

土 木 研 究 所 資 料

RC橋脚の動的耐力に関する実験的研究

(その5) 偏心曲げを受けるRC橋脚の動的耐力・変形性能

平成7年1月

建設省土木研究所
地震防災部・耐震研究室

Copyright © (1995) 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。

RC橋脚の動的耐力に関する実験的研究

(その5) 偏心曲げを受けるRC橋脚の動的耐力・変形性能

土木研究所企画部

地下開発研究官 川 島 一 彦¹⁾

土木研究所地震防災部

耐震研究室 主任研究員 運 上 茂 樹

研 究 員 長 島 博 之²⁾

〃 飯 田 寛 之³⁾

〃 向 秀 毅

1) 前地震防災部耐震研究室長

2) 現千葉県

3) 現関東地方建設局横浜国道工事事務所

要 旨

平成2年2月の道路橋示方書V耐震設計編では、「鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査」として、鉄筋コンクリート(RC)橋脚が関東大震災級の大地震を受けた場合の非線形域のねばりを考慮した耐震設計法が導入された。しかしながら、都市内高架橋によく採用される張り出しが一方に長い逆L字型のRC橋脚では、桁及び橋脚張り出し分の自重に伴う偏心曲げが常時作用しており、地震時にはこのような状態を原点として橋脚は振動することになる。したがって、橋脚の振動が大きくなり、降伏点を越えた非線形振動をするようになると偏心曲げが作用している方向に残留変位が累積していくことが心配され、偏心曲げを受けるRC橋脚の耐震性について検討することが必要とされている。

本資料は、偏心曲げを受ける逆L字型のRC橋脚の損傷メカニズム、動的耐力、変形性能を検討するために行った模型橋脚の振動台実験及び動的載荷実験の結果をまとめたものである。

キーワード：鉄筋コンクリート橋脚、偏心曲げ、逆L字型RC橋脚、振動台実験、動的載荷実験、損傷メカニズム、動的耐力、変形性能、残留変位

目 次

1. はじめに	1
2. 実験供試体及び実験方法	2
2. 1 偏心曲げを受ける R C 橋脚	2
2. 2 実験対象橋脚	2
2. 3 実験供試体	3
2. 4 実験方法	4
3. 動的載荷実験結果	31
3. 1 破壊特性	31
3. 2 動的耐力及び変形性能	33
4. 振動台加振実験結果	61
4. 1 振動性状及び破壊形態	61
4. 2 荷重～変位の履歴曲線の包絡線	61
5. 結 論	67
謝 辞	68
参考資料 I 損傷図	69
II 荷重、変位、履歴減衰定数及び吸収エネルギー	125

1. はじめに

橋の耐震設計では、0.2～0.3の設計水平震度に相当する地震力に対して橋の各部が弾性域にあるように設計するが、大正12年の関東大震災に代表される大規模地震時には、橋脚に作用する地震力はこれよりもはるかに大きく、弾性応答を仮定した設計水平震度は1.0にも達する。このため、大地震時には橋脚は損傷を生じ非線形域に入るが、橋脚に十分なねばりがあればかぶりコンクリートの剝離や主鉄筋の面外方向への座屈等のある程度の損傷は生じても落橋等の大被害を免れることができる。これが平成2年2月の道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に規定された「鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査」の規定の基本的考え方である。

しかしながら、都市内高架橋によく採用される張り出しが一方向に長い逆L字型の橋脚では、桁及び橋脚張り出し部の自重に伴う偏心曲げが常時作用しており、地震時にはこのような状態を原点として橋脚は振動することになる。したがって、橋脚の振動が大きくなり、降伏点を越えた非線形振動をするようになると偏心曲げが作用している方向にばかり残留変位が累積していくことが心配される。

本資料は、偏心曲げを受ける1本柱逆L字型鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC橋脚と呼ぶ）の大地震に対する耐震性を検討するため、模型振動台実験及び動的載荷実験によりRC橋脚の損傷メカニズム、動的耐力及び変形性能を検討した結果をまとめたものである。

2. 実験供試体及び実験方法

2. 1 偏心曲げを受けるRC橋脚

実験に先だって、これまで実際の建設されている逆L字型の橋脚ではどの程度の偏心曲げモーメントが作用しているかを把握する必要がある。このため、首都高速道路公団管内の合計72の逆L字型橋脚を調査し、その形状の特徴及び偏心曲げモーメントの大きさを整理した。

(1) 偏心曲げを受けるRC橋脚の形状

橋脚の形状を図-2. 1に示すように仮定して、支間長 L 、橋脚高さ H 、梁幅 B_1 、橋脚橋軸直角方向幅 B_2 、橋脚橋軸方向幅 W について、頻度分布を調査した結果を示すと、図-2. 2～図-2. 9のようになる。これによれば、橋脚の形状は表-2. 1のようにまとめられる。

(2) 偏心曲げモーメント比

偏心曲げモーメントの大きさがどの程度あるかを示すために、次式のような偏心曲げモーメント比を定義する。

$$r_M = \frac{M_E}{M_E + M_0} \quad (2. 1)$$

ここで、

r_M : 偏心曲げモーメント比

M_E : 設計地震力(震度法)により橋脚基部に生じる曲げモーメント (tf・m)

M_0 : 橋脚が逆L字型のために桁及び梁の自重により橋脚基部に生じる曲げモーメント (tf・m) (偏心曲げモーメント)

したがって、式(2. 1)による $r_M=1.0$ は、 $M_0=0$ 、すなわち、偏心曲げが作用していない通常の場合を示す。一方、 $r_M=0.5$ は、 $M_0=M_E$ 、すなわち、偏心曲げモーメントが設計地震力による曲げモーメントと等しい場合を示す。

前述の72の調査橋脚について、偏心曲げモーメント比 r_M を算出すると、図-2. 10のようになる。 $r_M=0.55$ 程度が多く、中には $r_M=0.4$ 程度のものもある。 $r_M=0.55$ 、 $r_M=0.4$ ということは、 M_0/M_E が、それぞれ、約0.8及び1.5ということであり、地震力によるモーメントと同じか、それよりもはるかに大きな偏心曲げモーメントが常時作用していることになる。橋脚の断面、配筋は、このような曲げモーメントに対して設計されるわけであるが、問題は関東地震級の大規模地震を受け、橋脚が非線形に入った際の橋脚の振動性状、動的耐力/変形性能である。

2. 2 実験対象橋脚

上記2. 1に示した実橋脚の調査結果に基づき、実験対象橋脚として2橋脚を選定した。ここでは、偏心曲げが中程度の場合と大きい場合を対象として、曲げモーメント比 r_M としては、2. 1に示した平均値0.55程度及び最小値0.4程度とした。

図-2. 11及び図-2. 12は、それぞれ、平均的及び大きな偏心曲げを受ける逆L字型のRC橋脚のプロトタイプを示したものである。平均的な偏心曲げを受けるRC橋脚としては、首都高速道路4号線-新707-P42橋脚($r_M=0.58$ 、 $L=23.4$ m、 $B_1=7.80$ m、 $B_2=1.9$ m、 $H=10.2$ m、 $W=2.4$ m)、偏心が大きい橋脚としては、首都高速道路市道1号3-51橋脚($r_M=0.45$ 、 $L=15$ m、 $B=11.05$ m、 $B_2=2.2$ m、 $H=8.78$ m、 $W=3.0$ m)とした。これらを基本として、長さのスケールを、それぞれ、 $1/4.6$ 及び $1/4.1$ として模型の諸元を定めた。

表-2. 2及び表-2. 3は、実橋脚と模型橋脚の諸元を比較したものである。偏心曲げモーメント r_M は、プロトタイプ橋脚では、それぞれ、0.57及び0.43であるが、実験供試体では、それぞれ、0.55及び0.40とした。

2. 3 実験供試体

表-2. 2及び表-2. 3に示した模型を基本模型として、偏心曲げモーメントの大きさ、載荷方向（橋軸・橋軸直角方向）、加振方法（動的載荷実験、振動台加振実験）をパラメータとして変化させて、表-2. 4に示す合計17体の模型橋脚を製作した。各模型の特徴及び加振方法等は以下の通りである。

（1）橋軸直角方向載荷

1）動的載荷実験（偏心曲げモーメントの影響）

① 一方向への張り出しの大きさを式（2. 1）で定義した偏心曲げモーメント比 r_M で表わし、張り出しが小さい場合（ $r_{MD}=0.69$ 、供試体P-60）、張り出しが中程度の場合（ $r_{MD}=0.55$ 、供試体P-62）、張り出しが大きい場合（ $r_{MD}=0.51$ 、供試体P-64）、張り出しがより大きい場合（ $r_{MD}=0.40$ 、供試体P-69）の4通りを考慮する。ここで、 r_{MD} の“D”は設計に考慮した曲げモーメント比であることを表す下添字である。

② 張り出しが中程度（ $r_{MD}=0.55$ ）の場合には、同一諸元の模型を4体製作し、軸力のかけ方を、偏心曲げモーメントが生じないように作用させる場合（ $r_{ML}=1.0$ 、供試体P-59）、 $r_M=0.55$ として製作した供試体に設計よりも小さい偏心曲げモーメントとなるように軸力を作用させる場合（ $r_{ML}=0.70$ 、供試体P-61）、 $r_M=0.55$ に相当するように軸力を作用させる場合（ $r_{ML}=0.55$ 、供試体P-62）、設計よりも偏心曲げモーメントが大きくなるように軸力を作用させる場合（ $r_{ML}=0.40$ 、供試体P-63）の4通りに変化させる。ここで、 r_{ML} の“L”は、実験時の軸力の作用のさせ方による式（2. 1）の曲げモーメント比であることを表わす下添字である。

2）動的載荷実験（載荷方法の影響）

① 張り出しが中程度（ $r_{MD}=0.55$ ）の場合には、載荷方法の影響を調べるために、正負交番で10回繰り返した場合（供試体P-62）と偏心曲げモーメントが作用する方向のみに10回繰り返した場合（供試体P-70）、後述する振動台実験による橋脚天端の応答変位を載荷した場合の3通りに変化させた。

② 張り出しがより大きい（ $r_{MD}=0.40$ ）の場合には、載荷方法の影響を調べるために、正負交番で10回繰り返した場合（供試体P-69）、正負交番で3回繰り返した場合（供試体P-72）、偏心曲げが作用する方向のみに10回繰り返した場合（供試体P-73）の3通りに変化させた。さらに、帯鉄筋量の影響を調べるために、帯鉄筋量を2倍に増やした場合（供試体P-74）について検討した。

3）振動台加振実験

張り出しが中程度の供試体（ $r_M=0.55$ ）を2体製作し、これに $r_M=0.55$ となるように軸力を作用させた状態で、振動台の入力最大加速度を0.32g（供試体P-67）と0.35g（供試体P-68）に変化させて加振した。さらに、振動台の入力最大加速度を0.35gにした場合の実験から得られた橋脚天端変位を加振機により入力したケースについても実験を行った（供試体P-71）。ただし、この場合には、計測波形の時間軸を3倍に拡大して載荷した。

(2) 橋軸方向載荷

橋軸直角方向の $r_{MD}=0.55$ として製作した供試体に対して、 $r_{ML}=0$ となるように軸力を作用させた場合（供試体 P-65）、 $r_{ML}=0.55$ となるように軸力を作用させた場合（供試体 P-66）の 2 ケースに対して、それぞれ、橋軸方向に水平地震力を作用させた。さらに、 $r_{MD}=0.40$ として製作した供試体に対しては、 $r_{ML}=0.40$ となるように軸力を作用させた 1 体（供試体 P-75）に対して橋軸方向に水平地震力を作用させた。

表-2. 5 に 17 体の実験供試体の諸元を、図-2. 15～図-2. 24 に配筋図を示す。実験供試体に用いた鉄筋及びコンクリートの材料試験結果を、それぞれ、表-2. 6 及び表-2. 7 に示す。

なお、詳細は後述するが、上記の橋脚の中には、損傷等が大きくなり実験装置等の保護のために途中で載荷を中止した実験ケースがいくつかあった。以下にこれを示す。

1) 供試体 P-63 ($r_{MD}=0.55$ 、 $r_{ML}=0.40$)

6 δ 。載荷途中で、損傷が大きくなったため、軸力載荷装置のリミットが限界となったため、6 δ 。載荷途中で載荷を中止した。

2) 供試体 P-69 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$)

8 δ 。載荷の 9 波目の載荷途中で、橋脚に持ち上がる変形が生じ、軸力載荷装置のリミットが限界となったため、ここで載荷を中止した。

3) 供試体 P-73 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$)

載荷加振前の実験用の治具の設置段階で、水平方向加振用のジャッキが暴走し、供試体に降伏を越える変位が載荷し、引張側にひびわれが生じた。また、これによって、主鉄筋のひずみは降伏を大幅に越えたため、降伏変位、終局荷重等は実験からは求められなかった。

4) 供試体 P-75 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$)

5 δ 。載荷の 8 波目の載荷途中で、橋脚に鉛直方向の変形が生じ、軸力載荷装置のリミットが限界となったため、ここで載荷を中止した。

5) 供試体 P-71 ($r_{MD}=r_{ML}=0.55$)

振動台実験で得られた橋脚天端の変位波形を入力し、加振終了後には残留変位の状態を保持する予定であったが、試験機の設定上のミスから加振機が加振終了後に瞬間的に 0 点に戻った。これにより、供試体には引張力による斜めのひびわれが大きく発生した。

2. 4 実験方法

実験では、以下の 2 つの手法により偏心曲げモーメントを受ける RC 橋脚の動的耐力及び変形性能、破壊メカニズムを検討した。

(1) 動的載荷実験

図-2. 25 及び写真-2. 1 に示すように、模型橋脚の一端を反力壁に固定し、偏心曲げモーメントが働くように軸力を作用させた状態で動的加振負荷装置により正負交番で水平地震力を加える。水平力は変位制御で、偏心曲げモーメントにより変形した変位点 δ_i を原点として、ここから偏心曲げが増加する方向の降伏変位 δ_y までの変位 δ_0 ($=\delta_y - \delta_i$) を基準にその整数倍で順次作用させた（図-2. 26）。1 回の載荷における繰り返し回数は 10 回を基本とした。載荷速度の影響は大きくないため、1 cm/s とした。なお、偏心曲げモーメントにより生じる初期変位 δ_i 及

び降伏変位 δ_y は計算により求めた。なお、降伏変位を求める場合の主鉄筋の降伏としては材料試験から求めた値を用いた。

実験においては、橋脚天端に作用する軸力、曲げモーメント M 、せん断力 S を各々整合させる必要があるが、軸力載荷装置1台でこれらを与えたため、軸力 N を載荷位置及びその大きさを変えて偏心曲げモーメントが相似となるようにした。

動的載荷実験の載荷条件をまとめると表-2.8ようになる。

(2) 模型振動台加振実験

図-2.27及び写真-2.2に示すように、模型橋脚を振動台にセットし、その上に支間7.6mの桁を2連(総重量40.1tf)置き、地震波により振動台を加振して、大規模地震が作用した場合のRC橋脚の非線形域の振動特性を検討する。振動台の加振方向の関係で桁の橋脚方向が橋脚の橋軸直角方向に相当するようにした。実験では、同一供試体2体について実験を行った。

入力地震波としては、1983年日本海中部地震により八郎潟堤体上で記録された波形を用いた。ただし、時間軸を1/2に短縮し、最大加速度を0.32g及び0.35gに調整した波形を用いた。なお、時間軸を半分にしたのは、橋脚の固有周期と入力地震動の卓越周期を近づけて振動しやすくするためである。振動台実験の載荷条件を表-2.9に示す。

表-2. 1 実橋脚の調査に基づく逆L字型のRC橋脚

パラメータ	範 囲	最頻度	平均値
支間長L(m)	15~50	15	22.4
橋脚高さH(m)	8~15	9	9.8
梁幅B ₁ (m)	2~16	8	8.7
橋脚直角方向幅B ₂ (m)	1.0~4.5	1.9	2.2
橋脚橋軸方向幅W(m)	1.4~3.5	2.4	2.3
せん断支間比H/B ₂	2~9.5	5.0	4.9

表-2. 2 実橋脚と模型橋脚の諸元(偏心曲げが中程度の場合)

比較項目		実橋脚	模型橋脚
基部における常時の偏心曲げモーメントM _o (tf・m)		869.1	—
基部における常時の軸力(tf)		450.2	—
基部における地震時の曲げモーメントM _E (tf・m)		1,185.0	—
偏心曲げモーメント比r _M		0.577	0.55
橋脚基部から上部構造慣性力の作用位置までの距離(m)		11.7	2.55
長さの相似比		4.6	1.0
断面寸法(cm)		240×190	52×42
軸方向鉄筋 (鉄筋比(%))		23-D32 (0.401) 55-D32 (0.958) 16-D32 (0.279)	5-D16 (0.455) 6-D22 (1.063) 3-D16 (0.273)
帯鉄筋 (帯鉄筋比(%))	基 部	2-D19@15cm (0.159)	D10@17.3cm (0.159)
	中 間 部	2-D19@30cm (0.080)	D10@17.3cm (0.159)

表-2. 3 実橋脚と模型橋脚の諸元(偏心曲げが大きい場合)

比較項目		実橋脚	模型橋脚
基部における常時の偏心曲げモーメントM _o (tf・m)		1,271.2	—
基部における常時の軸力(tf)		425.8	—
基部における地震時の曲げモーメントM _E (tf・m)		1,017.2	—
偏心曲げモーメント比r _M		0.445	0.4
橋脚基部から上部構造慣性力の作用位置までの距離(m)		10.5	2.55
長さの相似比		4.1	1.0
断面寸法(cm)		300×220	73×54
軸方向鉄筋 (鉄筋比(%))		29-D32 (0.349) 73-D32 (0.874) 8-D32 (0.096)	7-D16 (0.353) 7-D22 (0.980) 2-D16 (0.101)
帯鉄筋 (帯鉄筋比(%))	基 部	2-D19@15cm (0.127)	D10@15.4cm (0.127)
	中 間 部	2-D19@30cm (0.064)	D10@15.4cm (0.127)

表-2.4 実験ケース
(a) 橋軸直角方向に載荷した場合

加振方法	張り出しの大きさ (偏心曲げモーメント比 r_M)		供試体 番 号	備 考
動的載荷実験 (正負交番載荷、 繰返回数10回)	偏心曲げモーメントが0となるように軸力載荷 ($r_{MD}=0.55$, $r_{ML}=1.0$)		P-59	P-61~P-63と同一 寸法、同一配筋
	偏心曲げモーメントが小さい場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.69$)		P-60	
	偏心曲げモー メントが中程度 の場合 ($r_{MD}=0.55$)	標準ケースよりも偏心曲げモーメントが小さくなるように 軸力載荷 ($r_{ML}=0.70$)	P-61	P-61~P-63は、同 一寸法、同一配筋
		標準ケース ($r_{ML}=0.55$)	P-62	
		標準ケースよりも偏心曲げモーメントが大きくなるように 軸力載荷 ($r_{ML}=0.40$)	P-63	
	偏心曲げモーメントが大きい場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.51$)		P-64	
	偏心曲げモーメントがより大きい場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$)		P-69	
動的載荷実験	偏心曲げモー メントが中程度 の場合 ($r_{MD}=$ $r_{ML}=0.55$)	偏心曲げモーメントが作用する方向への一方向載荷 載荷繰返回数: 10回	P-70	P-61~P-63と同一 寸法、同一配筋
		振動台実験から得られた橋脚天端変位を入力	P-71	
	偏心曲げモー メントがより大 きい場合 ($r_{MD}=$ $r_{ML}=0.40$)	載荷繰返回数: 3回	P-72	P-69と同一寸法、同 一配筋
		偏心曲げモーメントが作用する方向への一方向載荷 載荷繰返回数: 10回	P-73	
		帯鉄筋比をP-69の2倍とした場合 載荷繰返回数: 10回	P-74	P-69と同一寸法、同 一配筋 (帯鉄筋2倍)
振動台実験	偏心曲げモー メントが中程度 の場合 ($r_{MD}=$ $r_{ML}=0.55$)	入力最大加速度: 0.32g	P-67	P-61~P-63と同一 寸法、同一配筋
		入力最大加速度: 0.35g	P-68	

(b) 橋軸方向に載荷した場合

加振方法	張り出しの大きさ (偏心曲げモーメント比 r_M)		供試体 番 号	備 考
動的載荷実験 (正負交番載荷、 繰返回数10回)	偏心曲げモー メントが中程度 の場合 ($r_{MD}=$ 0.55)	偏心曲げモーメントが0となるように軸力載荷 ($r_{ML}=1.0$)	P-65	P-61~P-63と同一 寸法、同一配筋
		標準ケース ($r_{ML}=0.55$)	P-66	
	偏心曲げモー メントがより大 きい場合 ($r_{MD}=0.40$)	標準ケース ($r_{ML}=0.40$)	P-75	P-69と同一寸法、同 一配筋

表-2.5(1) 実験供試体の諸元

供試体番号	P-59	P-60	P-61	P-62	P-63	P-64
載荷高さ (m)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
断面寸法 (cm)	52×42	52×42	52×42	52×42	52×42	52×42
かぶり (cm)	5	5	5	5	5	5
設計で考慮した偏心 曲げモーメント比 r_{MD}	0.55	0.60	0.55	0.55	0.55	0.51
軸方向鉄筋の配筋	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	3-D16 5-D16 6-D19 3-D16	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	3-D16 5-D16 6-D25 3-D16
帯鉄筋の配筋	D10@17.3cm	D10@17.3cm	D10@17.3cm	D10@17.3cm	D10@17.3cm	D10@17.3cm
実験で作用させた偏 心曲げモーメント比 r_{ML}	1.0	0.69	0.70	0.55	0.40	0.51
偏心曲げモーメント M_o (tf)	0	5.59	6.74	10.11	13.48	11.91
偏心距離 (m)	0	0.505	0.460	0.505	0.674	0.595
作用軸力 (tf)	20	13	14.7	20	20	20
載荷方法	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷
載荷方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向

表-2.5(2) 実験供試体の諸元

供試体番号	P-65	P-66	P-67	P-68	P-69	P-70
載荷高さ (m)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
断面寸法 (cm)	52×42	52×42	52×42	52×42	73×54	52×42
かぶり (cm)	5	5	5	5	5	5
設計で考慮した偏心 曲げモーメント比 r_{MD}	0.55	0.55	0.55	0.55	0.40	0.55
軸方向鉄筋の配筋	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	2-D16 7-D16 7-D25 2-D16	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16
帯鉄筋の配筋	D10@17.3cm	D10@17.3cm	D10@17.3cm	D10@17.3cm	D10@15.4cm	D10@17.3cm
実験で作用させた偏 心曲げモーメント比 r_{ML}	1.0	0.55	0.55	0.55	0.40	0.55
偏心曲げモーメント M_o (tf)	0	10.11	10.11	10.11	28.53	10.11
偏心距離 (m)	0	0.505	0.505	0.505	0.815	0.505
作用軸力 (tf)	20	20	20	20	35	20
載荷方法	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	振動台加振	振動台加振	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷
載荷方向	橋軸方向	橋軸方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向

表-2.5(3) 実験供試体の諸元

供試体番号	P-71	P-72	P-73	P-75	P-76
載荷高さ (m)	2.55	2.55	2.55	2.55	2.55
断面寸法 (cm)	52×42	73×54	73×54	73×54	73×54
かぶり (cm)	5	5	5	5	5
設計で考慮した偏心 曲げモーメント比 r_{MD}	0.55	0.40	0.40	0.40	0.40
軸方向鉄筋の配筋	3-D16 5-D16 6-D22 3-D16	2-D16 7-D16 7-D25 2-D16	2-D16 7-D16 7-D25 2-D16	2-D16 7-D16 7-D25 2-D16	2-D16 7-D16 7-D25 2-D16
帯鉄筋の配筋	D10@17.3cm	D10@15.4cm	D10@15.4cm	D10@7.7cm	D10@15.4cm
実験で作用させた偏 心曲げモーメント比 r_{ML}	0.55	0.40	0.40	0.40	0.40
偏心曲げモーメント M_o (tf)	10.11	28.53	28.53	28.53	30.0
偏心距離 (m)	0.505	0.815	0.815	0.815	0.6
作用軸力 (tf)	20	35	35	35	50
載荷方法	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷	変位制御強制載荷
載荷方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸直角方向	橋軸方向

表-2.6 鉄筋引張試験結果

(a) 供試体 P-59~P-68

鉄筋の種類	D-10	D-16	D-19	D-22	D-25
破断荷重 P_{max} (kgf)	3,390	9,143	13,340	18,067	26,633
降伏荷重 P_y (kgf)	2,533	6,417	9,217	11,833	18,333
降伏ひずみ ϵ_y (μ)	2,133	1,981	1,903	1,803	2,177
平均直径 ϕ (cm)	0.953	1.505	1.80	2.075	2.35
断面積 A (cm^2)	0.7133	1.7789	2.545	3.382	4.337
降伏応力度 σ_y (kgf/ cm^2)	3,552	3,608	3,536	3,501	4,231
弾性係数 E_y ($\times 10^6$ kgf/ cm^2)	1.665	1.821	1.858	1.942	1.944

(b) 供試体 P-69~P-75

鉄筋の種類	D-10	D-16	D-22	D-25
破断荷重 P_{max} (kgf)	3,497	9,787	20,500	25,775
降伏荷重 P_y (kgf)	2,500	6,500	13,500	17,000
降伏ひずみ ϵ_y (μ)	2,035	1,871	2,120	1,983
平均直径 ϕ (cm)	0.923	1.473	2.038	2.355
断面積 A (cm^2)	0.6993	1.705	3.263	4.355
降伏応力度 σ_y (kgf/ cm^2)	3,735	3,812	4,137	3,904
弾性係数 E_y ($\times 10^6$ kgf/ cm^2)	1.837	2.024	1.952	1.968

注1) 断面積 A は、公称断面積ではなく、ゲージ貼付けのために削った後の平均直径より求めた。

2) 弾性係数 E_y は、降伏荷重、降伏ひずみから求めた割線勾配とした。

表-2.7 コンクリート圧縮試験結果

実験供試体	P-59	P-60	P-61	P-62	P-63	P-64	P-65	P-66	P-67	P-68
降伏荷重 P_y (tf)	29.0	26.0	26.3	24.7	28.7	25.3	25.3	19.0	26.7	26.0
降伏応力度 σ_y (kgf/cm ²)	369.2	331.0	333.6	314.1	365.0	322.5	322.5	241.9	339.5	335.3
降伏ひずみ ε_y (μ)	1,838	1,895	1,770	1,941	1,855	1,927	1,978	1,731	2,009	1,723
弾性係数1 E_{y1} ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	1.905	1.748	1.897	1.629	1.982	1.678	1.640	1.640	1.696	1.955
弾性係数2 E_{y2} ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	2.814	2.847	2.842	2.530	2.934	2.519	2.522	2.167	2.584	2.591

実験供試体	P-69	P-70	P-71	P-72	P-73	P-74	P-75
降伏荷重 P_y (tf)	29.3	36.7	29.7	30.7	31.0	28.3	31.3
降伏応力度 σ_y (kgf/cm ²)	373.5	466.9	377.7	390.5	394.7	360.8	398.9
降伏ひずみ ε_y (μ)	2,209	2,231	2,017	1,855	2,143	1,819	1,989
弾性係数1 E_{y1} ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	2.536	2.099	1.874	2.639	1.842	1.986	2.009
弾性係数2 E_{y2} ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	1.690	3.072	2.072	1.965	2.760	2.777	3.011

- 注 1) 弾性係数1: 降伏時割線勾配、弾性係数2: 弾性範囲
 2) コンクリートの設計基準強度: $\sigma_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$
 3) テストピースは実験供試体と同一養生とした。

表-2.8 強制載荷実験条件

実験供試体	P-59	P-60	P-61	P-62	P-63	P-64	P-65	P-66	P-67	P-68
偏心曲げの大きさ	無し	小	小	標準	大	大	無し	標準	より大	標準
加振方向	直角	直角	直角	直角	直角	直角	橋軸	橋軸	直角	直角
初期変位 δ_0 (mm)	0.0	2.69	2.98	5.0	8.6	5.8	0.0	0.0	6.25	4.20
降伏変位 δ_y (mm)	15.5	17.48	17.97	18.7	22.4	24.2	11.6	11.6	15.36	20.11
加振振幅 δ (mm)	13.8	14.79	13.8	13.7	13.8	18.4	11.6	11.6	9.11	15.89
載荷速度 (mm/s)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

実験供試体	P-71	P-72	P-73	P-74	P-75
偏心曲げの大きさ	標準	より大	より大	より大	より大
加振方向	直角	直角	直角	直角	橋軸
初期変位 δ_0 (mm)	4.2	5.80	5.92	6.04	0.0
降伏変位 δ_y (mm)	—	14.95	15.02	15.30	6.84
加振振幅 δ (mm)	—	9.15	9.10	9.26	6.84
載荷速度 (mm/s)	—	10	10	10	10

表-2.9 振動台実験条件

条 件	P - 6 7	P - 6 8
上部構造重量 (tf)	4 0 . 1	
地 震 波	昭和58年日本海中部地震八郎潟堤体上 記録 (水平、鉛直成分)	
時 間 軸	1 / 2	
最大加速度	0 . 3 2 g	0 . 3 5 g

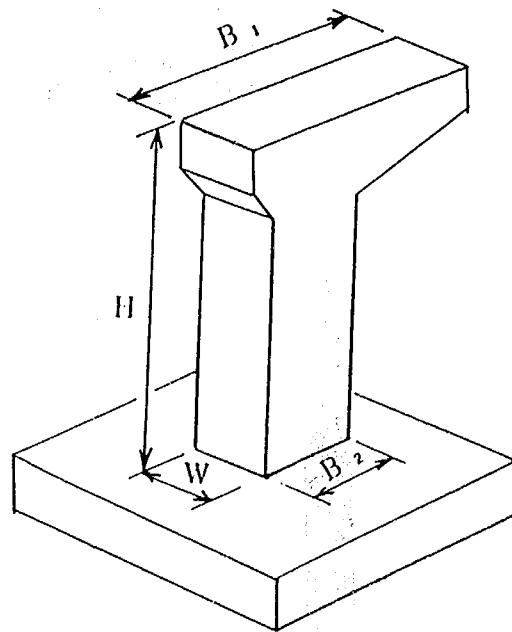


図-2. 1 逆し字型のRC橋脚

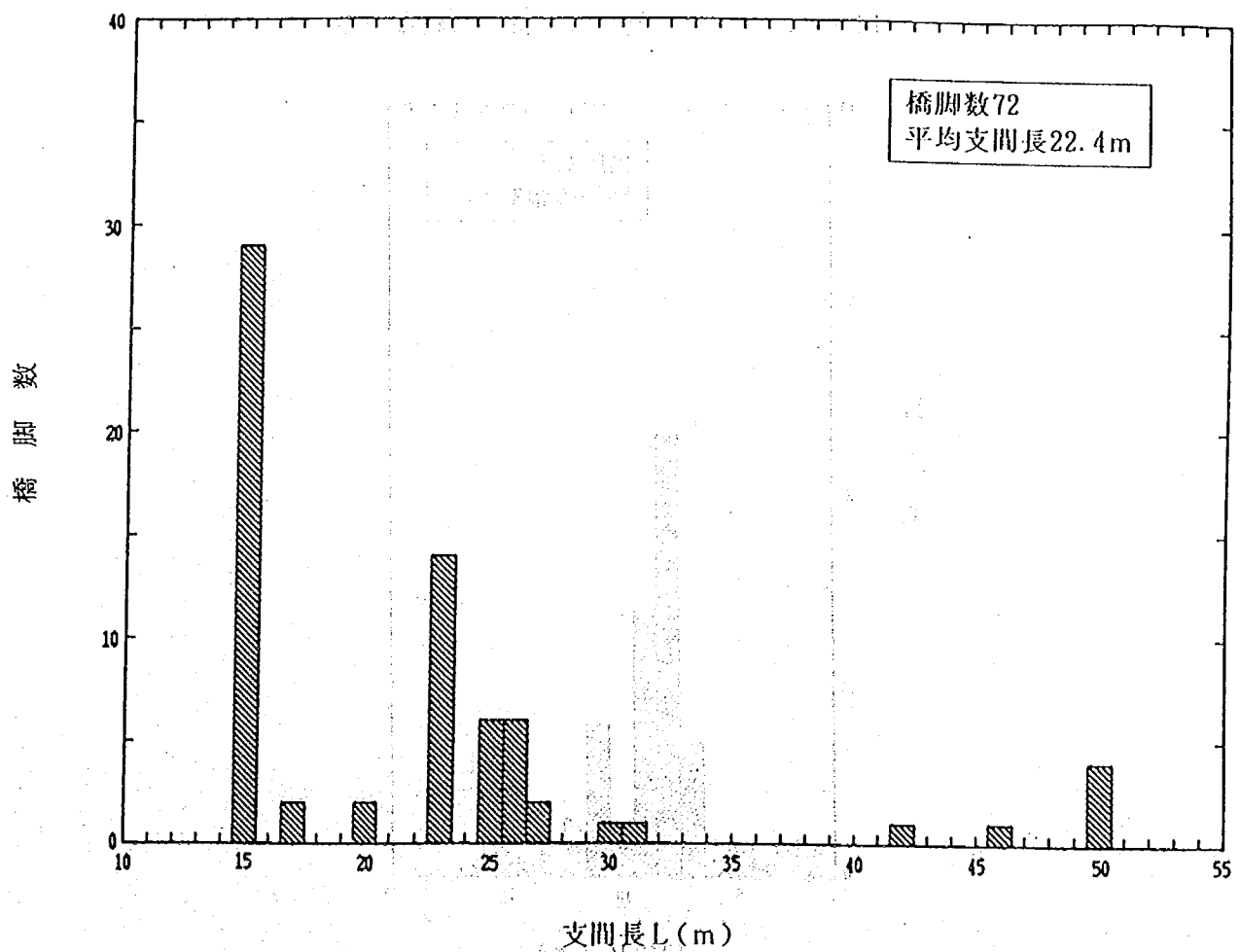


図-2. 2 支間長L(m)の頻度分布

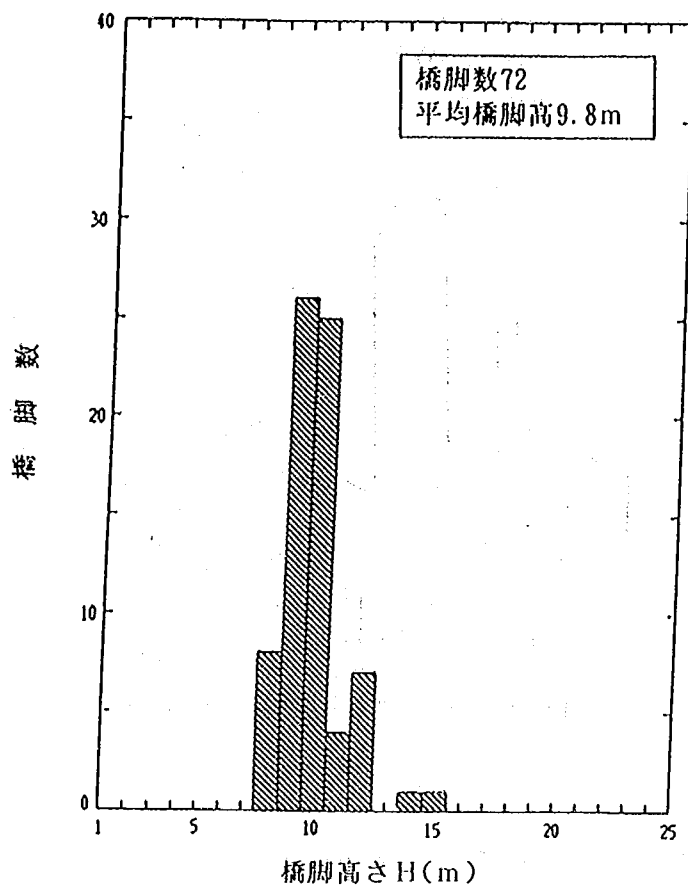


図-2.3 橋脚高さH(m)の頻度分布

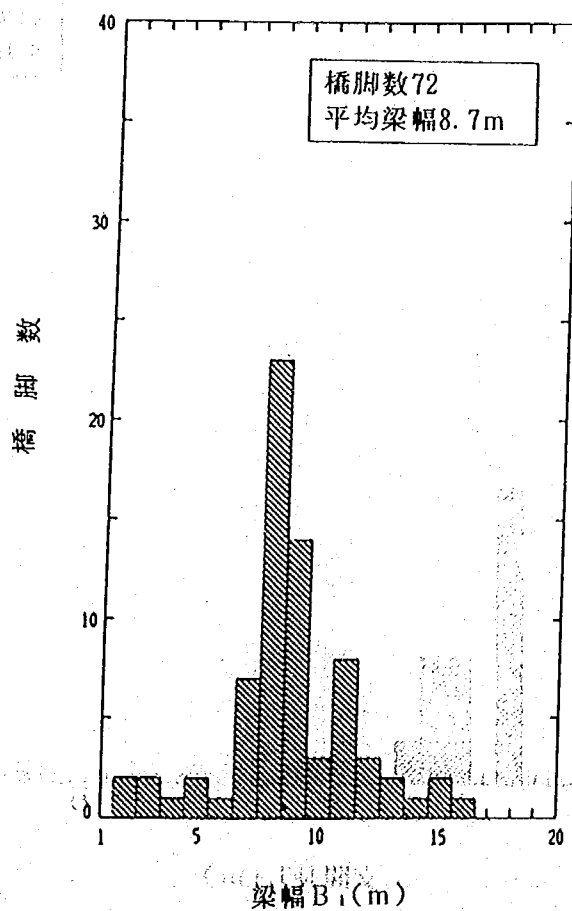


図-2.4 梁幅B1(m)の頻度分布

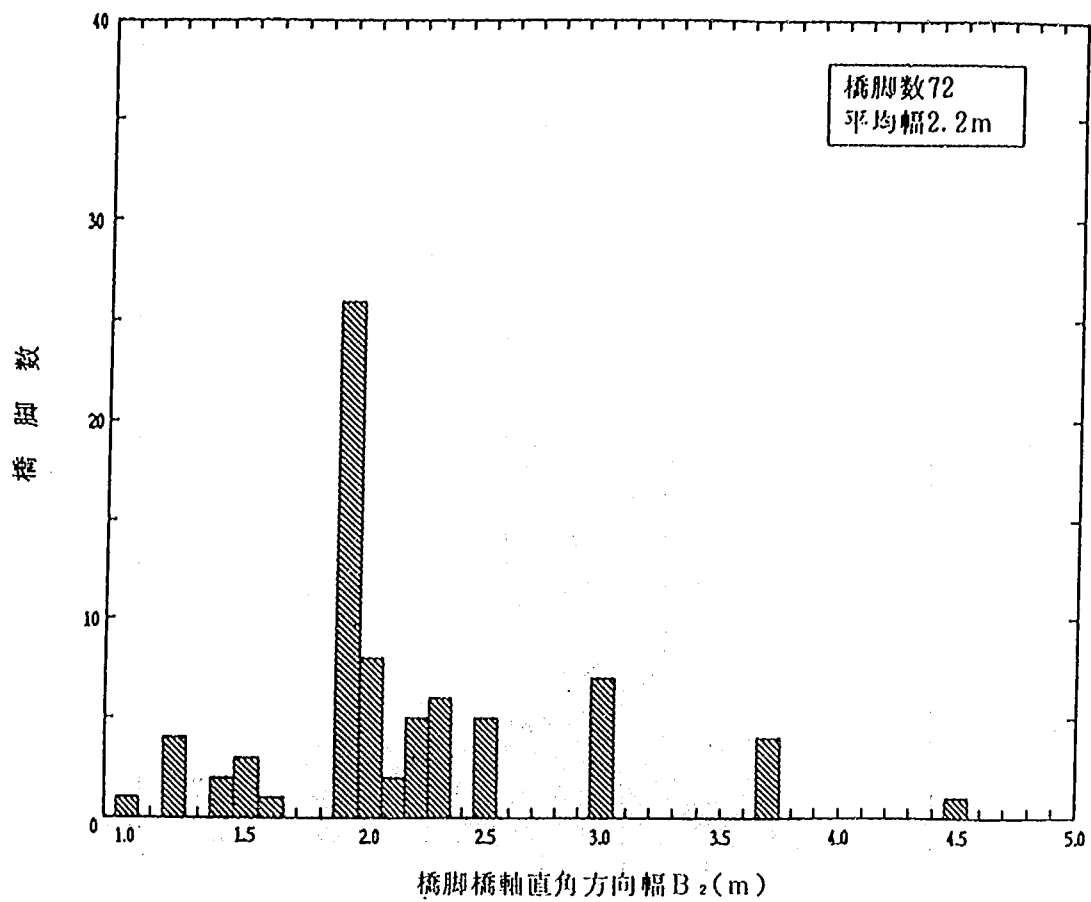


図-2.5 橋脚橋軸直角方向幅 B_2 (m) の頻度分布

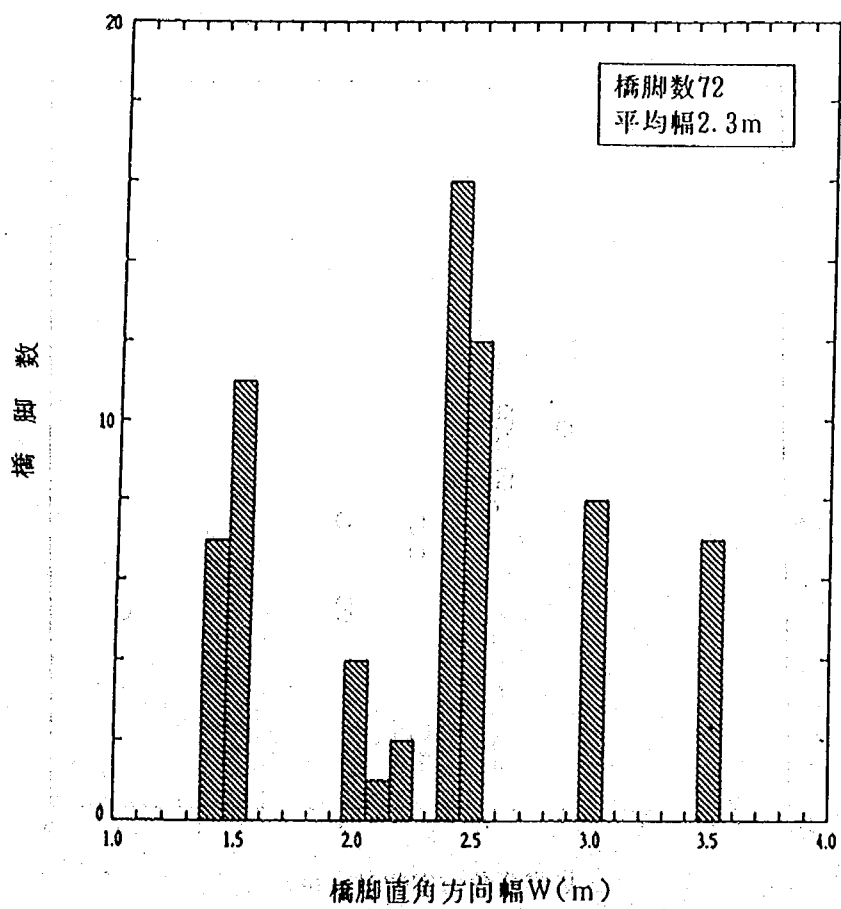


図-2.6 橋脚直角方向幅 W (m) の頻度分布

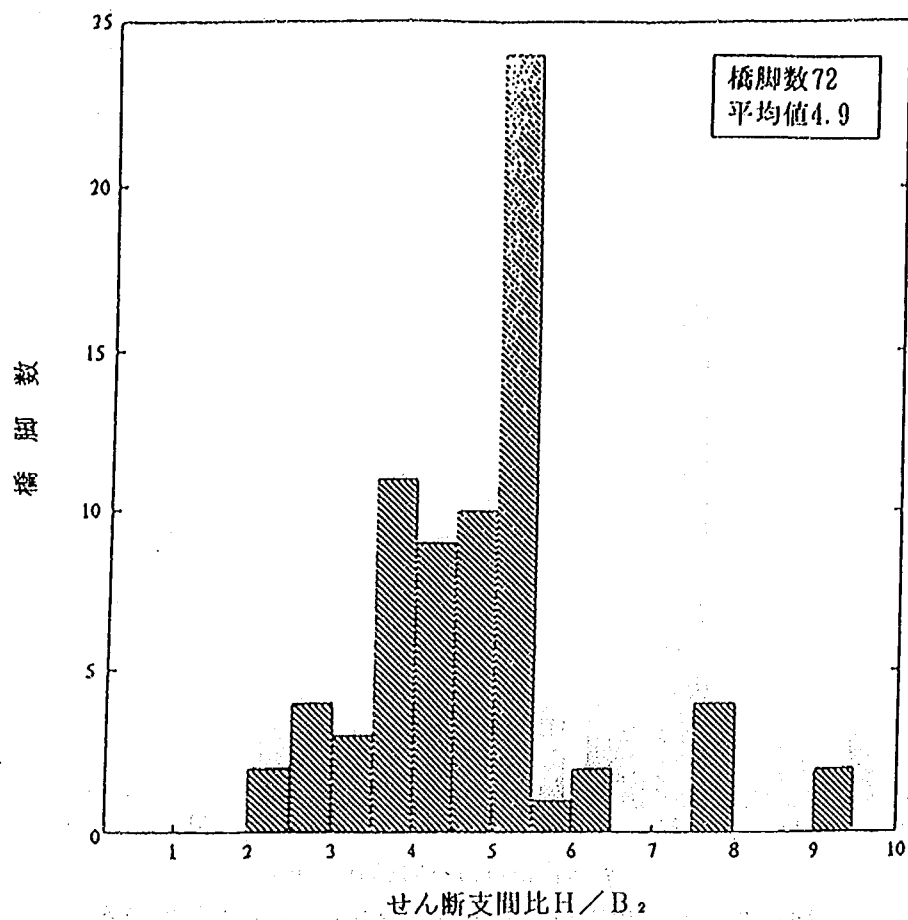


図-2.7 せん断支間比 H/B_2 の頻度分布

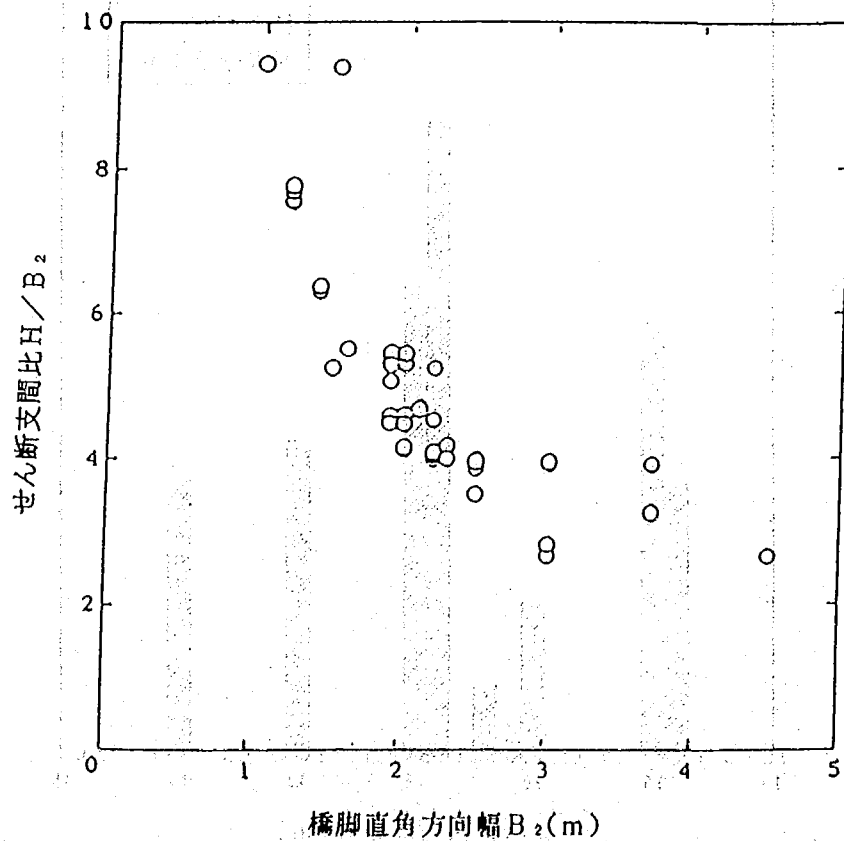


図-2.8 せん断支間比 H/B_2 と橋脚橋軸直角方向幅 B_2 (m)

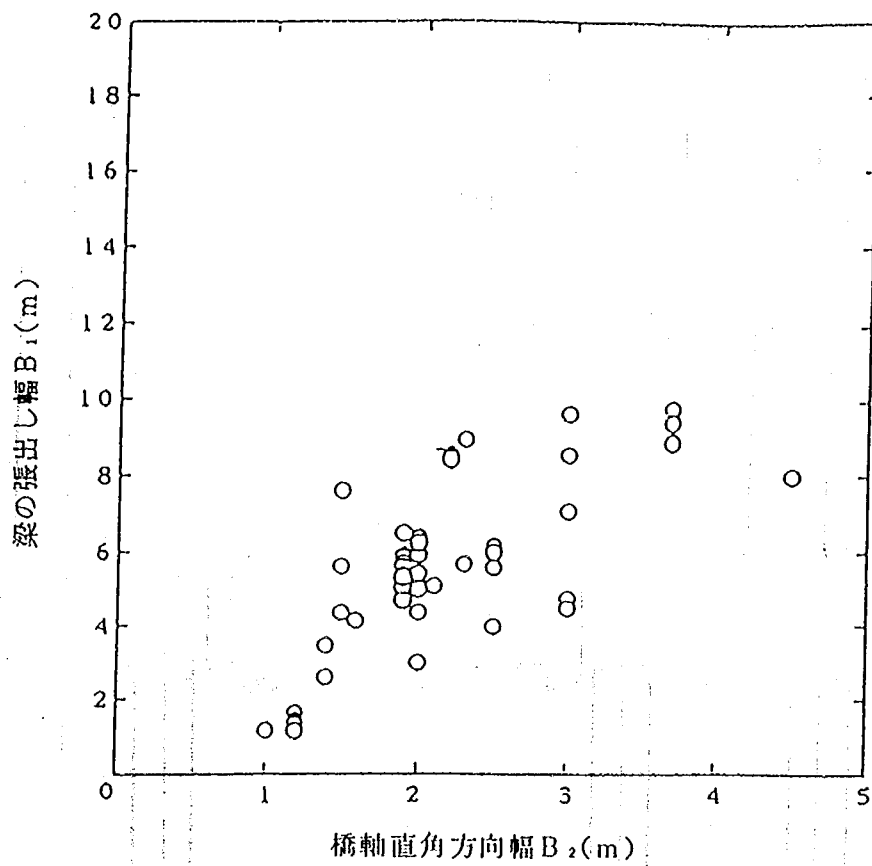


図-2.9 梁幅 B_1 と橋脚橋軸直角方向幅 B_2 (m)

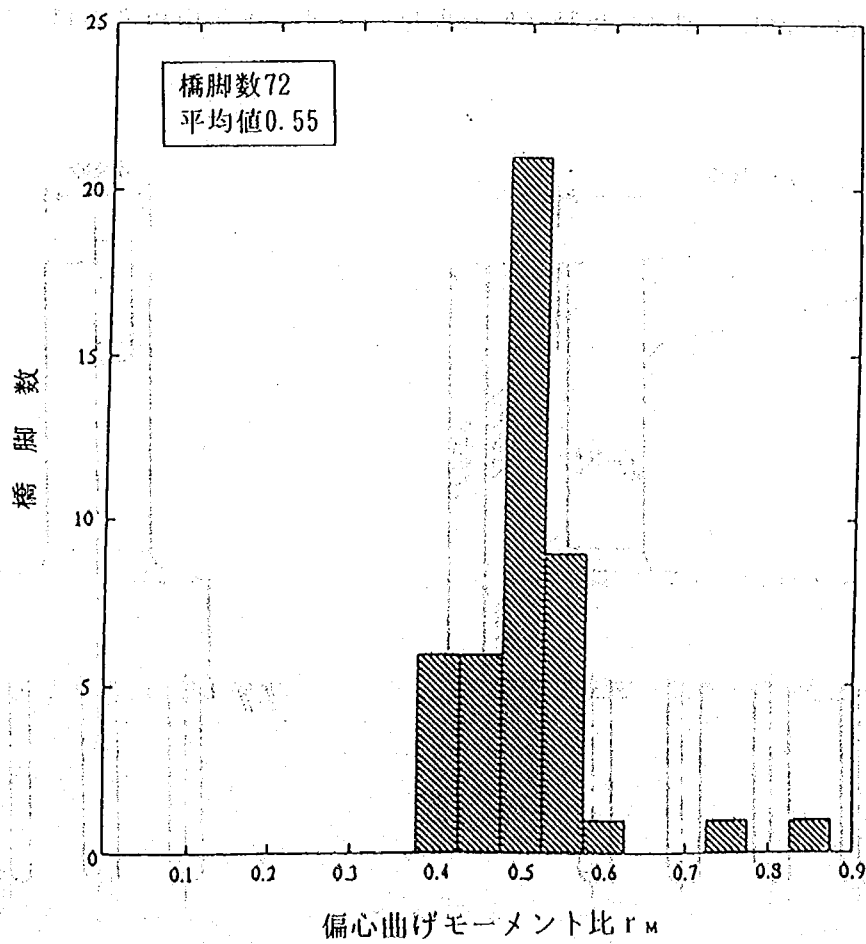


図-2.10 偏心曲げモーメント比 r_M の頻度分布

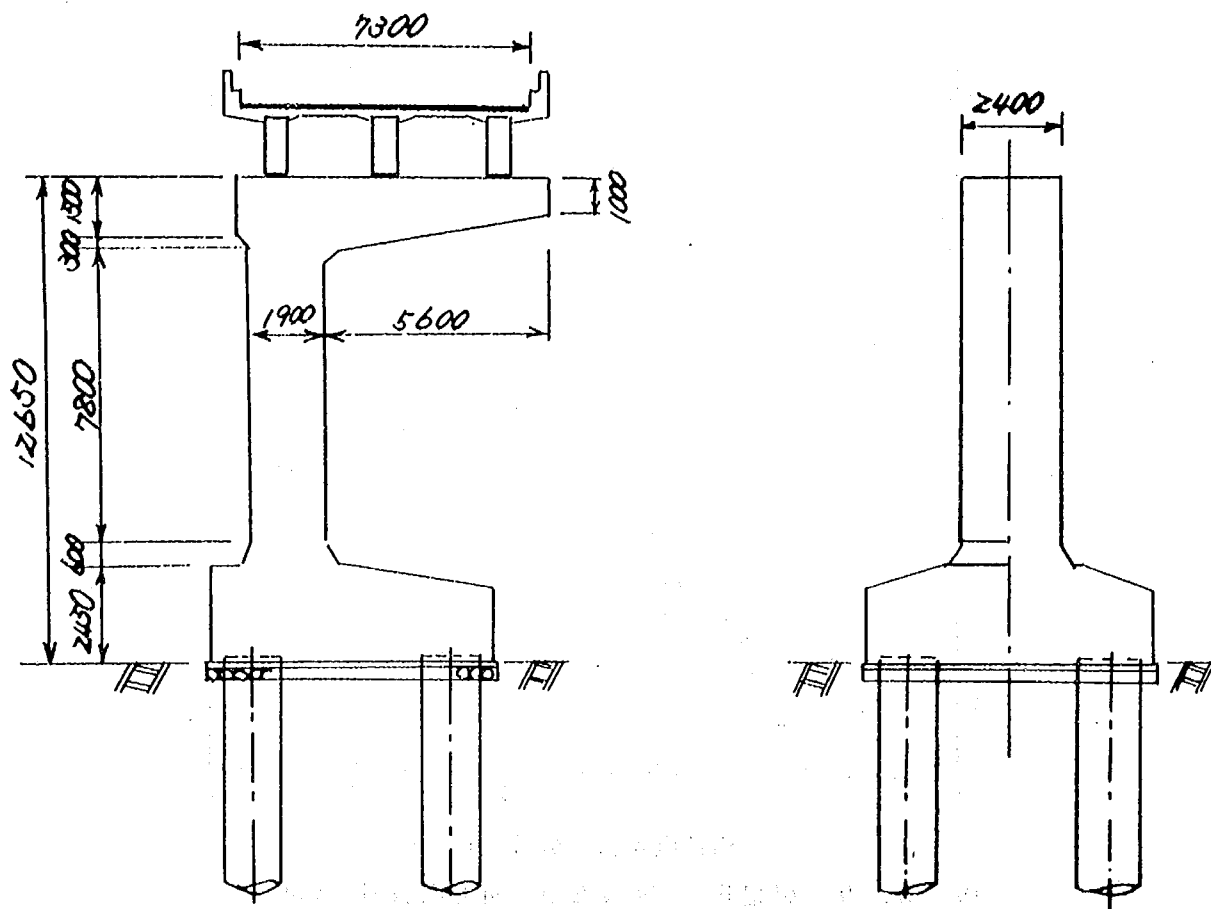


図-2.11 逆し字型RC橋脚（偏心曲げモーメント：中程度の場合）

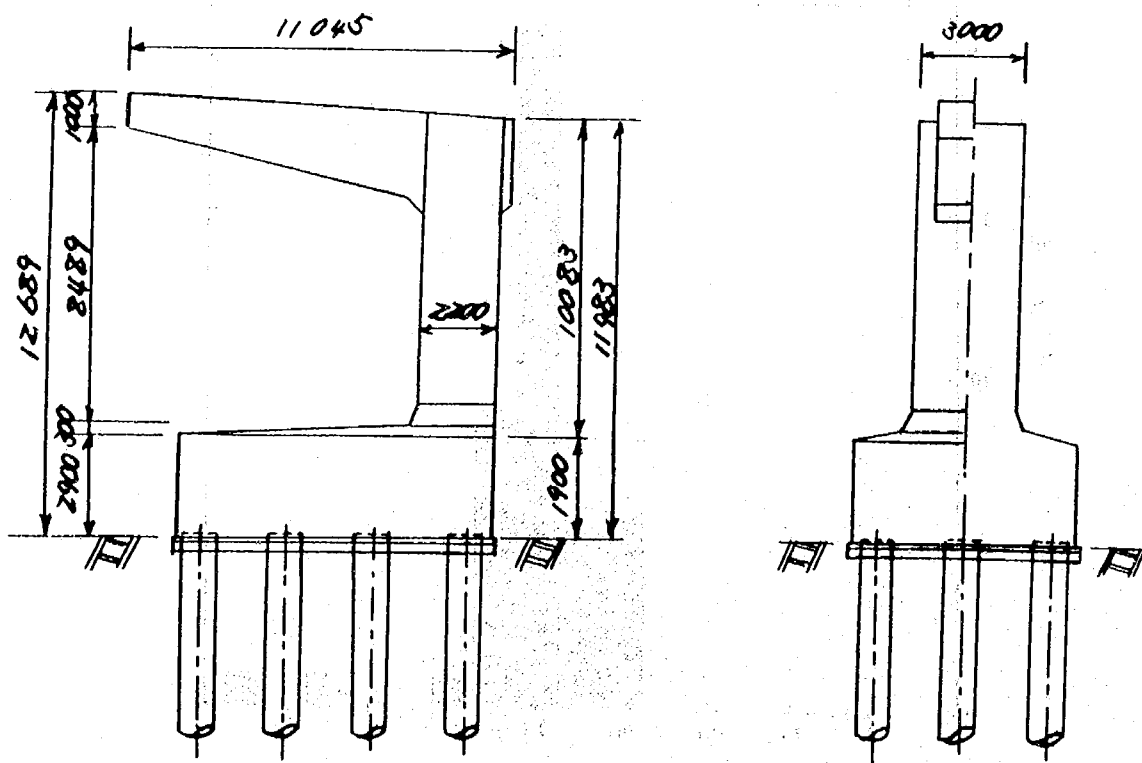


図-2.13 逆し字型RC橋脚（偏心曲げモーメント：大きい場合）

正面図

側面図

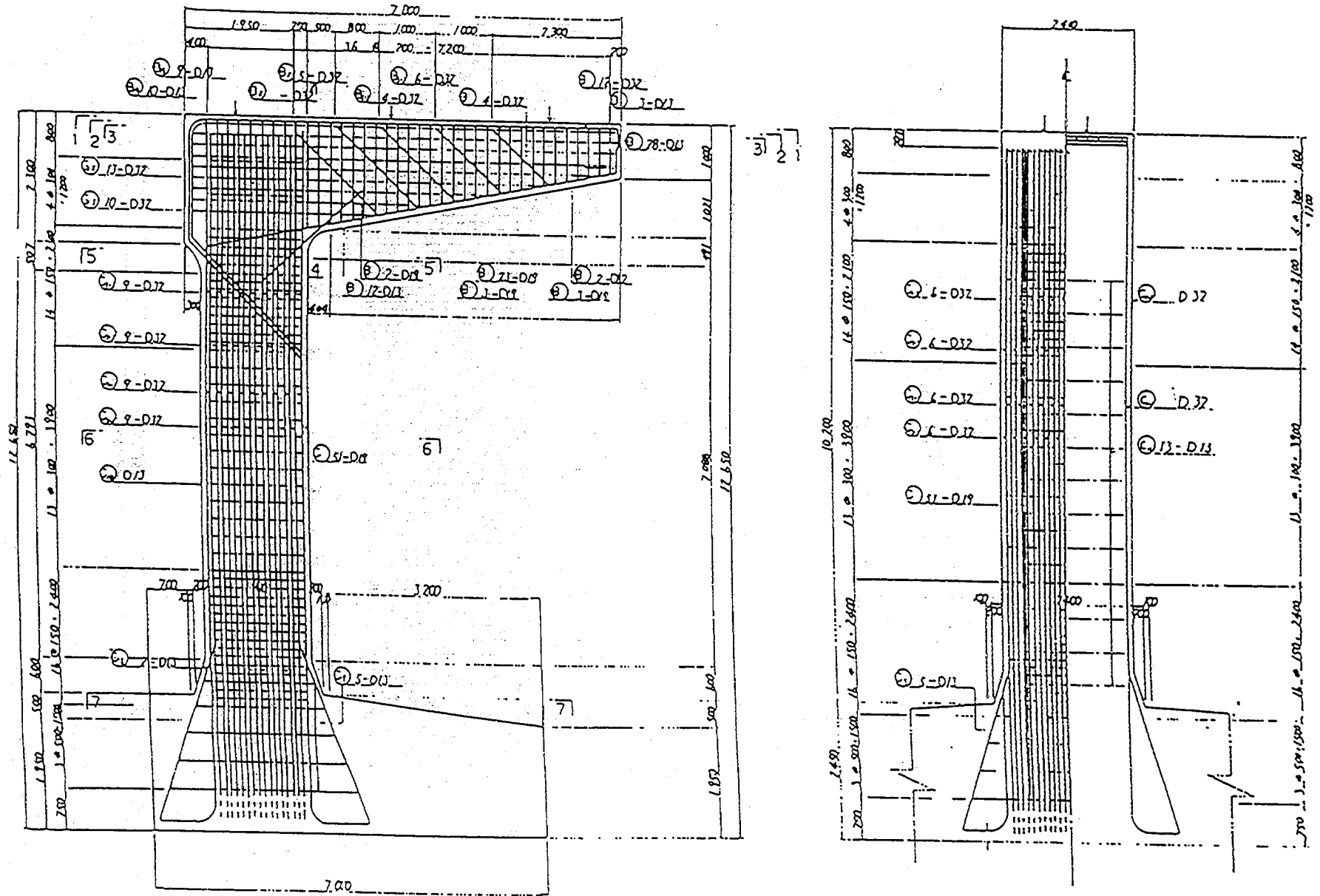


図-2.12 逆L字型RC橋脚の配筋図 (偏心曲げモーメント: 中程度の場合)

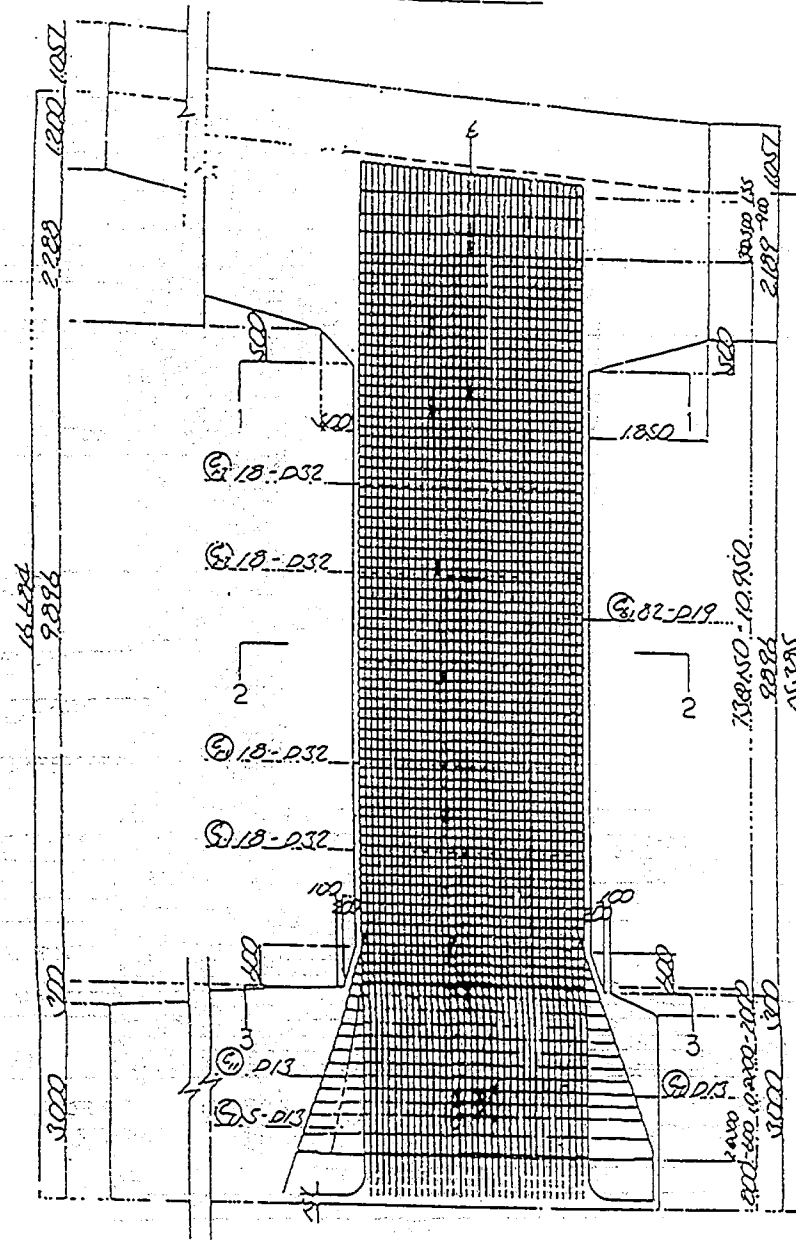
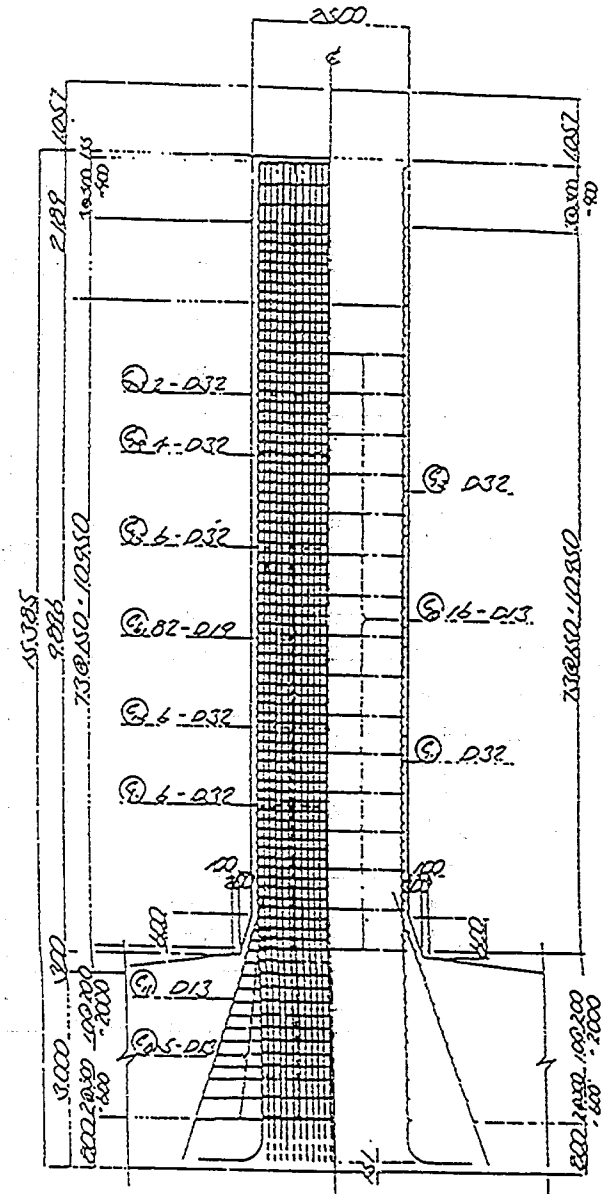


図-2.14 逆L字型RC橋脚の配筋図(偏心曲げモーメント:大きい場合)



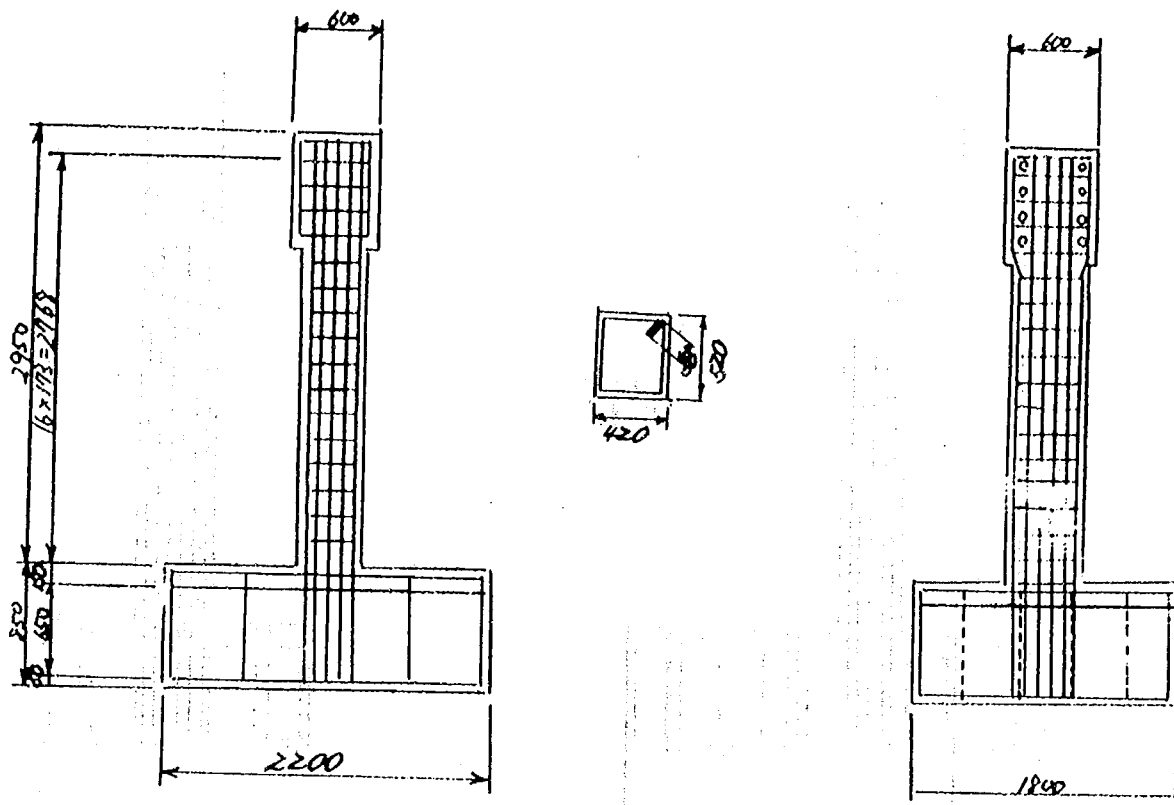


圖 - 2. 15 實驗供試體配筋圖 (P - 59)

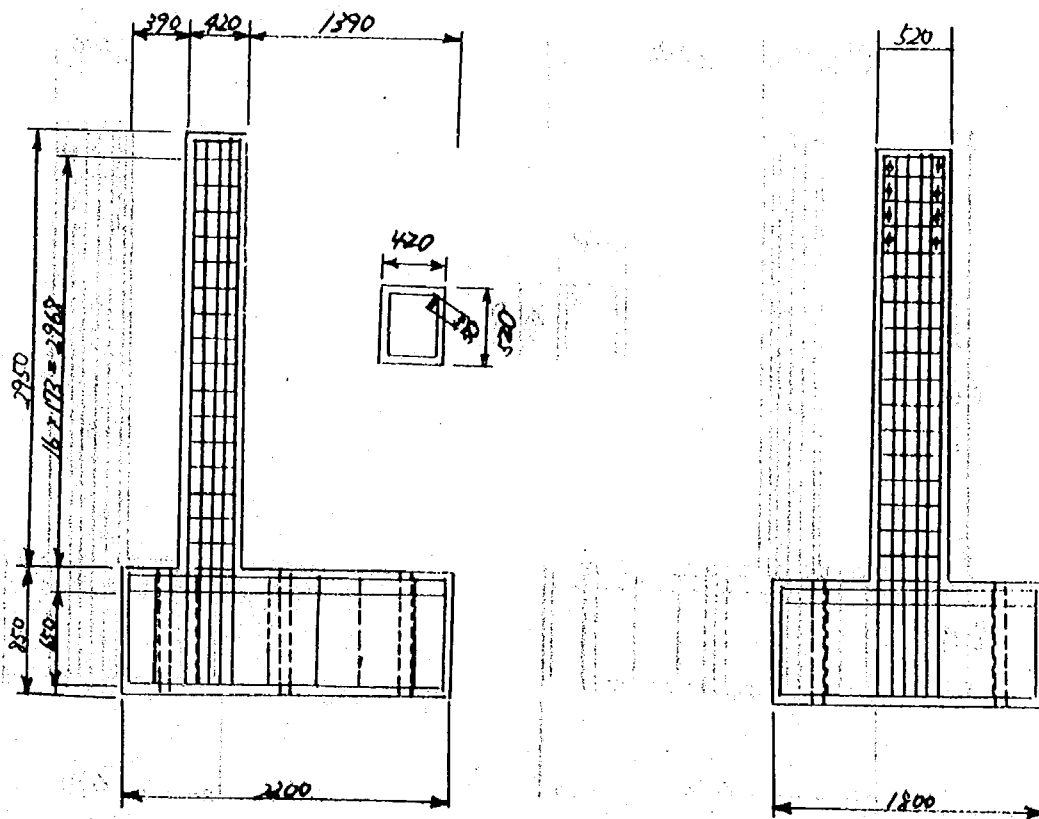


圖 - 2. 16 實驗供試體配筋圖 (P - 60)

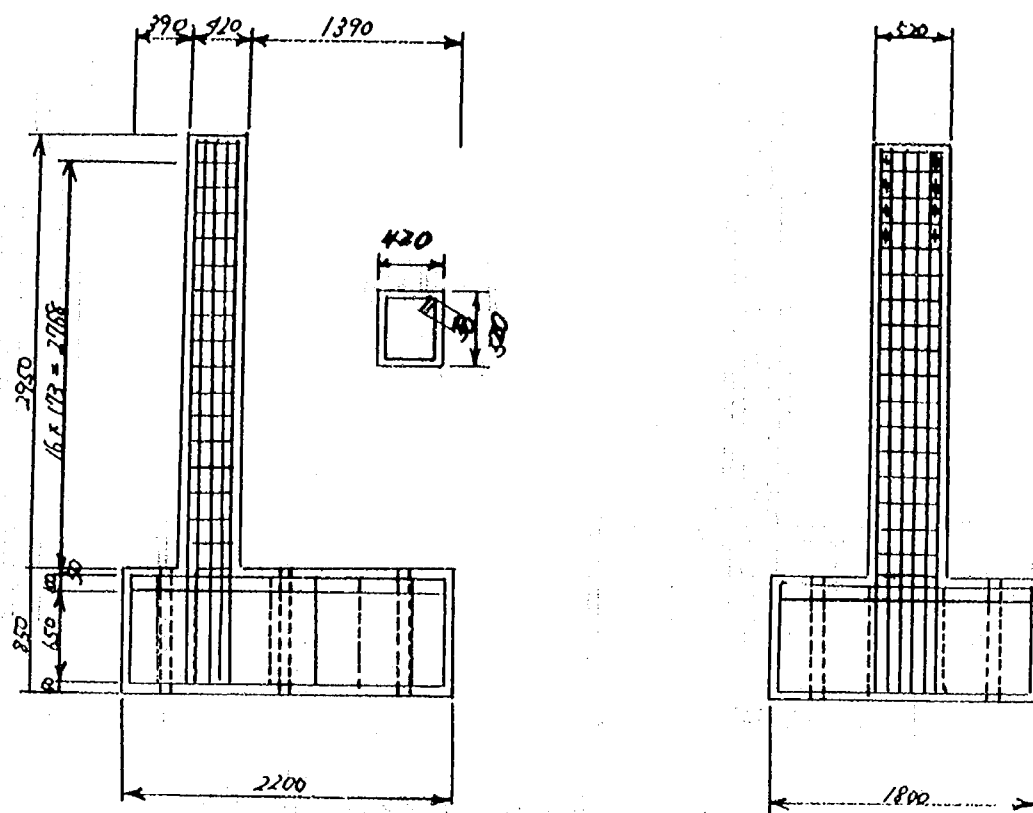


図 - 2. 17 実験供試体配筋図 (P - 61 ~ P - 63, P - 70, P - 71)

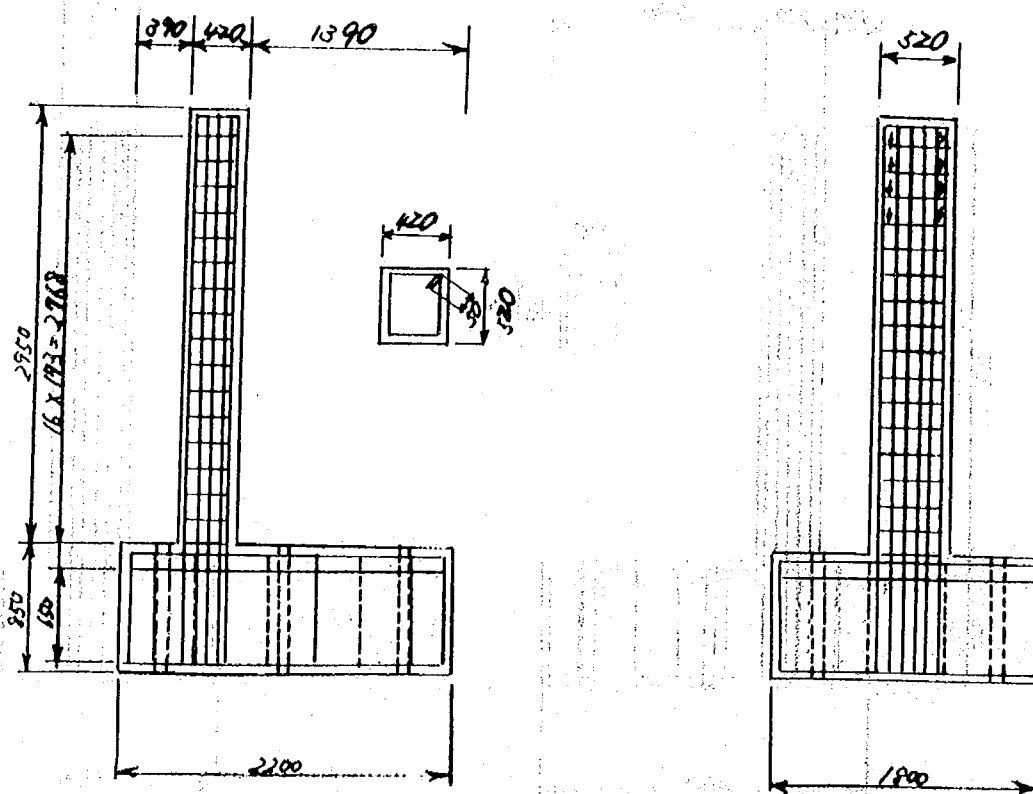


図 - 2. 18 実験供試体配筋図 (P - 64)

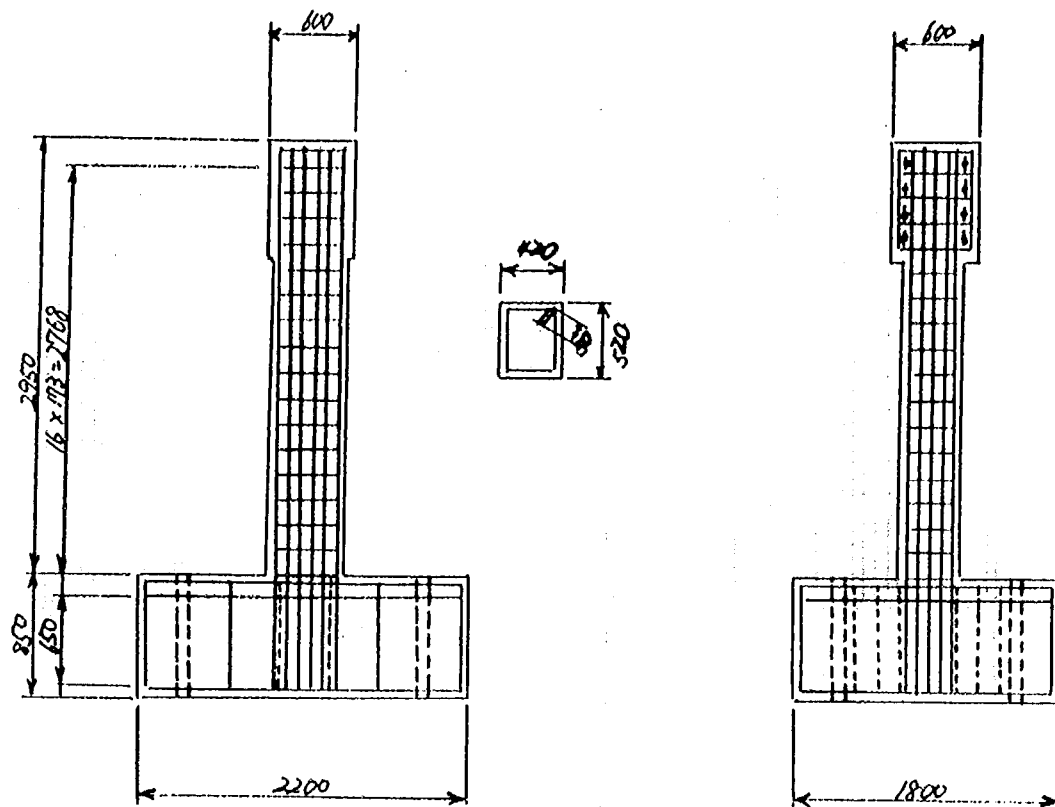


図 - 2. 19 実験供試体配筋図 (P - 65)

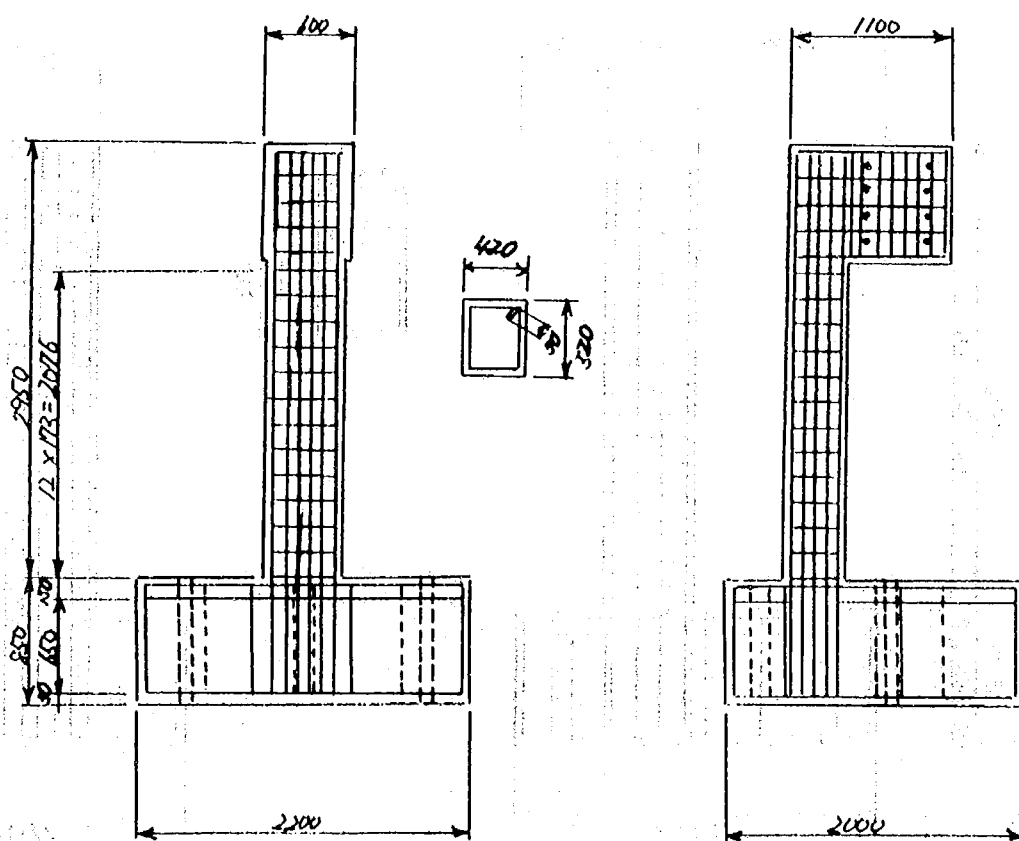


図 - 2. 20 実験供試体配筋図 (P - 66)

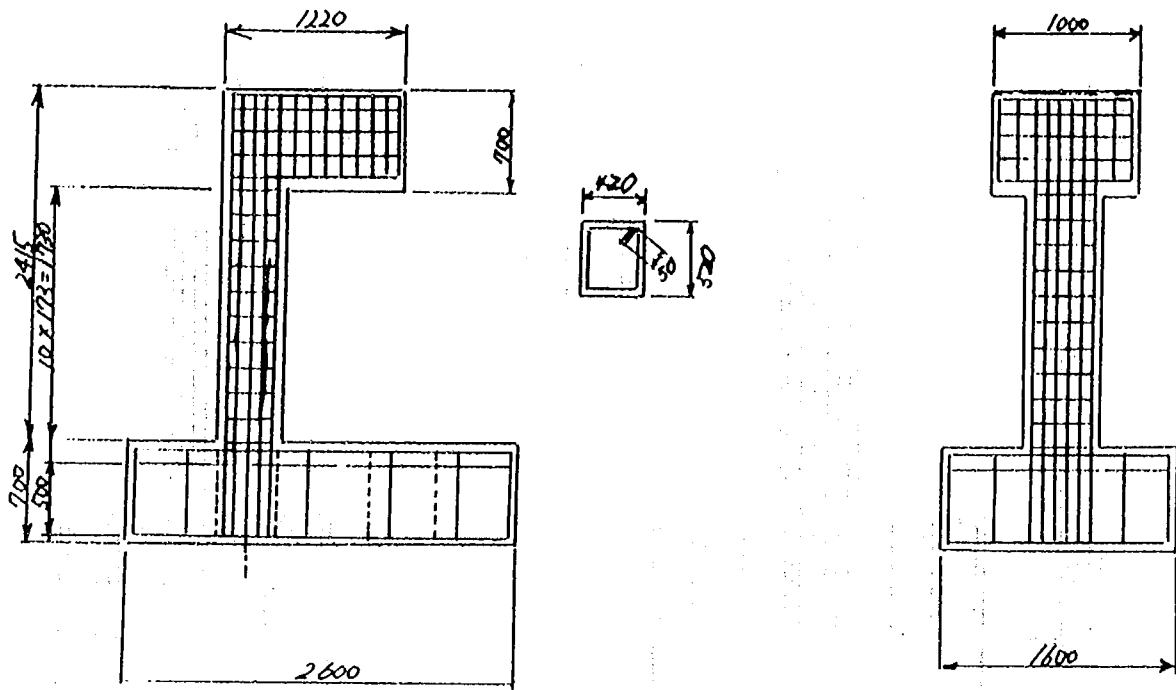


図 - 2. 21 実験供試体配筋図 (P - 67, P - 68)

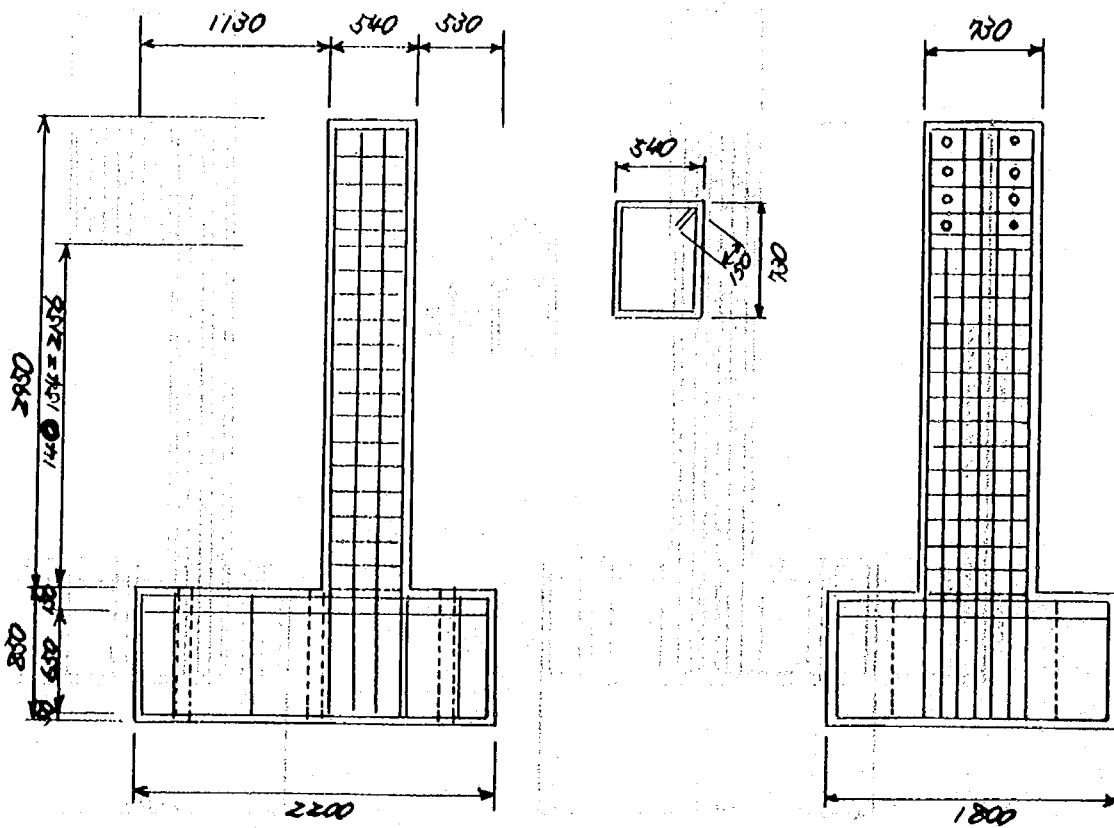


図 - 2. 22 実験供試体配筋図 (P - 69, P - 72, P - 73)

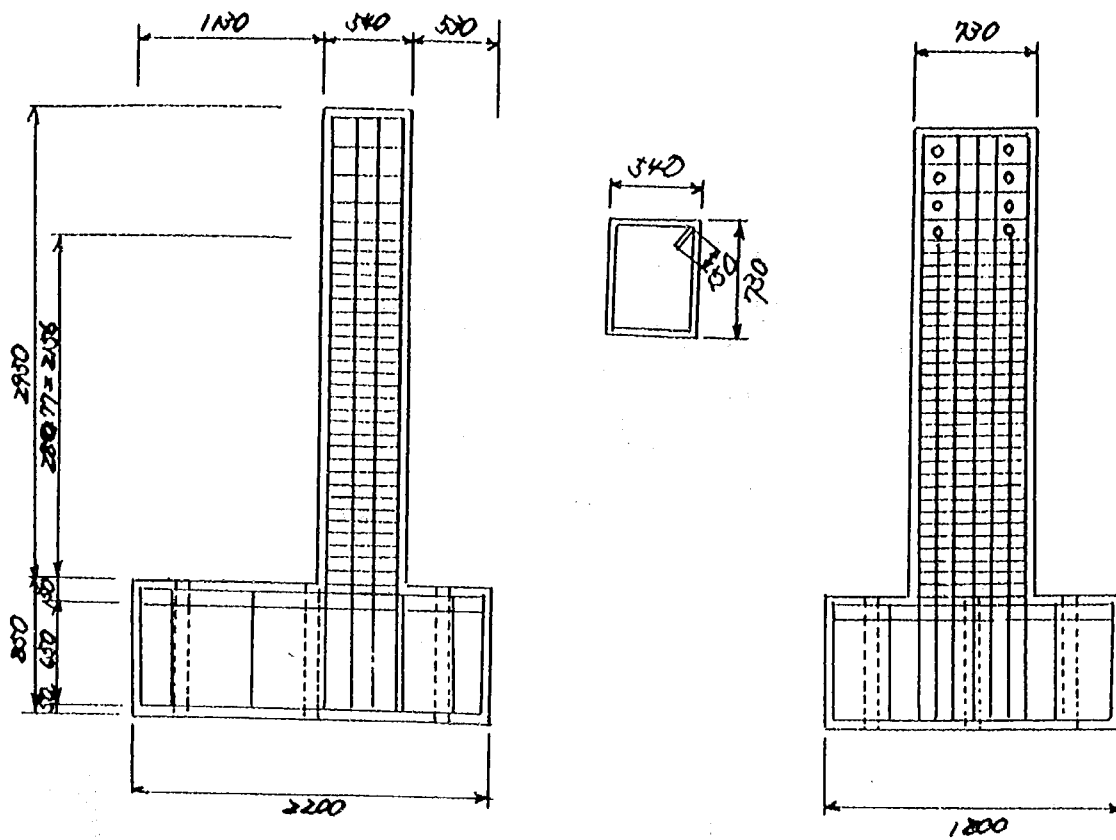


図 - 2. 23 実験供試体配筋図 (P - 74)

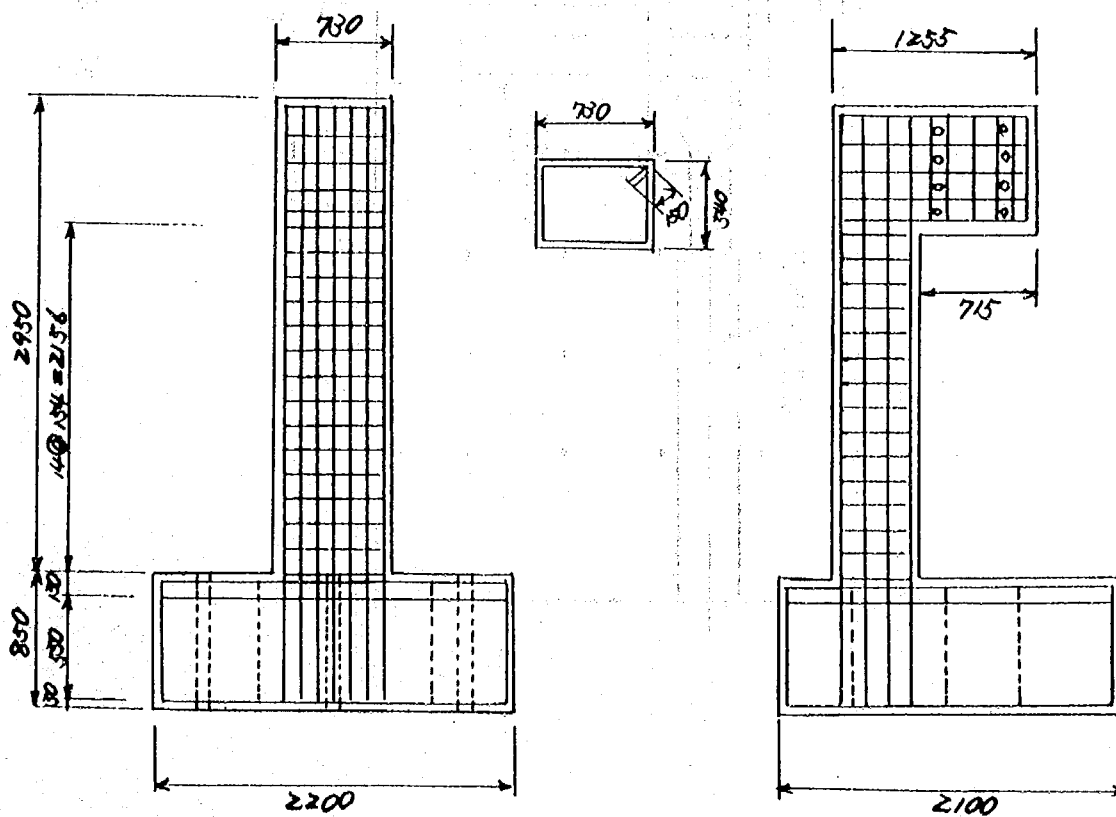


図 - 2. 24 実験供試体配筋図 (P - 75)

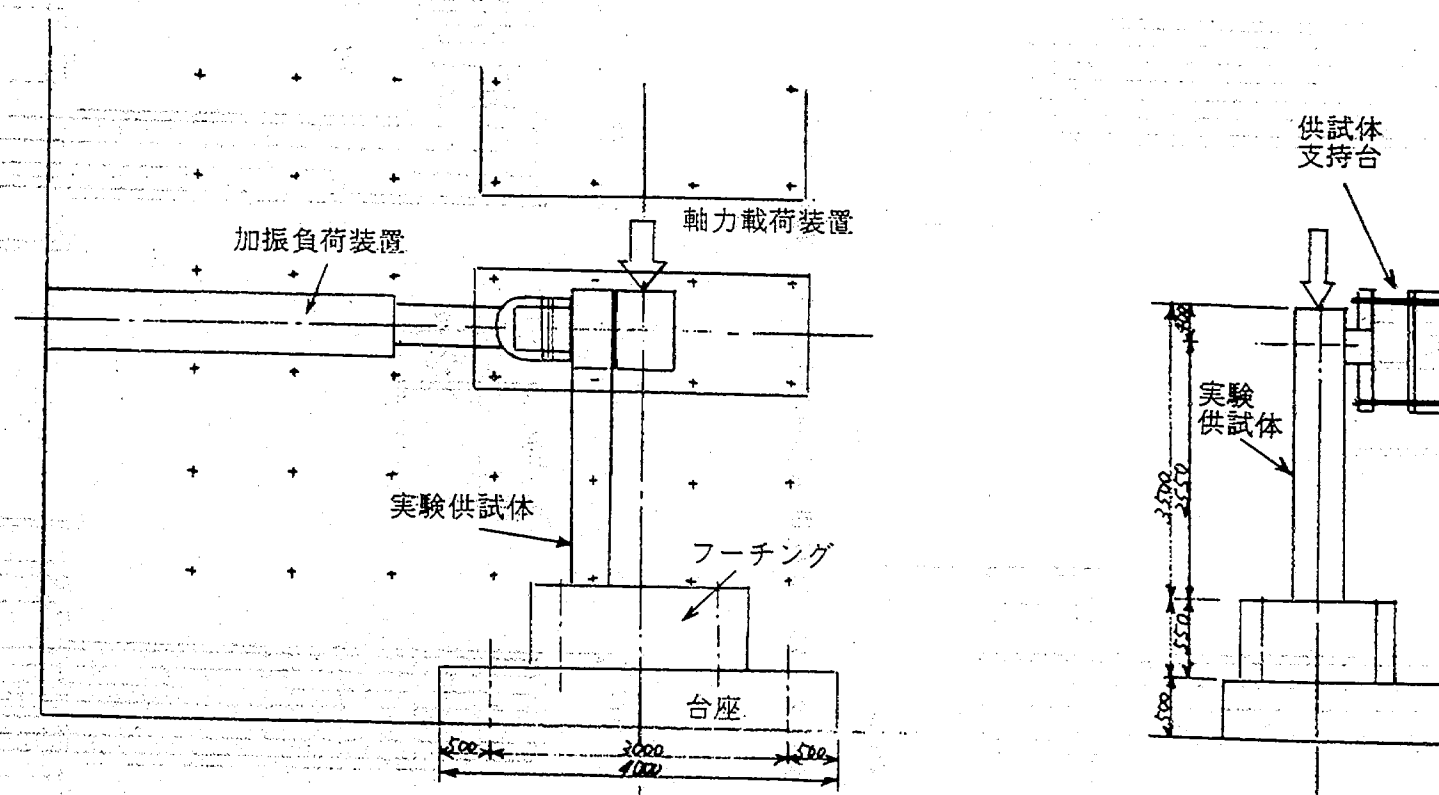
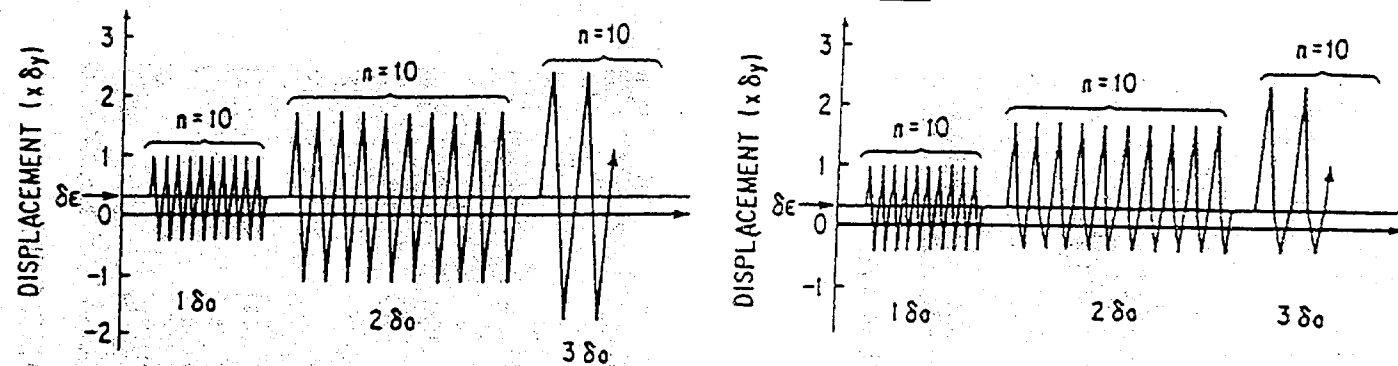


図-2.25 動的載荷実験

δ_y : Yield Displacement
 δ_e : Displacement by Eccentric Loading



(1) 載荷変位を正負両方向で増加させた場合 (2) 載荷変位を一方方向のみで増加させた場合

図-2.26 載荷変位振幅

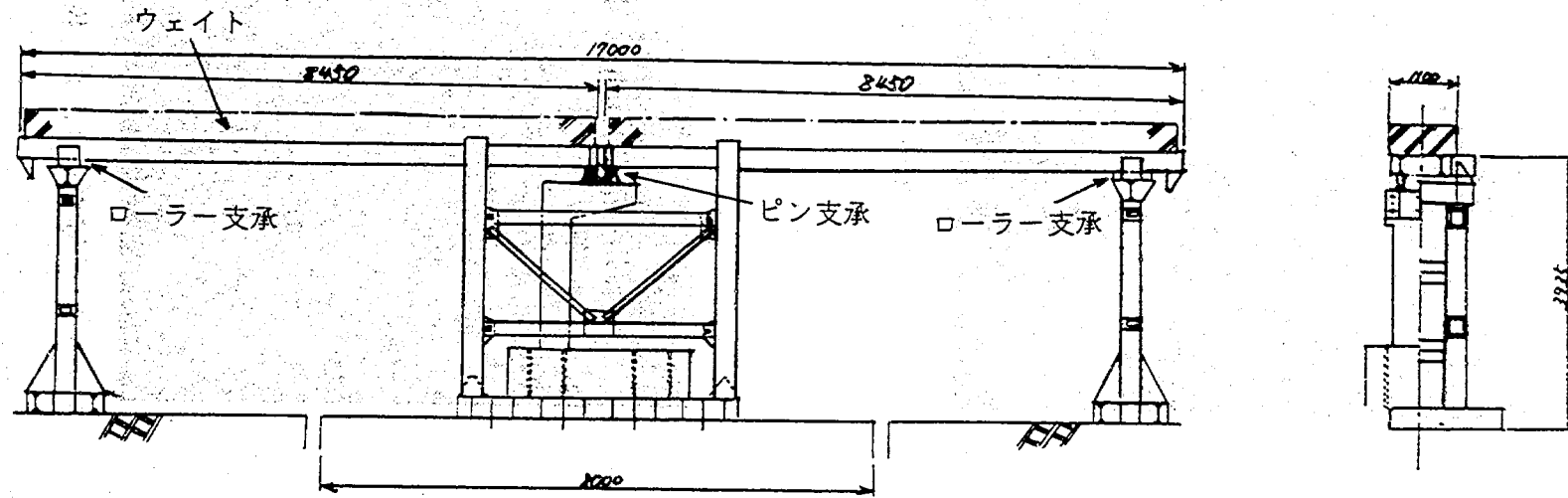


図-2.27 振動台実験

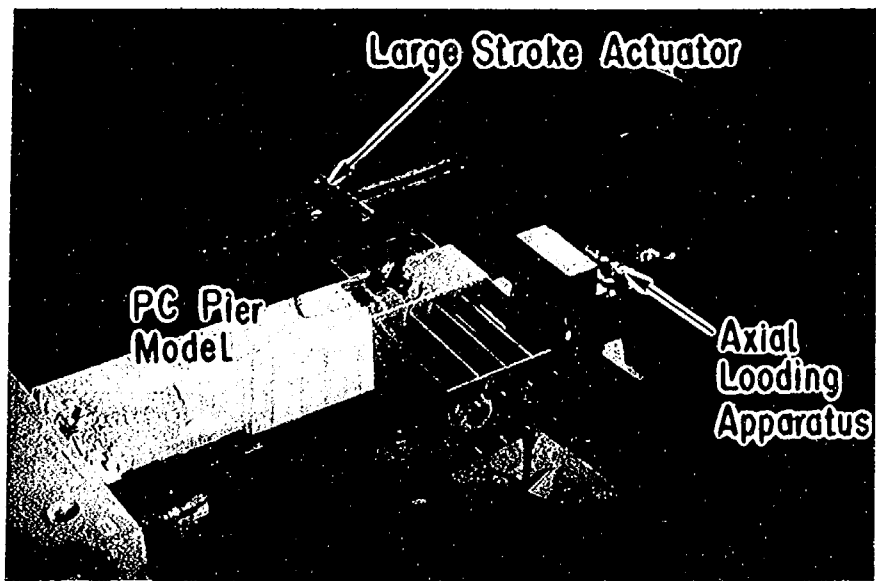


写真-2.1 動的載荷実験状況

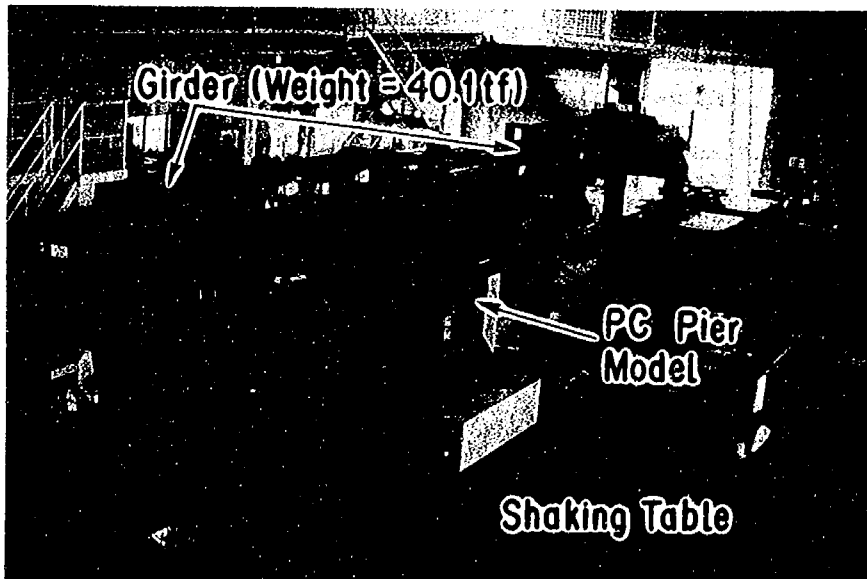


写真-2.2 模型振動台加振実験状況

3. 動的載荷実験結果

3. 1 破壊特性

図-3. 1～図-3. 14は、動的載荷実験に用いた供試体P-59～P-66、P-69～P-70、P-72～P-75について損傷の進展状況を示したものである。ここでは、いずれも載荷方向に直交する面の損傷状況を示している。なお、各載荷段階毎の全面的損傷の進展状況は巻末参考資料に示す。また、損傷の進展状況を表-3. 1に示す。

以下に載荷方法等ごとの破壊特性を示す。

(1) 橋軸直角方向載荷

1) 偏心曲げモーメント比 r_{ML} の影響

図-3. 1は、設計では偏心曲げモーメントを考慮したが、実験では偏心曲げモーメントを作用させずに水平力を作用させた供試体P-59 ($r_{MD}=0.55$, $r_{ML}=1.0$) の損傷状況を示したものである。1～5 δ °載荷ではひびわれが進展し、6 δ °載荷では偏心曲げモーメントにより圧縮側となる面（以下圧縮側と呼ぶ、反対側を引張側と呼ぶ）のかぶりコンクリートが剥離し始めた。その後、7 δ °載荷で圧縮側の主鉄筋（5本）がすべて破断し、最終状態となった。

次に、図-3. 4は、偏心曲げが中程度の基本実験ケースとした供試体P-62 ($r_{MD}=r_{ML}=0.55$) の損傷状況を示したものである。1～2 δ °載荷では、引張側にひびわれが発生、進展した。3 δ °載荷では、圧縮側にもひびわれが進展し、4 δ °載荷で斜めのひびわれが発生し始めた。5 δ °載荷では、斜めのひびわれが進展するとともに、圧縮側基部でかぶりコンクリートのはらみ出しが生じ始めた。6 δ °載荷で圧縮側で圧壊が生じ、圧縮側の主鉄筋が2本破断した。

作用させた偏心曲げモーメントが比較的小さい供試体P-61 ($r_{MD}=0.55$, $r_{ML}=0.7$ 、図-3. 3) 及び偏心曲げモーメントが比較的大きいP-63 ($r_{MD}=0.55$, $r_{ML}=0.4$ 、図-3. 5) の損傷状況を比較してみると以下のようなになる。供試体P-61 ($r_{MD}=0.55$, $r_{MD}=0.7$) の場合には、1～2 δ °載荷の段階では、正側（偏心曲げモーメントが増加する方向）の載荷により、引張側のコンクリート表面に小さなクラックが生じるだけで、負側（偏心曲げモーメントが減少する方向）の載荷ではクラックも生じない。3 δ °、4 δ °載荷になると正側載荷に伴い圧縮側となる橋脚基部においてかぶりコンクリートの顕著なクラック、剥離が生じる。5 δ °、6 δ °、7 δ °になると正側載荷により圧縮側となる基部のコンクリートが圧縮し、三角形状に大きく塑性化する。

これに対して、偏心曲げが設計で考慮したものよりも大きい偏心曲げを載荷した供試体P-63 ($r_{MD}=0.55$, $r_{ML}=0.40$) の場合には1～4 δ °載荷では、上記供試体P-61とあまり変わらないが、5 δ °載荷になると橋脚基部で大きく斜めクラックが生じ、正側載荷時に圧縮側となるコンクリート部分が完全に圧壊し、三角形状に塑性化して外側に飛び出すようになる。このため、供試体が全体として正側にずれを生じている。ずれは6 δ °で急速に大きくなり、軸力載荷装置の防護のために設けられているリミッターが作動して、これ以上の軸力載荷ができないような大きな損傷が生じた。

2) 偏心曲げモーメント比 r_{MD} の影響

図-3. 2、図-3. 6及び図-3. 9は、偏心曲げモーメントが比較的小さい供試体P-60 ($r_{MD}=r_{ML}=0.689$)、偏心曲げモーメントが比較的大きい供試体P-64 ($r_{MD}=r_{ML}=0.51$) 及び偏心曲げモーメントが設計上考えられる最大の供試体P-69 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$) を示した

ものである。

供試体P-60では、1～3 δ 。載荷では、主に引張側でひびわれが発生、進展し、4 δ 。載荷では基部に斜めのひびわれが発生し始めた。5 δ 。載荷では、斜めのひびわれがさらに進展し、6 δ 。載荷では圧縮側のかぶりコンクリートが剥離し、7 δ 。で圧縮側の主鉄筋が3本破断し、最終状態となった。損傷状況は、偏心曲げモーメントを載荷していない供試体P-59と近い。また、供試体P-62では圧縮側に損傷が集中したのに対し、供試体P-60ではその程度は小さい。

一方、供試体P-64では、1～2 δ 。載荷で主に引張側でひびわれが進展し、3 δ 。載荷で斜めのひびわれが発生した。4 δ 。載荷では、圧縮側で圧壊が生じ始め、5 δ 。載荷で圧縮側の主鉄筋が1本破断して最終状態となった。このように偏心曲げモーメントが大きくなると、損傷形態はほぼ供試体P-62と同様であるが、損傷の進展はより早い段階で生じている。

さらに、偏心曲げが大きい場合の供試体P-69では、1～4 δ 。載荷では、引張側に水平のひびわれが発生、進展した。圧縮側にもわずかではあるが、水平ひびわれが発生した。5 δ 。載荷では、圧縮側においてくさび状に斜めのひびわれが進展し、かぶりコンクリートが剥離した。6 δ 。載荷では、くさび状のひびわれはさらに進展し、かぶりコンクリートの剥離範囲が大きくなった。7 δ 。載荷では、さらに損傷範囲が拡大し、橋脚部分が載荷装置側にずれるように変形するとともに、圧縮側において鉄筋が1本破断した。8 δ 。載荷では、橋脚のずれがさらに大きくなるとともに、基部の損傷が進展し、最終状態となった。損傷の進展は、4 δ 。載荷までは、水平ひびわれが生じるのみで大きくはないが、5 δ 。載荷でかぶりコンクリートが剥離した後は、基部の圧縮側においてくさび状に損傷が進展し、最終的には、橋脚がくさびが生じた反対側にずれるように破壊した。

3) 帯鉄筋の影響

図-3.13は、断面寸法等の諸元は前述の供試体P-69と同一であるが、帯鉄筋をP-69の場合の2倍のピッチで補強した供試体P-74の損傷の進展状況を示したものである。これによれば、1～4 δ 。載荷では、水平のひびわれが生じるのみで、供試体P-69と同様である。5 δ 。載荷移行に供試体P-69との違いが見られ、基部において圧縮側から斜めのひびわれが顕著になるとともに、細かいひびわれが増加した。6 δ 。載荷では、基部の付け根においてわずかにかぶりコンクリートの剥離、7 δ 。載荷では、損傷の拡大とともに、圧縮側の主鉄筋6本破断、8 δ 。載荷ではさらに損傷が拡大して最終状態となった。

4) 一方向載荷の影響

図-3.10及び図-3.12は、載荷方法として偏心曲げモーメントが作用する方向にのみ載荷変位を増加させた供試体P-70及びP-73の損傷の進展状況を示したものである。これらは、それぞれ、供試体P-62及びP-69と同一の寸法諸元を有するもので、載荷方法のみ変化させたものである。

供試体P-70について見てみると、損傷の進展は、供試体P-62とほぼ同様であり、5 δ 。載荷以降に違いが生じてくる。供試体P-62では、5 δ 。載荷になると斜めのひびわれとともに、圧縮側でかぶりコンクリートが剥離寸前となるが、供試体P-70では、斜めのひびわれのみである。6 δ 。載荷になると、供試体P-62では圧縮側でくさび状にコンクリートが剥離し始めるのに対し、供試体P-70では、斜めのひびわれが増加するのみである。7 δ 。載荷になると、供試体P-62では基部で圧壊が生じ、橋脚がずれるような変状が生じる。供試体P-70では、かぶりコンクリートの剥離、8 δ 。載荷で圧縮側の鉄筋が1本破断して最終状態となった。

このように、一方向のみに載荷することによって、損傷の進展が遅くなり、かぶりコンクリー

トの剥離及び最終状態について、それぞれ、およそ1 δ 。載荷分遅くなっている。

供試体P-73について見てみると、その損傷の進展状況は、供試体P-69とは大幅に異なる。すなわち、図-3.9及び図-3.12から明らかなように正負交番で載荷した供試体P-69では、5 δ 。載荷でかぶりコンクリートの剥離、7 δ 。載荷で主鉄筋が1本破断するとともに、基部で圧壊し、橋脚がずれるように変形した。一方、供試体P-73では、かぶりコンクリートの剥離が7 δ 。載荷、主鉄筋の破断が10 δ 。載荷となり、損傷の進展は大幅に遅くなってくる。また、最終状態についても、供試体P-69では基部に圧壊が生じ、橋脚がずれるように変形したのに対し、供試体P-73では、圧縮側の損傷の進展によって最終状態となり橋脚にずれるような大きな損傷は生じていない。

5) 載荷繰返回数の影響

図-3.11は、断面諸元は供試体P-69と同一であるが、載荷繰返し回数のみを3回にした供試体P-72の損傷の進展状況を示したものである。

10回の正負交番繰返し載荷を行った供試体P-69では、5 δ 。載荷でかぶりコンクリートの剥離、7 δ 。載荷で主鉄筋が1本破断するとともに、基部で圧壊し、橋脚がずれるように変形した。一方、供試体P-72では、かぶりコンクリートの剥離が7 δ 。載荷、鉄筋の破断が11 δ 。載荷となり、損傷の進展は前述の一方向載荷の場合と同様に大幅に遅くなってくる。また、最終状態についても、供試体P-69では基部に圧壊が生じ、橋脚がずれるように変形したのに対し、供試体P-72では、圧縮側の損傷の進展によって最終状態となり橋脚にずれるような大きな損傷は生じていない。

(2) 橋軸方向載荷

図-3.7～図-3.8は、橋軸方向載荷の場合の供試体P-65 ($r_{MD}=0.55$ 、 $r_{ML}=1.0$) 及びP-66 ($r_{MD}=0.55$ 、 $r_{ML}=0.55$) について損傷の進展状況を示したものである。

偏心曲げモーメントを載荷した場合及び載荷しない場合ともにほぼ同様の損傷の進展状況であり、橋軸直角方向に載荷した偏心曲げモーメントが橋軸直角方向に載荷した影響はほとんど見られない。ただし、偏心曲げモーメントを載荷した場合にはわずかに斜めのひびわれがより多く見られる。これは、ねじりによる影響が生じたためと考えられるが、その程度は小さい。

偏心曲げモーメントが大きい場合の供試体P-70 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$) 損傷の進展状況を示したのが図-3.14である。1 δ 。載荷では、偏心曲げモーメントにより引張側となる面にひびわれが増加、2 δ 。載荷では圧縮、引張両面でひびわれの増加、3 δ 。載荷では載荷方向と直交する面（偏心曲げモーメントにより圧縮側となる面）で斜めのひびわれが発生し、ひびわれが増加する。4 δ 。載荷では、基部の偏心曲げモーメントにより圧縮側となる面において圧壊が発生する。基部の圧壊により、偏心曲げモーメントが作用している方向の変位が大きくなり、軸力載荷装置の変位リミットが限界となった。その後、載荷を継続し、5 δ 。載荷、9.75波でリミットが限界となって載荷を中止した。橋脚自体の耐力は、まだ十分残っていることが予想されたが、載荷方向とは逆の偏心曲げを作用させている方向の変形が大きくなってきたため中止したものであり、偏心曲げモーメントが大きくなり、基部の圧縮側で圧壊が生じると、このような変形が生じることに注意しなければならない。

3.2 動的耐力及び変形性能

(1) 荷重変位の履歴曲線の包絡線

図-3.15は、供試体P-59~P-66、P-69~P-70、P-72~P-75の荷重~変位の履歴曲線を示したものである。履歴曲線の包絡線により、載荷偏心曲げモーメント r_{ML} 、設計偏心曲げモーメント r_{MD} 、橋軸方向載荷、載荷方式、帯鉄筋量の影響を比較した結果を示したのが、図-3.16~図-3.21である。これにより、以下の点が指摘される。

1) 橋軸直角方向載荷

(a) 偏心曲げモーメント比 r_{ML} の影響 (図-3.16参照)

偏心曲げモーメントが増加する方向に対しては、 $r_{ML}=1.0$ から順次小さくなるにつれて、荷重が最大荷重に達し、荷重がほぼ最大値付近で安定している範囲が短くなる。特に、偏心曲げが増加する方向にしたがって、 r_{ML} が小さくなるにつれて橋脚のエネルギー吸収性能が低下する。

(b) 偏心曲げモーメント比 r_{MD} の影響 (図-3.17参照)

偏心曲げモーメントが増加する方向に対しては、 r_{MD} が小さくなると、荷重が最大荷重に達し、荷重がほぼ最大値付近で安定している範囲が短くなり、それだけじん性率が減少する。これは、偏心曲げモーメントが大きくなると、載荷に伴い偏心曲げモーメントにより圧縮側となる面のかぶりコンクリートの剥離が早い載荷段階で生じ、損傷の進展がより早くなるためである。 r_{MD} が小さくなると偏心曲げモーメントに抵抗するための引張鉄筋量も増加するため、引張鉄筋量の影響と見ることもできる。

(c) 帯鉄筋の影響 (図-3.18参照)

帯鉄筋を2倍のピッチで配筋した場合には、荷重~変位の履歴曲線は、わずかではあるが荷重が最大値付近で安定している範囲が長くなる。

(d) 一方向載荷の影響 (図-3.19及び図-3.20参照)

偏心曲げモーメントの大きさによらず、正負交番載荷と偏心曲げモーメントが作用する方向にのみ載荷した場合を比較してみると、一方向にのみ載荷した方が、荷重が最大荷重付近で安定している範囲が長くなる。これは、損傷の進展に対応しており、一方向載荷の方が損傷の進展が遅くなるためであり、荷重~変位の履歴曲線は載荷方法の影響を大きく受ける。

(e) 載荷繰返回数の影響 (図-3.20参照)

載荷繰返回数を10回と3回の場合を比較してみると、繰返回数10回の方が荷重が最大値付近で安定している範囲が短くなる。

2) 橋軸方向載荷 (図-3.21参照)

橋軸方向に載荷した場合には、 r_{ML} の影響はあまり大きくない。

(2) 変形性能及び動的耐力

表-3.2は、以上の実験供試体に対する変形性能及び動的耐力をまとめて示したものである。

実験では、作業工程上、供試体を反力壁に固定し、その後水平載荷用のジャッキを荷重0で固定した。この後に、軸力載荷装置により軸力と偏心曲げモーメントを載荷した。この際には、水平載荷用のジャッキには、ある反力が生じている。このため、実験時の荷重~変位の関係は、図-3.22のように示すことができる。

したがって、表-3.2に示す偏心曲げモーメントを受ける場合の変形性能及び動的耐力については次式のように定義して算出した。

① 偏心曲げモーメントが増加する方向

$$\text{じん性率 } \mu : \mu = (\delta_{u1} - \delta_1) / (\delta_{y1} - \delta_1)$$

$$\text{耐力} : P_{max}/P_y = P_{max1}/P_y$$

ここで、

δ_y : 降伏変位

δ_u : 終局変位

δ_0 : 初期変位 (偏心曲げモーメントが増加する方向を正)

P_{max1} : 最大荷重

P_{y2} : 降伏荷重

② 偏心曲げモーメントが減少する方向

じん性率 μ : $\mu = \delta_{u2}/\delta_{y2}$

$$\text{耐力} : P_{max}/P_y = P_{max2}/P_{y2}$$

P_{max2} : 最大荷重

P_{y2} : 降伏荷重

表-3. 2の結果をまとめると以下ようになる。

1) 橋軸直角方向載荷

(a) 偏心曲げモーメント比 r_{ML} の影響

同一の偏心曲げモーメントを考慮して設計した供試体で r_{ML} を変化させた場合には、 $r_{ML}=1.0$ から順次小さくなるにつれて、偏心曲げモーメントが増加する方向に対するじん性率は増加するが、一方、偏心曲げモーメントが減少する方向にはじん性率は減少する。

降伏荷重と最大荷重の比は、偏心曲げモーメントが増加する方向では1.14~1.32であるが、偏心曲げモーメントが減少する方向では1.03~1.16と小さくなる。

(b) 偏心曲げモーメント比 r_{MD} の影響

偏心曲げモーメントが増加する方向では、 r_{MD} が小さくなると、それだけじん性率が減少する。ただし、 r_{MD} が0.69と0.55ではほとんど変わらないが、 r_{MD} が0.51よりも小さくなるとじん性率は約半分に減少する。これは、 r_{MD} が小さくなると偏心曲げモーメントに抵抗するための引張鉄筋量も増加するため、引張鉄筋量の影響と見ることもできる。一方、偏心曲げモーメントが減少する方向では、 r_{MD} が小さくなると、逆にじん性率は大きくなる。

(c) 帯鉄筋の影響

帯鉄筋を2倍にした場合には、偏心曲げモーメントが増加する方向では、じん性率は12%増加する。一方、偏心曲げモーメントが減少する方向ではほとんど同じである。大きくはないが帯鉄筋を多く配筋することによりじん性率が向上する。

(d) 一方向載荷の影響

一方向にのみ載荷した場合には、両方向載荷よりも一方向載荷の場合がじん性率は小さく求められたが、これは一方向載荷の場合が降伏変位が大きく求められたためである。

(e) 載荷繰返回数の影響

じん性率及び耐力から見た場合、載荷回数を10回とした場合と3回とした場合の違いは見られない。

2) 橋軸方向載荷

橋軸方向に載荷した場合には、 r_{ML} の影響は大きくない。

表-3.1(1) 動的載荷実験による損傷の進展状況

載荷段階	P-59	P-60	P-61	P-62	P-63	P-64	P-65	P-66
0.5δ。	引張側にわずかなひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	斜めのひびわれ発生	斜めのひびわれ発生
1δ。	変化無し	引張側のひびわれ増加	引張側のひびわれ増加	引張側のひびわれ増加	引張側のひびわれ増加	引張側のひびわれ増加	ひびわれ増加	ひびわれ増加
2δ。	引張側のひびわれ増加	引張側のひびわれ増加	ひびわれ増加	引張、圧縮側双方でひびわれ増加	ひびわれ増加	ひびわれ増加	ひびわれ増加	ひびわれ増加
3δ。	ひびわれ、ひびわれ幅増加	ひびわれ、ひびわれ幅増加、圧縮側に斜めひびわれ発生	ひびわれ増加、ひびわれ幅拡大	ひびわれ増加	ひびわれ、ひびわれ幅増加、圧縮側で斜めのひびわれ発生	ひびわれ、ひびわれ幅増加	ひびわれ、ひびわれ幅増加	ひびわれ、ひびわれ幅増加
4δ。	斜めのひびわれが発生、損傷範囲拡大	圧縮側で圧壊発生、損傷範囲拡大	圧縮側で斜めのひびわれ発生、損傷範囲拡大	圧縮側で斜めのひびわれが発生	圧縮側で圧壊発生、損傷範囲拡大、圧縮側がかぶりコンクリートはらみ出し	圧縮側で斜めのひびわれ発生	反加振機側の基部のかぶりコンクリートがわずかに剥離	反加振機側の基部のかぶりコンクリートがわずかに剥離
5δ。	損傷範囲拡大	圧縮側で圧壊、損傷範囲拡大、圧縮側鉄筋1本破断	斜めのひびわれ増加、圧縮側のかぶりコンクリート剥離	圧縮側で斜めのひびわれ増加、圧縮側の基部でかぶりコンクリートのはらみ発生	圧縮側で圧壊、基部で圧壊し、橋脚がずれる変形が発生	圧縮側で斜めのひびわれ増加	反加振機側のかぶりコンクリート剥離	反加振機側のかぶりコンクリート剥離
6δ。	圧縮側のかぶりコンクリート剥離		圧縮側のかぶりコンクリート剥離、圧縮側鉄筋1本破断	圧縮側で圧壊発生、損傷範囲が拡大、圧縮側で鉄筋2本破断	損傷拡大、軸力載荷装置のリミッター作動により途中載荷中止	圧縮側でかぶりコンクリート剥離	加振機側の基部のかぶりコンクリート剥離	加振機側の基部のかぶりコンクリート剥離
7δ。	損傷拡大、圧縮側で鉄筋5本破断		圧縮側損傷拡大、圧縮側鉄筋3本破断、基部が圧壊	圧縮側で圧壊、2段目の帯筋が伸びる		圧縮側損傷拡大、圧縮側鉄筋3本破断	鉄筋の座屈、帯鉄筋の変形	鉄筋の座屈、帯鉄筋の変形
8δ。	損傷拡大						損傷拡大、加振機側3本、反加振機側2本鉄筋破断	損傷拡大、加振機側3本、反加振機側2本鉄筋破断

表-3.1(2) 動的載荷実験による損傷の進展状況

載荷段階	P-69	P-70	P-72	P-73	P-74	P-75
0.5δ。	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生	引張側にひびわれ発生
1δ。	引張側のひびわれ増加、圧縮側にはひびわれなし	引張側のひびわれ増加、圧縮側にひびわれ発生	引張側のひびわれ増加、圧縮側にはひびわれなし	引張側のひびわれ増加	圧縮側にもひびわれ発生	引張側のひびわれ増加
2δ。	引張側のひびわれ増加、圧縮側にはひびわれなし	ひびわれ増加	圧縮側にもひびわれ発生、斜めひびわれの発生	引張側のひびわれ増加、圧縮側ひびわれなし	ひびわれ増加	ひびわれ増加
3δ。	ひびわれ増加、圧縮側にもひびわれ発生	ひびわれ増加	ひびわれ増加	ひびわれ増加、圧縮側で斜めのひびわれ発生	斜めのひびわれ増加	斜めのひびわれ発生、ひびわれ増加、圧壊発生
4δ。	斜めのひびわれが発生	圧縮側で斜めのひびわれ発生	ひびわれ増加	圧縮側でひびわれがわずかに発生	ひびわれ増加	軸力載荷装置のリミッターのため載荷途中中止
5δ。	圧縮側で圧壊、かぶりコンクリートの剥離	圧縮側で斜めのひびわれ増加	ひびわれ増加	圧縮側でひびわれ増加	ひびわれ幅増加	
6δ。	損傷範囲拡大、圧縮側コンクリートの剥離拡大	圧縮側のかぶりコンクリート剥離	圧縮側かぶりコンクリートわずかに剥離	ひびわれわずかに増加	ひびわれ、ひびわれ幅増加、圧縮側でかぶりコンクリート剥離	
7δ。	損傷範囲拡大、引張側もかぶりコンクリート剥離、鉄筋1本破断	圧縮側で圧壊、損傷範囲拡大	圧縮側かぶりコンクリート剥離、鉄筋露出	圧縮側でかぶりコンクリート剥離	損傷範囲拡大、圧縮側で鉄筋6本破断	
8δ。	損傷拡大	圧縮側で損傷拡大、圧縮側鉄筋1本破断	損傷拡大	損傷拡大	圧壊、損傷拡大	
9δ。			損傷拡大	圧縮側で圧壊発生損傷拡大		
10δ。			損傷拡大	圧縮側鉄筋1本破断		
11δ。			損傷拡大、圧縮側鉄筋2本破断	圧壊、損傷拡大		
12δ。				圧壊、損傷拡大		
13δ。				圧壊、損傷拡大		

表-3.2 動的載荷実験から求めた橋脚の変形性能及び動的耐力
(a) 橋軸直角方向に載荷した場合

供試体 番 号	張り出しの大きさ (偏心曲げモーメント比 r_M)		偏心曲げモーメントが増加する方向						偏心曲げモーメントが減少する方向					
			変 形 性 能			動 的 耐 力			変 形 性 能			動 的 耐 力		
			降伏変位 δ_y (mm)	終局変位 δ_u (mm)	じん性率 δ_u/δ_y	降伏耐力 P_y (tf)	最大耐力 P_{max} (tf)	P_{max}/P_y	降伏変位 δ_y (mm)	終局変位 δ_u (mm)	じん性率 δ_u/δ_y	降伏耐力 P_y (tf)	最大耐力 P_{max} (tf)	P_{max}/P_y
P-59	偏心曲げモーメントが0となるように軸力載荷 ($r_{MD}=0.55, r_{ML}=1.0$)		22.6	86.5	3.83	18.4	20.9	1.14	17.1	87.5	5.12	10.9	12.6	1.16
P-60	偏心曲げモーメントが小さい場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.69$)		16.0	88.1	5.51	10.2	12.3	1.21	14.5	65.0	4.48	17.6	18.6	1.06
P-61	偏心曲げモーメントが中程度の 場合 ($r_{MD}=0.55$)	標準ケースよりも偏心曲げモーメントが小さくなるように軸力載荷 ($r_{ML}=0.70$)	15.4	63.9	4.15	13.2	15.6	1.18	14.1	57.0	4.04	18.2	19.4	1.07
P-62		標準ケース ($r_{ML}=0.55$)	12.7	73.2	5.76	10.3	13.6	1.32	10.7	37.5	3.50	22.2	23.1	1.04
P-63		標準ケースよりも偏心曲げモーメントが大きくなるように軸力載荷 ($r_{ML}=0.40$)	10.8	65.8	6.09	9.3	12.2	1.31	9.4	30.0	3.19	26.3	27.0	1.03
P-64	偏心曲げモーメントが大きい場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.51$)		19.7	53.9	2.73	16.8	18.3	1.09	10.1	72.5	7.18	23.5	25.8	1.10
P-69	偏心曲げモーメントがより大きい場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$)		14.1	47.5	3.37	12.3	18.1	1.47	3.1	51.0	16.45	29.7	33.3	1.12
P-70	偏心曲げモーメントが中程度の 場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.55$)	偏心曲げモーメントが作用する方向への一方載荷 載荷繰返回数: 10回	22.4	101.5	4.53	10.7	12.6	1.18	-	-	-	-	-	-
P-71		振動台実験から得られた橋脚天端変位を入力	22.4	>200.0	>8.93	15.8	19.9	1.26	-	-	-	-	-	-
P-72		載荷繰返回数: 3回	16.4	55.5	3.38	14.2	17.4	1.23	3.5	75.5	21.57	30.2	33.2	1.10
P-73	偏心曲げモーメントがより大きい 場合 ($r_{MD}=r_{ML}=0.40$)	偏心曲げモーメントが作用する方向への一方載荷 載荷繰返回数: 10回	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P-74		帯鉄筋比をP-69の2倍とした場合、載荷繰返回数: 10回	15.4	58.0	3.77	12.3	16.4	1.33	3.6	61.0	16.94	29.4	33.8	1.15

(b) 橋軸方向に載荷した場合

供試体 番 号	張り出しの大きさ (偏心曲げモーメント比 r_M)		正 側 載 荷						負 側 載 荷					
			変 形 性 能			動 的 耐 力			変 形 性 能			動 的 耐 力		
			降伏変位 δ_y (mm)	終局変位 δ_u (mm)	じん性率 δ_u/δ_y	降伏耐力 P_y (tf)	最大耐力 P_{max} (tf)	P_{max}/P_y	降伏変位 δ_y (mm)	終局変位 δ_u (mm)	じん性率 δ_u/δ_y	降伏耐力 P_y (tf)	最大耐力 P_{max} (tf)	P_{max}/P_y
P-65	偏心曲げモーメントが中程度の 場合 ($r_{MD}=0.55$)	偏心曲げモーメントが0となるように軸力載荷 ($r_{ML}=1.0$)	17.1	70.0	4.09	17.9	21.7	1.21	14.6	75.5	5.17	16.5	20.9	1.27
P-66		標準ケース ($r_{ML}=0.55$)	14.0	82.0	5.86	15.3	21.0	1.37	21.1	76.0	3.60	16.6	19.2	1.16
P-75	偏心曲げモーメントがより大きい場合 ($r_{MD}=0.40$)		8.8	40.0	4.55	20.4	30.4	1.49	9.0	40.0	4.44	20.6	29.8	1.45

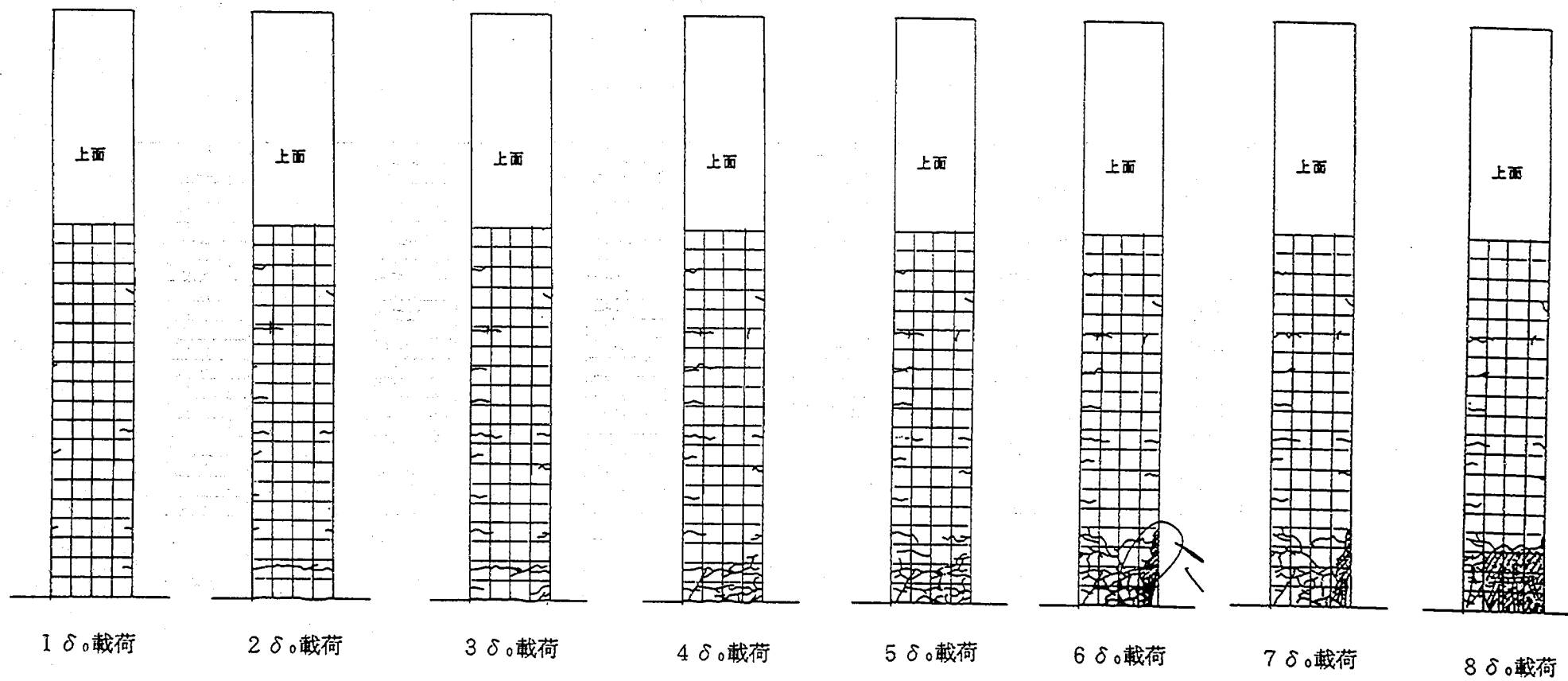


図 - 3. 1 損傷の進展状況：供試体 P - 59 ($r_{MD}=0.55$ 、 $r_{ML}=1.0$)

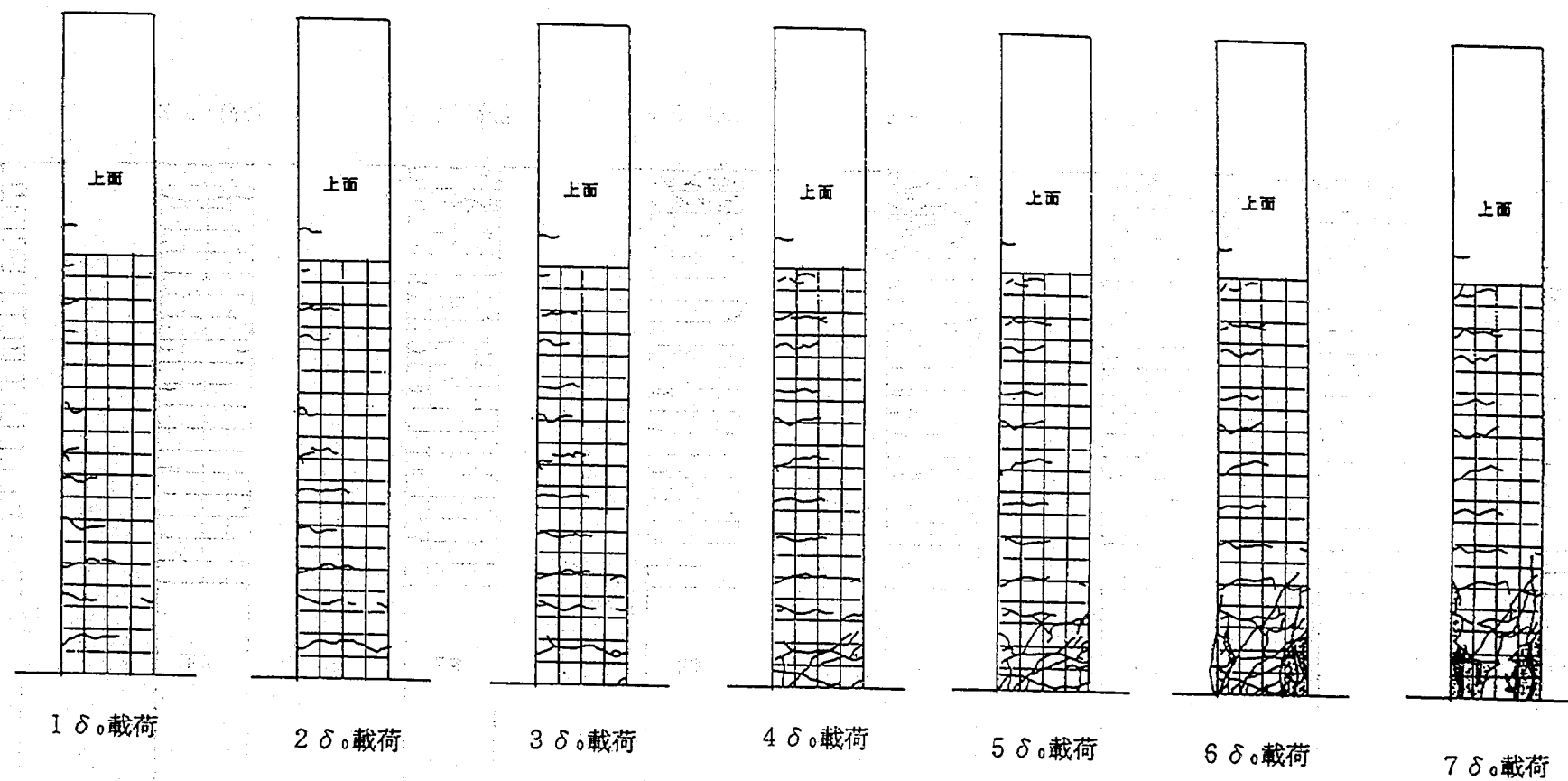


図-3. 2 損傷の進展状況：供試体P-60 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.689$)

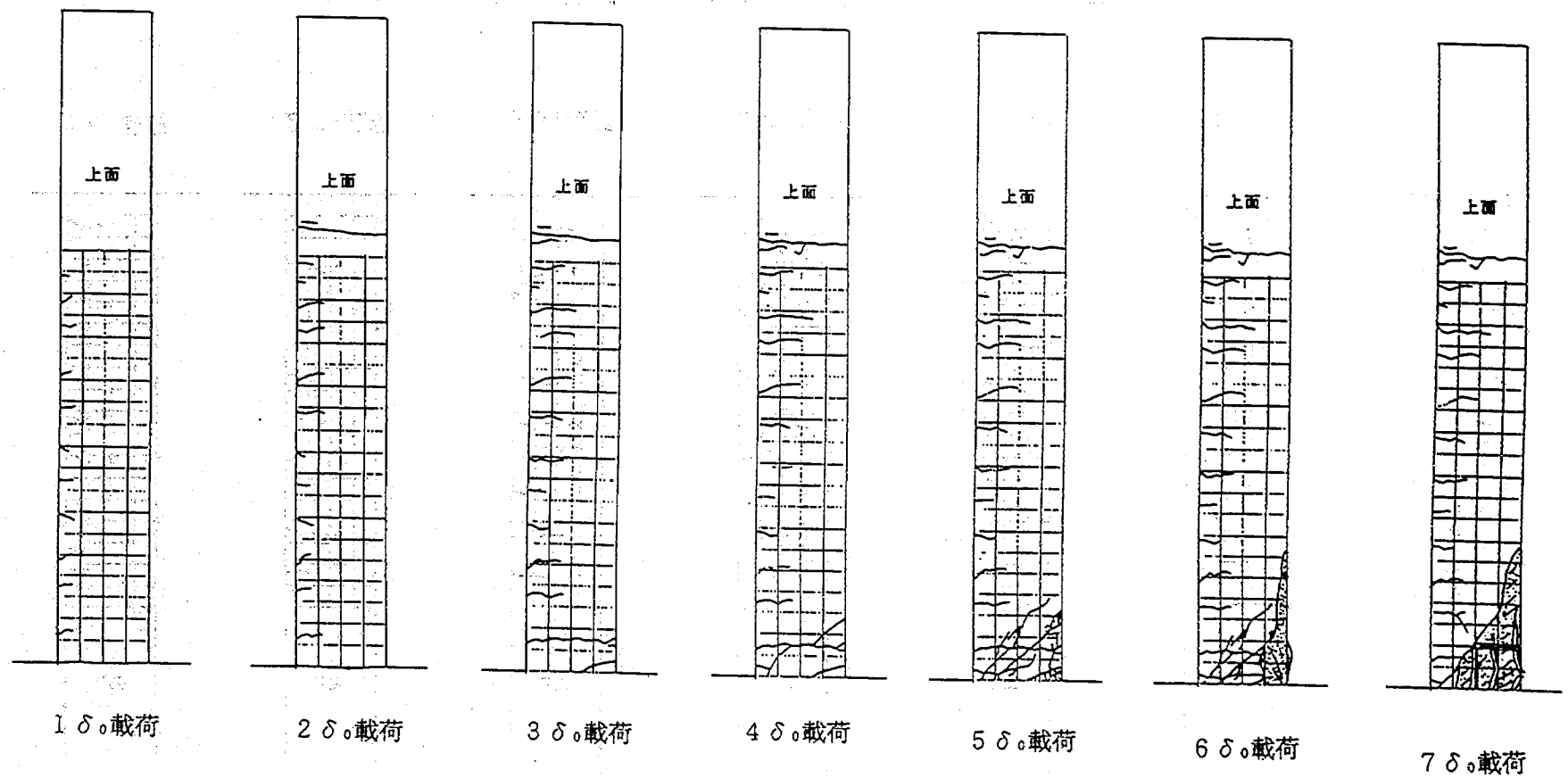


図-3.3 損傷の進展状況：供試体P-61 ($r_{MD}=0.55$ 、 $r_{ML}=0.70$)

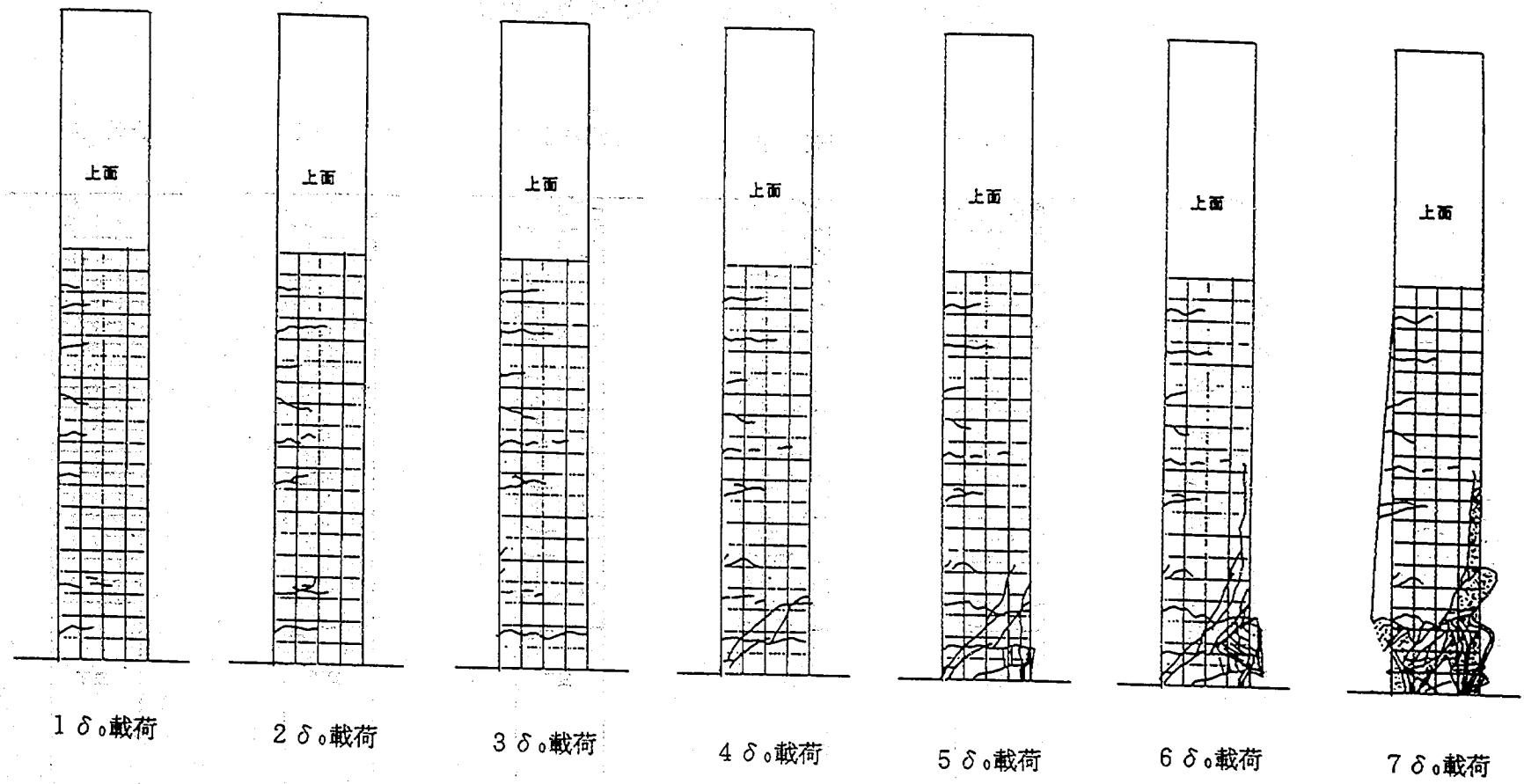


図-3.4 損傷の進展状況：供試体P-62 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.55$)

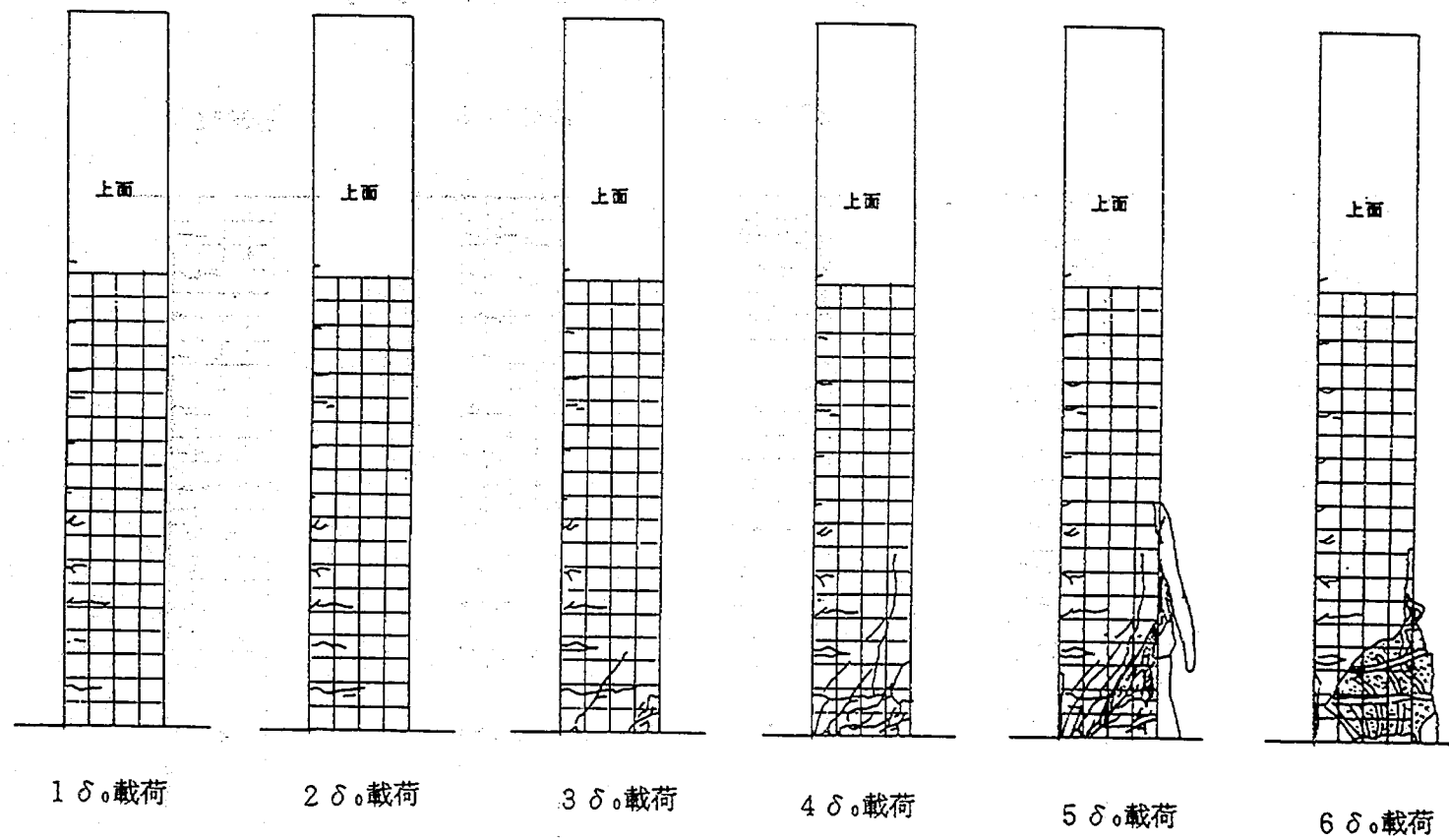


図-3. 5 損傷の進展状況：供試体P-63 ($r_{MD}=0.55$ 、 $r_{ML}=0.40$)

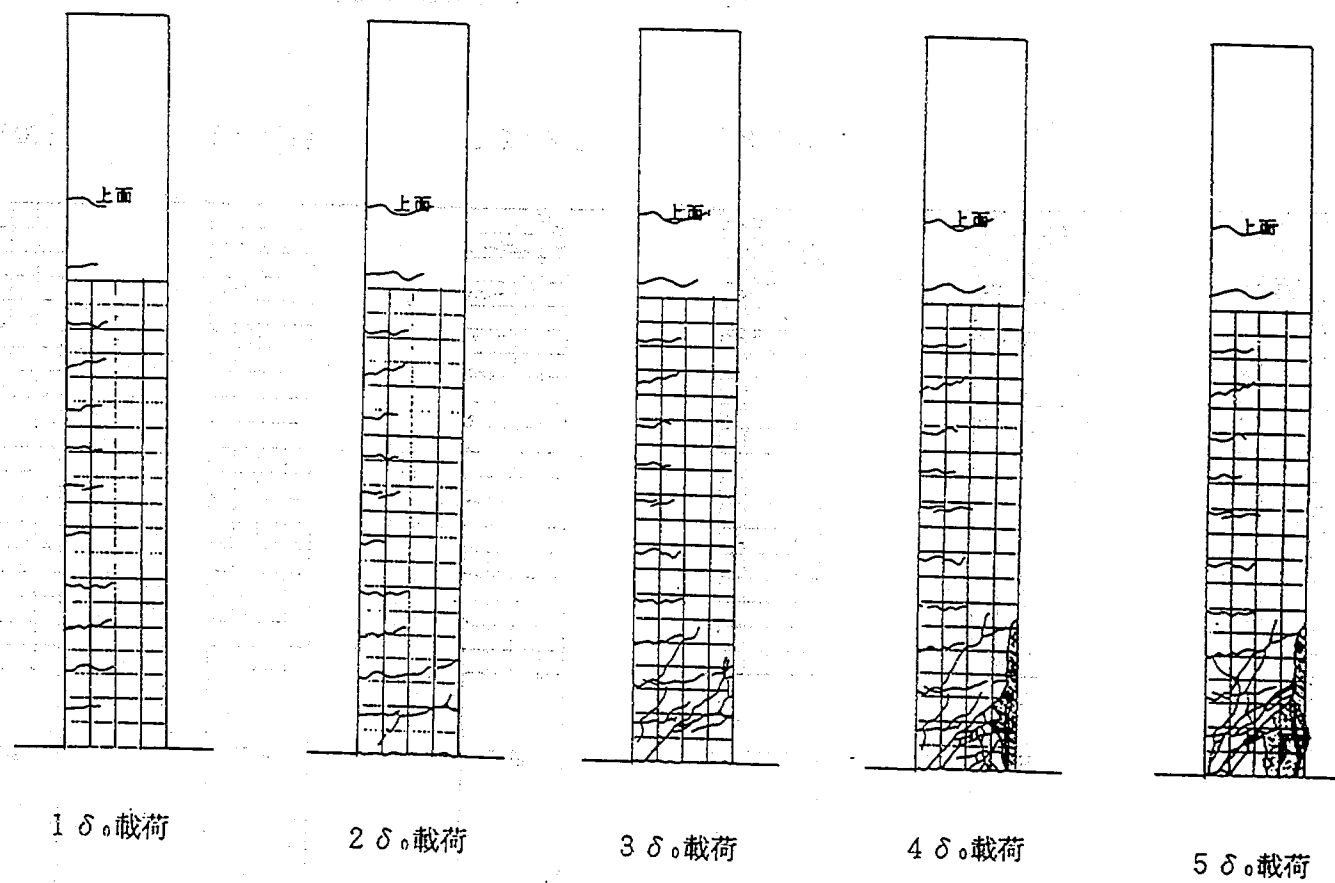


図-3.6 損傷の進展状況: 供試体 P-64 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.51$)

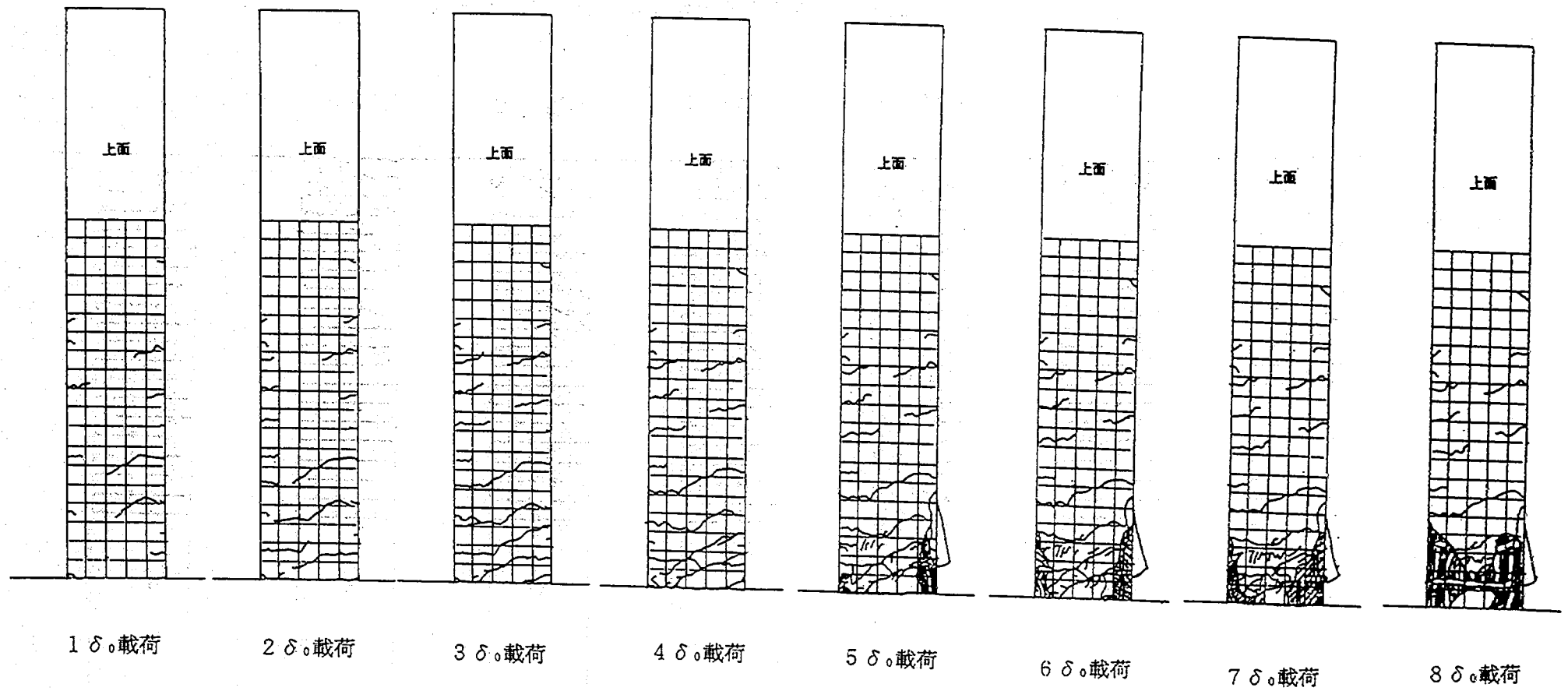


図-3. 7 損傷の進展状況：供試体P-65 ($r_{MD}=0.55$ 、 $r_{ML}=1.0$)

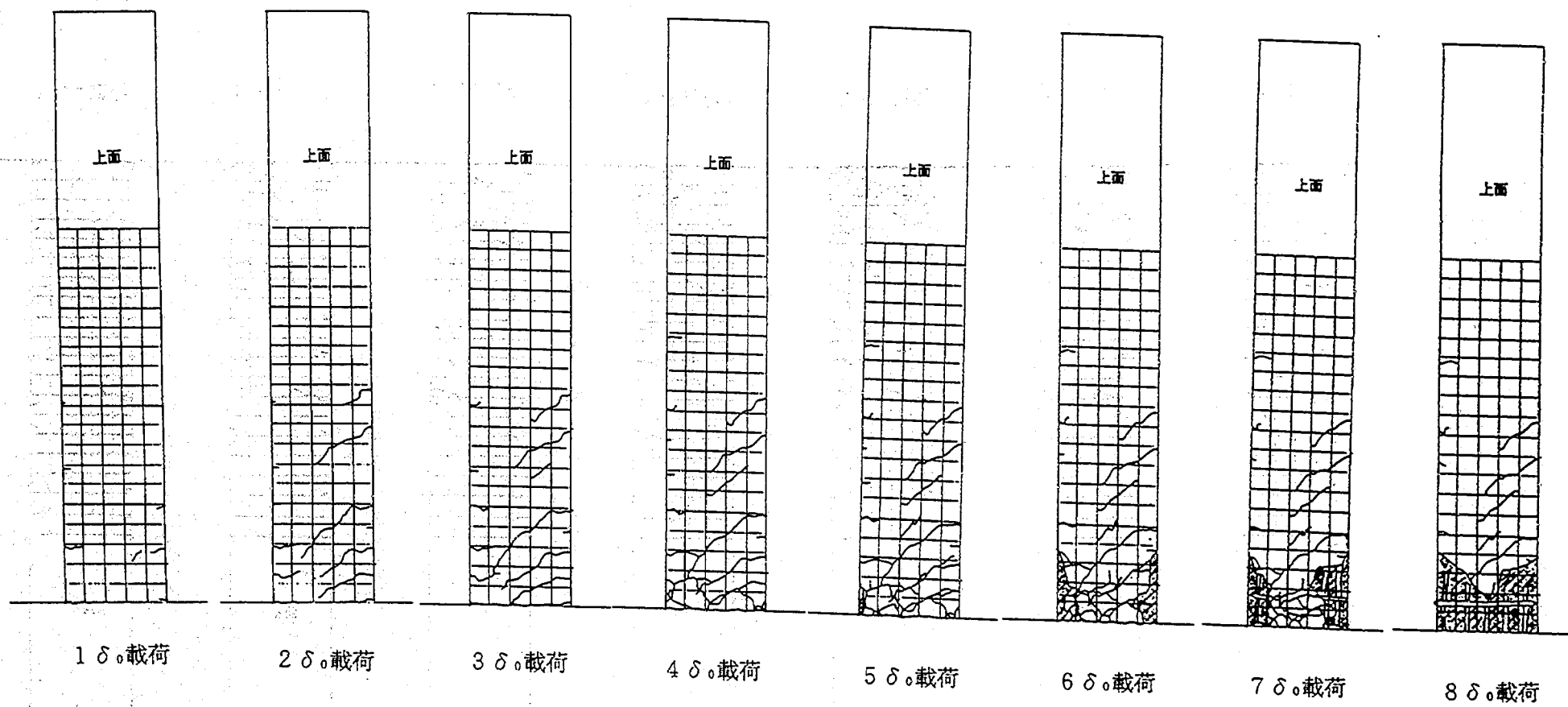


図-3.8 損傷の進展状況：供試体 P-66 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.55$)

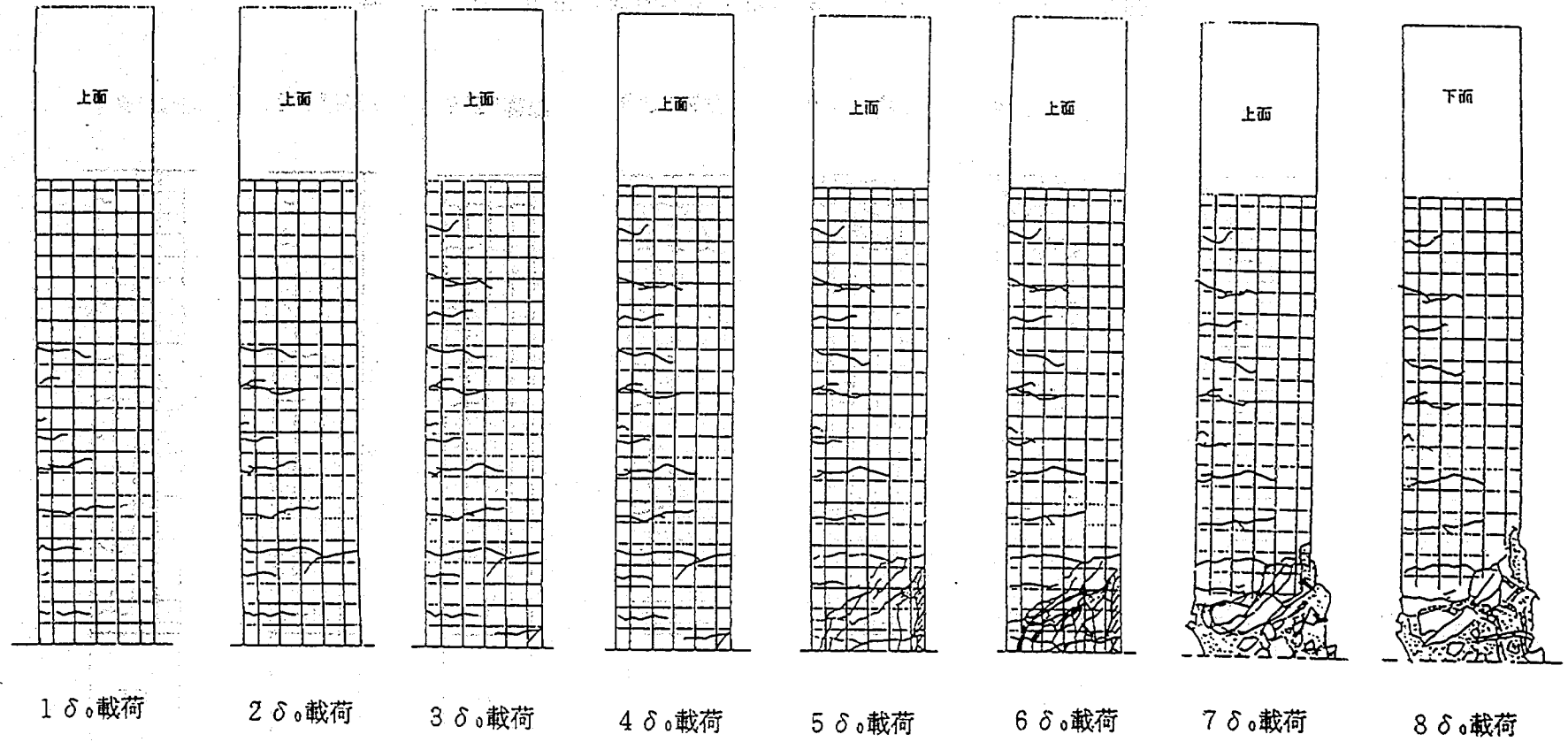


図 - 3. 9 損傷の進展状況：供試体 P - 69 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)

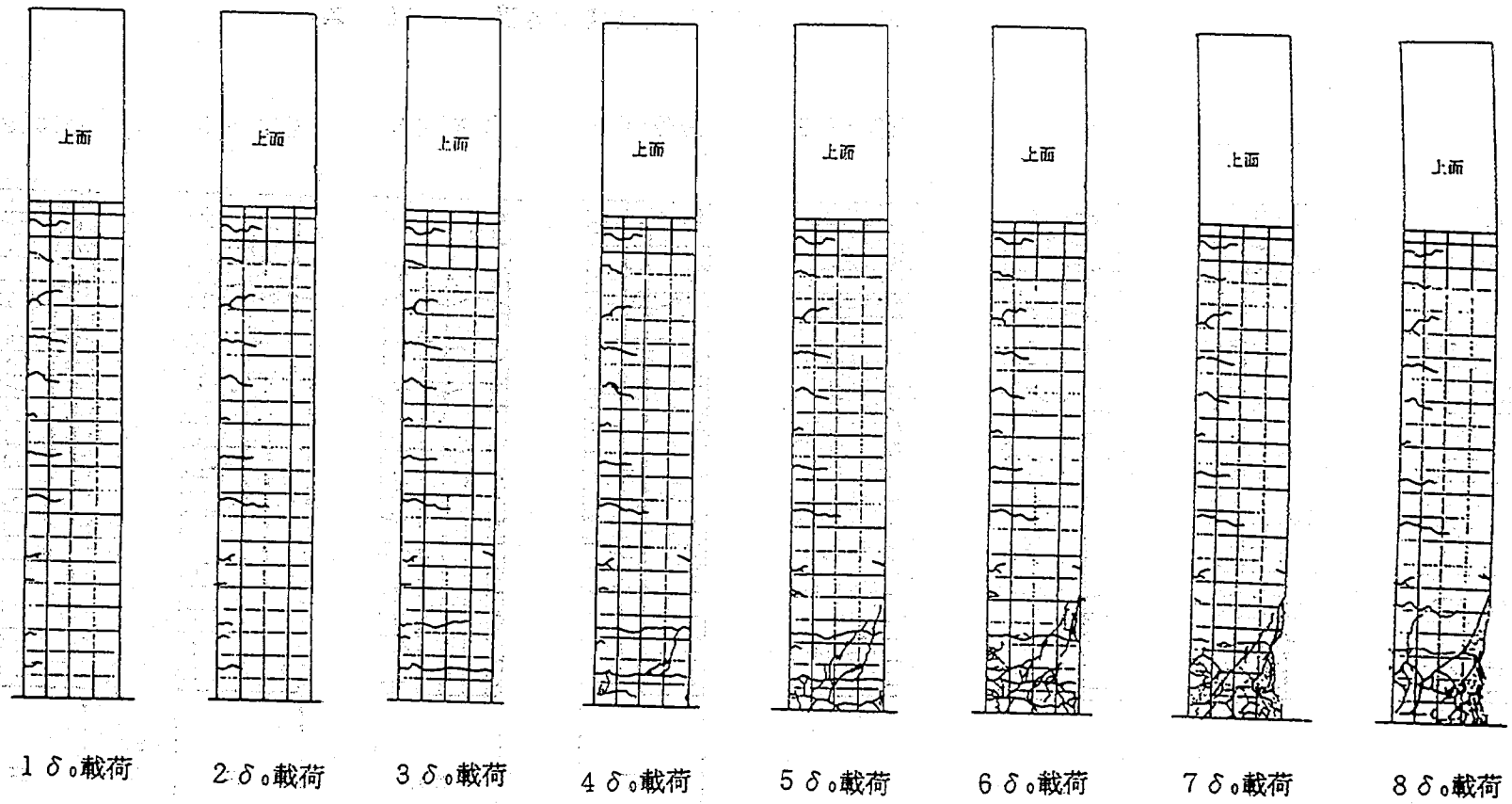


図-3.10 損傷の進展状況：供試体 P-70 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.55$)

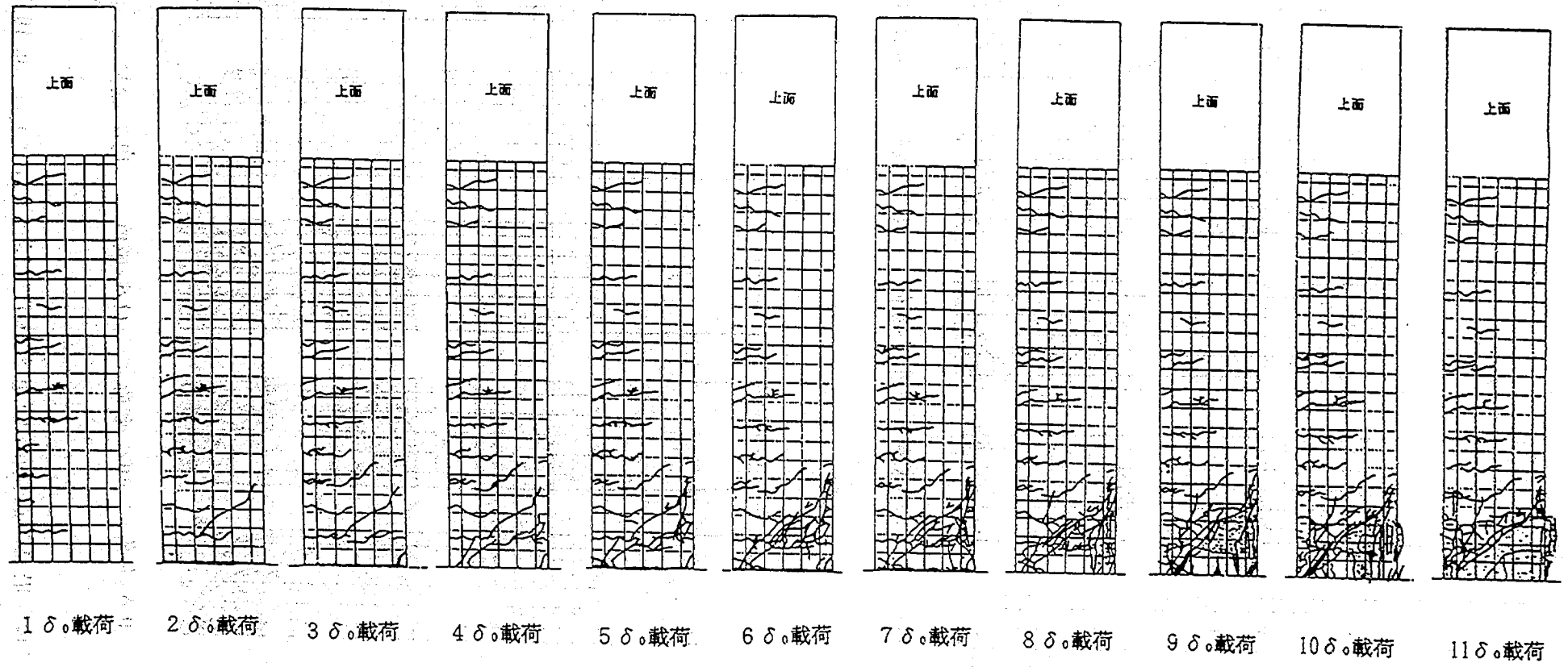
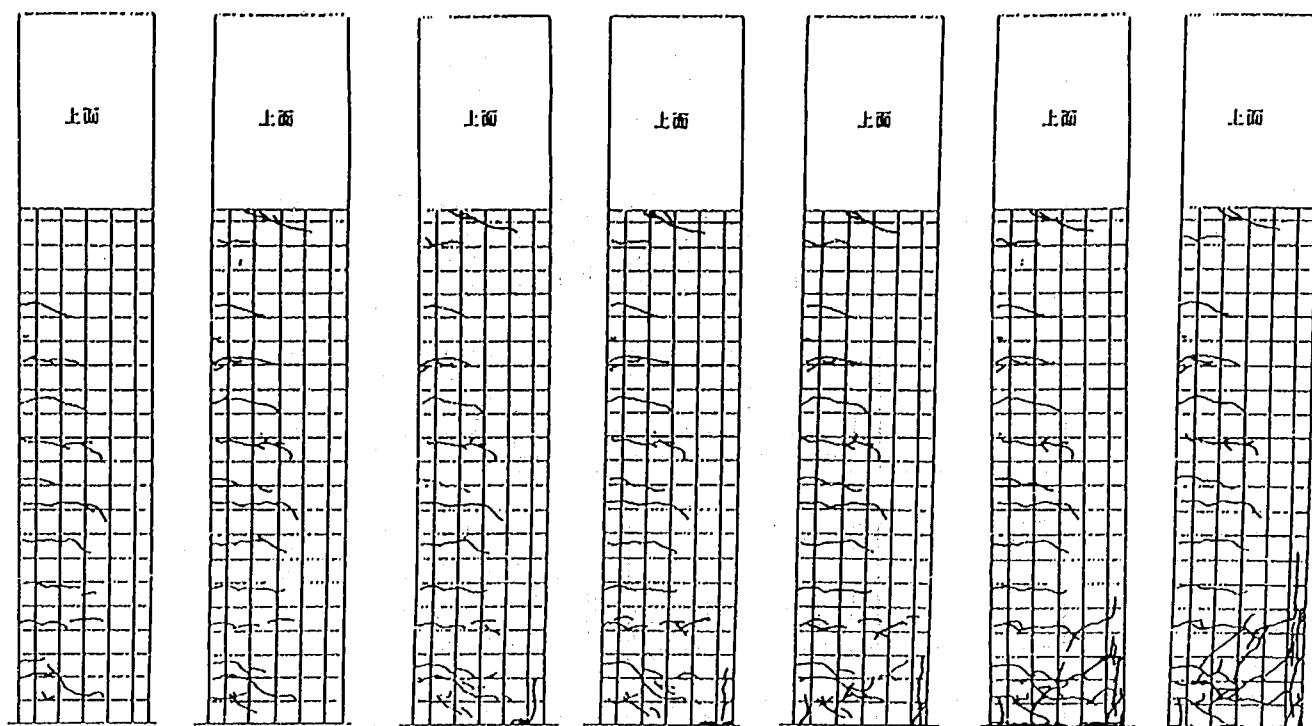
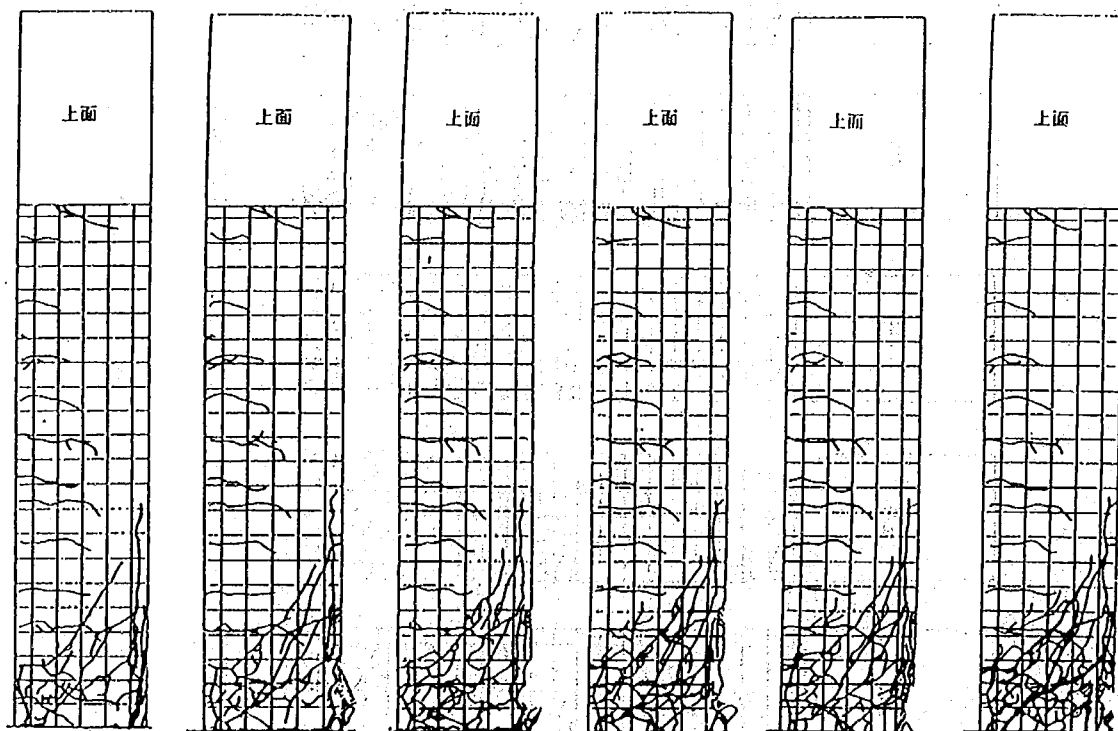


図-3.11 損傷の進展状況：供試体P-72 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)



1 δ 。載荷 2 δ 。載荷 3 δ 。載荷 4 δ 。載荷 5 δ 。載荷 6 δ 。載荷 7 δ 。載荷



8 δ 。載荷 9 δ 。載荷 10 δ 。載荷 11 δ 。載荷 12 δ 。載荷 13 δ 。載荷

図-3.12 損傷の進展状況：供試体P-73 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)

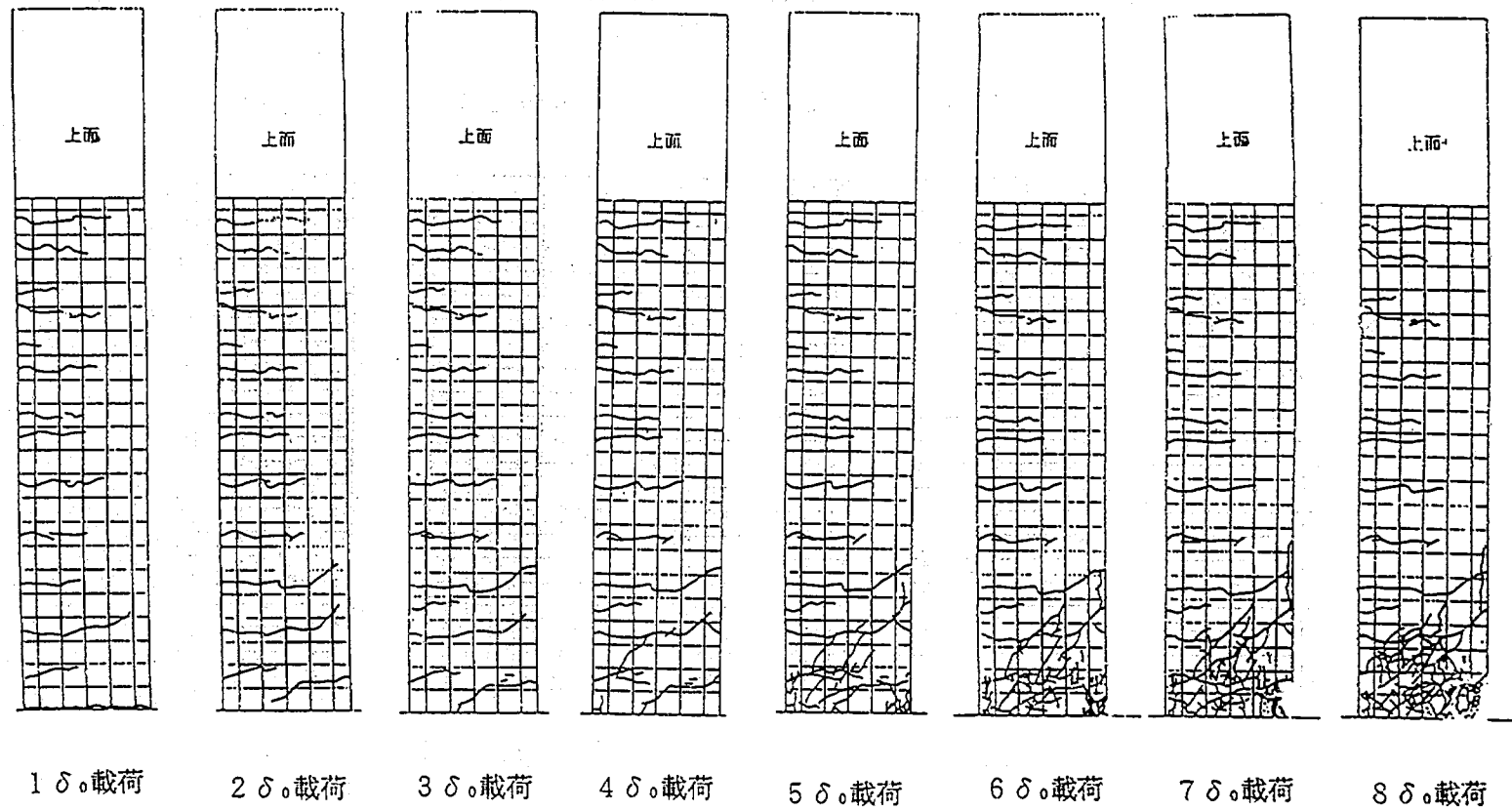


図-3.13 損傷の進展状況：供試体 P-74 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)

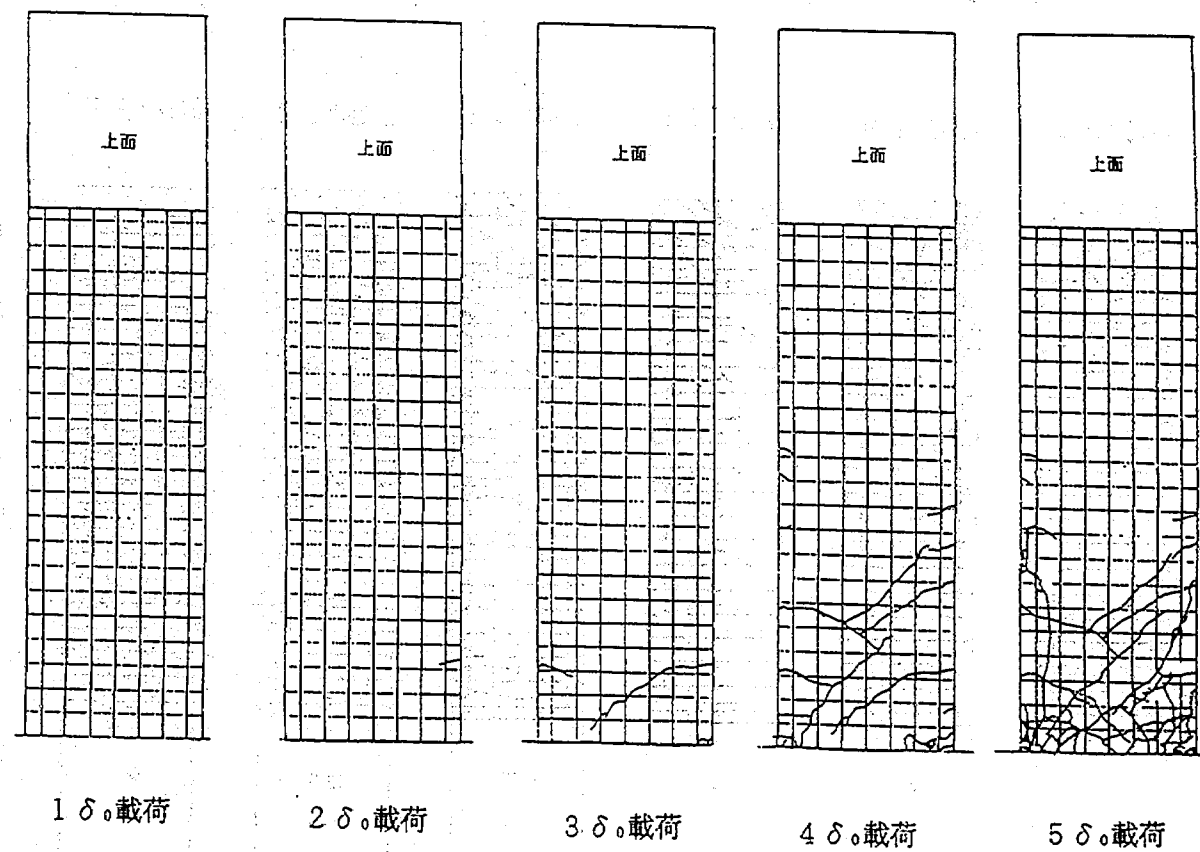
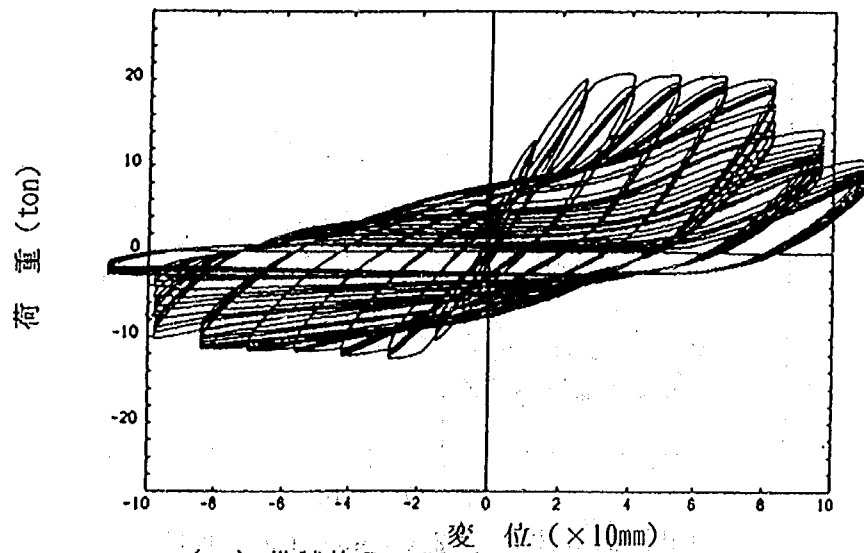
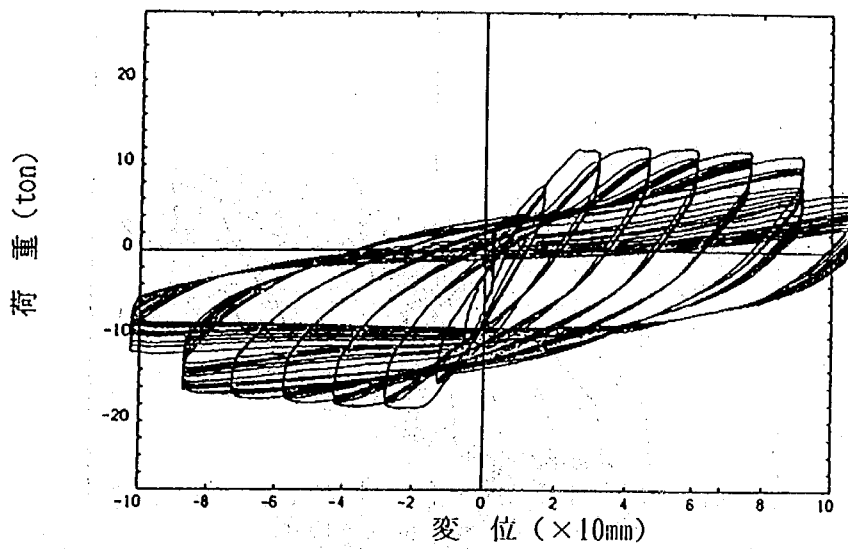


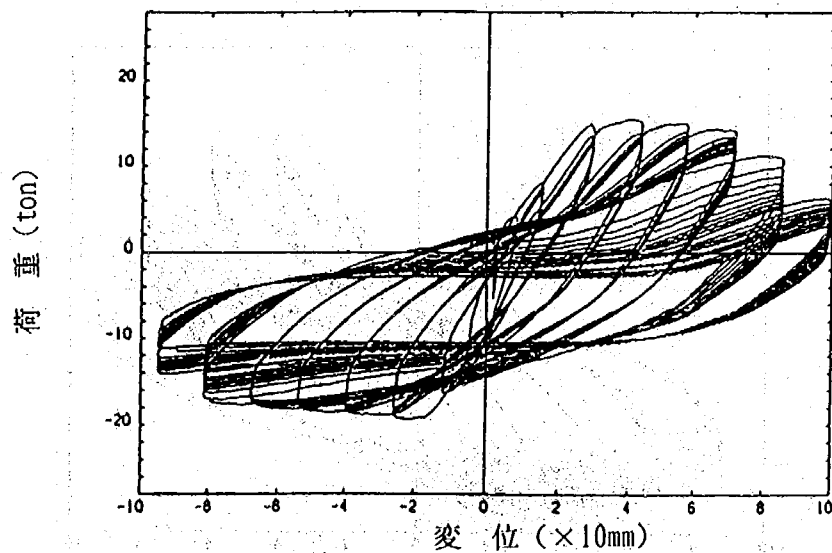
図 - 3. 14 損傷の進展状況：供試体 P - 75 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)



(a) 供試体 P-59 ($r_{MD} = 0.55$, $r_{ML} = 1.0$)

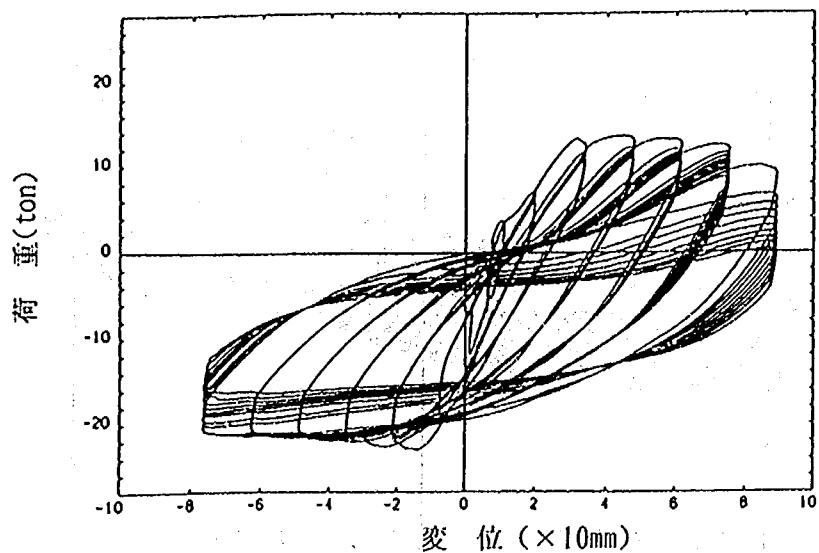


(b) 供試体 P-60 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.689$)

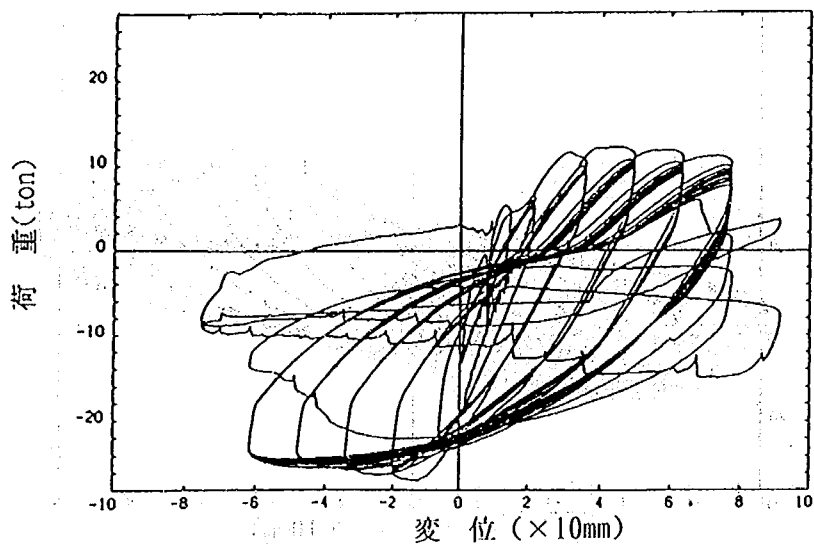


(c) 供試体 P-61 ($r_{MD} = 0.55$, $r_{ML} = 0.70$)

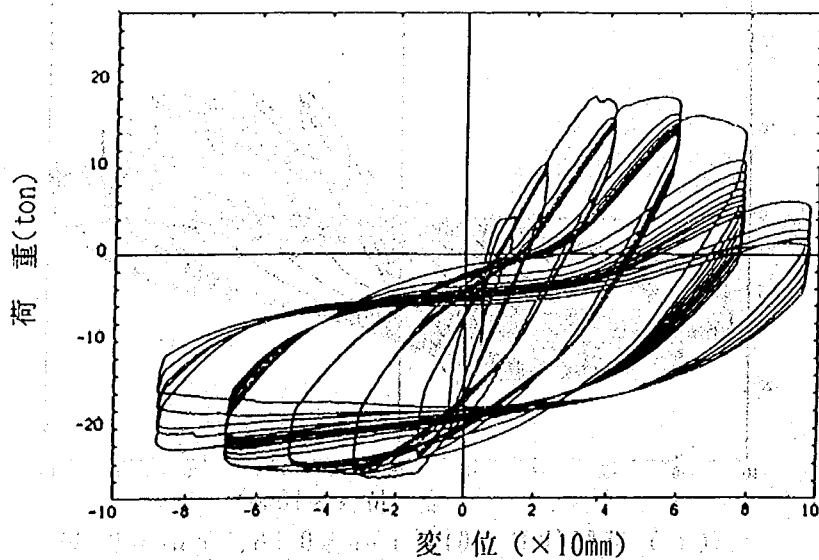
図-3.15 荷重～変位の履歴曲線(1)



(d) 供試体 P-62 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.55$)

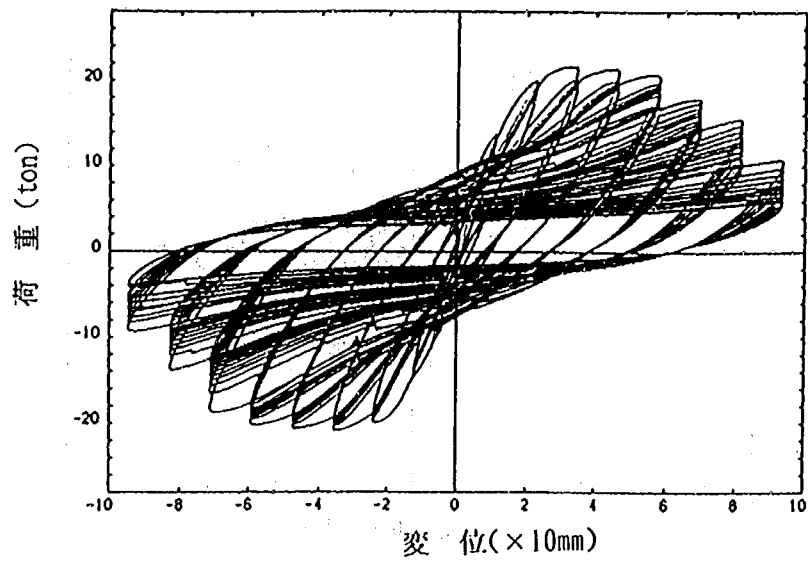


(e) 供試体 P-63 ($r_{MD} = 0.55$, $r'_{ML} = 0.40$)

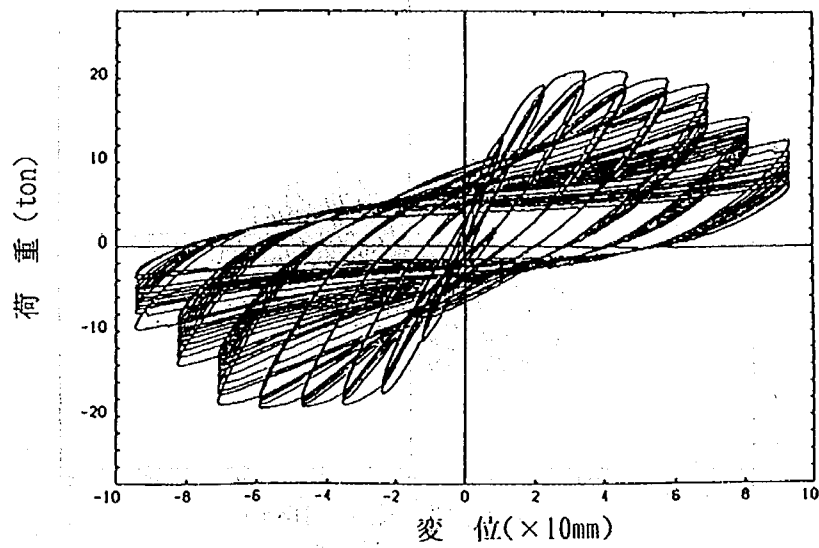


(f) 供試体 P-64 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.51$)

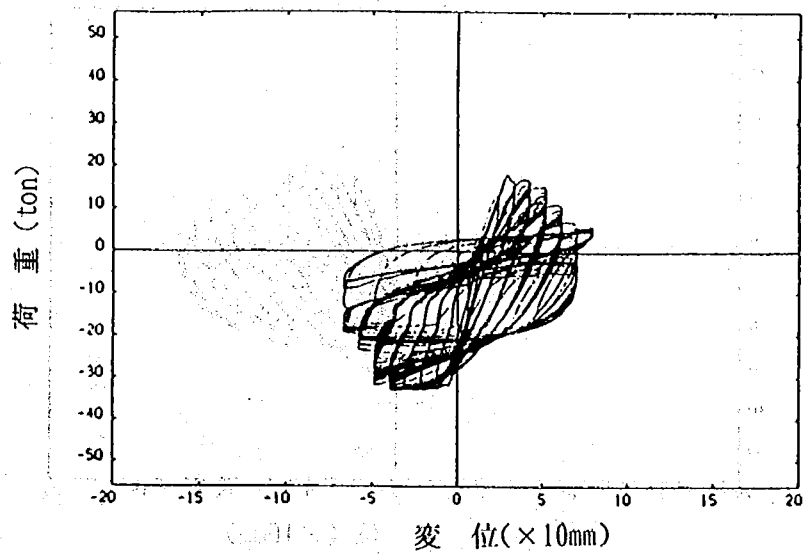
図-3.15 荷重～変位の履歴曲線(2)



(g) 供試体 P-65 ($r_{MD} = 0.55$, $r_{ML} = 1.0$)

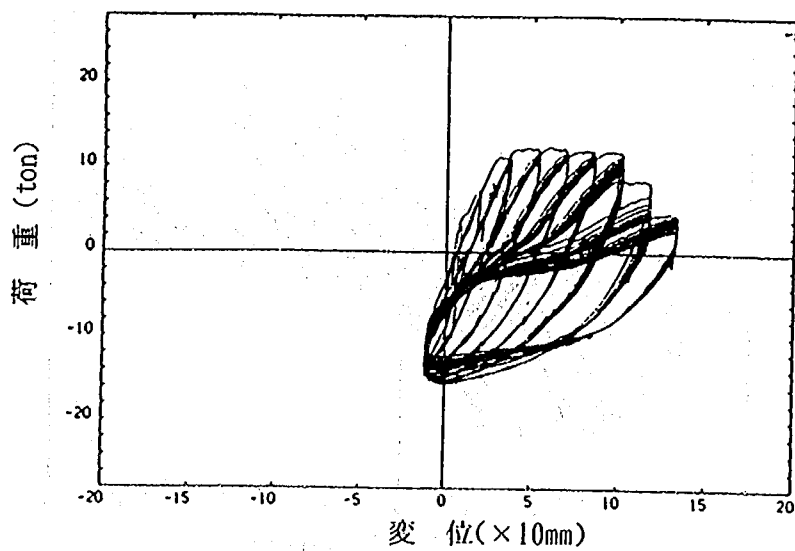


(h) 供試体 P-66 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.55$)

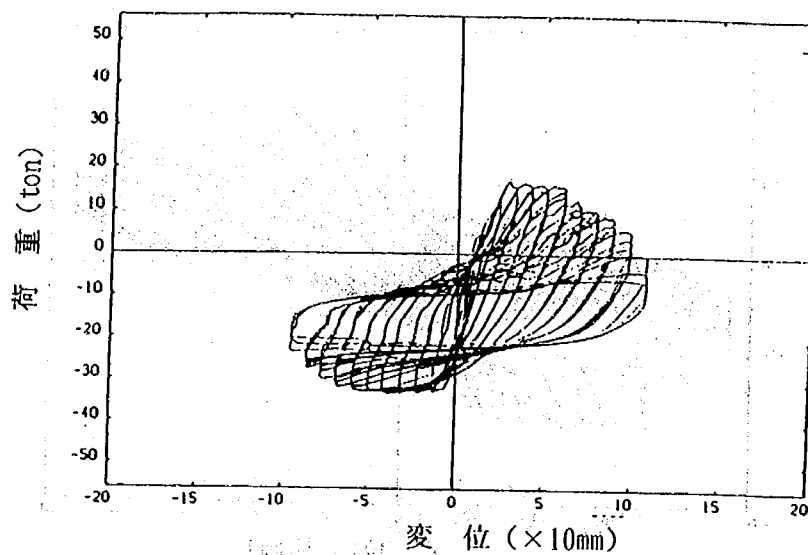


(i) 供試体 P-69 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)

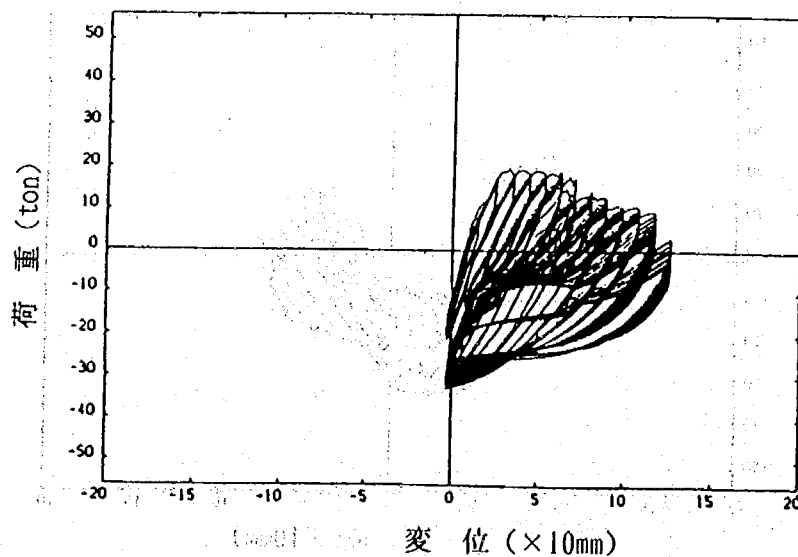
図-3.15 荷重～変位の履歴曲線(3)



(j) 供試体 P-70 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.55$)

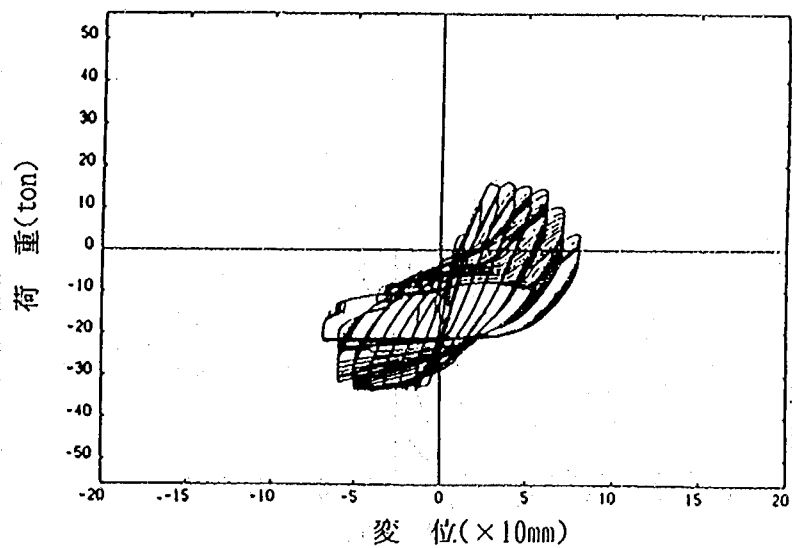


(k) 供試体 P-72 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)

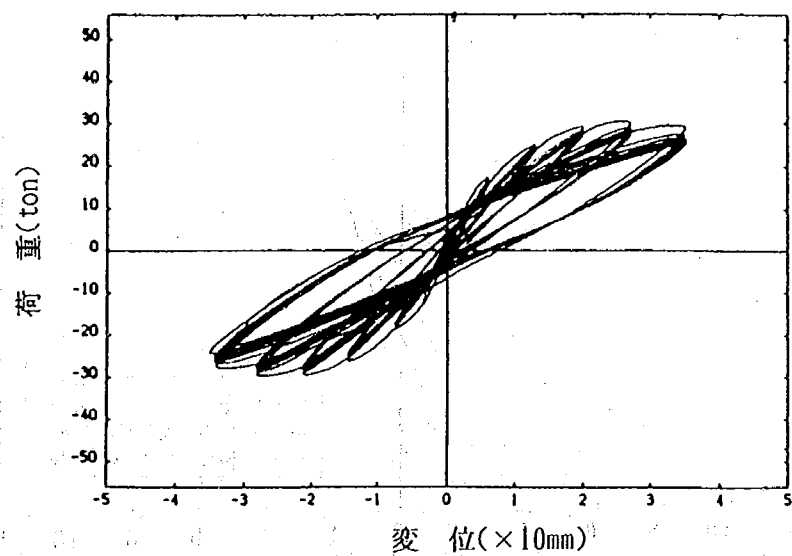


(l) 供試体 P-73 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)

図-3.15 荷重～変位の履歴曲線(4)



(m) 供試体 P-74 ($r_{MB} = r_{ML} = 0.40$)



(n) 供試体 P-75 ($r_{MD} = r_{ML} = 0.40$)

図-3.15 荷重～変位の履歴曲線(5)

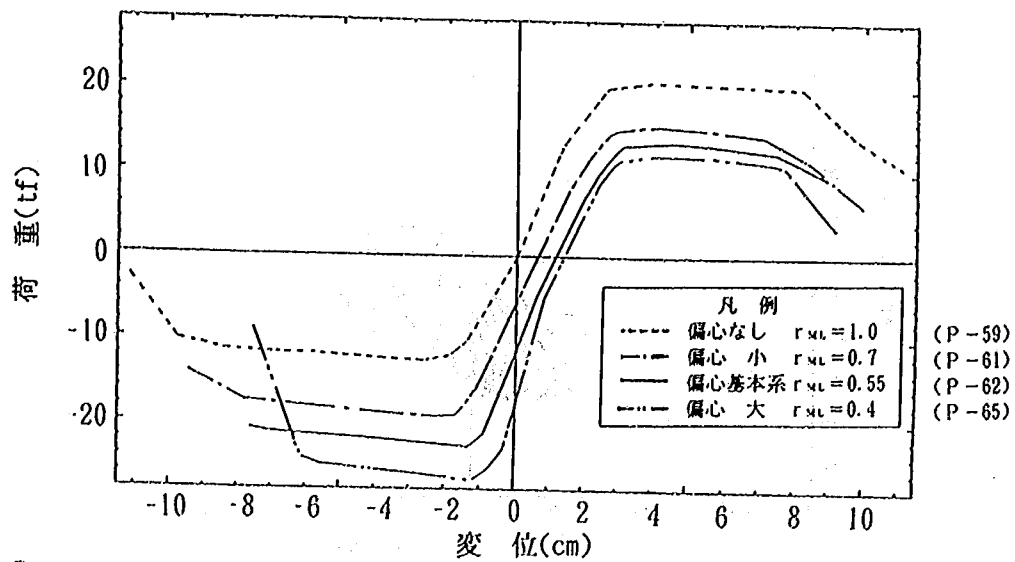


図-3.16 荷重～変位の履歴曲線の包絡線（偏心曲げモーメント比 r_{ML} の影響）

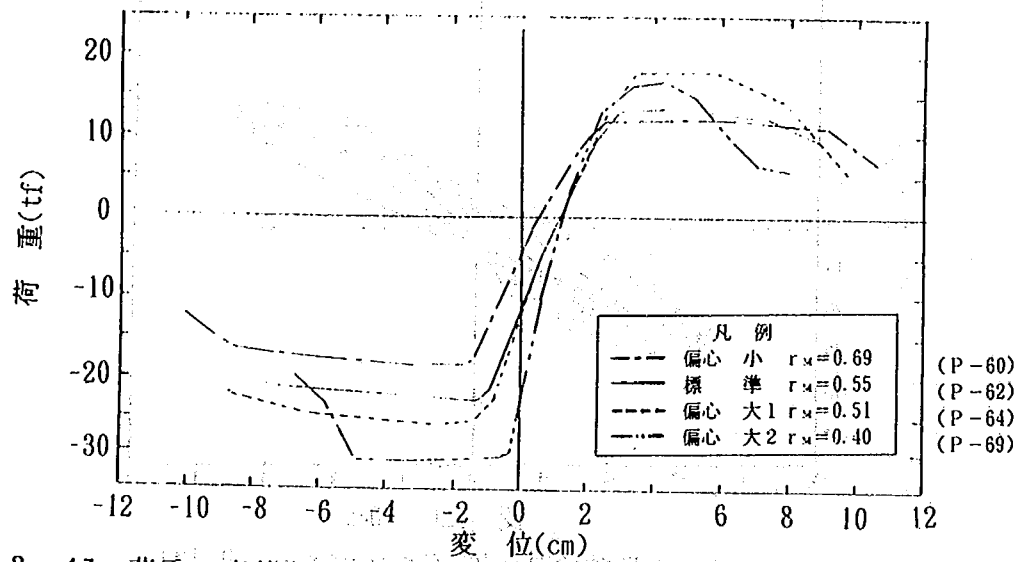


図-3.17 荷重～変位の履歴曲線の包絡線（偏心曲げモーメント比 r_{MD} の影響）

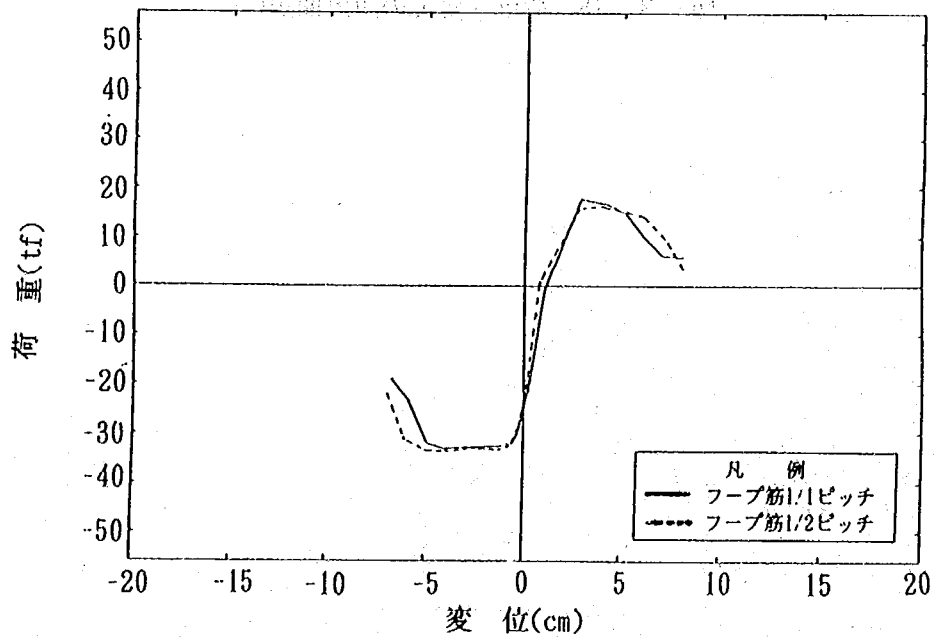


図-3.18 荷重～変位の履歴曲線の包絡線（帯鉄筋量の影響）

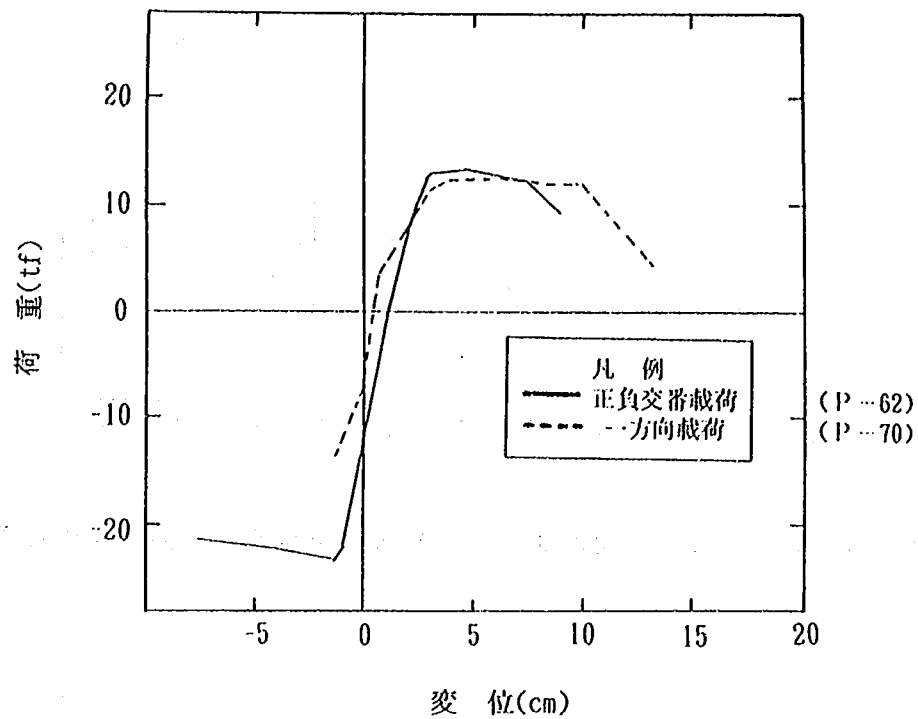


図-3.19 荷重～変位の履歴曲線の包絡線（一方向载荷の影響）

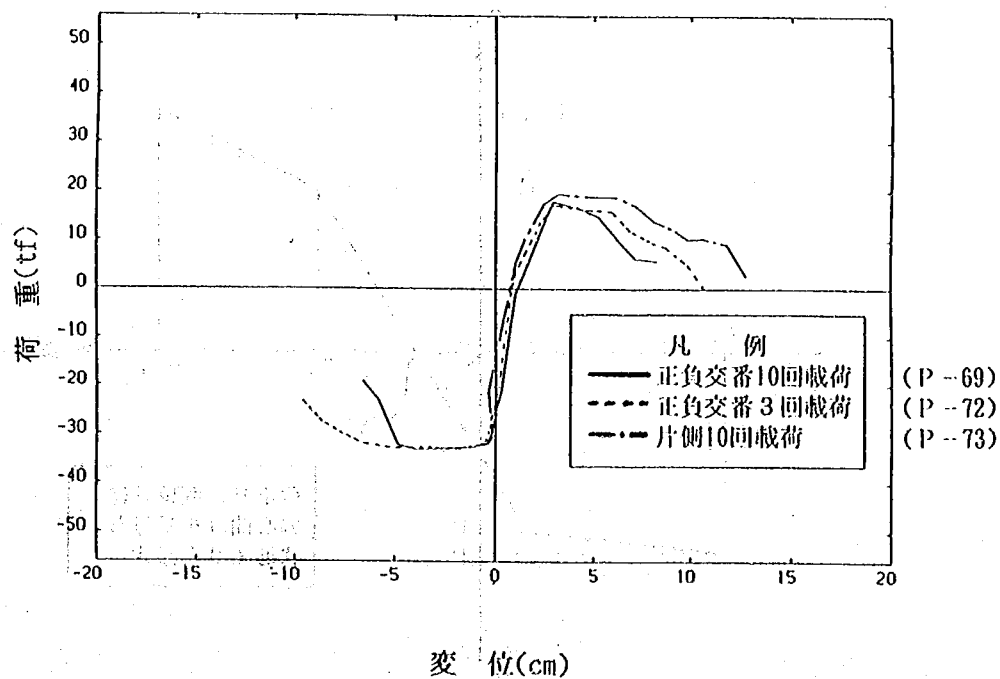


図-3.20 荷重～変位の履歴曲線の包絡線（一方向载荷、载荷回数の影響）

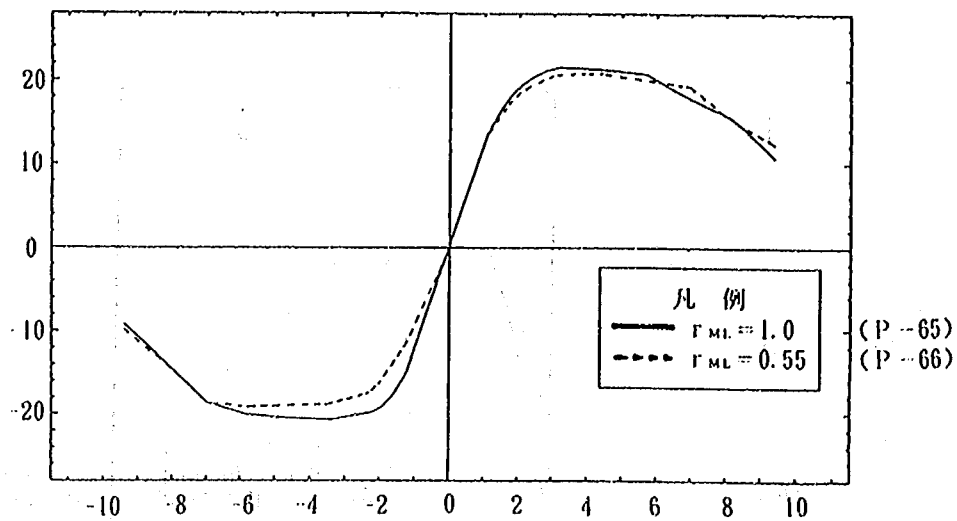


図-3.21 荷重～変位の履歴曲線の包絡線（橋軸直角方向載荷の影響）

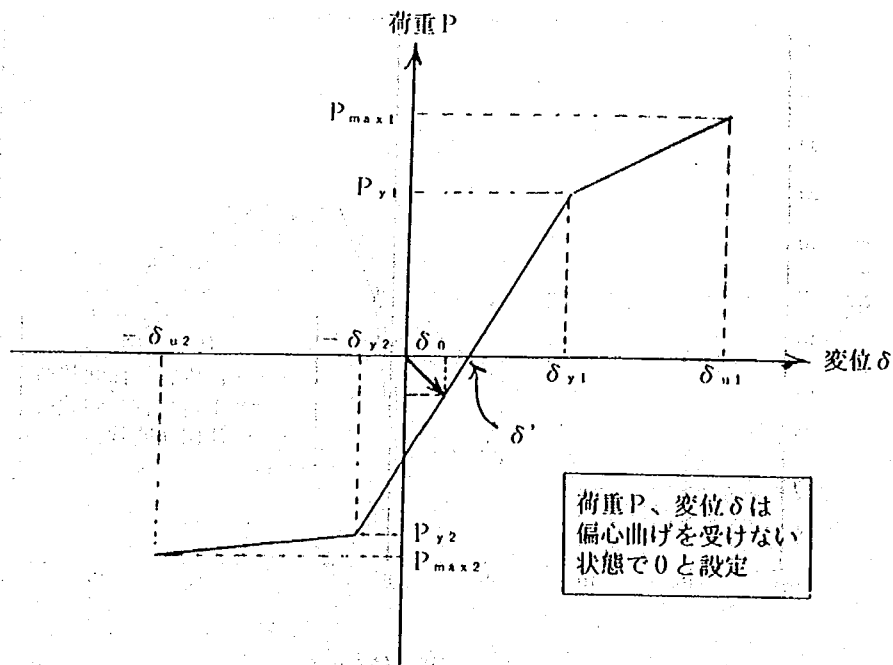


図-3.22 荷重～変位の履歴曲線の記号の定義

4. 振動台加振実験結果

4. 1 振動性状及び破壊形態

(1) 振動台加振実験

昭和58年日本海中部地震で八郎潟堤体上で観測された記録の最大加速度を約0.32 g (供試体P-67) 及び0.35 g (供試体P-68) として作用させた場合に、桁に生じた加速度と変位を図-4.1及び図-4.2に示す。また、加振後に生じた損傷を図-4.3及び図-4.4に示す。ただし、入力最大加速度を0.35 gとした場合の実際の最大加速度は812galであるが、これは一度だけのスパイクであり、橋脚を加振する有効な入力強度としては、0.35 g程度と考えることができる。

これによれば、いずれの供試体も橋脚には正側の水平力により圧縮が生じる側でコンクリートの圧壊が生じ、この方向に残留変位を生じている。入力最大加速度を0.32 gとした場合には約10 cm、入力最大加速度を0.35 gとした場合には16 cm程度の大きな残留変位を生じている。残留変位は、加振後12秒あたりで、入力速度が最大値をとる時から急激に生じ始め、主要動が一度終る17秒あたりでは、ほぼ16 cm程度の値に達している。それ以後の加振によっては、残留変位の大きな増加は生じない。

振動台実験では、一方向に橋脚の残留変位が生じるのが特徴であるが、これは前述した動的載荷実験では変位制御により荷重を与えているために決して生じない現象である。実際の地震時の荷重のかかり方は振動台加振実験に近いわけであるから、偏心曲げモーメントが作用している場合には、一方向に残留変位が生じることに十分注意しておく必要がある。

なお、損傷形態を動的載荷実験結果と比較して見ると、正負交番載荷した供試体P-62では、偏心曲げモーメントにより引張側となる基部から圧縮側に向けて顕著な斜めのひびわれが発生したが、振動台実験では斜めのひびわれは見られるもののその程度は大きなものではない。これは、振動台実験では偏心曲げモーメントが増加する方向にのみ変形が進展し、引張側となる方向には変形は生じない。しかしながら、正負交番で強制載荷した場合には、引張側にも強制的に載荷するために、圧縮側の面に引張力による顕著な斜めのひびわれが生じたものである。これに対して、偏心曲げモーメントが増加する一方向にのみ載荷した場合には、顕著な斜めのひびわれは少なくなり、より振動台実験結果に近い破壊性状を示す。このように、載荷方法の影響を大きく受けることに注意しなければならない。

(2) 応答変位入力による動的載荷実験

図-4.5は、(1)に示した振動台実験において、入力加速度を0.35 gとした場合(供試体P-68)の桁の応答変位を動的加振機により強制入力した場合の損傷状況を示したものである。前述のように強制載荷実験では、最終の残留変位が残り載荷が終了した段階で加振機の変位が0に戻り、これに伴い橋脚基部に斜めのひびわれが発生しており、これを除くと損傷形態は、振動台実験とほぼ同じである。

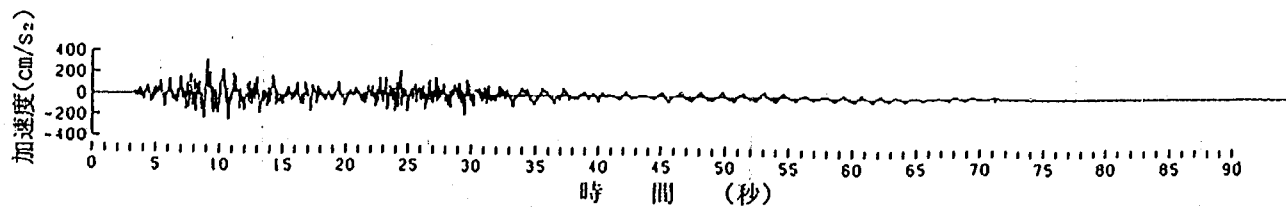
4. 2 荷重～変位の履歴曲線の包絡線

図-4.6は、振動台加振実験による荷重と変位の関係を履歴曲線として示したものである。ここで、荷重としては、桁上で観測された加速度に橋脚が支持する重量を乗じたものである。図-4.7は、強制載荷実験から得られた荷重～変位の履歴曲線である。

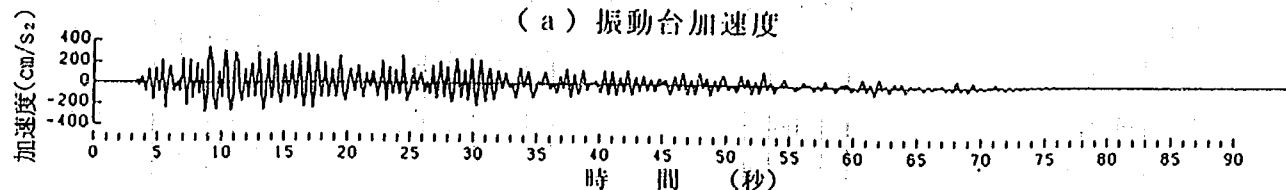
図-4.8は、振動台加振実験及び強制載荷実験から得られた履歴曲線の包絡線を動的載荷実験結果と比較したものである。振動台加振実験では、負側にあまり振動せず、正側にばかり残留変位していくことは上述した通りであるが、包絡線の形状そのものは振動台で加振しようと動的載荷をしようとあまり差がないと見てよい。

ただし、荷重が最大値付近から低下する状況については、振動台実験では一方向にのみ変形が増加して荷重の低下が小さいが、動的載荷実験では、正負交番載荷の場合には損傷の進展も早くなるため荷重の低下が早い。ただし、一方向載荷の場合には荷重の低下はより振動台実験に近い結果となる。

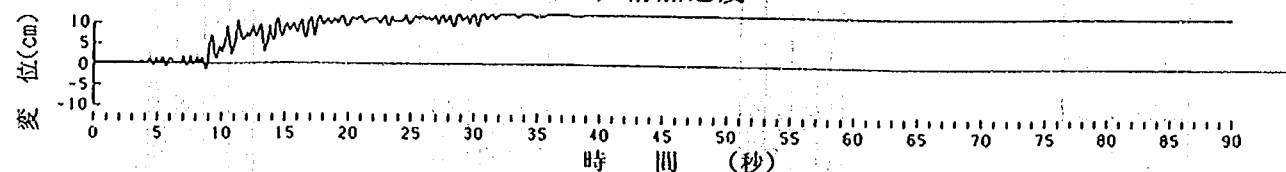
また、振動台実験から得られた橋脚天端の変位を入力として載荷実験を行った場合には、包絡線の形状は振動台実験結果とほぼ同じであるが、荷重の大きさが、振動台実験結果よりも20%程度大きい。これについてはよくわからないが、供試体の個体差によるものと考えられる。



(a) 振動台加速度

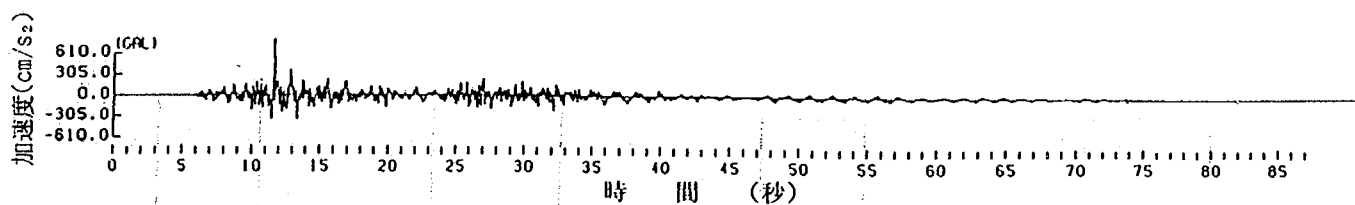


(b) 桁加速度

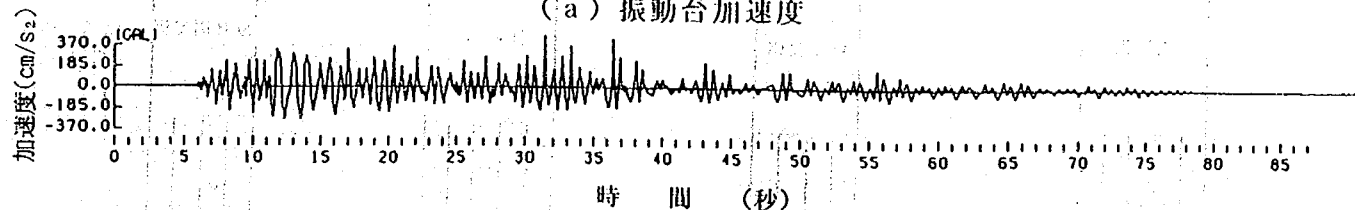


(c) 橋脚天端相対変位

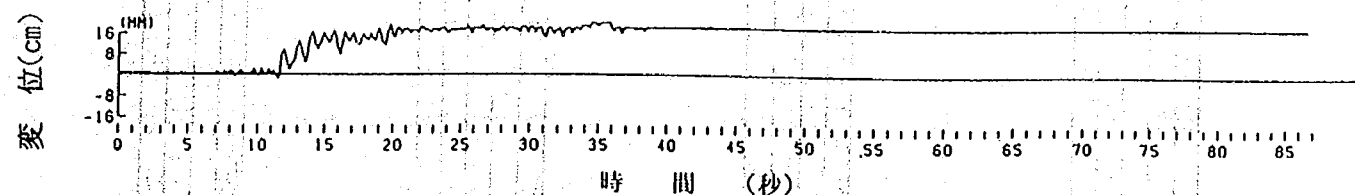
図-4.1 供試体P-67の地震波加振実験結果
(八郎潟記録、最大加速度0.32g)



(a) 振動台加速度



(b) 桁加速度



(c) 橋脚天端相対変位

図-4.2 供試体P-68の地震波加振実験結果
(八郎潟記録、最大加速度0.35g)

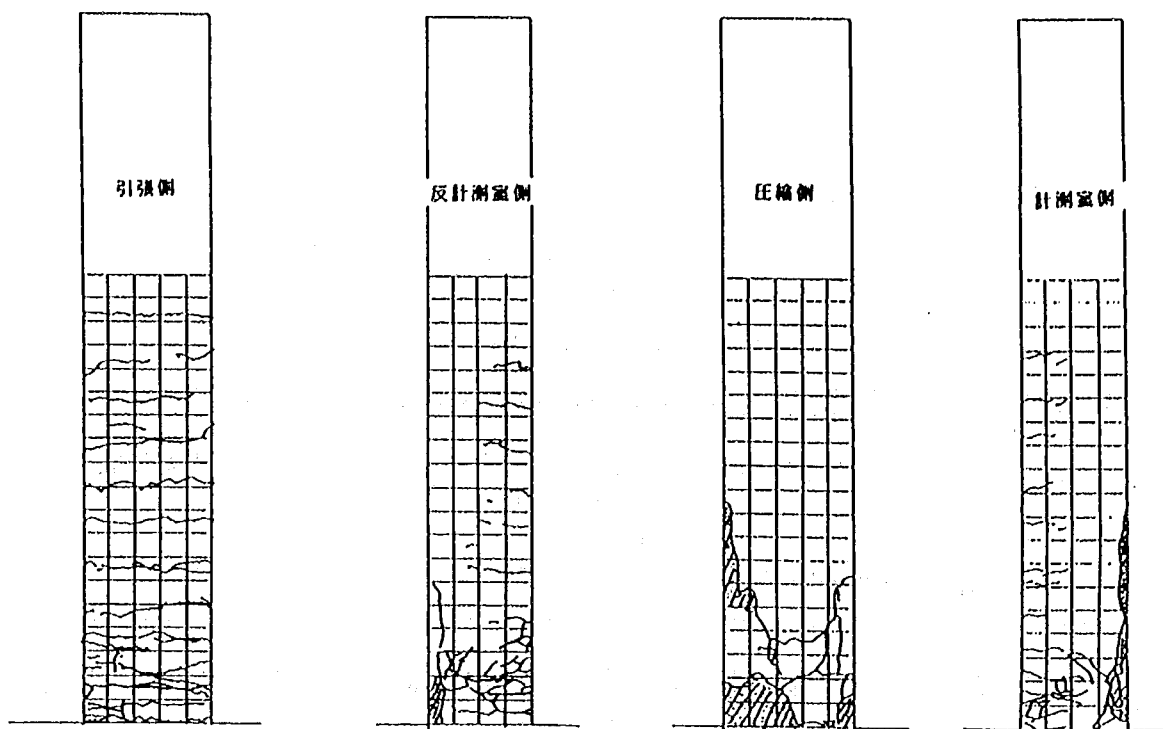


図-4. 3 供試体P-67の地震波加振後の損傷状況
(八郎潟記録、最大加速度0.32g)

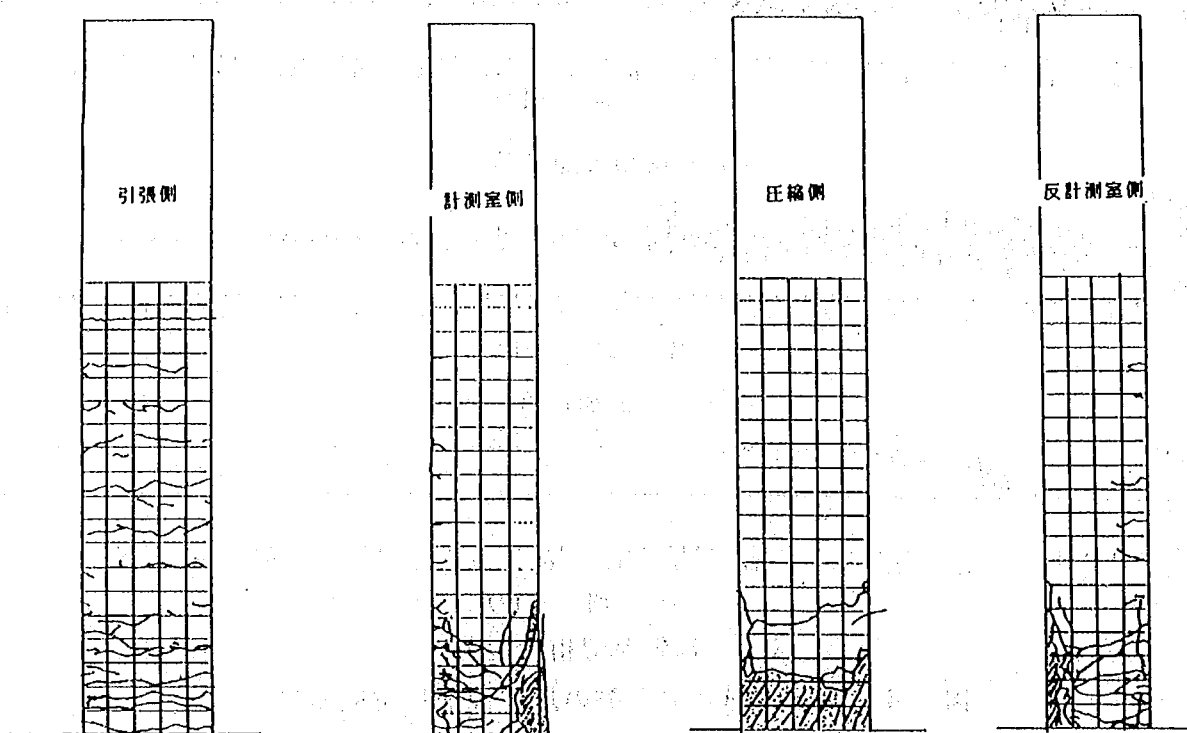


図-4. 4 供試体P-68の地震波加振後の損傷状況
(八郎潟記録、最大加速度0.35g)

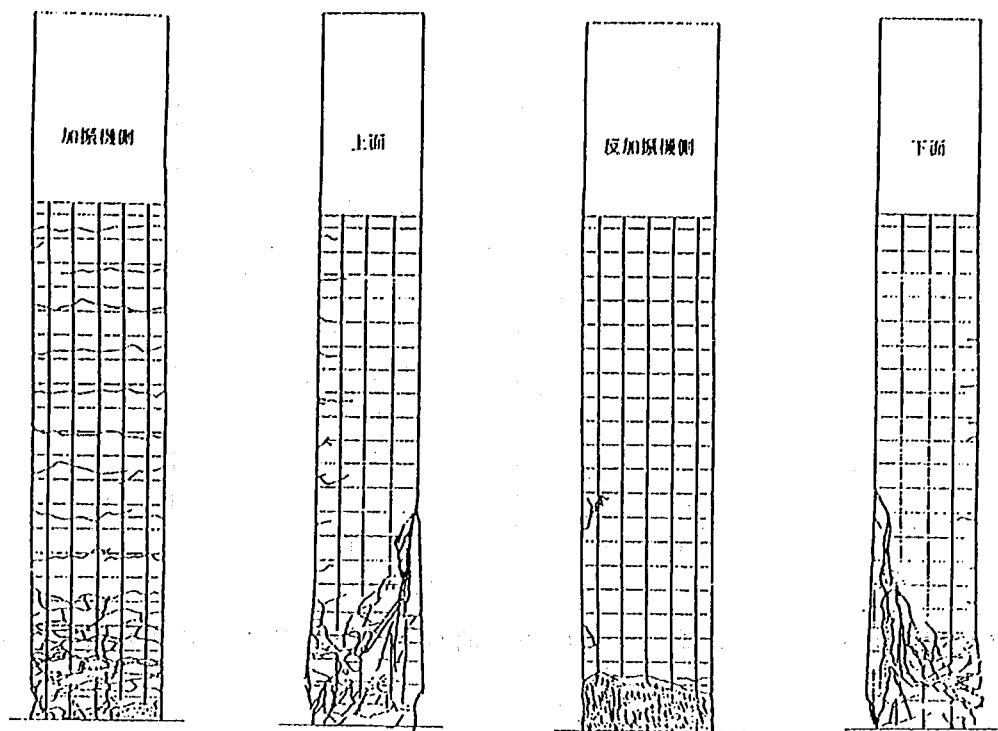
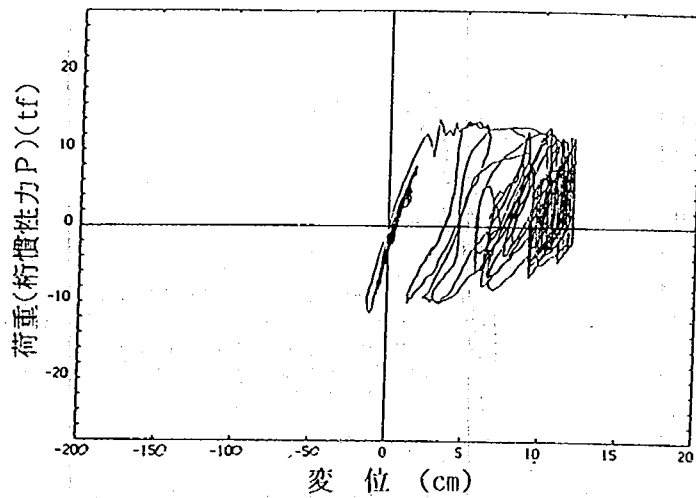
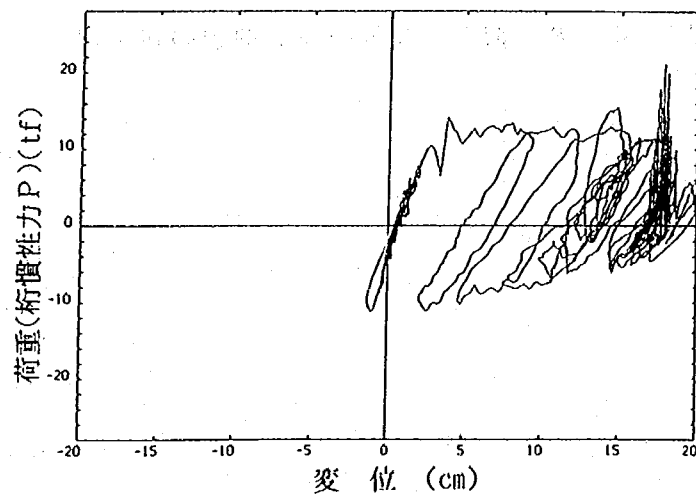


図 4. 5 供試体 P-71 の損傷状況（応答変位入力による強制載荷実験）



(a) 供試体 P-67



(b) 供試体 P-68

図 4. 6 振動台加振実験による荷重～変位の履歴曲線

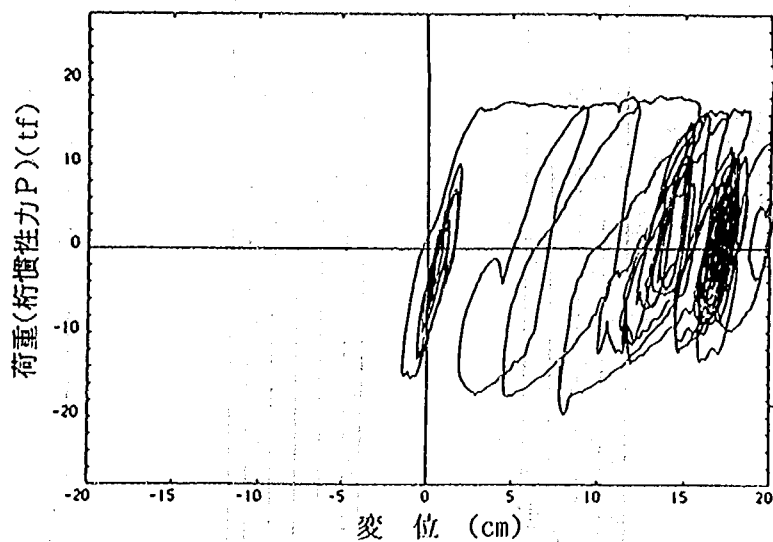


図-4.7 供試体P-71の荷重～変位の履歴曲線（応答変位入力による強制載荷実験）

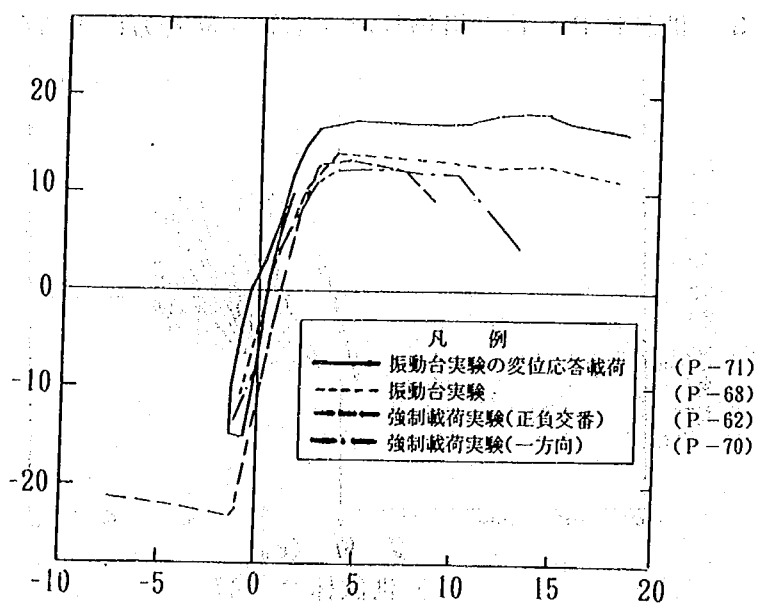


図-4.8 荷重～変位の履歴曲線の包絡線

5. 結 論

橋脚の張り出しが一方向にある逆L字形橋脚のように常時荷重による偏心曲げモーメントが作用するRC橋脚の大地震時の耐震性を検討するため、実橋脚の1/4.6及び1/4.1のスケールモデル17体を用いて動的載荷実験及び振動台加振実験を行なった。本検討から指摘される結論は以下の通りである。

- 1) 動的載荷実験によれば、 $r_{MD}=0.40\sim0.69$ 、 $r_{ML}=0.4\sim0.7$ の範囲では、いずれも、正側載荷に伴う圧縮側コンクリートの圧壊により三角形のくさび形に塑性域が生じて最終状態を迎える。
- 2) r_{MD} を一定にして r_{ML} を順次小さくすると、荷重がほぼ最大値付近で安定している範囲が短くなり、エネルギー吸収性能が小さくなる。また、 r_{MD} を小さくすると、引張側の主鉄筋量が増加するためじん性率が小さくなる。
- 3) 載荷方法として正負交番載荷を行った場合と偏心曲げモーメントが作用する一方向に作用させた場合を比較してみると、一方向載荷を行った方が損傷の進展が遅くなるとともに、荷重が最大値付近で安定する範囲が長くなり、じん性率は大きくなる。また、載荷繰返し回数を変化させると、載荷繰返し回数の少ない方がより損傷の進展が遅くなり、じん性率は大きくなる。
- 4) 帯鉄筋を2倍ピッチで配筋した場合には、わずかではあるが、損傷の進展が遅くなるとともに、荷重が最大値付近で安定する範囲が長くなり、じん性率も大きくなる。
- 5) 橋軸直角方向に偏心曲げモーメントが作用している状態で、橋軸方向に地震力を作用させても r_{ML} の影響は大きなものではない。
- 6) 振動台加振実験($r_{MD}=r_{ML}=0.55$)によれば、橋脚が非線形域に入ると、一方向に大きな残留変位が生じる。これは橋脚の耐震性を照査する上で極めて重要なものであり、今後、その大きさについて十分検討していく必要がある。
- 7) 振動台加振実験による損傷状況は、正負交番載荷による動的載荷実験と比較してみると、動的載荷実験では偏心曲げの減少する方向にも強制的に載荷するため、振動台実験結果とは損傷形態が異なり、負側載荷による引張力により顕著な斜めのひびわれが発生する。これに対して正負交番ではなくて、偏心曲げモーメントが作用する一方向にのみ載荷した場合にはより振動台実験による損傷形態と近くなる。履歴曲線にも同様のことが言え、正負交番載荷では損傷の進展が早くなる結果、荷重が最大値付近で安定する範囲が小さくなる。ただし、一方向載荷を行った場合には、より振動台実験結果に近い荷重～変位曲線となる。
- 8) 以上の点から、大地震時の逆L字形RC橋脚の耐震性を照査する上で一方向への残留変位が最も重要である。この発生メカニズム、外力の大きさ、 r_{MD} の値に応じて生じ得る残留変位量についてさらに検討していくことが必要である。

謝 辞

本研究、土木研究所と首都高速道路公団の共同研究（平成4年度～平成5年度）として実施したものである。土木研究所は模型振動台実験を、また、首都高速道路公団は動的載荷実験をそれぞれ分担して、偏心曲げモーメントを受けるRC橋脚の損傷メカニズム、及び動的耐力／変形性能を検討した。共同研究に際しては以下の方々にお世話になった。ここに記して厚く御礼申し上げる次第である。

首都高速道路公団工務部

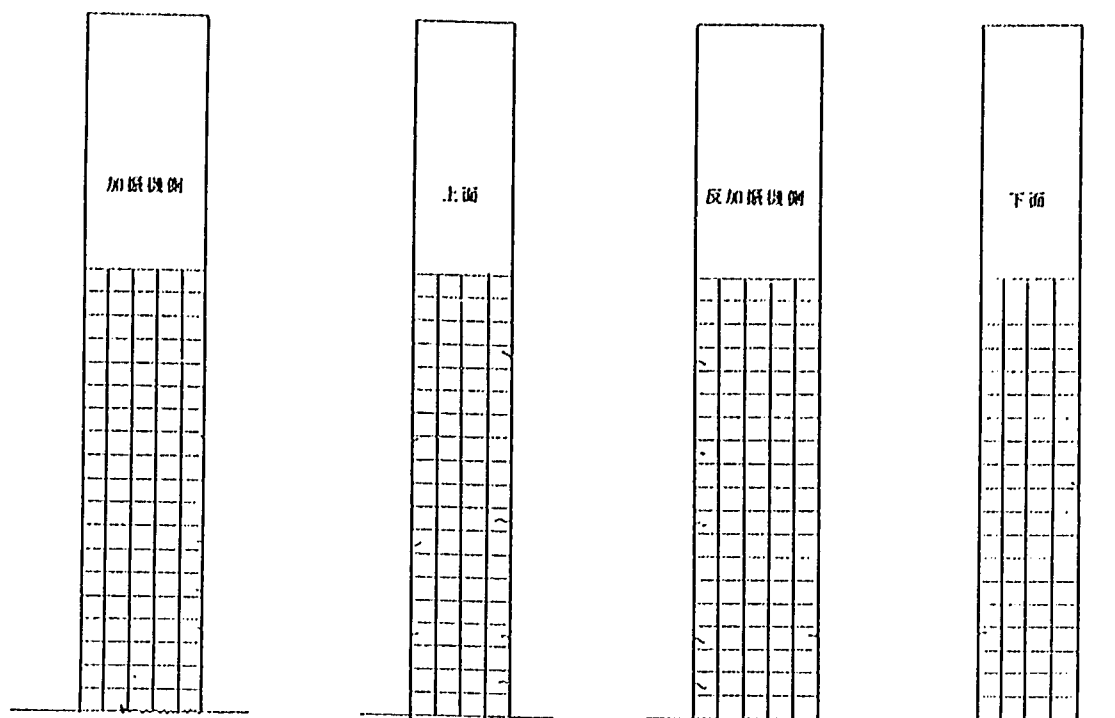
設計技術課 課 長 原 光夫

木暮 深

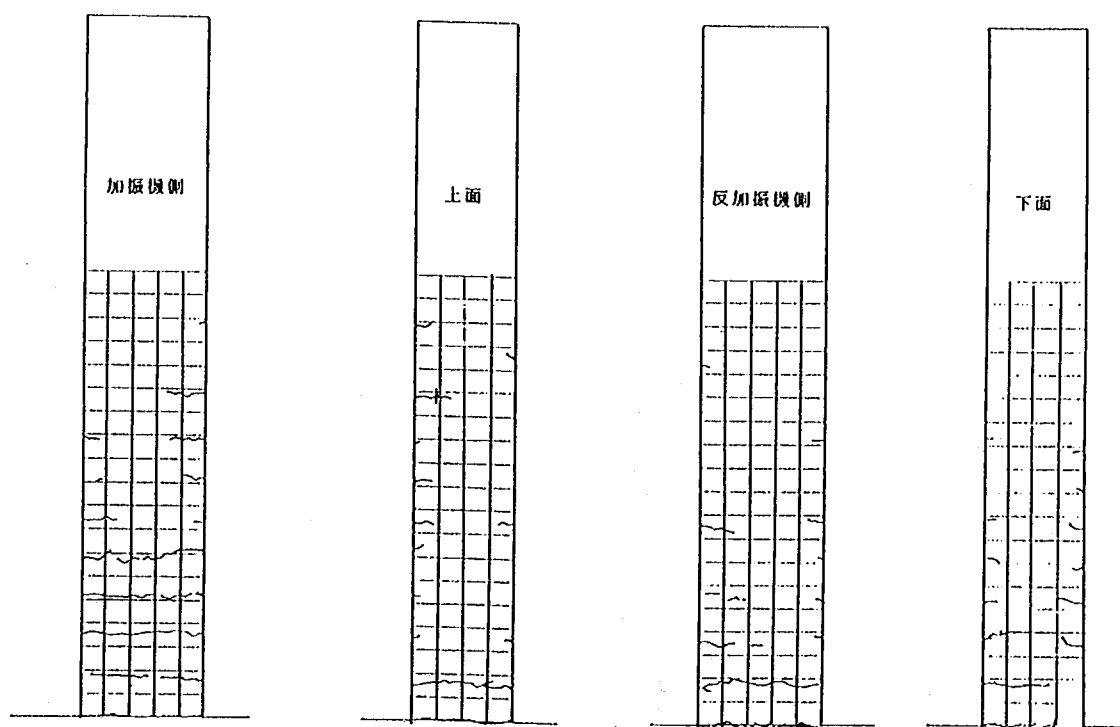
（肩書きは、平成5年度当時）

参 考 資 料

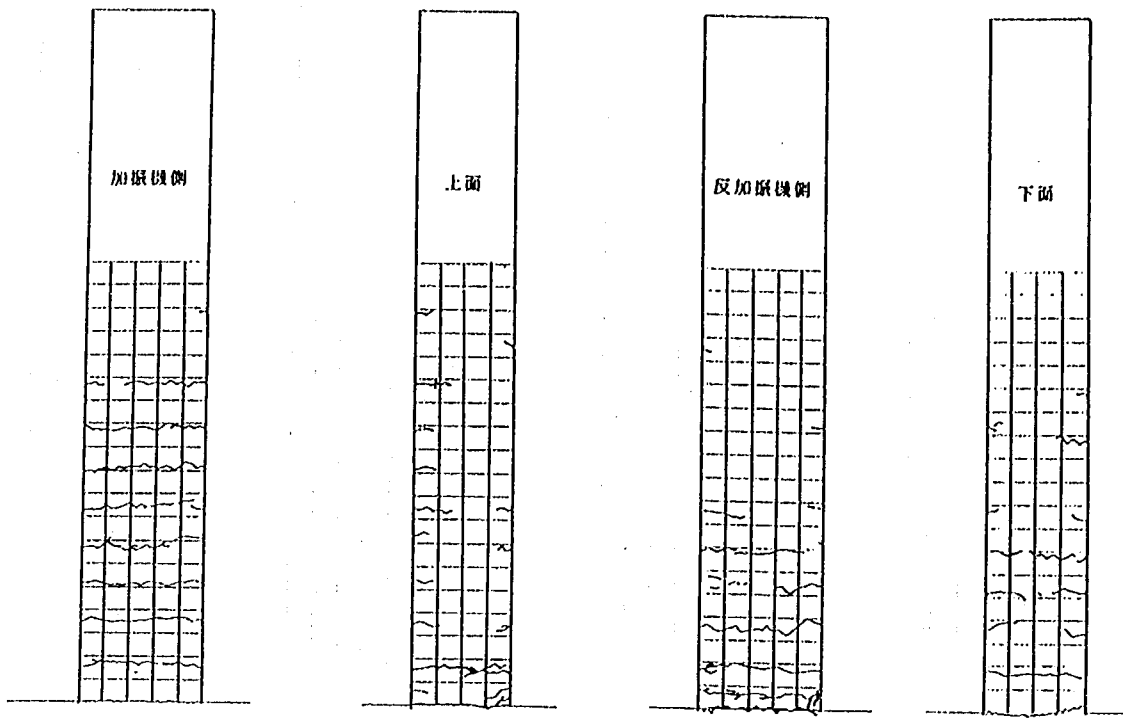
I . 損傷図



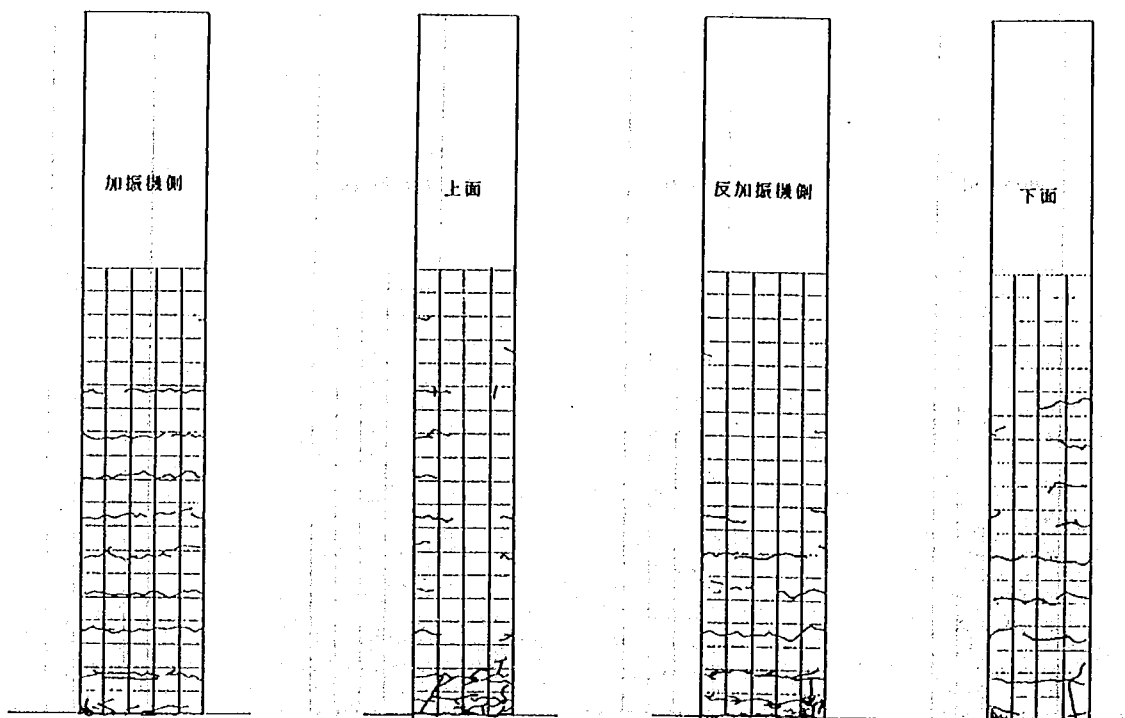
参図-1 (1) 供試体 P-59 (1 δ_o 載荷後)



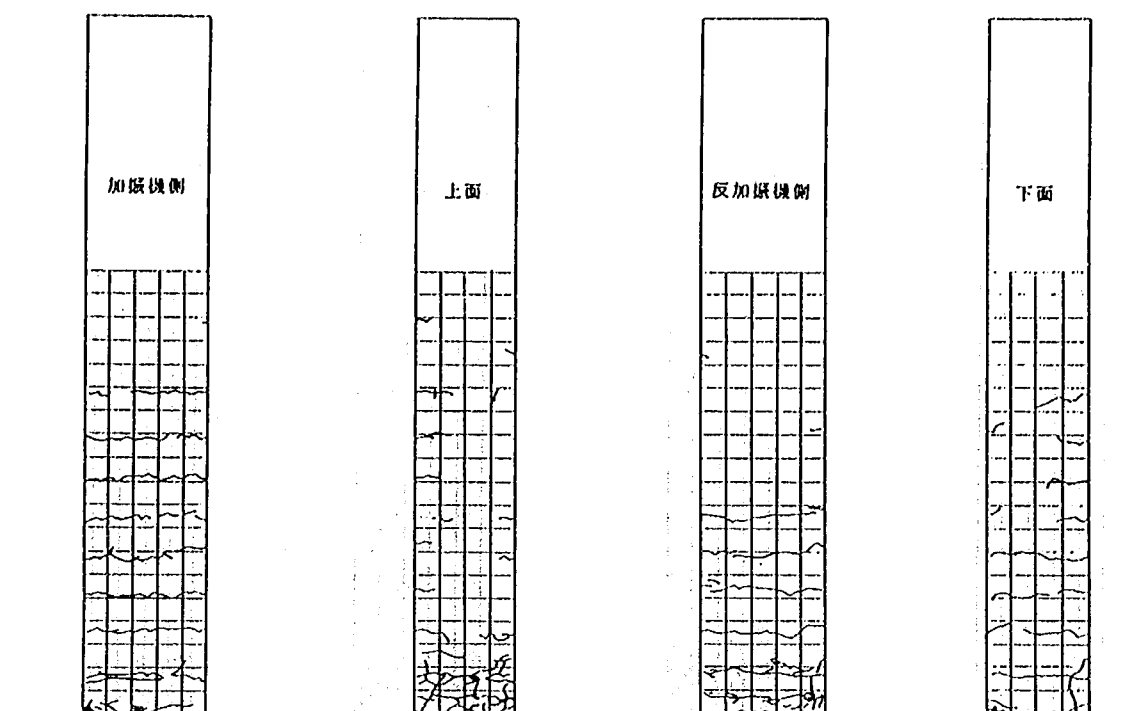
参図-1 (2) 供試体 P-59 (2 δ_o 載荷後)



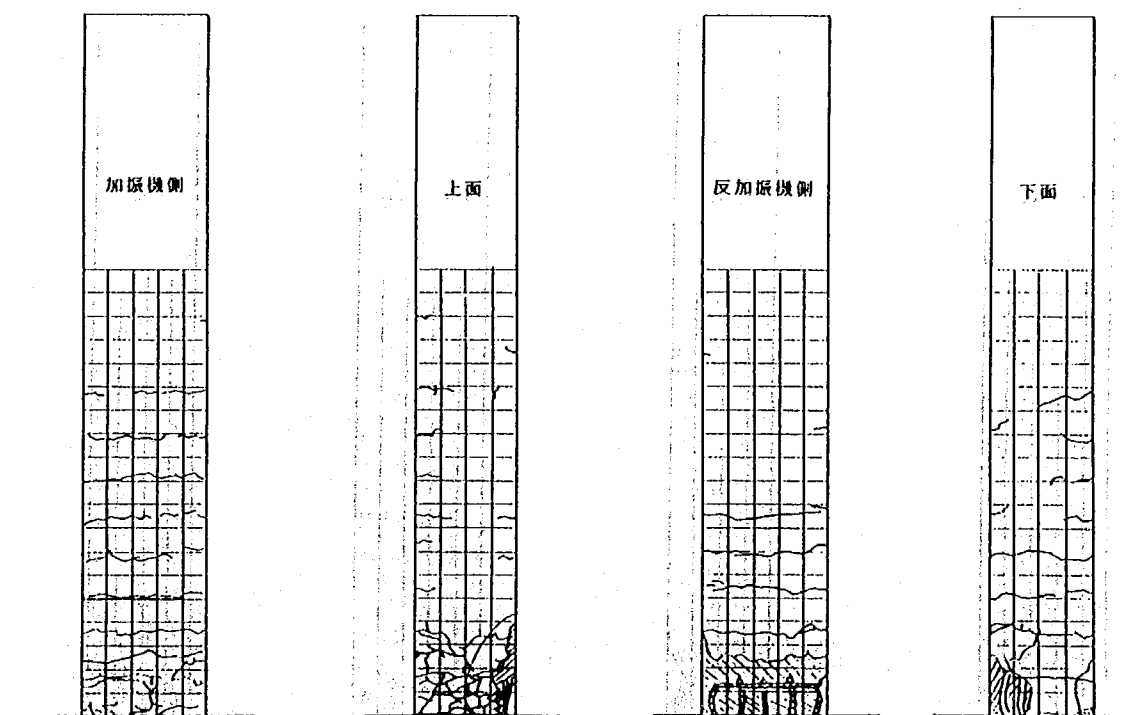
参图-1 (3) 供试体 P-59 (3 δ 荷载后)



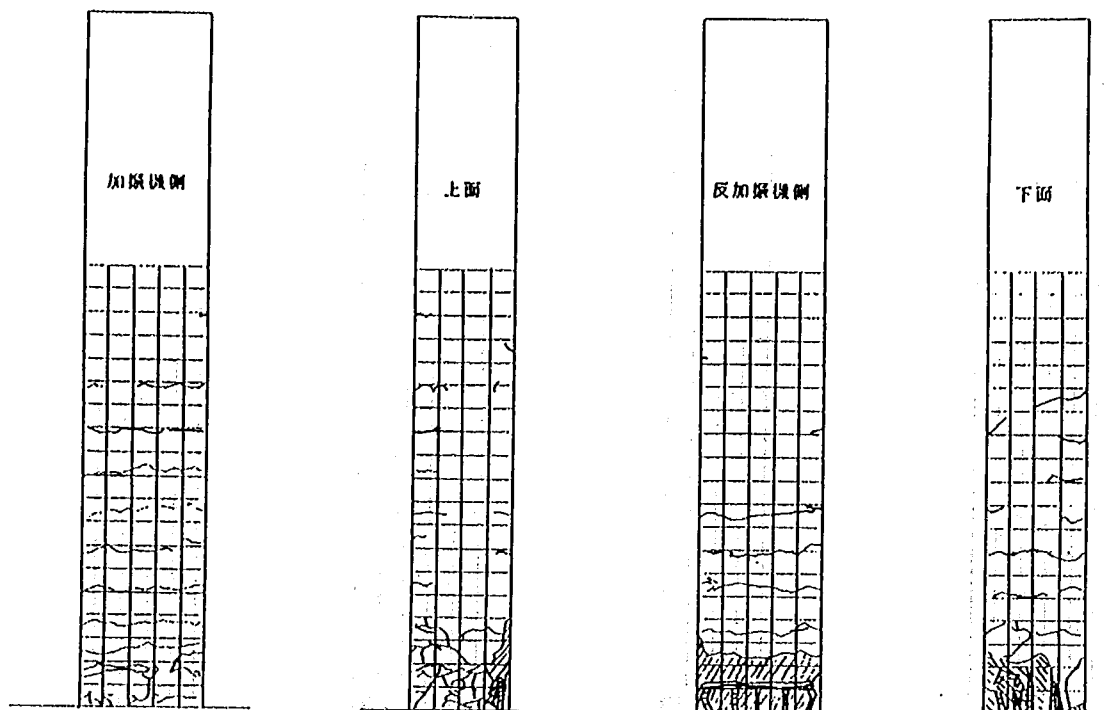
参图-1 (4) 供试体 P-59 (4 δ 荷载后)



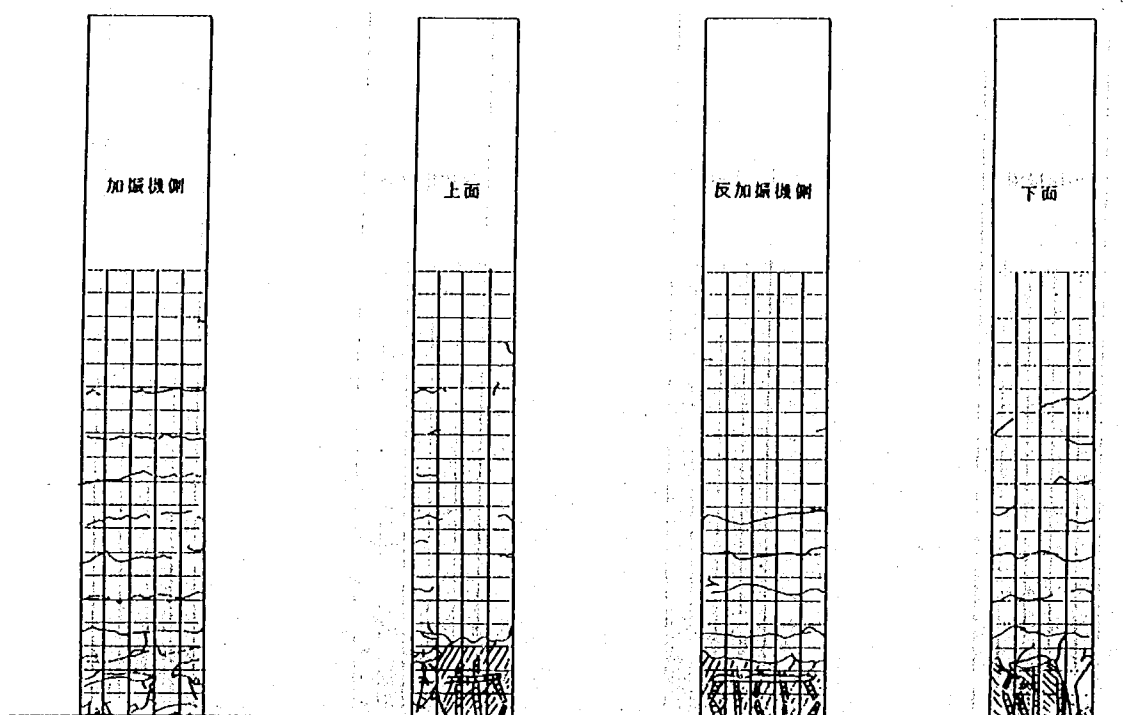
参図-1 (5) 供試体 P-59 (5 δ 載荷後)



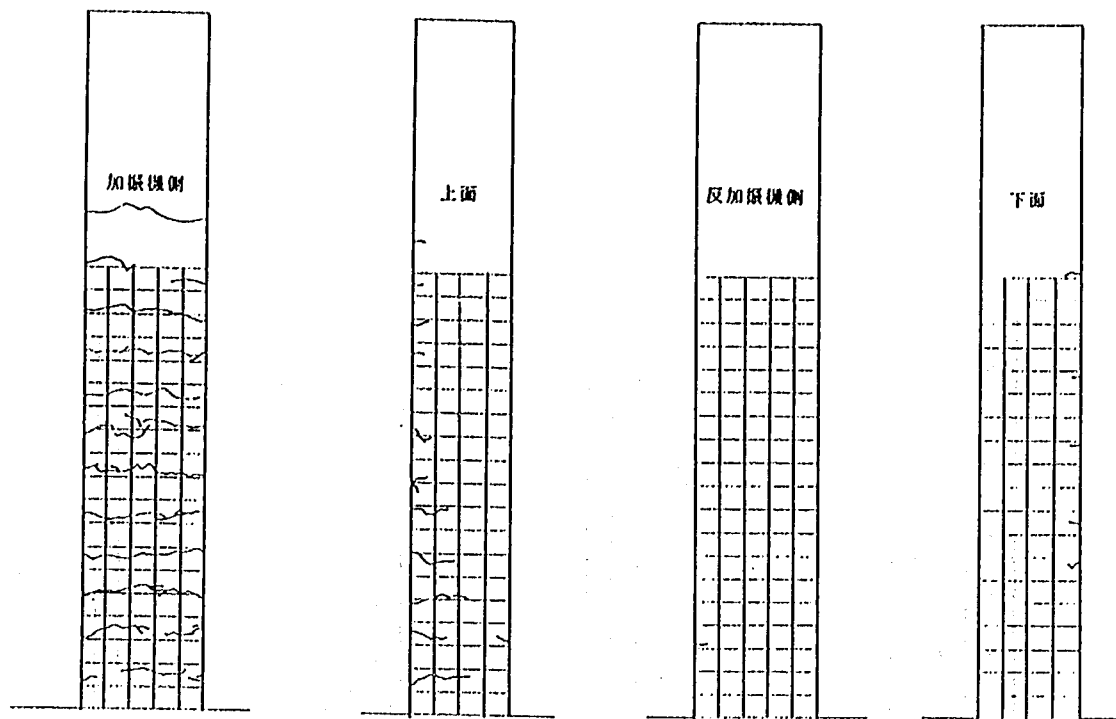
参図-1 (6) 供試体 P-59 (6 δ 載荷後)



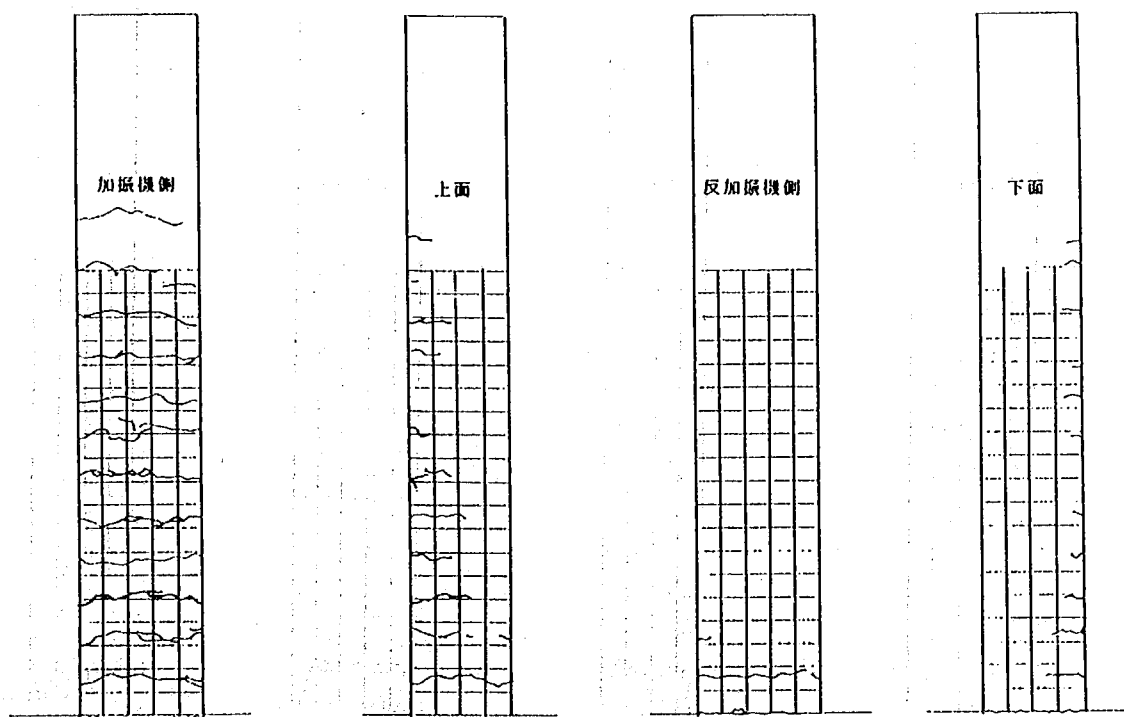
参図-1 (7) 供試体 P-59 (7 δ 載荷後)



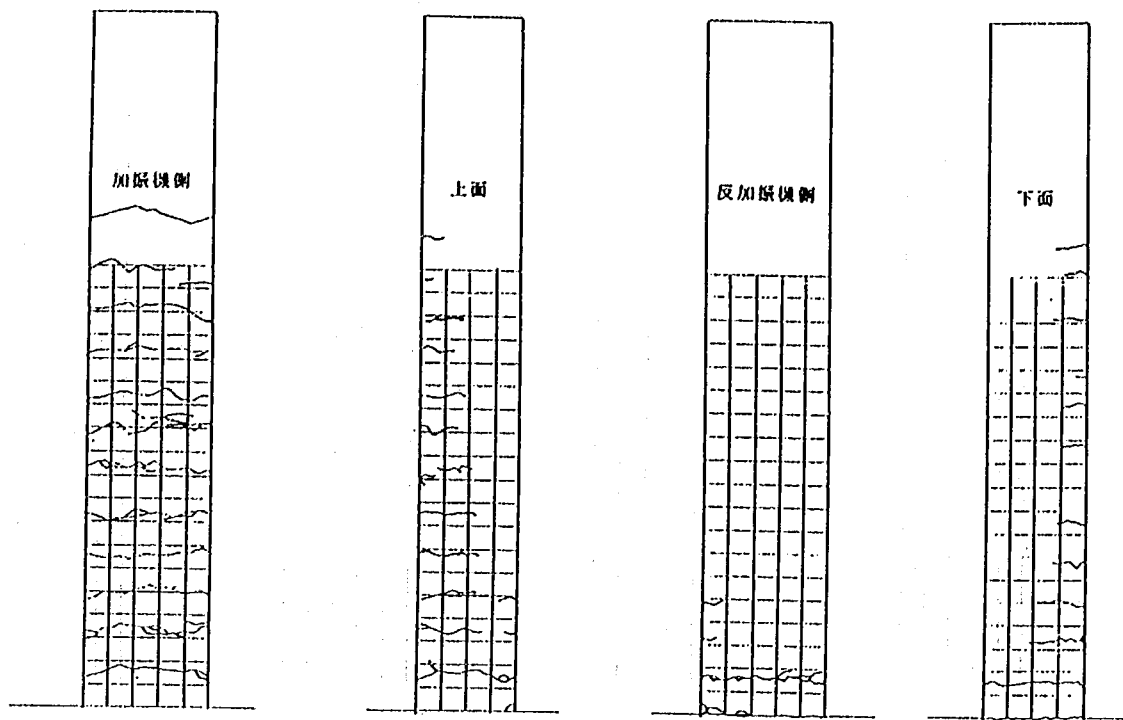
参図-1 (8) 供試体 P-59 (8 δ 載荷後)



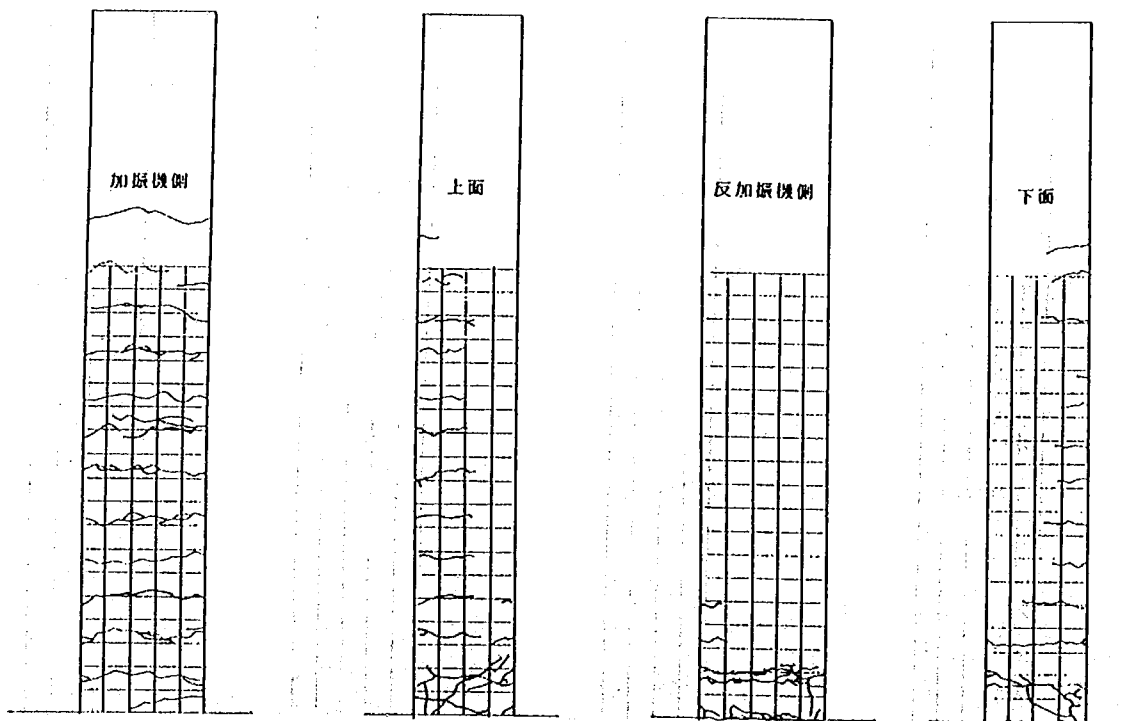
参図-2 (1) 供試体P-60 (1 δ 載荷後)



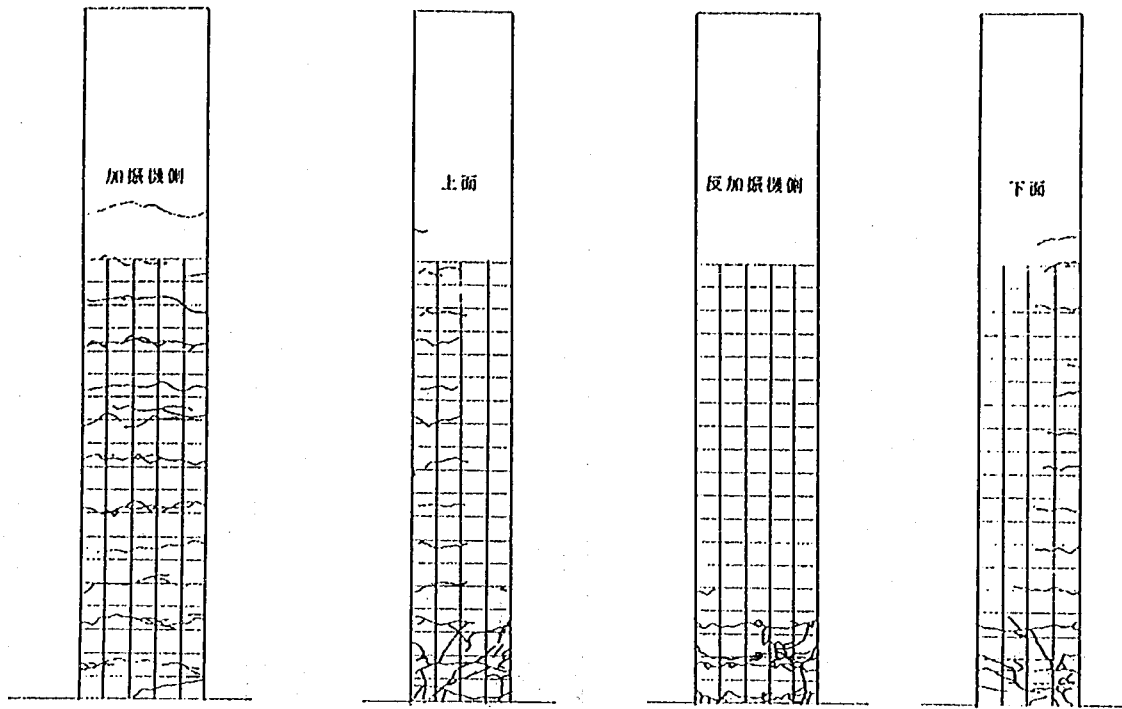
参図-2 (2) 供試体P-60 (2 δ 載荷後)



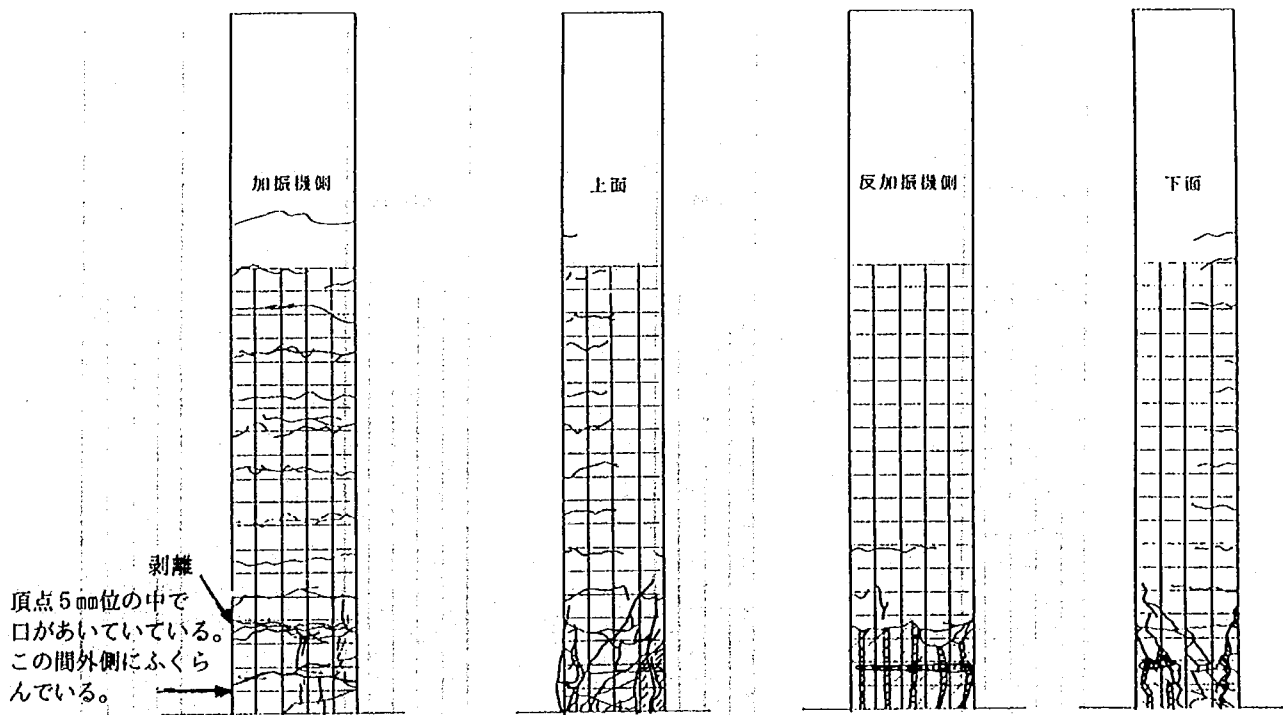
参图-2 (3) 供试体 P-60 (3 δ 荷载后)



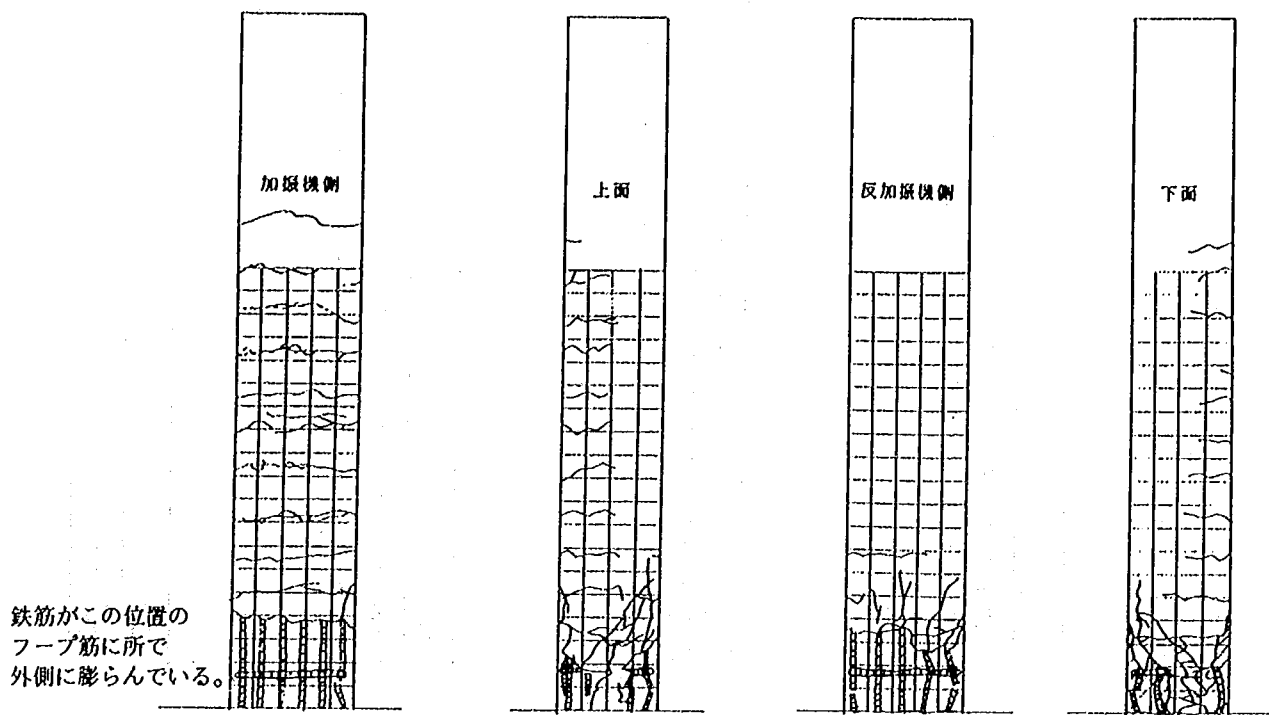
参图-2 (4) 供试体 P-60 (4 δ 荷载后)



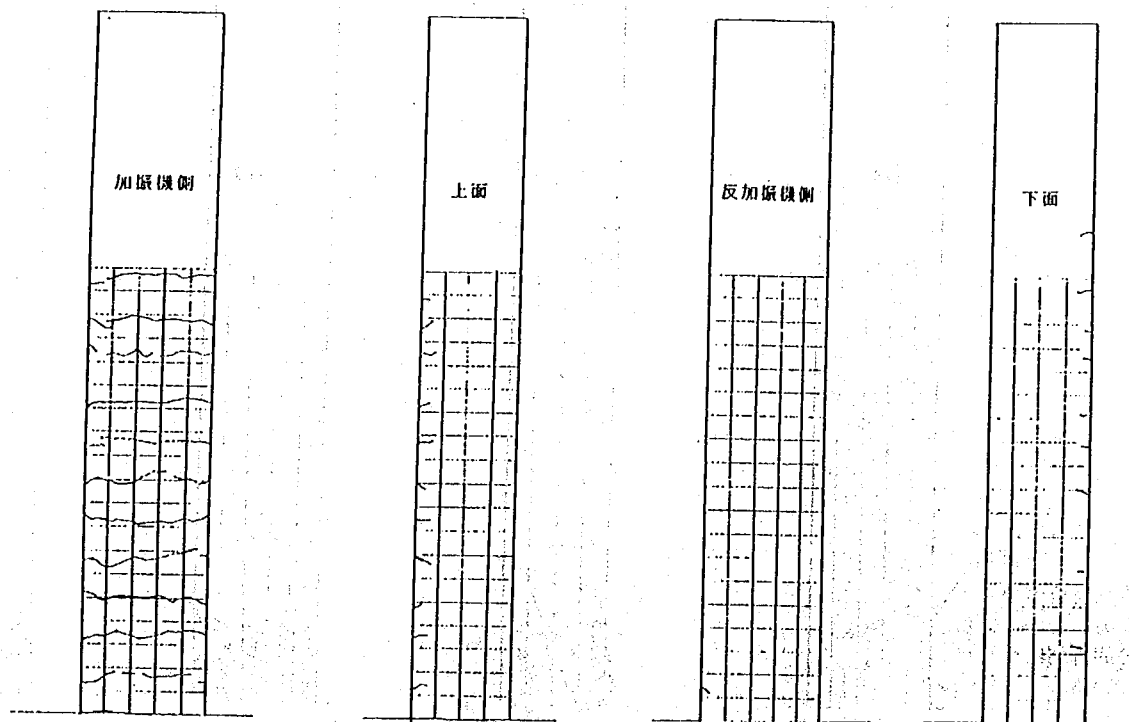
参図-2 (5) 供試体P-60 (5 δ 載荷後)



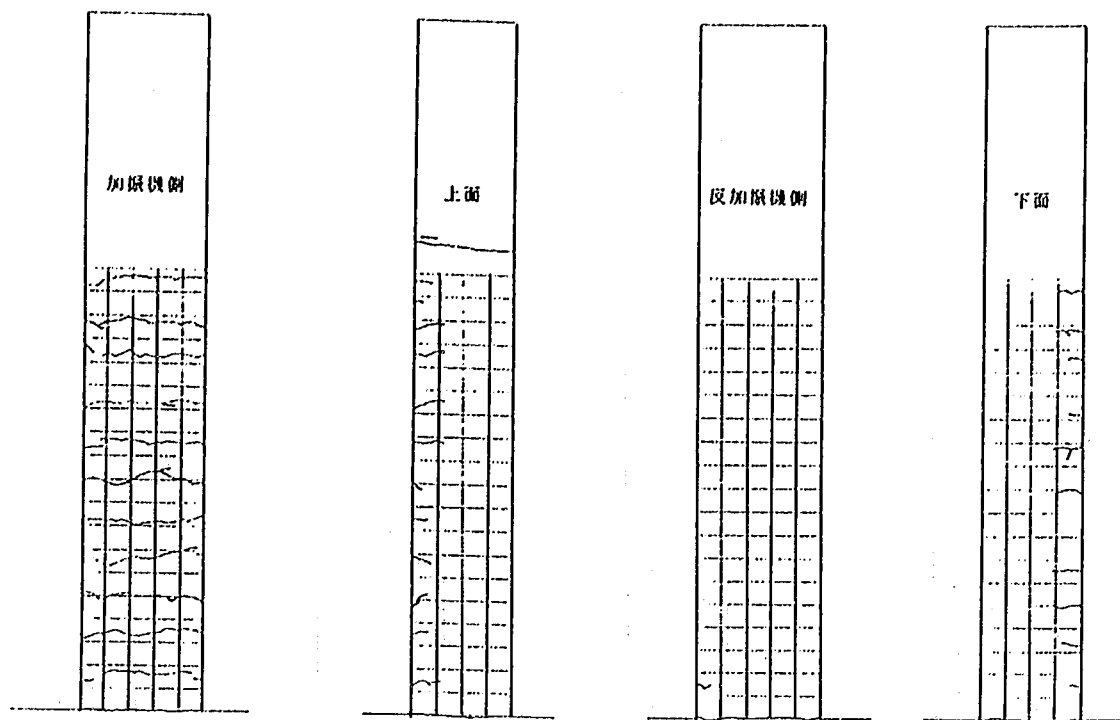
参図-2 (6) 供試体P-60 (6 δ 載荷後)



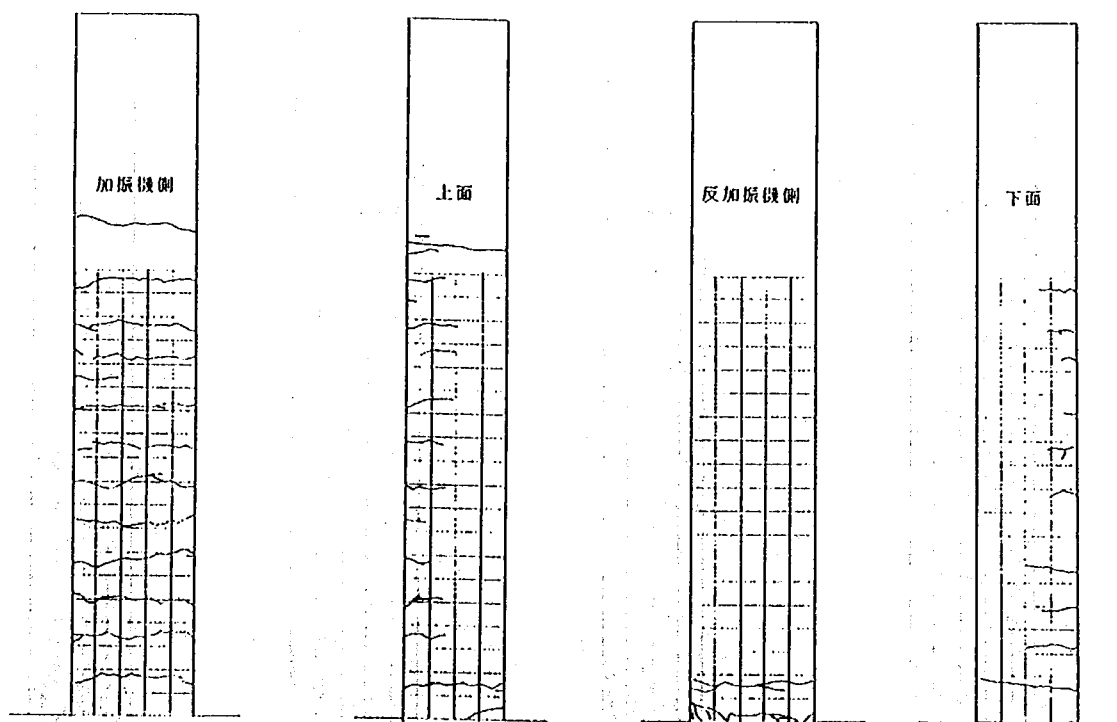
参図-2 (7) 供試体 P-60 (7 δ 載荷後)



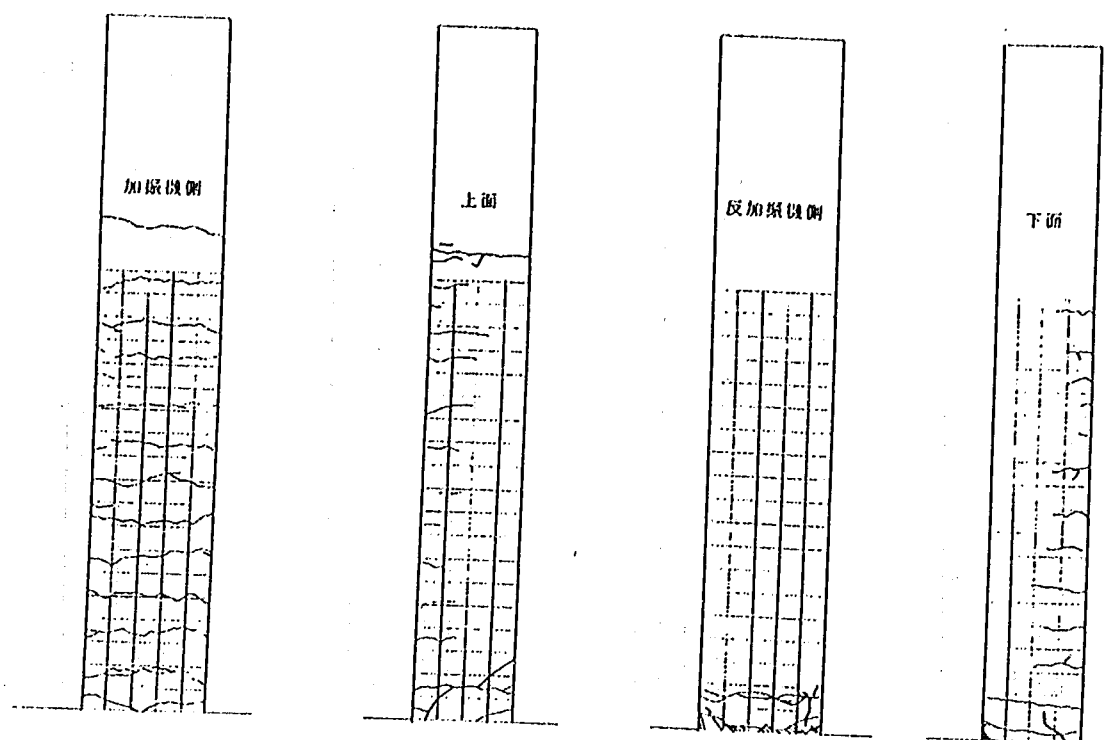
参図-3 (1) 供試体 P-61 (1 δ 載荷後)



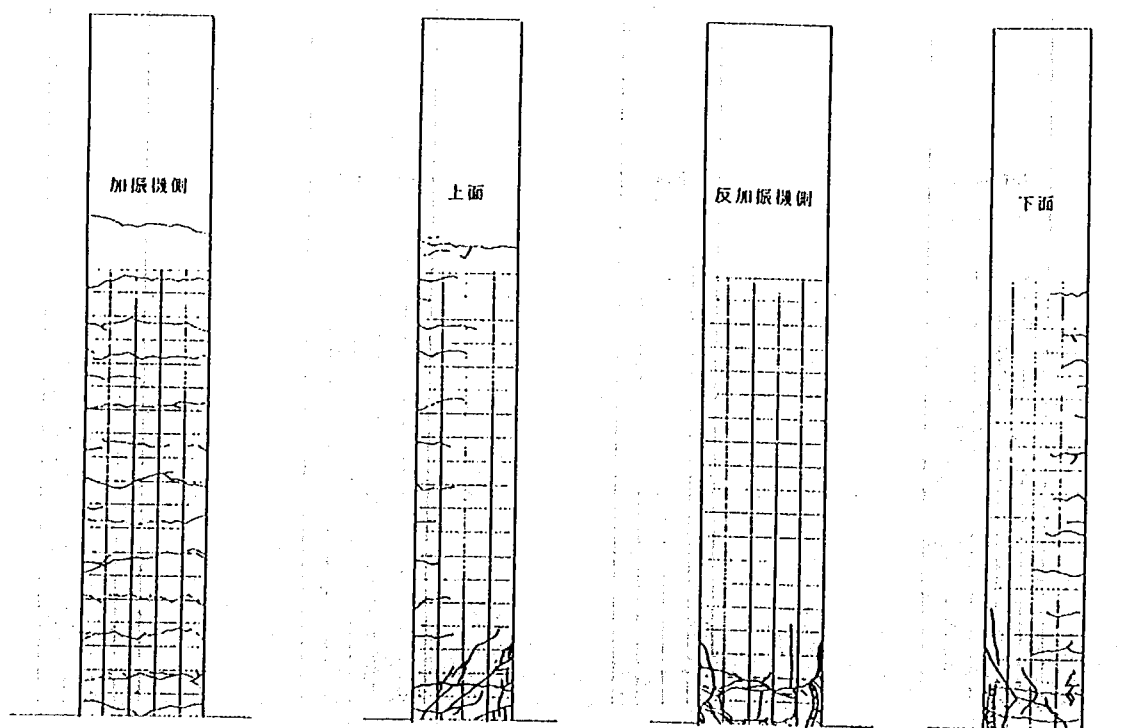
参図-3 (2) 供試体P-61 (2 δ 載荷後)



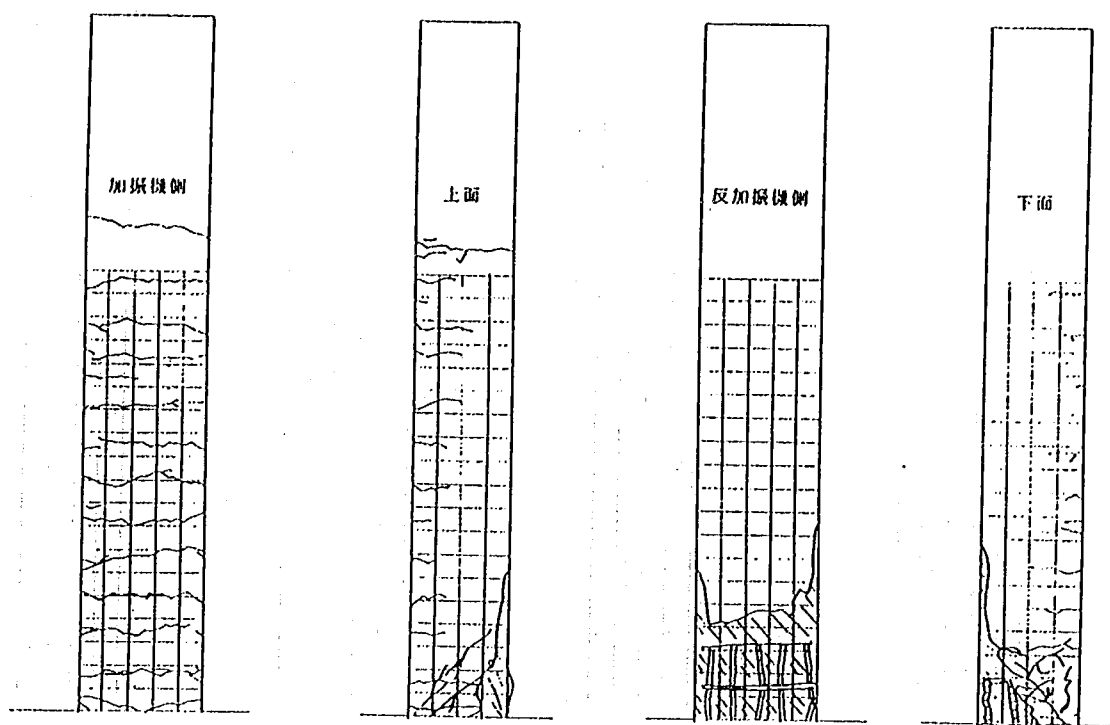
参図-3 (3) 供試体P-61 (3 δ 載荷後)



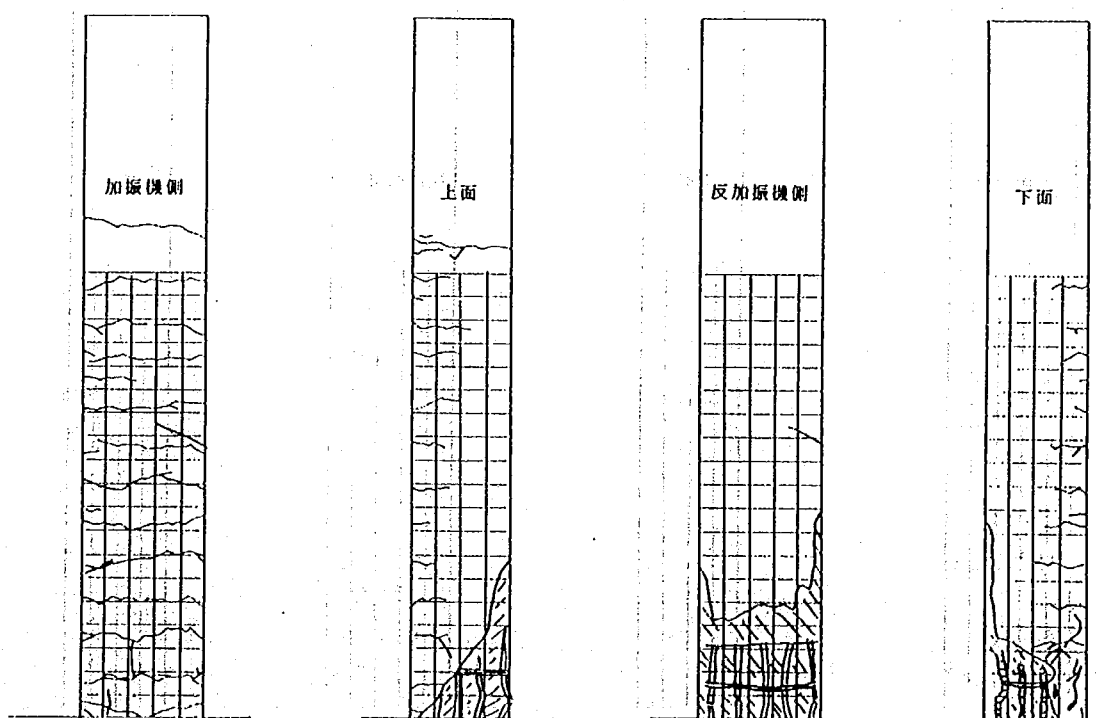
参图-3 (4) 供试体P-61 (4 δ 荷载后)



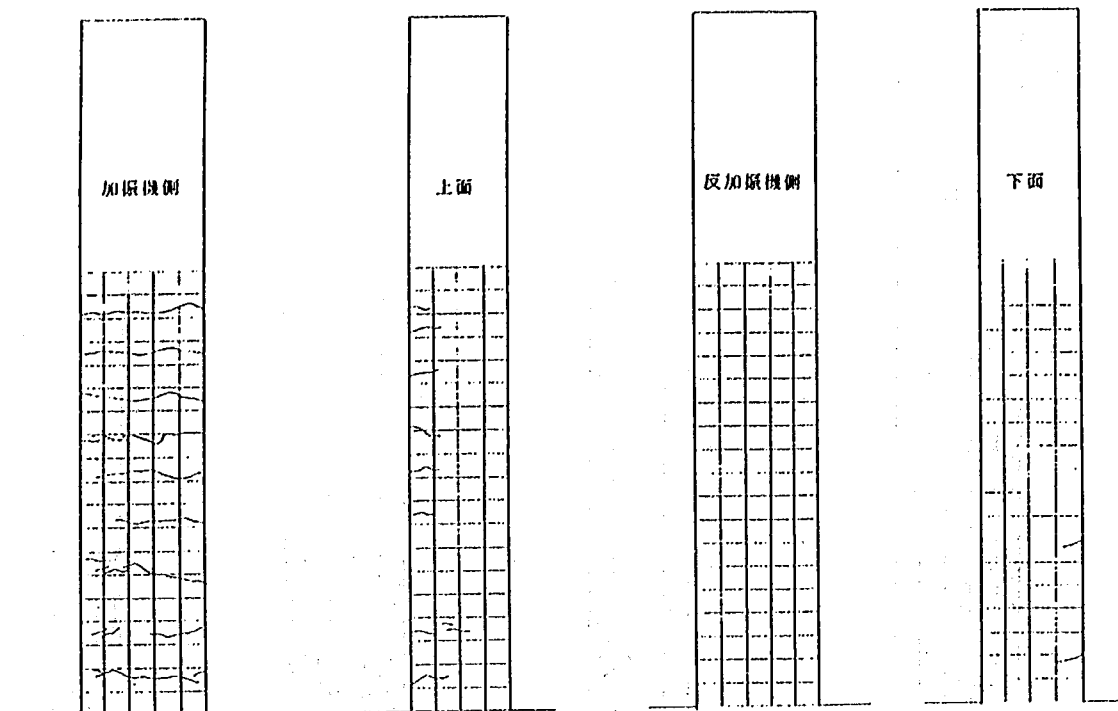
参图-3 (5) 供试体P-61 (5 δ 荷载后)



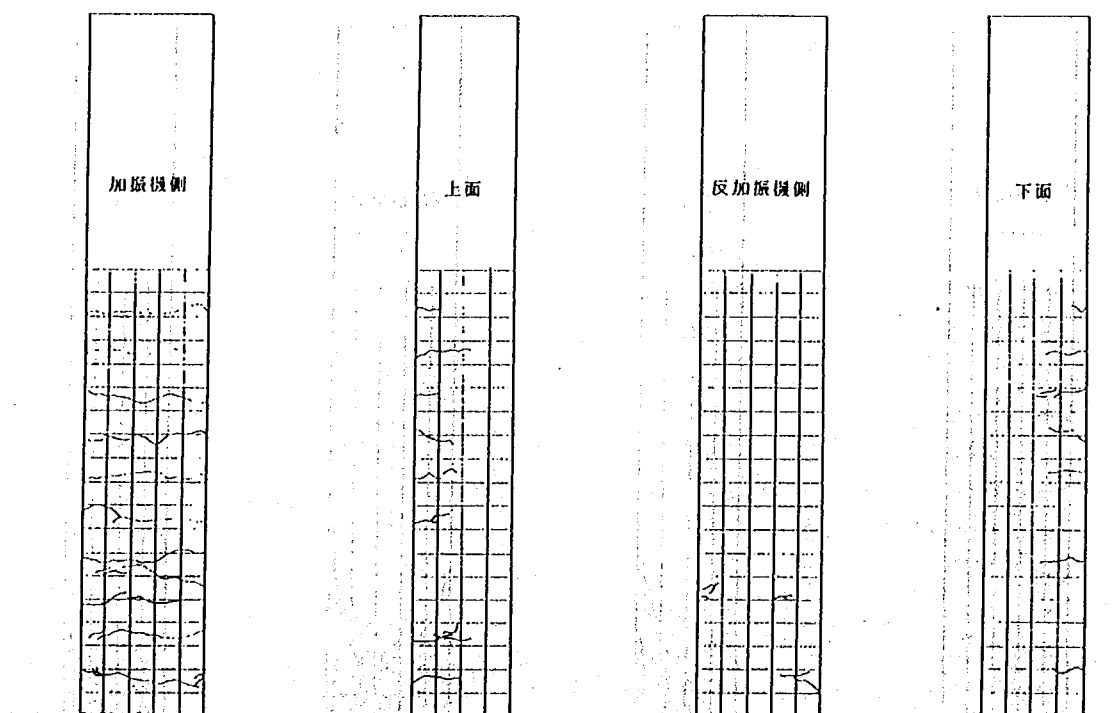
参図一 3 (6) 供試体 P-61 (6 δ 載荷後)



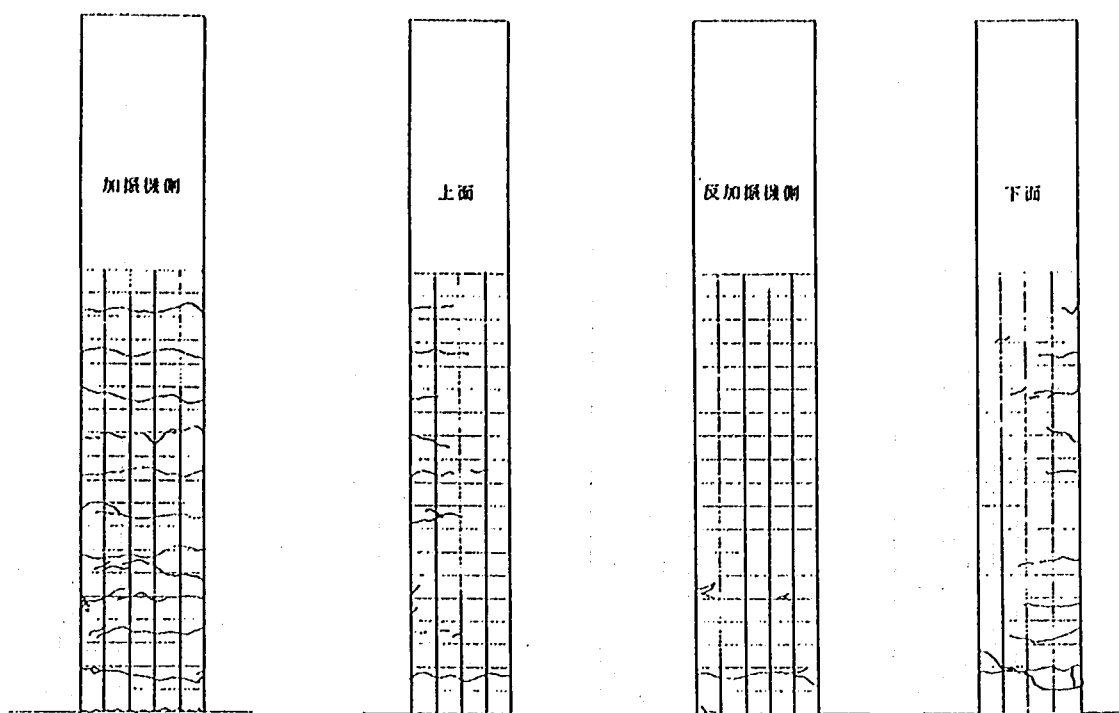
参図一 3 (7) 供試体 P-61 (7 δ 載荷後)



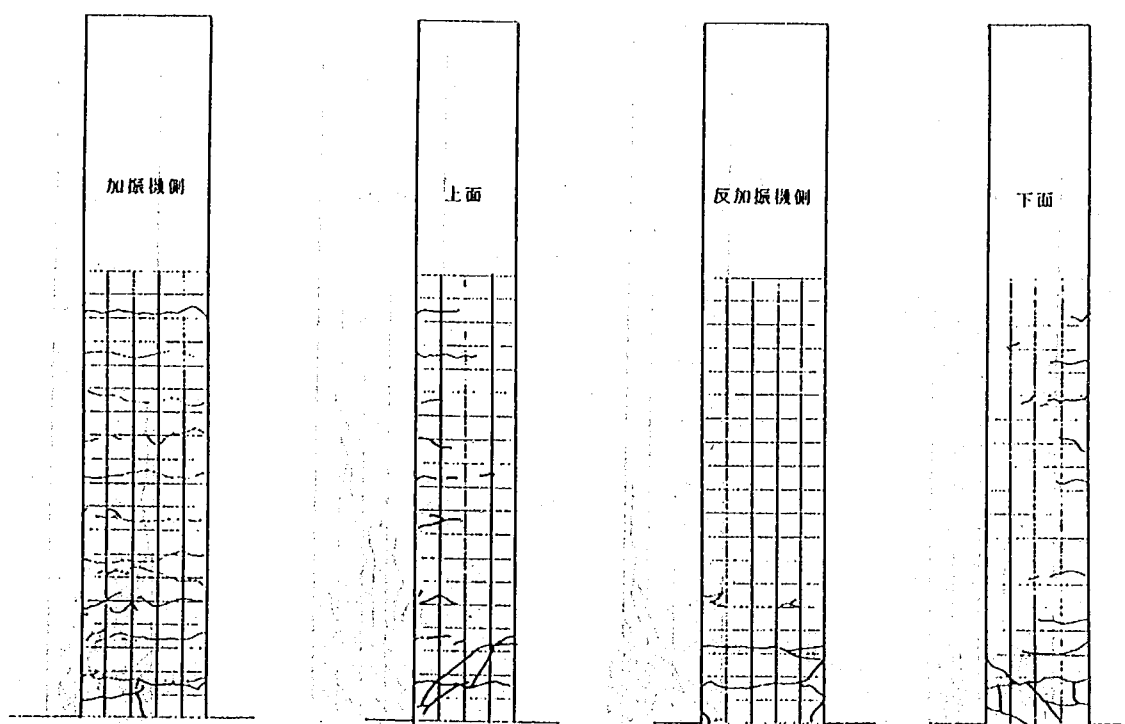
参図-4 (1) 供試体P-62 (1 δ 載荷後)



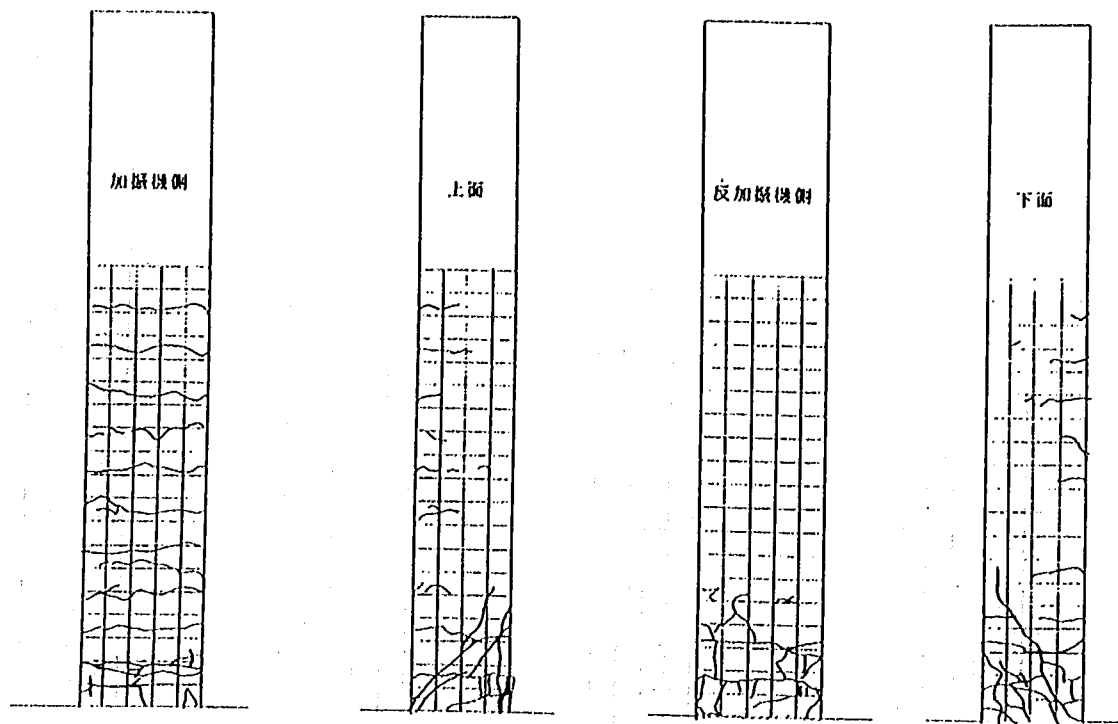
参図-4 (2) 供試体P-62 (2 δ 載荷後)



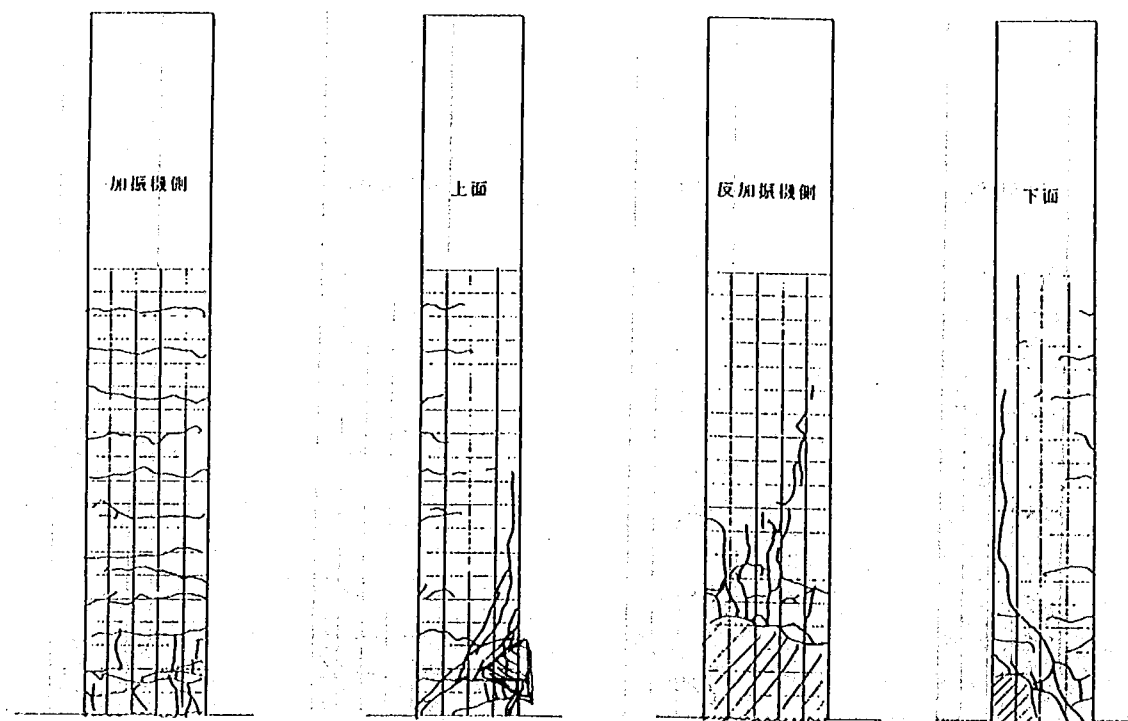
参図-4 (3) 供試体 P-62 (3δ 載荷後)



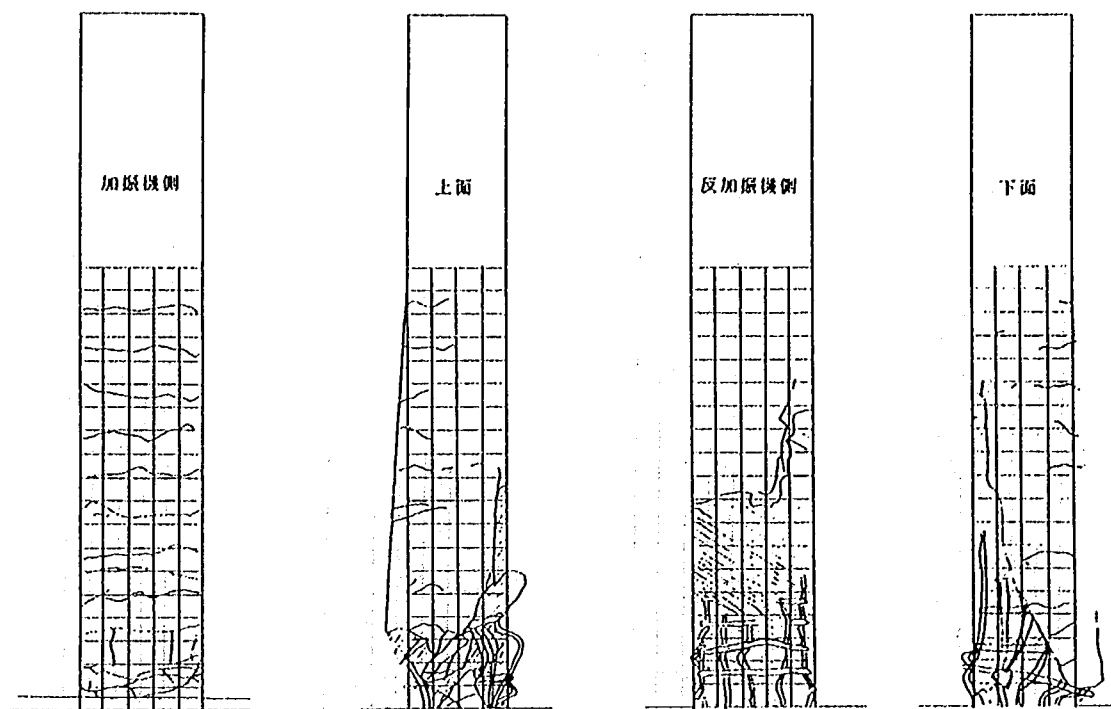
参図-4 (4) 供試体 P-62 (4δ 載荷後)



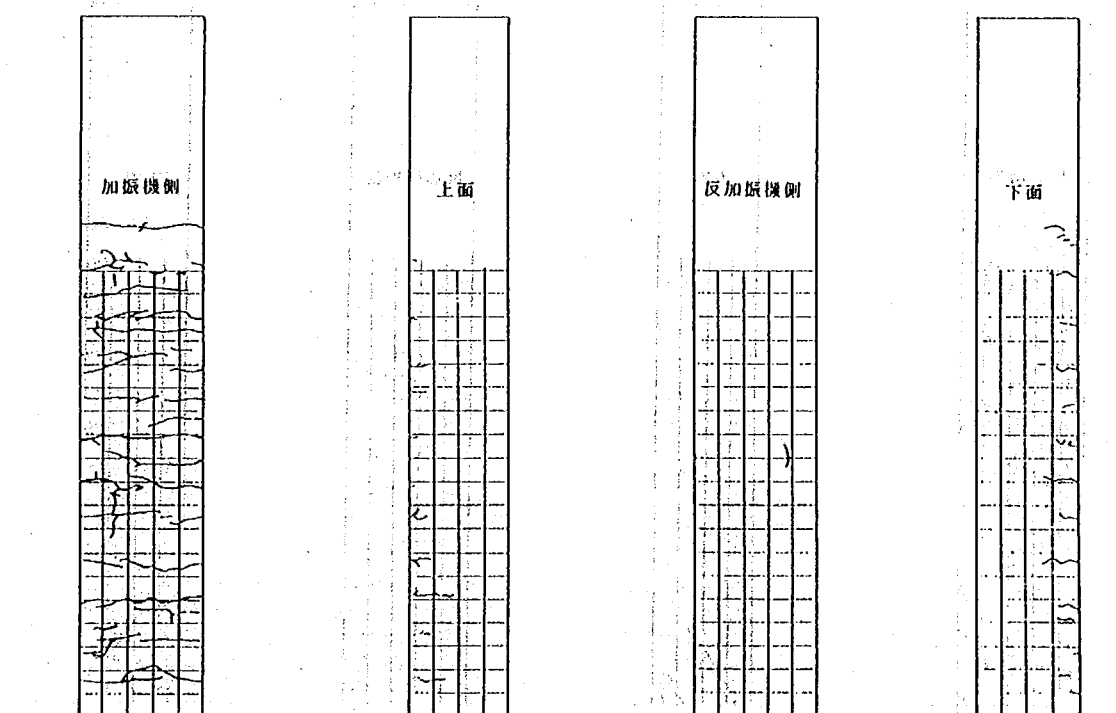
参図-4 (5) 供試体P-62 (5 δ 載荷後)



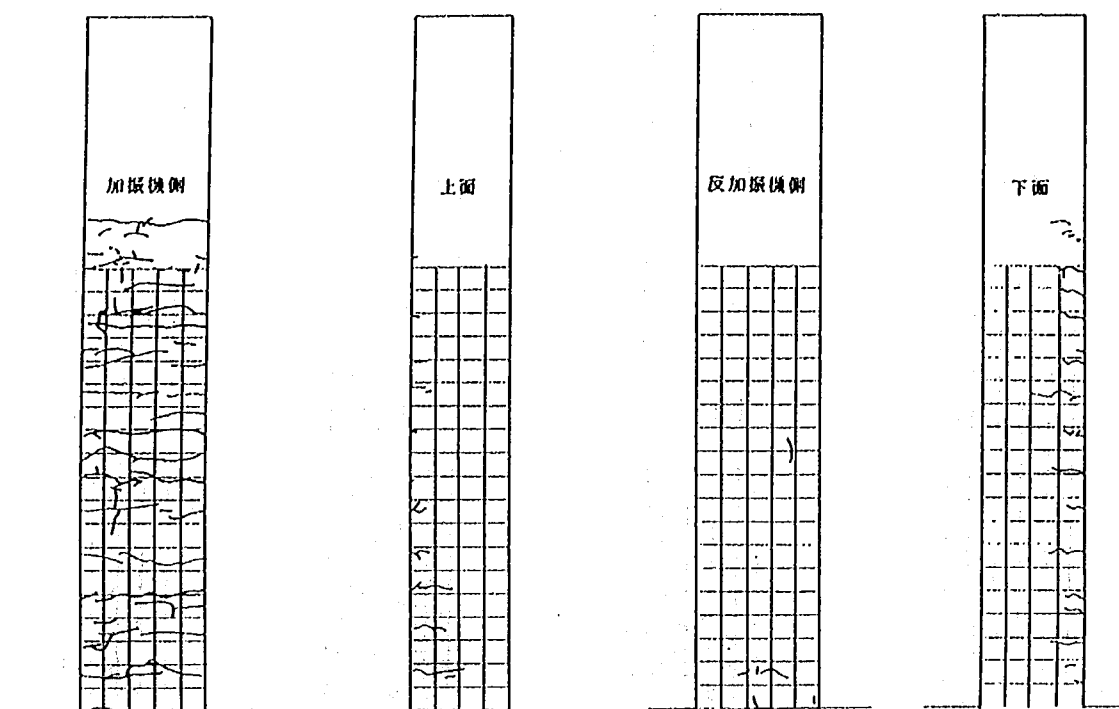
参図-4 (6) 供試体P-62 (6 δ 載荷後)



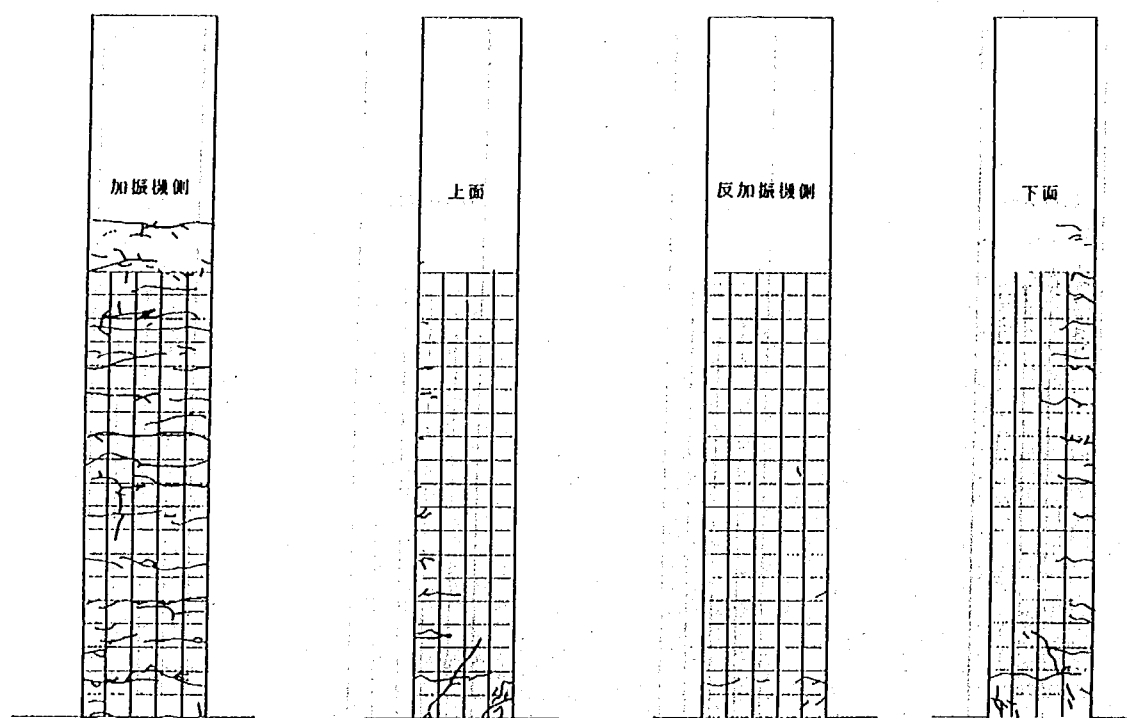
参図-4 (7) 供試体 P-62 (7 δ 載荷後)



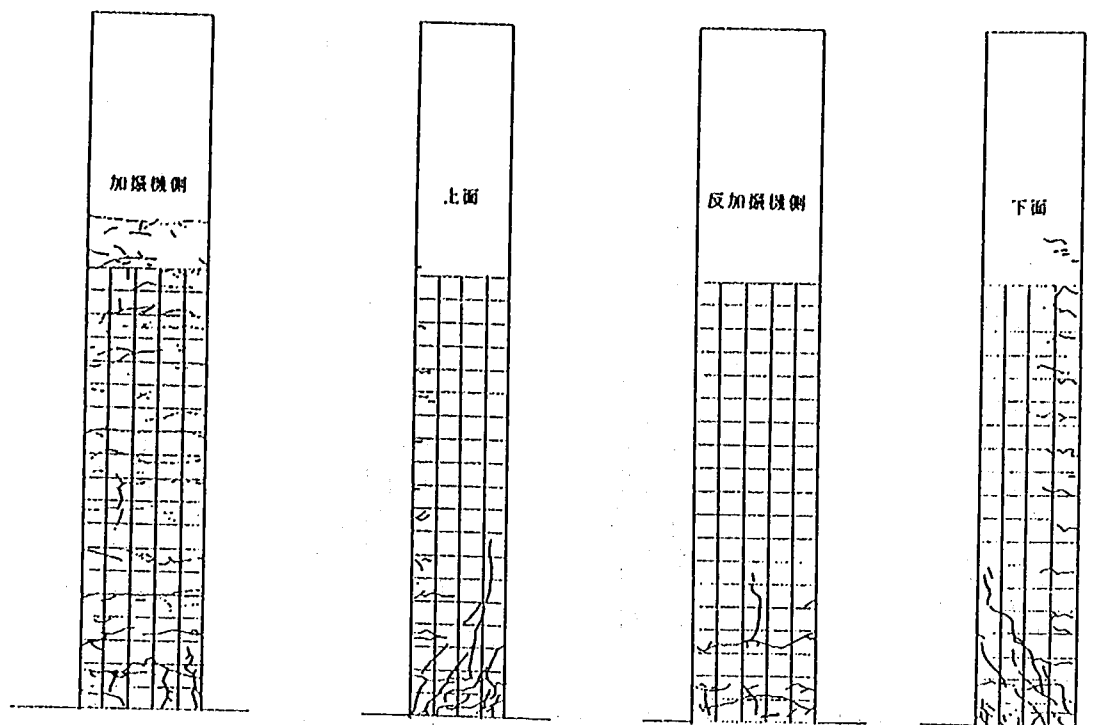
参図-5 (1) 供試体 P-63 (1 δ 載荷後)



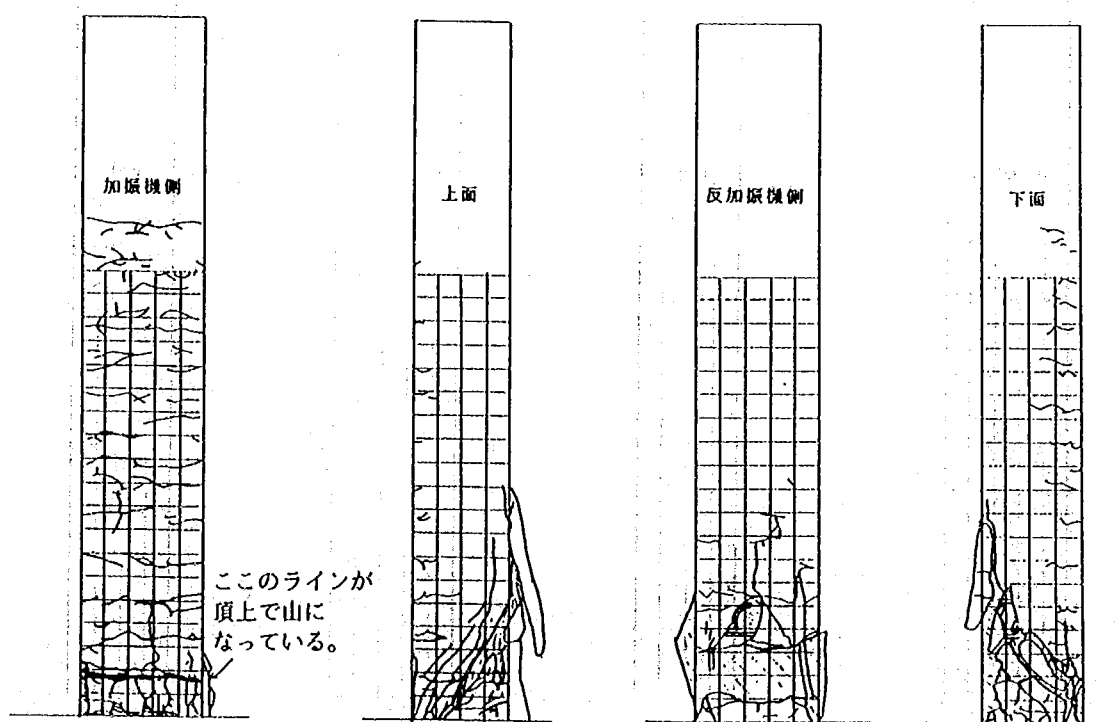
参図-5 (2) 供試体 P-63 (2 δ 載荷後)



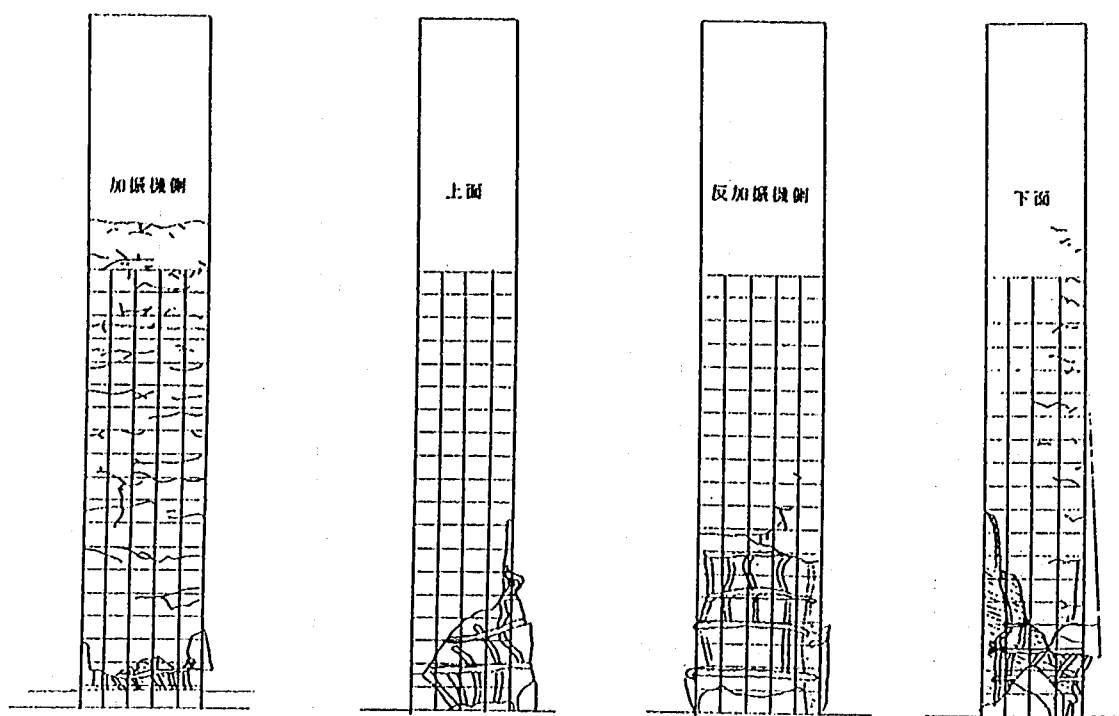
参図-5 (3) 供試体 P-63 (3 δ 載荷後)



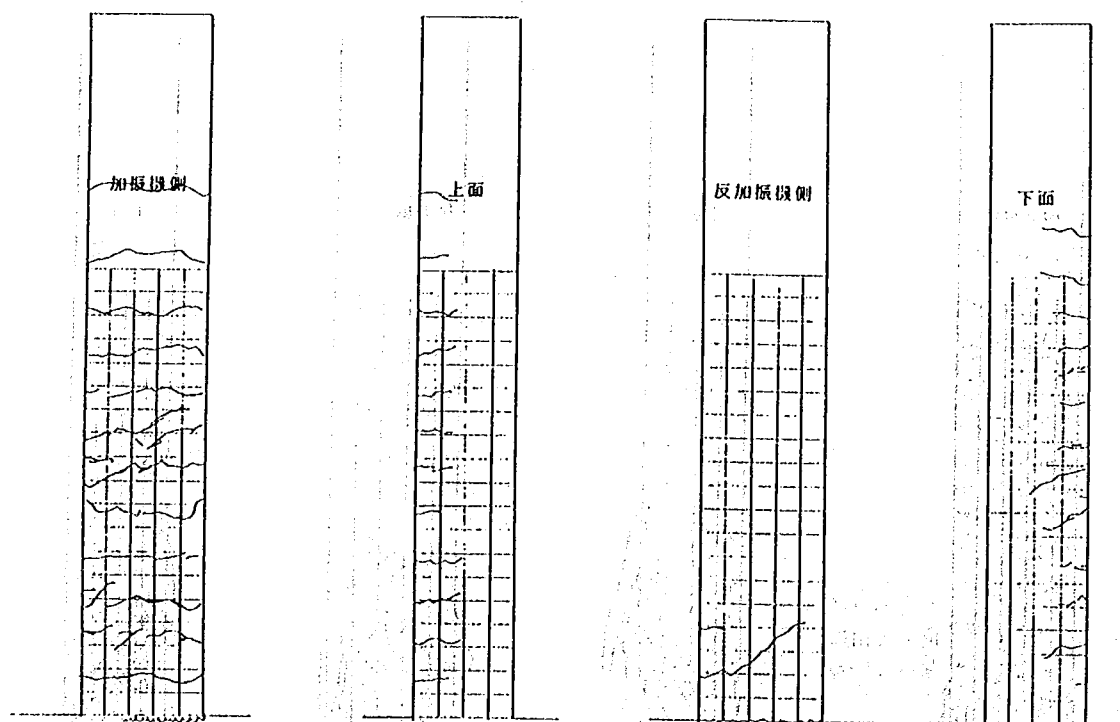
参図-5 (4) 供試体 P-63 (4 δ_0 載荷後)



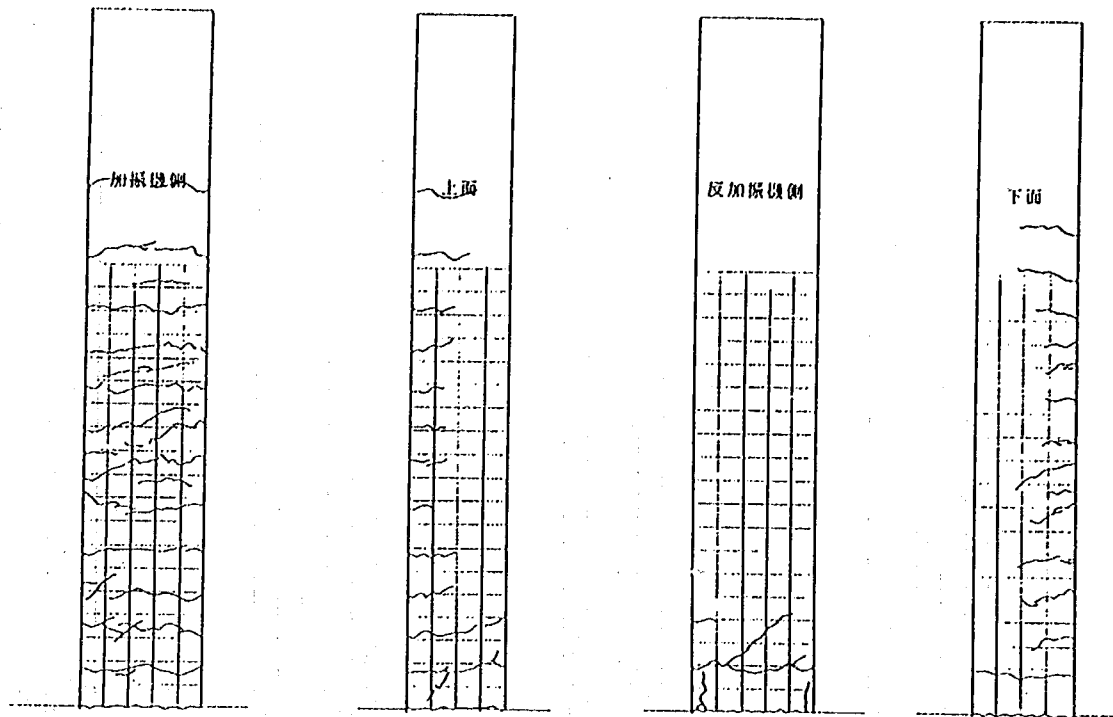
参図-5 (5) 供試体 P-63 (5 δ_0 載荷後)



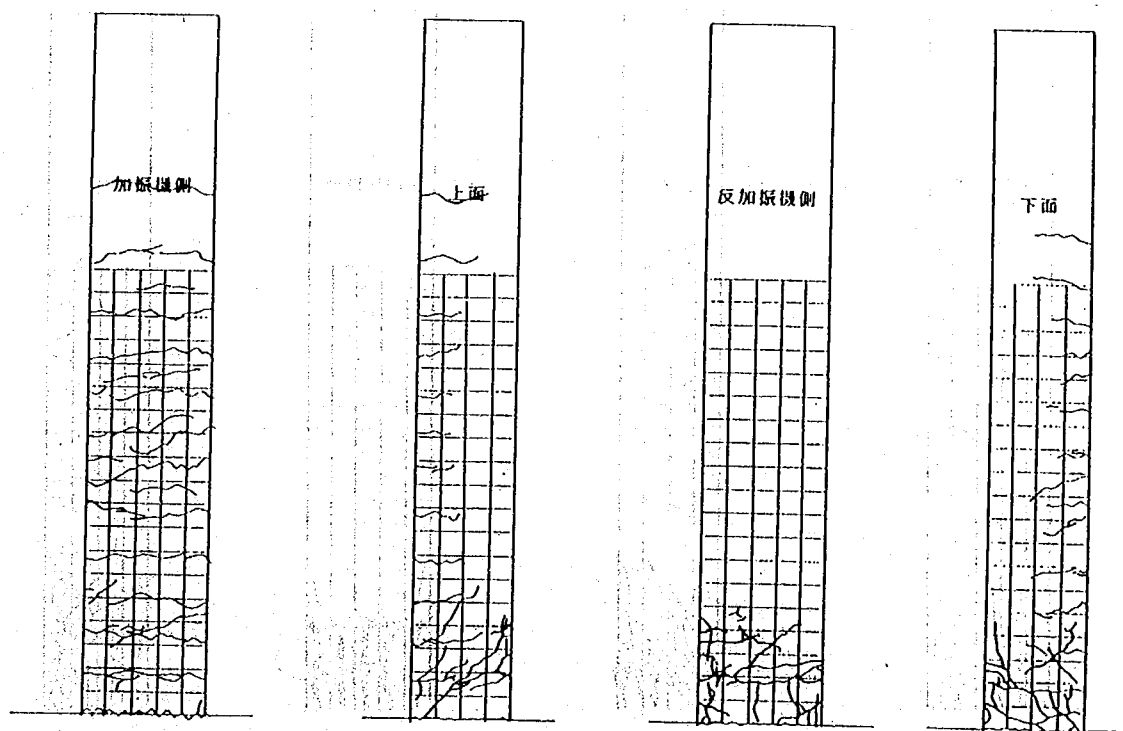
参図-5 (6) 供試体P-63 (6 δ 載荷後)



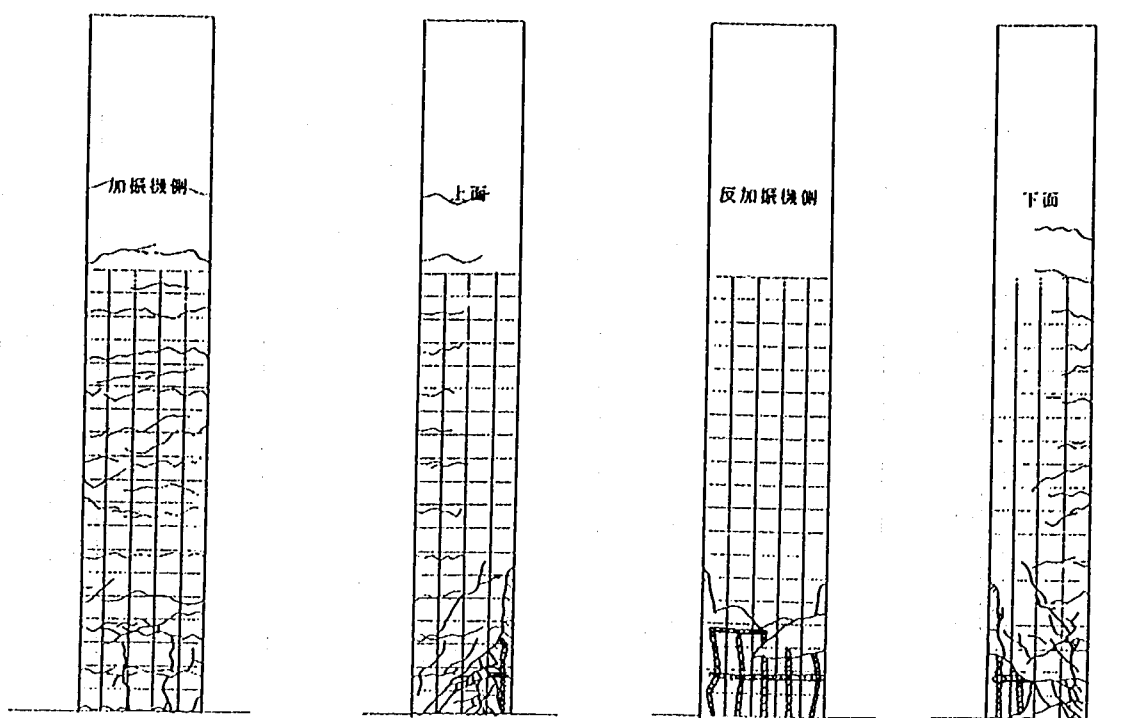
参図-6 (1) 供試体P-64 (1 δ 載荷後)



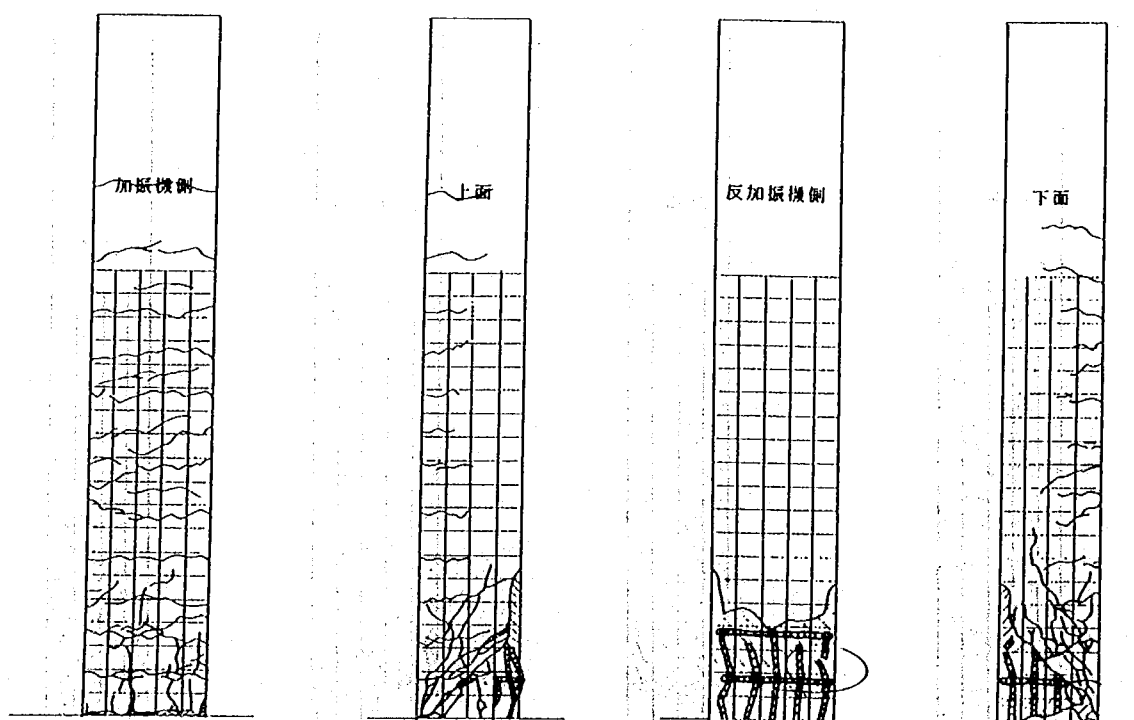
参図-6 (2) 供試体 P-64 (2 δ 載荷後)



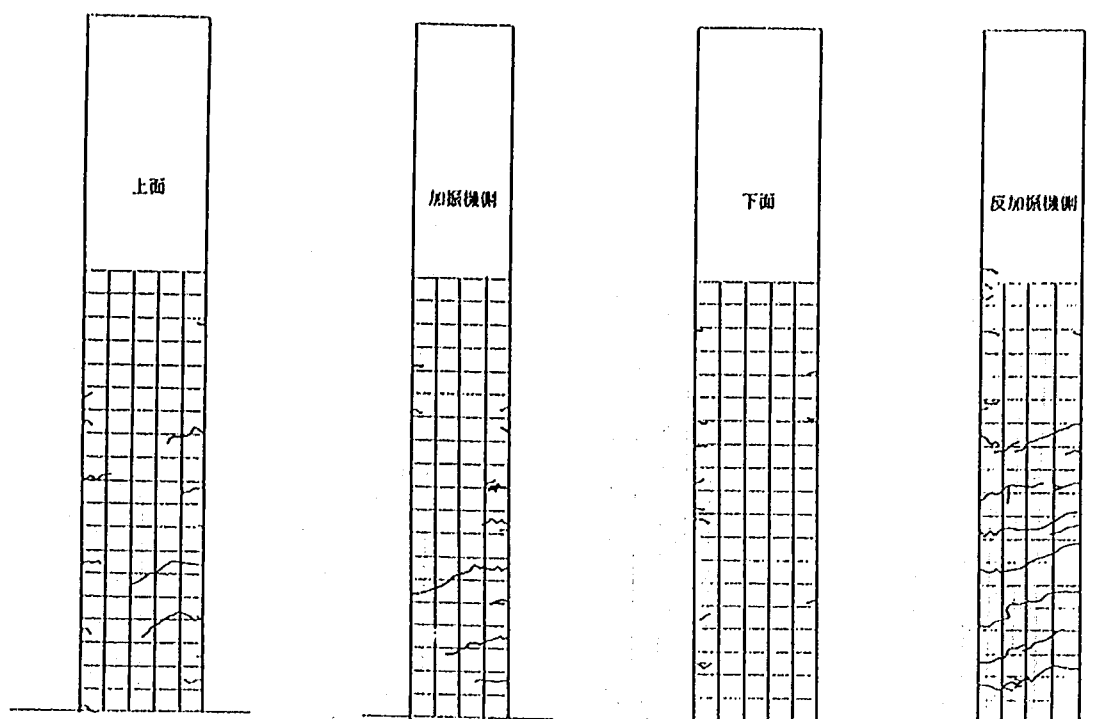
参図-6 (3) 供試体 P-64 (3 δ 載荷後)



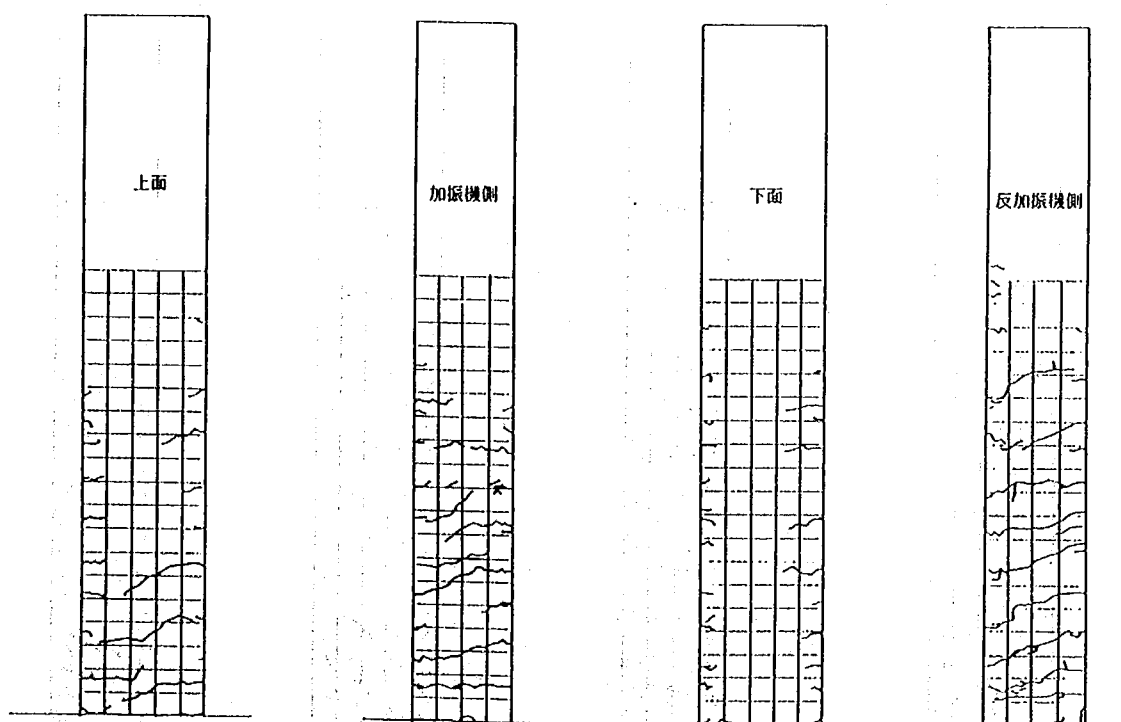
参図-6 (4) 供試体 P-64 (4 δ 載荷後)



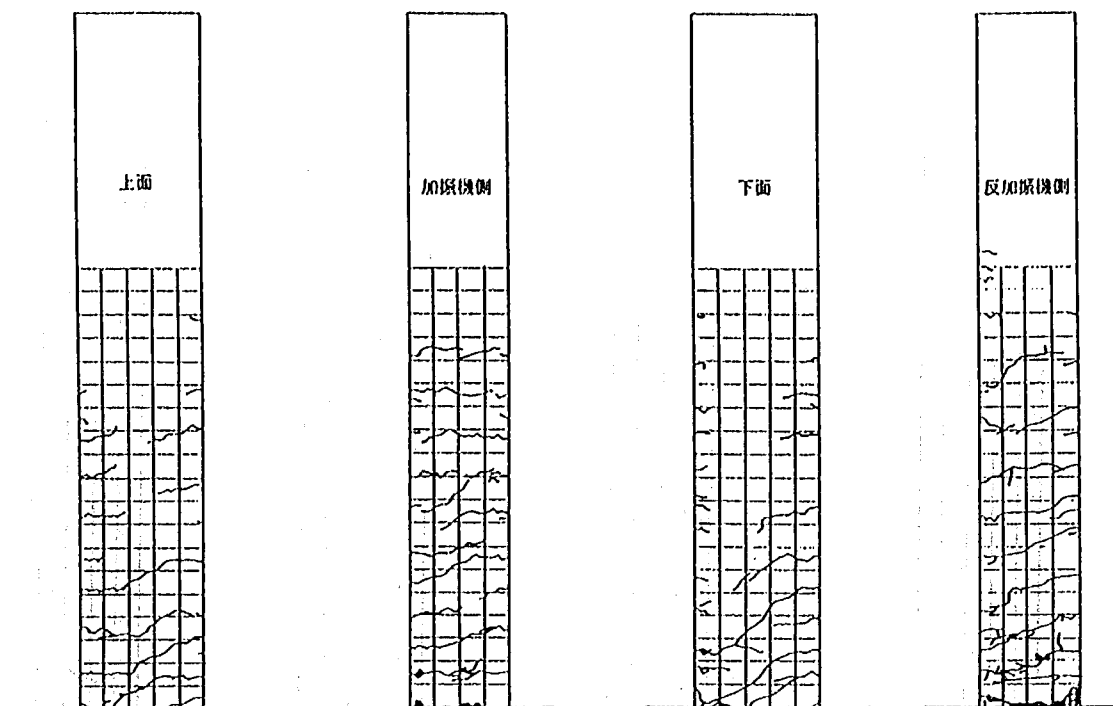
参図-6 (5) 供試体 P-64 (5 δ 載荷後)



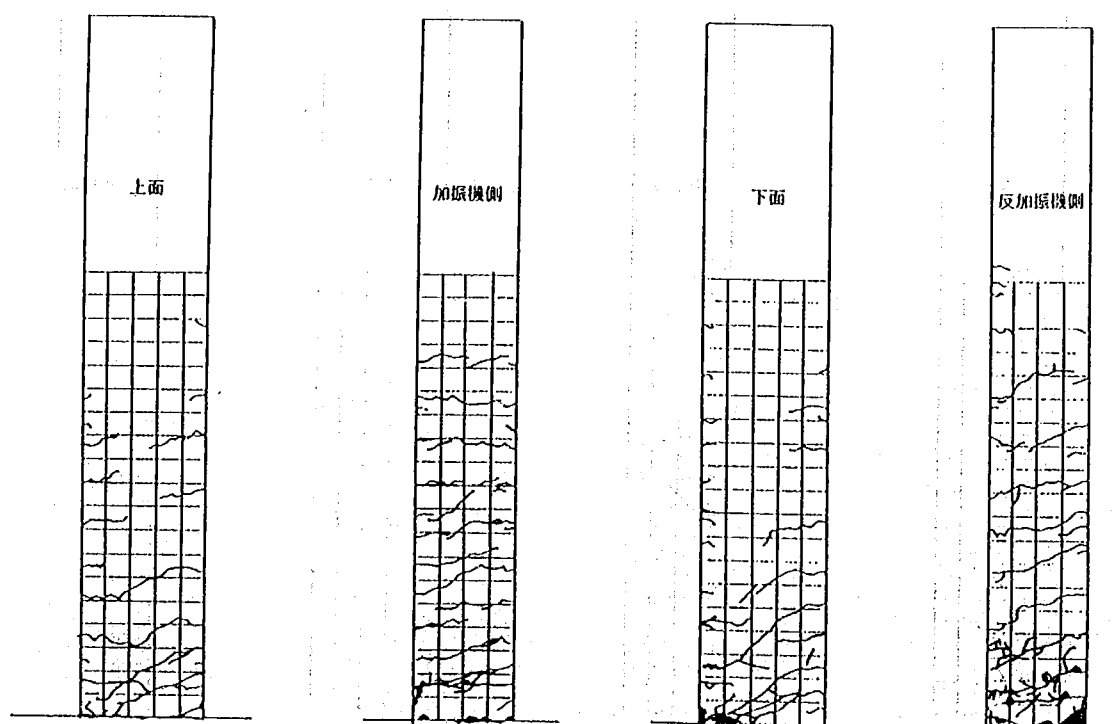
参图-7 (1) 供试体P-65 (1 δ 荷载后)



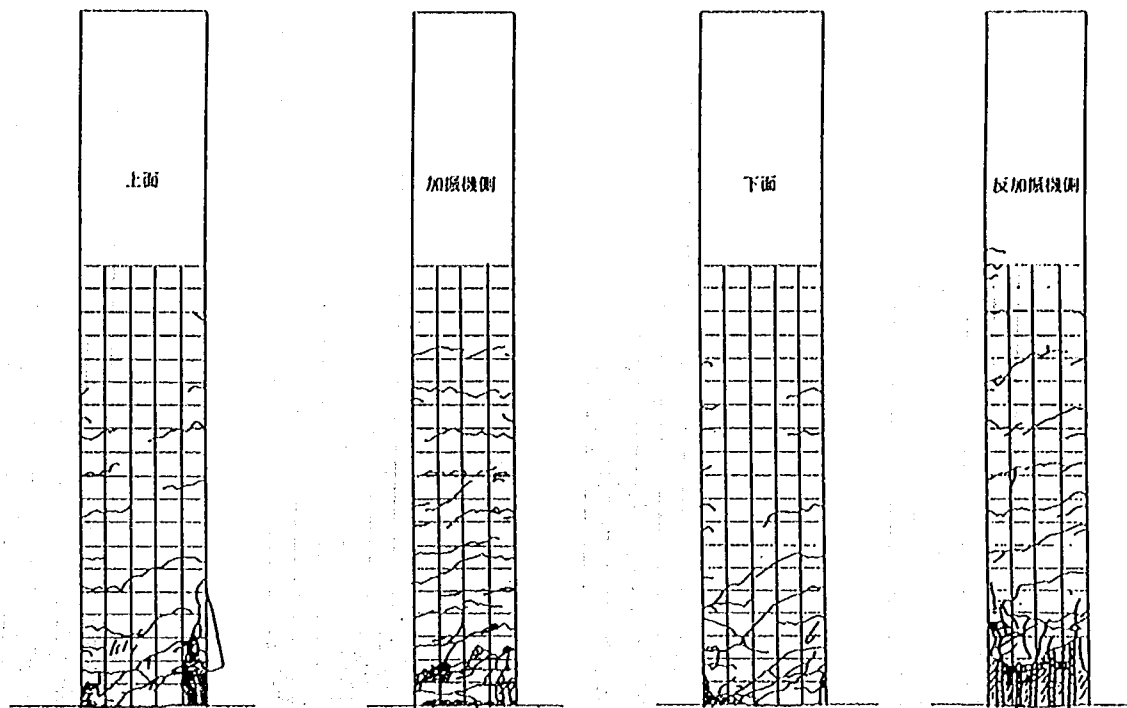
参图-7 (2) 供试体P-65 (2 δ 荷载后)



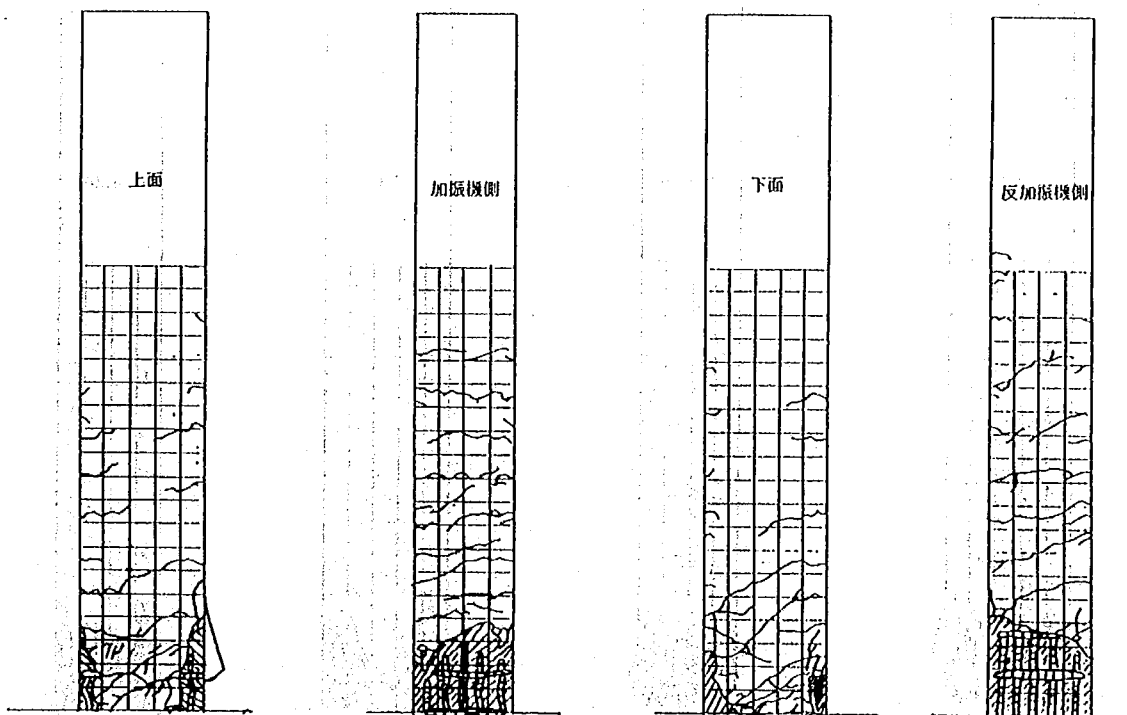
参图-7 (3) 供试体 P-65 (3 δ 荷载后)



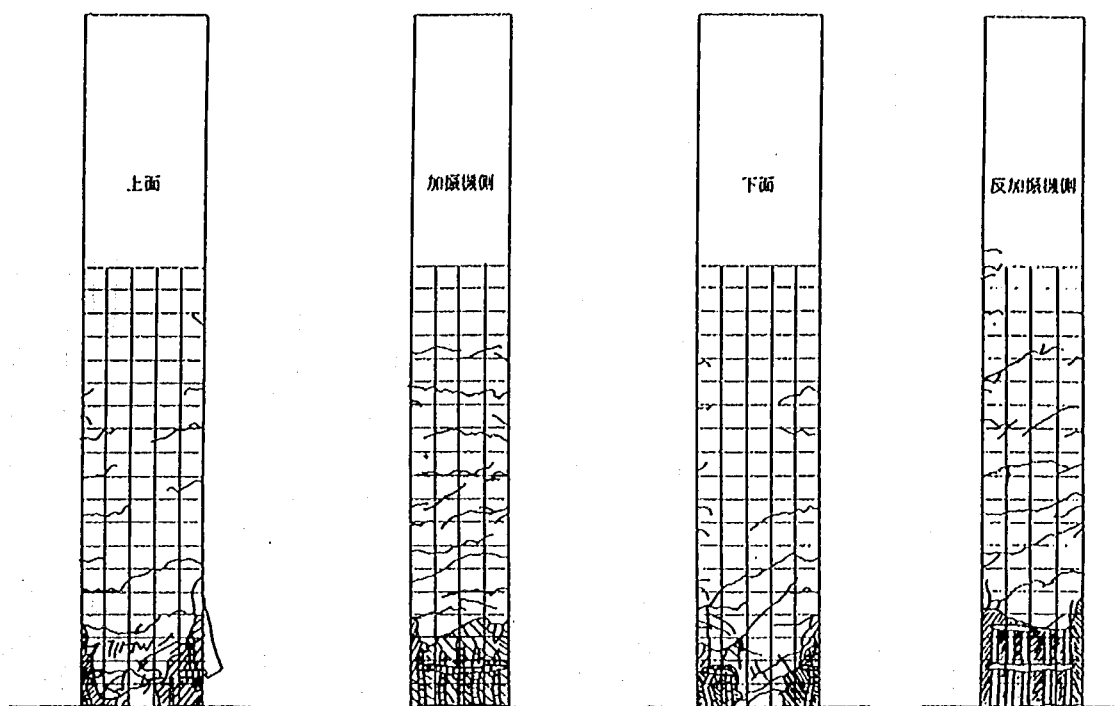
参图-7 (4) 供试体 P-65 (4 δ 荷载后)



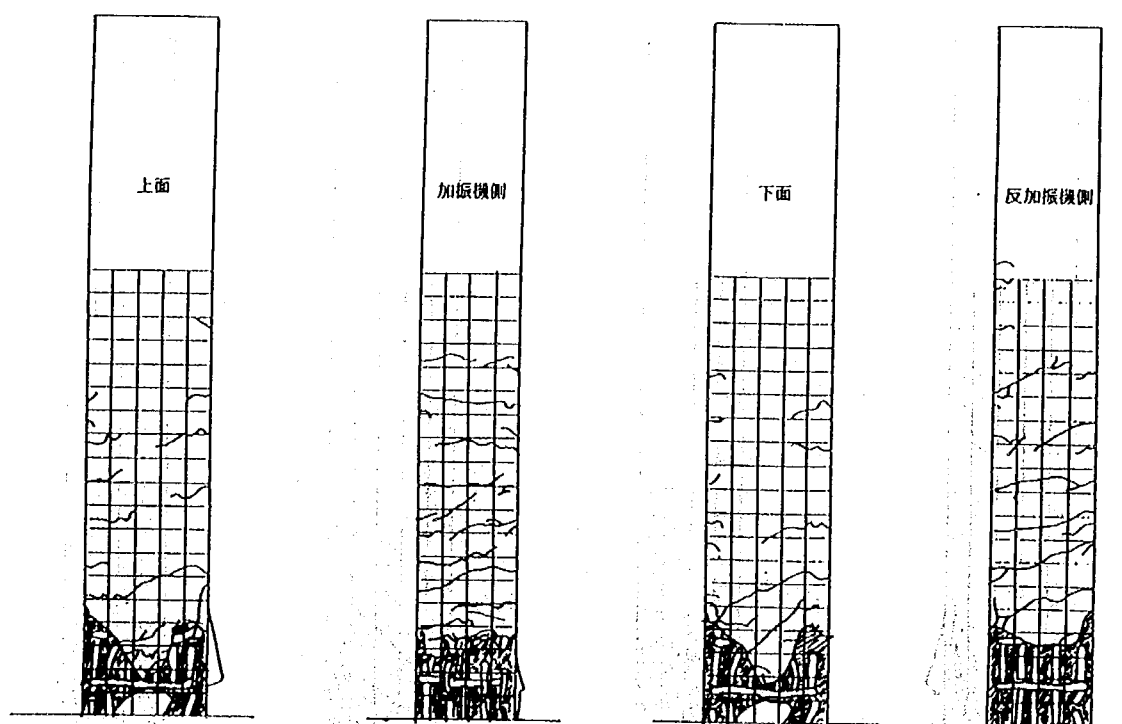
参図-7 (5) 供試体P-65 (5 δ 載荷後)



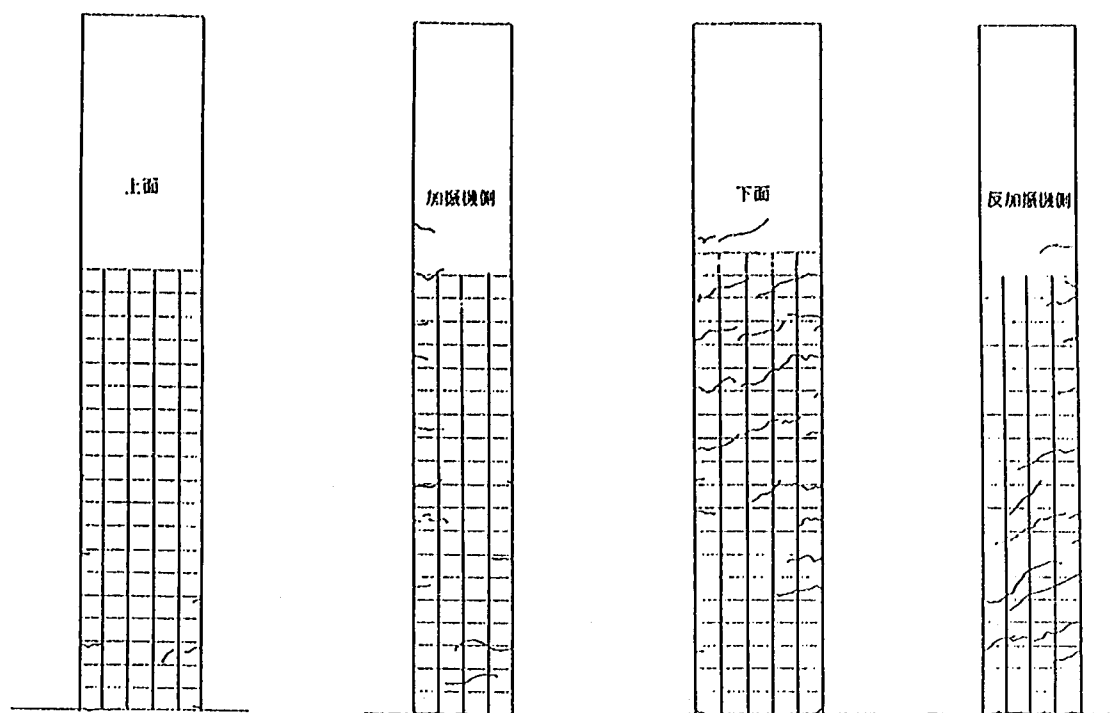
参図-7 (6) 供試体P-65 (6 δ 載荷後)



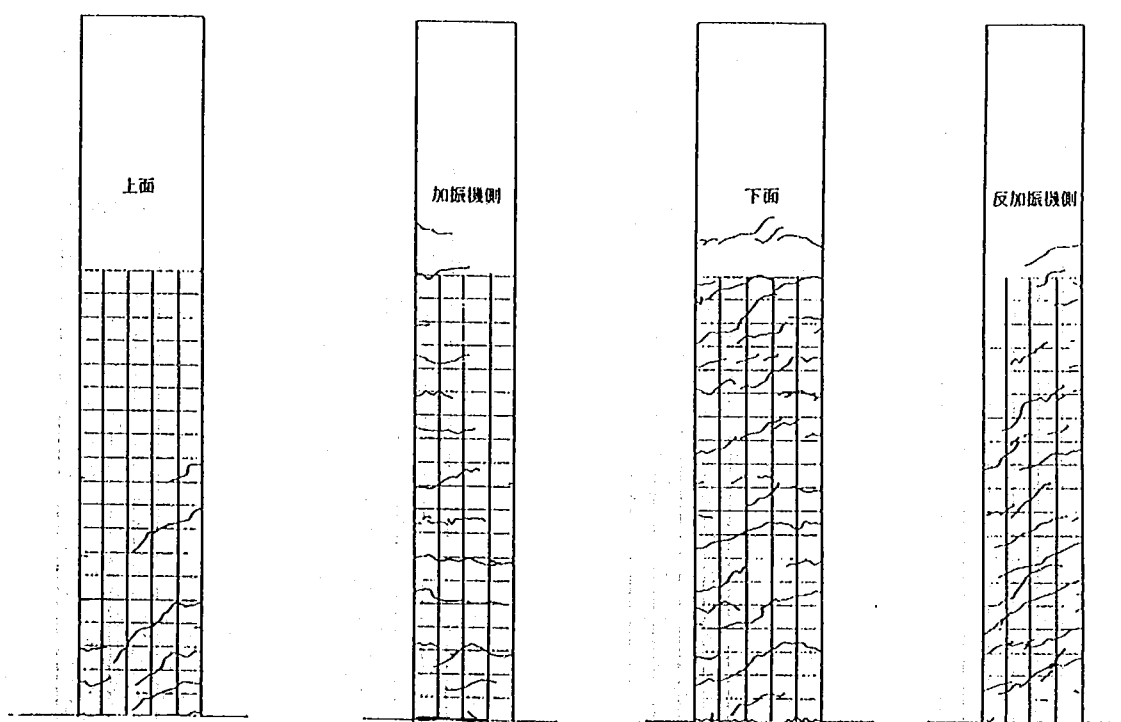
参図-7 (7) 供試体 P-65 (7 δ 載荷後)



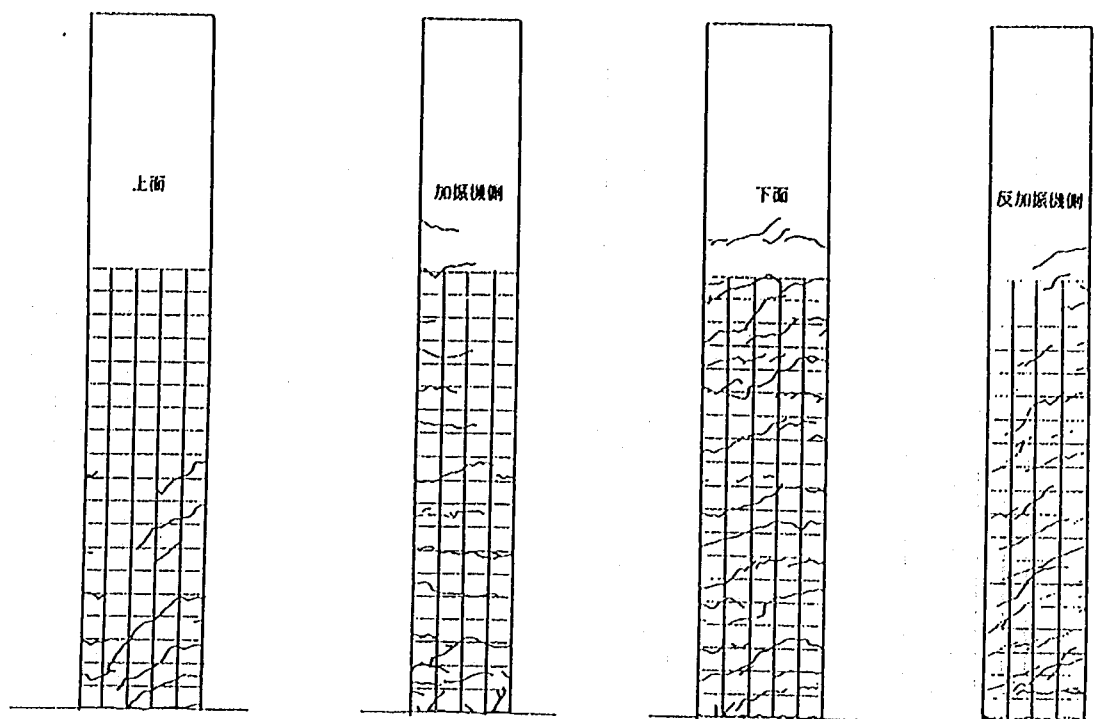
参図-7 (8) 供試体 P-65 (8 δ 載荷後)



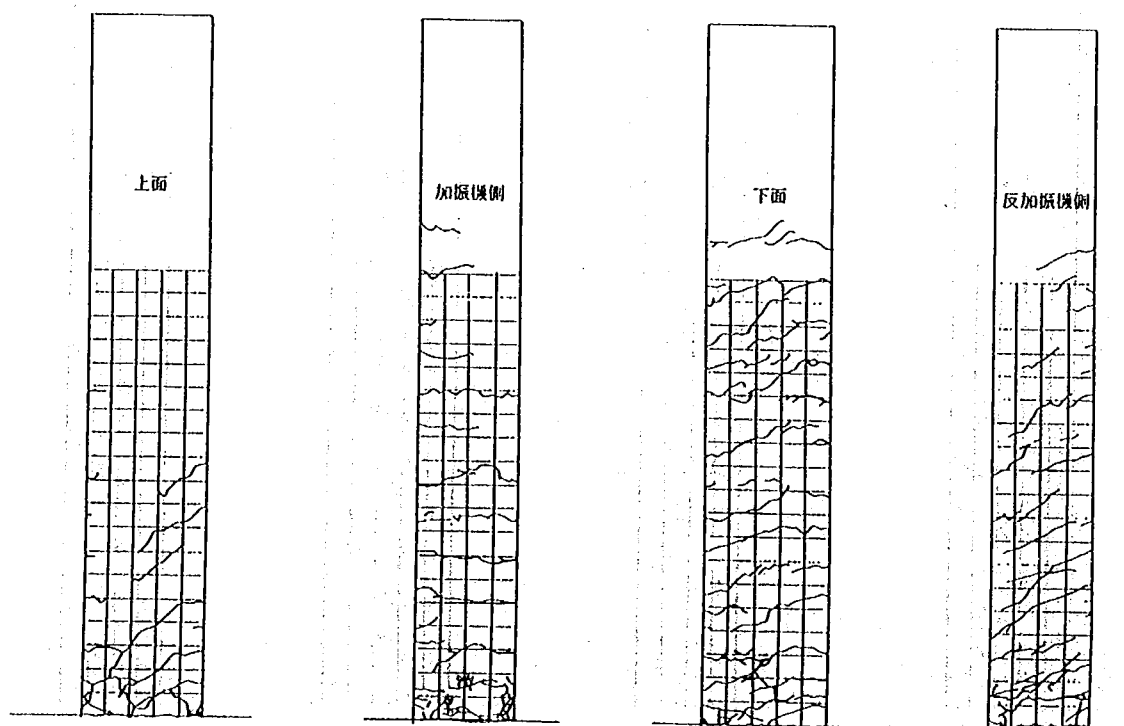
参图-8 (1) 供试体P-66 (1 δ_0 荷载后)



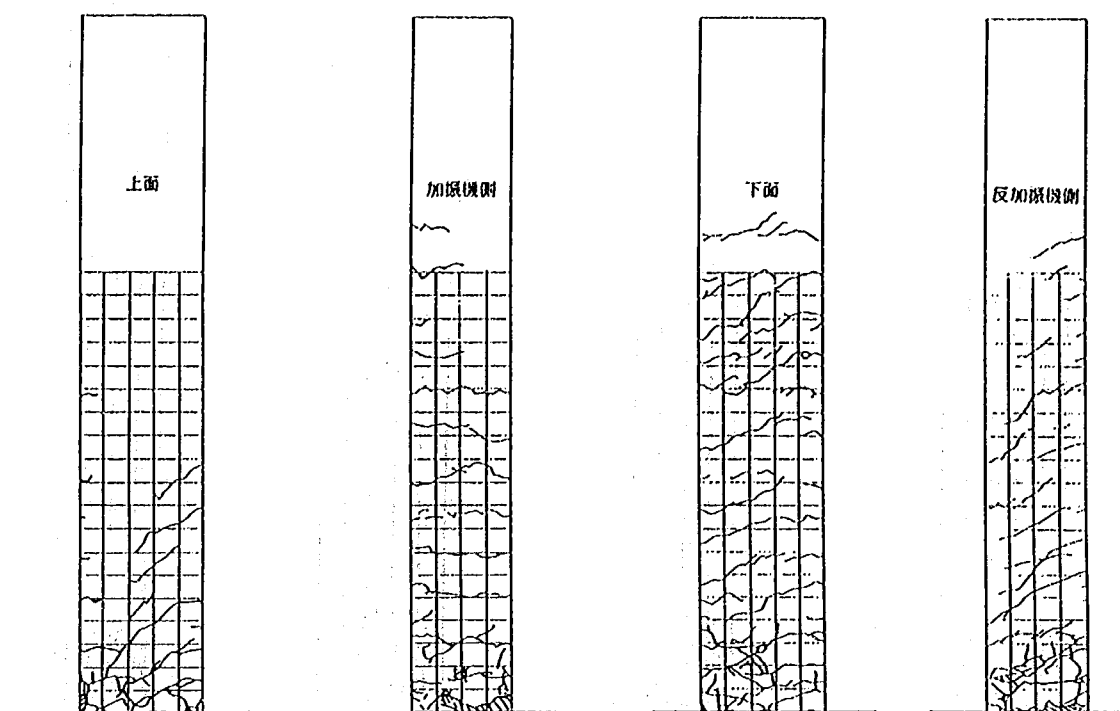
参图-8 (2) 供试体P-66 (2 δ_0 荷载后)



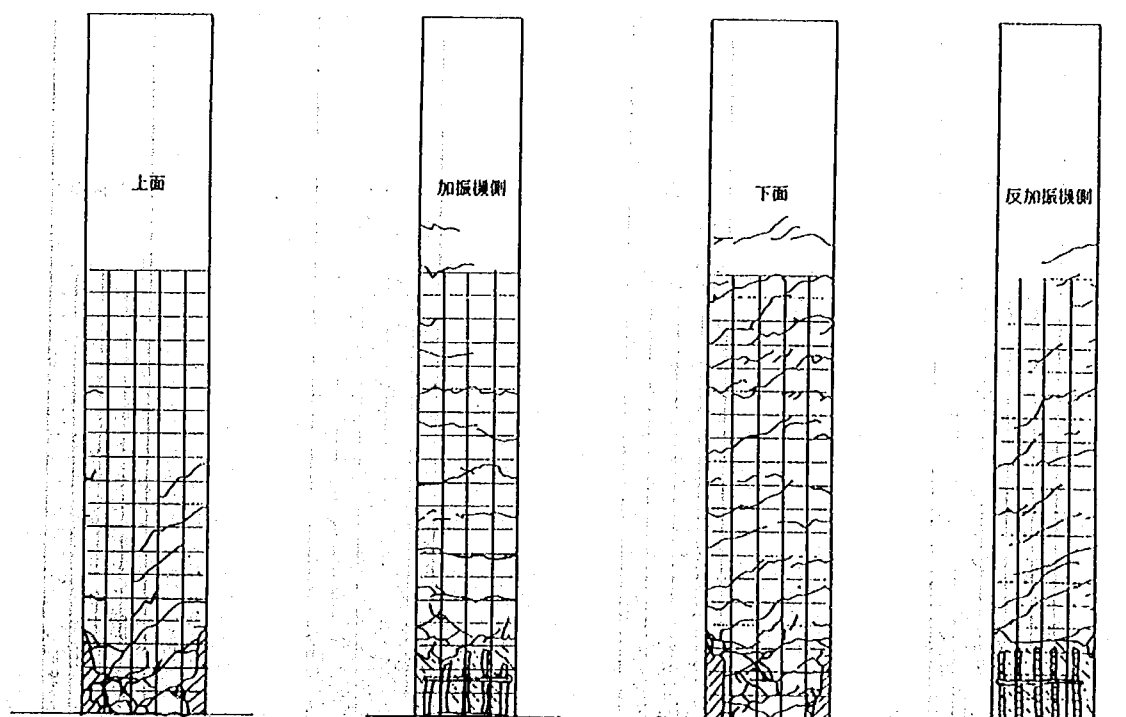
参图-8 (3) 供试体 P-66 (3δ 荷载后)



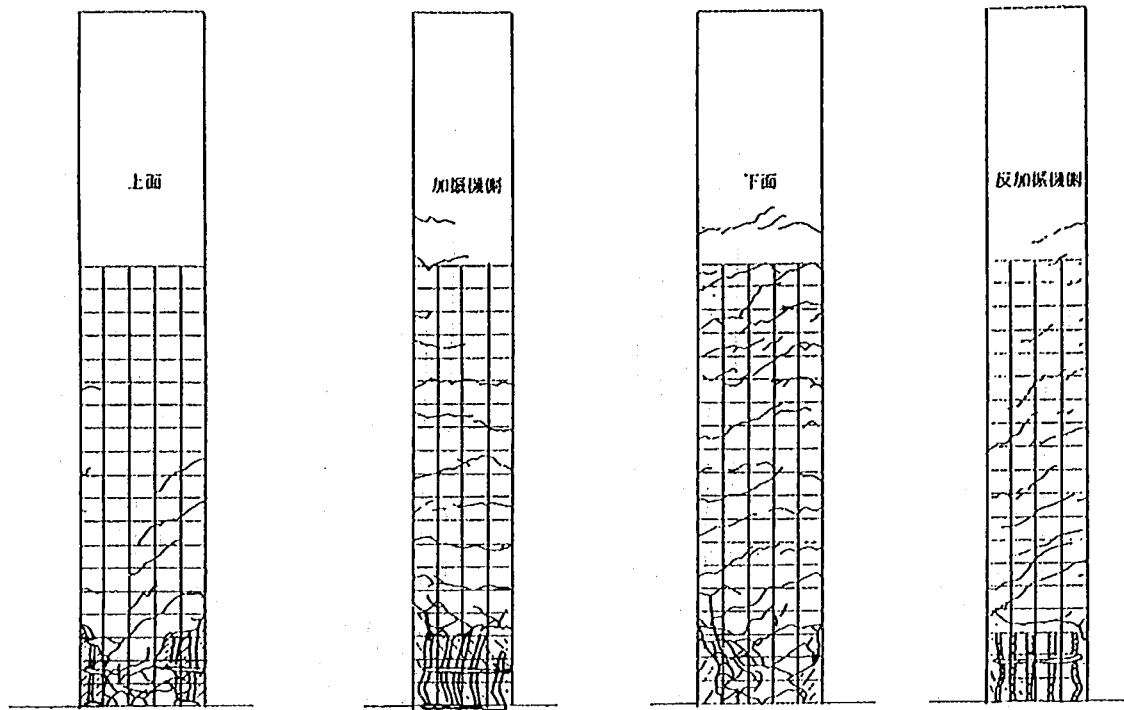
参图-8 (4) 供试体 P-66 (4δ 荷载后)



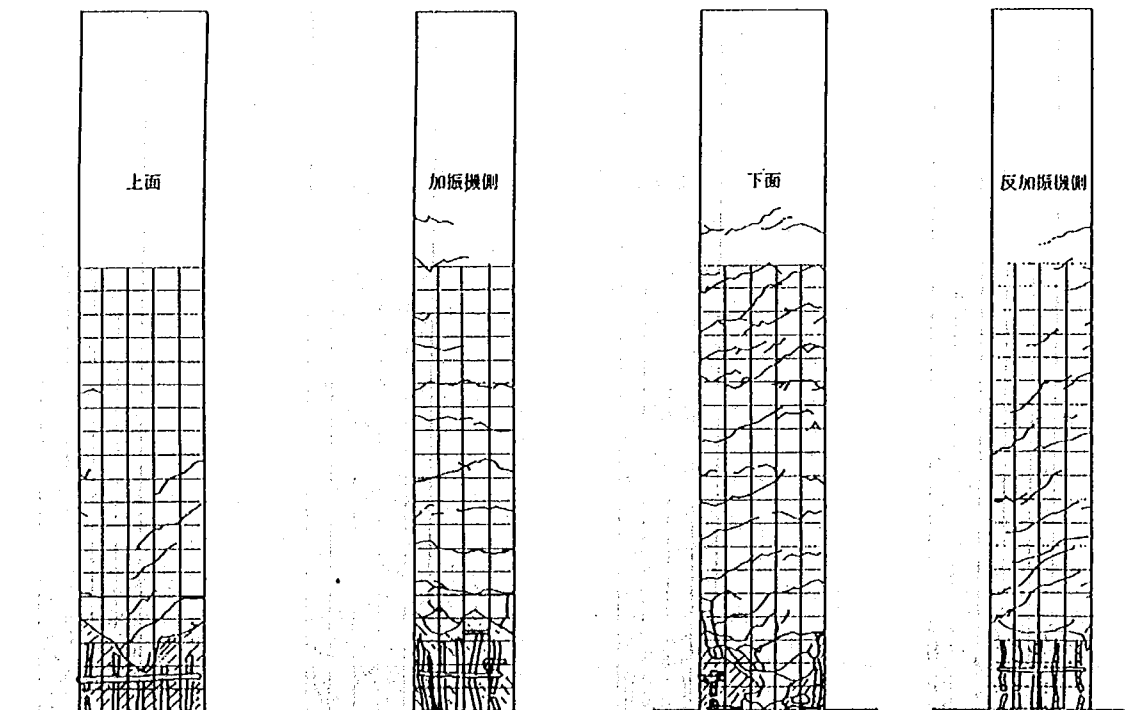
参図-8 (5) 供試体P-66 (5 δ 載荷後)



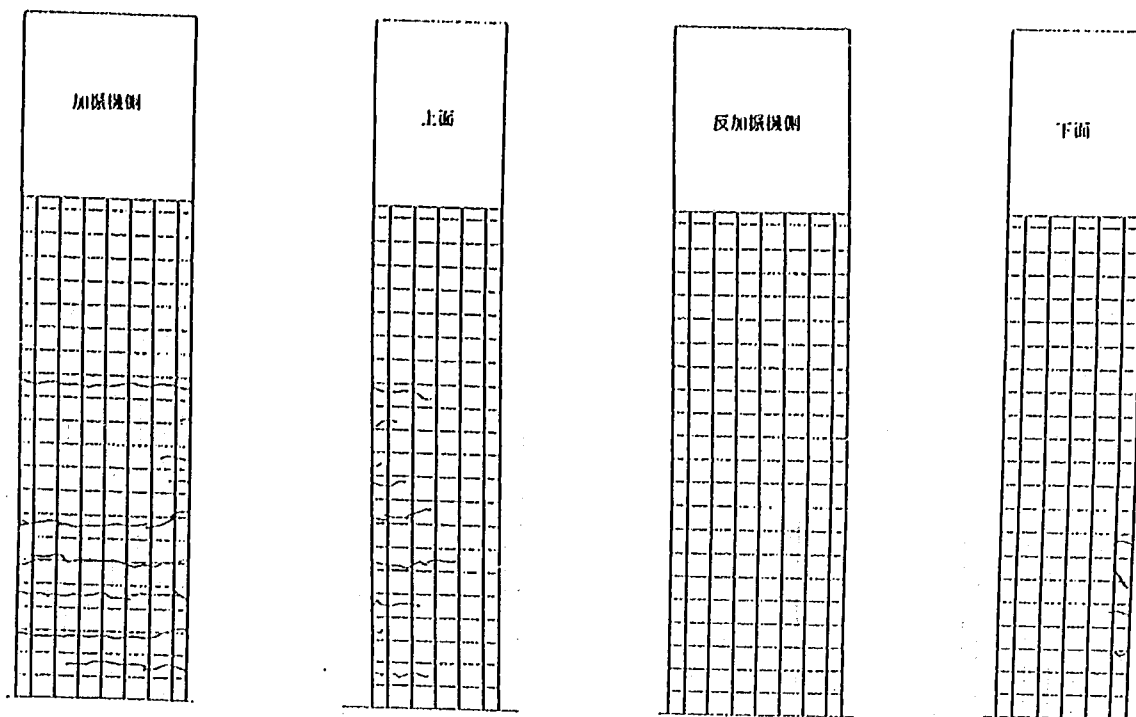
参図-8 (6) 供試体P-66 (6 δ 載荷後)



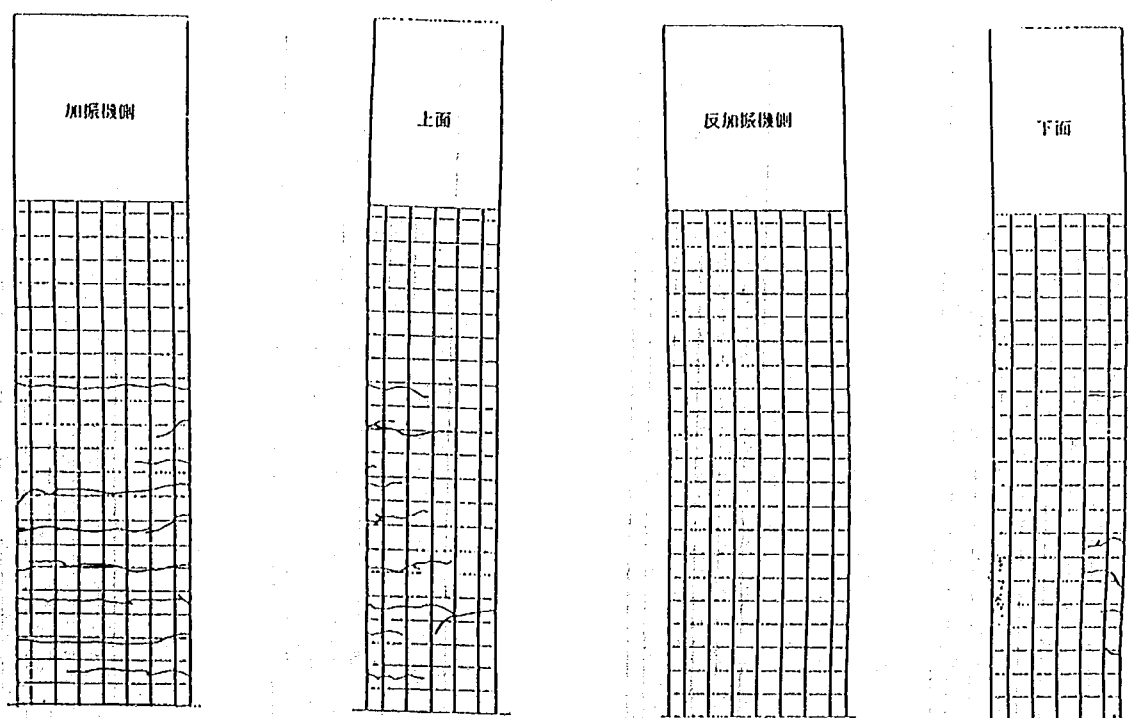
参図-8 (7) 供試体 P-66 (7 δ 載荷後)



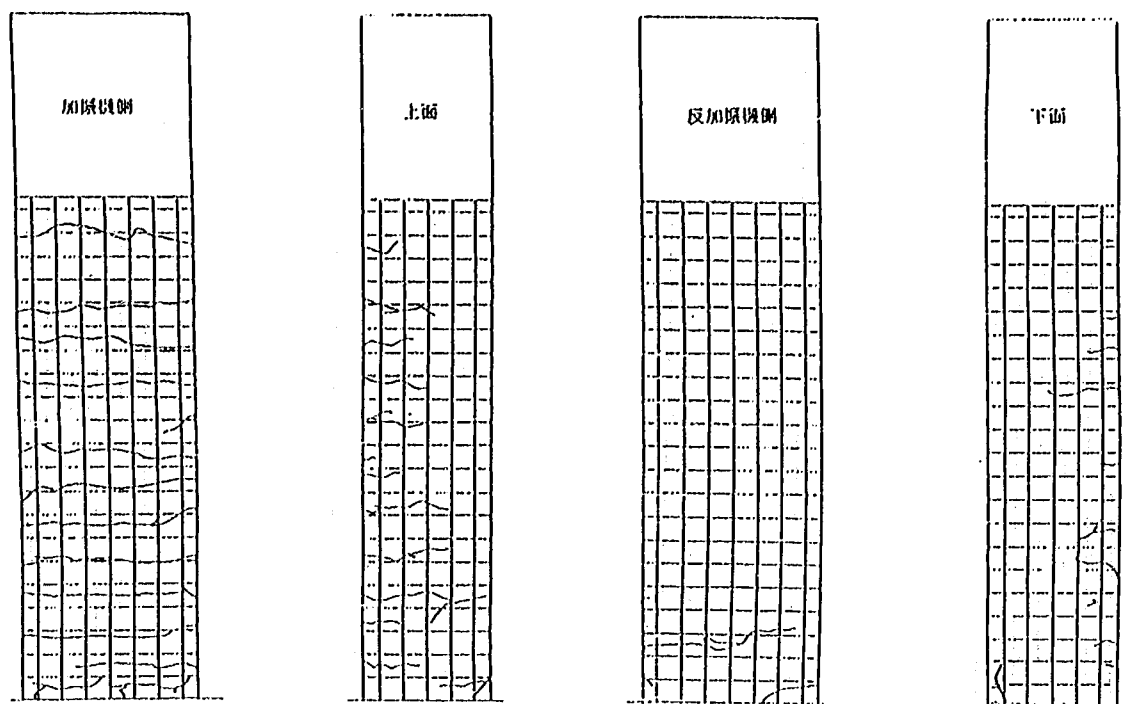
参図-8 (8) 供試体 P-66 (8 δ 載荷後)



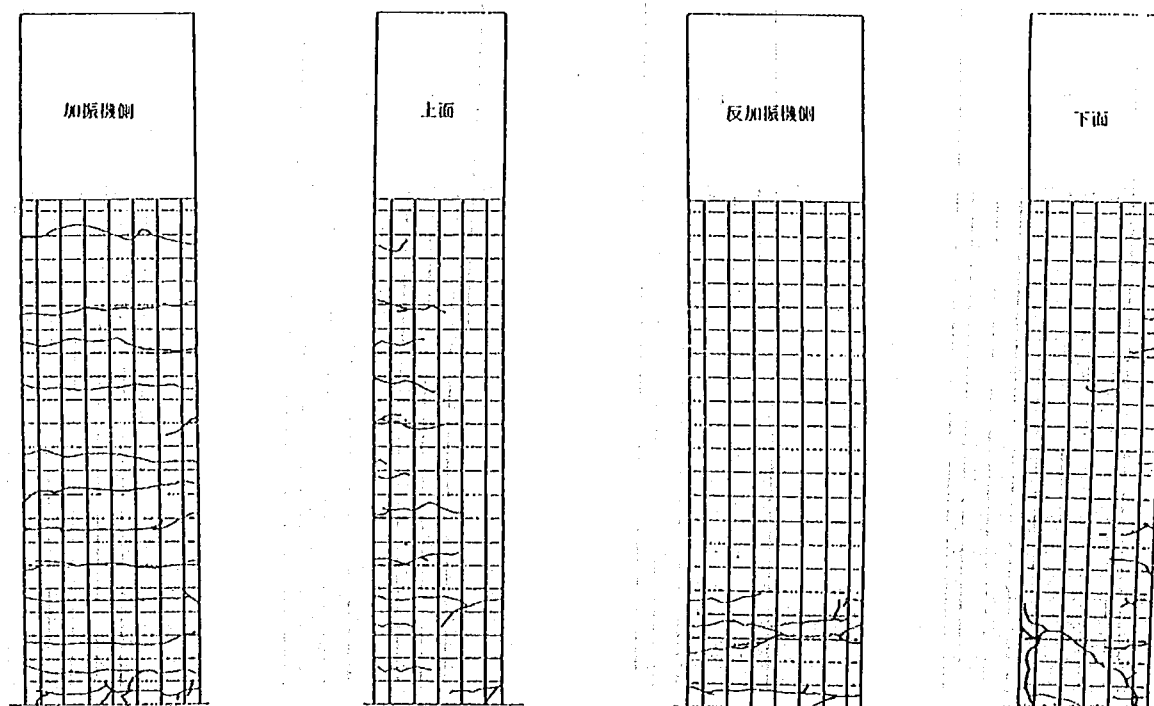
参图-9 (1) 供试体 P-70 (1 δ 荷载后)



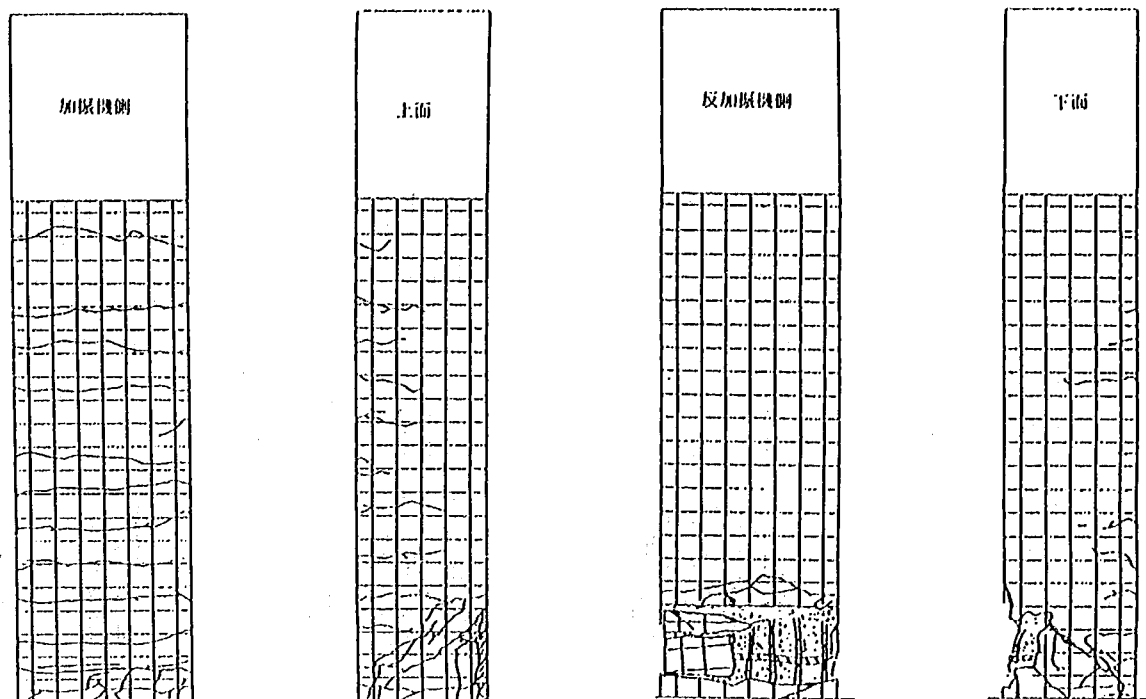
参图-9 (2) 供试体 P-70 (2 δ 荷载后)



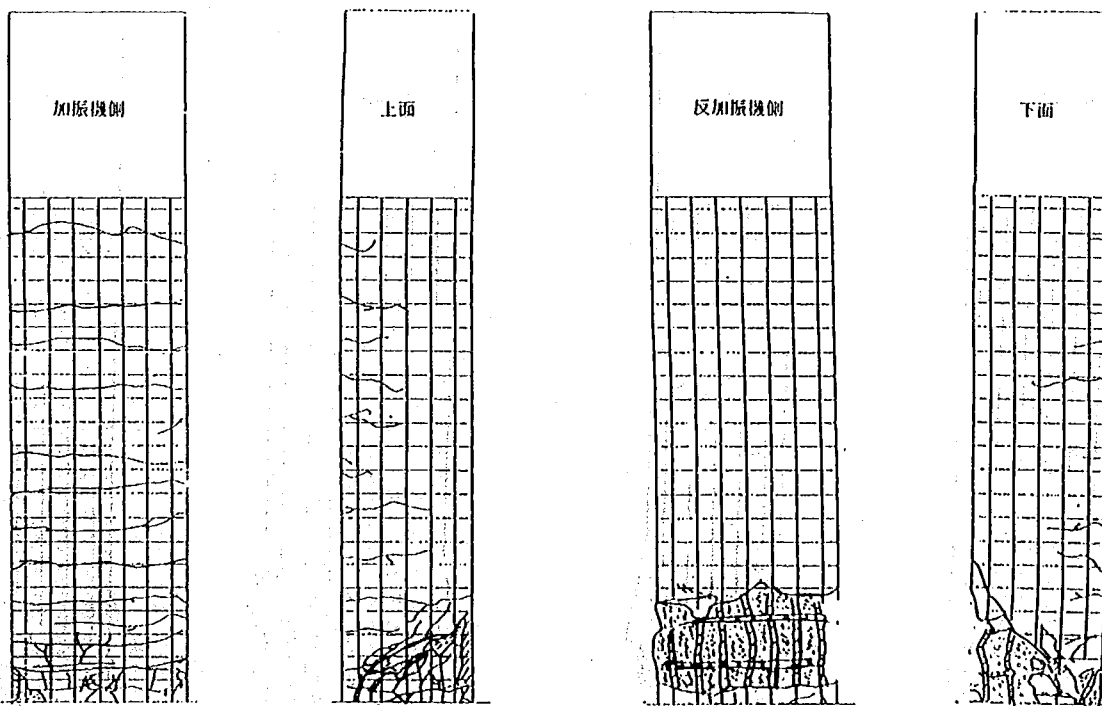
参图-9 (3) 供试体 P-70 (3 δ₀ 载荷后)



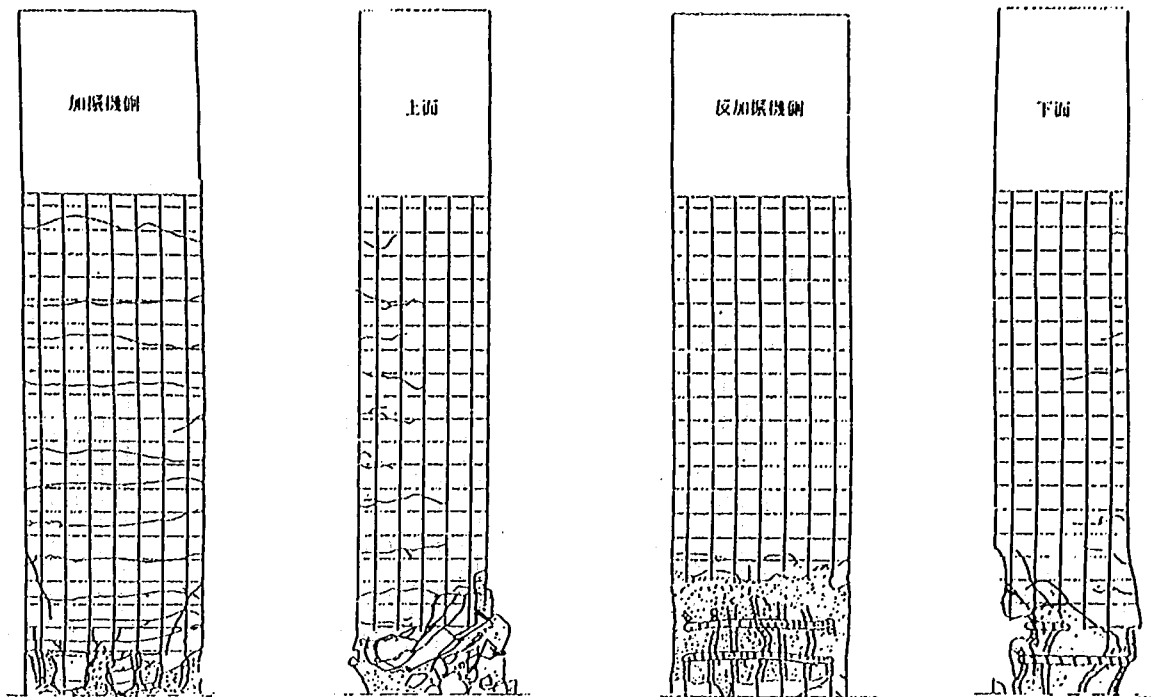
参图-9 (4) 供试体 P-70 (4 δ₀ 载荷后)



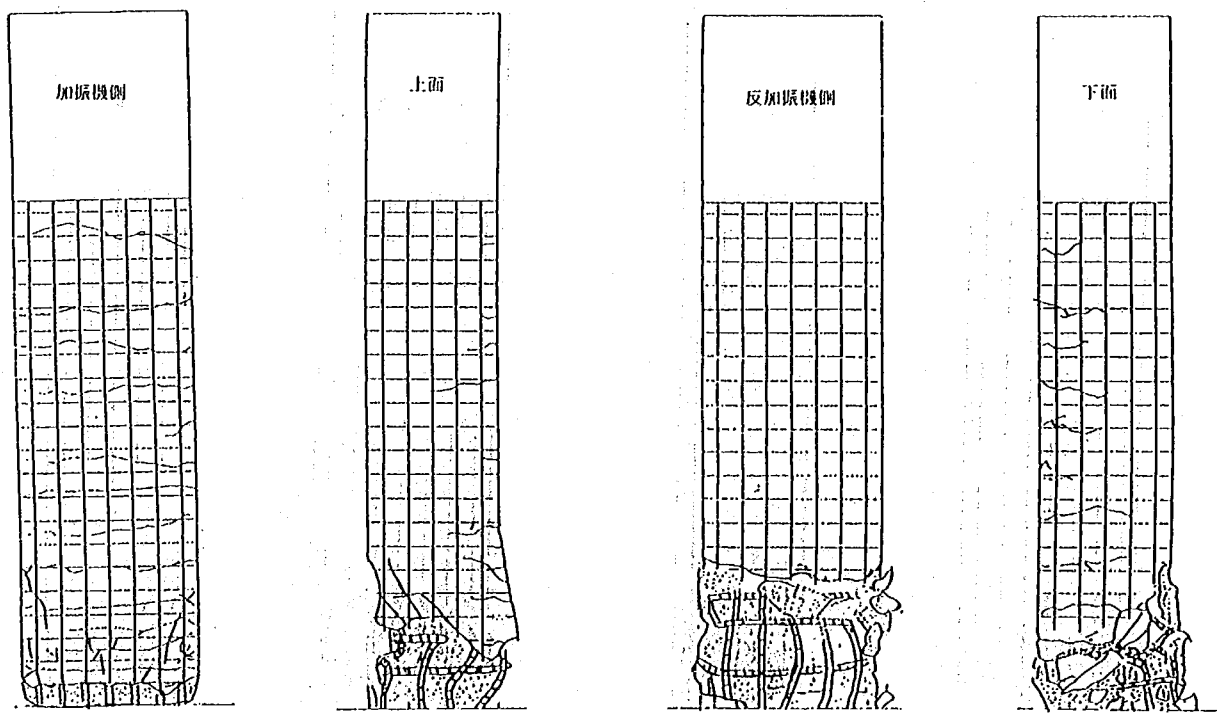
参図-9 (5) 供試体 P-70 (5 δ 載荷後)



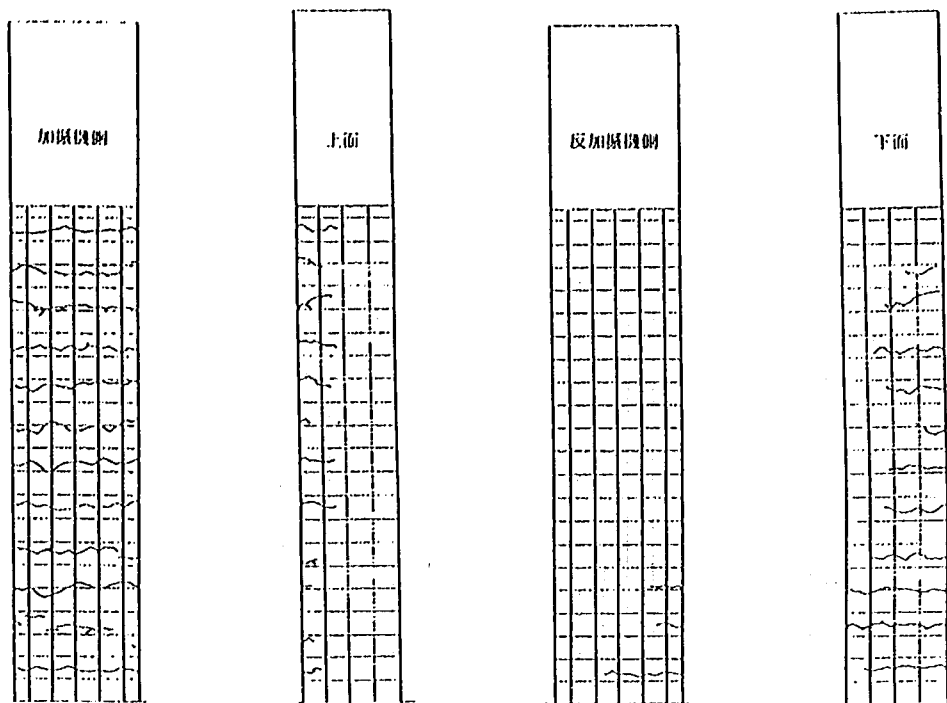
参図-9 (6) 供試体 P-70 (6 δ 載荷後)



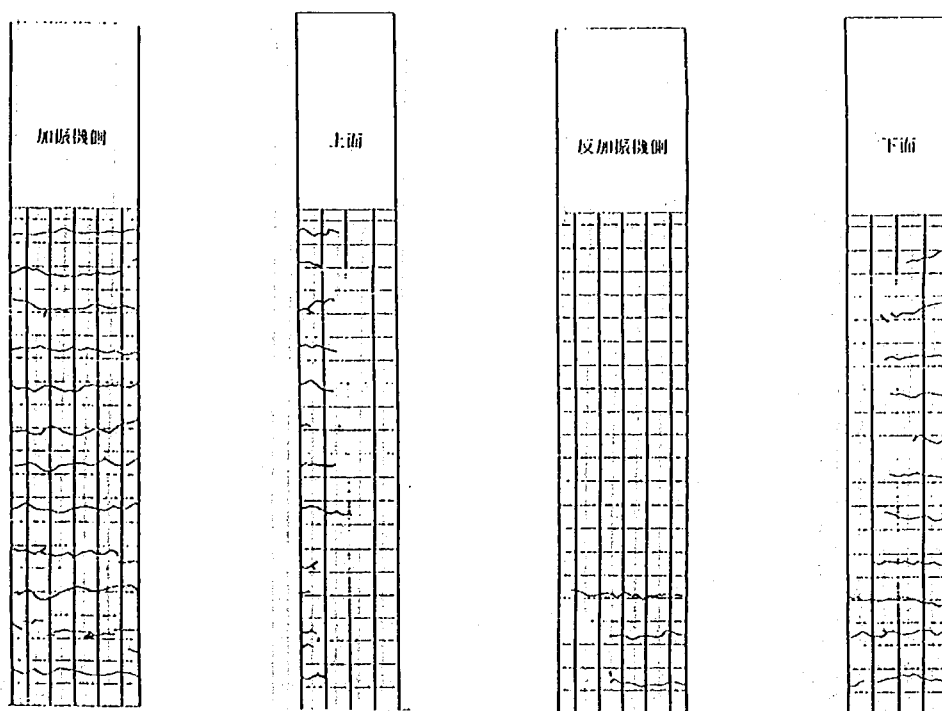
参図-9 (7) 供試体 P-70 (7δ。載荷後)



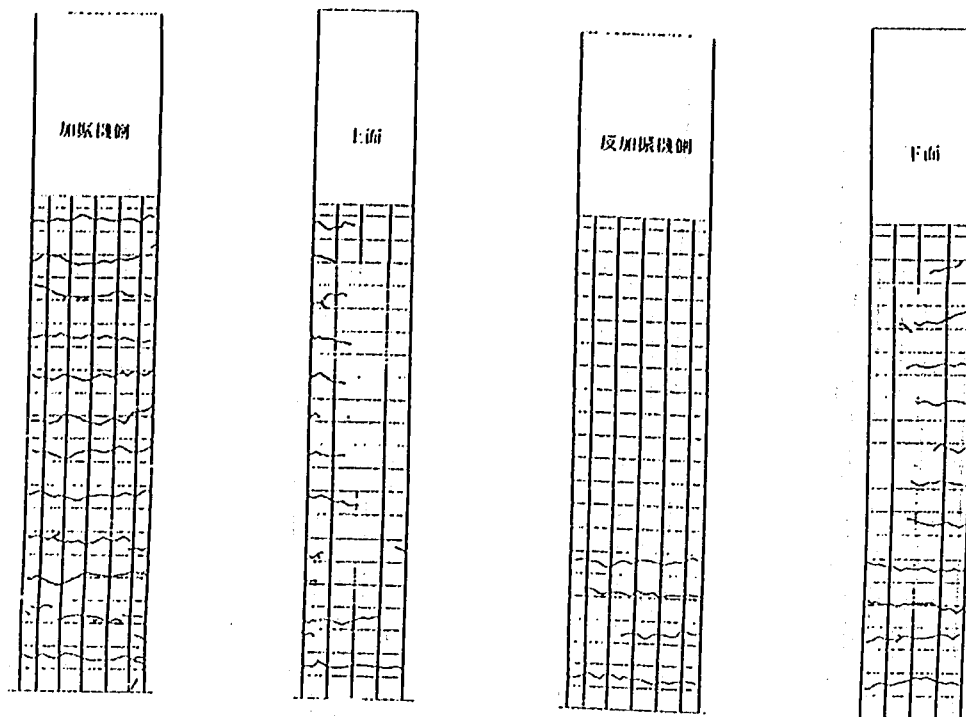
参図-9 (8) 供試体 P-70 (8δ。載荷後)



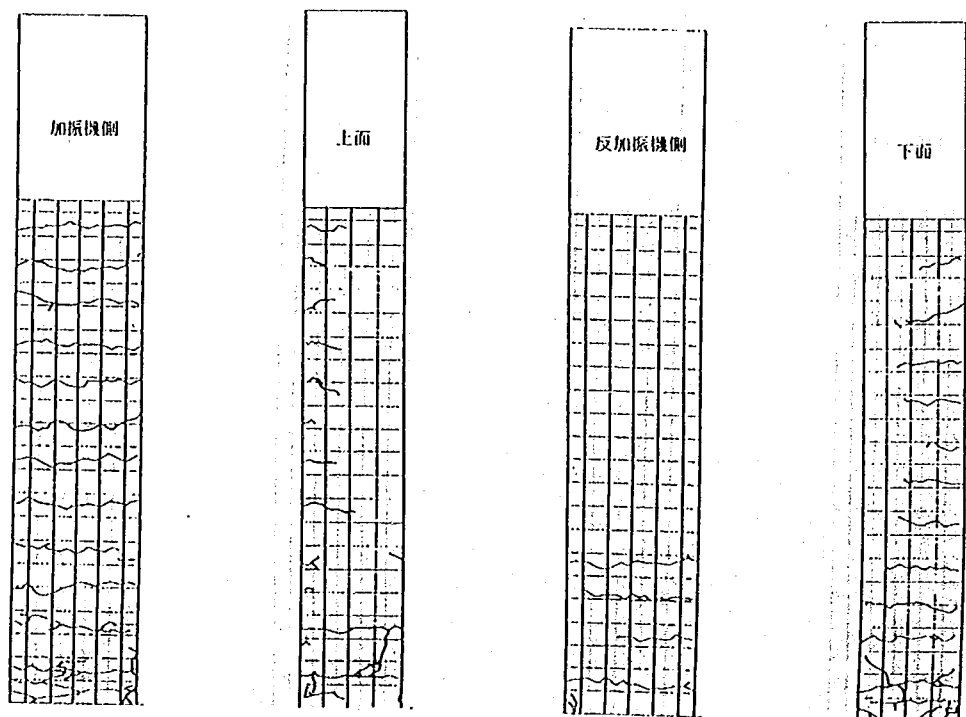
参图-10 (1) 供试体P-71 (1 δ 荷载后)



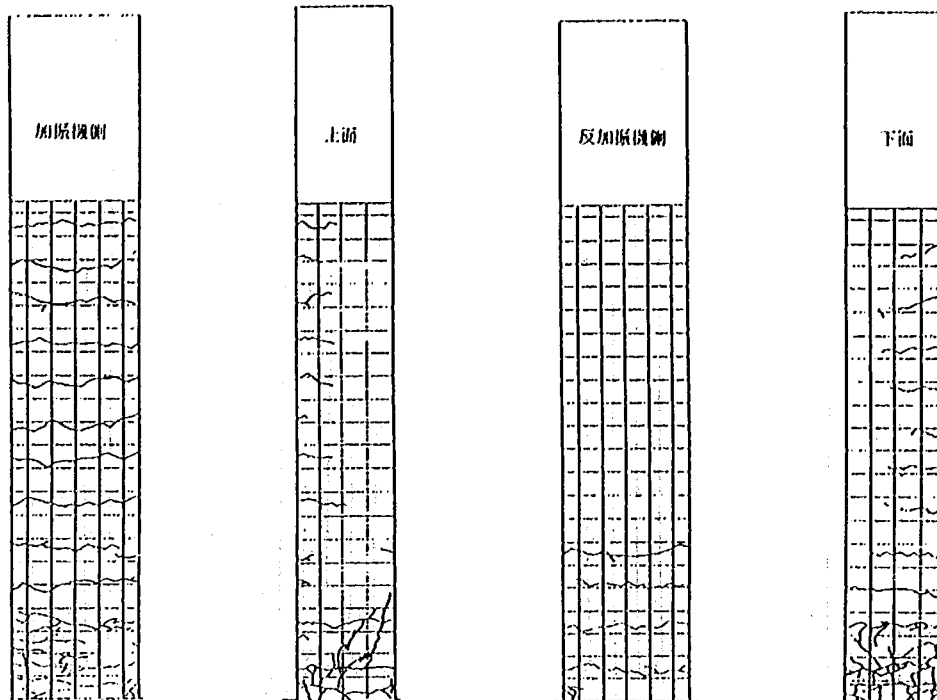
参图-10 (2) 供试体P-71 (2 δ 荷载后)



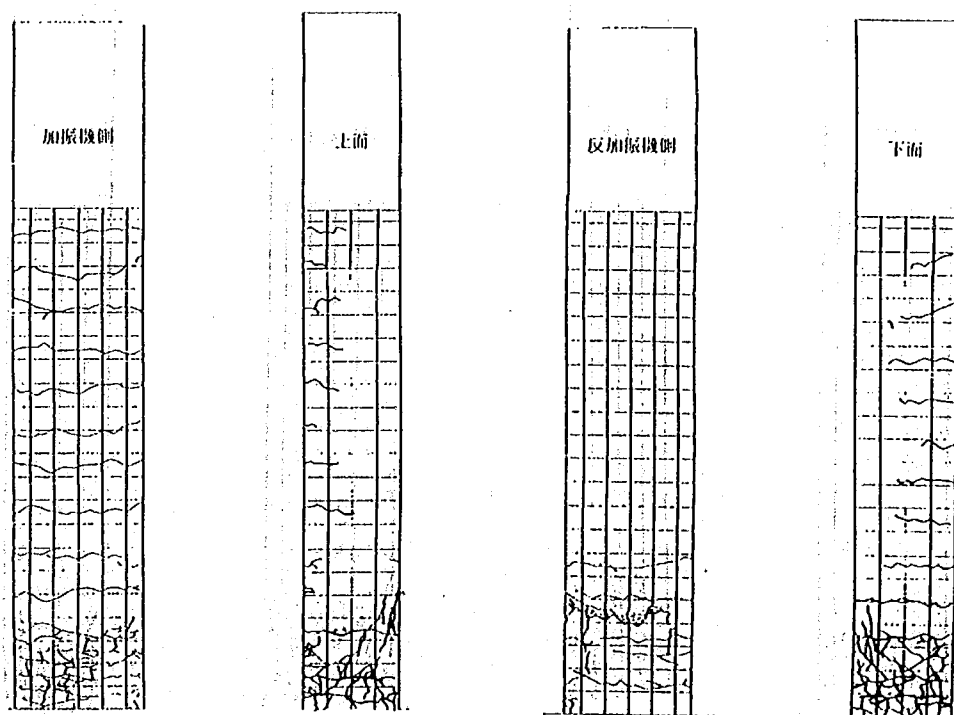
参図-10 (3) 供試体 P-71 (3 δ 載荷後)



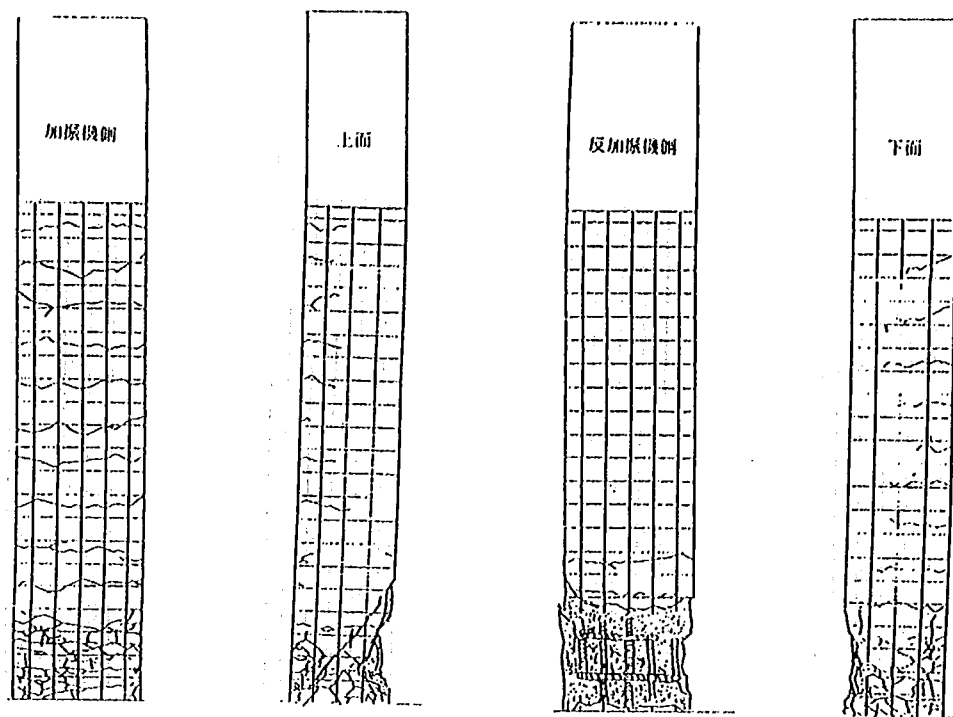
参図-10 (4) 供試体 P-71 (4 δ 載荷後)



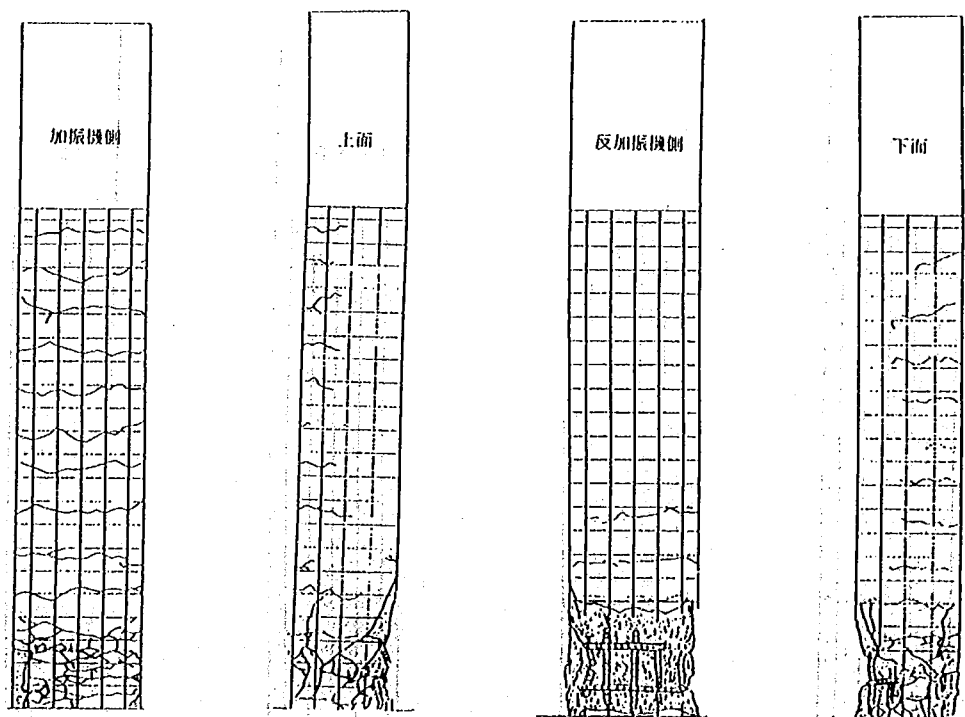
参図-10 (5) 供試体P-71 (5 δ % 載荷後)



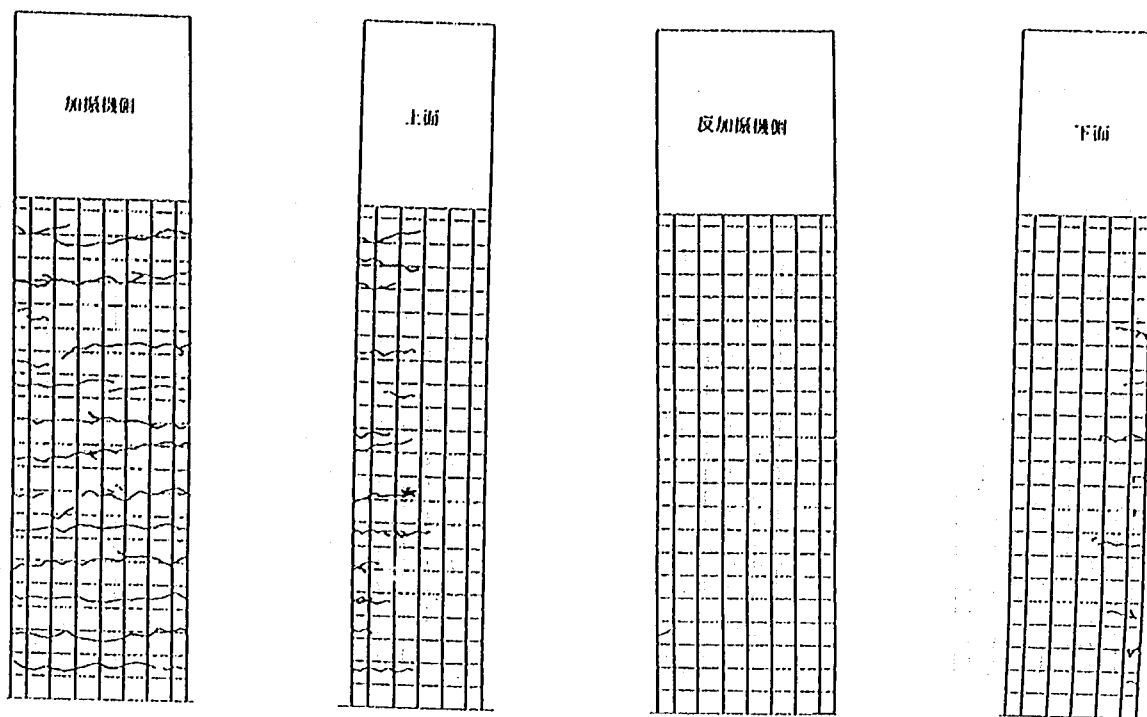
参図-10 (6) 供試体P-71 (6 δ % 載荷後)



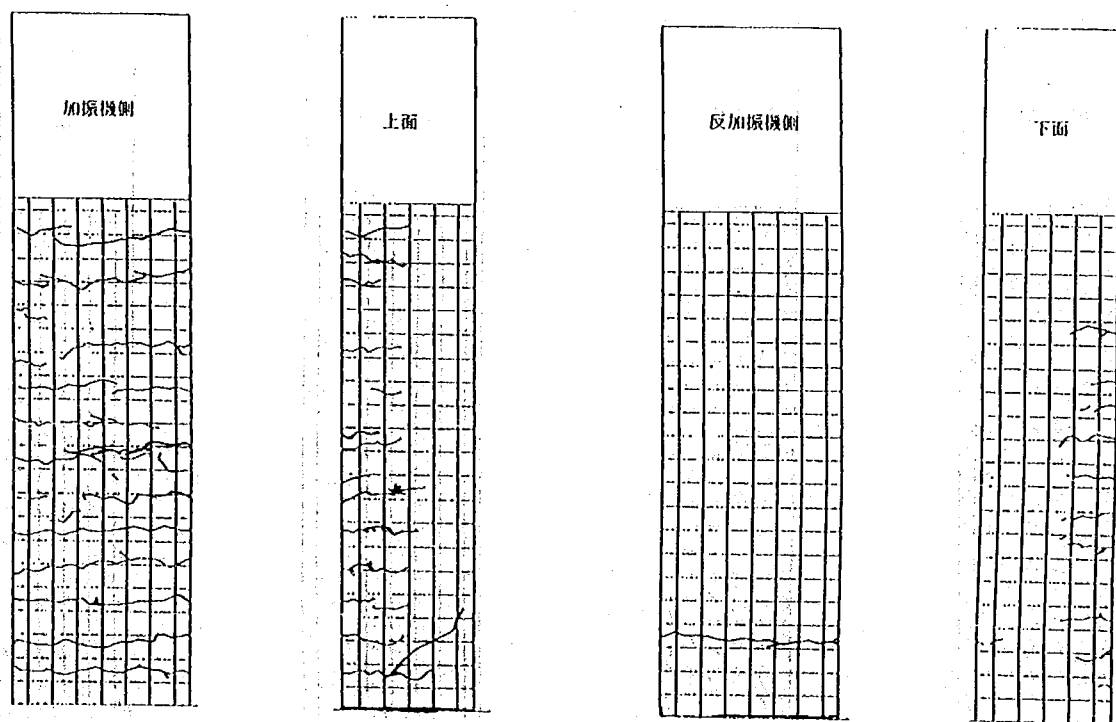
参図-10 (7) 供試体P-71 (7 δ 載荷後)



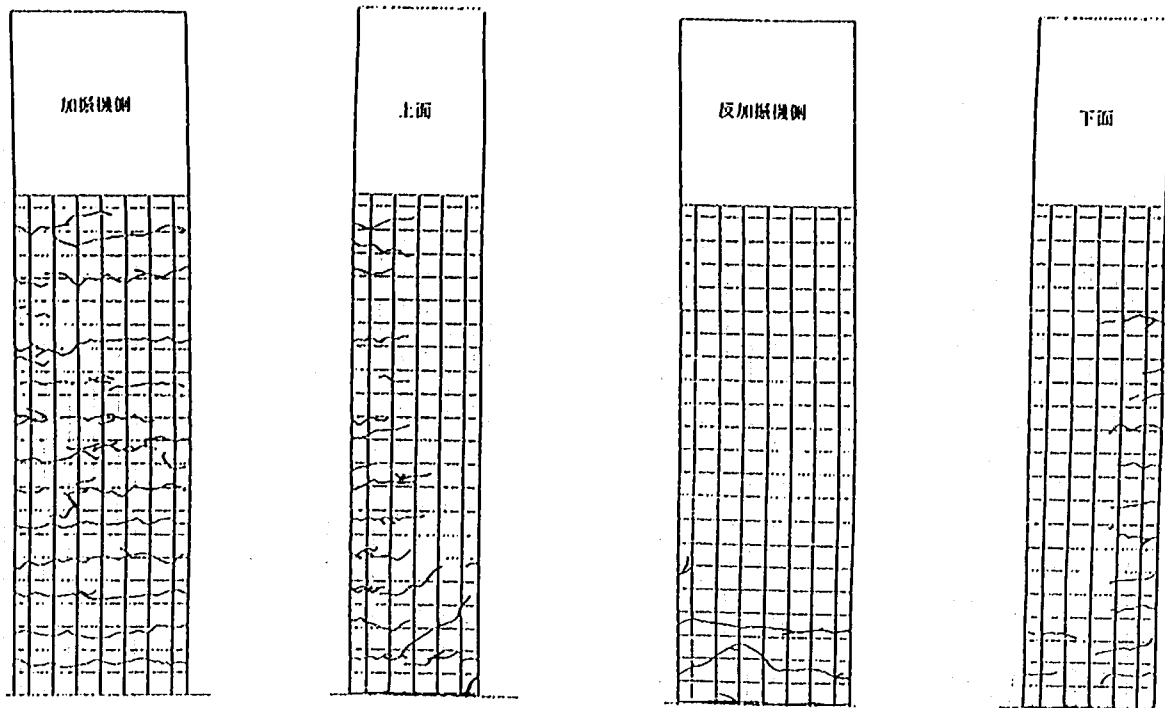
参図-10 (8) 供試体P-71 (8 δ 載荷後)



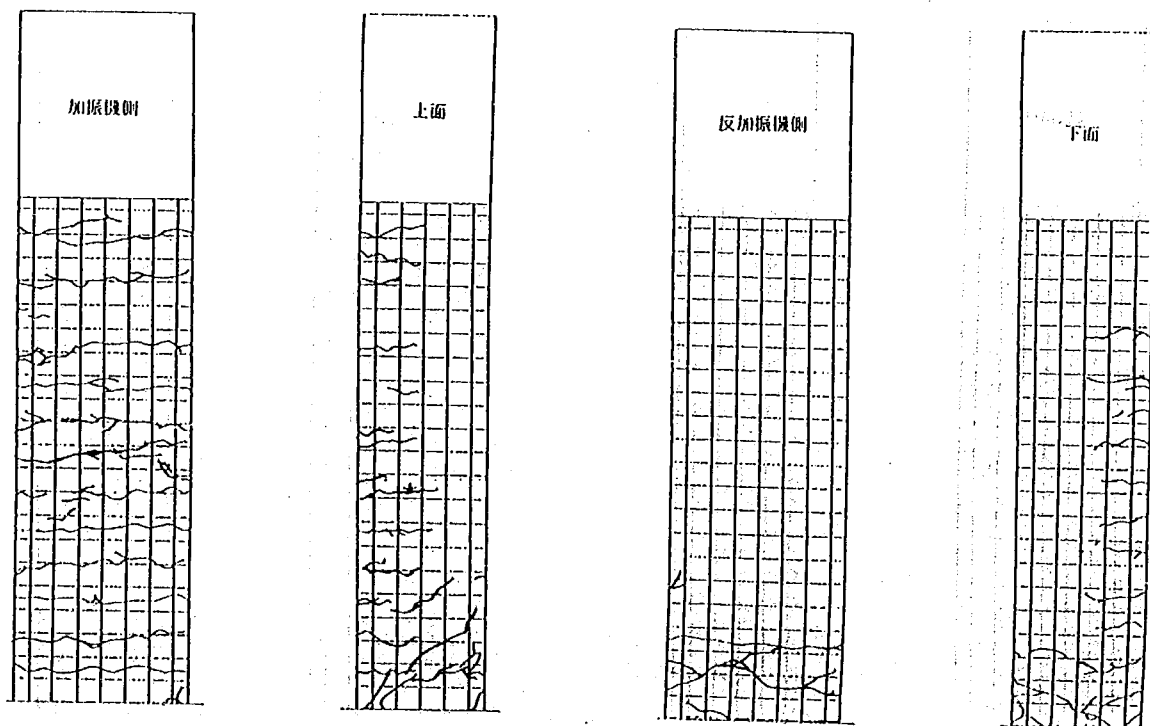
参图-11 (1) 供试体 P-72 (1 δ 荷载后)



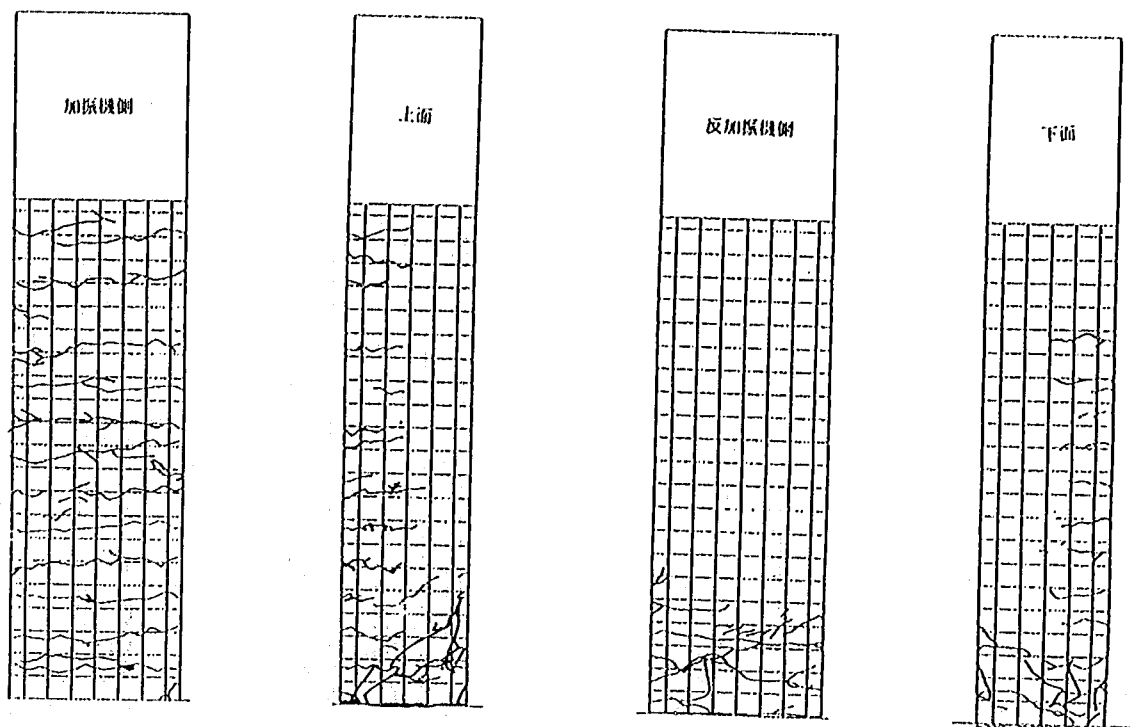
参图-11 (2) 供试体 P-72 (2 δ 荷载后)



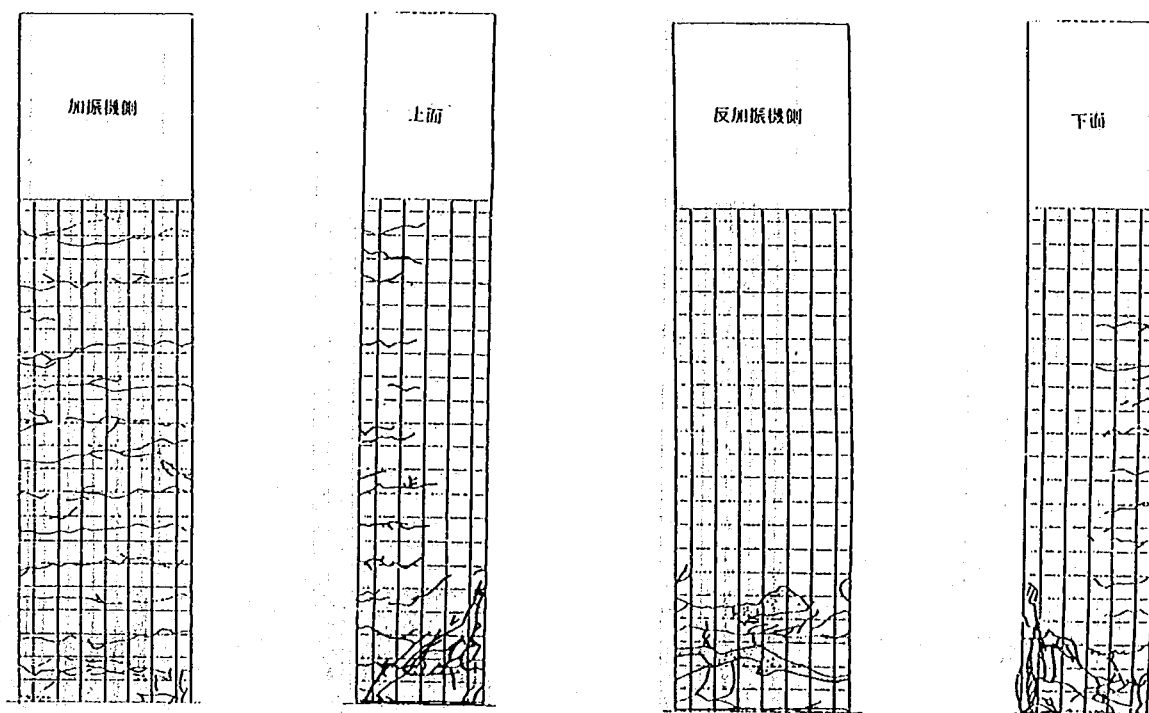
参图-11(3) 供试体P-72 (3δ 荷载后)



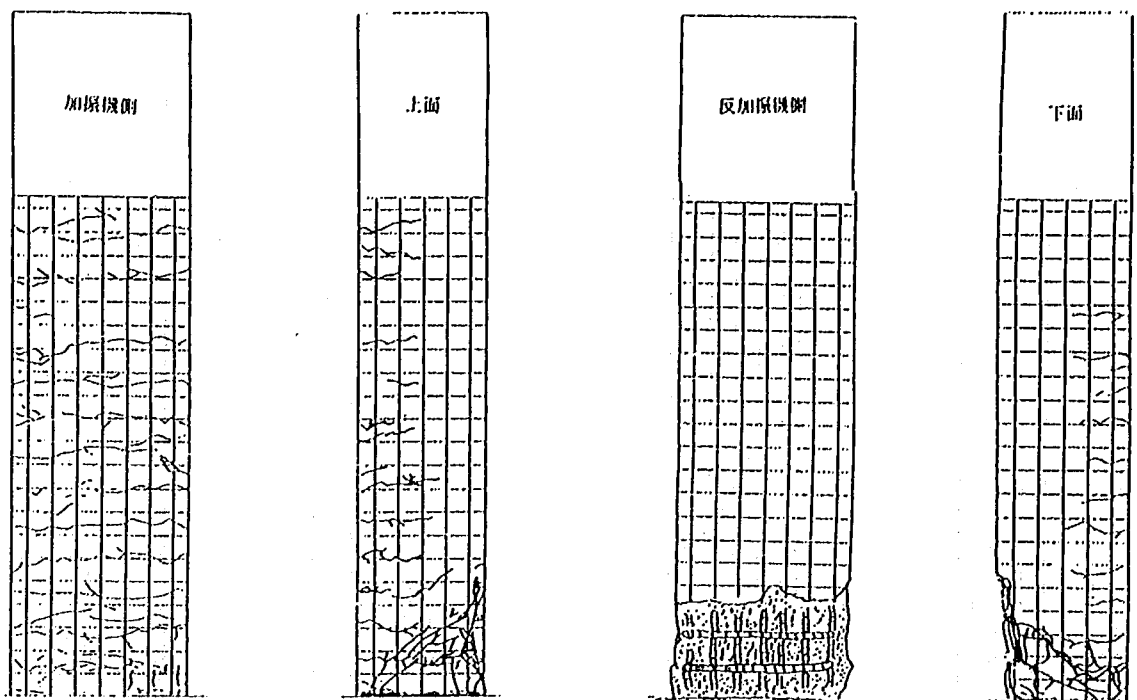
参图-11(4) 供试体P-72 (4δ 荷载后)



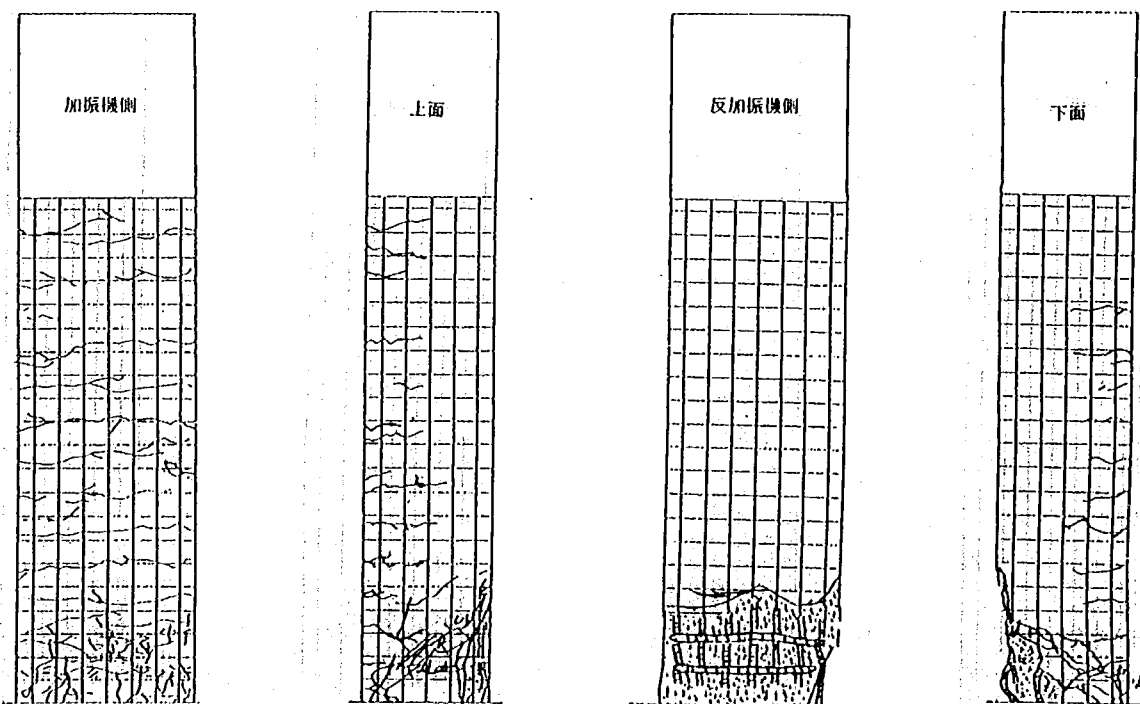
参图-11 (5) 供试体 P-72 (5 δ 荷载后)



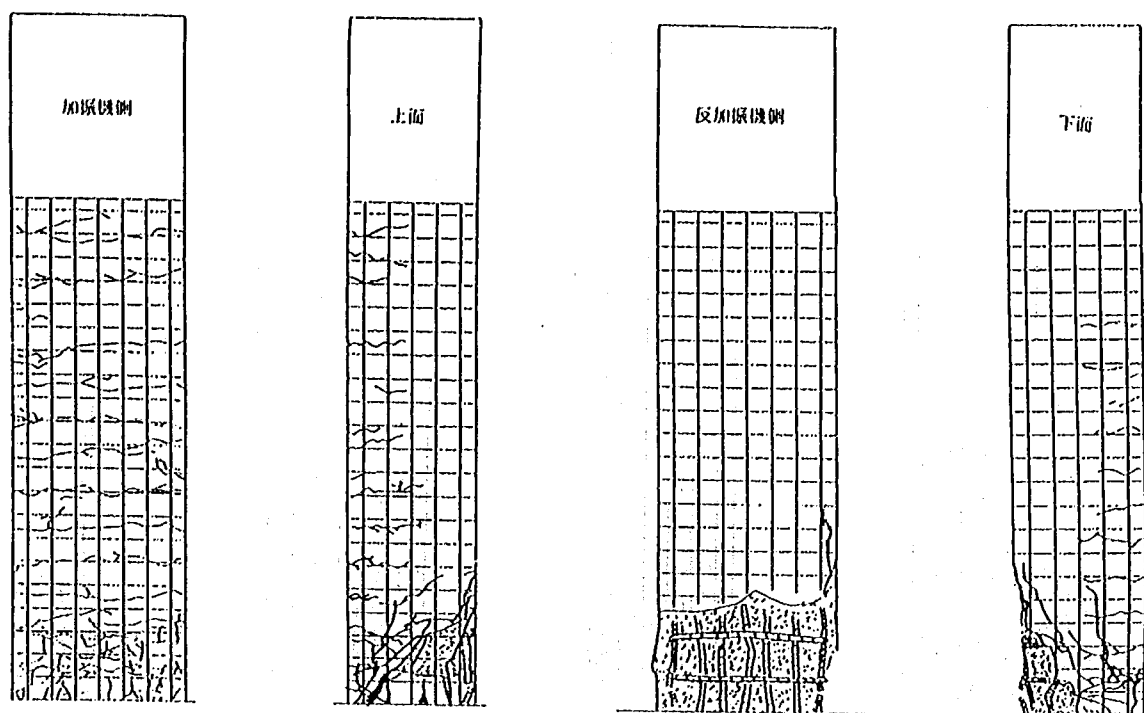
参图-11 (6) 供试体 P-72 (6 δ 荷载后)



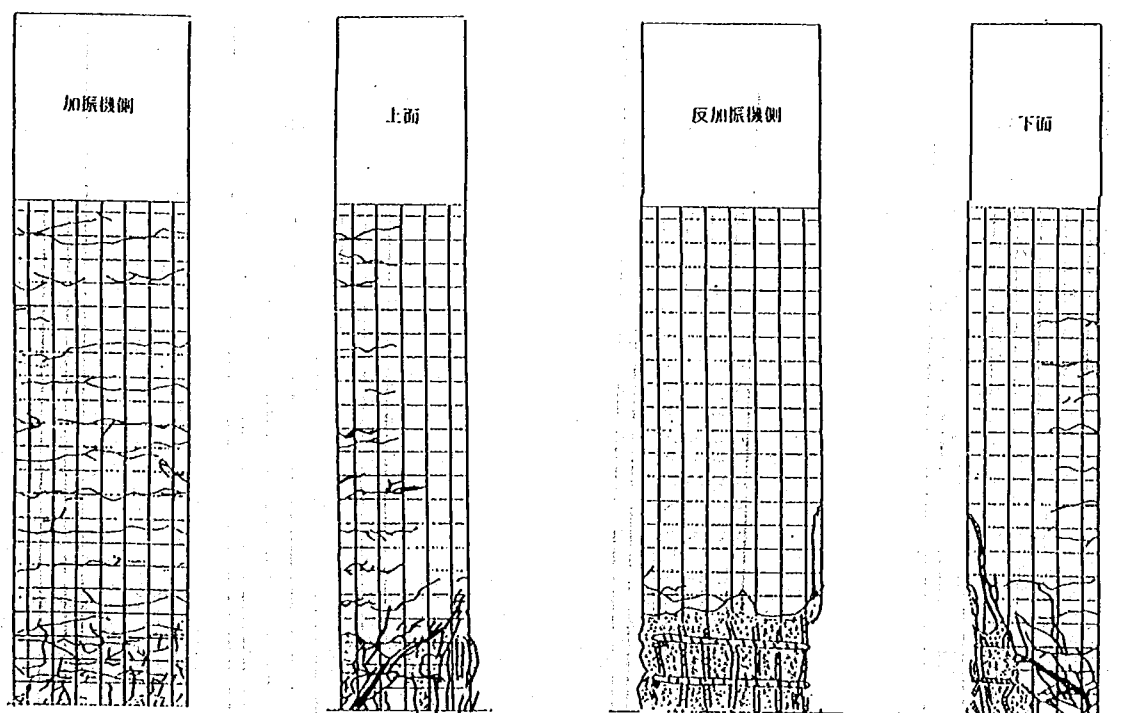
参图-11 (7) 供试体 P-72 (7 δ 荷载后)



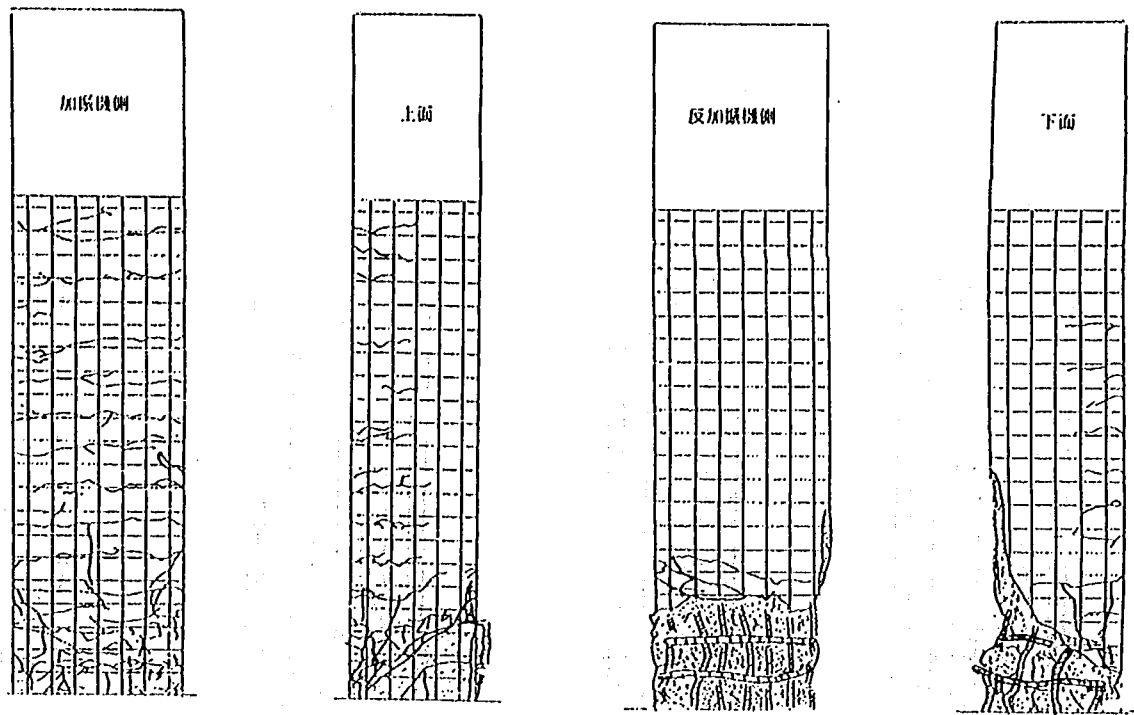
参图-11 (8) 供试体 P-72 (8 δ 荷载后)



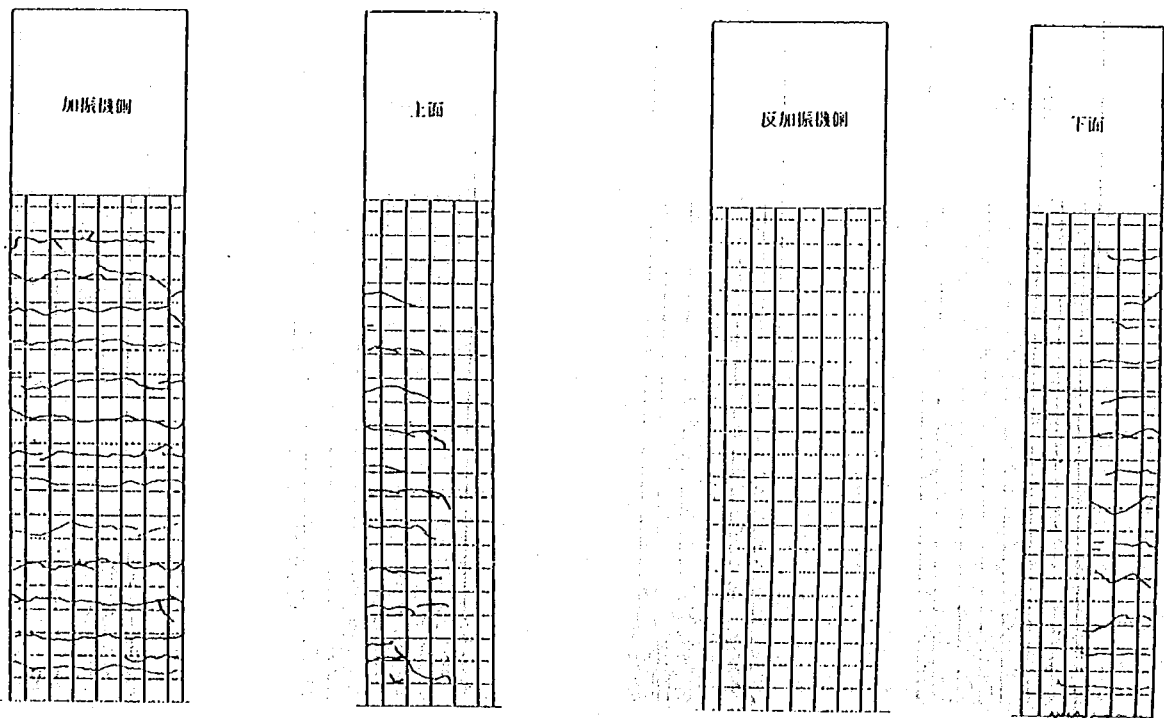
参图-11 (9) 供试体 P-72 (9δ) 荷载后



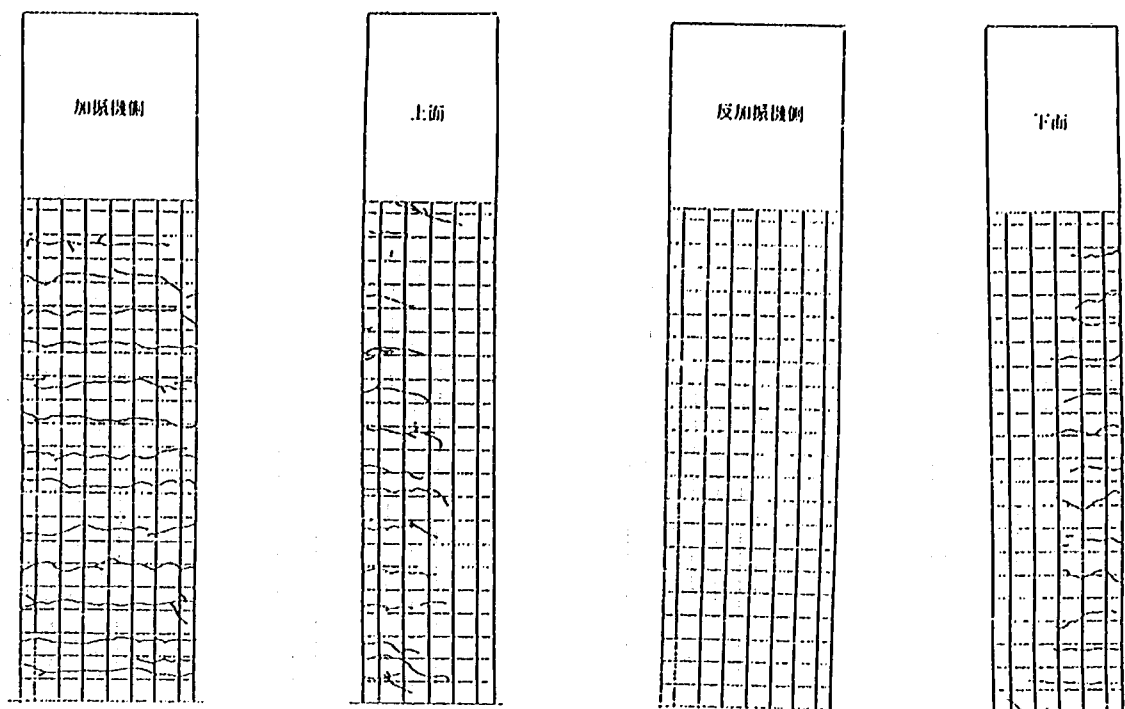
参图-11 (10) 供试体 P-72 (10δ) 荷载后



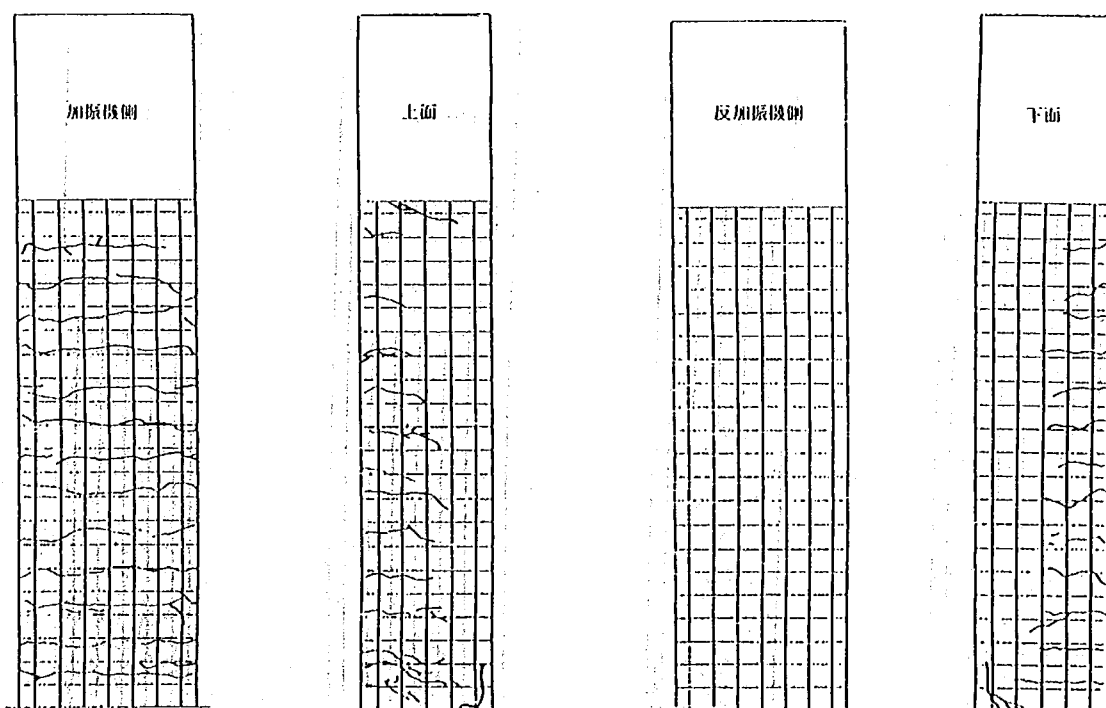
参图-11 (11) 供试体 P-72 ($11\delta_0$ 荷载后)



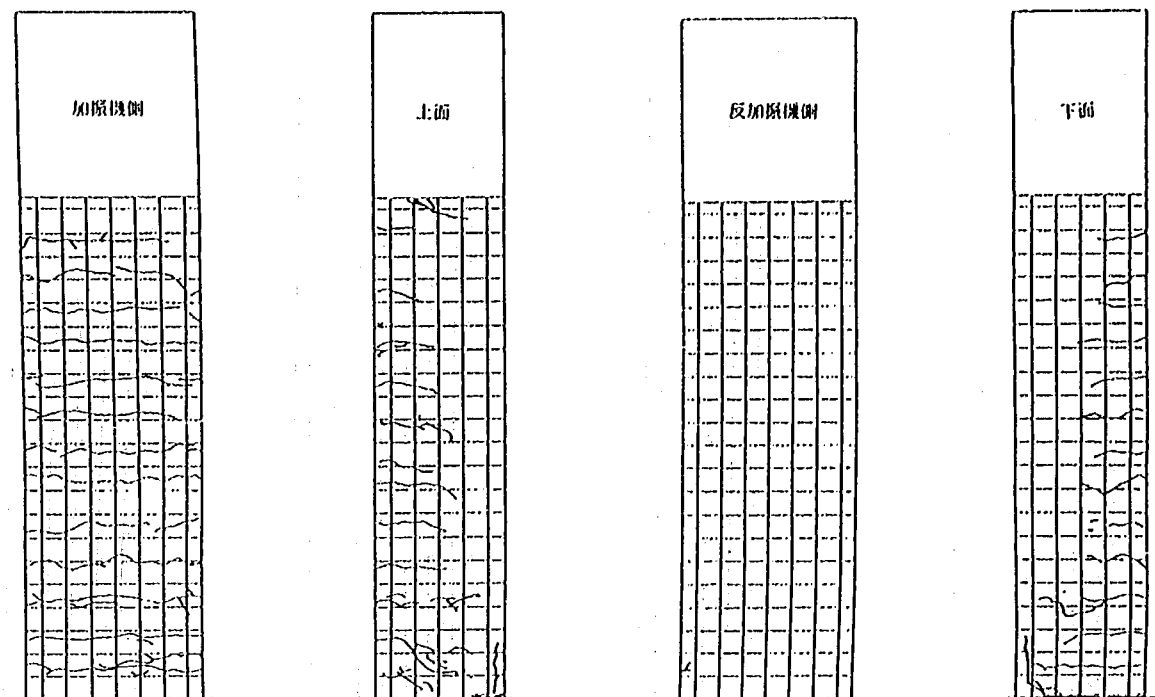
参图-12 (1) 供试体 P-73 ($1\delta_0$ 荷载后)



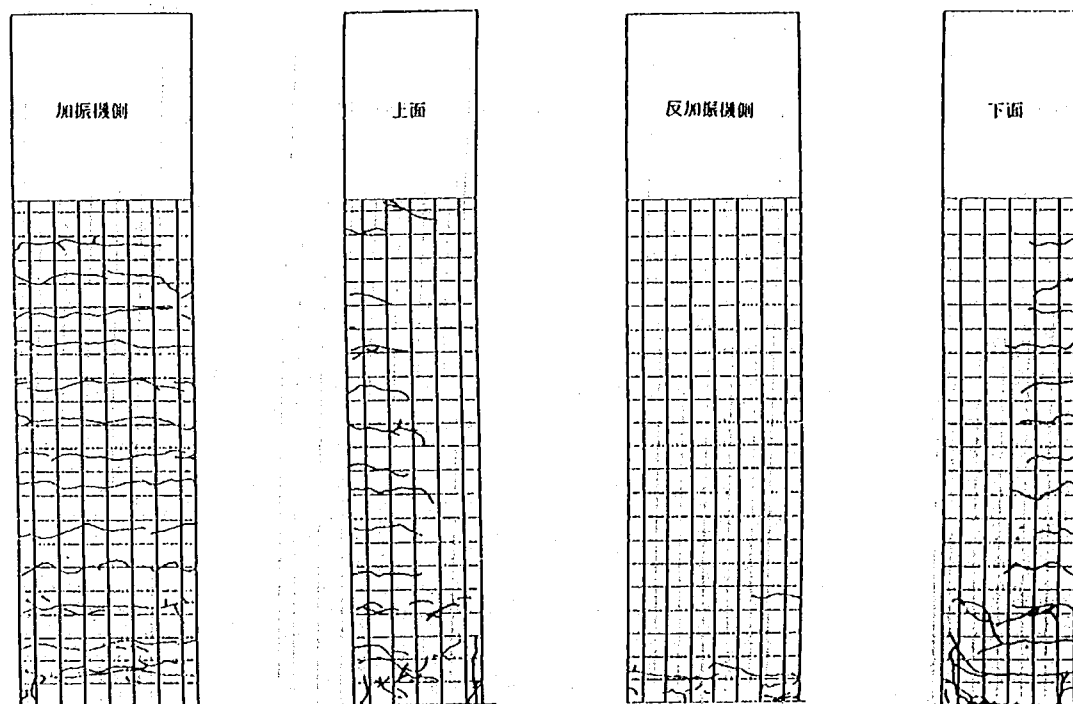
参图-12 (2) 供试体 P-73 (2 δ 荷载后)



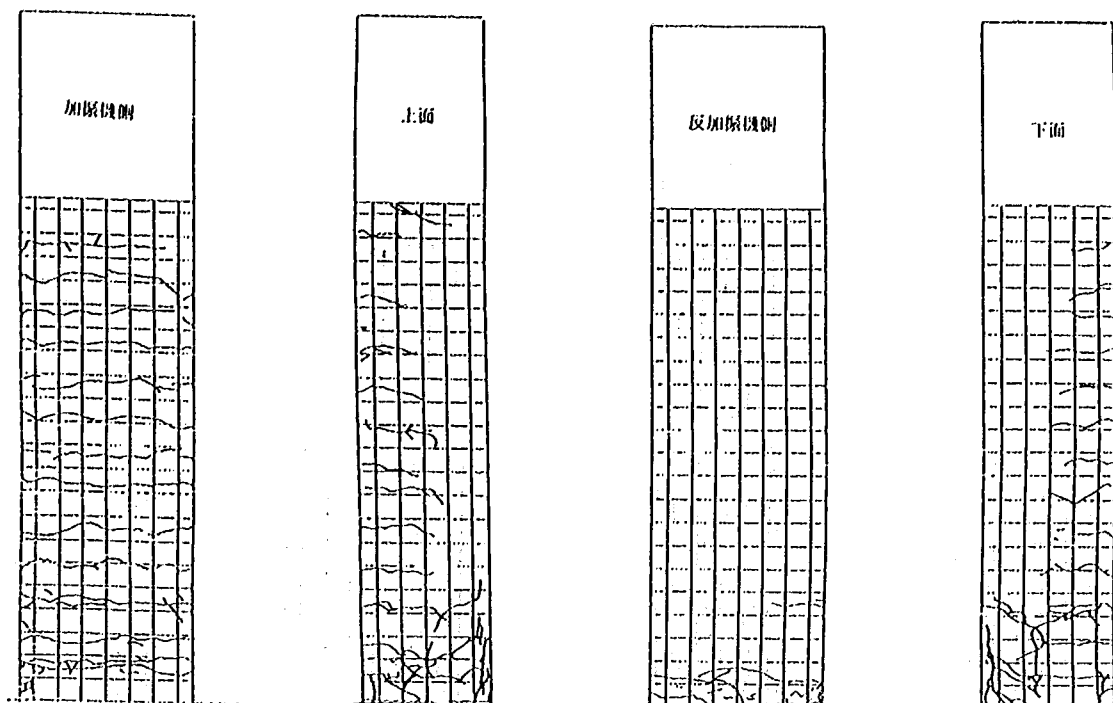
参图-12 (3) 供试体 P-73 (3 δ 荷载后)



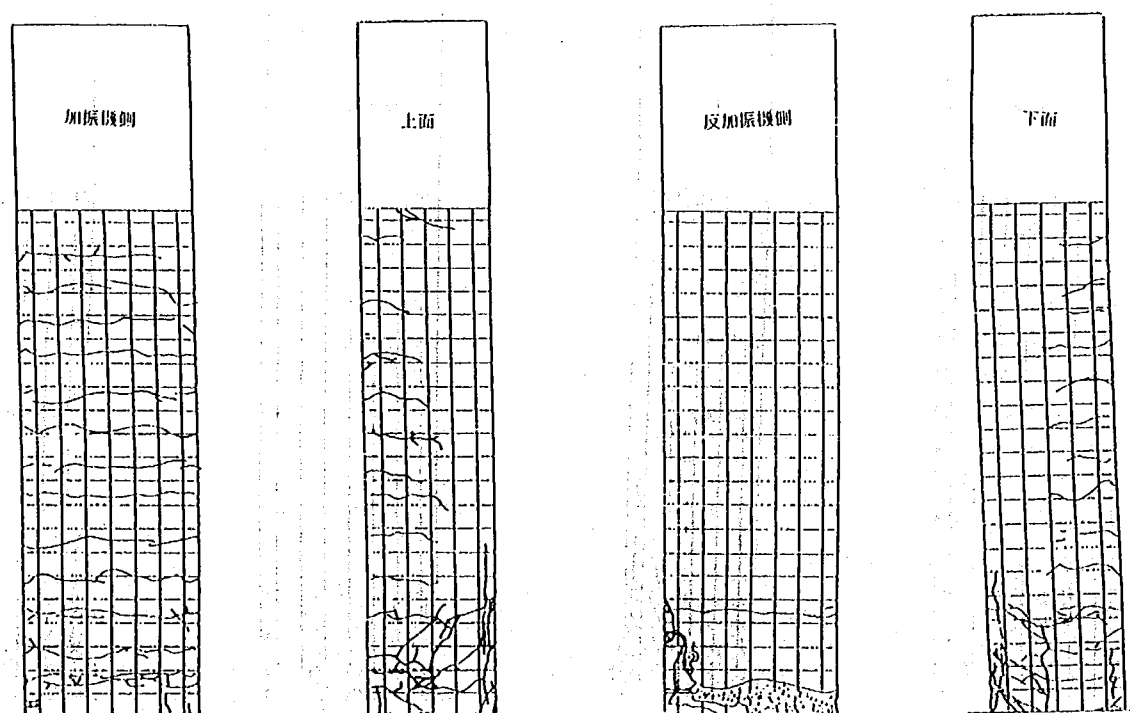
参图-12(4) 供试体P-73(4 δ_0 荷载后)



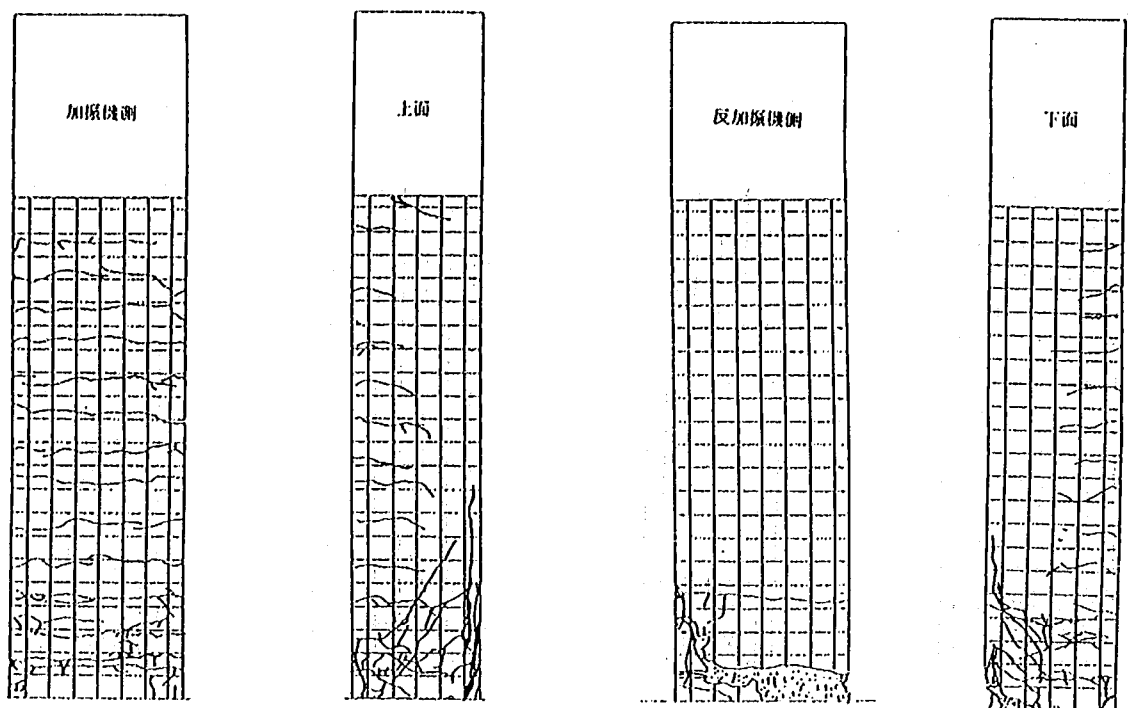
参图-12(5) 供试体P-73(5 δ_0 荷载后)



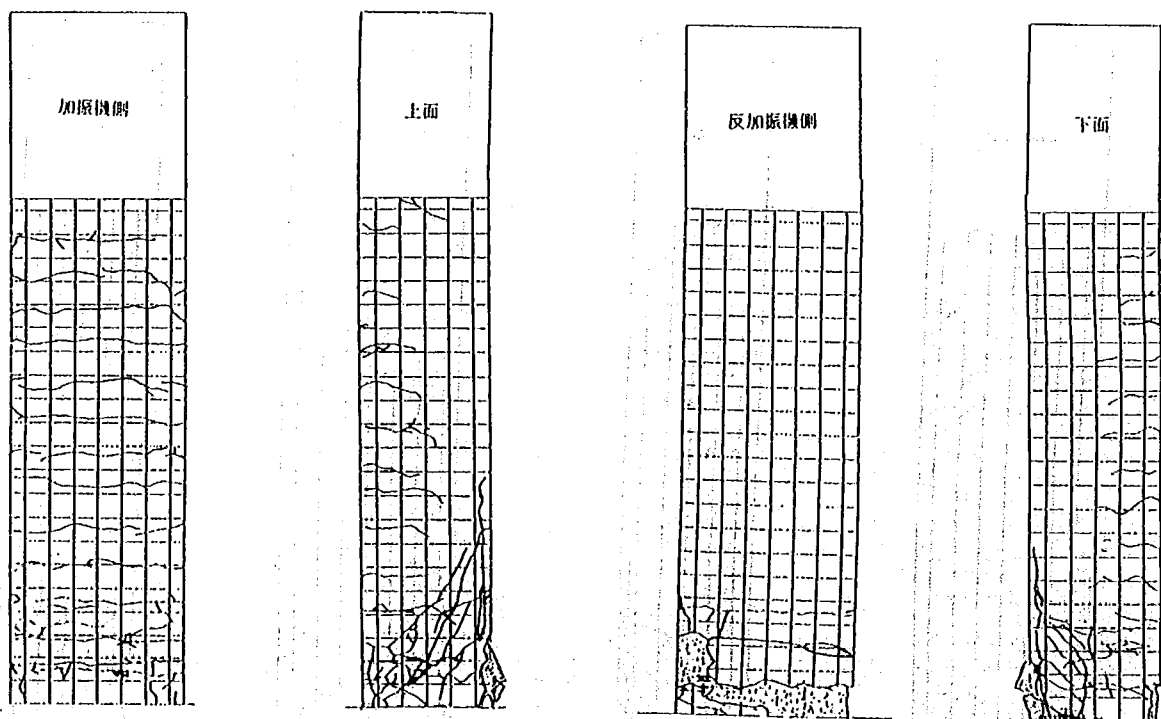
参图-12(6) 供试体P-73(6%荷载后)



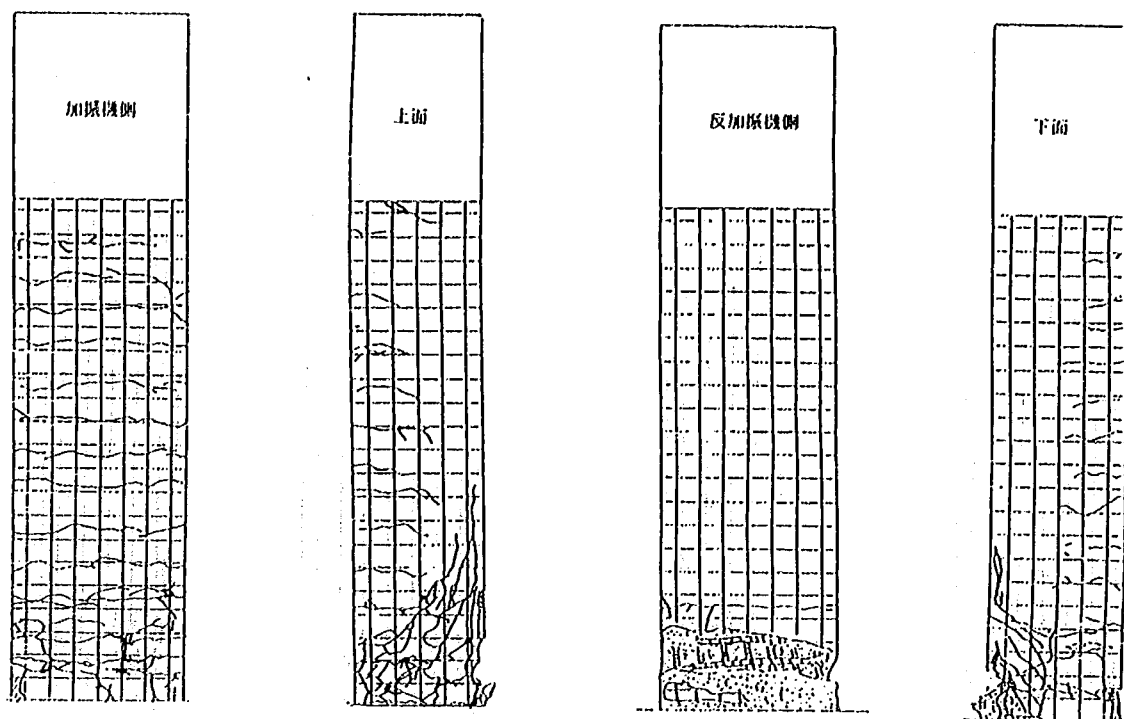
参图-12(7) 供试体P-73(7%荷载后)



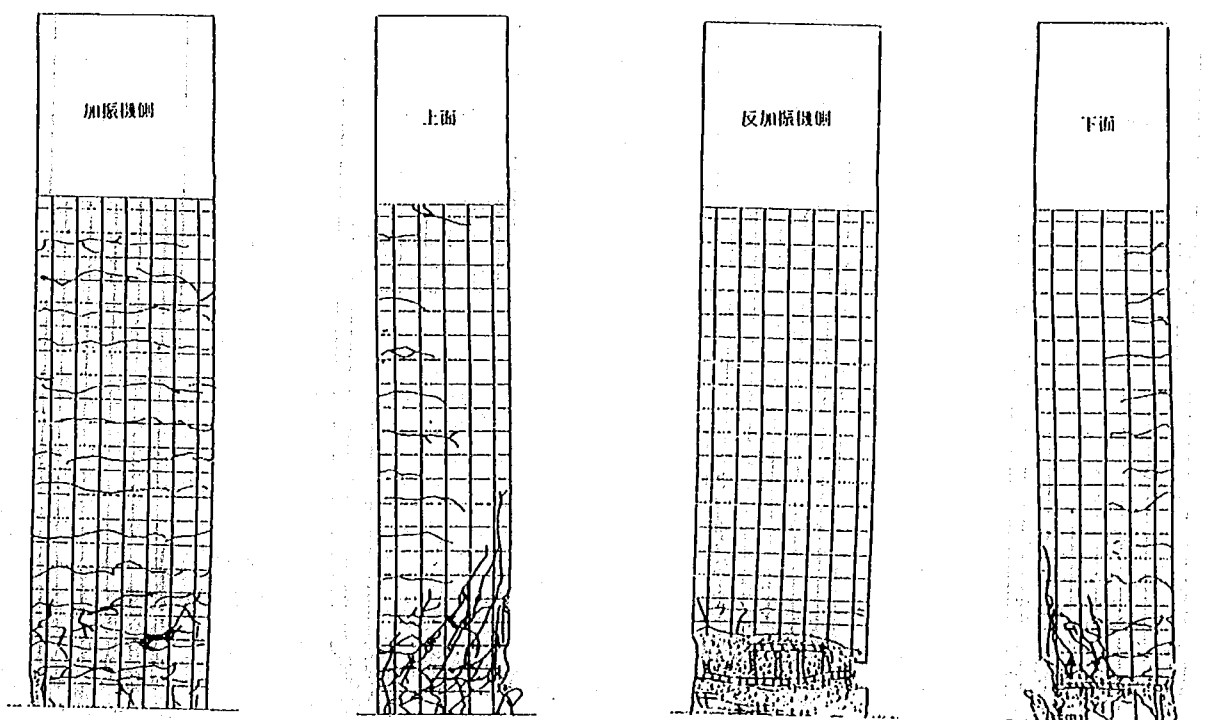
参图-12(8) 供试体P-73(8%荷载后)



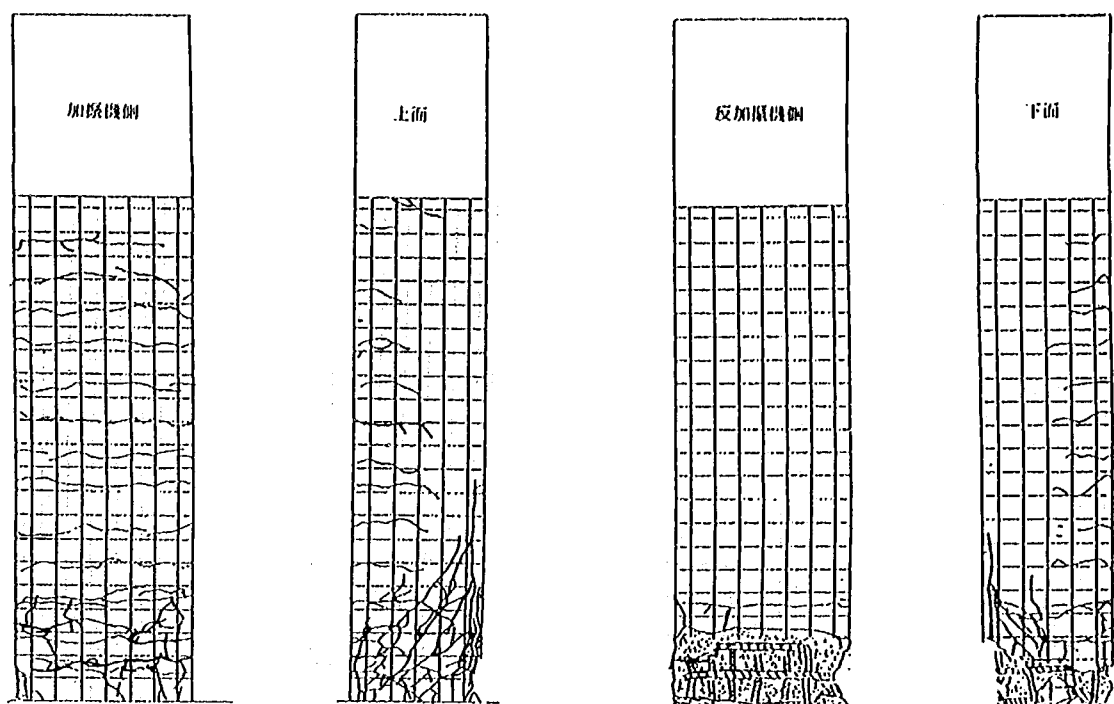
参图-12(9) 供试体P-73(9%荷载后)



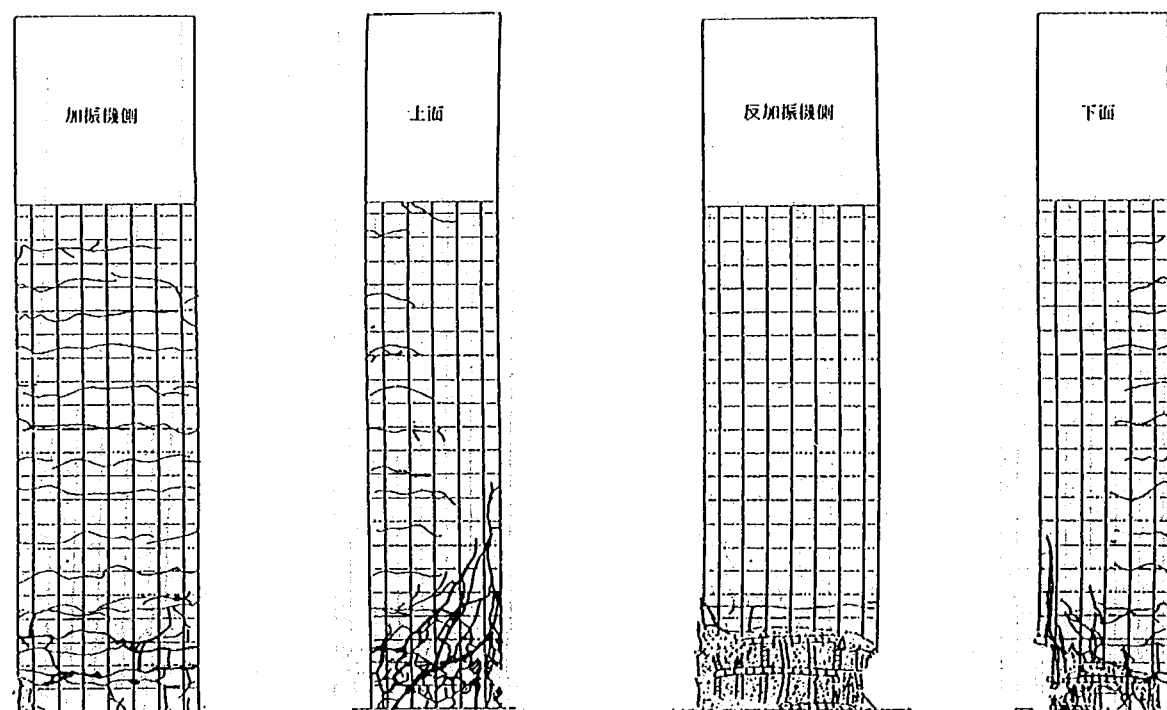
参図-12 (10) 供試体 P-73 (10 δ 載荷後)



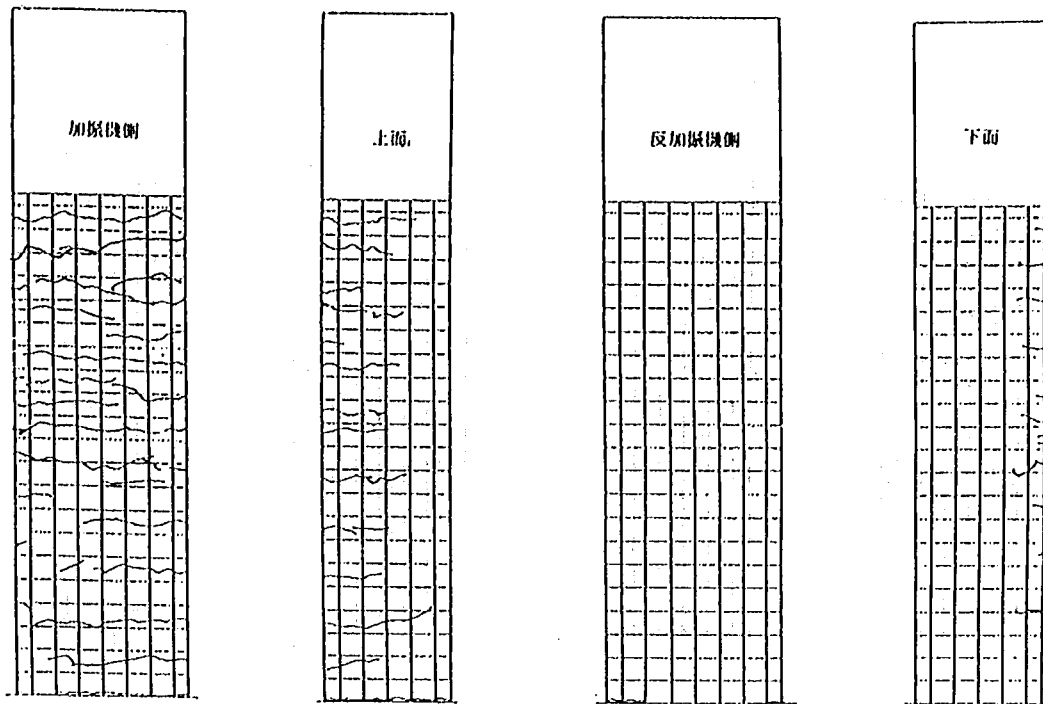
参図-12 (11) 供試体 P-73 (11 δ 載荷後)



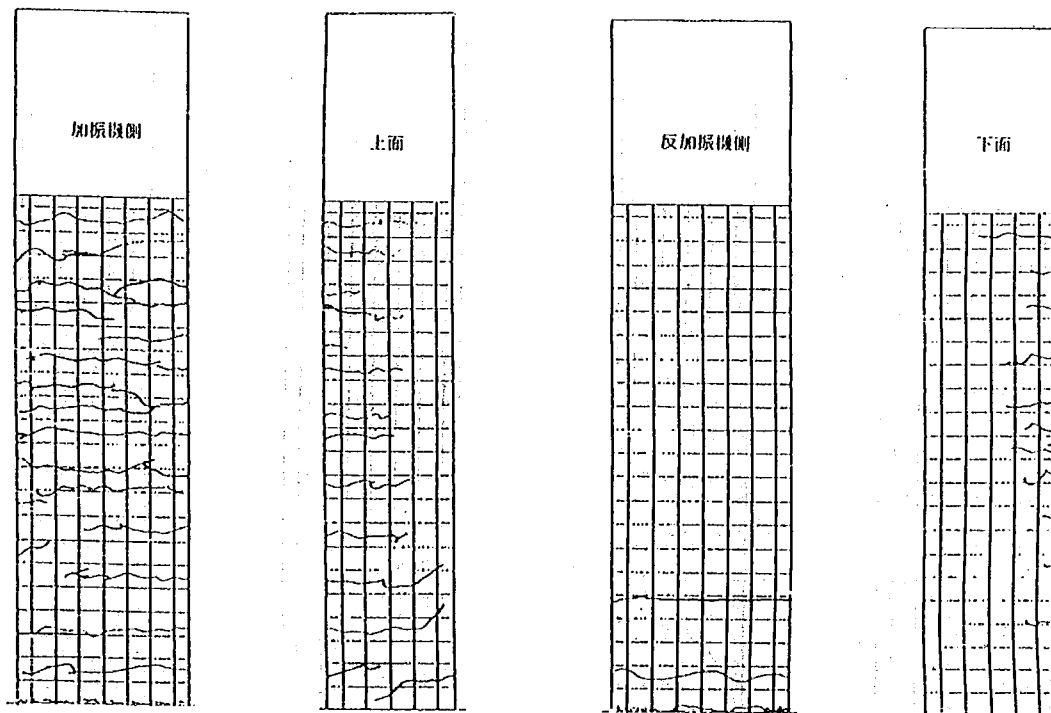
参图-12 (12) 供试体 P-73 (12δ 荷载后)



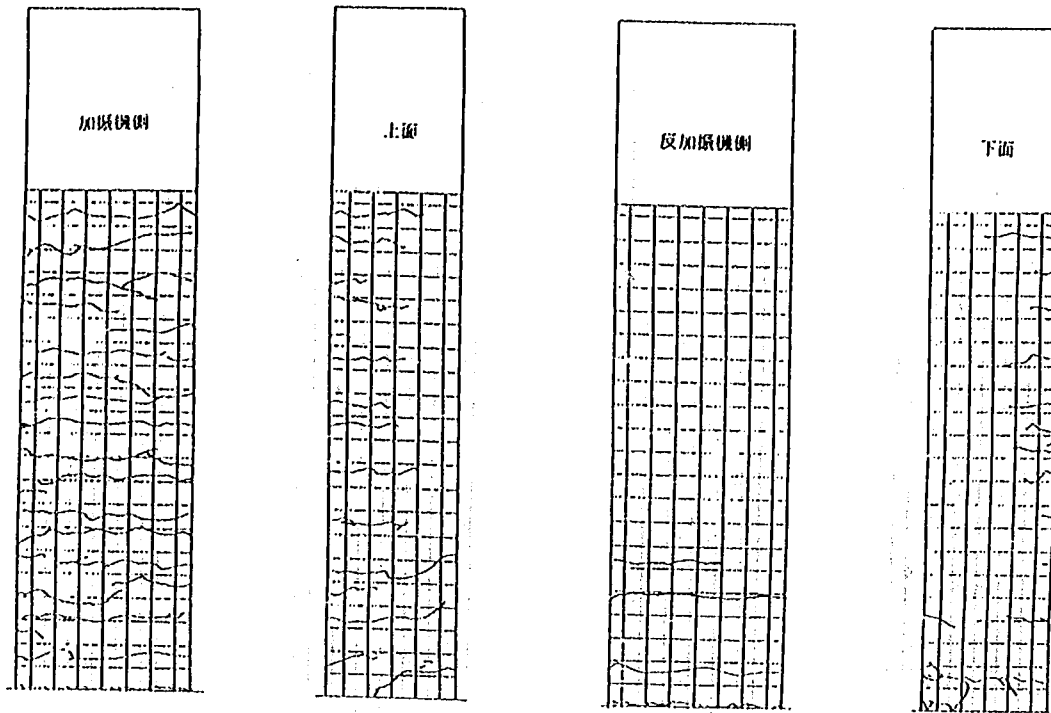
参图-12 (13) 供试体 P-73 (13δ 荷载后)



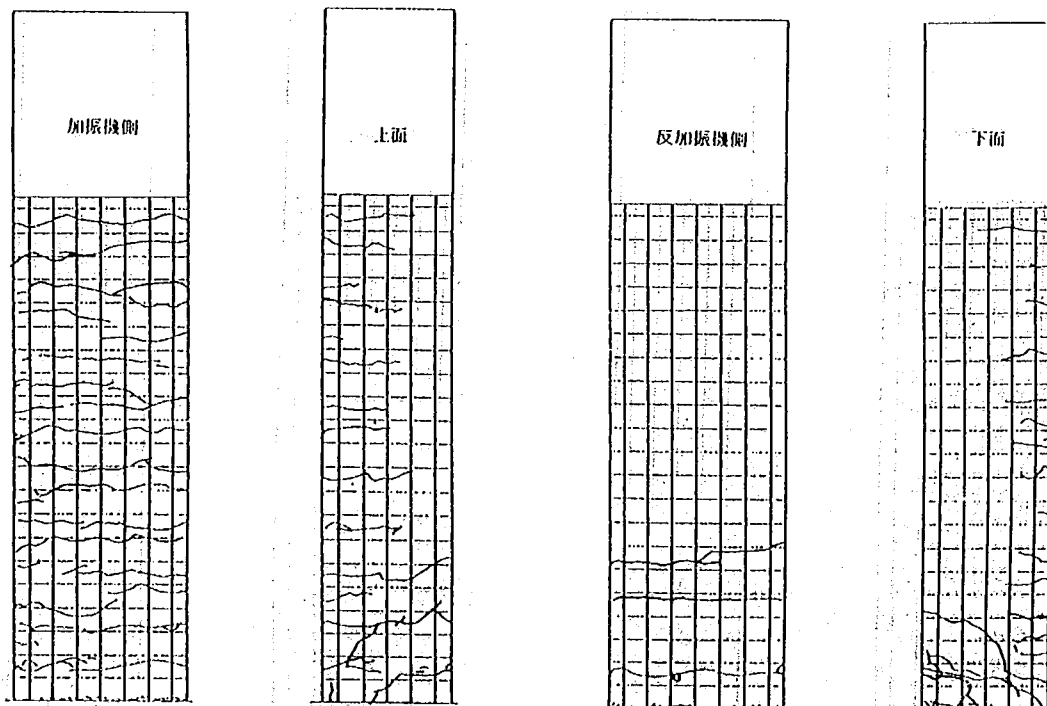
参图-13 (1) 供试体 P-74 (1 δ 荷载后)



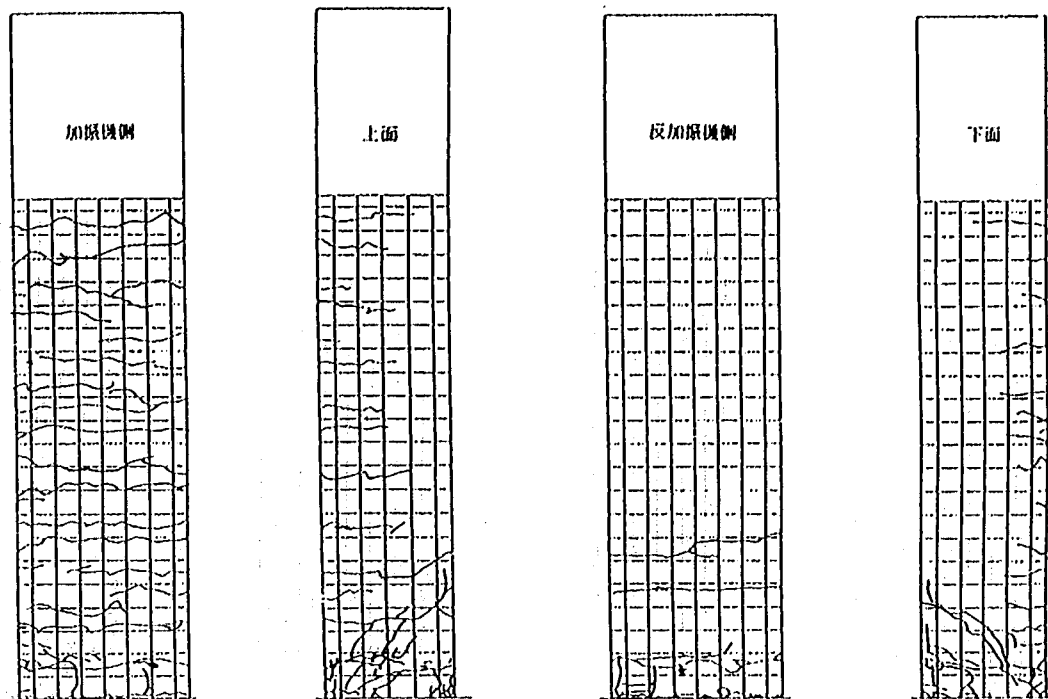
参图-13 (2) 供试体 P-74 (2 δ 荷载后)



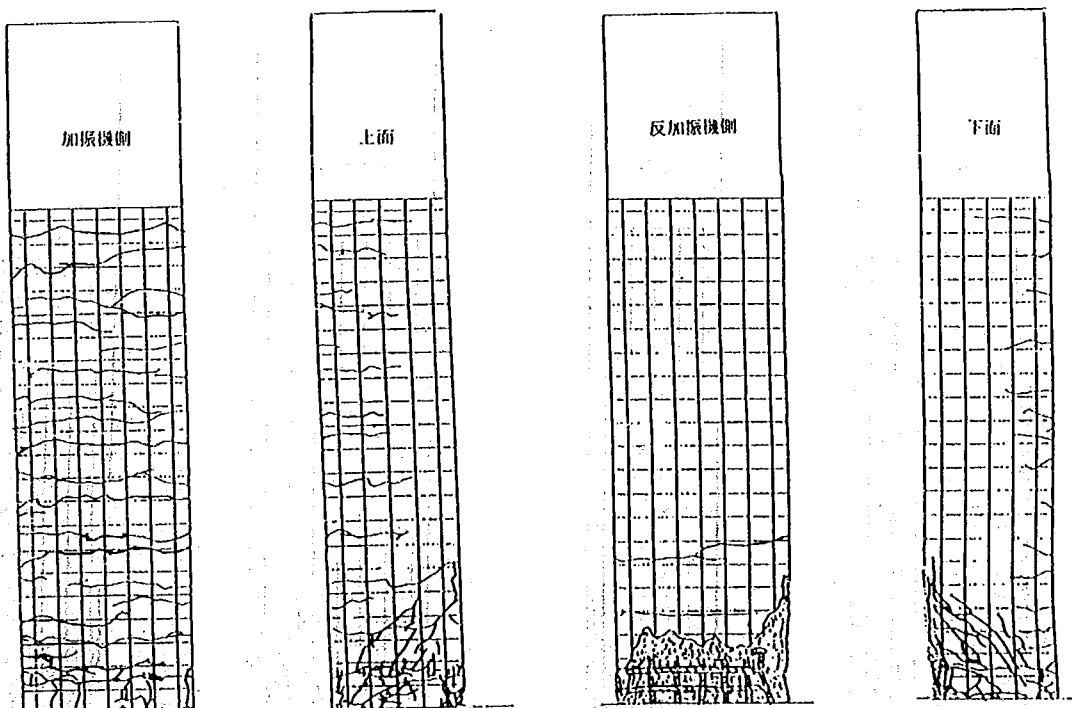
参图-13(3) 供试体P-74(3 δ 荷载后)



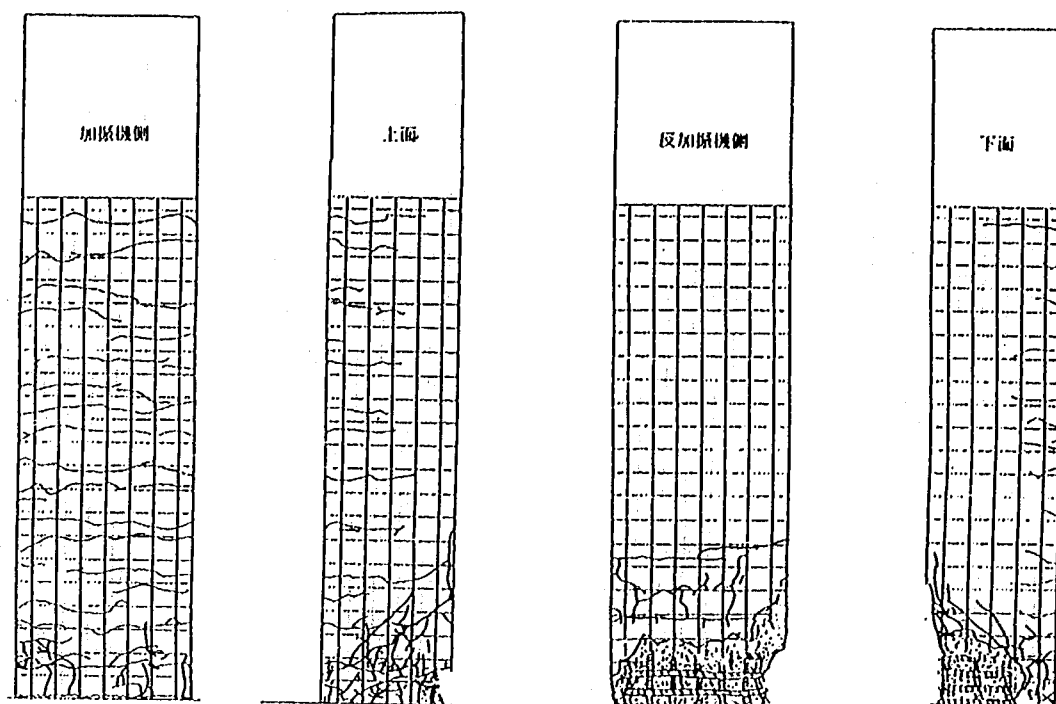
参图-13(4) 供试体P-74(4 δ 荷载后)



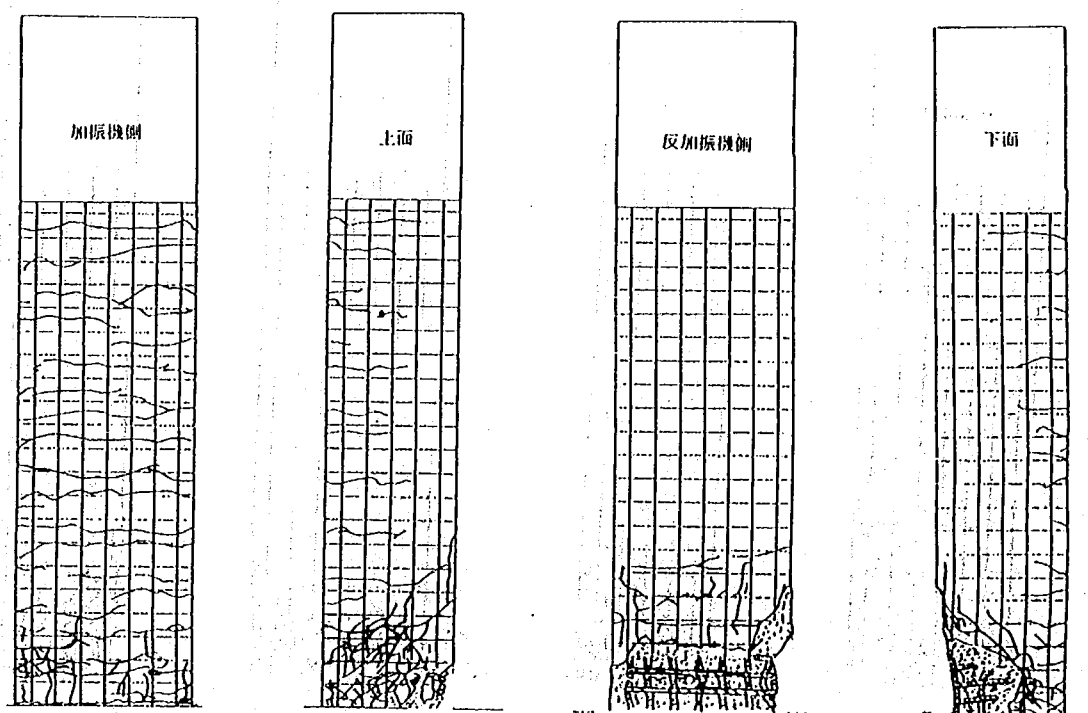
参图-13(5) 供试体P-74(5δ₀荷载后)



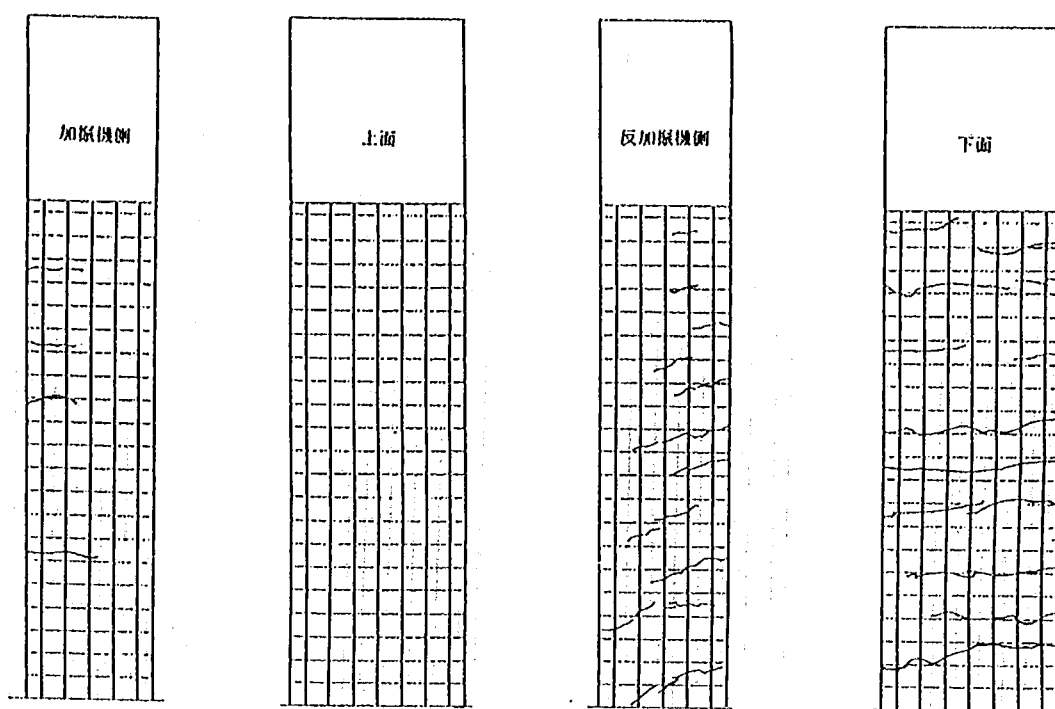
参图-13(6) 供试体P-74(6δ₀荷载后)



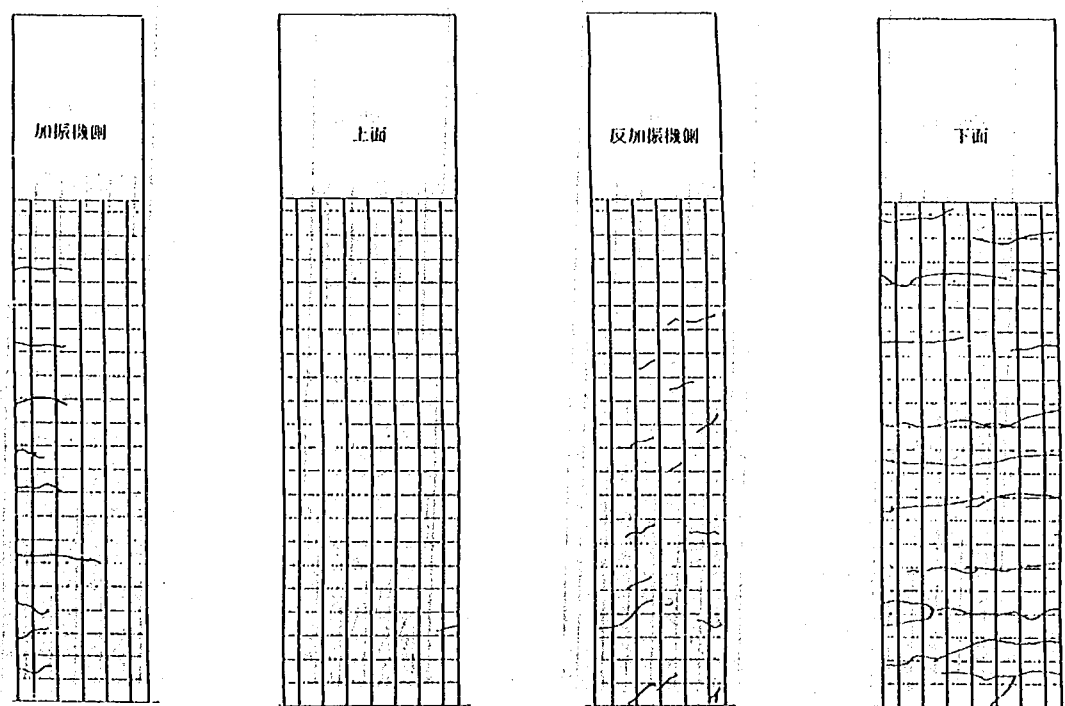
参图-13(7) 供试体P-74 (7%荷载后)



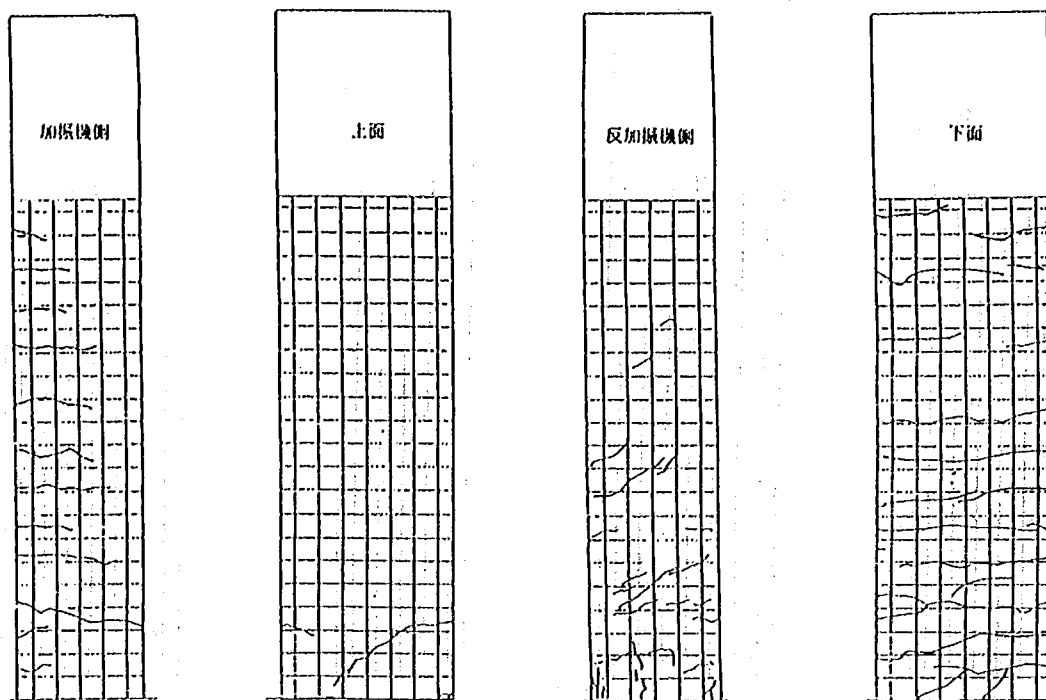
参图-13(8) 供试体P-74 (8%荷载后)



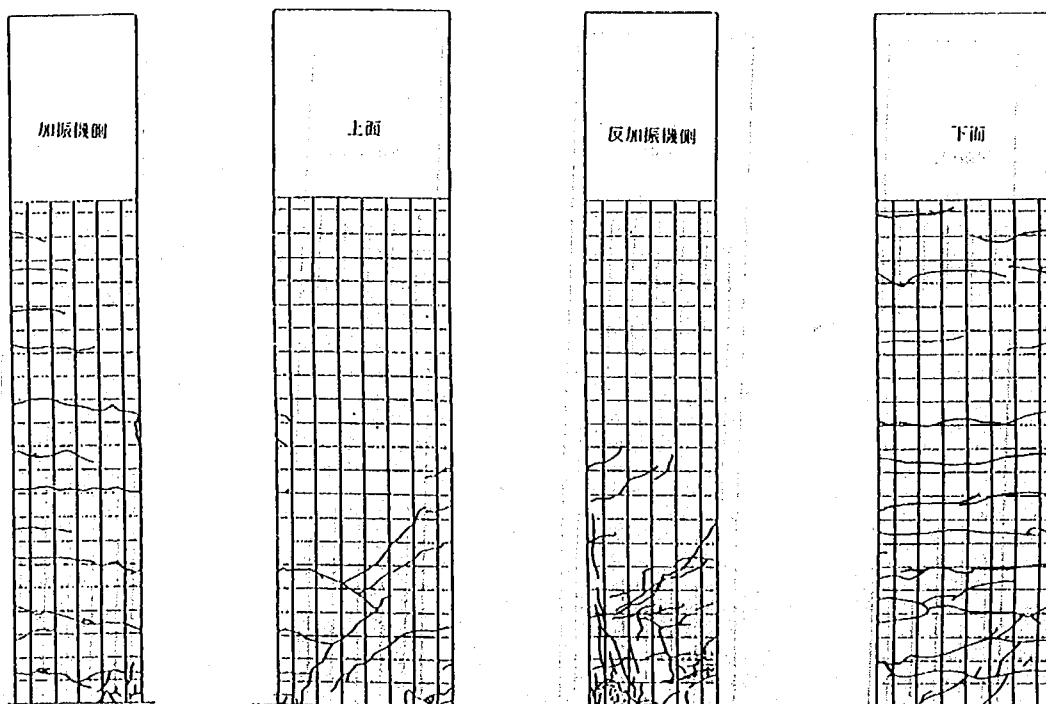
参图-14 (1) 供试体 P-75 (1 δ 荷载后)



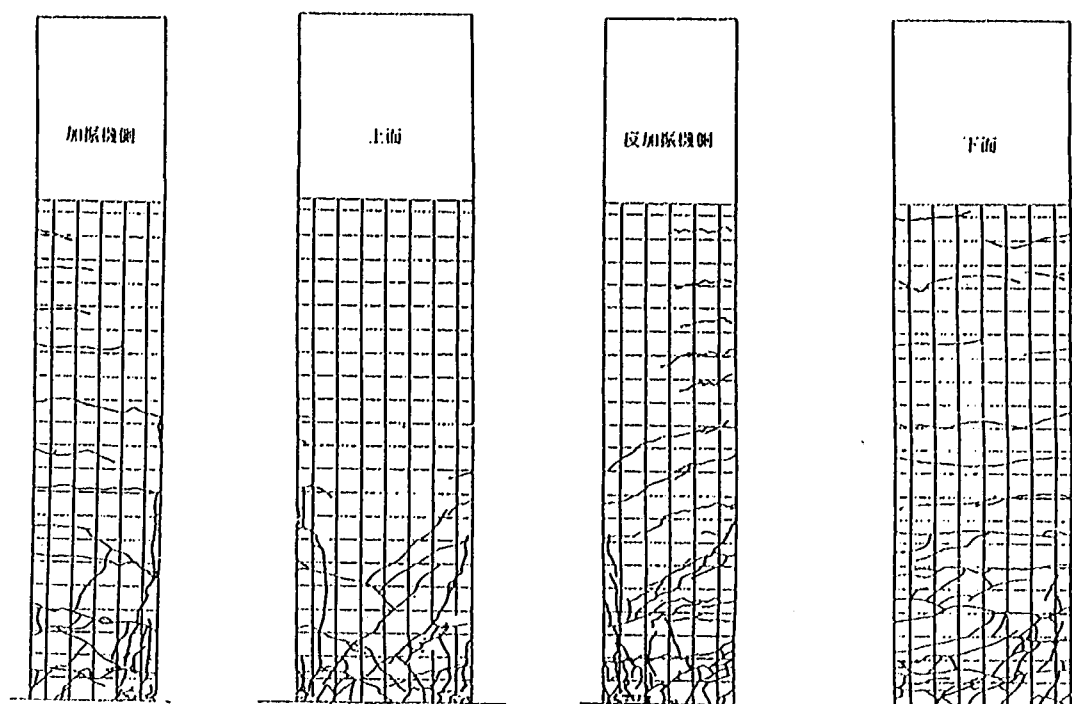
参图-14 (2) 供试体 P-75 (2 δ 荷载后)



参図-14 (3) 供試体 P-75 (3 δ_0 載荷後)



参図-14 (4) 供試体 P-75 (4 δ_0 載荷後)



参图-14 (5) 供试体 P-75 (5δ 载荷后)

参 考 資 料

II. 荷重、変位、履歴減衰定数及び吸収エネルギー

付表1 (1) 供試体P-59の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価弾性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	13.000	-15.000	12.855	-10.150	0.086	0.822	0.084
	13.125	-15.000	12.605	-9.725	0.139	0.794	0.054
	13.000	-15.000	12.265	-9.755	0.186	0.786	0.048
	12.875	-15.000	12.210	-9.620	0.229	0.783	0.046
	13.000	-15.000	12.160	-9.460	0.271	0.772	0.044
	13.000	-15.000	12.185	-9.480	0.312	0.774	0.043
	13.000	-15.000	12.100	-9.445	0.352	0.769	0.042
	13.000	-15.000	12.100	-9.330	0.392	0.765	0.042
	13.000	-15.125	12.030	-9.390	0.431	0.762	0.041
	12.875	-15.125	11.990	-9.330	0.468	0.761	0.040
2 δ_0	27.000	-29.000	19.915	-12.200	0.260	0.573	0.092
	27.000	-28.875	18.805	-11.995	0.447	0.551	0.069
	27.000	-29.000	18.420	-11.865	0.603	0.541	0.058
	27.000	-28.875	18.460	-11.830	0.747	0.542	0.054
	27.000	-29.000	18.160	-11.750	0.885	0.534	0.053
	26.875	-29.000	18.150	-11.720	1.020	0.535	0.051
	27.000	-28.875	18.095	-11.735	1.152	0.534	0.051
	27.000	-29.000	18.040	-11.710	1.283	0.531	0.050
	27.000	-29.000	18.065	-11.620	1.412	0.530	0.049
	26.875	-29.000	17.905	-11.610	1.538	0.528	0.049
3 δ_0	41.000	-42.875	20.335	-11.980	0.635	0.385	0.149
	40.875	-42.750	19.200	-11.760	1.169	0.370	0.131
	40.875	-42.750	18.930	-11.780	1.659	0.367	0.122
	41.000	-42.875	18.915	-11.680	2.131	0.365	0.117
	40.875	-42.750	18.860	-11.615	2.593	0.364	0.115
	40.875	-42.750	18.735	-11.590	3.047	0.363	0.114
	40.875	-42.750	18.765	-11.495	3.498	0.362	0.113
	40.875	-42.750	18.675	-11.375	3.945	0.359	0.113
	40.875	-42.750	18.610	-11.515	4.388	0.360	0.112
	40.875	-42.875	18.615	-11.405	4.827	0.358	0.111
4 δ_0	54.875	-56.750	20.290	-11.550	1.016	0.285	0.182
	54.875	-56.750	19.505	-11.405	1.968	0.277	0.176
	54.875	-56.625	19.270	-11.370	2.883	0.275	0.171
	54.875	-56.625	19.165	-11.355	3.780	0.274	0.168
	54.875	-56.750	19.090	-11.340	4.666	0.273	0.166
	54.875	-56.625	18.950	-11.365	5.544	0.272	0.165
	54.875	-56.750	18.850	-11.240	6.417	0.270	0.165
	54.875	-56.625	18.850	-11.235	7.285	0.270	0.165
	54.875	-56.625	18.740	-11.180	8.149	0.268	0.165
	54.875	-56.625	18.685	-11.150	9.008	0.268	0.164
5 δ_0	68.750	-70.625	20.395	-11.480	1.476	0.229	0.211
	68.875	-70.625	19.695	-11.375	2.895	0.223	0.208
	68.875	-70.625	19.335	-11.260	4.283	0.219	0.207
	68.875	-70.625	19.145	-11.130	5.654	0.217	0.207
	68.875	-70.750	18.980	-11.140	7.015	0.216	0.206
	68.875	-70.750	18.895	-11.100	8.368	0.215	0.206
	68.875	-70.625	18.870	-11.115	9.712	0.215	0.205
	68.875	-70.625	18.735	-11.095	11.050	0.214	0.205
	68.875	-70.750	18.720	-10.995	12.384	0.213	0.205
	68.750	-70.625	18.595	-11.040	13.710	0.213	0.204

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表1 (2) 供試体P-59の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
6 δ_0	82.750	-84.500	19.955	-11.230	1.967	0.186	0.240
	82.750	-84.625	19.180	-11.145	3.877	0.181	0.240
	82.875	-84.500	18.820	-11.075	5.748	0.179	0.238
	82.750	-84.625	18.675	-10.895	7.568	0.177	0.234
	82.750	-84.625	18.490	-10.785	9.359	0.175	0.233
	82.875	-84.625	17.195	-10.775	11.114	0.167	0.239
	82.750	-84.625	16.455	-10.490	12.737	0.161	0.229
	82.750	-84.500	15.325	-10.180	14.280	0.152	0.230
	82.750	-84.500	14.175	-9.835	15.656	0.144	0.218
	82.750	-84.625	13.570	-9.280	17.383	0.137	0.287
7 δ_0	96.750	-98.500	14.175	-9.930	1.726	0.123	0.233
	96.750	-98.500	13.375	-9.390	3.341	0.117	0.231
	96.750	-98.375	12.635	-8.975	4.854	0.111	0.229
	96.750	-98.500	12.125	-7.585	6.260	0.101	0.233
	96.750	-98.375	11.500	-7.020	7.528	0.095	0.223
	96.750	-98.375	11.165	-6.355	8.680	0.090	0.214
	96.750	-98.500	10.830	-5.305	9.743	0.083	0.215
	96.750	-98.375	10.665	-4.100	10.693	0.076	0.210
	96.750	-98.500	10.145	-3.435	11.499	0.070	0.194
	96.875	-98.500	9.880	-2.655	12.313	0.064	0.212
8 δ_0	110.750	-112.250	10.765	-2.605	0.916	0.060	0.196
	110.750	-112.375	10.120	-2.415	1.719	0.056	0.183
	110.750	-112.375	9.725	-2.300	2.464	0.054	0.177
	110.750	-112.375	9.420	-2.165	3.173	0.052	0.175
	110.750	-112.375	9.180	-2.085	3.893	0.050	0.182
	110.625	-112.375	9.070	-1.980	4.555	0.050	0.171
	110.750	-112.375	8.855	-1.925	5.219	0.048	0.175
	110.750	-112.375	8.665	-1.820	5.840	0.047	0.169
	110.875	-112.375	8.515	-1.810	6.456	0.046	0.170
	110.625	-112.375	8.470	-1.765	7.070	0.046	0.171

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表2 (1) 供試体P-60の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	16.875	-13.250	7.675	-15.240	0.156	0.761	0.144
	17.000	-13.125	7.265	-15.205	0.303	0.746	0.139
	17.000	-13.250	6.985	-15.270	0.451	0.736	0.139
	17.000	-13.125	6.900	-15.190	0.598	0.733	0.141
	17.000	-13.250	6.870	-15.100	0.744	0.726	0.140
	16.875	-13.250	6.800	-14.995	0.889	0.723	0.140
	17.000	-13.250	6.770	-15.120	1.033	0.724	0.139
	17.000	-13.250	6.575	-14.785	1.176	0.706	0.141
	17.000	-13.125	6.725	-14.950	1.319	0.720	0.139
	17.000	-13.125	6.680	-14.980	1.461	0.719	0.139
2 δ_0	32.000	-28.000	11.500	-17.825	0.537	0.489	0.194
	31.750	-28.000	10.375	-17.545	0.974	0.467	0.167
	32.000	-28.125	10.170	-17.395	1.375	0.458	0.154
	32.000	-28.000	9.955	-17.310	1.761	0.454	0.150
	31.750	-28.125	9.950	-16.830	2.136	0.447	0.149
	32.000	-28.000	9.825	-17.310	2.507	0.452	0.145
	31.750	-28.125	9.845	-17.110	2.874	0.450	0.145
	31.750	-28.125	9.895	-17.210	3.239	0.453	0.143
	32.000	-28.000	9.810	-17.195	3.602	0.450	0.143
	32.000	-28.125	9.800	-17.045	3.963	0.446	0.142
3 δ_0	46.625	-43.000	11.925	-17.700	0.933	0.331	0.224
	46.750	-43.000	10.655	-17.215	1.802	0.311	0.221
	46.625	-42.875	10.660	-17.415	2.632	0.314	0.210
	46.750	-43.000	10.495	-17.250	3.445	0.309	0.208
	46.625	-43.000	10.490	-17.150	4.244	0.308	0.205
	46.750	-43.000	10.335	-17.085	5.036	0.306	0.205
	46.750	-43.000	10.250	-17.075	5.820	0.304	0.204
	46.750	-43.000	10.160	-17.000	6.600	0.303	0.204
	46.750	-43.000	10.130	-16.940	7.376	0.302	0.203
	46.625	-43.000	10.080	-16.940	8.148	0.301	0.203
4 δ_0	61.625	-57.875	11.480	-17.080	1.410	0.239	0.263
	61.625	-57.875	10.655	-16.960	2.775	0.231	0.263
	61.625	-58.000	10.530	-16.475	4.098	0.226	0.261
	61.500	-58.000	10.540	-16.350	5.401	0.225	0.258
	61.625	-57.875	10.230	-16.660	6.691	0.225	0.255
	61.625	-58.000	10.260	-16.440	7.971	0.223	0.255
	61.625	-57.875	10.150	-16.480	9.244	0.223	0.255
	61.625	-57.875	10.050	-16.450	10.509	0.222	0.254
	61.625	-57.875	10.010	-16.480	11.771	0.222	0.254
	61.625	-58.000	9.965	-16.280	13.028	0.219	0.255

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表2 (2) 供試体P-60の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価弾性 (t/mm)	減衰定数
5 δ_0	76.500	-72.750	11.505	-16.550	1.896	0.188	0.288
	76.625	-72.750	10.735	-16.310	3.761	0.181	0.294
	76.500	-72.750	10.545	-16.240	5.598	0.179	0.293
	76.500	-72.750	10.545	-16.110	7.417	0.179	0.291
	76.500	-72.750	10.310	-16.070	9.222	0.177	0.292
	76.500	-72.750	10.150	-15.985	11.015	0.175	0.293
	76.500	-72.750	10.140	-15.935	12.797	0.175	0.291
	76.500	-72.750	9.995	-15.785	14.570	0.173	0.293
	76.625	-72.750	9.720	-15.740	16.332	0.170	0.295
	76.625	-72.750	9.635	-15.870	18.081	0.171	0.292
6 δ_0	91.500	-87.750	10.835	-16.095	2.419	0.150	0.319
	91.375	-87.750	9.850	-16.065	4.779	0.145	0.324
	91.375	-87.750	9.550	-15.710	7.027	0.141	0.316
	91.375	-87.750	9.190	-15.445	9.227	0.138	0.317
	91.500	-87.750	7.400	-15.050	11.259	0.125	0.322
	91.375	-87.750	7.100	-14.410	13.147	0.120	0.312
	91.500	-87.750	6.390	-14.125	14.957	0.114	0.313
	91.500	-87.625	5.795	-13.830	16.680	0.110	0.312
	91.500	-87.625	5.830	-13.545	18.349	0.108	0.306
	91.375	-87.750	5.840	-12.885	19.961	0.105	0.306
7 δ_0	106.375	-102.750	6.540	-11.870	2.020	0.088	0.334
	106.500	-102.750	6.030	-11.185	3.925	0.082	0.337
	106.500	-102.750	5.390	-10.695	5.732	0.077	0.342
	106.375	-102.750	4.745	-9.885	7.455	0.070	0.359
	106.500	-102.750	4.260	-9.620	9.112	0.066	0.363
	106.500	-102.750	4.090	-9.440	10.723	0.065	0.362
	106.375	-102.750	3.785	-8.770	12.284	0.060	0.378
	106.500	-102.750	3.435	-8.510	13.799	0.057	0.386
	106.375	-102.625	3.035	-8.230	15.267	0.054	0.397
	106.375	-102.625	2.660	-8.210	16.694	0.052	0.400

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表3 (1) 供試体P-61の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	16.000	-12.125	8.055	-16.050	0.186	0.857	0.174
	15.750	-12.125	7.655	-15.990	0.337	0.848	0.146
	16.000	-12.125	7.510	-15.665	0.482	0.824	0.141
	15.750	-12.250	7.340	-15.445	0.624	0.814	0.142
	16.000	-12.125	7.280	-15.500	0.763	0.810	0.138
	16.000	-12.125	7.355	-15.405	0.903	0.809	0.139
	16.000	-12.250	6.935	-15.280	1.040	0.786	0.139
	16.000	-12.125	7.140	-15.440	1.177	0.803	0.138
	16.000	-12.125	7.215	-15.100	1.313	0.793	0.138
	15.750	-12.125	7.070	-15.330	1.449	0.804	0.138
2 δ_0	29.750	-26.125	14.290	-18.630	0.460	0.589	0.159
	29.750	-26.125	13.395	-18.210	0.825	0.566	0.131
	29.750	-26.000	13.165	-18.395	1.157	0.566	0.120
	29.875	-26.125	13.045	-18.225	1.478	0.558	0.117
	29.750	-26.125	12.990	-18.035	1.793	0.555	0.116
	29.750	-26.125	12.850	-18.080	2.103	0.554	0.114
	29.750	-26.125	12.845	-17.985	2.410	0.552	0.114
	29.750	-26.125	12.755	-17.920	2.716	0.549	0.113
	29.750	-26.000	12.750	-17.850	3.019	0.549	0.113
	29.750	-26.000	12.690	-18.045	3.321	0.551	0.112
3 δ_0	43.625	-40.000	15.025	-18.030	0.875	0.395	0.201
	43.750	-40.000	13.745	-18.030	1.646	0.379	0.185
	43.625	-39.875	13.425	-18.030	2.374	0.377	0.176
	43.750	-40.000	13.370	-17.800	3.085	0.372	0.173
	43.625	-39.875	13.240	-17.885	3.783	0.373	0.171
	43.750	-40.000	13.155	-17.805	4.477	0.370	0.170
	43.750	-40.000	12.985	-17.775	5.164	0.367	0.170
	43.750	-39.875	12.990	-17.760	5.849	0.368	0.170
	43.750	-39.875	12.935	-17.690	6.531	0.366	0.169
	43.750	-39.875	12.890	-17.640	7.208	0.365	0.169
4 δ_0	57.625	-53.875	14.775	-17.510	1.324	0.290	0.234
	57.750	-53.875	13.570	-17.390	2.586	0.277	0.232
	57.625	-53.875	13.475	-17.295	3.814	0.276	0.228
	57.750	-53.875	13.245	-17.290	5.022	0.274	0.226
	57.750	-53.875	13.095	-17.225	6.217	0.272	0.225
	57.750	-53.875	13.015	-17.230	7.404	0.271	0.224
	57.750	-53.875	12.910	-17.165	8.584	0.269	0.224
	57.750	-53.875	12.875	-17.160	9.759	0.269	0.223
	57.625	-53.875	12.805	-17.100	10.930	0.268	0.224
	57.750	-54.000	12.675	-17.040	12.099	0.266	0.224

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表3 (2) 供試体P-6Iの実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
5 δ_0	71.750	-67.750	13.995	-17.255	1.836	0.224	0.268
	71.625	-67.875	13.270	-17.010	3.626	0.217	0.270
	71.750	-67.875	12.940	-16.995	5.386	0.214	0.268
	71.625	-67.875	12.810	-16.690	7.120	0.211	0.268
	71.750	-67.750	12.465	-17.065	8.836	0.212	0.265
	71.625	-67.750	12.395	-16.960	10.536	0.211	0.265
	71.750	-67.875	12.130	-16.920	12.222	0.208	0.265
	71.750	-67.875	11.900	-16.805	13.881	0.206	0.264
	71.625	-67.875	11.890	-16.715	15.522	0.205	0.262
	71.625	-67.875	11.570	-16.590	17.142	0.202	0.263
6 δ_0	85.625	-81.625	10.890	-16.875	2.210	0.166	0.303
	85.625	-81.750	9.645	-16.535	4.132	0.156	0.279
	85.625	-81.625	8.665	-16.020	5.928	0.148	0.277
	85.625	-81.750	7.845	-15.405	7.638	0.139	0.280
	85.625	-81.625	7.070	-15.185	9.288	0.133	0.282
	85.625	-81.625	6.690	-15.010	10.882	0.130	0.280
	85.625	-81.625	6.075	-14.630	12.431	0.124	0.285
	85.625	-81.750	5.660	-14.155	13.943	0.118	0.290
	85.625	-81.750	5.355	-13.620	15.403	0.113	0.293
	85.625	-81.625	4.970	-13.335	16.806	0.109	0.292
7 δ_0	99.625	-95.500	6.115	-13.750	1.781	0.102	0.293
	99.625	-95.625	5.475	-13.300	3.460	0.096	0.292
	99.500	-95.500	5.225	-13.110	5.106	0.094	0.293
	99.500	-95.625	4.855	-12.725	6.717	0.090	0.299
	99.500	-95.500	4.560	-12.545	8.264	0.088	0.295
	99.625	-95.500	4.125	-12.415	9.792	0.085	0.301
	99.625	-95.625	3.900	-11.890	11.284	0.081	0.308
	99.625	-95.625	3.615	-10.810	12.698	0.074	0.319
	99.625	-95.625	3.345	-10.900	14.050	0.073	0.310
	99.625	-95.625	2.920	-10.615	15.376	0.069	0.319

注) 最大、最小荷重は、変位最大、最小時の値である。

付表4 供試体P-62の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価弾性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	20.112	-7.660	7.002	-18.688	0.210	0.925	0.187
	20.020	-7.660	6.721	-18.397	0.360	0.907	0.137
	20.081	-7.660	6.556	-18.339	0.504	0.897	0.134
	20.081	-7.599	6.263	-17.965	0.645	0.875	0.134
	20.112	-7.599	6.432	-17.949	0.785	0.880	0.132
	20.051	-7.660	6.077	-18.008	0.927	0.869	0.135
	20.051	-7.599	6.142	-17.820	1.066	0.867	0.133
	20.112	-7.660	5.987	-18.041	1.209	0.865	0.136
	20.020	-7.660	6.116	-17.996	1.351	0.871	0.136
	20.112	-7.630	6.223	-17.887	1.494	0.869	0.137
2 δ_0	33.845	-21.393	12.448	-21.608	0.538	0.617	0.182
	33.876	-21.424	11.362	-21.326	0.965	0.591	0.151
	33.845	-21.393	11.308	-21.387	1.362	0.592	0.140
	33.845	-21.393	11.112	-21.321	1.749	0.587	0.137
	33.876	-21.393	11.016	-21.199	2.129	0.583	0.136
	33.845	-21.393	11.004	-21.238	2.504	0.584	0.134
	33.876	-21.393	10.935	-21.087	2.877	0.579	0.134
	33.876	-21.393	10.935	-21.131	3.247	0.580	0.133
	33.876	-21.393	10.854	-21.104	3.614	0.578	0.132
	33.845	-21.393	10.780	-21.008	3.982	0.575	0.133
3 δ_0	47.761	-35.127	12.902	-21.338	1.001	0.413	0.225
	47.761	-35.157	11.808	-21.087	1.889	0.397	0.207
	47.761	-35.127	11.604	-21.175	2.740	0.395	0.199
	47.761	-35.157	11.502	-21.062	3.570	0.393	0.196
	47.761	-35.157	11.392	-21.073	4.390	0.392	0.194
	47.792	-35.188	11.270	-21.021	5.204	0.389	0.193
	47.761	-35.188	11.268	-20.933	6.011	0.388	0.192
	47.761	-35.157	11.138	-21.021	6.813	0.388	0.191
	47.761	-35.157	11.024	-20.794	7.613	0.384	0.193
	47.731	-35.157	10.980	-20.824	8.407	0.384	0.192
4 δ_0	61.617	-49.043	12.636	-21.032	1.481	0.304	0.253
	61.586	-49.043	11.583	-20.853	2.881	0.293	0.248
	61.617	-49.043	11.243	-20.820	4.241	0.290	0.244
	61.617	-49.043	11.115	-20.931	5.580	0.290	0.240
	61.617	-49.013	11.038	-20.864	6.905	0.288	0.239
	61.586	-49.043	10.872	-20.787	8.218	0.286	0.239
	61.617	-49.043	10.650	-20.773	9.526	0.284	0.239
	61.647	-49.043	10.428	-20.836	10.828	0.282	0.240
	61.586	-49.013	10.451	-20.687	12.124	0.282	0.240
	61.617	-49.043	10.340	-20.688	13.419	0.280	0.240
5 δ_0	75.533	-62.899	11.973	-21.045	1.988	0.239	0.277
	75.503	-62.899	11.344	-20.886	3.914	0.233	0.275
	75.533	-62.899	10.923	-20.888	5.814	0.230	0.275
	75.533	-62.899	10.708	-20.910	7.695	0.228	0.274
	75.533	-62.868	10.425	-20.848	9.562	0.226	0.275
	75.533	-62.868	10.092	-20.755	11.418	0.223	0.277
	75.533	-62.868	9.772	-20.759	13.268	0.221	0.279
	75.533	-62.868	9.469	-20.733	15.113	0.218	0.281
	75.594	-62.899	8.980	-20.699	16.942	0.214	0.283
	75.533	-62.899	8.637	-20.590	18.749	0.211	0.284
6 δ_0	89.419	-76.693	9.130	-20.683	2.528	0.179	0.325
	89.419	-76.754	6.286	-20.509	4.925	0.161	0.343
	89.419	-76.754	5.244	-20.013	7.004	0.152	0.315
	89.450	-76.693	4.575	-19.480	8.974	0.145	0.314
	89.480	-76.724	3.523	-18.846	10.836	0.135	0.319
	89.419	-76.724	2.680	-18.377	12.612	0.127	0.323
	89.450	-76.693	2.077	-17.940	14.321	0.120	0.327
	89.480	-76.754	1.406	-17.345	15.982	0.113	0.339
	89.450	-76.754	0.834	-16.441	17.600	0.104	0.359
	89.450	-76.754	0.009	-15.883	19.160	0.096	0.376

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表5 供試体P-63の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	21.750	-6.250	6.205	-21.205	0.243	0.979	0.201
	21.625	-6.375	5.605	-21.740	0.479	0.977	0.196
	21.750	-6.250	5.450	-21.845	0.707	0.975	0.190
	21.625	-6.250	5.390	-21.830	0.934	0.977	0.191
	21.625	-6.250	5.400	-21.805	1.159	0.976	0.189
	21.625	-6.250	5.190	-21.670	1.382	0.964	0.190
	21.750	-6.250	5.190	-21.775	1.605	0.963	0.188
	21.750	-6.250	5.035	-21.885	1.827	0.961	0.187
	21.750	-6.250	5.050	-21.755	2.048	0.957	0.187
	21.625	-6.250	5.050	-21.755	2.270	0.962	0.189
2 δ_0	35.625	-20.125	10.265	-25.605	0.730	0.643	0.232
	35.625	-20.250	9.475	-25.350	1.285	0.623	0.182
	35.625	-20.250	9.285	-25.315	1.811	0.619	0.173
	35.750	-20.250	9.155	-25.025	2.325	0.610	0.171
	35.625	-20.250	9.075	-25.150	2.830	0.613	0.168
	35.625	-20.250	9.060	-25.070	3.331	0.611	0.167
	35.625	-20.125	8.995	-25.030	3.828	0.610	0.167
	35.625	-20.125	8.875	-25.045	4.324	0.608	0.167
	35.625	-20.125	8.895	-25.065	4.819	0.609	0.166
	35.625	-20.125	8.770	-25.155	5.310	0.609	0.165
3 δ_0	49.500	-34.125	11.245	-24.580	1.259	0.428	0.267
	49.625	-34.125	10.295	-24.350	2.356	0.414	0.241
	49.500	-34.125	10.055	-24.240	3.408	0.410	0.234
	49.625	-34.125	9.750	-24.250	4.443	0.406	0.231
	49.625	-34.125	9.715	-24.075	5.465	0.403	0.230
	49.500	-34.125	9.680	-24.025	6.478	0.403	0.229
	49.500	-34.125	9.540	-24.035	7.486	0.401	0.228
	49.625	-34.125	9.545	-23.865	8.487	0.399	0.228
	49.500	-34.125	9.390	-23.895	9.483	0.398	0.228
	49.625	-34.125	9.390	-23.965	10.479	0.398	0.227
4 δ_0	63.500	-48.125	10.930	-23.905	1.764	0.312	0.289
	63.500	-48.125	9.915	-23.750	3.414	0.302	0.279
	63.500	-48.000	9.590	-23.895	5.005	0.300	0.271
	63.500	-48.125	9.415	-23.735	6.569	0.297	0.269
	63.500	-48.125	9.160	-23.730	8.109	0.295	0.267
	63.375	-48.000	9.130	-23.840	9.633	0.296	0.264
	63.500	-48.125	9.055	-23.640	11.144	0.293	0.264
	63.500	-48.125	8.950	-23.425	12.647	0.290	0.265
	63.625	-48.125	8.695	-23.515	14.141	0.288	0.264
	63.500	-48.125	8.790	-23.395	15.624	0.288	0.263
5 δ_0	77.375	-62.000	10.310	-23.530	2.266	0.243	0.306
	77.500	-61.875	9.160	-23.520	4.412	0.234	0.300
	77.500	-61.875	9.100	-23.495	6.512	0.234	0.294
	77.375	-62.000	8.795	-23.565	8.578	0.232	0.292
	77.375	-62.000	8.500	-23.500	10.625	0.230	0.292
	77.500	-62.000	8.165	-23.450	12.658	0.227	0.293
	77.500	-61.875	7.665	-23.345	14.673	0.222	0.297
	77.500	-61.875	7.135	-23.200	16.668	0.218	0.300
	77.500	-62.000	1.190	-22.985	18.815	0.173	0.405
	77.500	-62.000	-2.890	-13.620	20.731	0.077	0.815
6 δ_0	91.500	-76.000	-7.535	-8.780	1.000	0.990	0.007
	91.500	-76.000	3.580	-8.555	0.280	1.884	0.072
	9.375	-0.250	2.985	3.130	-1.000	2.299	-0.015

付表6 供試体P-64の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価弾性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	23.375	-14.000	10.230	-22.870	0.330	0.886	0.170
	23.250	-13.875	9.805	-22.690	0.610	0.875	0.148
	23.250	-13.875	9.730	-23.100	0.885	0.884	0.144
	23.375	-14.000	9.440	-22.755	1.155	0.861	0.143
	23.250	-13.875	9.485	-22.840	1.427	0.871	0.144
	23.250	-13.875	9.460	-22.780	1.693	0.868	0.142
	23.375	-14.000	9.325	-22.630	1.960	0.855	0.142
	23.250	-13.875	9.345	-22.670	2.226	0.862	0.142
	23.250	-14.000	9.285	-22.590	2.490	0.856	0.142
	23.375	-13.875	9.035	-22.720	2.753	0.852	0.142
2 δ_0	41.875	-32.625	17.035	-23.935	0.991	0.550	0.207
	41.875	-32.500	15.535	-24.300	1.786	0.536	0.171
	41.875	-32.500	15.230	-24.110	2.527	0.529	0.161
	41.750	-32.625	15.055	-23.910	3.246	0.524	0.158
	41.875	-32.500	14.960	-24.165	3.954	0.526	0.155
	41.875	-32.500	14.700	-24.155	4.657	0.522	0.155
	41.750	-32.625	14.820	-23.965	5.353	0.521	0.154
	42.000	-32.500	14.635	-23.910	6.045	0.517	0.154
	41.875	-32.500	14.555	-23.745	6.734	0.515	0.154
	41.875	-32.500	14.705	-23.835	7.421	0.518	0.153
3 δ_0	60.375	-51.125	17.355	-23.275	1.742	0.364	0.245
	60.375	-51.125	15.905	-23.125	3.279	0.350	0.225
	60.500	-51.125	15.235	-23.280	4.756	0.345	0.219
	60.375	-51.125	15.115	-23.270	6.203	0.344	0.215
	60.500	-51.125	14.820	-23.055	7.626	0.339	0.214
	60.500	-51.125	14.635	-23.020	9.038	0.337	0.214
	60.500	-51.125	14.385	-23.050	10.440	0.335	0.214
	60.500	-51.125	14.190	-22.920	11.840	0.332	0.215
	60.500	-51.125	14.110	-22.860	13.235	0.331	0.215
	60.375	-51.125	13.870	-23.055	14.633	0.331	0.216
4 δ_0	79.000	-69.625	13.845	-23.000	2.549	0.248	0.296
	79.000	-69.625	10.270	-22.955	4.779	0.224	0.287
	79.000	-69.625	9.090	-22.680	6.780	0.214	0.270
	79.000	-69.500	8.100	-22.320	8.665	0.205	0.266
	79.000	-69.500	7.135	-21.640	10.478	0.194	0.270
	79.000	-69.500	6.580	-21.620	12.252	0.190	0.270
	79.000	-69.500	5.930	-21.265	13.993	0.183	0.274
	79.000	-69.500	5.505	-20.970	15.708	0.178	0.278
	79.000	-69.500	4.785	-20.870	17.390	0.173	0.281
	79.000	-69.500	3.955	-20.475	19.025	0.165	0.287
5 δ_0	97.625	-88.125	5.160	-21.710	2.432	0.145	0.310
	97.625	-88.125	3.550	-20.065	4.663	0.127	0.324
	97.625	-88.125	2.220	-19.380	6.767	0.116	0.334
	97.625	-88.250	1.380	-17.450	8.801	0.101	0.370
	97.625	-88.125	0.795	-15.730	10.881	0.089	0.431

付表7 (1) 供試体P-65の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	11.250	-12.500	13.575	-14.620	0.096	1.187	0.091
	11.125	-12.500	13.460	-14.425	0.158	1.180	0.060
	11.250	-12.500	13.195	-14.125	0.213	1.150	0.054
	11.125	-12.500	12.970	-13.970	0.266	1.140	0.052
	11.125	-12.500	12.825	-13.845	0.316	1.129	0.051
	11.250	-12.500	12.835	-13.845	0.366	1.123	0.050
	11.125	-12.500	12.845	-13.875	0.416	1.131	0.050
	11.125	-12.625	12.735	-13.720	0.464	1.114	0.049
	11.250	-12.500	12.865	-13.675	0.512	1.117	0.048
	11.125	-12.500	12.575	-13.825	0.559	1.117	0.048
2 δ_0	22.875	-24.125	19.765	-19.765	0.290	0.841	0.099
	22.875	-24.125	19.415	-19.420	0.490	0.826	0.070
	22.875	-24.250	19.245	-19.165	0.668	0.815	0.062
	23.000	-24.250	19.095	-19.125	0.835	0.809	0.059
	23.000	-24.250	18.945	-19.115	0.995	0.806	0.057
	23.000	-24.250	18.860	-18.950	1.151	0.800	0.056
	22.875	-24.125	18.840	-18.820	1.304	0.801	0.055
	22.875	-24.125	18.845	-18.725	1.455	0.799	0.054
	22.875	-24.250	18.715	-18.750	1.604	0.795	0.054
	22.875	-24.250	18.625	-18.730	1.751	0.793	0.053
3 δ_0	34.750	-35.875	21.435	-20.650	0.649	0.596	0.139
	34.750	-35.875	19.820	-20.135	1.212	0.566	0.127
	34.750	-35.875	19.620	-19.980	1.730	0.561	0.118
	34.625	-35.875	19.755	-19.940	2.226	0.563	0.113
	34.625	-35.875	19.585	-19.850	2.711	0.559	0.111
	34.750	-35.875	19.475	-19.570	3.187	0.553	0.110
	34.750	-35.750	19.275	-19.660	3.657	0.552	0.109
	34.750	-35.875	19.275	-19.465	4.122	0.549	0.108
	34.750	-35.875	19.340	-19.530	4.585	0.550	0.107
	34.750	-35.875	19.330	-19.390	5.042	0.548	0.106
4 δ_0	46.500	-47.625	21.065	-20.270	1.050	0.439	0.172
	46.500	-47.625	19.850	-19.745	2.040	0.421	0.169
	46.500	-47.625	19.550	-19.685	2.984	0.417	0.163
	46.500	-47.625	19.325	-19.605	3.904	0.414	0.160
	46.625	-47.625	19.245	-19.615	4.809	0.412	0.157
	46.500	-47.625	19.310	-19.425	5.703	0.412	0.156
	46.500	-47.625	19.120	-19.330	6.589	0.408	0.156
	46.500	-47.625	19.065	-19.310	7.468	0.408	0.155
	46.500	-47.625	19.115	-19.245	8.342	0.408	0.154
	46.500	-47.625	19.025	-19.040	9.211	0.404	0.155
5 δ_0	58.250	-59.500	20.380	-19.900	1.521	0.342	0.204
	58.250	-59.500	19.480	-19.320	2.981	0.330	0.203
	58.250	-59.500	19.165	-19.245	4.401	0.326	0.200
	58.250	-59.500	19.020	-19.040	5.798	0.323	0.198
	58.375	-59.375	18.890	-18.845	7.181	0.320	0.198
	58.375	-59.500	18.690	-18.660	8.550	0.317	0.198
	58.250	-59.500	18.645	-18.630	9.912	0.317	0.197
	58.250	-59.500	18.255	-18.465	11.268	0.312	0.200
	58.250	-59.500	17.090	-18.245	12.566	0.300	0.199
	58.250	-59.500	16.810	-17.860	13.794	0.294	0.192

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表7(2) 供試体P-65の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
6 δ_0	70.000	-71.250	17.670	-18.420	1.789	0.256	0.223
	70.125	-71.125	17.060	-16.350	3.450	0.237	0.224
	70.000	-71.125	16.625	-15.670	4.979	0.229	0.214
	70.000	-71.250	16.370	-14.750	6.425	0.220	0.209
	70.000	-71.250	15.905	-14.425	7.803	0.215	0.205
	70.000	-71.125	15.385	-14.025	9.127	0.208	0.203
	70.125	-71.125	14.890	-13.585	10.418	0.202	0.204
	70.125	-71.250	14.590	-13.160	11.682	0.196	0.205
	70.000	-71.125	14.205	-12.830	12.922	0.192	0.207
	70.000	-71.125	14.065	-12.380	14.138	0.187	0.207
7 δ_0	0.375	-0.625	5.305	-4.570	-0.002	0.735	-0.974
	81.750	-82.875	15.465	-13.780	1.627	0.178	0.215
	81.750	-82.875	14.665	-12.030	3.167	0.162	0.223
	81.875	-82.875	13.860	-11.350	4.618	0.153	0.222
	81.750	-82.875	13.475	-10.975	6.018	0.149	0.222
	81.875	-82.875	12.645	-10.435	7.385	0.140	0.229
	81.875	-82.875	12.340	-10.015	8.717	0.136	0.230
	81.750	-82.875	11.675	-9.630	10.003	0.129	0.233
	81.750	-82.875	11.180	-9.230	11.245	0.124	0.235
	81.750	-82.875	10.980	-9.020	12.450	0.121	0.233
8 δ_0	0.0	-0.625	3.945	-3.675	0.000	0.432	0.486
	93.625	-94.750	10.715	-9.040	1.484	0.105	0.254
	93.625	-94.750	9.755	-8.310	2.825	0.096	0.251
	93.625	-94.750	9.085	-7.600	4.099	0.089	0.258
	93.625	-94.750	8.520	-6.945	5.297	0.082	0.262
	93.625	-94.750	7.770	-6.575	6.451	0.076	0.272
	93.625	-94.875	7.455	-5.940	7.541	0.071	0.275
	93.625	-94.750	7.035	-5.315	8.568	0.066	0.281
	93.625	-94.750	6.490	-4.155	9.495	0.057	0.294
	93.750	-94.875	6.095	-3.990	10.349	0.053	0.286

注) 最大、最小荷重は、変位最大、最小時の値である。

付表8 (1) 供試体P-66の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	11.125	-12.500	13.385	-11.125	0.072	1.037	0.078
	11.250	-12.375	13.210	-10.710	0.114	1.012	0.047
	11.000	-12.500	12.840	-10.690	0.150	1.001	0.042
	11.125	-12.500	12.805	-10.530	0.184	0.988	0.039
	11.000	-12.500	12.675	-10.425	0.216	0.983	0.038
	11.125	-12.375	12.870	-10.280	0.248	0.985	0.038
	11.125	-12.625	12.710	-10.225	0.280	0.966	0.037
	11.000	-12.500	12.720	-10.170	0.311	0.974	0.037
	11.125	-12.375	12.735	-10.040	0.342	0.969	0.037
	11.250	-12.500	12.715	-10.115	0.371	0.961	0.034
2 δ_0	22.875	-24.125	19.010	-17.340	0.198	0.773	0.074
	22.875	-24.125	18.655	-16.815	0.322	0.755	0.047
	22.750	-24.250	18.445	-16.610	0.431	0.746	0.042
	22.875	-24.125	18.400	-16.460	0.534	0.742	0.040
	22.875	-24.125	18.235	-16.245	0.632	0.734	0.039
	22.875	-24.125	18.185	-16.120	0.728	0.730	0.038
	22.875	-24.125	17.985	-16.275	0.822	0.729	0.037
	22.875	-24.125	18.075	-16.075	0.915	0.727	0.037
	23.000	-24.125	18.075	-16.055	1.008	0.724	0.037
	22.750	-24.125	17.895	-16.005	1.097	0.723	0.036
3 δ_0	34.625	-35.875	20.620	-18.445	0.495	0.554	0.114
	34.625	-35.750	19.555	-18.040	0.890	0.534	0.095
	34.625	-35.875	19.395	-17.890	1.250	0.529	0.087
	34.500	-35.875	19.270	-17.705	1.593	0.525	0.084
	34.500	-35.750	19.155	-17.820	1.927	0.526	0.082
	34.625	-35.750	19.110	-17.680	2.256	0.523	0.081
	34.625	-35.750	19.035	-17.625	2.579	0.521	0.080
	34.500	-35.750	19.030	-17.625	2.900	0.522	0.079
	34.500	-35.750	18.915	-17.600	3.215	0.520	0.078
	34.500	-35.750	18.985	-17.450	3.526	0.519	0.077
4 δ_0	46.375	-47.500	20.605	-18.835	0.842	0.420	0.145
	46.375	-47.500	19.180	-18.450	1.628	0.401	0.142
	46.375	-47.500	18.720	-18.325	2.374	0.395	0.137
	46.375	-47.500	18.705	-18.210	3.103	0.393	0.134
	46.250	-47.500	18.700	-18.115	3.820	0.393	0.132
	46.375	-47.500	18.520	-18.005	4.534	0.389	0.132
	46.375	-47.500	18.455	-17.955	5.238	0.388	0.131
	46.500	-47.500	18.370	-17.890	5.941	0.386	0.131
	46.375	-47.500	18.355	-17.815	6.637	0.385	0.130
	46.375	-47.500	18.295	-17.825	7.329	0.385	0.130
5 δ_0	58.125	-59.250	19.830	-18.935	1.257	0.330	0.176
	58.125	-59.250	18.750	-18.495	2.471	0.317	0.177
	58.250	-59.250	18.425	-18.170	3.644	0.311	0.174
	58.125	-59.250	18.345	-18.295	4.800	0.312	0.171
	58.125	-59.375	18.165	-18.025	5.947	0.308	0.172
	58.125	-59.250	18.090	-18.100	7.087	0.308	0.171
	58.250	-59.375	18.035	-17.875	8.218	0.305	0.170
	58.125	-59.375	17.930	-17.965	9.344	0.305	0.170
	58.125	-59.375	17.845	-17.730	10.464	0.303	0.170
	58.125	-59.375	17.780	-17.700	11.981	0.302	0.232

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表 8 (2) 供試体 P-66 の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
6 δ_0	0.0	-0.625	6.470	6.285	-0.001	0.296	1.000
	70.000	-71.000	19.195	-18.485	1.695	0.267	0.203
	69.875	-71.000	18.240	-17.335	3.324	0.253	0.207
	69.875	-71.125	17.810	-16.740	4.903	0.245	0.206
	69.875	-71.000	17.195	-16.120	6.376	0.236	0.200
	70.000	-71.125	16.295	-15.210	7.726	0.223	0.193
	70.000	-71.000	15.625	-14.560	8.988	0.214	0.189
	70.000	-71.000	15.060	-14.035	10.209	0.206	0.189
	70.000	-71.000	14.840	-13.780	11.409	0.203	0.189
	70.000	-71.000	14.540	-13.340	12.581	0.198	0.190
7 δ_0	81.750	-82.750	15.105	-13.965	1.578	0.177	0.210
	81.625	-82.750	14.600	-13.015	3.090	0.168	0.212
	81.625	-82.750	14.130	-12.410	4.549	0.161	0.213
	81.625	-82.750	13.735	-11.725	5.968	0.155	0.216
	81.625	-82.750	13.415	-11.205	7.347	0.150	0.217
	81.625	-82.750	13.135	-10.685	8.691	0.145	0.219
	81.625	-82.875	12.655	-10.040	10.002	0.138	0.224
	81.750	-82.750	12.350	-9.630	11.273	0.134	0.224
	81.625	-82.750	12.110	-9.020	12.506	0.129	0.226
	81.750	-82.750	11.635	-8.665	13.702	0.123	0.228
8 δ_0	93.500	-94.625	12.445	-9.665	0.233	1.522	0.118
	93.500	-94.625	11.220	-7.830	0.251	2.934	0.101
	93.500	-94.625	10.610	-7.270	0.243	4.220	0.095
	93.500	-94.625	9.975	-6.965	0.245	5.447	0.090
	93.625	-94.625	9.455	-6.410	0.252	6.628	0.084
	93.500	-94.625	8.825	-6.005	0.262	7.775	0.079
	93.500	-94.625	8.510	-5.595	0.264	8.877	0.075
	93.625	-94.625	8.125	-4.980	0.270	9.922	0.070
	93.625	-94.625	7.375	-3.800	0.286	10.868	0.059
	93.625	-94.625	7.150	-3.340	0.277	11.727	0.056

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表9 (1) 供試体P-69の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価弾性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	14.750	-3.625	3.412	-29.927	0.211	1.814	0.219
	14.875	-3.625	2.895	-29.777	0.305	1.766	0.099
	15.125	-3.625	2.950	-29.552	0.396	1.733	0.095
	15.125	-3.250	2.477	-29.087	0.480	1.718	0.092
	15.125	-3.375	2.790	-29.320	0.562	1.736	0.088
	15.125	-3.625	2.535	-29.425	0.642	1.705	0.085
	15.125	-3.500	2.360	-29.330	0.728	1.701	0.093
	15.000	-3.500	2.265	-29.385	0.808	1.711	0.087
	15.000	-3.750	1.860	-29.617	0.885	1.679	0.083
	15.000	-3.500	1.827	-29.175	0.967	1.676	0.091
2 δ_0	24.250	-12.625	13.105	-32.027	0.436	1.224	0.167
	24.250	-12.750	12.395	-32.207	0.794	1.205	0.138
	24.250	-12.625	12.287	-32.350	1.132	1.211	0.131
	24.125	-12.625	11.995	-32.250	1.457	1.204	0.127
	24.250	-12.875	11.995	-31.982	1.781	1.185	0.126
	24.125	-12.750	11.700	-32.030	2.097	1.186	0.125
	24.125	-12.750	11.925	-31.927	2.415	1.189	0.125
	24.125	-12.750	11.730	-32.385	2.730	1.196	0.123
	24.000	-13.000	11.535	-32.440	3.057	1.189	0.128
	24.250	-12.750	11.575	-31.857	3.370	1.174	0.124
3 δ_0	33.625	-21.875	16.117	-32.292	0.825	0.872	0.196
	33.625	-22.000	15.232	-32.592	1.558	0.860	0.175
	33.625	-21.875	14.792	-32.730	2.256	0.856	0.169
	33.375	-22.125	14.110	-32.507	2.940	0.840	0.168
	33.500	-21.875	14.457	-32.450	3.617	0.847	0.166
	33.500	-21.750	14.240	-32.530	4.285	0.847	0.165
	33.750	-21.625	14.407	-32.310	4.949	0.844	0.163
	33.750	-21.750	13.827	-32.320	5.610	0.831	0.164
	33.750	-21.750	14.025	-32.515	6.267	0.839	0.162
	33.625	-22.000	13.790	-32.040	6.925	0.824	0.164
4 δ_0	42.625	-31.375	16.510	-32.590	1.269	0.664	0.223
	42.875	-30.875	15.487	-32.665	2.478	0.653	0.217
	42.875	-31.000	14.710	-32.635	3.641	0.641	0.212
	42.625	-31.250	14.437	-32.580	4.786	0.636	0.210
	42.625	-31.000	14.032	-32.402	5.918	0.631	0.211
	42.750	-31.375	13.932	-32.445	7.056	0.626	0.211
	42.500	-31.625	13.565	-32.112	8.185	0.616	0.212
	42.375	-31.500	13.192	-32.515	9.309	0.619	0.212
	42.625	-31.375	13.057	-32.037	10.428	0.609	0.214
	42.875	-31.000	13.210	-32.367	11.550	0.617	0.212
5 δ_0	52.250	-40.125	14.222	-32.382	1.769	0.505	0.261
	52.250	-40.125	13.435	-32.487	3.477	0.497	0.256
	52.250	-40.375	13.062	-32.460	5.157	0.491	0.254
	51.875	-40.375	12.105	-32.330	6.826	0.482	0.259
	52.250	-40.125	11.502	-31.992	8.422	0.471	0.253
	52.250	-40.125	10.490	-31.812	9.924	0.458	0.245
	52.125	-40.250	10.172	-31.137	11.318	0.447	0.233
	52.125	-40.250	9.865	-30.780	12.678	0.440	0.231
	52.250	-40.500	9.245	-30.220	14.023	0.425	0.234
	51.875	-40.500	8.955	-30.172	15.323	0.424	0.229

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表9 (2) 供試体P-69の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
6 δ_0	61.625	-49.250	9.917	-31.277	1.876	0.372	0.261
	61.500	-49.375	9.440	-30.745	3.618	0.362	0.249
	61.500	-49.250	8.755	-30.405	5.296	0.354	0.246
	61.500	-49.250	8.347	-29.815	6.932	0.345	0.246
	61.500	-49.250	7.715	-29.132	8.561	0.333	0.254
	61.500	-49.250	7.435	-28.737	10.198	0.327	0.260
	61.500	-49.375	7.257	-27.800	11.833	0.316	0.268
	61.625	-49.375	6.430	-26.460	13.471	0.296	0.286
	61.375	-49.375	6.570	-25.655	15.095	0.291	0.290
	61.500	-49.250	5.877	-24.752	16.713	0.277	0.304
7 δ_0	70.875	-58.500	6.055	-23.262	2.079	0.227	0.349
	70.875	-58.500	2.427	-22.205	4.024	0.190	0.389
	70.875	-58.500	0.385	-20.955	5.861	0.165	0.423
	70.875	-58.500	-2.025	-20.870	7.633	0.146	0.463
	70.875	-58.500	-3.180	-20.797	9.356	0.136	0.481
	70.875	-58.500	-3.780	-20.627	11.027	0.130	0.488
	70.875	-58.500	-4.415	-20.497	12.687	0.124	0.508
	70.875	-58.500	-5.447	-20.647	14.312	0.117	0.526
	70.875	-58.500	-0.775	-20.135	15.839	0.150	0.388
	70.750	-58.500	4.535	-19.297	17.096	0.184	0.260
8 δ_0	80.000	-67.750	5.775	-19.065	1.396	0.168	0.242
	80.000	-67.625	5.805	-18.567	2.618	0.165	0.216
	80.125	-67.750	5.252	-17.845	3.743	0.156	0.210
	80.125	-67.750	5.015	-17.347	4.833	0.151	0.210
	80.125	-67.750	5.055	-16.100	5.916	0.143	0.220
	80.125	-67.750	4.872	-12.425	6.869	0.117	0.237
	80.125	-67.750	4.877	-8.890	7.635	0.093	0.240
	80.125	-67.625	4.820	-7.380	8.344	0.083	0.250
	80.125	-67.750	4.630	-7.060	9.012	0.079	0.246

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表10 (1) 供試体P-70の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	19.500	-12.875	7.240	-13.585	0.189	0.643	0.178
	19.500	-12.875	7.037	-13.435	0.335	0.632	0.140
	19.500	-12.750	6.925	-13.270	0.474	0.626	0.136
	19.500	-12.750	6.802	-13.217	0.610	0.621	0.134
	19.500	-12.875	6.750	-13.222	0.745	0.617	0.133
	19.500	-12.875	6.720	-13.167	0.877	0.614	0.131
	19.500	-12.750	6.697	-13.172	1.010	0.616	0.132
	19.625	-12.750	6.620	-13.117	1.142	0.610	0.132
	19.500	-12.875	6.557	-13.145	1.274	0.609	0.131
	19.500	-12.875	6.557	-13.135	1.405	0.608	0.131
2 δ_0	35.625	-12.750	10.990	-13.815	0.341	0.513	0.181
	35.625	-12.875	10.615	-13.810	0.579	0.504	0.128
	35.625	-12.875	10.632	-13.765	0.807	0.503	0.123
	36.500	-12.625	10.857	-13.660	1.035	0.499	0.120
	37.500	-12.875	11.080	-13.522	1.283	0.488	0.128
	35.500	-12.875	10.145	-13.352	1.501	0.486	0.122
	35.625	-12.750	10.052	-13.567	1.717	0.488	0.120
	35.500	-12.875	10.100	-13.570	1.932	0.489	0.120
	35.625	-12.875	10.097	-13.605	2.144	0.489	0.117
	35.625	-12.875	10.042	-13.550	2.359	0.486	0.119
3 δ_0	53.625	-11.000	11.880	-13.465	0.610	0.392	0.237
	53.750	-11.000	11.695	-13.610	1.033	0.391	0.165
	53.750	-10.625	11.617	-13.415	1.433	0.389	0.158
	53.750	-10.750	11.512	-13.567	1.818	0.389	0.152
	53.625	-11.000	11.295	-13.382	2.200	0.382	0.153
	53.750	-11.750	11.280	-13.730	2.590	0.382	0.151
	53.875	-11.500	11.102	-13.855	2.977	0.382	0.151
	53.750	-10.875	11.250	-13.540	3.353	0.384	0.149
	53.750	-10.875	11.140	-13.430	3.726	0.380	0.149
	53.625	-11.125	11.007	-13.545	4.097	0.379	0.149
4 δ_0	69.875	-10.875	11.767	-13.672	0.792	0.315	0.246
	69.625	-10.875	11.600	-13.725	1.419	0.315	0.196
	69.875	-11.125	11.355	-14.080	2.029	0.314	0.188
	69.875	-10.875	11.290	-13.827	2.623	0.311	0.187
	69.750	-10.875	11.112	-13.912	3.205	0.310	0.184
	69.625	-11.125	11.082	-13.552	3.784	0.305	0.185
	69.750	-11.000	11.017	-13.812	4.360	0.307	0.183
	69.625	-11.000	10.922	-13.915	4.932	0.308	0.182
	69.625	-10.875	10.905	-13.672	5.499	0.305	0.182
	69.750	-10.875	10.917	-13.737	6.064	0.306	0.181
5 δ_0	85.625	-11.250	11.637	-14.010	0.990	0.265	0.253
	85.625	-11.375	11.495	-14.000	1.831	0.263	0.216
	85.500	-11.750	11.117	-14.260	2.650	0.261	0.211
	85.875	-11.000	11.192	-13.955	3.460	0.260	0.212
	85.875	-10.875	10.957	-14.125	4.251	0.259	0.207
	86.000	-10.750	10.905	-14.072	5.038	0.258	0.207
	85.875	-10.875	10.795	-14.020	5.814	0.256	0.206
	85.875	-10.875	10.690	-14.225	6.585	0.258	0.204
	86.000	-11.000	10.575	-14.192	7.355	0.255	0.204
	86.000	-10.875	10.780	-14.030	8.121	0.256	0.203

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表10(2) 供試体P-70の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
6 δ_0	102.250	-10.750	11.530	-14.330	1.201	0.229	0.261
	102.125	-10.750	11.100	-14.285	2.250	0.225	0.233
	101.875	-10.750	10.980	-14.330	3.273	0.225	0.228
	99.875	-11.250	10.520	-14.265	4.244	0.223	0.224
	101.875	-10.625	10.650	-14.422	5.247	0.223	0.226
	102.125	-10.750	10.640	-14.282	6.240	0.221	0.225
	102.250	-10.625	10.285	-14.290	7.231	0.218	0.227
	102.125	-10.750	10.097	-14.275	8.220	0.216	0.229
	102.125	-10.750	9.900	-14.132	9.209	0.213	0.232
	102.125	-10.750	9.300	-14.390	10.211	0.210	0.239
7 δ_0	118.000	-11.000	8.100	-14.320	1.462	0.174	0.322
	118.000	-11.000	6.517	-14.380	2.780	0.162	0.311
	117.875	-11.000	5.775	-14.182	4.014	0.155	0.305
	117.875	-11.125	5.355	-13.795	5.185	0.148	0.302
	117.875	-11.000	4.910	-13.655	6.324	0.144	0.303
	117.750	-11.125	4.790	-13.275	7.431	0.140	0.303
	117.875	-11.000	4.275	-13.055	8.519	0.134	0.310
	117.875	-11.375	4.257	-13.005	9.598	0.134	0.308
	117.875	-11.625	4.040	-13.240	10.665	0.133	0.304
	117.625	-11.125	3.897	-12.885	11.714	0.130	0.309
8 δ_0	133.625	-11.750	4.340	-13.035	1.343	0.120	0.339
	133.500	-11.375	4.087	-12.755	2.577	0.116	0.322
	133.500	-11.500	3.790	-12.485	3.779	0.112	0.324
	133.375	-11.375	3.650	-12.627	4.968	0.112	0.321
	133.750	-11.250	3.495	-12.385	6.134	0.110	0.322
	133.750	-11.250	3.447	-12.230	7.288	0.108	0.323
	133.625	-12.500	3.150	-11.892	8.431	0.103	0.331
	132.500	-12.500	2.587	-11.470	9.535	0.097	0.345
	132.500	-12.500	2.670	-11.422	10.623	0.097	0.339
	132.500	-12.500	2.512	-11.400	11.703	0.096	0.341

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表11 供試体P-72の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	14.500	-4.125	4.540	-28.777	0.216	1.789	0.223
	14.625	-3.875	4.420	-29.040	0.364	1.809	0.152
	14.625	-4.125	4.030	-28.985	0.507	1.761	0.147
2 δ_0	24.000	-13.375	13.027	-32.515	0.467	1.219	0.175
	23.750	-13.500	12.132	-31.957	0.809	1.184	0.133
	23.875	-13.375	11.445	-32.490	1.128	1.179	0.124
3 δ_0	32.875	-22.625	15.465	-32.425	0.841	0.863	0.201
	33.125	-22.500	14.492	-32.510	1.562	0.845	0.176
	33.125	-22.625	14.172	-32.500	2.246	0.837	0.167
4 δ_0	42.250	-32.125	15.280	-32.320	1.298	0.640	0.233
	42.125	-32.125	14.727	-32.415	2.464	0.635	0.212
	42.125	-32.125	14.520	-32.670	3.586	0.636	0.204
5 δ_0	50.250	-42.500	15.430	-31.365	1.763	0.505	0.259
	50.875	-42.125	15.112	-31.635	3.456	0.503	0.248
	51.000	-42.500	14.360	-31.835	5.116	0.494	0.245
6 δ_0	60.875	-50.500	15.080	-31.950	2.284	0.422	0.278
	60.750	-50.625	14.002	-31.490	4.470	0.408	0.275
	60.625	-50.625	12.915	-32.142	6.626	0.405	0.274
7 δ_0	69.625	-59.875	11.087	-31.280	2.517	0.327	0.292
	69.750	-60.250	10.177	-30.387	4.759	0.312	0.271
	69.875	-60.125	8.997	-30.747	6.836	0.306	0.256
8 δ_0	78.625	-69.375	9.700	-30.622	2.537	0.272	0.271
	79.375	-70.250	9.202	-30.570	4.971	0.266	0.260
	78.625	-69.250	8.457	-29.615	7.250	0.257	0.258
9 δ_0	88.625	-78.625	8.132	-29.707	2.706	0.226	0.272
	88.625	-78.625	6.250	-27.972	5.174	0.205	0.274
	88.375	-78.500	5.087	-26.680	7.435	0.190	0.272
10 δ_0	98.375	-87.000	5.252	-27.400	2.508	0.176	0.264
	98.375	-87.000	3.220	-26.420	4.800	0.160	0.266
	98.375	-87.375	1.202	-24.420	7.041	0.138	0.300
11 δ_0	107.750	-96.250	-0.542	-23.215	2.681	0.111	0.369
	107.875	-96.250	-4.555	-20.880	5.142	0.080	0.470
	107.750	-96.250	-6.827	-19.755	7.534	0.063	0.577

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表12(1) 供試体P-73の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (tf)	最小荷重 (tf)	吸収エネルギー (tf·m)	等価剛性 (tf/mm)	減衰定数
1 δ_0	15.750	-3.000	7.850	-19.192	0.148	1.442	0.186
	15.875	-2.875	7.802	-19.802	0.234	1.472	0.106
	15.625	-2.625	7.765	-18.782	0.322	1.455	0.115
	15.750	-2.875	8.122	-19.690	0.415	1.493	0.114
	15.125	-3.375	6.920	-20.347	0.505	1.474	0.114
	15.125	-3.375	6.847	-20.437	0.597	1.475	0.117
	15.125	-3.375	6.575	-20.740	0.686	1.476	0.112
	15.125	-3.375	6.755	-20.470	0.769	1.472	0.104
	15.125	-3.375	6.200	-19.727	0.824	1.401	0.073
	15.000	-3.375	7.035	-19.672	0.880	1.453	0.073
2 δ_0	25.375	-2.875	16.380	-20.590	0.244	1.309	0.149
	25.375	-2.375	16.635	-19.520	0.426	1.303	0.116
	25.000	-2.375	15.777	-20.730	0.588	1.334	0.103
	25.250	-2.875	16.012	-21.312	0.750	1.327	0.098
	25.250	-2.875	15.785	-21.292	0.920	1.318	0.104
	25.375	-2.625	15.962	-21.005	1.086	1.320	0.102
	25.250	-2.375	15.827	-19.625	1.250	1.283	0.106
	25.125	-2.375	15.720	-20.880	1.408	1.331	0.100
	25.375	-2.625	15.602	-21.210	1.569	1.315	0.099
	25.500	-2.625	15.667	-20.890	1.732	1.300	0.101
3 δ_0	35.000	-1.500	17.475	-24.895	0.546	1.161	0.225
	35.250	-1.750	17.250	-25.612	0.831	1.158	0.114
	35.125	-1.750	17.237	-25.850	1.104	1.168	0.109
	35.250	-1.750	16.987	-25.780	1.377	1.156	0.110
	35.125	-1.875	16.957	-26.202	1.644	1.166	0.106
	35.250	-1.875	16.747	-25.925	1.902	1.149	0.104
	35.250	-1.750	16.942	-25.925	2.169	1.159	0.107
	35.250	-1.750	16.762	-25.960	2.428	1.155	0.104
	35.125	-1.625	16.642	-25.880	2.687	1.157	0.105
	35.375	-1.875	16.480	-26.737	2.947	1.160	0.103
4 δ_0	44.500	-1.625	18.130	-28.880	0.768	1.019	0.225
	44.500	-1.500	17.765	-29.492	1.223	1.027	0.133
	44.625	-1.500	17.475	-29.505	1.654	1.019	0.126
	44.500	-1.500	17.327	-29.320	2.079	1.014	0.126
	44.625	-1.500	17.052	-29.310	2.491	1.005	0.123
	44.625	-1.500	16.875	-29.170	2.895	0.998	0.121
	44.500	-1.500	17.012	-29.430	3.292	1.010	0.118
	44.625	-1.500	16.882	-29.452	3.693	1.005	0.119
	44.625	-1.500	16.705	-29.457	4.091	1.001	0.119
	44.625	-1.500	16.602	-29.402	4.483	0.997	0.118
5 δ_0	53.625	-1.625	18.007	-30.275	0.943	0.874	0.225
	53.625	-1.625	17.407	-30.285	1.561	0.863	0.149
	53.625	-1.750	17.117	-30.240	2.150	0.855	0.143
	53.750	-1.500	16.910	-30.437	2.726	0.857	0.140
	53.750	-1.625	16.920	-30.462	3.295	0.856	0.138
	53.750	-1.500	16.497	-30.387	3.850	0.849	0.136
	53.875	-1.625	16.582	-30.605	4.404	0.850	0.135
	53.625	-1.625	16.575	-30.500	4.955	0.852	0.135
	53.875	-1.625	16.310	-30.370	5.499	0.841	0.134
	53.625	-1.500	16.392	-30.380	6.040	0.848	0.134
6 δ_0	62.750	-2.125	17.807	-30.712	1.093	0.748	0.221
	62.750	-2.250	17.192	-30.885	1.894	0.740	0.163
	63.125	-2.000	17.837	-30.642	2.672	0.744	0.157
	63.125	-1.625	17.642	-30.925	3.434	0.750	0.154
	62.875	-1.625	16.705	-30.830	4.166	0.737	0.152
	63.000	-1.875	16.500	-30.950	4.887	0.731	0.149
	62.750	-0.125	16.272	-25.577	5.619	0.666	0.177
	63.000	-1.875	16.832	-30.612	6.350	0.731	0.151
	62.750	-2.000	16.290	-30.625	7.063	0.725	0.149
	63.000	-2.000	16.200	-30.830	7.778	0.724	0.149
7 δ_0	70.875	-3.125	17.417	-31.567	1.230	0.662	0.216
	70.875	-2.875	13.037	-31.670	2.254	0.606	0.198
	70.875	-3.000	12.180	-31.915	3.157	0.597	0.176
	70.750	-2.750	12.435	-31.817	4.046	0.602	0.174
	70.875	-2.750	11.512	-31.642	4.918	0.586	0.175
	71.125	-3.250	11.912	-32.257	5.790	0.594	0.169
	71.125	-3.000	11.570	-31.805	6.662	0.585	0.173
	71.000	-3.250	11.580	-32.160	7.525	0.589	0.169
	71.125	-2.750	11.937	-31.692	8.386	0.591	0.170
	71.125	-2.750	11.095	-31.630	9.244	0.578	0.173

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表12 (2) 供試体P-73の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (tf)	最小荷重 (tf)	吸収エネルギー (tf·m)	等価剛性 (tf/mm)	減衰定数
8 δ_0	80.625	-3.000	12.517	-32.045	1.512	0.533	0.258
	79.875	-3.500	12.025	-31.955	2.659	0.527	0.199
	80.375	-2.875	11.812	-32.047	3.810	0.527	0.201
	80.000	-2.875	11.507	-32.185	4.911	0.527	0.194
	80.250	-3.125	11.777	-32.120	6.018	0.527	0.192
	80.250	-3.625	11.037	-31.945	7.127	0.512	0.196
	80.375	-2.625	11.252	-32.325	8.217	0.525	0.192
	80.500	-3.250	11.065	-31.932	9.295	0.513	0.190
	80.500	-2.625	11.045	-31.950	10.368	0.517	0.191
	80.375	-2.875	10.662	-32.100	11.432	0.514	0.190
9 δ_0	89.375	-3.125	12.275	-32.215	1.669	0.481	0.258
	89.250	-3.125	11.420	-32.592	3.065	0.476	0.219
	89.375	-3.125	11.230	-32.820	4.365	0.476	0.203
	89.125	-2.875	10.865	-32.365	5.643	0.470	0.205
	89.125	-3.500	10.172	-32.665	6.899	0.462	0.201
	88.875	-3.125	9.432	-32.570	8.122	0.457	0.201
	89.375	-3.250	9.825	-32.205	9.317	0.454	0.195
	89.000	-3.375	9.255	-32.010	10.484	0.447	0.195
	88.875	-3.250	9.187	-31.482	11.622	0.441	0.193
	89.000	-3.625	9.027	-31.202	12.756	0.434	0.194
10 δ_0	98.625	-2.750	10.185	-31.690	1.748	0.413	0.262
	98.625	-2.750	9.747	-31.680	3.093	0.409	0.204
	98.750	-2.875	9.532	-31.580	4.412	0.405	0.201
	98.625	-2.500	9.315	-31.035	5.706	0.399	0.202
	98.750	-2.500	9.007	-31.210	6.966	0.397	0.197
	98.625	-2.875	8.895	-30.887	8.227	0.392	0.199
	98.625	-3.500	8.370	-30.695	9.487	0.383	0.201
	98.750	-2.500	8.612	-30.787	10.721	0.389	0.197
	98.750	-2.875	8.172	-30.320	11.933	0.379	0.197
	98.875	-2.375	8.397	-29.712	13.131	0.376	0.198
11 δ_0	108.125	-2.500	10.230	-29.720	1.849	0.361	0.266
	108.000	-2.500	9.440	-29.672	3.362	0.354	0.223
	108.125	-2.500	9.092	-29.625	4.846	0.350	0.221
	108.125	-2.375	8.407	-29.475	6.308	0.343	0.222
	107.875	-2.500	8.487	-29.007	7.749	0.340	0.222
	108.125	-2.375	8.335	-28.942	9.184	0.337	0.222
	108.125	-2.375	8.005	-28.615	10.602	0.331	0.223
	108.250	-2.375	7.820	-28.587	12.004	0.329	0.222
	108.125	-2.375	7.497	-28.505	13.395	0.326	0.223
	108.125	-2.375	7.265	-28.467	14.774	0.323	0.222
12 δ_0	117.625	-2.375	8.857	-27.790	1.916	0.305	0.277
	117.625	-2.375	8.362	-26.750	3.478	0.293	0.236
	117.625	-2.250	7.610	-26.872	4.984	0.288	0.232
	117.625	-2.375	6.495	-26.077	6.444	0.271	0.238
	117.625	-2.375	5.737	-26.280	7.879	0.267	0.238
	117.625	-2.250	5.005	-26.310	9.295	0.261	0.240
	117.625	-2.375	4.197	-26.255	10.706	0.254	0.246
	117.625	-2.250	3.795	-26.035	12.106	0.249	0.249
	117.625	-2.250	3.197	-25.937	13.502	0.243	0.254
	117.625	-2.250	2.717	-25.992	14.888	0.239	0.256
13 δ_0	126.875	-2.250	2.882	-27.585	2.006	0.236	0.324
	126.875	-2.250	2.200	-27.090	3.213	0.227	0.203
	126.875	-2.125	1.262	-27.235	4.418	0.221	0.209
	126.875	-2.250	0.605	-26.790	5.601	0.212	0.213
	126.875	-2.250	-0.145	-26.760	6.756	0.206	0.214
	126.875	-2.125	-0.940	-26.495	7.864	0.198	0.214
	126.875	-2.125	-1.625	-26.395	8.947	0.192	0.216
	126.875	-2.125	-2.225	-26.422	10.030	0.188	0.221
	126.875	-2.250	-2.647	-26.232	11.089	0.183	0.221
	126.875	-2.250	-3.500	-26.265	12.145	0.176	0.229

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表13 (1) 供試体P-74の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価弾性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	14.750	-4.125	4.125	-29.422	0.205	1.777	0.207
	14.625	-3.875	3.245	-29.102	0.313	1.749	0.114
	15.000	-3.875	3.037	-29.252	0.428	1.711	0.121
	14.875	-3.875	3.215	-29.180	0.544	1.728	0.122
	14.875	-3.875	3.000	-28.860	0.665	1.699	0.128
	14.875	-3.875	3.125	-28.960	0.773	1.711	0.115
	15.000	-3.875	2.962	-28.625	0.870	1.674	0.104
	14.875	-3.875	2.922	-28.382	0.955	1.670	0.092
	15.000	-3.875	2.820	-28.260	1.049	1.647	0.103
	14.875	-3.875	2.540	-28.145	1.147	1.637	0.108
2 δ_0	24.250	-13.500	12.172	-32.487	0.406	1.183	0.153
	24.250	-13.375	11.627	-32.815	0.707	1.181	0.114
	24.250	-13.250	11.490	-32.805	0.993	1.181	0.110
	24.375	-13.250	11.395	-32.705	1.270	1.172	0.106
	24.125	-13.375	11.067	-32.375	1.540	1.158	0.106
	24.000	-13.375	10.657	-32.477	1.804	1.154	0.104
	24.125	-13.250	11.025	-32.212	2.071	1.157	0.105
	24.250	-14.375	10.670	-31.387	2.349	1.089	0.109
	24.250	-13.500	11.005	-32.075	2.613	1.141	0.103
	24.250	-13.250	10.775	-31.917	2.891	1.138	0.111
3 δ_0	33.750	-22.625	14.915	-32.262	0.818	0.837	0.196
	33.625	-22.625	13.517	-32.582	1.460	0.820	0.158
	33.750	-22.625	13.255	-32.647	2.080	0.814	0.152
	33.750	-22.625	12.740	-32.665	2.637	0.805	0.139
	33.875	-22.625	12.682	-32.562	3.186	0.801	0.137
	33.750	-22.625	12.720	-32.470	3.728	0.802	0.135
	33.750	-22.500	12.627	-32.552	4.270	0.803	0.136
	33.750	-22.500	12.562	-32.570	4.805	0.802	0.134
	33.750	-22.625	12.570	-32.507	5.340	0.800	0.134
	33.750	-22.625	12.410	-32.657	5.872	0.799	0.133
4 δ_0	43.125	-32.125	14.992	-32.810	1.205	0.635	0.213
	43.125	-31.875	14.255	-32.752	2.308	0.627	0.199
	43.250	-32.125	13.180	-33.082	3.377	0.614	0.195
	43.250	-31.875	13.265	-32.865	4.366	0.614	0.182
	43.250	-32.125	12.787	-32.780	5.357	0.605	0.184
	43.250	-31.875	12.945	-32.940	6.337	0.611	0.181
	43.125	-32.125	12.897	-32.807	7.310	0.607	0.180
	43.125	-32.125	12.707	-32.610	8.312	0.602	0.187
	43.125	-32.125	12.770	-32.862	9.324	0.606	0.188
	43.250	-32.125	12.365	-32.462	10.291	0.595	0.182
5 δ_0	52.625	-41.375	14.667	-33.057	1.628	0.508	0.231
	52.625	-41.375	13.255	-33.020	3.177	0.492	0.227
	52.625	-41.375	13.020	-33.030	4.699	0.490	0.224
	52.625	-41.250	12.427	-33.207	6.201	0.486	0.223
	52.625	-41.250	12.390	-32.870	7.766	0.482	0.235
	52.625	-41.375	12.227	-32.852	9.294	0.480	0.230
	52.625	-41.250	12.015	-32.785	10.804	0.477	0.229
	52.625	-41.250	11.867	-33.057	12.320	0.479	0.229
	52.625	-41.375	11.650	-32.515	13.823	0.470	0.230
	52.625	-41.375	11.640	-31.997	15.300	0.464	0.229

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表13 (2) 供試体P-74の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
6 δ_0	61.875	-50.750	13.865	-32.432	2.182	0.411	0.266
	61.875	-50.875	12.850	-32.122	4.293	0.399	0.265
	61.750	-50.750	11.562	-32.112	6.344	0.388	0.266
	61.875	-50.750	10.862	-31.935	8.283	0.380	0.256
	61.875	-50.875	10.067	-31.345	10.111	0.367	0.249
	61.875	-50.750	9.785	-31.380	11.858	0.366	0.240
	61.875	-51.000	9.297	-30.387	13.558	0.352	0.242
	61.875	-50.750	8.945	-30.282	15.229	0.348	0.241
	61.750	-50.750	8.510	-29.770	16.866	0.340	0.242
	61.875	-50.875	8.212	-29.635	18.469	0.336	0.239
7 δ_0	71.375	-60.000	9.325	-30.892	2.217	0.306	0.267
	71.375	-60.000	8.565	-29.440	4.264	0.289	0.261
	71.375	-59.875	7.337	-29.890	6.221	0.284	0.255
	71.375	-59.875	6.447	-28.935	8.102	0.270	0.258
	71.375	-59.875	5.735	-28.100	9.879	0.258	0.255
	71.375	-60.000	4.957	-26.572	11.566	0.240	0.259
	71.375	-60.000	3.447	-23.850	13.108	0.208	0.274
	71.375	-60.000	2.595	-22.972	14.494	0.195	0.263
	71.375	-59.875	2.247	-23.355	15.812	0.195	0.250
	71.375	-60.000	1.647	-22.812	17.096	0.186	0.254
8 δ_0	80.625	-69.375	3.550	-21.555	1.713	0.167	0.290
	80.750	-69.375	2.005	-21.322	3.308	0.155	0.290
	80.750	-69.375	1.302	-21.302	4.879	0.151	0.295
	80.750	-69.375	0.532	-21.405	6.453	0.146	0.304
	80.750	-69.375	0.055	-21.192	7.976	0.142	0.304
	80.750	-69.375	1.120	-20.985	9.505	0.147	0.293
	80.625	-69.375	0.820	-21.162	11.033	0.147	0.295
	80.750	-69.375	0.522	-21.022	12.563	0.144	0.301
	80.750	-69.375	0.355	-21.207	14.082	0.144	0.299
	80.750	-69.375	-0.142	-20.975	15.599	0.139	0.309

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表14 供試体P-75の実験結果

変位振幅	最大変位 (mm)	最小変位 (mm)	最大荷重 (t)	最小荷重 (t)	吸収エネルギー (t・m)	等価剛性 (t/mm)	減衰定数
1 δ_0	6.125	-7.625	17.092	-18.677	0.049	2.601	0.064
	6.250	-7.625	16.442	-18.057	0.077	2.486	0.036
	6.250	-7.625	16.122	-17.757	0.098	2.442	0.029
	6.125	-7.625	15.862	-17.690	0.117	2.440	0.027
	6.250	-7.625	15.825	-17.572	0.135	2.407	0.025
	6.250	-7.625	15.772	-17.505	0.153	2.398	0.025
	6.250	-7.750	15.652	-17.420	0.170	2.362	0.023
	6.250	-7.625	15.550	-17.345	0.187	2.371	0.023
	6.125	-7.625	15.317	-17.290	0.203	2.371	0.023
	6.125	-7.625	15.500	-17.260	0.219	2.383	0.023
2 δ_0	13.125	-14.625	24.805	-26.010	0.128	1.831	0.058
	13.125	-14.500	24.300	-25.487	0.207	1.802	0.036
	13.125	-14.500	24.157	-25.182	0.274	1.786	0.032
	13.125	-14.500	24.020	-24.932	0.337	1.772	0.029
	13.000	-14.500	23.692	-24.790	0.396	1.763	0.028
	13.125	-14.625	23.775	-24.660	0.454	1.745	0.027
	13.000	-14.500	23.495	-24.565	0.510	1.748	0.027
	13.000	-14.625	23.362	-24.510	0.565	1.733	0.026
	13.125	-14.625	23.400	-24.565	0.620	1.728	0.026
	13.125	-14.625	23.455	-24.377	0.673	1.724	0.025
3 δ_0	20.125	-21.375	28.875	-29.395	0.275	1.404	0.072
	20.125	-21.375	28.187	-28.887	0.478	1.375	0.055
	20.125	-21.375	27.935	-28.380	0.661	1.357	0.050
	20.125	-21.500	27.705	-28.162	0.832	1.342	0.047
	20.000	-21.500	27.492	-27.985	0.996	1.337	0.045
	20.000	-21.500	27.337	-27.885	1.156	1.331	0.044
	20.000	-21.500	27.297	-27.760	1.313	1.327	0.044
	20.000	-21.500	27.277	-27.652	1.468	1.324	0.043
	20.000	-21.500	27.267	-27.560	1.621	1.321	0.043
	20.000	-21.500	27.127	-27.345	1.770	1.313	0.042
4 δ_0	27.125	-28.250	30.057	-29.497	0.486	1.075	0.094
	27.125	-28.250	28.737	-28.710	0.911	1.037	0.085
	27.125	-28.375	28.282	-28.297	1.307	1.019	0.080
	27.125	-28.375	27.887	-28.090	1.687	1.009	0.078
	27.125	-28.375	27.675	-27.697	2.057	0.998	0.076
	27.250	-28.250	27.652	-27.582	2.419	0.995	0.075
	27.125	-28.250	27.467	-27.470	2.775	0.992	0.075
	27.125	-28.375	27.355	-27.377	3.125	0.986	0.073
	27.125	-28.375	27.195	-27.145	3.472	0.979	0.073
	27.125	-28.250	27.232	-27.040	3.813	0.980	0.072
5 δ_0	35.125	-34.125	29.117	-27.570	0.831	0.819	0.135
	35.000	-34.375	27.047	-26.475	1.557	0.771	0.124
	35.000	-34.500	26.447	-25.987	2.235	0.754	0.118
	35.250	-34.125	26.197	-25.687	2.877	0.748	0.114
	34.625	-34.375	25.527	-25.467	3.494	0.739	0.112
	35.375	-34.250	25.562	-25.132	4.104	0.728	0.110
	35.125	-33.875	25.287	-24.600	4.691	0.723	0.109
	35.125	-34.000	25.150	-24.412	5.269	0.717	0.107
	34.125	-35.125	25.147	-24.307	5.981	0.714	0.130
	34.250	-32.375	24.537	-22.812	6.559	0.711	0.117

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

R C橋脚の動的耐力に関する
実験的研究(その5)

I S S N 0386-5878
土 研 資 料 第3319号
平成7年1月(1995)

要 旨

川島 一彦、運上 茂樹、長島 博之
飯田 寛之、向 秀毅

平成2年2月の道路橋示方書V耐震設計編では、「鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査」として、鉄筋コンクリート(RC)橋脚が関東大震災級の大地震を受けた場合の非線形形成のねばりを考慮した耐震設計法が導入された。しかしながら、都市内高架橋によく採用される張り出しが一方に長い逆L字型のRC橋脚では、桁及び橋脚張り出し分の自重に伴う偏心曲げが常時作用しており、地震時にはこのような状態を原点として橋脚は振動することになる。したがって、橋脚の振動が大きくなり、降伏点を越えた非線形振動をするようになると偏心曲げが作用している方向に残留変位が累積していくことが心配され、偏心曲げを受けるRC橋脚の耐震性について検討することが必要とされている。本資料は、偏心曲げを受ける逆L字型のRC橋脚の損傷メカニズム、動的耐力、変形性能を検討するために行った模型橋脚の振動台実験及び動的載荷実験の結果をまとめたものである。

キーワード：鉄筋コンクリート橋脚、偏心曲げ、逆L字型RC橋脚、振動台実験、動的載荷実験、損傷メカニズム、動的耐力、変形性能、残留変位

郵便はがき

郵便切手を
はって下さ
い

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
地震防災部・耐震研究室 行

No. 003

No. 003

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3319号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印