

プレキャストブロック橋の設計法 に関する共同研究報告書（Ⅱ）

平成5年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部橋梁研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

Copyright©(1993)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。

プレキャストブロック橋の設計法 に関する共同研究報告書（Ⅱ）

建設省土木研究所

構造橋梁部	部長	藤原稔
構造橋梁部 橋梁研究室	室長	西川和廣
	研究員	神田昌幸
	研究員	杉山純
	部外研究員	井筒浩二

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

宮地清
中條友義
南川光一
深山清六
野村貞広
中村一樹
熊谷紳一郎
渡辺浩良

要 旨

プレキャストブロック橋では、優れた施工管理が期待できるため、コンクリートの品質も向上する。また、労働力が不足する中で、施工の機械化が促進され、施工期間の短縮も期待でき、今後の適用の増大が考えられる。しかし、この形式のコンクリート橋については、継目部の設計法等について不明確な点が残されている。

本研究では、プレキャストブロック橋の合理的な設計法の整備を目的として、コンクリート製接合キーを配置した継目部のせん断実験を行い、そのせん断伝達機構を検討した。本報告書は、その結果をとりまとめたものである。

キーワード：プレキャスト、ブロック、継目部、せん断、接合キー

目 次

1. まえがき	1
2. 研究目的	2
3. プレキャストブロック橋の継目部のせん断強度に関する実験	3
3.1 実験方法	3
3.1.1 小型供試体	3
3.1.2 大型供試体	19
3.2 小型供試体の実験結果および考察	27
3.2.1 力の流れ, ひびわれ発生状況および破壊形態	27
3.2.2 せん断耐力	35
3.2.3 プレストレスの影響	41
3.2.4 接合キーの影響	48
3.2.5 接着状態の影響	48
3.2.6 補強鉄筋	51
3.3 大型供試体の実験結果および考察	61
3.3.1 力の流れ, ひびわれ発生状況および破壊形態	61
3.3.2 曲げ耐力およびせん断耐力	66
3.3.3 補強鉄筋	67
3.4 まとめ	71
4. あとがき	72
付録-1 小型供試体実験データ (ずれ量, ひびわれ図, 載荷状況写真)	73
付録-2 小型供試体解析結果	123
付録-3 大型供試体実験データ (ずれ量, 載荷状況写真)	139

1. まえがき

プレキャストブロック工法は、近年の労働力不足の中で施工の省力化が期待できる工法として注目を集めている。また、この工法によれば、工場で製作されるために優れた品質管理が行われ、高強度コンクリートの利用が容易になるなど場所打ち工法と比べて有利な点が多い。しかし、プレキャストブロック工法を道路橋に適用する場合、その設計・施工についての細目を規定した基準が十分に整備されていないのが現状であった。

本共同研究は、こうした点を考慮して、建設省土木研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会が共同で、プレキャストブロック橋の設計法の整備を目的として実施している。平成3年度の研究では、プレキャストブロック工法による施工実績件数の8割程度を占めているTげた橋をとり上げ、Tげたの継目部におけるせん断伝達機構を把握するために、銅製キーのせん断耐力、プレストレスの効果および接着剤の状態等について、継目部の純せん断実験を行った。この成果は「プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリートTげた道路橋設計施工指針」((社)日本道路協会、平成4年10月)に取り入れられている。平成4年度の研究では、今後増加が見込まれるプレキャストブロック工法による箱げた橋をとり上げ、箱げたの継目部にコンクリート製接合キーを配置した場合の、せん断伝達機構およびせん断耐力を把握するために、継目部のせん断実験を行った。本報告書は、その結果をとりまとめたものである。

2. 研究目的

プレキャストブロック工法に関して『道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編』（(社)日本道路協会、平成2年2月:以下現行道示という）には、設計荷重時および終局荷重時の引張応力度についての規定とねじりモーメントに対する必要鋼材量の規定、そして、接合キーについての規定が記述されている。接合キーに関しては、箱断面のけたに台形接合キーを使用した場合の記述で、架設時または終局荷重時に継目部に作用するせん断力に対して補強鉄筋を算出する設計になっているが、実際の接合キーの挙動や補強鉄筋のひずみ等に関するデータが十分ではない。同様に、プレストレスによる摩擦効果や接着状態の影響等についても不明な点が多いのが現状である。また、プレキャストブロック工法の歴史も古く、同工法による施工実績も多い諸外国では多段接合キーや波形接合キーによって施工されたものがほとんどであるが、これらについては現行道示に示されていない状況にあり、我が国では台形接合キーにより施工されたものが大半を占めている。

そこで、この研究では、プレキャストブロック工法による箱げたの継目部のせん断伝達機構およびせん断耐力を把握するために、箱げたのウェブを想定して、コンクリート製接合キー、プレストレス力、接着状態、補強鉄筋等の条件を変化させた供試体のせん断実験を行い、以下の項目について確認することとした。

- (1) 継目部の力の流れ、ひびわれ発生状況および破壊形態
- (2) せん断耐力
- (3) プレストレスの効果
- (4) 接合キーの形状および寸法の効果
- (5) 接着状態
- (6) 補強鉄筋量

なお、実験では、接合キー部分をモデル化した矩形断面の小型供試体と箱げたの片側断面をモデル化した大型供試体を作成した。小型供試体による実験で、大きなせん断力が卓越して作用した場合の継目部の挙動を把握し、大型供試体では、大きなせん断力と曲げモーメントが同時に作用した場合の挙動を把握する。

3. プレキャストブロック橋の継目部のせん断強度に関する実験

3.1 実験方法

3.1.1 小型供試体

(1) 供試体

継目部にコンクリート製接合キーを配置した場合のせん断力に対する挙動を把握するために、接合キー部分をモデル化した供試体を製作した。供試体1体は、3個のブロックが接合されたもので、2つの継目部(L側, R側)に配置される接合キーの形状、寸法および補強鉄筋量は同一とし、接合キーの向き(凸側)はその影響をみるため載荷方向に対して異なる向きとした。

供試体は、継目部のせん断耐力に影響を与える①接合キーの形状および寸法、②プレストレス量、③接着剤の状態、④台形接合キーの補強鉄筋量、の要因の組合せで計14体製作した。なお、それぞれの要因については、次のように供試体の設計で考慮した。

①接合キーの形状および寸法

接合キーの形状は、台形接合キー、多段接合キー、波形接合キー、接合キー無しの4種類とする。また、台形接合キーおよび多段接合キーについては、接合キーの寸法または角度を変化させている。

②プレストレス量

継目部に作用するプレストレスは、箱げた橋の場合で一般にコンクリートの平均圧縮応力度にして30~40kgf/cm²程度作用しているのので0, 20, 40kgf/cm²の3段階で変化させる。

③接着剤の状態

継目部を接合している接着剤の状態として、完全接着、未硬化の2つの状態を考慮した。完全接着状態とは、標準の接着状態を想定したもので、未硬化状態とは、架設時の接着剤硬化前を想定した状態である。

④台形接合キーの補強鉄筋量

図-3.2.3の補強鉄筋(Ae)に着目して、D19-4本(11.46cm²)、D19-2本(5.73cm²)、補強鉄筋無し、の3種類とする。

供試体の一覧を表-3.1.1に、供試体の形状寸法および配筋状況を図-3.1.1および図-3.1.2に示す。

なお、表-3.1.1には、大型供試体も含めて示すものとする。

供試体の製作は、既設ブロックのコンクリート端面を型枠として隣接ブロックを製作するマッチキャスト方式で行った。供試体製作に用いたセメントは、早強ボルトランドセメントである。コンクリートの配合はスランプ8cm、目標強度400kg/cm²とし、現場で一般的に用いられているものと同等にした。表-3.1.2および表-3.1.3にそれぞれ、コンクリートの配合および硬化コンクリートの力学的性質を示す。供試体No.1, 3, 5, 7, 9, 11, 13では平均で圧縮強度480kgf/cm²、引張強度35.4kgf/cm²、ヤング係数 2.57×10^5 kgf/cm²、ポアソン比0.191、供試体No.2, 4, 6, 8, 10, 12, 14では平均で圧縮強度524kgf/cm²、引張強度37.8kgf/cm²、ヤ

ング係数 $2.65 \times 10^{-4} \text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.188であった。プレストレス導入用のPC鋼棒はC種1号(SBPR1080/1230)の $\phi 23\text{mm}$ を、鉄筋はSD295AのD13, D16, D19を使用し、表-3.1.4にその力学的性質を示す。接着剤はエポキシ樹脂系のもので土木学会基準を満足している2液型接着剤(主剤, 硬化剤)を使用しており、表-3.1.5にその実験結果を示す。接着剤の圧縮強度は学会基準 700kgf/cm^2 以上に対し平均で 820kgf/cm^2 、引張強度は学会基準 125kgf/cm^2 以上に対し平均で 235kgf/cm^2 、接着強度は学会基準の 60kgf/cm^2 以上に対し平均で 78kgf/cm^2 が得られた。

供試体の接合はコンクリート打設5~7日後とし、完全接着供試体は接合面の両面に接着剤を約1mmずつ塗布して接合面を合わせ、PC鋼棒の緊張により接合面に 10kgf/cm^2 程度の仮プレストレスを導入し、接着剤を硬化させた。未硬化供試体は、継目部に接着剤の主剤のみを塗布した。

供試体へのプレストレスの導入は、供試体を試験機にセットした後、仮プレストレスを解放してPC鋼棒の緊張力をロードセルで管理しながら行った。PC鋼棒1本当りの緊張力はプレストレス量 40kgf/cm^2 の供試体が24tf/本、 20kgf/cm^2 の供試体が12tf/本、そしてプレストレス量 0kgf/cm^2 の供試体については仮プレストレス解放後、PC鋼棒のナットを手で締める程度とした。なお、シースへのグラウト注入は行っていない。

写真-3.1.1に小型供試体の製作状況を示す。

表-3.1.1 供試体一覧

種 別	No	供 試 体 名	キー形状	キー 角度	キー寸法	補強筋 A e	プレスト (kgf/cm ²)	接着剤 の状態	供試体の特徴
大 型 供試体	1	B-C45T-20-H	台 形(C)	4 5°	10-30/10	①2-D19 ②2-D13	2 0	完全接着	検討断面は①、②断面で 補強筋量を変化させる。
小 型 供試体	1	S-C45N-40-H	台 形(C)	4 5°	10-30/10	2-D19	4 0	完全接着	台形標準供試体: プレスト量を変化させる。
	2	S-C45N-20-H					2 0		
	3	S-C45N- 0-H					0		
	4	S-C45N-20-W				4-D19	2 0	未 硬 化	接着剤未硬化供試体
	5	S-C45L-40-H					4 0	完全接着	補強筋多供試体
	6	S-C45 -40-H				- - -			
	7	S-C60N-40-H	キー無し(N)	6 0°	10-30/18	2-D19			キー角度6 0° 供試体
	8	S-N-40-H		- - -	- - -	- - -	4 0	完全接着	キー無し供試体
	9	S-M3-40-H	多 段(M)	4 5°	3- 9/3	- - -	4 0	完全接着	多段標準供試体: プレスト量を変化させる。
	1 0	S-M3-20-H				- - -	2 0		
	1 1	S-M3- 0-H				- - -	0		
	1 2	S-M3-20-W				- - -	2 0	未 硬 化	接着剤未硬化供試体
	1 3	S-M5-40-H			5-15/5	- - -	4 0	完全接着	
	1 4	S-W-40-H	波 形(W)	- - -	5-15	- - -	4 0	完全接着	波形供試体

*:供試体名の記号は、以下を表す。

B-C45T-20-H

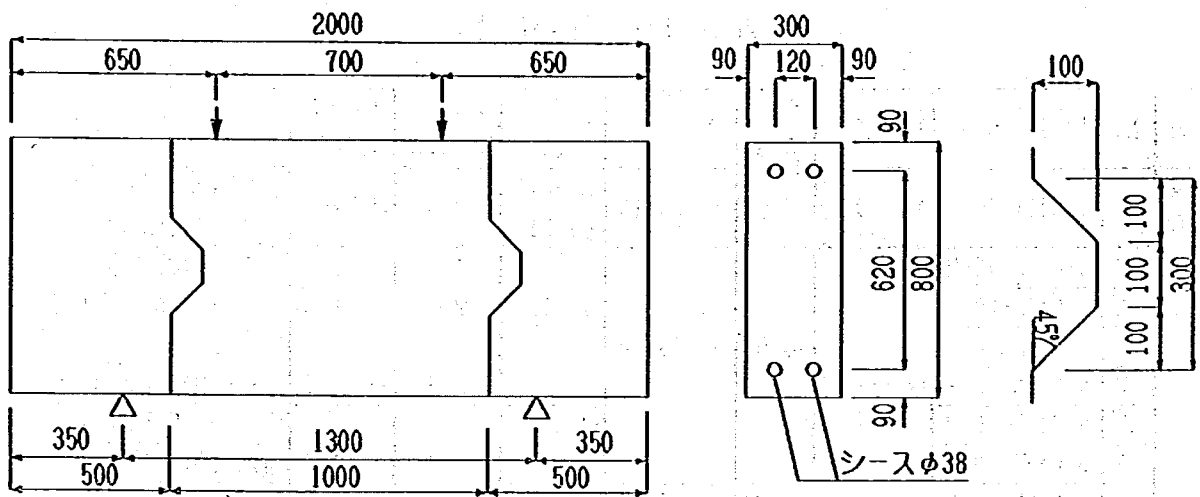
└ 接着剤の状態(H:完全接着, W:未硬化)
 └ プレストレス(40:40kgf/cm², 20:20kgf/cm², 0:0kgf/cm²)
 └ キーの形状(C45T:台形45° 補強2タイプ, C45N:台形45° 補強標準, C45L:台形45° 補強多,
 C45 :台形45° 補強無し, C60N:台形60° 補強標準, N:キー無し,
 M3:多段キー高3cm, M5:多段キー高5cm, W:波形)
 └ 種別(B:大型供試体, S:小型供試体)

*:キー寸法の記号は、以下を表す。

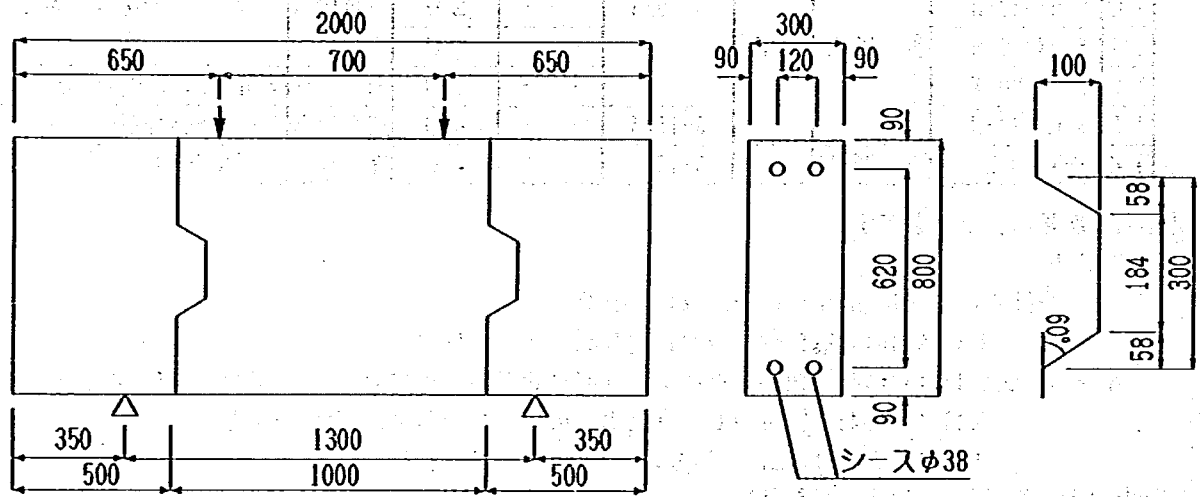
10-30/10

└ キーの短辺の長さ(cm)
 └ キーの長辺の長さ又は波形キーの周期(cm)
 └ キーの高さ(cm)

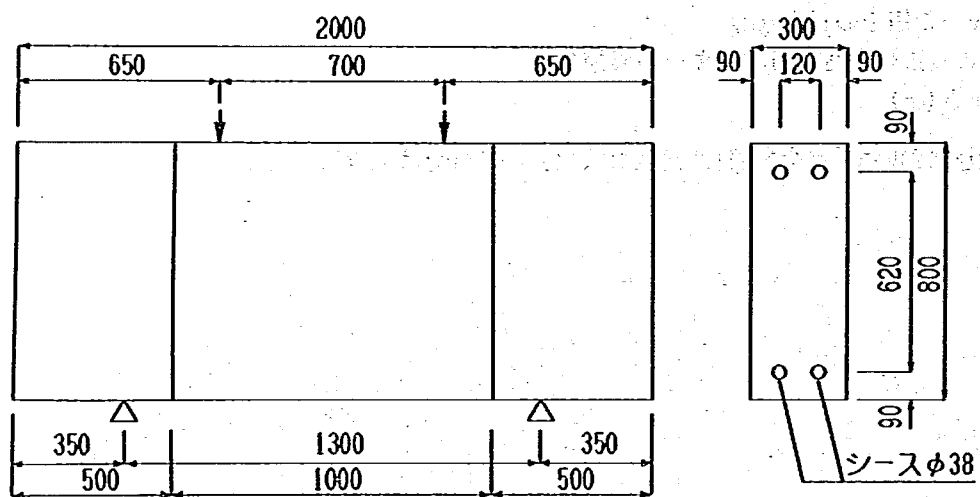
* 接着剤の状態において「完全接着」は健全な状態、「未硬化」は架設時を想定したものである。



(a) 供試体No 1, 2, 3, 4, 5, 6

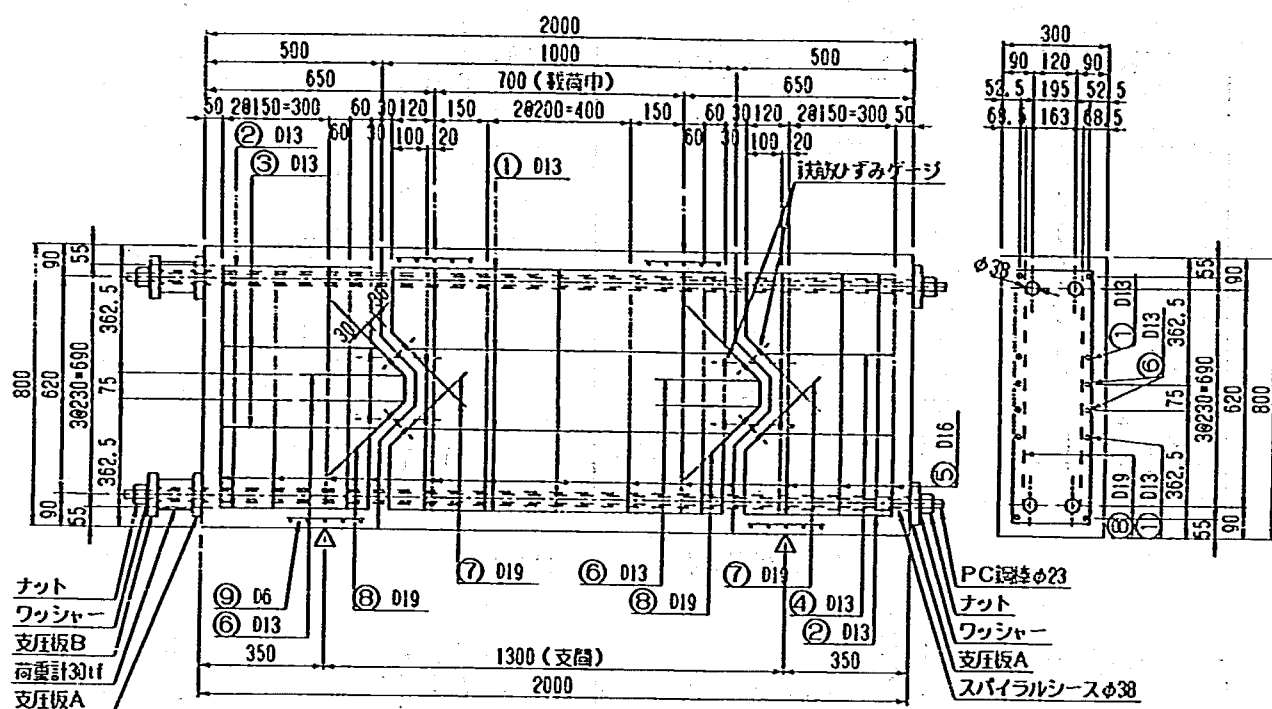


(b) 供試体No 7

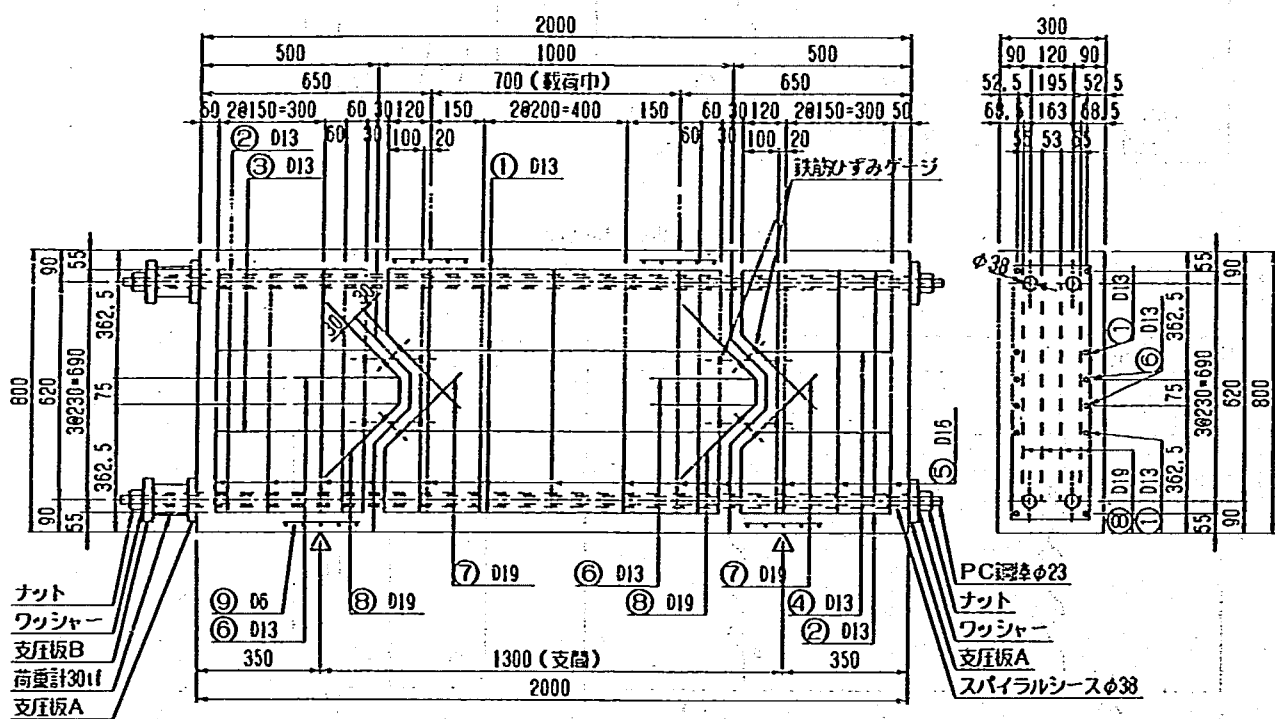


(c) 供試体No 8

図-3.1.1 供試体の形状寸法 (小型供試体)

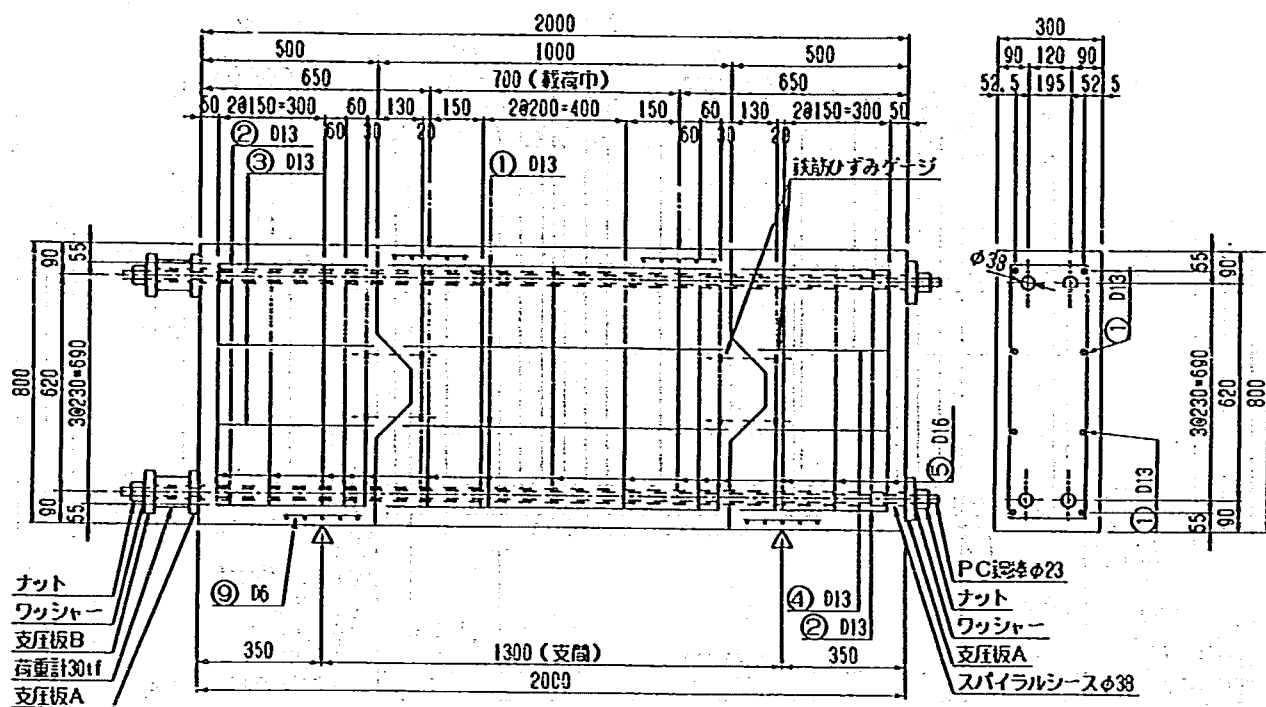


(a) 供試体No. 1, 2, 3, 4

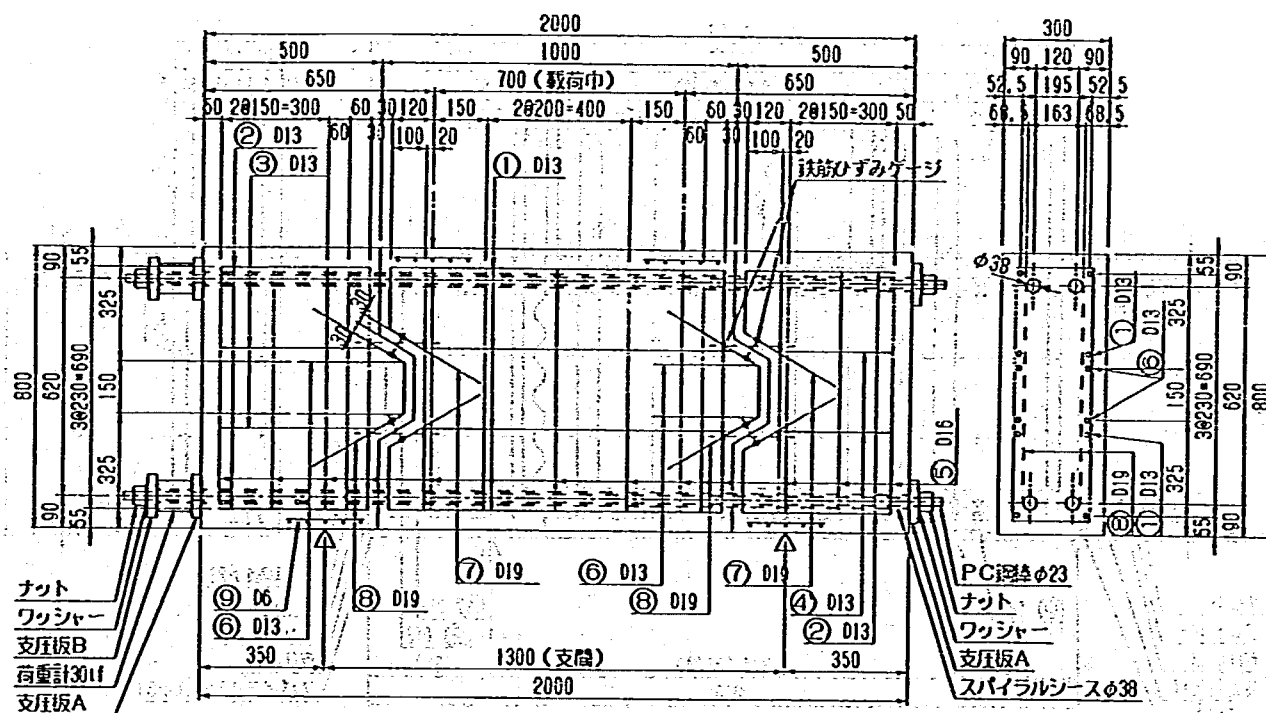


(b) 供試体No. 5

図-3.1.2 配筋およびPC鋼棒配置状況 (小型供試体)

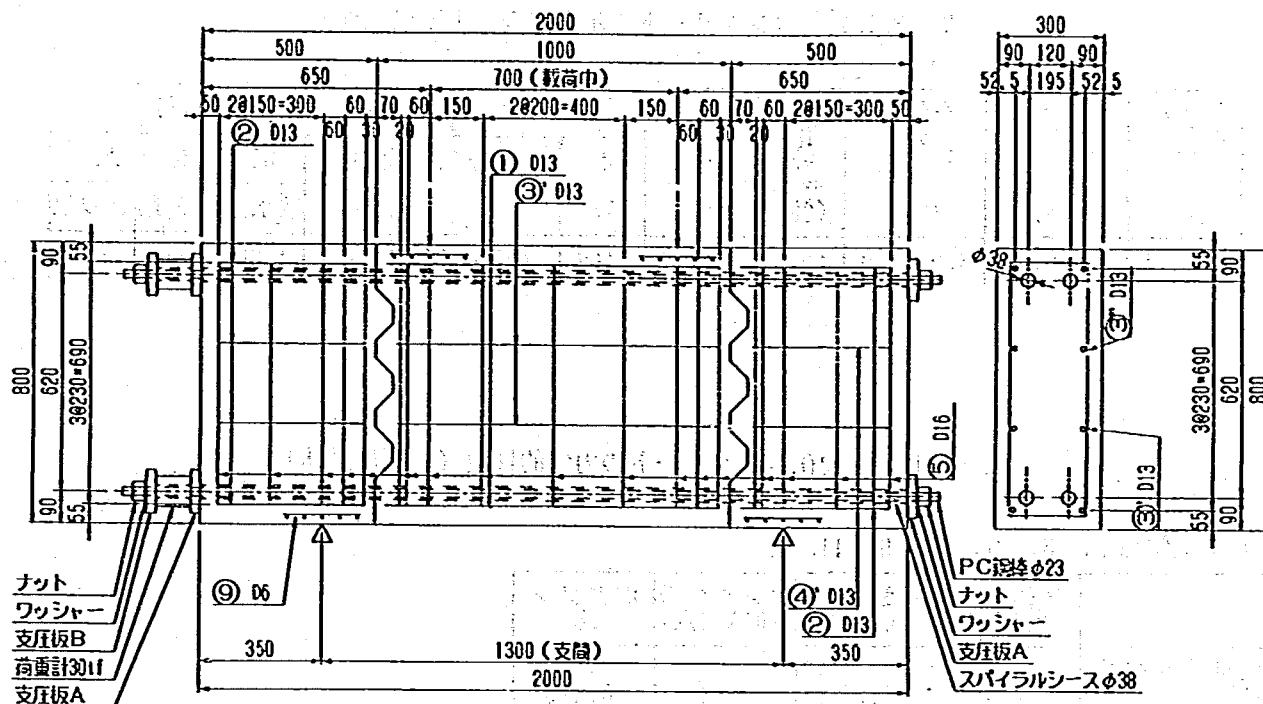


(c) 供試体No.6

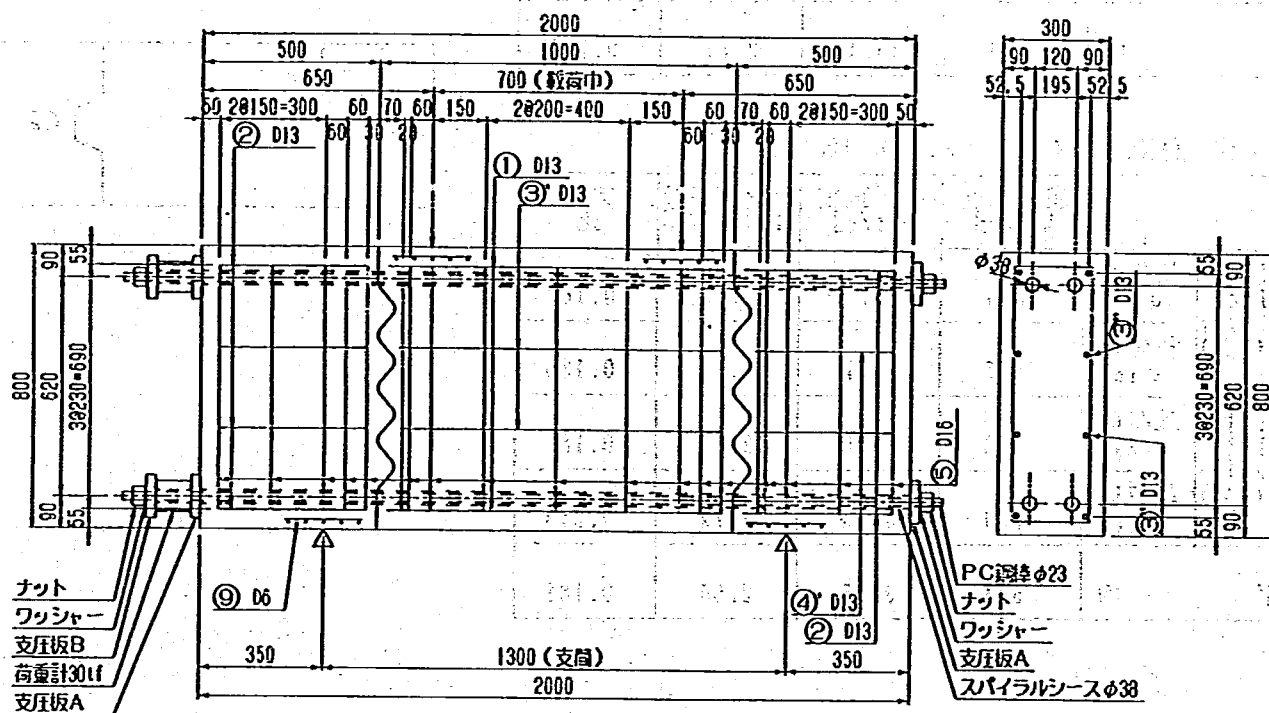


(d) 供試体No.7

図-3.1.2 配筋およびP.C.鋼棒配置状況 (小型供試体)



(g) 供試体No13



(h) 供試体No14

図-3.1.2 配筋およびPC鋼棒配置状況 (小型供試体)

表-3.1.2 コンクリートの示方配合 (小型供試体)

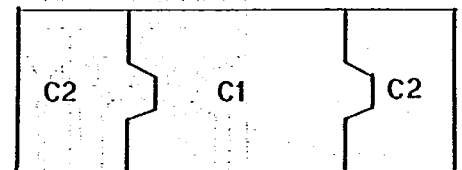
粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スランブ の 範 囲 (cm)	空気量 の 範 囲 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材 率 S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)						
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混 和 材 ・ 剤		
									減水剤	A E 剤	その他
25	8.0±2.5	3.0±1.0	40.0	42.0	168	420	730	1023	4,200	---	---

表-3.1.3 硬化コンクリートの力学的性質 (小型供試体)

(a) 供試体No 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13

		圧縮強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²	ポアソン 比
1回目 打設 コンクリート (C 1)	載荷前 σ_{77}	444	32.8	2.54	0.175
	載荷後 σ_{112}	484	35.2	2.53	0.184
2回目 打設 コンクリート (C 2)	載荷前 σ_{75}	499	36.2	2.53	0.209
	載荷後 σ_{110}	493	37.4	2.70	0.194
平 均		480	35.4	2.57	0.191

注) 各試験値は供試体3体の平均値
(小型供試体と同一養生)である



(b) 供試体No 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14

		圧縮強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²	ポアソン 比
1回目 打設 コンクリート (C 1)	載荷前 σ_{70}	536	38.6	2.65	0.162
	載荷後 σ_{105}	547	35.7	2.64	0.186
2回目 打設 コンクリート (C 2)	載荷前 σ_{68}	472	38.6	2.57	0.186
	載荷後 σ_{103}	539	38.3	2.72	0.218
平 均		524	37.8	2.65	0.188

表-3.1.4 PC鋼棒と鉄筋の力学的性質 (小型供試体)

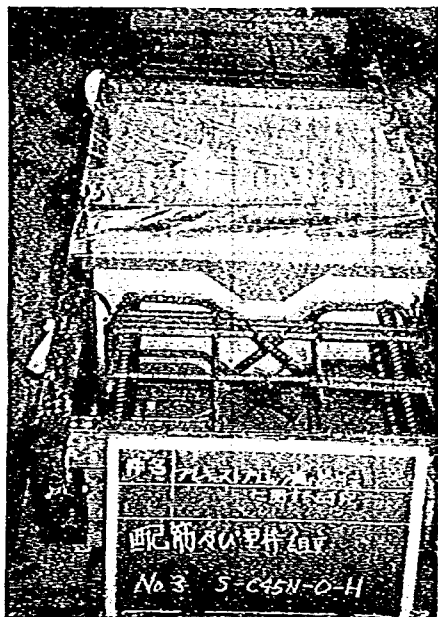
種 類	径	降 伏 点 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	伸 び (%)
P C鋼棒(SBPR1080/1230)	φ 23	11,910	13,290	2.05×10 ⁶	12
		—	—	—	—
鉄 筋(SD295A)	D13	3,540	5,320	—	24
		3,483	5,067	—	29
	D16	3,880	5,670	—	22
		3,714	5,320	—	21
	D19	3,780	5,370	—	26
		3,511	5,236	—	28

注) 上段はミルシートによる値。下段は3供試体の材料試験による値。

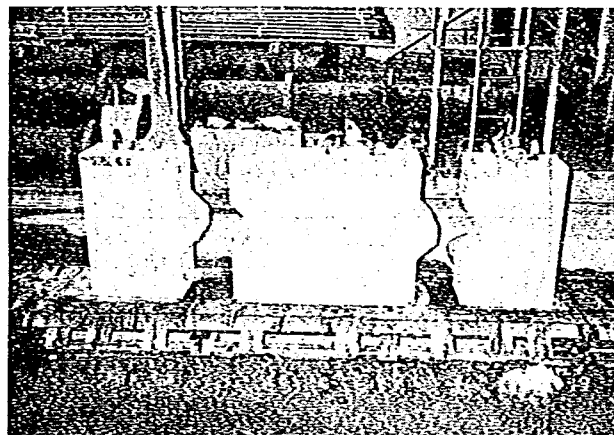
表-3.1.5 硬化後の接着剤の力学的性質

	単位	供 試 体 番 号					平 均 値
		1	2	3	4	5	
圧 縮 強 度	kgf/cm ²	704	758	829	907	873	820
引 張 強 度	kgf/cm ²	245	229	237	239	207	235
接 着 強 さ	kgf/cm ²	78	80	74	75	92	78
圧縮弾性係数	kgf/cm ²	14400	14500	14000	15600	15600	14800

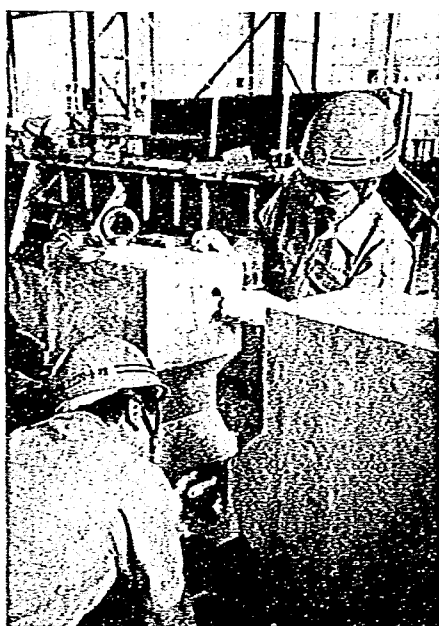
注) 試験は、プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着材 (橋げた用)
試験方法 (案) 土木学会1978に準じる。



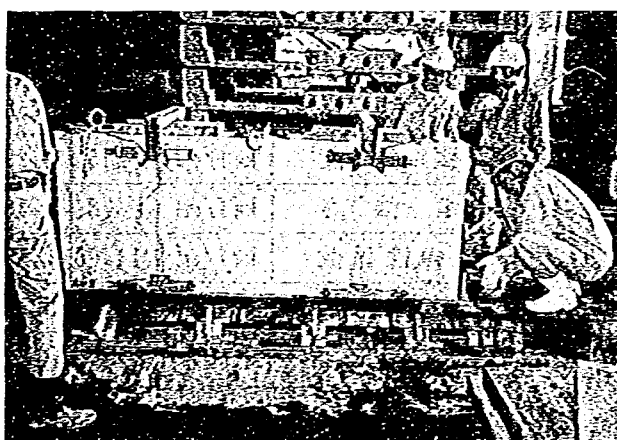
(a) 配筋および型枠組立



(b) コンクリートブロック打設完了

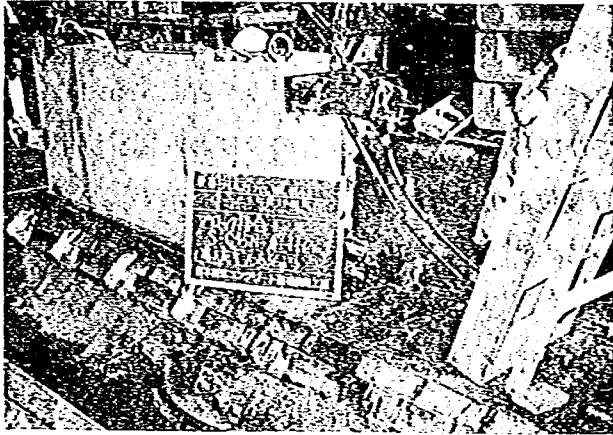


(c) 接着剤塗布状況

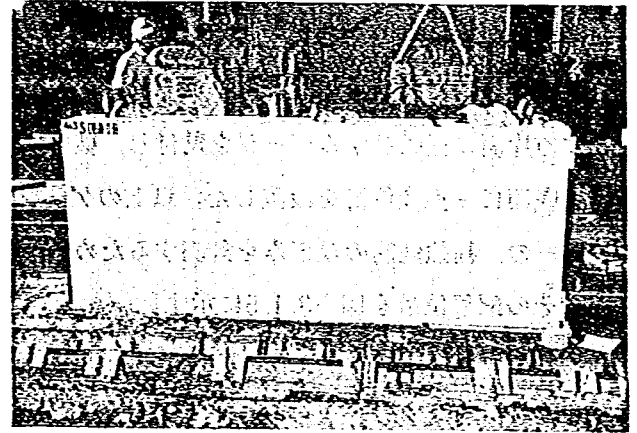


(d) ブロック接合準備

写真-3.1.1 小型供試体製作状況



(e) ブロック接合 (仮プレストレス導入)



(f) 接合完了

写真-3.1.1 小型供試体製作状況

(2) 載荷方法および計測方法

載荷実験は、30MN大型構造部材万能試験機を用いて荷重分配桁による静的2点載荷の方法で行った。載荷点には荷重検出用に300tfロードセルを配置して、鋼製載荷板(20×30cm)によって供試体に荷重を伝達する。また、支承は水平方向および回転が可能なすべり支承とし、供試体との間に鋼製支承板(20×30cm)を挿入して使用した。載荷方法を図-3.1.3に、載荷実験の状況を写真-3.1.2および写真-3.1.3に示す。

供試体には、継目部のズレの計測用として、供試体の裏表の上部、中央、下部にカンチレバー型変位計を、継目部底面に高感度変位計をそれぞれ設置した。また、コンクリートの表面ひずみを計測するために、供試体の片面に三軸ひずみゲージを貼付し、継目に添ってひびわれが発生した場合のひびわれ幅計測用に、継目部底面に π 型変位計を設置した。以上のゲージおよび変位計の配置位置を図-3.1.4に示す。また台形接合キーの、補強鉄筋のひずみを計測するために、あらかじめ供試体製作時に鉄筋ひずみゲージを貼付しており、その配置位置を図-3.1.5に示す。

コンクリートと鉄筋のひずみ計測はプレストレス導入前から行い、載荷時は5tf～10tf間隔で供試体の継目部の変位量、コンクリートのひずみ、鉄筋のひずみの計測およびひびわれの発生状況等の観測を行った。

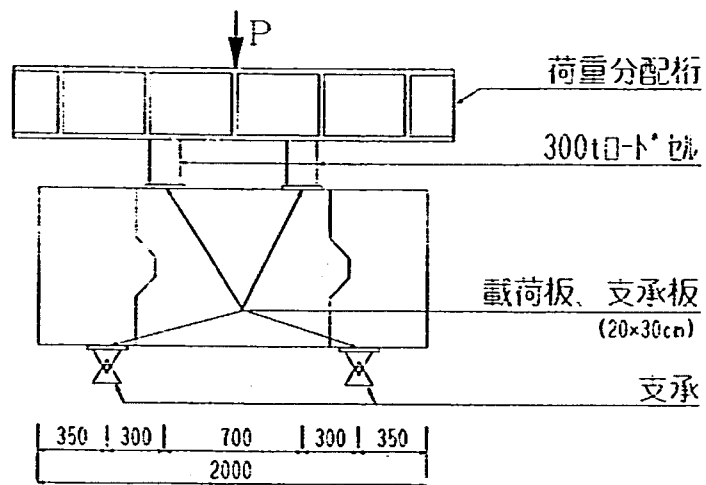


図-3.1.3 載荷方法 (小型供試体)

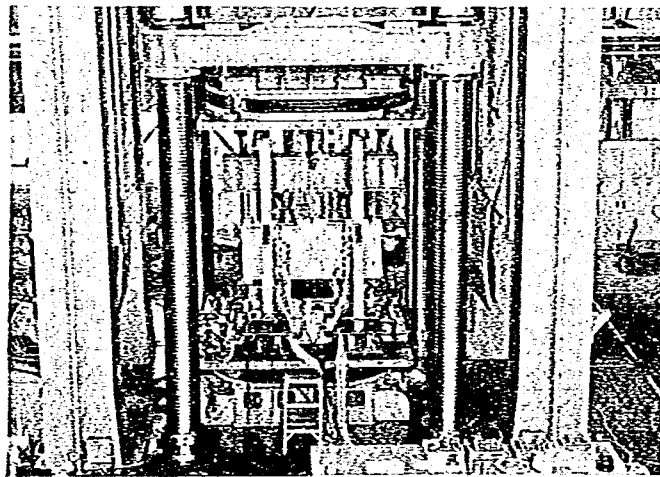


写真-3.1.2 載荷状況 (小型供試体)

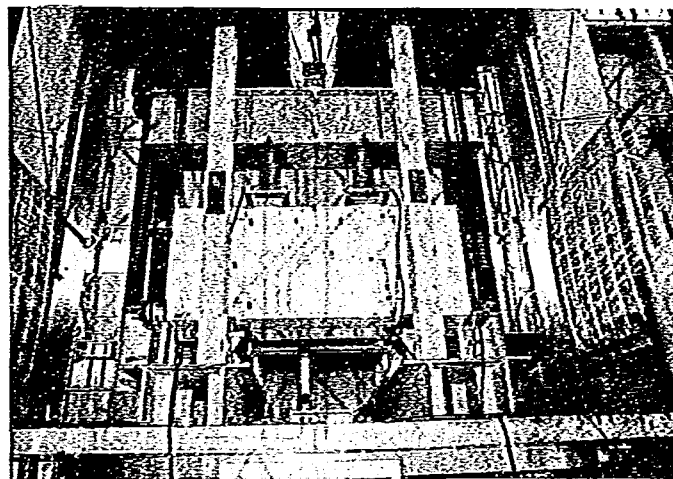


写真-3.1.3 載荷状況 (小型供試体)

3.1.2 大型供試体

(1) 供試体

実橋に近い断面で、せん断力と曲げモーメントが同時に作用した場合の継目部の挙動を把握するために、箱げたをイメージして片側断面をモデル化したT断面のけた供試体を1体製作した。供試体は、3個のブロックが接合されたもので、2つの継目部(L側、R側)に配置される接合キーの形状寸法は小型供試体(No.1:S-C45N-40-H)と同様の台形接合キーとした。継目部の接着剤の状態は完全接着で、PC鋼棒によりプレストレスを導入した。なお、接合キーの向き(凸側)は、L側とR側いずれも支間中央方向とし、補強鉄筋量(A_e)はL側とR側で変えており、L側にはD19-2本(5.73cm^2)、R側にはD13-2本(2.53cm^2)を配置した。供試体の形状寸法および配筋状況を図-3.1.6に示す。

供試体の製作は、既設ブロックのコンクリート端面を型枠として、隣接ブロックを製作するマッチキャスト方式で行った。供試体製作に用いたセメントは、早強ボルトランドセメントである。コンクリートの配合はスランプ8cm、目標強度 400kgf/cm^2 とし、現場で一般的に用いられているものと同等にした。表-3.1.6および表-3.1.7にそれぞれ、コンクリートの配合および硬化コンクリートの力学的性質を示す。平均で圧縮強度 502kgf/cm^2 、引張強度 41.4kgf/cm^2 、ヤング係数 $3.14 \times 10^5\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比0.162であった。プレストレス導入用のPC鋼棒はC種1号(SBPR1080/1230)の $\phi 32\text{mm}$ を、鉄筋はSD295AのD13、D16、D19を使用し、表-3.1.8にその力学的性質を示す。なお、接着剤は小型供試体と同じものを使用した(表-3.1.5参照)。

供試体の接合は、最終ブロックのコンクリート打設の5日後とし、接合面の両面に接着剤を約1mmずつ塗布して接合面を合わせ、PC鋼棒を緊張して接合面に 10kgf/cm^2 程度の仮プレストレスを導入して接着剤を硬化させた。

供試体へのプレストレスの導入は、仮プレストレスを解放し、スパン中央で自重を含めて 20kgf/cm^2 の長方形分布になるように、各々PC鋼棒の緊張力をロードセルで管理しながら行った。なお、PC鋼棒1本当りの緊張力は、上縁に配置した2本が 19.8tf/本 、下縁に配置した4本が 10.7tf/本 である。緊張終了後シースにグラウトを注入してコンクリートとPC鋼棒を一体化させた。

写真-3.1.4に大型供試体の製作状況を示す。

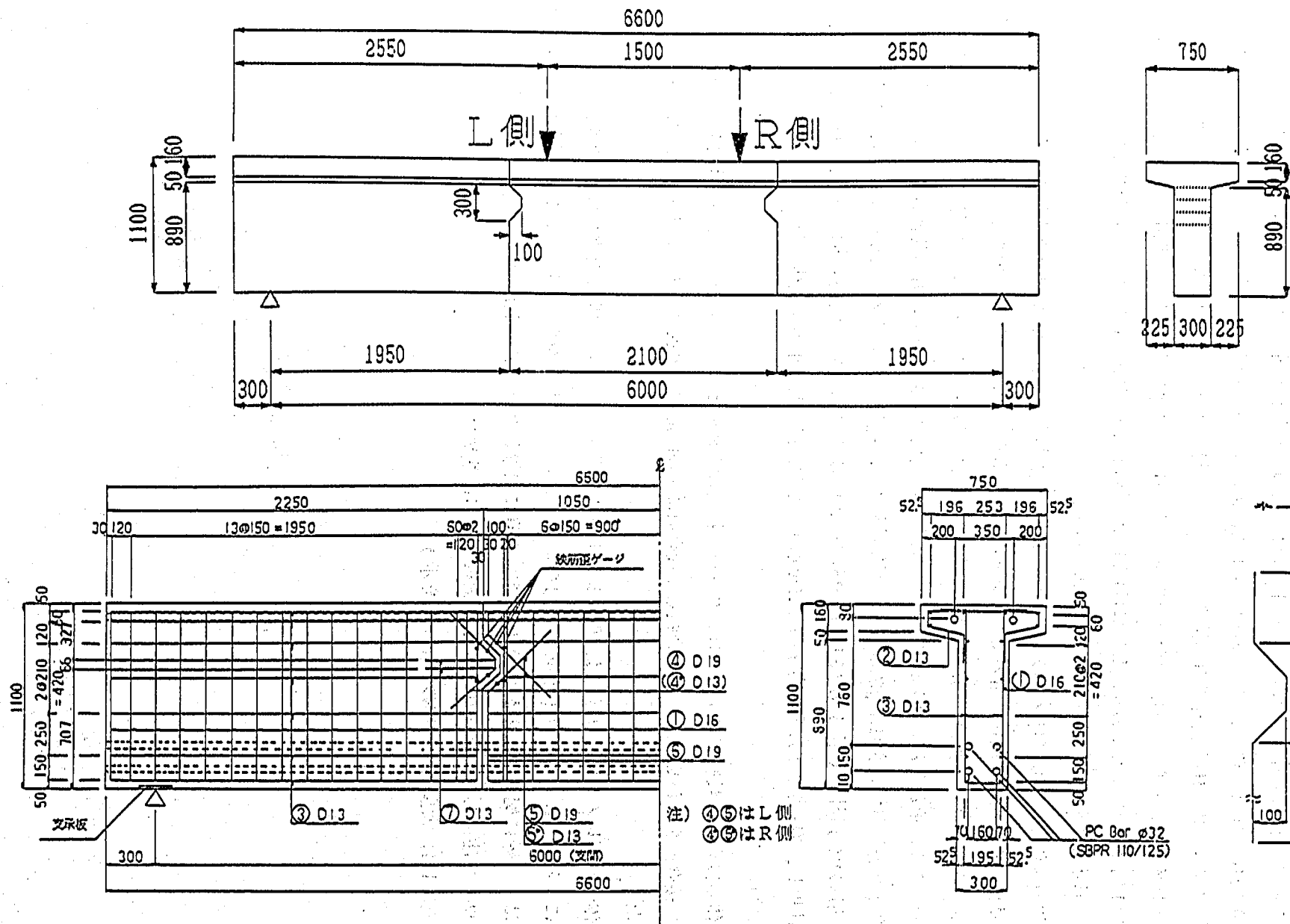


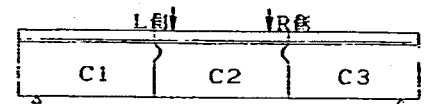
図-3.1.6 供試体の形状寸法および配筋図 (大型供試体)

表-3.1.6 コンクリートの示方配合 (大型供試体)

粗骨材 の最大 寸法 (mm)	スランパ の 範 囲 (cm)	空気量 の 範 囲 (%)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材 率 S/a (%)	単 位 量 (kgf/m ³)						
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混 和 材 ・ 剤		
									減水剤	A E 剤	その他
20	8.0±2.5	4.0±1.0	60.0	47.0	165	275	871	993	5.500	1.1	---

表-3.1.7 硬化コンクリートの力学的性質 (大型供試体)

	載荷時	圧縮強度 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	ヤング係数 ×10 ⁵ kgf/cm ²	ポアソン 比
1回目打設 (C1)	σ ₄₂	524	44.8	3.19	0.164
2回目打設 (C2)	σ ₃₉	521	41.2	3.20	0.169
3回目打設 (C3)	σ ₃₅	460	38.2	3.03	0.154
平 均		502	41.4	3.14	0.162

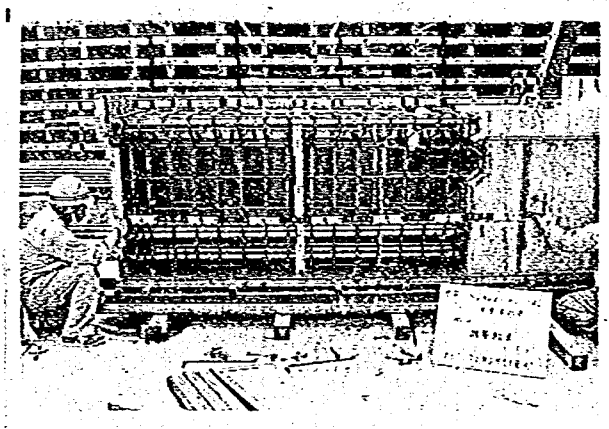


注) 各試験値は、供試体3体の平均値 (大型供試体と同一養生) である

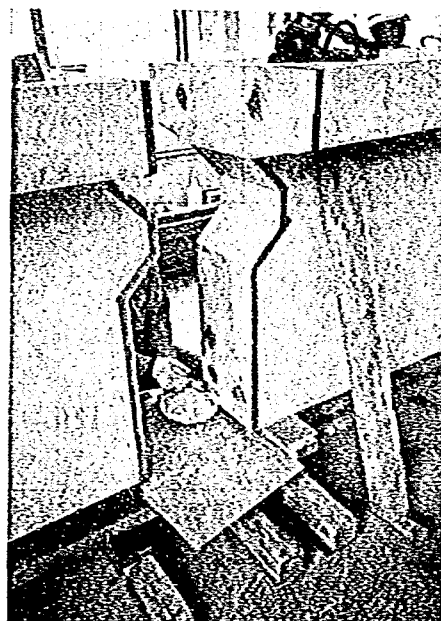
表-3.1.8 PC鋼棒と鉄筋の力学的性質 (大型供試体)

種 類	径	降 伏 点 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)	伸 び (%)
P C 鋼棒 (SBPR1080/1230)	φ 32	11,660	13,320	2.01×10 ⁶	11
		—	—	—	—
鉄 筋 (SD295A)	D13	3,480	4,840	—	29
		3,491	5,151	—	27
	D16	3,780	5,270	—	26
		4,045	5,656	—	26
	D19	3,560	5,060	—	29
		3,409	5,131	—	29

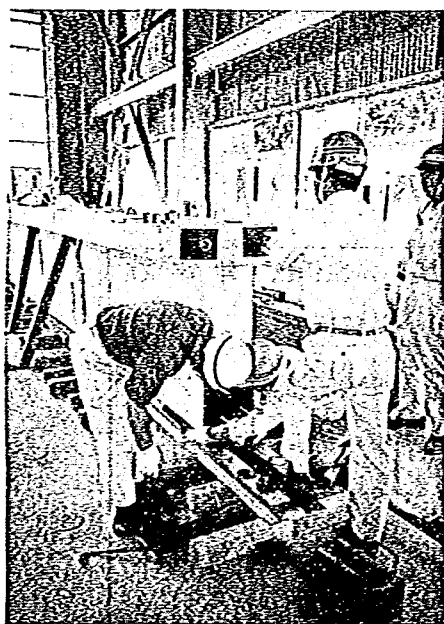
注) 上段はミルシートによる値。下段は3供試体の材料試験による値。



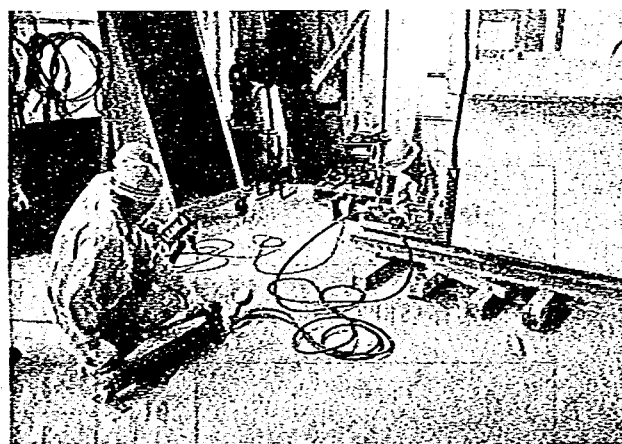
(a) 配筋および型枠状況



(b) 接着剤塗布状況



(c) 緊張準備

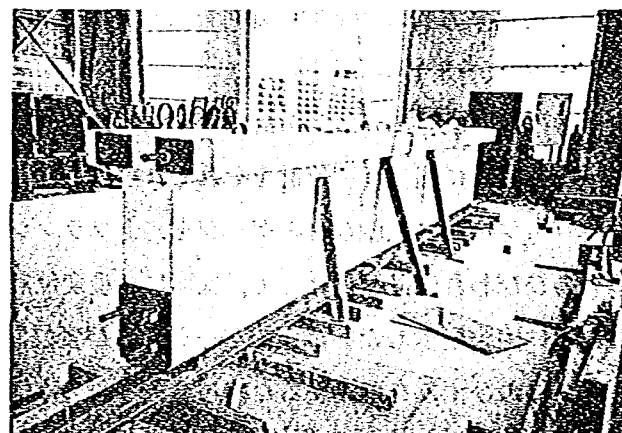


(d) 緊張状況

写真-3.1.4 大型供試体製作状況



(e) グラウト試験状況



(f) 完 成

写真-3.1.4 大型供試体製作状況

(2) 載荷方法および計測方法

載荷実験は、小型供試体と同様に3000ton大型構造部材万能試験機を用いて荷重分配桁による静的2点載荷の方法で行った。載荷点は回転が可能な構造で鋼製載荷板(20×75cm)によって供試体に荷重を伝達する。また、支承は半円形の固定支承を用い、供試体の支承部に埋め込まれた鋼製支承板(20×30cm)の間にグリスを塗布して、水平方向および回転が可能な構造とした。載荷方法を図-3.1.7に、載荷実験の状況を写真-3.1.5および写真-3.1.6に示す。

供試体には、継目部のズレを計測するために、供試体の裏表の上部、中央、下部にカンチレバー型変位計を、継目部底面に高感度変位計をそれぞれ設置した。また、コンクリートの表面ひずみを計測するために、供試体ウェブ片面に三軸ひずみゲージを、上フランジ片面に一軸ひずみゲージを貼付し、ひびわれが発生した場合のひびわれ幅計測用として、底面に π 型変位計を設置した。たわみ量計測用として高感度変位計を供試体底面に固定配置した。以上のゲージおよび変位計の配置位置を図-3.1.8に示す。また、台形接合キーの補強鉄筋のひずみを計測するために、あらかじめ供試体製作時に鉄筋ひずみゲージを貼付しており、その配置位置を図-3.1.9に示す。

載荷実験では、供試体の継目部の変位量、コンクリートのひずみ、鉄筋のひずみ、たわみ量、ひびわれ幅の計測およびひびわれの発生状況等の観測を5tf～10tf間隔で行った。

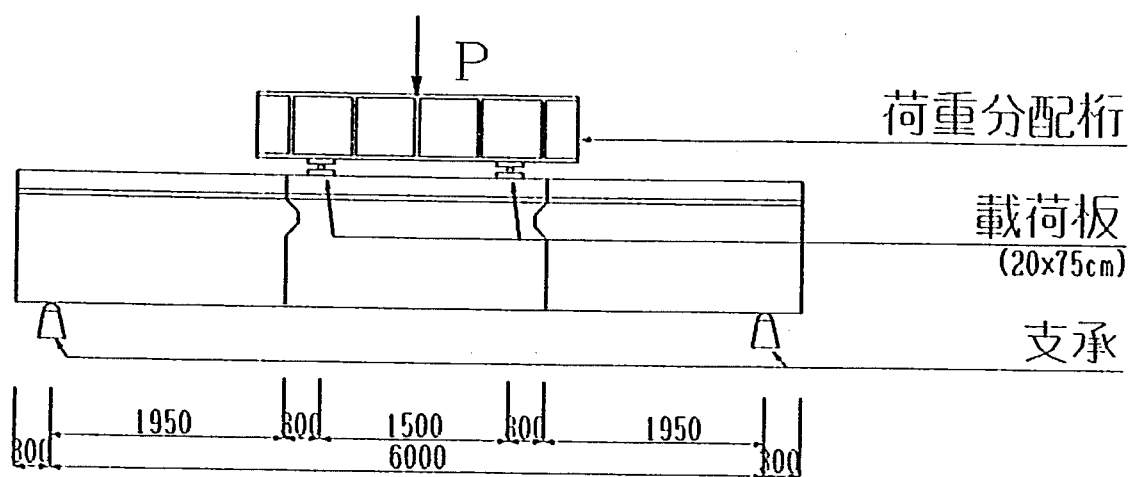


图-3.1.7 载荷方法 (大型供试体)

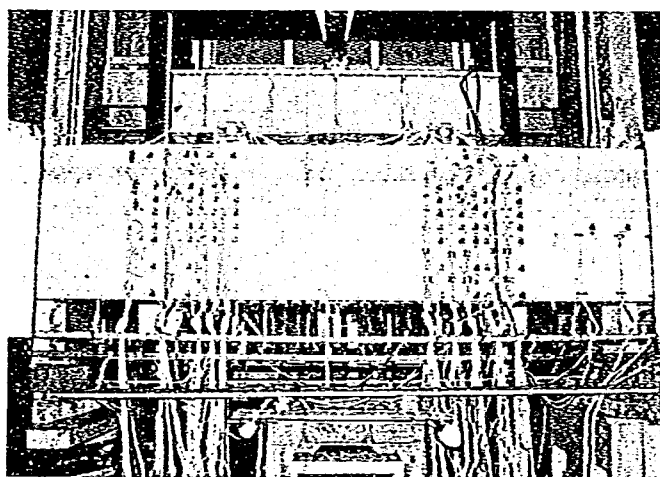


写真-3.1.5 载荷状况 (大型供试体：侧面)

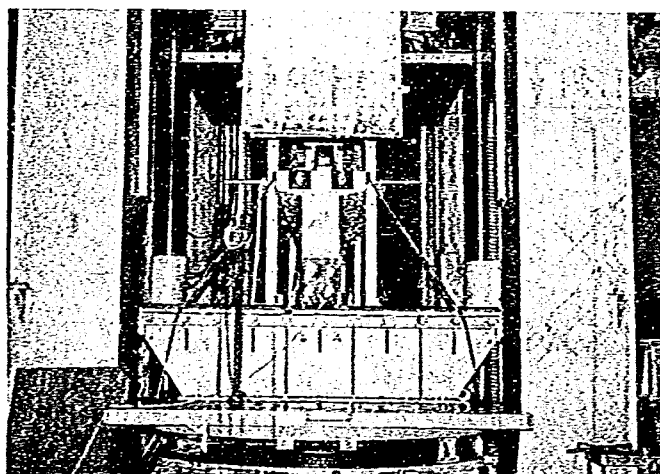
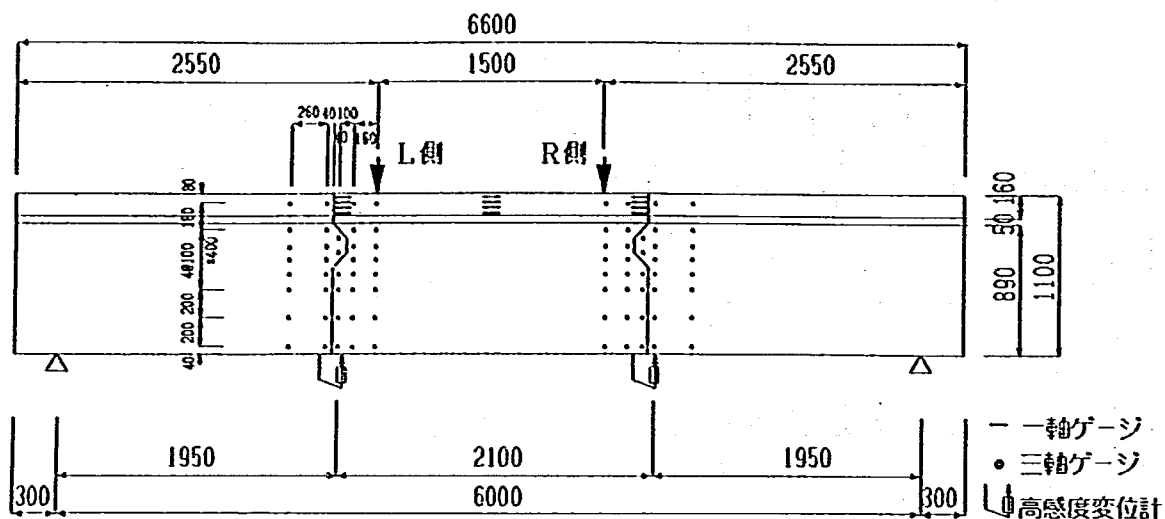
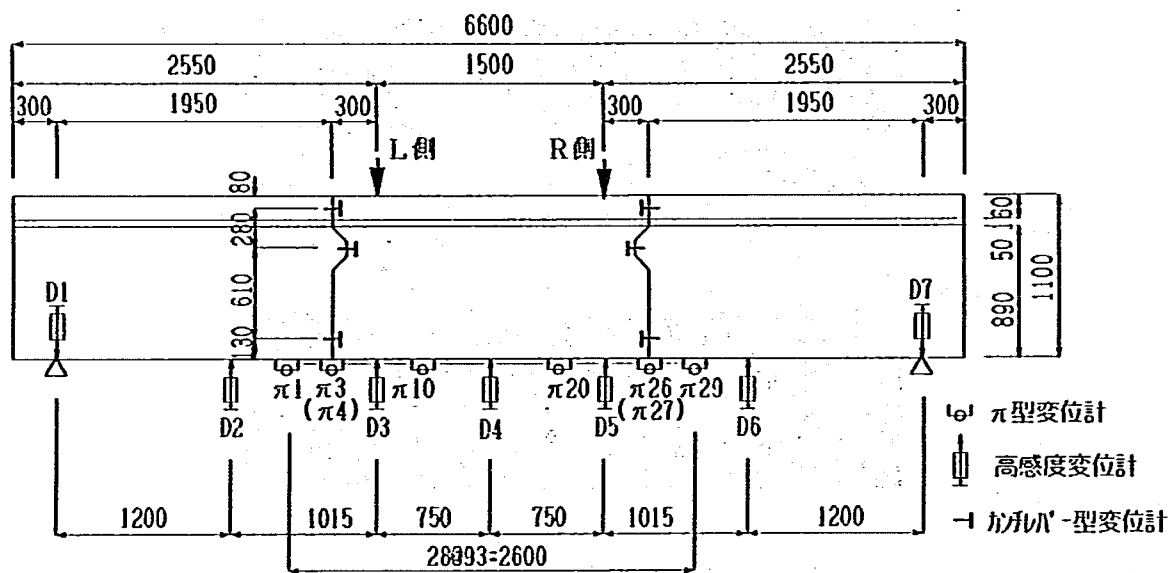


写真-3.1.6 载荷状况 (大型供试体：断面)



(a)



(b)

図-3.1.8 ゲージおよび変位計の配置図 (大型供試体)

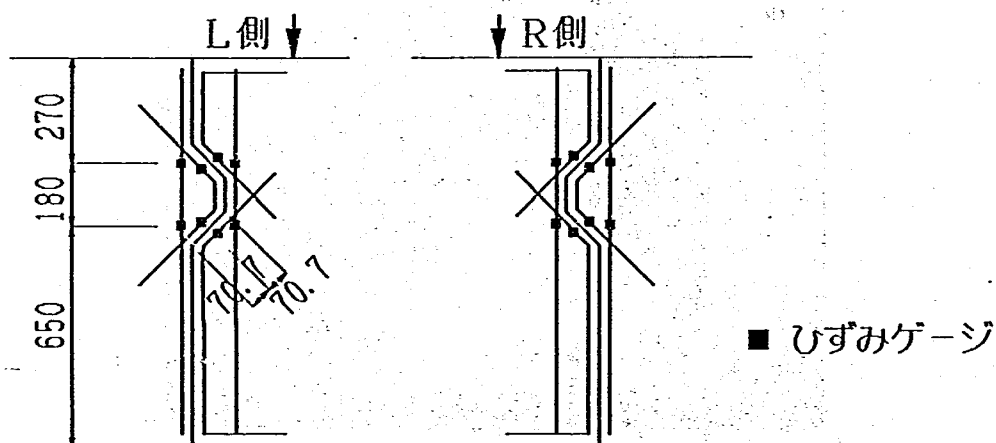


図-3.1.9 鉄筋ひずみゲージ配置図 (大型供試体)

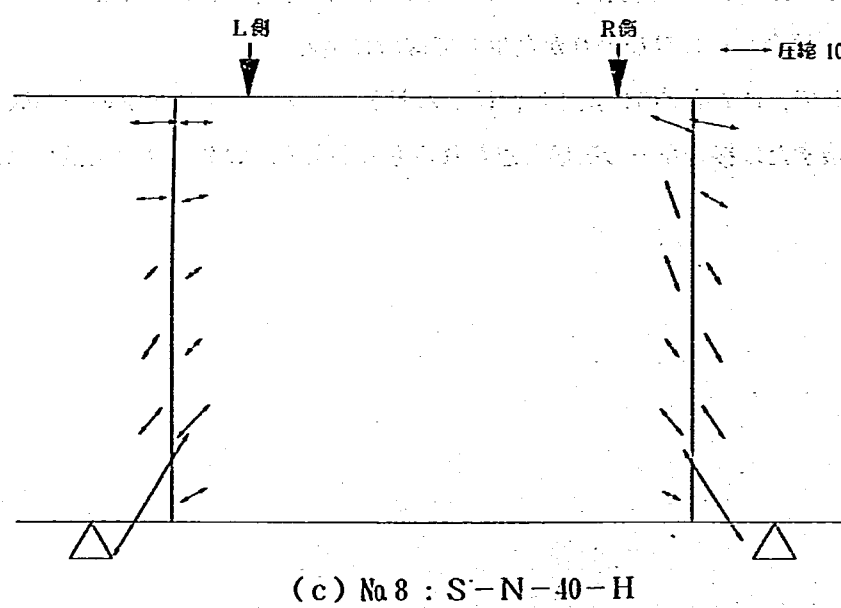
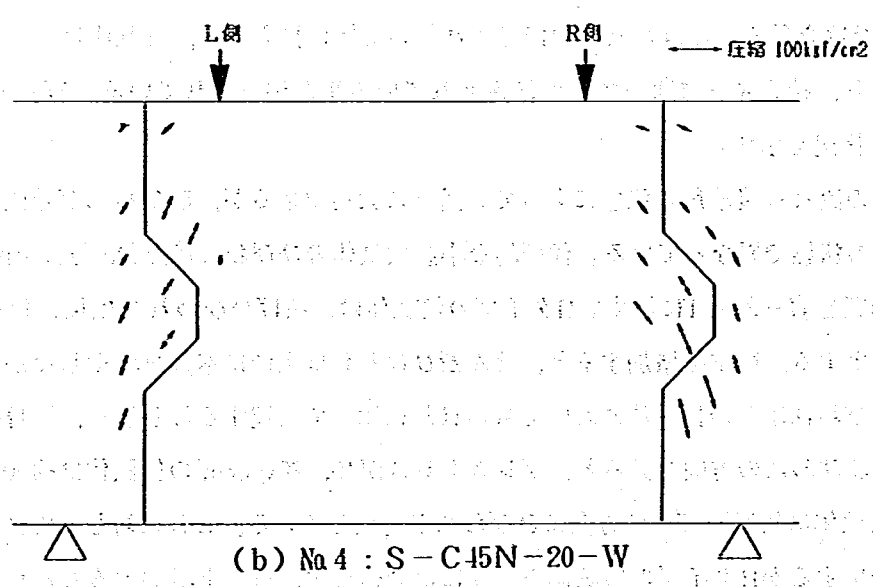
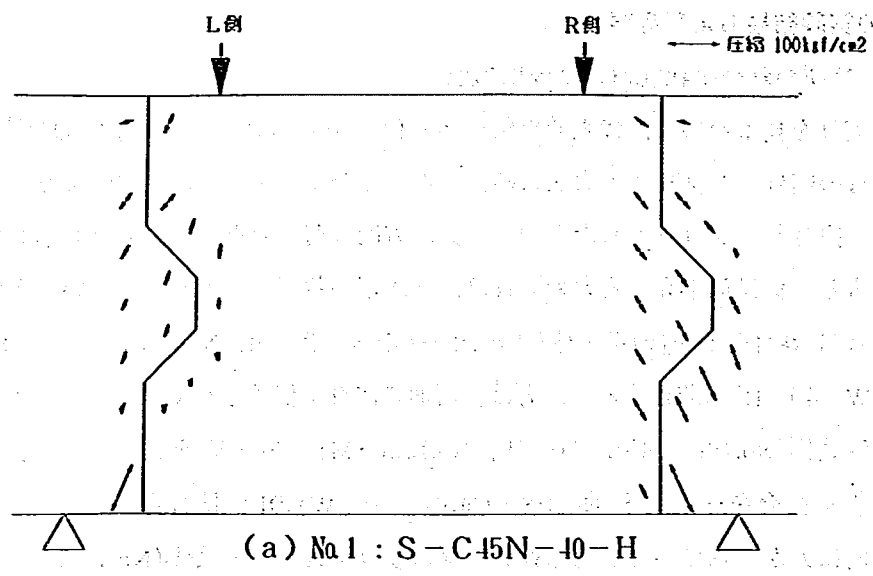
3.2 小型供試体の実験結果および考察

3.2.1 力の流れ、ひびわれ発生状況および破壊形態

荷重による力の流れを見るために、代表的な供試体で荷重100tfのときの圧縮主応力分布を図-3.2.1に示す。ただし、これらの図はコンクリート表面に貼付した三軸ひずみゲージの測定値より、プレストレス導入直後が零になる様に換算してプロットしたもので、矢印方向は荷重のみの力の流れを示している。各々の供試体を比較してみると、継目部を介する力の流れは、接着剤の状態に影響を受けていると考えられる。接着剤の状態が完全接着(以後Hタイプ)の供試体(No.1:S-C45N-40-H, No.8:S-N-40-H, No.9:S-M3-40-H, No.14:S-W-40-H)に着目すると、力は全断面に流れて伝達されているが、接着剤の状態が未硬化(以後Wタイプ)の供試体(No.4:S-C45N-20-W, No.12:S-M3-20-W)を見ると、接合キーによって力が伝達されており、台形接合キー供試体(No.4:S-C45N-20-W)のL側接合キーではキーの上側、R側接合キーではキーの下側に力が流れている。同じWタイプの多段接合キー供試体(No.12:S-M3-20-W)では、R側の主応力分布だけを見るとほぼ全断面で伝達されている様に見えるが、実験中は載荷直後から継目部にずれが発生しており、接合キーによって力が伝達されている事が確認されている。写真-3.2.1にWタイプ供試体の継目部の状況を示す。

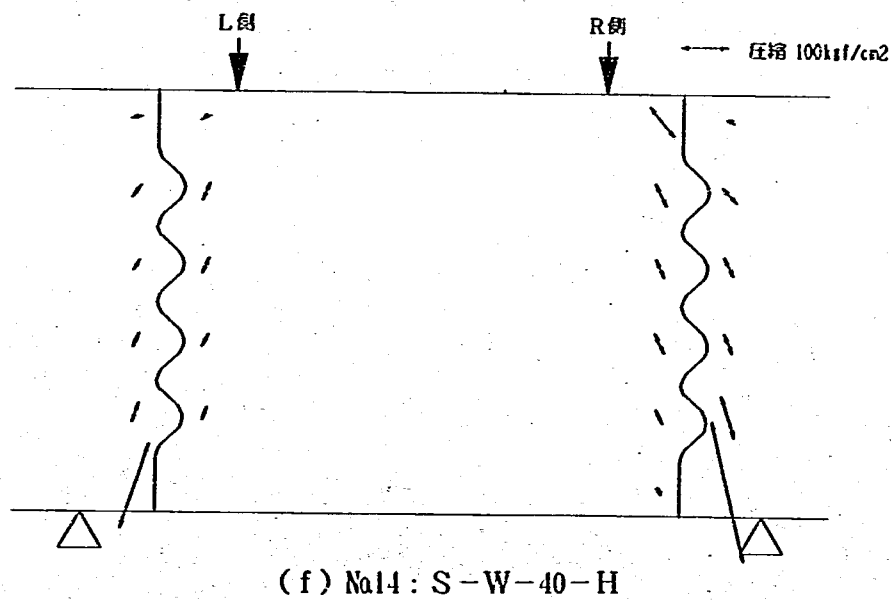
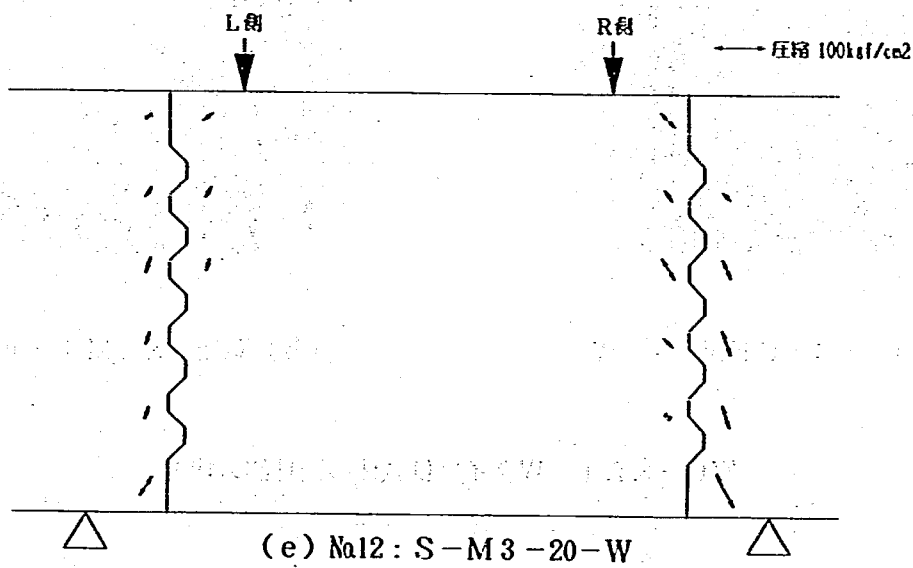
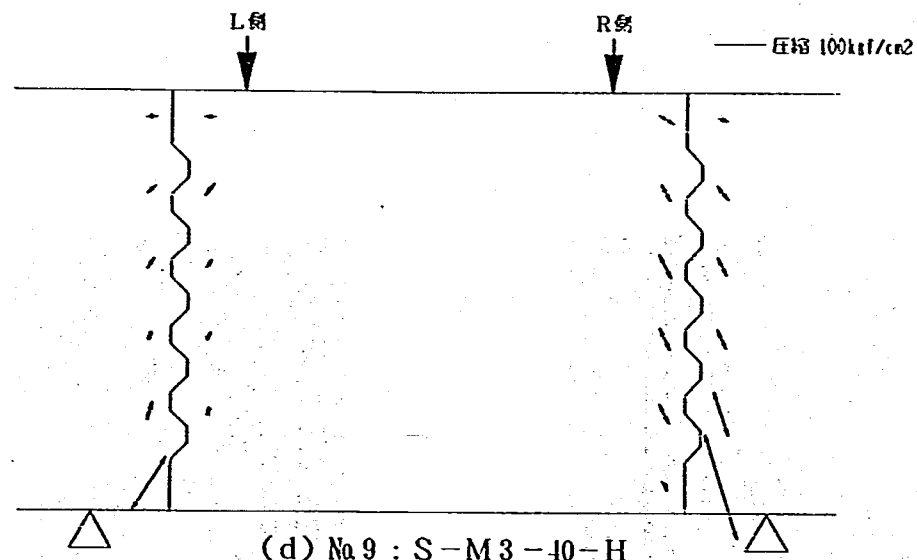
このように、力の流れは接着剤の状態によって2通りに大別できるが、ひびわれが発生して破壊に至るまでの過程も接着剤の状態で異なっている。代表的な小型供試体のひびわれ状況(A面側)を図-3.2.2に、主要荷重および破壊形態を表-3.2.1に示す。Hタイプの供試体は、曲げひびわれ発生後、供試体の下側からせん断ひびわれが発生する。荷重を増加すると、せん断ひびわれは上側に本数を増やしながら発達して破壊に至るが、せん断ひびわれはどの供試体においても継目部に添って発達すること無く、継目部を貫通するように発生している。ひびわれの方向を見ると、プレストレスが40, 20kgf/cm²の供試体は約60°~70°, プレストレス0kgf/cm²の供試体は約70°~75°の方向にひびわれが発生している。これに対してWタイプの供試体は、曲げひびわれは発生するがHタイプの供試体のように発達せず、荷重を増加すると継目部で断続的にずれながら下縁から開口し、接合キーにひびわれが発生して破壊に至る。

最終的な破壊形態として、Hタイプの供試体は、ほとんどがウェブコンクリートの圧縮破壊であるが、供試体によってせん断破壊または接合キーの破壊と思われるものがある。Wタイプの供試体は、明らかに接合キーで破壊している。



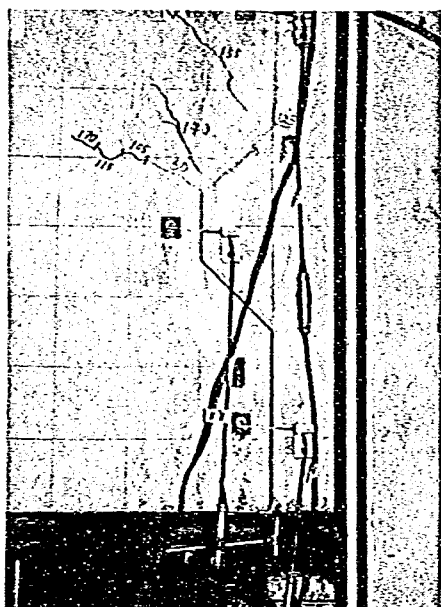
注) 荷重 $P=100\text{tf}$ のときの圧縮主応力を示す。ただし、矢印直角方法の引張および圧縮主応力は除く。

図-3.2.1 圧縮主応力図



注) 荷重 $P=100tf$ のときの圧縮主応力を示す。ただし、矢印直角方法の引張および圧縮主応力は除く。

図-3.2.1 圧縮主応力図

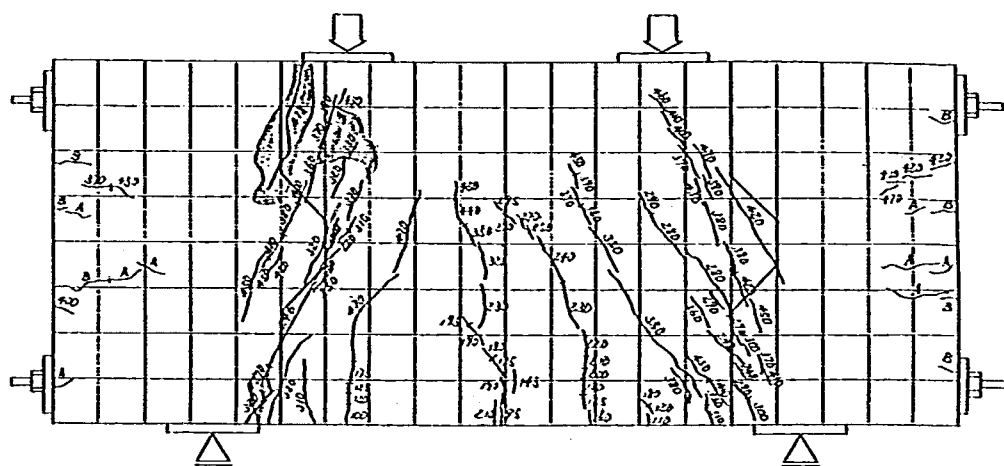


(a) №4 : S-C45N-20-W

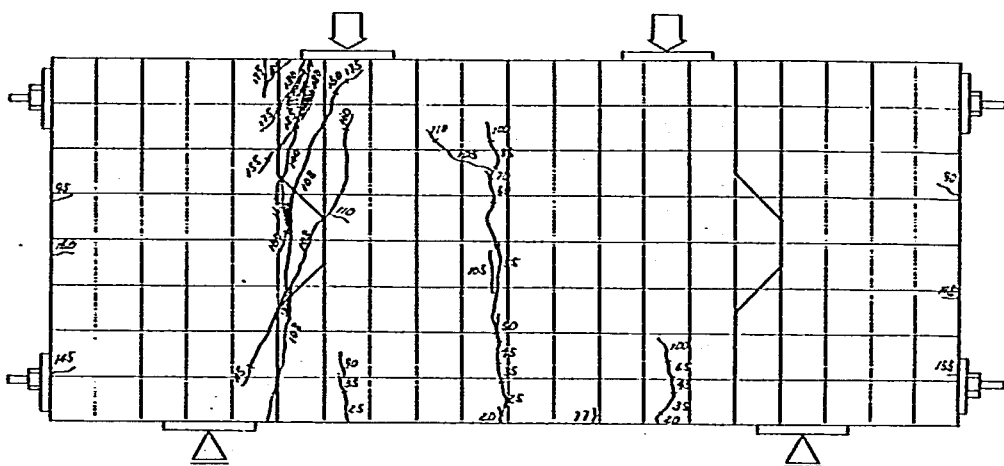


(b) №12 : S-M3-20-W

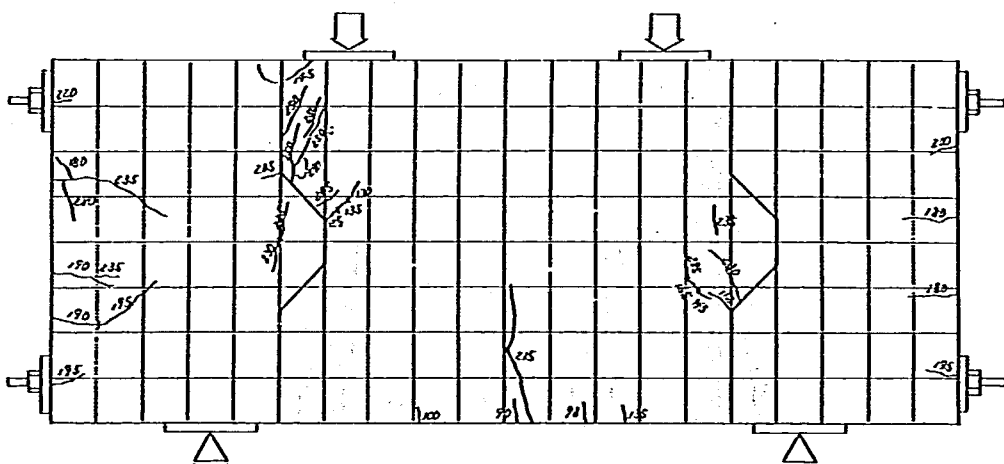
写真-3.2.1 Wタイプ供試体の継目部の状況



(a) No. 1 : S - C45N - 40 - H

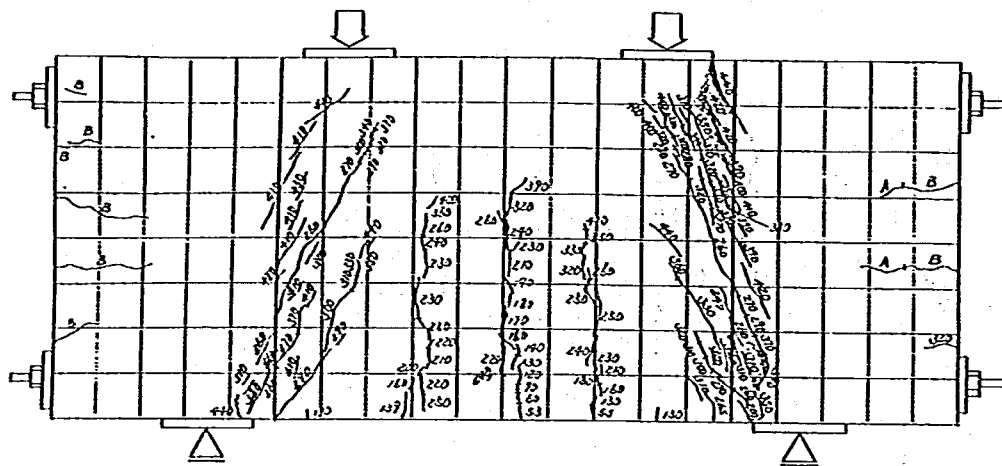


(b) No. 3 : S - C45N - 0 - H

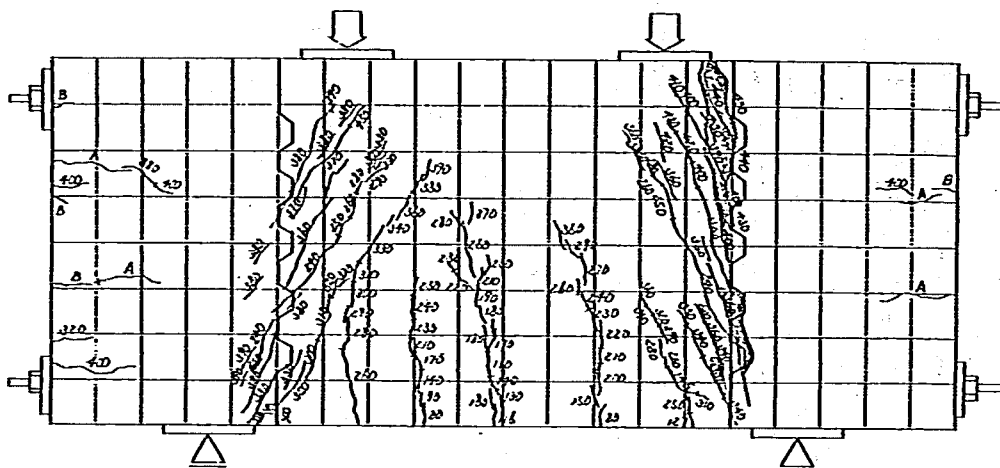


(c) No. 4 : S - C45N - 20 - W

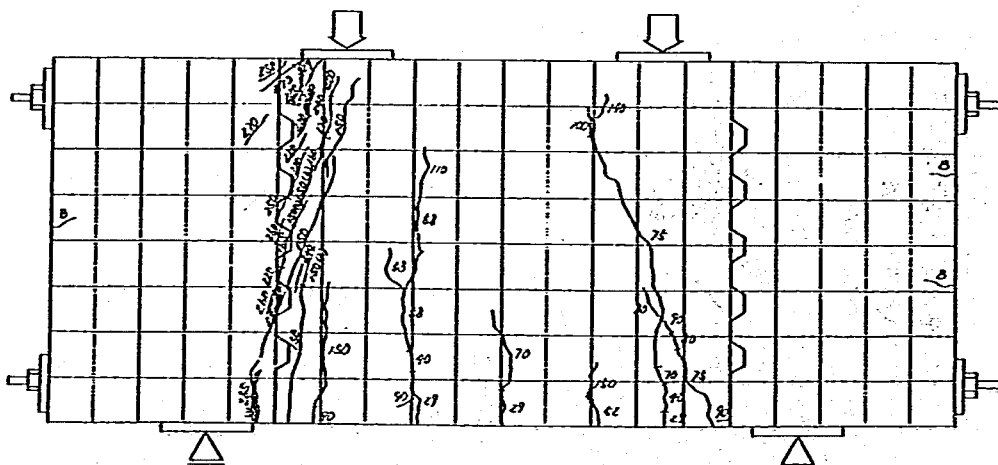
図-3.2.2 ひびわれ状況 (A面側)



(d) Na 8 : S-N-40-H

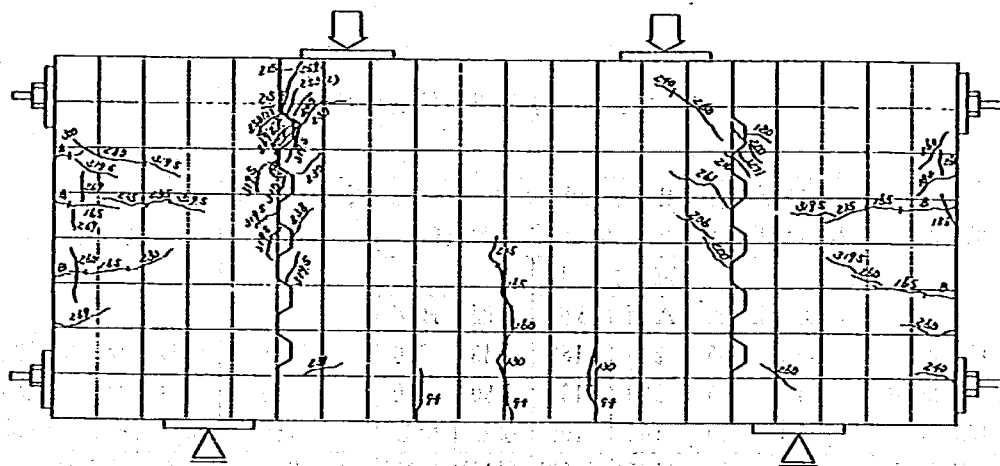


(e) Na 9 : S-M3-40-H

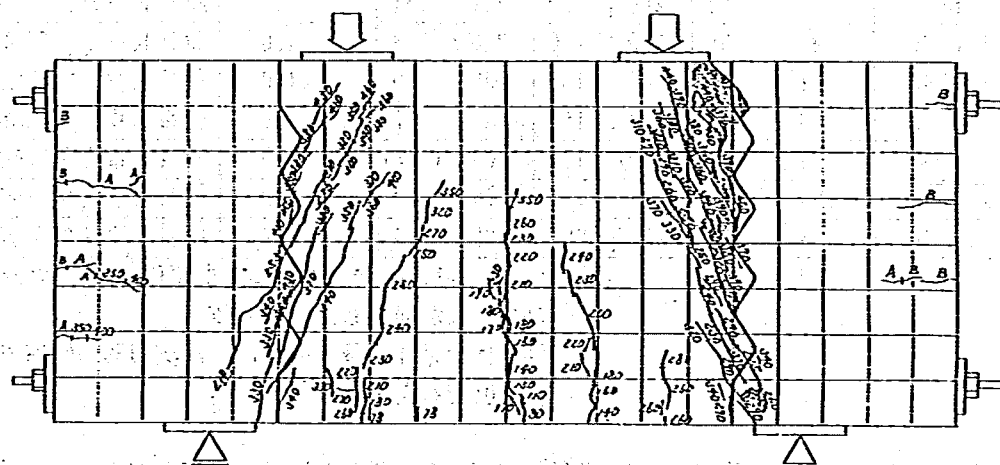


(f) Na 11 : S-M3-0-H

図-3.2.2 ひびわれ状況 (A面側)



(g) No12 : S-M3-20-W



(h) No14 : S-W-40-H

図-3.2.2 ひびわれ状況 (A面側)

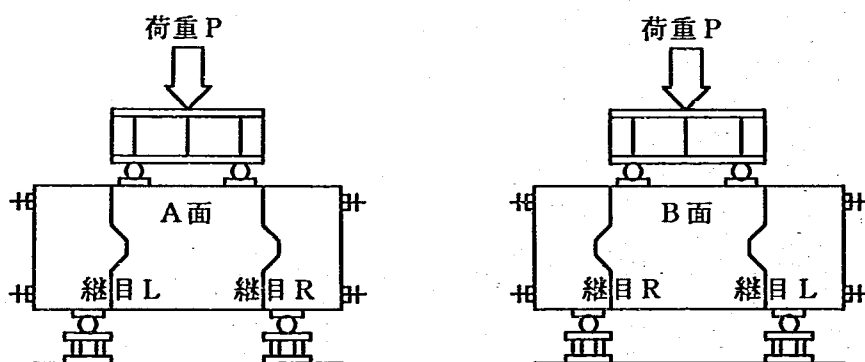
表-3.2.1 小型供試体実験結果

No	供 試 体 名	曲げひびわれ 発生荷重(tf)		せん断ひびわれ 発 生 荷 重(tf)				最大荷重 (tf)	破 壊 形 態
		A 面	B 面	継 目 L		継 目 R			
				A面	B面	A面	B面		
1	S-C45N-40-H	95	95	246	180	248	290	478	継目Lウェブ圧壊、せん断
2	S-C45N-20-H	93	65	220	190	260	250	339	継目Lウェブ圧壊
3	S-C45N- 0-H	20	20	108	100	なし	なし	180	継目L接合キー破壊
4	S-C45N-20-W	90	72	(125)	(60)	(112)	(70)	300で中止	継目L接合キー破壊
5	S-C45L-40-H	79	79	208	210	230	210	450	継目Rウェブ圧壊
6	S-C45 -40-H	85	100	265	260	204	179	440	継目Lウェブ圧壊
7	S-C60N-40-H	66	80	250	190	200	250	420	継目L接合キー破壊
8	S-N -40-H	53	53	260	220	247	261	440	継目Rウェブ圧壊
9	S-M3-40-H	80	95	240	210	220	248	450	継目Rウェブ圧壊
1 0	S-M3-20-H	77	90	185	185	290	290	410	継目Rウェブ圧壊
1 1	S-M3- 0-H	29	22	150	150	なし	137	286	継目Lウェブ圧壊、せん断
1 2	S-M3-20-W	94	94	(230)	(137)	(200)	(165)	320	継目L接合キー破壊
1 3	S-M5-40-H	105	105	248	164	270	270	420	継目Rウェブ圧壊
1 4	S-W -40-H	78	94	253	207	225	265	467	継目Rウェブ圧壊

注) () 内は、接着剤の状態が未硬化の供試体で接合キーにひびわれが発生したときの値。

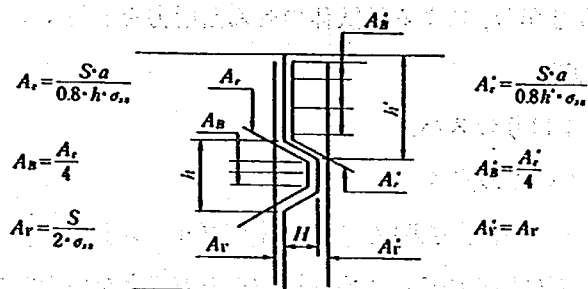
供試体番号4の最大荷重は、計測機器の関係で載荷荷重300tで載荷中止。

*: 荷重, 供試体面 (A面, B面) および継目種類 (継目L, 継目R) は、以下を表す。



せん断耐力の評価方法には、継目部を考慮した接合キーによるせん断耐力評価と継目部があっても一体化した部材とみなしてのせん断耐力評価がある。

現在、プレキャストブロックの継目部に対する設計は、現行道示の15.2.2「継目部の設計」を適用しており、そこでは接合キーによってせん断耐力の評価をしている。具体的には、接合キーは台形のみで、架設時と終局荷重作用時のせん断力に対して補強鉄筋量を算出する設計(図-3.2.3)になっており、多段や波形に関する規定は無い。



ただし、 A_c, A'_c ; 補強鉄筋の断面積 (cm^2)	σ_{ss} ; 鉄筋の許容応力度 (kgf/cm^2)
A_B, A'_B ; スターラップの断面積 (cm^2)	S ; 接合キーの設計荷重 (kgf)
A_v, A'_v ; 垂直方向補強鉄筋の断面積 (cm^2)	a ; 支点から荷重作用点 までの距離= $H/2$ (cm)

図-3.2.3 鉄筋コンクリート製接合キーの補強筋

現行道示によって求めたせん断耐力と実験から得られたせん断耐力を比較するため、まず補強鉄筋(Ae)に着目し、台形接合キーに実際に配置した補強鉄筋(Ae)によって図-3.2.3の式から逆算した設計せん断力(S1)と表-3.2.1の最大荷重から求めた実せん断力(S2)を表-3.2.2に、各供試体ごとの $S2/S1$ の値を図-3.2.4示す。 $S2/S1$ の値は全て1以上であり、実せん断力が設計値を下回った供試体は無いが、Hタイプの供試体で1.0~3.0程度、Wタイプの供試体で2.0程度となり、かなりバラついている。さらに、これらの関係を補強鉄筋量およびプレストレスに着目して、図-3.2.5に完全接着でプレストレス 40kgf/cm^2 であるが補強鉄筋量が異なる供試体(No.1:S-C45N-40-H, No.5:S-C45L-40-H, No.6:S-C45-40-H)の補強鉄筋量とせん断力の関係を、図-3.2.6に完全接着で補強鉄筋量は等しくプレストレス量の異なる供試体(No.1:S-C45N-40-H, No.2:S-C45N-20-H, No.3:S-C45N-0-H)のプレストレス量とせん断力の関係を示す。図-3.2.5より、補強鉄筋量(Ae)が増えると設計せん断力は比例的に増加するが、実せん断力は220tf程度でほぼ一定であることがわかる。また、図-3.2.6より、設計せん断力はプレストレスを考慮しないので、プレストレス量を増やしても設計せん断力は一定値であるが、実せん断力はほぼ比例的に増加していることがわかる。

継目部が完全接着の場合、せん断耐力に及ぼす補強鉄筋量(A_e)の影響は小さく、大きな設計せん断力に対

して多量の補強鉄筋(Ae)を配置してもせん断耐力の増加は望めない可能性がある。むしろ、プレストレスによってせん断耐力が増加しており、その有効性が理解される。

同様に垂直方向補強鉄筋(Av)に着目した、設計せん断力(S1)と実せん断力(S2)の関係を表-3.2.3に示す。垂直方向補強鉄筋(Av)は、載荷板の真下および支承板の真上に配置されたスターラップを除いたD16-2本としておりこれは供試体No.1~7で同一である。同表から求めたS2/S1の値は3.8~10.0程度になり、設計せん断力(S1)に対して配置される垂直方向補強鉄筋量(Av)は相当安全側の計算になり、必ずしも合理的な鉄筋量とは言えないと考えられる。

次に、今回の実験供試体には全て継目部があるので、一体化した部材と比較するためにコンクリート標準示方書 設計編(土木学会, 平成3年版)による供試体のせん断耐力を計算する。供試体形状より、

$$\ell/h=130/80=1.63$$

ここに、 ℓ : はりのスパン

h : はりの高さ

$\ell/h < 2.0$ なので、コンクリート標準示方書13.2.7「ディープビーム」の項を適用してせん断力に対する検討を行うが、この項ではせん断面に働く圧縮による摩擦力を考慮できないのでプレストレス 0 kgf/cm^2 の供試体(No.3:S-C45N-0-H, No.11:S-M3-0-H)と比較する。

コンクリート標準示方書の式を下記に示す。

せん断力に対する検討

せん断力に対する検討は、一般に終局限界状態について行えばよい、この場合、式(13.2.4)によって、設計せん断耐力 V_{dd} を求めてよい。

$$V_{dd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{cd} \cdot b_w / \gamma_b \quad (13.2.4)$$

ここに、

V_{dd} : ディープビームの設計せん断耐力

$$f_{cd} = 0.6 \sqrt{f_{cd}} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (13.2.5)$$

$\beta_p = \sqrt[3]{100/d}$ (d : cm) ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は1.5とする。

$\beta_p = \sqrt[3]{100p_w}$ ただし、 $\beta_p > 1.5$ となる場合は1.5とする。

$$\beta_a = \frac{5}{1 + (a_v/d)^2}$$

a_v : 荷重作用点から支承前面までの距離

d : 荷重作用点における有効高さ

p_w : 軸方向引張鉄筋断面積の腹部断面積に対する比率

f_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度(kgf/cm²)

b_w : 腹部の幅

γ_b : 一般に1.3としてよい。

これらに、実験データを代入すると、

$$f_{cd} = 0.6\sqrt{f_{cd}} = 0.6 \times \sqrt{480} = 13.2$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100/d} = \sqrt[3]{100/71} = 1.089$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_w} = \sqrt[3]{100 \times 0.0039} = 0.731$$

$$\text{ただし, } p_w = (4.155 \times 2) / (30 \times 71)$$

$$\text{PC鋼棒 } \phi 23 : 4.155 \text{ cm}^2$$

$$\beta_a = 5 / [1 + (a_v/d)] = 5 / [1 + (10/71)] = 4.903d$$

$$\gamma_b = 1.0$$

よって,

$$V_{cd} = (1.089 \times 0.731 \times 4.903 \times 13.2 \times 30 \times 71) / 1.0$$

$$= 109739 \text{ (kgf)}$$

$$P = V_{cd} \times 2 = 109739 \times 2 \approx 220 \text{ (tf)}$$

計算値 $P=220\text{tf}$ に対して表-3.2.1より, 台形接合キーでプレストレス 0 kgf/cm^2 の供試体(No.3:S-C45N-0-H)の最大荷重 180tf は 0.8 程度, 多段接合キーでプレストレス 0 kgf/cm^2 の供試体(No.11:S-M3-0-H)の最大荷重 286tf は 1.3 程度になり, 破壊形態に着目するとどちらも接合キー破壊型である。このことから, プレストレス 0 kgf/cm^2 で継目部がある場合のせん断耐力は, 上記のせん断耐力には合致せず, 接合キーの耐力によって決まると考えられる。なお, プレストレス $20, 40\text{ kgf/cm}^2$ の供試体では, いずれも計算値 $P=220\text{tf}$ を上回っている。

表-3.2.2 補強鉄筋 (A e) による設計せん断力と実せん断力 (台形接合キー)

接合キ	接着状況	供試体	実配筋量 A e (cm ²)	設計せん断力 S 1 (t)	実せん断力 S 2 (t)
凸部	完全接着	NO.1 S-C45N-40-H	2.865*2= 5.73	82.5	239.0
		NO.2 S-C45N-20-H			169.5
		NO.3 S-C45N- 0-H			90.0
		NO.5 S-C45L-40-H	2.865*4=11.46	165.0	225.0
		NO.6 S-C45 -40-H	0.00	0.0	220.0
		NO.7 S-C60N-40-H	2.865*2= 5.73	82.5	210.0
	未硬化	NO.4 S-C45N-20-W	2.865*2= 5.73	61.9	150.0で中止
凹部	完全接着	NO.1 S-C45N-40-H	2.865*2= 5.73	96.3	239.0
		NO.2 S-C45N-20-H			169.5
		NO.3 S-C45N- 0-H			90.0
		NO.5 S-C45L-40-H	2.865*4=11.46	192.5	225.0
		NO.6 S-C45 -40-H	0.00	0.0	220.0
		NO.7 S-C60N-40-H	2.865*2= 5.73	84.7	210.0
	未硬化	NO.4 S-C45N-20-W	2.865*2= 5.73	72.2	150.0で中止

ただし、 $S 1 = A e \cdot (0.8 \cdot h \cdot \sigma_{sa}) / a$

σ_{sa} : 3000kg/cm² --- H Δ 17° (終局荷重時)

2250kg/cm² --- W Δ 17° (架設時)

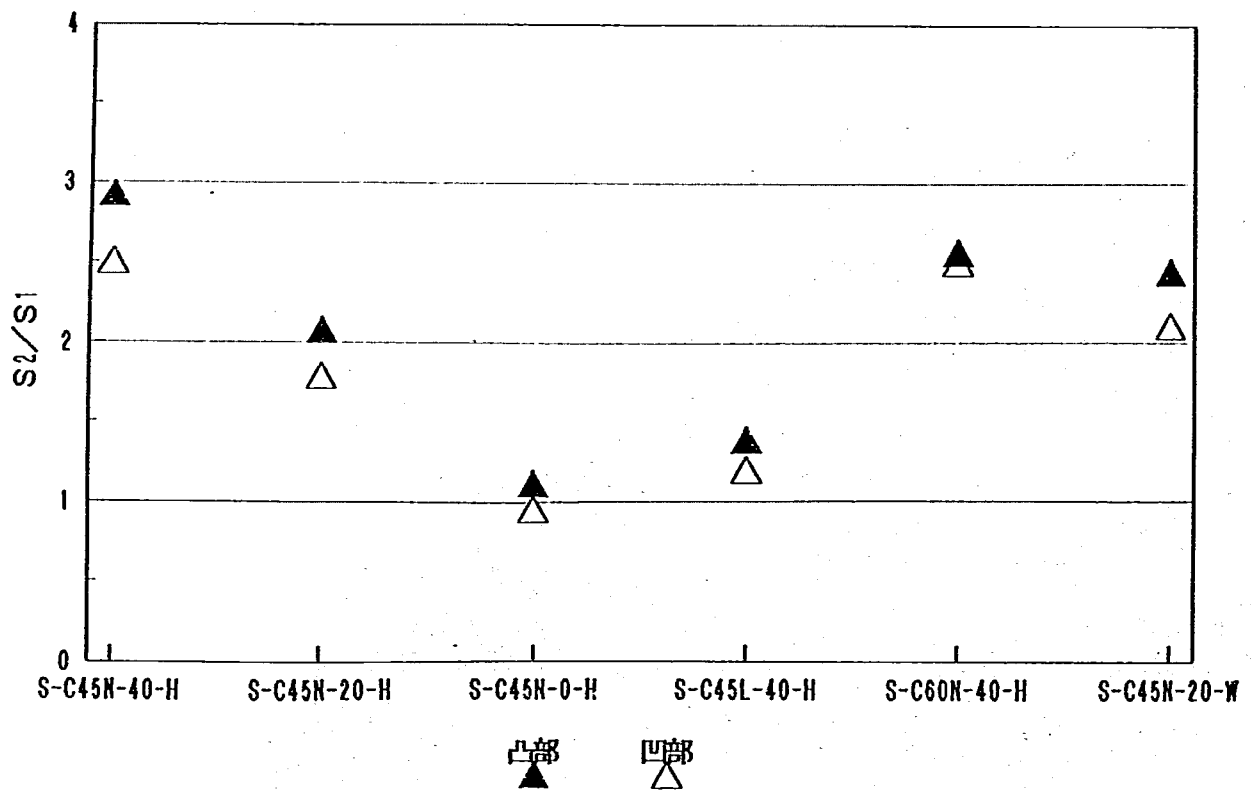


図-3.2.4 台形接合キー供試体のS 2 / S 1 の関係 (補強鉄筋A eが有る場合)

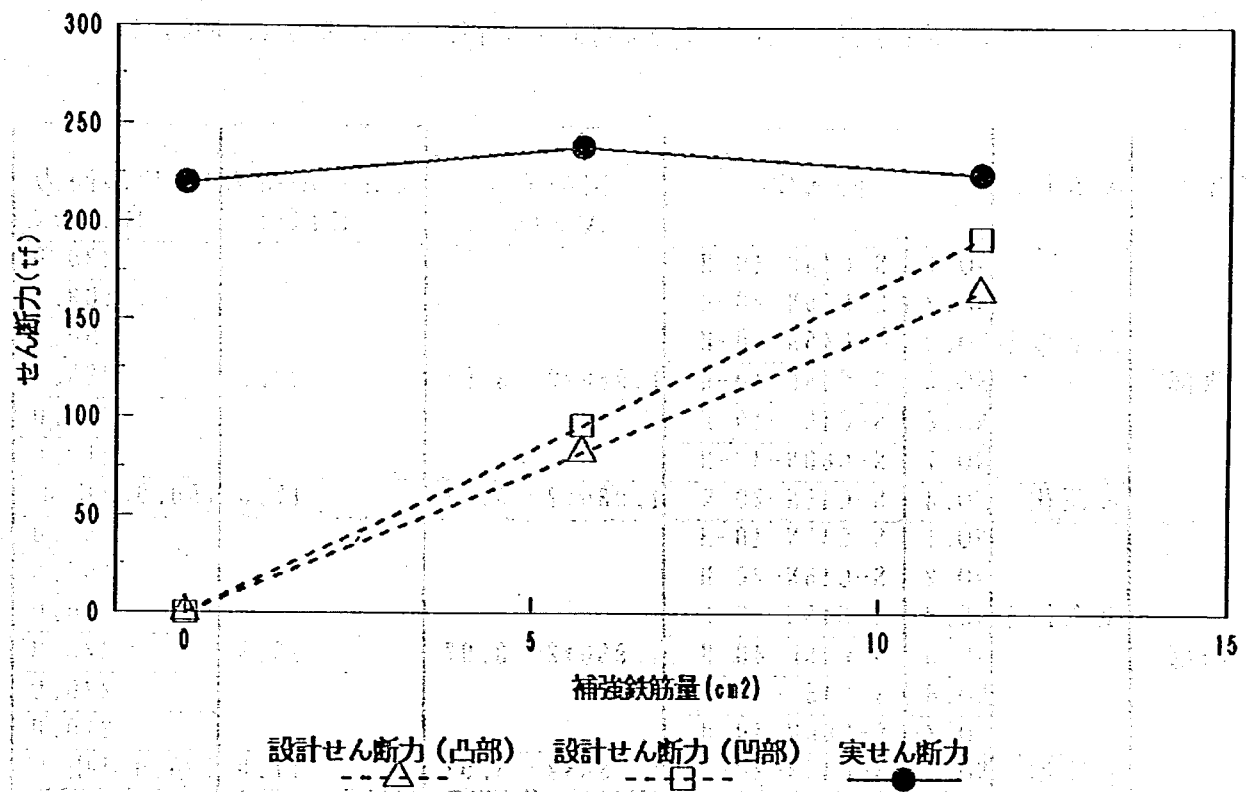


図-3.2.5 補強鉄筋量 (A_e) とせん断力の関係 (台形接合キー, 完全接着, プレストレス 40kgf/cm²)

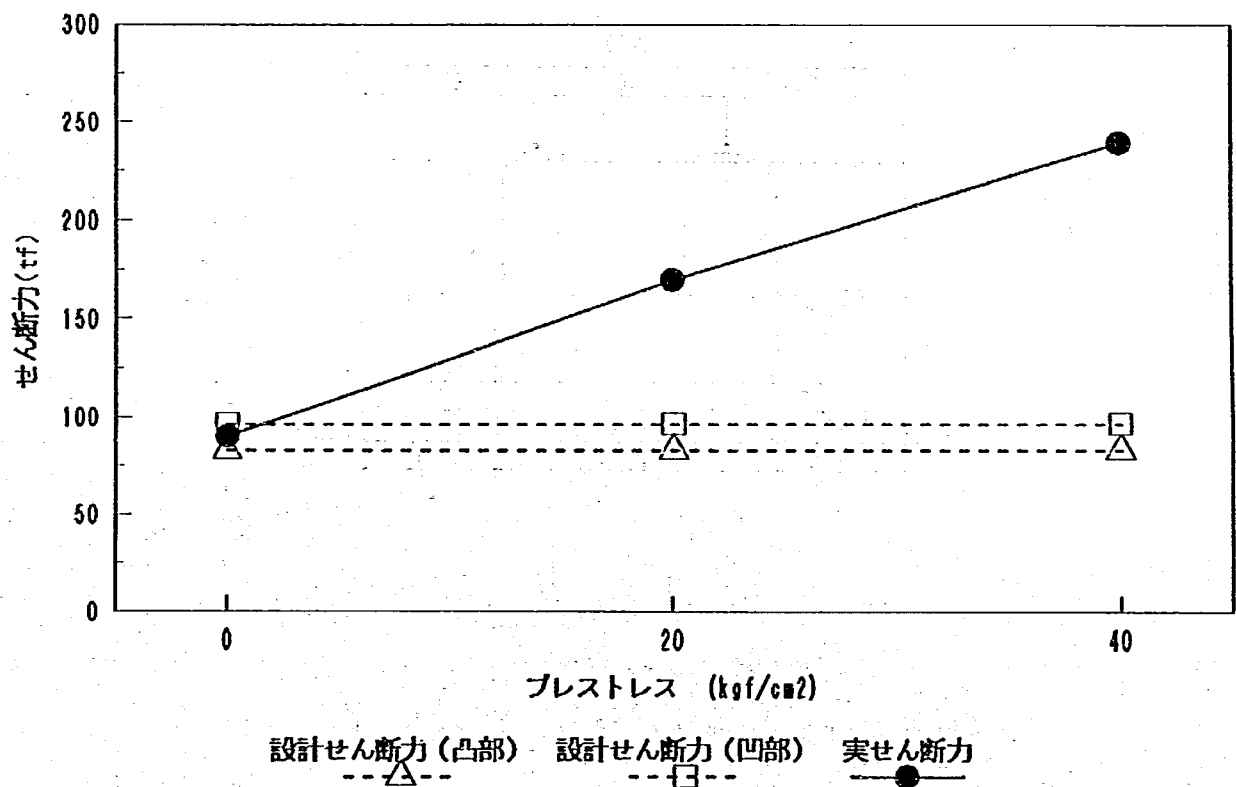


図-3.2.6 プレストレス量とせん断力の関係 (台形接合キー, 完全接着, 補強鉄筋量同一)

表-3.2.3 垂直方向補強鉄筋 (A_v) による設計せん断力と実せん断力 (台形接合キー)

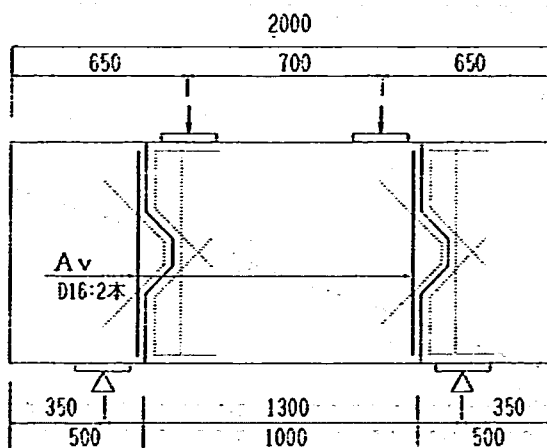
接合キ	接着状況	供試体		実配筋量 A_v (cm ²)	設計せん断力 S_1 (t)	実せん断力 S_2 (t)
凸部	完全接着	NO.1	S-C45N-40-H	1.986*2= 3.97	23.8	239.0
		NO.2	S-C45N-20-H			169.5
		NO.3	S-C45N- 0-H			90.0
		NO.5	S-C45L-40-H			225.0
		NO.6	S-C45 -40-H			220.0
		NO.7	S-C60N-40-H			210.0
	未硬化	NO.4	S-C45N-20-W	1.986*2= 3.97	17.9	150.0で中止
凹部	完全接着	NO.1	S-C45N-40-H	1.986*2= 3.97	23.8	239.0
		NO.2	S-C45N-20-H			169.5
		NO.3	S-C45N- 0-H			90.0
		NO.5	S-C45L-40-H			225.0
		NO.6	S-C45 -40-H			220.0
		NO.7	S-C60N-40-H			210.0
	未硬化	NO.4	S-C45N-20-W	1.986*2= 3.97	17.9	150.0で中止

注1) $S_1 = A_v \cdot 2 \cdot \sigma_{sa}$

σ_{sa} : 3000kg/cm² --- H γ 47° (終局荷重時)

2250kg/cm² --- W γ 47° (架設時)

2) A_v は下記の鉄筋とする。



3.2.3 プレストレスの影響

本実験では検討断面がせん断スパン30cmの中央にあるため、荷重の増加に伴うせん断力の他に曲げモーメントの影響を受ける。プレストレスの効果を摩擦係数として評価する場合、検討断面に垂直に作用する力が重要であるので、曲げモーメントによって検討断面の圧縮力がどのように影響を受けるか把握しておく必要がある。

図-3.2.7に接合キーの無い供試体(No.8:S-N-40-H)の、三軸ひずみゲージによるコンクリート断面の水平ひずみ分布を示す。プレストレスは部材断面の上縁、下縁から各々9cmの位置に配置されたPC鋼棒(ϕ 23:上部2本、下部2本)により導入したが、検討断面の位置が定着部と近いので導入力が等分布にならず、プレストレス導入直後($P=0$ tf)に上縁、下縁に 200μ 程度、中央部に 100μ 程度の圧縮ひずみが発生している。荷重を($P=100, 200, 250$ tf)増加させると、曲げモーメントの影響で上縁の圧縮ひずみは増加するが、中央部は徐々に減少して引張ひずみが生じる、下縁でも圧縮ひずみは減少しているが引張ひずみの発生には至っていない。これは、曲げモーメントによる部材下縁の引張力に下部に配置したPC鋼棒が抵抗しているため、図-3.2.8に示すように下部に配置したPC鋼棒の緊張力は、載荷荷重の増加に伴って増加している。図-3.2.7のひずみ分布および、材料試験での平均弾性係数から算出した合計圧縮力を断面積($A=30\times 80=2400\text{cm}^2$)で除した平均圧縮応力度と載荷荷重の関係を図-3.2.9に示す。プレストレスによる圧縮力が 40kgf/cm^2 になる様にPC鋼棒の緊張作業を行ったが、プレストレス導入直後($P=0$ tf)で 37.9kgf/cm^2 となっている。この値は、載荷荷重を増加させると徐々に小さくなって $P=200$ tfでは 34.8kgf/cm^2 となり、 $P=0$ tfの値に対して0.92の割合になるが $P=250$ tfでは 37.8kgf/cm^2 となりプレストレス導入直後($P=0$ tf)の値とほぼ同じになる。

同様に、供試体(No.5:S-C45L-40-H, No.6:S-C45-40-H, No.9:S-M3-40-H)の各々の平均圧縮応力度を算出して、プレストレス導入直後($P=0$ tf)の平均圧縮応力度に対する割合を図-3.2.10に示す。

これらの結果から、載荷荷重の増加に伴いコンクリートの全圧縮力は若干減少する傾向にあるが、プレストレスによる効果を摩擦係数として評価する場合、導入時のプレストレス力と載荷荷重とで算出しておけば安全側になると思われる。

表-3.2.4で継目部に任意の相対ずれが生じたときのせん断力(L側, R側のロードセルの値)とそれを全断面積($A=30\times 80=2400\text{cm}^2$)で除した平均せん断応力度を各供試体ごとに示す。なお、ずれ量はカンチレバー型変位計の値をL側(6個), R側(6個)でそれぞれ平均した値とする。この表をもとにプレストレス量だけを変化させた台形接合キー供試体(No.1:S-C45N-40-H, No.2:S-C45N-20-H, No.3:S-C45N-0-H)の、平均せん断応力度(L側とR側で小さい方の値)とプレストレス量($0, 20, 40\text{kgf/cm}^2$)の関係を図-3.2.11に示す。同様に、図-3.2.12には多段接合キー供試体(No.9:S-M3-40-H, No.10:S-M3-20-H, No.11:S-M3-0-H)の場合を示す。図中ではプロット点を直線で回帰しているが、この直線の傾きがいわゆる摩擦係数に相当する値であり、切片は接合キーと接着剤によるせん断耐力を示している。台形接合キーの摩擦係数は、0.3mmのずれまで約1.0で破壊時は約1.4になる、切片は0.05, 0.1mmずれのときは 23kgf/cm^2 , 0.3mmずれのときは 33kgf/cm^2 で破壊時は 39kgf/cm^2 になる。また、多段接合キーの摩擦係数は、0.1mmずれのときは約0.8で0.3mmずれのときは約1.0、そして破壊時には約0.9になり、切片は0.1mmずれのときは 29kgf/cm^2 ,

0.3mmずれのときは33kgf/cm²で破壊時は60kgf/cm²になる。

ここで、多段接合キーは台形接合キーの様な補強鉄筋を配置できないので、実際に設計するときには接合キーの配置面積が重要になると思われる。そこで、せん断力を多段接合キーの配置面積($A=30 \times 57=1710\text{cm}^2$)で除した平均せん断応力度とプレストレス量の関係を図-3.2.13に示す。これより、多段接合キーの摩擦係数は、0.1mmずれのときは約1.2で0.3mmずれのときは約1.5、そして破壊時には約1.3になり、切片は0.1mmずれのときは40kgf/cm²、0.3mmずれのときは47kgf/cm²で破壊時は85kgf/cm²になった。

これらの実験結果から、継目部にプレストレスを導入することによってせん断耐力は大きくなることが理解でき、プレストレスの効果を全断面積での摩擦係数(傾き)で比較すると、台形接合キーでは0.93~1.44、多段接合キーでは0.82~1.04になった。また、接合キーと接着剤によるせん断耐力(切片)は台形接合キーが22.6~38.6kgf/cm²、多段接合キーが28.6~60.3kgf/cm²になった。

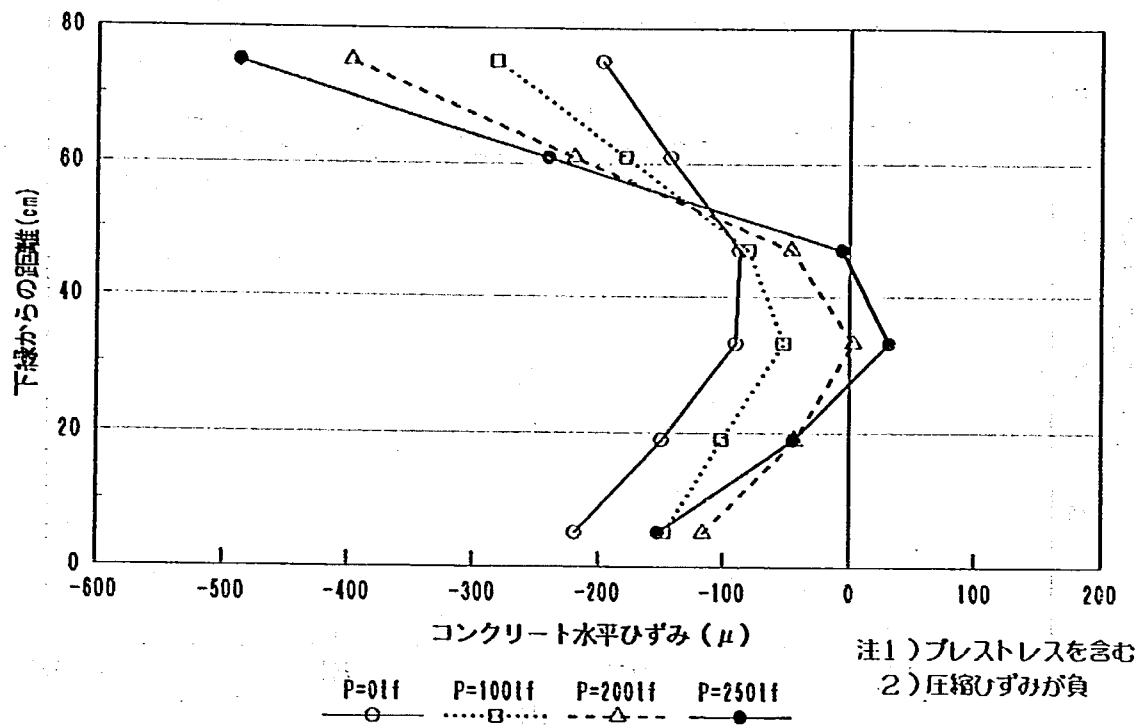


図-3.2.7 コンクリート断面の水平ひずみ分布 (供試体No.8 : S-N-40-H)

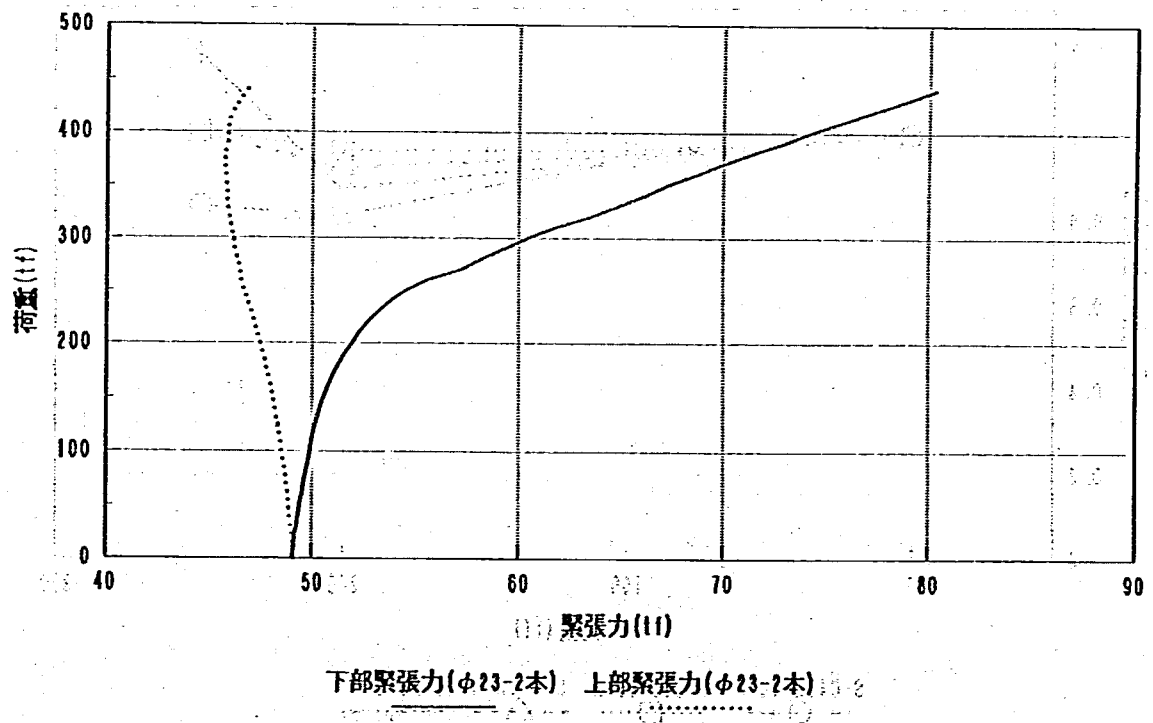


図-3.2.8 荷重とPC鋼棒の緊張力の関係 (供試体No.8 : S-N-40-H)

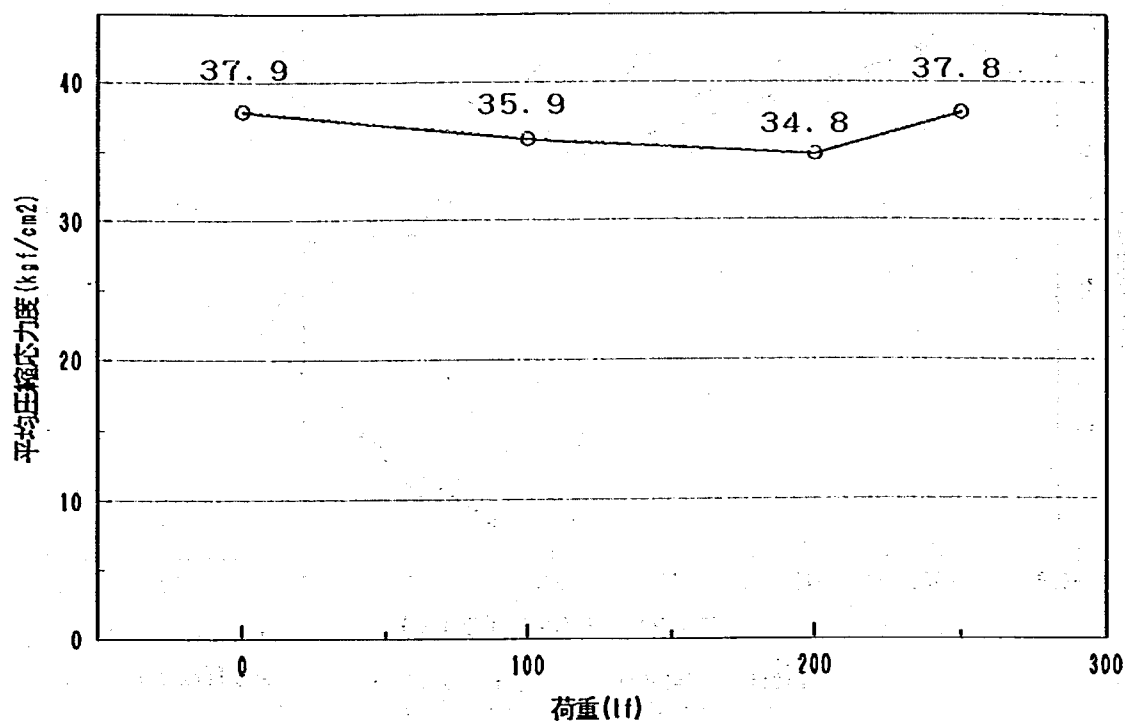


図-3.2.9 荷重と平均圧縮応力度の関係 (供試体No.8 : S-N-40-H)

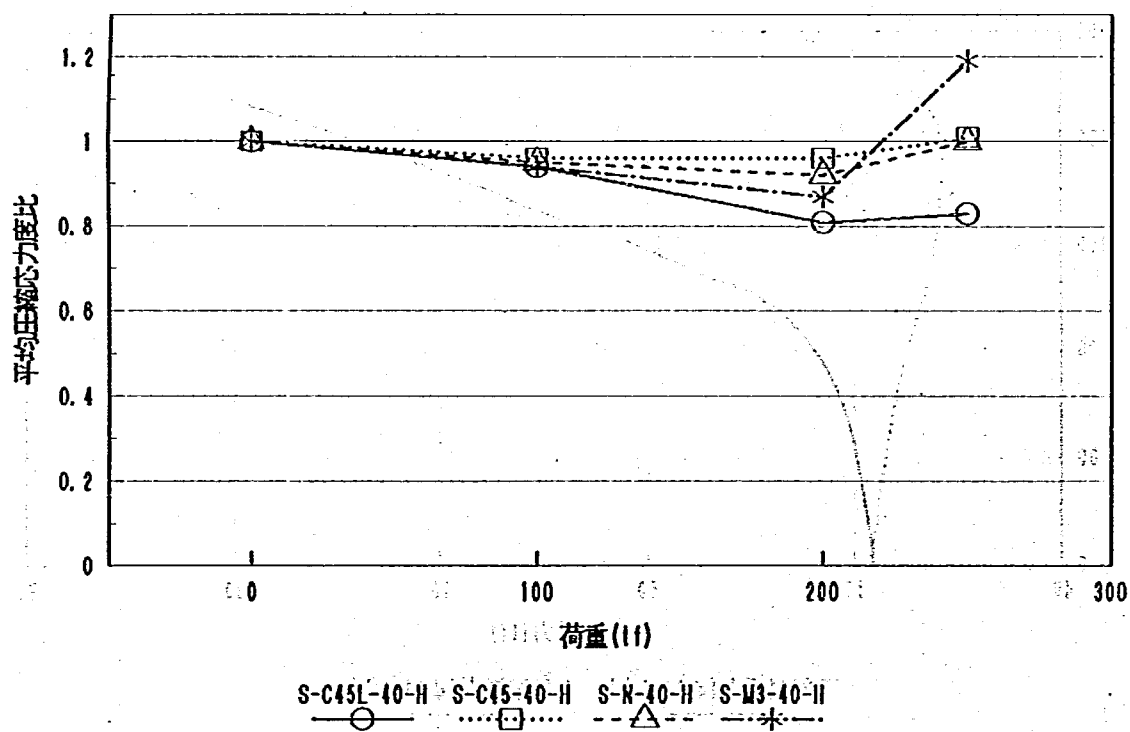


図-3.2.10 荷重と平均圧縮応力度比の関係

表-3.2.4 ずれ量と荷重によるせん断応力度

供試体		継目部	0.05mmずれ発生		0.10mmずれ発生		0.30mmずれ発生		破壊時	
			せん断力 S (tf)	せん断応力度 σ_s (kgf/cm ²)	せん断力 S (tf)	せん断応力度 σ_s (kgf/cm ²)	せん断力 S (tf)	せん断応力度 σ_s (kgf/cm ²)	せん断力 S (tf)	せん断応力度 σ_s (kgf/cm ²)
NO.1	S-C45N-40-H	L側	136.9	57.0	141.9	59.1	189.1	78.8	228.0	95.0
		R側	139.1	58.0	211.0	87.9	なし	---	---	---
NO.2	S-C45N-20-H	L側	急変	---	急変	---	111.3	46.4	167.0	69.6
		R側	124.8	52.0	150.4	62.7	なし	---	---	---
NO.3	S-C45N-0-H	L側	47.9	20.0	50.3	21.0	89.6	37.3	90.0	37.5
		R側	なし	---	なし	0.0	なし	---	---	---
NO.4	S-C45N-20-W	L側	39.9	16.6	50.2	20.9	73.0	30.4	300tで中止	---
		R側	28.0	11.7	39.9	16.6	76.9	32.0	---	---
NO.5	S-C45L-40-H	L側	114.5	47.7	123.8	51.6	162.5	67.7	---	---
		R側	117.1	48.8	158.5	66.0	なし	---	231.0	96.3
NO.6	S-C45-40-H	L側	急変	---	急変	---	160.5	66.9	214.0	89.2
		R側	124.8	52.0	137.4	57.3	198.9	82.9	---	---
NO.7	S-C60N-40-H	L側	132.5	55.2	142.2	59.3	151.2	63.0	203.4	84.8
		R側	102.1	42.5	163.8	68.3	なし	---	---	---
NO.8	S-N-40-H	L側	149.6	62.3	169.0	70.4	193.2	80.5	---	---
		R側	125.1	52.1	135.3	56.4	190.5	79.4	219.0	91.3
NO.9	S-M3-40-H	L側	173.1	72.1	183.0	76.3	187.7	78.2	---	---
		R側	129.6	54.0	153.8	64.1	199.0	82.9	224.0	93.3
NO.10	S-M3-20-H	L側	急変	---	94.8	39.5	113.7	47.4	---	---
		R側	127.1	53.0	153.0	63.8	急変	---	208.0	86.7
NO.11	S-M3-0-H	L側	急変	---	75.0	31.3	88.4	36.8	135.0	56.3
		R側	なし	---	なし	---	なし	---	---	---
NO.12	S-M3-20-W	L側	41.0	17.1	51.0	21.3	60.9	25.4	151.4	63.1
		R側	40.0	16.7	50.0	20.8	65.2	27.2	---	---
NO.13	S-M5-40-H	L側	106.4	44.3	120.8	50.3	149.2	62.2	---	---
		R側	136.0	56.7	183.3	76.4	215.3	89.7	215.3	89.7
NO.14	S-W-40-H	L側	162.0	67.5	166.6	69.4	185.2	77.2	---	---
		R側	148.7	62.0	153.4	63.9	214.8	89.5	235.0	97.9

注1) 破壊時は破壊側の継ぎ目部の値を示す。

2) $\sigma_s = S / A$

ただし、 $A = 30 \times 80 = 2400 \text{ cm}^2$ (全断面)

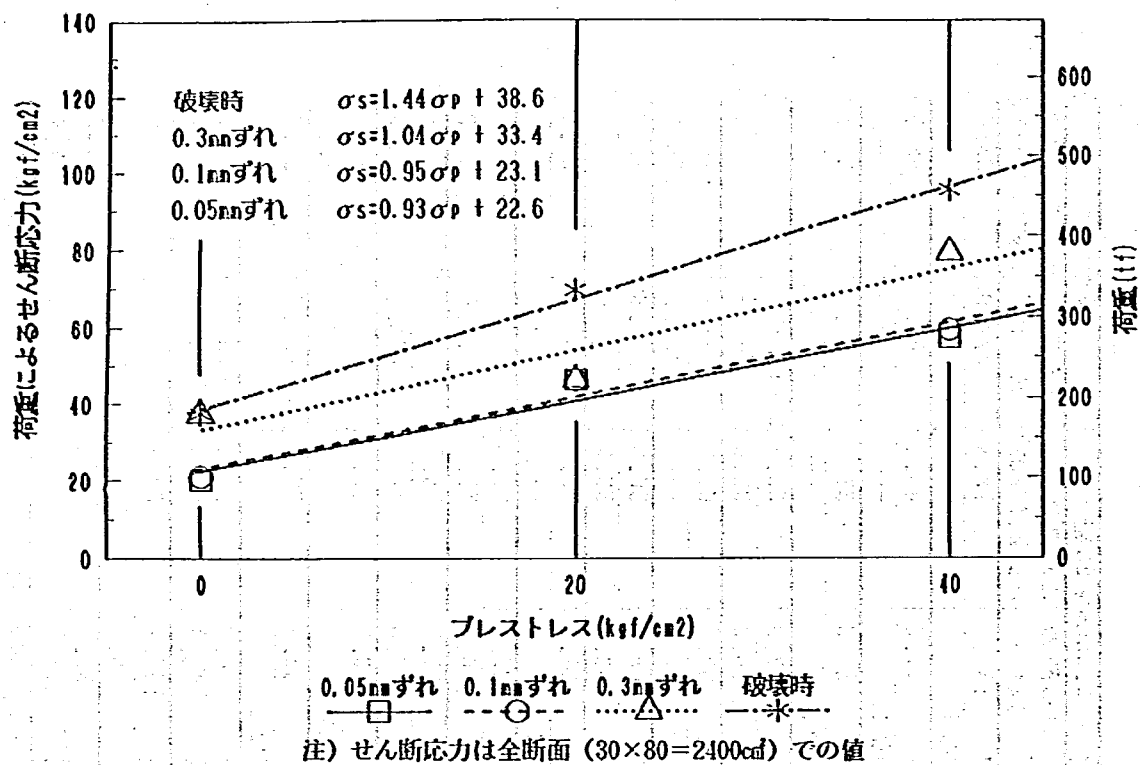


図-3.2.11 プレストレス量と荷重によるせん断応力の関係 (台形接合キー)

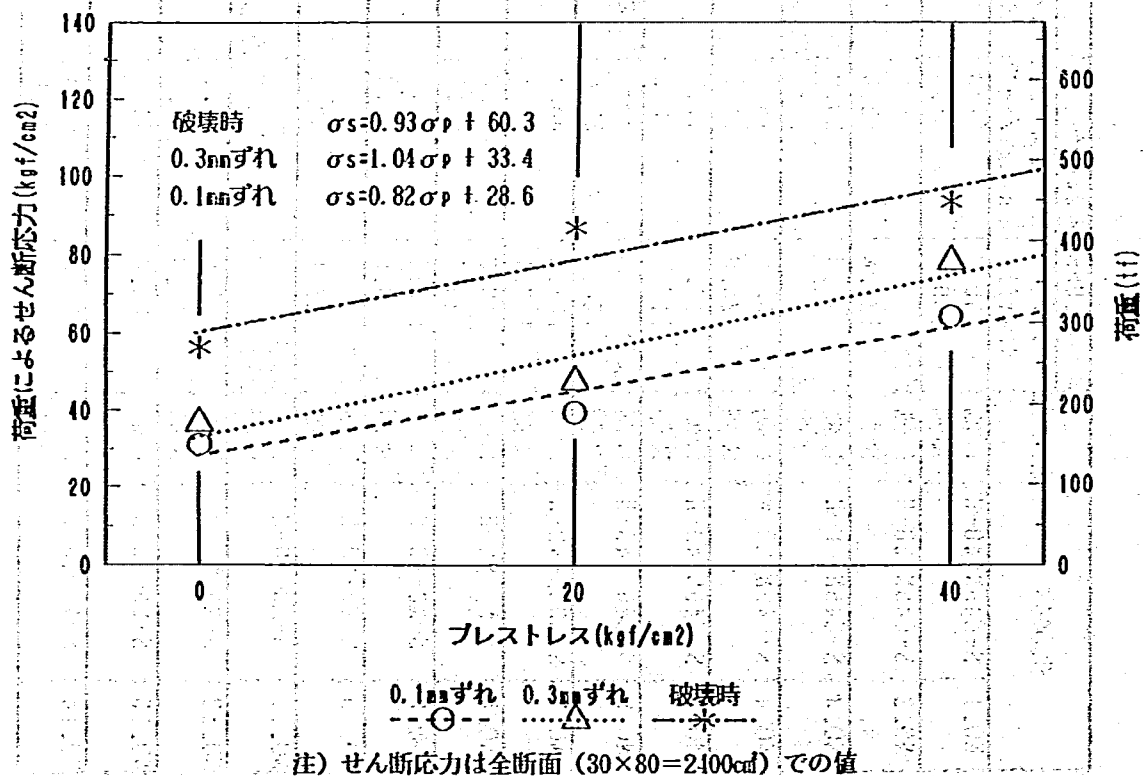
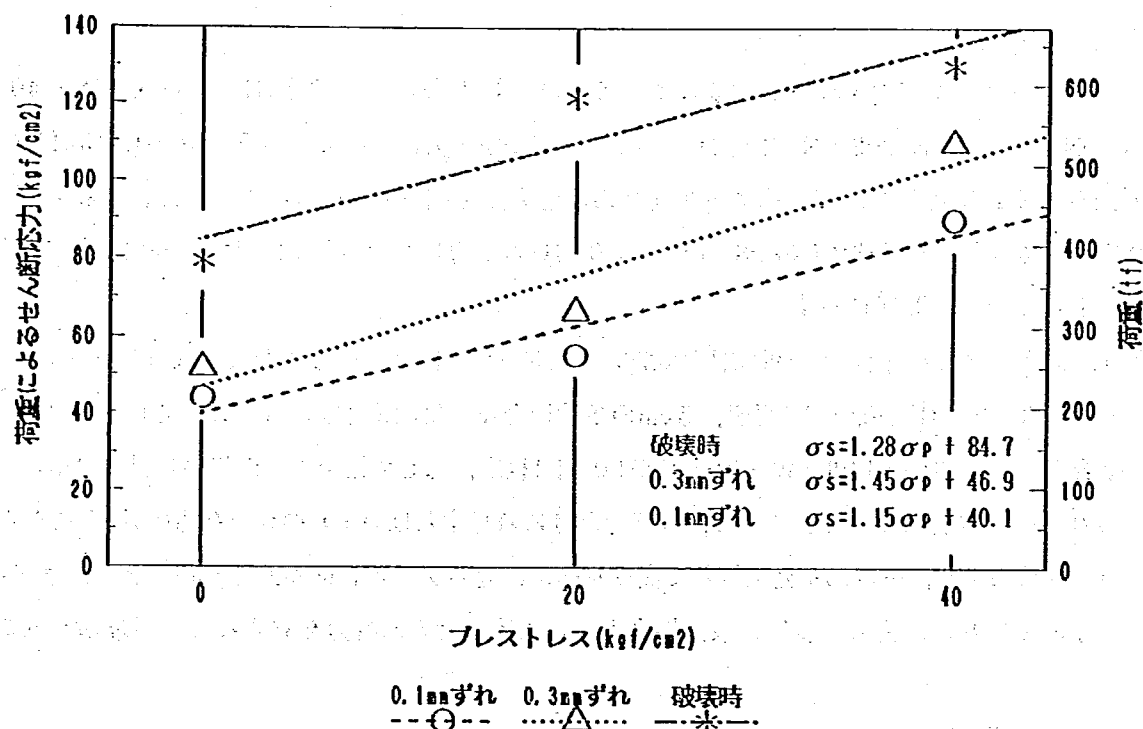


図-3.2.12 プレストレス量と荷重によるせん断応力の関係 (多段接合キー)



注) せん断応力は接合キー断面 (30×57=1710cm²) での値

図-3.2.13 プレストレス量と荷重によるせん断応力の関係 (多段接合キー)

3.2.4 接合キーの影響

完全接着でプレストレス40kgf/cm²、接合キーの形状だけが異なる供試体(No.1:S-C45N-40-H, No.7:S-C60N-40-H, No.8:S-N-40-H, No.9:S-M3-40-H, No.13:S-M5-40-H, No.14:S-W-40-H)の任意のずれに対して、荷重による平均せん断応力度を図-3.2.14に示す。また、現在我が国で使用実績の多い台形接合キー供試体(No.1:S-C45N-40-H)の平均せん断応力度に対する各供試体の平均せん断応力度の割合を図-3.2.15に示す。

同割合は、角度60°の台形接合キー供試体(No.7:S-C60N-40-H)が0.7~1.0程度、3cmの多段接合キー供試体(No.9:S-M3-40-H)が0.9~1.1程度、5cmの多段接合キー供試体(No.13:S-M5-40-H)が0.8~1.0程度、波形接合キー供試体(No.14:S-W-40-H)が1.0~1.1程度、そして接合キーの無い供試体(No.8:S-N-40-H)でも0.8~1.0程度になった。ここで、破壊時だけに着目すればいずれの供試体も0.9以上になる。

これらの実験結果より、継目部が完全接着で実橋レベルに近いプレストレス40kgf/cm²のとき、適当な接合キーの形状寸法であれば、台形、多段、波形接合キーは同等のせん断耐力を有することが理解される。

3.2.5 接着状態の影響

接着剤の状態は、供用時のように完全硬化している状態(Hタイプ)と架設時を想定した未硬化の状態(Wタイプ)とがあり、これらの力の流れ、ひびわれ発生状況および破壊形態の違いは既に3.2.1で述べた通りである。

図-3.2.16にプレストレス20kgf/cm²で接着剤の状態が異なる供試体(No.2:S-C45N-20-H, No.4:S-C45N-20-W, No.10:S-M3-20-H, No.12:S-M3-20-W)の最大荷重を示す。ただし、最大荷重は表-3.2.1の値であり、Wタイプの台形接合キーだけは計測装置の関係で、荷重300tfのとき載荷を中止している。図中には参考値として、P=50tf(架設時想定荷重)、P=60tf(Wタイプの台形接合キーにひびわれが発生した荷重)、P=137tf(Wタイプの多段接合キーにひびわれが発生した荷重)、そしてP=226tf(現行道示において終局荷重作用時の平均せん断応力度が最大値に達する荷重)を示している。なお、架設時と終局時の値に関しては以下のように仮定した。

我が国のプレキャストブロック工法において、1ブロック当たりの重量は施工実績や架設機的能力および運搬等を考慮すると平均で50tfぐらいである。ここで、2ウェブの箱形断面で1ウェブに台形接合キーを1個配置したとき、架設時の接合キーには1個当たり25tfが作用することになり、実験での荷重としては $P=25 \times 2 = 50\text{tf}$ がこれに相当する。また、現行道示の2.3.1には終局荷重作用時の平均せん断応力度の最大値が規定しており($\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$ のときの最大値は 53kgf/cm^2) 小型供試体では荷重が $P=53 \times (71 \times 30) \times 2 / 1000 = 226\text{tf}$ になったときにこの最大値に達する。

図-3.2.16において、Wタイプの供試体は架設時想定荷重を越えてから接合キーにひびわれが発生するが、以後も荷重は増加し続けており、最終的にはどの供試体も終局時より大きな荷重に達した。終局荷重に対する最大荷重の割合は、台形接合キーのHタイプが1.5倍、Wタイプは載荷を中止しているので1.3倍以上、多段接合キーのHタイプが1.8倍、Wタイプは1.4倍になった。

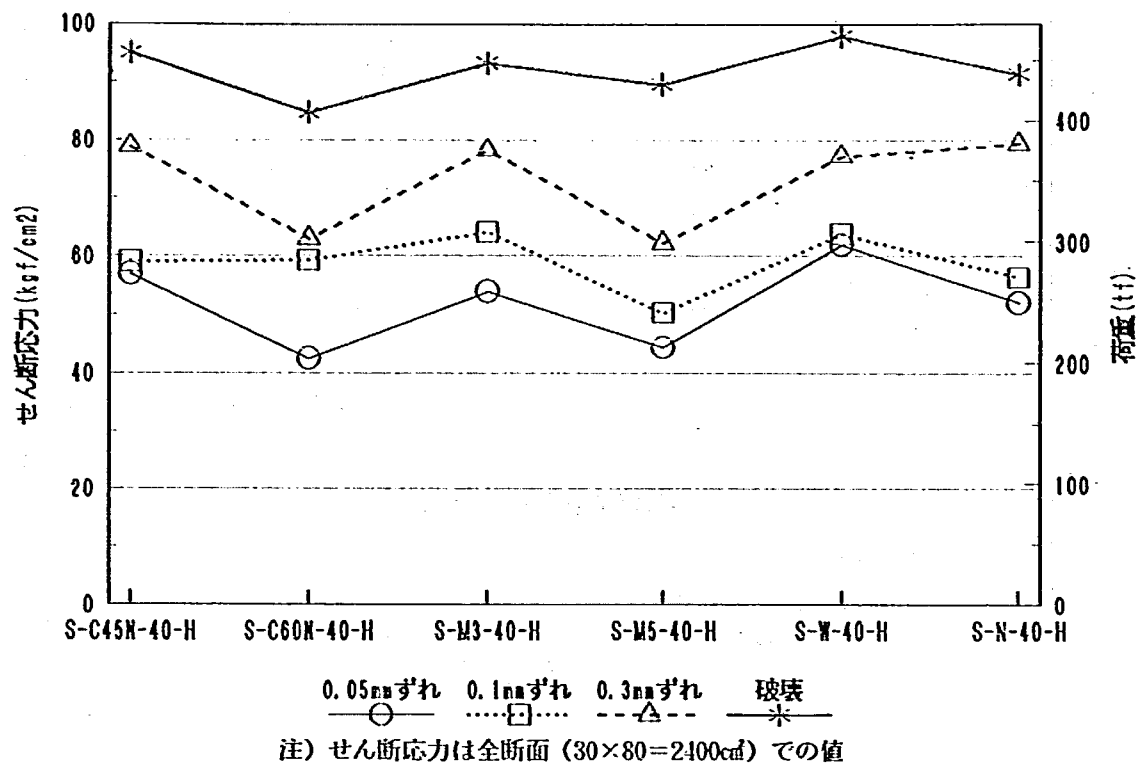


図-3.2.14 任意のずれに対する荷重の平均せん断応力度

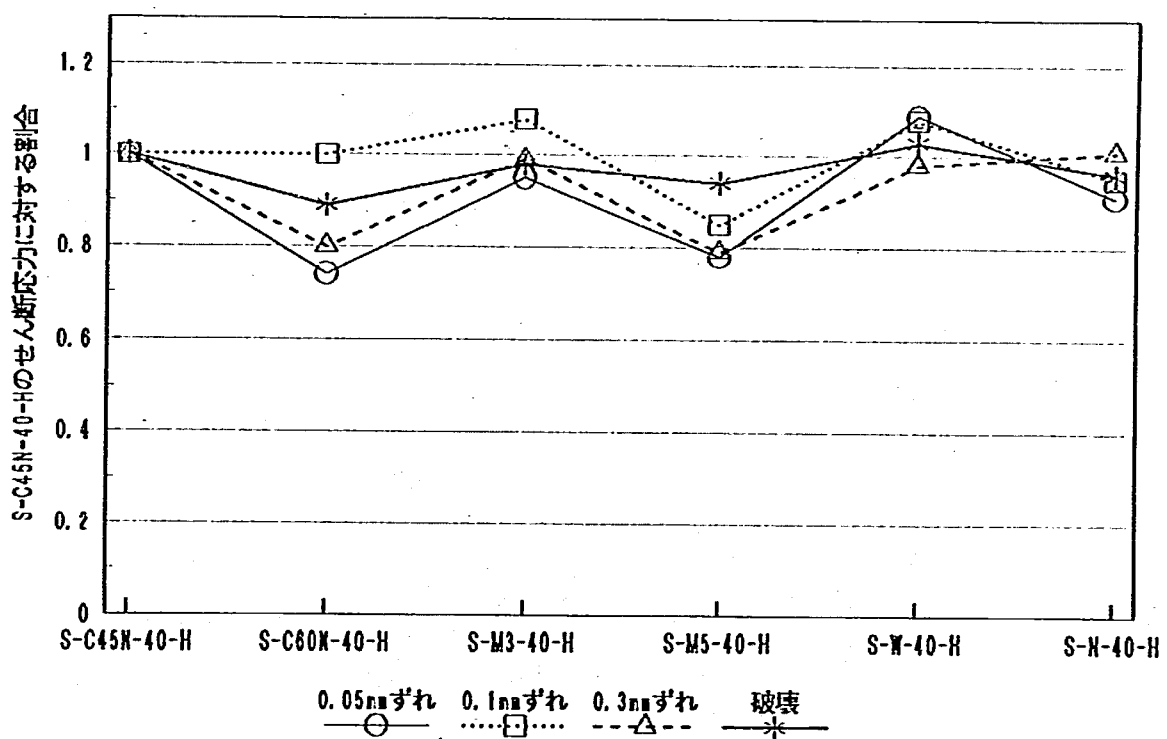


図-3.2.15 S-C45N-40-Hのせん断応力に対する割合

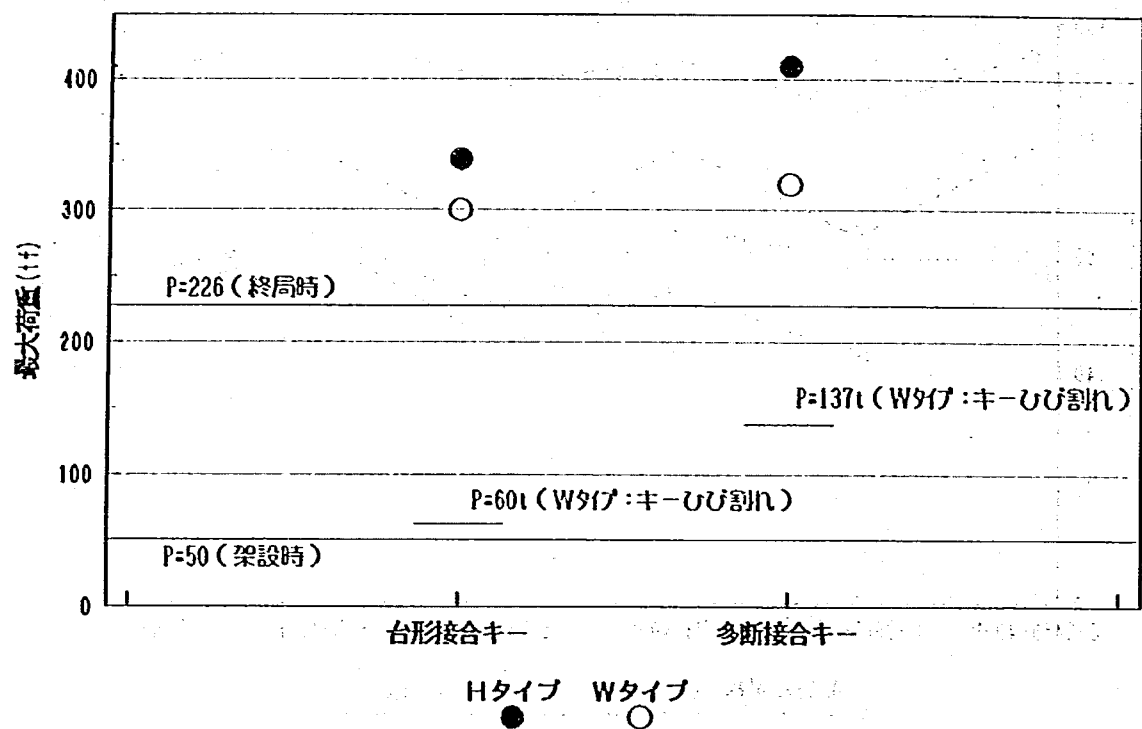
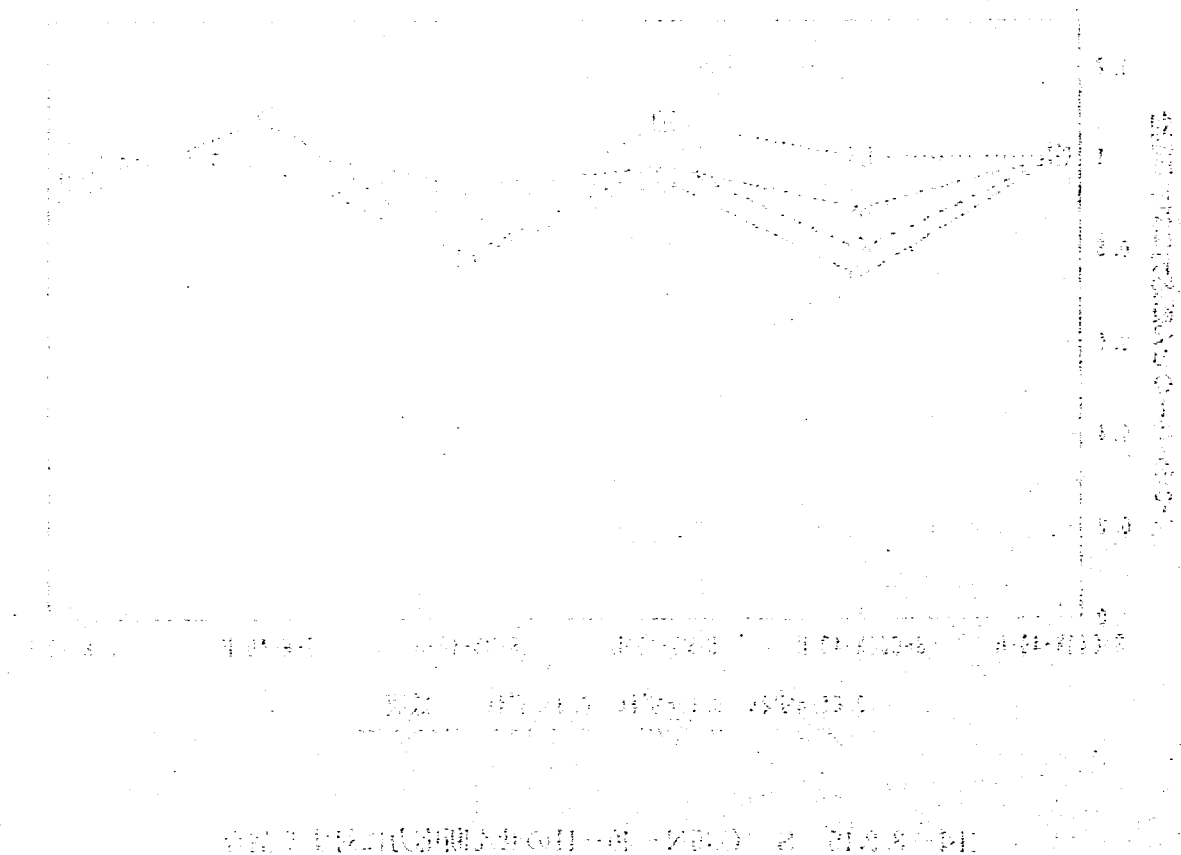


図-3.2.16 接合キーの形状および接着状態の違いによる最大荷重



3.2.6 補強鉄筋

図-3.2.17に、荷重と台形接合キー供試体の補強鉄筋に貼付したひずみゲージによる鉄筋ひずみの関係を示す。同図では、引張ひずみを正の値で示し、鉄筋の弾性係数を $2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ としたときの鉄筋降伏ひずみは 1428μ である。また、図-3.2.6に示す補強鉄筋(Av)に貼付したひずみゲージをS1～S8、補強鉄筋(Ae)に貼付したひずみゲージをH1～H8とし、参考値としてWタイプの図中には架設時想定荷重 $P=50\text{tf}$ 、Hタイプの図中には終局時荷重 $P=226\text{tf}$ を示す(荷重値については3.2.5接着状況の影響を参照)。以下に各供試体別の挙動を記述する。

①供試体 No.1:S-C45N-40-H

S1～S8：せん断ひびわれが広がり始めた250tfまでは、全て $-100 \sim -400 \mu$ 程度の圧縮ひずみであるが、さらに荷重を増加させるとS3、S4とS5は引張ひずみ側に移行していき、圧縮部と引張部に分かれる。最大圧縮ひずみはS2の -1328μ 、最大引張ひずみはS4の 1029μ であった。

H1～H8：250tfまでは圧縮部と引張部に分かれており、H2、H4とH5、H7に $-200 \sim -500 \mu$ 程度の圧縮ひずみ、H1、H3とH6、H8に $50 \sim 200 \mu$ 程度の圧縮ひずみが生じているが、さらに荷重を増加させると全体的に引張ひずみ側に移行する傾向がある。特に、H3とH6は300tf前後で引張ひずみが急増し、350tf前後で降伏ひずみに達している。

②供試体 No.2:S-C45N-20-H

S1～S8：挙動は①と類似しており、せん断ひびわれが広がり始めた220tfぐらいからS3、S4が引張ひずみ側に移行していく。最大圧縮ひずみはS2の -982μ 、最大引張ひずみはS3の 484μ であった。

H1～H8：挙動は①と類似しており、H3の引張ひずみが220tfから急増して最大値 1037μ に、Hは250tfから引張ひずみが急増して 679μ になる。

③供試体 No.3:S-C45N-0-H

S1～S8：挙動は①と類似しており、せん断ひびわれが発生した100tfぐらいからS3、S4が引張ひずみ側に移行していく。最大圧縮ひずみはS2の -486μ 、最大引張ひずみはS3の 654μ であった。

H1～H8：挙動は①と類似しており、H3の引張ひずみが100tfから急増して降伏値に至る。

④供試体 No.4:S-C45N-20-W

S1～S8：50tfぐらいまでは全て 100μ 程度の圧縮ひずみが生じているが、さらに荷重を増加させるとS3、S4そしてS6が引張ひずみ側に移行する。継目部のずれによってひずみも増減を繰り返しながら、S2に最大圧縮ひずみ -1157μ 、S6に最大引張ひずみ 451μ

が生じる。

H1～H8：H1～H4は、継目部のずれによって増減を繰り返すが、特にH3の変化が激しく、最大引張ひずみは 894μ になる。H5～H8も増減を繰り返すが、H5では圧縮ひずみが増加し続け最大圧縮ひずみ -1160μ 、H6では引張ひずみが増過し 749μ になる。

⑤供試体 No.5:S-C45L-40-H

S1～S8：挙動は①と類似しており、S3、S4は200tfぐらいから引張ひずみ側に移行していくが、350tf付近から急増して最大引張ひずみが 1156μ になった。S5～S8は、300tf付近まで徐々に圧縮ひずみが増加しているが、以後はS5、S6が引張ひずみ側に移行している。

H1～H8：挙動は①と類似しているが、ひずみ変化は①よりもゆるやかである。H3の引張ひずみが220tfから徐々に増加して最大値 1215μ に、H6は280tfから引張ひずみが徐々に増加して最大値 1064μ になる。

⑥供試体 No.6:S-C45-40-H

S1～S8：載荷荷重250tfまでは全てに圧縮ひずみが生じているが、それ以後S3、S4そしてS5、S6が引張ひずみ側に移行する。最大圧縮ひずみはS2の -1210μ で、S3は400tfで引張側の降伏ひずみに達する。

⑦供試体 No.7:S-C60N-40-H

S1～S8：挙動は①と類似しており、最大圧縮ひずみはS2の -915μ 、最大引張ひずみはS4の 982μ であった。

H1～H8：挙動は①と類似しており、H3とH6が350tfぐらいで降伏ひずみに達している。

以上の鉄筋ひずみの結果より、各要因の影響を検討する。

・プレストレスの影響(①②③)

プレストレスが直接鉄筋ひずみに及ぼす影響というよりも、プレストレス量によって異なっているせん断ひびわれ発生時期と発生後の供試体耐力に影響されると思われる。①供試体No.1:S-C45N-40-Hでは、せん断ひびわれ発生後の鉄筋ひずみが荷重の増加に伴って増加していき、鉄筋ひずみおよび破壊するまでの供試体の耐力が大きい。②供試体No.2:S-C45N-20-Hと③供試体No.3:S-C45N-0-Hでは鉄筋ひずみが十分大きくなる前に供試体が破壊しているが、せん断ひびわれが発生するまでの鉄筋ひずみは①にほぼ等しい。よって、せん断ひびわれ発生前の鉄筋ひずみはプレストレス量に関係無く一律に増加していくが、ひびわれ発生後は部分的に急変して、プレストレスの効果によって供試体の耐力が大きい場合は降伏ひずみに達する鉄筋もある。

・接着剤の影響(②④)

接着剤が完全接着の②供試体No.2:S-C45N-20-Hは、せん断ひびわれの発生後に鉄筋ひずみが急変して増加していくが、接着剤が未硬化の④供試体No.4:S-C45N-20-Wは、載荷の初期から徐々に増加して継目のずれによって増減を繰り返す。よって、接着剤の状態によって鉄筋ひずみの挙動は異なる。

・補強鉄筋量の影響(①⑤⑥)

補強鉄筋(A_v : S1~S8)は、補強鉄筋(A_e : H1~H8)を配置している①供試体No.1:S-C45N-40-Hと⑤供試体No.5:S-C45L-40-Hの場合、せん断ひびわれ発生後の鉄筋ひずみは徐々に変化しているが、補強鉄筋(A_e : H1~H8)を配置していない⑥供試体No.6:S-C45-40-Hではひびわれの増加に従って急変して降伏ひずみに達する。補強鉄筋(A_e : H1~H8)は、鉄筋量で①の2倍配置してある⑤の方がせん断ひびわれ発生後の鉄筋ひずみ変化がゆるやかになっている。よって、鉄筋ひずみだけを評価するならば、補強場所や補強量が多いほど鉄筋ひずみが急変することは無い。

・接合キー形状の影響(①⑦)

接合キーの角度が 45° の①供試体No.1:S-C45N-40-Hと 60° と⑦供試体No.7:S-C60N-40-Hの補強鉄筋の挙動は類似しており、鉄筋ひずみに及ぼす影響は無い。

・架設時想定荷重 $P=50\text{tf}$ に対して(④)

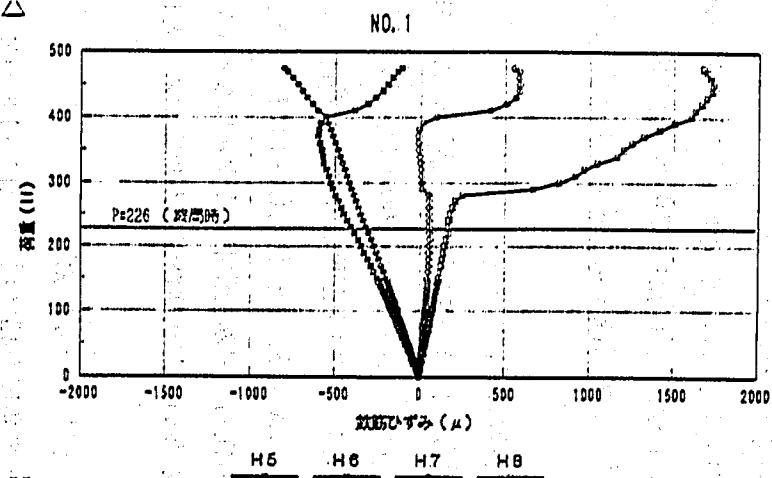
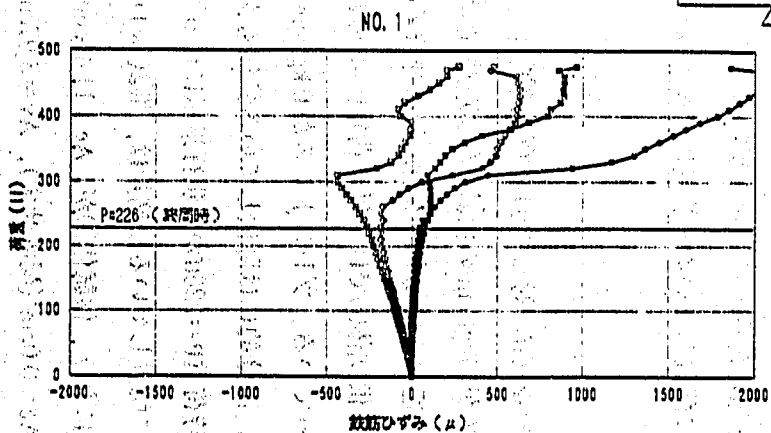
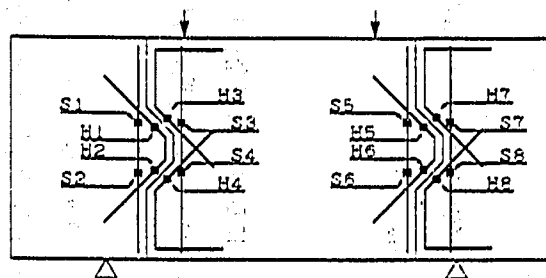
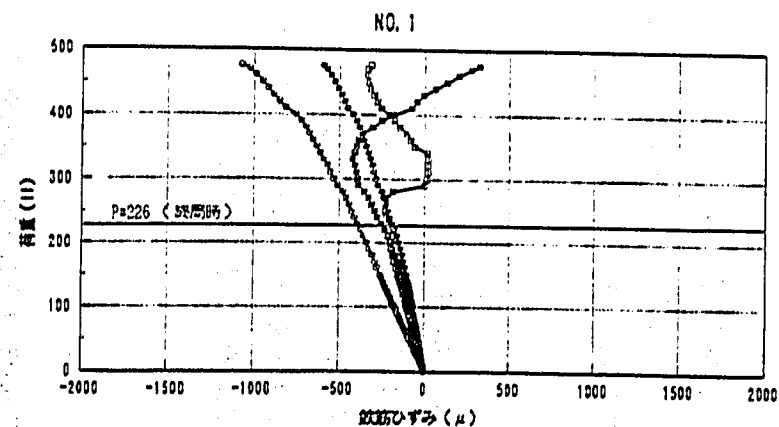
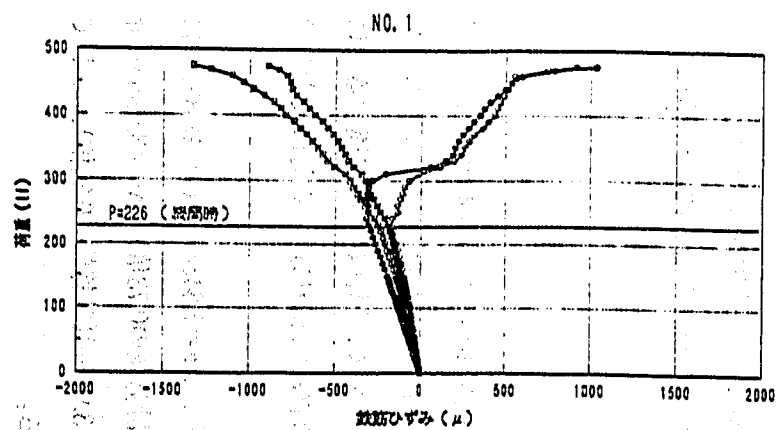
④供試体No.4:S-C45N-20-Wの台形接合キーにひびわれが発生したのは $P=60\text{tf}$ であり、 $P=50\text{tf}$ では補強鉄筋のどの部分にも大きなひずみは発生していない。想定荷重の2倍にあたる $P=100\text{tf}$ に着目しても $\pm 200\mu$ 程度である。

なお、架設時想定荷重 $P=50\text{tf}$ から現行道示に従って補強鉄筋量を計算すると、 $A_e=2.31\text{cm}^2$ 、 $A_v=5.56\text{cm}^2$ になるが、実際に配置している鉄筋量は、 $A_e=5.73\text{cm}^2$ (計算値の2.48倍)、 $A_v=5.56\text{cm}^2$ (計算値の0.72倍)である。

・終局時荷重 $P=226\text{tf}$ に対して(①②③⑤⑥⑦)

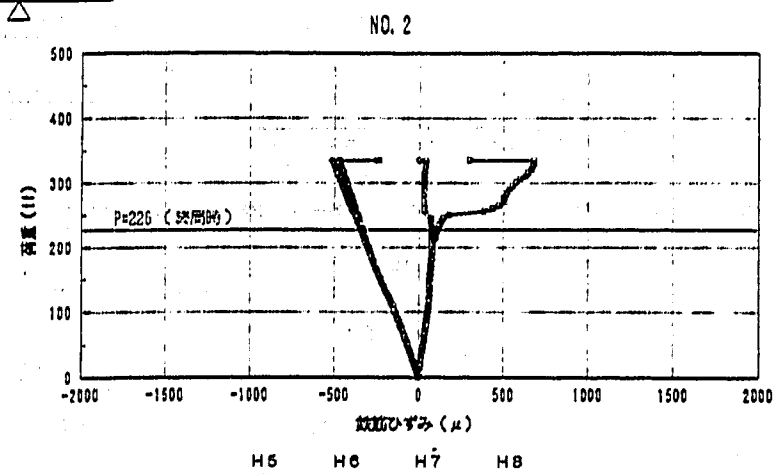
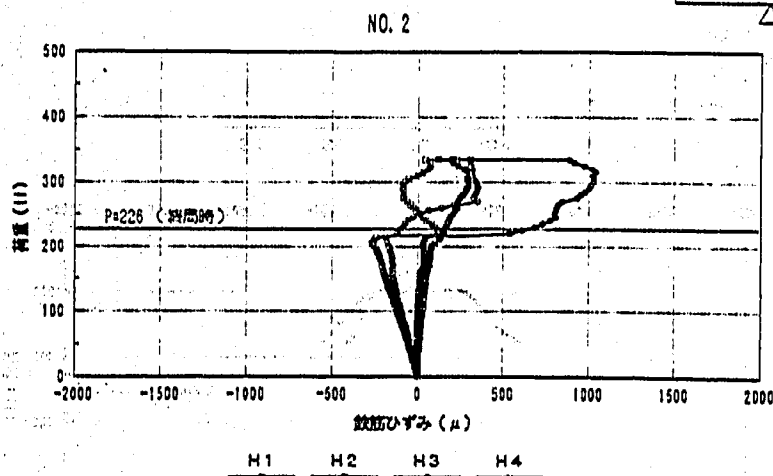
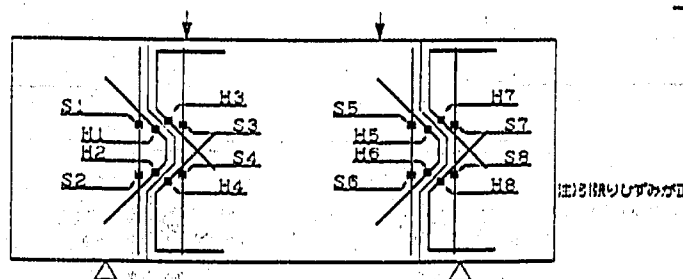
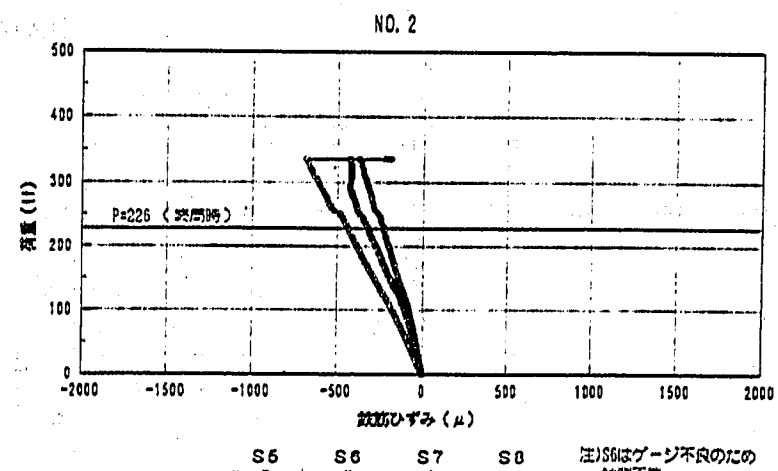
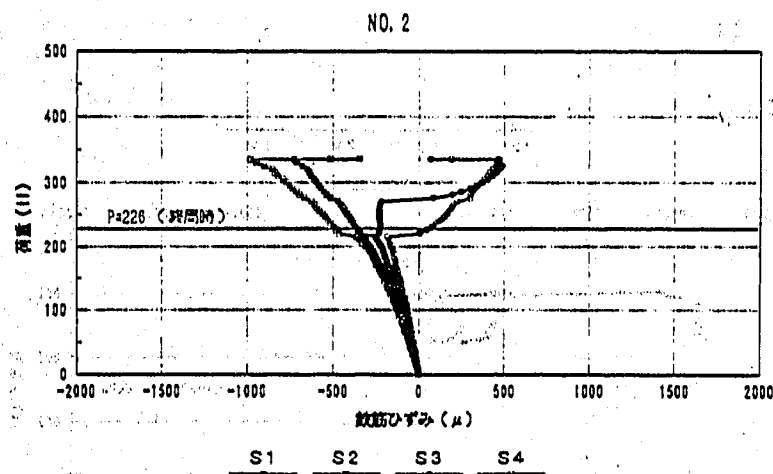
プレストレスが 40kgf/cm^2 の供試体①⑤⑥⑦では最大荷重が終局時荷重 $P=226\text{tf}$ の2倍程度あり、最終的には降伏ひずみに達する鉄筋もあるが、終局時荷重 $P=226\text{tf}$ のときに最大でも $\pm 200\mu$ 程度である。プレストレスが 20kgf/cm^2 の供試体②では終局時荷重 $P=226\text{tf}$ のときに $-500\sim+600\mu$ 程度で、降伏ひずみに達する前に最大荷重になっている。プレストレスが 0kgf/cm^2 の供試体③では終局時荷重 $P=226\text{tf}$ に達する前に最大荷重に達しており、部分的には降伏している鉄筋もある。

なお、終局時荷重 $P=226\text{tf}$ から現行道示に従って補強鉄筋量を計算すると、 $A_e=7.84\text{cm}^2$ 、 $A_v=18.83\text{cm}^2$ になるが、実際に配置している鉄筋量は、供試体①②③⑦が、 $A_e=5.73\text{cm}^2$ (計算値の0.73倍)、 $A_v=3.97\text{cm}^2$ (計算値の0.21倍)になり、供試体⑤が、 $A_e=11.46\text{cm}^2$ (計算値の1.46倍)、 $A_v=3.97\text{cm}^2$ (計算値の0.21倍)、そして供試体⑥が、 $A_e=0.0\text{cm}^2$ (配置せず)、 $A_v=3.97\text{cm}^2$ (計算値の0.21倍)である。



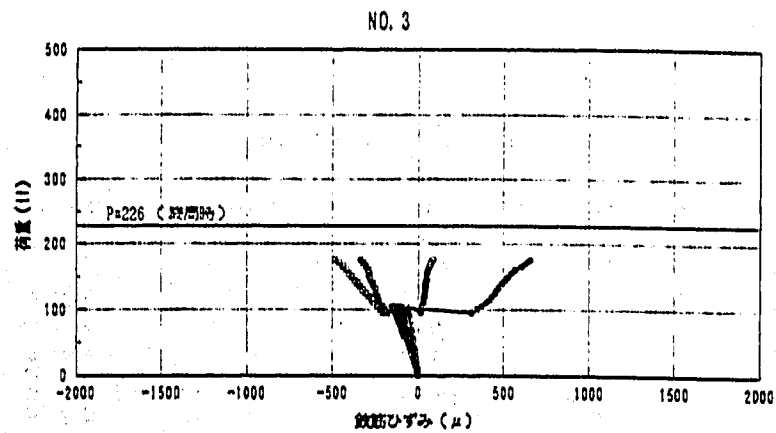
(a) No. 1 : S-C45N-40-H

図-3.2.17 荷重と鉄筋ひずみの関係

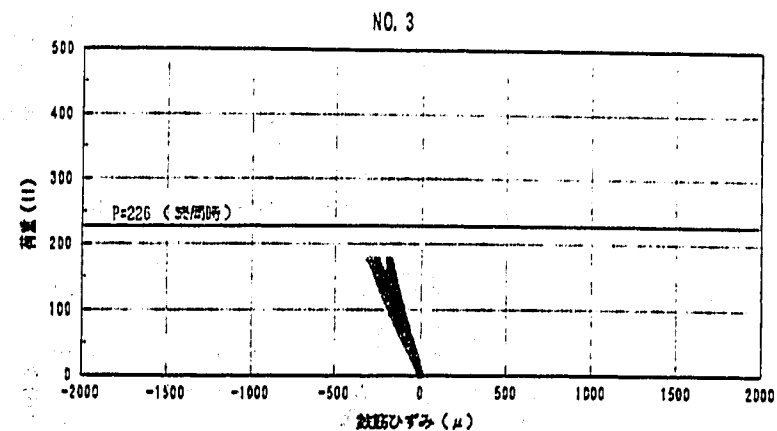


(b) No. 2 : S - C45N - 20 - H

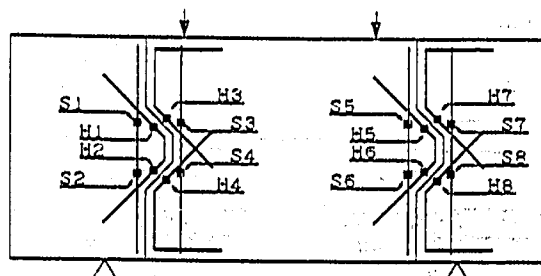
図-3.2.17 荷重と鉄筋ひずみの関係



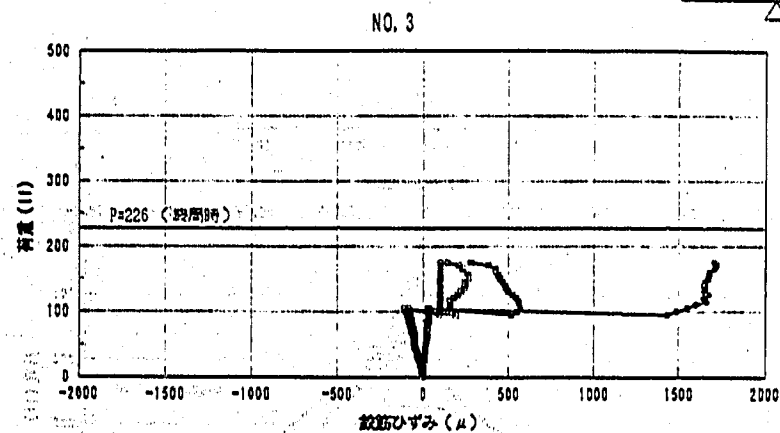
S1 S2 S3 S4



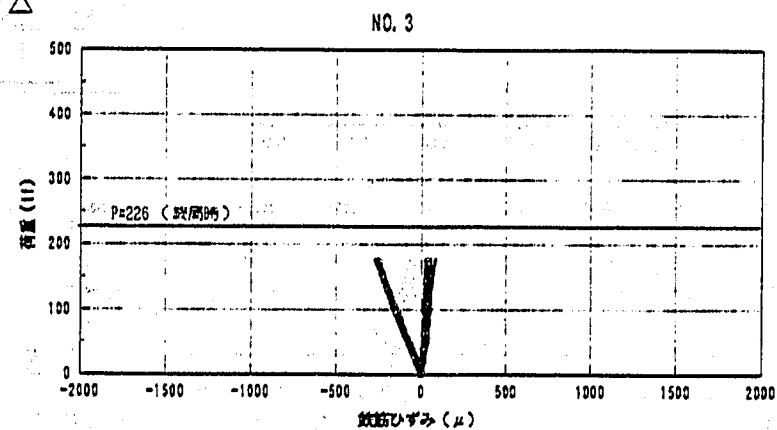
S5 S6 S7 S8



注) 引張りひずみが正



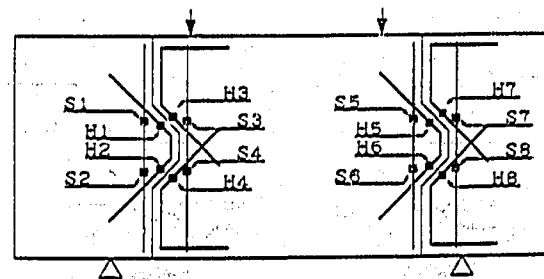
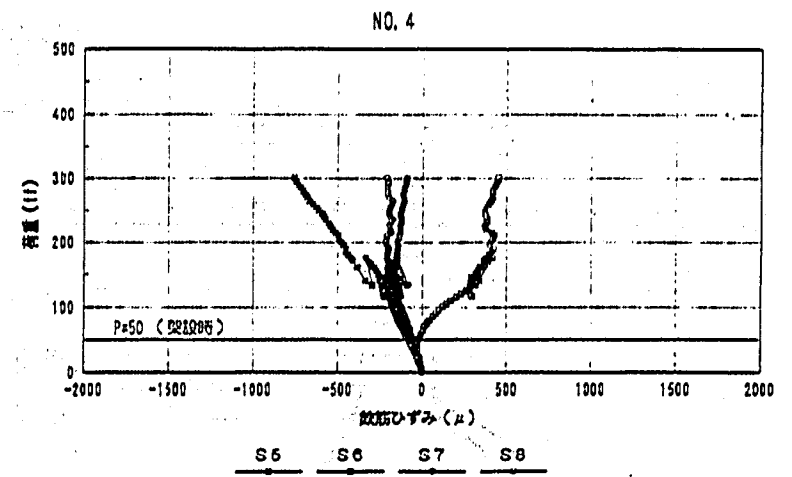
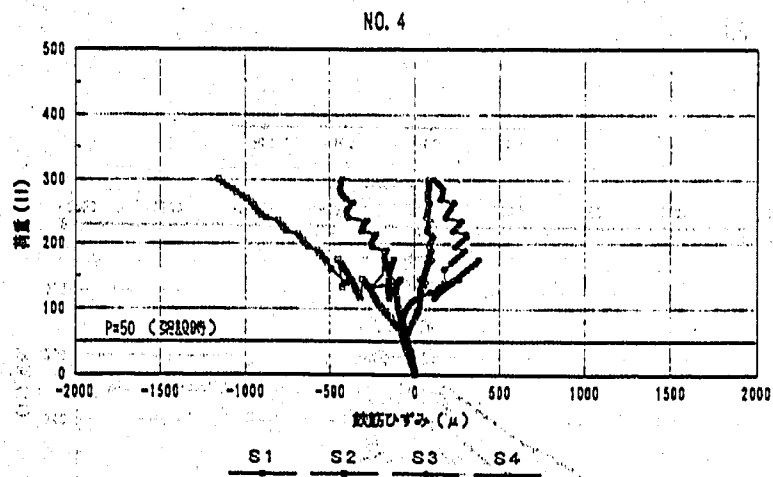
H1 H2 H3 H4



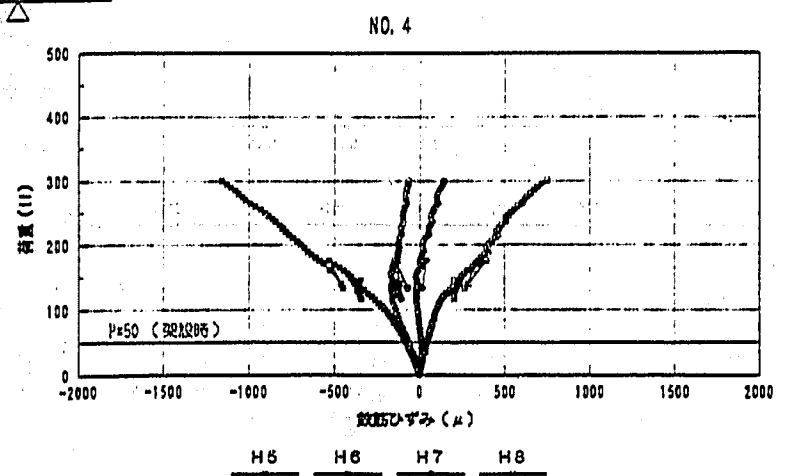
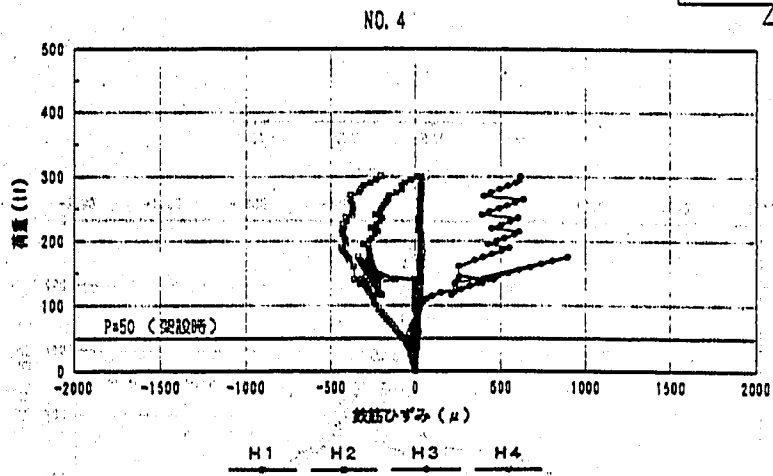
H5 H6 H7 H8

(c) No. 3 : S-C45N-0-H

図-3.2.17 荷重と鉄筋ひずみの関係

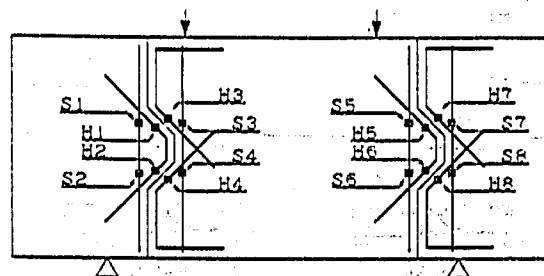
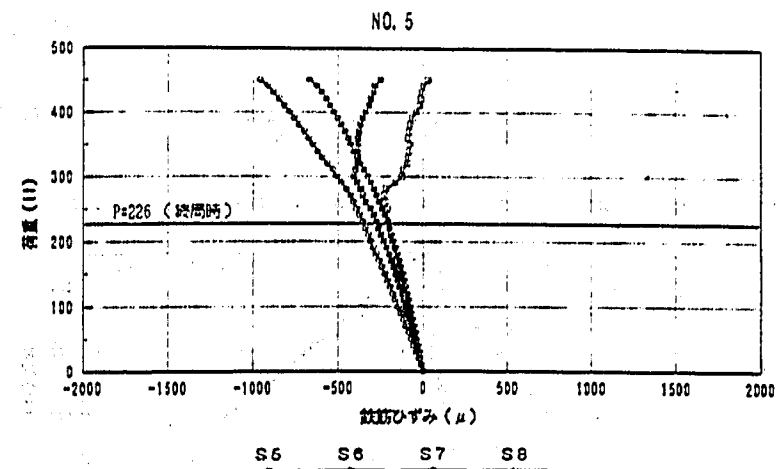
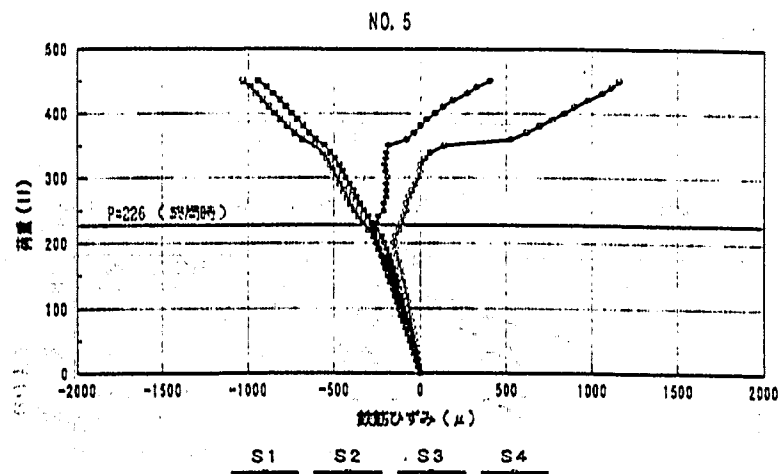


注)引張りひずみが正

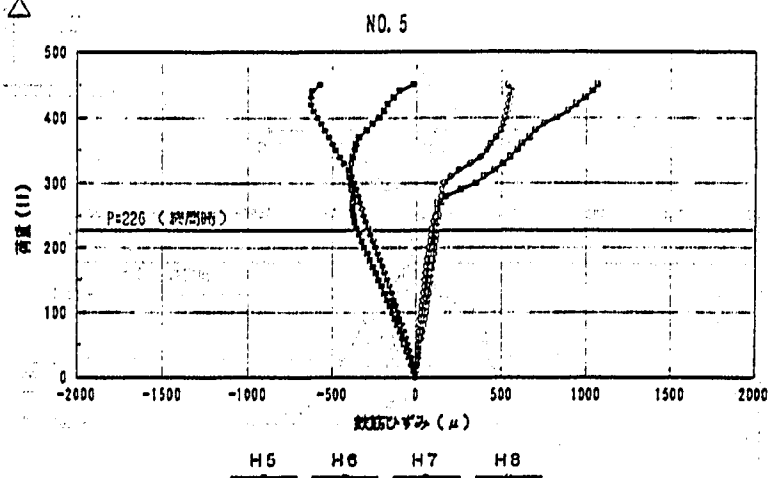
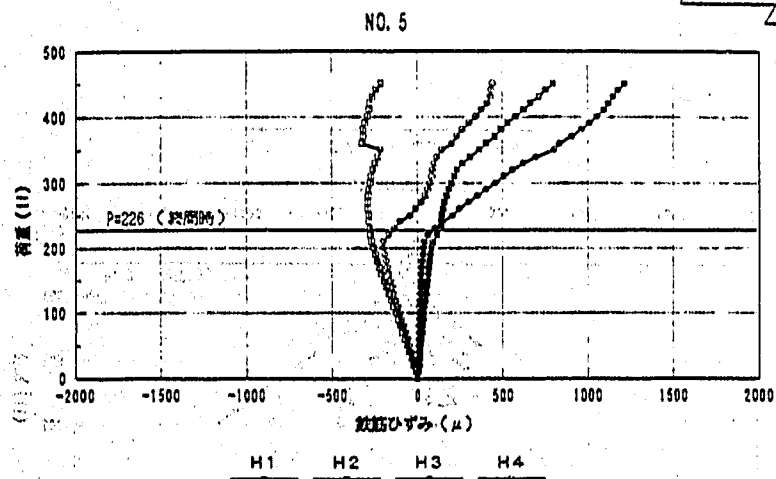


(d) No. 4 : S - C 45N - 20 - W

図-3.2.17 荷重と鉄筋ひずみの関係

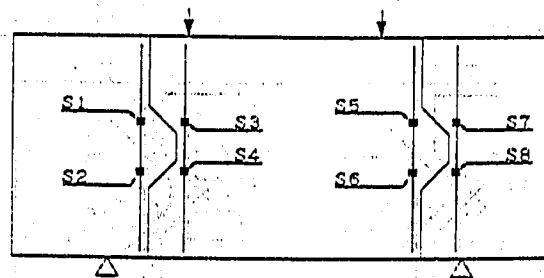
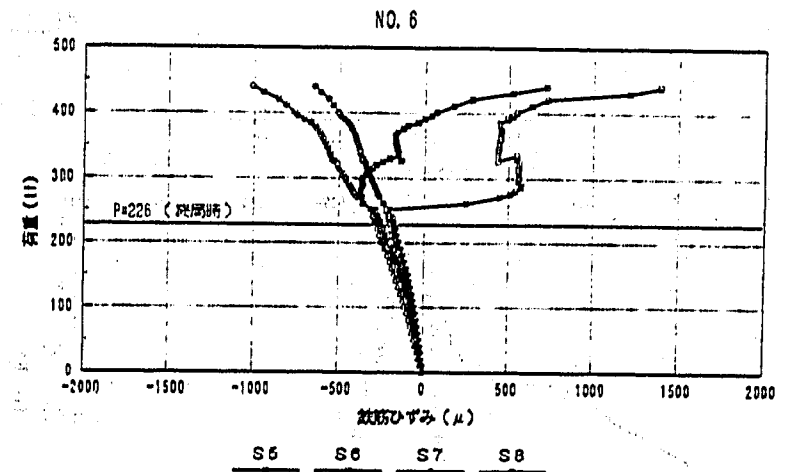
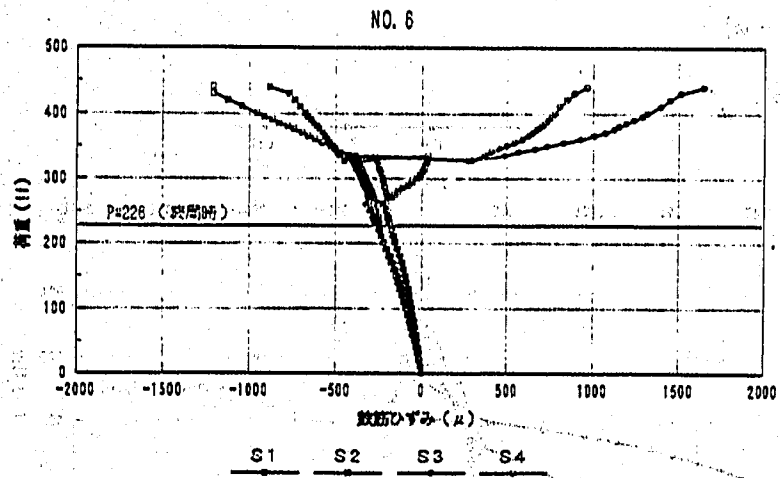


注) ひずみは正



(e) No. 5 : S-C45L-40-H

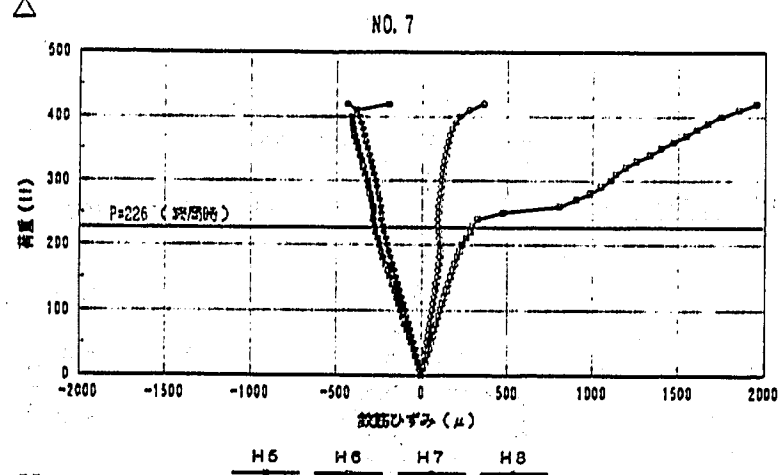
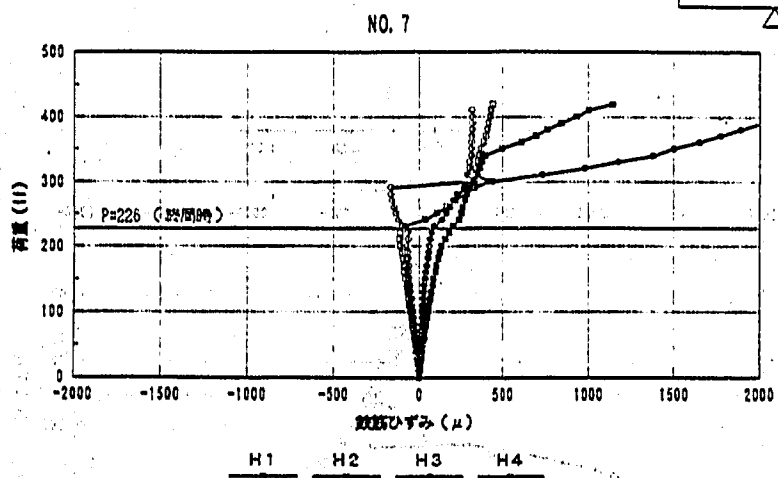
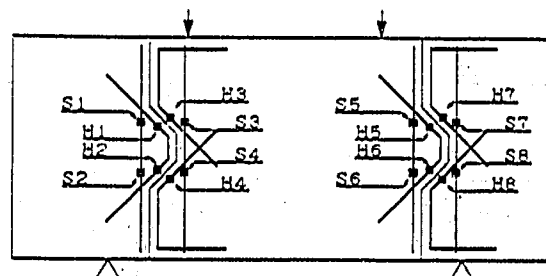
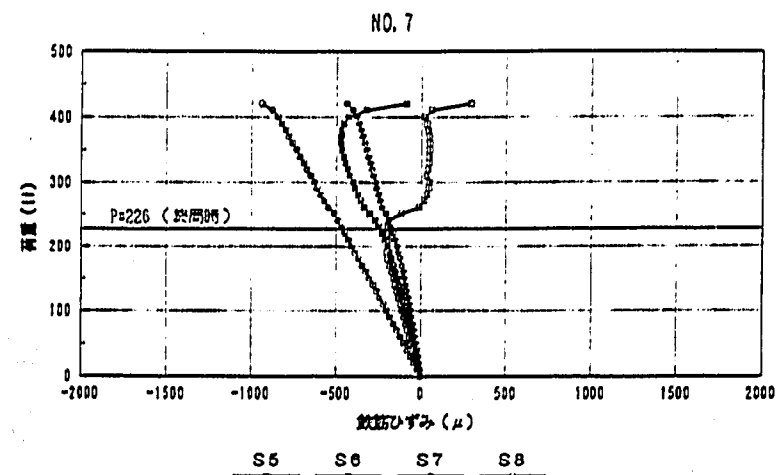
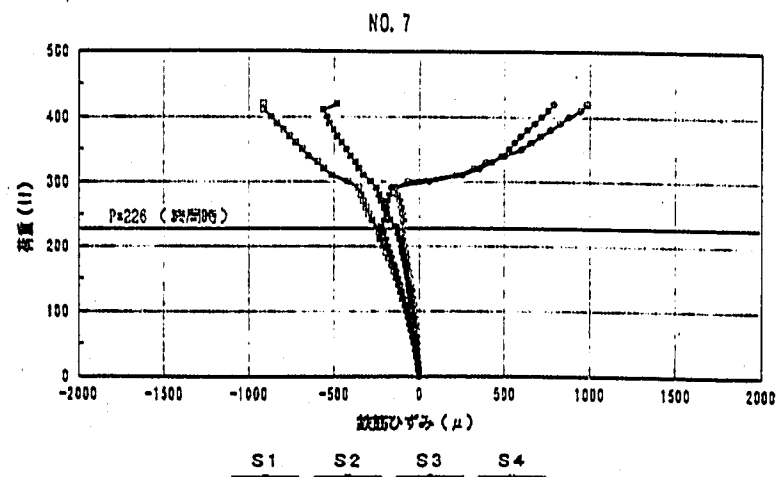
図-3.2.17 荷重と鉄筋ひずみの関係



注)引張りひずみが正

(f) No. 6 : S-C45N-40-H

図-3.2.17 荷重と鉄筋ひずみの関係



(g) No. 7 : S - C60N - 40 - H

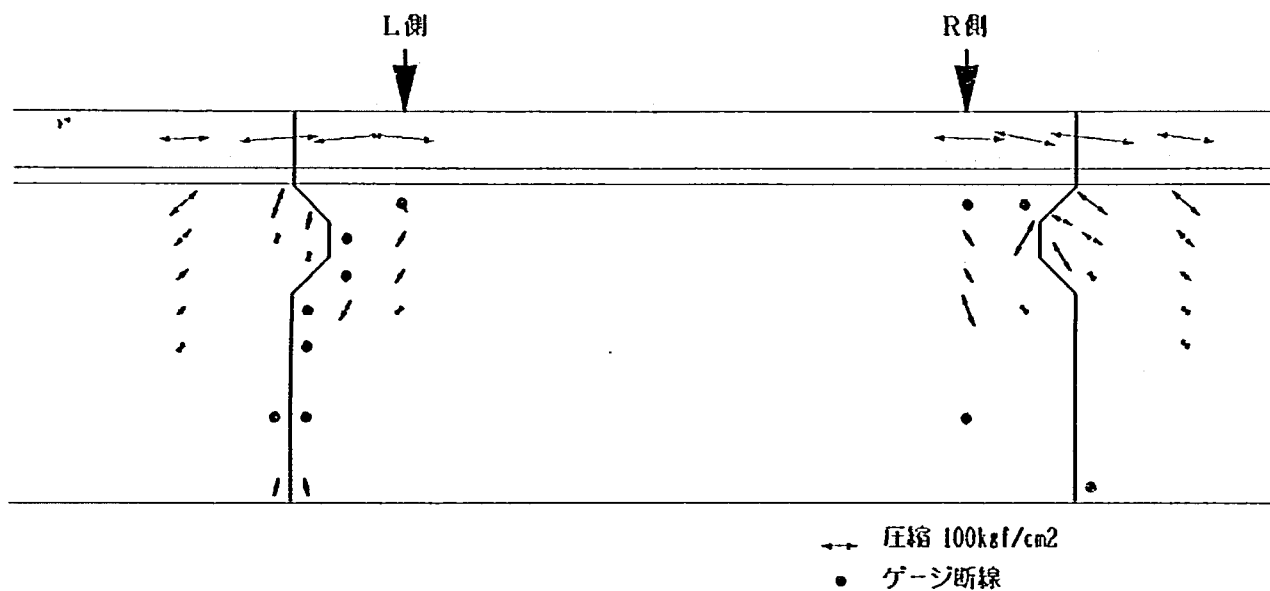
図-3.2.17 荷重と鉄筋ひずみの関係

3.3 大型供試体の実験結果および考察

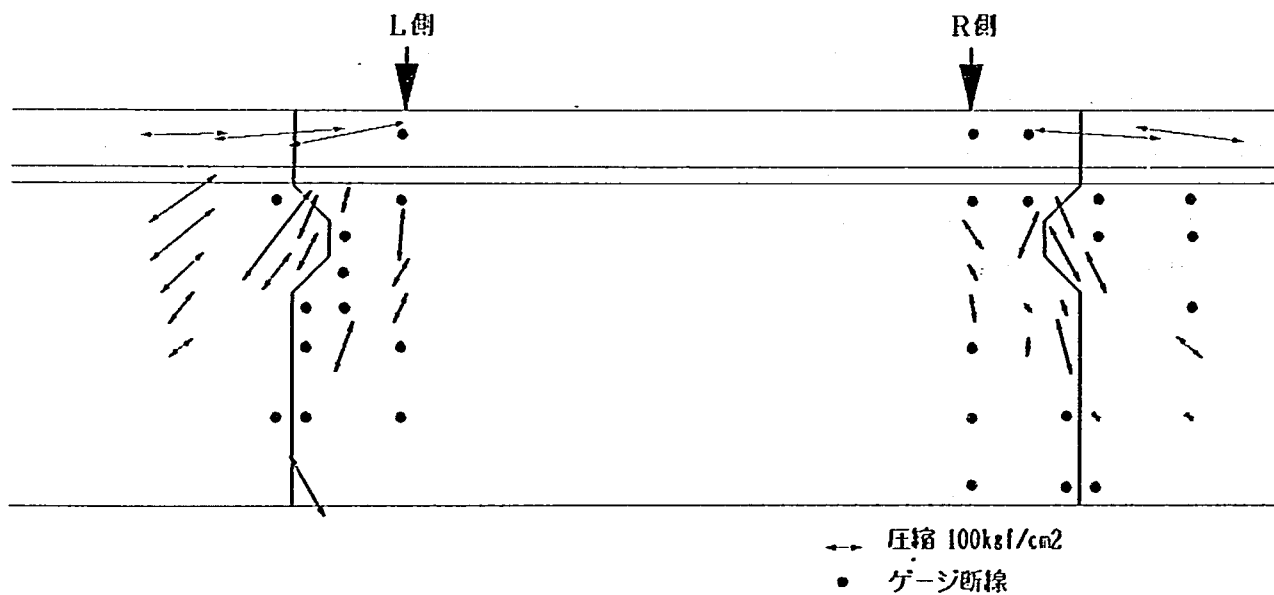
3.3.1 力の流れ、ひびわれ発生状況および破壊形態

載荷荷重による力の流れを見るために、 $P=200\text{tf}$ (破壊荷重の約60%)と $P=340\text{tf}$ (破壊直前)のときの圧縮主応力分布を図-3.3.1に示す。ただし、これはコンクリート表面に貼付した三軸ひずみゲージの測定値から算出した値をプロットしたもので、プレストレスによる影響は含まれていない。力の流れは、上フランジを流れる力と接合キーを流れる力に分けられ、荷重によって供試体に変形しても力の流れに大きな変化は無い。ここで、 $P=200\text{tf}$ 、 $P=340\text{tf}$ では既に継目部が分離している状態であるが、L側の継目部下縁にも力が流れており、これは下縁に配置してあるPC鋼棒のダウエル作用によるものと考えられる。

荷重に伴う供試体のたわみはスパン中央を軸とした対称形になり、図-3.3.2にスパン中央から片側のたわみ量と荷重の関係を示す。この図からたわみは3段階で変化しており、先ず $P=0\sim40\text{tf}$ のひびわれ発生前でたわみ量が小さい段階、次に $P=40\sim330\text{tf}$ で曲げモーメントやせん断力によるひびわれの増加および継目部のひびわれ幅拡大によってたわみが比例的に増加している段階、そして $P=330\sim340\text{tf}$ での上フランジにひびわれが発生して、コンクリートの圧壊が始まり、荷重が増加すること無くたわみだけが急増していく段階に大別される。さらに、この過程を詳細に見るために図-3.3.3に大型供試体のひびわれ図を、写真-3.3.1に $P=340\text{tf}$ のときの継目部の状況を示す。荷重を載荷していくと、設計ひびわれ発生荷重 $P=45\text{tf}$ に対して実際は $P=42\text{tf}$ でスパン中央部と左右の継目部に、曲げひびわれが各々1本ずつ、計3本発生した。以後、中央部のひびわれは本数を増やしながらかは鉛直に発達し、継目部に発生したひびわれは、継目部に添うようにして $P=60\text{tf}$ のときには接合キーの真下まで発達した。さらに載荷していくと、継目部のひびわれは接合キーに添って載荷点方向に向きを変えて発達し、 $P=150\text{tf}$ で上フランジ下縁に達している。 $P=230\text{tf}$ でウェブにせん断ひびわれが発生してから、台形接合キーを貫通するせん断ひびわれが発生した。そして、 $P=310\text{tf}$ では上フランジに水平方向にひびわれが発生し、 $P=340\text{tf}$ で載荷点近傍のコンクリートが圧壊して耐力を失った。ここで、供試体の変形に関して図-3.3.4に支点からの距離とたわみの関係およびひびわれ幅の関係を示す。たわみは $P=100\text{tf}$ のとき実験値と計算値が一致しているが、 $P=200, 300, 340\text{tf}$ になるにつれて実験値の方が大きな値になっている。ひびわれ幅は $P=80\text{tf}$ から継目部で急増するが、他の中央部のひびわれはわずかに増加しているだけである。このことから、継目部のひびわれ幅拡大によって供試体全体のたわみ量が大きくなった可能性がある。



(a) 荷重 $P=200\text{tf}$ (破壊荷重の60%)



(b) 荷重 $P=340\text{tf}$ (破壊直前)

図-3.3.1 圧縮主応力分布図

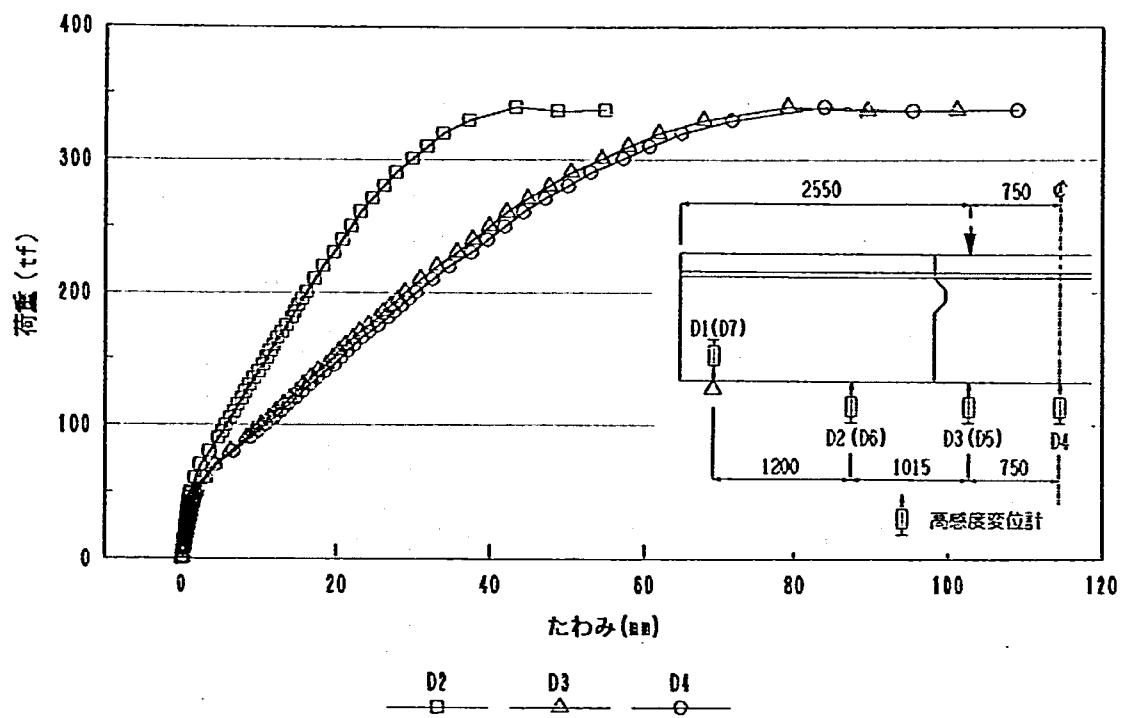
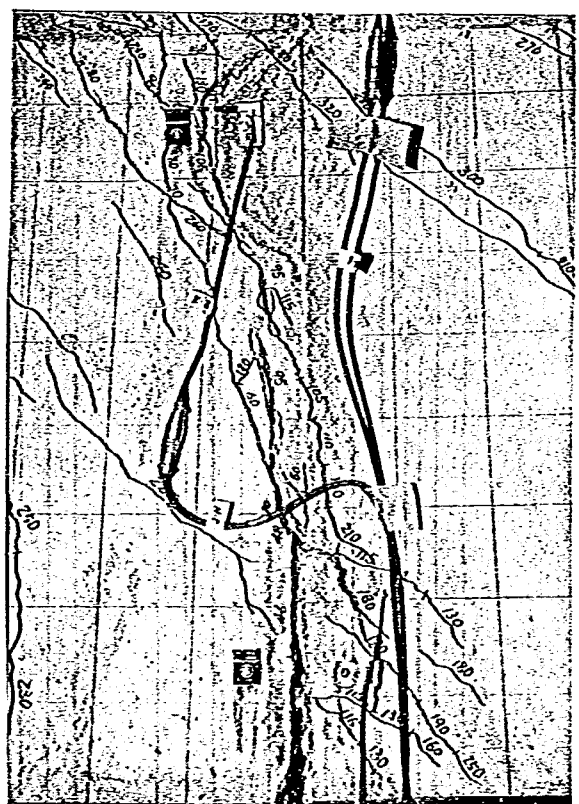


図-3.3.2 荷重とたわみの関係



(a) B面, R側



(b) B面, L側

写真-3.3.1 継目部の状況 (P=340tf)

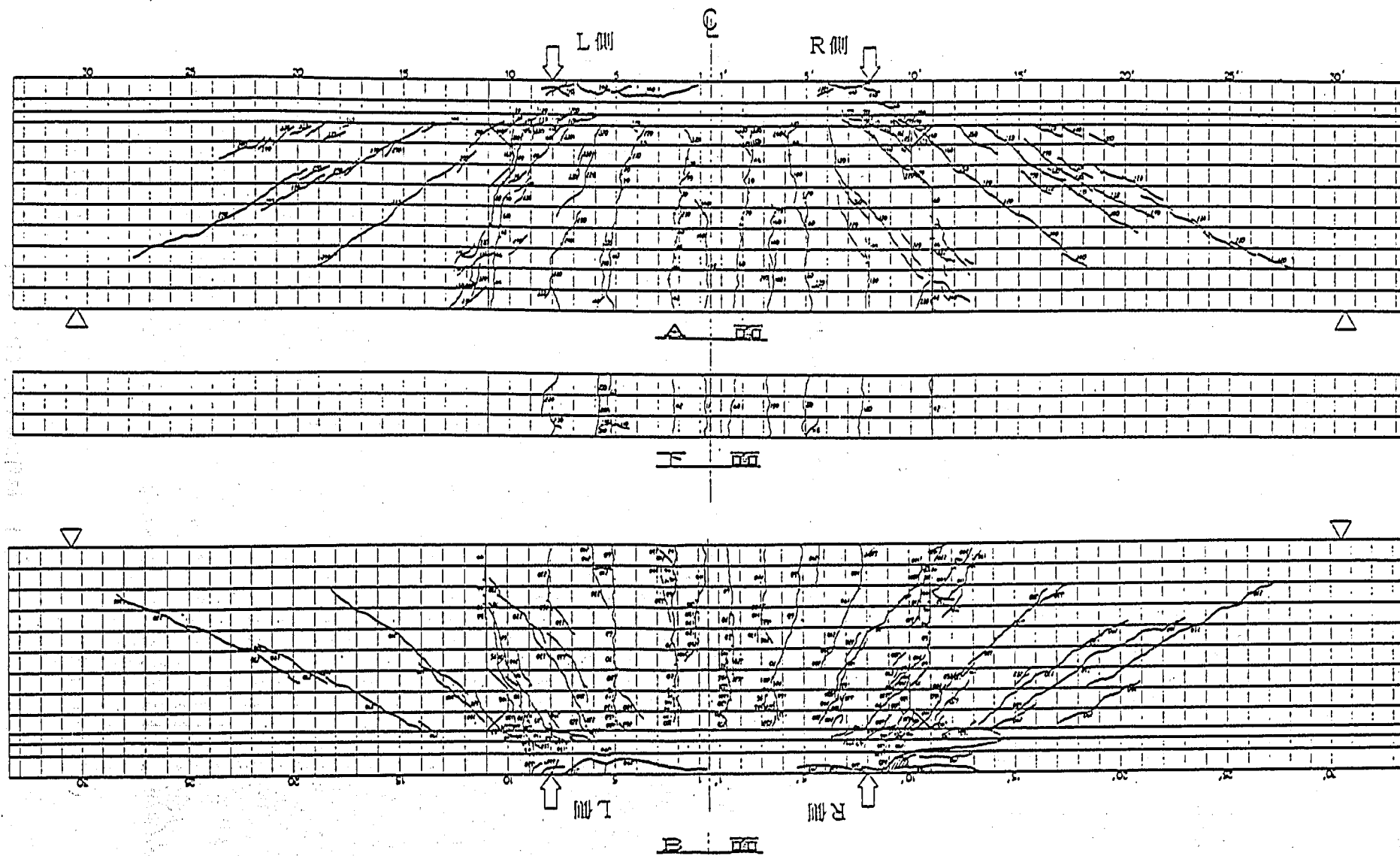
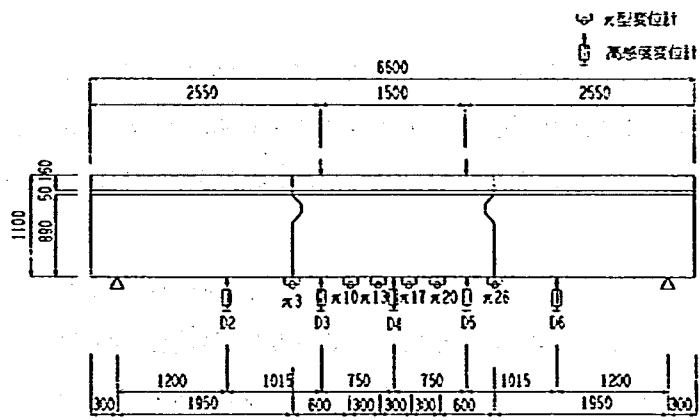
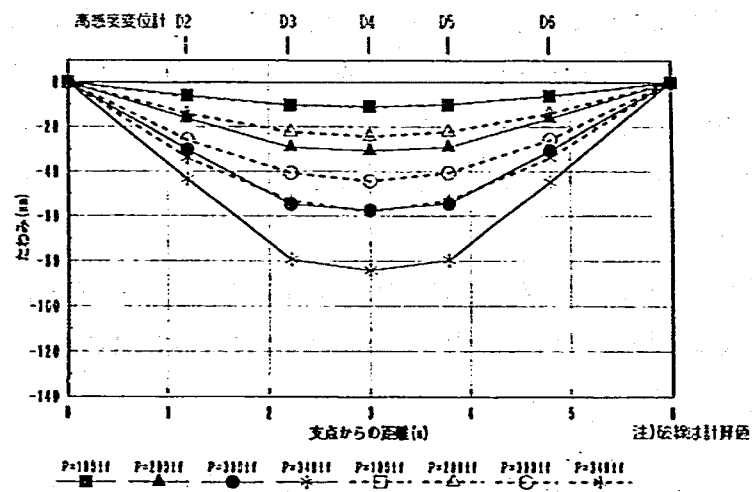


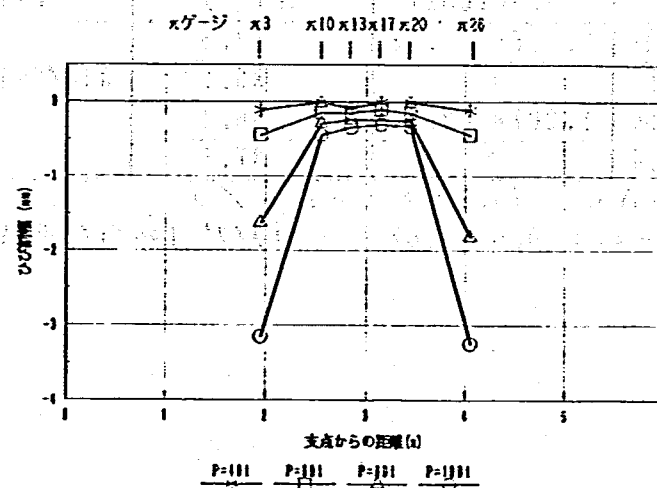
図-3.3.3 ひび割れ状況



(a) 変位計配置図



(b) たわみ量



(c) ひびわれ幅

図-3.3.4 たわみおよびひびわれ幅の分布

3.3.2 曲げ耐力およびせん断耐力

大型供試体の破壊抵抗曲げモーメントを、材料試験の値を用いて現行道示に従って算出すると $M_u = 339.7 \text{ tf} \cdot \text{m}$ になる。これを載荷スパン($a = 2.25 \text{ m}$)で除したせん断力は $S_u = M_u/a = 339.7/2.25 = 151.0 \text{ tf}$ になり、載荷荷重は $P_u = S_u \times 2 = 151.0 \times 2 = 302 \text{ tf}$ になる。ここで、実験での最大荷重は $P = 340 \text{ tf}$ であり、計算値を上回っている。

せん断耐力に関して、先ず小型供試体の検討と同様に、補強鉄筋(A_e)から算出した設計せん断力と最大荷重から求めた実せん断力を表-3.3.1に示す。D19を配置しているL側の設計せん断力は $S_1 = 83 \text{ tf}$ 、D13を配置しているR側の設計せん断力は $S_1 = 36 \text{ tf}$ であるが、実せん断力の方は $S_2 = 170 \text{ tf}$ になり、設計せん断力よりもかなり大きな耐力を示した。また、図-3.3.1の荷重とたわみの関係や図-3.3.3のたわみ分布に着目しても各々の設計せん断力に達したときの変化はなく、小型供試体の場合と同様にせん断耐力に及ぼす補強鉄筋量(A_e)の影響は認められなかった。参考までに、現行道示による終局荷重作用時の平均せん断応力度の最大値は 53 kgf/cm^2 であり、大型供試体では荷重が $P = 53 \times (91.5 \times 30) \times 2/1000 = 291 \text{ tf}$ になったときに相当するが、実験での最大荷重はそれよりも大きな値 $P = 340 \text{ tf}$ になった。次に、せん断伝達機構であるが、大型供試体はグラウトが注入されているためPC鋼棒とコンクリートが一体化している。これによって、継目部のせん断耐力はプレストレス、接合キー、そして接着剤によるせん断耐力の他に、PC鋼棒のダウエル作用によるせん断耐力が加わっている。

今回の実験による大型供試体は、曲げ破壊耐力は現行の計算値よりも大きくなり、継目部が弱点になって計算値よりも耐力が小さくなる様な事は無かった。また、せん断に対してもPC鋼棒のダウエル作用が寄与してはいるが継目部の破壊には至らなかった。

表-3.3.1 補強鉄筋(A_e)による設計せん断力と実せん断力

大型供試体

	接合 キー	実配筋量 $A_e (\text{cm}^2)$	設計せん断力 $S_1 (\text{t})$	実せん断力 $S_2 (\text{t})$
L 側	凸部	$2.865 \times 2 = 5.73$	82.5	340/2=170
	凹部	〃	85.3	
R 側	凸部	$1.267 \times 2 = 2.53$	36.4	
	凹部	〃	37.6	

注1) $S_1 = A_e \cdot (0.8 \cdot h \cdot \sigma_{sa}) / a$

$\sigma_{sa} : 3000 \text{ kg/cm}^2$ --- Hタイ7° (終局荷重時)

3.3.3 補強鉄筋

図-3.3.5に、台形接合キーの補強鉄筋に貼付したひずみゲージによる鉄筋ひずみと載荷荷重の関係を示す。なお、引張ひずみを正の値で示し、鉄筋の弾性係数を $2.1 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ としたときの鉄筋降伏ひずみは 1428μ である。また、L側の補強鉄筋(Av:D16)に貼付したひずみゲージをS1～S4、補強鉄筋(Ae:D19)に貼付したひずみゲージをH1～H4とし、R側の補強鉄筋(Av:D16)に貼付したひずみゲージをS5～S8、補強鉄筋(Ae:D13)に貼付したひずみゲージをH5～H8とする。なお、現行道示の15.2.2継目部の設計において、設計荷重をこえる大きな活荷重が作用した場合でも、継目部にひびわれが発生しないように、継目部に生じるコンクリートの許容曲げ引張応力度を 25 kgf/cm^2 に規定しており、大型供試体の引張応力度がこの許容値に達するのは荷重が $P=33 \text{ tf}$ のときである。図-3.3.5には、実際に曲げひびわれが発生した $P=42 \text{ tf}$ を示し、以下に補強鉄筋の挙動を記述する。

S1～S4：接合キーの凸部に配置してあるS1とS2には、ほとんどひずみが発生しておらず、凹部に配置してあるS3とS4は、曲げひびわれが発達し始めた約 50 tf から引張ひずみが増大して 180 tf から 200 tf で降伏ひずみに達する。

S5～S8：S1～S4と同様に、凹部に配置してあるS5とS6も、約 50 tf から引張ひずみが増大して 200 tf から 210 tf で降伏ひずみに達する。

H1～H4：接合キーの凸部に配置してあるH1で、最大荷重時に引張ひずみが 600μ 程度発生している。凹部に配置してあるH3も、約 50 tf から引張ひずみが増大して 130 tf 程度で降伏ひずみに達する。

H5～H8：凸部に配置してあるH7とH8にも引張ひずみが発生しており、最大荷重時にH7で 1300μ 程度になる。凹部に配置してあるH5は、約 50 tf から引張ひずみが増大して 110 tf 程度で降伏ひずみに達する。

以上の鉄筋ひずみの結果より、各要因の影響を検討する。

・補強鉄筋量の影響

補強鉄筋(Av:S1～S8)は、L側もR側も同量配置しており、補強鉄筋量(Ae:H1～H8)が異なっても挙動はほぼ同じである。補強鉄筋(Ae:H1～H8)を比較するとD19が配置してあるL側の方がひずみ変化が小さい様であるが、大きなひずみが発生しているL側のH3とR側のH5のように、鉄筋量が異なっても同様の挙動を示す場合がある。

・鉄筋ひずみの発生場所

図-3.3.6に、大きなひずみが発生した鉄筋と、その発生ゲージ位置を示す。この図より、凹部に配置した補強鉄筋のひずみが大きくなっていることが確認できるが、D13が配置してあるR側では、凸部(H7)でも大きなひずみが発生している。また、これらのゲージ位置は図-3.3.3のひびわれ状況より、ひびわれの発生している部分に一致している。

・曲げひびわれ発生荷重 $P=42\text{tf}$ に対して

$P=42\text{tf}$ ではどの部分にもひずみが発生していない。3倍の荷重 $P=120\text{tf}$ 付近でH3とH5が降伏ひずみに達し、 $P=180\sim 220\text{tf}$ でS3、S4とS5、S6が降伏ひずみに達している。

なお、曲げひびわれ発生荷重 $P=42\text{tf}$ から現行道示に従って補強鉄筋量を計算すると、 $A_e=1.46\text{cm}^2$ 、 $A_v=3.50\text{cm}^2$ になるが実際に配置している鉄筋量は、L側では $A_e=5.73\text{cm}^2$ (計算値の3.92倍)、 $A_v=3.97\text{cm}^2$ (計算値の1.13倍)で、R側では $A_e=2.53\text{cm}^2$ (計算値の1.73倍)、 $A_v=3.97\text{cm}^2$ (計算値の1.13倍)である。

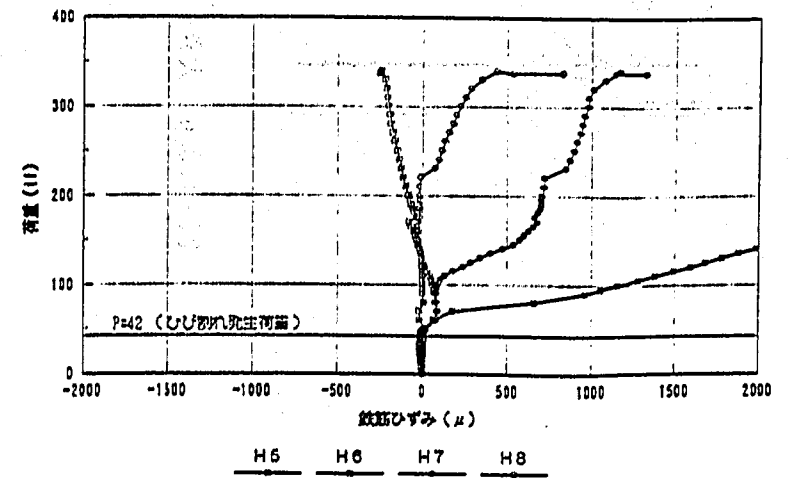
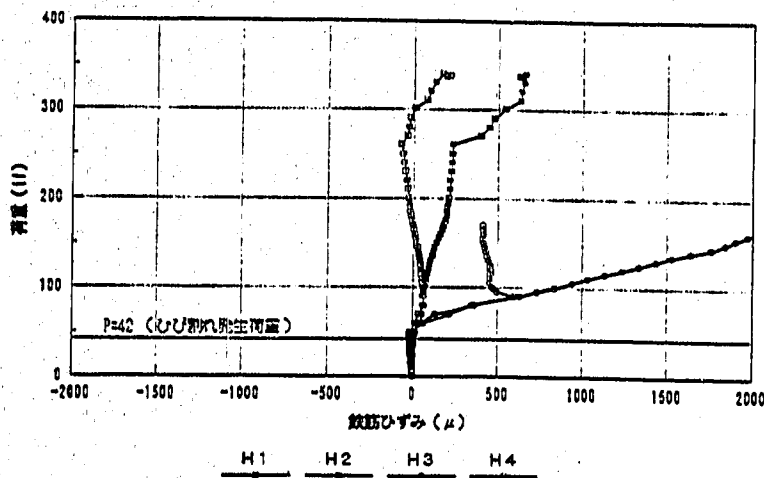
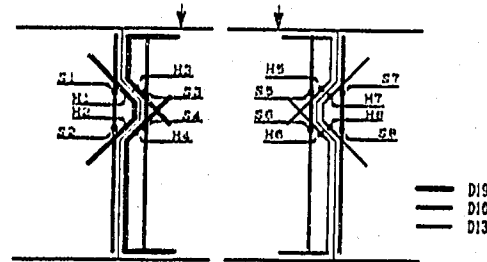
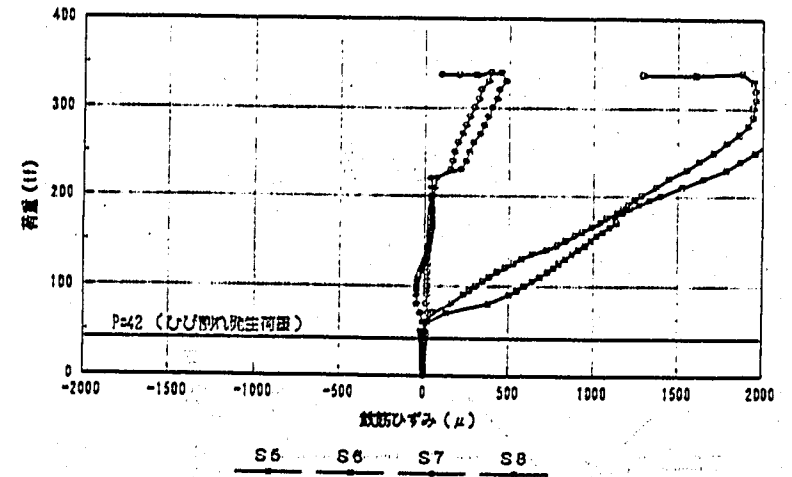
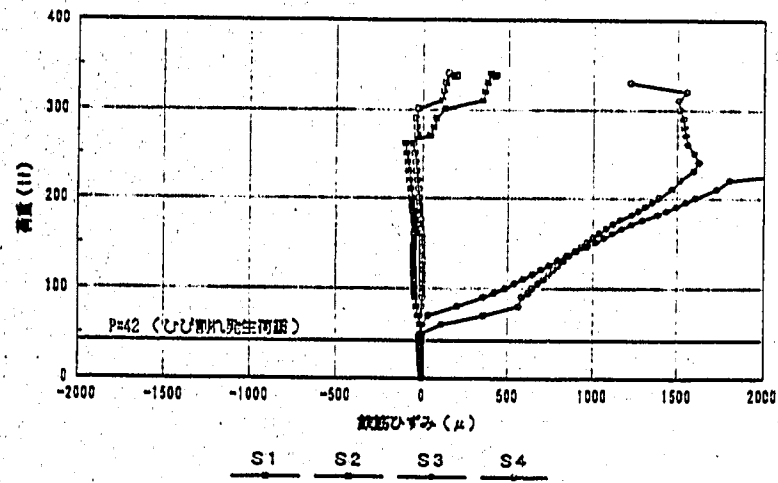


図-3.3.5 荷重と鉄筋ひずみの関係

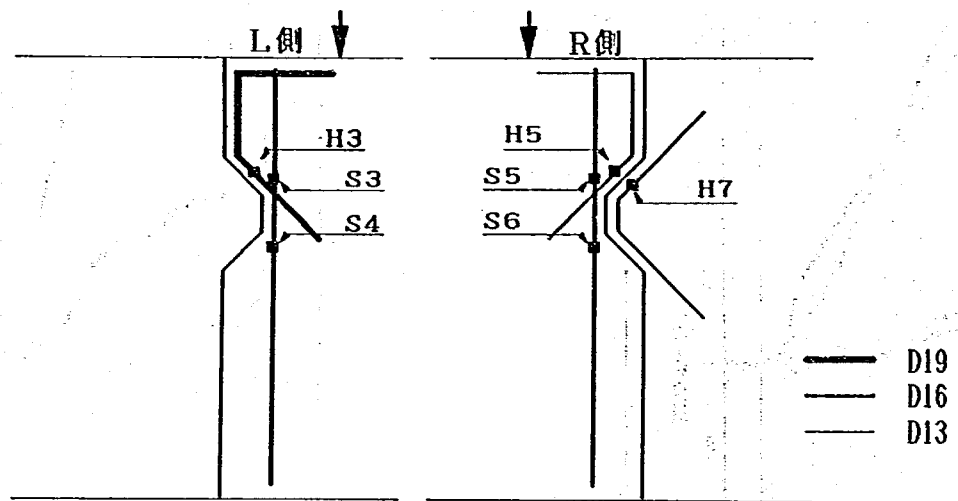
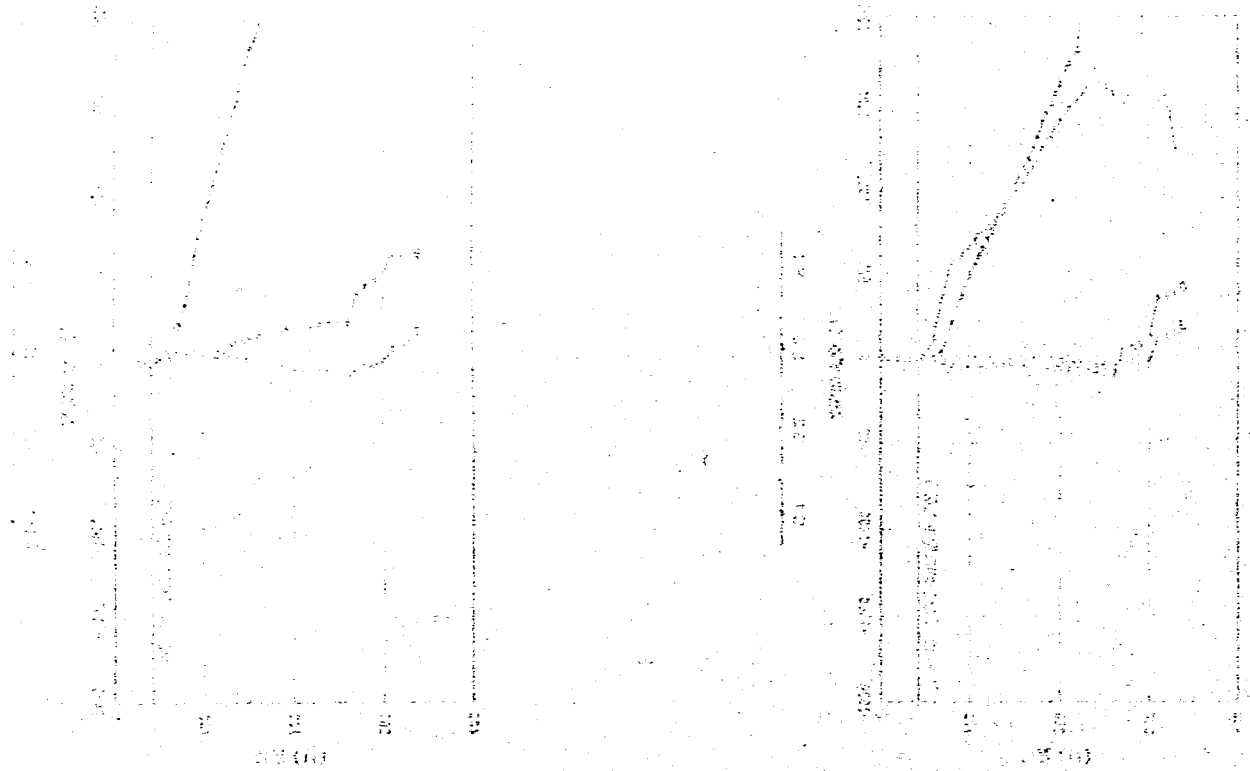


図-3.3.6 大きなひずみが発生した鉄筋とゲージ位置



3.4 まとめ

本研究では、プレキャストブロック工法による箱げた橋を想定して、継目部のウェブにコンクリート製接合キーを配置した場合のせん断伝達機構およびせん断耐力を把握するために、小型供試体と大型供試体によるせん断実験を行った。継目部に大きなせん断力が卓越して作用する小型供試体と継目部に大きなせん断力と曲げモーメントが同時に作用する大型供試体の実験結果より得られた結果をまとめるとそれぞれ以下のとおりである。

(1) 小型供試体

- ① 継目部の接着状態が、供用時を想定した完全接着の場合と架設時を想定した未硬化の場合とでは力の流れ、ひびわれ発生状況および破壊形態が異なる。
- ② 完全接着の継目部に大きなせん断力が作用した場合、せん断ひびわれは継目部を貫通して発生する。
- ③ 荷重によるコンクリートの平均せん断応力度が現行道示に規定される最大値 53kgf/cm^2 になっても、台形接合キーに配置された補強鉄筋は降伏ひずみに達しない。
- ④ プレストレスは継目部の摩擦抵抗の増加に有効に作用し、せん断耐力を増加させる。
- ⑤ 完全接着の場合、継目部が 0.1mm ずれるときの接合キーと接着剤によるせん断耐力は、台形接合キーで 23kgf/cm^2 程度、多段接合キーでは 28kgf/cm^2 程度である。
- ⑥ 完全接着の場合、継目部が 0.1mm ずれるときのプレストレスによる摩擦係数は、台形接合キーで 0.95 程度、多段接合キーでは 0.82 程度である。
- ⑦ 完全接着でプレストレスが 40kgf/cm^2 のとき多段接合キーや波形接合キーでも、台形接合キーと同等のせん断耐力がある。

(2) 大型供試体

- ① 継目部に沿った曲げひびわれは、継目の無い支間中央の曲げひびわれとほぼ同時に発生したが、進展は速くひびわれ幅も大きくなる傾向がある。
- ② 継目部付近のせん断ひびわれは、台形接合キーを貫通して発生した。
- ③ 曲げひびわれ(支間中央部および継目部)発生後にせん断ひびわれが発生して進展していくが、最終的には載荷点近傍の上フランジのコンクリートが圧壊することにより耐力を失った。
- ④ 曲げひびわれが発生するまでは、台形接合キーに配置された補強鉄筋にはひずみがほとんど発生しない。

4. あとがき

平成3年度は、プレキャストブロック橋のポストテンションTげた橋に着目して、鋼製接合キーを用いた継目部のせん断伝達機構や破壊形態について実験等行って、プレストレスの効果および鋼製接合キーの耐荷力等を把握した。平成4年度は、箱げた橋に着目し、コンクリート製接合キーを用いた継目部のせん断伝達機構や破壊形態について実験を行い、プレストレスの効果、補強鉄筋の挙動、接合キーの形状および寸法の効果等を評価した。

今後は、プレキャストブロック橋にねじりモーメントが作用した場合の継目部の挙動に関する実験を行い、これまでの実験で得られた結果を踏まえて、プレキャストブロック橋に関する合理的な設計法を確立する予定である。

付録－1 小型供試体実験データ

(1)ずれ量

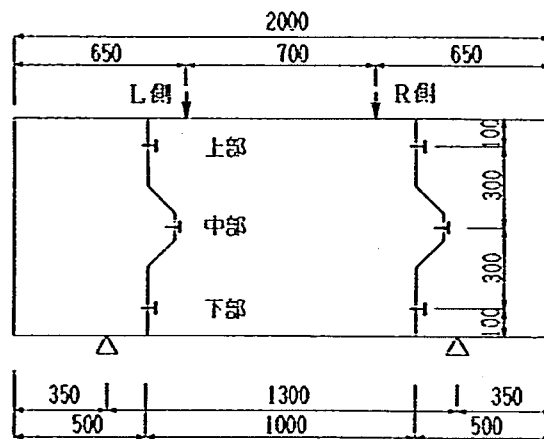
(2)ひびわれ図

(3)載荷状況写真

(1) ずれ量

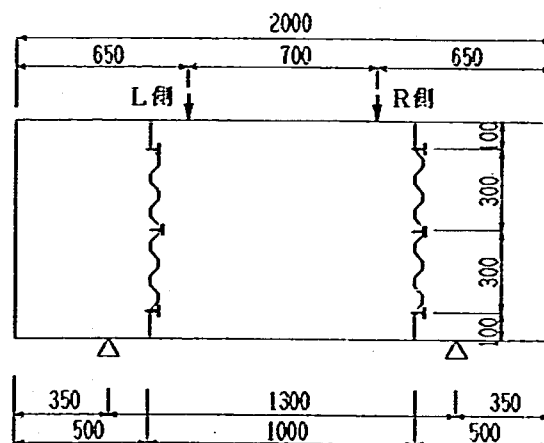
注) ずれ量は下記の様に配置したカンチレバー型変位計 (A面側, B面側) の平均値

供試体 No 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7

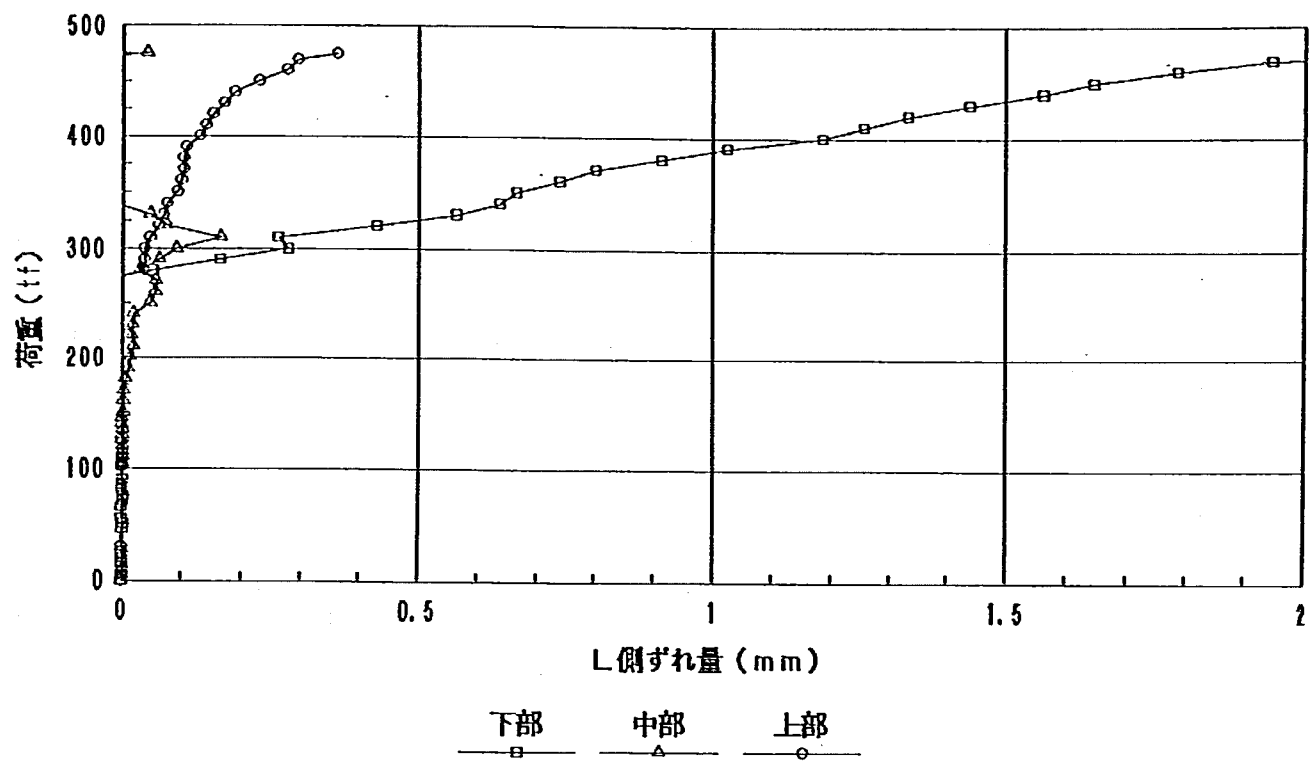


→ カンチレバー型変位計

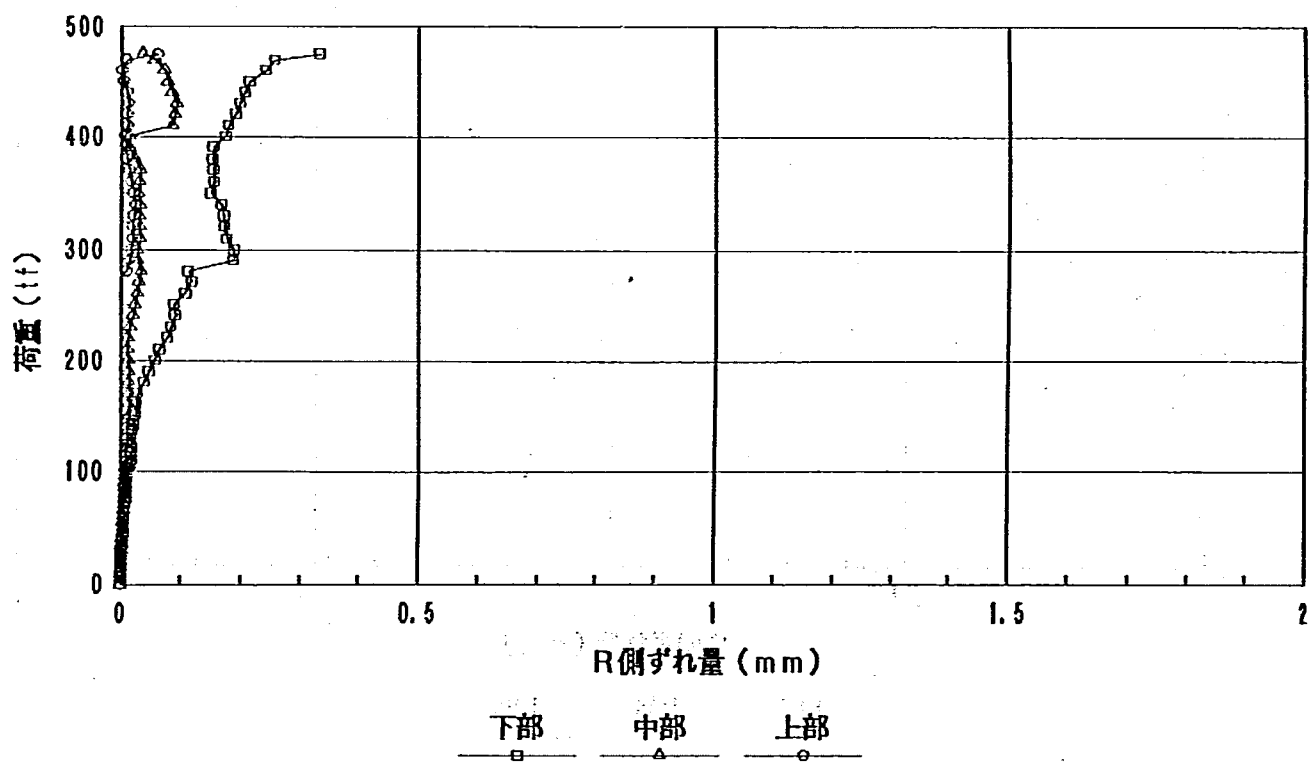
供試体 No 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14



→ カンチレバー型変位計

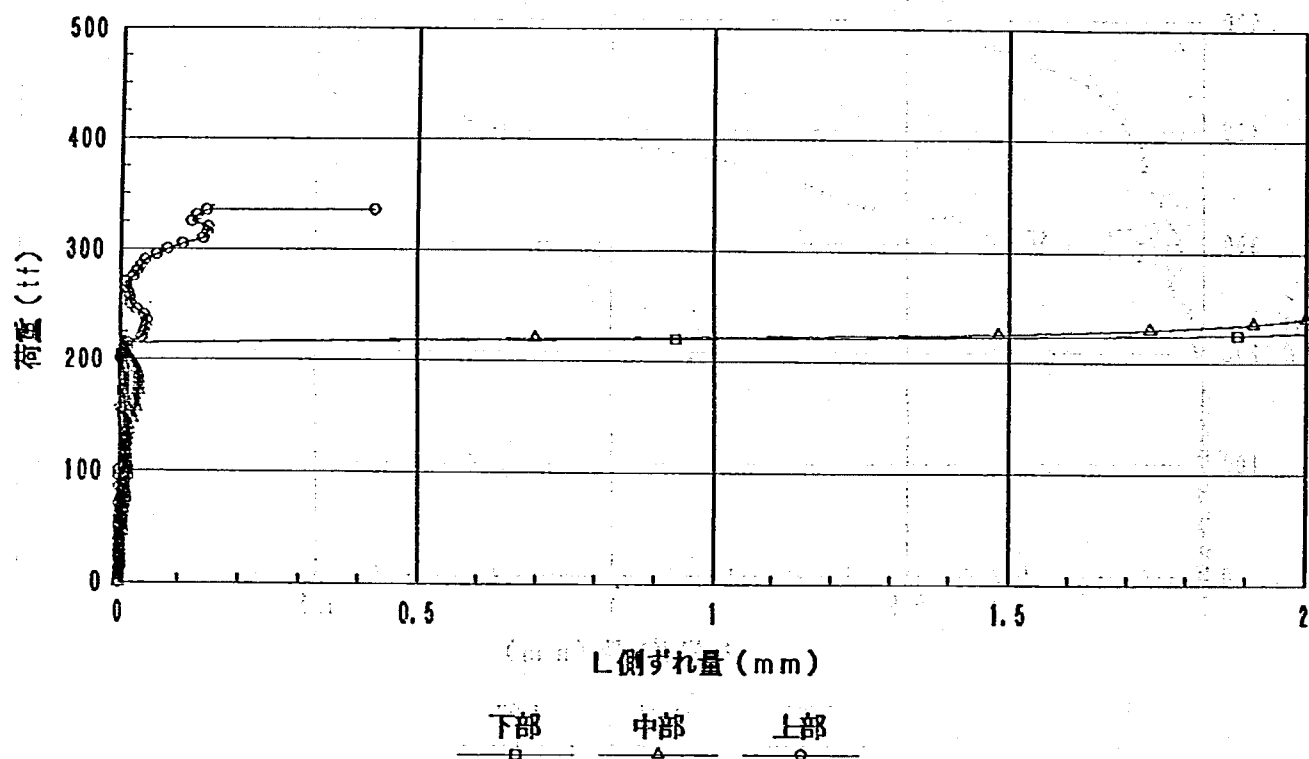


(a) L 側

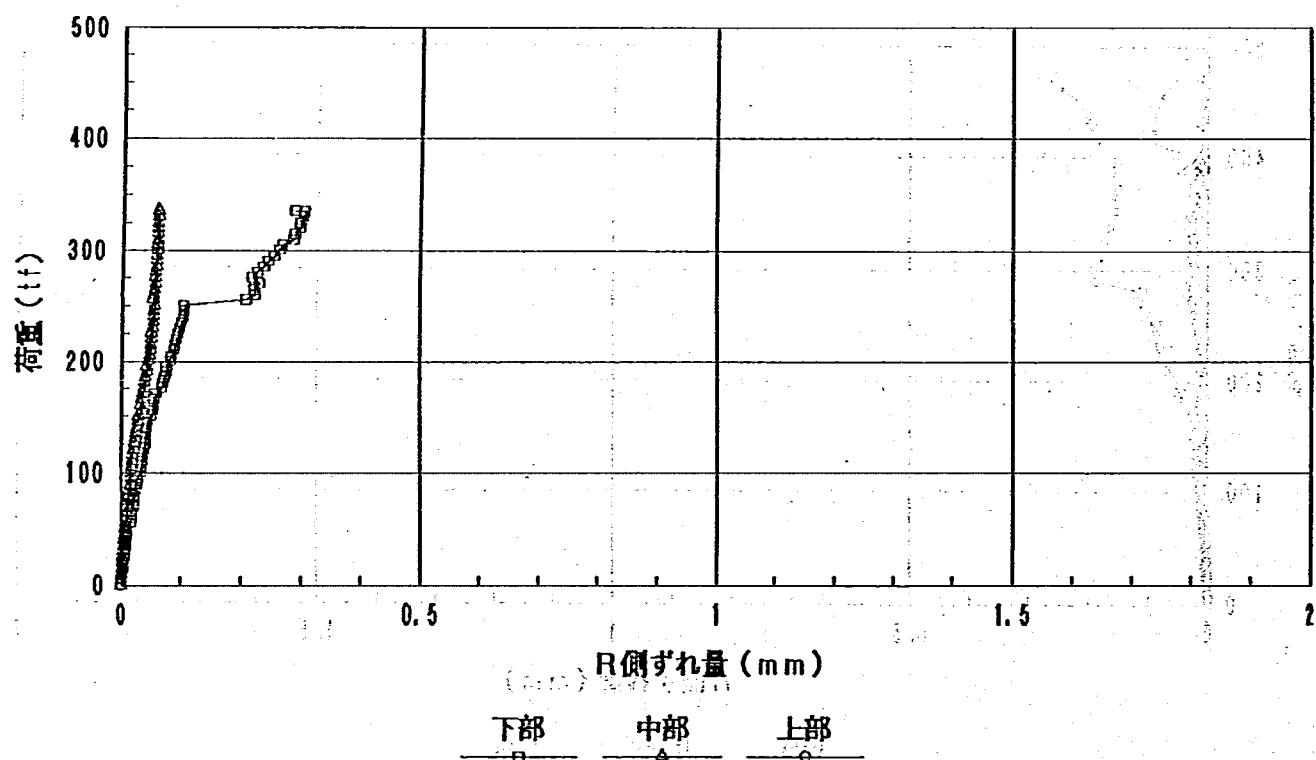


(b) R 側

付図-1.1.1 荷重とずれ量の関係 (No 1 : S-C45N-40-H)

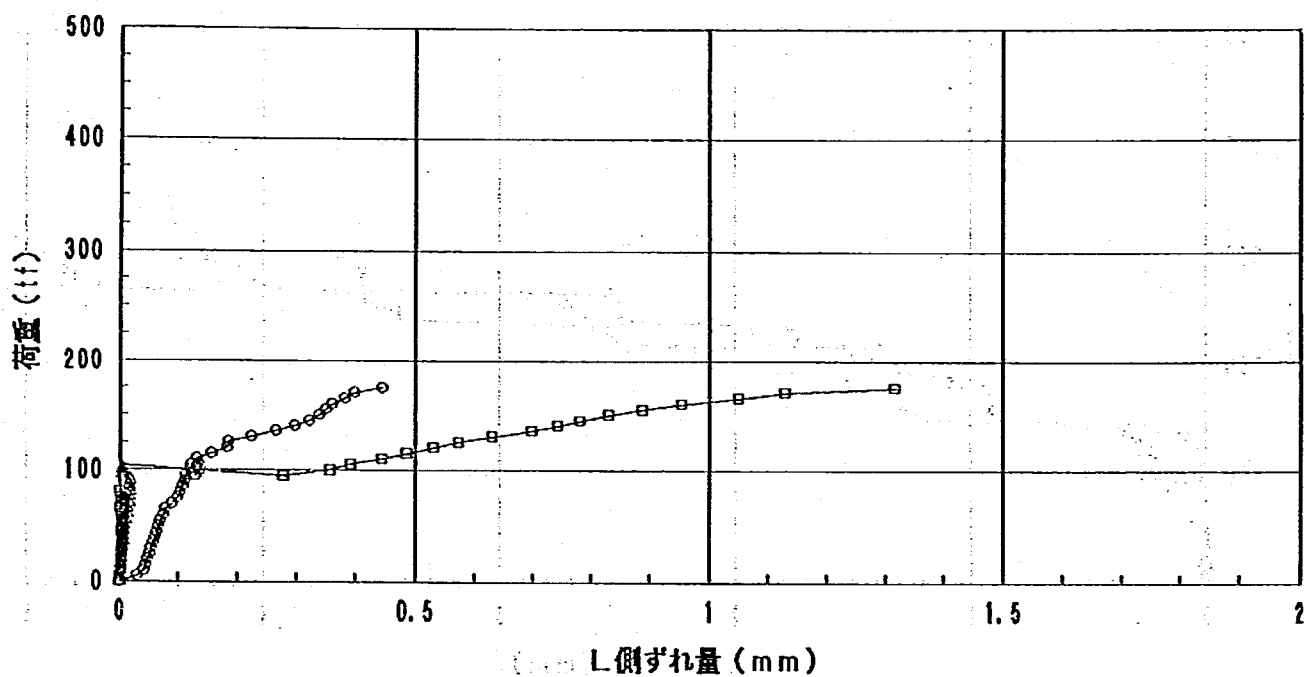


(a) L 側

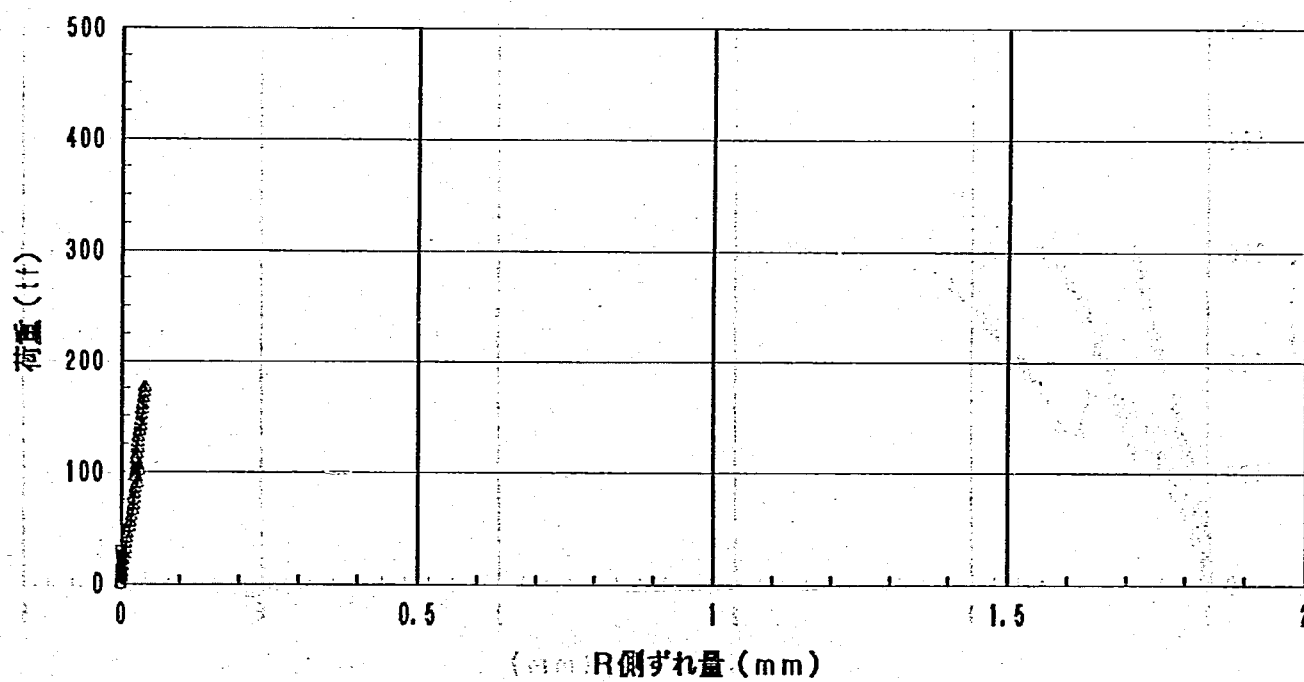


(b) R 側

付図-1.1.2 荷重とずれ量の関係 (No 2 :: S-C45N-20-H)

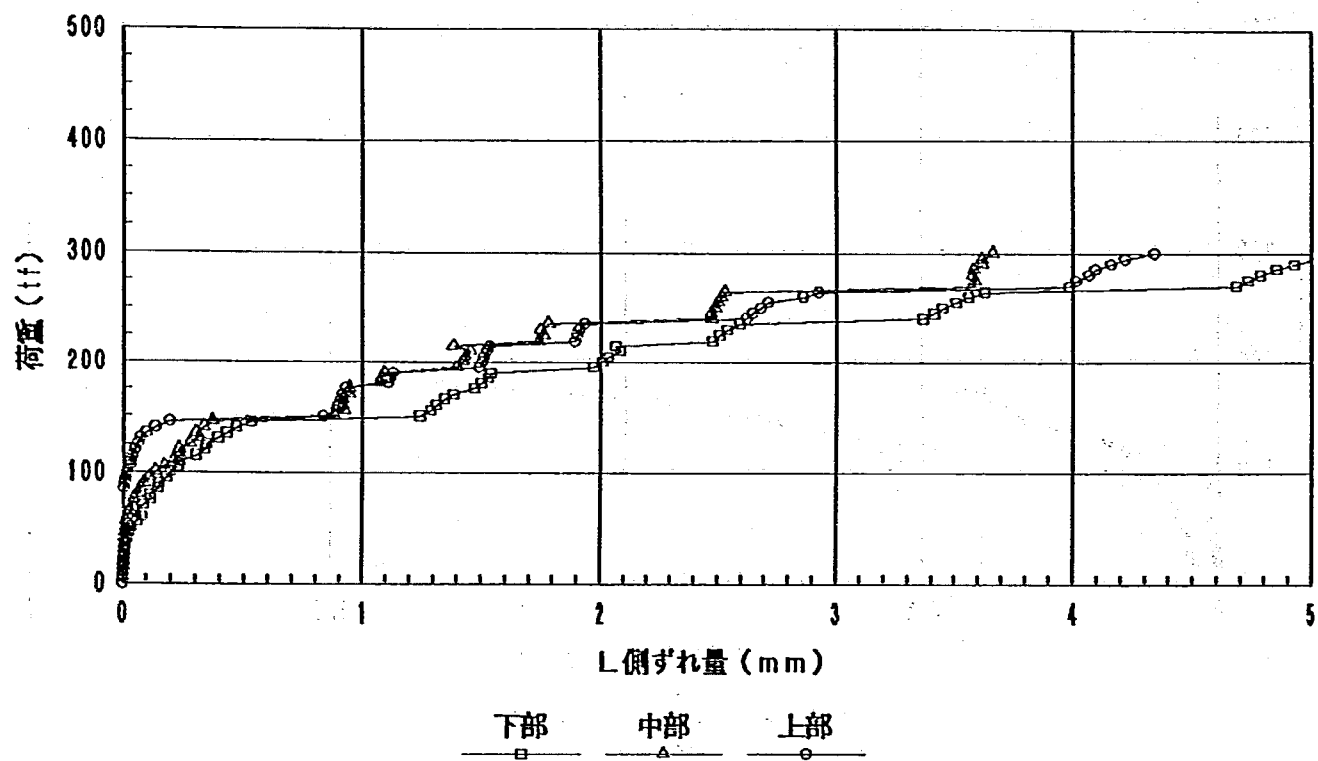


(a) L 側

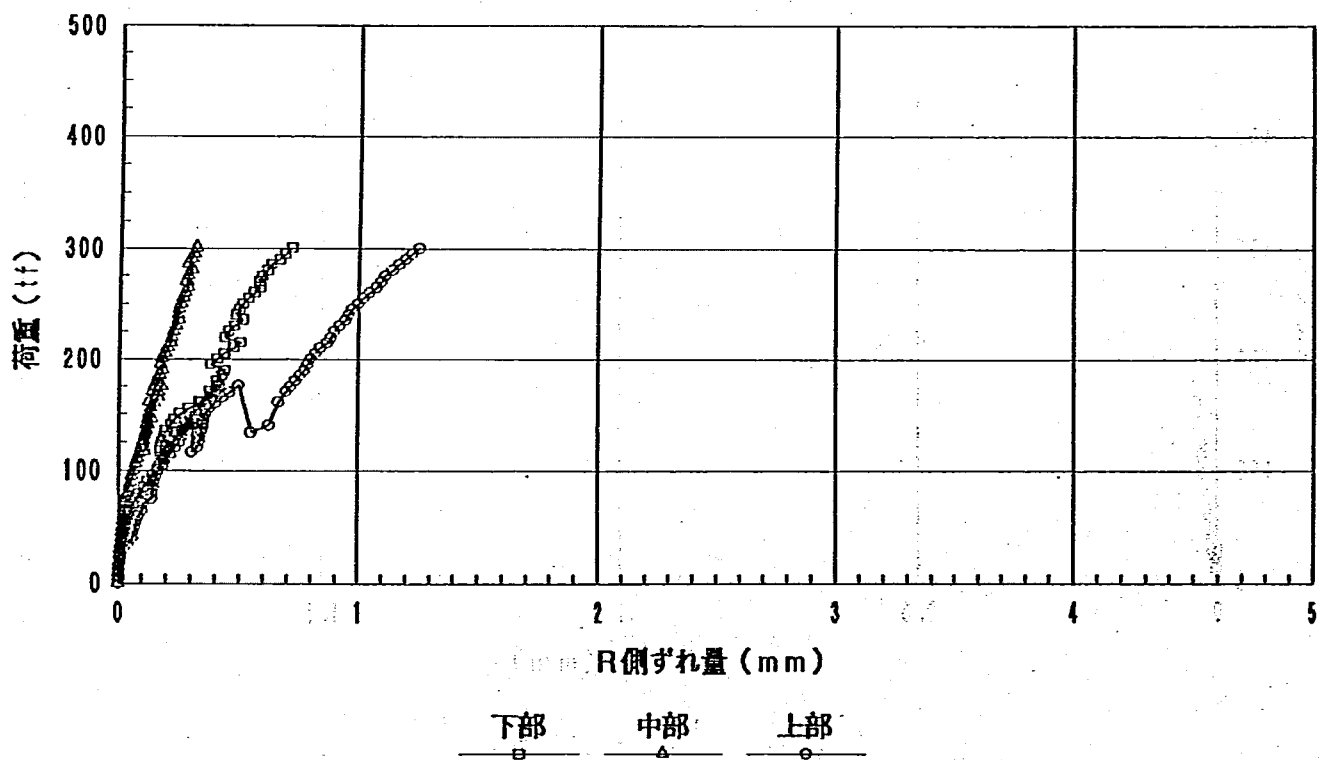


(b) R 側

付図-1.1.3 荷重とずれ量の関係 (No.3 : S-C45N + 0-H)

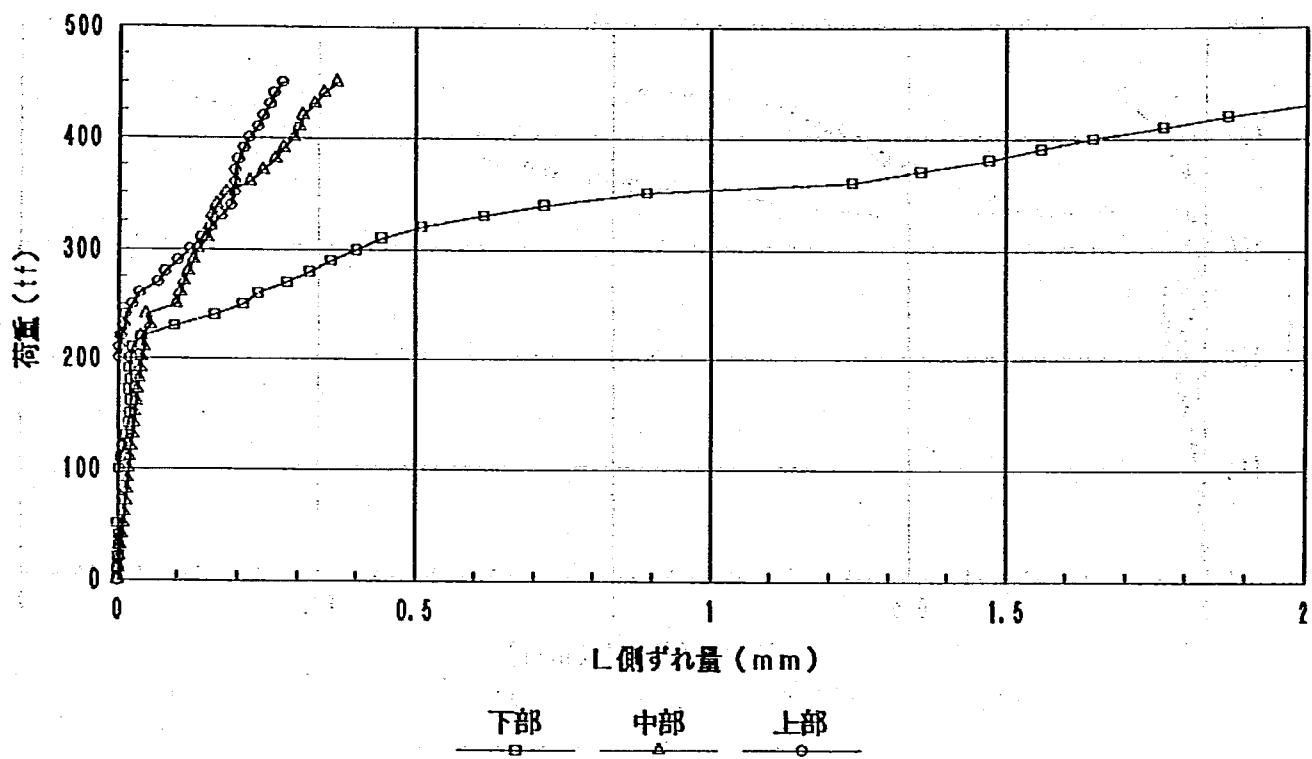


(a) L 側

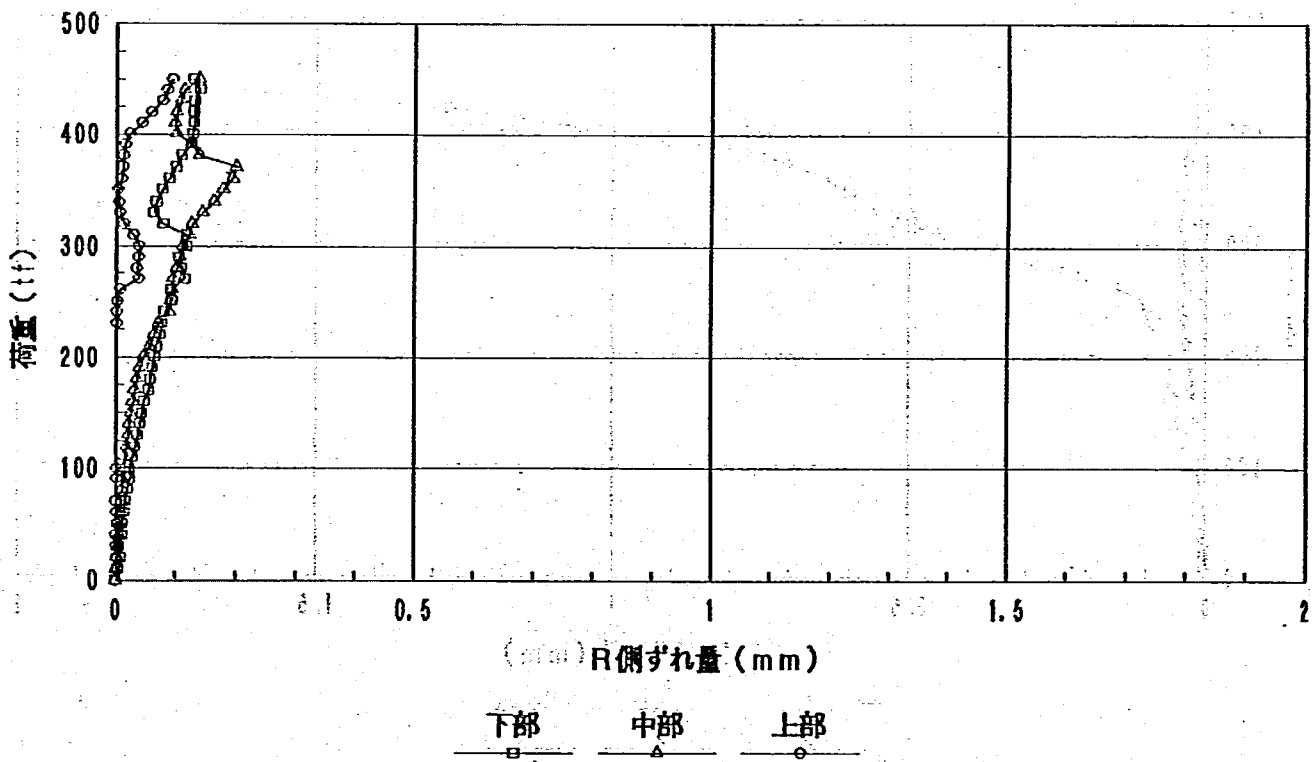


(b) R 側

付図-1.1.4 荷重とずれ量の関係 (No.4 : S-C45N-20-W)

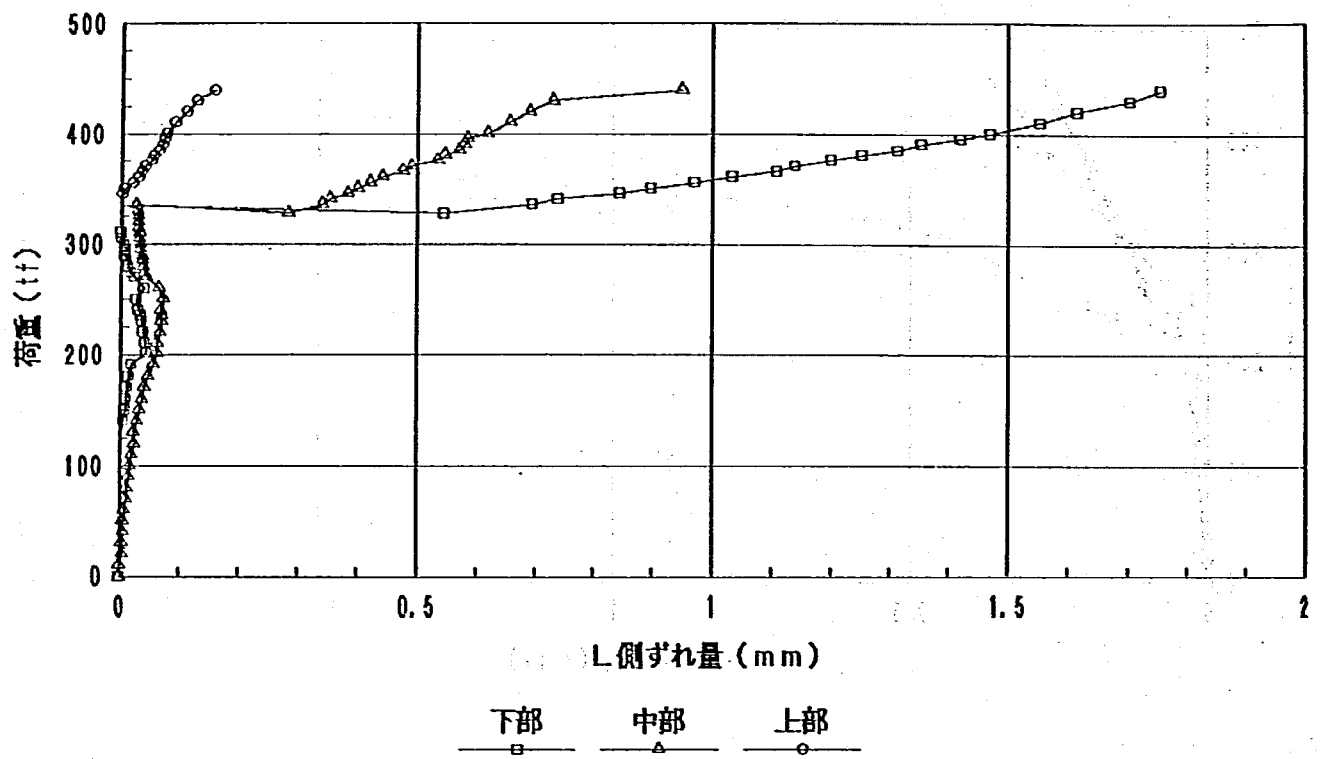


(a) L 側

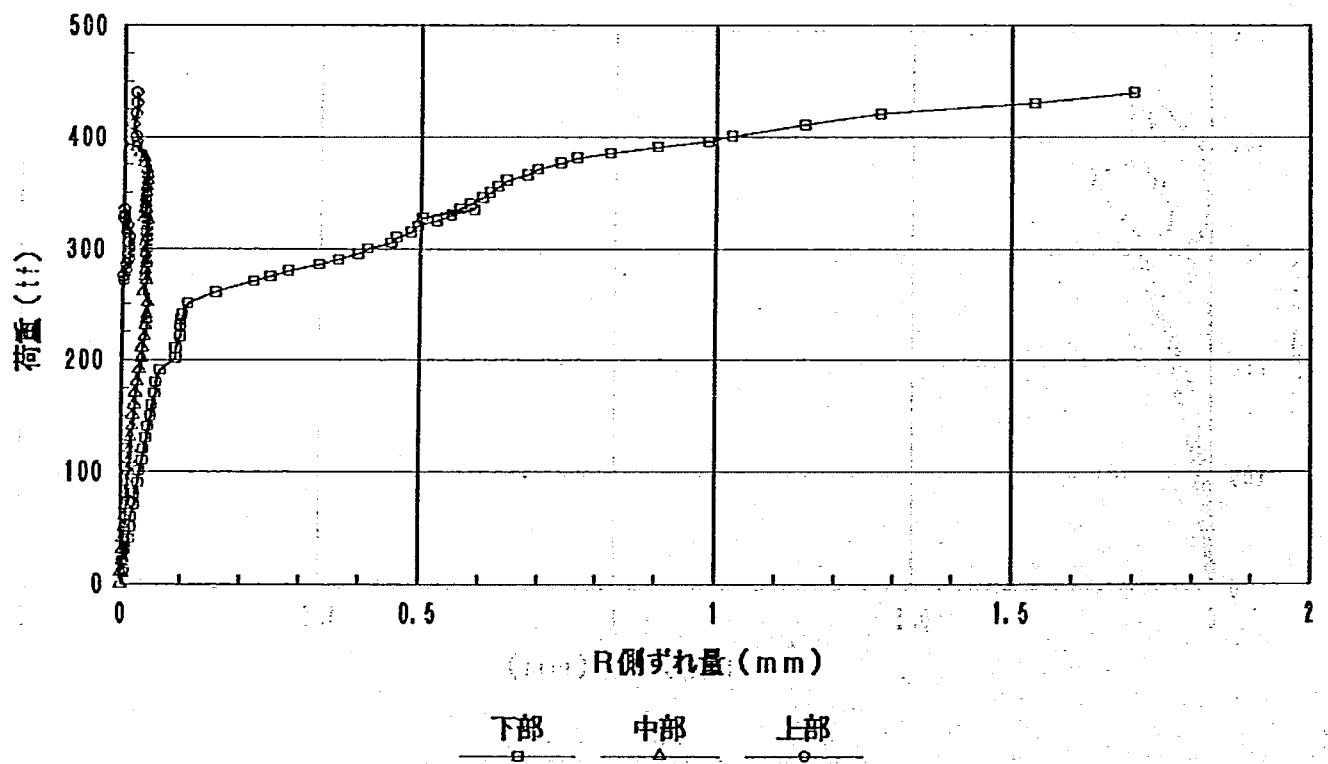


(b) R 側

付図-1.1.5 荷重とずれ量の関係 (No.5 : S-C45L-40-H)

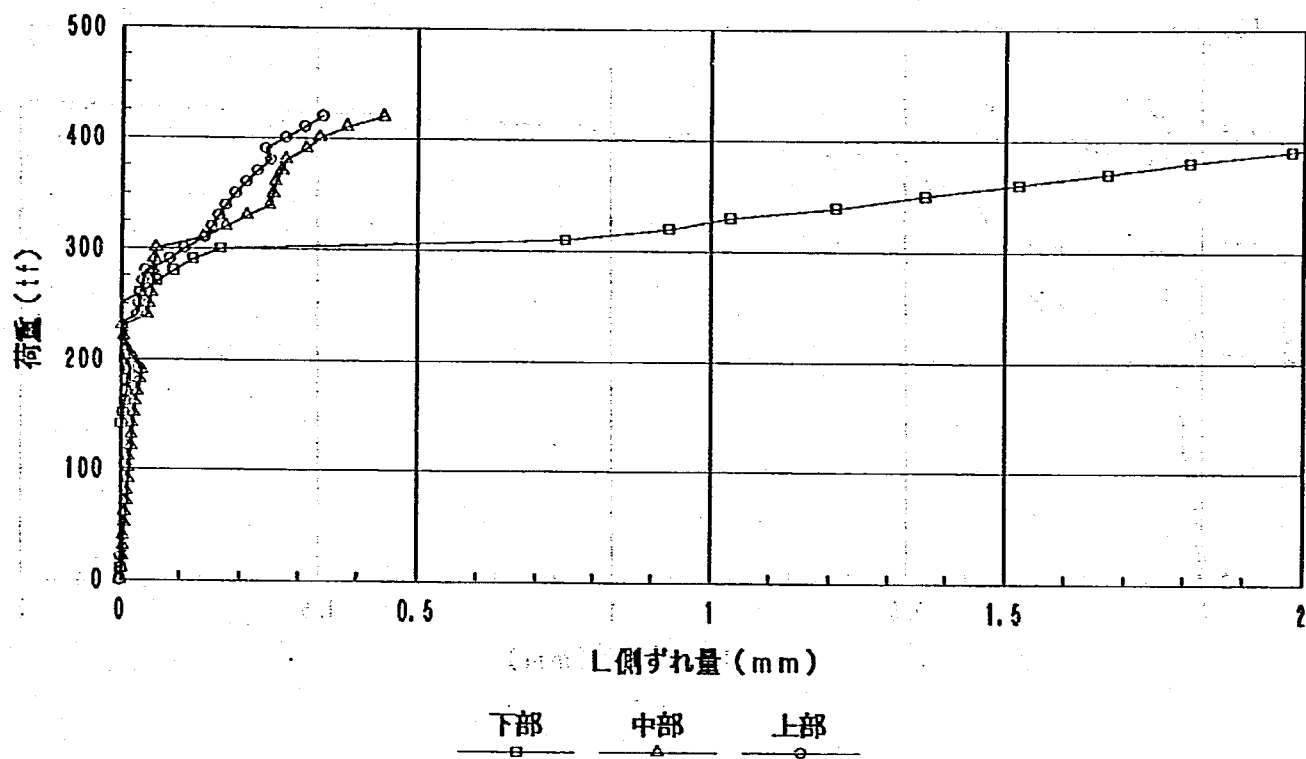


(a) L 側

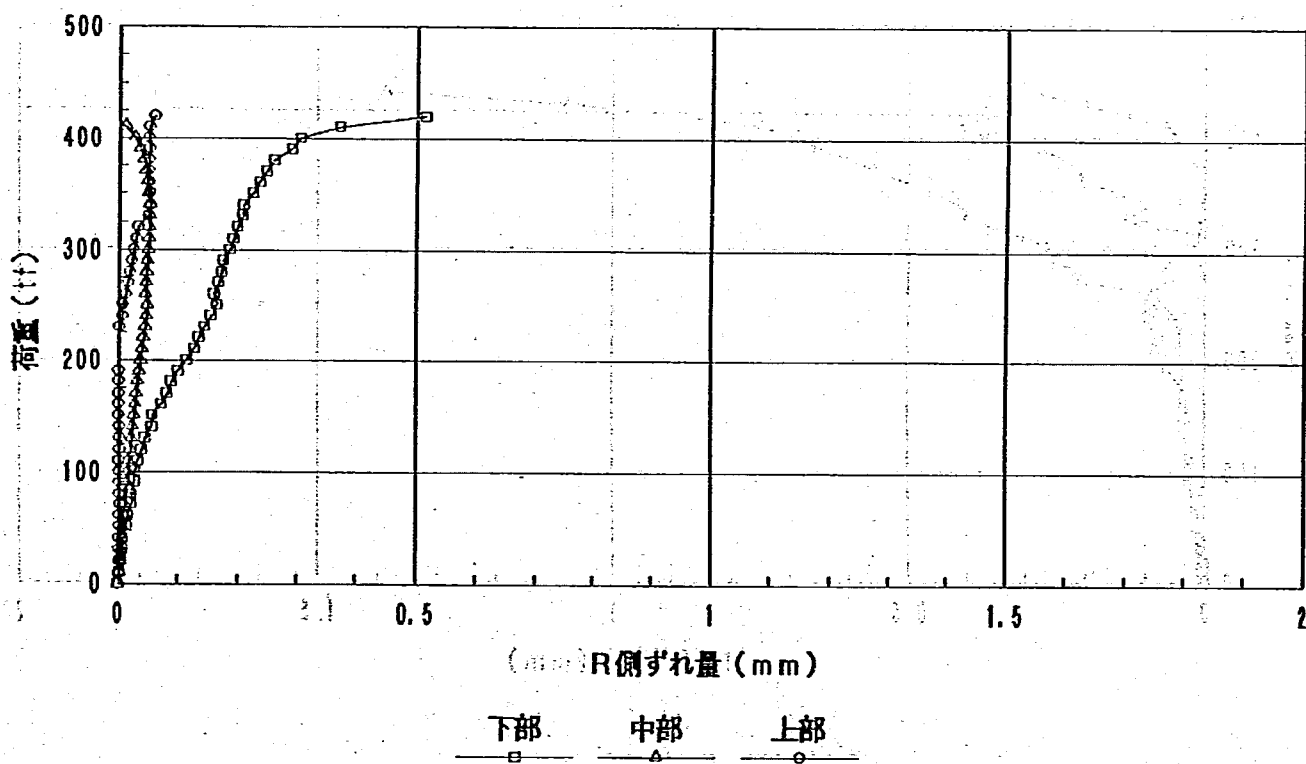


(b) R 側

付図-1.1.6 荷重とずれ量の関係 (No 6 : S-C45-40-H)

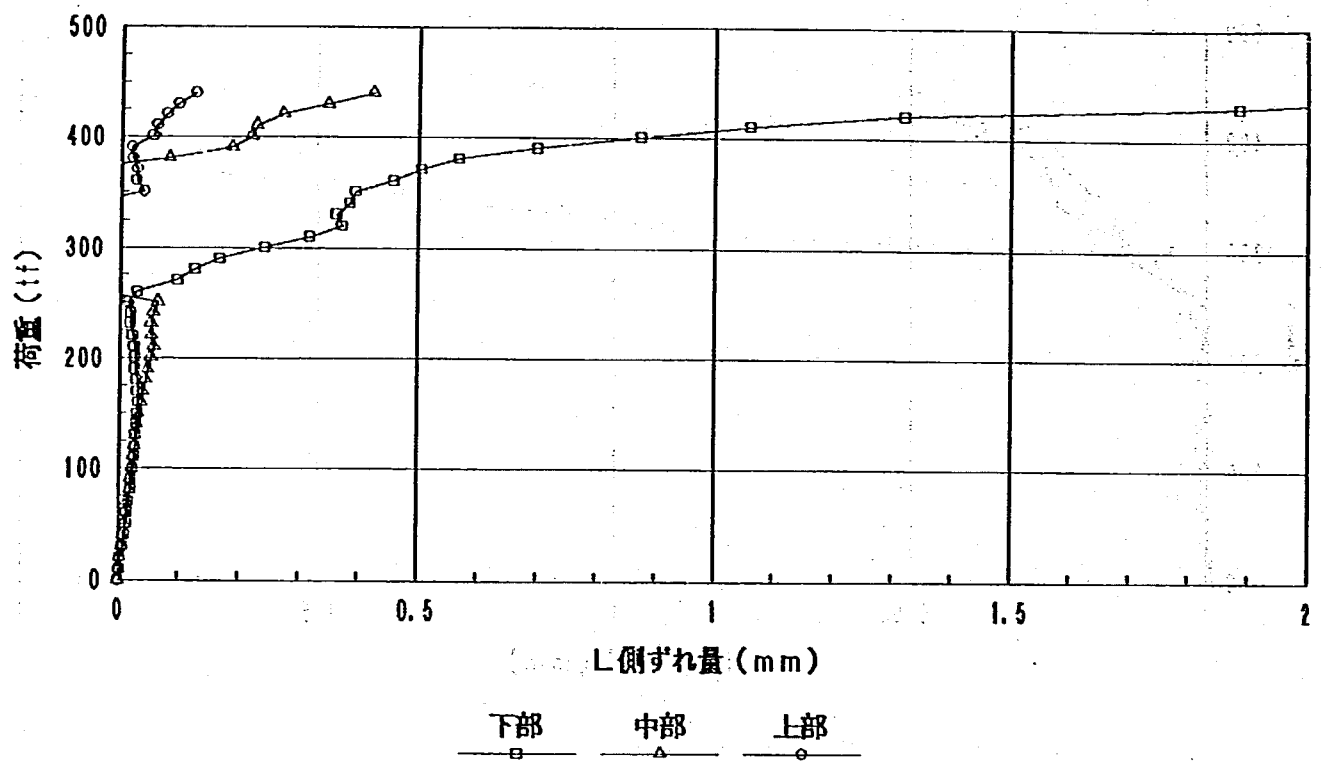


(a) L 側

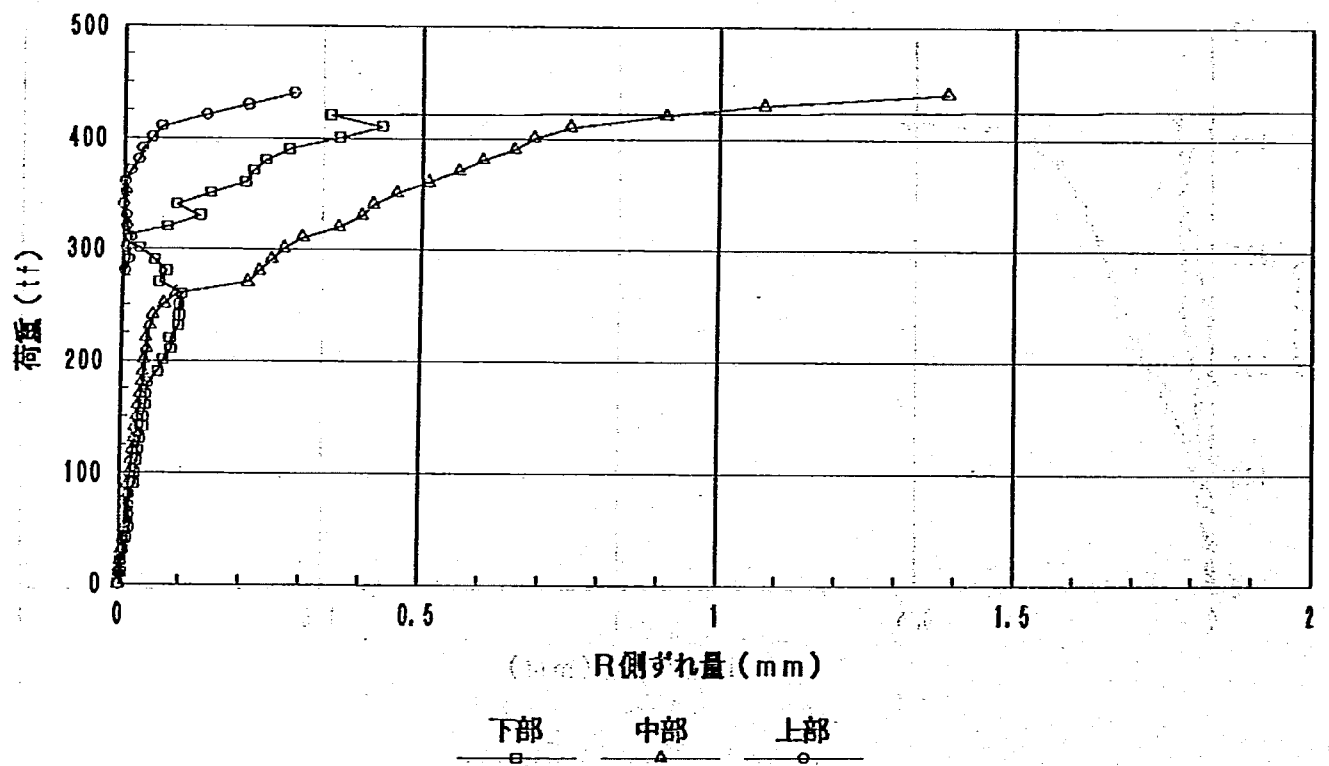


(b) R 側

付図-1.1.7 荷重とずれ量の関係 (No.7: S-C60N+40-H)

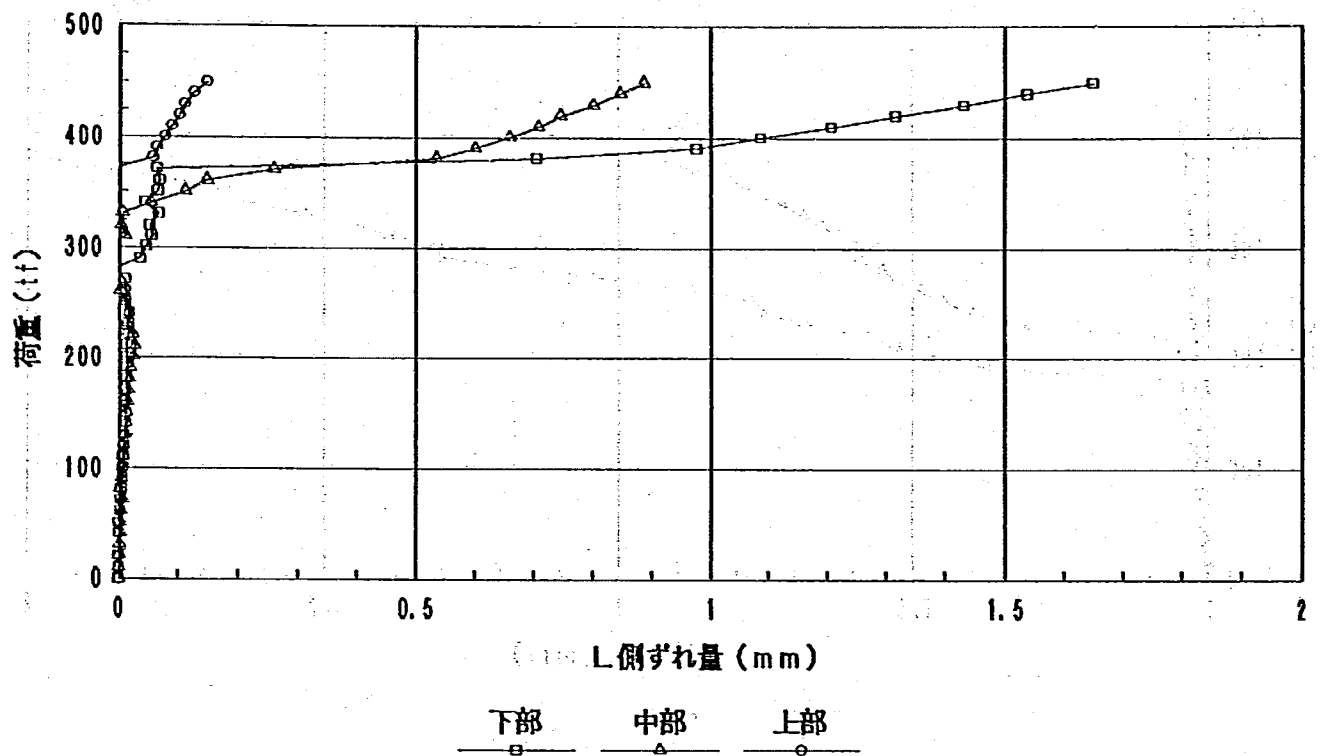


(a) L 側

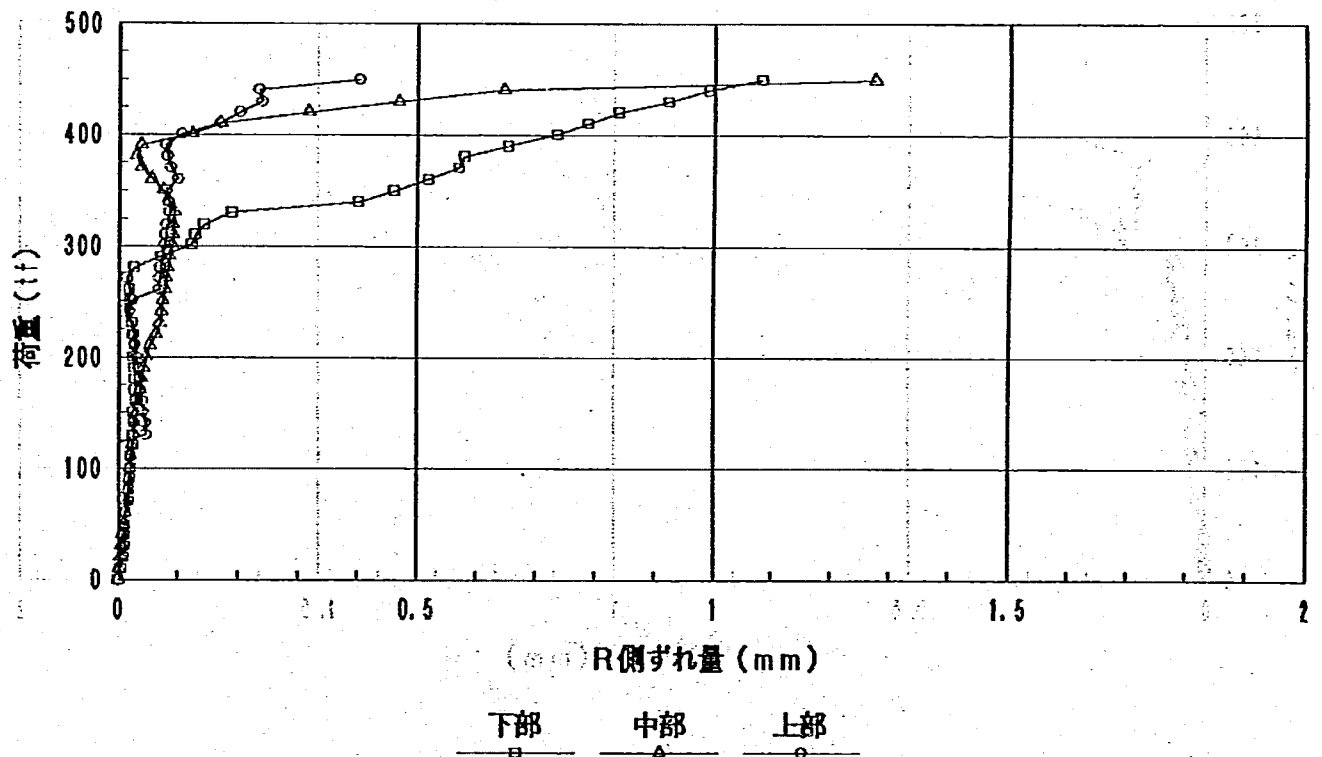


(b) R 側

(付図-1.1.8) 荷重とずれ量の関係 (No.8: S₁N₁-40₁H₁)

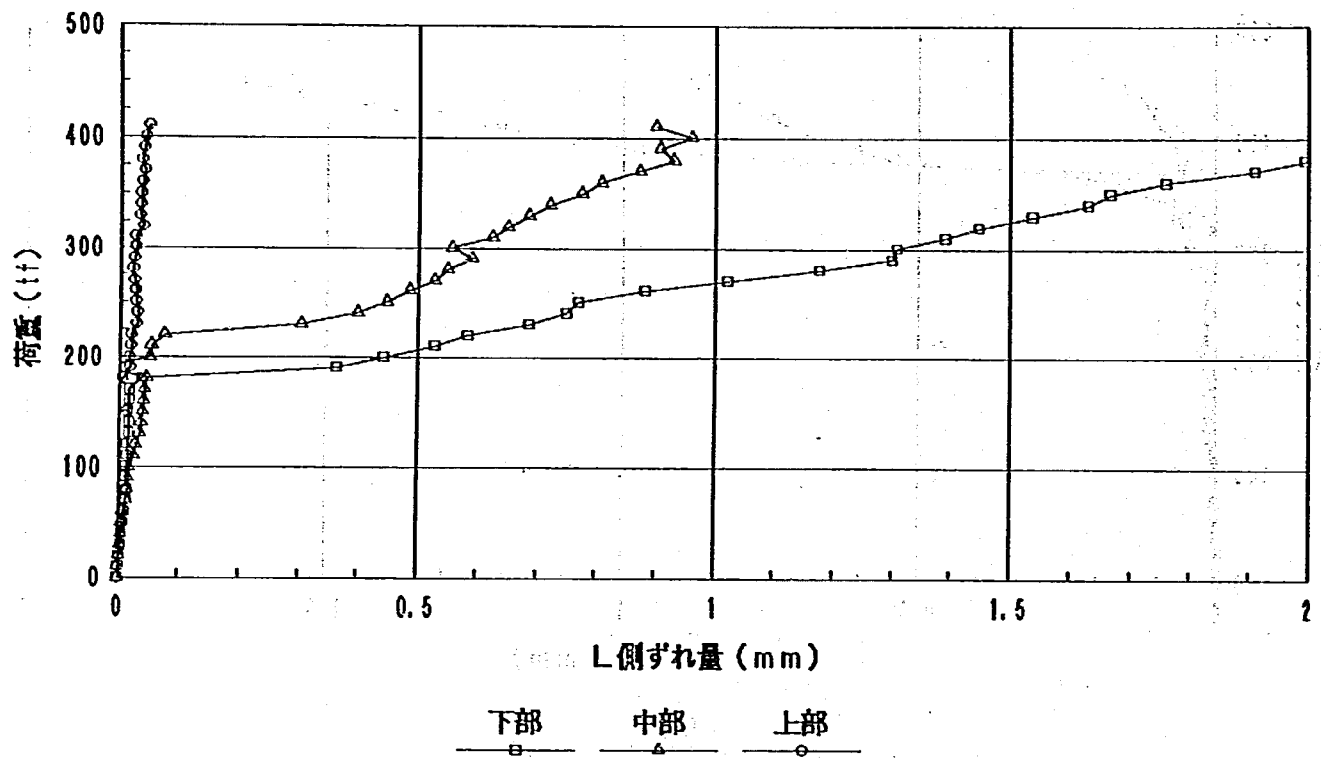


(a) L 側

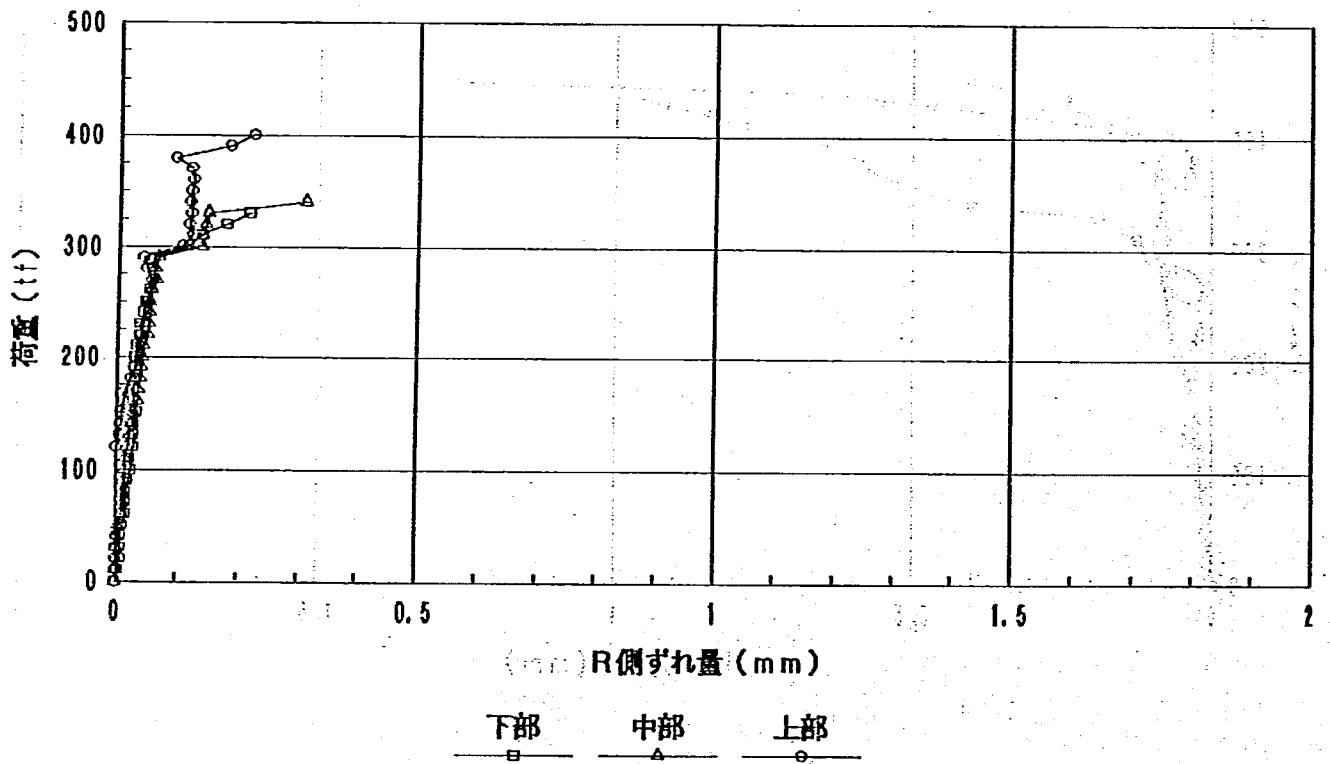


(b) R 側

付図-1.1.9 荷重とずれ量の関係 (No.9 : S-M3-40-H)

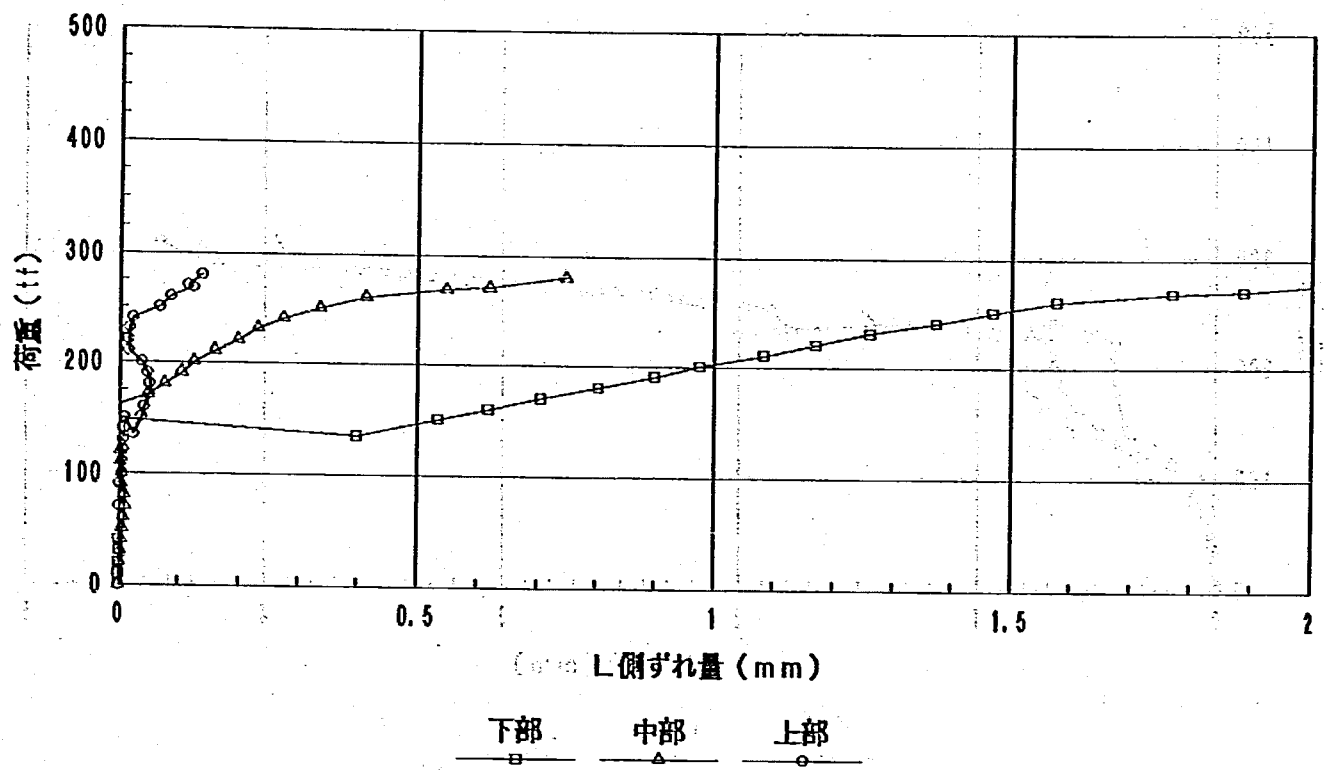


(a) L側

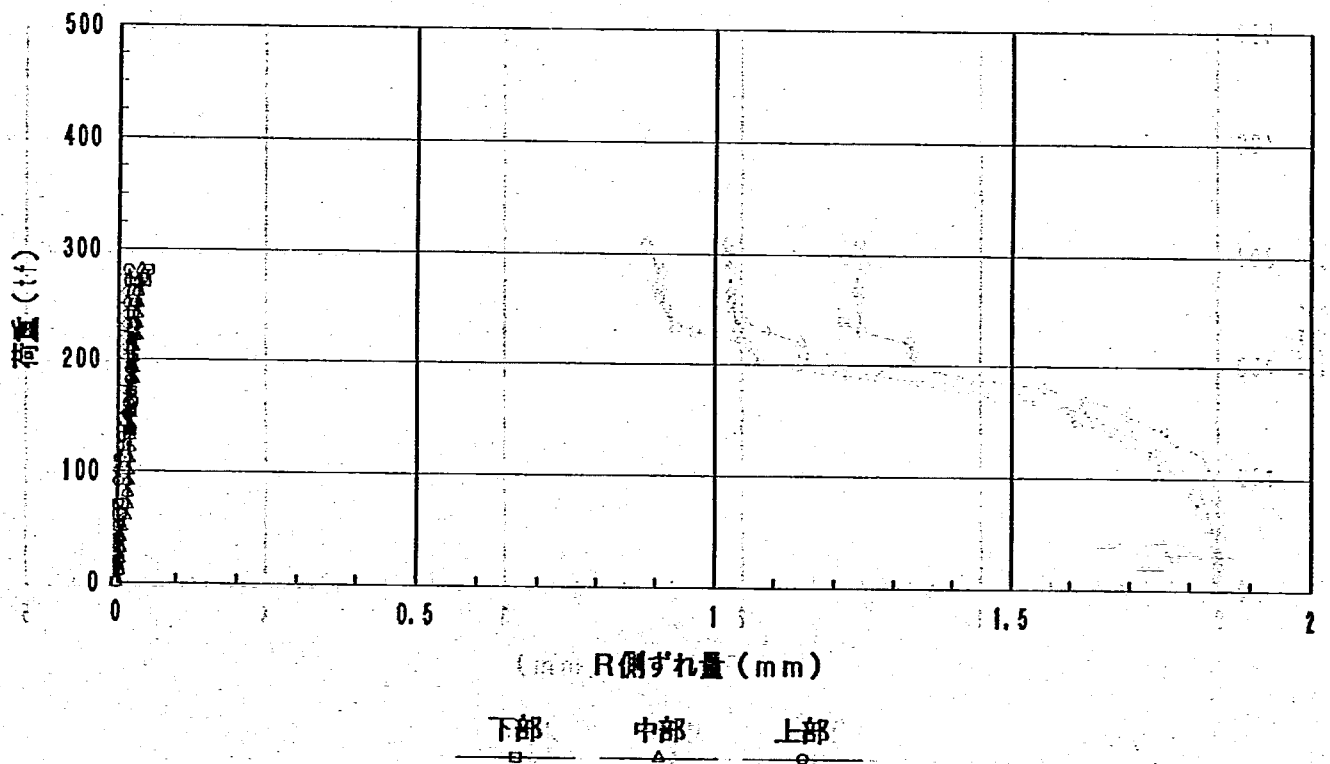


(b) R側

付図-1.1.10 荷重とずれ量の関係 (No10: S-M3-20-H)

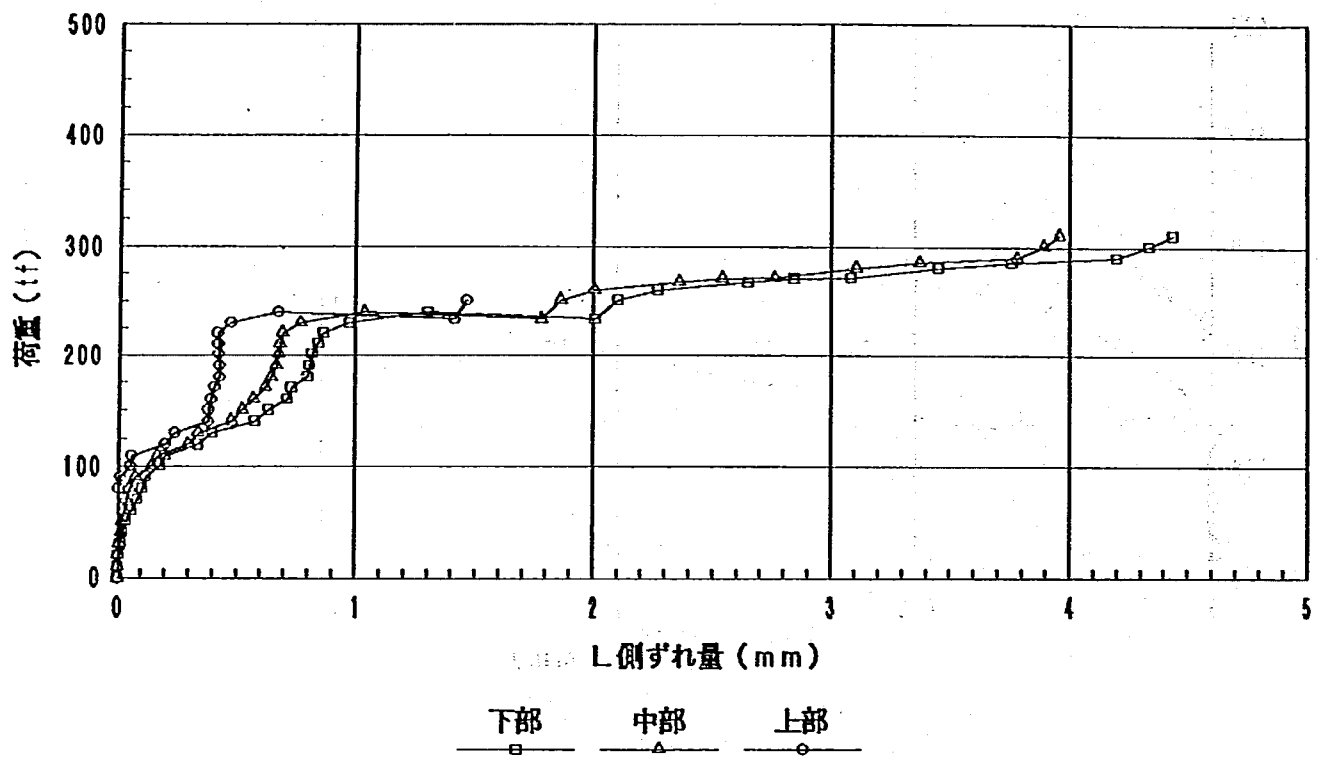


(a) L 側

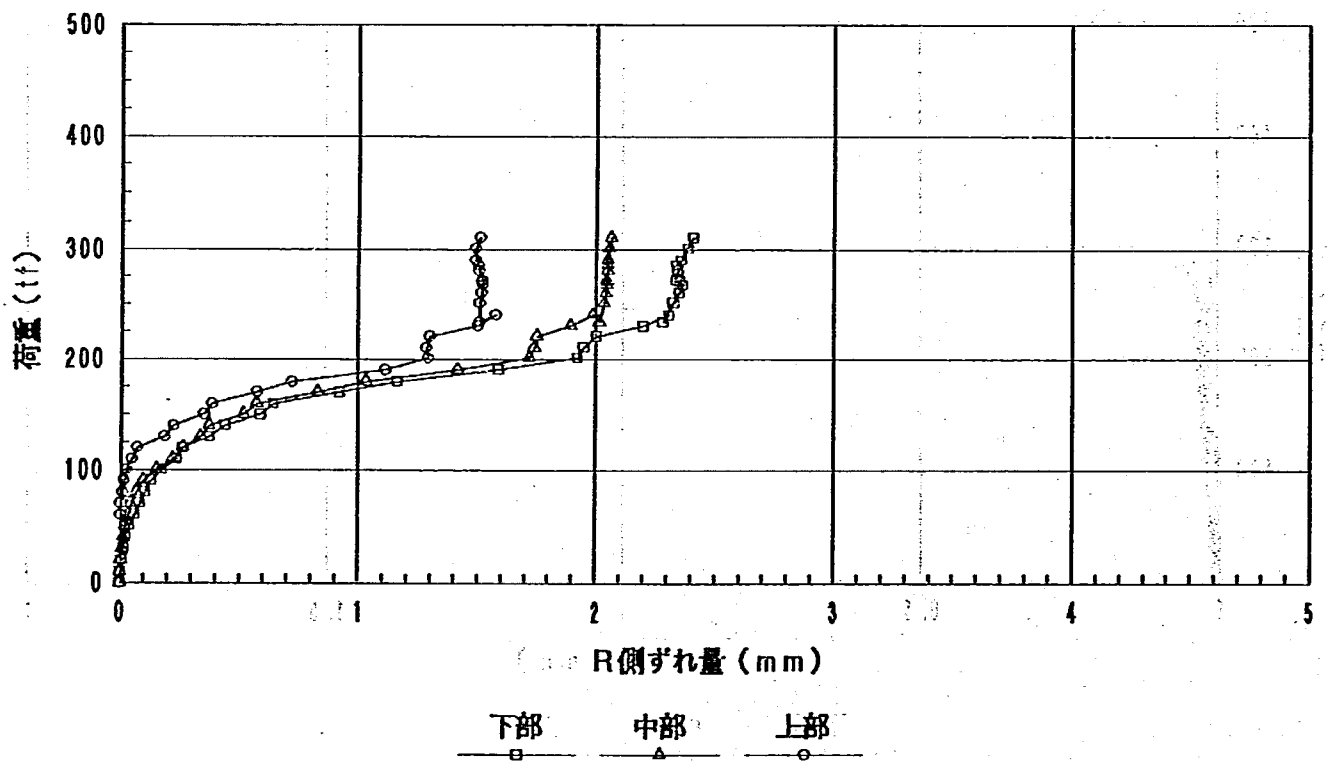


(b) R 側

付図-1.1.11 荷重とずれ量の関係 (No.11 : S-M3-0-H)

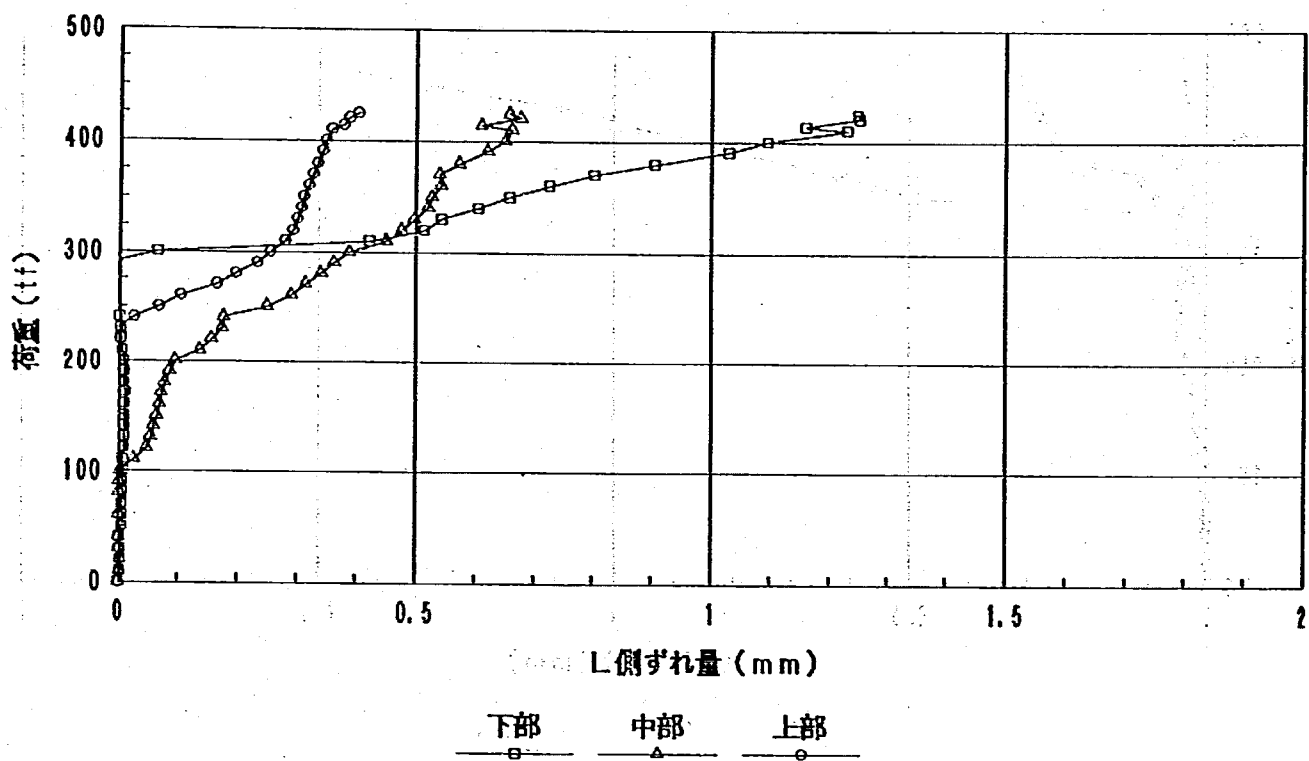


(a) L 側

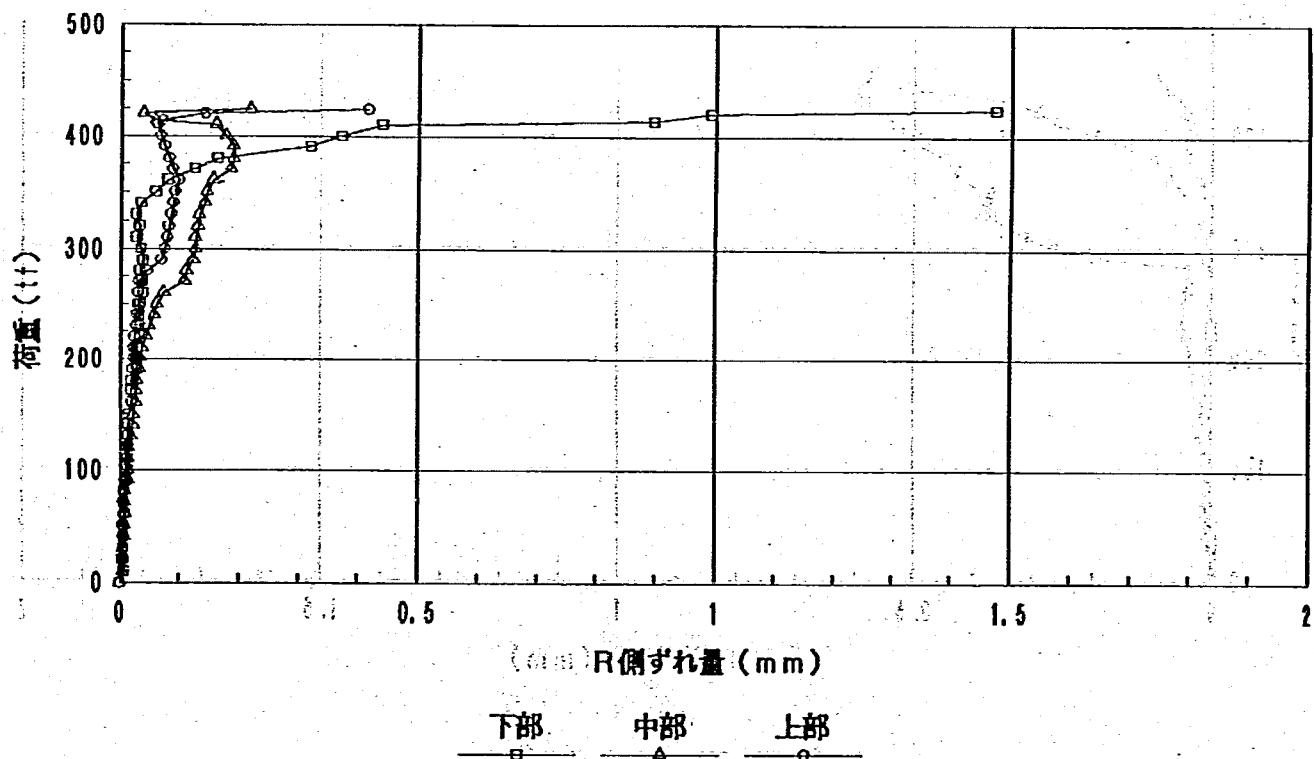


(b) R 側

付図-1.1.12 荷重とずれ量の関係 (No.12 : S-M 3-20-W)

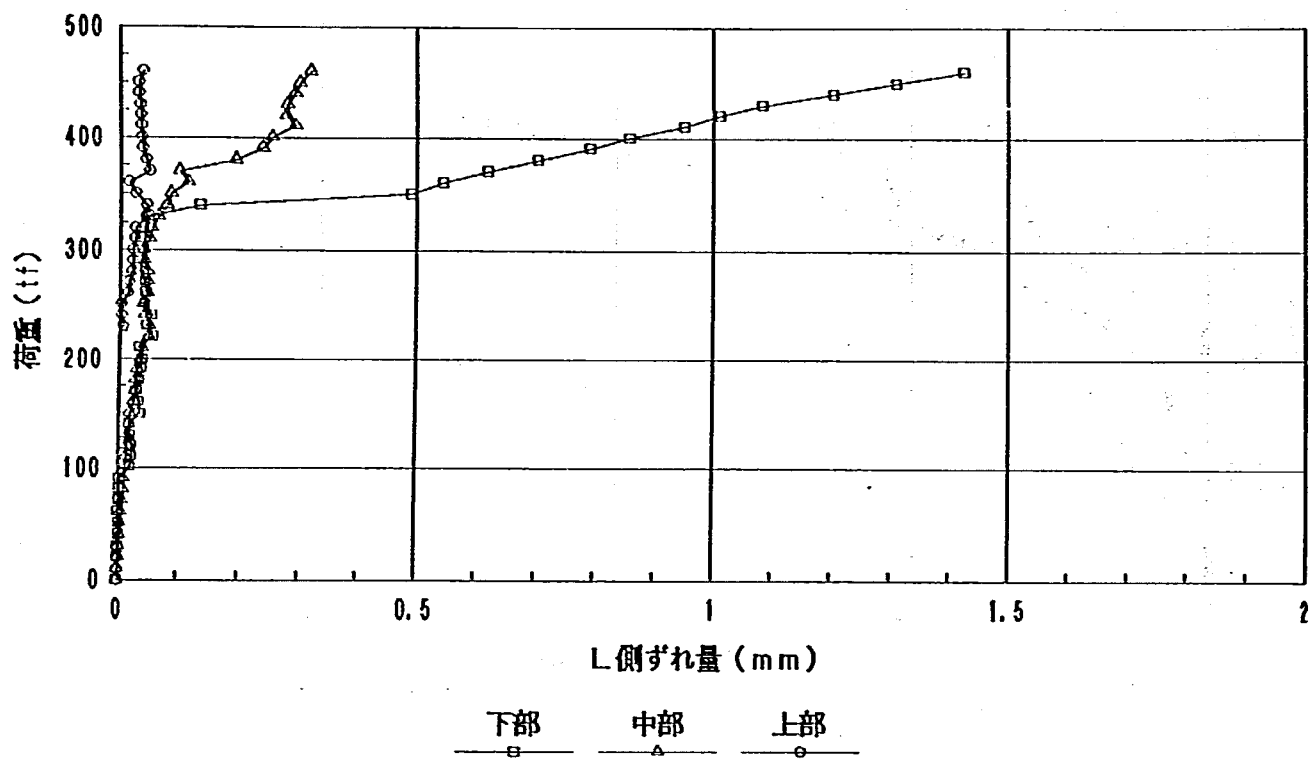


(a) L 側

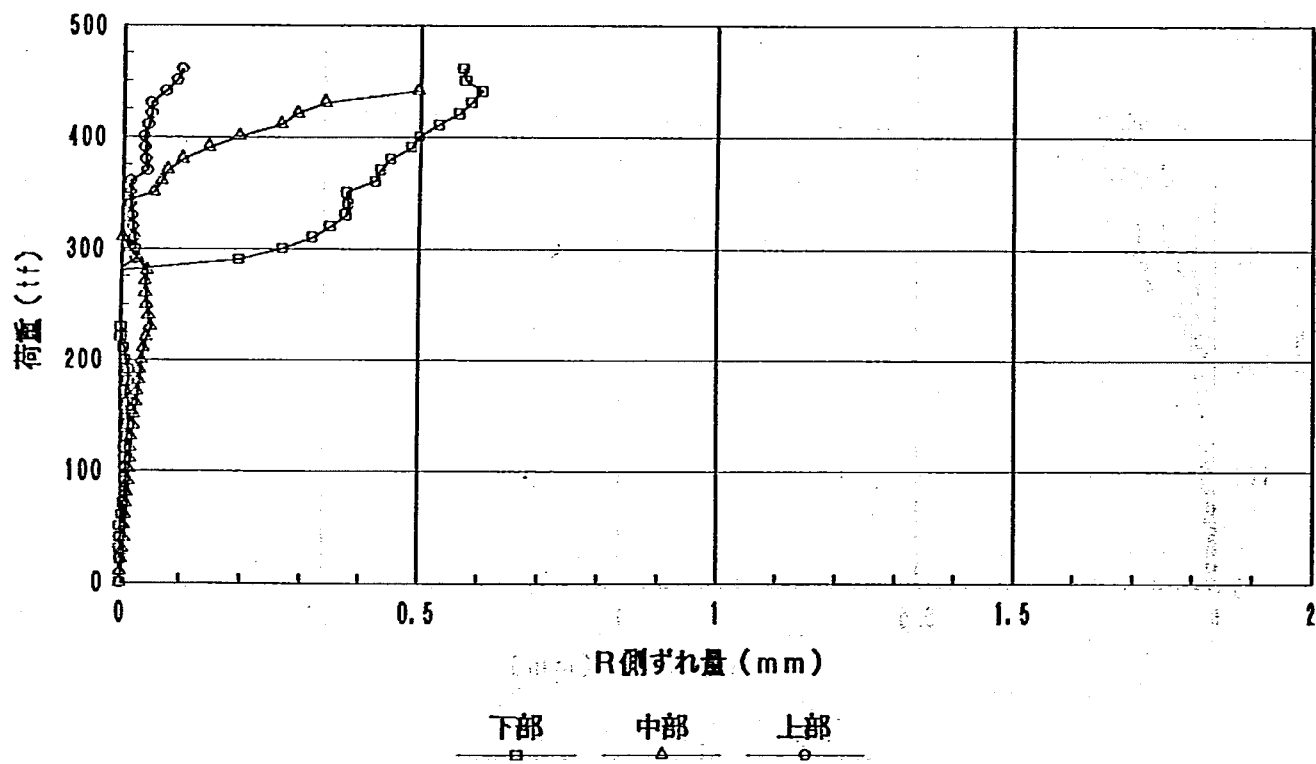


(b) R 側

付図-1.1.13 荷重とずれ量の関係 (Na13: S-M5 ÷40=H)



(a) L 側

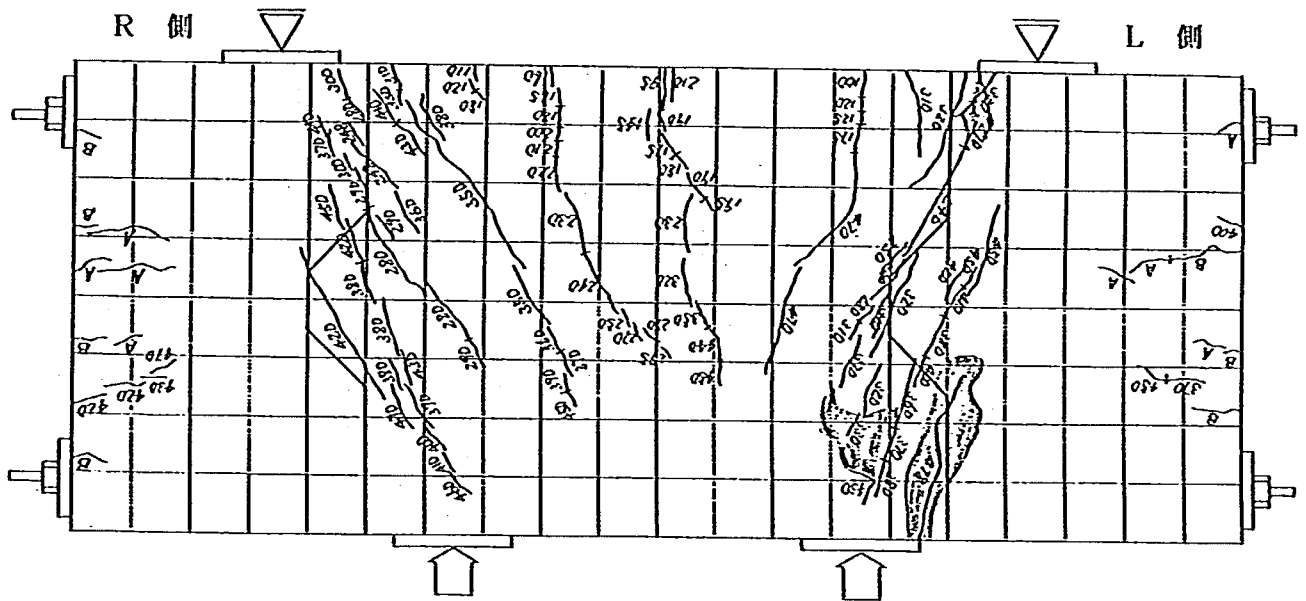


(b) R 側

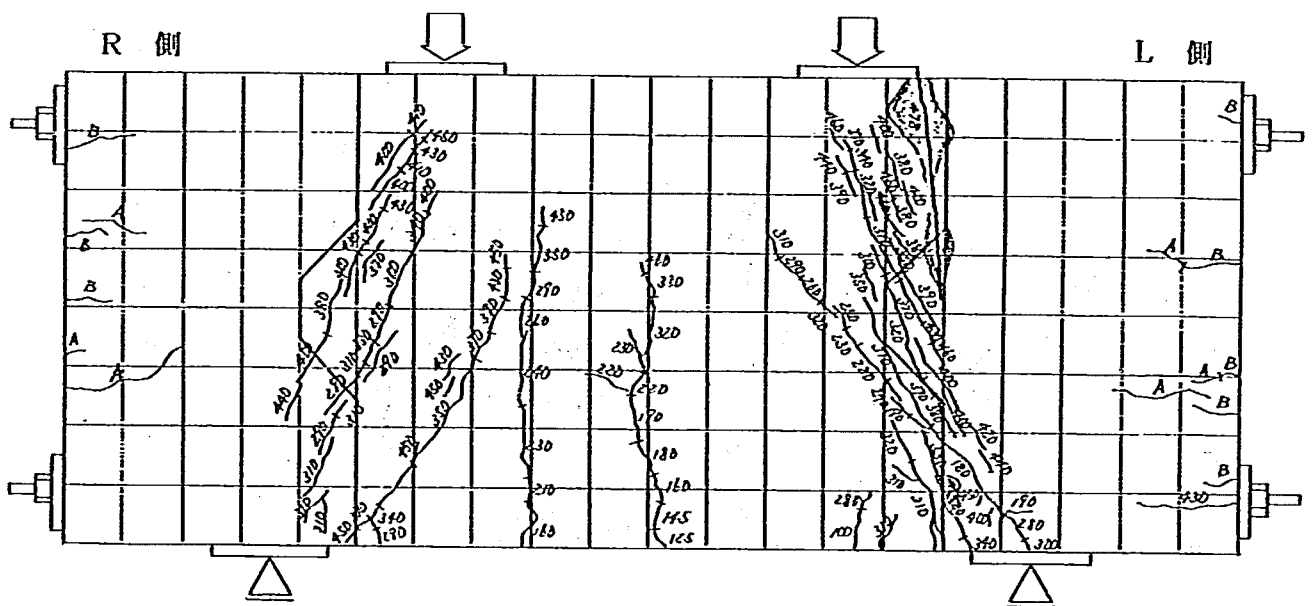
付図-1.1.14 荷重とずれ量の関係 (No14 : S-W-40-H)

(2)ひびわれ図

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ☆ : 剥離欠落部



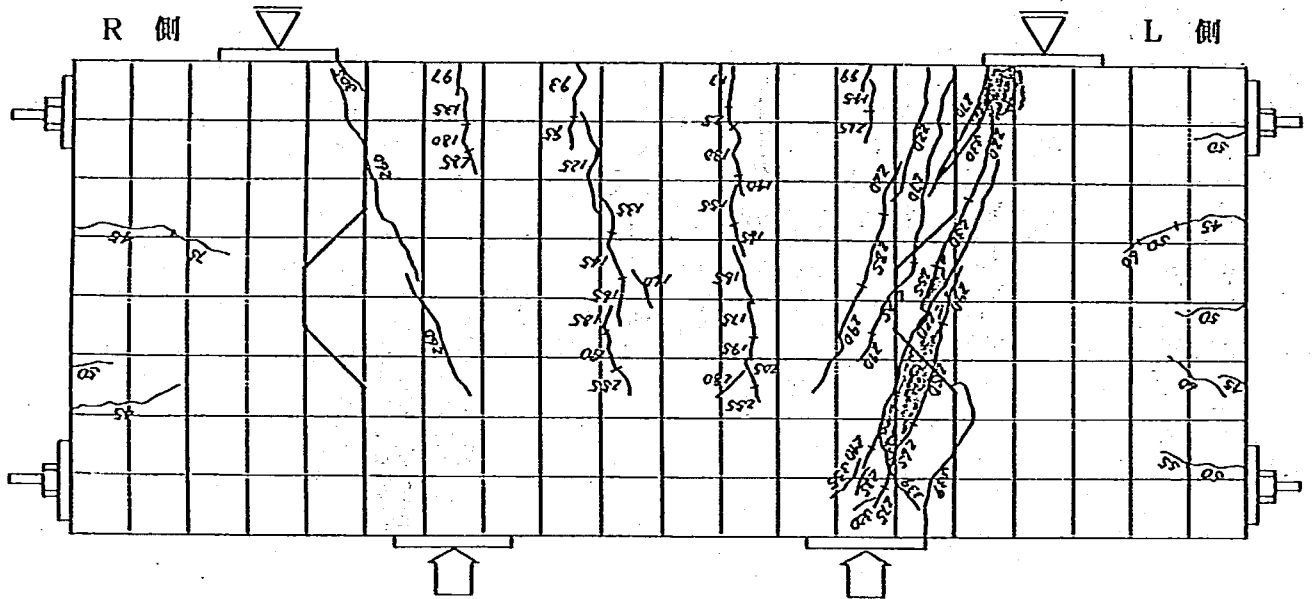
(a) A 面



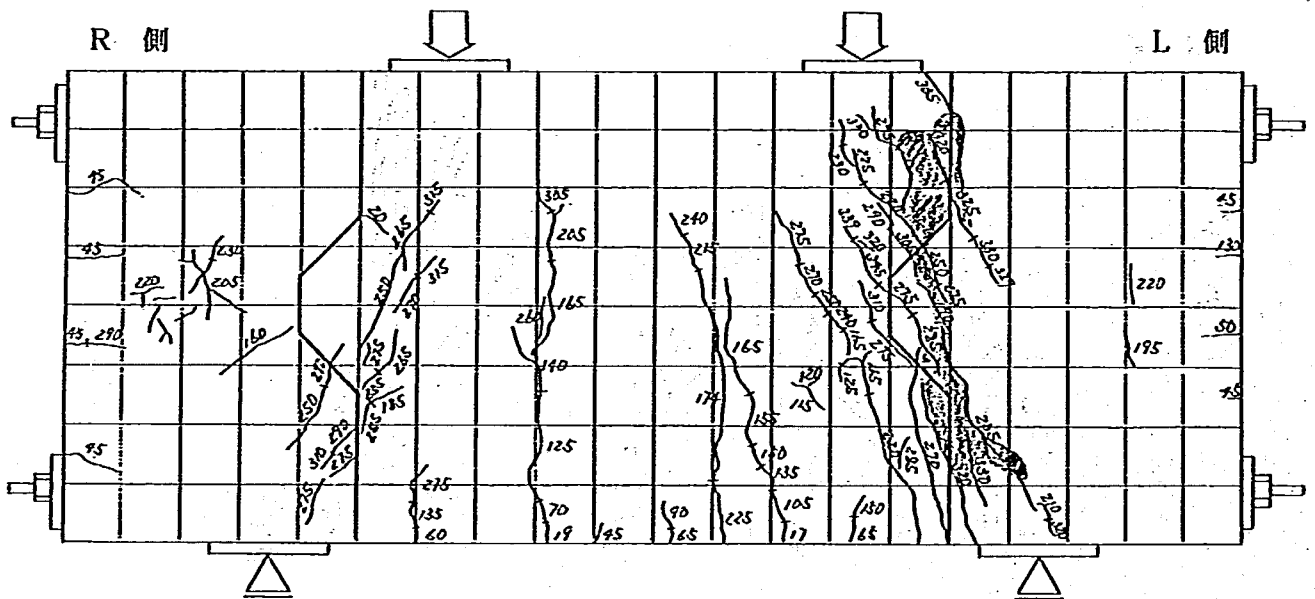
(b) B 面

付図-1.2.1 ひびわれ図 (No1 : S = C45N-40-H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ※ : 剥離欠落部



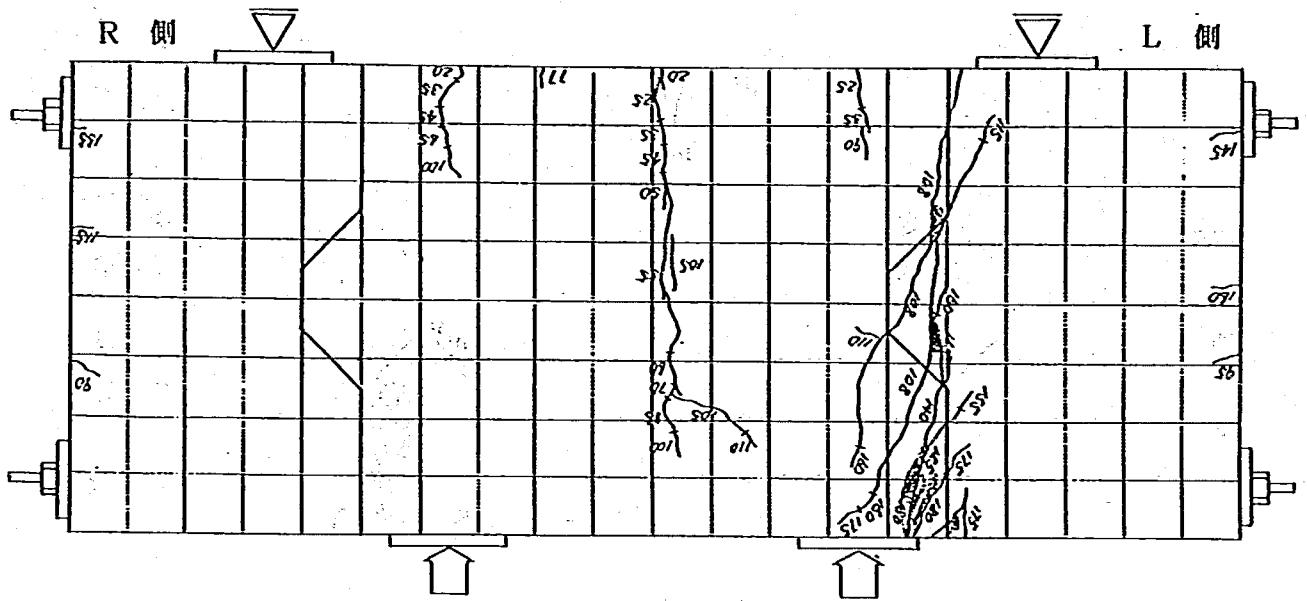
(a) A 面



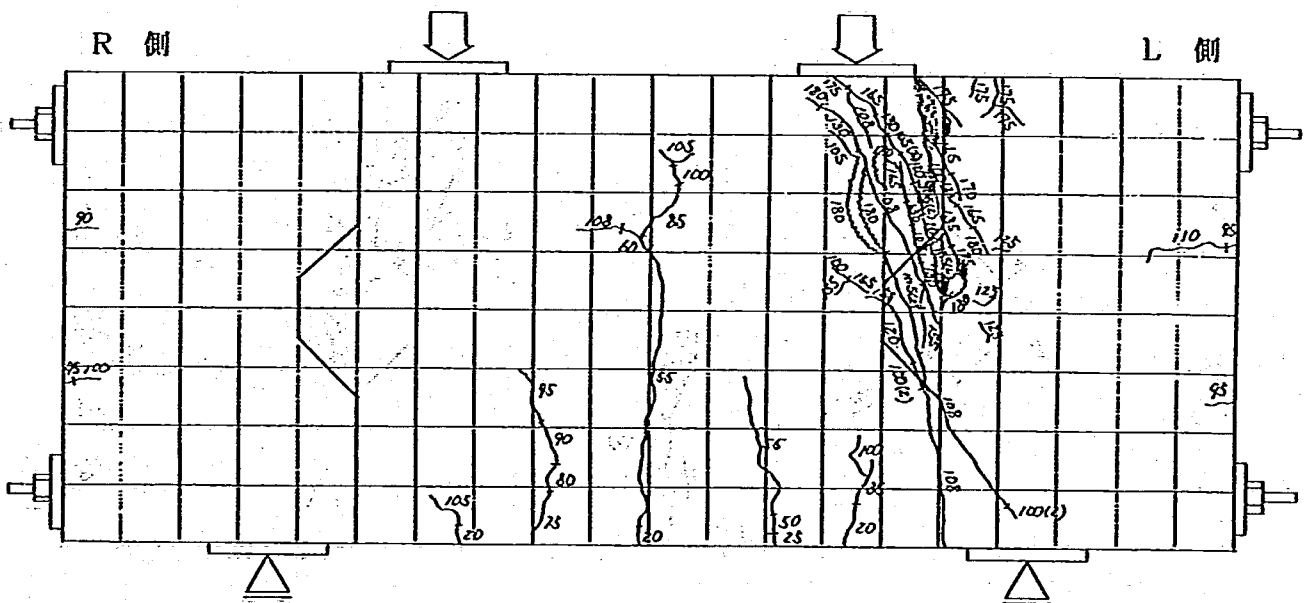
(b) B 面

付図-1.2.2 ひびわれ図 (No.2 : S-C45N-20-H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 剥離欠落部



(a) A 面

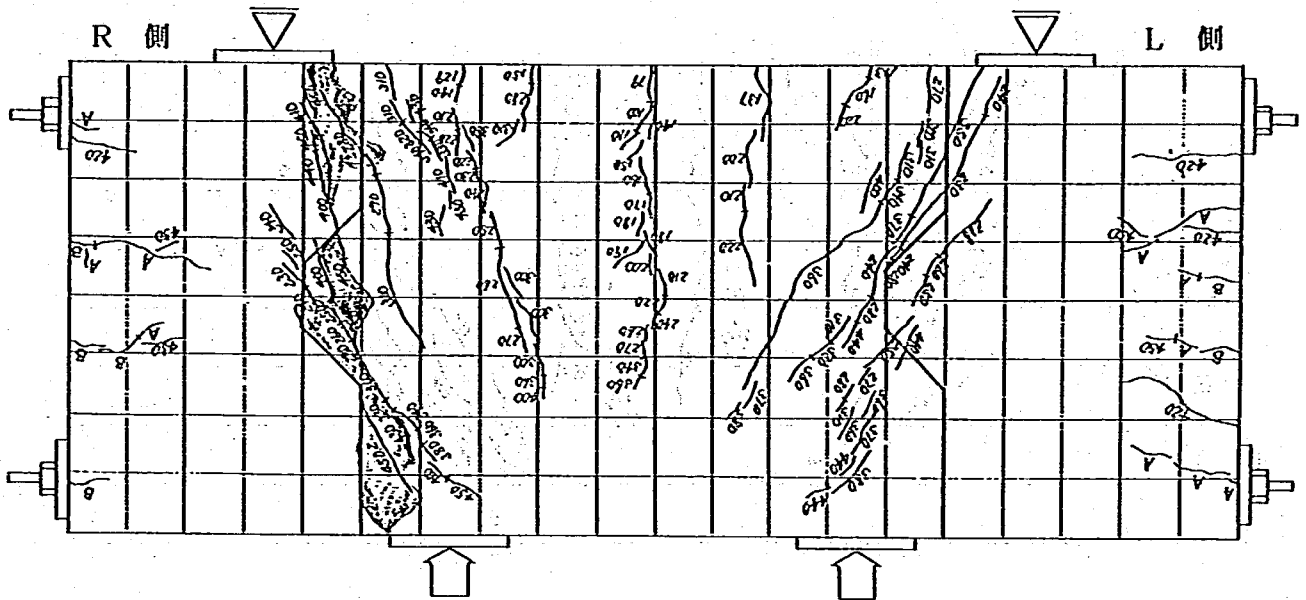


(b) B 面

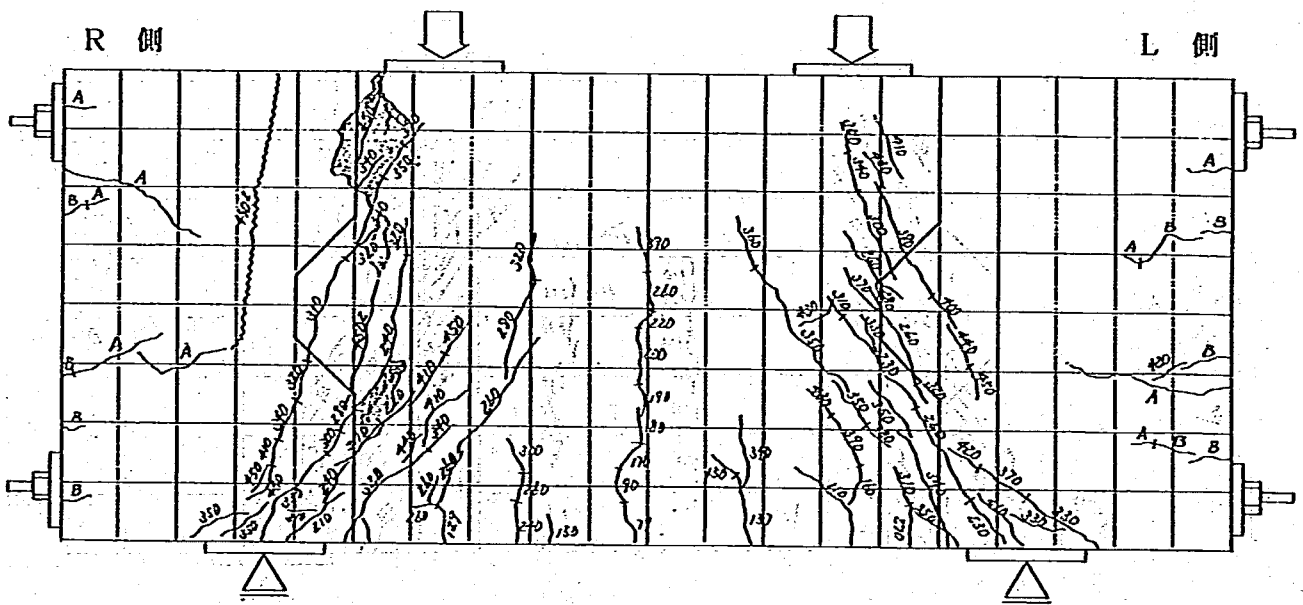
付図-1.2.3 ひびわれ図 (No.3) S-C45N-0-H)

付図-1.2.4 ひびわれ図 (No.4: S-C45N-20-W)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ☆ : 剥離欠落部



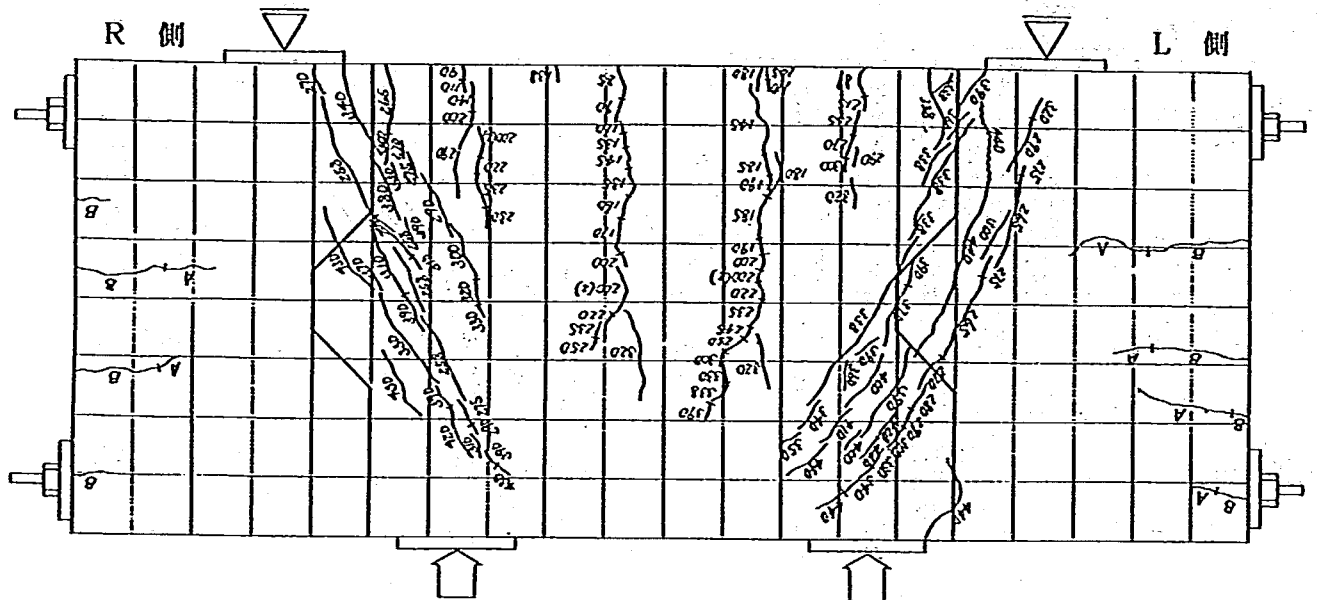
(a) A 面



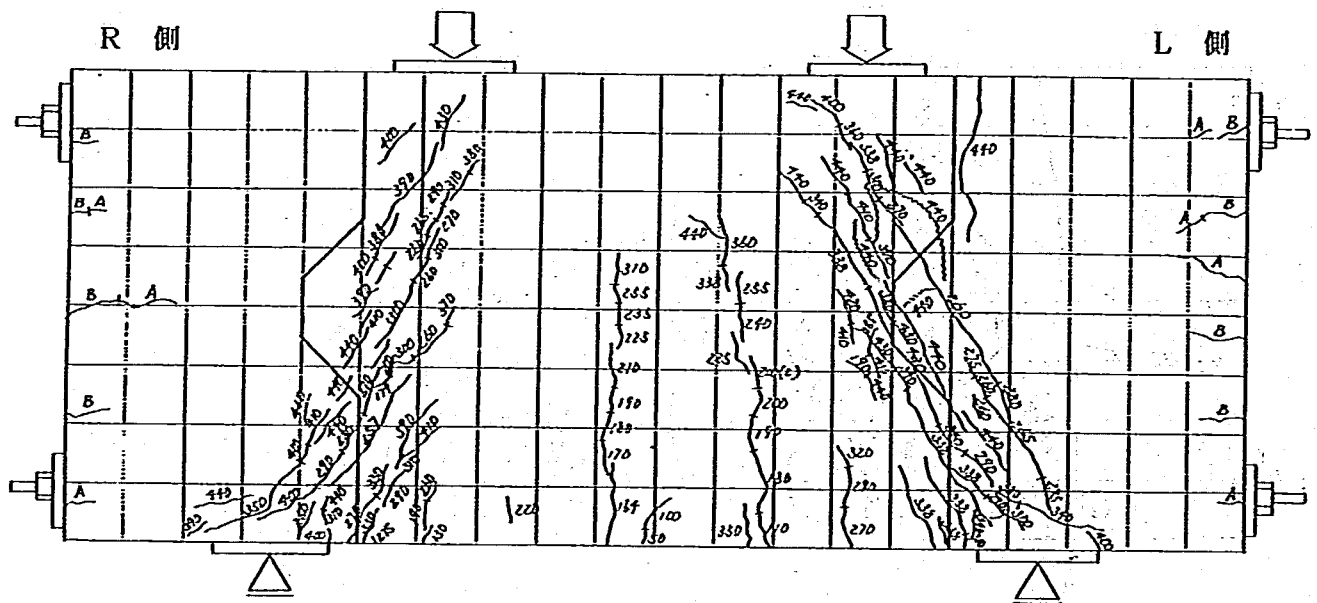
(b) B 面

付図-1.2.5 ひびわれ図 (No.5; S-C45L-40-H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ※ : 剥離欠落部



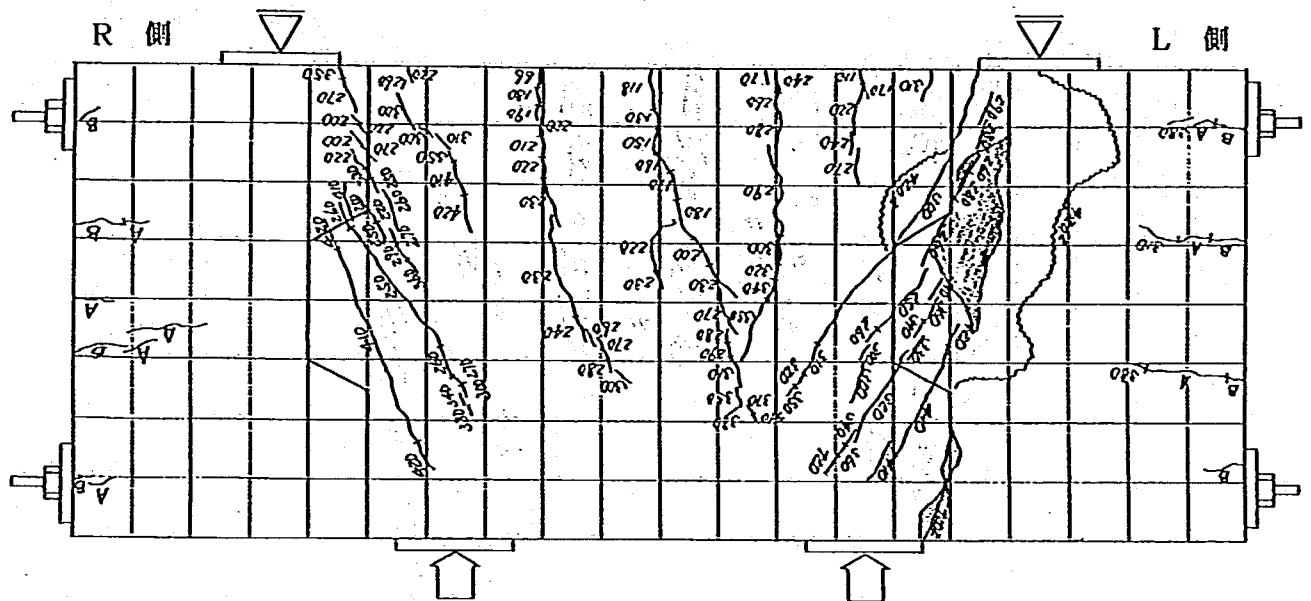
(a) A 面



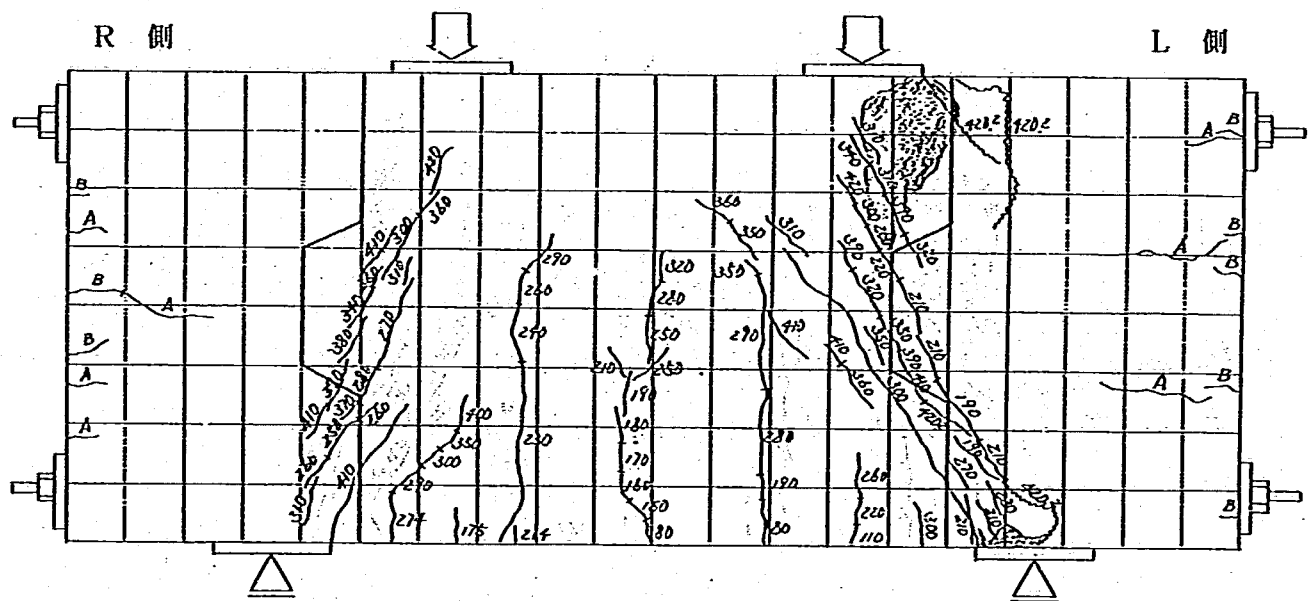
(b) B 面

付図-1.2.6 ひびわれ図 (No.6 : S-C45-40-H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 部 : 剥離欠落部



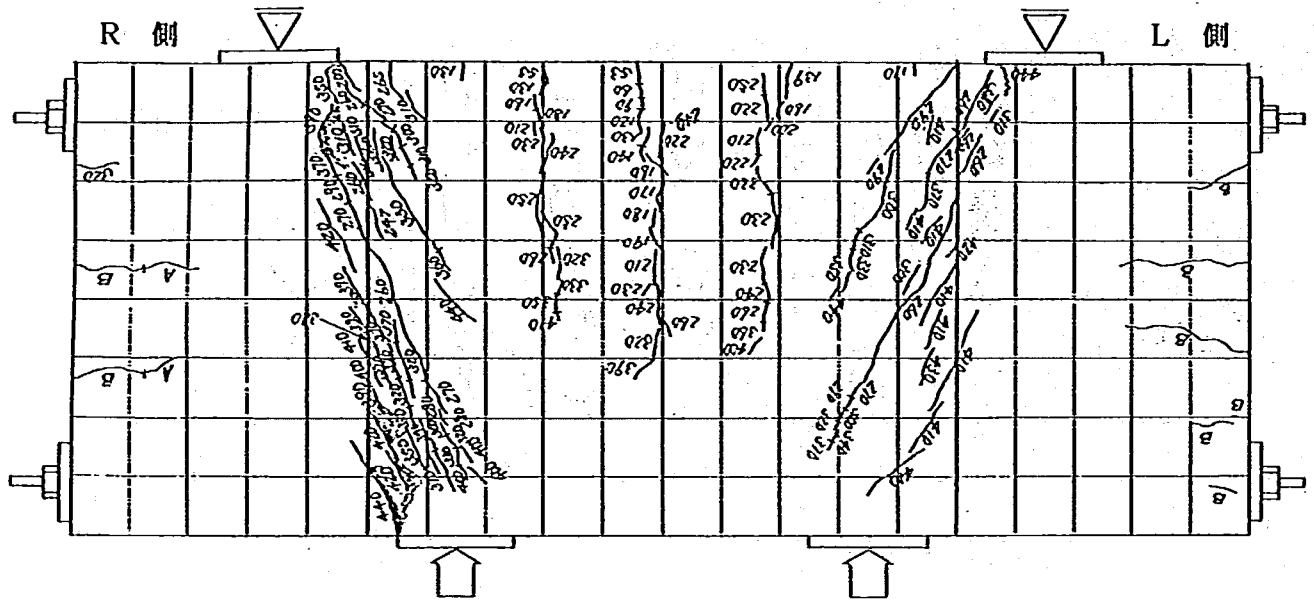
(a) A 面



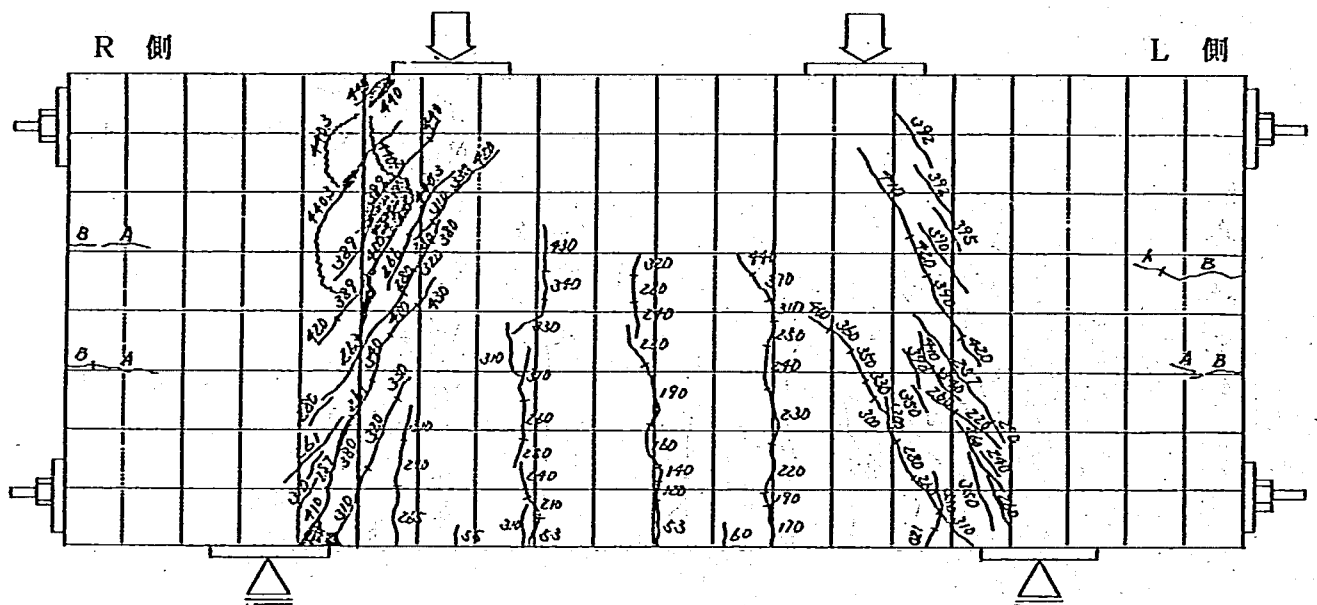
(b) B 面

付図-1.2.7 ひびわれ図 (No.7 S=C60N=40=H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ☆ : 剥離欠落部



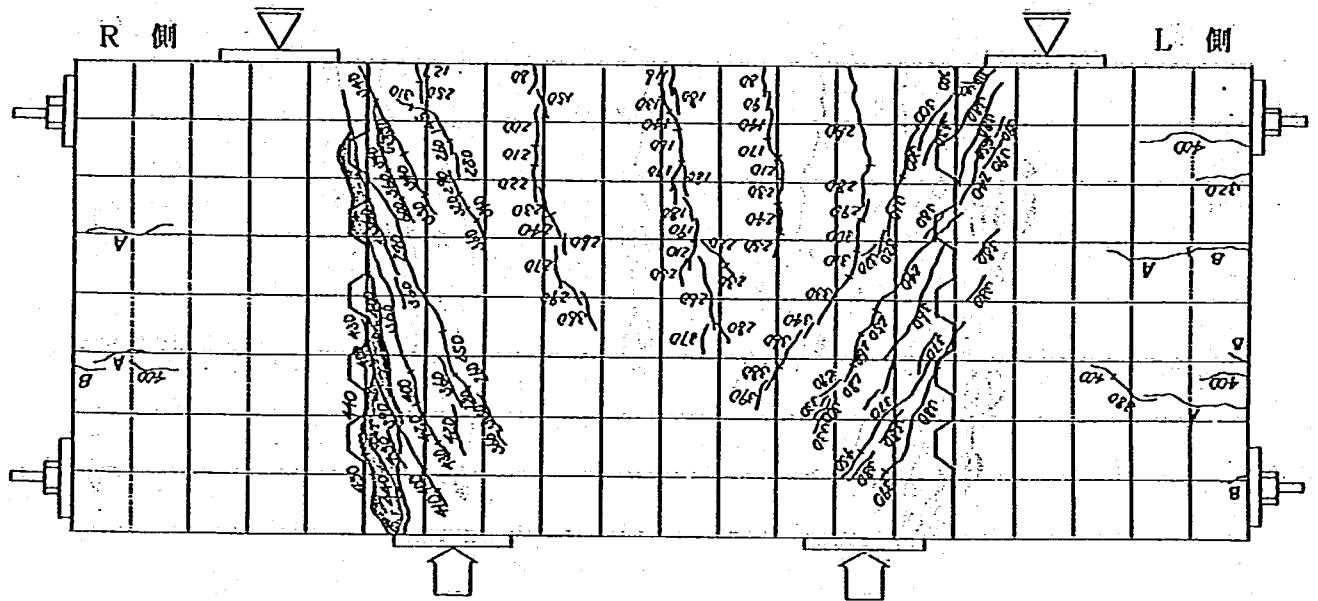
(a) A 面



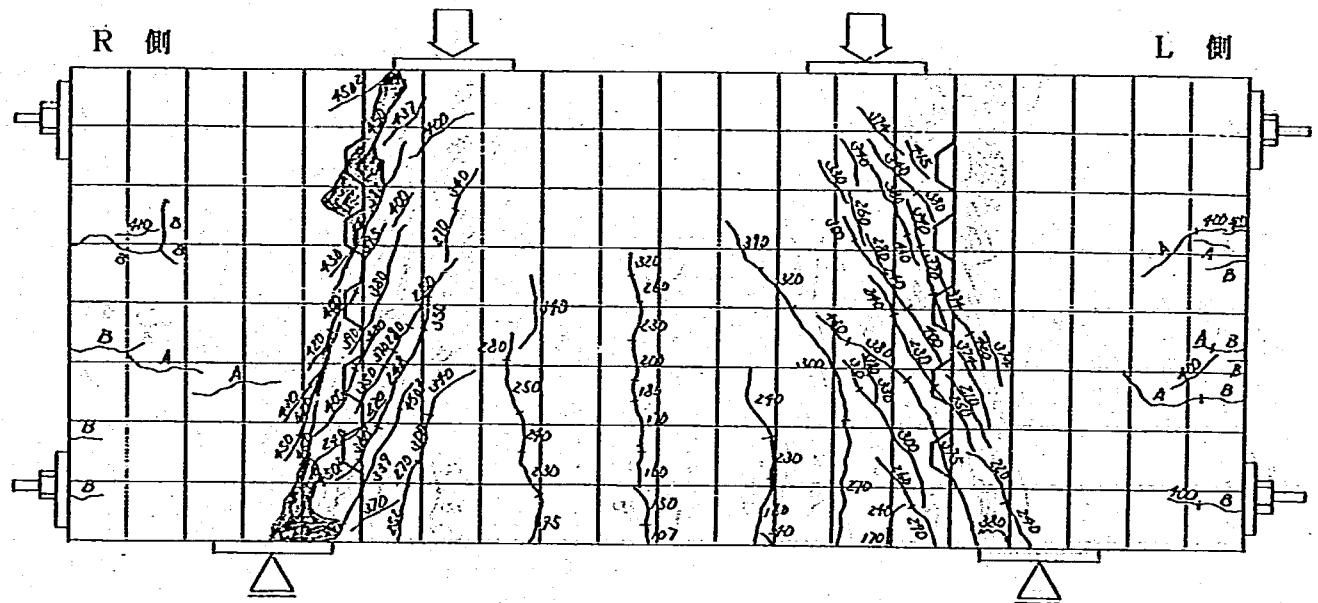
(b) B 面

付図-1.2.8) ひびわれ図 (No.8 : S-N=40+H) (1)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ㊦ : 剥離欠落部



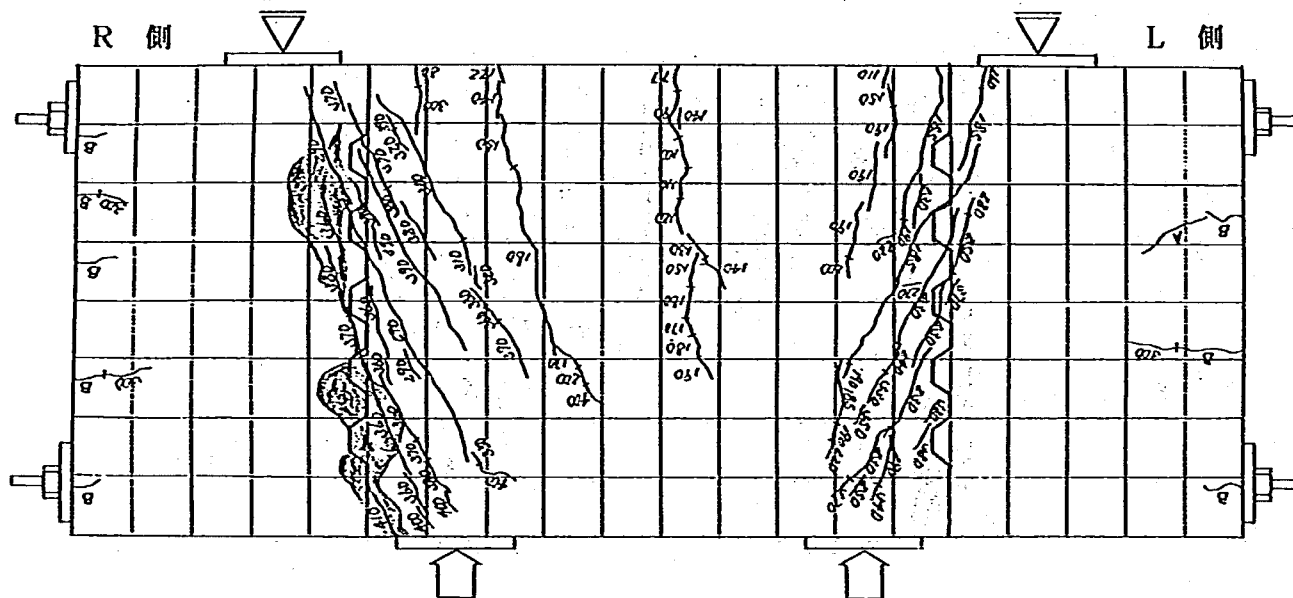
(a) A 面



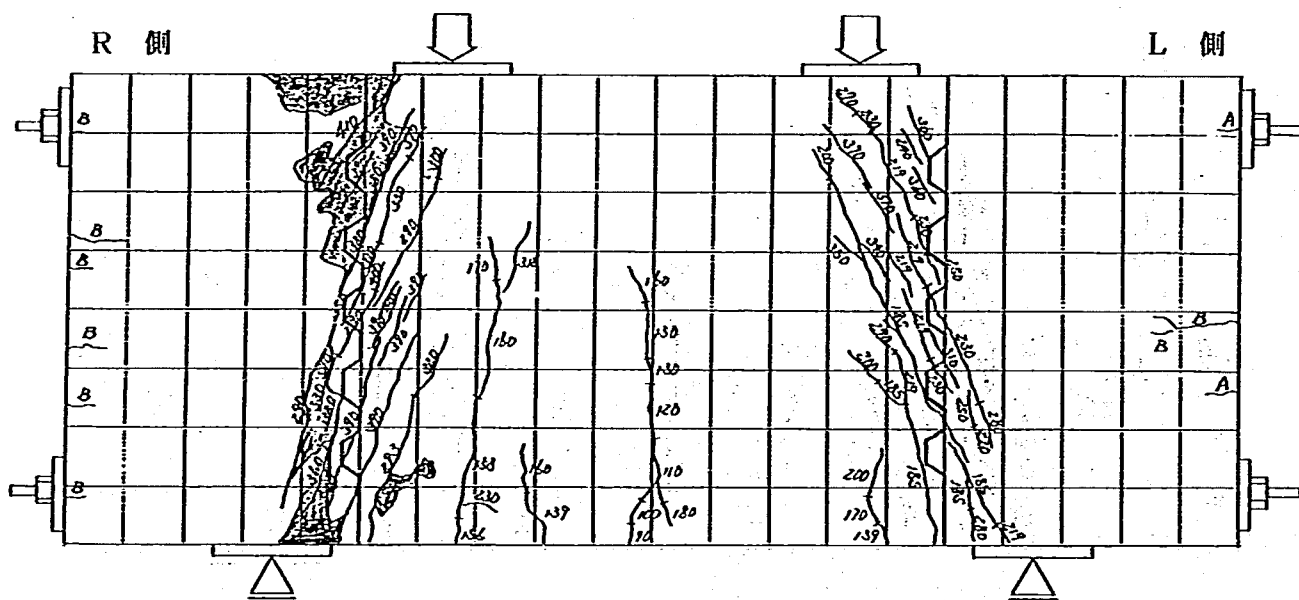
(b) B 面

付図-1.2.9 ひびわれ図 (No.9 S-M3-40-H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 離 : 剥離欠落部



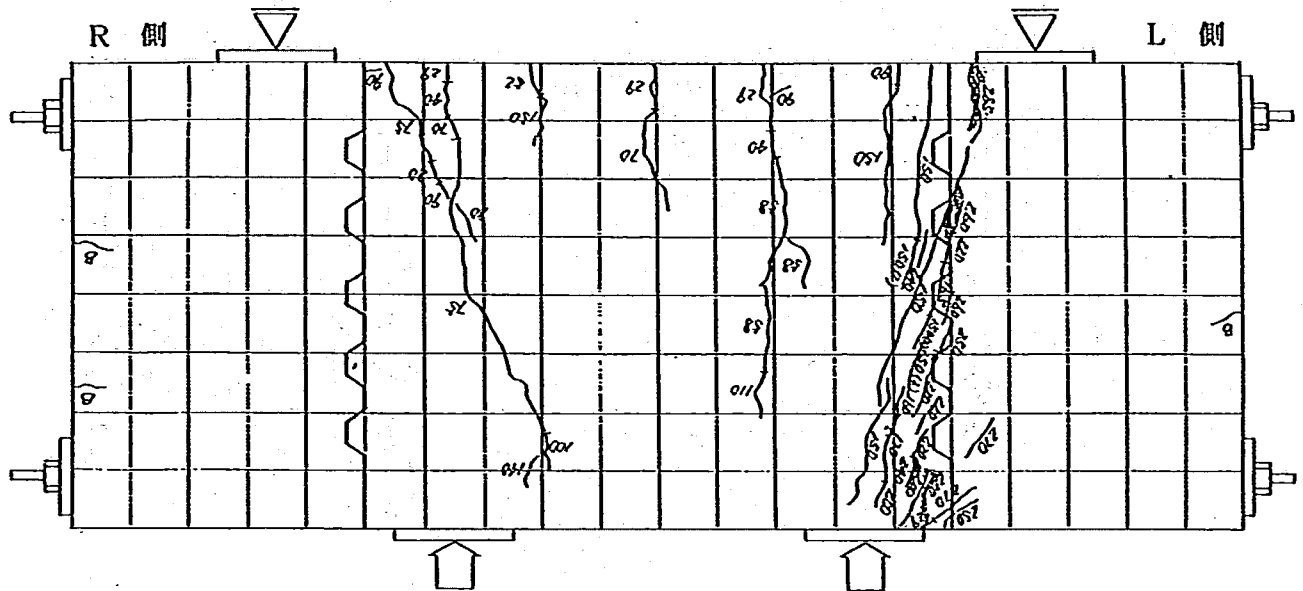
(a) A 面



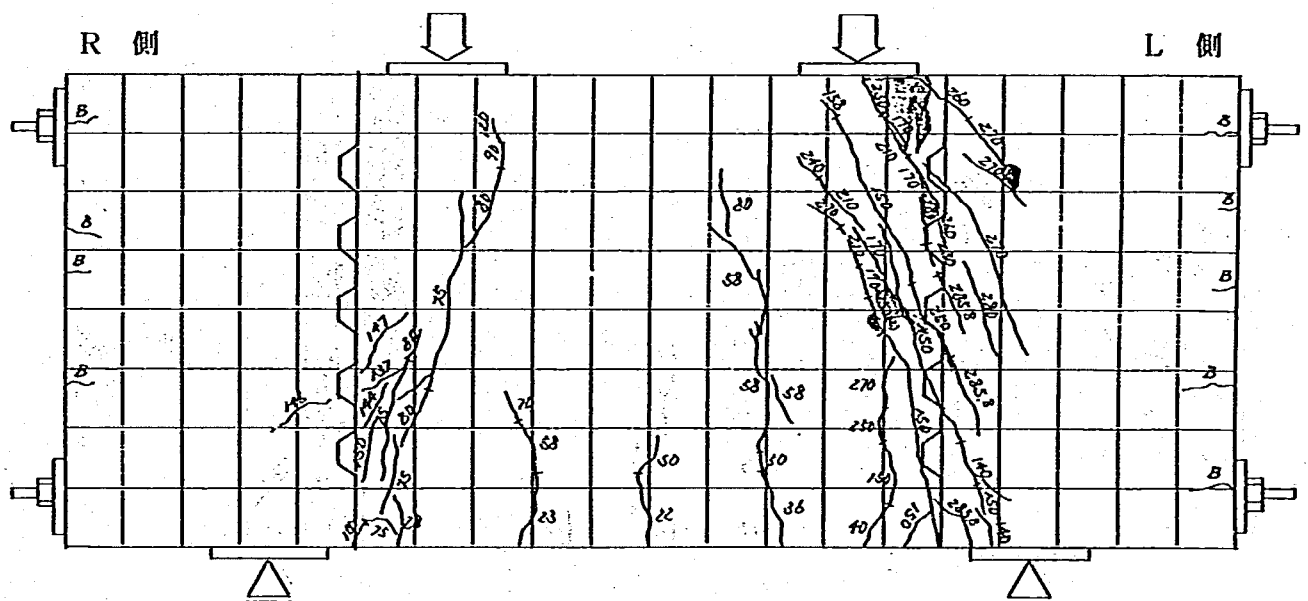
(b) B 面

付図-1.2.10 ひびわれ図 (No.10 : S-M3-20-H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ぬ : 剥離欠落部



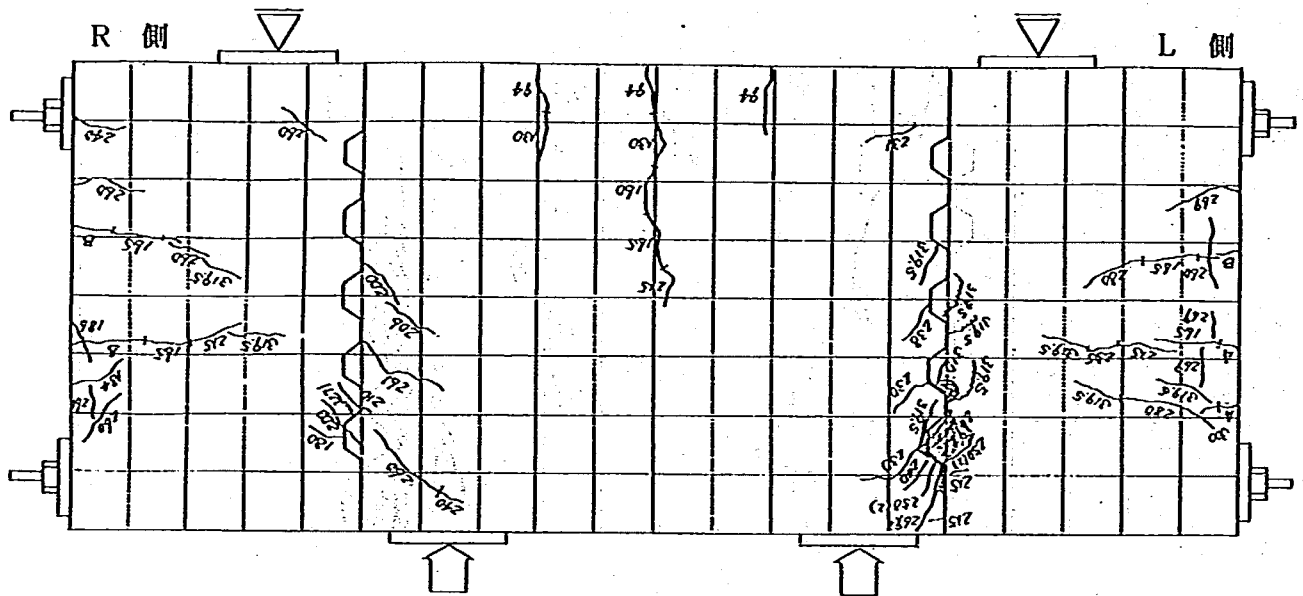
(a) A 面



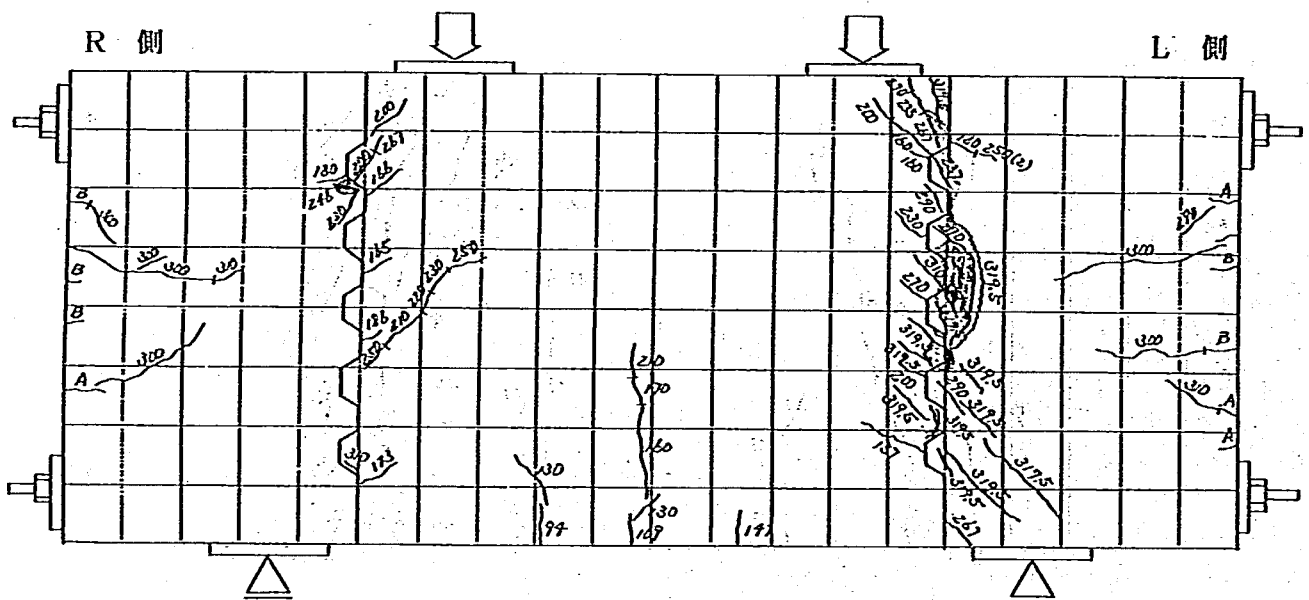
(b) B 面

付図-1.2.11 ひびわれ図 (No.11 : S-M3-0-H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ※ : 剥離欠落部



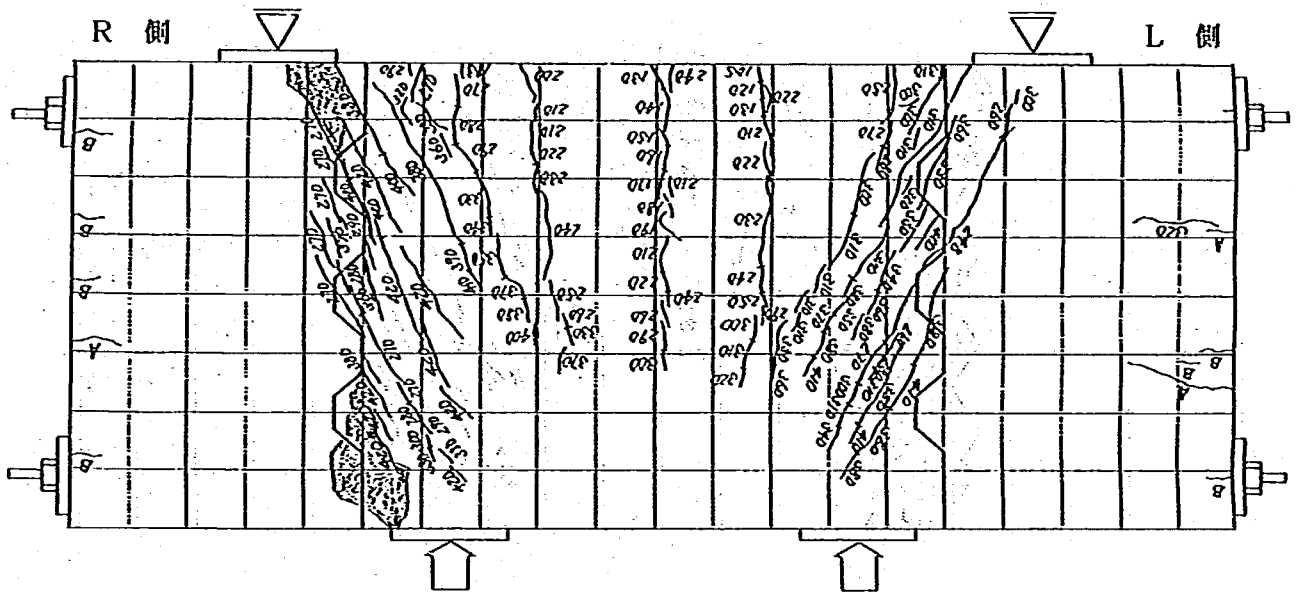
(a) A 面



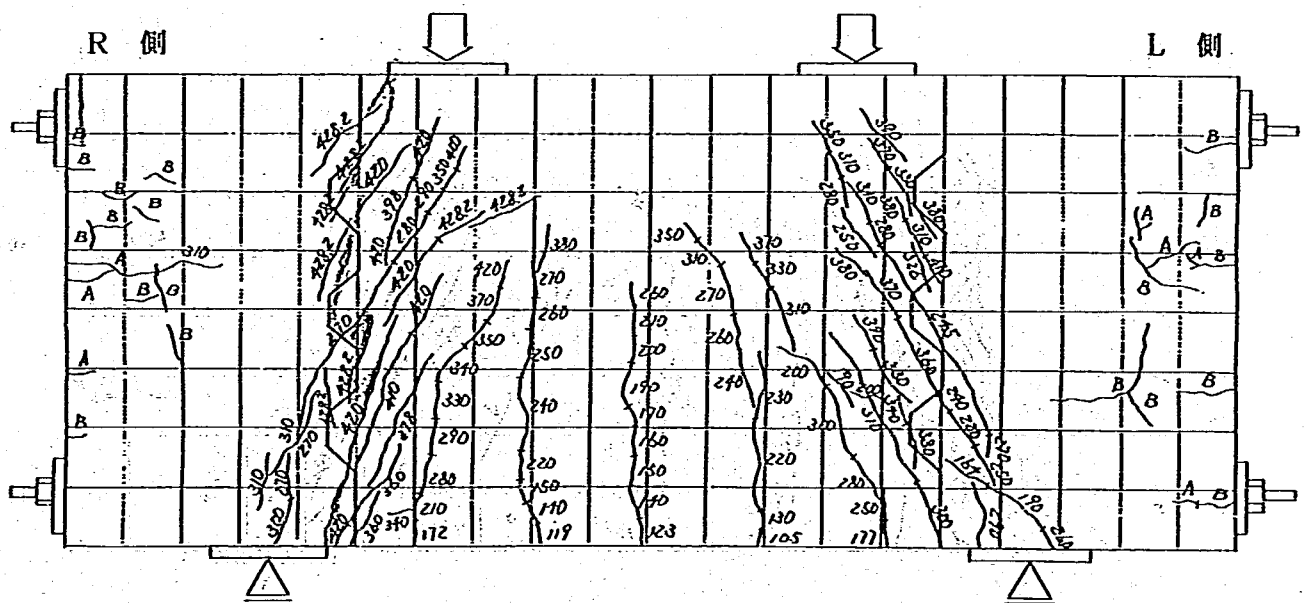
(b) B 面

付図-1.2.12 ひびわれ図 (No12 : S-M3-20-W)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ㊦ : 剥離欠落部



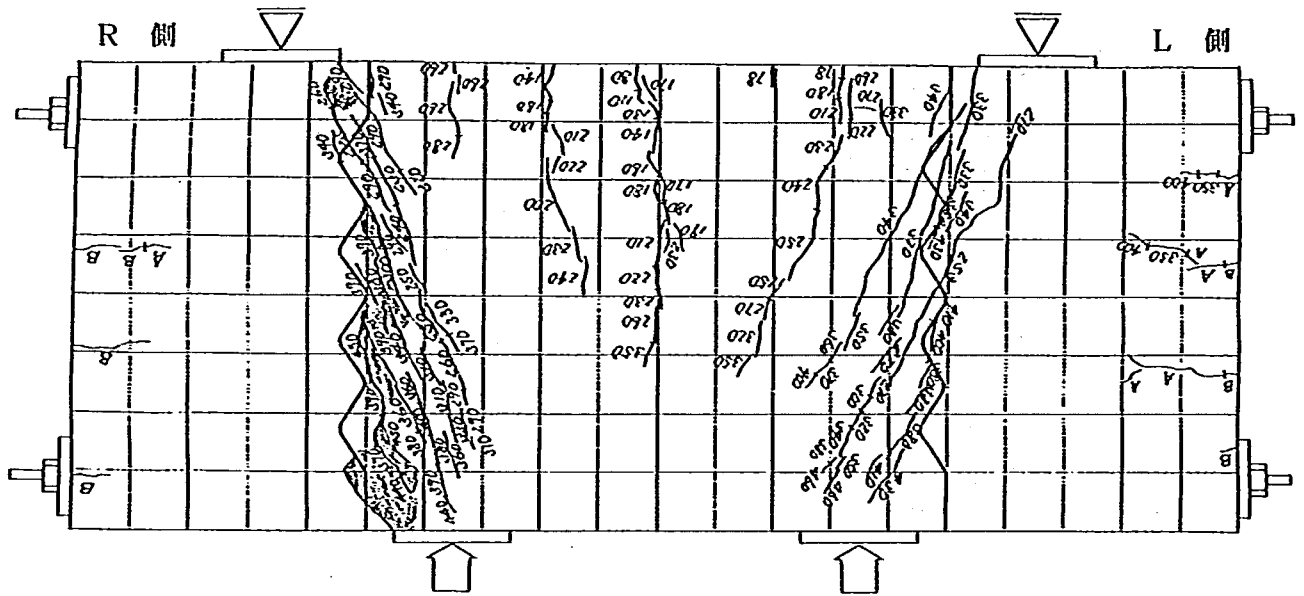
(a) A 面



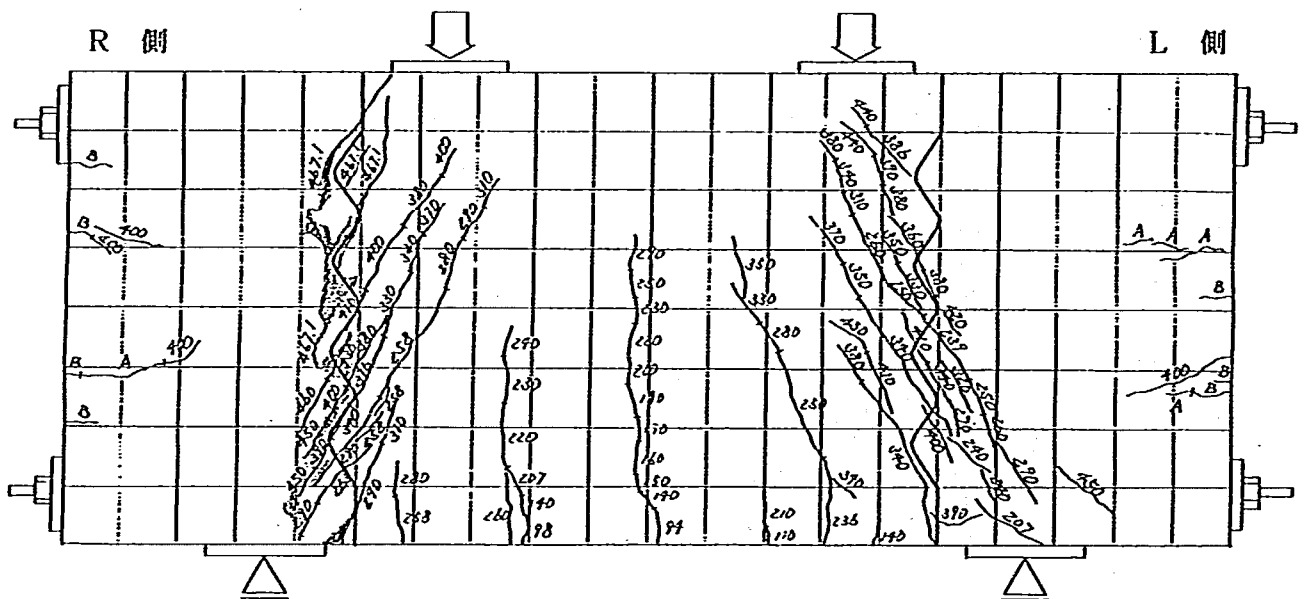
(b) B 面

付図-1.2.13 ひびわれ図 (No13: S-M5,-40÷H)

数字はひび割れ発生荷重 (Ton)
 B : 初期ひび割れ
 A : 緊張力導入によるひび割れ
 へ : 圧壊等による浮き上がり
 ㊦ : 剝離欠落部



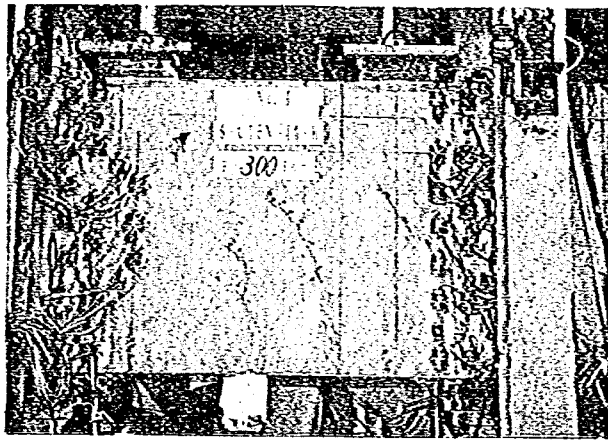
(a) A 面



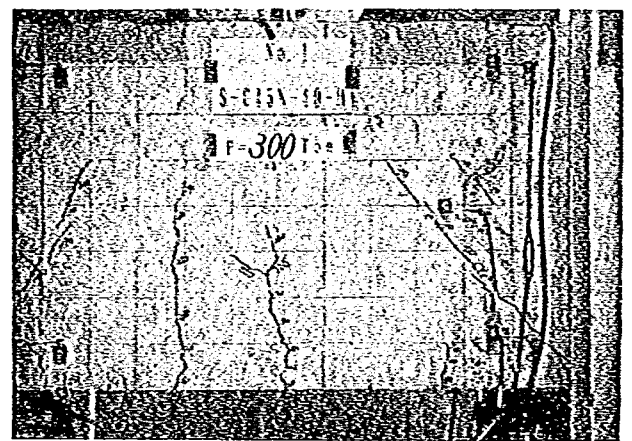
(b) B 面

付図-1.2.14 ひびわれ図 (No14: S-W-40-H)

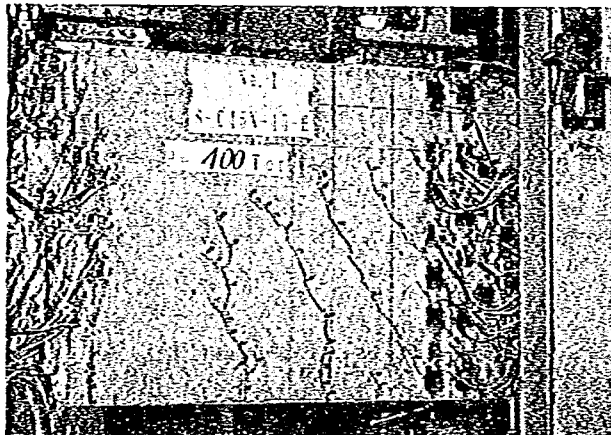
(3) 載荷状況写真



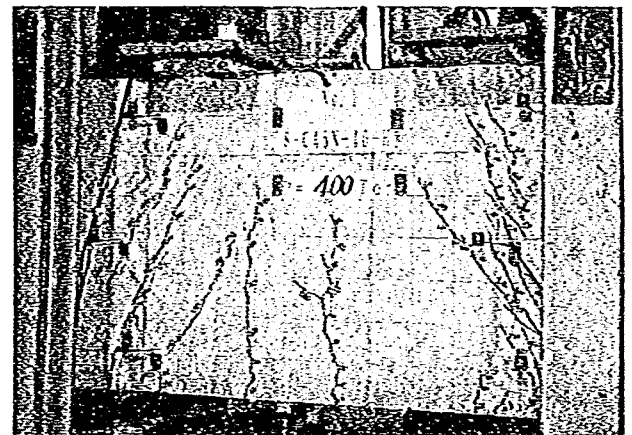
(a) A面 : $P=300\text{tf}$



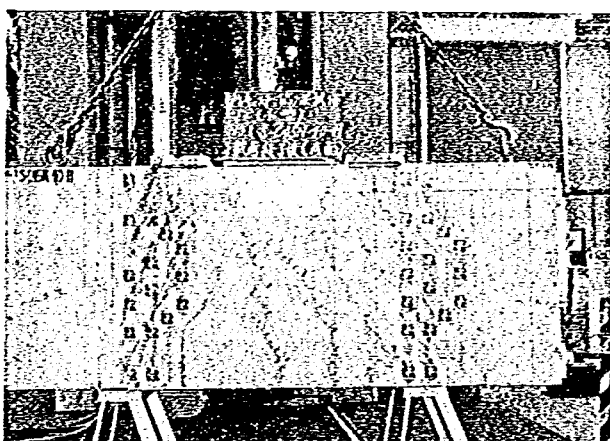
(a') B面 : $P=300\text{tf}$



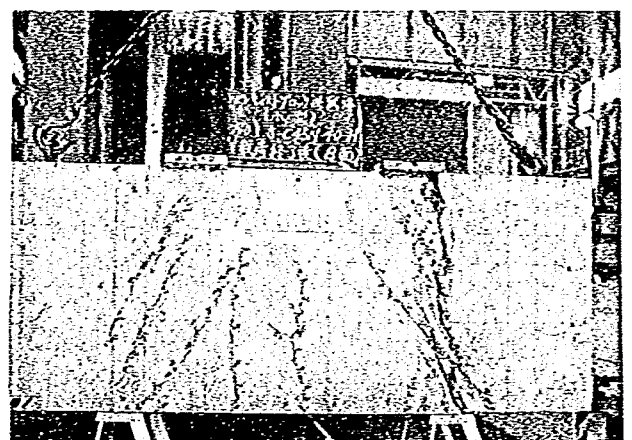
(b) A面 : $P=400\text{tf}$



(b') B面 : $P=400\text{tf}$

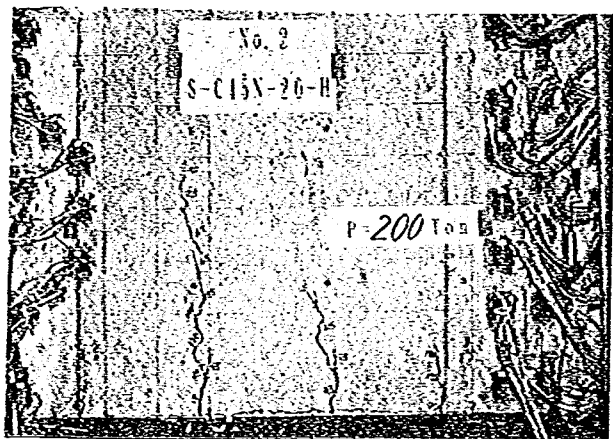


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=478\text{tf}$)

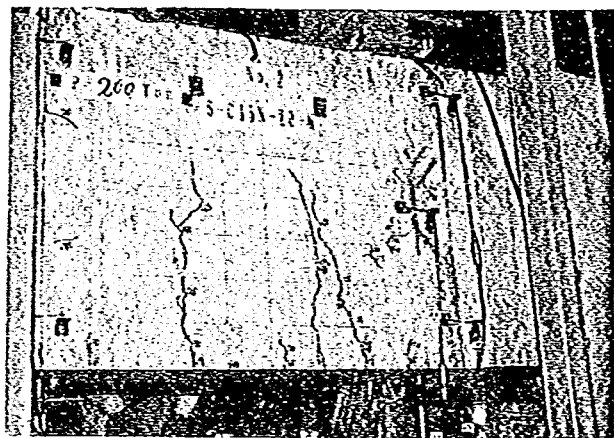


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=478\text{tf}$)

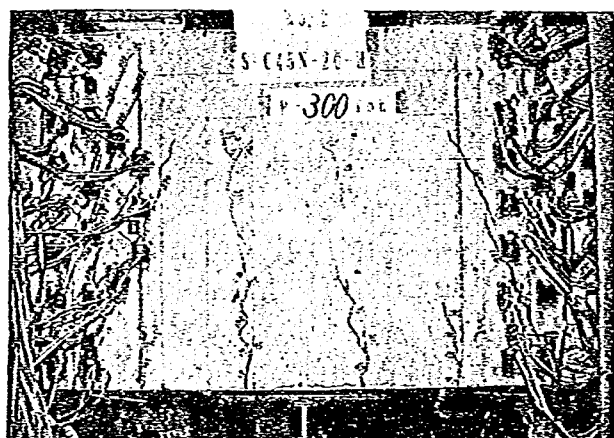
付写真-1.3.1 載荷状況 (No.1 : S-C45N-40-H)



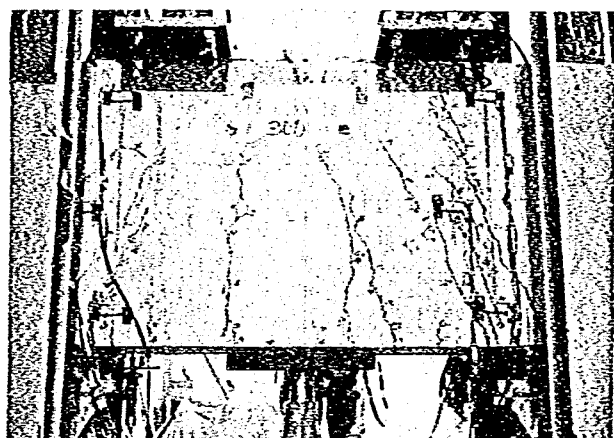
(a) A面: P=200tf



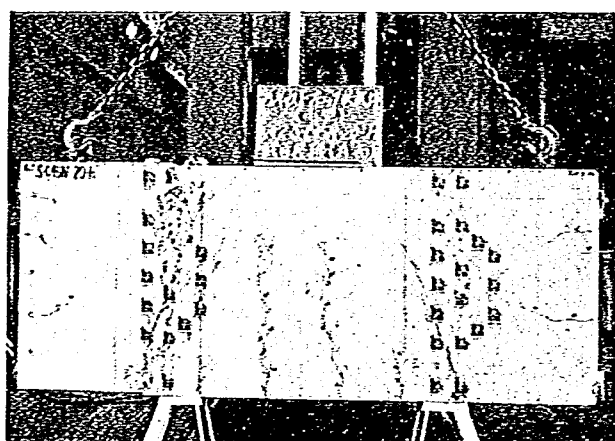
(a') B面: P=200tf



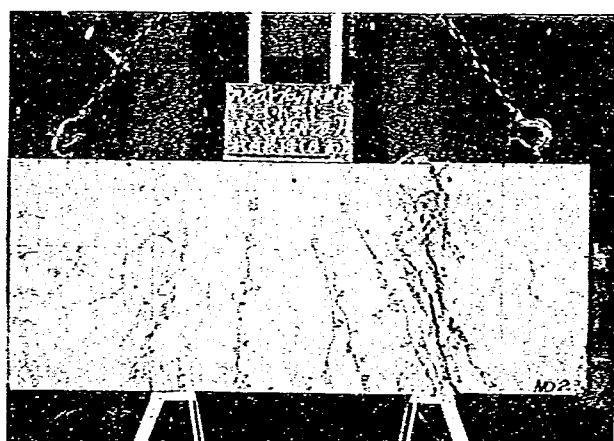
(b) A面: P=300tf



(b') B面: P=300tf

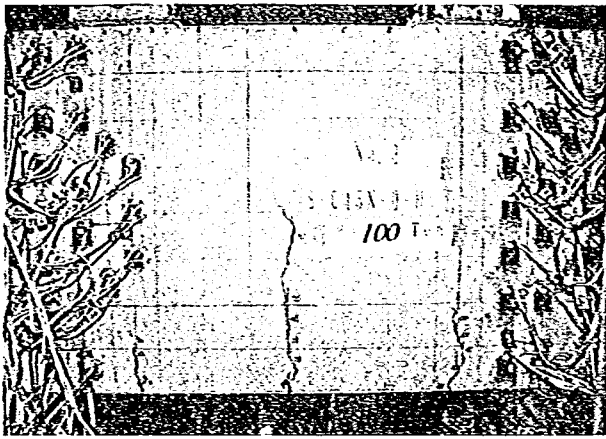


(c) A面: 載荷終了後 (最大荷重P=339tf)

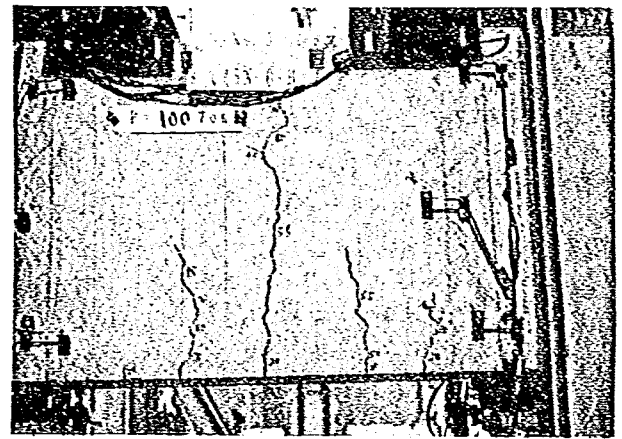


(c') B面: 載荷終了後 (最大荷重P=339tf)

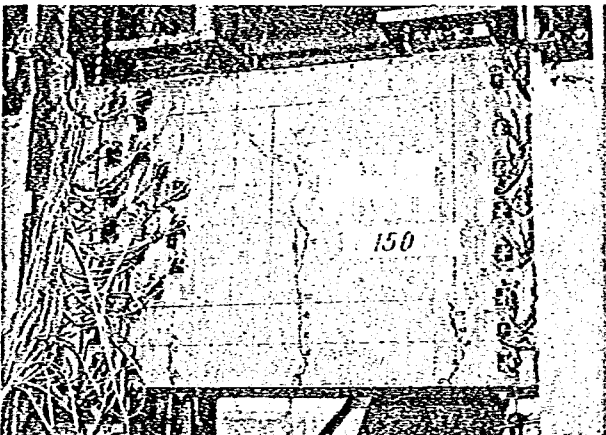
付写真-1.3.2 載荷状況 (No. 2 : S-C45N-20-H)



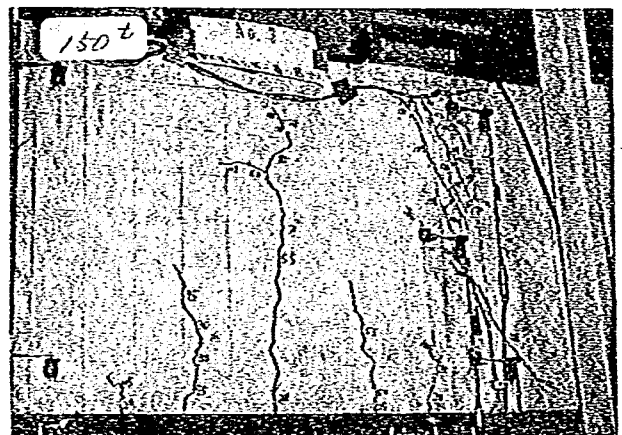
(a) A面 : $P=100\text{tf}$



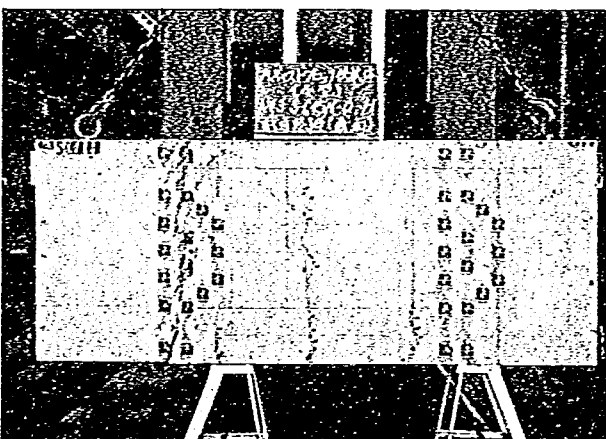
(a') B面 : $P=100\text{tf}$



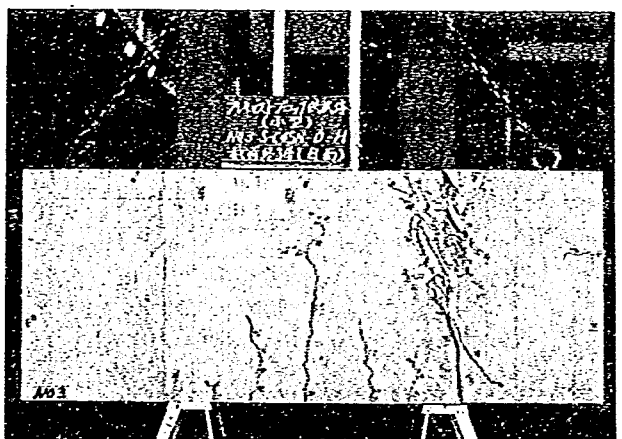
(b) A面 : $P=150\text{tf}$



(b') B面 : $P=150\text{tf}$

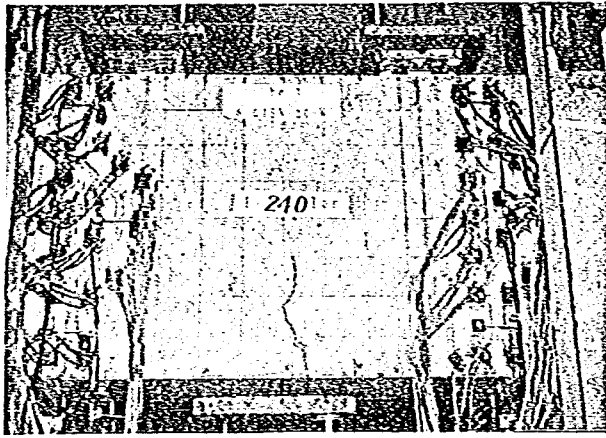


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=180\text{tf}$)

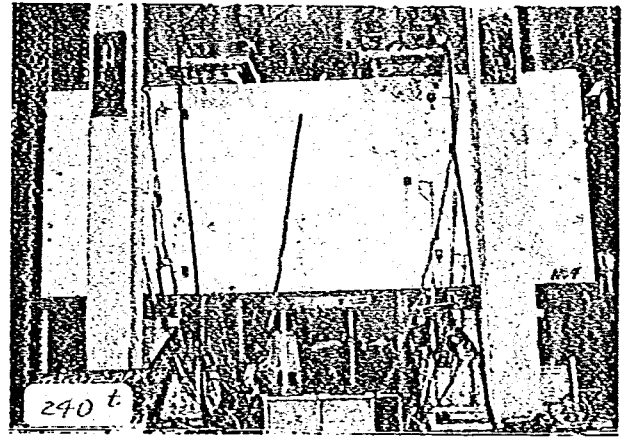


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=180\text{tf}$)

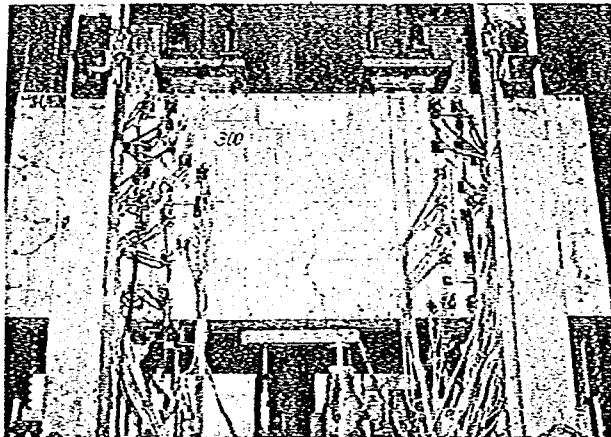
付写真-1.3.3 載荷状況 (No.3 : S-C45N-0-H)



(a) A面 : $P=240\text{tf}$



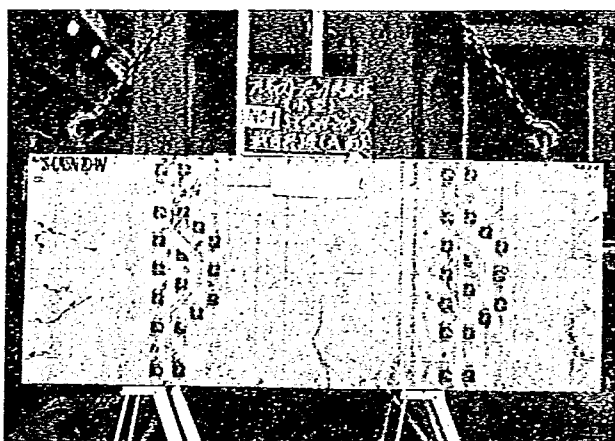
(a') B面 : $P=240\text{tf}$



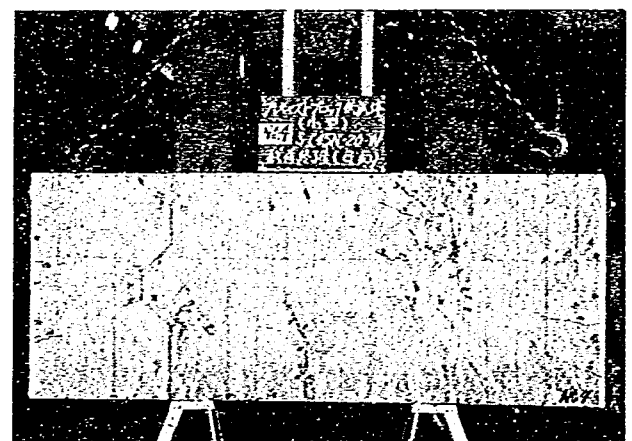
(b) A面 : $P=300\text{tf}$



(b') B面 : $P=300\text{tf}$

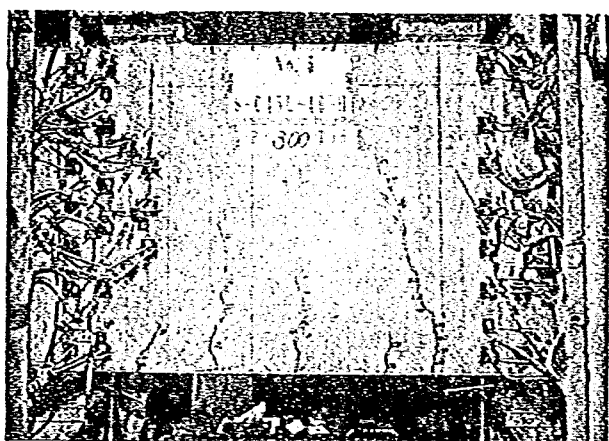


(c) A面 : 载荷終了後 (最大荷重 $P=300\text{tf}$)

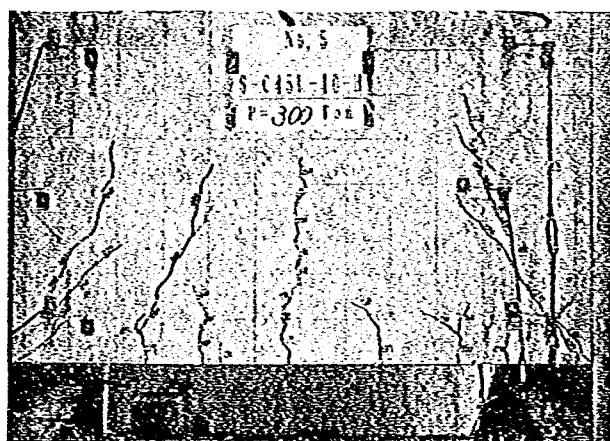


(c') B面 : 载荷終了後 (最大荷重 $P=300\text{tf}$)

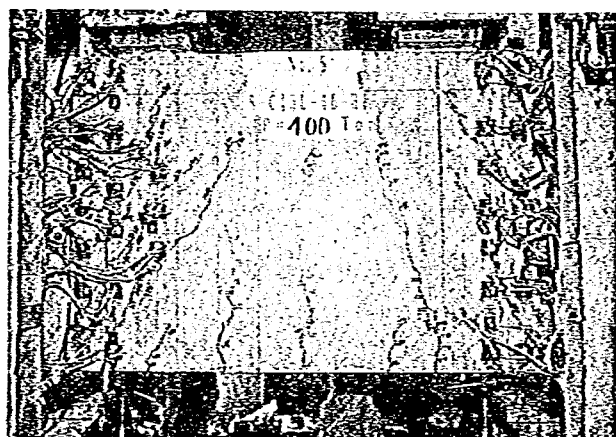
付写真-1.3.4 载荷状況 (No 4 : S-C45N-20-W)



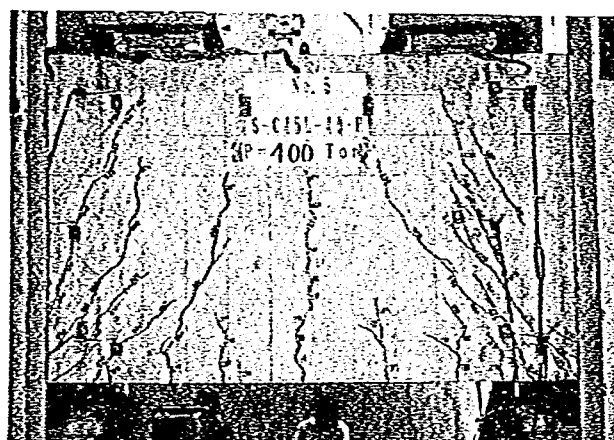
(a) A面 : $P=300\text{tf}$



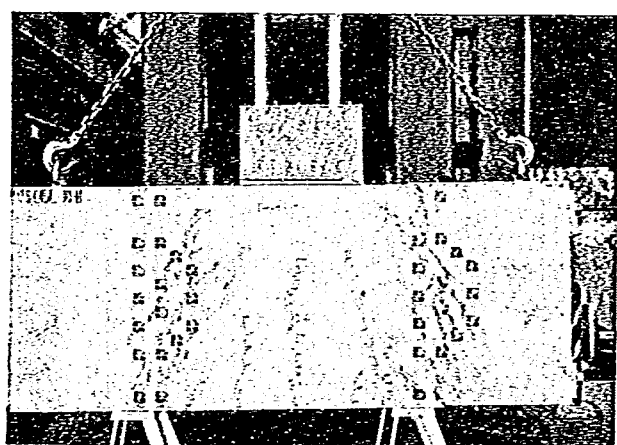
(a') B面 : $P=300\text{tf}$



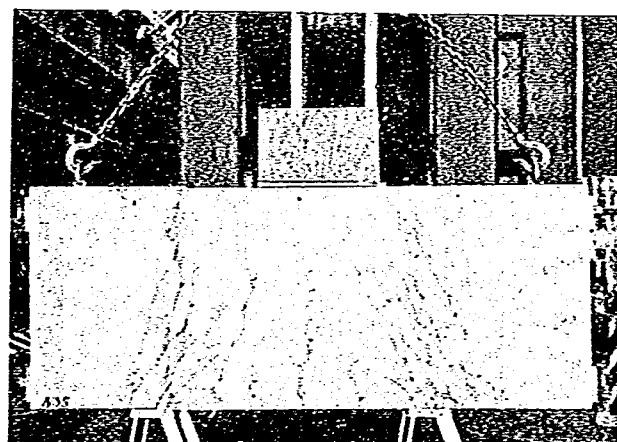
(b) A面 : $P=400\text{tf}$



(b') B面 : $P=400\text{tf}$

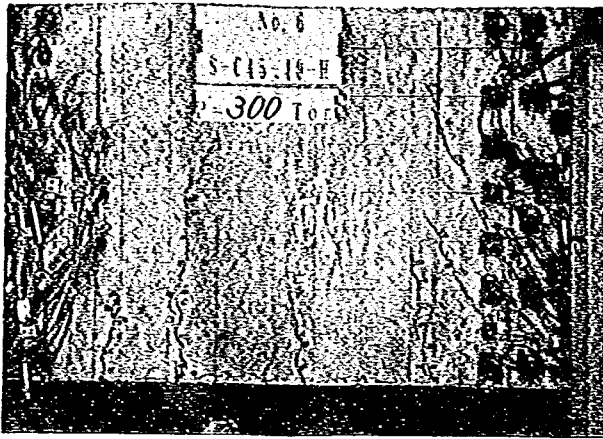


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=450\text{tf}$)

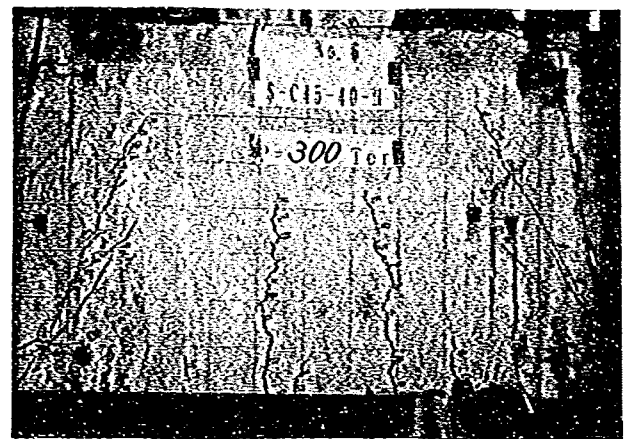


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=450\text{tf}$)

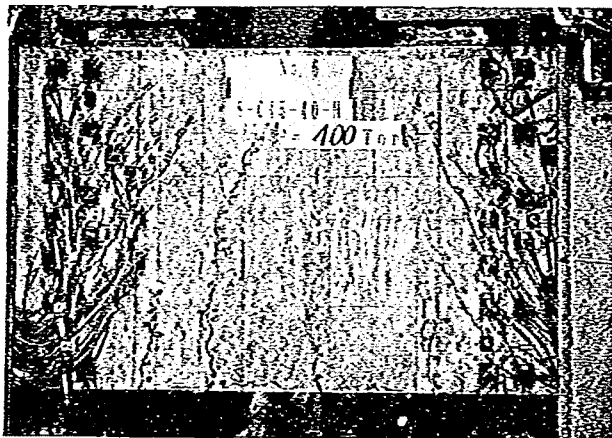
付写真-1.3.5 載荷状況 (No 5 : S-C45L-40-H)



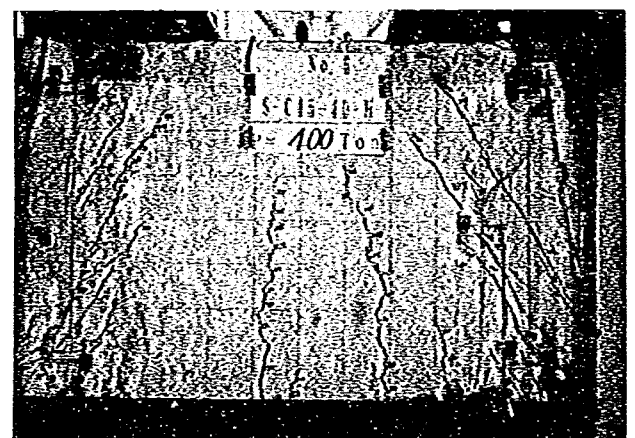
(a) A面 : $P=300\text{tf}$



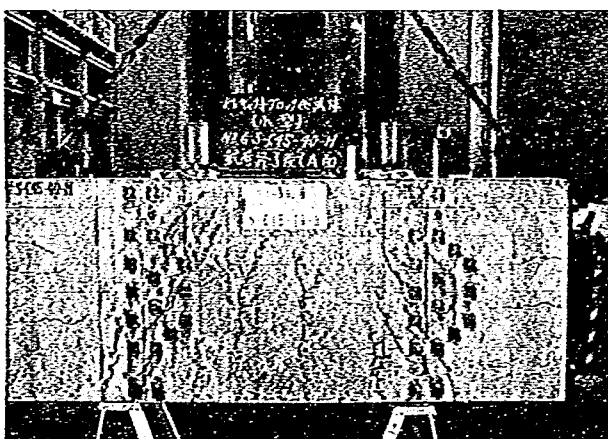
(a') B面 : $P=300\text{tf}$



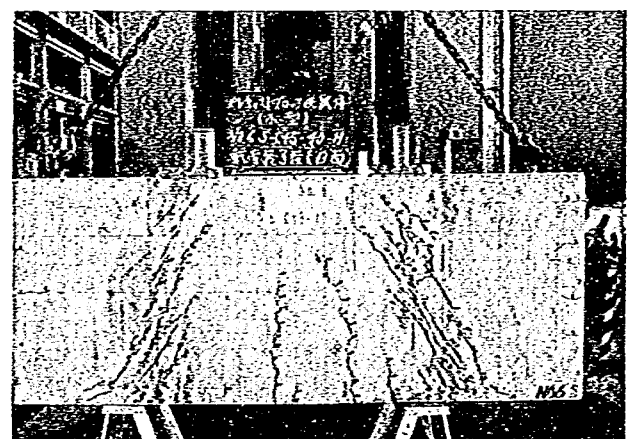
(b) A面 : $P=400\text{tf}$



(b') B面 : $P=400\text{tf}$

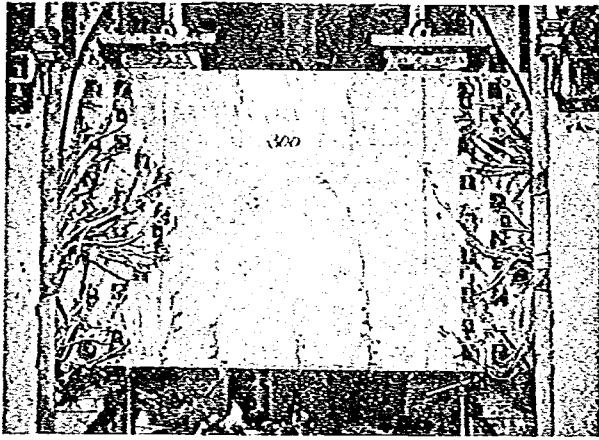


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=440\text{tf}$)

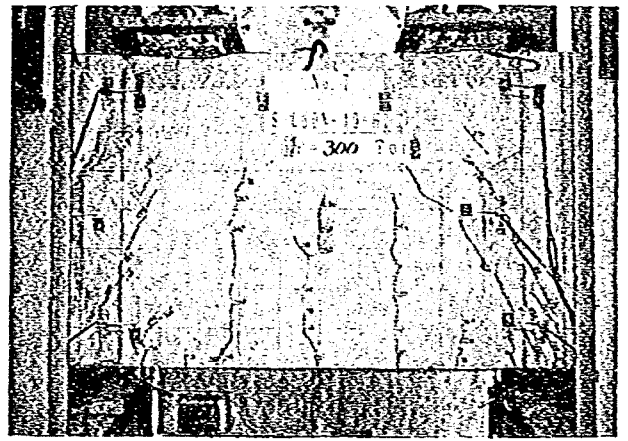


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=440\text{tf}$)

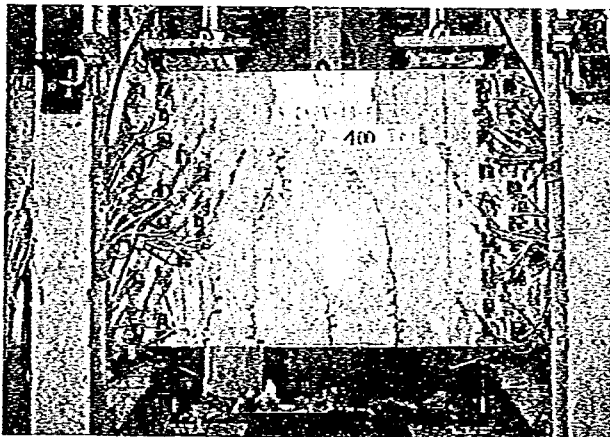
付写真-1.3.6 載荷状況 (No. 6 : S-C45-40-H)



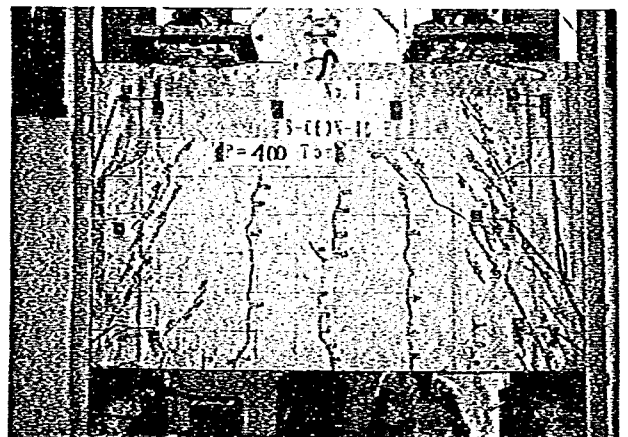
(a) A面 : $P=300\text{tf}$



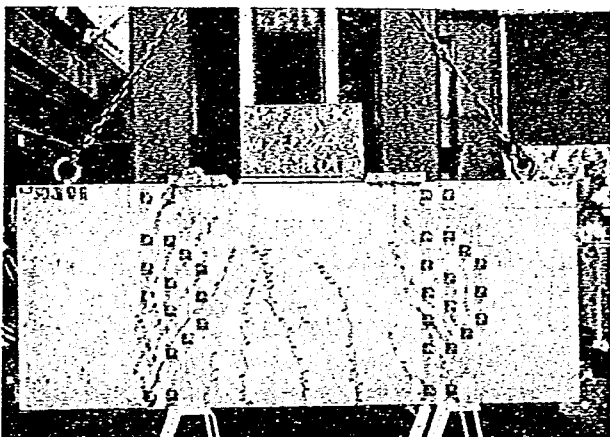
(a') B面 : $P=300\text{tf}$



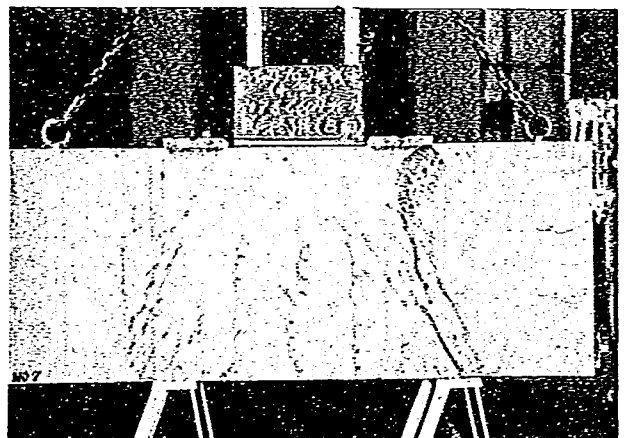
(b) A面 : $P=400\text{tf}$



(b') B面 : $P=400\text{tf}$

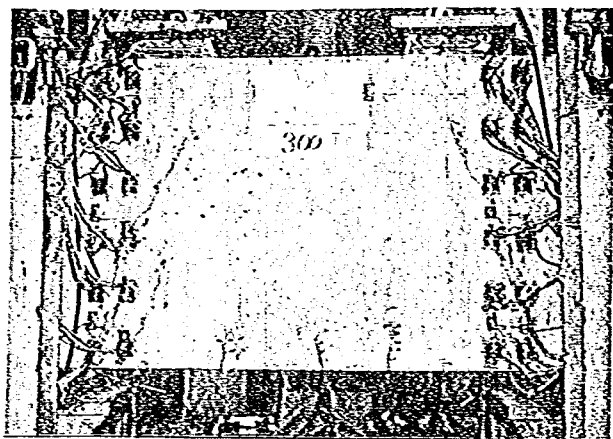


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=420\text{tf}$)

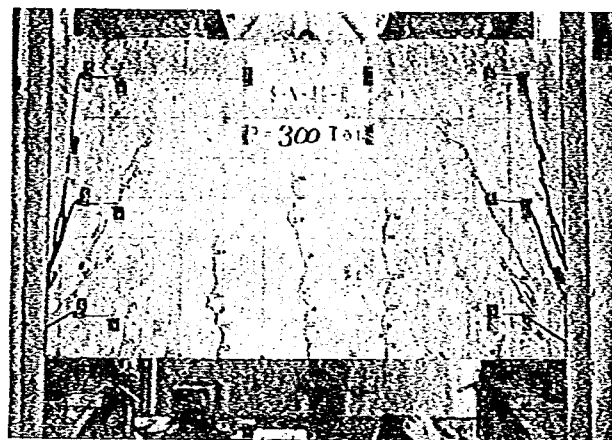


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=420\text{tf}$)

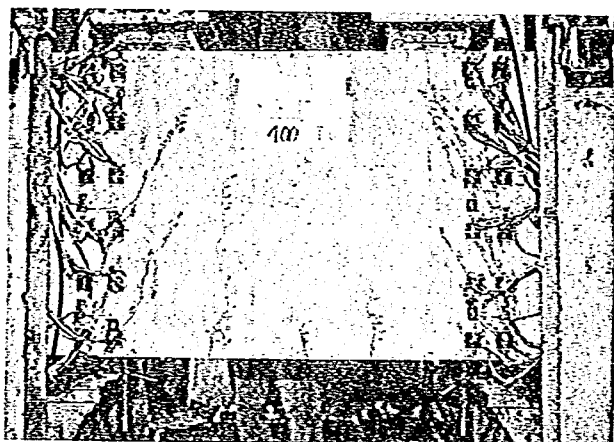
付写真-1.3.7 載荷状況 (No.7 : S-C60N-40-H)



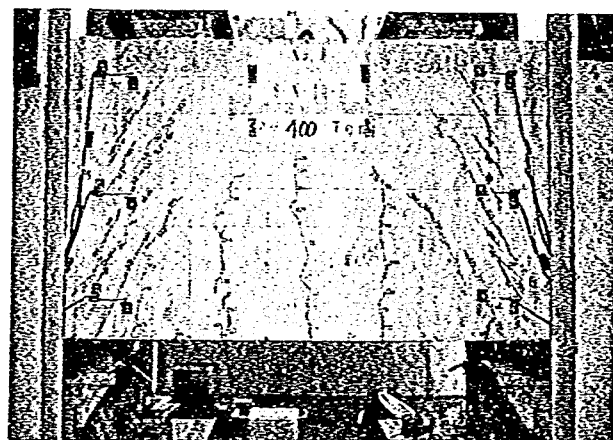
(a) A面 : $P=300\text{tf}$



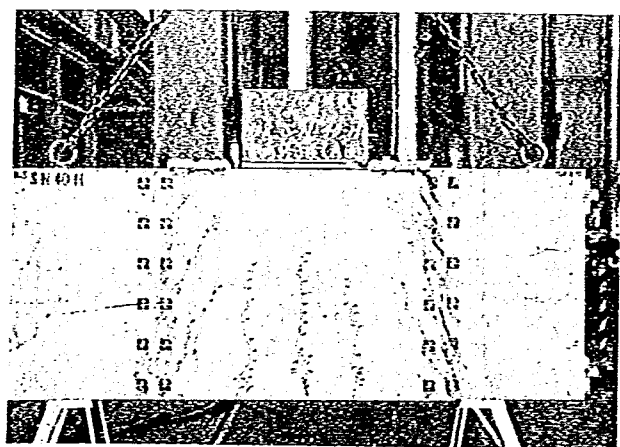
(a') B面 : $P=300\text{tf}$



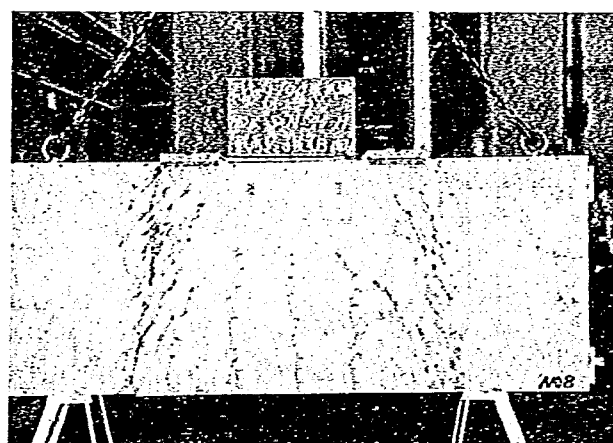
(b) A面 : $P=400\text{tf}$



(b') B面 : $P=400\text{tf}$

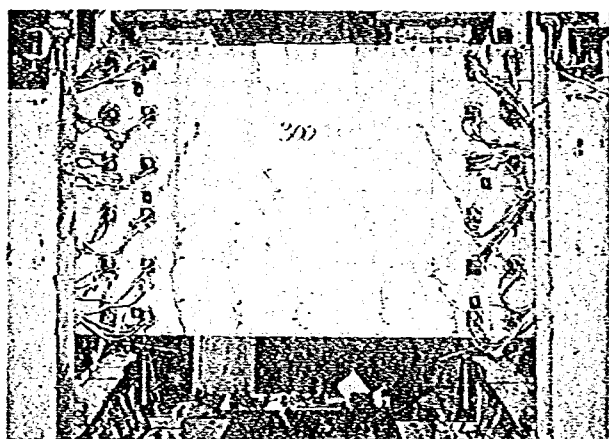


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=440\text{tf}$)

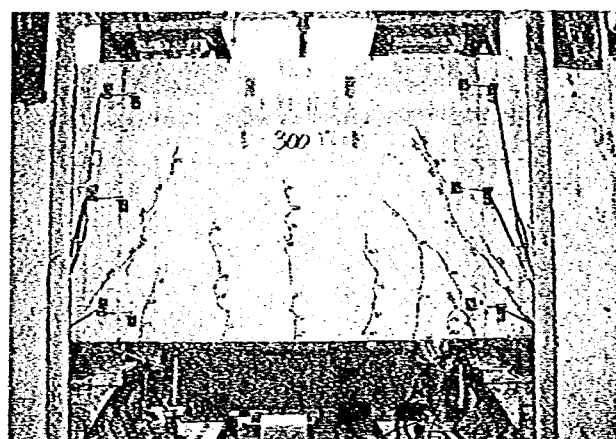


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=440\text{tf}$)

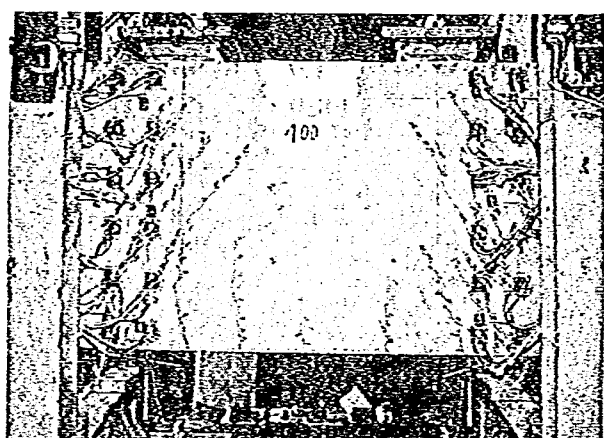
付写真-1.3.8 載荷状況 (No.8 : S-N-40-H)



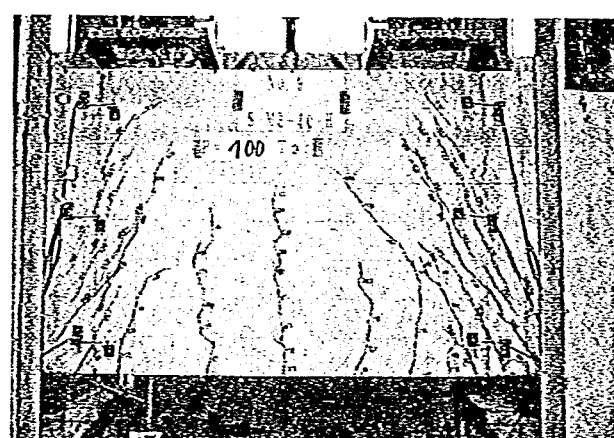
(a) A面 : $P=300\text{tf}$



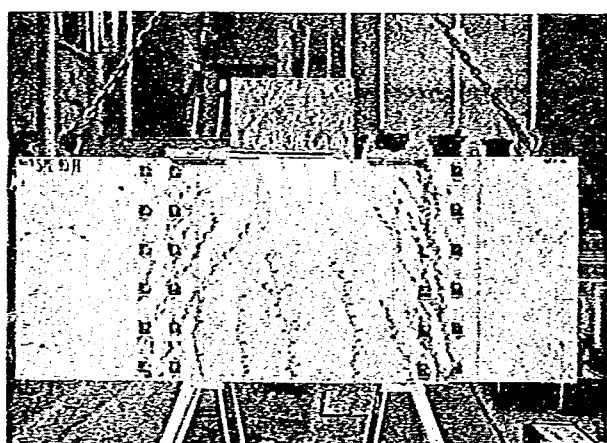
(a') B面 : $P=300\text{tf}$



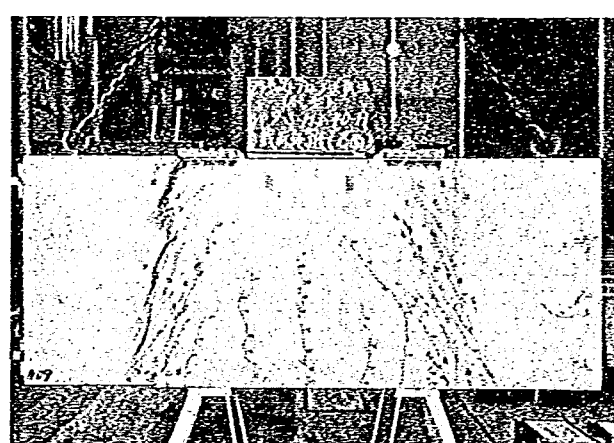
(b) A面 : $P=400\text{tf}$



(b') B面 : $P=400\text{tf}$

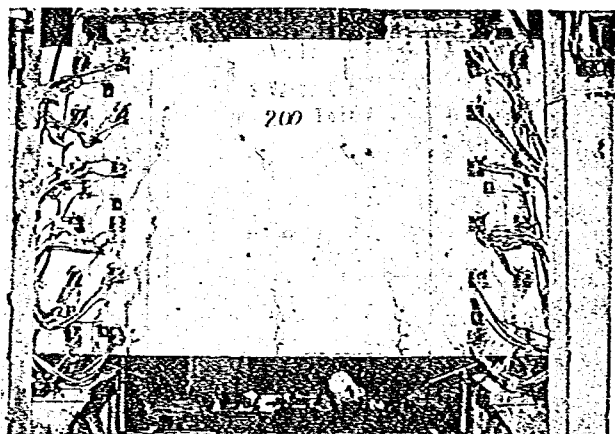


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=450\text{tf}$)

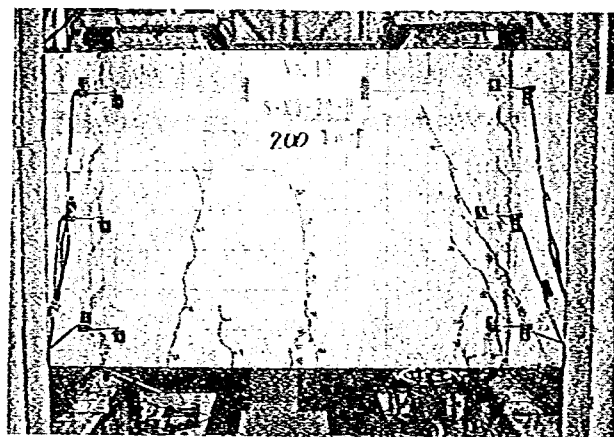


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=450\text{tf}$)

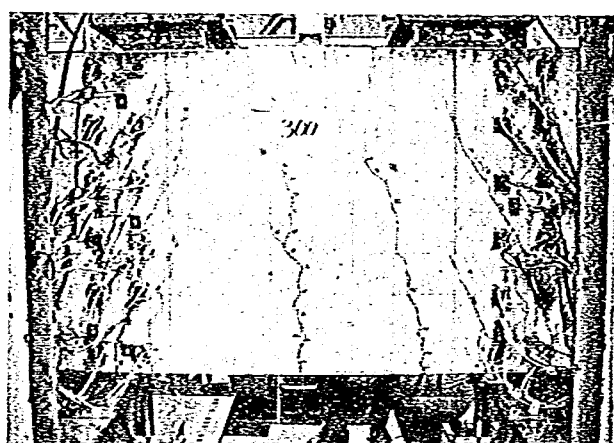
付写真-1.3.9 載荷状況 (No.9 : S-M3-40-H)



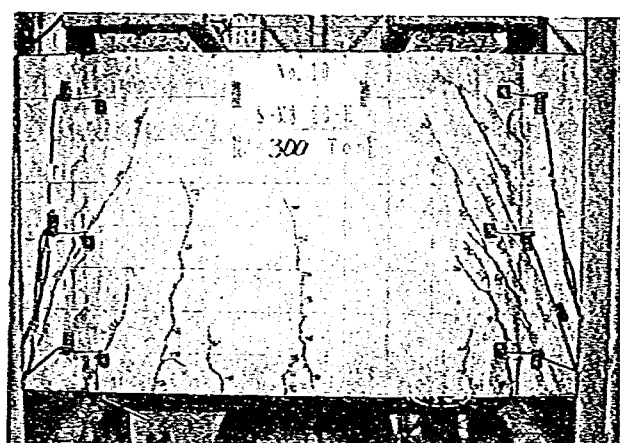
(a) A面 : $P=200\text{tf}$



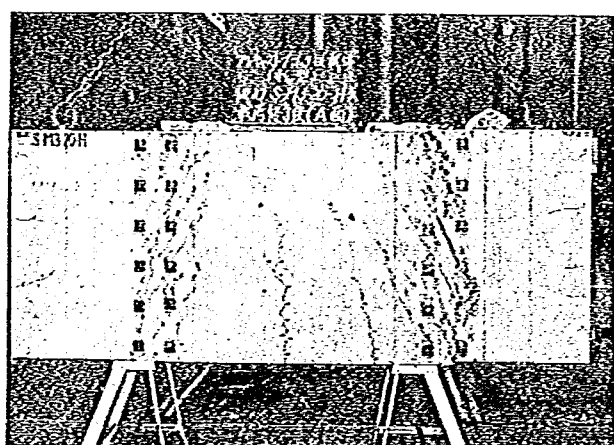
(a') B面 : $P=200\text{tf}$



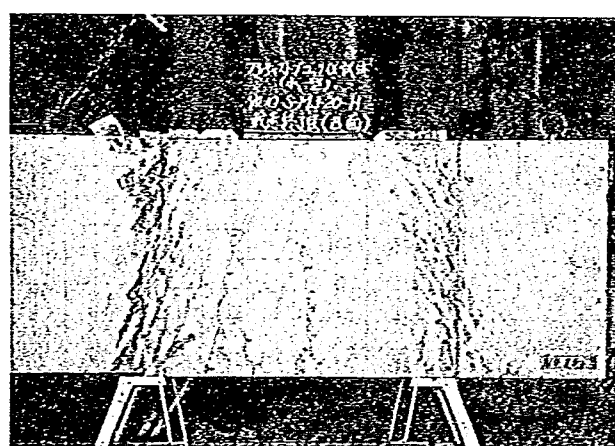
(b) A面 : $P=300\text{tf}$



(b') B面 : $P=300\text{tf}$

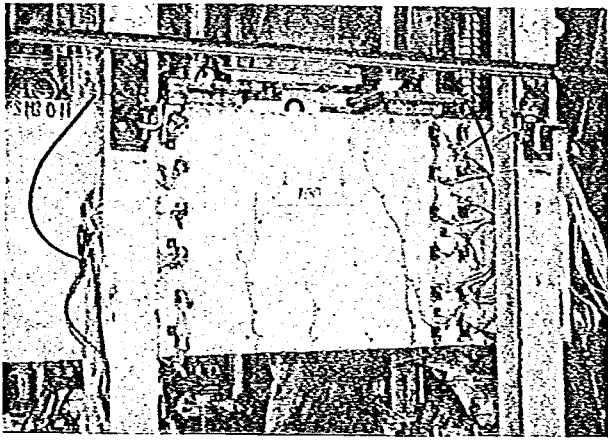


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=410\text{tf}$)

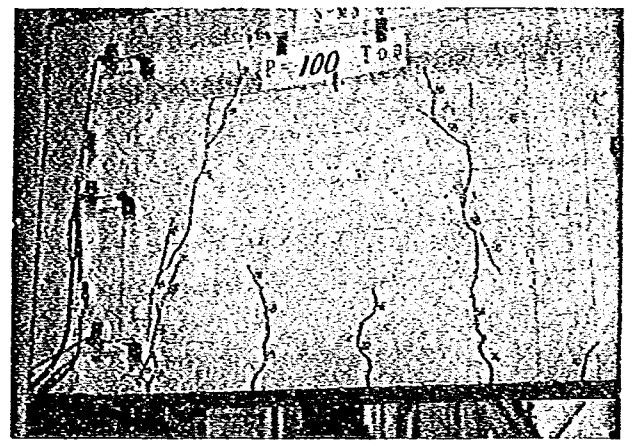


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=410\text{tf}$)

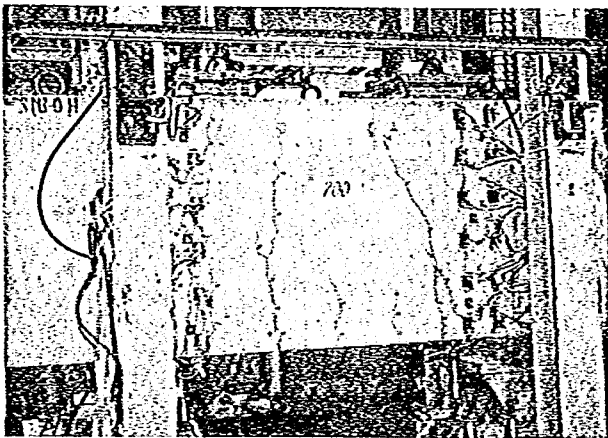
付写真-1.3.10 載荷状況 (No10 : S-M3-20-H)



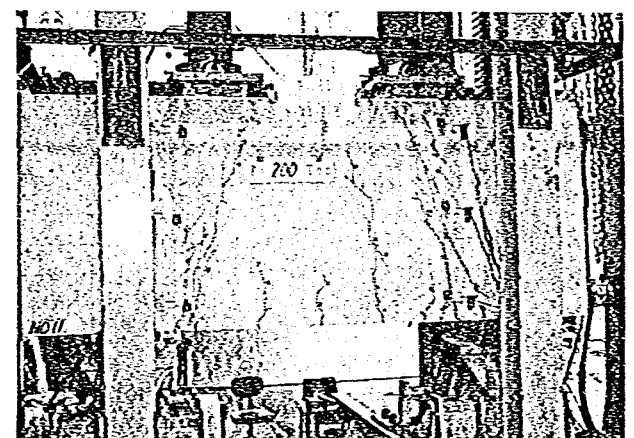
(a) A面 : $P=100\text{tf}$



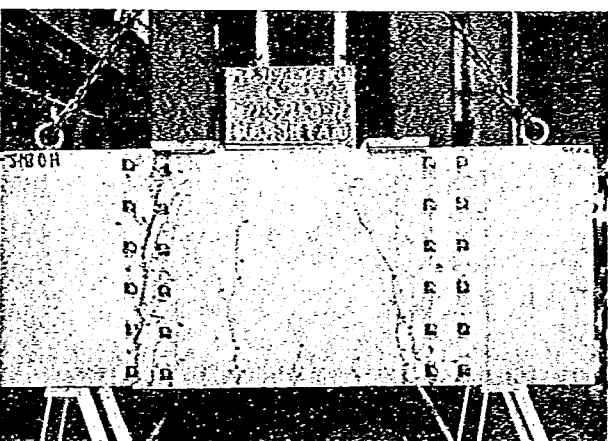
(a') B面 : $P=100\text{tf}$



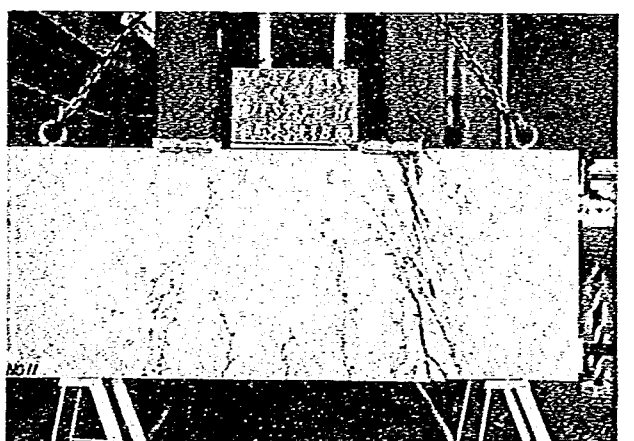
(b) A面 : $P=200\text{tf}$



(b') B面 : $P=200\text{tf}$



(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=286\text{tf}$)

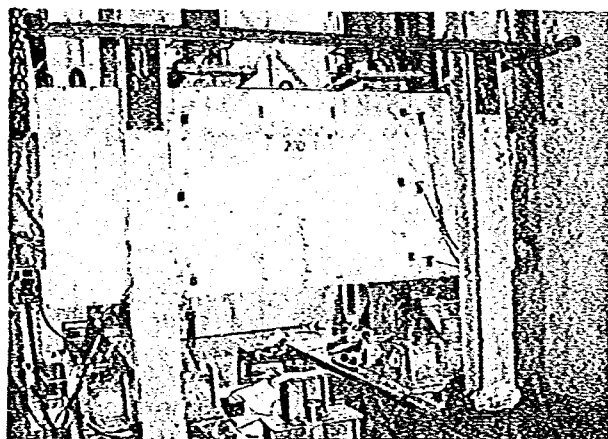


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=286\text{tf}$)

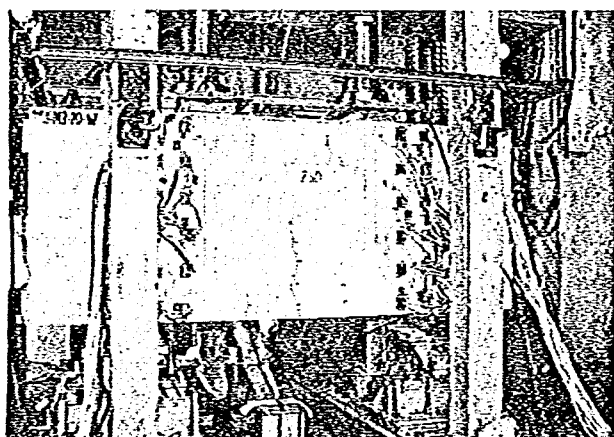
付写真-1.3.11 載荷状況 (No11 : S-M3-0-H)



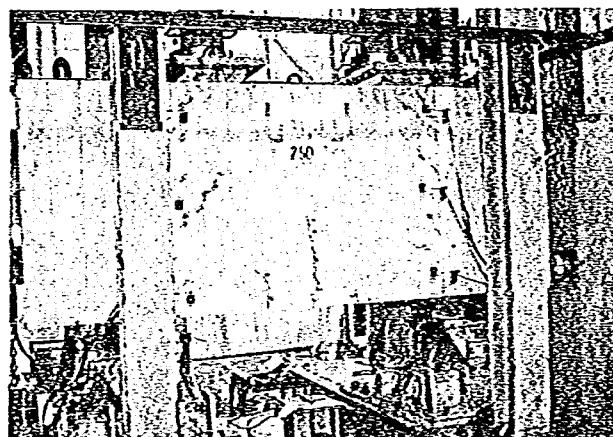
(a) A面 : $P=200\text{tf}$



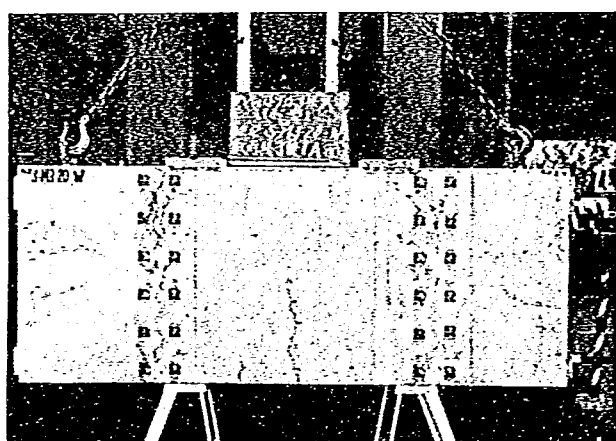
(a') B面 : $P=200\text{tf}$



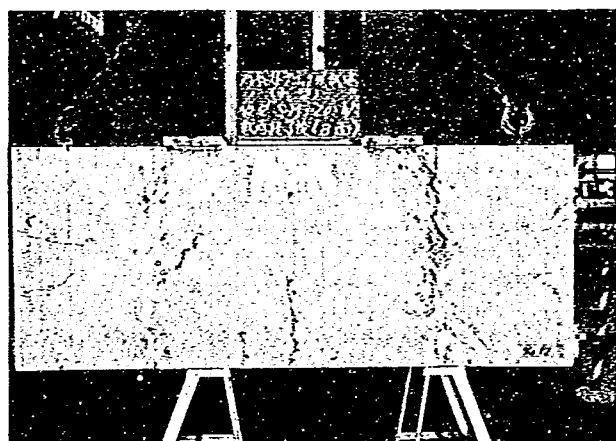
(b) A面 : $P=250\text{tf}$



(b') B面 : $P=250\text{tf}$

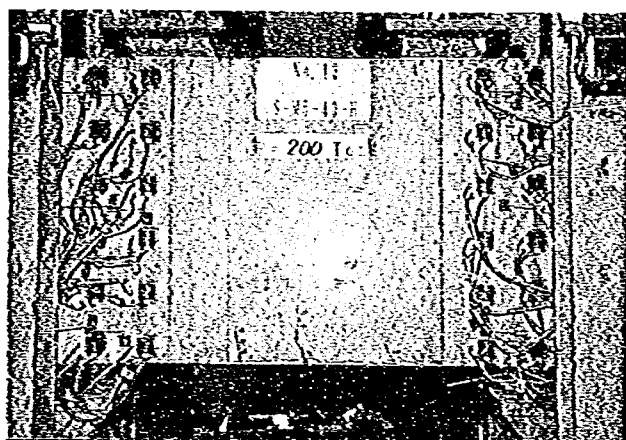


(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=320\text{tf}$)

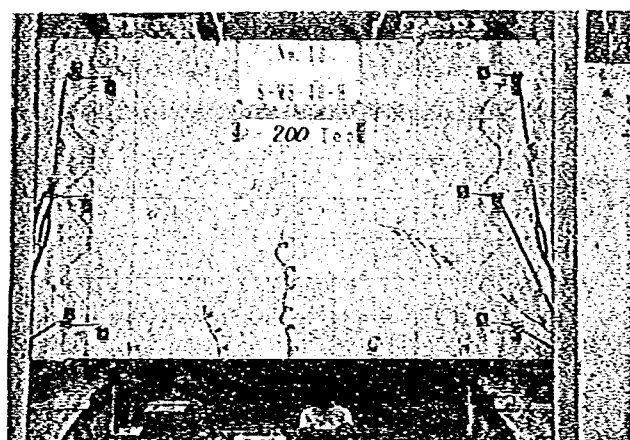


(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=320\text{tf}$)

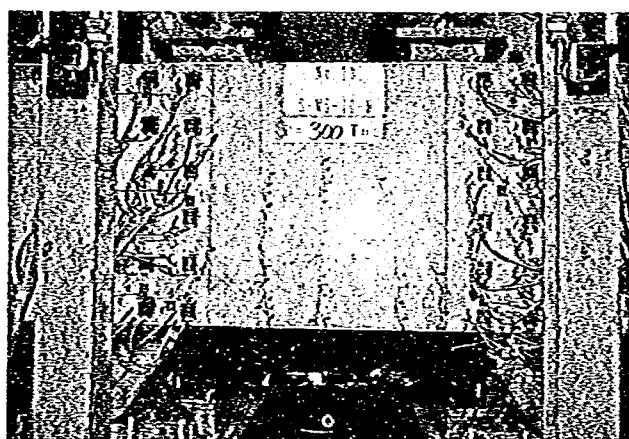
付写真-1.3.12 載荷状況 (No12 : S-M3-20-W)



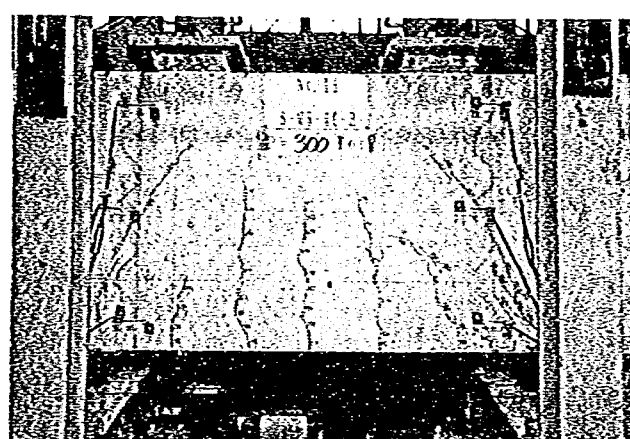
(a) A面 : $P=200\text{tf}$



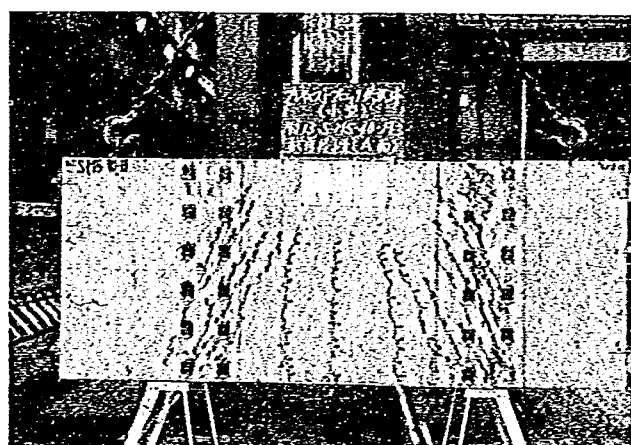
(a') B面 : $P=200\text{tf}$



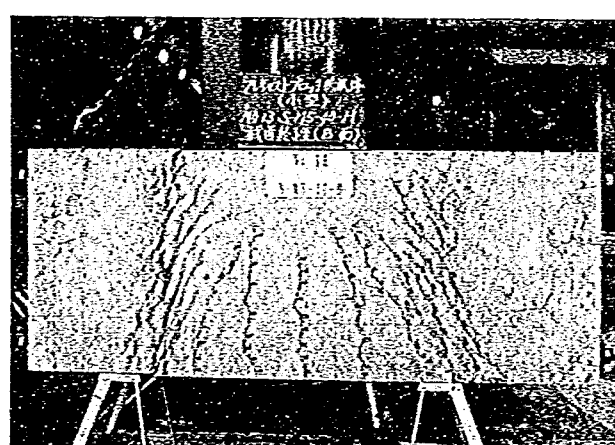
(b) A面 : $P=300\text{tf}$



(b') B面 : $P=300\text{tf}$

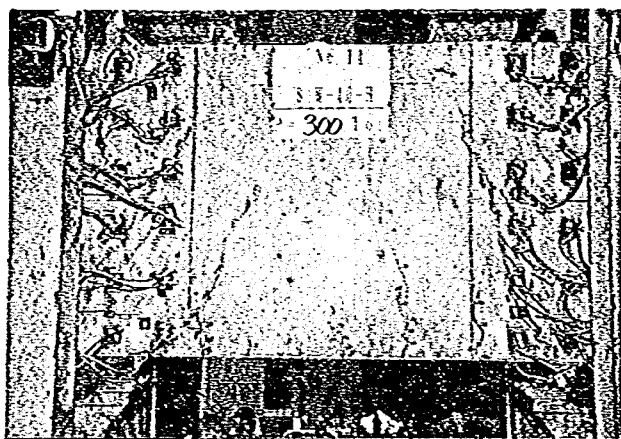


(c) A面 : 载荷終了後 (最大荷重 $P=420\text{tf}$)

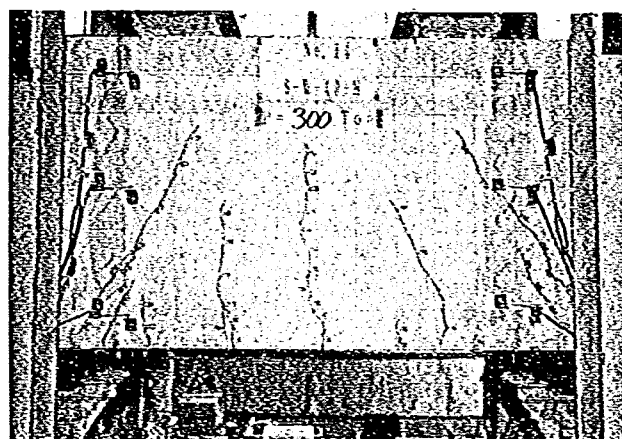


(c') B面 : 载荷終了後 (最大荷重 $P=420\text{tf}$)

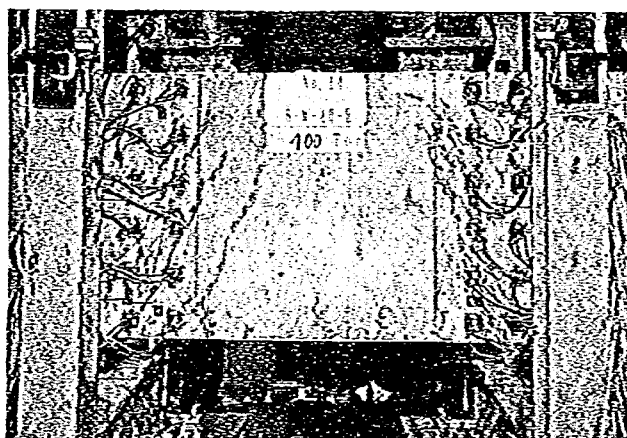
付写真-1.3.13 载荷状況 (No.13 : S-M5-40-H)



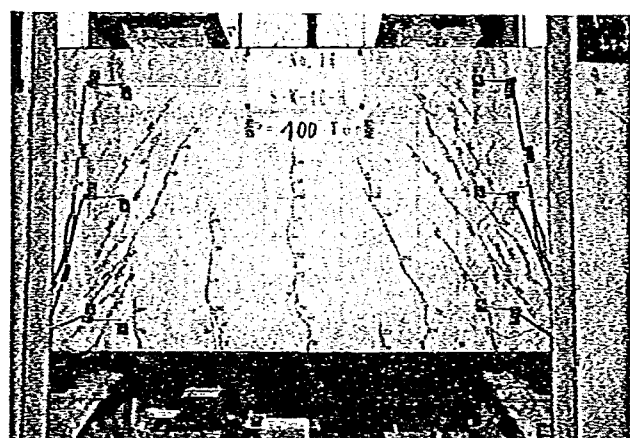
(a) A面 : $P=300\text{tf}$



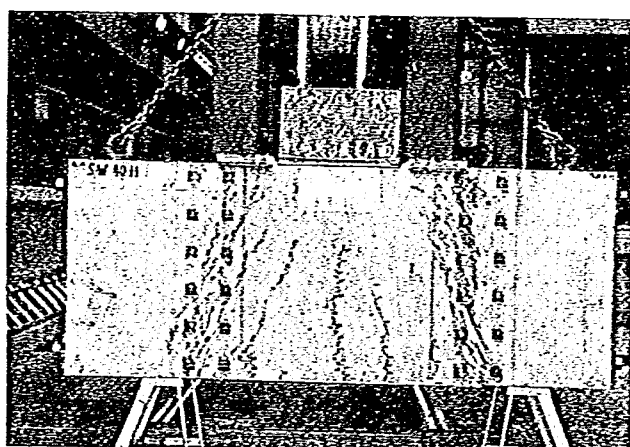
(a') B面 : $P=300\text{tf}$



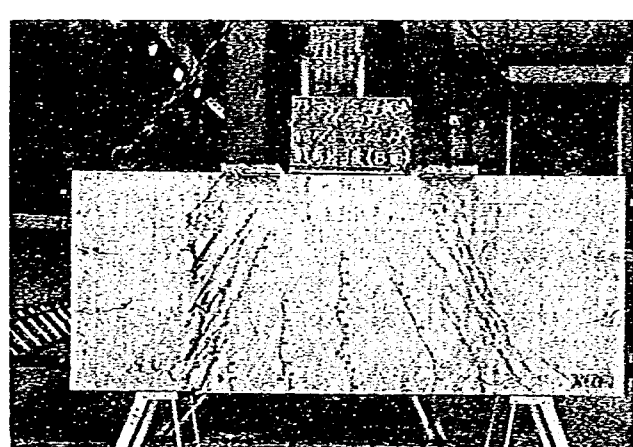
(b) A面 : $P=400\text{tf}$



(b') B面 : $P=400\text{tf}$



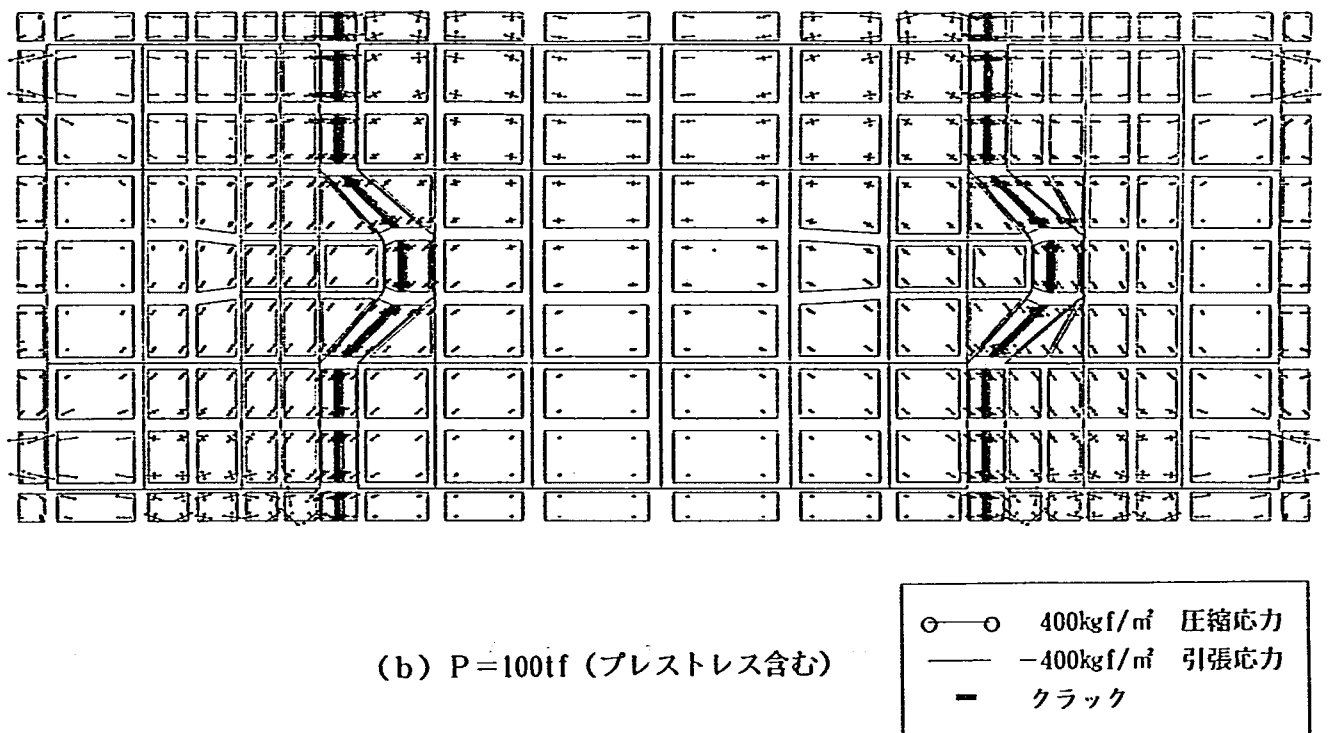
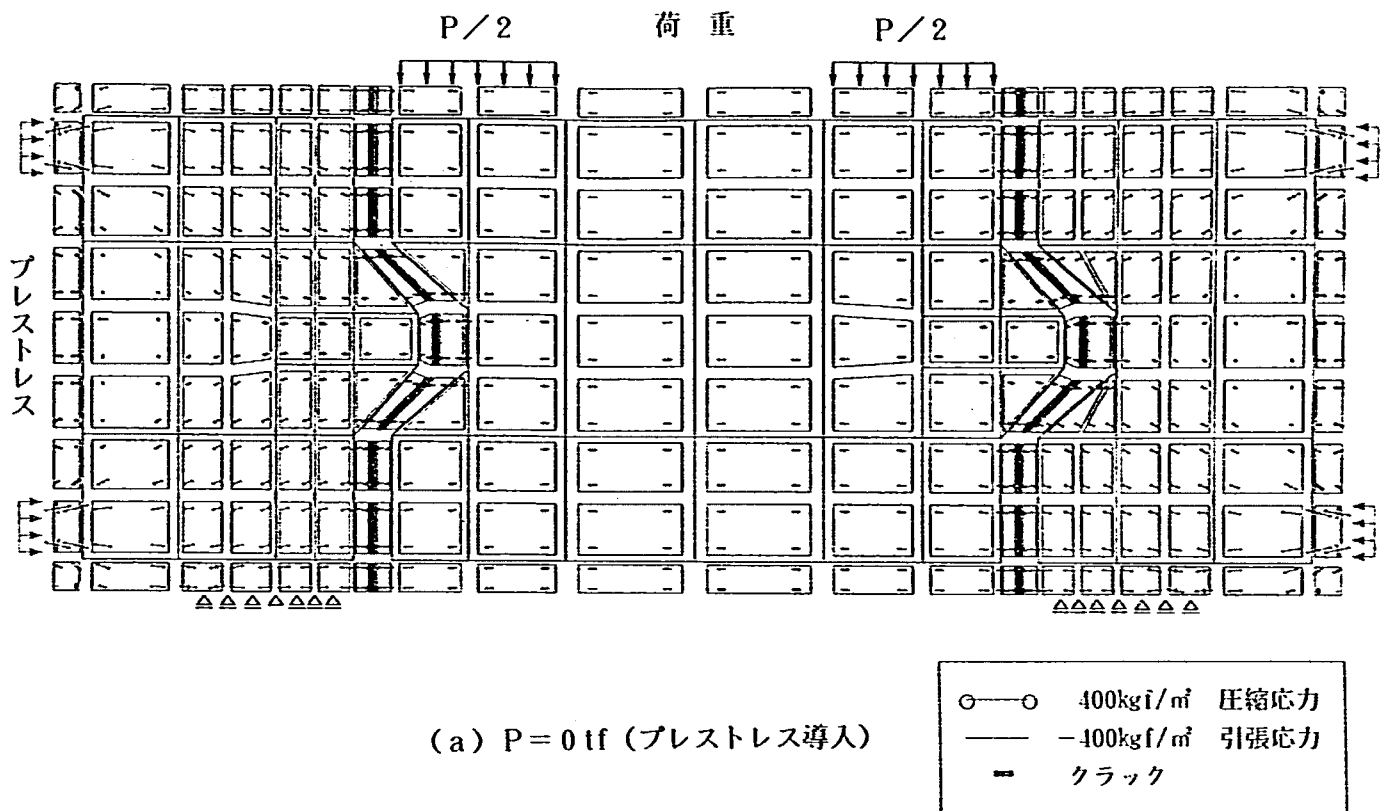
(c) A面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=467\text{tf}$)



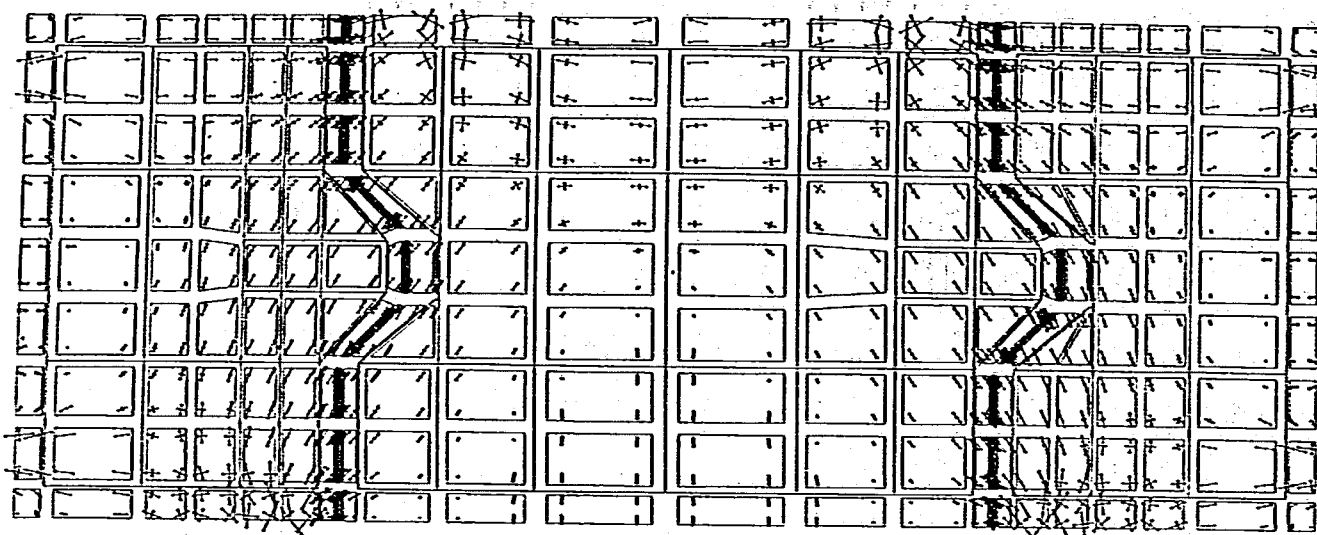
(c') B面 : 載荷終了後 (最大荷重 $P=467\text{tf}$)

付写真-1.3.14 載荷状況 (No.14 : S-W-40-H)

付録－2 小型供試体解析結果

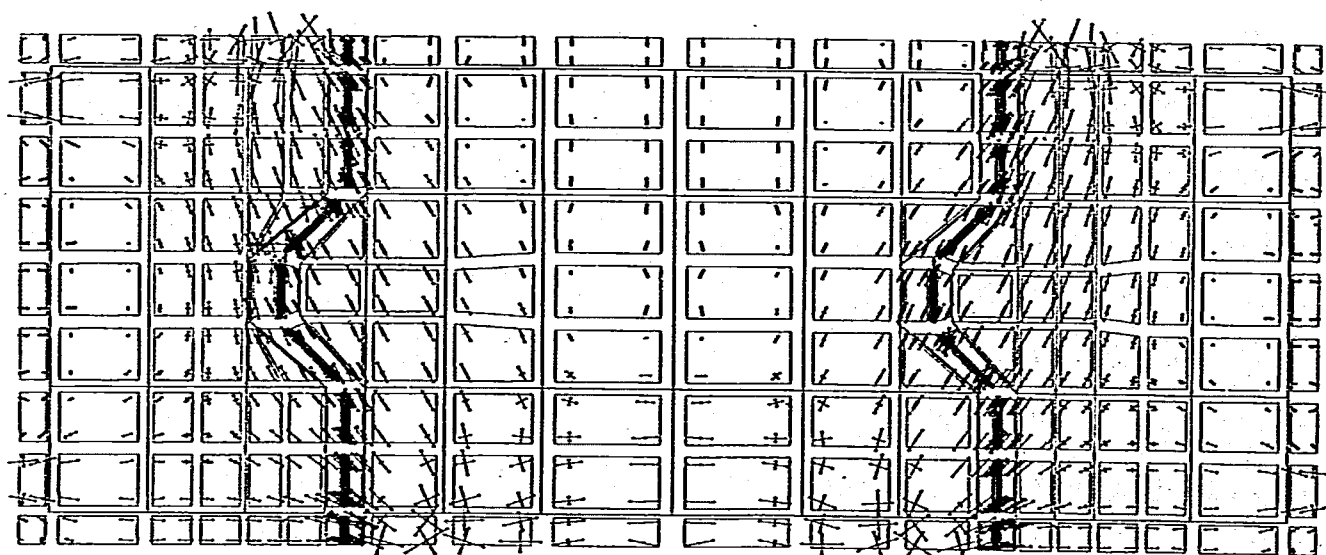


付図-2.1 主応力図 (No.1 : S-C45N-40-H)



(c) $P=200\text{tf}$ (プレストレス含む)

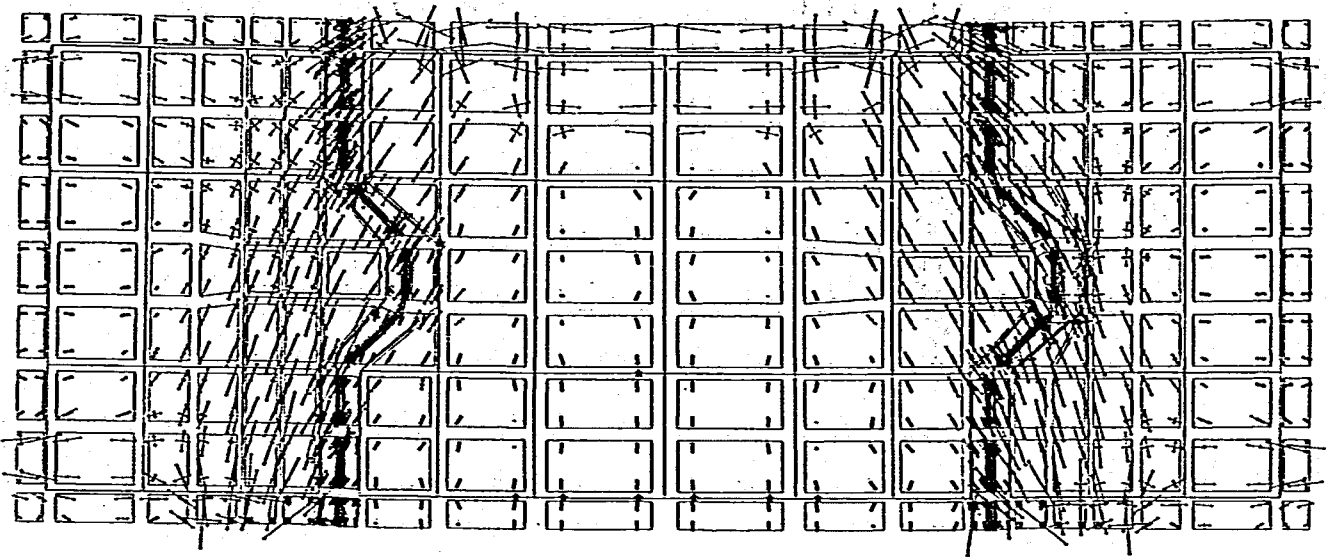
○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック



(d) $P=300\text{tf}$ (プレストレス含む)

○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック

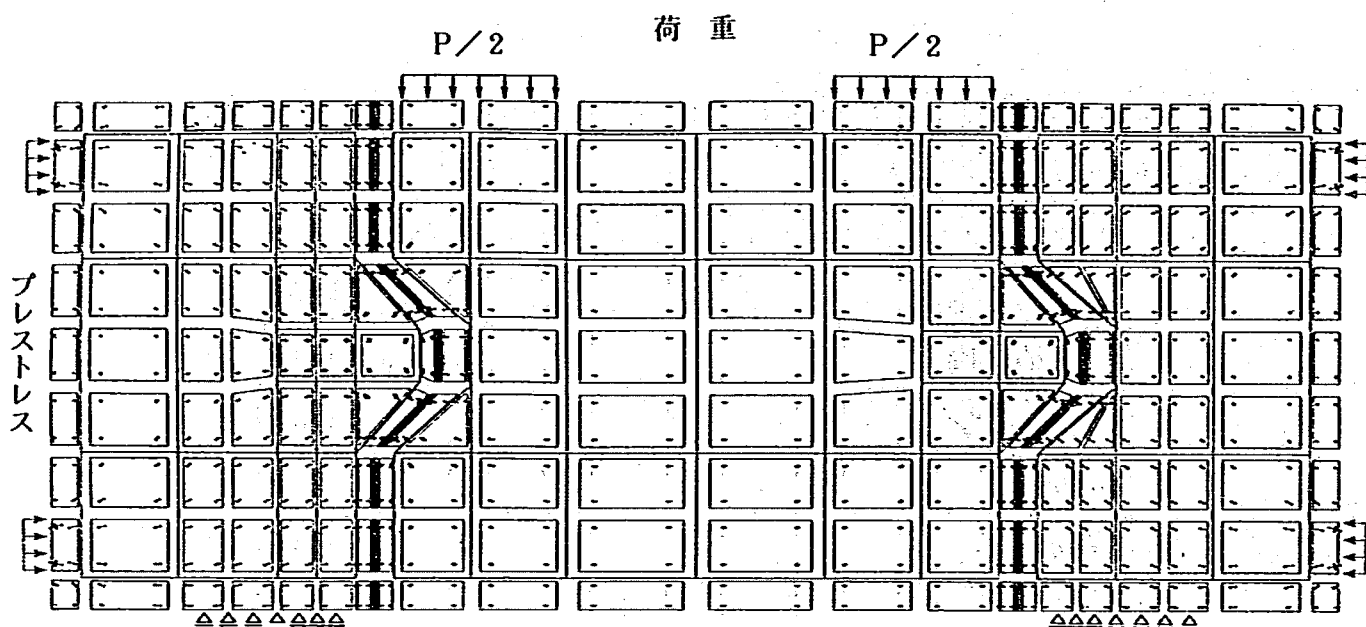
付図-2.1 主応力図 (No.1 : S-C45N-40-H)



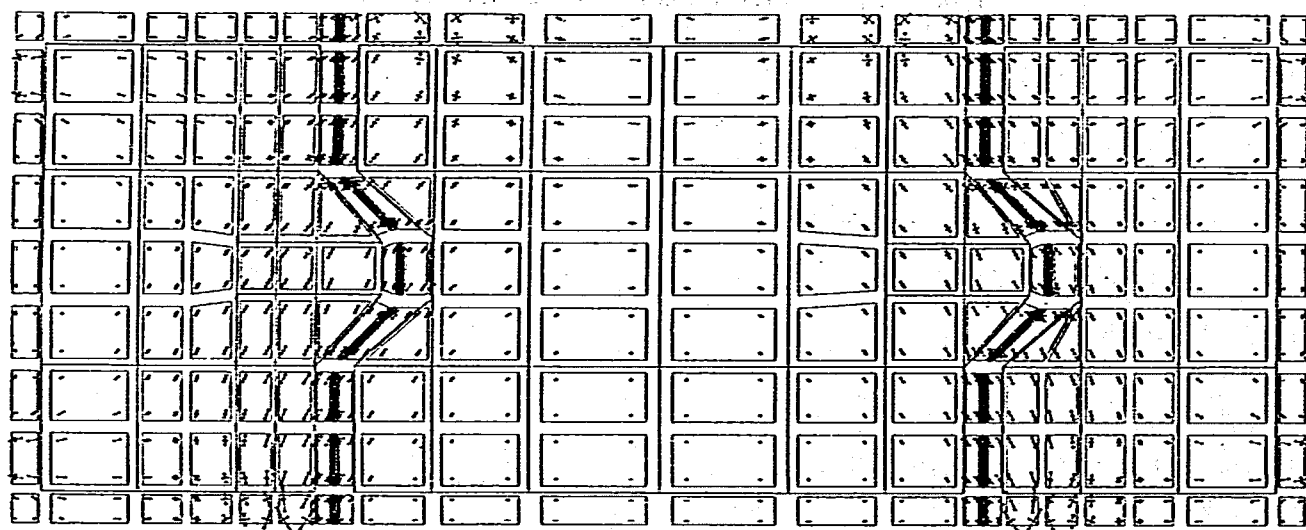
(e) $P=400\text{tf}$ (プレストレス含む)

$\bigcirc-\bigcirc$ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 $---$ $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 $-$ クラック

付図-2.1 主応力図 (No.1 : S-C45N-40-H)

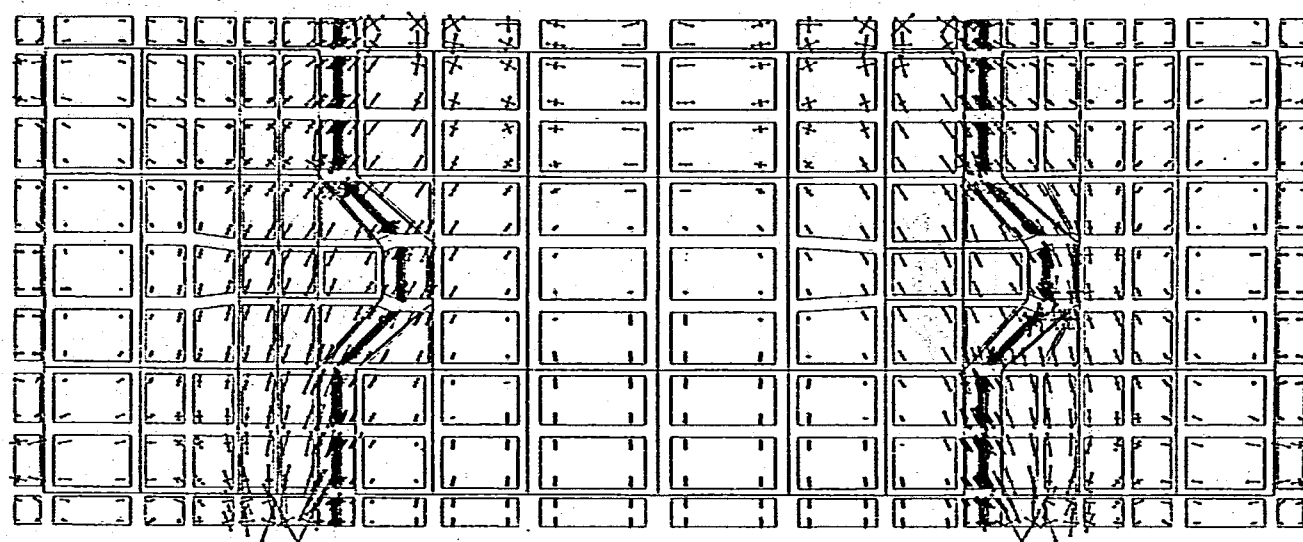


○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック



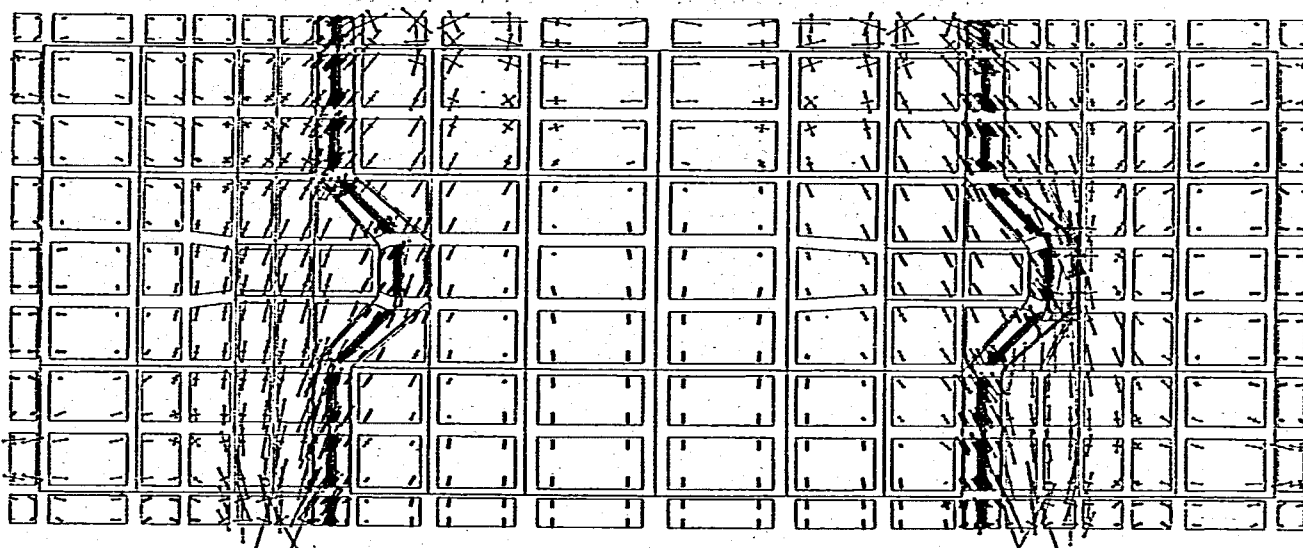
○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック

付図-2.2 主応力図 (No.2 : S-C45N-20-H)



(c) $P=200\text{tf}$ (プレストレス含む)

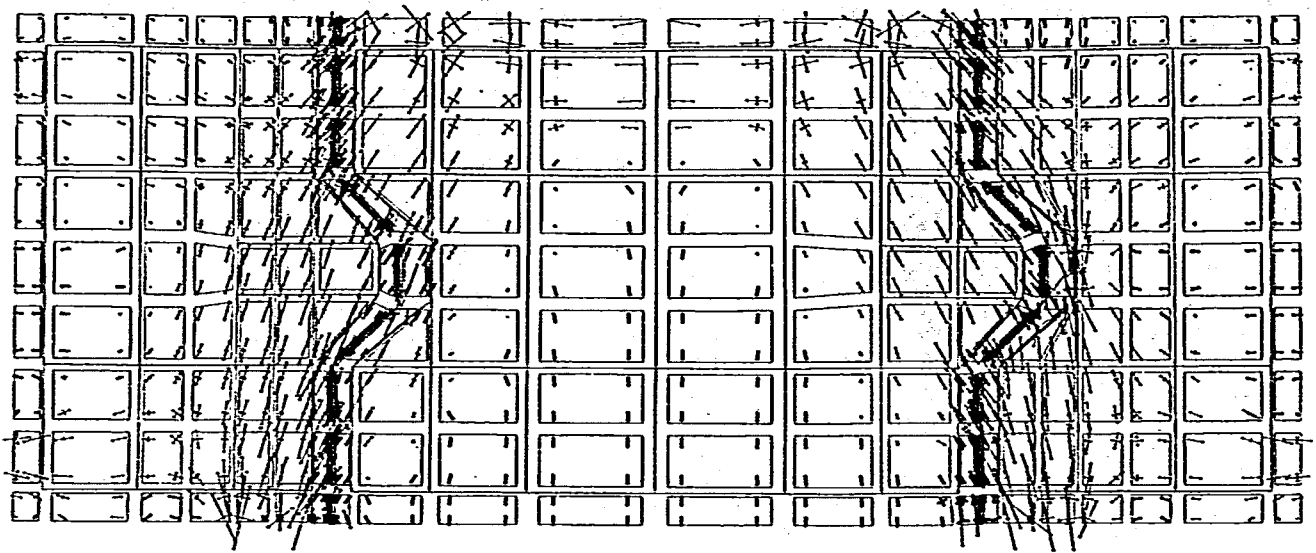
$\bigcirc$ — $\bigcirc$ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック



(d) $P=250\text{tf}$ (プレストレス含む)

$\bigcirc$ — $\bigcirc$ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック

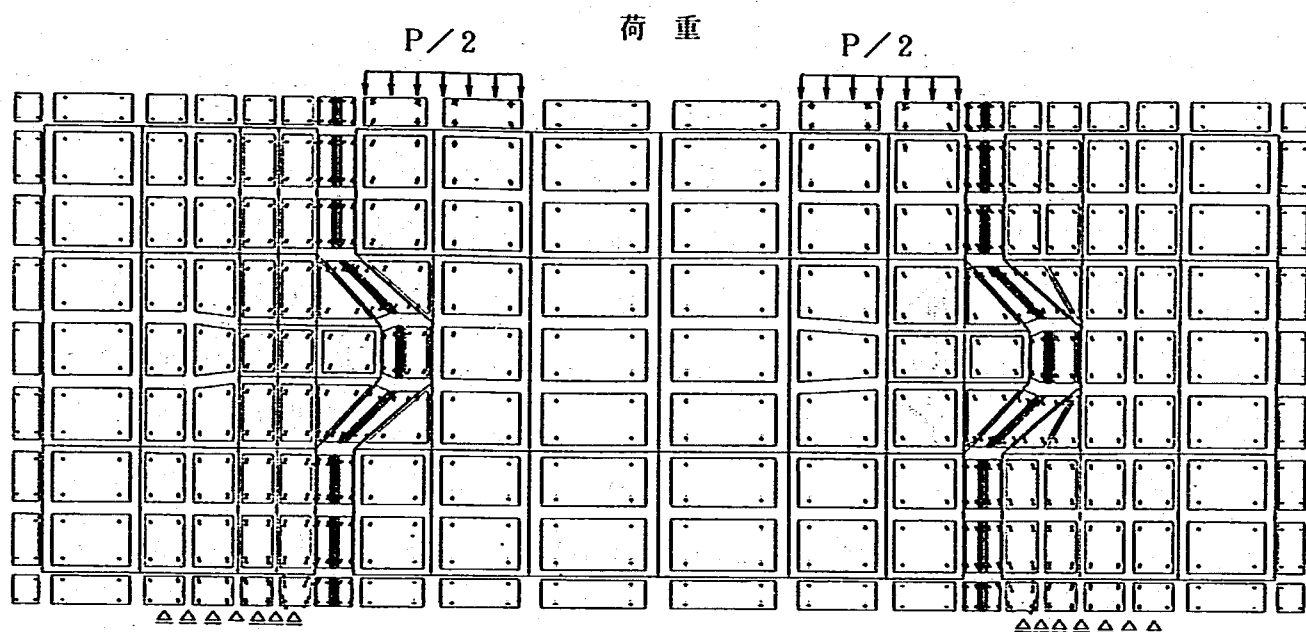
付図-2.2 主応力図 (No.2 : S-C45N-20-H)



(e) $P=300\text{tf}$ (プレストレス含む)

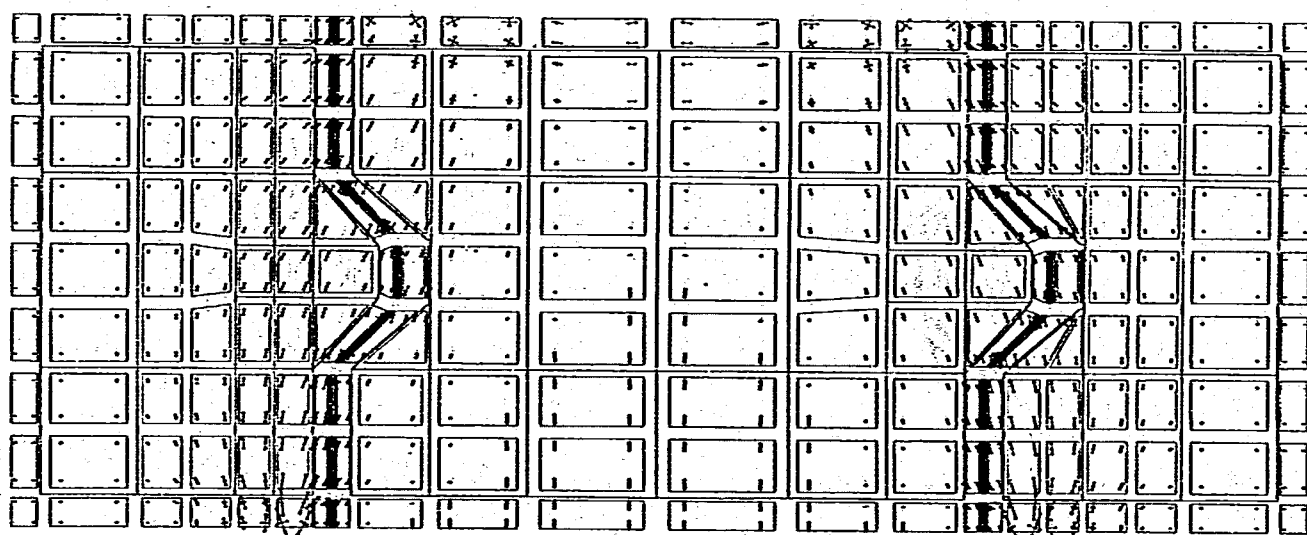
$\bigcirc-\bigcirc$ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 $---$ $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 $-$ クラック

付図-2.2 主応力図 (No 2 : S-C45N-20-H)



(a) $P=50\text{tf}$ (プレストレス無し)

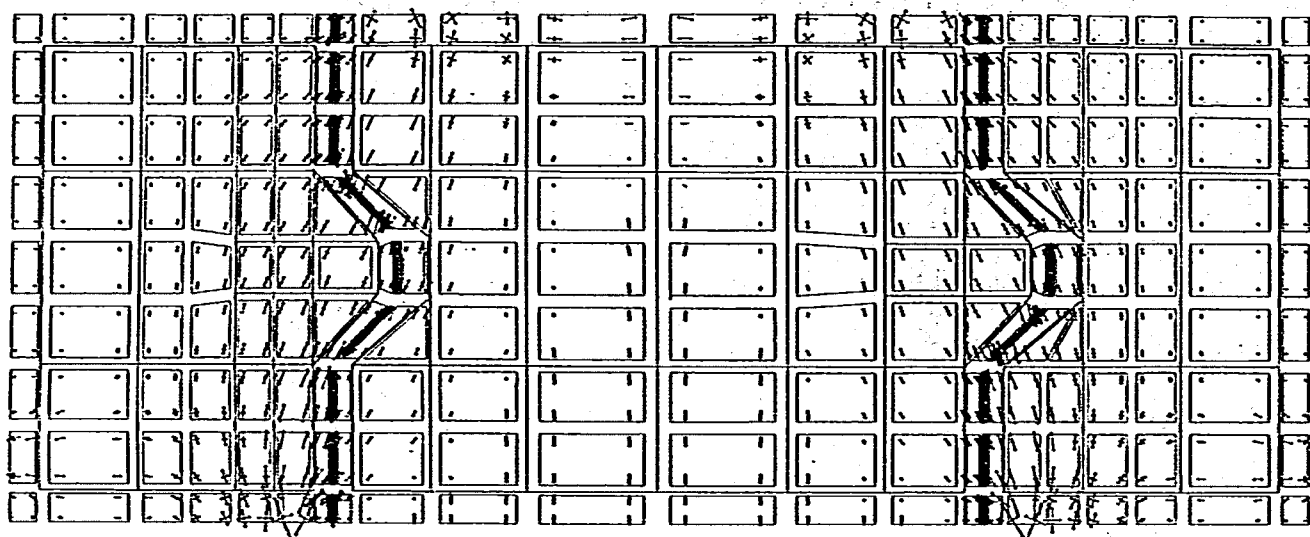
○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック



(b) $P=100\text{tf}$ (プレストレス無し)

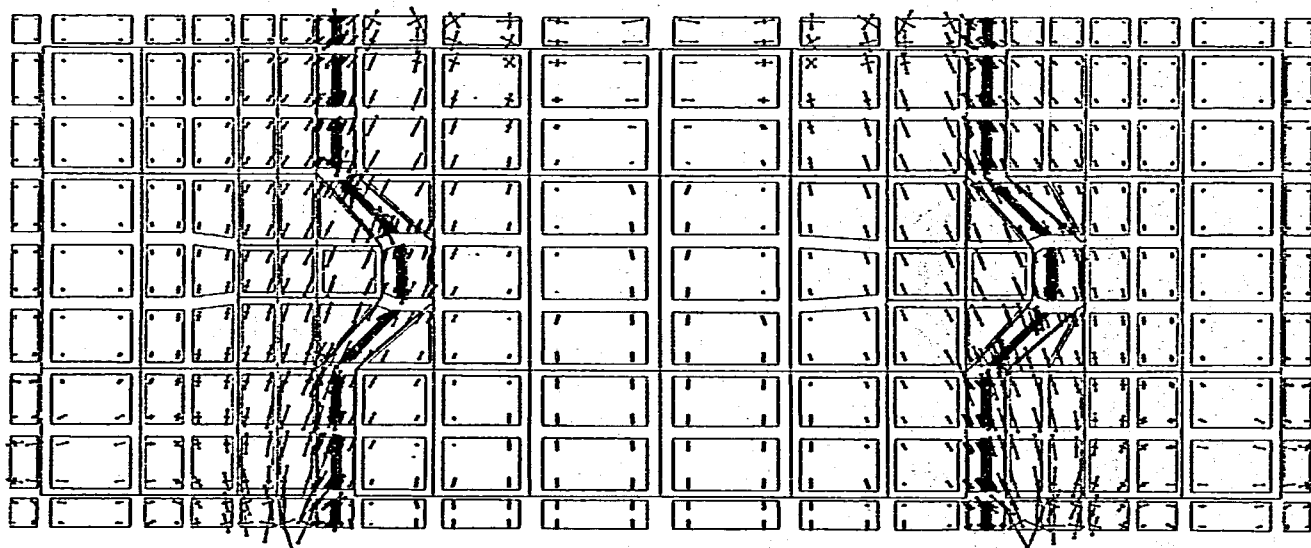
○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック

付図-2.3 主応力図 (No.3 : S-C45N-0 ÷ H)



(c) $P=150\text{tf}$ (プレストレス無し)

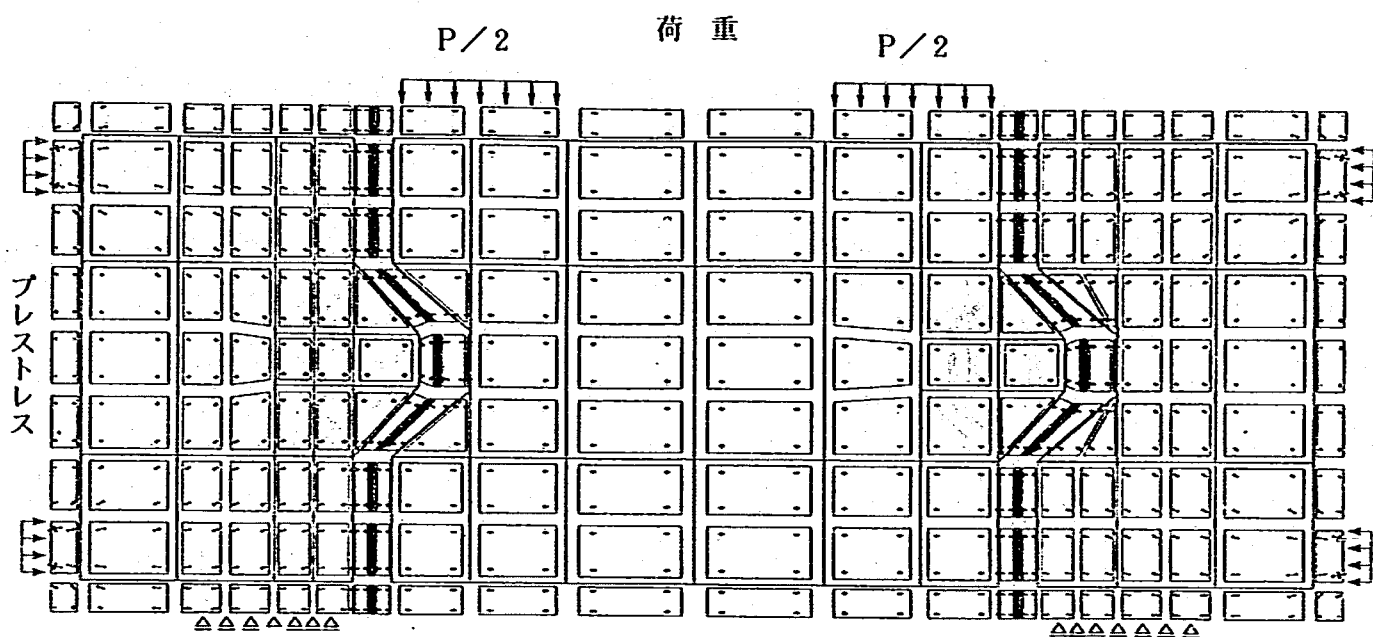
○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック



(d) $P=200\text{tf}$ (プレストレス無し)

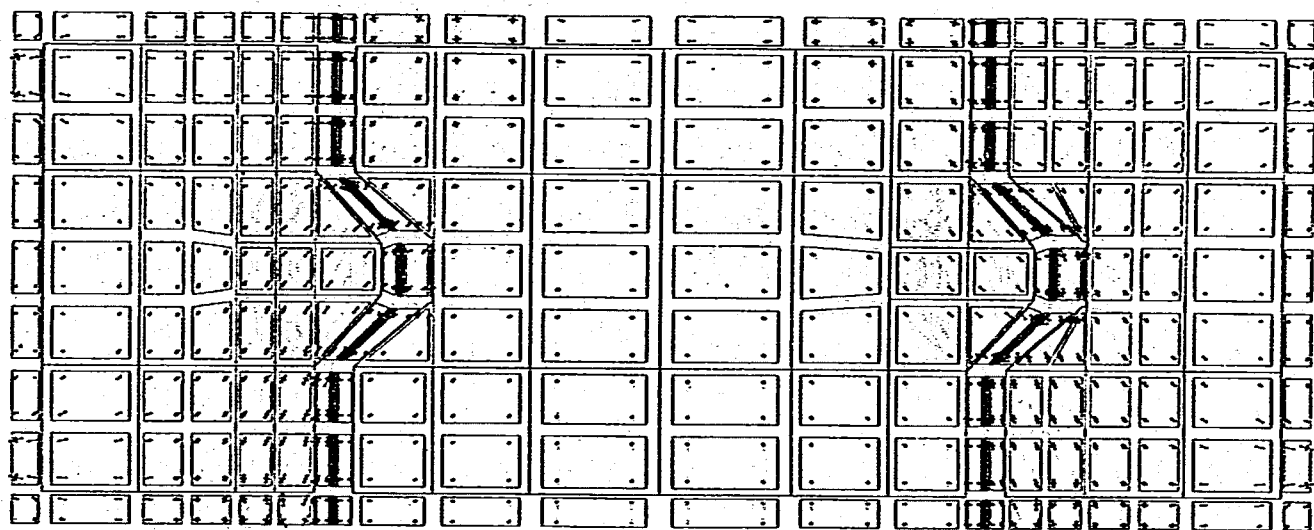
○—○ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 - クラック

付図-2.3 主応力図 (No.3 : S-C45N-0-H)



(a) $P = 0 \text{ tf}$ (プレストレス導入)

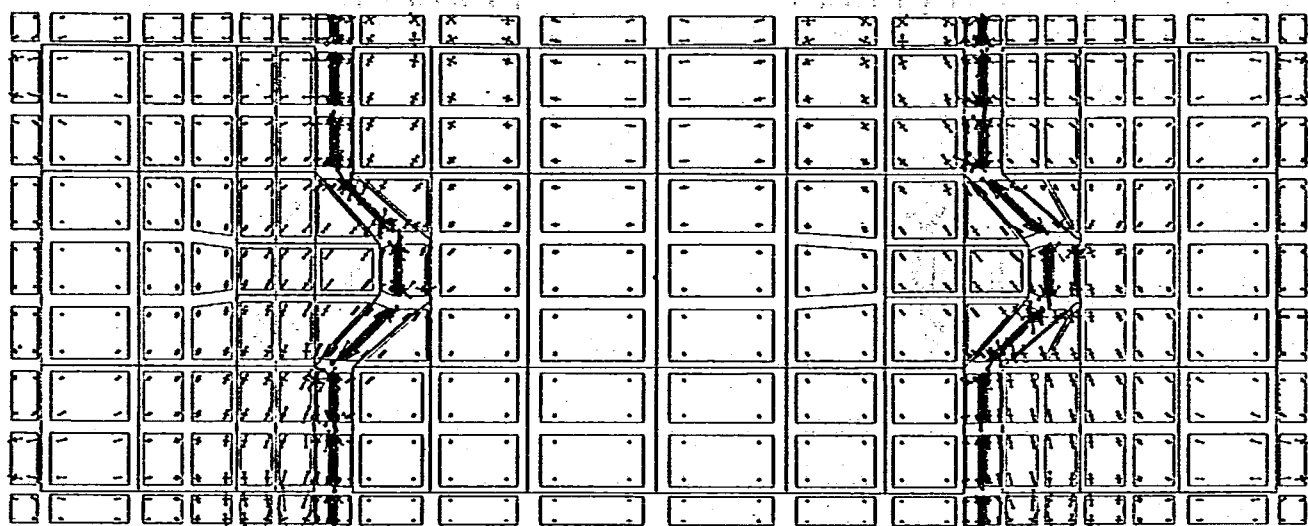
○—○ 400 kgf/m^2 圧縮応力
 — -400 kgf/m^2 引張応力
 - クラック



(b) $P = 50 \text{ tf}$ (プレストレス含む)

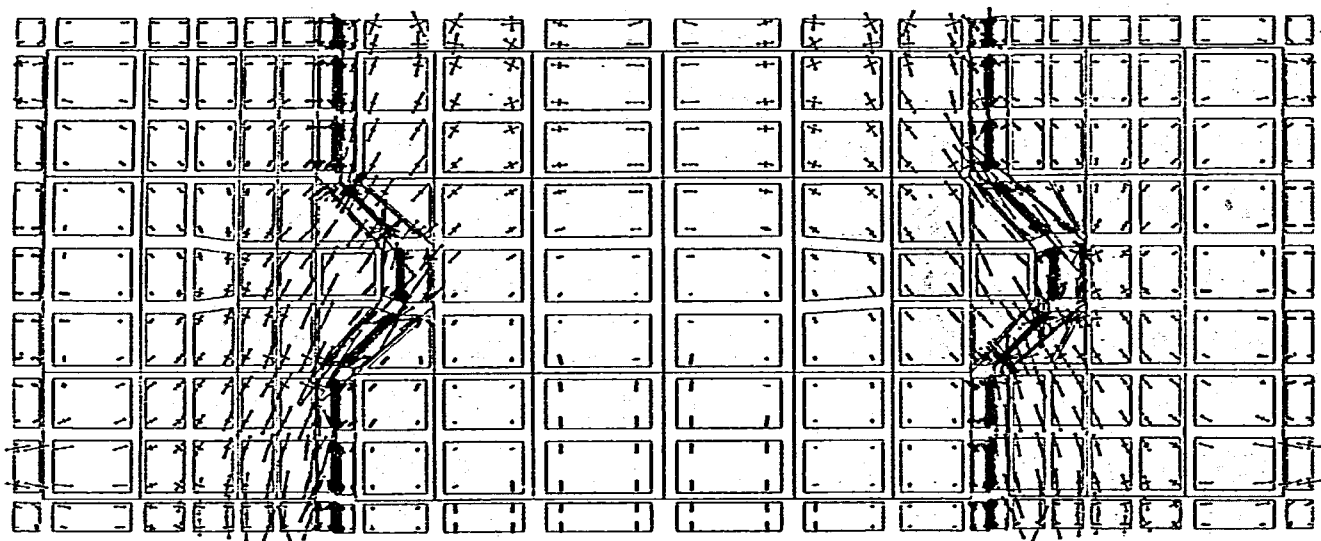
○—○ 400 kgf/m^2 圧縮応力
 — -400 kgf/m^2 引張応力
 - クラック

付図-2.4 主応力図 (No.4 : S=C45N-20-W)



(c) $P=100\text{tf}$ (プレストレス含む)

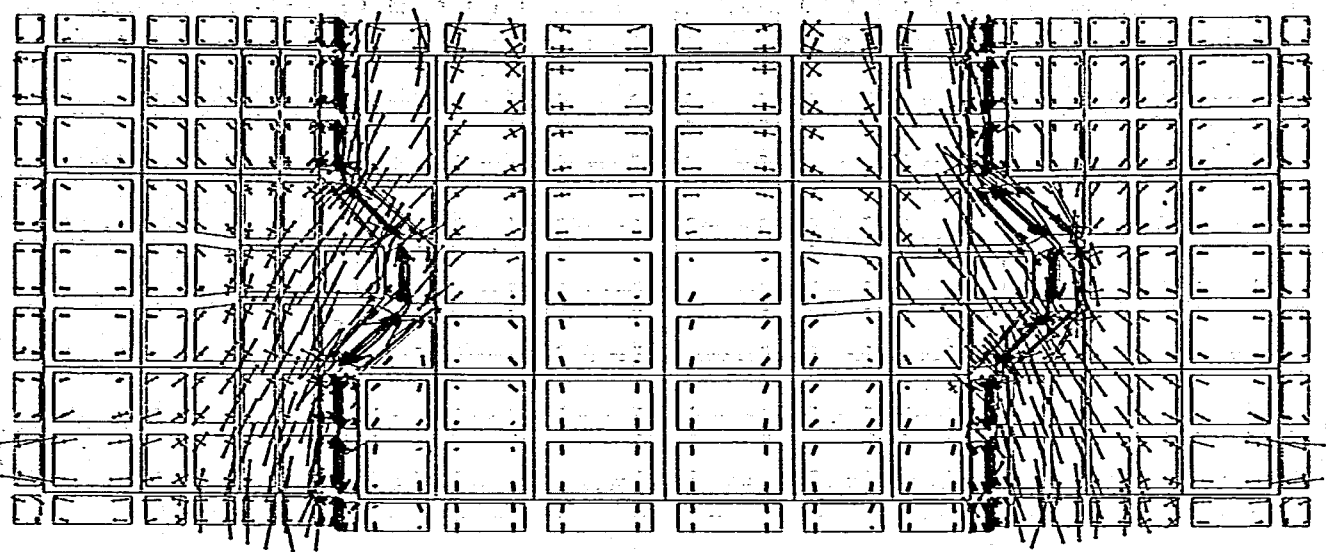
○—○ 400kgf/cm^2 圧縮応力
 — -400kgf/cm^2 引張応力
 - クラック



(d) $P=200\text{tf}$ (プレストレス含む)

○—○ 400kgf/cm^2 圧縮応力
 — -400kgf/cm^2 引張応力
 - クラック

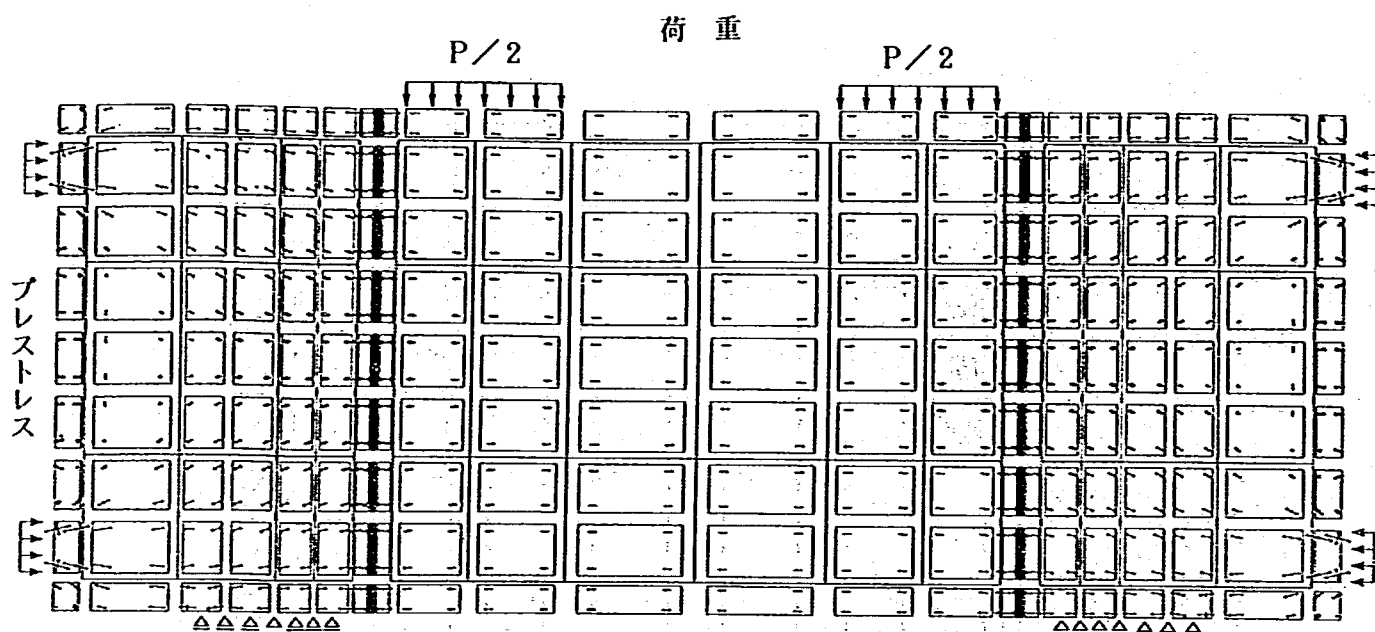
付図-2.4 主応力図 (No.4 : S-C45N-20-W)



(e) $P=300\text{tf}$ (プレストレス含む)

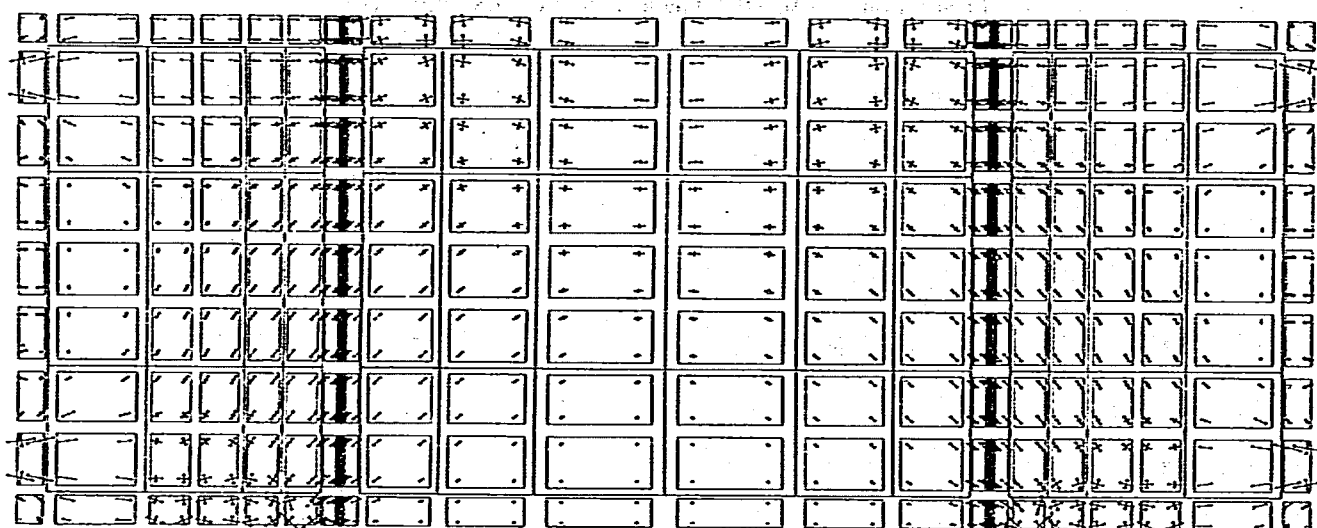
$\bigcirc$ — $\bigcirc$ $400\text{kgf}/\text{m}^2$ 圧縮応力
 — $-400\text{kgf}/\text{m}^2$ 引張応力
 — クラック

付図-2.4 主応力図 (No.4 : S-C45N-20-W)



(a) $P=0\text{tf}$ (プレストレス導入)

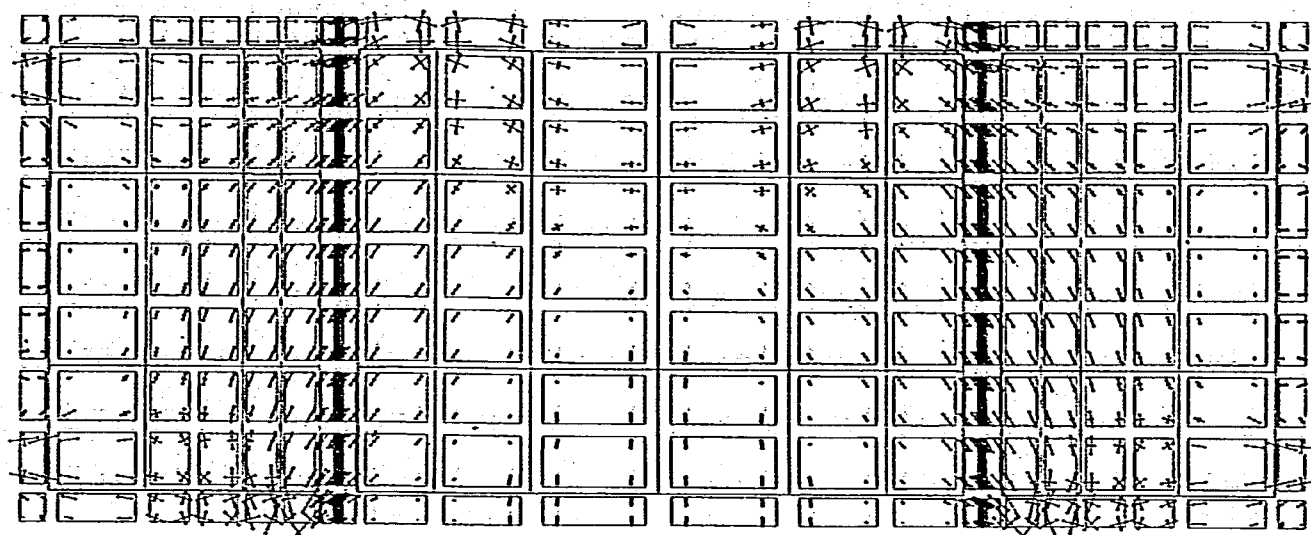
○—○ 400kgf/m^2 圧縮応力
 — -400kgf/m^2 引張応力
 - クラック



(b) $P=100\text{tf}$ (プレストレス含む)

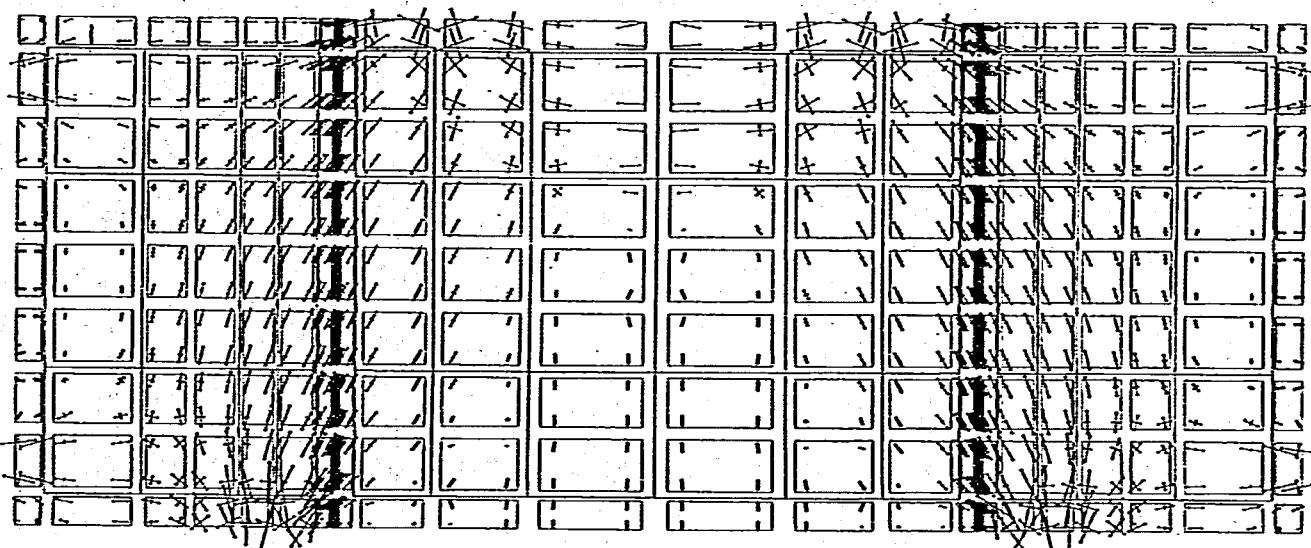
○—○ 400kgf/m^2 圧縮応力
 — -400kgf/m^2 引張応力
 - クラック

付図-2.5 主応力図 (No 8 : S-N-40-H)



(c) $P=200\text{tf}$ (プレストレス含む)

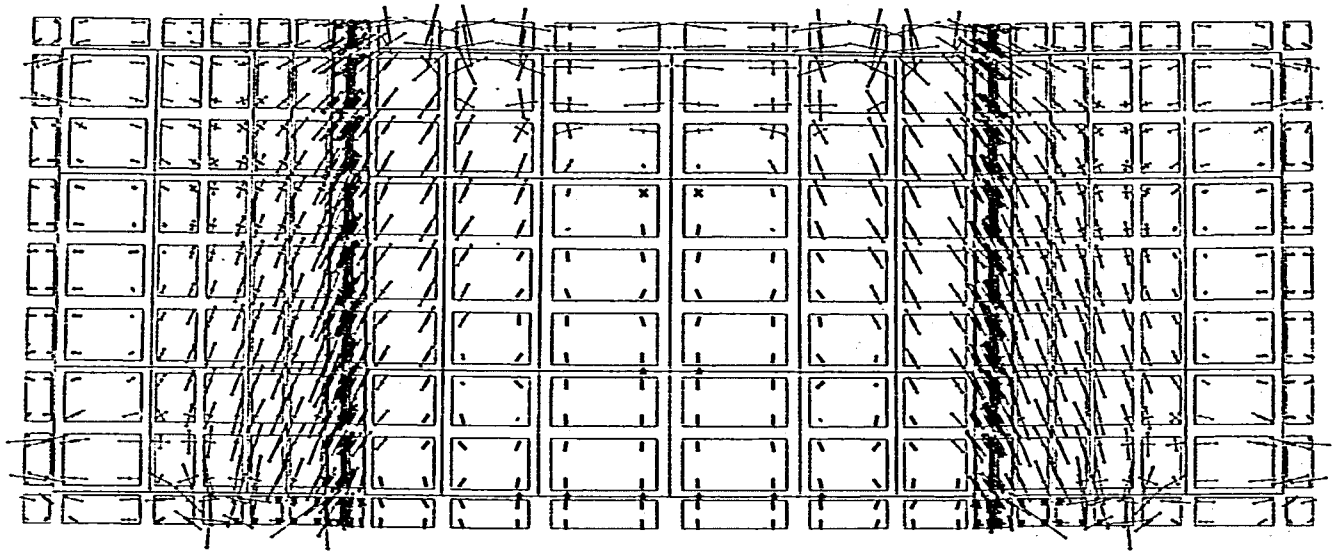
$\circ\text{---}\circ$ 400kgf/cm^2 圧縮応力
 --- -400kgf/cm^2 引張応力
 --- クラック



(d) $P=300\text{tf}$ (プレストレス含む)

$\circ\text{---}\circ$ 400kgf/cm^2 圧縮応力
 --- -400kgf/cm^2 引張応力
 --- クラック

付図-2.5 主応力図 (No 8 : S-N-40-H)



(e) $P=400\text{tf}$ (プレストレス含む)

$\bigcirc-\bigcirc$ 400kgf/cm^2 圧縮応力
 $---$ -400kgf/cm^2 引張応力
 $-$ クラック

付図-2.5 主応力図 (No 8 : S-N-40-H)

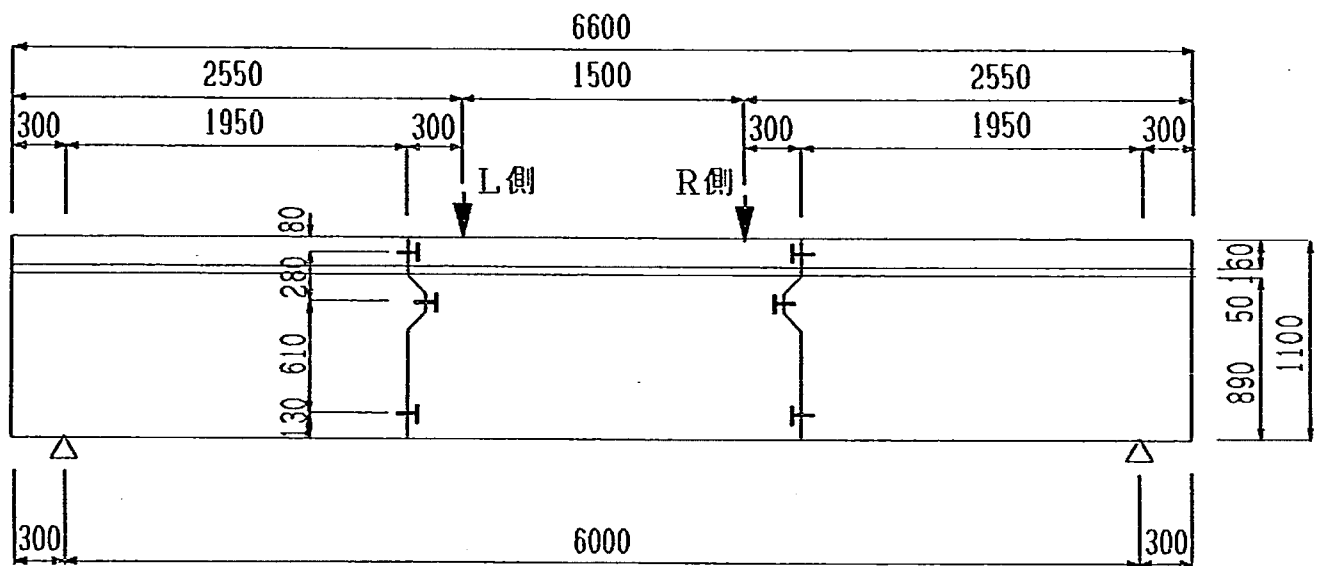
付録－ 3 大型供試体実験データ

(1) ずれ量

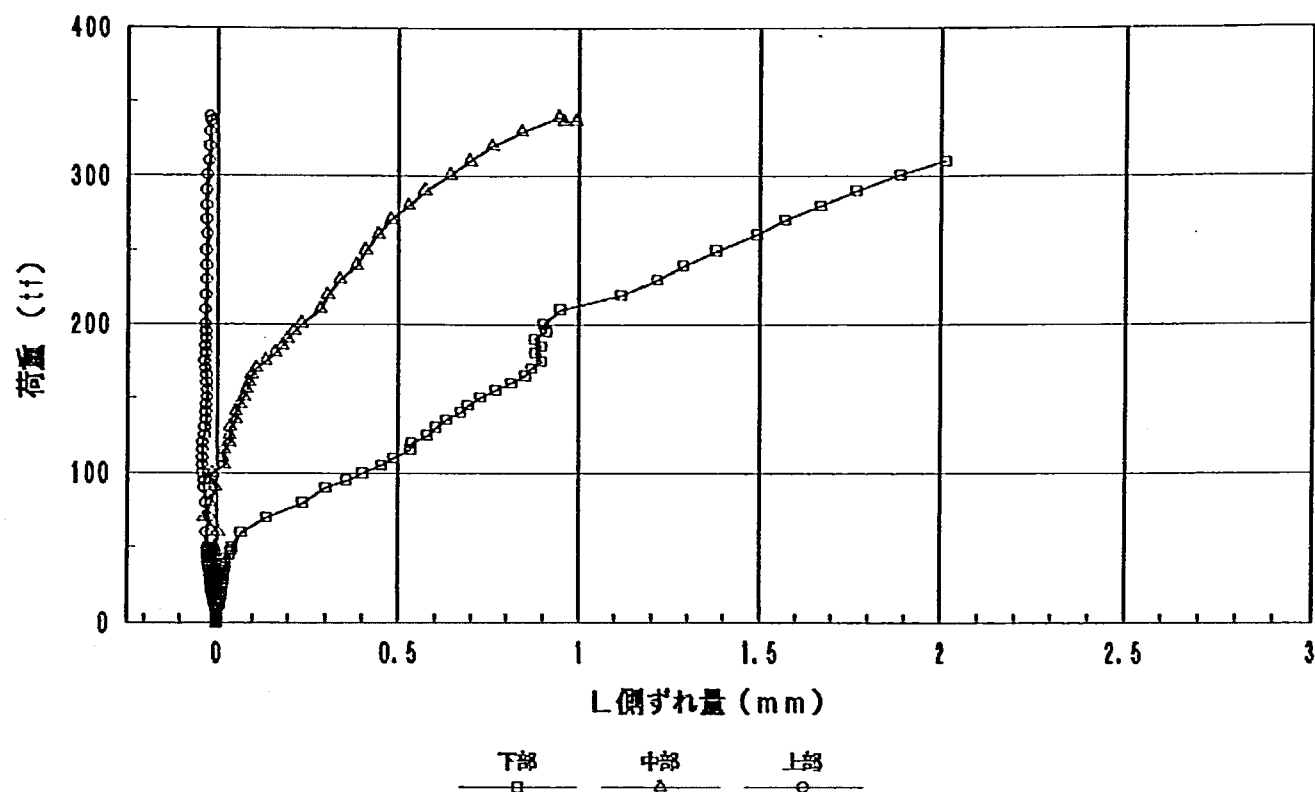
(2) 載荷状況写真

(1) ずれ量

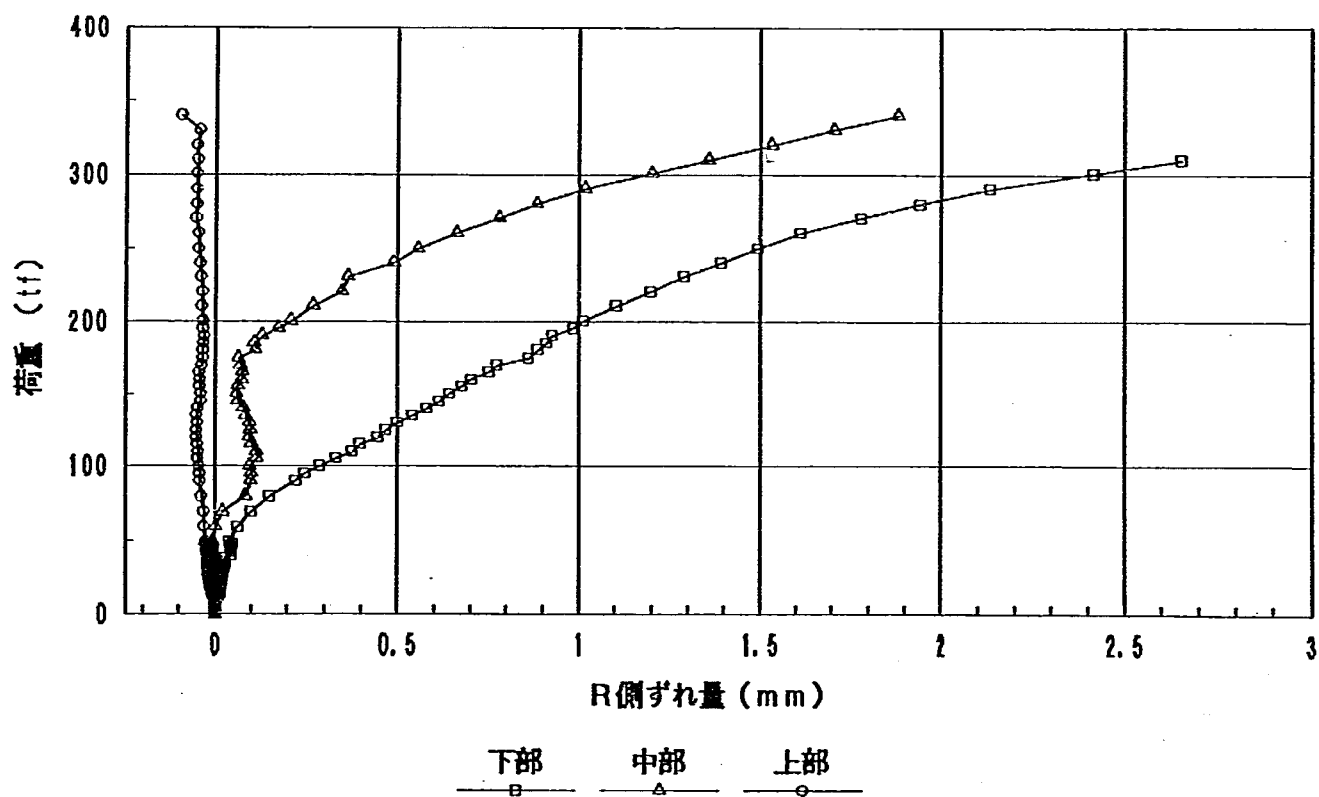
注) ずれ量は下記の様に配置したカンチレバー型変位計 (A面側, B面側) の平均値



→ カンチレバー型変位計

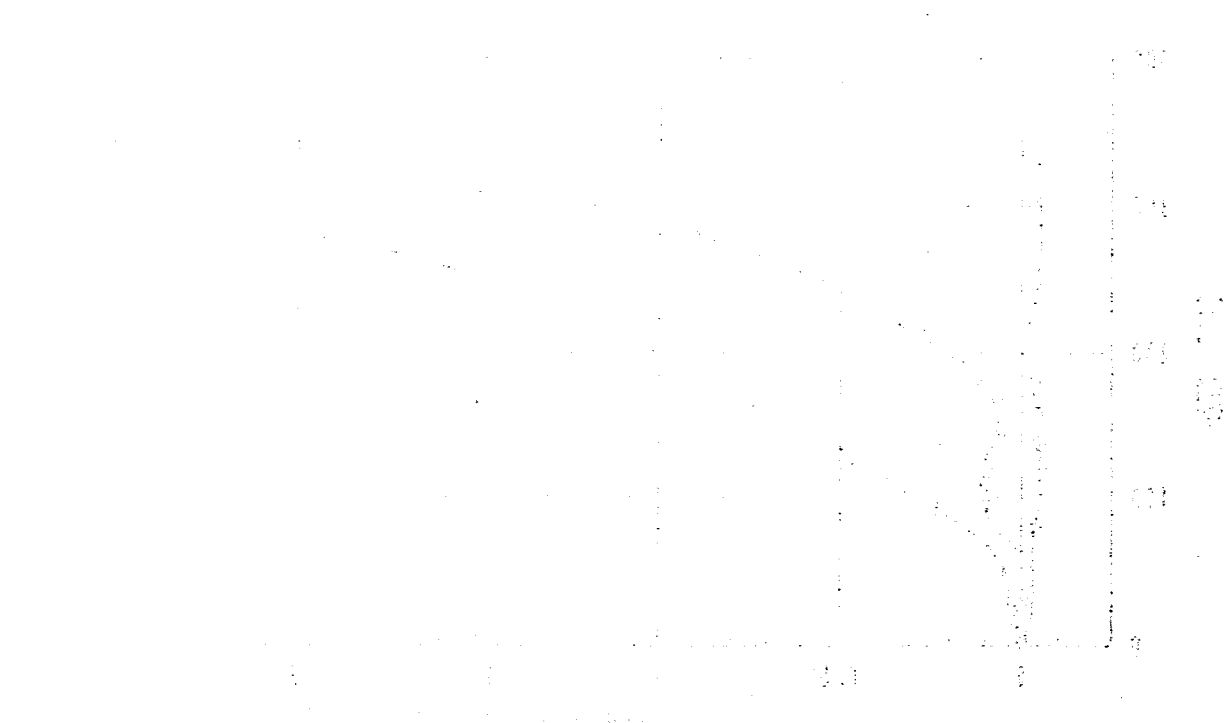
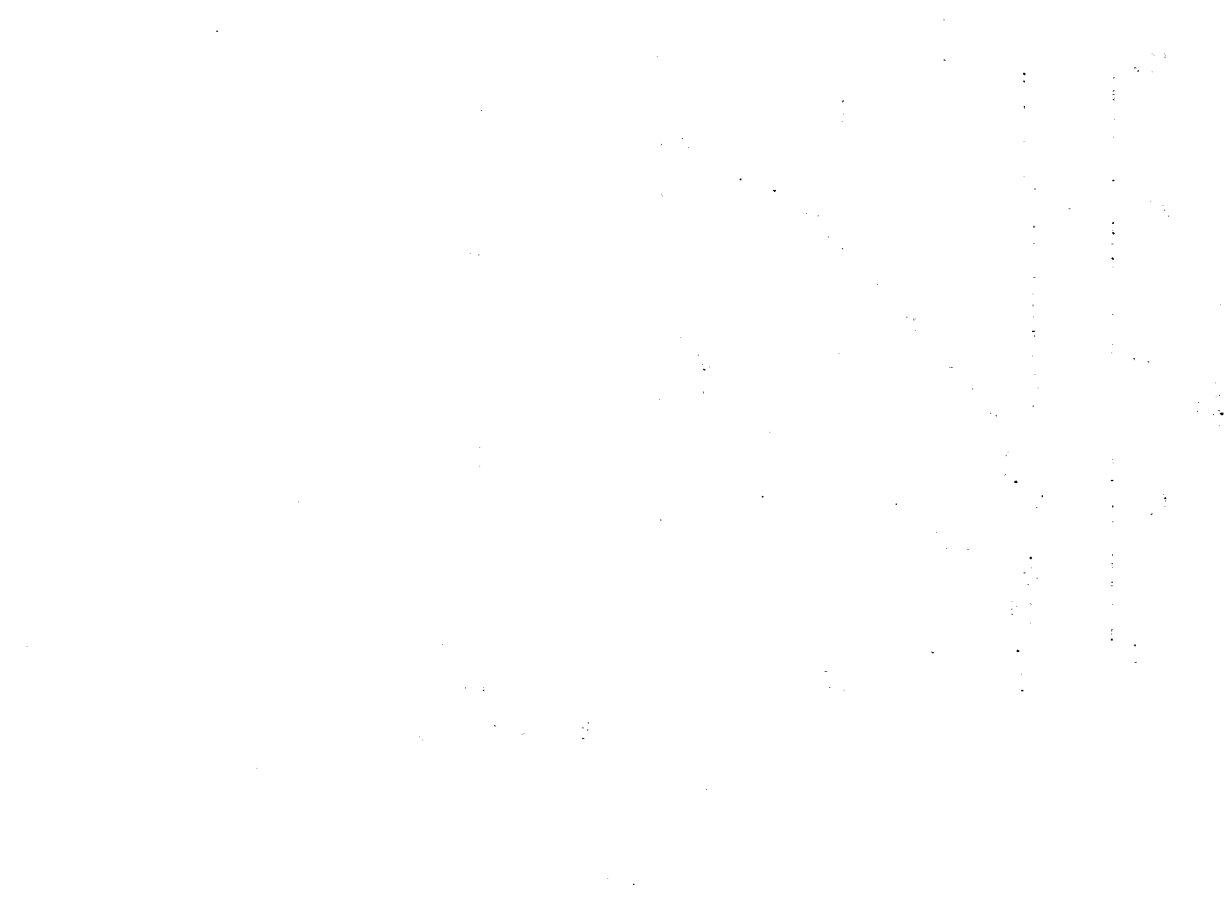


(a) L 側



(b) R 側

付図-3.1.1 荷重とずれ量の関係 (B-C45T-20-H)

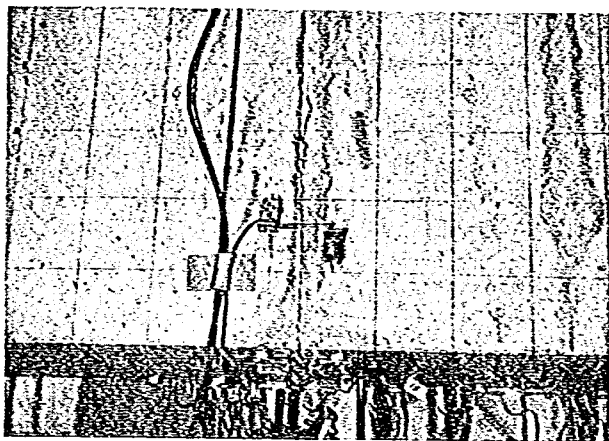


100 80 60 40 20 0

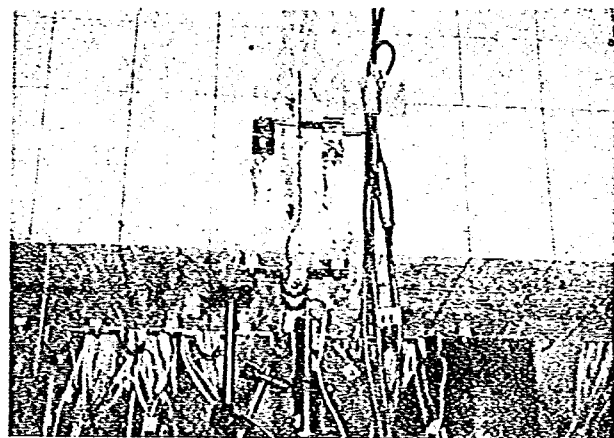
100 80 60 40 20 0

100 80 60 40 20 0

(2) 載荷状況写真



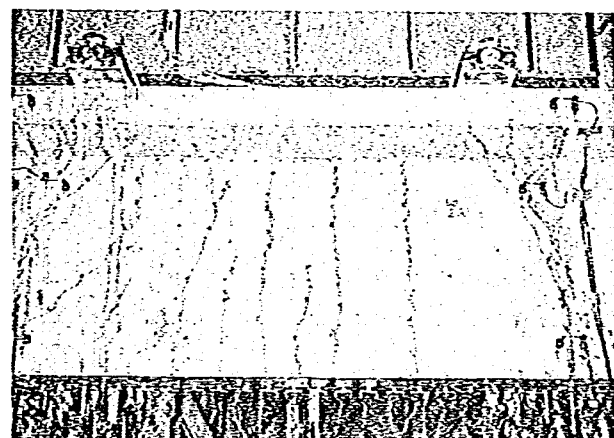
(a) B面 (R側継目部) : $P=46\text{tf}$



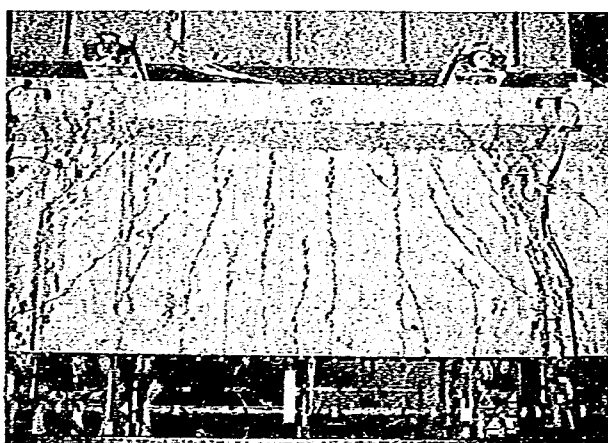
(b) B面 (L型継目部) : $P=46\text{tf}$



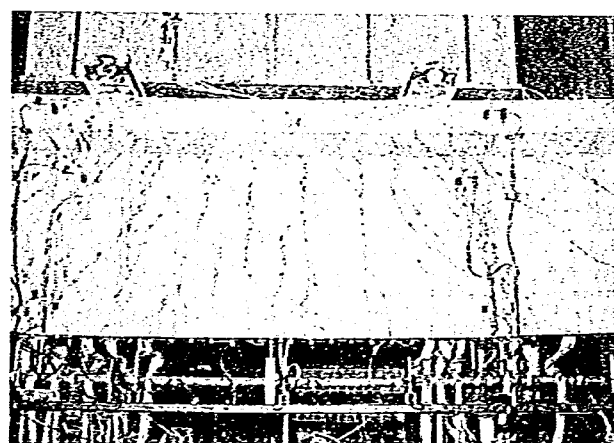
(c) B面 : $P=100\text{tf}$



(d) B面 : $P=200\text{tf}$



(e) B面 : $P=300\text{tf}$



(f) B面 : $P=340\text{tf}$

付写真-3.2.1 載荷状況 (B-C45T-20-H)

プレキャストブロック橋の設計法
に関する共同研究報告書（Ⅱ）

共同研究報告書第82号
平成5年3月（1993）

要旨

建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室
(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会

プレキャストブロック橋では、優れた施工管理が期待できるため、コンクリートの品質も向上する。また、労働力が不足する中で、施工の機械化が促進され、施工期間の短縮も期待でき、今後の適用の増大が考えられる。しかし、この形式のコンクリート橋については、継目部の設計法等について不明確な点が残されている。

本研究では、プレキャストブロック橋の合理的な設計法の整備を目的として、コンクリート製接合キーを配置した継目部のせん断実験を行い、そのせん断伝達機構を検討した。本報告書は、その結果をとりまとめたものである。

キーワード：プレキャスト，ブロック，継目部，せん断，接合キー

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

構造橋梁部橋梁研究室

御中

No. 35

No. 35

配布先氏名

配布先住所

土木研究所共同研究報告書

第82号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印