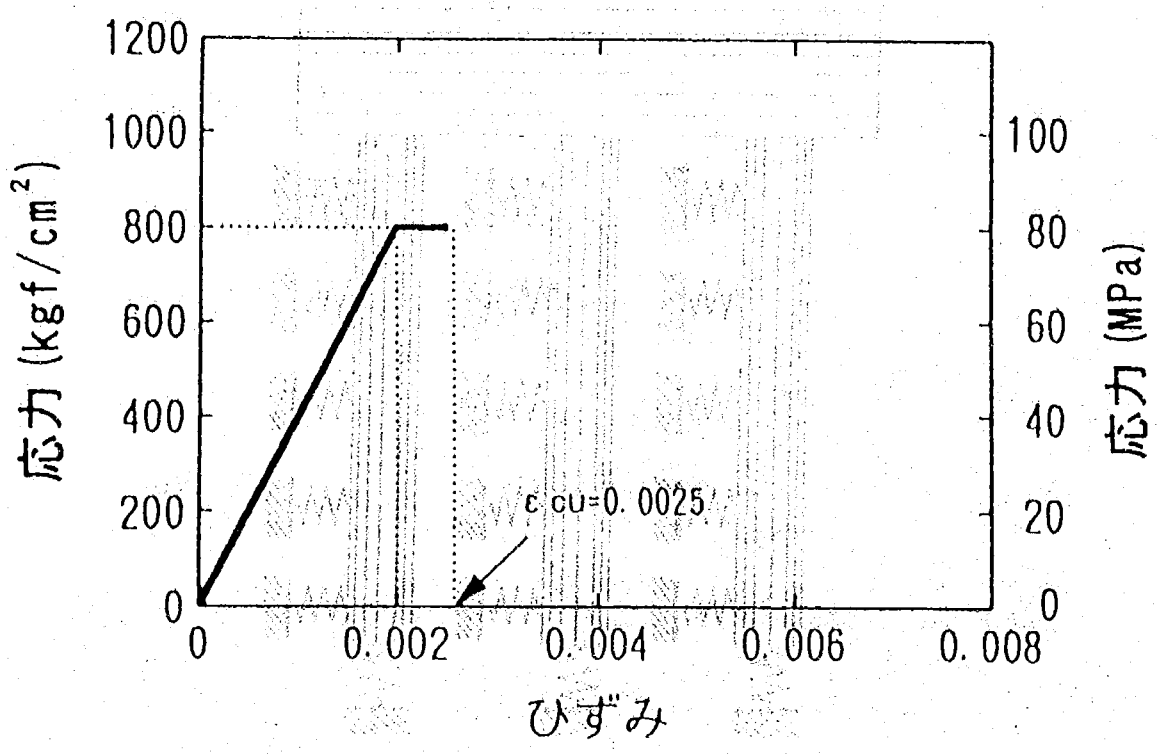
を算出する手法が耐震設計では実用されている。そこで、本研究でもこの従来法に従うことを基本とするが、ＰＨＣ杭に固有な構造的特徴を考慮するため、以下に示す解析モデルを設定した。

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有効プレストレス力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。

ＰＨＣ杭の変形性能という観点からは、特に③の設定が重要となる。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[13]。ただし、この終局ひずみは、設計基準強度500kgf/cm²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[14]を適用することとした。本モデルでは、スパイラル筋の効果が帯鉄筋体積比として評価され、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。

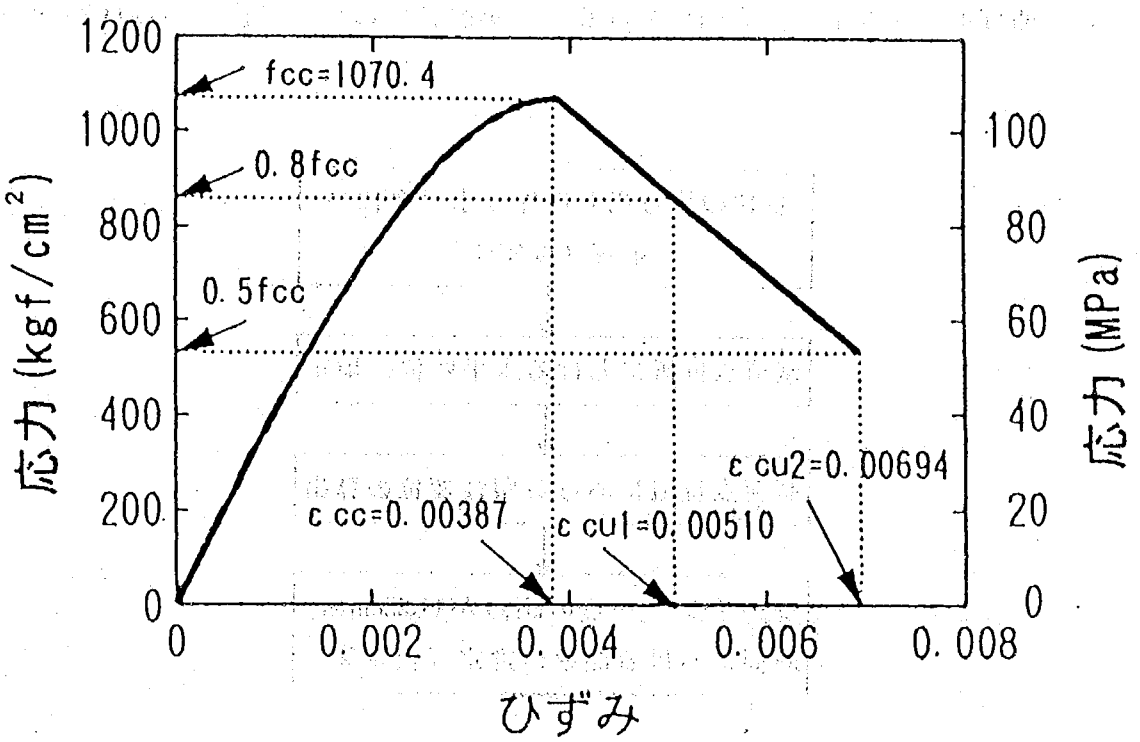


図－６　バイリニア型のコンクリートの応力度－ひずみ曲線

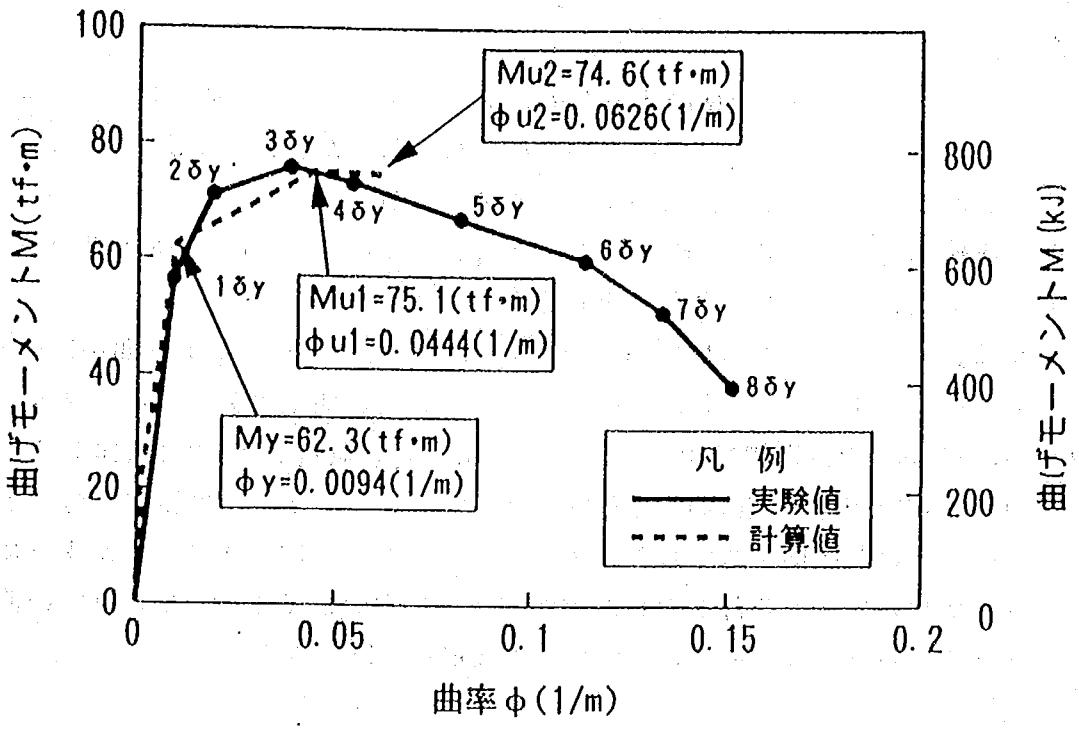
(2) 曲げモーメント－曲率関係の解析と実験結果との比較

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(ε_{cu1})ならびに50%に低下した時のひずみ(ε_{cu2})として2ケースを設定した。

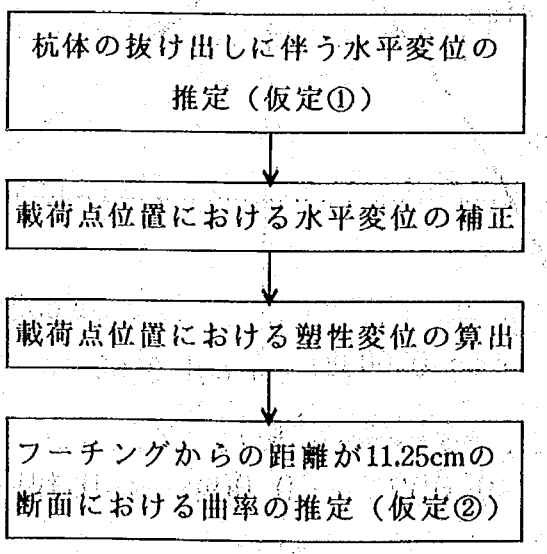
図－8は、フーチングから11.25cmの断面における曲げモーメント－曲率関係を計算し、これを実験結果と比較して示したものである。ここで、曲率の実験値は、フーチングからの距離が5～17.5cmの区間で計測を行った値である。これは、PHC2供試体では、フーチングからの距離が5～10cmの範囲に損傷が集中して生じており、この範囲を跨ぐようにして曲率を計測していた区間を選定したものである。ただし、図－4で示したように、この区間における曲率は$2\delta_y$の載荷までしか実測できていない。そこで、$3\delta_y$以降の曲率は、以下の仮定を基に図－9に示すフローに従って推定した値である。



図－7　解析に適用したコンクリートの応力度－ひずみ曲線



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

①載荷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、載荷点に与えた水平変位に比例すると仮定し[15]、$2\delta_y$の載荷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$3\delta_y$の載荷以降は水平荷重は増加しないため、載荷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、$2\delta_y$の載荷までの載荷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$5\delta_y$の載荷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$4\delta_y$の載荷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。

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、スパイラル筋としてϕ4を用いたＰＨＣ杭は、脆性的なせん断破壊を生じた。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、使用限界変位と終局限界変位の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。

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。

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、pp1559−1560、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、pp1749−1750、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、pp2135−2140、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) 星隈順一、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

謝　　辞

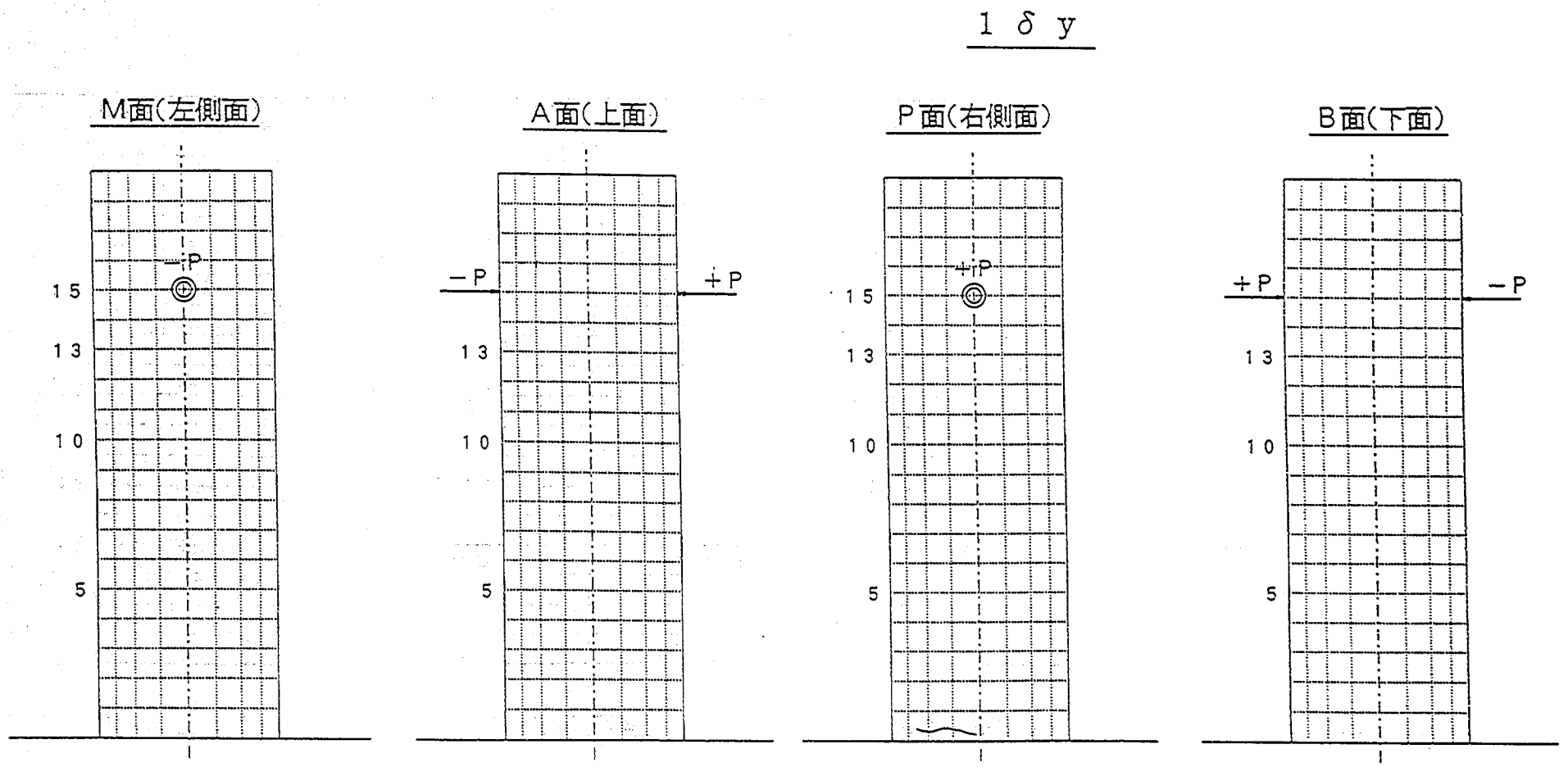
本研究における実験の実施に当たり、(社)コンクリートパイル建設技術協会の御協力を賜った。ここに記して厚くお礼申し上げる。

付　録　資　料

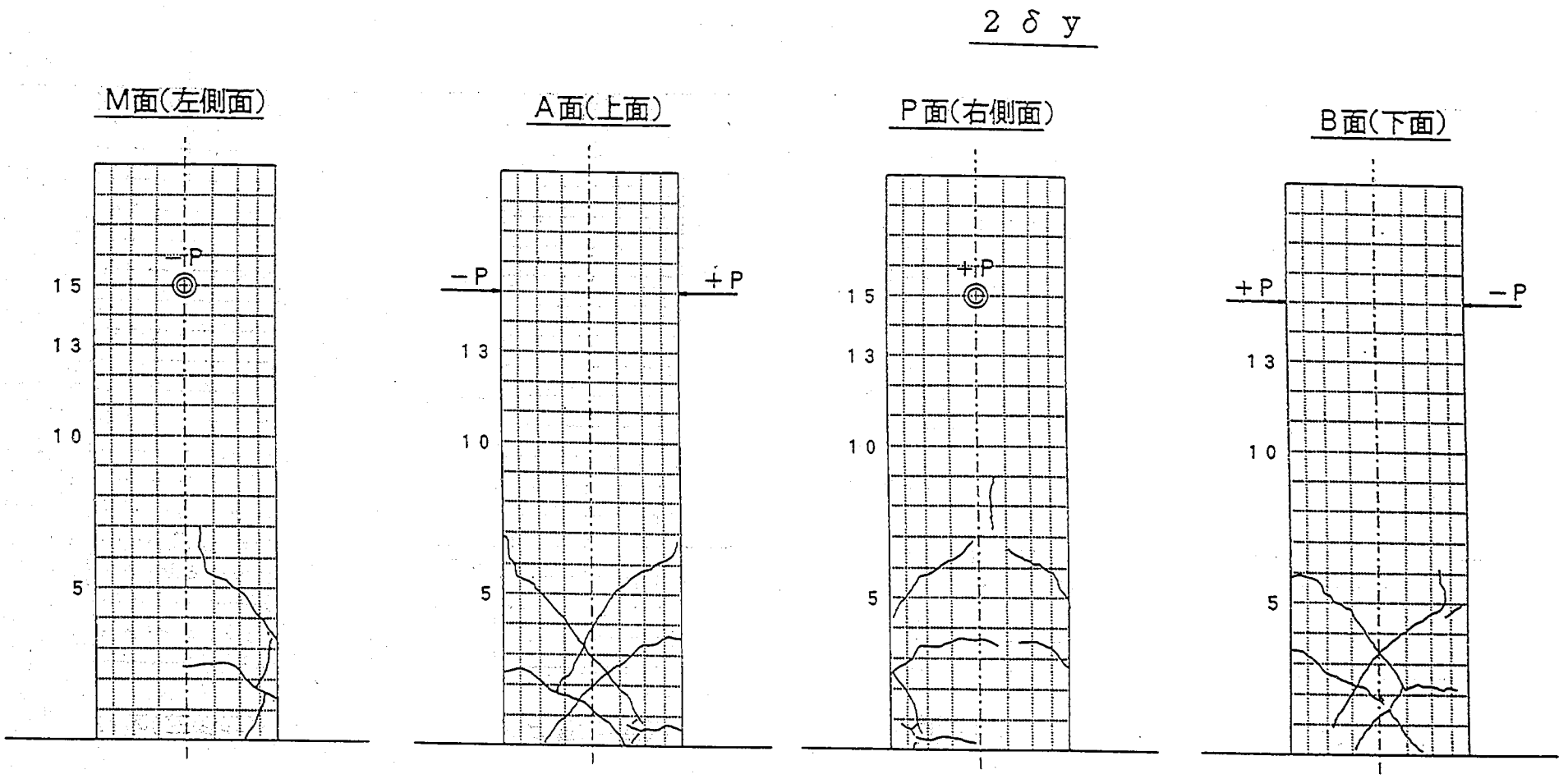
1．損傷の進展状況のスケッチ

2．損傷の進展状況の写真

3．変位・曲率計測結果

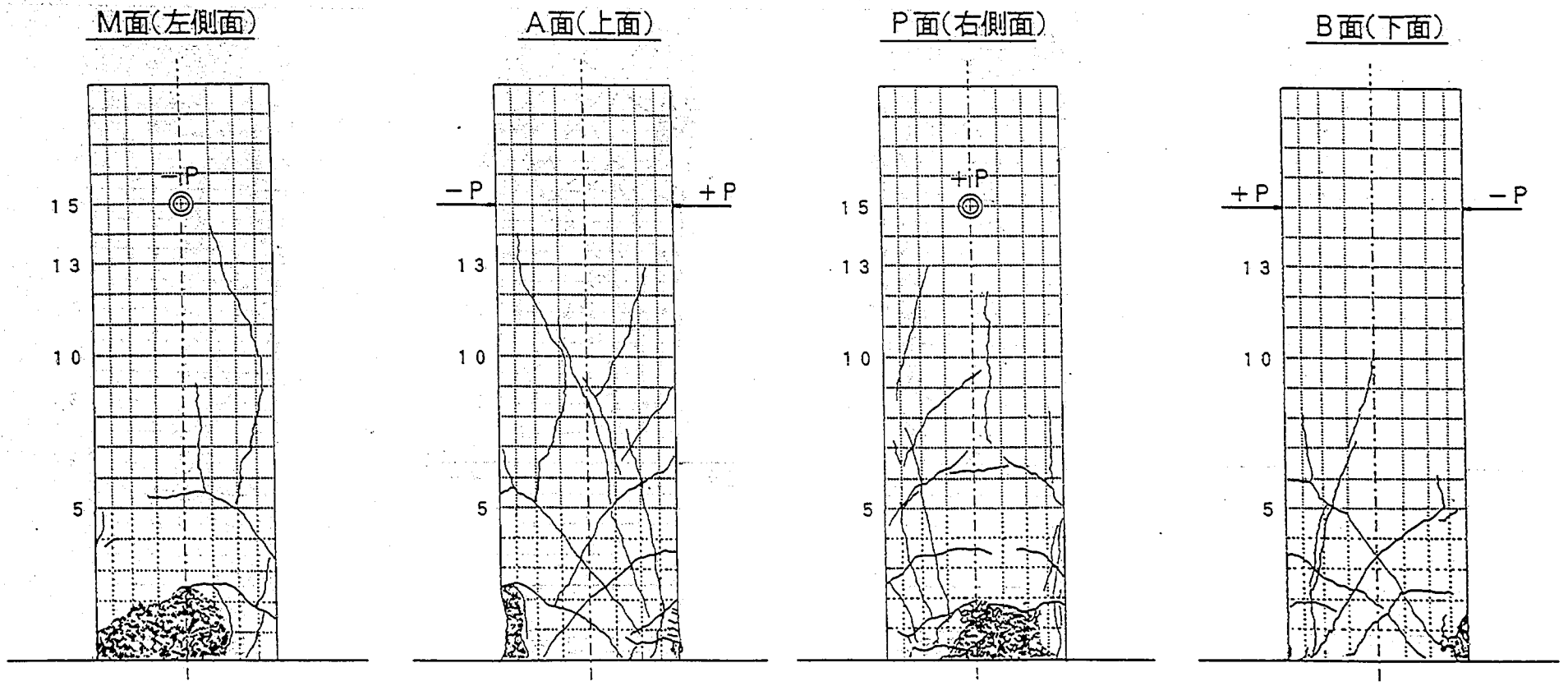


(a)ＰＨＣ１供試体



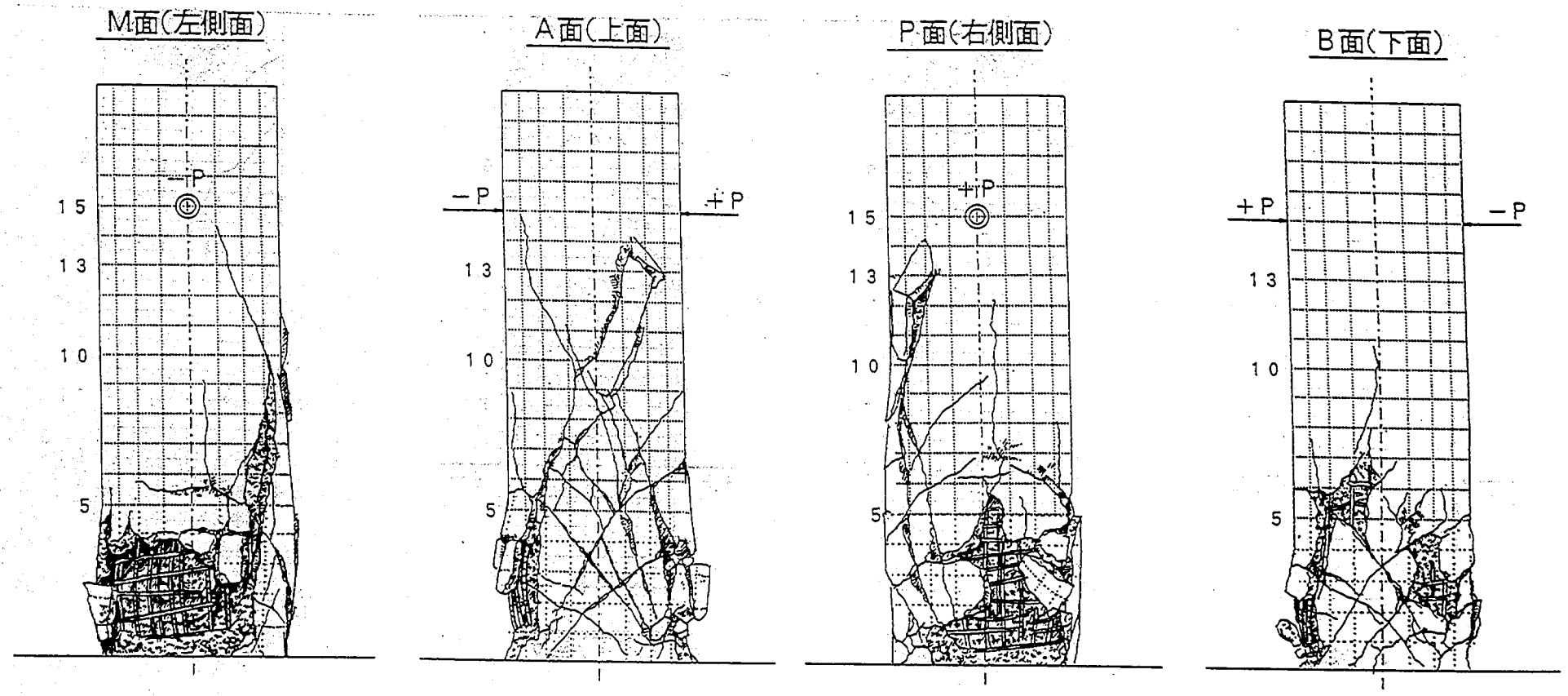
(a)ＰＨＣ１供試体

3 δ y

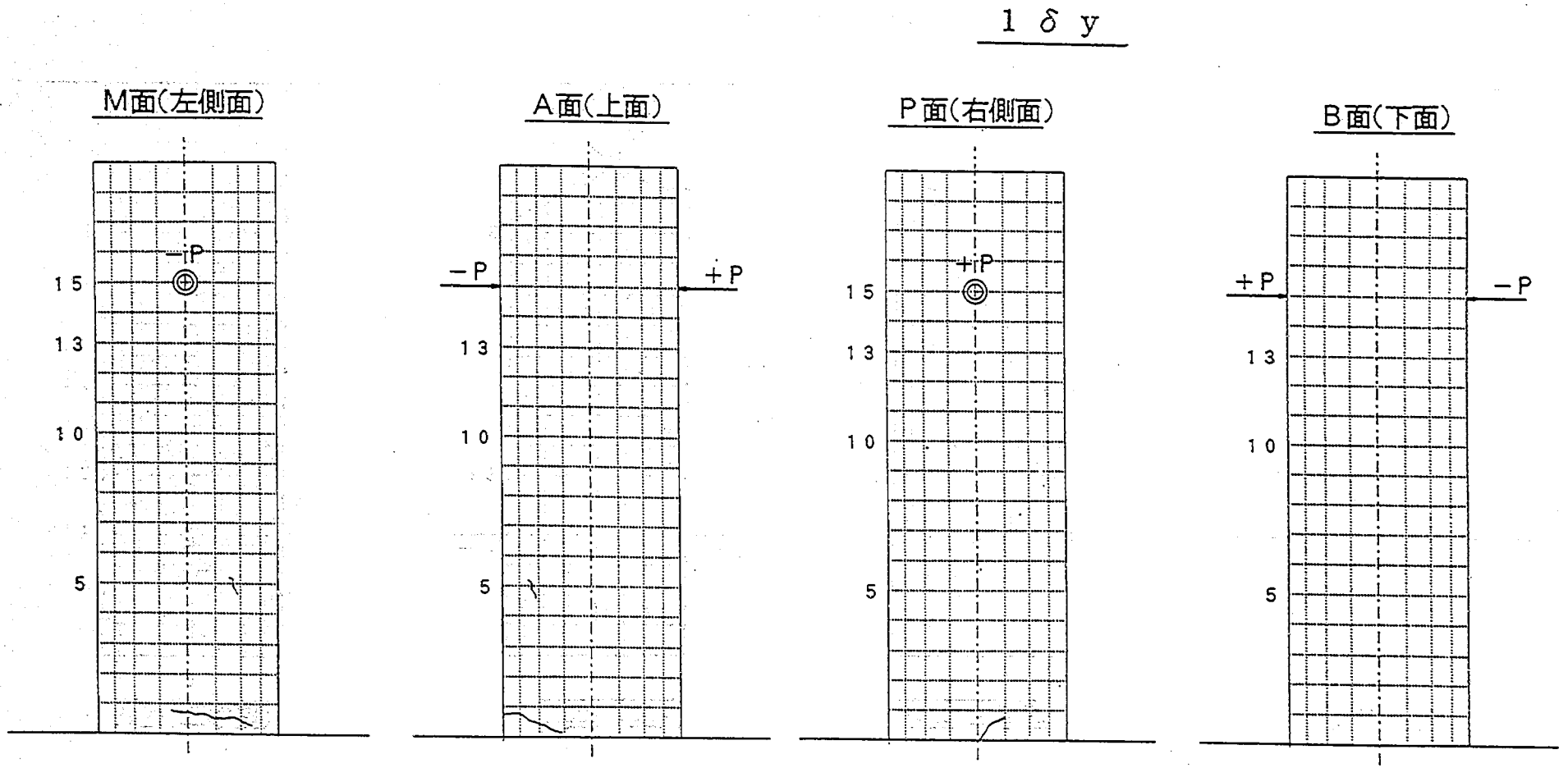


(a)ＰＨＣ１供試体

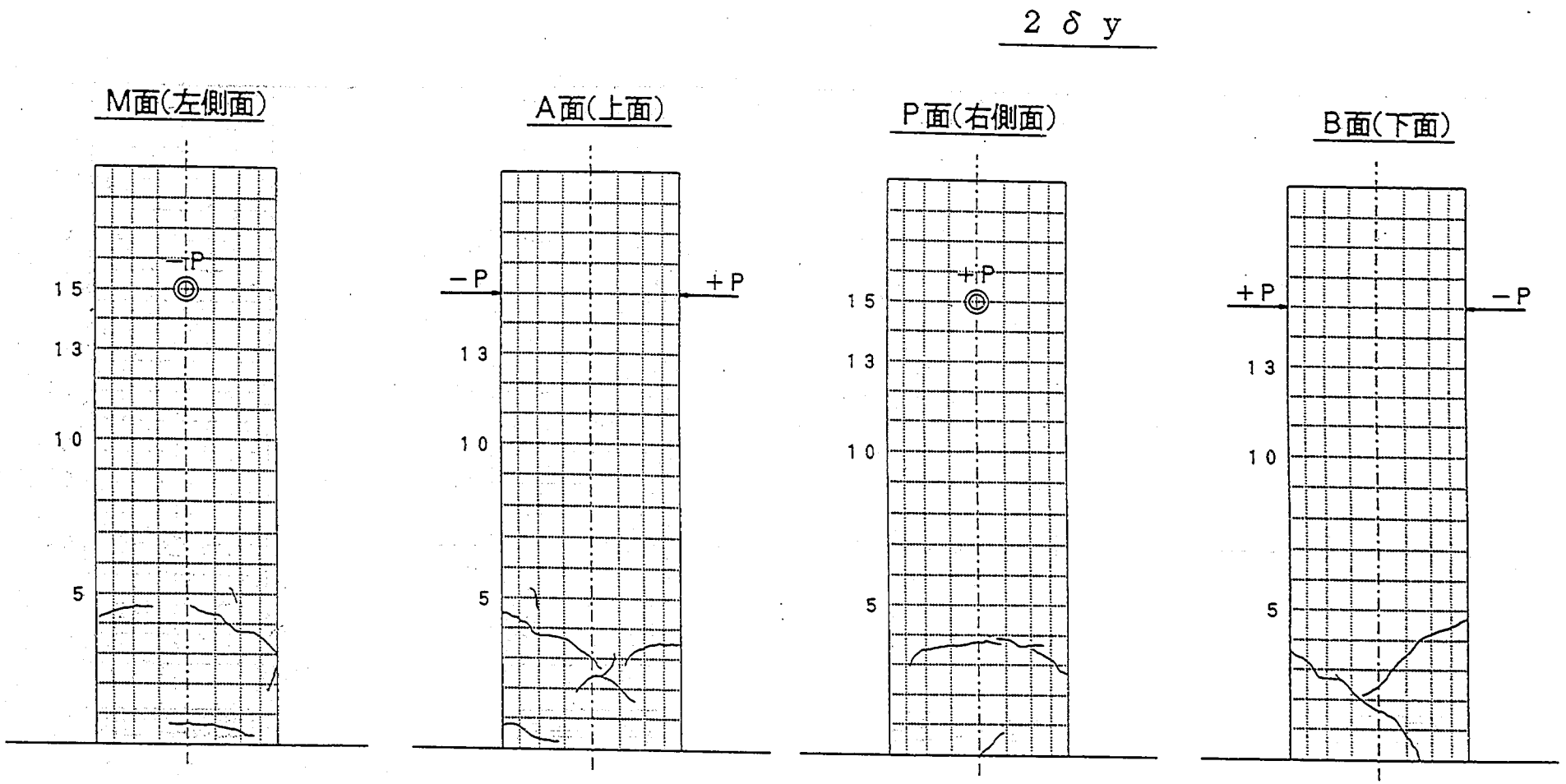
4 δ y



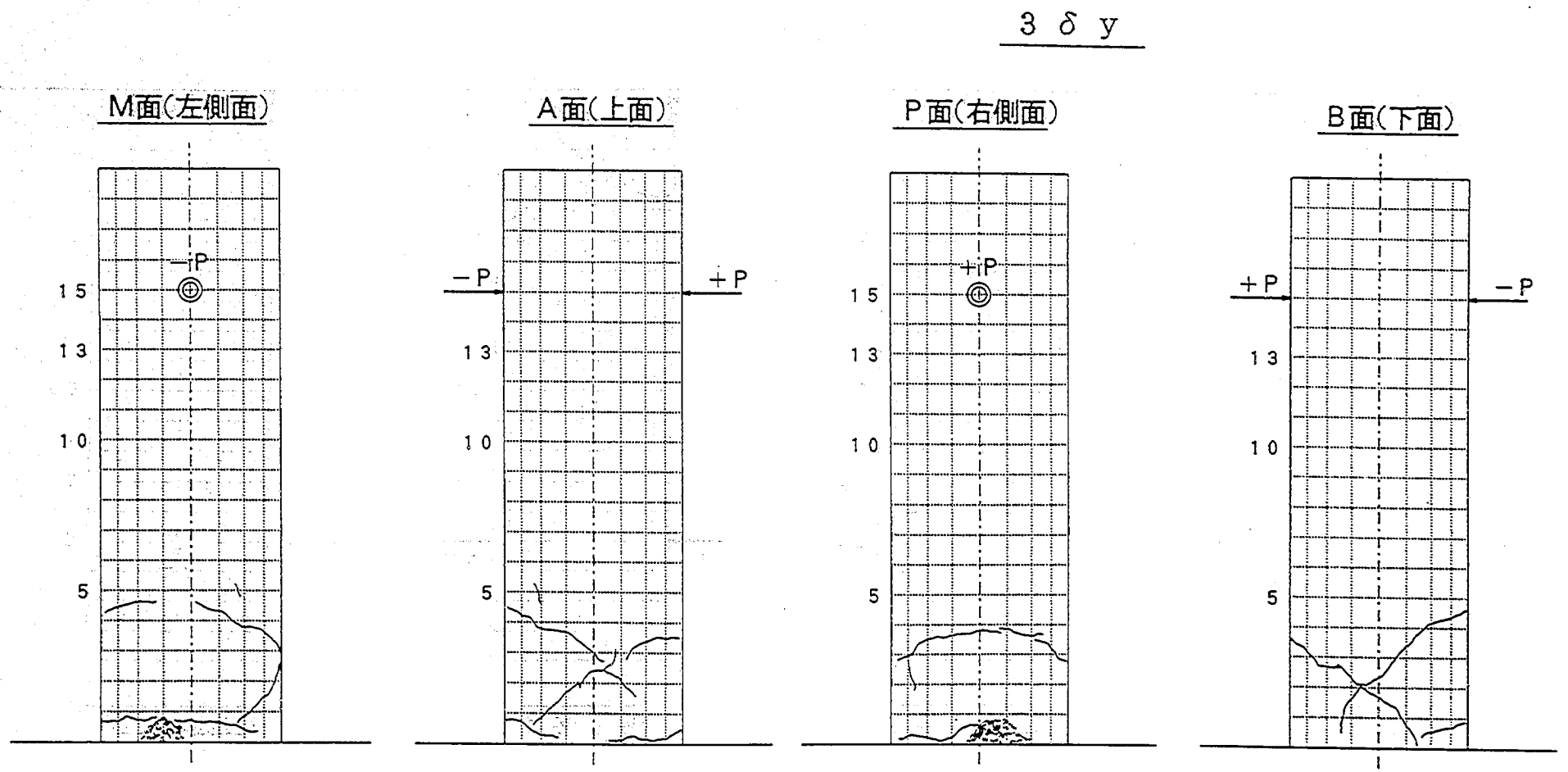
(a)ＰＨＣ１供試体



(b)ＰＨＣ２供試体

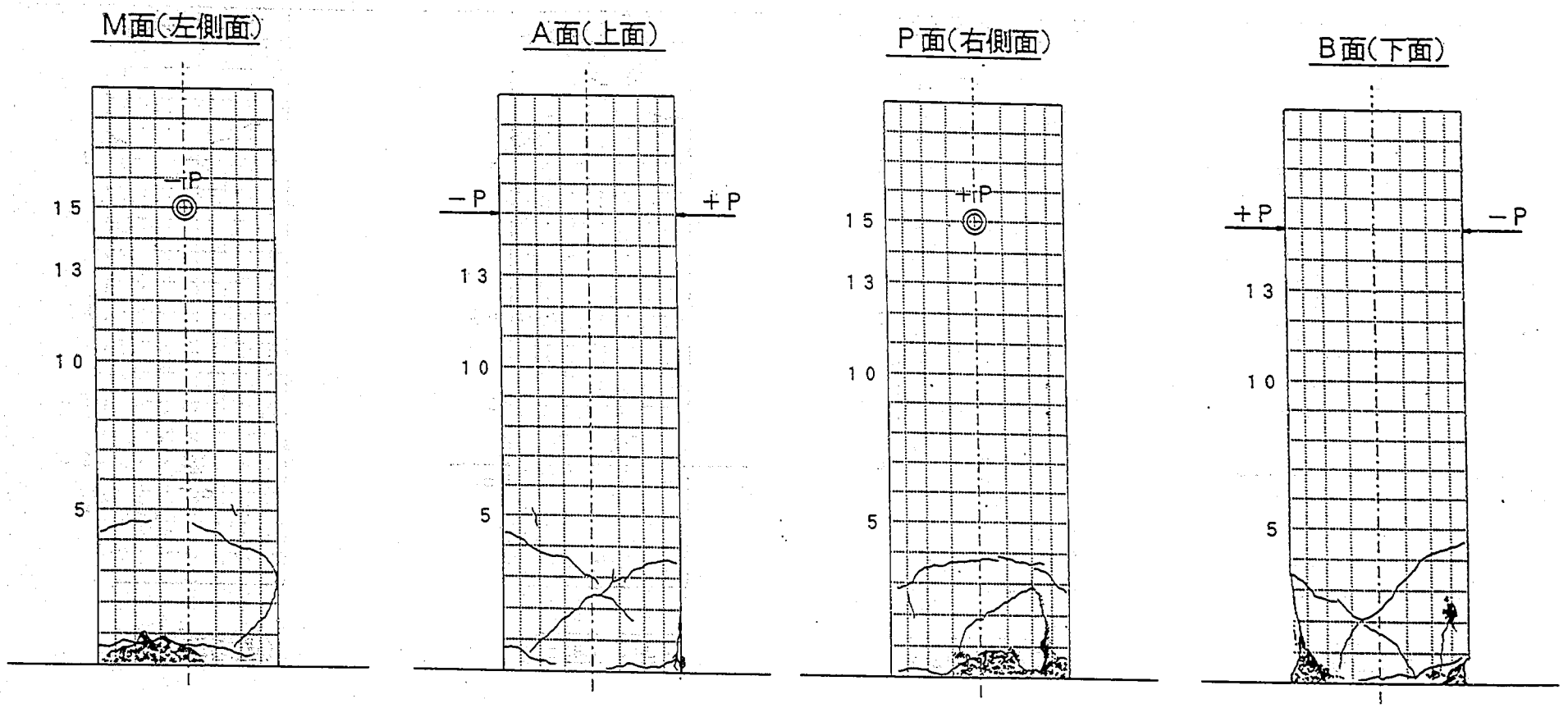


(b)ＰＨＣ２供試体



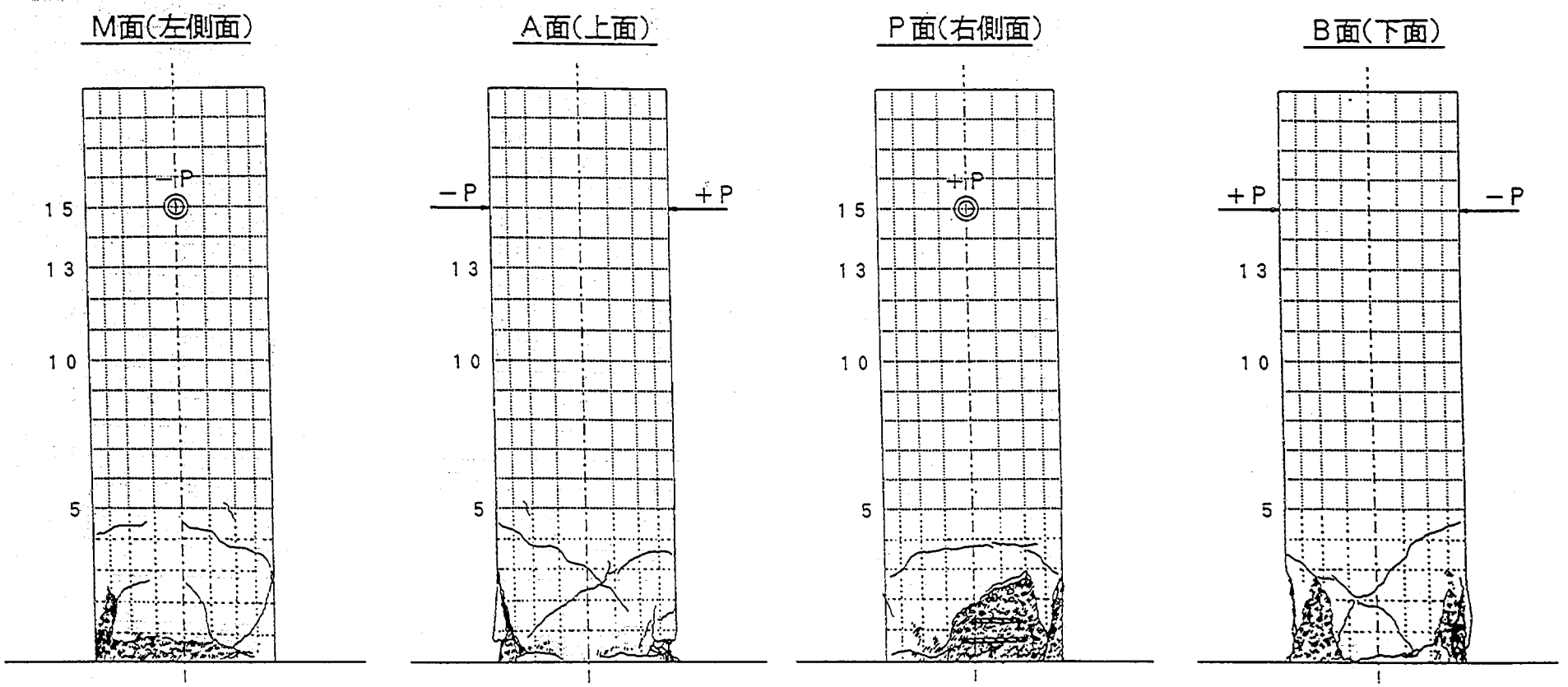
(b) PHC 2 供試体

4 δ y



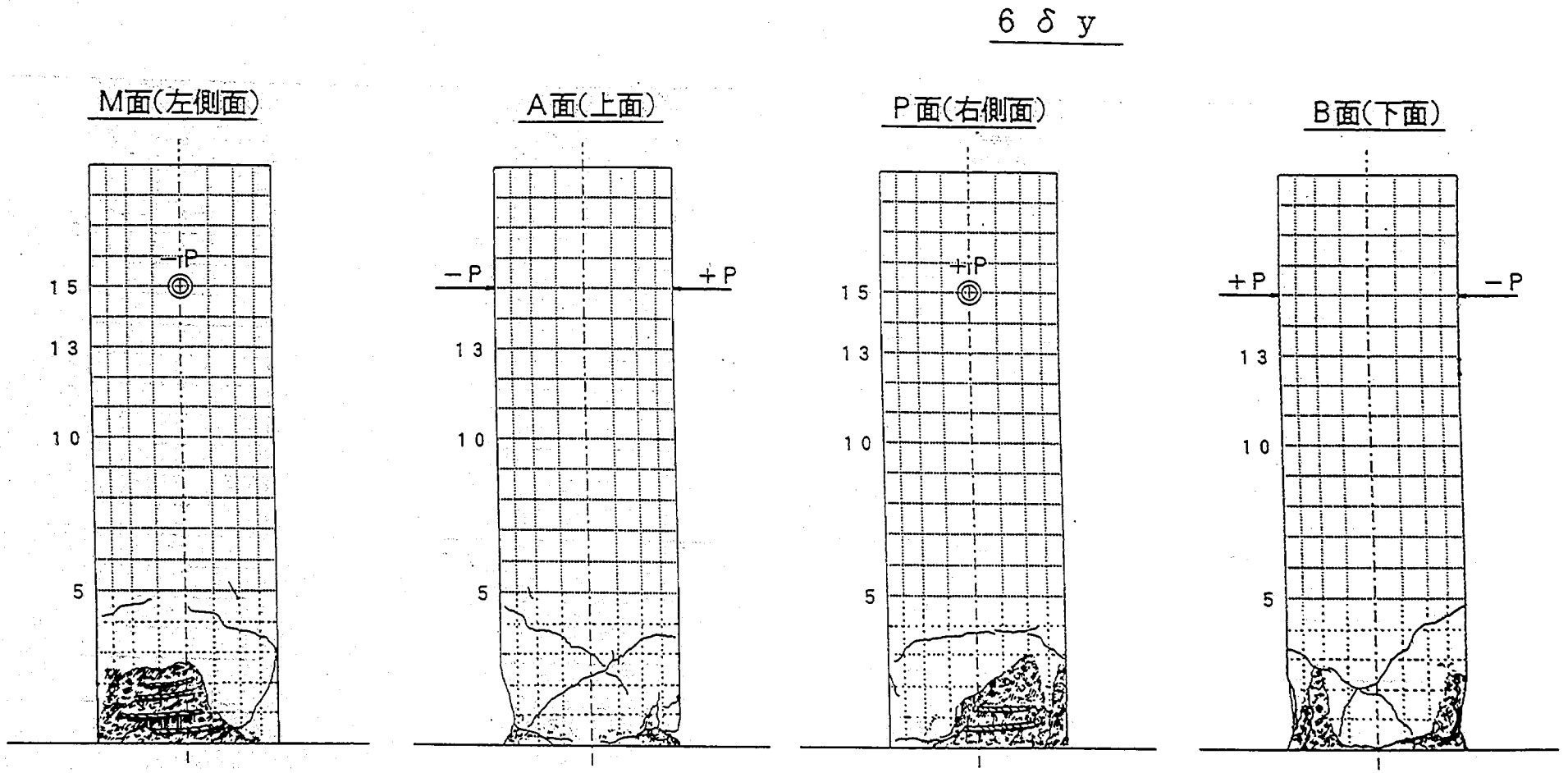
(b)ＰＨＣ２供試体

5 δ y



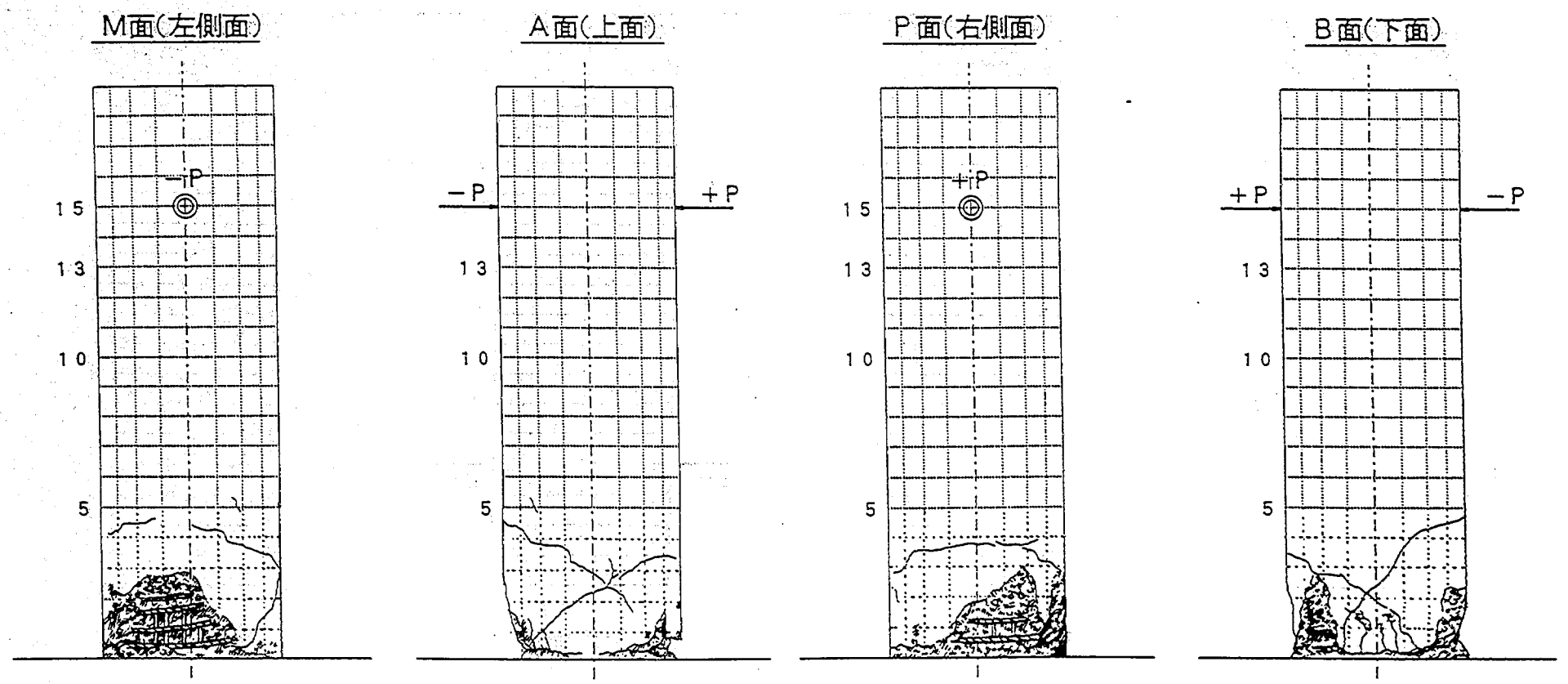
(b)ＰＨＣ２供試体

6 δ y

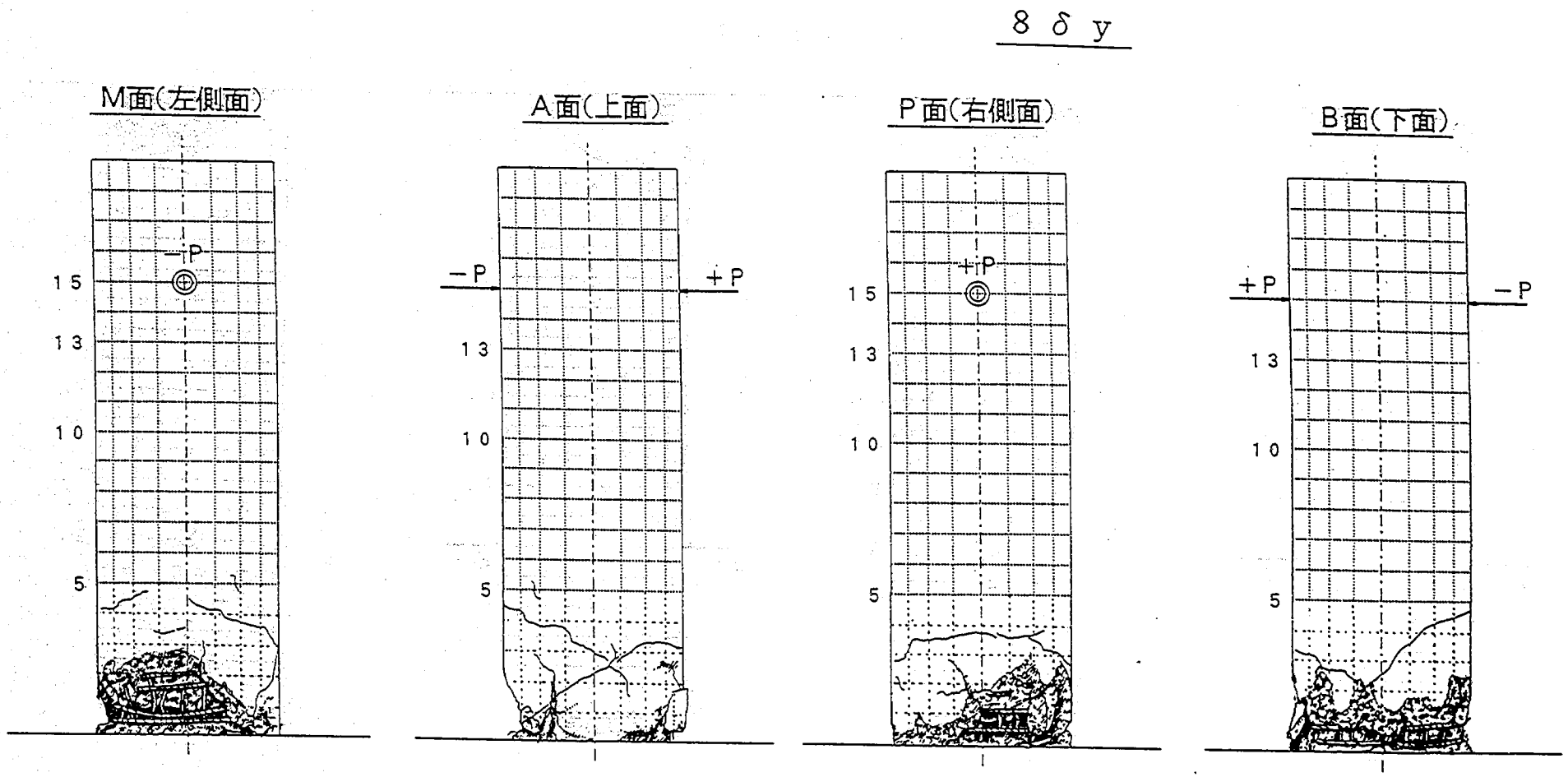


(b)ＰＨＣ２供試体

7 δ y

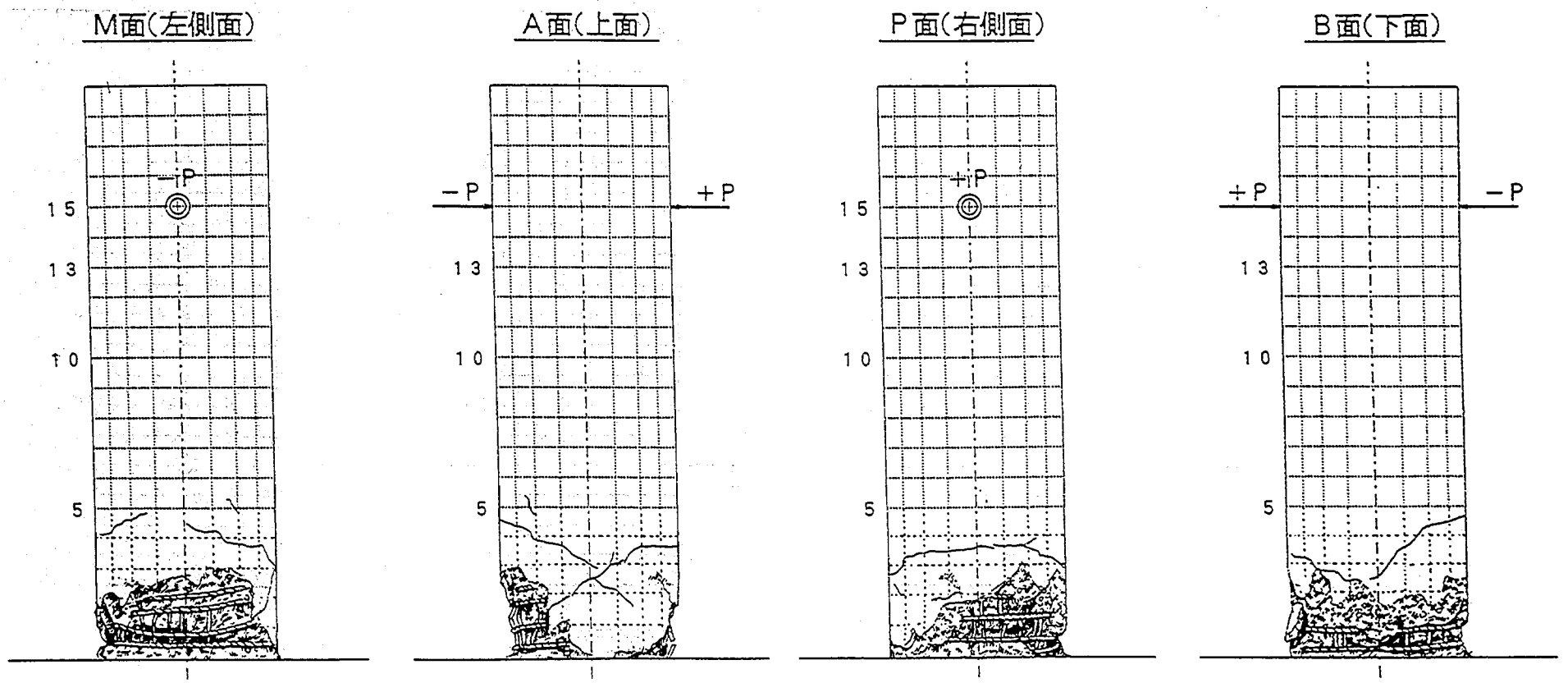


(b)ＰＨＣ２供試体



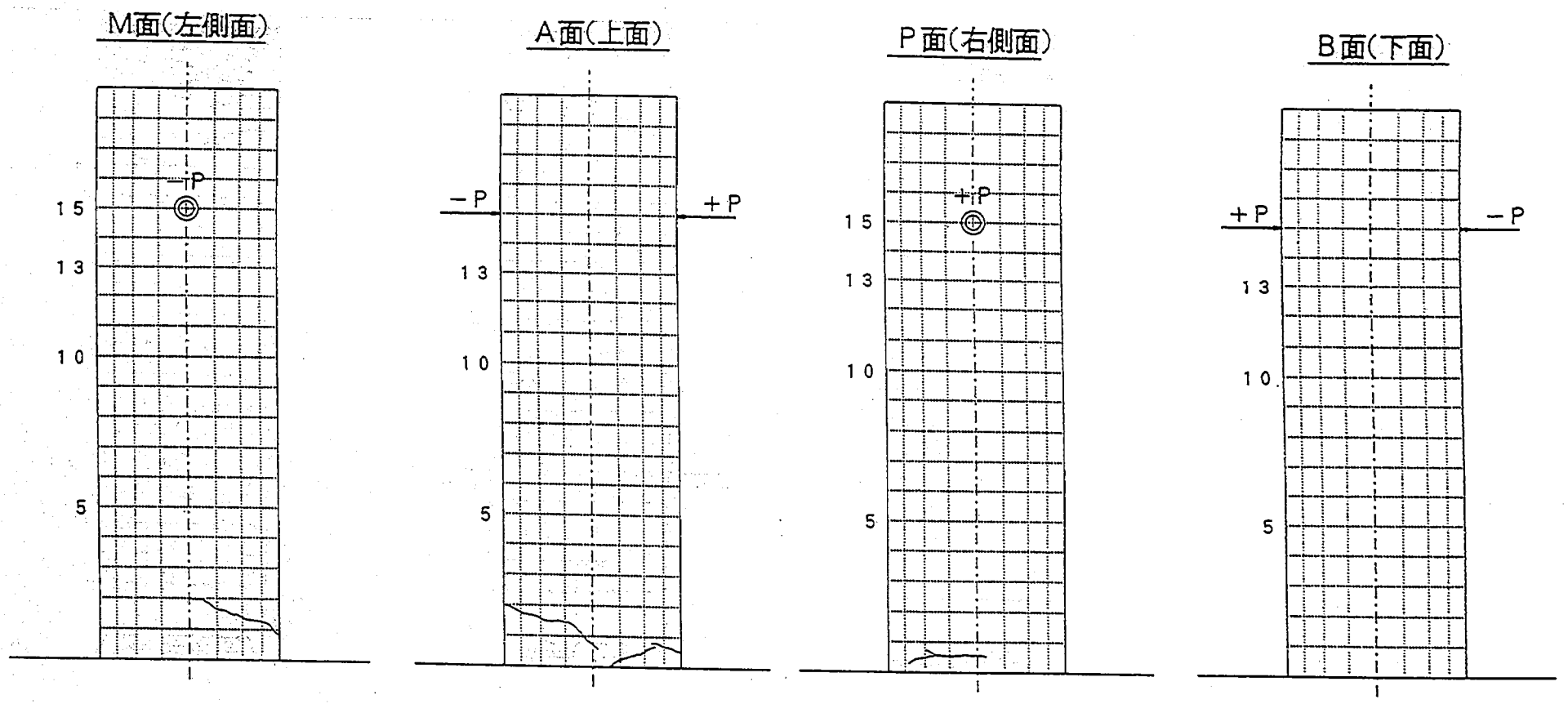
(b)ＰＨＣ２供試体

8δy最終破壊状況

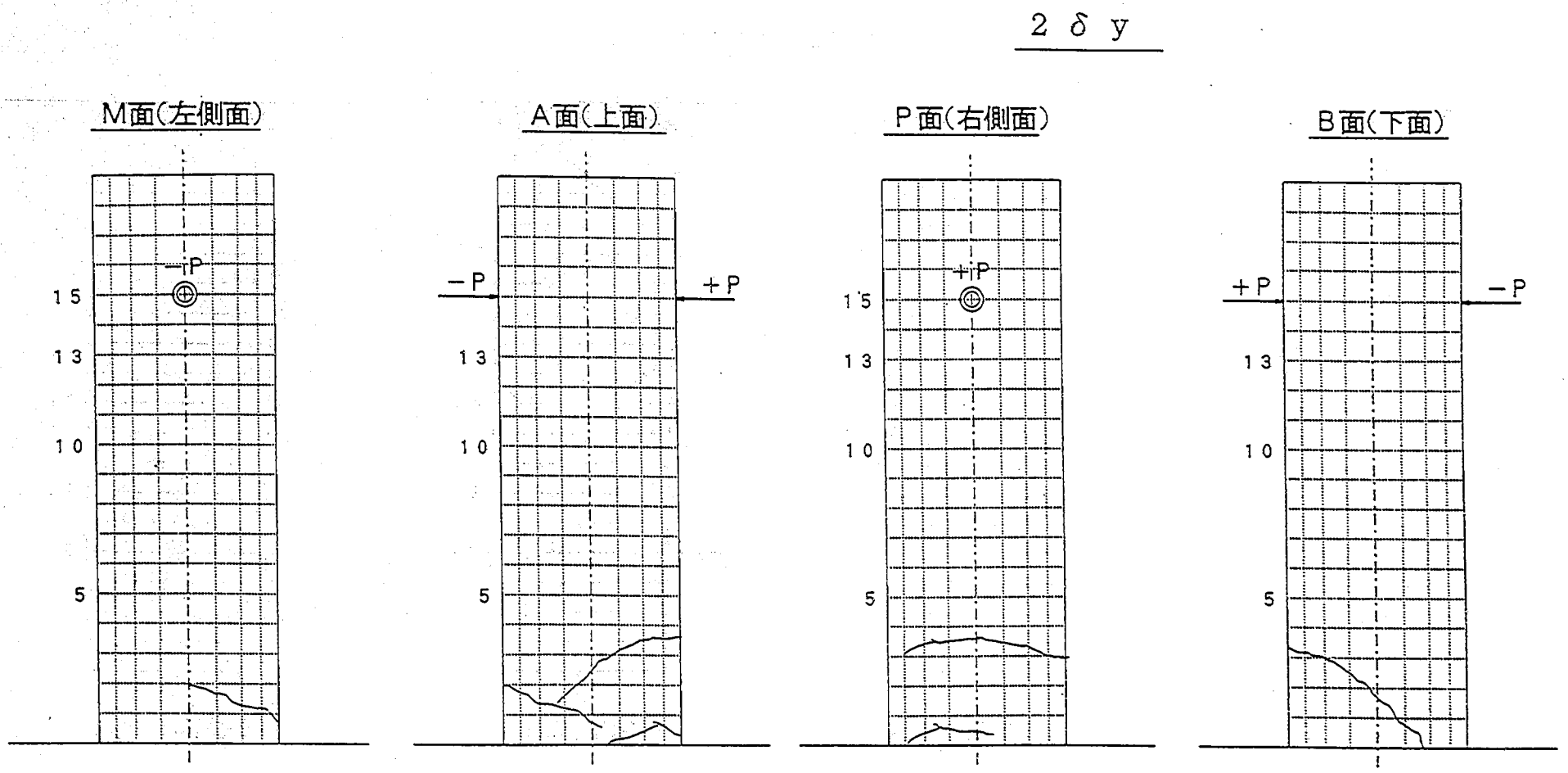


(b)ＰＨＣ２供試体

1 δ y

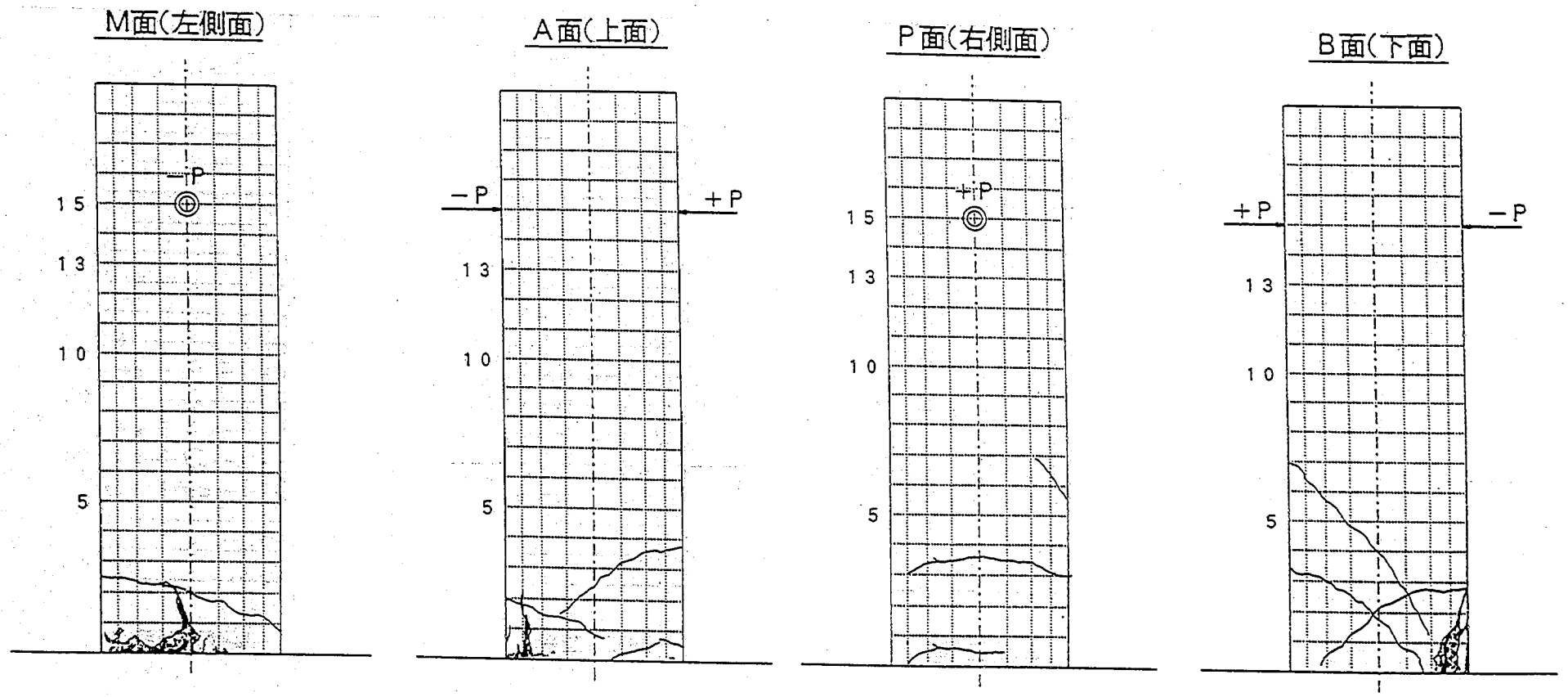


(c)ＰＨＣ３供試体



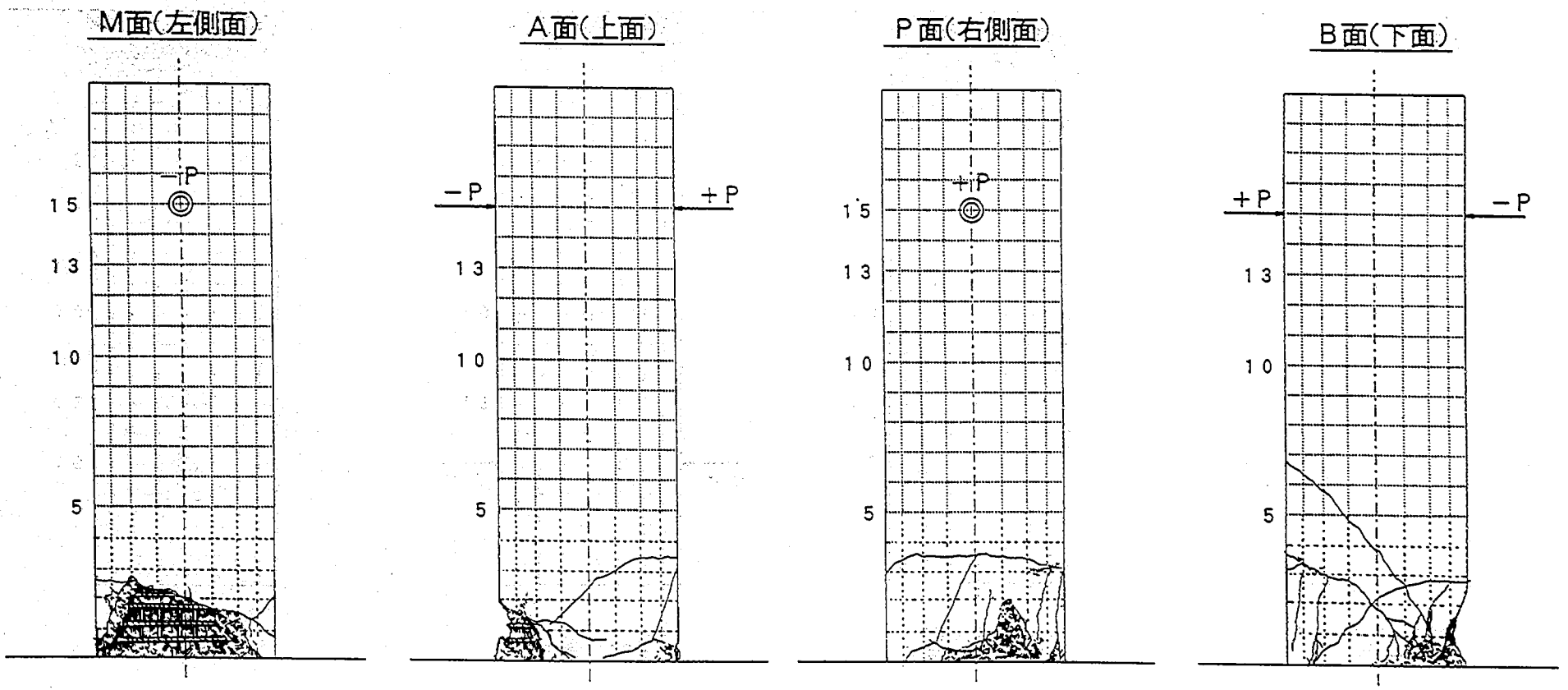
(c)ＰＨＣ３供試体

3 δ y

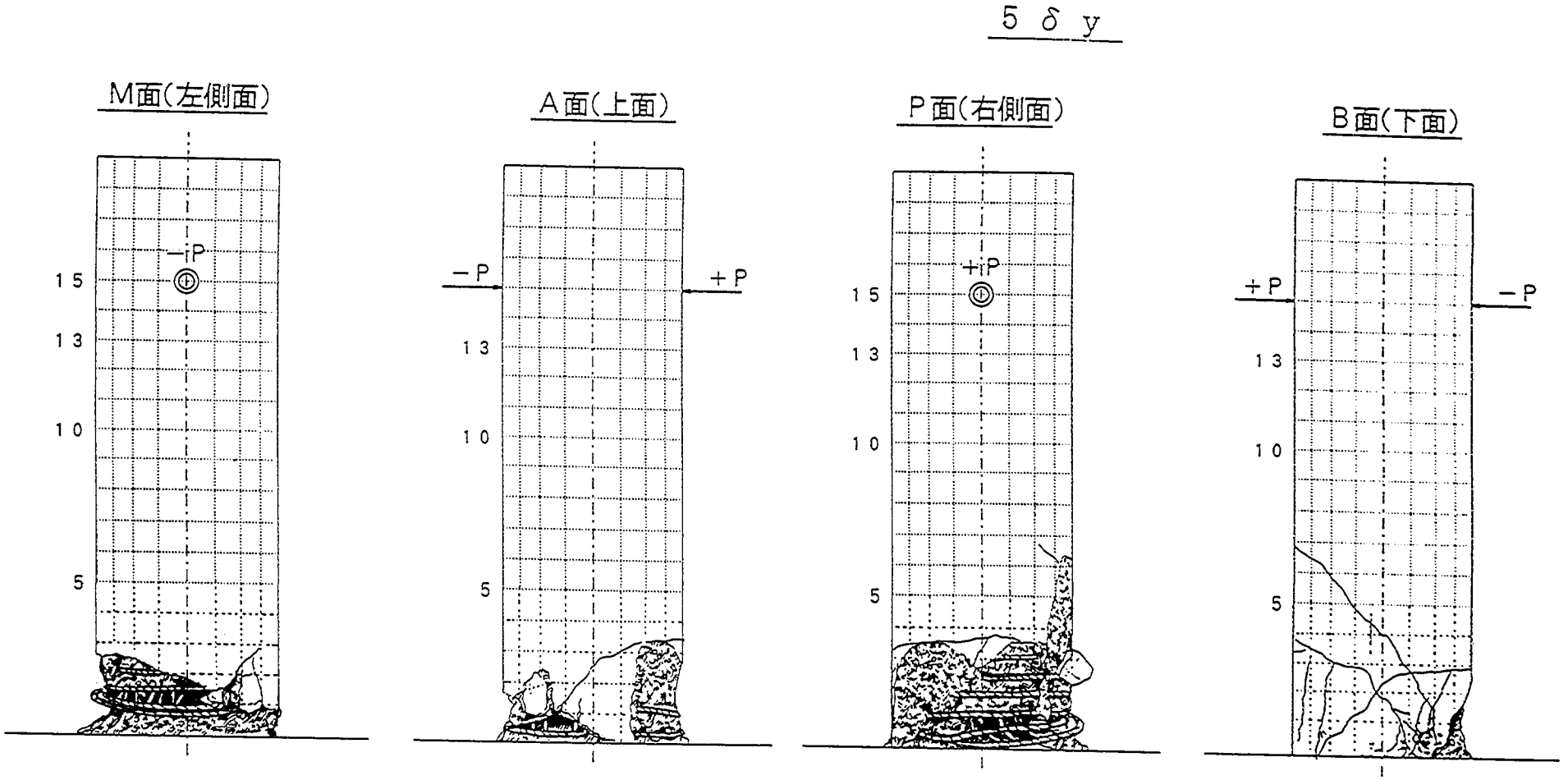


(c)ＰＨＣ３供試体

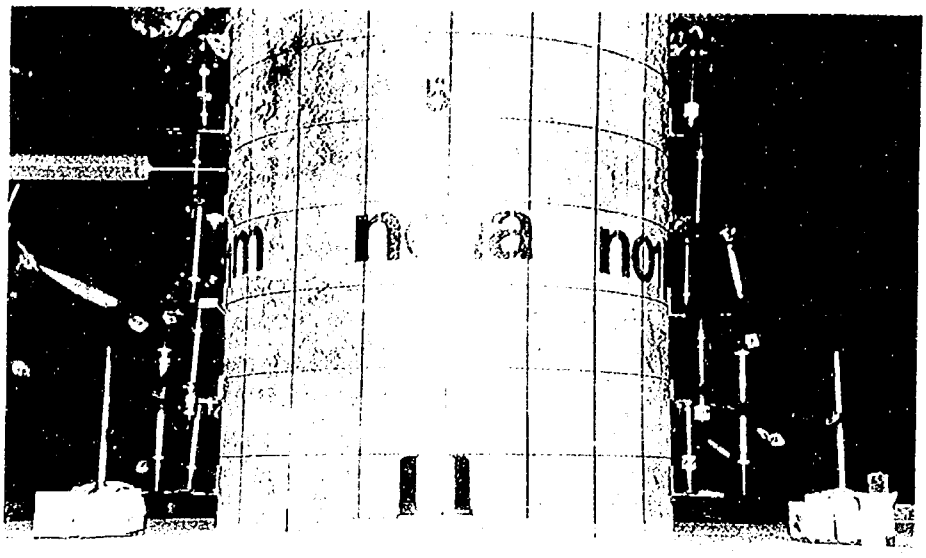
4 δ y



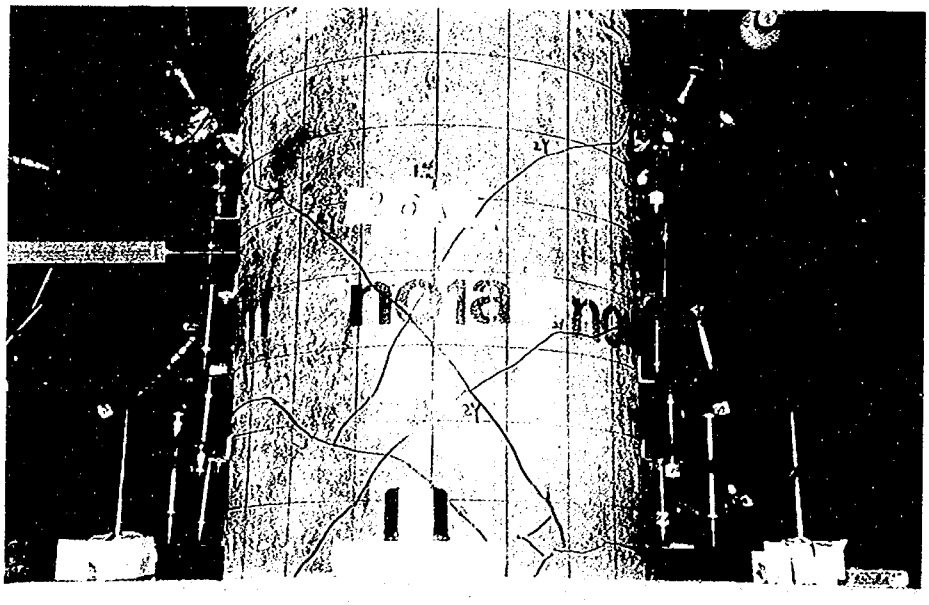
(c)ＰＨＣ３供試体



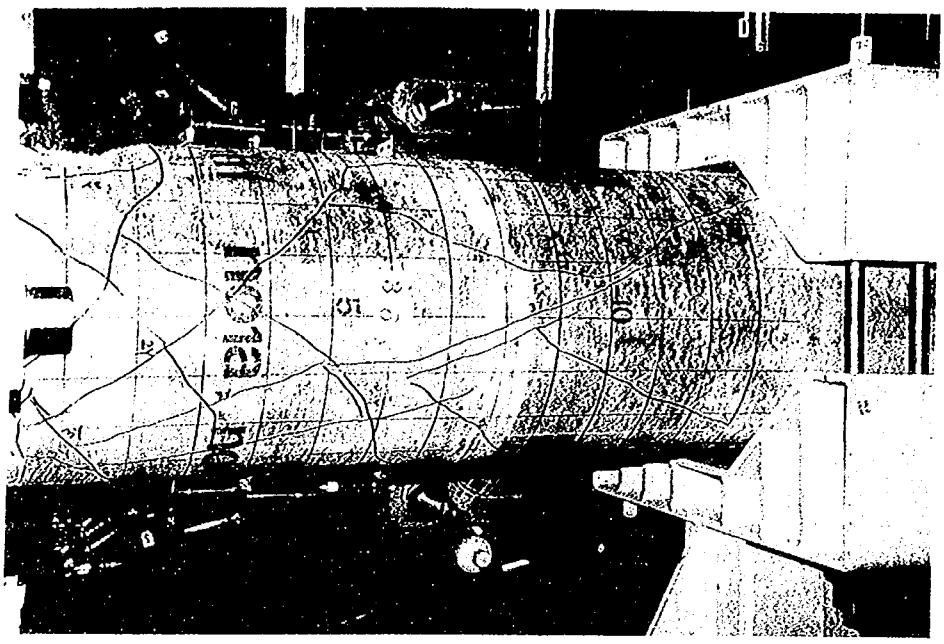
(c)ＰＨＣ３供試体



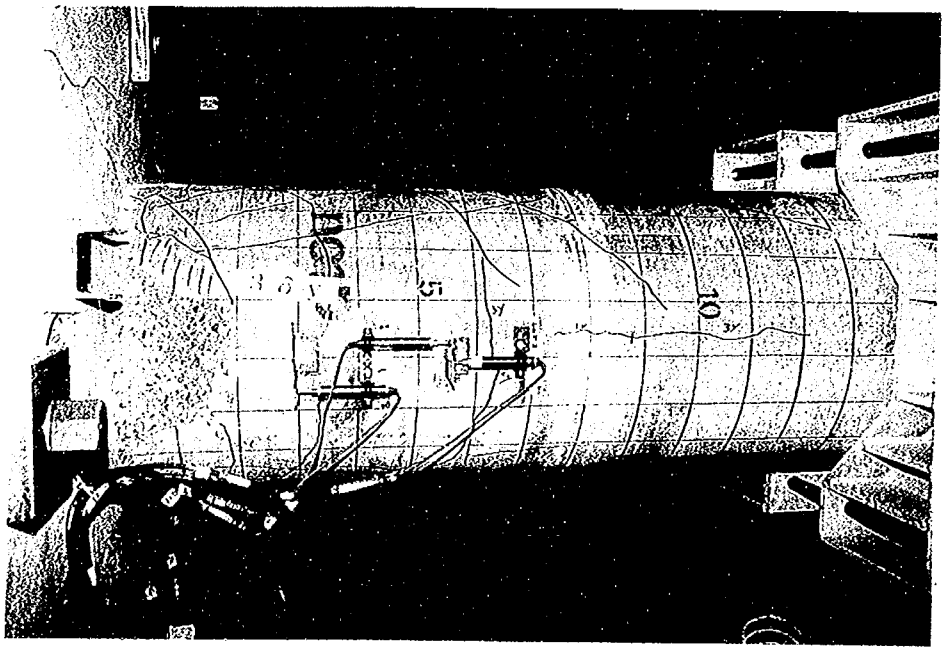
PHC１供試体　上面



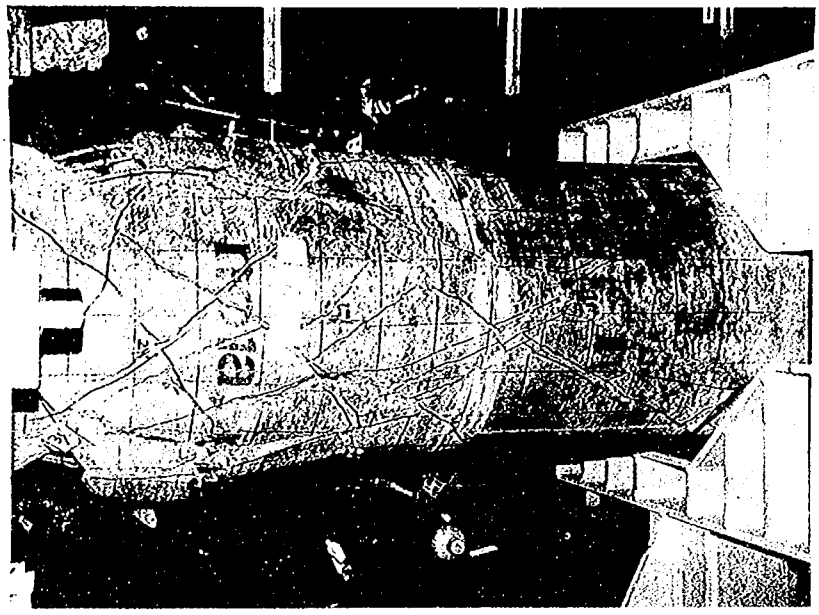
PHC１供試体　２δｙ　上面



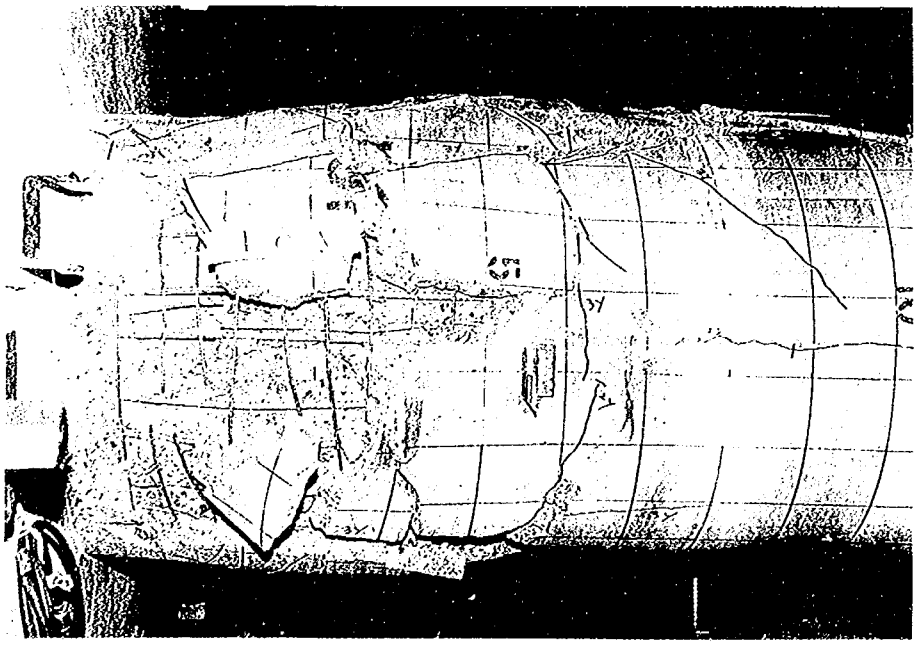
ＰＨＣ１供試体　３δｙ　上面



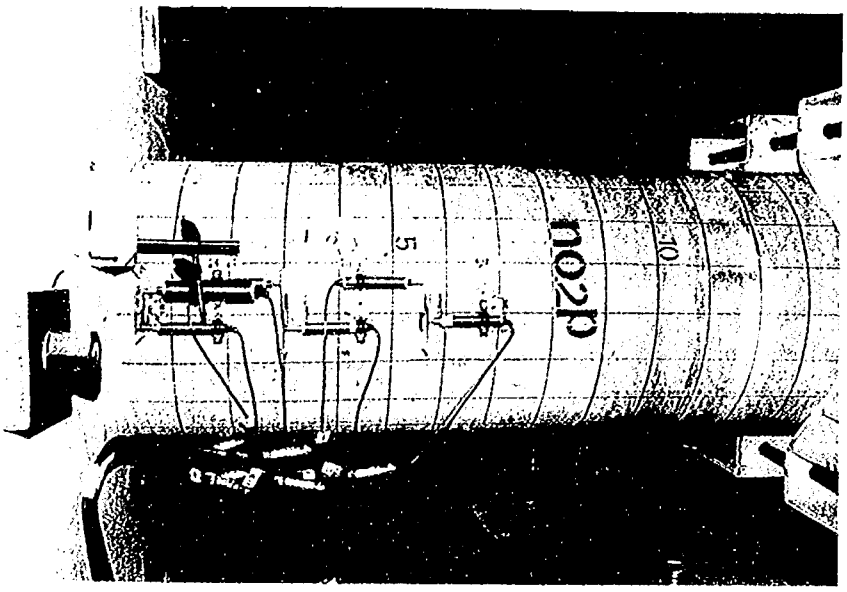
ＰＨＣ１供試体　３δｙ　側面



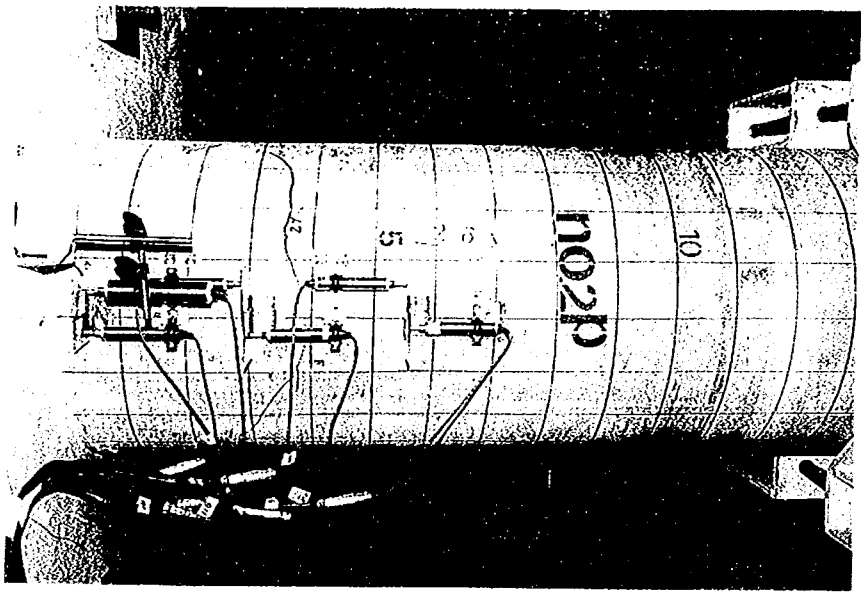
ＰＨＣ１供試体　４δｙ　上面



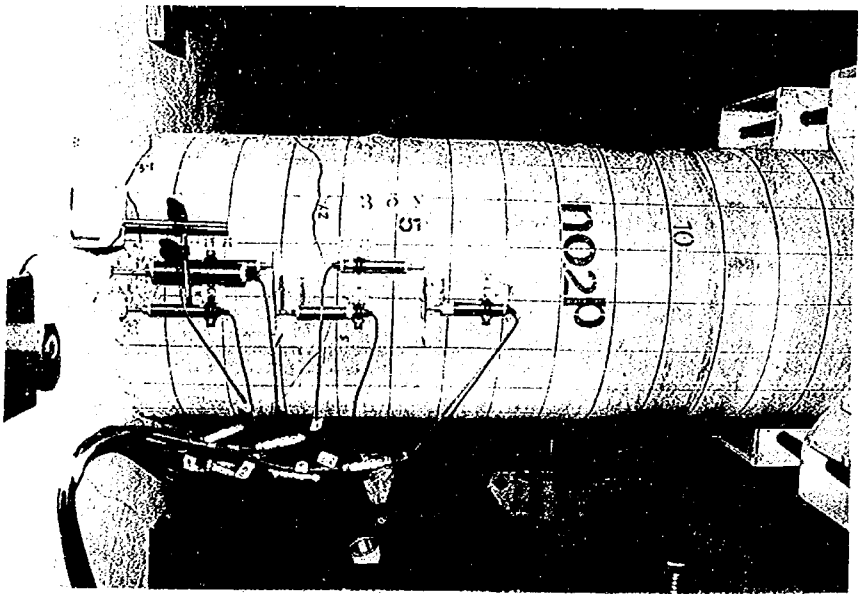
ＰＨＣ１供試体　４δｙ　側面



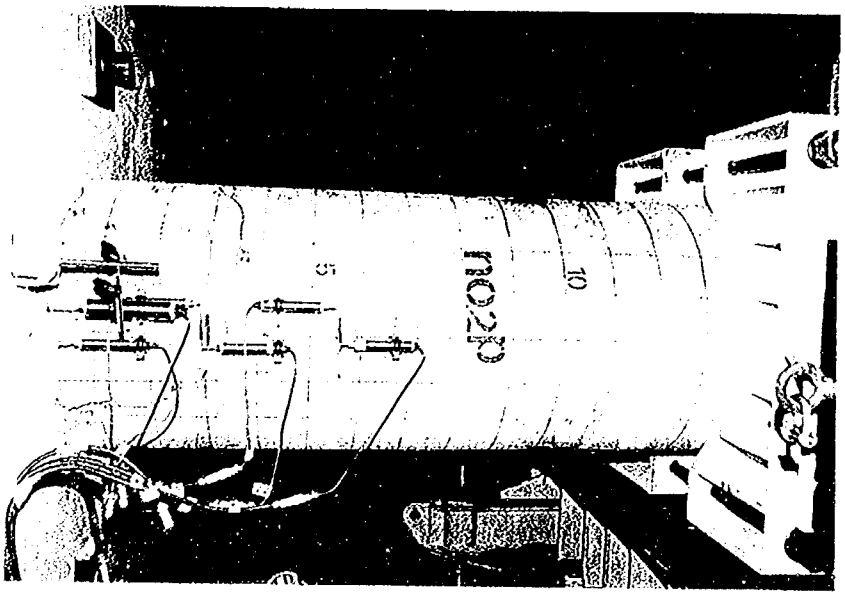
PHC２供試体　１δｙ　側面



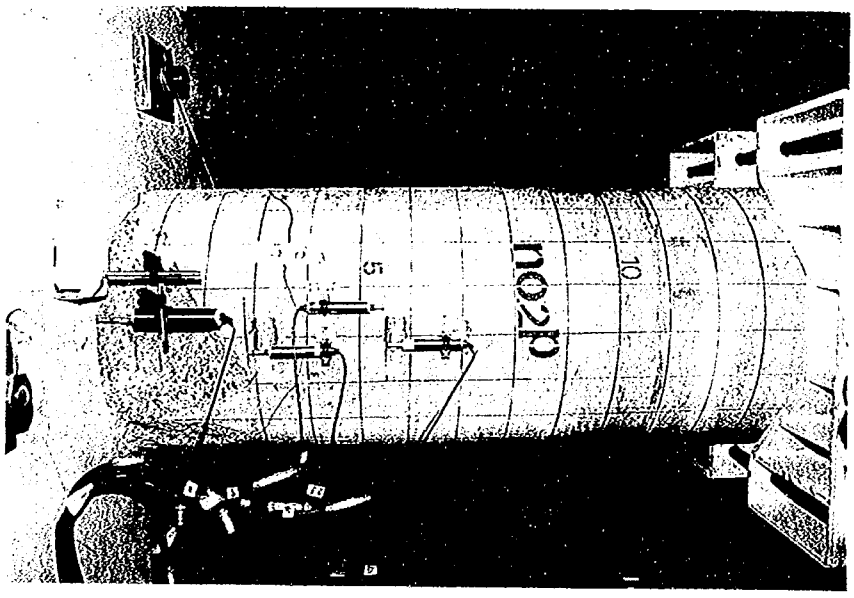
PHC２供試体　２δｙ　側面



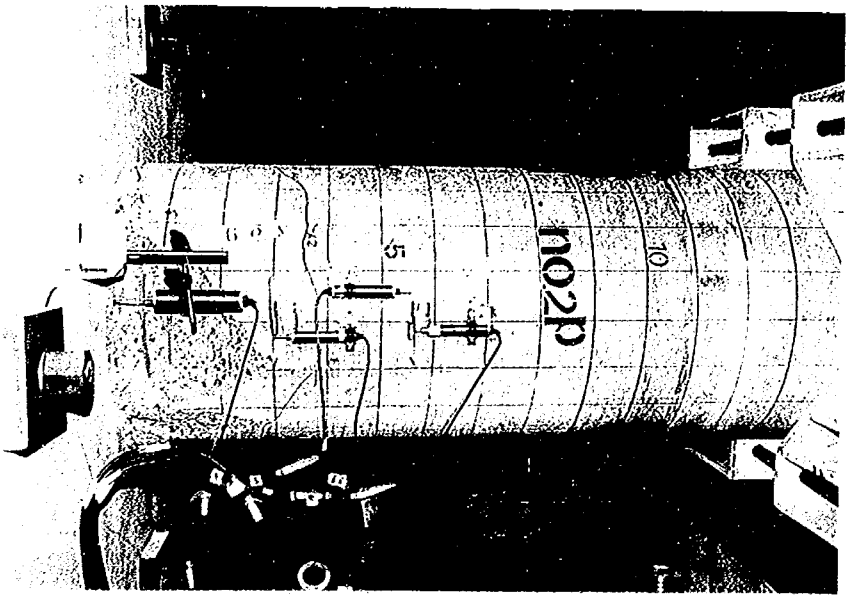
PHC２供試体　３δｙ　側面



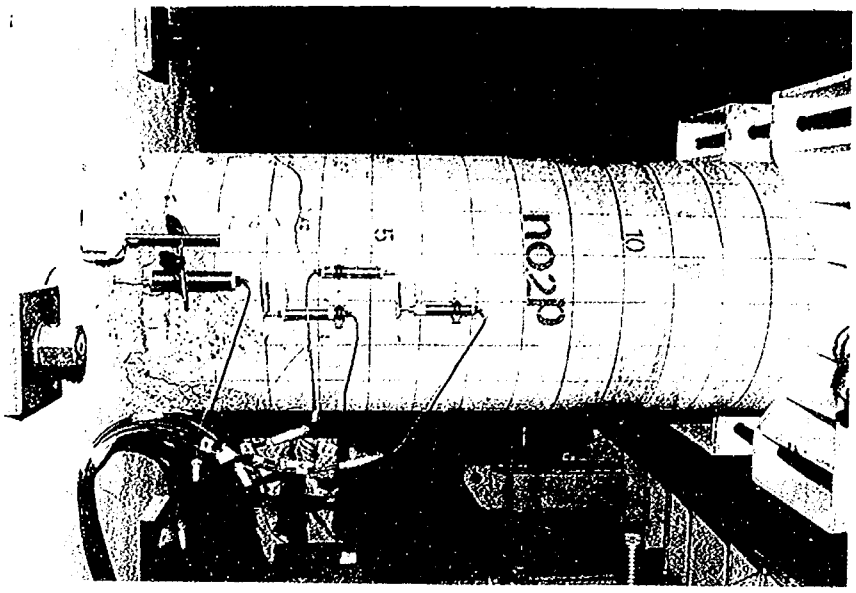
ＰＨＣ２供試体　４δｙ　側面



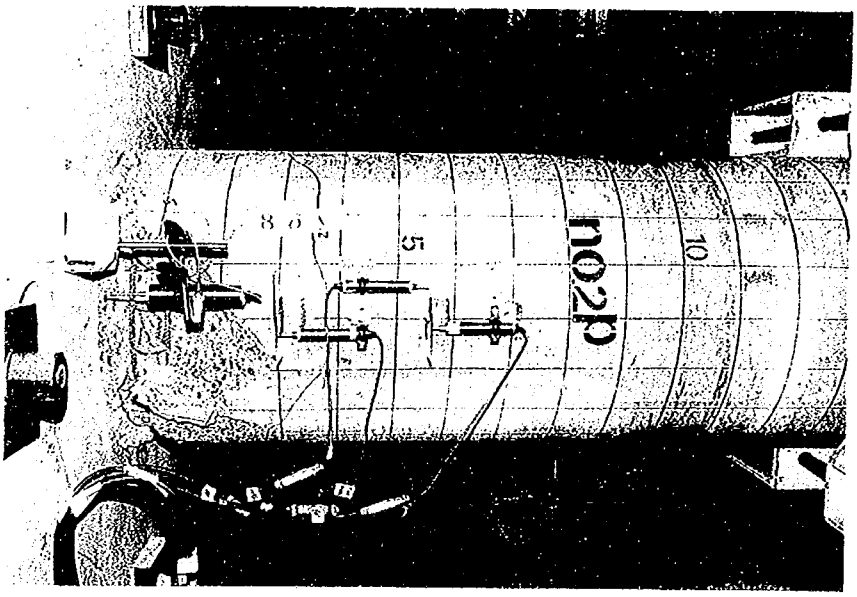
ＰＨＣ２供試体　５δｙ　側面



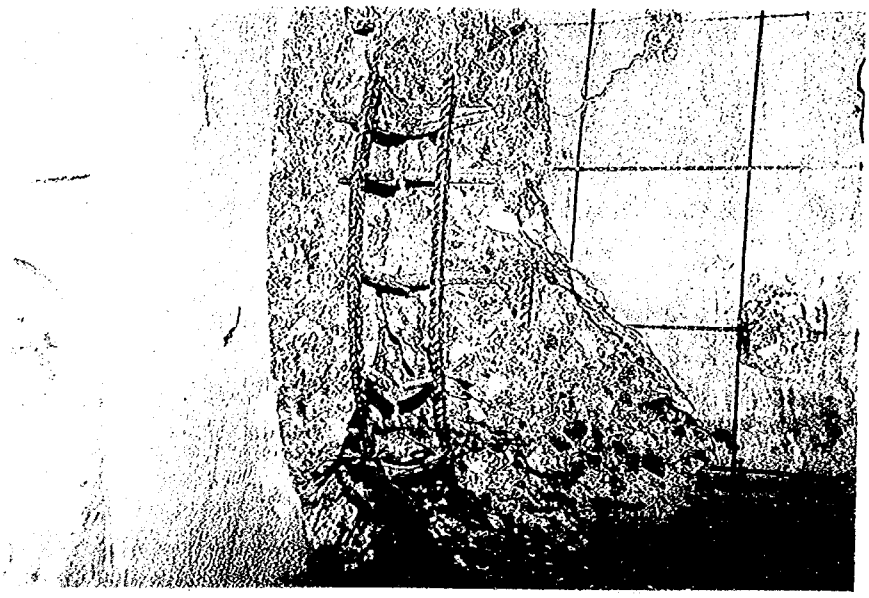
ＰＨＣ２供試体　６δｙ　側面



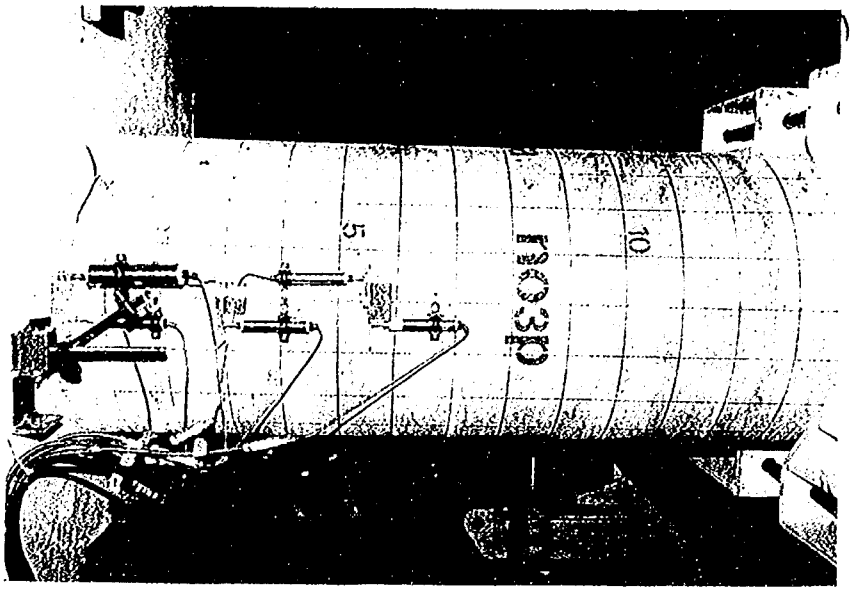
ＰＨＣ２供試体　７δｙ　側面



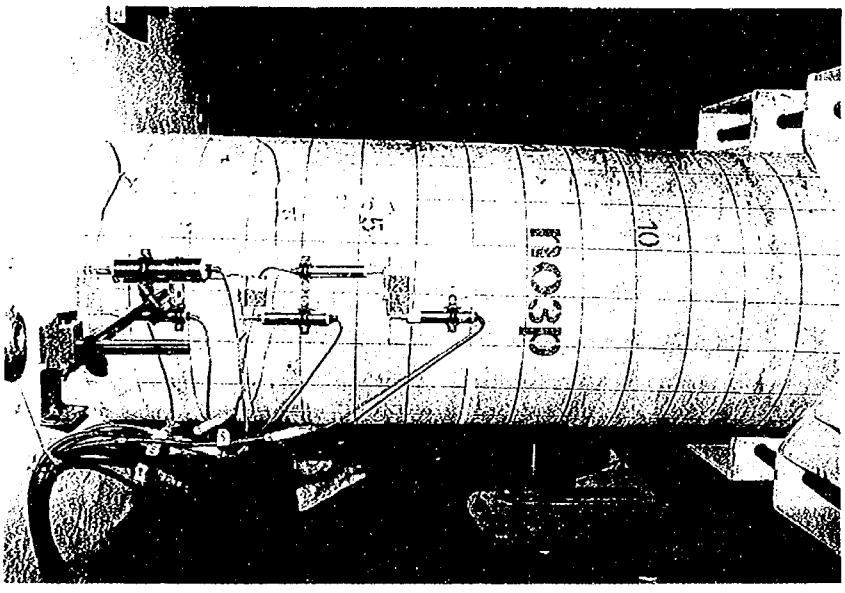
ＰＨＣ２供試体　８δｙ　側面



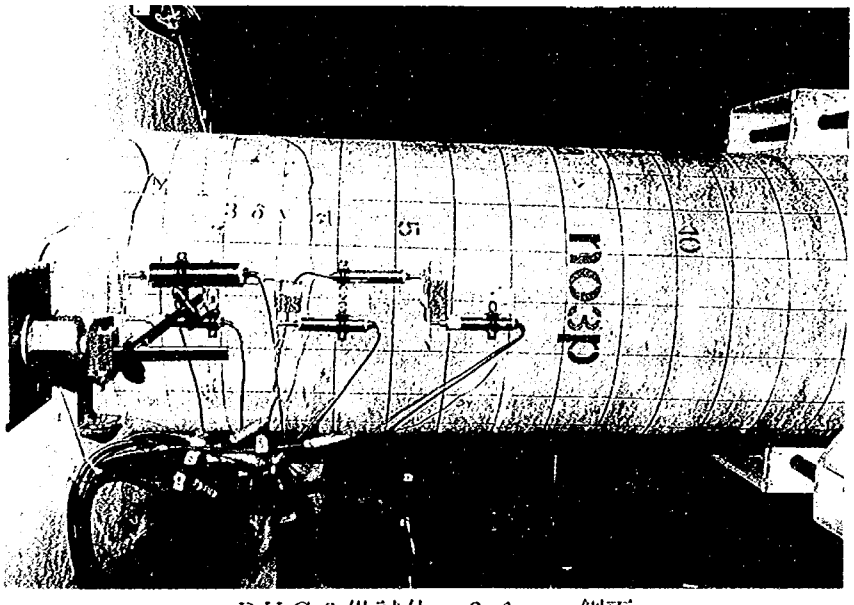
ＰＨＣ２供試体　８δｙ　側面損傷部拡大



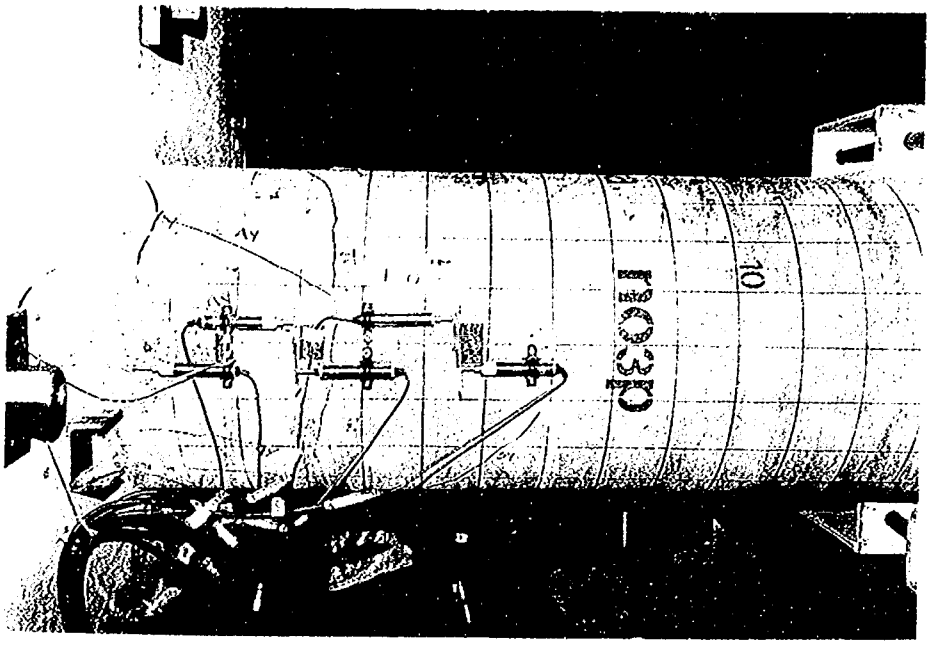
ＰＨＣ３供試体　側面



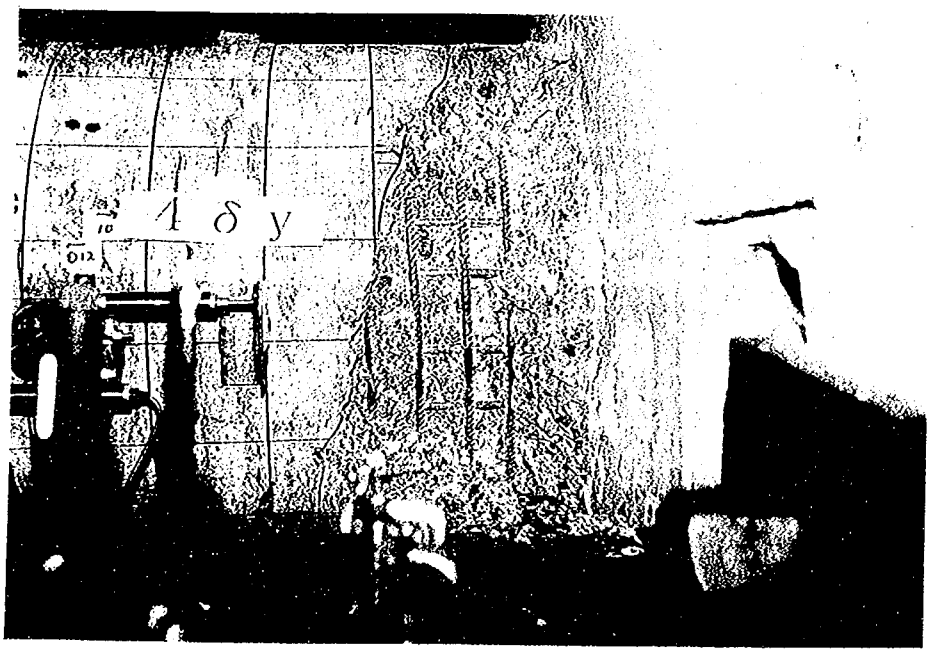
ＰＨＣ３供試体　２δｙ　側面



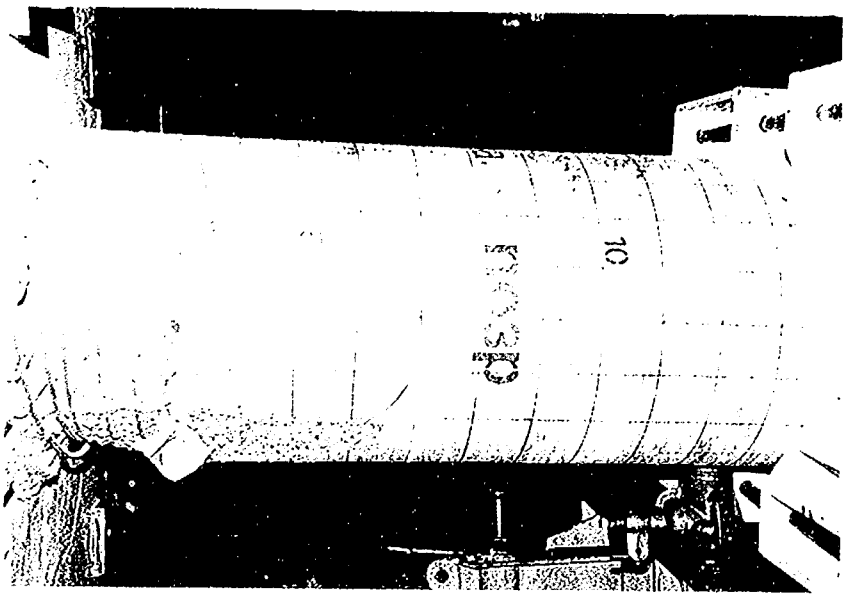
ＰＨＣ３供試体　３δｙ　側面



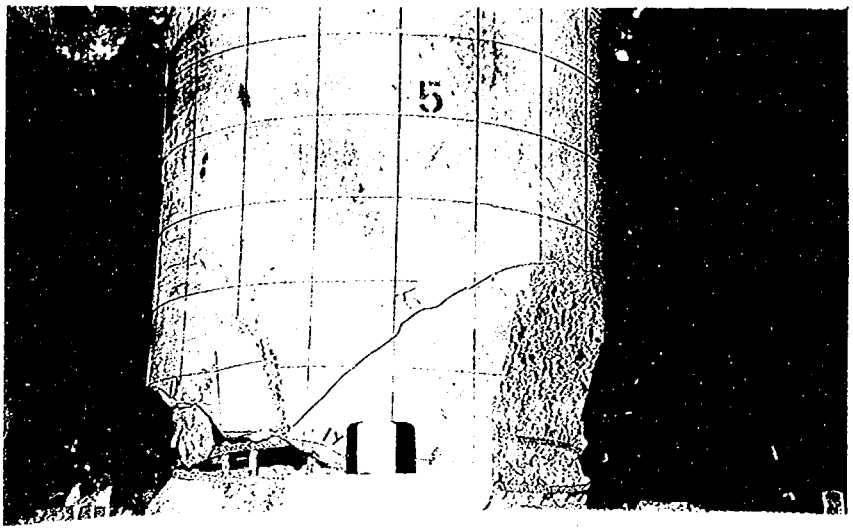
ＰＨＣ３供試体　４δｙ　側面



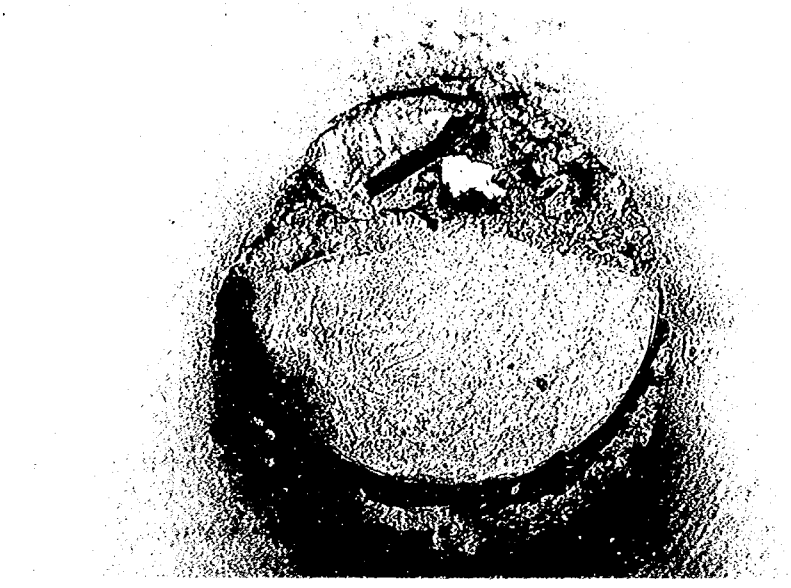
ＰＨＣ３供試体　４δｙ　側面損傷部拡大



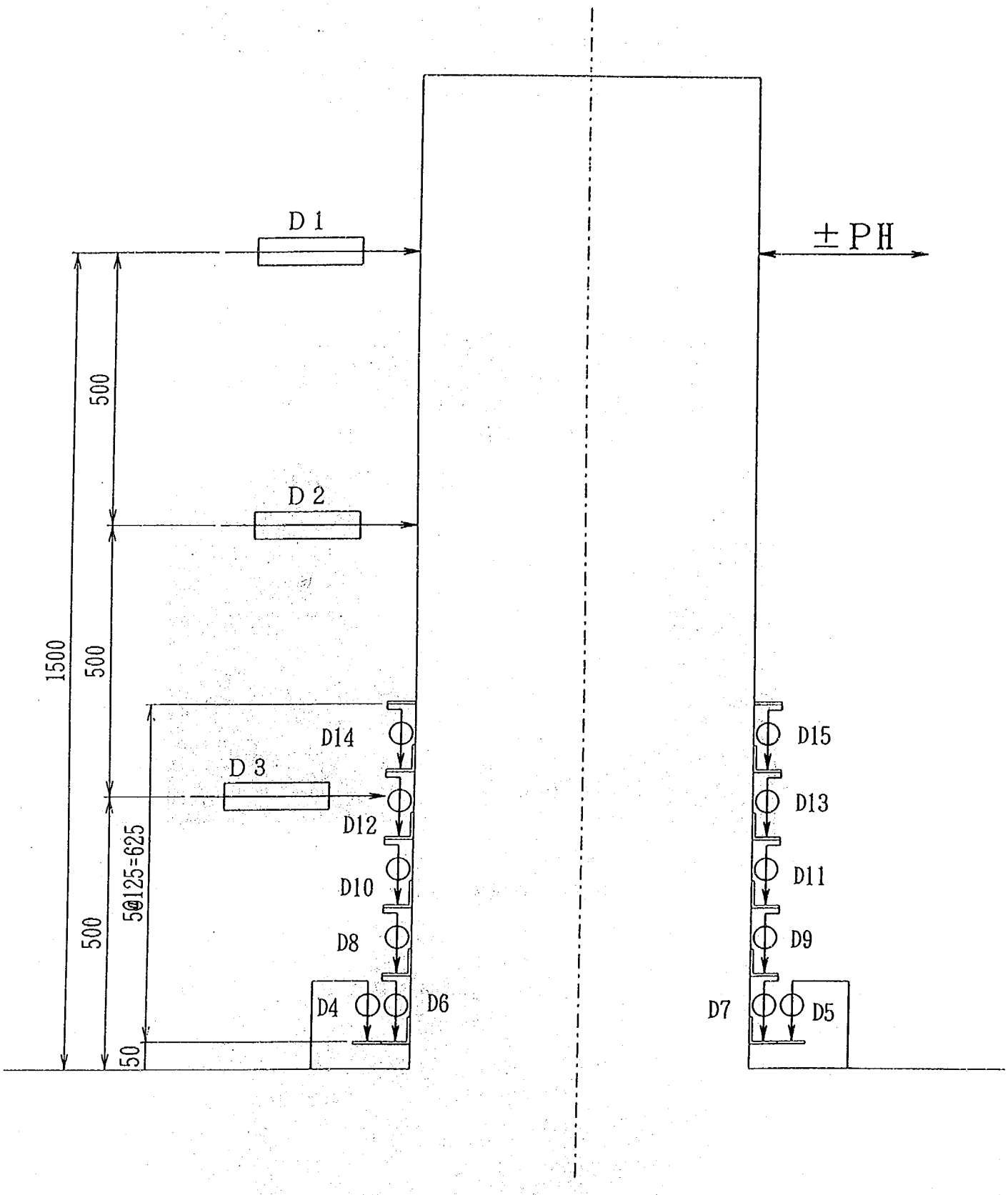
ＰＨＣ３供試体　５δｙ　側面



ＰＨＣ３供試体　５δｙ　上面



ＰＨＣ３供試体　５δｙ　中空断面内に剝落したコンクリート


D 1
±PH
500
D 2
1500
500
D14
D 3
D12
5@125=625
D10
500
D8
D4
D6
50
D15
D13
D11
D9
D7
D5

変位計取付け位置

杭水平変位結果表（PHC杭 No.1）

単位：mm

載荷		荷重 (tf)		D1		D2		D3	
		+	−	+	−	+	−	+	−
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
予備載荷		33.17	-33.70	3.60	-4.47	2.28	-2.60	1.12	-1.43
予備載荷		39.94	-37.66	5.37	-5.38	3.35	-3.15	1.67	-1.70
1 δy	1波目	43.21	-39.25	6.55	-6.25	4.20	-3.71	2.13	-2.00
	2波目	42.65	-39.08	6.61	-6.58	4.25	-3.94	2.14	-2.12
	3波目	42.19	-38.76	6.73	-6.57	4.32	-3.92	2.21	-2.13
2 δy	1波目	53.30	-51.11	17.67	-15.54	11.43	-9.68	5.62	-4.49
	2波目	52.20	-50.38	17.93	-16.07	11.64	-10.03	5.82	-4.59
	3波目	51.67	-49.78	17.98	-16.02	11.69	-10.08	5.89	-4.61
3 δy	1波目	55.55	-52.83	24.30	-21.36	15.89	-13.63	7.98	-6.25
	2波目	48.16	-46.67	30.26	-28.43	19.74	-18.15	9.99	-8.05
	3波目	46.14	-44.57	30.73	-28.66	20.47	-18.16	10.48	-7.81
4 δy	1波目	46.91	-35.83	36.09	-32.97	24.69	-21.07	12.77	-5.44
	2波目	17.17	-14.03	31.34	-41.41	22.22	-24.48	15.10	-3.92
	3波目	10.94	-6.67	39.20	-44.66	26.55	-25.80	18.66	1.20

杭水平変位結果表（PHC杭 No.2）

単位：mm

載荷		荷重 (tf)		D1		D2		D3	
		+	−	+	−	+	−	+	−
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
予備載荷		12.96	-31.22	0.84	-3.22	0.61	-2.18	0.28	-1.03
予備載荷		29.56	-37.84	2.44	-4.90	1.65	-3.28	0.83	-1.56
予備載荷		35.11	-40.34	3.13	-6.02	2.09	-4.00	1.07	-1.93
1 δy	1波目	39.28	-42.16	4.58	-6.87	3.10	-4.56	1.57	-2.14
	2波目	38.40	-41.53	4.56	-6.94	3.08	-4.65	1.54	-2.18
	3波目	38.27	-41.46	4.57	-7.02	3.08	-4.71	1.56	-2.18
2 δy	1波目	52.14	-50.05	12.39	-13.96	8.27	-9.27	4.05	-4.40
	2波目	51.22	-49.01	12.34	-14.19	8.27	-9.44	4.06	-4.56
	3波目	50.84	-48.77	12.26	-14.22	8.22	-9.46	4.05	-4.57
3 δy	1波目	56.37	-52.61	20.21	-21.73	13.46	-14.49	6.60	-6.98
	2波目	53.71	-50.73	21.04	-23.04	14.03	-15.38	6.94	-7.44
	3波目	52.77	-49.91	21.14	-23.26	14.16	-15.58	6.96	-7.54
4 δy	1波目	54.92	-50.43	27.09	-27.61	18.10	-18.45	8.76	-9.02
	2波目	50.63	-46.48	30.23	-33.33	20.20	-22.23	9.79	-10.81
	3波目	48.67	-45.18	31.23	-33.42	20.80	-22.31	9.94	-10.87
5 δy	1波目	49.48	-45.49	36.83	-43.08	24.48	-28.73	11.74	-14.07
	2波目	46.40	-42.91	39.91	-44.02	26.58	-29.44	12.76	-14.46
	3波目	44.47	-41.38	40.36	-44.31	26.95	-29.70	12.94	-14.67
6 δy	1波目	44.80	-41.34	49.41	-52.80	32.96	-35.40	15.93	-17.47
	2波目	41.81	-38.76	50.35	-54.39	33.63	-36.43	16.34	-18.12
	3波目	39.87	-35.72	50.74	-52.87	33.90	-35.55	16.57	-17.62
7 δy	1波目	38.83	-35.12	53.02	-63.86	35.46	-42.86	17.30	-21.13
	2波目	35.62	-31.82	59.93	-65.78	40.05	-44.21	19.56	-21.82
	3波目	33.54	-29.24	60.54	-65.14	40.43	-43.75	19.72	-21.67
8 δy	1波目	32.45	-22.35	62.41	-69.54	41.68	-46.65	20.36	-22.96
	2波目	24.77	-16.54	69.53	-76.42	46.36	-51.11	22.50	-24.94
	3波目	20.82	-14.75	69.83	-77.65	46.47	-51.91	22.46	-25.31

杭水平変位結果表（PHC杭 No.3）

単位：mm

載荷		荷重 (tf)		D1		D2		D3	
		+	−	+	−	+	−	+	−
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
予備載荷		10.85	-29.19	0.65	-3.46	0.48	-2.03	0.14	-0.95
予備載荷		25.48	-35.94	2.02	-5.26	1.51	-3.17	0.45	-1.60
予備載荷		35.76	-41.36	3.70	-7.20	2.68	-4.46	0.93	-2.29
予備載荷		38.51	-41.36	4.31	-8.26	3.08	-5.21	1.09	-2.68
1 δy	1波目	40.56	-42.45	4.97	-8.91	3.44	-5.68	1.19	-2.93
	2波目	40.55	-41.98	4.99	-8.95	3.43	-5.74	1.14	-3.03
	3波目	40.59	-41.67	4.91	-9.14	3.35	-5.85	1.01	-3.12
2 δy	1波目	52.50	-50.14	14.26	-16.16	9.54	-11.19	3.83	-6.50
	2波目	52.70	-48.79	14.59	-18.01	9.13	-12.68	2.68	-7.55
	3波目	52.33	-48.32	14.78	-18.14	9.16	-12.92	2.46	-7.83
3 δy	1波目	54.82	-51.43	17.85	-26.55	11.07	-19.01	3.22	-11.39
	2波目	48.11	-49.36	25.99	-28.54	15.44	-21.18	3.63	-13.53
	3波目	46.50	-48.63	26.19	-29.16	15.45	-21.67	3.41	-14.00
4 δy	1波目	46.99	-50.54	33.34	-38.12	20.11	-27.90	5.48	-17.43
	2波目	30.11	-48.34	35.43	-39.98	21.37	-29.32	5.88	-18.46
	3波目	25.28	-45.49	40.05	-38.88	24.50	-28.78	7.42	-18.49
5 δy	1波目	21.21	-41.37	42.41	-51.47	26.08	-37.25	8.16	-22.60
	2波目	−	−	−	−	−	−	−	−
	3波目	−	−	−	−	−	−	−	−

杭とフーチングの相対変位結果表 （ＰＨＣ杭 No.１）

載荷		荷重 (tf)		相対変位(D1) δ1 (mm)		抜け出し変位 D4 (mm)		抜け出し変位 D5 (mm)		回転角 θ (rad)		相対変位(D1) δh (mm)	
		+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000000	0.00	0.00
予備載荷		33.17	-33.70	3.60	-4.47	0.44	-0.80	-0.59	0.51	0.001315	-0.001673	1.66	-2.00
予備載荷		39.94	-37.66	5.37	-5.38	0.63	-1.08	-1.09	0.62	0.002197	-0.002171	2.13	-2.18
1 δy	1波目	43.21	-39.25	6.55	-6.25	0.77	-1.27	-1.45	0.72	0.002835	-0.002542	2.37	-2.50
	2波目	42.65	-39.08	6.61	-6.58	0.78	-1.30	-1.46	0.76	0.002861	-0.002631	2.39	-2.70
	3波目	42.19	-38.76	6.73	-6.57	0.80	-1.28	-1.49	0.77	0.002925	-0.002618	2.42	-2.71
2 δy	1波目	53.30	-51.11	17.67	-15.54	1.62	-2.93	-3.30	1.66	0.006284	-0.005862	8.40	-6.89
	2波目	52.20	-50.38	17.93	-16.07	1.63	-3.03	-3.24	1.72	0.006220	-0.006066	8.76	-7.12
	3波目	51.67	-49.78	17.98	-16.02	1.65	-3.03	-3.24	1.73	0.006245	-0.006079	8.77	-7.05
3 δy	1波目	55.55	-52.83	24.30	-21.36	1.62	-2.93	-3.30	1.66	0.006284	-0.005862	15.03	-12.71
	2波目	48.16	-46.67	30.26	-28.43	1.63	-3.03	-3.24	1.72	0.006220	-0.006066	21.09	-19.48
	3波目	46.14	-44.57	30.73	-28.66	1.65	-3.03	-3.24	1.73	0.006245	-0.006079	21.52	-19.69
4 δy	1波目	46.91	-35.83	36.09	-32.97	1.62	-2.93	-3.30	1.66	0.006284	-0.005862	26.82	-24.32
	2波目	17.17	-14.03	31.34	-41.41	1.63	-3.03	-3.24	1.72	0.006220	-0.006066	22.17	-32.46
	3波目	10.94	-6.67	39.20	-44.66	1.65	-3.03	-3.24	1.73	0.006245	-0.006079	29.99	-35.69

杭とフーチングの相対変位結果表 （ＰＨＣ杭 №２）

載荷		荷重 (tf)		相対変位(D1) δ1 (mm)		抜け出し変位 D4 (mm)		抜け出し変位 D5 (mm)		回転角 θ (rad)		相対変位(D1) δh (mm)	
		+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000000	0.00	0.00
予備載荷		12.96	-31.22	0.84	-3.22	0.08	-0.26	-0.07	0.41	0.000199	-0.000891	0.55	-1.91
予備載荷		29.56	-37.84	2.44	-4.90	0.24	-0.29	-0.33	0.62	0.000758	-0.001210	1.32	-3.12
予備載荷		35.11	-40.34	3.13	-6.02	0.31	-0.31	-0.52	0.73	0.001104	-0.001383	1.50	-3.98
1 δy	1波目	39.28	-42.16	4.58	-6.87	0.44	-0.32	-0.99	0.81	0.001902	-0.001503	1.78	-4.65
	2波目	38.40	-41.53	4.56	-6.94	0.44	-0.32	-0.99	0.82	0.001902	-0.001516	1.76	-4.70
	3波目	38.27	-41.46	4.57	-7.02	0.45	-0.33	-1.02	0.82	0.001955	-0.001529	1.69	-4.76
2 δy	1波目	52.14	-50.05	12.39	-13.96	1.04	-1.18	-3.05	1.57	0.005439	-0.003657	4.37	-8.57
	2波目	51.22	-49.01	12.34	-14.19	1.03	-1.23	-2.99	1.61	0.005346	-0.003777	4.46	-8.62
	3波目	50.84	-48.77	12.26	-14.22	1.03	-1.23	-2.96	1.62	0.005306	-0.003790	4.43	-8.63
3 δy	1波目	56.37	-52.61	20.21	-21.73	1.04	-1.18	-3.05	1.57	0.005439	-0.003657	12.19	-16.34
	2波目	53.71	-50.73	21.04	-23.04	1.03	-1.23	-2.99	1.61	0.005346	-0.003777	13.16	-17.47
	3波目	52.77	-49.91	21.14	-23.26	1.03	-1.23	-2.96	1.62	0.005306	-0.003790	13.31	-17.67
4 δy	1波目	54.92	-50.43	27.09	-27.61	1.04	-1.18	-3.05	1.57	0.005439	-0.003657	19.07	-22.22
	2波目	50.63	-46.48	30.23	-33.33	1.03	-1.23	-2.99	1.61	0.005346	-0.003777	22.35	-27.76
	3波目	48.67	-45.18	31.23	-33.42	1.03	-1.23	-2.96	1.62	0.005306	-0.003790	23.40	-27.83
5 δy	1波目	49.48	-45.49	36.83	-43.08	1.04	-1.18	-3.05	1.57	0.005439	-0.003657	28.81	-37.69
	2波目	46.40	-42.91	39.91	-44.02	1.03	-1.23	-2.99	1.61	0.005346	-0.003777	32.03	-38.45
	3波目	44.47	-41.38	40.36	-44.31	1.03	-1.23	-2.96	1.62	0.005306	-0.003790	32.53	-38.72
6 δy	1波目	44.80	-41.34	49.41	-52.80	1.04	-1.18	-3.05	1.57	0.005439	-0.003657	41.39	-47.41
	2波目	41.81	-38.76	50.35	-54.39	1.03	-1.23	-2.99	1.61	0.005346	-0.003777	42.47	-48.82
	3波目	39.87	-35.72	50.74	-52.87	1.03	-1.23	-2.96	1.62	0.005306	-0.003790	42.91	-47.28
7 δy	1波目	38.83	-35.12	53.02	-63.86	1.04	-1.18	-3.05	1.57	0.005439	-0.003657	45.00	-58.47
	2波目	35.62	-31.82	59.93	-65.78	1.03	-1.23	-2.99	1.61	0.005346	-0.003777	52.05	-60.21
	3波目	33.54	-29.24	60.54	-65.14	1.03	-1.23	-2.96	1.62	0.005306	-0.003790	52.71	-59.55
8 δy	1波目	32.45	-22.35	62.41	-69.54	1.04	-1.18	-3.05	1.57	0.005439	-0.003657	54.39	-64.15
	2波目	24.77	-16.54	69.53	-76.42	1.03	-1.23	-2.99	1.61	0.005346	-0.003777	61.65	-70.85
	3波目	20.82	-14.75	69.83	-77.65	1.03	-1.23	-2.96	1.62	0.005306	-0.003790	62.00	-72.06

杭とフーチングの相対変位結果表　（ＰＨＣ杭 No.３）

載荷		荷重 (tf)		相対変位(D1) δ1 (mm)		抜け出し変位 D4 (mm)		抜け出し変位 D5 (mm)		回転角 θ (rad)		相対変位(D1) δh (mm)	
		+	−	+	−	+	−	+	−	+	−	+	−
0		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	0.000000	0.00	0.00
予備載荷		10.85	-29.19	0.65	-3.46	0.06	-0.35	-0.04	0.35	0.000133	-0.000932	0.45	-2.09
予備載荷		25.48	-35.94	2.02	-5.26	0.22	-0.86	-0.24	0.54	0.000613	-0.001864	1.12	-2.51
予備載荷		35.76	-41.36	3.70	-7.20	0.38	-1.39	-0.85	0.72	0.001638	-0.002810	1.28	-3.06
予備載荷		38.51	-41.36	4.31	-8.26	0.45	-1.33	-1.12	0.80	0.002091	-0.002836	1.23	-4.08
1 δy	1波目	40.56	-42.45	4.97	-8.91	0.51	-1.41	-1.37	0.85	0.002503	-0.003009	1.28	-4.47
	2波目	40.55	-41.98	4.99	-8.95	0.52	-1.39	-1.44	0.85	0.002610	-0.002983	1.14	-4.55
	3波目	40.59	-41.67	4.91	-9.14	0.54	-1.39	-1.46	0.86	0.002663	-0.002996	0.98	-4.72
2 δy	1波目	52.50	-50.14	14.26	-16.16	1.25	-2.74	-3.85	1.27	0.006791	-0.005340	4.24	-8.28
	2波目	52.70	-48.79	14.59	-18.01	1.37	-2.96	-4.56	1.30	0.007896	-0.005672	2.94	-9.64
	3波目	52.33	-48.32	14.78	-18.14	1.40	-2.95	-4.76	1.24	0.008202	-0.005579	2.68	-9.91
3 δy	1波目	54.82	-51.43	17.85	-26.55	1.25	-2.74	-3.85	1.27	0.006791	-0.005340	7.83	-18.67
	2波目	48.11	-49.36	25.99	-28.54	1.37	-2.96	-4.56	1.30	0.007896	-0.005672	14.34	-20.17
	3波目	46.50	-48.63	26.19	-29.16	1.40	-2.95	-4.76	1.24	0.008202	-0.005579	14.09	-20.93
4 δy	1波目	46.99	-50.54	33.34	-38.12	1.25	-2.74	-3.85	1.27	0.006791	-0.005340	23.32	-30.24
	2波目	30.11	-48.34	35.43	-39.98	1.37	-2.96	-4.56	1.30	0.007896	-0.005672	23.78	-31.61
	3波目	25.28	-45.49	40.05	-38.88	1.40	-2.95	-4.76	1.24	0.008202	-0.005579	27.95	-30.65
5 δy	1波目	21.21	-41.37	42.41	-51.47	1.25	-2.74	-3.85	1.27	0.006791	-0.005340	32.39	-43.59
	2波目	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	3波目	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−

相対鉛直変位結果表（PHC杭 No.1）

〔h=0～50 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D4 (mm)		D5 (mm)		D5-D4 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M0 (tf·m)	φ0
予備載荷		33.17	-33.70	-0.44	0.80	0.59	-0.51	1.03	-1.31	33.44	1.170	49.317	0.0299
予備載荷		39.94	-37.66	-0.63	1.08	1.09	-0.62	1.72	-1.70	38.80	1.710	57.230	0.0437
1 δy	1波目	43.21	-39.25	-0.77	1.27	1.45	-0.72	2.22	-1.99	41.23	2.105	60.814	0.0538
	2波目	42.65	-39.08	-0.78	1.30	1.46	-0.76	2.24	-2.06	40.87	2.150	60.276	0.0549
	3波目	42.19	-38.76	-0.80	1.28	1.49	-0.77	2.29	-2.05	40.48	2.170	59.701	0.0554
2 δy	1波目	53.30	-51.11	-1.62	2.93	3.30	-1.66	4.92	-4.59	52.21	4.755	77.002	0.1215
	2波目	52.20	-50.38	-1.63	3.03	3.24	-1.72	4.87	-4.75	51.29	4.810	75.653	0.1229
	3波目	51.67	-49.78	-1.65	3.03	3.24	-1.73	4.89	-4.76	50.73	4.825	74.819	0.1232
3 δy	1波目	55.68	-52.95	−	−	−	−	−	−	54.32	−	80.115	−
	2波目	48.22	-46.77	−	−	−	−	−	−	47.50	−	70.055	−
	3波目	46.15	-44.64	−	−	−	−	−	−	45.40	−	66.958	−

〔h=50～175 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D6 (mm)		D7 (mm)		D6-D7 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M1 (tf·m)	φ1
予備載荷		33.17	-33.70	0.05	-0.03	-0.03	0.09	0.08	-0.12	33.44	0.100	46.408	0.0012
予備載荷		39.94	-37.66	0.08	-0.03	-0.03	0.11	0.11	-0.14	38.80	0.125	53.854	0.0014
1 δy	1波目	43.21	-39.25	0.10	-0.02	-0.02	0.13	0.12	-0.15	41.23	0.135	57.227	0.0016
	2波目	42.65	-39.08	0.10	-0.02	-0.01	0.14	0.11	-0.16	40.87	0.135	56.721	0.0016
	3波目	42.19	-38.76	0.10	-0.02	-0.01	0.14	0.11	-0.16	40.48	0.135	56.179	0.0016
2 δy	1波目	53.30	-51.11	0.39	0.00	-0.43	0.32	0.82	-0.32	52.21	0.570	72.461	0.0066
	2波目	52.20	-50.38	0.40	0.02	-0.70	0.33	1.10	-0.31	51.29	0.705	71.191	0.0082
	3波目	51.67	-49.78	0.42	0.02	-0.74	0.34	1.16	-0.32	50.73	0.740	70.406	0.0086
3 δy	1波目	55.68	-52.95	−	−	−	−	−	−	54.32	−	75.389	−
	2波目	48.22	-46.77	−	−	−	−	−	−	47.50	−	65.923	−
	3波目	46.15	-44.64	−	−	−	−	−	−	45.40	−	63.008	−

〔h=175～300 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D8 (mm)		D9 (mm)		D8-D9 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M2 (tf·m)	φ2
予備載荷		33.17	-33.70	0.08	-0.09	-0.08	0.10	0.16	-0.19	33.44	0.175	42.228	0.0021
予備載荷		39.94	-37.66	0.10	-0.13	-0.07	0.12	0.17	-0.25	38.80	0.210	49.004	0.0025
1 δy	1波目	43.21	-39.25	0.12	-0.28	-0.05	0.14	0.17	-0.42	41.23	0.295	52.073	0.0035
	2波目	42.65	-39.08	0.12	-0.33	-0.04	0.14	0.16	-0.47	40.87	0.315	51.612	0.0038
	3波目	42.19	-38.76	0.12	-0.36	-0.04	0.14	0.16	-0.50	40.48	0.330	51.120	0.0039
2 δy	1波目	53.30	-51.11	0.23	-1.41	0.00	0.26	0.23	-1.67	52.21	0.950	65.935	0.0113
	2波目	52.20	-50.38	0.22	-1.41	0.01	0.26	0.21	-1.67	51.29	0.940	64.779	0.0112
	3波目	51.67	-49.78	0.21	-1.40	0.02	0.26	0.19	-1.66	50.73	0.925	64.066	0.0110
3 δy	1波目	55.68	-52.95	−	−	0.03	0.31	−	−	54.32	−	68.600	−
	2波目	48.22	-46.77	−	−	0.10	0.22	−	−	47.50	−	59.986	−
	3波目	46.15	-44.64	−	−	0.11	0.22	−	−	45.40	−	57.334	−

相対鉛直変位結果表（PHC杭No.1）

〔 h=300～425 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D10 (mm)		D11 (mm)		D10-D11 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M3 (tf·m)	φ3
予備載荷		33.17	-33.70	0.05	-0.05	-0.04	0.05	0.09	-0.10	33.44	0.095	38.049	0.0011
予備載荷		39.94	-37.66	0.06	-0.06	-0.06	0.06	0.12	-0.12	38.80	0.120	44.154	0.0014
1 δy	1波目	43.21	-39.25	0.07	-0.06	-0.11	0.06	0.18	-0.12	41.23	0.150	46.920	0.0018
	2波目	42.65	-39.08	0.07	-0.05	-0.14	0.06	0.21	-0.11	40.87	0.160	46.504	0.0019
	3波目	42.19	-38.76	0.07	-0.05	-0.15	0.06	0.22	-0.11	40.48	0.165	46.061	0.0020
2 δy	1波目	53.30	-51.11	0.13	-0.02	-1.22	0.13	1.35	-0.15	52.21	0.750	59.409	0.0089
	2波目	52.20	-50.38	0.15	-0.01	-1.15	0.14	1.30	-0.15	51.29	0.725	58.368	0.0086
	3波目	51.67	-49.78	0.17	-0.01	-1.13	0.15	1.30	-0.16	50.73	0.730	57.725	0.0087
3 δy	1波目	55.68	-52.95	0.20	0.03	-1.46	0.16	1.66	-0.13	54.32	0.895	61.810	0.0106
	2波目	48.22	-46.77	0.08	0.03	-1.39	0.10	1.47	-0.07	47.50	0.770	54.049	0.0091
	3波目	46.15	-44.64	0.07	0.03	-1.26	0.09	1.33	-0.06	45.40	0.695	51.660	0.0082

〔 h=425～550 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D12 (mm)		D13 (mm)		D12-D13 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M4 (tf·m)	φ4
予備載荷		33.17	-33.70	0.06	-0.06	-0.06	0.07	0.12	-0.13	33.44	0.125	33.870	0.0014
予備載荷		39.94	-37.66	0.08	-0.06	-0.08	0.08	0.16	-0.14	38.80	0.150	39.304	0.0017
1 δy	1波目	43.21	-39.25	0.09	-0.07	-0.08	0.09	0.17	-0.16	41.23	0.165	41.766	0.0019
	2波目	42.65	-39.08	0.09	-0.07	-0.07	0.09	0.16	-0.16	40.87	0.160	41.396	0.0018
	3波目	42.19	-38.76	0.09	-0.07	-0.07	0.09	0.16	-0.16	40.48	0.160	41.001	0.0018
2 δy	1波目	53.30	-51.11	0.14	-1.27	-0.08	0.10	0.22	-1.37	52.21	0.795	52.884	0.0092
	2波目	52.20	-50.38	0.10	-1.42	-0.08	0.09	0.18	-1.51	51.29	0.845	51.957	0.0098
	3波目	51.67	-49.78	0.08	-1.46	-0.08	0.08	0.16	-1.54	50.73	0.850	51.384	0.0098
3 δy	1波目	55.68	-52.95	0.10	-1.80	-0.10	0.03	0.20	-1.83	54.32	1.015	55.021	0.0117
	2波目	48.22	-46.77	-0.07	-1.89	-0.12	-0.09	0.05	-1.80	47.50	0.925	48.112	0.0107
	3波目	46.15	-44.64	-0.12	-1.69	-0.13	-0.13	0.01	-1.56	45.40	0.785	45.985	0.0091

〔 h=550～675 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D14 (mm)		D15 (mm)		D14-D15 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M5 (tf·m)	φ5
予備載荷		33.17	-33.70	0.04	-0.05	-0.05	0.04	0.09	-0.09	33.44	0.090	29.690	0.0011
予備載荷		39.94	-37.66	0.05	-0.05	-0.06	0.05	0.11	-0.10	38.80	0.105	34.454	0.0012
1 δy	1波目	43.21	-39.25	0.06	-0.05	-0.06	0.06	0.12	-0.11	41.23	0.115	36.612	0.0014
	2波目	42.65	-39.08	0.05	-0.05	-0.06	0.06	0.11	-0.11	40.87	0.110	36.288	0.0013
	3波目	42.19	-38.76	0.05	-0.05	-0.06	0.06	0.11	-0.11	40.48	0.110	35.942	0.0013
2 δy	1波目	53.30	-51.11	0.08	0.24	-0.70	0.04	0.78	0.20	52.21	0.290	46.358	0.0034
	2波目	52.20	-50.38	0.10	0.33	-0.81	0.01	0.91	0.32	51.29	0.295	45.546	0.0035
	3波目	51.67	-49.78	0.11	0.36	-0.83	-0.02	0.94	0.38	50.73	0.280	45.044	0.0033
3 δy	1波目	55.68	-52.95	0.12	0.48	-1.16	-0.20	1.28	0.68	54.32	0.300	48.232	0.0035
	2波目	48.22	-46.77	0.10	0.48	-1.34	-0.37	1.44	0.85	47.50	0.295	42.176	0.0035
	3波目	46.15	-44.64	0.08	0.41	-1.31	-0.54	1.39	0.95	45.40	0.220	40.311	0.0026

相対鉛直変位結果表（PHC杭 No.2）

〔 h=0～50 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D4 (mm)		D5 (mm)		D5-D4 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M0 (tf·m)	φ0
予備載荷		12.96	-31.22	-0.08	0.26	0.07	-0.41	0.15	-0.67	22.09	0.410	32.583	0.0109
予備載荷		29.56	-37.84	-0.24	0.29	0.33	-0.62	0.57	-0.91	33.70	0.740	49.708	0.0197
予備載荷		35.11	-40.34	-0.31	0.31	0.52	-0.73	0.83	-1.04	37.73	0.935	55.644	0.0249
1 δy	1波目	39.28	-42.16	-0.44	0.32	0.99	-0.81	1.43	-1.13	40.72	1.280	60.062	0.0340
	2波目	38.40	-41.53	-0.44	0.32	0.99	-0.82	1.43	-1.14	39.97	1.285	58.948	0.0342
	3波目	38.27	-41.46	-0.45	0.33	1.02	-0.82	1.47	-1.15	39.87	1.310	58.801	0.0348
2 δy	1波目	52.14	-50.05	-1.04	1.18	3.05	-1.57	4.09	-2.75	51.10	3.420	75.365	0.0910
	2波目	51.22	-49.01	-1.03	1.23	2.99	-1.61	4.02	-2.84	50.12	3.430	73.920	0.0912
	3波目	50.84	-48.77	-1.03	1.23	2.96	-1.62	3.99	-2.85	49.81	3.420	73.462	0.0910
3 δy	1波目	56.51	-52.80	−	−	−	−	−	−	54.66	−	80.616	−
	2波目	53.83	-50.91	−	−	−	−	−	−	52.37	−	77.246	−
	3波目	52.79	-50.01	−	−	−	−	−	−	51.40	−	75.815	−

〔 h=50～175 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D6 (mm)		D7 (mm)		D6-D7 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M1 (tf·m)	φ1
予備載荷		12.96	-31.22	0.03	-0.31	-0.01	0.07	0.04	-0.38	22.09	0.210	30.661	0.0025
予備載荷		29.56	-37.84	0.08	-0.78	-0.04	0.11	0.12	-0.89	33.70	0.505	46.776	0.0060
予備載荷		35.11	-40.34	0.10	-1.01	-0.01	0.13	0.11	-1.14	37.73	0.625	52.362	0.0075
1 δy	1波目	39.28	-42.16	0.14	-1.20	0.00	0.15	0.14	-1.35	40.72	0.745	56.519	0.0089
	2波目	38.40	-41.53	0.13	-1.21	0.01	0.15	0.12	-1.36	39.97	0.740	55.471	0.0088
	3波目	38.27	-41.46	0.13	-1.21	0.01	0.16	0.12	-1.37	39.87	0.745	55.333	0.0089
2 δy	1波目	52.14	-50.05	0.37	-2.56	0.02	0.25	0.35	-2.81	51.10	1.580	70.920	0.0189
	2波目	51.22	-49.01	0.35	-2.62	-0.01	0.24	0.36	-2.86	50.12	1.610	69.560	0.0193
	3波目	50.84	-48.77	0.34	-2.62	-0.02	0.24	0.36	-2.86	49.81	1.610	69.129	0.0193
3 δy	1波目	56.51	-52.80	−	−	−	−	−	−	54.66	−	75.861	−
	2波目	53.83	-50.91	−	−	−	−	−	−	52.37	−	72.690	−
	3波目	52.79	-50.01	−	−	−	−	−	−	51.40	−	71.343	−

〔 h=175～300 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D8 (mm)		D9 (mm)		D8-D9 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M2 (tf·m)	φ2
予備載荷		12.96	-31.22	0.03	-0.05	-0.02	0.08	0.05	-0.13	22.09	0.090	27.900	0.0011
予備載荷		29.56	-37.84	0.06	-0.04	-0.06	0.11	0.12	-0.15	33.70	0.135	42.563	0.0016
予備載荷		35.11	-40.34	0.08	-0.04	-0.07	0.13	0.15	-0.17	37.73	0.160	47.647	0.0019
1 δy	1波目	39.28	-42.16	0.10	-0.03	-0.07	0.15	0.17	-0.18	40.72	0.175	51.429	0.0021
	2波目	38.40	-41.53	0.10	-0.03	-0.07	0.15	0.17	-0.18	39.97	0.175	50.476	0.0021
	3波目	38.27	-41.46	0.10	-0.03	-0.07	0.15	0.17	-0.18	39.87	0.175	50.349	0.0021
2 δy	1波目	52.14	-50.05	0.21	-0.04	-0.08	0.25	0.29	-0.29	51.10	0.290	64.533	0.0035
	2波目	51.22	-49.01	0.21	-0.04	-0.06	0.25	0.27	-0.29	50.12	0.280	63.295	0.0034
	3波目	50.84	-48.77	0.21	-0.04	-0.06	0.26	0.27	-0.30	49.81	0.285	62.904	0.0034
3 δy	1波目	56.51	-52.80	0.29	-0.03	-0.05	0.37	0.34	-0.40	54.66	0.370	69.029	0.0044
	2波目	53.83	-50.91	0.27	-0.01	0.03	0.38	0.24	-0.39	52.37	0.315	66.143	0.0038
	3波目	52.79	-50.01	0.27	0.00	-0.01	0.36	0.28	-0.36	51.40	0.320	64.918	0.0038

相対鉛直変位結果表（PHC杭No.2）

〔h=300～425 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D10 (mm)		D11 (mm)		D10-D11 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M3 (tf·m)	φ3
予備載荷		12.96	-31.22	0.01	-0.05	-0.01	0.05	0.02	-0.10	22.09	0.060	25.138	0.0007
予備載荷		29.56	-37.84	0.04	-0.06	-0.04	0.07	0.08	-0.13	33.70	0.105	38.351	0.0012
予備載荷		35.11	-40.34	0.06	-0.04	-0.05	0.07	0.11	-0.11	37.73	0.110	42.931	0.0013
1 δy	1波目	39.28	-42.16	0.07	-0.04	-0.05	0.09	0.12	-0.13	40.72	0.125	46.339	0.0015
	2波目	38.40	-41.53	0.07	-0.04	-0.05	0.09	0.12	-0.13	39.97	0.125	45.480	0.0015
	3波目	38.27	-41.46	0.07	-0.04	-0.05	0.09	0.12	-0.13	39.87	0.125	45.366	0.0015
2 δy	1波目	52.14	-50.05	0.13	-0.03	-0.96	0.10	1.09	-0.13	51.10	0.610	58.146	0.0072
	2波目	51.22	-49.01	0.13	-0.03	-0.99	0.10	1.12	-0.13	50.12	0.625	57.031	0.0074
	3波目	50.84	-48.77	0.13	-0.03	-1.00	0.10	1.13	-0.13	49.81	0.630	56.678	0.0075
3 δy	1波目	56.51	-52.80	0.17	-0.01	-1.49	0.11	1.66	-0.12	54.66	0.890	62.197	0.0105
	2波目	53.83	-50.91	0.16	-0.01	-1.41	0.10	1.57	-0.11	52.37	0.840	59.597	0.0099
	3波目	52.79	-50.01	0.15	-0.01	-1.34	0.10	1.49	-0.11	51.40	0.800	58.493	0.0095

〔h=425～550 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D12 (mm)		D13 (mm)		D12-D13 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M4 (tf·m)	φ4
予備載荷		12.96	-31.22	0.02	-0.06	-0.01	0.05	0.03	-0.11	22.09	0.070	22.377	0.0008
予備載荷		29.56	-37.84	0.05	-0.08	-0.04	0.07	0.09	-0.15	33.70	0.120	34.138	0.0014
予備載荷		35.11	-40.34	0.07	-0.15	-0.06	0.07	0.13	-0.22	37.73	0.175	38.215	0.0021
1 δy	1波目	39.28	-42.16	0.08	-0.31	-0.06	0.09	0.14	-0.40	40.72	0.270	41.249	0.0033
	2波目	38.40	-41.53	0.07	-0.34	-0.06	0.09	0.13	-0.43	39.97	0.280	40.485	0.0034
	3波目	38.27	-41.46	0.07	-0.35	-0.06	0.09	0.13	-0.44	39.87	0.285	40.383	0.0034
2 δy	1波目	52.14	-50.05	0.13	-0.85	-0.03	0.14	0.16	-0.99	51.10	0.575	51.759	0.0069
	2波目	51.22	-49.01	0.12	-0.85	-0.02	0.14	0.14	-0.99	50.12	0.565	50.766	0.0068
	3波目	50.84	-48.77	0.12	-0.84	-0.02	0.14	0.14	-0.98	49.81	0.560	50.452	0.0067
3 δy	1波目	56.51	-52.80	0.15	-1.11	-0.01	0.16	0.16	-1.27	54.66	0.715	55.366	0.0086
	2波目	53.83	-50.91	0.13	-1.05	-0.01	0.16	0.14	-1.21	52.37	0.675	53.051	0.0081
	3波目	52.79	-50.01	0.12	-1.01	-0.01	0.16	0.13	-1.17	51.40	0.650	52.068	0.0078

〔h=550～675 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D14 (mm)		D15 (mm)		D14-D15 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M5 (tf·m)	φ5
予備載荷		12.96	-31.22	0.01	-0.05	-0.02	0.04	0.03	-0.09	22.09	0.060	19.616	0.0007
予備載荷		29.56	-37.84	0.04	-0.06	-0.04	0.05	0.08	-0.11	33.70	0.095	29.926	0.0011
予備載荷		35.11	-40.34	0.05	-0.05	-0.05	0.05	0.10	-0.10	37.73	0.100	33.500	0.0012
1 δy	1波目	39.28	-42.16	0.06	-0.05	-0.05	0.06	0.11	-0.11	40.72	0.110	36.159	0.0013
	2波目	38.40	-41.53	0.05	-0.05	-0.05	0.06	0.10	-0.11	39.97	0.105	35.489	0.0013
	3波目	38.27	-41.46	0.05	-0.05	-0.05	0.06	0.10	-0.11	39.87	0.105	35.400	0.0013
2 δy	1波目	52.14	-50.05	0.09	-0.05	-0.06	0.08	0.15	-0.13	51.10	0.140	45.372	0.0017
	2波目	51.22	-49.01	0.08	-0.05	-0.06	0.08	0.14	-0.13	50.12	0.135	44.502	0.0016
	3波目	50.84	-48.77	0.08	-0.05	-0.06	0.08	0.14	-0.13	49.81	0.135	44.227	0.0016
3 δy	1波目	56.51	-52.80	0.10	-0.05	-0.11	0.09	0.21	-0.14	54.66	0.175	48.534	0.0021
	2波目	53.83	-50.91	0.10	-0.05	-0.12	0.08	0.22	-0.13	52.37	0.175	46.505	0.0021
	3波目	52.79	-50.01	0.09	-0.05	-0.12	0.08	0.21	-0.13	51.40	0.170	45.643	0.0020

相対鉛直変位結果表（PHC杭 No.3）

〔 h=0～50 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D4 (mm)		D5 (mm)		D5-D4 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M0 (tf·m)	φ0
予備載荷		10.85	-29.19	-0.06	0.35	0.04	-0.35	0.10	-0.70	20.02	0.400	29.530	0.0107
予備載荷		25.48	-35.94	-0.22	0.86	0.24	-0.54	0.46	-1.40	30.71	0.930	45.297	0.0248
予備載荷		35.76	-41.36	-0.38	1.39	0.85	-0.72	1.23	-2.11	38.56	1.670	56.876	0.0445
予備載荷		38.51	-41.36	-0.45	1.33	1.12	-0.80	1.57	-2.13	39.94	1.850	58.904	0.0493
1 δy	1波目	40.56	-42.45	-0.51	1.41	1.37	-0.85	1.88	-2.26	41.51	2.070	61.220	0.0551
	2波目	40.55	-41.98	-0.52	1.39	1.44	-0.85	1.96	-2.24	41.27	2.100	60.866	0.0559
	3波目	40.59	-41.67	-0.54	1.39	1.46	-0.86	2.00	-2.25	41.13	2.125	60.566	0.0566
2 δy	1波目	52.50	-50.14	-1.25	2.74	3.85	-1.27	5.10	-4.01	51.32	4.555	75.697	0.1213
	2波目	52.70	-48.79	-1.37	2.96	4.56	-1.30	5.93	-4.26	50.75	5.095	74.849	0.1357
	3波目	52.33	-48.32	-1.40	2.95	4.76	-1.24	6.16	-4.19	50.33	5.175	74.229	0.1378
3 δy	1波目	54.95	-51.59	−	−	−	−	−	−	53.27	−	78.573	−
	2波目	48.22	-49.53	−	−	−	−	−	−	48.88	−	72.091	−
	3波目	46.54	-48.60	−	−	−	−	−	−	47.57	−	70.166	−

〔 h=50～175 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D6 (mm)		D7 (mm)		D6-D7 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M1 (tf·m)	φ1
予備載荷		10.85	-29.19	0.03	-0.10	-0.02	0.12	0.05	-0.22	20.02	0.135	27.788	0.0016
予備載荷		25.48	-35.94	0.09	-0.06	-0.07	0.17	0.16	-0.23	30.71	0.195	42.625	0.0023
予備載荷		35.76	-41.36	0.16	-0.06	-0.03	0.23	0.19	-0.29	38.56	0.240	53.521	0.0029
予備載荷		38.51	-41.36	0.18	-0.06	-0.02	0.27	0.20	-0.33	39.94	0.265	55.430	0.0032
1 δy	1波目	40.56	-42.45	0.21	-0.05	-0.01	0.28	0.22	-0.33	41.51	0.275	57.609	0.0033
	2波目	40.55	-41.98	0.22	-0.05	-0.01	0.28	0.23	-0.33	41.27	0.280	57.276	0.0034
	3波目	40.59	-41.67	0.22	-0.05	-0.01	0.28	0.23	-0.33	41.13	0.280	57.088	0.0034
2 δy	1波目	52.50	-50.14	0.46	-0.02	0.02	0.45	0.44	-0.47	51.32	0.455	71.232	0.0055
	2波目	52.70	-48.79	0.48	-0.03	0.03	0.46	0.45	-0.49	50.75	0.470	70.434	0.0057
	3波目	52.33	-48.32	0.50	-0.03	0.02	0.46	0.48	-0.49	50.33	0.485	69.581	0.0058
3 δy	1波目	54.95	-51.59	−	−	−	−	−	−	53.27	−	73.939	−
	2波目	48.22	-49.53	−	−	−	−	−	−	48.88	−	67.839	−
	3波目	46.54	-48.60	−	−	−	−	−	−	47.57	−	66.027	−

〔 h=175～300 mm 〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D8 (mm)		D9 (mm)		D8-D9 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M2 (tf·m)	φ2
予備載荷		10.85	-29.19	0.03	-0.07	-0.02	0.08	0.05	-0.15	20.02	0.100	25.285	0.0012
予備載荷		25.48	-35.94	0.06	-0.07	-0.05	0.11	0.11	-0.18	30.71	0.145	38.787	0.0018
予備載荷		35.76	-41.36	0.10	-0.09	-0.07	0.14	0.17	-0.23	38.56	0.200	48.701	0.0024
予備載荷		38.51	-41.36	0.10	-0.58	-0.07	0.17	0.17	-0.75	39.94	0.460	50.438	0.0056
1 δy	1波目	40.56	-42.45	0.11	-0.68	-0.07	0.18	0.18	-0.86	41.51	0.520	52.421	0.0063
	2波目	40.55	-41.98	0.11	-0.68	-0.06	0.18	0.17	-0.86	41.27	0.515	52.118	0.0063
	3波目	40.59	-41.67	0.12	-0.67	-0.06	0.17	0.18	-0.84	41.13	0.510	51.947	0.0062
2 δy	1波目	52.50	-50.14	0.24	-1.45	-0.03	0.26	0.27	-1.71	51.32	0.990	64.817	0.0120
	2波目	52.70	-48.79	0.24	-1.37	-0.02	0.27	0.26	-1.64	50.75	0.950	64.091	0.0116
	3波目	52.33	-48.32	0.24	-1.34	-0.02	0.26	0.26	-1.60	50.33	0.930	63.560	0.0113
3 δy	1波目	54.95	-51.59	−	−	-0.02	0.29	−	−	53.27	−	67.280	−
	2波目	48.22	-49.53	−	−	-0.01	0.25	−	−	48.88	−	61.729	−
	3波目	46.54	-48.60	−	−	-0.02	0.24	−	−	47.57	−	60.081	−

相対鉛直変位結果表（PHC杭No.3）

〔h=300～425 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D10 (mm)		D11 (mm)		D10-D11 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M3 (tf·m)	φ3
予備載荷		10.85	-29.19	0.01	-0.05	-0.02	0.05	0.03	-0.10	20.02	0.065	22.783	0.0008
予備載荷		25.48	-35.94	0.04	-0.06	-0.04	0.07	0.08	-0.13	30.71	0.105	34.948	0.0012
予備載荷		35.76	-41.36	0.07	-0.07	-0.05	0.08	0.12	-0.15	38.56	0.135	43.881	0.0016
予備載荷		38.51	-41.36	0.09	-0.05	-0.06	0.10	0.15	-0.15	39.94	0.150	45.446	0.0018
1 δy	1波目	40.56	-42.45	0.10	-0.05	-0.06	0.10	0.16	-0.15	41.51	0.155	47.233	0.0018
	2波目	40.55	-41.98	0.10	-0.05	-0.06	0.10	0.16	-0.15	41.27	0.155	46.960	0.0018
	3波目	40.59	-41.67	0.10	-0.05	-0.07	0.10	0.17	-0.15	41.13	0.160	46.806	0.0019
2 δy	1波目	52.50	-50.14	0.19	-0.04	-1.47	0.09	1.66	-0.13	51.32	0.895	58.402	0.0105
	2波目	52.70	-48.79	0.19	-0.04	-1.62	0.09	1.81	-0.13	50.75	0.970	57.748	0.0114
	3波目	52.33	-48.32	0.19	-0.04	-1.65	0.09	1.84	-0.13	50.33	0.985	57.270	0.0116
3 δy	1波目	54.95	-51.59	0.21	0.27	-1.94	0.08	2.15	0.19	53.27	0.980	60.621	0.0115
	2波目	48.22	-49.53	0.48	0.34	-2.35	0.07	2.83	0.27	48.88	1.280	55.620	0.0151
	3波目	46.54	-48.60	0.48	0.36	-2.28	0.06	2.76	0.30	47.57	1.230	54.135	0.0145

〔h=425～550 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D12 (mm)		D13 (mm)		D12-D13 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M4 (tf·m)	φ4
予備載荷		10.85	-29.19	0.02	-0.06	-0.02	0.07	0.04	-0.13	20.02	0.085	20.280	0.0010
予備載荷		25.48	-35.94	0.05	-0.07	-0.05	0.10	0.10	-0.17	30.71	0.135	31.109	0.0016
予備載荷		35.76	-41.36	0.08	-0.08	-0.08	0.12	0.16	-0.20	38.56	0.180	39.061	0.0021
予備載荷		38.51	-41.36	0.09	-0.07	-0.08	0.13	0.17	-0.20	39.94	0.185	40.454	0.0022
1 δy	1波目	40.56	-42.45	0.10	-0.07	-0.08	0.13	0.18	-0.20	41.51	0.190	42.045	0.0022
	2波目	40.55	-41.98	0.00	-0.07	-0.08	0.13	0.18	-0.20	41.27	0.190	41.801	0.0022
	3波目	40.59	-41.67	0.10	-0.07	-0.08	0.13	0.18	-0.20	41.13	0.190	41.665	0.0022
2 δy	1波目	52.50	-50.14	0.17	-0.05	-0.05	0.17	0.22	-0.22	51.32	0.220	51.987	0.0026
	2波目	52.70	-48.79	0.18	-0.05	-0.05	0.18	0.23	-0.23	50.75	0.230	51.405	0.0027
	3波目	52.33	-48.32	0.18	-0.04	-0.04	0.17	0.22	-0.21	50.33	0.215	50.979	0.0025
3 δy	1波目	54.95	-51.59	0.19	-0.03	-0.04	0.18	0.23	-0.21	53.27	0.220	53.963	0.0026
	2波目	48.22	-49.53	0.14	-0.02	-0.03	0.17	0.17	-0.19	48.88	0.180	49.510	0.0021
	3波目	46.54	-48.60	0.12	-0.02	-0.03	0.17	0.15	-0.19	47.57	0.170	48.188	0.0020

〔h=550～675 mm〕　　曲率：x10^-3／m

載荷		荷重 (tf)		D14 (mm)		D15 (mm)		D14-D15 (mm)		荷重	変位量	曲げモーメント	曲率
		+	−	+	−	+	−	+	−	平均値	平均値	M5 (tf·m)	φ5
予備載荷		10.85	-29.19	0.01	-0.04	-0.01	0.04	0.02	-0.08	20.02	0.050	17.778	0.0006
予備載荷		25.48	-35.94	0.03	-0.05	-0.04	0.05	0.07	-0.10	30.71	0.085	27.270	0.0010
予備載荷		35.76	-41.36	0.05	-0.05	-0.05	0.06	0.10	-0.11	38.56	0.105	34.241	0.0012
予備載荷		38.51	-41.36	0.05	-0.05	-0.06	0.07	0.11	-0.12	39.94	0.115	35.462	0.0014
1 δy	1波目	40.56	-42.45	0.06	-0.05	-0.06	0.07	0.12	-0.12	41.51	0.120	36.856	0.0014
	2波目	40.55	-41.98	0.06	-0.05	-0.06	0.07	0.12	-0.12	41.27	0.120	36.643	0.0014
	3波目	40.59	-41.67	0.06	-0.05	-0.06	0.07	0.12	-0.12	41.13	0.120	36.523	0.0014
2 δy	1波目	52.50	-50.14	0.10	-0.13	-0.08	0.09	0.18	-0.22	51.32	0.200	45.572	0.0024
	2波目	52.70	-48.79	0.09	-0.45	-0.09	0.09	0.18	-0.54	50.75	0.360	45.062	0.0042
	3波目	52.33	-48.32	0.09	-0.44	-0.10	0.09	0.19	-0.53	50.33	0.360	44.689	0.0042
3 δy	1波目	54.95	-51.59	0.10	-0.61	-0.17	0.07	0.27	-0.68	53.27	0.475	47.304	0.0056
	2波目	48.22	-49.53	0.08	-0.54	-0.47	0.06	0.55	-0.60	48.88	0.575	43.401	0.0068
	3波目	46.54	-48.60	0.08	-0.51	-0.43	0.06	0.51	-0.57	47.57	0.540	42.242	0.0064

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

ＩＳＳＮ　0386－5878
土木研究所資料第3445号
平成８年６月

室　長　大塚　久哲
研究員　星隈　順一
研究員　長屋　和宏

要　旨

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。

キーワード：プレストレストコンクリート杭，変形性能，正負交番載荷実験
曲げモーメント－曲率解析，耐震設計

郵便はがき

3 0 5 - □□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

耐震技術研究センター耐震研究室　行

五十円切手をはって下さい

No.

No.

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3445号　　部

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏　名　　印

土木研究所資料第3445号

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