

マイクロフィルム用資料

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第3532号

土木研究所資料

合成構造の耐震設計法の開発に関する研究

(その1) 合成構造の動的耐力・変形性能に関する実験的検討

—軸力の影響および鋼材量の影響—

平成10年2月

建設省土木研究所
耐震技術研究センター耐震研究室

Copyright©(1998)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。

合成構造の耐震設計法の開発に関する研究

(その1)合成構造の動的耐力・変形性能に関する実験的検討

—軸力の影響および鋼材量の影響—

耐震研究室前室長 大塚久哲¹⁾

耐震研究室 室長 運上茂樹

主任研究員 鈴木基行²⁾

研究員 星隈順一

研究員 長屋和宏

佐藤貴志³⁾

要 旨

現在、道路橋示方書には、鉄筋コンクリート橋脚や鋼製橋脚については、部材の非線形域の特性を考慮した地震時保有水平耐力法による耐震設計法が規定されている。コンクリートを充填した鋼管柱や鉄骨鉄筋コンクリート橋脚などの鋼とコンクリートを合成した構造については鋼とコンクリートの両者の利点を兼ねることが可能となり、耐震設計上も高強度や高じん性の構造を設計することも可能と考えられる。

しかしながら、合成構造の非線形域の挙動を考慮した動的耐力や変形性能、地震時の応答特性などについては、現状ではまだ十分に明らかにされていないのが実状である。

本資料は、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)橋脚におけるRC構造との変形性能などの比較、軸力の変化、鋼材の配置方法の変化に着目し製作した模型供試体の載荷実験の結果であり、その動的耐力および変形性能を検討した結果をまとめたものである。

キーワード:合成構造、鉄骨鉄筋コンクリート橋脚、動的耐力、変形性能、模型載荷実験

1) 現九州大学工学部教授

2) 現東北大学工学部教授

3) 現建設省中部地方建設局

目 次

1. 概要	1
2. 合成構造橋脚(SRC橋脚)模型の正負交番載荷実験	2
2-1 実験供試体	2
2-2 載荷方法	10
3. 動的載荷実験結果	12
4. 軸方向鉄筋および鋼材のひずみ分布	37
5. SRC橋脚の動的耐力および変形性能	46
6. まとめ	56

1. 概要

現在、道緒橋示方書には、鉄筋コンクリート橋脚や鋼製橋脚については、部材の非線形域の特性を考慮した地震時保有水平耐力法による耐震設計法が規定されている。コンクリートを充填した鋼管柱や鉄骨鉄筋コンクリート橋脚などの鋼とコンクリートを合成した構造については鋼とコンクリートの両者の利点を兼ねることが可能となり、耐震設計上も高強度や高じん性の構造を設計することも可能と考えられる。

しかしながら、合成構造の非線形域の挙動を考慮した動的耐力や変形性能、地震時の応答特性などについては、現状ではまだ十分に明らかにされていないのが実状である。

このため、本研究では、合成構造の実験データの蓄積を図り、その動的耐力や変形性能を検討するとともに、荷重～変位の推定方法を検討し、合成構造の耐震設計法を確立することを目的とする。

本資料は、以上のような目的で、鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)橋脚の以下の点に着目し実験を行った。

1) RC構造とSRC構造の変形性能などの比較に着目した模型供試体

RC構造とSRC構造のじん性能などの耐震性能の比較検討をするために当研究室で別途行ったRC橋脚模型を基準とし、曲げ耐力およびせん断耐力を合わせたSRC橋脚模型を製作し、載荷実験を行った。

2) 軸力の変化に着目した模型供試体

SRC橋脚は比較的高軸力の条件下で使用されることを考慮し、軸力の影響を検討するために同一の2体の供試体を作成し、作用軸力を変化させた実験を行った。

3) 鋼材の配置方法に着目した模型供試体

SRC橋脚の鋼材の配置方法によるじん性能などの耐震性能の検討を行うため、充腹形の鋼材を有するSRC橋脚の鋼材の配置方法を変化させた模型供試体による実験を行った。

2. 合成構造橋脚(SRC橋脚)模型の正負交番載荷実験

2-1 実験供試体

実験に用いたSRC橋脚模型供試体は、目的に合わせて以下のように製作した。

- 1) RC構造とSRC構造の変形性能などの比較に着目した模型供試体および軸力の変化に着目した模型供試体
模型供試体の設計は、当研究室で別途行ったRC橋脚模型を基準とし、じん性能などの耐震性能の比較検討を行えるように、曲げ耐力およびせん断耐力を合わせた。

供試体寸法は、表-1に示すように、断面が70cm×70cmの正方形で、基部から載荷点までの高さは3.01mであり、せん断支間比は4.3である。基準としたRC橋脚模型を図-1に示す。軸方向鉄筋としてはSD295, D10を112本配置し、帯鉄筋としてはSD295, D6を70mm間隔で配置した。さらにSD295, D6の中間拘束筋を配置した。これに対し、SRC橋脚模型は図-2に示すように、軸方向鉄筋としてSD295, D10を48本配置し、その内側にH-100*50*5*7の鋼材を4本配置した。帯鉄筋としてはSD295, D6を150mm間隔で配置した。コンクリートは、早強ポルトランドセメントを用いた。最大骨材寸法は20mmである。各材料における材料試験結果を表-2、表-3に示す。

2) 鋼材の配置方法に着目した模型供試体

模型供試体は、図-3、図-4に示すように、断面が60cm×60cm、基部から載荷点までの高さは301cm、せん断支間比は5.02である。軸方向鉄筋はSD295, D10であり、軸方向鉄筋比は0.317%(引張鉄筋比は0.099%)である。また、横拘束筋はSD295, D6を7.5cm間隔で配筋した。鋼材はSS400材のI型鋼を充腹面が載荷方向と平行になるように配置し、鋼材の配置方法(本数)をパラメータとして2体(SRC-3, SRC-4)製作した。供試体の諸元は表-1に併記しており、最外縁の軸方向鉄筋が降伏する時の曲げ降伏耐力が同一となるように鋼材量を設計した。なお、「1) RC構造とSRC構造の変形性能などの比較に着目した模型供試体および軸力の変化に着目した模型供試体」の各供試体とは曲げ耐力などが同一となるようには設計されていない。

鋼材間の連結方法は図に示すように各模型供試体により違うが、これは供試体製作時の溶接箇所を少なくし、鋼材の溶接作業によるひずみの影響を小さくしたためである。なお、鋼材を断面の最外縁に近く配置した場合には、断面の耐力を大きくすることが可能で、逆に鋼材を断面の図心寄りに配置した場合には、同じ断面のひずみに対して鋼材のひずみを小さくでき、その分変形性能を大きくすることが可能になるが、同等の耐力を得るためには鋼材量が多くなる。各材料における材料試験結果を表-4に示す。

表-1 供試体の主要緒元および载荷特性

供試体No.		RC	SRC-1,2	SRC-3	SRC-4
断面(cm)		70×70		60×60	
かぶりコンクリート(mm)		30		40	
有効高さ(cm)		301		301	
せん断支間比		4.3		5.0	
軸方向鉄筋	使用鉄筋	SD295-D10			
	本数	112本	48本	16本	
	鉄筋比(%)	1.630	0.699	0.317	
H型钢材	使用鋼材(mm)	-	H-100*50*5*7	H-469*50*6*9	H-289*50*6*9
	本数	-	4本	2本	4本
	鋼材比(%)	-	0.951	2.003	2.807
横拘束筋	使用鉄筋	SD295-D6		SD295-D6	
	間隔	70mm		75mm	
	鉄筋体積比(%)	0.242		0.251	
コンクリート	使用セメント	早強ポルトランドセメント			
	最大骨材寸法(mm)	20		25	
	圧縮強度(kg/cm ²)	322.0	248.9	391.8	325.0
導入軸力(kg/cm ²)		13.1	13.1(SRC-1) 26.2(SRC-2)	13.1	

表-2 RC模型供試体に使用した各材料試験結果

(a) コンクリート

材令 (日)	1/3破壊荷重 (tf)	静弾性係数 (*1E5)	破壊荷重 (tf)	強度 (Kgf/Cm ²)
		2.81		349.0

(b) 軸方向鉄筋材料試験結果 (D10, SD295)

断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)
規格値	2,140	3,000	3,203	4,490	2.10E6
0.7133				3,890	

(c) 帯鉄筋材料試験結果 (D6, SD295)

断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)
規格値	951	3,000	1,423	4,490	2.10E6
0.317				3,340	

表-3 SRC-1, 2模型供試体に使用した各材料試験結果
(a) コンクリート

資料No.	材令 (H)	1/3破壊荷重 (tf)	静弾性係数 (*1E5)	破壊荷重 (tf)	強度 (Kgf/Cm ²)
SRC1-1	21	6.63	1.94	19.99	255.0
2		6.53	2.02	19.48	247.9
3		6.43	1.84	19.18	243.8
平均値			1.93	19.55	248.9
SRC2-1	19	7.45	2.21	22.44	285.6
2		7.34	2.31	22.13	281.5
3		7.85	2.36	23.66	300.9
平均値			2.29	22.74	289.3

(b) 軸方向鉄筋材料試験結果 (D10, SD295)

資料No.	断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)
規格値		2,140	3,000	3,203	4,490	2.10E6
1	0.7133	2,707	3,794	3,776	5,294	1.81E6
2	0.7133	2,728	3,825	3,776	5,294	1.82E6
3	0.7133	2,707	3,794	3,776	5,294	1.83E6
平均値		2,714	3,804	3,776	5,294	1.82E6

(c) 帯鉄筋材料試験結果 (D6, SD295)

資料No.	断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)
規格値		951	3,000	1,423	4,490	2.10E6
1	0.317	889	2,805	1,736	5,477	1.49E6
2	0.317	883	2,785	1,736	5,477	1.47E6
3	0.317	831	2,621	1,736	5,477	1.49E6
平均値		868	2,737	1,736	5,477	1.48E6

(d) 鋼材材料試験結果 (SS400)

資料No.	厚さ (mm)	幅 (mm)	断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)	伸び (%)
規格値					2,500		4,10		29
1	4.60	15.00	0.690	2,397	3,474	3,290	4,76		33.8
2	4.77	15.07	0.719	2,397	3,335	3,290	4,57		32.7
3	4.60	15.00	0.690	2,346	3,400	3,239	4,69		32.8
平均値	4.66	15.02	0.700	2,380	3,403	3,273	4,67		33.1

表-4 SRC-3, 4模型供試体に使用した各材料試験結果

(a) コンクリート

資料No.	材令 (H)	1/3破壊荷重 (tf)	静弾性係数 (*1E5)	破壊荷重 (tf)	強度 (Kgf/Cm ²)
SRC3-1 2 3	28				398.7 393.6 390.6
平均値					394.3
SRC4-1 2 3	28				341.6 305.9 333.4
平均値					327.0

(b) 軸方向鉄筋材料試験結果 (D10, SD295)

資料No.	断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)
規格値		2,140	3,000	3,203	4,490	2.10E6
1	0.7133	2,477	3,472	3,757	5,267	1.75E6
2	0.7133	2,473	3,467	3,775	5,292	1.68E6
3	0.7133	2,473	3,467	3,784	5,305	1.65E6
平均値		2,474	3,469	3,772	5,288	1.69E6

(c) 帯鉄筋材料試験結果 (D6, SD295)

資料No.	断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)
規格値		951	3,000	1,423	4,490	2.10E6
1	0.317	1,164	3,673	1,672	5,274	1.69E6
2	0.317	1,169	3,687	1,659	5,232	1.73E6
3	0.317	1,200	3,785	1,644	5,187	1.70E6
平均値		1,178	3,715	1,658	5,231	1.71E6

(d) フランジ鋼材材料試験結果 (SS400)

資料No.	厚さ (mm)	幅 (mm)	断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)	伸び (%)
1	9.00	50.00	4.500	14,279	3,173	19,463	4,325	1.88E6	40.7
2	9.00	50.00	4.500	13,509	3,002	19,737	4,386	1.88E6	42.7
3	9.00	50.00	4.500	13,491	2,998	19,521	4,338	1.78E6	44.8
平均値	9.00	50.00	4.500	13,760	3,058	19,574	4,350	1.85E6	42.7

(e) ウェブ鋼材材料試験結果 (SS400)

資料No.	厚さ (mm)	幅 (mm)	断面積 (Cm ²)	降伏荷重 (Kgf)	降伏応力 (Kgf/Cm ²)	最大荷重 (Kgf)	最大応力 (Kgf/Cm ²)	ES (Kgf/Cm ²)	伸び (%)
1	6.00	40.00	2.400	6,910	2,879	11,066	4,611	1.88E6	36.1
2	6.00	40.00	2.400	7,440	3,100	11,549	4,812	1.89E6	40.5
3	6.00	40.00	2.400	6,958	2,899	11,009	4,587	1.87E6	38.2
平均値	6.00	40.00	2.400	7,102	2,959	11,208	4,670	1.88E6	38.3

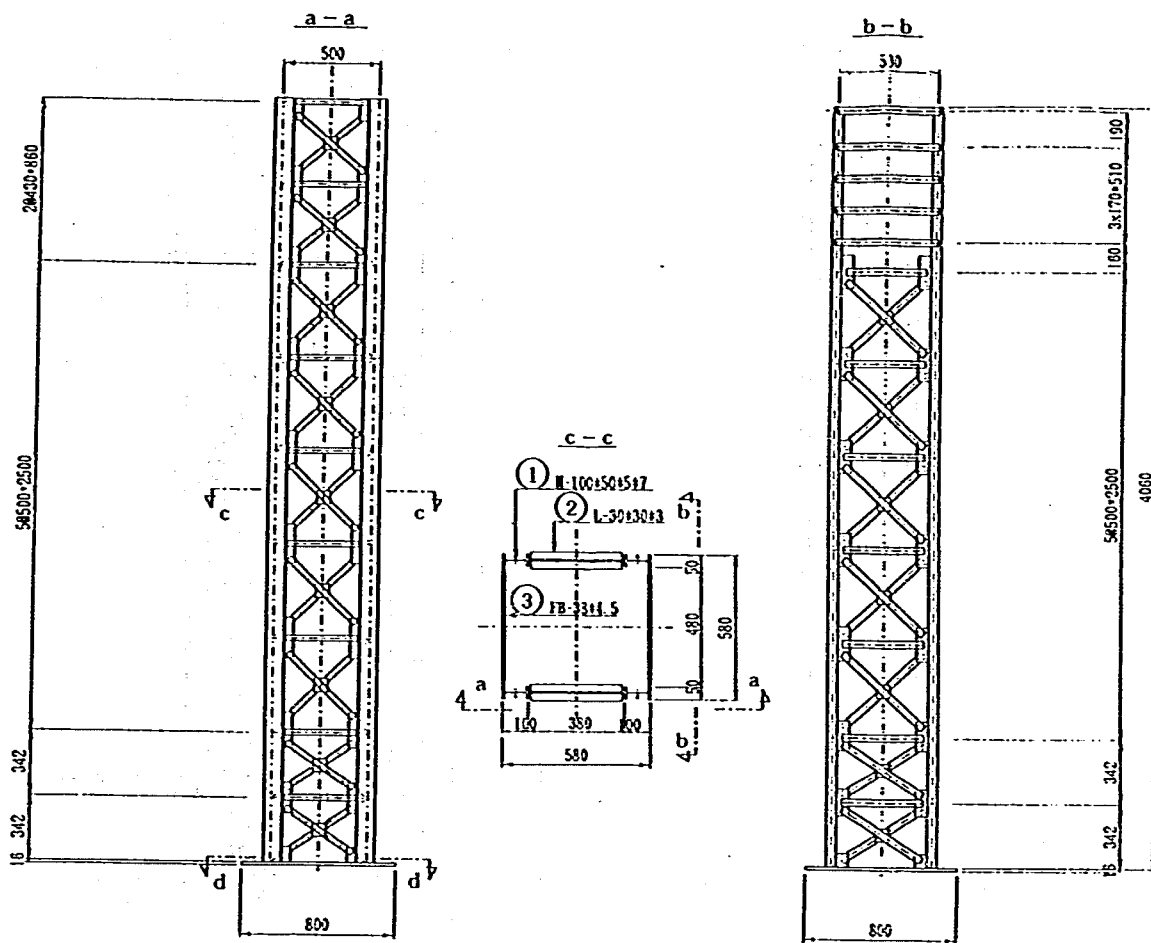


図-2 (b) 実験供試体の緒元(SRC-1,2供試体鋼材部)

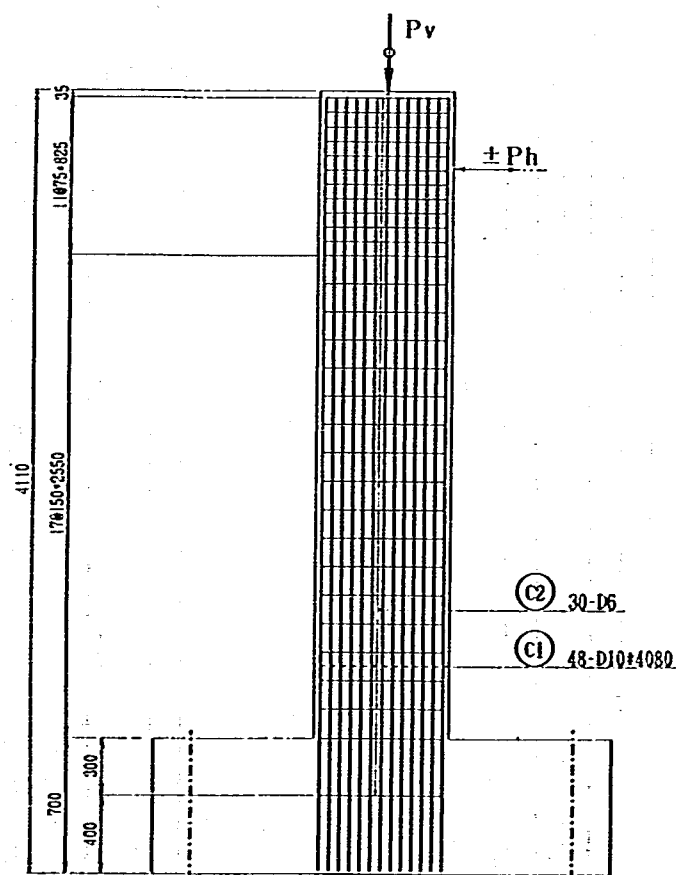


図-2 (c) 実験供試体の緒元(SRC-1,2供試体鉄筋コンクリート部)

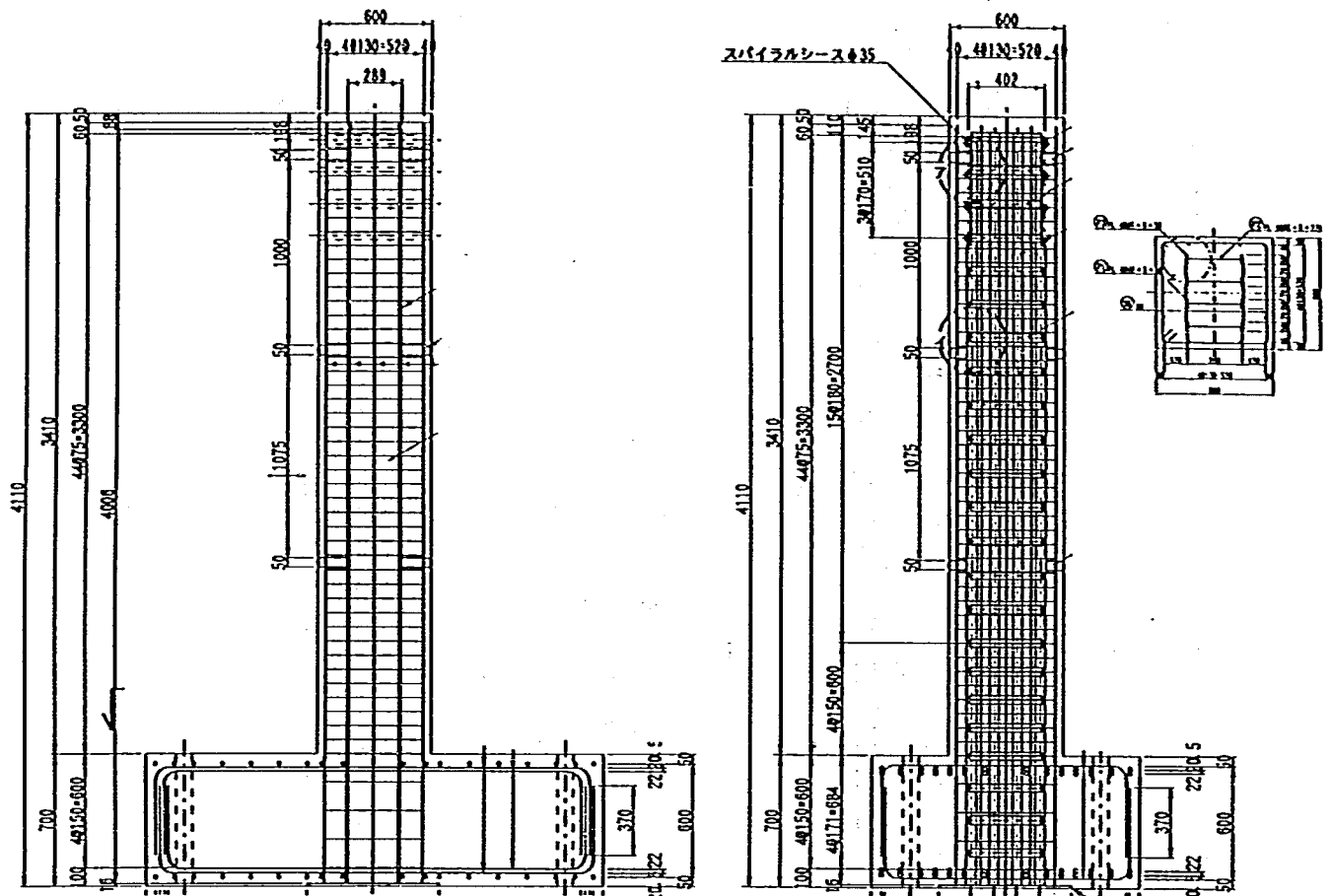


図-4 (a) 実験供試体の緒元(SRC-4全体)

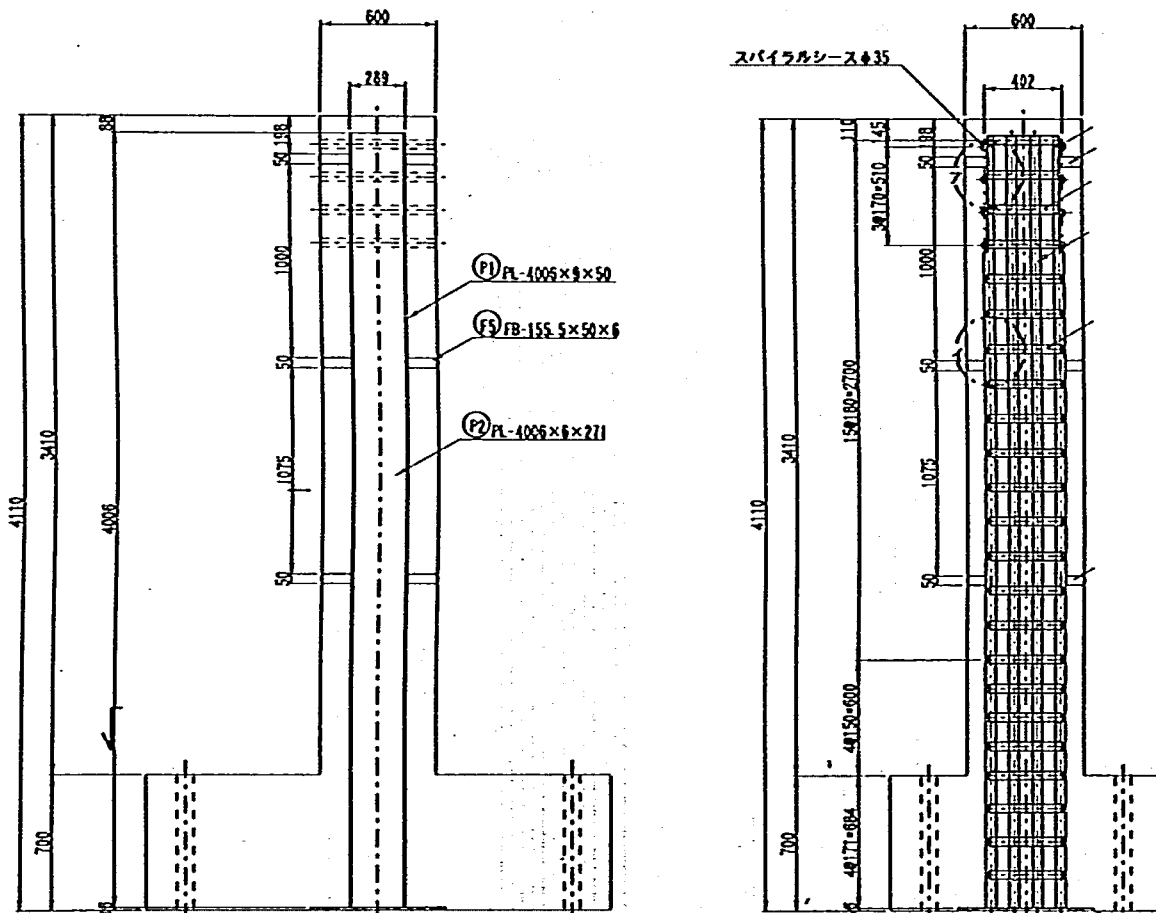


図-4 (b) 実験供試体の緒元(SRC-4鋼材部)

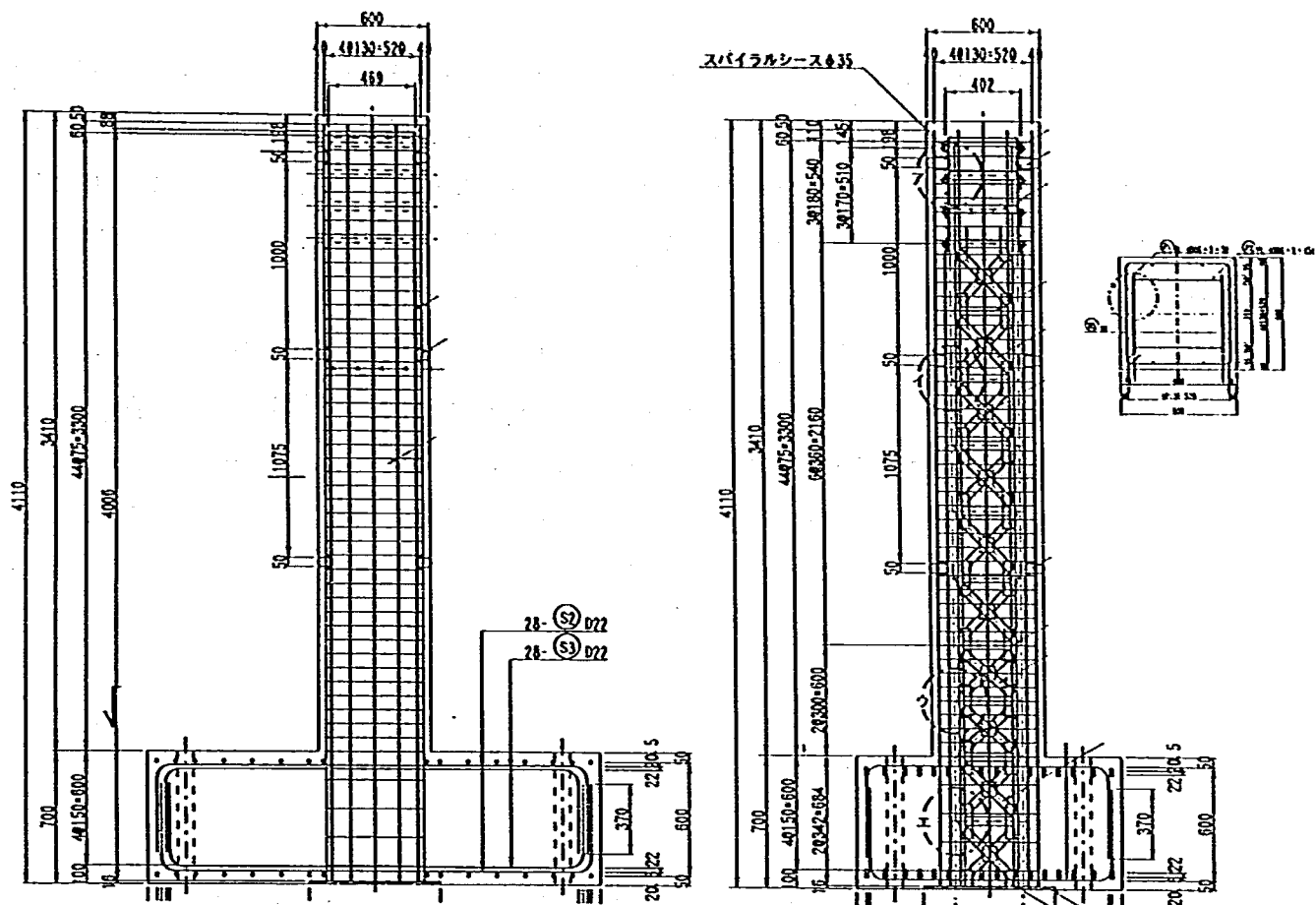


図-3 (a) 実験供試体の緒元(SRC-3供試体全体)

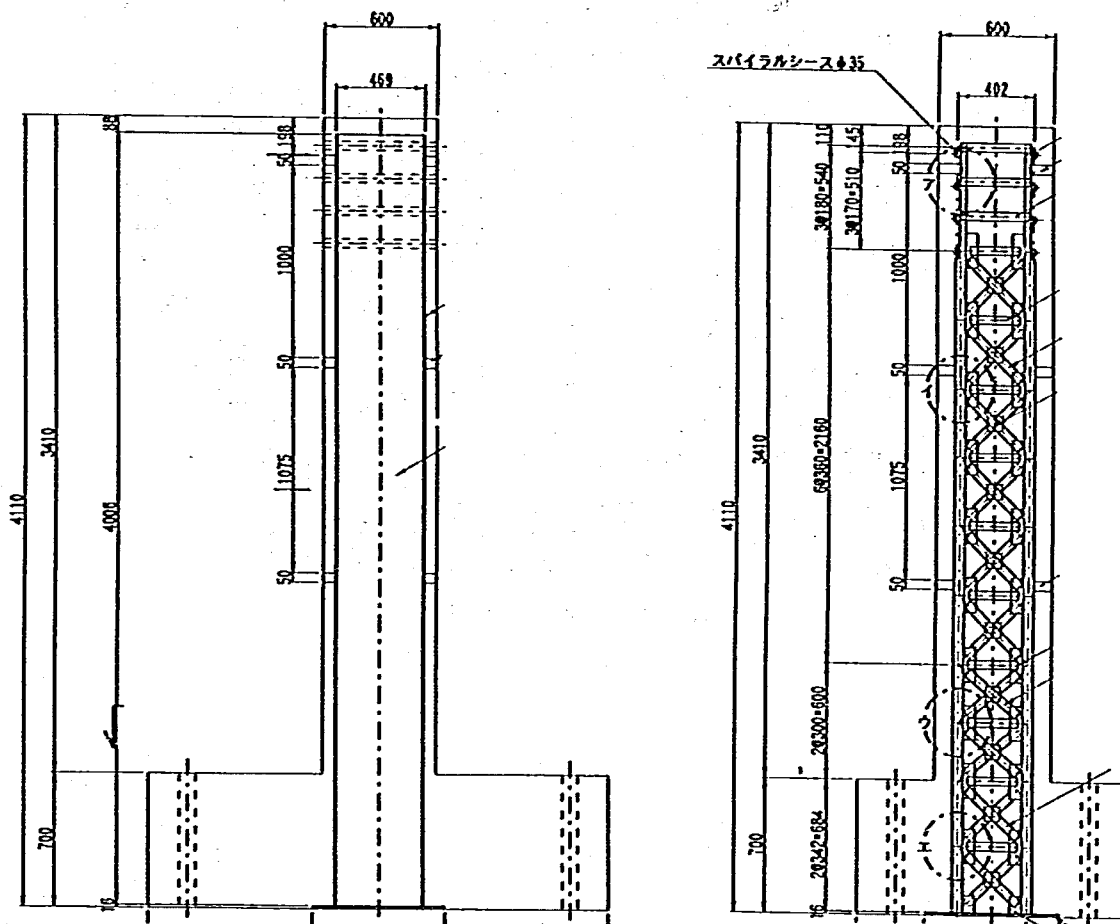


図-3 (b) 実験供試体の緒元(SRC-3供試体鋼材部)

2-2 載荷方法

載荷実験は、図-5に示すように模型供試体を横にした状態で、フーチングを反力壁に固定し、動的加振機および軸力載荷装置を供試体頭部に取り付け、死荷重反力に相当する軸力を与えながら、動的加振機により水平荷重を加えた。なお、導入軸力はRC、SRC-1模型供試体は64.2tf、SRC-2模型供試体は128.4tf、SRC-3、SRC-4模型供試体は47.2tfとした。これは、SRC-2模型供試体で 26.2kgf/cm^2 、その他の模型供試体で 13.1kgf/cm^2 の圧縮応力度に相当する。

降伏変位($1\delta_y$)の設定は供試体最外縁の軸方向鉄筋が降伏した時の水平変位とし、図-6に示すように正負交番で降伏変位の整数倍の変位で順次載荷を行った。今回の実験では、予備載荷の結果から、RC模型供試体16.7mm、SRC-1、SRC-2模型供試体共に14.7mm、SRC-3、SRC-4模型供試体共に14.5mmとなった。

なお、載荷速度は 30mm/sec 、各載荷ステップでの載荷繰返し回数は3回とした。実験による終局変位は水平耐力が降伏耐力以下に低減した時の変位として定義した。

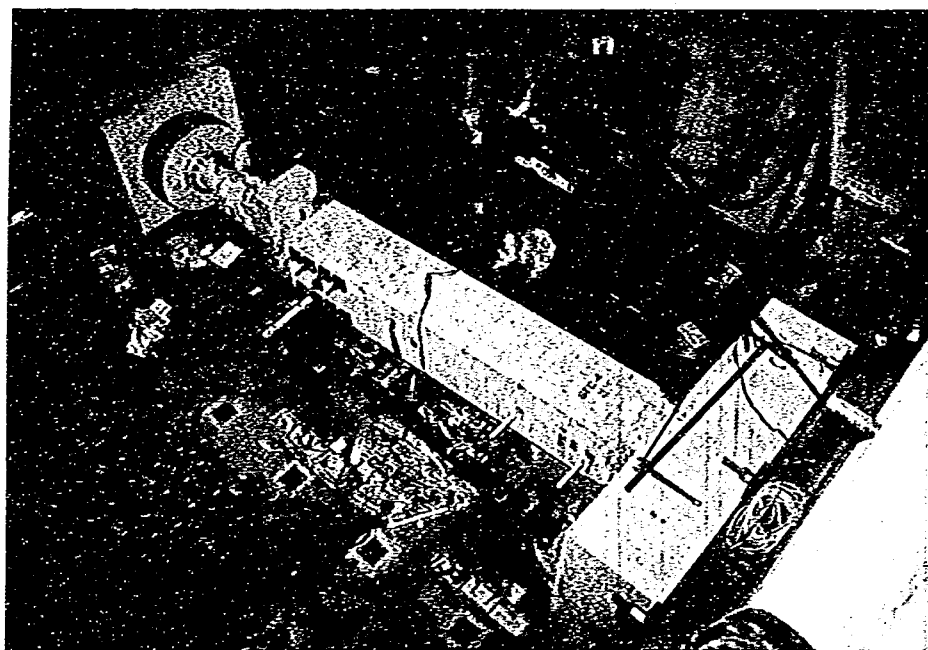


写真-1 載荷実験状況

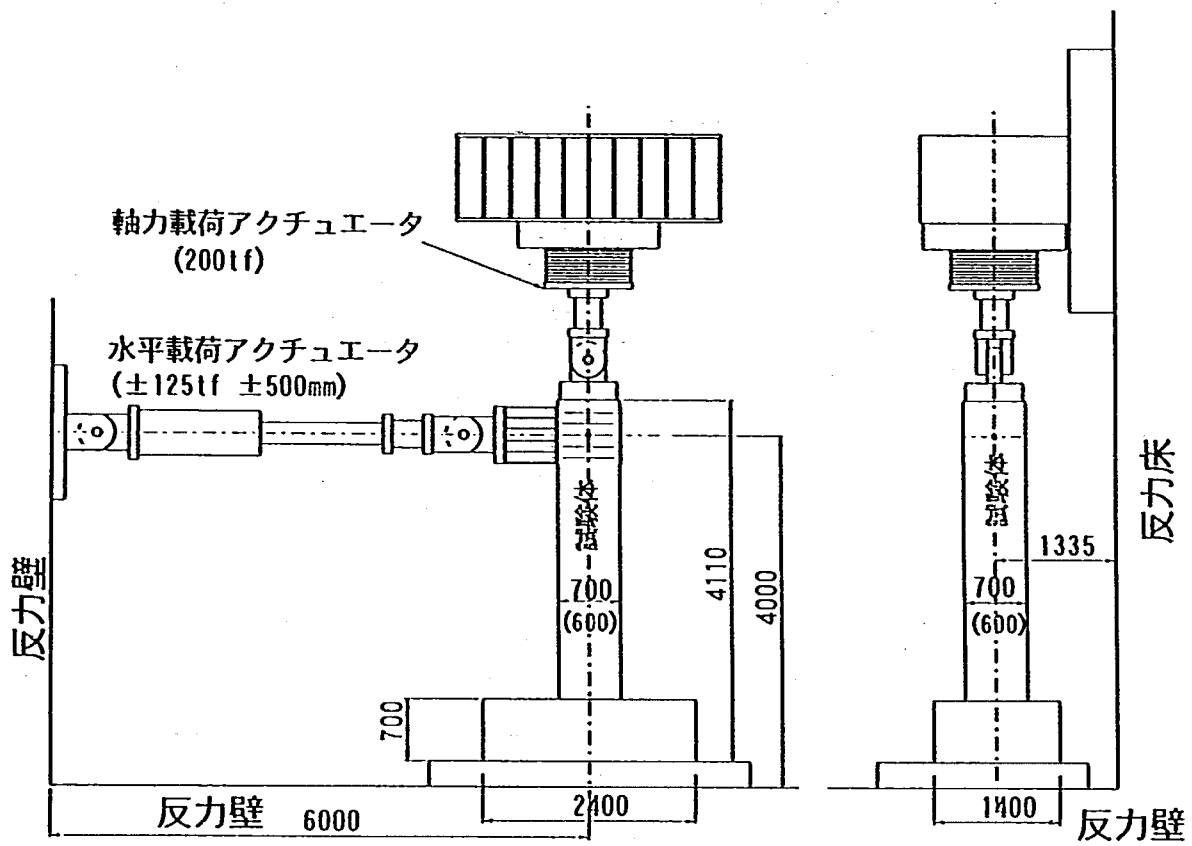


図-5 载荷状況

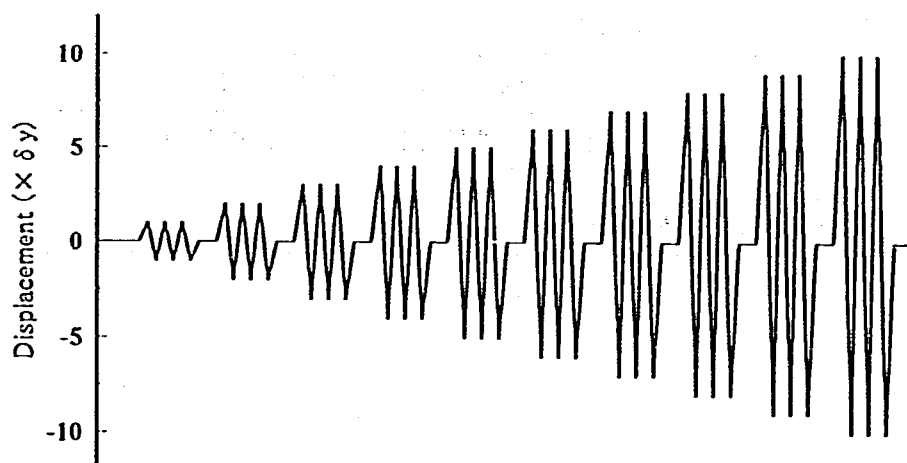


図-6 基本载荷履歴

3. 動的載荷実験結果

図-7～図-11は、それぞれ供試体載荷位置における水平荷重-水平変位の履歴曲線を示したものであり、図-12～図-16は、各供試体ごとの各載荷段階における破壊状況をスケッチしたものである。それぞれの供試体における破壊の進展状況を表-5に示す。

表-5 載荷実験時の損傷の進展
(a)RC-1供試体

1 δy	載荷中に水平方向クラックが発生、載荷後隠れて見えなくなった。
2 δy	斜めクラック発生。水平方向クラック進展
3 δy	ひび割れ増加
4 δy	ひび割れ増加。軸方向鉄筋の座屈。柱基部のコンクリートが圧壊し一部剥落する。
5 δy	軸方向鉄筋が大きくはらみ出す。P面、M面ともにコンクリートがはく落。
6 δy	コアコンクリートがブロック状に割れる。
7 δy	軸方向鉄筋が数本破断する。コンクリートが激しく剥離、剥落。
8 δy	軸方向鉄筋が更に破断する。3波目で荷重が著しく低下。終了

(b)SRC-1供試体

1 δy	載荷中に水平方向クラックが発生、載荷後隠れて見えなくなった。
2 δy	P面、M面に水平方向クラックが柱基部から1m程度の高さまで120mm間隔(帯鉄筋位置)に発生。最大荷重(+36.6tf, -38.0tf)
3 δy	水平方向クラックが1.5m程度の高さまで進行。斜めのクラックも発生。
4 δy	軸方向鉄筋が座屈。P面、M面ともに柱基部から300mm位までかぶりコンクリートはく離。3波目には水平荷重が最大の88%程度に低下。
5 δy	軸方向鉄筋が露出し、大きくはらみ出す。
6 δy	コンクリート剥離が進行。ブレース材が座屈し、露出する。帯鉄筋は効いていない。
7 δy	H鋼が座屈、水平耐力が大きく低下、2波目で4本とも破断する。P面鉄筋が2本、M面鉄筋が2本破断。
8 δy	軸方向鉄筋が、さらに何本か破断。終了

(c)SRC-2供試体

1 δy	載荷中に柱基部より50mmの間で水平方向クラックが発生、載荷後隠れて見えなくなった。
2 δy	特に進行なし。最大荷重(+40.8tf, -43.2tf)
3 δy	柱基部のコンクリートが圧壊。特にP面が著しい。
4 δy	軸方向鉄筋がはらみ出す。柱基部より300mm程度までかぶりコンクリートがはく落。軸方向鉄筋が露出。3波目には水平荷重が最大の84%程度に低下。
5 δy	P面、M面とも柱基部より300mm程度までコンクリートが完全にはく落。H鋼がブレース材と共に座屈。
6 δy	コンクリートのはく落が進行。
7 δy	1波目でH鋼が4本ともに破断し、耐力が大きく低下。P面の軸方向鉄筋が一本破断。
8 δy	M面の軸方向鉄筋が1本破断。終了

(d)SRC-3供試体

1 δy ~2 δy	帯鉄筋位置に水平クラックが発生、クラックの進展
3 δy	載荷面および反載荷面で縦方向のクラックが鋼材のフランジに沿った位置で発生
4 δy	柱基部の角部コンクリートが圧壊
5 δy	軸方向鉄筋が座屈し、柱基部被りコンクリートが膨らむ
6 δy	加振機面、反加振機面でのかぶりコンクリートの剥離開始
7 δy	柱基部から300mm程度の高さまで被りコンクリートが剥離し、軸方向鉄筋が露出、座屈を確認、水平耐力が低下
8 δy	軸方向鉄筋が3本破断、鋼材のフランジ部分も3カ所で破断 横拘束筋のフックが鉋がり鉄筋の内側のコンクリートも剥落
9 δy	鋼材の破断がウェブにまで進展し、水平体力が著しく低下

(e)SRC-4供試体

1 δy ~3 δy	帯鉄筋位置に水平クラックが発生、クラックの進展
4 δy	柱基部の角部コンクリートが圧壊
5 δy	クラックが大きく進展 基部付近のコンクリートが部分的に剥離
6 δy	かぶりコンクリートが剥離が進展
7 δy	基部から高さ300mm程度までのコンクリートが剥落
8 δy	軸方向鉄筋が1本破断、横拘束筋のフックは健全であり、軸方向鉄筋より内側のコンクリートも健全
9 δy	軸方向鉄筋が4本破断、耐力はほとんど低下しない
10 δy	軸方向鉄筋が2本破断

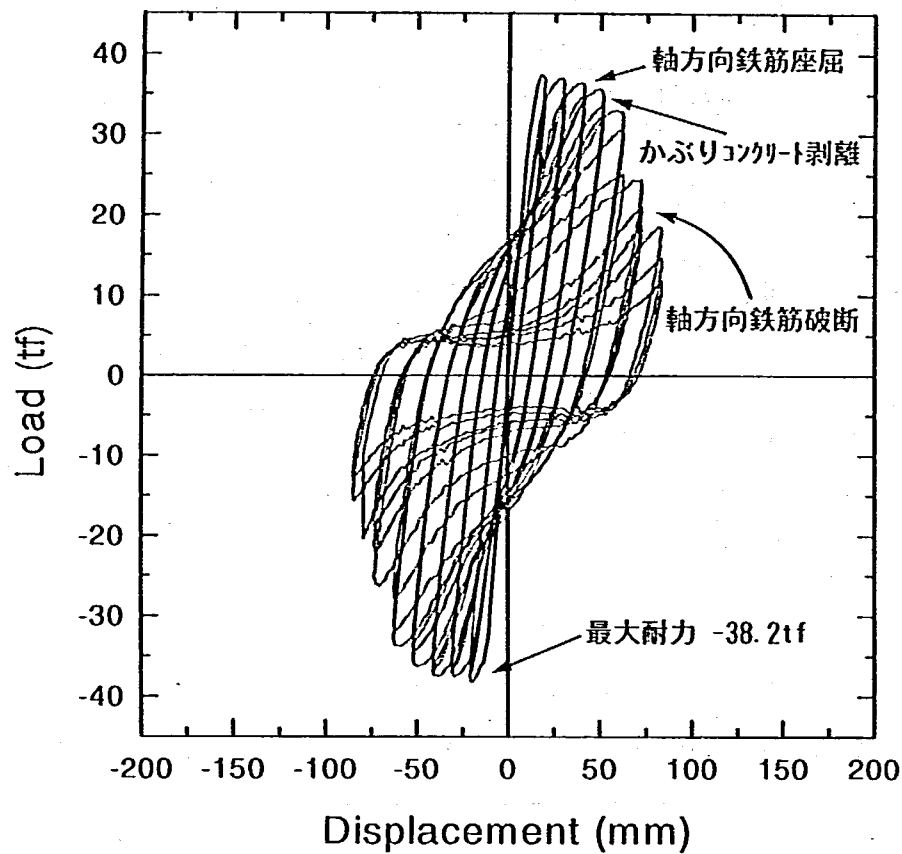


図-7 荷重-変位履歴曲線(RC-1供試体)

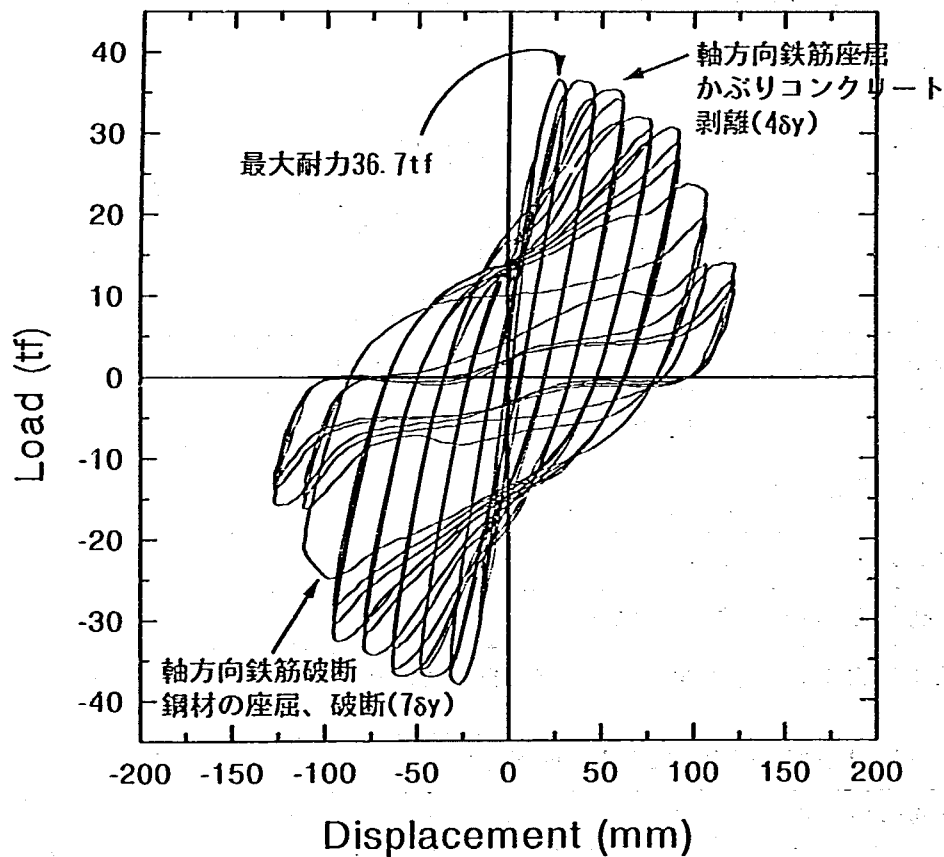


図-8 荷重-変位履歴曲線(SRC-1供試体)

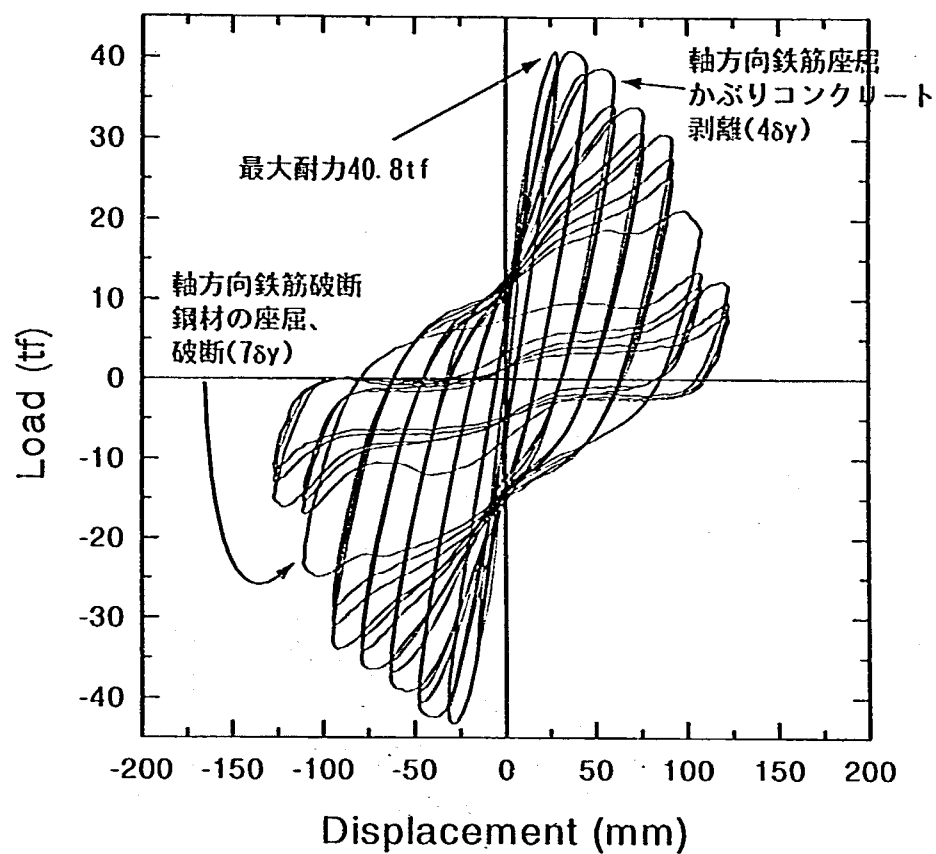


図-9 荷重-変位履歴曲線(SRC-2供試体)

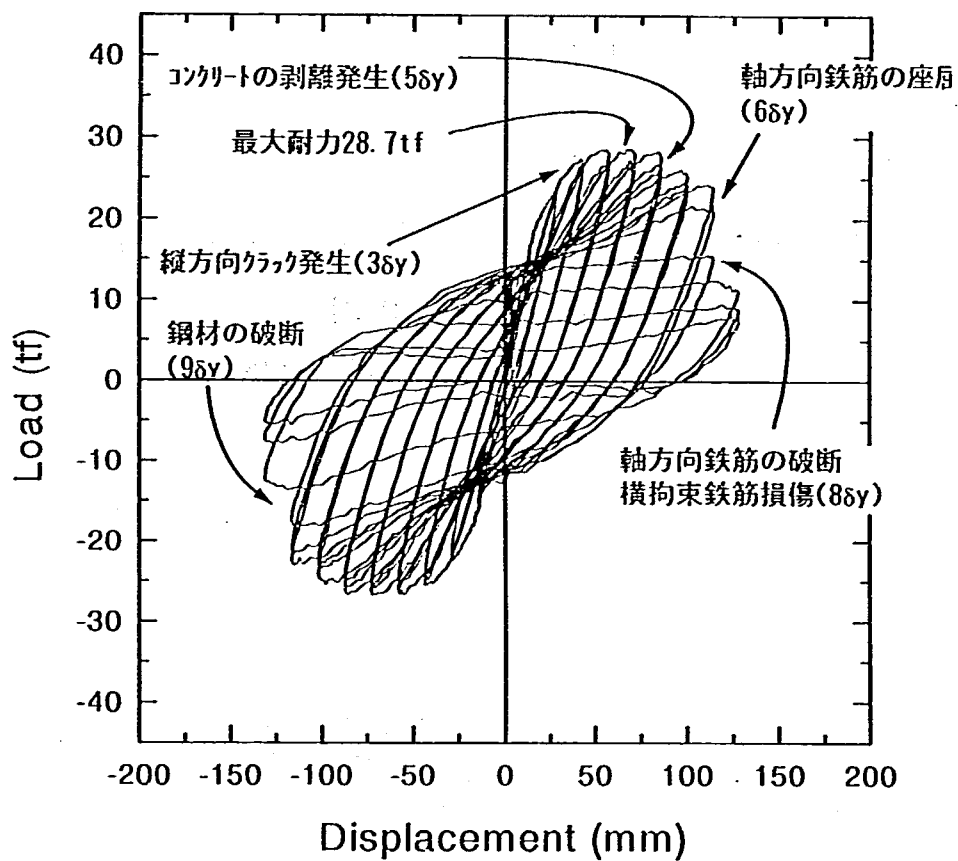


図-10 荷重-変位履歴曲線(SRC-3供試体)

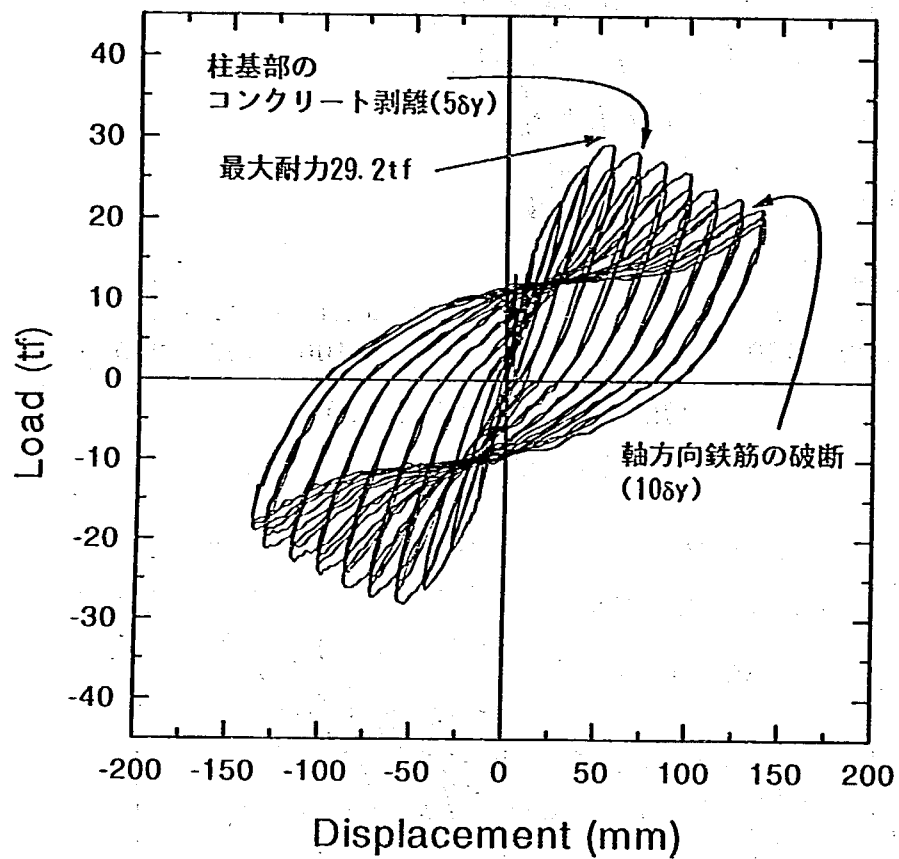


図-11 荷重-変位履歴曲線(SRC-4供試体)

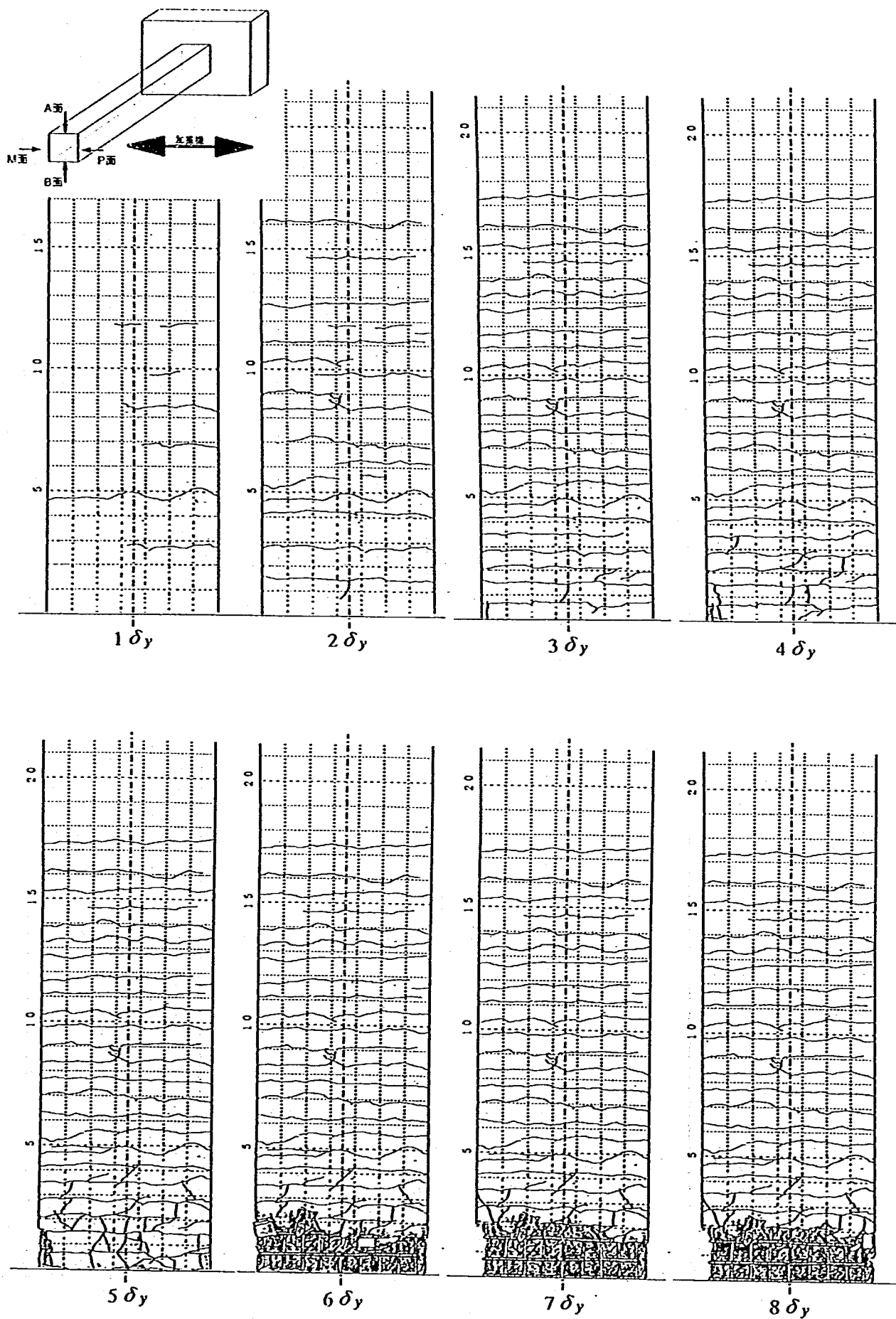


图-12 破坏状况(RC-1供试体 P面)

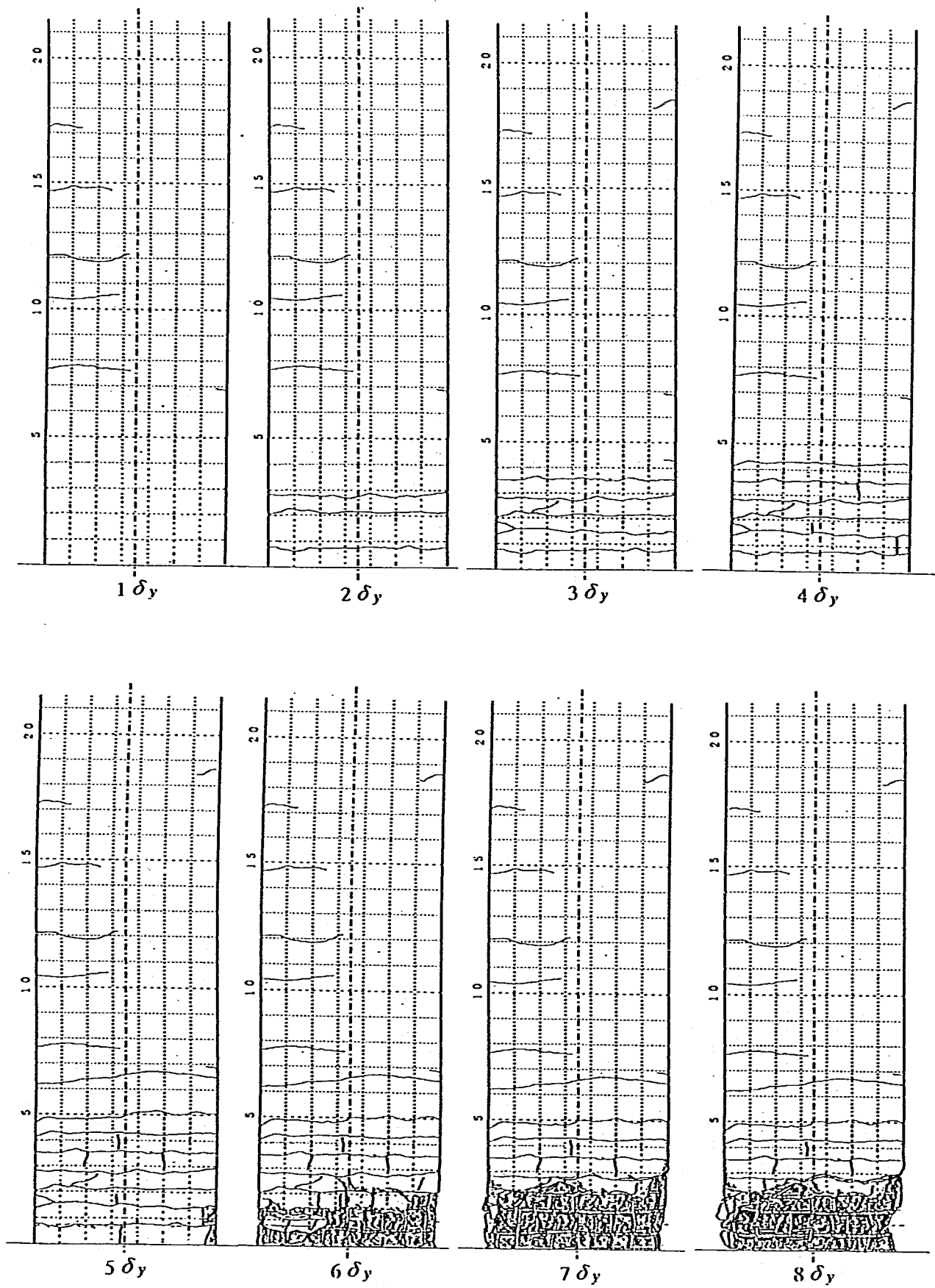


圖-12 破壞狀況(RC-1供試体 M面)

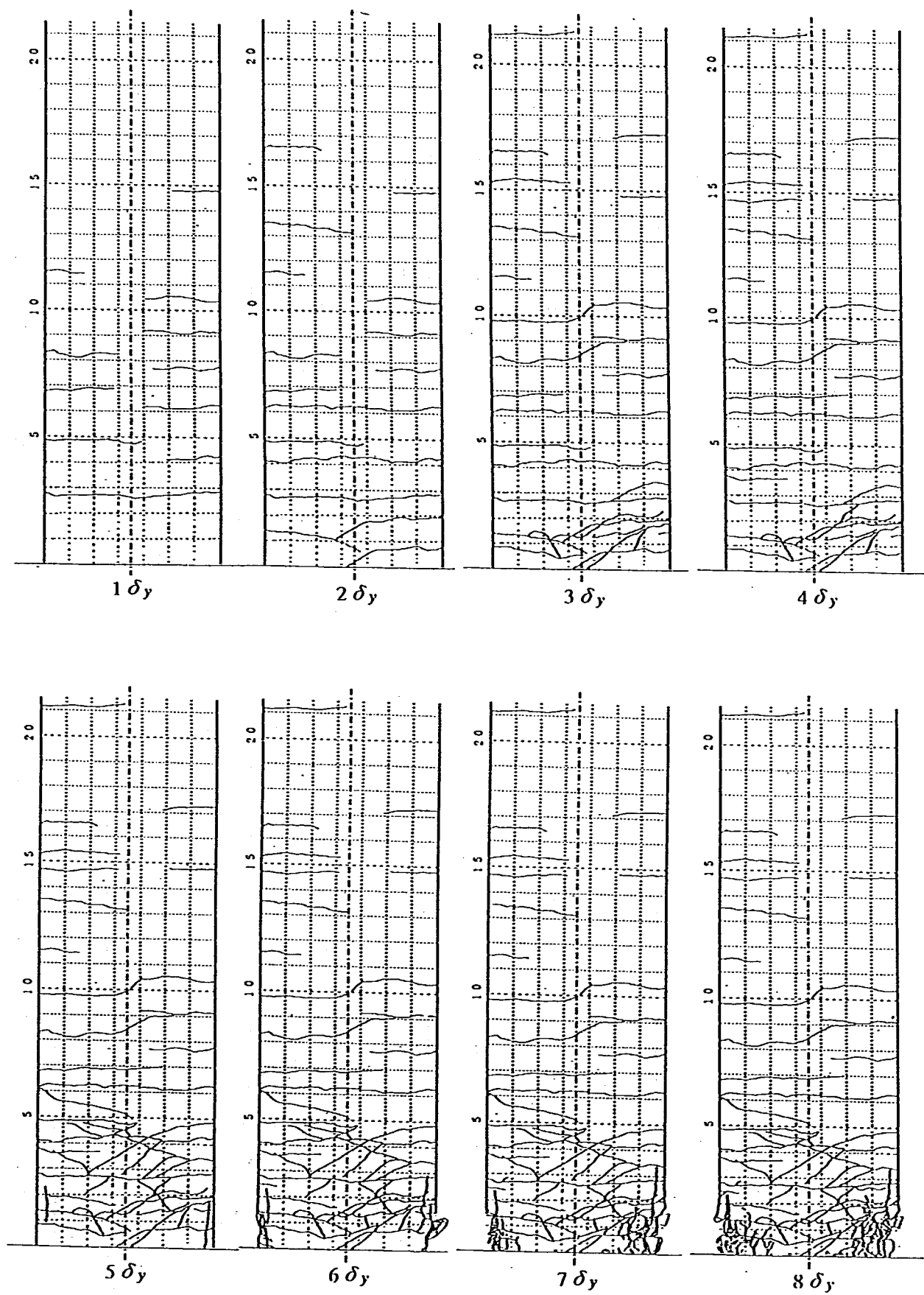


圖-12 破壞狀況(RC-1供試体 A面)

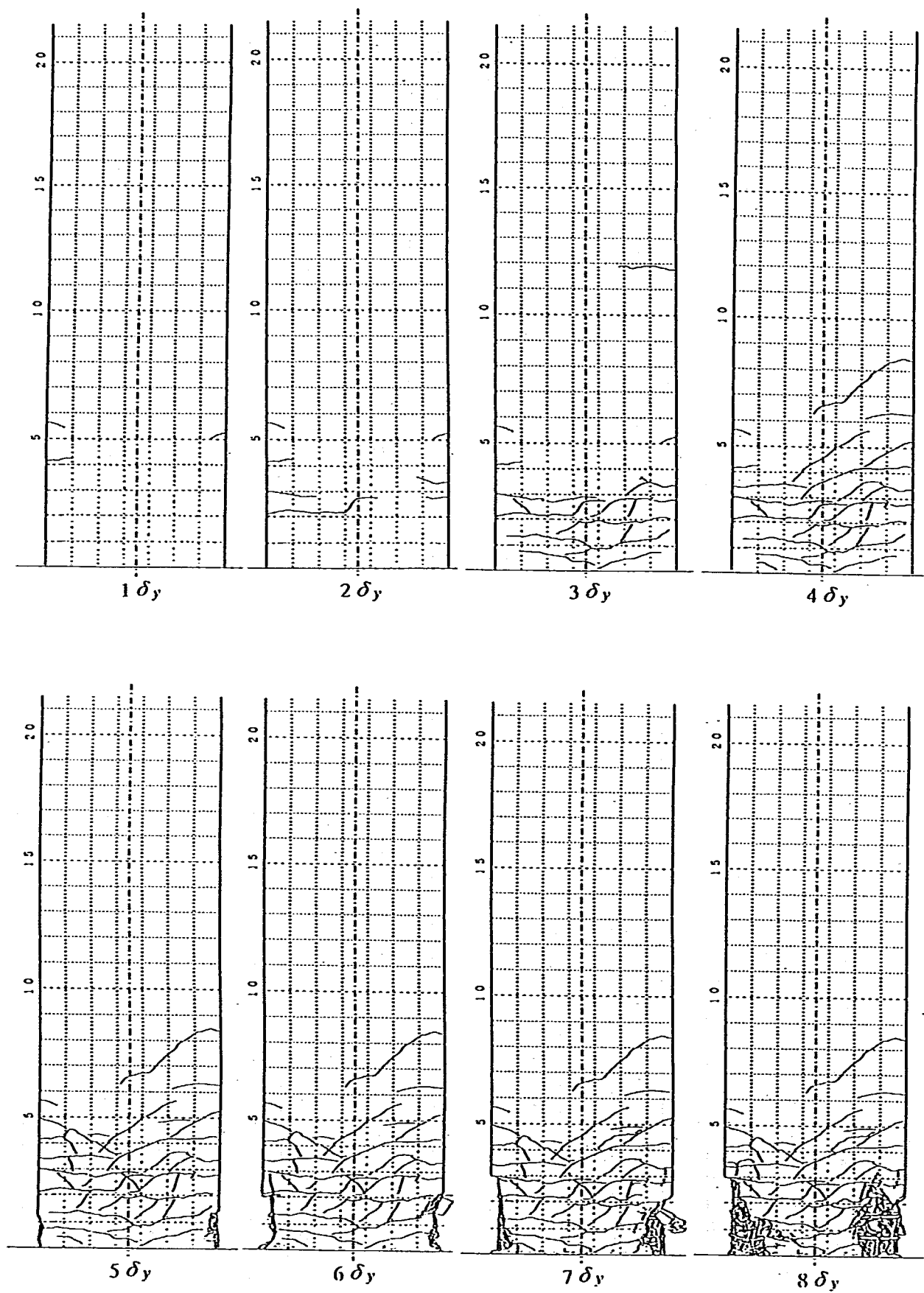


圖-12 破壞狀況(RC-1供試体 B面)

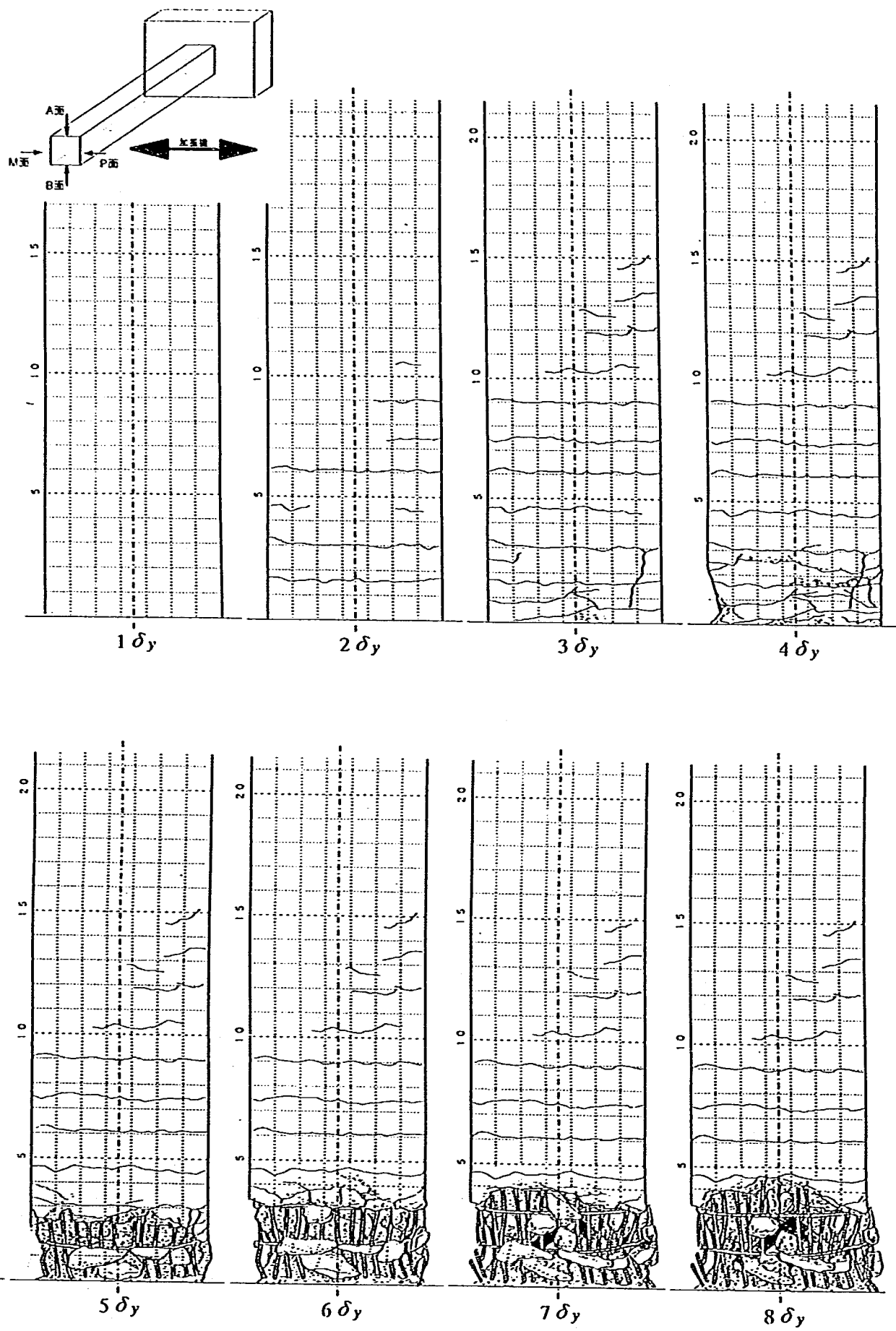


圖-13 破壞狀況(SRC-1供試體 P面)

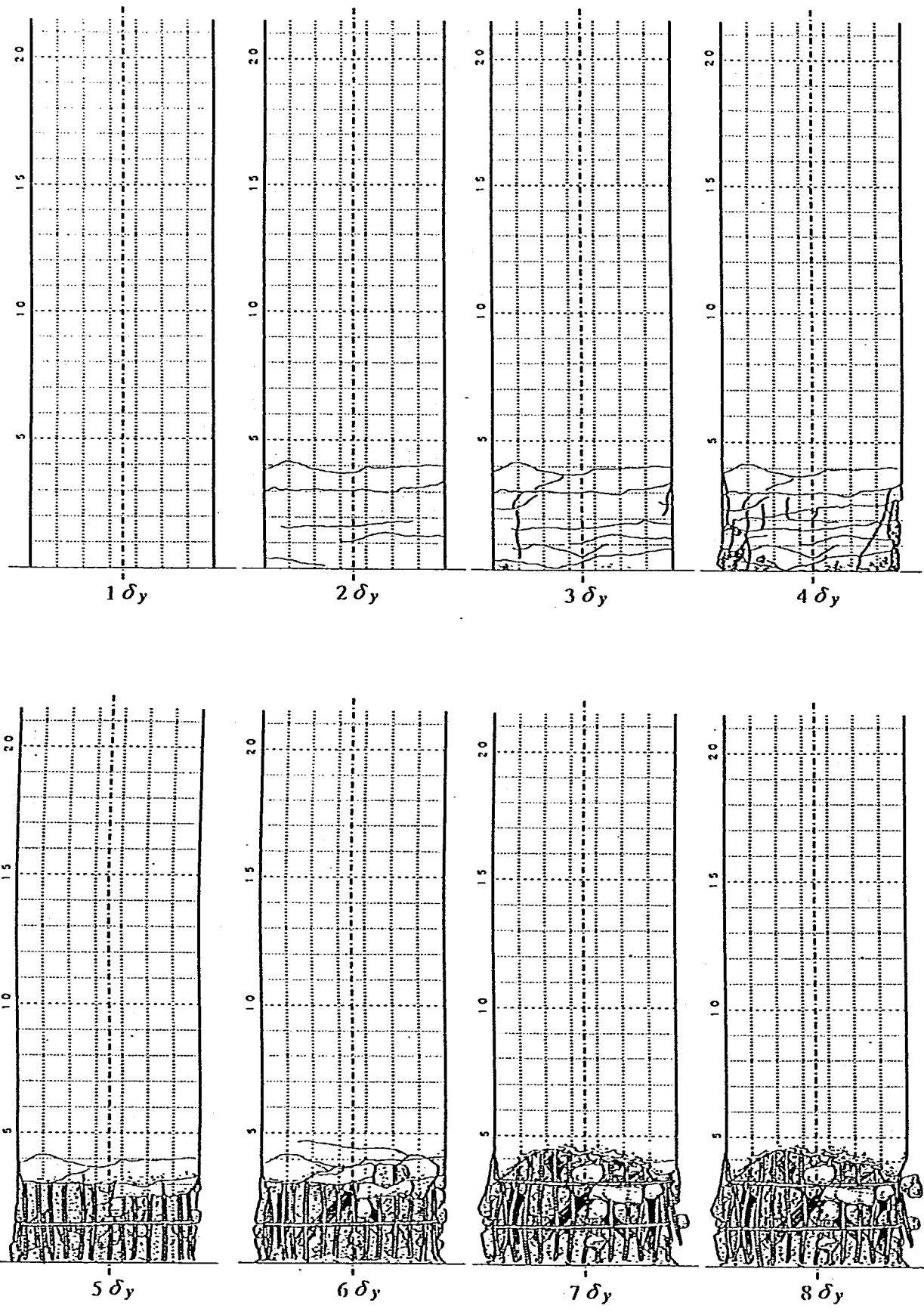


圖-13 破壞狀況(SRC-1供試体 M面)

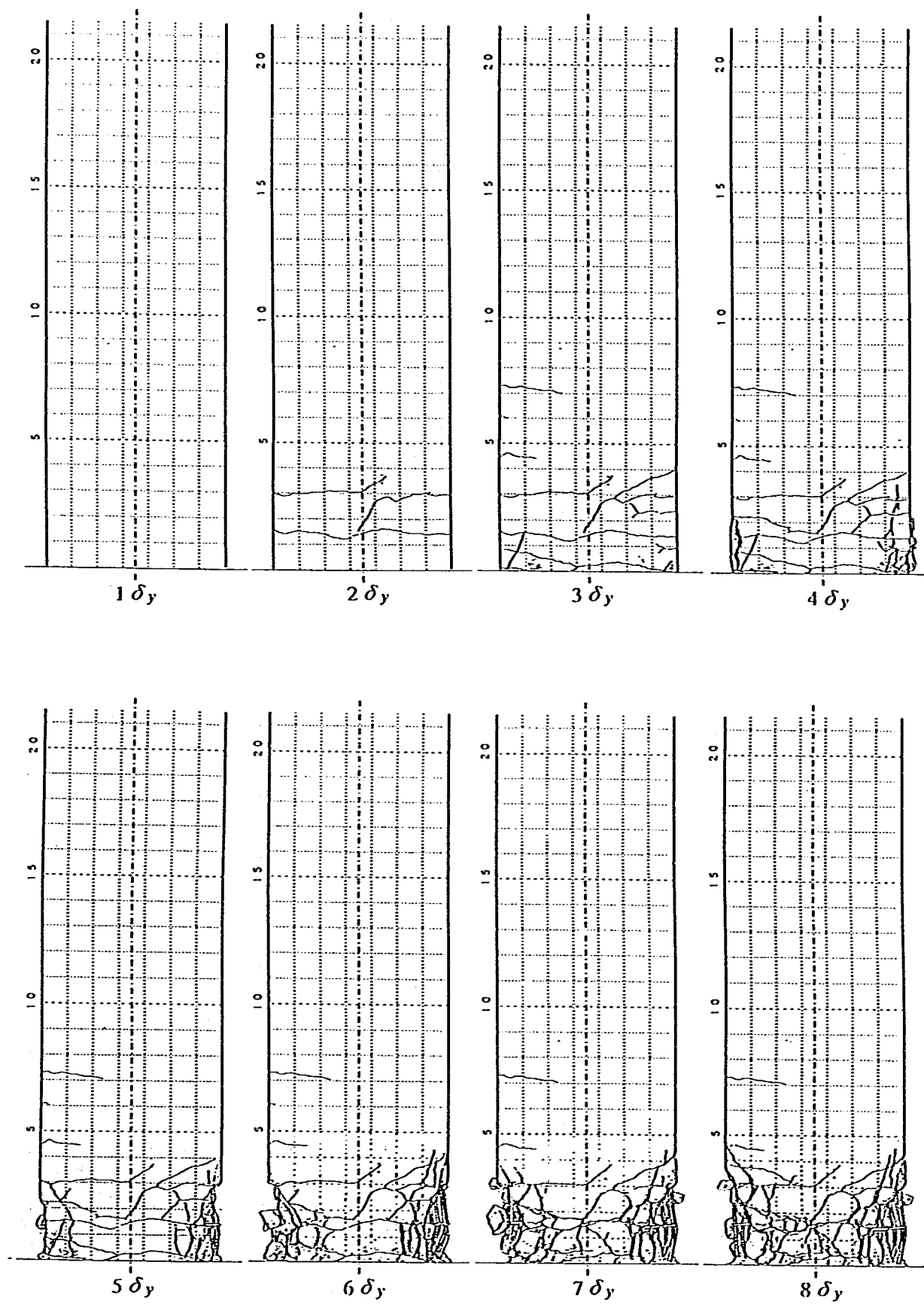


圖-13 破壞狀況(SRC-1供試體 A面)

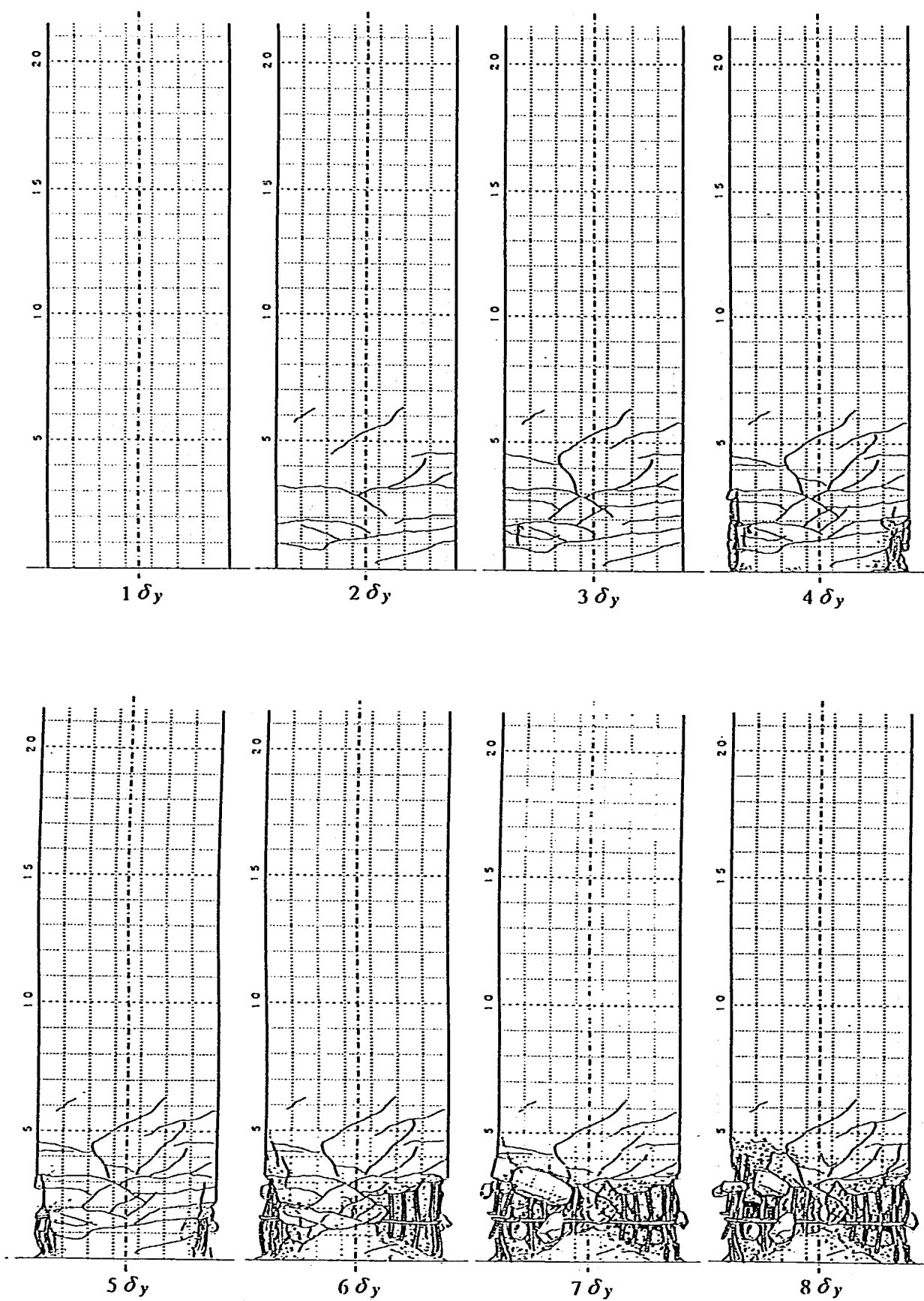


图-13 破坏状况(SRC-1供试体 B面)

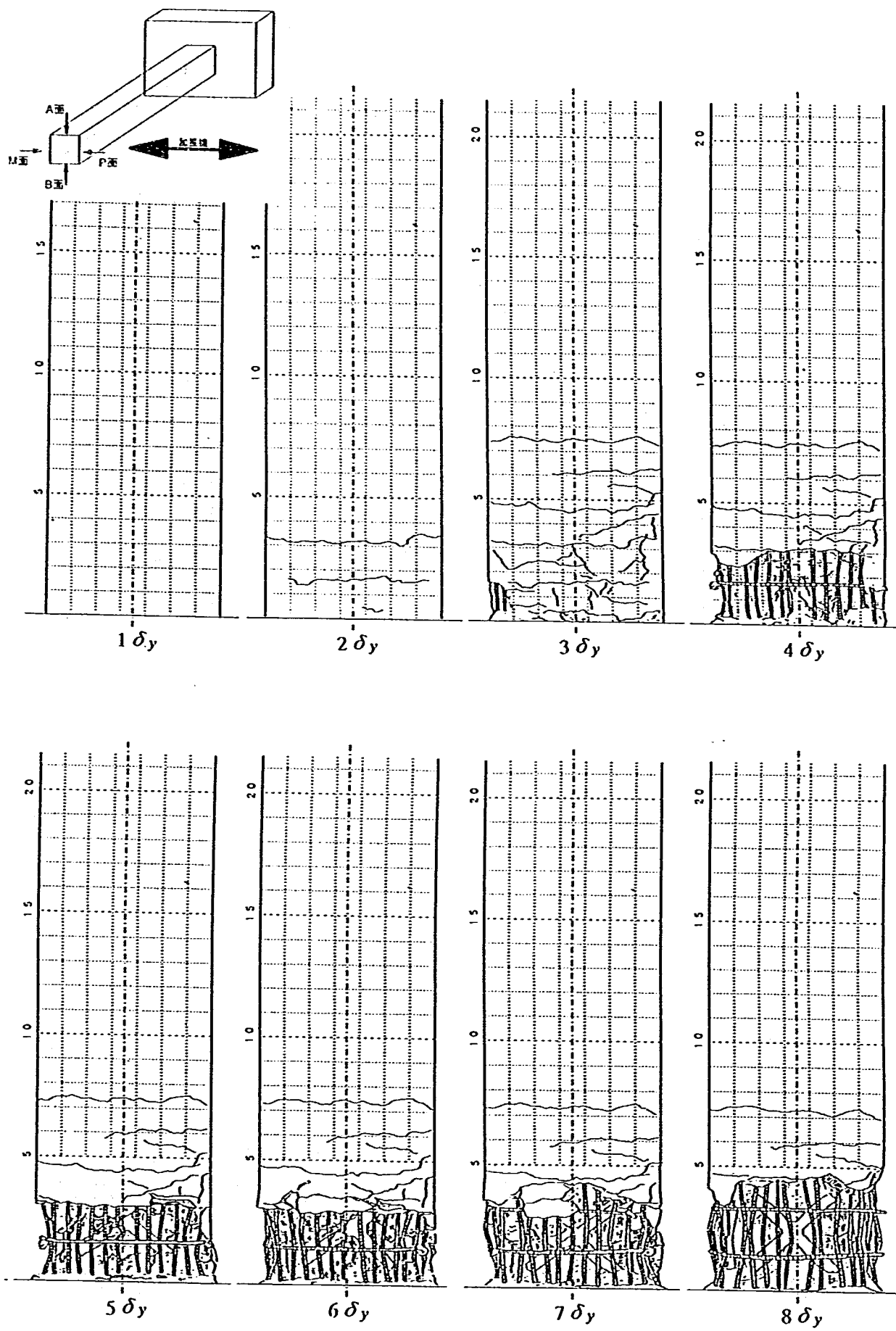


圖-14 破壞狀況(SRC-2供試體 P面)

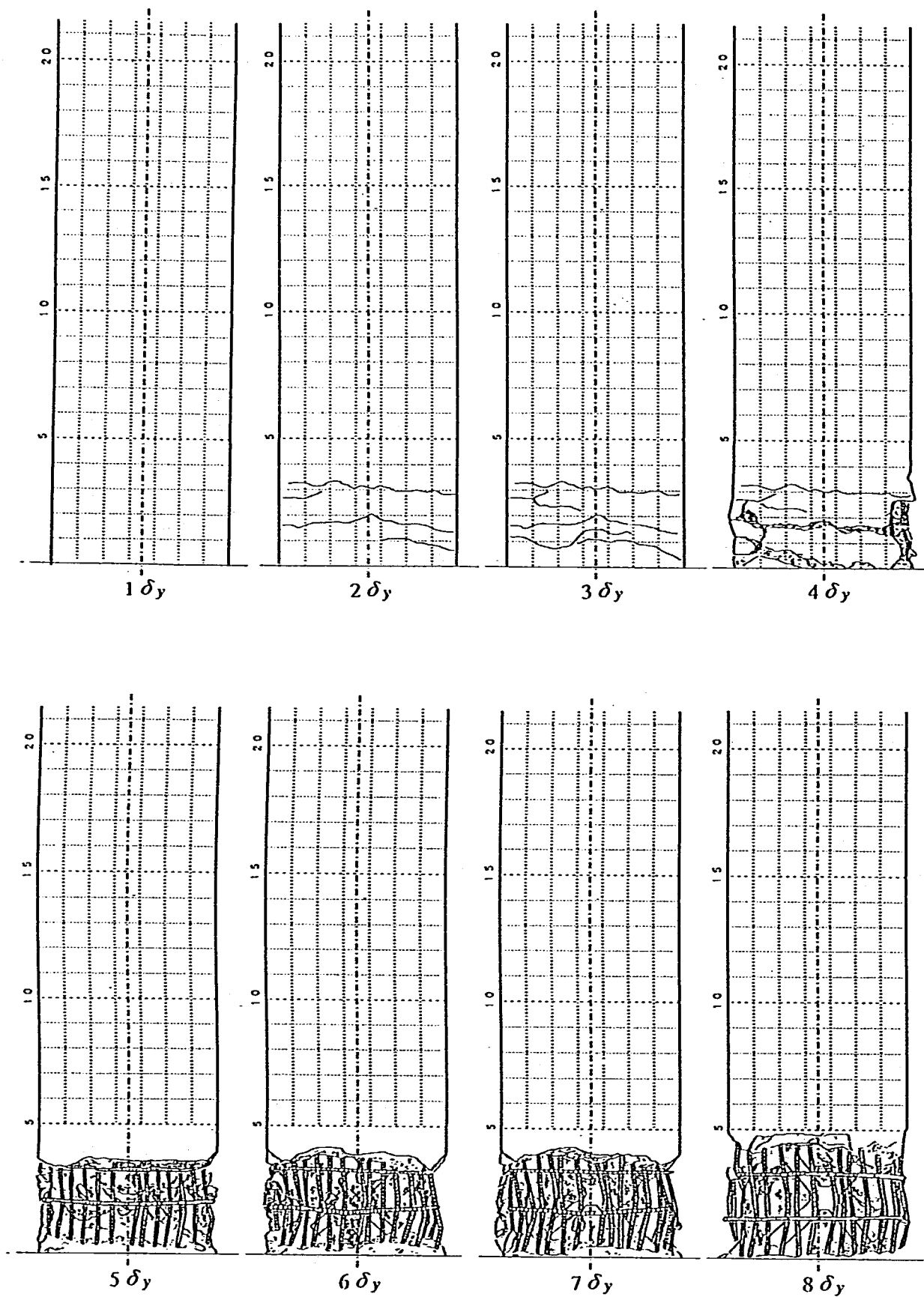


图-14 破壊状況(SRC-2供試体 M面)

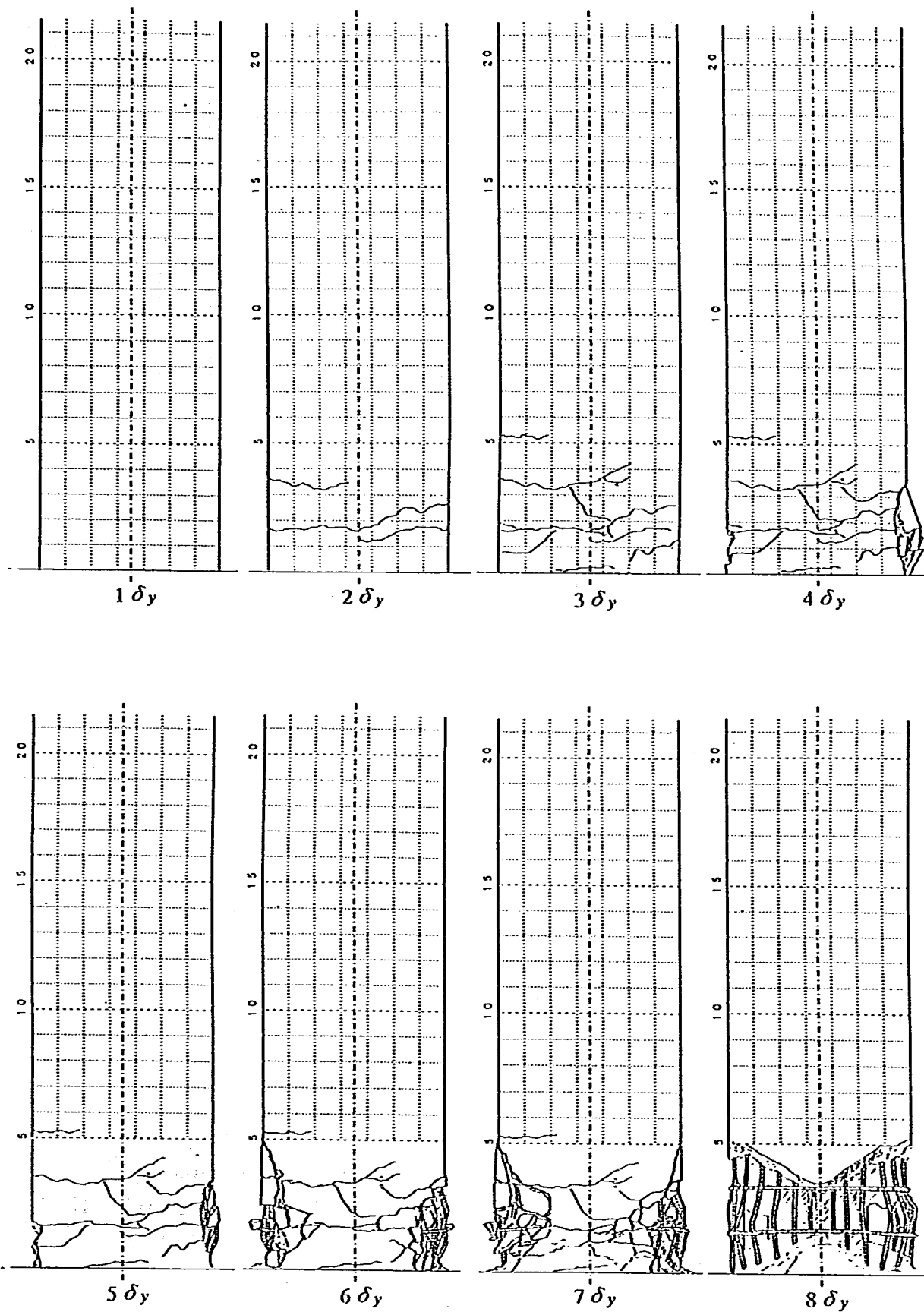


図-14 破壊状況(SRC-2供試体 A面)

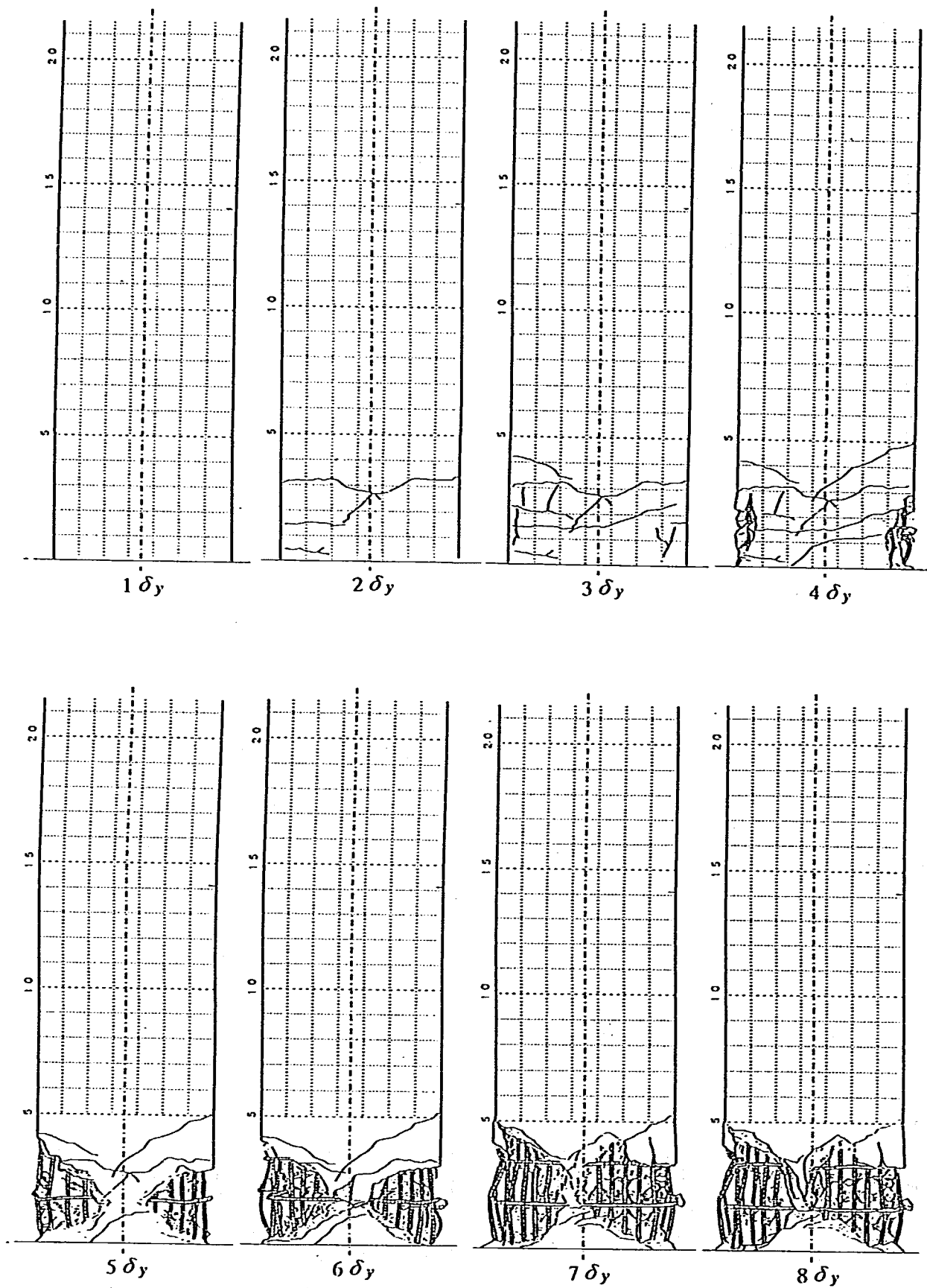


图-14 破壞状況(SRC-2供試体 B面)

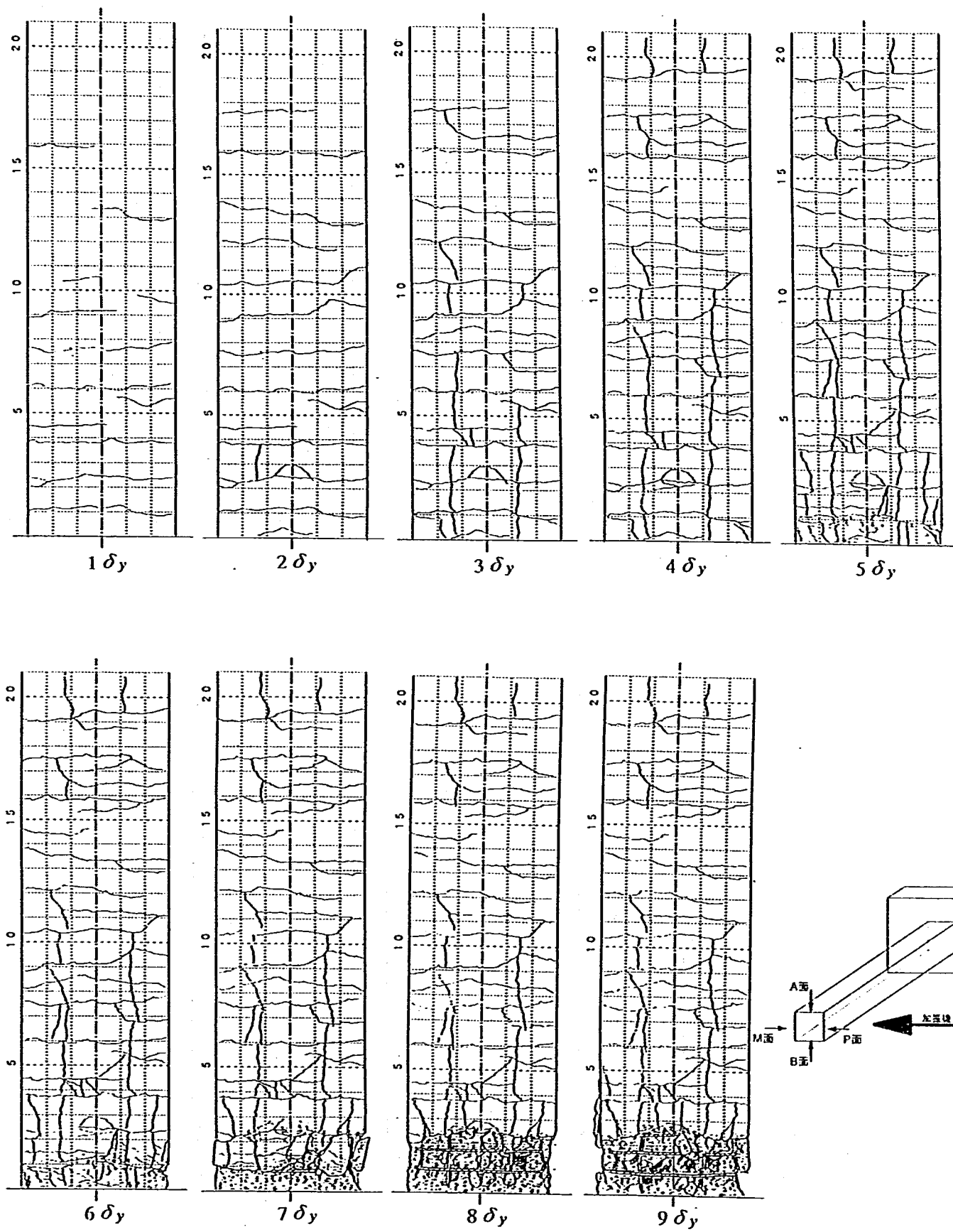


图-15 破坏状况(SRC-3供试体 P面)

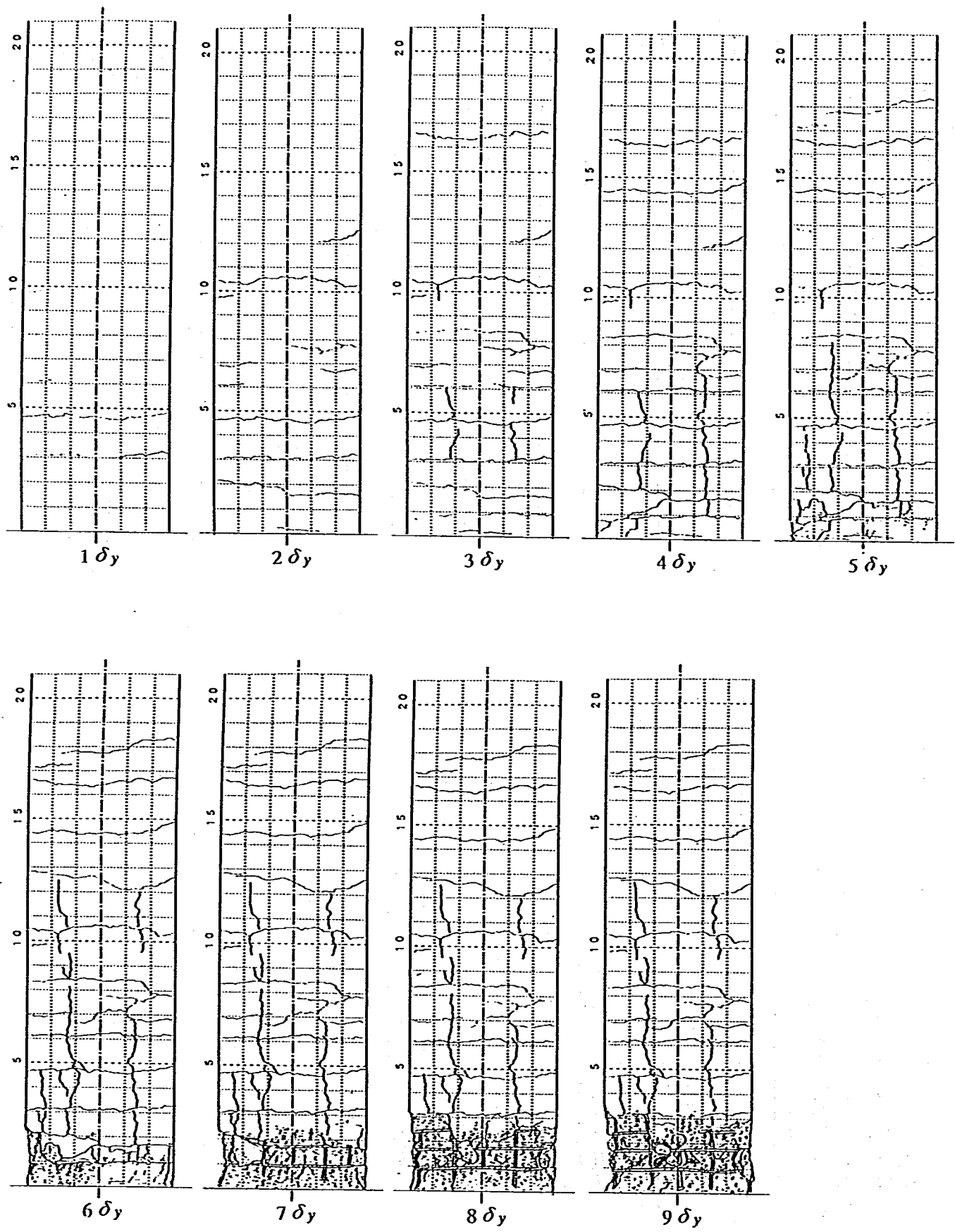


圖-15 破壞狀況(SRC-3供試体 M面)

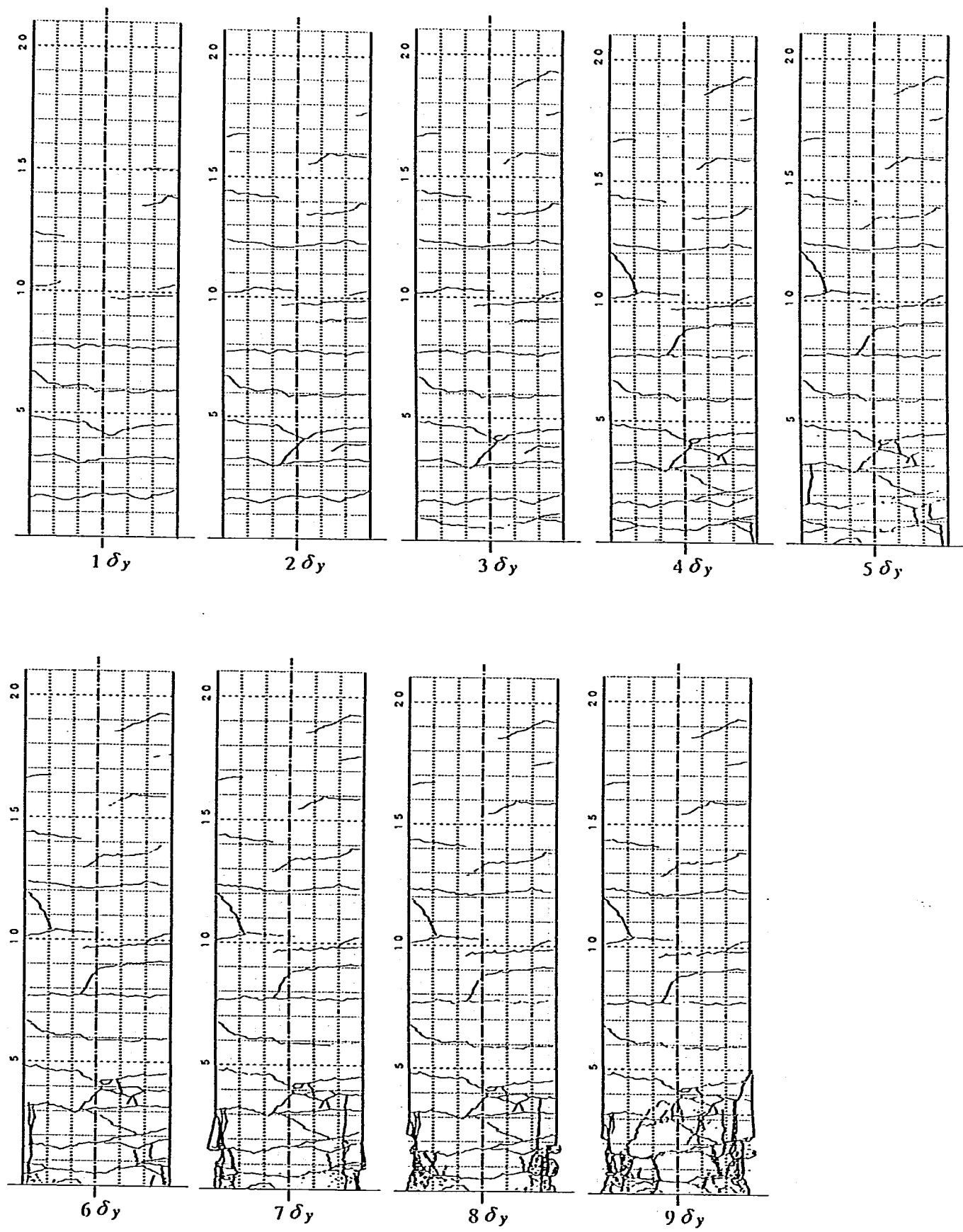


图-15 破壊状況(SRC-3供試体 A面)

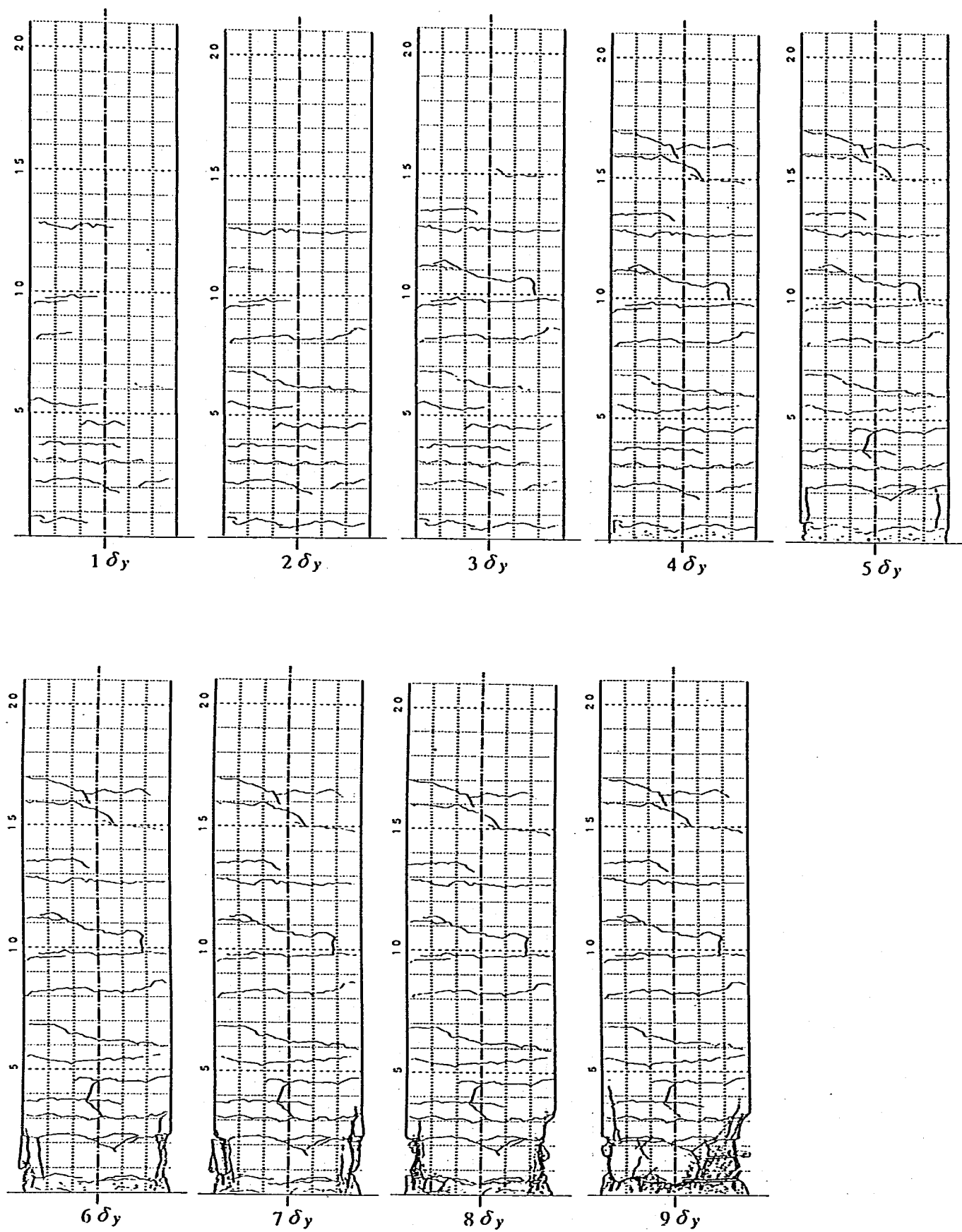


図-15 破壊状況(SRC-3供試体 B面)

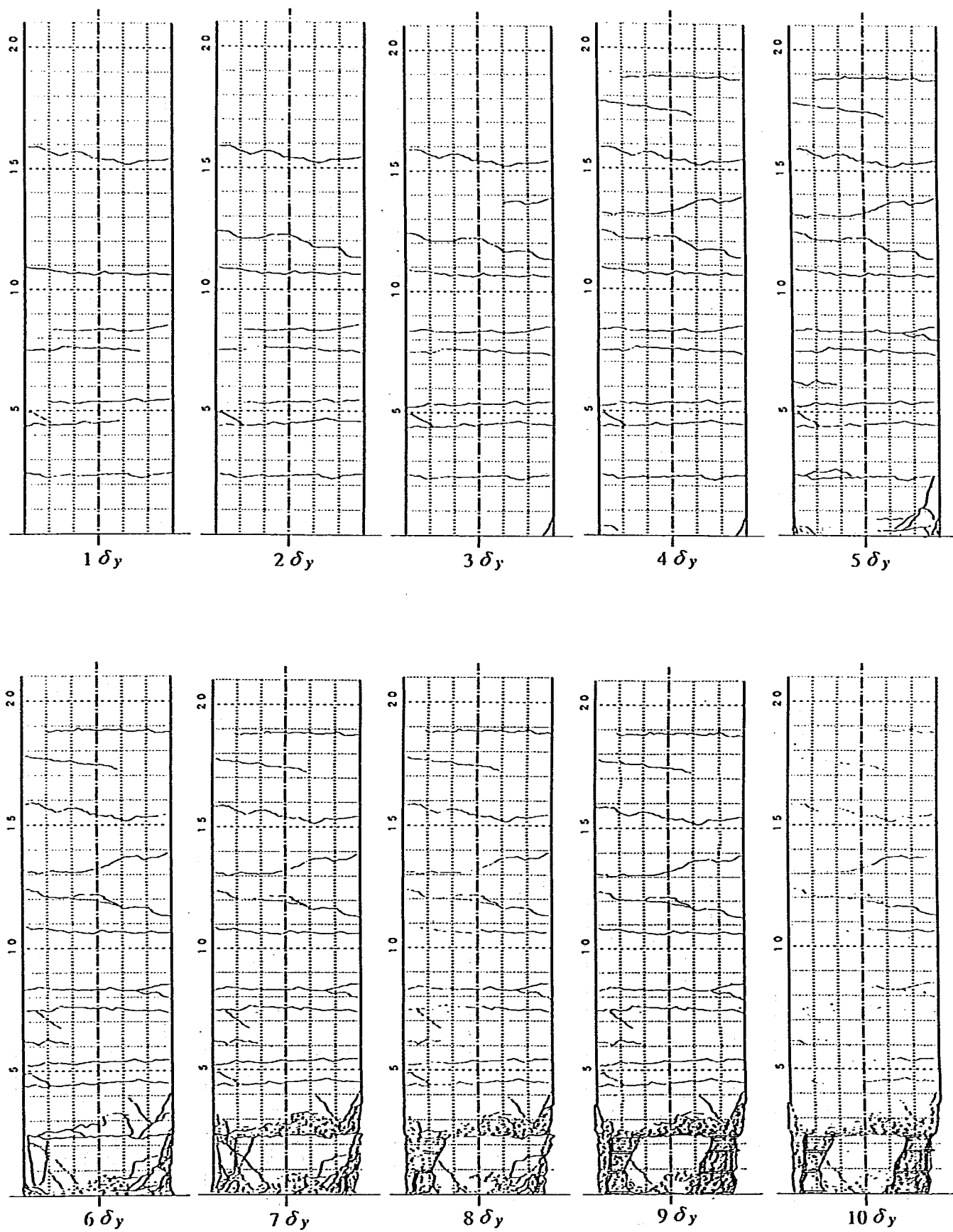


图-16 破壞狀況(SRC-4供試体 P面)

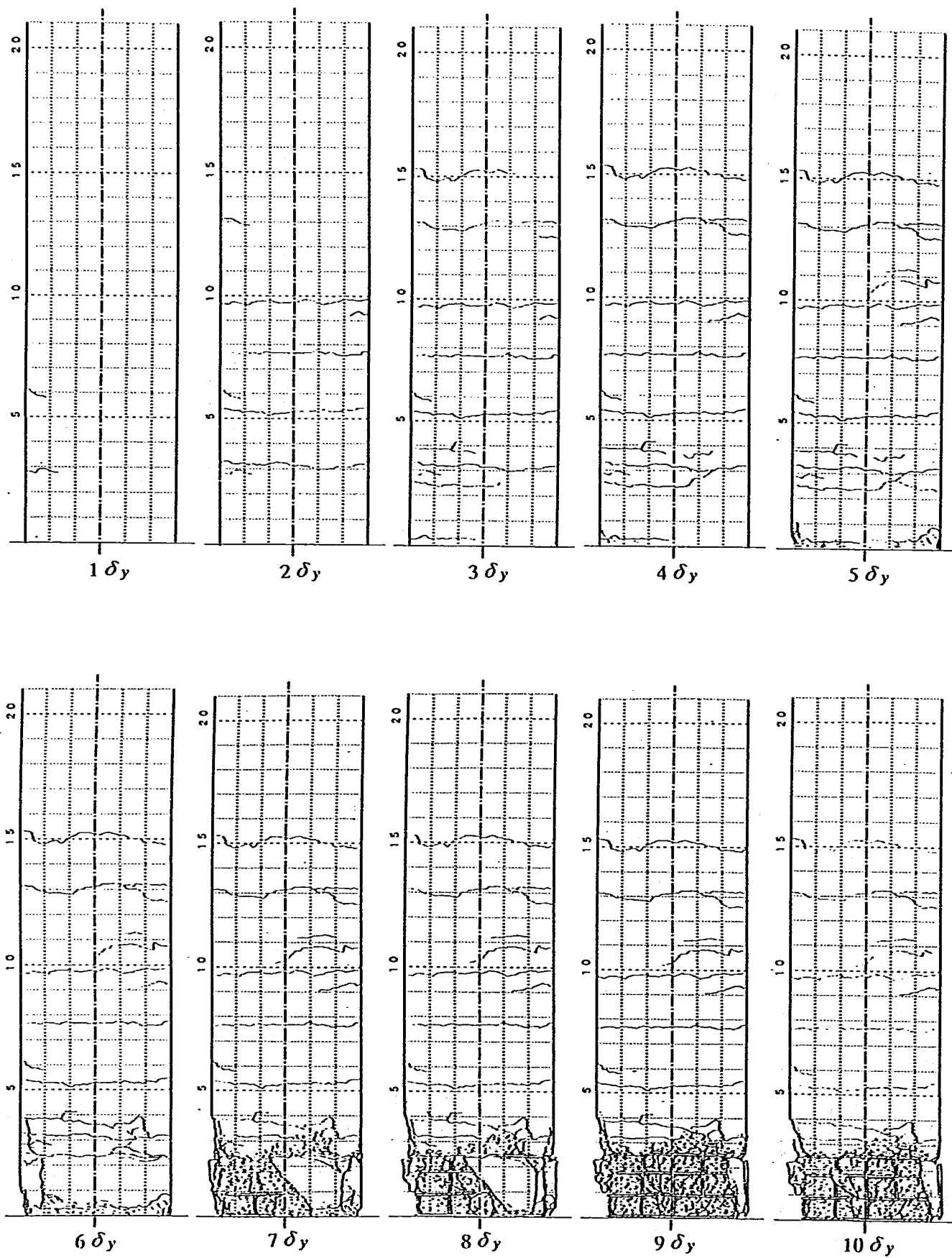


図-16 破壊状況(SRC-4供試体 M面)

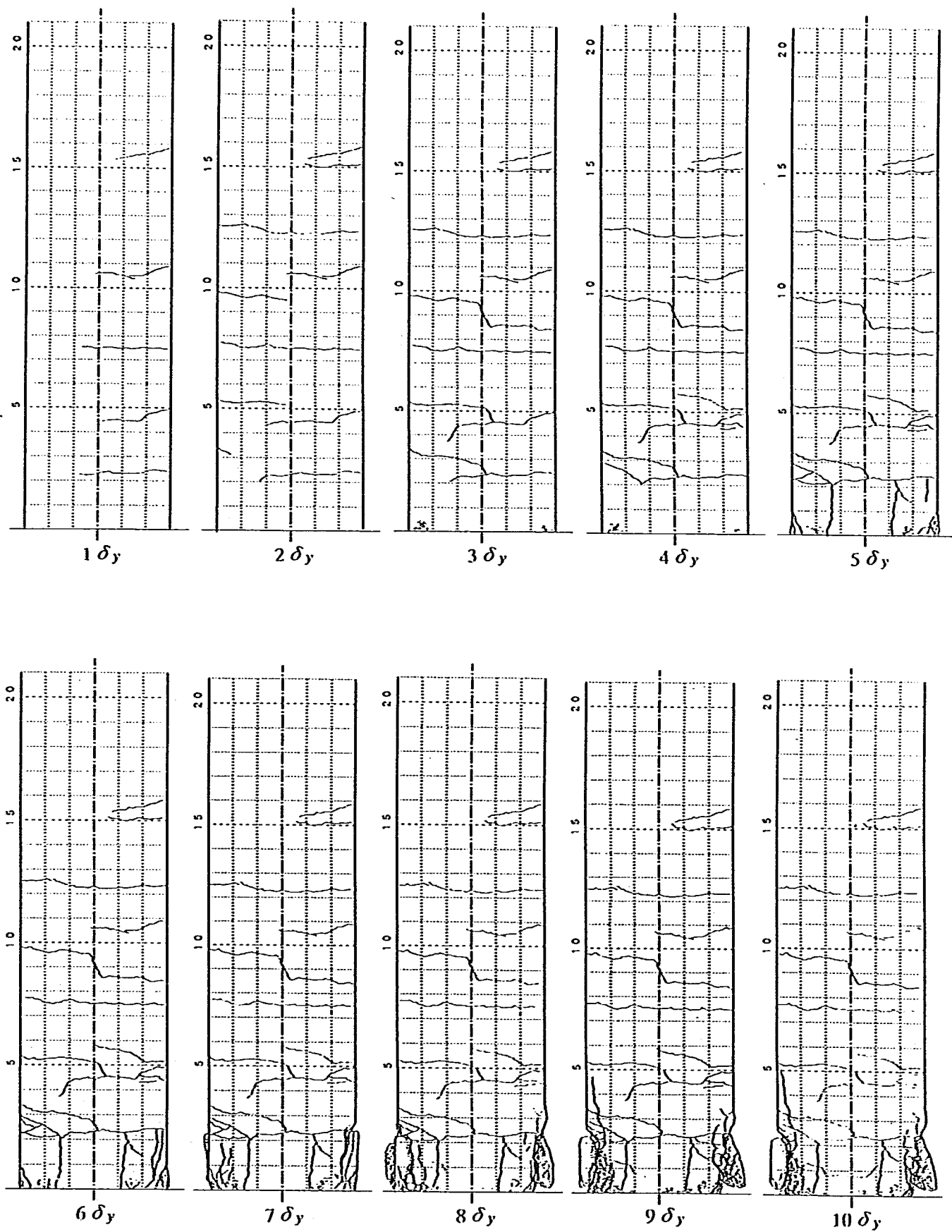


圖-16 破壞狀況(SRC-4供試体 A面)

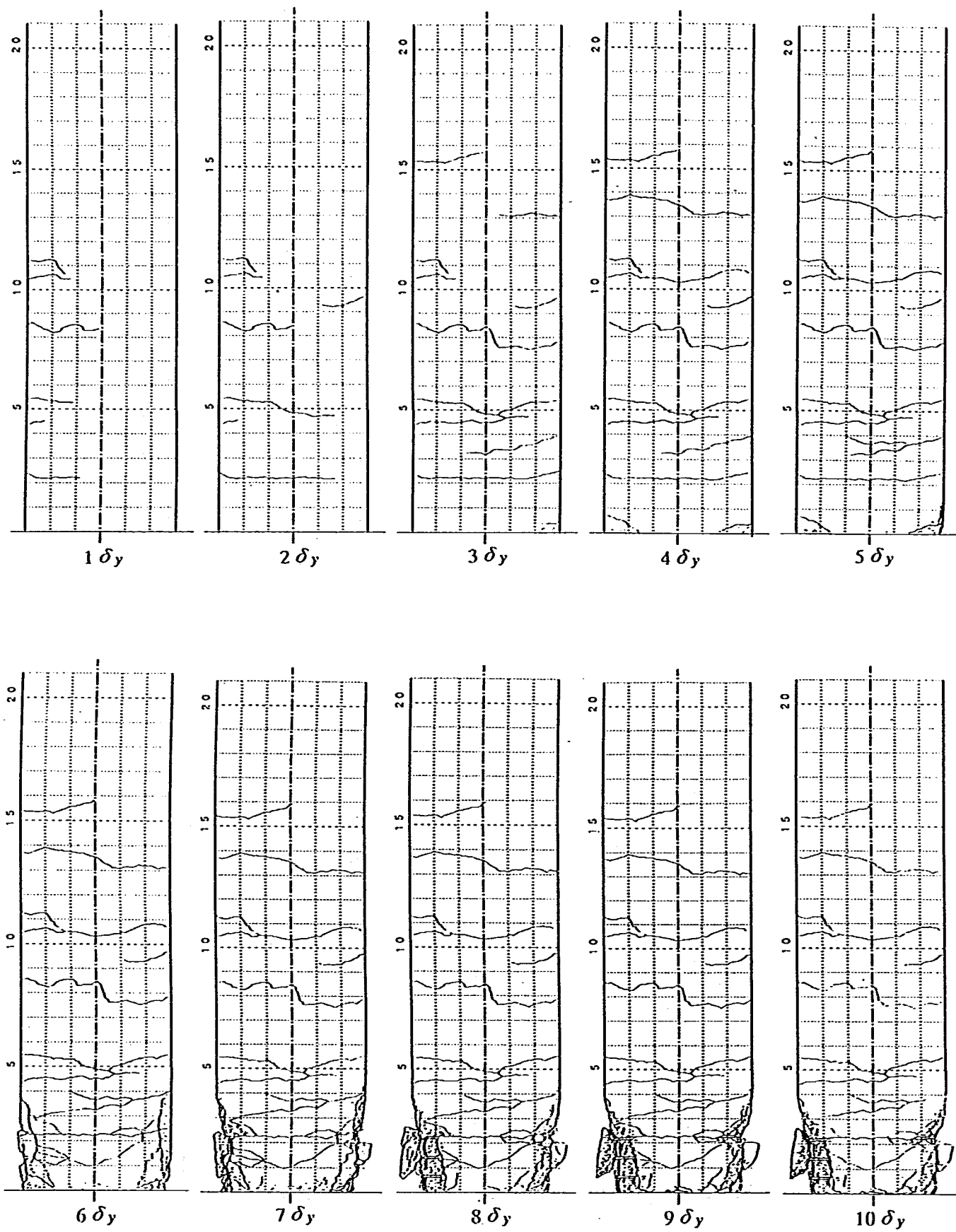


圖-16 破壞狀況(SRC-4供試体 B面)

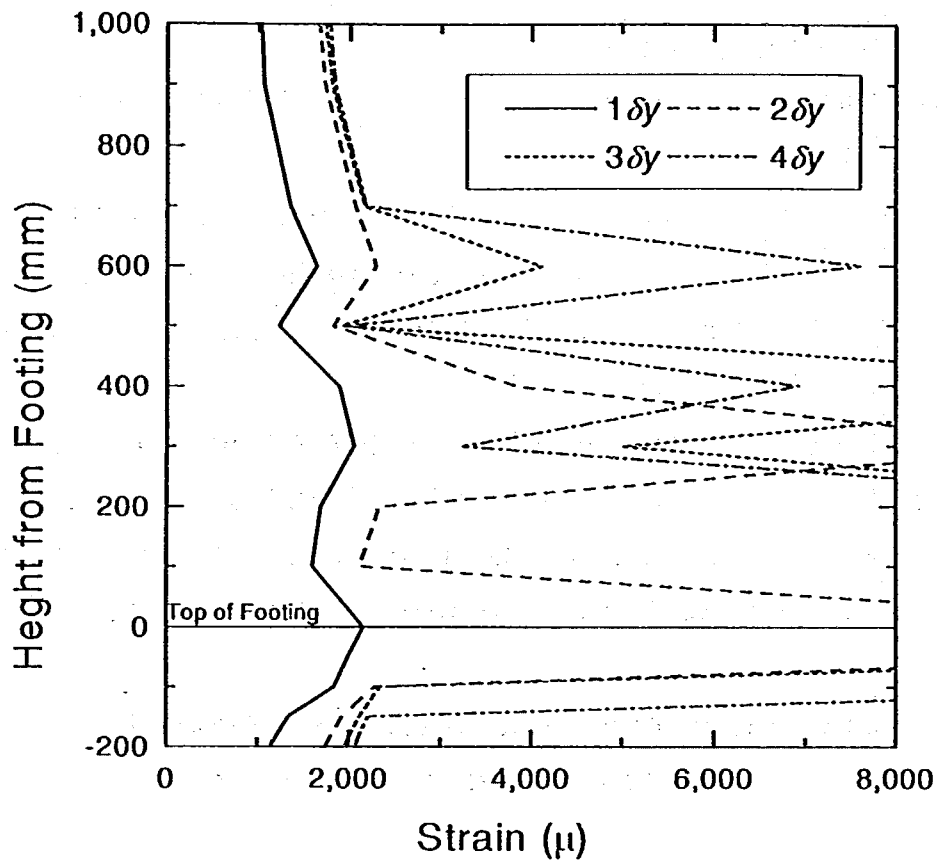
4. 軸方向鉄筋および鋼材のひずみ分布

図-17～図-20は、 $6\delta_y$ までの各載荷ステップ毎における軸方向鉄筋および鋼材の軸方向ひずみの最大値の分布を示したものである。

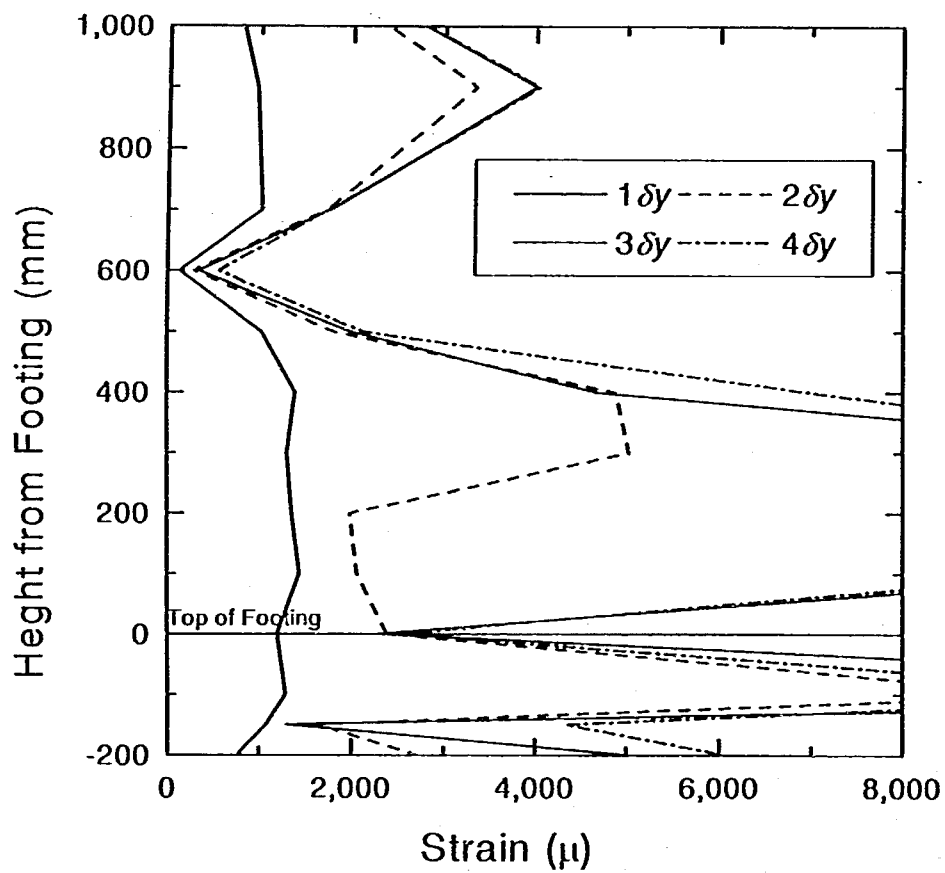
SRC-1, 2供試体では、軸方向鉄筋のひずみは、いずれの供試体についても基部で $1\delta_y$ 載荷時に降伏、 $2\delta_y$ 以降、載荷の進展とともに基部周辺のひずみも大きくなり、 $4\delta_y$ 以降では非常に大きな値となった。それに対し、鋼材の軸方向ひずみの進展は、いずれの模型供試体共に軸方向鉄筋とほぼ同じ挙動をしており、耐力が鉄筋、鉄骨それぞれで負担されていることが分かる。

一方、充腹系の鋼材を配置したSRC-3, 4供試体では、鉄筋のひずみの進展に対して、鋼材のひずみが大きく、鉄筋の耐力の分担に対して鋼材の耐力の負担が大きいことが分かる。また、SRC-3供試体では載荷開始当初より大きなひずみとなっているのに対し、SRC-4供試体では載荷ステップに応じて鋼材のひずみが進展しており、フランジ部の鋼材を図心よりに配置した供試体では同じ変位に対して、鋼材のひずみが小さくなっていた。

なお、SRC-3供試体では鋼材のひずみ値が基部、高さ約200mm、約600mmで小さくなっているが、これは鋼材間の連結材を設置位置と一致しており、連結材にひずみが分散されたためと考えられる。

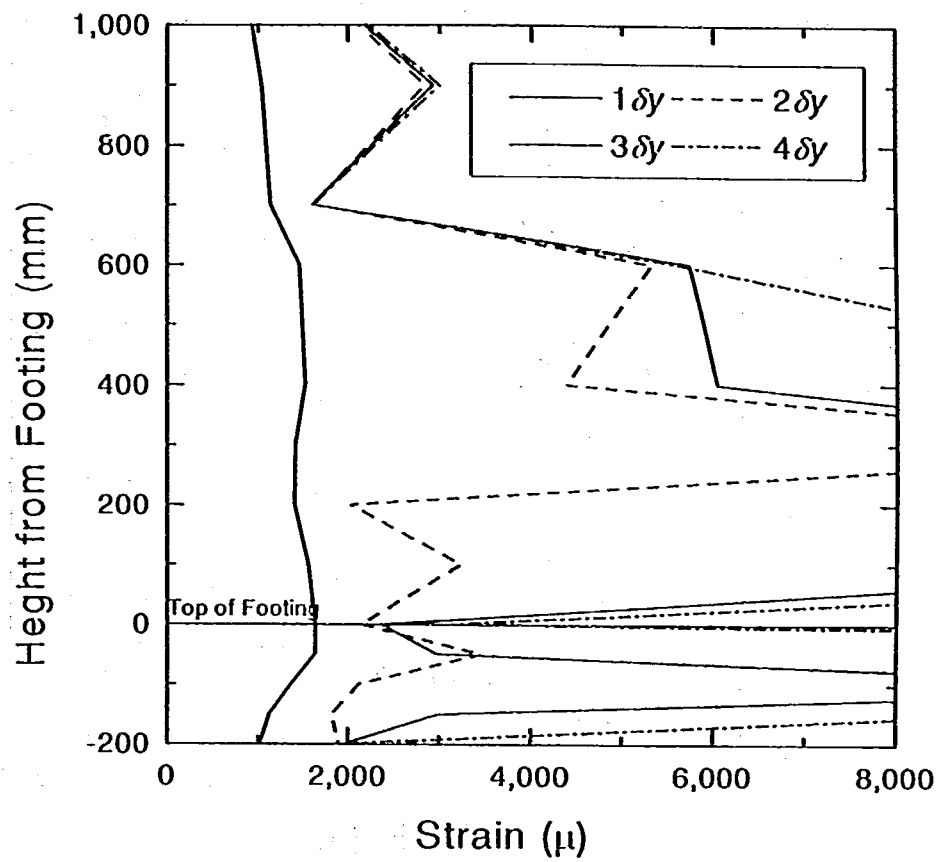


(a) 軸方向鉄筋ひずみ

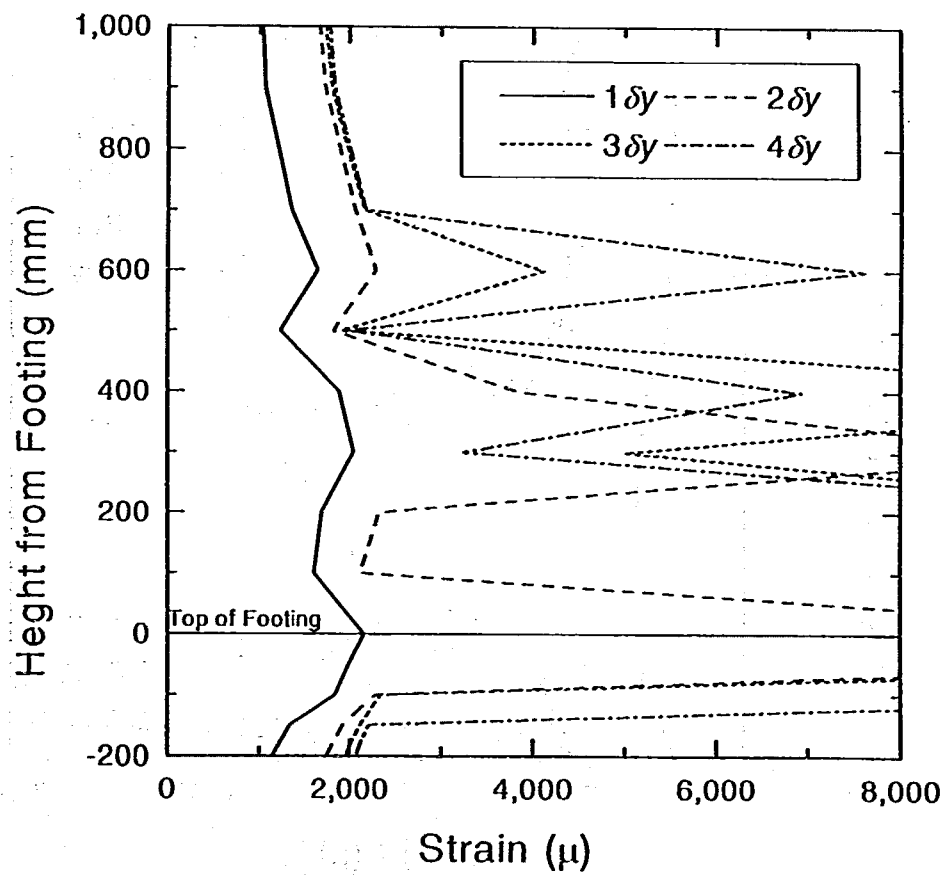


(b) 鋼材の軸方向ひずみ

図-17 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-1供試 P面体)



(a) 軸方向鉄筋ひずみ



(b) 鋼材の軸方向ひずみ

図-17 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-1供試 M面体)

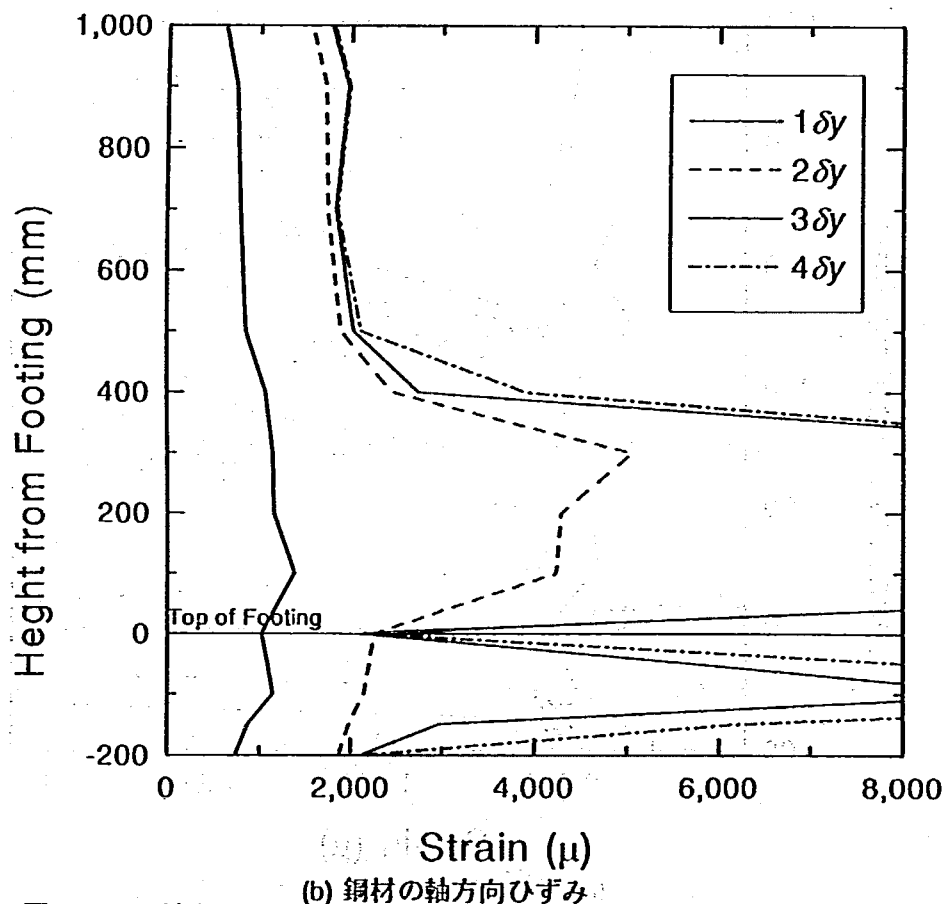
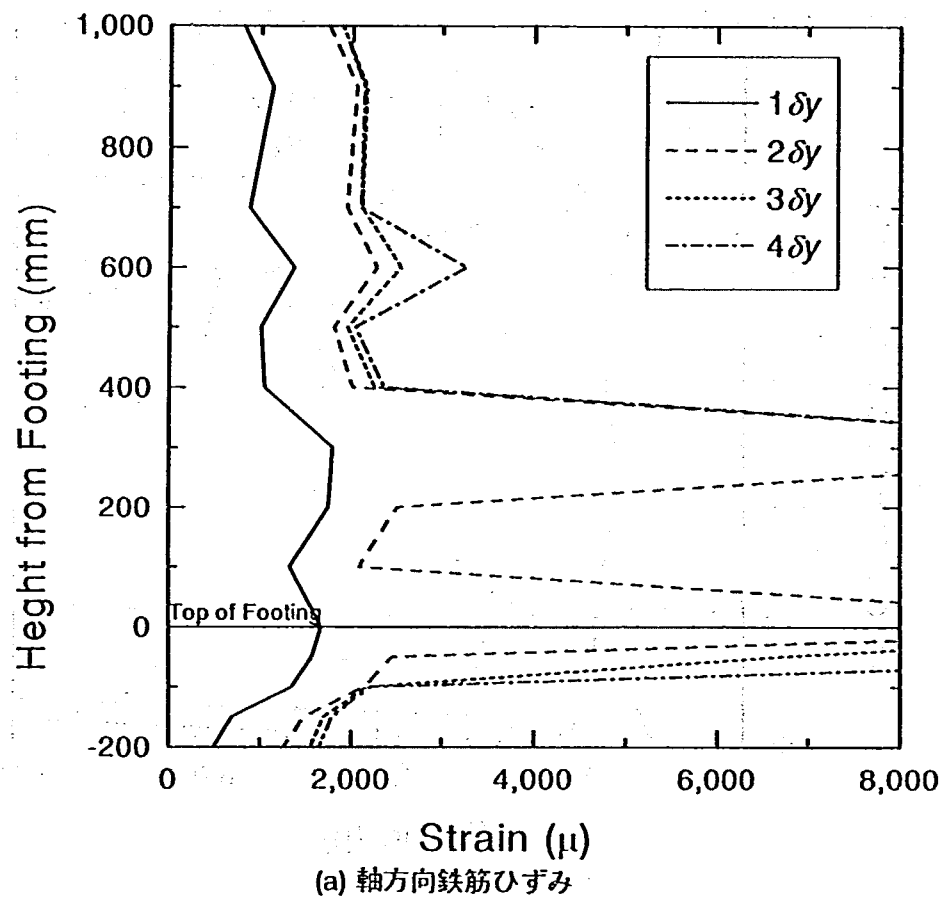
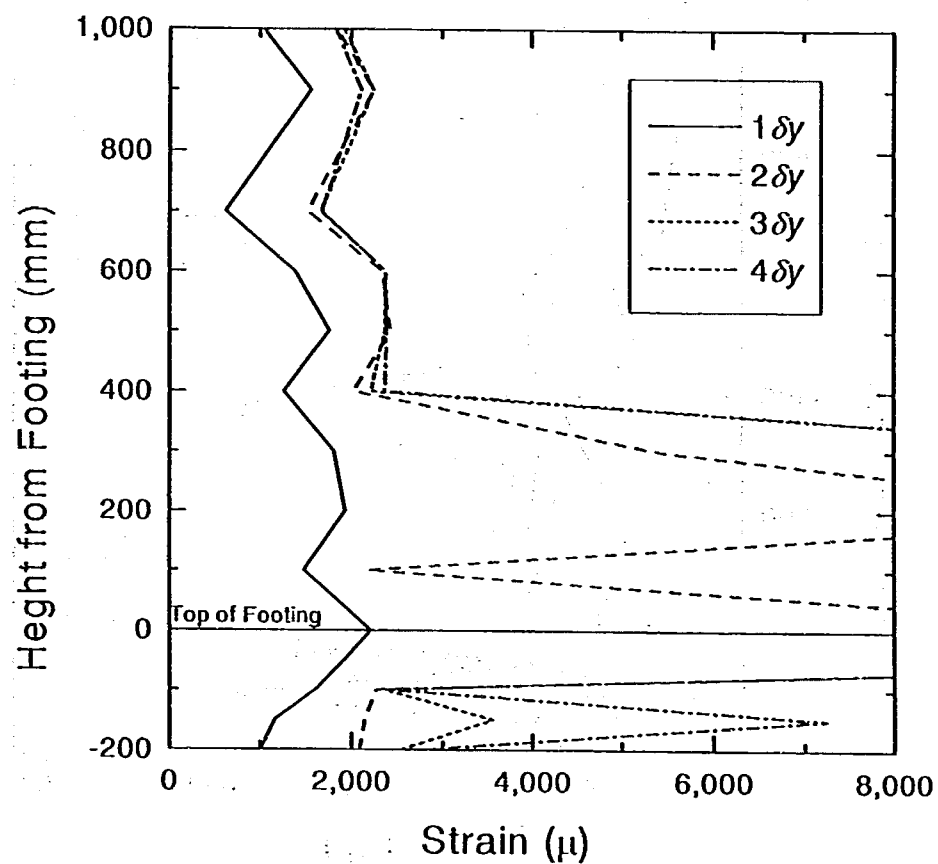
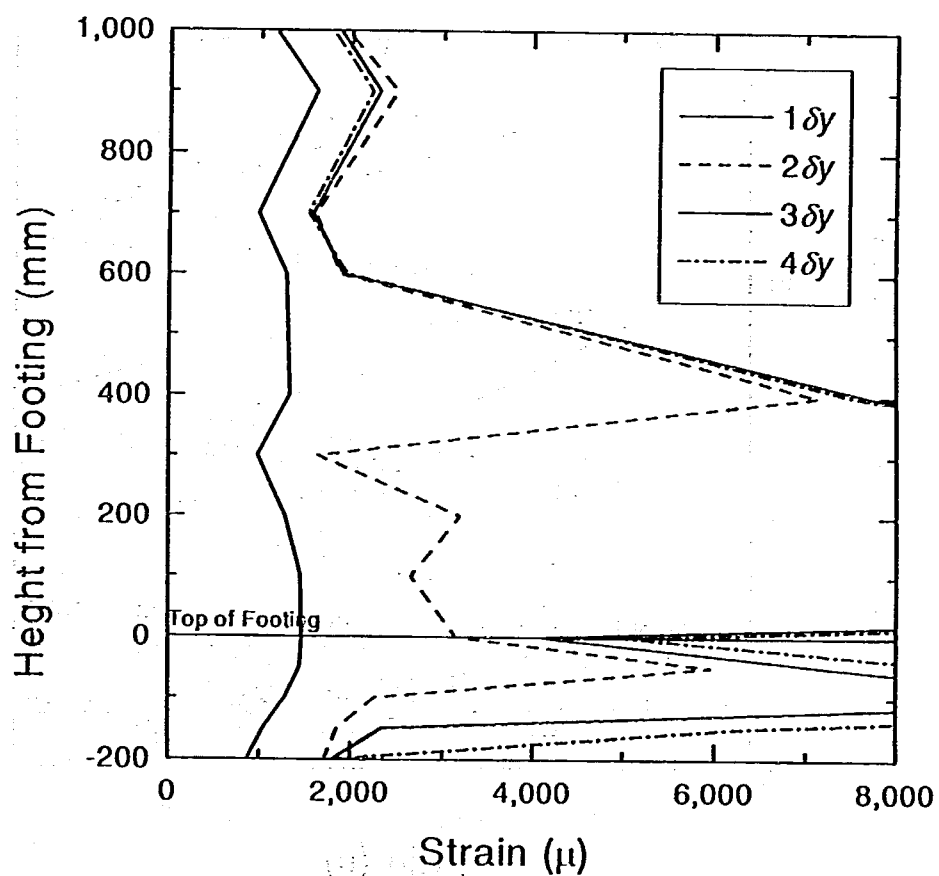


図-18 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-2供試体 P面)



(a) 軸方向鉄筋ひずみ



(b) 鋼材の軸方向ひずみ

図-18 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-2供試体 M面)

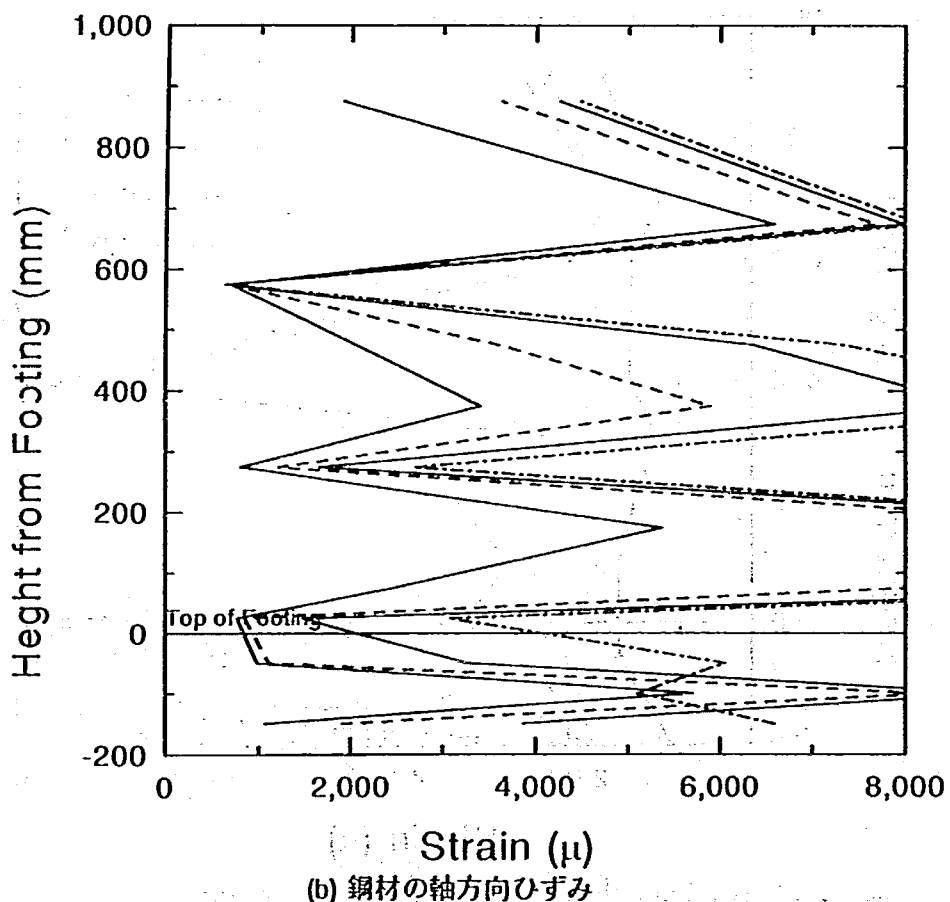
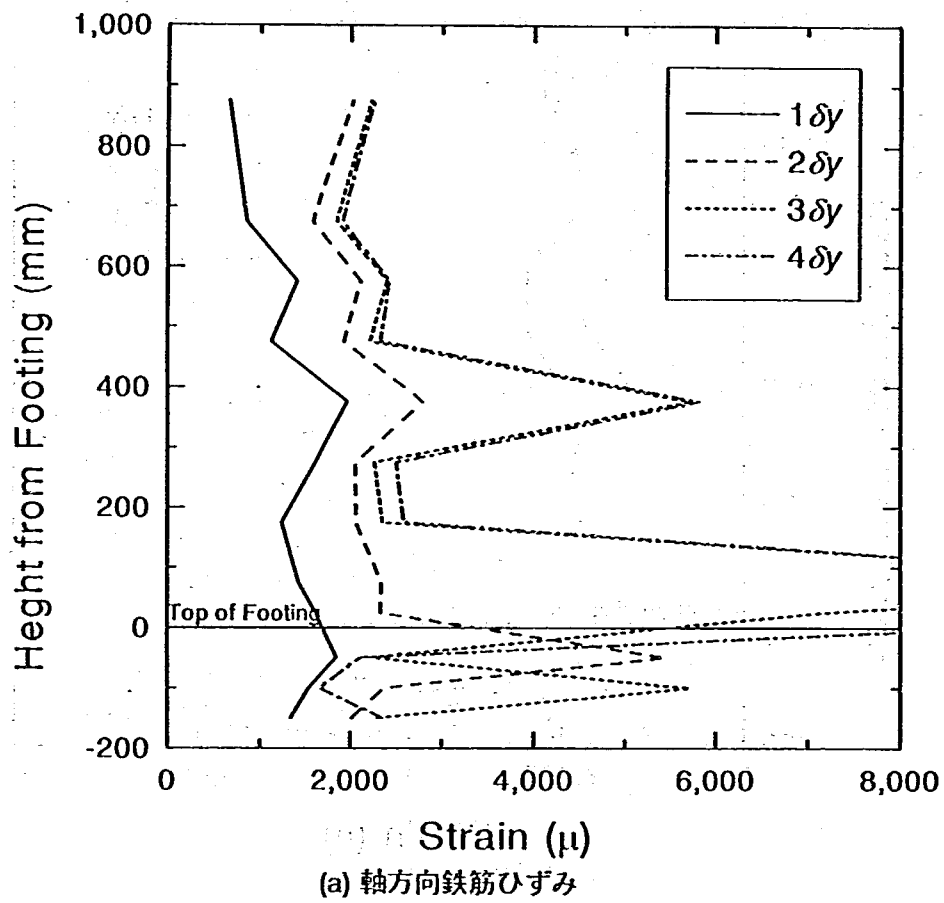


図-19 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-3供試体 P面)

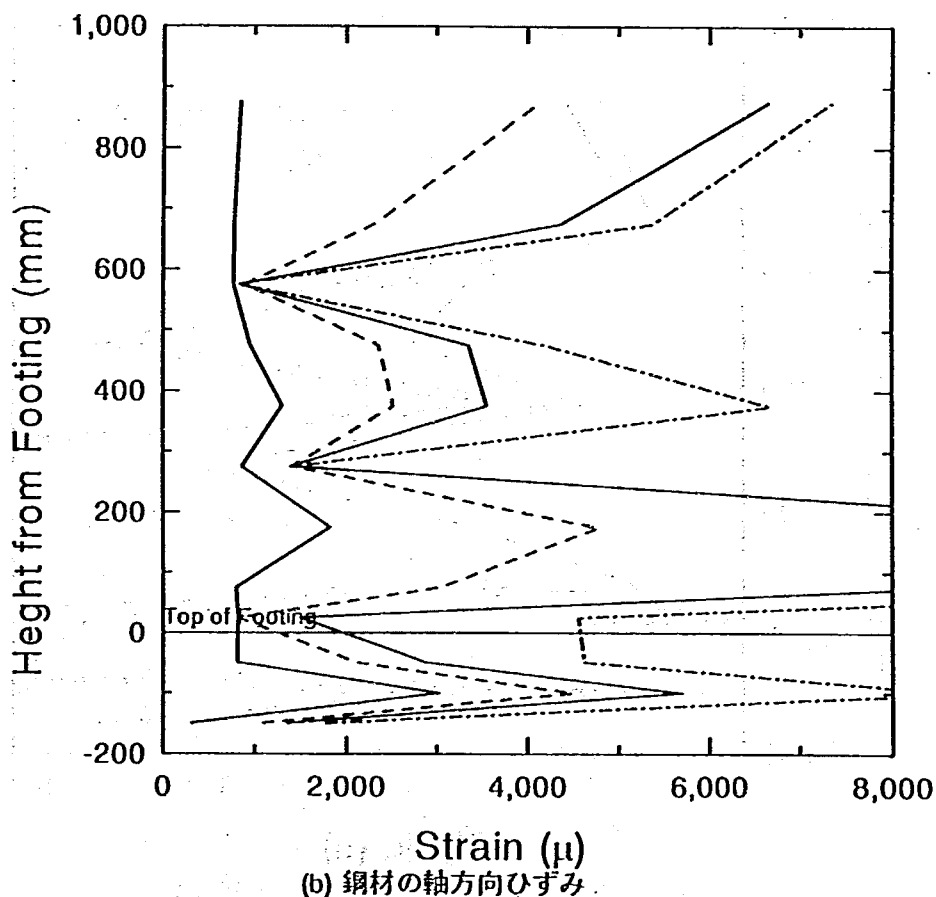
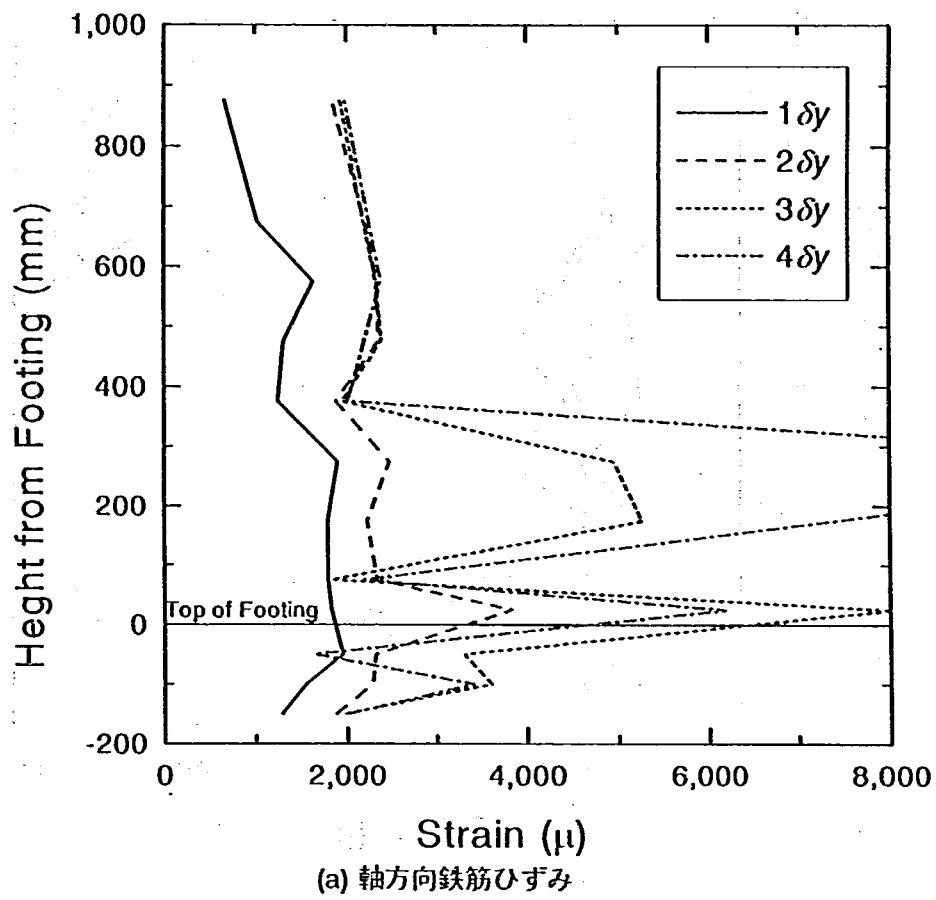
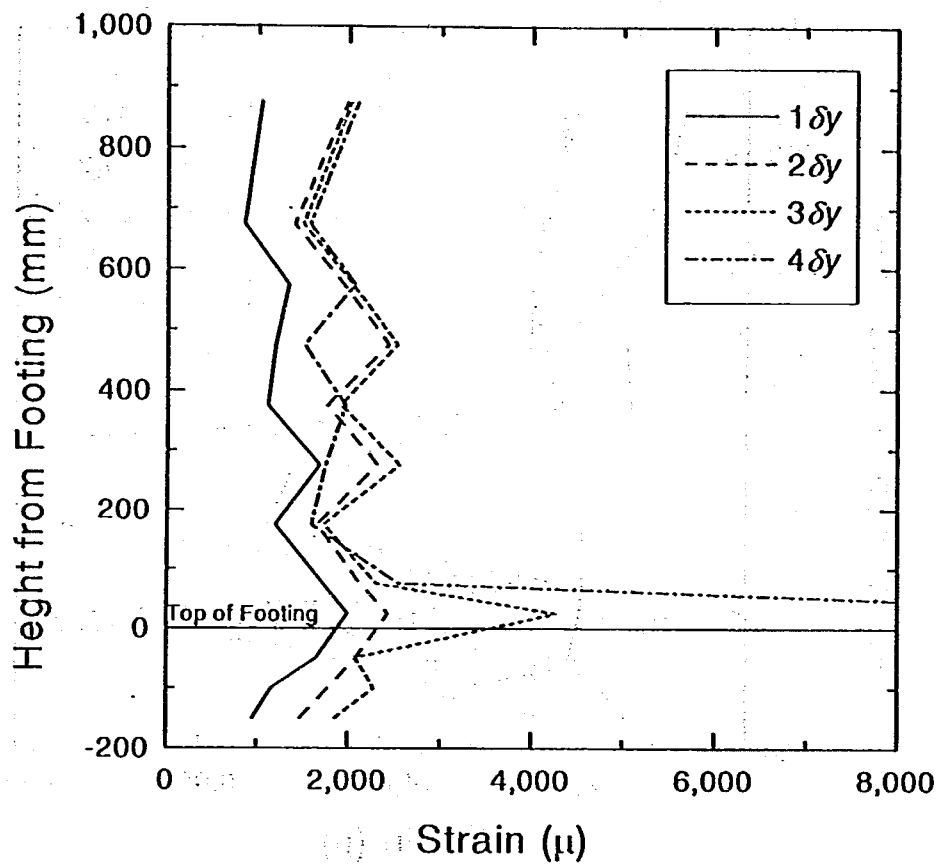
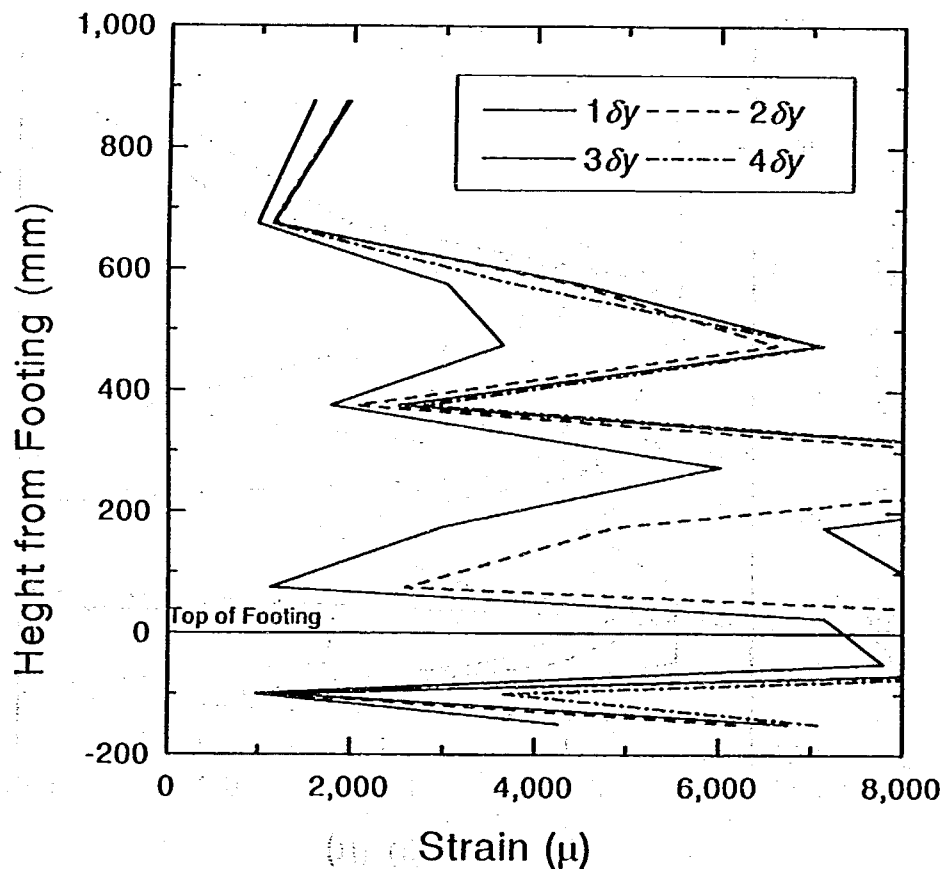


図-19 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-3供試体 M面)

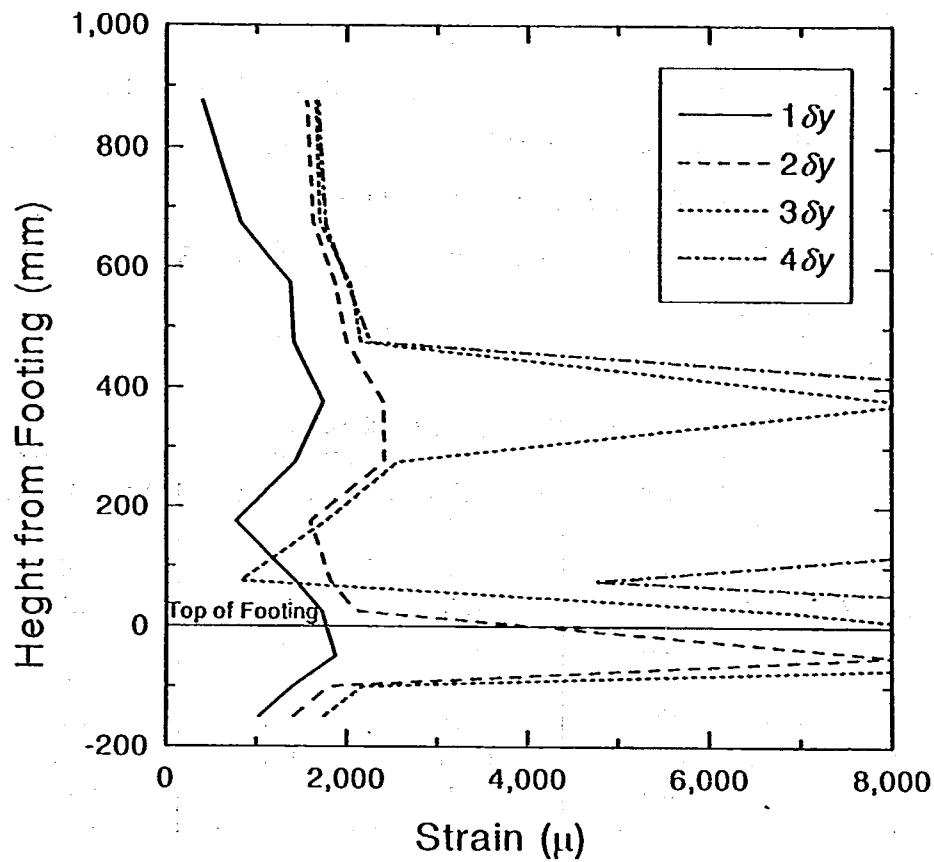


(a) 軸方向鉄筋ひずみ

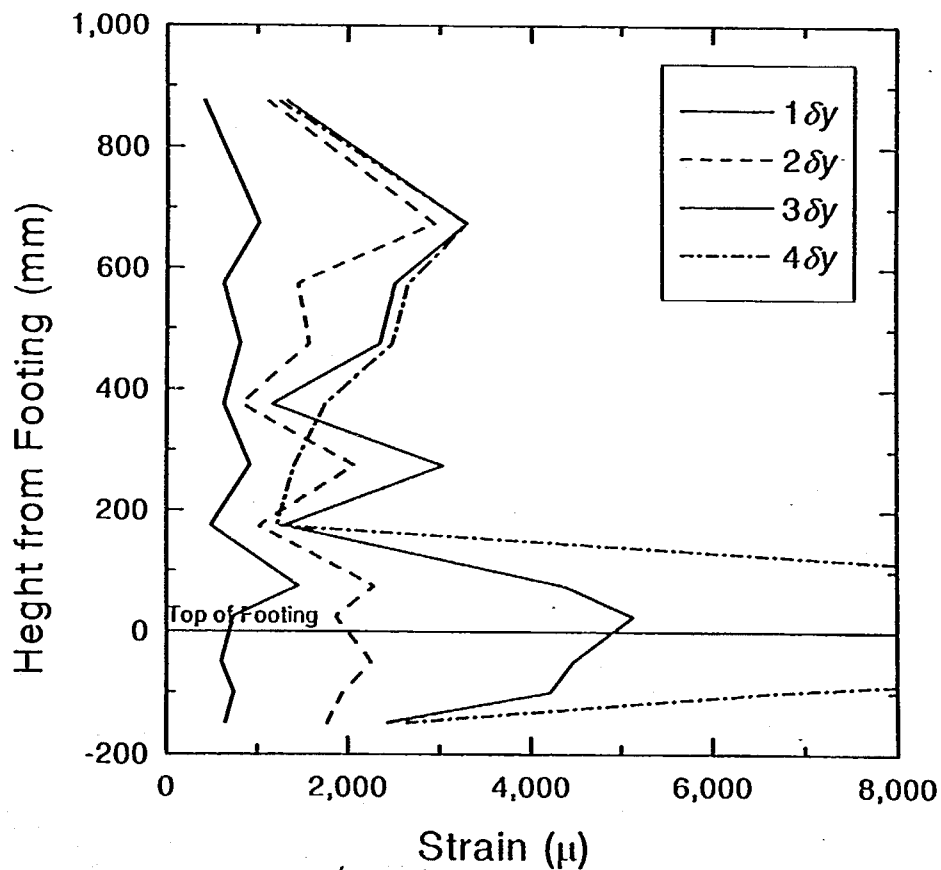


(b) 鋼材の軸方向ひずみ

図-20 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-4供試体 P面)



(a) 軸方向鉄筋ひずみ



(b) 鋼材の軸方向ひずみ

図-20 軸方向鉄筋と鋼材の軸方向ひずみ分布(SRC-4供試体 M面)

5. SRC橋脚の動的耐力および変形性能

前章までの載荷実験結果より、各供試体の水平荷重-水平変位履歴曲線の包絡線を示したものが図-21～図-25であり、この図から耐力および変形性能を比較したものが表-6である。各模型供試体の終局変位は水平荷重が降伏変位載荷時の荷重より低下した時の変位とした。

図-26～図-30に各供試体の載荷ステップ毎の履歴減衰定数、図-31～図-35に各供試体の載荷ステップ毎のエネルギー吸収を示す。

表-6 耐力および変形性能

		RC-1供試体	SRC-1供試体	SRC-2供試体	SRC-3供試体	SRC-4供試体
載荷 実験 結果	降伏耐力 P_y (tf)	28.7	28.1	31.4	15.4	14.6
	最大耐力 P_u (tf)	37.8	32.3	42.1	24.1	28.8
	P_u/P_y	1.3	1.1	1.3	1.6	2.0
	降伏変位 δ_y (mm)	17.7	14.8	14.4	14.1	14.1
	終局変位 δ_u (mm)	122.0	101.1	89.2	115.4	140.0<
	じん性率 δ_u/δ_y	6.9	6.9	6.2	8.2	10<

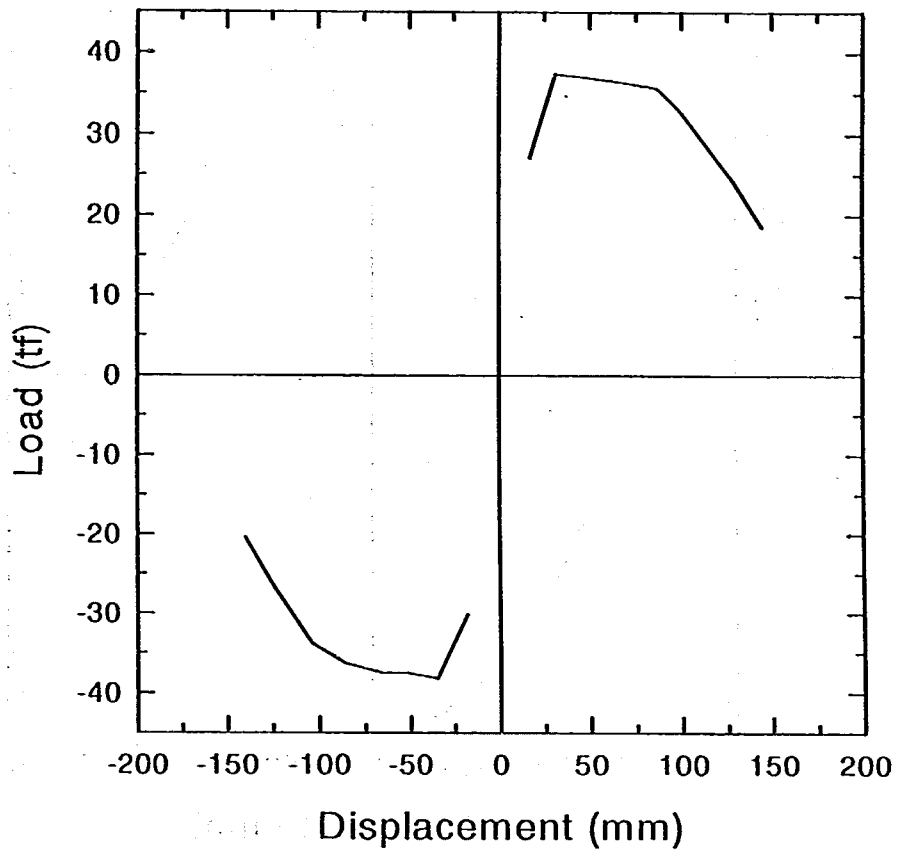


図-2.1 荷重-変位包絡曲線 (RC-1供試体)

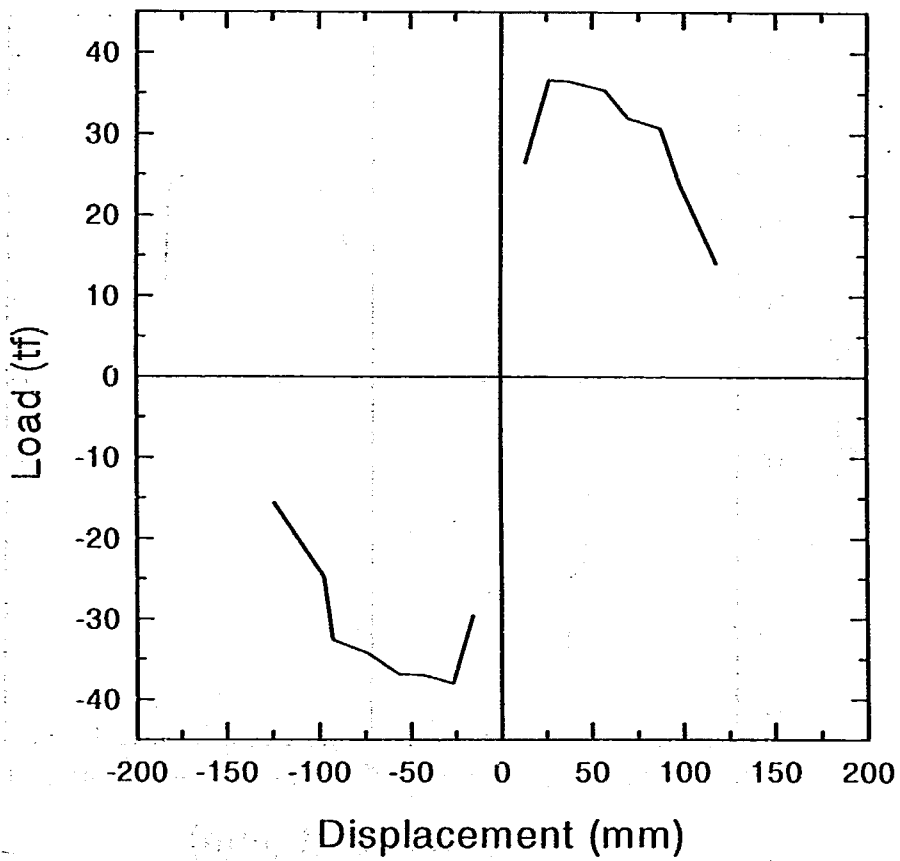


図-2.2 荷重-変位包絡曲線 (SRC-1供試体)

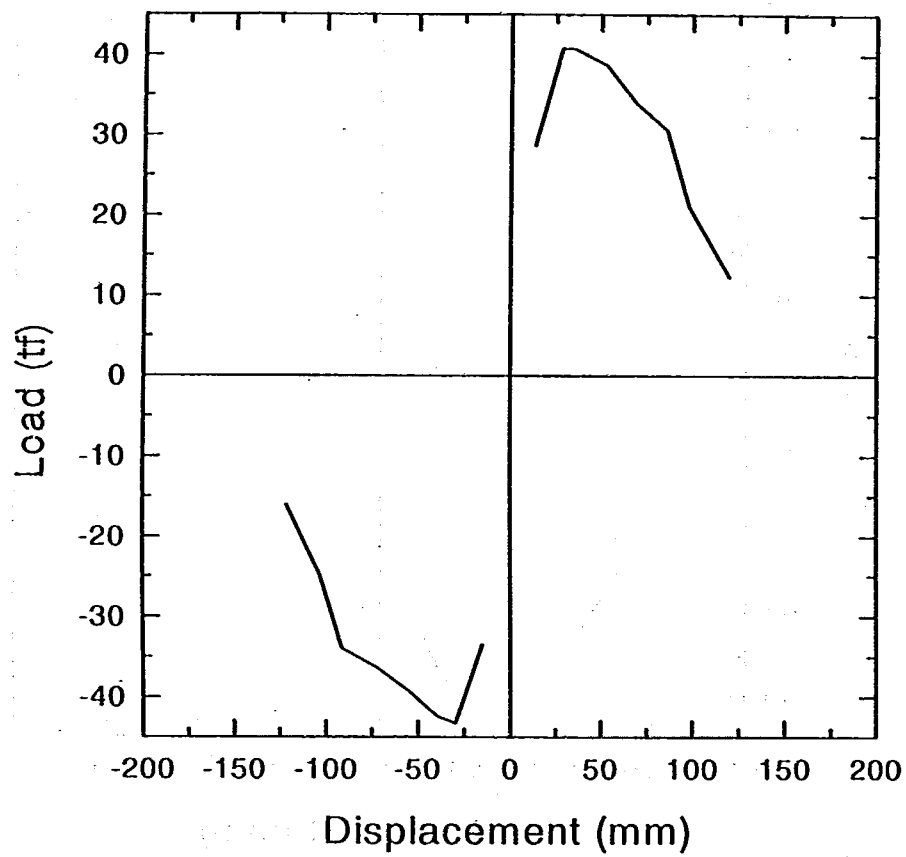


図-2 3 荷重-変位包絡曲線 (SRC-2供試体)

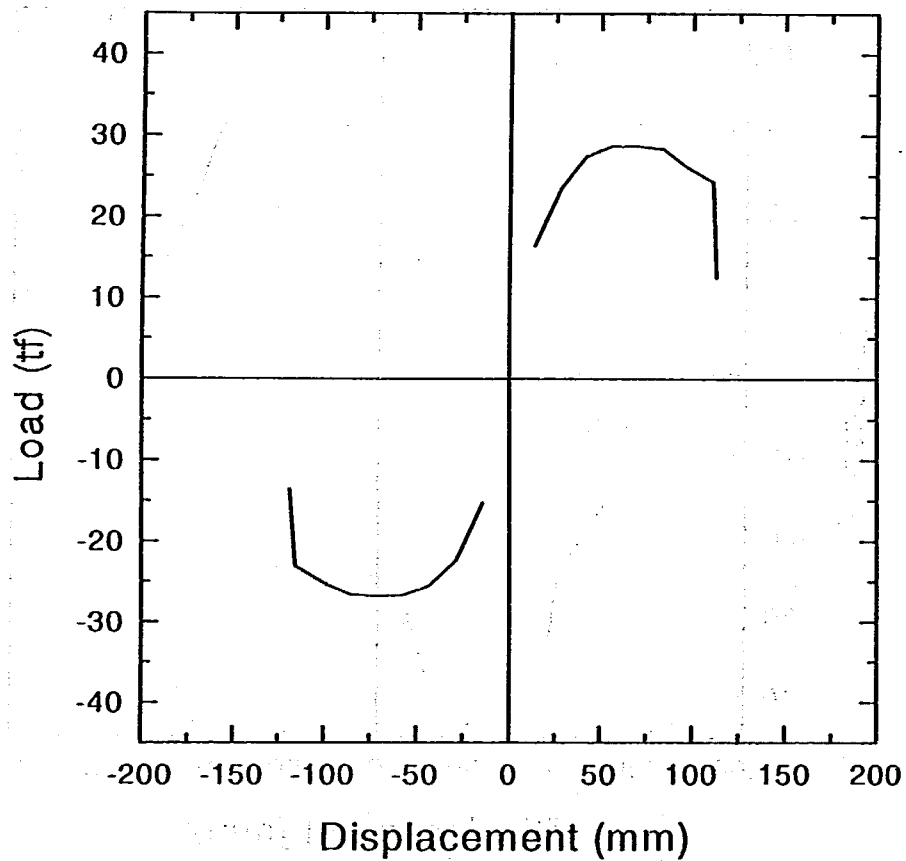


図-2 4 荷重-変位包絡曲線 (SRC-3供試体)

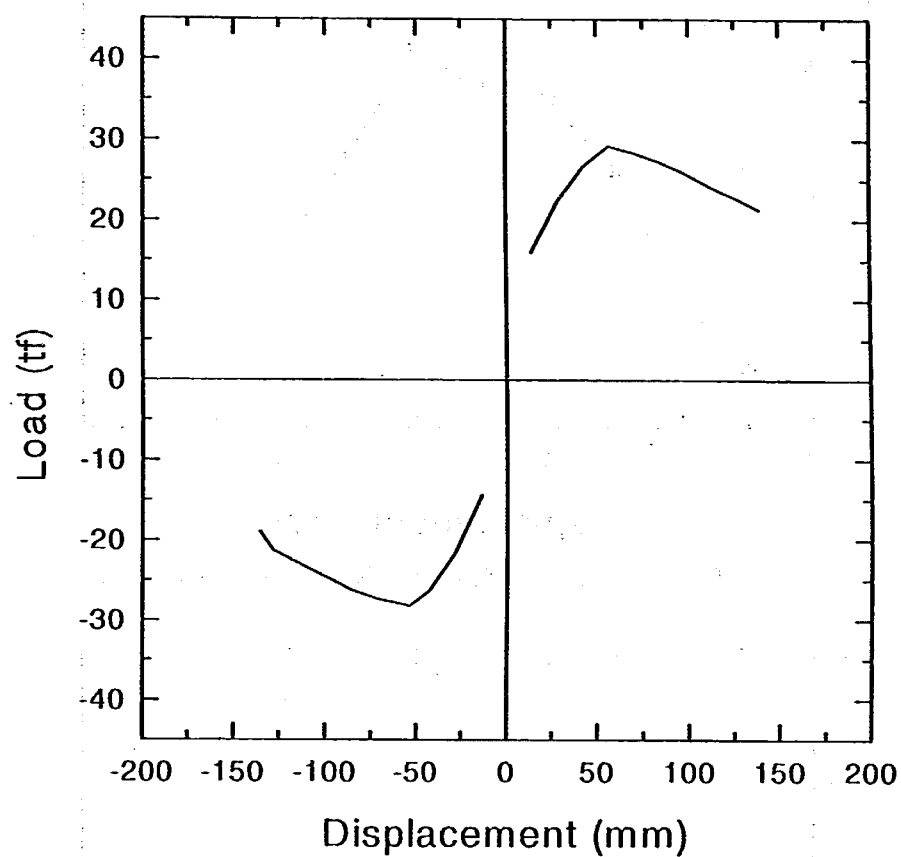


図-25 荷重-変位包絡曲線 (SRC-4供試体)

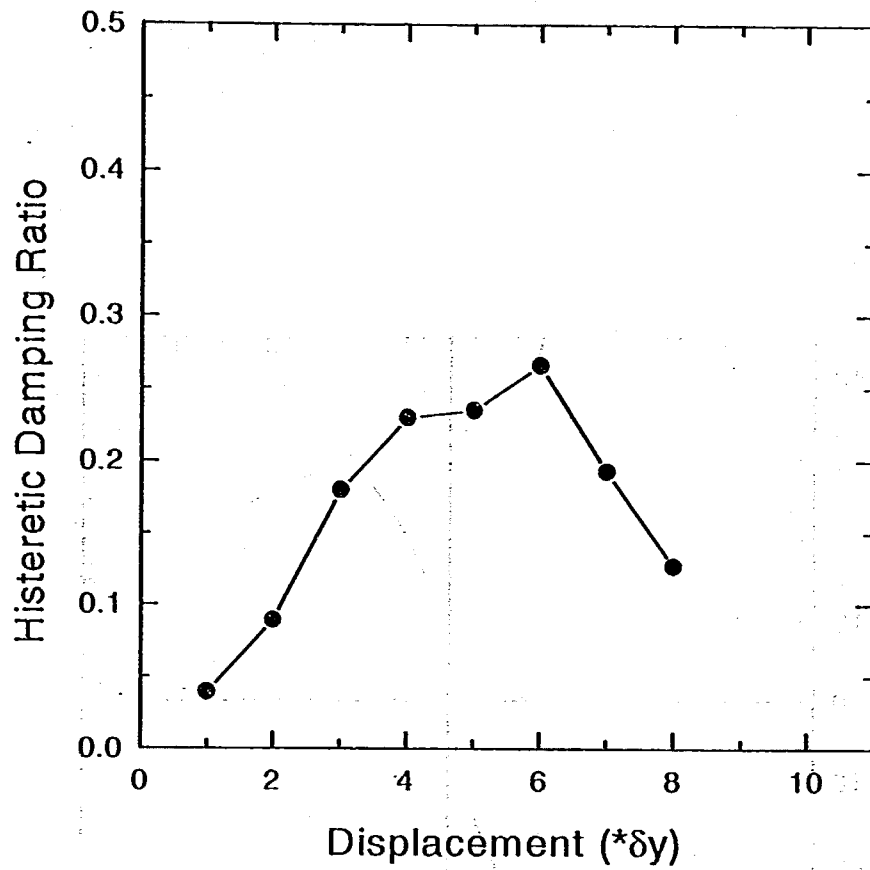


図-26 各載荷ステップ毎の履歴減衰定数 (RC-1供試体)

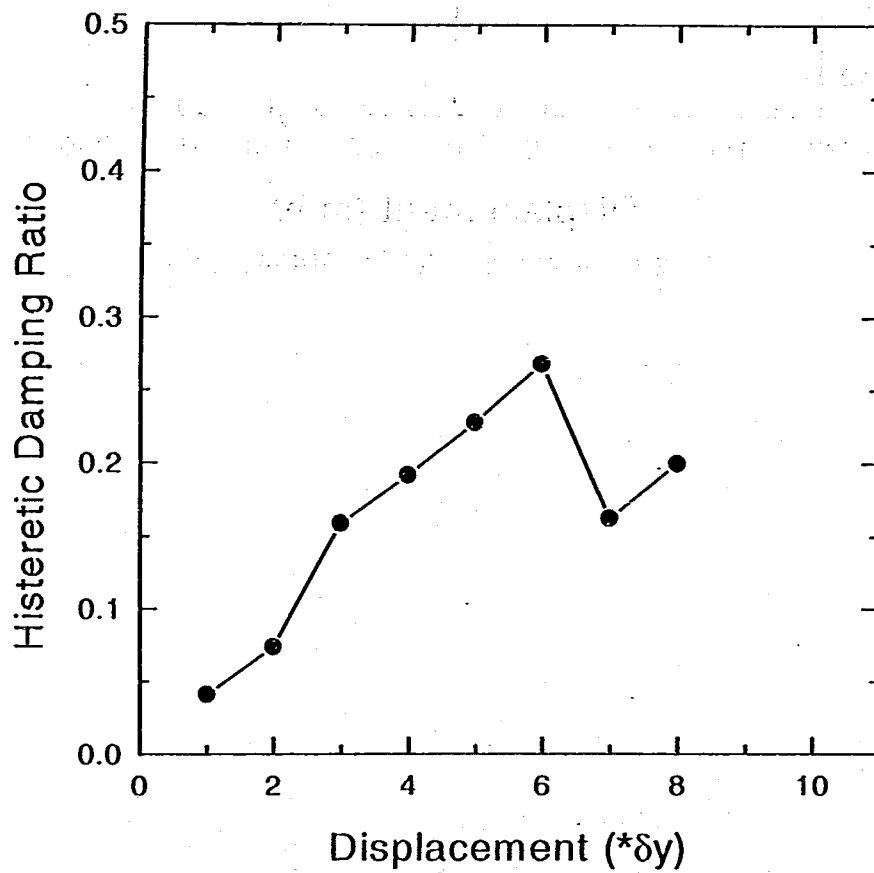


図-27 各載荷ステップ毎の履歴減衰定数 (SRC-1供試体)

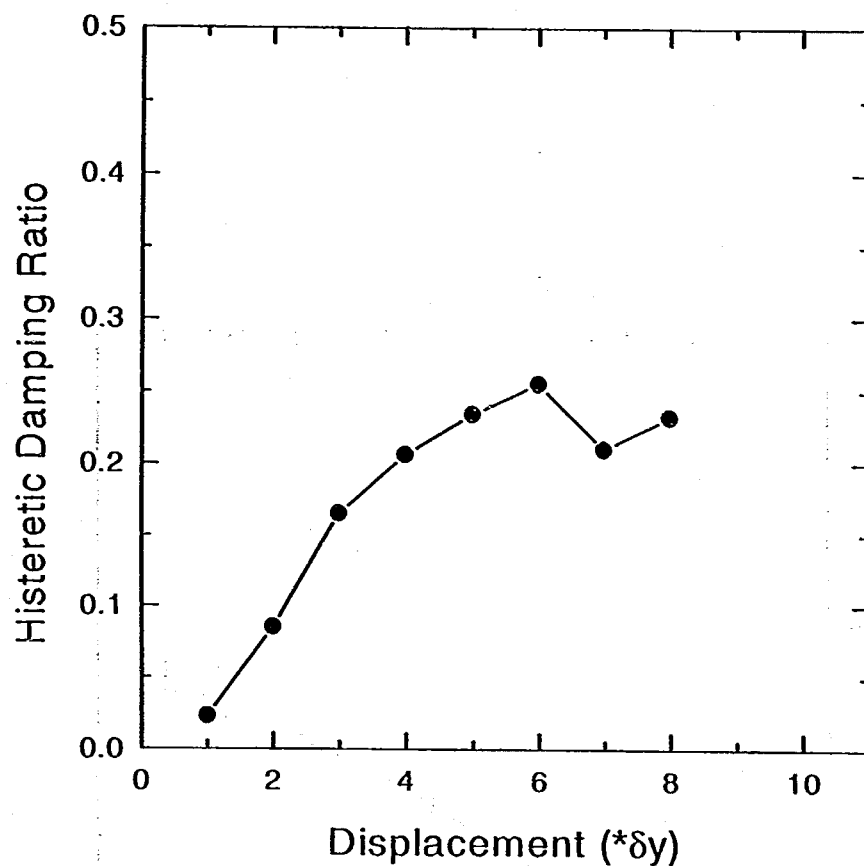


図-28 各載荷ステップ毎の履歴減衰定数 (SRC-2供試体)

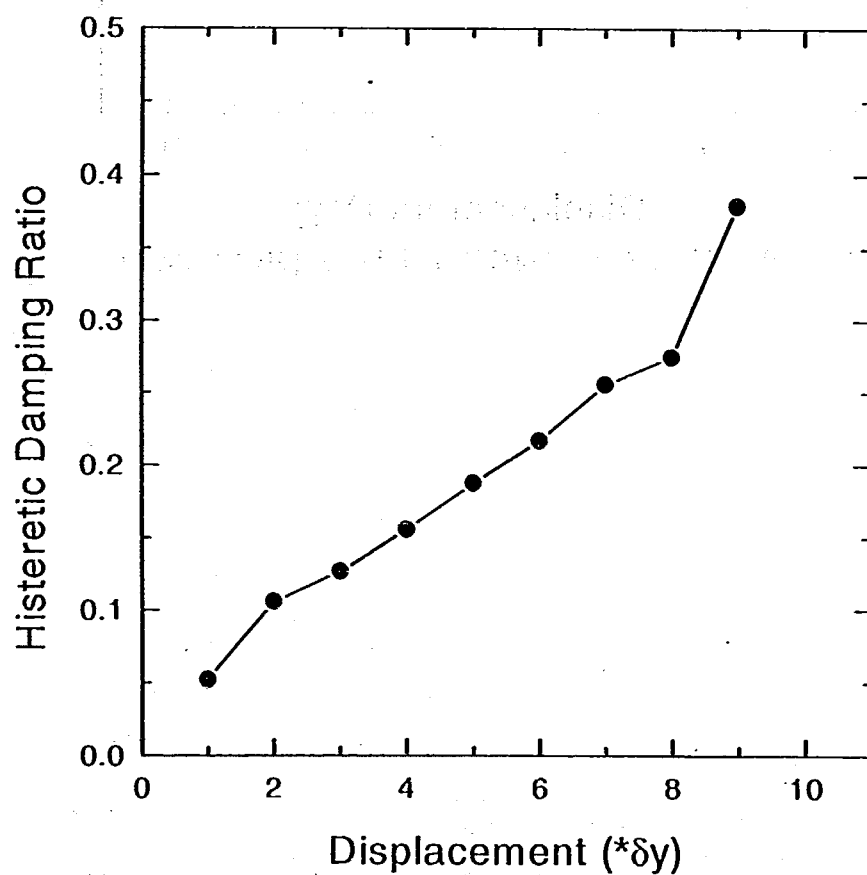


図-29 各載荷ステップ毎の履歴減衰定数 (SRC-3供試体)

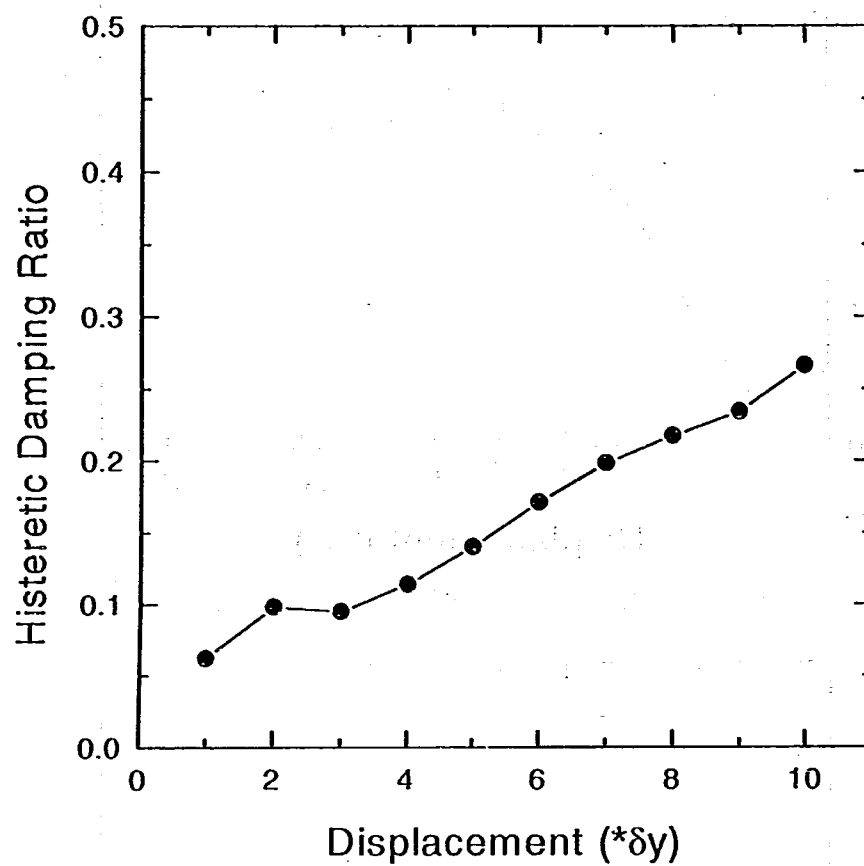


図-30 各載荷ステップ毎の履歴減衰定数 (SRC-4供試体)

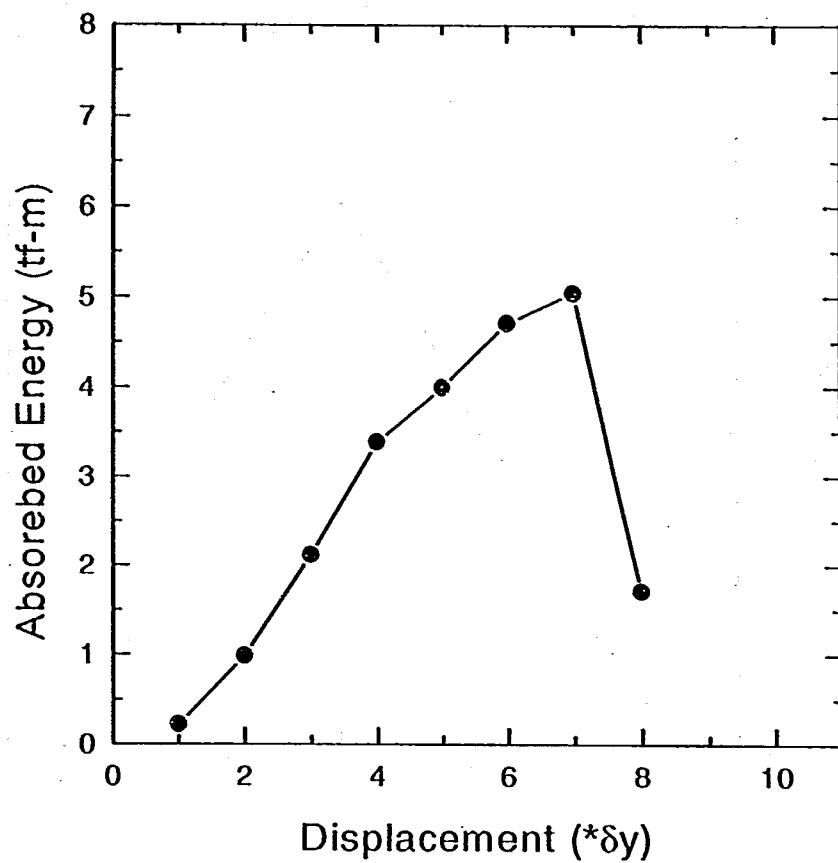


図-31 各载荷ステップ毎の吸収エネルギー (RC-1供試体)

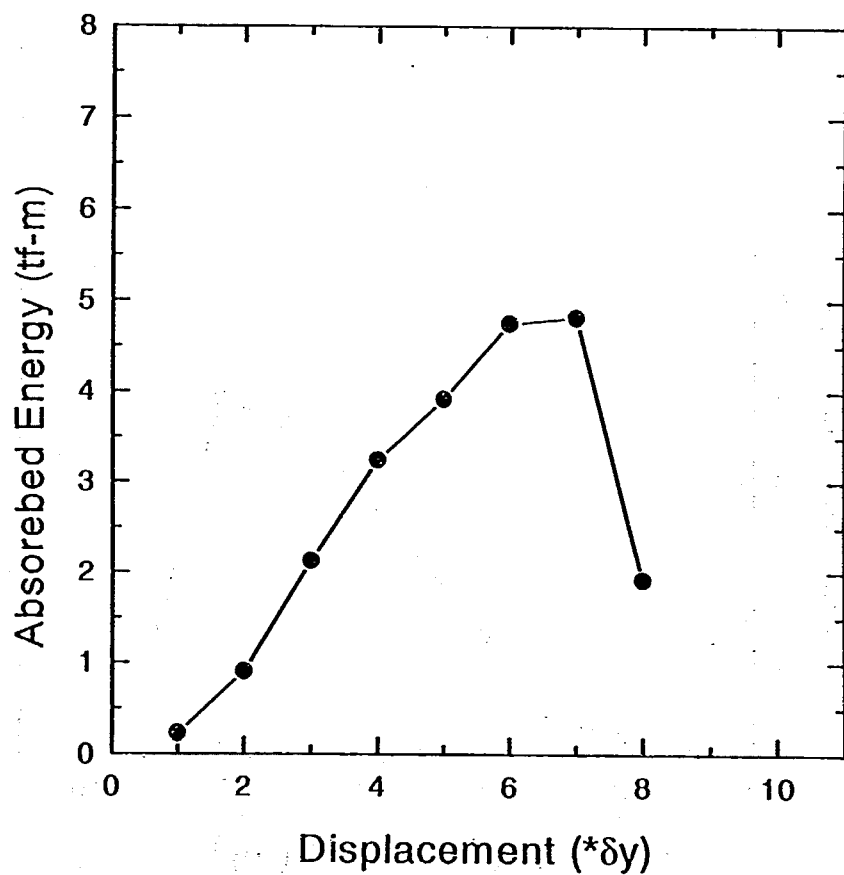


図-32 各载荷ステップ毎の吸収エネルギー (SRC-1供試体)

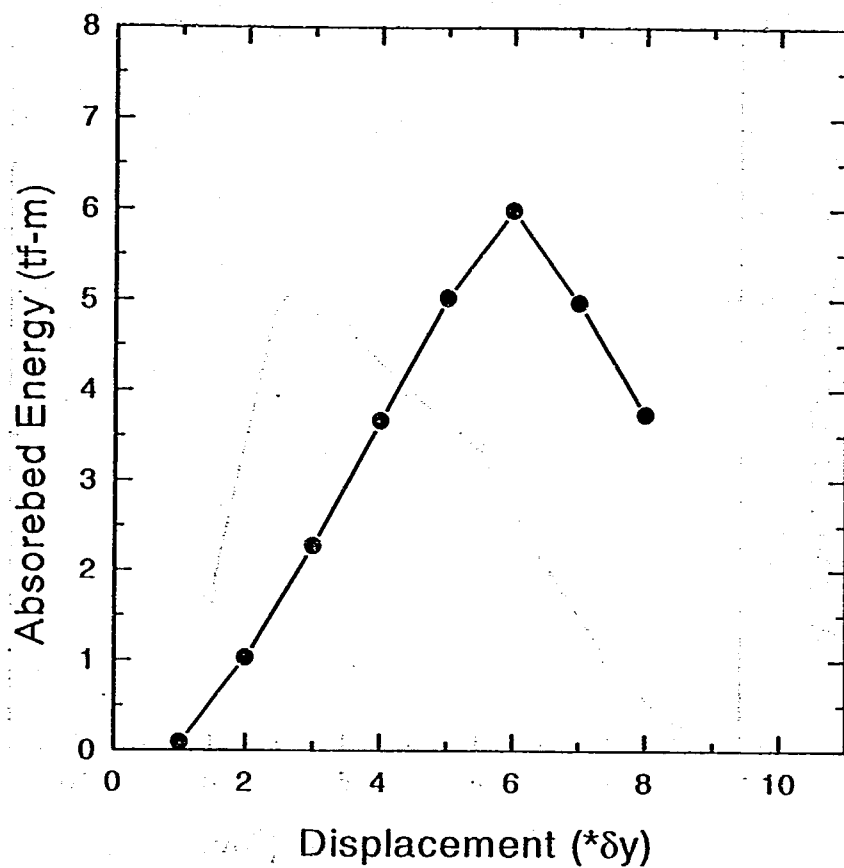


図-33 各載荷ステップ毎の吸収エネルギー (SRC-2供試体)

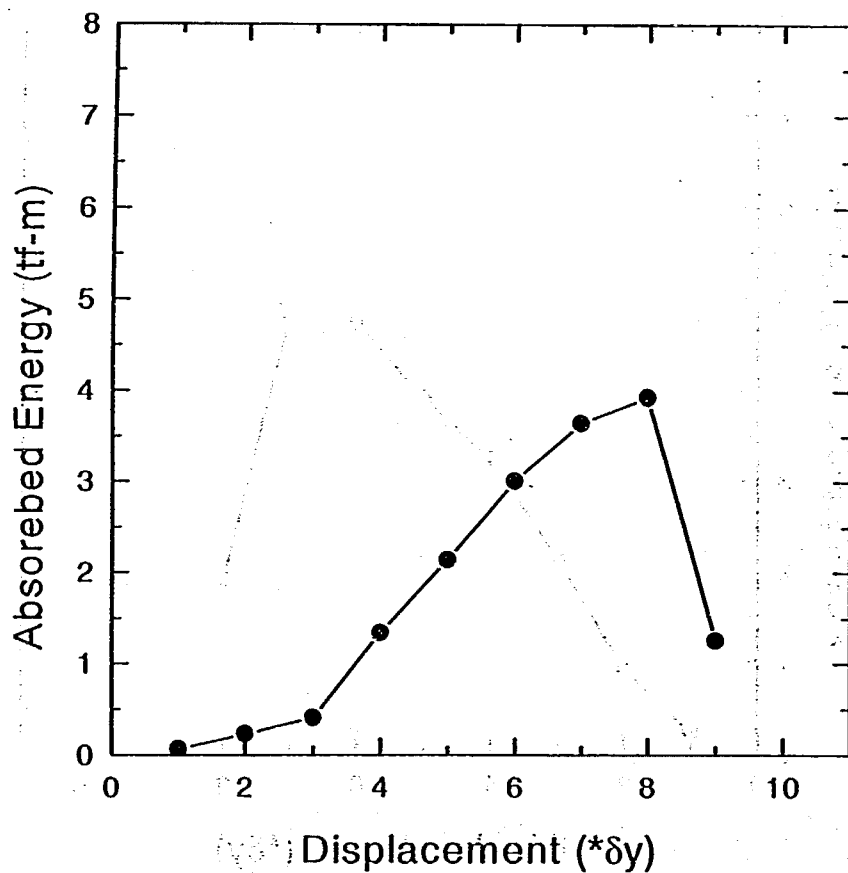


図-34 各載荷ステップ毎の吸収エネルギー (SRC-3供試体)

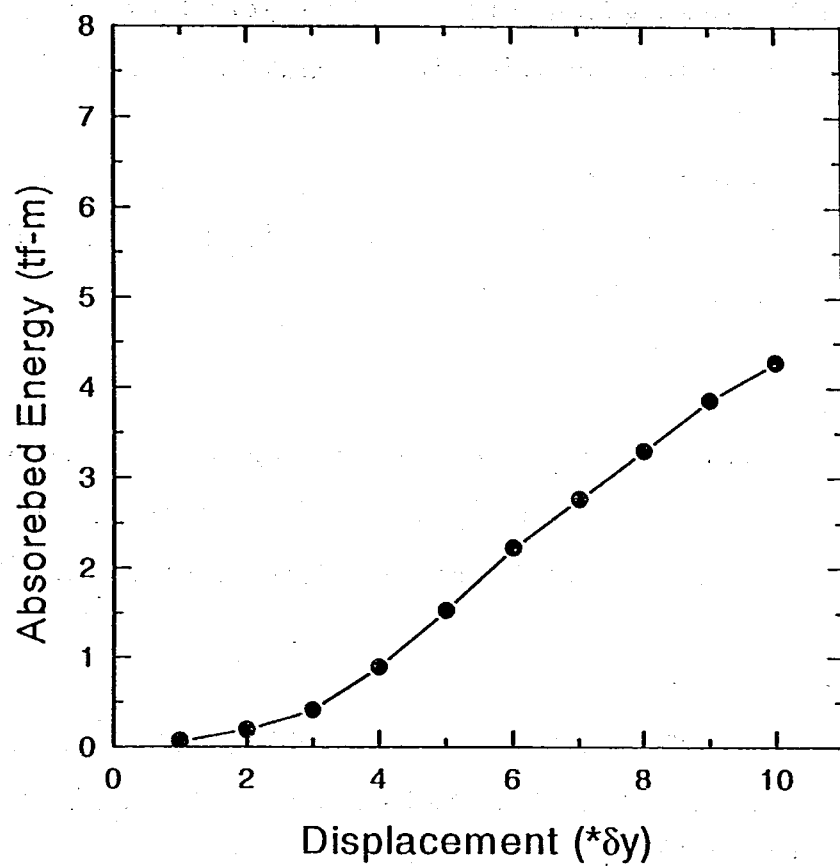


図-35 各载荷ステップ毎の吸収エネルギー (SRC-4供試体)

6. まとめ

合成構造橋脚の耐震設計法の確立を目的とし、大型模型を用いた正負交番繰返し載荷実験を行った。その結果は以下の通りである。

破壊モード

いずれのSRC橋脚模型も載荷変位の増加とともに、コンクリートのクラックが進展、かぶりコンクリートの剥離、軸方向鉄筋の破断、そして鋼材の破断が生じて最終状態を迎えるといった破壊モードであった。

RC橋脚模型供試体とSRC橋脚模型供試体の比較

RC橋脚模型と耐力がほぼ同等となるように設計したSRC橋脚模型(SRC-1)では、中間帯鉄筋を有するRC構造と比べて、ほぼ同等の変形性能を有することが確認できた。

SRC橋脚模型の作用軸力の影響

全く同じ構造のSRC橋脚模型(SRC-1, 2)を用いた、作用軸力を2倍に変化させた実験では、高い軸力を導入した模型供試体において水平耐力が若干増加したものの、変形性能などには大きな変化はなかった。

また、軸方向鉄筋と軸方向鋼材のひずみから、それぞれが負担している耐力はほぼ同等であった。

鋼材の配置方法を変化させた実験

充腹形の鋼材を配置した模型供試体では、フランジ部鋼材を図心よりに配置したSRC模型供試体(SRC-3)では、フランジ部鋼材を縁に配置した模型供試体(SRC-4)と同一の変形をした場合でも鋼材のひずみを小さくすることができ、鋼材の破断という終局状態を遅らせることができた。

また、フランジ部鋼材を縁に配置した模型供試体では最大耐力をとったのち、その耐力をある程度まで保持した後に耐力が低下するバイリニア型に近い履歴曲線となったが、フランジ部鋼材を図心よりに配置した模型供試体では、最大耐力をとったのち、徐々に耐力が低下する履歴曲線であった。これは、後者では鋼材の配置が図心寄りになっているため、鋼材が必ずしも耐力に対して有効に機能していないことが考えられる。このため、充腹形の鋼材を有するSRC橋脚では耐力と変形性能のバランスが効果的になるよう鋼材を配置させる必要がある。