

土木研究所資料

アルカリシリカ反応を起こした
鉄筋コンクリート梁の耐荷力に関する研究

昭和63年 2 月

建設省土木研究所
構造橋梁部基礎研究室

Copyright ©1988 by P. W. R. I.

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

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

アルカリシリカ反応を起こした 鉄筋コンクリート梁の耐荷力に関する研究

基礎研究室 室長 岡原 美知夫

研究員 小幡 宏

田口 敬二

高木 比斗志

阪神高速道路公団 古池 正宏

要旨

本資料は、橋梁下部構造躯体のような大断面・低鉄筋コンクリート部材に、アルカリ骨材反応（以下ASRと略記する。）が及ぼす影響を究明するため、ASRによる損傷を受けた部材の載荷実験および調査を行い、ASR部材の耐荷力特性および変形性能について検討を行った結果をとりまとめたものである。

なお、本研究は阪神高速道路公団との共同研究として実施したものである。

キーワード：ASR，耐荷力，変形性能

は　じ　め　に

アルカリ骨材反応（以下、ASRと略記する。）により損傷を受けたコンクリート構造物が確認されて以来、被害構造物の耐荷力特性に関する問題は、ASRを論じる上で大きな課題のひとつとして取り上げられてきた。特に、道路橋等のような社会的に重要と考えられるコンクリート構造物については、ASRによる被害が構造物の耐荷力にどの程度の影響を及ぼすのか早急に確認する必要がある。

既存のASRに関する研究成果によると、ASRを起こした鉄筋コンクリート部材（以下、RC部材とする。）の耐荷力特性に関する研究は、比較的高鉄筋比で小型の部材について検討されている。ところが、橋梁下部構造のような大断面、低鉄筋比の鉄筋コンクリート構造物がASRによる損傷を受けた場合の耐荷力特性、変形性能については、いまだ研究対象とされておらず、不明確な点が多く残されている。そこで、このような部材を対象とした載荷実験を通して、その耐荷力特性、変形性能について検討を行った。

なお、本研究は阪神高速道路公団との共同研究として実施したものであり、本報告が、ASR部材の耐荷力を判定する上での参考になれば幸である。

昭和63年2月

目 次

は じ め に

1. 実 験 目 的	1
2. 実 験 方 法	2
2.1 供試体の設計	2
2.2 供試体の製作	3
2.3 A S R促進養生時の劣化計測	4
2.4 載荷・測定方法	4
3. 実 験 結 果	10
3.1 A S R促進養生時の劣化計測結果	10
3.1.1 鉄筋ひずみ	10
3.1.2 供試体の伸び	10
3.1.3 ひびわれ状況およびひびわれ密度	10
3.1.4 超音波伝播速度	11
3.1.5 テストピースの強度試験結果	11
3.2 載荷実験結果	32
3.2.1 耐 荷 力 特 性	32
3.2.2 変 形 性 能	34
3.2.3 主鉄筋ひずみ	35
3.2.4 コンクリートひずみ	35
4. 結 論	94
お わ り に	95

1. 実 験 目 的

橋梁下部構造のように大断面、低鉄筋比のRC部材が、ASRによる被害を受けた場合の耐荷力特性および変形性能を調査することを目的として、ASRを起こしたRC梁および通常のRC梁の静的な載荷実験を実施した。

2. 実験方法

2.1 供試体の設計

本試験ではASRが主として鉄筋量の少ない梁供試体に及ぼす影響について調査するため、引張鉄筋比 ($p_t = A_{st} / (b_w \cdot d)$)、スターラップ量 ($p_w = A_w / (b_w \cdot s)$)、せん断スパン比 (a/d)、および供試体の劣化レベルの違いをそれぞれパラメータとした。以下にそのパラメータについて述べる (P_t 、 P_w 、 a/d の定義については図-2.1を参照)。

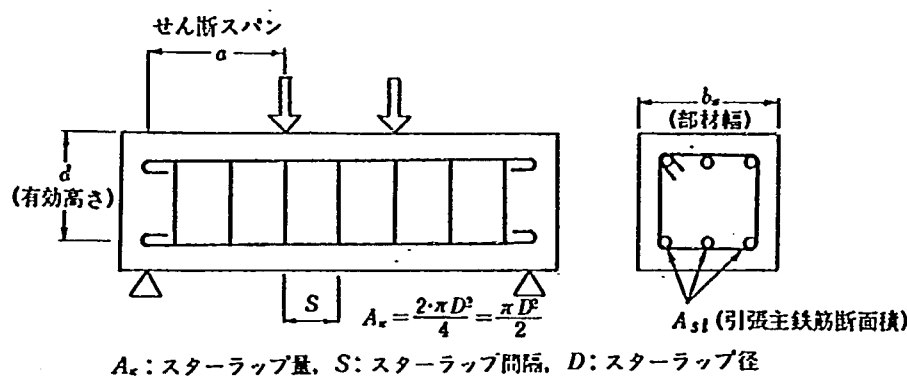


図-2.1 主鉄筋比, スターラップ量, 有効高さ

① 引張主鉄筋比 (p_t)

ASRの発生に伴うコンクリートの膨張は、コンクリート構造物にひびわれを生じさせる。しかし、この膨張は鉄筋により拘束されるため、コンクリート内部に圧縮力が作用する。この圧縮力はケミカルプレストレスと呼ばれ、その導入程度は配置される鉄筋量と密接な関係があり、梁の耐荷力にも少なからず影響を及ぼしているものと考えられる。そこで、配置される鉄筋量と梁の耐荷力特性の関係を調べるため、引張主鉄筋比をパラメータとし、その配置量を $p_t = 0.2, 0.5, 1.0$ および 1.5 ％に設定した。

② スターラップ量 (p_w)

①と同様の考えに基づいて、スターラップ量 $p_w = 0, 0.1, 0.2$ および 0.4 ％の4種類に設定した。

③ せん断スパン比 (a/d)

一般に梁部材はせん断スパン比 a/d が約2.5程度で破壊モードが遷移し、2.5程度以下ではせん断破壊する領域であると言われており、本実験では (a/d) を $1.0, 1.5, 2.0$ および 2.5 の4種類に設定し、耐荷力への影響を調べた。

④ 劣化レベル

ASRの進行度合により、その耐荷力特性は異なってくるものと考えられる。そこで、ここでは劣化レベルをひびわれ幅として評価し、最大ひびわれ幅が 0.2 mm (レベル1) と 1.0 mm (レベル2) の2段階に設定して実験を行った。これらのパラメータを整理し、供試体の種類と条件をまとめて表-2.1に示す。

表-2.1 試験ケース

種類	供試体 寸法 (cm) B × H × L	引張 主鉄筋比 ρ_t (%)	スター ラップ量 ρ_v (%)	せん断 スパン比 a/d	供試体番号	
					Aタイプ	Nタイプ
1	50×50×140	0.51	0.20	1.0	A-1-1,2,3	N-1
2	50×50×140	0.51	-	1.0	A-2	N-2
3	50×50×140	0.51	0.09	1.0	A-3	N-3
4	50×50×140	0.51	0.36	1.0	A-4	N-4
5	50×50×140	0.23	0.20	1.0	A-5-1,2	N-5
6	50×50×140	0.90	0.20	1.0	A-6	N-6
7	50×50×140	1.41	0.20	1.0	A-7	N-7
8	50×50×190	0.51	0.20	1.5	A-8	N-8
9	50×50×240	0.51	0.20	2.0	A-9	N-9
11	50×50×315	1.00	-	2.5	A-11	N-11
12	50×50×315	1.00	0.20	2.5	A-12-1,2,3	N-12
13	50×50×315	1.50	0.20	2.5	A-13	N-13

2.2 供試体の製作

供試体は反応性骨材を使用した供試体（以下、Aタイプとする。）を17体、非反応性骨材を使用した供試体（以下、Nタイプとする。）を12体製作した。

セメントは普通ポルトランドセメント（ Na_2O 等価百分率0.71%）を使用した。骨材には、粗骨材として反応性砕石（比重2.52，最大寸法20 mm）および非反応性砕石（比重2.70，最大寸法20 mm）を，細骨材には川砂（比重2.58）を使用した。

コンクリートの示方配合を表-2.2に示す。なお，Aタイプの粗骨材は，反応性骨材及び非反応性骨材を各々50%混合した。また，打設したコンクリートには，総アルカリ量が Na_2O 等量で約8 kg/m³になるように水酸化ナトリウムを添加した。コンクリート打設後は，2週間目から温度40度，湿度95±5%の養生室内に供試体を設置し，反応を促進させた。なお，鉄筋はSD35の異形鉄筋を使用しており，強度試験結果については表-2.3に示す。

表-2.2 コンクリートの示方配合

i) Aタイプの場合

G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
			W	C	S	G	NaOH	消泡剤
20	62	50	201	324	872	886	7.5	0.2

ii) Nタイプの場合

G _{max} (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
			W	C	S	G	NaOH	消泡剤
20	62	50	201	324	872	913	—	—

表－2.3 使用鉄筋の物質的特性

鉄筋	規格	降伏強度 σ_{sy} (kg/cm ²)	弾性係数 E_s ($\times 10^7$ kg/cm ²)	引張強度 σ_{st} (kg/cm ²)	伸び (%)
D 6	SD35相当	3910	1.95	5110	20.4
D10	SD35	3770	1.75	5360	19.6
D13	SD35	3770	1.82	5510	21.8
D19	SD35	3930	1.93	5630	19.5
D25	SD35	3900	1.93	5670	21.7
D29	SD35	—	—	—	—
D32	SD35	3940	1.98	5700	21.0

2.3 ASR促進養生時の劣化計測

ASRの進行度合を調査するために、以下の項目について計測を行った。

(1) 鉄筋ひずみの経時変化

予め主鉄筋およびスターラップにひずみゲージを貼付し、適宜供試体の膨張に伴う鉄筋ひずみの変化を測定した。なお、鉄筋ゲージの取り付け位置は図－2.2に示す通りである。

(2) 供試体の伸び計測

鋼尺により供試体の辺の長さ変化を計測した。

(3) 超音波伝播測度

超音波測定器によりASR進行に伴う超音波伝播測度の低下状況を測定した。測定位置は図－2.3に示す通りである。（ここでA－A断面とは供試体の長手方向、B－B断面は短手方向かつ短部、C－C断面は供試体の短手方向かつ中央部の断面を示す。）

(4) ひびわれ観察

ひびわれ状況については目視を行い、ひびわれ状況をスケッチするとともに、ひびわれ密度（供試体表面積1 m² 当りの幅0.2 mm以上のひびわれ長さの総延長）を算出した。

2.4 載荷・測定方法

実験には土質共同実験棟内の500 t 万能試験機および構造物実験施設内の150 t 繰返し載荷装置を用いた。載荷方法は図－2.4に示すように両端を単純支持された梁の2点載荷とし、載荷速度2 tf/minの荷重制御による静的載荷を行った。

測定項目は、載荷荷重、供試体の鉛直変位、鉄筋およびコンクリートのひずみであり、それぞれ荷重計、変位計およびひずみゲージを用いて、各荷重段階ごとに測定した。なお、コンクリートのひずみの計測に際しては、曲げひびわれが発生すると予想される箇所には単軸ゲージを、せん断ひびわれが発生すると予想される箇所には三軸ゲージをそれぞれ貼付した。また、載荷に伴うひびわれを目視により観察した。変位計の取り付け位置およびコンクリートゲージの貼付位置は図－2.4に示す通りである。

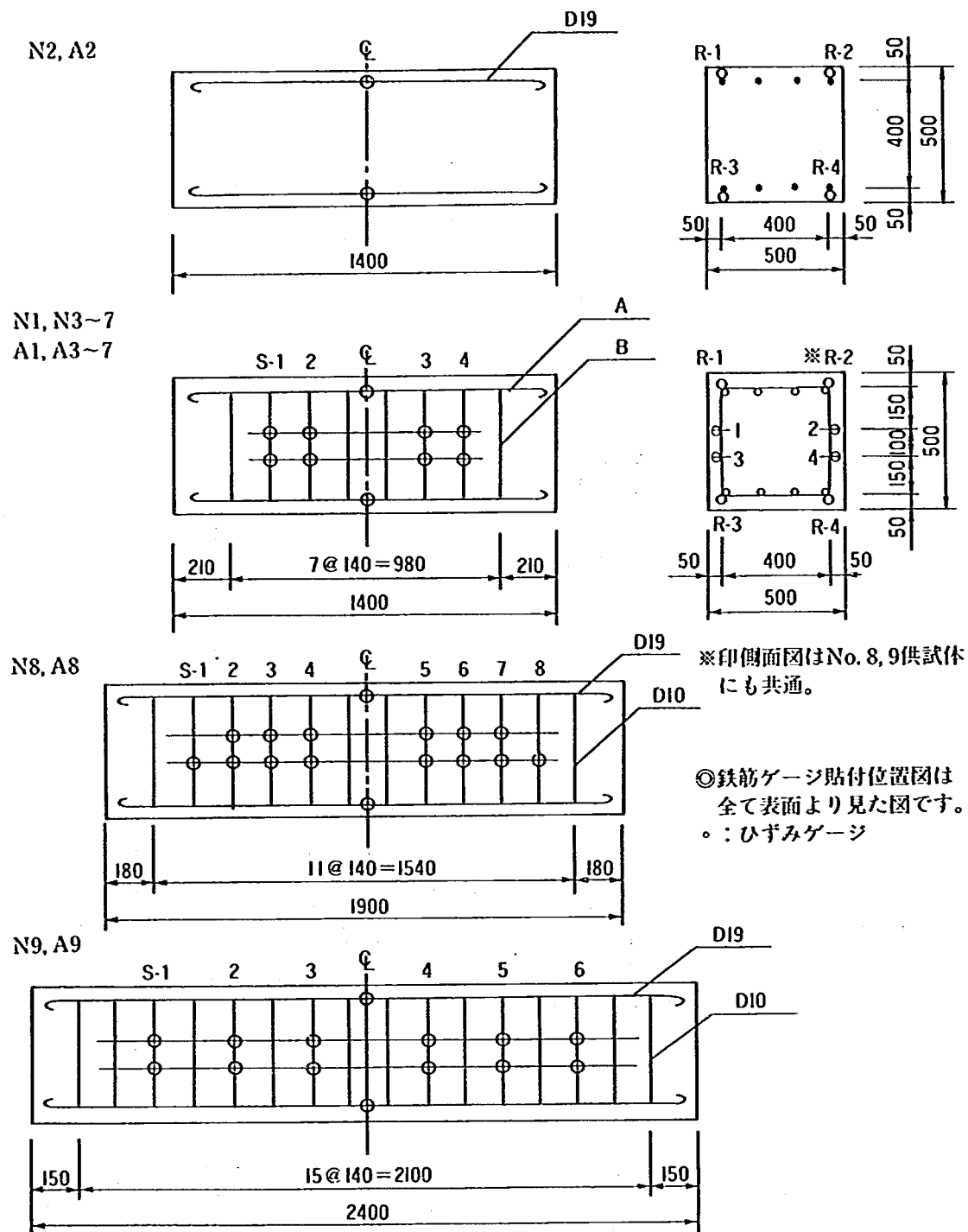


表 使用鉄筋一覧表

供試体	A:主鉄筋	B:スカーラップ
No. 1	D 19	D 10
No. 3	D 19	D 6
No. 4	D 19	D 13
No. 5	D 13	D 10
No. 6	D 25	D 10
No. 7	D 32	D 10

図-2.2 供試体鉄筋ゲージ貼付位置図

○：ひずみゲージ

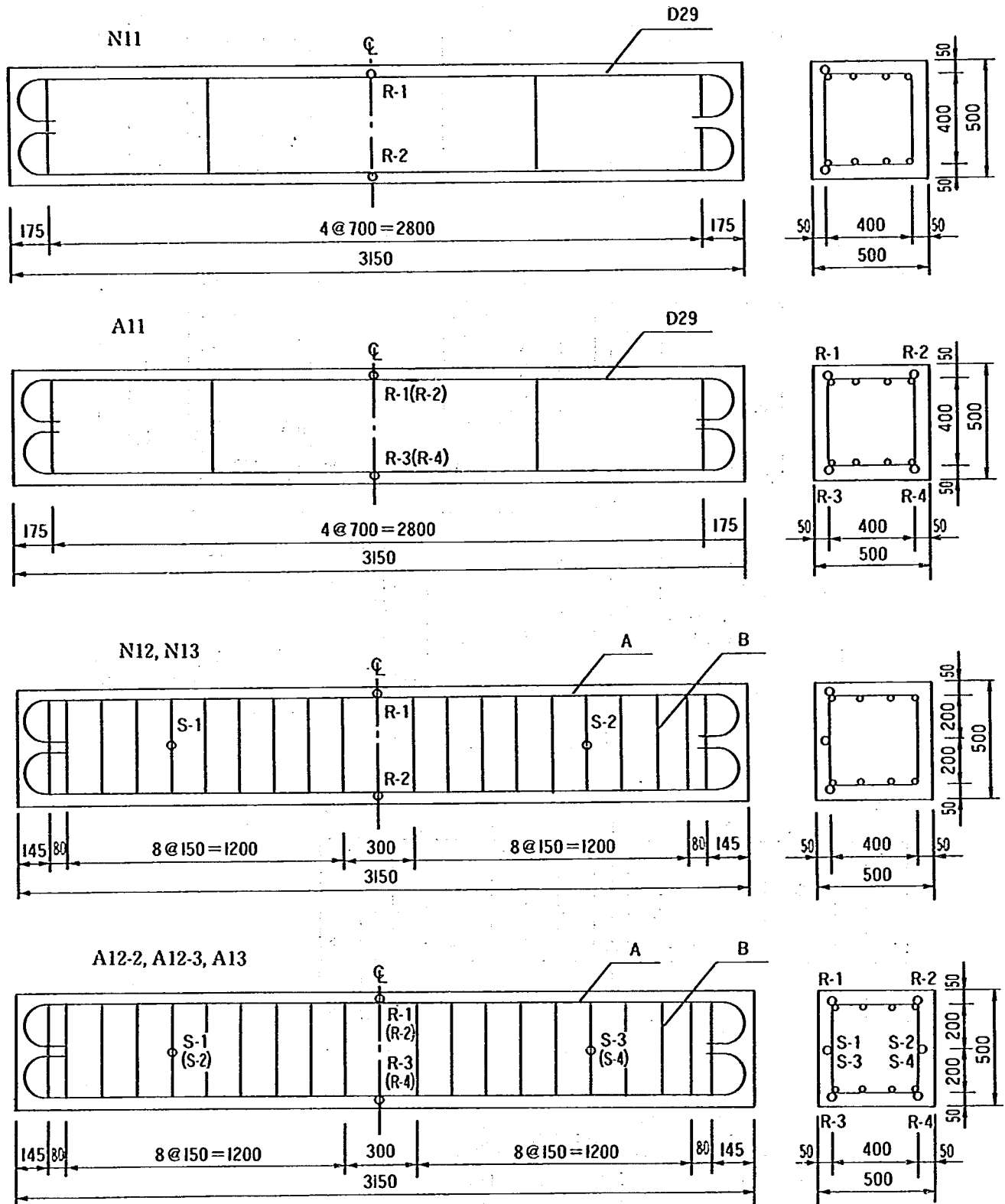
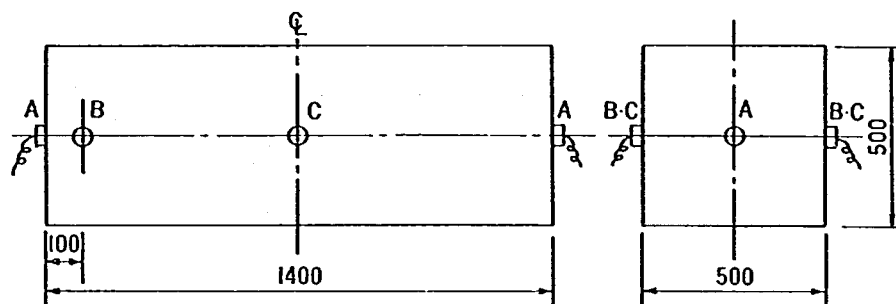


表 使用鉄筋一覧表

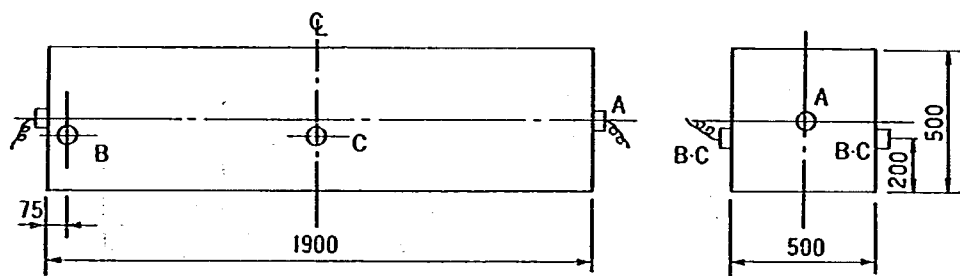
供試体	A:主鉄筋	B:スターラップ
No. 12	D 29	D 10
No. 13	D 32	D 10

図 - 2. 2 供試体鉄筋ゲージ貼付位置図

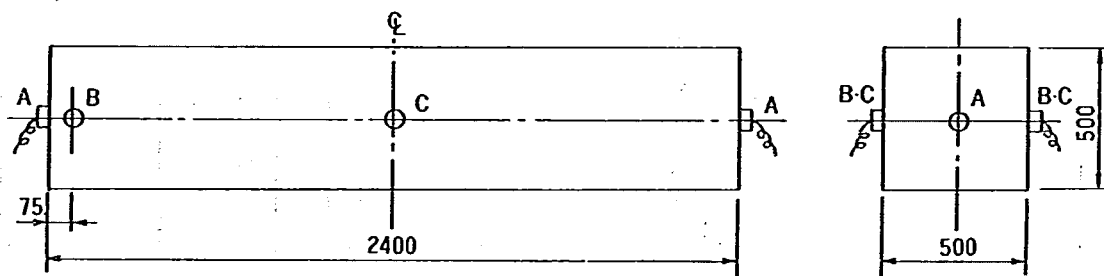
N1~N7, A1-1~A7



N8, A8



N9, A9



N11~N13, A11~A13

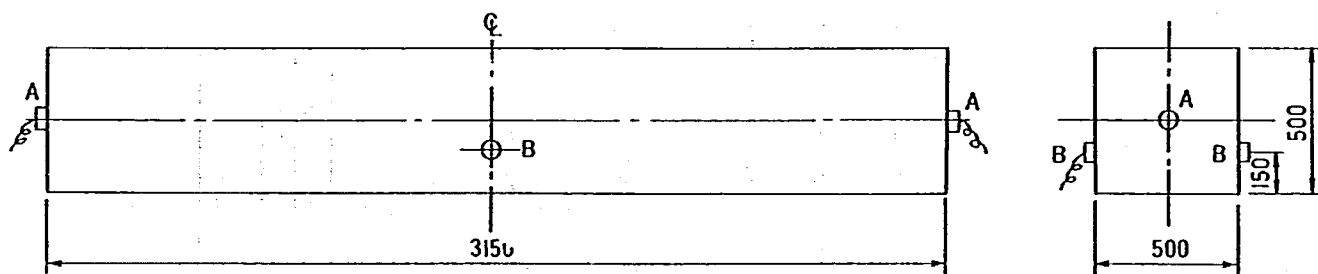
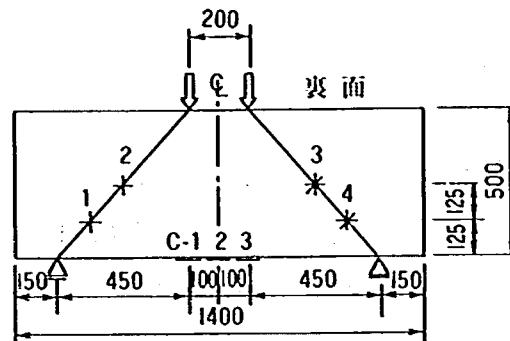


图-2.3 超音波伝播速度測定点位置

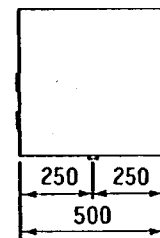
N1~7

$a/d=1.0$



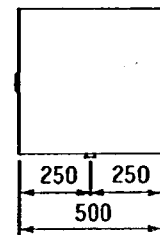
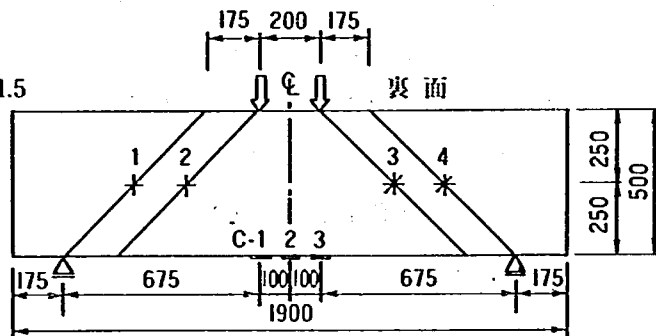
— : 単軸ゲージ (60mm)

x * : 三軸ゲージ (60mm)
z y



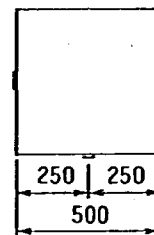
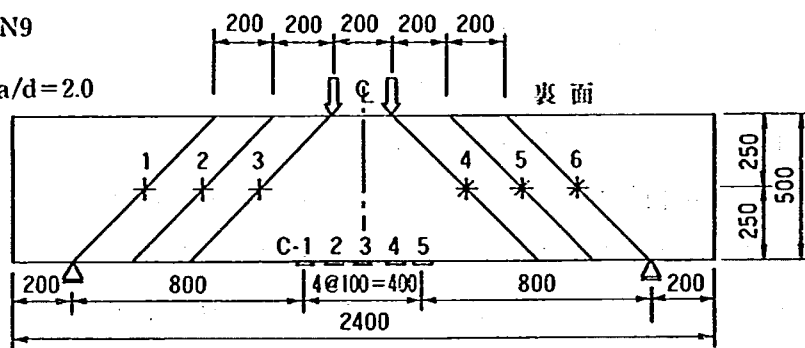
N8

$a/d=1.5$



N9

$a/d=2.0$



N11~13

$a/d=2.5$

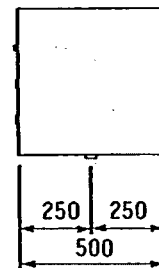
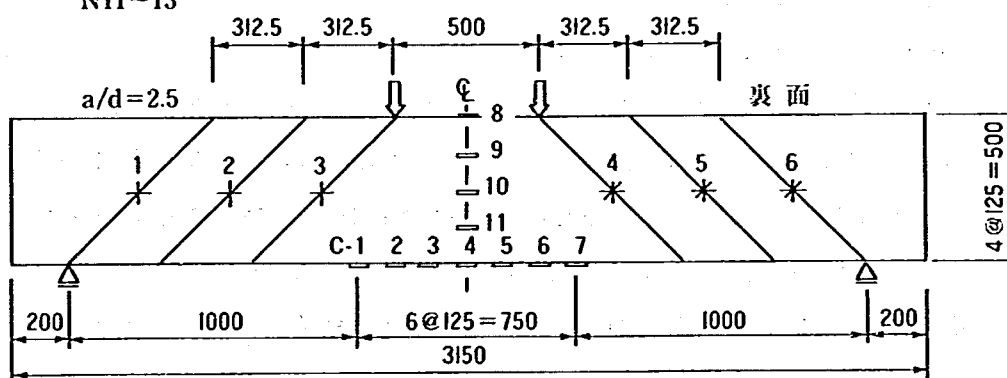


図 2.4.2 載荷位置およびコンクリートゲージ貼付位置

3. 実 験 結 果

3.1 AS R促進養生時の劣化測定結果

3.1.1 鉄筋ひずみ

図-3.1.1～3.1.17にAS Rの進行に伴い主鉄筋およびスターラップに発生したひずみの経時変化を示す。主鉄筋のひずみは、引張主鉄筋比0.5%の供試体(A1-3, A3等)では1500 μ 程度発生していることがわかる。他の供試体においても引張主鉄筋比の増減に対応して500～2000 μ のひずみが生じている。この傾向は比較的短い梁のスターラップについても同様に見られ、最少のスターラップ量を有する供試体A3 ($\dot{p}_w = 0.1\%$)においては、材令130日で2300 μ のひずみが生じており、ひずみレベルを考えるとスターラップはすでに降伏しているものと思われる。また、長いスパンを有する供試体については、短いスパンの供試体に比べ、全般に主鉄筋よりもスターラップに大きなひずみが生じている(図-3.1のスターラップひずみを参照)。このことから、AS Rによる梁の伸びは断面形状の違いや鉄筋による拘束の度合などの影響を受けるものと考えられる。

3.1.2 供試体の伸び

供試体長さを鋼尺によって測定した結果、長手方向で最大3.5 mm伸びていた。この伸びをコンクリートの伸びひずみに換算(伸び/供試体長さ)すると、載荷試験時において500～2500 μ 程度となった。この換算ひずみと3.1.1に述べた鉄筋ひずみを比較するため、図-3.2に示すような(換算ひずみ/鉄筋ひずみ)について整理した。この結果、平均値は0.9程度で、コンクリートの換算ひずみが若干小さくなっているが、変動係数は25%程度であり、それほど大きくばらついていないと思われる。したがって、鋼尺程度の測定精度を有していれば、AS Rにより発生した鉄筋ひずみを大略推定できるものと判断される。

3.1.3 ひびわれ状況およびひびわれ密度

図-3.3は載荷時(レベル1は材令198日、レベル2は材令331日)におけるAS Rによるひびわれ状況を示したものである。図中の実線は0.2 mm以上の幅を有するひびわれを、破線は0.1 mm以上0.2 mm未満の幅を有するひびわれを表している。図より0.2 mm未満のひびわれは不規則な方向に発達しているのが判るが、その中で0.2 mm以上のひびわれに成長するものの多くは主として主鉄筋方向、あるいは供試体端部に集中しているひびわれである。図-3.4はひびわれ幅が0.2 mm以上のひびわれおよび0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ各々について、材令137日から材令331日までのひびわれ密度の変化をまとめたものである。ここで、ひびわれ密度とは、単位面積(1 m²)当たりのひびわれの総延長(cm)として表示している。図によると、ひびわれは材令289日まではほぼ一定の割合で成長しているが、289日以降はひびわれの進行が鈍化してきていることが判る。また、全データを図-3.4の上で比較すると、鉄筋量とひびわれ密度との間に明確な関係は認められない。特に0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれについては全く傾向が認められな

い。しかし、全データの中で形状および主鉄筋量が同じ供試体（A1-2, A1-3, A2, A3, A4）のみを抽出して最終的な（材令331日）0.2mm以上のひびわれ密度を比較してみると、スターラップ量の少ないものほどひびわれ密度の値が大きくなっていることが判る。これは、供試体の形状が等しければ配置された鉄筋量が多いものほどコンクリートの膨張に対する拘束力が大きく、このことがひびわれの発生量に差異をもたらしている原因であると考えられる。このような傾向は主鉄筋量に着目した場合の供試体（A1-2, A1-3, A5, A6, A7）の比較においてもうかがえる。

3.1.4 超音波伝播速度

図-3.5はASRの進行に伴い、引張主鉄筋量の違いが超音波伝播速度の変化に及ぼす影響を各断面ごとに調べたものである。Nタイプについては、材令198日の載荷実験まで鉄筋量に関係なく超音波伝播速度が上昇していることが判る。これに対してAタイプでは材令28日時点で超音波伝播速度が3600～4000m/sの値を示しているものの、ASRの進行に伴い材令331日では3100～3500m/sと1～2割程度低下している。特に長手方向における計測結果では、引張主鉄筋量が少ない部材ほど、超音波伝播速度が低下する結果となっている。これは、ASRによる鉄筋コンクリート部材の劣化度合が配置された鉄筋量の違いにより左右されているためであると推察される。ところが、短手方向については鉄筋量の違いによる超音波伝播速度の差異はみられない。これは、計測方向を拘束しているスターラップ量の違いが主鉄筋ほど明瞭な差をもって配置されていないため、超音波伝播速度の測定誤差範囲がスターラップ量の違いによって生じる供試体間の劣化度合の差を上回ったためであると考えられる。

3.1.5 テストピースの強度試験結果

表-3.1は供試体製作に用いたコンクリートから採取したテストピースの材令28日、206日、337日における圧縮強度、引張強度および弾性係数の値を示したものである。ここで、材令206日は劣化レベル1（最大ひびわれ幅0.2mm）の供試体の載荷時、材令337日は劣

表-3.1 テストピースの強度試験結果

部材 材令(日)		Nタイプ			Aタイプ		
		28	206	337	28	206	337
圧縮強度	① 本数	3	3	15	3	3	21
	② 平均強度	354	451	427	304	354	321
	③ 標準偏差			22.8			35.5
	④=③/② 変動係数			% 5.35			% 11.07
引張強度		22.5	27.1	25.8	26.6	17.4	20.7
弾性係数		$\times 10^4$ 23.3	28.2	29.7	29.7	18.1	16.4

化レベル2の供試体の載荷時に相当する。テストピースの圧縮強度についてはASRの進行に伴う大きな強度低下は認められない。ところが引張強度については、材令337日における値が、材令28日に比べても明らかに低下している結果となっており、ASRの進行は、テストピースの圧縮強度よりも引張強度に大きな影響を及ぼしていることが判る。また、材令337日における圧縮強度のばらつきが、Nタイプでは変動係数が5.35%と小さいのに対し、Aタイプでは11.07%と相対的に大きめのばらつきとなっている。次に、弾性係数の値について見てみると、材令28日におけるAタイプの弾性係数はNタイプに比べむしろ大きな値を示している。ところが、材令が進むにつれ、Nタイプでは弾性係数が大きくなるのに対し、Aタイプでは顕著な弾性係数の低下が認められ、材令337日におけるAタイプの弾性係数はNタイプの約55%となっている。

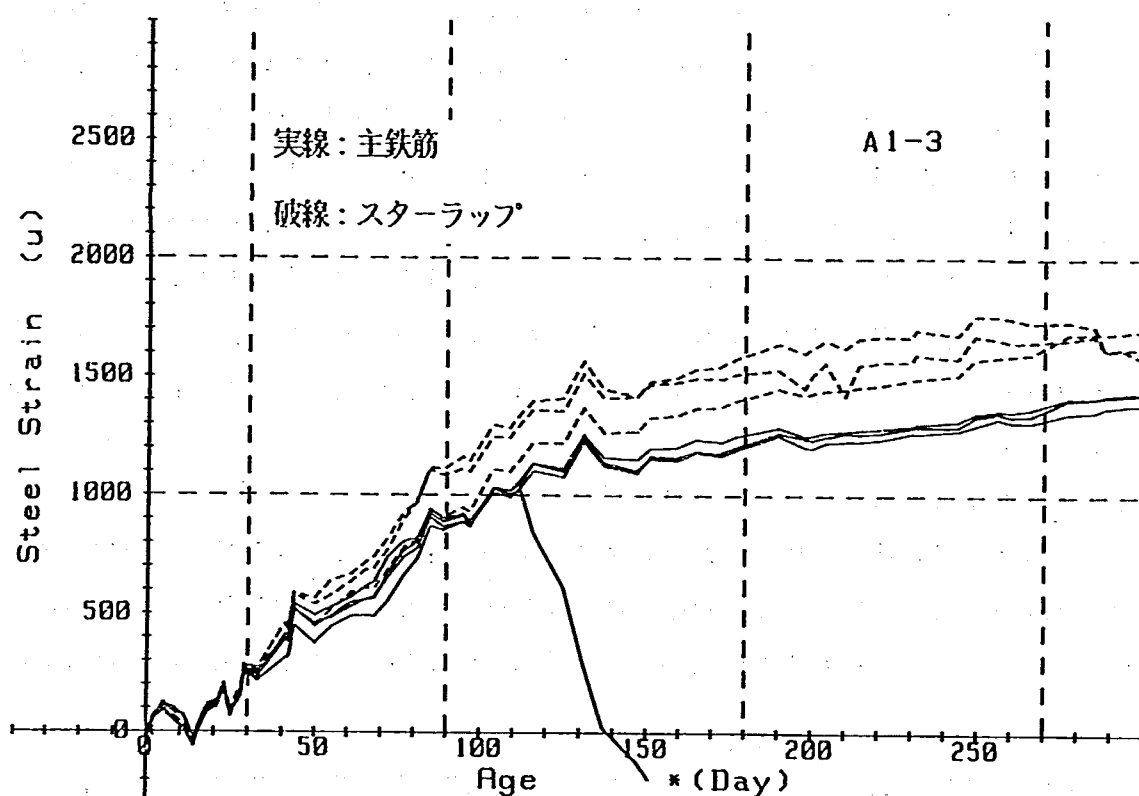


図-3.1.1 鉄筋ひずみの経時変化図(A1-3)

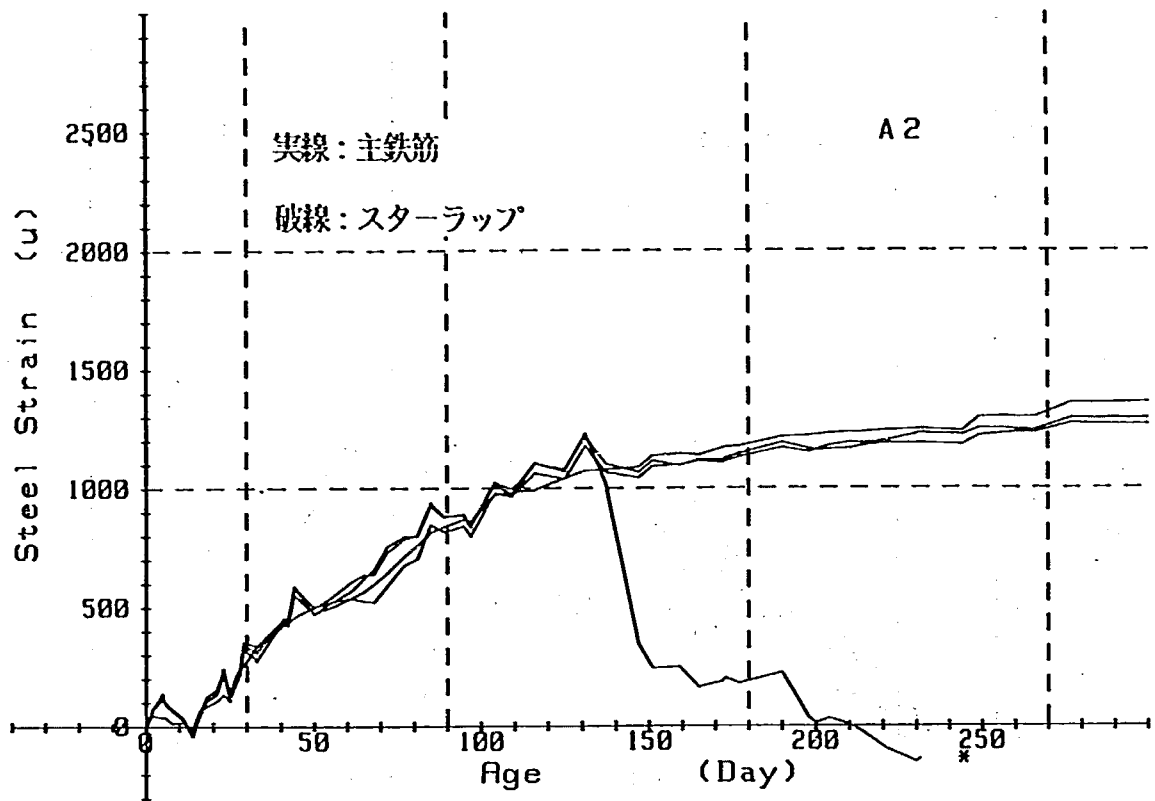


図-3.1.2 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 2)

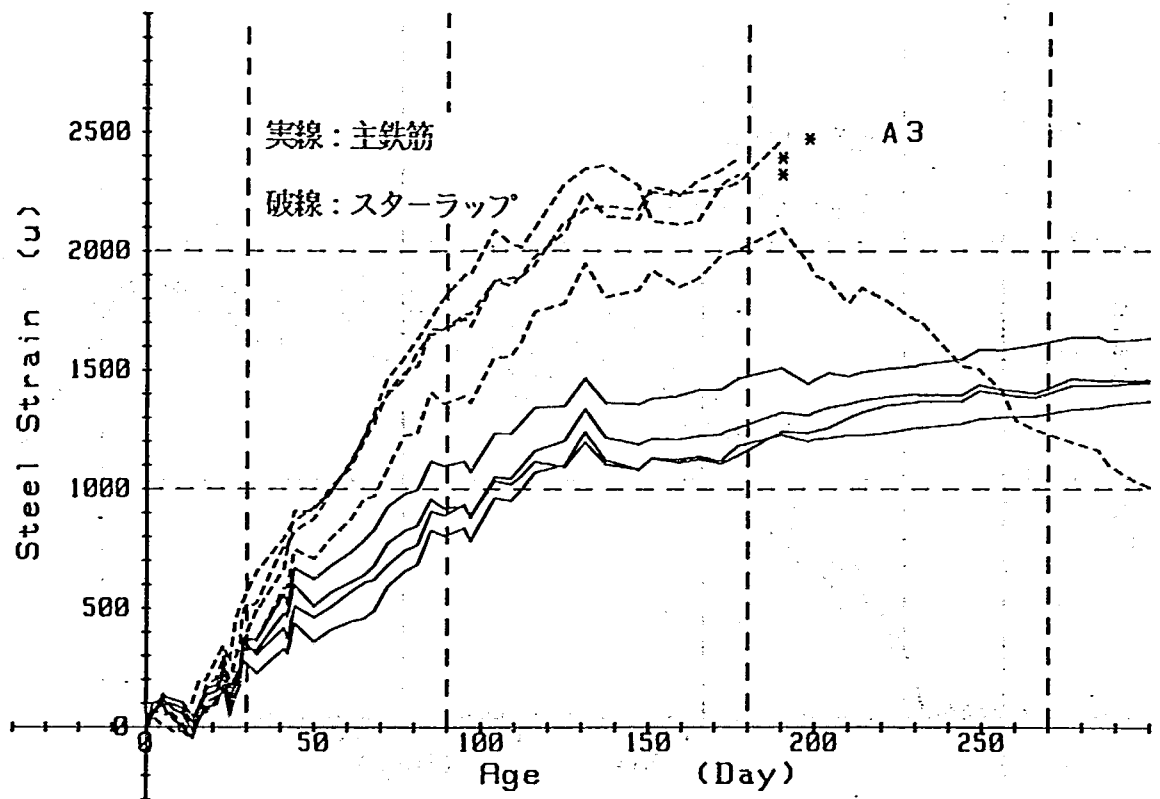


図-3.1.3 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 3)

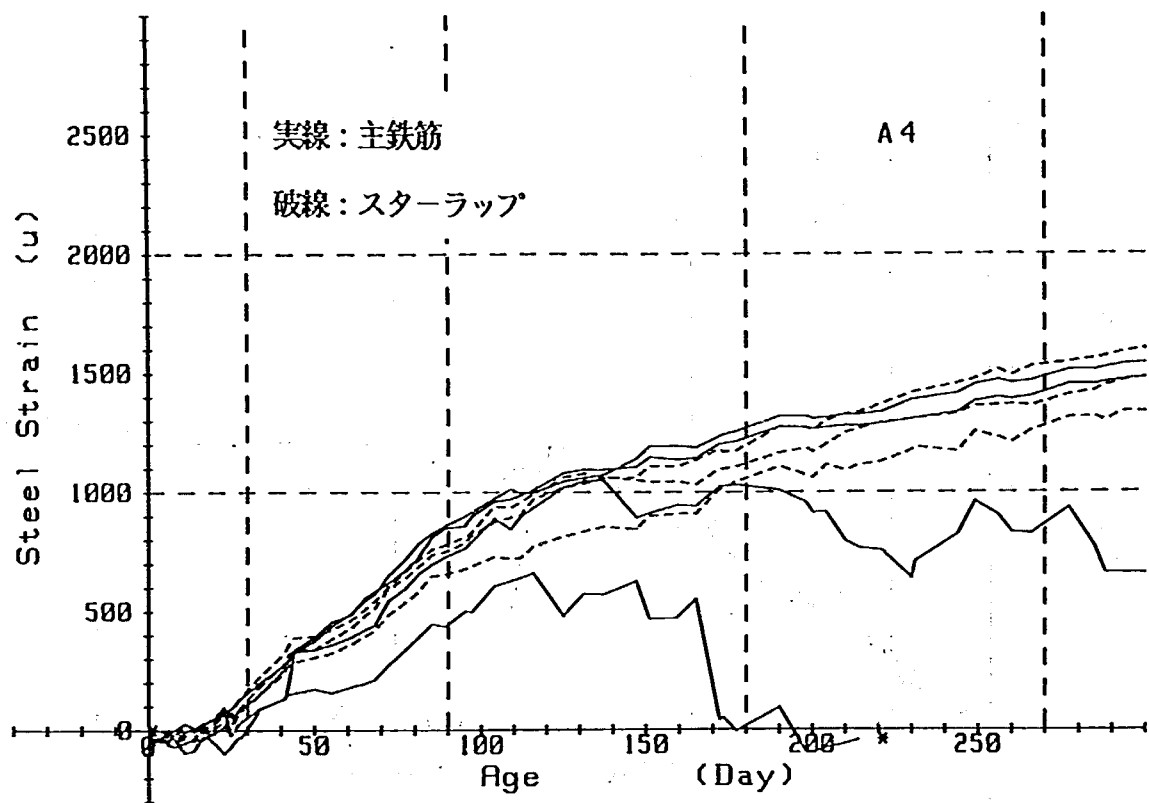


図- 3. 1. 4 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 4)

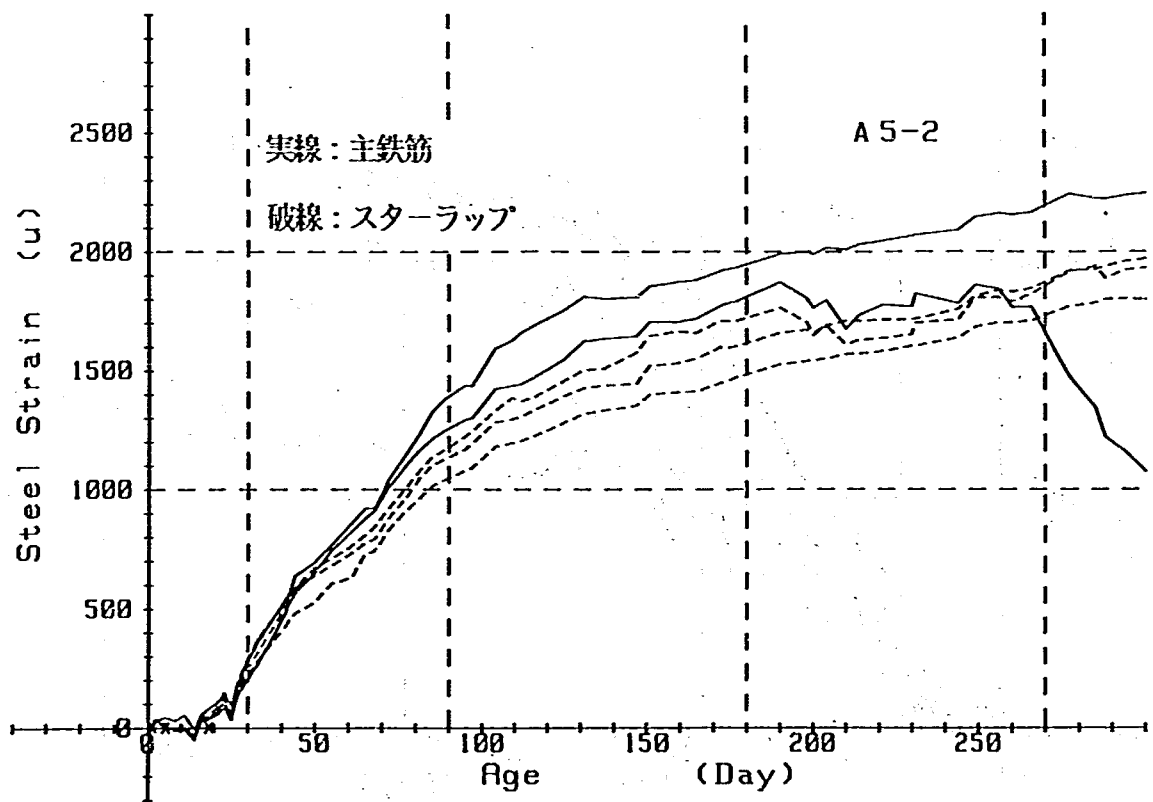


図- 3. 1. 5 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 5 - 2)

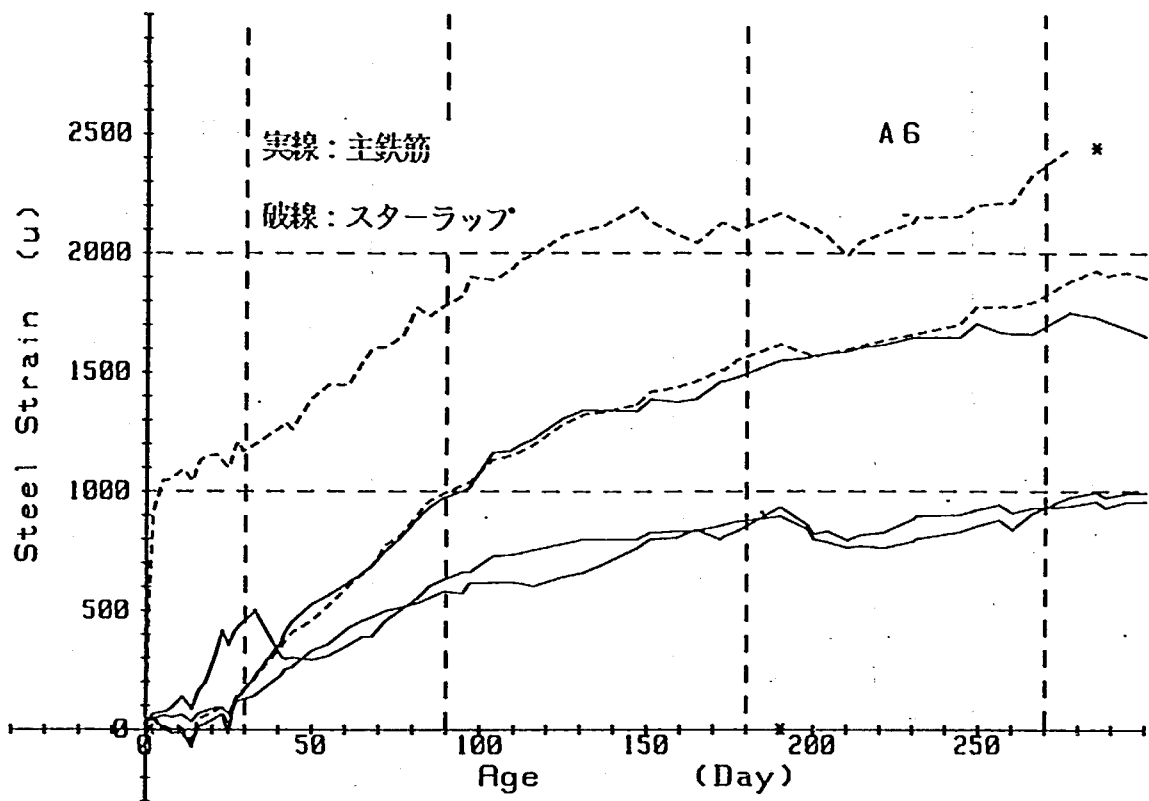


図- 3. 1. 6 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 6)

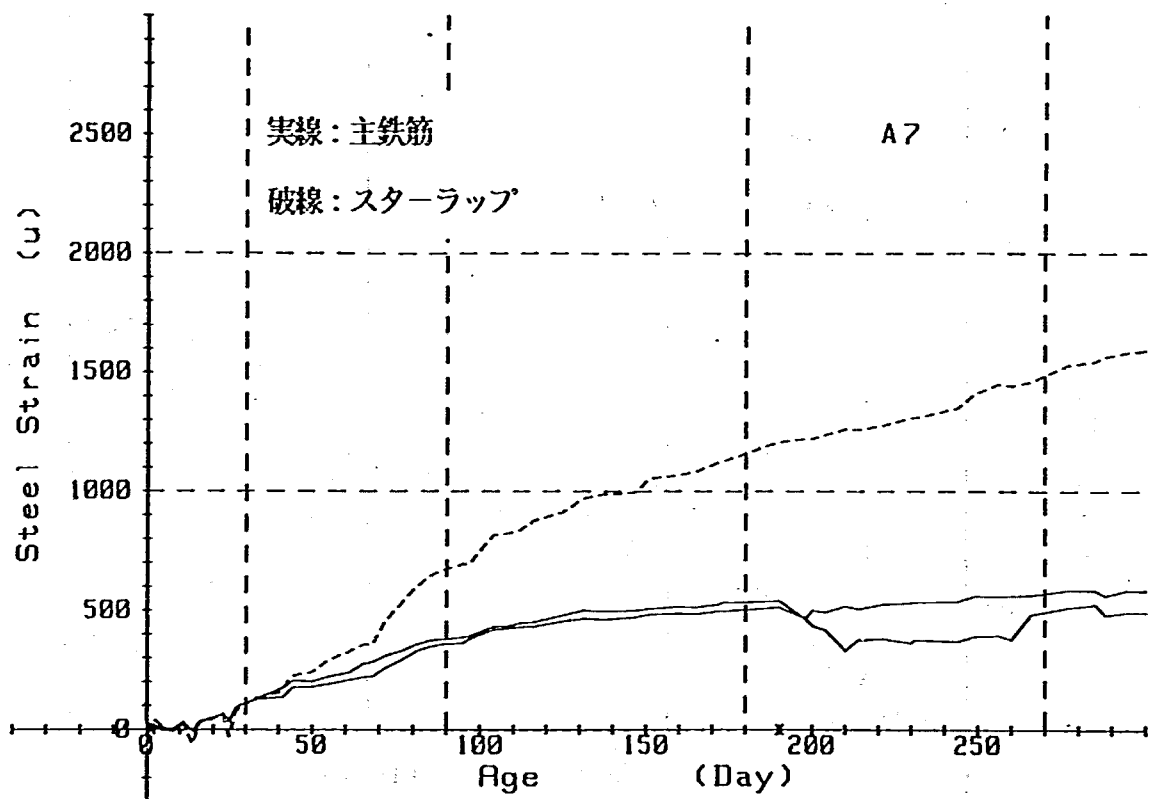


図- 3. 1. 7 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 7)

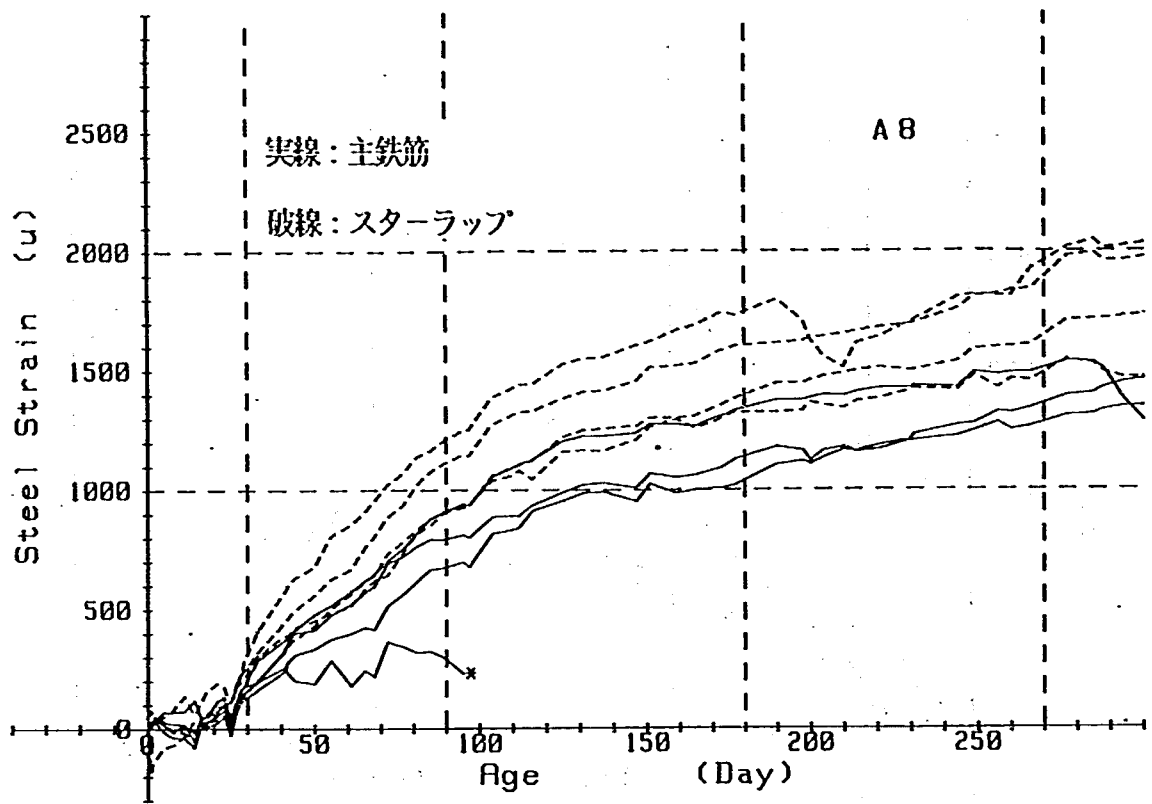


図- 3. 1. 8 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 8)

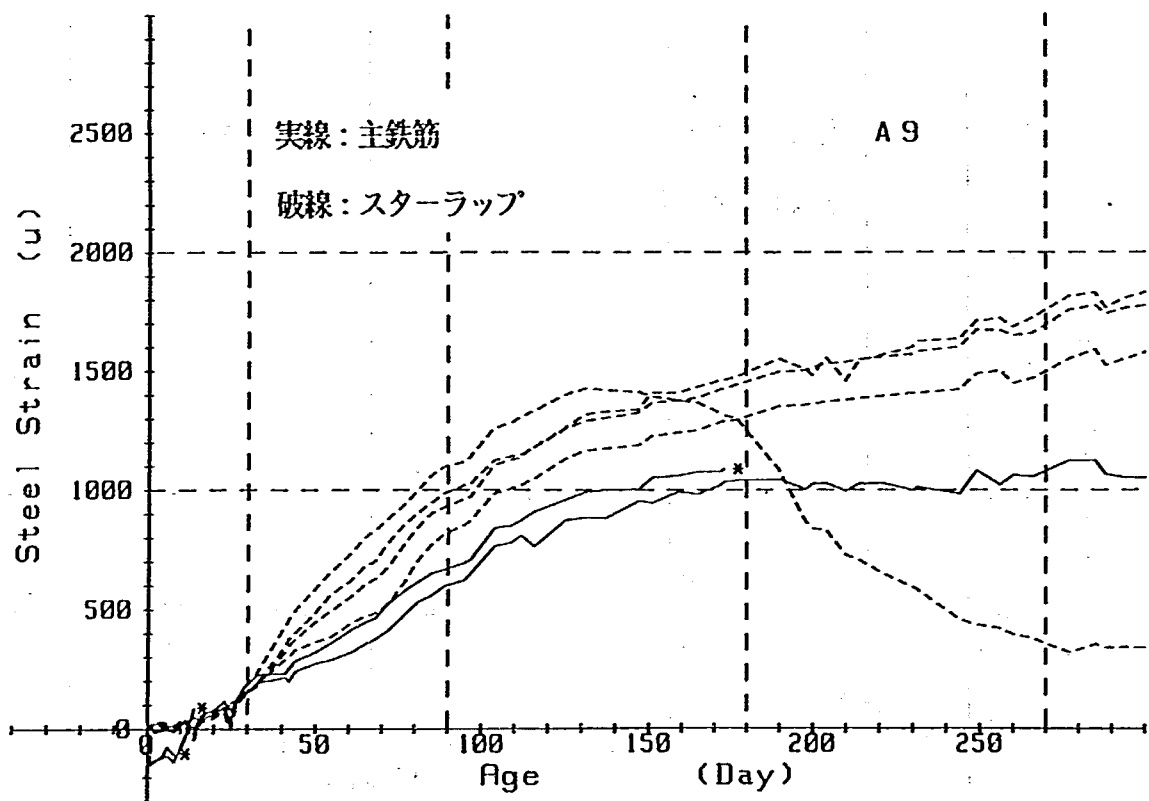


図- 3. 1. 9 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 9)

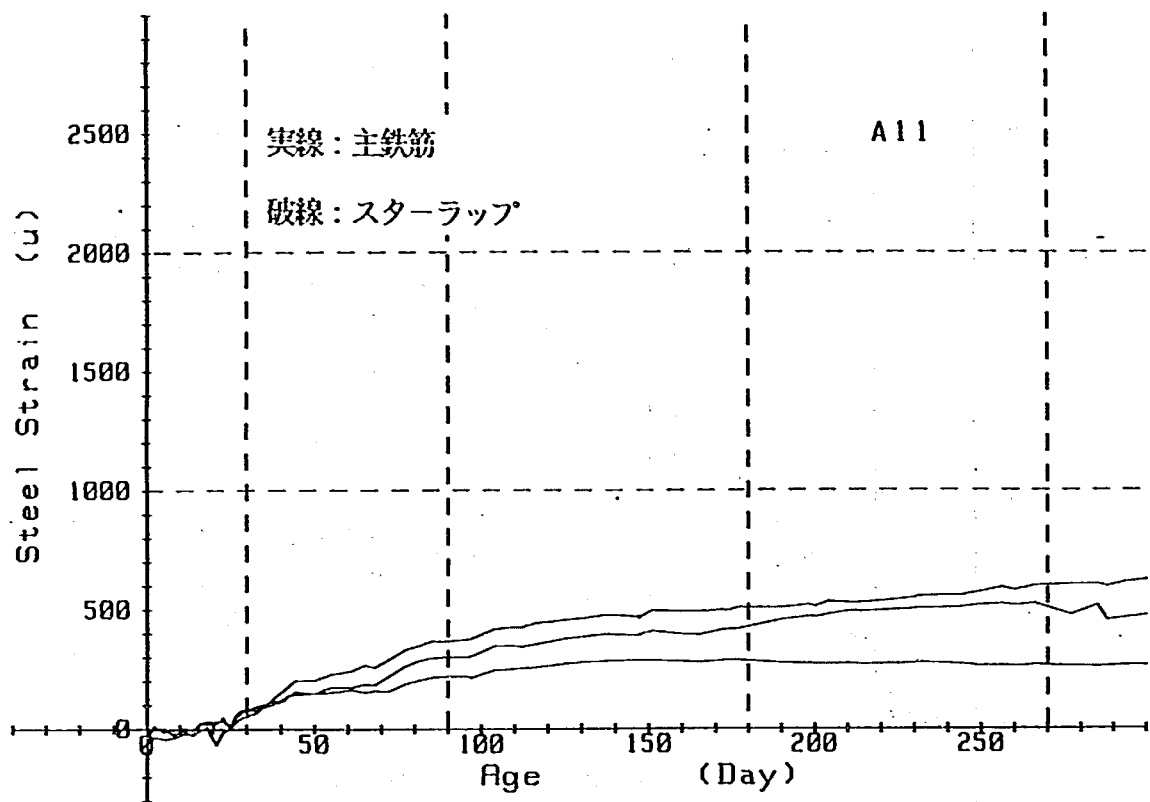


図 - 3. 1. 10 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 11)

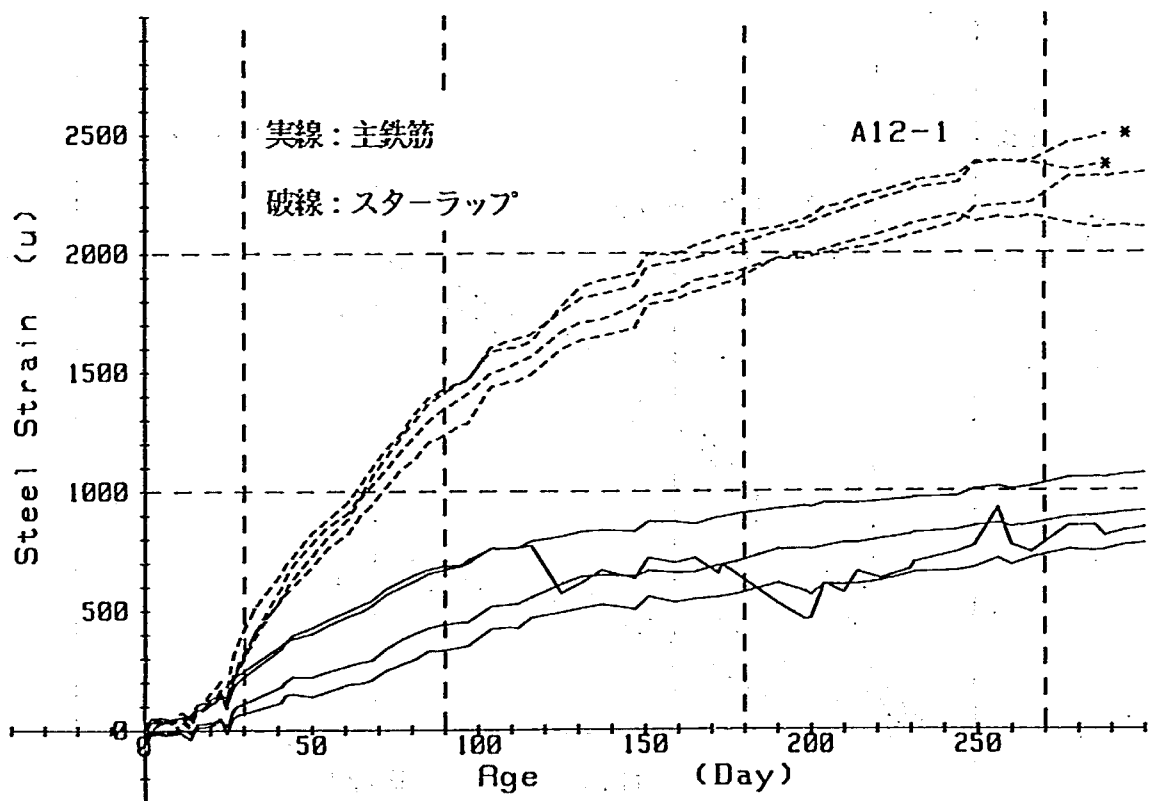


図 - 3. 1. 11 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 12 - 1)

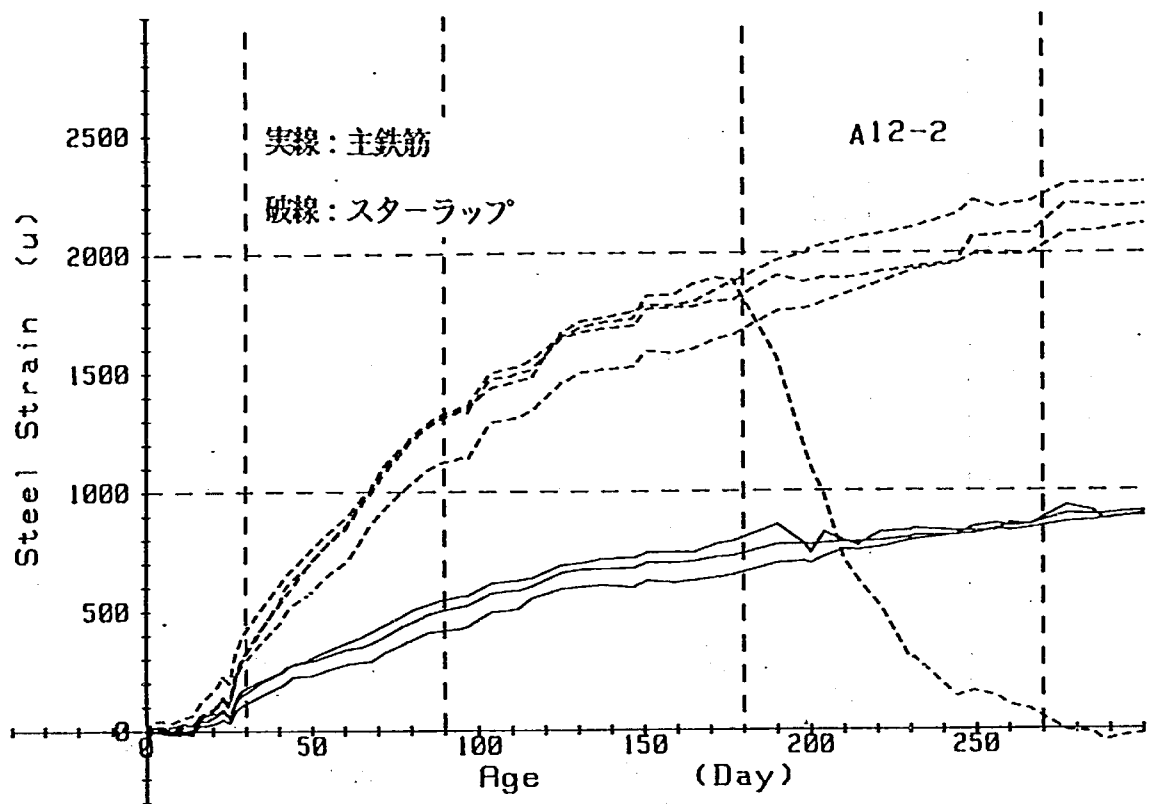


図 - 3. 1. 12 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 12 - 2)

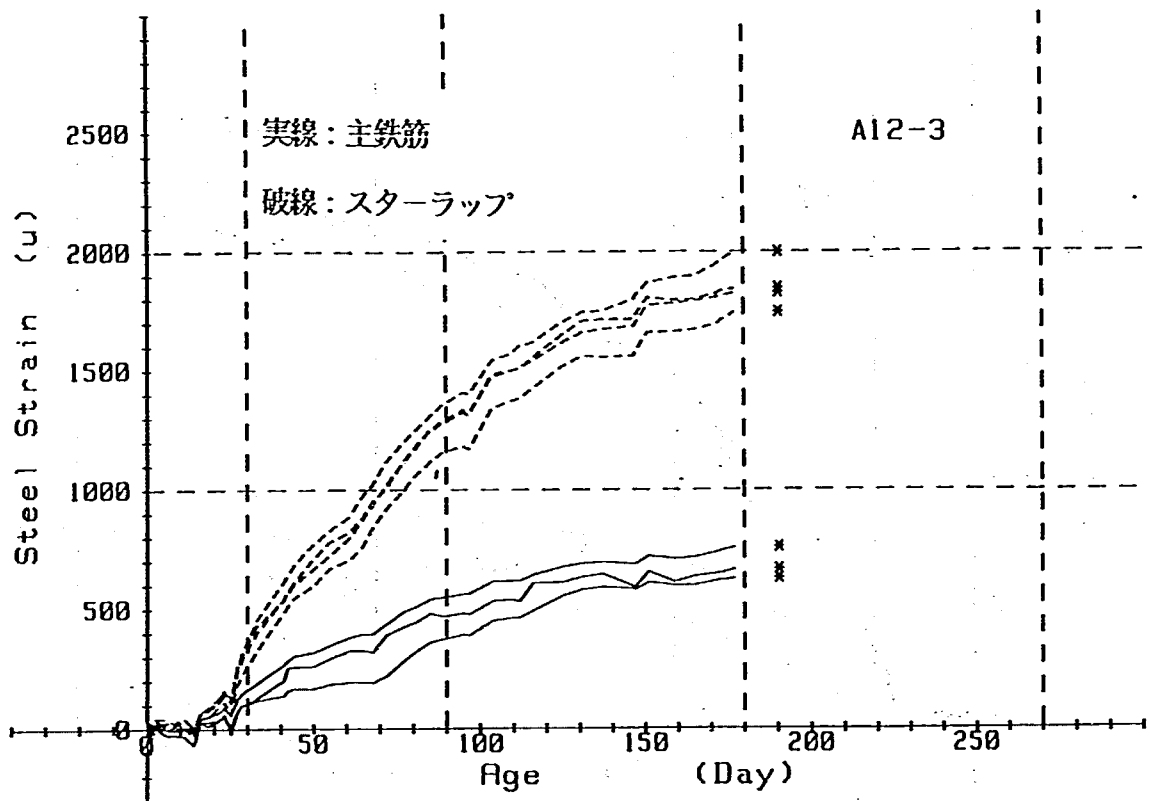


図 - 3. 1. 13 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 12 - 3)

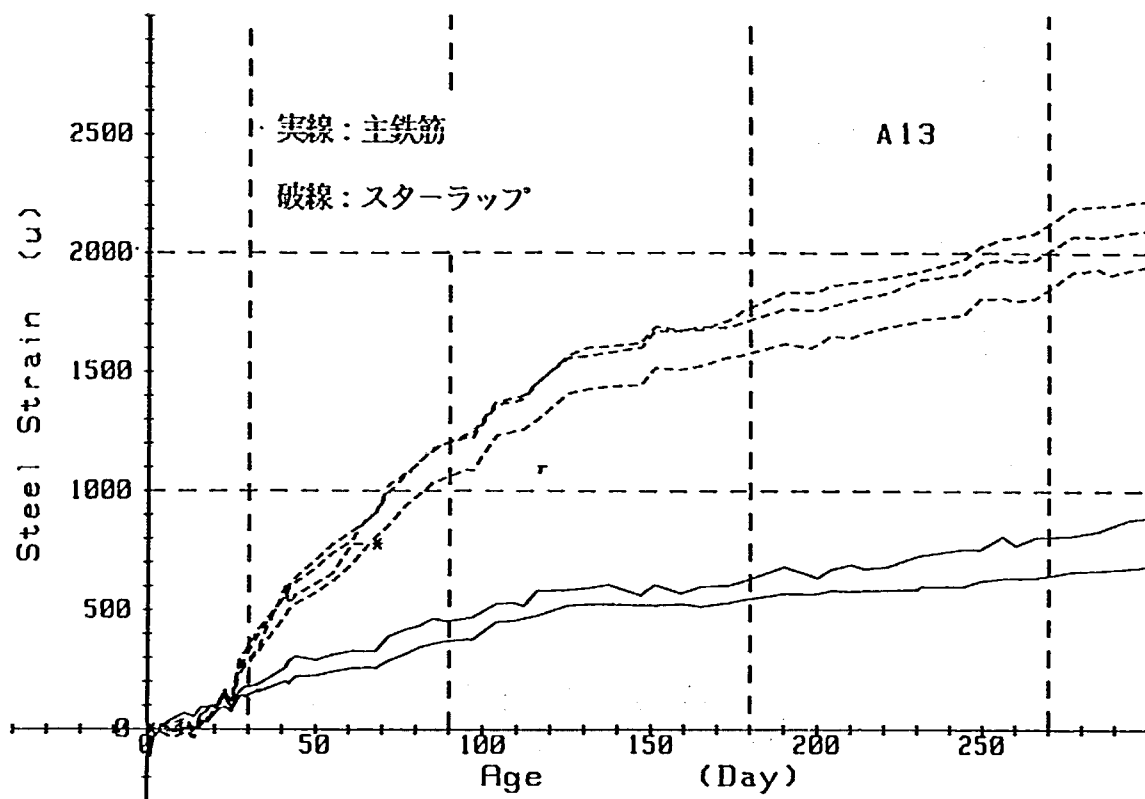


図- 3. 1. 14 鉄筋ひずみの経時変化図 (A 13)

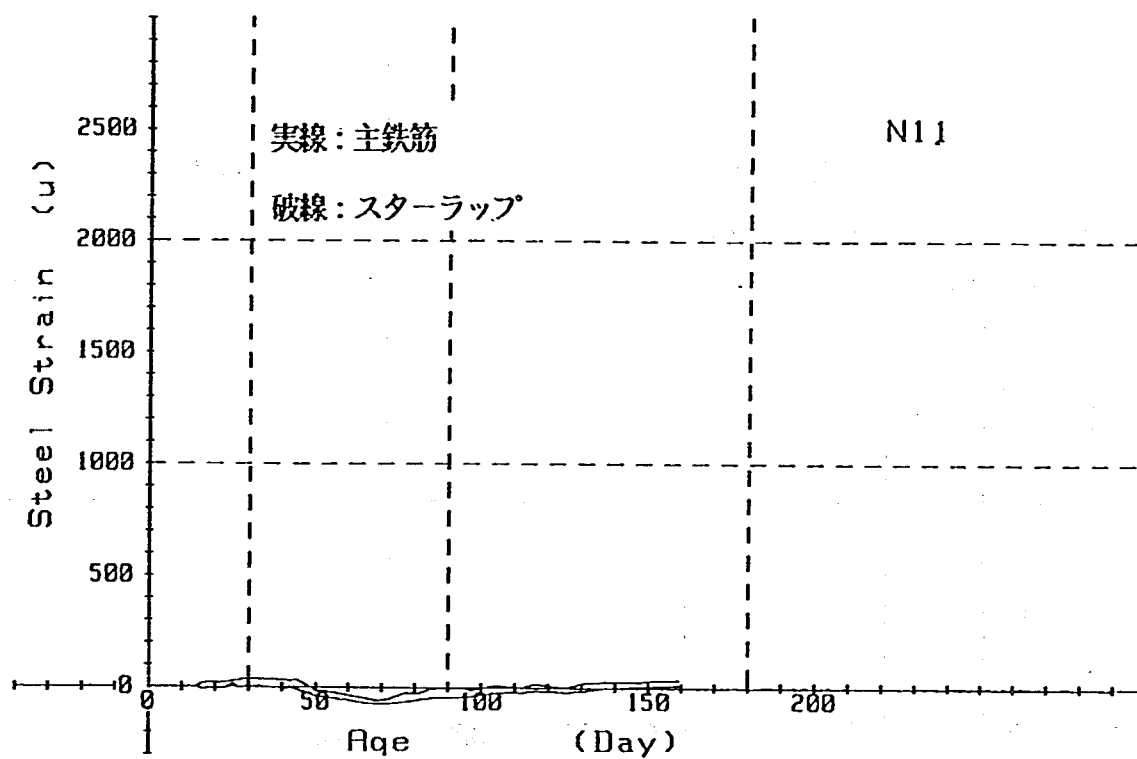


図- 3. 1. 15 鉄筋ひずみの経時変化図 (N 11)

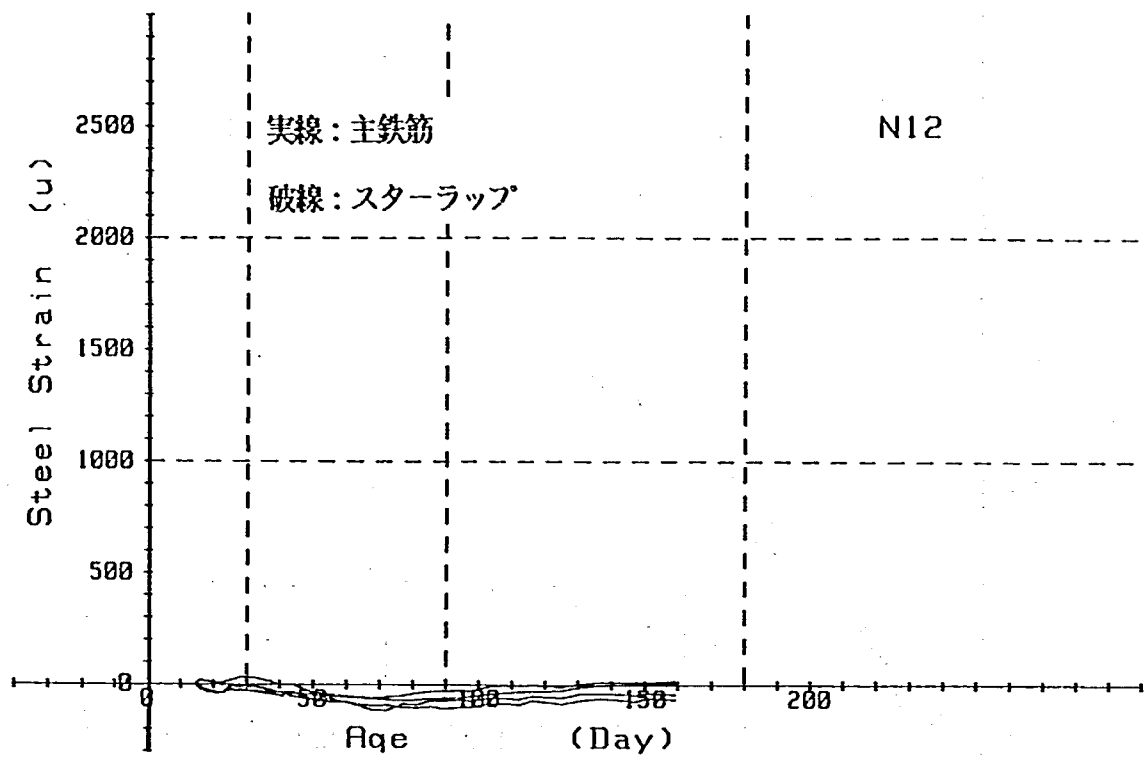


図- 3. 1. 16 鉄筋ひずみの経時変化図 (N 12)

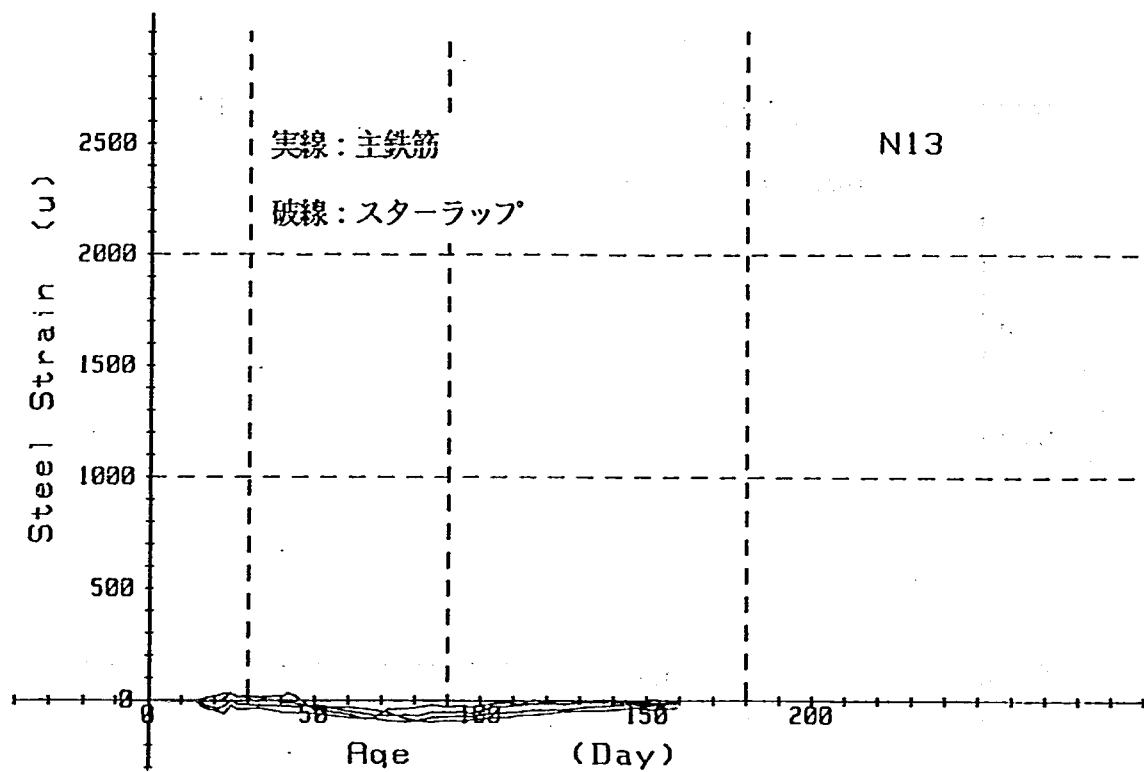


図- 3. 1. 17 鉄筋ひずみの経時変化図 (N 13)

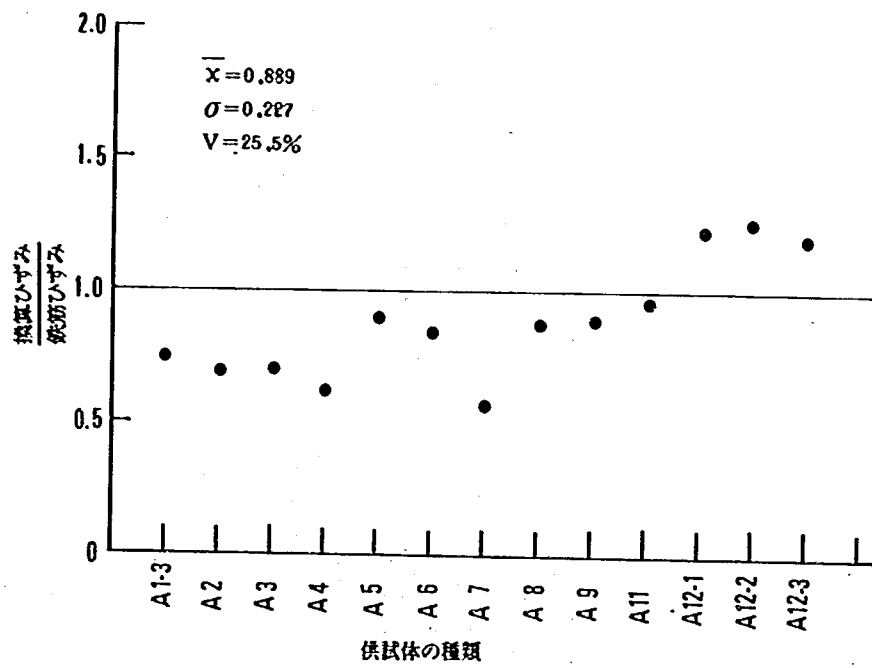


図-3.2 鉄筋ひずみと換算ひずみの比較

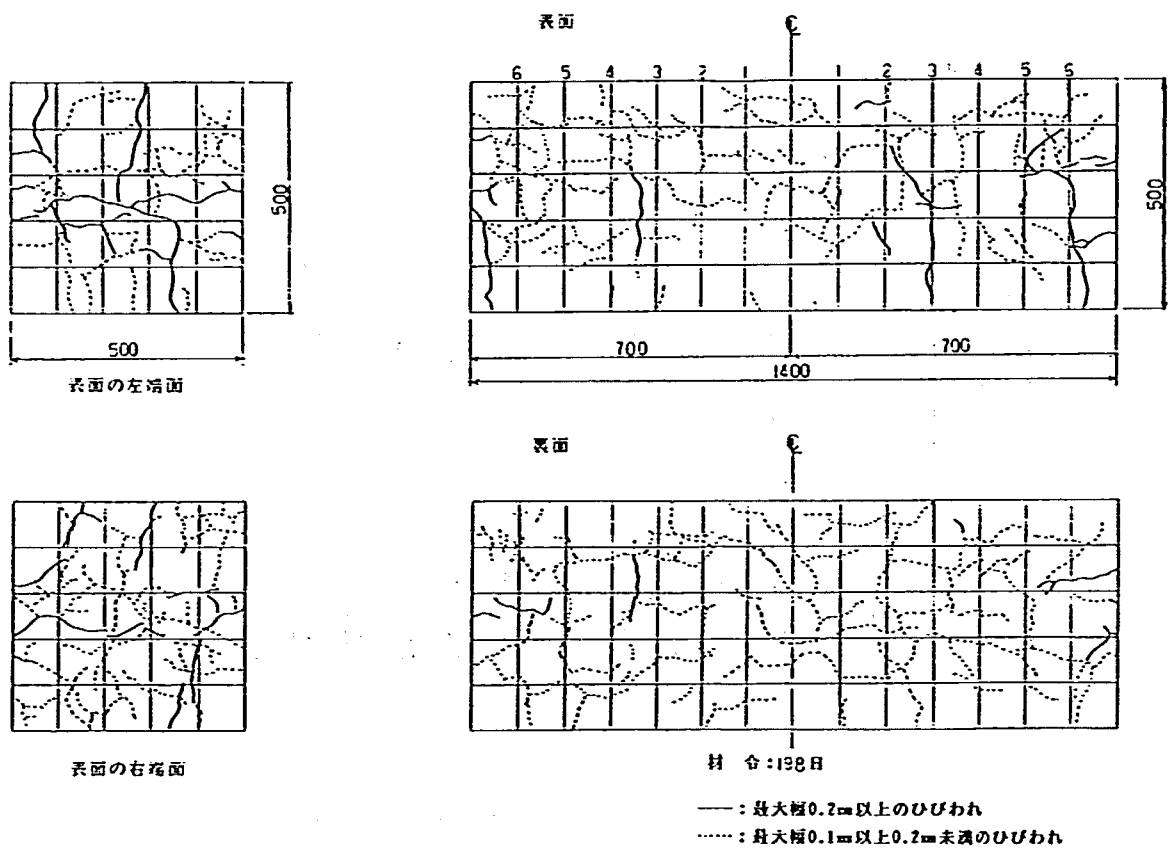


図 - 3. 3. 1 ひびわれ発生状況図 (A 1 - 1)

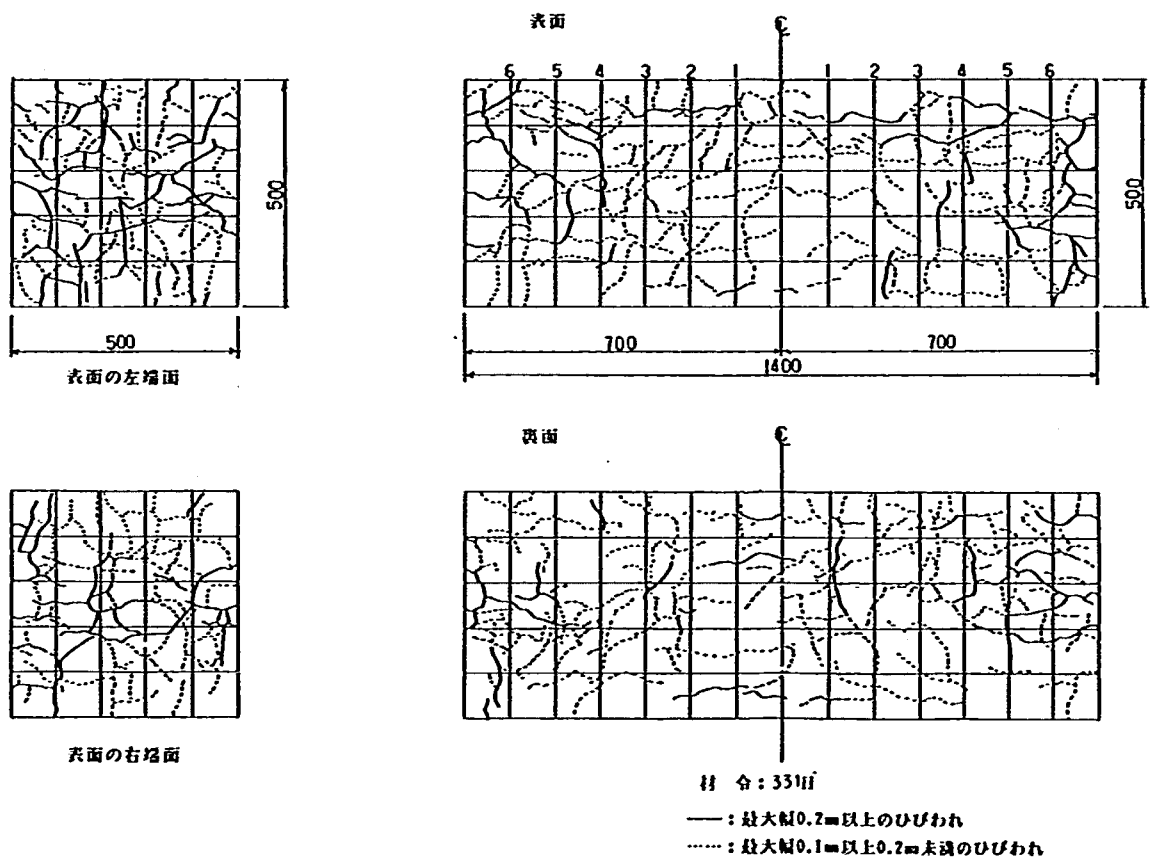
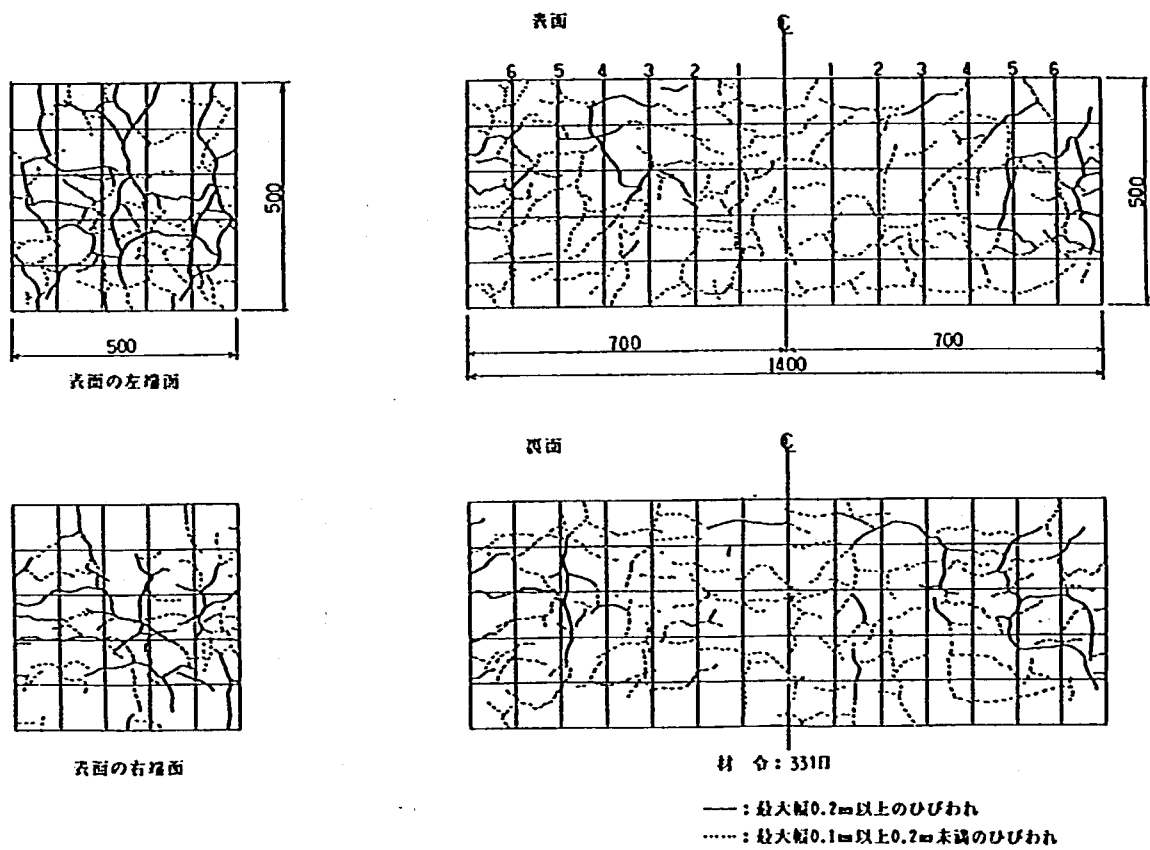
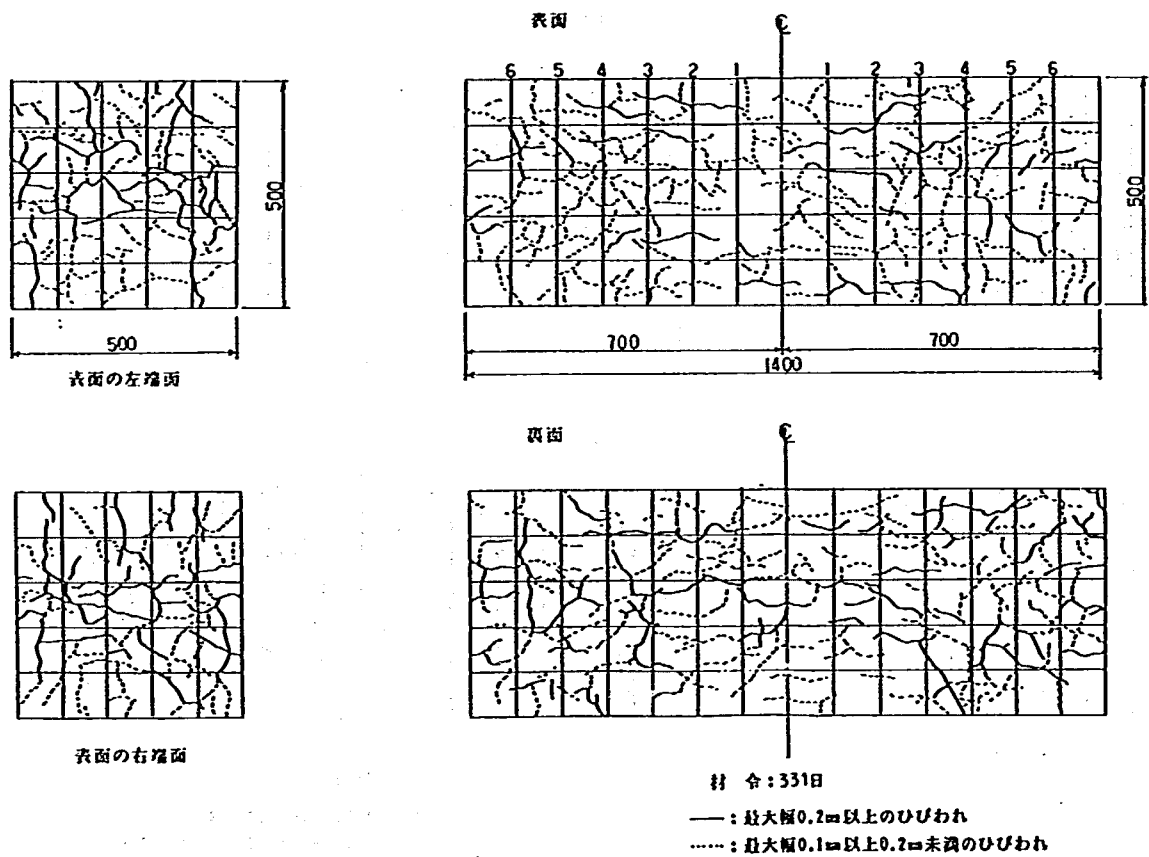


図 - 3. 3. 2 ひびわれ発生状況図 (A 1 - 2)



図－3.3.3 ひびわれ発生状況図（A 1－3）



図－3.3.4 ひびわれ発生状況図（A 2）

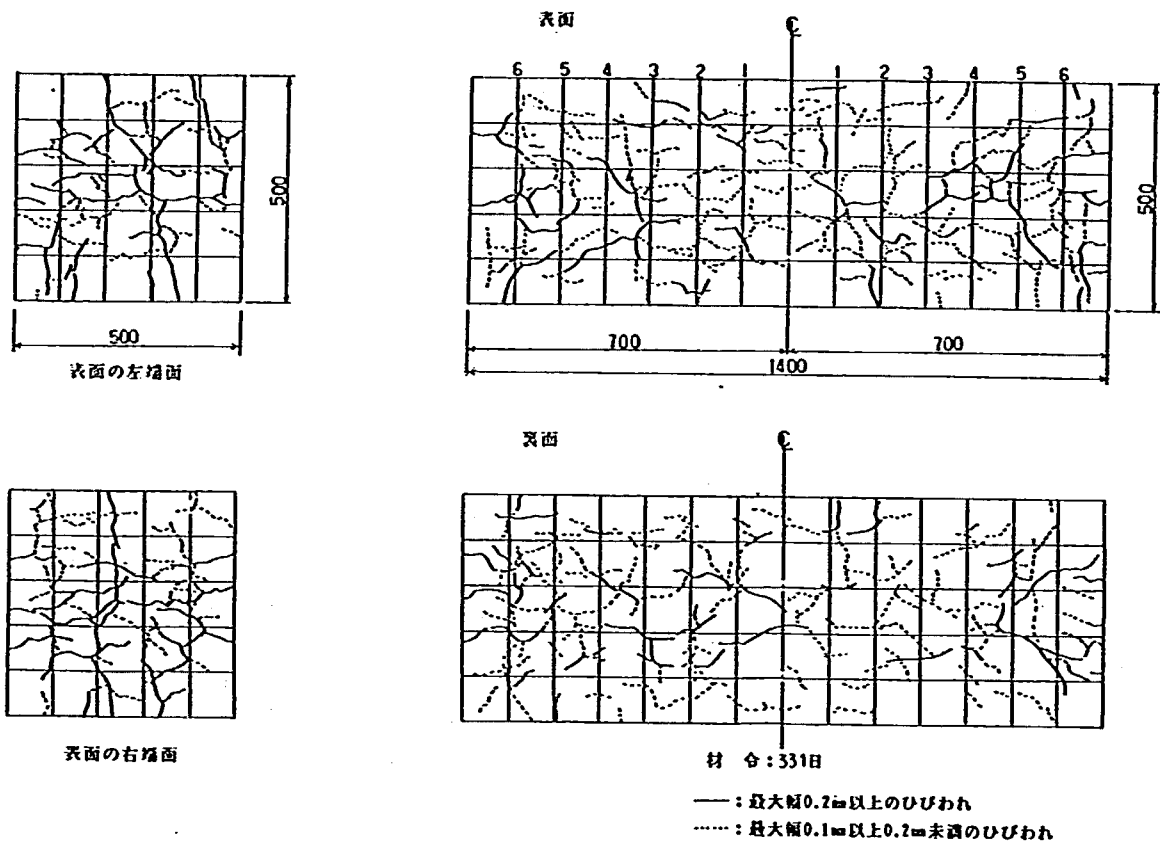


図-3.3.5 ひびわれ発生状況図 (A 3)

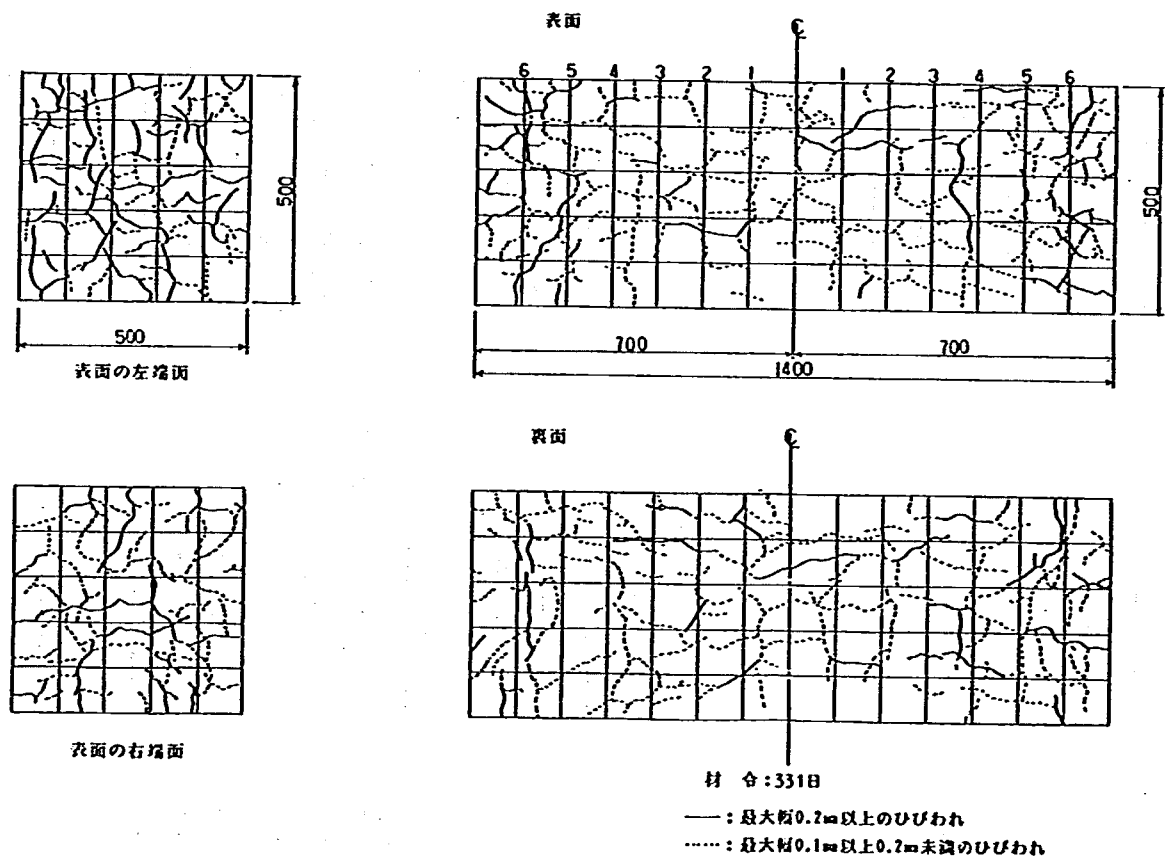


図-3.3.6 ひびわれ発生状況図 (A 4)

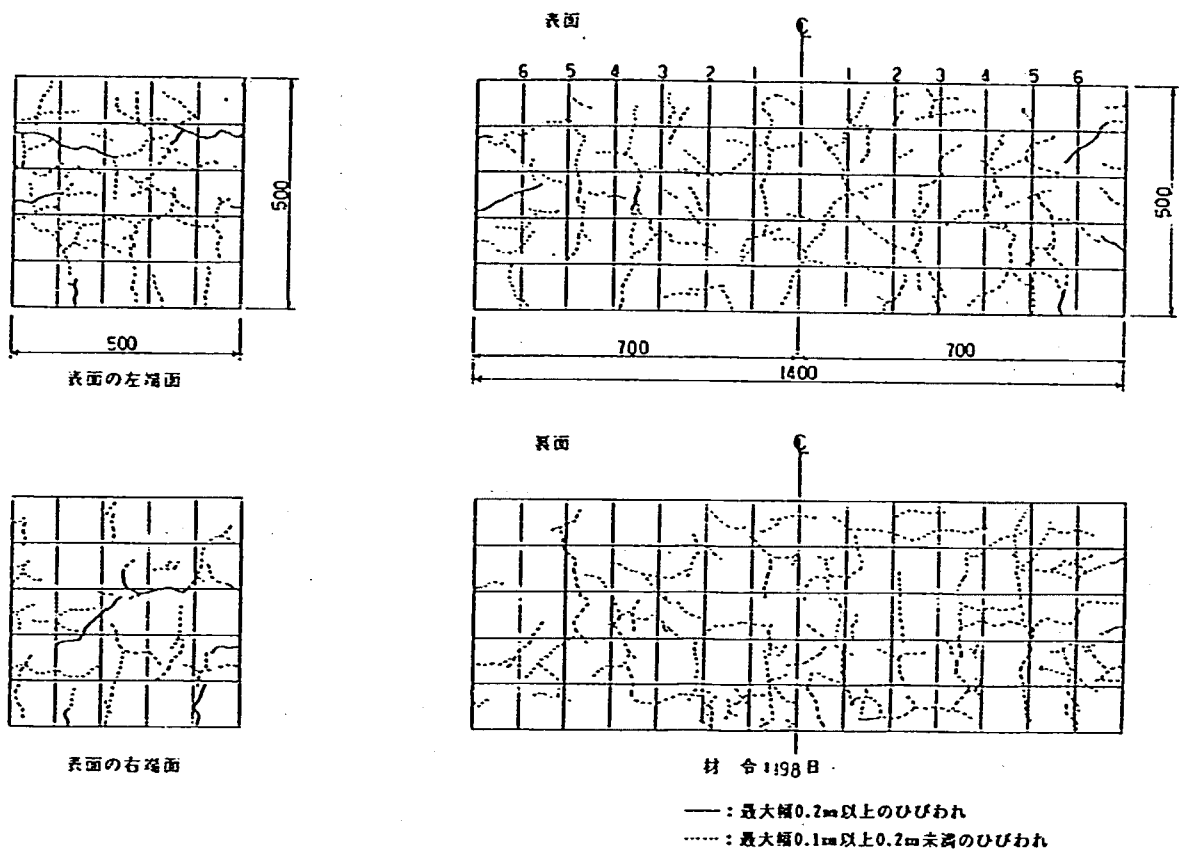


図 - 3.3.7 ひびわれ発生状況図 (A 5 - 1)

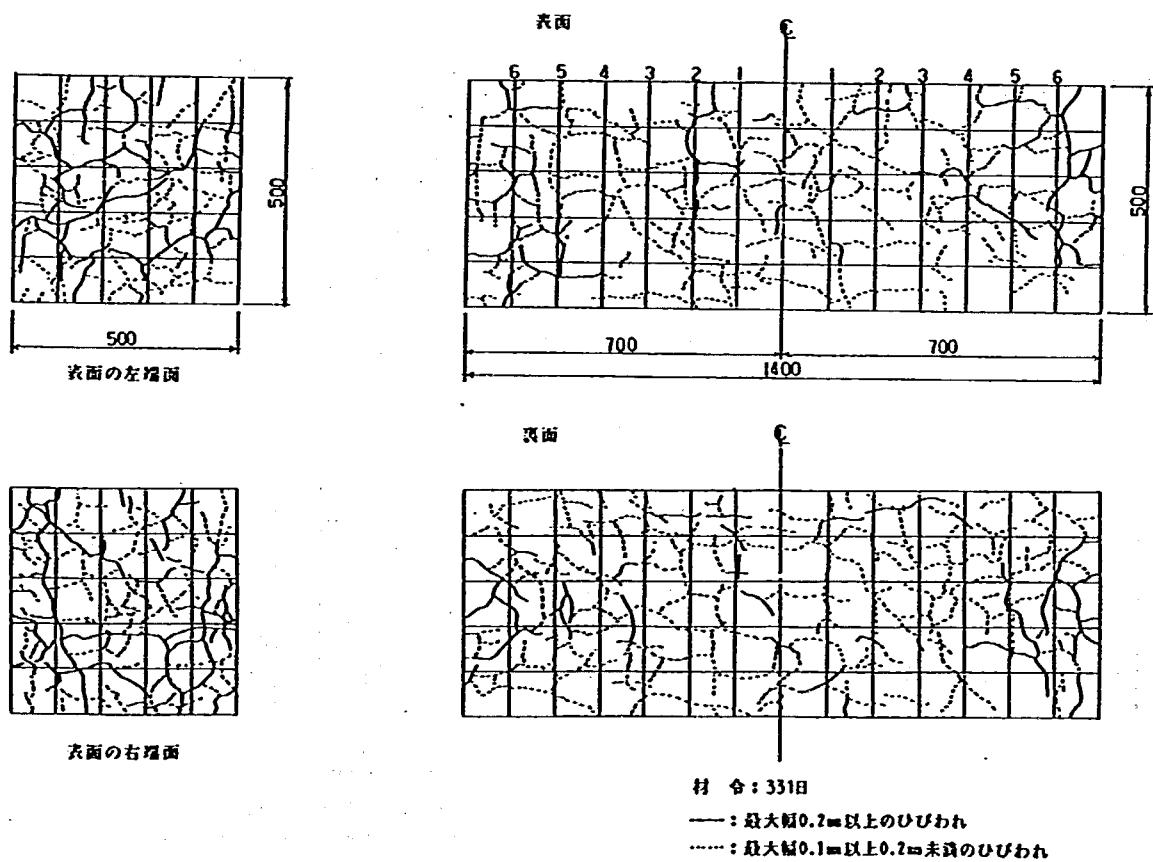


図 - 3.3.8 ひびわれ発生状況図 (A 5 - 2)

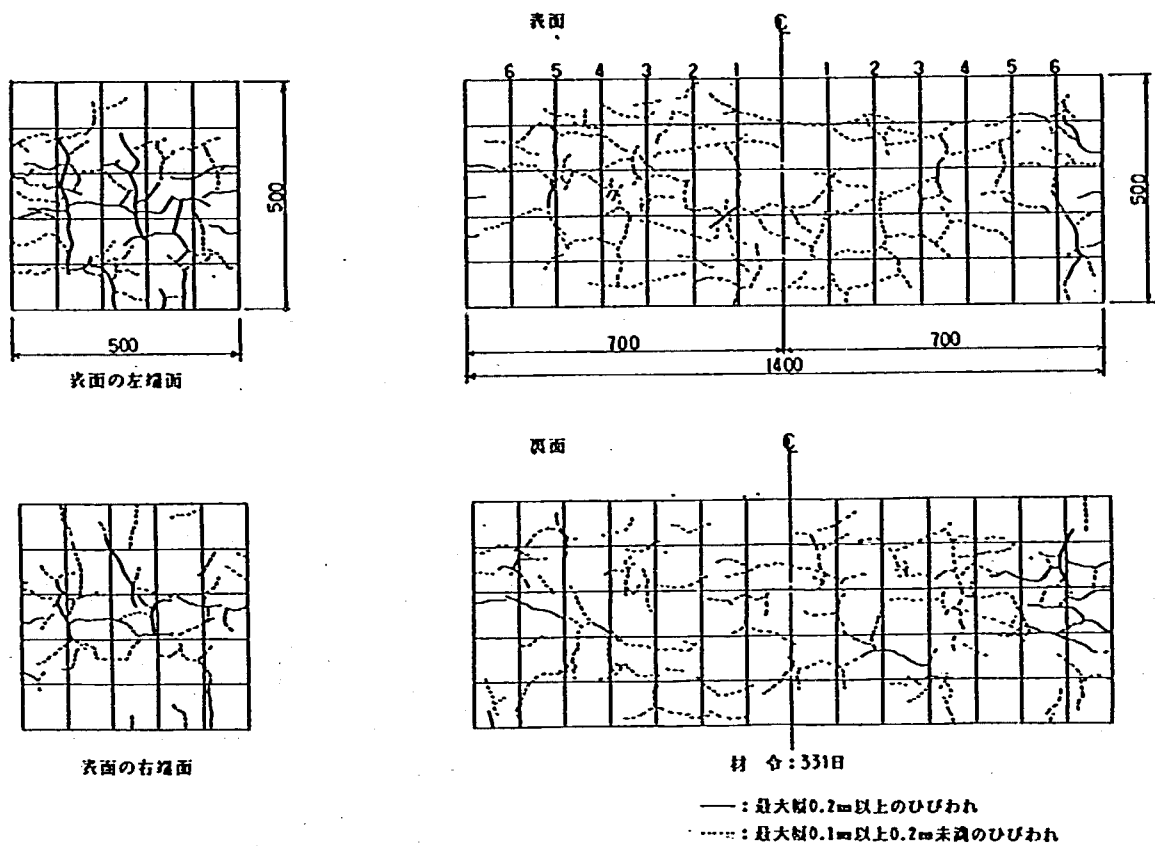


図-3.3.9 ひびわれ発生状況図(A6)

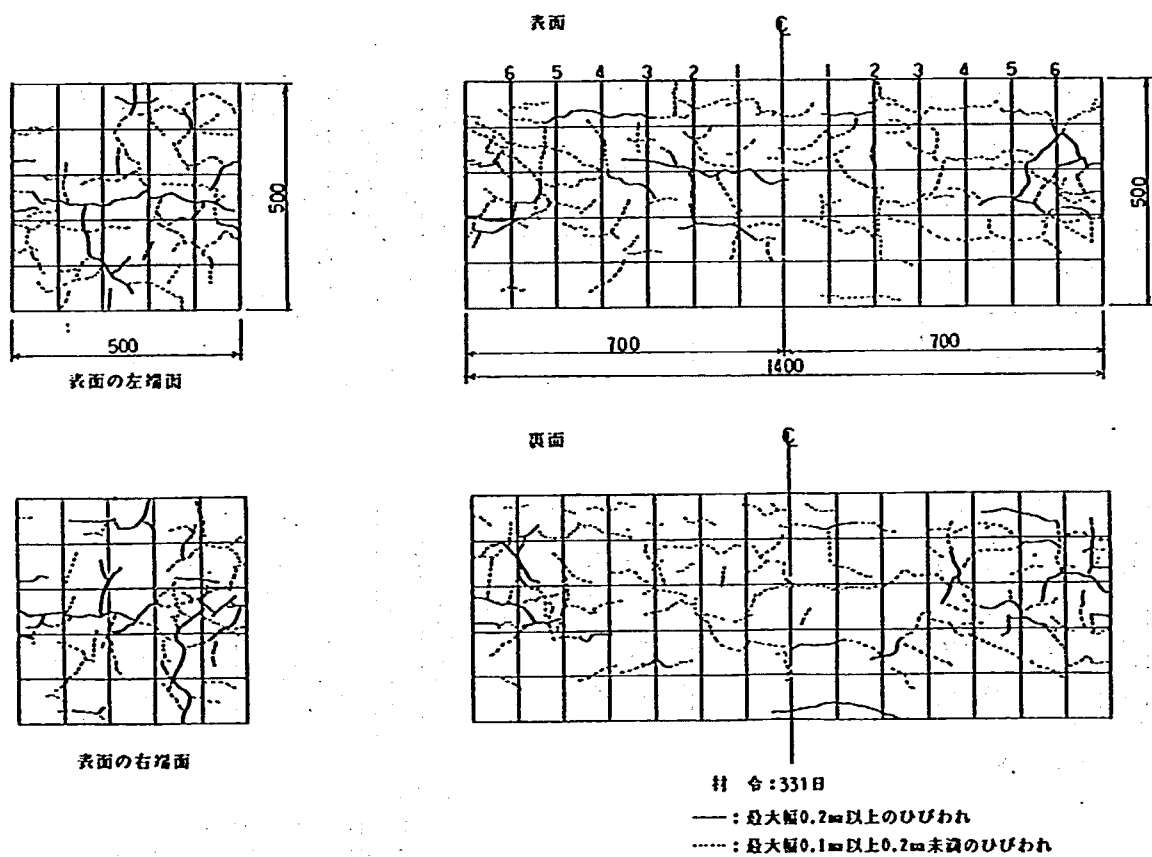


図-3.3.10 ひびわれ発生状況図(A7)

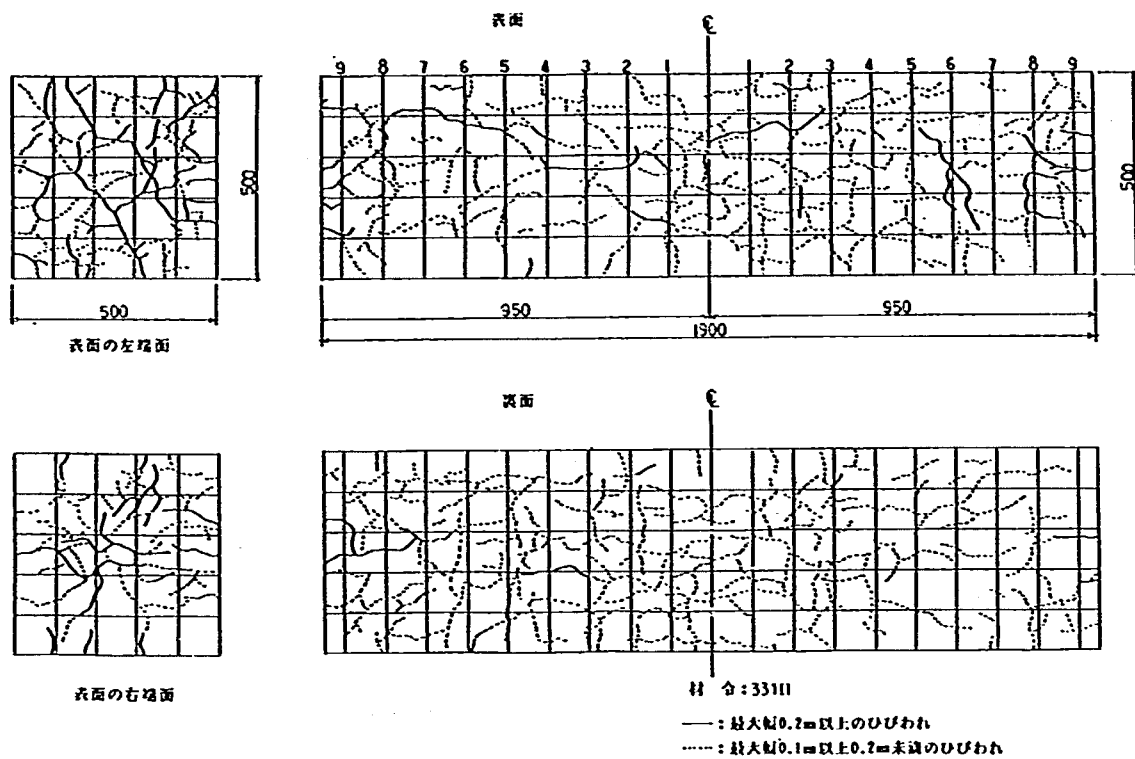


図 - 3.3.11 ひびわれ発生状況図 (A 8)

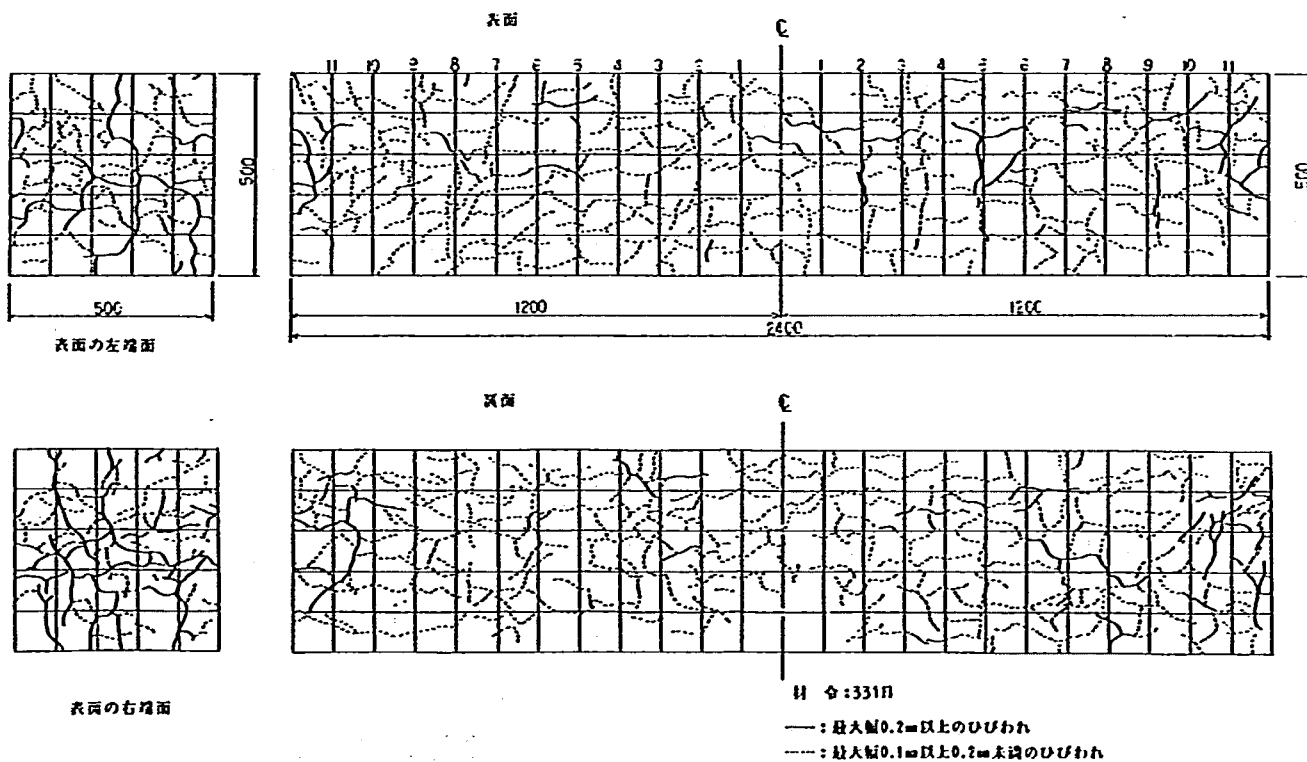


図 - 3.3.12 ひびわれ発生状況図 (A 9)

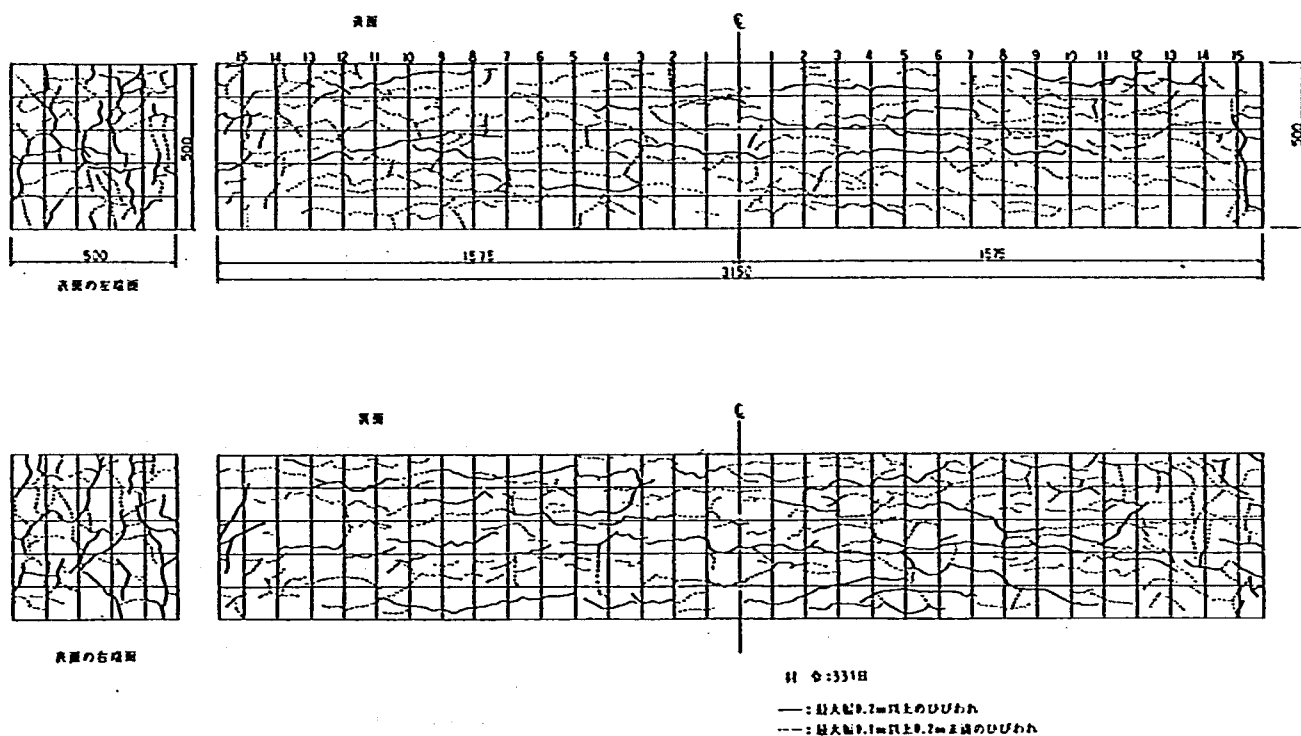


図-3.3.13 ひびわれ発生状況図 (A 11)

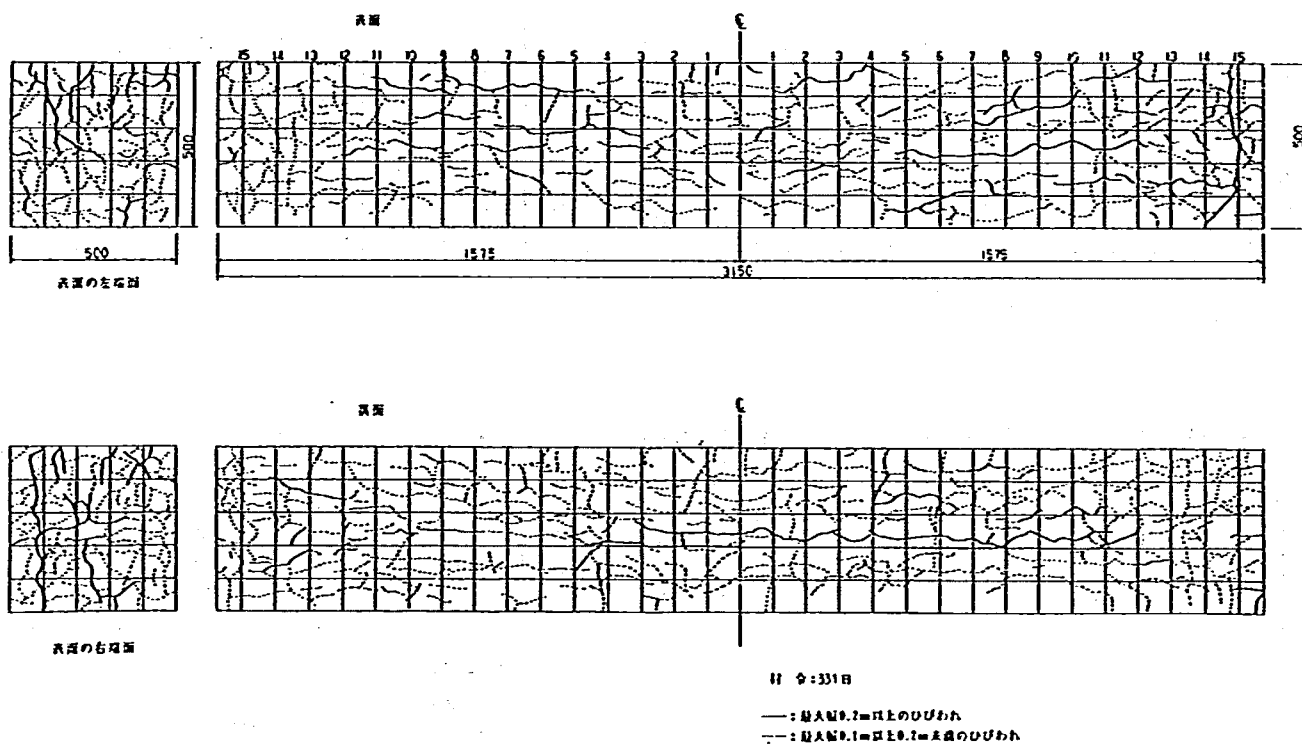


図-3.3.14 ひびわれ発生状況図 (A 12-1)

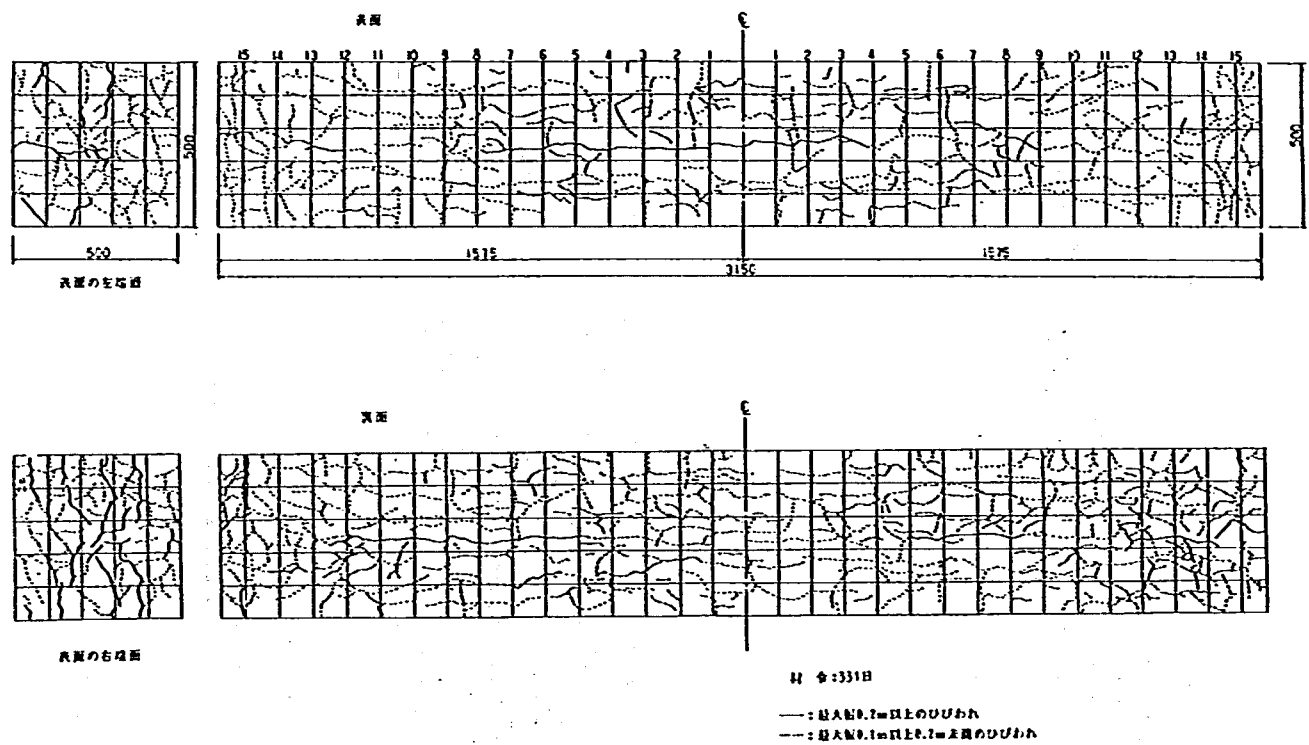


図 - 3.3.15 ひびわれ発生状況図 (A 12 - 2)

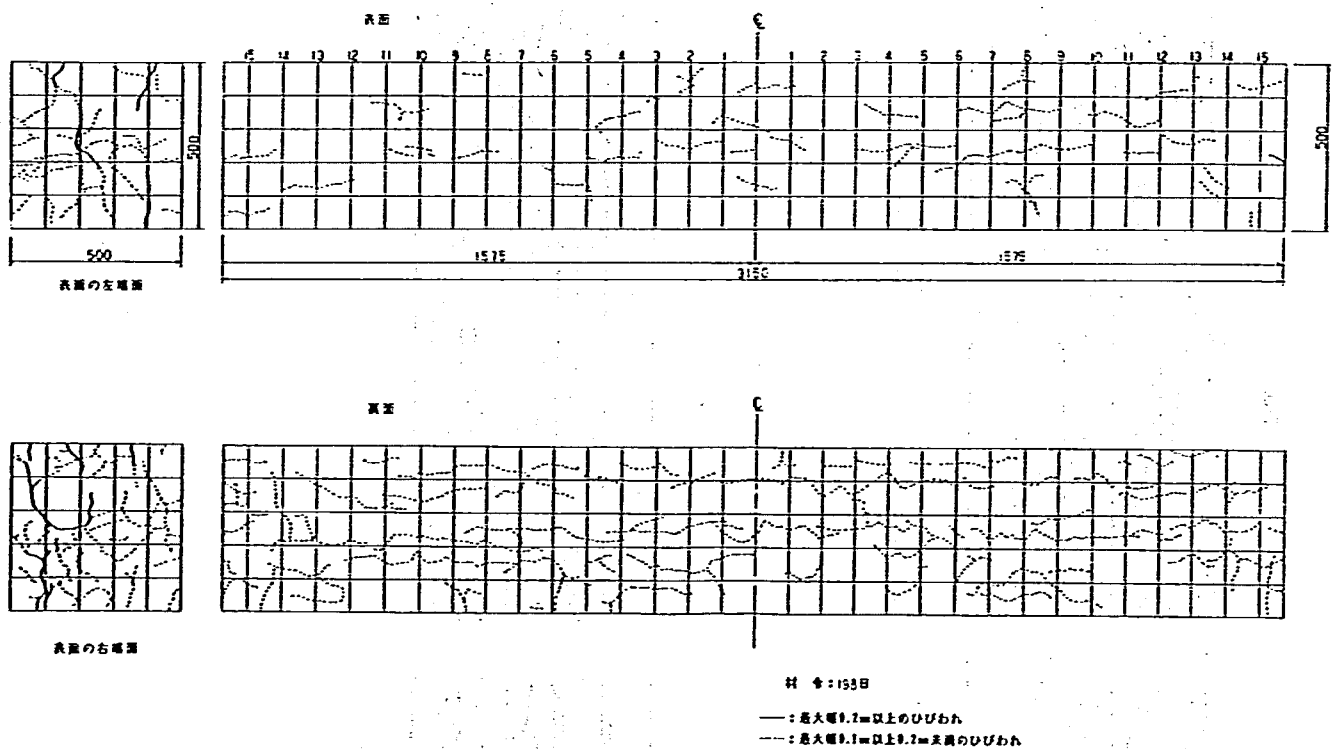


図 - 3.3.16 ひびわれ発生状況図 (A 12 - 3)

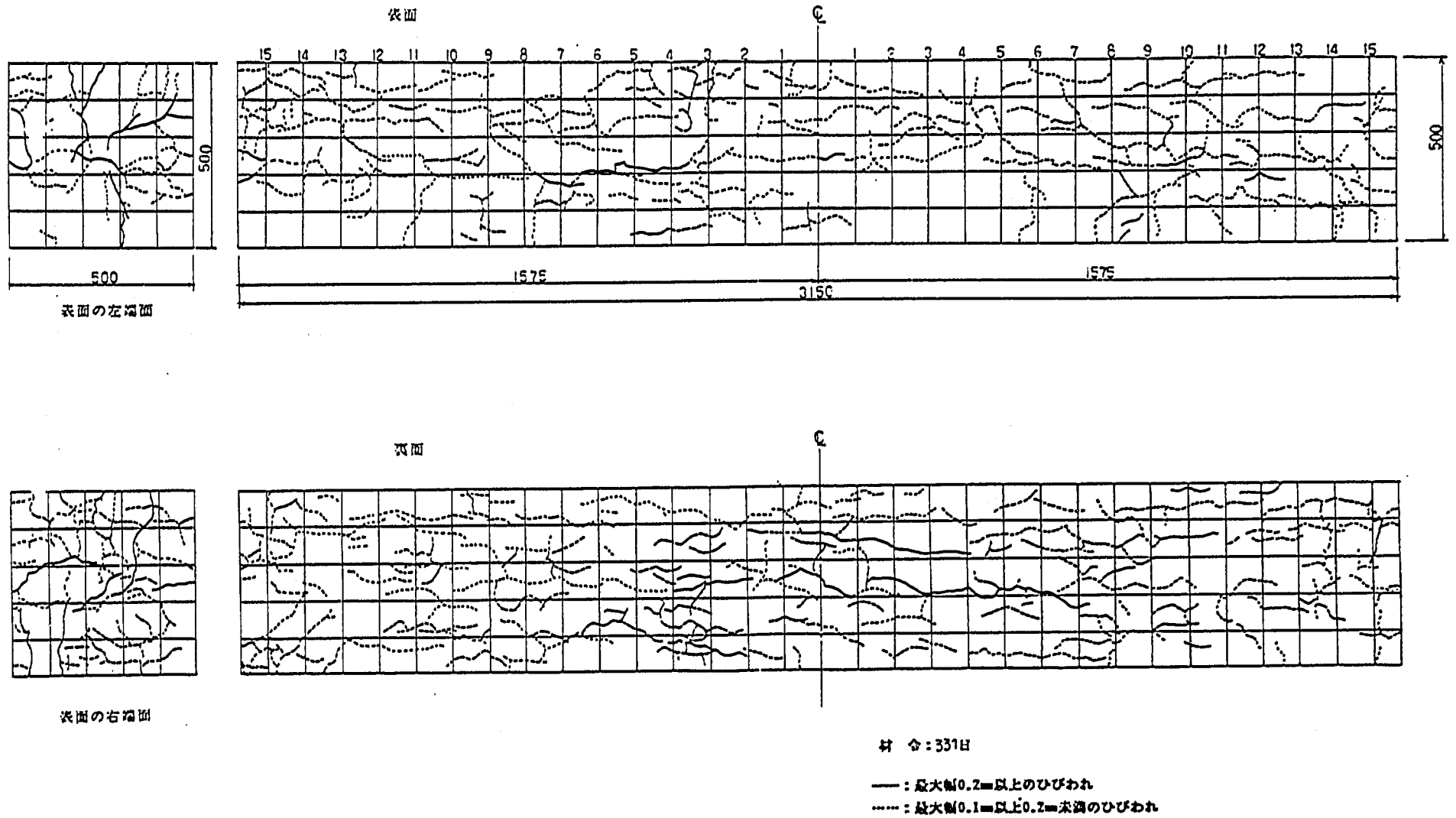


図 - 3. 3. 17 ひびわれ発生状況図 (A 13)

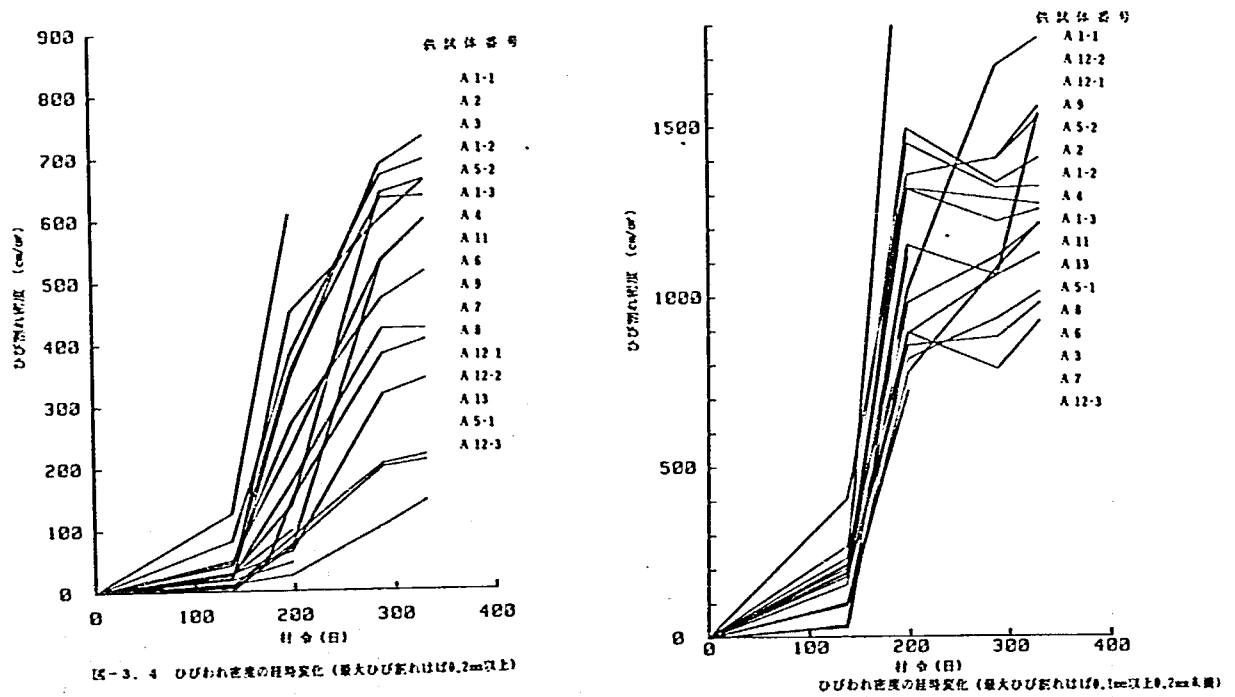


図-3.4 ひびわれ密度の経時変化 (最大ひび割れはば 0.3 mm 以上)

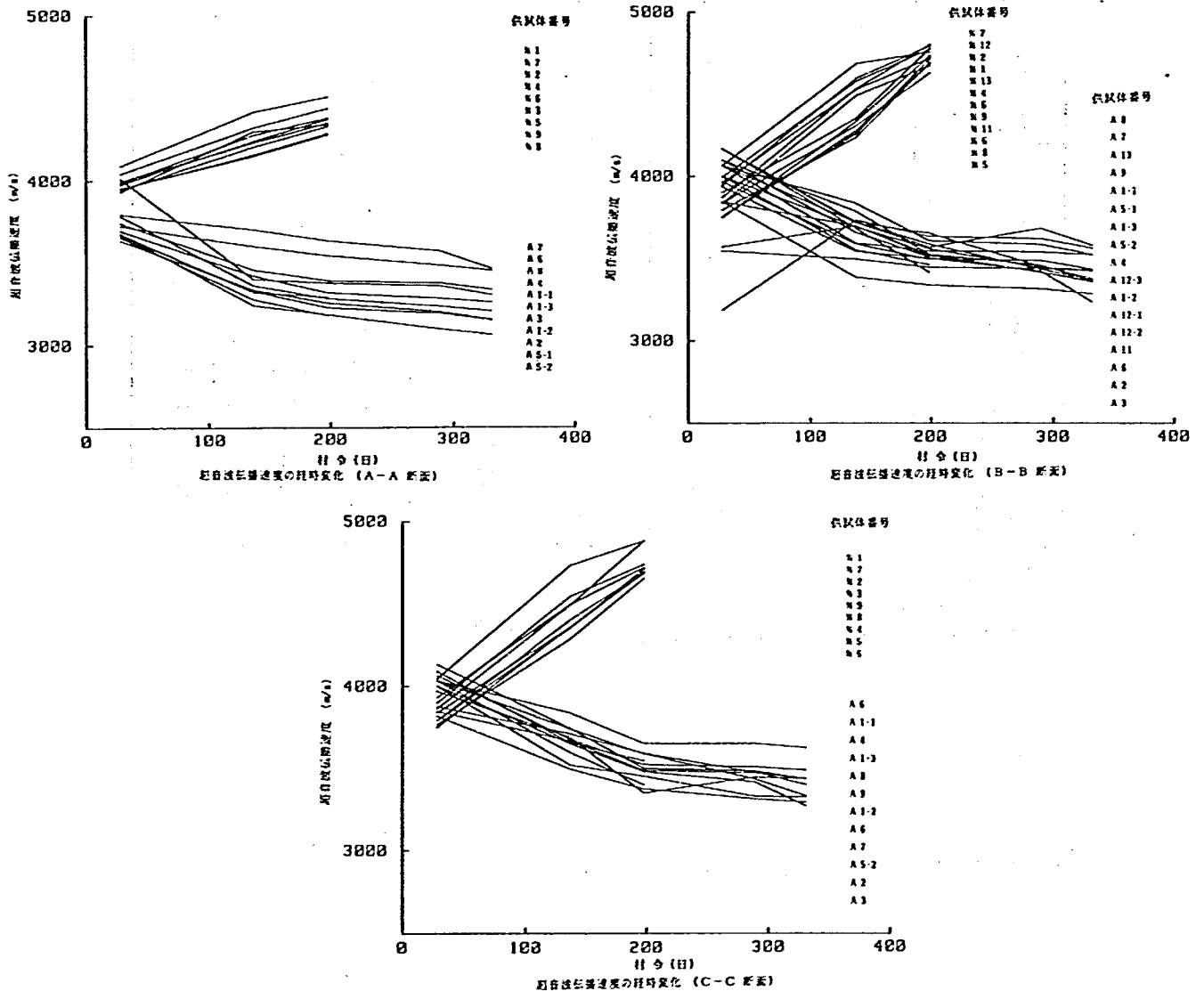


図-3.5 超音波伝播速度の経時変化

3.2 載荷実験結果

3.2.1 耐荷力特性

表－3.2はAタイプおよびNタイプの載荷実験結果をまとめたものである。表中には供試体の破壊荷重の算定値，最大荷重および破壊形態を示している。ここでは曲げ耐力とせん断耐力の算定値を以下に示す算定式により求めた。

表－3.2 載荷実験結果

供試体 No	破壊荷重 (t)					破壊モード
	曲げ計算値 P_{au}	せん断計算値		実験値		
		国鉄式	二羽式	上部圧壊	最大荷重	
N 1	81	143	231	112	120	F
A 1-1				105	113	F→S
A 1-2				—	141	S
N 2	81	113	202	108	121	F
A 2				—	130	S
N 3	81	127	129	—	148	S
A 3				—	141	S
N 4	37	167	255	不明	202*	F
A 4				—	159	S
N 5	140	115	204	—	81	F
A 5-1				不明	57*	F
A 5-2				—	113*	S
N 6	140	172	162	—	271*	S
A 6				—	202	S
N 7	216	200	178	—	270	S
A 7				—	251	S
N 8	54	100	154	84	97	F
A 8				120	134	F→S
N 9	40	80	110	60	66	F
A 9				84	105	F
N 11	91	54	39	—	74	S
A 11				—	98	S
N 12	91	66	66	124	129	F→S
A 12-3				116	130	F→S
A 12-2				142	154	F
N 13	112	88	101	—	112	F→S
A 13				152	163	F→S

F : 曲げ破壊

S : せん断破壊

* : 載荷装置の不調による急速載荷または再載荷

曲げ耐力算定式 ¹⁾

$$M_u = A_{st} \cdot f_{sy} \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{st} \cdot f_{sy}}{0.85 \cdot f'_{ck} \cdot b_w} \right) \dots\dots\dots (3.1)$$

せん断耐力算定式

① 国鉄式²⁾

$$V_y d = 3.58 \cdot (a/d)^{-1.166} \cdot f'_{ck}{}^{1/3} \cdot \left\{ \sqrt{100 \cdot p_t} + \sqrt{100/d} - 1 \right\} \cdot b_w \cdot d + V_{sd} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

ただし, $\sqrt{100 \cdot p_t} \leq 1.73$, $\sqrt[4]{100/d} - 1 \geq 0$

② 二羽式³⁾

$$V_y d = \frac{0.53 \cdot f'_{ck}{}^{2/3} \cdot (1 + \sqrt{100 \cdot p_t}) \cdot (1 + 3.33 \cdot r/d)}{1 + (a/d)^2} \cdot b_w \cdot d + V_{sd} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

ここで, $V_{sd} = 1.15 \cdot p_w \cdot b_w \cdot f_{sy} / d$

f'_{ck} : コンクリートの設計圧縮応力度 (kgf/cm²)

f_{sy} : 鉄筋の降伏応力度 (kgf/cm²)

p_t : 引張主鉄筋比

p_w : スターラップ比 (= $A_w / (b_w \cdot s)$)

A_{st} : 引張主鉄筋量 (cm²)

A_w : スターラップ量 (cm²)

b : 部材幅 (cm) d : 有効高さ (cm)

s : スターラップ配置間隔 (cm)

a/d : せん断スパン比

この結果、供試体は大体において計算値より大きく、特に曲げ耐力に関しては算定値のほぼ5割大きくなっていることがわかる。

図-3.6~3.7.4はAタイプとNタイプの耐荷力の比較を行うため、供試体の種類、引張主鉄筋、スターラップ量、せん断スパン比および劣化レベルに着目して、破壊モードと最大荷重についてまとめたものである。図中●がNタイプ、△、○がそれぞれAタイプの劣化レベル1、2における最大荷重を表している。図-3.6より、比較的スパンの長い供試体8~13では、Aタイプの耐荷力は破壊形態が曲げあるいはせん断にかかわらず、いずれもNタイプに比べて大きいことが判る。一方、ディープビーム的な短いスパンの供試体1~7においてAタイプの曲げ耐力は、Nタイプに比べて増加しているものの、せん断耐力に関しては若干低下していることが認められる。なお、図-3.8に載荷実験終了時のひびわれ状況図を示す。図中の数値は載荷荷重(tf)、斜線部は破壊と同時に表面のコンクリートが剥離した部分を表している。

次に図-3.7.1~3.7.4に各パラメータごとにまとめた最大荷重の比較を示す。

(a) 主鉄筋比の違いによる比較(図-3.7.1)

同一形状の供試体で主鉄筋比を変化させてA部材とN部材の耐荷力を比較すると、両者とも主鉄筋比の増加に伴い最大荷重も増加しているが、両者の間に有意な差は認められな

い。

(b) スターラップ量の違いによる比較 (図- 3. 7. 2)

供試体 1 および 2 の載荷実験結果から、AS R の影響により曲げ耐力が増加しているのが判る。しかし、A タイプと N タイプが共にせん断で破壊している供試体 3 においては、A タイプのせん断耐力が N タイプに比べてわずかに低下している結果となっている。また、同図によると、スターラップ量を変化させても A タイプの最大荷重には大きな差異が認められない。これは配置されているスターラップ量が少ないことから、AS R によるコンクリートの膨張に伴って鉄筋に降伏ひずみに近いひずみが生じており、せん断に対してスターラップが有効に働いていないためであると考えられる。

(c) せん断スパン比の違いによる比較 (図- 3. 7. 3)

耐力力をせん断スパン比について整理すると図- 3. 7. 3 のようになる。図によると、A タイプの耐力力は N タイプに比べて大きな値を示しており、せん断スパン比が大きくなるほど両者の差は大きくなっている。

(d) 劣化レベルの違いによる比較 (図- 3. 7. 4)

図- 3. 7. 4 より劣化度が耐力力に及ぼす影響を見ると、レベル 1 において A タイプの耐力力は N タイプとほぼ同程度とみなせるのに対し、レベル 2 ではタイプの供試体 1, 12 の両者共に耐力力が上昇していることが判る。

3. 2. 2 変形性能

① 荷重-変位関係

図- 3. 9 には、A タイプと N タイプの同一供試体ごとの荷重-変位曲線を示す。

図より明らかなように、初期の低荷重レベルにおける変位に関して、同一の供試体パラメータの N タイプと A タイプを比較すると、ほとんど差が認められない。また、A タイプでは N タイプに比べて立ち上がりの直線部分がむしろ長くなっているものも認められる。このことから、供試体と同様な促進養生を行ったテストピースの強度試験結果において、A タイプの弾性係数が N タイプの 55 % 程度であることを考慮すると次のことが言える。すなわち、RC 部材では、AS R によるコンクリートの膨張が主鉄筋およびスターラップによって拘束されるため、コンクリートにはケミカルプレストレスが発生することになり、このプレストレスの効果によって、見かけの曲げ剛性が大きくなったものと推察される。

なお、図- 3. 10 は荷重の増加に伴う供試体の変形を変位計の計測値をもとに描いたものである。図中 D 1 ~ D 7 は変位の計測位置を示している。

② 曲げモーメント-曲率関係

一般に梁の曲げ剛性 ($E \cdot I$) は、作用モーメント (M) と曲率の比 (M / ϕ) で表される。図- 3. 11 は作用モーメント (M) と曲率 (ϕ) の関係を示したものである。図によると、AS R により発生したケミカルプレストレスが部材の曲げ剛性を増加させている傾向がよく判る。なお、ここでは曲率 (ϕ) と作用モーメント (M) は次式により算定してい

る。

$$\phi = (\epsilon_t + \epsilon_c) / d$$

$$M = P/2 \cdot a$$

ここで、 ϵ_t : 引張主鉄筋のひずみ

ϵ_c : 圧縮主鉄筋のひずみ

d : 引張主鉄筋と圧縮主鉄筋の距離 (cm)

P : 載荷荷重 (tf)

a : 載荷点と支承位置の距離 (cm)

3.2.3 主鉄筋ひずみ

図-3.12に荷重とスパン中央断面の主鉄筋ひずみを示す。図中の実線はNタイプの主鉄筋ひずみ、破線ならびに一点鎖線はAタイプのひずみをそれぞれ表している。

Nタイプについて、曲げ破壊を起こした供試体の主鉄筋ひずみを見てみると、ある荷重レベルまでは直線的に増加するが、ひびわれ発生以後は急激に増大する。これはひずみ測定断面において曲げひびわれが進展し、引張応力を主鉄筋が負担するという通常のRC部材のひずみ特性をよく表している。一方、Aタイプの主鉄筋ひずみは、荷重が増加しても降伏荷重に至るまで、Nタイプの主鉄筋ひずみの直線部分とほぼ同一勾配で、直線的に増加していることが判る。これは、ケミカルプレストレスの効果によるものであり、ASRによりRC部材の挙動がPC部材的な挙動になったことは明らかである。

また、せん断破壊を呈した供試体における荷重-主鉄筋ひずみ関係はほぼ直線であり、顕著な曲げひびわれが見られないひびわれ状況と一致している。Aタイプの主鉄筋ひずみの傾きがNタイプよりも大きいのは、上記の種類とも同様の傾向を示している。

3.2.4 コンクリートひずみ

図-3.13には、3軸ひずみゲージより測定されたAタイプのコンクリートの主ひずみ分布を示す。これによると、せん断スパン比(a/d)の小さい供試体では、圧縮ひずみは載荷点と支点を結ぶ傾きを有しており、せん断スパン比(a/d)が比較的大きい供試体では、主ひずみ方向は軸方向に対して約45度の傾きを有していることが認められる。また、図-3.14には、AタイプおよびNタイプ中のN11、N12、N13について鉛直断面方向の縦ひずみ分布を示す。図より、縦ひずみ分布はほぼ直線と見なすことができる。

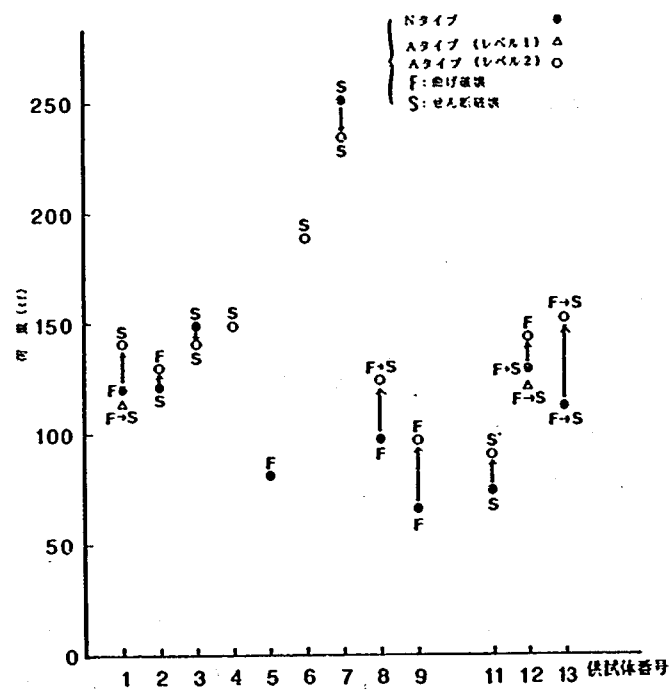


図-3.6 AタイプとNタイプの最大荷重の比較

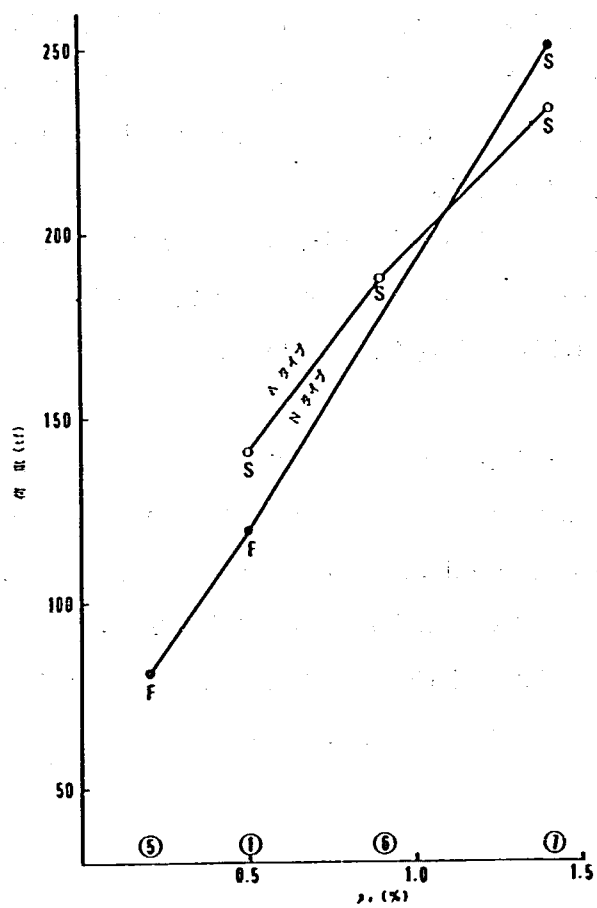


図-3.7.1 引張主鉄筋比 p_t の違いによる比較

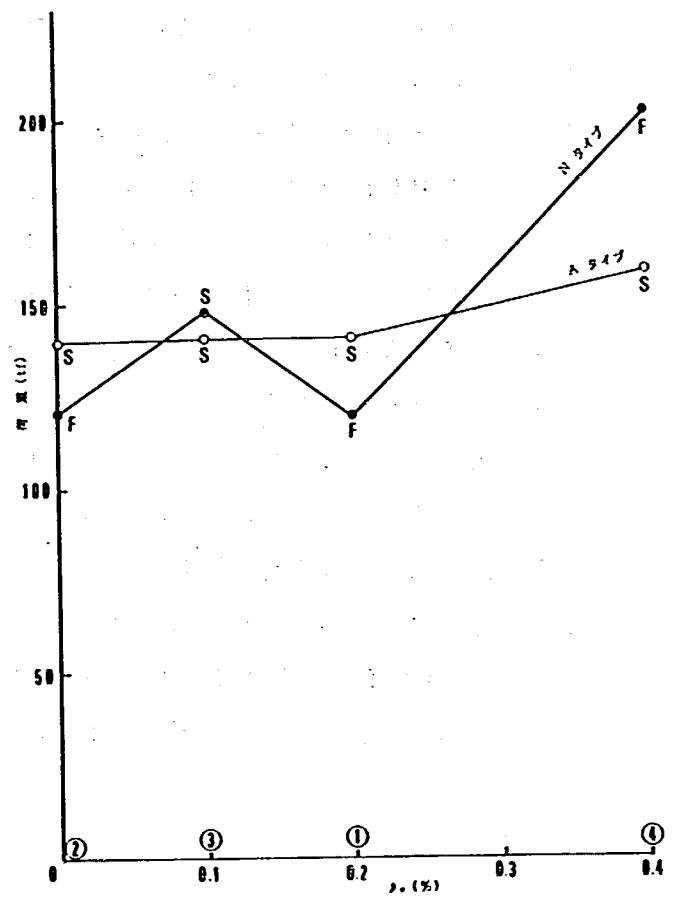


図-3.7.2 スターラップ量 p_w の違いによる比較

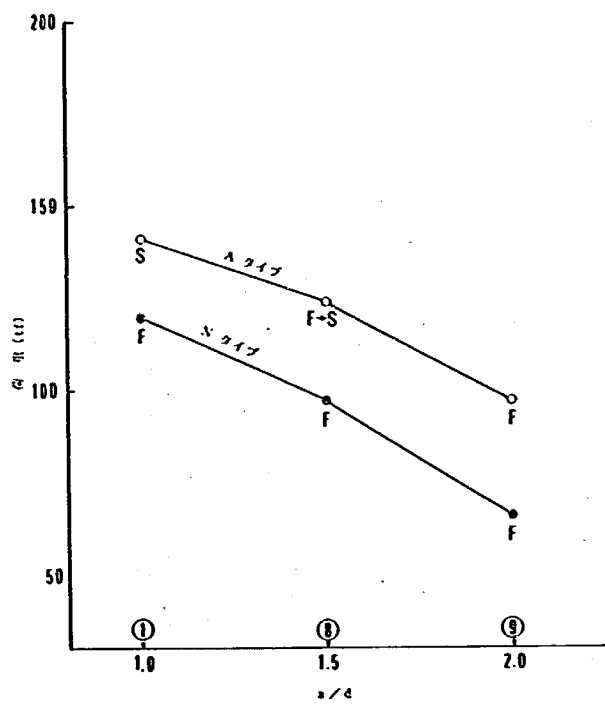


図-3.7.3 セン断スパン比 a/d の違いによる比較

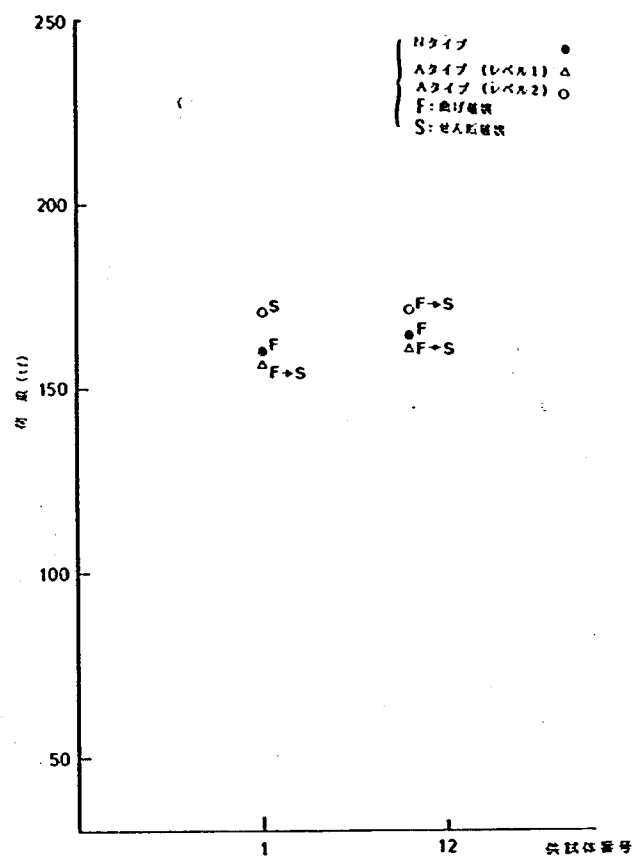
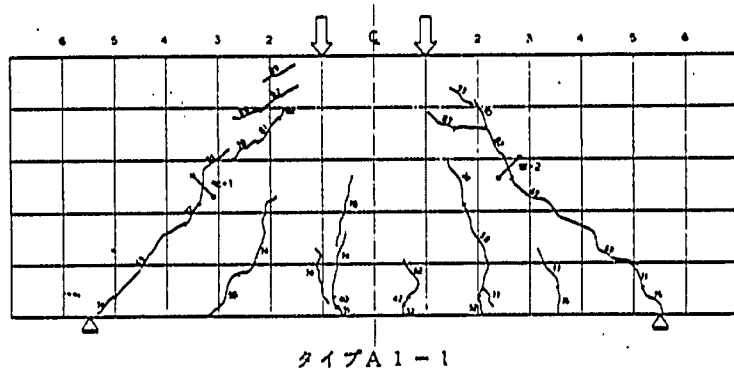
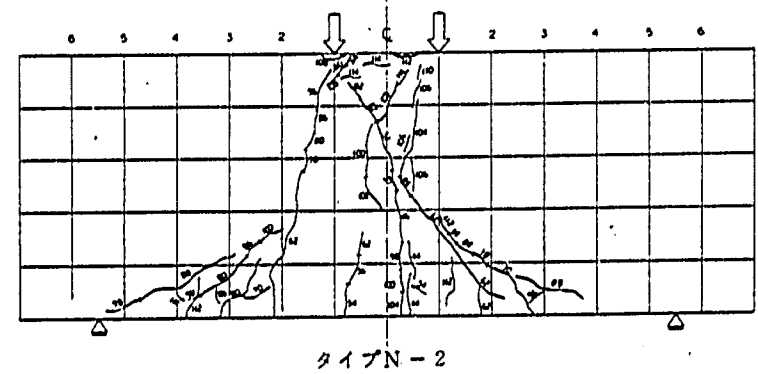
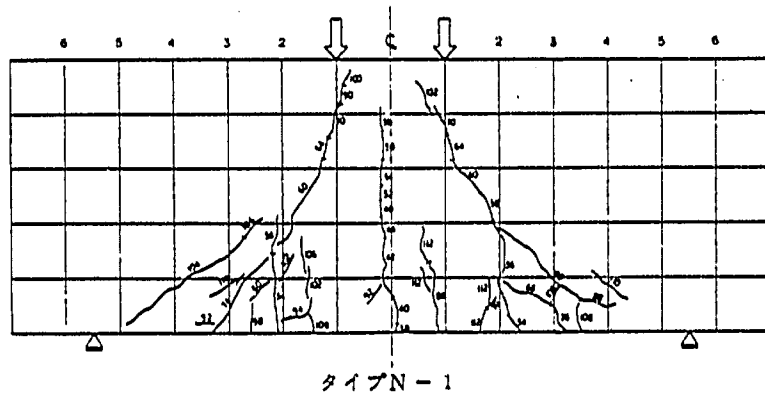
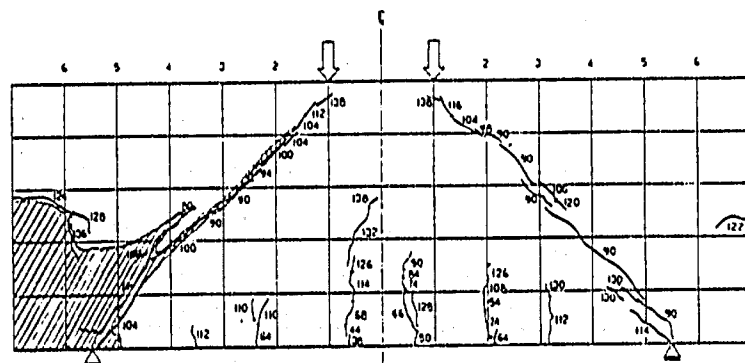
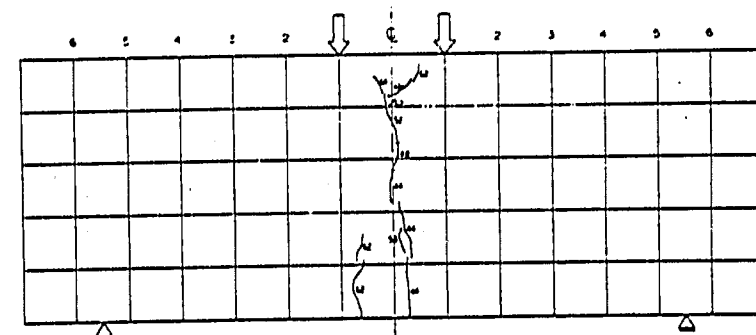


図-3.7.4 劣化レベルの違いによる比較

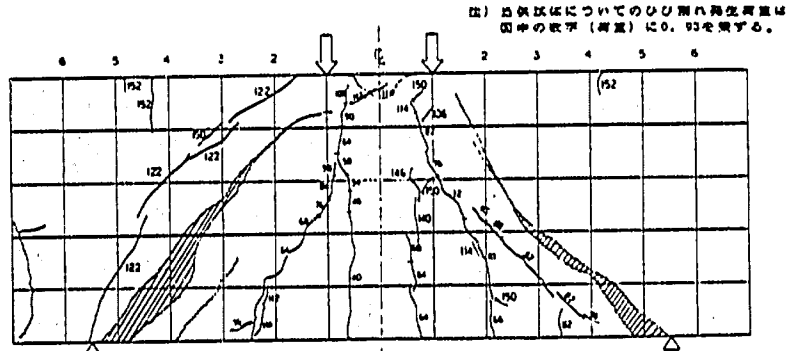




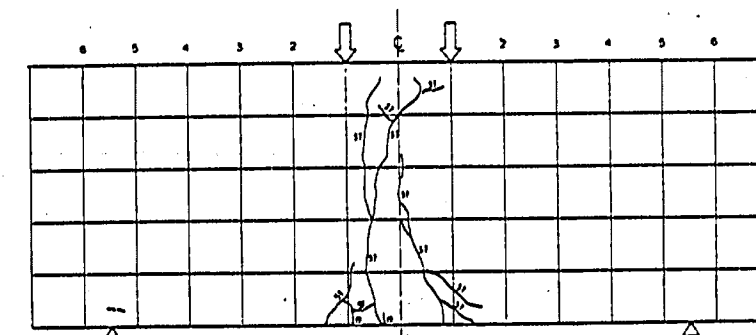
タイプ A-3



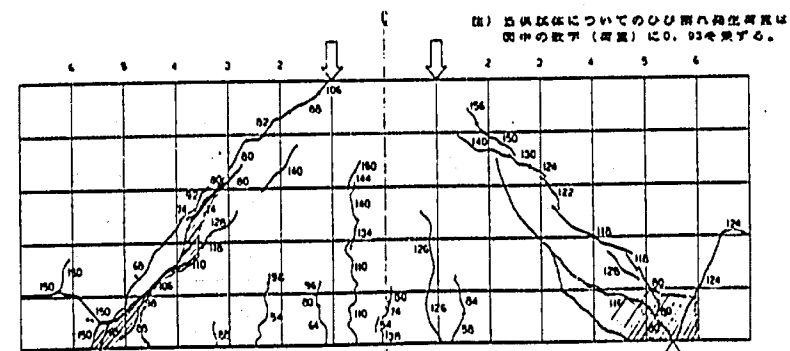
タイプ N-5



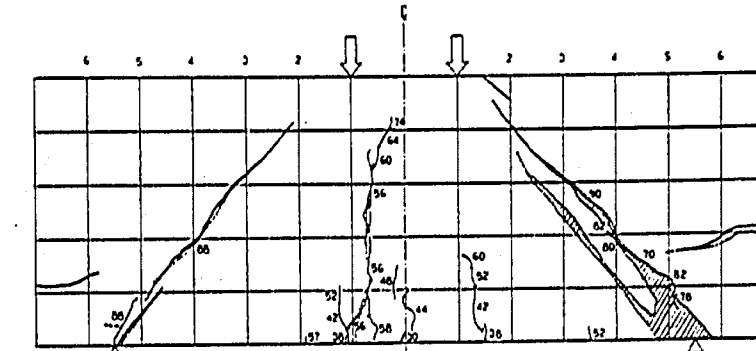
タイプ¹N-4



タイプ A 5 - 1

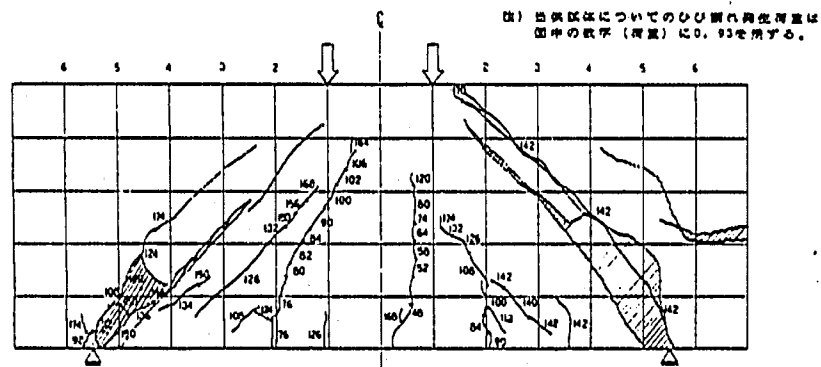


タイプA-4

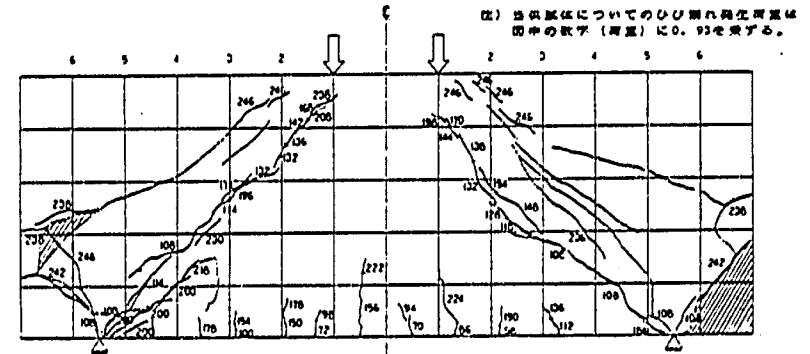


タイプ A 5-2

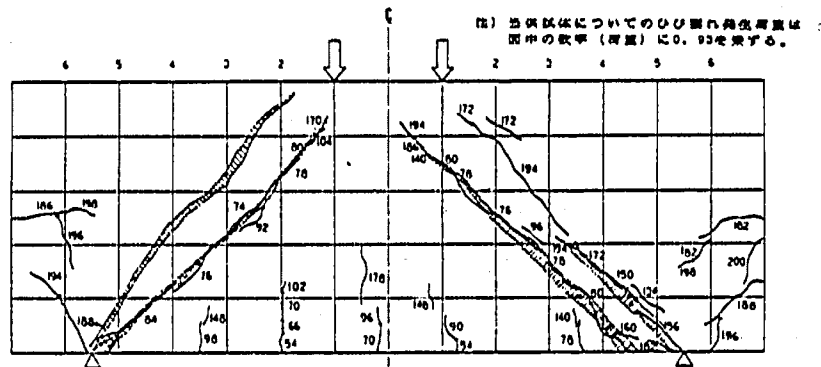
図-3.8 耐力試験時のひびわれ状況図(表面)



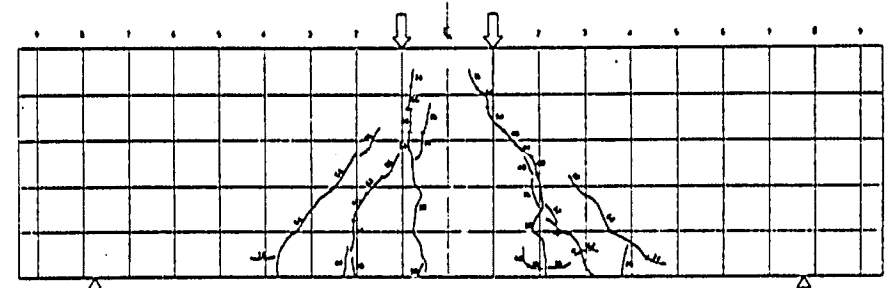
タイプN-6



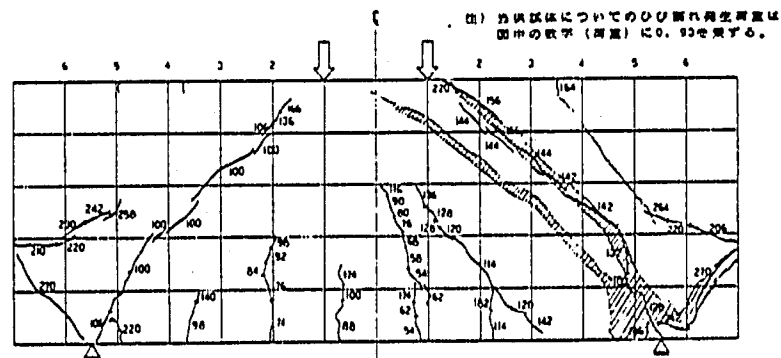
タイプA-7



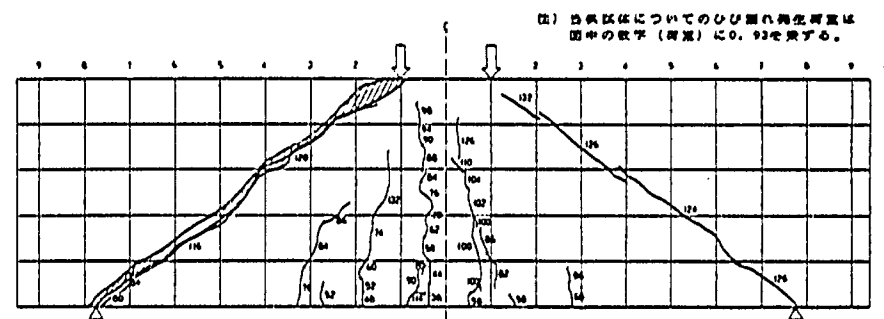
タイプA-6



タイプN-8

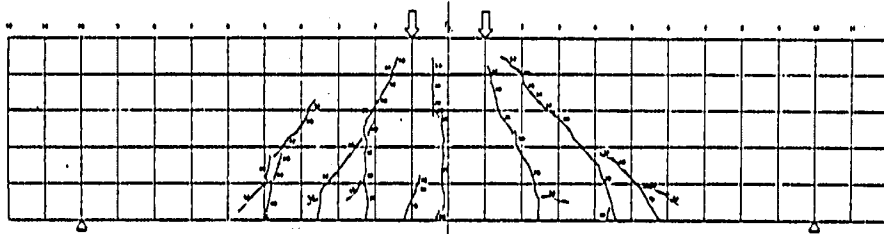


タイプN-7

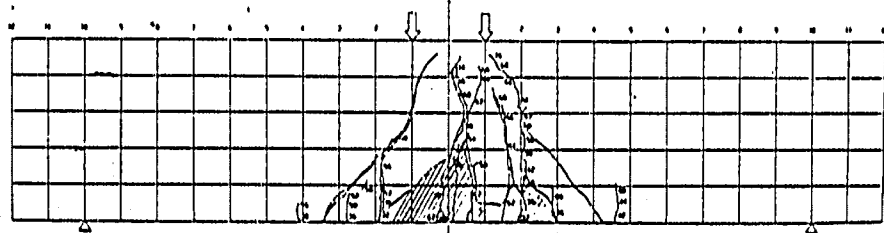


タイプA-8

図-3.8 耐力試験時のひびわれ状況図(表面)

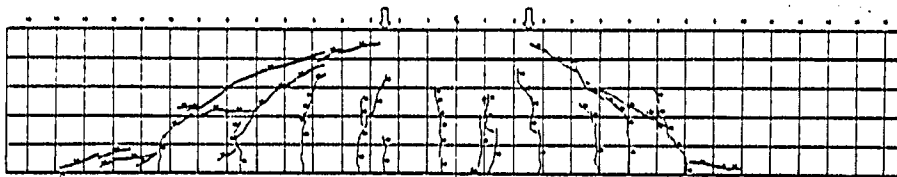


タイプN-9

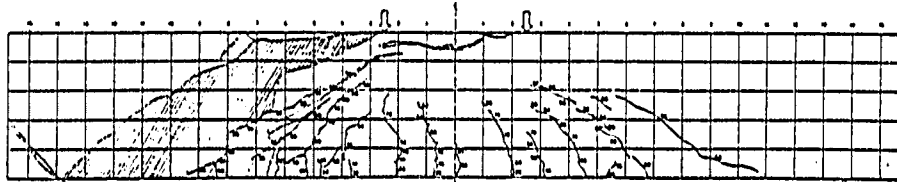


タイプA-9

(注) 当該試体についてのひび割れ発生位置は
図中の数字(荷重)に0.93を乗ずる。

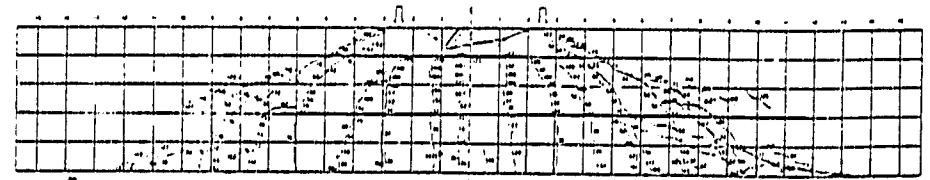


タイプN-11



タイプA-11

(注) 当該試体についてのひび割れ発生位置は
図中の数字(荷重)に0.93を乗ずる。

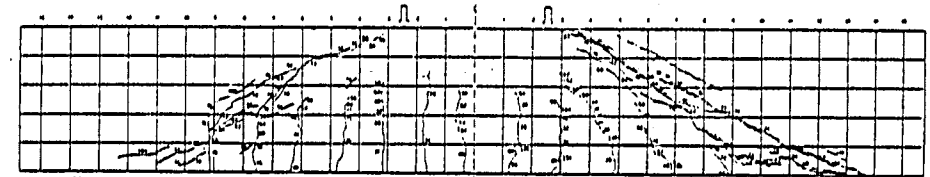


タイプN-12



タイプA-12-2

(注) 当該試体についてのひび割れ発生位置は
図中の数字(荷重)に0.93を乗ずる。



タイプN-12-3



タイプN-13



タイプA-13

(注) 当該試体についてのひび割れ発生位置は
図中の数字(荷重)に0.93を乗ずる。

図-3.8 耐力試験時のひびわれ状況図(表面)

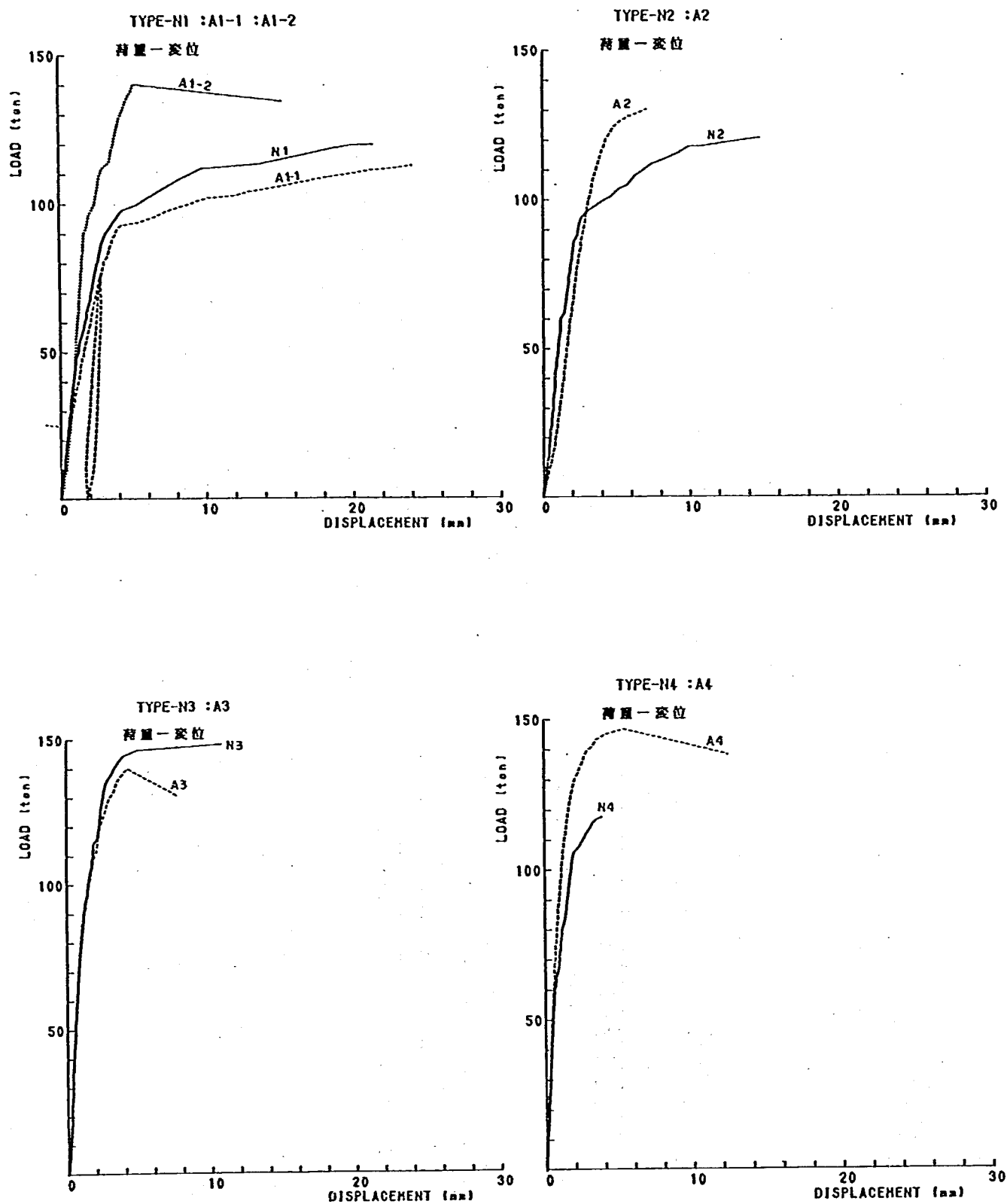
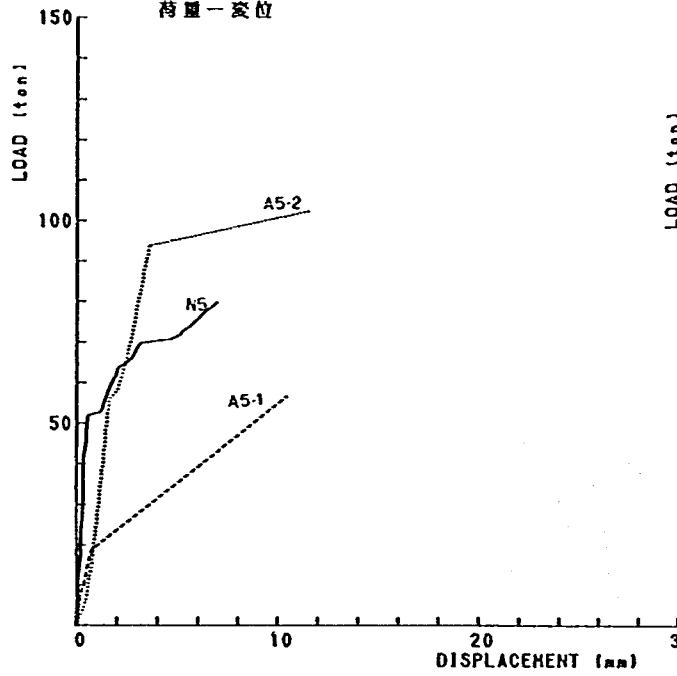


図-3.9 荷重-変位曲線

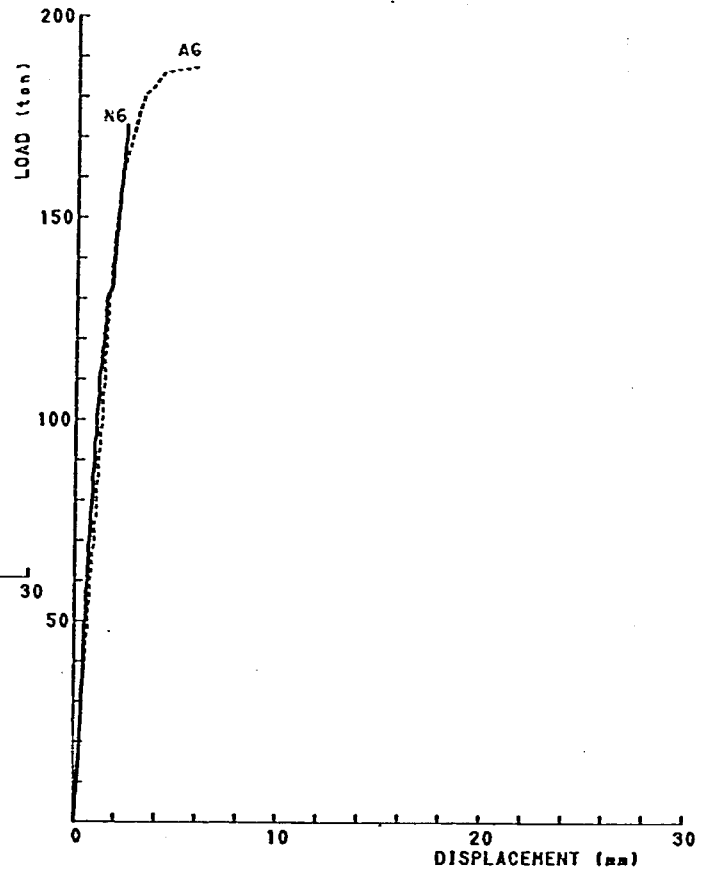
TYPE-N5 : A5-1 : A5-2

荷重—変位



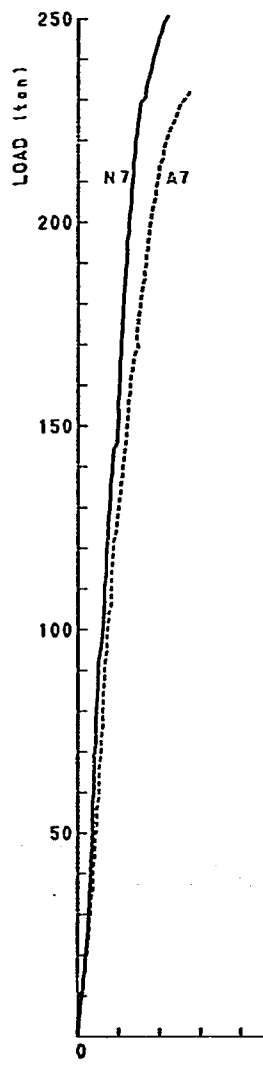
TYPE-N6 : A6

荷重—変位



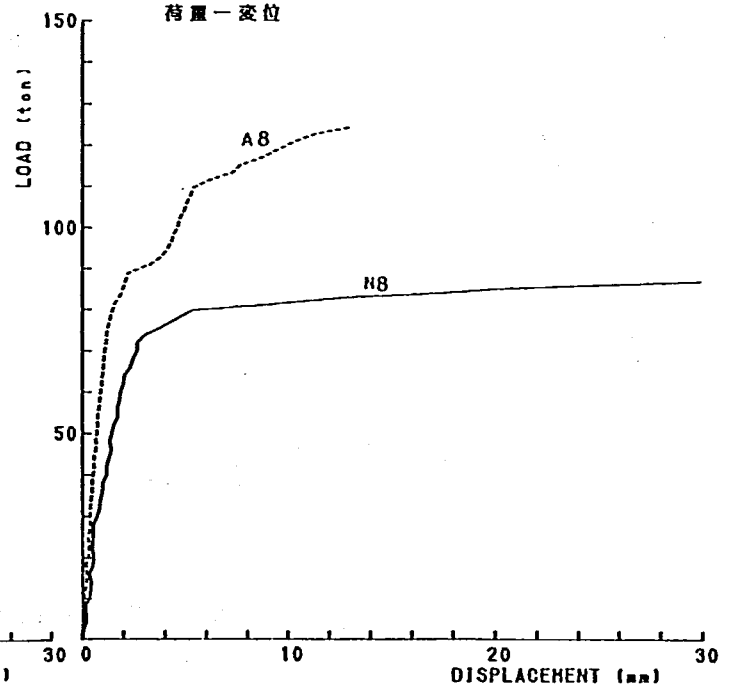
TYPE-N7 : A7

荷重—変位



TYPE-N8 : A8

荷重—変位



図—3.9 荷重—変位曲線

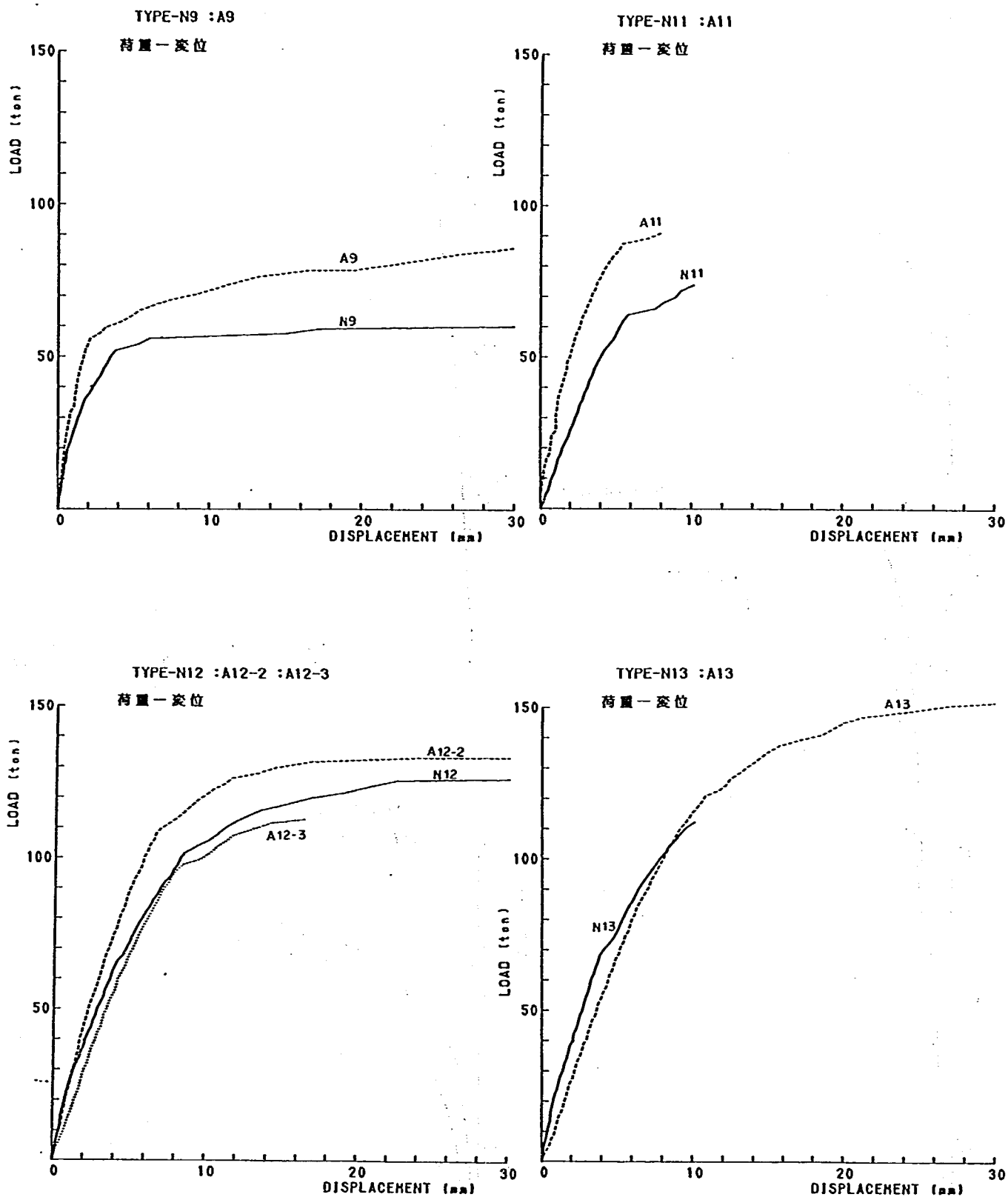


図-3.9 荷重-変位曲線

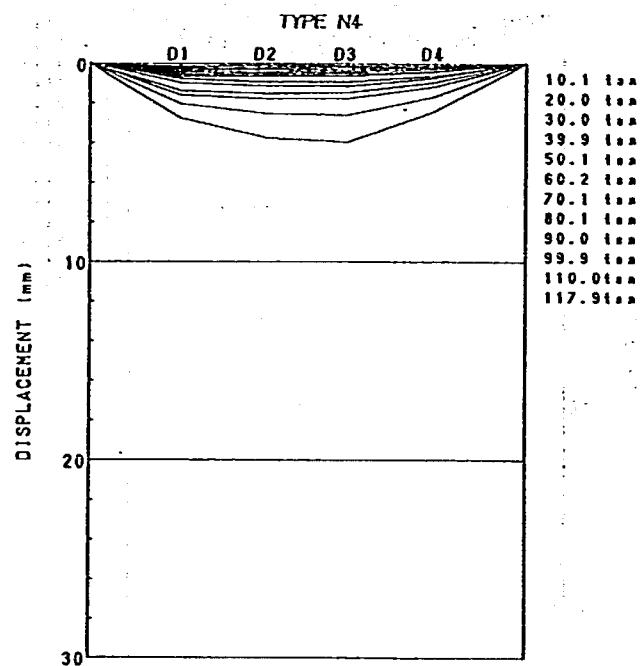
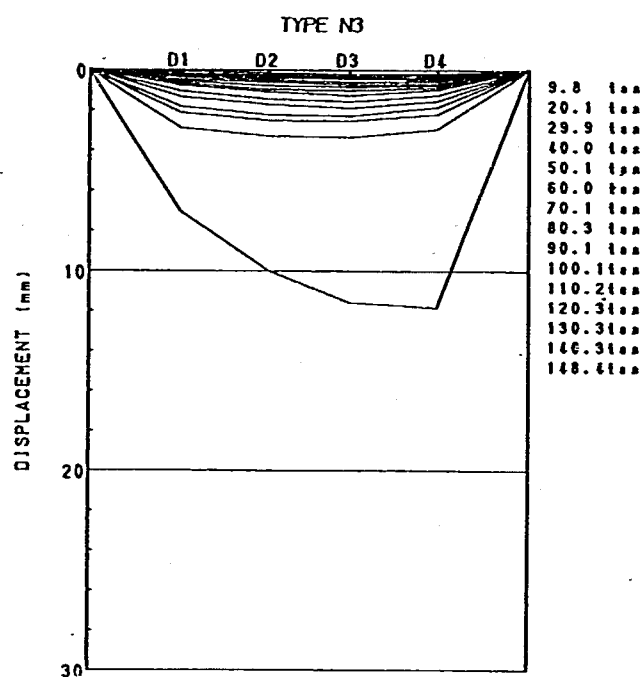
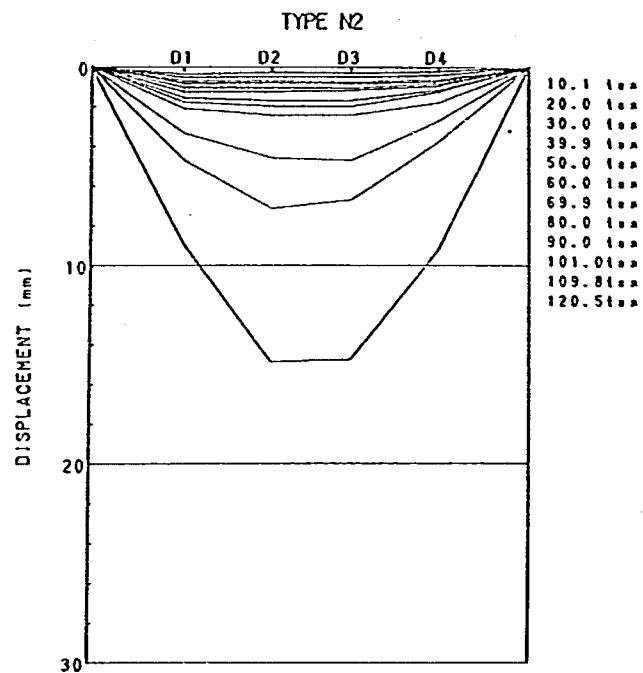
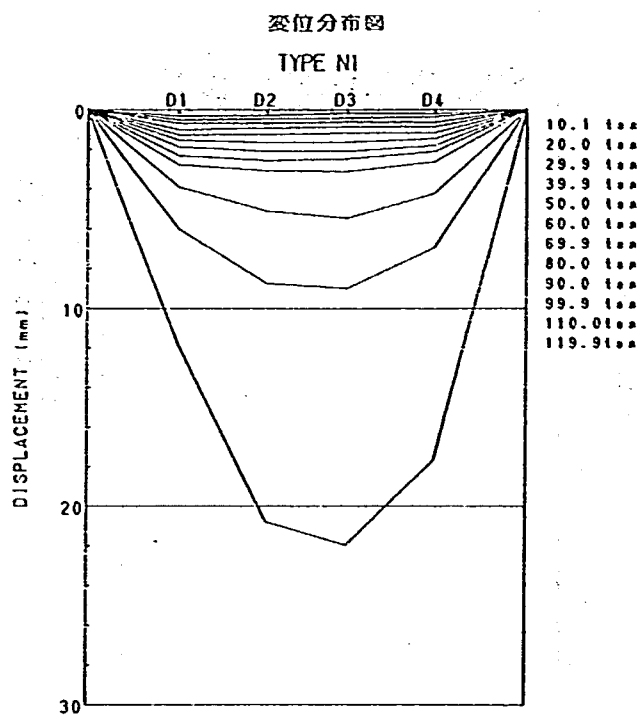


図-3.10 荷重に伴う供試体の変形

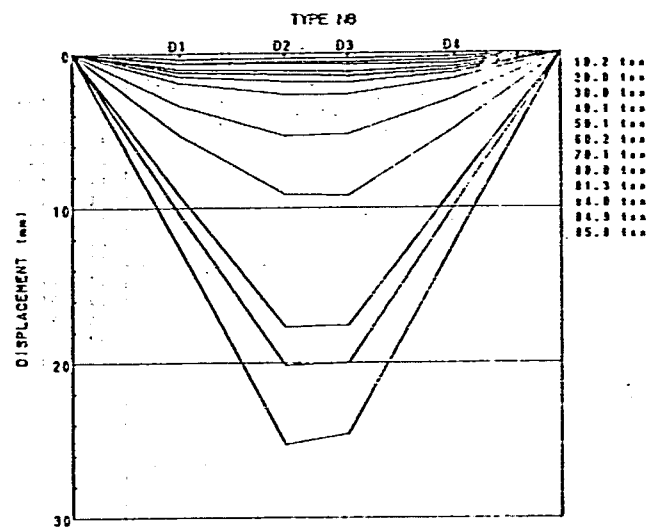
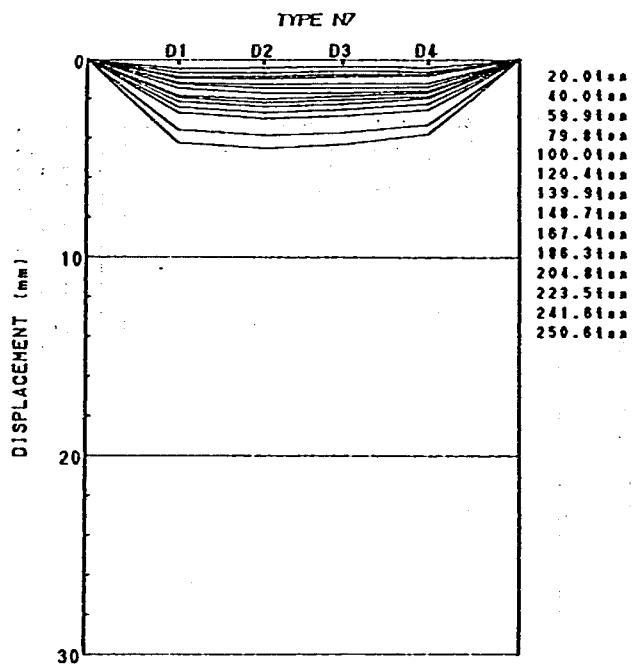
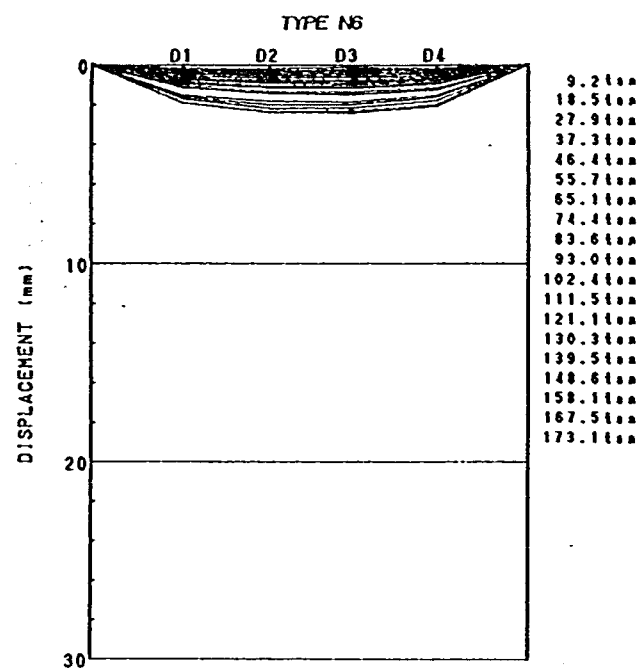
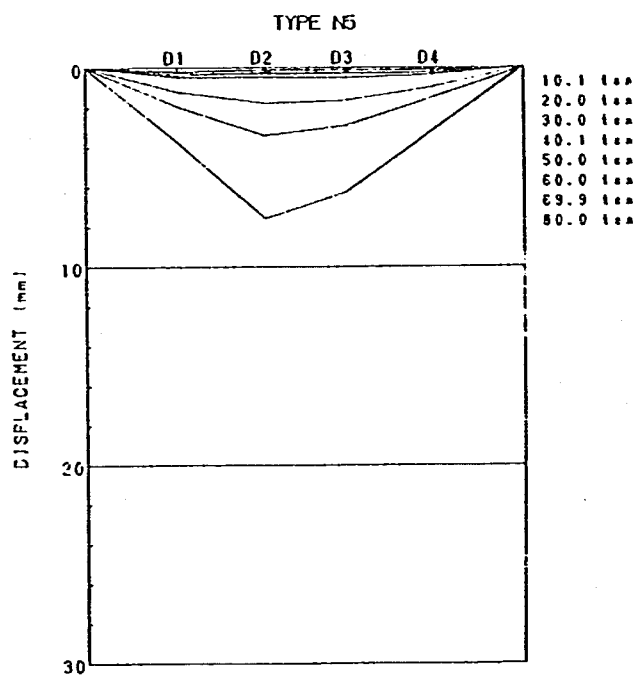


図-3.10 荷重に伴う供試体の変形

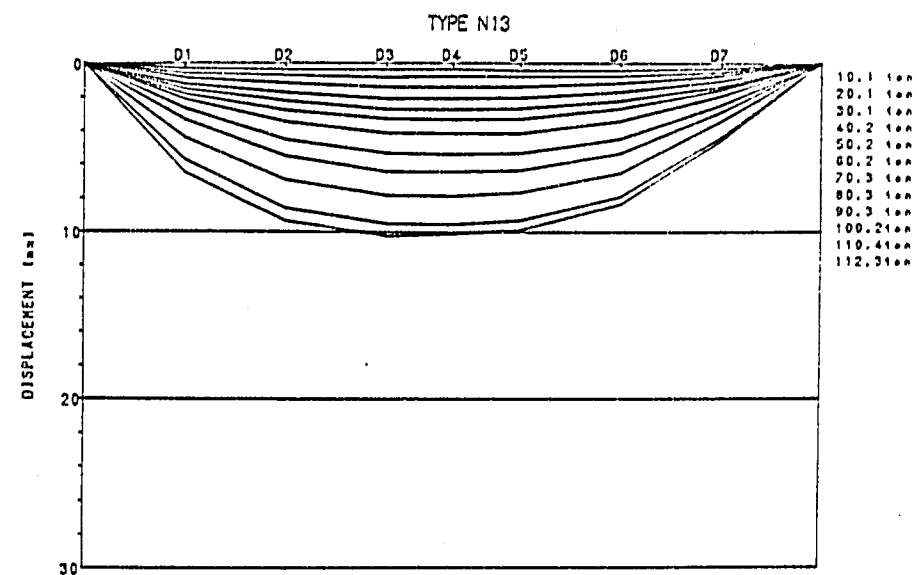
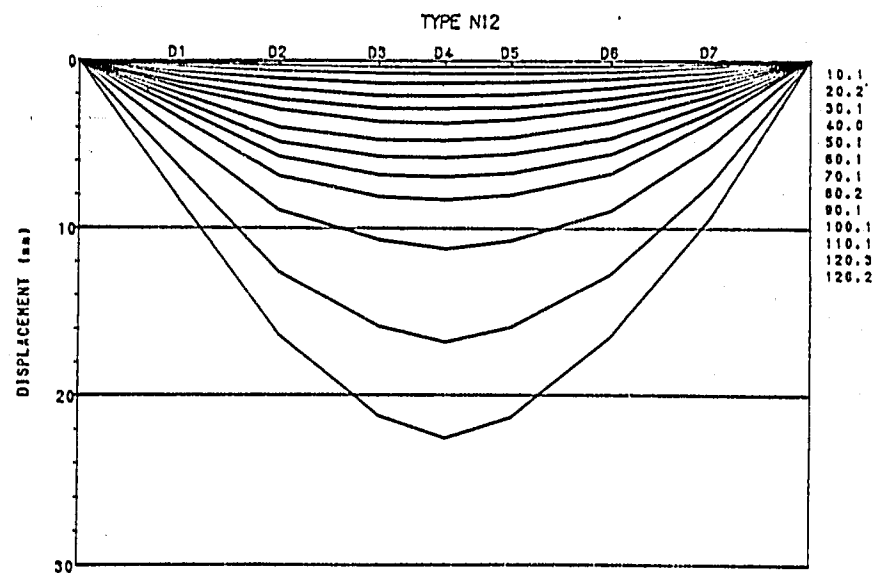
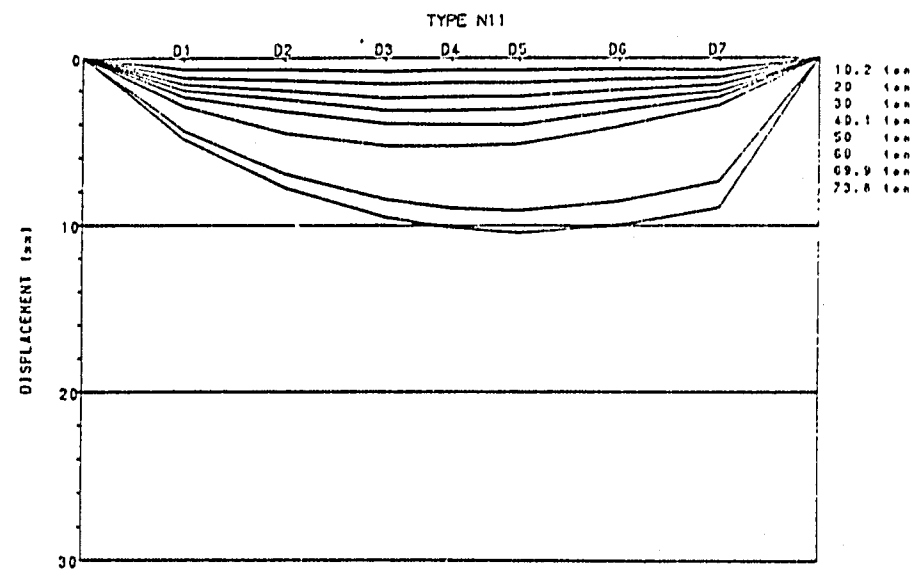
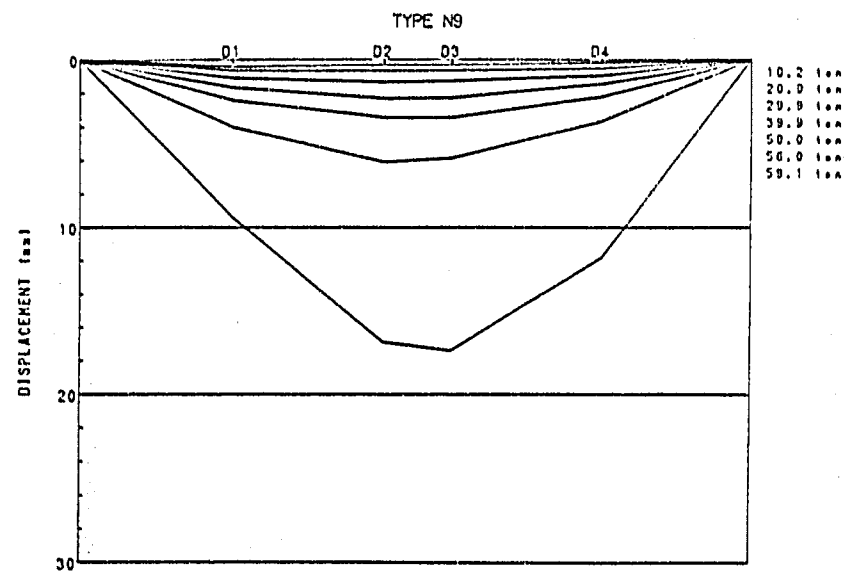


図 - 3. 10 荷重に伴う供試体の変形

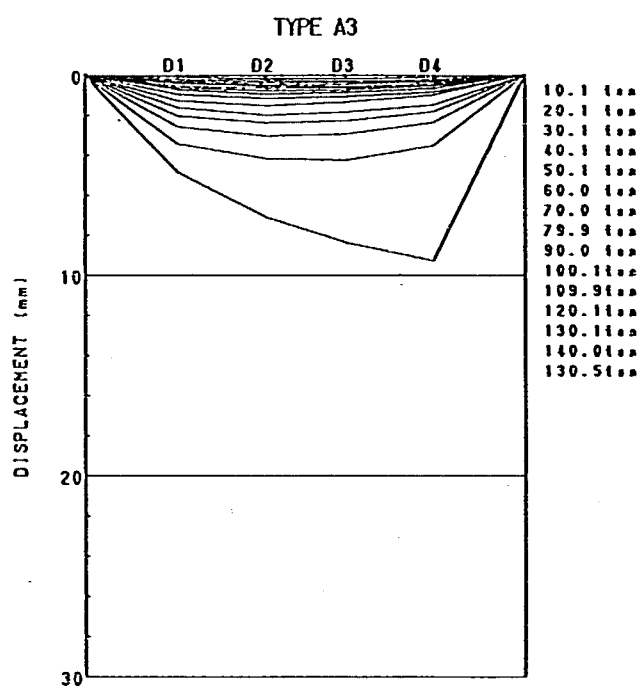
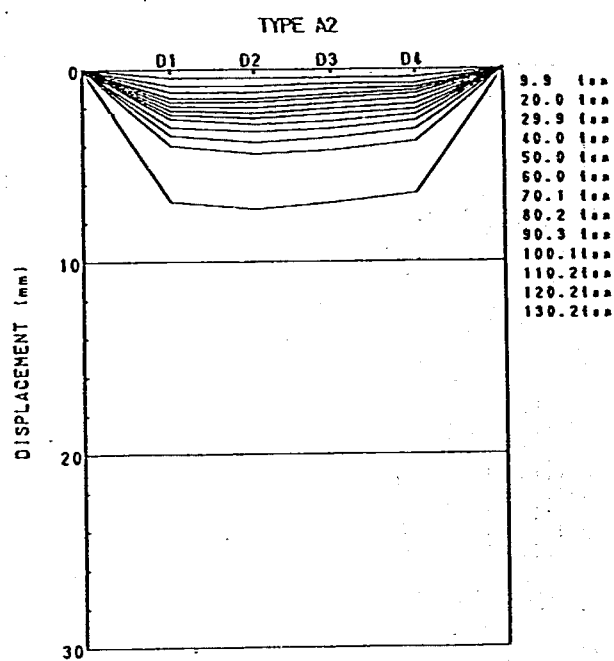
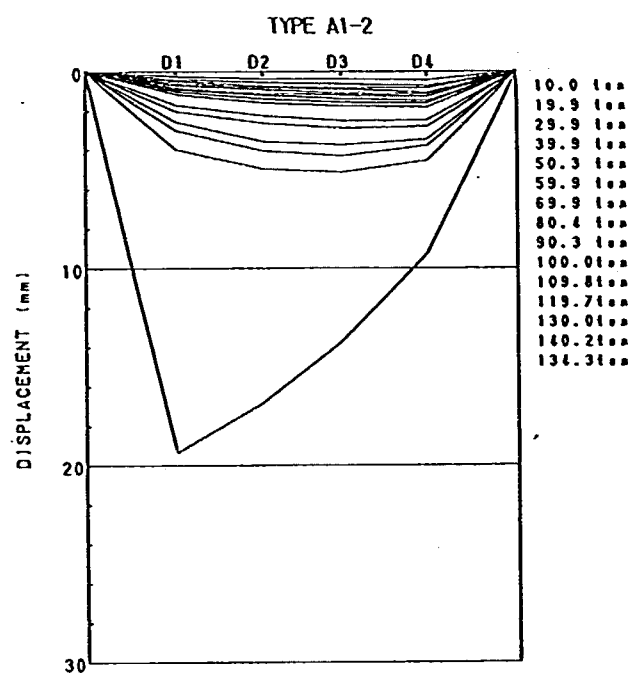
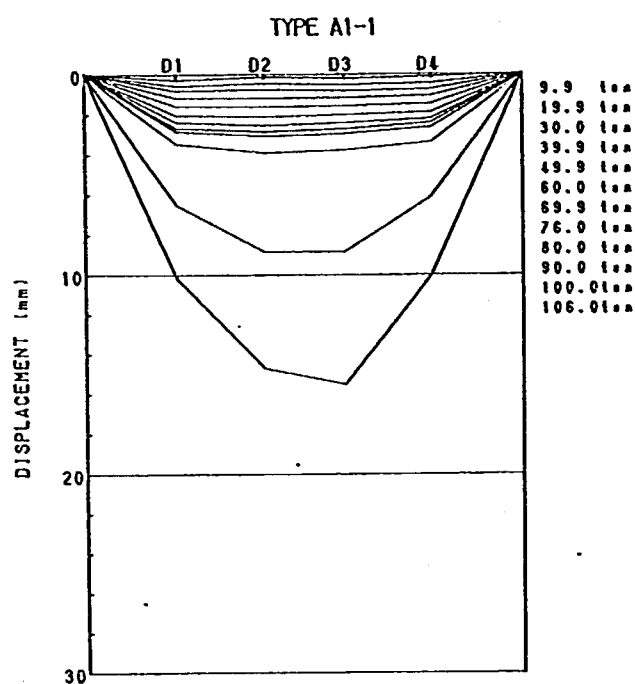


図 - 3. 10 荷重に伴う供試体の変形

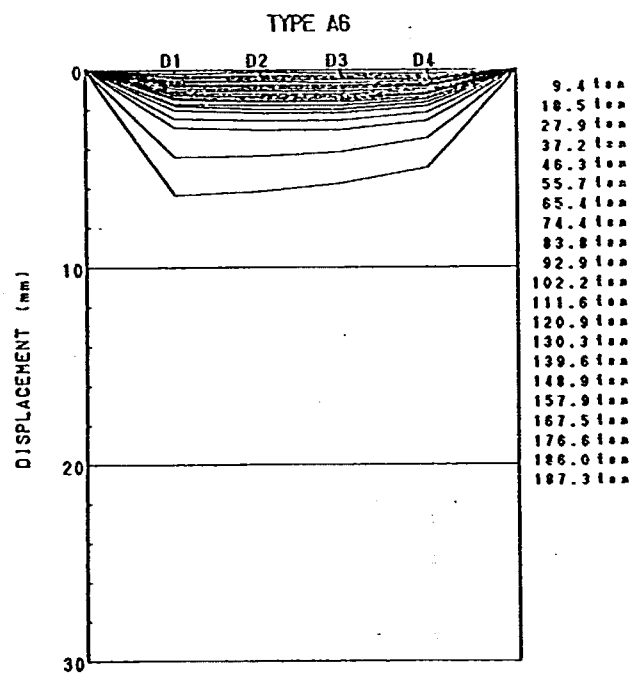
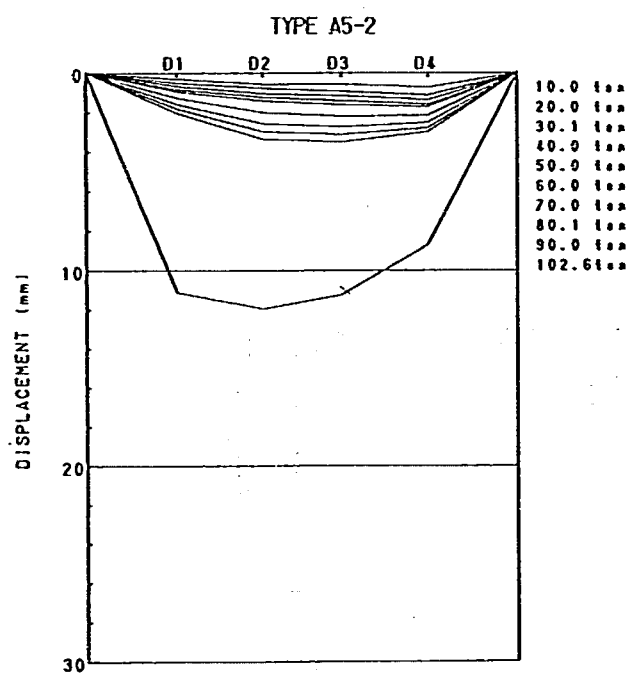
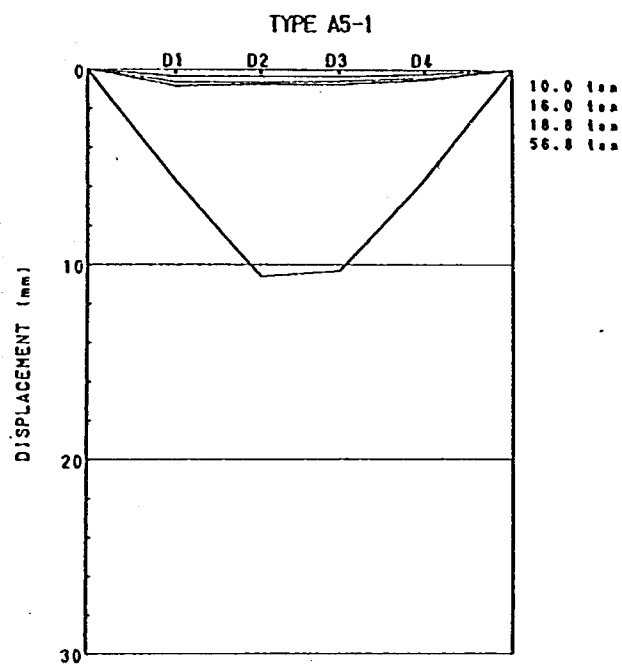
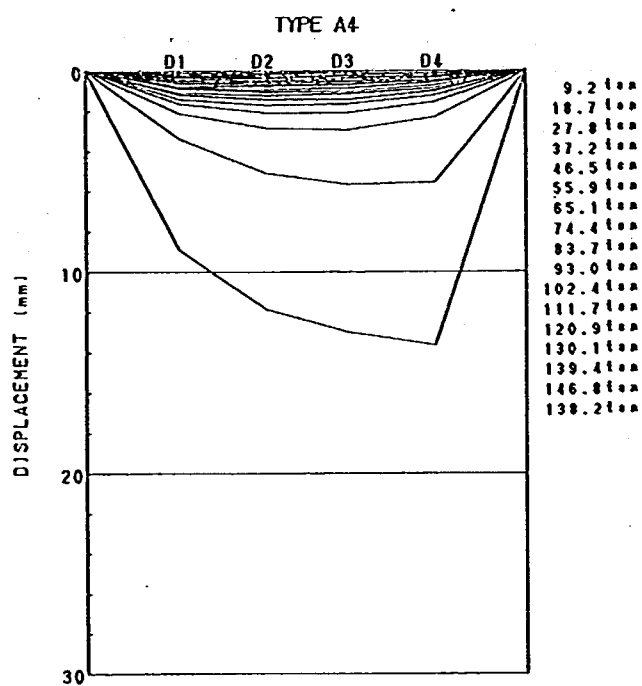


図-3.10 荷重に伴う供試体の変形

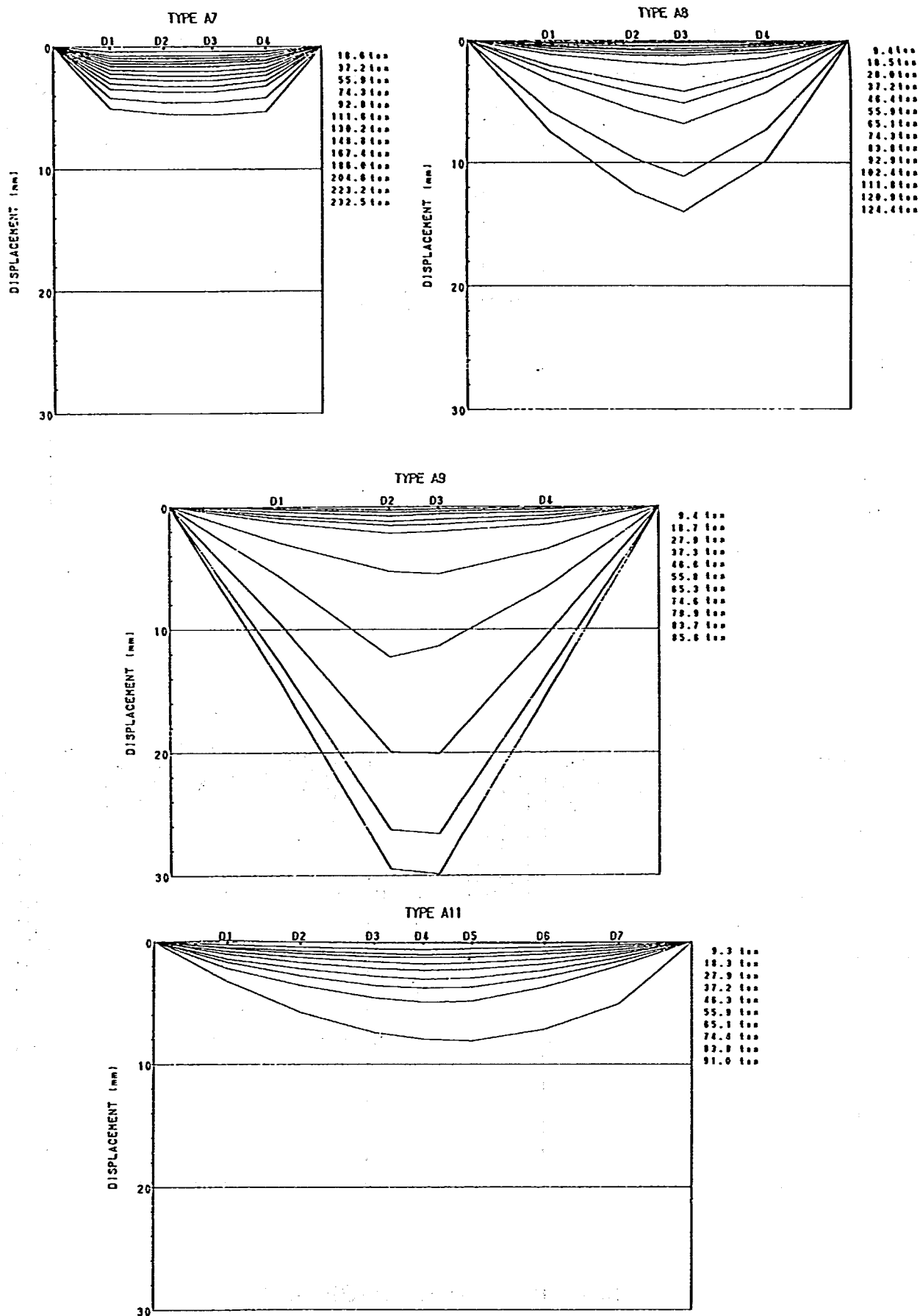


図 - 3. 10 荷重に伴う供試体の変形

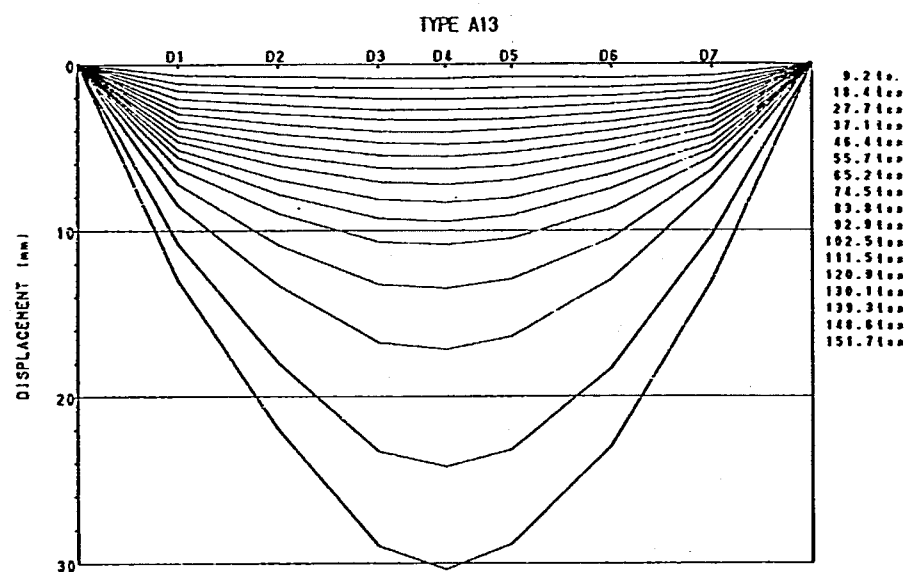
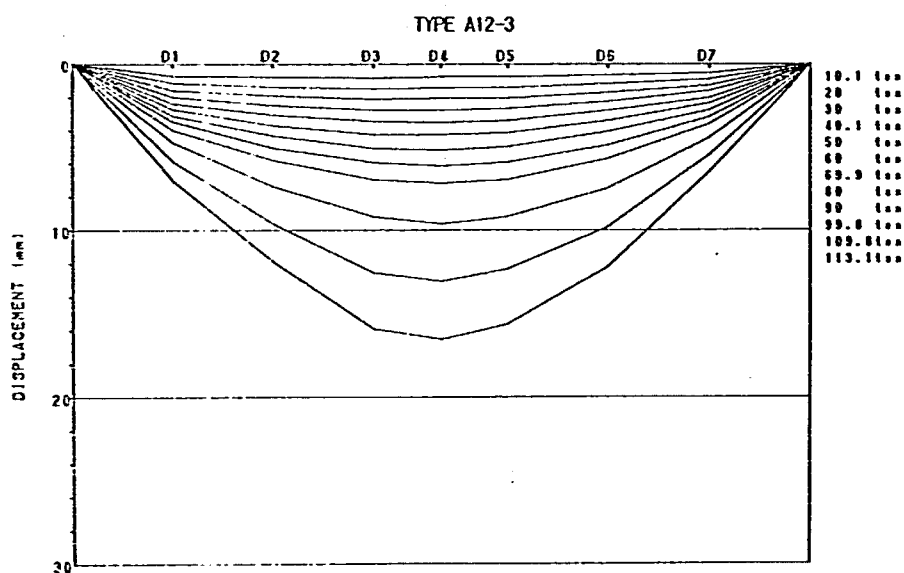
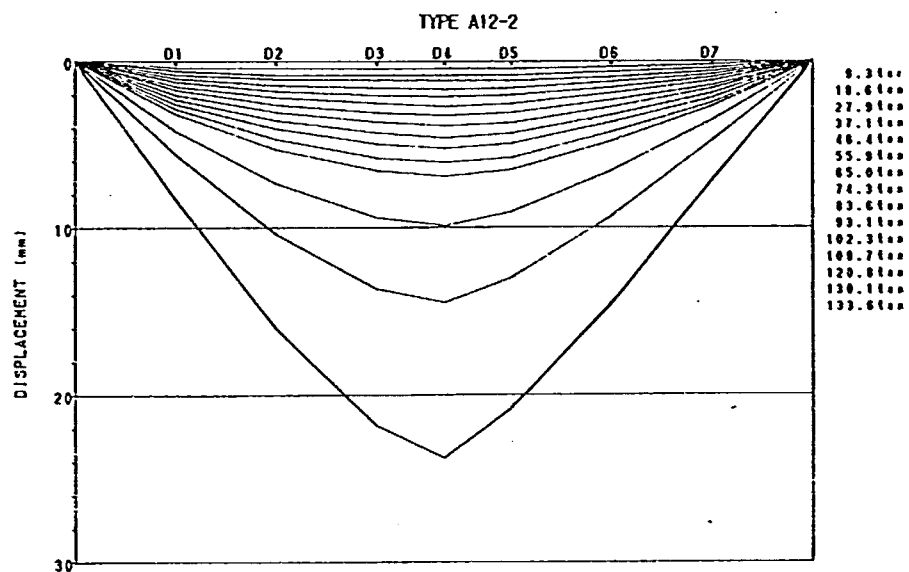


図-3.10 荷重に伴う供試体の変形

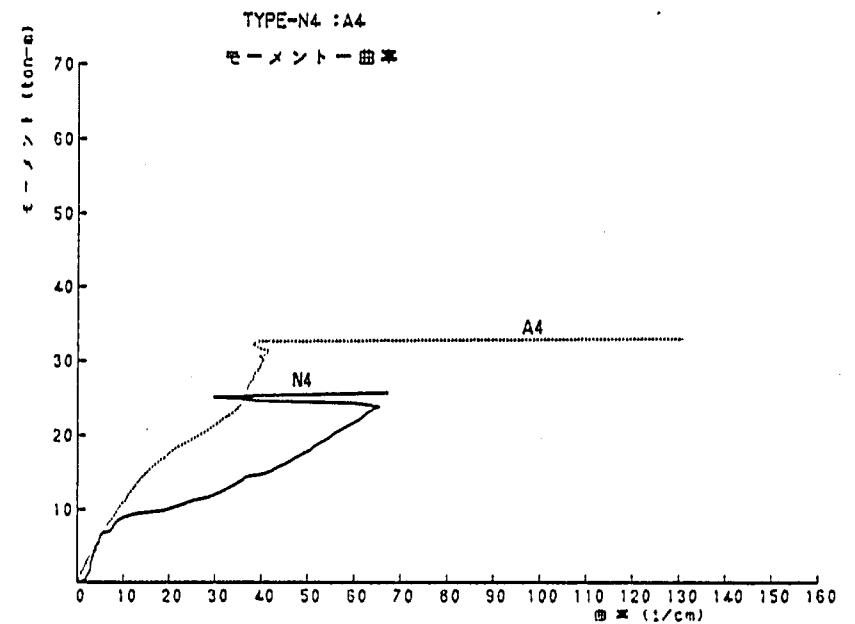
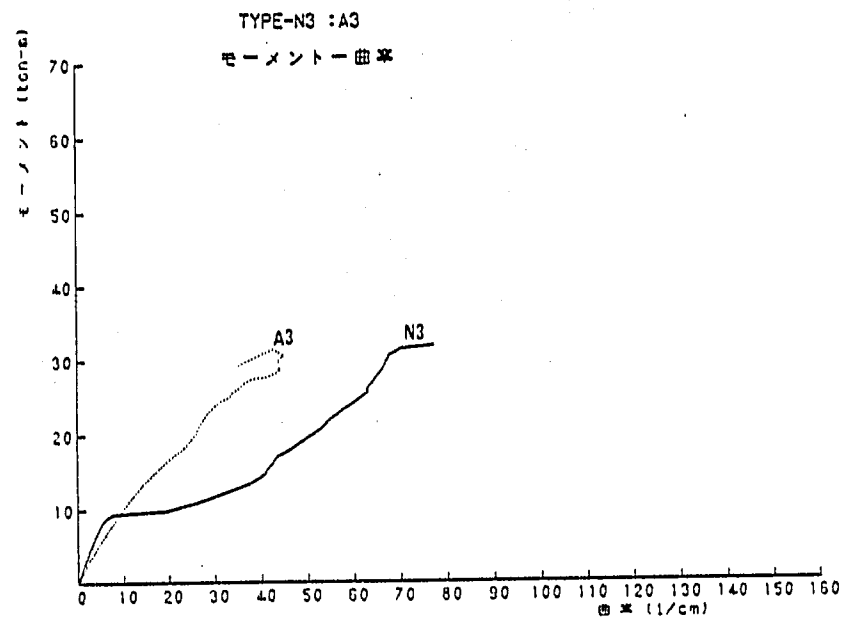
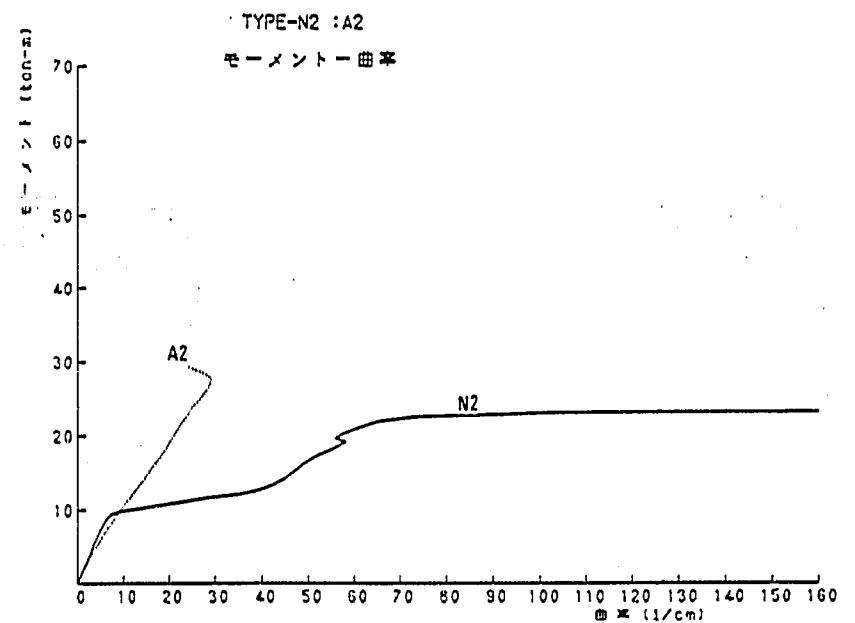
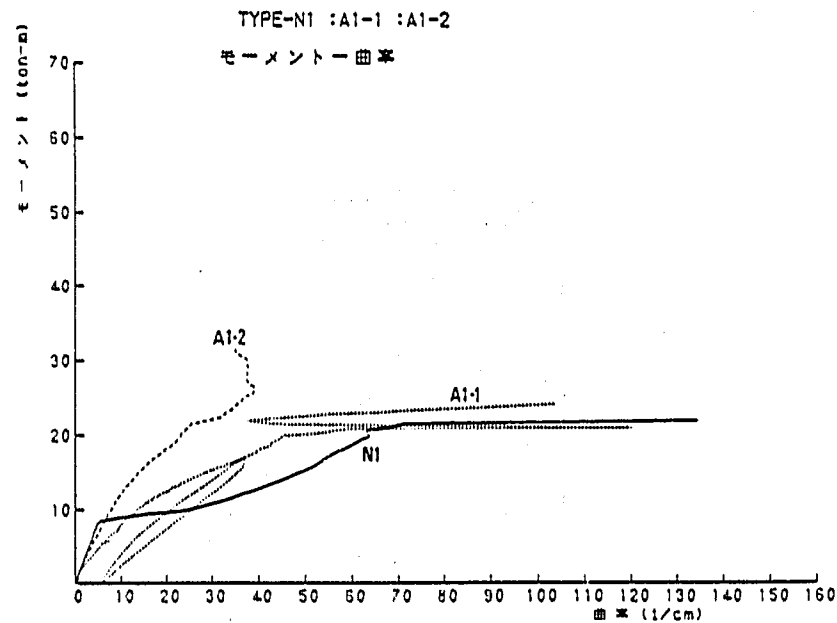


図-3.11 モーメントー曲率曲線

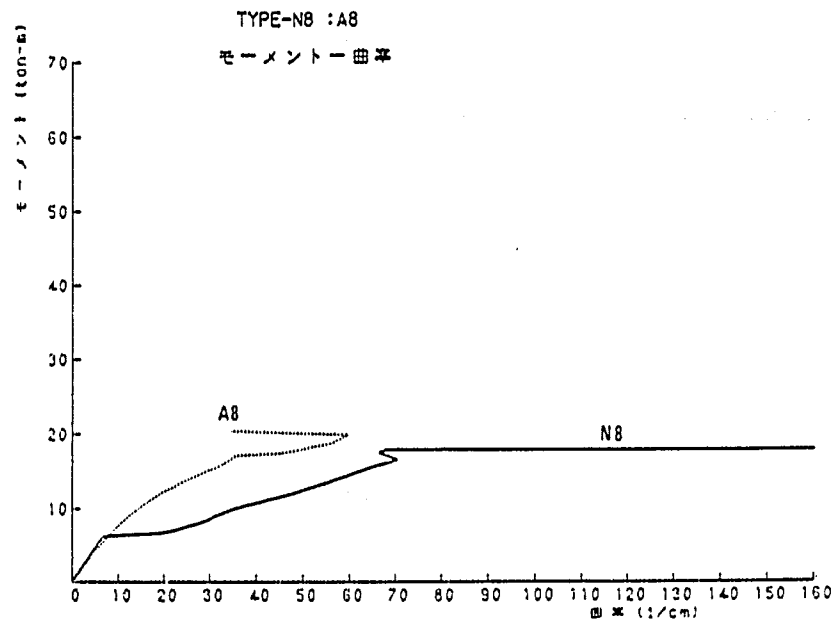
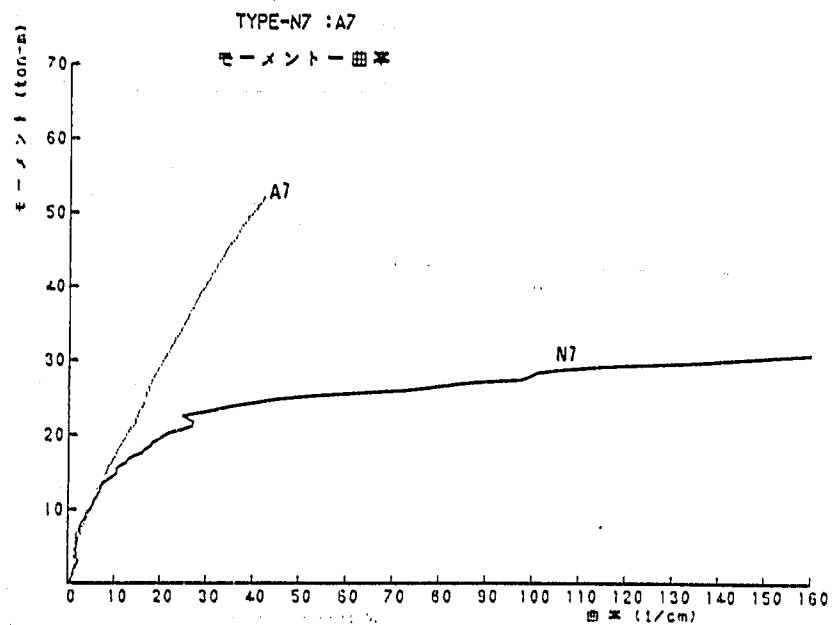
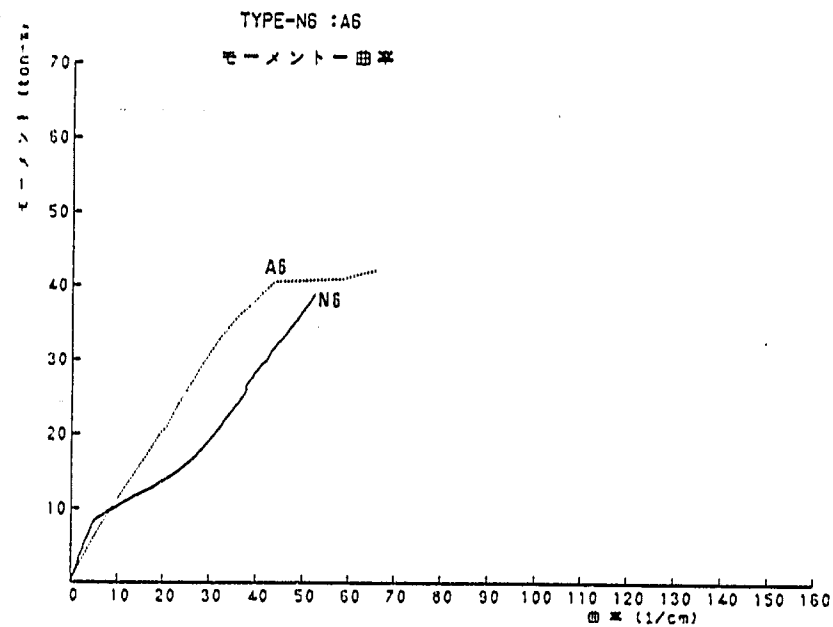
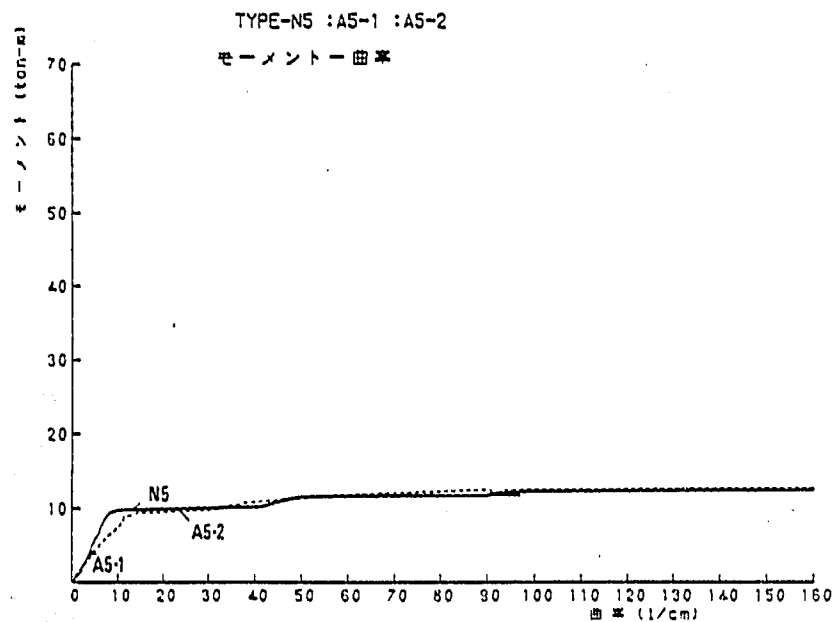


図-3.11 モーメント曲率曲線

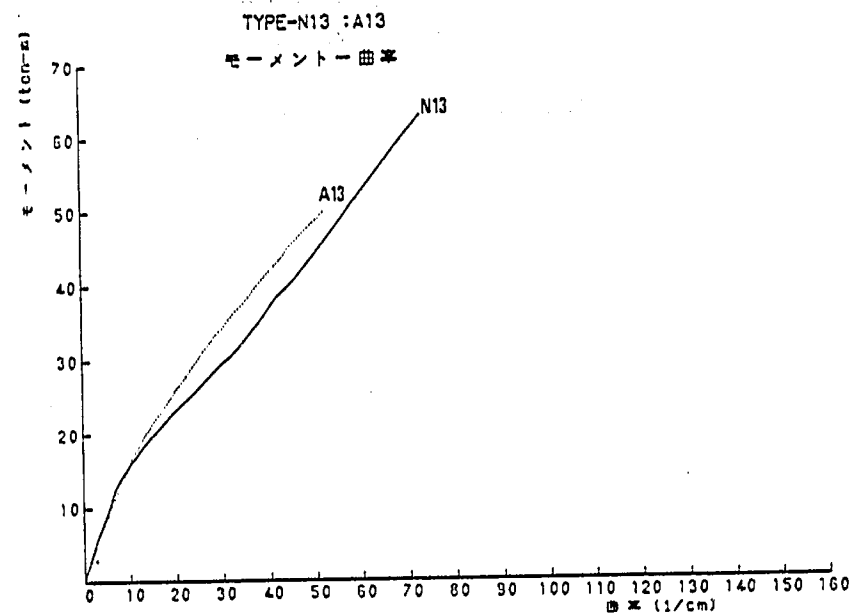
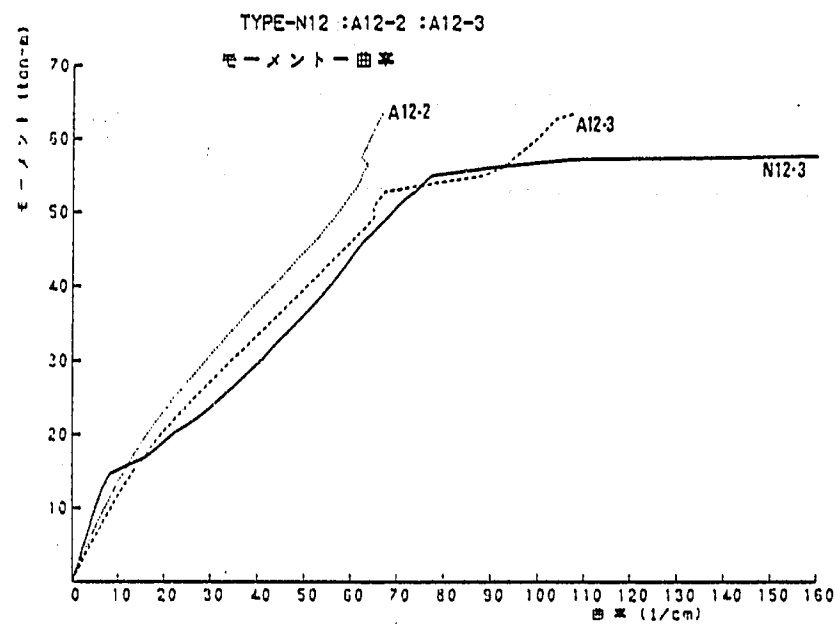
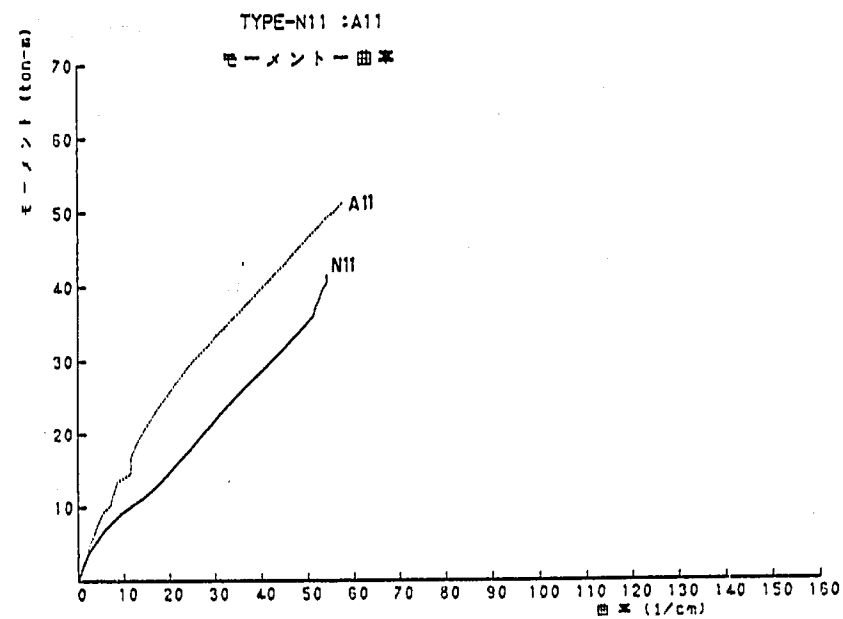
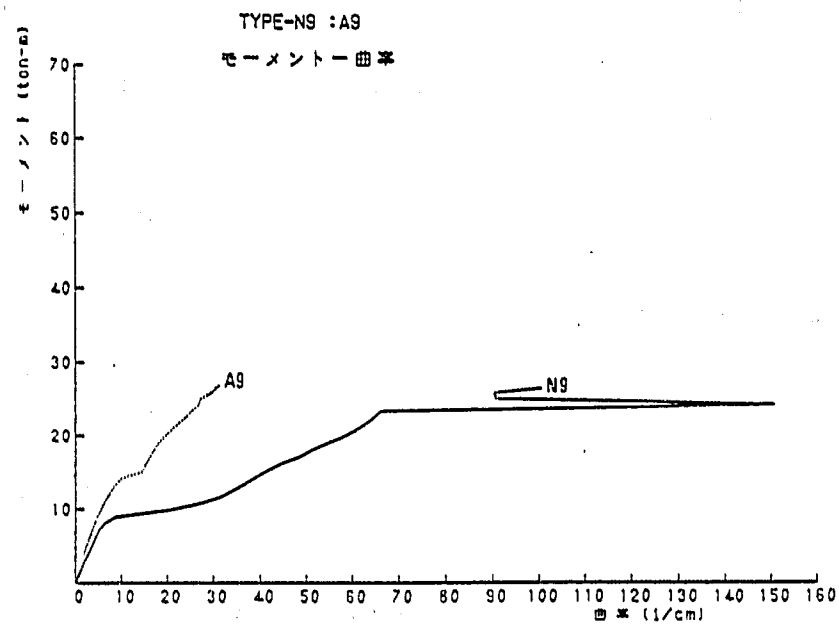
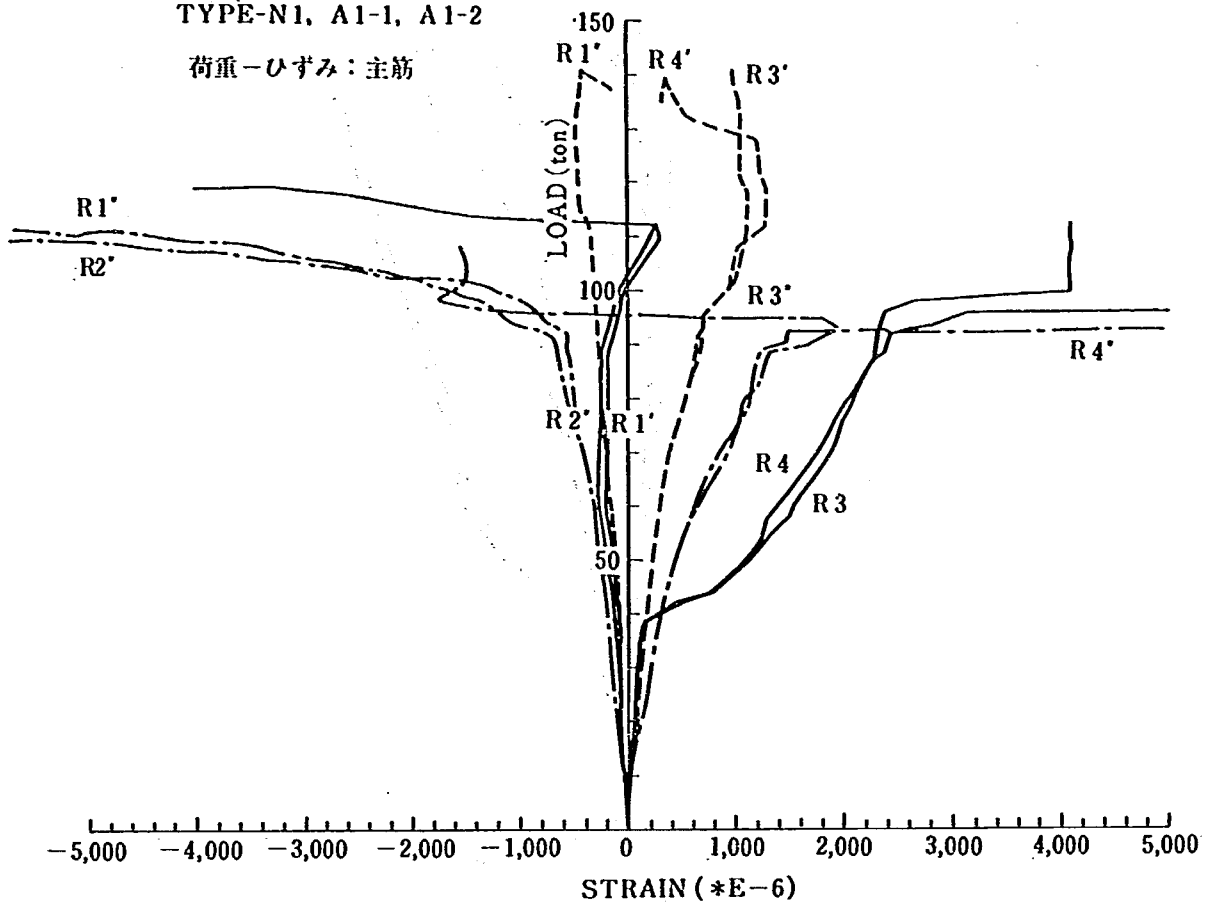


図-3.11 モーメント曲率曲線

TYPE-N1, A1-1, A1-2

荷重-ひずみ：主筋



TYPE-N2, A2

荷重-ひずみ：主筋

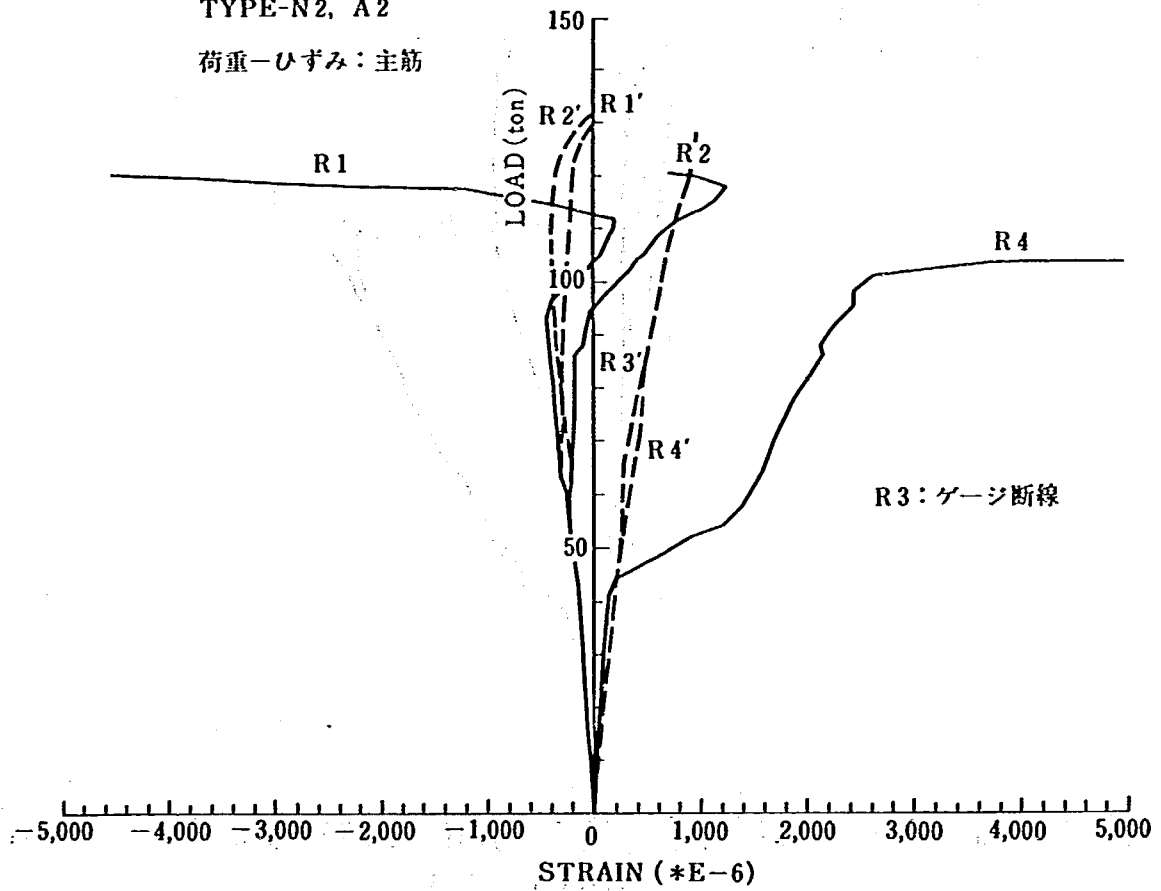
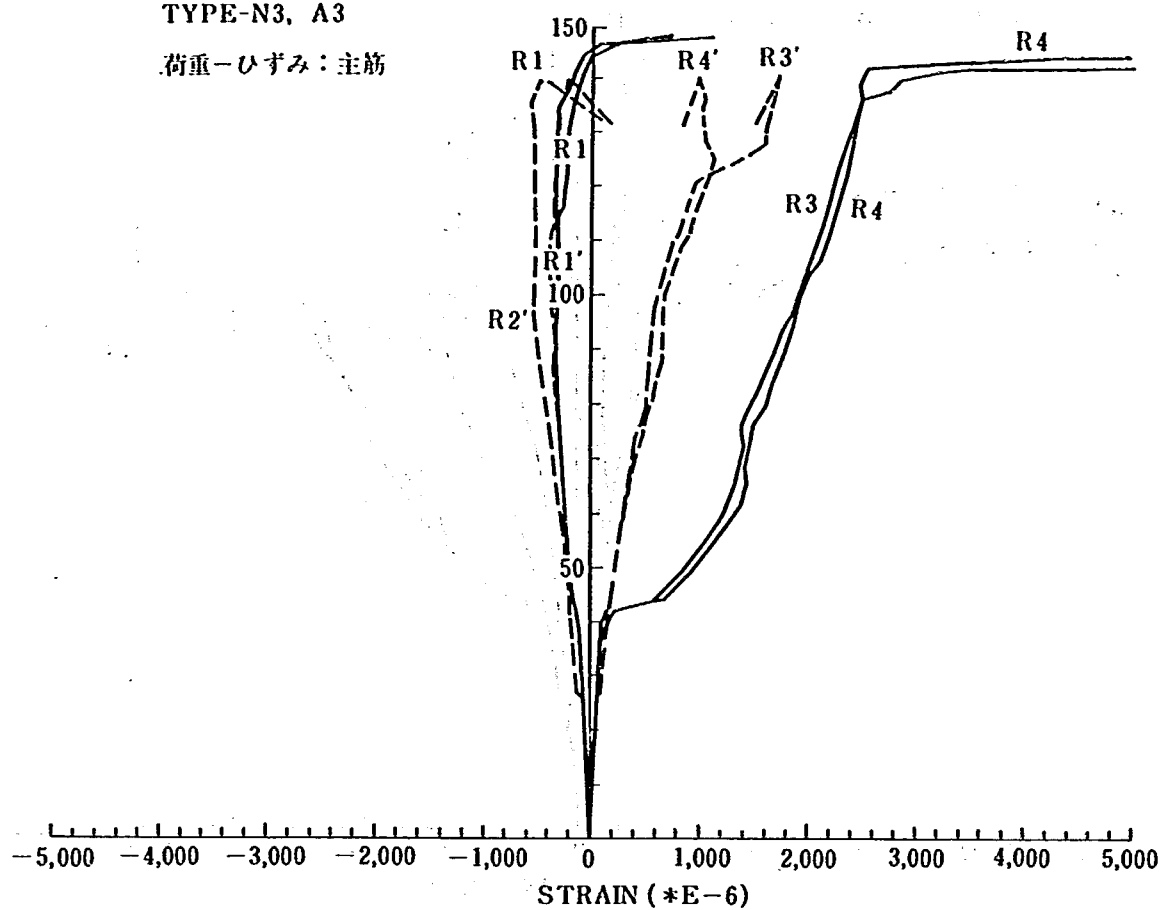


図-3.12 荷重-主鉄筋ひずみ図

TYPE-N3, A3

荷重-ひずみ：主筋



TYPE-N4, A4

荷重-ひずみ：主筋

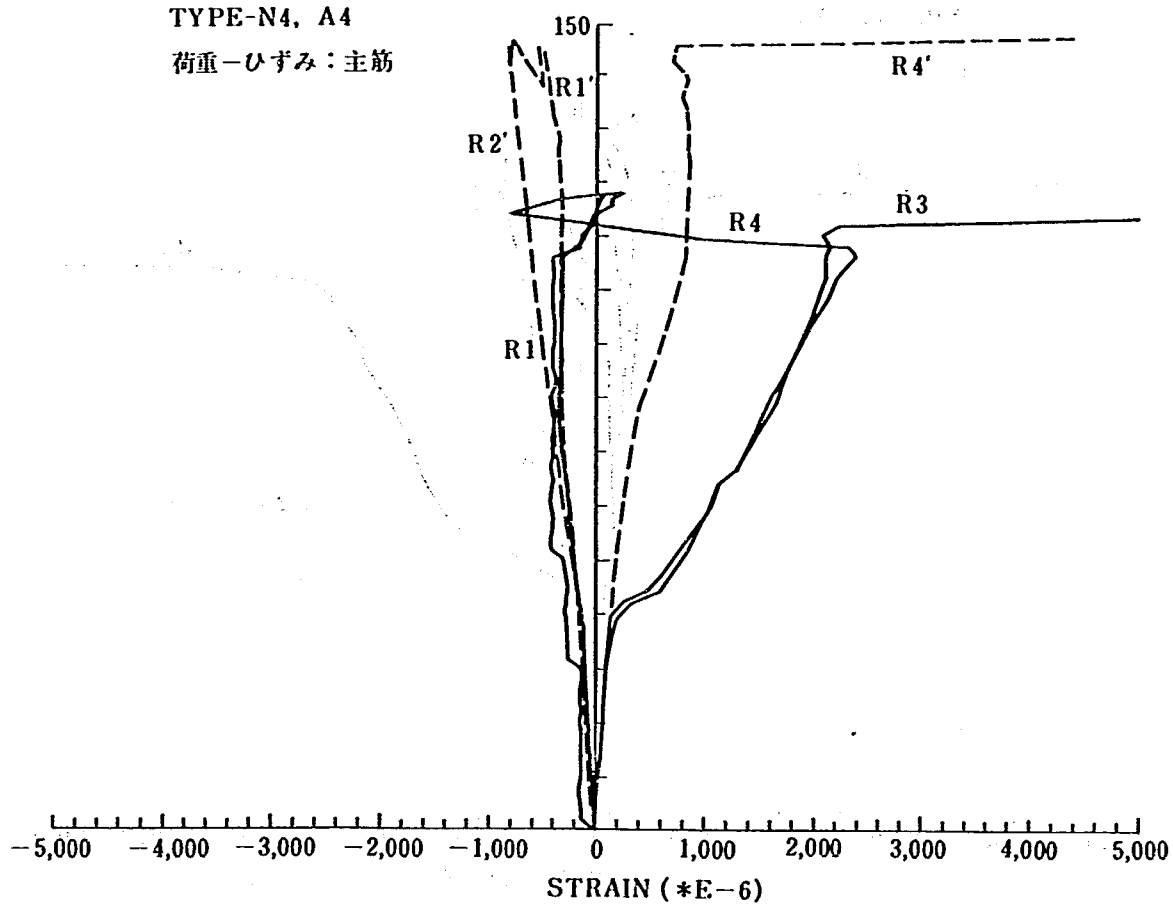
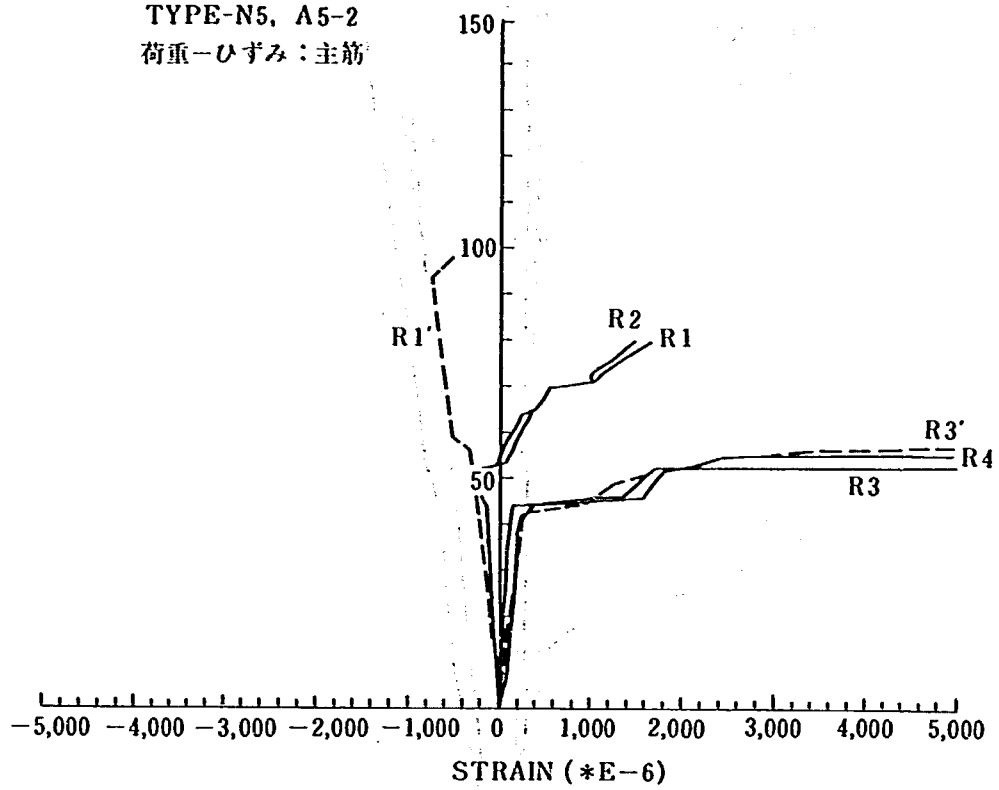


図-3.12 荷重-主鉄筋ひずみ図

TYPE-N5, A5-2
荷重-ひずみ：主筋



TYPE-N6, A6
荷重-ひずみ：主筋

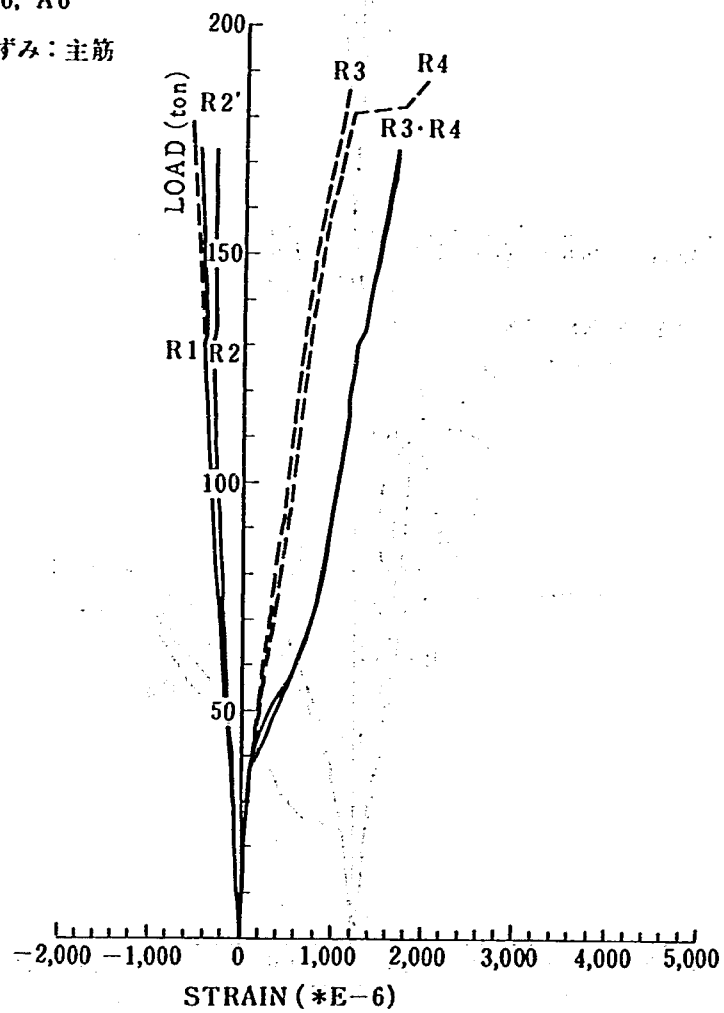
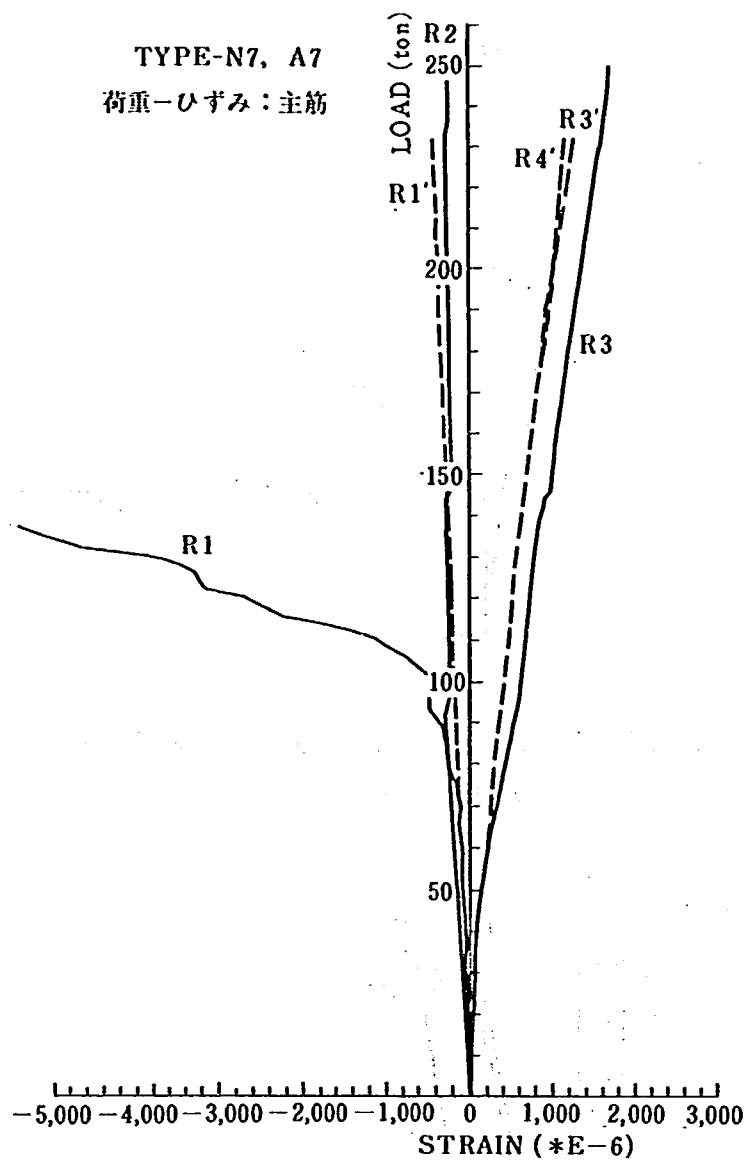


図-3.12 荷重-主鉄筋ひずみ図

TYPE-N7, A7
荷重-ひずみ：主筋



TYPE-N8, A8
荷重-ひずみ：主筋

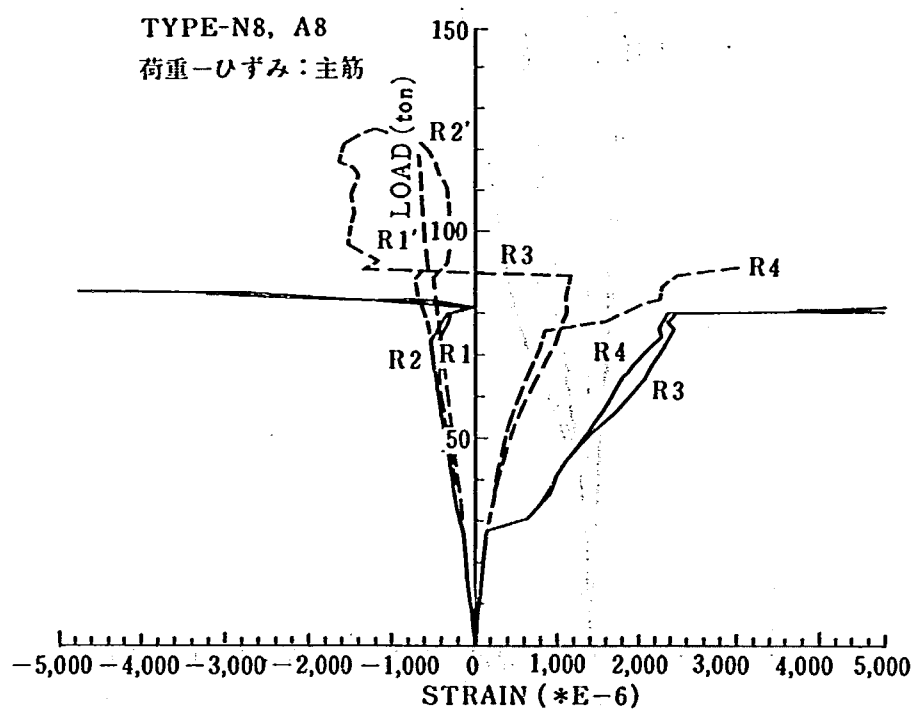
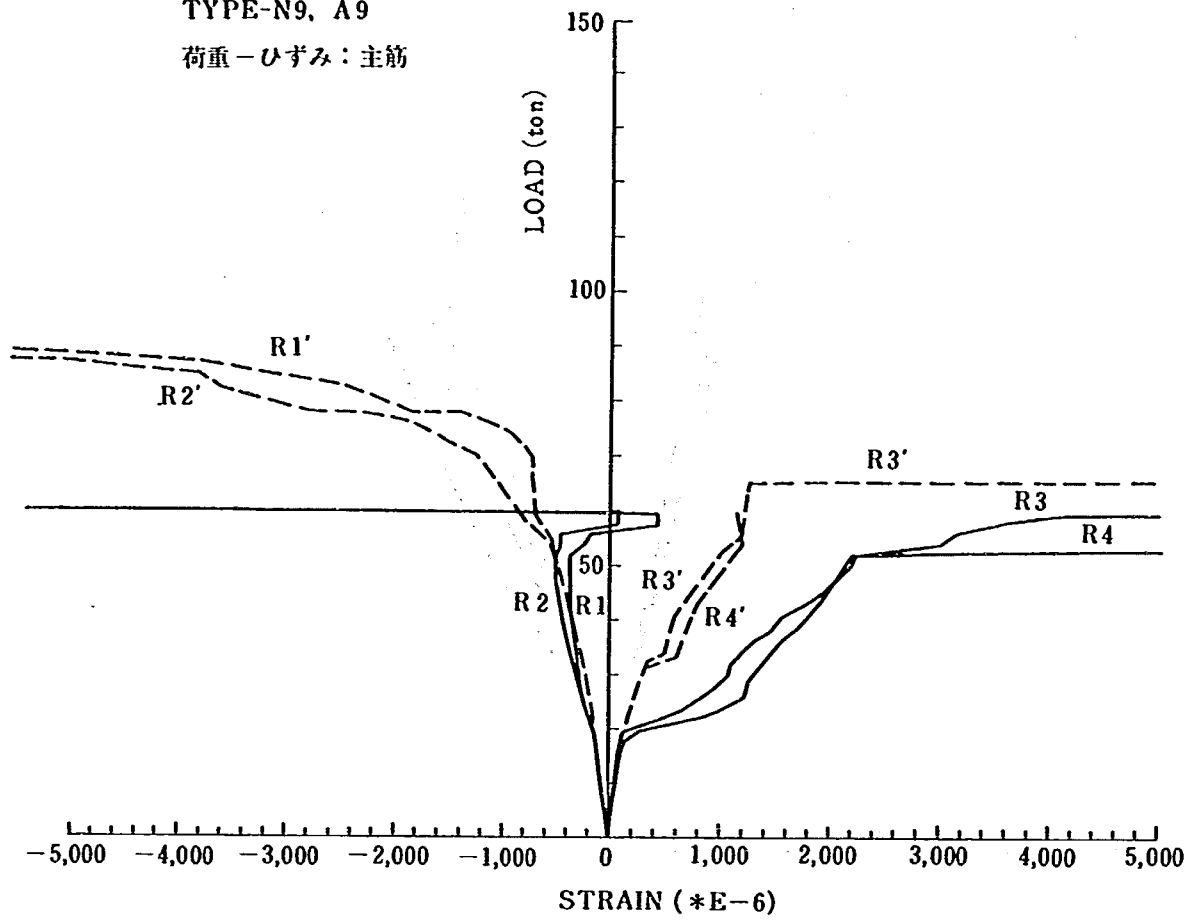


図-3.12 荷重-主鉄筋ひずみ図

TYPE-N9, A9

荷重-ひずみ：主筋



TYPE-N11, A11

荷重-ひずみ：主筋

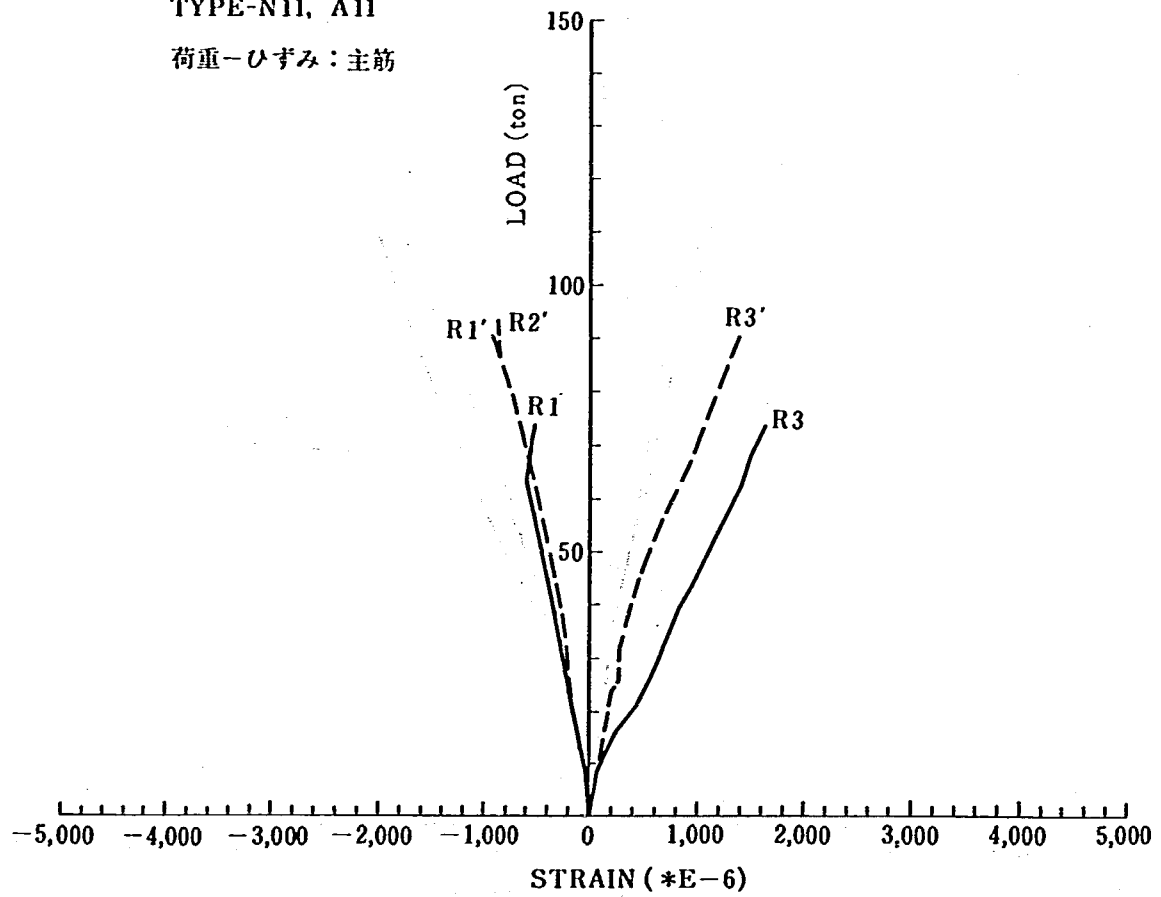


図-3.12 荷重-主鉄筋ひずみ図

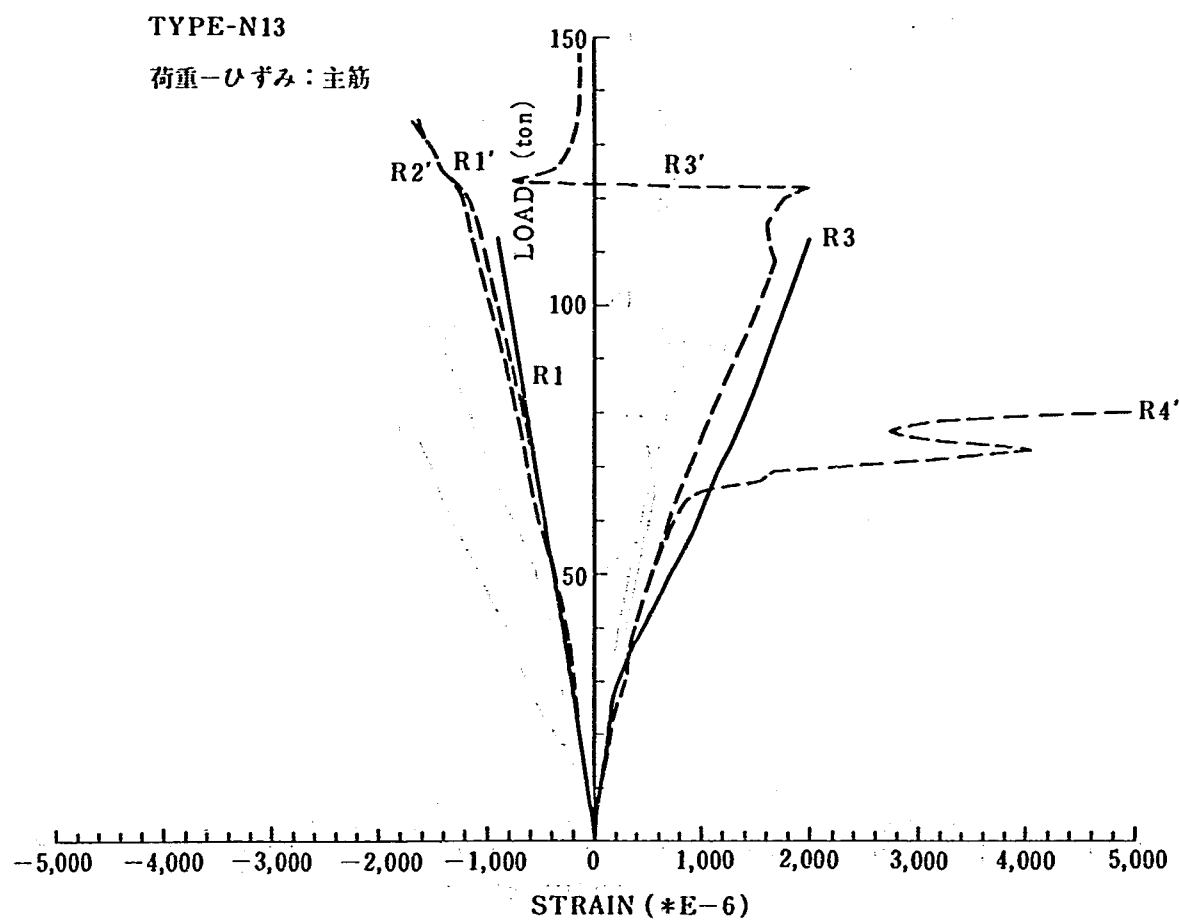
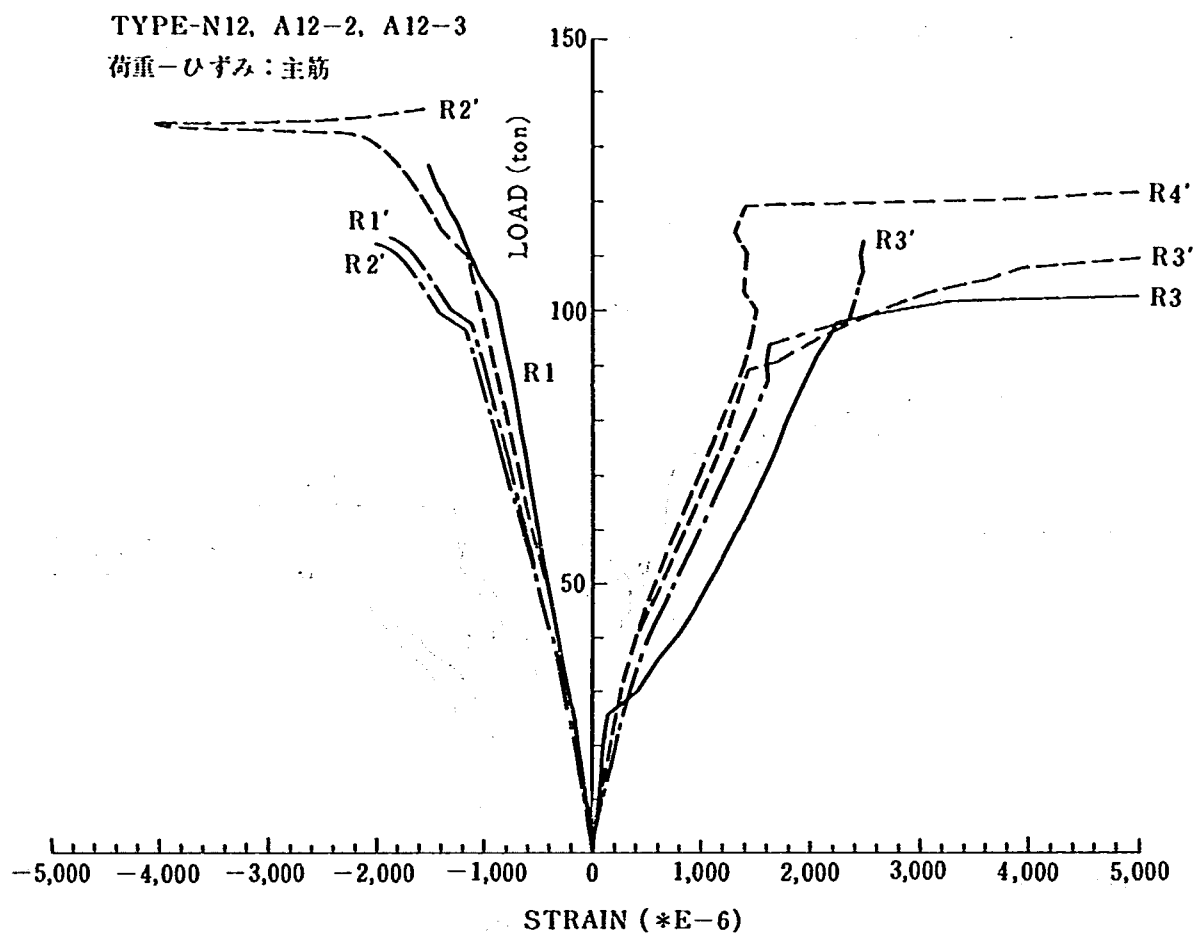
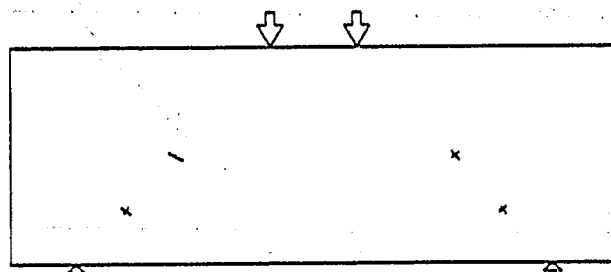


図-3.12 荷重-主鉄筋ひずみ図

TYPE-A1-1 三軸主ひずみ分布図

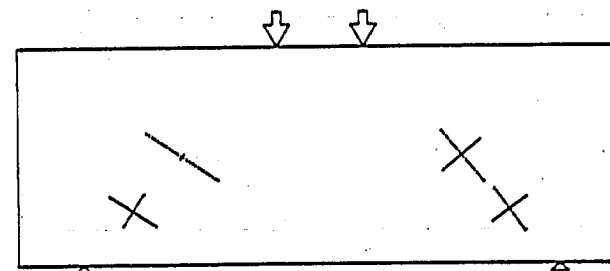
9.9 ton



— 200 (*E-6)
- - - -200 (*E-6)

TYPE-A1-1 三軸主ひずみ分布図

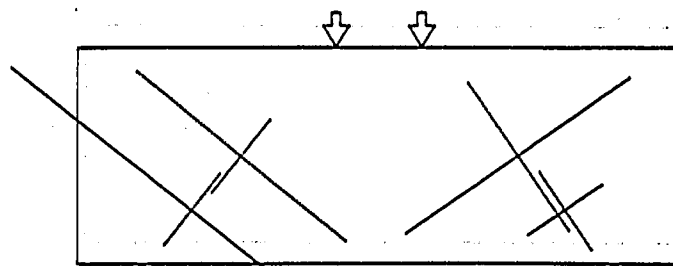
39.9 ton



— 200 (*E-6)
- - - -200 (*E-6)

TYPE-A1-1 三軸主ひずみ分布図

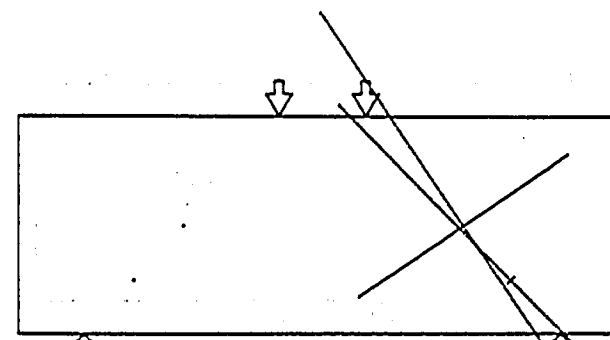
76.0 ton



— 200 (*E-6)
- - - -200 (*E-6)

TYPE-A1-1 三軸主ひずみ分布図

112.6 ton

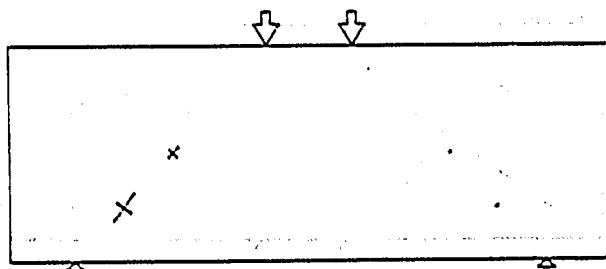


— 200 (*E-6)
- - - -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A1-2 三軸主ひずみ分布図

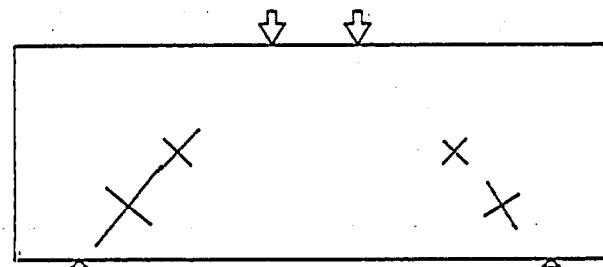
10.0 ton



— 200 (*E-6)
— -200 (*E-6)

TYPE-A1-2 三軸主ひずみ分布図

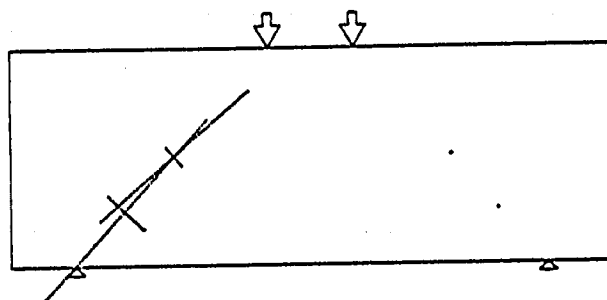
50.3 ton



— 200 (*E-6)
— -200 (*E-6)

TYPE-A1-2 三軸主ひずみ分布図

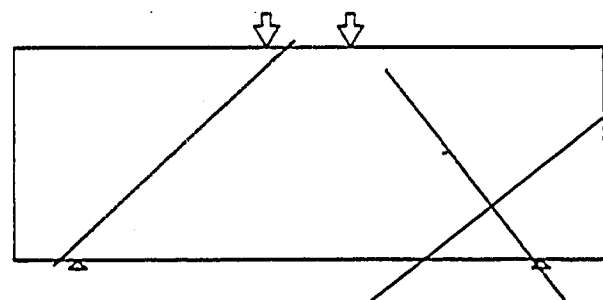
100.0 ton



— 200 (*E-6)
— -200 (*E-6)

TYPE-A1-2 三軸主ひずみ分布図

130.0 ton

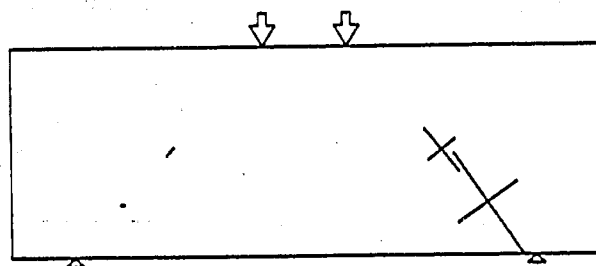


— 200 (*E-6)
— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A2 三軸主ひずみ分布図

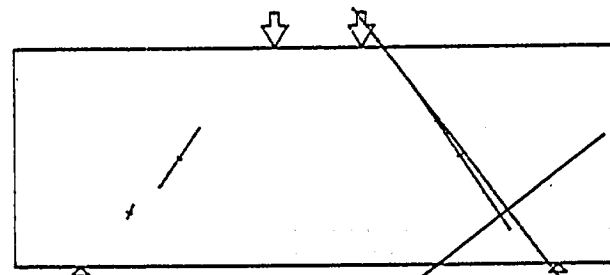
29.9 ton



— 200 (*E-6)
— -200 (*E-6)

TYPE-A2 三軸主ひずみ分布図

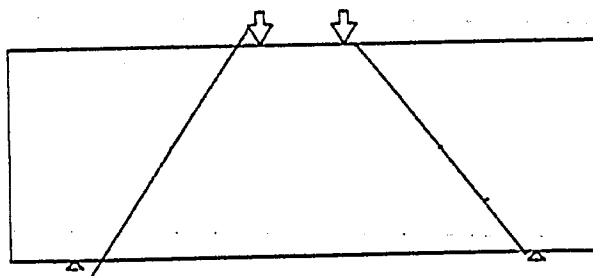
70.1 ton



— 200 (*E-6)
— -200 (*E-6)

TYPE-A2 三軸主ひずみ分布図

100.1 ton

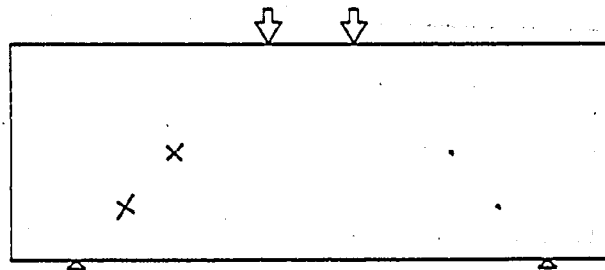


— 200 (*E-6)
— -200 (*E-6)

図 - 3. 13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A3 三軸主ひずみ分布図

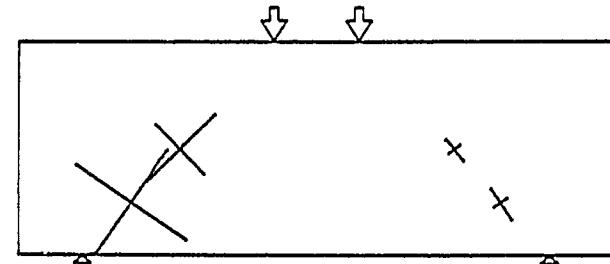
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A3 三軸主ひずみ分布図

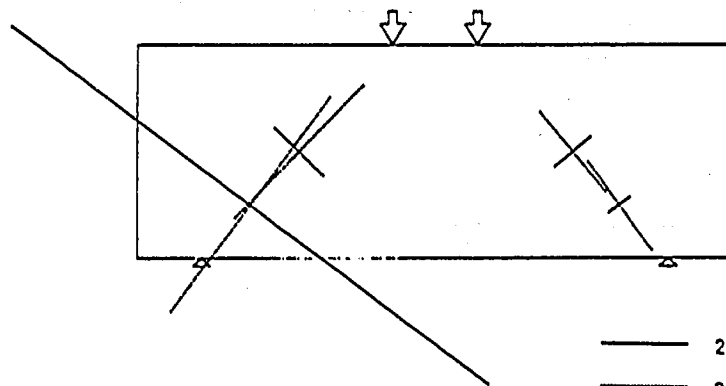
40.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A3 三軸主ひずみ分布図

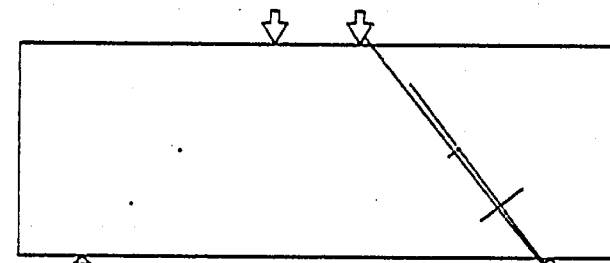
79.9 ton



—— 2001 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A3 三軸主ひずみ分布図

120.1 ton

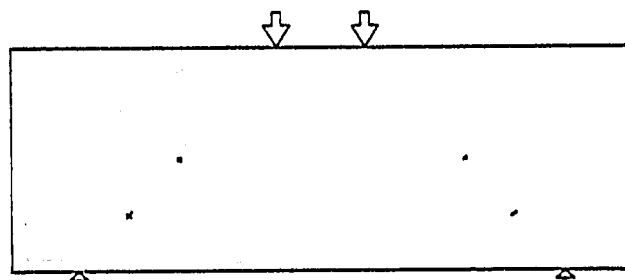


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸主ひずみ分布図

TYPE-A4 三軸主ひずみ分布図

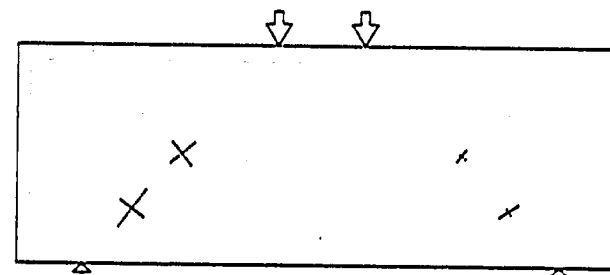
9.2 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A4 三軸主ひずみ分布図

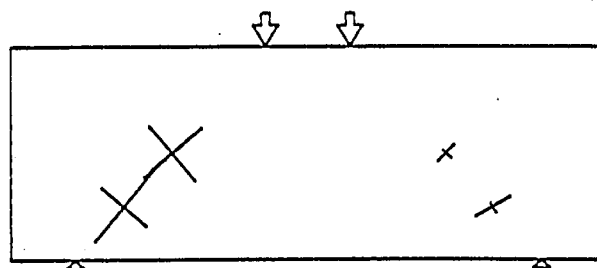
37.2 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A4 三軸主ひずみ分布図

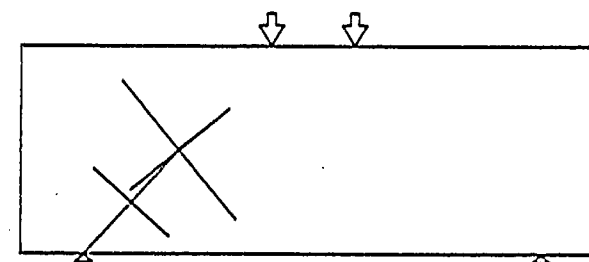
65.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A4 三軸主ひずみ分布図

93.0 ton

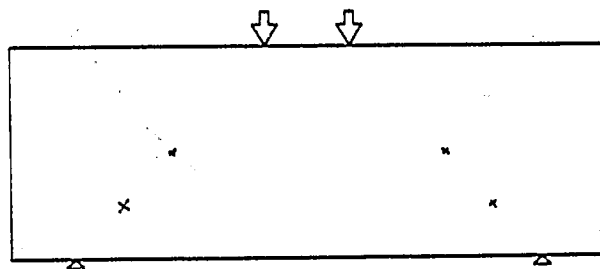


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A5-1 三軸主ひずみ分布図

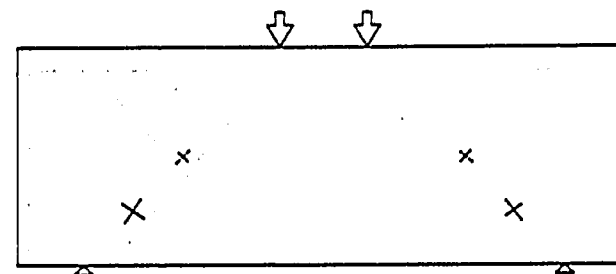
10 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A5-1 三軸主ひずみ分布図

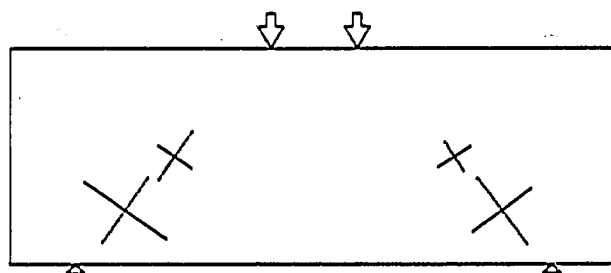
18.8 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A5-1 三軸主ひずみ分布図

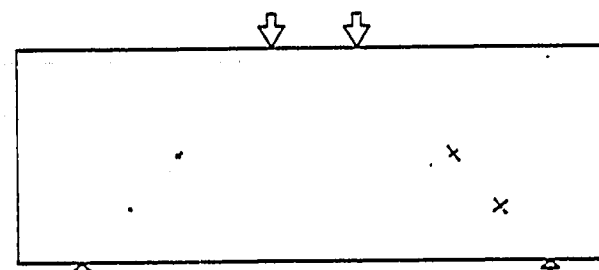
56.8 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A5-2 三軸主ひずみ分布図

10.0 ton

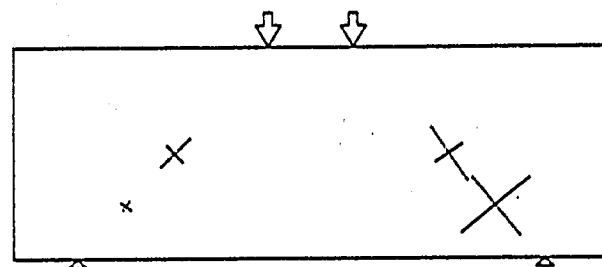


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸主ひずみ分布図

TYPE-A5-2 三軸主ひずみ分布図

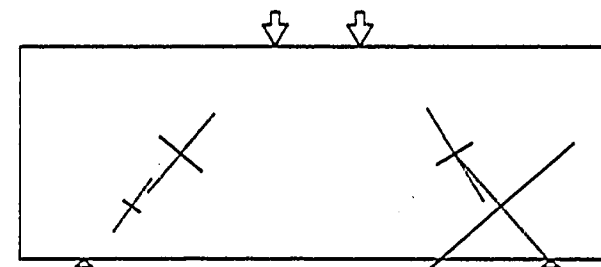
40.0 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A5-2 三軸主ひずみ分布図

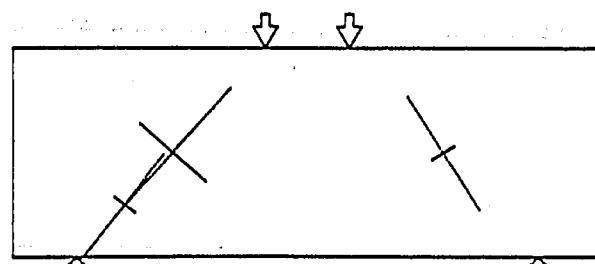
70.0 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A5-2 三軸主ひずみ分布図

94.0 ton

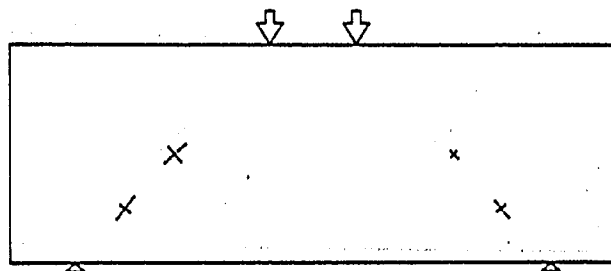


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A6 三軸主ひずみ分布図

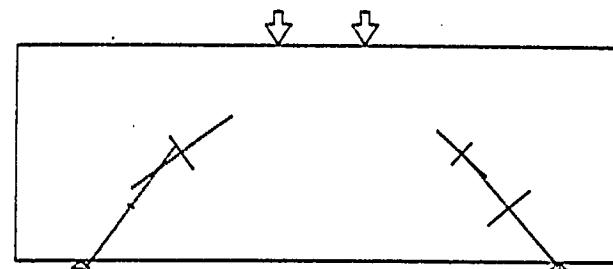
18.5 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A6 三軸主ひずみ分布図

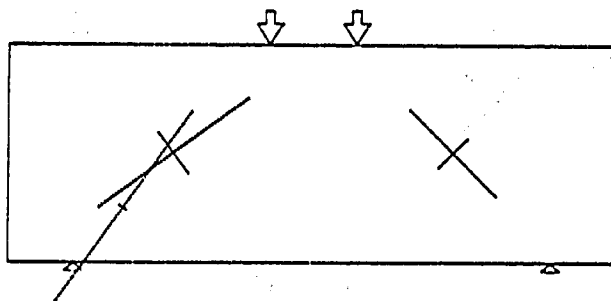
65.4 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A6 三軸主ひずみ分布図

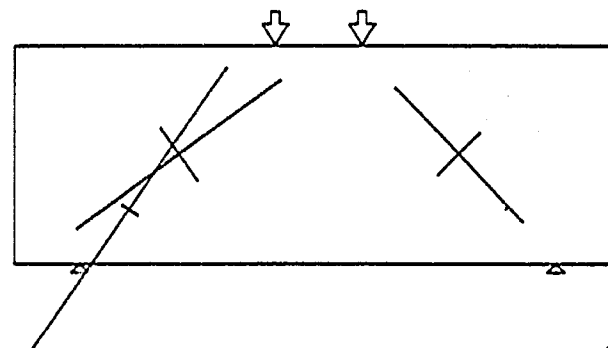
92.9 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A6 三軸主ひずみ分布図

130.3 ton

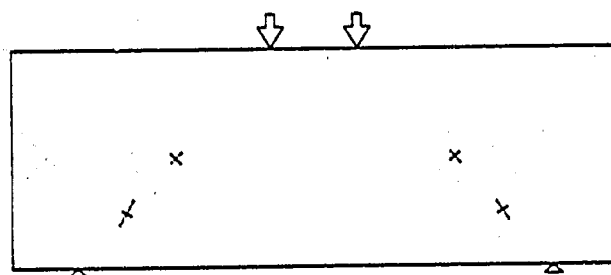


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A7 三軸主ひずみ分布図

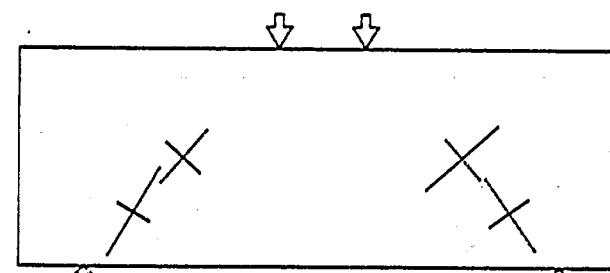
18.6 ton



—— 200 (×E-6)
—— -200 (×E-6)

TYPE-A7 三軸主ひずみ分布図

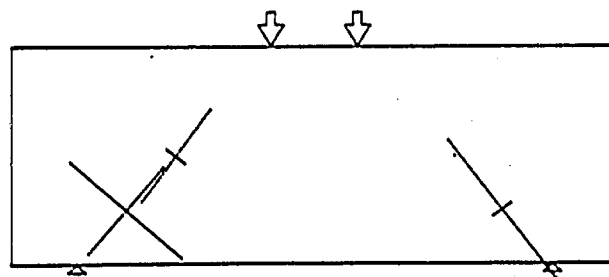
74.3 ton



—— 200 (×E-6)
—— -200 (×E-6)

TYPE-A7 三軸主ひずみ分布図

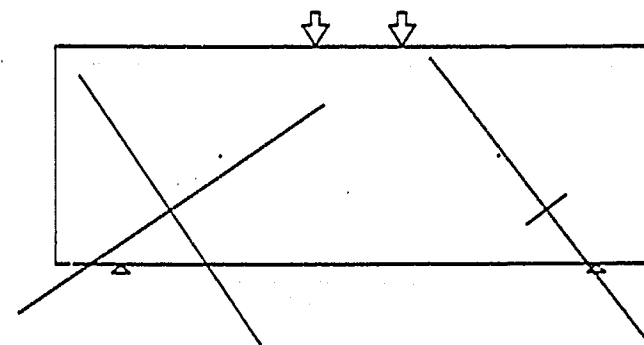
111.6 ton



—— 200 (×E-6)
—— -200 (×E-6)

TYPE-A7 三軸主ひずみ分布図

167.4 ton

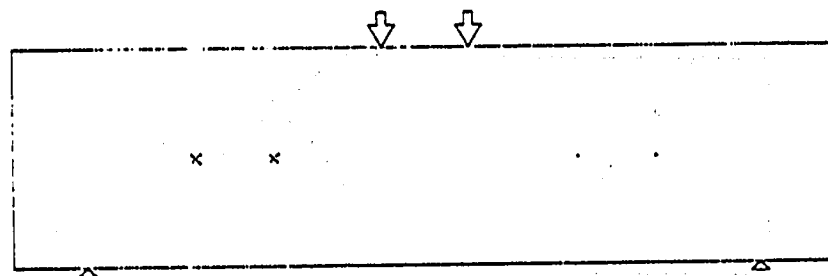


—— 200 (×E-6)
—— -200 (×E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A8 三軸主ひずみ分布図

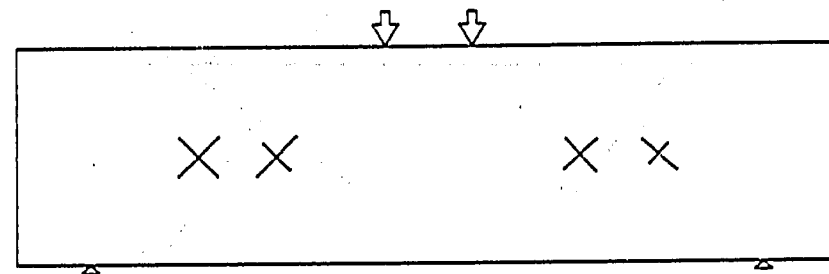
9.4 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A8 三軸主ひずみ分布図

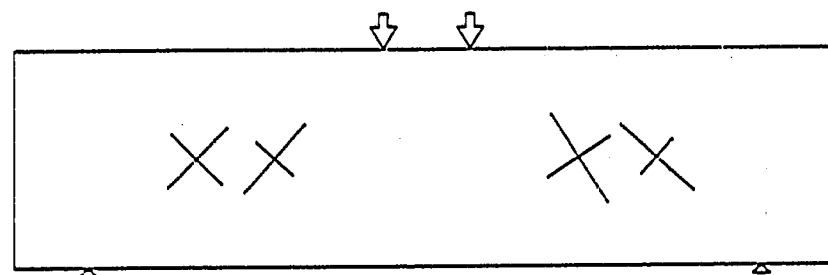
55.9 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A8 三軸主ひずみ分布図

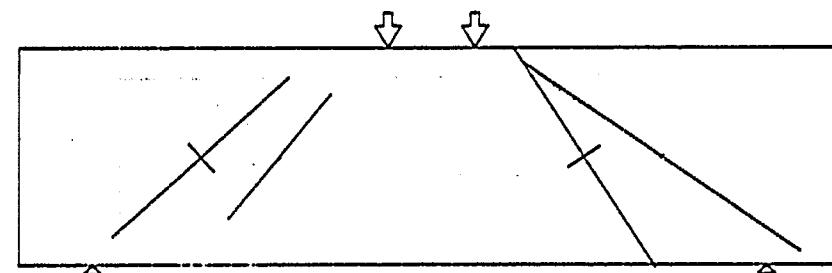
92.9 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A8 三軸主ひずみ分布図

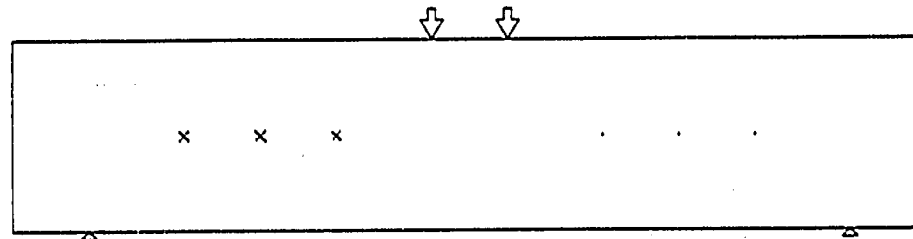
124.4 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

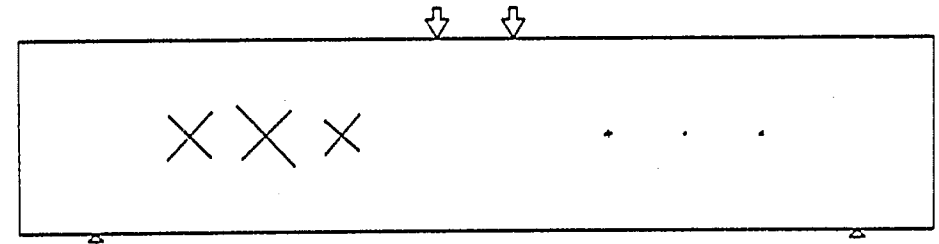
図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A9 三軸ひずみ分布図
9.4 ton



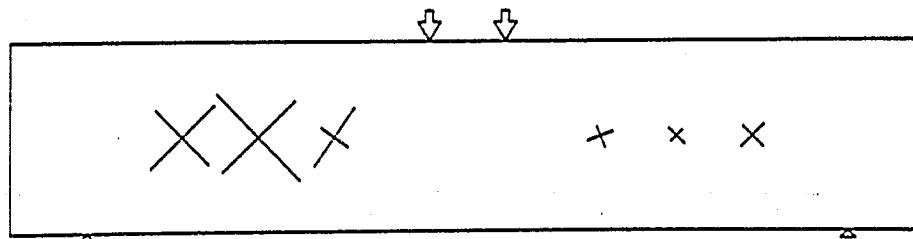
—— 200 (≠E-6)
—— -200 (≠E-6)

TYPE-A9 三軸ひずみ分布図
37.3 ton



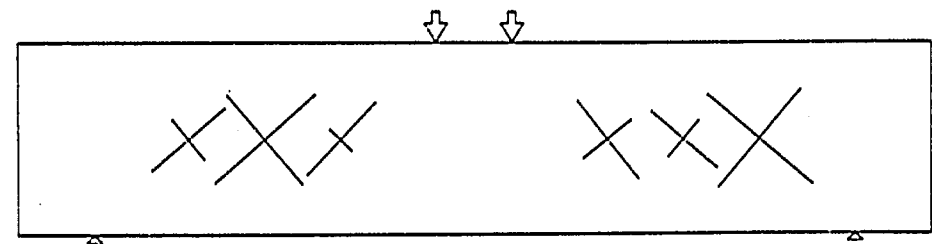
—— 200 (≠E-6)
—— -200 (≠E-6)

TYPE-A9 三軸ひずみ分布図
65.3 ton



—— 200 (≠E-6)
—— -200 (≠E-6)

TYPE-A9 三軸ひずみ分布図
97.1 ton

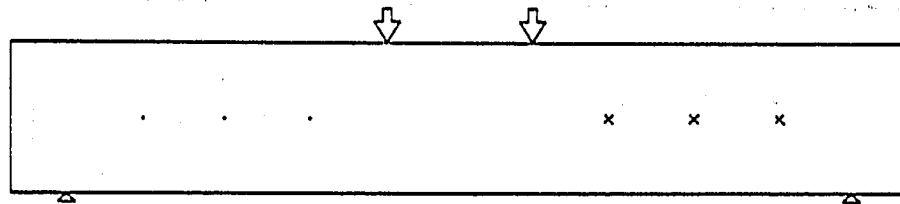


—— 200 (≠E-6)
—— -200 (≠E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A11 三軸主ひずみ分布図

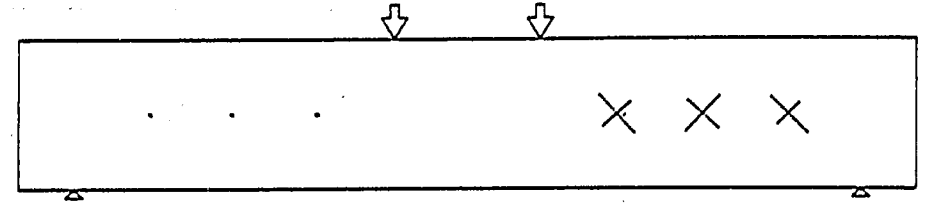
9.3 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A11 三軸主ひずみ分布図

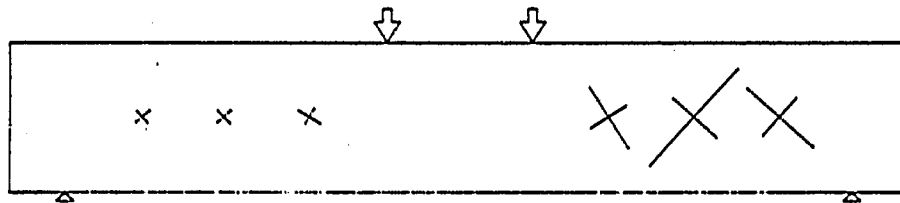
37.2 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A11 三軸主ひずみ分布図

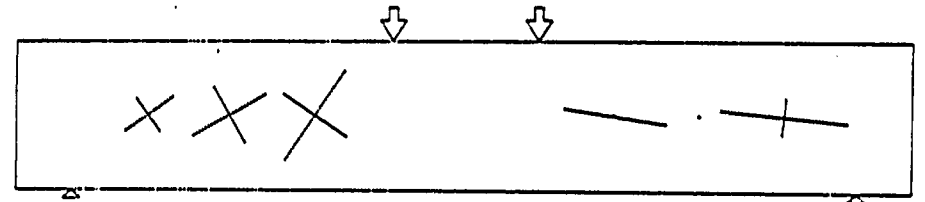
65.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A11 三軸主ひずみ分布図

91.0 ton

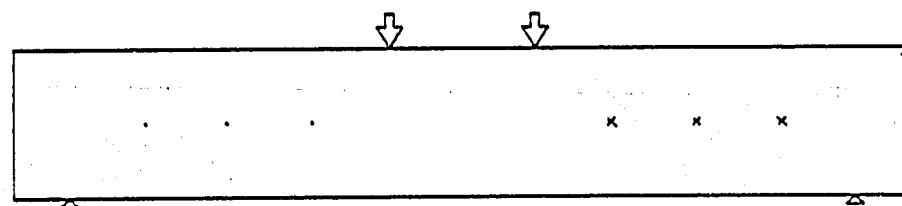


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A12-2 三軸主ひずみ分布図

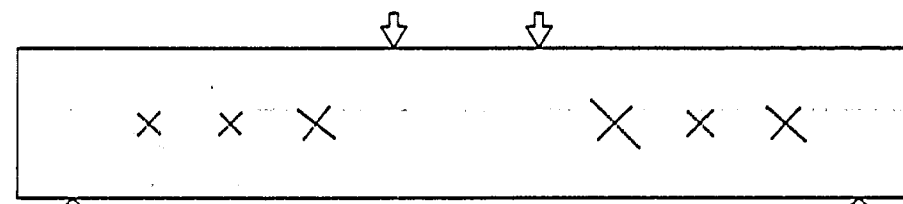
9.3 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A12-2 三軸主ひずみ分布図

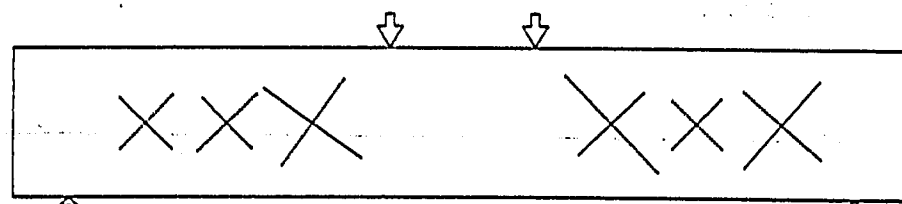
46.4 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A12-2 三軸主ひずみ分布図

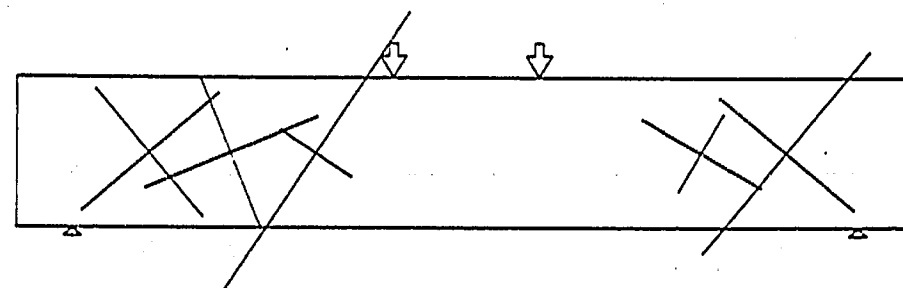
83.6 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A12-2 三軸主ひずみ分布図

130.1 ton

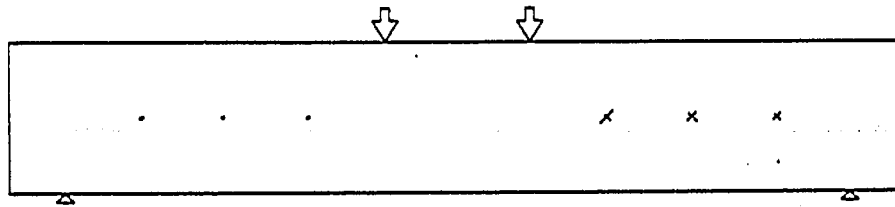


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A12-3 三軸主ひずみ分布図

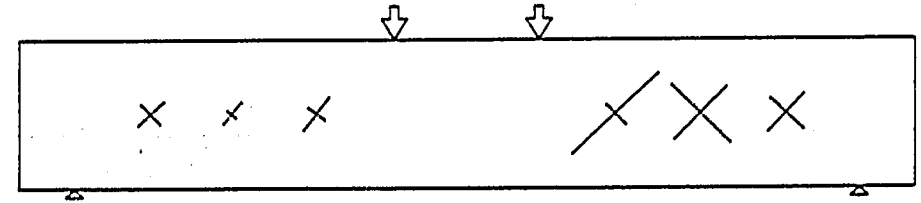
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A12-3 三軸主ひずみ分布図

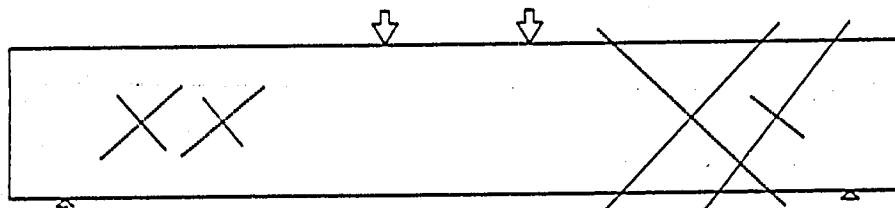
50 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A12-3 三軸主ひずみ分布図

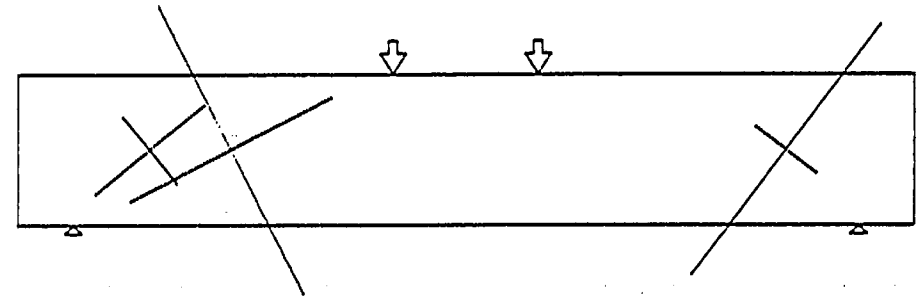
99.8 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A12-3 三軸主ひずみ分布図

113.1 ton

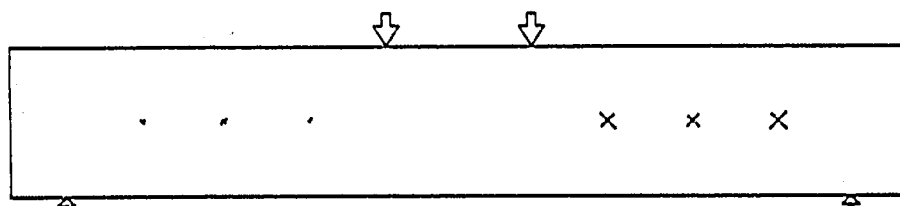


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-A13 三軸主ひずみ分布図

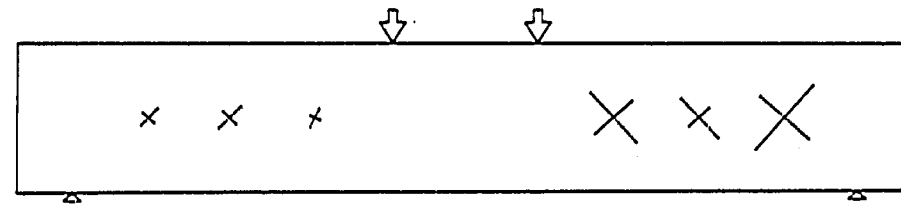
18.4 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A13 三軸主ひずみ分布図

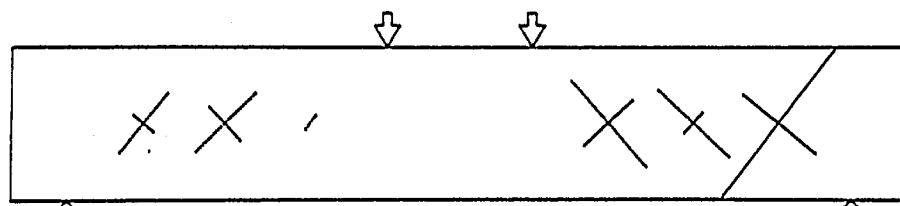
55.7 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A13 三軸主ひずみ分布図

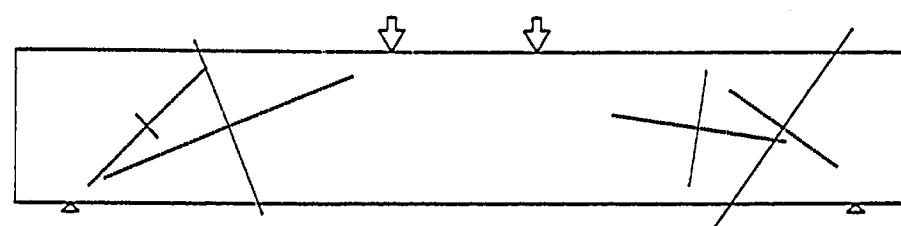
92.9 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-A13 三軸主ひずみ分布図

130.1 ton

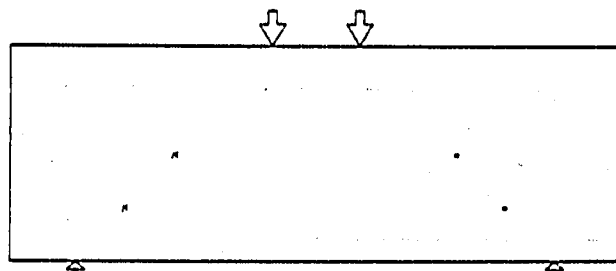


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N1 三軸主ひずみ分布図

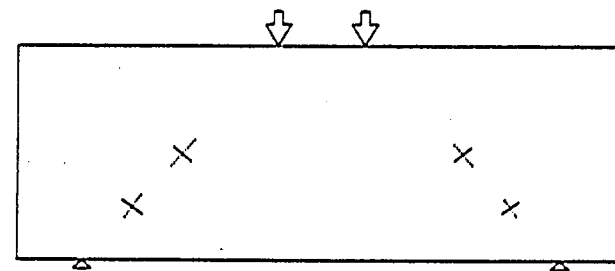
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N1 三軸主ひずみ分布図

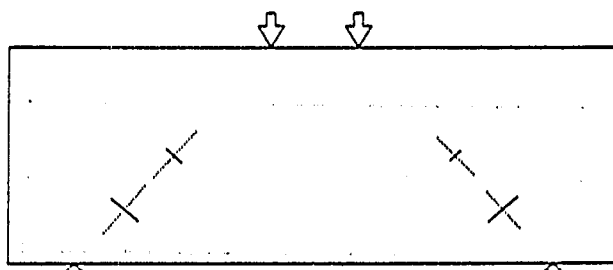
50 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N1 三軸主ひずみ分布図

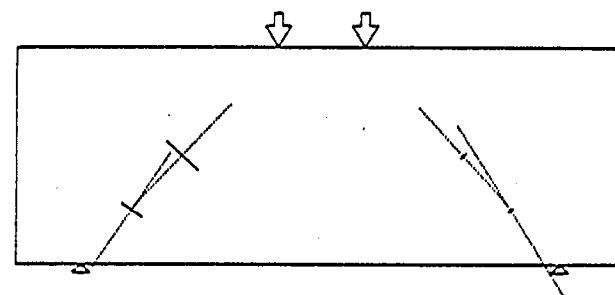
80 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N1 三軸主ひずみ分布図

119.9 ton

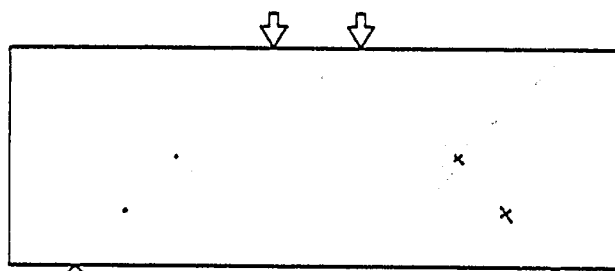


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N2 三軸主ひずみ分布図

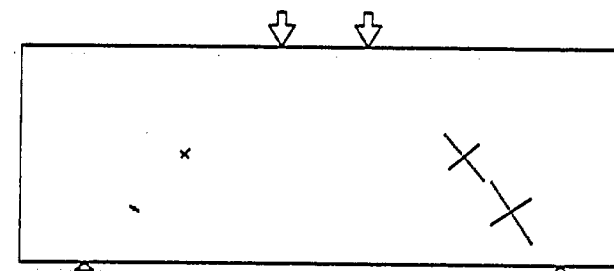
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N2 三軸主ひずみ分布図

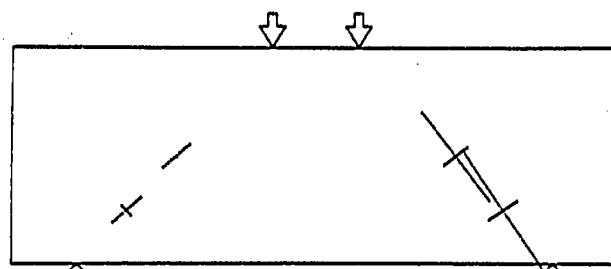
50 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N2 三軸主ひずみ分布図

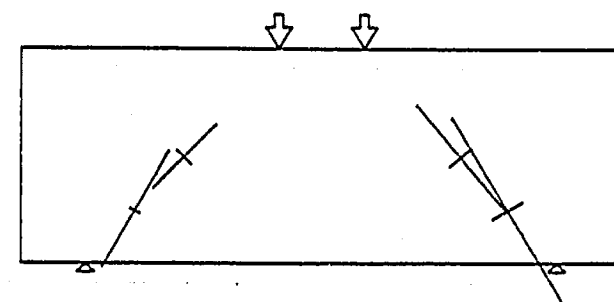
90 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N2 三軸主ひずみ分布図

120.5 ton

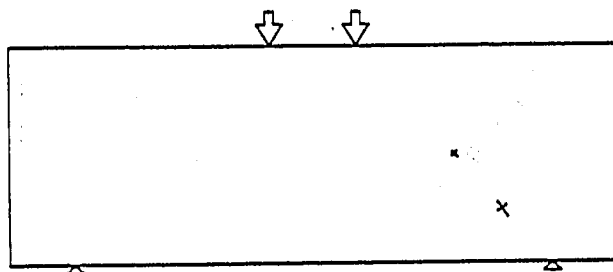


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N3 三軸主ひずみ分布図

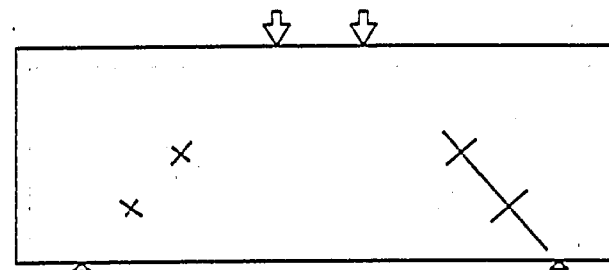
9.8 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N3 三軸主ひずみ分布図

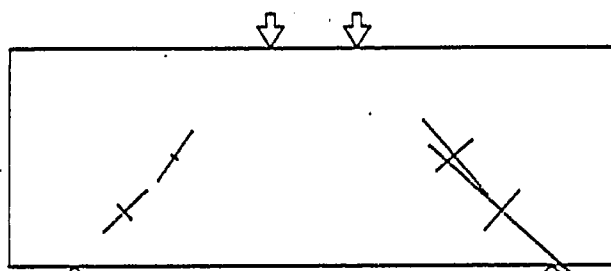
60 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N3 三軸主ひずみ分布図

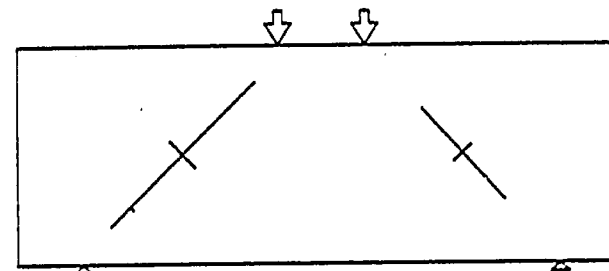
100.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N3 三軸主ひずみ分布図

148.4 ton

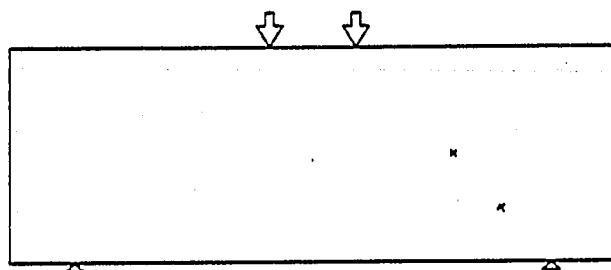


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N4 三軸主ひずみ分布図

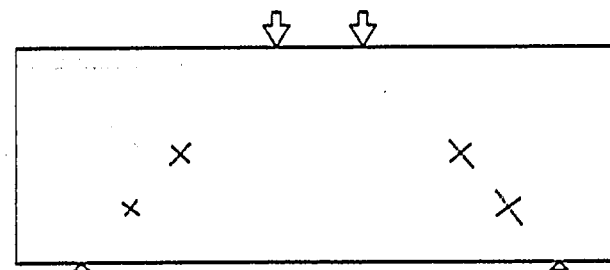
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N4 三軸主ひずみ分布図

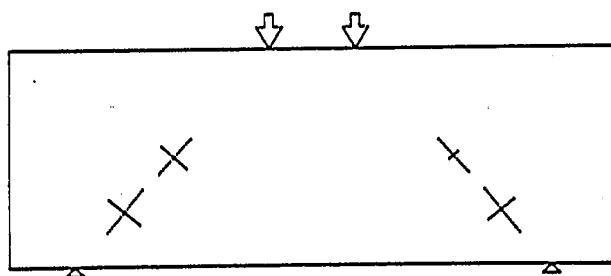
50.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N4 三軸主ひずみ分布図

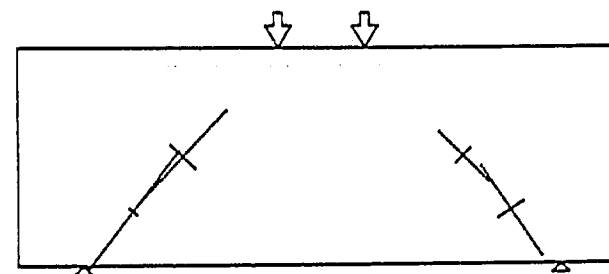
80.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N4 三軸主ひずみ分布図

117.9 ton

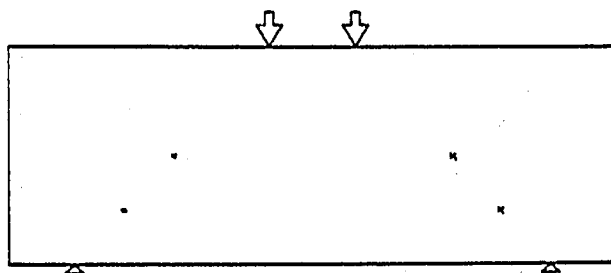


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N5 三軸主ひずみ分布図

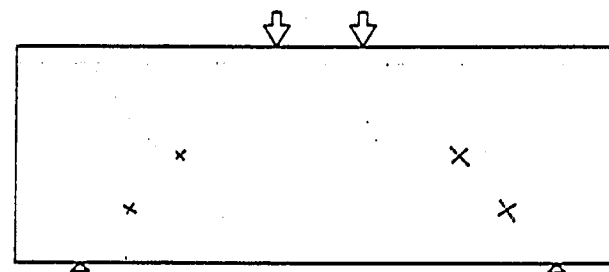
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N5 三軸主ひずみ分布図

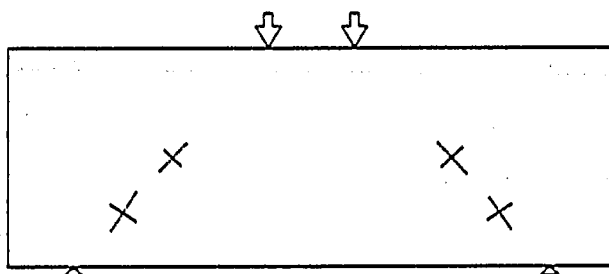
30 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N5 三軸主ひずみ分布図

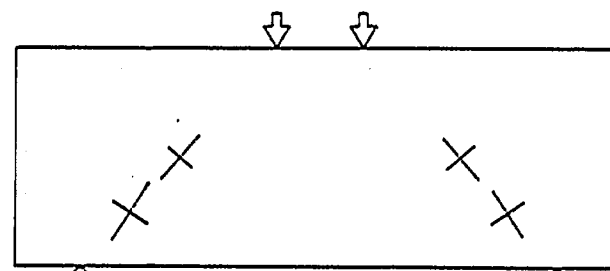
60 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N5 三軸主ひずみ分布図

80 ton

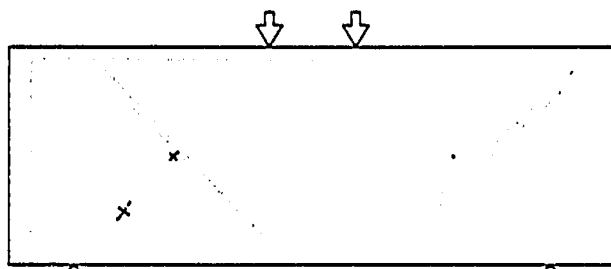


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N6 三軸主ひずみ分布図

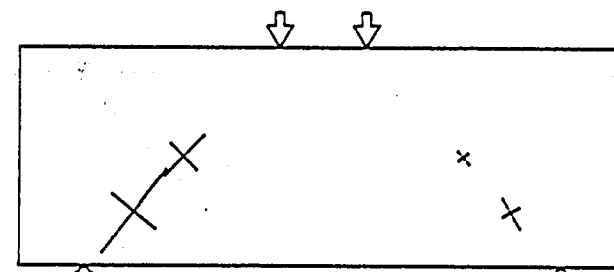
9.2 ton



—— 200 (*E-6)
 - - - -200 (*E-6)

TYPE-N6 三軸主ひずみ分布図

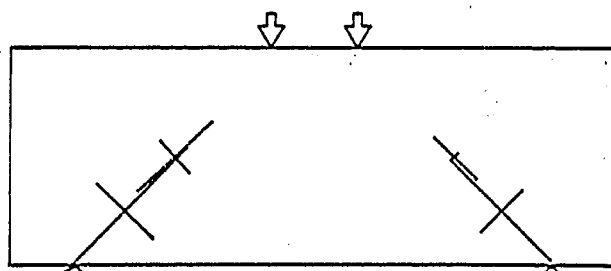
55.7 ton



—— 200 (*E-6)
 - - - -200 (*E-6)

TYPE-N6 三軸主ひずみ分布図

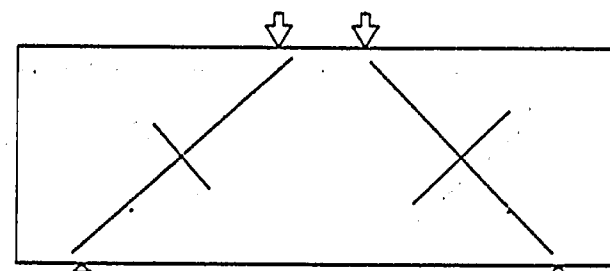
111.5 ton



—— 200 (*E-6)
 - - - -200 (*E-6)

TYPE-N6 三軸主ひずみ分布図

173.1 ton

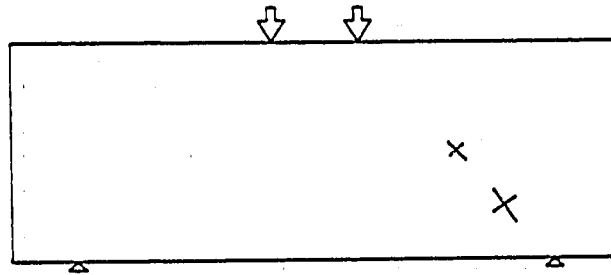


—— 200 (*E-6)
 - - - -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N7 三軸主ひずみ分布図

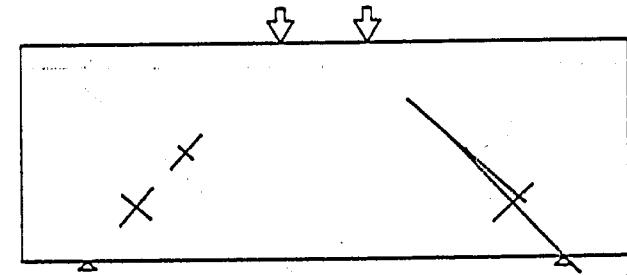
18.6 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N7 三軸主ひずみ分布図

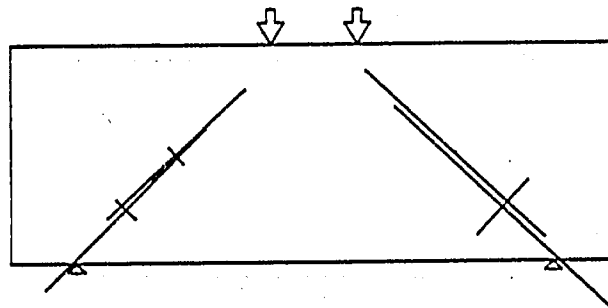
93.0 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N7 三軸主ひずみ分布図

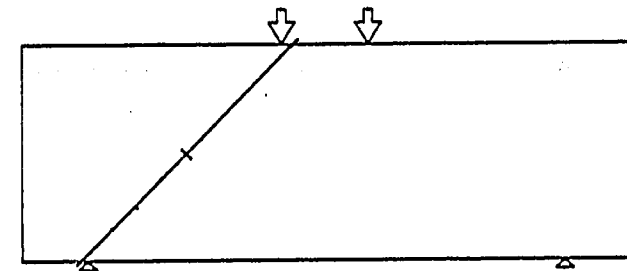
167.4 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N7 三軸主ひずみ分布図

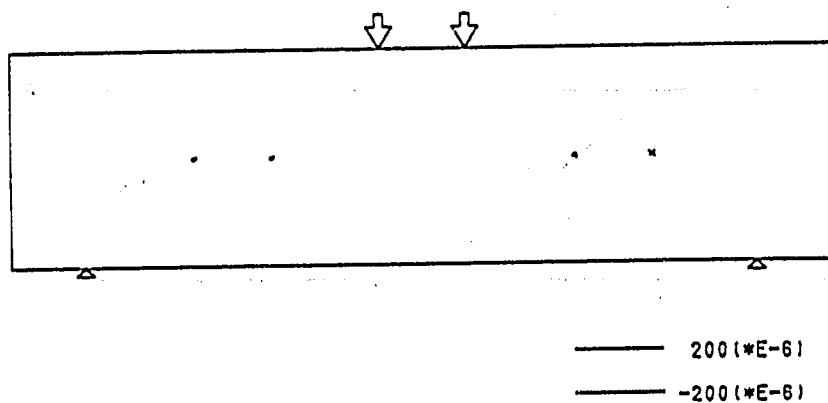
241.6 ton



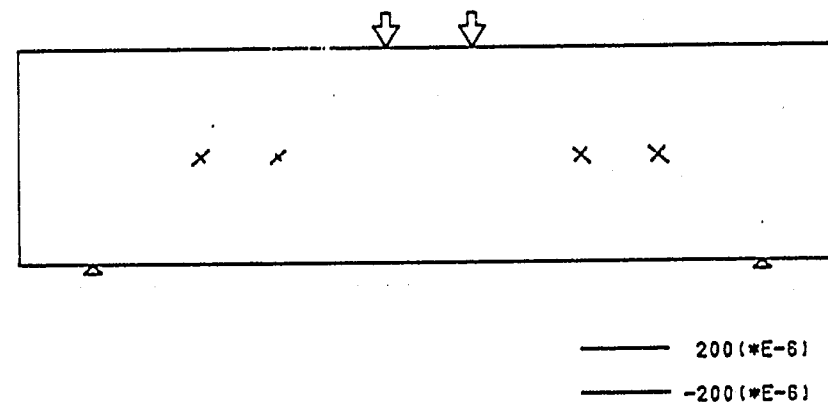
—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

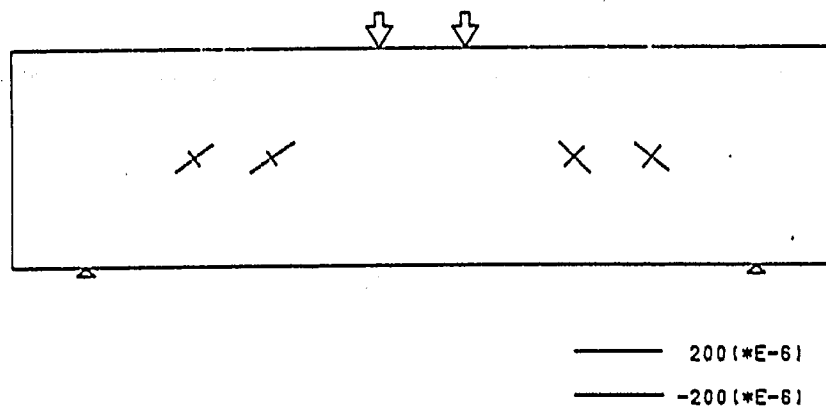
TYPE-N8 三軸主ひずみ分布図
10.2 ton



TYPE-N8 三軸主ひずみ分布図
40.1 ton



TYPE-N8 三軸主ひずみ分布図
70.1 ton



TYPE-N8 三軸主ひずみ分布図
96.9 ton

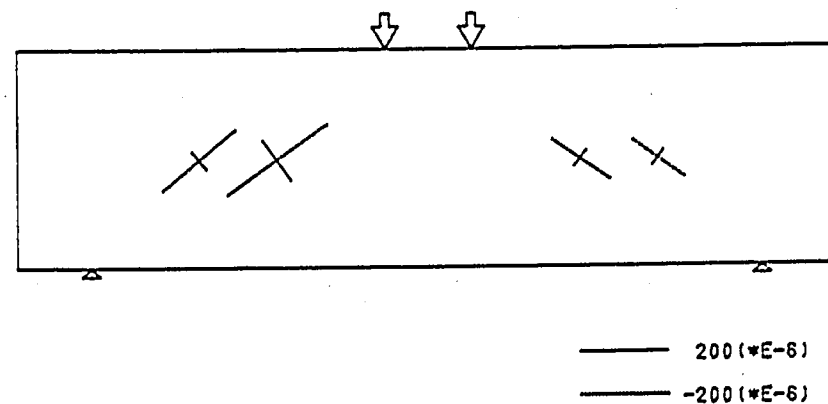
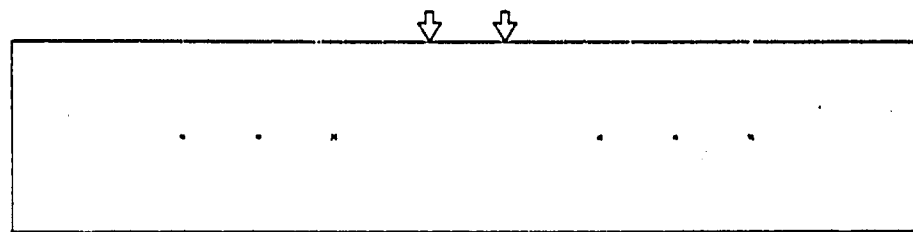


図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N9 三軸主ひずみ分布図

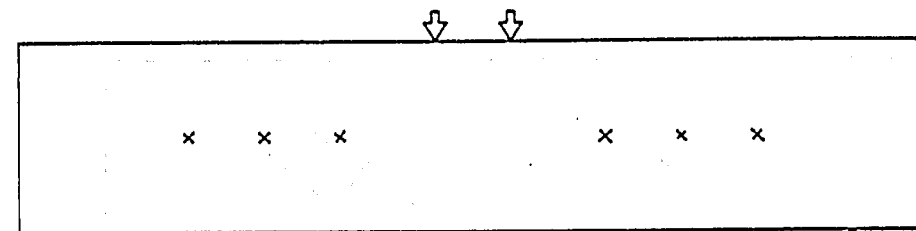
10.2 ton



—— 200 (μE-6)
—— -200 (μE-6)

TYPE-N9 三軸主ひずみ分布図

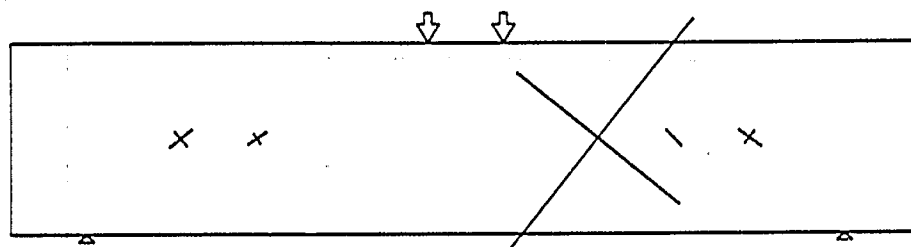
29.9 ton



—— 200 (μE-6)
—— -200 (μE-6)

TYPE-N9 三軸主ひずみ分布図

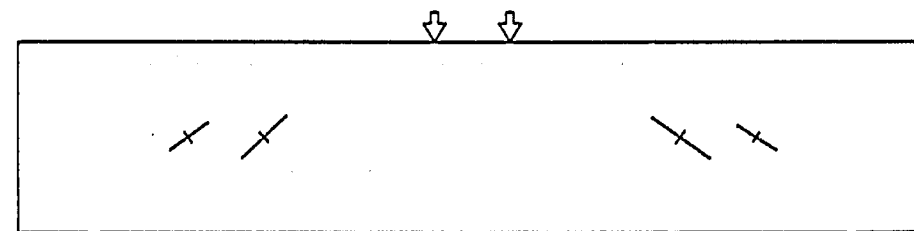
50 ton



—— 200 (μE-6)
—— -200 (μE-6)

TYPE-N9 三軸主ひずみ分布図

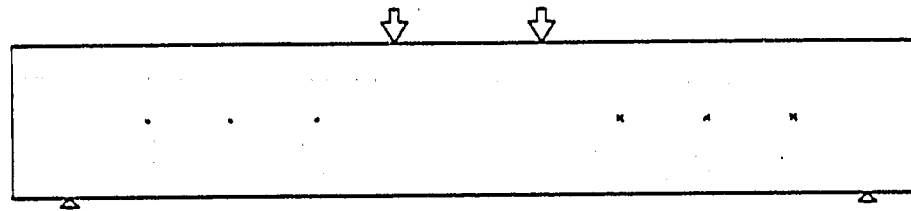
66 ton



—— 200 (μE-6)
—— -200 (μE-6)

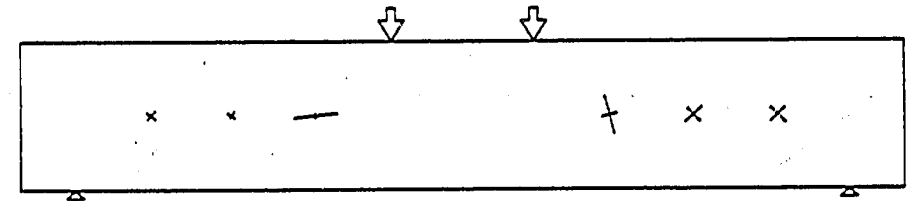
図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N11 三軸主ひずみ分布図
10.2 ton



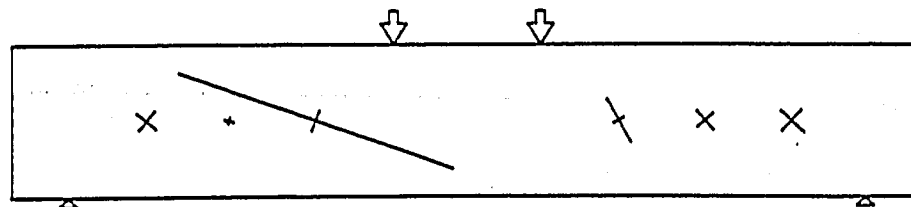
—— 200 (×E-6)
- - - -200 (×E-6)

TYPE-N11 三軸主ひずみ分布図
30 ton



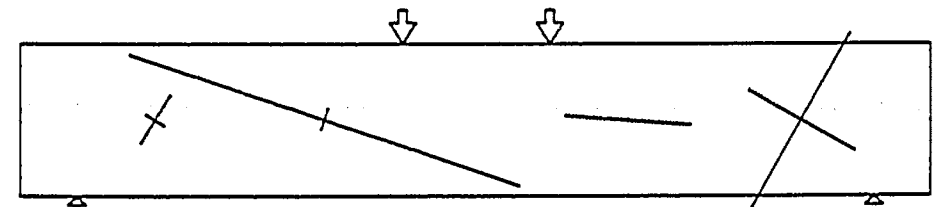
—— 200 (×E-6)
- - - -200 (×E-6)

TYPE-N11 三軸主ひずみ分布図
50 ton



—— 200 (×E-6)
- - - -200 (×E-6)

TYPE-N11 三軸主ひずみ分布図
73.8 ton

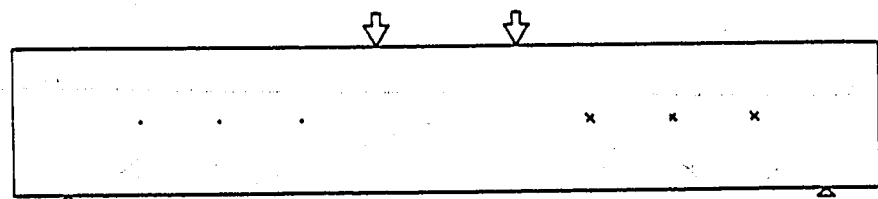


—— 200 (×E-6)
- - - -200 (×E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N12三軸主ひずみ分布図

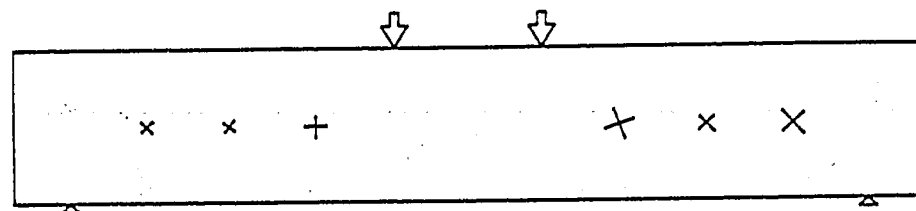
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N12三軸主ひずみ分布図

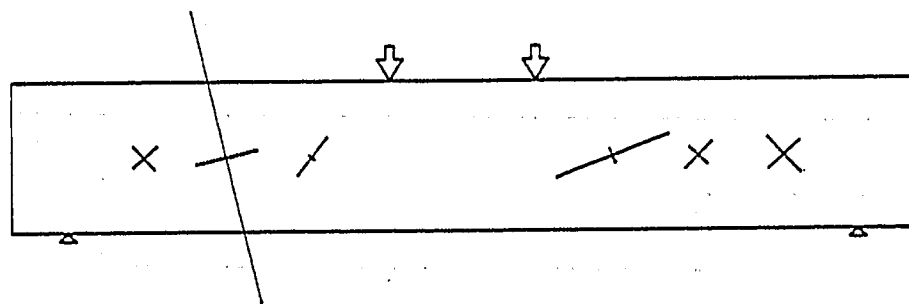
40.0 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N12三軸主ひずみ分布図

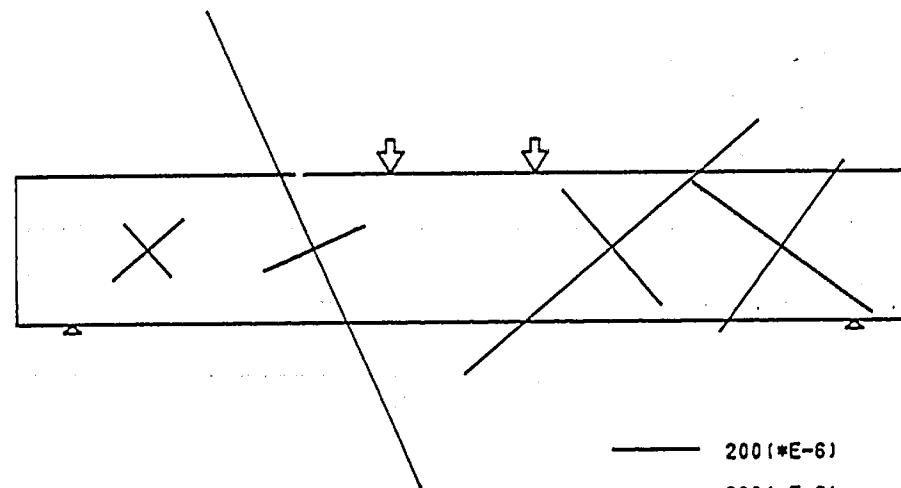
70.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N12三軸主ひずみ分布図

110.1 ton

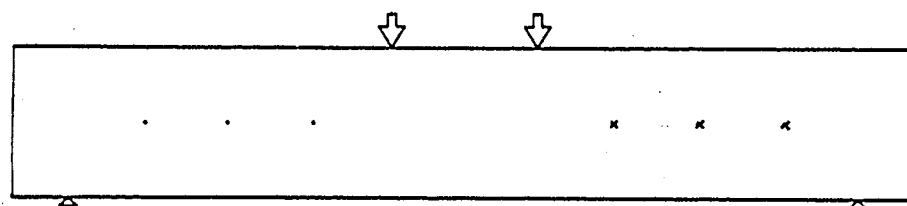


—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図 - 3.13 三軸ひずみ分布図

TYPE-N13 三軸主ひずみ分布図

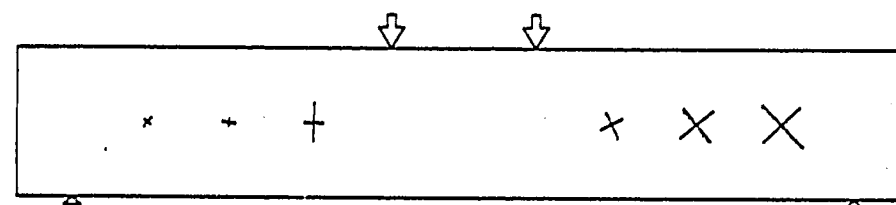
10.1 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N13 三軸主ひずみ分布図

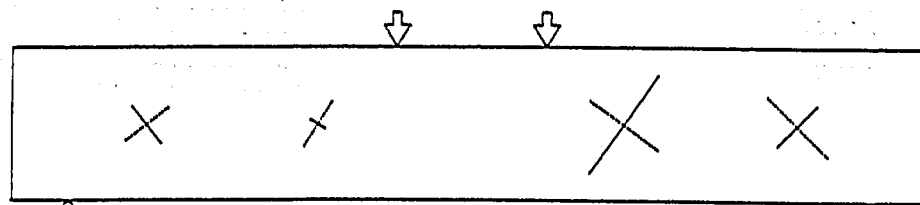
50.2 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N13 三軸主ひずみ分布図

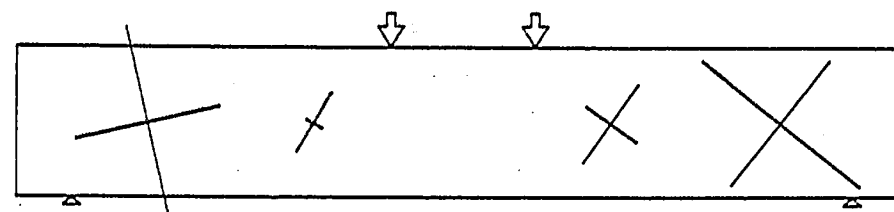
90.3 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

TYPE-N13 三軸主ひずみ分布図

112.3 ton



—— 200 (*E-6)
—— -200 (*E-6)

図-3.13 三軸ひずみ分布図

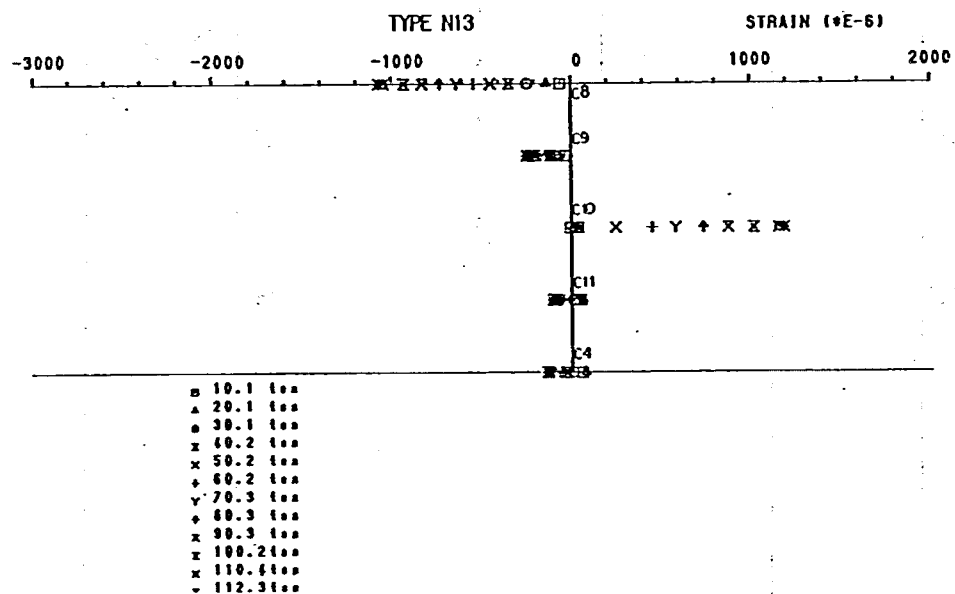
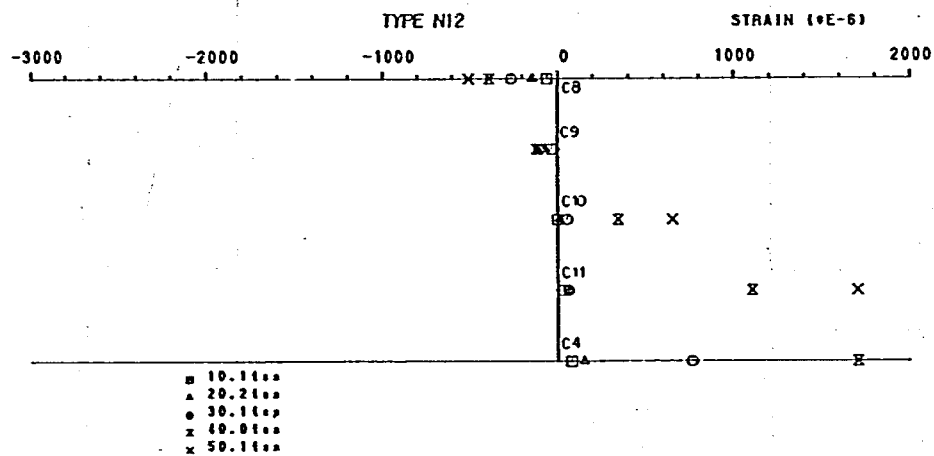
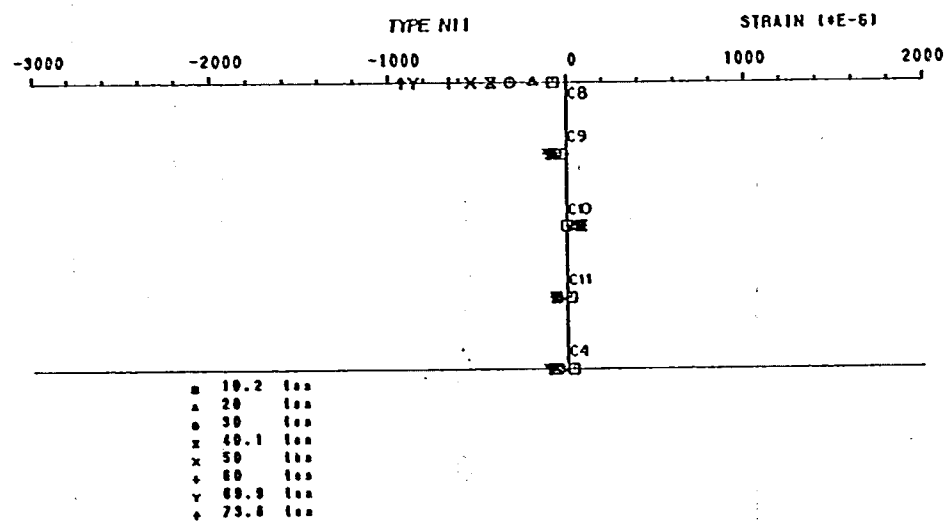


図 - 3. 14 鉛直断面方向の縦ひずみ分布図

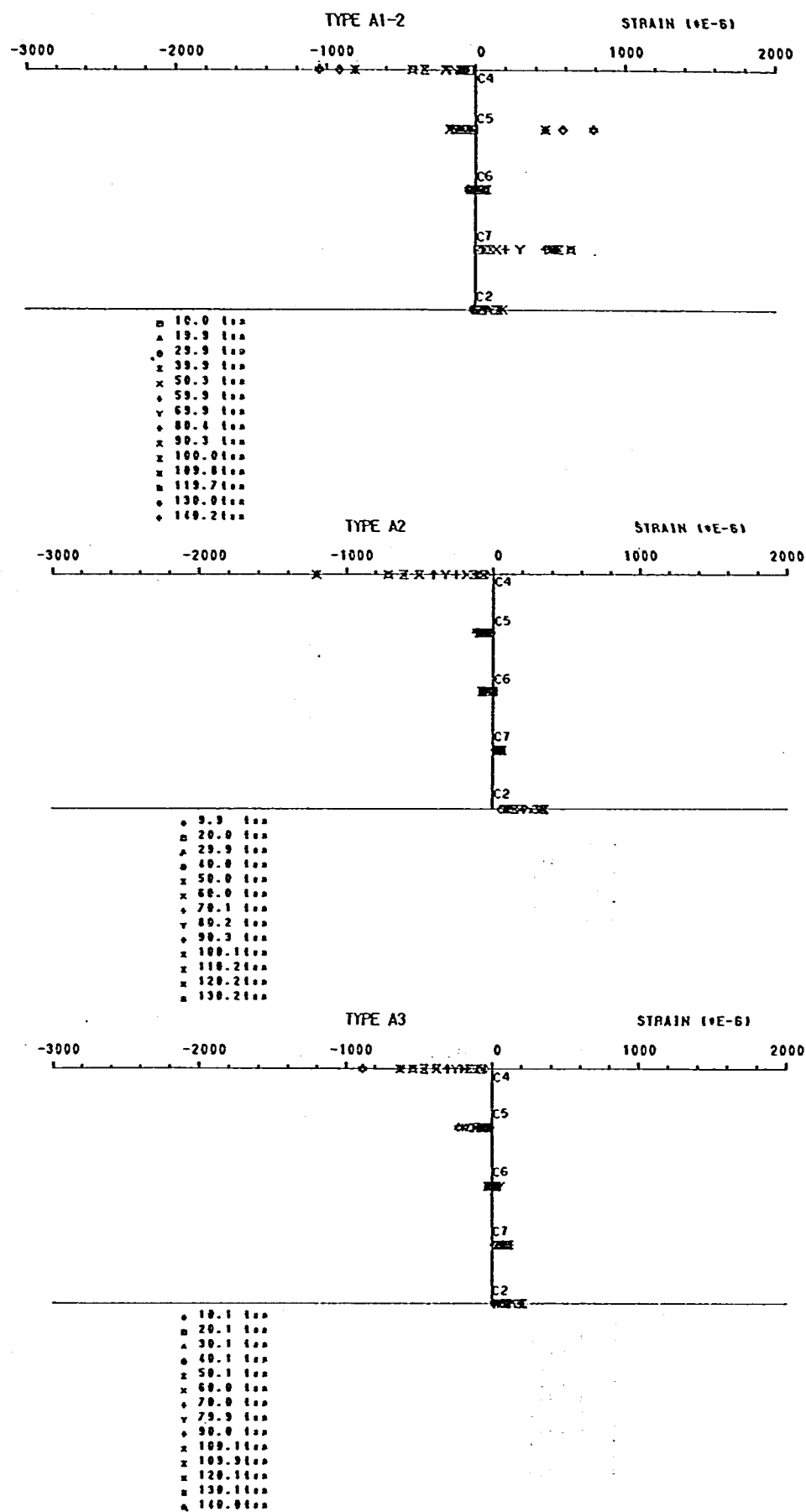


図- 3. 14 鉛直断面方向の縦ひずみ分布図

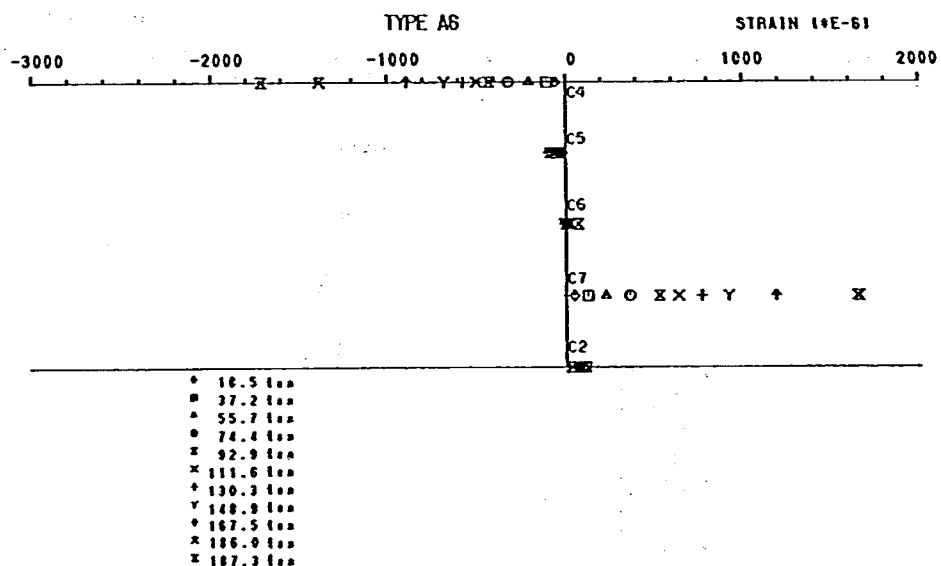
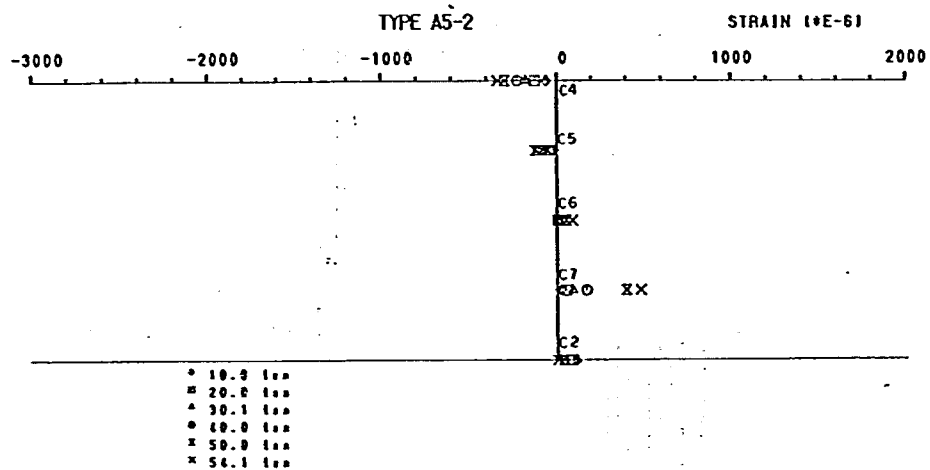
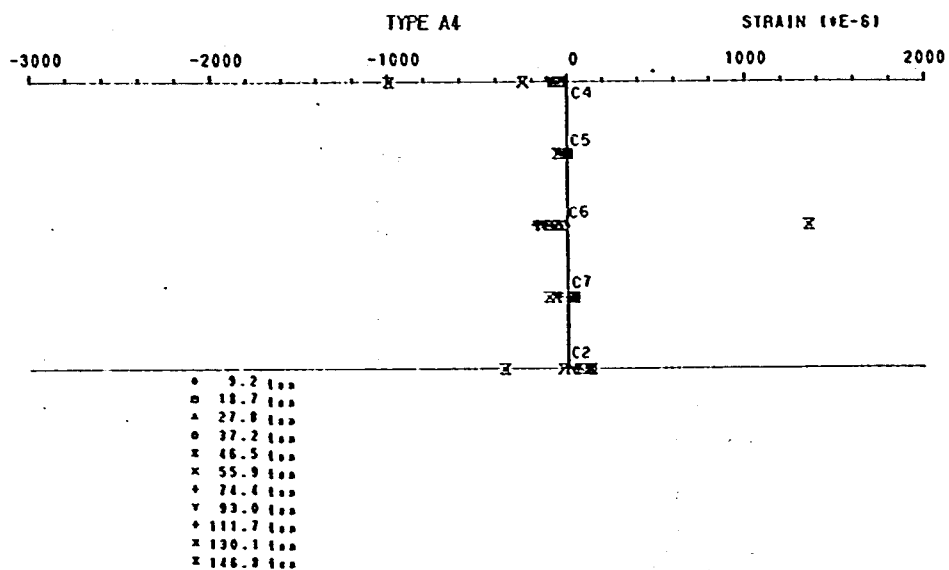


図 - 3. 14 鉛直断面方向の維ひずみ分布図

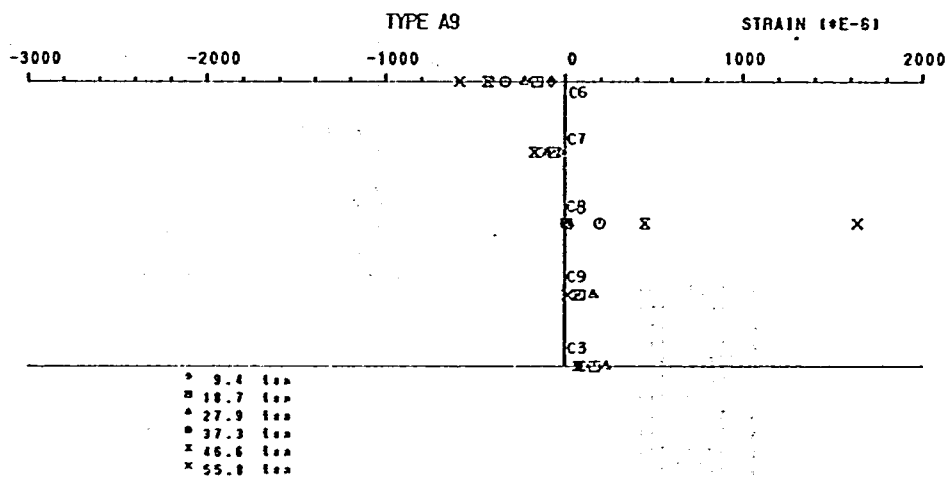
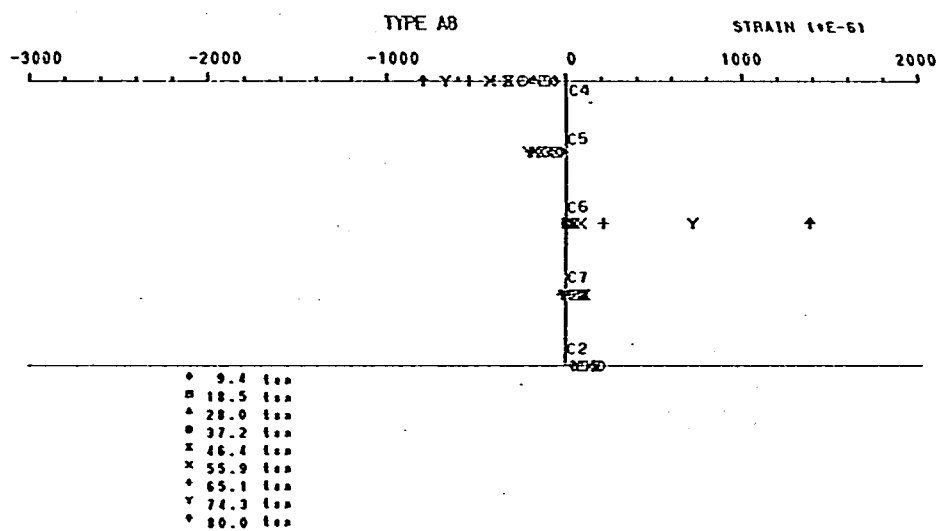
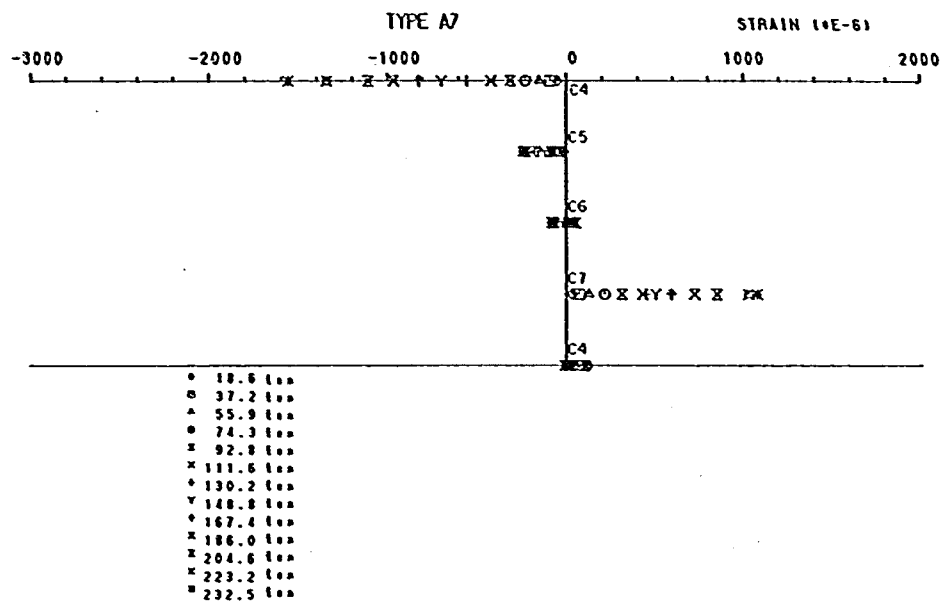


図-3.14 鉛直断面方向の縦ひずみ分布図

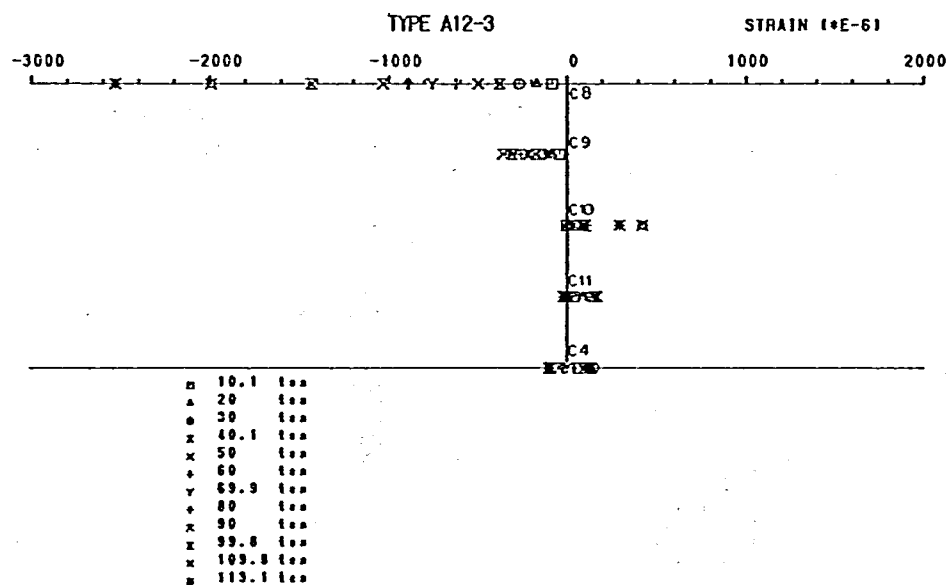
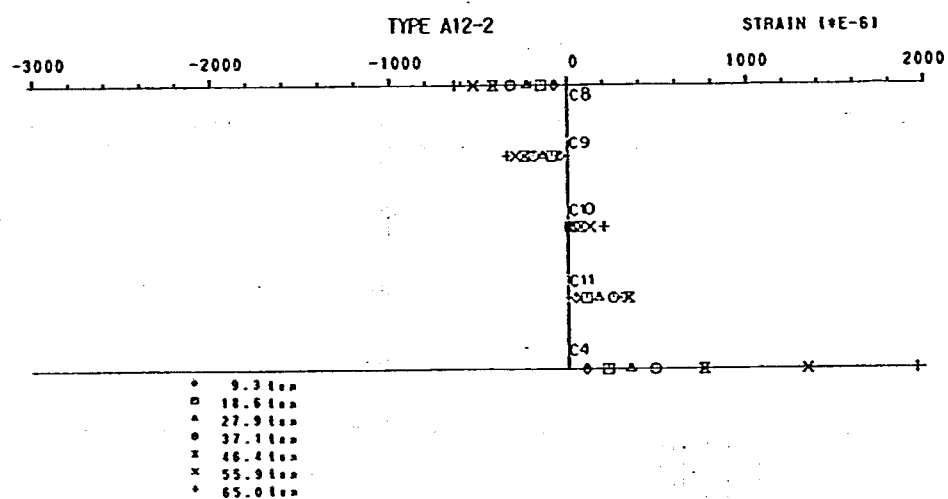
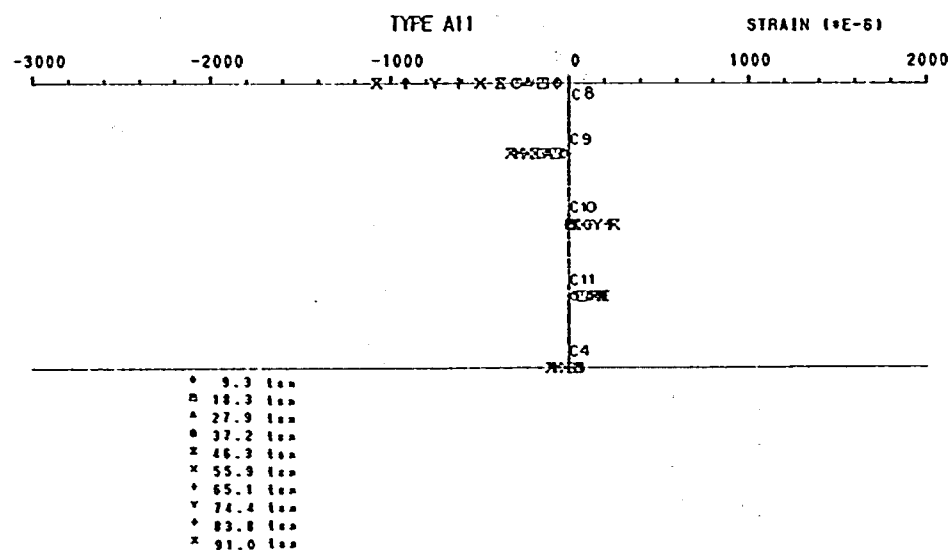


図-3.14 鉛直断面方向の縦ひずみ分布図

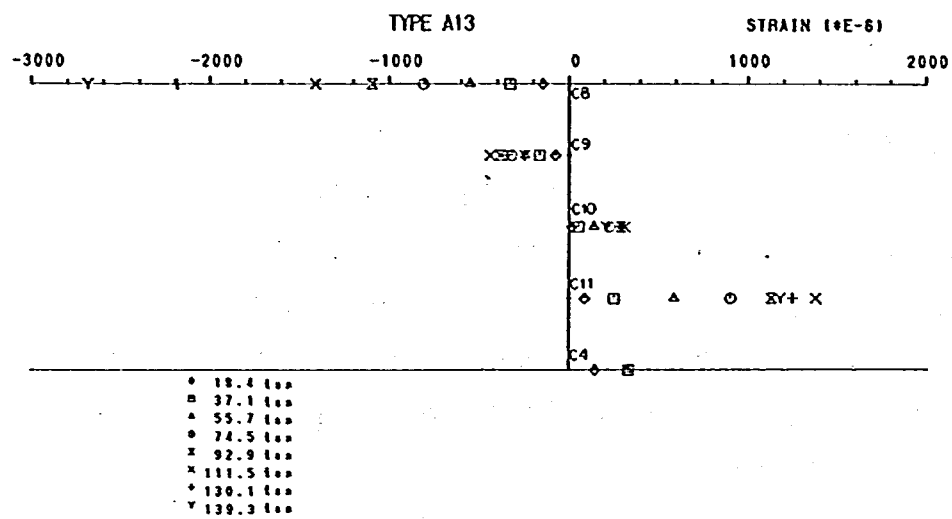


図 - 3. 14 鉛直断面方向の維ひずみ分布図

4. 結 論

A S Rを受けたRC梁に対して静的載荷実験を実施し、部材の耐力特性について検討を行った。本検討から得られた主な結果をまとめると以下のようになる。

- (1) A S Rによって膨張するコンクリートは、主鉄筋およびスターラップによって拘束され、一種のケミカルプレストレスが誘発されていることが確認された。
- (2) A S Rによって発生したひびわれの多くは、不規則な方向に発達しているが、幅の広いひびわれは主鉄筋方向あるいは供試体端部に多く認められ、拘束力の小さい部分においてひびわれが発生することが確認された。
- (3) 鋼尺による長さの測定や超音波伝播速度の測定は、大まかな経時的な劣化度評価の一手法と成りうると判断された。
- (4) A S Rを受けた梁の耐力特性について、今回対象とした比較的短いスパンの梁では、曲げ耐力特性はNタイプよりかなり上昇すると推定される。一方、せん断耐力特性は a/d によってA S Rの影響度合が異なることが推察され、せん断スパン比1.0の梁についてはほぼ同等か若干低下しているものの、せん断スパン比が2.5の梁では2割程度上昇していることが認められた。

お わ り に

以上のように、AS Rを受けたコンクリート部材の耐荷力特性について解明してきたが、本実験で検証された程度の劣化度においては耐力的には大きな問題はないと判断される。しかしながら、実構造物では最大ひびわれ幅が1 cm以上も発生している場合もあり、このような劣化の激しい場合に対しても検討する必要がある。また、本実験では静的載荷実験を実施したが、AS Rを受けた場合の動的な耐荷力特性に対して検討する必要があると考えている。

なお、本研究は建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリート耐久性向上技術の開発」の一環として行われたものである。また、本研究にあたっては、当研究室部外研究員 船越 敦氏に実験・解析面で御協力いただいたことを付記すると共に、その他御指導いただいた関係各位に御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書，設計編，昭和61年10月
- 2) 土木学会：国鉄構造物設計標準解説，昭和59年9月
- 3) 二羽淳一郎：ディープビーム的鉄筋コンクリート部材のせん断耐荷機構，東京大学学位論文

アルカリシリカ反応を起こした
鉄筋コンクリート梁の耐荷力に
関する研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2561号
昭和63年2月(1988)
岡原美知夫, 小幡 宏
田口敬二, 高木比斗志
古池正宏

キーワード: ASR, 耐荷力, 変形性能

要 旨 本資料は、橋梁下部構造躯体のような大断面・低鉄筋コンクリート部材に、アルカリ骨材反応(以下ASRと略記する。)が及ぼす影響を究明するため、ASRによる損傷を受けた部材の載荷実験および調査を行い、ASR部材の耐荷力特性および変形性能について検討を行った結果をとりまとめたものである。なお、本研究は阪神高速道路公団との共同研究として実施したものである。



郵便はがき

四十円切手
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
基礎研究室
御中

No. 007

No. 007

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2561号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印