土木研究所
1.4.12
図書館

共同研究報告書
整理番号第27号

劣化部材の補修・補強技術の開発に関する共同研究報告書

平成元年2月

建設省土木研究所
阪神高速道路公団

「Copyright © (1989) 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。」

共同研究報告書
第27号　1989年2月

劣化部材の補修・補強技術の開発に関する共同研究報告書

建設省土木研究所
地質化学部化学研究室
片脇　清
守屋　進
構造橋梁部基礎研究室
岡原美知夫
小幡　宏
田口敬二
高木比斗志

阪神高速道路公団
工務部設計課
吉川　紀
松本雅治
古池正宏
大西俊之
保全施設部保全技術課
宇藤　滋
富田　穣

要旨

アルカリ骨材反応によって劣化したコンクリート構造物の補修材料の開発および補強技術の開発を目的として，各種補修材料の性能試験および補修効果確認試験等を実施した。また，劣化した部材の力学的試験および変形性能に関する試験を実施した。これらの試験検討結果に基づいて「アルカリ骨材反応被害構造物の補修・補強指針」(案)を作成した。

キーワード：アルカリ骨材反応，コンクリート構造物，補修材料，補強技術

まえがき

近年、アルカリ骨材反応によって劣化したコンクリート構造物が各地にあることが明らかとなるにつれて、その適切な補修方法および補強方法の開発が望まれている。

このため、建設省は総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」を昭和60年度より昭和62年度までの３ケ年間実施した。このなかで、アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の補修材料および補強技術の開発に関して土木研究所は阪神高速道路公団と共同研究を実施した。本報告はアルカリ骨材反応によって劣化したコンクリート構造物の補修材料の開発および補強技術の開発を目的として、各種補修材料の性能試験，補修効果確認試験等を実施した結果および劣化した部材の力学的試験および変形性能に関する試験を実施した結果をとりまとめたものである。

目　次

まえがき

第１編　コンクリート補修用注入材料の開発 …… 1

１．研究の目的 …… 1

２．試験材料 …… 2

３．試験項目 …… 3

４．試験方法および試験結果 …… 4

５．まとめ …… 129

６．注入材および充填材の品質規格（案） …… 131

７．今後の課題 …… 135

第２編　コンクリート補修用被覆材料の開発 …… 137

１．研究の目的 …… 141

２．研究の概要 …… 142

３．第１次試験 …… 144

４．第２次試験 …… 160

５．第３次試験 …… 165

６．まとめ …… 177

７．被覆材料の品質規格（案） …… 178

第３編　補強技術の開発 …… 181

１．ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート梁の静的載荷実験 …… 185

２．ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート梁の疲労試験 …… 239

３．ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート構造物の補修試験 …… 255

あとがき …… 274

付属資料

アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案） …… 275

第１編　コンクリート補修用注入材料の開発

目　　次

1．研究の目的 …… 1

2．試験材料 …… 2

2.1 試験材料の選定 …… 2

2.2 試験材料の種類と特徴 …… 2

3．試験項目 …… 3

4．試験方法および試験結果 …… 4

4.1 基本物性試験 …… 4

4.2 施工性試験 …… 33

4.3 耐久性試験 …… 62

4.4 コンクリートのひびわれ抑制効果試験 …… 97

4.5 試験方法の見直し …… 117

5．まとめ …… 129

6．注入材および充填材の品質規格（案） …… 131

6.1 注入材および充填材の選定 …… 131

6.2 注入材および充填材の品質規格（案） …… 132

7．今後の課題 …… 135

1．研究の目的

本研究は、アルカリ骨材反応により生じたコンクリート構造物のひびわれ補修に用いる注入材料について、その基本物性，施工性，耐久性並びに補修後の長期にわたるひびわれ抑制効果等を検討、評価することにより、ひびわれ補修用として最適な材料を開発することを目的とする。

2．試験材料

2.1　試験材料の選定

アルカリ骨材反応により生じたコンクリート構造物のひびわれ補修に使用する注入材料および充填材料のうち、現在使用されている材料および使用可能と考えられる材料から、注入材料として、エポキシ樹脂系，ポリウレタン系，ポリマーセメント系，スラグ系を、充填材料としてポリサルファイド系を選定した。

2.2　試験材料の種類と特徴

選定した試験材料を表－1に示す。

表－1　試験材料

材料分類（系別）	種　類	特　　長	混合比
1.エポキシ樹脂系	(1)硬質標準形	引張強度300kg/cm以上 湿潤面に対しても接着効果有	主：硬化剤＝ 2：1
	(2)柔軟形－1	伸び率100%以上 接着性に優れている	主：硬化剤＝ 2：1
	(3)柔軟形－2	伸び率200%以上 接着性に優れている	主：硬化剤＝ 2：1
	(4)柔軟形－3	揺変性有、伸び率50%以上 接着性に優れている	主：硬化剤＝ 2：1
2.ポリウレタン系	(5)ポリウレタン	伸び率300%以上 低温下での伸び特性に優れる	主：硬化剤＝ 100：2
3.ポリマーセメント系	(6)アクリル	湿潤部への注入ができるセメントスラリー状	ﾊﾟｳﾀﾞｰ：ﾗﾃｯｸｽ：水＝9:1:2.5
	(7)エポキシ	湿潤部への注入ができるセメントスラー状	ｽﾗﾘｰﾍﾞｰｽ：ﾊﾟｳﾀﾞｰ：早強ｾﾒﾝﾄ＝8:5:10
4.スラグ系	(8)コロイド	湿潤部への注入ができる灰白色スラリー状	ﾊﾟｳﾀﾞｰ：無収縮材：水＝100:2:70
5.シーラント系	(9)ポリサルファイド	弾性シーリング材 目地の繰り返し伸び追従性優	主：硬化材＝ 10：1

注）混合比は、重量比で示す。

3．試験項目

本試験において注入材料および充填材料の基本物性，施工性，耐久性およびひびわれ抑制効果について以下の項目について試験を行い、その性能を評価した試験項目を表－2に示す。

表－2　試験項目

試験材料 / 試験項目		エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	ポリマーセメント系		スラグ系	シーラント系
		硬質標準形	柔軟形-1	柔軟形-2	柔軟形-3	ポリウレタン	アクリル	エポキシ	コロイド	ポリサルファイド
基本物性試験	熱膨張係数	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	粘弾性	○	○	○	○	○	－	－	－	○
	引張強さ	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	伸び率	○	○	○	○	○	－	－	－	○
	引張せん断接着強さ	○	○	○	○	○	－	－	－	○
	ﾓﾙﾀﾙ付着強さ	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	水蒸気透過性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	硬化収縮率	○	○	○	○	○	○	○	○	○
施工性試験	注入深さ	○	○	○	○	○	○	○	○	－
	注入可能ひびわれ幅	○	○	○	○	○	○	○	○	－
	粘度	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	可使時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	硬化時間	○	○	○	○	○	○	○	○	○
耐久性試験	耐水性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐アルカリ性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	耐塩水	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	付着力耐久性	○	○	○	○	○	○	○	○	○
注入効果	コンクリートひびわれ抑制硬化試験	○	○	○	○	○	○	○	○	○

4．試験方法および試験結果

4.1　基本物性試験

注入材料の基本物性を明らかにするための試験である。

4.1.1 熱膨張係数

各材料の硬化物の熱膨張係数を測定した。

（1）試験方法

熱機械分析装置（ＴＭＡ）で－20℃～60℃の熱膨張係数を測定した。

（2）試料

標準試料として石英ガラスを使用し、試料が膨張する場合は、試料と同じ長さか少し短めのものを選び、試料が収縮する場合は、試料の予想される収縮量だけ短いものを選んだ。試料は、２×２×５㎝に成形したものを用いた。

（3）試験体の硬化条件

・エポキシ樹脂系、ポリウレタン系 …… 20℃×７日間硬化

・ポリサルファイド系 …… 20℃×７日＋50℃×７日間硬化

・ポリマーセメント系，スラグ系 …… 20℃×28日間湿潤養生

（4）試験体数

ｎ＝３

（5）試験結果

各材料の硬化物の熱膨張係数の試験結果を表－３(1)，(2)に示す。

表－３（１）熱膨張係数試験結果

試験項目	試験条件	エポキシ樹脂系			
		硬質標準形	柔軟形－１	柔軟形－２	柔軟形－３
熱膨張係数 ($\times 10^{-5}$)	Ｔｇ以下	5.5	10.7	8.1	6.1
	Ｔｇ以上	13.7	16.6	12.3	10.5

表－３（２）熱膨張係数試験結果

試験項目	ポリマーセメント系		スラグ系
	アクリル	エポキシ	コロイド
熱膨張係数 ($\times 10^{-5}$)	1.2	1.3	1.2

材料のうち、ポリウレタン系，ポリサルファイド系は非常に柔軟であるので試験体の作成が難しいうえ、寸法計測やＴＭＡによる測定の誤差が大きいので測定不能とした。

表－３（１）に示すように硬質標準形および柔軟形－３は一般的なエポキシ樹脂硬化物の熱膨張係数とほぼ同じぐらいであるが、柔軟形－１および－２はそれよりやや大きな値を示した。

ガラス転移点（Ｔｇ）以上ではいずれも熱膨張係数は増大し材料によっては倍以上の値を示すものもある。表－３（２）の無機質系が主成分であるポリマーセメント系あるいはスラグ系はコンクリートに近い熱膨張係数を得た。

4.1.2 粘弾性試験

（１）概要

高分子物質の力学的性質は、一般に時間及び温度依存性が有り、その線形範囲内での力学的挙動は、緩和時間分布スペクトル系統的に記述できることが知られており、複素弾性率もスペクトル形状から算出することができる。

例えば、塗膜等の粘弾性物質に振幅σ_0，周波数ｆの正弦的に変化する応力を生ぜしめると、応力σは

$$\sigma = \sigma_0 \sin wt, \qquad w = 2\pi f$$

とあらわされ、載荷された物体の歪み（振幅）をE_0とすると、

$$E = E_0 \sin (wt - \delta)$$

で表現される。歪みは、周波数ｆでδだけ位相の遅れた正弦的変化を示すことがわかる。

σ_0とE_0の比として複素弾性率（complex modulus）Ｅがあたえられ、これをベクトル表示すれば、

$E = E' + iE''$となり、その大きさは、

$|E| = (E')^2 + (E'')^2$である。

これらは、スティフネス（Stiffness）とおなじものと考えられる。応力と歪みの位相のずれからも得られる位相角（phase difference）は、損失正切（loss tangent）で表現され、その大きさは、

$$\tan\delta = E'/E''$$

となる。これは、物体の粘性的要素の大きさを示す。

実数部のＥ'は動的弾性率（dynamic modulus），虚数部のＥ"は損失弾性率（loss modulus）と言われているもので、その大きさは、

$$E' = |E| \cos\delta$$

$$E'' = |E| \sin\delta$$

で表現される。

（2）試験装置

粘弾性の測定には、粘弾性スペクトロメーターを用いる。本装置測定機構を図－1に示す。また、主な仕様を以下に示す。

無歪動的出力　：　2 kgr

周波数範囲　：　0.001 ～ 100 Hz

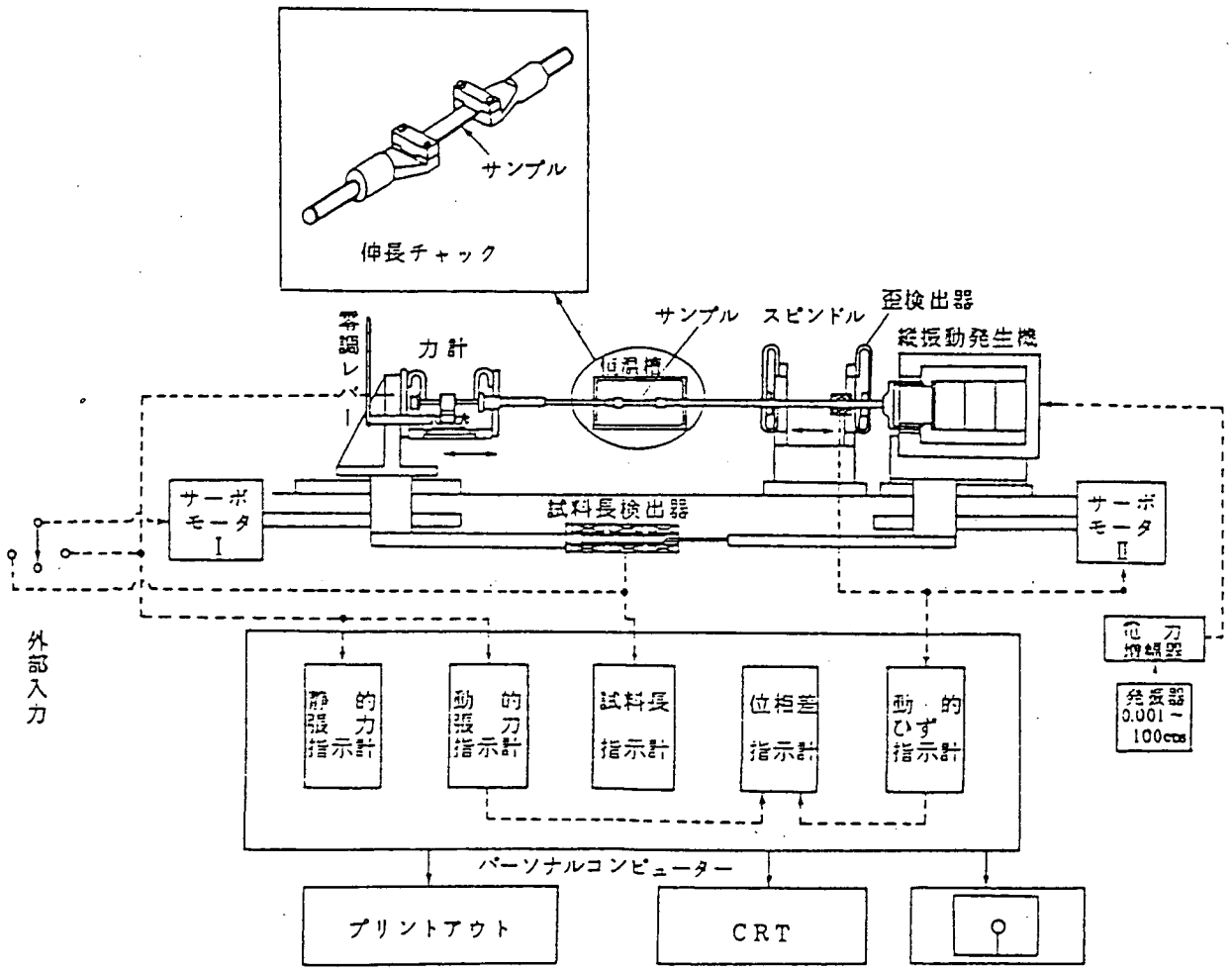
温度範囲　：　-100 ～ 100 ℃

力計検出範囲　：　2×10^4 ～ 2×10^6 dyne pp

試験片最大寸法　：　長さ40㎜，厚み 2 ㎜，幅 5 ㎜

測定範囲　：　伸長変形E　10^8 ～ 10^{12} dyne／㎠

固体せん断G　10^6 ～ 10^8 dyne／㎠



図－1　測定機構

（3）試験片

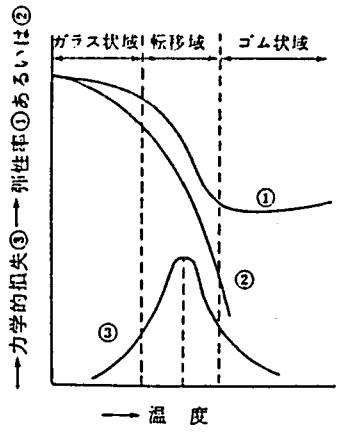
材料の粘弾性の測定には、引張り強度試験用に作成した厚み2㎜の遊離膜から試験片を作成した。試験数は、n＝1とした。

（4）測定方法

塗膜の粘弾性の測定は、膜厚が一般に薄いため精度の高い方法が要求される。このため、力計を小さい力まで測定できるものに取り替え、試験片取り付けチャックがすべらないような形状となるように工夫した。

液体窒素を用いる試験温度を調節可能な恒温装置を取り付け、極低温－100℃より100℃までの粘弾性測定を行った。なお、測定周波数は、10Hzで固定した。

位相や歪み等の測定値は、オンラインでパーソナルコンピューターを用いて、複素弾性率およびｔａｎδを算出した。図－2に示すｔａｎδ－温度関係図よりｔａｎδの極大値から、ガラス転移温度（Ｔｇ）を求めた。



図－2　塗膜の弾性率（力学的損失）の温度依存性

（5）試験結果

表－4　粘弾性（ガラス転移温度Ｔｇ）試験結果

試験項目	単　位	エポキシ樹脂系			
		硬質標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3
Ｔｇ	℃	50	35	25	10

注）測定条件　載荷形式：引張，　振動制御：変位一定　15m，　振動数 10Hz

ポリウレタン系，およびポリサルファイド系は柔軟すぎるため測定機構上測定不能であった。各試料とも2回測定したが、ばらついているので作図はそれらの値の対数値を平均してプロットしてあるので急激に変化する点を主に参考とした。

表－4のガラス転移温度Ｔｇは図のｔａｎδのピークから求められ、これを境に樹

脂はゴム領域へと相転移し、その物性も急激に変化する。Ｔｇは樹脂の柔軟性に伴って低くなる傾向にあり柔軟形－３が最も低いＴｇを示した。

4.1.3 引張強さ試験

（1）概要

各材料硬化物の－20℃，０℃，20℃，40℃，60℃時の引張強さを調べる。

引張強さはJIS K 7113（プラスチックの引張試験方法）の１号形でエポキシ樹脂系硬質標準形を、２号形でエポキシ樹脂系柔軟形３種類と、ポリウレタン系およびシーラント系を測定する。

ポリマーセメント系とよびスラグ系は、ＡＳＴＭ　Ｃ－１９０のブリッケト型で引張強さを測定する。

（2）試験体

試験体はその形状及びその寸法のよって、次の３種類とした。

1) １号試験体：この試験体は主として破壊時の伸びが比較的小さい材料、例えば熱硬化性樹脂積層板，硬質熱可塑性成形材料の引張試験に用いる。

成形材料の場合は、関連規格又は当時者間の協定によって成形条件に従って射出又は圧縮成形して作るか、板状に成形した後、機械加工によって試験体の形状を整える。試験体の厚さは３～４㎜とする。板状製品の場合は機械加工によって試験体を作成する。この場合、試験体の厚さは板の厚さとするが、厚さが10㎜を超える場合は機械加工によって板の両面を同量削り、10㎜とする。

2) ２号試験体：この試験体は破壊時の伸びが比較的大きい材料、例えばポリエチレン，軟質塩化ビニルなどの成形材料及び押し出しコンパウンドの引張試験に用いる。

成形材料の場合は、関連規格又は当事者間の協定による成形条件に従って射出又は圧縮成形して作るか、又は板状に成形した後、機械加工によって試験体の形状とする。この場合の試験体の厚さは１～３㎜とする。板状製品の場合は、機械加工によって試験体を作成する。試験体の機械加工方法としては、切削によるほか、打抜刃によって打ち抜いてもよい。

3)ブリッケト型試験体：ＡＳＴＭ　Ｃ－１９０に準ずる。

（3）試験速度

試験速度は、試験中につかみ具が分離する速度である。ただし、つかみ具の分離速度が、空運転か、負荷運転かに関係なく、事実上変わらない試験機では空運転のつか

み具分離速度を試験速度と見なしてもよい。

試験速度は、次の速度から一つを選ぶ。この場合、どの速度を採るかは他の関連規格によって定める。この規定のないときは、表－5を参考にして当事者間の協定によって定める。

速度A	1㎜／min±50%	速度F	50㎜／min±10%
速度B	2㎜／min±20%	速度G	100㎜／min±10%
速度C	5㎜／min±20%	速度H	200㎜／min±10%
速度D	10㎜／min±20%	速度I	500㎜／min±10%
速度E	20㎜／min±10%		

表－5　試験片と試験速度

試験片の形状	試　験　材　料	試験片作成方法	望ましい	参　考
		試験片作成方法	厚さ　㎜	試験速度
1号形	硬質熱可塑性樹脂成形材料 熱可塑性強化プラスチック	射出成形 圧縮成形	3～4	B, C, D. E, F,
	硬質熱可塑性樹脂板 熱硬化性樹脂板。積層板を含む	板から機械加工	3～4	A, B, C, D, E, F, G
2号形	硬質熱可塑性成形材料 軟質熱可塑性樹脂板	射出成形 圧縮成形 板から機械加工 板から打抜加工	2	F, G, H, I,

（4）計算

引張降伏強さ，引張強さ，引張破壊強さ又は規定歪み降伏強さは、次の式によって計算する。

$$\delta = \frac{F}{A}$$

ここに、δ：引張降伏強さ，引張強さ，引張破壊強さ，又は規定歪み降伏強さ

(kgf／㎠)，　{N／㎠}

F：降伏時，最大荷重時，破壊時，規定歪み時における荷重

(kgf)，　{N}

A：試験片の基の最小断面積

(㎠)

（5）試験体の硬化条件

4. 1. 1 の（3）に準じる。

（6）試験体の数

n＝5

（7）試験結果

引張強さ試験結果を表－6（1），（2）に示す。

表－6（1）のエポキシ樹脂系はいずれも40℃以上になると強度は急激に低下し、0℃以下では硬質標準形以外は、強度が増大するなど温度依存性は他の材料に比べて大きかった。ポリウレタン系，ポリサルファイド系はともに20℃での強度は小さいのでエポキシ樹脂系にくらべると温度による強度の変動幅は小さかった。

表－6（2）に示すポリマーセメント系も樹脂系ほどではないがやはり温度依存性が認められる。スラグ系コロイドは低温側の方がやや強度は大きくなる傾向がある。

なお、スラグ系コロイドは28日間湿潤養生後、室温で2ヶ月間保存したものを用いた。

表－6（1）引張強さ試験結果

試験項目	試験条件（℃）	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系
		硬質標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3	ポリウレタン
引張強さ	-20	475 (95)	330 (375)	22 (68)	—	—
	-10	—	—	—	447(1834)	91 (170)
	0	474 (89)	406 (464)	103 (312)	137 (523)	80 (151)
	20	501 (100)	88 (100)	33 (100)	26 (100)	53 (100)
	40	83 (16)	13 (15)	82 (24)	13 (50)	40 (75)
	60	40 (1)	11 (13)	86 (27)	80 (31)	32 (60)

表－6（2）引張強さ試験結果

試験項目	試験条件（℃）	ポリマーセメント系		スラグ系コロイド	シーラント系ポリサルファイド
		アクリル	エポキシ		
引張強さ	-20	83 (202)	114 (169)	13 (157)	27 (169)
	0	73 (178)	91 (136)	81 (98)	16 (100)
	20	41 (100)	67 (100)	84 (100)	16 (100)
	40	21 (51)	43 (64)	57 (68)	11 (69)
	60	19 (46)	27 (40)	59 (40)	9 (56)

注）（ ）内は20℃に於ける強度に対する変化率を示す。
単位：kgf/cm²

4.1.4 伸び率

各材料硬化物の－20℃，０℃，20℃，40℃，60℃の時の伸び率を測定する。

（1）計算

試験方法等は4．1．3の引張強さに準じる。

引張降伏伸び，引張破壊伸び又は引張最大荷重時伸びは、次の式によって算出する。

$$1 = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100$$

ここに、1　：引張降伏伸び，引張破壊伸び又は引張最大荷重伸び（%）

L　：降伏時，破壊時，最大荷重時の標線間距離（㎜）

L_0：元の標線間距離（㎜）

なお、伸び計が低温下で性状に作動しないため硬質標準形，柔軟形－1，柔軟形－2はチャック間の伸びを測定し（表中不等号で表示），柔軟形－3及びポリウレタン系は－10℃までの伸びを測定した。

（2）試験結果

伸び率試験結果を表－7に示す。

表－7　伸び率試験結果

試験項目	試験条件（℃）	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	シーラント系
		硬質標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3	ポリウレタン	ポリサルファイド
伸び率（%）	-20	11　(42)	<6　(<5)	<6　(<5)	—	—	>500(>47)
	-10	—	—	—	<6　(<7)	460(117)	—
	0	12　(39)	<6　<5	<6　<3	94　(113)	409(104)	>500(>47)
	20	26　(100)	130　(100)	208　(100)	83　(100)	392(100)	1075　(100)
	40	>10　(385)	80　(82)	216　(104)	39　(47)	265　(68)	>500(>47)
	60	>10　(385)	60　(46)	208　(208)	20　(24)	256　(65)	>500(>47)

硬質標準形は引張強さと同様40℃以上で転移域にあると考えられ、硬化物はゴム状になり伸びは大きくなった。20℃以下での伸びは小さく変化は少なかった。

柔軟形の3種類は共に－10℃以下ではガラス状になり伸びはほとんど無くなった。0℃で柔軟形－3のみが柔軟性を保っているのはTgが他の2種に比べて10℃と低いところにあるのが寄与していると思われる。

ポリウレタン系の場合は低温側の方がむしろ大きく温度が高くなるに従い伸び率は

減少した。この結果からポリウレタン系のＴｇは－10℃以下にあることが予想される。ポリサルファイド系は伸び率が非常に大きく恒温槽内での試験機のストロークガ不足し、いずれの試験温度も500％の伸び率までしか測定できないためこの範囲内でのポリサルファイド系の伸びの温度依存性は不明である。

4.1.5 引張せん断接着強さ

（1）概要

樹脂系材料の鋼材への接着性を確認するためにJIS K 6850（接着剤の引張せん断接着強さ試験方法）に準拠し、－20，0，20，40，60℃時の引張せん断接着強さを測定する。

1）試験の一般条件

JIS K 6848（接着剤の接着強さ試験方法通則）の３．による。

2）試料の採り方及び扱い方

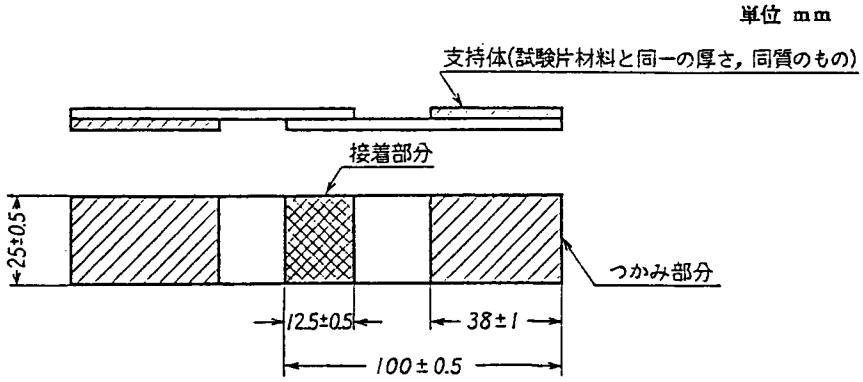
JIS K 6848の４．による。

（2）試験体

1）供試体は鋼板としその厚さは約1.6㎜とした。

2）試験体の作り方

鋼板はJIS K 6848により表面処理を施し、図－３に示す形状，寸法に５個作成した。



図－３　試験体の形状と寸法

（3）測定方法

試験体の端のつかみ部分を支持体とともに試験機のチャックに固定し、試験体の長軸とチャックの中心線が一直線上にあり、荷重が正しくその線上を通るようにして破壊す

るまでの最大荷重を測定する。荷重速度は毎分500kgf（4.91ｋN）以下とする。接着強さは最大荷重をせん断面積で除して求めた。

（4）試験体の硬化条件

20℃，7日とした。

（5）試験結果

引張せん断試験結果を表－8に示す。

表－8　引張せん断試験結果

試験項目	試験条件（℃）	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	シーラント系
		硬質標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3	ポリウレタン	ポリサルファイド
引張剪断接着強さ（kgf/㎠）	-20	151 (88)	246 (296)	205 (293)	212 (558)	9.7(176)	27 (169)
	0	165 (96)	224 (270)	205 (293)	123 (324)	9.6(175)	16 (100)
	20	172 (100)	83 (100)	70 (100)	38 (100)	5.5(100)	16 (100)
	40	176 (102)	22 (27)	18 (26)	16 (42)	4.7 (85)	11 (69)
	60	68 (40)	15 (18)	9 (13)	11 (29)	3.5 (64)	9.0 (56)

注）（ ）内は20℃に於ける強度に対する変化率を示す。
試験片の材質はSS41でサンドブラストで表面を研磨、ＭＥＫにて脱脂して用いた。

硬質標準形は40℃以下での温度依存性は少なかった。40℃においてその強度低下が引張強さに比べ小さいのは、硬化樹脂が柔軟になり引張せん断時に接着部が受ける曲げのモーメントを緩和するためと考えられる。

柔軟形の3種は引張試験と同様Ｔｇ以下の低温側で強度は増大したが、これは接着性の増大よりは樹脂が硬くなることによると思われる。ポリウレタン系，ポリサルファイド系も引張試験の結果と同じように強度は小さく温度による変動も少なかった。

4．1．6 モルタルとの付着性試験

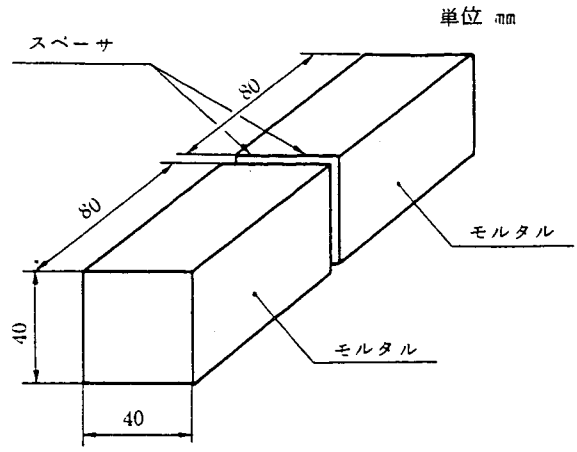
（1）概要

JIS A 6024（建築補修用注入エポキシ樹脂）の 4.8接着強さ試験に準じて接着曲げ試験を行い、曲げ破断時の荷重から接着強さとその破壊状況を、さらに荷重～たわみ図から最大たわみ量を測定する。

（2）試験片の作製（n＝3）

JIS R 5201（セメントの物理試験方法）の 6.4により被着体を作製する。ただし寸法は、40×40×80㎜とし、28日間以上20±3℃の水中で養生し、健全に硬化したものとする。接着面はサンデングし、異物を取り除いておく。

図－４に示すように、接着層の厚さが所定の厚さになるように中央部にスペーサをはさみ試料が流出しないように粘着テープなどでシールし、調製した試料を注入して試験体とする。ただし、だれのない試料は、試験体の接着面に試料を塗布して、図－４に示す試験体とすることができる。



図－４　供試体の形状及び寸法

湿潤時の被着体は、表面の水分を清潔な綿布で軽くふきとって用いる。

1）表面状態　①－１　乾燥（JIS A 6024の標準条件）

①－２　湿潤（JIS A 6024の湿潤時）

2）注入後の養生は各種材料の標準硬化条件とする。

②－１　20℃，７日：エポキシ樹脂計，ポリウレタン系

②－２　20℃，７日＋50℃，７日：ポリサルファイド系

②－３　20℃，28日：ポリマーセメント系，スラグ系

3）注入厚さ（mm）

③－１　0.5　　③－２　2.0　　③－３　5.0

（3）測定方法

接着強さの測定は荷重方法で、毎秒５kgf　{49N}の割合で載荷して最大荷重を求める。接着強さは、次の式を用いて計算する。

$$\text{接着強さ（kgf/cm}^2\text{）　\{N／cm}^2\text{\}} = \frac{12P}{bh^2}$$

ここに、P：最大荷重（kgf）{N}

b：試験体の幅（cm）

h：試験体の高さ（cm）

1）試験温度

接着層が試験温度に達したことを確認した後、載荷した。

②－１　　－１０℃

②－２　　０℃

②－３　　２０℃

②－4　　40℃

2) 試験体の数

n＝3

（4）試験結果

試験結果を表－9(1), (2)に示す。伸び率の大きな材料の付着力及びたわみ量は注入した材料が破壊しはじめた点を測定値とした。

1) 硬質標準形

接着強さ：乾湿，注入厚みには余り関係なく一定の値を示したが、低温側で大きく高温側で小さくなる傾向があり温度依存性が認められた。

たわみ量：いずれの条件下でも有為差はなかった。

破壊状況：湿潤綿で注入厚み0.5㎜，40℃の条件に於いて一部界面破壊となった外は全てモルタル母材からの破壊であった。

2) 柔軟形－1，－2，－3

接着強さ：湿潤面は乾燥面に比べ強度はやや低下し、また注入厚みが大きくなるほど減少した。

たわみ量：柔軟形－1は乾湿共に注入厚みが大きく、温度が高くなるに従いたわみ量は大きくなり、又その量も湿潤面の方が大である。柔軟形－2は乾湿面の0.5㎜及び乾燥面の1.0㎜では柔軟形－1と同一傾向であるが、それ以外については柔軟形－3と共に書く注入厚みも20℃で最大のたわみ量を示した。

破壊状況：低温側ではモルタル母材の破壊、高温側では凝集破壊という状況であるが、柔軟形－1は0℃及び20℃の湿潤面で、また柔軟形－2は40℃の乾燥面でいずれも注入厚みの大きな側で一部界面破壊が見られた。

3) ポリウレタン系

接着強さ：乾燥面よりむしろ湿潤面の方がやや大きく、注入厚みは0.5㎜が他に較べて小さくなった。温度依存性は他の樹脂系同様であった。

たわみ量：乾湿では湿潤面の方が全般にたわみ量は大きかった。乾燥面の2.0㎜，5.0㎜及び湿潤面の2.0㎜は低温側でたわみ量は大きくなった。湿潤面の5.0㎜では20℃が最大になった。

破壊状況：いずれの条件下でも樹脂の凝集破壊であった。

4) ポリマーセメント系（アクリル，エポキシ）

接着強さ：乾湿共に0.5㎜の注入厚みでは低い値を示したがそれ以外は特徴的な傾向はなかった。

温度依存性は若干あるように見受けられる。

たわみ量：伸び率から判断するとほとんどないと考えられるがエポキシ樹脂と同等のたわみ量が検出された。これは、おもに測定誤差と考えられる。

破壊状況：注入厚み0.5㎜は界面破壊がほとんどでその他はモルタル母材の破壊が主であった。

5) スラグ系コロイド

接着強さ：試験機にセットするときに破壊するものが多く（表中－印）測定可能なものはいずれの条件下でも低い値となった。

たわみ量：ポリマーセメント系同様これも余り参考にならなかった。

破壊状況：全て凝集破壊であった。

6) ポリサルファイド系

接着強さ：注入厚みの大きさに比例する傾向もあるが試験方法の適，不適もあり本質的なものとは言いがたい。

たわみ量：伸び率に比例して試験材料中最も大きな結果が得られた。

破壊状況：すべて凝集破壊である。

表－9（1）基本物性試験結果一覧表（モルタルとの付着性，乾燥面）

注入厚	試験温度	試験内容	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	ポリマーセメント系		スラグ系	ポリサルファイド系
			硬化標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3	ポリウレタン	アクリル	エポキシ	コロイド	シーラント
0.5㎜	-10℃	付着力（kgf/㎠）	126	101	100	87	16	(20)	(53)	－	38
		たわみ量（㎜）	0.45	0.43	0.41	0.36	1.46	(0.59)	(0.22)	－	1.39
	0℃	付着力（kgf/㎠）	110	85	97	94<	14	(16)	52	－	34
		たわみ量（㎜）	0.48	0.36	0.41	0.36	1.08	(0.17)	0.39	－	2.03
	20℃	付着力（kgf/㎠）	89	77	86	89	7	(19)	29	(1)	29
		たわみ量（㎜）	0.43	0.50	0.40	0.83	1.45	(0.36)	0.35	(0.07)	2.00
	40℃	付着力（kgf/㎠）	69	57	82	36	6	(9)	15	1	21
		たわみ量（㎜）	0.44	0.50	0.75	0.08	0.86	(0.34)	0.33	0.08	1.60
2.0㎜	-10℃	付着力（kgf/㎠）	113	92	113	93	32	(107)	64	(58)	54
		たわみ量（㎜）	0.38	0.40	0.35	0.36	2.77	(0.45)	(0.14)	(0.34)	3.62
	0℃	付着力（kgf/㎠）	100	101	93	94<	21	84	66	36	46
		たわみ量（㎜）	0.38	0.35	0.34	0.50	2.60	0.36	0.25	0.17	5.60
	20℃	付着力（kgf/㎠）	87	88	85	76	12	75	67	21	31
		たわみ量（㎜）	0.39	0.48	0.42	1.97	2.16	0.65	0.42	0.33	6.43
	40℃	付着力（kgf/㎠）	83	85	51	31	10	51	48	14	17
		たわみ量（㎜）	0.57	0.84	1.58	0.76	1.78	0.43	0.36	0.15	4.08
5.0㎜	-10℃	付着力（kgf/㎠）	97	91	101	112	30	124	95	(32)	74
		たわみ量（㎜）	0.45	0.31	0.39	0.34	5.03	0.45	0.22	(0.28)	7.07
	0℃	付着力（kgf/㎠）	99	89	92	94<	18	127	(87)	59	35
		たわみ量（㎜）	0.36	0.34	0.33	0.85	4.51	0.32	0.35	0.21	8.30
	20℃	付着力（kgf/㎠）	86	77	75	65	13	84	94<	36	31
		たわみ量（㎜）	0.43	0.71	3.03	3.06	4.39	0.53	0.34	0.33	11.20
	40℃	付着力（kgf/㎠）	72	54	23	25	8	59	56	30	69
		たわみ量（㎜）	0.39	1.29	2.00	1.08	2.84	0.40	0.35	0.22	12.05

表－9（2）基本物性試験結果一覧表（モルタルとの付着性，湿潤面）

注入厚	試験温度	試験内容	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	ポリマーセメント系		スラグ系	ポリサルファイド系
			硬化標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3	ポリウレタン	アクリル	エポキシ	コロイド	シーラント
0.5㎜	-10℃	付着力（kgf/㎠）	113	106	120	68	21	13	45	5	－
		たわみ量（㎜）	0.43	0.35	0.43	0.98	1.84	0.33	0.17	0.08	－
	0℃	付着力（kgf/㎠）	110	92	65	38	19	10	40	(3)	－
		たわみ量（㎜）	0.45	0.33	0.26	0.80	1.99	0.24	0.47	(0.05)	－
	20℃	付着力（kgf/㎠）	73	85	89	57	15	9	22	4	－
		たわみ量（㎜）	0.35	0.47	0.60	1.94	1.94	0.33	0.39	0.30	－
	40℃	付着力（kgf/㎠）	62	39	32	29	12	5	18	4	－
		たわみ量（㎜）	0.40	0.70	0.80	1.00	1.25	0.13	0.35	0.09	－
2.0㎜	-10℃	付着力（kgf/㎠）	113	85	93	100	43	101	119	27	－
		たわみ量（㎜）	0.55	0.33	0.30	0.30	4.99	0.40	0.21	0.21	－
	0℃	付着力（kgf/㎠）	110	85	89	47	31	82	70	26	－
		たわみ量（㎜）	0.41	0.31	0.32	0.84	4.86	0.37	0.31	0.10	－
	20℃	付着力（kgf/㎠）	100	63	43	34	20	56	94<	27	－
		たわみ量（㎜）	0.41	0.92	1.60	2.31	3.71	0.45	0.28 <	0.26	－
	40℃	付着力（kgf/㎠）	88	43	19	25	14	52	64	13	－
		たわみ量（㎜）	0.48	0.86	1.04	1.18	2.81	0.27	0.30	0.22	－
5.0㎜	-10℃	付着力（kgf/㎠）	104	97	69	61	47	83	81	30	－
		たわみ量（㎜）	0.47	0.38	0.26	0.24	3.95	0.35	0.18	0.21	－
	0℃	付着力（kgf/㎠）	100	85	77	76	23	69	67	18	－
		たわみ量（㎜）	0.35	0.34	0.31	0.93	6.13	0.28	0.27	0.15	－
	20℃	付着力（kgf/㎠）	85	54	40	24	16	88	70	33	－
		たわみ量（㎜）	0.36	1.62	4.03	2.29	7.13	0.49	0.57	0.34	－
	40℃	付着力（kgf/㎠）	59	27	12	6	12	57	43	9	－
		たわみ量（㎜）	0.47	1.62	2.00	1.57	5.31	0.36	0.29	0.10	－

4.1.7　水蒸気透過阻止性試験

（1）概要

透湿度とは、一定時間に単位面積の膜状物質を通過する水蒸気の量である。本試験では、遊離膜を境界面とし、一方の側の空気を相対湿度90%、他の側の空気を吸湿剤によって乾燥状態に保ち、24時間で膜を通過する水蒸気の量（g）を測定し、その材料1㎡当たりに換算した水蒸気量を膜の透過度とする。

（2）試験方法

JIS Z 0208防湿包装材料の透湿度試験方法（カップ法）に準拠して行う。

試験温度は20℃と40℃の2水準である。

（3）装置

①透湿カップの形状

上記カップ法の規定に準拠した包装材透湿カップを用いる。

②恒温恒湿装置

20℃±0.5℃，40℃±0.5℃に設定可能であるもの。

（空気の循環速度は1.2m／sec）

③化学天秤

測定容量 200g，感度 0.1mg であるもの。

（4）試験片の製作

試験片の製作は供試材料の標準硬化条件とする。

（5）試験条件

①条件A　　温度20℃±0.5℃　　相対湿度90±2%

②条件B　　温度40℃±0.5℃　　相対湿度90±2%

（6）操作

①吸湿剤（和光純薬工業㈱水分測定用，塩化カルシウム）を入れたガラス皿をカップに入れて水平に保ったカップ台にのせる。この時の吸湿剤の表面はできるだけ平らにして、試験片の下面との距離が約3㎜となるようにする。

②試験片をカップと同心円になるような位置にのせ、ガイドをカップ台の溝に合わせてかぶせる。

③ガイドに合わせて試験片がカップの上縁に密着するまでリングを押し込み、その上におもりをのせる。

④リングが移動しないように注意してガイドを垂直に引き下げて取り除き、溶融した封ろう剤（メルクジャパン㈱製、融点69～73℃パラフィン）をカップの周縁の溝に流し込み、試験片の縁を封かんする。この時、き裂，あわなどの発生がないように注意する。

⑤封ろう剤が固化してから、おもり及びカップ代を取り除く。封かん部分以外に付着した封ろう剤を取り除き、試験体とする。

⑥試験片を所定の試験条件に保った恒温恒湿装置中に入れる。２時間、試験片を同装置中に置いた後、取り出して20℃±１℃，60℃±５％ＲＨの室内に30分間静置し、室温と平衡させ、化学天秤でその質量（m_0）を測定する。

⑦試験体を再び恒温恒湿装置中に入れ、適当な時間間隔でカップを取り出して秤量する操作を繰り返してカップの質量増加を測定する。この時、二つの連続する秤量でそれぞれ単位時間当たりの質量増加を算出し、それが５％以内で一定になるまで試験を続ける。その質量増加は５㎎以上である。

また、カップに入れた吸湿剤が、その質量に対して10%の吸湿をする以前に試験を終了する。

（７）測定結果の算出と表示

透湿度は、次の式を用いて各試験片について算出する。

$$\text{透湿度}Q\ (g/m^2 \cdot 24h) = \frac{240 \times m}{t \times A}$$

A：透湿面積　　28.26　(㎠)

t：試験を行った最後の二つの秤量時間間隔　（h）

m：試験を行った最後の二つの秤量時間間隔の増加質量　（㎎）

（８）試験結果

試験結果を表－１０(1)，(2)に示す。

表－１０（１）透湿度試験結果

試験項目	試験条件	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系ポリウレタン
		硬質標準形	柔軟形－１	柔軟形－２	柔軟形－３	
透湿度 (g／㎡・24h)	20℃，90%RH	1.8 (0.9)	2.2 (1.0)	1.6 (1.2)	3.0 (1.0)	2.8 (1.1)
	40℃，90%RH	17.6 (1.3)	11.3 (1.1)	8.0 (1.0)	20.9 (0.8)	77.8 (1.3)

表－１０（２）透湿度試験結果

試験項目	試験条件	ポリマーセメント系		スラグ系	シーラント系
		アクリル	エポキシ	コロイド	ポリサルファイド
透湿度 (g／㎡・24h)	20℃，90%RH	1.2 (7.6)	1.2 (7.6)	1.3 (7.4)	12.3 (1.4)
	40℃，90%RH	2.8 (7.6)	2.4 (7.6)	6.3 (7.6)	46.0 (1.2)

注）（ ）内は膜厚㎜を示す。

やや大きな値を示すポリウレタン系とポリサルファイド系以外のエポキシ樹脂系は1.5 ～ 3.0／㎡・24Hの範囲にあって有意差は無かった。40℃では全般に透湿度はあがる傾向にあり、樹脂系の方が温度の影響を強く受けているが、その中では柔軟形－２についで柔軟形－１が低い値を示している。ポリマーセメント系は試験体作成上膜厚が大きくなり同列に比較は出来ないが温度による影響は少ないようである。

4. 1. 8 硬化収縮率

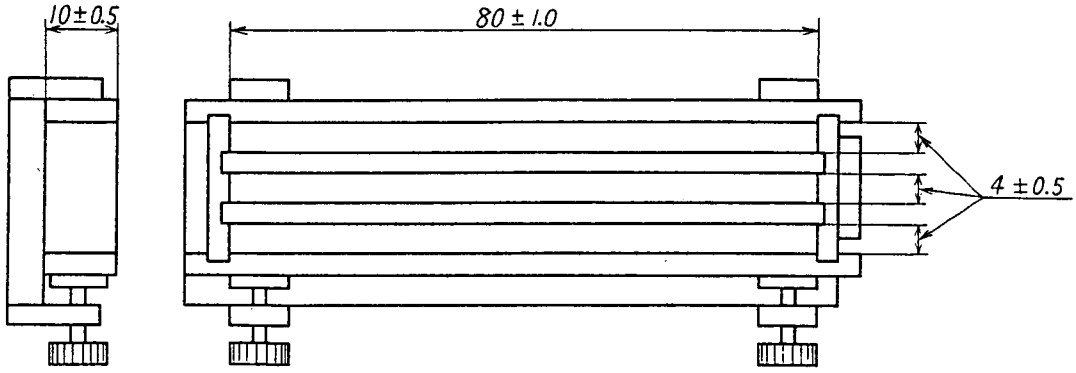
（1）概要

JIS A 6024（建築補修用注入エポキシ樹脂）の 4.9により各注入材料の硬化収縮率を測定する。

（2）試験体

図－５に示すような金型に各種材料を充填する。

単位 mm



図－５　金型

3）試験方法

金型に充填した材料は20℃で７日間養生後脱型し、試験体及び金型の寸法を測定する。尚、測定器は精度1/20㎜以上のものを使用する。

硬化収縮率は、次の式を用いて計算する。

$$\text{硬化収縮率}\ (\%) = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

ここにL_1：金型の寸法　（㎜）

L_2：試験体の寸法　（㎜）

注－１：金型には、シリコーン系離型剤を薄く塗布する。

注－２：金型の寸法は長辺方向の長さとし、測定位置はほぼ中央部とする。

注－３：試験体の寸法は長辺方向の長さとし、測定位置はほぼ中央部とする。

（４）試験結果

硬化収縮率の試験結果を表－11（1），（2）に示す。

表－１１（１）硬化収縮率試験結果

試験項目	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系ポリウレタン
	硬質標準形	柔軟形－１	柔軟形－２	柔軟形－３	
硬化収縮率（%）	0.06 >	0.06 >	0.06 >	0.06 >	0.06 >

表－１１（２）硬化収縮率試験結果

試験項目	ポリマーセメント系		スラグ系	ポリウレタン系
	アクリル	エポキシ	コロイド	ポリウレタン
硬化収縮率（%）	0.06 >	0.06 >	0.71 >	測定不能

JIS A 6024による方法ではスラグ系コロイドの0.71%以外は収縮率は全て測定器の精度（１／20㎜）以下、即ち0.06%以下であった。ポリサルファイド系は柔軟過ぎて測定出来なかった。

4．1．9 基本物性試験結果のまとめ

基本物性試験結果の一覧表を表－12(1)，(2)に示す。

（１）熱膨張係数

無定形高分子材料はある温度範囲内で比容積や比熱などのグラフにガラス転移点（Ｔｇ）という曲折点があり、原則的にはＴｇ以下のガラス領域では硬く、脆く、伸びも小さいがＴｇを越えた近辺では強靱で伸びもやや大きくなり、さらにＴｇ以上のゴム領域では柔軟なゴム状になることが知られている。ＴＭＡによる熱膨張を示すグラフに於いてもＴｇを示す曲折点が認められ、それの前後では熱膨張係数は異なった値をあたえるので樹脂系の熱膨張係数はＴｇ以上とＴｇ以下のそれぞれについて測定を行った。

Ｔｇ以下では硬質標準型と柔軟形－３が一般的なエポキシ樹脂硬化物の熱膨張係数とほぼ同じ位であるが、柔軟形－１，－２は幾分大きく、Ｔｇ以上ではそれらはすべて増

大した。ポリマーセメント系及びスラグ系コロイドはコンクリートに近い値であった。ポリウレタン系とポリサルファイド系は非常に柔軟で測定不能であった。

（2）粘弾性

ＴＭＡより求められるＴｇと粘弾性スペクトロメーターから求めたそれとは前者の方がやや低いが測定方法，昇温速度，測定者などによって差が生じると言われている。

ポリマーセメント系およびスラグ系コロイドは無機質が主成分となっており、高分子としての挙動を示さないので粘弾性に関する試験は行わなかった。これらはＴＭＡによる測定においてもグラフに曲折点が認められずＴｇが存在しないことが明らかとなった。

（3）引張強さ

引張強さはＴｇに大きく依存しており、いずれもＴｇ以下で最大値を示した。Ｔｇ以上ではその値は低下するがＴｇの非常に低いポリウレタン系やポリサルファイド系は本試験温度範囲内での強度の変動幅は小さかった。

ポリマーセメント系もエポキシ樹脂系ほどではないがやはり温度依存性が見受けられた。アクリルとエポキシとの間には大きな差はなかった。

なお、柔軟形３種の低温側での引張速度も伸びの大きい高温側と同じ500㎜／minで行っているが、この時のこれら樹脂の物性は硬質標準形と同じように硬くなっているので硬質標準形の引張速度５㎜／minで試験を行うほうがよいと考えられる。引張速度を遅くすれば強度は小さく、伸びは大きめに出る可能性がある。

（4）伸び

引張強さと同様Ｔｇに大きく依存しており、Ｔｇが20℃以上にあるエポキシ樹脂系は０℃では伸びはほとんどなくなり、10℃と低いところにＴｇのある柔軟形－３のみ伸びを保っていた。

ポリウレタン系は－10℃までの測定であるがＴｇは恐らくもっと低い所にあることが予想され－10℃以下でもかなりの伸び率を保っていると推定される。ポリサルファイド系もＴｇはかなり低いと考えられポリウレタン系と共に実用温度範囲内での温度依存性はほとんどないと考えられる。

ポリマーセメント系，スラグ系の伸びは実験誤差内でほぼ０に等しく記録しなかった。

（5）引張せん断強さ

各材料の接着強さを調べるためのものであるが、材料自身の凝集力に負うところが大きいのは温度による強度変化が引張強さに準じているところから明らかであり、伸び率

の大きなものほど低い値を示した。

ポリマーセメント系，スラグ系コロイドは水を含むため錆の発生や水の揮発などの問題があり金属どうしによる接着試験には適さない。これらの接着性はモルタルへの付着力試験で評価した。

（6）モルタルとの付着性試験

付着性試験の中で付着力は曲げ強さとその破壊状況で評価し、たわみ量で実際にひびわれへ注入したときのその開口部の動きに対する追随性の評価を行うことができる。

乾湿あるいは温度に関係なく硬質標準形及びポリマーセメント系の0.5㎜厚を除いていずれもモルタル破壊となっており良好な付着性を示した。ポリマーセメント系の0.5㎜厚のものは被着体に水が吸収される率が大であるため、界面破壊となったと考えられる。ポリサルファイド系，ポリウレタン系，柔軟形－3や柔軟形－1，－2の高温側ではほとんどが樹脂の凝集破壊となっており接着強さの値は小さくても十分な付着性があることを示している。スラグ系コロイドは試験前の取り扱い中に破壊するものが多くそれらは測定不能であった。

たわみ量は硬質標準形やポリマーセメント系，スラグ系コロイドの場合はほとんど無いと考えられる。柔軟形の三種は概して高温側，注入厚の大きいほうがたわみ量も大きく、また20℃で最大値を与えるものが多い。たわみ量の特に大きなポリウレタン系，ポリサルファイド系は接着層上部に圧縮の荷重がかかるので単軸引張のような試験方法を検討する必要があると思われる。

（7）水蒸気透過阻止性

透湿度は小さいほど好ましく20℃では柔軟形－3が最も小さい。40℃になると全般に透湿度は増大したがそれでもセメントモルタル（212g／㎡・24H，at 40℃）やコンクリート（W／C＝55%，99g㎡・24H，厚さ11.5㎜，at 40℃）にくらべると低くこれらの材料が優れた水蒸気透過阻止性を有することが明らかとなった。

膜厚を1㎜に換算して各材料を比較するとその阻止性能は20℃では以下のような順であった。柔軟形－2≧硬質標準形＞柔軟形－1＞柔軟形－3＞ポリサルファイド系＞ポリウレタン系＞ポリマーセメント系アクリル≧ポリマーセメント系エポキシ＞スラグ系コロイド。

（8）硬化収縮率

本試験では線収縮を測定しているが、スラグ系コロイド以外の収縮率は検出されてい

ない。この線収縮はエポキシ樹脂系の場合は樹脂が流動しなくなった状態で収縮した三方向の内の長さ方向を測定して得られるもので、液状樹脂からゲル化時点までの流動状態にある場合の上下方向の収縮について測定したものではない。このような収縮を測定するには密度比較法やデラトメーターなどによる方法がある。

表－12（1）基本物性試験結果一覧表（熱膨張係数，粘弾性，引張強さ及び伸び）

試験項目	試験条件	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	ポリマーセメント系		スラグ系	ポリサルファイド系
		硬化標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3	ポリウレタン	アクリル	エポキシ	コロイド	シーラント
熱膨張係数	Tg以下	5.5×10^{-5}	10.7×10^{-5}	8.1×10^{-5}	6.0×10^{-5}	－	1.2×10^{-5}	1.3×10^{-5}	1.2×10^{-5}	－
	Tg以上	13.7×10^{-5}	16.6×10^{-5}	12.3×10^{-5}	10.5×10^{-5}	－	－	－	－	－
粘弾性(ガラス転移温度)	(Tg)	50 ℃	35 ℃	25 ℃	10 ℃	－	－	－	－	－
引張強さ（kgf/cm²）	−20℃	475 (95)	330 (375)	22 (68)	－	－	83 (202)	114 (169)	13 (157)	27 (169)
	−10	－	－	－	447(1834)	9.1 (170)	－	－	－	－
	0	447 (80)	408 (464)	103 (312)	137 (523)	8.0 (151)	73 (178)	91 (136)	8.1 (98)	16 (100)
	20	501 (100)	88 (100)	33 (100)	26 (100)	5.3 (100)	41 (100)	67 (100)	8.4 (100)	16 (100)
	40	83 (16)	13 (15)	8.2 (24)	13 (50)	4.0 (75)	21 (51)	43 (64)	5.7 (68)	11 (69)
	60	4 (1)	11 (13)	8.6 (27)	8.0 (31)	3.2 (60)	19 (46)	27 (40)	5.9 (70)	9.0 (56)
伸び率（%）	−20	1.1 (42)	< 6 (<5)	< 6 (<5)	－	－	－	－	－	>500 (>47)
	−10	－	－	－	6 (<7)	460 (117)	－	－	－	－
	0	1.2 (30)	< 6 (<5)	<6 (<3)	94 (113)	409 (104)	－	－	－	>500 (>47)
	20	2.6 (100)	130 (100)	208 (100)	83 (100)	392 (100)	－	－	－	1075 (100)
	40	>10(>385)	80 (62)	216 (104)	39 (47)	265 (68)	－	－	－	>500 (>47)
	60	>10(>385)	60 (46)	208 (100)	20 (24)	256 (65)	－	－	－	>500 (>47)

表－12（2）基本物性試験結果一覧表（熱膨張係数，粘弾性，引張強さ及び伸び）

試験項目	試験条件	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	ポリマーセメント系		スラグ系	ポリサルファイド系
		硬化標準形	柔軟形－1	柔軟形－2	柔軟形－3	ポリウレタン	アクリル	エポキシ	コロイド	シーラント
引張せん断接着強さ (kgf/cm²)	－20℃	151 (88)	246 (296)	205 (293)	212 (558)	9.7 (176)	－	－	－	27 (169)
	0	165 (96)	224 (270)	205 (293)	123 (324)	9.6 (175)	－	－	－	16 (100)
	20	172 (100)	83 (100)	70 (100)	38 (100)	5.5 (100)	－	－	－	16 (100)
	40	176 (102)	22 (27)	18 (26)	16 (42)	4.7 (85)	－	－	－	11 (69)
	60	68 (40)	15 (18)	9 (13)	11 (29)	3.5 (64)	－	－	－	9.0 (56)
透湿度 (g/m², 24h)	20℃, 90%RH	1.8(0.9)*	2.2(1.0)*	1.6(1.2)*	3.0(1.0)*	2.8 (1.1)*	1.2(7.6)*	1.2(7.6)*	1.3(7.4)	12.3 (1.4)
	40℃, 90%RH	17.6(1.3)*	11.3(1.1)*	8.0(1.0)*	20.9(0.8)*	77.8 (1.3)*	2.8(7.6)*	2.4(7.6)*	6.3(7.6)	46.0 (1.2)
硬化収縮率 (%)	－	0.06>	0.06>	0.06>	0.06>	0.06>	0.06>	0.06>	0.71	測定不能

注）（ ）内は20℃に対する変化率を示す。ただし、＊印の（ ）内は膜厚mmを示す。

表－３１(1)　疲労試験結果（エポキシ硬質標準）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	325	344	(106) 64.5	0.005～0.015	1,900	モ100
	300	319	(98) 59.8	0.04 ～0.05	166,900	モ100
	275	297	(91) 55.7	0.03 ～0.04	11,700	モ100
		301	(92) 56.4	0.025～0.035	28,800	モ100
	250	269	(82) 50.4	0.045～0.055	215,900	モ100
	200	219	(67) 41.1	0.045～0.055	1,046,500	
			(100%) 61.1			
2.0	325	347	(94) 65.1	0.015～0.025	1,400	モ100
	300	321	(86) 60.2	0.025～0.035	2,500	モ100
	275	295	(79) 55.3	0.035～0.04	1,181,800	
	250	271	(73) 50.8	0.035～0.04	1,080,500	
			(100%) 69.6			
0.5	325	345	(80) 64.1	0.015～0.025	300	モ100
	300	321	(74) 60.2	0.035～0.05	63,800	モ100
	275	295	(68) 55.3	0.01 ～0.015	83,800	モ100
	250	270	(62) 50.6		203,600	モ100
	200	218	(50) 40.9	0.015～0.025	274,700	モ100
	175	190	(44) 35.6	0.03 ～0.04	1,000,000	
	150	166	(38) 31.1	0.025～0.03	1,000,000	
	125	138	(32) 25.9	0.01 ～0.015	1,000,000	
			(100%) 81.1			

表－３１(2)　疲労試験結果（エポキシ柔軟形－１）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	300	324	(71) 60.8	0.02 ～0.03	100	モ100
	275	296	(65) 55.5	0.11 ～0.12	41,500	モ 70 、凝 30
	250	270	(59) 50.6	0.1 ～0.11	10,200	モ 50 、凝 50
	200	219	(48) 41.1	0.11 ～0.12	111,100	モ 50 、凝 50
	150	163	(36) 30.6	0.25 ～0.26	315,500	モ 30 、凝 70
	100	113	(25) 21.2	0.05 ～0.06	1,000,000	
			(100%) 86.0			
2.0	300	315	(67) 59.1	0.035～0.045	65,100	モ 40 、界 60
		320	(68) 60.0	0.015～0.03	500	モ100
	275	295	(63) 55.3	0.055～0.065	120,800	モ 70 、界 30
	250	268	(57) 50.3	0.08 ～0.09	455,800	モ 50 、界 50
	225	242	(52) 45.4	0.035～0.045	16,400	モ 60 、界 40
		243	(52) 45.6		81,100	モ 20 、界 80
	200	217	(46) 40.7		463,200	モ 20 、界 80
		183	(39) 34.3	0.015～0.03	1,000,000	
			(100%) 89.0			
0.5	325	346	(79) 64.9	0.015～0.03	11,400	モ100
		(325)	(74) 60.9		100	モ100
	300	325	(74) 60.9	0.025～0.03	486,300	モ 30 、界 65 、凝 5
	275	303	(69) 56.8	0.05 ～0.06	529,100	モ 15 、界 80 、凝 5
		296	(67) 55.5	0.005～0.015	16,200	モ100
	250	270	(61) 50.6	0.035～0.045	1,000,000	
			(100%) 82.7			

表－３１(3)　疲労試験結果（エポキシ柔軟形－２）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	275	275	(104) 51.6		0	界 50 、凝 50
	225	228	(86) 42.8	0.14 ～0.145	3,300	モ 40 、界 20 、凝 40
	150	193	(73) 36.2		2,000	界100
	100	156	(59) 29.3	0.12	13,500	界100
	50	102	(39) 19.1		29,500	界 90 、凝 5
	25	53	(20) 9.9	0.05 ～0.055	1,000,000	
		35	(13) 6.6	0.035～0.04	1,000,000	
			(100%) 49.5			
2.0	250	262	(84) 49.1	0.115～0.125	4,400	界 20 、凝 80
	200	176	(56) 33.0	0.16	9,900	界 60 、凝 40
	150	169	(54) 31.7	0.11	40,800	界 65 、凝 35
	75	86	(27) 16.1	0.015～0.02	1,098,100	界 60 、凝 40
			(100%) 59.1			
0.5	250	262	(70) 49.1	0.05 ～0.055	17,700	界 90 、凝 10
	200	210	(56) 39.4	0.04 ～0.05	16,600	界100
	175	185	(50) 34.7	0.095～0.10	30,800	界 95 、凝 5
	150	158	(42) 29.6	0.07 ～0.075	198,900	界100
	125	136	(36) 25.5	0.01 ～0.02	339,900	界 95 、凝 5
		138	(37) 25.9	0.005～0.01	79,100	モ100
	100	101	(27) 18.9	0.01 ～0.02	1,000,000	
			(100%) 70.1			

表－３１(4)　疲労試験結果（エポキシ柔軟形－３）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	250	(250)	(82) 46.9		0	モ 90 、界 10
		263	(86) 49.0	0.06 ～0.07	3,300	モ 5 、界 95
	200	205	(67) 38.4	0.055～0.065	35,600	モ 10 、界 90
		208	(68) 39.0	0.075～0.085	19,500	モ 20 、界 80
	150	159	(52) 29.8	0.06 ～0.07	55,300	モ 30 、界 70
	125	129	(42) 24.2	0.06 ～0.065	125,700	界100
	100	112	(37) 21.0	0.035～0.04	1,212,400	
			(100%) 57.0			
2.0	250	254	(74) 47.6	0.025～0.035	4,100	モ 10 、界 90
	200	216	(63) 40.5	0.065～0.08	13,100	モ 10 、界 90
		212	(62) 39.8	0.045～0.055	6,700	モ 30 、界 70
		212	(62) 39.8	0.05 ～0.06	5,000	モ 30 、界 70
	175	182	(53) 34.1	0.045～0.055	30,700	モ 10 、界 90
	150	155	(45) 29.1	0.035～0.04	312,200	界100
	125	131	(38) 24.6	0.01 ～0.015	396,700	モ 60 、界 40
		127	(37) 23.8	0.035～0.04	1,000,000	
			(100%) 64.1			
0.5	250	262	(62) 49.1	0.025～0.035	11,600	モ 20 、界 80
	200	211	(50) 39.6	0.025～0.035	46,700	モ 5 、界 95
	175	184	(44) 34.5	0.005～0.015	155,600	モ 30 、界 70
	150	162	(39) 30.4		415,000	モ 5 、界 95
	140	149	(35) 27.9		684,500	界100
	135	141	(34) 26.4	0.015～0.02	239,300	界100
	130	133	(32) 24.9	0.02 ～0.025	1,000,000	
			(100%) 78.8			

表－３１(5)疲労試験結果（ポリマーセメント系アクリル）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	300	322	(84) 60.4	0.005～0.015	20,200	モ 95 、凝 5
	250	263	(69) 49.3	0.01 ～0.02	119,800	モ 80 、凝 20
	200	217.	(57) 40.7	0.005～0.01	87,100	モ 10 、凝 90
		217	(57) 40.7	0.01 ～0.02	1,061,000	
	175	152	(47) 33.8	0.025～0.035	1,261,800	
	150		(40) 28.5	0.025～0.03	1,192,500	
			(100%) 71.7			
2.0	250	(250)	(73) 46.9		0	モ 30 、凝 70
	225	(225)	(66) 42.2		300	モ 80 、凝 20
	215	221	(65) 41.4	0.02 ～0.025	29,200	モ 70 、凝 30
	200	207	(61) 38.8	0.01 ～0.02	338,900	モ 70 、凝 30
	175	184	(54) 34.5	0.015～0.02	1,011,400	
			(100%) 64.0			
0.5	200	(200)	(197) 37.5		0	凝100
	100	(100)	(99) 18.8		0	凝100
	50	56	(55) 10.5	0	9,100	界 70 、凝 90
	25	33	(33) 6.2	0	619,300	モ 80 、凝 20
	15	22	(22) 4.1	0.005	1,000,000	
		16	(16) 3.0	0	60,700	モ 10 、凝 90
			(100%) 19.0			

表－３１(6) 疲労試験結果（ポリマーセメント系エポキシ）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/ cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	350	(350)	(89) 65.6		0	モ100
	250	(250)	(63) 46.7		200	モ 90 、凝 10
		265	(67) 49.7	0 ～0.01	8,100	モ 90 、凝 10
	240	256	(65) 48.0	0 ～0.01	600	モ 90 、凝 10
	235	251	(64) 47.1	0.005～0.01	73,900	モ100
	225	238	(60) 44.6	0.02 ～0.025	1,000,000	
	200	212	(54) 39.8	0.01 ～0.02	100,600	モ100
			(100) 74.1			
2.0	300	313	(86) 58.7		0	モ100
	250	261	(72) 48.9	0.025～0.035	2,600	モ100
	225	238	(66) 44.6	0.005～0.01	121,000	モ100
	200	214	(59) 40.1	0 ～0.01	159,000	モ 80 、凝 20
	175	194	(54) 36.4	0.005～0.01	1,000,000	
			(100) 68.0			
0.5	250	(250)	(103) 46.9		0	モ 40 、凝 60
	100	(100)	(41) 18.8		0	モ 20 、凝 80
	75	70	(29) 13.1		300	モ 60 、凝 40
	65	76	(31) 14.3	0.02 ～0.025	126,800	モ 50 、凝 50
	50	65	(27) 12.2	0 ～0.005	1,000,000	
			(100) 45.7			

表－３１(7)疲労試験結果（ポリウレタン）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/ cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	75	57	(82) 10.7	0.13 ～0.135	1,300	界100
		72	(104) 13.5	0.17 ～0.18	2,600	界100
	50	46	(66) 8.6	0.09 ～0.095	5,200	界100
		45	(65) 8.4	0.12 ～0.13	23,700	界100
		51	(74) 7.6	0.09 ～0.095	137,800	界100
	25	20	(29) 3.8	0.07 ～0.075	1,124,200	
			(100) 13.0			
2.0	125	123	(191) 23.1	0.07 ～0.08	1,400	界100
	100	97	(150) 18.2	0.115～0.125	3,600	界100
	87.5	82	(127) 15.4	0.06 ～0.065	51,200	界100
	75	72	(112) 13.5	0.075～0.08	171,900	界100
	50	46	(71) 8.6	0.02 ～0.025	1,000,000	
			(100) 12.1			
0.5	175	175	(206) 32.8		1,200	界100
	150	151	(178) 28.3	0.055～0.07	4,700	界100
	125	122	(144) 22.9	0.035～0.045	69,600	界100
	100	100	(118) 18.8	0.015～0.025	158,500	界100
	75	73	(86) 13.7	0.03 ～0.035	95,100	界100
		72	(85) 13.5		2,100	界100
	60	57	(67) 10.7	0.02 ～0.025	1,000,000	
			(100) 15.9			

表－３１(8) 疲労試験結果（ポリサルフィルド）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/ cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	200	170	(131) 31.9	0.39	700	凝 50 、残存付着 50
	175	143	(110) 26.8	0.275～0.315	700	凝 40 、残存付着 60
		183	(141) 24.3	0.20	194,000	凝 40 、残存付着 60
	150	151	(116) 28.3	0.25	182,400	凝 50 、残存付着 50
	100	98	(75) 18.3	0.165	409,300	凝 50 、残存付着 50
	75	77	(59) 14.4	0.08 ～0.09	1,000,000	
			(100) 24.4			
2.0	150	156	(78) 29.3	0.165～0.18	1202,400	
	200	209	(104) 39.2	0.175～0.265	732,100	凝100
	300	307	(153) 57.6	0.175	14,100	凝 60 、残存付着 40
	250	240	(120) 45.0	0.29 ～0.325	3,900	凝 70 、残存付着 30
		256	(128) 48.0	0.29 ～0.305	28,200	凝 80 、残存付着 20
	175	180	(90) 33.8	0.34 ～0.355	9,300	凝 80 、残存付着 20
			(100) 37.6			
0.5	325	330	(189) 61.9	0.10	400	凝 80 残存付着 20
	300	285	(163) 53.4	0.25 ～0.30	200	凝 80 、残存付着 20
	250	245	(140) 45.9	0.10	300	凝100
	175	185	(106) 34.7	0.05 ～0.125	248,700	凝100
	200	212	(121) 29.8	0.10 ～0.115	147,400	凝 90 、残存付着 10
	125	133	(76) 24.9	0.03	1,000,000	
			(100) 32.8			

表－３１(9)　疲労試験結果（スラグ）

注入厚 (mm)	設定荷重 (kgf)	実際の荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/ cm²)	たわみ量 (mm)	繰り返し数	破断状態
5.0	100	(100)	(111) 18.8		0	界100
	50	(50)	(57) 9.4		0	界 90 、凝 10
		57	(63) 10.7		400	界 95 、凝 5
	35	42	(47) 7.9	0.005～0.01	1,000,000	
	25	25	(28) 4.7		200	界100
		24	(26) 4.5	0.01	1,009,500	
			(100) 16.9			
2.0	125	(125)	(110) 23.4		0	界 60 、凝 40
	100	(100)	(89) 18.8		0	界 30 、凝 70
	75	88	(71) 15.0	0 ～0.005	9,400	界 50 、凝 50
	65	66	(58) 12.3	0.005～0.01	197,700	界 40 、凝 60
	50	52	(46) 9.8	0.01	1,242,100	
	25	29	(25) 5.4	0.015	1,128,600	
			(100) 21.2			
0.5	100	(100)	(49) 18.8		0	界 10 、凝 90
		103	(50) 19.3	0 ～0.005	1,100	界 5 、凝 95
	90	97	(47) 18.1	0.005～0.01	1,000,000	
	75	79	(39) 14.8	0.02 ～0.025	1,203,200	
			(100) 38.3			

4.2 施工性試験

4.2.1 注入深さ及び注入可能ひびわれ幅

（1）概要

各種注入材について、コンクリート表面の最大ひびわれ幅が0.5，1.0，2.0（㎜）の時に、施工環境温度が5，20，35℃における最大注入深さ及び注入可能な最少ひびわれ幅を、コンクリートモデルを用いて測定する。

（2）コンクリートモデルの作製

ひびわれのモデルを作製するために、コンクリートの打設を4層に分けて行い、各層の打設時間を1日以上あけてコールドジョイントを意図的に生成させ、打継ぎ面を形成した。

打設したコンクリートは設計強度400（kgf/㎠）とし、最終打設終了後1日間湿空養生した。その後、脱型し、自然養生を4週間経過した後に試験に供した。

供試体コンクリートの配合及び品質，性状を以下に示す。

コンクリート配合　　（単位質量kg/㎥）

水（W）	セメント（C）	細骨材（S）	粗骨材	混和剤（＊）
159	451	711	1070	3.2

（＊）マイティ150（セメント×0.7%）

品　質　性　状

配　合　結　果	圧縮強度（kgf/㎠）	圧縮弾性係数（kgf/㎠）
スランプ：　7㎝	①　420	①　3.50×10^5
空気量：　0.2%	②　433	②　3.50×10^5
水セメント比（W/C）：　35.3%	③　388	③　3.18×10^5
細骨材率（s/a）：　40.0%	平均　414	平均　3.39×10^5

ひびわれは図－6に示すようなクサビを打ち込んで発生させた。3本のひびわれの目標とする幅は上から、2.0mm，1.0mm，0.5mm とした。

注入口はひびわれ1本に対して2箇所とし、箱抜きした部分に設置した。

ひびわれのシールは注入側及び側面の3面について行いい、他の1面はひびわれが発生しないのでシール無しとし、実施工に近い状態とした。

（3）試験方法

①注入方法は各材料に規定された方法によった。

②試験材料は(9)を除く(1)－(8)。

③注入前のひびわれ状況および注入後の状況について超音波非破壊試験器を用いて観察した。また、注入材料に蛍光顔量（粉末）を混入し、注入箇所から適宜採取したコンクリートコア（φ10×50cm）の外観観察（クラックスケール、ブラックライト）により、注入状況を観測した。

④供試体数は、6×2（5℃、35℃）＋8×1（20℃）＝20（体）で、供試体重量は約2,240（kg／体）である。

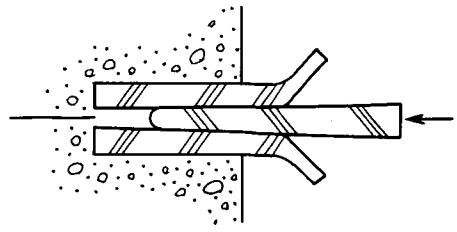
⑤注入作業はコンクリート内部温度が5℃、20℃、35℃のとき行った。供試体製作時に埋設した温度センサーより、所定の温度についてモニタリングした。注入作業は屋外で行った。

⑥注入口は2ケ所とし、その間隔は30cmとした。

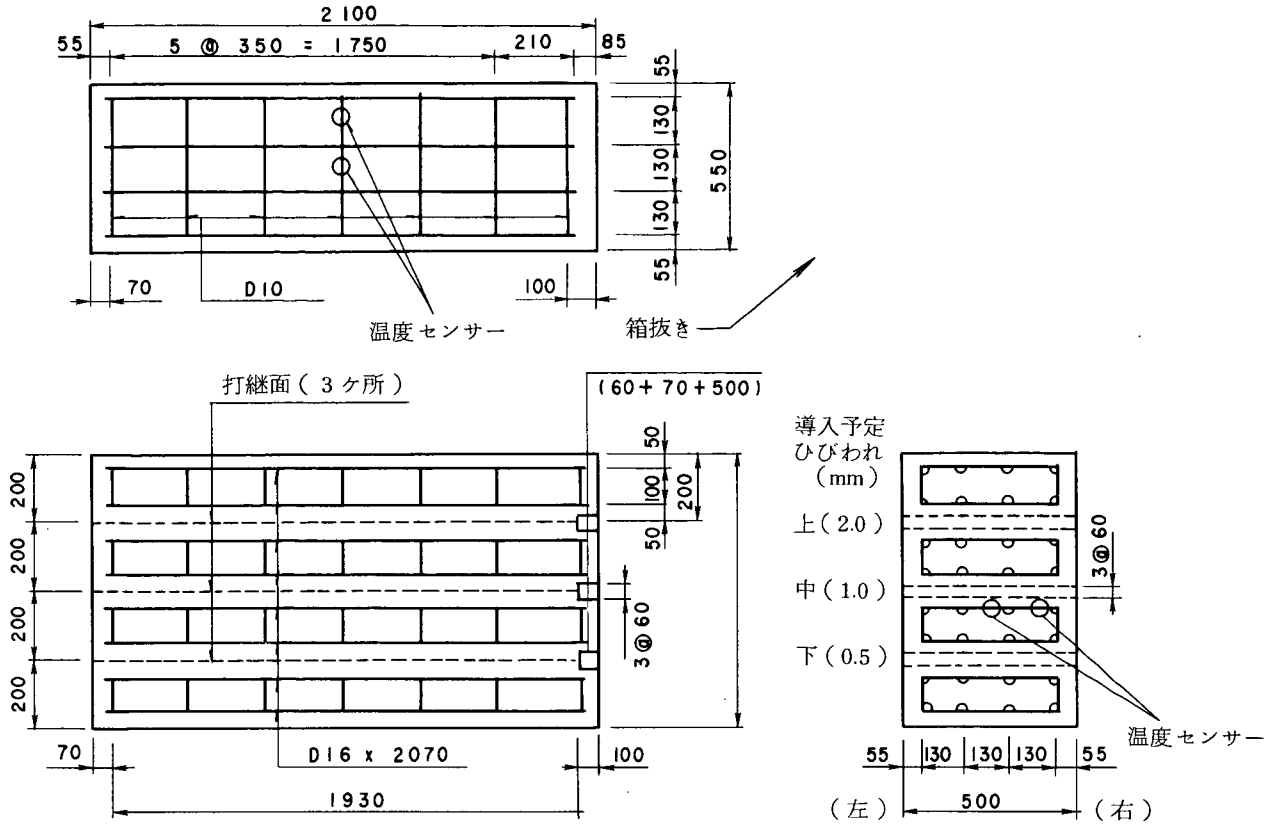
⑦供試体の種類を以下に示す。

施工温度		5℃	20℃	35℃
試験材料：エポキシ系	①硬質標準	○	○	○
	②柔軟形－1	○	○	○
	③柔軟形－2	○	○	○
	④柔軟形－3	○	○	○
ポリウレタン系	⑤ポリウレタン	○	○	○
ポリマーセメント系	⑥アクリルエマルジョン	－	○	－
	⑦エポキシエマルジョン	○	○	○
スラグ系	⑧コロイドセメント	－	○	－
供試体数		6体	8体	6体
		合計 20体		

⑧温度センサーは、Ｃｕ－Const.の熱電対を用い、2点／体で6体の計12点をあらかじめ設置した。温度センサーの設置位置を図－7に示す。



図－6　ひび割れ導入



図－７　供試体の形状・寸法

（４）試験結果

1）施工環境

①目標施工温度　：35℃（供試体内部温度）

外気温度と湿度：23～37℃（８月６日～15日），40～90％ＲＨ

供試体内部温度：26～32℃

②目標施工温度　：20℃（供試体内部温度）

外気温度と湿度：14～26℃（10月10日～16日）　42～95％ＲＨ

供試体内部温度：17～26℃

③目標施工温度　：５℃（供試体内部温度）

外気温度と湿度：－７～12℃（１月６日～８日）　20～90％ＲＨ

供試体内部温度：２～８℃

2) 注入前のひびわれ状況

クラックスケールによる導入ひびわれの状況はひびわれ導入時の所定深さにおけるひびわれ幅をクラックスケールにより測定した。５℃，20℃，35℃の結果を表－13，14，15に示す。

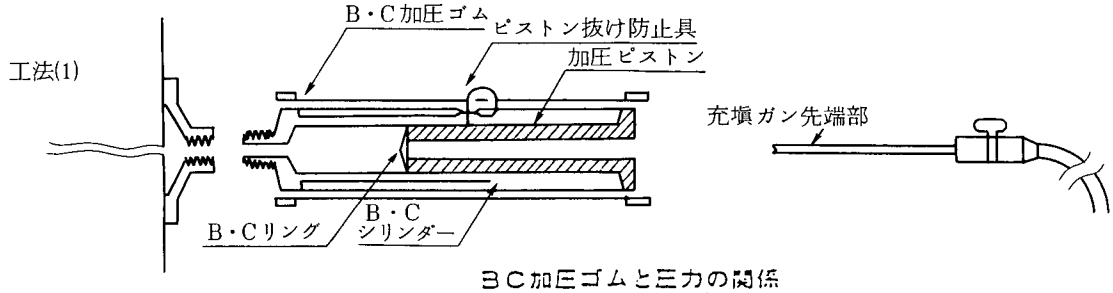
3) ひびわれ注入

①注入材料の着色

注入状況を、明確に判別出来るようにエポキシ樹脂系及びポリウレタン系注入材には蛍光顔料を、ポリマーセメント系にはポスターカラーをそれぞれ混合重量に対して２％を加えて着色した。

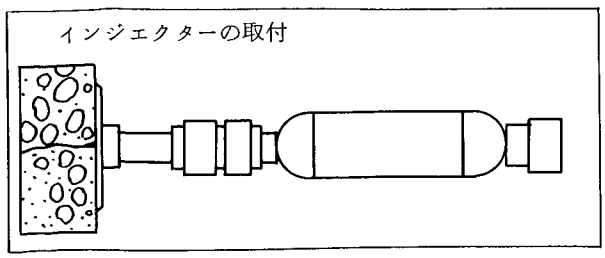
②注入方法

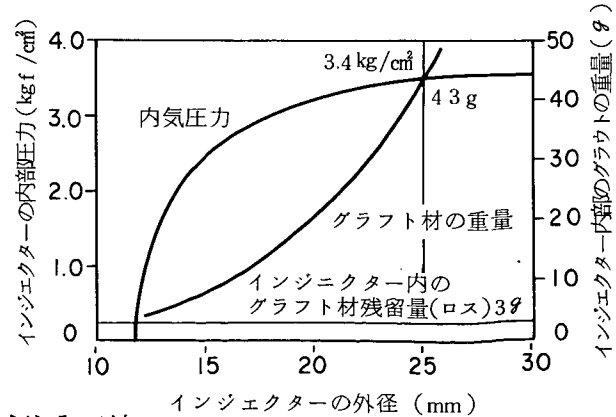
エポキシ樹脂系，ポリウレタン系については図－８のようなゴム圧式注入工法を用い、それぞれの標準施工要領にもとずいて注入した。注入口は２ケ所とし、その間隔は30cmである。ポリマーセメント系注入材については、手動式注入工法を用い、注入前に水打ちを行った。その後に注意深く注入し、圧送不能になった時点で注入完了とした。スラグ系注入材については、一定圧力がかけられる攪拌装置付き注入機械を使用した。



BC加圧ゴムと圧力の関係

ゴム径	全径 (内径なし)	2 (内径1本)	4 (内径2本)	6 (内径3本)
圧力(kg/m²)	内容量 5cc以上	1.1	2.0	3.0





図－８　ゴム圧式注入工法

表－13　5℃における導入ひびわれ状況

注入材	目標ひびわれ幅 (mm)	側面	深さ (cm)								
			0	25	50	75	100	125	150	175	200
硬質標準	2.0	右	2.50	2.00	0.60	0.35	0.25	0.04			
		左	2.50	2.00	0.65	0.35	0.15	0.04			
	1.0	右	1.80	0.85	0.65	0.45	0.35	0.25	0.10	0.06	
		左	1.20	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.04	
	0.5	右	0.55	0.45	0.20	0.15	0.06	0.04			
		左	0.45	0.40	0.25	0.15	0.06	0.04			
柔軟形－1	2.0	右	2.50	2.00	0.80	0.50	0.30	0.10	0.04		
		左	2.50	2.00	0.80	0.50	0.30	0.15	0.04		
	1.0	右	1.25	0.90	0.55	0.45	0.30	0.15	0.06		
		左	1.50	1.10	0.75	0.60	0.30	0.15	0.06		
	0.5	右	0.60	0.30	0.20	0.15	0.10	0.06	0.04		
		左	0.55	0.30	0.20	0.10	0.06				
柔軟形－2	2.0	右	1.80	0.75	0.45	0.20	0.10	0.06			
		左	1.75	0.70	0.40	0.15	0.08	0.04			
	1.0	右	1.20	0.85	0.70	0.50	0.40	0.25	0.08	0.04	
		左	1.20	0.80	0.65	0.45	0.35	0.20	0.06	0.04	
	0.5	右	0.65	0.40	0.30	0.15	0.06				
		左	0.80	0.55	0.35	0.20	0.15	0.04			
柔軟形－3	2.0	右	2.00	1.50	0.60	0.35	0.15	0.04			
		左	2.00	1.80	0.70	0.30	0.04				
	1.0	右	1.00	0.80	0.50	0.35	0.15	0.06	0.04		
		左	1.00	1.00	0.60	0.40	0.15	0.08	0.04		
	0.5	右	0.50	0.35	0.15	0.10	0.04				
		左	0.50	0.35	0.20	0.10	0.04				
ポリウレタン系	2.0	右	2.00	1.50	0.65	0.30	0.15	0.04			
		左	2.00	1.80	0.75	0.35	0.15	0.08	0.04		
	1.0	右	1.00	0.70	0.50	0.35	0.20	0.10	0.04		
		左	1.00	0.80	0.65	0.40	0.20	0.15	0.04		
	0.5	右	0.50	0.40	0.20	0.10	0.08	0.04			
		左	0.50	0.40	0.20	0.08	0.04				
ポリマーセメント系エポキシ	2.0	右	2.00	1.10	0.70	0.35	0.15	0.10	0.04		
		左	2.00	1.50	0.85	0.30	0.15	0.06	0.04		
	1.0	右	1.00	0.90	0.70	0.25	0.20	0.08	0.04		
		左	1.00	0.80	0.60	0.45	0.30	0.10	0.08	0.04	
	0.5	右	0.50	0.30	0.10	0.08	0.04				
		左	0.50	0.20	0.08	0.08	0.06	0.04			

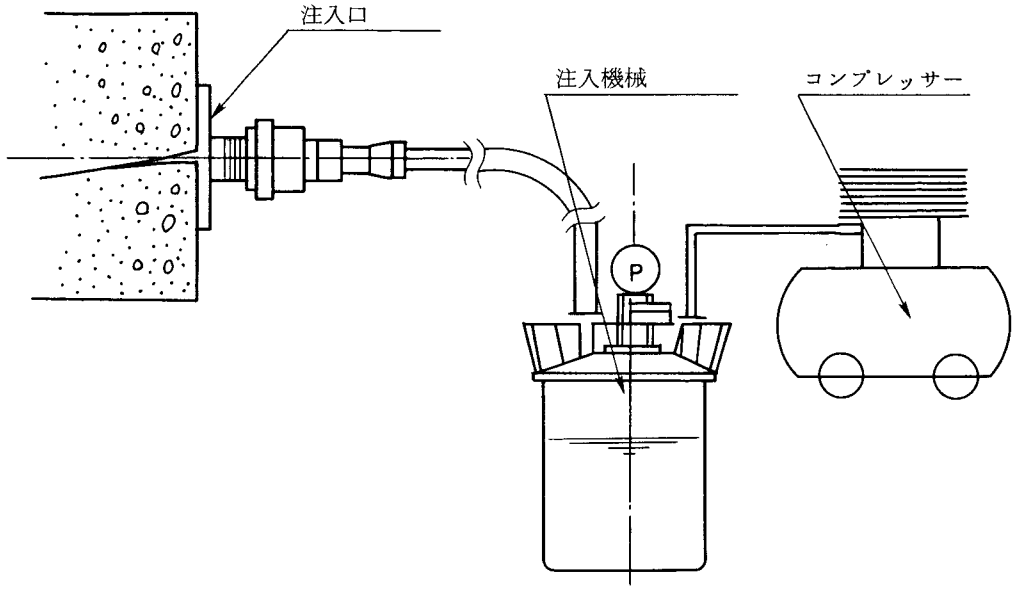
表－14　20℃における導入ひびわれ状況

注入材	目標ひびわれ幅 (mm)	側面	深さ (cm)								
			0	25	50	75	100	125	150	175	200
硬質標準	2.0	右	2.00	1.30	0.50	0.30	0.15	0.10	0.06		
		左	2.00	1.30	0.65	0.30	0.20	0.10	0.06		
	1.0	右	1.20	0.85	0.65	0.35	0.25	0.10	0.06		
		左	1.00	0.70	0.55	0.35	0.25	0.10	0.04		
	0.5	右	0.50	0.35	0.20	0.10	0.04				
		左	0.65	0.35	0.20	0.10	0.06	0.04			
柔軟形－1	2.0	右	2.00	1.10	0.55	0.15	0.04				
		左	2.00	1.10	0.45	0.15	0.04				
	1.0	右	1.00	0.70	0.45	0.35	0.25	0.15	0.06		
		左	1.00	0.70	0.45	0.35	0.25	0.15	0.06		
	0.5	右	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10	0.06			
		左	0.50	0.30	0.20	015	0.10	0.06			
柔軟形－2	2.0	右	2.00	1.20	0.60	0.30	0.15	0.04			
		左	2.00	1.00	0.50	0.30	0.10	0.04			
	1.0	右	1.10	0.65	0.55	0.35	0.25	0.15	0.08	0.04	
		左	1.00	0.65	0.45	0.30	0.20	0.10	0.08	0.04	
	0.5	右	0.50	0.35	0.25	0.15	0.10	0.06			
		左	0.50	0.30	0.20	0.10	0.06	0.06			
柔軟形－3	2.0	右	1.50	1.30	0.60	0.30	0.10	0.06			
		左	2.00	1.00	0.65	0.25	0.10	0.04			
	1.0	右	1.00	0.90	0.65	0.60	0.40	0.20	0.10	0.10	
		左	1.00	0.70	0.55	0.40	0.20	0.10	0.10	0.10	
	0.5	右	0.45	0.40	0.25	0.10	0.04	0.04			
		左	0.55	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04			
ポリウレタン系	2.0	右	2.00	1.50	0.85	0.55	0.20	0.10	0.04		
		左	1.50	1.20	0.80	0.45	0.15	0.08	0.04		
	1.0	右	1.00	0.65	0.50	0.40	0.15	0.10	0.04		
		左	0.90	0.65	0.40	0.30	0.35	0.15	0.06		
	0.5	右	0.50	0.35	0.10	0.08	0.04				
		左	0.50	0.35	0.15	0.08	0.04	0.04			
ポリマーセメント系エポキシ	2.0	右	1.50	1.20	0.60	0.35	0.15	0.04	0.04		
		左	2.00	1.50	0.75	0.35	0.15	0.04			
	1.0	右	1.00	0.75	0.50	0.20	0.20	0.10	0.04	0.04	
		左	0.85	0.55	0.35	0.25	0.15	0.08	0.04		
	0.5	右	0.50	0.25	0.10	0.08	0.04				
		左	0.50	0.40	0.15	0.08	0.06	0.04			
ポリマーセメント系アクリル	2.0	右	2.00	1.40	0.70	0.40	0.20	0.10	0.04		
		左	2.00	1.40	0.65	0.40	0.15	0.10	0.04		
	1.0	右	1.00	0.60	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10		
		左	1.00	0.80	0.55	0.30	0.15	0.04	0.04		
	0.5	右	0.40	0.35	0.20	0.15	0.08	0.04	0.04		
		左	0.45	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04	0.04		
スラグ系コロイドセメント	2.0	右	2.00	1.20	0.60	0.25	0.10	0.04	0.04		
		左	2.00	1.50	0.50	0.20	0.06	0.04			
	1.0	右	1.10	0.60	0.40	0.25	0.20	0.10	0.04		
		左	1.00	0.80	0.50	0.30	0.10	0.06	0.04		
	0.5	右	0.55	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04	0.04		
		左	0.50	0.30	0.15	0.04	0.04				

表－15　35℃における導入ひびわれ状況

注入材	目標ひびわれ幅 (mm)	側面	深さ (cm)								
			0	25	50	75	100	125	150	175	200
硬質標準	2.0	右	2.00	1.10	0.60	0.40	0.20	0.15	0.06		
		左	2.00	1.20	0.60	0.35	0.15	0.15			
	1.0	右	1.00	0.50	0.45	0.30	0.10	0.04			
		左	1.00	0.45	0.40	0.25	0.10	0.04			
	0.5	右	0.60	0.35	0.20	0.15	0.06	0.04			
		左	0.55	0.30	0.15	0.10	0.08				
柔軟形－1	2.0	右	2.00	1.00	0.40	0.10	0.06				
		左	2.00	1.00	0.40	0.15	0.08				
	1.0	右	1.00	0.55	0.45	0.35	0.20	0.15	0.08	0.04	
		左	1.00	0.60	0.50	0.35	0.25	0.15	0.10		
	0.5	右	0.50	0.35	0.20	0.15	0.06				
		左	0.50	0.45	0.30	0.20	0.15	0.08			
柔軟形－2	2.0	右	2.00	1.00	0.45	0.25	0.08				
		左	2.00	0.75	0.45	0.08					
	1.0	右	1.00	0.85	0.65	0.45	0.30	0.25	0.20	0.08	
		左	1.00	0.75	0.55	0.45	0.30	0.20	0.15	0.06	0.04
	0.5	右	0.50	0.35	0.15	0.15	0.08	0.04			
		左	0.50	0.25	0.15	0.08	0.06	0.04			
柔軟形－3	2.0	右	2.00	1.40	0.60	0.25	0.20	0.04			
		左	2.00	1.10	0.70	0.30	0.20	0.10	0.04		
	1.0	右	1.00	0.75	0.40	0.30	0.15	0.04	0.04		
		左	0.85	0.60	0.40	0.25	0.15	0.06	0.04		
	0.5	右	0.50	0.40	0.20	0.15	0.08	0.04			
		左	0.50	0.35	0.20	0.15	0.04	0.04			
ポリウレタン系	2.0	右	1.50	0.70	0.10						
		左	1.50	0.55	0.25						
	1.0	右	0.90	0.70	0.35	0.20	0.10	0.04	0.04		
		左	1.00	0.60	0.35	0.10	0.10	0.04			
	0.5	右	0.45	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04	0.04	0.04	
		左	0.50	0.30	0.15	0.08	0.08	0.04			
ポリマーセメント系エポキシ	2.0	右	2.00	1.20	0.50	0.20	0.10	0.04			
		左	2.00	1.10	0.50	0.30	0.15	0.04			
	1.0	右	1.00	0.70	0.40	0.20	0.15	0.04			
		左	1.00	0.70	0.50	0.35	0.15	0.10	0.04		
	0.5	右	0.60	0.35	0.15	0.10	0.06				
		左	0.60	0.40	0.20	0.15	0.10	0.04			

スラグ系注入材を注入するとき圧力は2 kg/cm²の一定圧とし、注入時間は通常2分間程度を標準とするが、本実験では供試体の端部から注入材がある程度出てくる事を確認した時点で注入完了とした。材料の水比は60%である。図－9に注入の概要図を示す。



図－9　スラグ系コロイドの注入方法

③超音波非破壊試験器による導入ひびわれの状況と注入の確認

超音波非破壊試験器（㈱マルイ製，ＵＳＴ：MIN-020-1-00）を用いて、導入したひびわれの状況と確認及び注入後の確認が可能かどうかについて観測した。

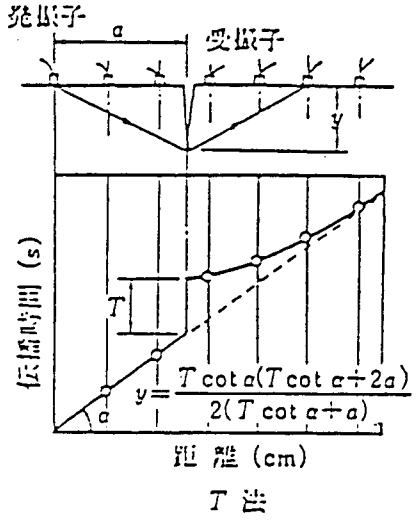
導入したひびわれの状況について観測した結果を下図に示す。トランスジューサー（発振子）として50KHz（Ｐ波）を固定し、受振子をひびわれと直交方向に移動させてパルス伝播時間を、また下式よりパルス伝播速度を測定した。測定位置は、深さ方向の50cm，100cm，200cmの３点について、発振子を上端より2.5cmに固定し、受振子を 2.5～7.5 cmピッチで移動した。

$$V = (L/T) \times 10$$

V（km/sec）：伝播速度

L（cm）：距離

T（μsec）：伝播時間



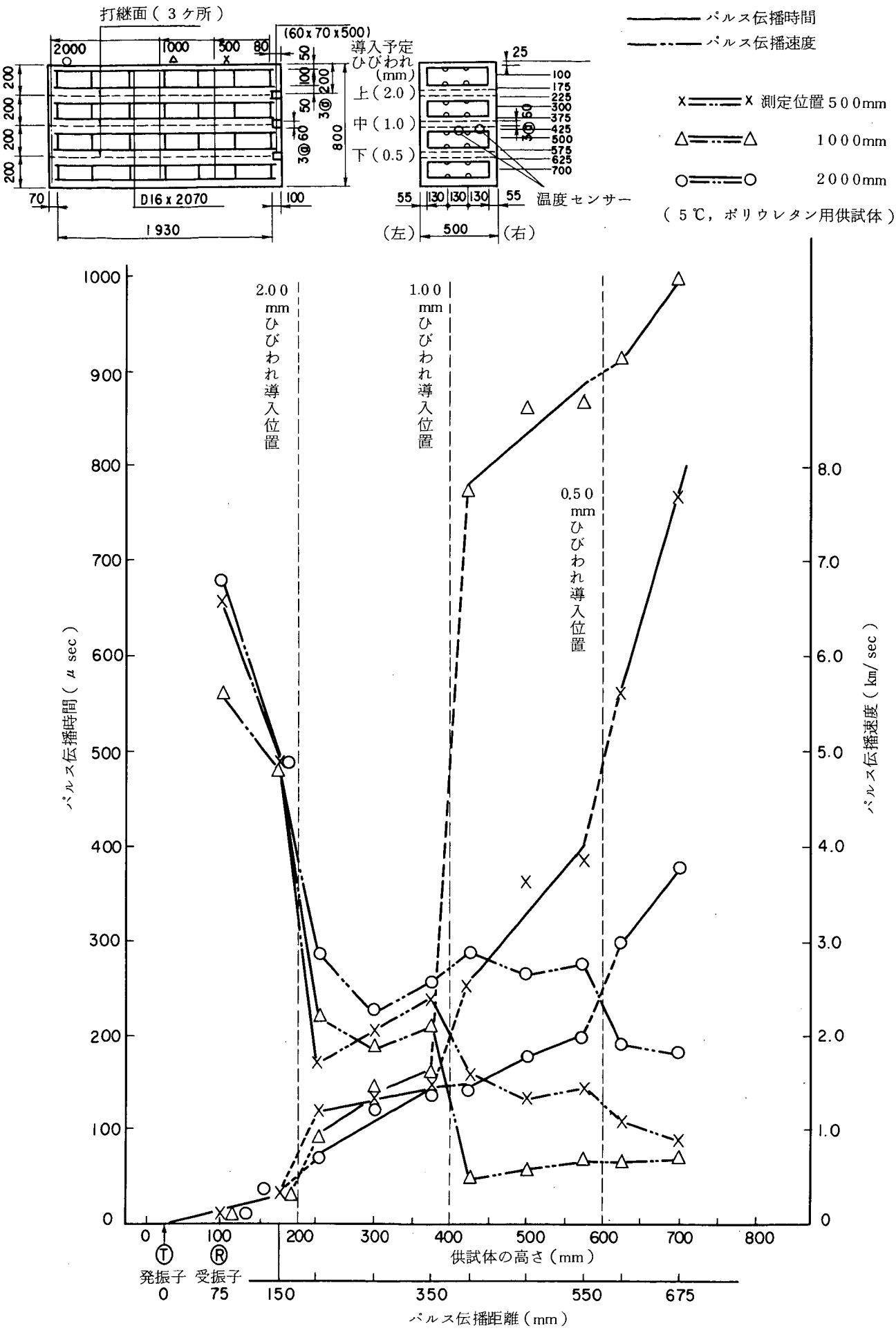
T 法

＊）明石，尼崎：コンクリート工学、Vol.23，No.12，Dec.'85 p.11-20

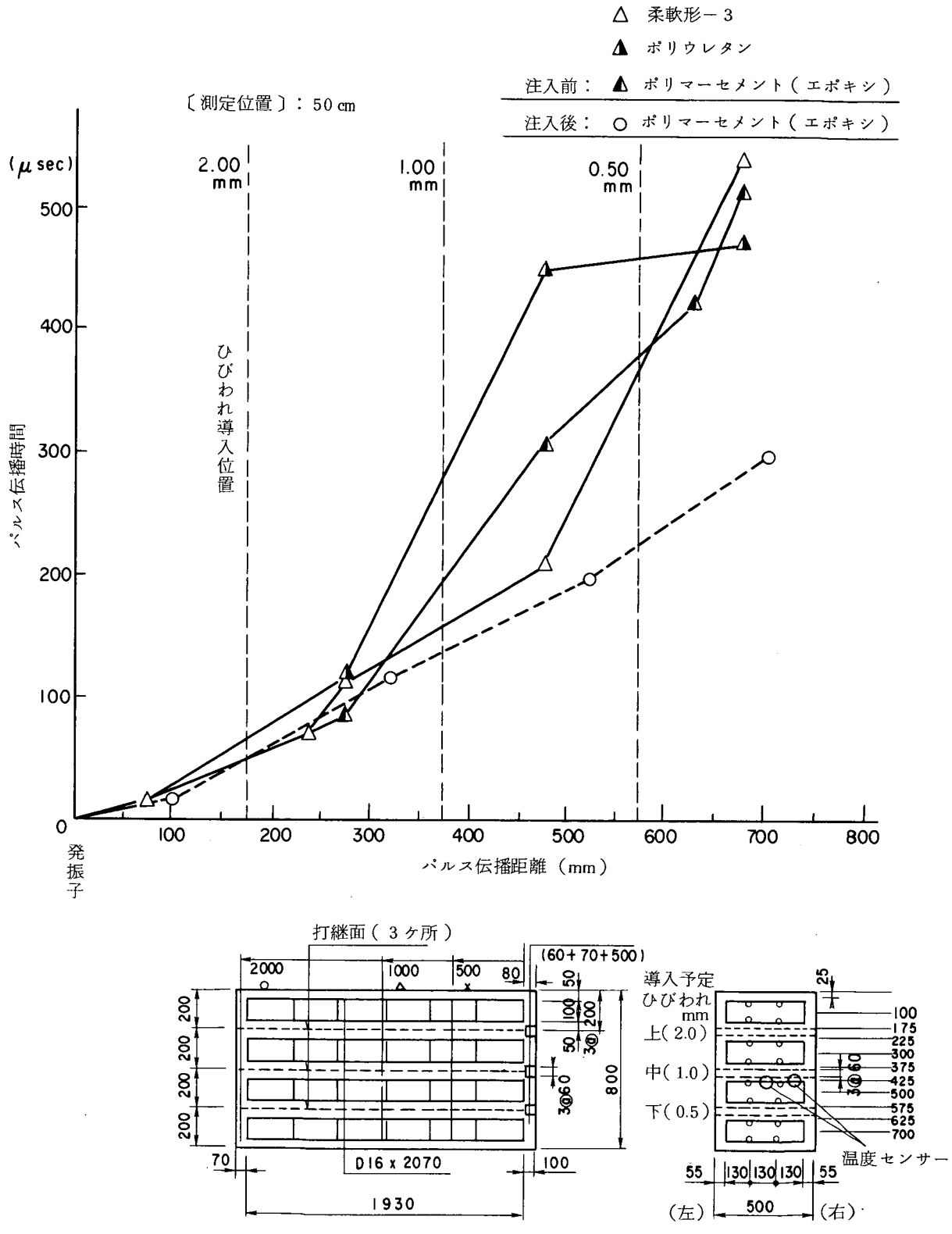
図－10は、５℃ポリウレタン用供試体の結果であるが、ひびわれ導入位置において文献＊）と同様の挙動を示しているところから、ひびわれ位置の推定は可能と考えられる。しかしながら、コンクリート中の鉄筋の影響をうけるためか、図のように明瞭な挙動を示したものは少なく、さらなる検討を行う必要がある。

注入後の状況、すなわち試験材料がひびわれに注入、充填されているかどうかを前述のＵＳＴを用いて測定した結果の例を図－11に示す。

図はポリマーセメント系エポキシについて示しているが、注入前の折れ線からほぼ直線へ変化している。この結果より、測定数が少なく、鉄筋の影響も無視し得ない本実験の範囲内ではあるが、ＵＳＴは注入後の状況確認手法の１つとして適応できると考えられる。



図－１０　超音波による測定結果



図－１１　注入前後のパルス伝播時間

④注入状況

注入時における注入深さを、あらかじめひびわれ面に接着したガラス板より観察して記録し、詳細調査を行う際のコンクリートコア採取位置の選定の参考とする。

その結果を表－16に示す。

表－16　注入状況の概要

目標施工温度 / 試験材料	35℃		20℃		5℃	
	注入可能ひびわれ幅 (mm)	注入深さ (cm)	注入可能ひびわれ幅 (mm)	注入深さ (cm)	注入可能ひびわれ幅 (mm)	注入深さ (cm)
硬質標準	0.06以下	100以上	0.10以下	125以上	0.10以下	150以上
柔軟形－1	0.15以下	125以上	0.06以下	150以上	0.06以下	150以上
柔軟形－2	0.15以下	150以上	0.10以下	125以上	0.04以下	160以上
柔軟形－3	0.20以下	100以上	0.10以下	100以上	0.30以下	75以上
ポリウレタン系	0.08以下	100以上	0.15以下	100以上	0.10以下	125以上
ポリマーセメント系 アクリル	——	——	0.30以下	75以上	——	—
ポリマーセメント系 エポキシ	0.35以下	50以上	0.20以下	75以上	0.25以下	75以上
スラグ系 コロイド	——	——	0.04以下	200	——	—

＊注入時においてシール材やガラス板に亀裂が生じ、注入材の漏洩を生じた。また、シール部以外の肉眼では観察されない微細ひびわれからも、注入材の漏洩を生じたが、特にスラグ系コロイドでは顕著であった。

4)注入深さと注入可能ひびわれ幅

①採取コンクリートコアによる測定

各目標施工温度におけるコンクリートコアの採取位置を表－18，19，20に示す。コンクリートコアの採取位置は、最大の注入深さと最少注入ひびわれ幅の両者が得られると推定される位置の２ケ所とした。採取コンクリートコアの寸法は、φ10×50cmで、２本／体×20体の計40本である。

採取したコンクリートコアの外観観察（クラックスケール，ルーペ，ブラックライト）により測定した注入状況について、最大注入深さと最少注入ひびわれ幅を表－17に示す。

表－17より、注入深さが深く、注入ひびわれ幅が小さい試験材料は、スラグ系＞エポキシ樹脂系＝ポリウレタン系＞ポリマーセメント系の順であった。

表－１７　最大注入深さと最小注入ひびわれ幅

試験材料 / 目標ひびわれ幅 / 目標施工温度			エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	ポリマーセメント系		スラグ系
			硬質標準形	柔軟形-1	柔軟形-2	柔軟形-3	ポリウレタン	アクリル	エポキシ	コロイド
最大注入深さ（cm）	5℃	2.0mm	—	—	—	83	—	—	—	—
		1.0mm	158	168	175	—	143	—	118	—
	20℃	2.0mm	—	—	—	—	—	—	—	—
		1.0mm	143	168	143	130	130	95	118	155
	35℃	2.0mm	120	—	—	108	—	—	—	—
		1.0mm	—	158	158	—	130	—	80	—
最小注入ひびわれ幅 mm	5℃	2.0mm	—	—	—	0.20	—	—	—	—
		1.0mm	0.08	0.04	0.04	—	0.08	—	0.15	—
	20℃	2.0mm	—	—	—	—	—	—	—	—
		1.0mm	0.08	0.04	0.04	0.10	0.08	0.25	0.15	0.04
	35℃	2.0mm	0.15	—	—	0.10	—	—	—	—
		1.0mm	—	0.10	0.10	—	0.04	—	0.20	—

注）空欄は測定対象外を示す。

表－18　5℃における導入ひびわれ状況とコア採取

注入材	目標ひびわれ幅 (mm)	側面	深さ (cm)								
			0	25	50	75	100	125	150	175	200
硬質標準	2.0	右	2.50	2.00	0.60	0.35	0.25	0.04			
		左	2.50	2.00	0.65	0.35	0.15	0.04			
	1.0	右	1.80	0.85	0.65	0.45	0.35	0.25	0.10	0.06	
		左	1.20	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.04	
	0.5	右	0.55	0.45	0.20	0.15	0.06	0.04			
		左	0.45	0.40	0.25	0.15	0.06	0.04			
柔軟形－1	2.0	右	2.50	2.00	0.80	0.50	0.30	0.10	0.04		
		左	2.50	2.00	0.80	0.50	0.30	0.15	0.04		
	1.0	右	1.25	0.90	0.55	0.45	0.30	0.15	0.06		
		左	1.50	1.10	0.75	0.60	0.30	0.15	0.06		
	0.5	右	0.60	0.30	0.20	0.15	0.10	0.06	0.04		
		左	0.55	0.30	0.20	0.10	0.06				
柔軟形－2	2.0	右	1.80	0.75	0.45	0.20	0.10	0.06			
		左	1.75	0.70	0.40	0.15	0.08	0.04			
	1.0	右	1.20	0.85	0.70	0.50	0.40	0.25	0.08	0.04	
		左	1.20	0.80	0.65	0.45	0.35	0.20	0.06	0.04	
	0.5	右	0.65	0.40	0.30	0.15	0.06				
		左	0.80	0.55	0.35	0.20	0.15	0.04			
柔軟形－3	2.0	右	2.00	1.50	0.60	0.35	0.15	0.04			
		左	2.00	1.80	0.70	0.30	0.04				
	1.0	右	1.00	0.80	0.50	0.35	0.15	0.06	0.04		
		左	1.00	1.00	0.60	0.40	0.15	0.08	0.04		
	0.5	右	0.50	0.35	0.15	0.10	0.04				
		左	0.50	0.35	0.20	0.10	0.04				
ポリウレタン系	2.0	右	2.00	1.50	0.65	0.30	0.15	0.04			
		左	2.00	1.80	0.75	0.35	0.15	0.08	0.04		
	1.0	右	1.00	0.70	0.50	0.35	0.20	0.10	0.04		
		左	1.00	0.80	0.65	0.40	0.20	0.15	0.04		
	0.5	右	0.50	0.40	0.20	0.10	0.08	0.04			
		左	0.50	0.40	0.20	0.08	0.04				
ポリマーセメント系エポキシ	2.0	右	2.00	1.10	0.70	0.35	0.15	0.10	0.04		
		左	2.00	1.50	0.85	0.30	0.15	0.06	0.04		
	1.0	右	1.00	0.90	0.70	0.25	0.20	0.08	0.04		
		左	1.00	0.80	0.60	0.45	0.30	0.10	0.08	0.04	
	0.5	右	0.50	0.30	0.10	0.08	0.04				
		左	0.50	0.20	0.08	0.08	0.06	0.04			

表－19　20℃における導入ひびわれ状況とコア採取

注入材	目標ひびわれ幅 (mm)	側面	深さ (cm)								
			0	25	50	75	100	125	150	175	200
硬質標準	2.0	右	2.00	1.30	0.50	0.30	0.15	0.10	0.06		
		左	2.00	1.30	0.65	0.30	0.20	0.10	0.06		
	1.0	右	1.20	0.85	0.65	0.35	0.25	0.10	0.06		
		左	1.00	0.70	0.55	0.35	0.25	0.10	0.04		
	0.5	右	0.50	0.35	0.20	0.10	0.04				
		左	0.65	0.35	0.20	0.10	0.06	0.04			
柔軟形－1	2.0	右	2.00	1.10	0.55	0.15	0.04				
		左	2.00	1.10	0.45	0.15	0.04				
	1.0	右	1.00	0.70	0.45	0.35	0.25	0.15	0.06		
		左	1.00	0.70	0.45	0.35	0.25	0.15	0.06		
	0.5	右	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10	0.06			
		左	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10	0.06			
柔軟形－2	2.0	右	2.00	1.20	0.60	0.30	0.15	0.04			
		左	2.00	1.00	0.50	0.30	0.10	0.04			
	1.0	右	1.10	0.65	0.55	0.35	0.25	0.15	0.08	0.04	
		左	1.00	0.65	0.45	0.30	0.20	0.10	0.08	0.04	
	0.5	右	0.50	0.35	0.25	0.15	0.10	0.06			
		左	0.50	0.30	0.20	0.10	0.06	0.06			
柔軟形－3	2.0	右	1.50	1.30	0.60	0.30	0.10	0.06			
		左	2.00	0.90	0.65	0.25	0.10	0.04			
	1.0	右	1.00	0.90	0.65	0.60	0.40	0.20	0.10	0.10	
		左	1.00	0.70	0.55	0.40	0.20	0.10	0.10	0.10	
	0.5	右	0.45	0.40	0.25	0.10	0.04	0.04			
		左	0.55	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04			
ポリウレタン系	2.0	右	2.00	1.50	0.85	0.55	0.20	0.10	0.04		
		左	1.50	1.20	0.80	0.45	0.15	0.08	0.04		
	1.0	右	1.00	0.65	0.50	0.40	0.15	0.10	0.04		
		左	0.90	0.65	0.40	0.30	0.35	0.15	0.06		
	0.5	右	0.50	0.35	0.10	0.08	0.04				
		左	0.50	0.35	0.15	0.08	0.04	0.04			
ポリマーセメント系エポキシ	2.0	右	1.50	1.20	0.60	0.35	0.15	0.04	0.04		
		左	2.00	1.50	0.75	0.35	0.15	0.04			
	1.0	右	1.00	0.75	0.50	0.20	0.20	0.10	0.04	0.04	
		左	0.85	0.55	0.35	0.25	0.15	0.08	0.04		
	0.5	右	0.50	0.25	0.10	0.08	0.04				
		左	0.50	0.40	0.15	0.08	0.06	0.04			
ポリマーセメント系アクリル	2.0	右	2.00	1.40	0.70	0.40	0.20	0.10	0.04		
		左	2.00	1.40	0.65	0.40	0.15	0.10	0.04		
	1.0	右	1.00	0.60	0.50	0.30	0.20	0.15	0.10		
		左	1.00	0.80	0.55	0.30	0.15	0.04	0.04		
	0.5	右	0.40	0.35	0.20	0.15	0.08	0.04	0.04		
		左	0.45	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04	0.04		
スラグ系コロイドセメント	2.0	右	2.00	1.20	0.60	0.25	0.10	0.04	0.04		
		左	2.00	1.50	0.50	0.20	0.06	0.04			
	1.0	右	1.10	0.60	0.40	0.25	0.20	0.10	0.04		
		左	1.00	0.80	0.50	0.30	0.10	0.06	0.04		
	0.5	右	0.55	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04	0.04		
		左	0.50	0.30	0.15	0.04	0.04				

表－20　35℃における導入ひびわれ状況とコア採取

注入材	目標ひびわれ幅 (mm)	側面	深さ (cm)								
			0	25	50	75	100	125	150	175	200
硬質標準	2.0	右	2.00	1.10	0.60	0.40	0.20	0.15	0.06		
		左	2.00	1.20	0.60	0.35	0.15	0.15			
	1.0	右	1.00	0.50	0.45	0.30	0.10	0.04			
		左	1.00	0.45	0.40	0.25	0.10	0.04			
	0.5	右	0.60	0.35	0.20	0.15	0.06	0.04			
		左	0.55	0.30	0.15	0.10	0.08				
柔軟形－1	2.0	右	2.00	1.00	0.40	0.10	0.06				
		左	2.00	1.00	0.40	0.15	0.08				
	1.0	右	1.00	0.55	0.45	0.35	0.20	0.15	0.08	0.04	
		左	1.00	0.60	0.50	0.35	0.25	0.15	0.10		
	0.5	右	0.50	0.35	0.20	0.15	0.06				
		左	0.50	0.45	0.30	0.20	0.15	0.08			
柔軟形－2	2.0	右	2.00	1.00	0.45	0.25	0.08				
		左	2.00	0.75	0.45	0.08					
	1.0	右	1.00	0.85	0.65	0.45	0.30	0.25	0.20	0.08	
		左	1.00	0.75	0.55	0.45	0.30	0.20	0.15	0.06	0.04
	0.5	右	0.50	0.35	0.15	0.15	0.08	0.04			
		左	0.50	0.25	0.15	0.08	0.06	0.04			
柔軟形－3	2.0	右	2.00	1.40	0.60	0.25	0.20	0.04			
		左	2.00	1.10	0.70	0.30	0.20	0.10	0.04		
	1.0	右	1.00	0.75	0.40	0.30	0.15	0.04	0.04		
		左	0.85	0.60	0.40	0.25	0.15	0.06	0.04		
	0.5	右	0.50	0.40	0.20	0.15	0.08	0.04			
		左	0.50	0.35	0.20	0.15	0.04	0.04			
ポリウレタン系	2.0	右	1.50	0.70	0.10						
		左	1.50	0.55	0.25						
	1.0	右	0.90	0.70	0.35	0.20	0.10	0.04	0.04		
		左	1.00	0.60	0.35	0.10	0.10	0.04			
	0.5	右	0.45	0.40	0.15	0.10	0.04	0.04	0.04	0.04	
		左	0.50	0.30	0.15	0.08	0.08	0.04			
ポリマーセメント系エポキシ	2.0	右	2.00	1.20	0.50	0.20	0.10	0.04			
		左	2.00	1.10	0.50	0.30	0.15	0.04			
	1.0	右	1.00	0.70	0.40	0.20	0.15	0.04			
		左	1.00	0.70	0.50	0.35	0.15	0.10	0.04		
	0.5	右	0.60	0.35	0.15	0.10	0.06				
		左	0.60	0.40	0.20	0.15	0.10	0.04			

4.2.2 粘度

注入，充填作業性及び注入状況に影響する粘度，粘性を測定する。

（1）試験方法

JIS K 6833（接着剤の一般試験方法） 6.3項により5℃，20℃，35℃の粘度を測定する。

1）器具

単一円筒回転粘度計： 電動機によりローターを試験中で一定回転数で回転させ、その粘性抵抗によるトルをスプリングバランスによって測定するもの（以下、粘度計という）。

ストップウォッチ： 目盛りが0.2秒以下のもの。

容　　器： 内径85㎜，深さ120㎜程度のふた付きのもの、または粘度計に付属している外筒。

ガラス棒： JIS R 3645（ガラス棒）の直径8㎜程度のもの。

温 度 計： JIS B 7410のタグ密閉式低引火点用温度計（ＴＡＧ－50）

2）操作

試料約500㎖を容器にとり、なるべくあわの入らないようにガラス棒で静かに約1分間かき混ぜて、試料温度が所定温度になるまで調節する。次に粘度計のローターを容器または外筒のほぼ中央上に位置し、ローターにあわが付着しないように注意しながら浸液マークまで浸漬し、約2分間保った後測定する。測定は、ローター番号と回転数を指示計が目盛りの15～85%の範囲に入るように選び、1分間[(2)]回転させたときの指示計の示す目盛りを読む。粘度は粘度計の示す目盛りの数値に規定の換算乗数を乗じて算出する。指示計の示す目盛りが粘度を直示する粘度計のときは指示計の示す粘度目盛りをそのまま読む。

注[(2)] 高粘度の場合は2分間回転する。

3）計算

同一試料について2回以上測定し、その平均値を求め、有効数字2けたに丸めてcP｛mPa・s｝または｛Pa・s｝で表す。なお結果に使用した粘度計の種類を明記する。

（2）試験結果

粘度試験結果を表－21に示す。①温度が低下すると粘度は上昇し、その傾向はエポキシ樹脂系，ポリウレタン系に著しかった。②ポリサルファイド系シーラントを除いた中では、揺変性を付与されている柔軟形－3が高い粘度値を示した。③試験材料の中で最

も粘度が低く、温度依存性の小さい材料は、スラグ系のコロイドであった。

表－21　各試験温度における粘度　（単位：ｃＰ）

試験材料＼試験温度		5 ℃	20 ℃	35 ℃
エポキシ樹脂系	硬質標準形	3,100	620	185
	柔軟形－1	1,700	550	230
	柔軟形－2	1,200	400	190
	柔軟形－3	34,500	25,000	12,000
ポリウレタン系	ポリウレタン	5,400	2,075	800
ポリマーセメント系	アクリル	8,000	5,600	5,000
	エポキシ	5,800	1,850	1,050
スラグ系	コロイド	300	200	150
ポリサルファイド系	シーラント	(冬型) 105×10^4	(通年型) 89×10^4	(夏型) 85×10^4

4.2.3 可使時間

注入，充塡作業性及び注入状況に影響する可使時間を測定する。

（1）試験方法

1）注入材

エポキシ樹脂系，ポリウレタン系は、上昇温度－時間曲線法で測定する。

ポリマーセメント系，スラグ系はJIS K 6833に準じた方法で時間－粘度曲線をとり、粘性の変化，外観変化をきたす点を測定する。容量，測定温度は①と同じ。

①器具及び試薬

恒温浴そう　浴液の温度を一定の温度で±0.5℃の精度に保持できるもの。

ビーカー　容量100gmlのビーカー。

かき混ぜ棒　ガラス製で直径約6㎜，長さ約15cmのもの。

はかり　ひょう量100g，感量100mgのもの。

温度系　タグ密閉式低引火点用温度計（ＴＡＧ－50）

硬化剤または触媒　硬化剤または触媒の種類及び添加量は、製造業者の指定による。

②操作

この操作に用いる試料，器具，硬化剤または触媒及びかき混ぜ棒は、あらかじめ測定温度に保持しておく。

調整した試験用試料をかき混ぜ、適当な試料採取器でビーカーに指定の配合比の混合物になるように、主剤と硬化剤または触媒を加え、かき混ぜ棒を用いて素早くかき混ぜると同時に、その開始時刻を読む。直ちにビーカーを所定の温度の恒温浴そう中に、試料面が液面下約2cmになるように浸す。

この試料をときどき観察し、次に示す異状が発生する時刻を読み、開始時刻から異状発生時刻までの時間を可使時間とする。この際、試料に観察される異状とは、著しい粘度上昇，糸引き，ゲル化，発ぽう，沈澱，分離，変色など、接着剤の使用上支障をきたす現象をいう。

同一試料について2回以上測定し、その平均値を求め、有効数字2けたに丸めてminで現す。

なお、結果には使用した硬化剤または触媒の種類と添加量(1)及び測定温度を付記する。

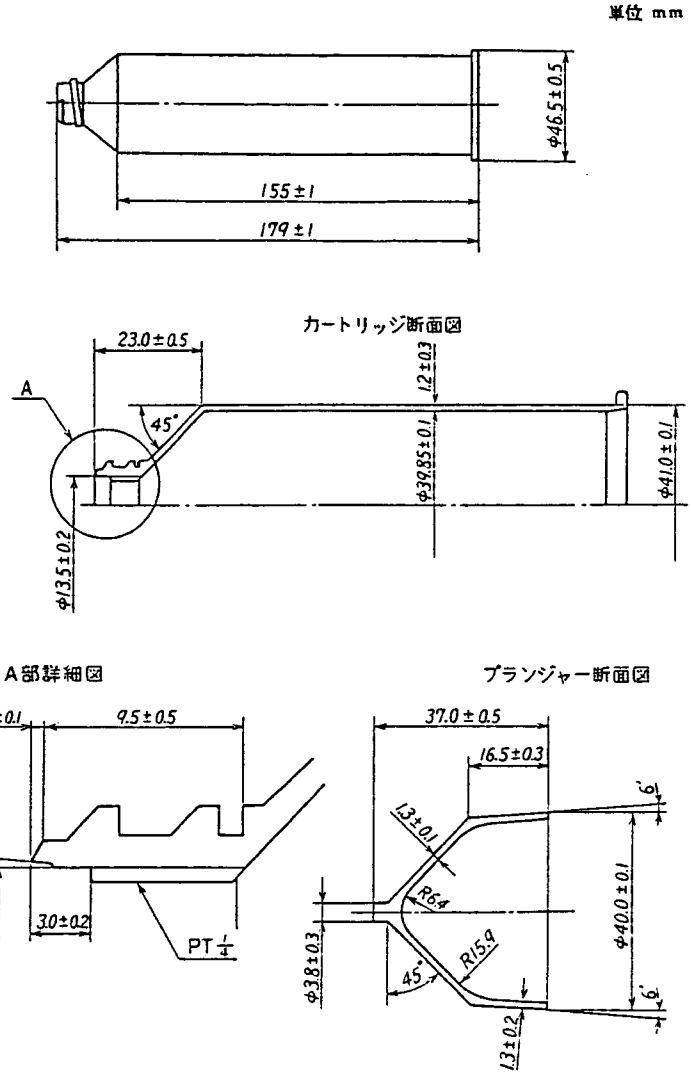
注(1) 添加量は、主剤100部に対する質量部数（phr）で示す。

2) 充塡材

ポリサルファイド系は、JIS A 5758（建築用シーリング材） 5.8項により測定する。測定温度は5℃，20℃，35℃とする。試験器具はＪＩＳに規定するものを使用し、ＪＩＳに規定する方法で煉り混ぜ開始からの経過時間と押し出し時間の関係を示すグラフを描き、押し出し時間が30秒になるときまでの煉り混ぜ開始時からの経過時間を読み取る。通年用の試料は5±2℃，20±3℃及び35±3℃，夏用の試料は20±3℃及び35±3℃，冬用の試料は5±2℃及び20±3℃で試験を行う。

①試験器具

・カートリッジ　図－12に示す形状，寸法の高密度ポリエチレン製カートリッジ(2)（プランジャー付のもの）。



図－１２　ポリエチレン製カートリッジ

注(2) カートリッジとプランジャーの適当な組み合わせは次の手順で選ぶ。すなわち、プランジャーの外周部にグリセリンを塗布してカートリッジに挿入し、カートリッジの先端を上に向けて先端からグリセリンを約５㎖流し込み、エアガンに接着して加圧装置に接続し、約0.4kgf/㎠ {39KPa} の圧力を加え、プランジャーが容易に先端まで達するカートリッジとプランジャーの組み合わせを選ぶ。

このときに用いたグリセリンは、試験前に水洗いして除去する。

＜参考＞圧力の測定には、JIS B 7505(ブルドン管圧力計)に規定するBCL 1.5 ½×100× 2 kgf/㎠を用いるとよい。

・エアガン　　カートリッジを装着できるもの。

・加圧装置　　所要圧力を有する空気圧縮、または所要の内面積と初圧をもつ窒素ボンベ等の圧力源及び必要に応じて空気タンク，減圧弁などを附属するもの。ストップウォッチ

②試験方法

シーリング材の練り混ぜ及び試験は、通年用及び冬用の試料は５±２℃，夏用の試料は20℃±３℃で行う。試料に接する器具は、試験前24時間以上試験温度に置く。

試料をカートリッジにあわが入らないように注意して充填する。

＜参考＞試料をあらかじめ手動ガンに充填し、カートリッジの内側先端部から充填する。ただし、固有のカートリッジに入れて市販されている試料については、試験用カートリッジの先端までプランジャーを押し込み、その先端からプランジャーを押しもどしながら試料を充填するとよい。

充填後、速やかにカートリッジをエアガンに装着し、圧力1.0±0.05kgf/㎠（98±4.9KPa）で試料をカートリッジの先端から押し出し（カートリッジにノズルを付けない）、カートリッジ内の試料のほぼ全量を押し出すのに要する時間(秒)[3]を測定する。

注[3] 試料の流出が急激に減少するときまでの時間をいう。

（２）試験結果

可使時間の試験結果を表－22に示す。①温度が上昇すると可使時間は短くなり、特にエポキシ樹脂系において最も短い可使時間が測定された。②ポリマーセメント系のアクリル，スラグ系コロイドは他の材料にくらべて、可使時間が長かった。③ポリサルファイド系シーラントは各試験温度に対応した成分組成のものを測定しているため、他の材料に比べて試験温度間の可使時間の差は、小さかった。

表－22　各試験温度における可使時間

試験材料 ＼ 試験温度		5 ℃	20 ℃	35 ℃
エポキシ樹脂系	硬質標準	6時間45分	55分	18分
	柔軟形－1	5時間	56分	15分
	柔軟形－2	7時間	69分	18分
	柔軟形－3	120分	50分	15分
ポリウレタン系	ポリウレタン	120分	60分	45分
ポリマーセメント系	アクリル	5時間以上	5時間以上	180分
	エポキシ	5時間以上	150分	60分
スラグ系	コロイド	5時間以上	5時間以上	230分
ポリサルファイド系	シーラント	(冬型) 4時間	(通年型) 4時間	(夏型) 2時間

4.2.4　硬化時間

注入，充填作業性に影響すると共に、機能発現に影響する硬化時間を測定する。

試験は、JIS A 6024に準ずるが、試験温度は5℃，20℃，35℃とする。

（1）試験方法

①試験器具及び試験体材料

・恒　温　器　　各試験時温度に24時間以上調整できるもの。

・試　験　機　　破断荷重が試験機の容量の15～85%に相当するもの。

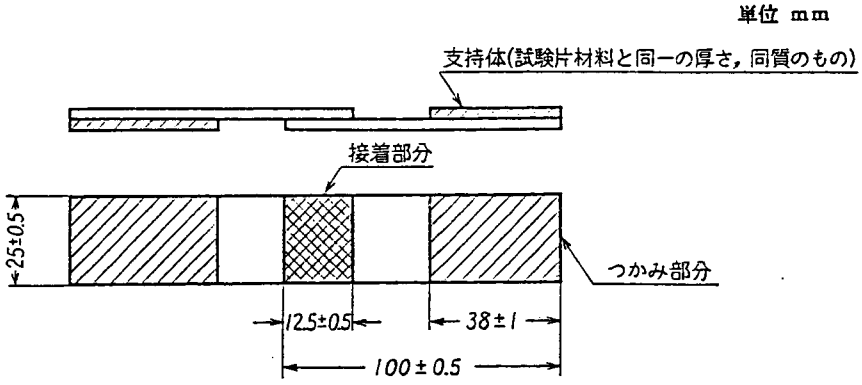
・試験体材料　　JIS G 3141（冷間圧延鋼板及び鋼帯）の1種の厚さ1.6㎜のもので接着面をJIS R 6252（研磨紙）のシートの240番で金属光沢ができるまでみがき、トルエンで十分に洗って乾燥した、寸法 100×25㎜のもの。

②供試体の作り方

主剤，硬化剤及び試験体材料を、各試験時温度の恒温器に24時間以上保持し、主剤と硬化剤を製造業者の定める割合で採取し、1分間十分に撹拌・混和する。試料を図－13に示す接着面に塗布し、10分以内で試験片を作製し、各試験時温度で養生する。

③操作

試験は、各試験時温度で、荷重速度毎分500kgf｛4903N｝または毎分約2.5㎜で引張り、破断強さを求める。破断強さが20kgf/㎠｛196 N／㎠｝を超えたときの経過時間を硬化時間とする。供試体はn＝3とする。



図－１３　供試体

（２）試験結果

硬化時間の試験結果を表－23に示す。エポキシ樹脂系以外の材料は、測定不能となった。これは硬化後の最大強さで20kgf/㎠以上の値が得られなかったためである。すなわち、ポリウレタンとシーラントはその小さい凝集力のために、20kgf/㎠の値に達しなかったと考えられる。

ポリマーセメント系とスラグ系については鋼材の接着評価は適さないようである。すなわち、データのばらつきが大きく、またそれらの鋼材に対する接着生も良くないため最大強さでも20kgf/㎠以上の値が得られなかった。

被着体を鋼材の替わりにセメントモルタルとした曲け付着強さの発現性試験よりポリマーセメント系とスラグ系の評価を試みた結果を表－24，25，26に示す。しかし今回のどちらの試験においても硬化時間の概念が適用できる試験材料の範囲は狭いことが判明した。

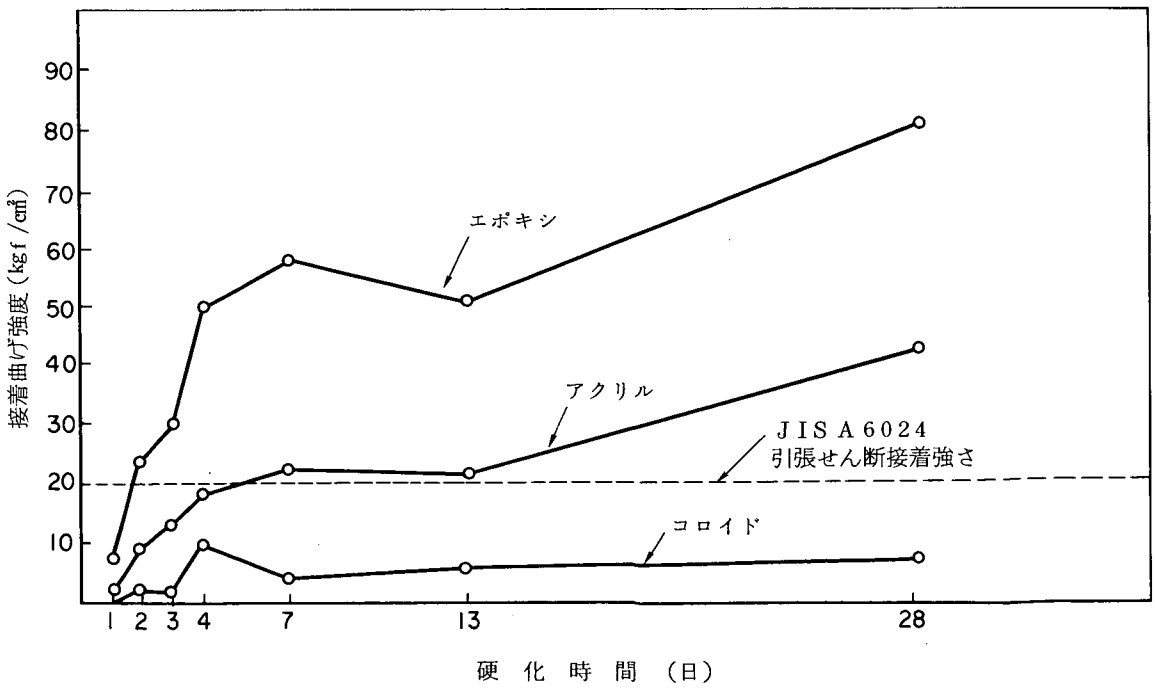
よって硬化時間の概念の見直し（例えば、接着強さ20kgf/㎠を材料が流動しなくなるまでの時間）と測定方法の検討が必要と考えられる。

表－23　各試験温度における硬化時間

試験材料＼試験温度		5　℃	20　℃	35　℃
エポキシ樹脂系	硬質標準	30時間	12時間	5時間
	柔軟形－1	4日以上	24時間	6時間
	柔軟形－2	7日以上	60時間	17時間
	柔軟形－3	35時間	15時間	4時間
ポリウレタン系	ポリウレタン	測定不能	測定不能	測定不能
ポリマーセメント系	アクリル	測定不能	測定不能	測定不能
	エポキシ	測定不能	測定不能	測定不能
スラグ系	コロイド	測定不能	測定不能	測定不能
ポリサルファイド系	シーラント	測定不能	測定不能	測定不能

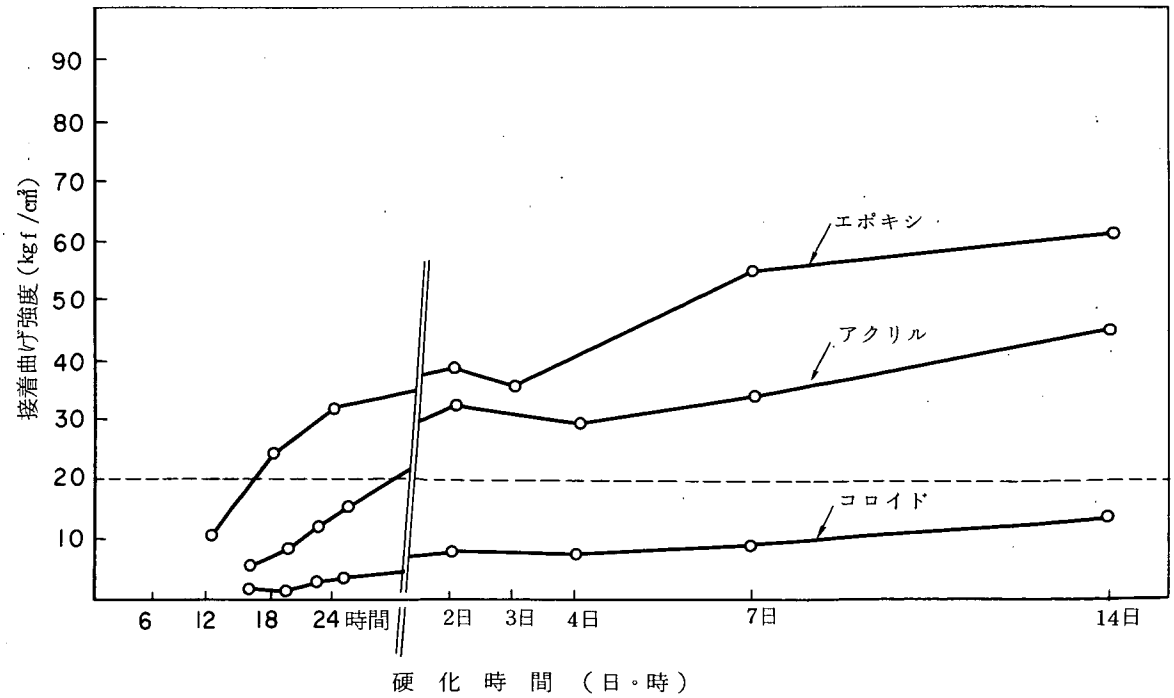
表－24　セメント系注入材の硬化時間測定方法　（案）
5℃における硬化時間（セメントモルタルの接着曲げ強度の立ち上り）

コロイド					アクリル					エポキシ				
1日	1 2 3	— — —	平 均	—	1日	1 2 3	3.2 0.9 0.4	平 均	1.5	1日	1 2 3	6.9 8.4 7.5	平 均	7.6
2日	1 2 3	0.6 2.8 —	平 均	1.7	2日	1 2 3	8.4 7.1 11.6	平 均	9.0	2日	1 2 3	25.9 24.9 19.3	平 均	23.4
3日	1 2 3	2.3 0.9 1.4	平 均	1.5	3日	1 2 3	13.5 13.5 12.0	平 均	13.0	3日	1 2 3	29.4 30.9 28.6	平 均	29.6
4日	1 2 3	7.7 11.3 9.6	平 均	9.5	4日	1 2 3	15.2 20.1 18.2	平 均	17.8	4日	1 2 3	53.8 51.6 44.3	平 均	49.9
7日	1 2 3	5.1 3.3 2.4	平 均	3.6	7日	1 2 3	18.9 17.8 28.1	平 均	21.6	7日	1 2 3	61.9 52.5 57.8	平 均	57.4
13日	1 2 3	9.9 2.4 3.6	平 均	5.3	13日	1 2 3	22.5 15.4 26.4	平 均	21.4	13日	1 2 3	44.6 56.5 —	平 均	50.6
28日	1 2 3	5.4 11.6 4.9	平 均	7.3	28日	1 2 3	59.1 24.6 44.6	平 均	42.8	28日	1 2 3	89.4 64.9 87.8	平 均	80.7



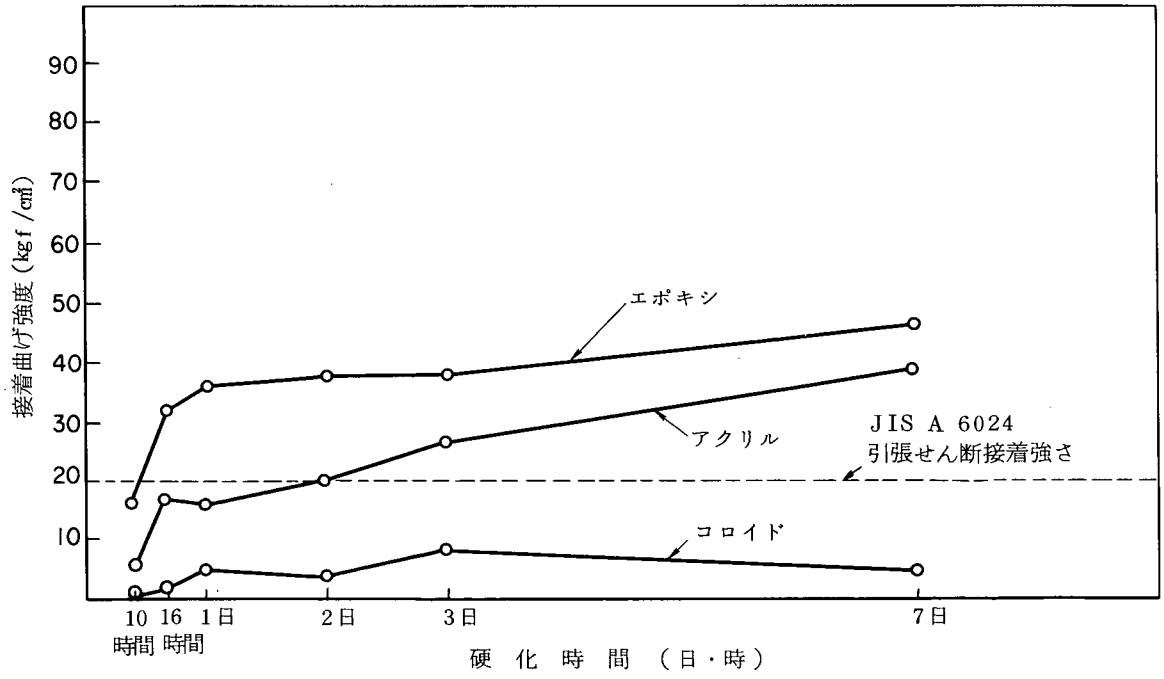
表－25　セメント系注入材の硬化時間測定方法　（案）
20℃における硬化時間（セメントモルタルの接着曲げ強度の立ち上り）

コロイド					アクリル					エポキシ				
16時間	1	1.9	平	1.9	16時間	1	4.7	平	5.3	12時間	1	12.0	平	10.6
	2	1.3				2	5.3				2	9.4		
	3	2.6	均			3	5.8	均			3	10.3	均	
19時間	1	1.3	平	1.5	19時間	1	9.0	平	8.4	18時間	1	24.4	平	24.1
	2	1.1				2	6.0				2	24.4		
	3	2.1	均			3	10.1	均			3	23.4	均	
22時間	1	2.3	平	3.4	22時間	1	10.9	平	12.4	1 日	1	33.4	平	32.1
	2	4.5				2	12.6				2	28.7		
	3	—	均			3	13.7	均			3	34.1	均	
25時間	1	3.8	平	3.3	25時間	1	17.3	平	15.8	2 日	1	30.4	平	38.5
	2	4.2				2	15.0				2	46.9		
	3	1.9	均			3	15.0	均			3	38.3	均	
2 日	1	10.3	平	7.8	2 日	1	42.2	平	32.6	3 日	1	36.9	平	35.3
	2	5.6				2	24.4				2	38.1		
	3	7.5	均			3	31.3	均			3	30.8	均	
4 日	1	8.0	平	7.6	4 日	1	28.9	平	29.7	7 日	1	46.9	平	56.1
	2	10.7				2	32.3				2	62.8		
	3	4.2	均			3	27.8	均			3	58.7	均	
7 日	1	8.4	平	9.3	7 日	1	32.1	平	34.4	14日	1	60.8	平	61.7
	2	10.1				2	38.6				2	52.9		
	3	—	均			3	32.6	均			3	71.3	均	
14日	1	10.5	平	13.2	14日	1	53.4	平	45.5	14日	1		平	
	2	15.8				2	37.5				2			
	3	—	均			3	—	均			3		均	



表－26　セメント系注入材の硬化時間測定方法
35℃における硬化時間（セメントモルタルの接着曲げ強度の立ち上り）

コロイド					アクリル					エポキシ				
10時間	1	—	平	—	10時間	1	7.1	平	5.6	10時間	1	12.8	平	16.8
	2	—				2	4.3				2	26.3		
	3	—	均			3	5.3	均			3	11.3	均	
16時間	1	0.9	平	1.6	16時間	1	17.8	平	17.3	16時間	1	33.8	平	32.9
	2	1.9				2	16.3				2	29.3		
	3	1.9	均			3	17.8	均			3	35.6	均	
1日	1	1.9	平	4.4	1日	1	13.1	平	16.5	1日	1	40.7	平	36.6
	2	10.1				2	22.7				2	36.9		
	3	1.3	均			3	13.7	均			3	32.1	均	
2日	1	6.8	平	3.6	2日	1	19.7	平	20.0	2日	1	28.5	平	37.9
	2	2.3				2	18.8				2	38.8		
	3	1.7	均			3	21.6	均			3	46.5	均	
3日	1	8.8	平	8.0	3日	1	18.2	平	26.2	3日	1	39.4	平	38.4
	2	4.7				2	31.9				2	36.8		
	3	10.5	均			3	28.5	均			3	39.0	均	
7日	1	1.5	平	4.0	7日	1	27.6	平	38.0	7日	1	39.4	平	46.1
	2	6.6				2	38.8				2	58.1		
	3	3.8	均			3	47.6	均			3	40.9	均	



4.2.5　施工性試験結果のまとめ

施工性試験結果の一覧表を表－27に示す。硬化時間については、測定不能が半数以上のため割愛した。すなわち、本実験における硬化時間の概念および評価方法について再考の余地があると考えられる。

施工性試験は、最大注入深さと最小注入ひびわれ幅の値に集約、評価されるが、それらを左右するのが粘度、可使時間と考えられる。本実験では、注入時間および注入量については、各位材料共に最大条件と設備で注入作業を行っているため、考察の対象としていない。

表－27より、最大の注入深さと最小の注入ひびわれ幅が得られる条件が、長い可使時間と、低い粘度であることが確かめられた。

表－２７　施工性試験結果

試験温度及び目標施工温度	試験材料 / 項目	エポキシ樹脂系				ポリウレタン系	ポリマーセメント系		スラグ系	ポリサルファイド系
		硬質標準形	柔軟形-1	柔軟形-2	柔軟形-3	ウレタン	アクリル	エポキシ	コロイド	シーラント
5℃	注入深さ（cm）	158	168	175	83			118		
	注入可能ひびわれ幅（mm）	0.08	0.04	0.04	0.20			0.15		
	粘　度（ｃｐ）	3100	1700	1200	34500		8000	5800	300	105×10^4
	可使時間（分または時間）	5時間45分	5時間	7時間	120分	120分	5時間以上	5時間以上	5時間以上	4時間
20℃	注入深さ（cm）	120	158	158	130		95	118	155	
	注入可能ひびわれ幅（mm）	0.08	0.04	0.08	0.10	0.08	0.25	0.15	0.04	
	粘　度（ｃｐ）	620	550	400	25000		5600	1850	200	88×10^4
	可使時間（分または時間）	1時間32分	56分	69分	50分	60分	5時間以上	150分	5時間以上	4時間
35℃	注入深さ（cm）	120	158	158	108	130		80		
	注入可能ひびわれ幅（mm）	0.15	0.10	0.10	0.10	0.04		0.20		
	粘　度（ｃｐ）	185	230	190	12000	800	5000	1050	150	85×10^4
	可使時間（分または時間）	18分	15分	18分	15分	45分	180分	60分	230分	2時間

注）空欄は測定対象外を示す

4．3　耐久性試験

注入材料及び充填材料の耐久性（耐水性，耐アルカリ性及び耐塩水性試験）に関する試験をする。

なお、耐アルカリ性試験及び耐塩水性試験の供試体と試験方法は耐水性試験に準じるが、試験液はそれぞれ飽和水酸化カルシウム水溶液及び３％ＮａＣｌ水溶液を使用する。

4.3.1　耐水性試験

[エポキシ系，ウレタン系，ポリサルファイド系]

（１）重量増加率及び硬度変化

JIS K 7114（プラスチックの耐薬品試験方法）に準じ、20℃イオン交換水中に５個の供試体を浸漬し、30日後の重量増加率及び硬度を測定した。

1）装置及び器具

①化学てんびん　　感量0.1mgのもの。

②はかりびん　　平形はかりびんで、試験片を入れることができる大きさのもの。

③マイクロメータ　　試験片の長さ、直径及び厚さを測定するためのもので、外側マイクロメータまたはこれと同等以上の精度のもの。

④ダイヤルゲージ　　フィルム状の試験片の厚さを測定するためのもので、0.001㎜目盛りダイヤルゲージまたはこれと同等以上の精度のもの。

⑤容器　　ガラス製広口びんまたは他の適当な容器。試験液を入れるためのもので試験片を完全に浸漬させることができる大きさとする。原則として１個の試験片に１個の容器を使用する。ただし、同一試料の試験片では、同じ容器に数個入れてもよい。

⑥試験片ホルダー　　試験片を試験液中に完全に浸漬させるためのもので、試験液に侵されない材料で作られ、試験片に接触する面積がなるべく小さい形状のものを使用する。

⑦恒温装置　　規定する温度に±２°の精度で保持できるもの。

2）試験液

①試験液に使用する試薬は、日本工業規格に規定するものを用いる。

②試験液を調整する場合は、新しく作った蒸留水またはイオン交換水(1)を使用しなければならない。

注(1)　導電率$2\times10^{-6}\Omega cm^{-1}$(0.2mS／m)　（25℃）以上のもの。

③試験液の量は、試験片の表面積1㎠当たり8±2mℓとする。

3) 試験片

①成形材料の試験には、成形方法及び成形条件に従って成形した、直径50±1㎜，厚さ3±0.2㎜の円板を試験片とする。

②板の試験には、切断または機械加工によって、長さ50±1㎜，幅50±1㎜の形状のものを板から切り取って試験片とする。

③試験片の切断面は平滑でなければならない。

④試験片の数は、試料，試験液及び試験期間ごとにそれぞれ3個以上とする。

4) 操作

①試験片の表面をメチルアルコール（約95V/V%）で湿したやわらかい布で表面の汚れをぬぐい取った後、試験片を必要があれば試験片ホルダーに取り付け、温度23±5℃，相対湿度50±5%の大気中で48時間以上状態調節を行う。

②状態調節を終えた各試験片の質量及び寸法をそれぞれ0.1㎎及び0.01㎜（フィルムの厚さは0.001㎜）まで測る。円板は、互いに直行する二つの直径の長さ及びその交点の厚さを測る。板及びフィルムの長さ及び幅は、そのほぼ中央部で、厚さは対角線の交点で測る。

③試験片を必要があれば試験片ホルダーに取り付け、23±2℃の温度の試験液中に完全に浸漬させる(2)。このとき試験片が容器または他の試験片に触れないように注意する。

④容器は密封して、20±2℃の温度に保持した恒温装置内に7日間静置する。試験液の入った容器を24時間ごとに手で静かに回転させるか、他の適当な方法で試験液を緩やかにかき混ぜて(3)均一にする。

⑤30日後に試験片を試験液から取り出し、速やかに流水ですすぎ乾いたガーゼまたはろ紙で試験片の表面に付着している液をぬぐい取り、直ちにはかりびんに入れてその質量を量る。次に、試験片の寸法を5.2と同じ測定箇所で測定する。

⑥試験終了後の各試験片の外観を観察し、光沢損失，変色，曇り，ひびわれ，き裂，膨潤，反り，分解，溶解，粘着などの有無を調べる。

⑦試験終了後の試験液の外観を観察し、透明性，色調などの変化または濁り，沈澱物の有無を調べる。

注(2) 試験期間中は容器内の試験液を取り替えてはならない。ただし、長期間試験する

場合は、必要に応じて試験液を補充しなければならない。

(3) 試験液は、1日1回かき混ぜる。ただし、長期間試験する場合は最初の1週間は1日1回かき混ぜて、その後は1週間ごとに1回かき混ぜる。

5) 計算と結果の表し方

試験前後の試験片の質量の増加または損失百分率（%）は、次の式によって計算し、増加をプラス（+），損失をマイナス（−）の記号で表す。

$$M = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

乾燥後再び状態調節した後の質量損失は、次の式によって計算する。

（2）物性変化

JIS K 7113によりエポキシ樹脂系硬質標準タイプは1号形で、エポキシ樹脂系軟質タイプ3種類、ポリウレタン系は2号形試験片で、各5個の供試体をイオン交換水に浸漬し、30日後の引張強さ、伸び率及び外観変化を測定する。

[ポリマーセメント系，スラグ系]

JIS R 5201（セメントの物理試験方法）の供試体を各5体イオン交換水に浸漬し、30日後の曲げ強さ，圧縮強さ，引張強さ及び外観変化を測定する。

1) 供試体の作り方

①曲げ試験の供試体は、断面40㎜平方、長さ160㎜の角柱を用い、圧縮試験用の供試体は、曲げ試験に用いた供試体の両折片を用いる。

曲げ試験用の供試体は、次に示す方法によって3個を同時に製作する。

セメント520ｇと標準砂1040ｇとを正確にはかり、これをハチに入れてサジで2分間混ぜ、次に水338ｇを加えて3分間練り、よく混ぜたのち、このモルタルを3個の成形型に、次の方法で2層に詰める。まずモルタルを各型の高さの約½まで詰め、突き棒を用いてその先端がモルタル中に約4㎜入る程度に全面にわたって突き、次にモルタルの各型の上端まで詰め、前と同様に突き棒を用いて突き、最後に残りのモルタルをもって約5㎜の盛り上げをする。

突き棒はJIS R 5201の10.5のフロー試験の結果によって、次の表に示す回数を標準とする。

フロー値範囲	169 以下	170～199	200～209	210 以上
突き数	20	15	10	5

成形型はグリースを塗布して締付け、水漏れのないことを確かめたのち使用しなけ

ればならない。モルタルを詰めてから5時間以上経たのち、供試体をいためないように注意して型の上の盛り上げを削り去り、押しつけないで軽くなでて、その上面を平滑にする。次に詰めてから20時間以上を経たのち、ていねいに型からとりはずす。

前項の練り方，詰め方，表面仕上げ及び脱型は、つねに室内で行い、作業中は日光の直射を避けて乾燥を防ぎ、詰めたのちは、これを湿気箱の中に入れ、温度の変化及び空気の流通を防ぎ24時間を経てから水タンクに入れ、全く水中に浸す。

②引張試験の供試体は、4.1.3と同様とする。

2) 操作

①曲げ試験及び圧縮試験の供試体は成形後28日（湿空中24時間、気中27日間）を経たのち、曲げ試験では3個の供試体について行い、圧縮試験では曲げ試験によって切断されたうち5個の供試体の折片について行う。曲げ試験は供試体を水中から取り出した直後に行うものとし、支点間の距離は100㎜として、供試体を成形したときの側面の中央に、毎秒5㎏の均一速度で荷重を加えて最大荷重を求め、次の式によって曲げ強さを算出し小数点以下1けたに丸める。

$$b = w \times 0.234$$

ここに、b：曲げ強さ（kgf/㎠）

w：最大荷重（kg）

圧縮試験は、曲げ試験の直後に行うものとし、供試体を詰めたときの両側を加圧面とし、荷重用加圧板を用いて供試体の中央部に毎秒80㎏の均一速度で加圧して最大荷重を求め、次の式によって圧縮強さを算出し、整数に丸める。

$$c = \frac{w}{16}$$

ここに、c：圧縮強さ（kgf/㎠）

w：最大荷重（kg）

②引張試験は、4.1.3 に従って行う。

（3）耐久性試験結果

耐久性試験結果を表－28(1), (2), (3)に示す。

1) 耐水性試験結果

（イ）重量増加率

硬質標準形が最も小さな値を、柔軟形－3が最も大きな値を示した。ポリサルファイド系は減量傾向を示した。

表－２８（１）耐久性（耐水，耐アルカリ，耐塩水）試験結果一覧表

試験項目	内　　容	エポキシ樹脂系		
		硬質標準形	柔軟形－１	柔軟形－２
常態	硬　　度	86－82	84－82	76－71
	外　　観	淡黄色透明	黄色半透明	黄褐色透明
	引張強さ（kgf/cm²）	501	75	42
	伸　　び（%）	2.6	130	205
耐水性	重量増加率（%）	1.04	2.92	2.00
	硬　　度	86-79(100-96)	80-75 (95-91)	62-46 (82-65)
	外観変化	変化なし	変化なし	部分的に白化
	引張強さ（kgf/cm²）	389(78)	54(72)	31(74)
	伸　　び（%）	2.3(88)	117(90)	182(89)
耐アルカリ性	重量増加率（%）	1.10	2.92	1.89
	硬　　度	85-76 (99-93)	82-75 (98-91)	62-48 (82-68)
	外観変化	変化なし	変化なし	部分的に白化
	引張強さ（kgf/cm²）	362(72)	57(76)	33(79)
	伸　　び（%）	24(92)	119(92)	172(84)
耐塩水性	重量増加率（%）	1.14	2.76	1.87
	硬　　度	87-79(101-96)	80-75 (95-91)	62-48 (82-68)
	外観変化	変化なし	変化なし	部分的に白化
	引張強さ（kgf/cm²）	346(69)	61(81)	32(76)
	伸　　び（%）	21(81)	116(89)	182(89)

＊　硬度　　押当直後→５秒後
（　）内は20℃に対する保持率（%）

表－２８（２）耐久性（耐水，耐アルカリ，耐塩水）試験結果一覧表

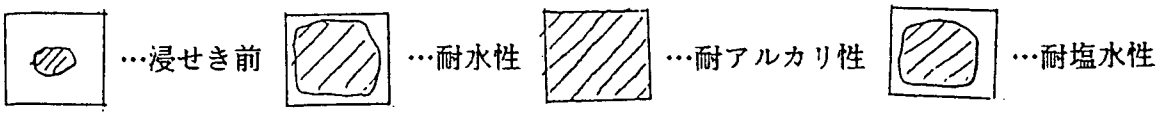
試験項目	内　　容	エポキシ樹脂系	ポリウレタン系	ポリサルフィド系
		柔軟形－３	ポリウレタン	シーラント
常態	硬　　度	74－66	19－18	12
	外　　観			グレー色不透明
	引張強さ（kgf/cm²）	33	10	16
	伸　　び（%）	83	340	1250
耐水性	重量増加率（%）	4.92	2.01	－0.64
	硬　　度	60-58（81-78）	20-19(105-100)	12
	外観変化	全面白化	全面やや白化	若干表面の白化
	引張強さ（kgf/cm²）	24(73)	6(60)	5.3(33)
	伸　　び（%）	80(96)	240(71)	1358
耐アルカリ性	重量増加率（%）	4.74	1.35	－0.16
	硬　　度	62-60（84-78）	19-18(100-100)	12
	外観変化	全面白化	全面やや白化	若干表面の白化
	引張強さ（kgf/cm²）	23(70)	5(50)	50(31)
	伸　　び（%）	71(86)	230(68)	1392
耐塩水性	重量増加率（%）	3.95	1.90	0.06
	硬　　度	62-60（84-78）	19-18(100-100)	12
	外観変化	全面白化	全面やや白化	若干表面の白化
	引張強さ（kgf/cm²）	27(82)	5(50)	50(31)
	伸　　び（%）	92(111)	290(85)	1333

＊　硬度　　押当直後→５秒後
（　）内は20℃に対する保持率（%）

表－２８（３）耐久性（耐水，耐アルカリ、耐塩水性）結果一覧表

試験項目	試験内容	ポリマーセメント系		スラグ系
		アクリル	エポキシ	コロイド
常感	圧縮強さ（kgf/cm²）	530 (100)	584 (100)	601 (100)
	曲げ強さ（kgf/cm²）	111 (100)	162 (100)	3.5 (100)
	引張強さ（kgf/cm²）	41.3 (100)	66.3 (100)	8.4 (100)
	浸せき前外観	表面内部とも灰色	表面灰色 （やや黄味） 内部灰色	表面白灰色 内部暗緑色
常感	圧縮強さ（kgf/cm²）	559 (106)	440 (75)	302 (50)
	曲げ強さ（kgf/cm²）	49.6 (45)	111 (69)	－
	引張強さ（kgf/cm²）	11.7 (28)	34.5 (52)	2.4 (29)
	浸せき後外観	僅かに黒くなる	表面は浸せき前と同色 白い斑あり 内部やや黒ずむ	白化やや薄い模様あり 内部変色，色薄くなり全体に広がる
常感	圧縮強さ（kgf/cm²）	386 (73)	545 (93)	327 (54)
	曲げ強さ（kgf/cm²）	24.3 (22)	137 (85)	－
	引張強さ（kgf/cm²）	22.6 (55)	33.3 (50)	3.3 (39)
	浸せき前外観	やや黒くなり、白い斑あり 内部やや黒変	表面や白い灰色 内部やや黒ずむ	表面薄い暗緑色模様、内部薄い暗緑色全体に広がる
常感	圧縮強さ（kgf/cm²）	453 (86)	517 (89)	421 (70)
	曲げ強さ（kgf/cm²）	24.9 (22)	86.2 (53)	－
	引張強さ（kgf/cm²）	16.1 (28)	33.2 (50)	2.4 (29)
	浸せき後外観	僅かに黒くなる	表面は浸せき前と同色 白い斑あり 内部やや黒ずむ	やや暗緑色模様あり 内部変色、色は薄くなり全体に色全体に広がる

注－１　スラグ系コロイドの浸せき後の曲げは非常に脆く測定不能
注－２　スラグ系コロイドの外観変化の参考図を以下に示す



（ロ）硬度

柔軟形－２及び－３がやや低下する。他はほとんど変化なかった。

（ハ）引張強さ

ポリサルファイド系の保持率が最も低くポリウレタン系がこれに次ぐが、これはこの材料の20℃での強度が元々低い為で強度の変動幅は小さかった。

無機系ではポリマーセメント系エポキシ＞ポリマーセメント系アクリル＞スラグ系コロイドの順で保持率が高かった。

（ニ）伸び

エポキシ系は経時で更に硬化が進行し硬くなる傾向にあり、逆に給水により柔軟化するが、この両者のバランスからエポキシ樹脂系他の項目に比べて保持率が高くなっていると考えられる。ポリウレタン系はやや低下、ポリサルファイド系は増加の傾向が見られた。

（ホ）圧縮強さ

ポリマーセメント系アクリル＞ポリマーセメント系エポキシ＞スラグ系コロイドであった。

（ヘ）曲げ強さ

ポリマーセメント系エポキシが最も良い。スラグ系コロイドは脆くて測定不能であった。

（ト）外観変化

樹脂系では硬質標準形及び柔軟形－１以外は表面の白化現象が認められた。ポリマーセメント系は内部がやや黒ずんだ。スラグ系コロイドは暗緑色が内部全体に広がった。

2）耐アルカリ性

エポキシ樹脂系，ポリウレタン系，ポリサルファイド系の六種ともに耐水性と同じような傾向を示すがポリウレタン系の重量増加率は耐水性に比べ小さくなった。ポリマーセメント系の圧縮強さは耐水性とは逆にエポキシの方が保持率は高くなった。スラグ系コロイドは脆いので曲げ試験は行えなかった。

3）耐塩水性

硬質標準形，柔軟形－１，－２，及びポリサルファイド系は耐水性，耐アルカリ性とほぼおなじ傾向であった。柔軟形－３及びポリウレタン系の重量増加率は少なくな

り伸びの保持率が耐アルカリ性や耐水性より高くなった。スラグ系コロイドは耐塩水性が最も大きな圧縮強さを示した。

4.3.4　付着力耐久性

（1）乾湿繰り返し

1）概要

JIS A 6024の4.8に示されている特殊条件の中の乾湿繰り返し時に準ずるが、繰り返しサイクルは30サイクルで行った。

項目	試験体の作製時		試験体の養生時 1)		試験時
試験の環境条件	接着作業前	接着作業時間	接着養生時間	試験前	
乾湿繰り返し時	2) 標準7日間 乾燥面	標準10分以内	標準養生後、 乾湿繰り返し3) 30サイクル	標準1日間	標　準

注　1)試験体は水平で、平らな平板上に置く。
2)標準とは、温度20±2℃，湿度65±10%をいう。
3)乾湿繰り返しとは、温度60℃の循環式空気乾燥機中に18時間放置し、直ちに温度60℃の恒温水そう中に6時間浸せきした状態をいい、この操作を1サイクルという。

乾湿繰り返しを受けない時の標準を初期値とし、30サイクル後の接着強度とたわみ量を比較した。

試験片の作製及び測定方法は、以下の条件で行った。

2）試験片の作製（n＝3）

JIS R 5201（セメントの物理試験方法）の6.4により被着体を作製する。ただし寸法は40×40×80㎜とし、28日間以上20±3℃の水中で養生し、健全に硬化したものとする。接着面はサンデングし、異物を取り除いておく。

図－4に示すように、接着層の厚さが所定の厚さになるように中央部にスペーサを設置し、試料が流出しないように接着テープなどでシールして、調整した試料を注入して試験体とする。ただし、だれのない試料は、試験体の接着面に試料を塗布して、図－4に示す試験体とすることができる。

①表面状態：乾燥（JIS A 6024の標準条件）

②注入後の養生は各種材料の標準硬化条件とする。

②－1　20℃，7日：エポキシ樹脂系，ポリウレタン系

②－2　20℃，7日＋50℃，7日：ポリサルファイド系

②－3　20℃，28日：ポリマーセメント系（気中），スラグ系（水中）

③注入厚さ（㎜）

③－1　0.5　　③－2　2.0　　③－3　5.0

3) 測定方法

①接着強さの測定方法は図10に示す荷重方法で、毎秒5 kgf {49N} の割合で載荷して最大荷重を求める。接着強さは、次の式を用いて計算する。

$$\text{接着強さ（kgf/cm}^2\text{）　　\{N／cm}^2\text{\}} = \frac{12\ P}{b\ h^2}$$

ここに、P：最大荷重（kgf）　　{N}

b：試験体の幅（cm）

h：試験体の高さ（cm）

曲げ破断時の破壊状況と荷重～たわみ図から最大たわみ量を測定する。

②試験温度

標準硬化養生後、標準温度下で載荷する。

4) 試験結果

初期値の試験結果を表－29(1)～29(2)に、乾湿繰り返し後の試験結果を表－30(1)～30(5)に示す。また、以下の式を用いた保持率を含めた乾湿繰り返し結果の一覧を表－30(6)に示す。

$$\text{保持率（\%）} = \frac{\text{（乾湿繰り返し試験後）}}{\text{（初期値）}} \times 100$$

①硬質標準形，柔軟形－1，－2のエポキシ樹脂系及びポリウレタン系は乾湿繰り返し後の接着強さは膜厚が増加するに従いその保持率が低下するが柔軟形－3のみ全く逆の傾向が認められた。柔軟形－2，ポリウレタン及びポリマーセメント系2種はいずれも0.5mmの注入厚では試験後の接着強度はむしろ増大した。

②たわみ量については膜厚による影響が比較的明確なのは柔軟形－1のみで他の材料については特に規則性はないように思われる。

③破壊状況については硬質標準形は各注入厚ともに総てモルタルの破壊が主となり、柔軟形－1，ポリウレタンは界面破壊が主である。柔軟形－2，－3は注入厚が大きくなるに従い界面破壊から注入材の凝集破壊が主になって来ている。ポリマーセメント系は双方とも注入厚が小さいと注入材の凝集破壊になり、注入厚が大きくなるとモルタルの破壊を示し樹脂系とは異なった破壊状況である。スラグ系及びポリサルファイド系は界面と注入材の混合型の破壊が多くみられた。

表－２９(1)　乾湿繰り返し（初期値）

試験材料	注入厚 (mm)	20℃ 最大荷重 (kgf)	20℃ 接着強度 (kgf/cm²)	20℃ たわみ量 (mm)	試験材料	注入厚 (mm)	20℃ 最大荷重 (kgf)	20℃ 接着強度 (kgf/cm²)	20℃ たわみ量 (mm)
エポキシ樹脂系 硬質標準形	0.5	500 440 480	94 83 90	0.46 0.37 0.47	柔軟形－3	0.5	480 455 490	90 85 92	0.65 1.23 0.60
	平均		89	0.43		平均		89	0.83
	2.0	480 370 550	90 69 103	0.52 0.38 0.27		2.0	400 405 415	75 76 78	1.32 2.25 2.35
	平均		87	0.39		平均		76	1.97
	5.0	465 510 405	87 96 76	0.52 0.41 0.35		5.0	290 385 360	54 72 68	2.65 3.28 3.25
	平均		86	0.43		平均		65	3.06
柔軟形－1	0.5	400 355 480	75 67 90	0.42 0.64 0.44	ポリウレタン系 ポリウレタン	0.5	30 35 45	6 7 8	1.58 1.22 1.55
	平均		77	0.50		平均		7	1.45
	2.0	430 490 490	81 92 92	0.40 0.65 0.40		2.0	75 55 60	14 10 11	2.28 1.78 2.42
	平均		88	0.48		平均		12	2.16
	5.0	410 380 450	77 71 84	0.75 0.74 0.63		5.0	75 60 70	14 11 13	4.36 4.21 4.61
	平均		77	0.71		平均		13	4.39
柔軟形－2	0.5	435 455 480	82 85 90	0.43 0.34 0.42	ポリマーセメント系アクリル	0.5	100 125 80	19 23 15	0.27 0.60 0.20
	平均		86	0.40		平均		19	0.36
	2.0	460 415 485	86 78 91	0.44 0.45 0.36		2.0	— 450 350	— 84 66	— 0.56 0.74
	平均		85	0.42		平均		75	0.65
	5.0	250 465 485	47 87 91	3.80 4.20 3.80		5.0	460 490 400	86 92 75	0.50 0.62 0.48
	平均		75	3.93		平均		84	0.53

表－２９(2)　乾湿繰り返し（初期値）

試験材料	注入厚 (mm)	２０℃		
		最大荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)
ポリマーセメント系エポキシ	0.5	195 150 125	37 28 23	0.58 0.25 0.21
	平均		29	0.35
	2.0	435 310 330	82 58 62	0.49 0.45 0.33
	平均		67	0.42
	5.0	スケール オーバー	94 < 94 < 94 <	
	平均		94 <	0.34<
スラグ系コロイド	0.5	5 — —	1 — —	0.07 — —
	平均		—	—
	2.0	55 140 145	10 26 27	0.39 0.35 0.24
	平均		21	0.33
	5.0	175 250 155	33 47 29	0.35 0.33 0.30
	平均		36	0.33
シーラント系ポリサルフィルド	0.5	185 155 125	35 29 23	1.92 2.10 1.97
	平均		29	2.00
	2.0	108 196 192	20 37 36	5.50 6.70 7.10
	平均		31	6.43
	5.0	154 168 178	29 32 33	10.00 11.80 11.80
	平均		31	11.20

表－３０（１）乾湿繰り返し結果

試験材料		注入厚 (mm)	最大荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	破壊状況
エポキシ樹脂系	硬質柔軟形	0.5	440	82.5	0.42	モルタル破壊 100%
			485	90.9	0.46	モルタル破壊 100%
			590	111	0.38	モルタル破壊 100%
		平均	—	94.8	0.42	———
		2.0	446	83.6	0.56	モルタル破壊 100%
			382	71.6	0.37	界面破壊 20%
			360	67.5	0.36	モルタル破壊 100%
		平均	—	74.2	0.43	———
		5.0	325	60.9	0.39	モルタル破壊 100%
			300	56.3	0.37	モルタル破壊 100%
			320	60.0	0.42	モルタル破壊 100%
		平均	—	59.7	0.39	———
	柔軟形－１	0.5	262	49.1	0.35	界面破壊 60%
			350	65.6	0.27	界面破壊 80%
			374	70.1	0.44	界面破壊 100%
		平均	—	61.6	0.35	———
		2.0	160	30.0	0.60	界面破壊 100%
			240	45.0	0.50	界面破壊 100%
			136	25.5	0.45	界面破壊 90%
		平均	—	33.5	0.52	———
		5.0	195	36.6	1.70	界面破壊 90%
			180	33.8	1.80	界面破壊 100%
			338	63.4	2.00	界面破壊 100%
		平均	—	44.6	1.83	———

表－３０（２）乾湿繰り返し結果

試験材料		注入厚 (mm)	最大荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	破壊状況
エポキシ樹脂系	柔軟形－２	0.5	837	157	0.56	界面破壊　80%
			460	86.3	0.49	モルタル破壊 100%
			483	90.6	0.40	界面破壊　50%
		平均	—	111	0.48	———
		2.0	220	41.3	1.65	界面50%、注入材50%
			238	44.6	2.05	界面40%、注入材60%
			190	35.6	2.00	注入材 100%
		平均	—	40.5	1.90	———
		5.0	162	30.4	3.40	注入材 100%
			172	32.3	4.50	界面 100%
			175	32.8	3.50	界面90%、注入材10%
		平均	—	31.8	3.80	———
	柔軟形－３	0.5	217	40.7	0.40	モルタル破壊 100%
			388	72.8	0.76	モルタル破壊 100%
			363	68.1	0.78	界面破壊　60%
		平均	—	60.5	0.65	———
		2.0	350	65.6	1.20	界面破壊 100%
			490	91.9	1.13	界面破壊 100%
			250	46.9	0.83	界面破壊 100%
		平均	—	68.1	1.05	———
		5.0	365	68.4	2.55	注入材 100%
			367	68.8	2.25	界面90%、注入材10%
			370	69.4	2.26	界面10%、注入材90%
		平均	—	68.9	2.35	———

表－３０（３）乾湿繰り返し結果

試験材料		注入厚 (mm)	最大荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	破壊状況
ポリウレタン系	ポリウレタン	0.5	64.0	12.0	0.50	界面破壊 100%
			36.0	6.8	0.65	界面破壊 100%
			44.0	8.3	0.90	界面破壊 100%
		平均	—	9.0	0.68	———
		2.0	59.6	11.2	1.15	界面破壊 100%
			62.0	11.6	1.15	界面破壊 100%
			46.0	8.6	1.33	界面破壊 100%
		平均	—	10.5	1.21	———
		5.0	35.6	6.7	3.50	界面破壊 100%
			40.0	7.5	3.90	界面破壊 100%
			25.0	4.7	7.80	界面破壊 100%
		平均	—	6.3	5.07	———
ポリマーセメント系	アクリル	0.5	118	22.1	0.28	界面10%、注入材90%
			174	32.6	0.26	界面30%、注入材70%
			110	20.6	0.35	モルタル80%、注入材20%
		平均	—	25.1	0.30	———
		2.0	400	75.0	0.58	モルタル破壊 100%
			375	70.3	0.31	モルタル破壊 100%
			392	73.5	0.36	モルタル破壊 100%
		平均	—	72.9	0.42	———
		5.0	443	83.1	0.33	モルタル破壊 100%
			445	83.4	0.36	モルタル破壊 100%
			424	79.5	0.40	モルタル破壊 100%
		平均	—	82.0	0.36	———

表－３０（４）乾湿繰り返し結果

試験材料		注入厚 (mm)	最大荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/ cm²)	たわみ量 (mm)	破壊状況
ポリマーセメント系	エポキシ	0.5	293	54.9	0.42	注入材 100%
			247	46.3	0.42	注入材 100%
			210	39.4	0.24	モルタル20%、注入材80%
		平均	—	46.9	0.36	——
		2.0	459	86.1	0.40	モルタル60%、注入材40%
			344	64.5	0.31	モルタル70%、注入材30%
			389	72.9	0.44	モルタル 100%
		平均	—	74.5	0.38	——
		5.0	365	68.4	0.42	モルタル破壊 100%
			415	77.8	0.32	モルタル破壊 100%
			477	89.4	0.52	モルタル破壊 100%
		平均	—	78.5	0.42	——
スラグ系	コロイド	0.5	—	—	—	——
			—	—	—	——
			—	—	—	——
		平均	—	—	—	——
		2.0	19.0	3.6	0.19	界面80%、注入材20%
			59.4	11.1	0.19	界面90%、注入材10%
			4.0	0.8	0.25	注入材 100%
		平均	—	5.2	0.21	——
		5.0	22.0	4.1	0.08	界面50%、注入材50%
			18.0	3.4	0.12	界面20%、注入材80%
			19.2	3.6	0.11	界面30%、注入材70%
		平均	—	3.7	0.10	——

注）—— は測定不能を示す。

表－３０（５）乾湿繰り返し結果

試験材料		注入厚 (mm)	最大荷重 (kgf)	接着強度 (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	破壊状況
シーラント系	ポリサファイド	0.5	88.4	16.6	0.85	界面50%、注入材50%
			100	18.8	1.40	界面20%、注入材80%
			134	25.2	1.45	界面20%、注入材80%
		平均	—	20.2	1.23	———
		2.0	124	23.2	6.10	界面20%、注入材80%
			124	23.3	5.45	注入材破壊 100%
			100	18.8	6.90	界面50%、注入材50%
		平均	—	21.8	6.15	———
		5.0	53.0	10.0	7.50	界面20%、注入材80%
			75.6	14.2	11.50	界面70%、注入材30%
			59.0	11.1	9.50	注入材破壊 100%
		平均	—	11.8	9.50	———

表－３０(6)　乾湿繰り返し試験結果一覧表

試験材料		注入厚 (mm)	接着強度 (kgf/cm²)			たわみ量 (mm)		
			初期値	試験後	保持率(%)	初期値	試験後	保持率(%)
エポキシ樹脂系	硬質標準形	0.5	89	95	107	0.43	0.42	98
		2.0	87	74	85	0.39	0.43	110
		5.0	86	59	69	0.43	0.39	91
	柔軟形－１	0.5	77	62	81	0.50	0.35	70
		2.0	88	34	39	0.48	0.52	108
		5.0	77	45	58	0.71	1.83	258
	柔軟形－２	0.5	86	111	129	0.40	0.48	120
		2.0	85	41	48	0.42	1.90	452
		5.0	75	32	43	3.93	3.80	97
	柔軟形－３	0.5	89	61	69	0.83	0.65	78
		2.0	76	68	89	1.97	1.05	53
		5.0	65	69	106	3.06	2.35	77
ポリウレタン	ポリウレタン	0.5	7	9	129	1.45	0.68	47
		2.0	12	10	88	2.16	1.21	56
		5.0	13	6	48	4.39	5.07	115
ポリマーセメント系	アクリル	0.5	19	25	132	0.36	0.30	83
		2.0	25	73	97	0.65	0.42	65
		5.0	84	82	98	0.53	0.36	68
	エポキシ	0.5	29	47	162	0.35	0.36	103
		2.0	67	75	112	0.42	0.38	90
		5.0	94<	79	84>	0.34<	0.42	124>
スラグ系	コロイド	0.5	—	—	—	—	—	—
		2.0	21	5.2	25	0.33	0.21	64
		5.0	36	3.7	10	0.33	0.10	30
シーラント系	ポリサルファイド	0.5	29	20	69	2.00	1.23	62
		2.0	31	22	71	6.43	6.15	96
		5.0	31	12	39	11.20	9.50	85

（2）繰り返し曲げ疲労

1）概要

標準温度20±2℃において、種々の荷重について繰り返し曲げ試験を行い、100万回以上の繰り返しを受けても破壊しない時の荷重を求める。この時の接着強度を準疲労限度として表すと共に、切り返し曲げを受けない時の静的接着強度（初期値）と比較する。

2）試験片の作製

4.3.4 の(1)乾湿繰り返しの2)と同じように作製する。

3）測定方法

4.3.4 の(1)乾湿繰り返しの3)に示されている方法に準じて、曲げ載荷を行うが、予備試験の結果より以下の条件で繰り返し曲げ試験を行う。図－14に、疲労試験における応力と時間の一般的な関係を示す。

①荷重制御：①－1　上限荷重，500 kgfまで（変動）

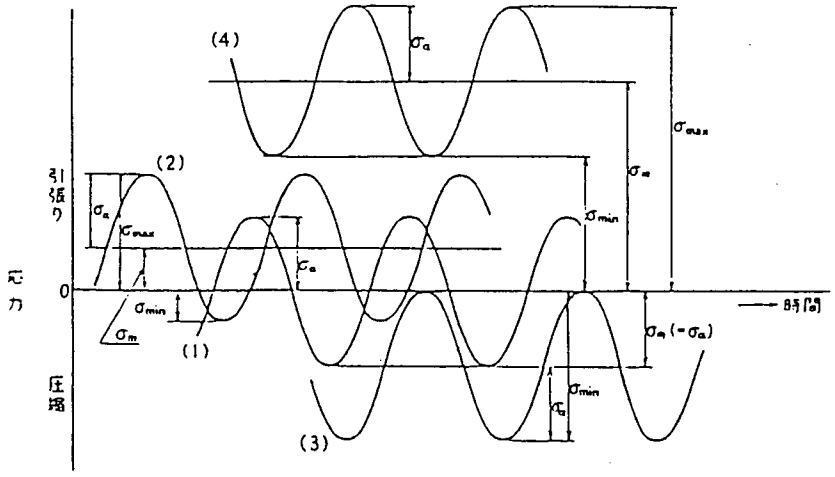
①－2　下限荷重，　5 kgf　（固定）

①－3　繰り返し荷重の波形，ｓｉｎ波

②疲労破壊時の繰り返し曲げ載荷の停止：最大たわみ量が15㎜に達した時に設定した。

③試験速度：15Hz　(900rpm)

④繰り返し荷重による注入接着部の発熱状況についてc-c熱電対を接着部に粘着テープで貼付し、エポキシ樹脂系硬質標準形とシーラント系ポリサルファイドの各注入厚5㎜の試験片で測定した。いずれも９万回までには明瞭な温度上昇は認められず、温度を一定に保つためのクーリングの必要がないことを予備試験により確認した。



(1)両振り　　σm:平均応力
(2)部分両振り　σn:応力振幅
(3)片振り　　σmax:最大応力
(4)部分片振り　σmin:最小応力

図－14　疲れ試験の各パターン

本試験において圧縮力による(4)の部分片振りを行う。このときの最少値は5 kgf，最大値は500kgfである。

4) 試験結果

各試験材料の初期値の試験結果を表－29(1)～29(2)に、疲労試験の結果を表－31(1)～(9)に示す。

また、準疲労限度と静的強度（初期値）の比を応力比(%) とした結果の一覧を表－32に示す

本試験はインストロン社製片振り油圧式疲労試験機（恒温槽付き）を使用した。

一般に、接着物や高分子材料では金属材料ほど明瞭な疲労限度を占めさない傾向があるが、接着物に関する規格のFed, Test, Method, Std, No.175＊1では、10^7サイクルで接着物が疲労破壊する時の応力（kgf/㎠）を高分子材料ではASTM D671-63T＊2において、同じように10^7サイクルで応力を疲労限度としている。[2] また、高分子材料では、金属材料にならって10^7サイクルでの応力を静的強度との比の応力比として示し、耐久度として表されている。この値は接着物及び材料の耐久性や設計基準としての安全率に関する一つの目安として取扱われている。[2, 3]

非鉄金属やコンクリートなどでは、S－N曲線（応力－繰り返し数曲線）において、金属材料の疲労限度に相当する10^7サイクルでの水平部は現れず、正確な疲労限度は求められないとされている。コンクリートでは通常10^6サイクル程度の繰り返しに耐える応力すなわち時間強さがとられ、一般にはこれを疲労限度としている。[4]

よって、本試験においては、試験時間を考慮して設定した10^6サイクルで破壊しない最大の応力を疲労限度に準ずる応力として準疲労限度と便宜上定義し、結果をまとめた。

①エポキシ樹脂系において、硬質標準形の破壊状況がすべてモルタル破壊を示し、あたかもモルタルの疲労試験のようであった。柔軟形－1の破壊状況は、注入厚が大きくなるに従って試験材料自身で破壊を生じる凝集破壊の割合が多くなり、準疲労限度も同じように低下した。柔軟形－2の破壊状況は、注入厚にかかわらず界面破壊の割合が多く準疲労限度も注入厚に依存せずほぼ、10～20（kgf/㎠）の範囲にあった。柔軟形－3の破壊状況は、モルタル破壊と界面破壊との混合破壊が多く、準疲労限度は注入厚依存性が小さく、20～30（kgf/㎠）の範囲にあった。

②ポリウレタン系ウレタンにおいて、破壊状況はすべて界面破壊を示し、注入厚が大きくなるに従って準疲労限度が低下した。

③ポリマーセメント系において、アクリルの破壊状況はモルタル破壊と凝集破壊との混合破壊を示すが、注入厚が0.5㎜のときの準疲労限度は、2.0及び5.0㎜のときの値より極端に小さく、また応力比も小さい。エポキシの破壊状況や疲労挙動は、アクリルと同様の傾向を示した。

④スラグ系コロイドにおいて、破壊状況は、界面破壊と凝集破壊との混合破壊を示しているが注入厚が5.0㎜のときには界面破壊の割合が大半を示した。準疲労限度は、10～20（kgf/㎠）の範囲で小さいが応力比は約47%となった。

⑤シーラント系ポリサルファイドにおいては、モルタル面へのプライマー使用により界面破壊を生じずにポリサルファイドの大きな伸び能力が十分に示された。また、応力比は59～78%の大きい値を示し、注入材であるポリウレタンとは異なった挙動を示した。

⑥各注入厚における準疲労限度について大きい順に試験材料を並べると以下のようになる。

0.5㎜：柔軟形－1＞硬質標準＞柔軟形－3＝ポリサルファイド
＞柔軟形－2＞コロイド＞エポキシ＞ウレタン＞アクリル

2.0㎜：硬質標準＞エポキシ＞アクリル＝柔軟形－1＞ポリサルファイド
＞柔軟形－3＞柔軟形－2＞コロイド＞ウレタン

5.0㎜：エポキシ＞硬質標準＝アクリル＞柔軟形－1＝柔軟形－3
＞ポリサルファイド＞柔軟形－2＞コロイド＞ウレタン

このことから、ポリマーセメント系アクリルとエポキシの適性注入厚は2.0～5.0㎜である。

また、エポキシ樹脂系柔軟形－2，ウレタン（ポリウレタン系ポリウレタン）及びコロイド（スラグ系コロイド）の耐疲労性状は、他の試験材料よりも劣っている。

⑦本試験は、20±2℃における疲労試験であるので、得られた準疲労限度が基本物性試験のモルタルとの付着性試験と同様の温度依存性を有していることは、文献より明らかであるため試験材料の疲労性状の一部を把握したものである。

表－３２　繰り返し曲げ疲労試験結果一覧表

試験材料		注入厚 (mm)	静的強度（初期値） (kgf/cm^2)	準疲労限度 (kgf/cm^2)	応力比 (%)
エポキシ樹脂系	硬質標準形	0.5	81.1	35.6	44
		2.0	69.6	55.3	79
		5.0	61.1	41.1	67
	柔軟形－1	0.5	82.7	50.6	61
		2.0	88.0	34.3	39
		5.0	86.0	21.2	25
	柔軟形－2	0.5	70.1	18.9	27
		2.0	59.1	16.1	27
		5.0	49.5	9.9	20
	柔軟形－3	0.5	78.8	24.9	32
		2.0	64.1	23.8	37
		5.0	57.0	21.0	37
ポリウレタン	ポリウレタン	0.5	15.9	10.7	67
		2.0	12.1	8.6	71
		5.0	13.0	3.8	29
ポリマーセメント系	アクリル	0.5	56.5	4.1	22
		2.0	64.0	34.5	54
		5.0	71.7	40.7	57
	エポキシ	0.5	45.7	12.2	27
		2.0	68.0	36.4	54
		5.0	74.1	44.6	60
スラグ系	コロイド	0.5	38.3	18.1	47
		2.0	21.2	9.8	46
		5.0	16.9	7.9	47
シーラント系	ポリサルファイド	0.5	32.8	24.9	76
		2.0	37.6	29.3	78
		5.0	24.4	14.4	59

〔参考文献〕

1) JIS K 7118. 硬質プラスチックス材料の疲れ試験方法通則

2) 元起巌：接着物の疲労強度，日本接着協会誌，2322 (1966)

3) 小野昌考　他：繰り返し曲げによる接着接合の疲労について、木材学会誌，Vol.27 No.7，(1981)

4) 岡田清　他：新訂版　土木材料学，国民科学社（昭和51年5月）

5) 山口章三郎：高耐久性接着材料，化学工業，P.36，1982. 9

＊1．Fed, Tdst, Method, Std, NO. 175 : Federal Specifications and Standards, No. 175, Adhesive Method of Testing.

＊2．ASTM D 671-63T : Tentative Method of Test for REPEATED FLEXUAL STRESS (FATIGUE) of PLASTICS.

（3）クリープ抵抗性

1) 概要

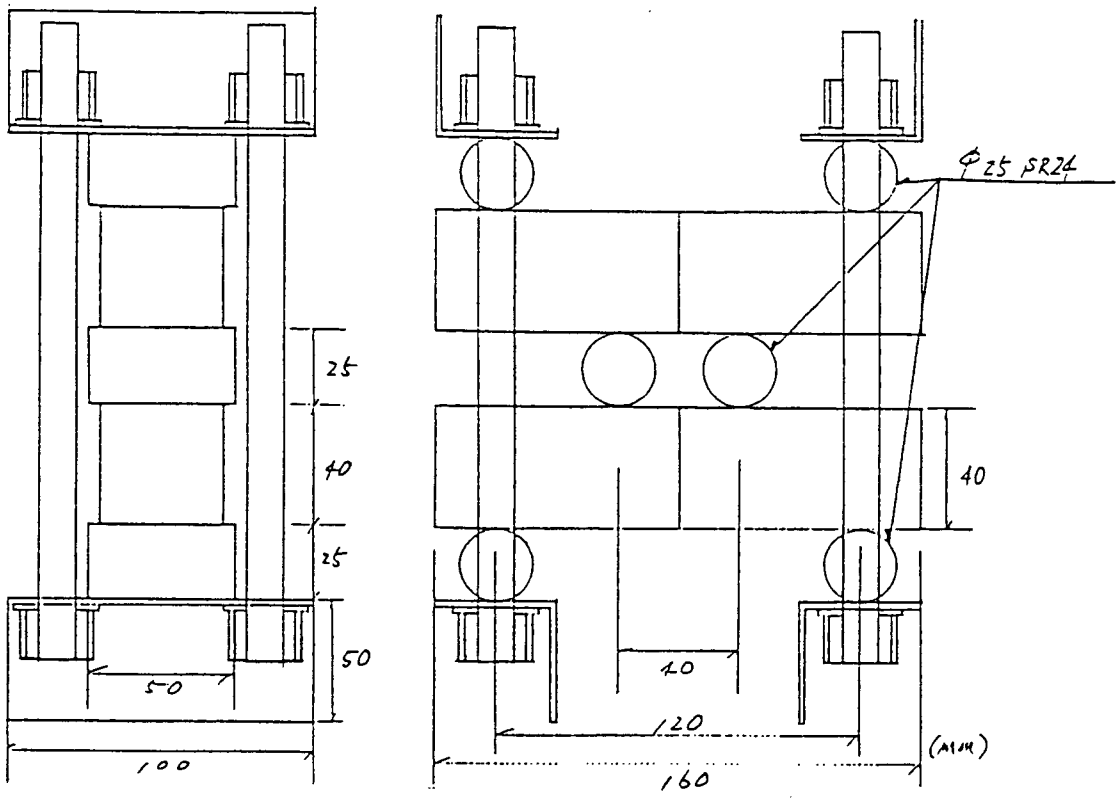
標準温度20＋2℃において、種々のたわみ量を曲げ載荷により持続導入して曲げクリープを生じさせ、疲れ破壊に至るまでの時間を測定し、各種注入材及び充填材のクリープ破壊挙動を把握した。

2) 試験片の作製

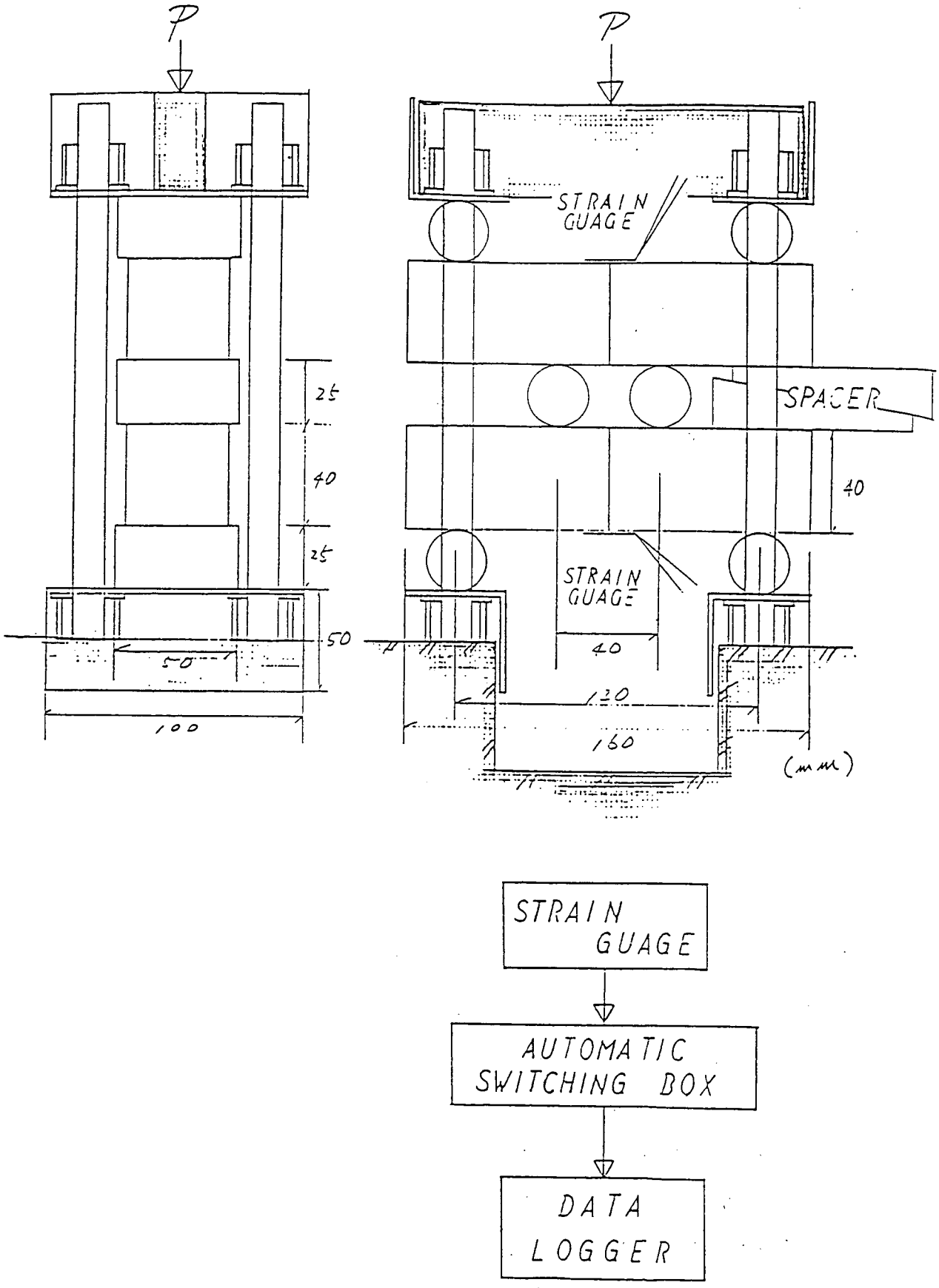
4.3.4 の(1)乾湿繰り返しの2)と同じように作製した接着物を、図－15のように、鋼製の治具を用いて接続たわみを導入できるように固定し、試験片とした。

3) 測定方法

図－15のように作製した試験片を図－16のように曲げ載荷を行って所定のたわみ量（δc)を導入し、ボルトで締結する。この時に、所定のたわみ量が応力緩和によって変化しないいように両試験片の間にプラスチックスペーサーを設置する。曲げ載荷は、4.3.4 の(1)乾湿繰り返しの3)と同じように行う。クリープ破壊の感知とそれまでの時間を測定するために、図－16に示す歪ゲージ、スイッチボックス及びデジタル歪測定装置を用いると共に、たわみ量が大きく伸び能力に富む注入材または充填材については、所定時間毎の目視観察を行う。クリープ破壊した時の所要時間と破壊状況を記録する。



図－１５　試験片の作成



図－１６　曲げたわみの導入及びクリープ破壊の測定

4) 試験結果

初期値（静的強度とたわみ量）は(2)繰り返し曲げ疲労の表－29を用い、各試験材料の導入したクリープたわみ量（δc）と静的破壊時のたわみ量（δc）との比としてたわみ量比（%）を、またクリープ破壊時間を表－33(1)～(9)に示す。また、結果の一覧を表－34に示す。

ＡＳＲによって生じたひびわれは、その後、反応の進行に伴ってひびわれ幅を大きくしたり、ひびわれの長さを長くしたりする。また、直射日光のあたるような壁面のひびわれについても熱膨張係数に帰因するひびわれ幅の変化を生じる。このような挙動を示すひびわれに注入または充填された材料には、持続的な応力や変形が加わることになる。そして用いられた材料は、持続的な応力や変形に長期間にわたって破断，破壊せずに耐えなければならない。一般に、持続的な応力や変形に対する材料の耐久性評価方法としてクリープ試験があり、試験材料が決して破壊しないような小さな荷重等を用いて長時間にわたって行われている。しかしながら、本試験においては、限られた試験期間内で、短時間にクリープ耐久性を把握するため、クリープ破壊試験を行った。

すなわち、静的破壊試験時のたわみ量（δc）よりも小さい変形としてたわみ量（δc）を曲げ載荷によって導入、クリープを生じさせる。この時のたわみ量をプラスチックスペーサーを用いて一定に保つと、弾性ひずみが減少して応力も減少する応力緩和(Stress Relaxation)を生じるが、ある時間が経過すると破壊に至る疲れ破壊時間を、クリープ破壊時間として測定した。この時の試験条件である注入厚はひびわれ幅に対応する。

本試験は、20±2℃の温度下で測定された最長未破壊時間とその時のたわみ量比（%）との関係を明らかにしたものである。すなわち、文献[1]に示されるような温度依存性を各試験材料が有していると考えられることから、注入材料と充填材料のクリープ耐久性の一部を明らかにしたものである。

本試験から得られた結果を以下に示す。

①エポキシ樹脂系において、柔軟形－２の挙動は他の３種に比べて著しく異なっている。初期のたわみ量は大きいが長期間堪え得るたわみ量は小さく他の３種と同程度の値を示し、耐久性に乏しいことが考えられる。

②ポリウレタン系ポリウレタンについてもエポキシ樹脂系柔軟形－２と同様の挙動が観察され、耐久性に劣ることが考えられる。

③ポリマーセメント系において、アクリルは注入厚が大きい場合にたわみ量が大きい傾向が観察されるが、エポキシは注入厚による依存性は観察されず、たわみ量比は55～66%の範囲にある。

④スラブ系コロイドについて、注入厚によるたわみ量比の依存性は観察されず、28～36（%）の範囲にある。

⑤シーラント系ポリサルファイドについては、大きな伸び能力を有するエポキシ樹脂系柔軟形－2やポリウレタンと異なった挙動が観察された。すなわち、たわみ量比は各注入厚共に40（%）と同じであるが、それぞれのＳｃは全試験材料の中で最大の値を示している。

一般にクリープ抵抗性が高く、耐疲れ性状にすぐれていることを示す指標として、たわみ量比が上げられるが、表－33より、ポリウレタン系ポリウレタンとエポキシ樹脂系柔軟形－2は耐クリープ抵抗性に乏しいと考えられる。

〔参考文献〕

1) 井上貞弘：木煉瓦－コンクリート接着接合のクリープにおける応力－温度－破壊時間の関係，日本接着協会誌，Ｖｏｌ．６，Ｎｏ．１（１９７０）

2) 小野木重治訳：高分子の力学的性質，化学同人，１９６９，５．

3) 岡田清　他：新訂版　土木材料工学，国民科学社，昭和51年５月

4) JIS K 7116，プラスチックの曲げクリープ試験方法

表－３３(1)　クリープ抵抗性試験結果（エポキシ樹脂系硬質標準形）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	0.37	—	100	0	モルタル100
		0.18	49	0	モルタル100
		0.19	51	0	モルタル100
		0.22	59	0	モルタル100
		0.20	54	1000 →	
		0.28	76	72.5	モルタル100
		0.26	70	0.5	モルタル100
2.0	0.45	—	100	0	モルタル100
		0.35	78	1000 →	
		0.32	71	0	モルタル100
		0.38	85	0	モルタル100
		0.33	73	1000 →	
		0.36	80	816	モルタル100
		0.32	71	552 →	
5.0	0.44	—	100	0	モルタル100
		0.40	91	672	モルタル100
		0.33	75	1000 →	
		0.24	55	630	モルタル100
		0.42	95	12	モルタル100

注）→　は未破壊を示す

表－３３(2)　クリープ抵抗性試験結果（エポキシ樹脂系柔軟形－１）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	0.52	—	100	0	モルタル100
		0.29	56	1000 →	
		0.44	85	216	モルタル100
		0.21	40	1000 →	
		0.49	94	50	モルタル100
		0.35	67	865	モルタル100
2.0	0.53	—	100	0	モルタル100
		0.37	70	25	ゲージ破断
		0.46	87	0.5	ゲージ破断
		0.15	28	1000 →	
		0.31	58	1000 →	
5.0	0.70	—	100	0	モルタル100
		0.49	70	0.5	ゲージ破断
		0.46	66	580	ゲージ破断
		0.39	56	0	モルタル100
		0.24	34	984 →	
		0.39	56	984 →	

注）→は未破壊を示す。

表－３３(3)　クリープ抵抗性試験結果（エポキシ樹脂系柔軟形－２）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	0.55	—	100	0	モルタル50、凝集50
		0.35	64	62	ゲージ破断
		0.24	44	953 →	
		0.14	25	954 →	
		0.46	84	2.0	ゲージ破断
		0.38	69	25	ゲージ破断
2.0	1.00	—	100	0	凝集50、界面50
		0.45	45	0.1	ゲージ破断
		0.41	41	8.2	ゲージ破断
		0.25	25	936 →	
		0.63	63	5.0	モルタル20、凝集80
		0.56	56	20.5	モルタル20、凝集80
5.0	3.40	—	100	0	凝集100
		2.80	82	0.5	界面100
		2.30	68	40	界面100
		0.22	6	528	界面100
		0.31	9	288 →	界面100
		0.41	12	216 →	界面100

表－３３(4)　クリープ抵抗性試験結果（エポキシ樹脂系柔軟形－３）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	0.86	—	100	0	モルタル60、界面40
		0.44	51	528	ゲージ破断
		0.34	40	912 →	
		0.24	28	1000 →	
		0.55	64	18.0	ゲージ破断
		0.70	81	16.0	ゲージ破断
2.0	1.00	—	100	0	モルタル40、界面60
		0.24	24	1000 →	
		0.51	51	16.0	モルタル60、界面40
		0.66	66	13.0	モルタル70、界面30
5.0	1.65	—	100	0	モルタル20、界面80
		0.86	52	19.5	モルタル70、界面30
		0.66	40	912 →	
		1.15	70	13.0	モルタル10、界面90

注）→は未破壊を示す

表－３３(5)　クリープ抵抗性試験結果（ポリウレタン系ポリウレタン）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	1.00	—	100	0	界面100
		0.18	18	912 →	
		0.25	25	1.0	界面100
		0.15	15	384 →	
2.0	1.90	—	100	0	界面100
		0.33	17	528	界面100
		0.45	24	22	界面100
		0.28	15	384 →	
5.0	3.00	—	100	0	界面100
		0.68	23	288	界面100
		1.20	40	17	界面100
		0.45	15	384 →	

表－３３(6)　クリープ抵抗性試験結果（ポリマーセメント系アクリル）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	0.25	—	100	0	凝集100
		0.12	48	11.0	ゲージ破断
		0.10	40	1.5	ゲージ破断
		0.08	32	480 →	
		0.14	56	0.5	凝集100
2.0	0.30	—	100	0	モルタル70、凝集30
		0.07	23	97	ゲージ破断
		0.14	47	6.0	ゲージ破断
		0.16	53	18.0	ゲージ破断
		0.09	30	480 →	
5.0	0.40	—	100	0	モルタル80、凝集20
		0.28	70	0.5	ゲージ破断
		0.23	57	480 →	
		0.16	40	504 →	

注）→　は未破壊を示す

表－３３(7)　クリープ抵抗性試験結果（ポリマーセメント系エポキシ）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	0.35	—	100	0	モルタル100
		0.08	23	672 →	
		0.30	86	59.5	ゲージ破断
		0.13	37	672 →	
		0.34	97	207	ゲージ破断
		0.23	66	600 →	
		0.18	51	599 →	
2.0	0.35	—	100	0	モルタル100
		0.17	49	600 →	
		0.18	51	601 →	
		0.19	54	0.5	モルタル100
		0.24	69	0.5	モルタル100
		0.22	63	624 →	
		0.28	80	0.5	モルタル100
5.0	0.40	—	100	0	モルタル100
		0.25	63	0.5	モルタル100
		0.22	55	624 →	
		0.20	50	0.5	モルタル100
		0.14	35	624 →	
		0.27	68	0.5	モルタル100

表－３３(8)　クリープ抵抗性試験結果（スラグ系コロイド）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm) 静的破壊時 (δ_s)	たわみ量(mm) クリープ導入 (δ_c)	たわみ量比 (%) (δ_c / δ_s) ×100	クリープ破壊時間 (hr)	破壊状態 (%)
0.5	0.25	—	100	0	界面100
		0.07	28	768 →	
		0.16	64	360 →	
		0.21	84	0.2	凝集10、界面 90
2.0	0.25	—	100	0	凝集30、界面 70
		0.08	32	768 →	
		0.18	72	359 →	
		0.20	80	0.5	凝集10、界面 90
5.0	0.25	—	100	0	凝集10、界面 90
		0.09	36	768 →	
		0.14	56	456	ゲージ破断
		0.15	60	358 →	
		0.22	88	0.5	凝集10、界面 90

注）→　は未破壊を示す

表－３３(9)　クリープ抵抗性試験結果（シーラント系ポリサルフィルド）

注入厚 (mm)	たわみ量(mm)		たわみ量比（%）	クリープ破壊時間	破壊状態
	静的破壊時 (δ_s)	クリープ導入 (δ_c)	(δ_c / δ_s) ×100	(hr)	(%)
0.5	2.00	—	100	0	界面100
		0.81	40	912 →	
		1.50	75	360 →	
		1.70	85	351	凝集70、界面30
2.0	6.00	—	100	0	凝集100
		4.20	70	152	凝集100
		5.00	83	134	凝集100
		2.40	40	912 →	
5.0	11.50	—	100	0	凝集100
		4.60	40	912 →	
		8.00	70	149	凝集100
		9.50	83	384 →	

注）→　は未破壊を示す

表－３４　クリープ抵抗性試験結果一覧表

試験材料		注入厚 (mm)	静的破壊時のたわみ δs (mm)	クリープ導入たわみ δc (mm)	たわみ量比 (%)	クリープ未破壊時間 (h)
エポキシ樹脂系	硬質標準形	0.5 2.0 5.0	0.37 0.45 0.44	0.20 0.35 0.33	54 78 75	1,000 1,000 1,000
	柔軟形－1	0.5 2.0 5.0	0.52 0.53 0.70	0.29 0.31 0.39	56 58 56	1,000 1,000 984
	柔軟形－2	0.5 2.0 5.0	0.55 1.00 (3.40)	0.24 0.25 (0.22)	44 25 (6)	953 936 (528 破壊)
	柔軟形－3	0.5 2.0 5.0	0.86 1.00 1.65	0.34 0.24 0.66	40 24 40	912 1,000 912
ポリウレタン	ポリウレタン	0.5 2.0 5.0	1.00 1.90 3.00	0.18 0.28 0.45	18 15 15	912 384 384
ポリマーセメント系	アクリル	0.5 2.0 5.0	0.25 0.30 0.40	0.08 0.09 0.23	32 30 57	480 480 480
	エポキシ	0.5 2.0 5.0	0.35 0.35 0.40	0.23 0.22 0.22	66 63 55	600 624 624
スラグ系	コロイド	0.5 2.0 5.0	0.25 0.25 0.25	0.07 0.08 0.09	28 32 36	768 768 768
シーラント系	ポリサルファイド	0.5 2.0 5.0	2.00 6.00 11.50	0.81 2.40 4.60	40 40 40	912 912 912

4.3.5　耐久性試験結果のまとめ

耐久性試験として、３種類の水溶液中に30日間浸せきした後の重量変化，硬度変化及び物性変化を測定した。また、60℃における乾湿繰り返し30サイクル後のモルタル付着力変化を測定し、20℃における繰り返し曲げ疲労やクリープ抵抗性試験を行った。

これらの結果から、表－28(1)～(3)に示される30日間浸せきによる耐水性等の試験においては、ポリウレタン系ポリウレタンの引張強さやポリマーセメント系およびスラグ系の曲げ強さと引張強さに、やや大きな保持率の低下が観察され、他の試験材料よりも耐久性に乏しいと考えられる。

表－30(6)に示される30サイクルの乾湿繰り返し後の付着力試験においては、エポキシ樹脂系硬質標準形、柔軟形－３およびポリマーセメント系２種の接着強度に高い保持率が観察され、この時のたわみ量にも同様の傾向が観察された。ここで、ポリマーセメント系においては、イオン交換水中30日間浸せき後の耐水性試験とは異なった、優れた性能を示している。この現象を説明する一つの要因として、用いた浸せき液の品質（耐水性は、イオン交換水であり、乾湿繰り返しは、水道水である。）が考えられる。イオン交換水の方が浸透，膨潤作用が大きいことは一般的に言われていることからも、説明することができるであろう。

表－32に示される繰り返し曲げ疲労試験においては、準疲労限度や応力比の結果から、ポリマーセメント系２種の注入施工適性が2.0～5.0㎜の注入厚にあると考えられる。また、エポキシ樹脂系柔軟形－２，ポリウレタン系ポリウレタンおよびスラグ系コロイドの準疲労限度が各注入厚について、小さい値が測定されているため、耐疲労性状は他の試験材料よりも劣っていると言える。

表－34に示されるクリープ抵抗性試験においては、一般にクリープ抵抗性が高く、耐疲れ性状に優れていることを示す指標としてのたわみ量比から判断すると、ポリウレタン系ポリウレタンとエポキシ樹脂系柔軟形－２は、耐クリープ抵抗性に乏しいと考えられる。

以上のような種々の耐久性試験の結果から、耐久性に乏しいと考えられる試験材料には、エポキシ樹脂系柔軟形－２，ポリウレタン系ポリウレタンおよびスラグ系コロイドが上げられよう。

4．4　コンクリートのひびわれ抑制効果

ＡＳＲによるひびわれの進行を阻止する目的で行う注入及び塗装による補修の効果について検討した。

4.4.1　補修後の促進養生による抑制効果の確認

（1）概要

反応性骨材を用いてＲＣの梁を作製し、ＡＳＲにより生じたひびわれの中で0.3㎜以上の幅について注入補修を行った後、この梁を促進養生してひびわれ抑制効果を調べる。

（2）試験体の作製

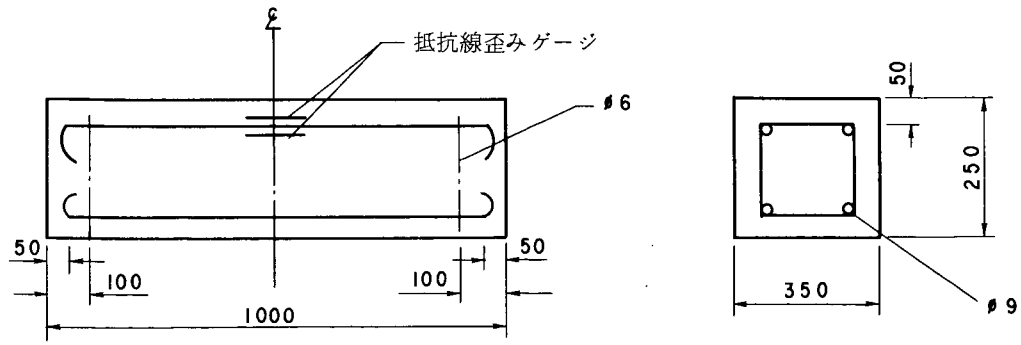
1）ＲＣ梁の供試体

コンクリート配合及び梁の形状，寸法を以下に示す。セメントはアルカリ量が、Na_2Oeq換算で0.717%の普通ポルトランドセメントを使用した。練り混ぜ水には水道水を使用した。

コンクリートの示方配合

W／C	S／a	単位水量	単位重量（kg/m³）			Gmax
(%)	(%)	(kg/m³)	セメント	細骨材	粗骨材＊	(㎜)
50	47.7	195	390	824	905	20

＊粗骨材の混合：反応性骨材（豊島産）と非反応性骨材（秩父産）は１／１（重量比）で混合する。



供試体の形状と寸法

鉄筋比（%）＝｛(W／C) × $(0.9)^2$× 4 ×100｝÷ (25×25)＝0.41

コンクリート中のアルカリ量（セメントに対する全アルカリ量Na_2Oeq換算)を1.5%及び2.0%とした時のコンクリート配合と性状，並びに１日間湿空養生，２７日間自然養生後の強度を以下に示す。

ＮａＯＨ添加コンクリートの性状　　（ＲＣ梁の製作数は40体）

アルカリ量 (%)	ＮａＯＨ添加量 (kg/m³)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm²)
1.5	3.944	9.0	2.2	341
2.0	6.462	7.0	3.0	315
2.3	7.973	8.0	4.0	350

梁の促進養生は所定のひびわれを発生させるために促進養生（40℃，100％ＲＨ）を行い補修に供する。外観損傷（ひびわれ幅と分布）と鉄筋に発生する膨張応力を所定時間毎に記録する。鉄筋応力測定用抵抗線歪みゲージは、ＲＣ梁の製作前にあらかじめ鉄筋に接着し、防水処理を施した。歪みゲージは東京測器研究所製ＦＬＡ－５－５ＬＴ－１１（ゲージ長５㎜）を使用した。

2）試験体の作製

1)にて作製した供試体の中、促進養生70日後の12体にＡＳＲによるひびわれに加えて更に曲げ載荷を行いひびわれを導入する。これらの供試体に対して種々の試験条件を表－34に示すようにわりつけて試験体を作った。

表－３５　試験体のわりつけ

供試体Ｎｏ.		コンクリート中のアルカリ量 ($Na_2Oeq.wt\%$)	導入ひびわれの水準		注入の有無	塗装の有無
実験-1、No	当初のNo		0.3mm 未満	0.3mm 以上		
1－1	17	2.0	○		有	有
1－2	—	2.3		○		
1－3	9	2.0	○		有	無
1－4	10	2.0	○			
1－5	31	2.0		○		
1－6	36	2.0		○		
1－7	37	2.0	○		無	有
1－8	—	2.3		○		
1－9	12	2.0	○		無	無
1－10	24	2.0		○		
1－11	30	2.0	○			
1－12	39	2.0		○		

注入材はエポキシ樹脂系柔軟形－１を用い、注入の対象ひびわれ幅は0.2㎜以上とし、これ以下のひびわれ幅は注入せずにパテ材によるシールのみとする。これをもって注入補修率を100%とした。更に、塗装によるひびわれ抑制効果の比較の一つとして、補修後の表面状態が見られる透明な塗装材であるウレタンクリアーを表－36に示すような仕様で塗布した。なお、塗装後の状況を表－37にまとめた。

表－３６　塗装仕様

工　程	使　用　材　料	回数	目標膜厚 (μ)	標準使用量 (kg/㎡)	塗装方法	塗　装　間　隔	
						供試体	標準(20℃
下地処理	サンダー仕上げ					――	――
素地調整	ウレタンクリアー	1	100	0.20	はけ	2　日	1～7　日
中塗り	ウレタンクリアー	1		0.23	はけ	2　日	1～7　日
上塗り	ウレタンクリアー	1		0.23	はけ		

表－３７　塗膜の外観

項目	外　　観		
	わ　れ	ふ　く　れ	は　が　れ
	塗膜表面にわれが出ている現象	塗膜が押し上げられている現象	塗膜が下地または塗膜間からはがれている現象
供試体 No	肉眼で観察し形状、大きさにより評価する。位置寸法を図に記録する。	肉眼で観察し大きさ、密度により評価する。	肉眼で観察し形状、大きさにより評価する。位置寸法を図に記録する。
1－1	○	○	○
1－2	○	○	○
1－7	○	○	○
1－8	○	○	○

注）○印異常なし　　塗膜の評価基準（日本塗料検査協会）

（3）試験結果

補修後の試験体はシール材の除去、あるいは塗装のための下地処理として表面のサンディングを行う。この為ひびわれ部周辺が削り取られV字型になっているので目視（クラックスケール使用）によるひびわれ幅の測定値は実際より若干大きくなっている可能性がある。また同じ骨材，アルカリ量でもコンクリート供試体によってひびわれの発生状況に差があるので、補修効果をひびわれの密度をもって判定することは難しい。従っ

て養生後のひびわれ進行状況の比較に当たっては、特に新しく発生したひびわれ，または補修前のひびわれが養生後延長（この場合ひびわれ展開図では黒太線から緑線への変化として示す。）しているかどうかを重視した。

注入工法による補修は主に赤線で示すひびわれに沿って行っている。供試体Ｎｏ.1-1～1-6は注入のみ、または注入後塗装して補修を行っているが、Ｎｏ.1-3の３面から４面にかけての一部以外は注入した周辺は養生後も新たなひびわれの発生や成長は認められず良好な抑制効果を示している。ただし、注入後の塗装の有無による差は余り明確ではない。

塗装のみの場合、本実験では養生後のひびわれを観察する必要性から下地処理材（パテ材）を用いずにウレタンクリヤーで塗装しているので、、ひびわれ幅の大きな部分では塗膜は切れている。Ｎｏ.1-2とＮｏ.1-8を比較しても明らかなように後者は塗膜が十分にひびわれを被覆していないため、水分の補給を受けやすくＡＳＲによるひびわれの進行が大きくなったと考えられる。

補修を行ったＮｏ.1-1～Ｎｏ.1-6と無補修（表面のサンデイングは行っていない）のＮｏ.1-9～1-12を比べるとＡＳＲによるひびわれの進行の度合いは歴然としており、注入またはこれに塗装を施した補修によるひびわれ抑制はかなり効果的な方法と考えられる。なお、参考までに発生した歪み（応力）の経時変化を図－17に、鉄筋歪みと最大ひびわれ幅を表－38(1)～(3)に、図－18，19に養生時間と膨張量，あるいは重量変化の関係を表すグラフを示した。

表－３８（１）　鉄筋歪みと最大ひびわれ幅

No	'86.09.2	12 日	20 日	30 日	42 日	48 日	70 日	01.23 90 日	120 日	最大ひびわれ幅（mm）
1		139 96	190 188			540 426	511 365	325 994	- 322 940	0.15
2		310 84	468 213			930 514	1034 548	2165 896	2032 911	0.15
3		117 148	188 208			610 579	679 682	- 11 2823	- 640 2320	0.50
4		127 180	246 333	503 689	617 1031	284 1195	365 3108	- 86 5446	- 630 12453	0.40
5		331 404	491 601			1054 1540	898 1662	1236 - 111	1184 - 147	0.30
6		84 61	180 134	255 156	377 196	481 234	428 214	80 - 233	- 245 - 604	0.50
7		215 157	345 241			866 558	971 669	195 1258	120 939	0.20
8		137 181	241 310			595 895	623 1036	319 808	833 886	0.20
○9		423 433	704 645	967 946	1065 1180	1080 1387	974 1306	補修終了		抑制効果試験 0.06
○10		240 543	367 769	488 940	613 1089	699 1172	646 1135	補修終了		抑制効果試験 0.06
11		120 208	195 346			521 890	430 903	175 749	- 123 770	0.20
○12		131 346	234 1100			626 2626	600 4552	補修終了		抑制効果試験 0
13		129 150	222 241			652 601	781 856	747 858	1146 525	0.30
14		76 79	155 180	160 244	131 248	192 316	199 415	-1564 481	-3462 - 585	0.60
15		108 321	296 498	457 777	620 1042	738 1201	968 1299	1422 1583	3330 1449	0.30
○16		1428 836	4262 1280	—— 2594	—— 5127	—— 9310	—— ——	—— ——	—— ——	0.30
○17		295 343	428 511			918 1323	872 1454	補修終了		抑制効果試験 0.15

注）供試体Ｎｏの前の○印は、アルカリ量2.0 %を示す

表－３８（２）　鉄筋歪みと最大ひびわれ幅

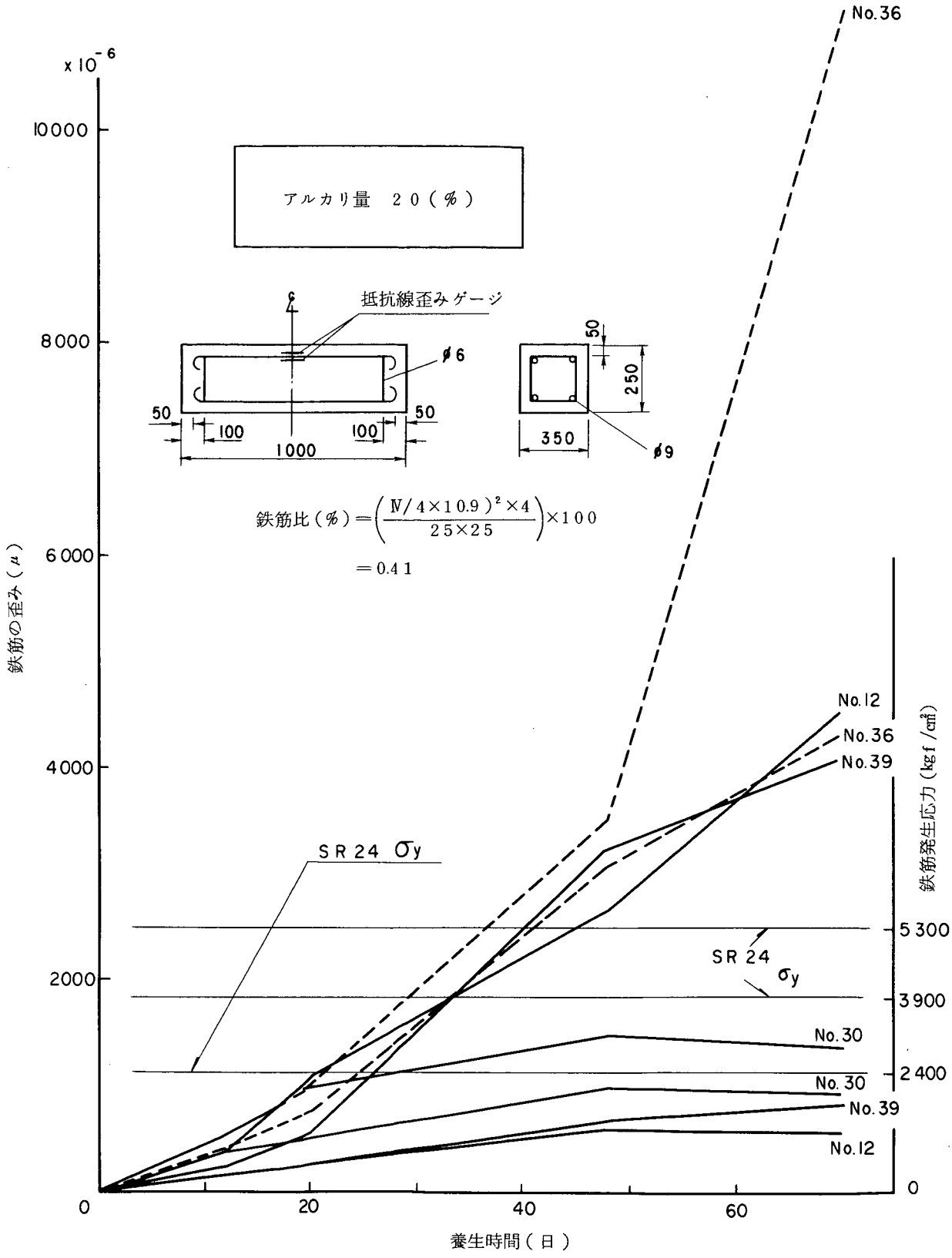
No	'86.09.2	12 日	20 日	30 日	42 日	48 日	70 日	01.23 90 日	120 日	最大ひびわれ幅（mm）
○18		350 623	534 893			1164 193	380 - 343	- 960 -1470	-3762 -2756	0.30
19		275 345	387 486			212 657	71 - 302	—— - 189	—— - 789	0.30
○20		313 325	429 446			942 1519	784 2016	1123 1382	1104 743	0.30
○21		293 179	481 317			1407 997	1640 1275	1157 867	1147 990	0.20
○22		293 300	455 460	747 776	901 1035	1012 1163	911 1174	329 650	143 681	0.40
○23		381 ——	569 ——			1257 ——	1310 ——	772 ——	831 ——	0.40
○24		349 307	509 482			990 1478	848 1353	補修終了		抑制効果試験 0.06
○25		433 665	660 1393	958 2098	1129 2246	1281 2252	1195 2191	—— ——	—— ——	0.50
26		296 296	446 425			889 914	712 754	171 153	86 57	0.20
27		127 180	201 300			422 807	346 867	—— 586	—— 570	0.50
28		251 296	357 433			773 956	606 395	- 27 300	- 86 306	0.20
29		98 97	177 163	226 194	268 205	407 334	302 191	—— ——	—— ——	0.20
○30		345 573	488 1009			995 1490	960 1403	補修終了		抑制効果試験 0.10
○31		422 307	757 437			1464 994	1389 928	補修終了		抑制効果試験 0.10
32		141 113	246 222			788 646	726 656	189 - 26	272 - 329	0.20
○33		316 318	453 576			946 1105	844 1023	417 441	816 1295	0.35
○34		616 942	887 1362	1513 1904	2283 2421	2970 2568	3347 3554	2990 3124	2522 1732	0.30

注）供試体Ｎｏの前の○印は、アルカリ量2.0 %を示す

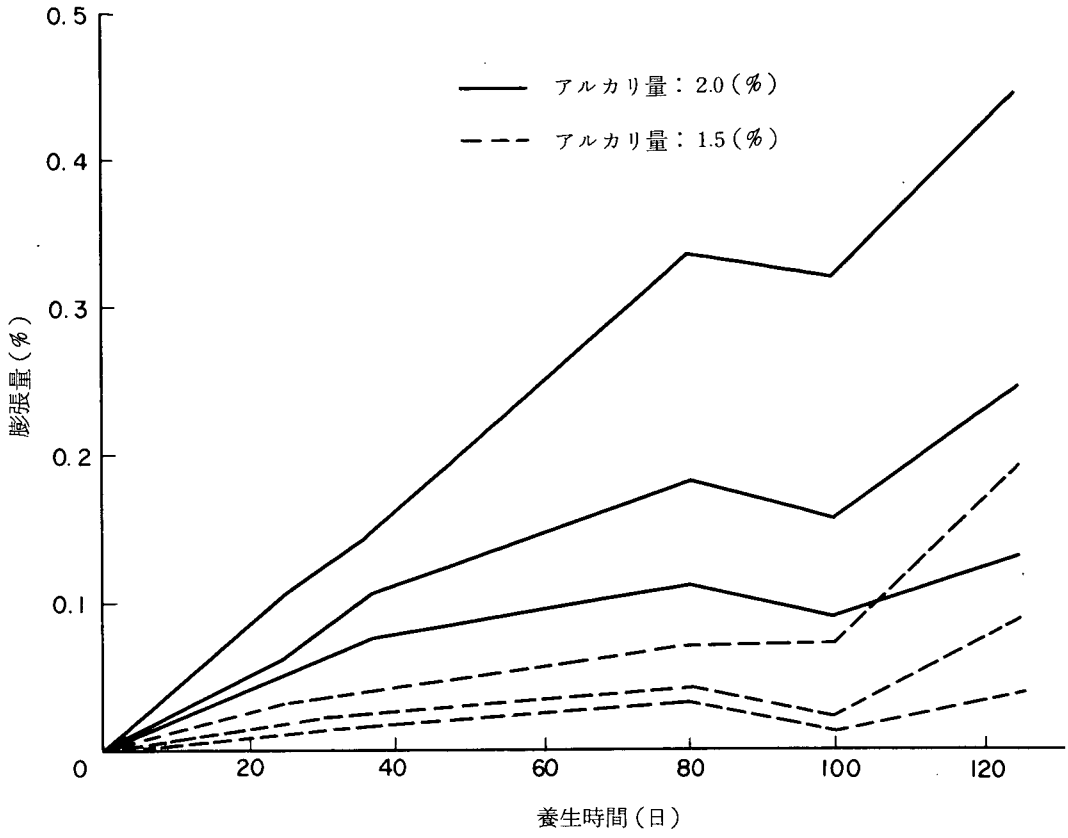
表－３８（３）　鉄筋歪みと最大ひびわれ幅

No	'86.09.2	12 日	20 日	30 日	42 日	48 日	70 日	01.23 90 日	120 日	最大ひびわれ幅（mm）
○35		425 641	620 905	895 1453	1094 2342	2983 3058	12143 4817	—— 5882	—— 10370	0.50
○36		507 425	996 763	1806 1341	3008 2327	3736 3031	11084 4367	補修終了		抑制効果試験 0.10
○37		193 150	493 250			896 994	996 1215	補修終了		抑制効果試験 0.10
38		95 96	162 187	220 273	252 319	330 412	252 359	- 207 - 39	- 300 - 77	0.30
○39		140 242	234 537	362 1850	545 3245	703 3240	836 4095			0.10
0		231 269	349 339			705 1311	1391 1393	1557 1804	1202 1334	0.20

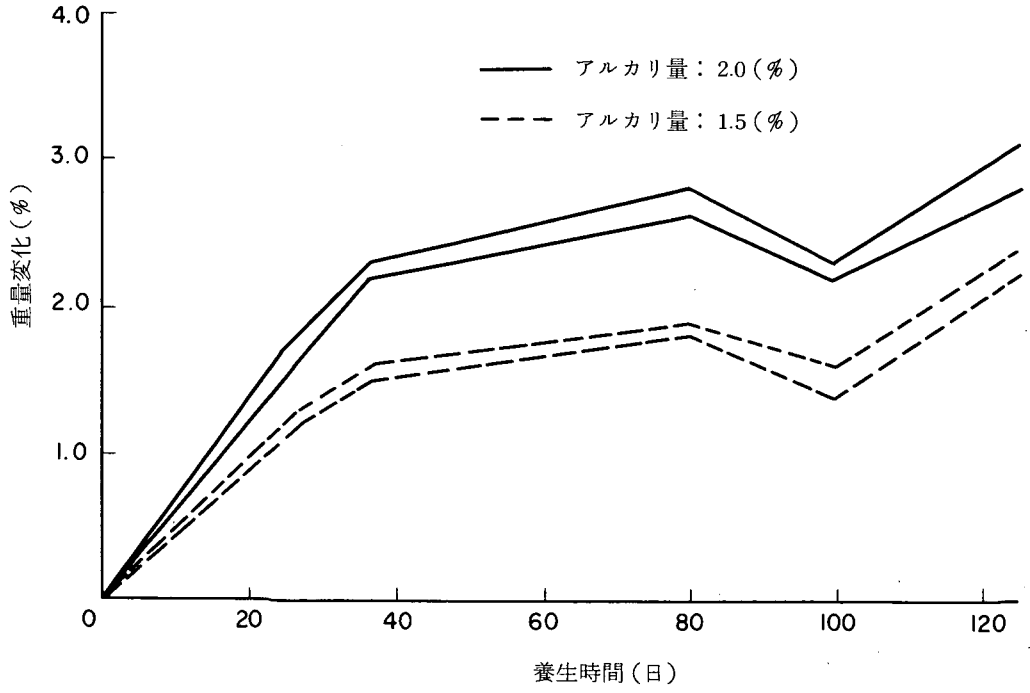
注）供試体Ｎｏの前の○印は、アルカリ量2.0 %を示す



図－１７　鉄筋歪み（応力）の経時変化



図－１８　養生時間と膨張量



図－１９　養生時間と重量変化

4.4.2　補修後の屋外暴露による抑制効果の確認

（1）概要

各種の反応性骨材とアルカリ添加量の異なるＲＣ梁を用いてＡＳＲにひびわれを発生させこれに９種の注入材で補修し、更に各種の塗装材を表面に被覆する。これらの試験体を屋外暴露して補修による抑制効果を長期間に渡って観察し確認する。

（2）試験体

1）供試体

4.4.1 補修後の促進養生による抑制効果の確認と同じ要領でＲＣの梁を作製するが、その骨材の種類及びアルカリ量は表－39に中に示す通りである。

2）試験体の作製

試験体は表－39のわりつけに従って、資料Ｎｏ．１に記した方法で作製した。

3）試験方法

試験方法については資料Ｎｏ．１及びＮｏ．２に記した。

（3）試験結果

補修前のひびわれ展開図を参考に経年後のひびわれの成長あるいは新たな発生などを観察し、その抑制効果について各種補修材料の評価を行う予定である。現在暴露を継続中である。

4.4.3　注入工法と被覆の相互補完効果試験

（1）概要

ひびわれ注入工法と塗装塗膜の相互補完効果のひびわれ進行に対する追従性が、注入材の有無によりどの程度影響を受けるかを、モデル供試体を用いた実験により確認する。

（2）試験体の作成

1）供試体

JIS R 5201（セメントの物理試験方法）に準じて作成したセメントモルル（40×40×80㎜）

2）注入材

硬質標準形及び柔軟形－３

3）塗装材とその仕様

エポキシ樹脂柔軟型及びポリマーセメント柔軟型をそれぞれ表－40，表－41の仕様に従って塗装する。

表－３９　補修用試験体のわりつけ

骨材	R_2O(%)	補修仕様	
		注入材料	被覆材料
A	1.5	①エポキシ硬質標準 ②エポキシ柔軟形１ ③エポキシ柔軟形２ ④エポキシ柔軟形３ ⑤ポリウレタン ⑥ポリマーセメント系アクリル ⑦ポリマーセメント系エポキシ ⑧スラグ系 ⑨ポリサルファイド	③厚膜エポキシ　500 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃
		①エポキシ硬質標準 ②エポキシ柔軟形１ ③エポキシ柔軟形２ ④エポキシ柔軟形３ ⑤ポリウレタン ⑥ポリマーセメント系アクリル ⑦ポリマーセメント系エポキシ ⑧スラグ系 ⑨ポリサルファイド	なし
	2.0	①エポキシ硬質標準 ②エポキシ柔軟形１ ③エポキシ柔軟形２ ④エポキシ柔軟形３ ⑤ポリウレタン ⑥ポリマーセメント系アクリル ⑦ポリマーセメント系エポキシ ⑧スラグ系 ⑨ポリサルファイド	なし
	2.3	①エポキシ硬質標準 ②エポキシ柔軟形１ ③エポキシ柔軟形２ ④エポキシ柔軟形３ ⑤ポリウレタン ⑥ポリマーセメント系アクリル ⑧スラグ系	③厚膜エポキシ　500 〃 〃 〃 〃 〃 〃
		なし	①柔軟形エポキシ　200 ③厚膜エポキシ　500 ④柔軟形ゴム系　500 ⑤クロス柔軟エポキシ　1200 ⑥クロス柔軟ゴム　1200 ⑧ガラスフレークビニルエステル　500 ⑨柔軟形ポリマーセメント　500 ⑩柔軟形フッ素　200 ⑪浸透材ウレタン　30 ⑫アクリル　100

骨材	R_2O(%)	補修仕様	
		注入材料	被覆材料
B	2.3	①エポキシ硬質標準 ②エポキシ柔軟形１ ③エポキシ柔軟形２ ④エポキシ柔軟形３ ⑤ポリウレタン ⑥ポリマーセメント系アクリル ⑦ポリマーセメント系エポキシ ⑧スラグ系 ⑨ポリサルファイド	③厚膜エポキシ　500 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃
		なし	①柔軟形エポキシ　200 ②柔軟形ウレタン　200 ③厚膜エポキシ　500 ④柔軟形ゴム系　500 ⑤クロス柔軟エポキシ　1200 ⑥クロス柔軟ゴム　1200 ⑧ガラスフレークビニルエステル　500 ⑨柔軟形ポリマーセメント　500 ⑩柔軟形フッ素　200 ⑫アクリル　100
C	2.3	①エポキシ硬質標準 ②エポキシ柔軟形１ ③エポキシ柔軟形２ ④エポキシ柔軟形３ ⑤ポリウレタン ⑥ポリマーセメント系アクリル ⑦ポリマーセメント系エポキシ ⑧スラグ系 ⑨ポリサルファイド	③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500 ③厚膜エポキシ　500
		なし	①柔軟形エポキシ　200 ②柔軟形ウレタン　200 ③厚膜エポキシ　500 ④柔軟形ゴム系　500 ⑤クロス柔軟エポキシ　1200 ⑥クロス柔軟ゴム　1200 ⑧ガラスフレークビニルエステル　500 ⑨柔軟形ポリマーセメント　500 ⑩柔軟形フッ素　200 ⑫アクリル　100

4) 試験体の作成

試験体は曲げ、引張り共に図－20に示すように0.5，1.0の間隙を設けて粘着テープでシールし、そこへ2種の注入材を注入し硬化させた後、表－40，41の仕様に従って塗装する。注入無しの場合は同じ間隙をパテ処理した後同様に塗装する。

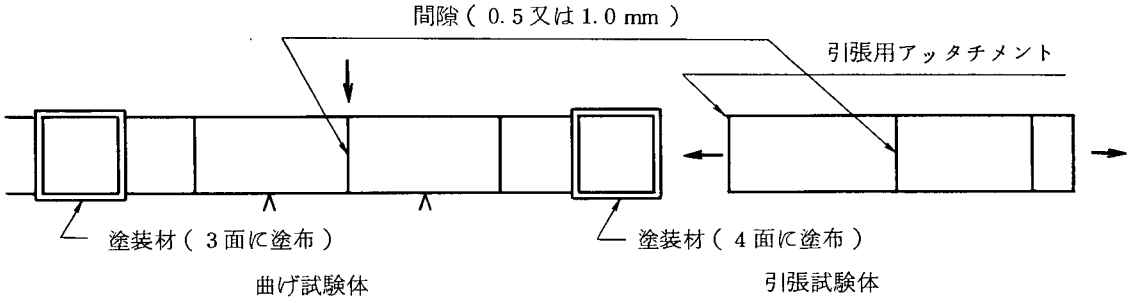
（3）試験方法

1) 曲げ試験

(2)の4)に示す試験体にJIS R 5201に準じた方法で載荷し、モルタルの破断強さ及びそのときのたわみ量を測定し、引き続き載荷し塗膜が切れ始めた時の荷重及びたわみ量を調べる。

2) 引張試験

曲げと同じ試験体の両端部を5㎜／minにて引張り、モルタルの破断強さ及びその時の伸びを測定する。また、曲げと同様に引き続き引張り塗膜が切れ始めたときの荷



図－20　相互補完効果試験体

表－40　柔軟型厚膜エポキシ樹脂塗装

工程		使用材料	塗装条件			塗装間隔
			目標膜厚（μm）	標準使用量（kgf/m²）	塗装方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	－	0.10	ハケ，ローラー	各工程の間隔は、1日以上7日以内を標準とする。
	パテ	エポキシ樹脂パテ	－	0.50	ヘラ	
中塗り	第1層	柔軟型厚膜エポキシ樹脂塗料中塗り	160	0.70	ハケ，ローラー	
	第2層	柔軟型厚膜エポキシ樹脂塗料中塗り	160	0.70	ハケ，ローラー	
	第3層	柔軟型厚膜エポキシ樹脂塗料中塗り	160	0.70	ハケ，ローラー	

表－４１　柔軟型ポリマーセメント系塗装

工程		使用材料	塗装条件			塗装間隔
			目標膜厚 (μm)	標準使用量 (kgf/m²)	塗装方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	－	0.10	ハケ，ローラー	各工程の間隔は、1日以上7日以内を標準とする。
	パテ	エポキシ樹脂パテ	－	0.50	ヘラ	
中塗り		柔軟型ポリマーセメント系塗装中塗り	250	0.70	ハケ，ローラー	
中塗り		柔軟型ポリマーセメント系塗装中塗り	250	0.70	ハケ，ローラー	

（4）試験結果

1）曲げ試験結果

曲げ試験結果を表－42，43，44に示す。

表－４２　注入材と塗装材の併用による補修（エポキシ樹脂柔軟型塗装）

注入材の種類	ひびわれ幅 (mm)	曲げ強さ (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	塗膜の破断時強さ (kgf/120mm)	同左たわみ量＊ (mm)	塗膜厚 (mm)
エポキシ硬質標準	0.5	97	0.42	56	2.11	0.9
		94	0.56	89	5.20	1.2
		103	0.45	62	2.60	0.9
	平均	98	0.48	69	3.30	
エポキシ硬質標準	1.0	86	0.43	56	3.10	0.9
		105	0.42	89	1.63	0.8
		83	0.39	62	2.41	0.7
	平均	91	0.41	69	2.38	
エポキシ柔軟形-3	0.5	75	0.62	56	2.41	0.7
		68	0.76	89	3.89	0.8
		70	0.83	62	3.83	0.9
	平均	71	0.74	69	3.38	
エポキシ柔軟形-3	1.0	69	0.84	56	3.51	0.7
		57	0.78	89	3.80	0.9
		75	0.76	62	2.10	0.7
	平均	67	0.79	72	3.14	

＊モルタルの破断後、塗膜が切れるまでのたわみ量

表－４３　注入材と塗装材の併用による補修（ポリマーセメント柔軟型塗装）

注入材の種類	ひびわれ幅 (mm)	曲げ強さ (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	塗膜の破断時強さ (kgf/120mm)	同たわみ量＊ (mm)
エポキシ硬質標準	0.5	98	0.44	19	0.65
		111	0.42	31	0.73
		106	0.37	18	0.33
	平　均	102	0.41	23	0.57
エポキシ硬質標準	1.0	108	0.37	23	0.55
		113	0.41	34	0.37
		98	0.40	32	0.62
	平　均	106	0.39	30	0.51
エポキシ柔軟形-3	0.5	67	0.60	47	0.65
		66	0.57	49	0.75
		66	0.57	41	0.73
	平　均	66	0.58	46	0.71
エポキシ柔軟形-3	1.0	98	0.83	52	0.71
		111	0.70	47	(0.48)
		106	0.63	59	0.72
	平　均	98	0.72	53	0.73

＊モルタルの破断後、塗膜が切れるまでのたわみ量

表－４４　塗装材単独による補修

塗装材の種類	ひびわれ幅 (mm)	曲げ強さ (kgf/cm²)	たわみ量 (mm)	塗膜の破断時強さ (kgf/120mm)	同左たわみ量＊ (mm)	塗膜厚 (mm)
エポキシ樹脂	0.5	56	0.39	112	2.90	0.7
		39	0.42	92	5.80	0.8
		41	0.33	110	3.57	1.0
	平均	45	0.38	105	3.10	
エポキシ樹脂	1.0	68	0.50	99	2.11	0.8
		56	0.41	88	1.90	0.5
		52	0.39	103	2.89	1.0
	平均	58	0.43	97	2.30	
ポリマーセメント	0.5	39	0.27	35	0.53	0.5
		38	0.20	37	0.63	0.5
		30	0.21	31	0.62	0.5
	平均	36	0.23	34	0.59	
ポリマーセメント	1.0	42	0.24	33	0.56	0.5
		38	0.26	29	0.63	0.5
		43	0.22	29	0.60	0.5
	平均	41	0.24	30	0.60	

2) 引張試験結果

引張試験結果を表－45，46，47に示す。

表－４５　注入材と塗装材との併用による補修（エポキシ樹脂柔軟型塗装）

塗装材の種類	ひびわれ幅 (mm)	曲げ強さ (kgf/cm²)	塗膜の破断時強さ (kgf/120mm)	同左伸び (mm)
エポキシ硬質標準	0.5	570	12.5	4.0
		790	3.5	4.2
		660	9.5	4.1
	平均	673	8.5	4.1
エポキシ硬質標準	1.0	515	7.5	5.0
		－	－	－
		495	14.0	4.5
	平均	505	10.8	4.7
エポキシ柔軟形-3	0.5	548	15	4.0
		400	15	4.3
		385	19	3.2
	平均	444	16	3.8
エポキシ柔軟形-3	1.0	550	14	4.9
		510	11.5	4.0
		675	－	－
	平均	578	12.8	4.5

表－４６　注入材と塗装材との併用による補修（ポリマーセメント柔軟型塗装）

塗装材の種類	ひびわれ幅 (mm)	曲げ強さ (kgf/cm²)	塗膜の破断時強さ (kgf/120mm)	同左伸び (mm)
エポキシ硬質標準	0.5	688	*	1.2
		723		1.2
		385		2.0
	平均	599		1.5
エポキシ硬質標準	1.0	435	*	0.9
		395		1.1
		495		0.9
	平均	442		1.0
エポキシ柔軟形-3	0.5	495	*	0.9
		445		1.1
		410		0.9
	平均	450		1.0
エポキシ柔軟形-3	1.0	408	*	0.7
		440		0.8
		363		1.1
	平均	404		0.9

＊塗膜はモルタルと同時に破断

表－４７　塗装材単独による補修

塗装材の種類	ひびわれ幅 (㎜)	曲げ強さ (kgf/㎠)	塗膜の破断時強さ (kgf/120mm)	同左伸び (㎜)
エポキシ樹脂	0.5	32.5	20.0	5.5
		50.0	22.5	4.5
		52.5	22.5	5.5
	平均	45.0	21.5	5.2
エポキシ樹脂	1.0	36.0	22.5	3.5
		92.5	24.0	4.8
		75.0	23.3	4.3
	平均	67.8	23.3	4.2
ポリマーセメント	0.5	150	*	0.5
		155		0.6
		150		0.8
	平均	152		0.6
ポリマーセメント	1.0	96	*	0.6
		75		0.6
		89		0.7
	平均	87		0.6

＊塗膜はモルタルと同時に破断

（5）まとめ

1）曲げ試験

表－42，43の曲げ強さは注入材により接着されたモルタルの破断強さを示し、表－44の場合もモルタルの間隙に充填（平均深さ３㎜）された下地処理用パテ材の接着による曲げ強さであるが、その接着面積はモルタル断面積の20～30%程度であるのでこの値は参考値程度とする。

注入材との併用による塗膜の破断強さは表－44の単独によるものよりいずれも低い値となっておりモルタル破断時の衝撃が少なからず影響を与えていることが伺い知れる。このことは表－42，43にみられるようにその衝撃を緩和すると考えられる柔軟形－３の方が塗膜の破断時強さが大きいことからも明らかであろう。

塗膜の厚みはエポキシ樹脂の場合はロス込みの実施工仕様であるので目標よりかな

り大きなものとなり、その膜厚も供試体が小さいため不均一となっている。従って塗膜の破断時強さやたわみ量と記録した塗膜の厚みの間の相関関係は認められない。ポリマーセメントはほぼ均一で目標の500μmとなっている。

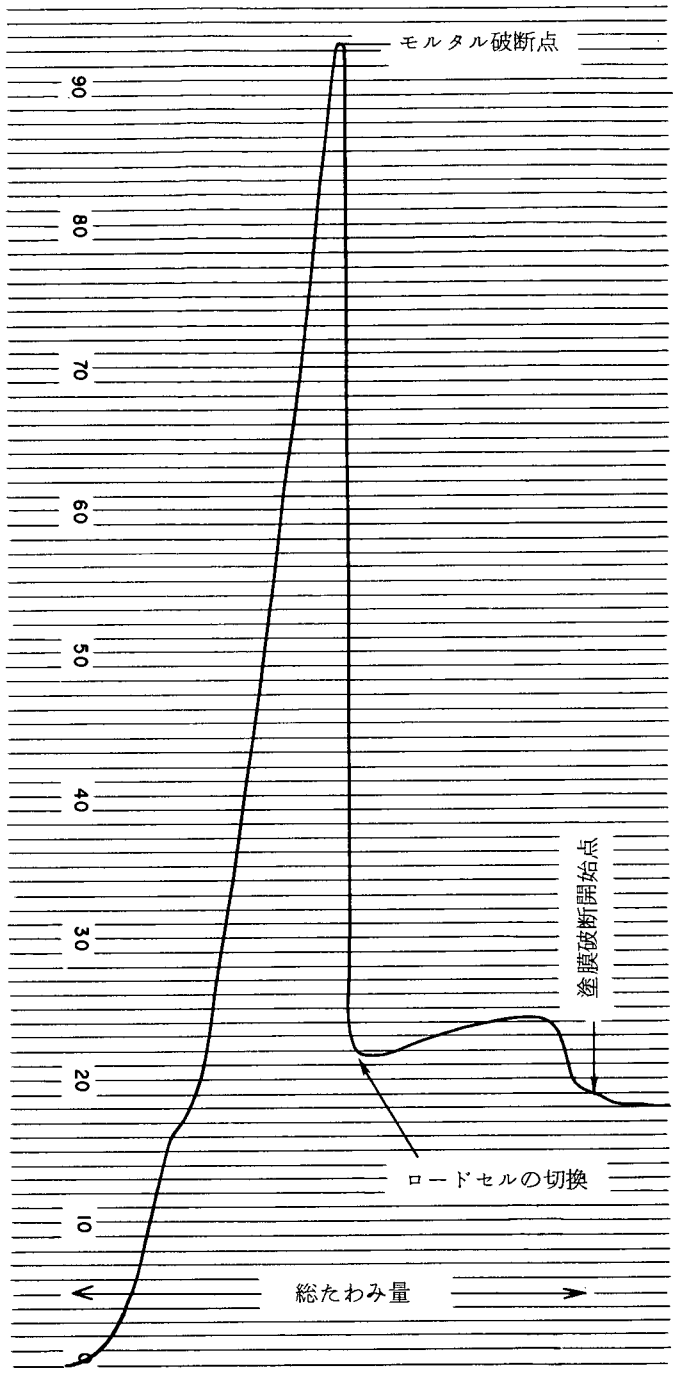
このことを考慮に入れて図－21（曲げ試験に於けるＳ－Ｓカーブの例）に示すような総たわみ量（載荷開始から塗膜破断まで）を比較するとポリマーセメントは表－43の併用の方が表－44の単独による補修より大きくなる傾向にある。注入材の種別では柔軟形－３がその傾向は大である。また、エポキシ樹脂塗装材でもごく僅かではあるが同じ傾向が見られ500μmの目標膜厚であれば更に顕著になる可能性がある。

この実験ではＡＳＲのひびわれ進行とは異なり、曲げ載荷によりひびわれを導入したものでその進行は瞬時であるのでこれらの相関性は明確ではないが、本実験結果に関する限り塗装材はひびわれが進行してもその伸び能力の範囲内で追従し注入材はその追従性を向上させるのに効果があると考えられる。即ち実際のＡＳＲに於いてもこれら両者は相互補完の可能性が十分あると言える。

2) 引張試験

モルタルが破断するまでの伸びはクロスヘッドの移動距離として測定しているが、試験用治具類の“あそび”は強度が大きくなるにつれて変形量としてチャート上にも検出されてくるので必ずしも正確とは言えない。このことは数パーセントの伸びしかない硬質標準形を注入した試験体のモルタル破断時の伸びが 1.0～1.5 ㎜（伸び率で100～150%）になっていることからも明らかで、表－46，47にあるポリマーセメント系塗装材の伸びは実質的には検出されていないと言える。表－47のモルタル破断時の強さはいずれも下地処理用パテ材の接着によるものでポリマーセメントの塗膜は表－46と同じくモルタルと同時に破断した。エポキシ樹脂柔軟型の塗装材の場合は表46の注入有り、表－47注入無しの双方共に目標膜厚500μmを大きく上回るものになっており、伸びの大きさはその膜厚による効果とみられる。膜厚は計測していないが1)と同様にバラツキが大きい為、注入材の種類あるいは注入の有無に関する有効なデータとはならなかった。塗膜破断時の強さも1)と同様にモルタル破断時の衝撃をより緩和する柔軟形－３の方がやや大きな傾向を示した。

いずれも、引張試験においては、伸びは注入の有無による有意差が余りなく相互補完効果を確認するまでには至らなかったが少なくとも塗膜の追従性に悪影響を及ぼす事なく、コンクリートの引張強さの復元に有効である。



図－２１　曲げ試験に於けるＳ－Ｓカーブの例

4.5 試験方法の見直し

4.5.1 伸びと引張速度に関する試験

（1）概要

エポキシ樹脂系注入材の柔軟形1，2及び3の伸び率は温度依存性がかなり大きく、特に低温時においては伸び率は急激に低下することがわかっている。

これらの注入材はJIS K 7113に準じて2号形ダンベルで各測定温度（-20，0，20，40，60℃）とも引張速度500㎜／minで行ったが、特に低温時においては注入材の伸びは引張速度の影響が作用する可能性のあることに加えて、仮にひびわれが進行している場合においても、ひびわれに注入された材料に対して500㎜／minという速度は必ずしも現実的ではない。

そこで注入材の硬質標準形や被覆材料の試験と同じく5㎜／minの引張速度で、低温時における柔軟形の伸びを測定し引張速度による差を調べた。

（2）試験方法

1）試験材料

柔軟形－1，柔軟形－2

2）試験体

JIS K 7113に定める2号形ダンベルを作成

3）試験条件

試験温度　　0℃　　（参考試験　20℃）

引張速度　　500，50，5　㎜／min

（3）試験結果

試験結果を表－48に示す。これより、低温時においては明らかに引張速度と伸びの相関性が認められ、低温になるほど伸びは大きくなっている。

20℃でも若干速度の影響が見受けられるが低温時ほどではない。

このことから、低温時における伸び率を評価する方法としてはひびわれの進行速度も考慮してより低速な5㎜／minが妥当と考えられる。

表－４８　伸び率測定結果

材料名	試験温度 ℃	0			20	
	引張り速度 *	500	50	5	500	5
柔軟形－１	引張り強さ(kgf/㎠)	408	361	306	93	62
	伸び率（％）	6 以下	18	39	112	130
柔軟形－２	引張り強さ(kgf/㎠)	103	121	128	33	8
	伸び率（％）	6 以下	31	79	208	212

＊　㎜/min

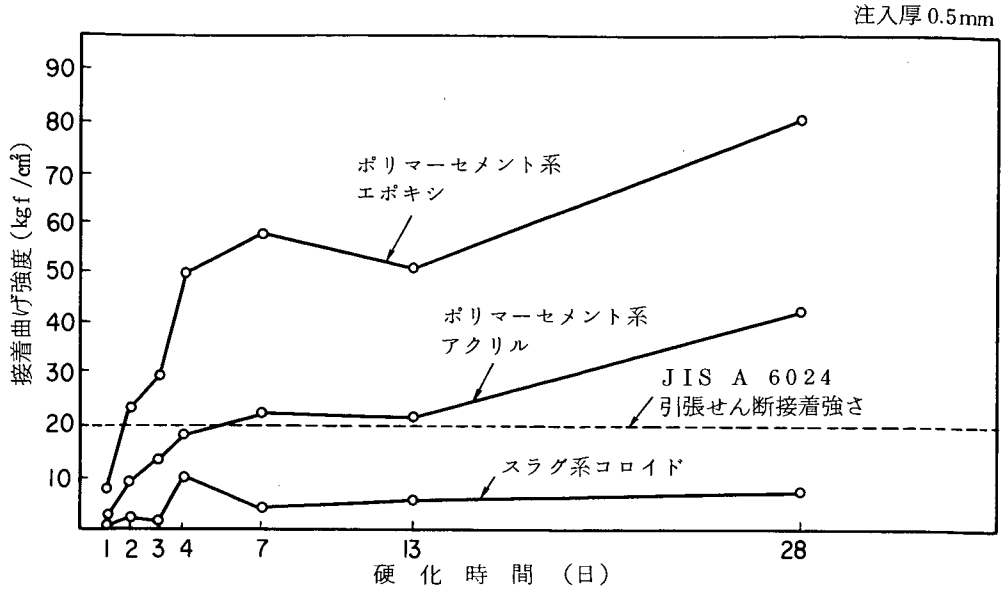
4.5.2　硬化時間

（１）概要

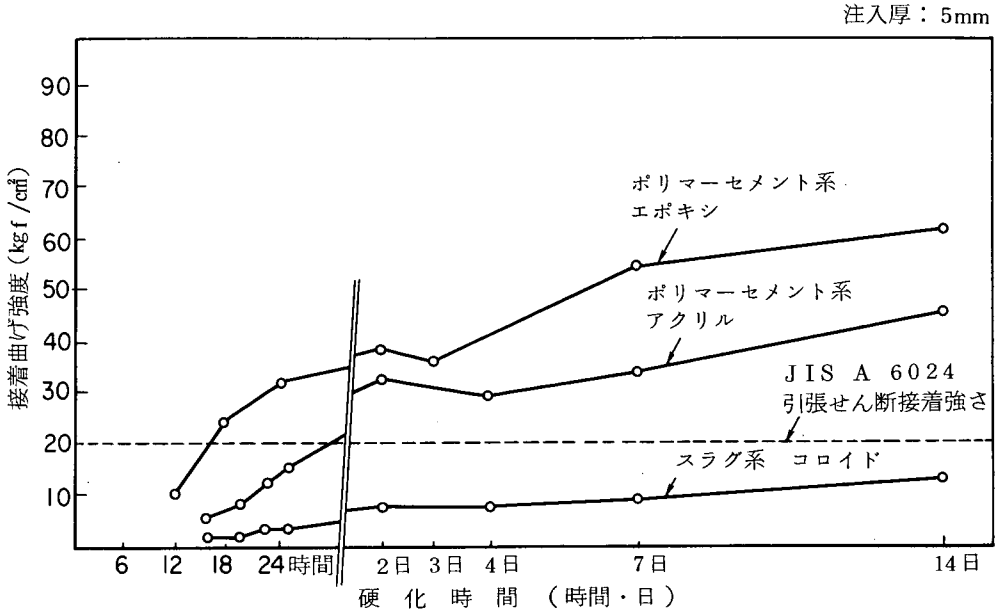
昭和61年実施した結果においては表－49の試験結果一覧表より、エポキシ樹脂系以外の試験材料は測定不能となった。これは硬化後の最大強さで20(kgf/cm²) 以上の値が得られなかったことを示している。すなわち、ポリウレタンとシーラントはその小さい凝集力のために、20(kgf/cm²) の値に達しなかったと考えられる。ポリマーメセント系とスラグ系については、鋼材での接着評価は適さなかったと考えられる。すなわち、データ間のばらつきが大きく、接着力も小さいため最大強さでも20(kgf/cm²) 以上の値が得られなかった。被着体を鋼材ではなくセメントモルタルにかえた、付着強さの発現性試験よりポリマーセメント系とスラグ系の評価を試みた結果を図－43, 44, 45に示すが、今回のどちらの試験においても、硬化時間の概念が適用できる試験材料の範囲は、狭いことが判明した。

表－４９　試験結果一覧表

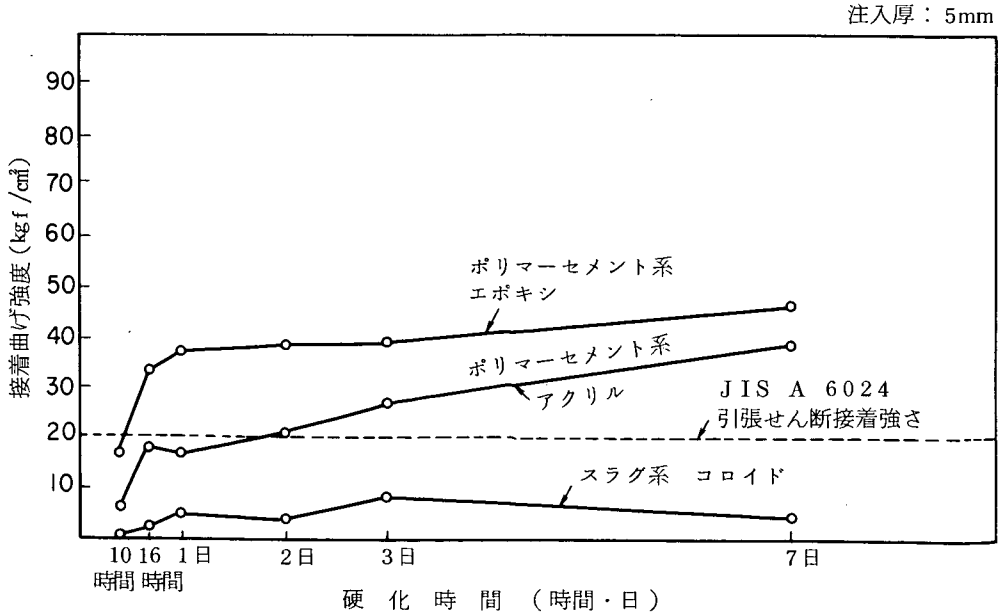
試験材料	試験温度	5　℃	20　℃	35　℃
エポキシ樹脂系	硬質標準	30 時間	12 時間	5　時間
	柔軟形-1	4日以上	24 時間	6　時間
	柔軟形-2	7日以上	60 時間	17 時間
	柔軟形-3	35 時間	15 時間	4　時間
ポリウレタン系	ポリウレタン	測定不能	測定不能	測定不能
ポリマーセメント系	アクリル	測定不能	測定不能	測定不能
	エポキシ	測定不能	測定不能	測定不能
スラグ系	コロイド	測定不能	測定不能	測定不能
シーラント　系	ポリサルファイド	測定不能	測定不能	測定不能



図－２２　５℃に於ける硬化時間（セメントモルタルによる接着曲げ強度試験）



図－２３　２０℃に於ける硬化時間（セメントモルタルによる接着曲げ強度試験）



図－２４　３５℃に於ける硬化時間（セメントモルタルによる接着曲げ強度試験）

硬化時間の概念の見直し（強さ20kgf/cm² → 「流動しなくなるまでの時間」）と測定方法の検討が必要と考えられた。そのため、より実用的な時間として、補修作業の手順をふまえた試験材料の硬化状態すなわち、注入用パイプやシール材を除去した時に試験材料がひびわれから流出しない状態になるまでの時間を設定すれば、次の作業である塗装工程への移行が可能と考えられる。また、施工性を表す一つの指標とし、種々の材料についても適用することが可能と考えられる。このような概念を具体化する試験方法として、プレキャストコンクリート用エポキシ樹脂系接着剤（橋げた用）試験方法の3．4可使時間（土木学会基準 JSCE，G.1，昭和61年10月阪神公団土木工事共通仕様書，昭和61年8月）について、適用を試みた。

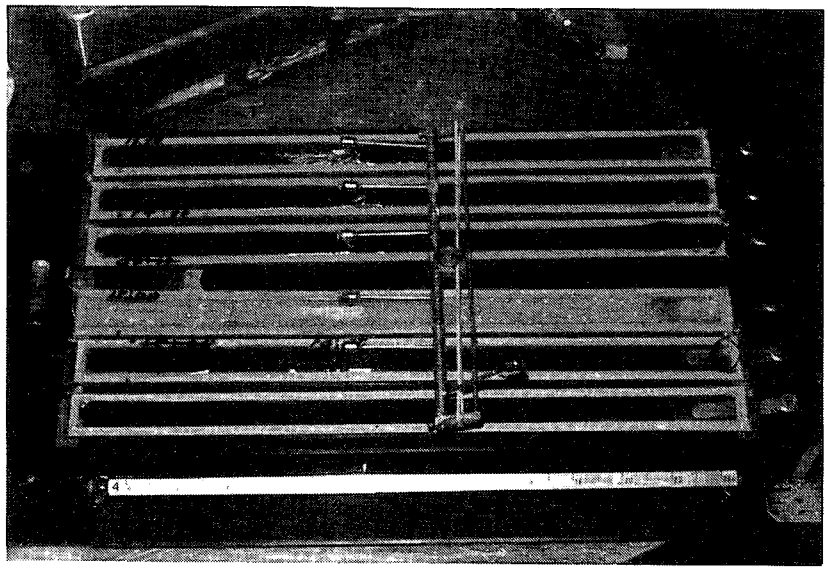
（2）試験片の作製

JSCE，G.1，3.4の可使時間に示される円形のアルミニウム板の代用として、25×350×2.0㎜のガラス板を用いる。このガラス板の四辺の内側に1×5㎜の粘着テープを用いて、注入材及び充填材の厚みが1㎜を維持し、かつ漏洩しないように堰を設ける。ポリマーセメント系アクリルとエポキシ及びスラグ系コロイドは、粘着テープが貼付されたガラス板に流し延べられた後、サランラップを用いて測定中の乾燥防止を行う。その他の試験材料については、このような処理をせずに試験に供する。

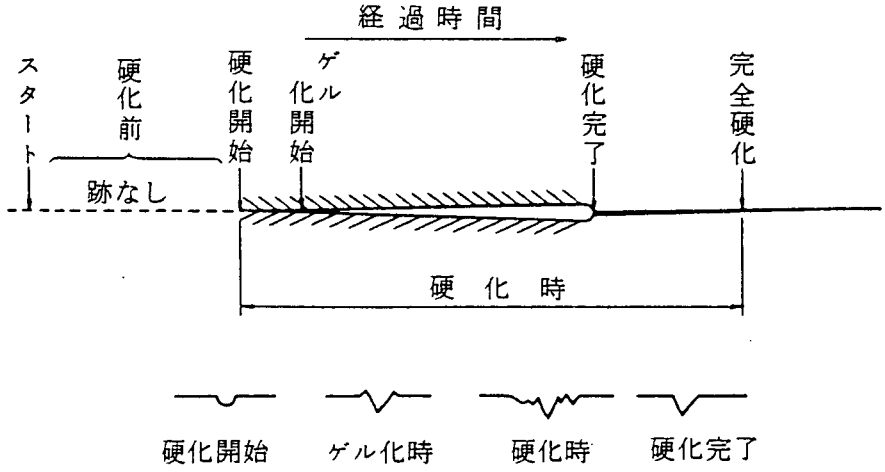
（3）測定方法

測定器として、JSCEに延べられているガードナー式乾燥時間測定器と同等以上の性能を有する、RCI式乾燥時間測定器を用いる。測定はφ0.9㎜測定針を用い、5，20，35℃の各温度において行う。測定状況の概略を図－25に示す。

硬化終了後、図－26に示す針跡と照合して、針の跡が無くなる“硬化完了”を硬化時間として求める。



図－２５　ＲＩＣ式乾燥時間測定器



図－２６　ガードナー式乾燥時間測定器による針跡

（4）試験結果

表－50の結果一覧表に示されるように、全試験材料について各試験温度における測定値を得ることができた。

ポリマーセメント系アクリルやエポキシ及びスラグ系コロイド以外の試験材料には、施工時の季節に対応する夏用，冬用等があるが、本試験においては夏用を用いているため表－50の結果一覧表に示されるように、低温下５℃での硬化時間は24時間以上のものが大半である。ポリウレタン系ポリウレタンはそのイソシアネート硬化のメカニズムによると思われる、硬化時間の温度依存性が他の有機材料よりも小さい結果を示している。

本試験の結果から、補修作業を行う上でより実用的な時間としての硬化時間を評価，設定できる試験方法として、このような乾燥時間測定方法（ドライングレコーダー法）は、有効である。

表－５０　硬化時間結果一覧表　　［ｈｒ．］

試験材料＼試験温度		5±1℃	20±2℃	35±1℃
エポキシ樹脂系	硬質標準形	30.0	10.0	3.5
	柔軟形－1	45.0	16.0	6.5
	柔軟形－2	48 以上	23.0	9.5
	柔軟形－3	20.0	6.0	2.5
ポリウレタン	硬質標準形	13.0	5.0	2.0
ポリマーセメント系	柔軟形－1	9.0	3.5	1.5
	柔軟形－2	12.0	7.5	2.5
スラグ　系	柔軟形－3	18.0	6.0	1.5
シーラント系	柔軟形－3	45.0	16.5	6.0

＊試験材料の厚さは、１㎜である。

4．5．3 スラグ系コロイドの再試験

（1）概要

スラグ系コロイドは、モルタルとの付着性試験，引張強さ等の試験および耐久性（耐水，耐アルカリ，耐塩水性）試験の結果、他の材料に比較してモルタルとの付着性，引張強さ，耐久性いずれも非常に小さな値を示した。

この原因として、試験までの養生が十分でなかったことが考えられる。このため、スラグ系コロイドについて十分な養生を行ったうえ再試験を行った。

（2）試験片の作製と測定方法

①モルタルとの付着性

JIS R 5201に従いモルタルを作成し、4週間20℃水中養生後、モルタルを半分に切断し、切断面と反対の面をサンドペーパーで軽く研摩して、0.5, 2.0, 5.0㎜の隙間を介し合わせた。表－51に示す注入材を、隙間に注入充填し、付着強さ試験供試体とした。この供試体を20℃で4週間水中養生の後、JIS A 1106に準じ3等分点載荷曲げ試験を行い下記に示す式により求めた曲げ強度を注入材の付着強さとした。

注入充填は、付着面を注入充填前に気乾及び湿潤状態の2水準にして行った。また、付着強さ試験は、供試体の水中養生終了後、直ちに供試体を所定の温度に設定して行った。表－52に付着強さ試験の要因と水準を、図－27に試験フローを示す。

付着強さ計算式

$$\sigma b\ (kgf/cm^2) = \frac{P\,l}{b\,d^2}$$

ここに　σb：付着強さ(kgf/㎠)

P：試験機の示す最大荷重(kgf)

l：スパン（cm）

b：破壊断面の幅（cm）

d：破壊断面の高さ（cm）

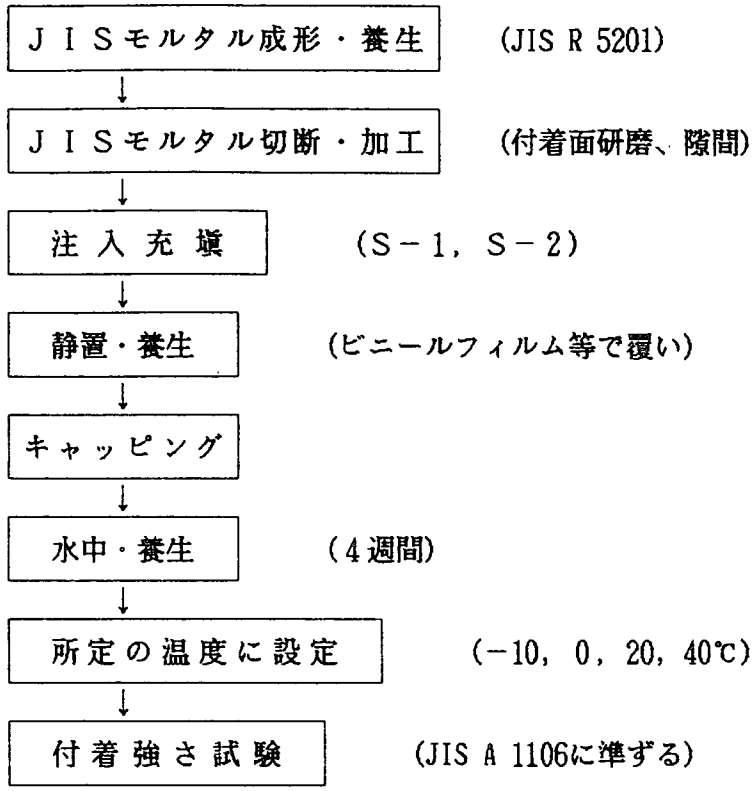
表－５１　供試体の配合

試験記号	(※) 水注入材比 (%)	無収縮剤 (%)	ポリマー (%)	単位量 (g/ℓ)			
				水	注入材	無収縮材	ポリマー
S－1	60	2.0	0	620	1068	21	0
S－2	60	2.0	10	513	1068	21	107

注（※）はW／Cを示す。

表－５２　付着強さ試験の要因と水準

要因	水準
注入材	S－1, S－2
注入充填幅	0.5, 2.0, 5.0㎜
試験温度	-10, 0, 20, 40℃
付着面	気乾, 湿潤



図－２７　付着強さ試験フロー

表－５３　水溶液と供試体の侵漬本数

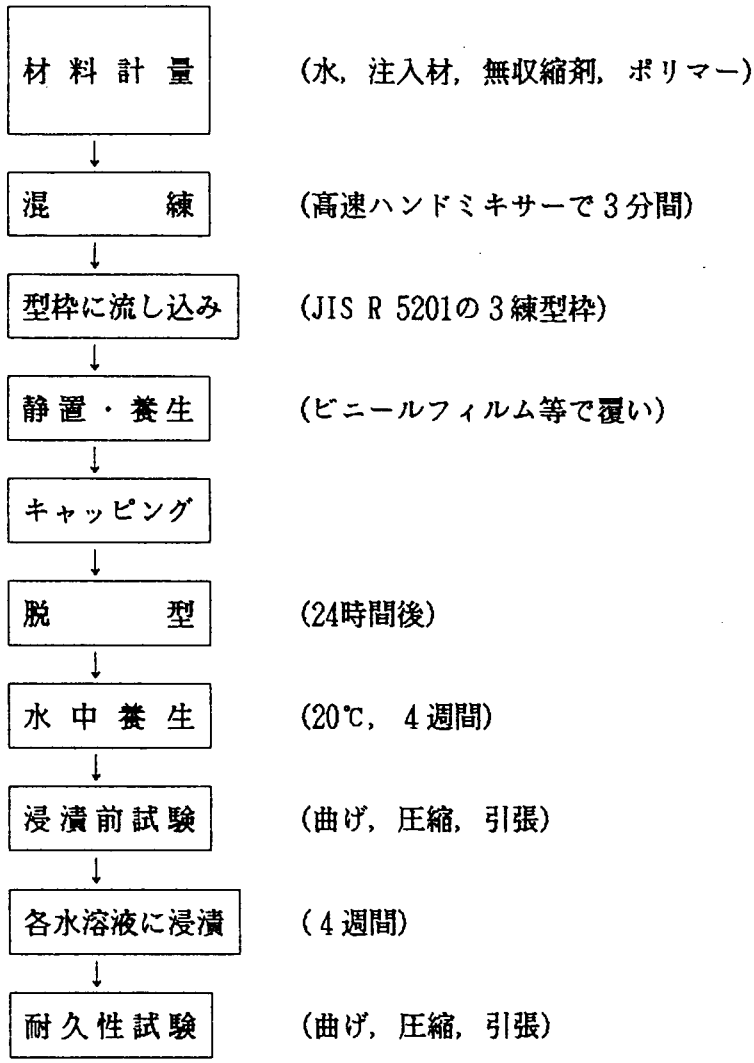
試験項目	水溶液	供試体			
		4×4×16		ブリケット	
		侵漬前	侵漬後	侵漬前	侵漬後
耐水性	蒸留水	3	3	3	5
耐アルカリ性	飽和水酸化カルシウム		3		5
耐塩水性	3%水酸化カルシウム		3		5

②耐久性

耐久性試験に用いる供試体の配合を表－51に示す。供試体は、JIS R 5201の３連型枠に注入材を流し込み、４×４×16cmに成形し20℃で４週間水中養生後、表－53に示す各水溶液に侵漬し、侵漬前後の曲げ・圧縮強度をJIS R 5201に準じて測定した。

引張強度については、ASTM C190に示すブリケット型供試体を作成し、養生侵漬を同様に行いASTM C190に準じて測定した。

耐久性試験のフローを図－28に示す。



図－２８　耐久性試験フロー

（3）試験結果

①モルタルとの付着性試験

表－54に、モルタルとの付着性試験結果を示す。この表から乾燥面接着の場合、注入厚が0.5㎜において、再試験により測定値が得られると共に大きな値となった。しかし、注入厚が5.0㎜においては、再試験で得られた値は前回より小さな値となった。

湿潤面接着の場合、注入厚が0.5㎜において、前回より大きな値となったが、2.0や5.0㎜においてはほぼ同じ値となった。試験温度による傾向は、前回と同じように明瞭な温度依存性は示さなかったが、試験温度が40℃において、各注入厚共に最も低い値を示した。接着面の違いによる著しい強度差は観察されていないが、前回においては、湿潤面の方に低い値が観察された。接着面の乾湿の条件よりも養生条件による影響の方が大きいと考えられる。

以上のことから、注入厚が小さい場合において、最も養生条件による影響が顕著であり、実際のコンクリート構造物に生じたＡＳＲによるひびわれのおかれた条件とは異なる水中養生条件下でなければその性能を発揮できないことが判明した。一方スラグ系ポリマーコロイドのＳ－２については、付着性が改善されている結果を示した。

②耐久性試験

表－55に耐久性試験結果を示す。外観及び、切断面の内部状況については、前回と比べて明らかに異なっており、水中養生後で気中養生下にある場合、外観は白色で変化がないが、切断面の内部状況は、暗緑色から白色へ変化することが観察された。また、この条件下において試験片の表面にひびわれの発生が観察され、乾燥収縮ひびわれであることが判明した。再試験の水溶液別における各強度については、溶液の違いによる影響はほとんどなく、耐久性はすべて向上した結果を示した。

表－55の結果一覧表から、スラグ系コロイドは初期の養生が不適切であると十分なセメントマトリックスが形成されずに脆くなり、耐久性に得られないことが判明した。

表－５４　モルタルとの付着性結果一覧表

〔乾燥面〕（kgf/cm²）

試験条件 / 試験項目		－１０℃		０℃		２０℃			４０℃	
		昭和61年度	昭和62年度	昭和61年度	昭和62年度	昭和61年度	昭和62年度	昭和62年度	昭和61年度	昭和62年度
		W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中	W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中	W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中	W/C＝60% 2ヶ月間水中 +2ヶ月間気中	W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中
スラグ系	0.5 mm	－＊	31.2	－＊	45.8	0.9	42.9	38.3	0.9	25.4
コロイド	2.0 mm	58.1	39.2	35.2	40.1	21.2	44.5	21.2	14.1	25.8
S－1	5.0 mm	31.9	40.5	59.1	34.7	36.3	24.6	16.9	30.3	12.3
スラグ系	0.5 mm	－	56.8	－	47.6	－	54.9	－	－	55.9
ポリマーコロイド	2.0 mm	－	40.9	－	38.2	－	45.6	－	－	31.6
S－2	5.0 mm	－	48.0	－	37.1	－	33.3	－	－	17.9

〔湿潤面〕（kgf/cm²）

試験条件 / 試験項目		－１０℃		０℃		２０℃		４０℃	
		昭和61年度	昭和62年度	昭和61年度	昭和62年度	昭和61年度	昭和62年度	昭和61年度	昭和62年度
		W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中	W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中	W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中	W/C＝70% 7日間湿空 +2ヶ月間気中	W/C＝60% 28日間水中
スラグ系	0.5 mm	4.1	47.7	2.8	23.0	3.4	38.5	4.3	29.6
コロイド	2.0 mm	26.9	36.9	25.6	26.3	26.9	27.5	12.8	17.3
S－1	5.0 mm	30.0	30.4	17.8	36.0	32.8	31.5	8.7	11.8
スラグ系	0.5 mm	－	41.9	－	26.9	－	47.8	－	43.3
ポリマーコロイド	2.0 mm	－	44.3	－	33.3	－	43.0	－	33.7
S－2	5.0 mm	－	51.7	－	48.2	－	37.0	－	13.9

注）－＊は測定不能，－は未測定を示す。

表－５５　耐久性結果一覧表　〔試験温度：２０℃〕

試験条件 / 試験項目		昭和６１年度		昭和６２年度	
		W/C＝70% ７日間湿空 ２ヶ月間気中養生	メーカーデータ W/C＝70% 28日間水中養生	W/C＝60% S＝1 28日間水中養生	W/C＝60% 28日間水中養生
浸漬前	圧縮強さ (kgf/cm)	601 (100)	404	469 (100)	472 (100)
	曲げ強さ (kgf/cm)	3.5 (100)	53.2	67.8 (100)	77.6 (100)
	引張強さ (kgf/cm)	8.4 (100)	21.8	7.6 (100)	8.1 (100)
	外観	表面白灰色 内部暗緑色	－	表面が白い灰色 内部全体が暗緑色	表面が白い灰色 内部全体が暗緑色
耐水性	圧縮強さ (kgf/cm)	302 (50)	－	539 (115)	589 (125)
	曲げ強さ (kgf/cm)	－＊	－	80.0 (118)	79.0 (102)
	引張強さ (kgf/cm)	2.4 (29)	－	17.9 (236)	16.7 (206)
	外観	白化やや薄い模様あり 内部変色、色薄くなり全体に広がる	－	浸漬前にくらべてやや白色化 内部全体に薄い暗緑色	浸漬前にくらべてや白色化 内部全体に薄い暗緑色
耐アルカリ性	圧縮強さ (kgf/cm)	327 (54)	－	556 (119)	590 (125)
	曲げ強さ (kgf/cm)	－＊	－	80.0 (118)	89.0 (115)
	引張強さ (kgf/cm)	3.3 (39)	－	11.9 (157)	13.0 (160)
	外観	表面うすい暗緑色模様 内部薄い暗緑色全体に広がる	－	浸漬前にくらべて薄い暗緑色 内部全体に薄い暗緑色	浸漬前にくらべて薄い暗緑色 内部全体に薄い暗緑色
耐塩水性	圧縮強さ (kgf/cm)	421 (70)	－	549 (117)	573 (121)
	曲げ強さ (kgf/cm)	－＊	－	88.0 (130)	89.0 (115)
	引張強さ (kgf/cm)	2.4 (29)	－	14.0 (184)	13.7 (169)
	外観	やや暗緑色模様あり 内部変色、色は薄くなり全体に広がる	－	浸漬前にくらべてやや薄い暗緑色 内部全体に薄い暗緑色	浸漬前にくらべてやや薄い暗緑色 内部全体に薄い暗緑色

注）－＊は測定不能、－は未測定を示す

5．まとめ

本試験では、アルカリ骨材反応によって発生したコンクリート構造物のひびわれを補修する時の注入材料として可能性のある９種の材料を選び、その基本物性，施工性，耐久性およびひびわれ抑制効果の確認等について検討および評価を行ったところ以下のような結果が得られた。

（1）基本物性試験

①明瞭なガラス転移点（Ｔｇ）の存在を示した樹脂系材料はいずれも、引張強さ試験，引張せん断接着強さ試験やモルタルとの付着性試験においてその温度依存性が認められた。すなわち、低温側ではいずれも強度は増大し、高温側では低下する傾向にあるが、伸びや付着力試験におけるたわみ量は、逆の傾向を示すことが明らかとなった。

②同様の傾向は、明瞭なＴｇを示さないポリマーセメント系やスラグ系のような無機質が主成分の材料についても、わずかではあるが認められた。

③モルタルとの付着性は、スラグ系コロイド以外の材料はいずれも良好な結果が得られた。スラグ系コロイドについては供試体作製条件，試験条件等においてどのような要因が作用しているのかを確認するため、再試験を行った。その結果、この材料はその性能が養生条件に大きく左右されることが明らかとなった。

④硬化収縮率はいずれも非常に小さく、例えばJIS A 6024（建築補修用エポキシ樹脂）に規定されている規格値の３％に比べると、全く問題にならない結果が得られた。

⑤水蒸気透過阻止性はいずれの材料も、セメントモルタルやコンクリートに比べて数段優れていることが確認された。

（2）施工性試験

①最大注入深さと最小注入ひびわれが得られる条件は、長い可使時間と低い粘度であるという結果が得られた。

②引張せん断接着強さによる硬化時間の試験において、測定不能が半数以上となり、硬化時間という評価試験の概念の見直しと、測定方法の検討が必要と考えられた。このため、試験方法の見直しを行い土木学会基準のガードナー式乾燥時間測定器に準じたドライングレコーダー法が有効であることが判明した。

（3）耐久性試験

①耐水性，耐アルカリ性及び耐塩水性について外観変化，重量増加率，硬度，引張強さ，伸び，圧縮強さおよび曲げ強さの測定を実施したが、引張強さ，伸び，曲げ強さによる

評価の方が、各試験材料の特性を明瞭に把握できることが明らかとなった。

②60℃における30サイクルの乾湿繰り返し後の付着力試験によって、接着強度やたわみ量に高い保持率を有する材料は、エポキシ樹脂系硬質標準形，柔軟形－3およびポリマーセメント系であった。

③繰り返し曲げ疲労における準疲労限度や応力比、およびクリープ抵抗性におけるたわみ量比から、エポキシ樹脂系柔軟形－2，ポリウレタン系ポリウレタンおよびスラグ系コロイドは物理的な耐久性に欠けることが明らかとなった。

（4）コンクリートのひびわれ抑制効果試験

①4.4.1 補修後の促進養生による抑制効果の確認試験では、補修前のひびわれ状況と比較すると、注入材による補修が良好な抑制効果を示していることが観察された。

②4.4.2 補修後の屋外暴露による抑制効果の確認試験では現在、屋外暴露中のためその効果に関する判定を得るまでには至っていない。

③4.4.3 注入工法と被覆の相互補完効果試験は、ひびわれ抑制効果を間接的なモデル供試体によって注入材と、被覆材料との相互補完作用として評価しようとするものである。この結果から、補完関係が認められる場合が観察されたが、明瞭には得られていない。評価試験の精度や感度を向上させる必要が見受けられた。

6．注入材および充填材の品質規格（案）

6.1　注入材および充填材の選定

注入材および充填材は、ＡＳＲによって生じたコンクリート表面のひびわれに深部まで注入，または表面を充填することによって、ひびわれから供給される水等の骨材のアルカリシリカ反応を促進する因子を遮断し反応を抑制すると共に、鋼材の防食および鋼材とコンクリートとの一体化を図る材料である。ひびわれ部分のコンクリートと強固に接着し、水等の浸透を防止する材料には種々あるが、湿潤環境や乾燥環境等の種々の環境下においても持続的な接着力を長期間発揮しなければならない。

このような品質性能を備えた注入材料や充填材料を選定，評価すると共に、各種材料の位置付けを明確にするために、現在使用されている材料および仕様可能と考えられる材料から表－１に示す試験材料を選定した。

これまでの材料試験結果に基づき、注入工法に適した材料としてエポキシ樹脂系の硬質標準形，柔軟形－１，及び柔軟形－３が、充填工法に適した材料としてポリマーセメント系アクリルやエポキシ及びシーラント系が選定された。

大きな伸び能力を有する注入材のエポキシ樹脂系柔軟形－２やポリウレタン系ポリウレタンは準疲労限度や付着曲げクリープ抵抗性が小さくなると共に、その破壊状況が界面破壊を示すため付着力耐久性に乏しく、信頼性に欠けることが明らかとなった。また、伸び能力を有していないスラグ系コロイドについては、準疲労限度は小さく、応力比としては平均47%を示すが、長時間の環境耐久性である乾湿繰り返し試験において、10～25%の低い保持率を示した。更に、養生条件に着目した再試験において、20℃水中養生２ヶ月後の２ヶ月間室内（20±２℃，65±５％ＲＨ）放置における乾燥ひびわれの発生と、モルタルとの付着性の低下が観察され、付着力耐久性に乏しく、信頼性に欠けることが明らかとなった。このため、エポキシ樹脂系柔軟形－２，ポリウレタン系ポリウレタンおよびスラグ系コロイドは、施工性試験においては優れた性能を示しているが、ひびわれ部分のコンリクートと強固に接着して水等の浸透を防止し、湿潤環境や乾燥環境等の種々の環境下においても耐久的な接着力を発揮するに至らなかったため、選定から除外した。

6．2注入材および充填材の品質規格

注入材および充填材は以下の品質規格を満足しなければならない。

（試験温度　20℃）

項目＼材料の種類	単位	土木補修用エポキシ樹脂注入材 1種	土木補修用エポキシ樹脂注入材 2種	土木補修用エポキシ樹脂注入材 3種	土木補修用充填材 ポリマーセメント系	土木補修用充填材 シーラント系
ひびわれ進行度区分		B		A	B	A，B
ひびわれ幅（mm）		0.2 ～ 5.0			5.0 <	
粘度	cps	1000以下	4±1(注-1)	1000以下	10000以下	だれを認めず
可使時間	分	30以上	30以上	30以上	30以上	240以上
硬化時間	時間	16以内	16以内	24以内	16以内	24以内
硬化収縮	%	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	
伸び率	%	－	50以上	100以上		800以上
モルタル付着強さ（乾燥面）	kgf/cm²	60以上	60以上	60以上	60以上	たわみ量10mm以上で破壊すること
付着力耐久性保持率（注-2）	%	60以上	60以上	60以上	60以上	60以上

注-1　チキントロピック係数　　2rpm/20rpmの粘度で表す。
注-2　規格に対する百分率

品質規格はＡＳＲにより被害を受けたコンクリート構造物を補修する際に使用するエポキシ樹脂系の硬質標準型（注入材１種），柔軟型－１（注入材３種），柔軟型－３（注入材２種）の３種類とポリマーセメント系（充填材ポリマーセメント）およびシーラント系（充填材シーラント）の計５種について、注入材および充填材に必要と考えられる性能について定めたものである。

1）粘度

粘度は注入材および充填材の施工性を左右する因子であり、低粘度であるほど微細なひびわれまで注入が可能である。土木補修用エポキシ樹脂注入材（以下、注入材と略す）の１種および３種は、冬季の施工限界温度５℃の粘度を4,000cps以下とした。

また、可使時間が短い場合やエポキシ樹脂の粘度の温度依存性を考慮して20℃における混合物粘度は1,000cps以下とした。

注入材２種はひびわれの先端部まで注入しなくても、ひびわれ内部で注入材が流下せずに防水層を形成することが特徴である揺変性を有することが必要である。揺変性

の尺度としてチキソトロピック係数を設定した。ただし、注入施工性を考慮するとその粘度は3～4万cpsであることが望ましい。

ポリマーセメント系は、適用ひびわれ幅が大きいので1万cps以下とした。

シーラント系は、ひびわれ幅が大きく充填を行うものであるので、充填した所から材料が流れ出て周囲を汚さない程度の粘度とした。

注）揺変性（チキソトロピー）：単にかき混ぜたり、振り混ぜたりすることによってゲルが流動性のゾルに変わり、放置すると再びゲルに戻る性質で、ベントナイトなどのサスペンション，顔料粒子を重合アマニ油に分散した塗料，アルミニウム石鹸を潤滑油に分散したグリースなどで見られる。

2) 可使時間

可使時間は材料を撹拌して注入器に充填し、ひびわれの深部まで十分に注入するのに必要な時間であり、試験結果より、20℃を基準とし注入作業に必要な最小限の時間とした。

充填材の可使時間は、充填方法や効果反応機構が異なることから、補修工事の工程を考慮して24時間とした。

3) 硬化時間

注入用パイプやシール材を除去し、次の被覆工程への移行が可能な、より実用的な20℃の硬化時間を設定した。

4) 硬化収縮

注入あるいは充填された材料の機能を損なわないためには、硬化収縮は可能な限り小さいことが必要である。

シーラントは本試験方法では測定が困難であるので対象外とする。

5) 伸び率

ひびわれの進行の停止が明確になった後に、鋼材の防食およびコンクリートの一体化をはかる注入材1種はコンクリートの耐力復元及び注入材の温度依存性を考慮に入れて設定した。同じく進行が停止した5㎜以上のひびわれには、ひびわれ追従性が小さいポリマーセメント系はコンクリートの引張り強さを考慮して設定した。ひびわれの進行が停止しているが、ひびわれが生じる可能性が考えられる時適用される注入材2種とシーラントは、ひびわれ追従性が必要であるので伸び率を規定した。

注入材3種はひびわれが進行中と判断された場合に適用される材料であるので伸び

は重要な項目である。注入材において、伸び能力が大きくなると準疲労限度（注）や付着曲げクリープ抵抗性が小さくなるとともに、破壊状況が界面破壊を示し付着耐久性が小さく、信頼性に欠ける。従って、ひびわれが進行している段階で伸び能力を必要とされる注入材３種においては、100%以上の伸びを設定した。

注）準疲労限度：100万回の繰り返し付着曲げ試験で破壊しなかった時の付着強さと定義した。

6）モルタル付着強さ

注入材と充填材の注入厚さと付着強さに関する付着曲げ疲労試験および付着曲げクリープ試験の結果と付着力とたわみ量に関する各材料の曲げ試験結果より、注入材１，２および３種は注入厚を0.5㎜，ポリマーセメントは5.0㎜において乾燥面準疲労限度の２倍の60kgf/㎠以上を静的標準試験のモルタル付着強さとした。

シーラントは、他の材料にない大きな伸び率が特徴であるので、注入厚5.0㎜においてたわみ量が10㎜以上で破壊することとした。

7）付着力耐久性

JIS A 6024に適合する注入材の付着力が３サイクルで30kgf/㎠以上であるので、30サイクルの乾湿繰り返しによる付着力の変化率は、60%以上であれば十分であるとした。

本品質規格に適合することを立会い試験または公的試験機関で認定された材料は、更に製造ロット毎に規格表中の粘度・可使時間・硬化時間・引張強さ・伸びの項目について検査し、規格値に合格することを確認しなければならない。

7．今後の課題

アルカリ骨材反応によってひびわれを生じたコンクリート構造物の補修に関しては、各関係機関において検討されているが、まだ明らかになっていない事柄も多い。しかしながら、本実験の結果から、アルカリ骨材反応によるひびわれの補修材料や補修方法についてはその概要をほぼ把握し、補修指針（案），品質規格（案）を作成した。

今後、長期にわたる補修の効果が明らかになるに従って、本実験を基礎とした新しい材料の開発や工法の技術革新が行われる可能性もあろう。特に、温度依存性が小さくて伸び能力が大きく、付着力耐久性に優れた注入材料の開発が望まれよう。このような展開に応じて、再度、試験方法等の見直しも必要になってくると考えられる。

第２編　コンクリート補修用
被覆材料の開発

目　　次

1．研究の目的 …… 141

2．研究の概要 …… 142

3．第1次試験 …… 144

3.1 供試材料 …… 144

3.2 試験方法 …… 145

3.3 試験結果 …… 147

3.4 まとめ …… 159

4．第2次試験 …… 160

4.1 供試材料 …… 160

4.2 試験方法 …… 160

4.3 試験結果 …… 162

5．第3次試験 …… 165

5.1 ひびわれ追従性 …… 165

5.2 水透過阻止性 …… 167

5.3 コンクリートとの付着性 …… 174

5.4 耐アルカリ性 …… 175

5.5 耐候性 …… 175

6．まとめ …… 177

7．被覆材料の品質規格（案） …… 178

1．研究の目的

アルカリ骨材反応（ＡＳＲ）は、直接日光が当たり、表面に水が流れ込み濡れる箇所での被害が著しい傾向がある。このため、ＡＳＲを抑制するためには、コンクリート表面を被覆材料で覆い、水分を遮断することが重要であると考えられる。

また、補修後も徐々に進行するＡＳＲによってコンクリートが膨張することを考慮すると、被覆材料はひびわれ追従性を有することが重要である。

このような観点から本研究では、水分の遮断性とひびわれ追従性（伸び率）に優れた被被覆料料の開発を目的とし、被覆材料の探索，被覆材料によるＡＳＲの抑制効果の検討，補修材料仕様の選定および補修仕様の抑制効果確認試験を実施した。これらの研究成果に基づきアルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の補修指針の作成を目的とする。

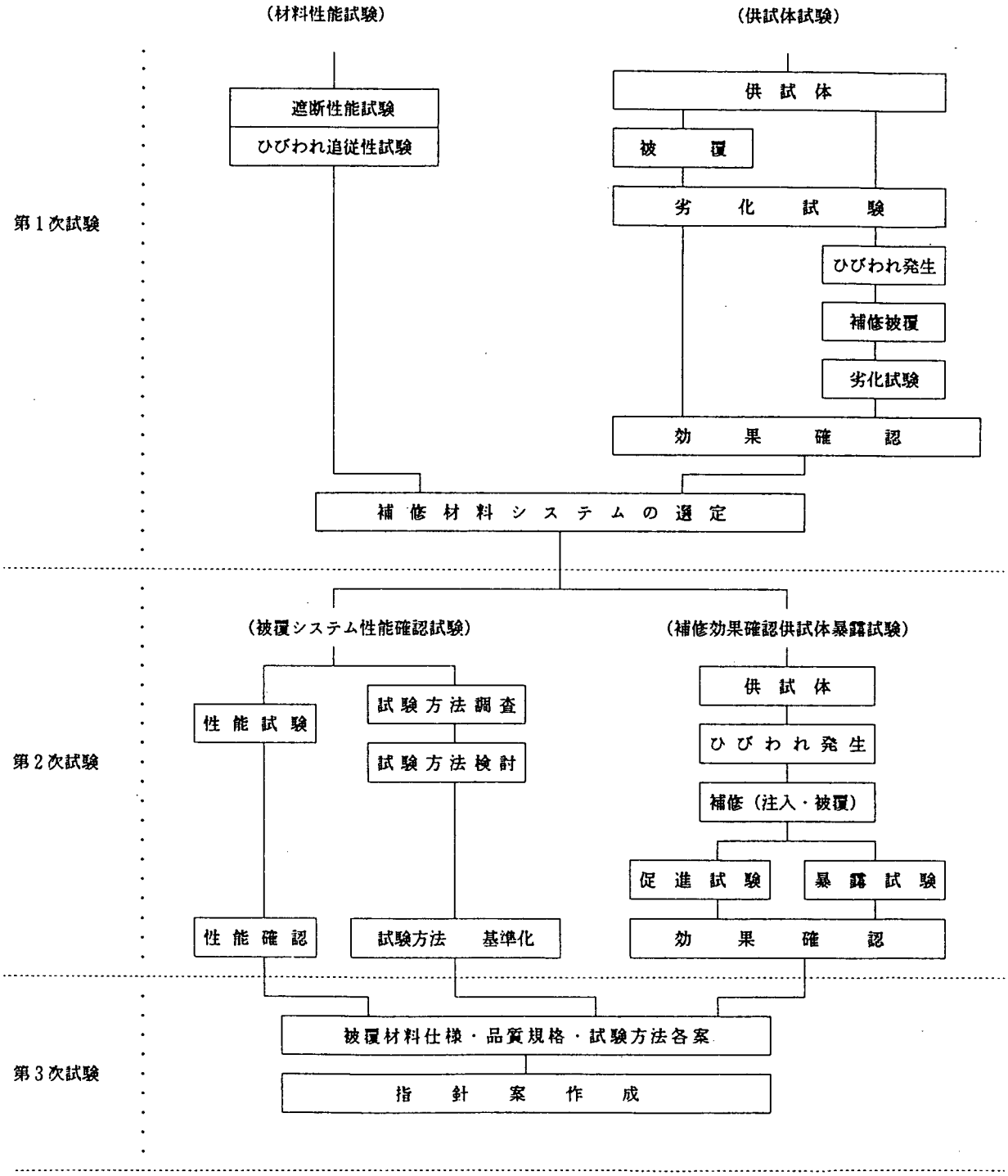
2．研究の概要

研究の概要を図－１に示す。

第１次試験は、ＡＳＲを抑制するために必要と考えられる水や有害イオン（Na^+, Cl^-）の遮断性能の測定およびコンクリートのひびわれに追従するための柔軟性（引張り伸び率）の測定を行った。あわせて、反応性骨材を用いたコンクリート供試体に被覆して各被覆材料のひびわれ抑制効果の検討およびＡＳＲによりひびわれが発生し劣化したコンクリート供試体に被覆し各被覆材料の補修効果の検討を行った。これらの結果から遮断性能とひびわれ追従性の優れた被覆材料を選定した。

第２次試験は、第１次試験で選定された被覆材料について性能試験を行い、ＡＳＲ補修に要求される性能レベルの確認と試験方法について検討した。また、中型および大型供試体で被覆材料の促進試験と暴露試験を行った。

第３次試験は、これまでに得られた研究成果に基づき、ＡＳＲ補修用被覆材料の絞り込みを行い、ＡＳＲ補修用被覆材料の品質規格および品質規格試験方法を作成した。


第1次試験
第2次試験
第3次試験
（材料性能試験）
（供試体試験）
遮断性能試験
ひびわれ追従性試験
供試体
被覆
劣化試験
ひびわれ発生
補修被覆
劣化試験
効果確認
補修材料システムの選定
（被覆システム性能確認試験）
（補修効果確認供試体暴露試験）
性能試験
試験方法調査
試験方法検討
供試体
ひびわれ発生
補修（注入・被覆）
促進試験
暴露試験
性能確認
試験方法　基準化
効果確認
被覆材料仕様・品質規格・試験方法各案
指針案作成

図－1　研究の概要

3．第１次試験

3.1 供試材料

第１次試験で検討した被覆材料は次の１８種系統の３２品目である。

(1)エポキシ樹脂プライマー

コンクリートに対する浸透性が優れ、中塗りの付着性を向上させる。

(2)エポキシ樹脂中塗り

遮断性能と耐アルカリ性に優れた中塗り

(3)エポキシ樹脂上塗り

遮断性能と耐アルカリ性に優れた上塗り

(4)弾性エポキシ樹脂

遮断性能と耐アルカリ性に優れかつ高弾性性能を有する。

(5)厚膜形エポキシ樹脂

遮断性能を高めるため厚膜化したもの。

(6)ウレタン樹脂プライマー

コンクリートに対する浸透性が優れ、中塗りの付着性を向上させる。

(7)ウレタン樹脂上塗り

適度の柔軟性と優れた耐候性を有する。

(8)弾性ウレタン樹脂

ひびわれ追従性と防食性に優れている。

(9)無機系浸透剤

コンクリートに対する浸透性が優れ、外部からの水の浸透を防ぐとともに、内部の水分を発散させる特長を有する。造膜しないのでコンクリートの表面状態を変化させない。

(10)柔軟形ポリマーセメント系

有機材料の柔軟性および遮断性能と無機材料のコンクリート面への親和性を併せ持つ水性塗料。

(11)ガラスフレーク系ビニルエステル樹脂

ビニルエステル樹脂に分散したガラスフレークにより、非常に優れた遮断性能を有する。

⑿溶剤形アクリル樹脂

安価で適度な遮断性能と柔軟性を有する。

⒀アクリル樹脂エマルジョン

安価で柔軟性もあるが、遮断性能は劣る。

⒁高弾性アクリル樹脂エマルジョン

ひびわれ追従性を改善したもの。

⒂高弾性ポリブタジエン樹脂

ポリブタジエン樹脂の優れたひびわれ追従性を生かし、遮断性能のやや劣る点を膜厚でカバーしたもの。

⒃ビニル樹脂系

柔軟性は劣るが防食性に優れている。

⒄高弾性塩化ゴム系樹脂

塩化ゴムを特殊変性することにより、高弾性化したもので遮断性能，ひびわれ追従性ともに優れるている。

⒅フッ素樹脂

適度な柔軟性を有し、耐候性が非常に優れている。

3.2 試験方法

3.2.1遮断性能試験

(1)水蒸気透過試験

①JIS-Z-0208の透湿カップ法に準じて透湿度を求めた。

②Lyssy法により同じく透湿度を求めた。

(2)水透過試験

JIS-A-6900-5-10に準じて透水度を求めた。すなわち、塗装供試体を水中浸漬し重量増加速度を測定し、重量増加分を元の供試体重量で割り、透水速度%／24hを求めた。

なお、水透過試験で用いた供試体は表－１のNo.3の配合で、形状は200mmφ×400mmのものを用いた。

(3)イオン透過性試験

「道路橋の塩害対策指針（案）」の遮断性試験に準じてNa^+およびCl^-の透過速度を求めた。

3.2.2ひびわれ追従性試験

「道路橋の塩害対策指針（案）」のひびわれ追従性試験に準じて破断伸び率を求めた。

3.2.3劣化試験

(1)コンクリートの配合

コンクリート供試体の配合を表－1に示す。供試体は水中養生28日後に劣化試験に供した。これらのうち配合No.1とNo.3は無塗装で試験し、No.2は無塗装と塗装の両方の試験に充てた。劣化試験用の供試体の形状は100mm角の立方体とした。

表－1　コンクリート配合

配合No	骨材種	W kg／m³	C kg／m³	S kg／m³	G kg／m³	AE剤 %	NaCl kg／m³	W／C %	S／A %	空気量 %	スランプ cm	細骨材水分 %	圧縮強度 kg／m²	弾性係数 ×10
標準		181	362	686	993	0.025		50	40	5.0	8.0			
1	T[a)]	180	362	687	993	0.025		50	40	5.2	11.3	0.1	502	32.7
2	T[a)]	176	362	691	993	0.025	8.8[c)]	50	40	5.4	13.8	0.7	481	30.9
3	K[c)]	180	362	687	993	0.025		50	40	5.2	11.3	0.1	459	33.0

a）化学法により潜在有害と判定された骨材。　　Rc＝183，Sc＝639
b）化学法により無害と判定された骨材。　　Rc＝34.3，Sc＝39.6
c）セメント中のアルカリも含めR_2O（$Na_2O+0.658K_2O$）が8 kg/m³となるように加えた。

(2)供試体の製作

①ひびわれ抑制効果

28日間水中養生した供試体の各6面をCC-50ペーパーを用いてディスクサンダーで研磨し、被覆材料を被覆した。膜厚は原則として100μm(特殊なものはその被覆材料の本来の膜厚）になるように塗付量を秤りながらハケで被覆した。被覆材料のひびわれ抑制効果を明確にする目的で、プライマーやパテを含まない被覆材料のみの被覆を行い、被覆後20℃で7日以上乾燥してから試験に供した。

②ひびわれ補修効果

ひびわれ発生後の補修では、それぞれの被覆材料の本来の膜厚にするとともにプライマー，上塗り等を含めた被覆仕様で試験した。その他の研磨、塗装、乾燥等は①ひびわれ抑制効果と同様の方法によった。

(3)散水暴露試験

散水暴露試験は、一定時間ごとに供試体に水を噴霧するもので、乾湿サイクルによる劣化の促進効果により浸漬や湿潤の試験よりも、早くＡＳＲによるひびわれを発生させることが確認されている。

場　　所：建設省土木研究所材料構造共同実験棟屋上

散水時間：30分散水を１日４回

7:00 ～ 7:30

10:00 ～ 10:30

13:00 ～ 13:30

16:00 ～ 16:30

期　　間：無塗装供試体　60年6月～61年11月　17ヵ月間

初期塗装供試体　60年7月～61年11月　16ヵ月間

補修塗装供試体　60年6月～60年10月まで４ヵ月間無塗装で試験し、
ひびわれが発生した供試体について補修塗装した後
60年11月～61年11月　12ヵ月間

観察方法：クラックスケールを用い表面のひびわれ幅を目視測定した。

なお、別途、散水（水道水）0.5 時間～加熱・乾燥 2.5時間の計３時間を１サイクルとする促進試験機を試作し、６ヵ月間試験を行った。

3.3 試験結果

3.3.1水蒸気および水透過試験

水蒸気透過試験の結果を透湿度で表示した結果を図－２に、ロート法と重量法による水透過試験の結果を透水度で表示した結果を図－３，４に示す。

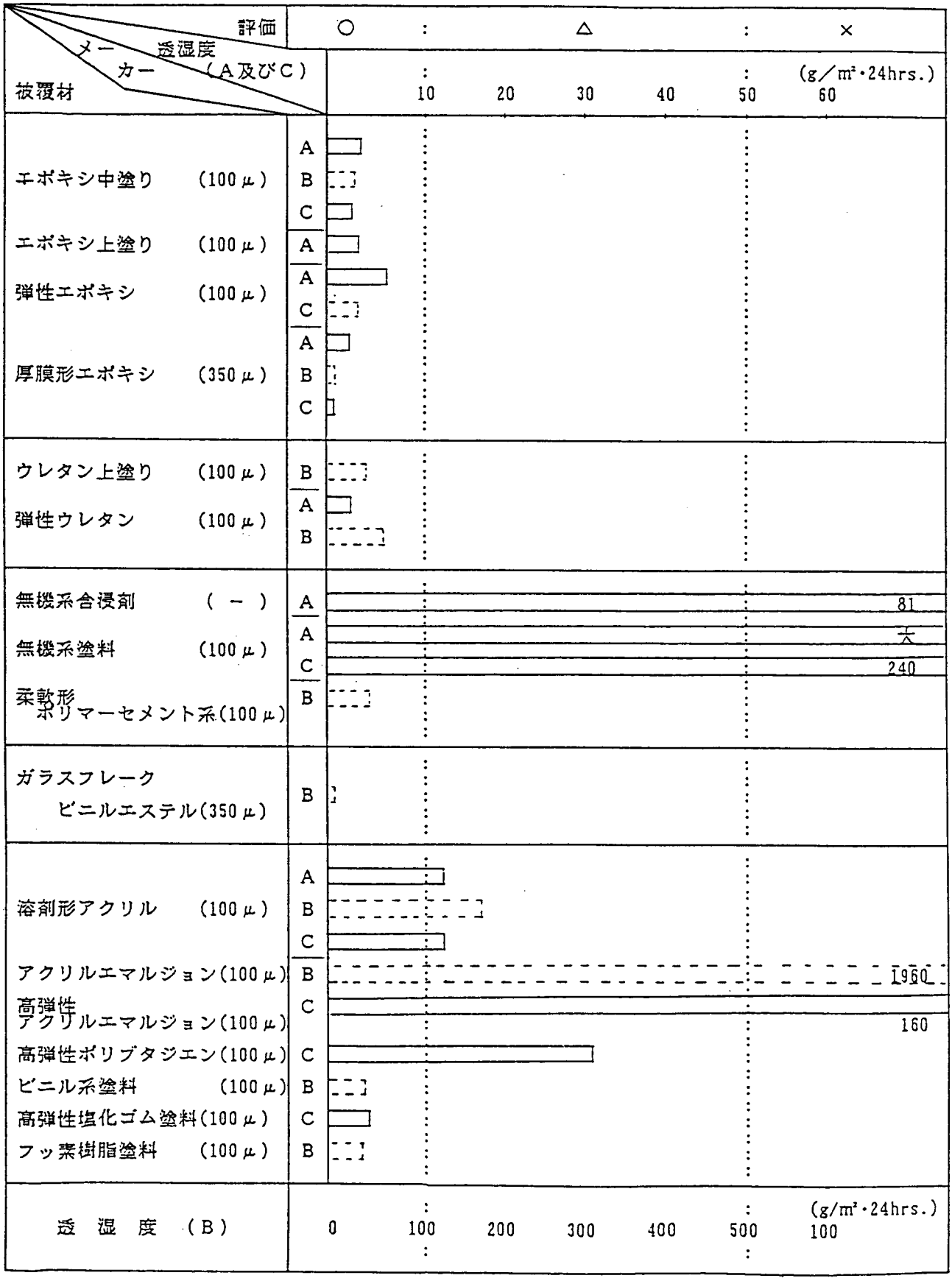
これより、以下のことが明らかとなった。

①被覆材料の種類による差が大きい。

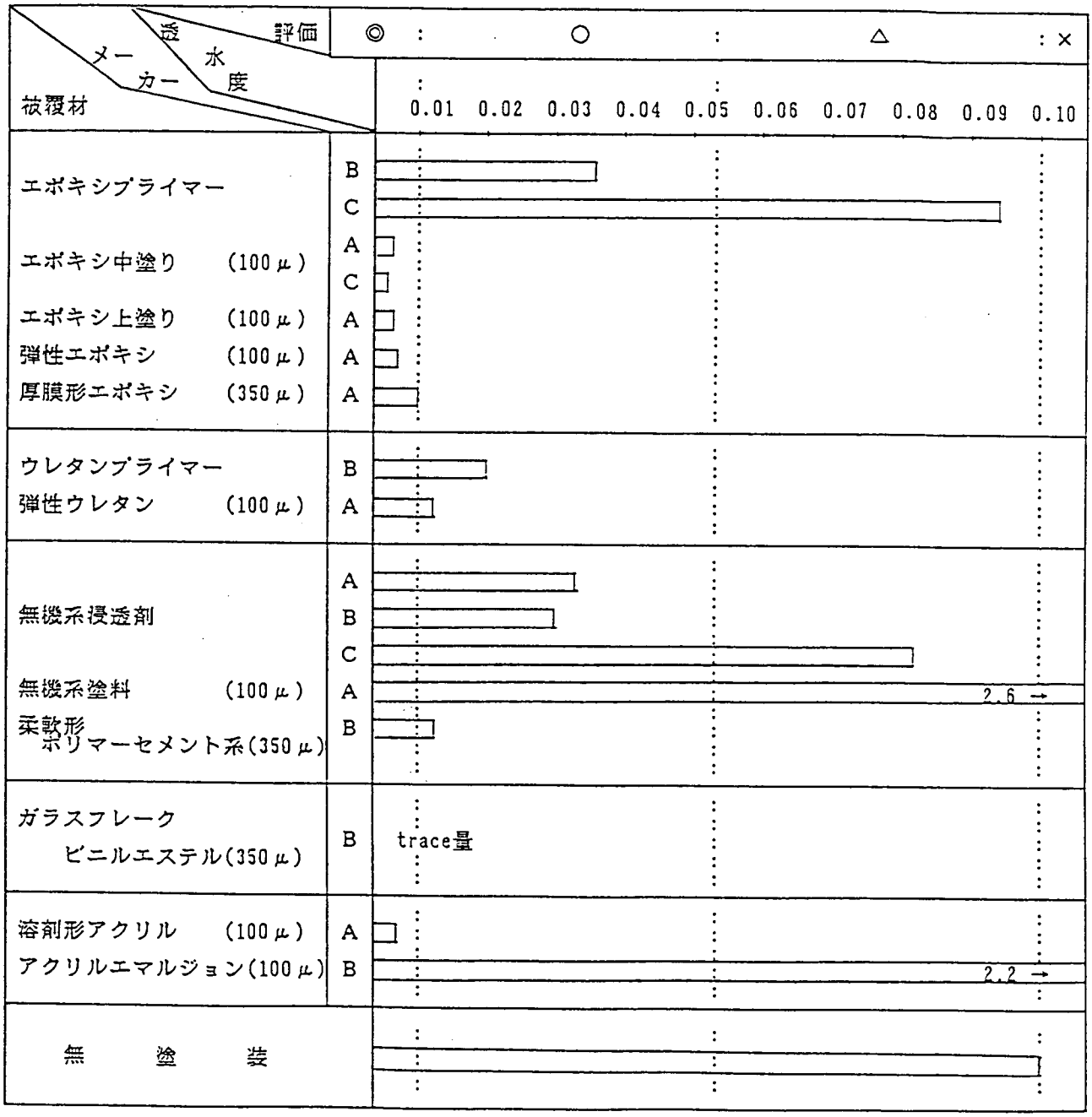
②一般の防食塗膜では水蒸気の遮断性能の大きいものは水の遮断性能も大きいという相関性がある。

③水蒸気透過試験は、JIS-Z-0208に規定するカップ法は装置が安価で入手しやすいが透湿度が１(g/m²・24h)程度以下となるような、水蒸気透過性の非常に小さい試料の測定には測定精度の面で適当でない。また、Lyssy 法は装置は高価であるが、透湿度の小さい試料も高精度で、かつ簡便に測定できる。

④透水試験は、ＪIS-A-6900-5-10に規定するロート法、および重量法を行った結果、ロート法は初期の立上りが直線に近く、解析が容易である。

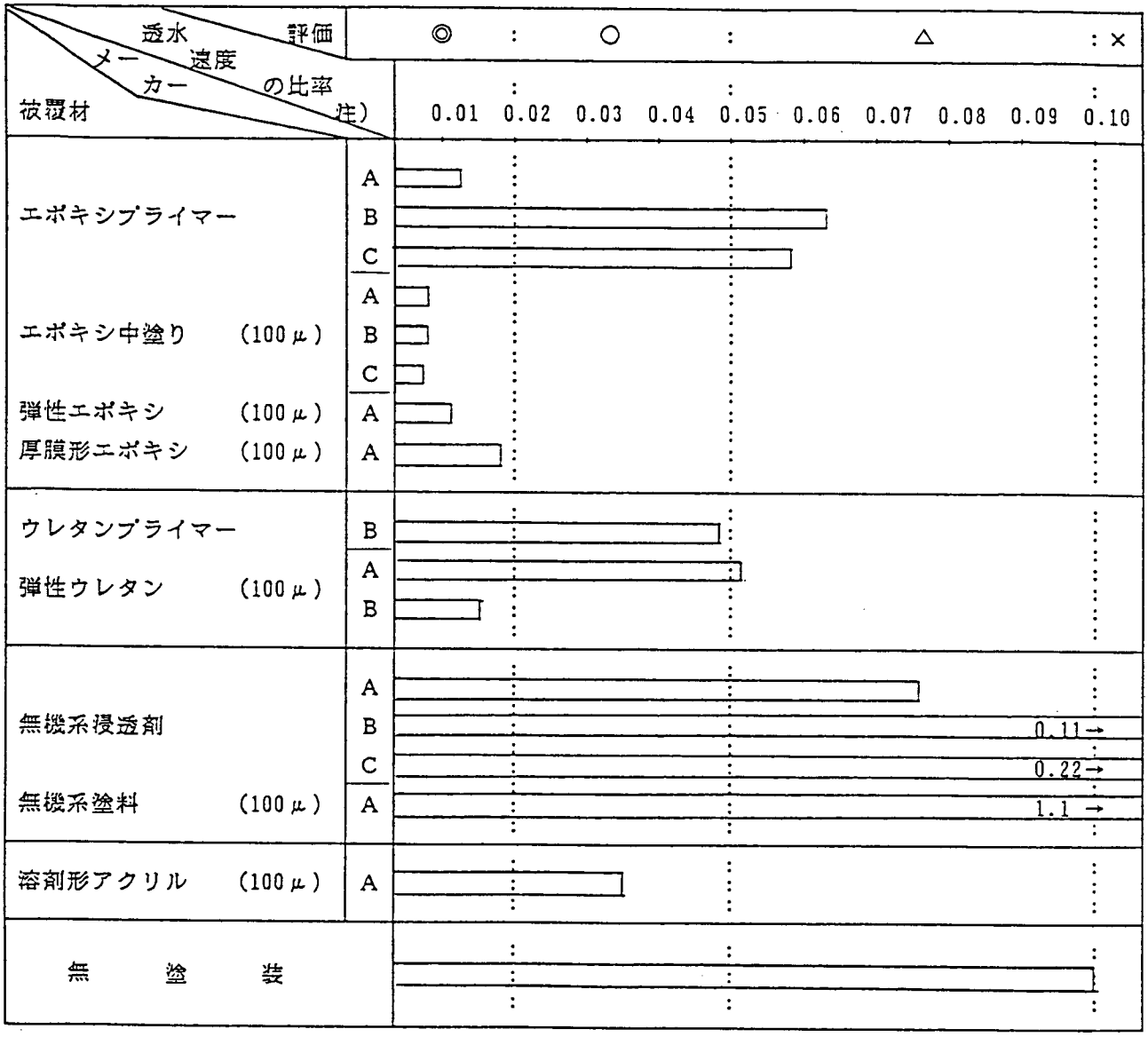

評価
○
△
×
メーカー
透湿度（A及びC）
被覆材
(g/m²·24hrs.)
10
20
30
40
50
60
エポキシ中塗り (100μ)
エポキシ上塗り (100μ)
弾性エポキシ (100μ)
厚膜形エポキシ (350μ)
ウレタン上塗り (100μ)
弾性ウレタン (100μ)
無機系含浸剤 (－)
無機系塗料 (100μ)
柔軟形ポリマーセメント系(100μ)
ガラスフレークビニルエステル(350μ)
溶剤形アクリル (100μ)
アクリルエマルジョン(100μ)
高弾性アクリルエマルジョン(100μ)
高弾性ポリブタジエン(100μ)
ビニル系塗料 (100μ)
高弾性塩化ゴム塗料(100μ)
フッ素樹脂塗料 (100μ)
81
240
1960
160
透湿度（B）
0
100
200
300
400
500
(g/m²·24hrs.)

図－2　被覆材料の透湿度



注）透水度の比率は無塗装に対する比率で表す。

図－3　被覆材料の透水度（ロート法）



注）透水速度の比率は無塗装に対する比率で表す。

図－4　被覆材料の透水速度（重量法）

3.3.2イオン透過試験

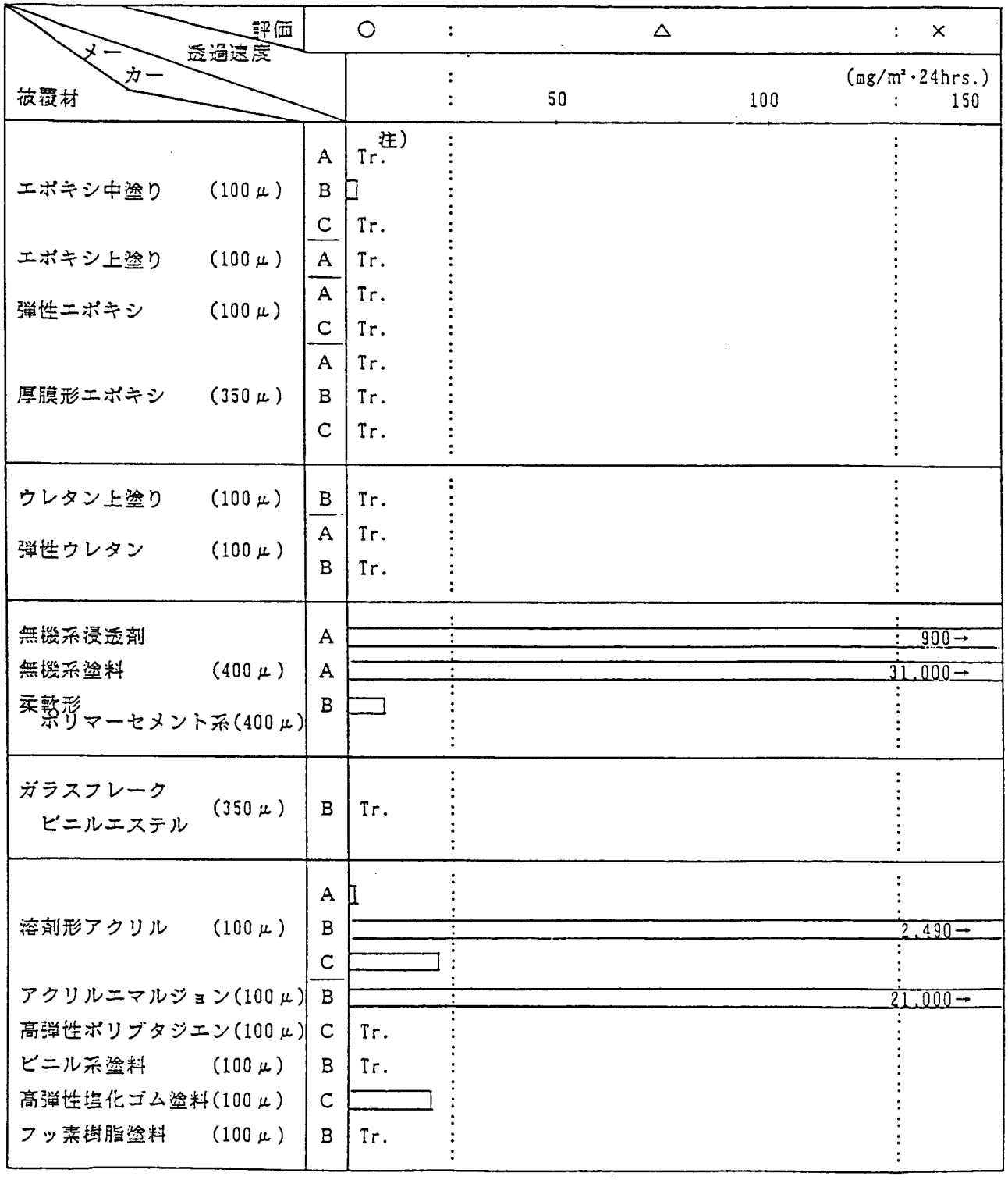
イオン透過試験の結果を図－5，6に示す。

これより、一般防食塗膜では、遮水性の良好なものはイオンの遮断性も良好であるが、測定法によりばらつきは大きい。シラン系浸透剤は増膜しないにもかかわらずイオンの遮断効果はあることが明らかとなった。

3.3.3ひびわれ追従性試験

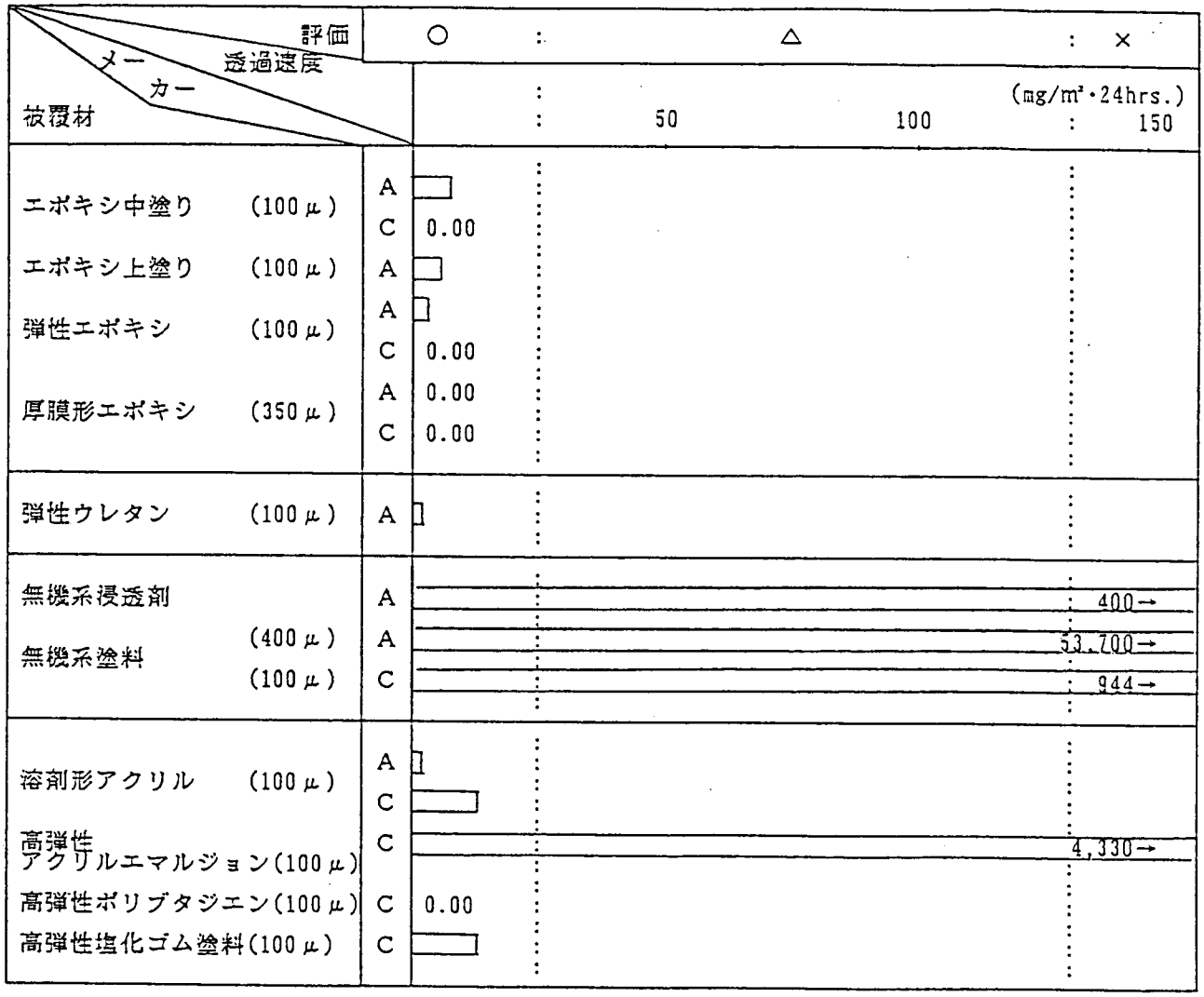
フリーフィルムの伸び率の試験結果を図－7に示す。

伸び率はコンクリートの膨張に見合う程大きいことが望ましいが、伸びる程膜の強さ（抗張力等）が低下し、遮断性能も低下することが考えられる。このため、伸び率は150～300%程度の2液型タイプが良好と思われる。

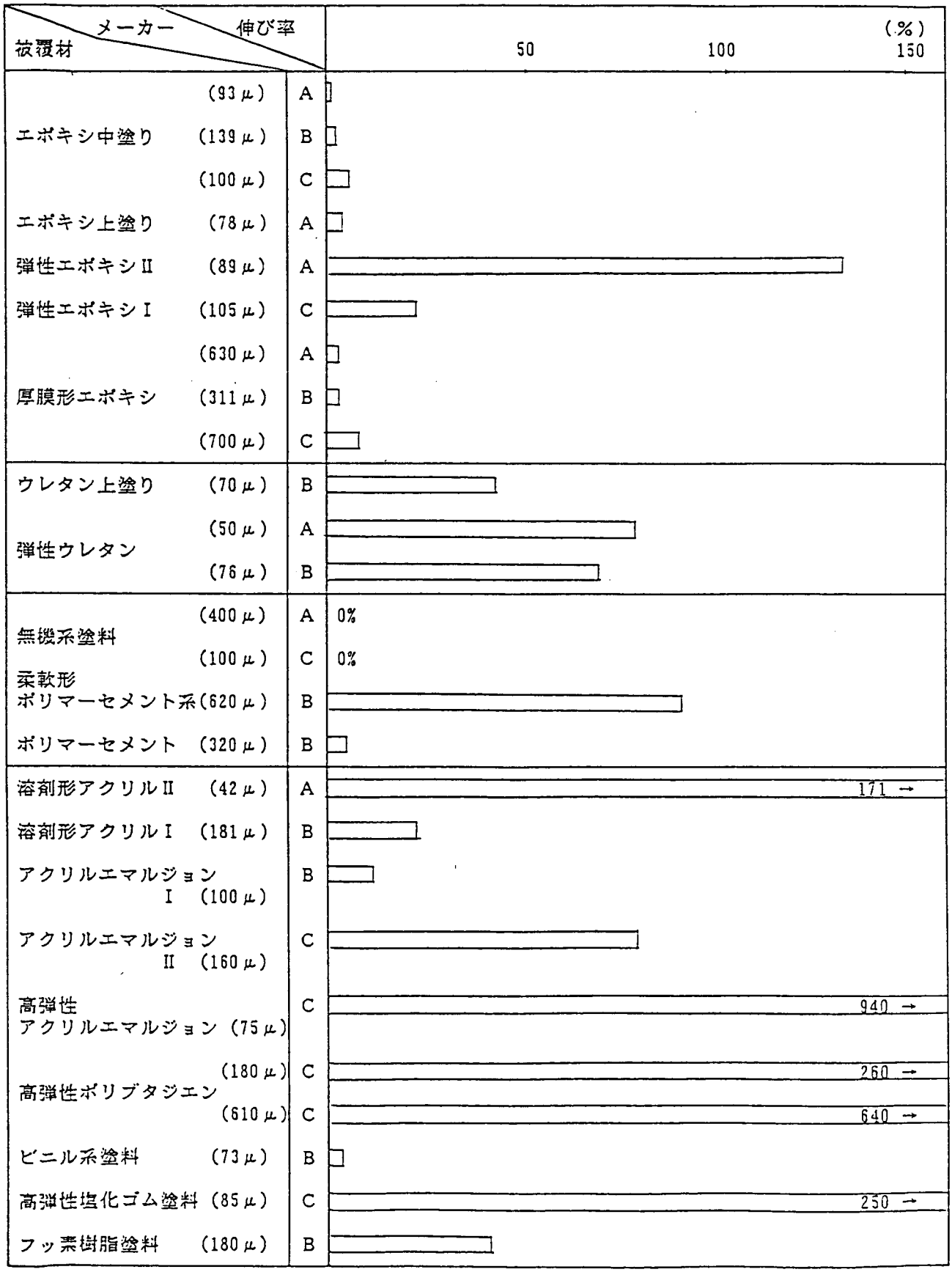


注) Tr.はtrace(0.01未満) を表す。

図－5　被覆材料のＮａイオン透過速度



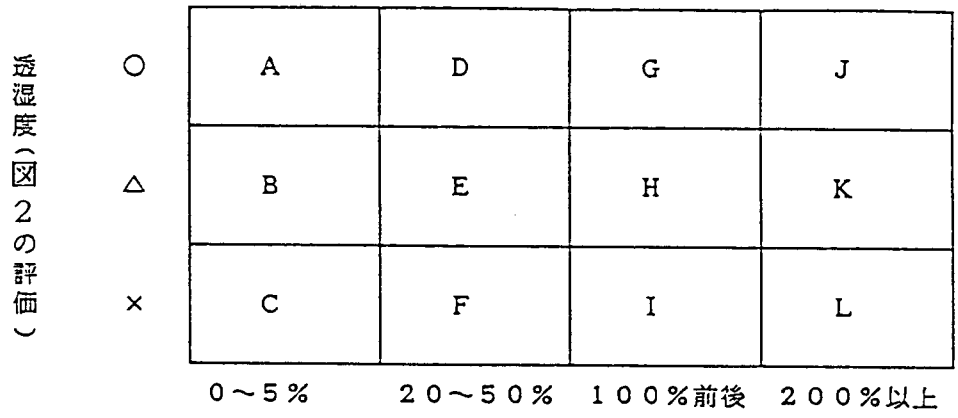
図－6　被覆材料のＣｌイオン透過速度



注) 弾性エポキシ，溶剤形アクリル，アクリルエマルジョンは2種類試験した。

図－7　被覆材料の伸び率

以上、各種試験結果より、遮水性能を縦軸に、柔軟性能を横軸にとり図－８に示すようにＡ～Ｌの12区分に分類した。ただし、ＡＳＲにより劣化したコンクリート構造物の補修を大気中部に限定し、遮水性能は透湿度とした。



図－８　被覆材料の位置付け

Ａ～Ｌに分類される被覆材料は次に示す通りである。

Ａ：遮水性能が大きく柔軟性が小さいもの

エポキシ中塗り、エポキシ上塗り、厚膜形エポキシ

ガラスフレーク系ビニルエステル、ビニル系

Ｃ：遮水性能が小さく柔軟性が小さいもの

無機系（但し、この被覆材はコンクリート内部からの水分の乾燥を考慮し、意識的に遮水性のうを小さくしたものである。）アクリルエマルジョンⅠ（Ｂ）

Ｄ：遮水性能が大きく柔軟性が多少あるもの

弾性エポキシⅠ（Ｃ）、ウレタン上塗り、フッ素樹脂

Ｅ：遮水性能が中くらいで柔軟性が多少あるもの

溶剤形アクリルⅠ（Ｂ）

Ｆ：遮水性能は小さいが柔軟性が多少あるもの

アクリルエマルジョンⅡ（Ｃ）

Ｇ：遮水性能が大きく柔軟性も大きいもの

弾性ウレタン、有機無機複合材料、弾性エポキシⅡ（A）

J：遮水性能が大きく柔軟性が非常に大きいもの

高弾性塩化ゴム

K：遮水性能が中くらいで柔軟性が非常に大きいもの

高弾性ポリブタジエン、溶剤形アクリルⅡ（A）

L：遮水性能は小さいが柔軟性が非常に大きいもの

高弾性アクリルエマルジョン

3.3.4劣化試験

(1)ひびわれ抑制効果

表－1の配合No.1の供試体60体とNo.3の供試体30体はすべて無塗装で劣化試験に供した。No.2の供試体は86体中30体は種々の被覆材料を被覆し、56体は無塗装で劣化試験に供した。

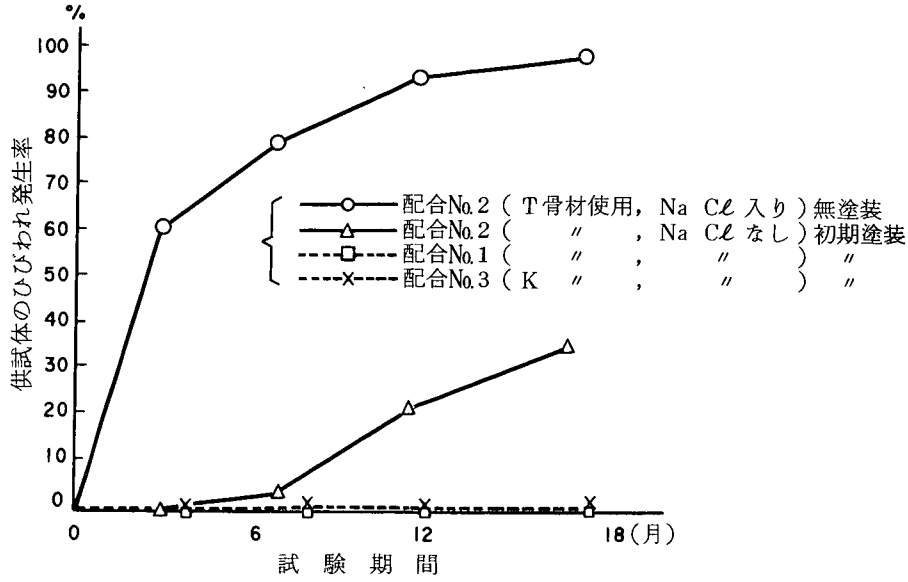
ひびわれの発生状況を図－9に示す。これより、配合No.1と3の供試体は、いずれもひびわれの発生は認められなかった。配合No.2の供試体のうち、無塗装のものは3ヵ月で56体中34体に，17ヵ月で55体にひびわれが発生した。一方、塗装供試体は16ヵ月で30体中10体にひびわれが発生した。ひびわれは、ほとんどが上面から発生した。一部側面から下面まで達しているものがあった。また、一部のひびわれには白いゲル状物質がしみ出ていた。すなわち、膜厚が 100μm の単膜であるため完全にひびわれを抑制することはできないが、被覆によるひびわれ抑制効果が認められた。

図－10は被覆材の特性を図中の位置付けで示し、ひびわれの試験結果を記号○，△×で表したものである。これより、浸透材だけを塗布したもの（遮断性小）も、エポキシ系被覆材を塗装したもの（遮断性大）も含まれ、遮断性とひびわれ抑止効果との直接の相関性は見られなかった。

促進試験機による試験結果を図－11に示す。塗装供試体では6ヵ月間の試験でもひびわれは認められなかったが、無塗装供試体や浸透剤を塗付したものでは散水暴露試験よりひびわれ成長の促進効果が認められ、材料によっては有効な促進試験方法であることが確認された。

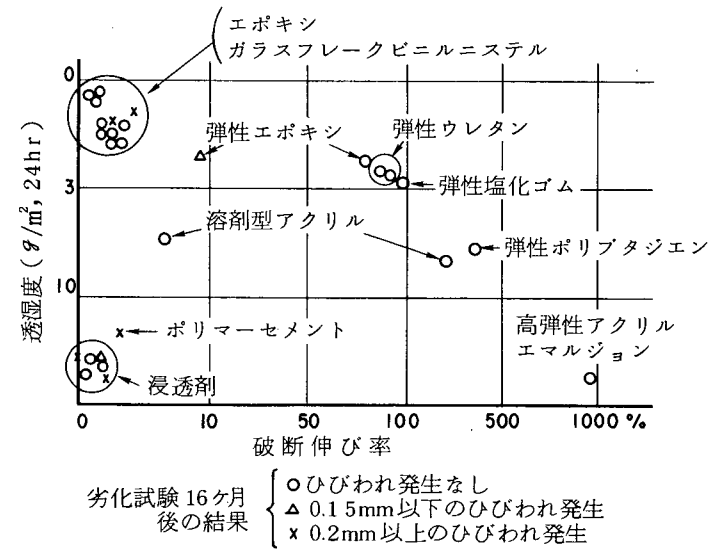
(2)ひびわれ補修効果

初期に無塗装で劣化試験に供した配合No.2の供試体では、4ヵ月に34体にひびわれが発生した。そのうち2体は無塗装のまま劣化試験を継続したが、残りの32体につい



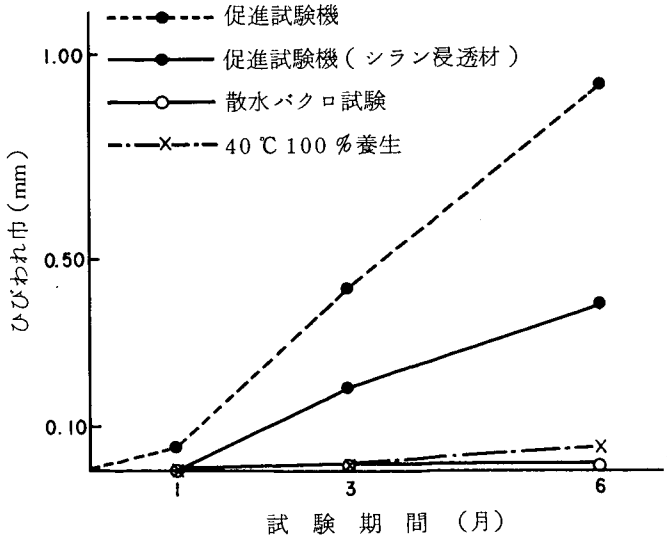
注）ひびわれ発生率＝ひびわれの発生した供試体数／全供試体×100(%)

図－9　ひびわれ発生状況



劣化試験16ヶ月後の結果
- ○ひびわれ発生なし
- △ 0.15mm以下のひびわれ発生
- × 0.2mm以上のひびわれ発生

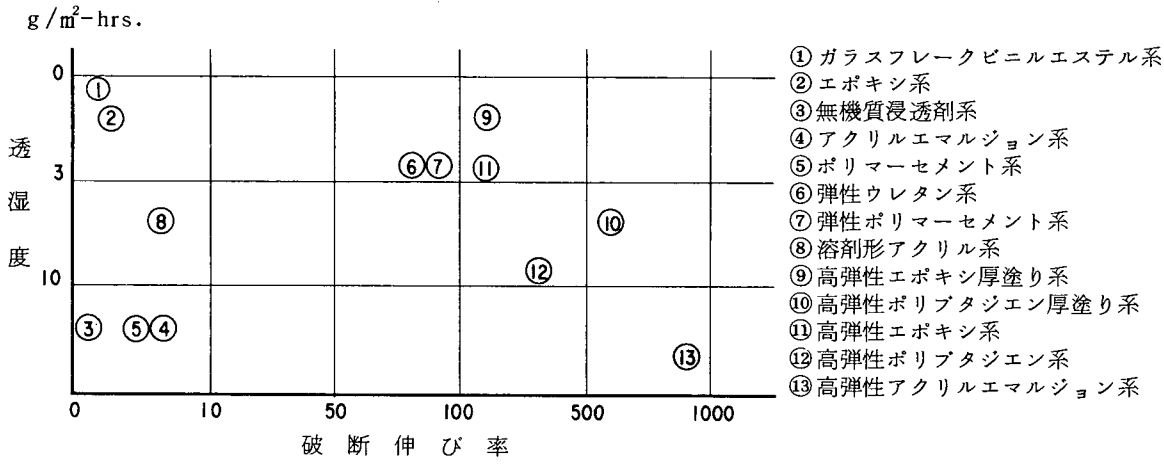
図－10　被膜特性とひびわれ発生状況



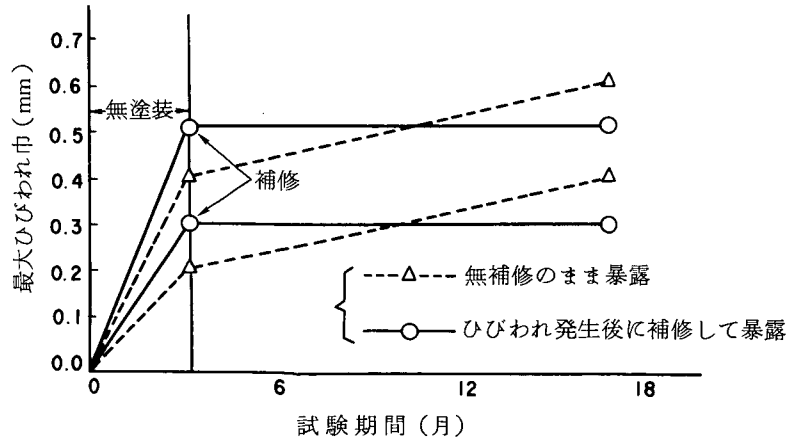
図－11　試験条件によるひびわれ発生状況

ては図－12に示す被覆材料で補修を行い、その後に再度劣化試験に供した。劣化状況は以下のとおりである。

被覆材料のひびわれの進行状況や、それに伴う被覆材料の割れは32体とも全く見られなかった。補修後のひびわれの進行状況を図－13に示す。ここで、実線は透明な被覆材料で補修した２体についてひびわれの進行状況を観察した結果である。無塗装のままの供試体ではひびわれが進行しているのに対し、補修したものでは補修による効果が認められる。既にＡＳＲが起り、ひびわれの発生した供試体に補修した場合でも、その後のひびわれ進行を抑制する効果の一部が確認された。一般の不透明な被覆材料で補修した供試体でも補修後のひびわれ発生は無かった。



図－12　補修用被覆材料システムの位置付け



図－13　補修後のひびわれ進行状況

3.4 まとめ

(1)コンクリート供試体を初期塗装することは、ＡＳＲによる表面ひびわれ発生の抑制に効果がある。

(2)コンクリート供試体にＡＳＲによる表面ひびわれが発生した後でも、補修塗装することによってその後の表面ひびわれの生長を抑制する効果が大きい。

(3)被覆材料の性能試験と劣化試験により各種の被覆材料の特徴が把握でき、図－12の補修用被覆材料システムを選定した。

(4)被覆材料の遮断性とＡＳＲによる表面ひびわれ抑制効果の相関性は必ずしも認められなかった。

4．第２次試験

第１次試験の被膜の遮断性能（水蒸気透過、水透過、Naイオン透過等）試験とひびわれ追従性（破断伸び率）試験の結果より選定した被覆材料の補修効果を明らかにするため、促進養生でひびわれを生じさせたコンクリート供試体に被覆材料を施工し、促進劣化試験および暴露試験によって効果確認を行った。

4.1 供試材料

第１次試験の被膜の遮断性能（水蒸気透過、水透過、Naイオン透過等）試験とひびわれ追従性（破断伸び率）試験の結果より表－２に示すＡＳＲの予防を目的とする被覆仕様１～３と、ＡＳＲ補修を目的とする被覆仕様５～16　の二通りの計12種類の被覆材料を選定した。

すなわち、ＡＳＲの予防を目的とした被覆仕様としては標準的な被覆仕様１と、より薄く比較的安価な被覆仕様３およびコンクリートに含浸し遮水性の層を形成する無機系浸透材の特殊な２の計３仕様を選定した。

また、ＡＳＲの補修用被覆仕様としては伸び率の大きい柔軟形の被覆仕様５と６，遮水性をさらに向上させた柔軟形の厚膜被覆仕様７と８，さらにコンクリートの膨張を押さえ込むためクロスを入れた被覆仕様９と10，同様に非常に硬い膜の被覆仕様11と12，特殊な有機無機複合材料の被覆仕様13と14，コンクリートに含浸し遮水性の層を形成する無機系浸透剤の特殊な被覆仕様15および比較的安価な被覆仕様16の合わせて12仕様を選定した。

4.2 試験方法

4.2.1コンクリート供試体の製作

粗骨材は香川県産の輝石安山岩（化学法で潜在有害）、石川県産の安山岩（化学法で潜在有害）および山口県産のチャート（化学法で有害）とし、香川県産の輝石安山岩と石川県産の安山岩は埼玉県産の砂岩（化学法で無害）と１：１および４：１に混合し、山口県産のチャートはそのままで用いた。

細骨材は群馬県産の無害な骨材を用いた。

セメントは普通ポルトランドセメント（R_2O＝0.72%）を用い、コンクリートのR_2O換算アルカリ量は水酸化ナトリウム水溶液で８kg/m³に調整した。

コンクリートはW／C＝50%、スランプ８±2.5cm、空気量２±１%を目標とし、試験練りで配合を決定した。供試体はＡＳＲの予防を目的とする10cm×10cm×40cmの無筋

表－2　被覆仕様

	No	塗　装　系	
ASR予防	1	柔軟型ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗装	200μm
	2	無機系浸透剤	30
	3	ｱｸﾘﾙ樹脂塗装	100
	4	ブランク	
ASR補修	5	柔軟型ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗装	200
	6	柔軟型ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗装	200
	7	柔軟型厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗装	500
	8	柔軟型厚膜ｺﾞﾑ系樹脂塗装	500
	9	ｸﾛｽ 入り柔軟型ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗装	1200
	10	ｸﾛｽ 入り柔軟型ｺﾞﾑ系樹脂塗装	1200
	11	ｴﾎﾟｷｼ樹脂系 ｶﾞﾗｽﾌﾚｰｸ塗装	500
	12	ﾋﾞﾆﾙｴｽﾃﾙ樹脂系 ｶﾞﾗｽﾌﾚｰｸ塗装	500
	13	柔軟型ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄ系塗装	500
	14	ﾎﾟﾘﾏｰｾﾒﾝﾄﾓﾙﾀﾙ	15000
	15	無機系浸透剤	30
	16	ｱｸﾘﾙ樹脂塗装	100
	17	ブランク	

の供試体を30体とＡＳＲ補修を目的とする15cm×15cm×53cmの無筋の供試体を60体製作した。ＡＳＲ補修を目的とする供試体は40℃、相対湿度100%の養生室で約６ヵ月間促進養生し、ＡＳＲによるひびわれを生じさせた。

4.2.2劣化試験

促進試験・・・・40℃、100%ＲＨの蒸気養生室内

暴露試験・・・・建設省土木研究所（つくば市）構内。

図－14の塗り残し部分30cmを土中に埋め立てて暴露した。

4.2.3試験項目

Ⅰ．被覆による補修効果の確認試験・・・・促進試験

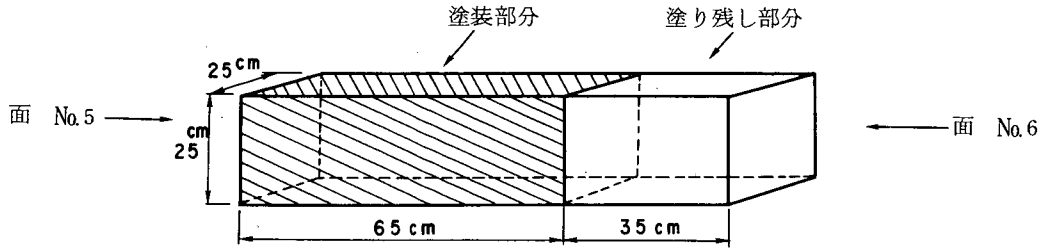
Ⅱ．注入による抑制効果の確認試験

Ⅲ．注入および被覆の抑制効果の確認試験・・・・暴露試験

Ⅳ．補修材料の施工性試験

4.3 試験結果

これまでに得られている一部の結果を表－３および表－４に示す。暴露試験５ヵ月では各補修材料には異常は出ていない。



図－14　暴露被覆供試体

表－3　暴露試験結果（塗装）

塗装系	骨材の種類	供試体No.	塗膜の外観		
			われ	はがれ	ふくれ
柔軟形エポキシ　200μm	A	A3－0－1	なし	なし	なし
	B	B3－0－1	〃	〃	〃
	C	C3－0－1	〃	〃	〃
柔軟形ウレタン　200μm	B	B3－0－2	なし	なし	なし
	C	C3－0－2	〃	〃	〃
柔軟形エポキシ　500μm	A	A3－0－3	なし	なし	なし
	B	B3－0－3	〃	〃	〃
	C	C3－0－3	〃	〃	〃
柔軟形ゴム　500μm	A	A3－0－4	なし	なし	なし
	B	B3－0－4	〃	〃	〃
	C	C3－0－4	〃	〃	〃
柔軟形エポキシ（クロス入り）　1200μm	A	A3－0－5	なし	なし	なし
	B	B3－0－5	〃	〃	〃
	C	C3－0－5	〃	〃	〃
柔軟形ゴム（クロス入り）　1200μm	A	A3－0－6	なし	なし	なし
	B	B3－0－6	〃	〃	〃
	C	C3－0－6	〃	〃	〃
ｶﾞﾗｽﾌﾚｰｸｴﾎﾟｷｼ　500μm	A	A3－0－7	なし	なし	なし
ガラスフレーク ビニルエステル　500μm	A	A3－0－8	なし	なし	なし
	B	B3－0－8	〃	〃	〃
	C	C3－0－8	〃	〃	〃
柔軟形 ポリマーセメント　500μm	A	A3－0－9	なし	なし	なし
	B	B3－0－9	〃	〃	〃
	C	C3－0－9	〃	〃	〃
柔軟形フッ素　200μm	B	B3－0－10	なし	なし	なし
	C	C3－0－10	〃	〃	〃
無機系浸透剤 ｸﾘﾔｰ　30μm	A	A3－0－11	なし	なし	なし
アクリル　100μm	A	A3－0－12	なし	なし	なし
	B	B3－0－12	〃	〃	〃
	C	C3－0－12	〃	〃	〃

A：豊島安山岩，B：深谷安山岩，C：山口チャート

表－4　暴露試験結果（注入～塗装）

注入材	アルカリ量 (%)	骨材の種類	供試体No.	塗膜の外観		
				わ　れ	はがれ	ふくれ
エポキシ硬質	1.5	A	A1－1－3	なし	なし	なし
	2.3	A	A3－1－3	〃	〃	〃
	2.3	B	B3－1－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－1－3	〃	〃	〃
エポキシ柔軟形1	1.5	A	A1－2－3	なし	なし	なし
	2.3	A	A3－2－3	〃	〃	〃
	2.3	B	B3－2－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－2－3	〃	〃	〃
エポキシ柔軟形2	1.5	A	A1－3－3	なし	なし	なし
	2.3	A	B3－0－3	〃	〃	〃
	2.3	B	A3－3－3	〃	〃	〃
	2.3	C	B3－3－3	〃	〃	〃
エポキシ柔軟形3	1.5	A	A1－4－3	なし	なし	なし
	2.3	A	A3－4－3	〃	〃	〃
	2.3	B	B3－4－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－4－3	〃	〃	〃
ポリウレタン	1.5	A	A1－5－3	なし	なし	なし
	2.3	A	A3－5－3	〃	〃	〃
	2.3	B	B3－5－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－5－3	〃	〃	〃
ポリマーセメント系アクリル	1.5	A	A1－6－3	なし	なし	なし
	2.3	A	A3－6－3	〃	〃	〃
	2.3	B	B3－6－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－6－3	〃	〃	〃
ポリマーセメント系エポキシ	1.5	A	A1－7－3	なし	なし	なし
	2.3	B	B3－7－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－7－3	〃	〃	〃
スラグ系	1.5	A	A1－8－3	なし	なし	なし
	2.3	A	A3－8－3	〃	〃	〃
	2.3	B	B3－8－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－8－3	〃	〃	〃
ポリサルファイド	1.5	A	A1－9－3	なし	なし	なし
	2.3	B	B3－9－3	〃	〃	〃
	2.3	C	C3－9－3	〃	〃	〃

（注）塗装はいずれも柔軟形エポキシ５００μm

5．第3次試験

被覆材料の品質性能および品質試験方法等を作成することを目的とする。

5.1 ひびわれ追従性

コンクリートにひびわれが進行している場合の被覆材料のひびわれ追従性は、ＡＳＲ対策には特に重要である。ひびわれ追従性の試験方法に関しては、いわゆるゼロスパン引張り試験、梁の曲げ載荷によるひびわれ幅測定試験、フリーフィルムの引張り試験等いくつかの方法が提案されている。

ひびわれ追従性試験は原理的にはゼロスパン引張り試験が最も適した方法と考えられる。しかし、試験の再現性や試験方法が未確立であるなど問題点があるため、従来から行われているフリーフィルムの引張り試験と対比しその適否を検討した。

5.1.1試験方法

1）フリーフィルムの引張り試験

道路橋の塩害対策指針（案）・同解説　付録１の試験方法によった。

① 紙片の形状：フリーフィルムをJIS K 6734に規定するダンベル形状とした。

② 乾燥条件：室温で７日以上放置し，80℃で１時間加熱処理した。

③ 引張り速度：５mm/min

④ 測定項目

イ）降伏時の伸び率と強度

ロ）破断時の伸び率と強度

⑤ 測定数：くりかえし５

2）ゼロスパン引張り試験

ゼロスパン伸びは皮膜が非理想的弾性変形をする場合、次式[1]で与えられる。

$$\ell = \frac{4d}{\tau_s} \cdot R_s$$

ℓ：ゼロスパン伸び

d：膜厚

τ_s：せん断接着力

R_s：限界レジリエンス（強靭さ）

注１）波木、大浜；材料，20(208),52'1970

しかし、ゼロスパン引張り試験は、試験片素材の種類、切り込み部の加工方法、引張り試験条件等によって結果が変動することが知られているので、以下に示す方法で試験を行った。試験片の形状を図－15に，チャートの読み方を図－16に示す。

①試験片サイズ　10×１２０×４mmスレート板（JIS A 5418）
（W）（L）（T）

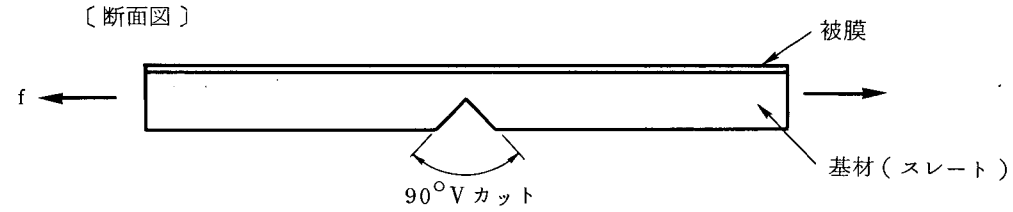
②引張り速度　1mm／min

③チャート速度　100mm／min

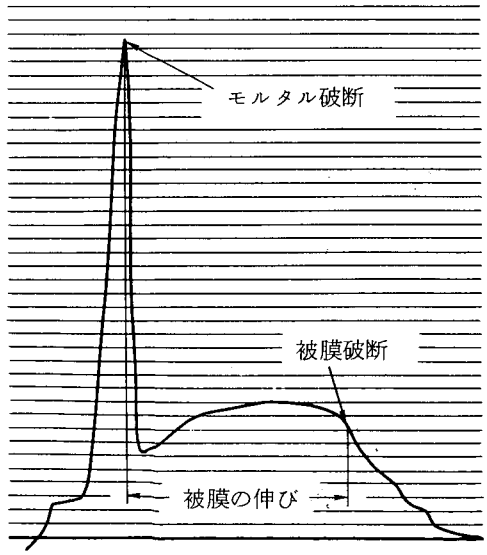
④判定方法　(a) フルスケール20kgまたは50Kgで引張り、基材が破壊した次点でスケールを切り替える。

(b) 基材破壊ピークより塗膜破断までの伸びをチャートより読取る。

＜試片の形状＞



図－15　試験片の形状



図－16　チャートの読み方

5.1.2試験結果

主な被覆材料についての試験結果は表－5および図－17に示すように有機系の被覆材料については、フリーフィルムの伸び率とゼロスパン伸びの相関性が認められた。ゼロスパン伸びに対して（フリーフィルムの）伸び率が寄与が大きいと考えられる。無機系が相関しない原因は不明である。また、伸び率ごとに該当する被覆材料を以下に示す。

① 伸び率100%以上の材料

柔軟形厚膜エポキシ中塗り，厚膜形ゴム系中塗り，クロス用マトリックス材

② 伸び率50%以上100%未満の材料

柔軟形ポリウレタン中塗り，柔軟形ポリマーセメント，柔軟形ポリウレタン上塗り

③ 伸び率５%以下の材料

エポキシガラスフレーク，ビニルエステルガラスフレーク，ポリウレタン上塗り，ポリウレタン用中塗り

なお，クロス入りシステムについては，物性が異なるため塗膜強度で規定するのが適切であると考えられる。

それぞれの試験結果データの変動幅は、フリーフィルムの伸び率では約±10%，ゼロスパン伸び幅では約±15%であった。以上の試験結果より、再現性のよいフリーフィルムの引張り伸び試験をひびわれ追従性の評価方法に選んだ。表－２に示した各種被覆材料による引張り強度と伸び率の関係（ひびわれ追従性）の試験結果を図－18に示す（表－５データとは実膜厚の違い等により異なるものがある）。柔軟形エポキシ中塗りやゴム系中塗りにひびわれ追従性の特色が得られた。クロス入り柔軟型被覆材料ではクロスの強度に支配され、伸び率は小さくなる。伸び率の温度依存性を表－６に示す。ここで試験した材料については０～40℃の範囲で実用上問題はない性能を示した。

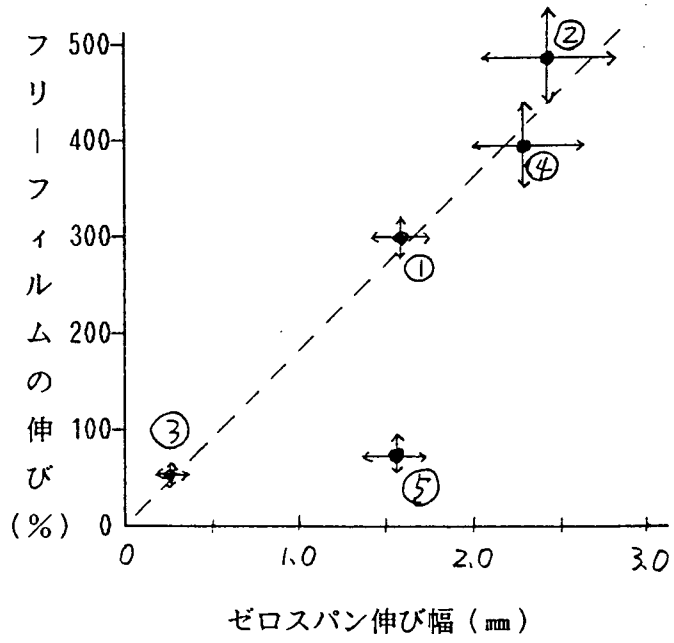
なお、被覆仕様における柔軟形被膜の伸び率は、一般に中塗り被膜は大きく、上塗り被膜は耐候性が考慮され中塗り被膜よりやや小さいものが用いられる。このため、複合被膜の伸び率では変動が大きくなる現象が見られるが、中塗りの合計膜厚が上塗りの膜厚に比べて十分大きいので、試験は安定した試験値の得られる中塗り被膜の合計膜厚で行うこととした。

5.2 水透過試験

3.4 で記したように水蒸気透過性と水透過性はほぼ相関するので、室温で容易に試験できる水透過阻止性試験（ロート法）により評価した。

表－５　ゼロスパン伸び幅と引張伸び率の関係

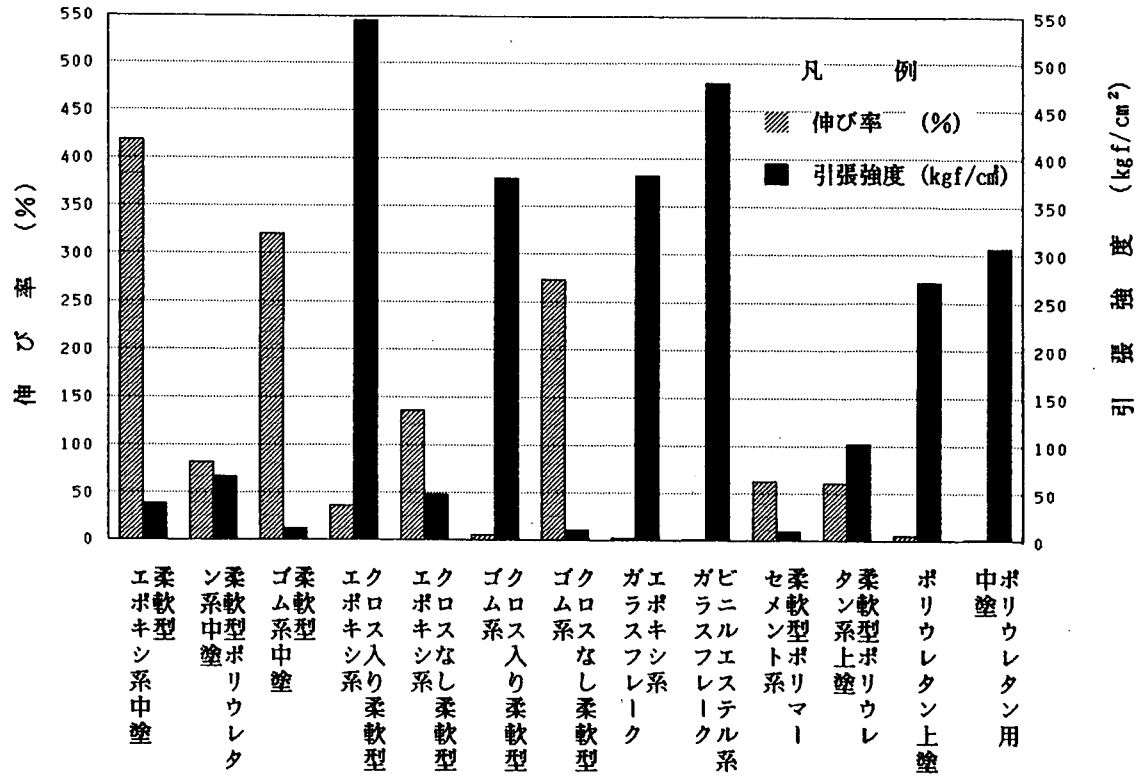
材　料　名	目標膜厚	ゼロスパン伸び幅（㎜）	フリーフィルムの引張伸び率（%
①柔軟形エポキシ	200μ	1.55	300
②柔軟形エポキシ	500	2.45	480
③柔軟形ポリウレタン	200	0.25	55
④厚膜型ゴム	500	2.31	400
⑤柔軟形ポリマーセメント	400	1.56	70



ゼロスパン伸び幅（㎜）

（←・→；平均値と変動幅を示す。）

図－17　引張り伸び率とゼロスパン伸び幅の関係



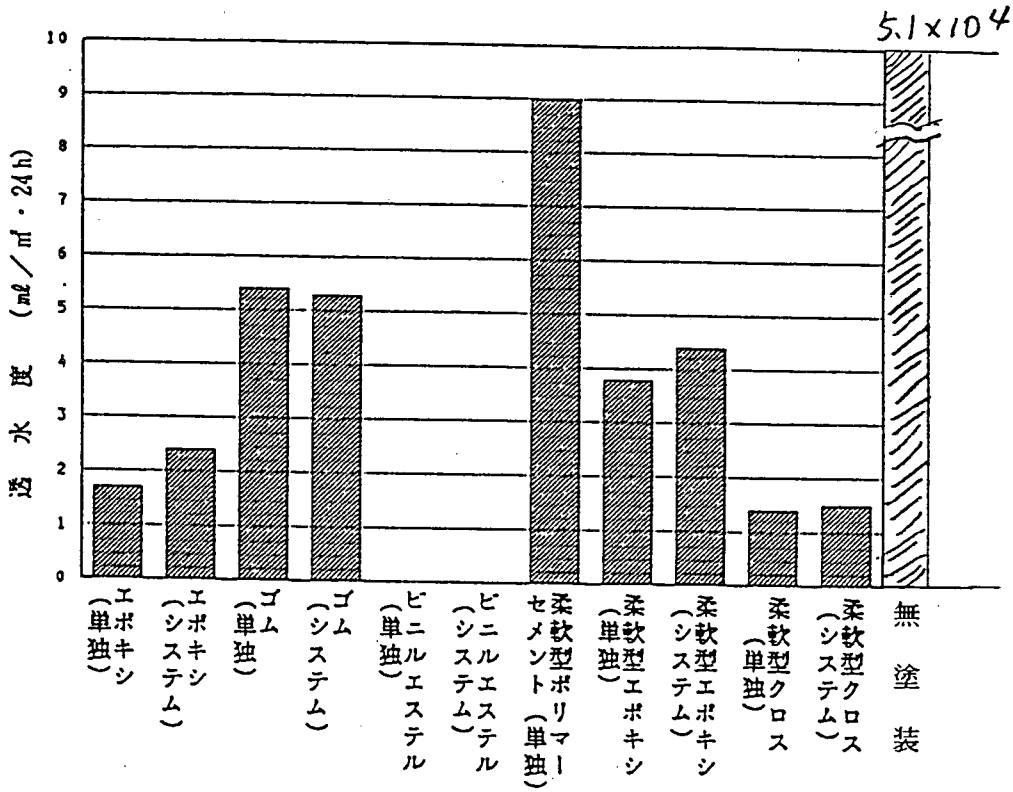
図－18　ひびわれ追従性試験結果

表－6　　伸び率の温度依存性試験結果

	0　℃	20　℃	40　℃
①柔軟形厚膜エポキシ中塗	120% (200)	300% (210)	700%以上 (200)
②柔軟形ポリウレタン中塗	65% (170)	55% (180)	55% (150)
③柔軟形厚膜エポキシ中塗	220% (450)	480% (400)	700%以上 (430)
④柔軟形ゴム系中塗	480% (450)	400% (420)	200% (460)
⑤柔軟形ポリマーセメント	65% (450)	70% (450)	55% (430)

ただし，（　）内は膜厚（μm）を示す。

モルタル板によるロート法透水性試験の結果を表－7および図－19に，Lyssy 法による透湿性試験の結果を表－8に示す。また、両試験法の試験結果の比較を図－19に示す。エポキシ系と柔軟型クロスで順位の逆転がみられるが、モルタルに塗布された膜厚とフリーフィルムの膜厚の違いもあるので，順位相関があると見なしてもよいと思われる。また、柔軟形被覆材は1～10(ml/m²・24 h)の透水度にあり、エポキシ（硬質系 100μm)と同等かやや大きい範囲にある。さらに、誰でも手軽に実験できることと，浸透剤のような成膜しないものも試験できるので水の透過試験は、ロート法が適当と考えられる。



図－19　透水性試験結果（ロート法）

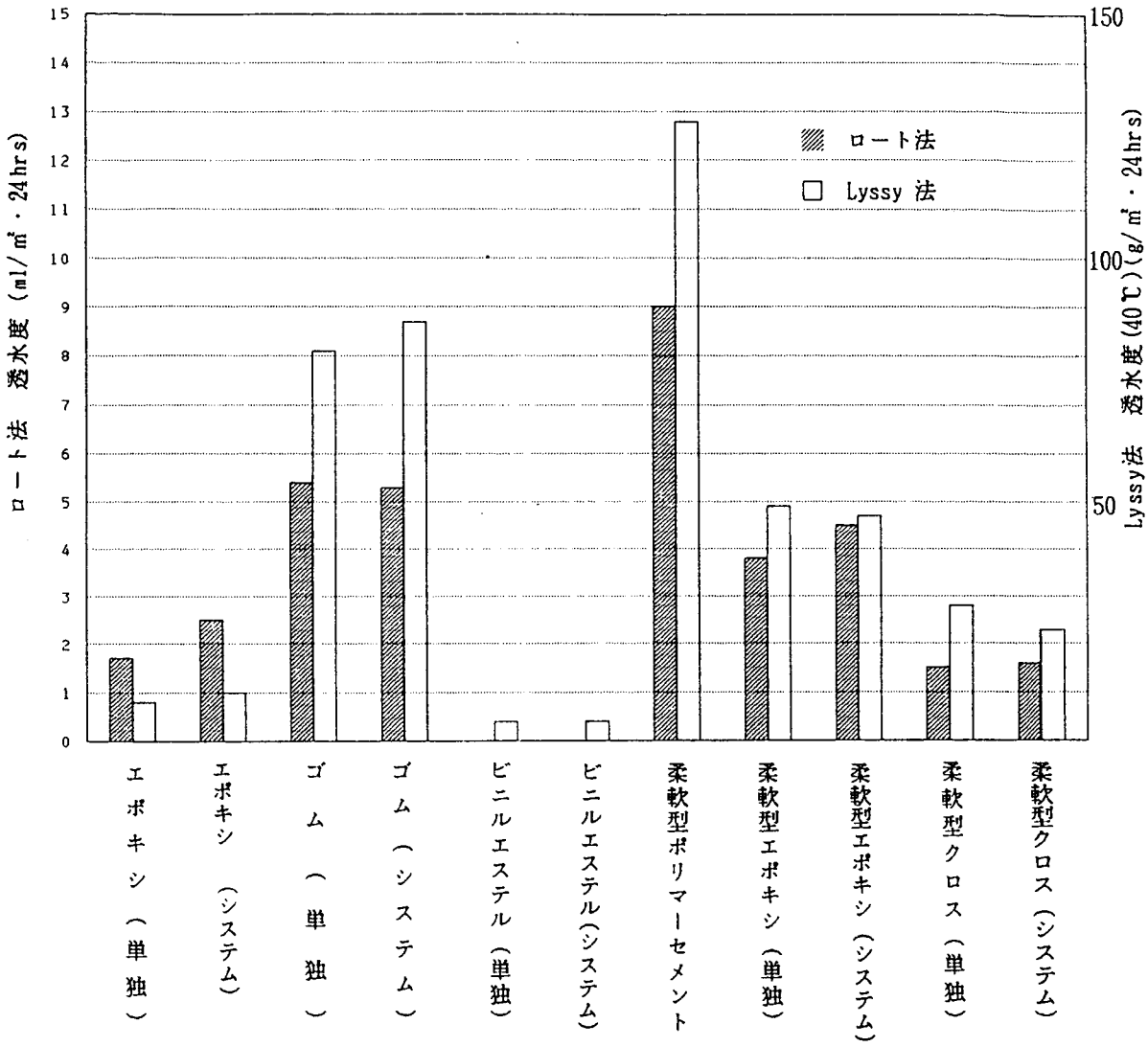
表－7　透水性試験結果　（ロート方法）

	目標膜厚 (μm)	透水度 (mℓ/m²・24h)
エポキシ（単独）	110	1.7
エポキシ（システム）	140	2.4
ゴム（単独）	500	5.4
ゴム（システム）	530	5.3
ビニルエステル（単独）	500	0
ビニルエステル（システム）	530	0.012
柔軟形ポリマーセメント（単独）	500	9.0
柔軟形エポキシ（単独）	160	3.8
柔軟形エポキシ（システム）	190	4.4
柔軟形クロス（単独）	1100	1.4
柔軟形クロス（システム）	1190	1.5
モルタルのみ		5.1×10^{4}

（備考）　0－10日の直線性の良いところで勾配を求めた。

表－8　水蒸気透過性試験結果　(40℃，Ｌｙｓｓｙ法)

	膜　厚 (μm)	透湿度 (g/m²・24h)	平均	同左，膜膜100μmに換算	平均
エポキシ（単　独）	95	7.9	8.3	7.5	7.4
	83	8.7		7.2	
エポキシ（システム）	113	8.3	8.0	9.4	10.0
	143	7.6		11.0	
ゴム（単　独）	456	16.4	15.1	75.0	80.0
	609	13.8		84.0	
ゴム（システム）	609	13.9	14.0	85.0	87.0
	634	14.1		89.0	
ビニルエステル（単　独）	640	0.51	0.51	3.3	3.3
	645	0.50		3.2	
ビニルエステル（システム）	635	0.51	0.52	3.2	3.2
	600	0.52		3.1	
柔軟形ポリマーセメント（単　独）	495	29.0	28.0	144.0	139
	510	26.0		133.0	
柔軟型エポキシ（単　独）	200	23.0	22.9	46.0	49
	230	22.8		52.0	
柔軟型エポキシ（システム）	290	17.4	16.8	50.0	48
	280	16.1		45.0	
柔軟型クロス　（単　独）	880	3.4	3.4	30.0	29
	780	3.4		27.0	
柔軟型クロス　（システム）	890	2.6	2.7	23.0	24
	840	2.8		24.0	

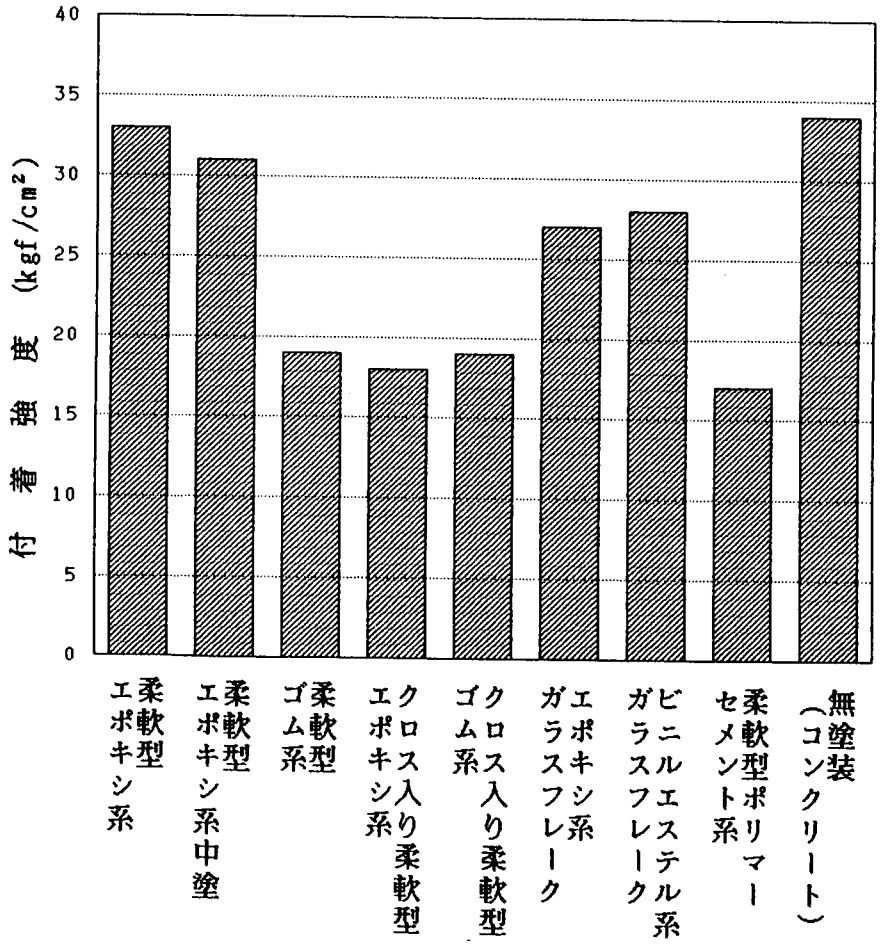


図－20　ロート法とＬｙｓｓｙ法の関係

5.3 コンクリートの付着性

プルオフ式の付着力試験においては、コンクリートおよび被膜の層間付着力または各々の凝集力のうちから最も弱いものが評価されるが、その強度が一定水準以上であることが被膜には要求される。被覆仕様の付着性はコンクリート平板に塗付けし、付着強度試験により評価した。

各種被覆材料の付着性試験結果を図－21に示す。柔軟形の材料は硬質材料に比較して材料固有の強度は低いが、水透過阻止性を付与させるためいずれも10kgf/cm²を超える強度を有している。柔軟形でも硬質形でも付着性に支障を生じる場合の付着強度は、経験的に10kgf/cm²を下回っていることが多い。試験した被覆材はいずれも15kgf/cm²以上の強度が得られている。



図－21　付着強度試験結果

5.4 耐アルカリ性

道路橋の塩害対策指針（案）・同解説　付録１の方法により対アルカリ性を試験した結果、表－９に示す塗装系10種にはいずれも異常が見られなかった。

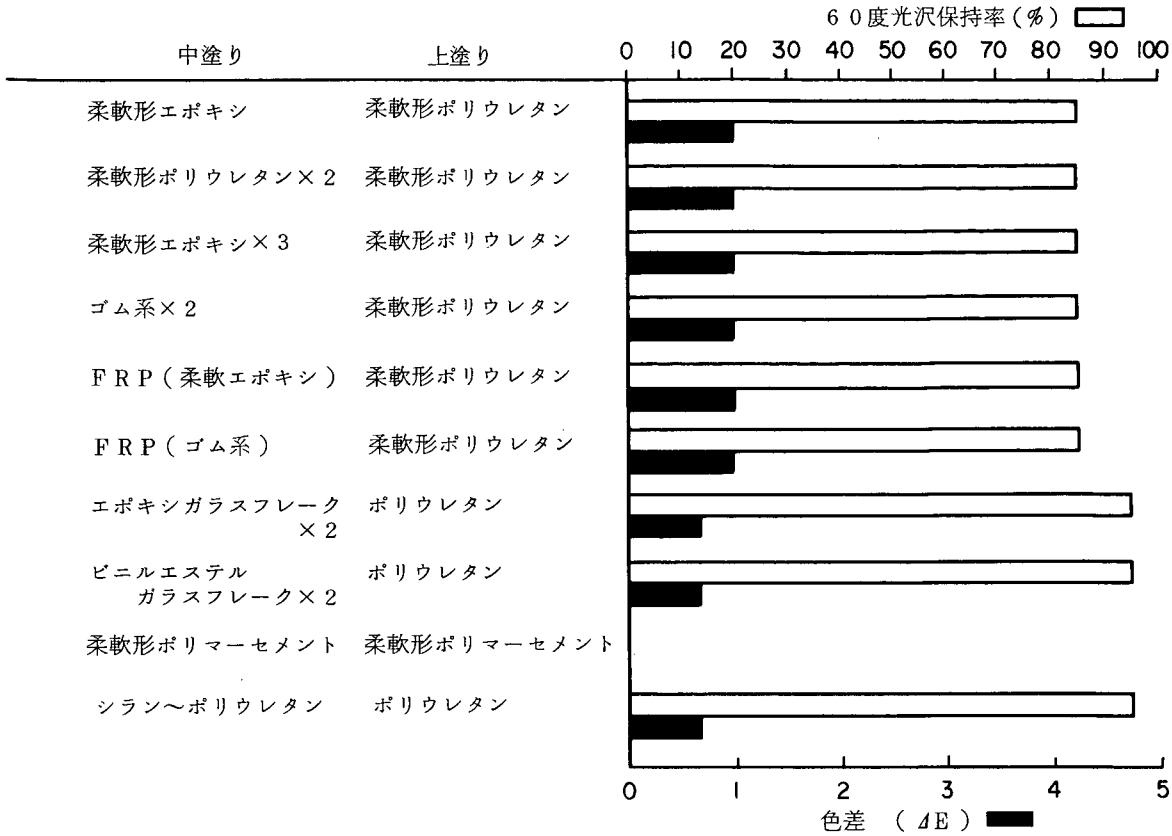
5.5 耐候性

上塗り材料は良好な外観を与え、かつ紫外線やオゾンに対する耐久性がなければならない。耐候性は長期間にわたって保持されなければならないが、ポリウレタン樹脂塗料上塗りは10年を越す耐候性が期待される。このため、耐候性の試験は本州四国連絡橋公団規格と同様に、JIS K 5400の6.1の促進耐候試験機で300時間試験して評価した。

各種被覆材料の促進耐候性試験結果を表－９と図－22に示す。柔軟形ポリウレタン上塗りは、硬質形ポリウレタン上塗りより光沢保持率と変色の面でわずかに下回るが、本州四国連絡橋公団規格に規定されているレベル（保持率50%以上、色差３以内）は達成している。当品質規格には光沢保持率は70%以上とした。

表－９　被覆材料の耐アルカリ，耐候性試験結果

No.	塗　装　系	促進耐候試験 (300h)		耐アルカリ性試験 (30日)
		60°グロス保持率	色差△E	
1	柔軟形エポキシ中塗～柔軟型ポリウレタン	85 %	1.0	異常なし
2	柔軟形ポリウレタン中塗×２～　〃	85	1.0	〃
3	柔軟形エポキシ中塗×３～　〃	85	1.0	〃
4	ゴム系中塗×２～　〃	85	1.0	〃
5	ＦＲＰ（柔軟エポキシ）～　〃	85	1.0	〃
6	ＦＲＰ（ゴム系）～　〃	85	1.0	〃
7	エポキシガラスフレーク中塗×２～〃	92	0.7	〃
8	ビニルエステルガラスフレーク中塗×２～〃	92	0.7	〃
9	柔軟形ポリマーセメント～柔軟形ポリマーセメント	－	－	〃
10	（シラン系）～ポリウレタン用中塗～ポリウレタン	92	0.7	〃



図－22　促進耐候試験結果　(300時間)

6．まとめ

本研究の成果として以下のことが明らかとなった。

（1）開発検討に供した各種樹脂系の被覆材料の水分遮断性、柔軟性の位置付けが明らかになり、被覆材料によるアルカリ骨材反応の抑制対策に最も有用と考えられる材料の種類の選択ができた。

（2）アルカリ骨材反応の抑制にコンクリートの表面被覆が有効な手段であることが確認された。

（3）選定された被覆材料およびシステムの詳細な性能が把握された。また、コンクリート供試体による暴露試験性能も確認されつつある。

7．被覆材料の品質規格（案）

被覆材料の品質規格を以下のように設定した。

判定区分 / 材料 / 品質項目	A（ひびわれが進行している）	B（ひびわれの進行が止まっている）	
	柔軟形厚膜被覆	柔軟形被覆	硬質形被覆
ひびわれ追従性	中塗塗料被膜の伸び率が 100%以上であること。	中塗塗料被膜の伸び率が50%以上であること	——
水透過阻止性	被膜の透水率が20mℓ／㎡・日以下であること。	被膜の透水率が30mℓ／㎡・日以下であること。	被膜の透水率が20mℓ／㎡・日以下であること。
コンクリートとの付着性	被膜とコンクリートとの付着強度が，10 kgf/㎠以上であること。	被膜とコンクリートとの付着強度が，10 kgf/㎠以上であること。	被膜とコンクリートとの付着強度が，10 kgf/㎠以上であること。
耐アルカリ性	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても，ふくれ，われ，はがれ，軟化溶出のないこと。	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても，ふくれ，われ，はがれ，軟化溶出のないこと。	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても，ふくれ，われ，はがれ，軟化溶出のないこと。
被膜の外観	被膜は均一で，流れむら，ふくれ，はがれのないこと。	被膜は均一で，流れむら，ふくれ，はがれのないこと。	被膜は均一で，流れむら，ふくれ，はがれのないこと。
耐候性	促進耐候試験を 300時間行ったのち，白亜化はほとんどなく被膜にわれ，はがれのないこと。	促進耐候試験を 300時間行ったのち，白亜化はほとんどなく被膜にわれ，はがれのないこと。	促進耐候試験を 300時間行ったのち，白亜化はほとんどなく被膜にわれ，はがれのないこと。

ＡＳＲは，表面に水が流れ込み濡れ易い箇所に被害が著しい傾向がある。被覆材料は，ＡＳＲを抑制するため水分の遮断を行うものである。しかしながら，構造物の全ての面を覆うことは事実上不可能である。また，すでにコンクリートに含まれている水分によってＡＳＲは徐々に進行することが考えられる。ひびわれの進行により被膜にひびわれが生じると，新たな水分の侵入によって抑制効果は急激に失われる恐れがある。このため，被覆材料にはひびわれ追従性と水透過阻止性が重要である。

被覆材料の品質規格は主に前処理，中塗りおよび上塗りからなる被覆系について定めた。

(1) ひびわれ追従性

コンクリートにひびわれが進行している場合の被覆のひびわれ追従性は，ＡＳＲ対策

には特に重要である。ひびわれ追従性の試験方法に関しては，いわゆるゼロスパン伸び試験，フリーフィルムの引張伸び試験等いくつかの方法が提案されているが，ゼロスパン伸びの測定は試験の再現性に劣るので，ひびわれ追従性はフリーフィルムの伸び率で評価することとした。

被覆仕様における柔軟形被膜の伸び率は，一般に中塗り被膜は大きく，上塗り被膜は耐候性が考慮され中塗り被膜よりやや小さいものが用いられる。このため，複合被膜の伸び率では変動が大きくなる現象が見られるが，中塗りの合計膜厚が上塗りの膜厚に比べて十分大きいので，試験は安定した試験値の得られる中塗り被膜の合計膜厚で行うこととした。

被覆材料固有のひびわれ追従性と水透過阻止性の傾向は一般には相反する性質のものである。両性質とも大きくするには膜厚を大きくするのが有効である。ひびわれが進行しているひびわれ進行度区分Ａにおいては，厚膜形を前提にし，水透過阻止性をも考慮して伸び率を100%以上とした。また，ひびわれの進行が終了したひびわれ進行度区分Ｂにおいては，柔軟形では大きな伸びは必要ないと考え伸び率は50%以上とした。

(2)　水透過阻止性

中塗り被膜は水透過阻止性を発揮しなければならない。水蒸気透過性と水透過性はほぼ相関するので，品質規格では室温で容易に試験ができる水透過性を試験項目とした。

水透過阻止性は，ひびわれ進行度区分Ａおよびひびわれ進行度区分Ｂの硬質形仕様では遮断性能を期待して20mℓ／㎡・日以下とした。また，ひびわれ進行度区分Ｂの柔軟形は30mℓ／㎡・日以下とした。

(3)　コンクリートとの付着性

プライマーは，コンクリートによく浸透付着するとともに，その上に被覆される材料ともよく付着して，被膜全体の付着をよくするものである。また，各材料の間の付着性も十分保たれていなければならない。付着力試験においてはコンクリートおよび被膜の層間付着力または各々の凝集力のうちから最も小さいものが評価されるが，その強度が一定水準以上であることが被膜には要求されるので，付着強度試験を品質規格における試験項目として設けた。柔軟形でも硬質形でも付着に支障を生じる場合の付着強度は，経験的に10kgf/㎠を下回っていることが多いので，品質規格ではこの値を設定した。

(4)　耐アルカリ性

コンクリート被覆における被膜は耐アルカリ性が必要であり，品質規格に耐アルカリ

性に関する項目を設けた。

(5) 被膜外観および耐候性

上塗り材料は良好な外観を与え，かつ紫外線やオゾンに対する耐久性がなければならないので，品質規格において被膜の外観と耐候性に関する項目を設けた。耐候性は長期間にわたって保持されなければならないが，コンクリートの上塗り材料（ポリウレタン樹脂塗料上塗）は，実績として10年を越す耐候性を持っていることが確認されている。このため，促進耐候性の試験時間は本州四国連絡橋公団規格の300時間とした。

被覆材料には多くの種類があり，外見等ではその品質の良否はわからない。従って，立会試験または公的機関によってその品質が確かめられたものを用いなければならない。

第３編　補強技術の開発

目　次

1．ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート梁の静的載荷実験 …… 185
1.1 実験目的 …… 186
1.2 実験の概要 …… 186
1.3 実験結果 …… 190
1.4 結論 …… 238

2．ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート梁の疲労試験 …… 239
2.1 実験目的 …… 240
2.2 実験の概要 …… 240
2.3 実験結果 …… 242
2.4 結論 …… 252

3．ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート構造物の補修試験 …… 255
3.1 実験目的 …… 256
3.2 実験の概要 …… 256
3.3 供試体の補修 …… 257
3.4 ASR 促進養生次および補修後養生時の劣化計測結果 …… 262
3.5 結論 …… 273

1章　ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート構造物の静的耐荷力

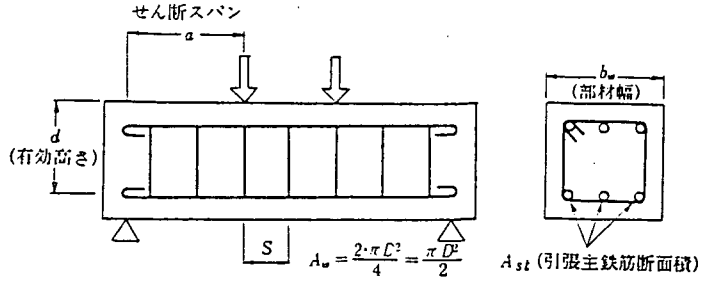
1．1実験目的

比較的大きな断面を有し、鉄筋量の少ない鉄筋コンクリート梁がＡＳＲによる被害を受けた場合の静的な耐荷力特性および変形性能について調査する。

1．2　実験の概要

1．2．1　供試体の種類

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ＡＳＲ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－１．１を参照）。



図－１．１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は圧縮力が作用する。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、その配筋量を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、スターラップ量を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いる。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㎜以上（レベル１）と1.0㎜以上2.0㎜未満（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－１．１に示す。

表　－１．１　試験ケース

種類	供試体寸法 $B \times H \times L$ (cm)	引張主鉄筋比 p_t(%)	スターラップ量 p_w(%)	せん断スパン比 a/d	供試体番号 Aタイプ	供試体番号 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

1．2．2　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㎜)および非反応性砕石（比重2.70、最大寸法20㎜)を、細骨材として川砂（比重2.58）を使用した。

コンクリートの示方配合を表－１．２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8kg/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－１．３に示す。

表－１．２　コンクリートの示方配合

i）Aタイプの場合

G_{max} (㎜)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m³)					
			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} (㎜)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/kg)					
			W	C	S	G	NaOH	消泡剤
20	62	50	201	324	872	913	－	－

表－１．３　鉄筋の強度試験結果

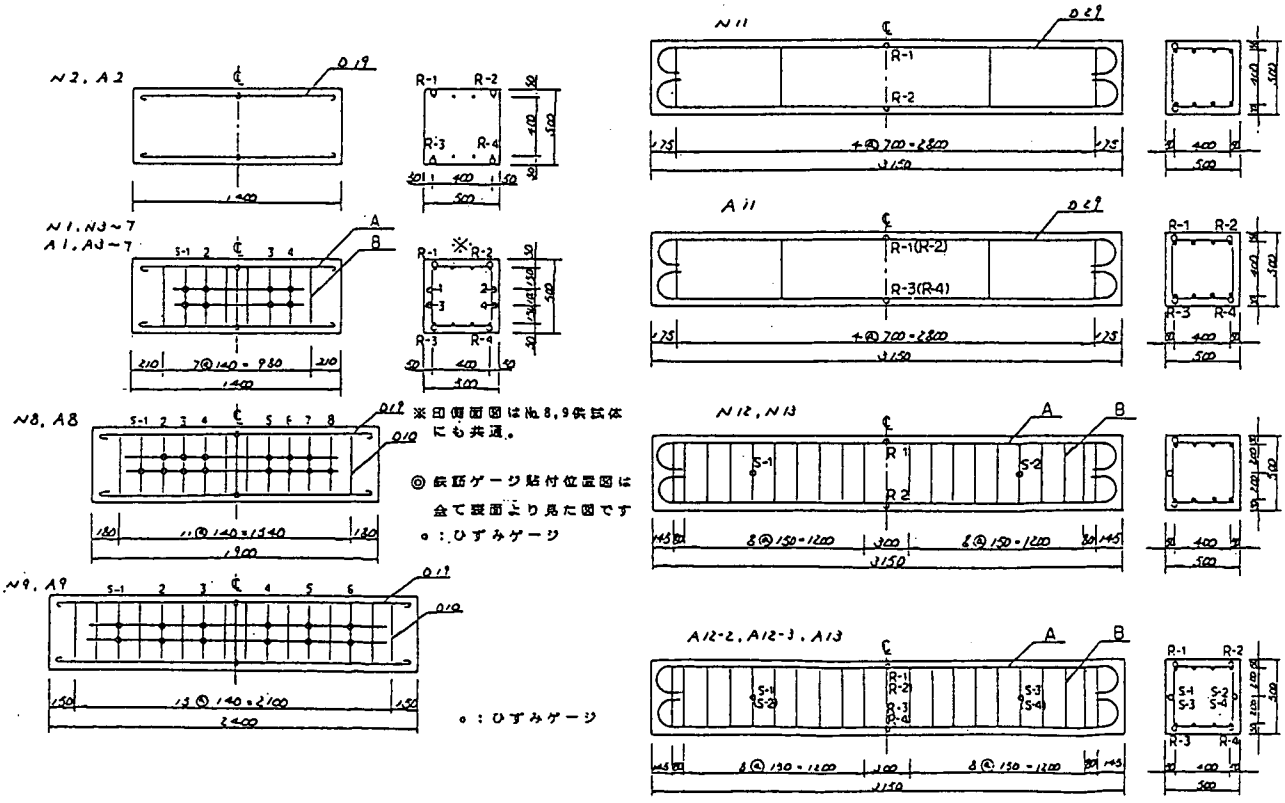
鉄筋	規格	降伏強度 σ_{sy} (kg/cm²)	弾性係数 E_s (×10⁷kg/cm²)	引張強度 σ_{st} (kg/cm²)	伸び (%)
D 6	SD35	3910	1.95	5110	20.4
D10	SD35	3770	1.75	5360	19.6
D13	SD35	3770	1.82	5510	21.8
D19	SD35	3930	1.93	5630	19.5
D25	SD35	3900	1.93	5670	21.7
D29	SD35	－	－	－	－
D32	SD35	3940	1.98	5700	21.0

1．2．3　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－１．２に示す通りである。



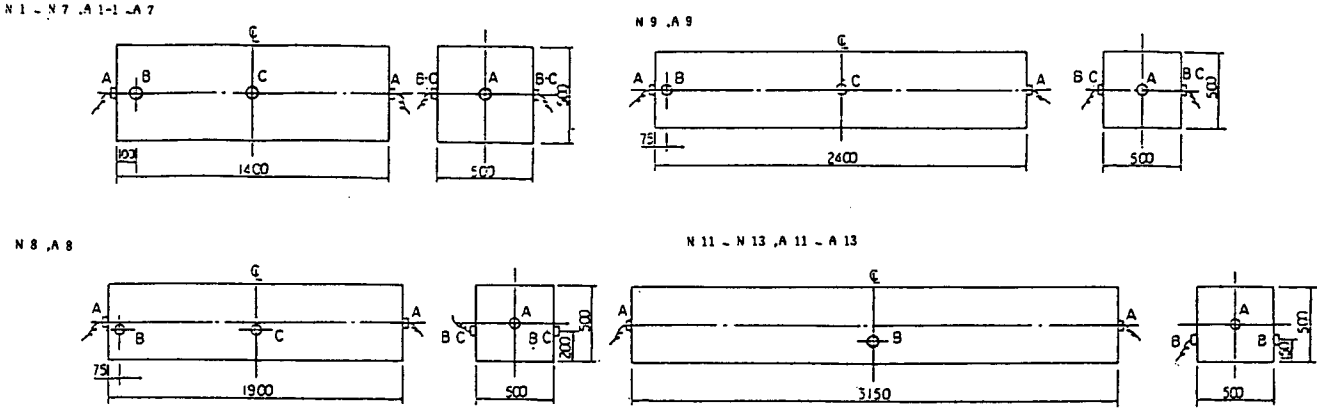
図－１．２ 鉄筋ゲージ取り付け位置図

（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１．３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端部、Ｃ－Ｃ断面は供試体の短手方向かつ中央部の断面を示す。）



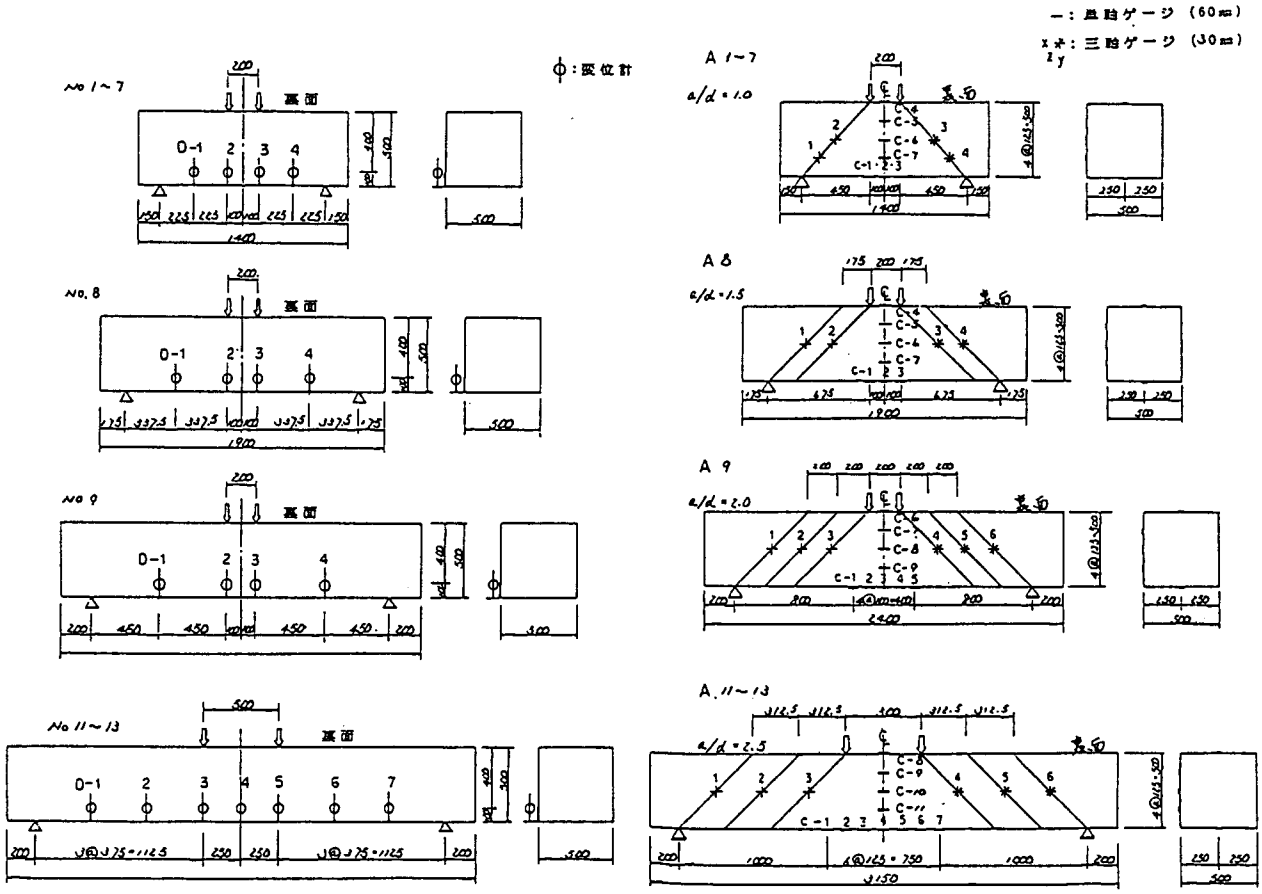
図－１．３ 超音波測度測定位置図

（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㎡当りの幅0.2㎜以上のひびわれ長さおよび0.1㎜以上0.2㎜未満のひびわれ長さの総延長）を算出した。

1．2．4　載荷方法および載荷時の測定項目

実験には土質共同実験棟内の500t万能試験機および構造物実験施設内の150t繰返し載荷装置を用いた。載荷方法は図－1．4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－1．4に示す通りである。



図－1．4　変位計取り付け位置およびコンクリートゲージ貼付位地図

1.3 実験結果

1.3.1 ＡＳＲ促進養生時の劣化計測結果

（1） 鉄筋ひずみ

図－1.5にＡＳＲ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1500μ程度発生していることが判る。他の供試体においても引張主鉄筋比の増減に対応して500~2000μ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（pw=0.1％）においては、材令１３０日で2300μ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－1.5のスターラップひずみを参照）。このことから、ＡＳＲ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。

（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、載荷実験時、長手方向で最大3.5㎜ 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、載荷実験時において500～2500μ程度となった。この換算ひずみと（1）に述べた鉄筋ひずみを比較するため、図－1.6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、分布の平均値は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、ＡＳＲ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－1.7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ＡＳＲ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㎜以上の幅を有するひびわれを、破線は0.1㎜以上0.2㎜未満の幅を有するひびわれを表している。図より0.2㎜未満のひびわれは不則な方向に発達しているのが判るが、その中で0.2㎜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－1.8はひびわれ幅が0.2㎜以上のひびわれおよび0.1㎜以上0.2㎜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㎡）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－1.8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㎜以上0.2㎜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）0.2㎜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、このことがひび割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。このような傾向は引張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。

（4）　超音波伝播速度の経時変化

図－１．９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日の載荷試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（Ａ－Ａ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。

（5）　テストピースの強度試験結果

表－３．１　テストピースの強度試験結果

部材		Ｎ　タ　イ　プ			Ａ　タ　イ　プ		
材令（日）			載荷試験			レベル1	レベル2
		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	26.7	17.4	20.7
弾性係数		×10⁴ 23.3	28.2	29.7	24.5	18.1	16.4

表－１．４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0.2㎜以上）の供試体の載荷時、材令３３７日は劣化レベル２（最大ひびわれ幅0.1㎜以上0.2㎜未満）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みてみると、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。

1.3.2 載荷実験結果

(1) 耐荷力特性

表－1.5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計算値、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計算値を以下に示す算定式により求めた。

曲げ耐力算定式[1)]

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

せん断耐力算定式

① 国鉄式[2)]

$$V_{yd} = 3.58 \cdot (a/d)^{-1.166} \cdot f'^{1.3}_{ck} \cdot \{\sqrt{100 \cdot p_t} + \sqrt[4]{100/d} - 1\} \cdot b_w \cdot d + V_{sd}$$

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

② 二羽式[3)]

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

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

表－1.5 載荷試験結果

供試体No.	破壊荷重(tf) 曲げ計算値 P_{Mu}	せん断計算値 国鉄式	せん断計算値 二羽式	実験値 上部圧壊	実験値 最大荷重	破壊モード
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	81	167	255	不明	202 •	F
A 4				—	148	S
N 5	37	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				—	188	S
N 7	216	200	178	—	251	S
A 7				—	234	S
N 8	54	100	154	84	97 •	F
A 8				112	124	F→S
N 9	40	80	110	60	66	F
A 9				78	97	F
N11	91	54	39	—	74	S
A11				—	91	S
N12	91	66	66	124	129	F→S
A12-3				108	121	F→S
A12-2				132	143	F
N13	112	88	101	—	112	F→S
A13				141	152	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

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－1.11～図－1.11.4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－1.10より、比較的せん断スパン比の大きい供試体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認められる。一方、ディープビーム的なせん断スパン比の小さい供試体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－1.12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

クリートがはく離した部分を表している。

次に図－１．１１．１～１．１１．４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－１．１１．１）

同一形状の供試体で主鉄筋比を変化させてＡタイプとＮタイプの耐荷力を比較すると、両者とも引張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－１．１１．２）

供試体１および２の載荷実験結果から、ＡＳＲ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ことから、ＡＳＲ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－１．１１．３）

耐荷力をせん断スパン比について整理すると図－１．１１．３のようになる。図によると、Ａタイプの耐荷力は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－１．１１．４）

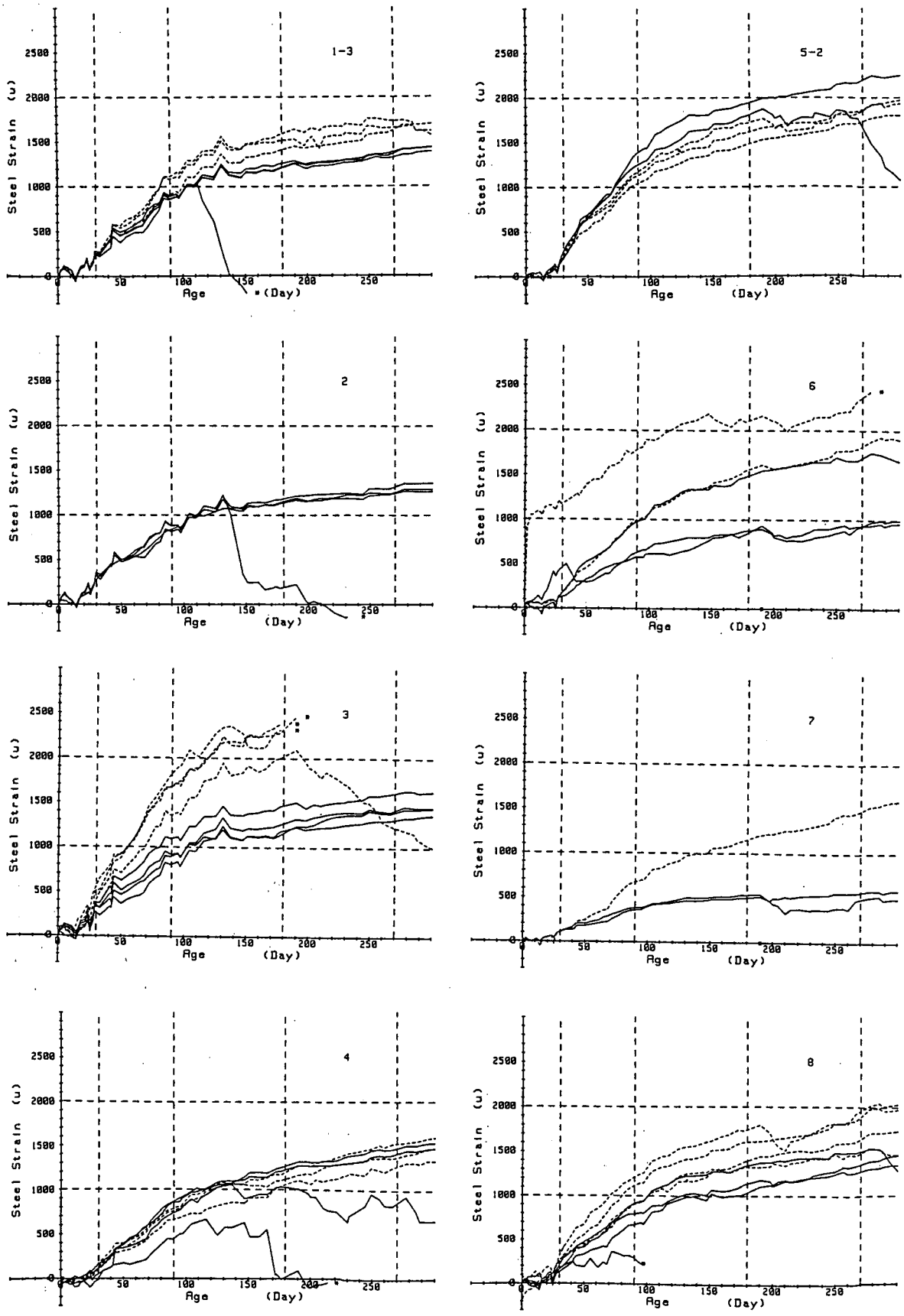
図－１．１１．４より劣化度が耐荷力に及ぼす影響を見ると、レベル１においてＡタイプの耐力はＮタイプとほぼ同程度とみなせるのに対し、レベル２ではＡタイプの供試体１，１２の両者共に耐荷力が上昇していることがわかる。

（２）　変形性能

（ａ）荷重～変位関係

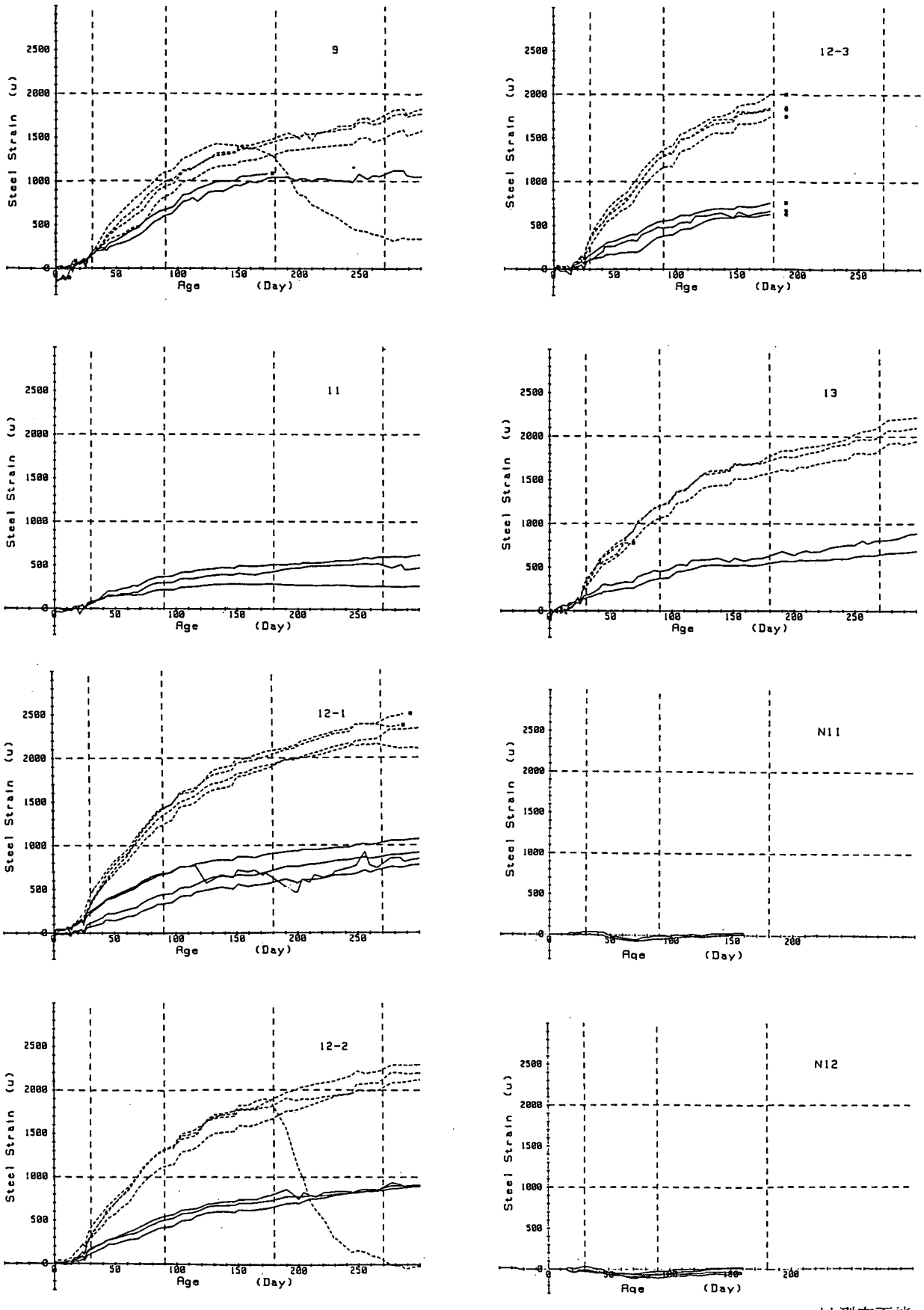
図－１．１３には、ＡタイプとＮタイプの同一供試体ごとの荷重～変位曲線を示す。図より明らかなように、初期の低荷重レベルにおける割線勾配は、ほとんど差が認められなく、ＡタイプではＮタイプに比べて立ち上がりの直線部分がむしろ長くなっているものも認められる。このことから、供試体と同様な促進養生を行ったテストピースの強度試験結果において、Ａタイプの弾性係数がＮタイプの55％程度であることを考慮すると次のことが言える。すなわち、ＲＣ部材では、ＡＳＲによるコンクリートの膨張が主鉄筋およびスターラップによって拘束されるため、コンクリートにはケミカルプレストレスが発生することになり、このプレストレスの効果によって、見かけの曲げ剛性が大きくなったものと推察される。

図－１．１４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Ｄ１～Ｄ７は変位の計測位置を示している。



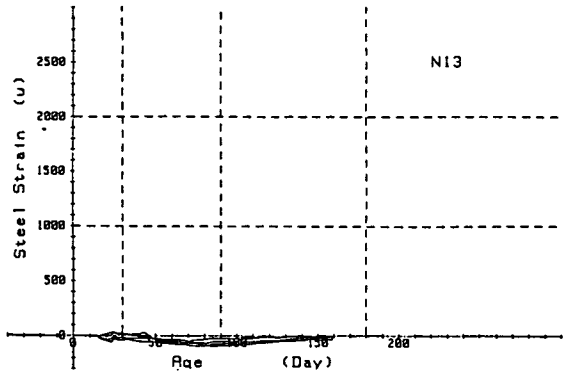
＊ は測定不能

図－１．５　鉄筋ひずみ経時変化

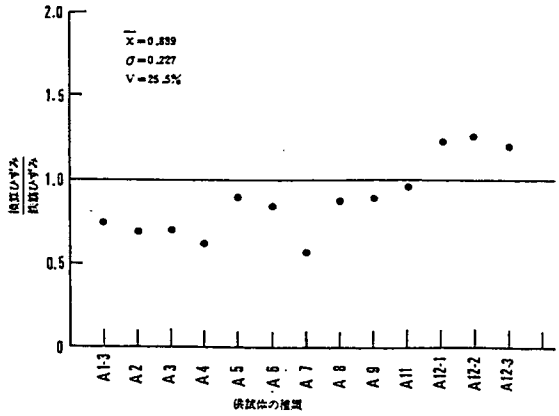


＊ は測定不能

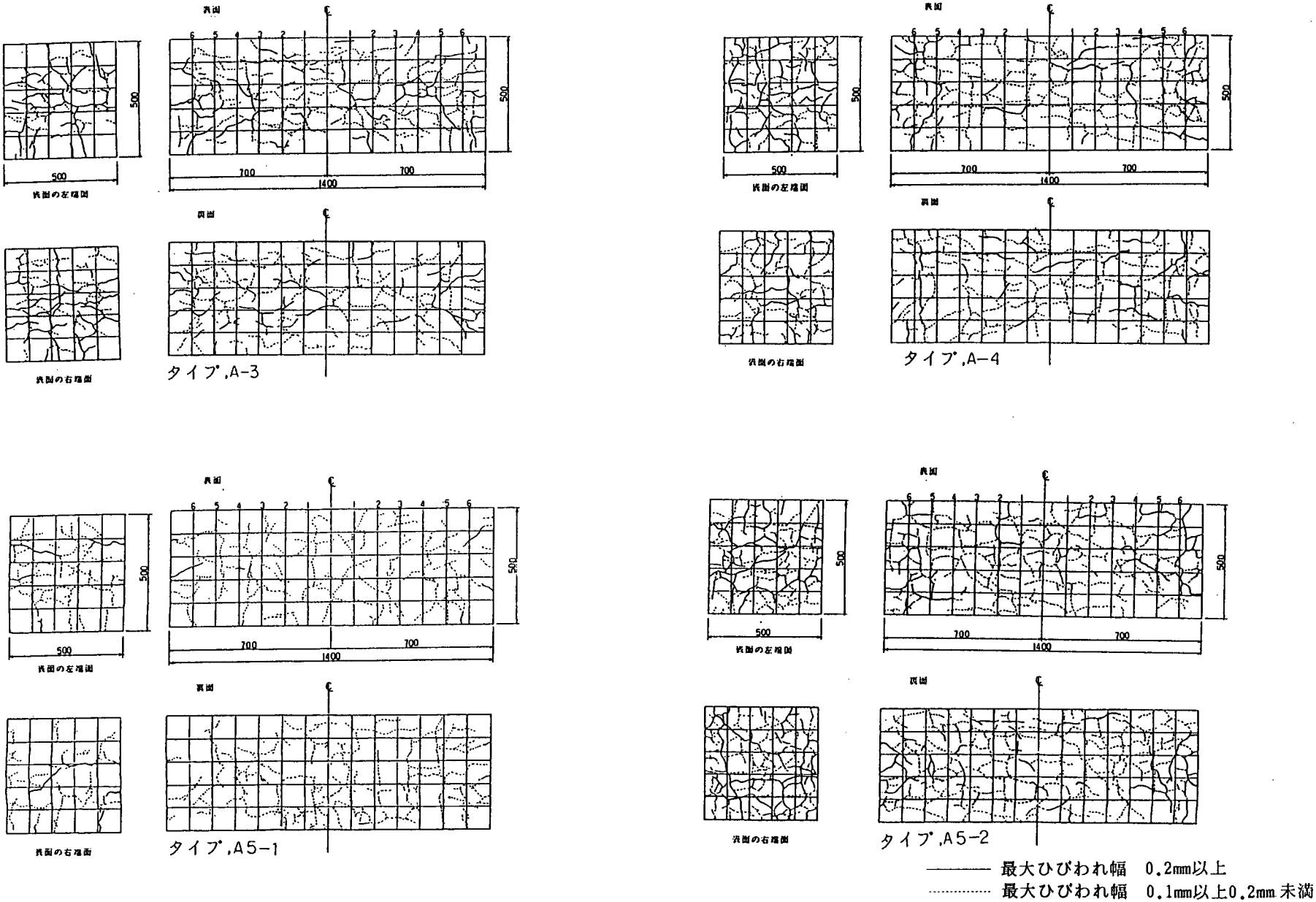
図－１．５　鉄筋ひずみ経時変化



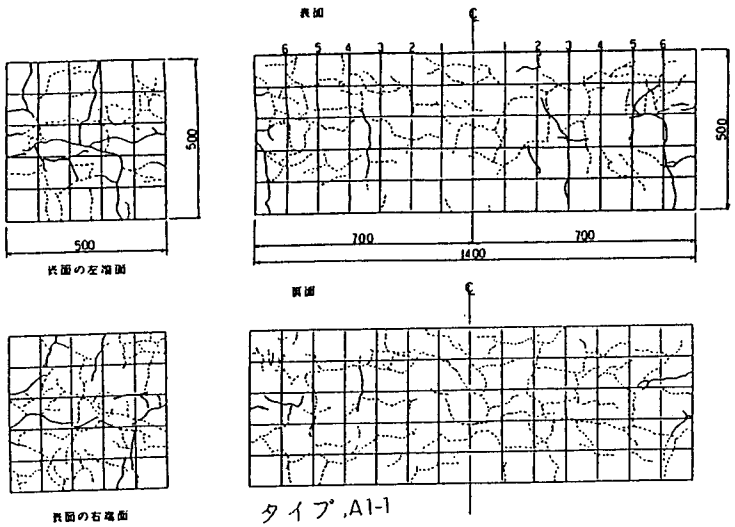
図－１．５　鉄筋ひずみ経時変化

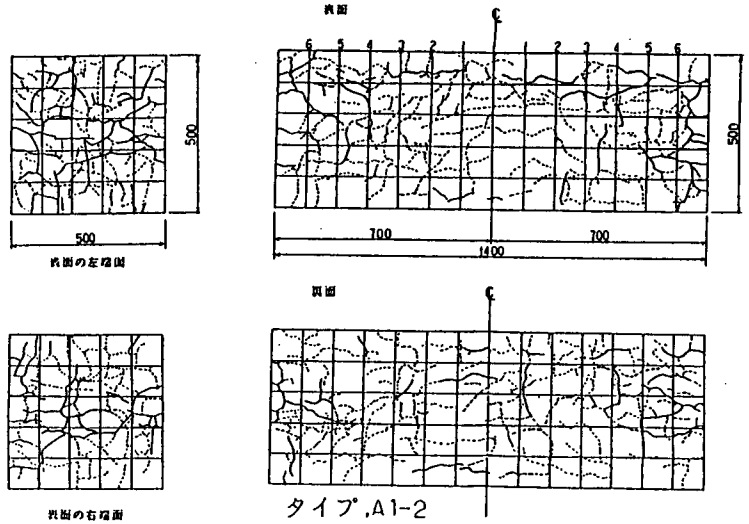


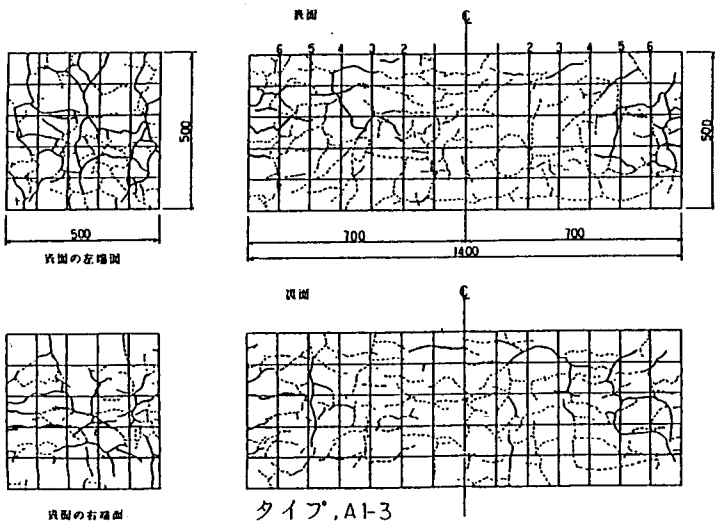
図－１．６　鉄筋ひずみと換算ひずみの比較

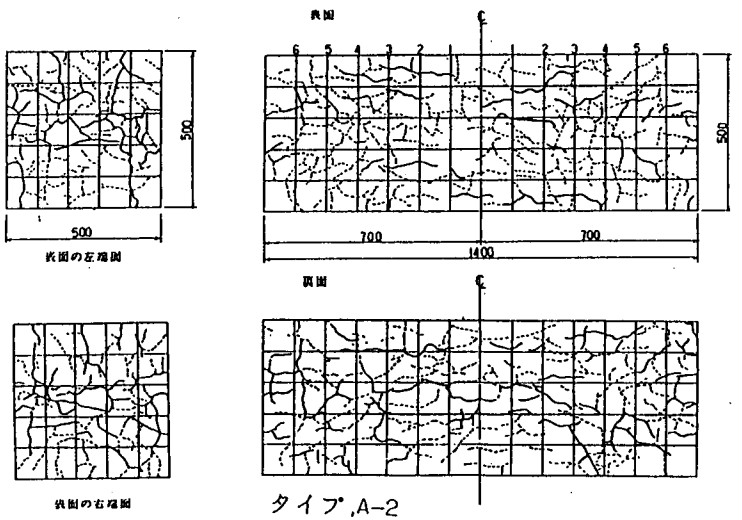

表面
裏面
500
700
1400
表面の左端面
表面の右端面
タイプ,A-3
タイプ,A-4
タイプ,A5-1
タイプ,A5-2
最大ひびわれ幅　0.2mm以上
最大ひびわれ幅　0.1mm以上0.2mm未満

図－１．７　ひびわれ状況図



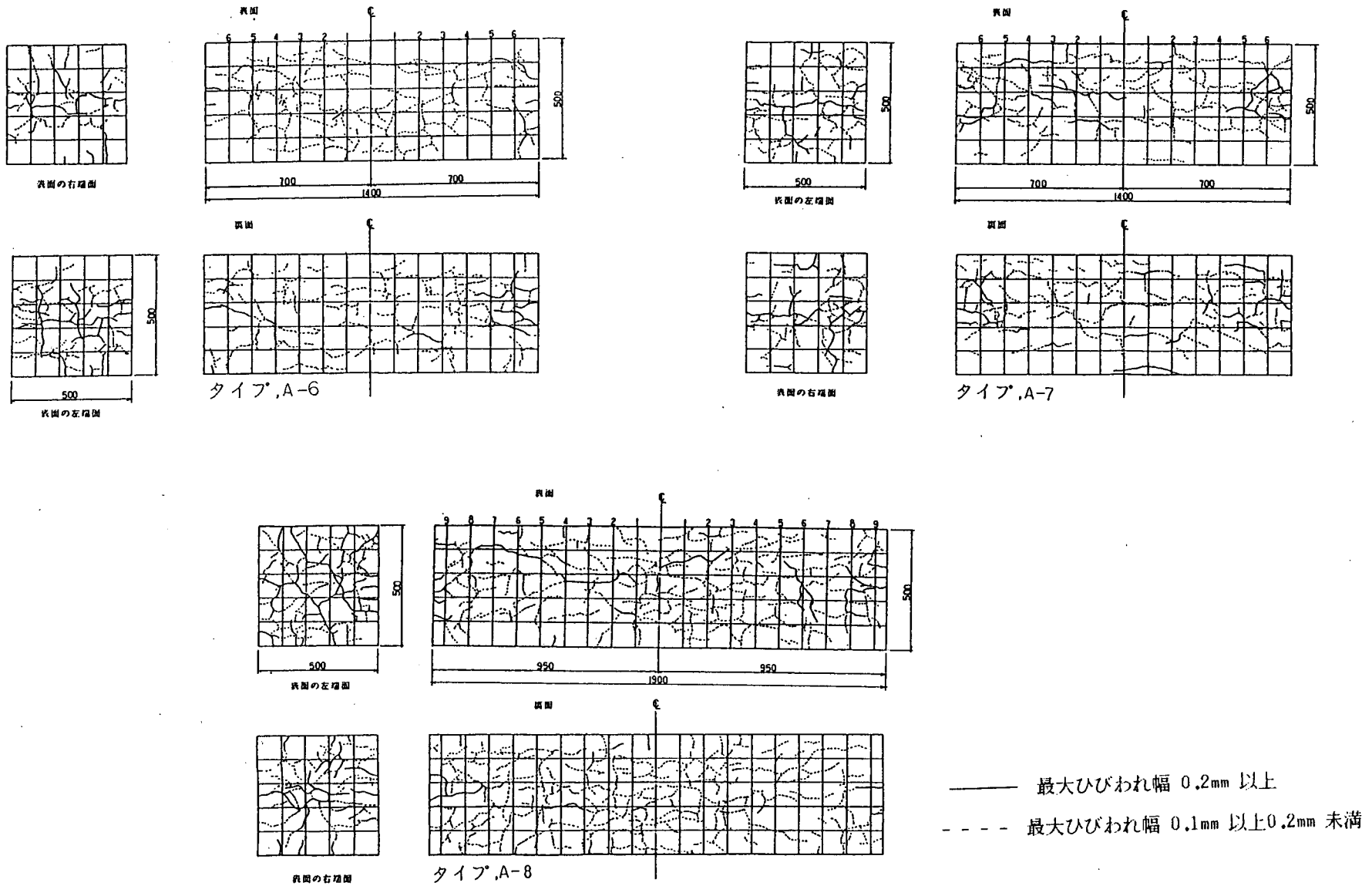




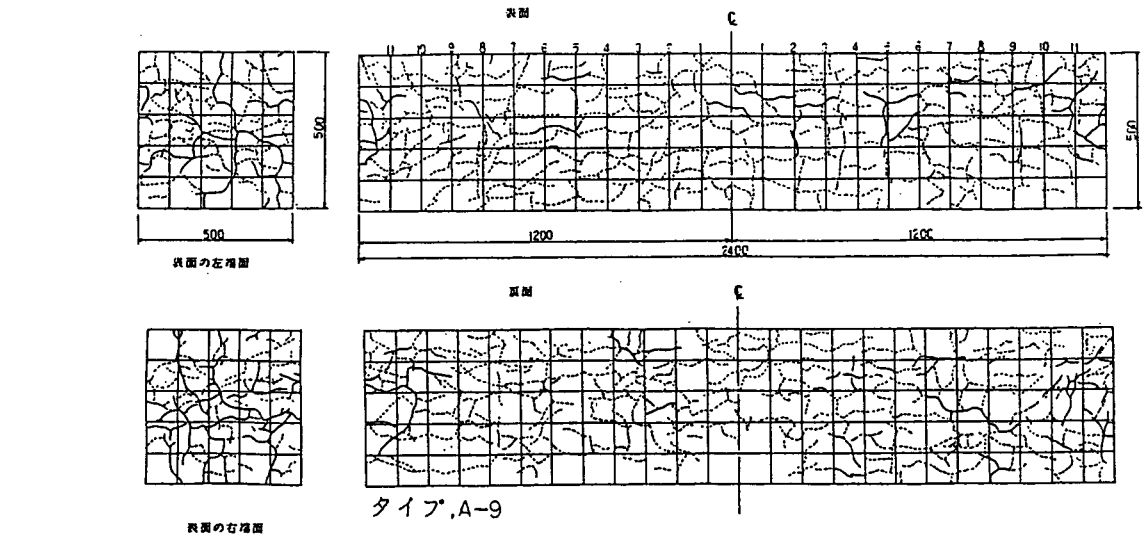


図－１．７　ひびわれ状況図

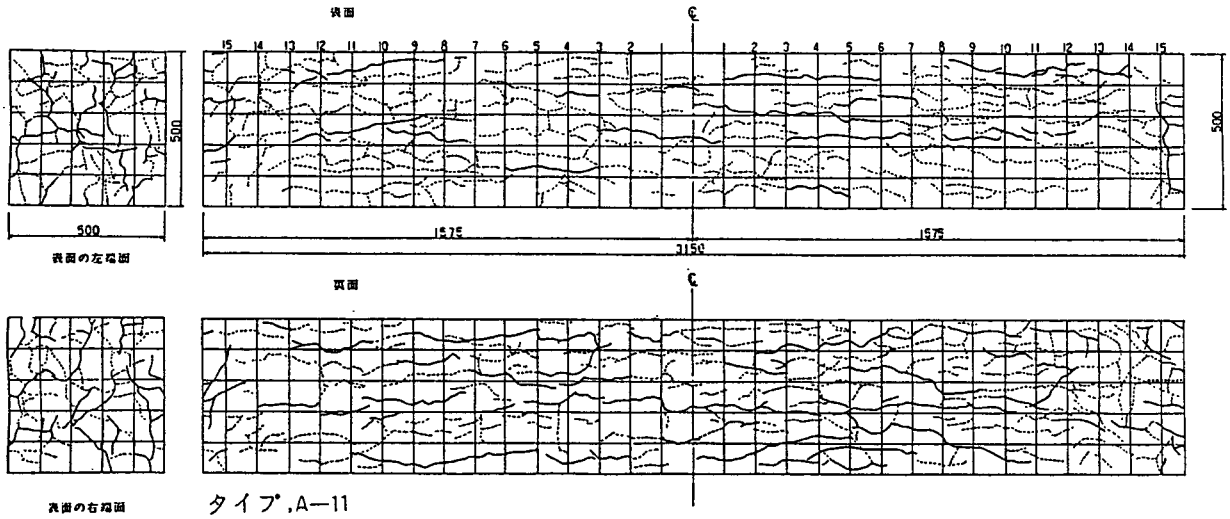
——— 最大ひびわれ幅 0.2mm 以上
- - - - 最大ひびわれ幅 0.1mm 以上0.2mm 未満


表面
裏面の右端面
裏面の左端面
700
1400
500
タイプ,A-6
タイプ,A-7
タイプ,A-8
950
1900
最大ひびわれ幅 0.2mm 以上
最大ひびわれ幅 0.1mm 以上0.2mm 未満

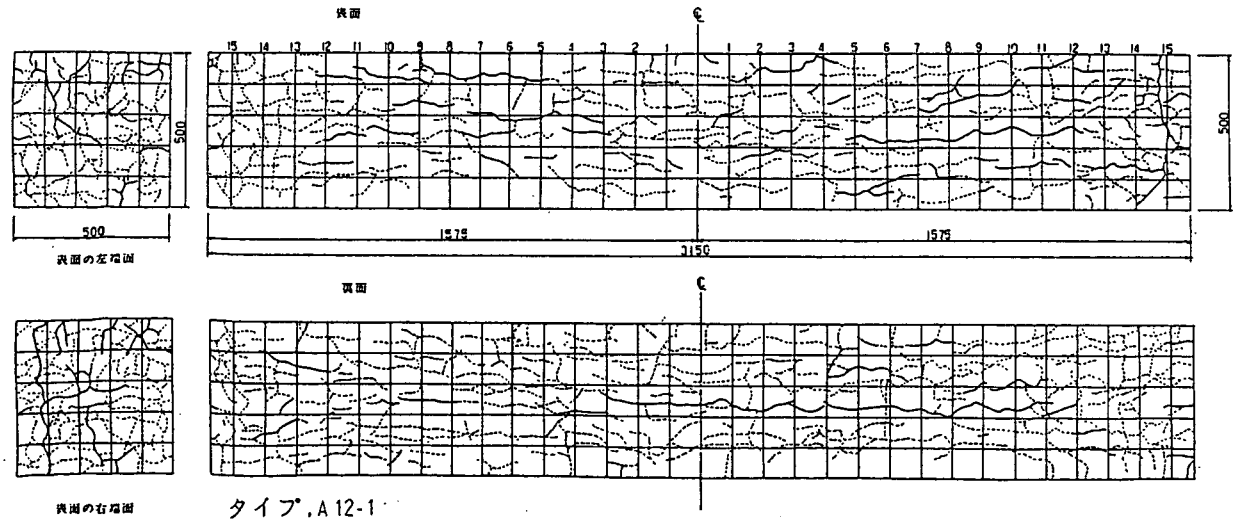
図－１．７　ひびわれ状況図



タイプ,A-9



タイプ,A-11

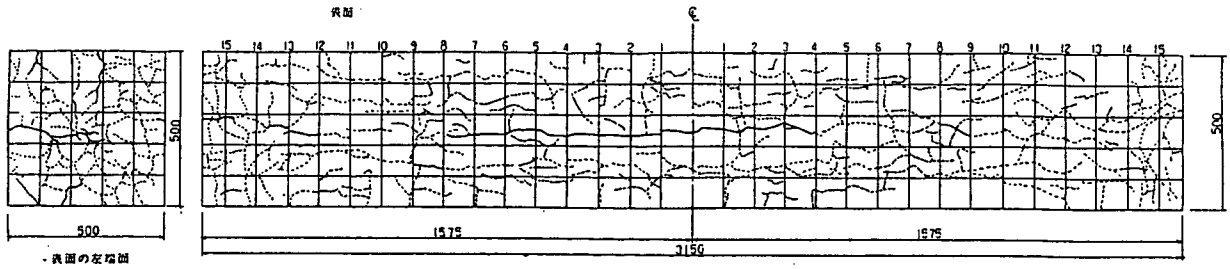


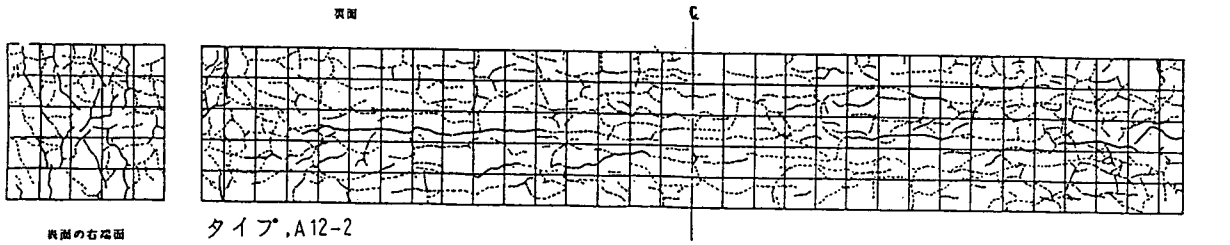
タイプ,A12-1

図－１．７　ひびわれ状況図

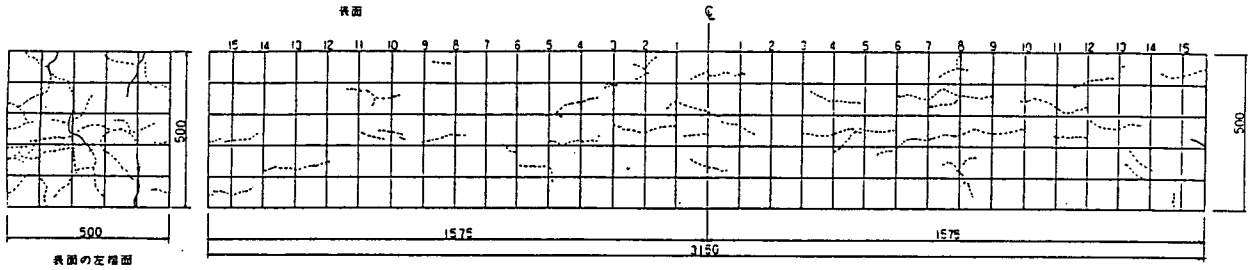
——— 最大ひびわれ幅 0.2mm 以上

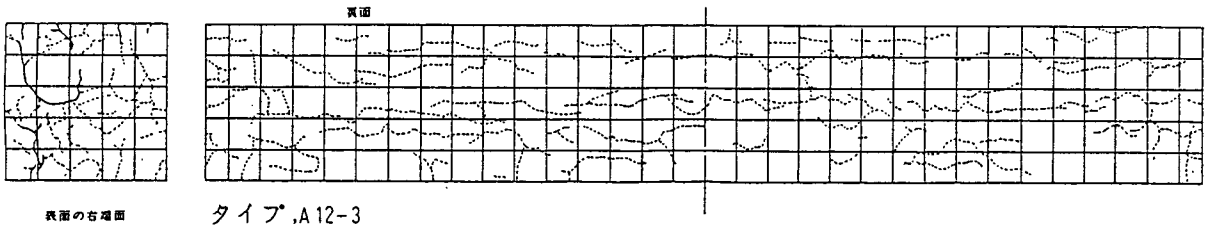
- - - - 最大ひびわれ幅 0.1mm 以上0.2mm 未満



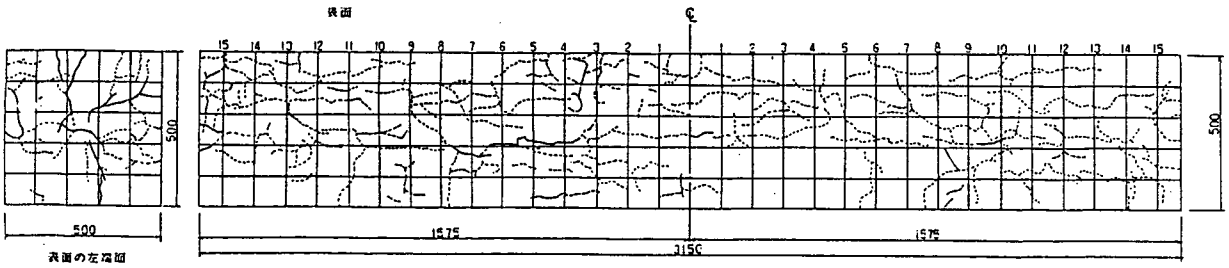


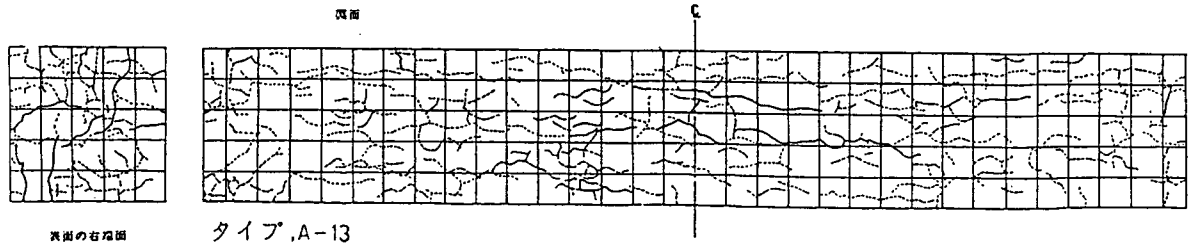
タイプ,A12-2





タイプ,A12-3

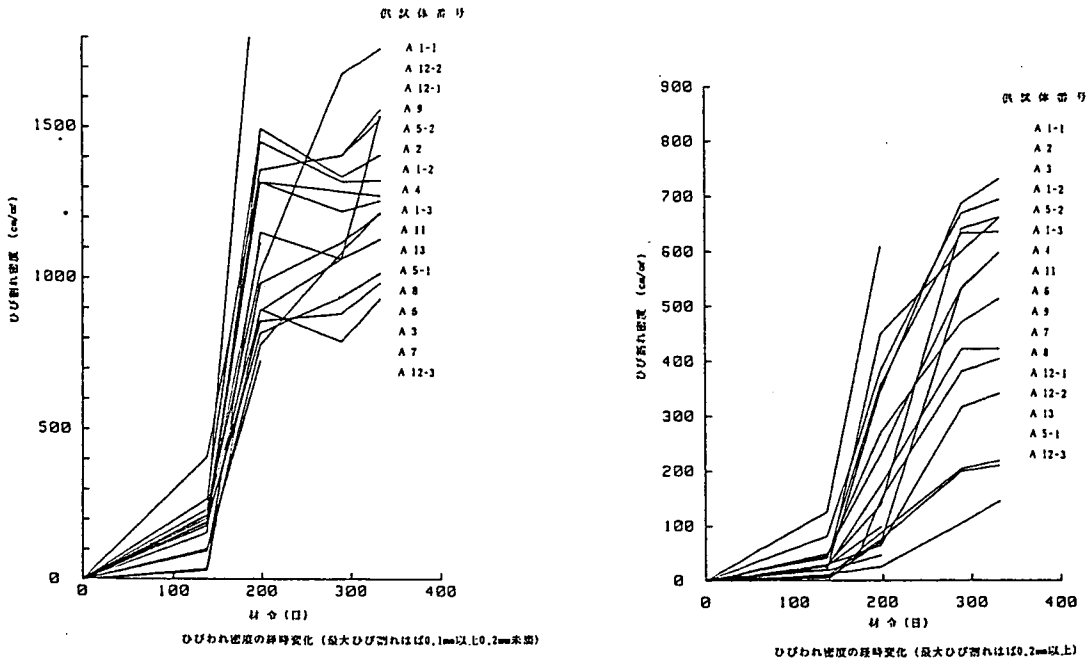




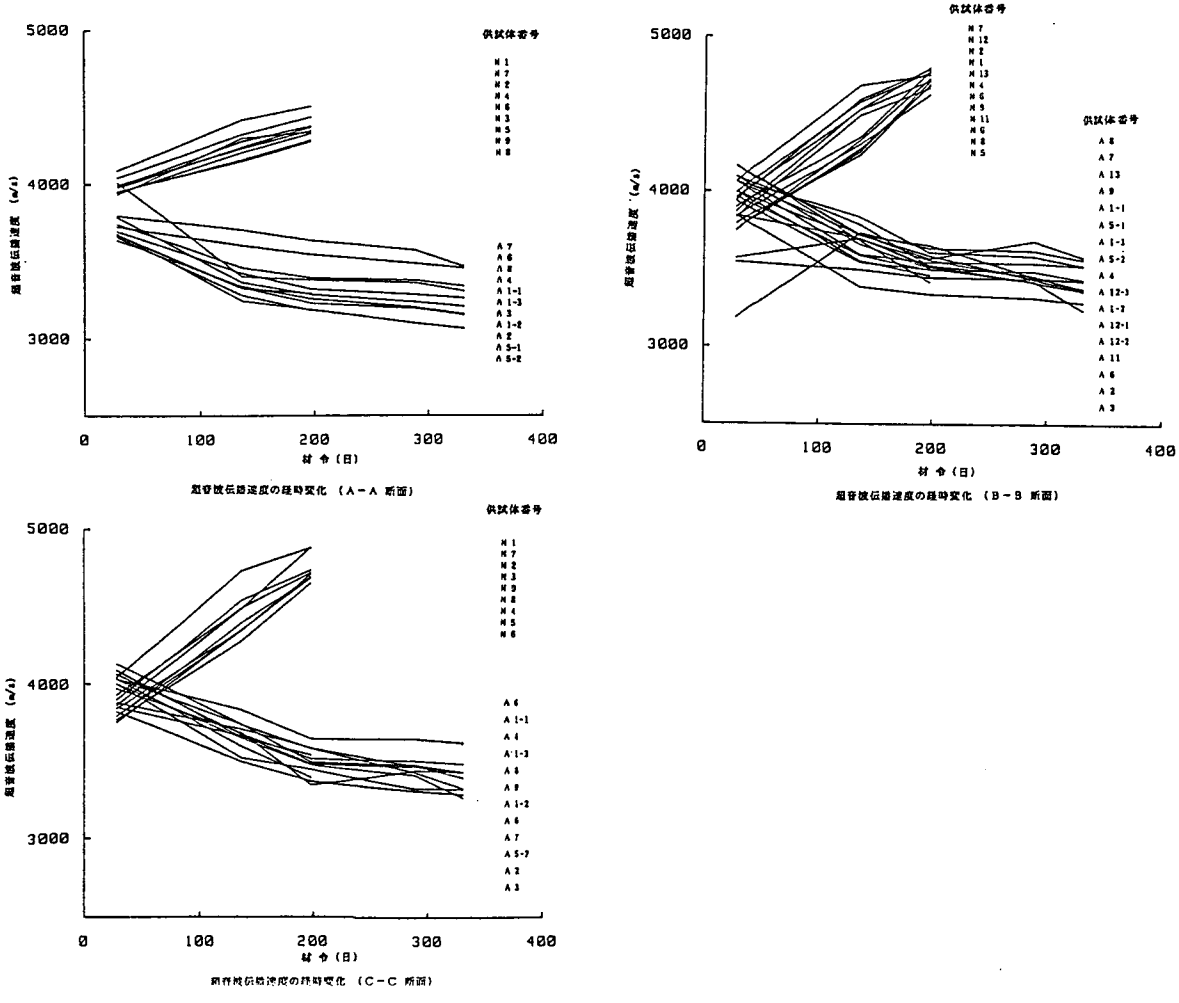
タイプ,A-13

——— 最大ひびわれ幅 0.2mm 以上

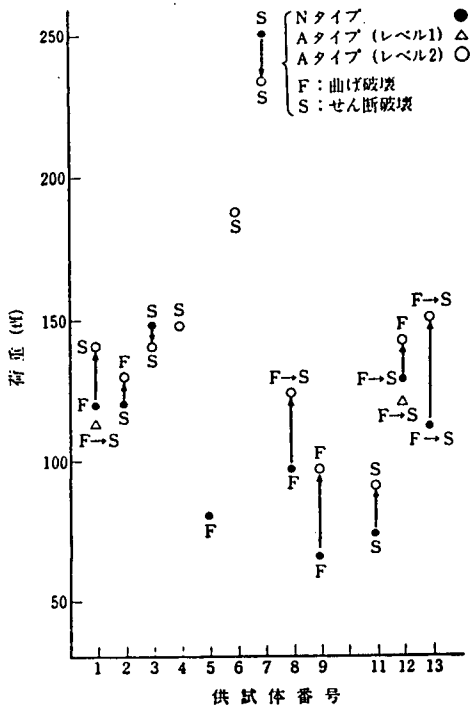
図－1.7　ひびわれ状況図　- - - - 最大ひびわれ幅 0.1mm 以上0.2mm 未満



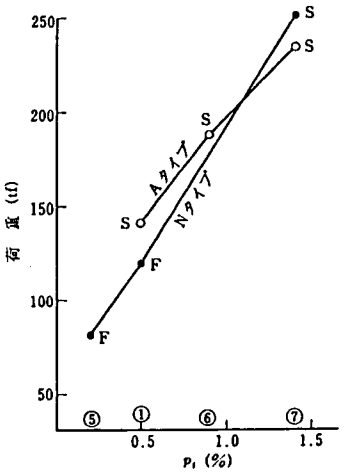
図－１．８　ひびわれ密度経時変化



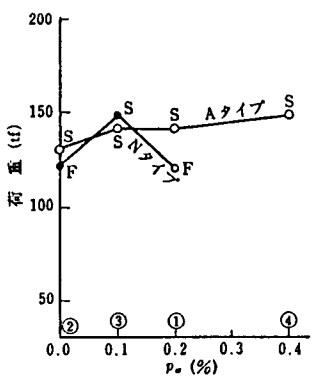
図－１．９　超音波伝播速度経時変化



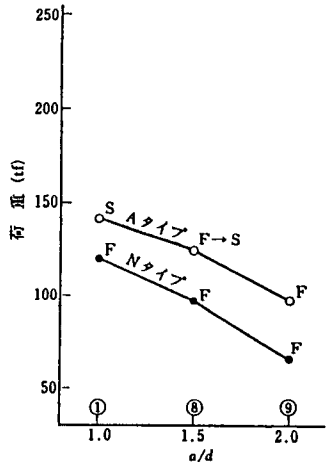
図－１．１０　ＡタイプとＮタイプの最大荷重の比較



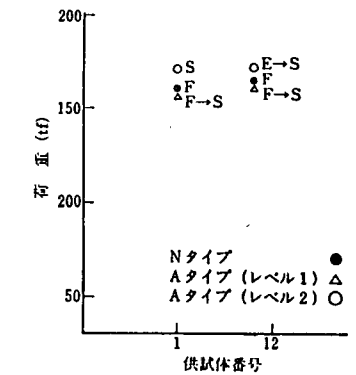
図－１．１１．１　引張鉄筋比ｐｔの違いによる比較



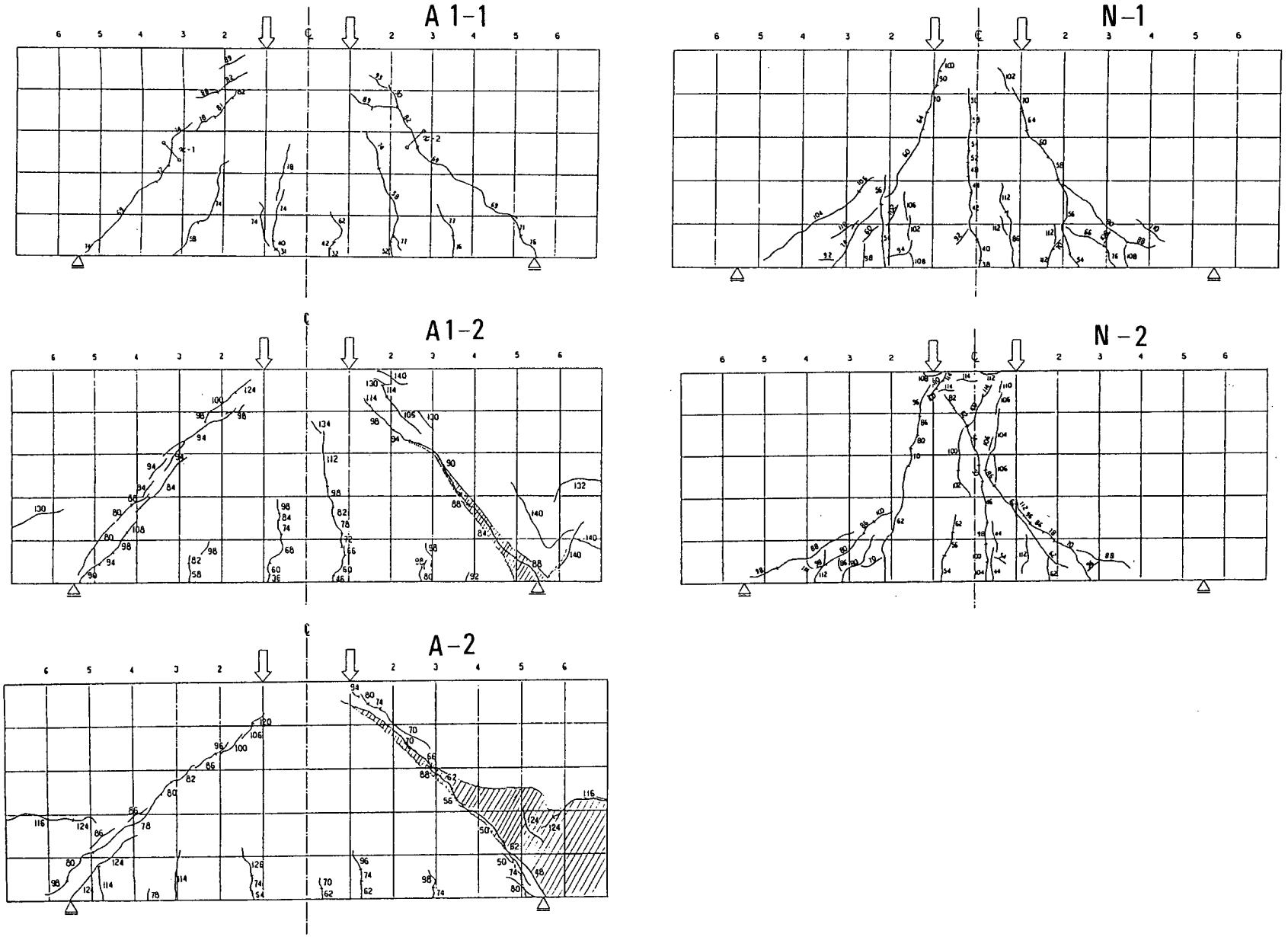
図－１．１１．２　スターラップ量ｐｗの違いによる比較



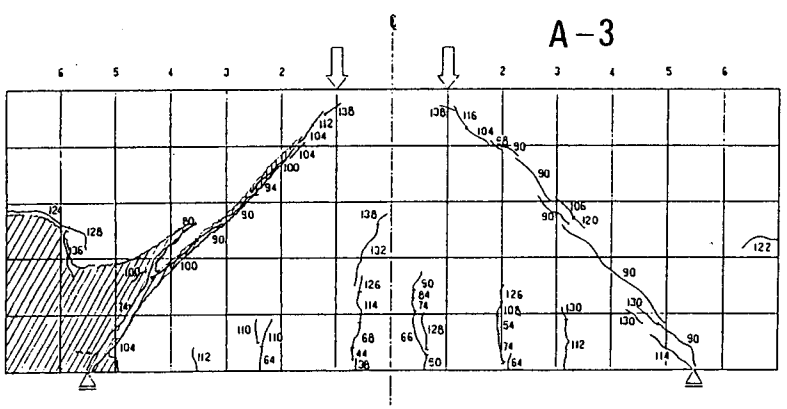
図－１．１１．３　せん断スパン比ａ／ｄの違いによる比較

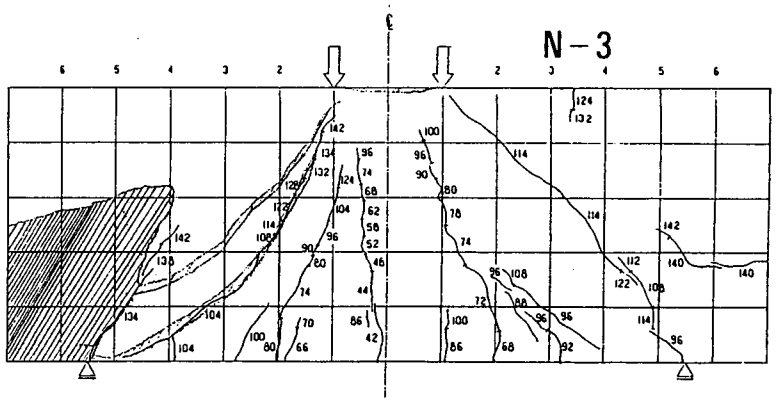


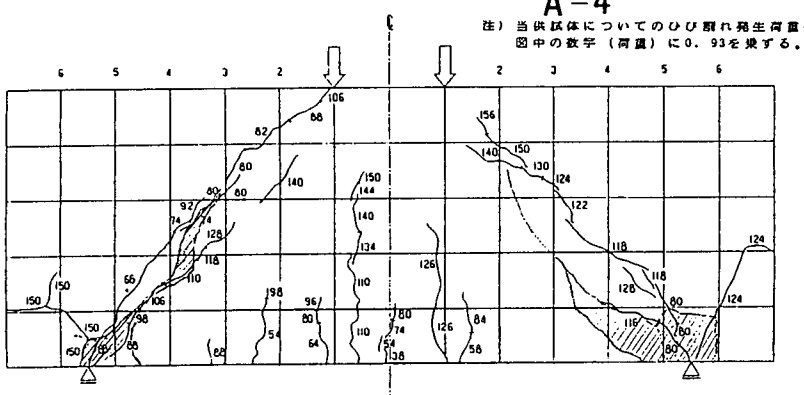
図－１．１１．４　劣化レベルの違いによる比較

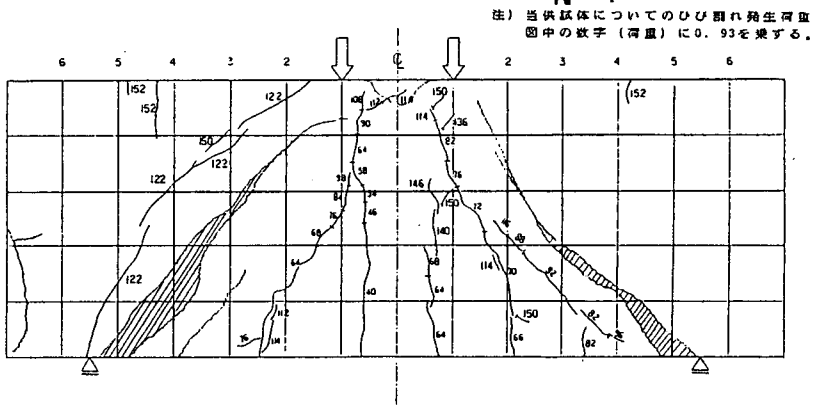


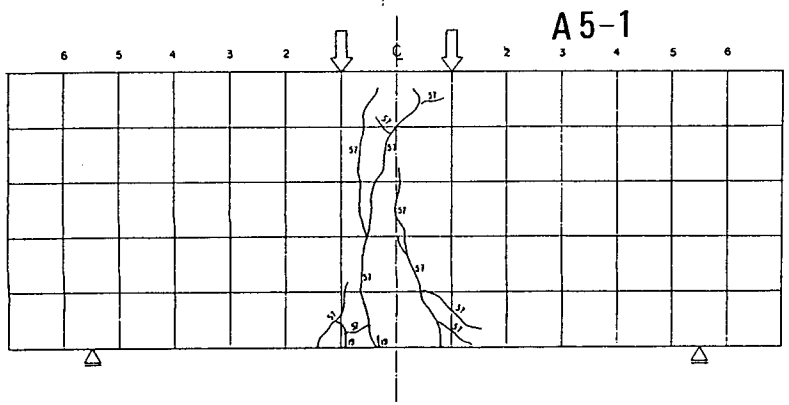
図－１．１２　載荷終了後のひびわれ状況図

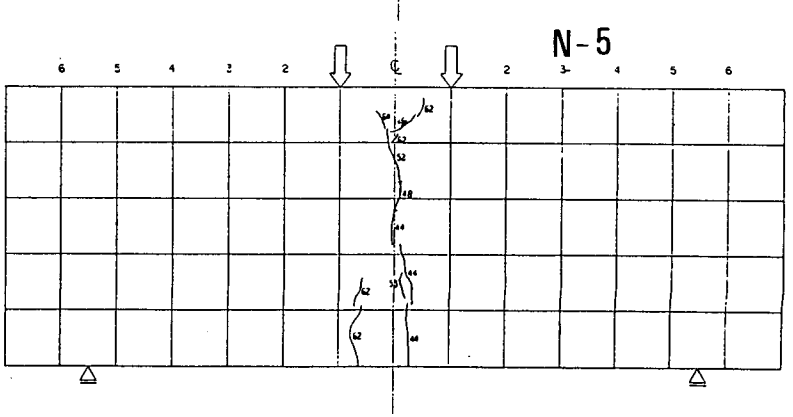




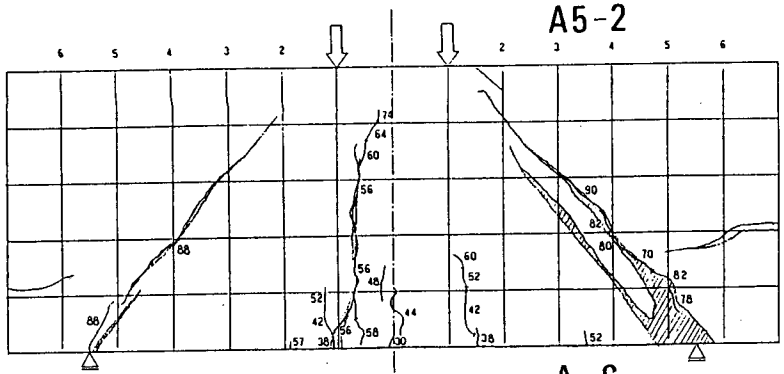


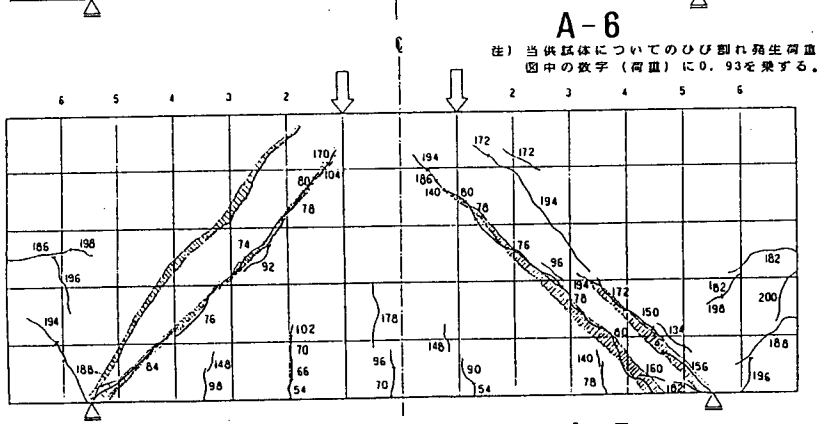


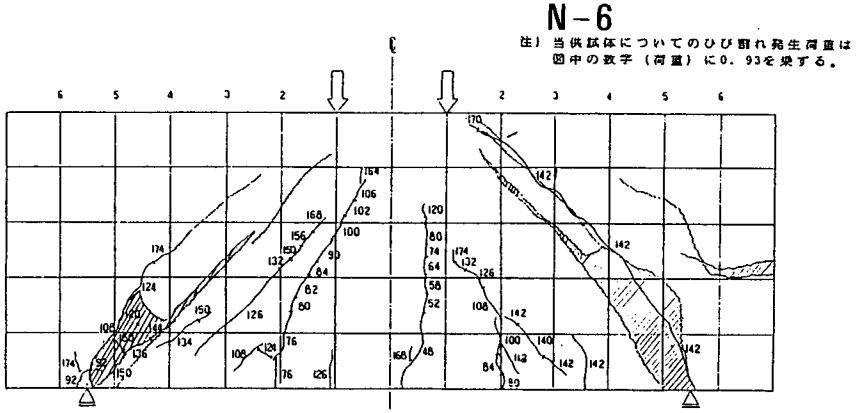


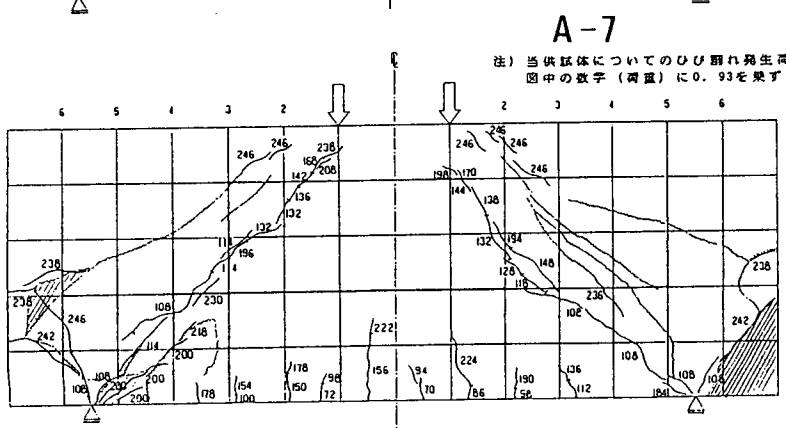


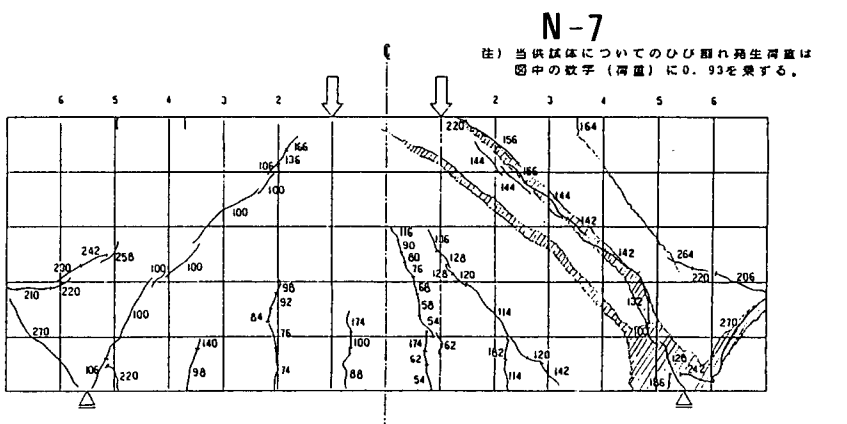
図－１．１２　載荷終了後のひびわれ状況図



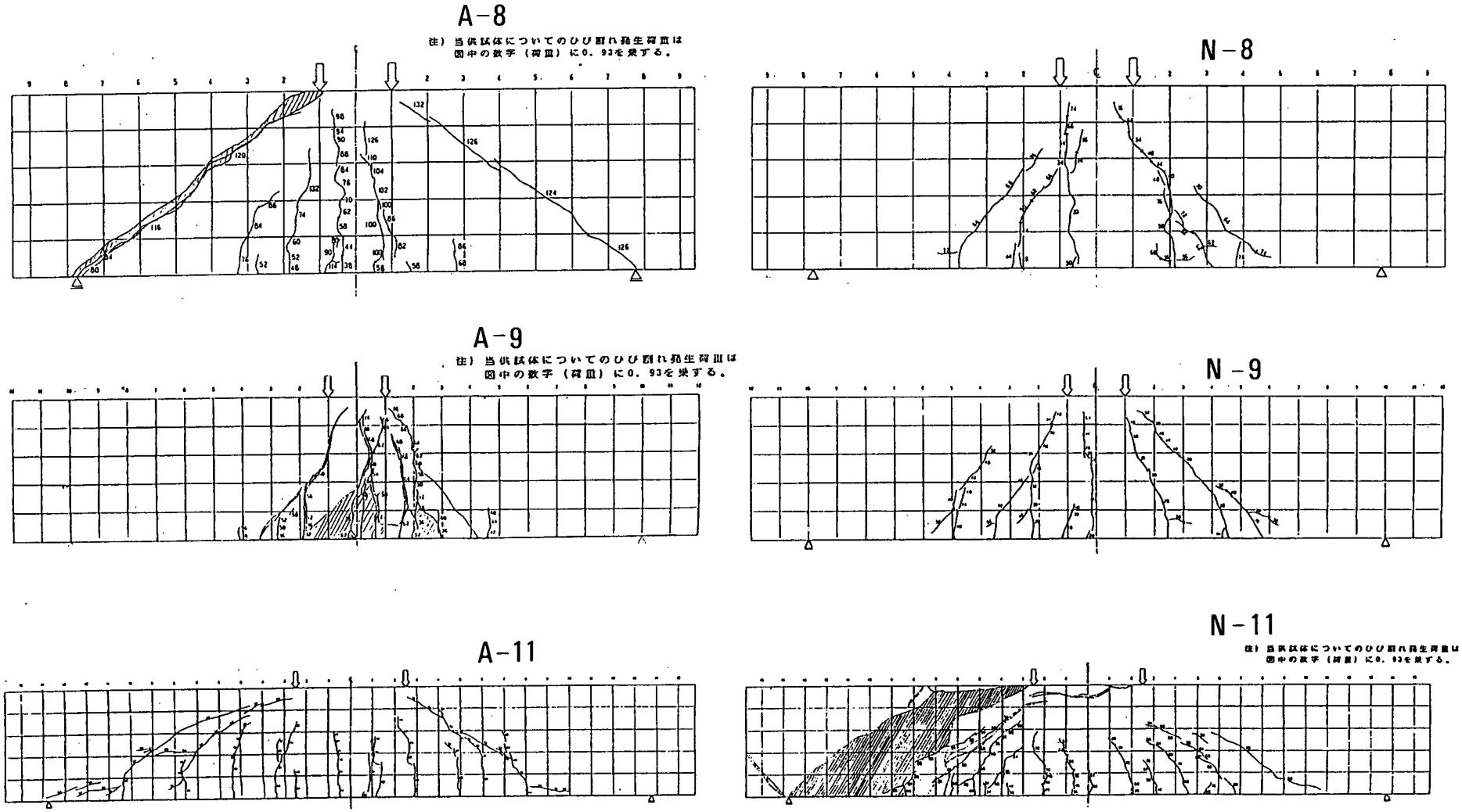






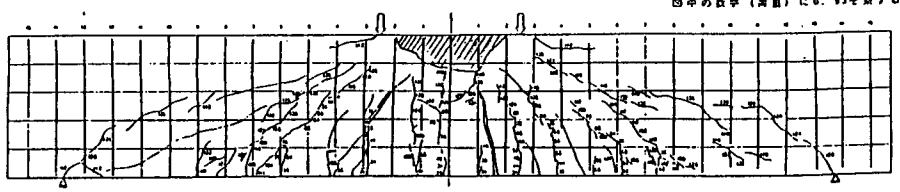


図－１．１２　載荷終了後のひびわれ状況図

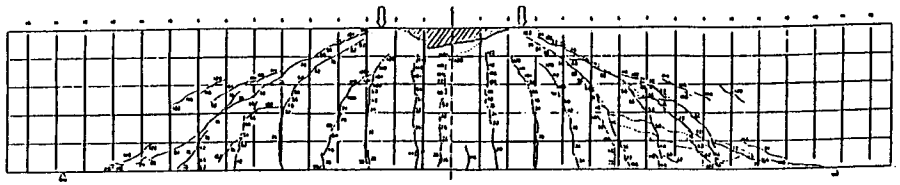


図－１．１２　載荷終了後のひびわれ状況図

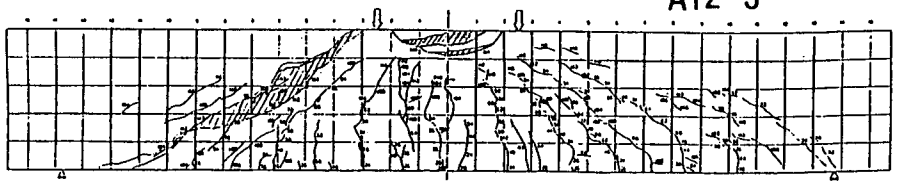
A12-2



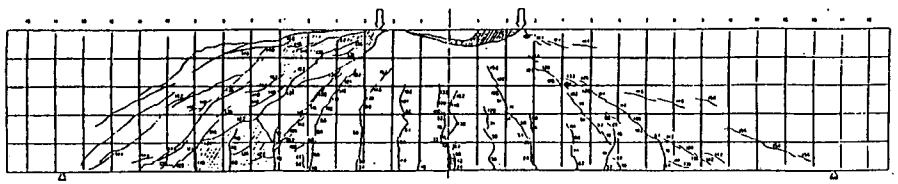
N12



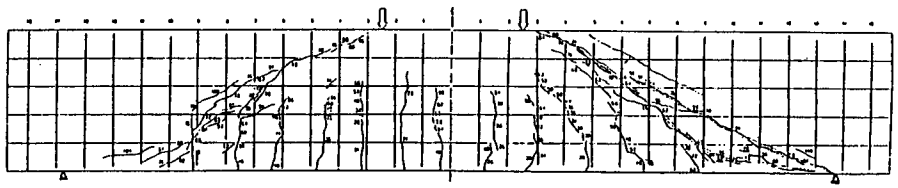
A12-3



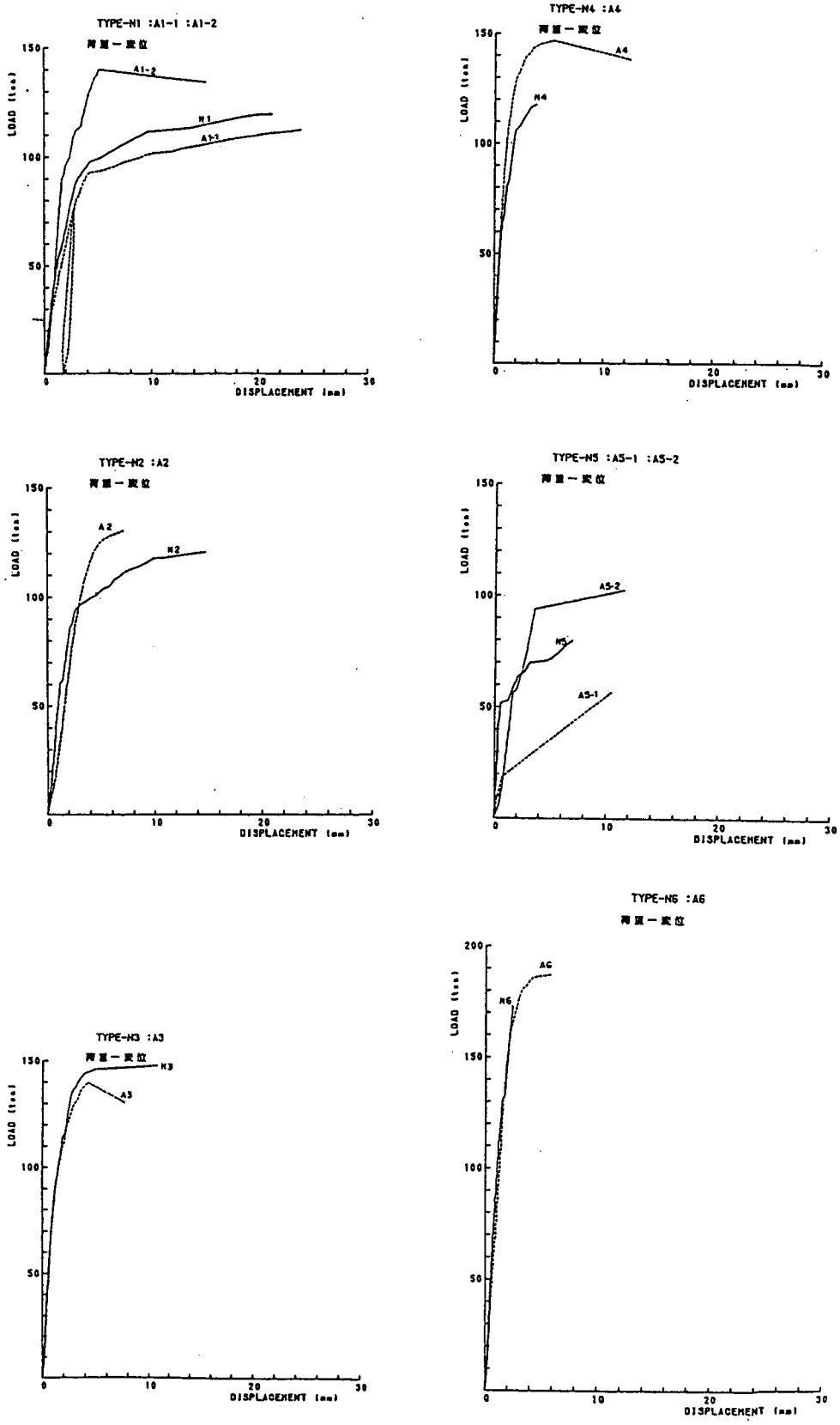
A13



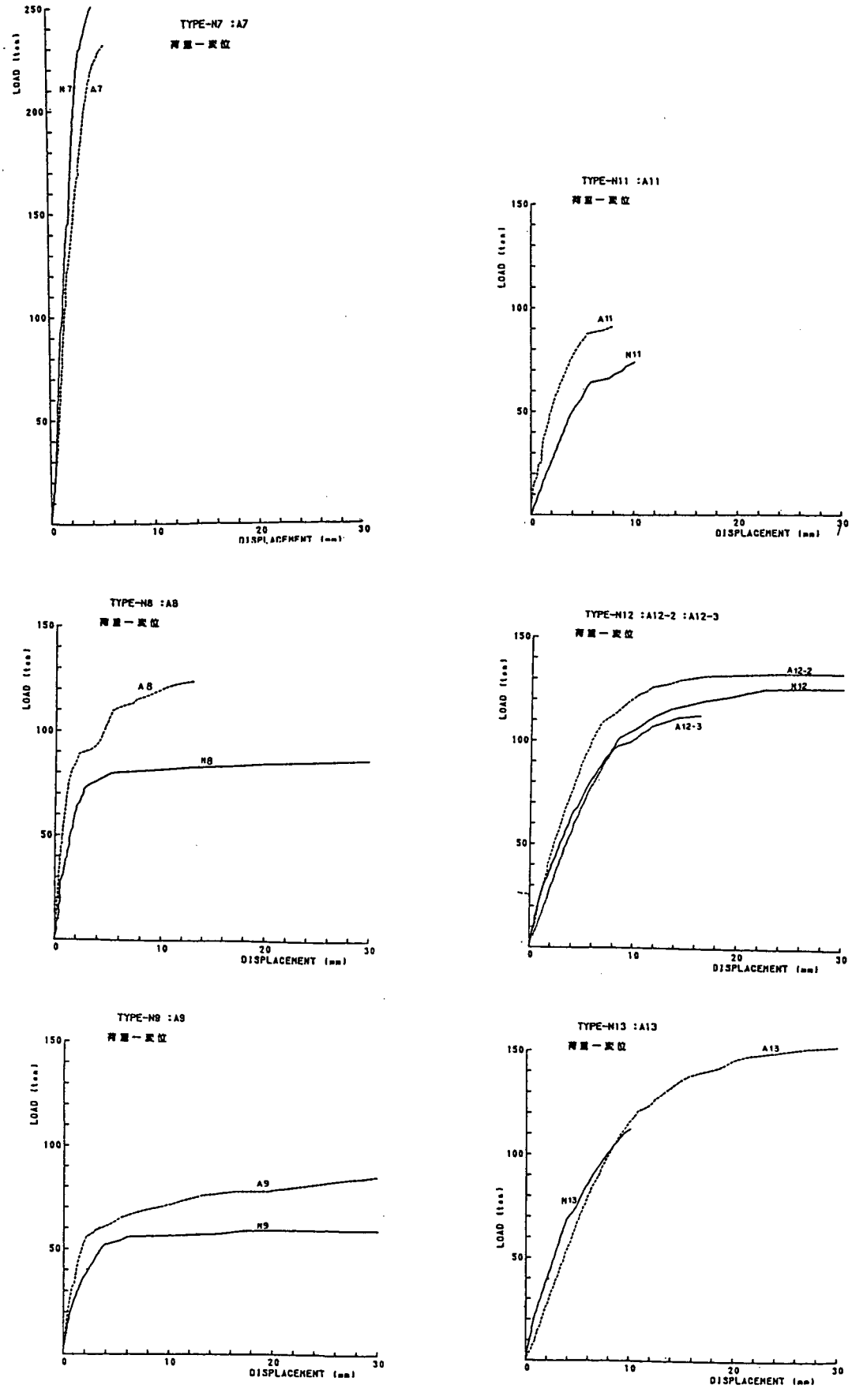
N13



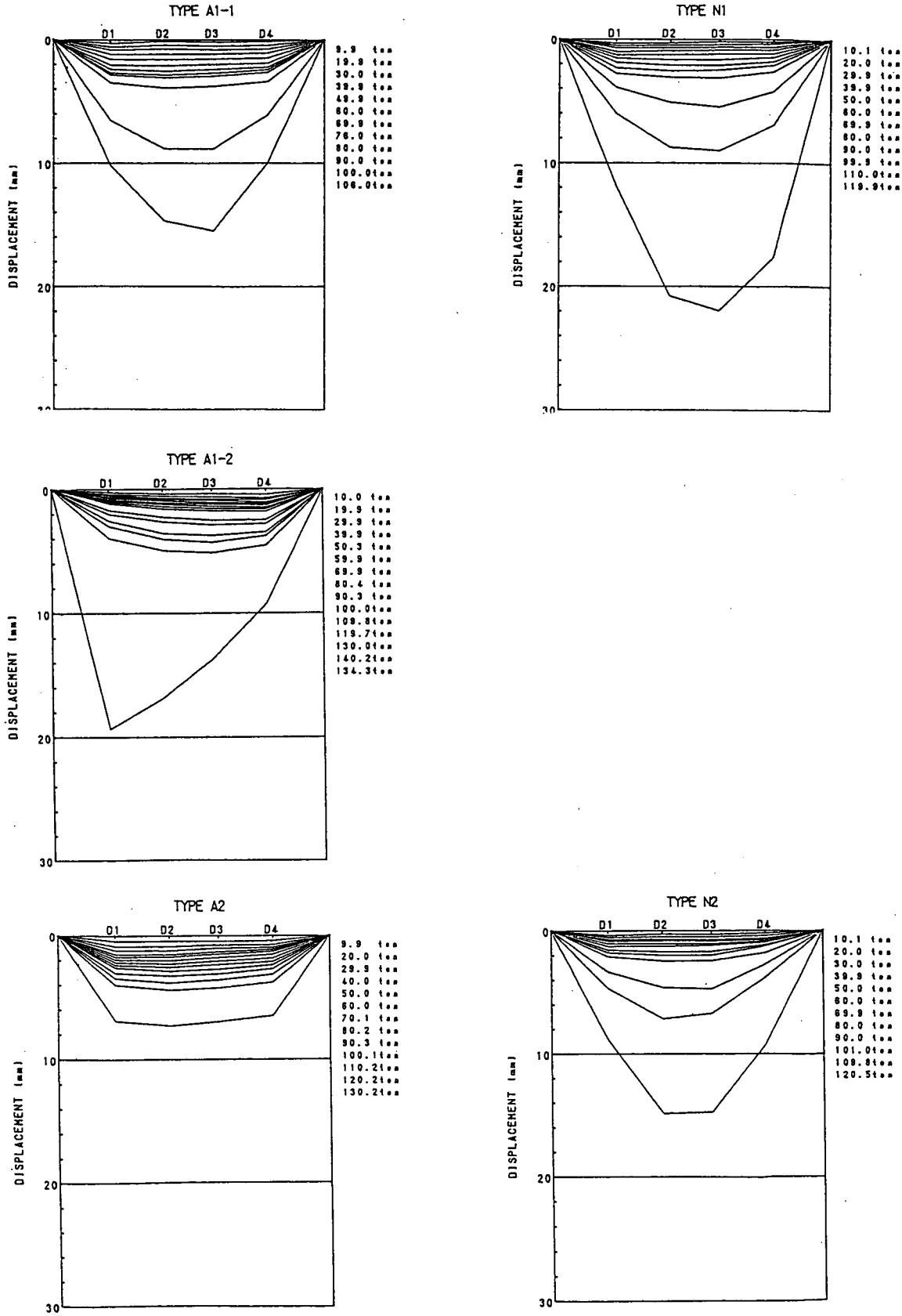
図－１．１２　載荷終了後のひびわれ状況図


TYPE-N1 :A1-1 :A1-2
荷重－変位
LOAD (ton)
DISPLACEMENT (mm)
A1-2
N1
A1-1
TYPE-N4 :A4
荷重－変位
A4
N4
TYPE-N2 :A2
荷重－変位
A2
N2
TYPE-N5 :A5-1 :A5-2
荷重－変位
A5-2
N5
A5-1
TYPE-N3 :A3
荷重－変位
N3
A3
TYPE-N6 :A6
荷重－変位
A6
N6

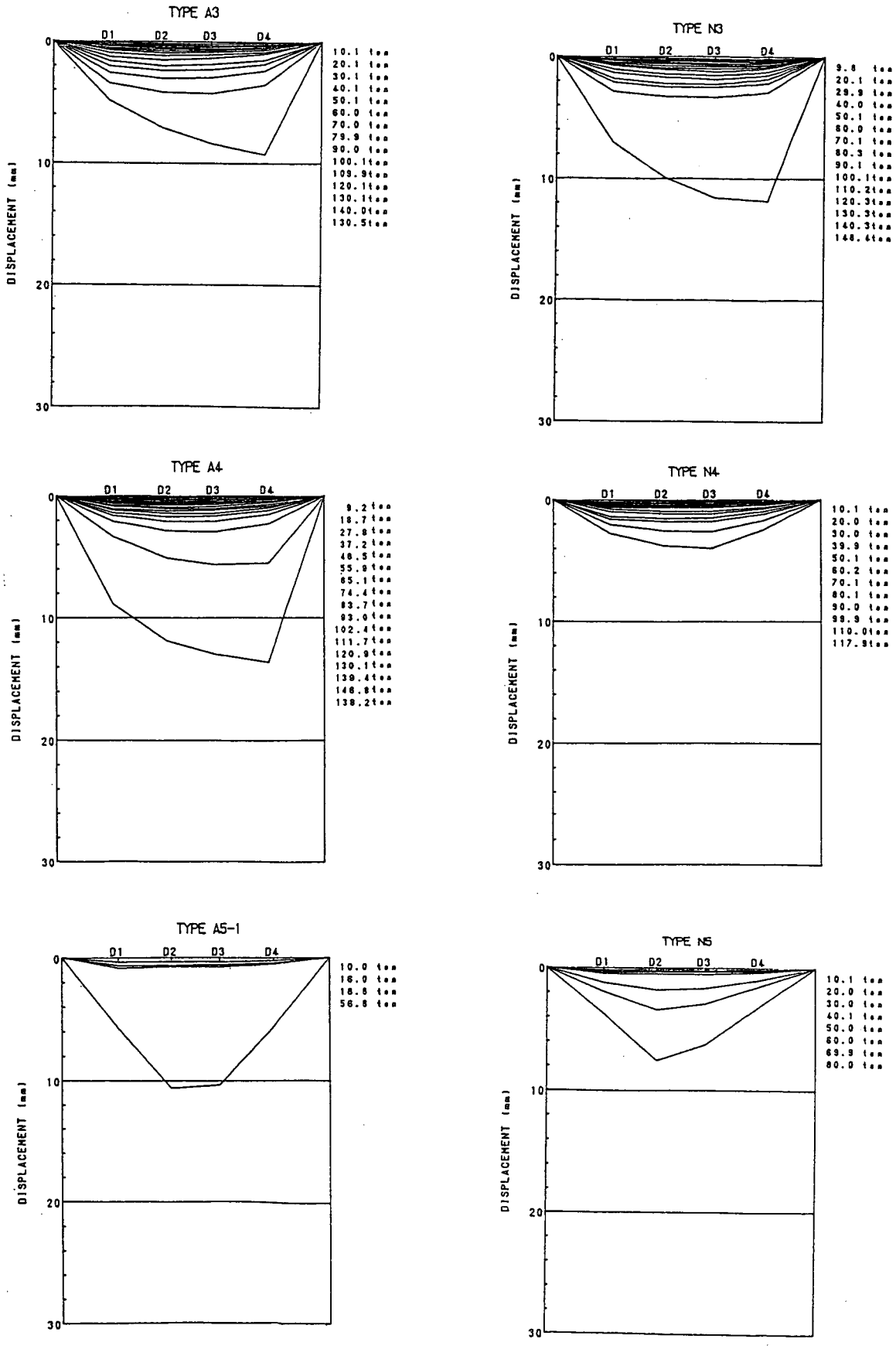
図－１．１３　荷重－変位曲線


TYPE-N7 :A7
荷重－変位
LOAD (ton)
N7
A7
DISPLACEMENT (mm)
TYPE-N11 :A11
荷重－変位
A11
N11
TYPE-N8 :A8
荷重－変位
A8
N8
TYPE-N12 :A12-2 :A12-3
荷重－変位
A12-2
N12
A12-3
TYPE-N9 :A9
荷重－変位
A9
N9
TYPE-N13 :A13
荷重－変位
A13
N13

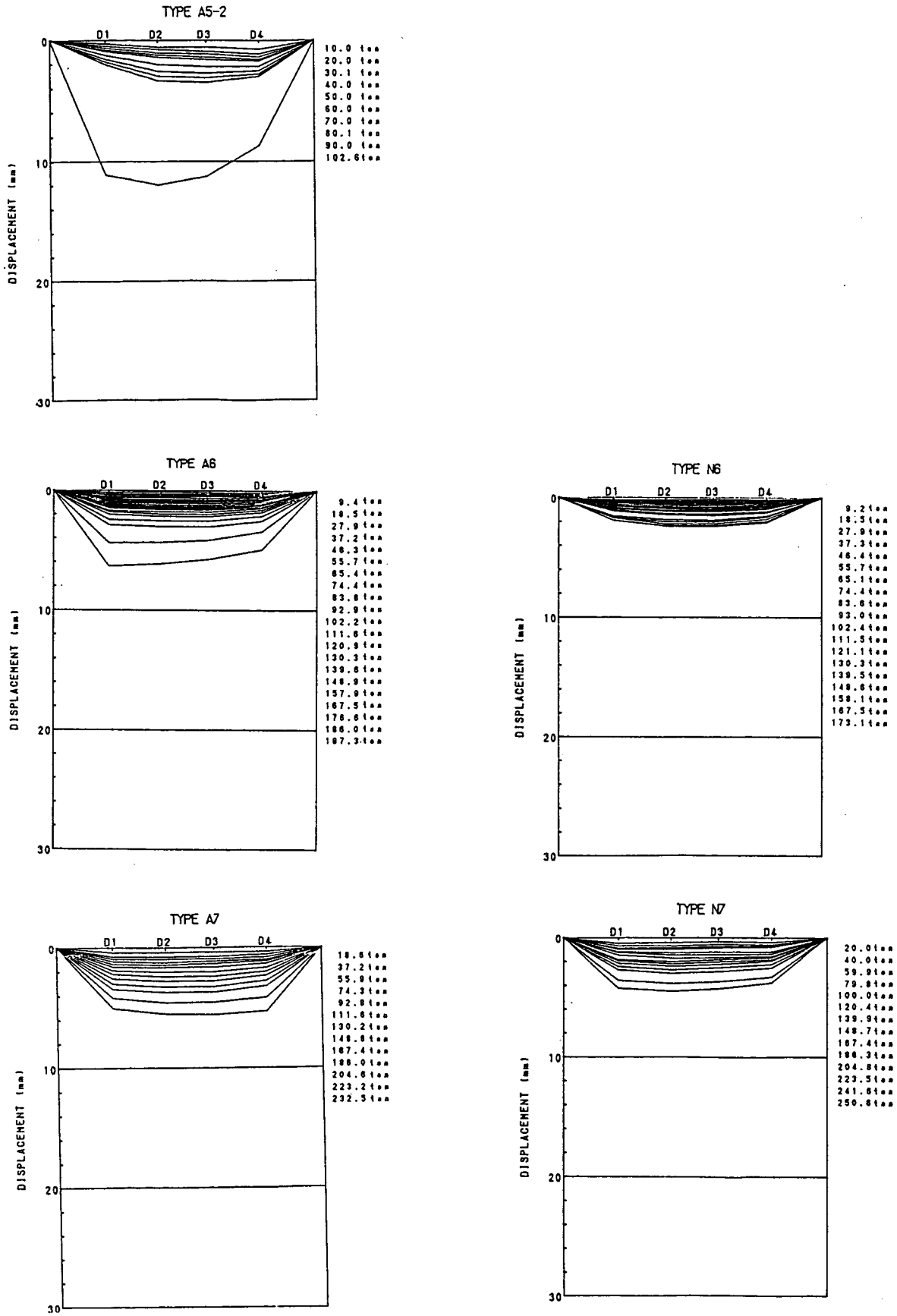
図－１．１３　荷重－変位曲線



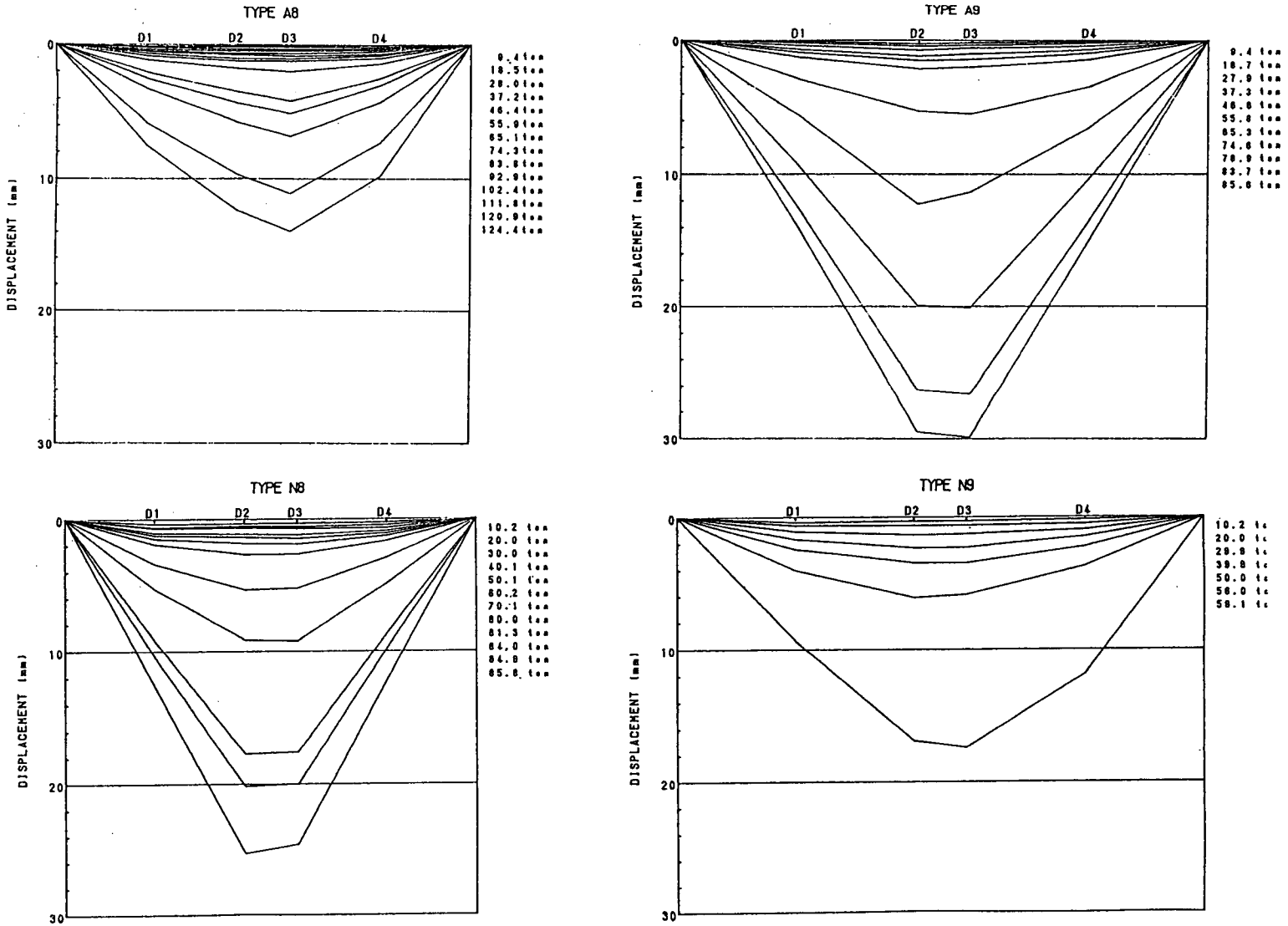
図－１．１４　荷重レベルの違いによる梁の変位状況



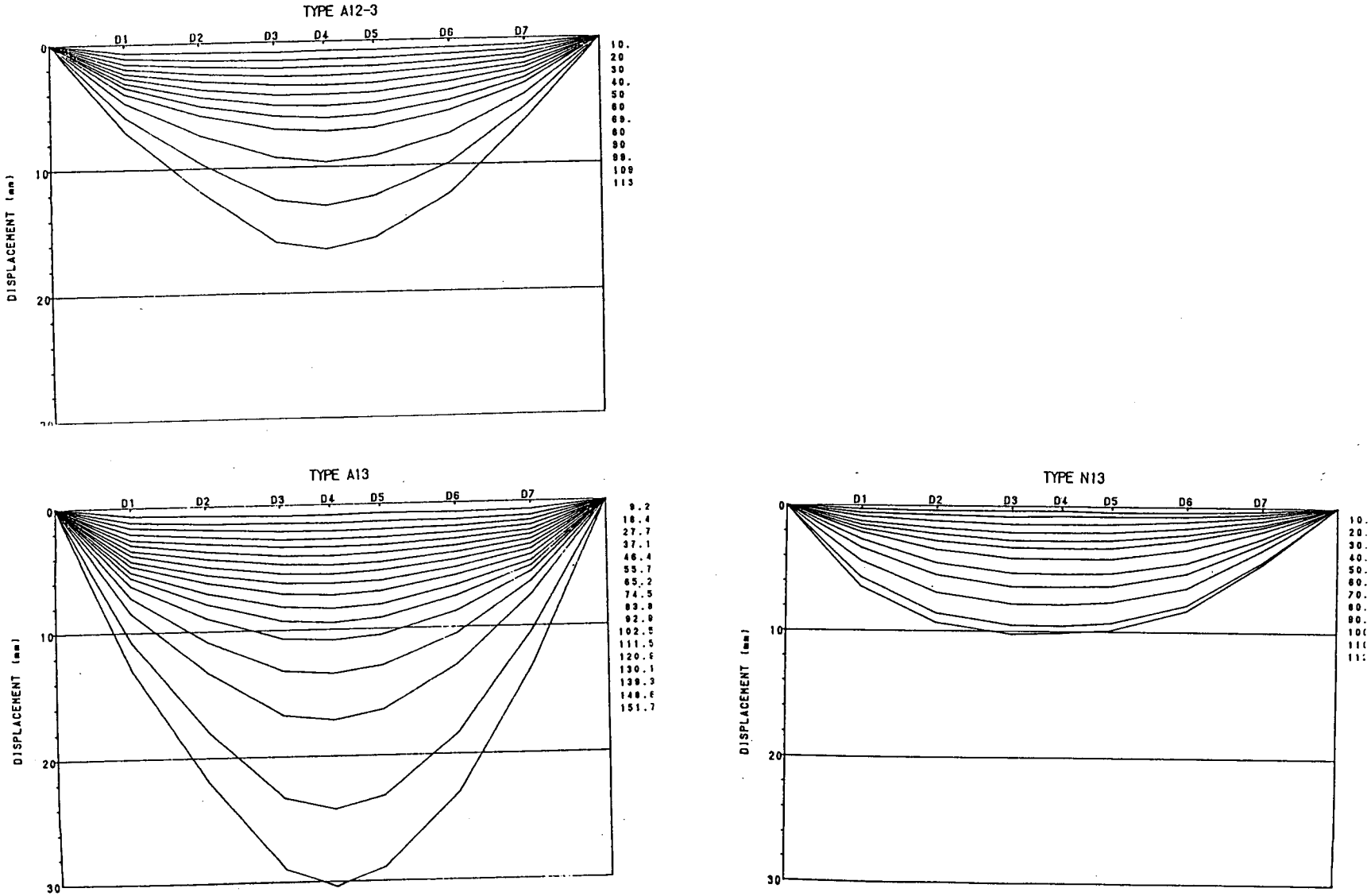
図－１．１４　荷重レベルの違いによる梁の変位状況



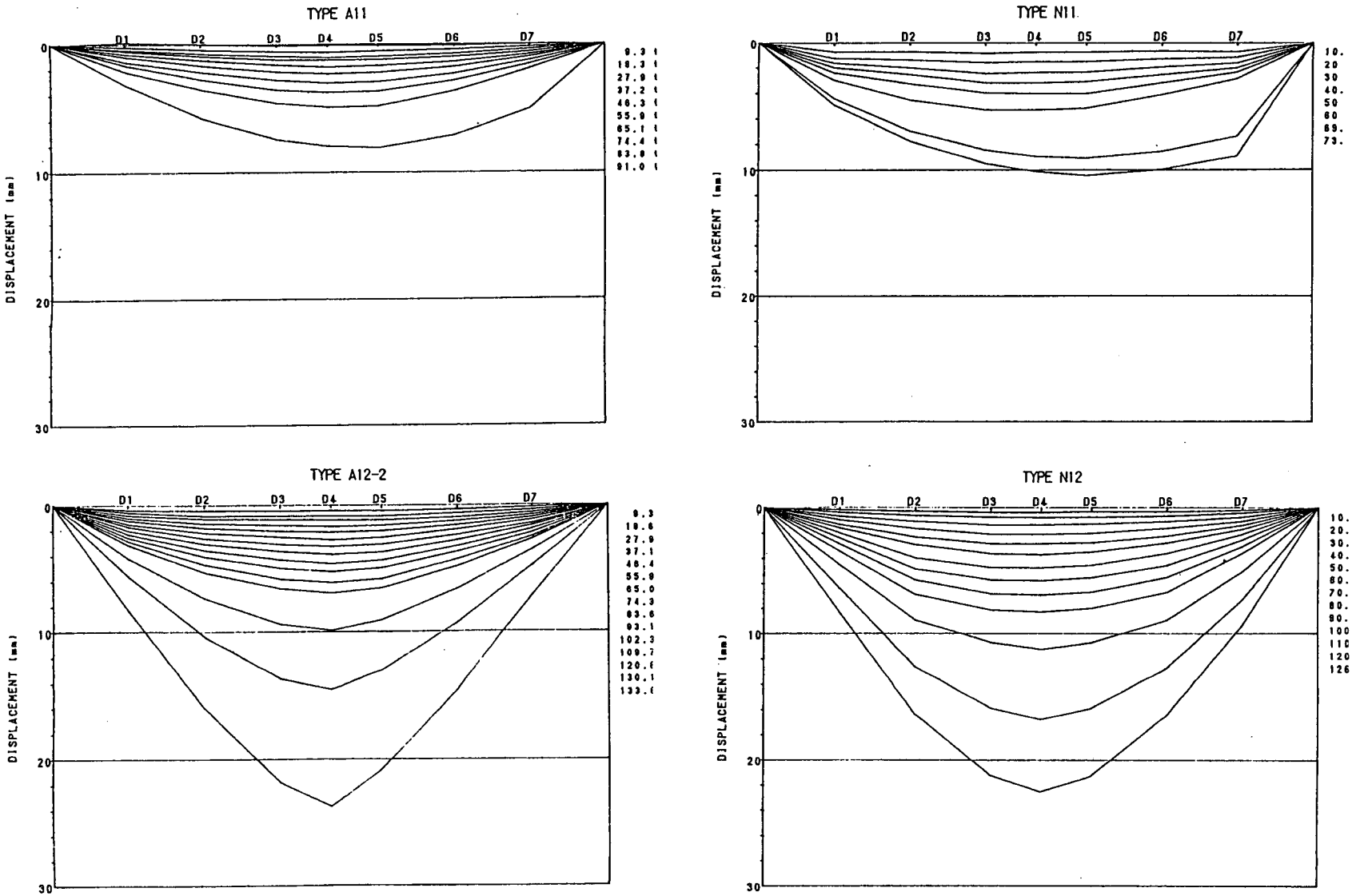
図－１．１４　荷重レベルの違いによる梁の変位状況



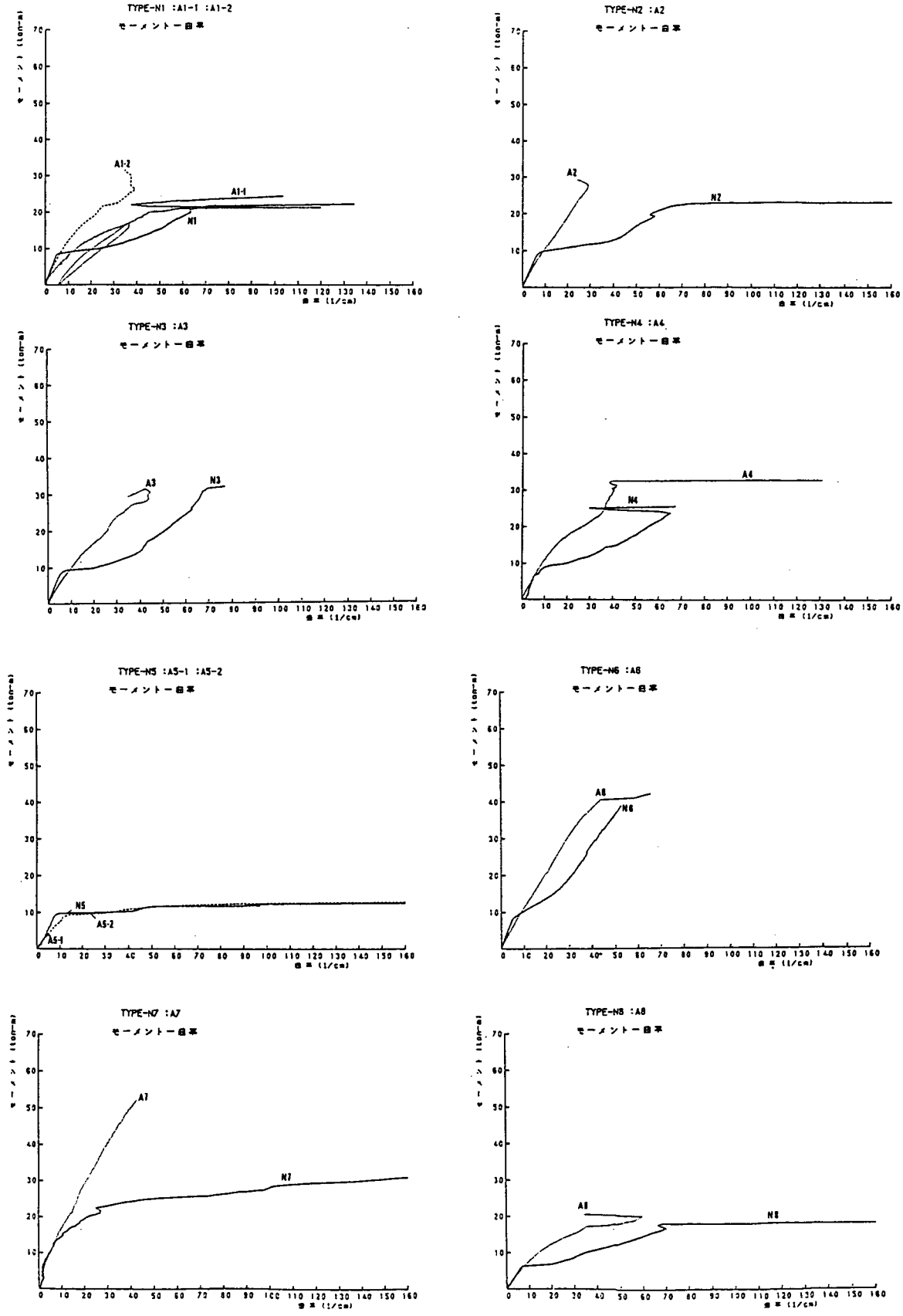
図－１．１４　荷重レベルの違いによる梁の変位状況



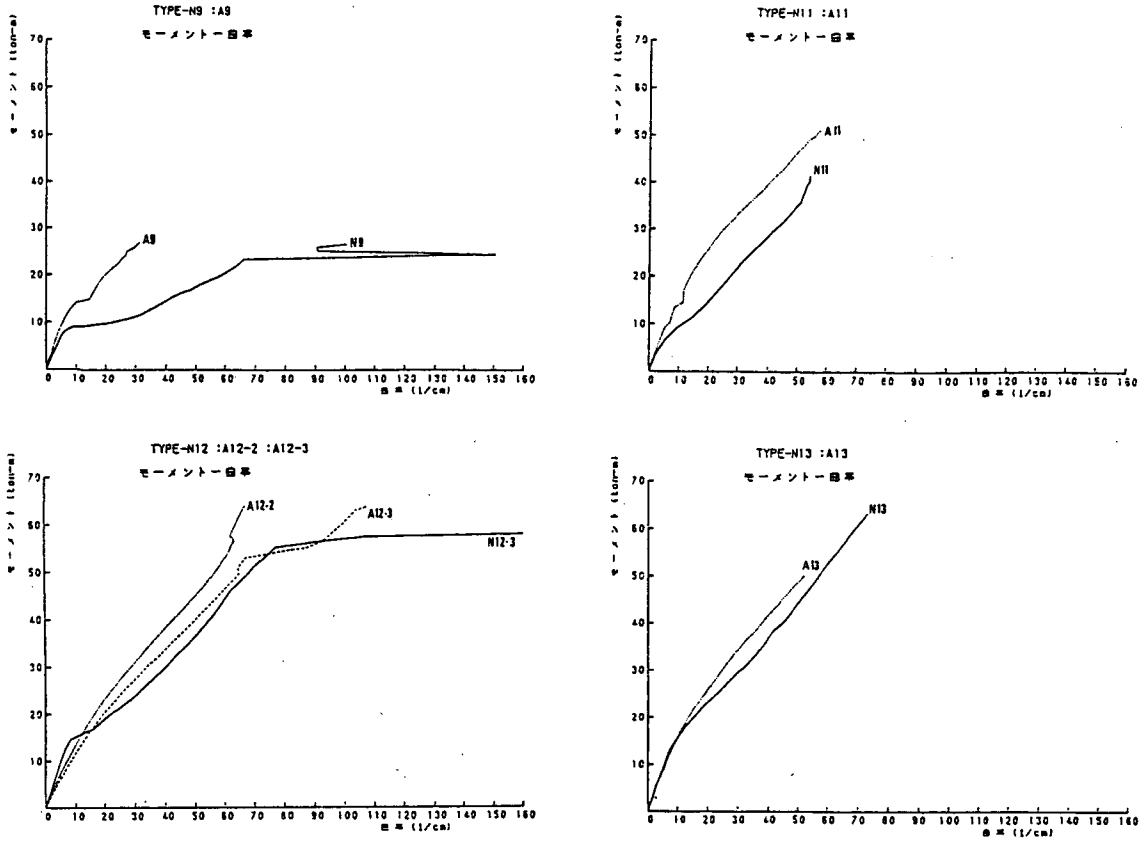
図－１．１４　荷重レベルの違いによる梁の変位状況



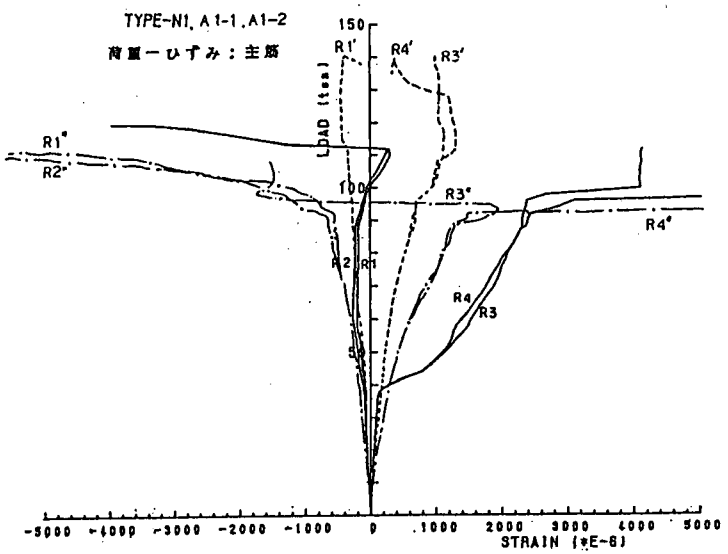
図－１．１４　荷重レベルの違いによる梁の変位状況

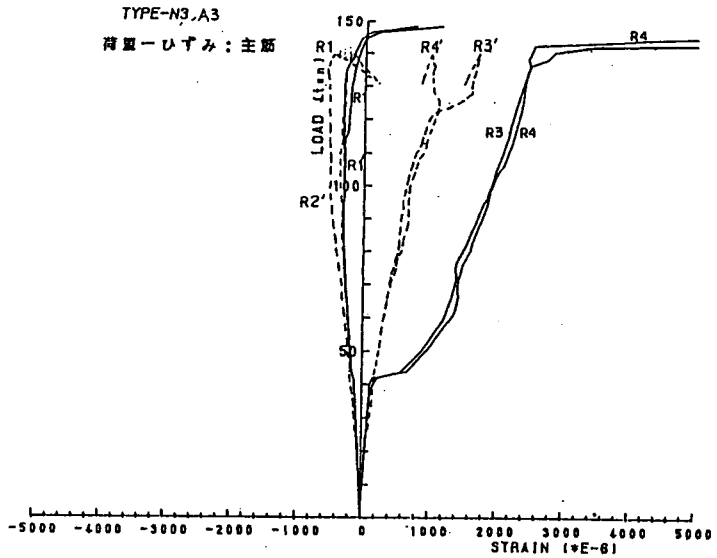


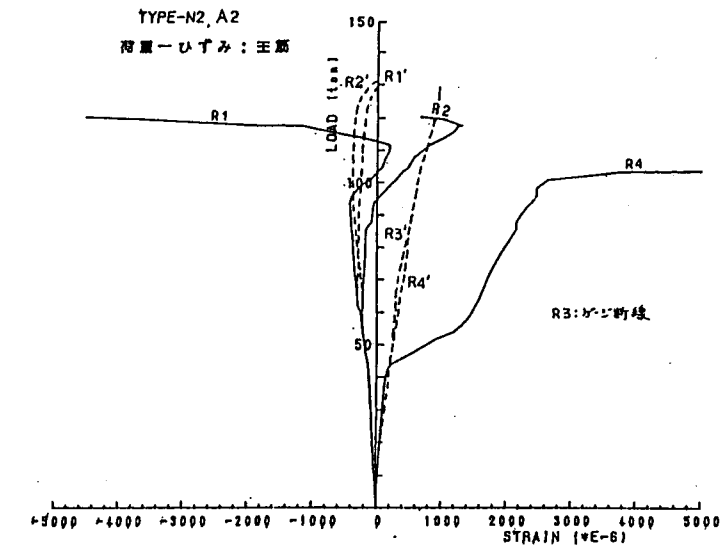
図－１．１５　曲げモーメント－曲率曲線

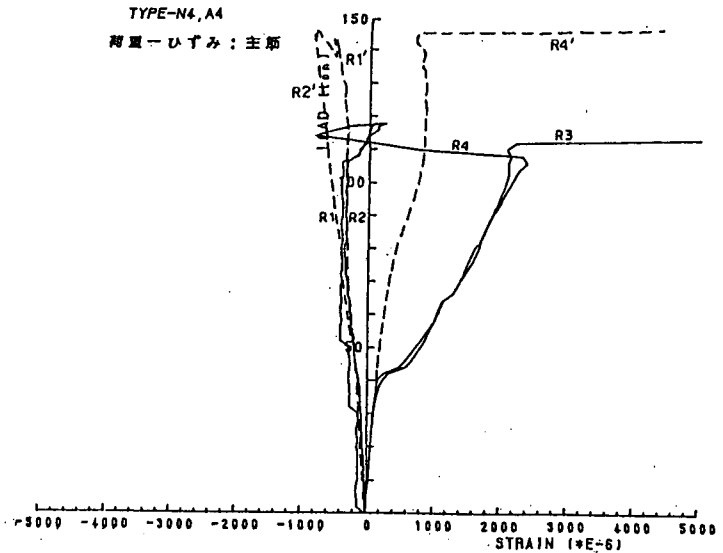


図－１．１５　曲げモーメント－曲率曲線

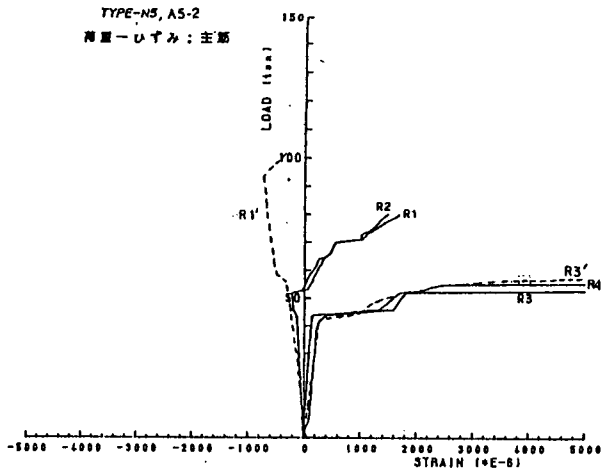

TYPE-N1, A1-1, A1-2
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (ton)
STRAIN (*E-6)
R1'
R4'
R3'
R1"
R2"
R3"
R4"
R2
R1
R4
R3

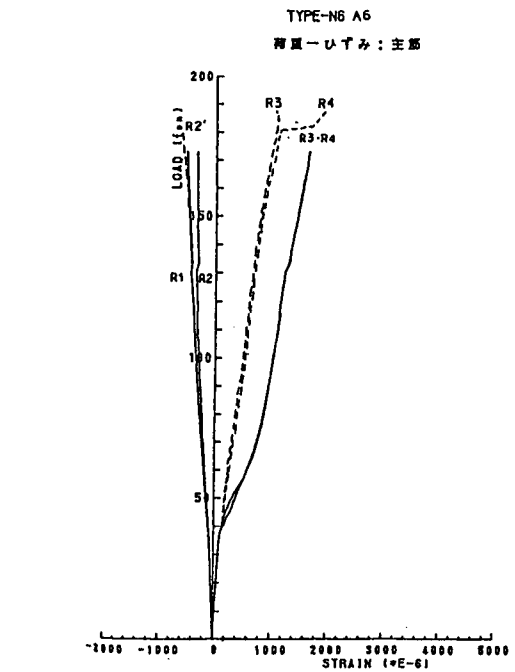

TYPE-N3, A3
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (ton)
STRAIN (*E-6)
R1
R4'
R3'
R4
R3
R4
R2'

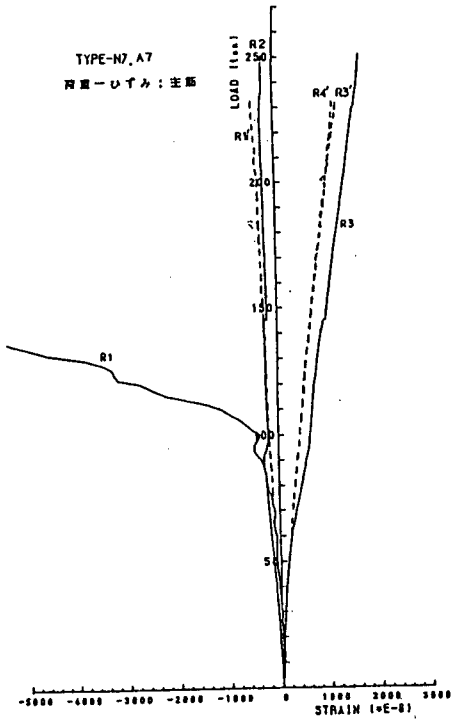

TYPE-N2, A2
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (ton)
STRAIN (*E-6)
R2'
R1'
R1
R2
R4
R3'
R4'
R3:ゲージ断線

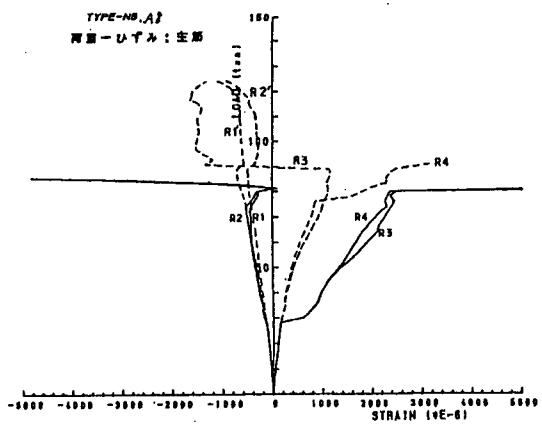

TYPE-N4, A4
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (ton)
STRAIN (*E-6)
R1'
R4'
R2'
R4
R3
R1
R2

図－１．１６　主鉄筋ひずみ

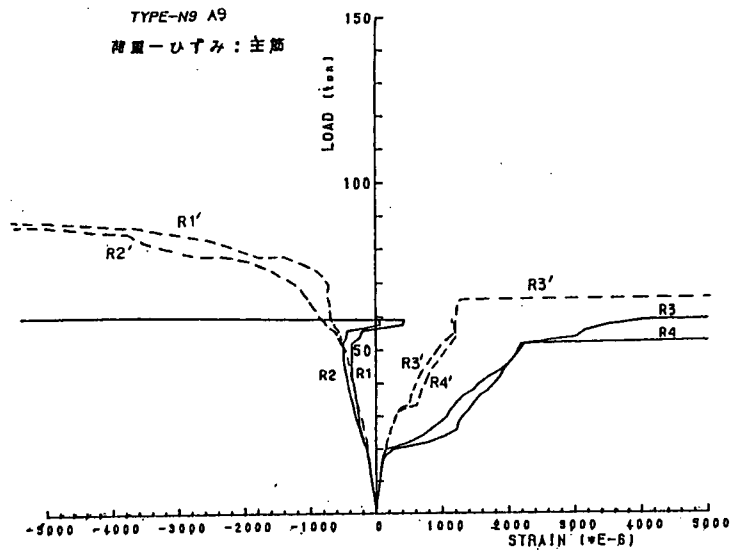

TYPE-N5, A5-2
荷重ーひずみ：主筋
LOAD (ton)
150
100
50
R1'
R2
R1
R3'
R4
R3
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000 2000 3000 4000 5000
STRAIN (*E-6)

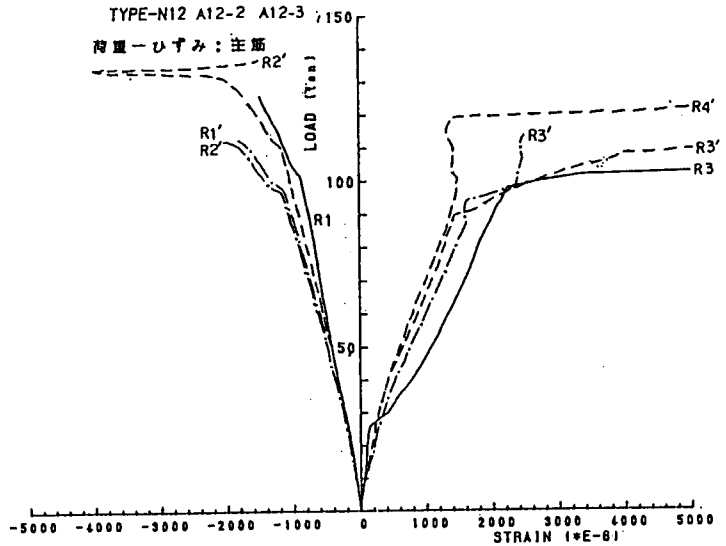

TYPE-N6 A6
荷重ーひずみ：主筋
LOAD (ton)
200
150
100
50
R2'
R3
R4
R3-R4
R1
R2
-2000 -1000 0 1000 2000 3000 4000 5000
STRAIN (*E-6)

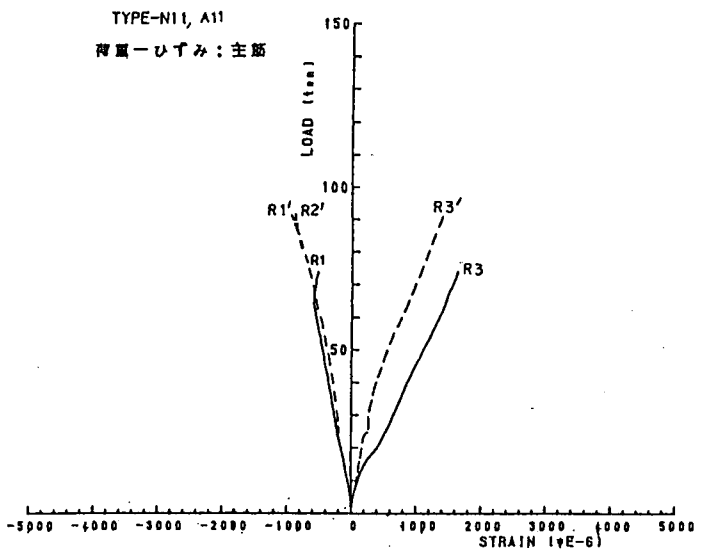

TYPE-N7, A7
荷重ーひずみ：主筋
LOAD (ton)
250
200
150
100
50
R2
R1'
R4' R3'
R3
R1
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000 2000 3000
STRAIN (*E-6)

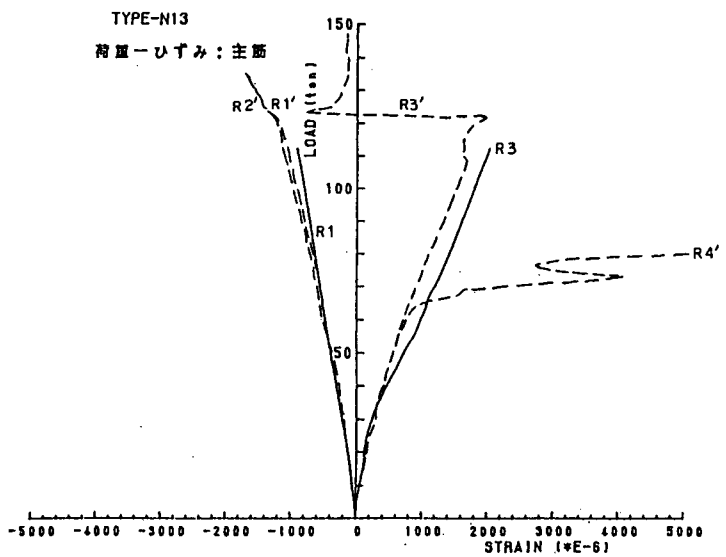

TYPE-N8, A8
荷重ーひずみ：主筋
LOAD (ton)
150
100
50
R2'
R1'
R3
R4
R2
R1
R4
R3
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000 2000 3000 4000 5000
STRAIN (*E-6)

図－１．１６　主鉄筋ひずみ

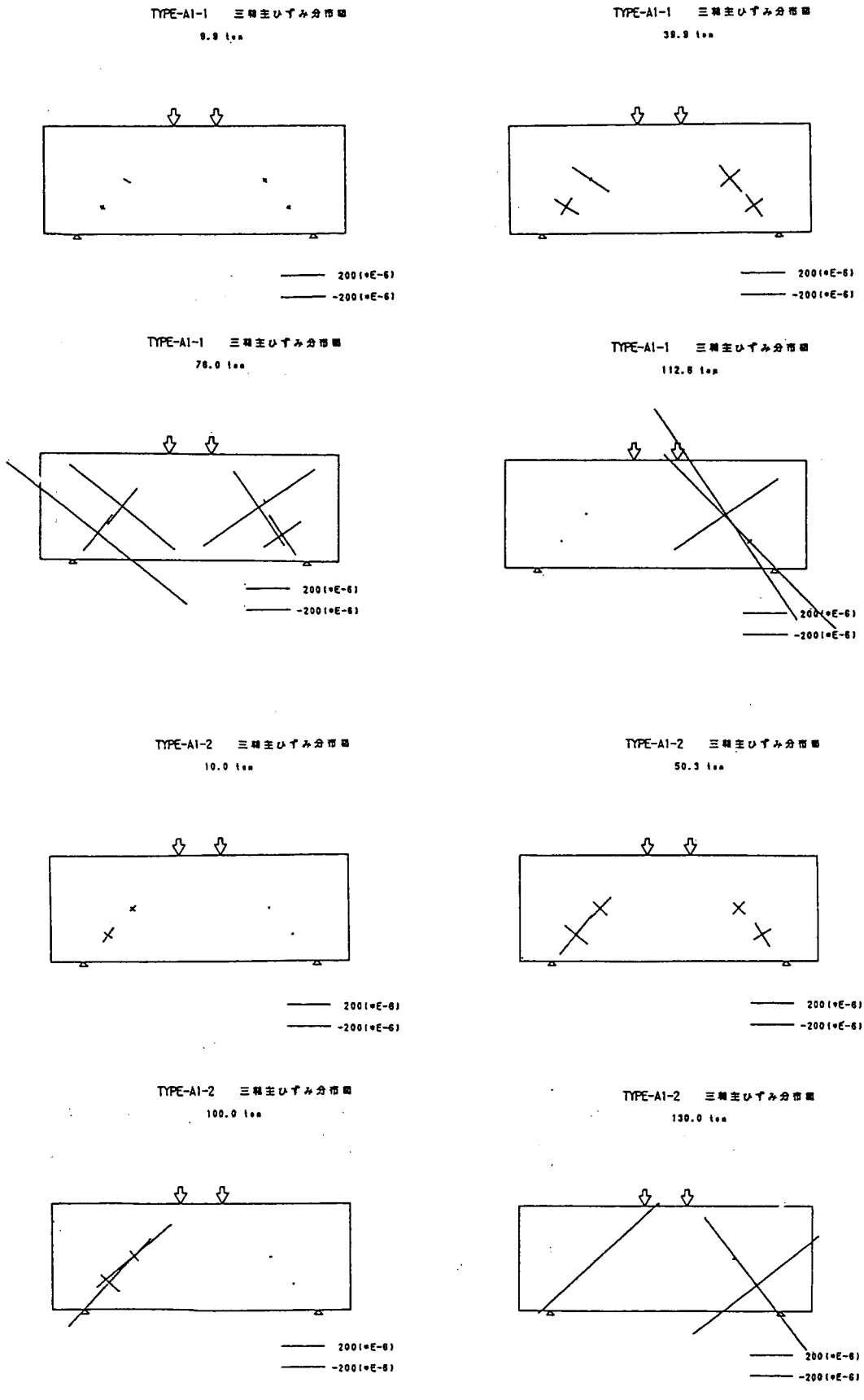

TYPE-N9 A9
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (ton)
150
100
50
R1′
R2′
R3′
R3
R4
R2
R1
R3′
R4′
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000 2000 3000 4000 5000
STRAIN (*E-6)


TYPE-N12 A12-2 A12-3
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (Ton)
150
100
50
R2′
R1′
R2′
R4′
R3′
R3′
R3
R1
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000 2000 3000 4000 5000
STRAIN (*E-6)

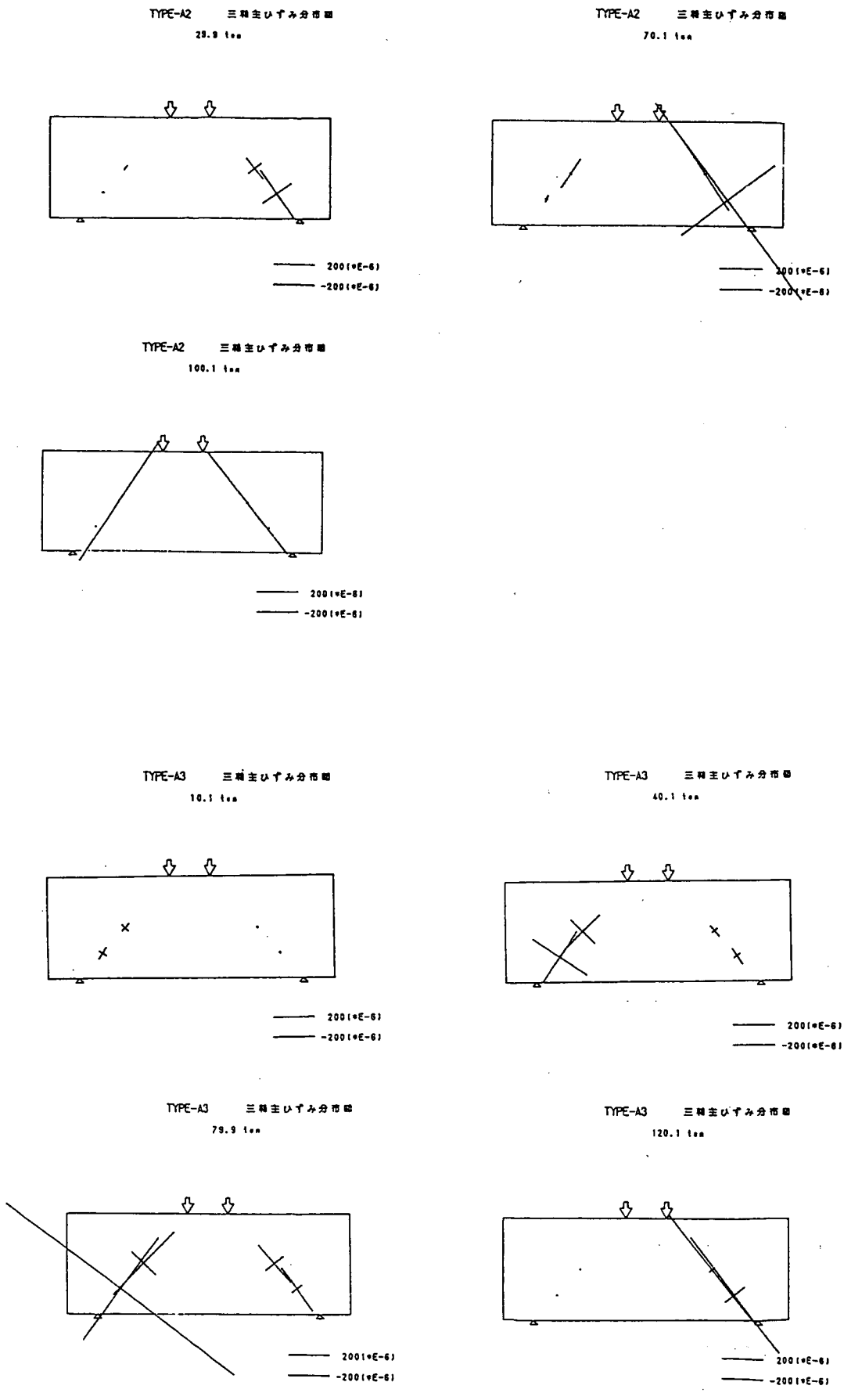

TYPE-N11, A11
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (ton)
150
100
50
R1′
R2′
R1
R3′
R3
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000 2000 3000 4000 5000
STRAIN (*E-6)


TYPE-N13
荷重－ひずみ：主筋
LOAD (ton)
150
100
50
R2′
R1′
R3′
R3
R1
R4′
-5000 -4000 -3000 -2000 -1000 0 1000 2000 3000 4000 5000
STRAIN (*E-6)

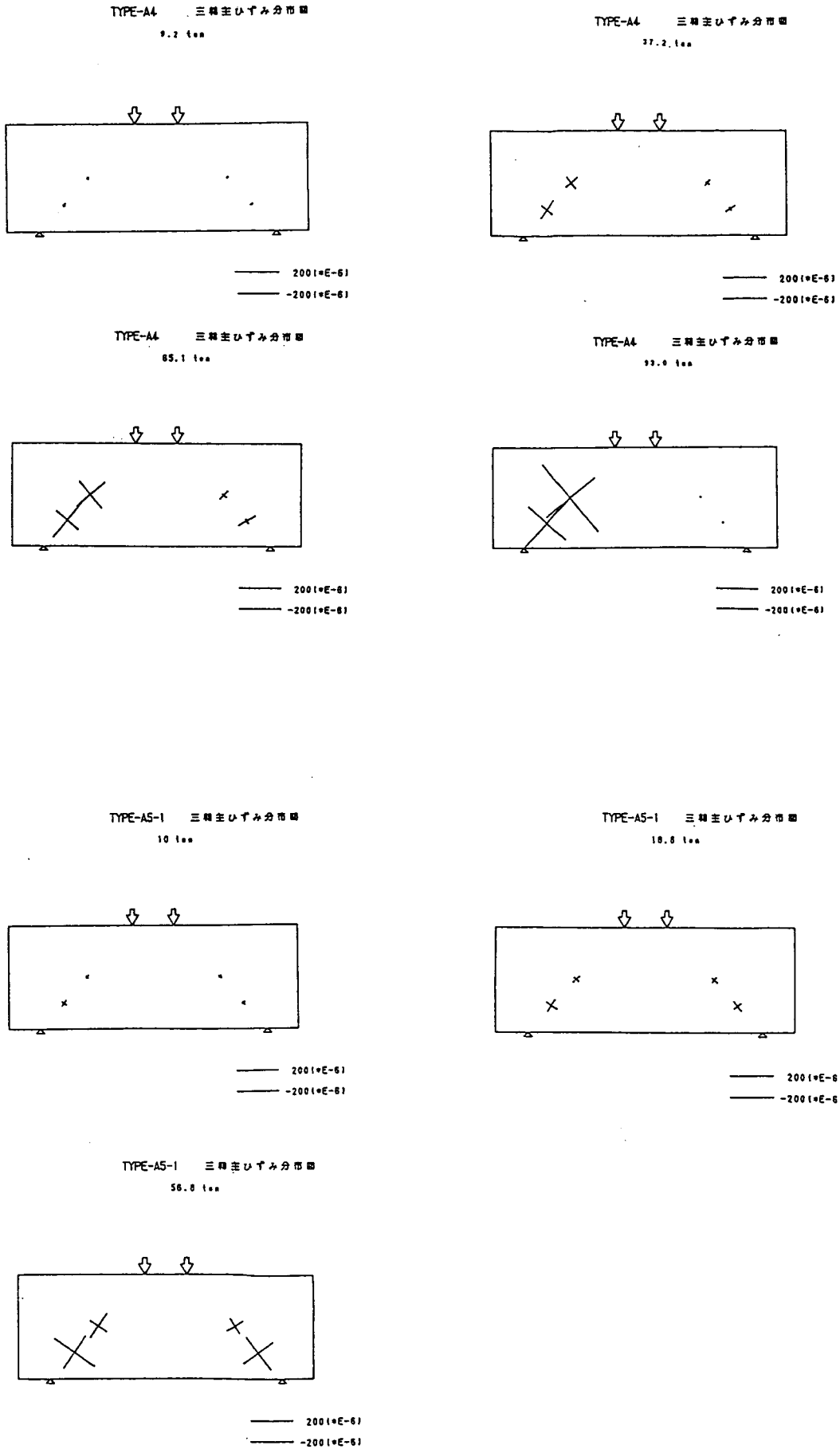
図－１．１６　主鉄筋ひずみ



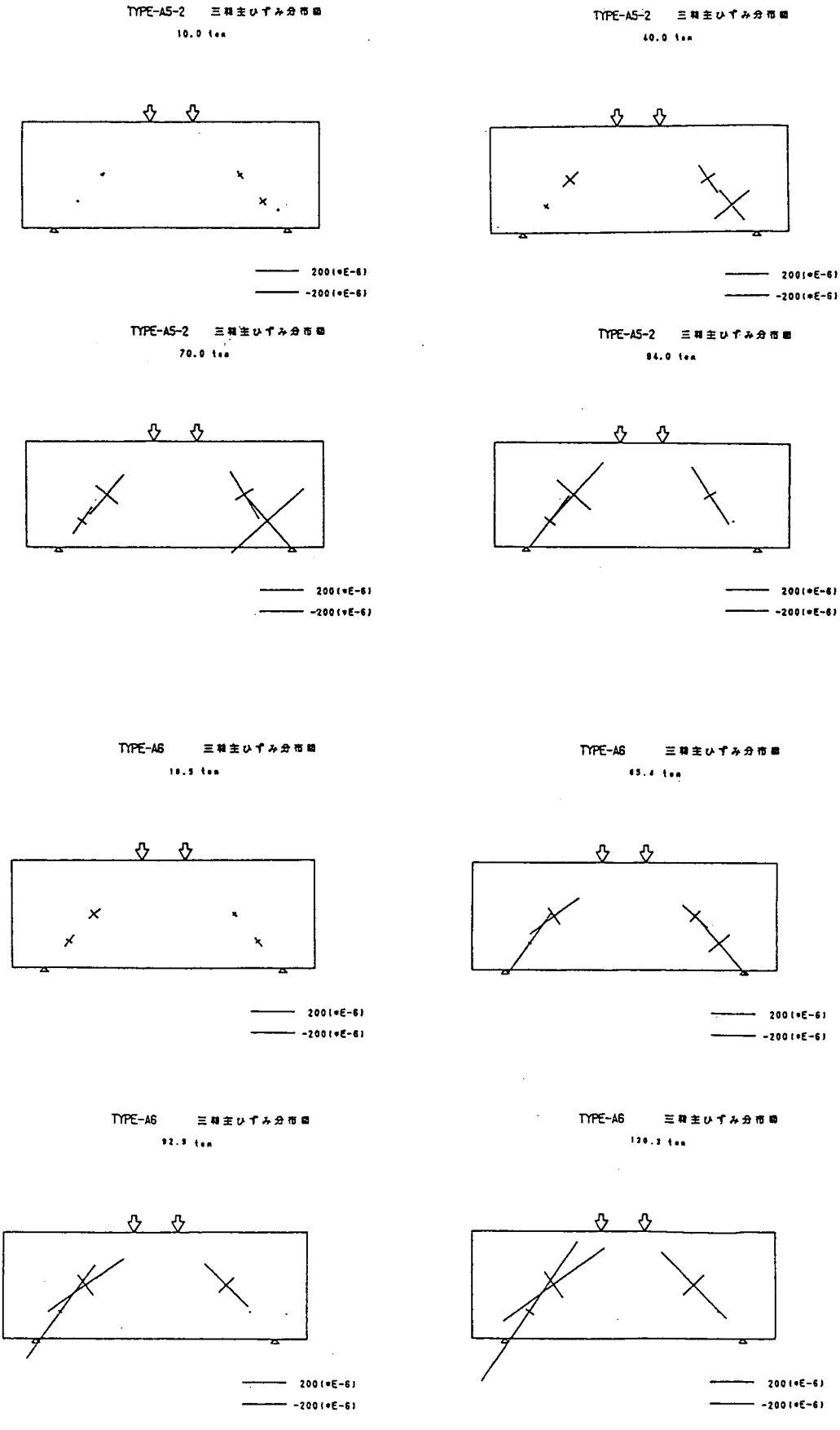
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



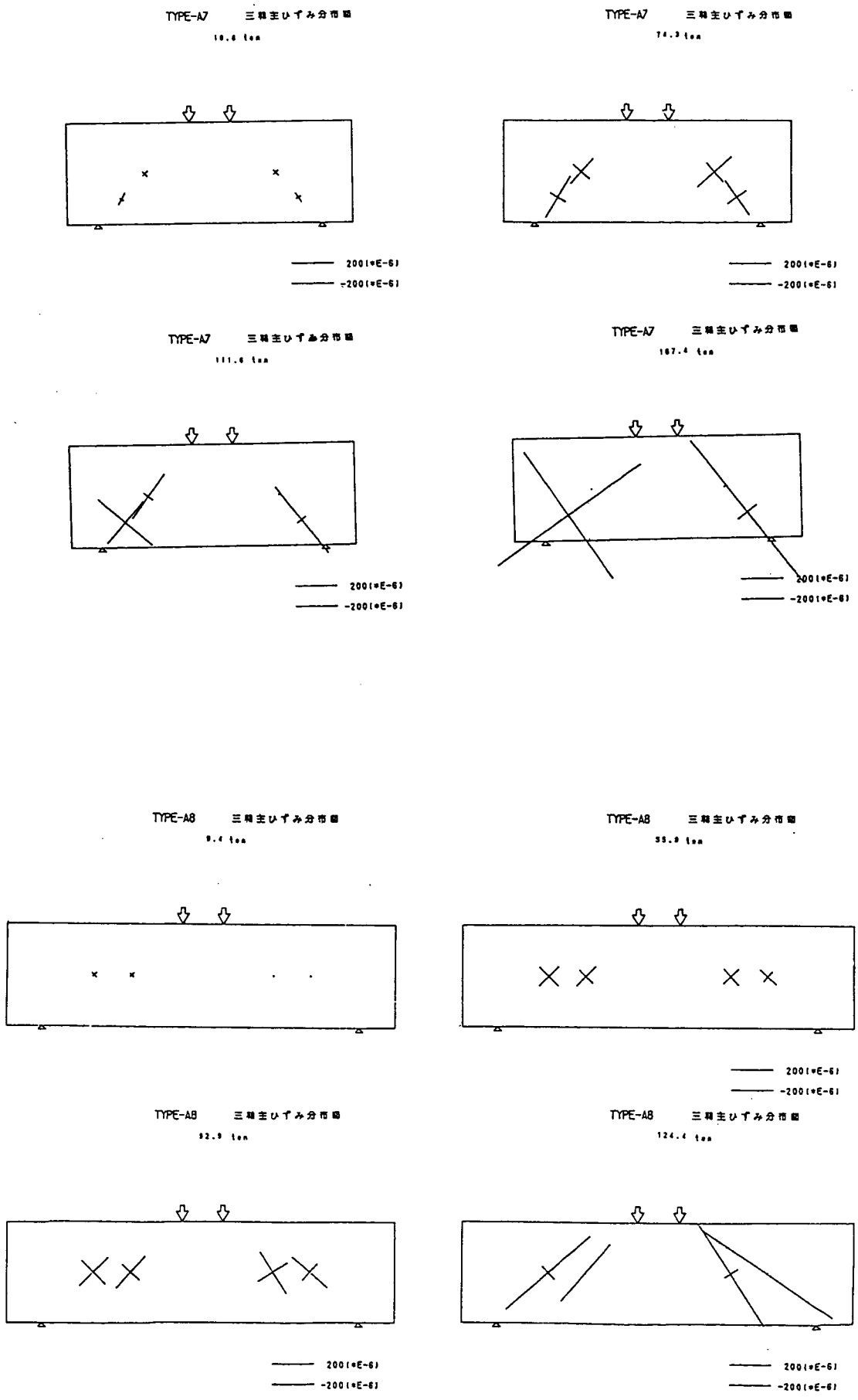
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



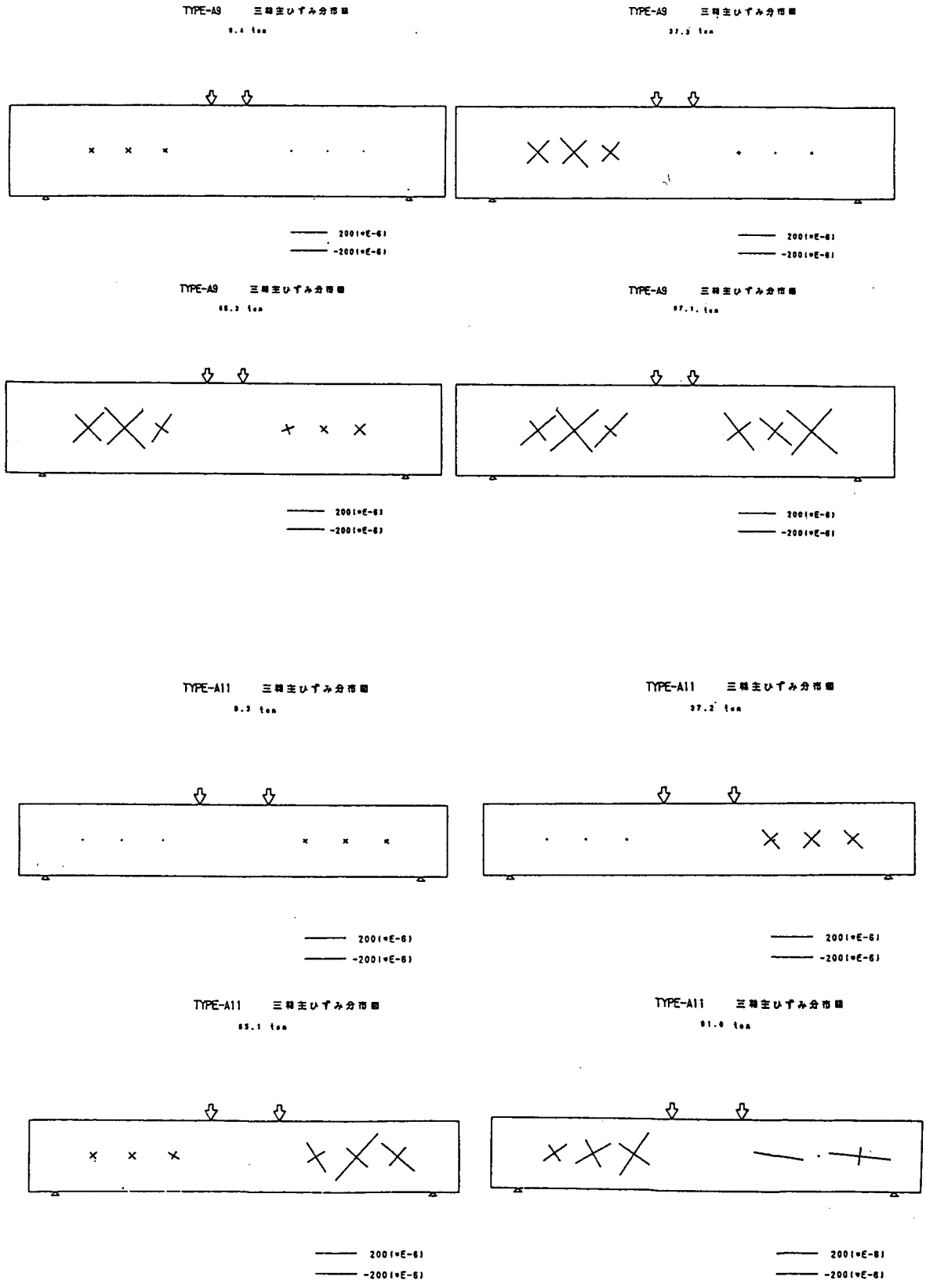
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



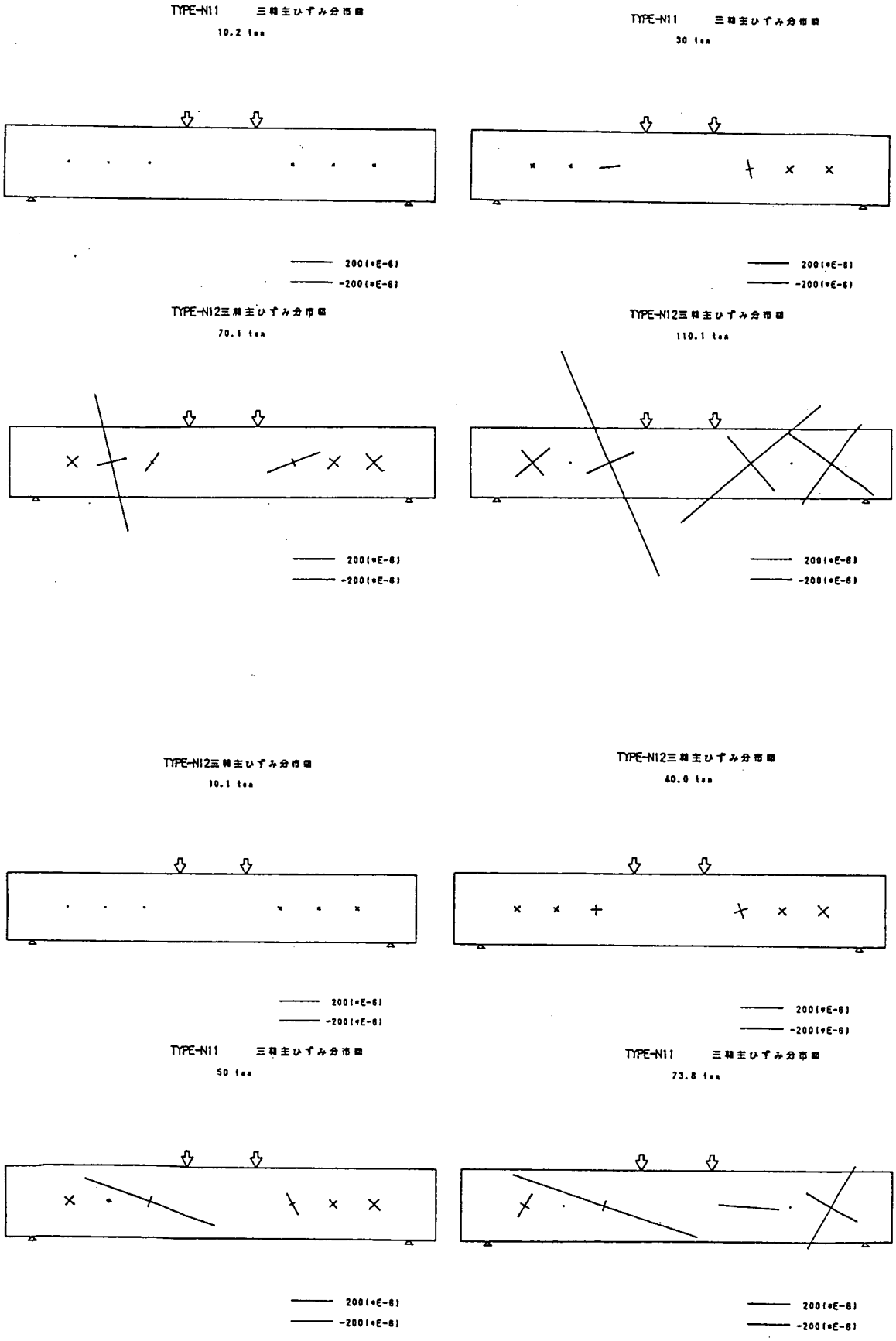
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



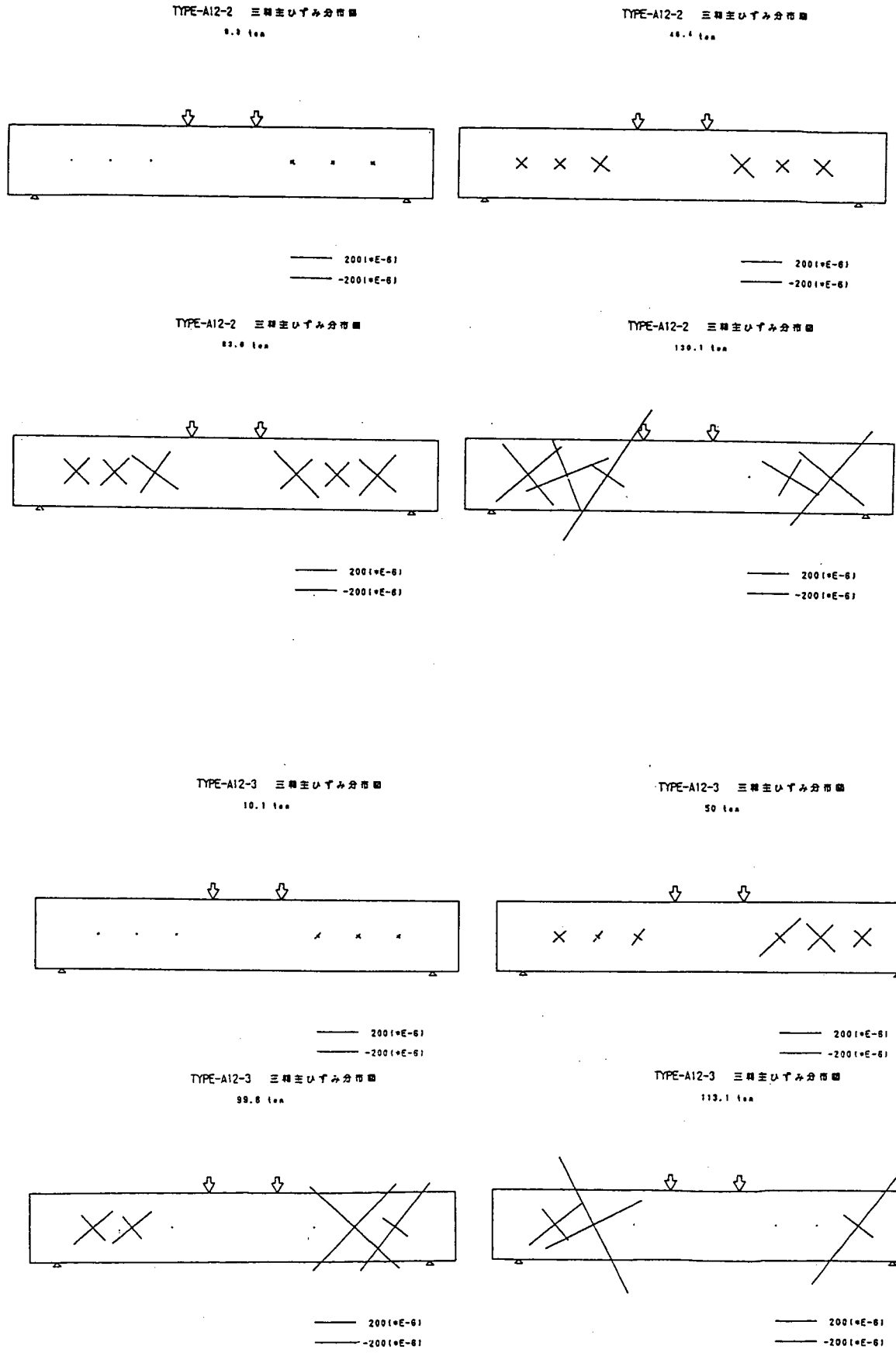
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



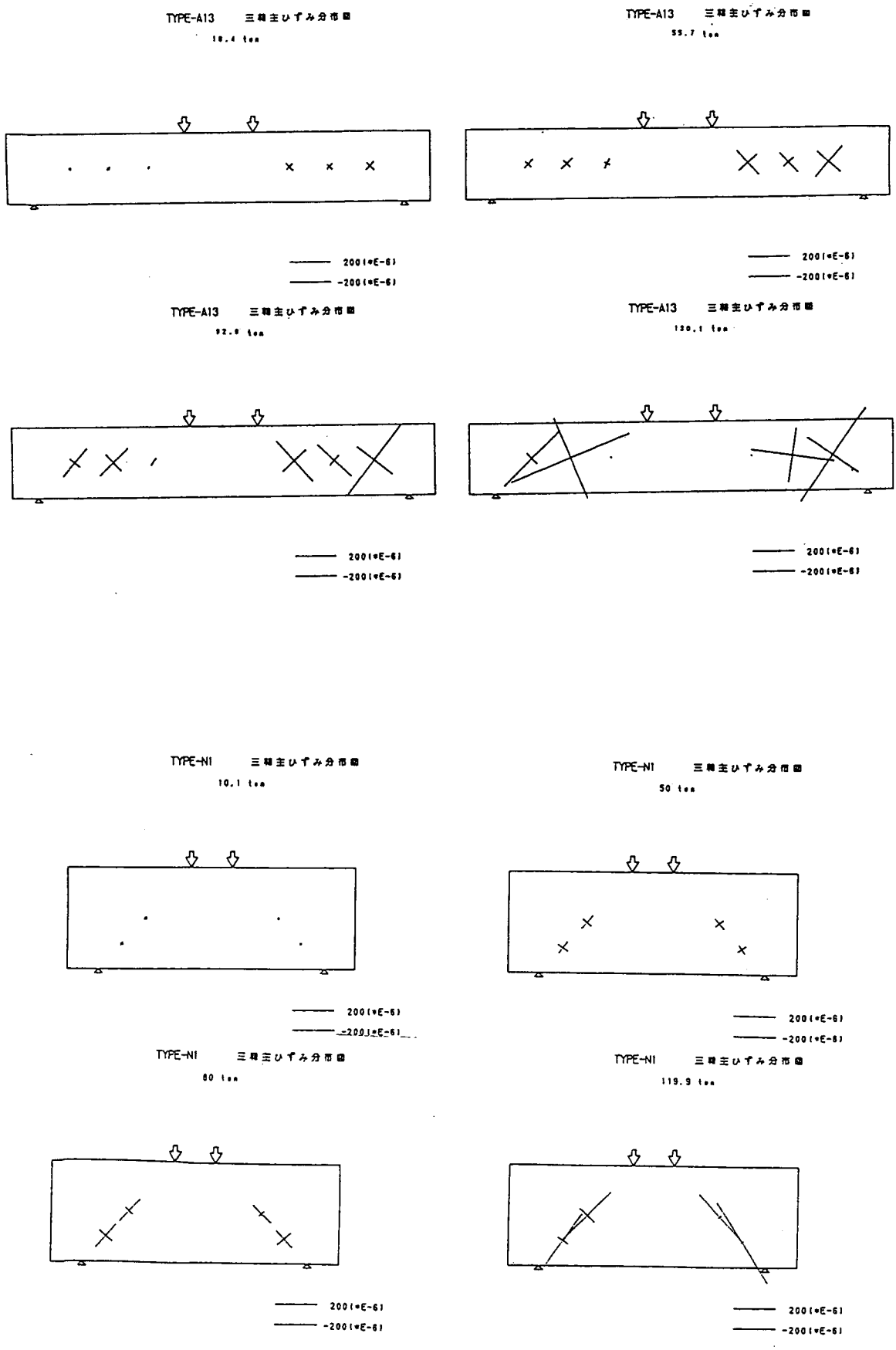
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



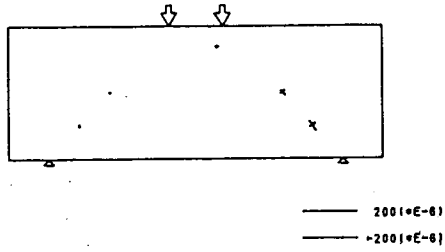
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



図－１．１７　コンクリートの主ひずみ

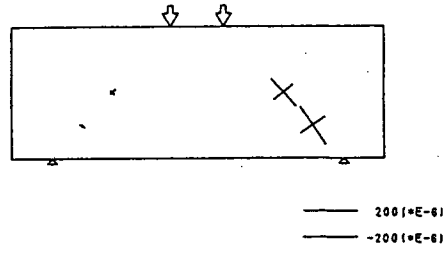
TYPE-N2　三軸主ひずみ分布図

10.1 ton



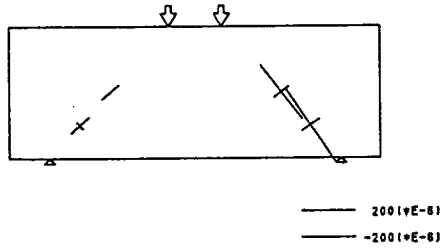
TYPE-N2　三軸主ひずみ分布図

50 ton



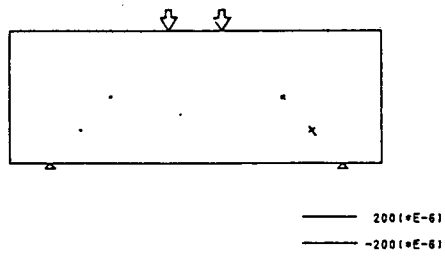
TYPE-N2　三軸主ひずみ分布図

90 ton



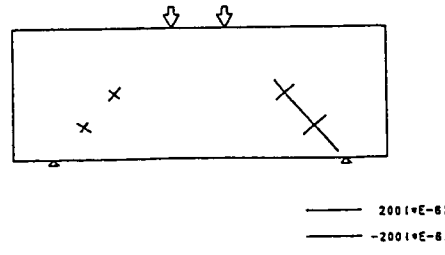
TYPE-N3　三軸主ひずみ分布図

9.8 ton



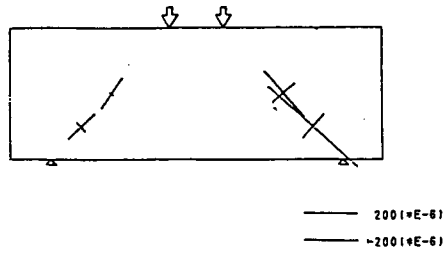
TYPE-N3　三軸主ひずみ分布図

50 ton



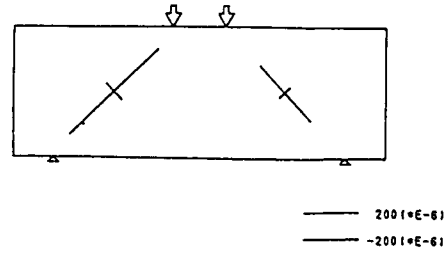
TYPE-N3　三軸主ひずみ分布図

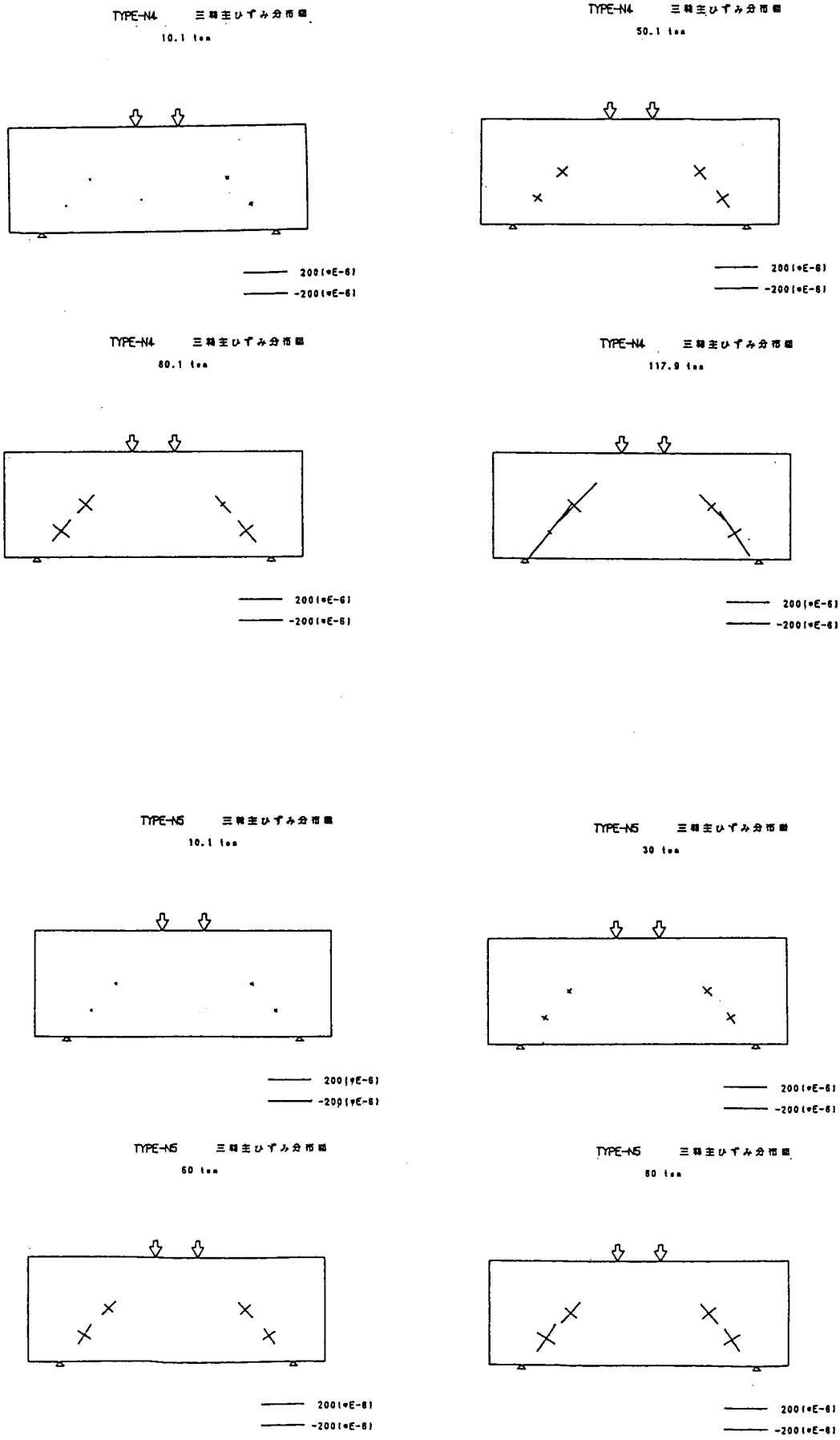
100.1 ton



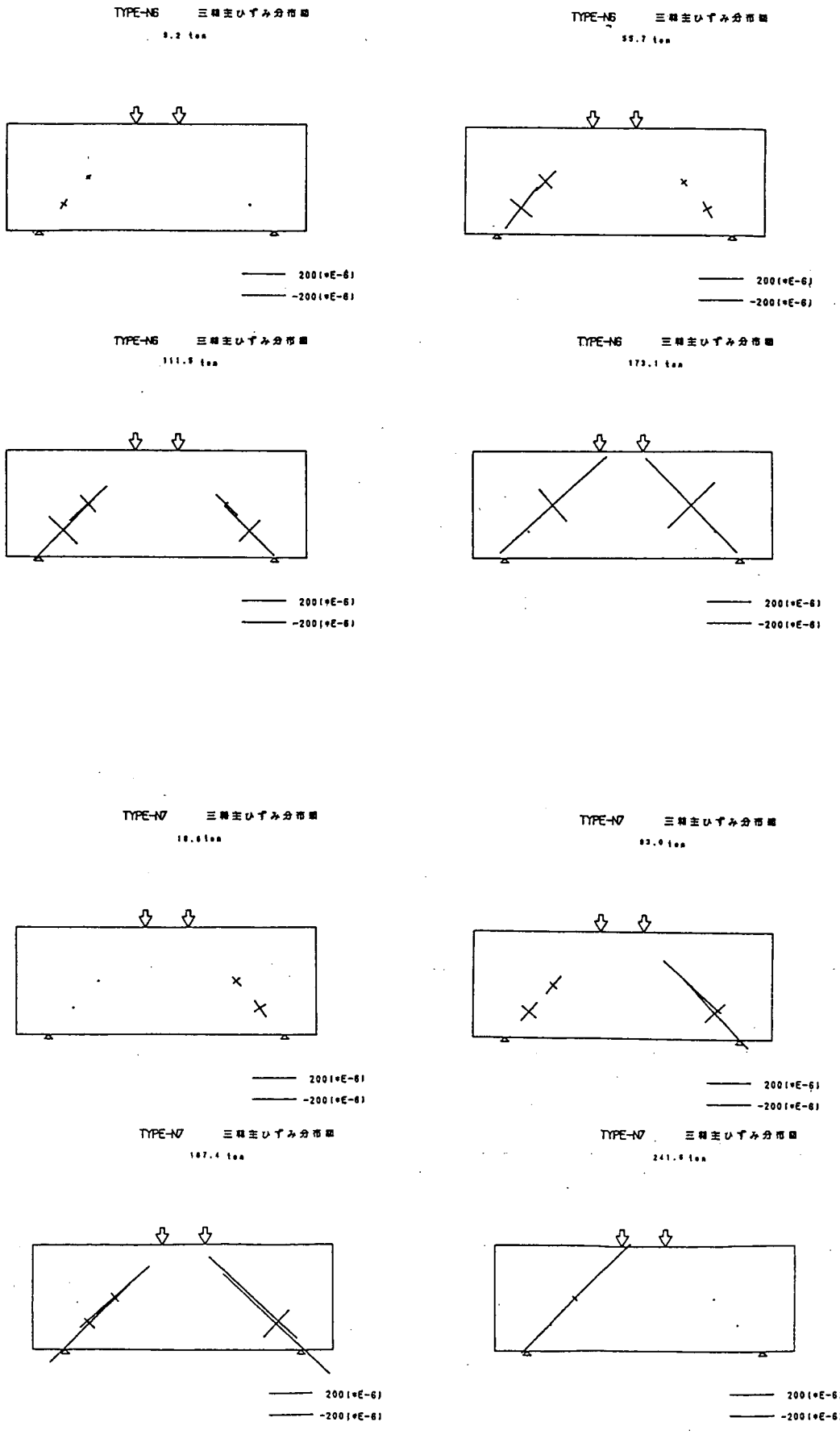
TYPE-N3　三軸主ひずみ分布図

148.4 ton

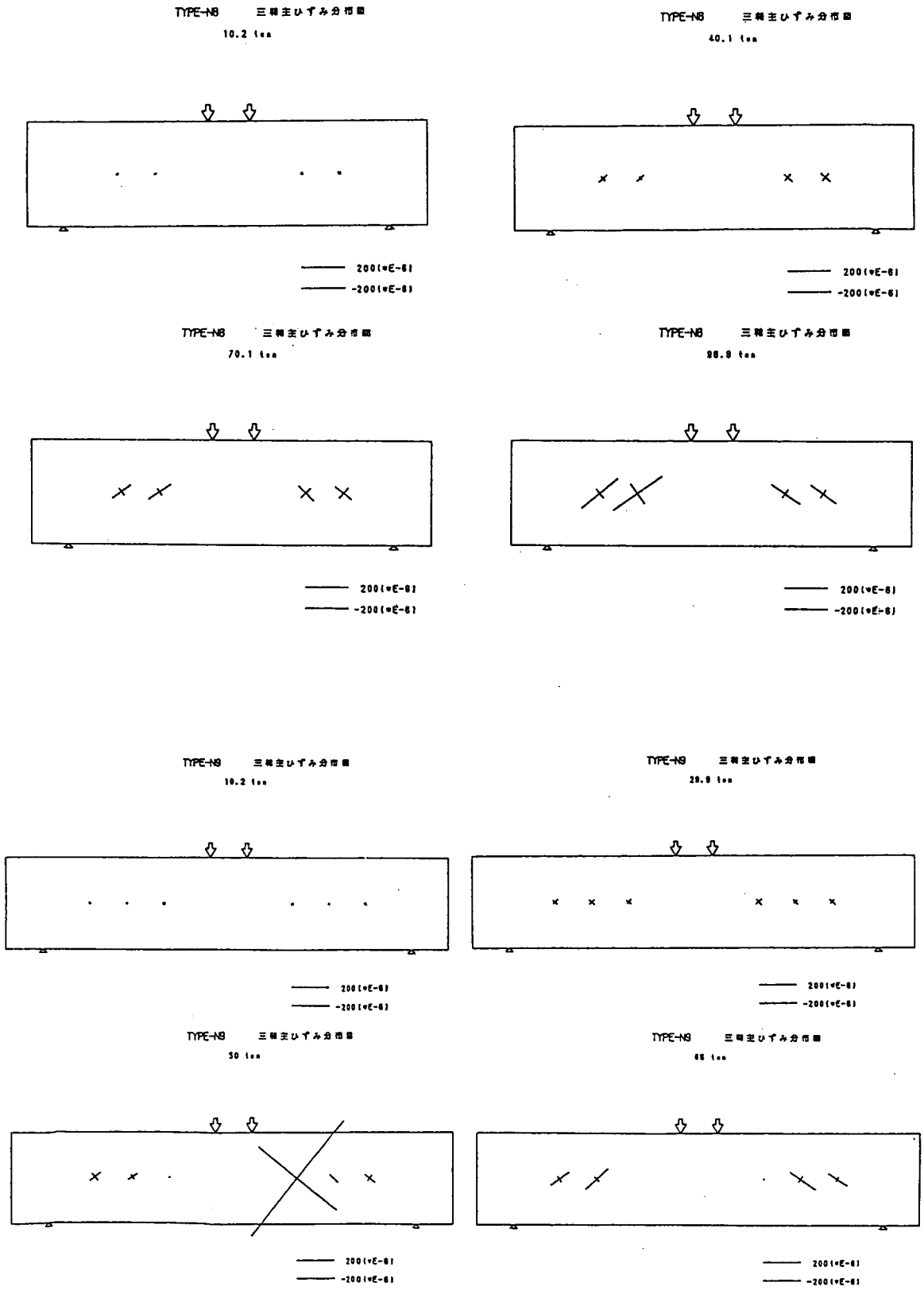




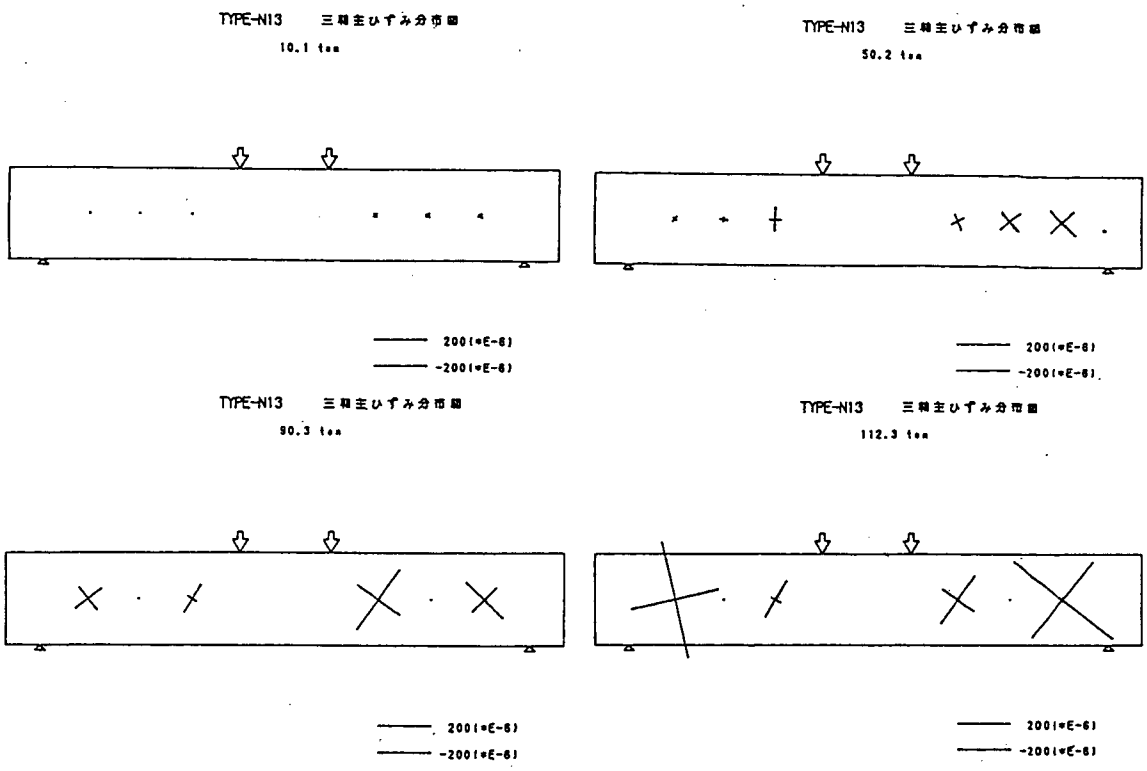
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



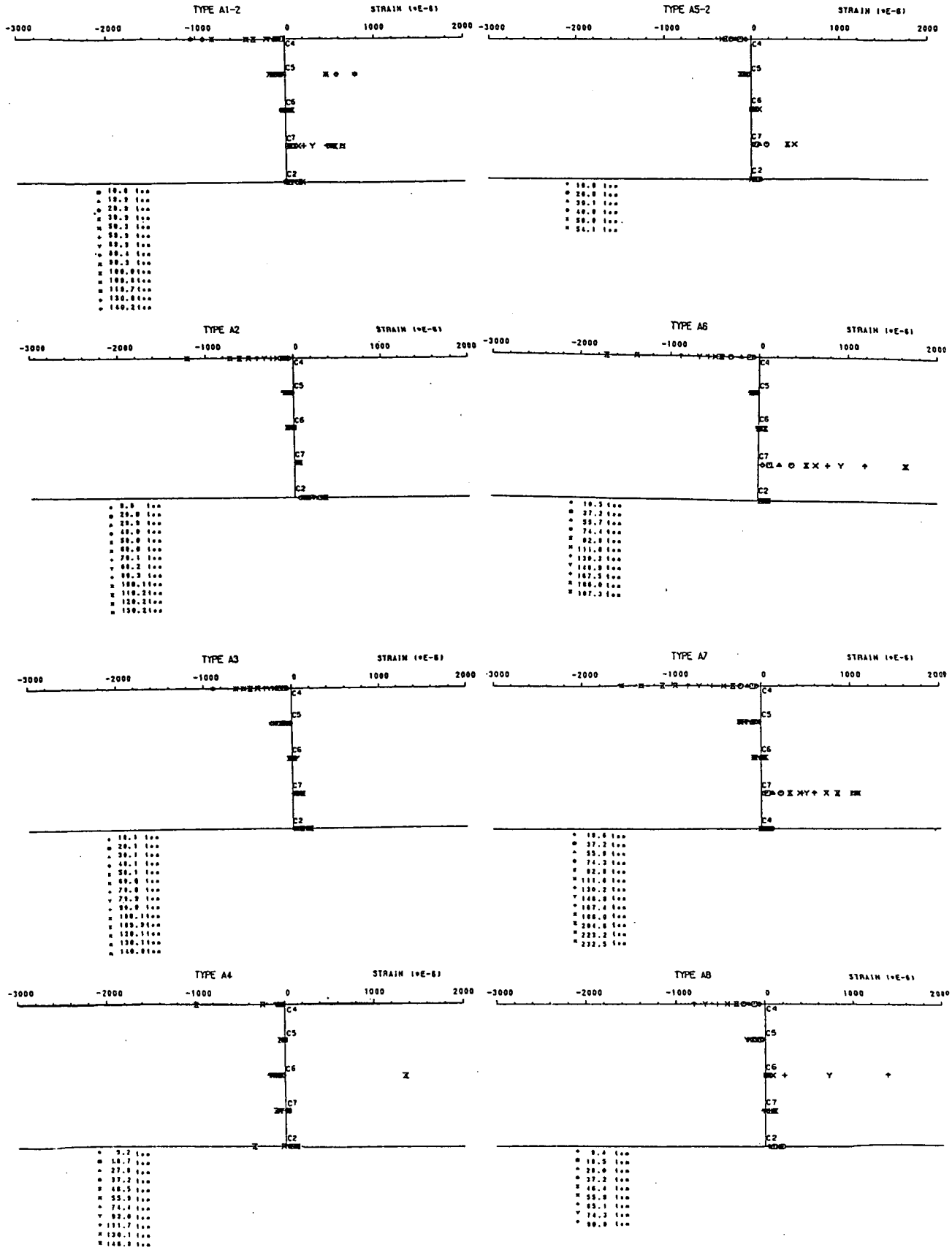
図－1.17　コンクリートの主ひずみ



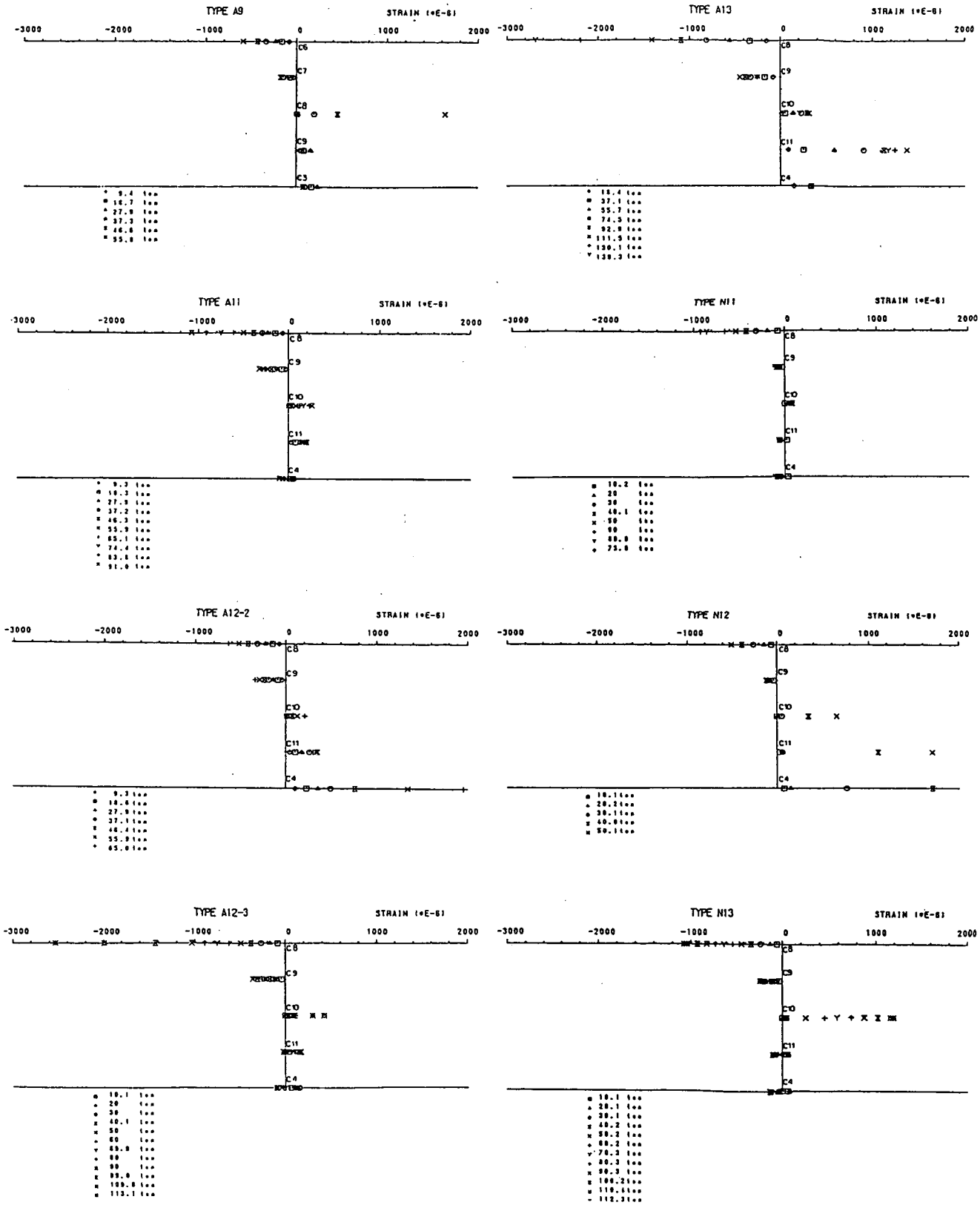
図－１．１７　コンクリートの主ひずみ



図－１．１７　コンクリートの主ひずみ


TYPE A1-2
STRAIN (*E-6)
TYPE A5-2
STRAIN (*E-6)
TYPE A2
STRAIN (*E-6)
TYPE A6
STRAIN (*E-6)
TYPE A3
STRAIN (*E-6)
TYPE A7
STRAIN (*E-6)
TYPE A4
STRAIN (*E-6)
TYPE A8
STRAIN (*E-6)

図－１．１８　維ひずみ分布


TYPE A9
STRAIN (*E-6)
TYPE A13
STRAIN (*E-6)
TYPE A11
STRAIN (*E-6)
TYPE N11
STRAIN (*E-6)
TYPE A12-2
STRAIN (*E-6)
TYPE N12
STRAIN (*E-6)
TYPE A12-3
STRAIN (*E-6)
TYPE N13
STRAIN (*E-6)

図－１．１８　維ひずみ分布

4．結論

ＡＳＲ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）ＡＳＲ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）ＡＳＲ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得ると判断された。

（4）ＡＳＲ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ＡＳＲの影響度合が異なることが推察され、せん断スパン比１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。

＜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

2章　ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート梁の疲労実験

2.1 実験の目的

ＡＳＲによる被害を受けた低鉄筋コンクリート梁が、繰り返し荷重を受けた場合の耐荷力特性および変形性能について調査する。

2.2 実験の概要

2.2.1 供試体の種類

実験に用いた供試体は、反応性骨材を使用したもの５体、非反応性骨材を使用したもの５体からなり、20cm（幅）×25cm（高さ）×170cm（長さ）の寸法を有するＲＣ梁である。供試体の仕様は、表－２.１に示すように、引張主鉄筋を2.4%、スターラップ量を0%，0.075%，0.151%，0.302%（Ｄ６を使用），0.302%（Ｄ１３を使用）の５段階に設定した。

表－２.１　供試体の種類

No.	骨　材	引張主鉄筋		スターラップ	
		本－径	P(%)	本－径	Pw(%)
A－1	A	2-D25	2.41	—	0
N－1	N			—	0
A－2	A			1-D6	0.075
N－2	N			1-D6	0.075
A－3	A			2-D6	0.151
N－3	N			2-D6	0.151
A－4	A			4-D6	0.302
N－4	N			4-D6	0.302
A－5	A			1-D13	0.302
N－5	N			1-D13	0.302

A：反応性骨材使用
N：非反応性骨材使用

2.2.2 供試体の製作

表－２.２に供試体を製作する際に設定したコンクリートの示方配合を示す。反応性骨材を使用した供試体には、コンクリート打設時にNa_2O等価アルカリ量が8kg/m³となるように水酸化ナトリウムを添加した。供試体については、脱型後、温度40℃，湿度約100%の環境下に設置し、ＡＳＲ促進養生を行った。なお、供試体製作の際、鉄筋にはＳＤ３０を使用している。

表－２.２　コンクリートの示方配合

Gmax (mm)	W／C (%)	S／a (%)	単位量(Kg／m³)				
			W	C	S	G	NaOH
20	62	50	201	324	872	913 (886)	— (7.5)

（　）内はAタイプ

2.2.3 ＡＳＲ促進養生時の劣化計測

ＡＳＲ促進養生時には、供試体の劣化進行度を把握するために、以下に示す項目について計測を実施した。

（１）鉄筋ひずみ

供試体製作時にあらかじめ主鉄筋およびスターラップにひずみゲージを貼付しておき、供試体の膨張に伴う鉄筋ひずみの変化を計測することにより、ＡＳＲによる劣化の進行度を確認した。図－２．１にゲージの添付位置を示す。

（２）コンタクトゲージによる伸び計測

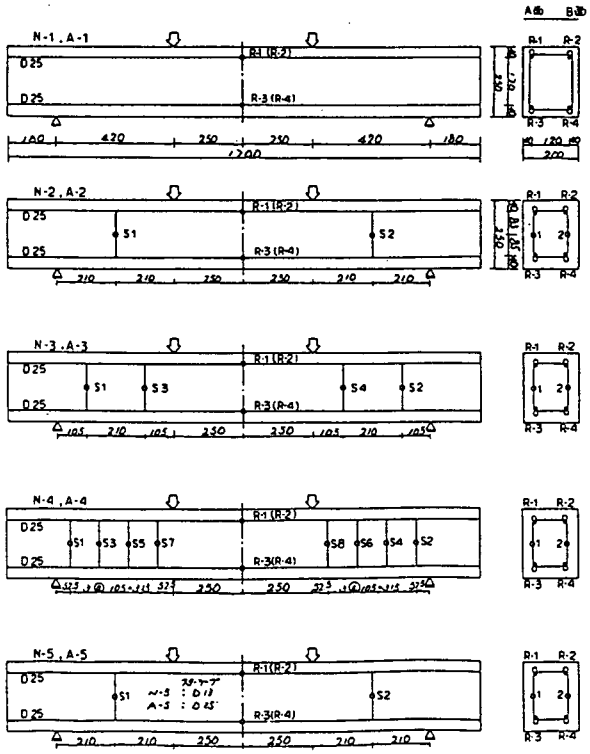
ＡＳＲ促進養生前に供試体表面に標点を貼り付けておき、養生中に標点間の距離を計測することによって、供試体の伸びを把握した。（図－２．２）

（３）超音波伝播速度

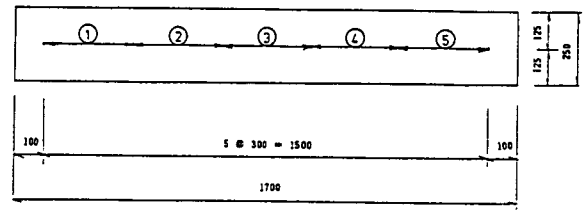
ＡＳＲに伴う超音波伝播速度の低下状況を計測した。計測断面は図－２．３に示す通りである。図中、Ａ－Ａ断面およびＣ－Ｃ断面は供試体の端部、Ｂ－Ｂ断面は供試体の中央部の断面をそれぞれ示す。

（４）ひびわれ観察

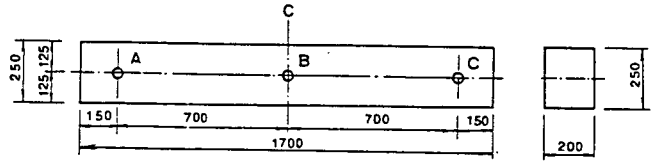
供試体表面のひびわれ状況の目視を通して、供試体の劣化状況を調査した。



図－２．１　鉄筋ゲージ貼付位置



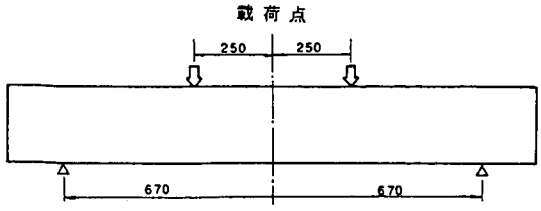
図－２．２　コンタクトゲージの取付け位置



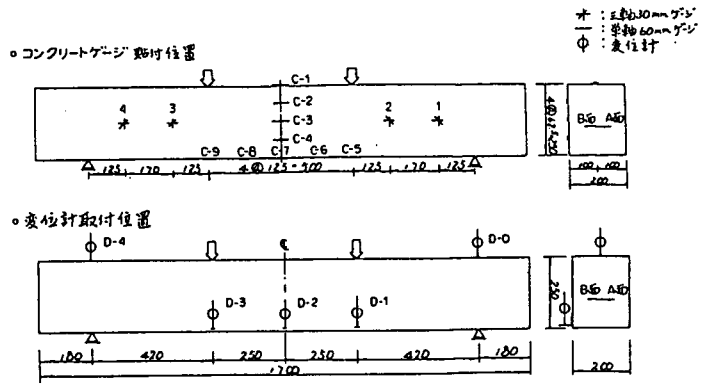
図－２．３　超音波伝播速度の計測断面

２．２．４　載荷方法および載荷時の測定項目

供試体の載荷方法は、図－２．４に示すように２点載荷（ａ／ｄ＝2.0）とし、２００万回の繰り返し載荷後、破壊に至るまで静的に載荷するものとした。その際、載荷荷重は正弦曲線（5Ｈｚ）の繰り返し荷重とし、振幅は最大17.0ｔｆ（Ｎ１，Ａ１のみ11.5ｔｆ）、最小1.0ｔｆに設定した。載荷実験時の測定項目は、載荷荷重、供試体の変位、鉄筋およびコンクリートのひずみとし、それぞれ荷重計、変位計およびひずみゲージを用いて、各荷重段階ごとに計測した。図－２．５に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を示す。



図－２．４　供試体の載荷方法



図－２．５　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

２．３　実験結果

２．３．１　ＡＳＲ促進養生時の劣化計測結果

（１）鉄筋ひずみ

図－２．６にＡＳＲの進行に伴う主鉄筋およびスターラップひずみの経時変化計測結果を示す。Ａ部材では、主鉄筋で約250μ、スターラップではＡ２～Ａ４供試体に1000～1200μ、Ａ５供試体に約500μのひずみが生じている。

（２）コンタクトゲージによる伸び計測

図－２．７は、ＡＳＲの進行に伴う供試体長手方向のひずみ変化をコンタクトゲージによって計測したものである。図中の数字のうち１，５は供試体端部、２～４は供試体中央部のひずみ計測値を示している。材令約２００日における各供試体のひずみの平均値を計算してみると、200～450μのひずみが生じていることが判った。また、計測位置の違いによるひずみの発生状況については、供試体の全長にわたって一様にひずみが生じるもの、測定区間の違いによってひずみの発生量が大きく異なるものとさまざまであり、定性的な特長は認められなかった。

（３）超音波伝播速度

図－２．８は超音波伝播速度の経時変化を示したものである。計測は、材令１００日から約２００日にわたって実施した。図によると、Ｎ部材の超音波伝播速度の平均値は、材令１００日において約4700m/sであったものが、材令約２００日では4600m/s程度になっており、経時的な変化はさほど大きくない。これに対し、Ａ部材では材令１００日において約4800m/sであったものが、２００日では約4300m/s程度に減少しており、Ｎ部材よりも超音波伝播速度の低下が大きくなっている。そこで、材令１００日から約２００日における超音波伝播速度の低下率を計算してみると、Ｎ部材では1.4～1.9%、Ａ部材では9.4～9.5%となっている。この傾向は、梁の端部または中央部に関係なく認められる。

２．３．２　載荷実験結果

（１）　耐荷力特性

約２００日にわたる供試体のＡＳＲ促進養生を行った後、載荷実験を実施した。載荷時における供試体のコンクリート強度については、反応性骨材を使用したものがテストピース強度で548kgf/cm^2、反応性骨材を使用しないもので381kgf/cm^{2}であった。

ＲＣ梁の繰り返し実験結果を表－２．３に示す。表中の計算値に関しては、曲げ耐力は土木学会標準示方書式による計算値、せん断耐力については土木学会標準示方書式と国鉄式を用いた計算値の小さい方の値として示している。実験結果によると、配置されるスターラップ量が極めて少ない場合（供試体１および２シリーズ）、繰り返し載荷後のＡ部材のせん断耐力はＮ部材に比べて小さくなっている。ところが、部材断面に配置されるスターラップ量が増加するにつれて、Ｎ部材とＡ部材のせん断耐力の差は小さくなり、スタラップ量が0.15％の供試体において両者の関係は逆転している。これは膨張しようとするコンクリートを鉄筋が拘束しようとする際に生じる力（ケミカルプレストレス）の影響によるものと考えられる。鉄筋による拘束の影響は、表－２．３のひびわれ発生荷重の値としてもとらえることができる。表－２．２によるとスターラップ量の増加に伴い、Ａ部材のひびわれ発生時期はＮ部材に比べて遅くなってきており、このようなケミカルプレストレスの作用によるせん断ひびわれ発生の遅延およびひびわれ発生後のケミカルプレストレスによる骨材のかみ合わせ効果の向上がＡ部材のせん断耐力を増大させている原因であると考えられる。

表－２．３　載荷実験結果

	クラック発生荷重		最大荷重 (tf)	計　算　値(tf)		最大荷重計算値	破壊形態	N 部 材 / A 部 材
	曲　げ(tf)	せん断(tf)		曲　　げ	せ　ん　断			
N1	5.0	30.0	41.9	28.2	22.3	1.88	せん断	1.33
A1	3.0	28.0	31.5	27.2	19.7	1.60	〃	
N2	7.0	17(150万回)	50.1	28.2	22.3	2.25	〃	1.30
A2	4.0	31.1	39.6	27.2	19.7	1.96	〃	
N3	7.0	17(200万回)	36.2	28.2	22.3	1.62	〃	0.91
A3	4.0	17(100万回)	40.0	27.2	19.9	2.03	〃	
N4	6.0	17(　1万回)	37.9	28.2	29.6	1.34	曲　げ	0.94
A4	5.0	17(10万回)	39.9	27.2	28.1	1.47	〃	
N5	7.0	17(10万回)	35.0	28.2	29.6	1.18	せん断	1.00
A5	11.0	17(100万回)	35.0	27.2	28.1	1.70	〃	

（２）　載荷実験によるひびわれの進行

図－２．９は載荷時におけるひびわれの進行を示したものである。Ａ部材が繰り返し荷重を受ける場合に発生するひびわれとして、曲げひびわれ、せん断ひびわれの他に、載荷前にＡＳＲによって生じたひびわれが荷重の繰り返しとともに進行して行くものが認められる。Ｎ部材とＡ部材の最大荷重の比較からは、このひびわれがＲＣ部材の耐荷力減少に直接関与しているとは考えられないが、コンクリートの耐久性の面から考えると好ましくないひびわれである。したがって、繰り返し荷重を受けるような部材にＡＳＲによるひびわれが発生した場合には、補修等の処理を施し、ひびわれの進行を抑制することが望ましい。

（３）　繰り返し載荷回数と主鉄筋ひずみの関係

図－２．１０は繰り返し載荷回数と主鉄筋ひずみのピーク値の関係を示したものである。いずれのシリーズもＡ部材の主鉄筋に生じているひずみは、Ｎ部材よりも小さな値になっており、

主鉄筋によるコンクリートの膨張拘束効果により、Ａ部材の曲げ剛性は増加している。また、繰り返しに伴うひずみの増加量についても、供試体５シリーズでＡ５のひずみが１００万回の繰り返し載荷回数を超えるあたりから増加している以外は、Ｎ部材、Ａ部材共に似たような疲労性状を示しており、供試体３シリーズでは、むしろＮ部材の方が最終的なひずみの増分は大きくなっている。

（４）　荷重と変位の関係

図－２．１１は繰り返し載荷を行った場合の荷重と梁中央部の変位の関係を示したものである。Ａ部材の曲線の傾き（荷重増分／変位増分）はＮ部材に比べて同等か、もしくはＮ部材を上回っており、見かけの曲げ剛性は増加しているものと考えられる。

（５）　荷重とスターラップひずみの関係

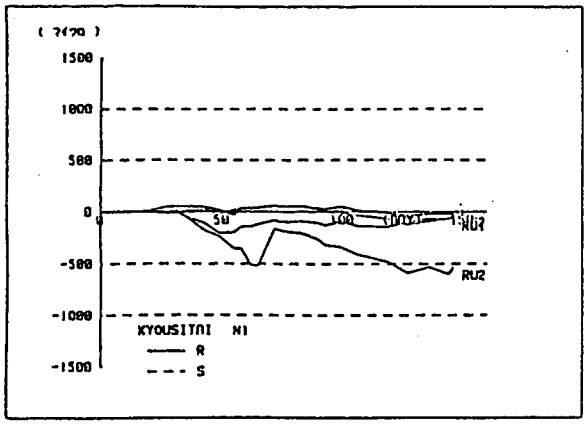
図－２．１２は、繰り返し載荷実験時の荷重とスターラップひずみの関係を示したものである。供試体４シリーズを見てみると、Ｎ部材では１万回の繰り返し載荷時にせん断ひびわれが発生し、ひずみが増加しているが、１０万回の繰り返し載荷までは１万回以前と同様の荷重ひずみ特性（荷重増分／ひずみ増分）を示している。しかし、１００万回繰り返し載荷以後、荷重ひずみ曲線の傾きは小さくなり、ひずみが増大する性状を示している。これに対しＡ部材では、せん断ひびわれ発生後も２００万回の繰り返しに至るまで、それ以前と同様な荷重ひずみ関係を保ち続けており、ひずみの発生量も小さくなっている。これはケミカルプレストレスの影響により、ひびわれの発生およびひびわれ発生後のスターラップひずみの進行を抑制されているためであると考えられる。

供試体５シリーズにおいては上記の傾向がさらに顕著である。Ｎ部材では、繰り返し回数の増加に伴ってひずみは増大し、（$\Delta P / \Delta \varepsilon$）の値は減少して行くのに対し、Ａ部材では２００万回の繰り返し載荷まで同一の荷重ひずみ関係を保持しており、最終的な残留ひずみも小さくなっている。

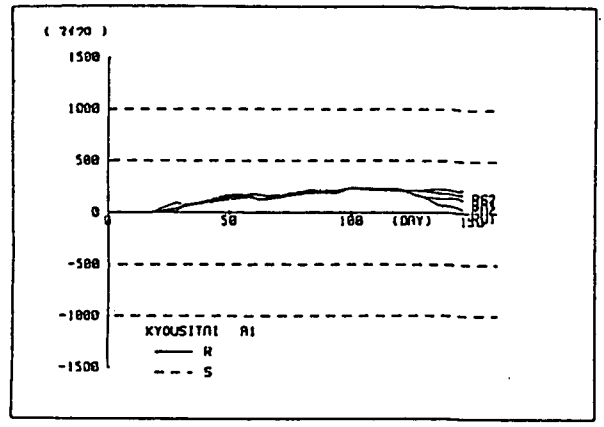
しかし、配置されているスターラップ量が少ない供試体２シリーズでは、ケミカルプレストレスによるせん断ひびわれ抑制効果が小さく、Ｎ部材、Ａ部材共に類似した（$\Delta P / \Delta \varepsilon$）関係を示し、ひずみ量に関してはＡ部材の方が大きくなっている。

また、スターラップ量が供試体２シリーズと供試体４シリーズの中間にある供試体３シリーズでは、Ｎ部材、Ａ部材共に似た荷重ひずみ曲線を示している。

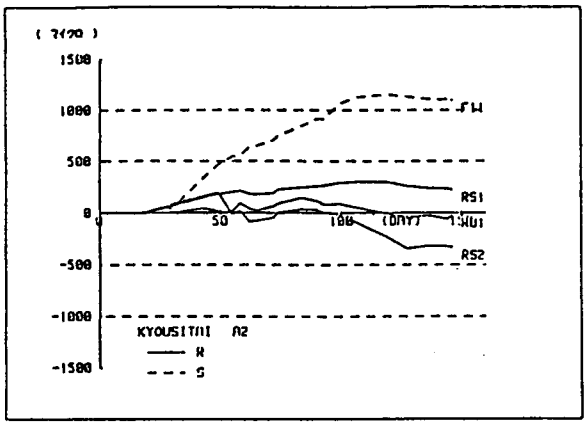
以上のように、Ａ部材におけるスターラップの荷重ひずみ関係は、鉄筋量の違いにより異なる性状を示す傾向が認められた。



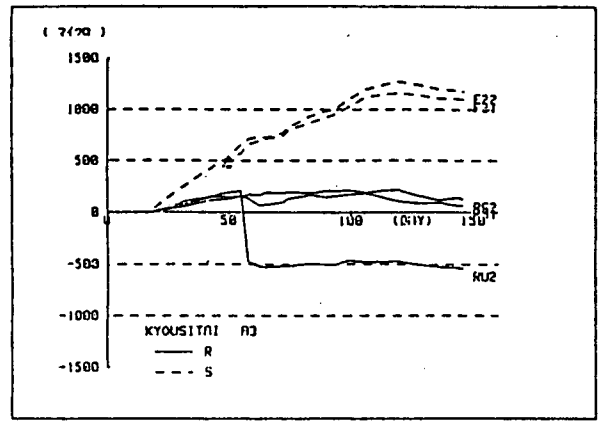
（N部材）



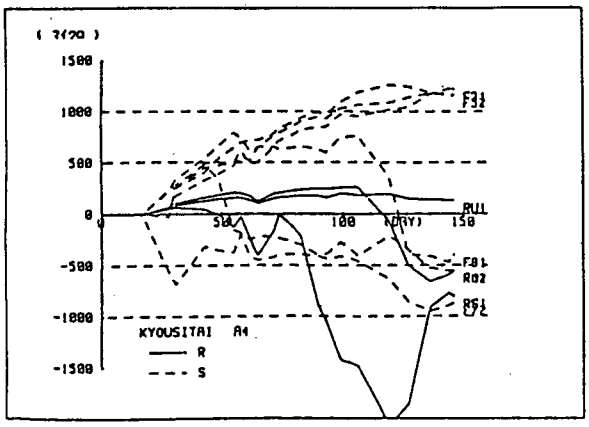
（A1）



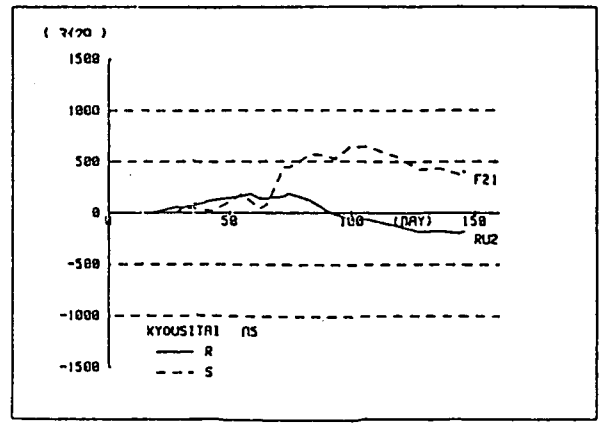
（A2）



（A3）

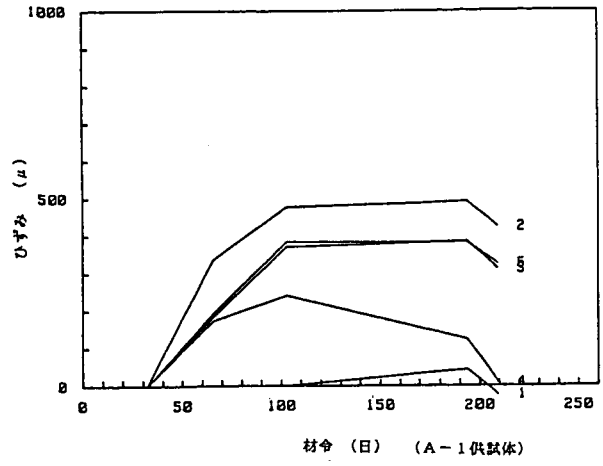


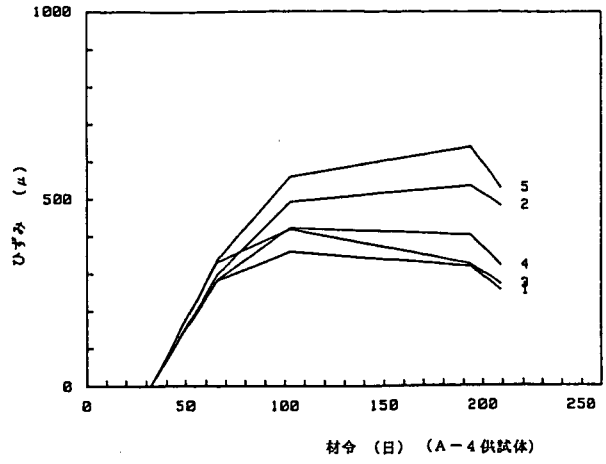
（A4）

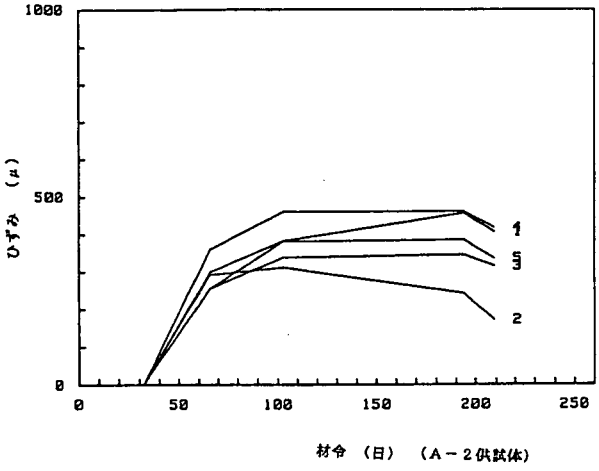


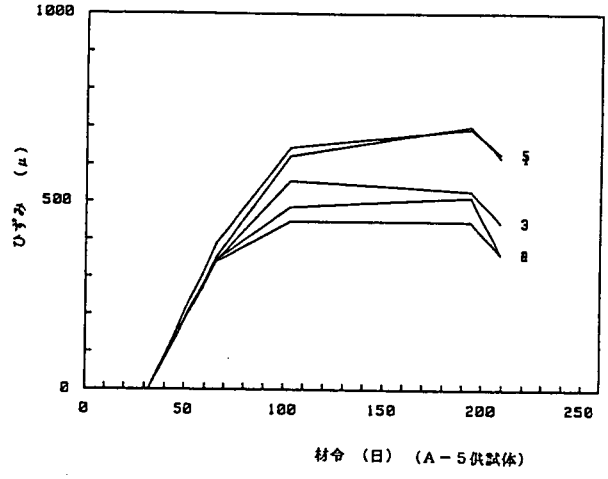
（A5）

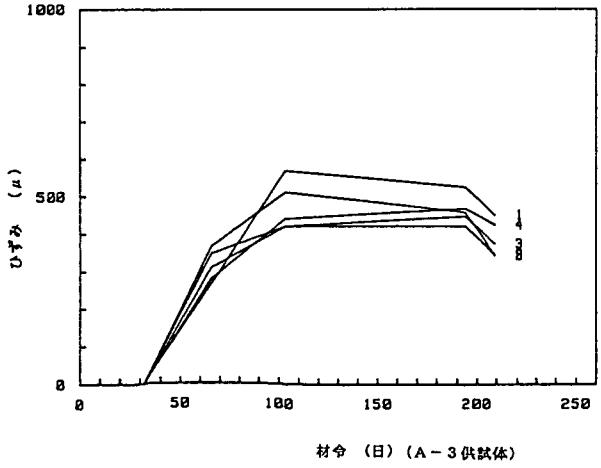
図－２．６　鉄筋ひずみの経時変化



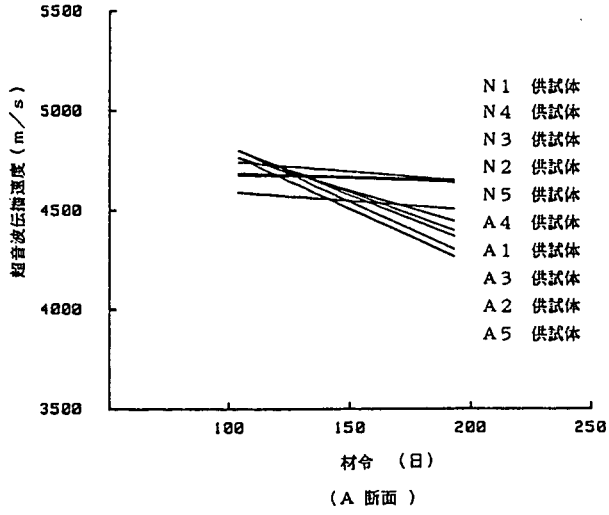




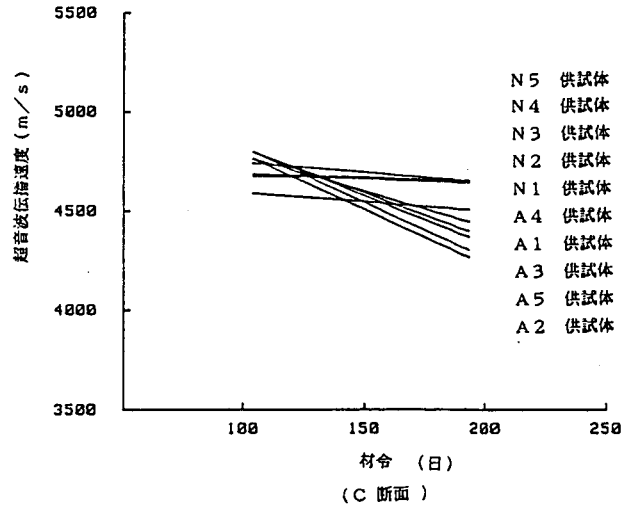




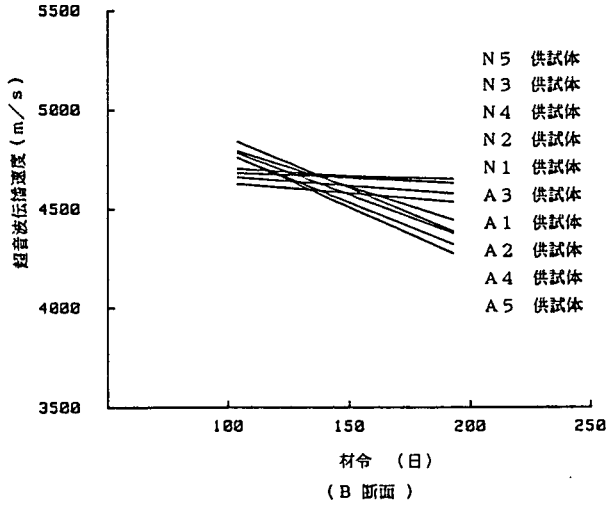
図－２．７　コンタクトゲージによる供試体の伸び計測



（A 断面 ）

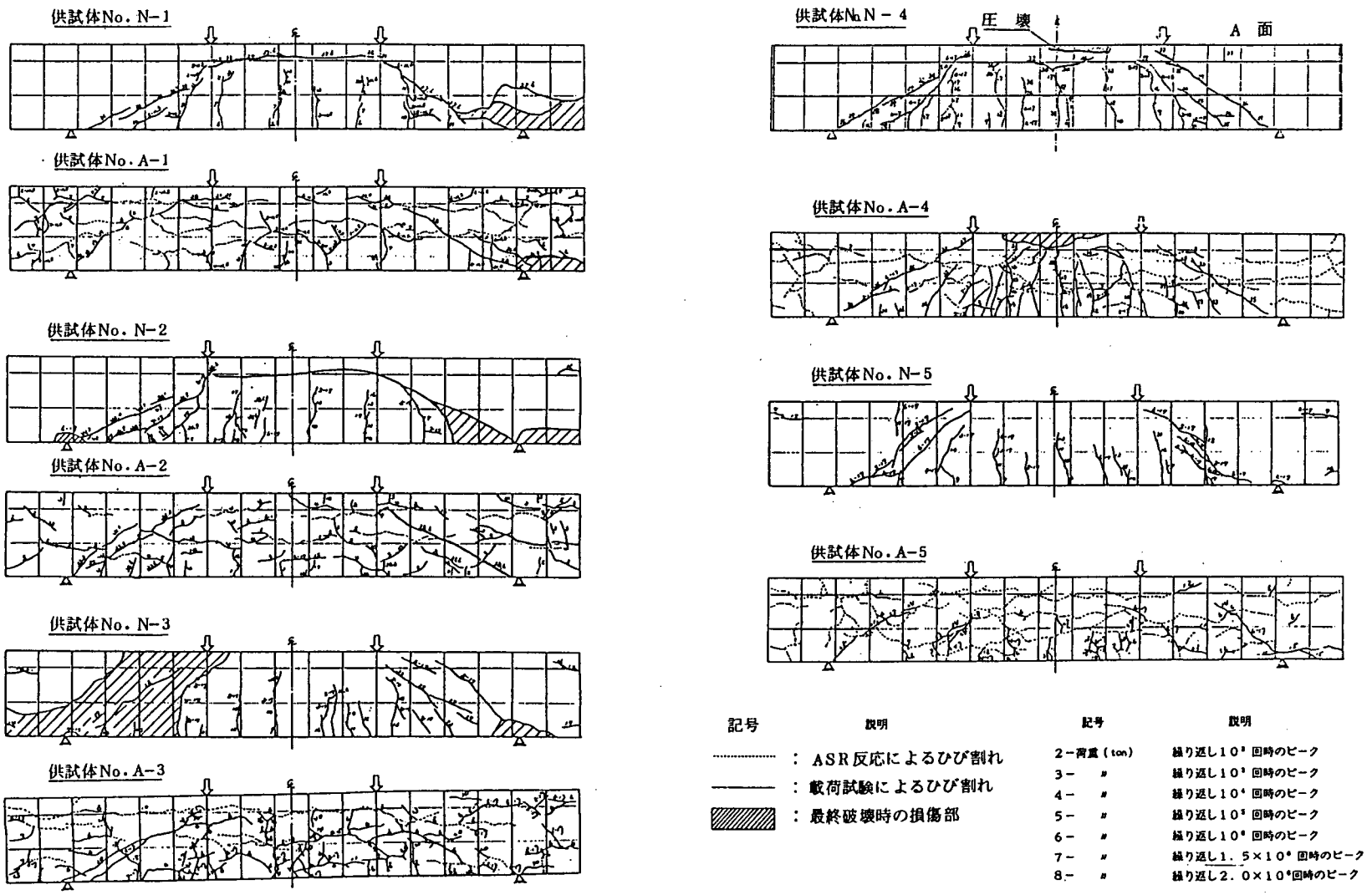


（C 断面 ）

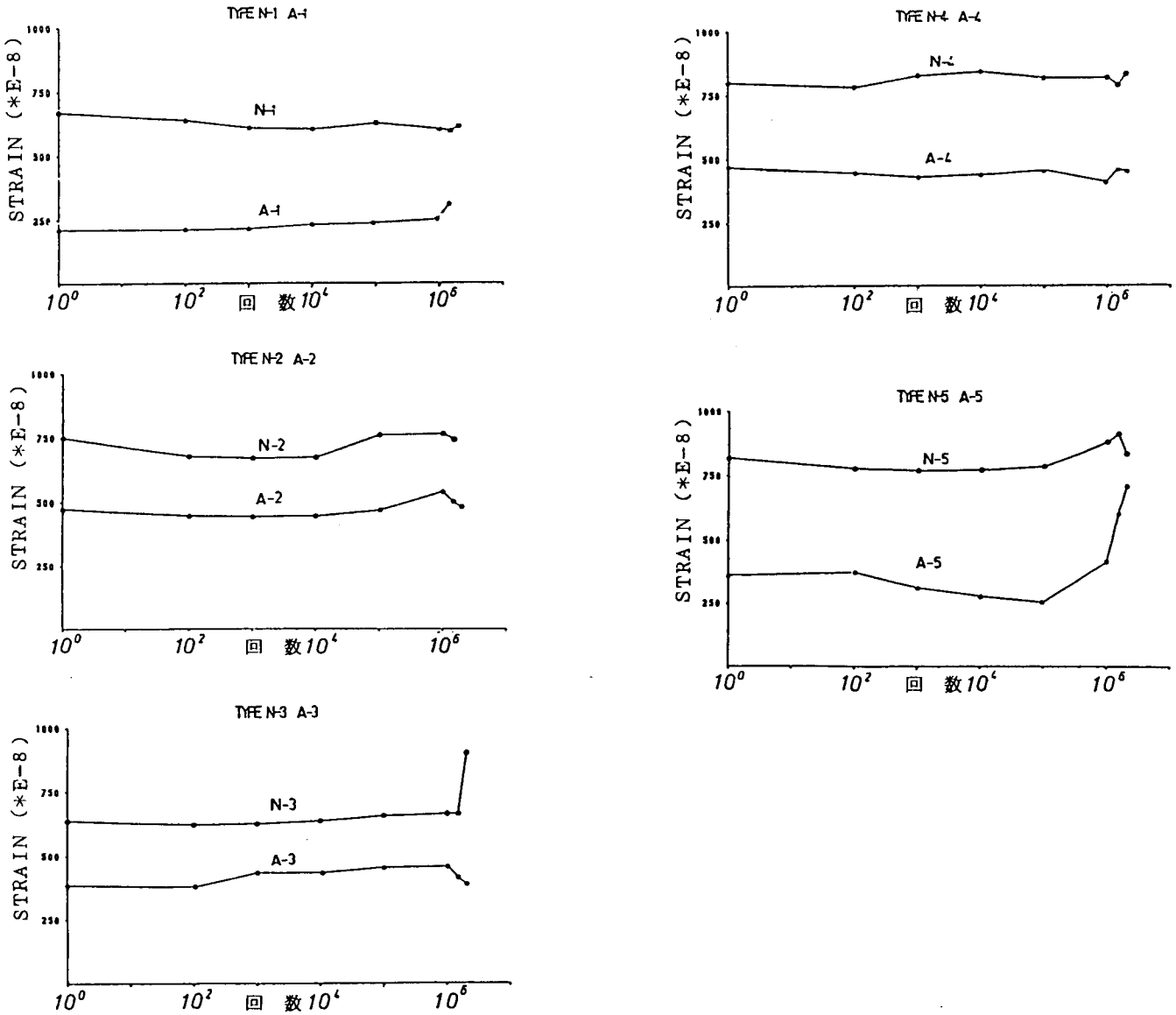


（B 断面 ）

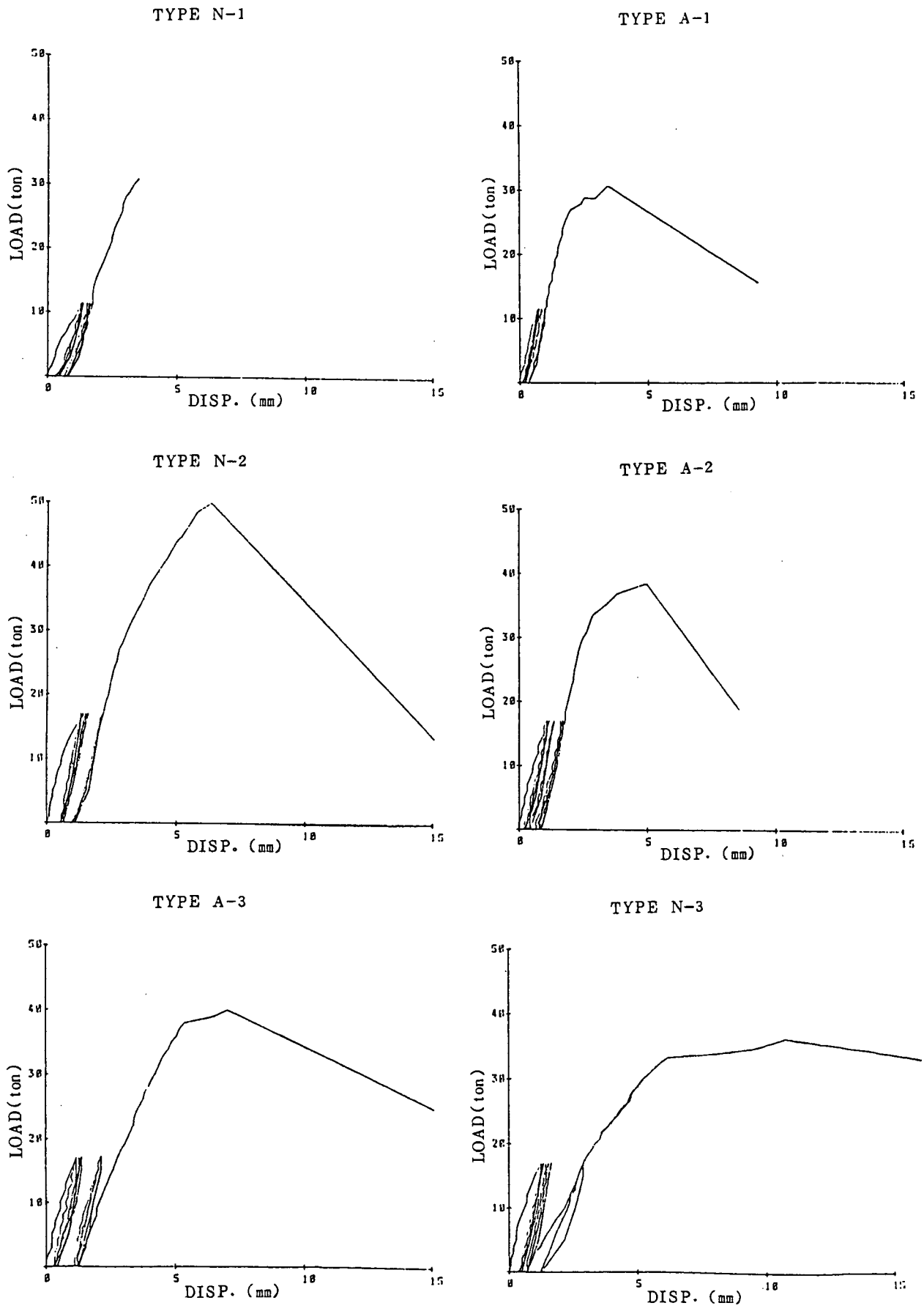
図－２．８　超音波伝播速度の経時変化



図－２．９　載荷実験によるひびわれ進行図

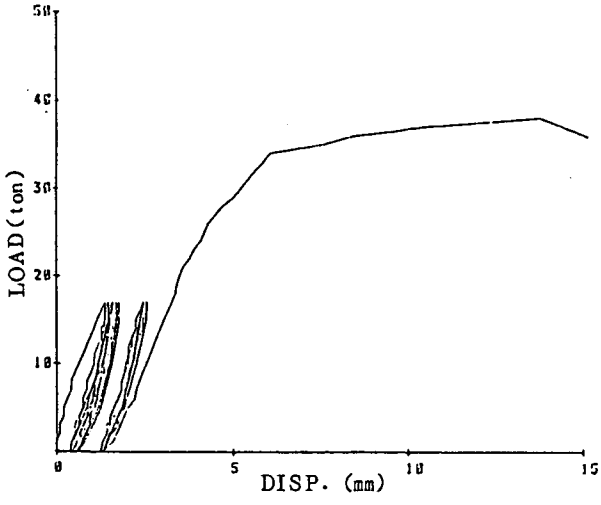


図－２．１０　繰り返し回数－主鉄筋ひずみの比較

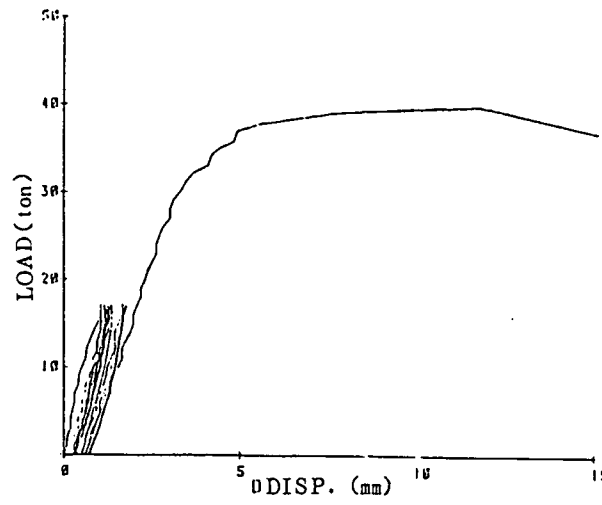


図－２．１１　荷重－変位曲線

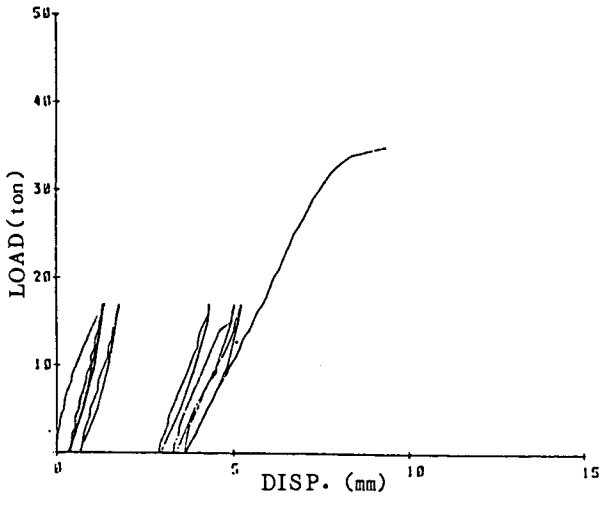
TYPE N-4



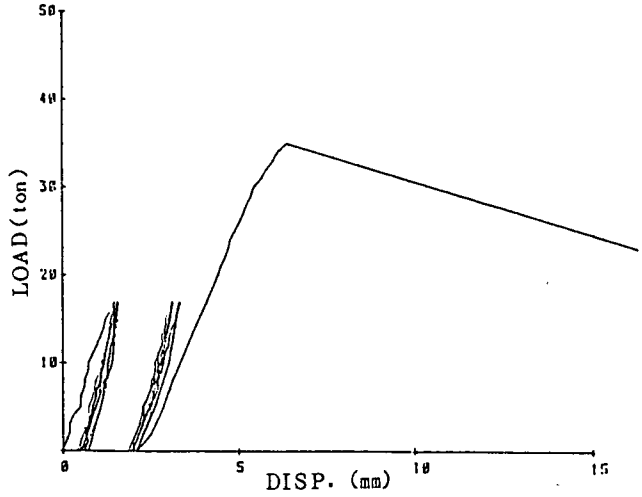
TYPE A-4



TYPE N-5

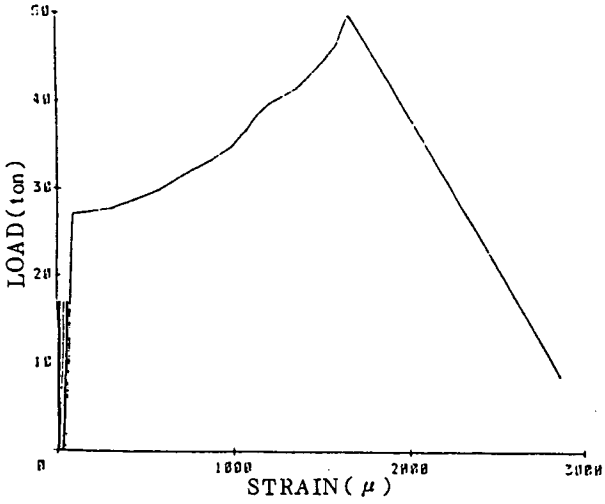


TYPE A-5

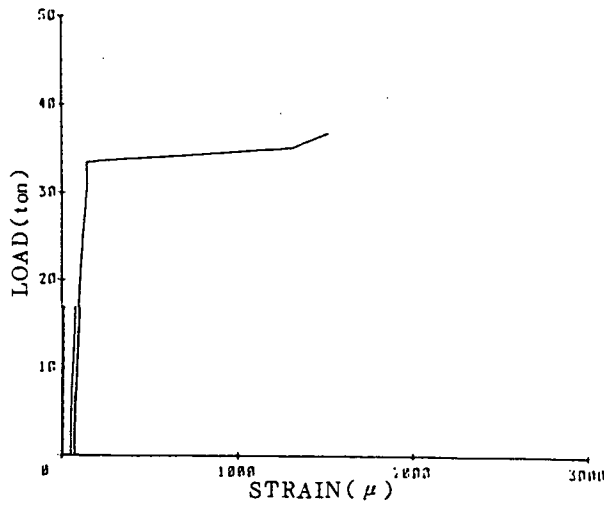


図－２．１１　荷重－変位曲線

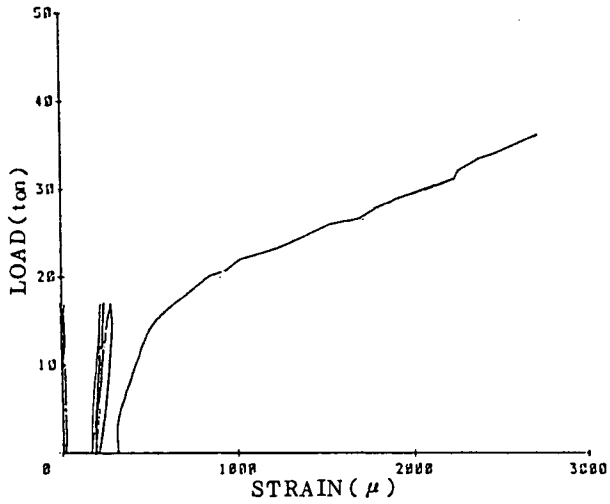
TYPE N-2



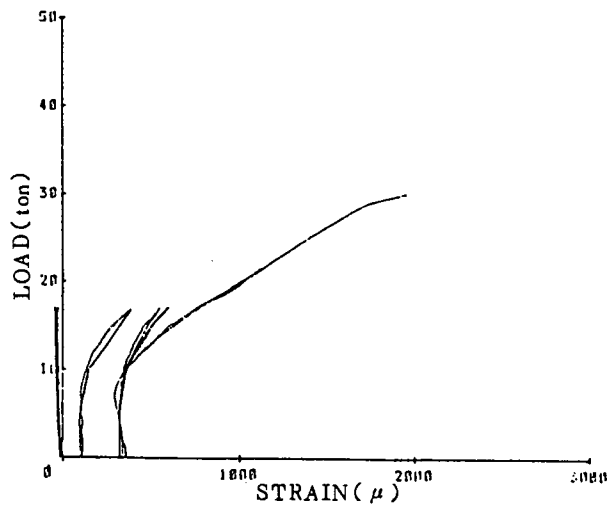
TYPE A-2



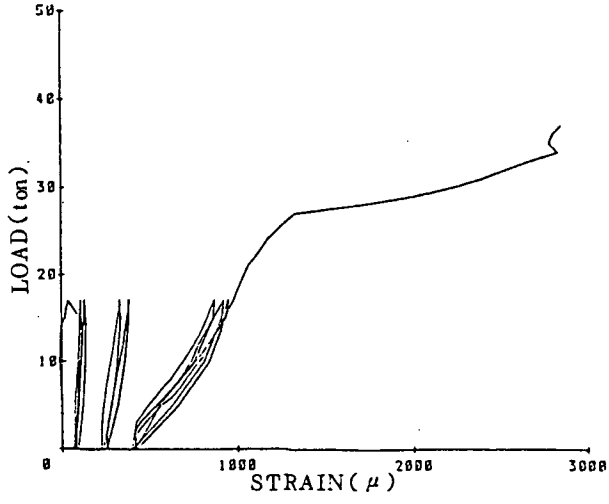
TYPE N-3



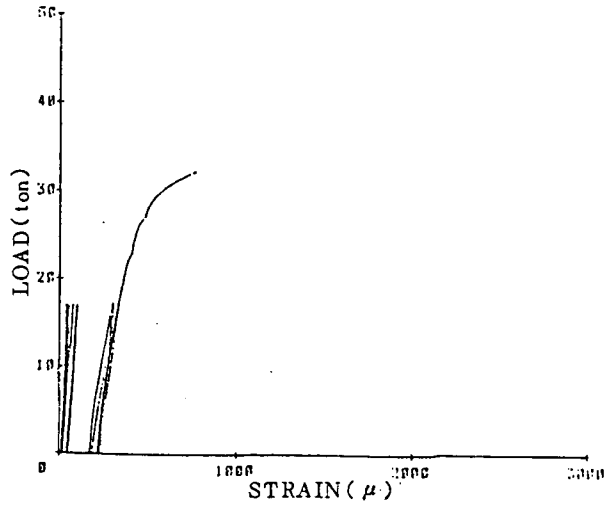
TYPE A-3



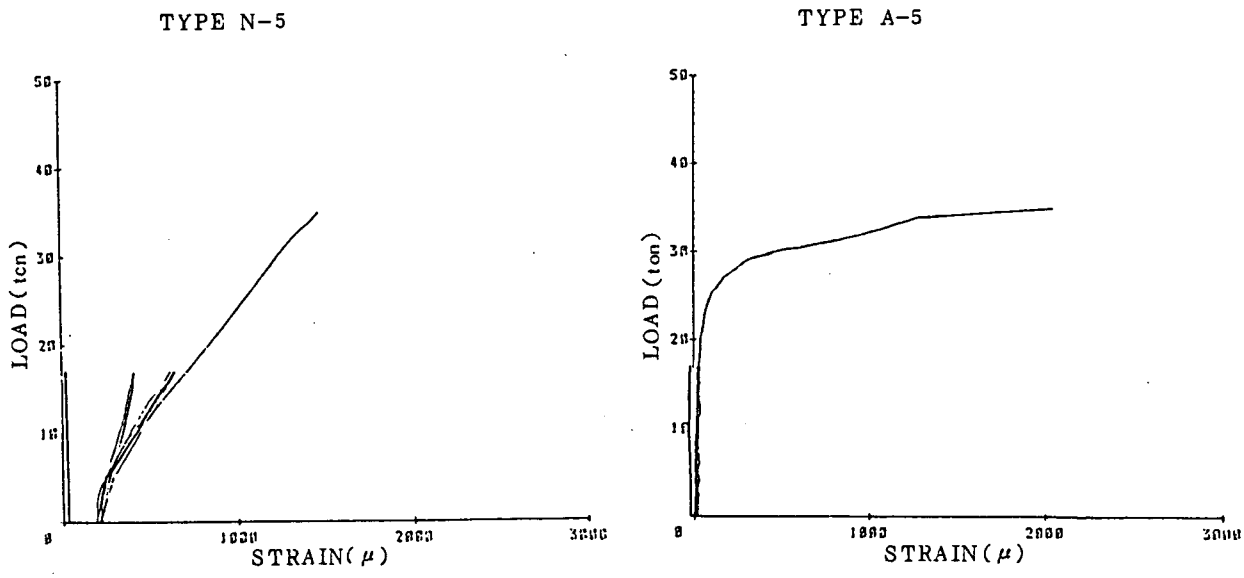
TYPE N-4



TYPE A-4



図－２．１２　繰り返し回数－スターラップひずみ関係



図－２．１２　繰り返し回数－スターラップひずみ関係

2.4 結論

ＡＳＲによる被害を受けたＲＣ梁の繰り返し載荷実験より、以下の結果が得られた。

（1）梁に配置されるスターラップ量が極めて少ない場合、Ａ部材のせん断耐力はＮ部材に比べて小さくなる。しかし、スターラップがある程度の量（今回の実験では、0.15％程度）配置されていれば、Ａ部材のせん断耐力はＮ部材よりも大きくなる傾向がある。これは、ケミカルプレストレスの発生が供試体に生じるせん断ひびわれの発生を遅らせると共に、ひびわれ発生後のせん断面における骨材のかみ合わせ効果を増加させためであると推察される。

（2）ＡＳＲによりＡ部材の表面に発生したひびわれは、繰り返し載荷回数の増加に伴い進行する傾向がある。

（3）繰り返し載荷を受けた場合の主鉄筋の疲労特性に関しては、Ｎ部材とＡ部材の間に大差は認められないが、曲げ剛性についてはいずれの場合もＡ部材の方が大きかった。

（4）繰り返し載荷に伴うスターラップの荷重ひずみ関係は、配置される鉄筋量と密接な関係があり、鉄筋量が多いほどＮ部材よりもＡ部材のひずみが小さくなる傾向がある。

3章　ＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート構造物の補修試験

3.1　目的

アルカリシリカ反応（以下ＡＳＲ）によりひびわれが発生した供試体対し、１０種類の補修（注入材料５種類、塗装材料５種類）を施し、ＡＳＲの抑制に適した補修仕様を選定する。

3.2　実験方法

3.2.1　供試体の種類及び製作

（1）供試体の種類

補修試験に用いた供試体は図－３．１に示すような梁１１体（50cm×50cm×140cm）および円柱２体（φ50cm×100cm）であり、梁供試体は引張主鉄筋比を0.5％（Ｄ１９を使用）、スターラップ量を0.2％（Ｄ１０使用）に設定し、円柱供試体にはＤ１３を５本配筋した。

（2）使用材料

セメントには比重3.16、比表面積3210g/cm^2、アルカリ度0.65％の普通ポルトランドセメントを使用し、骨材には細骨材として川砂を、粗骨材として砕石（細大寸法：20mm，比重：2.64（非反応性骨材），2.53（反応性骨材））を１：１の割合で混合して使用した。また、鉄筋にはＳＤ３５を使用した。

（3）コンクリートの配合

表－３．１　コンクリート配合

粗骨材の最大寸法（mm）	スランプ（cm）	空気量（%）	水セメント比（%）	細骨材率（%）	単位量（Kg/m^3）				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	NaOH
20	10	2.0	60	48	180	300	877	947	7.81

コンクリートの配合は、配合強度210kgf/cm^2、スランプ9±2cmとなるように設定し、コンクリート中のアルカリは、Na_2O等価量が8kg/m^{3}となるように水酸化ナトリウムにより調整した。コンクリートの示方配合を表－３．１に示す。

3.2.2　コンクリート打設後の養生

供試体は材令１４日後脱型を行い、供試体は温度40C、湿度100％の条件下に設置し、約200日間の促進養生を行った。その後補修を行い、再度養生を実施した。

3.2.3　ＡＳＲ促進養生時および補修後養生時の劣化計測

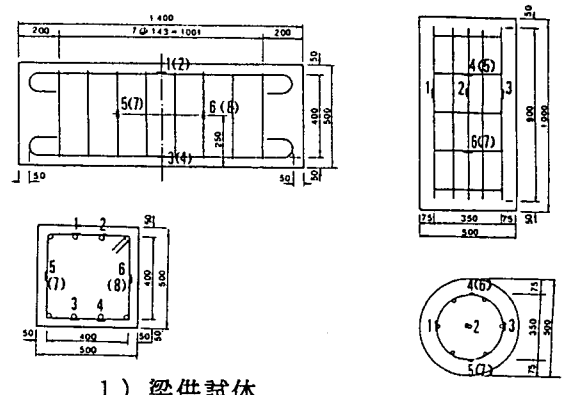
補修前後における供試体の劣化状況を確認するために以下の項目について測定を行った。

（1）鉄筋ひずみ

梁の鉄筋ひずみの計測は、図－３．１に示すように主鉄筋の４箇所およびスターラップの４箇所にひずみゲージを添付することにより行った。また、円柱供試体ついても主鉄筋および円周方向の組み立て筋に対して、それぞれ４箇所のひずみ計測を行った。

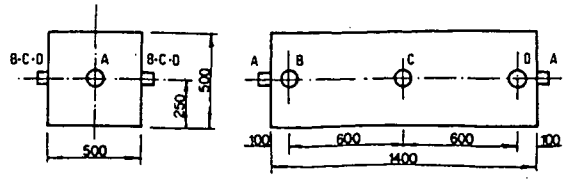
（2）超音波伝播速度

梁部材の超音波伝播速度による劣化計測は、図－３．２に示す４方向について計測した。



1）梁供試体　　2）円柱供試体

図－３．１　鉄筋ゲージ貼付位置



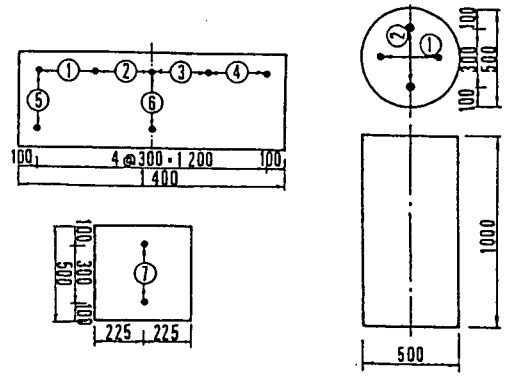
図－３．２　超音波伝播速度計測位置

（3）ひびわれ観察

ひびわれの観察については、梁供試体の４側面（上下側面を除く）および円柱供試体の側面に10cm×10cmのメッシュを描き、この上にＡＳＲの進行に伴って発生するひびわれをスケッチすることにより行った。その際、ひびわれのスケッチは、0.2mm以上のひびわれと0.1mm以上0.2mm未満のひびわれが区分できるように２種類のマジックによって色分けするものとした。また、ひびわれスケッチ後、供試体表面のひびわれ量の評価については、0.2mm以上のひびわれおよび0.1mm以上0.2mm未満のひびわれごとに、ひびわれ密度（cm/m^2：1m^{2}あたりのひびわれ総延長）により整理するものとした。

（4）コンタクトゲージによるひずみ計測

補修後の供試体の伸びの計測については、コンタクトゲージにより計測するものとした。図－３．３に供試体の伸びの計測位置を示す。なお、コンタクトゲージは、測定精度が1/1000mmのものを使用した。



１）梁供試体　　２）円柱供試体

図－３．３ コンタクトゲージ計測

３．３　供試体の補修

３．３．１　補修材料

供試体の補修試験に用いた補修材の仕様は表－３．２の通り注入材料５種類，塗装材料５種類を用いた。なお、注入材料の補修効果の比較においては、いずれの供試体の表面にもウレタンクリヤーによる塗装を施すことにした。

表－３．２ 補修材料の種類

No.	注入材料	塗装材料
1	エポキシ樹脂系（硬質標準型）	ウレタンクリヤー　100μ
2	エポキシ樹脂系（柔軟型）	〃
3	ポリウレタン系	〃
4	ポリマーセメント系（アクリル系）	〃
5	スラグ系（コロイド系）	〃
6	—	ゴム系樹脂塗装（柔軟型）
7	—	クロス入りエポキシ樹脂塗装（柔軟型）
8	—	エポキシ樹脂塗装（柔軟型）
9	—	ビニルエステル樹脂塗装
10	—	ポリマーセメント（柔軟型）
11	—	—
円柱 1	エポキシ樹脂系（硬質標準型）	ゴム系樹脂塗装（柔軟型）
円柱 2	エポキシ樹脂系（柔軟型）	クロス入りエポキシ樹脂塗装（柔軟型）

３．２　注入材料による補修

（1）　補修施工

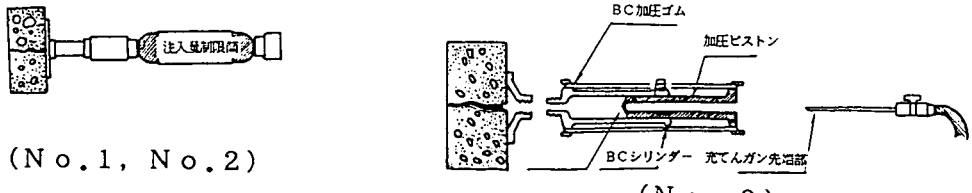
注入材料による補修は、最大ひびわれ幅が0.2mm以上のひびわれを対象に実施した。注入材料による補修は、

表面処理　→　注入パイプの取り付け　→　シール材の湿布　→　注入　→

→　養生　→　仕上げ

の手順に従って行った。その際、各注入材料の施工方法は、以下に示す通りである。なお、注入後のコア抜きの際に注入状況を明確に判別できるように、エポキシ樹脂系２種類およびポリウレタン系には蛍光顔料を、ポリマーセメント系には蛍光ポスターカラーをそれぞれ混合重量の2%加えた。

１）エポキシ樹脂系硬質標準、柔軟型－３およびポリウレタン系では図－３．４に示すよう

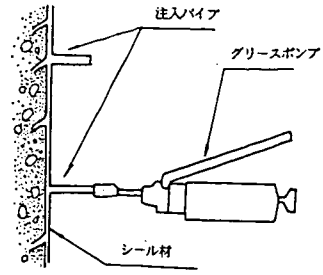


（No．1，No．2）　　（No．３）

図－３．４　ゴム圧式注入工法

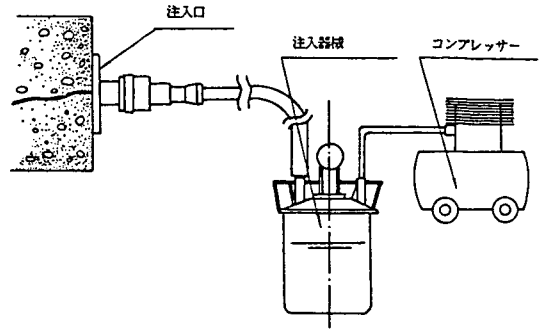
なゴム圧式注入器用いて注入を行った。この場合、注入量の確認は注入器内の樹脂の減少量により行った。

2）ポリマーセメント系（アクリル系）材料の施工においては、図－３．５に示すようなグリースポンプを用い、手動で圧入できなくなるまで注入するものとした。



図－３．５ 手動式注入工法

3）スラグ系（コロイド系）材料の施工においては、図－３．６に示すような攪拌装置付き圧力注入器械を用いて、注入口と隣接する注入パイプから注入材がある程度抽出することを確認するまで注入した。その際、注入時の圧力は2~3kgf/cm²とし、材料の水比は70％とした。



図－３．６ 圧力機械式注入工法

（２） 施工結果

表－３．３には注入材料の特徴、主剤と硬化材の混合比、および比重を、表－３．４には今回の実験における施工条件、注入量および注入時間を示す。施工結果によると、施工能率はポリマーセメント系（グリースポンプ使用）において１箇所当たりの注入時間が3.49分となっており、他の材料に比べて若干悪くなっている。しかし、各供試体のＡＳＲによるひびわれ幅、密度、深さ等の不均一な要因を考えると、他の供試体の施工性の間には大きな差異は認められない。表－３．５は補修後約２００日において、供試体のコア採取を実施した際に計測した、材料の注入深さを示したものである。表の値はひびわれの進行深さと対応しており、材料の施工性に関しては、各材料間に大きな差異は認められなかった。

表－３．３ 注入材の種類と特徴

材料分類（系別）	種類	特長	混合比	比重
1．エポキシ樹脂系	(1) 低弾性低粘形	引張強度200kg/cm²以上 湿潤面に対しても接着効果有	主剤／硬化剤 ＝２／１	１．１０
	(2) 高粘形－３	指触乾燥、伸び率50%以上 接着性に優れている	主剤／硬化剤 ＝２／１	１．１３
2．ポリウレタン系	(3) ポリウレタン	伸び率300 %以上 低温下での伸び特性に優れる	主剤／硬化剤 ＝１００／２	１．００
3．ポリマーセメント系	(4) アクリル-	湿潤部への注入ができる セメントスラリー状	ポリマー/ラテックス/ 水 ＝９／１／２．５	１．９０
4．スラグ系	(5) コロイド	湿潤部への注入ができる 灰白色スラリー状	ポリマー/ 無収縮材 / 水=100/2/70	１．７１

表－３．４ 試験結果

		(1) 温度 (℃)	(2) 湿度 (%RH)	(3) 表面含水率 (%)	(4) 粘度 (cP)	(5) 注入量 [ml]	(6) 注入時間 [分／ケ]	施工方法
円柱No.1	エポキシ樹脂系 低弾性低粘形	4．０	９０	１０	3100	３８	60/45=1．33	(1) ゴム圧式注入工法
角柱No.1		4．０	９０	１０	3100	７８	120/88=1.40	
円柱No.2	エポキシ樹脂系 高粘形－３	８．０	８０	１０	34500	２４	95/80=1．19	
角柱No.2		８．０	８０	１０	34500	１１	31/28=1．11	
角柱NO.3	ポリウレタン系	８．０	８０	１０	5400	１１６	70/68=1．03	
角柱NO.4	ポリマーセメント系	８．０	７０	１０	8000	２１	150/43=3.49	(2)
角柱No.5	スラグ系コロイド	６．０	７０	１０	300	１０３７	154/150=1.03	(3)

表－３．５　材料の注入深さ

単位：mm

採取面 / 供試体No. コア番号	上面		表面		端面	
	1	2	3	4	5	6
1（エポキシ、硬質）	－	9.5	30	17	17	6.5
2（エポキシ、柔軟）	12	14	9	9	－	－
3（ポリウレタン系）	8.5	12.5	16	2	15.5	22
4（ポリマ・セメント系）	8	5	2.5	3	2	－
5（スラグ系）	－	－	－	8	－	－
12（エポキシ、硬質）	18	14.5	27	24	18	－
13（エポキシ、柔軟）	5	－	－	6	2.5	5.5

・コアの大きさ　直径４×長さ 約１０cm
・コア抜き々所は鉄筋位置を避けた。

３．３．３　塗装材料による補修

（１）　補修施工

塗装材料による施工手順は以下に示す通りである。

１）下地処理として電動サンダーにより供試体表面を削り、注入材による補修を行った部材（Ｎｏ．１～Ｎｏ．６）についてはシール材，注入パイプを除去した後、レイタンスおよび表面の粉化物を除去する。

２）供試体の含水率を高周波水分計によって測定する。測定結果によると、施工時の各供試体の含水率は8.6~11.0％であった。

３）プライマーおよびパテによる前処理を行った後、指定された塗装材料を塗布する。

４）養生を行う。

なお、今回採用した塗装の仕様を表－３．６に示す。

（２）　補修結果

表－３．７に実際の施工に要した塗装材の量と作業能率を示す。塗布量は1m²あたりの材料使用量（g/m²）として表しており、表中の　a　が梁供試体、ｂ　が円柱供試体、ｃ　がテストピースに対する塗布量である。なお、テストピースについては、６本の平均値を示している。また、材料の粘度についてはリヨン式回転粘度計で計測（poise/℃）し、ウェット膜厚についてはウェットフィルムゲージを用いて測定（μm）している。

各供試体の補修を行った際の作業能率は、作業員１人が１時間あたりに塗布する面積（m²／hour／人）として表した。その結果、ゴム系樹脂塗装（柔軟型）、ポリマーセメント（柔軟型）の塗装とクロス入りエポキシ樹脂塗装（柔軟型）のクロス張りに要する時間が相対的に長くなっている。以下に各塗装系ごとの施工性について定性的な比較を示す。

１）ウレタンクリヤー塗装（Ｎｏ．１～Ｎｏ．５）

パテ工程がないため塗装効率は最もよい。

２）ゴム系樹脂塗装（柔軟型）（Ｎｏ．６，Ｎｏ．１２）

中塗りがへら付け作業のためやや効率が悪い。

３）クロス入りエポキシ樹脂塗装（柔軟型）（Ｎｏ．７，Ｎｏ．１３）

ＦＲＰ工程でクロス張り作業があるため効率は悪い。

４）エポキシ樹脂塗装（柔軟型）（Ｎｏ．８）

工程数が少なく、塗装効率は高い。

５）ビニルエステル樹脂塗装（Ｎｏ．９）

中塗りが厚膜タイプのため塗布量は多いが、塗装効率は他の塗装系と比べると中位である。

６）ポリマーセメント（柔軟型）（Ｎｏ．１０）

無機材料であるため、はけ塗り作業にあまり適さず、塗装効率はやや悪い。

①塗装系No．1～5　　ウレタンクリヤー100μ
　◎角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　各1体×5
　◎円柱供試体　φ10×20㎜　　各6体×5

工　程		使用材料	目標膜厚(μ)	標準使用量(Kg/m²)	塗装方法	塗装間隔
上塗り		ウレタン樹脂クリヤー	30	0．15	はけ	1日以上7日以内
上塗り		ウレタン樹脂クリヤー	35	0．15	はけ	
上塗り		ウレタン樹脂クリヤー	35	0．15	はけ	

②塗装系No．8　　ニボキシ樹脂塗装（柔軟型）
　◎角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　1体，
　◎円柱供試体　φ10×20㎜　　6体

工　程		使用材料	目標膜厚(μ)	標準使用量(Kg/m²)	塗装方法	塗装間隔
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0．10	エアレス，はけ，ローラー	1日以上7日以内
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0．50	へら	
中塗り		柔軟型変性エポキシ樹脂塗料中塗り	160	0.85(0.70)	エアレス(ローラー)	
上塗り		柔軟型ポリウレタン塗料上塗り	30	0.15(0.12)	エアレス(ローラー)	

③塗装系No．6　　ゴム系樹脂塗装（柔軟型）
　◎角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　1体，
　◎円柱供試体　φ50×140㎜　　1体
　◎円柱供試体　φ10×20㎜　　6体

工　程		使用材料	目標膜厚(μ)	標準使用量(Kg/m²)	塗装方法	塗装間隔
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0．10	エアレス，はけ，ローラー	1日以上7日以内
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0．50	へら	
中塗り	1層	厚膜型ゴム系樹脂塗料中塗り	250	0．40	へら	
	2層	厚膜型ゴム系樹脂塗料中塗り	250	0．40	へら	
上塗り		柔軟型ポリウレタン塗料上塗り	30	0.15(0.12)	エアレス(ローラー)	

④塗装系No．9　　ビニルエステル樹脂塗装
　◎角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　1体，
　◎円柱供試体　φ10×20㎜　　6体

工　程		使用材料	目標膜厚(μ)	標準使用量(Kg/m²)	塗装方法	塗装間隔
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0．10	エアレス，はけ，ローラー	1日以上7日以内
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0．50	へら	
中塗り	1層	厚膜型ビニルエステル樹脂塗料中塗り	250	0．90	へら	
	2層	厚膜型ビニルエステル樹脂塗料中塗り	250	0．90	へら	
上塗り		ポリウレタン塗料上塗り	30	0.15(0.12)	エアレス(ローラー)	

⑤塗装系No．7　　クロス入りエポキシ樹脂塗装（柔軟型）
　◎角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　1体，
　◎円柱供試体　φ50×140㎜　　1体
　◎円柱供試体　φ10×20㎜　　6体

工　程		使用材料	目標膜厚(μ)	標準使用量(Kg/m²)	塗装方法	塗装間隔
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0．10	エアレス，はけ，ローラー	1日以上7日以内
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0．50	へら	
FRP1層		柔軟型変性エポキシ樹脂塗料中塗りクロス用	1100	0．25	ヘら，はけ，ローラー	
		クロス		—	—	
		柔軟型変性エポキシ樹脂塗料中塗りクロス用		0．25	ヘら，はけ，ローラー	
FRP2層		柔軟型変性エポキシ樹脂塗料中塗りクロス用		0．25	ヘら，はけ，ローラー	
		クロス		—	—	
		柔軟型変性エポキシ樹脂塗料中塗りクロス用		0．25	ヘら，はけ，ローラー	
中塗り		柔軟型変性ポリウレタン塗料中塗り	60	0.32(0.26)	エアレス(ローラー)	
上塗り		柔軟型ポリウレタン塗料上塗り	30	0.15(0.12)	エアレス(ローラー)	

⑥塗装系No．10　　ポリマーセメント（柔軟型）
　◎角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　1体，
　◎円柱供試体　φ10×20㎜　　6体

工　程		使用材料	目標膜厚(μ)	標準使用量(Kg/m²)	塗装方法	塗装間隔
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0．10	エアレス，はけ，ローラー	1日以上7日以内
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0．50	へら	
中塗り	1層	柔軟型ポリマーセメント中塗り	250		エアレス(ローラー)	
	2層	柔軟型ポリマーセメント中塗り	250		エアレス(ローラー)	

表－3．6　塗装の種類

①塗装系No．1　　ウレタンクリヤー100μ
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．1
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．1－1～6

工程	使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理	ディスクサンダー仕上げ						
プライマー	エポキシ樹脂プライマー	98	82	0.3/7	－	5.1	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	103	95	2.5/10	75～100	10.2	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	102	98	2.5/10	75～100	10.2	はけ

②塗装系No．2　　ウレタンクリヤー100μ
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．2
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．2－1～6

工程	使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理	ディスクサンダー仕上げ						
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	104	100	0.3/7	－	5.1	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	105	102	2.5/10	75～100	10.2	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	82	95	2.5/10	75～100	10.2	はけ

③塗装系No．3　　ウレタンクリヤー100μ
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．3
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．3－1～6

工程	使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理	ディスクサンダー仕上げ						
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	105	110	0.3/7	－	5.1	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	94	102	2.5/10	75～100	10.2	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	87	92	2.5/10	75～100	10.2	はけ

④塗装系No．4　　ウレタンクリヤー100μ
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．4
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．4－1～6

工程	使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理	ディスクサンダー仕上げ						
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	101	108	0.3/7	－	5.1	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	94	101	2.5/10	75～100	10.2	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	82	91	2.5/10	75～100	10.2	はけ

⑤塗装系No．5　　ウレタンクリヤー100μ
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．5
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．5－1～6

工程	使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理	ディスクサンダー仕上げ						
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	120	103	0.3/7	－	5.1	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	104	98	2.5/10	75～100	10.2	はけ
上塗り	ウレタン樹脂クリヤー	87	90	2.5/10	75～100	10.2	はけ

⑥塗装系No．6　　ゴム系樹脂塗装（弾性型）
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．6
ⓑ円柱供試体　φ50×140㎜　　1体－－－－供試体No．12
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．6－1～6

工程		使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓑ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理		ディスクサンダー仕上げ							
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	131	104	100	0.5/7	－	6.6	はけ
前処理	パテ	エポキシ樹脂パテ	300	244	308	－	－	1.7	へら
中塗り		厚膜型ゴム系樹脂塗料中塗り	800	623	790	450/10	450～600	2.2	へら
上塗り		弾性型のウレタン塗料上塗り	125	98	102	15/10	100～125	3.3	はけ

⑦塗装系No．7　　クロス入りエポキシ樹脂塗装（弾性型）
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．7
ⓑ円柱供試体　φ50×140㎜　　1体－－－－供試体No．13
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．7－1～6

工程		使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓑ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理		ディスクサンダー仕上げ							
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	121	110	108	0.5/7	－	6.6	はけ
前処理	パテ	エポキシ樹脂パテ	224	182	143	－	－	2.0	へら
FRP1層		弾性型厚膜エポキシ樹脂塗料中塗りクロス用＋クロス	765	507	610	1100/10	400～500	1.2	へら
FRP2層			762	460	590	1100/10	400～500	1.2	へら
中塗り		弾性型厚膜のウレタン塗料中塗	265	217	243	8/10	200～250	6.6	はけ
上塗り		弾性型のウレタン塗料上塗り	162	128	140	5/10	100～125	6.6	はけ

⑧塗装系No．8　　エポキシ樹脂塗装（弾性型）
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．8
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．8－1～6

工程		使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理		ディスクサンダー仕上げ						
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	93	82	0.3/7	－	5.1	はけ
前処理	パテ	エポキシ樹脂パテ	149	217	－	－	2.2	へら
中塗り		弾性型厚膜エポキシ樹脂塗料中塗り	300	258	80/8	250～300	4.6	はけ
上塗り		弾性型ポリウレタン塗料上塗り	104	113	5.5/10	100～125	5.5	はけ

⑨塗装系No．9　　ビニルエステル樹脂塗装
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．9
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．9－1～6

工程		使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理		ディスクサンダー仕上げ						
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	98	82	0.3/7	－	5.1	はけ
前処理	パテ	エポキシ樹脂パテ	175	217	－	－	2.2	へら
中塗り	1層	厚膜型ビニルエステル樹脂塗料中塗り	620	637	－	400～700	5.0	はけ
中塗り	2層	厚膜型ビニルエステル樹脂塗料中塗り	630	710	47/10	450～800	5.4	はけ
上塗り		ポリウレタン塗料上塗り	113	120	5.5/8.5	100～125	6.5	はけ

⑩塗装系No．10　　ポリマーセメント（弾性型）
ⓐ角柱供試体　50㎜×50㎜×140㎜　　1体－－－－供試体No．10
ⓒ円柱供試体　φ10×20㎝　　6体－－－－供試体No．10－1～6

工程		使用材料	塗布量 ⓐ	塗布量 ⓒ	粘度 ポイズ/℃	ウェット膜厚 μ	塗装時間 m²/1h-1	塗装方法
下地処理		ディスクサンダー仕上げ						
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	98	82	0.3/7	－	5.1	はけ
前処理	パテ	エポキシ樹脂パテ	149	217	－	－	2.2	へら
中塗り	1層	弾性型ポリマーセメント中塗り	679	555	55/8	400～500	3.7	はけ
中塗り	2層	弾性型ポリマーセメント中塗り	643	503	50/10	450～500	4.3	はけ

表－3．7　塗装結果

3.4　ＡＳＲ促進養生時および補修後養生時の劣化計測結果

3.4.1　鉄筋ひずみの経時変化

図－３.７に補修時までの鉄筋ひずみの経時変化を示す。図中、実線が主鉄筋に生じたひずみ、破線がスターラップに生じたひずみを表す。また、＊は、ゲージが断線または測定不能になったものである。図より、いずれの供試体においても、主鉄筋で約1000μ、スターラップで1500~2000μ程度のひずみが生じている。したがって、コンクリートには主鉄筋方向に約 19kgf/cm^2、スターラップ方向に約 6.8kgf/cm^{2}の圧縮応力が作用していることになる。

円柱供試体については、主鉄筋に 1500~2000μのひずみが生じているが、円周方向の組み立て鉄筋にはほとんどひずみが生じていない結果となっている。

なお、補修施工実施直前あたりから、測定不能となる鉄筋ゲージが現れ始め、供試体によっては鉄筋ゲージによる測定値に信頼のおけないもの（Ｎｏ.11）もでてきたため、補修後の供試体の伸び計測には鉄筋ゲージを用いず、コンタクトゲージ等によって行うことにした。

3.4.2　超音波伝播速度

図－３.８に超音波伝播速度の経時変化の測定結果を示す。同図によると、当初Ａ方向（長手方向）で4050m/s程度、Ｂ～Ｄ方向で4200m/s程度の値を有していたのが、材令500日ではＡ方向で約3800m/s、Ｂ～Ｄ方向で 3800~4000m/sの値となっており、ＡＳＲの進行に伴って超音波伝播測度が低下してきているのが判る。しかしながら、補修前と補修後でＢ～Ｄ方向の計測結果を比較してみると、これらの間には明確な差が生じていない結果となっている。

3.4.3　ひびわれ観察

図－３.９は補修時点における供試体表面のひびわれ発生状況を描いたものである。図より、0.2mm以上のひびわれは主として供試体の端部に発生しているのが判る。また、0.1mm以上0.2mm未満のひびわれ発生状況については、あまり法則性がない結果となっている。

図－３.１０は各供試体のひびわれ密度の経時変化について示したものである。図中、２００日付近の縦線で囲まれた区間が補修施工を実施した期間である。

計測結果によると、0.2mm以上のひびわれについては、補修前のひびわれ密度が約１５０日くらいから大きくなっており、補修時では 100~600cm/m^{2}とばらついている。また、補修後に関しては、材令５００日の段階でいずれの供試体のひびわれ密度も 200cm/m^{2}以下となっており、明確な差は認められない。

次に、幅 0.1mm以上 0.2mm未満のひびわれについて見てみると、材令２５日あたりからひびわれ量は急激に増加しており、補修時には 1200~2000cm/m^{2}のひびわれが発生している。補修後のひびわれ発生について見てみると、比較的ひびわれが多く出ているのは補修材料を注入した供試体であり、材令５００日の時点ではポリウレタン系およびポリマーセメント系の材料を注入した供試体のひびわれが 400~600cm/m^{2}と比較的多く発生している。塗装材料を塗布した供試体については、いまのところほとんどひびわれが見られないことから、材料が供試体の伸びに追従しているものと推察される。

3.4.4　コンタクトゲージによる補修後の伸び計測

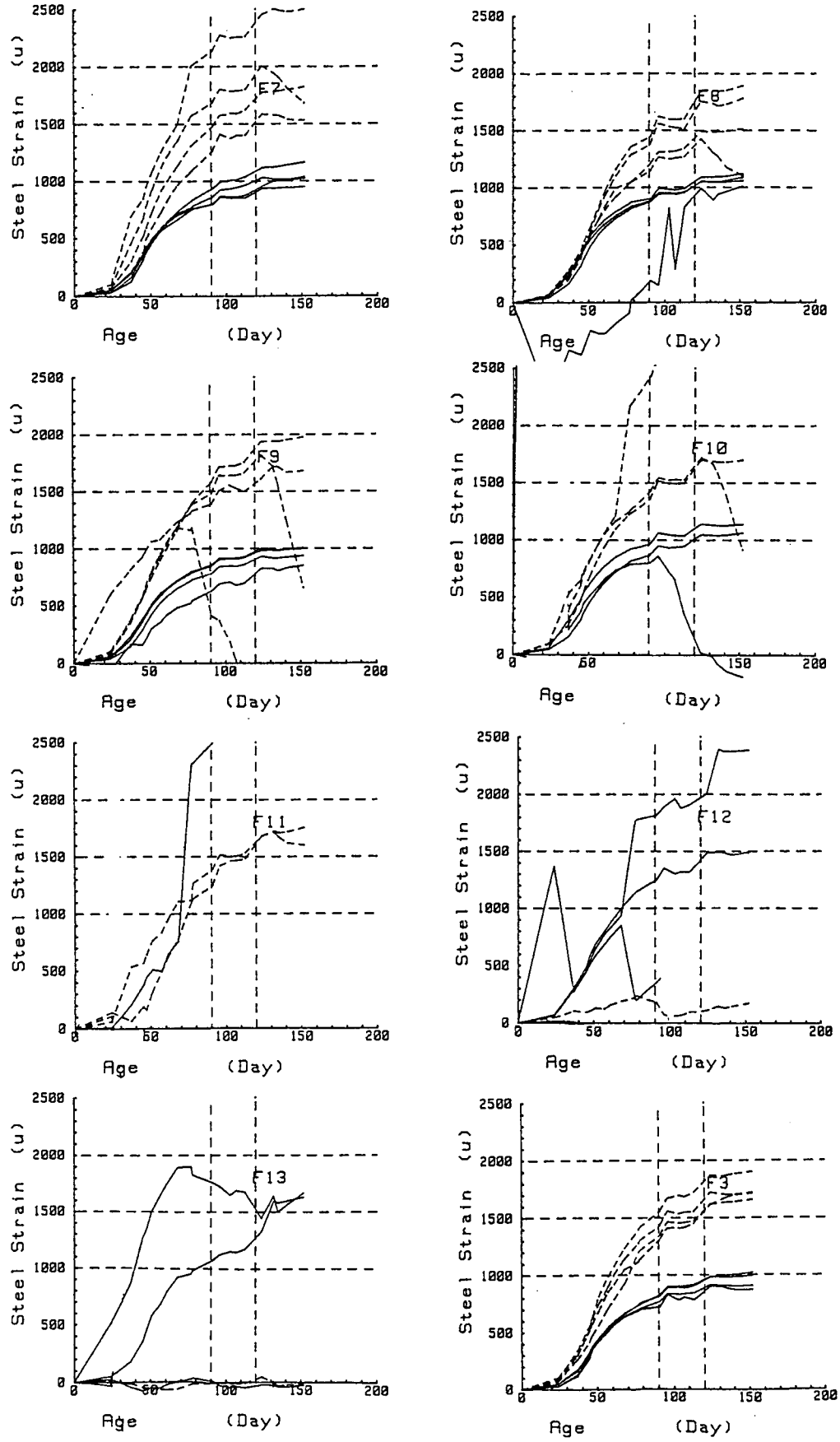
図－3.11は、補修後の供試体の伸びをコンタクトゲージにより計測した結果である。供試体の区間 ①～④は前面（1400×500）の長方向，⑤，⑥は前面の短手方向，⑦は側面の伸びの値である。円柱供試体では、側面への標点の添付が困難であることから、底面の伸びのみ計測することにした。

計測位置の違いによる供試体の伸びを比較してみると、全体として鉄筋が多く配置されている長手方向よりも、鉄筋量の少ない短手方向の伸びが大きくなっている。また、短手方向の中でも梁の中心部（区間 ⑥）よりも、梁の端部（区間 ⑤）および側面（区間 ⑦）の伸びが大きく出る傾向が認められる。これは、梁の中心部においては鉄筋による伸びの拘束の他に、さらにコンクリートによる拘束が梁端部に比べて働いているためであると推察される。

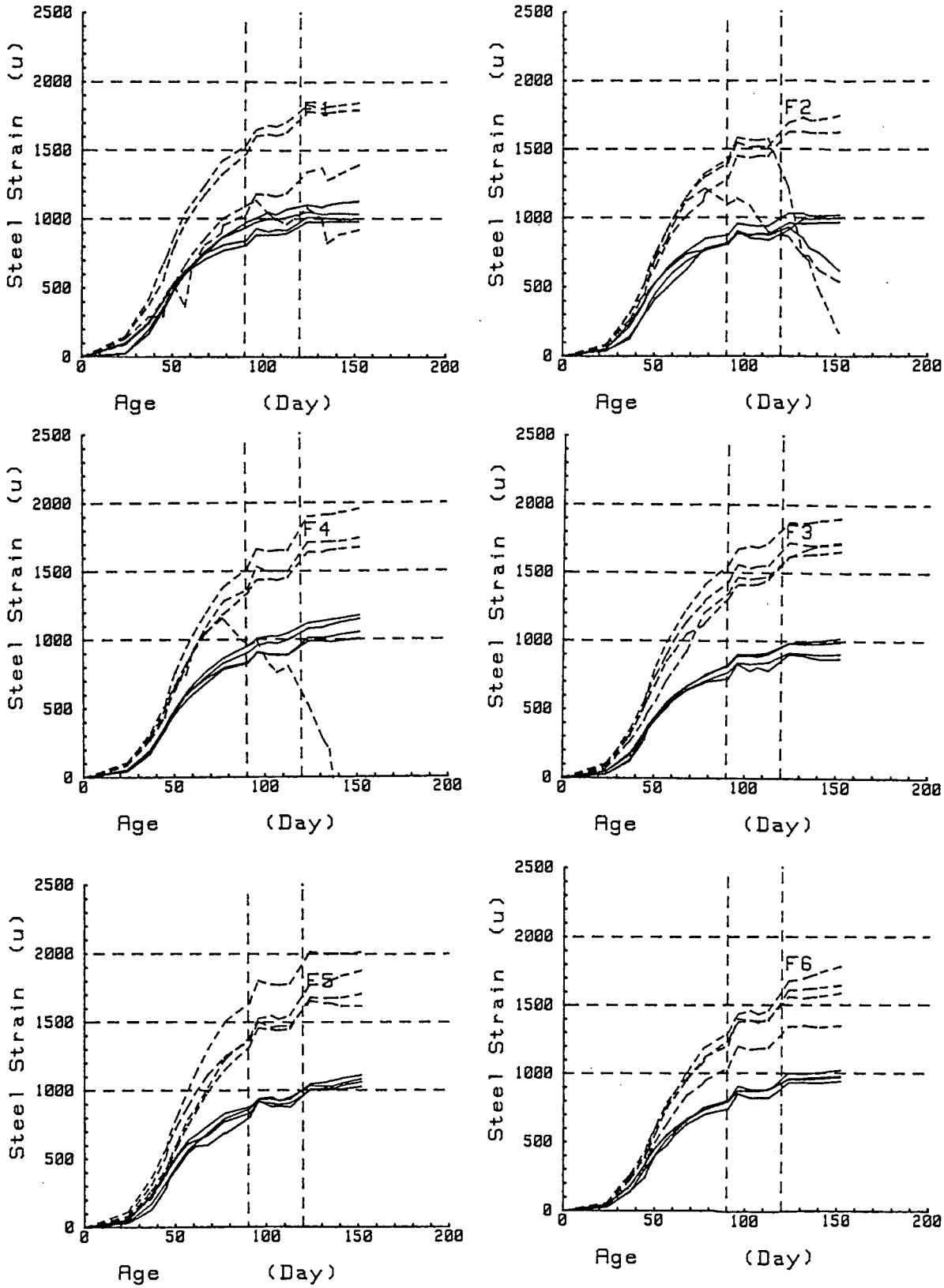
各補修材料ごとの材令２００日における伸びの抑制効果を、特に鉄筋による拘束の小さい ⑤～⑦区間の伸びに着目して比較してみる。

まず、注入材料の相対的な比較については、エポキシ樹脂（標準型）（Ｎｏ.1），およびエポキシ樹脂（柔軟型）（Ｎｏ.2）を注入した供試体の伸びが小さくなっている。しかし、無補修の部材（Ｎｏ.１１）の計測結果と比べた場合、現時点ではこれらの材料を注入したことで著しく伸びに対する抑制効果が向上したとは言い難い。したがって、各材料間の伸びに対する抑制効果を正当に評価するためには、さらに計測の継続が必要であると考えられる。

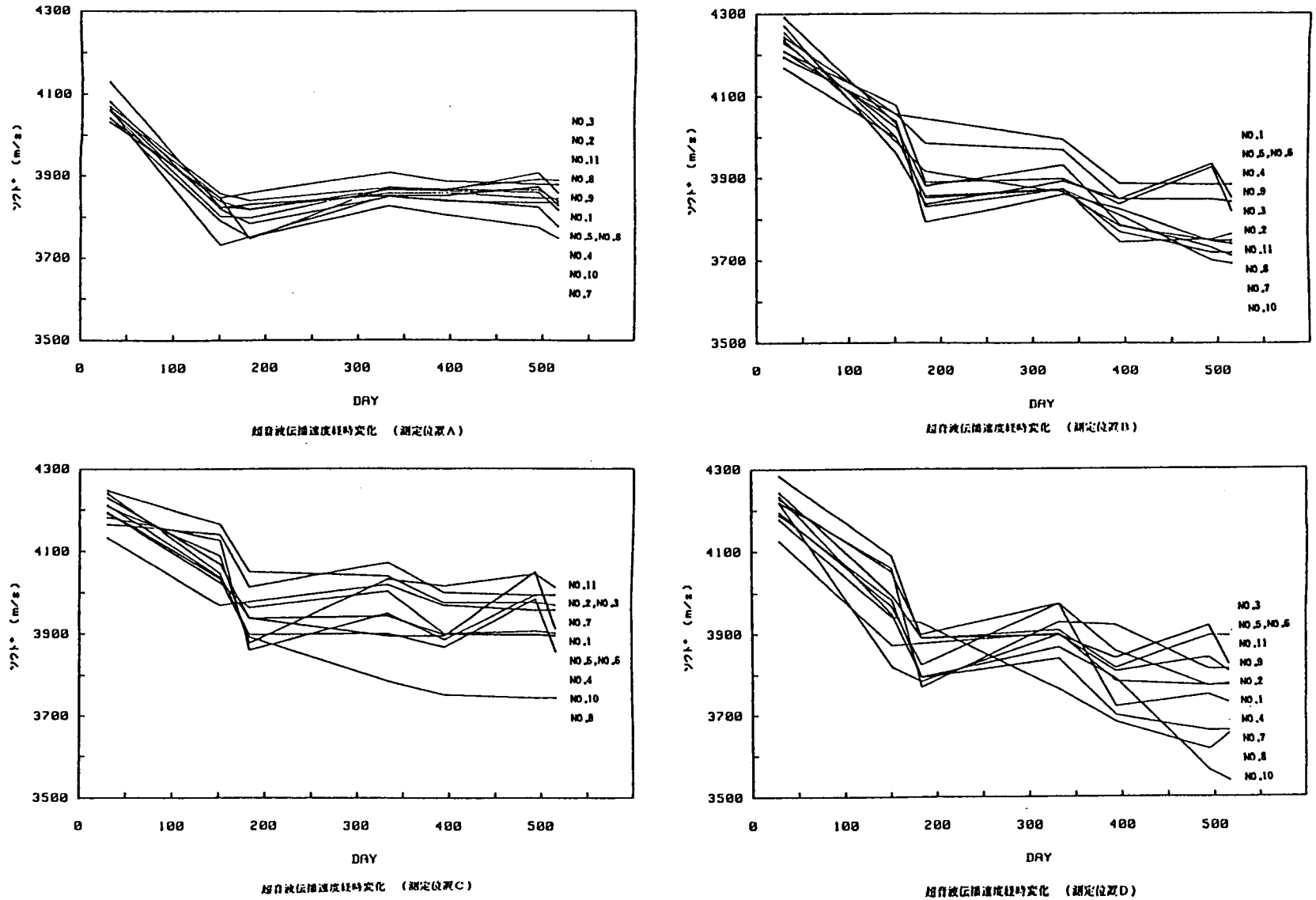
次に、塗装材料について見てみると、クロス入りエポキシ樹脂塗装（柔軟型）（Ｎｏ.7），ビニルエステル樹脂塗装（Ｎｏ.9），ポリマーセメント（Ｎｏ.１０）等の比較的硬質な材料に抑制効果が認められる。材令２００日時点では塗装材料が供試体の伸びに追従しているため、上記のような比較的硬質な材料に伸びの抑制効果が認められる。しかし、将来これらの材料が供試体の伸びに追従できなくなった場合には、材料表面に亀裂が生じて外部水が侵入し、ＡＳＲによる供試体の伸びが促進されることも考えられる。このため、塗装材料についても注入材料と同様に計測を続行し、材料の伸びに対する追従性も考慮した上での抑制効果の評価が必要である。



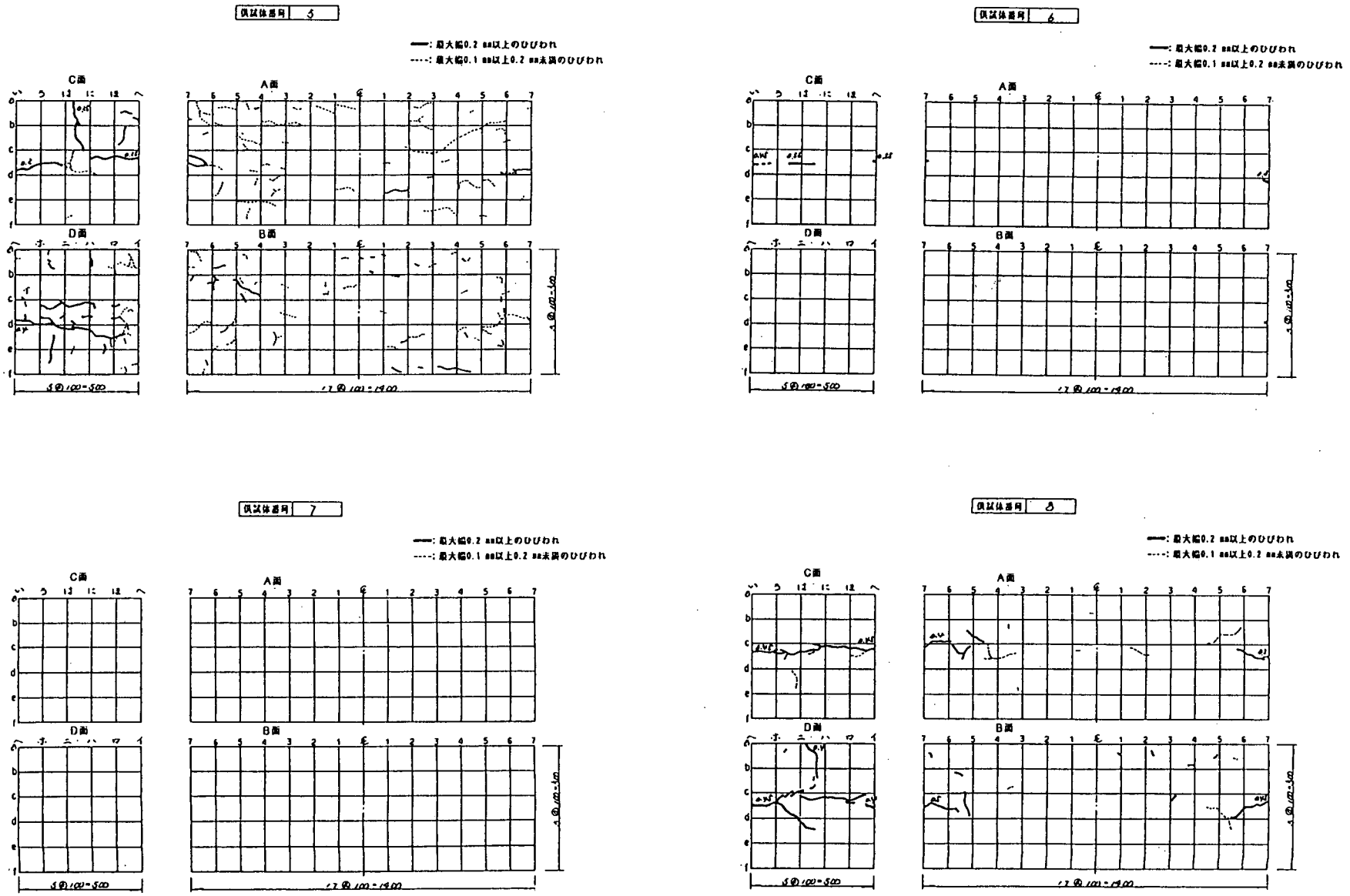
図－３．７　鉄筋ひずみ経時変化



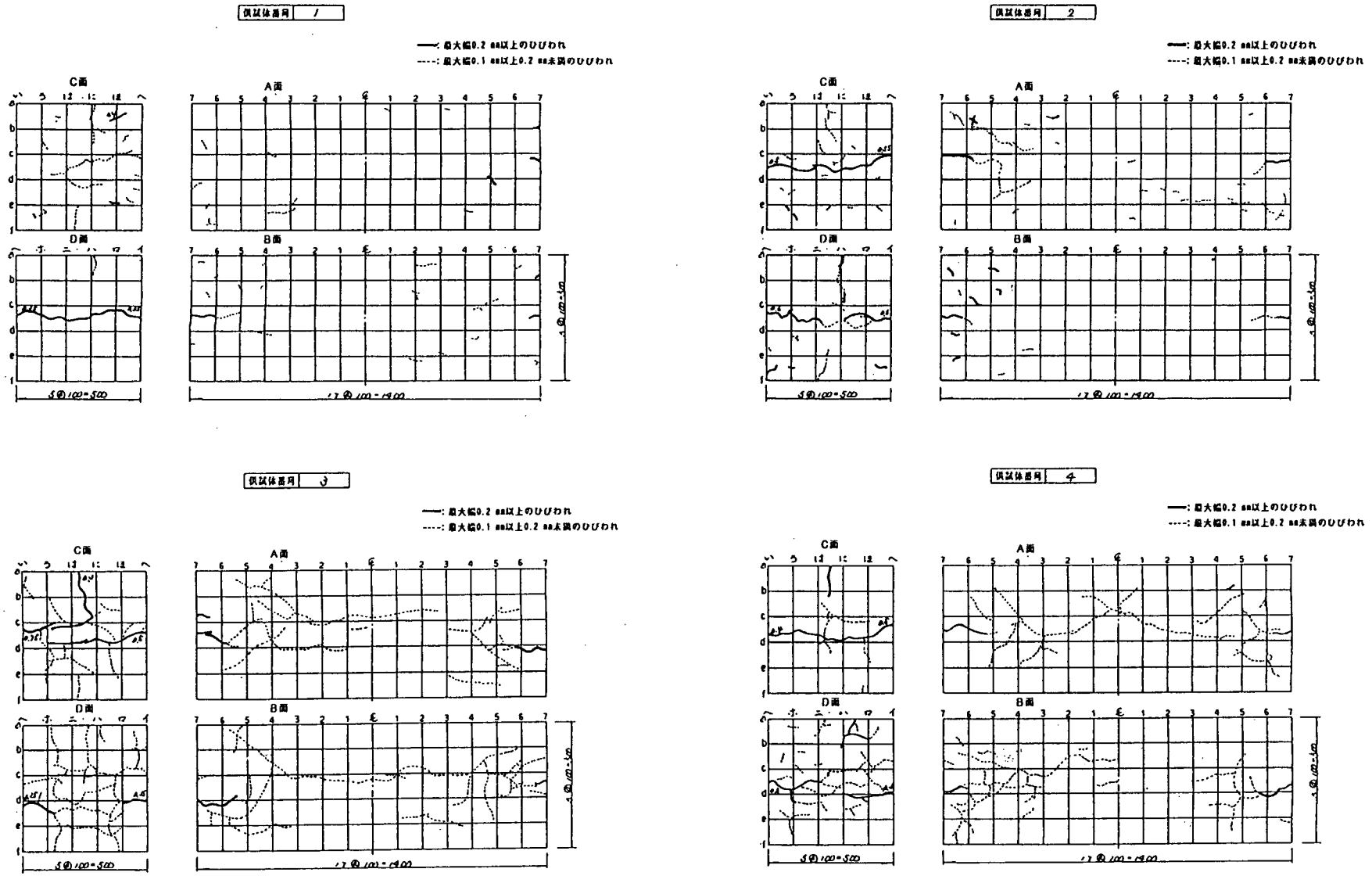
図－３．７　鉄筋ひずみ経時変化



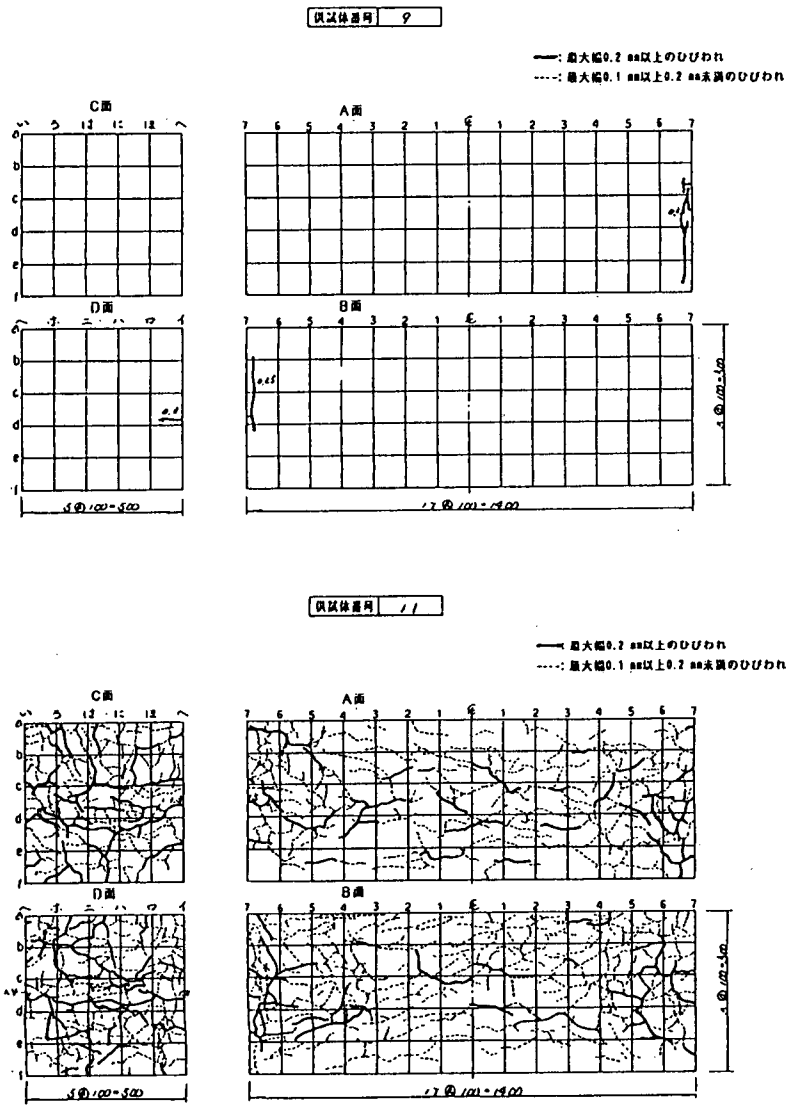
図－３．８　超音波伝播速度経時変化


供試体番号 5
供試体番号 6
供試体番号 7
供試体番号 8
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面

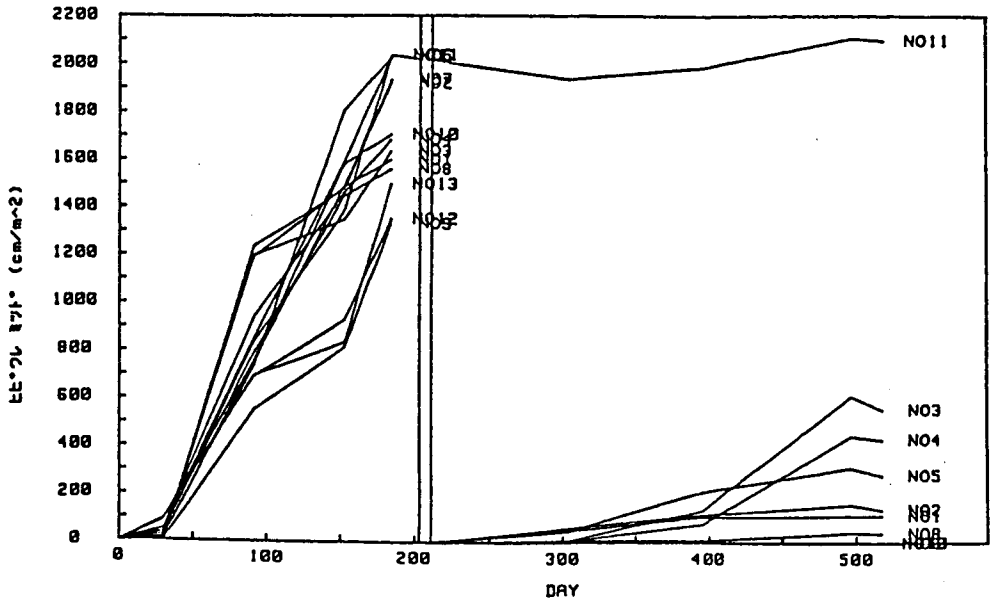
図－３．９　ひびわれ状況図


供試体番号 1
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面
供試体番号 2
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面
供試体番号 3
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面
供試体番号 4
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面

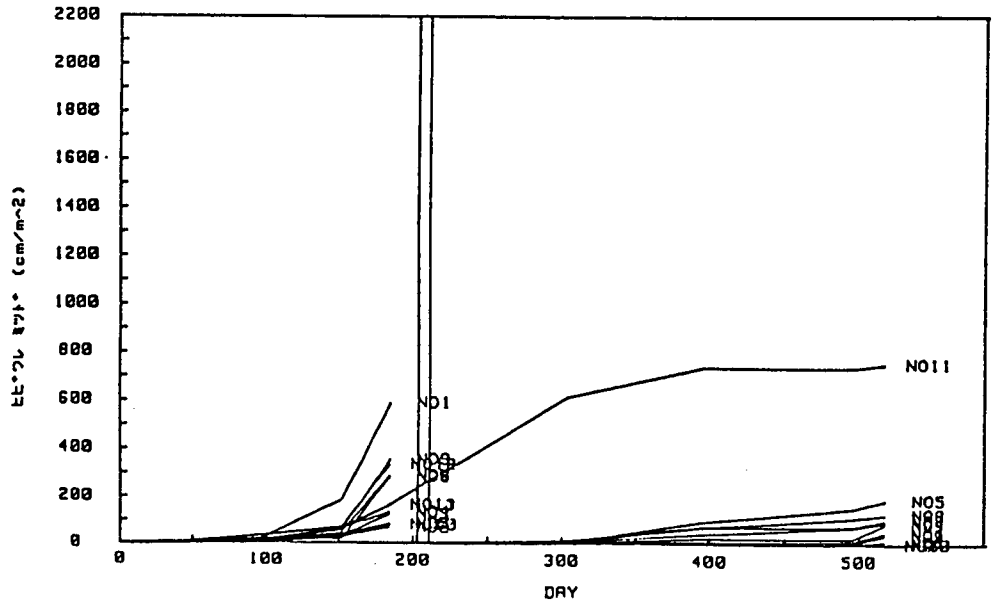
図－３．９　ひびわれ状況図


供試体番号 9
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面
供試体番号 10
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面
供試体番号 11
—: 最大幅0.2 mm以上のひびわれ
----: 最大幅0.1 mm以上0.2 mm未満のひびわれ
C面
A面
D面
B面

図－３．９　ひびわれ状況図

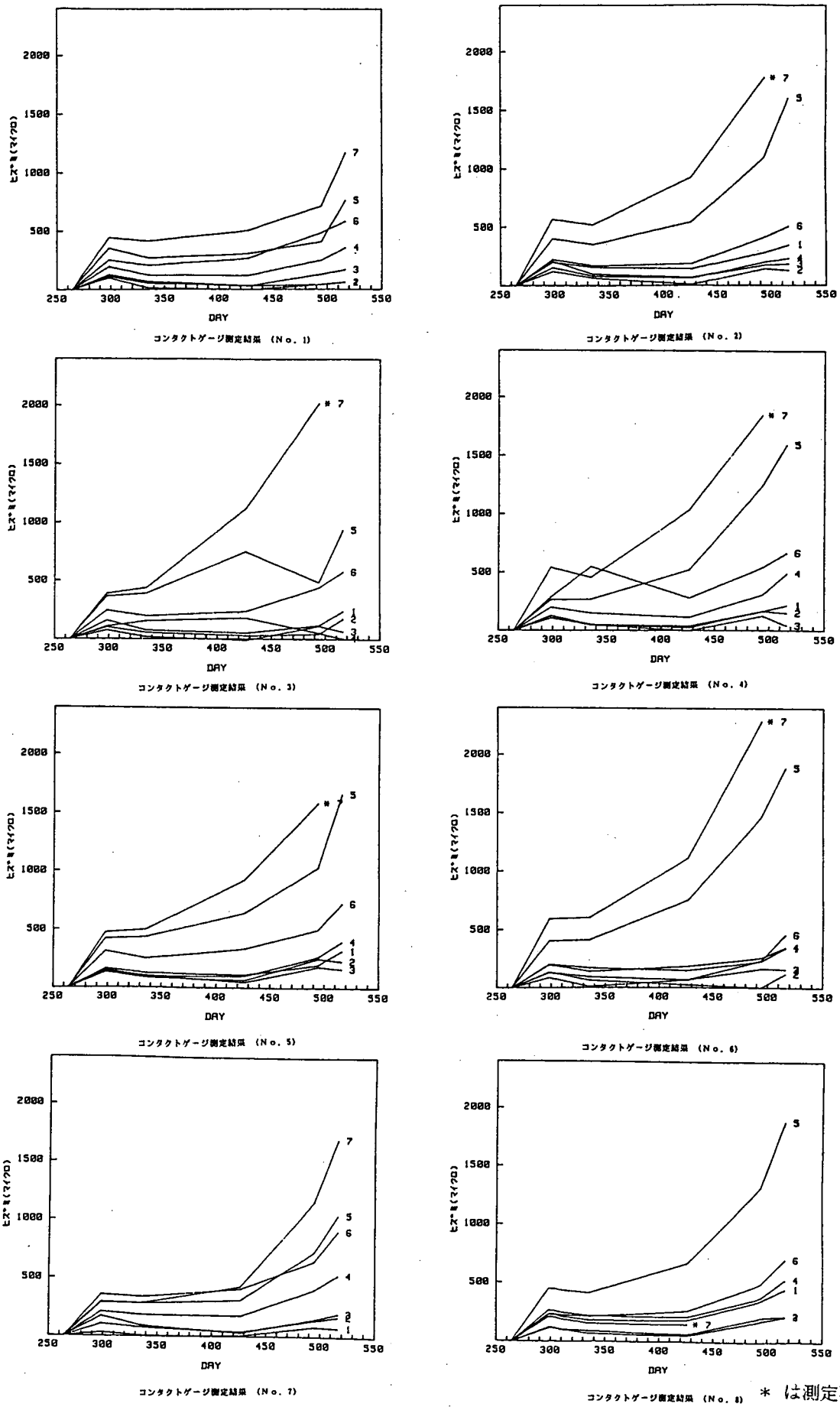


（ひびわれ幅 0.1㎜以上0.2㎜未満）

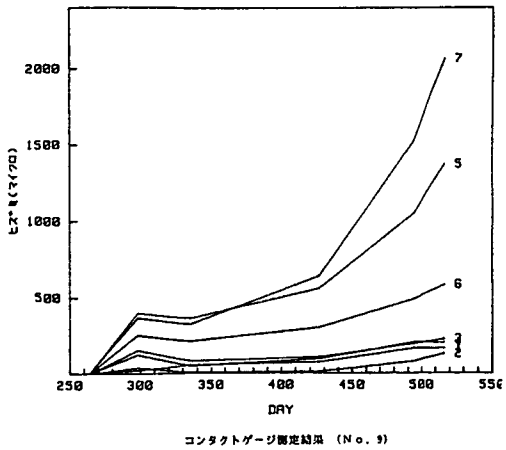


（ひびわれ幅 0.2㎜以上）

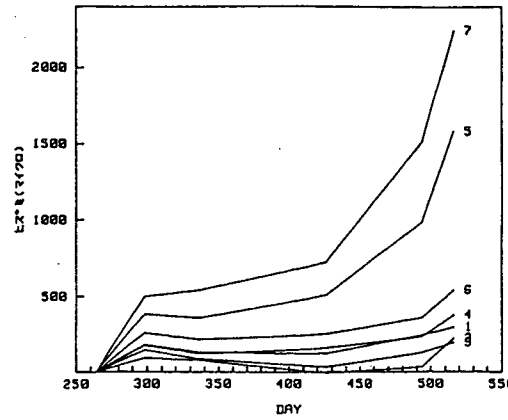
図－３．１０　ひびわれ密度経時変化



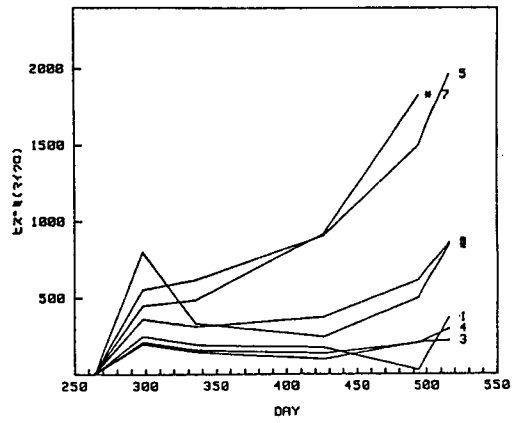
図－３．１１　コンタクトゲージによる伸び測定結果



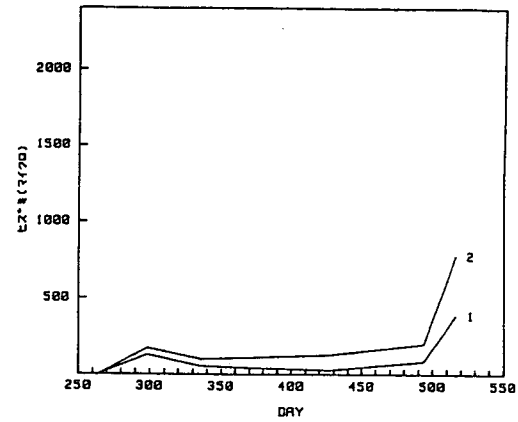
コンタクトゲージ測定結果 (No. 9)



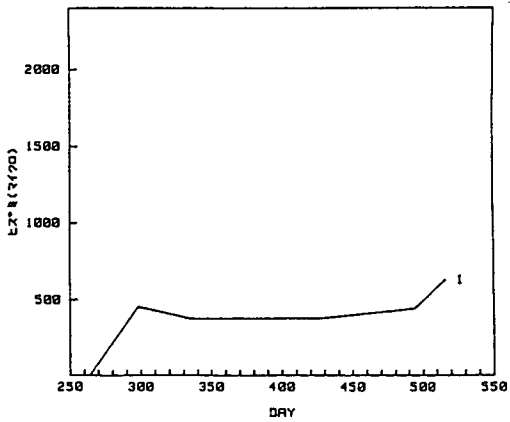
コンタクトゲージ測定結果 (No. 10)



コンタクトゲージ測定結果 (No. 11)



コンタクトゲージ測定結果 (No. 12)



コンタクトゲージ測定結果 (No. 13)

＊ は測定不能

図－３．１１　コンタクトゲージによる伸び測定結果

3.5 結論

（1）注入材料の施工効率については、ポリマーセメント系の施工効率が他の材料に比べて若干悪くなっているが、各供試体間におけるひびわれ幅、密度、深さ等の不均一な要員を考えると、他の供試体の間には、大きな差が認められない。

（2）塗装材料の施工効率を、作業員１人が１時間あたりに塗布する面積として表すと、ゴム樹脂塗装（柔軟型）がへら付け作業のため、ポリマーセメント（柔軟型）がはけ塗り作業の困難さのため、また、クロス入りエポキシ樹脂塗装がクロス張りのためにそれぞれ作業時間が長くなっている。

（3）現行（材令２００日）における各補修方法のＡＳＲ抑制効果をみてみると、注入材ではエポキシ樹脂（標準および柔軟型）、塗装材ではクロス入りエポキシ樹脂（柔軟型）、ビニルエステル樹脂、ポリマーセメントの効果が若干よくでている。しかし、補修材料の特性は、さらに供試体の伸びに対する追従性も含めて（長期的な展望で）検討する必要があるため、今後も計測を継続する予定である。

あとがき

建設省土木研究所と阪神高速道路公団が昭和60年度より３ヵ年間実施した「劣化部材の補修・補強技術の開発に関する共同研究」において行った各種試験調査の成果に基づき、「アルカリ骨材反応被害構造物の補修・補強指針（案）」を作成した。今後、アルカリ骨材反応により劣化した構造物の補修・補強に際して多少なりともお役に立てれば幸いである。

謝辞

本共同研究を進めるにあたり、また本指針（案）の作成にあったて、コンクリートの耐久性向上検討委員会委員各位に多大なる御支援並びに御教示いただきました。ここに心より謝意を表する次第です。

また、本研究の実施に際し、下記の方々に多大なるご協力を頂きました。ここに心より謝意を表する次第です。

〔部外研究員〕

化学研究室

野田　和明	関西ペイント株式会社
多記　　徹	大日本塗料株式会社
武吉　理夫	日本ペイント株式会社

基礎研究室

船越　　敦	株式会社大林組

〔研究協力者〕

森　　芳徳	（財）土木研究センター
土門　勝司	ショーボンド建設株式会社
益田　　豊	コニシ株式会社
福島　　稔	日本ペイント株式会社
白井　健三	関西ペイント株式会社
田辺　弘往	大日本塗料株式会社

アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）

アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）

まえがき

近年、アルカリシリカ反応（ＡＳＲ）によって被害を受けたコンクリート構造物が各地に散見されている。ＡＳＲによりひびわれ等被害を受けた構造物は、放置するとひびわれに雨水や大気中の炭酸ガスが浸透して周囲のコンクリートが中性化され、鉄筋が腐食して構造物の耐久性および耐荷力が低下することが懸念される。

このため、昭和60年度より62年度までの3カ年間建設省土木研究所では、建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」において、ＡＳＲによって被害を受けたコンクリート構造物の補修材料開発および補強技術開発に関して、阪神高速道路公団と共同研究を実施し、その研究成果に基づいて「アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）」作成した。

なお、本指針（案）は、ＡＳＲによって被害を受けた土木のコンクリート構造物（無筋コンクリート構造物を除く）全般にわたって、それらを補修，補強する際に共通すると考えられる事項について取りまとめたものであり、橋，水門，護岸といった具体の構造物によってそれぞれ異なる個別の事項については、その全てを網羅し作成したものではない。したがって、具体の構造物の補修・補強については、本指針（案）を参考とし、個別の事項についてそれぞれの実状に応じた検討をさらに加えることが必要である。

アルカリ骨材反応被害構造物（土木）の補修・補強指針（案）

目　　次

1. 総　　則 …… 281
1.1 適用範囲 …… 281
1.2 用　　語 …… 281
1.3 関連規格等 …… 281

2. 補修・補強の基本 …… 282
2.1 一　　般 …… 282
2.2 補修・補強の手順 …… 283

3. 事前調査 …… 284
3.1 事前調査 …… 284

4. 補修・補強の必要性の判断 …… 285
4.1 補修の必要性の判断 …… 285
4.2 補強の必要性の判断 …… 286

5. 補　　修 …… 287
5.1 補修設計 …… 287
5.1.1 一　　般 …… 287
5.1.2 補修範囲と規模 …… 287
5.1.3 補修工法の選択 …… 287
5.1.4 補修材料 …… 288
5.1.5 注入材および充填材の品質規格 …… 291
5.1.6 被覆仕様の品質規格 …… 293
5.2 補修施工 …… 295
5.2.1 一　　般 …… 295
5.2.2 ひびわれ注入および充填 …… 295
5.2.3 表面処理 …… 295
5.2.4 被　　覆 …… 296
5.3 施工管理 …… 296
5.3.1 一　　般 …… 296

5.3.2 補修記録 …… 298

6. 補　強 …… 298
6.1 補強設計 …… 298
6.1.1 一　般 …… 298
6.1.2 補強範囲と規模 …… 299
6.1.3 補強工法 …… 299
6.1.4 補強材料 …… 299
6.1.5 補強断面の決定 …… 300
6.2 補強施工 …… 300
6.2.1 一　般 …… 300
6.2.2 劣化部分の除去 …… 300
6.2.3 表面処理 …… 301
6.2.4 鉄筋工、型枠工、コンクリート打設等 …… 301
6.3 施工管理 …… 301
6.3.1 一　般 …… 301
6.3.2 補強記録 …… 301

7. 追跡点検 …… 302
7.1 補修・補強後の点検 …… 302

付録1. 各機関が示している許容ひびわれ幅または補修・補強判定規準 …… 303
付録2. ひびわれ注入および充填工法の施工手順例 …… 308
付録3. 補強工法の例 …… 311

付属資料1. 補修事例 …… 315
付属資料2. 補修材料規格試験方法(案) …… 325
1. 注入材料規格試験方法(案) …… 327
2. 被覆材料規格試験方法(案) …… 334
付属資料3. 被覆仕様例 …… 339

1. 総　則

1.1 適用範囲

本指針は、アルカリシリカ反応（ＡＳＲ）によりひびわれの発生等被害を受けた土木のコンクリート構造物（無筋コンクリート構造物を除く）の補修および補強の設計・施工に適用する。

本指針は、昭和60年度より開始したＡＳＲに関する総プロの研究成果、および、これまでの補修事例（付属資料１）に基づき、ＡＳＲにより被害を受けた土木のコンクリート構造物の補修・補強法を示したものである。

本指針は、主として陸上部のコンクリート構造物のうち、ＡＳＲによりひびわれの発生等被害を受けた構造物の補修および補強の設計・施工に適用するものであるが、損傷部位が水中部分および橋台や取り付け擁壁のように背後に盛り土や埋め戻し土が構築されており、常に水が補給されるような構造物には適用しない。これらの構造物の補修・補強は別途検討することが望ましい。

1.2 用　語

本指針で使用している主な用語は次のように定義する。

(1) アルカリシリカ反応（ＡＳＲ）：骨材中に存在する反応性を有するシリカとコンクリートに含まれるアルカリが反応して生成した生成物が、吸水して膨張し、コンクリートにひびわれ等を生じさせる現象である。

(2) 補　修：現状の耐荷力や機能を維持するために、ＡＳＲの進行を抑制する手段をいう。

(3) 補　強：耐荷力や機能が低下したコンクリート構造物を，損傷を受ける前と同等に回復または増強させる手段をいう。

1.3 関連規格等

ＡＳＲにより、ひびわれの発生等被害を受けたコンクリート構造物の補修・補強は、本指針によるほか関連規準、規格および法規に従って行うものとする。

コンクリート構造物は、その種類が多いので、構造物の目的および機能に応じて適切な補修・補強を施す必要がある。したがって、補修・補強にあたっては、本指針によるほか、その構造物に関連する規準および法規を満足するものでなければならない。

以下に関連する規準、規格等の例を示す。

・コンクリート標準示方書（土木学会）

・道路橋示方書・同解説（日本道路協会）
・道路土工指針（日本道路協会）
・道路橋の塩害対策指針（案）・同解説（日本道路協会）
・道路橋保守便覧（日本道路協会）
・道路震災対策便覧（日本道路協会）
・土木構造物の震災復旧マニュアル（案）（土木研究センター）
・コンクリートのひびわれ調査、補修・補強指針（日本コンクリート工学協会）
・建設省河川砂防技術規準（日本河川協会）

2. 補修・補強の基本

2.1 一　般

(1) ＡＳＲによるひびわれが認められた場合は、補修・補強の必要性を判断するため事前調査を行うものとする。

(2) 補修は、コンクリート内部で生じるＡＳＲを抑制する目的で行うものとする。

(3) 補強は、低下している構造物の耐荷力および機能を回復または増強する目的で行うものとする。

(4) 補修・補強は、構造物の目的および機能に応じた材料および工法を用いて行うものとする。

(5) 補修・補強後は追跡点検を行うものとする。

(1) ＡＳＲによると思われるひびわれが認められた場合は、「コンクリート構造物におけるアルカリシリカ反応の実態調査法」（土木研究所資料第2375号）等に基づいて点検、調査を行ない、損傷の原因がＡＳＲであるかどうかを確認しなければならない。

その結果、損傷の原因がＡＳＲであると判定された構造物については、補修・補強の必要性の判断をするために事前調査を行わなければならない。ただし、ＡＳＲであると判定されなかった構造物についても、損傷の原因が特定されない場合には、定期的な追跡調査を行い、その後の損傷の経時変化を把握し、必要に応じて再度ＡＳＲであるか否かの判定を行うことが望ましい。

(2) 補修は、構造物の目的、機能および設置状況等を考慮し、ＡＳＲを抑制して構造物の耐荷力および機能を長期的に維持する目的で材料および工法を選定しなければならない。

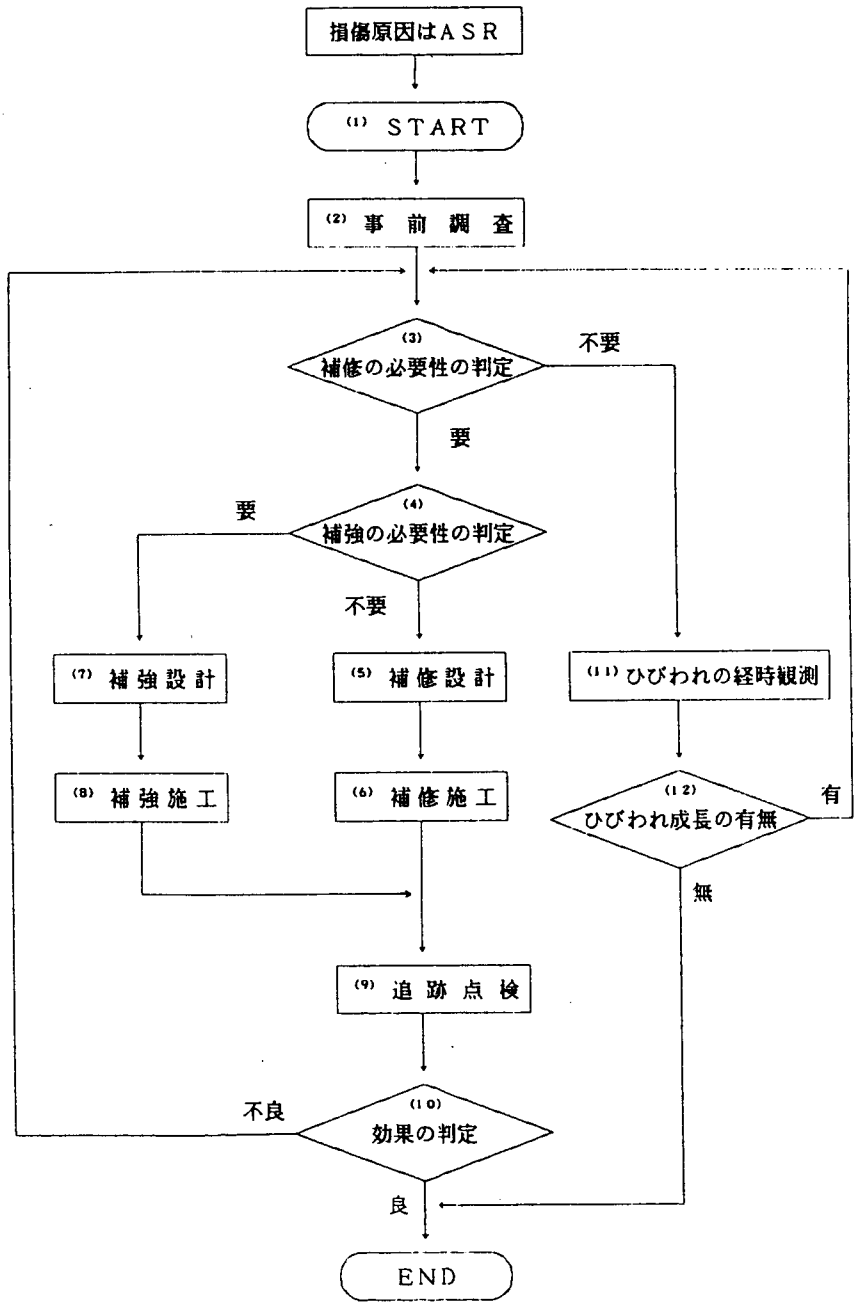
(3) 補強は、構造物の目的、機能および設置状況等を考慮して、低下している構造物の耐荷力および機能を回復または増強する目的で材料および工法を選定しなければならない。

(4) 我が国でＡＳＲによるコンクリート構造物の損傷が発見されてまだ日が浅いため、補修・補強を実施した例は少なく、補修・補強に関する研究も開始されてまだ数年しか経ていないのが現状である。このため、本指針では補修材料等の選定にあたっては、ＡＳＲの抑制に効果があると考えられる材料を示しているが、ＡＳＲは進行性であることが多く、本指針の補修・補強法では十分でない場合があることも考えられるので、補修・補強後は追跡点検を定規的に行うものとした。

2.2　補修・補強の手順

補修・補強はあらかじめ手順を定めて行うことが望ましい。

補修・補強は図－解１に示す手順で行うことが望ましい。



図－解１　補修・補強の手順

(1) この補修・補強の手順は、構造物がＡＳＲを起こしていると判断された時点から始まる。

(2) 事前調査は、構造物の観察やひびわれ幅および分布の計測等を行う。

(3) (2)の調査結果に基づいて、補修の必要性を判断する。

(4) (2)の調査結果に基づいて、補強の必要性を判断する。

(5) (3)により補修が必要であると判断された構造物について、補修の範囲、補修工法および補修材料等を選定するため補修設計を行う。

(6) 補修設計に基づいて補修施工を行う。

(7) (4)により補強が必要であると判断された構造物について、補強の範囲、補強工法および補強材料等を選定するため補強設計を行う。

(8) 補強設計に基づいて補強施工を行う。

(9) 補修・補強終了後、定期的に追跡点検を行う。

(10) (9)の追跡点検の結果、補修・補強部分に不都合が生じた場合、再度、(3)の補修の必要性の判定に戻る。

(11) (3)により、現時点で補修は不要であると判定された構造物は、ひびわれの経時観測を行い、ＡＳＲによるひびわれの進行の有無を調査する。

(12) (11)の観測の結果、ひびわれの成長が認められる場合には、(3)の補修の必要性の判定を行う。

3. 事前調査

3.1 事前調査

ＡＳＲによると思われるひびわれが認められるコンクリート構造物の事前調査は、以下の内容の中から必要な項目について行うものとする。

(1) 構造物の外観の調査および外部水の浸入経路の調査

(2) ひびわれ調査

(3) コアの残存膨張量調査

(4) 欠損部・局所変形部の調査

(5) 鉄筋の腐食状況調査

(6) 設計図書の調査

(1) 構造物の外観の調査および外部水の浸入経路の調査

1) 肉眼や双眼鏡等の視察により、構造物のおおよその損傷状況（構造物の変形、ひびわれの状況、表面の汚れ、ゲルの発生およびさび汁の有無等）を把握する。

2) ひびわれの状況、表面の汚れ、ゲルの発生およびさび汁の有無と、湿潤個所の位置関係より外部水の浸入経路を推定する。

(2) ひびわれ調査

ひびわれ調査では、ひびわれの幅、深さ、長さの計測およびひびわれの分布図を作成する。

1） コンクリートの耐久性は、ひびわれ量（幅、深さ、長さ）によって大きく左右される。また、ひびわれ量は、補修の必要性の判定や補修設計において重要な目安となる。

2） ひびわれのスケッチおよびひびわれ幅の計測値を構造物の一般構造図、平面図、立面図等に記入すると、ひびわれの分布状況や密度等の把握が容易になる。

3） ひびわれ調査は、定期的に行うことによりＡＳＲ進行程度を予測でき、補修設計に役立つ資料が得られる。

(3) コアの残存膨張量

コアの残存膨張量の調査は、ＡＳＲの進行状況を判断するための資料となる。

(4) 欠損部・局所変形部の調査

1） 欠損部のコンクリートの状況を観察することにより、断面修復のてがかりとする。

2） 局部的に表面がはらみだす等の変形を起こしている箇所およびその近傍は、ハンマー等を用いて、浮きや空洞の有無を点検する。

(5) 鉄筋の腐食状況の調査

ひびわれ幅が大きい個所やさび汁の流出が見られる個所では、鉄筋の腐食が予測されるので、表面のコンクリートをはつり、鉄筋の腐食状況を確認する。

(6) 設計図書の調査

損傷を受けた構造物の耐荷力、機能を判定する資料として、その構造物の原設計図書を調査する。このとき、必要に応じて施工記録で使用材料や施工方法等について調査する。

4. 補修・補強の必要性の判断

4.1 補修の必要性の判断

ＡＳＲによりひびわれの発生等被害を受けたコンクリート構造物は、その目的や機能およびＡＳＲの進行性等に応じて補修の必要性を判断しなければならない。

コンクリート構造物の種類は多く、その目的や機能は多種多様であり、また、それらを取りまく環境も様々であるため、ＡＳＲによりひびわれの発生等被害を受けたコンクリート構造物の補修の必要性の判定基準を一律に定めるのは不合理であると考えられる。したがって、補修の必要性の判断は、個々の構造物の種類、目的、機能およびＡＳＲ進行程度、さらに周辺環境等を十分考慮した上で決定する必要がある。

鉄筋コンクリートの耐久性は、鉄筋の腐食に大きく左右される。したがって、耐久性の面から補修を考える場合、ひびわれ幅と鉄筋の腐食との関係から補修の必要性の判断を行うことが多く、ひびわれ幅は0.2mm程度以下であれば、一般に鉄筋の腐食への影響は小さいと言われている。ただし、海岸付近の構造物では、ひびわれより塩化物が浸入して塩害を引き起こすことが考えられるので、さらに塩害を受けた土木構造物の補修指針を参照することが望ましい。なお、各機関で用いられている許容ひびわれ幅の値を付録1に示す。

また、構造物の周辺環境等によってはひびわれ幅が0.2mm以下であっても、美観および第三者に対する障害等の配慮が必要な場合もある。

4.2　補強の必要性の判断

ＡＳＲにより損傷を受けた鉄筋コンクリート構造物において、耐荷力の低下が懸念される場合は、その構造物の種類および規模等に応じて、補強の必要性を判断しなければならない。

ＡＳＲにより損傷を受けたコンクリート構造物において、鉄筋が腐食している場合等には耐荷力の低下が懸念されるので、このような構造物に対しては、関連する規準等に従って耐荷力の確認を行い、構造物の種類や規模等を考慮した上で補強の必要性を判定しなければならない。

一般に、ＡＳＲによりひびわれが生じただけの鉄筋コンクリート構造物においては、通常、健全な部材に比べても耐荷力の著しい低下はきたさないとされている。建設省土木研究所が実施したＡＳＲによる被害を受けた鉄筋コンクリート梁の耐荷特性に関する実験においても以下のような事項が確認されている。

(1) ＡＳＲによる被害を受けた比較的鉄筋量の少ない梁（主鉄筋比0.2～0.5％、スターラップ量0～0.2％、最大ひびわれ0.2～1.0mm）の静的な載荷実験によると、曲げ耐力は通常の梁に比べて低下する傾向は見受けられず、むしろ供試体の伸びに対する鉄筋の拘束効果により上昇する傾向が見られる。また、せん断耐力についてはせん断スパン比の値によって傾向が異なり、せん断スパン比の小さい梁においては、せん断耐力は通常の部材と同等もしくは若干低下する場合がある。一方、せん断スパン比が大きい梁については、ＡＳＲを起こした梁のせん断耐力の方が通常の梁よりも上昇する傾向がある。

(2) 繰り返し荷重に対するコンクリートのせん断疲労については、配置するスターラップ量が非常に少ない場合には、ASRによりせん断耐力が低下することがあるが、スターラップ量がある程度配置されている場合（本実験では0.15％）には、鉄筋によるコンクリートの膨張拘束効果により、ＡＳＲ部材のひびわれの進行は通常の部材に比べて遅くなる。

(3) 鉄筋の拘束効果により、ＡＳＲ部材のみかけの曲げ剛性は通常の部材に比べ大きくなる傾向がある。

これらの結果は、各機関において実施された結果と一致している。しかし、このような傾向はいずれも短期的な実験によって確かめられたものであり、長期に渡ってＡＳＲによる被害を受けたコンクリート構造物が耐荷力を維持していくことができるかどうかについて検討されていない。したがって、著しいひびわれやはく落等が生じ、構造物に作用している鉄筋の拘束力が長期間に渡って消失した場合等には耐荷力の低下が懸念されるため、慎重に耐荷力の判定を行う必要がある。その結果、耐荷力が不足していると判定された構造物については、速やかに補強を実施しなければならない。ただし、補強を行っても十分な効果が期待できない場合には撤去も考慮する。

5. 補　修

5.1 一　般

5.1.1 一　般

補修設計は以下の内容を含むものとする。

(1) 補修範囲と規模の決定

(2) 補修工法の選定

(3) 補修材料の選定

(4) 補修時期および補修に必要な設備等の決定

補修はコンクリート構造物の耐荷力および機能を長期的に維持するため、適切な材料および工法を選定しなければならない。

すなわち、補修設計にあたってはコンクリート構造物の目的、機能、ひびわれの発生状況および、周囲の環境等を考慮して、(1)補修の範囲と規模、(2)補修工法、(3)補修材料および、(4)補修時期および補修に必要な設備等を決定することが望ましい。

5.1.2 補修範囲と規模

補修の範囲と規模は、ひびわれの発生状況およびコンクリート構造物の種類、機能、目的、重要性等を考慮して決定するものとする。

補修の範囲と規模の決定は、補修工法や材料の選定を左右する重要なものである。したがって、決定に際しては事前調査結果を十分に検討し、さらにコンクリート構造物の種類、機能、目的および重要性を考慮する必要がある。

5.1.3 補修工法の選定

補修工法は、ひびわれ注入（充填）および被覆から、コンクリート構造物のひびわれ発生状況等に応じて適切に選定しなければならない。

事前調査により、構造物のひびわれ進行度は、ひびわれが進行している状態をひびわれ進行度区分A、ひびわれの進行がとまった状態をひびわれ進行度区分Bとした。また、補修工費を考慮してひびわれ幅が0.2～5.0mmの場合と5.0mm以上の場合の2段階に分類した。

構造物のひびわれ進行度を表－解1に示す。

表－解１　構造物のひびわれ進行度

ひびわれ進行度区分		ひびわれ幅（mm）
A	ひびわれが進行している。	0.2～5.0
		5.0以　上
B	ひびわれの進行がとまった。	0.2～5.0
		5.0以　上

一般環境においてひびわれ幅が0.2mm程度以下の場合は、各機関が示している許容ひびわれ幅の基準に基づき原則として、補修の対象としない。

補修工法は、ひびわれ注入（充填）とコンクリート表面の被覆による防水との組み合わせで行うものが大半であるが、構造物の目的や周囲の環境等によっては被覆だけも可能である。

(1)　ひびわれ注入（充填）

注入および充填材料は、ASRによって生じたひびわれに深部まで注入、または表面部を充填することによって、ひびわれから供給される水等のASR促進因子を遮断し反応を抑制するとともに、鋼材の防食および鋼材とコンクリートとの一体化を図るものである。ひびわれ部分のコンクリートと強固に接着し水等の浸透を防止する材料には種々あるが、湿潤環境や乾燥環境等の種々の環境下においても耐久的な接着力を発揮しなければならない。

ひびわれ注入後は、注入パイプやシール材およびコンクリートの劣化部分等を除去し、コンクリートの表面の汚れレイタンスの除去等の処理を行い、防水効果を高めるために被覆する。

(2)　被　覆

被覆材料はコンクリート表面に塗付され、外部から供給される水等のASR促進因子を遮断し、ASRを抑制する材料である。

被覆材料は、長期間に渡って十分な密着性を有し、特に外部からの水分の透過浸入を抑制するものでなければならない。また、ひびわれが進行している場合には、ひびわれの進行に応じて伸び、ひびわれからの水分の浸入を防ぎ得るものでなくてはならない。

被覆に際しては、著しく劣化して浮きを生じたコンクリートは被覆材料の密着を阻害するので除去する必要がある。この時、腐食した鋼材がある場合には、その防錆処理を行ったのち断面修復を行い元の形状に復する。

5.1.4　補修材料

補修材料は、補修工法に応じて適切なものを選定するものとする。

補修材料は、ひびわれ進行度区分およびひびわれ幅に応じた適切なものを選定しなければならない。

補修材料の選定例を表－解２に示す。

表－解2　補修材料の選定例

ひびわれ進行度区分		ひびわれ幅（mm）	ひびわれ部の処理		被覆
			注入	充填	
A	ひびわれが進行している	0.2 ～5.0	エポキシ樹脂注入材 3種	—	柔軟形厚膜被覆
		5.0 以上	—	シーラント	
B	ひびわれの進行がとまった	0.2 ～5.0	エポキシ樹脂注入材 2種	—	柔軟形被覆
			エポキシ樹脂注入材 1種	—	硬質形被覆
		0.5 以上	—	シーラント	柔軟形被覆
			—	ポリマーセメント	硬質形被覆

(1)　注入材料および充填材料の選定

注入および充填材料は、ＡＳＲによって生じたコンクリート表面のひびわれに深部まで注入、または表面に充填することによって、ひびわれから供給される水等のＡＳＲ促進因子を遮断しASRを抑制すると共に、鋼材の防食および鋼材とコンクリートとの一体化を図る材料である。ひびわれ部分のコンクリートと強固に接着し、水等の浸透を防止する材料には種々あるが、湿潤環境や乾燥環境等の種々の環境下においても、長期間接着力を発揮しなければならない。

ひびわれが進行しているひびわれ進行度区分Ａにおいては、補修材料は水や水蒸気の透過阻止性を有するとともに、伸び能力の大きいことが必要である。このため、ひびわれ幅が 0.2 ～ 5.0 mm の場合、注入材は伸びの大きいエポキシ樹脂注入材３種を選定し、ひびわれ幅が５mm以上の場合、注入材料の使用量が多くなり工費がかさむとともに、だれなども懸念されるので、充填材を使用することが適当であり、シーラントを選定する。

ひびわれの進行が止まったひびわれ進行度区分Ｂにおいては、完全にひびわれの進行が止った保証が得られない場合には、補修材料は水や水蒸気の透過阻止性を有するとともに、ひびわれ進行度区分Ａほどではないが伸び能力も必要である。このため、ひびわれ幅が 0.2 ～ 5.0 mm の場合、注入材は伸びが中程度のエポキシ樹脂注入材２種を選定し、ひびわれ幅が 0.5 mm 以上の場合、充填材はシーラントを選定する。

一方、完全にひびわれの進行が止まったと判断され、ひびわれ幅が 0.2 ～ 5.0 mm の場合、注入材は鋼材の防食および鋼材とコンクリートの一体化が図れるエポキシ樹脂注入材１種を選定し、ひびわれ幅

が5.0㎜以上の場合、充填材はポリマーセメントを選定する。

注入および充填材料には多くの種類があり、外見等ではその良否を判断するのは難しい。従って、立会い試験または公的機関による試験によって、その性能が5.1.5に示す品質規格に適合することが確かめられた材料を用いなければならない。

(2) 被覆材料

これまでの材料試験結果等に基づけば、ひびわれの進行している場合に適合する被覆材料は、膜厚が大きくなるにつれてひびわれ追従性が向上する性質が認められる。ひびわれが進行しているひびわれ進行度区分Aにおいては、水や水蒸気の透過阻止性を有するとともに、伸び能力の大きい材料が必要である。このため、ひびわれ幅が0.2～5.0㎜の場合、伸びの大きい柔軟形厚膜被覆を選定する。

ひびわれの進行が止まったひびわれ進行度区分Bにおいては、完全にひびわれの進行が止まった保証が得られない場合には、水や水蒸気の透過阻止性を有するとともに、ひびわれ進行度区分Aほどではないが伸び能力も必要である。このため、ひびわれ幅が0.2～5.0㎜の場合、伸びが中程度の柔軟形被覆を選定する。一方、完全にひびわれの進行が止まったと判断された場合には、ひびわれ幅が0.2～5.0㎜の場合、硬質形被覆を選定する。

特殊な例として、塩害を受ける環境にある構造物を補修する際には、「塩害を受けた土木構造物の補修指針(案)」を参照することが望ましい。また、高架橋等において、コンクリート片の剥落による第三者に対する障害等が懸念される場合には、繊維等で補強したFRP被覆がある。

被覆の前処理として、コンクリート表面との付着性を強化するためにプライマーが用いられる。また、コンクリート表面の巣穴(ボイド)等を充填するためパテが用いられる。

(3) 防錆材料および断面修復材料

補修に際しては、必要に応じて鋼材の防錆材料および断面修復材料が用いられる。

1) 防錆材料とは、鋼材の腐食を抑制するために鋼材に塗付する材料である。腐食した鉄筋はサンドブラスト処理により除錆することが原則であるが、ブラスト処理の行き届かない鉄筋裏面には錆が残存することもある。このため、防錆材料には鋼材に対し腐食性因子(水分・酸素・塩分)の浸透を抑制し、除錆処理面および錆び残存面にも強固な付着力を有し、かつ、断面修復材料との付着性が良いことなどの性能が要求される。これらの性能を満たす防錆材料として変性エポキシ樹脂塗料やタールエポキシ樹脂塗料がある。

2) 断面修復材料とは、ASRにより脱落したコンクリート部分や、補修施工を行うためにはつり除去したコンクリートの欠損部分を補い、元の形状に復する材料である。

たとえば、プレパックドコンクリート工法で用いるポリマーセメント系やモルタル工法で用いるエポキシ樹脂系モルタル、ポリマーセメント系モルタル、および打ち継ぎコンクリート工法で用いるポリマーセメントコンクリート、レジンコンクリートや無収縮セメントコンクリートなどがある。

5.1.5　注入材および充填材の品質規格

注入材および充填材は以下の品質規格を満足しなければならない。

（試験温度 20℃）

材料の種類 / 項目	単位	土木補修用エポキシ樹脂注入材 1種	土木補修用エポキシ樹脂注入材 2種	土木補修用エポキシ樹脂注入材 3種	土木補修用充填材 ポリマーセメント系	土木補修用充填材 シーラント系
ひびわれ進行度区分		B		A	B	A，B
ひびわれ幅（mm）		0.2 ～ 5.0			5.0 ＜	
粘度	cps	1,000以下	4±1（注−1）	1,000以下	10,000以下	だれを認めず
可使時間	分	30以上	30以上	30以上	30以上	240以上
硬化時間	時間	16以内	16以内	24以内	16以内	24以内
硬化収縮	%	0.1以下	0.1以下	0.1以下	0.1以下	—
伸び率	%	—	50以上	100以上	—	800以上
モルタル付着強さ（乾燥面）	kgf/cm²	60以上	60以上	60以上	60以上	たわみ量10mm以上で破壊すること
付着力耐久性保持率（注−2）	%	60以上	60以上	60以上	60以上	60以上

注−1　チキソトロピック係数　　2 rpm／20rpmの粘度で表わす。
注−2　規格に対する百分率

品質規格はASRにより被害を受けたコンクリート構造物を補修する際に使用するエポキシ樹脂系の注入材1種、2種および3種の3種類と充填材ポリマーセメントおよびシーラントの計5種について、注入材および充填材に必要と考えられる性能について定めたものである。

1）粘　度

粘度は注入材および充填材の施工性を左右する因子であり、低粘度であるほど微細なひびわれまで注入が可能である。土木補修用エポキシ樹脂注入材（以下、注入材と略す）の1種および3種は、冬季の施工限界温度5℃の粘度が4,000cps以下であることが望ましいが、可使時間が短い場合やエポキシ樹脂の粘度の温度依存性を考慮して20℃における粘度は1,000cps以下とした。

注入材2種はひびわれの先端部まで注入しなくても、ひびわれ内部で注入材が流下せずに防水層を形成することが特徴である揺変性（注）を有することが必要である。揺変性の尺度としてチキソトロピック係数を設定した。ただし、注入施工性を考慮するとその粘度は3～4万cpsであることが望ましい。なお、この揺変性注入材は揺変剤の添加により増粘されており、注入材基材本来の粘性ではないので注入材1種や3種と同程度のひびわれ幅まで注入が可能である。

ポリマーセメント系は、適用ひびわれ幅が大きいので1万cps以下とした。

シーラント系は、ひびわれ幅が大きく充填を行うものであるので、充填した所から材料が流れ

出て周囲を汚さない程度の粘度とした。

㊟ 揺変性（チキソトロピー）：単にかき混ぜたり、振り混ぜたりすることによってゲルが流動生のゾルに変わり、放置すると再びゲルに戻る性質で、ベントナイトなどのサスペンション、顔料粒子を重合アマニ油に分散した塗料、アルミニウム石鹸を潤滑油に分散したグリースなどで見られる。

2） 可使時間

可使時間は材料を攪拌して注入器に充填し、ひびわれの深部まで十分に注入するのに必要な時間であり、20℃を基準とした注入作業に必要な最小限の時間とした。

充填材の可使時間は、充填方法や硬化反応機構が異なることから、補修工事の工程を考慮して24時間とした。

3） 硬化時間

注入用パイプやシール材を除去し、次の被覆工程への移行が可能な、20℃における実用的な硬化時間を設定した。

4） 硬化収縮

注入あるいは充填された材料の機能を損なわないためには、硬化収縮は可能な限り小さいことが必要である。

シーラントは本試験方法では測定が困難であるので対象外とした。

5） 伸び率

ひびわれの進行の停止が明確になった後に、鋼材の防食およびコンクリートの一体化を図る注入材1種はコンクリートの耐力復元および注入材の温度依存性を考慮に入れて設定した。同じく進行が停止した5㎜以上のひびわれには、ひびわれ追従性が小さいポリマーセメント系はコンクリートの引張強さを考慮して設定した。ひびわれの進行が停止しているが、ひびわれが生じる可能性が考えられるとき適用される注入材2種とシーラントは、ひびわれ追従性が必要であるので伸び率を規定した。

注入材3種はひびわれが進行中と判断された場合に適用される材料であるので伸びは重要な項目である。注入材において、伸び能力が大きくなると準疲労限度㊟や付着曲げクリープ抵抗性が小さくなるとともに、破壊状況が界面破壊を示し付着耐久性が小さく、信頼性に欠ける。従って、ひびわれが進行している段階で伸び能力を必要とされる注入材3種においては、100％以上の伸びを設定した。

㊟ 準疲労限度：100万回の繰り返し付着曲げ試験で破壊しなかった時に付着強さと定義した。

6） モルタル付着強さ

安定した付着耐久性を示す注入材と充填材の注入厚さと付着強さに関する、付着曲げ疲労試験および付着曲げクリープ試験の結果および付着力とたわみ量に関する各材料の曲げ試験結果より、注入材1,2および3種は注入厚を0.5㎜、ポリマーセメントは0.5㎜において乾燥面の準疲労限度の2倍の60kgf／㎠以上をモルタル付着強さとした。

シーラントは、他の材料にない大きな伸び率が特徴であるので、注入厚 0.5㎜においてたわみ量が10㎜以上で破壊することとした。

7) 付着力耐久性

JIS A 6024に適合する注入材の付着力が3サイクルで30kgf/cm^2 以上であるので、30サイクルの乾湿繰り返しによる付着力の変化率は、60％以上であれば十分であるとした。

本品質規格の適合することを立会い試験または公的試験機関で認定された材料は、さらに製造ロット毎に規格表中の粘度・可使時間・引張強さ・伸びの項目について検査し、規格値に合格することを確認しなければならない。

5.1.6 被覆仕様の品質規格

被覆仕様は以下の品質規格を満足しなければならない。

ひびわれ進行度区分 / 品質項目 ＼ 材料	A（ひびわれが進行している）	B（ひびわれの進行が止まっている）	
	柔軟形厚膜被覆	柔軟形被覆	硬質形被覆
ひびわれ追従性	中塗塗料被膜の伸び率が100％以上であること。	中塗塗料被膜の伸び率が50％以上であること。	――
水透過阻止性	被膜の透水率が20mℓ/m^2・日以下であること。	被膜の透水率が30mℓ/m^2・日以下であること。	被膜の透水率が20mℓ/m^2・日以下であること。
コンクリートとの付着性	被膜とコンクリートとの付着強度が、10kgf/cm^{2}以上であること。	被膜とコンクリートとの付着強度が、10kgf/cm^2 以上であること。	被膜とコンクリートとの付着強度が、10kgf/cm^2 以上であること。
耐アルカリ性	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、ふくれ、われ、はがれ、軟化溶出のないこと。	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、ふくれ、われ、はがれ、軟化溶出のないこと。	水酸化カルシウムの飽和溶液に30日間浸漬しても、ふくれ、われ、はがれ、軟化溶出のないこと。
被膜の外観	被膜は均一で、流れ、むら、ふくれ、はがれのないこと。	被膜は均一で、流れ、むら、ふくれ、はがれのないこと。	被膜は均一で、流れ、むら、ふくれ、はがれのないこと。
耐候性	促進耐候試験を300時間行ったのち、白亜化はほとんどなく被膜にわれ、はがれのないこと。	促進耐候試験を300時間行ったのち、白亜化はほとんどなく被膜にわれ、はがれのないこと。	促進耐候試験を300時間行ったのち、白亜化はほとんどなく被膜にわれ、はがれのないこと。

ASRは、表面に水が流れ込み濡れ易い箇所に被害が著しい傾向がある。被覆材料は、ASRを抑制するため水分の遮断を行うものである。しかしながら、構造物の全ての面を覆うことは事実上不可能である。また、すでにコンクリートに含まれている水分によってASRは徐々に進行することが考えられる。ひびわれの進行により被膜にひびわれが生じると、新たな水分の侵入によって抑制効果は急激に失われる恐れがある。このため、被覆材料にはひびわれ追従性と水透過阻止性が重要である。

被覆材料の品質規格は主に前処理、中塗りおよび上塗りからなる被覆系について定めた。

(1) ひびわれ追従性

コンクリートにひびわれが進行している場合の被覆のひびわれ追従性は、ASR 対策には特に重要

である。ひびわれ追従性の試験方法に関しては、いわゆるゼロスパン伸び試験、フリーフィルムの引張伸び試験等いくかのの方法が提案されているが、ゼロスパン伸びの測定は試験の再現性に劣るので、ひびわれ追従性はフリーフィルムの伸び率で評価することとした。

被覆仕様における柔軟形被膜の伸び率は、一般に中塗り被膜は大きく、上塗り被膜は耐候性が考慮され中塗り被覆よりやや小さいものが用いられる。このため、複合被膜の伸び率では変動が大きくなる現象が見られるが、中塗りの合計膜厚が上塗りの膜厚に比べて十分大きいので、試験は安定した試験値の得られる中塗り被膜の合計膜厚で行うこととした。

被覆材料固有のひびわれ追従性と水透過阻止性の傾向は一般には相反する性質のものである。両性質とも大きくするには膜厚を大きくするのが有効である。ひびわれが進行しているひびわれ進行度区分Aにおいては、厚膜形を前提にし、水透過阻止性をも考慮して伸び率を100％以上とした。また、ひびわれの進行が終了したひびわれ進行度区分Bにおいては、柔軟形では大きな伸びは必要ないと考え伸び率は50％以上とした。

(2) 水透過阻止性

中塗り被覆は水透過阻止性を発揮しなければならない。水蒸気透過性と水透過性はほぼ相関するので、品質規格では室温で容易に試験ができる水透過性を試験項目とした。

水透過阻止性は、ひびわれ進行度区分Aおよびひびわれ進行度区分Bの硬質形仕様では遮断性能を期待して20mℓ／㎡・日以下とした。また、ひびわれ進行度区分Bの柔軟形は30mℓ／㎡・日以下とした。

(3) コンクリートとの付着性

プライマーは、コンクリートによく浸透付着するとともに、その上に被覆される材料ともよく付着して、被膜全体の付着をよくするものである。また、各材料の間の付着性も十分保たれていなければならない。付着力試験においてはコンクリートおよび被膜の層間付着力または各々の凝集力のうちから最も小さいものが評価されるが、その強度が一定水準以上であることが被膜には要求されるので、付着強度試験を品質規格における試験項目として設けた。柔軟形でも硬質形でも付着に支障を生じる場合の付着強度は、経験的に10kgf／㎠を下回っていることが多いので、品質規格ではこの値を設定した。

(4) 耐アルカリ性

コンクリート被覆における被膜は耐アルカリ性が必要であり、品質規格に耐アルカリ性に関する項目を設けた。

(5) 被膜外観および耐候性

上塗り材料は良好な外観を与え、かつ紫外線やオゾンに対する耐久性がなければならないので、品質規格において被膜の外観と耐候性に関する項目を設けた。耐候性は長期間にわたって保持されなければならないが、コンクリートの上塗り材料（ポリウレタン樹脂塗料上塗）は、実績として10年を越す耐候性を持っていることが確認されている。このため、促進耐候性の試験時間は本州四国連絡橋公団規格の300時間とした。

被覆材料には多くの種類があり、外見等ではその品質の良否はわからない。従って、立会試験または公的機関によってその品質が確かめられたものを用いなければならない。

5.2　補修施工

5.2.1　一　般

(1)　補修施工は、コンクリート構造物が補修後に所要の耐荷力や機能を維持できるよう施工計画をたてなければならない。

(2)　使用する材料は、あらかじめ規定された補修材料の規格を満足していることを確かめなければならない。

(3)　施工計画の策定にあたっては、施工時期等を配慮しなければならない。

ASRによりひびわれが生じたコンクリート構造物の補修は、適切な補修材料および補修工法を選定し、それらが十分に性能を発揮するように施工を行うことが重要である。そのため、施工計画は、材料、施工方法、施工管理等について十分な検討を行い、工程が円滑かつ安全に行われるように配慮する必要がある。

施工計画の策定にあたっては、施工する時期等の選定も十分注意する必要がある。たとえば、作業環境の悪い季節での施工は、作業の中断を招き、工期中に施工を終了することが困難となったり、材料が十分に性能を発揮できなくなったりすることがある。また、材料の性能を十分に発揮させるため、使用する材料が品質規格に合格していることを確認する必要がある。

5.2.2　ひびわれ注入および充填

ひびわれ注入および充填は、ひびわれの形状等に応じた注入材料や充填材料およびそれらに適合する注入、充填方式や器具を用いて行うものとする。

注入工法および充填工法の例を付録2に示す。

補修を効果あるものとするためには、劣化したコンクリートは除去しなければならない。このとき5.1.4の解説(3)に示す断面修復材料を用いて断面修復を行う。

また、腐食した鉄筋がある場合には5.1.4の解説(3)に示す防錆処理を行う。

5.2.3　表面処理

被覆するコンクリート面は、全面を適切な方法で表面処理を行うものとする。

コンクリート表面の劣化部分を除去し、被覆とコンクリートとの付着性を高め、遮水効果を向上させるために動力工具（ディスクサンダー）等を用いてコンクリートの表面処理を行う。

5.2.4　被　覆

被覆は、材料に適した方法で行うものとする。

一般に塗装方法としては、はり塗り、ローラー塗り、エアレススプレー等があり、それぞれの材料に適した方法で行わなければならない。このとき、部材形状等も考慮することが望ましい。

5.3　施工管理

5.3.1　一　般

補修施工にあたっては、各工程ごとに十分な施工管理を行うものとする。

十分な補修効果を得るため、補修施工は各工程ごとに十分な管理を行うことが重要である。

(1)　施工上の留意点

①　ひびわれ注入および充填

ひびわれ注入および充填は、表－解3に示す項目について留意することが望ましい。

表－解3　ひびわれ注入および充填の留意事項

工　　程	項　　目	基　　準
全　　般	コンクリートの素地の状態 作業環境 温度、湿度 結露、表面水分 作業時間	使用材料に適すること。 使用基準に適合すること。
表面処理	汚れ、ほこり、削りカス	ないこと。
注　　入 および 充　　填	注入材料 材料の使用量 注入および充填方法	仕様書に指定された材料であること。 標準使用量であること。 仕様書で指定された方法で、可使時間内に使用すること。 注入口と空気抜き口の配置が適当であること。
養　　生	時　　間	仕様書に規定された時間であること。
完成検査	汚れ、だれ	ないこと。

充填工法用プライマーおよび注入工法用のひびわれシール材が、仕様書に指定された材料であることを確認し、記録する。また、それらの使用量が標準使用量であることを確認し、記録する。

ひびわれ注入および充填完了後、必要に応じてコアを抜き、注入深さと注入最小ひびわれ幅を測定することが望ましい。

② 被 覆

被覆は、表－解4に示す項目について留意することが望ましい。

表－解4　被覆の留意事項

工 程	項　　目	基　　準
作業環境	温度、湿度 結　露 風 飛来塩分 塵 埃 等	5℃以上、85％以下。 結露していないこと。 風が強くないこと。 ないこと。 多くないこと。
はつり	ひびわれ、はくり部分の除去	腐食している鋼材の周囲のコンクリートをはつり出す。 はつり部の容積は記録すること。
コンクリート表面	表面含水率 温　度 あらさ	高周波水分計で10％以下であること。 温度が高く、材料に泡を生じないこと。 被覆に支障がないこと。
被　覆	使用材料 材料の使用量 層間付着塩分量 状　態 間　隔	仕様書で指定された材料であること。 工程毎の使用量が標準以上であること。 100mg/m^2 以下であること。 異常がないこと（目視）。 所定の範囲内であること。
完成検査	仕上がり状態	異常がないこと（目視）。

(2) 検　査

検査は原則として立合い検査によって行うものとする。

① 品質検査

材料は、立会い試験または公的機関による試験によって、その品質が規格に合格していることを確かめねばならない。また、製造ロット毎の材料については、別途定められた項目について製造会社で検査し、規格に合格することを確認しなければならない。

② 数量検査

材料入荷時の充缶数と使用後の空缶数を検査する。

③ 施工面積、施工容積の検査

④ 工程検査

原則として立ち会い検査とする。

⑤ 完成検査

補修完了後、必要に応じてコアを抜き、注入深さ、充填の状況および被覆の膜厚を測定して検査することが望ましい。

5.3.2　補修記録

(1)　補修完了後、補修工事報告書を作成し、必要な期間保存する。

(2)　構造物本体に、補修記録を直接記入するのを原則とする。

(1)　補修完了後、補修工事報告書を作成し、以後の維持管理や追跡点検の資料とする。

(2)　構造物本体に表－解5のような補修記録表を付けることにより、補修工法、補修材料、補修時期、施工者等を明確にする。

表－解5　補修記録表の例

構造物名		
補修年月		
補修用材料（使用量）	注入材	
	プライマー	
	パテ	
	中塗	
	上塗	
補修用材料製造者		
施工者		

6.　補　強

6.1　補強設計

6.1.1　一　般

補強設計は以下の内容を含むものとする。

(1)　補強範囲と規模の設定

(2)　補強工法の選定

(3)　補強材料の選定

(4)　補強断面の設計

(5)　補強時期および補強に必要な設備等の決定

耐荷力の判定において構造物の耐荷力が低下していると判断された場合は、一般に実施されている補強法に準じて補強を行わなければならない。この章においては鉄筋コンクリート構造物の補強を実施する上で注意すべき基本事項について記述しており、具体的事項については各種規準に準じて適切

な補強法を検討しなければならない。

補強にあたっては、事前調査に基づき、構造物の受けた損傷度を十分考慮した上で、(1)補強範囲と規模、(2)補強工法、(3)補強材料、(4)補強断面、および(5)補強時期等を決定しなければならない。

また、補強設計は、構造物に必要な耐荷力を回復させるため、あるいは、補強作業を合理的かつ円滑に進めて行くために、綿密に行わなければならない。

6.1.2　補強範囲と規模

補強の範囲と規模は、損傷状況および構造物の種類、機能、目的、重要性等を考慮して決定するものとする。

補強の範囲と規模の決定は、補強工法や材料の選定を左右し、補強の位置付けを行う作業である。したがって、決定の際には、事前調査結果を十分に検討し、さらに構造物の種類、機能、目的および重要性を考慮する必要がある。

6.1.3　補強工法

補強工法は、損傷の規模、構造物の種類、作業スペース等に応じて適切なものを選定するものとする。

鉄筋コンクリート構造物の補強工法としては、鋼板接着工法、プレストレスの導入、鉄筋コンクリート巻き立て等により断面を増加させる工法等があげられる。これらの例を付録3に示す。

選定される補強工法は、新旧部分が一体化して外力に抵抗できるものでなければならない。また、その決定の際には、損傷の規模や構造物の種類に応じた工法を選定するとともに、都市内等においては、作業スペースが確保できるかどうかの確認を事前に行う必要がある。

6.1.4　補強材料

補強材料は、補強工法に応じて適切に選定するものとする。特に既存の構造物に新たに補強材料を打ち足す場合には、新旧部材が一体として機能するような材料を選定する必要がある。

補強の際には、補強効果を十分に発揮させるため、材料は適切なものを選定する必要がある。特に、既存のコンクリート構造物に新たに補強材料を打ち足すような場合、新旧材料の一体化を図るため、補強材料は既存構造物の材料と同系列で無収縮性のものを用いるのが望ましい。

また、材料の品質管理には十分に配慮しなければならない。

6.1.5　補強断面の決定

補強断面は、関連規準に準じて、補強後の構造物が十分な耐荷力を有するように設計されなければならない。

補強断面の決定にあたっては、補強を必要とする構造物に関する設計規準および法規に従って、補強後の構造物が作用荷重に十分耐えられるように設計しなければならない。その際、既存のコンクリート部分の強度は、コア強度等により適切に推定するとともに、耐荷力算定にあたってはケミカルプレストレスの効果による耐荷力増加を考慮してはならない。

6.2　補強施工

6.2.1.　一　般

(1)　施工にあたっては、コンクリート構造物が補強後に所要の耐荷力および機能を増強または回復できるように施工計画をたてなければならない。

(2)　使用する材料は、あらかじめ規定された品質を満足していることを確かめなければならない。

(3)　施工計画にあたっては、施工時期、防護設備等を適切に定めなければならない。

(1)　ひびわれを生じたコンクリート構造物の補強を行う際には、適切な補強工法および材料を用い、材料および工法の特性を把握したうえで、それらの効果が十分発揮できるように施工を行う必要がある。そのため、工程が円滑かつ安全に行われるように詳細な施工計画をたて、施工管理についてはあらかじめ十分な検討を行っておく必要がある。また、補強工事においては、周囲の交通状況等により作業空間や作業時間が制約されることがあるので、使用機器の選定や工程管理にも十分な配慮が必要である。

(2)　材料の本来有している性能を十分に生かすために、使用前にその品質を確認しなければならない。

(3)　使用する材料の種類によっては、周囲の温度、湿度の影響を受け、十分な施工管理が困難であったり、本来の品質性能を発揮できない場合があるため、施工計画の策定にあたっては、施工する時期の選定についても注意する必要がある。

6.2.2　劣化部分の除去

補強を施す部分の劣化したコンクリートは除去する。このとき、腐食している鉄筋は取り除くものとする。

補強を実施する際、構造物表面のコンクリートは、健全な部分まで除去し、打ち足す材料との付着をよくする。また、腐食した鉄筋は、コンクリートの耐久性の上で問題があるので取り除き、健全な

鉄筋と取り替えるものとする。その際、鉄筋の継手については、各種規準に準ずるものとする。

6.2.3　表面処理

補強部表面には、新旧材料の一体化を確実にするために、チッピング、さし筋の設置、プライマーの塗布等の処理を施すものとする。

補強後、構造物は新旧部分が一体化して機能し、荷重に抵抗するものでなければならない。したがって、新旧部材の境界面には、チッピング、埋め込みアンカーの設置およびプライマーの塗布等の処理を施す必要がある。

6.2.4　鉄筋工、型枠工、コンクリート打設等

鉄筋工、型枠工、コンクリート打設、養生等については、補強を必要とされる構造物の関連規準に従うものとする。

構造物の種類の違いにより、通常その設計、施工規準は異なっているため、鉄筋工、型枠工、コンクリート打設、養生等の施工法については，各々の構造物の関連する規準に従うものとする。

6.3　施工管理

6.3.1　一　般

補強施工にあたっては、各工程ごとに十分な施工管理を行うものとする。

補強施工の際には、損傷部の除去、表面処理、打設、養生等の工程ごとに十分な管理を行うことが望ましい。

6.3.2　補強記録

(1)　補強完了後には、補強工事報告書を作成し、必要な期間保存する。

(2)　構造物本体には、補強記録を直接記入するのを原則とする。

(1)　補強完了後には、補強工事報告書を作成し、維持管理や追跡点検の資料とする。

(2)　構造物本体に表－解6に示すように補強記録表を付けることにより、補強法、補強時期、施工者を明確にする。

表－解 6　補強記録表の例

構造物名	
補強年月	
補強工法	
施工者	

7.　追跡点検

7. 1　補修・補強後の点検

補修・補強部に新たな損傷が生じていないか、定期的に点検するものとする。

補修・補強したコンクリート構造物は、現時点では長期間の耐久性は確認されていないので、新たな損傷を早期に発見するために、補修部分では被覆のわれやはがれ等異状の発生の有無を、補強部分では新たなひびわれの発生等の有無を定期的に点検し、補修・補強効果を確認することが望ましい。

追跡点検の結果、異常が発見された場合には、2.2の補修・補強の手順の事前調査にもどり、再度、補修・補強の必要性の判断を行う。

付録1　各機関が示している許容ひびわれ幅または補修・補強判定規準

1）コンクリート標準示方書（土木学会）

7.3.3　許容ひびわれ幅

(1)　許容ひびわれ幅 wa は、構造物の使用目的、環境条件、部材の条件等を考慮して定めることを原則とする。

(2)　鋼材の腐食に対する許容ひびわれ幅は、一般に、環境条件、かぶりおよび鋼材の種類に応じて表7.3.2のように定めてよい。ただし、表7.3.2に適用できるかぶり c は、10.0cm 以下を標準とする。

表7.3.2　許容ひびわれ幅 wa（cm）

鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件		
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境
異形鉄筋・普通丸鋼	0.005c	0.004c	0.0035c
P　C　鋼　材	0.004c	—	—

2）コンクリートのひびわれ調査、補修・補強指針（日本コンクリート工学協会）

4.2　調査および原因推定結果に基づく判定

(1)　調査および原因推定結果に基づいて補修・補強の要否の判定をする場合は、下記による。

(2)　対象部材による判定

対象部材が、構造部材でない場合は、下記(3)，(5)，(6)による。

対象部材が、構造部材である場合は、下記(3)，(5)，(6)によるほか、(4)による。

(3)　耐久性または防水性から補修の要否を判定する場合

調査によって得られたひびわれ幅を表－2と照合して補修の要否の判定を行う。ただし、ひびわれ幅が、表－2における(A)と(B)の中間となる場合は、4.3によって補修の要否の判定を行う。また、この場合は、ひびわれ幅だけでなく、ひびわれの原因、ひびわれ深さ、密度、パターン等を総合して判定する。

表－２　補修の要否に関するひびわれ幅の限度

区分 ＼ 環境[2] ／ その他の要因[1]		耐久性からみた場合 きびしい	耐久性からみた場合 中間	耐久性からみた場合 ゆるやか	防水性からみた場合 —
(A) 補修を必要とするひびわれ幅 (mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
	中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
	小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
(B) 補修を必要としないひびわれ幅(mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下

注：1）　その他の要因（大、中、小）とは、コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し、下記の要因の影響を総合して定める。
ひびわれの深さ・パターン、かぶり厚さ、コンクリート表面被覆の有無、材料・配（調）合、打継ぎなど。
2）　主として鉄筋の錆の発生条件の観点からみた環境条件。

(4)　耐力から補強の要否を判定する場合

耐力低下が考えられる場合は、4.3によることを原則とする。ただし、構造形式が単純で、損傷の程度が明らかな場合には、信頼できる方法により補強の要否を判定してよい。

(5)　対人安全性から補修の要否を判定する場合

対人安全性が問題となる場合には、4.3によることを原則とする。ただし、ひびわれに起因する角落、剥離、抜け落ちの程度が明らかな場合には、「補修要」と判定する。

(6)　その他の機能から補修の要否を判定する場合

気密性、美観等によって補修の要否を判定する場合は、4.3による。

4.3　技術者の高度な判断に基づく判定

技術者は、調査、原因推定および構造計算等から得られた結果に基づき、補修・補強の要否の判定を行う。

3） 道路構造物の点検標準（阪神高速道路公団）

点検項目	判定区分 / 種類	A	B	C
ひびわれ	RC橋脚 橋台 擁壁 RC桁	ひびわれ幅0.3mm以上を含む連続したひびわれが最小間隔50cm未満である	① ひびわれ幅0.3mm以上を含む連続したひびわれが最小間隔50cm以上で数本ある ② ひびわれ幅0.2mm程度を含む連続したひびわれが最小間隔50cm以下である	
	PC橋脚 PC桁	ひびわれ幅0.2mm以上を含む連続したひびわれが最小間隔50cm未満である	① ひびわれ幅0.2mm以上を含む連続したひびわれが最小間隔50cm以上で数本ある ② ひびわれ幅0.1mm程度を含む連続したひびわれが最小間隔50cm以下である	
鉄筋・シース定着部の露出 腐食 はく離 欠落	RC橋脚 PC橋脚	① $1m^2$以上の範囲で鉄筋が露出している ② 鉄筋が腐食している ③ シース、定着部が露出している ④ 不良音があり、ひびわれが周囲に発生していて、欠落が予想される ⑤ 跡埋めコンクリートに不良音がある	① $1m^2$未満の範囲で鉄筋が露出している ② 不良音があり、ひびわれが周囲に発生しているが、欠落の恐れはない	
	RC桁 PC桁	① $0.1m^2$以上の範囲で鉄筋が露出している ② 鉄筋が腐食している ③ シース、定着部が露出している ④ 不良音があり、ひびわれが周囲に発生していて、欠落が予想される ⑤ 跡埋めコンクリートに不良音がある	① $0.1m^2$未満の範囲で鉄筋が露出している ② 不良音があり、ひびわれが周囲に発生しているが、欠落の恐れはない	
空洞	RC橋脚 橋台 擁壁 RC桁 PC橋脚 PC桁	① 不良音があり、ひびわれが周囲に発生しており、欠落が予想される ② 跡埋めコンクリートに不良音がある	不良音があり、ひびわれが周囲に発生しているが、欠落の恐れはない	
調水 遊離石灰 （錆の流出）	RC橋脚 橋台 擁壁 RC桁	① 漏水して錆の流出がある ② 遊離石灰がつらら状または広範囲にある	漏水し、ひびわれ部に遊離石灰が付着している	
	PC橋脚 PC桁	① 漏水している ② 遊離石灰がひびわれ周辺に付着している	① 漏水跡がある ② ひびわれに沿って白く表面が変色している	

4) その他の基準（コンクリート標準示方書　改訂資料：土木学会）

<table>
<tr><td>規準名</td><td colspan="6">CEB/FIP MODEL CODE</td><td colspan="3">BSI/CP 110</td><td>DIN 1045</td><td>ACI 318</td></tr>
<tr><td>国名(年度)</td><td colspan="6">ヨーロッパコンクリート委員会/国際プレストレスト(1978)コンクリート協会</td><td colspan="3">英　国（1980）</td><td>西ドイツ(1978)</td><td>米　国（1983）</td></tr>
<tr><td>許容ひびわれ幅</td><td colspan="6">許容最大ひびわれ幅 W_k（単位:mm）
環境条件 / 荷重作用 / 腐食に対する鉄筋の鋭敏性
鋭敏：限界状態 / W_k　鋭敏でない：限界状態 / W_k
温和 / 短期 / ひびわれ幅 / 0.2 / ひびわれ幅 / 0.4
温和 / 長期 / ひびわれ幅又はデコンプレッション / 0.1
普通 / 短期 / ひびわれ幅 / 0.1 / ひびわれ幅 / 0.2
普通 / 長期 / デコンプレッション
過酷 / 短期 / ひびわれ発生又はひびわれ幅 / 0.1 / ひびわれ幅 / 0.2 又は 0.1
過酷 / 長期 / デコンプレッション
ただしかぶりcが最小かぶりの基本値Cminよりも厚い場合には次式による。
許容最大ひびわれ幅 $=W_k \times c/C_{min}$
C/C_{min}は1.5以下とする</td><td colspan="3">許容ひびわれ幅（単位:mm）
部材 / 環境条件：一般 / 過酷
RC部材 / 0.3 / 0.004Cmin
PC部材（クラス3） / 0.1 / 0.2
Cmin: 鉄筋の公称かぶり(mm)</td><td>許容ひびわれ幅の規定はない。</td><td>定数zの制限値
• 屋内の場合
z＝175kips/in
(31250kgf/cm)
• 屋外の場合
z＝145kips/in
(25850kgf/cm)
※ACI 224委員会
（単位:mm）
露出条件 / 許容ひびわれ幅
乾燥した空気、保護膜 / 0.41
湿気、湿った空気、土壌 / 0.30
除氷薬品 / 0.18
海水および海水噴霧湿潤および乾燥 / 0.15
水を保持する構造物 / 0.10</td></tr>
</table>

SNIP

ソ　　連　　（1975）

許容ひびわれ幅とひびわれ検討分類

構造物の使用条件		ひびわれに対する鉄筋コンクリート部材の種別と鉄筋の種別によるひびわれ幅、w_s：一時的なひびわれ幅、w_ℓ：長期ひびわれ幅			
		A−I, A−IIおよびA−IIIの鉄筋	A−IV, Ar−IV, A−Vおよび Ar−Vの鉄筋B−Iおよび Br−Iの鉄筋	Ar−VIの鉄筋、直径が4mm以上のB−II、Br−IIおよびK−7の鉄筋	直径が3mm B−IIIおよび Br−IIIの鉄筋、直径が3mm以下のK−7の鉄筋
1. 液体あるいはガスの圧力の作用する構造物、あるいは地下水位より低いところにつくられる構造物	a) 全断面引張	第3種 w_s=0.2mm w_ℓ=0.1mm	第1種	第1種	第1種
	b) 断面の一部が圧縮	第3種 w_s=0.3mm w_ℓ=0.2mm	第3種 w_s=0.3mm w_ℓ=0.2mm	第2種 w_s=0.1mm	第1種
2. 直接粉体の圧力を受ける容器構造物		第3種 w_s=0.3mm w_ℓ=0.2mm	第3種 w_s=0.3mm w_ℓ=0.2mm	第2種 w_s=0.1mm	第2種 w_s=0.05mm
3. その他の部材の使用時	a) 戸外および地下水位より上につくられる構造物	第3種 w_s=0.4mm w_ℓ=0.3mm	第3種 w_s=0.4mm w_ℓ=0.3mm	第2種 w_s=0.15mm	第2種 w_s=0.15mm
	b) 室内部材	第3種 w_s=0.4mm w_ℓ=0.3mm	第3種 w_s=0.4mm w_ℓ=0.3mm	第3種 w_s=0.15mm w_ℓ=0.1mm	第2種 w_s=0.15mm

※ひびわれ検討分類

第1種：ひびわれの発生を許さない。

第2種：常時はひびわれが閉じている条件（プレストレス）の下に制限された幅をもった一時的なひびわれを許す。

第3種：一時的ならびに常時の制限されたひびわれを許す。

付録2　ひびわれ注入および充塡工法の施工手順例

(1) 注入工法

2種類の注入方式の施工手順の例を以下に示す。

①　ゴム圧式注入工法

特長：ゴム圧を利用した注入機を用い、低圧で注入樹脂の硬化まで注入が持続できる工法である。

施工手順

表面処理

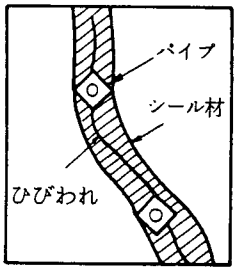
・ひびわれに沿ってワイヤブラシ等で汚れやほこりを除去する。

パイプの取り付け

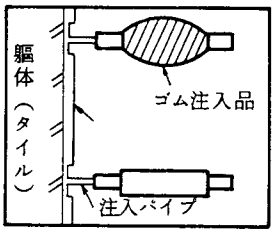
・注入パイプをシール材を用いてひびわれの上に接着固定させる。パイプ間隔は30～50cmとする。

シール材の塗布

・シール材をひびわれに沿って塗布する。



シール材の塗布



注　入

注入器の取り付け

・シール材が硬化した後、注入パイプにゴム注入器をセットする。

注　入

・ゴム注入器に注入材をいれてゴム部をふくらませる。注入量によりふくらませる大きさを加減する。ゴム圧により自動的にひびわれに注入されていく。

養　生

・注入材が硬化するまで養生する。

仕上げ

・注入材が硬化後パイプのシール材をハンマー、ディスクサンダー等で除去する。

・使用材料　　シール材、注入材料

・施工用具　　注入パイプ，ゴム注入器、攪拌機，ヘラ，注入ポンプ，ディスクサンダー

② 手動式注入工法

特長：ひびわれに沿ってパイプを設置し、グリーンポンプで注入する工法である。

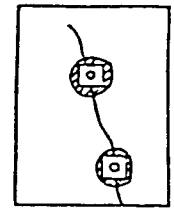
施工手順

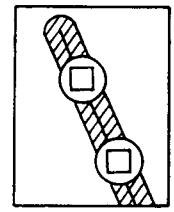
表面処理

・ひびわれに沿ってワイヤブラシ等で汚れやほこりを徐去する。

注入パイプの取り付け

・ひびわれ部に注入パイプをシール材を用いて取付ける。
パイプ間隔は30～50cmとする。



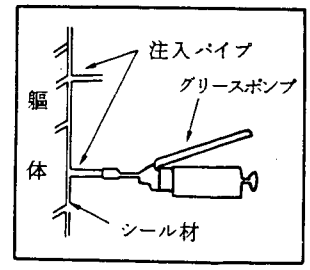


シール材の塗布

・ひびわれに沿ってシール材を塗布接着させる。硬化まで養生する。

注入

・注入材を所定配合に従って混合攪拌した後、グリースポンプを用いて注入する。注入は、壁面に対し下から上へ順次行う。
注入確認は、注入パイプより一つ上のパイプからの注入材の流出による。その時点でグリースポンプをパイプからはずし次の注入口へ移動する。



養生

・注入材が硬化するまで養生する。

仕上げ

・注入材の養生後、注入パイプ、シール材をディスクサンダー、金ベラ等で除去する。

・使用材料　シール材、注入材料

・施工用具　グリースポンプ、注入パイプ、ヘラ、樹脂攪拌後、ディスクサンダー、ワイヤブラシ

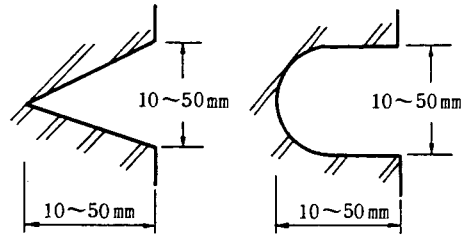
(2) 充填工法

シーラントの充填工法の施工手順の例を以下に示す。

施工手順

表面処理

・ひびわれに沿って、ノミあるいは電動カッターでV字またはU字形にカットする。削りカス、ほこり等をブロアにて清掃する。
ハツリ断面は、幅10～50mm、深さは10～50mmとする。



プライマー塗装

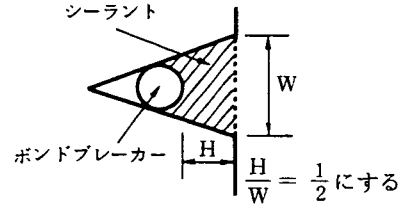
・被着体面を乾燥させた後、専用プライマーを塗布し、シーラントとの接着をよくする。

混合

・シーラントを所定の配合に従って混合攪拌する。

充填

・プライマーの乾燥後、ボンドブレーカーをVまたはUカットの底部に設置する。ガン、ヘラを用いてカット部に充填する。充填後、ヘラなどで表面を押さえる。
ボンドブレーカーは、カット部の幅1/2まで充填できる大きさとする。



養生

・シーラントが硬化するまで養生する。

仕上げ

・シーラントの硬化後、汚れをヘラ，シンナー，サンダー等で除去する。

・使用材料　シーラント，専用プライマー

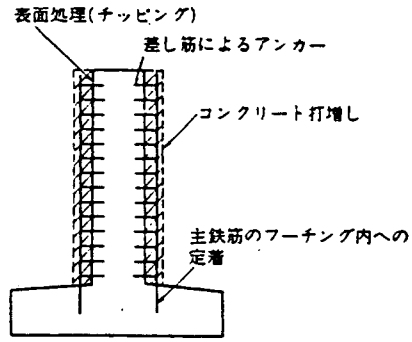
・施工用具　ノミ，電動カッター、攪拌機，コーキングガン，ヘラ，刷毛

付録3　補強工法の例

(1)　橋脚の補強例

1）鉄筋コンクリート巻き立て補強

躯体の表面処理を行った後、鉄筋を配置し、コンクリートを打設する。既存の部材との一体化を図るため、差し筋によるアンカーを設ける場合もある。



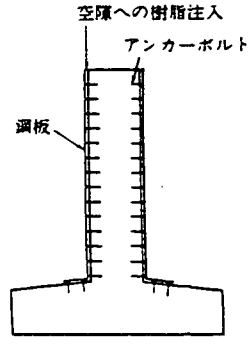
鉄筋コンクリート巻立て

2）吹き付け補強

躯体の表面処理を行った後、細い鉄筋あるいは金網等を躯体に巻いて、その上にモルタルやコンクリート等を吹き付けることにより補強する。吹き付けの仕方によっては、吹き付けられたモルタル、コンクリート等の品質が不十分となる場合もあるので注意を要する。

3）鋼板巻き立て補強

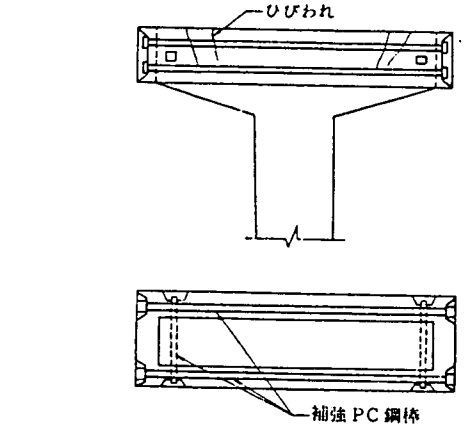
躯体の表面を処理した後、躯体の周囲を鋼板で巻き、躯体と鋼板の隙間には無収縮モルタルやエポキシ樹脂等を注入することにより、躯体と鋼板を一体化して補強する。アンカーボルト等により、躯体と鋼板の付着を向上させる場合もある。

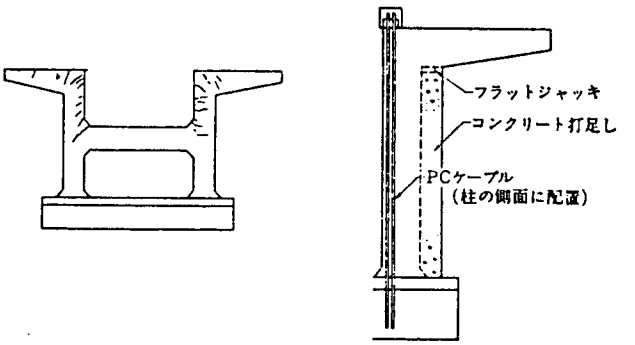


鋼板巻立て

4) プレストレス導入による補強

ＰＣ鋼線を構造物に定着させ、ポストテンション方式によってプレストレスを導入することにより耐荷力を回復させる。





(2) コンクリート橋の補強例

1) 鋼板接着工法

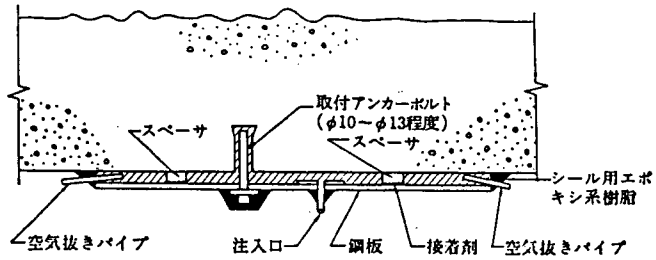
コンクリート部材の引張側のひびわれ面に鋼板を接着させ、既設コンクリートと鋼板の一体化を図ることにより、鋼板に鉄筋と同様の断面効果を期待する方法である。鋼板の接着の仕方により注入工法と圧着工法に分けられる。

① 注入工法

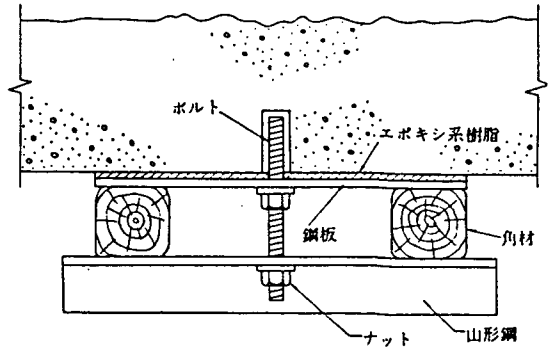
コンクリート面と鋼板面の間にスペーサー等によりすき間を保たせ、周囲をシールして注入用エポキシ樹脂を注入し、コンクリート面と鋼板の間の空気を追い出しながら接着する工法である。施工時若干の気泡が残るおそれがあり、注入にもかなりの時間を要するが、コンクリート面が平滑でなく一部または全体的に曲面が含まれている場合でも鋼板を接着することができる等の特徴がある。

② 圧着工法

コンクリート面および鋼板面にエポキシ系樹脂を塗布し、あらかじめコンクリート面に固定してあるアンカー類を用いて鋼板をコンクリート面に圧着する工法である。コンクリート面が平滑であり、圧着用アンカーボルトを固定することができる部分での使用に適している。



注入工法

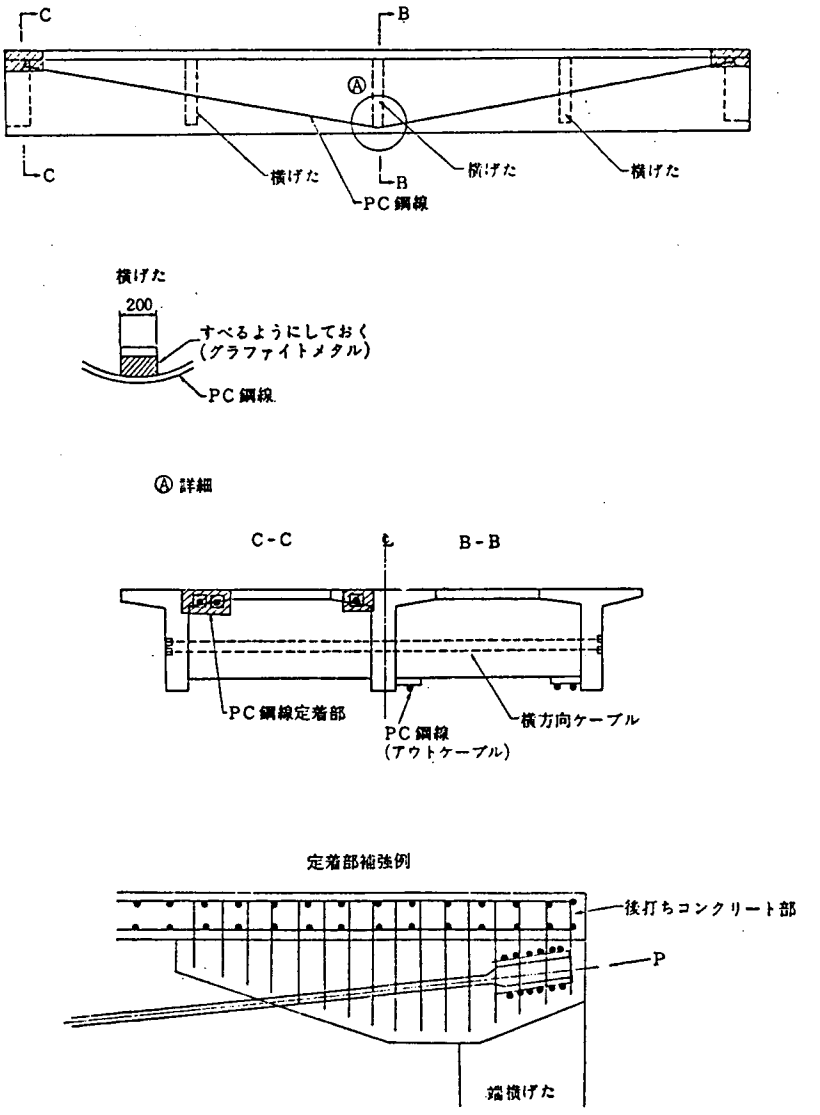


圧着工法

2) プレストレス導入工法

ＰＣ鋼材を用いてけたにプレストレス 導入することにより、コンクリート部材に発生したひびわれを閉じさせるとともに、導入した圧縮力によってけたの耐荷力を増大させる方法である。

プレストレスの導入は、一般にＰＣ鋼線またはＰＣ 鋼棒をけたに沿わせて設置することが多い。ＰＣ鋼材の定着は一般のＰＣ 工法と同様に行えばよいが、定着部の構造は十分な補強を行い、導入力によって発生する水平せん断力に耐えられるようにしなければならない。



プレストレス導入工法

＜参考文献＞

1) 既存鉄筋コンクリート構造物の耐震補強ハンドブック（日本コンクリート工学協会）

2) 道路橋補修便覧（日本道路協会）

付属資料 1.　補修事例

1. 調査方法

アンケート用紙による調査

2. 調査時期

昭和６２年８月現在

3. 調査対象数

調査数	１０機関１９事業所
回答数	９機関１５事業所
（内、ＡＳＲの補修事例なし	2機関　2事業所）

4. 調査結果

(1) 工事数　４０

(2) 構造物の管理者

建設省	６工事事務所	（　9工事）
公　団	２公団	（１６工事）
地方自治体	３県、１市	（１５工事）

(3) 構造物形式

橋脚、橋台	３６
擁　壁	7
高　欄	2
ＰＣ桁	1
コンクリートボックス	2

(4) 竣工年（昭和３４年～昭和５８年）

昭和３０年代	3
昭和４０年代	１６
昭和５０年代	２１

(5) ＡＳＲ発見

昭和５０年	2（ひびわれの発見）
昭和５３年	2（ひびわれの発見）
昭和５７年	7
昭和５８年	１５
昭和５９年	9
昭和６０年	5
昭和６１年	1

(6) 補修施工年

昭和５７年	2
昭和５９年	5
昭和６０年	１４
昭和６１年	9
昭和６２年	１０

(7) 補修面積

$100m^2$ 未満	5
$100 \sim 500m^2$	１６
$500 \sim 1{,}000m^2$	5
$1{,}000 \sim 2{,}000m^2$	6
$2{,}000 \sim 3{,}000m^2$	4
$3{,}000 \sim 4{,}000m^2$	1
$4{,}000 \sim 5{,}000m^2$	1
$5{,}000 \sim 6{,}000m^2$	1
$7{,}000m^2$ 以上	1

(8) 補修方法

① 下地処理

サンドブラスト	7
ディスクサンダー	３０
なし	5

② 注　入

エポキシ樹脂	２８
シーリング	2
プレパックコンクリート	1
な　し	１１

③ 被　覆（下塗り）

ポリウレタン	１４
エポキシ	6
ポリブタジェン	6
アクリルウレタン	7
ポリマーセメント	3
セメントモルタル	2
シラン系含浸剤	1
シリコン系シーリング	2
アスファルト系防水材	1

(9) 補修後の状況

施工中	1
0.5 年まで異常なし	１１
1　年まで異常なし	5
1.5 年まで異常なし	7
2　年まで異常なし	1
2.5 年まで異常なし	１０
3　年まで異常なし	2
3.5 年まで異常なし	2
5　年まで異常なし	2
補修後２年でひびわれ再発	1

構造物形式		PC桁	扶壁式橋台2基	逆T張出式橋脚2基	逆T式擁壁	橋脚（高架橋）	橋脚（高架橋）	橋脚（高架橋）
竣工年月		S46.6	S46.3	S46.3	S46.3	S55～58	S55～58	S55～58
ASR発見年月		S58	S53.3	S53.3	S53.3	S58.8	S58.8	S58.8
補修施工年月		S59.6～62.10	S62.1	S62.1	S62.1	S60.10～61.1	S59.10～61.1	S60.1～61.3
補修面積（m^2）		7,760	694	401	156	5,080	2,790	2,810
補修方法	下地処理	サンドブラスト	ディスクサンダー	なし	なし	なし	なし	なし
	注入	プレパックドコンクリート ポリマーセメントモルタル 697kg/m^3	エポキシ 55kg/100m	エポキシ 55kg/100m	エポキシ55kg/100m	なし	なし	なし
	被覆 プライマー	エポキシ 150 g/m^2	エポキシ 100g/m^2	エポキシ 100g/m^2	浸透型シランモノマー 112g/m^2×3	エポキシ 100g/m^2	エポキシ 150g/m^2	エポキシ 150g/m^2
	パテ	エポキシ 400 g/m^2	エポキシ 300 g/m^2	エポキシ 300g/m^2		エポキシ 300g/m^2	エポキシ 200g/m^2	エポキシ 200g/m^2
	下塗り	ポリブタジェン 750g/m^2	厚膜型ポリブタジェン 750g/m^2、500 μm	柔軟型ポリウレタン 300g/m^2 × 2 140μm				
	中塗り					ウレタン 260g/m^2	ウレタン 150g/m^2	ウレタン 150g/m^2
	上塗り	ポリウレタン 300g/m^2	ポリウレタン 120g/m^2、30 μm	柔軟型ポリウレタン 300/m^2、70 μm		ウレタン 120g/m^2	ウレタン 150g/m^2	ウレタン 150g/m^2
補修後の状況		異常なし（約3年）	異常なし（半年）	異常なし（半年）	異常なし（半年）	異常なし（1.5～2年）	異常なし（2.5～3年）	異常なし（約2.5年）
		塩害として処理						

構造物形式		橋脚２基	本橋１８基、橋台１０基	跨線橋	PC中空ホロースラブ	PC斜材付π型ラーメン橋	橋脚(27基)	橋脚(18基)
竣工年月		S47～48	S45～49	S47	S54.3	S50.7	S50.12	S50.12
ASR発見年月		S60.2	S60.2	S59.9	S58.3	S60.5	S59	S58
補修施工年月		S60.1.12～60.2.25	S60.9～61.1	S61.9～61.12	S60.3	S61.9	S61.2	S62.3
補修面積(m^2)		230	3,990	1,280	Cタイプ 258 Dタイプ 39 } 297	橋梁一般部 887 橋面(舗装部) 294	4,036	773
補修方法	下地処理	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンデー	ディスクサンダー
	注入	なし	なし	低粘度エポキシ 640g/m^2	エポキシ 200g/m^2	エポキシ 200g/m^2	エポキシ 95g/m^2	なし
	被覆プライマー	エポキシ 100g/m^2	エポキシ 100g/m^2	エポキシ 150g/m^2	エポキシ 150g/m^2	エポキシ 150g/m^2	エポキシ 150g/m^2	エポキシ 150g/m^2
	パテ	エポキシ 300g/m^2	エポキシ 300g/m^2		エポキシ 400g/m^2		エポキシ 300g/m^2	エポキシ 300g/m^2
	下塗り	柔軟型ポリウレタン 260g/m^2, 60μm	柔軟型ポリウレタン 260g/m^2, 60μm	エポキシ 1500g/m^2	アクリルウレタン 300g/m^2	エポキシ 250g/m^2×2	ポリウレタン 260g/m^2	ポリウレタン 260g/m^2
	中塗り				アクリルウレタン 300g/m^2			
	上塗り	柔軟型ポリウレタン 120g/m^2, 30μm	柔軟型ポリウレタン 120g/m^2, 30μm			ポリウレタン 150g/m^2×2	ポリウレタン 120g/m^2	ポリウレタン 120g/m^2
補修後の状況		異常なし(2.5年)	異常なし(1.5年)	異常なし(8ヶ月)	異常なし(2.5年)	異常なし(1年)	異常なし(1.5年)	異常なし(1.5年)

構造物形式		橋台（3橋）	C－Box	橋脚（39基）	C－Box	橋　脚	橋梁（高架橋）	橋梁（高架橋）
竣工年月		S45.3	S45.3	S50.12	S39.10	S50.12	S51.2	S51.1
ASR完見年月		S58	S58	S59.3	S59.3	S59.3	S57.5	S57.5
補修施工年月		S60.3	S60.3	S61.8	S61.8	S61.8	S59.3	S60.2
補修面積（m^2）		280	530	2,917	515	745	225.9	223.2
補修方法	下地処理	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンダー
	注入	エポキシ 185 g/m^2	エポキシ 187 g/m^2	エポキシ 142 g/m^2	エポキシ 102 g/m^2	エポキシ 202 g/m^2	エポキシ	エポキシ
	被覆プライマー	エポキシ 150 g/m^2	エポキシ 150 g/m^2	エポキシ 150 g/m^2	エポキシ 150 g/m^2	エポキシ 150g/m^2	エポキシ 100 g/m^2	エポキシ 100 g/m^2
	パテ	エポキシ 500 g/m^2	エポキシ 500 g/m^2	エポキシ 300 g/m^2	エポキシ 300 g/m^2	エポキシ 300 g/m^2		
	下塗り	ポリウレタン 260 g/m^2	ポリウレタン260 g/m^2	ポリウレタン 260 g/m^2	ポリウレタン 260 g/m^2	ポリウレタン 260 g/m^2	アクリルウレタン 250 g/m^2	ポリマーセメント 500 g/m^2
	中塗り						アクリルウレタン 250 g/m^2	ポリマーセメント 500 g/m^2
	上塗り	ポリウレタン 120 g/m^2	ポリウレタン120 g/m^2	ポリウレタン 120 g/m^2	ポリウレタン 120 g/m^2	ポリウレタン 120 g/m^2		
補修後の状況		異常なし（2.5年）	異常なし（2.5年）	異常なし（1年）	異常なし（1年）	異常なし（1年）	61.5ひびわれ再発（2年）	異常なし（2.5年）

構造物形式		橋梁（高架橋）	橋梁（高架橋）	橋梁（高架橋）	橋梁（高架橋）	擁　　壁	橋梁（高架橋）	橋梁（２径間床版橋）
竣工年月		S50.6	S50.6	S50.7	S51	S44.12	S44.7	S37.12
ASR発見年月		S57.5	S57.5	S57.5	S59	S58	S57	S60.5
補修施工年月		S57.11	S57.11	S59.3	S60.2	S60.3	S59.3	S62.8～62.10
補修面積（m^2）		128.9	205.1	224.1	218.7	10.2（37.9m）	204.63	549.0
補修方法	下地処理	ディスクサンダー	ディスクサンダー	ディスクサンデー	ディスクサンデー	ディスクサンダー	ディスクサンダー	サンドブラスト
	注入	エポキシ	エポキシ	エポキシ	エポキシ	エポキシ	エポキシ	なし
	被覆 ~~プライマー~~ パテ	エポキシ　100g/m^2	エポキシ　100g/m^2	エポキシ　100g/m^2		エポキシ　100g/m^2	エポキシ　100g/m^2	エポキシ　150g/m^2
	下塗り	柔軟型エポキシ 200g/m^2	柔軟型エポキシ 200g/m^2	アクリルウレタン 250g/m^2	シランモノマー 200g/m^2	柔軟型エポキシ 260g/m^2, 60μm	ポリマーセメント 500g/m^2	エポキシ　400g/m^2
	中途り	柔軟型エポキシ 200g/m^2	柔軟型エポキシ 200g/m^2	アクリルウレタン 250g/m^2	シランモノマー 200g/m^2		ポリマーセメント 500g/m^2	ポリブタジェン 1500g/m^2, 1000μm
	上塗り				ポリマーセメント 300g/m^2	柔軟型ポリウレタン 120g/m^2, 30μm		アクリルウレタン 240g/m^2, 60μm
補修後の状況		異常なし（約5年）	異常なし（約5年）	異常なし（3.5年）	異常なし（2.5年）	異常なし（2.5年）	異常なし（3.5年）	施工中
								補強（鋼板接着、アンカー筋）

構造物形式		逆T式橋台 張出式橋脚	橋　台	橋　台	橋　台	橋台，地覆	RC床板橋，橋台	(陸側)橋台，取合壁
竣工年月		S47.3	S49.3	S34.3	S55	S51	S45	S45.3
ASR発見年月		S58.1	S58.3	S58.3	S60.8	S58.3	S58.3	S50（ひびわれ発見）
補修施工年月		S61.10	S62.3	S62.2	S62.3	S62.3	S62.3	S60.12～61.3
補修面積(m^2)		356	62.0	89.0	81.0	307	111.7	1,016
補修方法	下地処理	サンドブラスト	サンドブラスト	サンドブラスト	サンドブラスト	サンドブラスト	ディスクサンダー	ディスクサンダー
	注入	なし	なし	なし	なし	シリコン系シーリング 0.167ℓ/m^2	シリコン系シーリング 0.167ℓ/m^2	弾性エポキシ1150 g/m^2
	被覆 プライマー			セメントモルタル系 200g/m^2	エポキシ　100 g/m^2	シリコン系 150 g/m^2	シリコン系 150 g/m^2	エポキシ　157 g/m^2
	パテ							エポキシ　100 g/m^2
	下塗り	モルタル吹付8mm ステンレス金網 モルタル吹付8mm	アスファルト熱可塑性 樹脂系　400g/m^2	950g/m^2	シランモノマー 0.20g/m^2	シリコン系シーリング 700 g/m^2	シリコン系シーリング 700g/m^2	ポリブタジェン 525 g/m^2×3
	中塗り	37,600g/m^2 16,000μm	アスファルト熱可塑性 樹脂系　800g/m^2	850 g/m^2	厚膜型ポリブタジェンゴム 1500g/m^2，1000 μm			
	上塗り	シラン系浸透型防水剤	アスファルト混入モルタル 200mm		柔軟型ポリウレタン 300g/m^2，60 μm	シリコン樹脂塗料 150g/m^2	シリコン樹脂塗料 150g/m^2	ポリウレタン 157g/m^2×2
補修後の状況		異常なし(約1年)	異常なし（半年）	異常なし（半年）	異常なし（半年）	異常なし（半年）	異常なし（半年）	異常なし（1.5年）

構造物形式		（海側） 橋台、橋脚、取合壁	歩道橋、橋台、橋脚	RC橋脚4基	橋　脚	橋脚，高欄	擁壁、橋台、 高欄、橋脚	ずい道排水池接合井 および周囲擁壁
竣工年月		S45.3	S52.12	S53.3	S54.3	S48	S54.3	S48.7
ASR発見年月		S50（ひびわれ発見）	S61.6	S57.8	S59.10	S59.10	S59.10	S58.10
補修施工年月		S60.12～61.3	S62.3	S62.3	S61.2～61.3	S60.2	S61.3	S60.3
補修面積(m^2)		1,016	45	256	2,440	293	1,207	232
補修方法	下地処理	ディスクサンダー	ディスクサンダー、 サンドペーパー	ディスクサンダー	ディスクサンダー、ブラシ	ディスクサンダー、 ワイヤブラシ	ディスクサンダー、 ワイヤブラシ	ディスクサンダー
	注入	弾性エポキシ 1150g/m^2	エポキシ　286g/m^2	エポキシ　920g/m^2	エポキシ　40g/m^2	エポキシ　121g/m^2	エポキシ　71g/m^2	エポキシ　700g/m^2
	被覆 プライマー	エポキシ　100g/m^2	エポキシ　150g/m^2	エポキシ　200g/m^2	エポキシ　100g/m^2	エポキシ　150g/m^2	エポキシ　150g/m^2	合成樹脂トルエン溶液 300g/m^2
	パテ	エポキシ　300g/m^2		エポキシ　980g/m^2	エポキシ　300g/m^2			
	下塗り	ポリウレタン 260g/m^2	エポキシ　500g/m^2	厚膜型エポキシ 560g/m^2	アクリルウレタン 260g/m^2	アクリルウレタン 150g/m^2×2	アクリルウレタン 150g/m^2×2	アクリル 1700g/m^2、1000μm
	中塗り		ポリブタジェン 650g/m^2					アクリル 500g/m^2、200μm
	上塗り	ポリウレタン 120g/m^2	アクリルウレタン 240g/m^2	ポリウレタン350g/m^2 （中上塗りで300μm）	アクリルウレタン 120g/m^2			アクリル 300g/m^2、100μm
補修後の状況		異常なし（1.5年）	異常なし（半年）	異常なし（半年）	異常なし（1.5年）	異常なし（2.5年）	異常なし（1.5年）	異常なし（2.5年）
			ASRと断定していない。					

付属資料 2.　補修材料規格試験方法 (案)

1. 注入材料品質規格試験方法(案)

(1) 粘度およびだれ試験

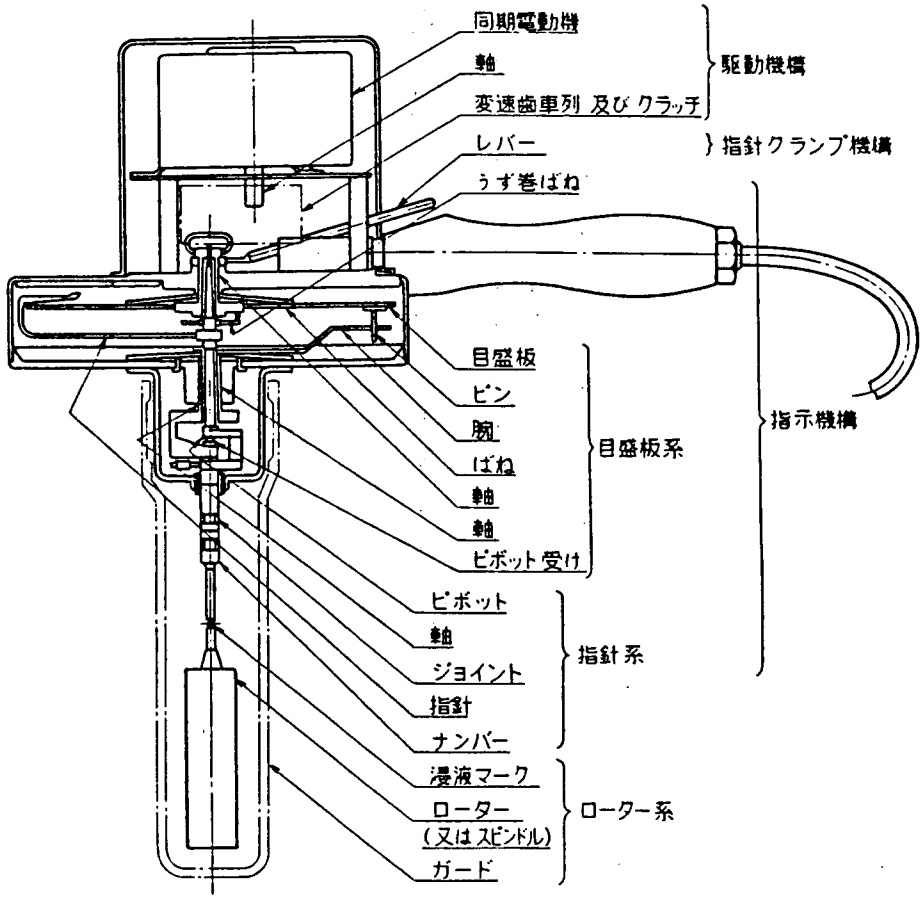
粘度はJIS K 6833(接着剤の一般試験方法)の6.3に準じて測定する。

だれ試験はJIS A 5758(建築用シーリング材)の5.3に準じて行う。

1) 粘 度

① 器 具

器具は単一円筒回転粘度計を用いる。粘度計の一例を図－1に示す。



図－1 粘 度 計 の 例

② 操 作

試料約500mℓを容器にとり、なるべくあわの入らないようにガラス棒で静かに約1分間かき混ぜて、試料温度が20℃になるまで調節する。次に粘度計ローターを容器のほぼ中央に位置し、ローターにあわが付着しないように注意しながら浸漬し約2分保った後測定する。測定はローター番号と回転数を指示計が目盛の15～85％の範囲に入るように選び1分間(高粘度品は2分間)回転させた時の指示計の示す目盛を読む。

粘度は粘度計の示す目盛の数値に規定の換算乗数を乗じて算出する。

同一試料について２回以上測定し、その平均を求めCPまたはPで表わす。

チキソトロピック係数は２rpm時の粘度を20rpm時の粘度で除して求める。

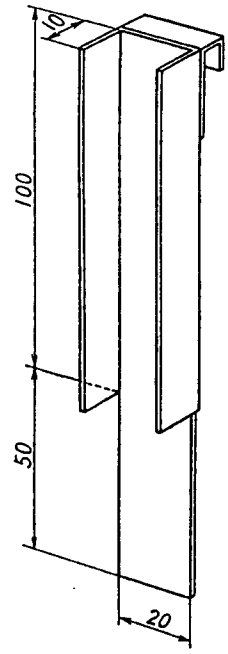
なお、結果に使用した粘度計の種類、ローター番号、回転数を付記する。

2) だれ試験

① 器 具

器具は、図－２に示すようなみぞ形容器を用いる。

単位 mm



図－２ だれ試験用みぞ形容器

② 方 法

20℃において試料をみぞ形容器にあわが入らないように注意して充填する。

充填は10分以内に終了するようにし、これを20℃で６時間鉛直に懸垂する。

試料がみぞ容器のみぞ部分の下端から垂れ下がった先端までの距離を測りその値が３mm以下であるものを「だれ認めず」とする。

(2) 可使時間

1) 注入材

① 器具および操作

器具類はＪＩＳ Ｋ 6833（接着材の一般試験方法）の7.1に準じたものを用いる。

100mℓのビーカーに所定の配合比で100gの混合物になるように主剤と硬化剤を加え、か

き混ぜ棒を用いて混合攪拌後、直ちに試料の中心部に温度計を挿入する。5分毎に温度を読み取りその温度が最高温度に到達した時点で終了とする。

② 可使時間の判定

可使時間は最高発熱温度到達時間を測定しその時間の60%とする。

2) 充填剤ポリマーセメント

① 器具および操作

JIS K 6833の7.1.1および7.1.2に準じる。

② 可使時間の判定

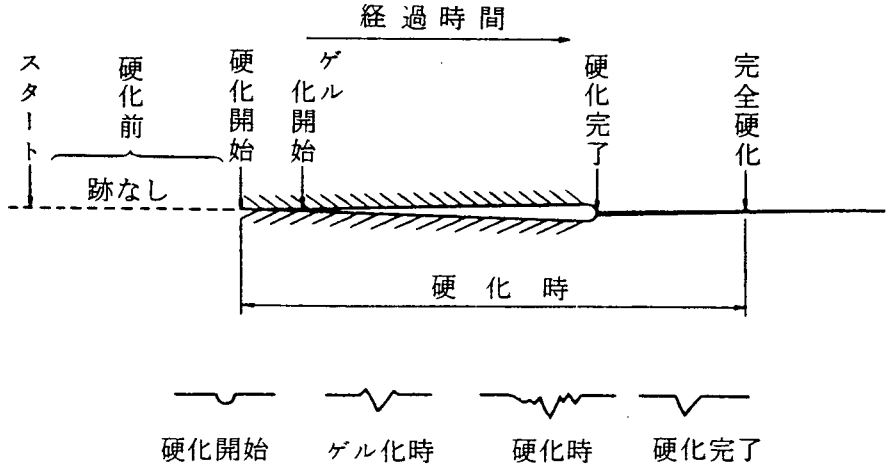
測定開始から試料の粘性変化あるいは外観変化等の異常発生時刻までを可使時間とする。

3) 充填材シーラント

JIS A 5758(建築用シーリング材)の5.8に準じ20℃における可使時間を測定する。

(3) 硬化時間

JIS A 6024の4.7に定める硬化時間の測定方法では注入材2,3種および充填剤はその特性(柔軟性)や性状(水分を含む)から適切な判定が困難であるのでドライングレコーダーを用いて測定する。硬化時間は塗膜の厚みを1㎜として測定を開始してから硬化が進み、針跡が残らなくなるまでの時間とする。判定例を図－3に示す。



図－3 硬化時間の判定例

(4) 硬化収縮

JIS A 6024(建築補修用注入エポキシ樹脂)の4.9に準じ精度1／20㎜の測定器を用いて次の式より金型に充填し20℃、7日間養生した各材料の硬化収縮を計算する。

$$硬化収縮率(\%) = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100$$

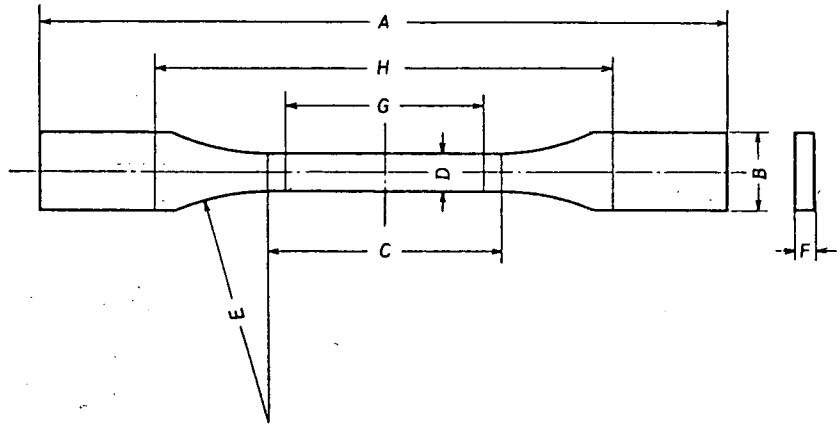
ここに、L_1：金型の寸法(㎜)　　L_2：試験片の寸法(㎜)

(5) 伸び率

1) 試験片

試験片はJIS K 7113（プラスチックの引張試験方法）に定める形状に準じる。注入材1種は1号試験片を、注入材2.3種および充填材シーラントは2号試験片を用いる。

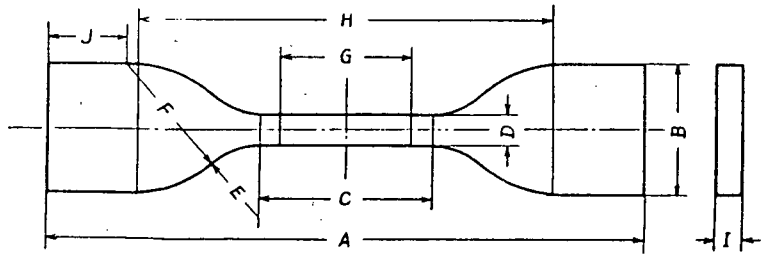
各試料の試験片の数は5個とし、1および2号試験片は平行部分内で破断しない試験片の値は捨て、この分の試験片を追加して試験する。試験片の形状と寸法を図－4～図－6に示す。



単位 mm

A	全　長	175
B	両端の幅	20 ± 0.5
C	平行部分の長さ	60 ± 0.5
D	平行部分の幅	10 ± 0.5
E	肩の丸みの半径（最小）	60
F	厚　さ	文中参照
G	標線間距離	50 ± 0.5
H	つかみ具間距離	115 ± 5

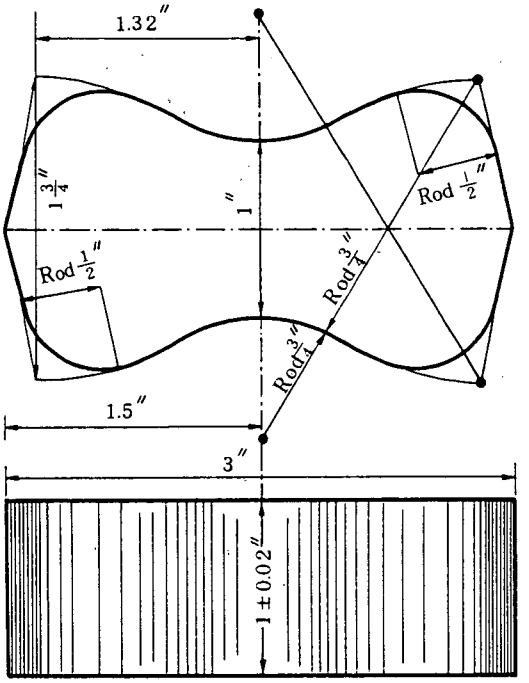
図－4　1号形試験片



単位 mm

A	全　長（最小）	115	F	大半径	25 ± 2
B	両端の幅	25 ± 1	G	標線間距離	25 ± 1
C	平行部分の長さ	33 ± 2	H	つかみ具間距離	80 ± 5
D	平行部分の幅	$6\ ^{+0.4}_{0}$	I	厚　さ	文中参照
E	小半径	14 ± 1	J	——	15.5 ± 1

図－5　2号形試験片



NOTE — 1 in = 25.4 mm

図－6　ブリケット形試験片

2）試験片の養生

注入材1,2および3種の試験片は20℃で7日間、また充填材シーラントは20℃で7日間養生した後、さらに50℃で7日間養生したものを用いる。

3）試験方法

注入材の全種および充填材シーラントはJIS K 7113に準じて試験を行うが、引張速度はいずれの場合も5㎜/minとする。伸び率は次の式を用いて計算する。

$$\text{伸び率}\ (\%) = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100$$

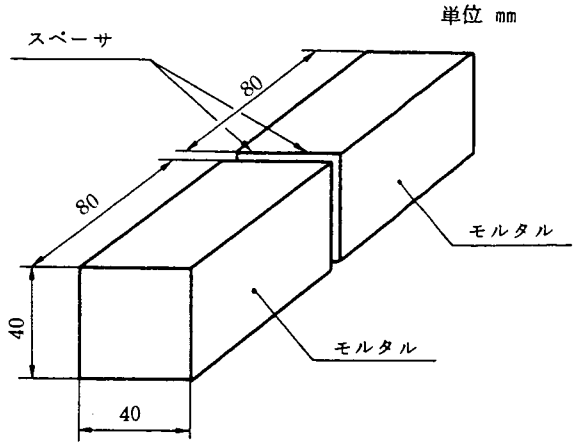
ここに、L_1：標線間距離(cm)

L_2：破断するまでの標線間距離(cm)

(6)　モルタル付着強さ（乾燥面）

1）試験体

被着体のモルタルはJIS R 5201（セメントの物理試験方法）の10.1により作製する。試験体の作り方は図－7に示すようにJIS A 6024（建築補修用注入エポキシ樹脂）の4.8.3に準じるが、注入材の全種はその厚みが0.5㎜、充填材の2種類はその厚みが5.0㎜となるようにスペーサーをはさみ試料が流れ出さないようにテープなどでシールしてから注入または充填する。



図－7　モルタル付着強さ試験体

2）試験体の養生

各材料の試験体は(5)の2）と同一条件とする。

3）試験方法

図－8に示す荷重方法で毎秒5kgfの割合で載荷して最大荷重を測定する。

充填材シーラントはシーラントが凝集破壊を起こすまでのたわみ量をダイアルゲージ等を用いて測定する。

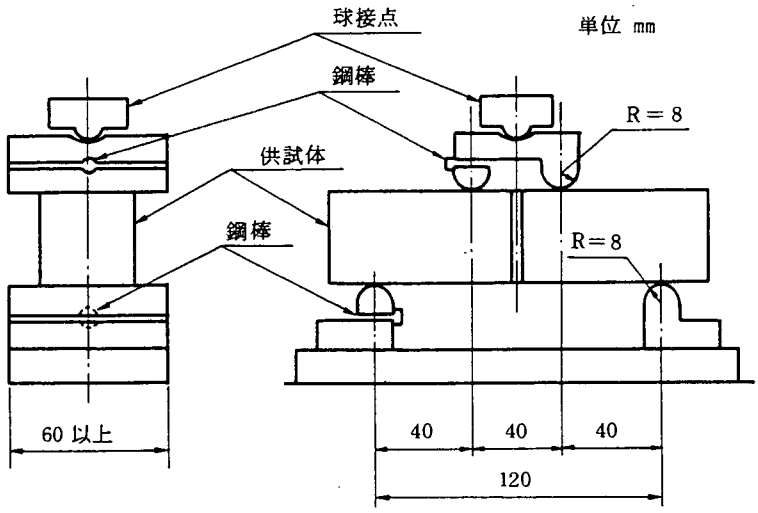
接着強さは次の式より計算する。

$$\text{接着強さ}\ (\mathrm{kgf/cm^2}) = \frac{12P}{bh^2}$$

ここに、p：最大荷重(kgf)

b：試験体の幅(cm)

h：試験体の高さ(cm)



図－８　モルタル付着強さ試験方法

(7)　付着力耐久性

1）試験片

(6)の 1) に準じて作製した試験体を用いる。

2）試験体の養生

(5)の 2) に準じて各材料の試験体を養生する。

3）試験方法

ＪIS A 6024の 8.4.1 乾湿繰り返し時に準じるが、繰り返し数を 30 サイクルとして(6)の 3) の計算式を用いて曲げ強さを求める。

付着力耐久性はこの曲げ強さの付着さ（乾燥面）の規格値に対する保持率で示す。

なお、充填材シーラントはたわみ量を測定し、同じく規格値に対する保持率で示す。

2　被覆材料品質規格試験方法(案)

(1)　ひびわれ追従性試験方法

1）試験片

塗膜のひびわれ追従性試験には、遊離塗膜（フリーフィルム）試験片を用いる。

作成手順は次の通りである。

①　ブリキ板等に中塗りを規定回数24時間間隔で目標膜厚まで塗装を行い20±0.5℃で120時間養生した後80±2℃で60分加熱し放冷する。なお、塗装時にはウェットフィルムゲージで塗膜厚を管理する。

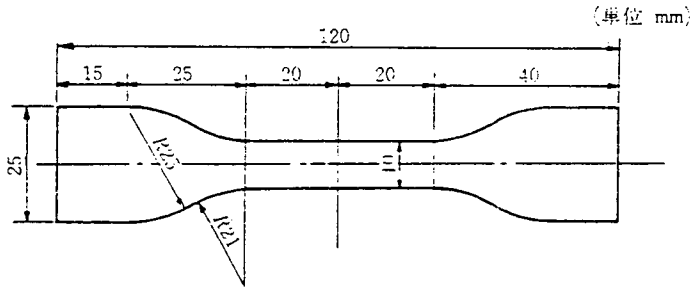
②　塗装したブリキ板からアマルガム法により剥離させ遊離塗膜を得る。

③　遊離塗膜に変形（そり）がないこと、および自然に透かしてピンホールのないことを確認し、試験の目的に応じた形状にすることが可能な打ち抜き機を用いて同一塗装板から必要枚数の試験片を得る。

④　試験片を鋼板の上に載せ、電磁膜厚計で膜厚を測定する。あるいは測定範囲0.01～10㎜のダイアルゲージで各点の膜厚を測定し、膜厚が適切であることを確かめる。

2）試験片の形状

試験片の形状を下図に示す。



試験片の形状

試験片の枚数は、各測定回数ごとに少なくとも繰り返し3回できるように準備する。

3）試験装置

クロスヘッド分離速度を一定保つことのできる材料試験機を使用する。試験中の試験片の温度を一定に保つために、恒温槽を取り付けたものとする。

試験片を保持するための2個の金属性つかみ具は、試験中に荷重が加わると自由に動いて一列に並び、試験片の長軸が2個のつかみ具の中心線を通って加えられる引張方向に一致するように、試験機の固定部分と可動部分にそれぞれ取り付けられたものとする。

4）試験方法

①　試験片の中央平行部分の軸の厚さを、その長さに沿った数箇所で精度1％まで測定する。

②　試験片の中心から20㎜離れたところにそれぞれ標線を記入する。

③　試験温度は、20±5℃とする。

④ 試験速度は、原則として毎分５±１㎜とする。

⑤ 標線内で破断しない試験片の値は捨て、この分の試験片を追加して試験する。

⑥ 測定項目

(a) 降伏点における荷重

(b) 降伏点における標線間距離

(2) 透水性試験方法

1) 試験片

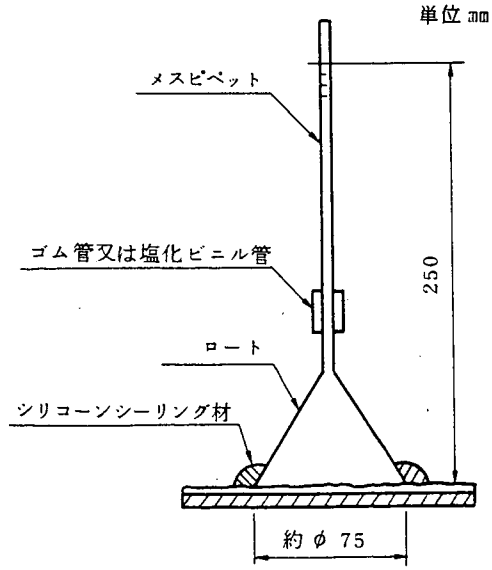
大きさ（縦×横×厚さ、㎜）約１００×１００×２０のモルタル板[1] ３枚の各々片面に規定の膜厚になるように塗料をはけ等で塗付する。７日間乾燥後、試験に供す。

注1) モルタル板の作製については、ポルトランドセメントを用いて、JIS R 5201（セメントの物理試験方法）の１０.によりモルタルを調整し、鋼製型枠を用いて規定の寸法に成型する。２４時間後に脱型し、１３日間２０±３℃の水中で養生してから１４日間以上標準状態に静置する。１５０番研磨紙で軽く研磨した後、付着した粉末などを除去して試験用下地板とする。

2) 透水試験

透水試験は、JIS A 6910（複層仕上塗材）の5.10に準じて行う。

① 透水試験器具：試験片の表面に取り付けられる図１に示す形状のガラス器具。この器具は、水頭２５０㎜を保持できるもので、口径約７５㎜のロートと１目盛0.05mℓのメスピペット（容量５mℓ）からなるもの。



図－１　透水試験装置

② 試験方法：試験片を水平に保持し、図1に示すように透水試験器具をシリコーンシーリング材で固定し[2)]、48時間以上放置する。温度20±3℃の水を試験片の表面から高さ約250㎜まで入れ、24時間後のメスピペットの目盛を読み取る。10日間静置した後、水頭の高さを読み、24時間後の高さとの差から透水量を求め、結果を試験片3個の平均値で表す。

注2）シリコーンシーリング材で固定する部分には適切なプライマーを塗布する。
試験片に透水試験器具を水が漏れないようにシリコーンシーリング材で固定し難いときは、試験片の作製に当たり、予め塗装後ロートを軽く当てて接着する位置を定め、その周辺をへらなどで平らにならすか削り取っておくとよい。

③ 透水率

膜厚100μm当たりの透水率とする。

$$\text{透水率} = \frac{\text{透水量（mℓ）}}{3.14 \times 3.75^2 \times 10} \times \frac{100 \times 10^4}{\text{規定膜厚（}\mu\text{m）}} \quad \text{（単位：mℓ／m}^2\text{・24h）}$$

(3) コンクリートとの付着性試験方法

1）試験片

JIS A 5304（歩道用コンクリート平板）に規定する大きさ（縦×横×厚さ）300×300×60㎜の歩道用コンクリート普通平板の表面（据付けたとき露出する面）をCC#16サンドペーパーを取り付けたディスクサンダー等で研磨し、付着した粉末などを除去したのち、規定の塗料で規定の膜厚になるような塗布量を塗布する[1)]。7日間乾燥後、試験に供する。

注1）塗料の塗布については、プライマー1回～パテ1回～中塗り規定回数を各24時間間隔で塗装する。

2）試験方法

塗装面に、カッター、グラインダー等を用いて、40×40㎜の正方形状にコンクリートに達するまで切り込みを入れる。測定塗膜面および引張り用鋼性ジグをサンドペーパー等で平滑に研磨し、エポキシ系接着材を塗布する。その後、引張り用鋼性ジグを測定塗膜面に載せ、こすり付けるようにして接着する。この時、回りにはみだした接着材をていねいに取り除いておく。24時間静置した後、単軸引張り試験機を用いて引張り試験用ジグを引張り、最大引張り荷重を求める。測定は5箇所について行い、付着強度は次式によって算出し、小数点以下1けたの値に丸めて示す。

$$\text{付着強度（kgf／cm}^2\text{）} = \frac{\Sigma T_n / 16}{5}$$

ここに、T_n、n＝1～5：測定毎の最大引張り荷重（kgf）

(4) 耐アルカリ性試験方法

JIS K 5400（塗料一般試験方法）の7.4による。モルタル板にプライマー1回～中塗り規定回数～上塗り規定回数を24時間間隔で塗装し、120時間置いた後80±2℃で60分加熱し、冷却させたものを試験片とし、飽和水酸化カルシウム溶液に30日間浸漬したのち引き上げ、2時間後ふくれ・われ・はがれ・軟化・溶出について調べる。

(5) 塗膜の外観試験方法

JIS K 5400の6.1による。ただし、試験片は、JIS A 5758（建築用シーリング材）に適合するモルタル板とし、約70×120×10㎜に整形し、仕上げ面でない面にプライマー1回～中塗り規定回数～上塗り規定回数を各24時間間隔で塗装する。判定は、塗ってから48時間置いて、均一性・流れ・むら・われ・はがれについて調べる。

(6) 耐候性試験方法

JIS K 5400の6.17の促進耐候試験機を用い、試験片は(5)塗膜の外観試験方法と同一のものとし、300時間の試験を行ったのち、塗面を指頭で軽くこすって白亜化の程度を調べ、塗膜のわれ・はがれの程度について調べる。

付属資料3.　被覆仕様例

被覆仕様の例を示す。

被覆条件中の標準使用量は被覆の銘柄による異なることがあるので注意が必要である。

柔軟形厚膜形被覆Ａ－１　　柔軟形エポキシ樹脂被覆（５００μm）

工程		使用材料	被覆条件			被覆間隔
			目標膜厚（μm）	標準使用量（kg／m²）	被覆方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	はけ、ローラー	各工程の間隔は、１日以上７日以内を標準とする。
	パテ	エポシキ樹脂パテ	—	0.50	へら	
中塗り	第１層	柔軟形エポシキ樹脂塗料中塗り	160	0.35	はけ、ローラー	
	第２層	柔軟形エポシキ樹脂塗料中塗り	160	0.35	はけ、ローラー	
	第３層	柔軟形エポシキ樹脂塗料中塗り	160	0.35	はけ、ローラー	
上塗り		柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.12	はけ、ローラー	

柔軟形厚膜形被覆Ａ－２　　柔軟形ゴム系樹脂被覆（５００μm）

工程		使用材料	被覆条件			被覆間隔
			目標膜厚（μm）	標準使用量（kg／m²）	被覆方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	はけ、ローラー	各工程の間隔は、１日以上７日以内を標準とする。
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0.50	へら	
中塗り	第１層	ゴム系樹脂塗料中塗り	250	0.50	へら	
	第２層	ゴム系樹脂塗料中塗り	250	0.50	へら	
上塗り		柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.12	はけ、ローラー	

柔軟形被覆Ｂ－１　　柔軟形エポキシ樹脂被覆（２００μm）

工程		使用材料	被覆条件			被覆間隔
			目標膜厚（μm）	標準使用量（kg／m²）	被覆方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	はけ、ローラー	各工程の間隔は、１日以上７日以内を標準とする。
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0.50	へら	
中塗り		柔軟形エポキシ樹脂塗中塗り	160	0.35	はけ、ローラー	
上塗り		柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.12	はけ、ローラー	

柔軟形被覆Ｂ－２　　柔軟形ポリウレタン樹脂被覆（２００μm）

工程		使用材料	被覆条件			被覆間隔
			目標膜厚（μm）	標準使用量（kg／m²）	被覆方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	はけ、ローラー	各工程の間隔は、１日以上７日以内を標準とする。
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0.50	へら	
中塗り	第１層	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗り	80	0.35	はけ、ローラー	
	第２層	柔軟形ポリウレタン樹脂塗料中塗り	80	0.35	はけ、ローラー	
上塗り		柔軟形ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.12	はけ、ローラー	

柔軟形被覆Ｂ－３　　柔軟形ポリマーセメント系被覆（４００μm）

工程		使用材料	被覆条件			被覆間隔
			目標膜厚（μm）	標準使用量（kg／m²）	被覆方法	
前処理	プライマー	柔軟形ポリマーセメント系プライマー	—	0.10	はけ、ローラー	各工程の間隔は、１日以上７日以内を標準とする。
	パテ	柔軟形ポリマーセメント系パテ	—	0.50	へら	
中塗り		柔軟形ポリマーセメント系塗料中塗り	260	0.60	はけ、ローラー	
上塗り		柔軟形ポリマーセメント系塗料上塗り	130	0.36	はけ、ローラー	

硬質形被覆 B － 4　　エポキシ樹脂被覆（200μm）

工程		使用材料	被覆条件			被覆間隔
			目標膜厚（μm）	標準使用量（kg／m²）	被覆方法	
前処理	プライマー	エポキシ樹脂プライマー	—	0.10	はけ、ローラー	各工程の間隔は、1日以上7日以内を標準とする。
	パテ	エポキシ樹脂パテ	—	0.50	へら	
中塗り	第1層	エポキシ樹脂塗料中塗り	60	0.26	はけ、ローラー	
	第2層	エポキシ樹脂塗料中塗り	60	0.26	はけ、ローラー	
	第3層	エポキシ樹脂塗料中塗り	60	0.26	はけ、ローラー	
上塗り		ポリウレタン樹脂塗料上塗り	30	0.12	はけ、ローラー	

劣化部材の補修・補強技術の開発に関する共同研究報告書

ＩＳＳＮ　０３８６－５８７８
土木研究所資料　第２７号
平成元年２月　（１９８９）

建設省土木研究所　片脇　清，守屋　進
阪神高速道路公団　岡原　美知夫，小幡　宏
吉川　紀，古池　正宏

要旨 アルカリ骨材反応によって劣化したコンクリート構造物の補修材料の開発および補強技術の開発を目的として，各種補修材料の性能試験および補修効果確認試験等を実施した。また，劣化した部材の力学的試験および変形性能に関する試験を実施した。これらの試験検討結果に基づいて「アルカリ骨材反応被害構造物の補修・補強指針」（案）を作成した。

キーワード：アルカリ骨材反応，コンクリート構造物，補修材料，補強技術

郵便はがき

〒305-□□

41円切手をはって下さい。

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

化学研究室　御中

No. 6

No. 6

配布先氏名

配布先住所

共同研究報告書第27号　　部

劣化部材の補修・補強技術の
開発に関する共同研究報告書

上記のとおり受領しました。

所　属（住所）

氏 名　　㊞