

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3)荷重載荷速度及び荷重載荷履歴の影響——

Experimental Investigation on Dynamic Strength
and Ductility of Reinforced Concrete Bridge Piers
——(Part III) Effect of Loading Velocity and Loading Hysteresis——

昭和62年 7 月

建設省土木研究所
地震防災部・耐震研究室

Copyright © (1987) 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3)荷重載荷速度及び荷重載荷履歴の影響——

Experimental Investigation on Dynamic Strength
and Ductility of Reinforced Concrete Bridge Piers

——(Part III) Effect of Loading Velocity and Loading Hysteresis——

耐震研究室 室長 川島 一彦

研究員 長谷川 金二

小山 達彦

吉田 武史

要 旨

1978年宮城県沖地震, 1982年浦河沖地震等, 近年の地震により道路橋のRC橋脚躯体にコンクリートのはく離, 鉄筋のはらみ出し等の大きな被害が生じている。これは, 橋脚に作用する地震力が, 現行の道路橋の耐震設計で考慮されている0.2~0.3の設計水平震度で与えられる力よりもさらに大きな値となるためと考えられる。したがって, 大地震時においても落橋等の致命的な崩壊を防止するためには, 鉄筋コンクリート橋脚の耐力および変形性能を適切に評価することが重要である。本報告は, 荷重載荷速度及び荷重載荷履歴がRC橋脚の動的耐力及び動的変形性能に及ぼす影響を検討するために昭和60年度に行った一連の実験結果をとりまとめたものである。

キーワード: 道路橋, RC橋脚, 耐震設計, 動的耐力, 動的変形性能

目 次

1. 概 説	1
2. 載荷実験方法	2
2-1 載荷速度の影響の検討	2
2-2 載荷履歴の影響の検討	2
3. 実験に用いた供試体	6
3-1 載荷速度の影響の検討	6
3-2 載荷履歴の影響の検討	6
4. 載荷速度の影響	10
4-1 動的載荷による破壊性状	10
4-2 耐力及び変形性能の比較	10
4-3 エネルギー吸収能	11
5. 載荷履歴の影響	27
5-1 破 壊 性 状	27
5-2 耐力及び変形性能の比較	27
5-3 剛 性 低 下 率	28
5-4 エネルギー吸収能	28
6. 結 論	82
6-1 載荷速度の影響	82
6-2 載荷履歴の影響	82
参 考 文 献	83
付 属 資 料	
荷重, 変位, 履歴減衰定数および吸収エネルギー	85

1. 概 説

我が国は世界第1級の地震国であり、道路の震災対策上、道路橋の耐震性を確保することは重要な課題である。道路橋の設計では、上部構造の形式・寸法が耐震上の配慮から定められることは稀であるが、下部構造の寸法・諸元は耐震設計により定められることが多い。しかしながら、1978年宮城県沖地震、1982年浦河沖地震等、近年の地震による道路橋の被害を見ると、鉄筋コンクリート橋脚躯体に大きく破損の生じる被害が相次いで生じている。これは、大規模な地震が当該道路橋の近くで発生した場合には、橋に作用する地震力が現行の道路橋の耐震設計で考慮されている0.2～0.3の設計水平震度で与えられる地震力よりもさらに大きな値になる為と考えられる。したがって、大規模な地震が発生した場合にも落橋等の致命的な被害を防止するためには、鉄筋コンクリート橋脚の動的耐力および動的変形性能を適切に評価することが重要である。

我が国では、道路橋の下部構造として鉄筋コンクリート橋脚が大部分を占めているが、従来、弾性設計法を主体とした設計が行われてきたため、鉄筋コンクリート橋脚の動的変形性能に関する研究は少ない。耐震研究室では、昭和56年度以降、部材耐震強度実験施設を用いて鉄筋コンクリート橋脚の動的特性に関する各種の実験的な検討を進めてきている。

昭和60年度には以下に示す項目の検討を行った。

- 1) 荷重載荷速度の影響
- 2) 荷重載荷履歴の影響

本報告は上記2項目の影響を検討するために実施した合計8体の模型橋脚（橋脚P-37～P-44）に対する実験結果をとりまとめたものである。

2. 載荷実験方法

2-1 載荷速度の影響の検討

水平力の載荷方法は、図2-1に示す通りであり、供試体基部の引張側最外縁の鉄筋が降伏（降伏ひずみは、鉄筋の引張試験より 1800μ とした）する時に供試体頭部（加振機取付位置）に生じる変位（以下、これを降伏変位 δ_y と呼ぶ）を基準として、順次、変位振幅をその整数倍、すなわち $n\delta_y$ （ $n=1, 2, 3, \dots$ ）となるように載荷した。ここで降伏変位 δ_y は約12mmである。ただし同一変位振幅での載荷くり返し回数は10回とした。なお、図2-1に示した $1\delta_y$ による載荷を行う前に、供試体～加振機間のなじみを良くする目的で $0.5\delta_y$ 相当の変位振幅による載荷を1回行った。

上記の載荷では、載荷速度 V は10cm/sec（供試体1体（P-37））及び100cm/sec（供試体2体（P-38, P-39））の2種類とした。ここで、載荷速度の大きい方の値を100cm/secとしたのは、構造物に生じる最大応答速度を以下のように、速度応答スペクトル S_v から推定したためである。すなわち、いま、橋の基本固有周期を0.7秒、減衰定数を0.05程度と見込むと、速度応答スペクトル S_v [cm/sec]は次のように求められる³⁾

$$S_v = 7.4 \times 10^{0.421M} \times (\Delta + 30)^{-1.178} \quad (2-1)$$

ここで、 M 、 Δ は、それぞれ、地震のマグニチュード及び震央距離である。いま、M8クラスの巨大地震が当該橋から50km程度の位置に生じたとすると、 S_v は99cm/secとなり、これより、上記の載荷速度を想定することとしたものである。実験では載荷速度を一定としたが、このようにすると、変位振幅によって載荷の振動数は異なってくる。表2-1は、各載荷段階における加振振動数を表したものである。

なお、後述するように図2-1の載荷を加えた場合の荷重 P と変位 δ の履歴曲線の包絡線は図2-2のようになる。橋脚基部の最外縁鉄筋が降伏する時に供試体頭部に生じる変位を降伏変位 δ_y と呼ぶことは前述した通りであるが、載荷変位の増大とともに荷重が最大値（最大耐力 P_u ）をとり、再び降伏変位に相当する荷重にまで低下した時の変位を、ここでは終局変位 δ_u と定義することとする。

2-2 載荷履歴の影響の検討

荷重の載荷は、変位制御により図2-3に示す3種類の履歴で行った。載荷の総くり返し回数はいずれも20回であり各ステップの載荷変位振幅の総和が同じになるように載荷変位の増分を定めている。また、各ステップの載荷速度はいずれの場合にも2.4mm/secとし、最大振幅は120mm（ $10\delta_y$ に相当）とした。ここで、降伏変位 δ_y の定義は、上述した載荷速度の検討の場合と同様である。

各載荷パターンの特徴は、以下の通りである。

(1) タイプ1載荷

従来の載荷実験で用いられる事例の多い単調増加載荷履歴である。

(2) タイプ2載荷

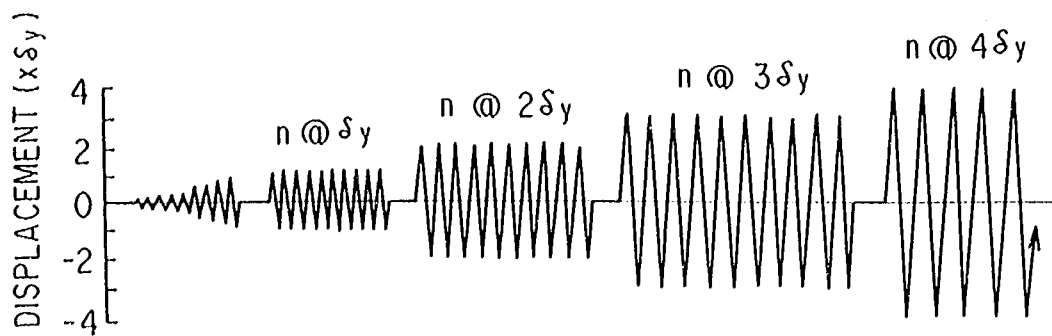


図 2 - 1 供試体 37, 38, 39 の载荷履歴

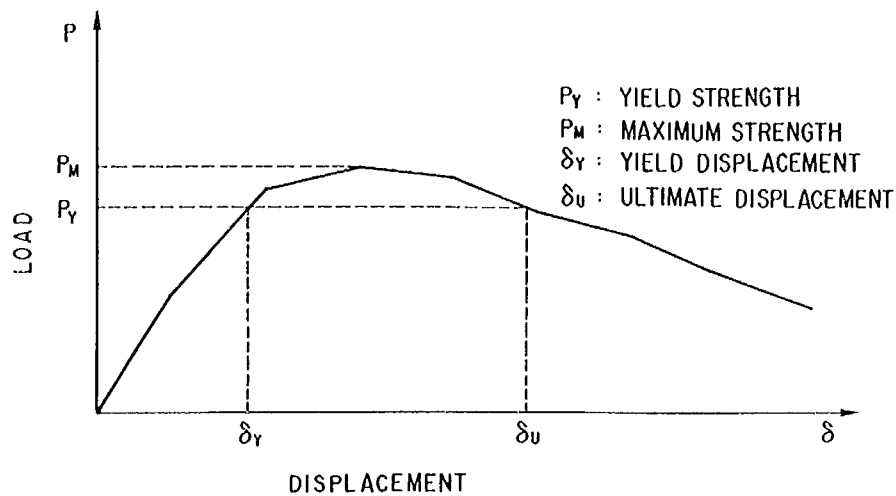


図 2 - 2 交番载荷に伴う橋脚天端変位～荷重の関係

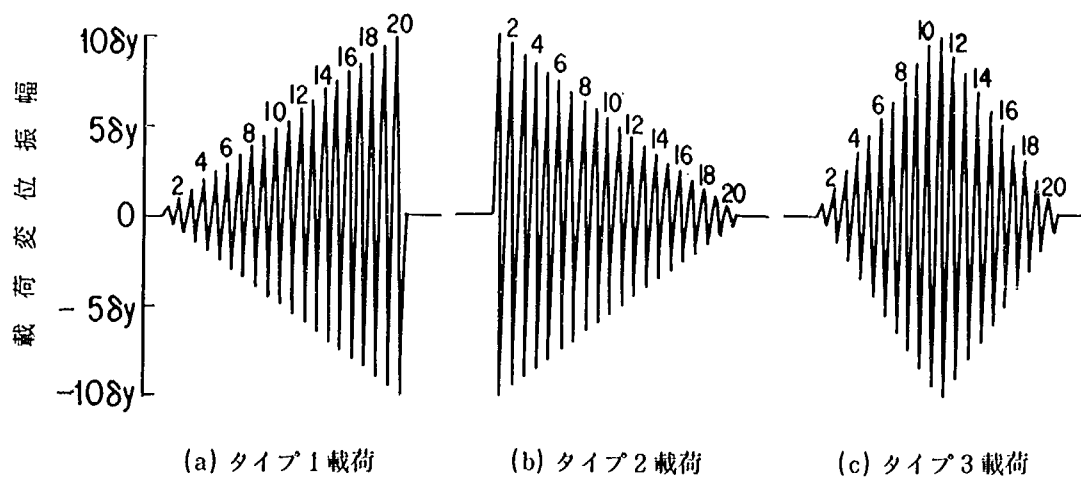


図 2 - 3 载荷パターン（変位制御）

タイプ1 载荷と载荷順序を入れ変えたものである。マグニチュードが小さく震央距離の短い直下型地震の場合には、短時間で強い振動が生じるため、基本的にはタイプ2 に似た载荷履歴となる場合がある⁴⁾

(3) タイプ3 载荷

タイプ1 载荷とタイプ2 载荷を組み合わせたものであり、基本的には地震時にRC橋脚に作用する地震力は一般にこのような载荷履歴をとる場合が多い。

以上に示した载荷段階ごとの変位振幅を示すと表2-2のようになる。

表2-1 供試体37, 38, 39の変位振幅および振動数

供試体37 ($v = 10 \text{ cm/sec}$)		供試体38 ($v = 100 \text{ cm/sec}$)		供試体39 ($v = 100 \text{ cm/sec}$)	
δ_y	1.2 cm 1.326 Hz	δ_y	1.2 cm 13.263 Hz	δ_y	1.2 cm 13.263 Hz
$2 \delta_y$	2.4 cm 0.663 Hz	$2 \delta_y$	2.4 cm 6.631 Hz	$2 \delta_y$	2.4 cm 6.631 Hz
$3 \delta_y$	3.6 cm 0.442 Hz	$3 \delta_y$	3.6 cm 4.421 Hz	$3 \delta_y$	3.6 cm 4.421 Hz
$4 \delta_y$	4.8 cm 0.332 Hz	$4 \delta_y$	4.8 cm 3.316 Hz	$4 \delta_y$	4.8 cm 3.316 Hz
$5 \delta_y$	6.0 cm 0.265 Hz	$5 \delta_y$	6.0 cm 2.653 Hz	$5 \delta_y$	6.0 cm 2.653 Hz
$6 \delta_y$	7.2 cm 0.221 Hz	$6 \delta_y$	7.2 cm 2.210 Hz	$6 \delta_y$	7.2 cm 2.210 Hz
		$7 \delta_y$	8.4 cm 1.895 Hz	$7 \delta_y$	8.4 cm 1.895 Hz

表 2-2 供試体 40~44 の変位振幅

供 試 体 40		供試体41 (+側から载荷)		供試体42 (-側から载荷)		供試体43 (+側から载荷)		供試体44 (-側から载荷)	
0.5 δ_y	0.6 cm	10 δ_y	12.0 cm	10 δ_y	12.0 cm	0.5 δ_y	0.6 cm	0.5 δ_y	0.6 cm
1 δ_y	1.2 cm	9.5 δ_y	11.4 cm	9.5 δ_y	11.4 cm	1.5 δ_y	1.8 cm	1.5 δ_y	1.8 cm
1.5 δ_y	1.8 cm	9 δ_y	10.8 cm	9 δ_y	10.8 cm	2.5 δ_y	3.0 cm	2.5 δ_y	3.0 cm
2 δ_y	2.4 cm	8.5 δ_y	10.2 cm	8.5 δ_y	10.2 cm	3.5 δ_y	4.2 cm	3.5 δ_y	4.2 cm
2.5 δ_y	3.0 cm	8 δ_y	9.6 cm	8 δ_y	9.6 cm	4.5 δ_y	5.4 cm	4.5 δ_y	5.4 cm
3 δ_y	3.6 cm	7.5 δ_y	9.0 cm	7.5 δ_y	9.0 cm	5.5 δ_y	6.6 cm	5.5 δ_y	6.6 cm
3.5 δ_y	4.2 cm	7 δ_y	8.4 cm	7 δ_y	8.4 cm	6.5 δ_y	7.8 cm	6.5 δ_y	7.8 cm
4 δ_y	4.8 cm	6.5 δ_y	7.8 cm	6.5 δ_y	7.8 cm	7.5 δ_y	9.0 cm	7.5 δ_y	9.0 cm
4.5 δ_y	5.4 cm	6 δ_y	7.2 cm	6 δ_y	7.2 cm	8.5 δ_y	10.2 cm	8.5 δ_y	10.2 cm
5 δ_y	6.0 cm	5.5 δ_y	6.6 cm	5.5 δ_y	6.6 cm	9.5 δ_y	11.4 cm	9.5 δ_y	11.4 cm
5.5 δ_y	6.6 cm	5 δ_y	6.0 cm	5 δ_y	6.0 cm	10 δ_y	12.0 cm	10 δ_y	12.0 cm
6 δ_y	7.2 cm	4.5 δ_y	5.4 cm	4.5 δ_y	5.4 cm	9 δ_y	10.8 cm	9 δ_y	10.8 cm
6.5 δ_y	7.8 cm	4 δ_y	4.8 cm	4 δ_y	4.8 cm	8 δ_y	9.6 cm	8 δ_y	9.6 cm
7 δ_y	8.4 cm	3.5 δ_y	4.2 cm	3.5 δ_y	4.2 cm	7 δ_y	8.4 cm	7 δ_y	8.4 cm
7.5 δ_y	9.0 cm	3 δ_y	3.6 cm	3 δ_y	3.6 cm	6 δ_y	7.2 cm	6 δ_y	7.2 cm
8 δ_y	9.6 cm	2.5 δ_y	3.0 cm	2.5 δ_y	3.0 cm	5 δ_y	6.0 cm	5 δ_y	6.0 cm
8.5 δ_y	10.2 cm	2 δ_y	2.4 cm	2 δ_y	2.4 cm	4 δ_y	4.8 cm	4 δ_y	4.8 cm
9 δ_y	10.8 cm	1.5 δ_y	1.8 cm	1.5 δ_y	1.8 cm	3 δ_y	3.6 cm	3 δ_y	3.6 cm
9.5 δ_y	11.4 cm	1 δ_y	1.2 cm	1 δ_y	1.2 cm	2 δ_y	2.4 cm	2 δ_y	2.4 cm
10 δ_y	12.0 cm	0.5 δ_y	0.6 cm	0.5 δ_y	0.6 cm	1 δ_y	1.2 cm	1 δ_y	1.2 cm

注) 载荷速度は全て 0.24 cm/sec

3. 実験に用いた供試体

3-1 載荷速度の影響の検討

実験に用いた供試体は、表 3-1 に示す P-37, 38, 39 の 3 体である。これらの供試体は図 3-1 に示すような同一断面諸元を有し、いずれも断面寸法が $80\text{cm} \times 40\text{cm}$ 、有効高さ（橋脚基部から荷重載荷点までの高さ） 2.4m の矩形状であり、せん断支間比は 6.8 である。主鉄筋は、荷重載荷面及びこれに相対する位置に D13 (S D30) を各 11 本 1 段配筋（主鉄筋比 0.87%）している。ただし、側方筋は配置していない。帯鉄筋としては、S R24 $\phi 9\text{mm}$ を 20cm 間隔（帯鉄筋比 0.08%）で配置した。セメントとしては、早強ポルトランドセメントを用い、最大粒径 25mm の骨材を用いた。載荷実験当日のコンクリートの平均圧縮強度は $311 \sim 385\text{ kg/cm}^2$ の範囲に入っている。

3-2 載荷履歴の影響の検討

実験に用いた供試体は、表 3-1 に示す P40～P44 の 5 体である。これらは上述した載荷速度の影響の検討に用いたと同一特性を有する供試体である。ただし、載荷実験当日のコンクリートの平均圧縮強度は、 $368 \sim 448\text{ kg/cm}^2$ の範囲に入っている。

以上に示した供試体と調査項目の関連を示すと表 3-2 のようになる。

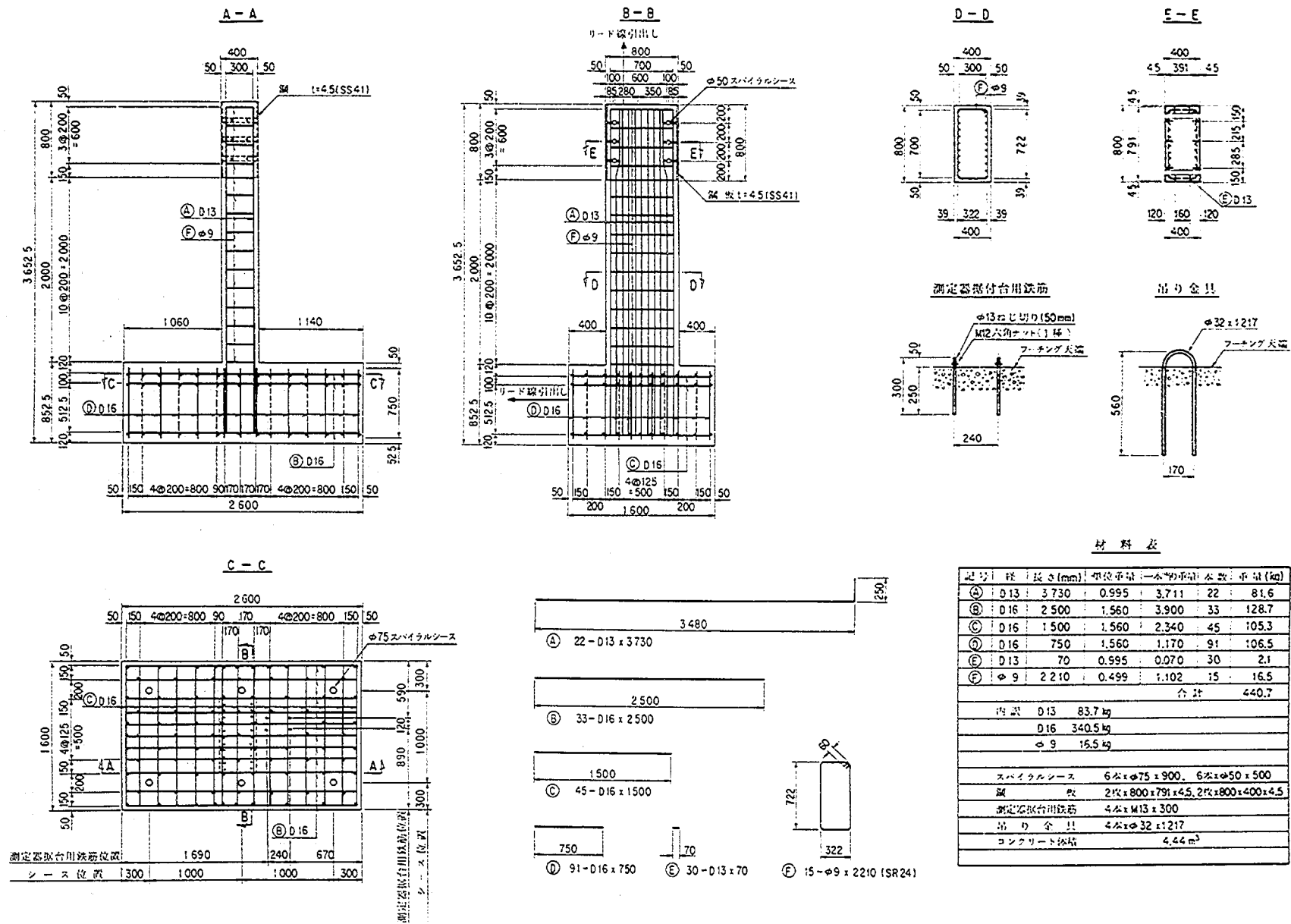


図 3-1 実験に用いた供試体(載荷速度, 載荷履歴の影響)

表 3 - 1 供試体の主要諸元および載荷特性

Model No.		P - 37	P - 38	P - 39	P - 40	P - 41	P - 42	P - 43	P - 44
Cross Section [cm]		40 × 80	40 × 80	40 × 80	40 × 80	40 × 80	40 × 80	40 × 80	40 × 80
Covering Depth of Concrete [cm]		5	5	5	5	5	5	5	5
Effective Height [cm]		240	240	240	240	240	240	240	240
Shear - Span Ratio		6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Longitu - dinal Reinfor - cing Bar (Deformed Bar)	Material and Diameter [mm]	SD30, 13	SD30, 13	SD30, 13	SD30, 13	SD30, 13	SD30, 13	SD30, 13	SD30, 13
	Cut - off [cm]	—	—	—	—	—	—	—	—
	Ratio of Reinforce - ment [%]	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Hoop Tie	Material and Diameter [mm]	SR24, 9	SR24, 9	SR24, 9	SR24, 9	SR24, 9	SR24, 9	SR24, 9	SR24, 9
	Ratio of Reinforce - ment [%]	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Concrete	Material	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement	Portland Cement
	Max Grain Size of Aggregate [mm]	25	25	25	25	25	25	25	25
	Uni - Axial Strength [kg / cm ²]	335	311	385	368	409	442	448	432
Lateral Force	Direction of Loading	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction	1 Direction
	Velocity of Loading [cm / sec.]	10	100	100	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
	Number of Loading for Each Specific Lateral Displace - ment	10	10	10	1	1	1	1	1

表 3-2 供試体と調査項目の関係

供試体No	荷重載荷速度の影響	荷重載荷履歴の影響
37	○	
38	○	
39	○	
40		○
41		○
42		○
43		○
44		○

4. 載荷速度の影響

4-1 動的載荷による破壊性状

各載荷段階の終了後における供試体の破壊性状を示すと、図4-1～図4-3のようになる。これによれば、載荷速度が10cm/secの場合(P-37)には、1～3 δ_y に至る載荷ではコンクリートの表面にクラックが入る程度であるが、4 δ_y 載荷に至ると+面においてフーチングから15cm程度の範囲でかぶりコンクリートのはく離が生じる。前述したように帯鉄筋は20cm間隔で配置されており、橋脚基部ではちょうどフーチング上面に配置されているため、フーチング面から15cmの範囲ということは、フーチング面に配置された帯鉄筋とその一段上の帯鉄筋よりわずかに下の範囲ということになる。この間にかぶりコンクリートのはく離が生じたのは、正負交番載荷による主鉄筋の降伏変位によるものである。すなわち、+面に引張力が作用するように加力すると、この面における主鉄筋が降伏し降伏伸び変位を生じるが、これが、今度は反対方向への載荷に伴い、一度伸びた降伏変位が内側にはコンクリートがあるため変形できないために外側に向かって座屈する。そうすると、帯鉄筋と帯鉄筋の間では、こうした主鉄筋の面外座屈に対する有効な抵抗が発揮されないために、上記のようなかぶりコンクリートのはく離が生じるものである。なお、実際には、橋脚基部の主鉄筋の降伏伸び変位のみではなく、正負交番載荷に伴い、フーチング内の主鉄筋とそのまわりのコンクリートとの付着切れが生じ、フーチングから主鉄筋が抜け上ってくることも、橋脚基部においてかぶりコンクリートのはく離することに大きく影響している。5 δ_y 載荷になると、-面でもはっきりした亀裂がフーチングから12cm及び14cmの位置に2本入り、6 δ_y 載荷の段階では、この区間のかぶりコンクリートのはく離している。ただし、+面では、4 δ_y 載荷時の状態から、外観上は大きな破壊の進展は認められない。なお、鉄筋の破断は1～5 δ_y 載荷では生じていないが、6 δ_y 載荷時には、4本破断している。

これに対して、載荷速度が100cm/secの場合(P-38及びP-39)には、1～4 δ_y 載荷まではコンクリートの表面にクラックが入る程度であり、1体は5 δ_y 載荷に至って-面のみに、また、もう1体は6 δ_y 載荷で±両面に、それぞれ、かぶりコンクリートのはく離が生じている。はく離の範囲はフーチングから約30cmの範囲である。これ以後、載荷振幅を6 δ_y 、7 δ_y と増やすに従い、かぶりコンクリートのはく離は進行し、7 δ_y 載荷時に、P-38、P-39ともに主鉄筋の破断が11本生じている。

以上に示した破壊性状をまとめた結果が表4-1である。これによれば、かぶりコンクリートのはく離が始まる変位振幅及び主鉄筋の破断が始まる変位振幅は、ともに、載荷速度が100cm/secの場合の方が10cm/secの場合よりもほぼ1 δ_y 相当分だけ遅くなっているのがわかる。

4-2 耐力及び変形性能の比較

載荷実験より得られた橋脚天端(加振機位置)における作用力 P と水平変位 δ の関係(履歴曲線)を示すと、図4-4のようになる。ここで、作用力 P としては、加振機のロードセルにより検出した荷重に対して、供試体の慣性力による影響を補正した値を示している。載荷速度が、100cm/secの場合には、高速

荷重のため、履歴曲線に多少の乱れが見られるが、全体としては良好な荷重といえることができる。

図 4-5 は、図 4-4 に示した履歴曲線の中から、主要な荷重段階を取り出し、この最初のループが荷重速度によってどのように変化するかを示したものである。各荷重ループにおいて変位が 0 のところで荷重の不連続が生じているが、これは、変位制御による荷重を行っているため、1 サイクルの荷重に伴う供試体の耐力低下を示しているものである。図 4-5 によれば、1 ～ 4 δ_y 程度までの荷重では、荷重速度により履歴ループには顕著な違いは認められない。しかしながら、5 δ_y 荷重になると、荷重速度が 100 cm/sec の場合に比較して荷重速度が 10 cm/sec の場合には荷重がかなりはっきりと低下し、また、ループの形状も細くなってくるのがわかる。

このような履歴曲線の荷重-変位の関係を、履歴曲線の包絡線によって比較した結果が図 4-6 である。これによれば、荷重速度が 10 cm/sec の場合には、+側では 2 δ_y 、-側では 4 δ_y で最大荷重をとるのに対し、荷重速度が 100 cm/sec の場合には、+側では 4 δ_y 、-側では 4 ～ 5 δ_y で最大荷重をとる。すなわち、最大荷重の生じる変位振幅が高速荷重の場合の方が大きいことを示しており、これは、仮に、荷重速度が 10 cm/sec の場合を基準にとれば、荷重速度を 100 cm/sec とした場合には、より大きな荷重変位振幅まで耐力を維持し得ることを意味している。さらに、最大耐力を含めて、全体として同一変位振幅に対する荷重は、荷重速度が 100 cm/sec の場合の方が、10 cm/sec の場合よりも 10% 程度大きくなっている。表 4-2 は以上に示した 3 供試体の降伏耐力 P_y 、最大耐力 P_u 、降伏変位 δ_y 及び、終局変位 δ_u をまとめたものである。

4-3 エネルギー吸収能

履歴曲線の囲む面積は、1 サイクルの間に供試体が吸収した履歴エネルギーを表わしている。したがって、各荷重ステップごとの履歴エネルギーを累積すると、各変位振幅による荷重ステップの間に供試体が吸収したエネルギーの総和となるため、これを吸収エネルギーと呼ぶ。荷重変位ごとに吸収エネルギーがどのように変化するかを示した結果が図 4-7 である。これによれば、3 δ_y 程度までは吸収エネルギーに対する荷重速度の影響はほとんど認められないが、4 ～ 5 δ_y 荷重では、荷重速度 100 cm/sec の場合の方が荷重速度 10 cm/sec の場合よりも平均して吸収エネルギーが 20% 程度大きくなっているのがわかる。図 4-6 に示したように、4 δ_y という変位振幅は、荷重変位振幅の増大に伴って供試体が最大耐力をとった後に、再び荷重が減少し始める変位振幅に相当している。したがって、上記の結果は、供試体がほぼ最大耐力近くの耐力を維持できる程度までの変位振幅に対して、荷重速度の違いによる吸収エネルギーの差は著しいものではないが、これ以後の変位振幅になると、はっきりした差が生じ始め、荷重速度が大きい方が、吸収エネルギーも大きくなることを示している。

図 4-8 は、これを等価履歴減衰定数 h_e によって示したものである。図 4-7 に示した吸収エネルギーの場合ほどはっきりとはしていないが、4 δ_y 程度までは、荷重変位振幅の増加とともに、等価履歴減衰定数 h_e は荷重速度によらずほぼ同じように大きくなる。しかしながら、荷重速度が 10 cm/sec の場合には 4 δ_y で最大 0.23 程度の等価履歴減衰定数となった後、これ以後は減少していくのに対して、荷重速度が 100 cm/sec の場合には、5 δ_y において 0.25 程度の値となるまで等価履歴減衰定数は増加し続け、その後減少していくのがわかる。

表 4-1 供試体 37, 38, 39 の破壊状況 (荷重載荷速度の影響)

変位振幅	供 試 体 37	供 試 体 38	供 試 体 39
1 δ_y	2 面にクラック発生	2, 4 面のクラック増加	2 面のクラック増加 4 面にクラック発生
2 δ_y	変化なし	2, 4 面のクラック増加	2, 4 面のクラック増加
3 δ_y	1, 3 面に斜めクラック発生	2, 4 面下端のコンクリート圧壊	2, 4 面下端のコンクリート圧壊
4 δ_y	4 面基部のコンクリートはく離 (基部から 15cm)	各面のクラック増加	2 面のコンクリートはく離開始 (基部から 10cm)
5 δ_y	2 面基部のコンクリートはく離 (基部から 25cm)	2 面基部のコンクリートはく離 (基部から 25~30cm)	2, 4 面のコンクリートはく離 (基部から 20cm)
6 δ_y	軸方向鉄筋 4 本破断	4 面基部のコンクリートはく離開始 (基部から 20cm)	2, 4 面のコンクリートはく離進行 (基部から 20~30cm)
7 δ_y		軸方向鉄筋 11 本破断 (2 面のみ)	軸方向鉄筋 11 本破断 (2 面のみ)

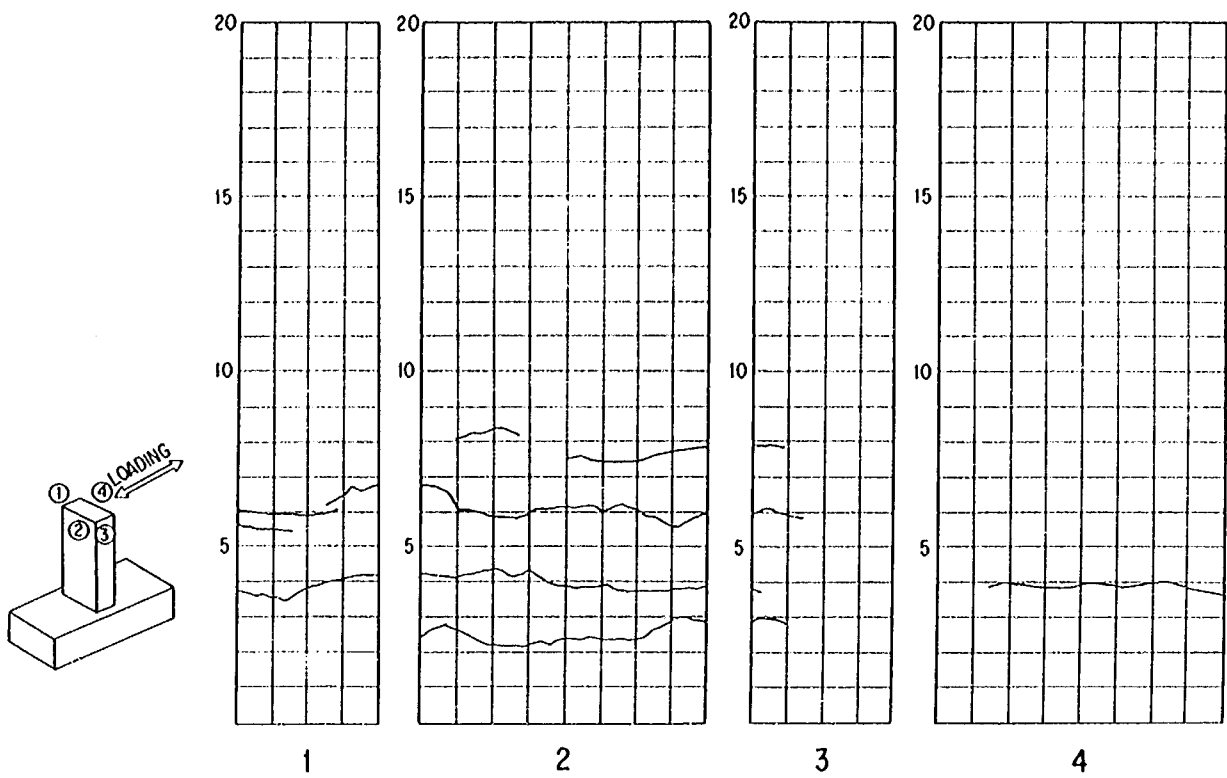


図 4 - 1. 1 供試体 37, 1 δ_y 終了後の破壊状況

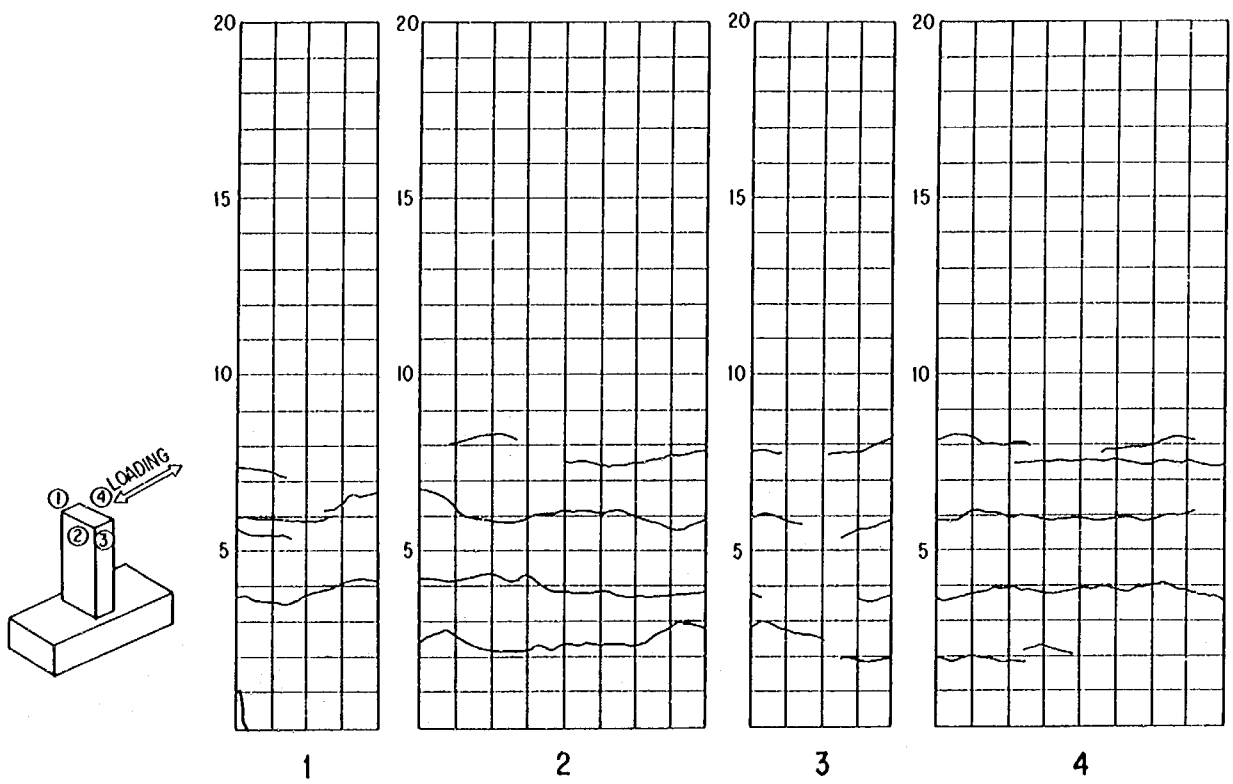


図 4 - 1. 2 供試体 37, 2 δ_y 終了後の破壊状況

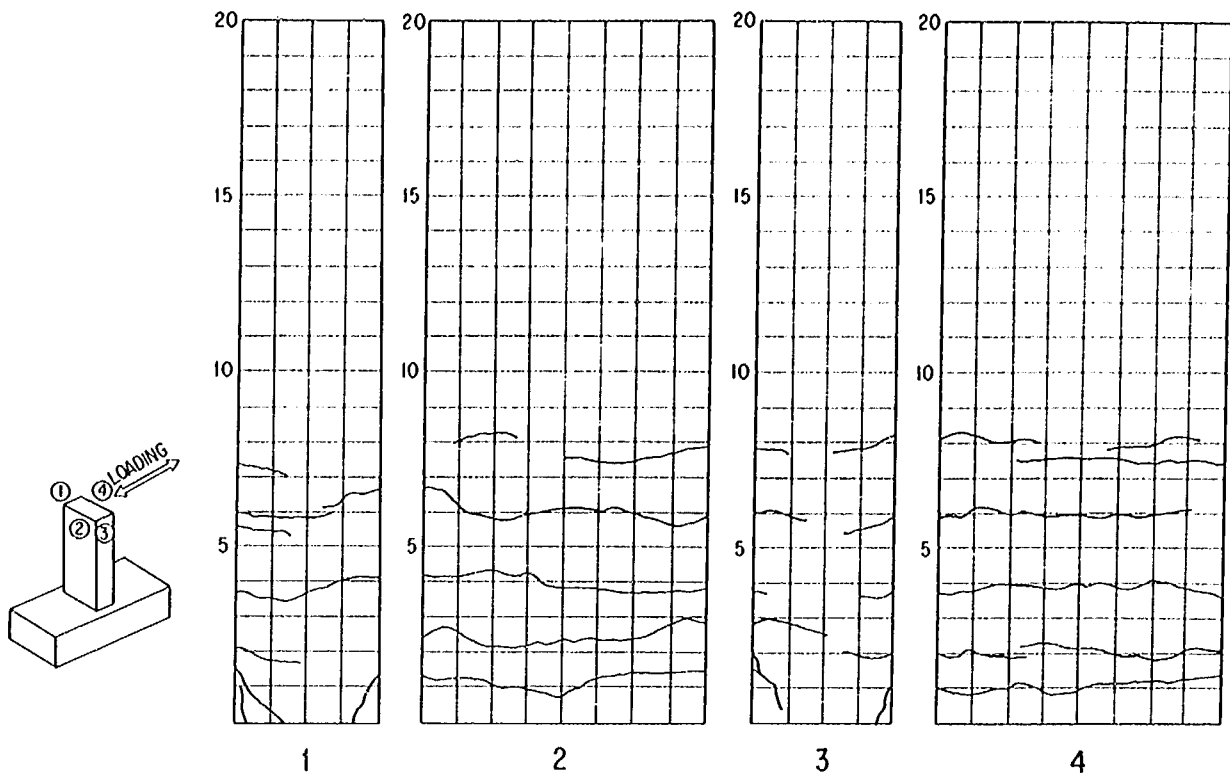


図 4 - 1.3 供試体 37, 3 δ_y 終了後の破壊状況

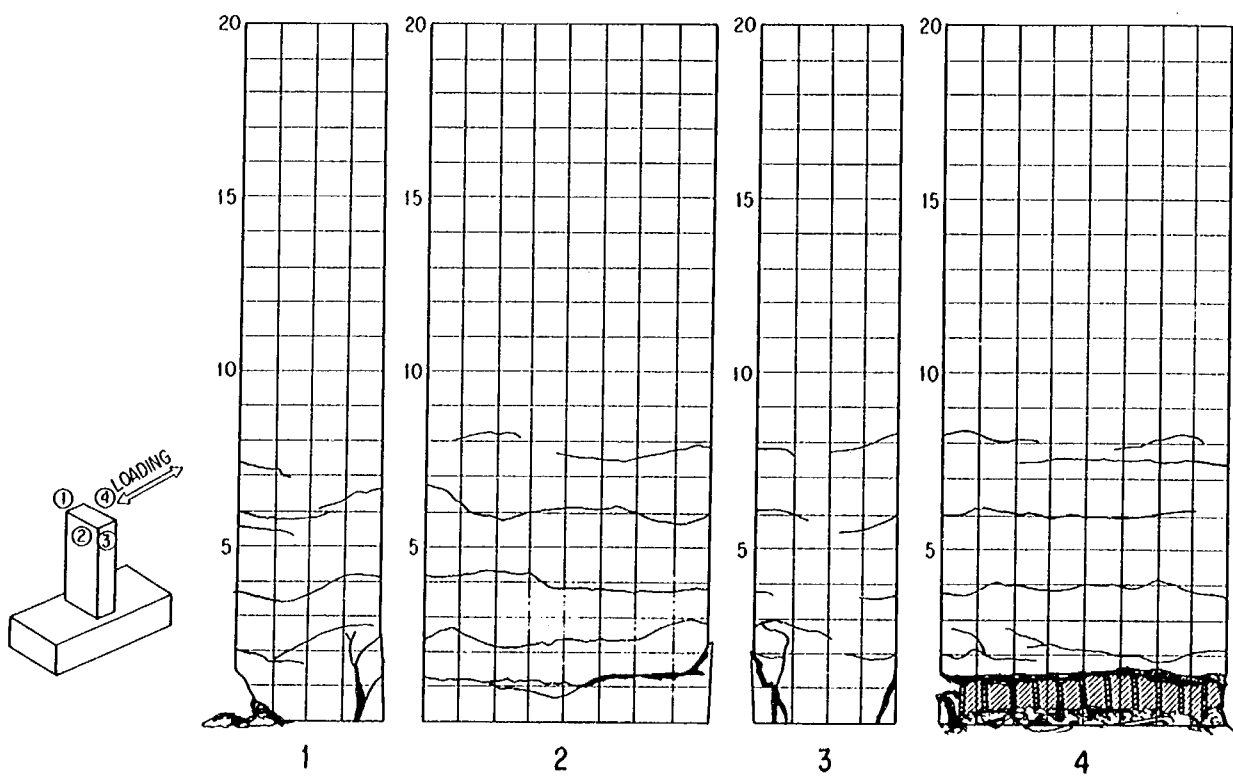


図 4 - 1.4 供試体 37, 4 δ_y 終了後の破壊状況

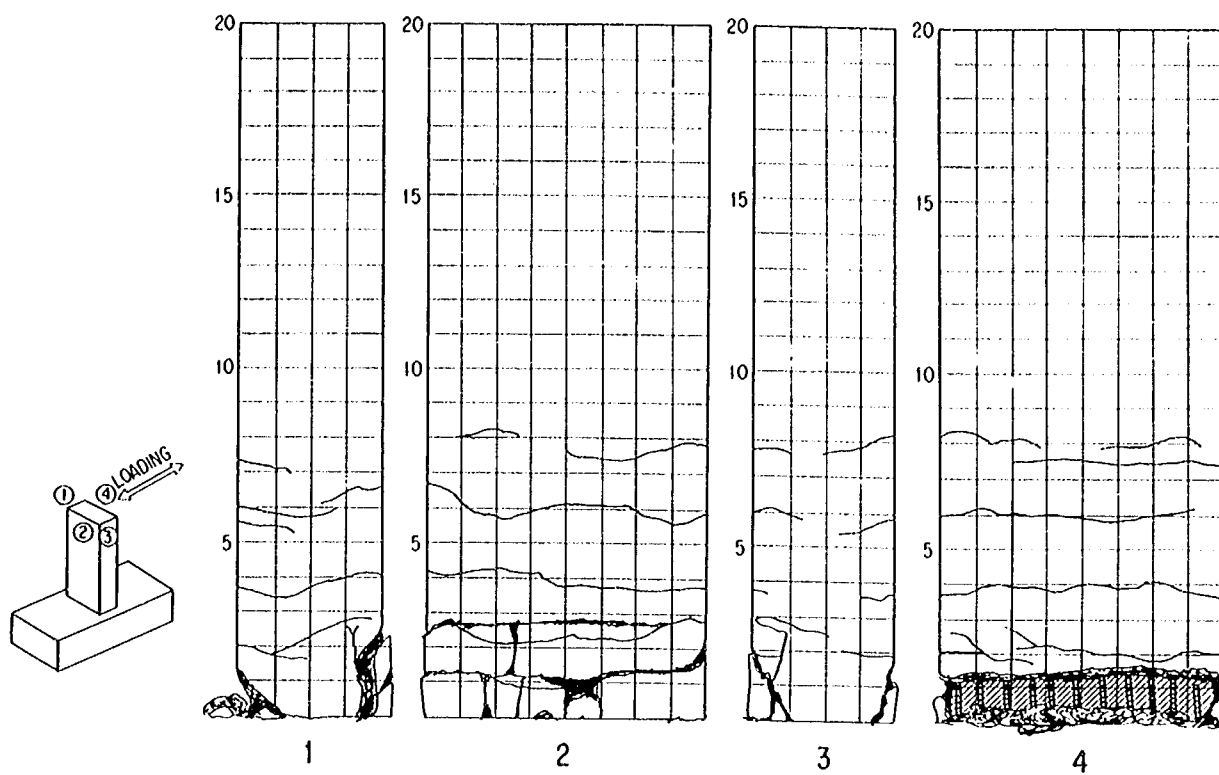


図 4 - 1.5 供試体 37, 5 δ_y 終了後の破壊状況

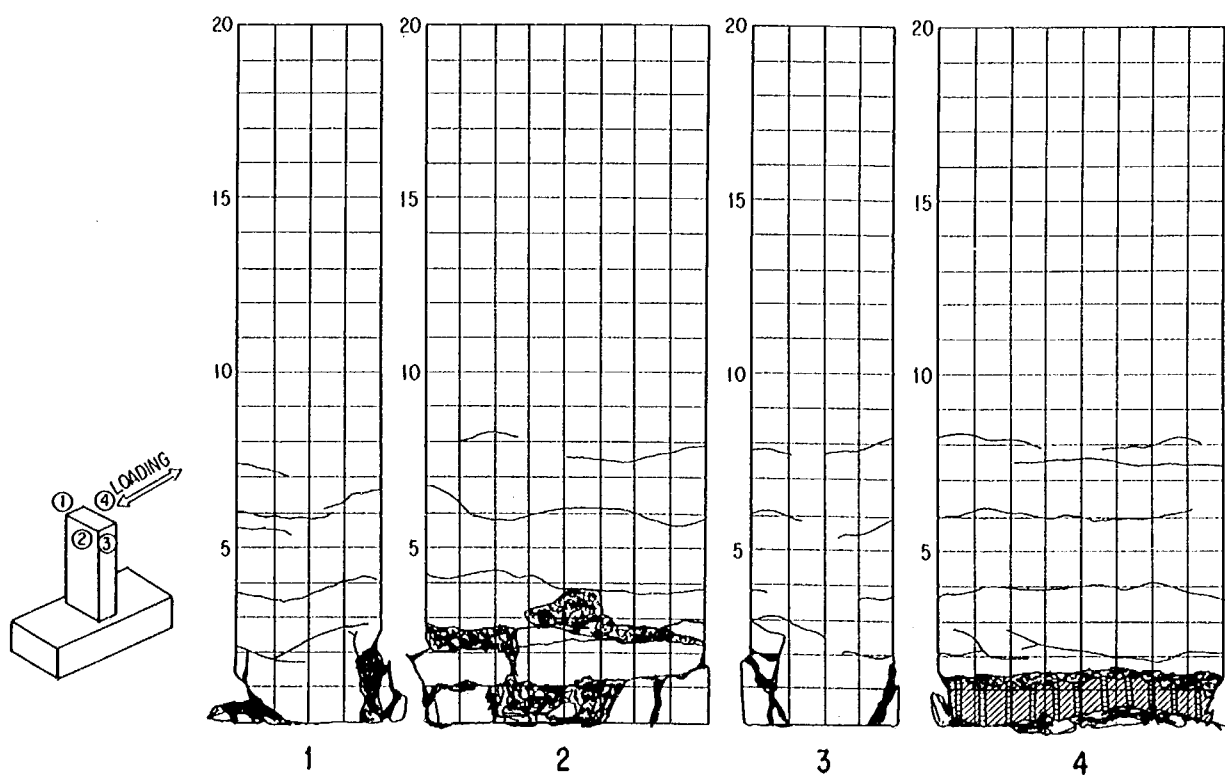


図 4 - 1.6 供試体 37, 6 δ_y 終了後の破壊状況

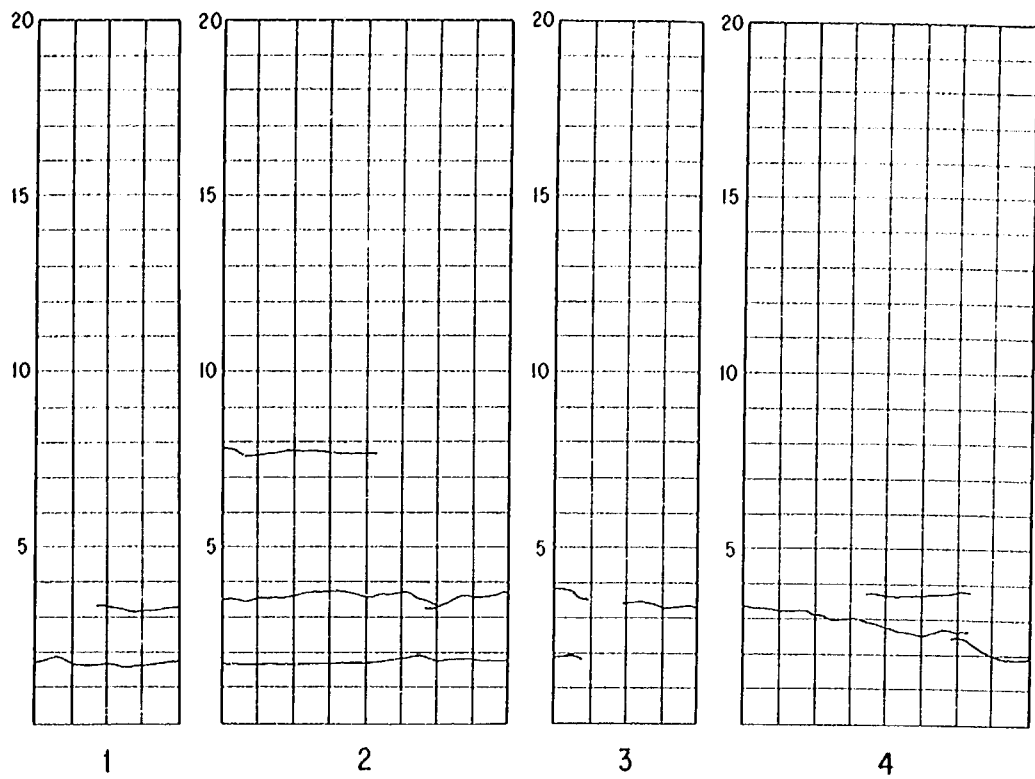
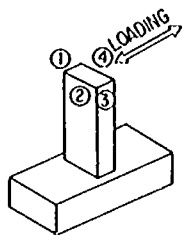


図 4 - 2.1 供試体 38, $1 \delta_y$ 終了後の破壊状況

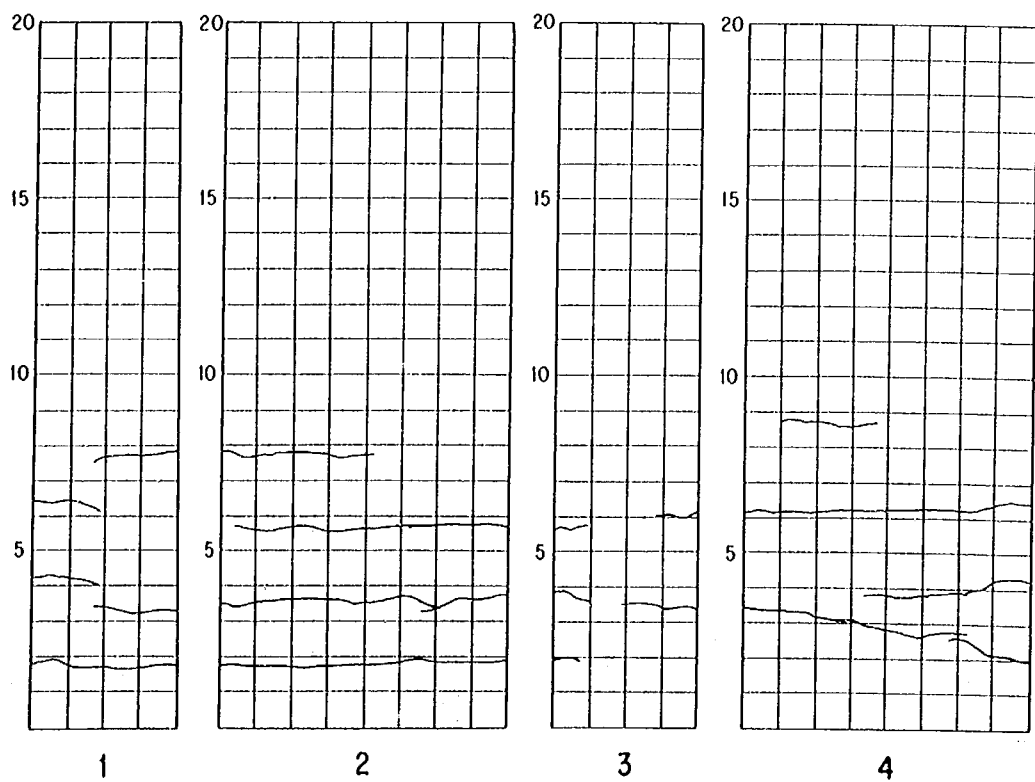
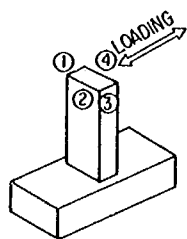


図 4 - 2.2 供試体 38, $2 \delta_y$ 終了後の破壊状況

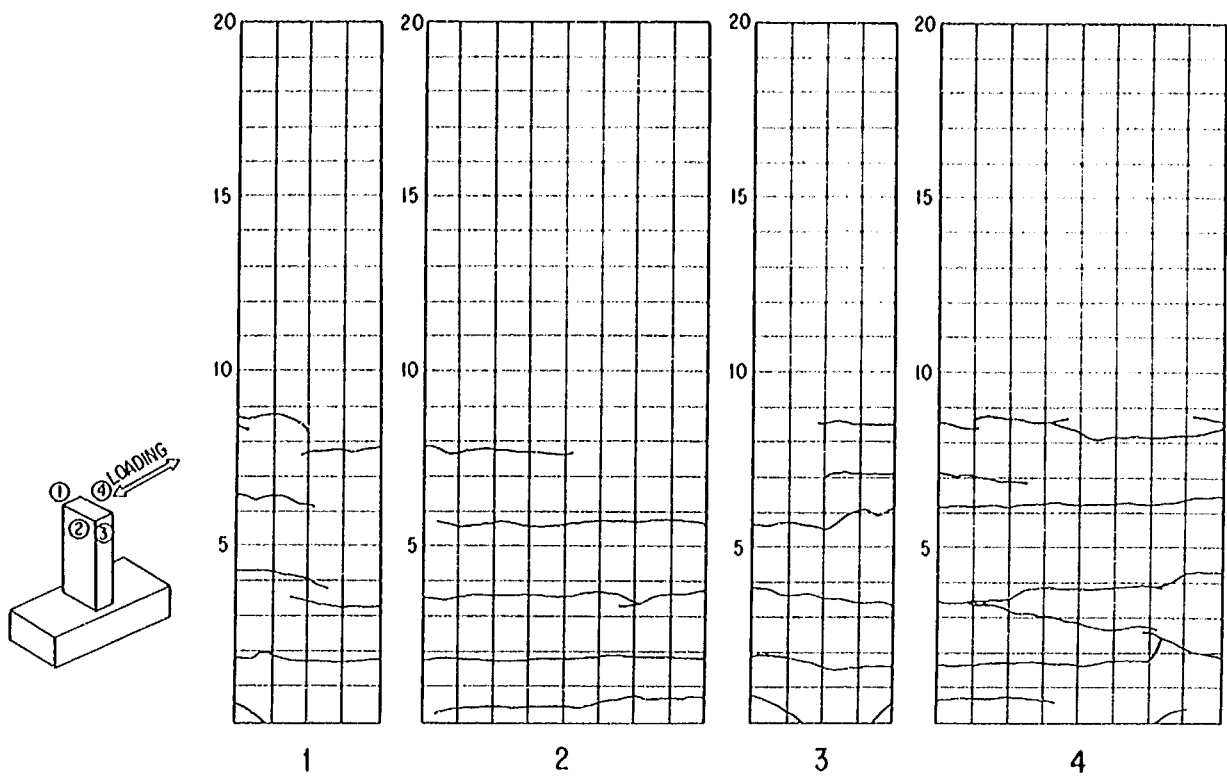


図 4 - 2.3 供試体 38, 3 δ_y 終了後の破壊状況

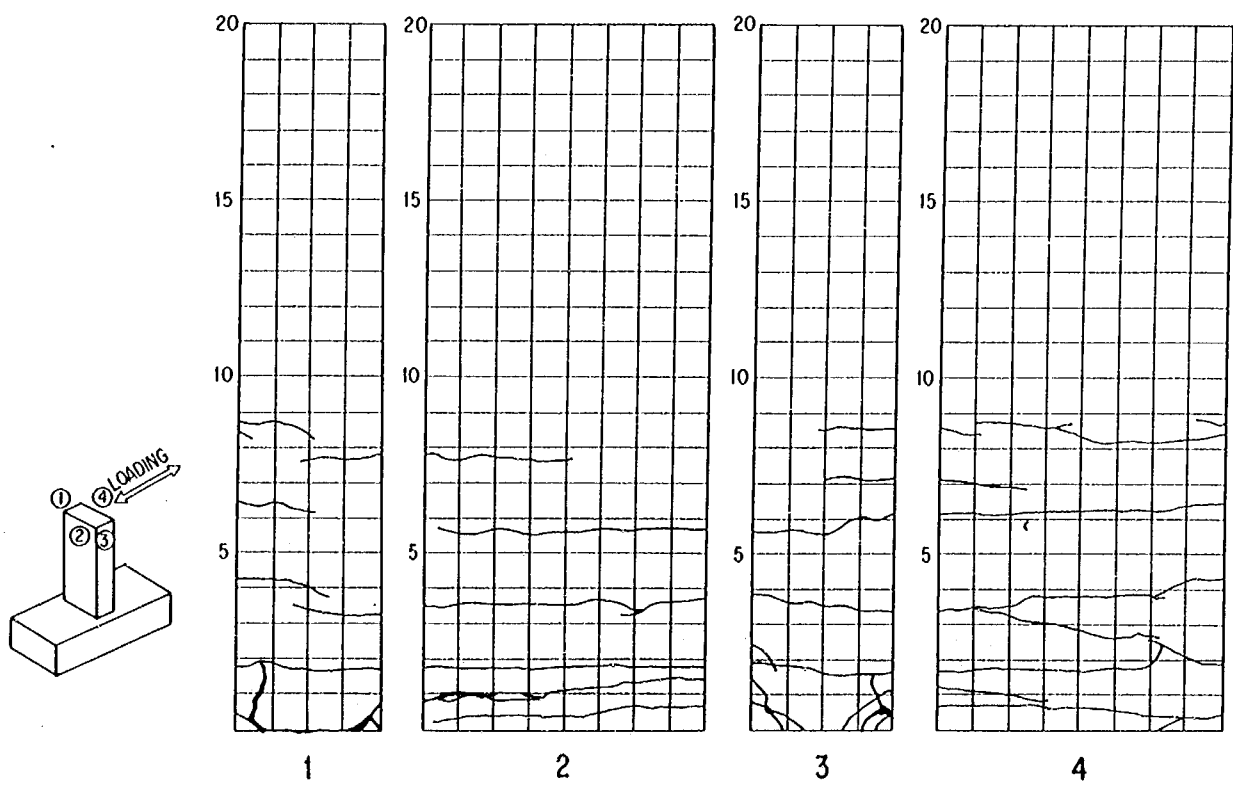


図 4 - 2.4 供試体 38, 4 δ_y 終了後の破壊状況

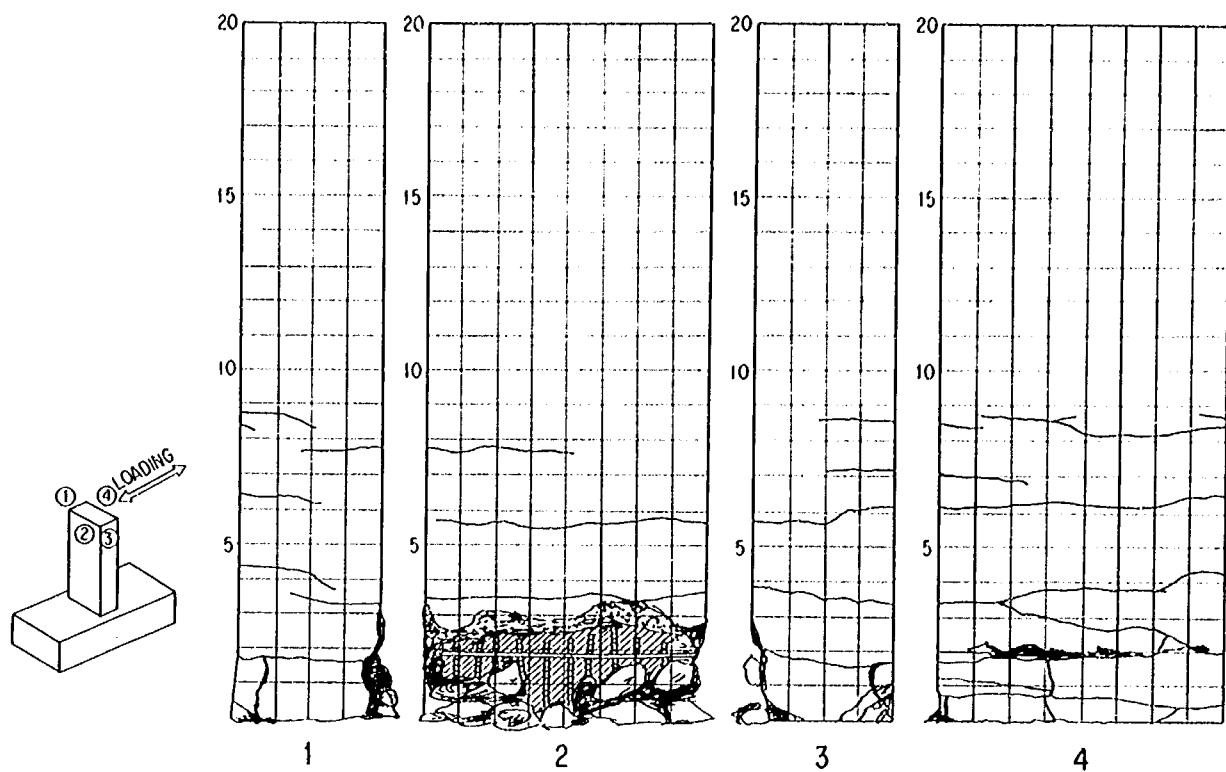


図 4 - 2. 5 供試体 38, 5 δ_y 終了後の破壊状況

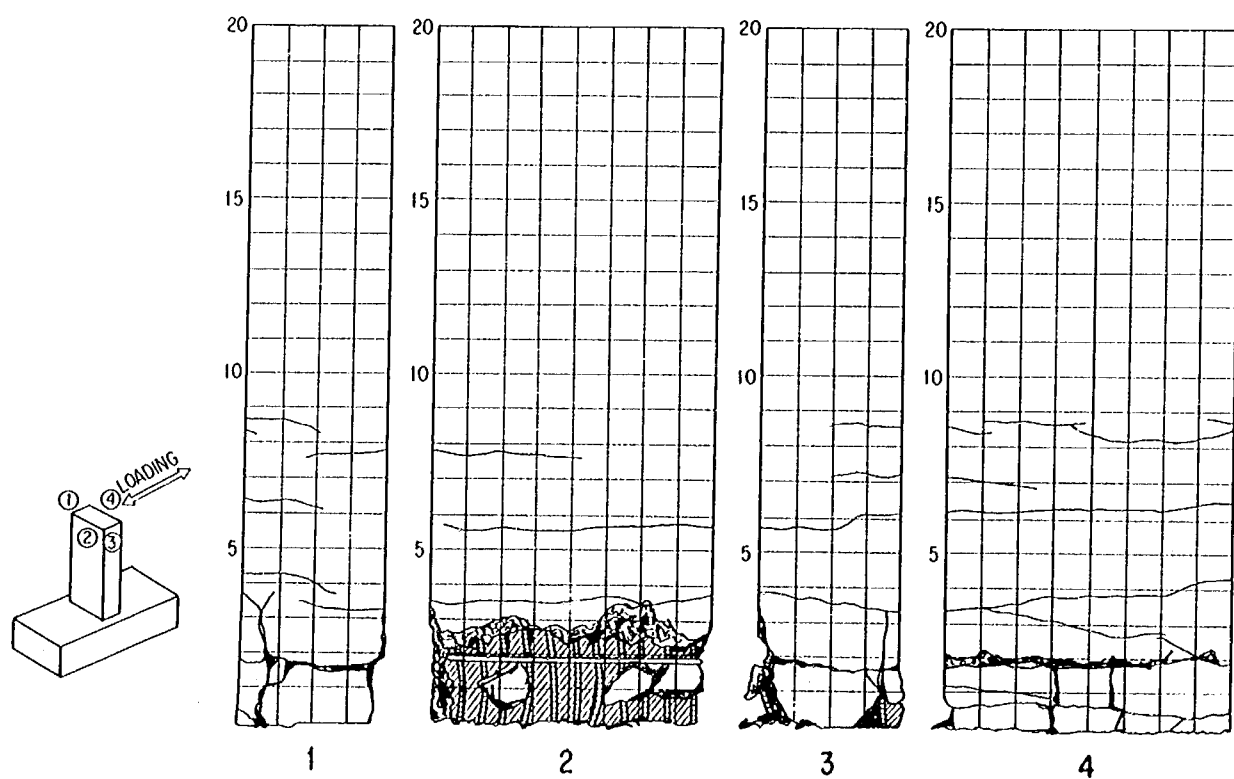


図 4 - 2. 6 供試体 38, 6 δ_y 終了後の破壊状況

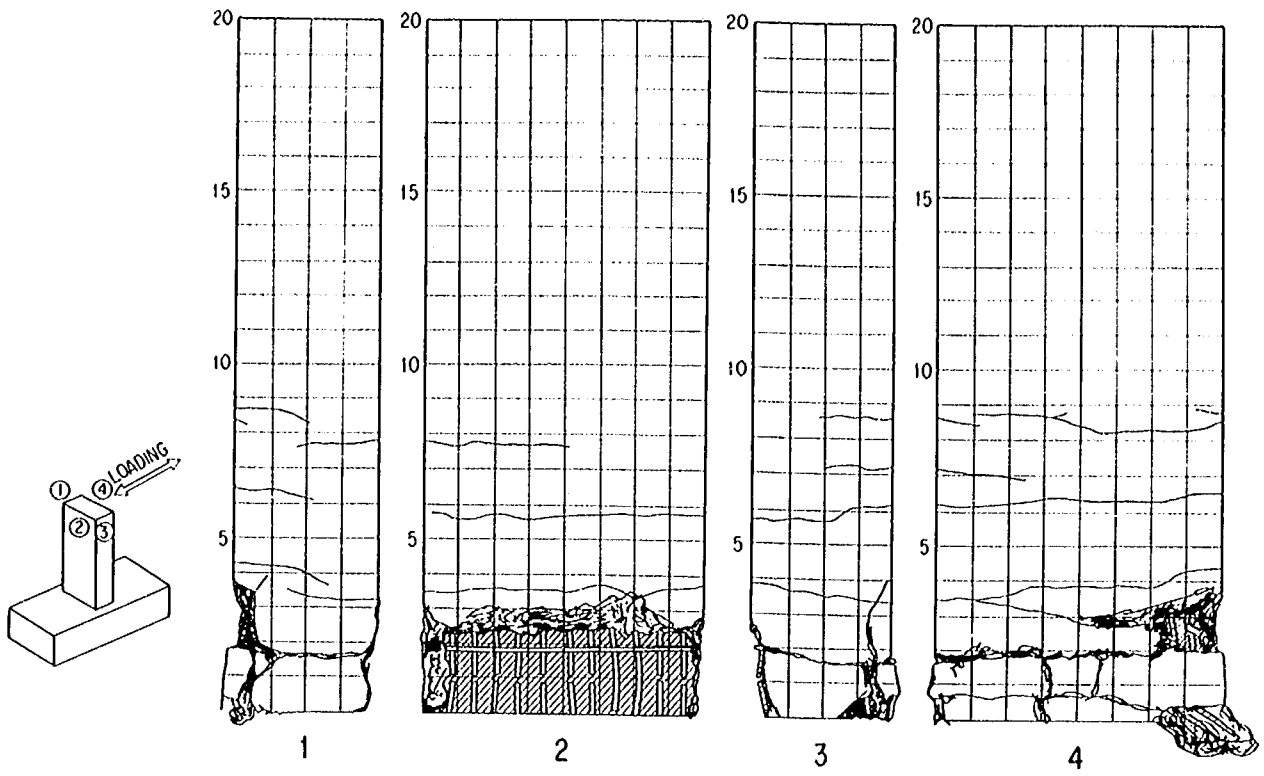


図 4 - 2.7 供試体 38, 7 δ_y 終了後の破壊状況

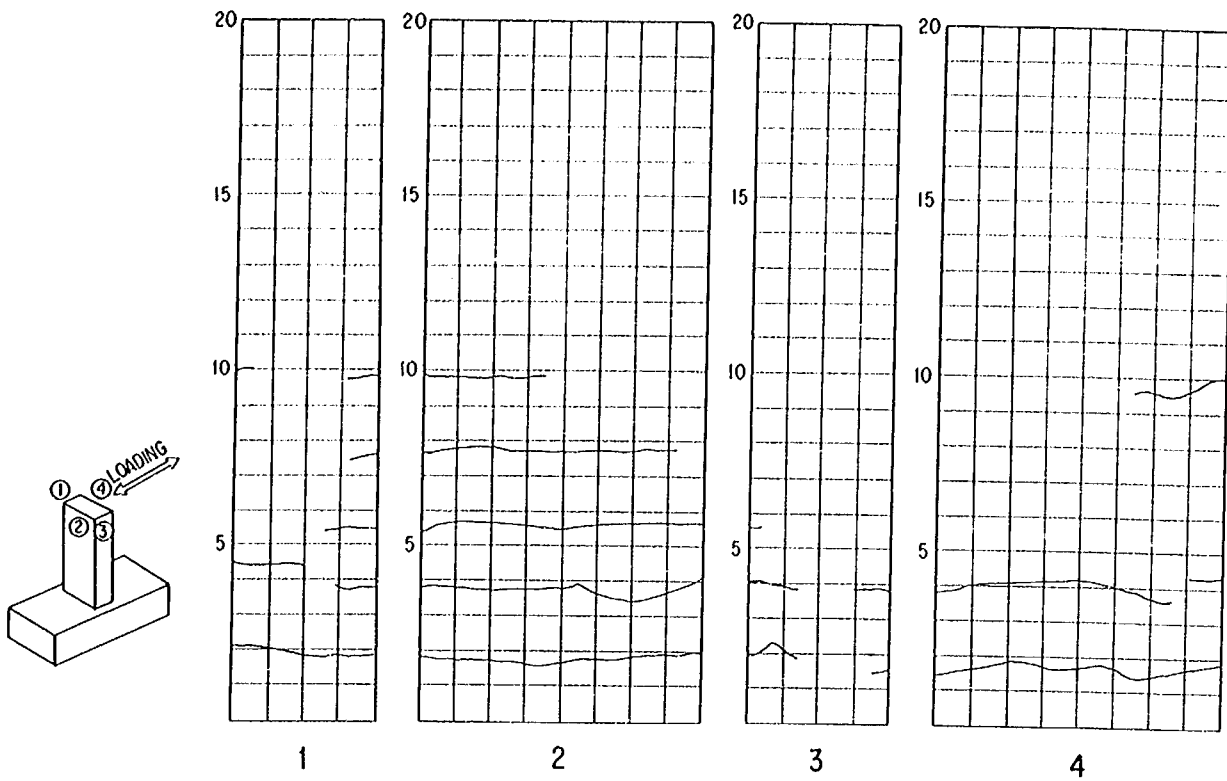


図 4 - 3. 1 供試体 39, $1 \delta_y$ 終了後の破壊状況

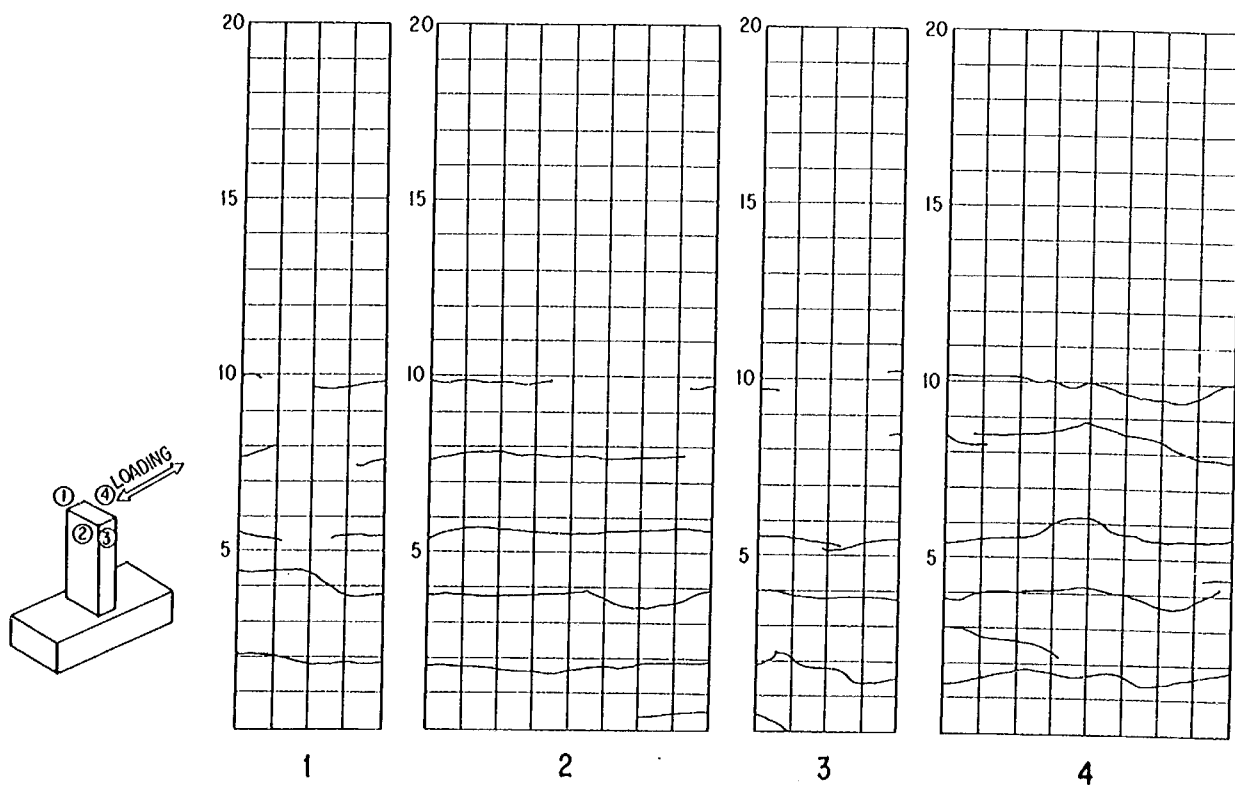


図 4 - 3. 2 供試体 39, $2 \delta_y$ 終了後の破壊状況

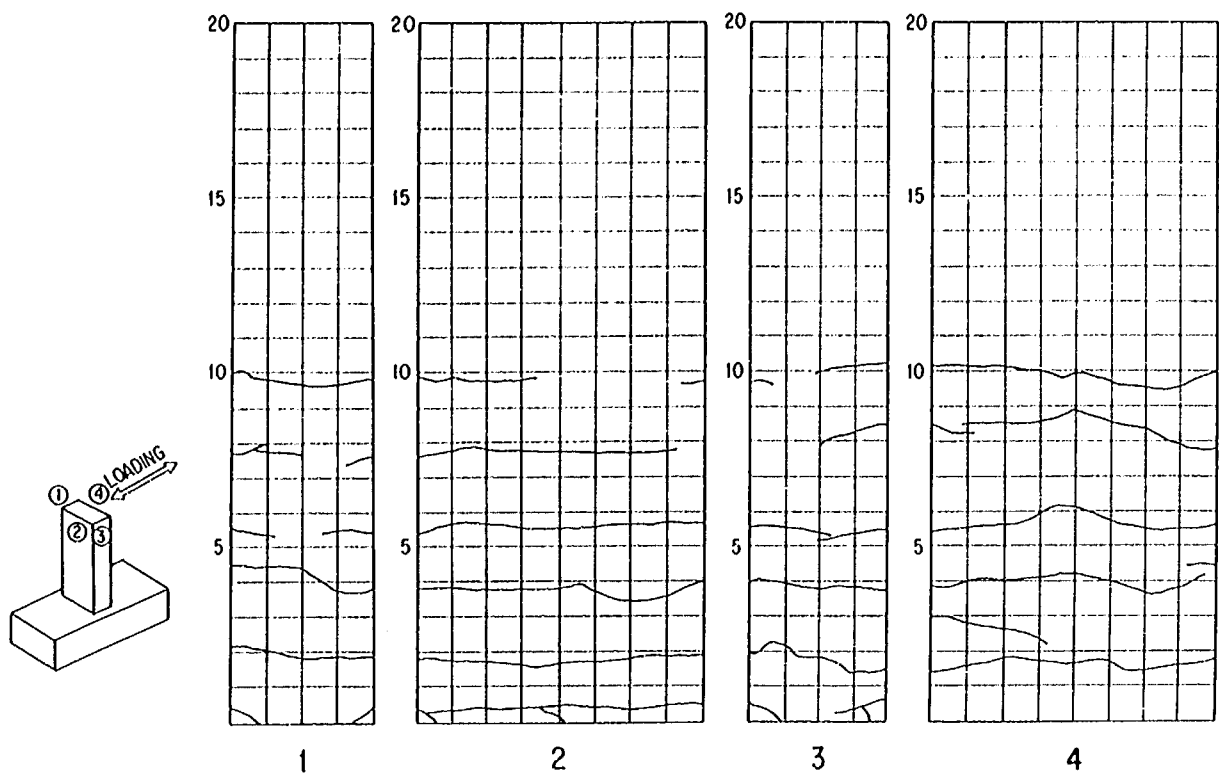


図 4 - 3. 3 供試体 39, 3 δ_y 終了後の破壊状況

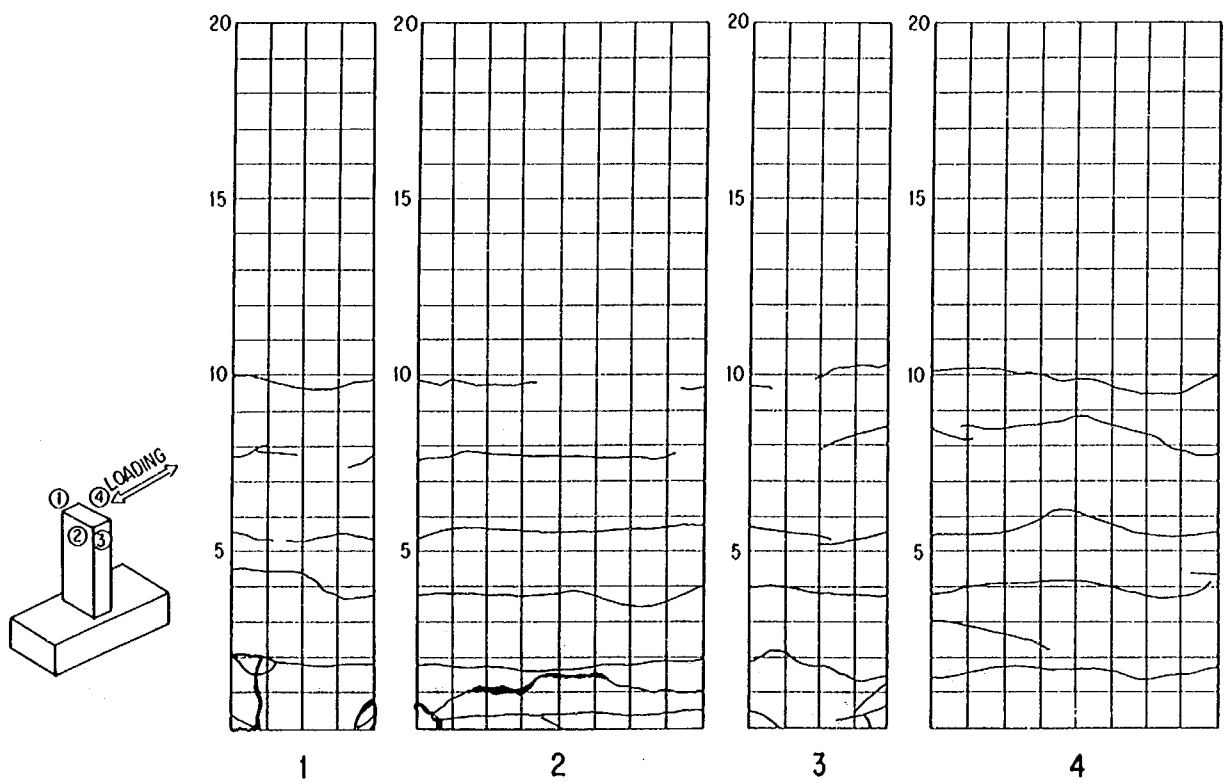


図 4 - 3. 4 供試体 39, 4 δ_y 終了後の破壊状況

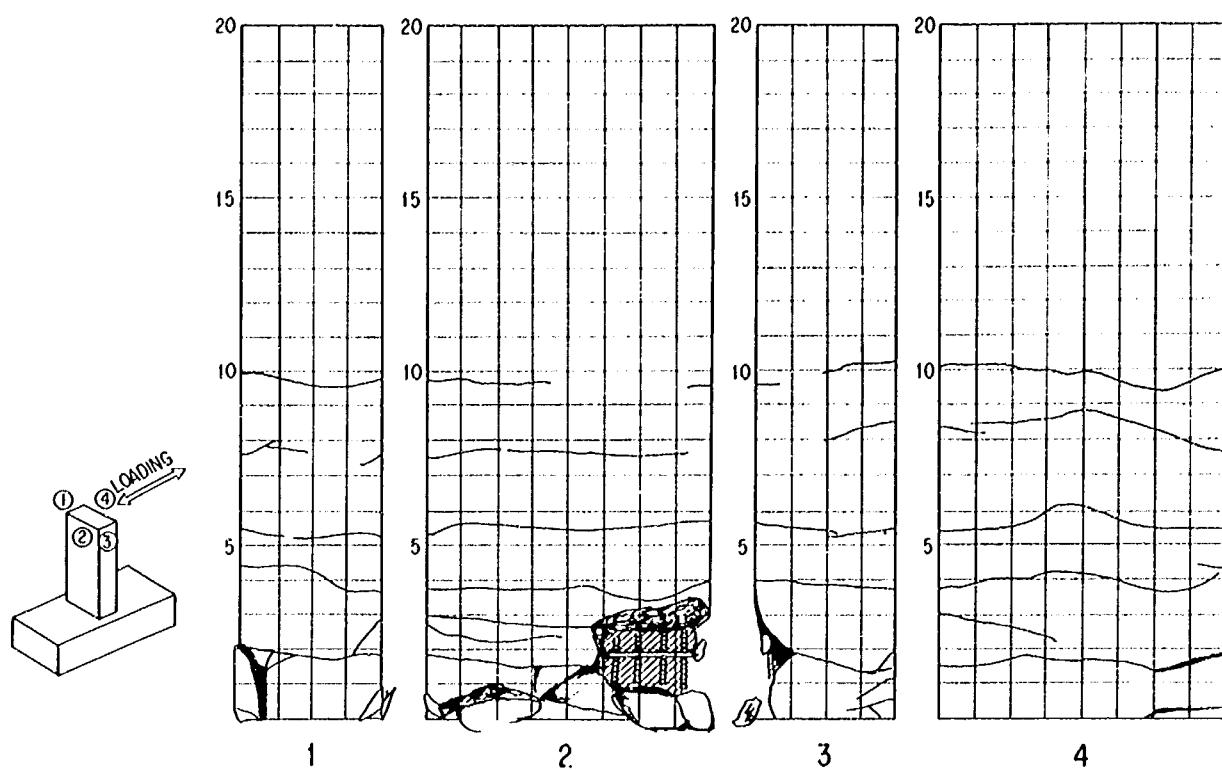


図 4 - 3. 5 供試体 39, $5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

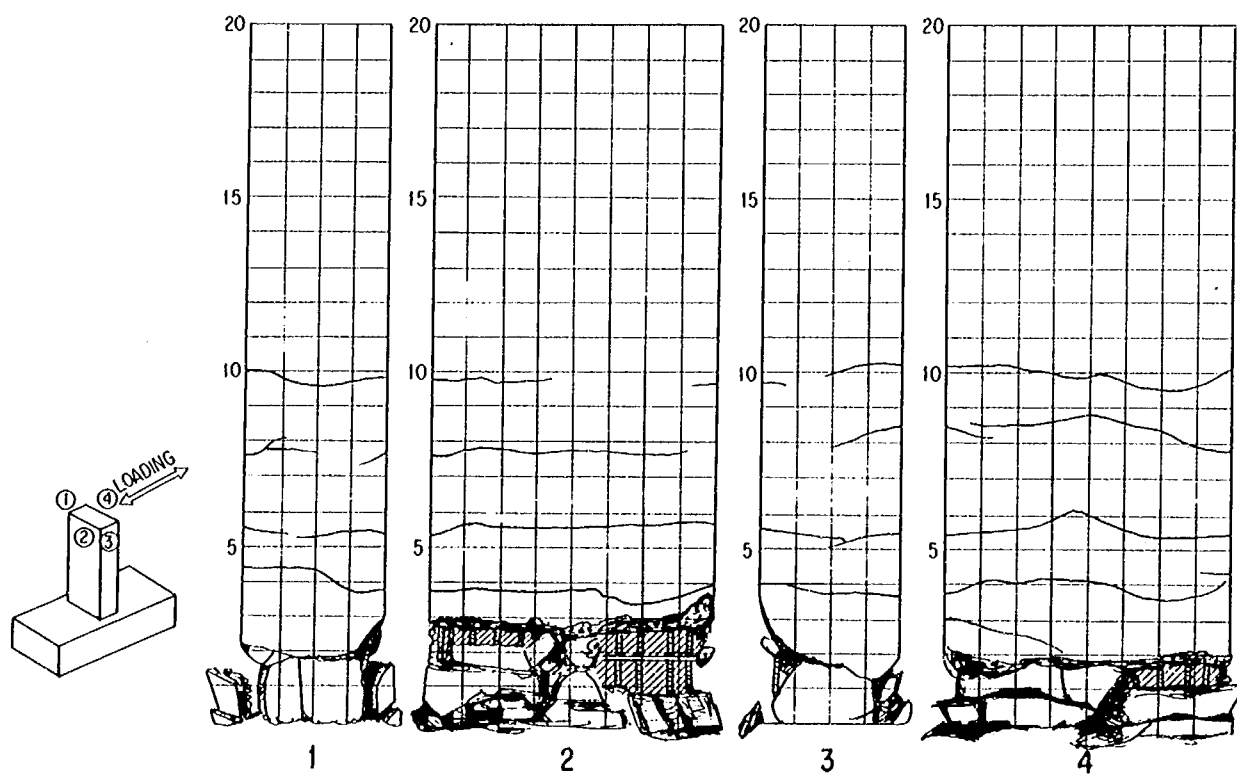


図 4 - 3. 6 供試体 39, $6 \delta_y$ 終了後の破壊状況

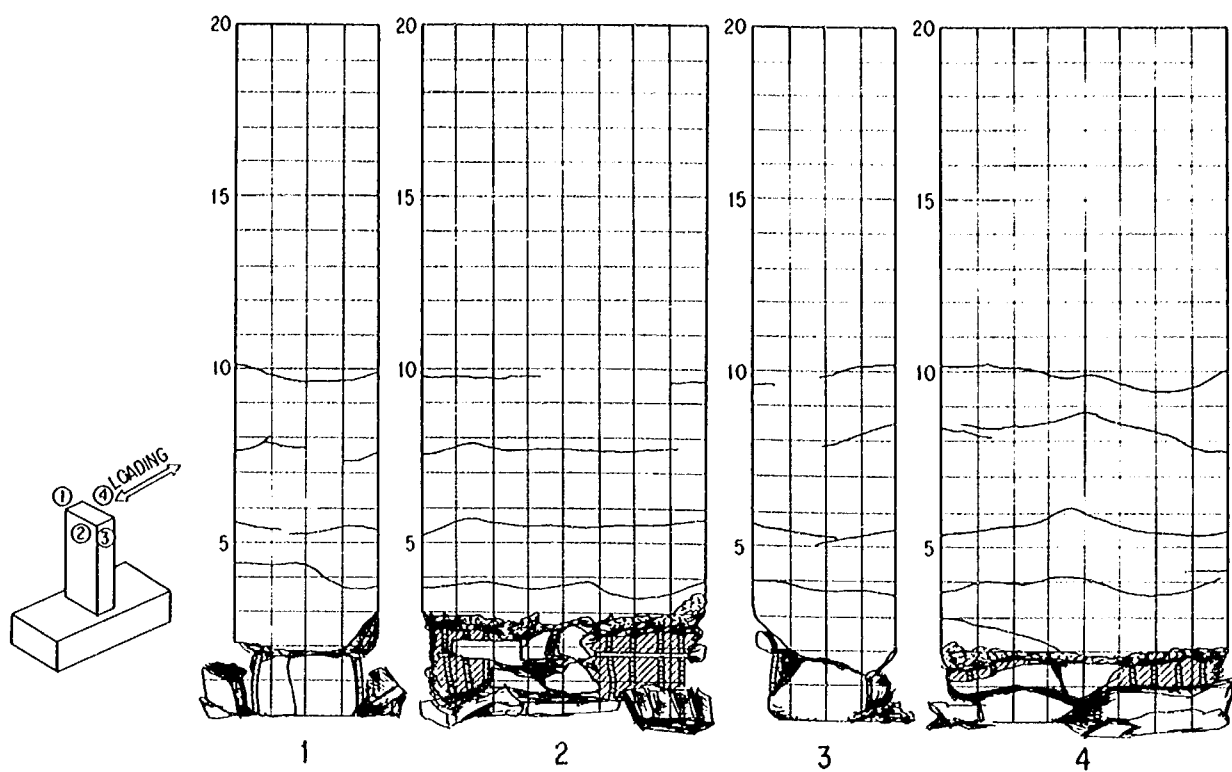
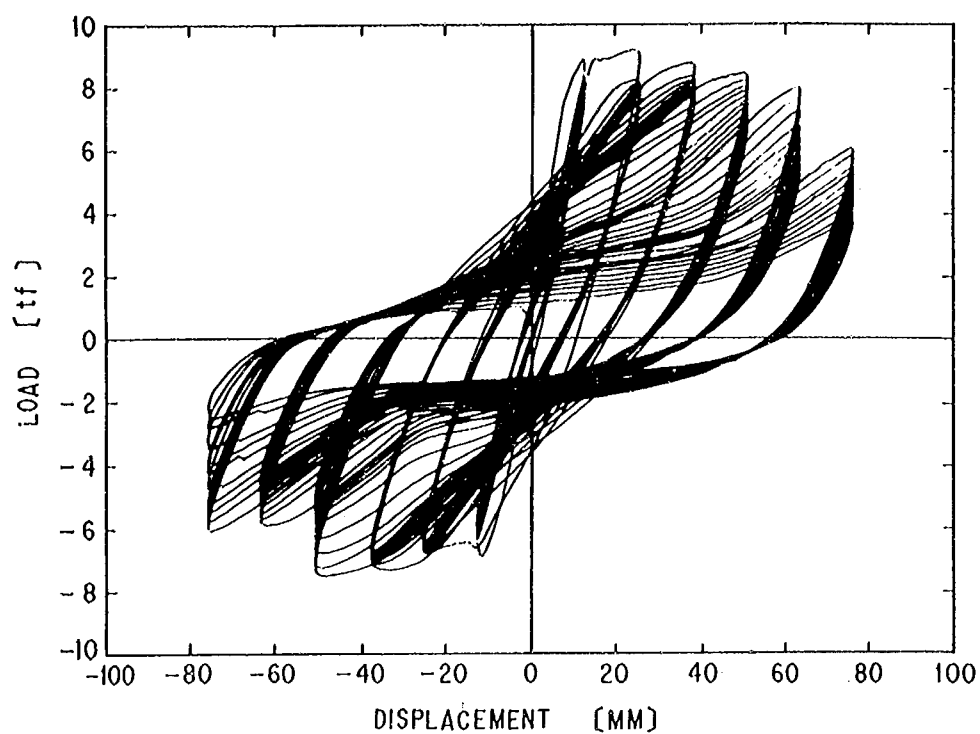
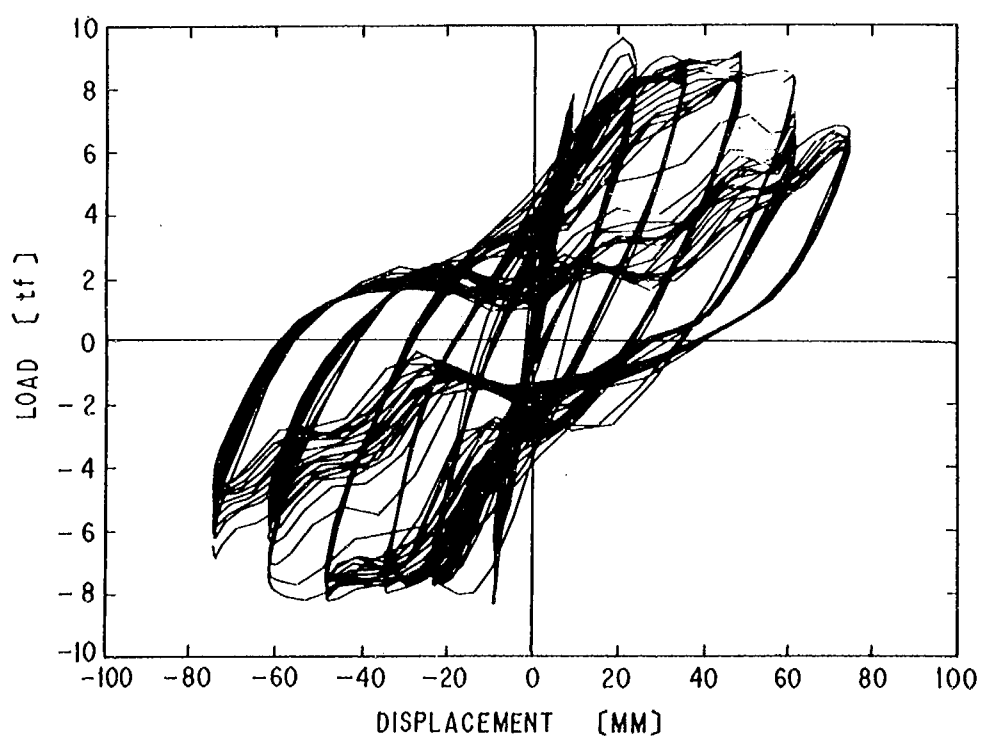


図 4 - 3. 7 供試体 39, 7 δ_y 終了後の破壊状況

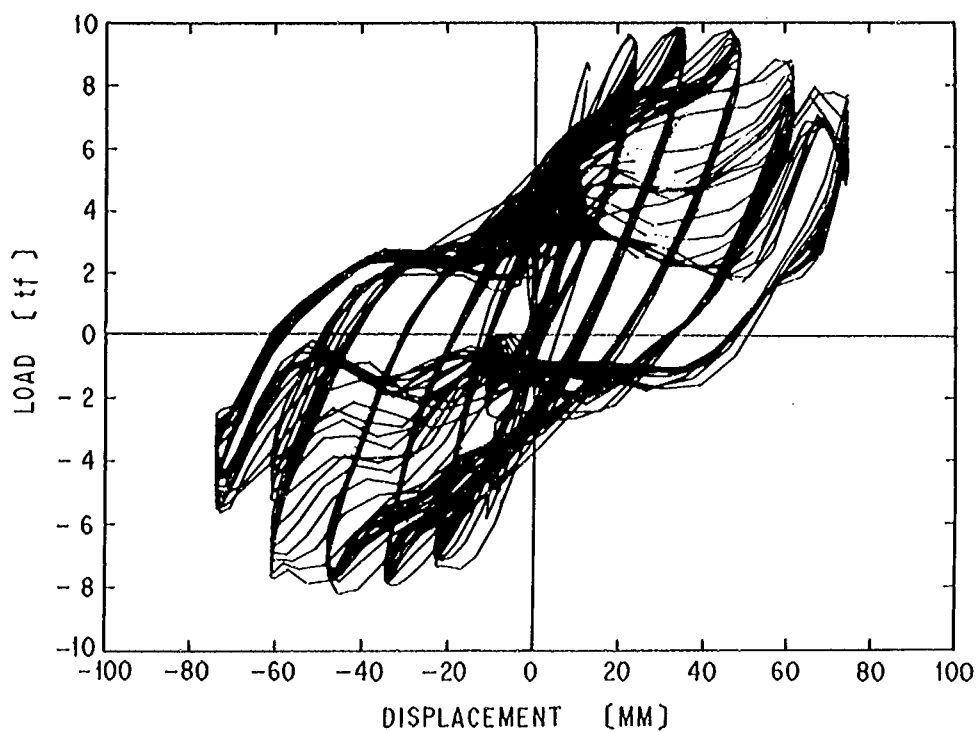


(a) $V = 10 \text{ cm/sec}$ (P-37)



(b) $V = 100 \text{ cm/sec}$ (P-38)

図 4 - 4 (1) 荷重～変位履歴曲線の比較



(c) $V = 100 \text{ cm/sec}$ (P-39)

図 4 - 4 (2) 荷重～変位履歴曲線の比較

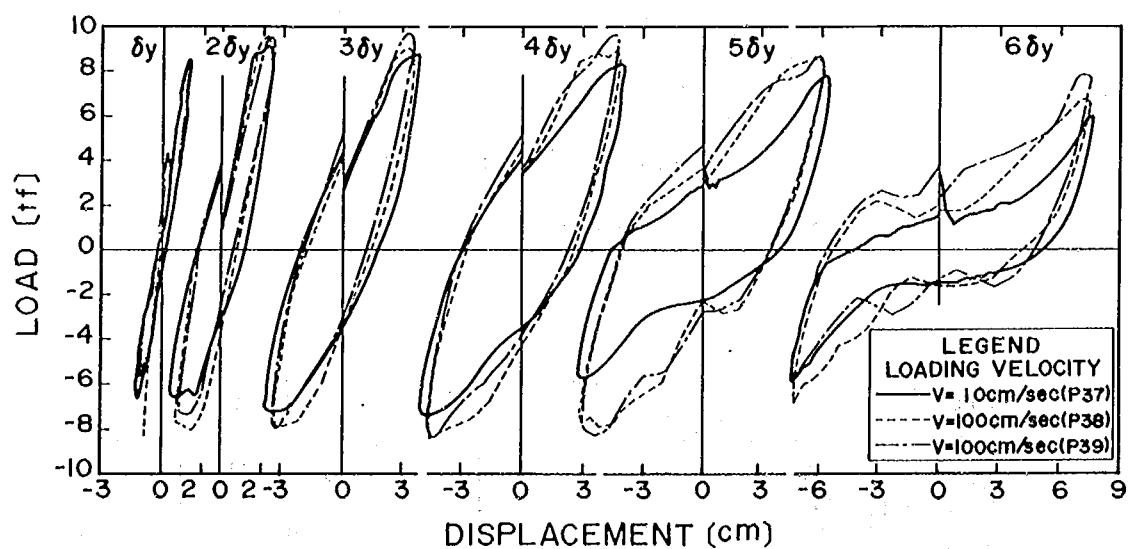


図 4 - 5 各載荷段階における第 1 回目の履歴ループの比較

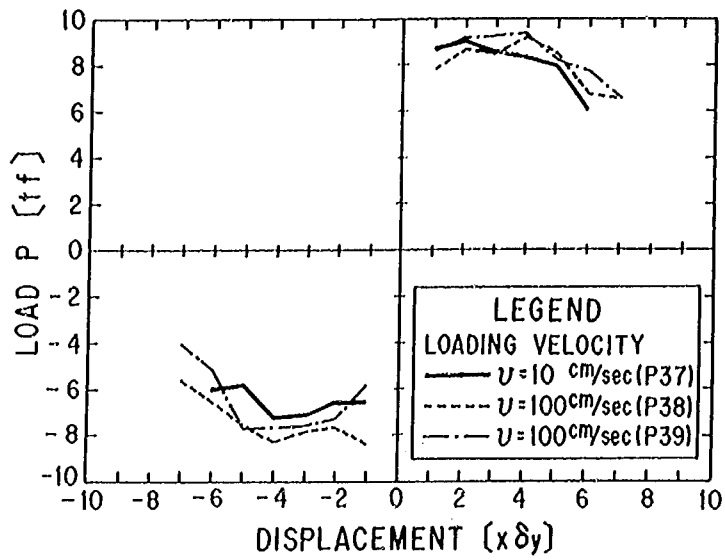


図 4 - 6 履歴曲線の包絡線に及ぼす載荷速度の影響

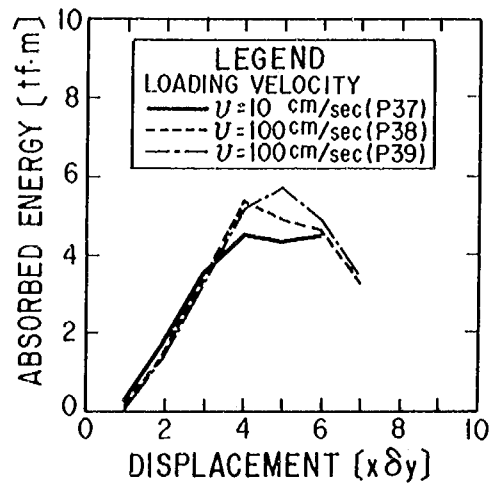


図 4 - 7 履歴吸収エネルギーに及ぼす載荷速度の影響

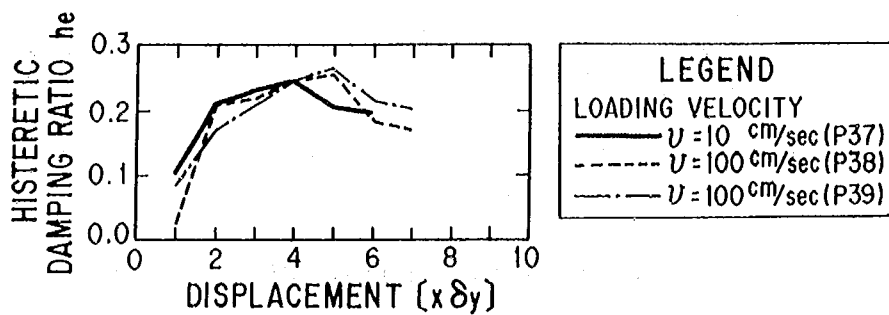


図 4 - 8 等価履歴減衰定数に及ぼす載荷速度の影響

5. 載荷履歴の影響

5-1 破壊性状

3タイプの載荷方式による各変位振幅時の破壊状況を示すと図5-1～図5-6のようになる。なお、いずれの場合にも、最終的には橋脚基部で曲げ破壊している。

これによれば、タイプ1載荷の場合には、 $7\delta_y$ の載荷が終了した段階で基部コンクリートの亀裂幅が急に大きくなり、 $8\delta_y$ 終了後には基部から20～30cmの範囲のかぶりコンクリートのはく離が生じている。その後、載荷変位振幅の増大に伴い、橋脚基部における主鉄筋の面外もしくは横方向への座屈が生じている。ただし、主鉄筋及び帯鉄筋の破断は載荷の最後まで生じていない。

これに対して、タイプ2載荷の場合には、一番最初の $10\delta_y$ に至るプラス側（もしくはマイナス側）の載荷途上で順次、引張側コンクリートに亀裂が入り、これらが進展していくが、この段階では圧縮側コンクリートには変状は認められない。引張クラックとしては橋脚基部から20cmの位置にある最下段の帯鉄筋位置において生じたものが最も著しく、特に $8\delta_y$ 以上の段階になると亀裂幅は5mm以上に進展する。その後、荷重が反転し、 $-10\delta_y$ （及び $+10\delta_y$ ）に至るマイナス側（もしくはプラス側）の載荷途上では上記プラス側（もしくはマイナス側）の載荷と引張、圧縮が反対となり、新しく引張側になった面に上記と同じような引張亀裂が入る。ただし、圧縮側では上述した変状は特に変化せず、第1回めの載荷（ $\pm 10\delta_y$ ）ではこれ以上の変状の進展は見られない。これに引続く $9.5\delta_y$ に至るプラス側（もしくはマイナス側）の載荷に移った段階になると圧縮側かぶりコンクリートの大きなはく離と主鉄筋の面外座屈が生じる。ただし、その後は、破壊状況は基本的にこれ以上著しい進展を見せず、やがて逐次載荷変位振幅が小さくなりタイプ2載荷を終えている。

一方、タイプ3載荷の場合には、載荷変位増加過程では基本的にタイプ1載荷の場合と同様な過程をたどり、 $6.5\delta_y$ 載荷終了時にかぶりコンクリートの大きなはく離と主鉄筋の面外座屈を生じている。ただし、 $10\delta_y$ 載荷後の載荷変位振幅減少過程ではタイプ2載荷の3ループ目以後と同じように破壊状況は基本的に進展しない。

5-2 耐力及び変形性能の比較

載荷実験より得られた橋脚天端における作用力 P と水平変位振幅 δ の関係（履歴曲線）を示すと図5-6のようになる。これによれば、タイプ1載荷の場合には、主鉄筋の降伏後、順次載荷振幅が増加するにつれて橋脚の剛性は低下する。特に、かぶりコンクリートに顕著なはく離、はく落が生じ始めた6～7 δ_y （変位振幅70mm程度）において、一気に大きな剛性低下が生じている。

これに対してタイプ2載荷の場合には、最初の $\pm 10\delta_y$ の載荷において $+10\delta_y$ から $-10\delta_y$ （もしくは $-10\delta_y$ から $+10\delta_y$ ）を経て荷重を0に戻した段階までは、平行四辺形に近い安定した履歴カーブを描くが、その後変位振幅を0に戻した段階での荷重は4t弱と、載荷当初供試体が有していた8t程度の荷重の約1/2に低下している。これは前述した破壊性状で示したように、 $\pm 10\delta_y$ という大きな変位振幅による載荷のため、最初の1サイクルの載荷

途中で大きな復元力の低下を生じたためであり、載荷変位振幅を逐次大きくするタイプ1では破壊が少しずつ進んでいくため、変位振幅が大きくなった段階でもこのような現象は認められない。供試体に最初から大きな変位振幅による載荷を加えた場合には、このような復元力の急激な低下が生じることに注意しておかなければならない。9.5 δ_y 載荷以後は、タイプ1のように変位振幅増加過程の骨格曲線とは別の骨格曲線を形成して徐々に荷重が低下していく。

以上に示した履歴曲線の中から、任意に2.5 δ_y 、5.5 δ_y 及び8.5 δ_y を選び、3種類の載荷パターンにより履歴曲線がどのように変化するかを示した結果が図5-7である。タイプ3載荷の場合には、それぞれ、載荷変位振幅を増大させる途中及び減少させる途中の両者について示してある。ただし、後者の場合には、ちょうど2.5 δ_y 、5.5 δ_y 、8.5 δ_y に相当する変位振幅が無いいため、それぞれ、2 δ_y 、5 δ_y 、8 δ_y に対する結果を示している。これによれば、2.5 δ_y 及び5.5 δ_y の場合には、タイプ1載荷の履歴曲線と変位増加途中のタイプ3載荷の履歴曲線、また、タイプ2載荷の履歴曲線と変位減少途中のタイプ3載荷の履歴曲線は、それぞれ、ともによく一致している。ただし、タイプ3載荷でも変位増加途中の履歴曲線と変位減少途中の履歴曲線は全く違った履歴を描いており、最大履歴を経験する前か後かにより、その後の履歴は同一変位振幅であっても全く異なることを示している。また、8.5 δ_y の場合には、最大履歴変位(10 δ_y)に近いいため、2.5 δ_y 及び5.5 δ_y の場合ほどはっきりと履歴曲線に違いが認められないが、上述と同じ傾向を示しているのがわかる。

次に、図5-6に示した履歴曲線の骨格曲線により載荷パターンの違いを示すと図5-8のようになる。タイプ3載荷の場合を基準にとれば、変位増加途中の骨格曲線はタイプ1載荷の骨格曲線と、また、変位減少途中の骨格曲線はタイプ2載荷の骨格曲線と、それぞれ、良く一致している。

5-3 剛性低下率

図5-6に示したように橋脚の剛性は最大変位を経験する前か後かにより大きく異なる。そこで、いま、図5-9に示すように正側及び負側の履歴曲線の、それぞれ、変位が最大、最小になる点を直線で結び、この勾配を等価剛性 K_e と定義する。等価剛性は、RC橋脚が非線形域に入った後に、どの程度の瞬間的な固有周期を有するかを知るために、非常に重要なパラメータである。図5-10はこのようにして求めた等価剛性 K_e と載荷変位振幅 δ の関係が、載荷パターンによりどのようになるかを示したものである。

これは、図5-8に示した履歴曲線の骨格曲線を剛性という観点から示したものであるため、骨格曲線と基本的に同じ特性を示し、タイプ3載荷の場合を基準とすれば、変位増加途中の等価剛性はタイプ1載荷の等価剛性と、また、変位減少途中の等価剛性はタイプ2載荷の等価剛性と、それぞれ、良く一致している。

5-4 エネルギー吸収能

履歴曲線の囲む面積は、1サイクルの間に供試体が吸収した履歴エネルギーを表わしている。したがって毎回のくり返しごとの履歴吸収エネルギーを累積すると、全載荷過程で供試体が吸収したエネルギーの総和となるため、これを累積吸収エネルギーと呼び、これと載荷変位との関係を求めると図5-11のようになる。これによれば、タイプ1載荷とタイプ3載荷では、載荷終了時までの全累積吸収エネルギー量に

は大差は見られないが、タイプ2 载荷の場合の全累積吸収エネルギーは、これらの場合に比較して約30%程度小さな値を示している。これは、図5-6に示したように、最初に大きな载荷変位を受けたタイプ2 载荷の場合には、 $\pm 10 \delta_y$ の载荷途中で急激な耐力低下を起し、その後の履歴ループが全てこの影響を受けたために、タイプ1 载荷及びタイプ3 载荷に比較して累積吸収エネルギー量が小さくなったためと考えられる。

次に、1 サイクル当りに失なわれる履歴吸収エネルギーを図5-9に定義するように次式により等価な粘性減衰定数 h_e によって表わす。

$$h_e = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta W}{W} \quad (5-1)$$

ここで、 W 及び ΔW は図5-9に定義した通りである。式(5-1)による等価粘性減衰定数 h_e が载荷変位振幅によってどのように変化するかを示した結果が図5-12である。これによれば、タイプ1 载荷の場合とタイプ3 载荷の場合（変位増加過程及び変位減少過程）の等価粘性減衰定数はおおむね似たような値を示すのに対して、タイプ2 载荷の場合には、 $10 \delta_y$ で0.4程度の大きな値を示した後は、全体としてタイプ1 载荷及びタイプ3 载荷の場合よりも小さな減衰定数を与えている。この原因は、先に累積吸収エネルギーの所で示したものと同一と考えられる。

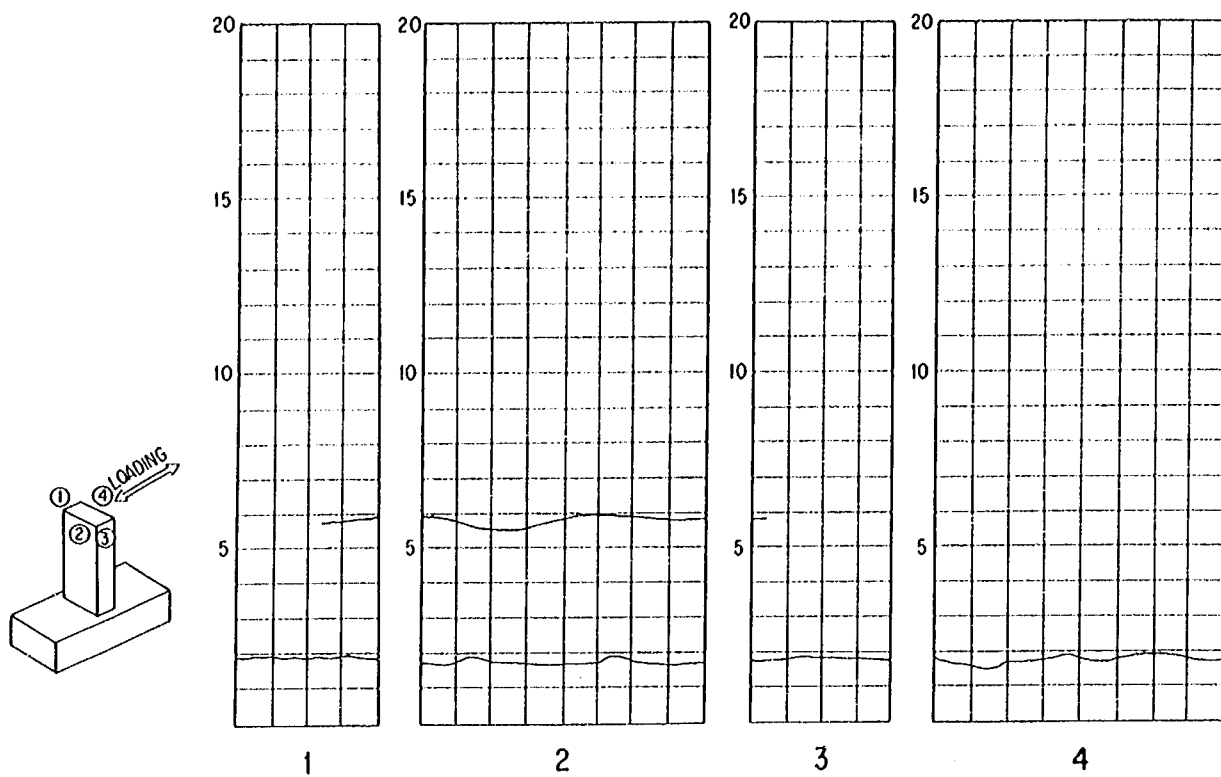


図 5 - 1. 1 供試体 40, $0.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

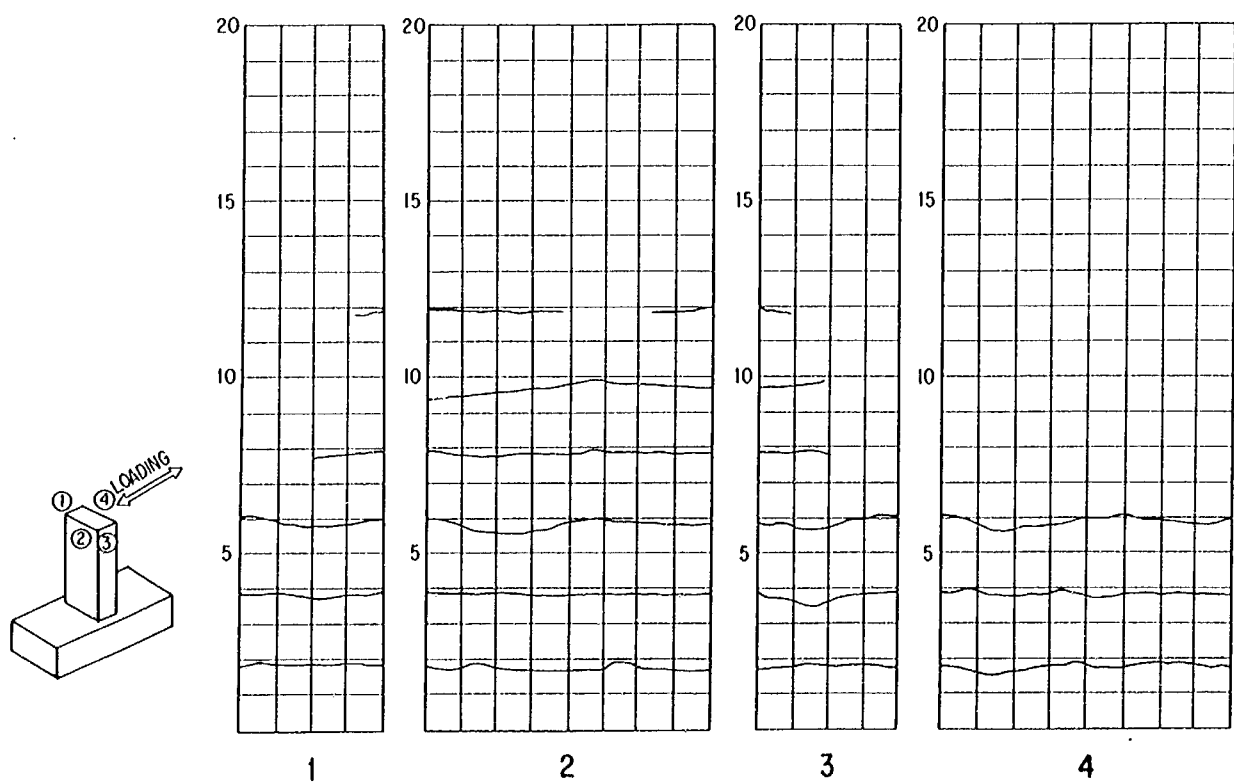


図 5 - 1. 2 供試体 40, $1 \delta_y$ 終了後の破壊状況

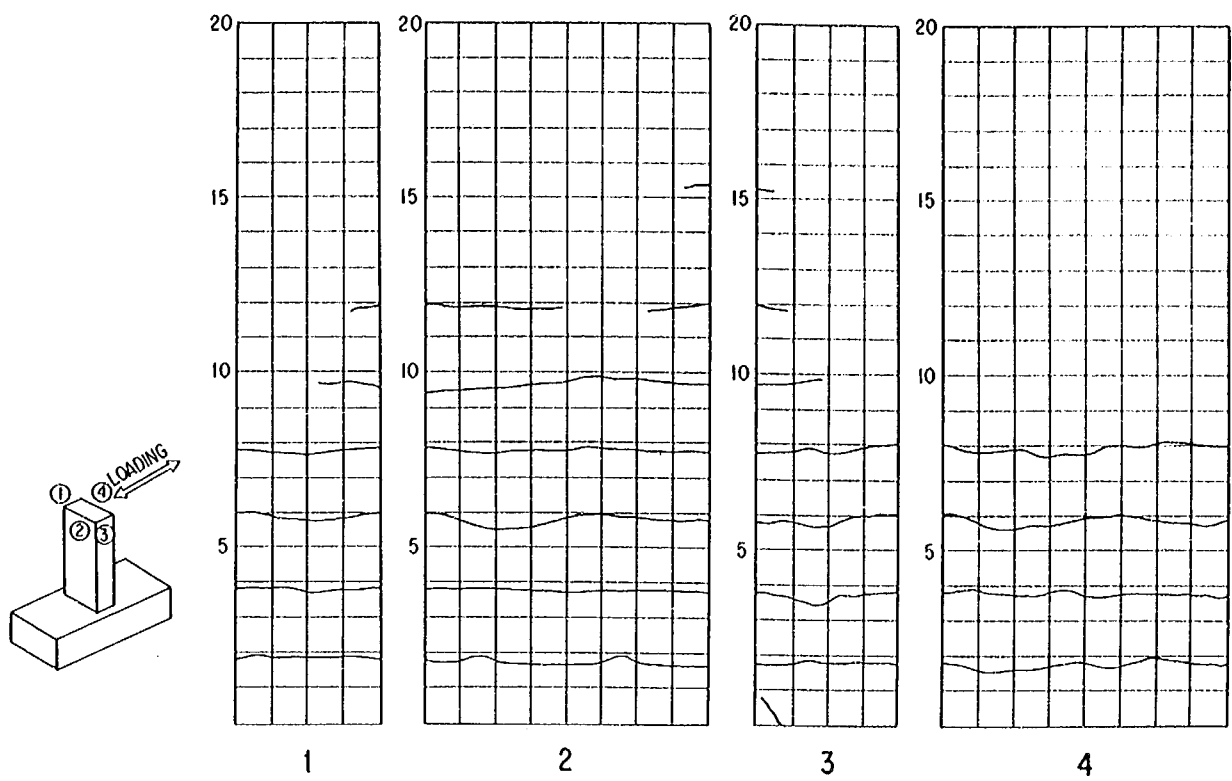


図 5 - 1.3 供試体 40, $1.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

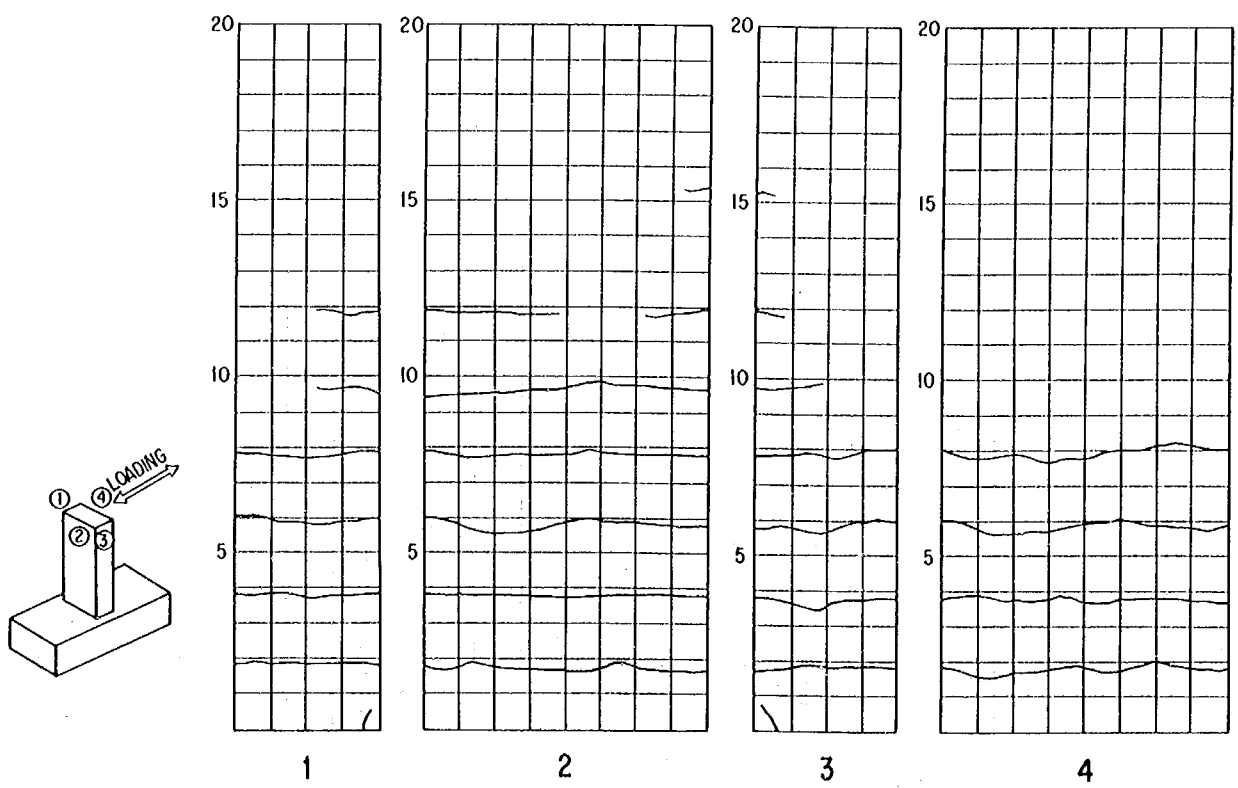


図 5 - 1.4 供試体 40, $2 \delta_y$ 終了後の破壊状況

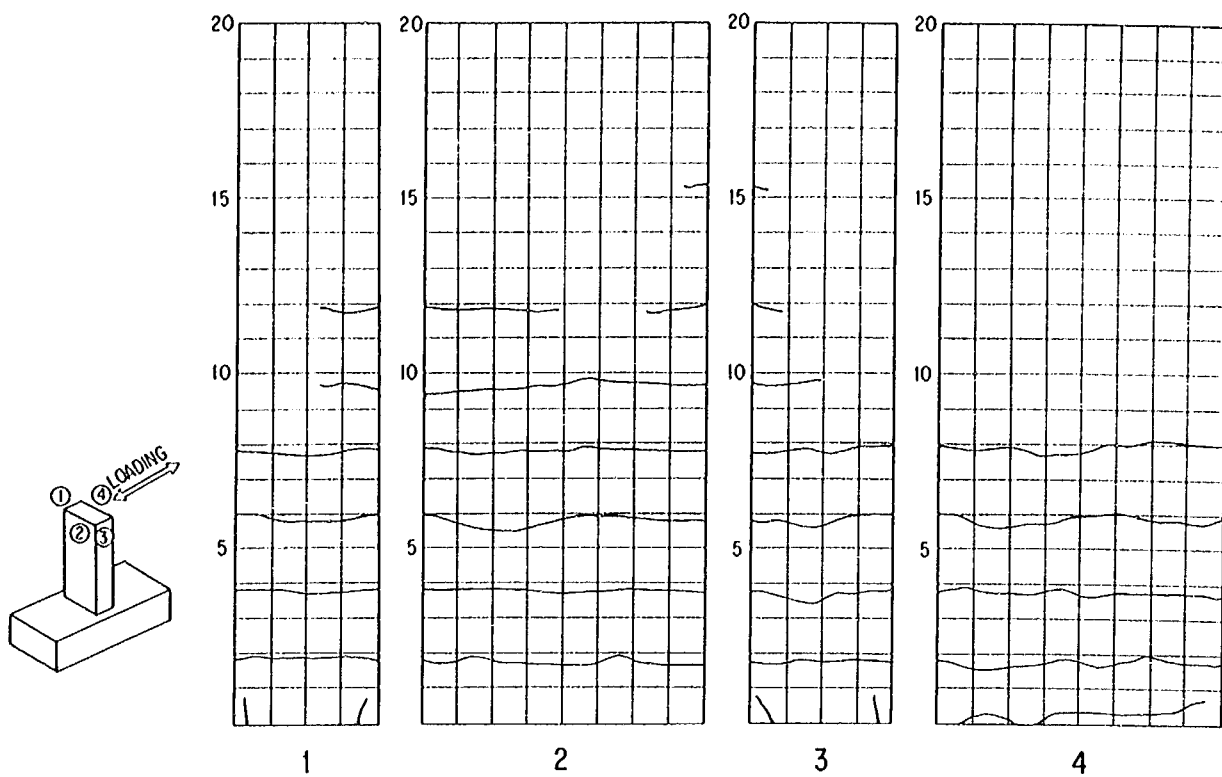


図 5 - 1. 5 供試体 40, $2.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

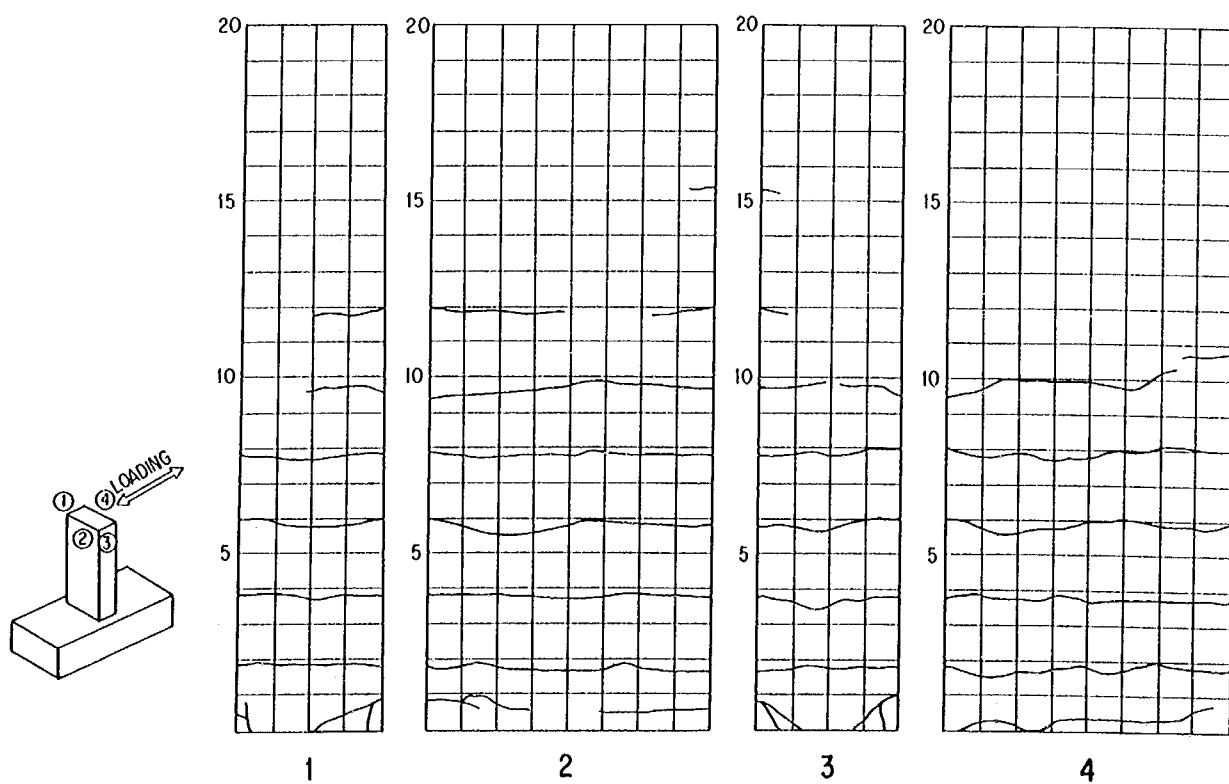


図 5 - 1. 6 供試体 40, $3 \delta_y$ 終了後の破壊状況

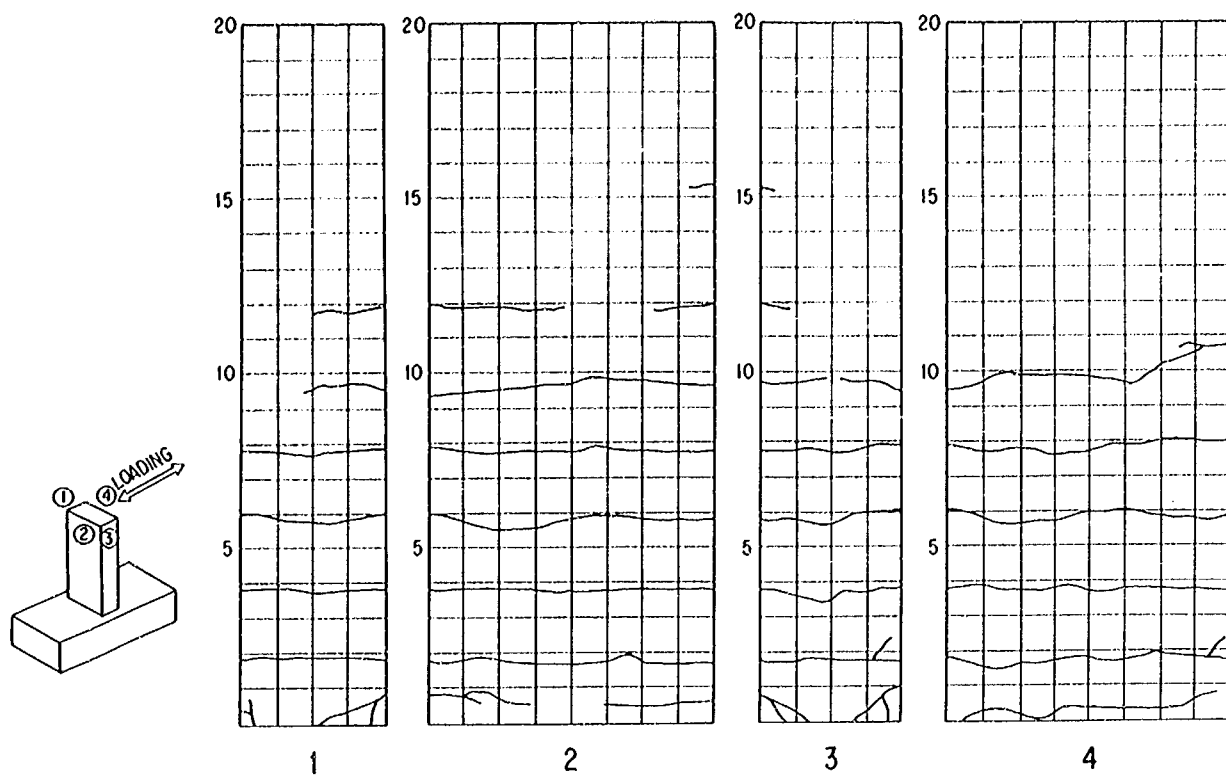


図 5 - 1. 7 供試体 40, $3.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

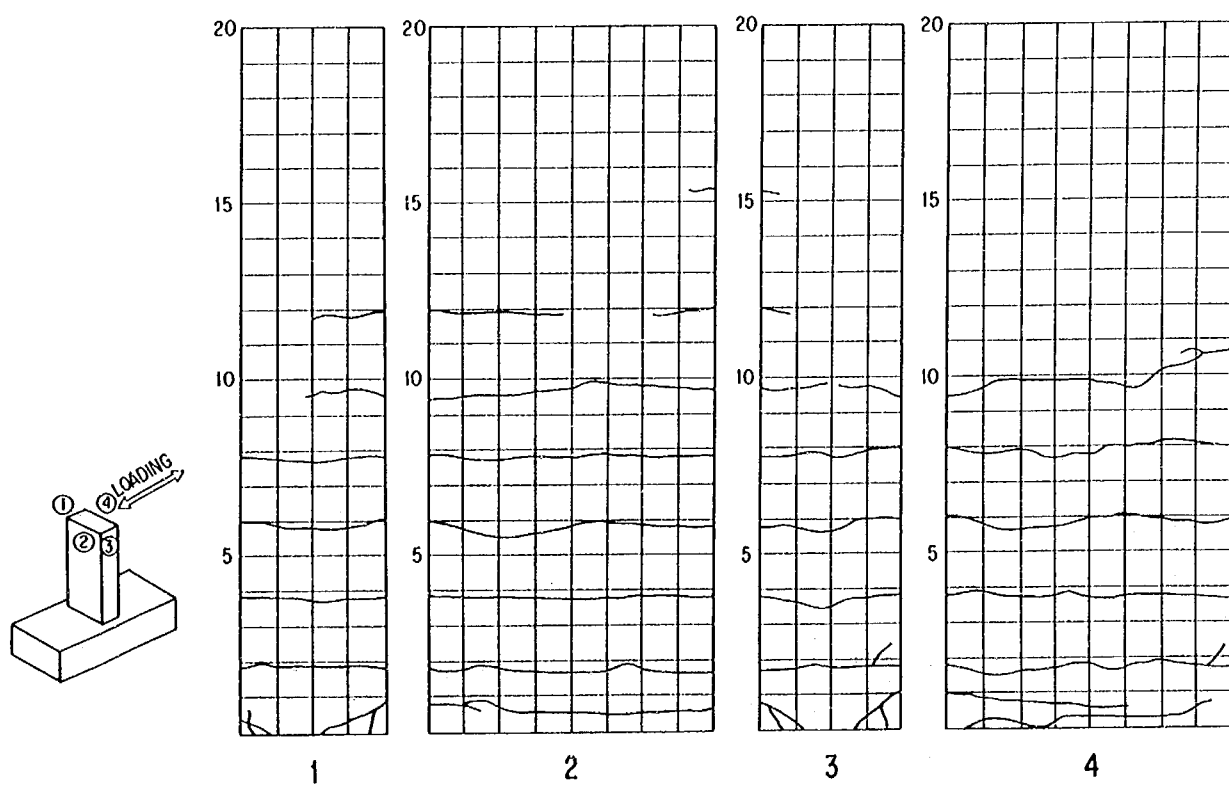


図 5 - 1. 8 供試体 40, $4 \delta_y$ 終了後の破壊状況

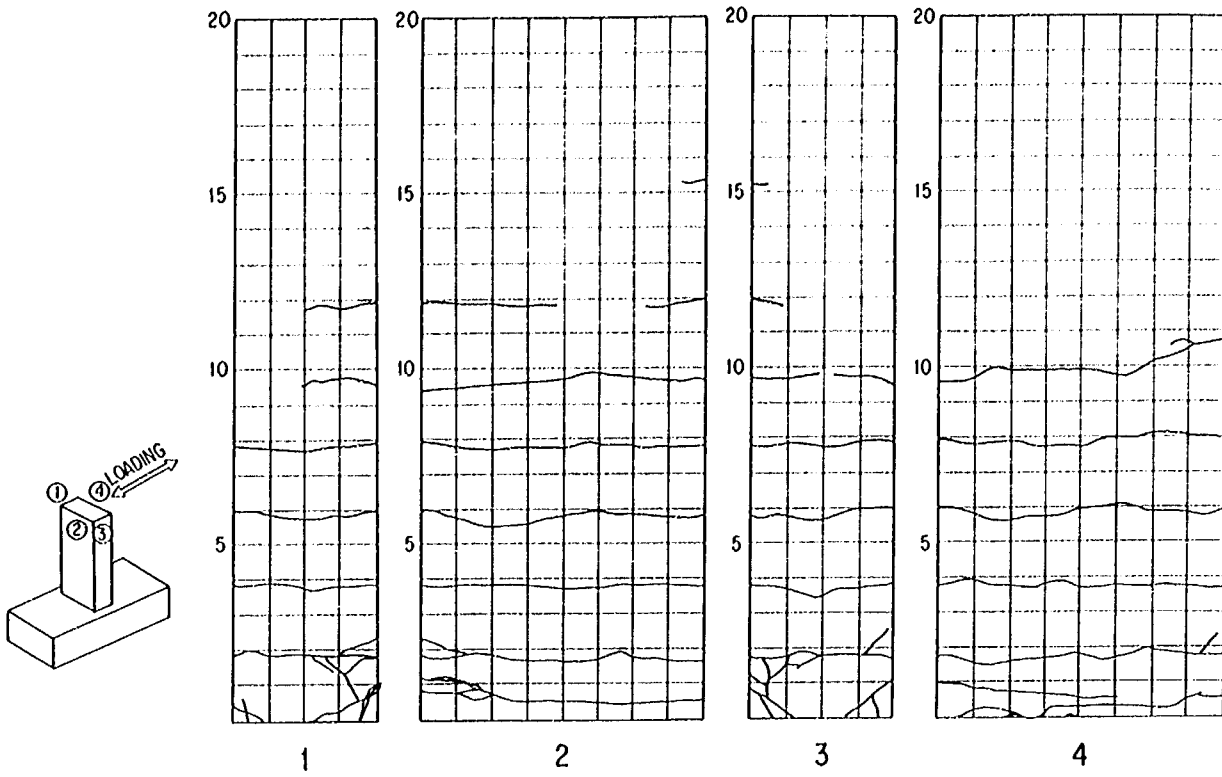


図 5 - 1. 9 供試体 40, $4.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

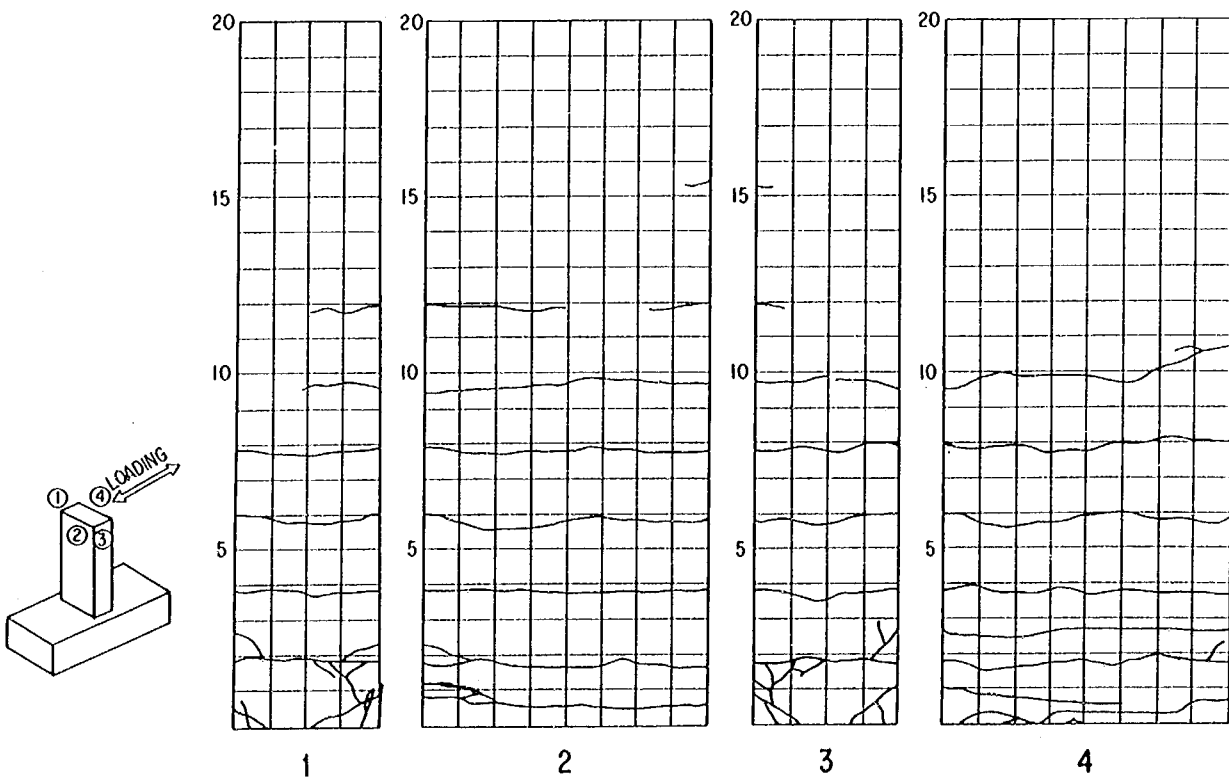


図 5 - 1. 10 供試体 40, $5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

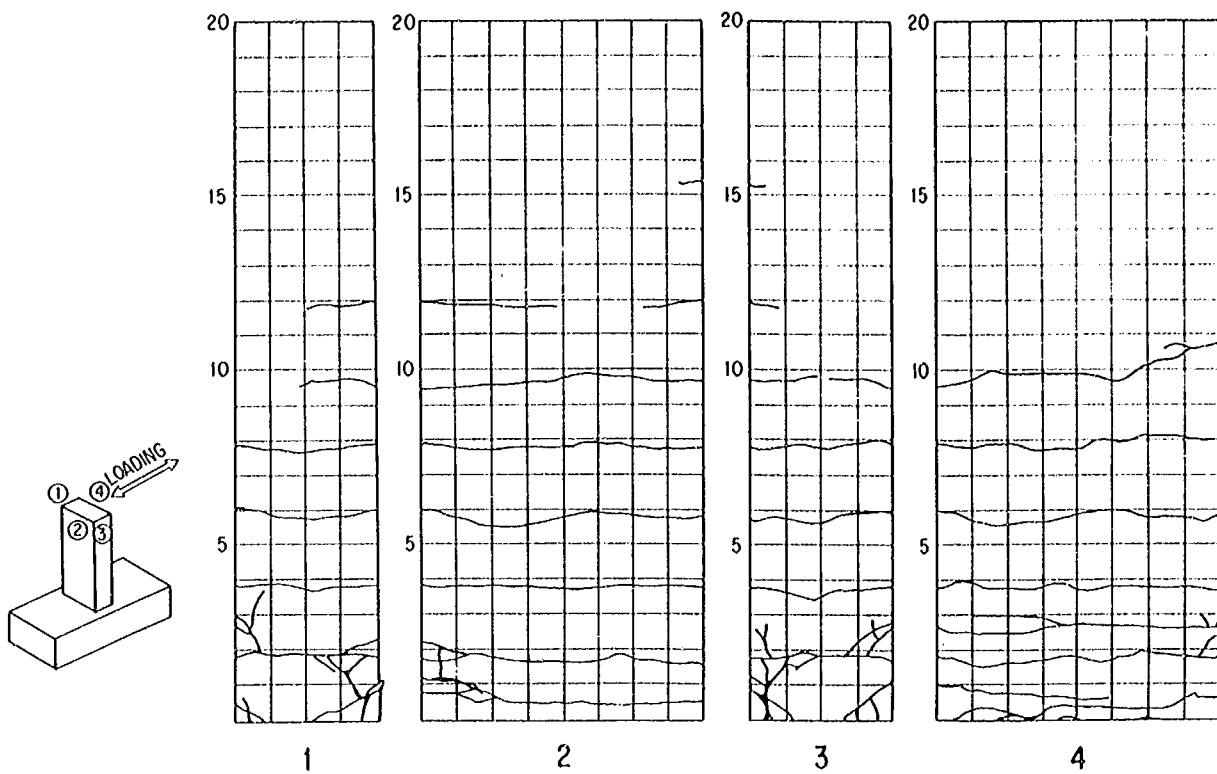


図 5 - 1.11 供試体 40, $5.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

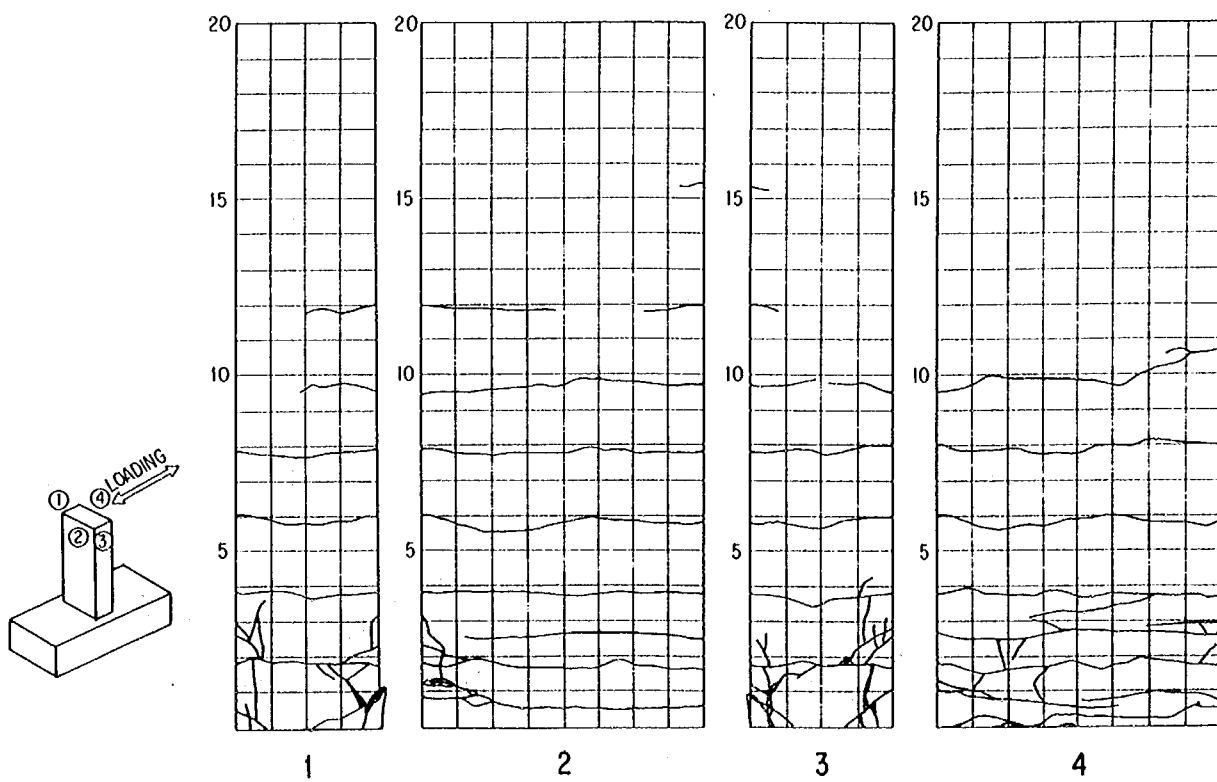


図 5 - 1.12 供試体 40, $6 \delta_y$ 終了後の破壊状況

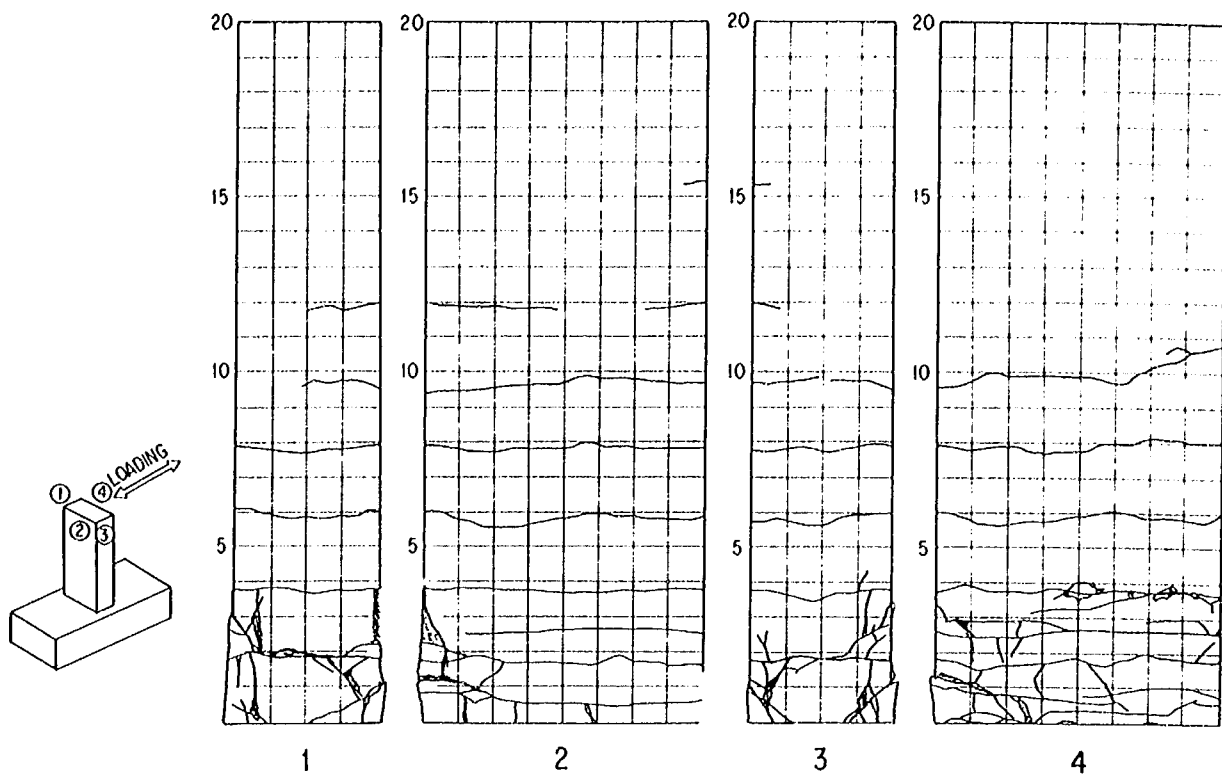


図 5 - 1.13 供試体 40, $6.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

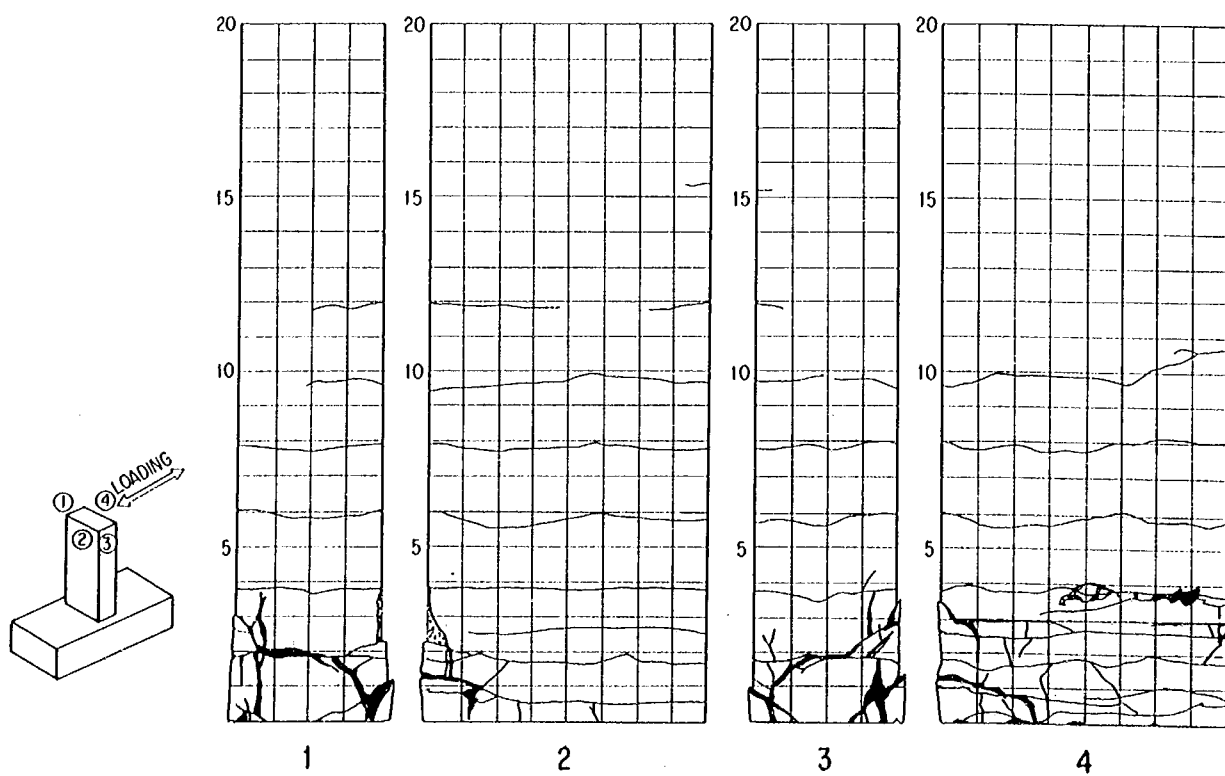


図 5 - 1.14 供試体 40, $7 \delta_y$ 終了後の破壊状況

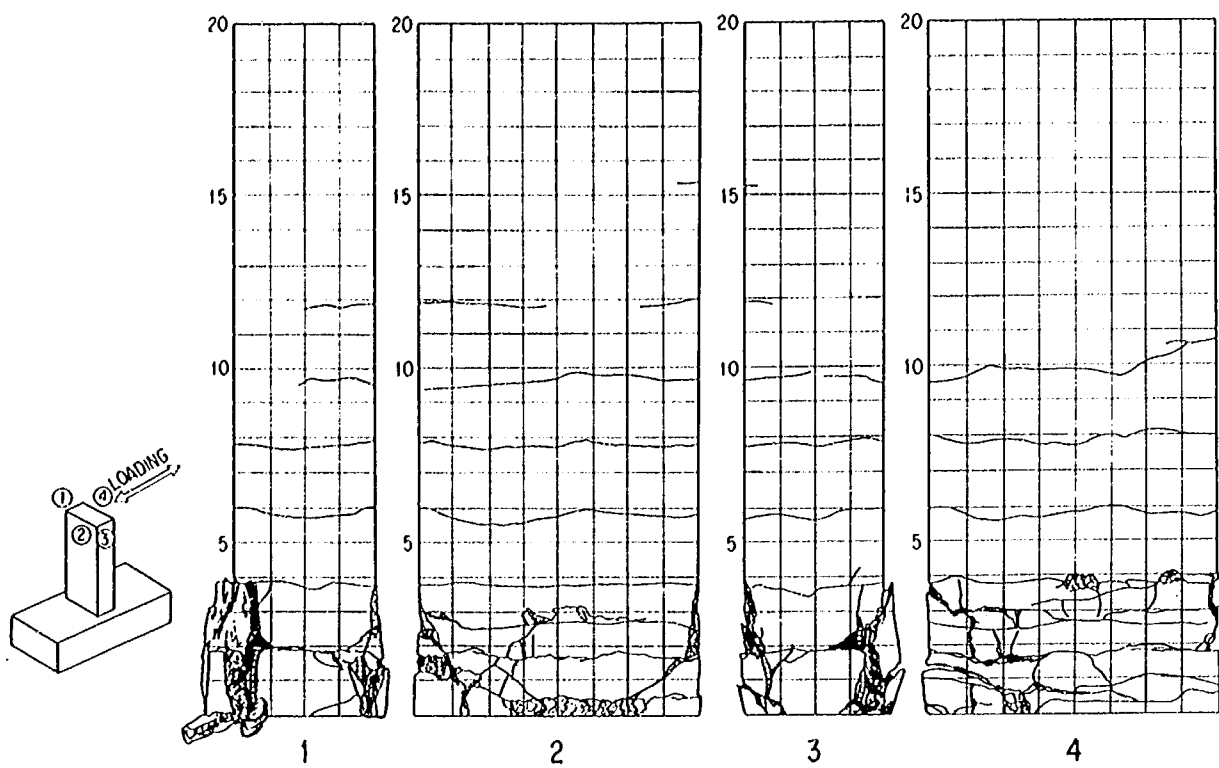


図 5 - 1.15 供試体 40, 7.5 δ_v 終了後の破壊状況

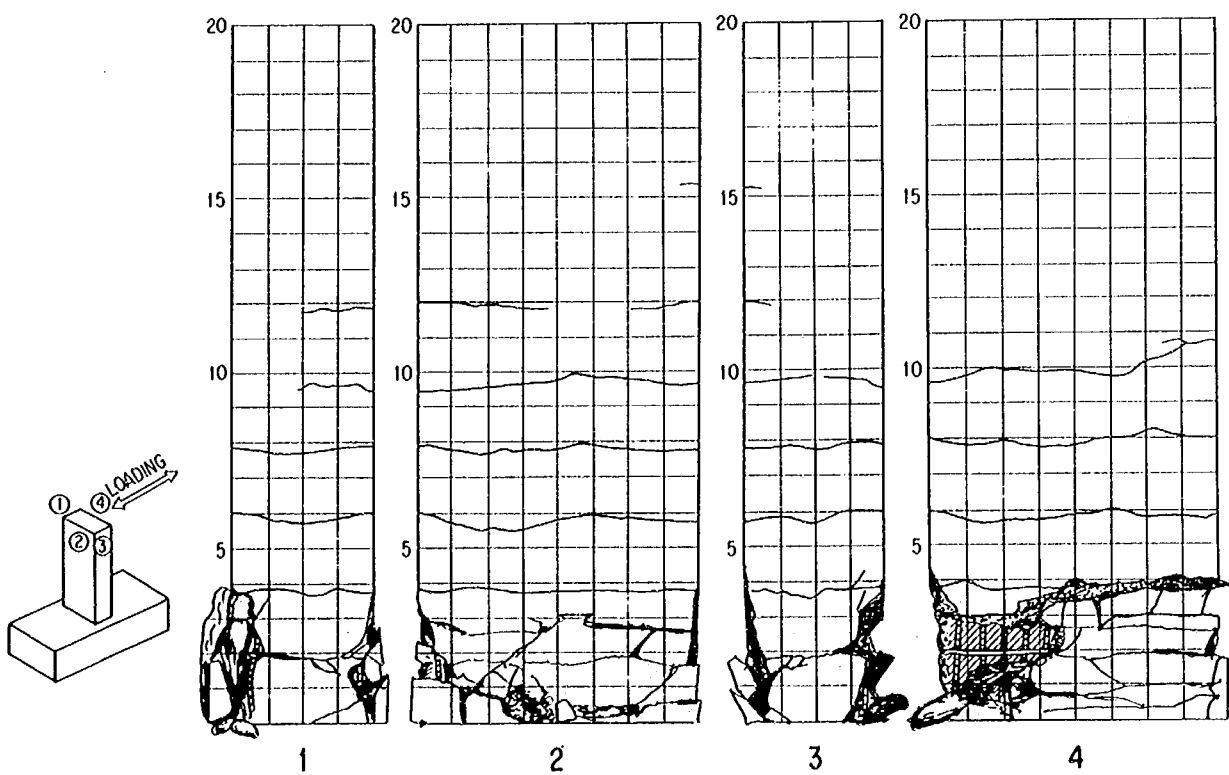


図 5 - 1.16 供試体 40, 8 δ_v 終了後の破壊状況

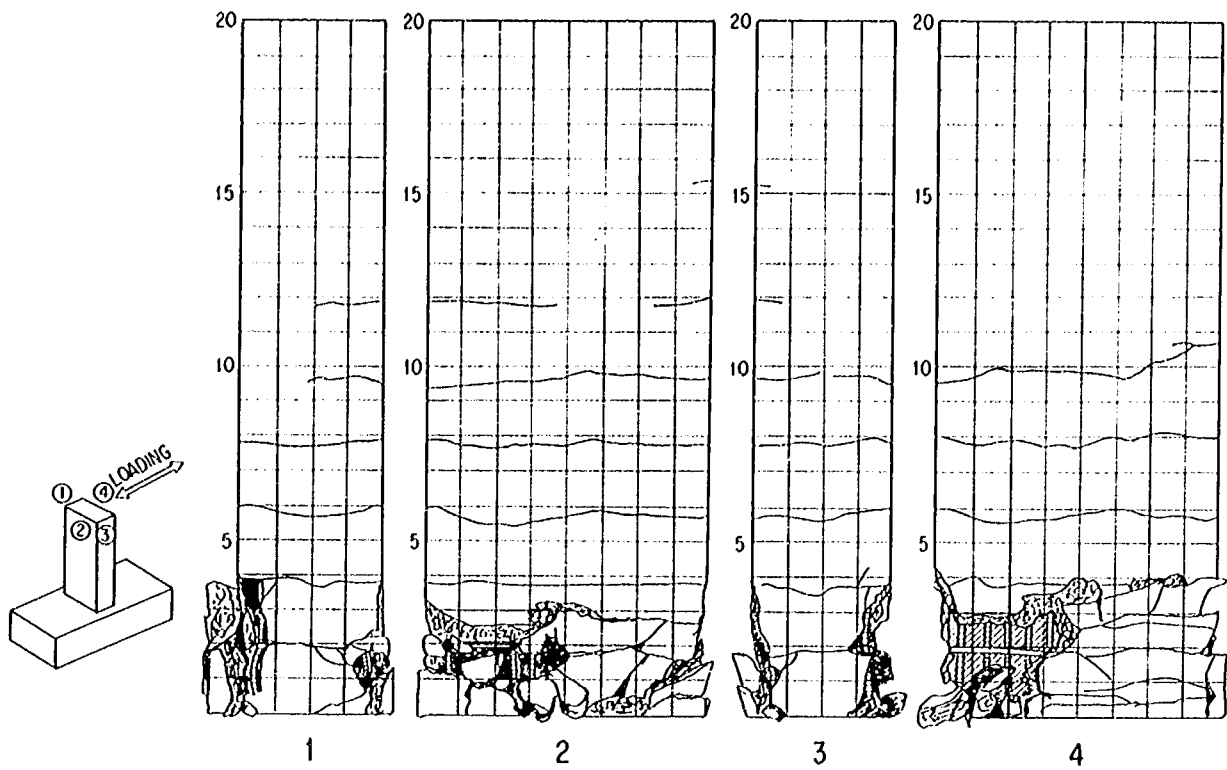


図 5 - 1.17 供試体 40, $8.5 \delta_v$ 終了後の破壊状況

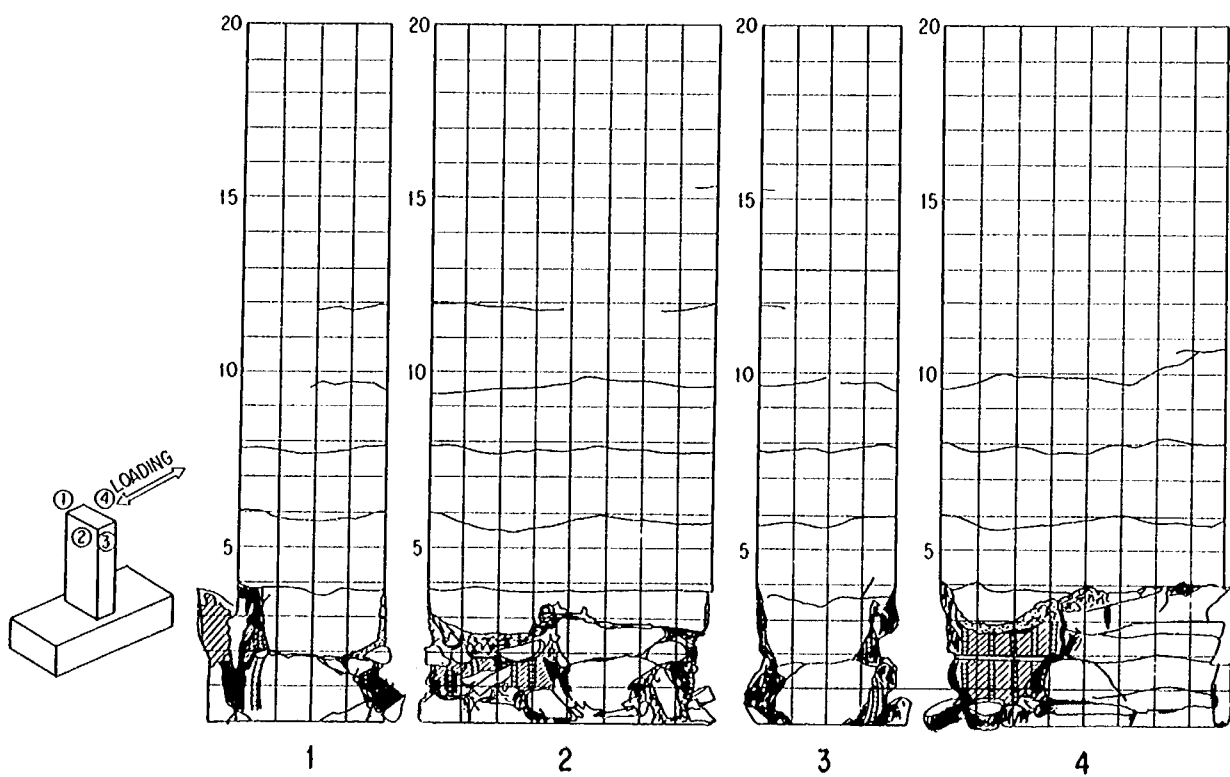


図 5 - 1.18 供試体 40, $9 \delta_v$ 終了後の破壊状況

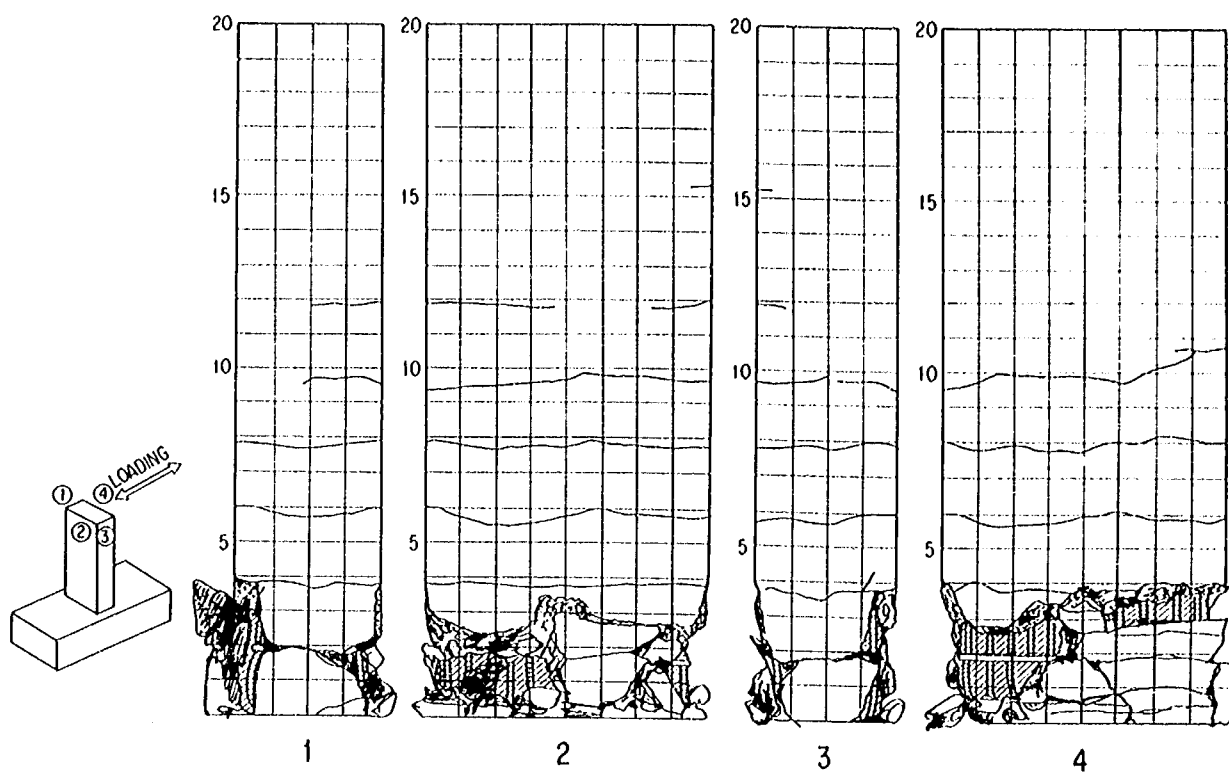


図 5 - 1.19 供試体 40, $9.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

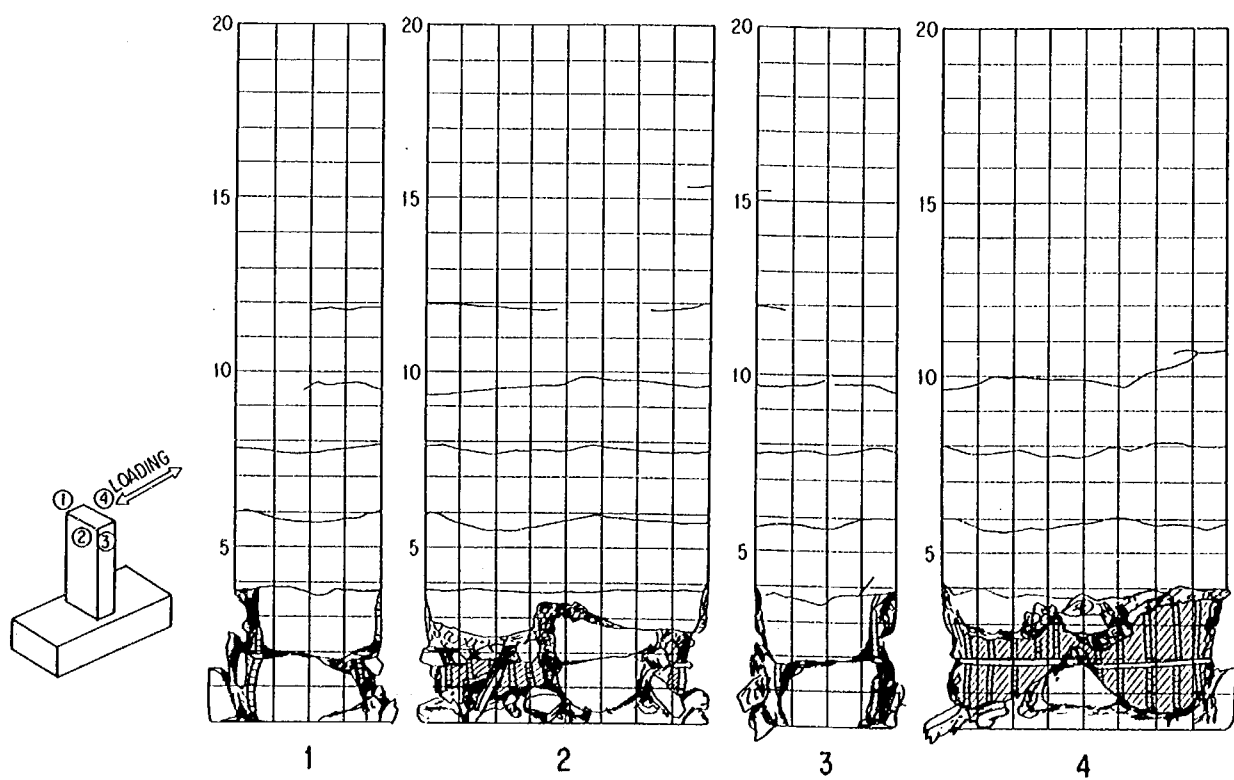


図 5 - 1.20 供試体 40, $10 \delta_y$ 終了後の破壊状況

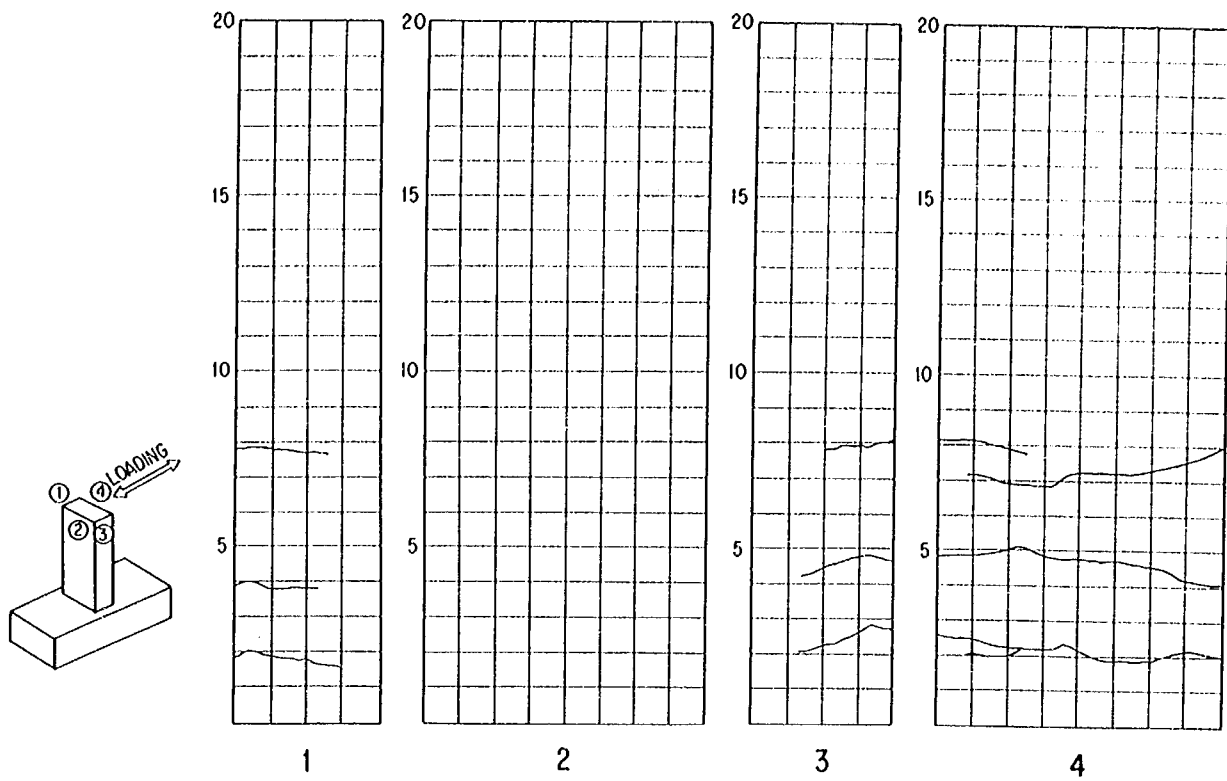


図 5 - 2.1 供試体 41, $+1 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

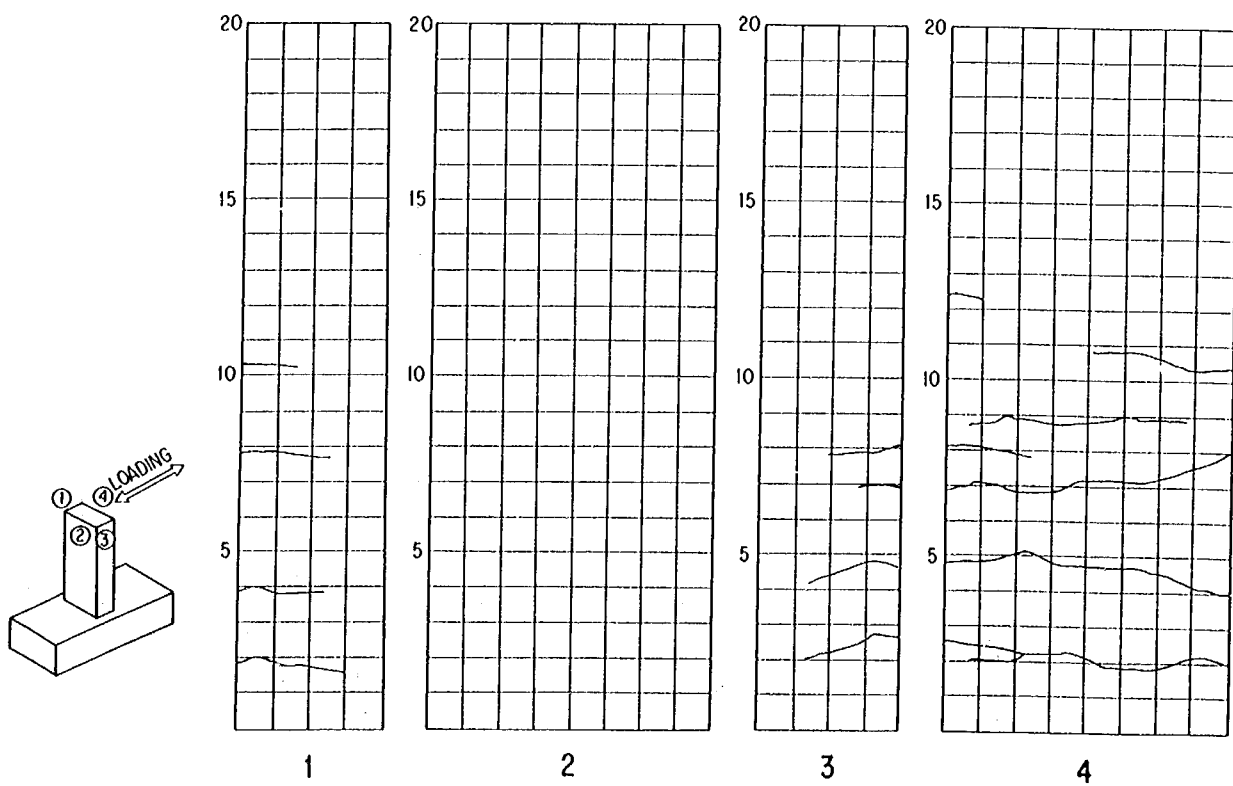


図 5 - 2.2 供試体 41, $+2 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

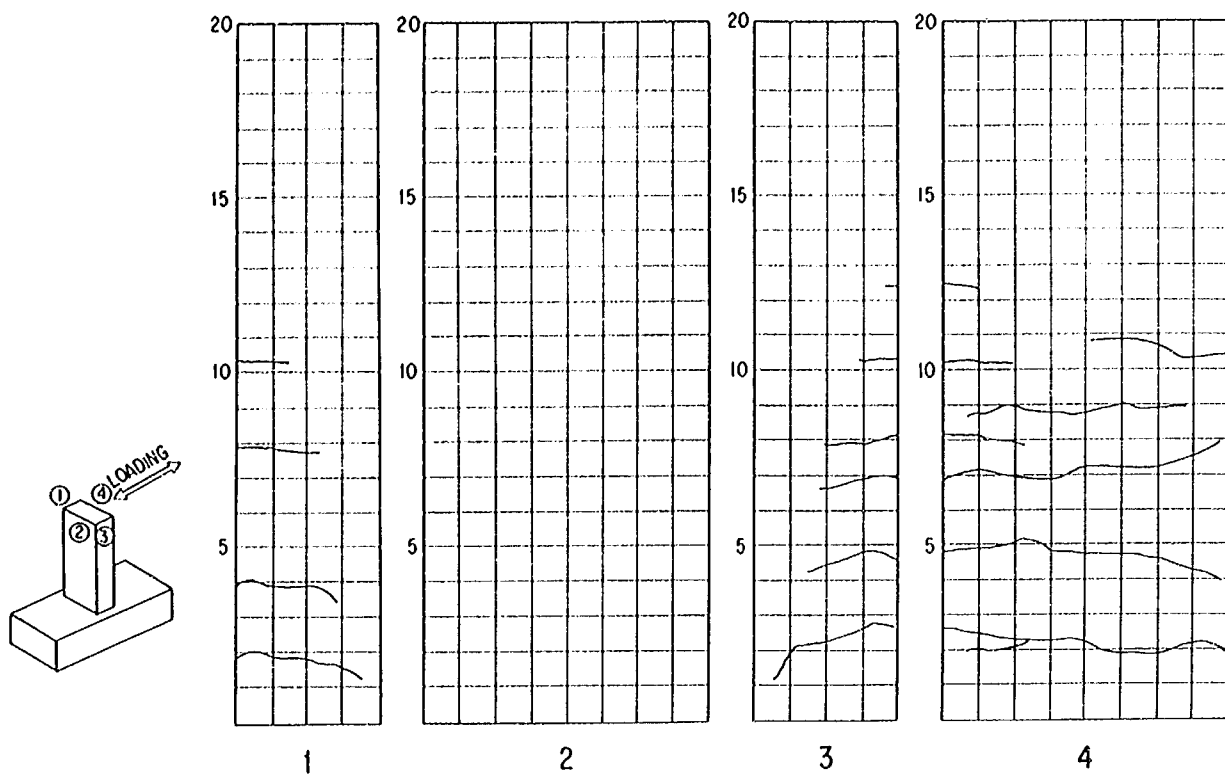


図 5 - 2. 3 供試体 41, $+3\delta_y$ 載荷時の破壊状況

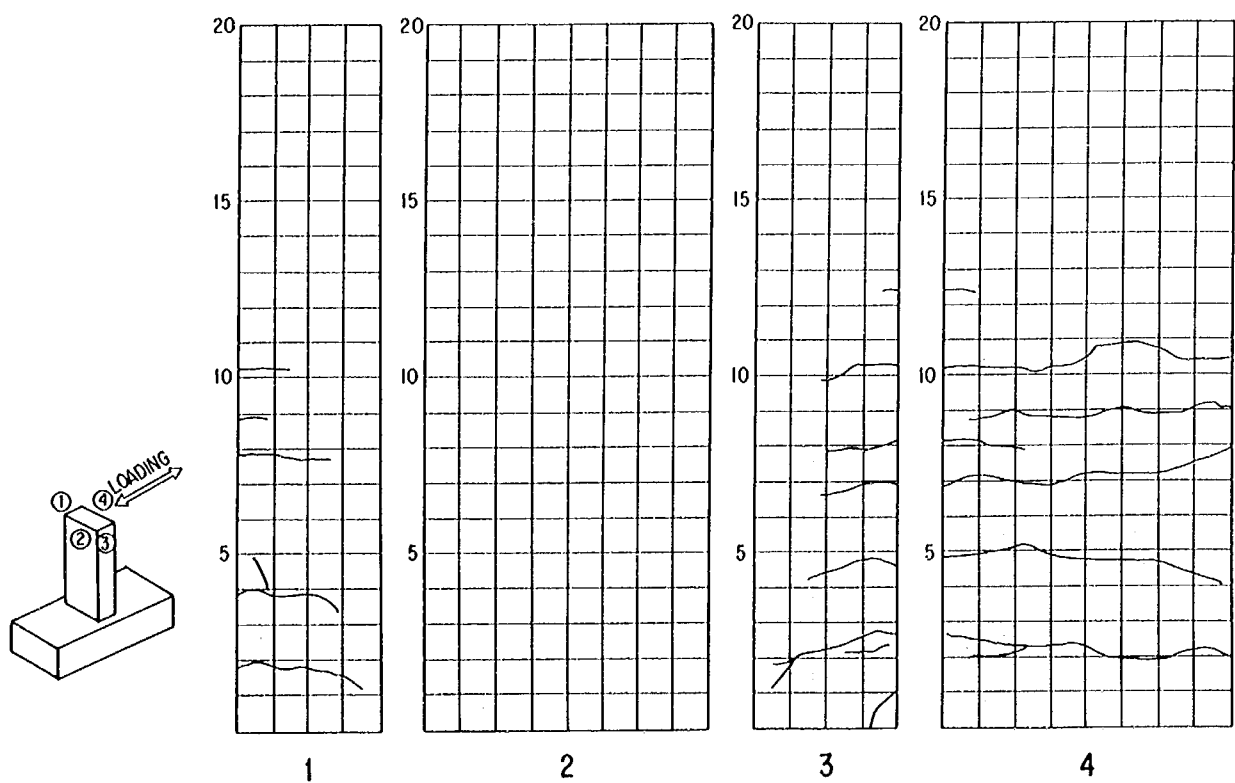


図 5 - 2. 4 供試体 41, $+4\delta_y$ 載荷時の破壊状況

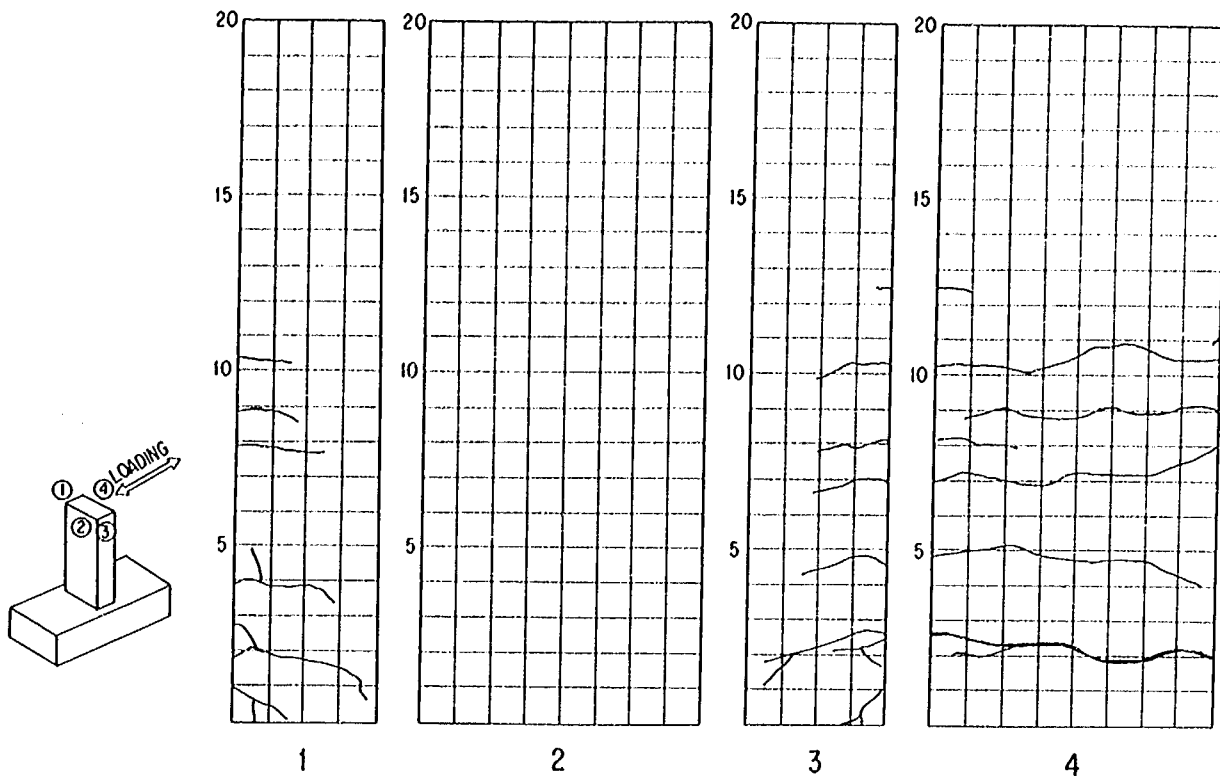


図 5 - 2. 5 供試体 41, $+5 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

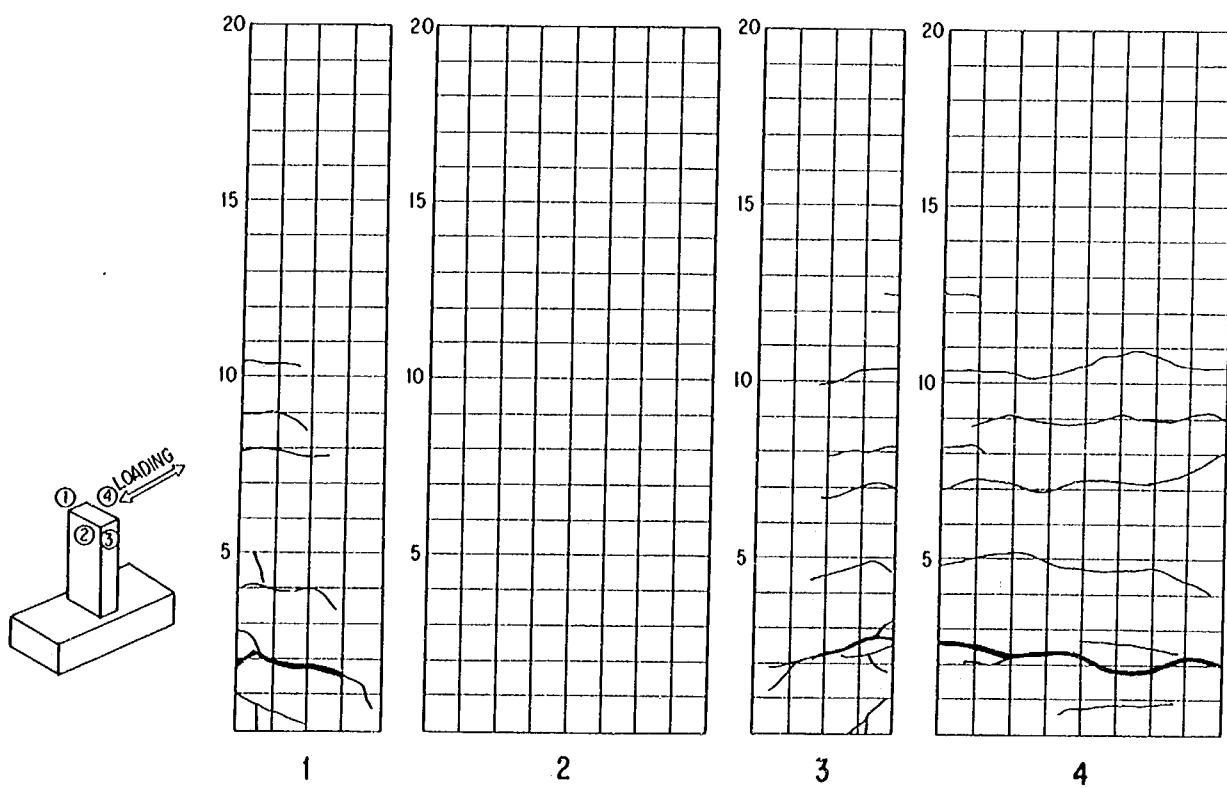


図 5 - 2. 6 供試体 41, $+6 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

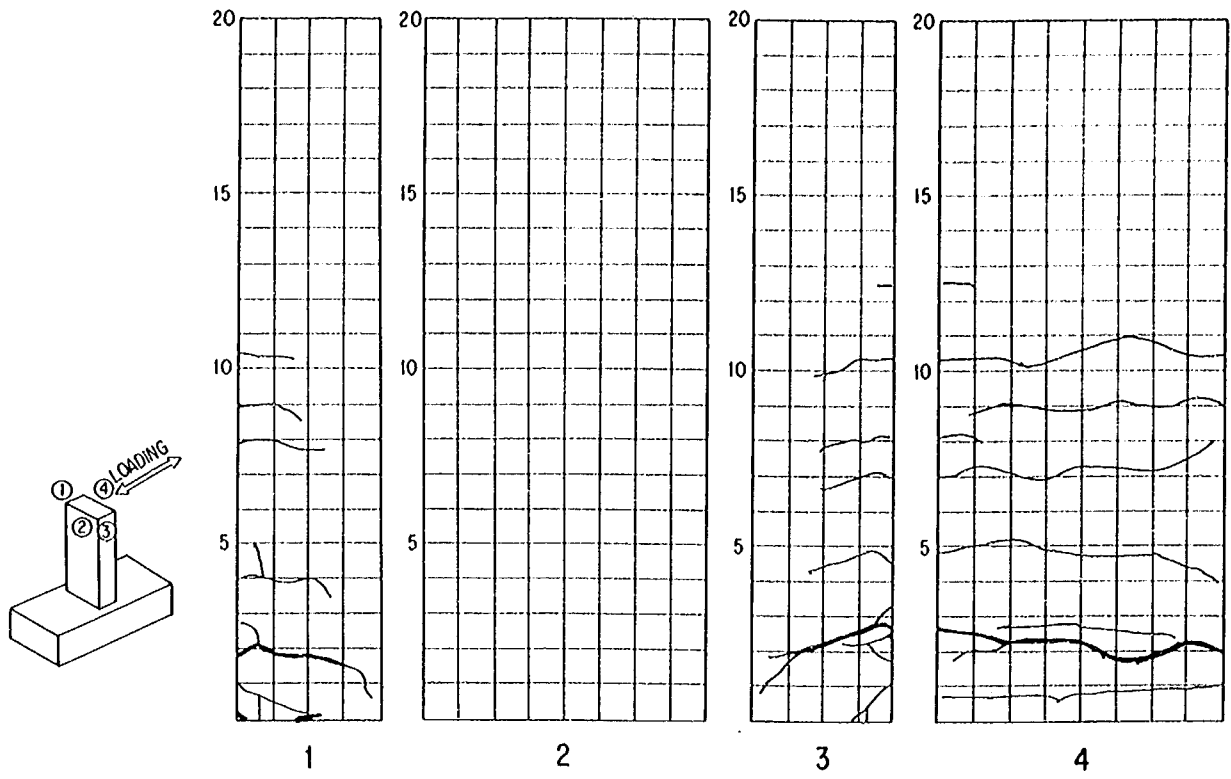


図 5 - 2. 7 供試体 41, $+7\delta_y$ 載荷時の破壊状況

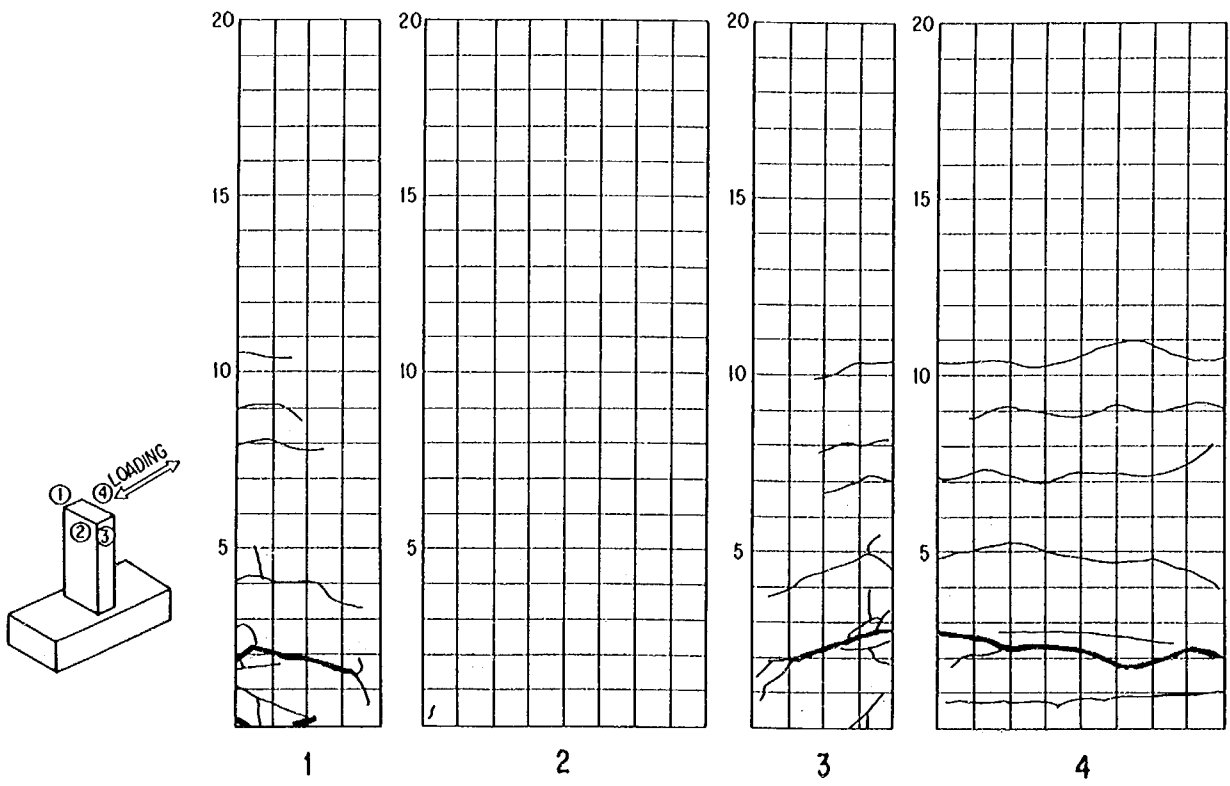


図 5 - 2. 8 供試体 41, $+8\delta_y$ 載荷時の破壊状況

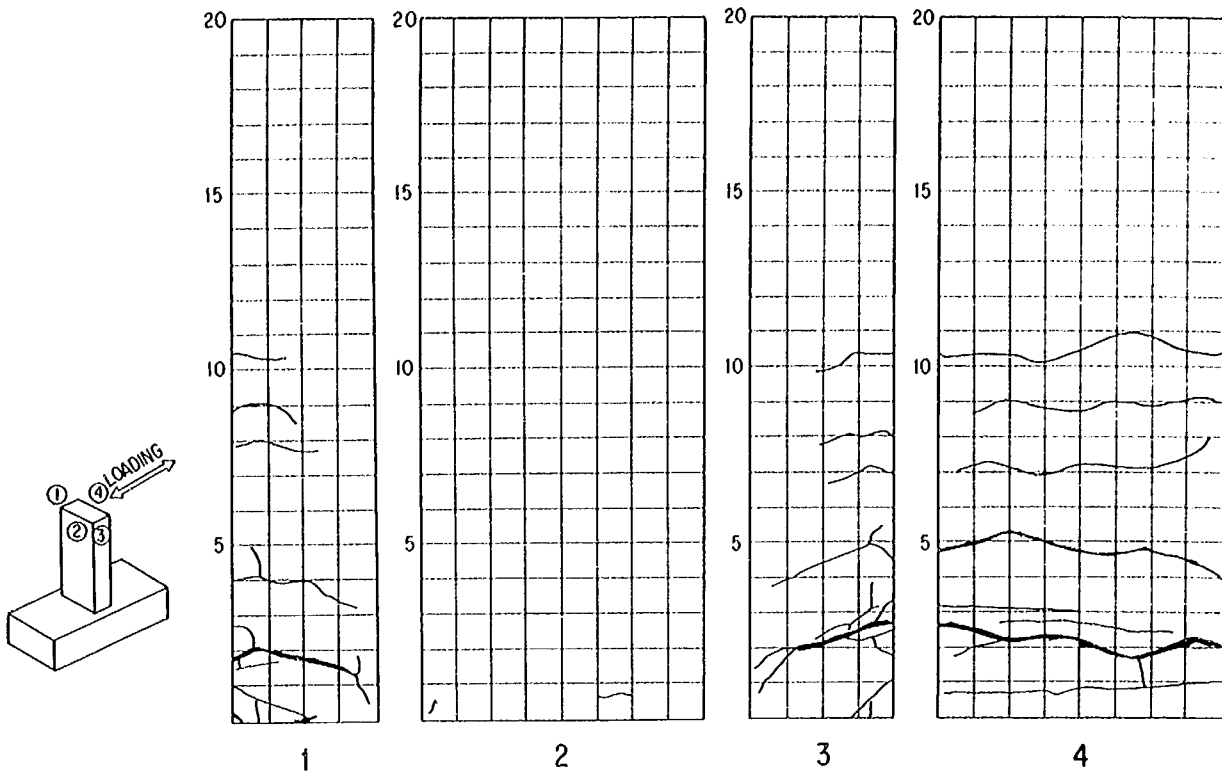


図 5 - 2. 9 供試体 41, $+9 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

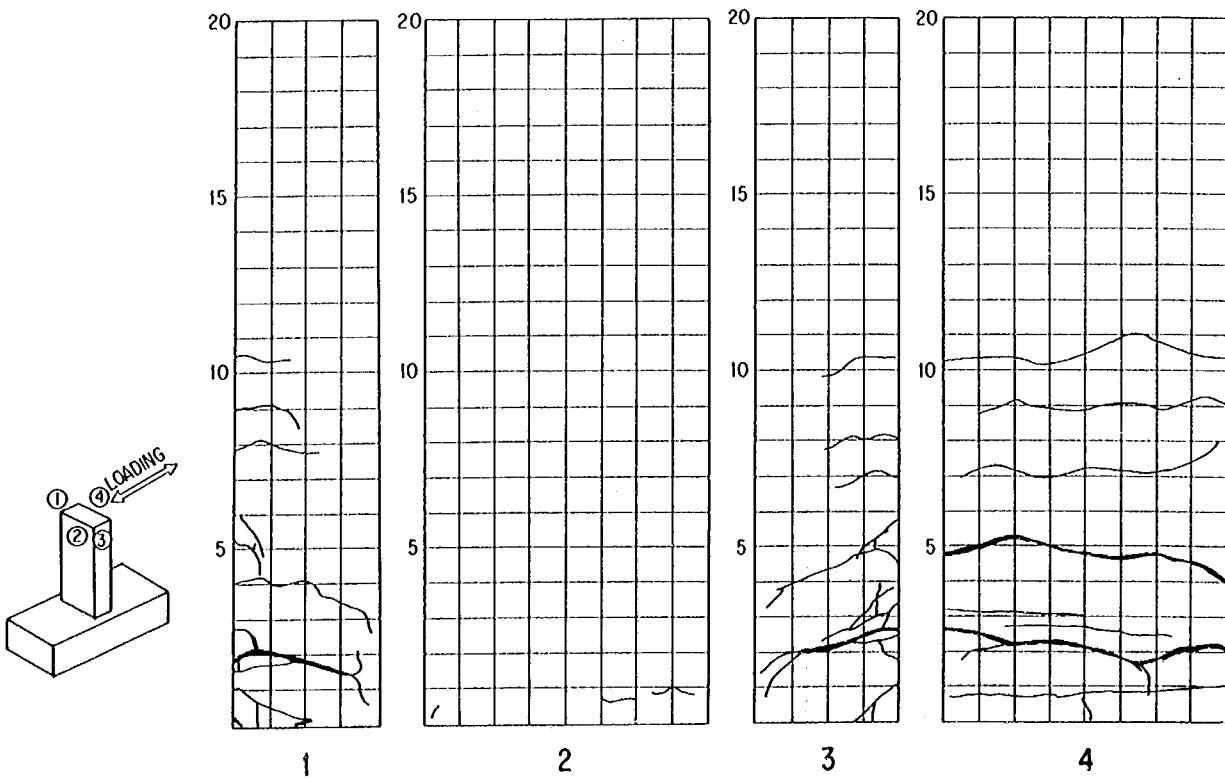


図 5 - 2. 10 供試体 41, $+10 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

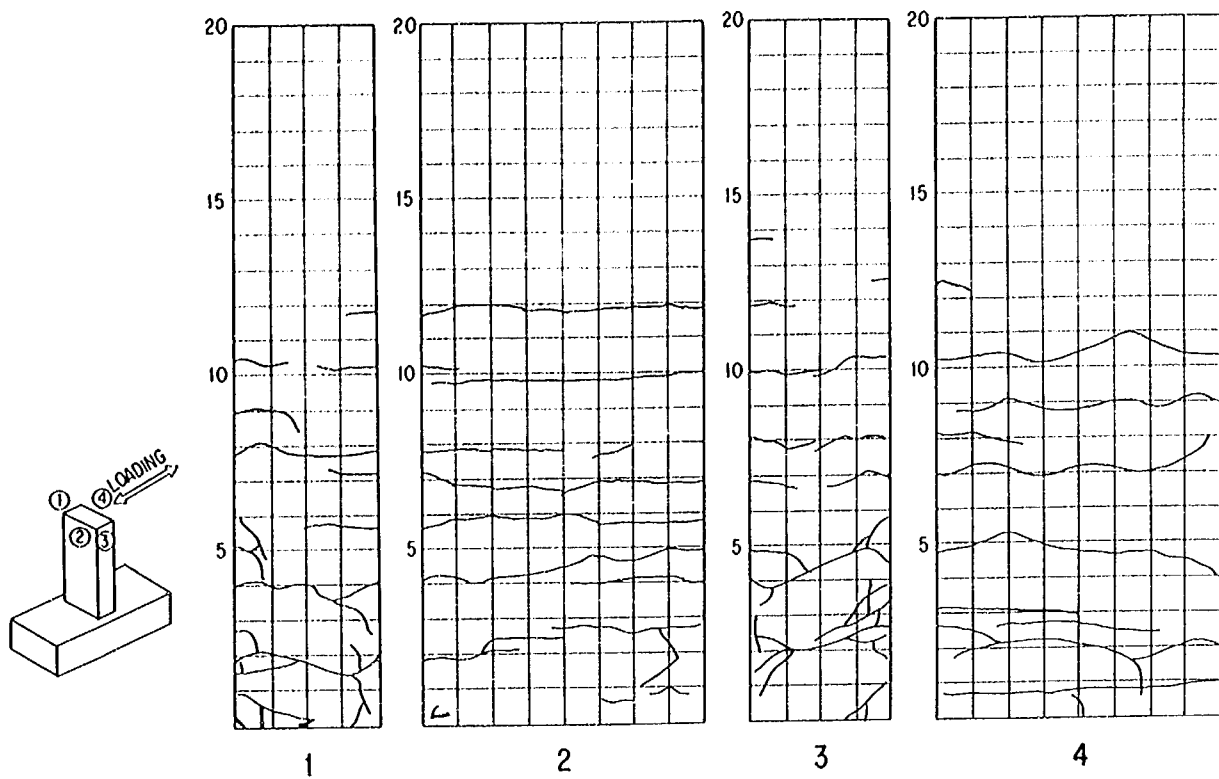


図 5 - 2.11 供試体 41, $-1 \delta_y$ 载荷時の破壊状況

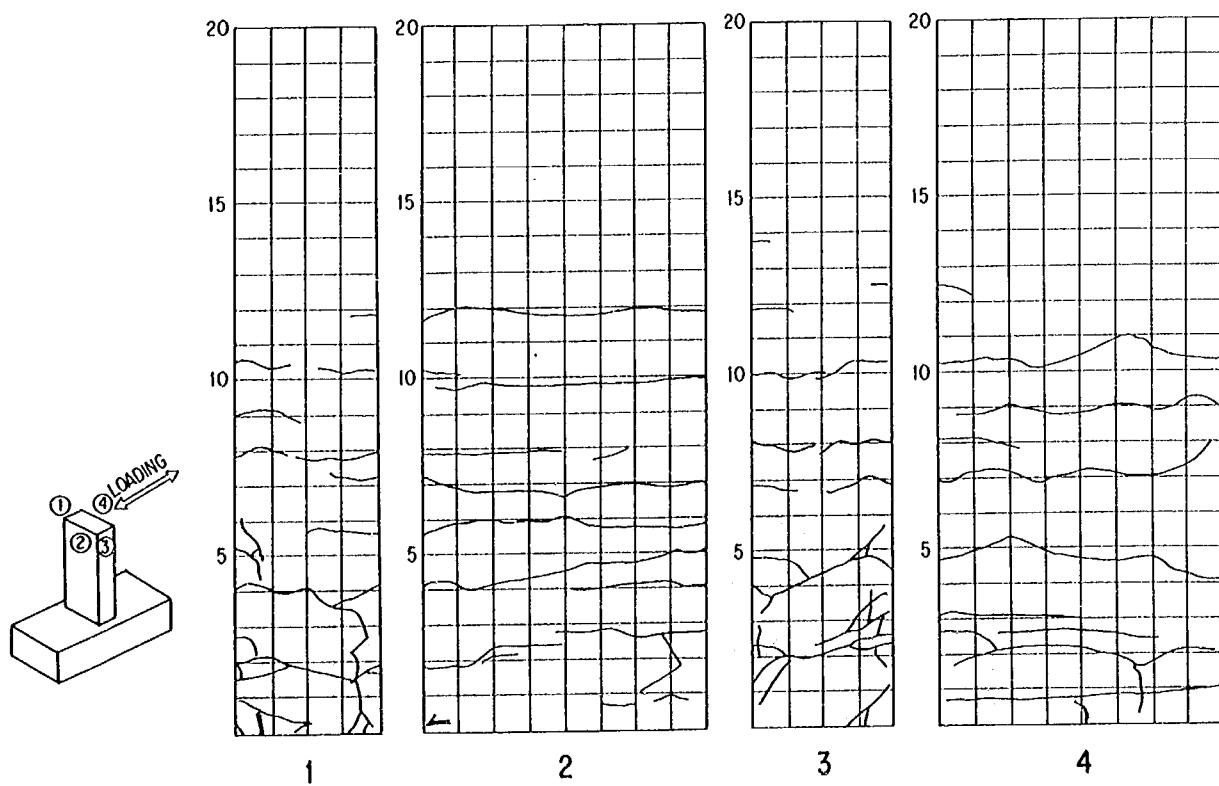


図 5 - 2.12 供試体 41, $-2 \delta_y$ 载荷時の破壊状況

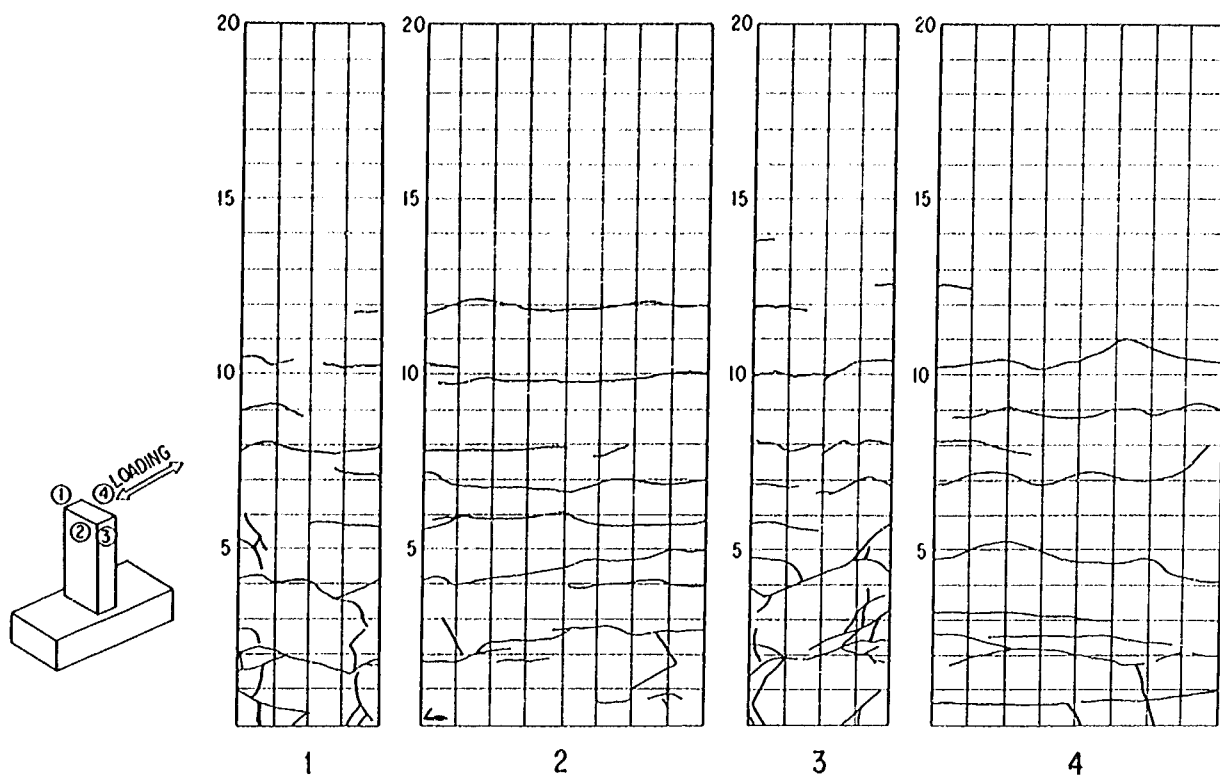


図 5 - 2. 13 供試体 41, $-3 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

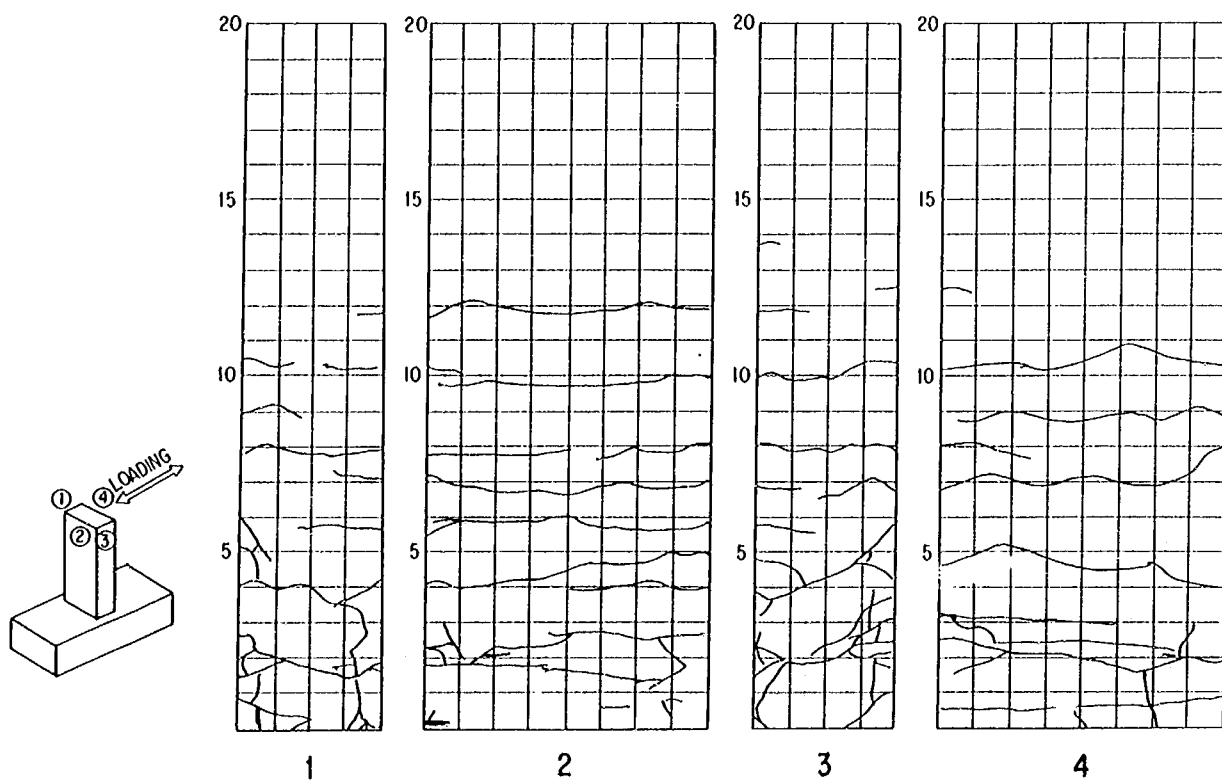


図 5 - 2. 14 供試体 41, $-4 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

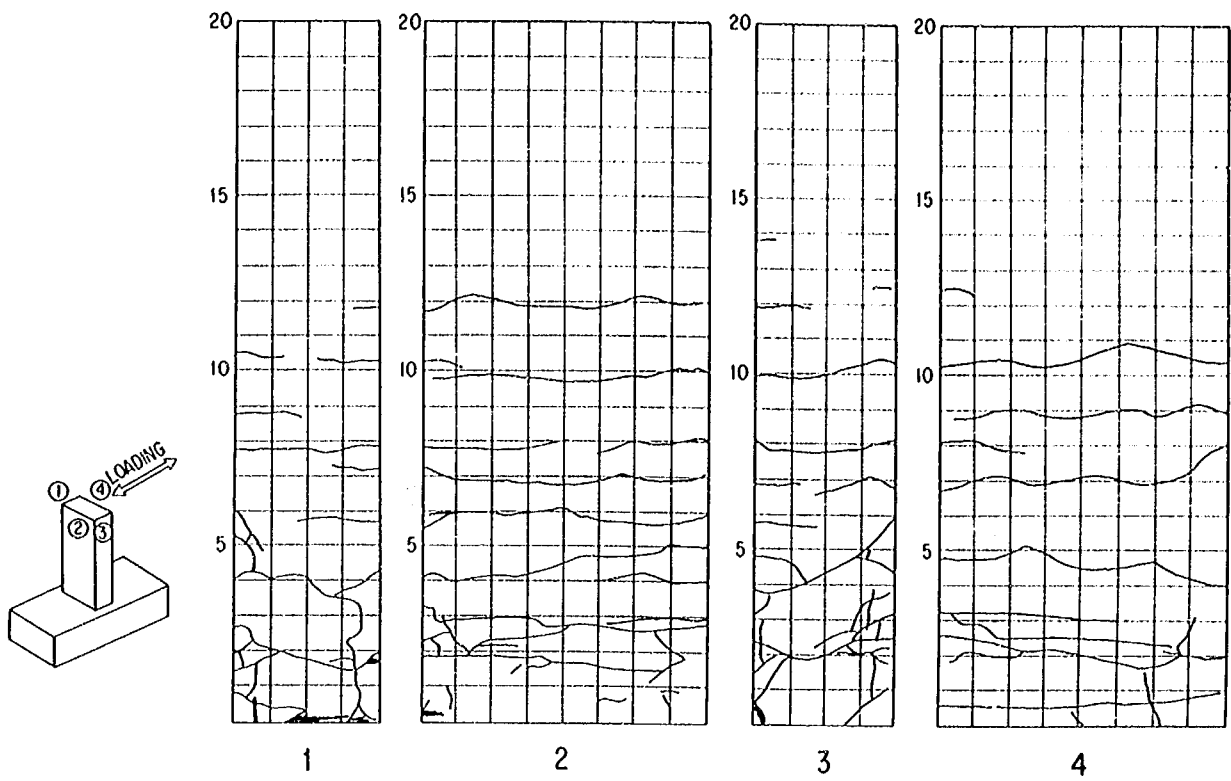


図 5 - 2. 15 供試体 41, $-5 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

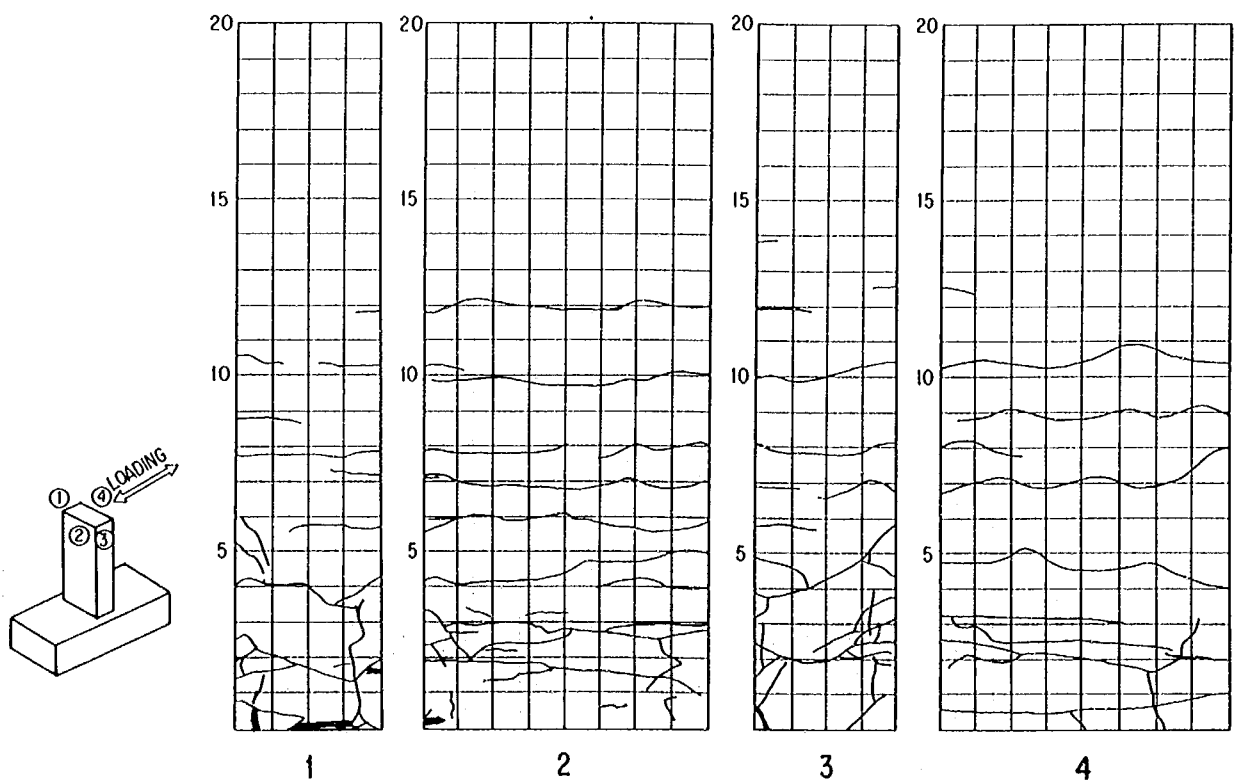


図 5 - 2. 16 供試体 41, $-6 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

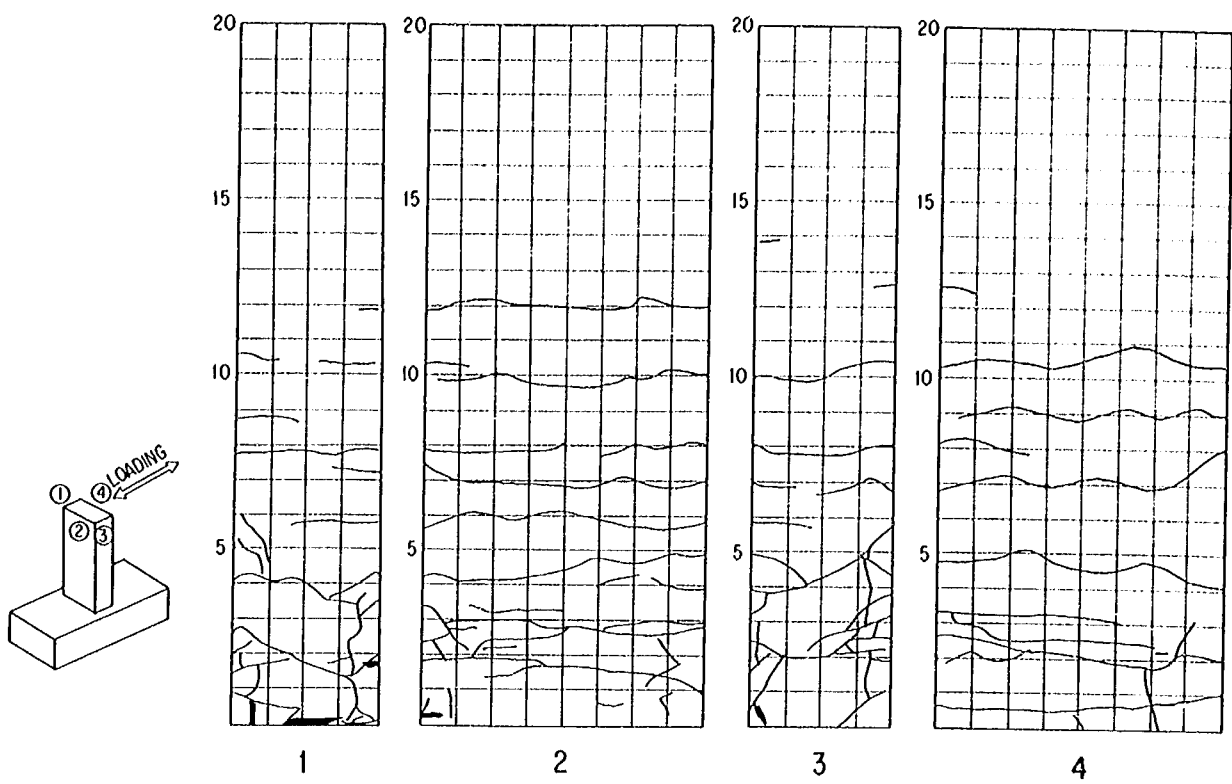


図 5 - 2.17 供試体 41, $-7 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

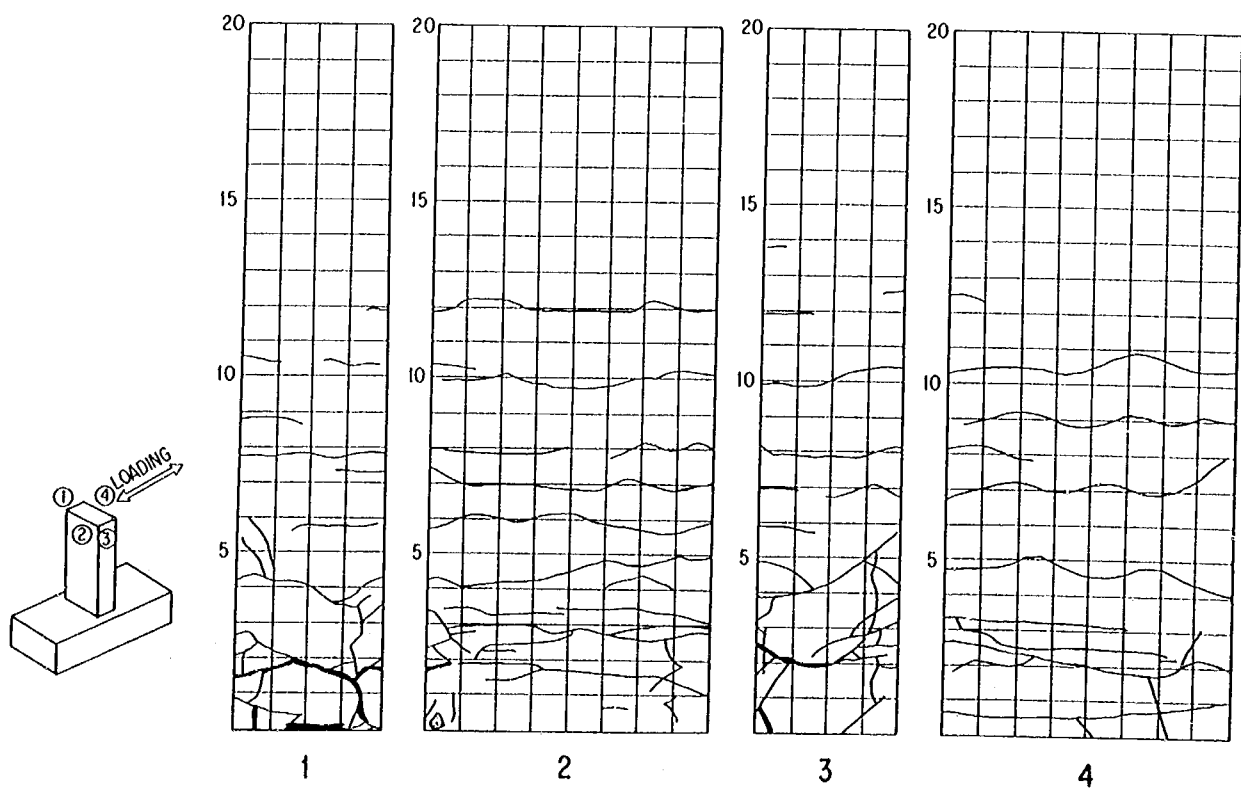


図 5 - 2.18 供試体 41, $-8 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

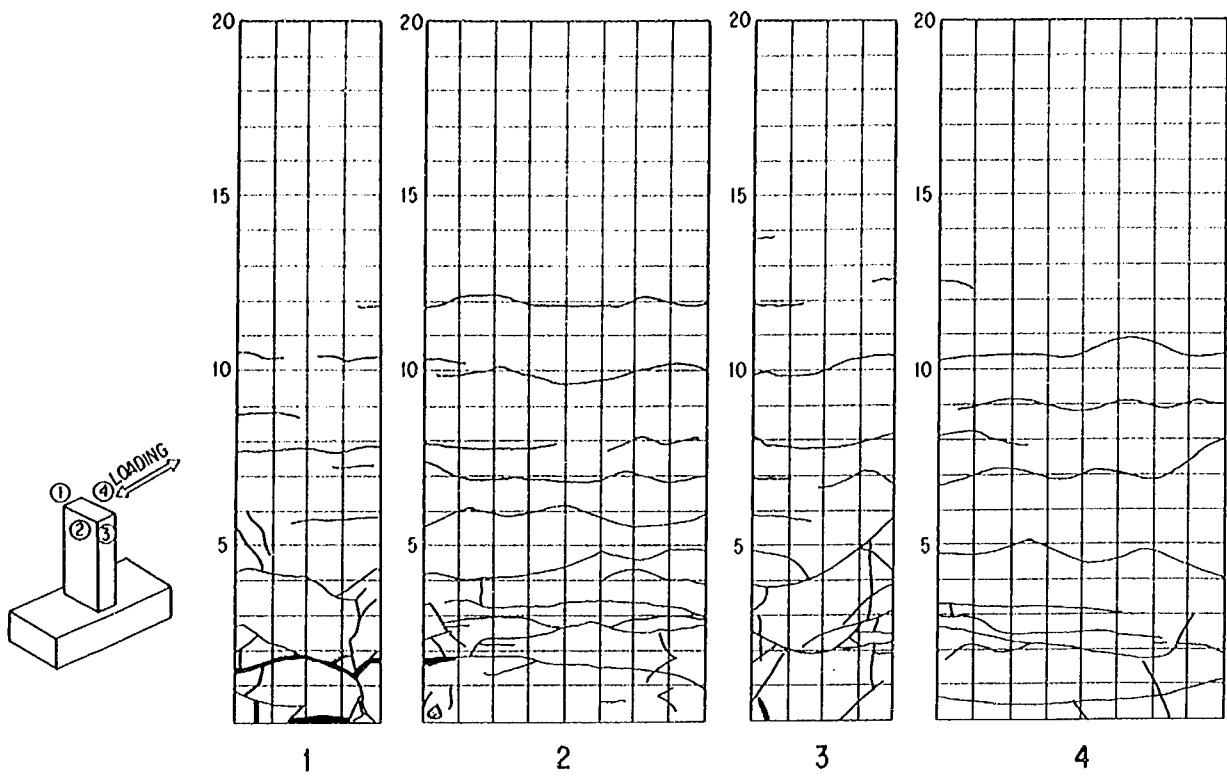


図 5 - 2. 19 供試体 41, $-9 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

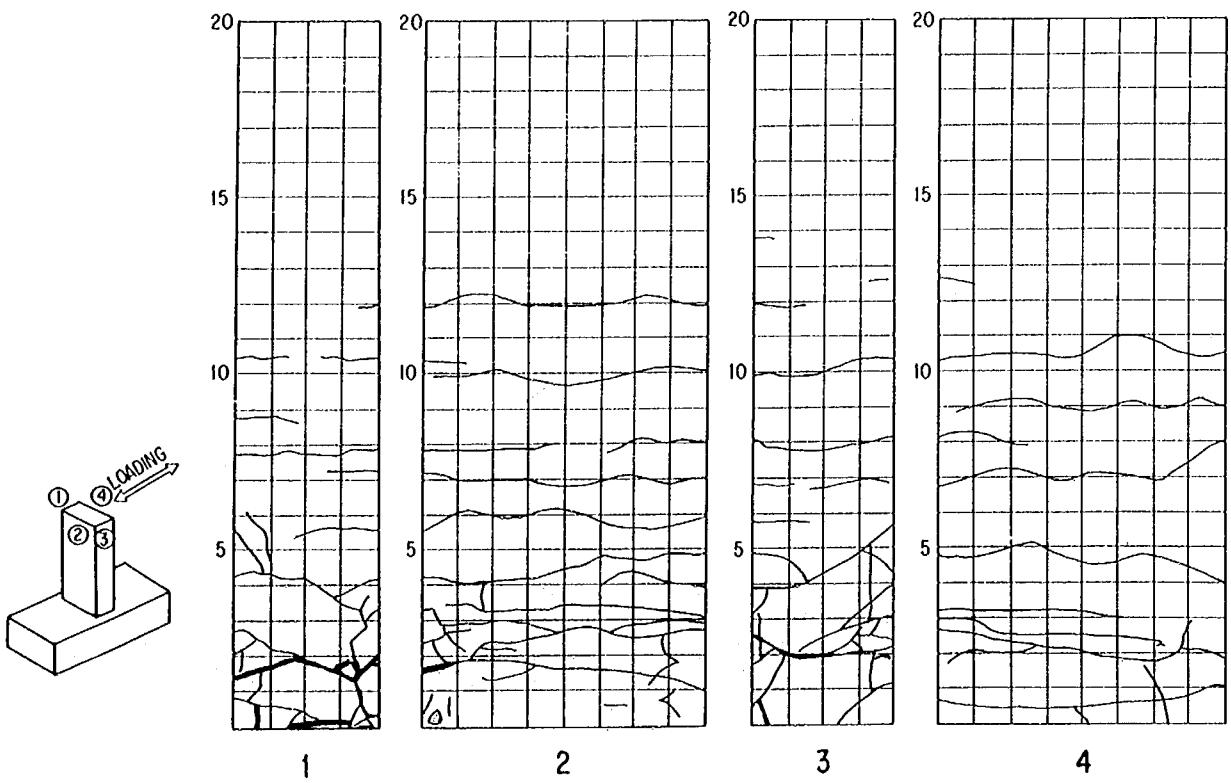


図 5 - 2. 20 供試体 41, $-10 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

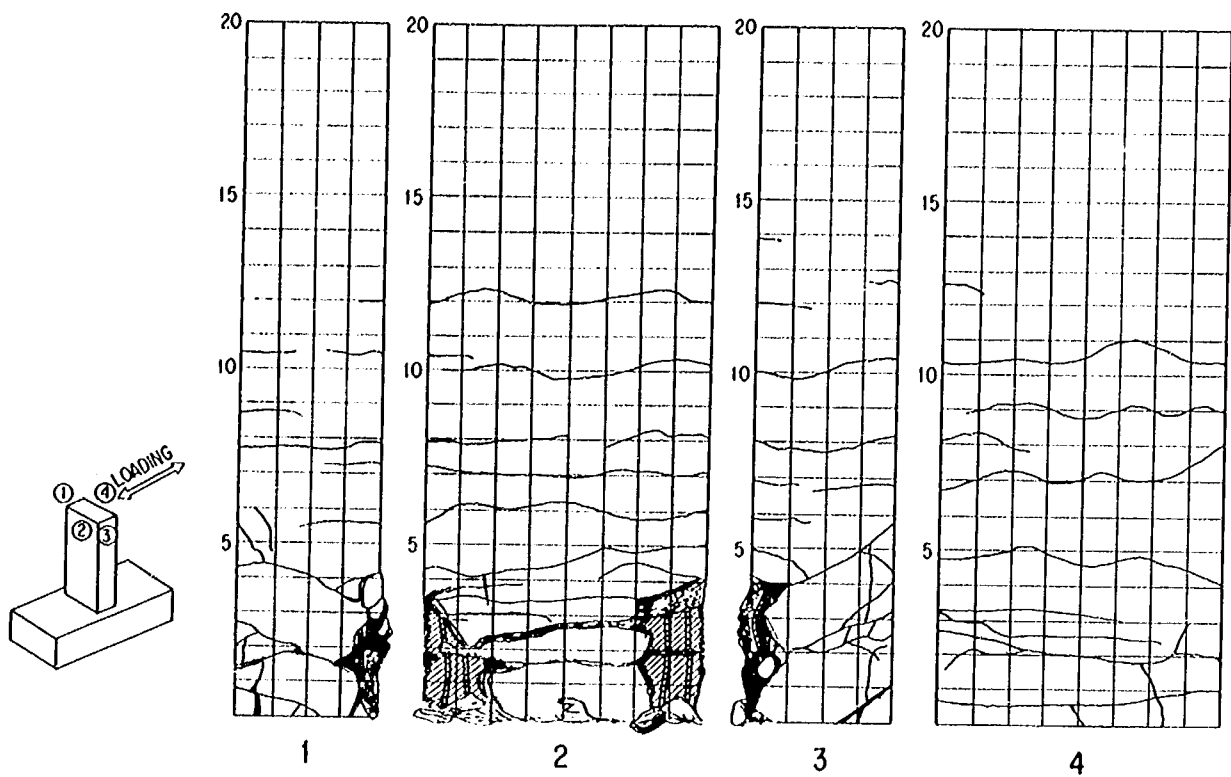


図 5 - 2. 21 供試体 41, $9.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

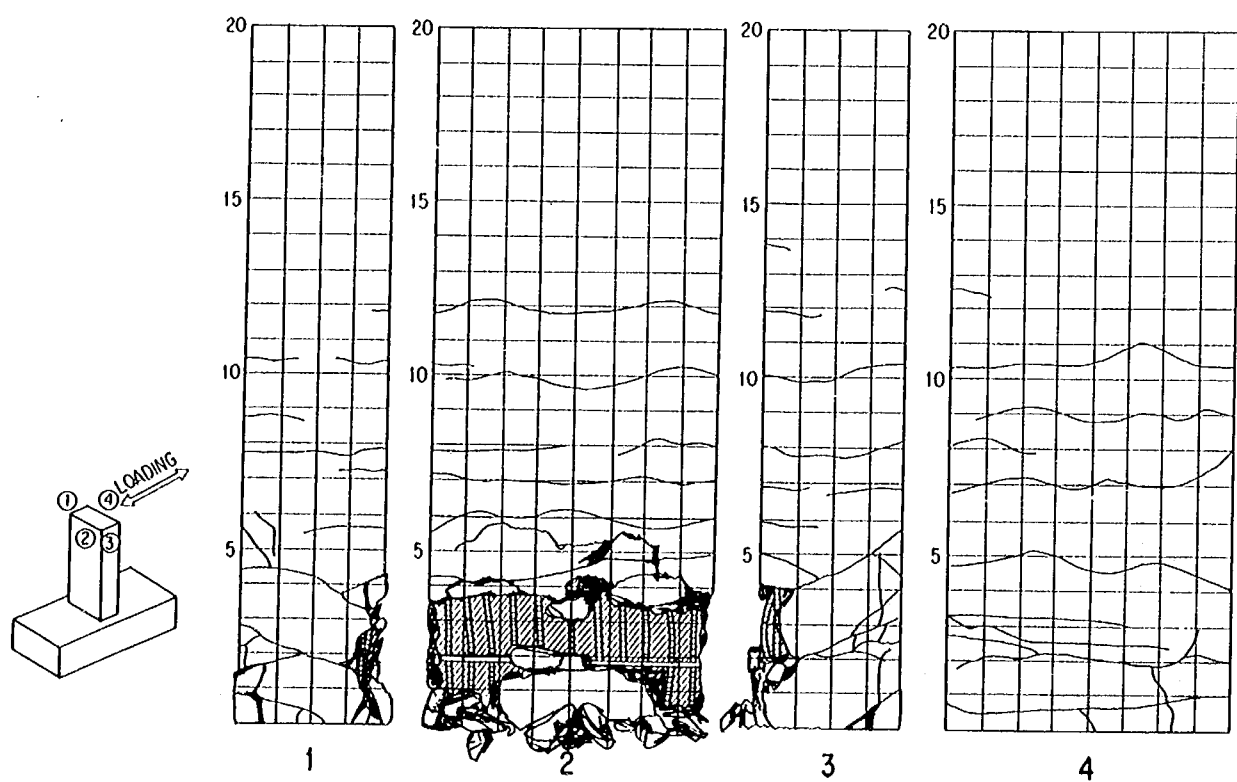


図 5 - 2. 22 供試体 41, $9 \delta_y$ 終了後の破壊状況

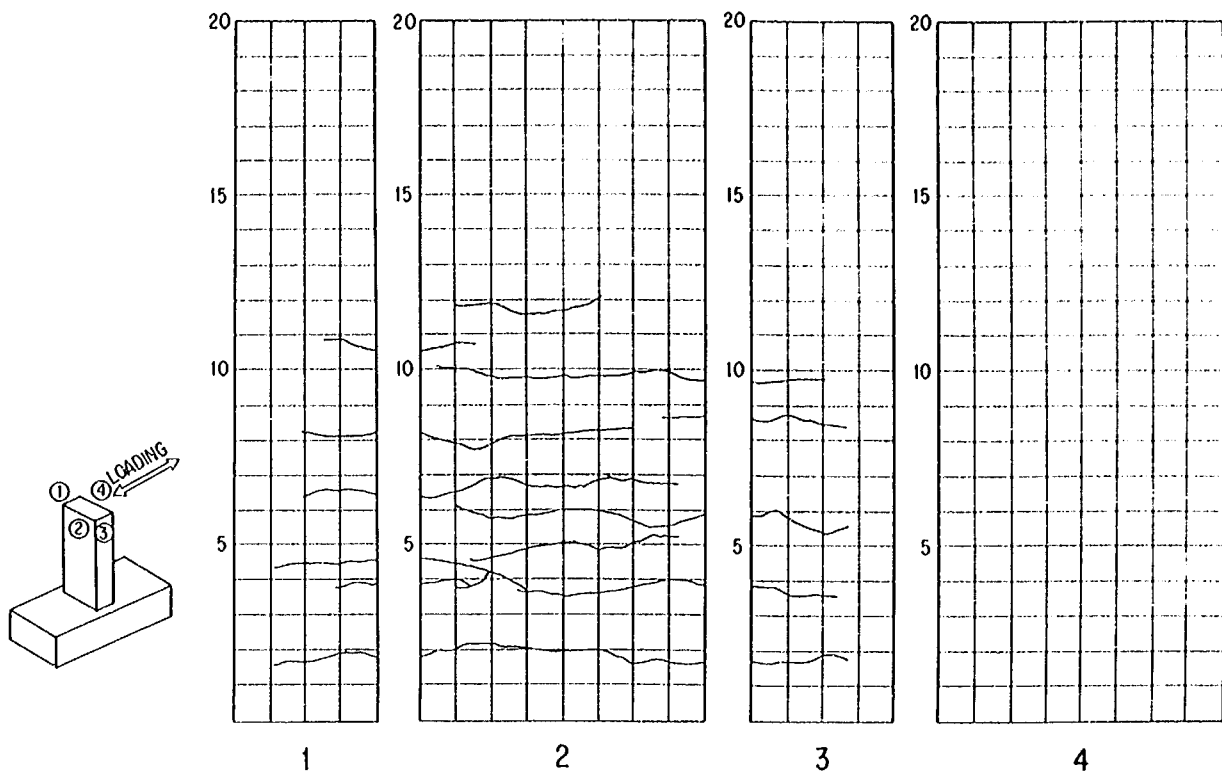


図 5 - 3. 1 供試体 42, $-1 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

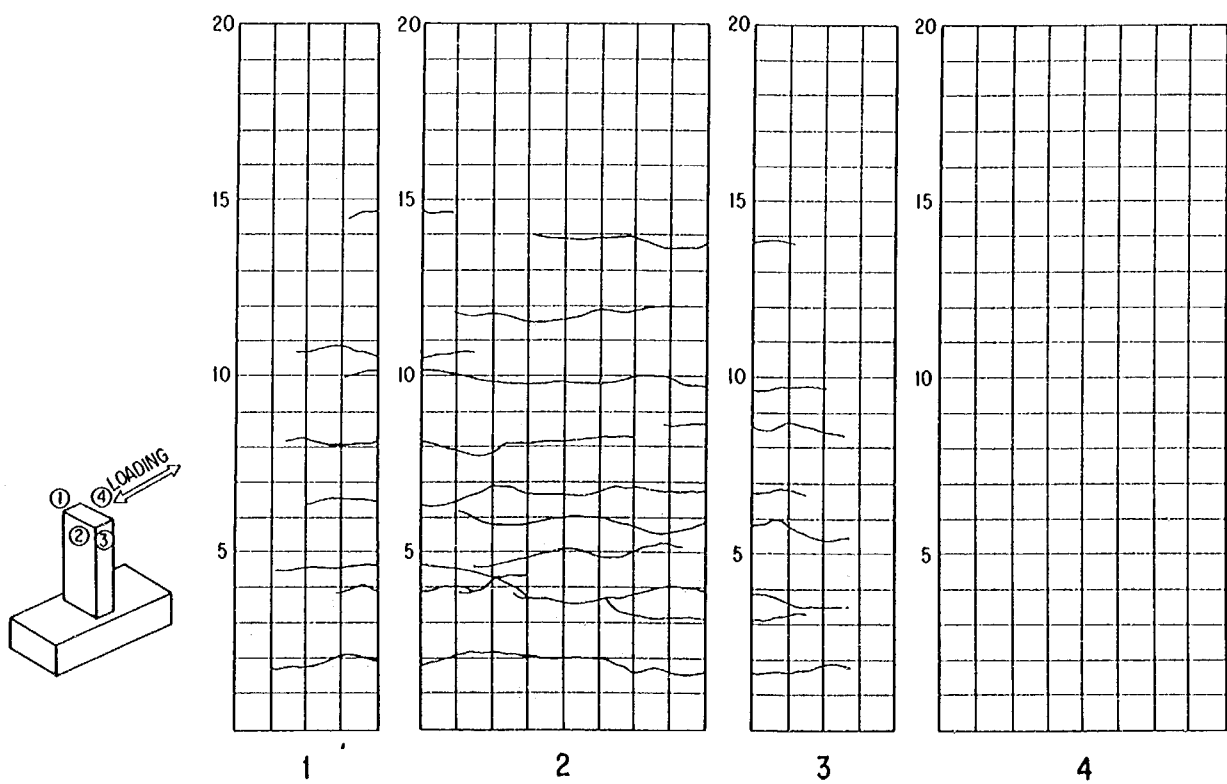


図 5 - 3. 2 供試体 42, $-2 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

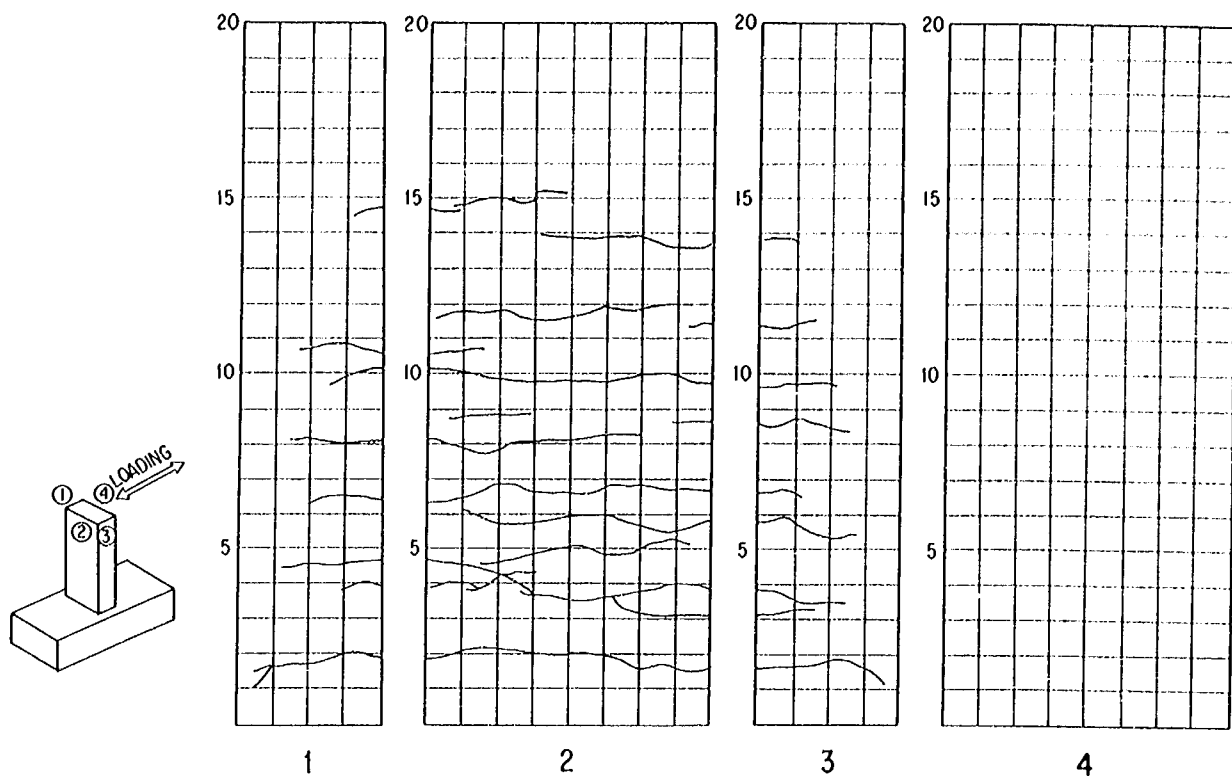


図 5 - 3. 3 供試体 42, $-3\delta_y$ 載荷時の破壊状況

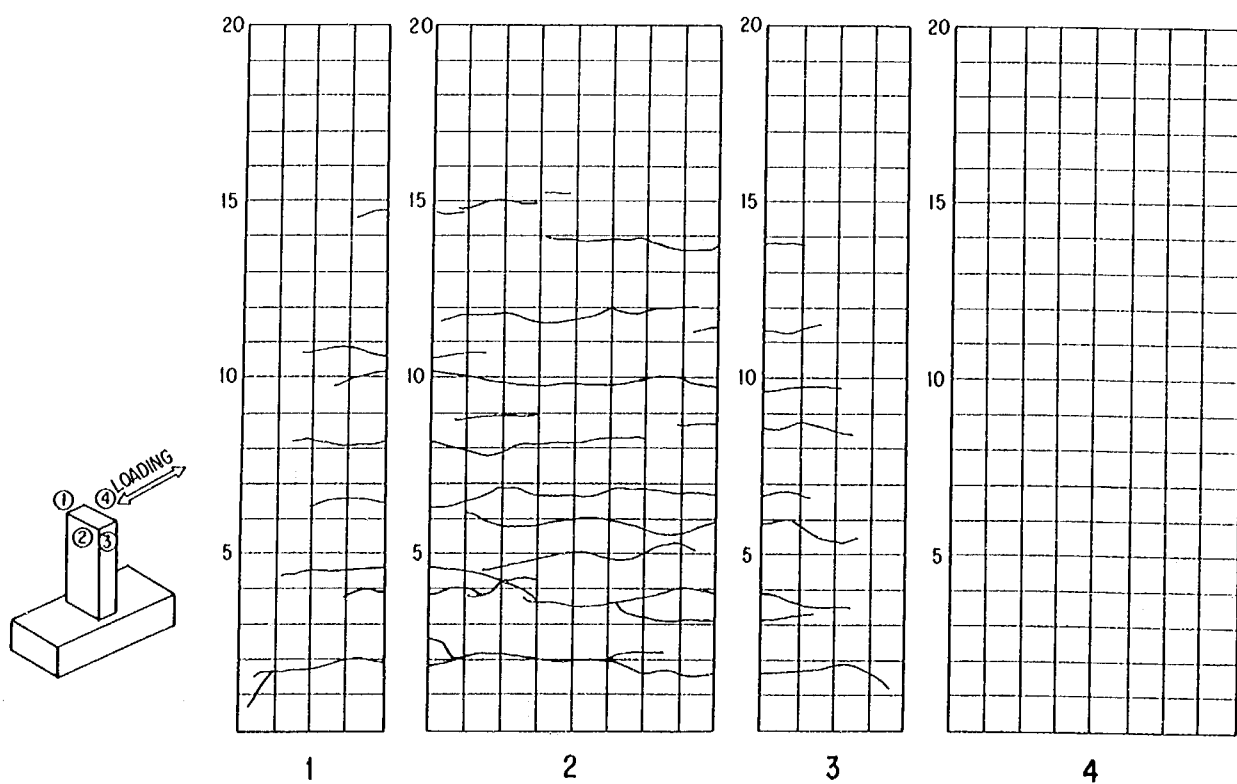


図 5 - 3. 4 供試体 42, $-4\delta_y$ 載荷時の破壊状況

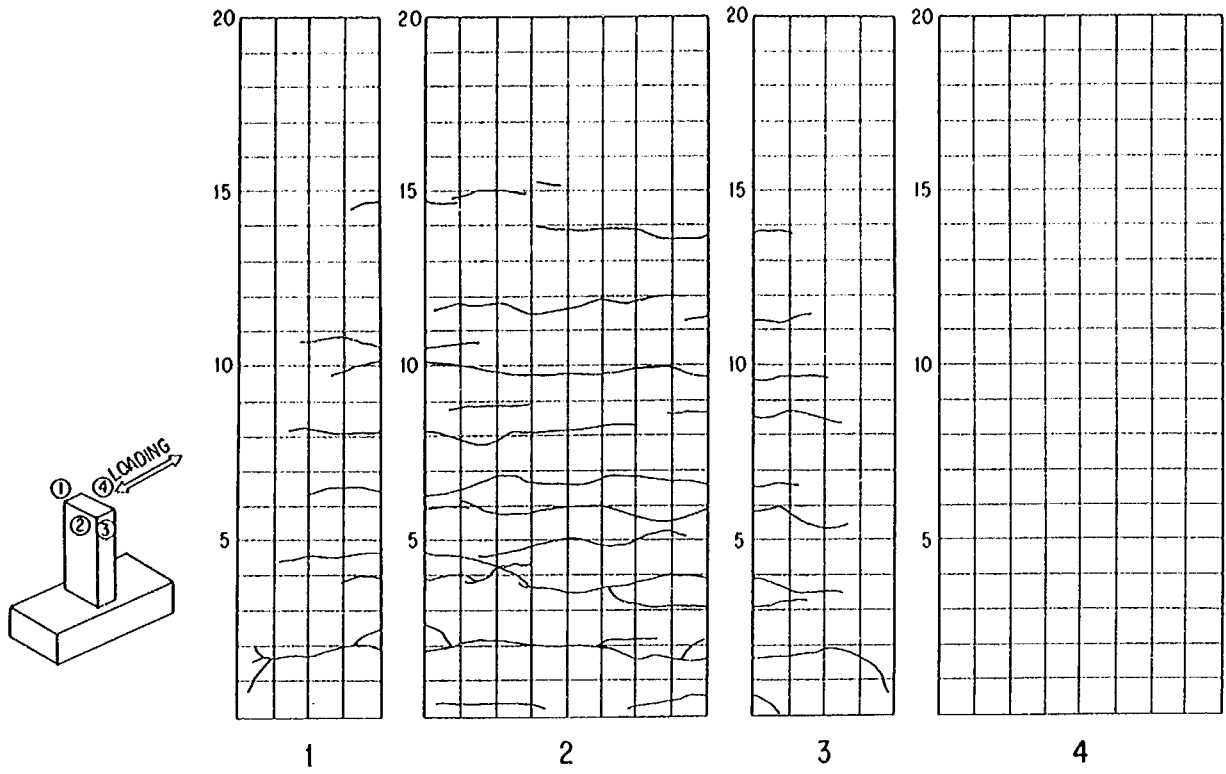


図 5 - 3. 5 供試体 42, $-5 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

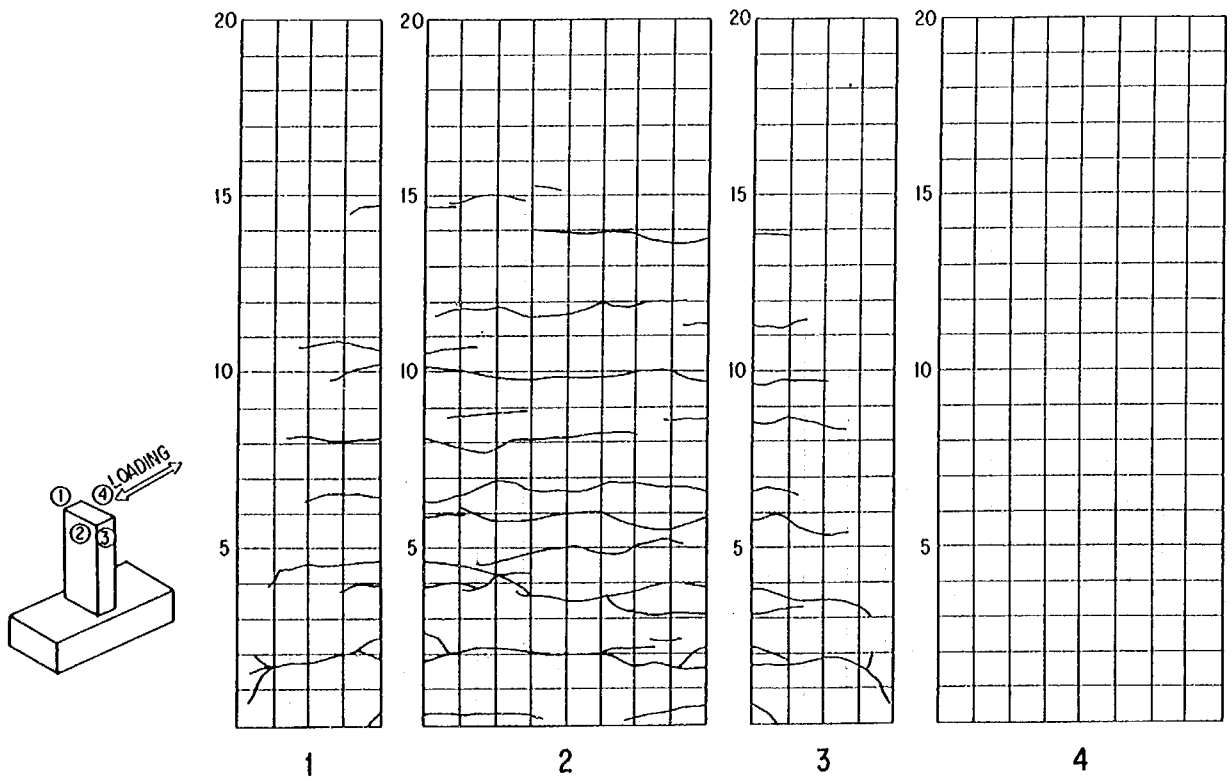


図 5 - 3. 6 供試体 42, $-6 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

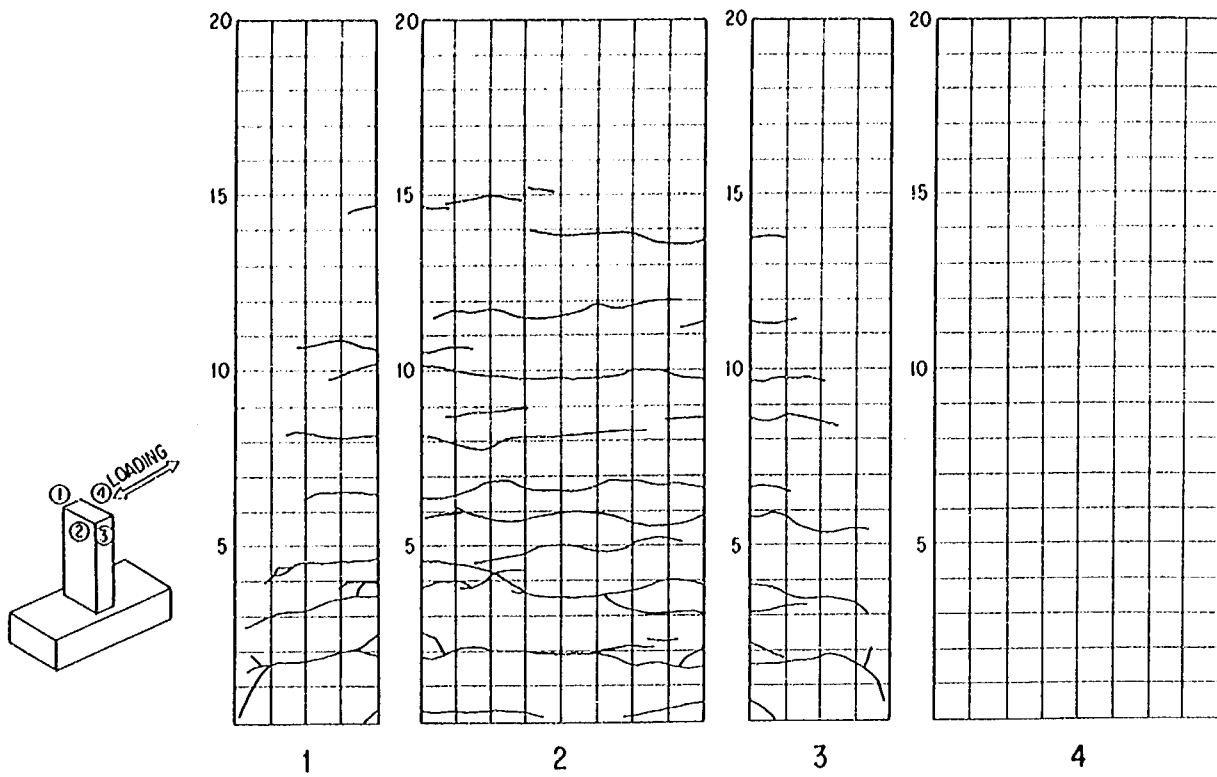


図 5 - 3. 7 供試体 42, $-7 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

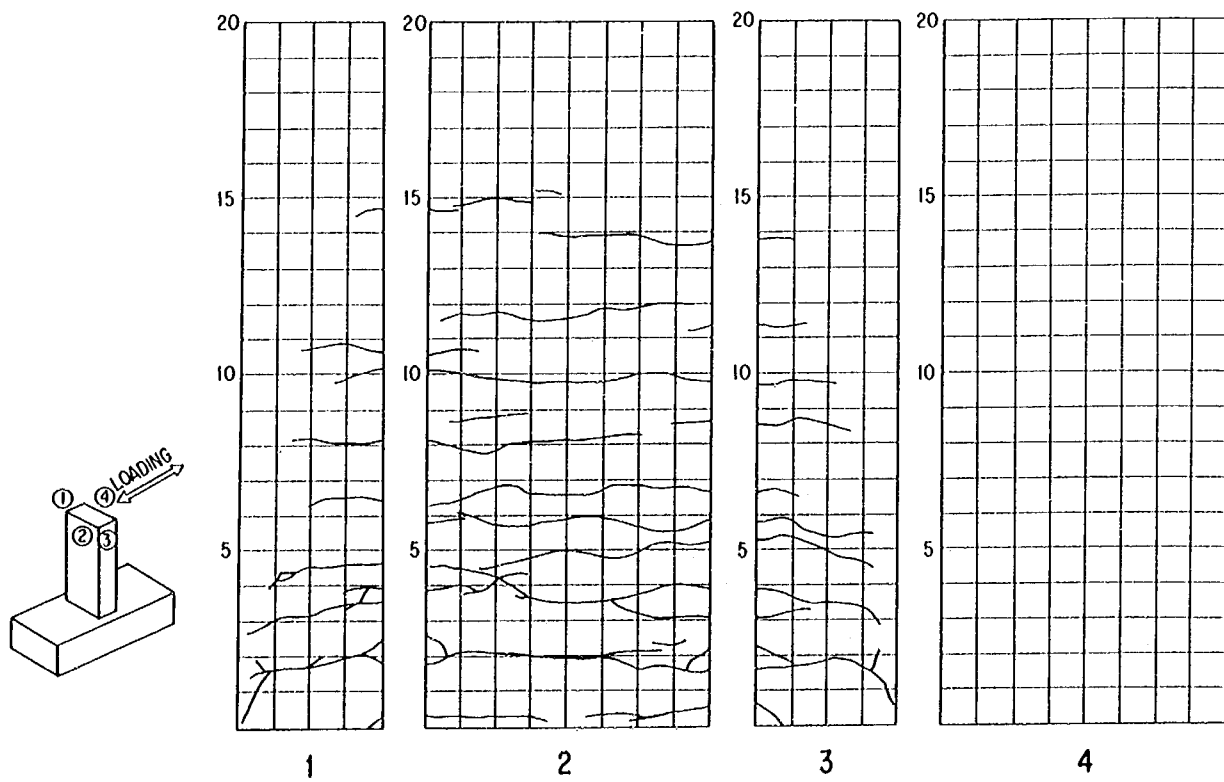


図 5 - 3. 8 供試体 42, $-8 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

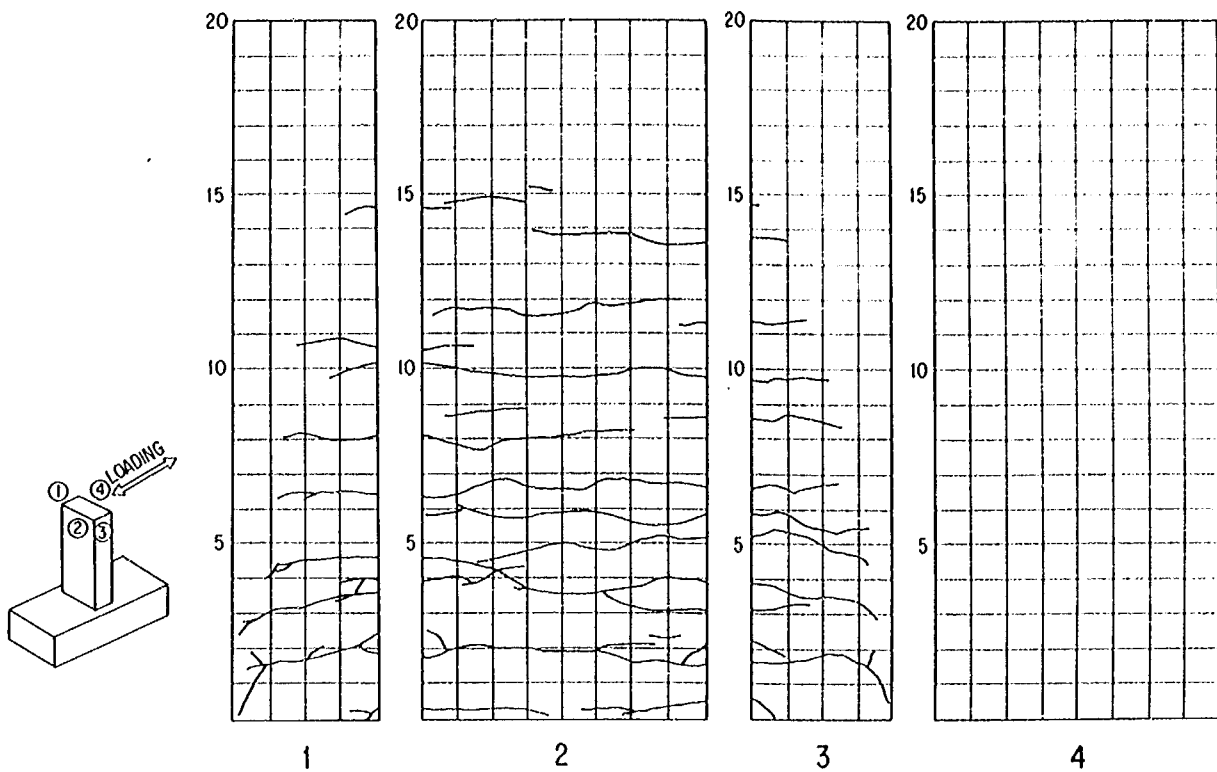


図 5 - 3. 9 供試体 42, $-9 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

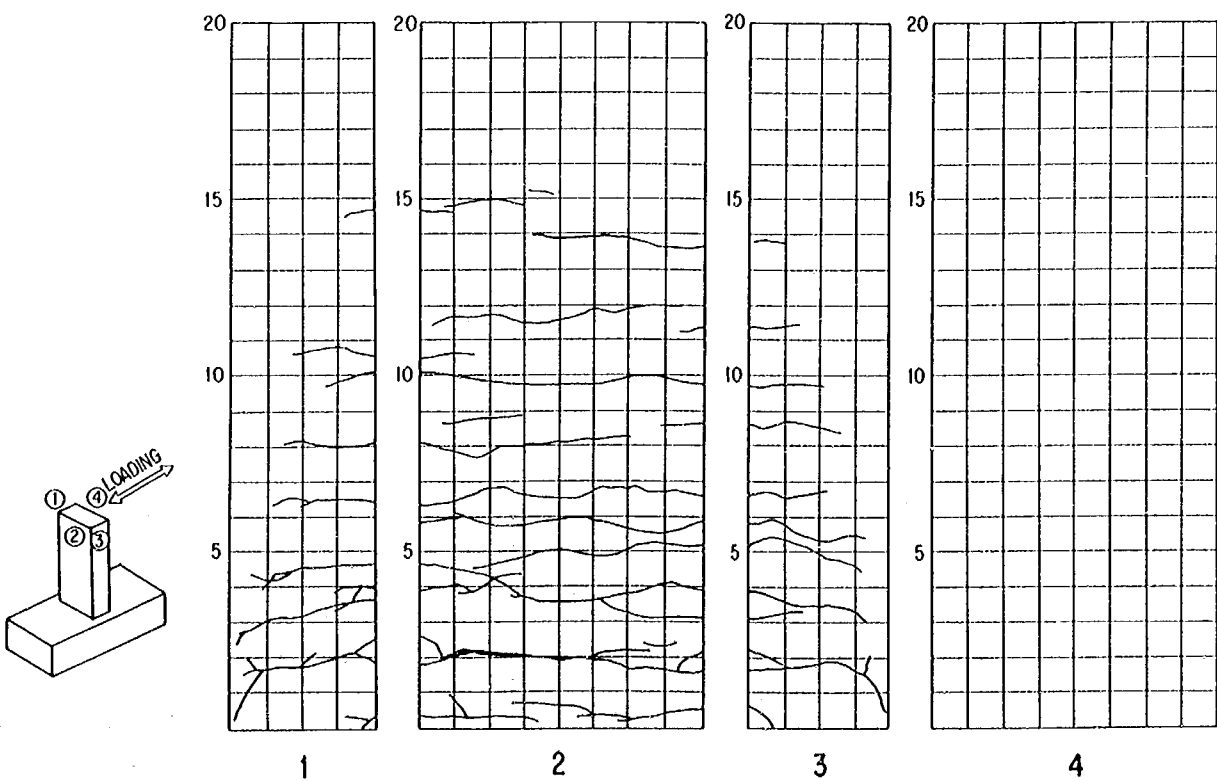


図 5 - 3. 10 供試体 42, $-10 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

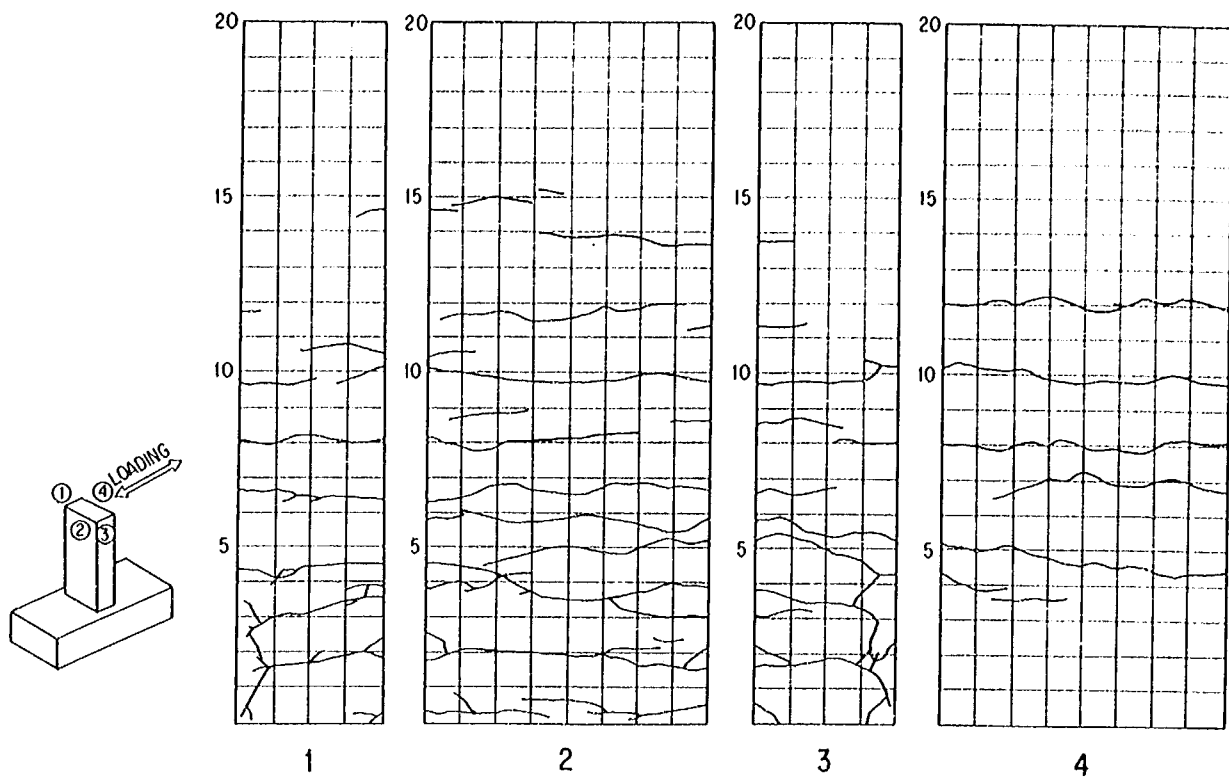


図 5 - 3.11 供試体 42, $+1 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

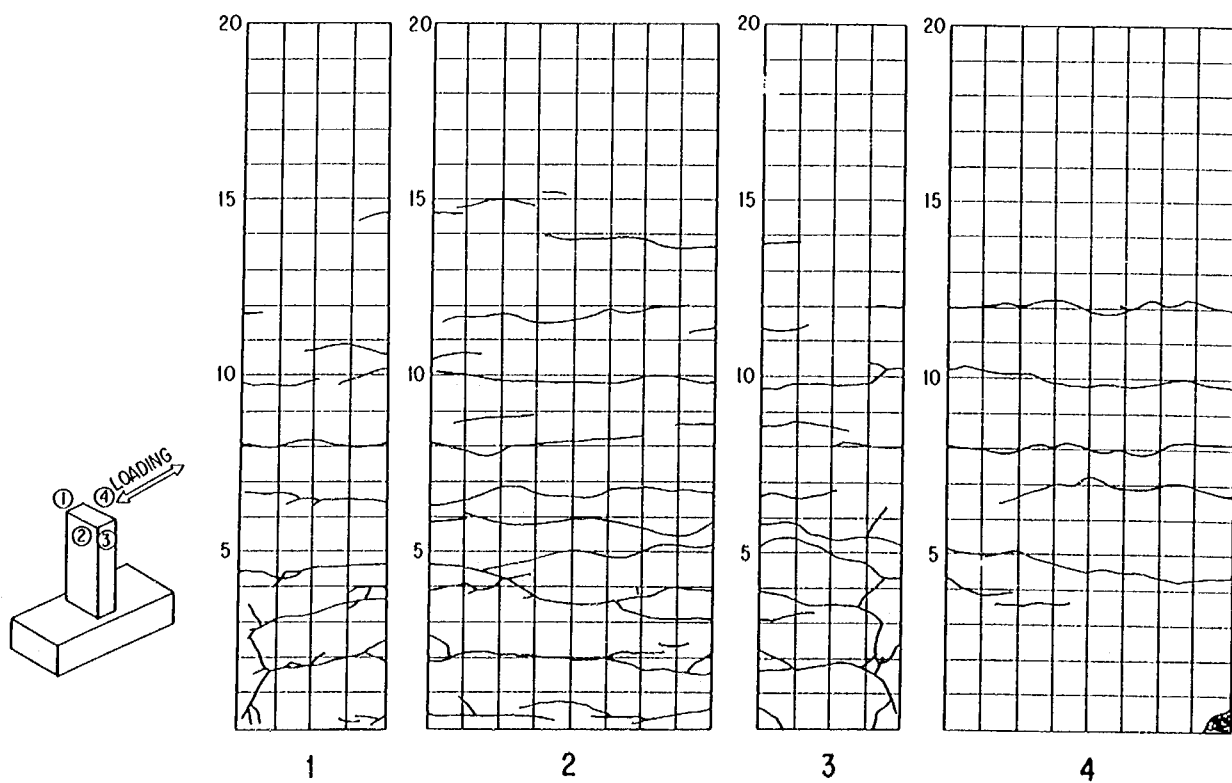


図 5 - 3.12 供試体 42, $+2 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

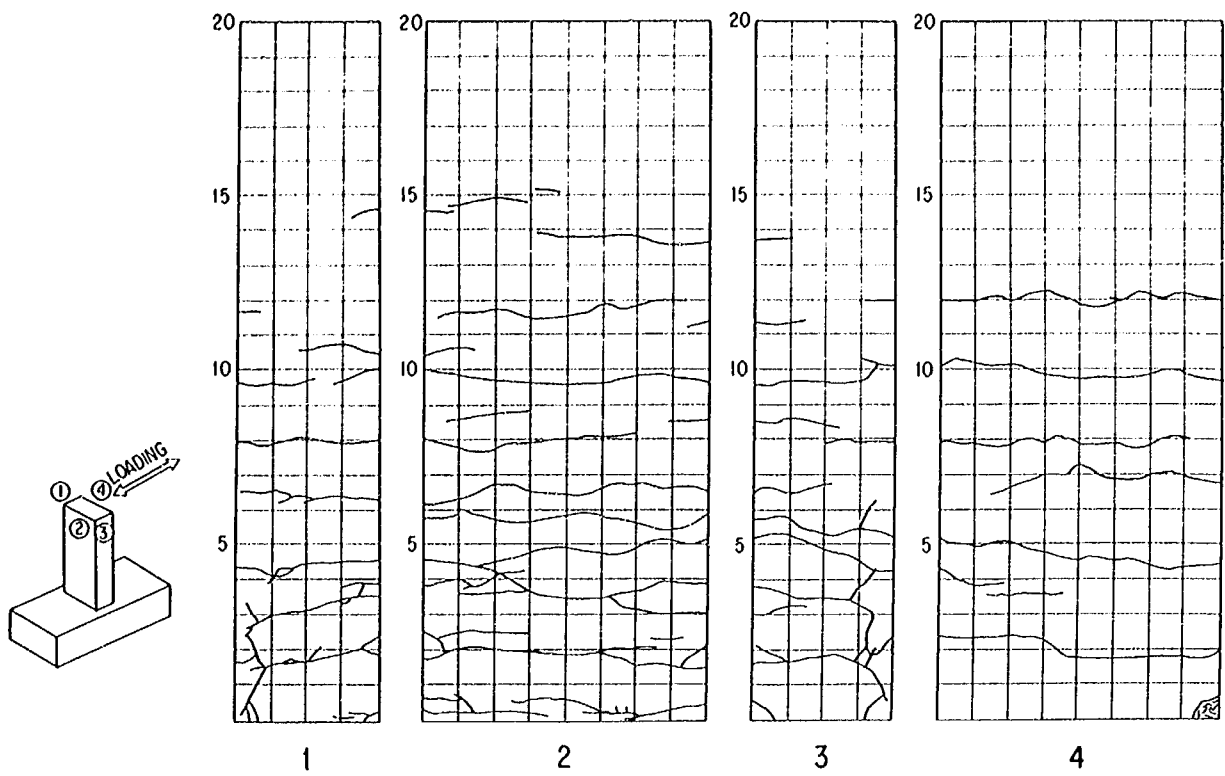


図 5 - 3.13 供試体 42, $+3 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

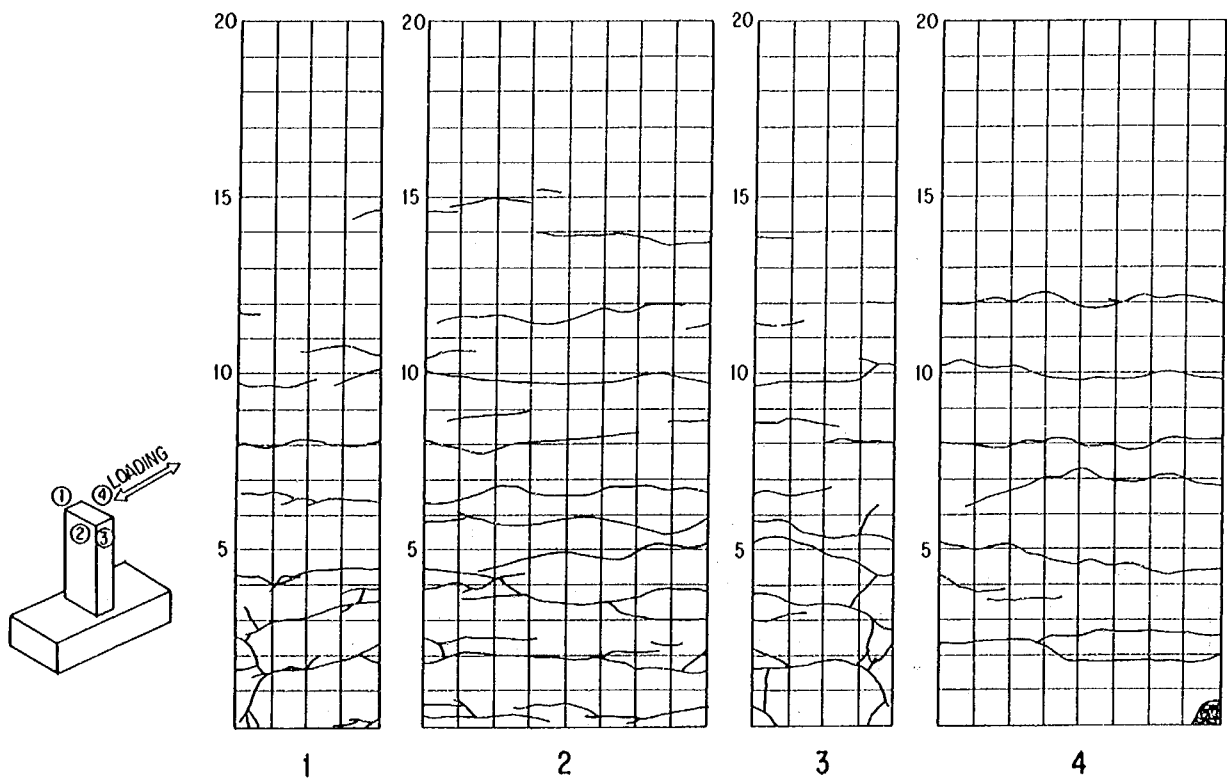


図 5 - 3.14 供試体 42, $+4 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

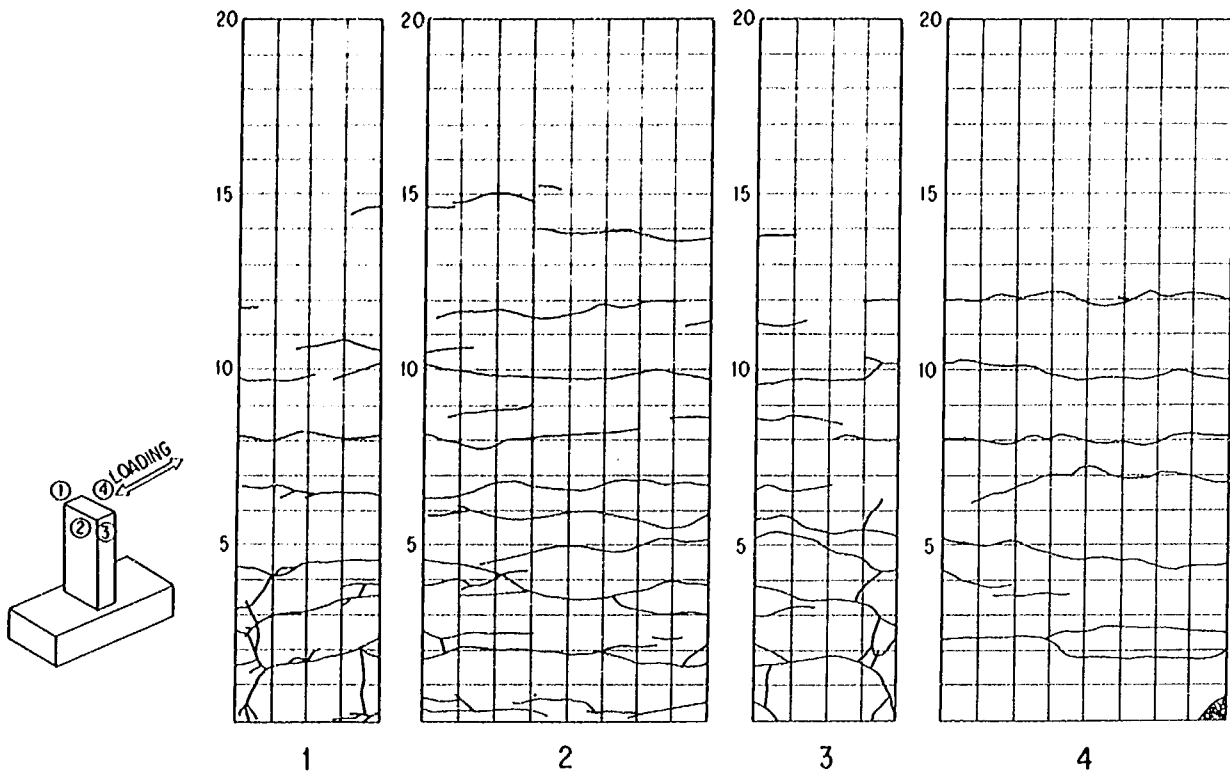


図 5 - 3. 15 供試体 42, $+5 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

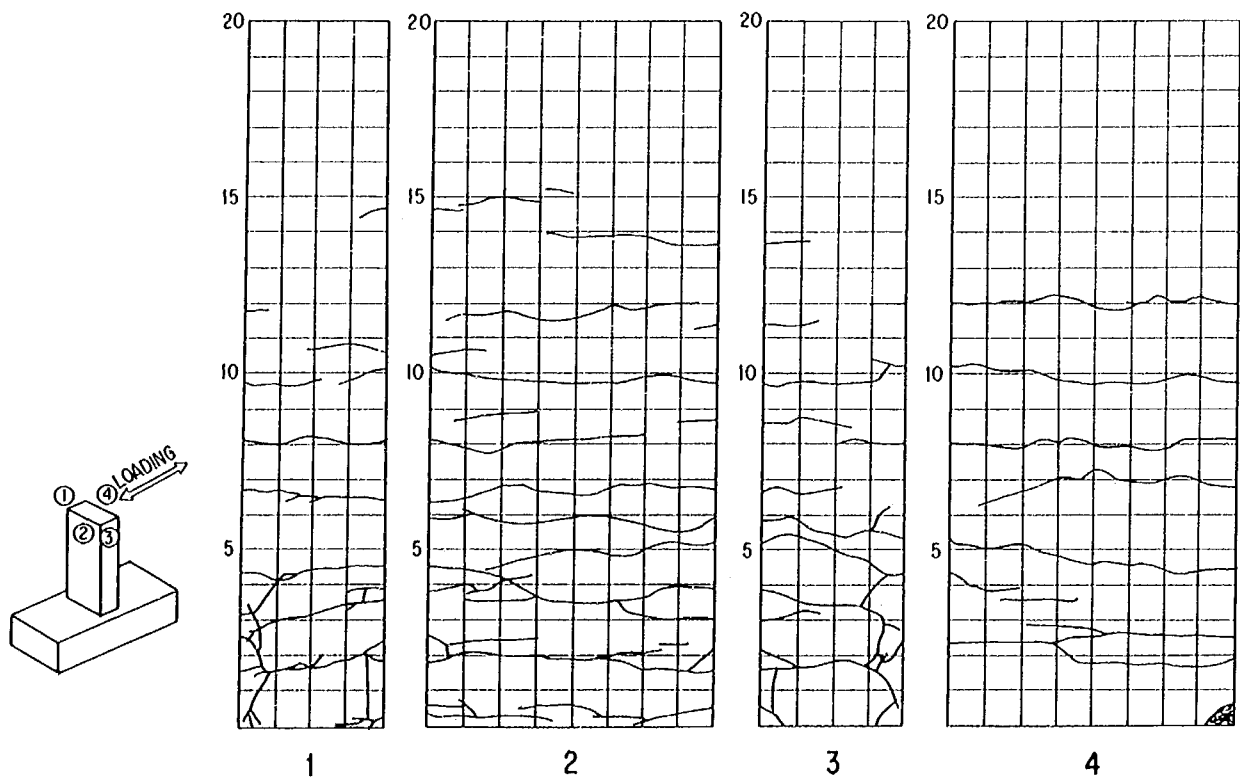


図 5 - 3. 16 供試体 42, $+6 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

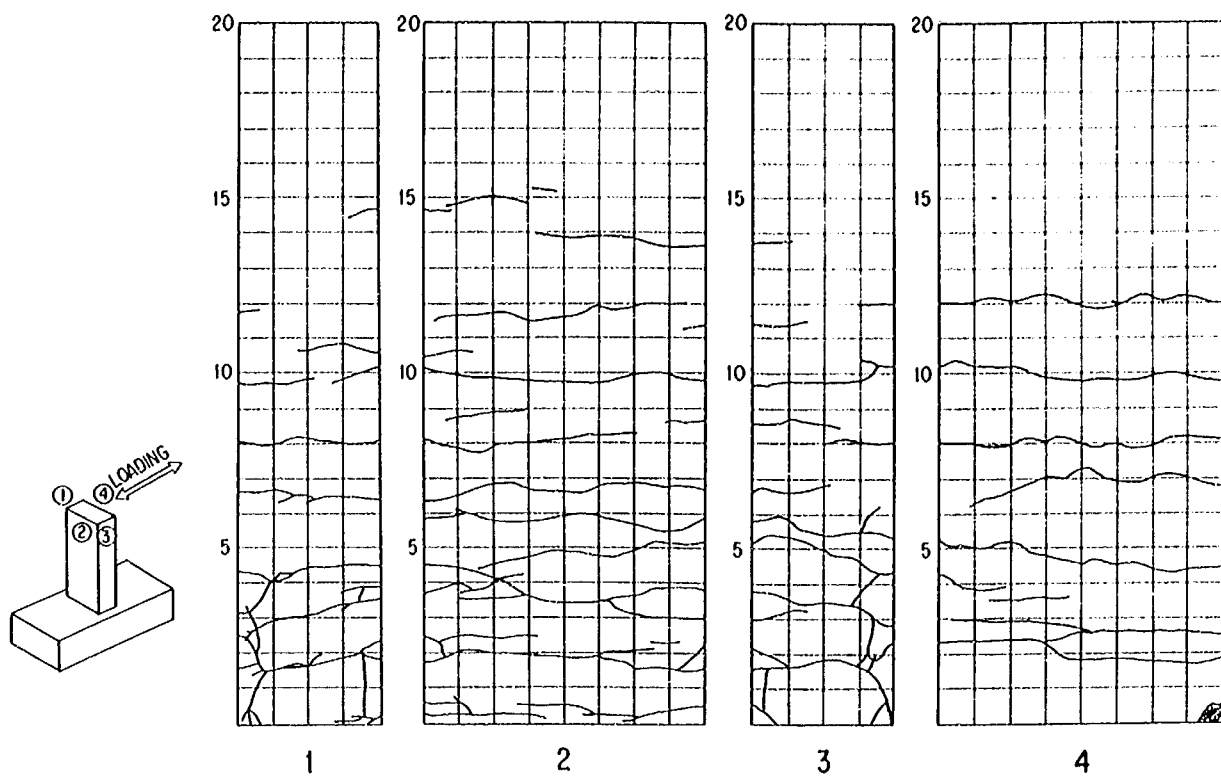


図 5 - 3. 17 供試体 42, $+7\delta_y$ 載荷時の破壊状況

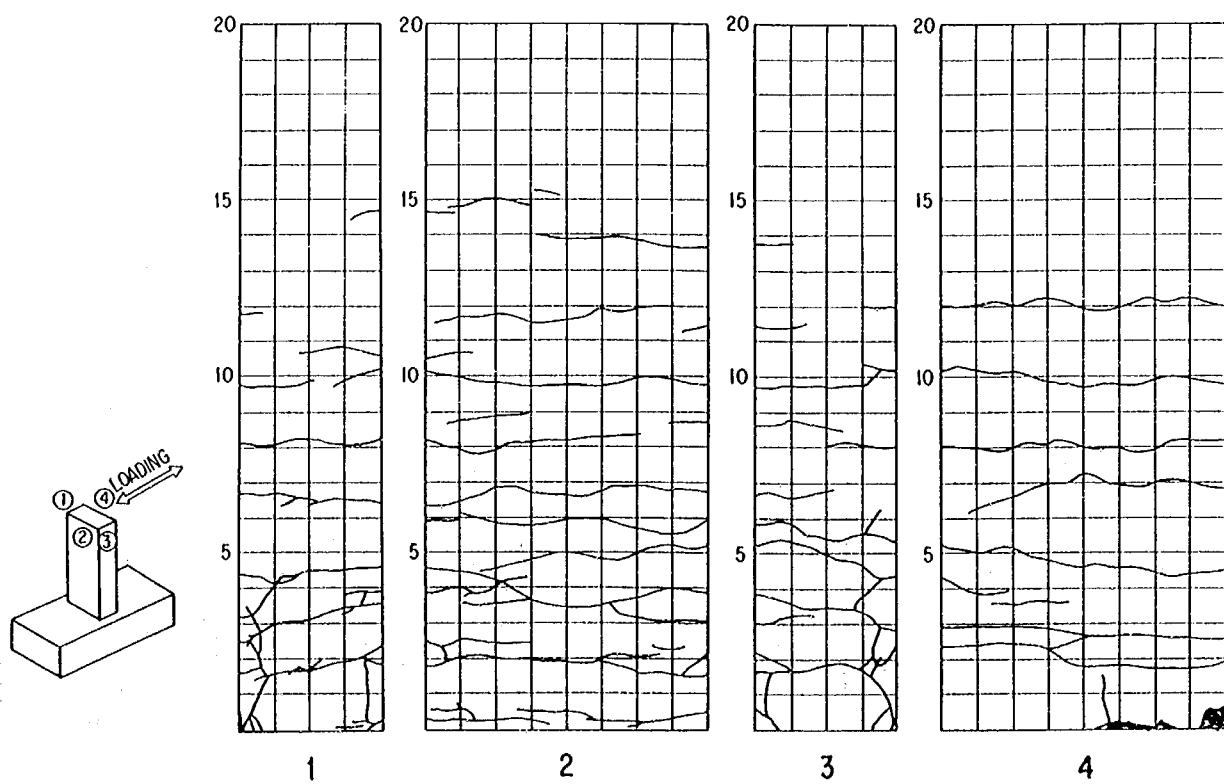


図 5 - 3. 18 供試体 42, $+8\delta_y$ 載荷時の破壊状況

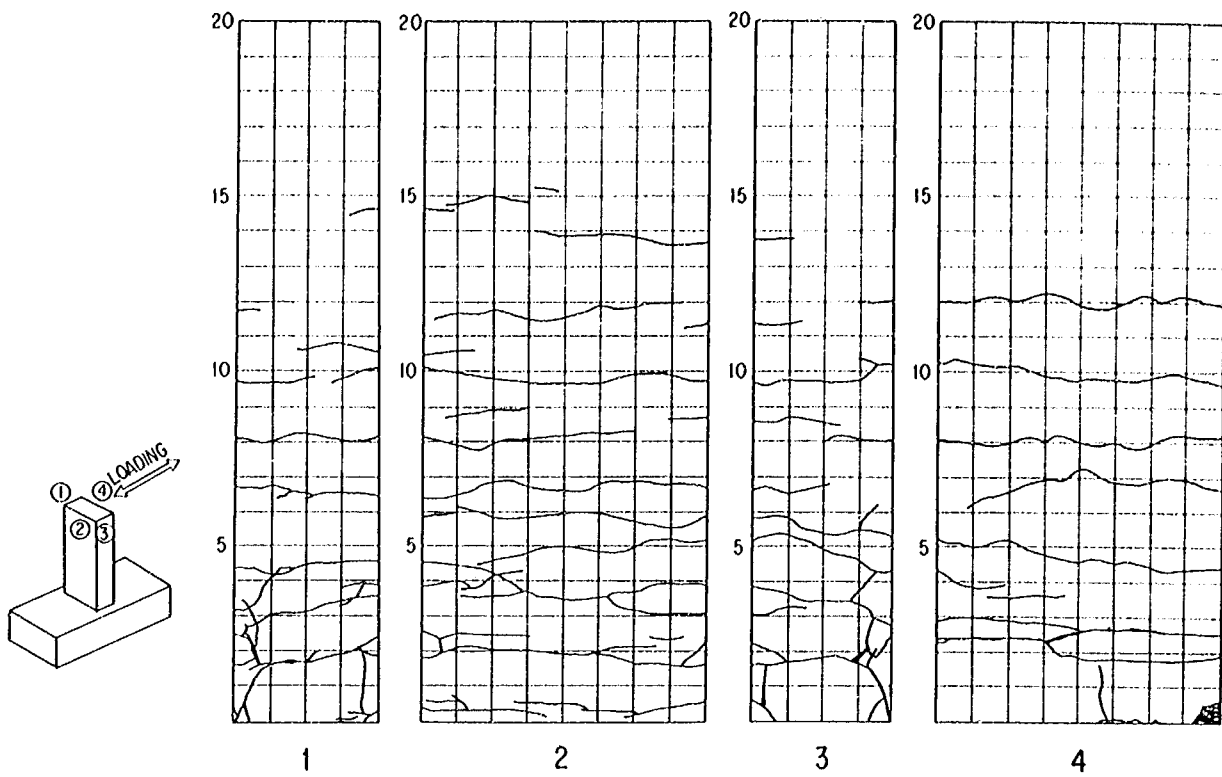


図 5 - 3. 19 供試体 42, $+9 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

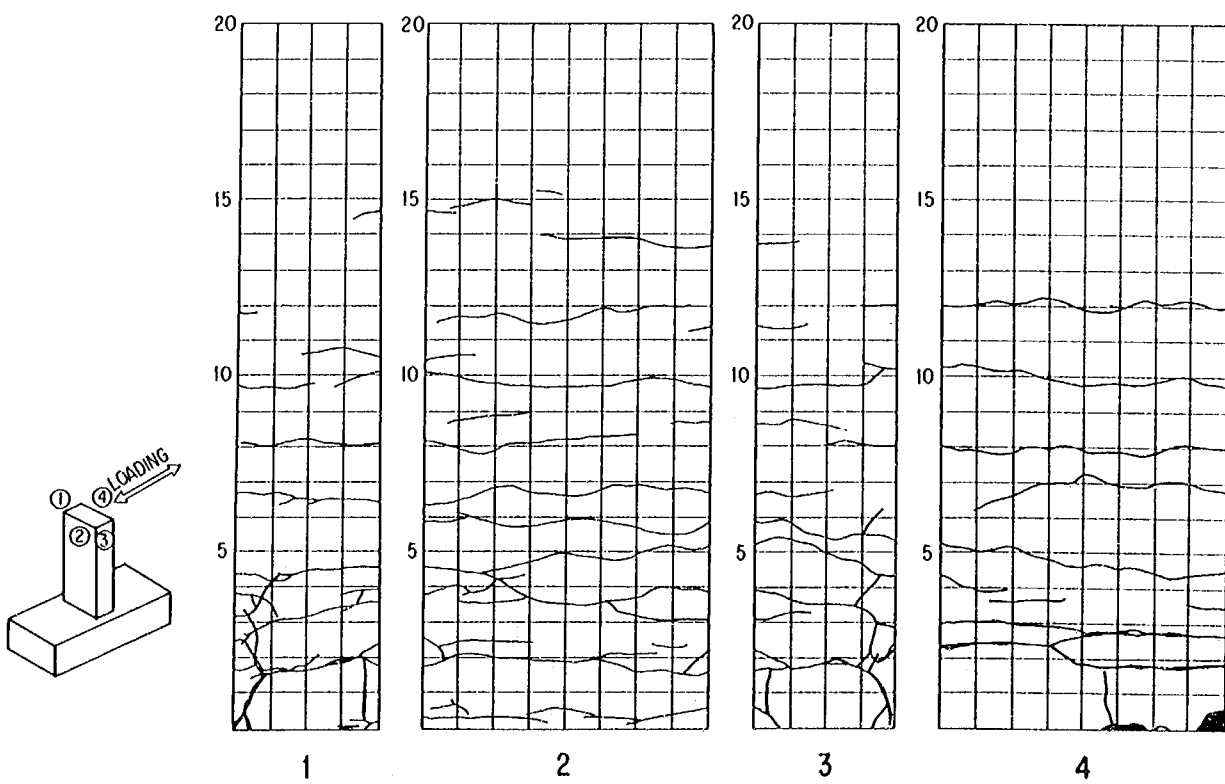


図 5 - 3. 20 供試体 42, $+10 \delta_y$ 載荷時の破壊状況

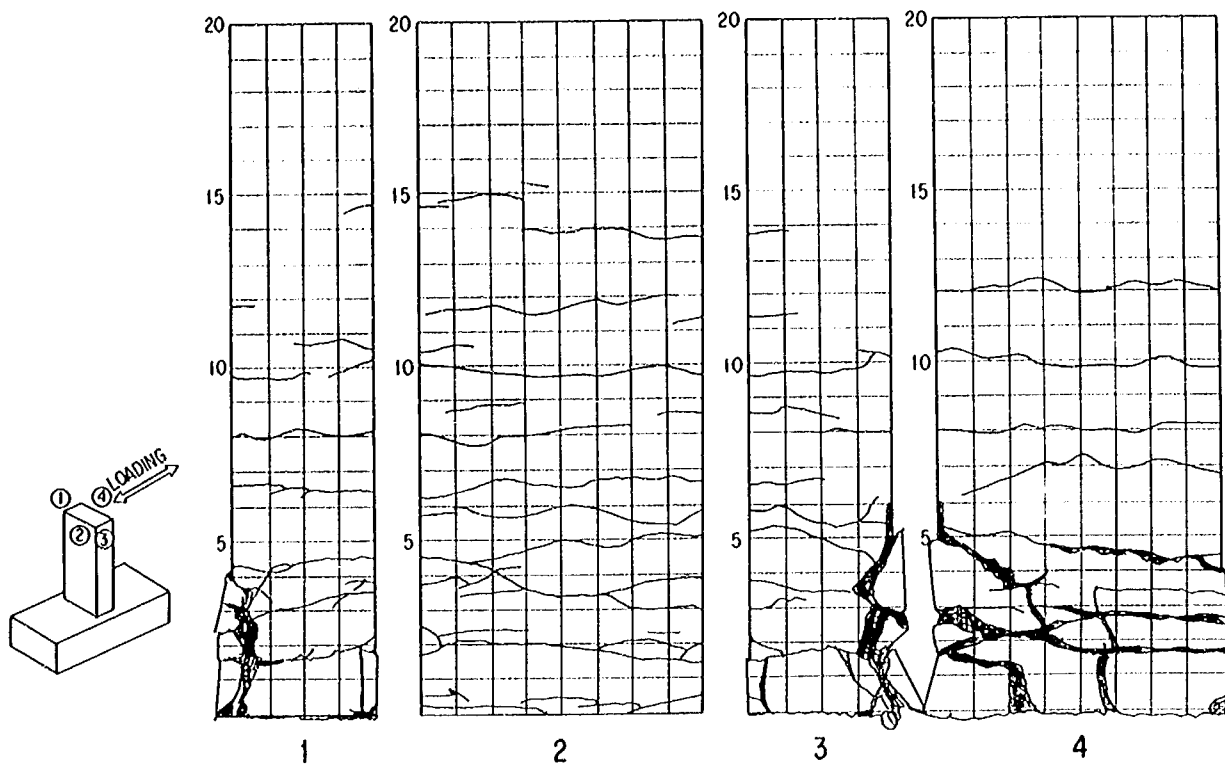


図 5 - 3. 21 供試体 42, 9.5 δ_v 終了後の破壊状況

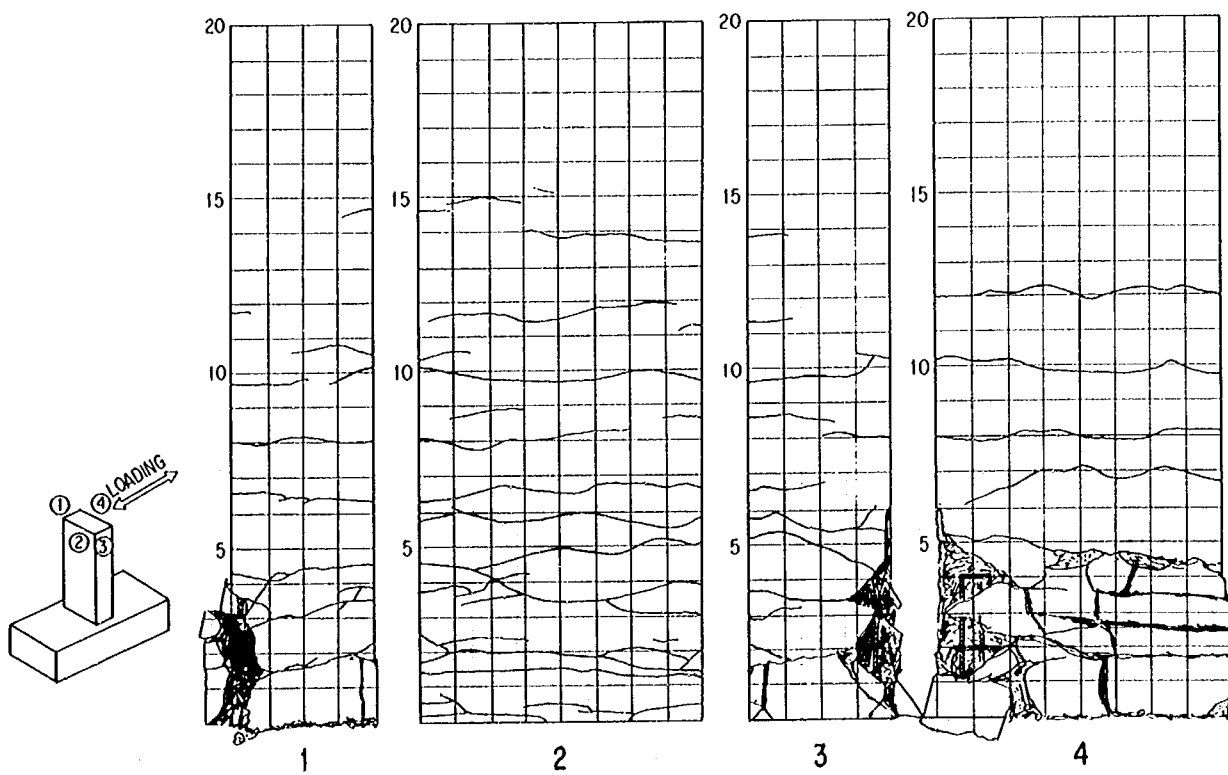


図 5 - 3. 22 供試体 42, 9 δ_v 終了後の破壊状況

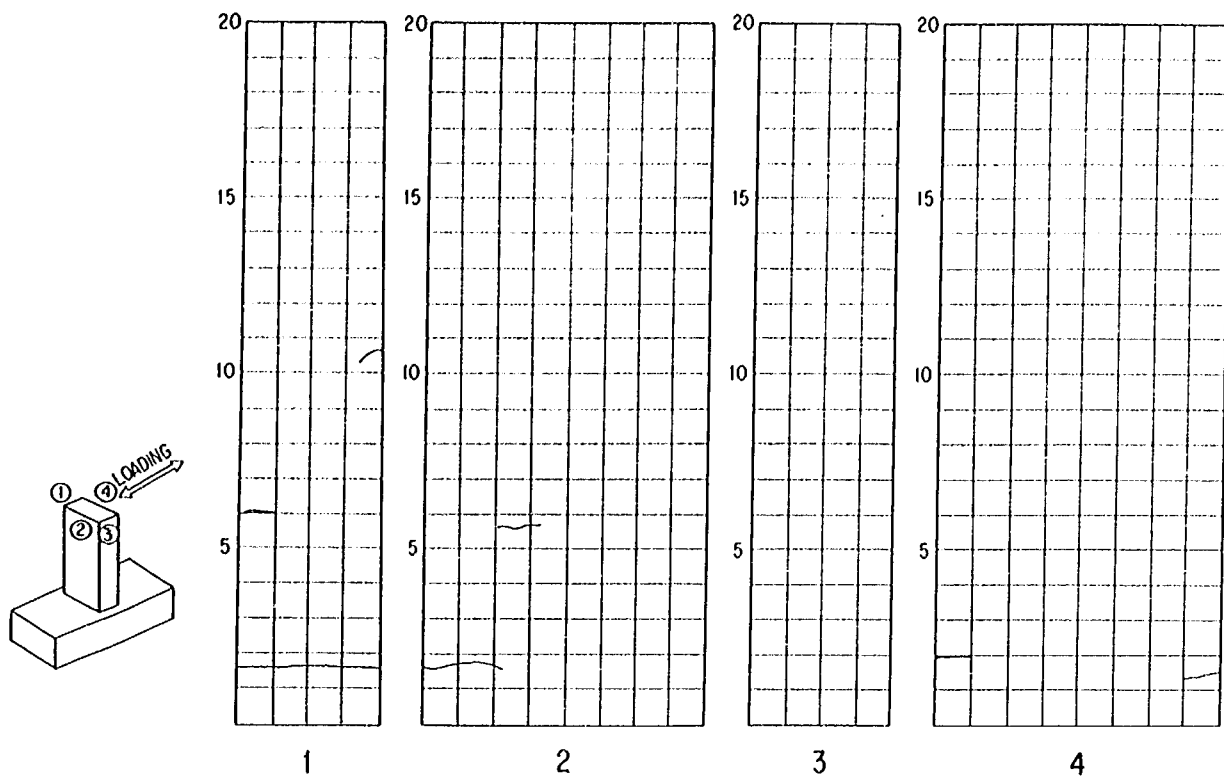


図 5 - 4. 1 供試体 43, $0.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

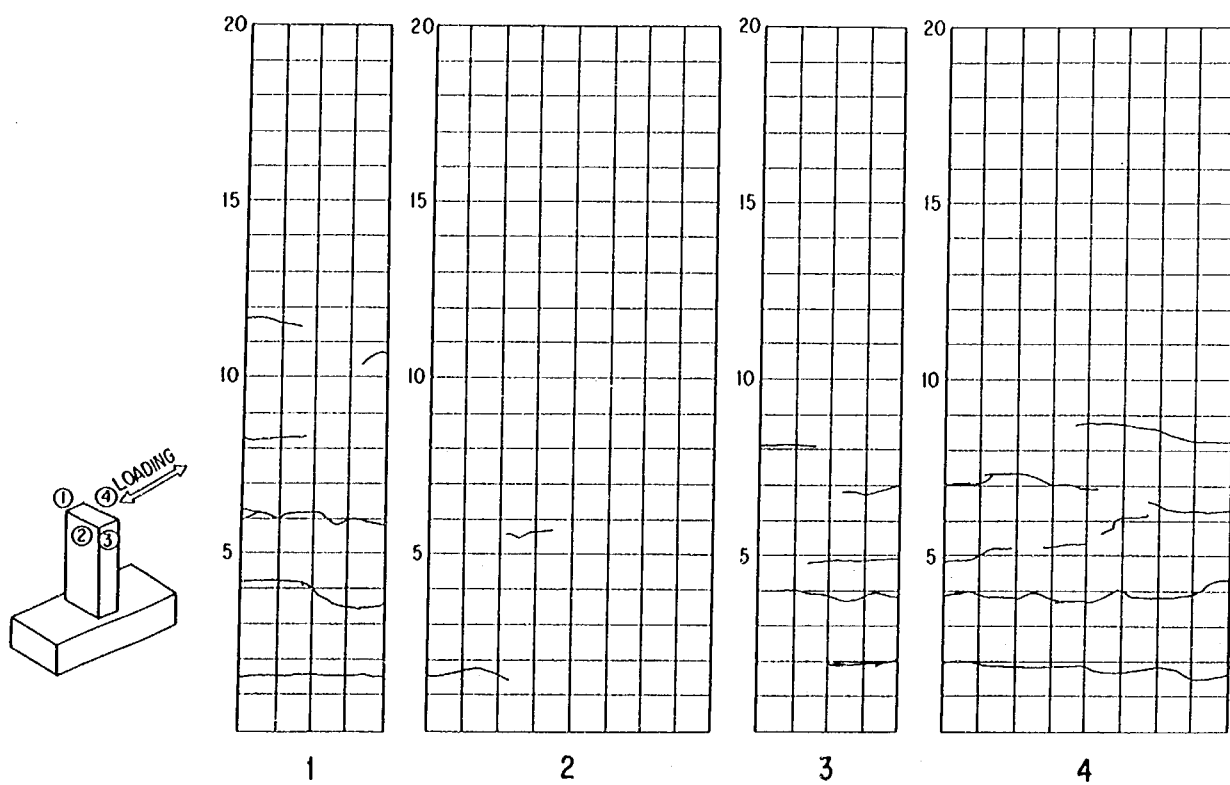


図 5 - 4. 2 供試体 43, $1.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

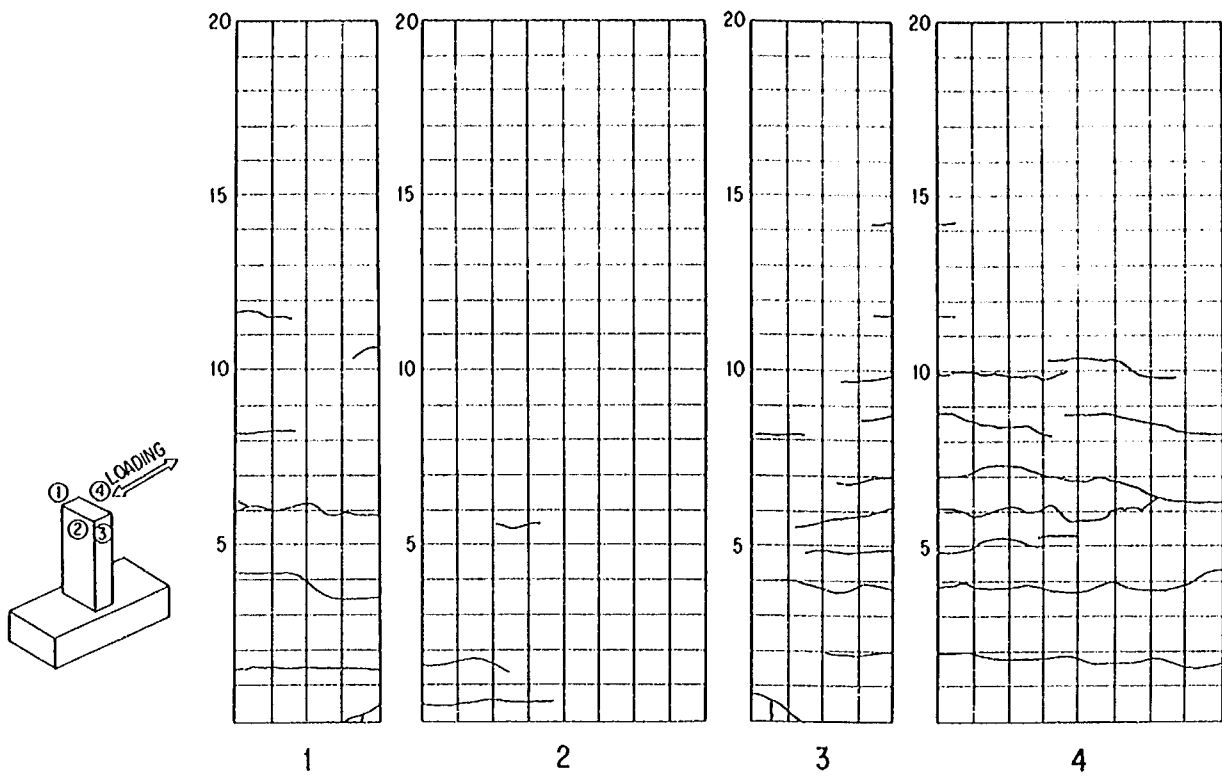


図 5 - 4. 3 供試体 43, $2.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

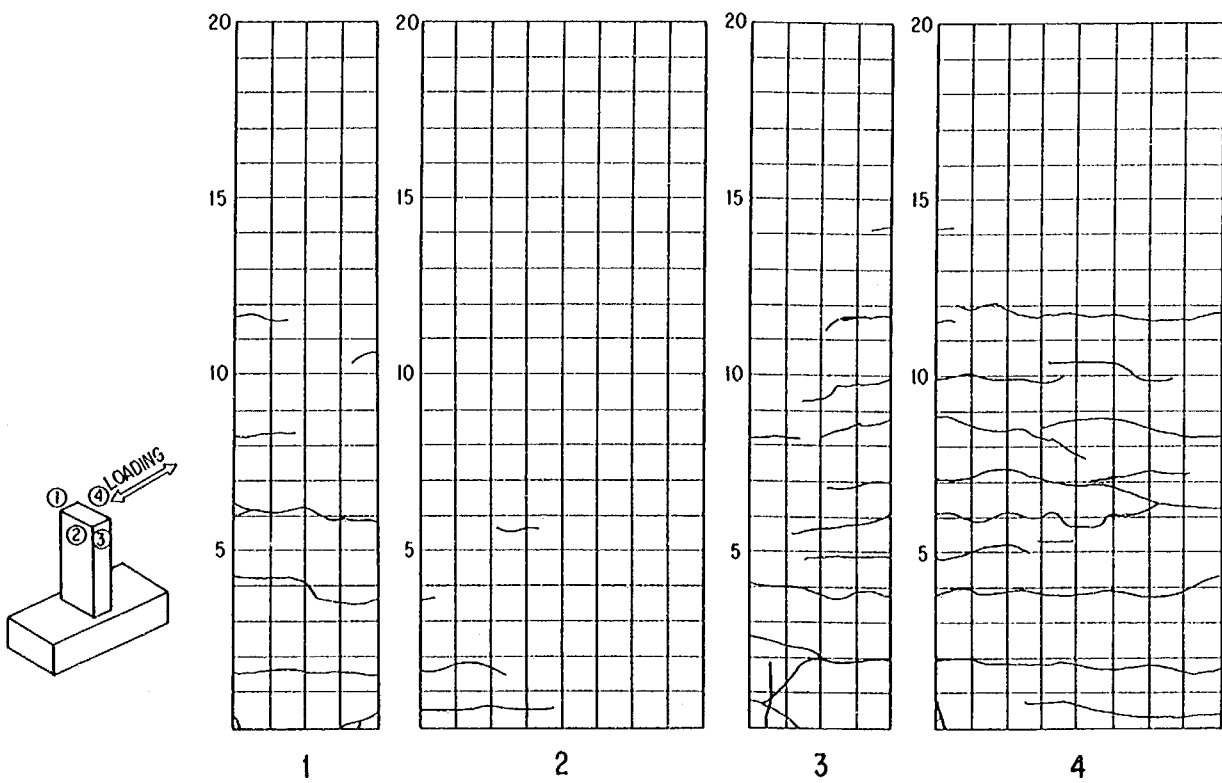


図 5 - 4. 4 供試体 43, $3.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

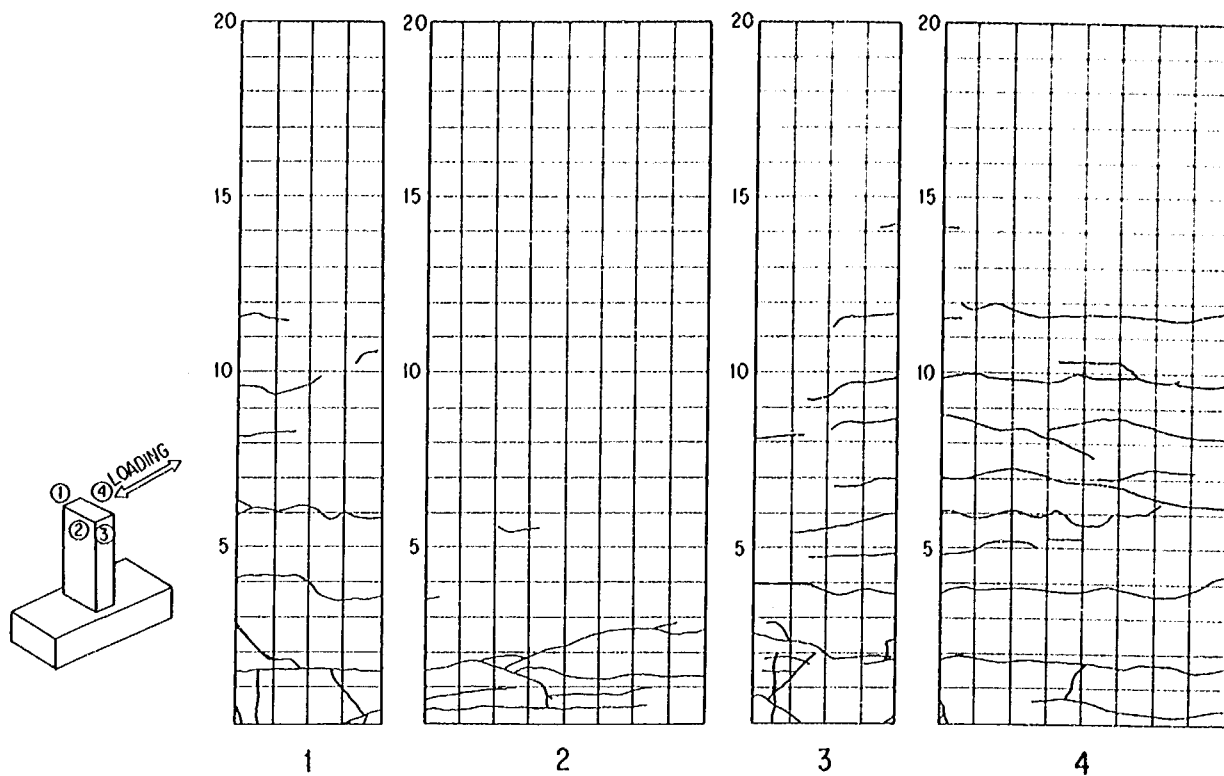


図 5 - 4. 5 供試体 43, $4.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

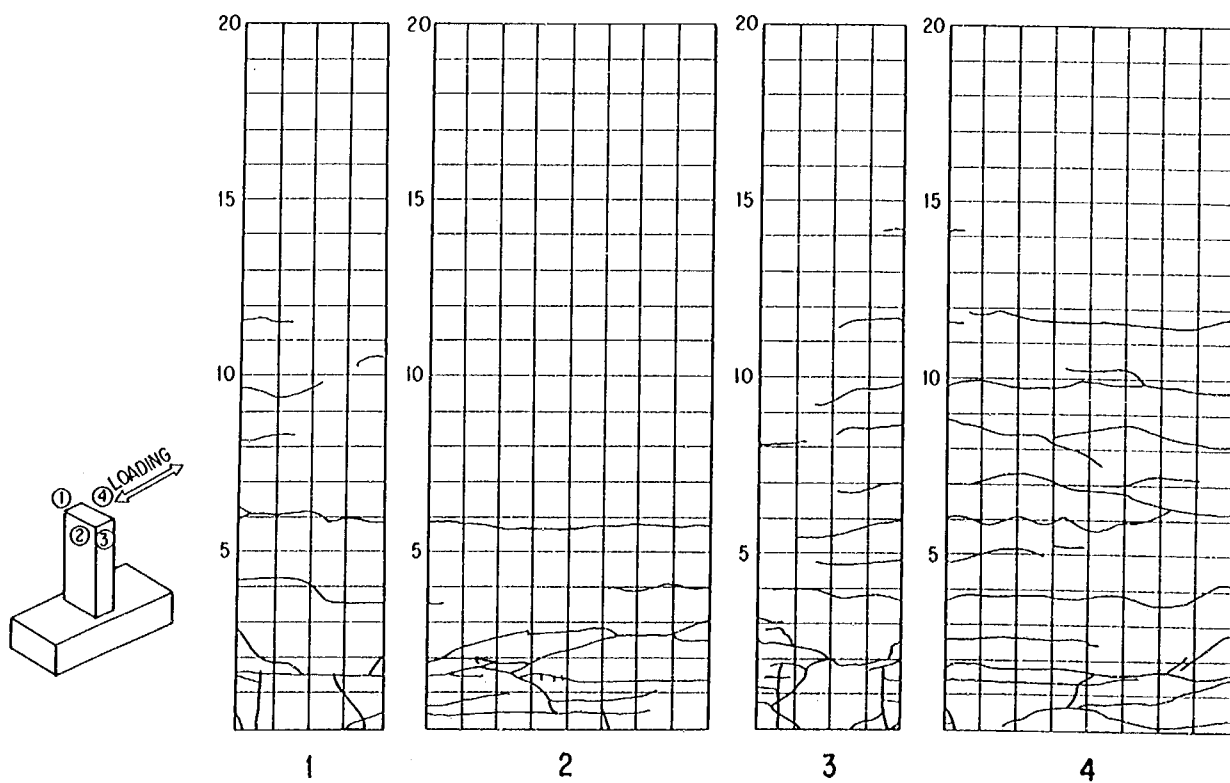


図 5 - 4. 6 供試体 43, $5.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

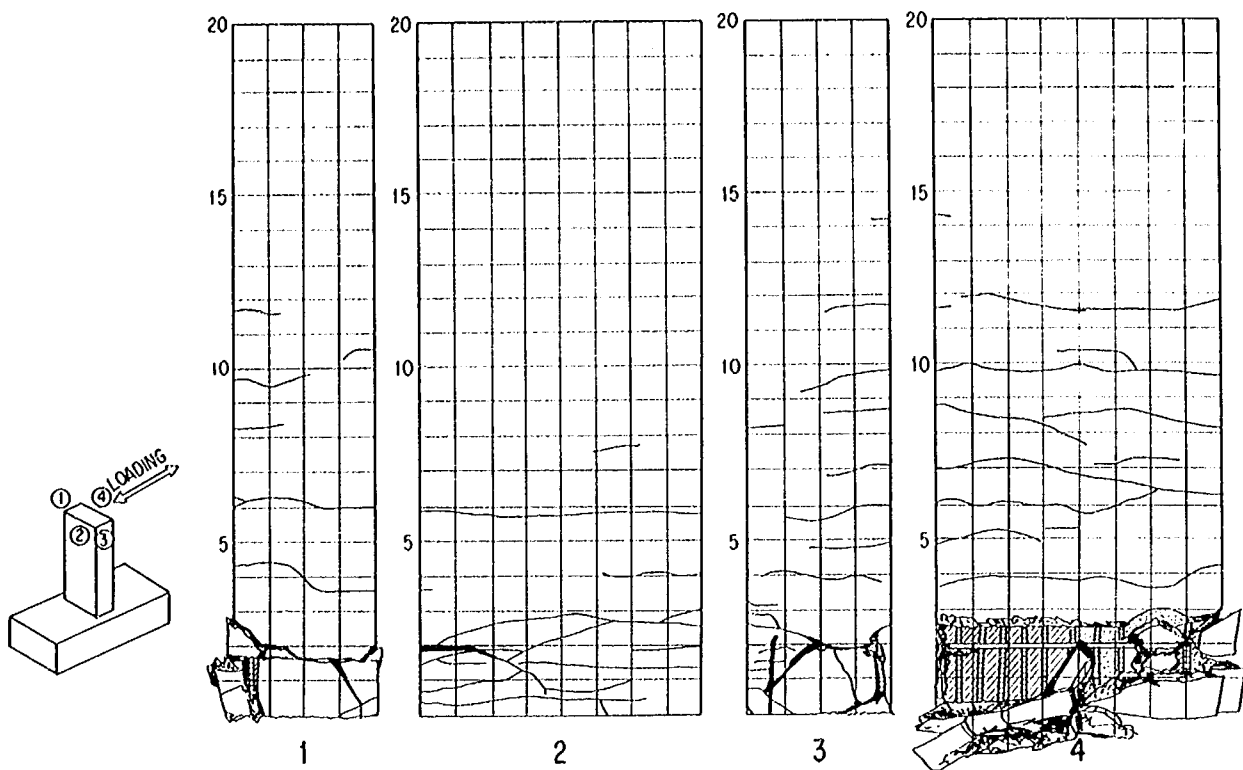


図 5 - 4. 7 供試体 43, 6.5 δ_v 終了後の破壊状況

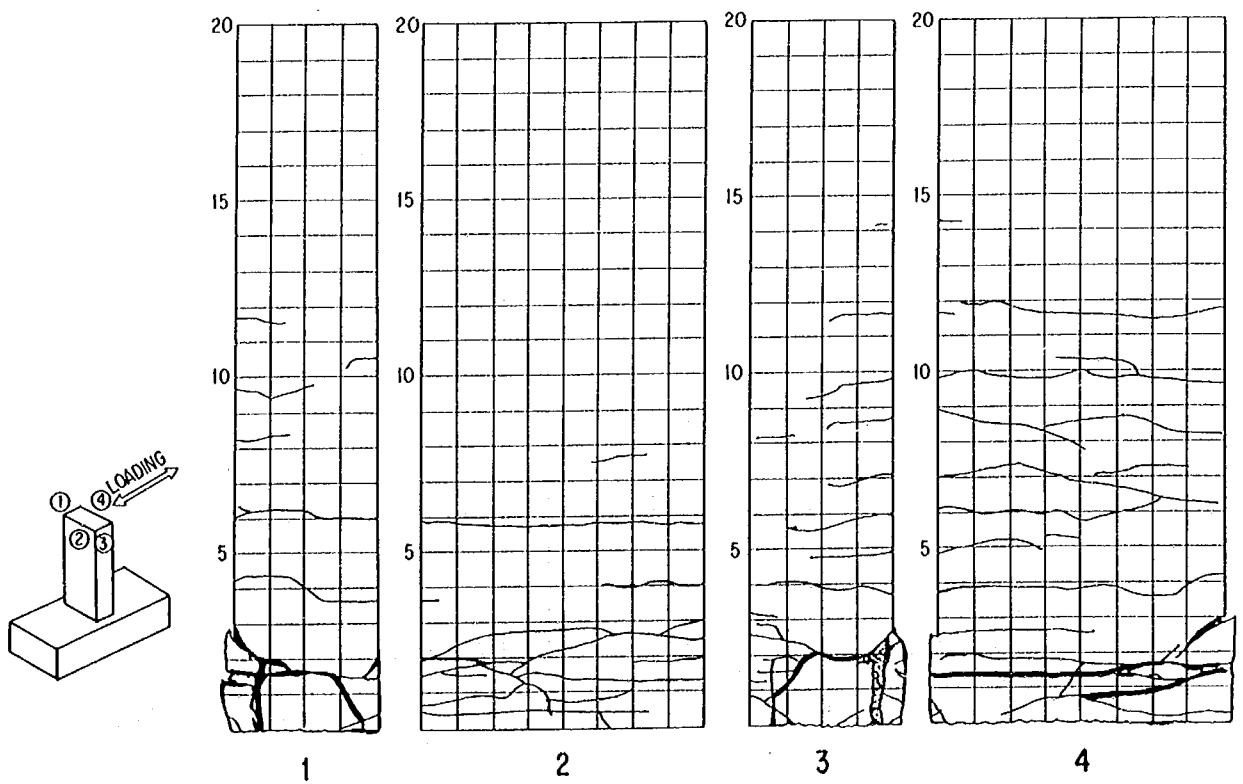


図 5 - 4. 8 供試体 43, 7.5 δ_v 終了後の破壊状況

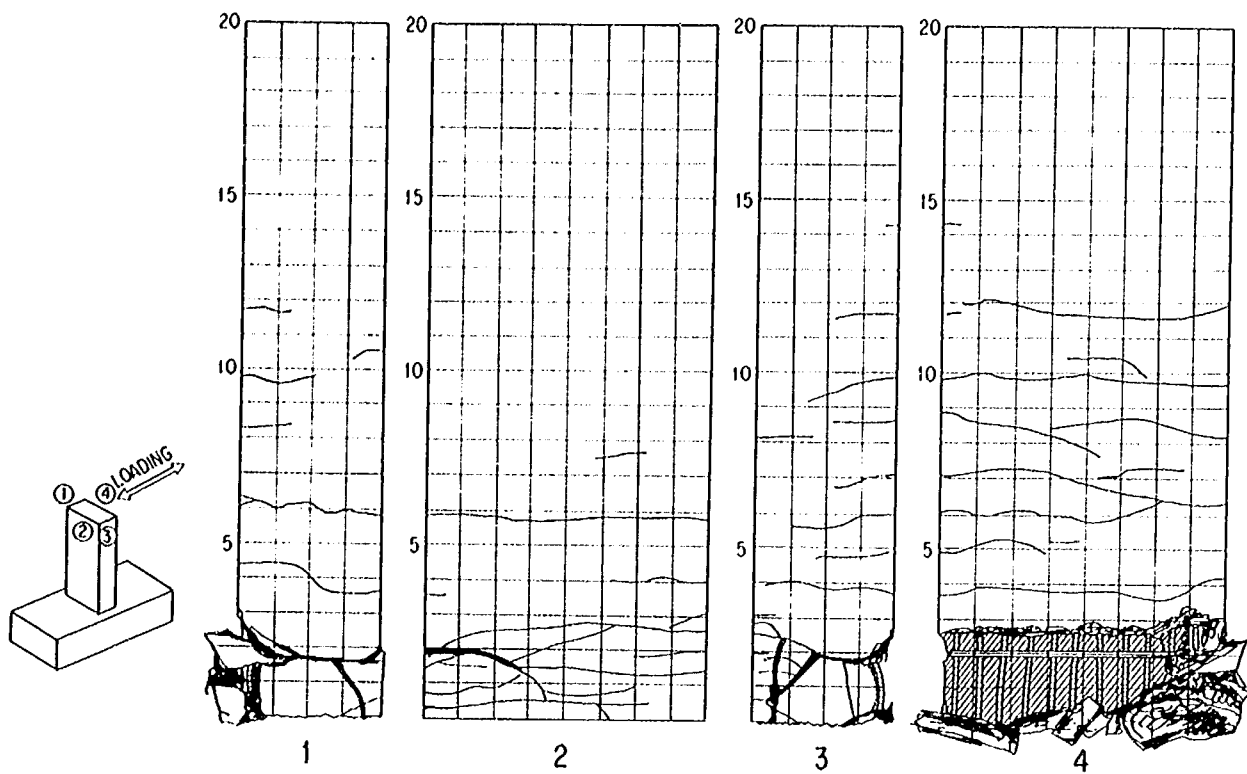


図 5 - 4. 9 供試体 43, $8.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

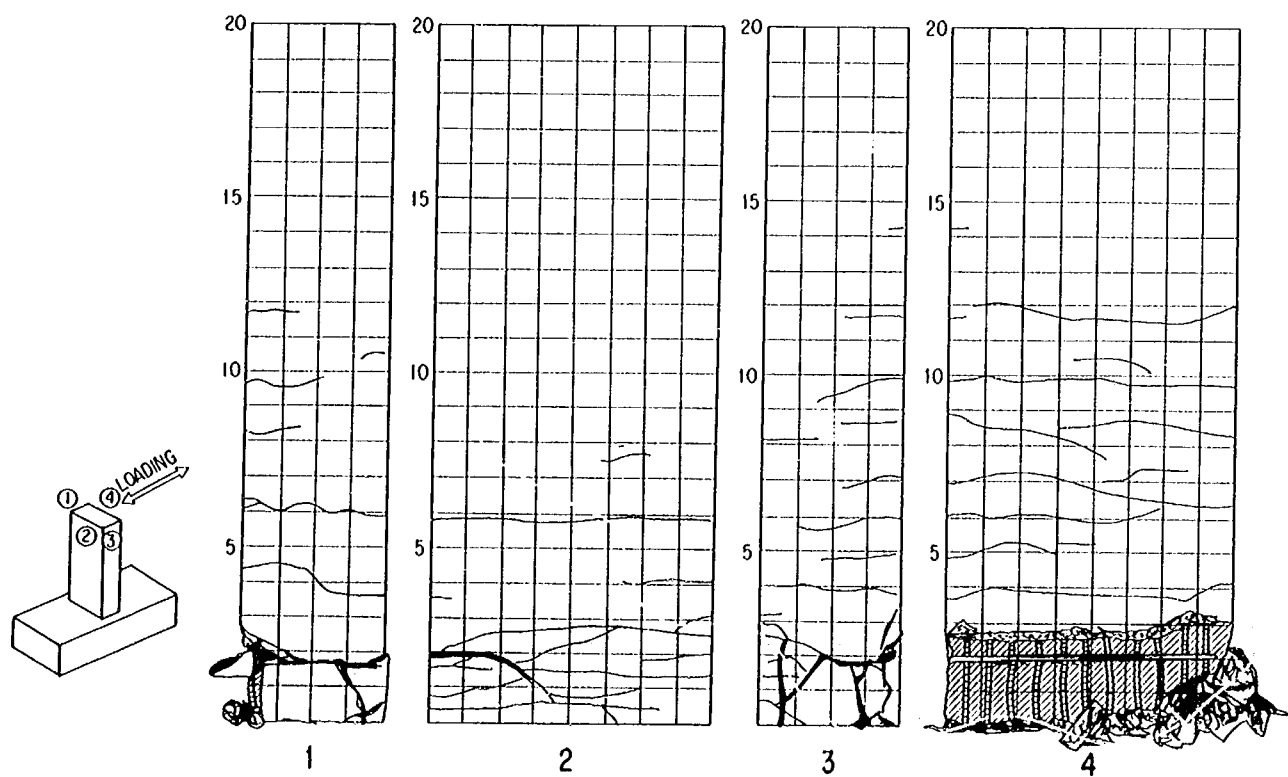


図 5 - 4. 10 供試体 43, $9.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

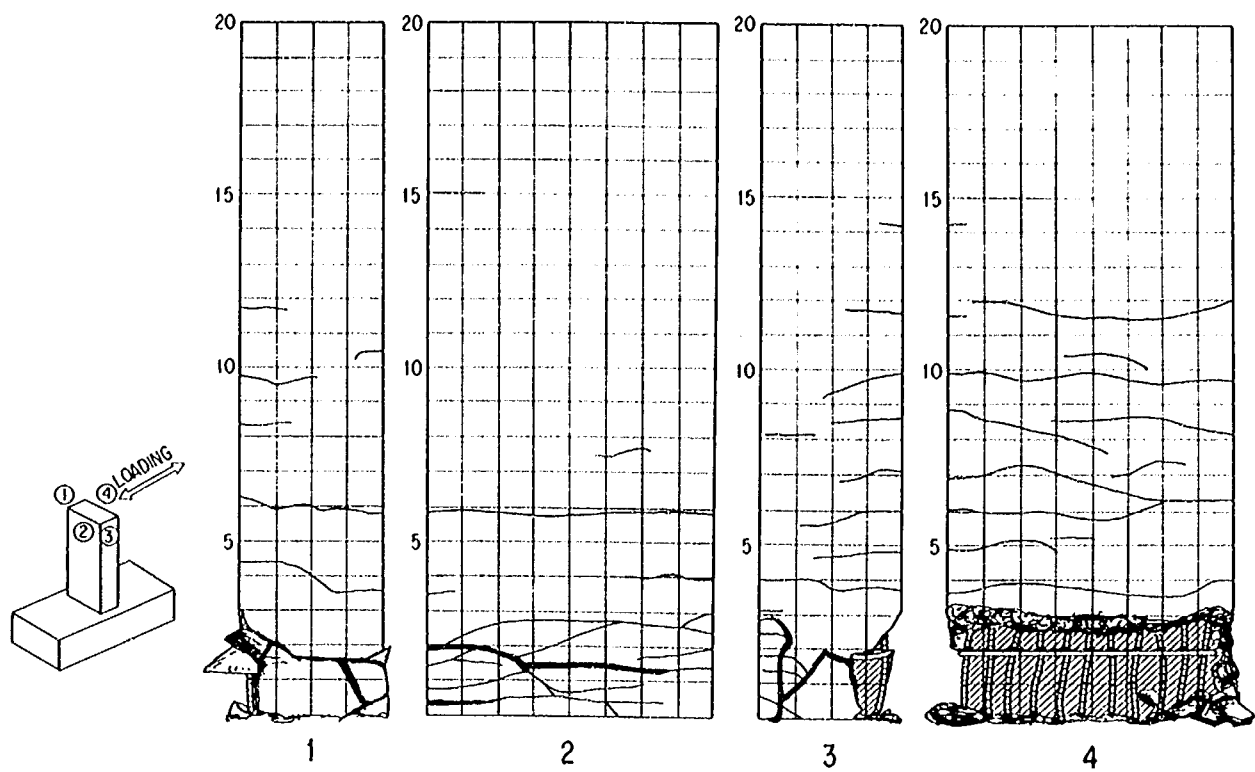


図 5 - 4. 11 供試体 43, $10 \delta_y$ 終了後の破壊状況

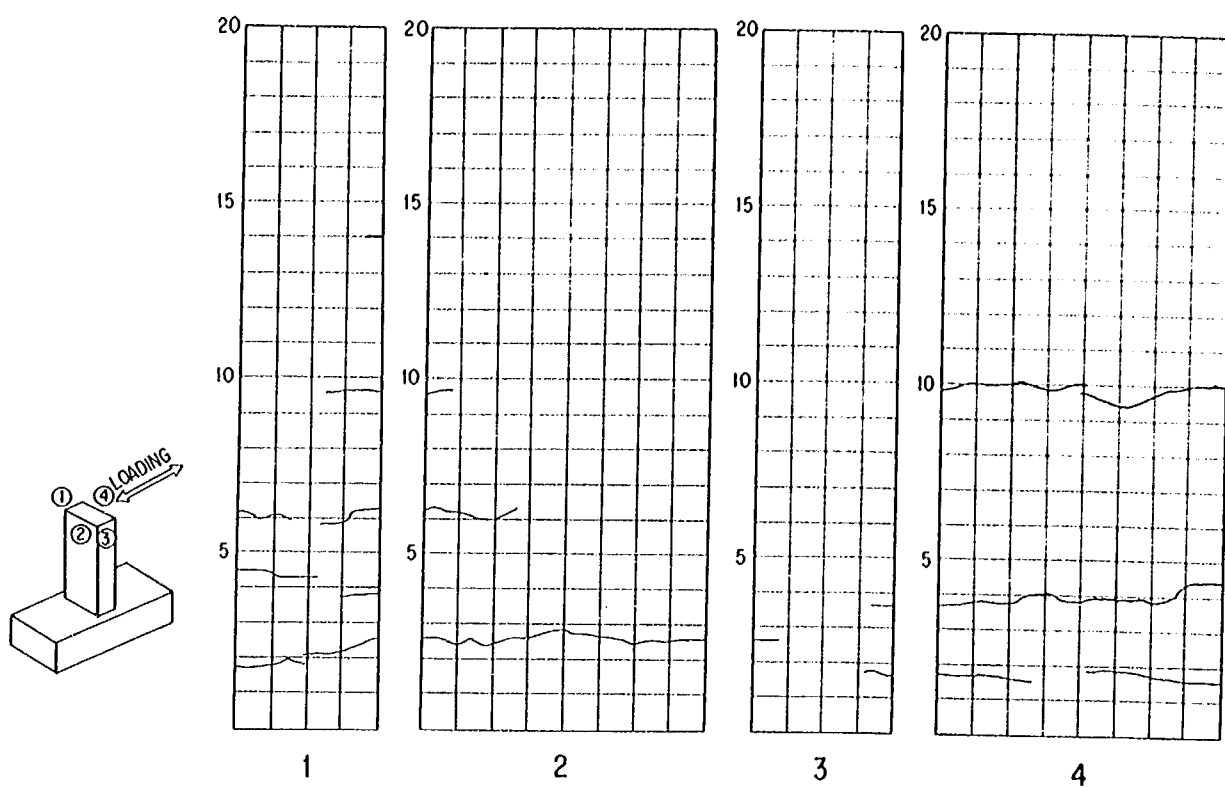


図 5 - 5. 1 供試体 44, $0.5 \delta_v$ 終了後の破壊状況

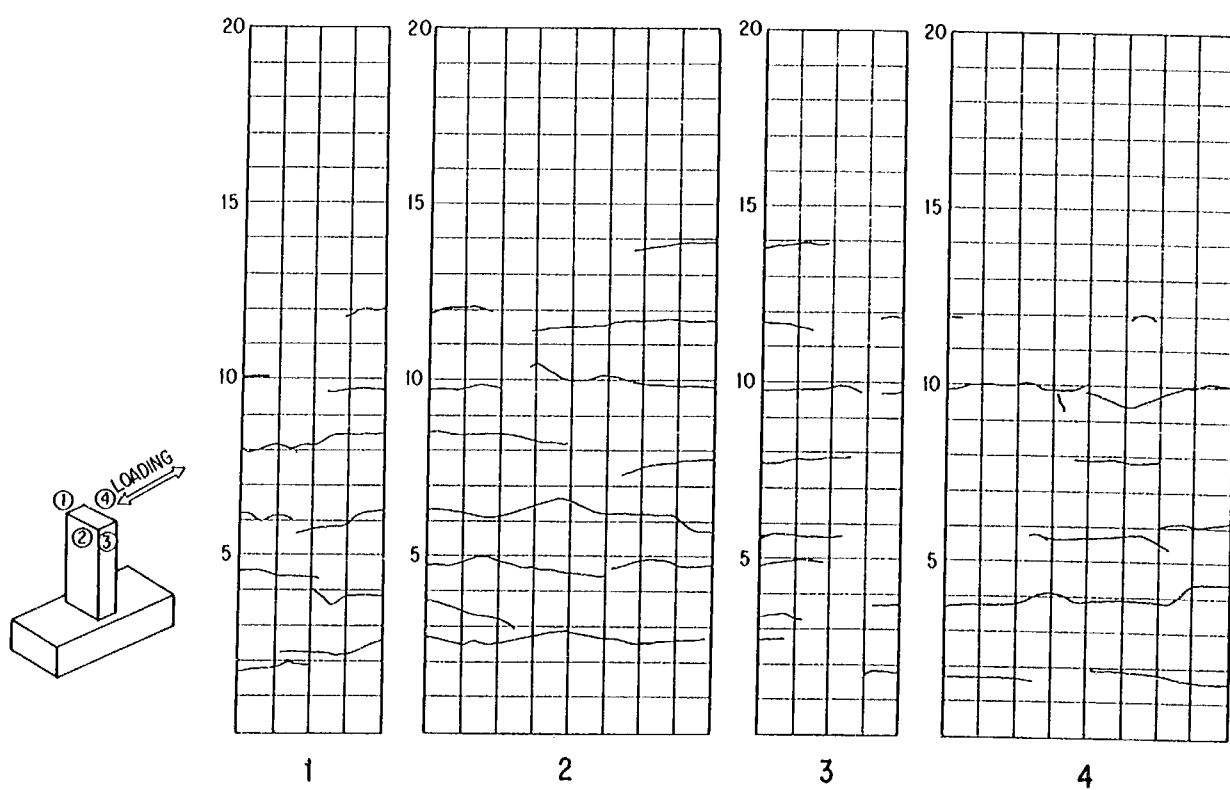


図 5 - 5. 2 供試体 44, $1.5 \delta_v$ 終了後の破壊状況

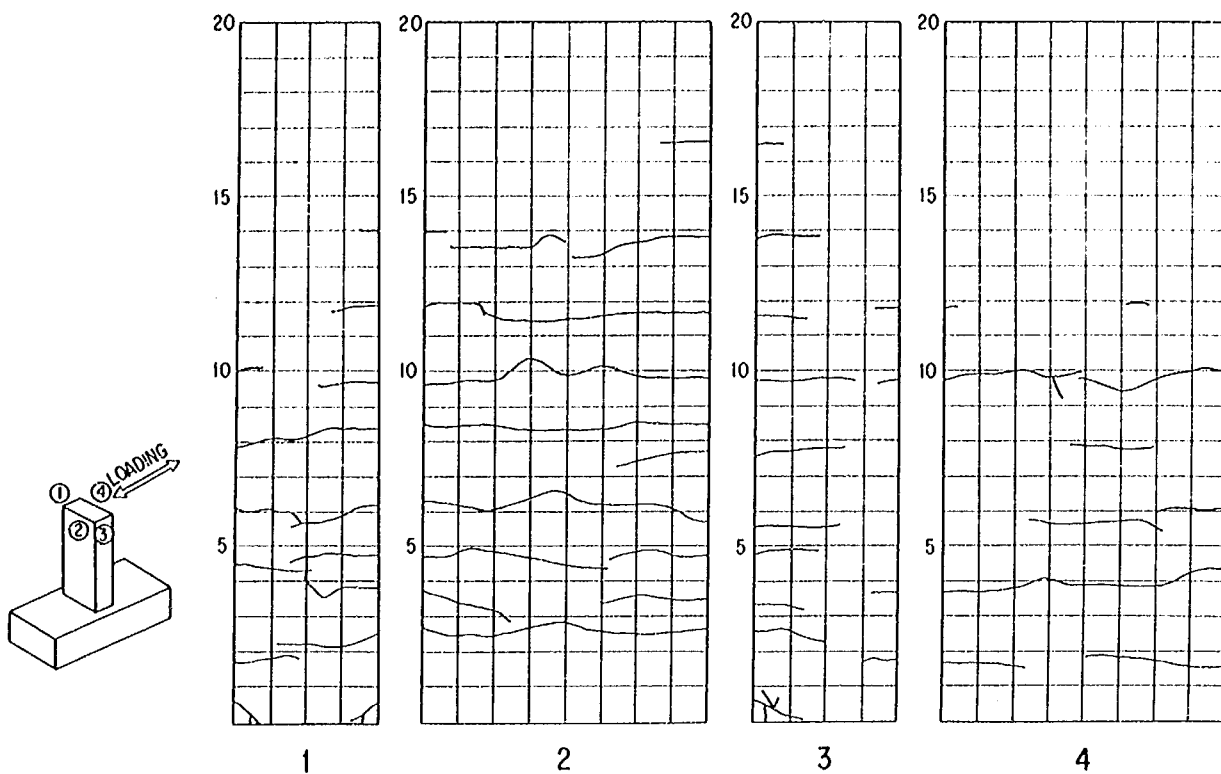


図 5 - 5. 3 供試体 44, $2.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

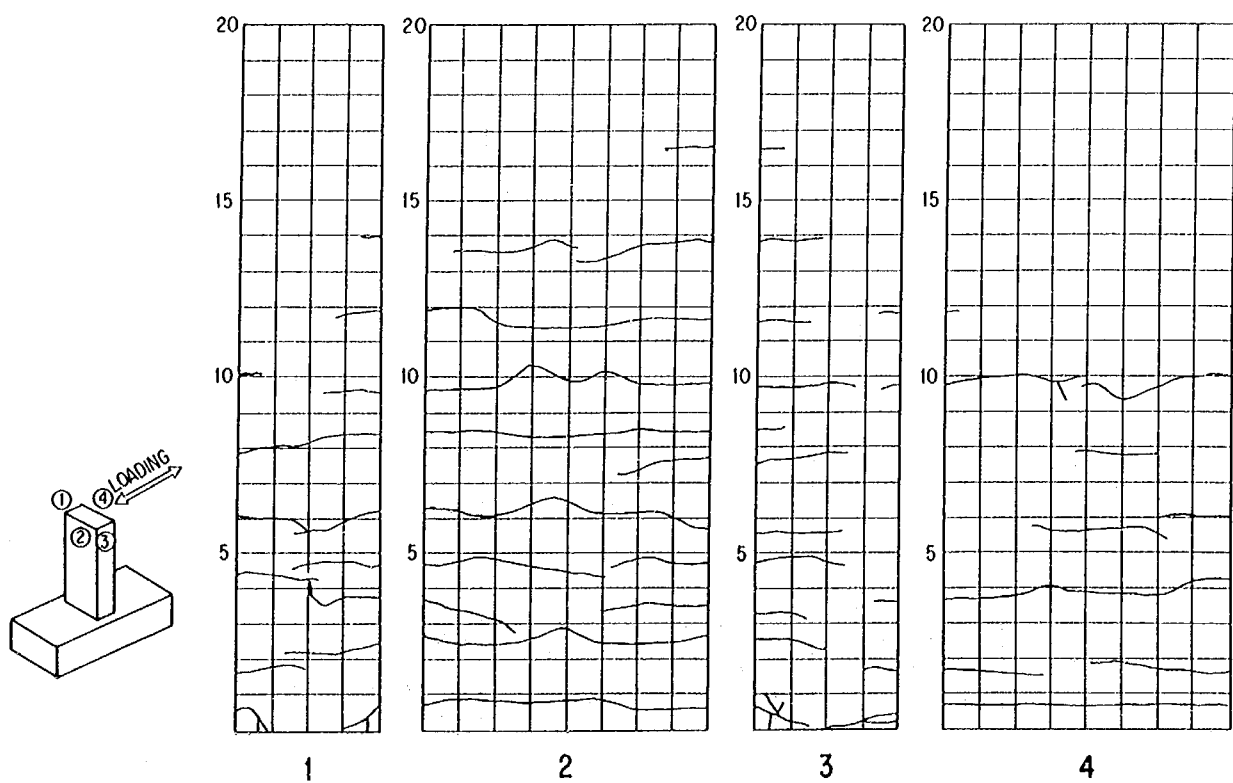


図 5 - 5. 4 供試体 44, $3.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

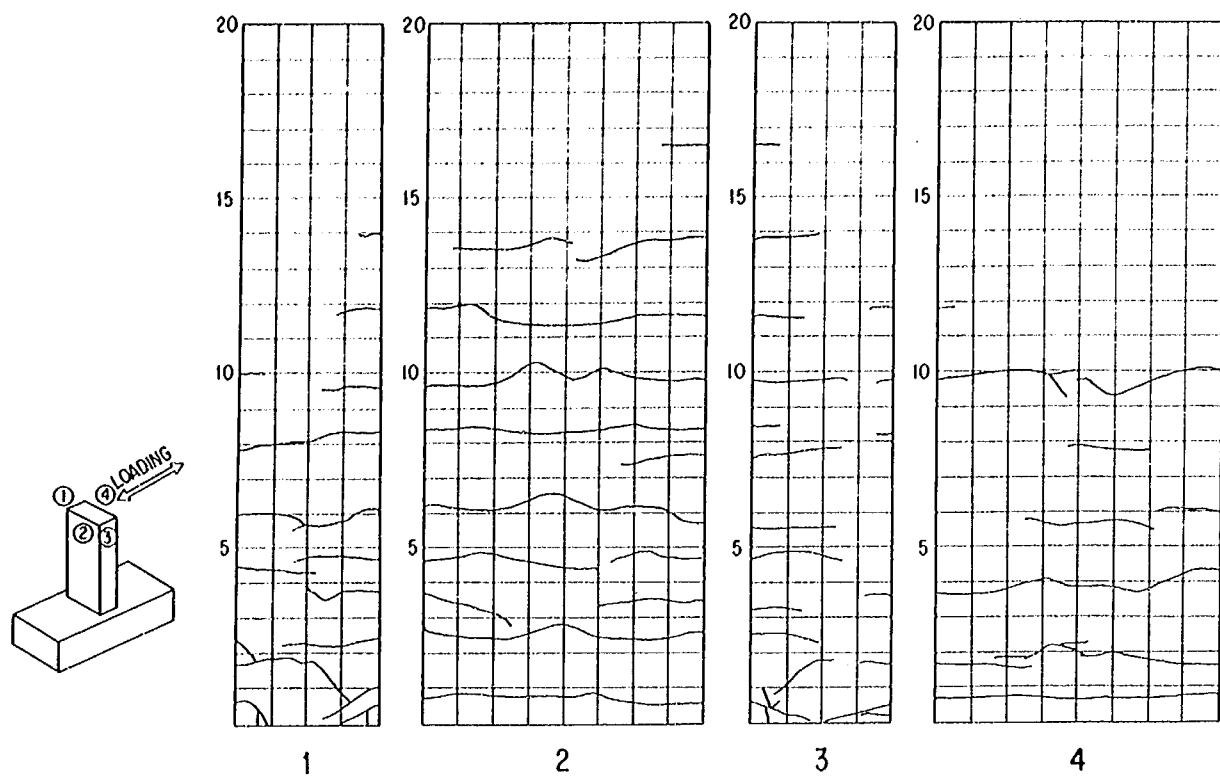


図 5 - 5. 5 供試体 44, $4.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

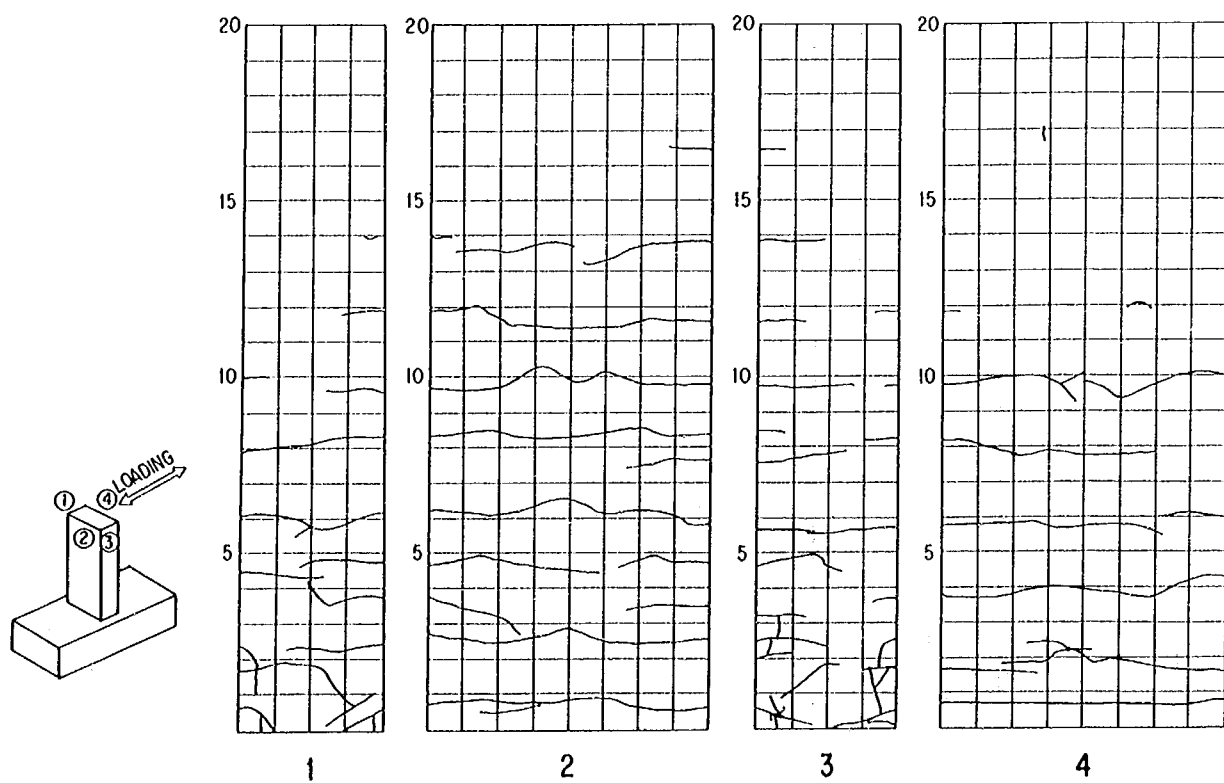


図 5 - 5. 6 供試体 44, $5.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

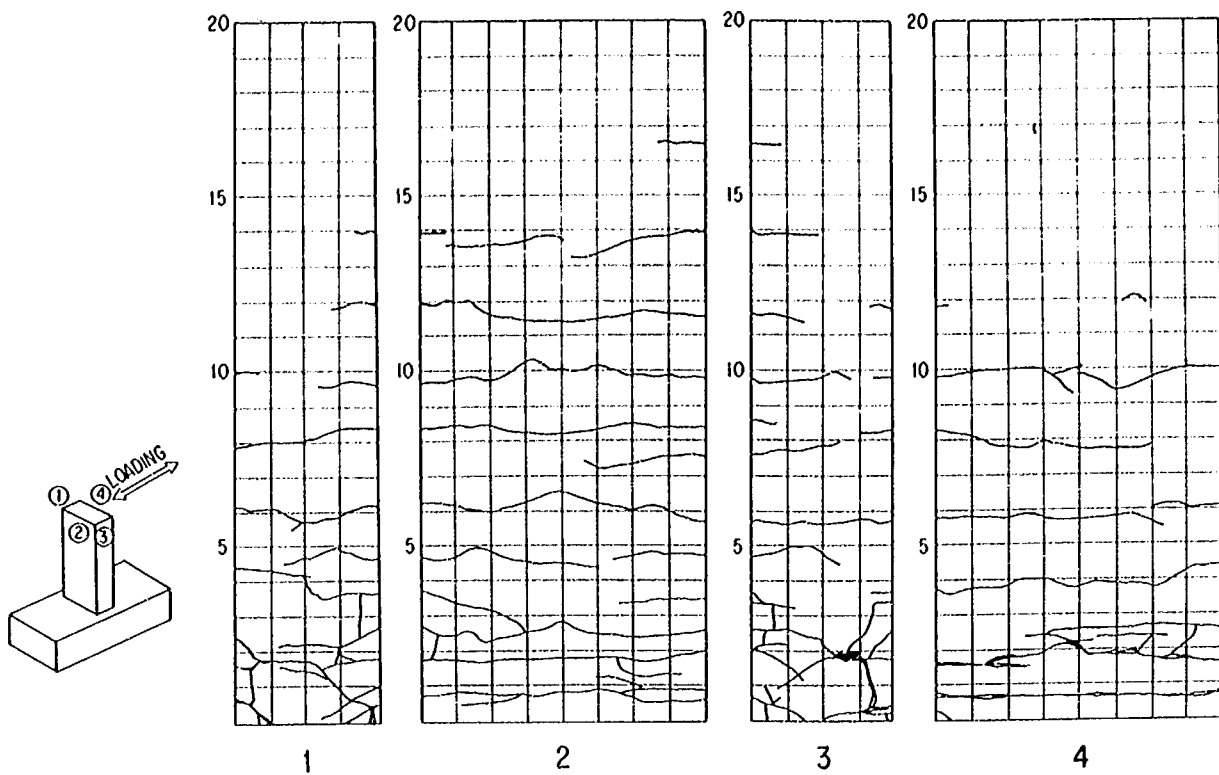


図 5 - 5. 7 供試体 44, $6.5 \delta_v$ 終了後の破壊状況

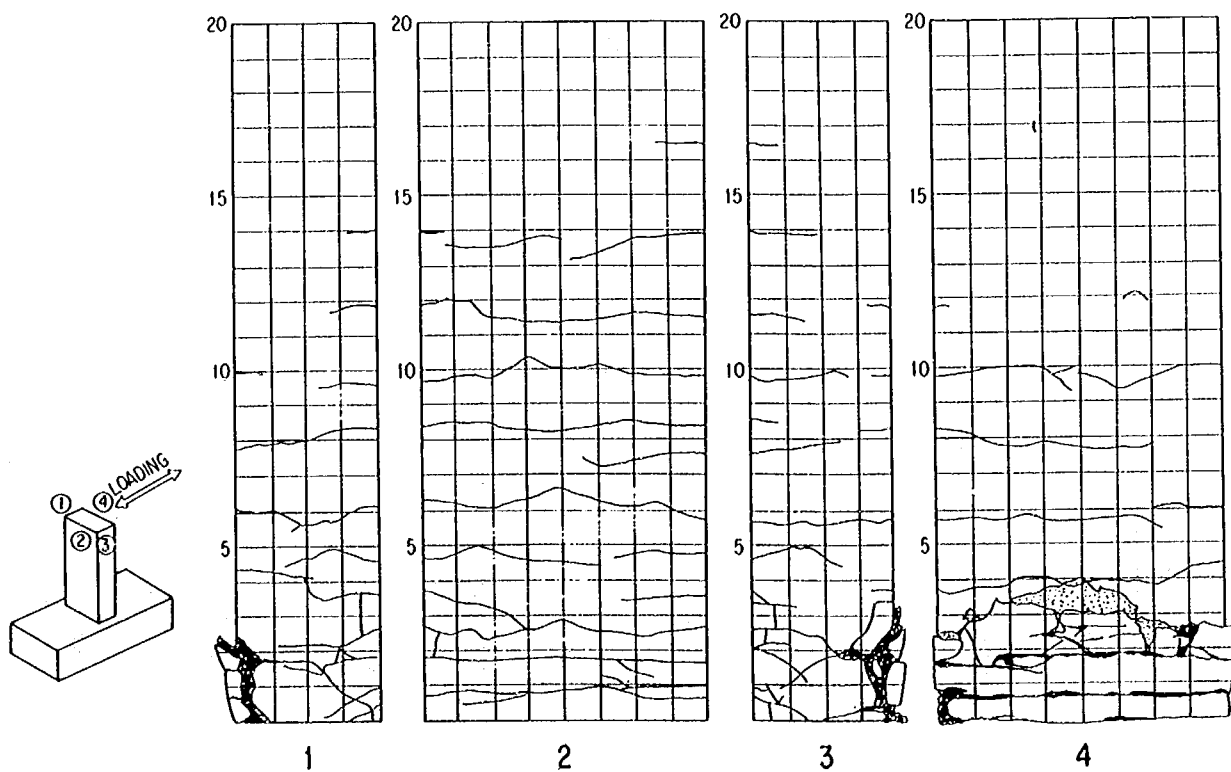


図 5 - 5. 8 供試体 44, $7.5 \delta_v$ 終了後の破壊状況

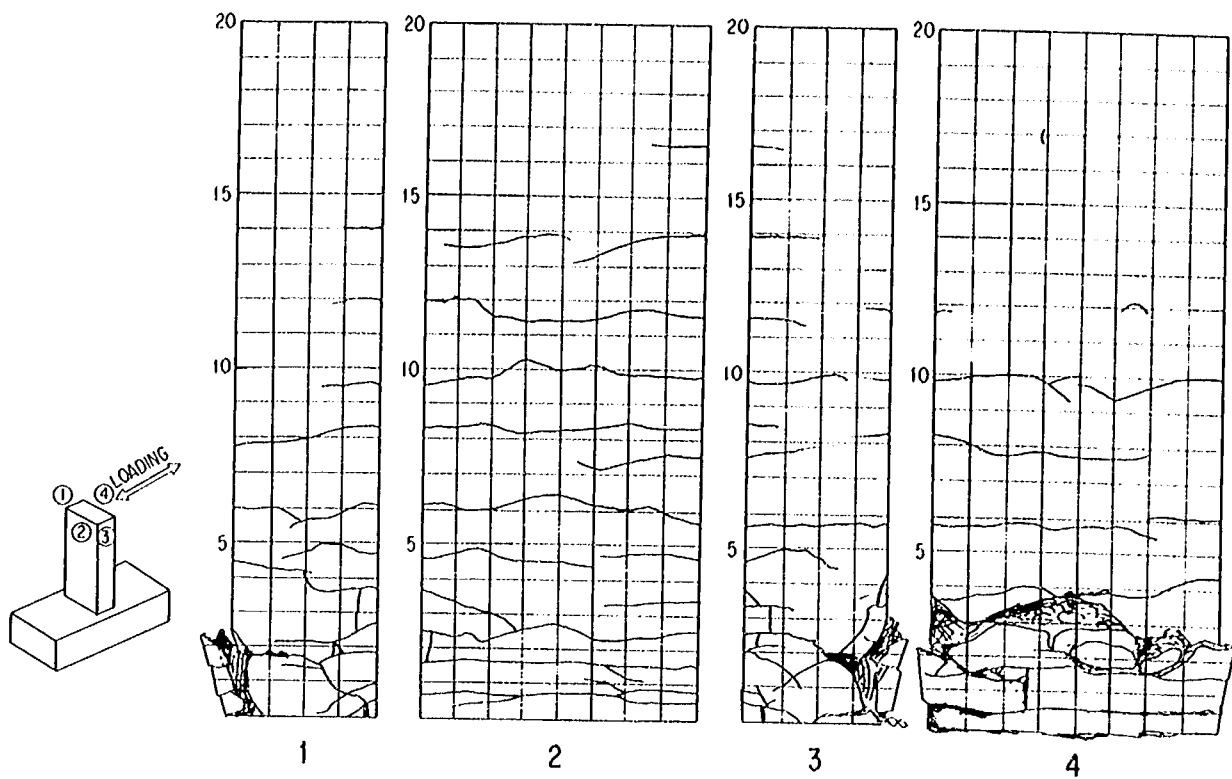


図 5 - 5.9 供試体 44, $8.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

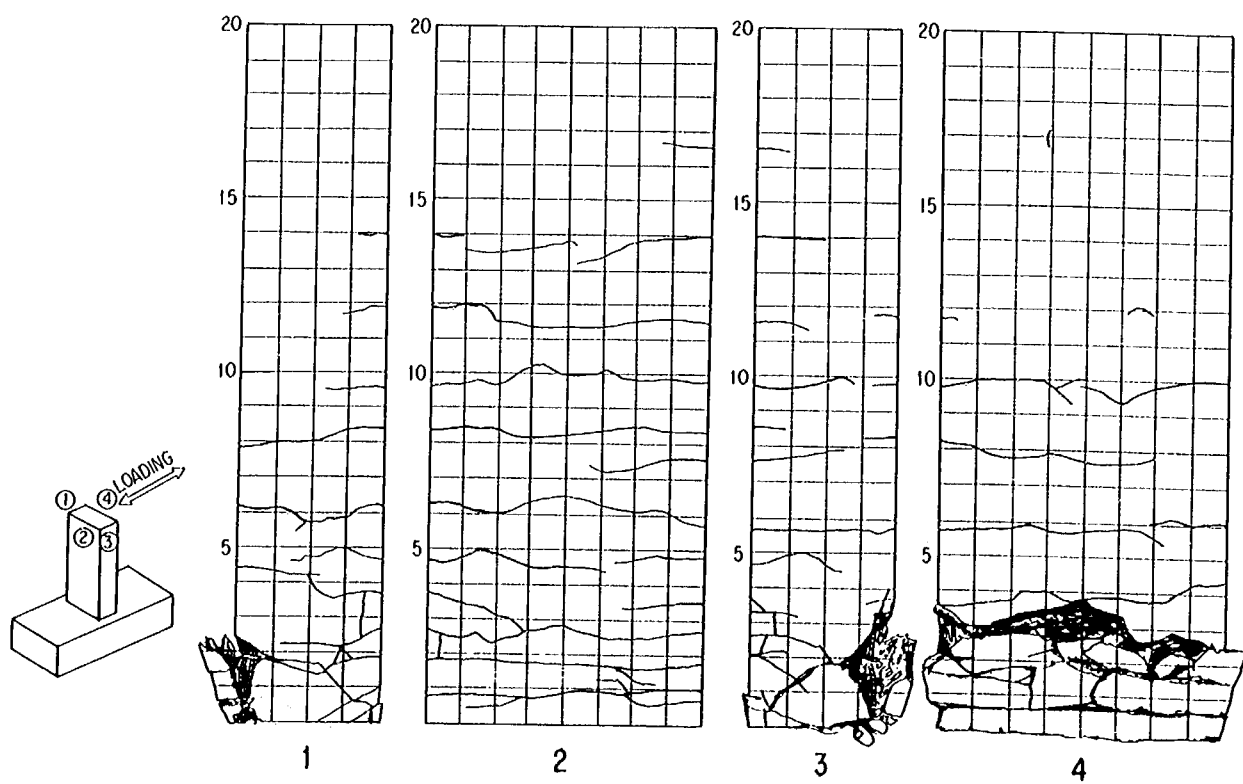


図 5 - 5.10 供試体 44, $9.5 \delta_y$ 終了後の破壊状況

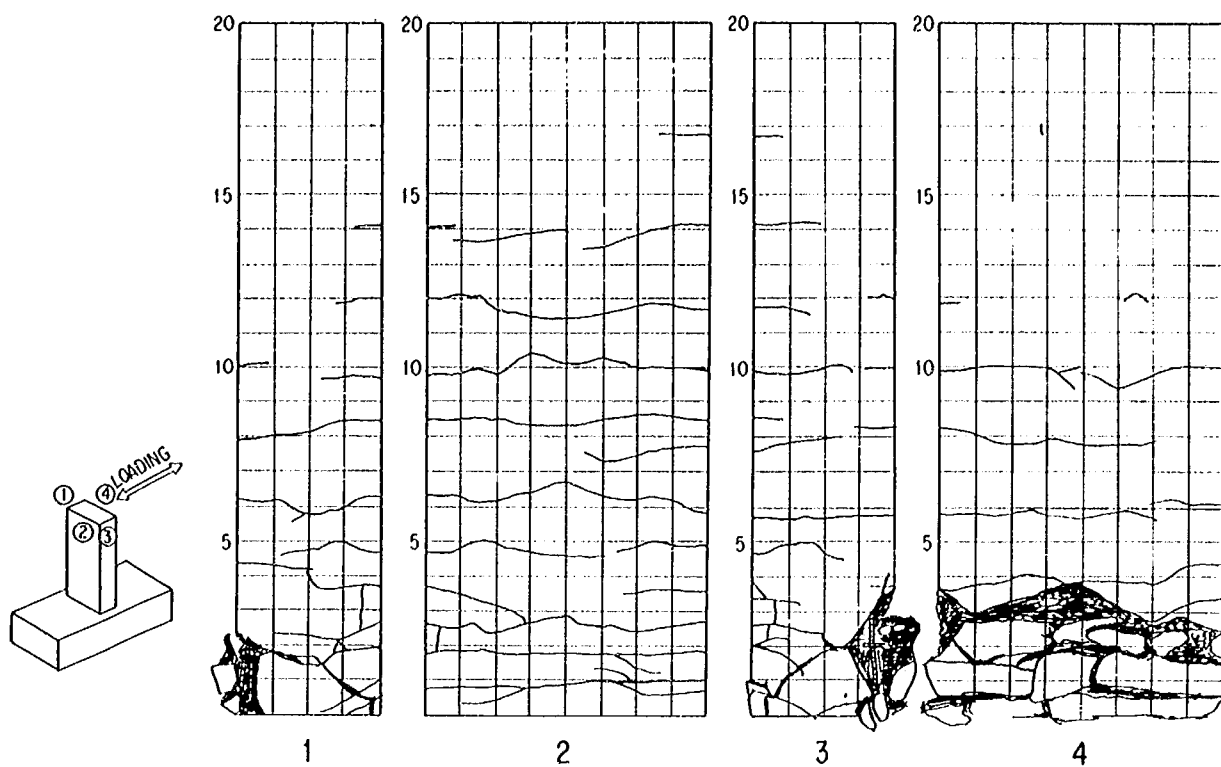


図 5 - 5.11 供試体 44, $10 \delta_y$ 終了後の破壊状況

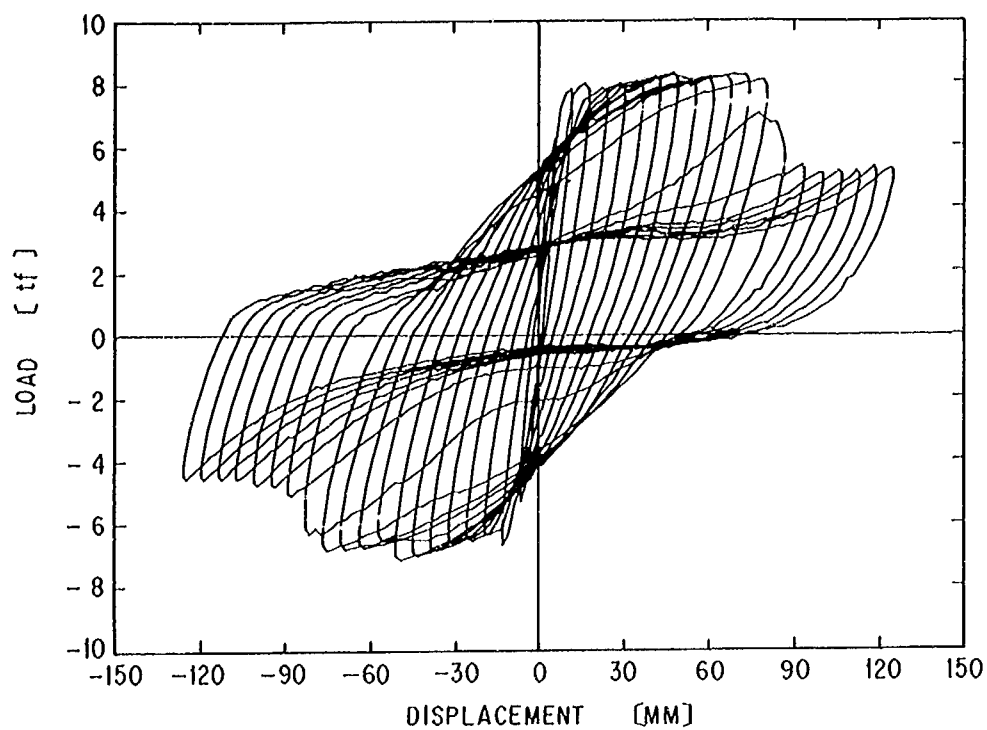


図 5 - 6. 1 供試体 40 の荷重-変位履歴曲線

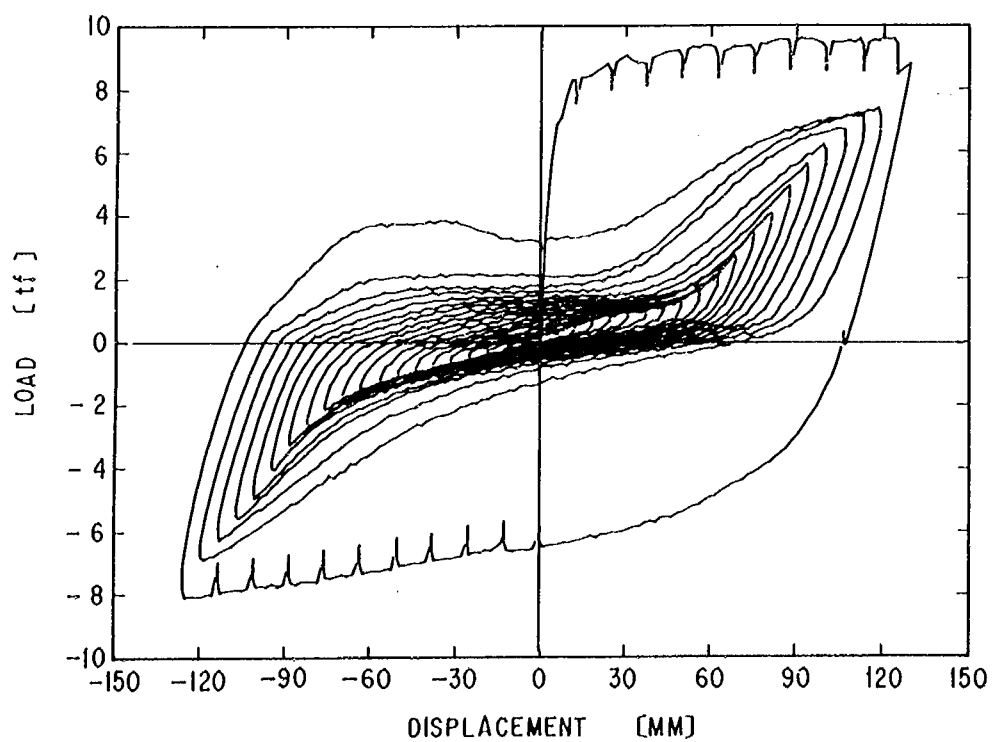


図 5 ~ 6. 2 供試体 41 の荷重-変位履歴曲線

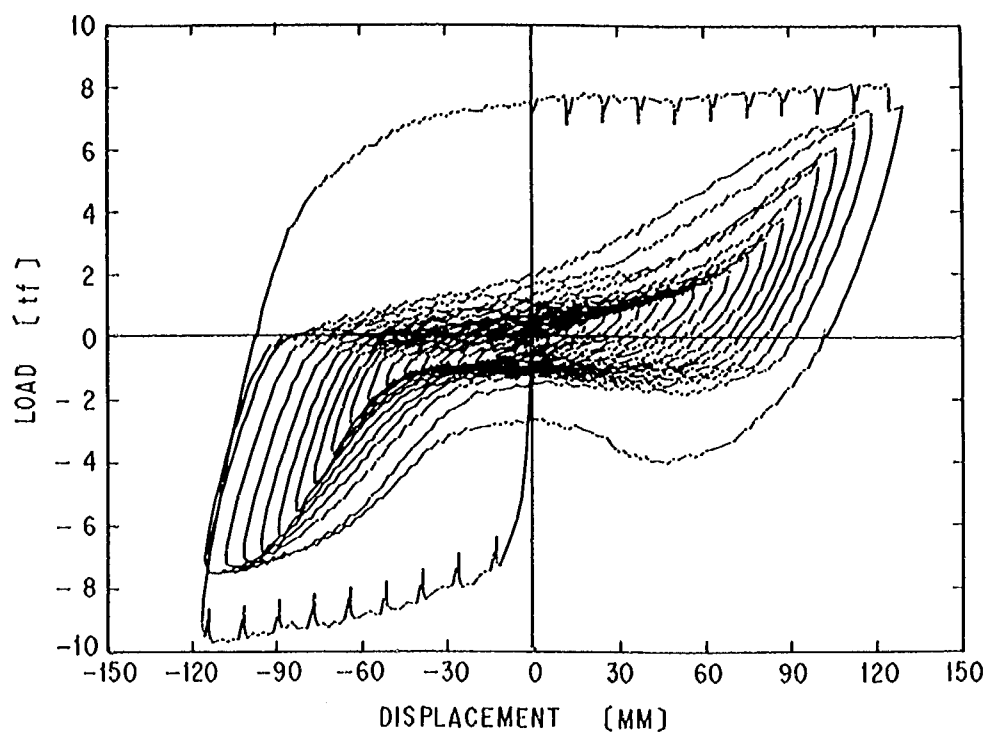


図 5 - 6. 3 供試体 42 の荷重-変位履歴曲線

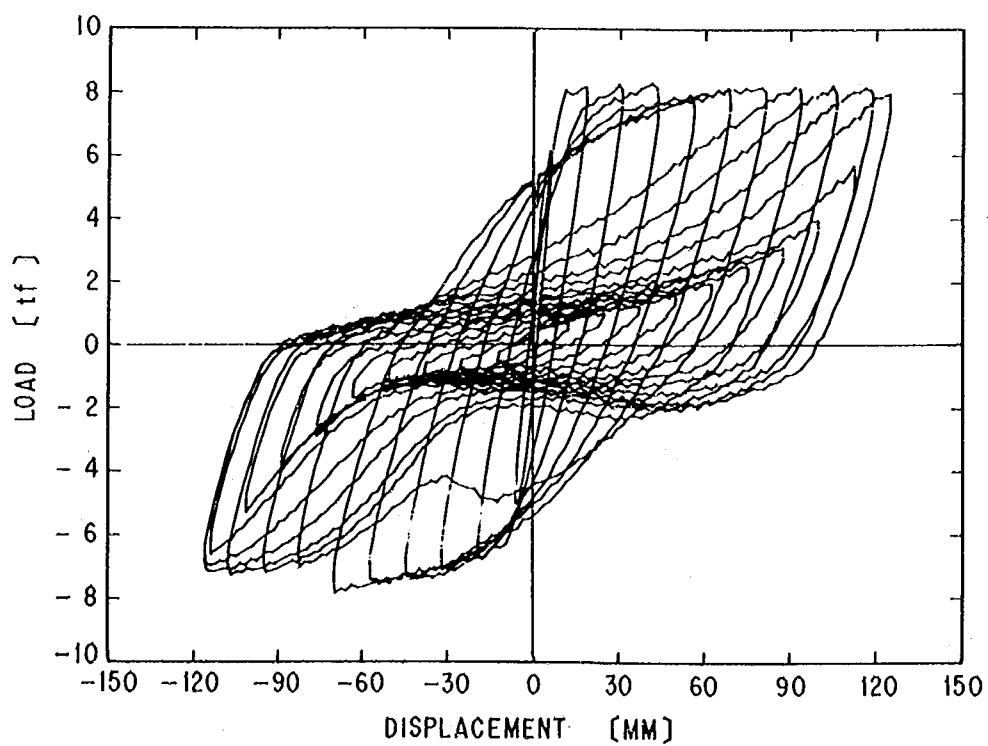


図 5 - 6. 4 供試体 43 の荷重-変位履歴曲線

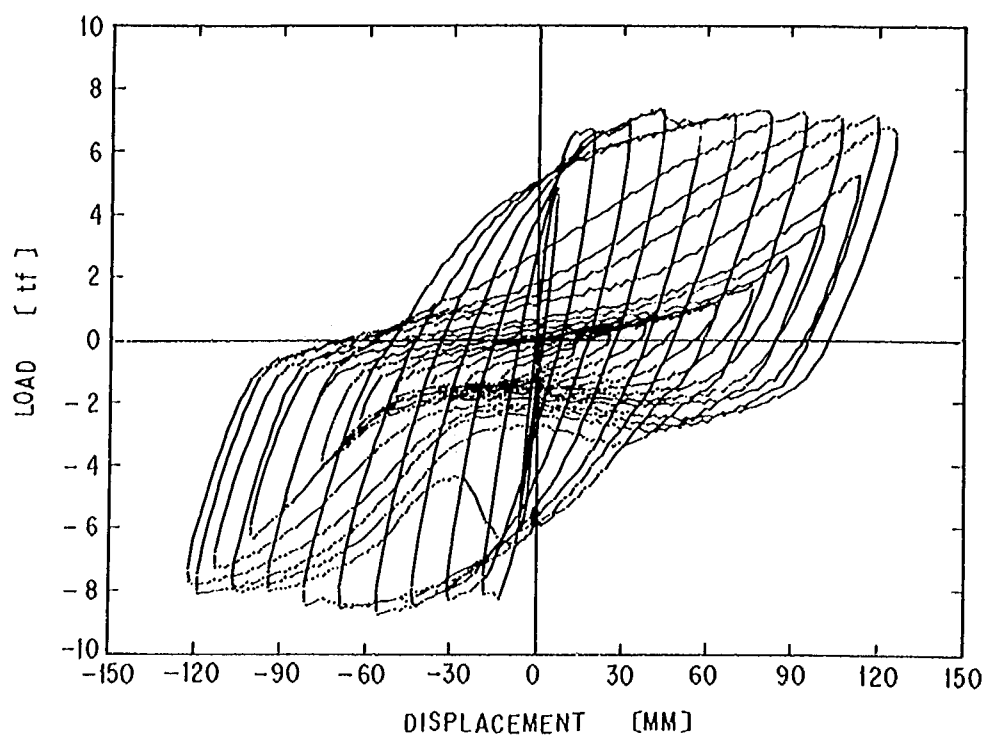


図 5 - 6.5 供試体 44 の荷重-変位履歴曲線

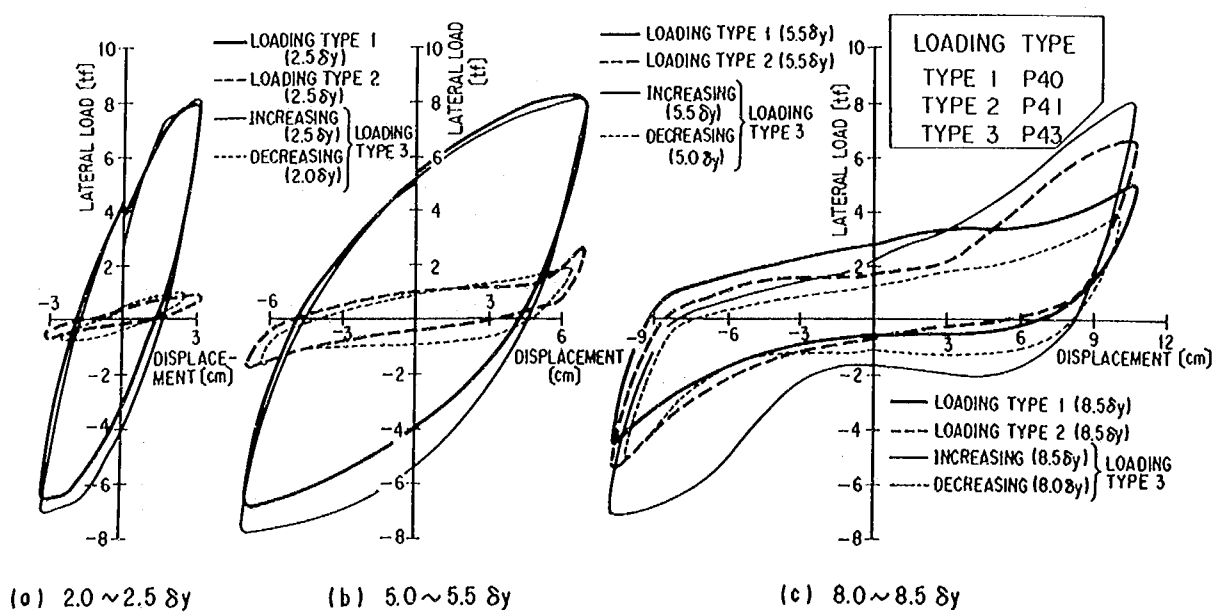
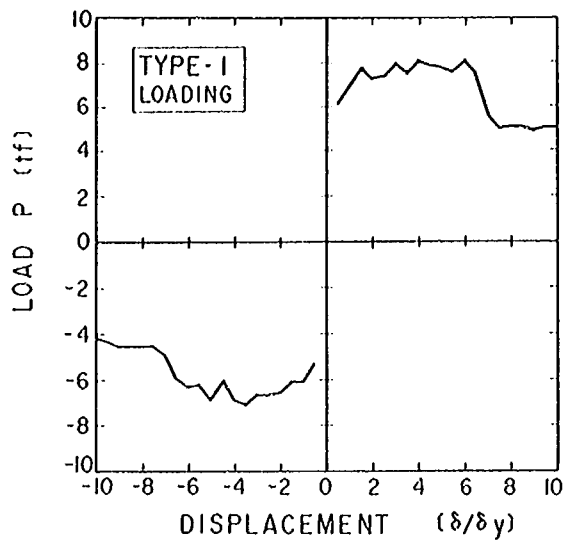
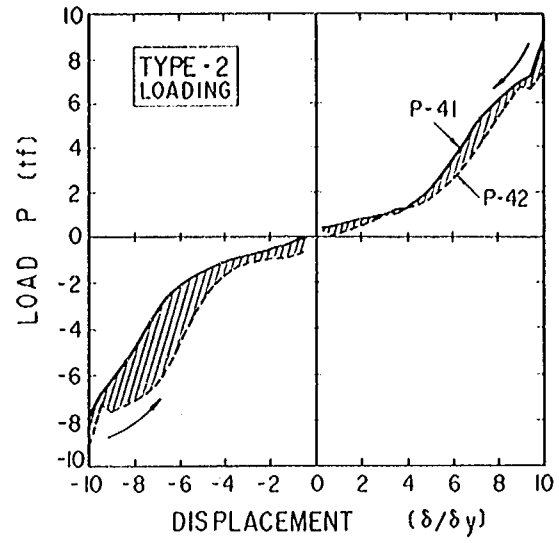


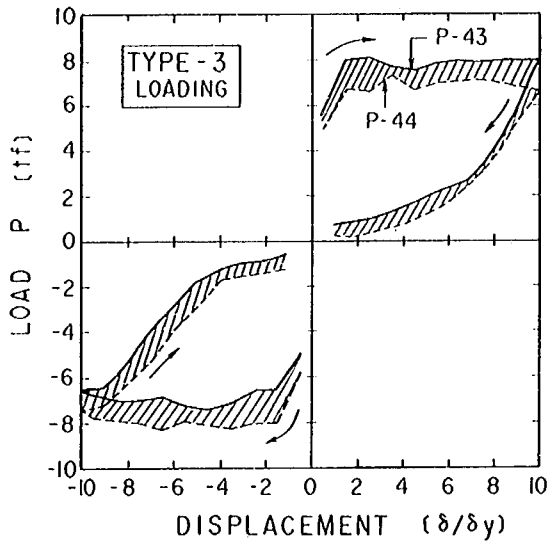
図 5 - 7 代表的な載荷変位振幅における履歴曲線の比較



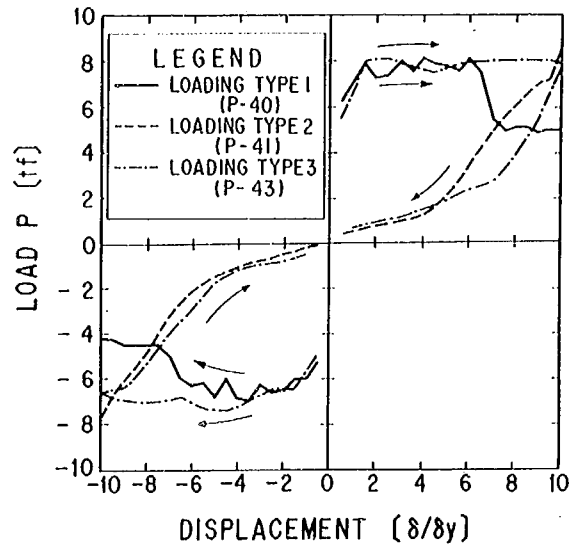
(a) タイプ-1 载荷 (P-40)



(b) タイプ-2 载荷 (P-41, 42)



(c) タイプ-3 载荷 (P-43, 44)



(d) 载荷履歴の影響 (P-40, P-41, P-43)

図 5 - 8 履歴曲線の包絡線に及ぼす载荷履歴の影響

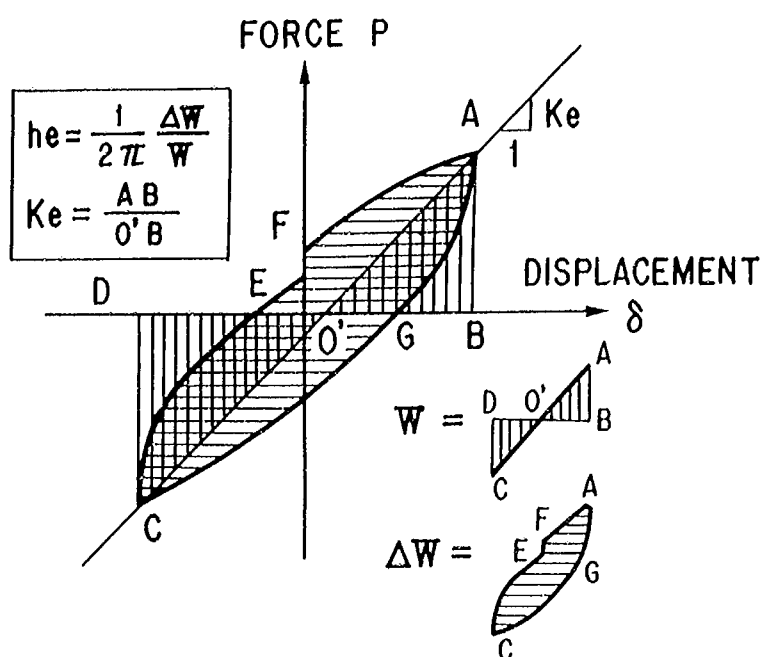
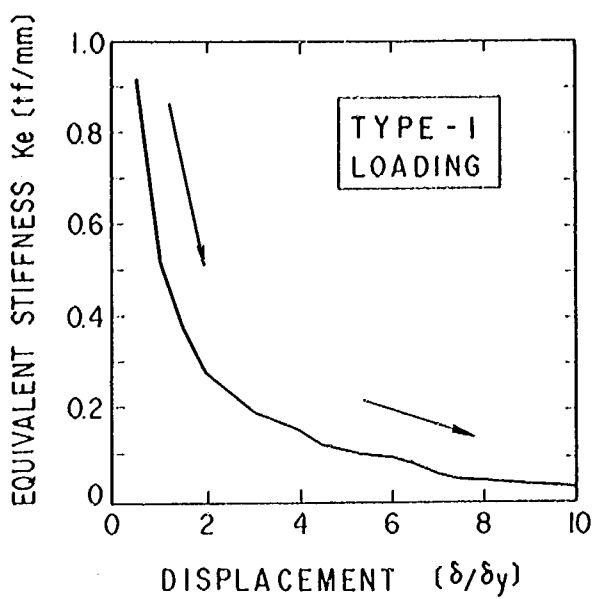
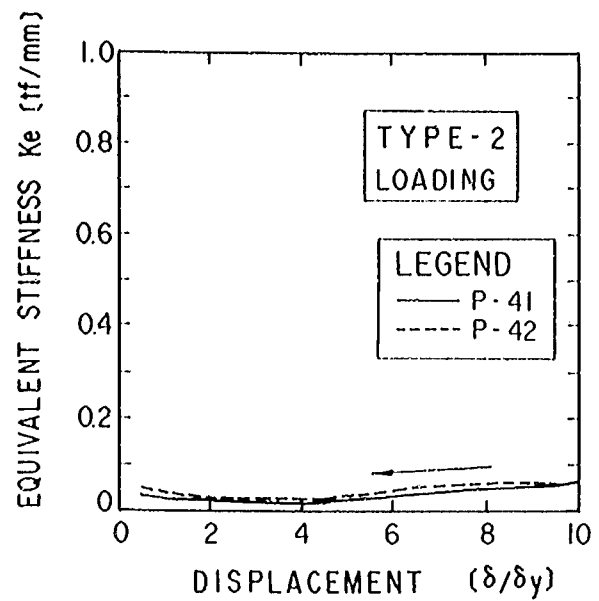


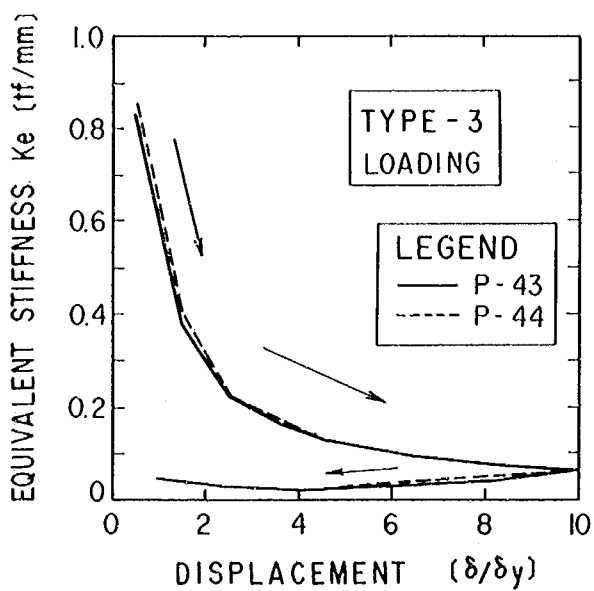
図 5 - 9 等価剛性 K_e 及び等価粘性減衰定数 h_e の定義



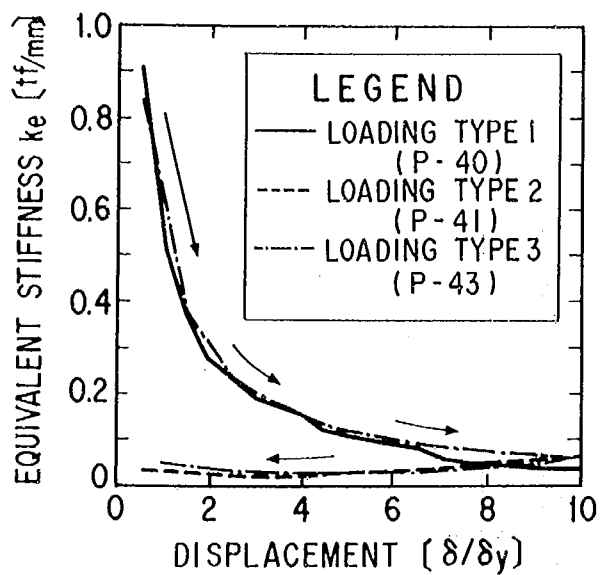
(a) タイプ - 1 載荷 (P-40)



(b) タイプ - 2 載荷 (P-41, 42)

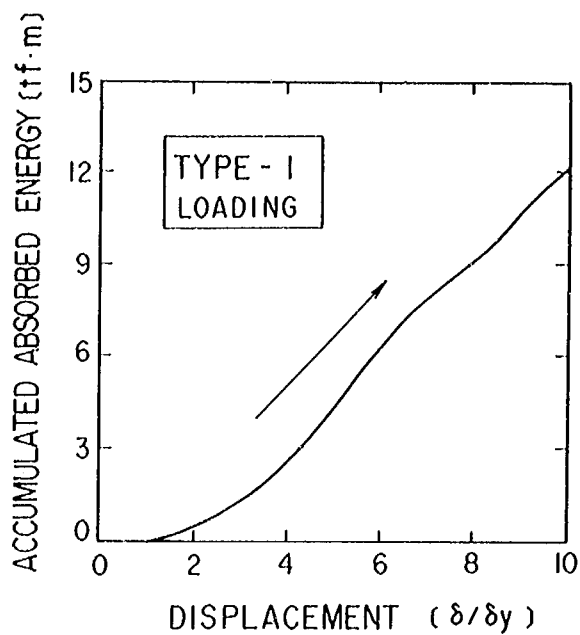


(c) タイプ - 3 載荷 (P-43, 44)

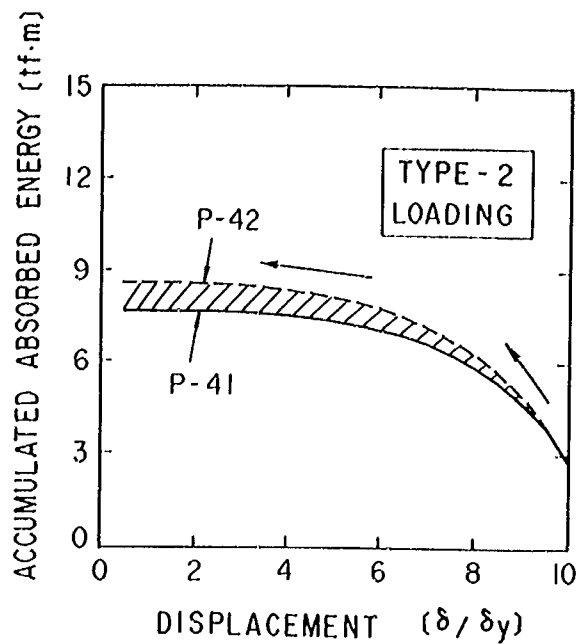


(d) 載荷履歴の影響 (P-40, P-41, P-43)

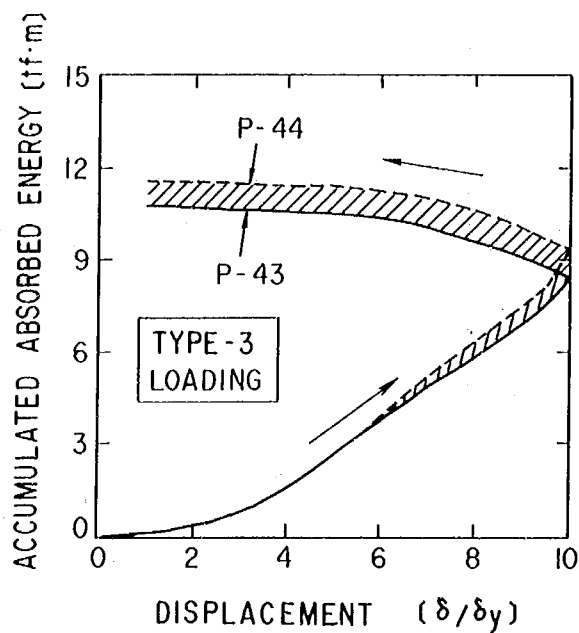
図 5 - 10 等価剛性に及ぼす載荷履歴の影響



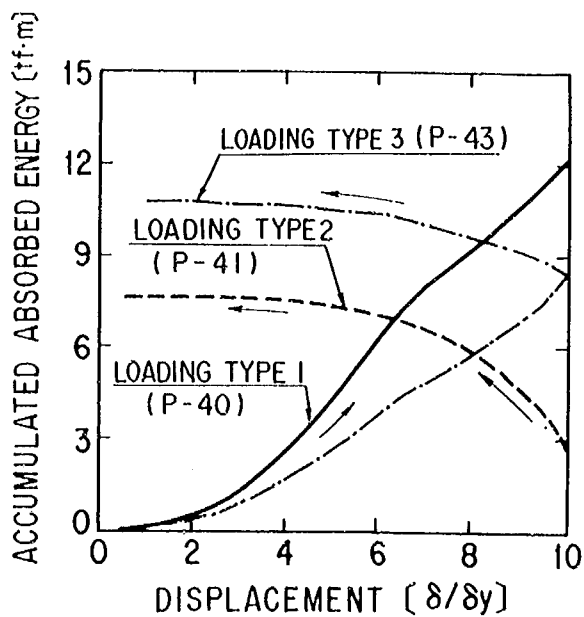
(a) タイプ-1 载荷 (P-40)



(b) タイプ-2 载荷 (P-41, 42)

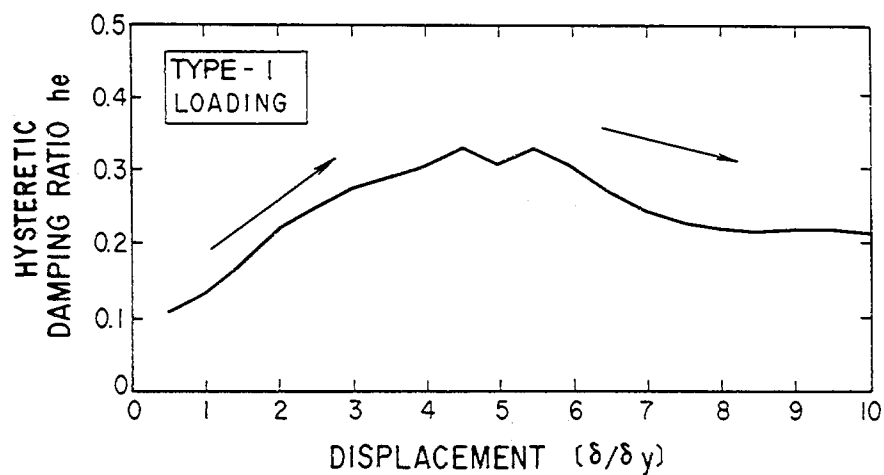


(c) タイプ-3 载荷 (P-43, 44)

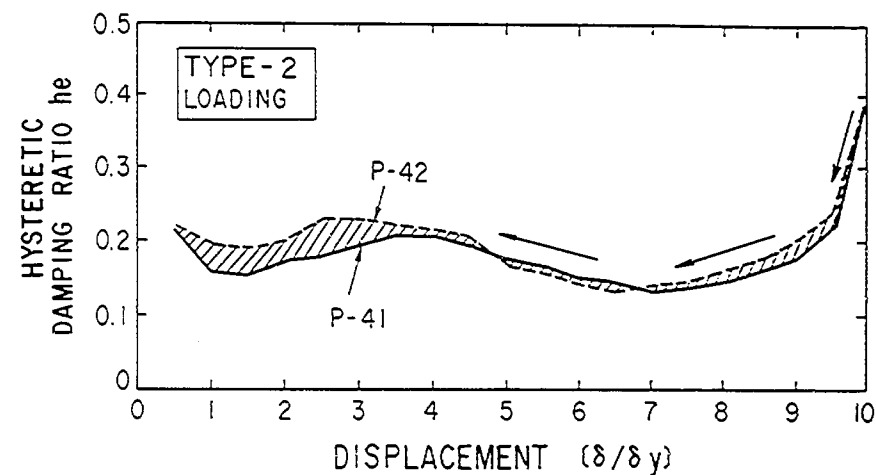


(d) 载荷履歴の影響 (P-40, P-41, P-43)

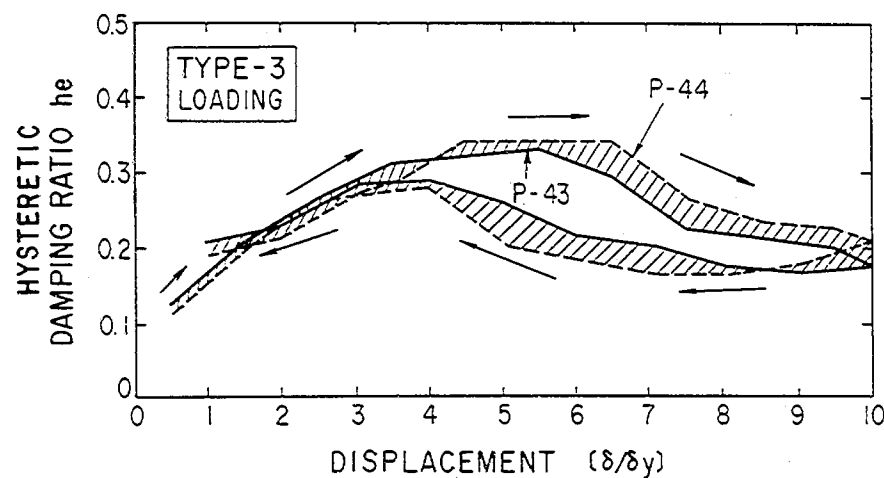
図 5 - 11 累積吸収エネルギーに及ぼす载荷履歴の影響



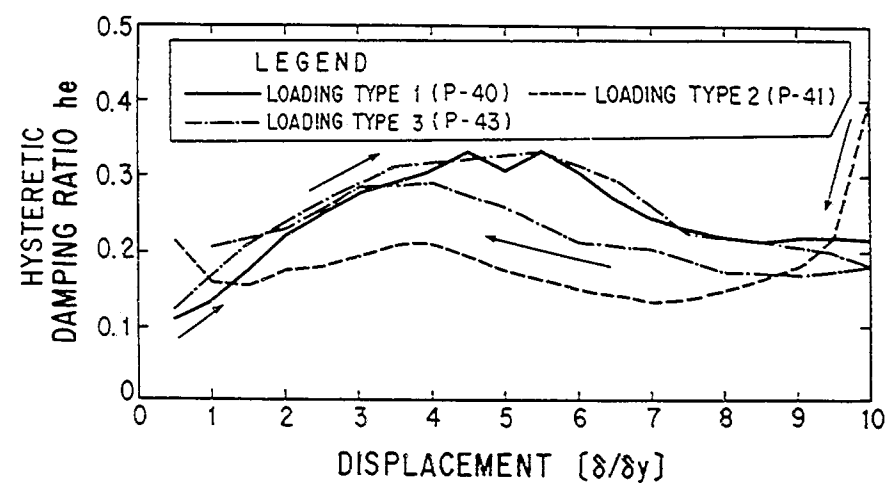
(a) タイプ-1 载荷 (P-40)



(b) タイプ-2 载荷 (P-41, 42)



(c) タイプ-3 载荷 (P-43, 44)



(d) 载荷履歴の影響 (P-40, P-41, P-43)

図 5-12 等価履歴減衰定数に及ぼす载荷履歴の影響

6. 結 論

6-1 載荷速度の影響

- (1) 載荷速度を 100cm/sec とした場合には、載荷速度を 10cm/sec とした場合に比較して、かぶりコンクリートのはく離、及び最大耐力の生じる変位振幅は、ともに、おおよそ $1\delta_y$ 相当分だけ遅くなり、この分だけ、耐力の安定した領域が大きくなることを示している。
- (2) 耐力が最大耐力近くの値からはっきり減少し始める $4\delta_y$ 程度の変位振幅に至るまでは、吸収エネルギー及び等価履歴減衰定数によって表わしたエネルギー吸収特性に対する載荷速度の影響は、顕著なものでは無い。しかしながら、これ以後の変位振幅では、載荷速度 100cm/sec の場合の方が載荷速度 10cm/sec の場合よりも吸収エネルギー、及び等価履歴減衰定数はともに大きくなる。
- (3) 上記(1)、(2)より、高速載荷をした場合には、従来のように準静的に載荷した場合に比較して、RC 橋脚の損傷の進行がやや遅くなり、また、これに伴ってエネルギー吸収性能も大きくなるということが出来る。ただし、これは、あくまでも今回検討した曲げ破壊タイプの供試体に対する結果であり、せん断破壊タイプの供試体等に対する検討が今後必要とされる。

6-2 載荷履歴の影響

- (1) 最大荷重及び等価剛性は、タイプ 1、2、3 の各載荷方法により大きな違いは無い。ただし、累積吸収エネルギー及び等価粘性減衰定数で表わしたエネルギー吸収能は、最初に大きな損傷を受けたタイプ 2 載荷の場合が順々に載荷変位振幅を増加させたタイプ 1 及び 3 の場合よりも低くなる。
- (2) 最大履歴を受けた後に、これよりも小さい変位振幅の荷重を加えても、外観上、供試体には著しい破壊の進行は認められない。このような点は、橋梁の被災度の判定に際し、十分、留意しておかなければならない。
- (3) 履歴曲線の骨格曲線は、過去に経験した最大の載荷変位を超えて変位振幅を増加させる過程か、減少させる過程かで異なった経路をとる。したがって、最大変位を生じる前か後かで同一変位振幅に対する等価剛性は変化するため、耐震設計上は、いつ、どの程度の最大応答変位が生じるかを正しく予測することが重要である。

参 考 文 献

- 1) 川島一彦, 長谷川金二, 小山達彦, 吉田武史: R C 橋脚の動的耐力に関する実験的研究—(その1) 昭和56年度~昭和58年度の検討結果— 土木研究所資料, 第2232号, 昭和60年8月.
- 2) 川島一彦, 長谷川金二, 小山達彦, 吉田武史: R C 橋脚の動的耐力に関する実験的研究—(その2) 断面形状, 荷重載荷方向, らせん鉄筋及びせん断補強鉄筋の影響—, 土木研究所資料, 第2279号, 昭和61年1月.
- 3) 川島一彦, 相沢 興, 高橋和之: 最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告, 第166号, 昭和60年.
- 4) Kawashima, K. and Aizawa-K: Duration of Strong Motion Acceleration Records, 土木学会論文集, Vol. 2-2, 1985.
- 5) 太田 実: 繰り返し荷重下における鉄筋コンクリート橋脚の挙動に関する実験的研究, 土木学会論文報告集, 第292号, 1979.
- 6) Mahin, S. A. et al.: Rate of Loading Effects on Uncreacked and Repaired Reinforced concrete Members, Report No, EERC 72-9, Univ, of Carifornia, Berkeley, 1972.
- 7) 睦好宏史, 町田篤彦, 鶴田和久: ひずみ速度を考慮した鉄筋コンクリート部材の動的非線形地震応答解析, 土木学会論文集, Vol. 366, V-4, 1986.
- 8) 川島一彦, 長谷川金二, 小山達彦, 吉田武史: 鉄筋コンクリート橋脚の動的特性に及ぼす荷重履歴の影響, 土木技術資料, Vol. 29-8, 昭和62年8月

付 属 資 料

荷重,変位,履歴減衰定数および吸収エネルギー

付表 1 供試体 37 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_y	12.618	-12.633	8.687	-6.546	0.062	0.603	0.103
	12.604	-12.648	8.291	-6.356	0.029	0.580	0.050
	12.618	-12.662	8.064	-6.195	0.024	0.564	0.042
	12.604	-12.677	7.969	-6.116	0.021	0.557	0.037
	12.589	-12.677	7.913	-6.070	0.020	0.553	0.036
	12.589	-12.662	7.856	-5.997	0.020	0.549	0.036
	12.589	-12.692	7.807	-5.970	0.018	0.545	0.033
	12.575	-12.692	7.783	-5.960	0.018	0.544	0.033
	12.575	-12.692	7.734	-5.909	0.017	0.540	0.032
	12.589	-12.692	7.744	-5.892	0.017	0.539	0.032
2 δ_y	25.149	-25.252	9.050	-6.596	0.260	0.310	0.210
	25.164	-25.237	8.014	-6.735	0.215	0.293	0.184
	25.134	-25.266	8.004	-6.691	0.188	0.292	0.161
	25.134	-25.281	7.938	-6.652	0.174	0.289	0.150
	25.134	-25.266	7.855	-6.657	0.169	0.288	0.147
	25.120	-25.296	7.831	-6.613	0.163	0.286	0.143
	25.120	-25.266	7.782	-6.620	0.159	0.286	0.139
	25.120	-25.281	7.718	-6.574	0.155	0.284	0.137
	25.120	-25.296	7.718	-6.530	0.155	0.283	0.137
	25.120	-25.281	7.674	-6.535	0.152	0.282	0.135
3 δ_y	37.775	-37.885	8.563	-7.116	0.431	0.207	0.231
	37.738	-37.921	8.248	-7.038	0.405	0.202	0.223
	37.665	-37.958	8.158	-6.962	0.380	0.200	0.211
	37.665	-37.995	8.053	-6.916	0.360	0.198	0.203
	37.665	-37.958	7.982	-6.886	0.348	0.197	0.197
	37.702	-37.995	7.919	-6.842	0.338	0.195	0.193
	37.665	-37.995	7.794	-6.798	0.332	0.193	0.192
	37.628	-37.995	7.801	-6.781	0.326	0.193	0.188
	37.665	-37.958	7.752	-6.737	0.320	0.192	0.186
	37.702	-37.958	7.628	-6.711	0.318	0.190	0.186
4 δ_y	50.342	-50.489	8.319	-7.253	0.604	0.154	0.245
	50.342	-50.525	8.099	-7.084	0.564	0.151	0.235
	50.342	-50.489	7.869	-6.723	0.525	0.145	0.227
	50.269	-50.525	7.767	-6.302	0.492	0.140	0.221
	50.305	-50.562	7.644	-5.787	0.452	0.133	0.212
	50.305	-50.562	7.464	-5.504	0.412	0.129	0.200
	50.269	-50.562	7.347	-5.450	0.392	0.127	0.194
	50.342	-50.525	7.105	-5.308	0.372	0.123	0.189
	50.305	-50.562	6.927	-5.123	0.358	0.119	0.188
	50.305	-50.525	6.614	-5.001	0.344	0.115	0.187
5 δ_y	63.019	-63.129	7.943	-5.826	0.558	0.109	0.205
	63.019	-63.129	7.667	-5.672	0.512	0.106	0.194
	62.982	-63.166	7.242	-5.479	0.474	0.101	0.188
	62.946	-63.166	6.687	-5.274	0.450	0.095	0.190
	62.946	-63.276	6.345	-4.996	0.428	0.090	0.190
	62.946	-63.166	6.096	-4.913	0.413	0.087	0.189
	63.019	-63.276	5.739	-4.815	0.395	0.084	0.189
	62.982	-63.202	5.488	-4.688	0.386	0.081	0.192
	62.909	-63.276	5.334	-4.595	0.375	0.079	0.190
	62.946	-63.166	5.122	-4.444	0.368	0.076	0.194
6 δ_y	75.476	-75.623	6.035	-6.046	0.563	0.080	0.196
	75.549	-75.623	5.744	-5.792	0.541	0.076	0.197
	75.549	-75.696	5.422	-5.443	0.505	0.072	0.195
	75.549	-75.696	5.189	-5.235	0.491	0.069	0.198
	75.476	-75.696	5.024	-4.742	0.468	0.065	0.202
	75.476	-75.696	4.758	-4.241	0.437	0.060	0.205
	75.549	-75.696	4.442	-4.004	0.412	0.056	0.205
	75.476	-75.769	4.271	-3.257	0.391	0.050	0.219
	75.403	-75.696	3.967	-2.834	0.352	0.045	0.218
	75.476	-75.696	3.698	-2.216	0.329	0.039	0.234

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表2 供試体 38 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_v	9.292	-8.867	7.824	-8.377	0.011	0.892	0.023
	8.705	-8.471	6.734	-6.658	0.000	0.780	0.001
	8.764	-8.456	7.204	-6.978	0.003	0.824	0.007
	8.852	-8.603	7.459	-6.682	0.003	0.810	0.008
	8.779	-8.691	7.601	-6.283	0.004	0.795	0.011
	8.896	-8.647	7.148	-6.186	0.007	0.760	0.018
	8.925	-8.559	7.255	-5.771	0.006	0.745	0.018
	8.955	-8.427	7.342	-6.355	0.001	0.788	0.003
	8.867	-8.574	7.279	-6.340	0.002	0.781	0.006
	8.823	-8.764	7.277	-6.324	0.006	0.773	0.016
2 δ_v	23.610	-22.995	8.697	-7.678	0.249	0.351	0.208
	23.317	-23.171	7.846	-7.364	0.175	0.327	0.158
	23.522	-23.258	8.563	-7.242	0.156	0.338	0.134
	23.449	-23.068	8.535	-6.984	0.153	0.334	0.135
	23.478	-23.200	8.268	-7.213	0.137	0.332	0.120
	23.537	-23.185	8.294	-7.305	0.139	0.334	0.121
	23.390	-23.156	8.059	-7.015	0.126	0.324	0.114
	23.522	-23.200	8.171	-7.185	0.129	0.329	0.115
	23.434	-23.112	8.240	-7.289	0.133	0.334	0.117
	23.464	-23.171	8.075	-7.031	0.124	0.324	0.112
3 δ_v	35.027	-34.441	8.504	-7.872	0.389	0.236	0.218
	34.880	-34.587	8.646	-7.679	0.377	0.235	0.211
	34.954	-34.587	8.664	-7.547	0.370	0.233	0.209
	34.844	-34.587	8.509	-7.283	0.352	0.227	0.204
	34.917	-34.624	8.538	-7.210	0.336	0.226	0.195
	34.880	-34.551	8.379	-7.175	0.342	0.224	0.201
	34.880	-34.551	8.379	-6.972	0.329	0.221	0.197
	34.917	-34.587	8.249	-6.974	0.335	0.219	0.201
	34.844	-34.587	8.188	-6.813	0.322	0.216	0.197
	34.917	-34.587	8.111	-6.744	0.331	0.214	0.204
4 δ_v	47.924	-47.521	9.200	-8.278	0.650	0.183	0.248
	47.887	-47.667	8.610	-7.694	0.603	0.171	0.246
	47.997	-47.814	8.711	-7.648	0.588	0.171	0.239
	48.034	-47.814	8.521	-7.603	0.568	0.168	0.234
	48.144	-47.851	8.331	-7.569	0.546	0.166	0.228
	48.144	-47.851	8.117	-7.641	0.532	0.164	0.224
	48.107	-47.777	7.994	-7.682	0.514	0.163	0.218
	48.034	-47.741	8.050	-7.716	0.497	0.165	0.209
	47.924	-47.594	8.175	-7.667	0.451	0.166	0.190
	47.924	-47.704	7.480	-7.212	0.439	0.154	0.199
5 δ_v	61.004	-61.004	8.443	-7.572	0.787	0.131	0.256
	61.187	-60.967	8.281	-7.256	0.736	0.127	0.247
	61.041	-60.894	6.815	-7.040	0.559	0.114	0.211
	61.151	-61.041	6.873	-6.283	0.459	0.108	0.182
	61.187	-61.004	6.482	-5.811	0.438	0.101	0.186
	61.004	-60.931	6.075	-5.724	0.409	0.097	0.181
	61.187	-61.041	6.456	-5.446	0.383	0.097	0.168
	61.187	-60.967	6.132	-5.176	0.385	0.093	0.177
	61.004	-60.931	5.843	-5.120	0.370	0.090	0.176
	61.187	-61.041	6.230	-4.863	0.367	0.091	0.172
6 δ_v	73.937	-74.084	6.723	-6.536	0.568	0.090	0.184
	74.011	-74.084	6.511	-6.095	0.521	0.085	0.178
	73.864	-74.084	6.439	-5.845	0.501	0.083	0.175
	74.011	-74.011	6.386	-5.710	0.480	0.082	0.171
	74.011	-73.937	6.326	-5.173	0.468	0.078	0.175
	74.011	-74.011	6.267	-5.098	0.436	0.077	0.165
	73.937	-74.157	6.205	-4.979	0.419	0.076	0.161
	73.937	-74.084	6.053	-4.736	0.413	0.073	0.165
	73.937	-74.011	6.040	-4.688	0.399	0.073	0.160
	74.011	-73.937	6.186	-4.116	0.406	0.070	0.169
7 δ_v	86.688	-86.761	6.579	-5.637	0.566	0.070	0.170
	86.761	-86.834	6.139	-4.962	0.507	0.064	0.167
	86.688	-86.834	6.500	-4.028	0.460	0.061	0.160
	86.761	-86.688	6.320	-3.762	0.401	0.058	0.146
	86.834	-86.761	6.062	-3.240	0.344	0.054	0.136
	86.761	-86.834	5.838	-2.149	0.289	0.046	0.133
	86.688	-86.834	6.120	-1.547	0.233	0.044	0.112
	86.761	-86.761	5.938	-1.240	0.180	0.041	0.092
	86.761	-86.761	5.637	-0.006	0.133	0.033	0.086
	86.614	-86.834	5.428	0.317	0.112	0.029	0.080

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表3 供試体39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_v	12.340	-11.124	8.631	-5.828	0.045	0.616	0.084
	11.593	-10.669	4.204	-1.962	0.009	0.277	0.041
	11.212	-10.992	3.603	-2.179	0.002	0.260	0.009
	11.402	-11.109	3.918	-1.854	0.001	0.256	0.005
	11.475	-11.241	3.560	-2.013	0.000	0.245	0.000
	11.637	-11.124	4.071	-1.646	0.000	0.251	0.000
	11.637	-10.992	3.729	-1.644	0.000	0.237	0.000
	11.549	-11.036	3.489	-1.816	0.000	0.235	0.000
	11.387	-11.168	3.519	-1.747	0.000	0.233	0.000
	11.373	-11.373	3.420	-2.045	0.000	0.240	0.000
2 δ_v	23.625	-22.951	9.192	-7.246	0.206	0.353	0.171
	23.332	-23.171	8.747	-7.027	0.168	0.339	0.145
	23.581	-23.200	9.363	-7.076	0.152	0.351	0.126
	23.537	-23.097	9.179	-6.923	0.150	0.345	0.128
	23.493	-23.214	9.050	-7.016	0.132	0.344	0.112
	23.552	-23.185	9.069	-6.972	0.133	0.343	0.113
	23.420	-23.156	8.990	-6.819	0.117	0.339	0.102
	23.522	-23.200	9.010	-6.832	0.122	0.339	0.105
	23.508	-23.112	8.936	-6.738	0.128	0.336	0.111
	23.449	-23.185	8.923	-6.709	0.115	0.335	0.101
3 δ_v	34.954	-34.404	9.247	-7.574	0.382	0.243	0.209
	34.807	-34.514	8.969	-7.811	0.365	0.242	0.200
	34.880	-34.477	9.476	-7.718	0.358	0.248	0.191
	34.844	-34.477	9.327	-7.823	0.336	0.247	0.180
	34.880	-34.551	9.567	-7.726	0.317	0.249	0.168
	34.844	-34.477	9.334	-7.578	0.324	0.244	0.176
	34.844	-34.551	9.414	-7.597	0.308	0.245	0.166
	34.880	-34.514	9.268	-7.463	0.316	0.241	0.173
	34.734	-34.514	9.148	-7.385	0.302	0.239	0.168
	34.844	-34.514	9.135	-7.326	0.309	0.237	0.172
4 δ_v	47.960	-47.631	9.351	-7.668	0.631	0.178	0.247
	47.924	-47.704	8.636	-6.961	0.556	0.163	0.237
	47.997	-47.814	8.771	-6.997	0.530	0.165	0.223
	48.070	-47.851	8.855	-7.071	0.519	0.166	0.216
	48.144	-47.887	9.009	-7.120	0.514	0.168	0.211
	48.070	-47.924	9.074	-7.194	0.513	0.169	0.209
	48.107	-47.851	9.092	-7.362	0.510	0.171	0.206
	48.034	-47.741	9.095	-7.381	0.510	0.172	0.206
	47.924	-47.631	8.871	-7.451	0.465	0.171	0.190
	47.887	-47.741	7.961	-6.329	0.457	0.149	0.213
5 δ_v	60.967	-60.967	8.228	-7.739	0.810	0.131	0.265
	61.077	-60.931	8.383	-7.390	0.764	0.129	0.253
	60.931	-60.821	7.698	-7.230	0.659	0.123	0.231
	61.077	-61.004	7.906	-6.893	0.571	0.121	0.201
	61.077	-60.967	7.419	-6.568	0.551	0.115	0.206
	60.931	-60.784	7.025	-6.216	0.508	0.109	0.201
	61.041	-61.041	7.509	-5.252	0.471	0.105	0.193
	61.114	-60.967	7.217	-4.555	0.478	0.096	0.212
	60.894	-60.894	6.834	-4.488	0.451	0.093	0.208
	61.041	-61.041	7.238	-4.100	0.438	0.093	0.202
6 δ_v	73.937	-73.937	7.691	-5.184	0.644	0.087	0.215
	74.011	-73.937	7.537	-4.797	0.593	0.083	0.207
	73.937	-73.937	7.212	-4.649	0.565	0.080	0.205
	74.011	-73.864	6.736	-4.926	0.497	0.079	0.183
	74.084	-73.791	6.381	-3.709	0.477	0.068	0.204
	74.011	-73.937	6.025	-3.808	0.431	0.066	0.189
	73.937	-73.937	5.543	-3.623	0.422	0.062	0.198
	73.937	-73.937	5.959	-3.620	0.417	0.065	0.187
	74.011	-73.864	5.657	-3.757	0.413	0.064	0.189
	74.084	-73.791	5.314	-2.545	0.408	0.053	0.223
7 δ_v	86.761	-86.688	6.539	-4.049	0.586	0.061	0.203
	86.761	-86.761	5.969	-3.264	0.497	0.053	0.198
	86.688	-86.761	6.478	-2.705	0.459	0.053	0.184
	86.834	-86.688	6.322	-2.586	0.429	0.051	0.176
	86.834	-86.761	5.923	-1.930	0.374	0.045	0.175
	86.761	-86.761	5.967	0.847	0.261	0.030	0.187
	86.761	-86.688	6.041	0.552	0.160	0.032	0.107
	86.834	-86.688	5.095	0.412	0.179	0.027	0.140
	86.834	-86.761	3.744	0.720	0.209	0.017	0.253
	86.688	-86.761	5.595	0.647	0.187	0.029	0.139

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40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
0.5 δ_y	6.152	-6.445	6.226	-5.273	0.025	0.913	0.108
1 δ_y	12.378	-12.744	7.031	-5.969	0.069	0.517	0.134
1.5 δ_y	18.530	-19.043	7.874	-5.933	0.141	0.367	0.173
2 δ_y	24.902	-25.269	7.251	-6.445	0.235	0.273	0.218
2.5 δ_y	31.055	-31.567	7.434	-6.628	0.346	0.225	0.250
3 δ_y	37.354	-37.866	7.983	-6.335	0.468	0.190	0.276
3.5 δ_y	43.652	-44.092	7.617	-6.958	0.581	0.166	0.289
4 δ_y	49.805	-50.464	8.057	-6.885	0.713	0.149	0.303
4.5 δ_y	55.957	-56.763	7.910	-5.969	0.807	0.123	0.329
5 δ_y	62.109	-62.988	7.837	-6.775	0.878	0.117	0.306
5.5 δ_y	68.408	-69.287	7.617	-6.189	0.980	0.100	0.328
6 δ_y	74.634	-75.586	8.057	-6.299	1.032	0.096	0.305
6.5 δ_y	80.786	-81.738	7.507	-5.969	0.923	0.083	0.268
7 δ_y	87.012	-88.037	5.603	-4.944	0.707	0.060	0.244
7.5 δ_y	93.750	-94.043	5.054	-4.468	0.649	0.051	0.231
8 δ_y	100.049	-100.342	5.127	-4.468	0.664	0.048	0.220
8.5 δ_y	106.274	-106.641	5.127	-4.468	0.692	0.045	0.216
9 δ_y	112.573	-112.793	4.871	-4.504	0.725	0.042	0.218
9.5 δ_y	118.799	-119.165	4.980	-4.321	0.757	0.039	0.218
10 δ_y	124.951	-125.391	5.054	-4.248	0.783	0.037	0.214

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41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
10 δ_y	129.858	-125.537	8.833	-7.808	2.719	0.065	0.407
9.5 δ_y	119.165	-119.385	7.192	-6.782	1.139	0.059	0.218
9 δ_y	112.939	-113.086	7.031	-6.108	0.844	0.058	0.181
8.5 δ_y	106.714	-106.787	6.563	-5.508	0.670	0.057	0.165
8 δ_y	100.415	-100.562	6.108	-4.775	0.507	0.054	0.148
7.5 δ_y	94.189	-94.336	5.508	-3.999	0.391	0.050	0.139
7 δ_y	87.891	-88.037	4.951	-3.223	0.310	0.046	0.137
6.5 δ_y	81.665	-81.738	4.072	-2.622	0.245	0.041	0.144
6 δ_y	75.586	-75.513	3.457	-2.109	0.198	0.037	0.150
5.5 δ_y	69.214	-69.214	2.666	-1.831	0.161	0.032	0.165
5 δ_y	62.915	-62.915	2.139	-1.494	0.127	0.029	0.176
4.5 δ_y	56.616	-56.616	1.641	-1.274	0.101	0.026	0.195
4 δ_y	50.391	-50.317	1.260	-1.128	0.079	0.024	0.208
3.5 δ_y	44.019	-44.092	1.084	-0.923	0.058	0.023	0.210
3 δ_y	37.793	-37.793	1.025	-0.806	0.042	0.024	0.193
2.5 δ_y	31.494	-31.494	0.908	-0.659	0.028	0.025	0.182
2 δ_y	25.342	-25.122	0.791	-0.513	0.018	0.026	0.175
1.5 δ_y	19.043	-18.896	0.703	-0.381	0.010	0.029	0.153
1 δ_y	12.671	-12.671	0.498	-0.234	0.005	0.029	0.159
0.5 δ_y	6.299	-6.226	0.352	-0.103	0.002	0.036	0.213

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表6 供試体42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
10 δ_v	129.932	-115.649	7.383	-9.185	2.672	0.067	0.418
9.5 δ_v	119.165	-114.697	6.694	-7.178	1.224	0.059	0.240
9 δ_v	112.866	-113.306	6.841	-7.573	1.014	0.064	0.198
8.5 δ_v	106.641	-107.080	6.050	-7.295	0.774	0.062	0.173
8 δ_v	100.415	-100.781	5.391	-7.104	0.633	0.062	0.160
7.5 δ_v	94.116	-94.482	4.497	-6.782	0.489	0.060	0.146
7 δ_v	87.891	-88.257	3.794	-6.313	0.387	0.057	0.138
6.5 δ_v	81.592	-82.031	3.076	-5.625	0.305	0.053	0.136
6 δ_v	75.366	-75.659	2.593	-4.731	0.250	0.048	0.144
5.5 δ_v	69.214	-69.434	2.124	-3.604	0.197	0.041	0.158
5 δ_v	62.842	-63.062	1.787	-2.944	0.160	0.038	0.171
4.5 δ_v	56.689	-56.909	1.450	-2.139	0.131	0.032	0.204
4 δ_v	50.244	-50.537	1.318	-1.685	0.102	0.030	0.215
3.5 δ_v	43.945	-44.238	1.187	-1.348	0.079	0.029	0.222
3 δ_v	37.646	-37.939	0.996	-1.084	0.056	0.028	0.228
2.5 δ_v	31.421	-31.641	0.791	-0.996	0.040	0.028	0.228
2 δ_v	25.049	-25.342	0.615	-0.938	0.025	0.031	0.201
1.5 δ_v	18.750	-19.043	0.425	-0.894	0.015	0.035	0.189
1 δ_v	12.451	-12.744	0.205	-0.776	0.008	0.039	0.194
0.5 δ_v	6.152	-6.372	-0.015	-0.630	0.003	0.049	0.219

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表7 供試体43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
0.5 δ_y	6.445	-6.226	5.625	-5.039	0.026	0.842	0.124
1.5 δ_y	18.970	-18.896	7.969	-6.504	0.180	0.382	0.209
2.5 δ_y	31.641	-31.567	8.086	-6.548	0.385	0.232	0.265
3.5 δ_y	44.165	-44.092	7.734	-7.061	0.632	0.168	0.308
4.5 δ_y	56.763	-56.763	7.544	-7.441	0.854	0.132	0.320
5.5 δ_y	69.287	-69.360	7.896	-7.266	1.095	0.109	0.332
6.5 δ_y	81.812	-81.885	8.042	-6.782	1.116	0.091	0.293
7.5 δ_y	94.336	-94.556	7.939	-6.958	1.000	0.079	0.226
8.5 δ_y	106.934	-107.007	7.969	-7.046	1.075	0.070	0.213
9.5 δ_y	119.385	-115.576	7.983	-6.797	1.093	0.063	0.200
10 δ_y	125.537	-115.503	7.939	-6.577	0.990	0.060	0.180
9 δ_y	113.086	-113.306	5.479	-6.401	0.709	0.052	0.168
8 δ_y	100.562	-100.708	3.926	-5.288	0.509	0.046	0.175
7 δ_y	88.184	-88.184	2.710	-3.867	0.375	0.037	0.206
6 δ_y	75.659	-75.659	2.417	-2.886	0.274	0.035	0.217
5 δ_y	62.988	-63.062	1.934	-1.670	0.184	0.029	0.258
4 δ_y	50.464	-50.464	1.450	-1.187	0.121	0.026	0.289
3 δ_y	37.866	-37.866	1.143	-0.894	0.069	0.027	0.284
2 δ_y	25.269	-25.269	0.938	-0.791	0.031	0.034	0.229
1 δ_y	12.598	-12.598	0.674	-0.527	0.010	0.048	0.207

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

付表8 供試体44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
0.5 δ_y	6.299	-6.226	4.878	-5.845	0.024	0.856	0.115
1.5 δ_y	18.970	-18.823	6.680	-8.071	0.175	0.390	0.200
2.5 δ_y	31.567	-31.494	6.636	-8.013	0.376	0.232	0.259
3.5 δ_y	44.092	-44.092	7.354	-8.306	0.620	0.178	0.286
4.5 δ_y	56.836	-56.689	6.694	-8.086	0.890	0.130	0.338
5.5 δ_y	69.287	-69.360	6.987	-7.881	1.105	0.107	0.341
6.5 δ_y	81.812	-81.812	7.119	-8.291	1.353	0.094	0.342
7.5 δ_y	94.409	-94.409	7.104	-7.983	1.193	0.080	0.267
8.5 δ_y	106.934	-106.934	6.929	-7.910	1.164	0.069	0.234
9.5 δ_y	119.312	-119.531	6.650	-7.822	1.235	0.061	0.227
10 δ_y	125.537	-122.681	6.606	-7.368	1.144	0.056	0.210
9 δ_y	113.013	-113.232	5.273	-7.222	0.770	0.055	0.173
8 δ_y	100.635	-100.708	3.706	-6.196	0.523	0.049	0.167
7 δ_y	88.037	-88.257	2.563	-5.332	0.362	0.045	0.166
6 δ_y	75.586	-75.586	1.670	-3.940	0.246	0.037	0.184
5 δ_y	63.062	-62.988	1.172	-2.944	0.166	0.033	0.204
4 δ_y	50.464	-50.464	0.732	-1.699	0.108	0.024	0.279
3 δ_y	37.866	-37.793	0.469	-1.494	0.063	0.026	0.269
2 δ_y	25.269	-25.269	0.190	-1.348	0.026	0.030	0.216
1 δ_y	12.671	-12.598	-0.190	-1.245	0.008	0.042	0.192

注) 最大, 最小荷重は, 変位最大, 最小時の値である。

RC橋脚の動的耐力に関する
実験的研究 — (その3)荷重載荷
速度及び荷重載荷履歴の影響 —

ISSN 0386-5878
土研資料 第 2504 号
昭和62年 7 月(1987年)

川島 一彦, 長谷川金二
小山 達彦, 吉田 武史

要旨

本報告は、荷重載荷速度及び荷重載荷履歴がRC橋脚の動的耐力及び動的変形性能に及ぼす影響を検討するために昭和60年度に行った一連の実験結果をとりまとめたものである。

キーワード 道路橋, RC橋脚, 耐震設計, 動的耐力, 動的変形性能

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはいて
下さい

建設省土木研究所

耐震研究室
行

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. 138

No. 138

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2504 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属(住所)

氏 名 印

土木研究所資料第2504号

○ RC橋脚の動的耐力に関する実験的研究
—(その3)荷重載荷速度及び荷重載荷履歴の影響—