

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No.28

March 2002

道路橋床版の疲労耐久性に関する試験

中谷 昌一・内田 賢一・西川 和廣・神田 昌幸

宮崎 和彦・川間 重一・松尾 伸二

Experimental study on the Fatigue durability of Highway Bridge slabs.

Shoichi NAKATANI, Kenichi Uchida, Kazuhiro NISIKAWA, Masayuki KANDA

Kazuhiko MIYAZAKI, Shigeichi KAWAMA, Shinji MATSUO

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

道路橋床版の疲労耐久性に関する試験

中谷 昌一*
内田 賢一**
西川 和廣***
神田 昌幸****
宮崎 和彦*****
川間 重一*****
松尾 伸二*****

Experimental study on the Fatigue durability of Highway Bridge slabs.

Shoichi NAKATANI
Kenichi UCHIDA
Kazuhiro NISHIKAWA
Masayuki KANDA
Kazuhiko MIYAZAKI
Shigeichi KAWAMA
Shinji MATSUO

概 要

現在、我が国では、橋長15m以上の橋梁だけでも約13万橋の道路橋が供用されており、こうした膨大な数の道路橋を適切に維持管理することが重要な課題となっている。特に既設道路橋RC床版は、鉄筋量の不足、床版厚の不足、車両の大型化および交通量の増大等の影響を受け、損傷事例が報告されている。

このような中、道路橋RC床版の破壊メカニズムの解明や既設RC床版の損傷状態に応じた効果的な補修・補強工法の検討が求められている。

そこで、橋梁研究室では、平成8年度から平成12年度にかけて、既設RC床版の疲労耐久性および既設RC床版に対する各種補修・補強工法の効果を把握することを目的として、実車両の輪荷重の走行をモデル化した移動載荷を可能とする輪荷重走行試験機による検討を行ってきた。

本報告書は、これらの結果を取りまとめたものである。

キーワード：RC床版、PC床版、輪荷重走行試験、疲労耐久性、補修補強、鋼板接着工法、上面増厚工法

Synopsis

More than 130,000 highway bridges (more 15m) are used in Japan. Therefore it is important problem to maintain such huge numbers of highway bridges appropriately.
Especially, RC floor slabs of the existing highway bridges are influenced by lack of reinforcement bar, lack of the thickness of the slabs, increase of vehicle weight, increase traffic volume. And damages of slabs are reported.
Under such circumstances, it is needful to clarify the damage mechanism of RC floor slabs and to study on repair/reinforcement method of RC floor slabs correspond to the damage level.
From 1996 to 2000, in order to grasp the fatigue durability of RC floor slabs and PC floor slabs, and effect of several repair/reinforcement methods, Bridge Division conducted experimental study by the Wheel Running Machine.
And Wheel Running Machine enables to conduct moving load test that simulate the running of the real vehicles.
Those results are arranged to this report.

Key Words : RC slab, PC slab, Wheel Running test, fatigue durability, Repair reinforcement, steel plate bonding method, floor slab overlaying method

-
- * 橋梁研究室室長
 - ** 橋梁研究室研究官
 - *** 元橋梁研究室室長 現在：国土交通省 国土技術政策総合研究所 企画部 評価研究官
 - **** 元橋梁研究室主任研究員 現在：国土交通省 東北地方整備局 酒田工事事務所
 - ***** 元橋梁研究室研究員 現在：国土交通省近畿地方整備局建政部都市整備課企画調査係
 - ***** 元橋梁研究室研究員 現在：内閣府 沖縄総合事務局 開発建設課 開発建設部
 - ***** 元橋梁研究室交流研究員 交流研究員在職期間（平成9年10月～平成10年9月）
-
- * Head, Bridge Division, Road Department, NILIM
 - ** Researcher, Bridge Division, Road Department, NILIM
 - *** Research Coordinator for Evaluation, Planning and Research Administration Department, NILIM
 - **** Sakata Work Office, Tohoku Regional Development Bureau, MLIT
 - ***** Planning Coordination Section, City Planning Division, City and Housing Affairs Department, Kinki Regional Development Bureau, MLIT
 - ***** Road Management Section, Development Construction Department, Okinawa General Bureau, Cabinet Office
 - ***** Former Research Engineer, Bridge Division, Structure and Bridge Division, PWRI, MOC (from October 1997 to September 1998).

まえがき

現在、我が国では、橋長 15m 以上の橋梁だけでも約 13 万橋、延長にして約 7,500km の道路橋が供用されている(1996 年 4 月現在)。橋梁の架設は、1975 年を中心に多く、橋の寿命を 50 年程度と仮定すると、今後、膨大な数の道路橋を適切に維持管理することが重要な課題となっている。特に既設道路橋の鉄筋コンクリート床版(以下、RC 床版)は、配置された鉄筋の量、床版の厚さ、車両の大型化および交通量の増大等の影響を受け、その損傷事例が報告されている。

このような背景のもと、古い基準で設計・架設された既設 RC 床版は、交通量の増大や車両の大型化により補修・補強の需要が増加しており、床版の損傷状態に応じた効果的な補修・補強工法を検討することが急務となっている。

既設 RC 床版の補修・補強にあたっては、床版の損傷メカニズムに応じて、工法を選定する必要がある。しかし、床版の損傷メカニズムは、従来行われてきた定点載荷による疲労試験では、RC 床版の疲労強度を正しく評価できないことがわかっている。平成 7 年度に導入した輪荷重走行試験機は、実車両の輪荷重の走行をモデル化した移動載荷を可能とする試験機であり、これを用いることにより、RC 床版の疲労破壊メカニズムおよび既設床版の補修・補強効果を実際の挙動に即して評価することが可能となり、補修補強効果の確認を行うことができるようになった。

そこで、橋梁研究室では、平成 8 年度から平成 12 年度にかけて、既設 RC 床版、PC 床版の疲労耐久性および既設 RC 床版に対する各種補修・補強工法の効果を把握することを目的として、輪荷重の走行をモデル化した移動載荷を可能とする輪荷重走行試験機による検討を行ってきた。

本報告書はこれらの結果をとりまとめたものである。

目 次

1 章 目的	1
2 章 輪荷重走行試験機	2
3 章 各種補修・補強工法	
3.1 補修工法	4
3.2 補強工法	5
3.2.1 床版下面からの補強工法	5
3.2.2 床版上面からの補強工法	6
3.2.3 その他の工法	6
4 章 道路橋床版の疲労耐久性試験方法	
4.1 供試体	7
4.2 載荷方法	15
4.2.1 階段状荷重漸増載荷	15
4.2.2 道示床版の載荷方法	16
4.2.3 補強床版の載荷方法	17
4.3 補修補強床版供試体	20
4.3.1 鋼板接着供試体	20
4.3.2 上面増厚供試体	21
4.4 使用材料	22
5 章 道路橋示方書床版の試験結果	
5.1 道路橋示方書床版の破壊時走行回数と載荷荷重	24
5.2 道路橋示方書床版の破壊状況	26
5.3 走行回数と床版中央たわみ	31
5.4 走行回数と床版中央鉄筋ひずみ	36
5.5 走行回数と中立軸位置の関係	41
5.6 載荷荷重せん断強度比と破壊時走行回数の関係	44
5.7 道路橋床版の疲労耐久性の評価	46
5.8 まとめ	50

6 章 補強床版の試験結果	
6.1 初期損傷の状況	51
6.2 補強前後の床版中央たわみおよび鉄筋ひずみ	56
6.3 補強床版の破壊時走行回数と載荷荷重	57
6.4 補強床版の破壊状況	58
6.5 補強後の走行回数と床版中央たわみ	63
6.6 補強後の走行回数と鉄筋ひずみ、補強鋼板ひずみ	64
6.7 まとめ	66
7 章 おわりに	67
参考文献	68
付属資料	71
付属資料ー1 三軸変位計を用いた健全度評価の可能性について.....	73
付属資料ー2 各道示床版の床版中央変位、鉄筋のひずみ	75
付属資料ー3 補修補強床版の補強後の床版中央変位、鉄筋のひずみ	96
付属資料ー4 各道示床版のひび割れ状況（床版上面、床版下面、床版内部）	106
付属資料ー5 補修補強床版のひび割れ状況（床版上面、床版下面、床版内部）	148

1章 目的

現在、我が国では、橋長 15m 以上の橋梁だけでも約 13 万橋、延長にして約 7,500km の道路橋が供用されている。橋梁の架設は、1975 年を中心に多く、今後、膨大な数の道路橋を適切に維持管理することが重要な課題となっている¹⁾。特に既設の道路橋鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）は、古い基準で設計・架設されたものでは、配置された鉄筋の量や床版の厚さの不足により、また交通量の増大や車両の大型化等によって、その損傷事例が報告されている。図-1.1 に、床版の損傷実態の調査結果（1991 年度調査）を示す²⁾。図は、鋼橋における RC 床版（19,723 橋）の損傷状態を適用基準別に表したものであり、図中の損傷度Ⅰ～Ⅳは橋梁点検要領(案)³⁾の損傷度判定区分である。図より、昭和 39 年鋼道路橋設計示方書（以下、S39 道示）⁴⁾により設計・架設された床版が多く、さらに損傷または補修・補強が行われた床版が多いことがわかる。

このように、古い基準で設計された既設 RC 床版は、補修・補強の実施が増加しており、道路橋床版の損傷メカニズムの解明や既設床版の損傷状態に応じた効果的な補修・補強工法の検討が求められている。

既設床版の補修・補強にあたっては、床版の損傷メカニズムに応じて、工法を選定する必要があると考えられる。RC 床版の損傷メカニズムは、従来行われてきた定点載荷による疲労試験では、忠実に再現することが出来ず、疲労耐久性を正しく評価出来ないことがわかっている。しかし輪荷重走行試験機⁵⁾は、実車両の輪荷重の走行をモデル化した移動載荷を可能とする試験機であり、これを用いることにより、床版の疲労損傷メカニズムおよび既設床版の補修・補強効果を実際の挙動に即して評価することが可能となった。

そこで本研究では、各種基準で製作された既設道路橋 RC 床版の疲労耐久性を把握することを目的に昭和 39 年鋼道路橋設計示方書、昭和 47 年道路橋示方書（以下、S47 道示）⁶⁾、平成 8 年道路橋示方書⁷⁾（以下、H8 道示）に準じて製作した RC 床版、および同じく平成 8 年道示に準じて製作したプレストレストコンクリート床版（以下、PC 床版）を対象に輪荷重走行試験を実施した。

さらに、既設 RC 床版に対する各種補強工法の補強効果を確認することを目的として、損傷を与えた RC 床版を対象に現在施工実績の比較的多い鋼板接着工法および上面増厚工法を実施し、輪荷重走行試験により疲労耐久性について検討を行った。

なお本報告書では、主に鋼橋における既設床版およびその補強工法を想定した各種試験を実施している。

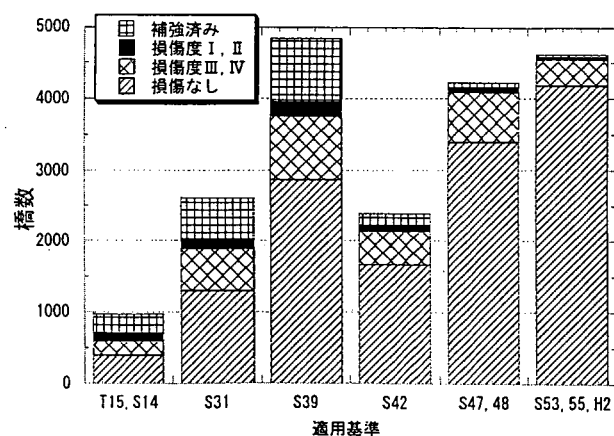


図-1.1 床版の損傷実態の調査結果

2 章 輪荷重走行試験機

床版は、車両の輪荷重を直接受ける部材であり、その破壊メカニズムは、過去の研究で明らかにされてきている。部材の疲労強度の照査は、繰り返し载荷による疲労試験により行うが、従来行われてきた定点载荷による疲労試験では、床版の破壊メカニズムを忠実に再現することが出来ず、床版の疲労耐久性を正しく評価出来ないことがわかっている。

輪荷重走行試験機は、実車両の輪荷重の走行をモデル化した移動载荷を可能とする試験機であり、実橋床版の疲労破壊メカニズムおよび既設床版の補修・補強効果を実際の挙動に即して評価することが可能な試験機である。今回用いた輪荷重走行試験機を外観及び仕様を図-2.1.1 および表-2.1.1 に示す。

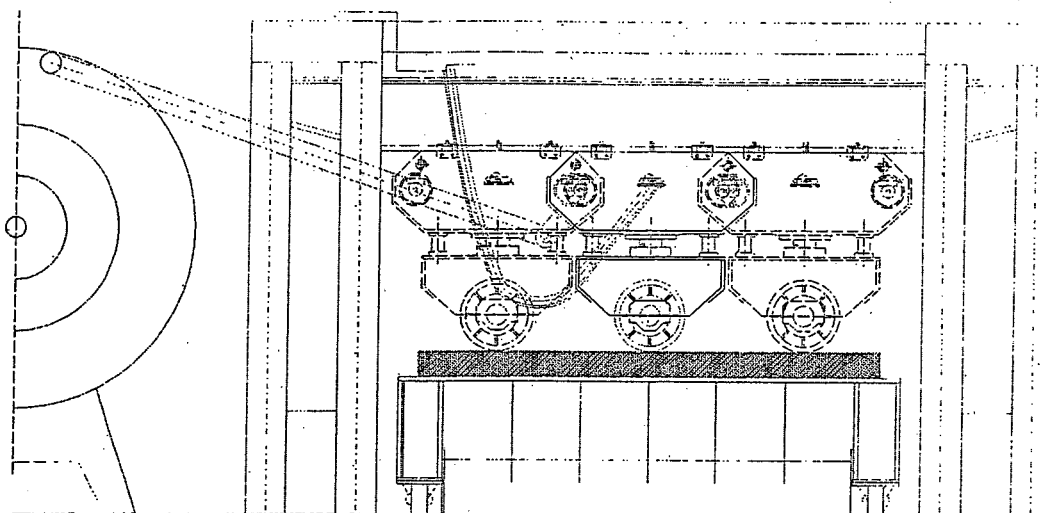


図-2.1.1 輪荷重走行試験機の外観

表-2.1.1 輪荷重走行試験機の仕様

項 目		仕 様	
形 状 ・ 寸 法	試験機寸法	フレーム：高さ約 5m×長さ約 8m	
		フライホイール：直径 3.5 m, 重さ 10t	
	供試体最大寸法	幅 3.0m×長さ 4.5m×厚さ 0.35 (床版)	
		治具の取り替えにより桁部を含めた床版の実験も可能	
	車輪の種類	鉄輪：直径 700mm×幅 300mm	
		鉄輪：直径 700mm×幅 500mm	
ゴムタイヤ：9.00-R20-14PR相当			
性 能	駆 動	走行範囲	± 0.5 / ± 1.0 / ± 1.25 / ± 1.5
		最大回転速度	59.8 / 42.3 / 37.8 / 34.7 rpm
	載 荷	最大載荷力	走行時：490kN (50tf)
			停止時：981kN (100tf)
		最大載荷ストローク	200mm
その他	設置台数	2基：1号機 (レフト), 2号機 (イロー)	
	設置場所	独立行政法人 土木研究所 構造力学実験施設	

3 章 各種補修・補強工法

既設 RC 床版の補修・補強工法を図-3.1.1 に示す。既設 RC 床版の補修・補強の検討にあたっては、補修・補強時の設計、破壊メカニズムに応じた補修・補強、および作業空間の制限や通行車両の安全の確保および経済性等を考慮し、最適な工法を選定する必要がある、それらを考慮して数多くの工法が開発されている。図は、補修工法と補強工法に大別し、さらに、補強工法ではその特徴から、床版下面から補強を行う工法と上面から補強を行う工法とに分類することができる。一般に補修・補強工法の選定は、損傷メカニズム等によるが、損傷程度が軽いほど補修補強工法の選択の幅が広がると考えられる。

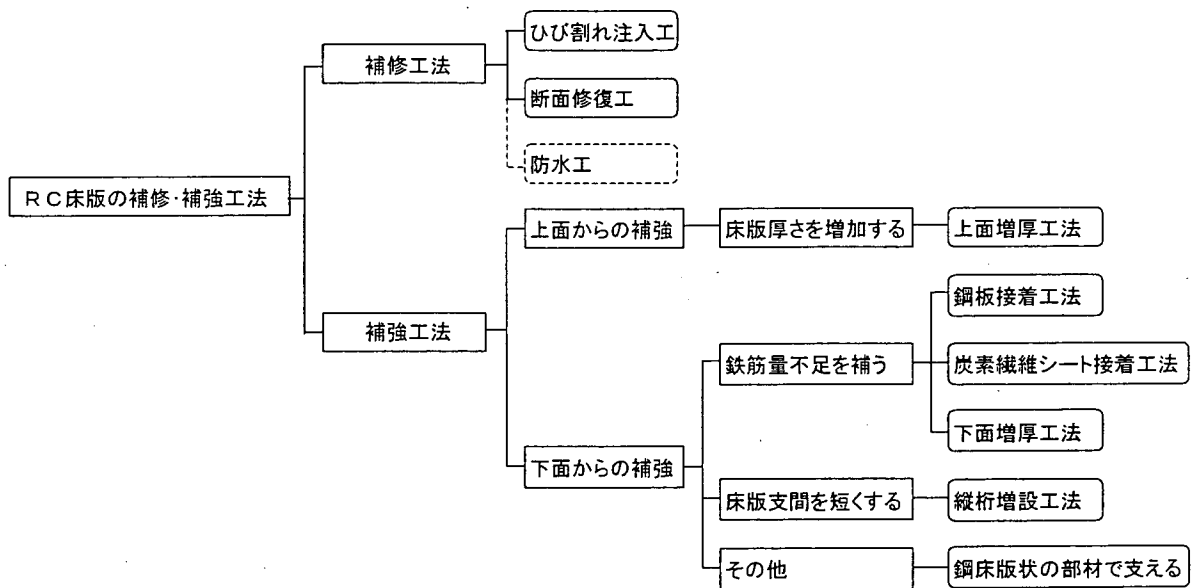


図-3.1.1 既設 RC 床版の補修・補強工法の例

3.1 補修工法

(1) から (3) に図-3.1.1 に示した補修工法の概要を以下に示す。

(1) ひび割れ注工

床版のひび割れ内にエポキシ樹脂またはセメント粒子を注入し、コンクリートの一体化を図る工法である。

(2) 断面修復工

床版の豆板、空洞、剥離などコンクリートの断面を修復する工法である。断面修復材料にはセメントモルタルや樹脂モルタル等がある。

(3) 防水工

床版コンクリートへの雨水等の浸入を防止するために、防水層を設ける工法である。防水層の種類はシート系と塗膜系に大別される。他の補修・補強工法と併用すると、床版の耐久性確保を図ることができる。なお、防水工自体は床版の直接的な補修工法ではないがその有無が床版の疲労耐久性に大きく影響するためここに示している。

3.2 補強工法

3.2.1 および3.2.2に図-3.1.1に示した補強工法の概要を示す。

3.2.1 床版下面からの補強工法

(1) 鋼板接着工法

最も施工実績の多い工法で、既設 RC 床版の下面の下地処理を行った後、一般には 4.5mm 厚が用いられる鋼板をアンカーボルトで止め、その後エポキシ樹脂を注入し、一体化させる工法である。これは、鉄筋としての断面効果を期待し曲げ剛性を向上する工法であり、鉄筋量が不足している床版に適している。問題点としては鋼板が腐食することやアンカーボルトの抜けの心配および施工後の損傷の追跡調査が難しくなることが挙げられる。また、鋼板の腐食などの影響により鋼板の浮きが生じることがある。なお、鋼板の分だけ死荷重が増加する。

(2) 縦桁増設工法

既設床版の支持けた間に 1～2 本の縦桁を増設して、床版支間を短くすることにより、輪荷重による曲げモーメントを軽減する工法であり、縦桁、横桁を増設し、縦桁の上フランジと床版の間にエポキシ樹脂を注入して一体化させる工法。床版のたわみ抑制に効果があるため従来から用いられている工法である。つまり床版そのものを補強するのではなく、その支間を短くし発生する曲げモーメントを低減する工法で、その結果たわみを抑制することにより劣化損傷を遅らせることができる。増設したけたの分だけ死荷重が増加する。

(3) 炭素繊維シート接着工法

近年、施工実績が増えている新しい補強工法で、既設床版の下地処理を行った後、エポキシ樹脂を含浸させた炭素繊維シートを床版に接着させる工法である。炭素繊維シートの積層数を変えることにより補強量を調整できる。補強の考え方は鋼板接着工法と同じであるが、炭素繊維シートは鋼板に比べて軽いので死荷重の増加が小さく、また、施工が容易でかつ腐食の心配がないといった長所がある。問題点としては施工後の損傷の追跡調査が難しくなることが挙げられる。

(4) 下面増厚工法

既設床版の下面の下地処理を行った後、床版下面に補強鋼材をアンカーにより取り付け、モルタルにより既設床版の下面から 3cm 程度増し一体化する比較的新しい工法であり、増厚した分だけ死荷重が増加する。モルタル、補強鋼材、アンカーに補強効果、施工性、防錆防食を考慮した特殊な材料を用いる場合が多い。

3.2.2 床版上面からの補強工法

(1) 上面増厚工法

- 1) コンクリート系：アスファルト舗装をはがし、床版コンクリート上面を切削機により1cm程度切削し、この面にショットブラストを行い、その後、鋼繊維入り超速硬コンクリートを約7～8cm打設し、増厚する工法である。増厚することで床版の剛性が高まり、曲げおよびせん断耐力が向上する。また、上面に打設するために防水工の機能も一部負担させることができる。死荷重の増加に関しては、増厚コンクリートの死荷重の増加分を、アスファルト舗装を薄くすることによって小さくなるように配慮するのが一般的である。当然ながら施工時には交通規制が必要となる。
- 2) プレキャスト版接着系：アスファルト舗装をはがし、床版コンクリート表面にエポキシ樹脂モルタルを敷き、この上に繊維補強セメント等からなるプレキャスト版を敷き並べ、さらにこの上にエポキシ樹脂モルタルを敷き、再びプレキャスト版を千鳥に敷き並べる工法である。当然ながら施工時には交通規制が必要となる。

3.2.3 その他の工法

対傾構、横構を補強し、これらによる荷重分配効果を高め、床版を支持するけたの不等沈下を減少させる工法や下面を鋼構造で支える工法などが提案されており、橋梁形式や損傷程度によっては有効な場合がある。

4 章 道路橋床版の疲労耐久性試験方法

4.1 供試体

本研究では、既設道路橋床版および各種補修補強床版の疲労耐久性の把握を目的とし、表-4.1.1 に示す各種道示に準じて設計・製作した RC 床版供試体および PC 床版供試体と補強工法として鋼板接着工法および上面増厚工法を実施した RC 床版供試体の輪荷重走行試験を実施した。

表-4.1.1 供試体の一覧

供試体名	適用 示方書	供試体寸法 (mm)	支間 (mm)	主鉄筋 (mm)			配力鉄筋 (mm)			補強方法	備考
				呼び径	有効高	間隔	呼び径	有効高	間隔		
RC39-1, 3～9	昭和39年道示	2800×4500×190	2500	D16 (D16)	160 (30)	150 (300)	D13 (D10)	146 (43)	300 (300)	無補強	
RC39-2				D16 (D16)	160 (30)	150 (300)	D10 (D10)	144 (46)	150 (300)		
RC39+鋼板-1, 2										鋼板接着	1, 2は、同一供試体
RC39+上面-1										上面増厚	せん断補強筋なし
RC39+上面-2											せん断補強筋あり
RC47-1～4	昭和47年道示	2800×4500×200		D19 (D19)	160 (40)	125 (250)	D16 (D16)	142 (58)	100 (200)	無補強	
RC8o-1～3	平成8年道示	2800×4500×250		D19 (D16)	210 (40)	150 (150)	D16 (D13)	192 (55)	125 (125)		
RC8n-1～3				D19 (D19)	210 (40)	150 (300)	D16 (D16)	192 (58)	125 (250)		
PC81, 2				2800×4500×180	D13 (D13)	144 (37)	250 (250)	D19 (D19)	128 (53)		125 (250)

() 内は、圧縮鉄筋を示す

供試体は、配力鉄筋量が現行基準と比較して少なく、損傷事例の見られる S39 道示に準じて製作した RC 床版の RC39 供試体を 9 体、大型車交通量により設計曲げモーメントの割り増しを行うものとし、配力鉄筋方向の設計曲げモーメントを与えた S47 道示に準じて設計・製作した RC47 供試体を 4 体、設計輪荷重の改訂および大型車交通量による床版の最小全厚の割り増しを行うものとした現行の H8 道示に準じて設計・製作した RC8 供試体を 6 体とした。なお RC8 供試体は、圧縮鉄筋量を鉄筋径で調整した RC8o と鉄筋の配置間隔で調整した RC8n の各 3 体ずつとした。さらに供試体には、H8 道示により製作した PC 床版の PC8 供試体を 2 体加えるものとした。表-4.1.2 に試験に用いた RC 床版の輪荷重、設計曲げモーメント、床版厚の変遷を、図-4.1.1 ~図-4.1.6 に各道路橋示方書に準じて設計した供試体の形状・寸法を示す。

鋼板接着工法および上面増厚工法は、RC39 供試体に対して実施し、各補強工法とも供試体は 2 体とした。

表-4.1.2 試験に用いた RC 床版の基準の変遷

		昭和39年11月 鋼道路橋設計示方書	昭和47年3月 道路橋示方書	平成8年12月 道路橋示方書
輪荷重(tf)	(一等橋)	8	8	10
設計曲げモーメント	主鉄筋方向	$0.4P(L-1)/(L+0.4)$	$(0.12L+0.08)P \times 0.8$	$(0.12L+0.08)P \times 0.8$
	配力筋方向	(主鉄筋量の 25%以上)	$(0.10L+0.04)P \times 0.8$	$(0.10L+0.04)P \times 0.8$
	衝撃係数	$20/(50+L)$	設計曲げ モーメント に含む	設計曲げ モーメント に含む
	割増し		1,000台以上で 設計曲げ モーメントを 20%割増し	床版支間2.5m以上で $1.0+(L-2.5)/12$
床版厚	最小版厚 (cm)	約14	16 or $3L+11$	16 or $3L+11$
	割増し			500未満 1.1 500以上1,000未満 1.15 1,000以上2,000未満 1.20 2,000以上 1.25

供試体の設計は床版支間 3.0m の連続版として行い床版厚および鉄筋量を決定した。供試体は、単純支持にて試験を行うため支間中央の曲げモーメントが同様となる 2.5m で支持するものとした。

ここで RC8 供試体では、大型車交通量を道示に示す 2,000 台以上として最小全厚に 1.25 倍して、PC8 供試体は、プレストレスの導入より床版の最小全厚を 0.9 倍して床版厚さを決定し、プレストレス量および鉄筋量を決定した。

ここで、補強工法の評価方法として、実橋床版を用いる方法と、基準供試体を用いる方法の 2 種類が考えられる。理想的には、実橋床版を用いる法が望ましいが、荷重履歴が不明であり、損傷程度の判断が難しいといえる。一方、基準供試体を用いる方法においては、既設床版に見られる乾燥収縮によるひび割れ等の供用にともない発生している複雑な劣化状況を再現することは非常に難しいと考えられるが、輪荷重走行試験機により実用床版に比較的近い損傷状態を促進して再現できると考えられるため、本研究では基準床版に輪荷重走行試験機によるひび割れを生じさせて補強工法を実施するものとした。

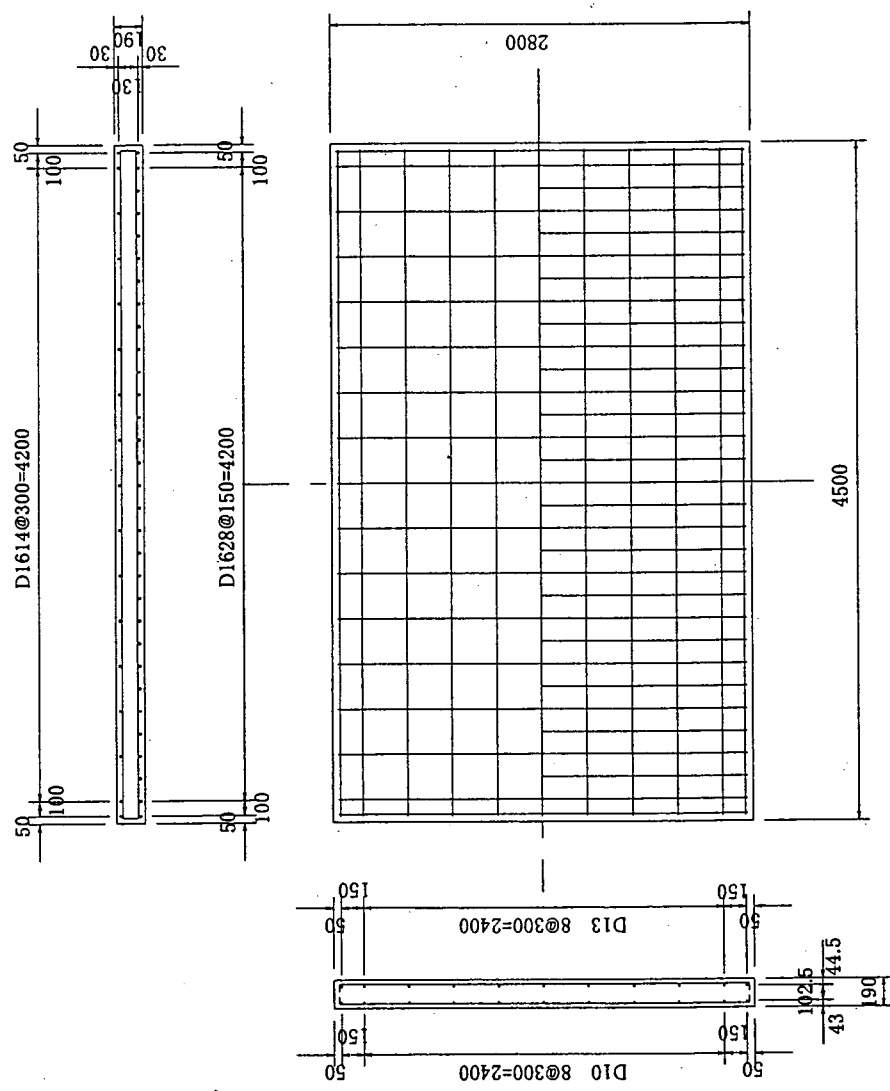


図-4.1.1 RC39-1,3~9供試体の形状・寸法 (単位:mm)

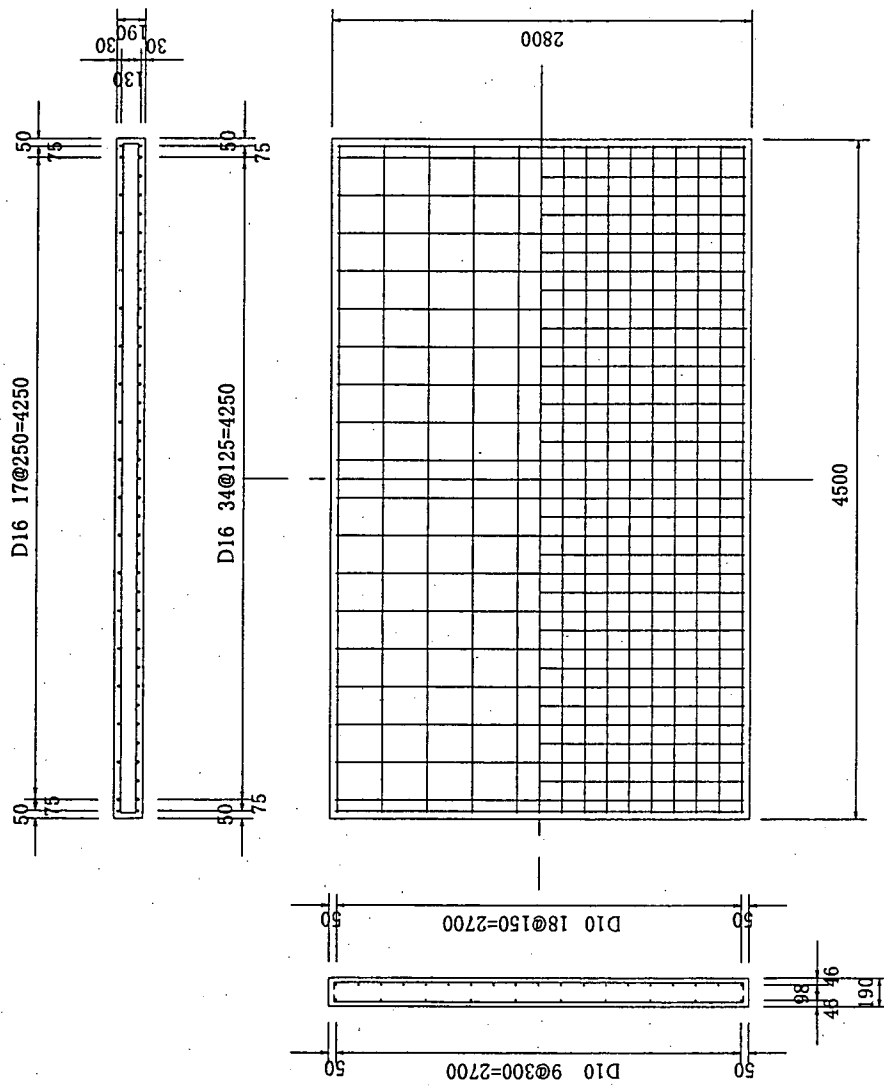


図-4.1.2 RC39-2供試体の形状・寸法 (単位:mm)

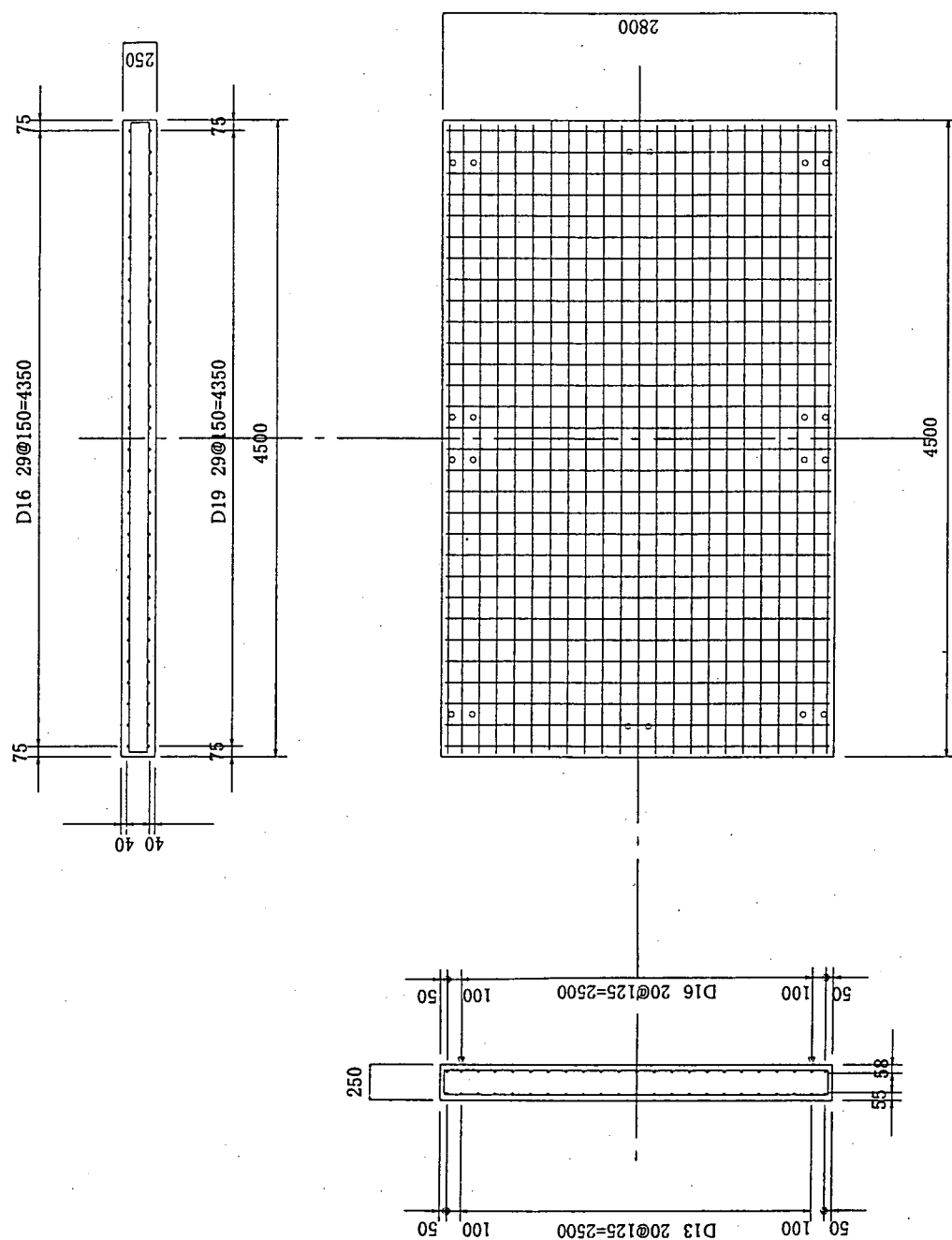


図-4.1.4 RC80供試体の形状・寸法 (単位:mm)

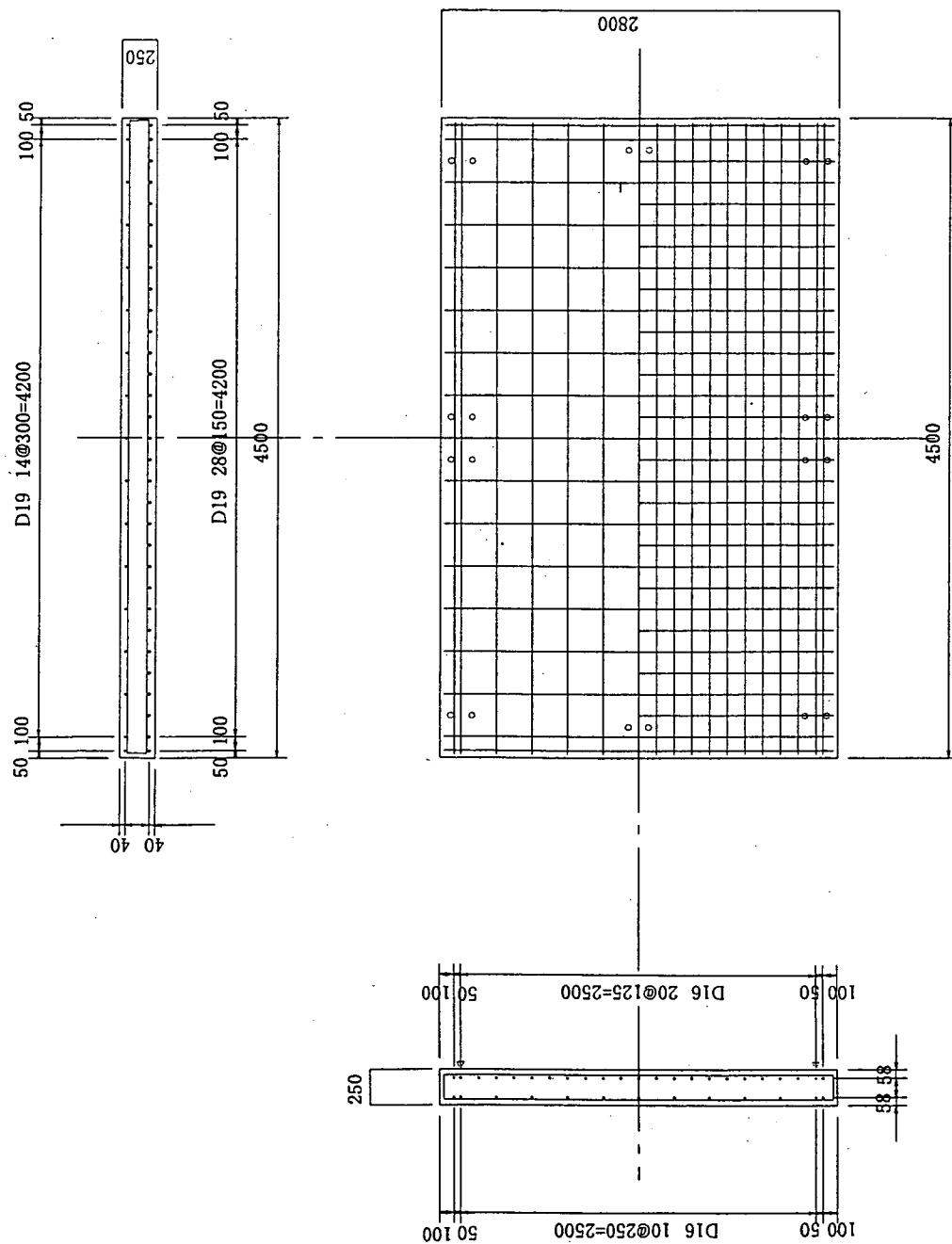


図-4.1.5 RC8n供試体の形状・寸法 (単位:mm)

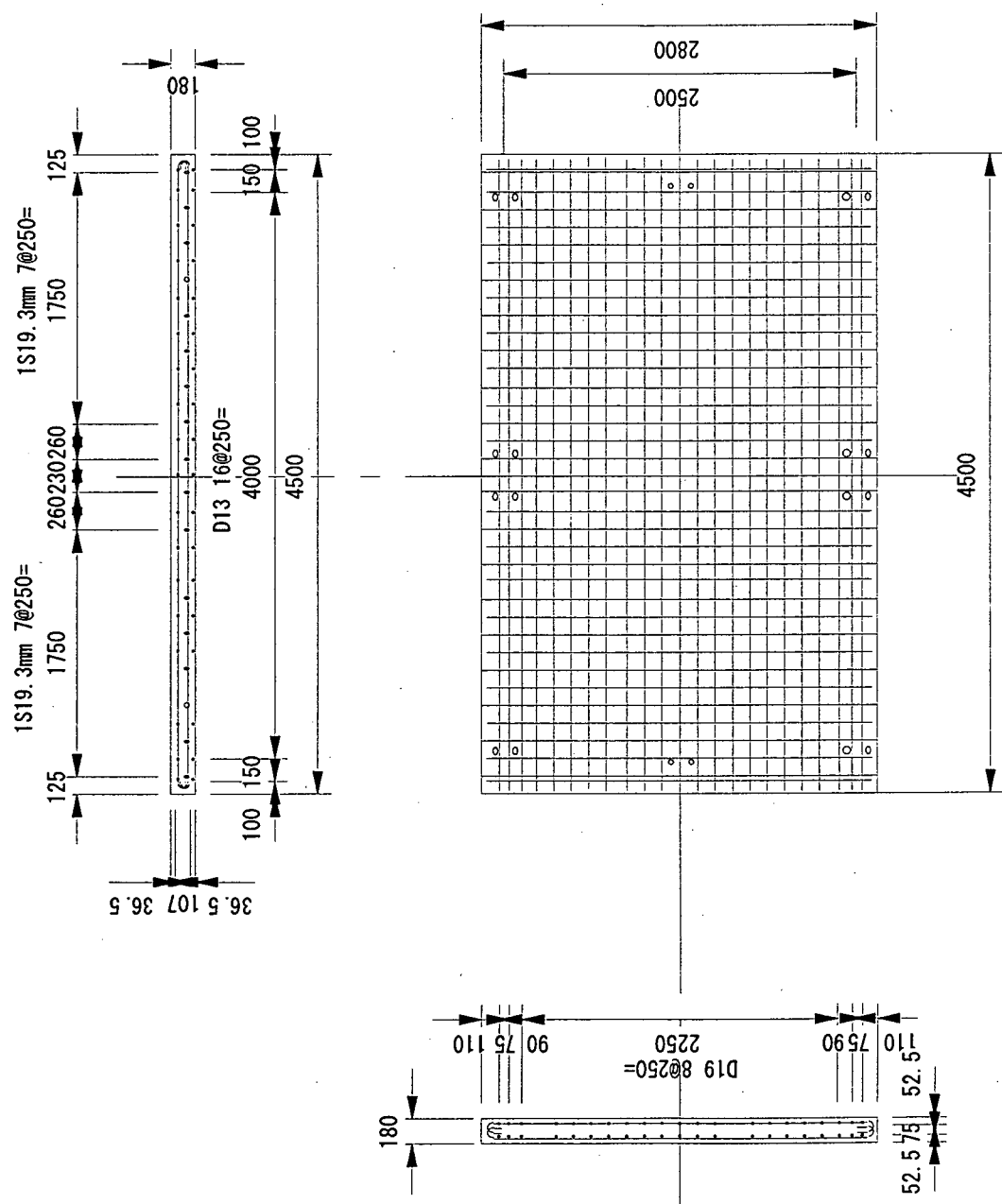


図-4.1.6 PC8供試体の形状・寸法 (単位:mm)

4.2 載荷方法

載荷は輪荷重走行試験機を用いて試験を行った。供試体は、輪荷重走行試験機に床版支間 2.5m で単純支持し、橋軸方向には弾性支持した。橋軸方向の弾性支持は、解析により供試体が無限に長いと見なせる長さの解析結果と比較して同様なとなる様な剛性を持つ H 型の鋼材を横ばりとして用いることとした。

さらに、供試体は、浮き上がりを防止するために回転拘束を与えないように支持桁に固定した。本試験機は、床版供試体上に 500×200mm の載荷ブロックを一列に並べた軌道上を幅 500mm の鉄輪が±1.5m 往復するものである。

4.2.1 階段状荷重漸増載荷

RC8 供試体および補強を実施した供試体等の試験は、RC39 供試体と比較して破壊に至るまでの走行回数が非常に多くなることが予想される。そこで、本試験では走行回数が多くなるに従い段階的に載荷荷重を大きくすることにより、劣化を促進させる階段状荷重漸増載荷(以下、階段載荷)により行うものとした。階段載荷は図-4.2.1 に示すように、157kN を初期荷重として走行回数 4 万回毎に 19.6kN ずつ荷重を増加させ、供試体が破壊に至るまで繰り返し走行を行い、各供試体の破壊に至った走行回数および載荷荷重を相対的に比較するものとした。階段載荷における初期荷重の 157kN は、このとき既に実施していた供試体による輪荷重を一定とした載荷（以下、一定載荷）による載荷荷重を考慮し、階段における走行回数と載荷荷重の増加量は試験機的能力と現実的な試験期間を総合的に考慮して決定している。なお、これらの載荷荷重の実際には、輪荷重の走行に伴う衝撃の影響が加わったものとなるが、これについては評価していない。

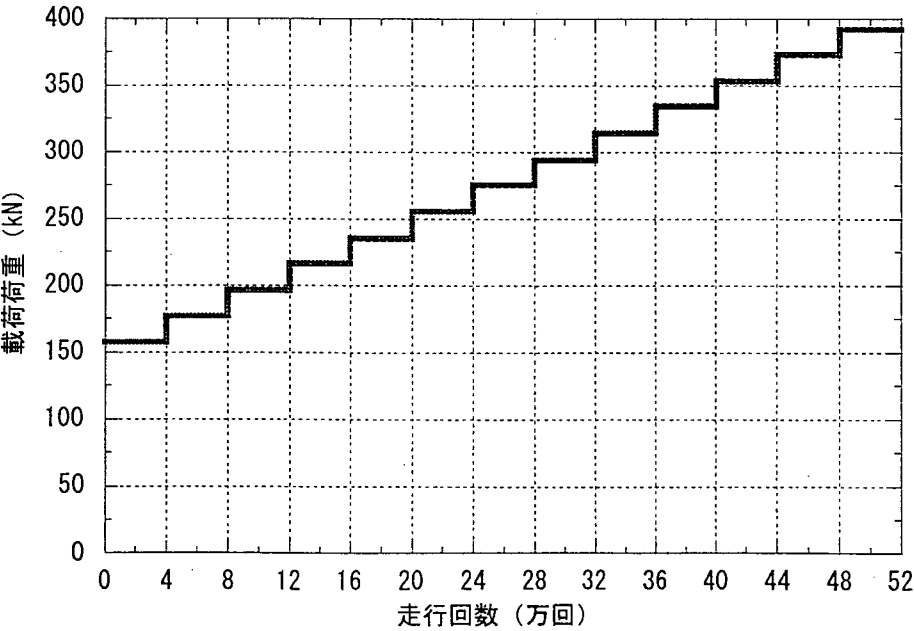


図-4.2.1 階段状荷重漸増載荷試験方法

4.2.2 道示床版の載荷方法

RC39-1, RC47-2～4, RC8 および PC8 供試体は、図-4.2.2 に示す階段載荷による載荷方法とした。RC39-2～9 供試体ならびに RC47-1 供試体は、表-4.2.1 に示す載荷荷重による一定載荷を行った。一定載荷における各供試体の載荷荷重は、既往の研究を参考⁹⁾に、式(4.2.1)に示す静的押し抜きせん断耐荷力 P_0 の約 30% 前後となるように、試験直前に実施したコンクリートの強度確認試験の結果により決定した。

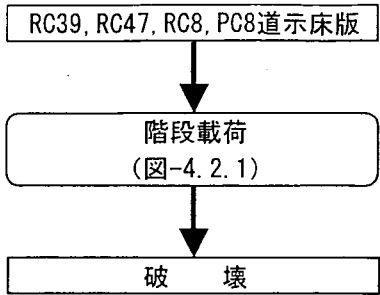


図-4.2.2 RC39-1, RC47-2～4, RC8 および PC8 供試体の階段状荷重漸増載荷試験方法

表-4.2.1 RC39-2～9 供試体および RC47-1 道示床版の載荷荷重

供試体名	載荷荷重 (kN)
RC39-2	175
RC39-3	105
RC39-4	196
RC39-5	167
RC39-6	147
RC39-7	152
RC39-8	118
RC39-9	157
RC47-1	210

$$P_0 = \tau_{smax} (2(a+2x_m)x_d + 2(b+2x_d)x_m) + \sigma_{tmax} (2(4C_d+2d_d+b)C_m + 2(a+2d_m)C_d) \dots \dots \dots \text{式(4.2.1)}$$

ここに、

τ_{smax} : コンクリートの最大せん断応力度 (kgf/cm²) ($\tau_{smax} = 0.252 \sigma_{ck} - 0.000246 \sigma_{ck}^2$)

σ_{tmax} : コンクリートの最大引張応力度 (kgf/cm²) ($\sigma_{tmax} = 0.583 (\sigma_{ck})^{2/3}$)

a, b : 載荷版の主鉄筋方向、配力鉄筋方向の辺長 (cm)

x_m, x_d : 引張側コンクリートを無視した場合の主鉄筋断面、配力鉄筋断面の圧縮側コンクリート表面から中立軸までの距離 (cm)

σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

d_m, d_d : 引張側主鉄筋、配力鉄筋の有効高さ (cm)

C_m, C_d : 主鉄筋、配力鉄筋のかぶり厚さ (cm)

4.2.3 補強床版の載荷方法

図-4.2.3 に補強床版の試験方法を示す。本試験では、補強を行う供試体については、実橋床版の損傷を想定し、あらかじめ輪荷重走行試験機により所定の初期損傷を与えた後、補強を実施することとした。

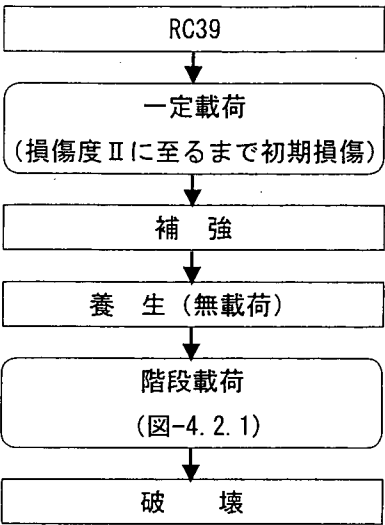


図-4.2.3 補強床版の試験方法

図-4.2.4 に今回行った RC39-1 供試体の繰り返し荷重下におけるたわみ変化の模式図を示す。本試験の初期損傷においては、輪荷重による床版の劣化を促進させる目的で、載荷加重 157kN の一定載荷による輪荷重の走行を行っている。輪荷重走行試験における供試体の損傷度は、たわみの増加割合の違いから 4 つの部分に分割し、変化点 0～D の間をそれぞれ橋梁点検要領（案）⁸⁾にある床版の損傷度と対応させて損傷度Ⅳ～Ⅰと定義した（表-4.2.2）。本研究では、損傷度Ⅱ「二方向のひび割れが生じ、漏水や遊離石灰が認められ、さらに、ひび割れの最小間隔が 50cm 未満」を想定し、載荷時のたわみが 8mm、除荷時のたわみが 4mm 程度（図-4.2.4 の B 点）となった状態とした。ここで各床版の損傷度Ⅱに到達する走行回数は、制作された供試体におけるコンクリートの実強度等の影響により差が出ることが予想された。したがってたわみを損傷の指標とするために、供試体のコンクリートは、実圧縮強度が大きくばらつかないように配慮して製作した。

初期損傷を与えた供試体は、鋼板接着工法または上面増厚工法を実施し、いずれの工法においても補強後は無載荷状態で 7 日間以上の補強材料（エポキシ樹脂または増厚コンクリート）の養生を行っている。

補強を行った床版の輪荷重走行試験は、階段載荷とし、破壊時の走行回数および載荷荷重を直接比較することとした。

表-4.2.2 初期損傷の指標

橋梁点検要領(案)における損傷度	床版損傷度の 変化点	たわみ(mm) 損傷目標値		実験における床版の状態
		除荷	16tf	
O.K.	◇			ひび割れ発生前
IV	◇			たわみ、ひび割れ 密度が増加する
III	◇	3	6	たわみ、ひび割れ密度の 増加率が急増から 漸増へ、変化する
II	◇	4	8	たわみ、ひび割れ密度の 増加率は小さくなり、 安定した漸増となる
I	◇	5	10	破壊直前 たわみ、ひび割れ密度の 増加率が大きくなる
	◇			押し抜きせん断破壊

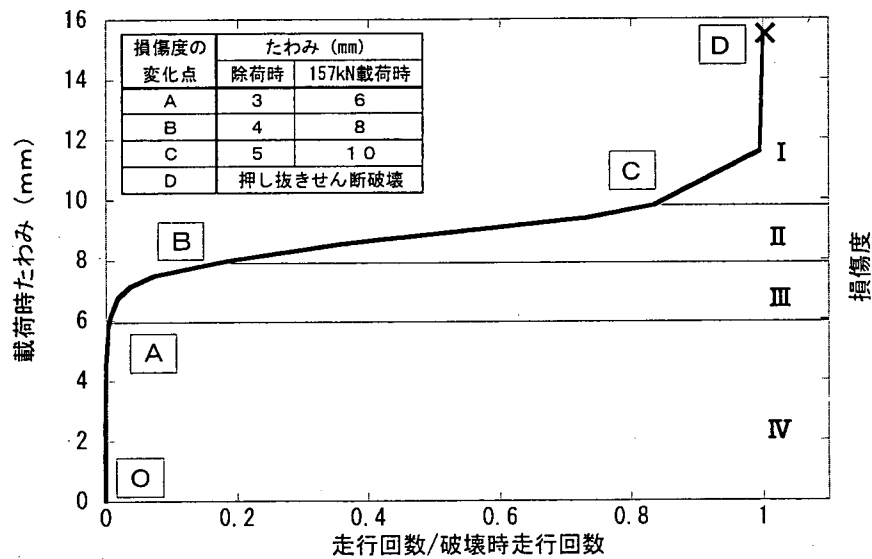


図-4.2.4 RC39-1 の繰り返し荷重下におけるたわみ変化

RC 床版の損傷程度を判定する際には、橋梁点検要領(案)⁸⁾が参考となる。この中では、5 段階の損傷度の判定標準と各部材毎の判定基準(案)が示されている。判定基準は、損傷の位置 (あるいはパターン)、深さ、広がり の 3 要因に対してそれぞれ各損傷の程度を大、中、小で判断し、損傷ランクが決定されるシステムになっている。表-4.2.3 に損傷の判定標準を、表-4.2.4 に床版の損傷度区分を示す。

表一4.2.3 損傷の判定標準

建設省土木研究所 土木研究所資料第 2651 号 1988.7
橋梁点検要領（案）

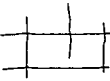
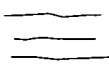
損傷度判定標準

判定区分	一般的状況
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある。
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修するかどうかの検討を行う必要がある。
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある。
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある。
OK	点検の結果から、損傷を認められない。

表一4.2.4 床版の損傷度区分

床版のひびわれ

一方向か二方向かで影響の大小を区別した。また、損傷の深さは損傷のパターンとして錆汁を伴うものを影響大、漏水を伴うものを影響中、ひびわれのみのものを影響小とした。ひび割れ幅については 0.3mm ～ 0.1mm の範囲で決めた。さらに、拡がりとしてひび割れの間隔を表現し、一つの目安として 50cm を影響度の大小を区別する境界値とした。

		損傷が耐荷力、耐久性に与える影響		
		大	中	小
位置あるいはパターン (X)	区 分	二方向ひび割れ	—	一方向ひび割れ
	具体的事例		—	
深 さ (Y)	区 分	錆汁を伴うひび割れ、またはひび割れ幅大	漏水を伴うひび割れ、またはひび割れ幅中	ひび割れのみ、ひび割れ幅小
	具体的事例	ひび割れに沿って鉄筋の錆汁が認められる。または幅 0.3mm 以上である。	ひび割れに沿って漏水や遊離石灰が発生。または幅 0.3mm 未満 0.2mm 以上である。	ひび割れのみ。または幅 0.2mm 未満である。
拡がり (Z)	区 分	ひび割れ最小間隔小	—	ひび割れ最小間隔大
	具体的事例	最小間隔 50cm 未満である。	—	間隔 50cm 以上である。

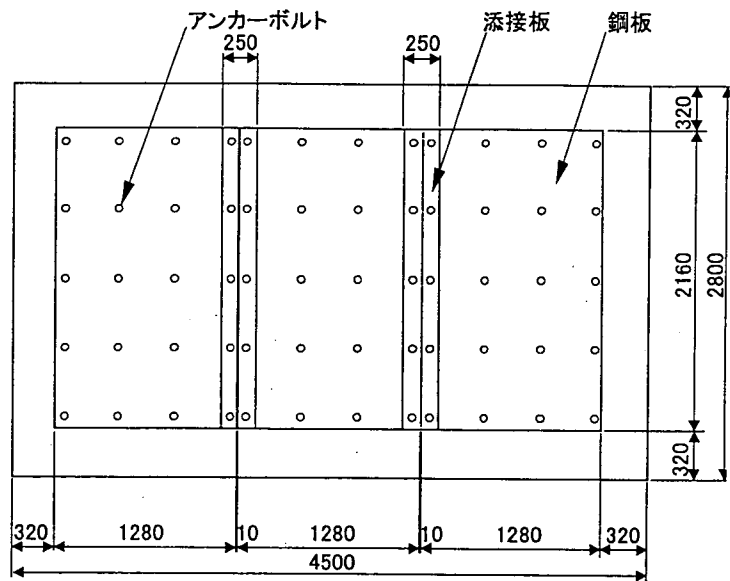
判定区分

X	Y	Z	全部材	X	Y	Z	全部材
大	大	大	Ⅱ	小	大	大	Ⅲ
		小	Ⅱ			小	Ⅲ
	中	大	Ⅱ		中	大	Ⅲ
		小	Ⅲ			小	Ⅳ
	小	大	Ⅲ		小	大	Ⅳ
		小	Ⅳ			小	Ⅳ

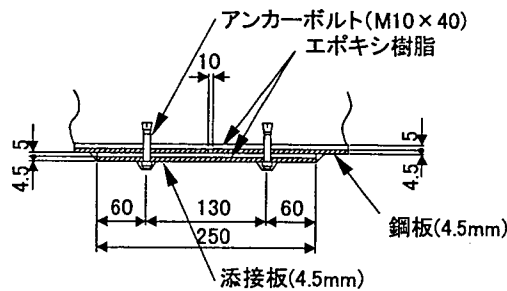
4.3 補修補強床版供試体

4.3.1 鋼板接着供試体

図-4.3.1 に鋼板接着工法の概略図を示す。試験において鋼板接着工法は、実橋における施工と同様に、床版下面の下地処理を行った後、厚さ 4.5mm の鋼板 (SS400) をアンカーボルト (M12×70) で固定し、エポキシ樹脂 (5mm) を注入した。なお、鋼板の寸法は実橋の施工と同様に施工性等から決定し、添設板の寸法も一般的に行われている施工を参考にした。



(a) 鋼板割付



(b) 添設部断面

図-4.3.1 鋼板接着工法概略図 (単位 : mm)

4.3.2 上面増厚供試体

図-4.3.2 に上面増厚工法の概略図を示す。床版コンクリート上面を 1cm 切削して研掃した後、その上面に新たに鋼繊維補強超速硬コンクリート（鋼繊維量 $100\text{kg}/\text{m}^3$ ）を 7cm 打設し、床版厚を 25cm とした。RC39+上面-2 供試体については、RC39+上面-1 供試体が供試体側面の自由端からの既設コンクリートと増厚コンクリートとの界面で剥離したため供試体側面の既設コンクリートと増厚コンクリートとの付着切れを防ぐことを目的に、図-4.3.3 に示す、供試体側面から 10cm 内側の位置にせん断筋（M13×70）を 20cm ピッチ（四隅 50cm は 10cm ピッチ）で配置した。これは、実橋における上面増厚工法は、RC39+上面-1 供試体と比較して広い面積で実施され、供試体側面からの剥離のような損傷形態を示さないと考えたため行った処置である。

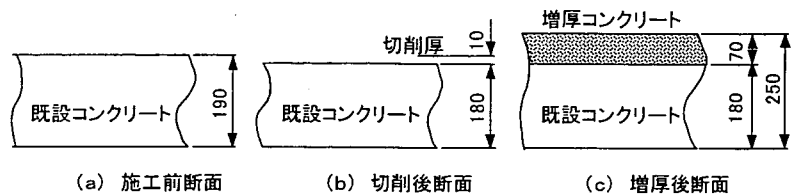


図-4.3.2 上面増厚工法 (単位：mm)

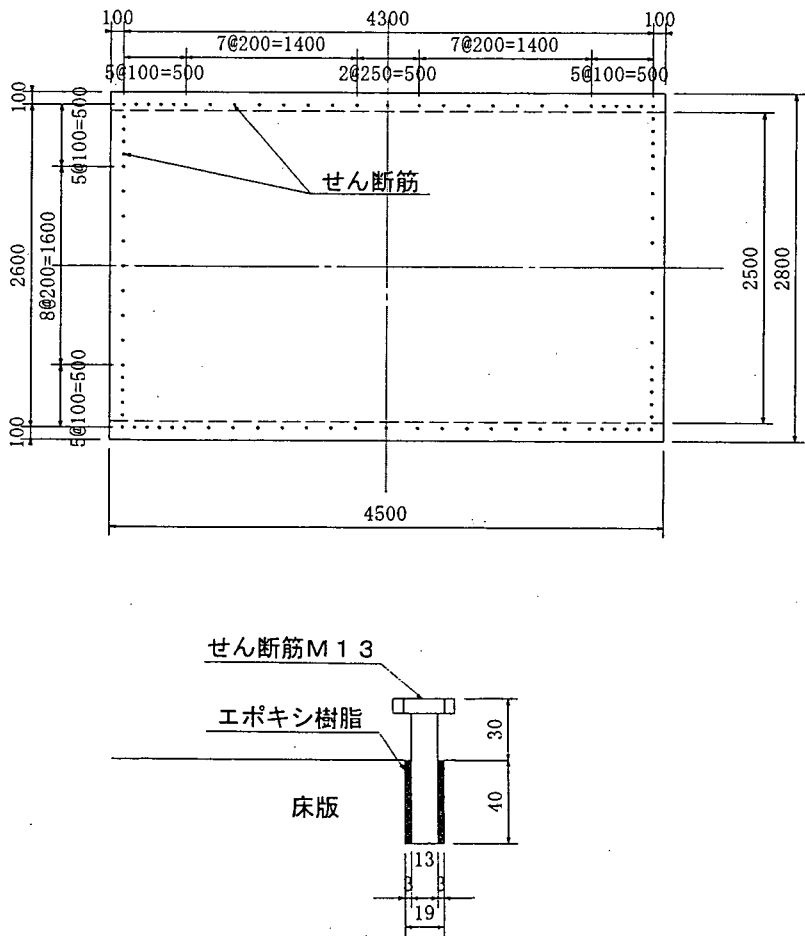


図-4.3.3 RC39+上面-2 供試体のせん断筋配置図 (単位：mm)

4.4 使用材料

試験に用いたコンクリート、鉄筋および補強鋼板の材料試験結果を以下に示す。

コンクリートの材料試験結果を表-4.4.1 に、上面増厚供試体の増厚コンクリートの材料試験結果を表-4.4.2 に、鋼材の材料試験結果を表-4.4.3 に、鋼板接着供試体の補強鋼板の規格を表-4.4.4 に示す。

表-4.4.1 コンクリートの材料試験結果（床版）

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 ($\times 10^4$ N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)
RC39-1	26.9	2.05	0.178	1.94
RC39-2	28.6	2.19	0.147	2.63
RC39-3	13.6	1.62	0.191	1.44
RC39-4	29.7	2.39	0.172	2.69
RC39-5	31.1	2.34	0.170	2.49
RC39-6	28.4	2.18	0.161	2.21
RC39-7	25.4	2.39	0.123	2.15
RC39-8	27.1	2.32	0.173	2.42
RC39-9	26.6	2.68	0.168	2.34
RC39+鋼板-1	25.9	2.07	0.159	2.50
RC39+鋼板-2	29.2	2.22	0.172	2.02
RC39+上面-1	27.1	2.16	0.131	2.57
RC39+上面-2	25.6	2.18	0.135	2.15
RC47-1	29.9	2.31	0.184	2.92
RC47-2	35.6	2.61	0.169	2.69
RC47-3	36.3	2.65	0.165	2.94
RC47-4	32.9	2.47	0.182	2.52
RC8o-1	27.1	2.42	0.168	2.34
RC8o-2	46.5	2.88	0.152	4.04
RC8o-3	45.4	2.63	0.144	3.91
RC8n-1	33.1	2.79	0.150	2.64
RC8n-2	38.4	2.57	0.130	2.84
RC8n-3	37.4	2.65	0.167	3.14
PC8-1	42.9	2.67	0.166	3.66
PC8-2	50.0	3.31	0.193	3.77

表-4.4.2 増厚コンクリートの材料試験結果（増厚部）

供試体名	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 ($\times 10^4$ N/mm ²)	ポアソン比	引張強度 (N/mm ²)
RC39+上面-1	44.2	2.49	0.191	5.51
RC39+上面-2	64.6	3.38	0.194	6.17

表-4.4.3 鋼材の材料試験結果

供試体名	鉄筋径	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
RC39-1	D10	343	489	21.9
	D13	360	531	22.9
	D16	340	507	25.1
RC39-2	D10	358	493	20.9
	D16	353	502	18.8
RC39-3~6	D10	362	505	16.3
	D13	339	478	19.9
	D16	380	553	17.9
RC39-7, 8	D10	368	514	20.0
	D13	326	477	22.2
	D16	345	509	20.3
RC39-9	D10	387	582	18.5
	D13	347	494	22.9
	D16	358	523	19.6
RC39+鋼板-1 RC39+上面-1	D10	332	480	23.9
	D13	331	461	25.1
	D16	343	519	19.3
RC39+鋼板-2 RC39+上面-2	D10	368	514	20.0
	D13	326	477	22.2
	D16	345	509	20.3
RC47-1	D16	353	502	18.8
	D19	344	502	18.2
RC47-2	D16	358	520	27.2
	D19	361	529	25.2
RC47-3	D16	358	520	27.2
	D19	361	529	25.2
RC47-4	D16	358	520	27.2
	D19	361	529	25.2
RC8o-1	D13	331	474	23.2
	D16	347	508	20.7
	D19	353	533	20.0
RC8o-2	D13	338	484	28.5
	D16	358	520	27.2
	D19	361	529	25.2
RC8o-3	D13	338	484	28.5
	D16	358	520	27.2
	D19	361	529	25.2
RC8n-1	D16	358	518	26.1
	D19	334	495	27.3
RC8n-2	D16	358	518	26.1
	D19	334	495	27.3
RC8n-3	D16	358	520	27.2
	D19	361	529	25.2
PC8-1 PC8-2	D13	360	515	25.4
	D19	354	513	25.3
	19.3	-	1974	-

表-4.4.4 補強鋼板の規格

供試体名	使用鋼板	規格	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
RC39+鋼板-1	PL-4.5mm	SS400	319	429	41
RC39+鋼板-2	PL-4.5mm	SS400	282	446	39

5 章 道路橋示方書床版の試験結果

本章は、RC 床版供試体の RC39, RC47, RC8 供試体および PC 床版供試体の PC8 供試体の輪荷重走行試験の結果および疲労耐久性の評価について示す。なお、RC39 供試体に補修補強を実施した RC39+鋼板-1, 2 および RC39+上面-1, 2 供試体の試験結果については 6 章に示す。

5.1 道路橋示方書床版の破壊時走行回数と載荷荷重

各供試体の破壊時走行回数と載荷荷重（段階載荷においては破壊時荷重）の一覧を表-5.1.1 に示す。さらに、段階載荷載荷を実施した各供試体の破壊時走行回数と載荷荷重の関係を図-5.1.1 に示す。

いずれの破壊した供試体は、押し抜きせん断により破壊に至ったが、RC8o-2, 3 および RC8n-3 供試体は、載荷荷重 392kN 走行回数 520, 000 回の段階載荷でも破壊に至らずに試験を終了した。

表より一定載荷を実施した RC39-2～9 および段階載荷でも荷重の増加に至らなかった RC39-1 供試体の破壊時走行回数は、載荷荷重が増加させると減少する傾向にあることが解る。

段階載荷を実施した各供試体の破壊時走行回数は、RC39-1 供試体が 27, 392 回 (157kN)、RC47-2～4 供試体が 321, 127 回～352, 667 回 (314kN)、RC8o-1, RC8n-1, 2 供試体が 255, 647 回～520, 000 回未破壊 (275kN～392kN)、PC8-1, 2 供試体が 403, 748 回、486, 253 回 (353kN, 392kN) であった。図より各 RC 床版供試体の破壊時走行回数は、適用示方書が新しくなる毎に増加することが確認された。また RC8 の 250mm と比較して薄い 180mm の床版厚さで設計される PC8 供試体は、RC8 供試体と同様な破壊時走行回数を示したことから、プレストレスによる効果を確認できた。

しかし、これらの試験結果は、一定載荷を実施した供試体と段階載荷を実施した供試体との関係、各供試体のコンクリート強度等におけるばらつきの影響、プレストレスの影響に関して検討を実施しなければならないと考えられるため 5.7 に示すそれを実施した。

表-5.1.1 各供試体の破壊時走行回数と載荷荷重

供試体名	載荷方法	破壊時 荷重 (kN)	破壊時 走行回数 (回)
RC39-1	階段載荷	157	27,392
RC39-2	一定	176	59,078
RC39-3		105	1,423,112
RC39-4		196	881
RC39-5		167	45,034
RC39-6		147	130,828
RC39-7		152	272,329
RC39-8		118	2,750,073
RC39-9		157	224,764
RC47-1		210	148,927
RC47-2	階段載荷	314	327,725
RC47-3		314	352,667
RC47-4		314	321,127
RC8o-1		275	255,649
RC8o-2		392	*520,000
RC8o-3		392	*520,000
RC8n-1		392	489,555
RC8n-2		334	394,122
RC8n-3		392	*520,000
PC8-1		353	403,748
PC8-2		392	486,253

*未破壊

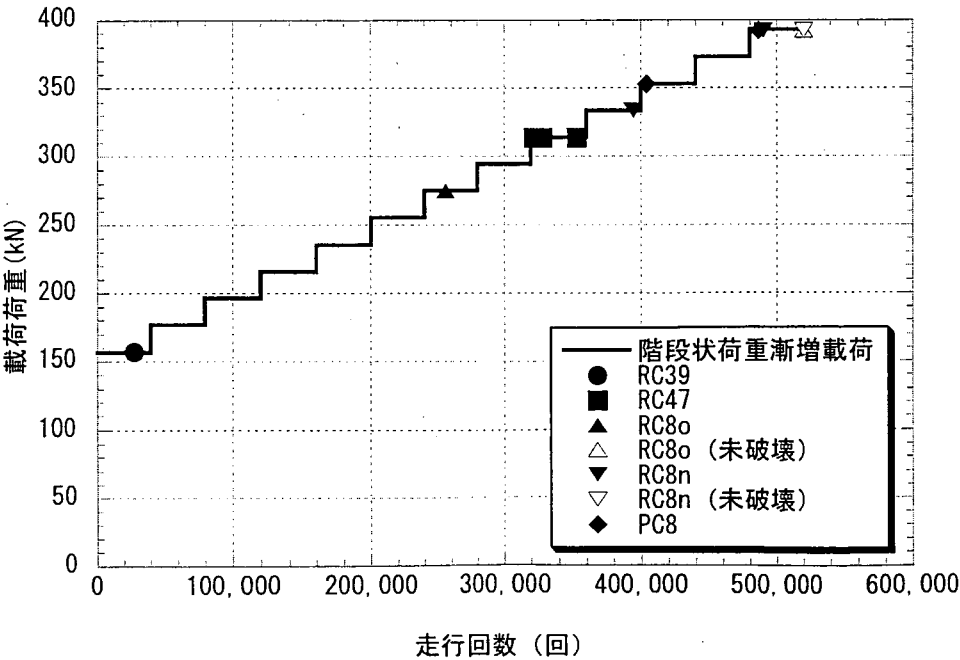


図-5.1.1 階段載荷を実施した各供試体の破壊時載荷荷重と走行回数の関係

5.2 道路橋示方書床版の破壊状況

図-5.2.1, 図-5.2.2, 図-5.2.3 および図-5.2.4 にそれぞれ RC39-4, RC47-1, RC8o-1 および PC8-1 供試体の試験終了後における a) 供試体上面, b) 供試体下面, c) 供試体断面を示す。

破壊に至った供試体は, c) 供試体断面で示す様に供試体上面に設置した載荷ブロック端部から床版下面に広がる押し抜きせん断により破壊に至った。一定載荷のみならず階段載荷を実施した RC 床版の押し抜きせん断によるこれらの破壊形態は実橋で確認されている⁹⁾ 破壊形態と同様である。これらのことから輪荷重走行試験は, RC 床版の破壊メカニズムを再現できることが確認されたといえる。

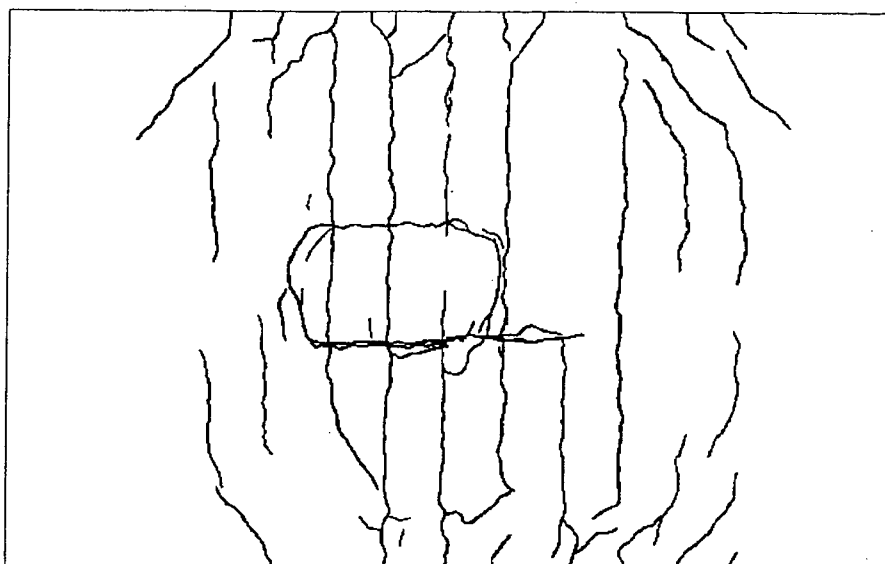
各 RC 供試体の下面には, 亀甲状の曲げひび割れが生じるが, 図よりひび割れの過密さ(ひび割れ密度)は, RC47-1 供試体, RC39-4 供試体, RC8o-1 供試体と少なくなる傾向がみられる。これは, 床版厚さおよび鉄筋量さらに供試体下面に配置した鉄筋の配置間隔が影響しているものと考えられる。

さらに, PC8 供試体は階段載荷の比較的初期段階で供試体下面に橋軸直角方向のひび割れが発生した後, 橋軸方向のひび割れが生じた。階段載荷において PC8 供試体の設計荷重作用時にフルプレストレスで設計した橋軸直角方向に対するひび割れが発生したことから, 今回実施した階段載荷が設計の条件と比較して過酷な試験であることが言える。

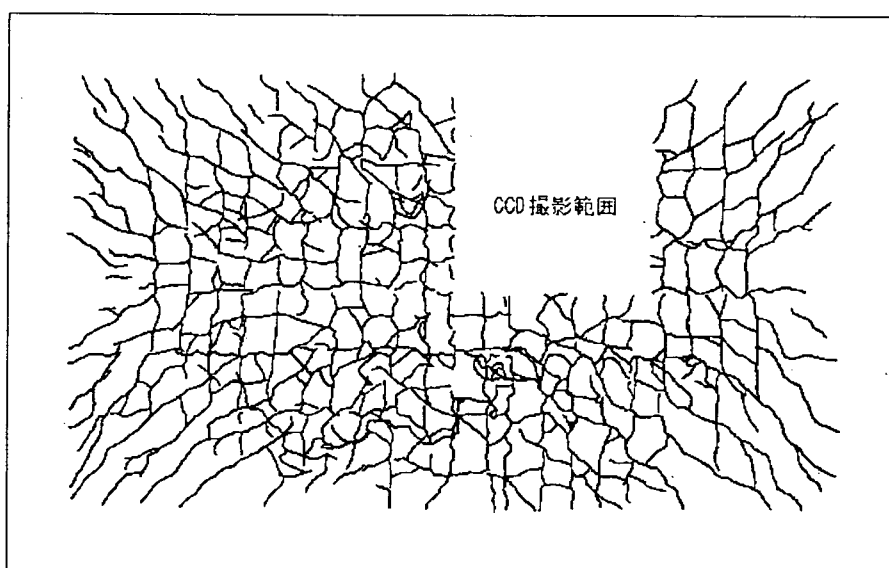
各 RC 供試体の上面にも輪荷重の走行により橋軸直角方向のひび割れが発生した。これらのひび割れの本数は, 破壊直前で RC39-4 供試体, RC47-1 供試体, RC8o-1 供試体と道示の改訂が行われる毎に少なくなる事がわかった。ここで RC47-1, RC8o-1 供試体の上面の橋軸直角方向ひび割れを RC39-4 供試体のそれと比較すると大幅に少なくなっていることが判る。これは, 設計における主鉄筋量に対する配力鉄筋量の比が RC39 供試体の約 30% (道示では 25%以上) から RC47 および RC8 供試体の約 80% (道示では 70~80%となるように設計曲げモーメントが与えられている) と大幅に増えたことによるものと考えられる。さらに RC8o-1 供試体の橋軸直角方向のひび割れが RC47-1 供試体のそれと比較して少ないのは, 供試体上面に配置した鉄筋の配置間隔や床版厚さが関係しているものと予想される。

PC8 供試体の下面には, プレストレスされていない方向(橋軸直角方向)のひび割れが卓越して生じた。さらに上面にも輪荷重の走行により橋軸直角方向のひび割れが発生した。これらのひび割れは, 破壊直前に急増し, 供試体上面に配置した橋軸直角方向の鉄筋間隔とほぼ一致する間隔で発生した。さらに PC8 供試体の押し抜きせん断破壊による広がり, RC 供試体のそれらと比較して大きい事がわかる。

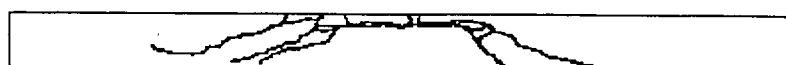
各供試体の破壊断面を観察するといずれの供試体とも輪荷重直下において供試体上面に配置した主鉄筋に沿った水平ひび割れが観察された。さらに, これらのひび割れは, 破壊に至らなかった RC8o-2, 3 および RC8n-3 供試体の断面でも観察されている。いずれの供試体におけるこのひび割れは, 計算で求まる各供試体の中立軸より上縁側で発生していた。これらの輪荷重走行試験において生じたこれらのひび割れは, 実橋における床版の破壊において報告される舗装直下の砂利化現象⁹⁾ の初期段階と考えられる。



a) 供試体上面

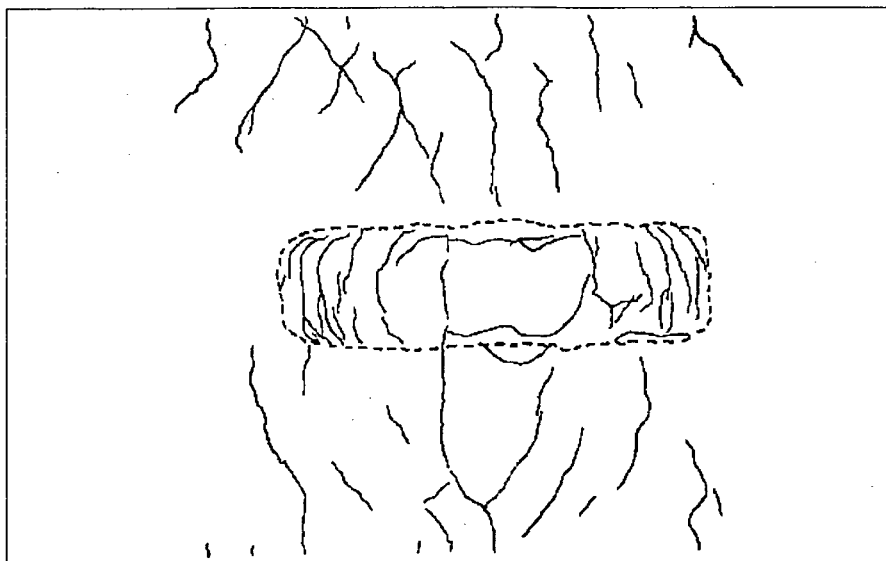


b) 供試体下面

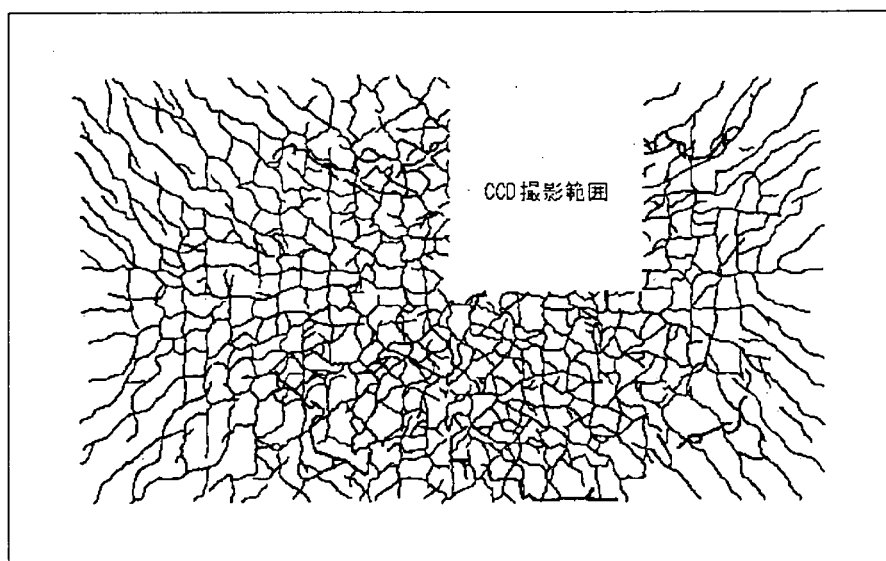


c) 供試体断面

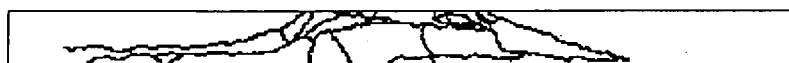
図-5.2.1 RC39-4 供試体の破壊状況



a) 供試体上面

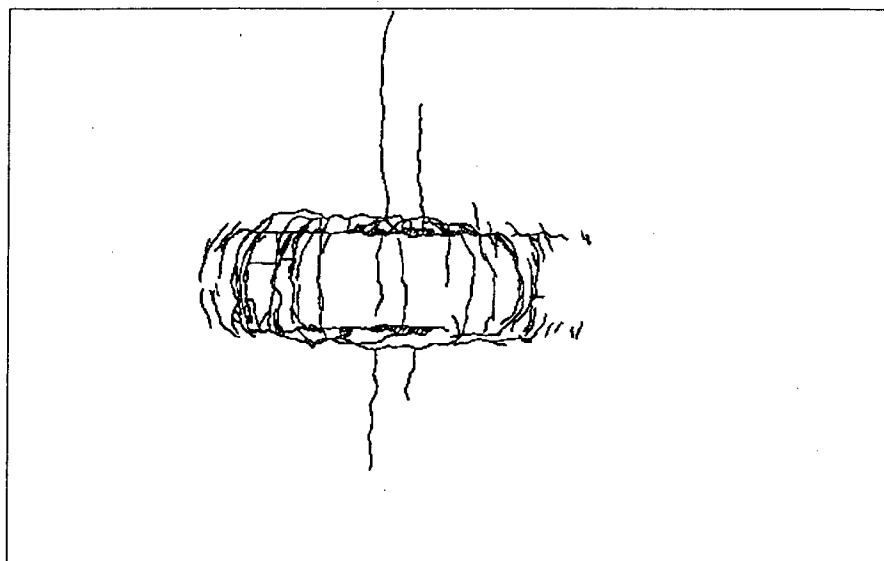


b) 供試体下面

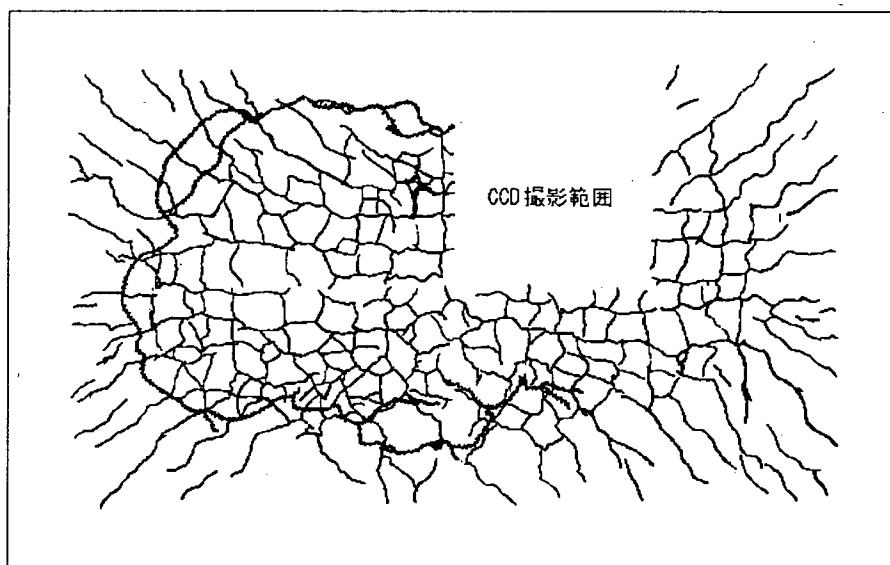


c) 供試体断面

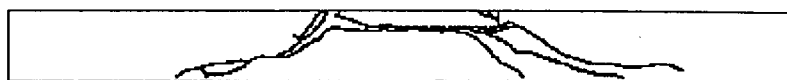
図-5.2.2 RC47-1 供試体の破壊状況



a) 供試体上面

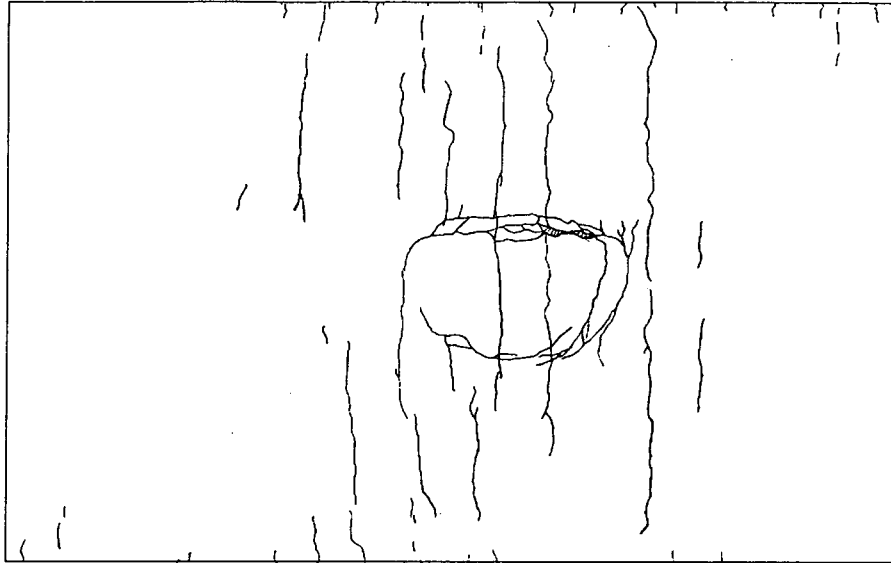


b) 供試体下面

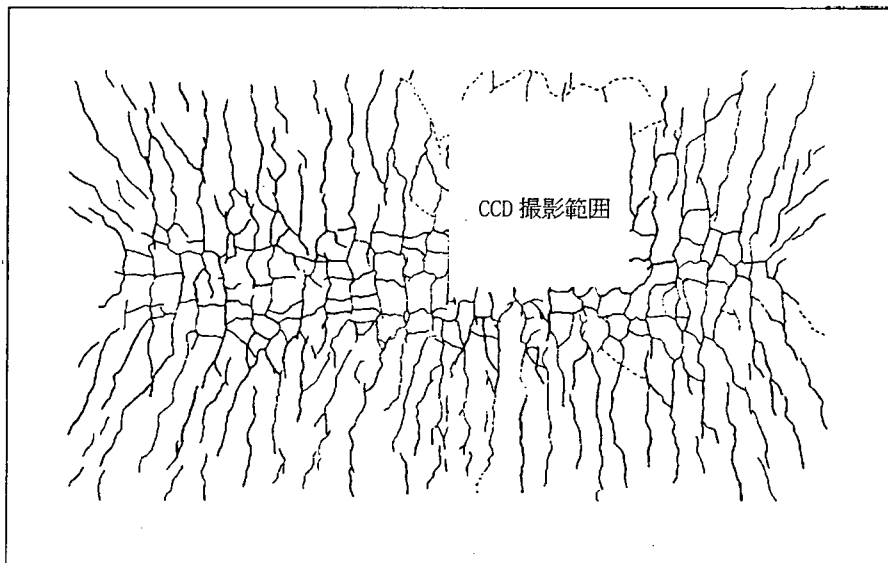


c) 供試体断面

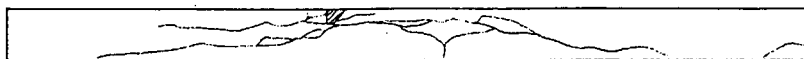
図-5.2.3 RC80-1 供試体の破壊状況



a) 供試体上面



b) 供試体下面



c) 供試体断面

図-5.2.4 PC8-1 供試体の破壊状況

5.3 走行回数と床版中央たわみ

図-5.3.1(a)(b)(c)に RC39-1～9 供試体、図-5.3.2(a)(b)(c)に RC47 供試体、図-5.3.3(a)(b)(c)に RC8 供試体、図-5.3.4(a)(b)(c)に PC8-1, 2 供試体の床版中央たわみ（除荷時、載荷時、活荷重）の関係を示す。なお、左図には走行回数と床版中央たわみの関係を、右図には破壊時走行回数の異なる各供試体を比較することを目的にそれぞれの走行回数／破壊時走行回数と床版中央たわみの関係を示す。

いずれの供試体の各たわみは、輪荷重走行試験初期に急激に増加し、その後漸増するが、破壊の直前に再度急増することがわかる。輪荷重走行試験直後における各たわみの急増は、5.2に示す各供試体におけるひび割れの進展の初期と一致していることが確認された。

一定荷重で試験を行った RC39-2～9 供試体、RC47-1 供試体および階段載荷で荷重の増加のなかった RC39-1 供試体の活荷重たわみは、輪荷重走行試験直後に急増するものの、その後ほぼ一定の値を示し破壊の直前に急増することが解った。しかし、階段載荷を行った供試体のそれは、輪荷重走行試験直後に急増するものの、載荷荷重の増加に伴う活荷重たわみの増加が確認された。なお、破壊直前の活荷重たわみは、載荷荷重が異なるものの RC39-1～9 供試体が約 4mm、RC47 供試体が約 5mm、RC8 供試体が約 3mm、PC8 供試体が約 5mm と床版の支持間隔 2500mm と比較して小さな値であった。

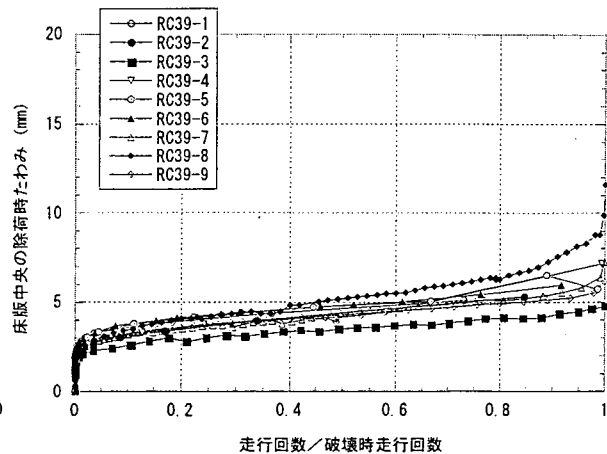
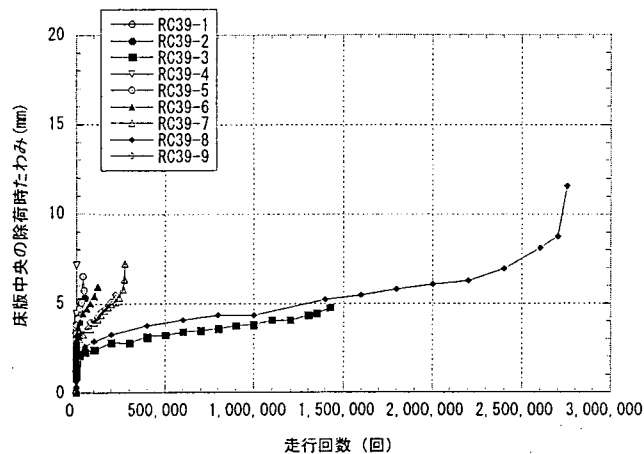


図-5.3.1(a) RC39 供試体の走行回数比と床版中央の除荷時たわみの関係

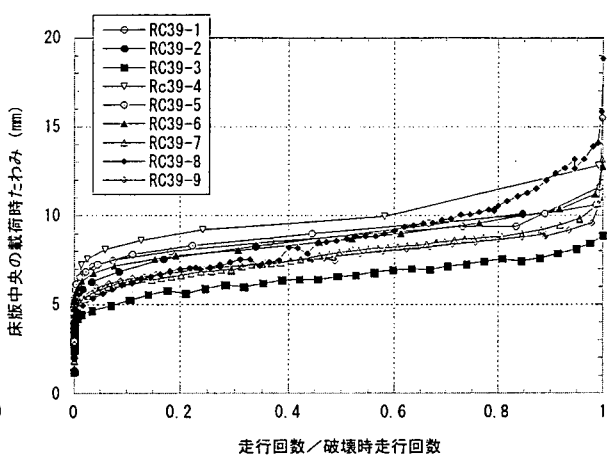
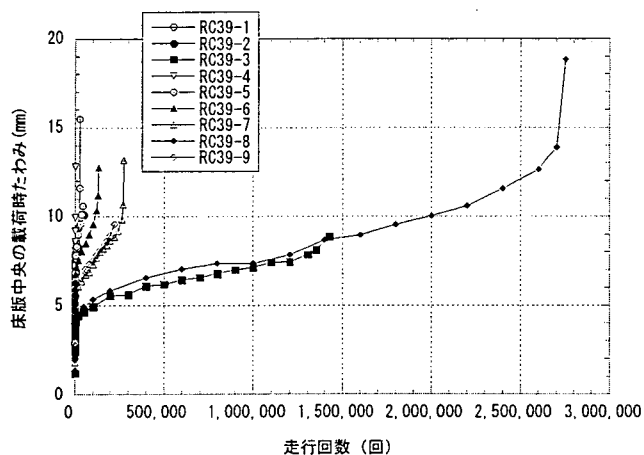


図-5.3.1(b) RC39 供試体の走行回数比と床版中央の載荷時たわみの関係

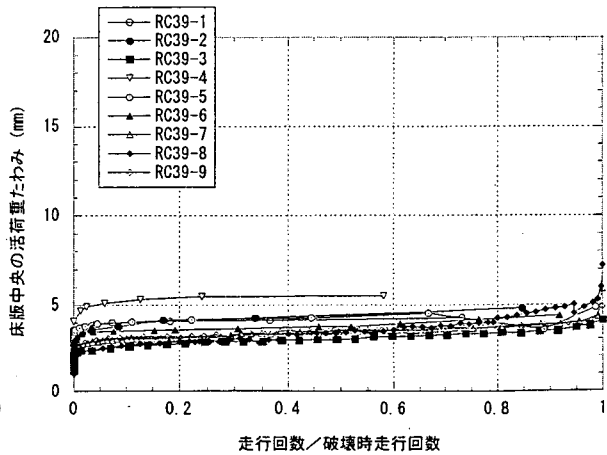
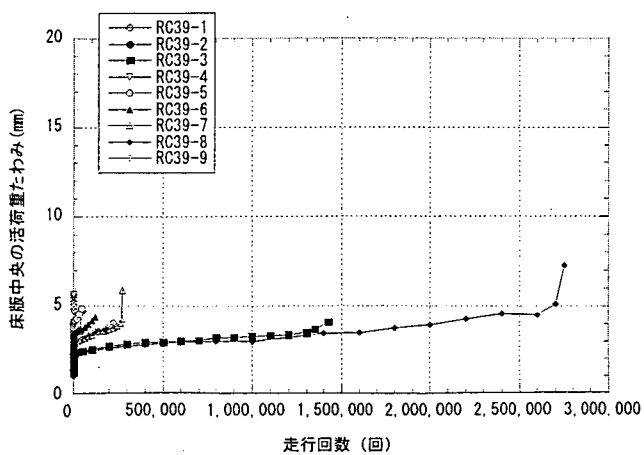


図-5.3.1(c) RC39 供試体の走行回数比と床版中央の活荷重たわみの関係

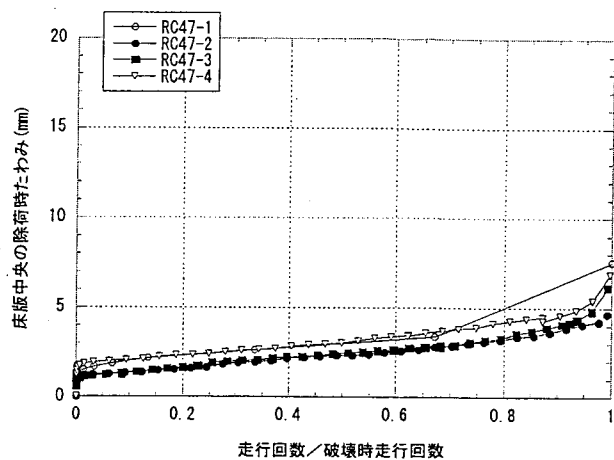
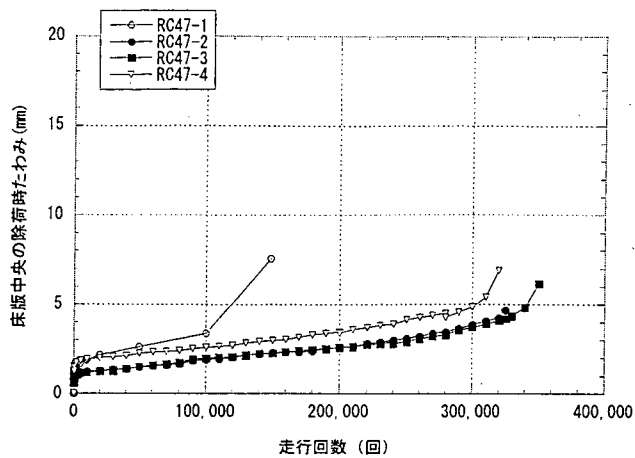


図-5.3.2 (a) RC47 供試体の走行回数比と床版中央の除荷時たわみの関係

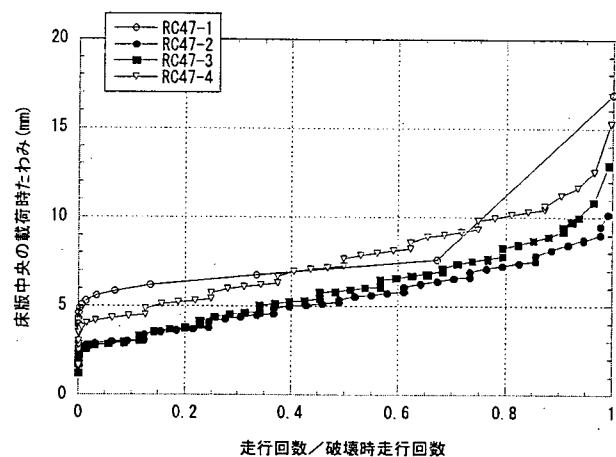
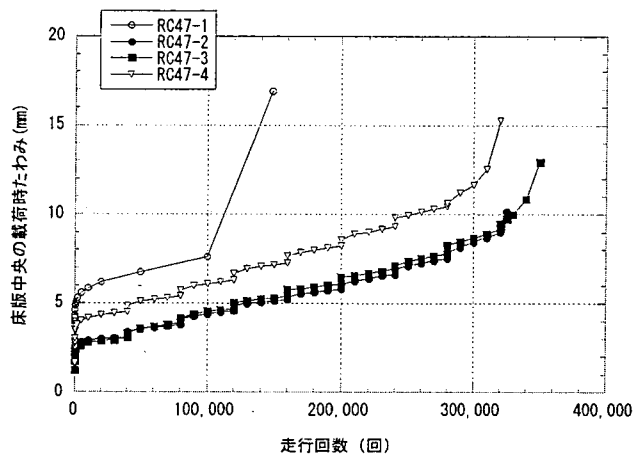


図-5.3.2 (b) RC47 供試体の走行回数比と床版中央の載荷時たわみの関係

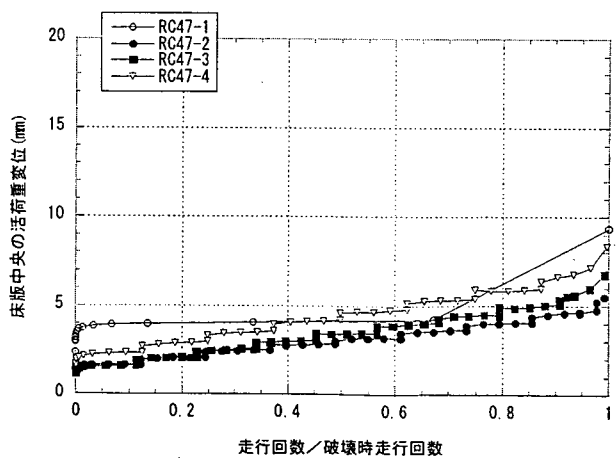
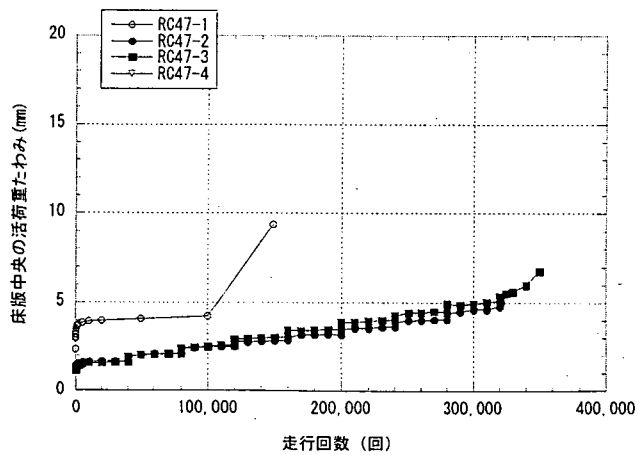


図-5.3.2 (c) RC47 供試体の走行回数比と床版中央の活荷重たわみの関係

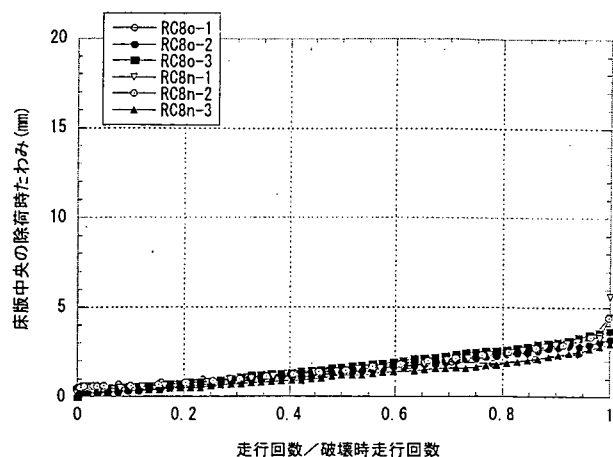
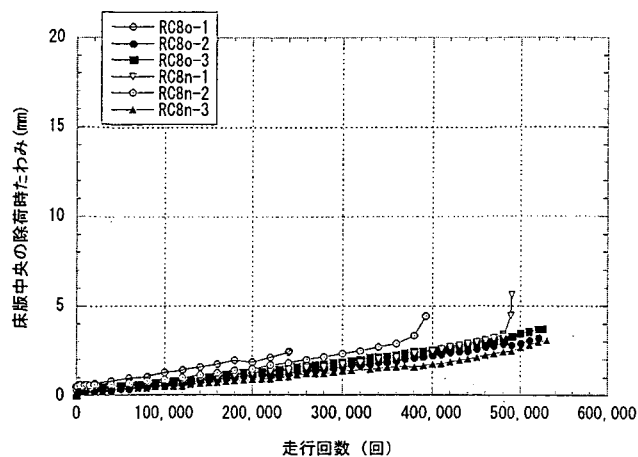


図-5.3.3(a) RC8 供試体の走行回数比と床版中央の除荷時たわみ関係

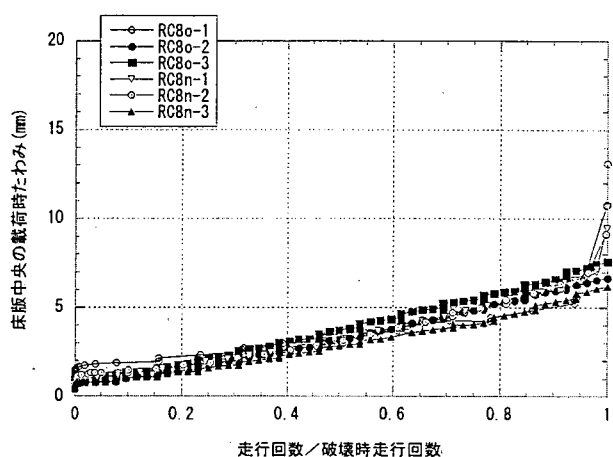
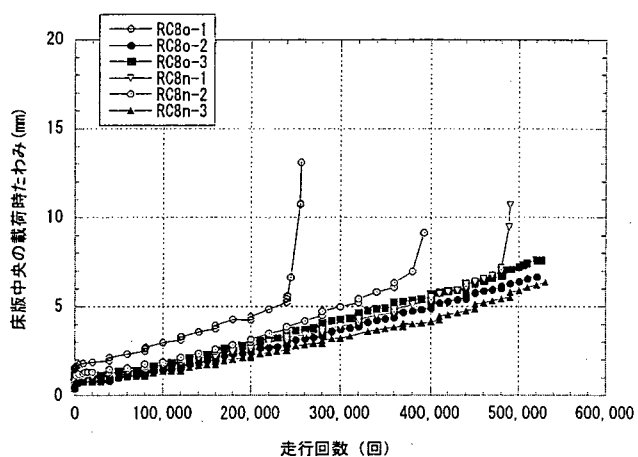


図-5.3.3(b) RC8 供試体の走行回数比と床版中央の載荷時たわみの関係

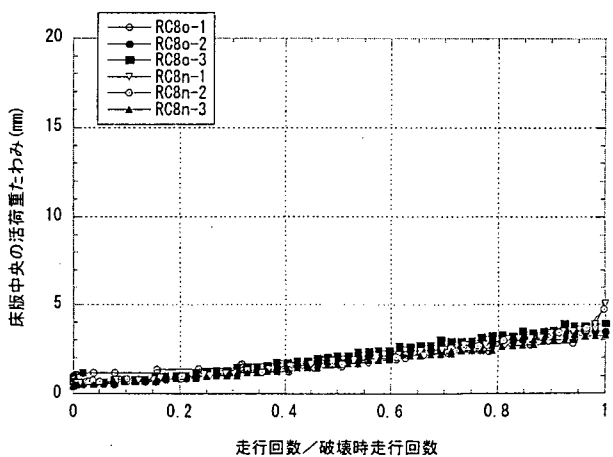
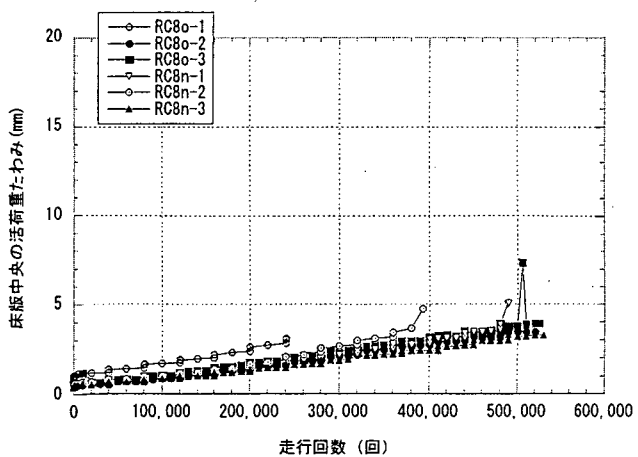


図-5.3.3(c) RC8 供試体の走行回数比と床版中央の活荷重たわみの関係

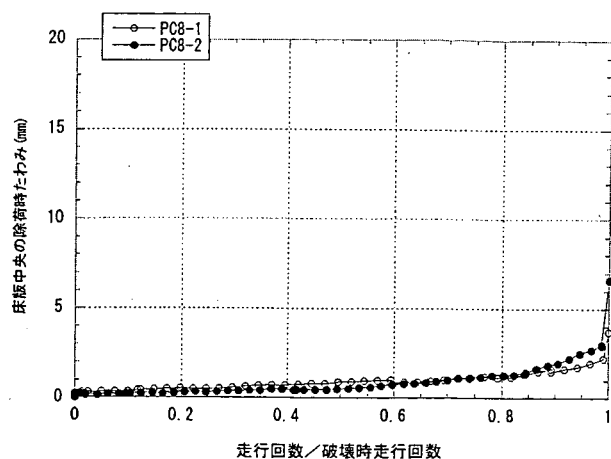
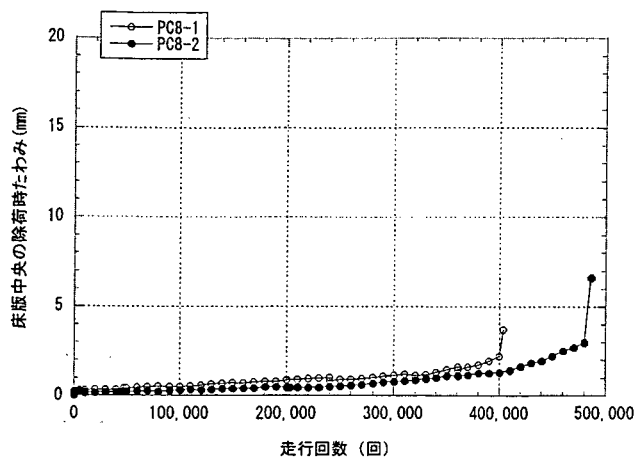


図-5.3.4(a) PC8 供試体の走行回数比と床版中央の除荷時たわみの関係

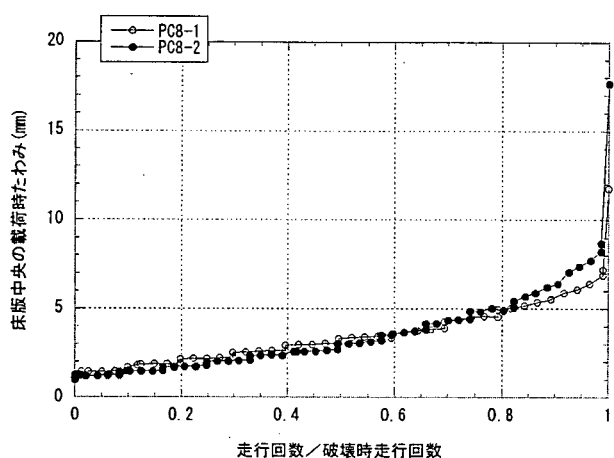
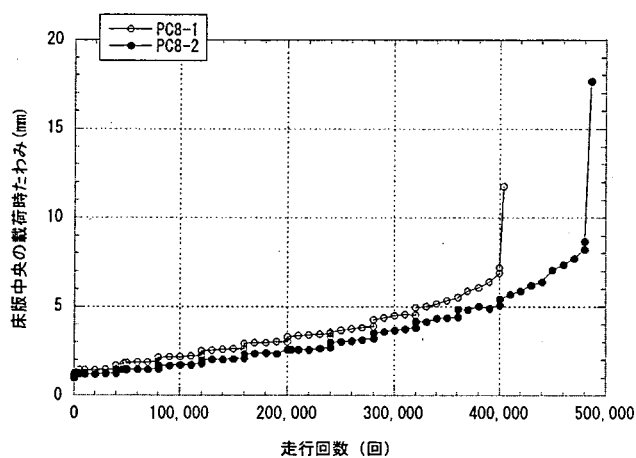


図-5.3.4(b) PC8 供試体の走行回数比と床版中央の載荷時たわみの関係

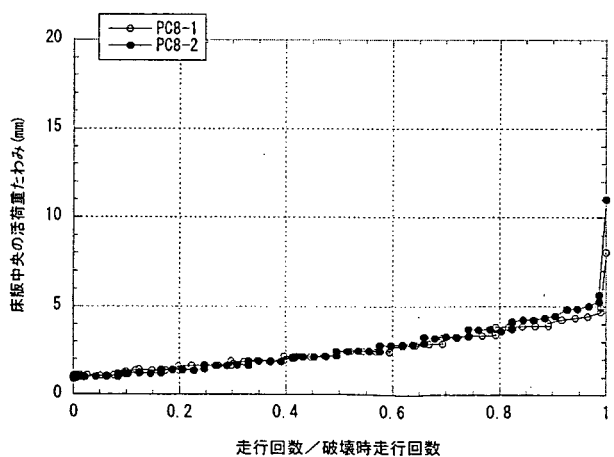
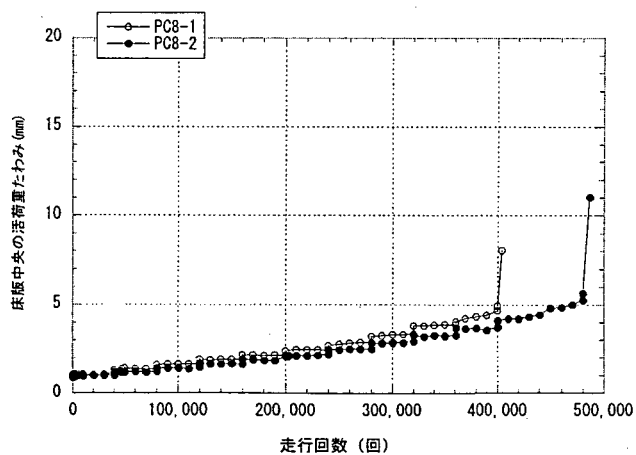


図-5.3.4(c) PC8 供試体の走行回数比と床版中央の活荷重たわみの関係

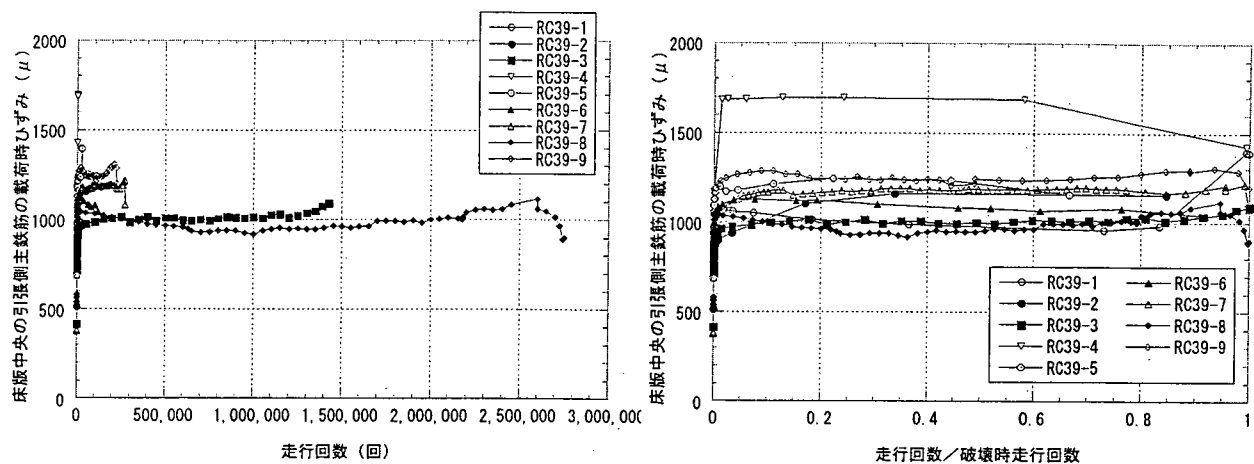
5.4 走行回数と床版中央鉄筋ひずみ

図-5.4.1 に RC39 供試体，図-5.4.2 に RC47 供試体，図-5.4.3 に RC8 供試体，図-5.4.4 に PC8 供試体の走行回数比（走行回数／破壊時走行回数）と床版中央における a) 引張主鉄筋および b) 引張配力鉄筋の載荷時ひずみの関係を示す。

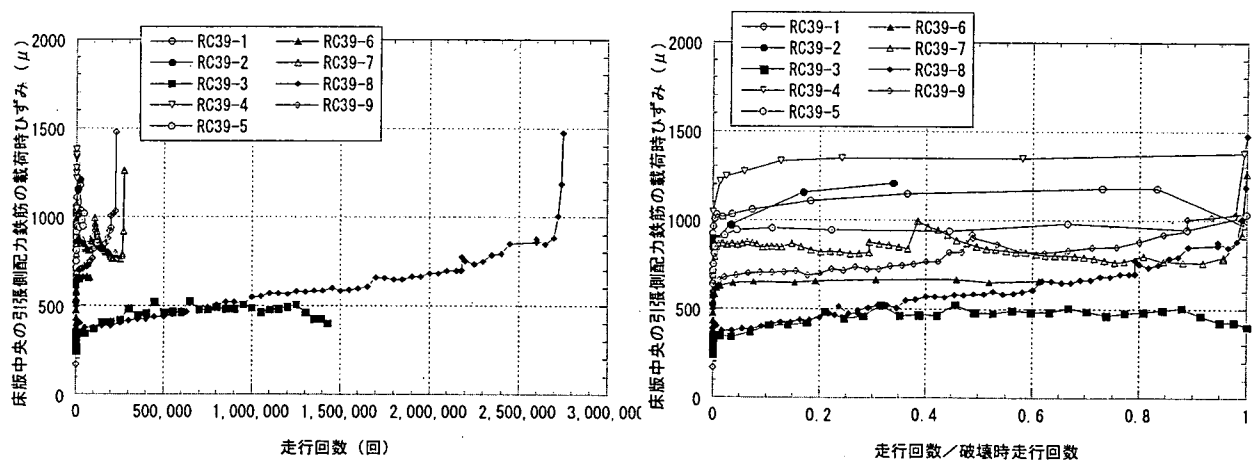
図よりいずれの供試体も載荷初期に各鉄筋ひずみが急増するがその後増加の割合が減少する。その割合は、一定載荷を実施した供試体では一定に近くなる傾向を示し、階段載荷を実施した供試体では載荷荷重の増加に伴って増加したが、破壊の直前においてもほとんど降伏ひずみに達していなかった。

一定荷重で試験を行った RC39-2～9 供試体および階段載荷で荷重の変化のなかった RC39-1 供試体の主鉄筋のひずみは、196kN で載荷を行った RC39-4 供試体が約 1700μ と大きく、他の床版は $1000\mu \sim 1300\mu$ 程度のひずみが発生した。同じく配力鉄筋については、載荷荷重の大きな RC39-4 供試体が一番大きく、載荷荷重が大きい方が発生するひずみも大きくなる傾向となったが、発生ひずみは約 $400\mu \sim 1400\mu$ と主鉄筋と比較して大きな範囲であった。階段載荷を行った供試体の 157kN 載荷時における主鉄筋のひずみは、RC39 供試体の約 1000μ ，RC47 供試体の約 $700\mu \sim 1000\mu$ ，RC8 供試体の約 $300 \sim 500\mu$ であった。同じく配力鉄筋のひずみは、RC39 供試体の約 900μ ，RC47 供試体の約 $300 \sim 500\mu$ ，RC8 供試体の約 $0 \sim 200\mu$ と主鉄筋のそれと同様な傾向を示した。以上の結果より適用基準が新しくなる毎に小さくなる傾向を示した。

なお PC8 供試体は、RC8 供試体と比較して、主鉄筋のひずみが小さいものの、配力鉄筋のひずみにはその傾向が見られなかった。

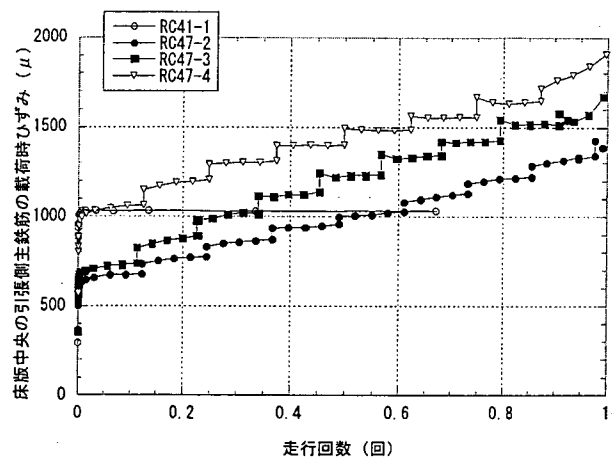
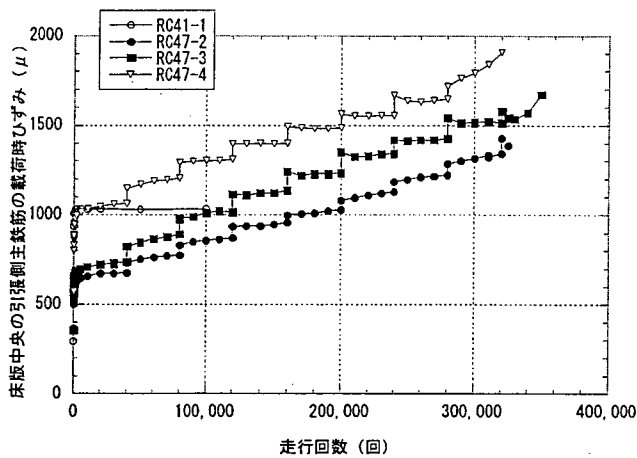


(a) 主鉄筋の載荷時ひずみ

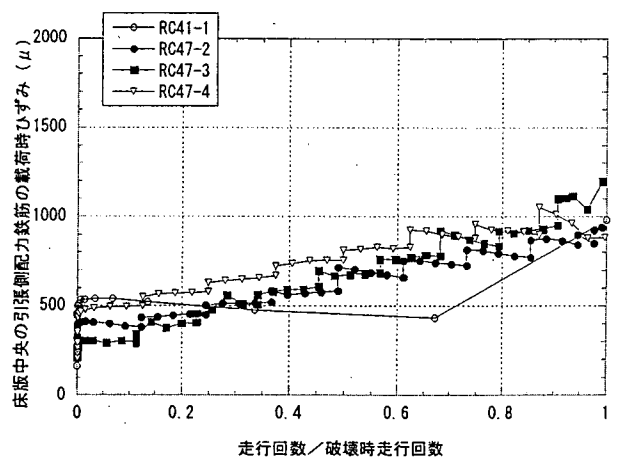
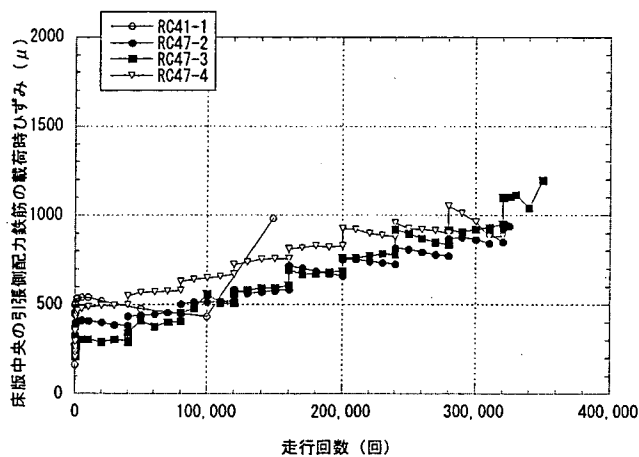


(b) 配力鉄筋の載荷時ひずみ

図-5.4.1 RC39 供試体の走行回数／破壊時走行回数と床版中央の引張側鉄筋の載荷時ひずみの関係

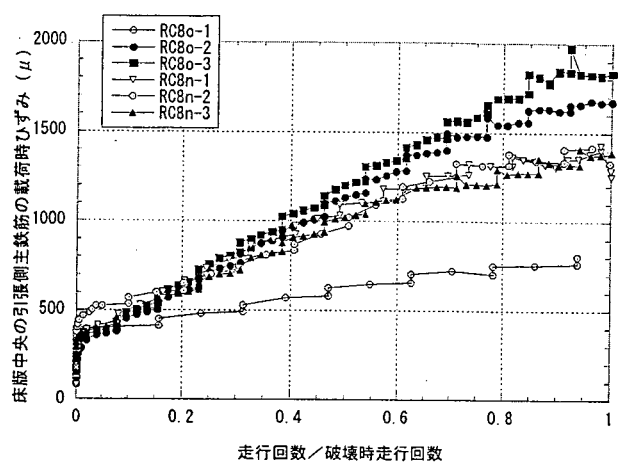
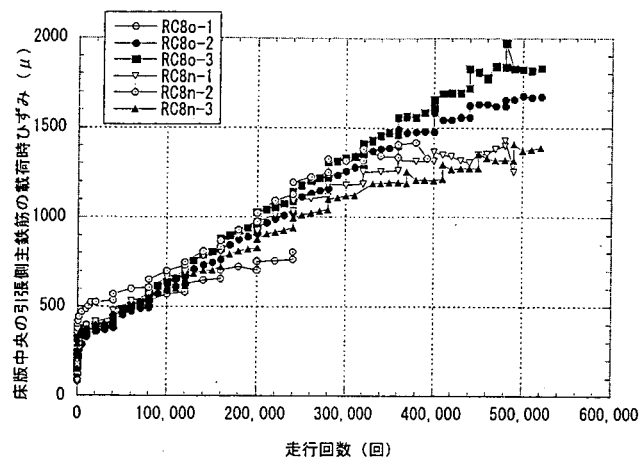


(a) 主鉄筋の載荷時ひずみ

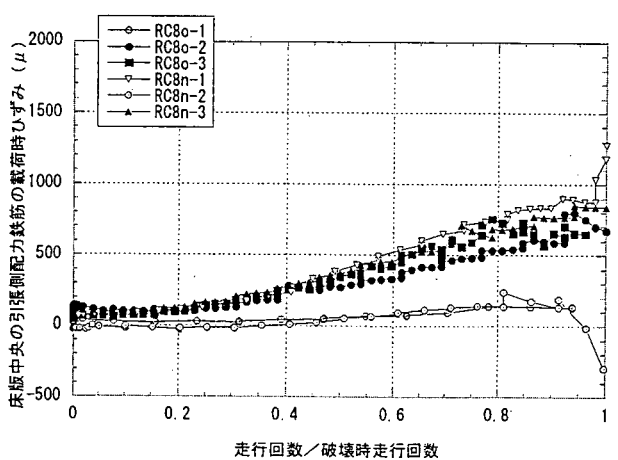
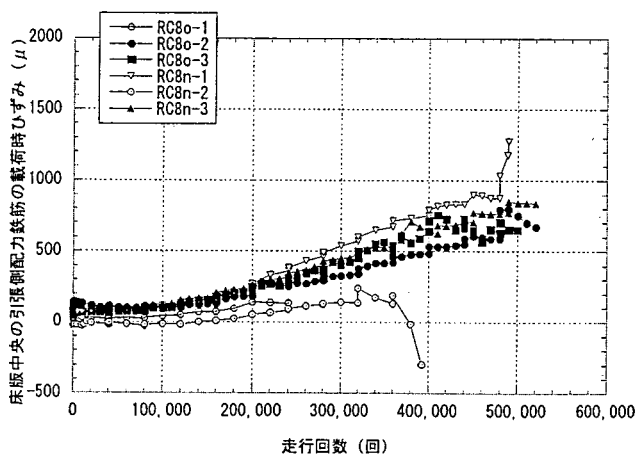


(b) 配力鉄筋の載荷時ひずみ

図-5.4.2 RC47 供試体の走行回数／破壊時走行回数と床版中央の引張側鉄筋の載荷時ひずみの関係



(a) 主鉄筋の載荷時ひずみ



(b) 配力鉄筋の載荷時ひずみ

図-5.4.3 RC8 供試体の走行回数／破壊時走行回数と床版中央の引張側鉄筋の載荷時ひずみの関係

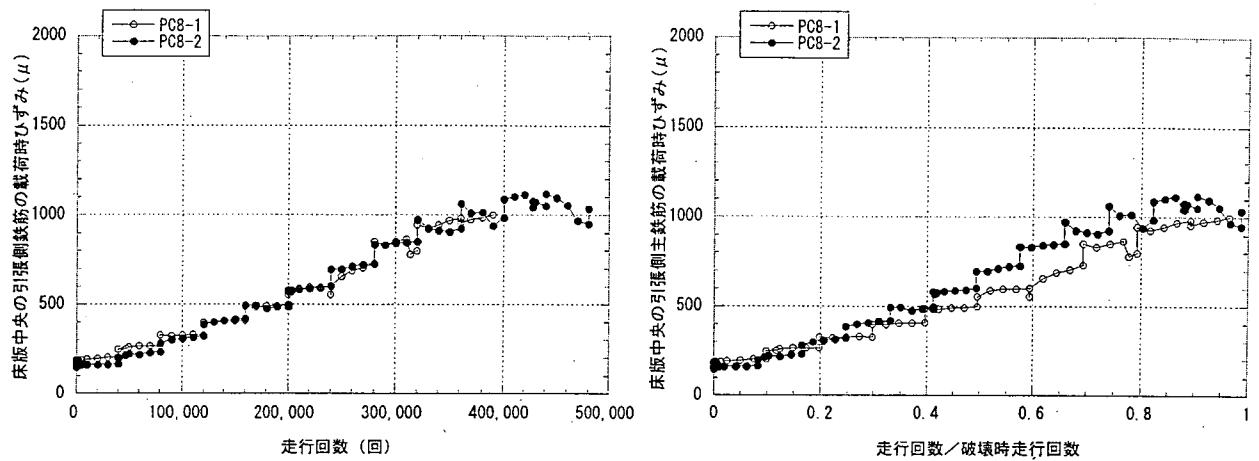


図-5.4.4(a) PC8 供試体の走行回数／破壊時走行回数と床版中央の引張側主鉄筋の載荷時ひずみの関係

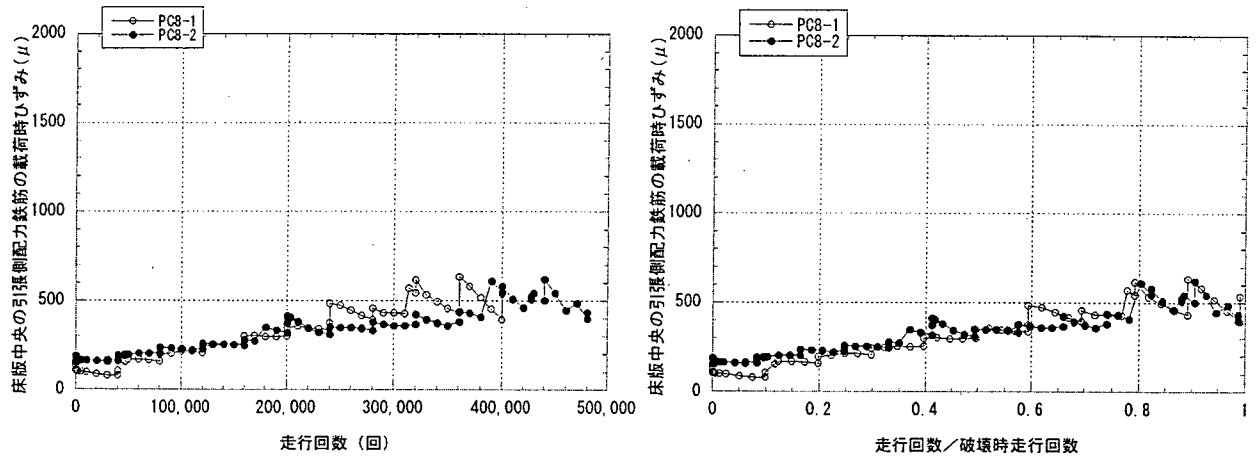


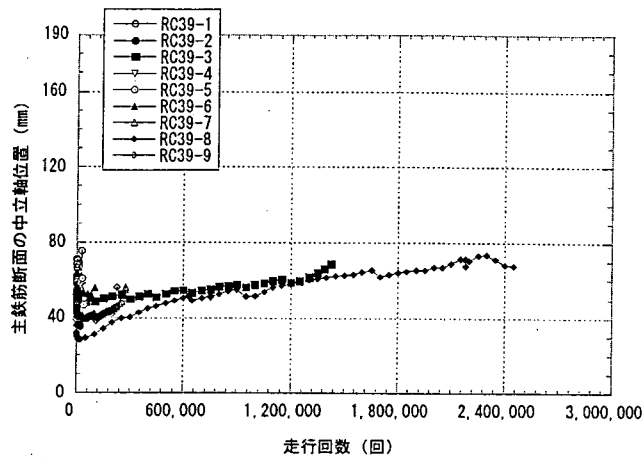
図-5.4.4(b) PC8 供試体の走行回数／破壊時走行回数と床版中央の引張側配力鉄筋の載荷時ひずみの関係

5.5 走行回数と中立軸位置の関係

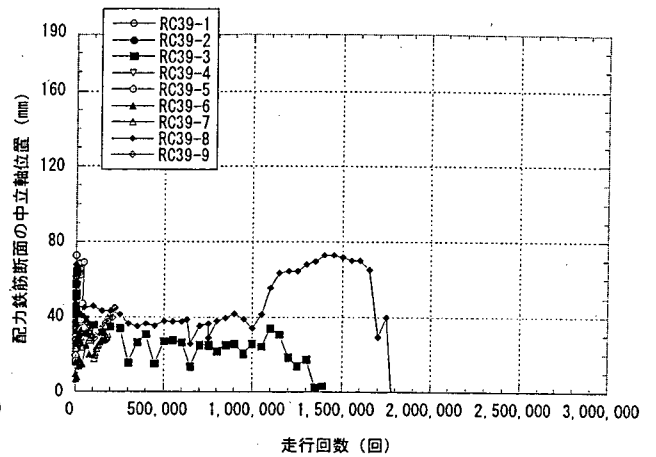
図-5.5.1に RC39 供試体，図-5.5.2に RC47 供試体，図-5.5.3に RC8 供試体，図-5.5.4に PC8 供試体の中立軸位置と走行回数の関係を示す。なお中立軸位置は，試験時に計測した供試体の中央部における上下鉄筋のひずみを，維ひずみが直線の関係になるものと仮定して求めたものである。

各供試体の主鉄筋断面における中立軸高さは，載荷初期に急激に減少するが，その後微少に変化するものの破壊の直前においてもその傾向に変化がないことが解る。さらに階段載荷を実施した供試体では載荷荷重の増加による変化は確認されなかった。載荷初期の中立軸高さの急激な減少は，この時期におけるひび割れの発生から進展に密接に関係していると考えられるが，その後のひび割れの高密度化に対して中立軸高さの変化が少ないことがわかる。

一方，配力鉄筋断面の中立軸高さは，載荷初期に主鉄筋断面と同様の傾向を示すもののその後大きく変化する結果となった。この変化は，一端減少した後，増加の傾向を示しさらに減少の傾向を示しているように見られるが，各供試体間で明確には一致していない。

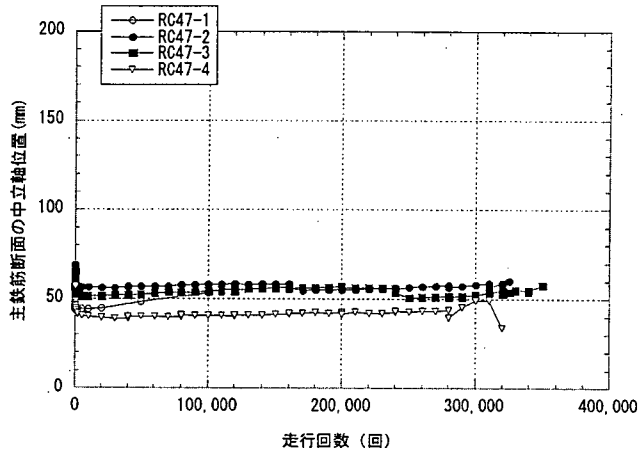


a) 主鉄筋断面

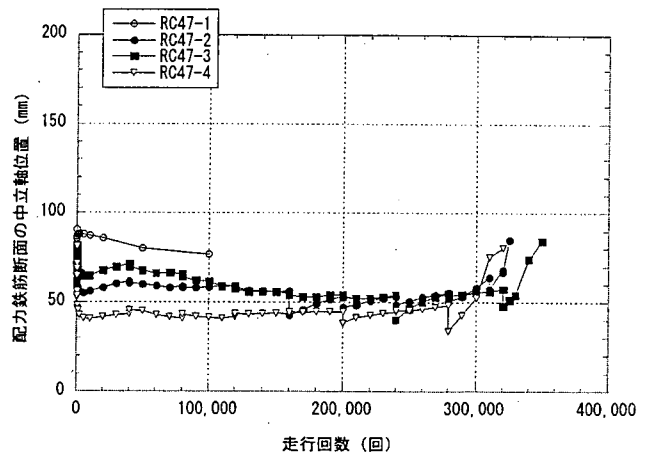


b) 配力鉄筋断面

図-5.5.1 RC39 供試体の走行回数と中立軸位置変化の関係

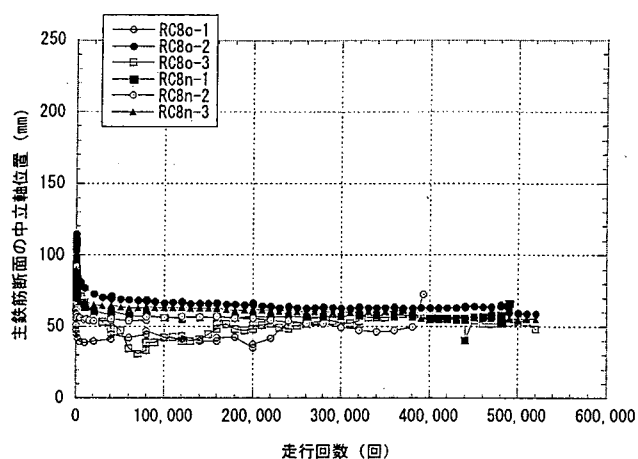


a) 主鉄筋断面

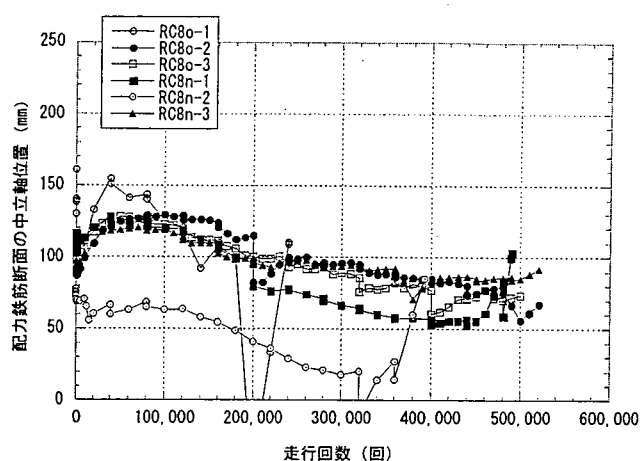


b) 配力鉄筋断面

図-5.5.2 RC47 供試体の走行回数と中立軸位置変化の関係

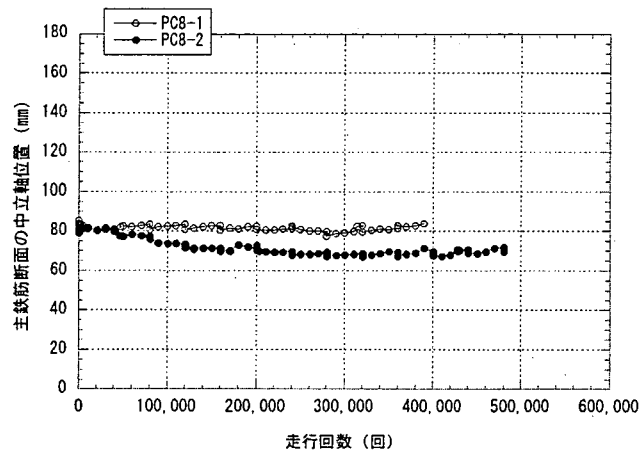


a) 主鉄筋断面

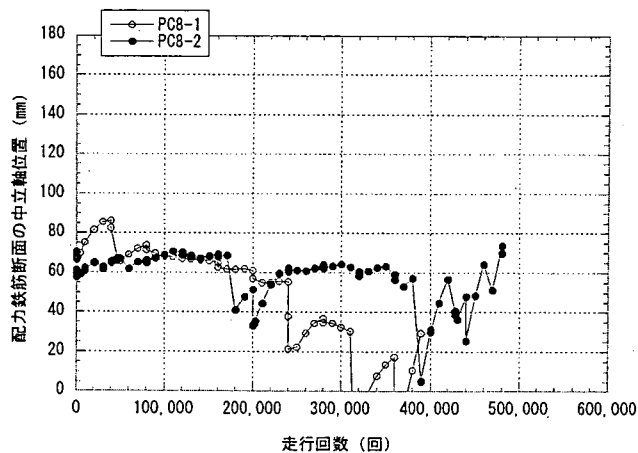


b) 配力鉄筋断面

図-5.5.3 RC8 供試体の走行回数と中立軸位置変化の関係



a) 主鉄筋断面



b) 配力鉄筋断面

図-5.5.4 PC8 供試体の走行回数と中立軸位置変化の関係

5.6 載荷荷重せん断強度比と破壊時走行回数の関係

図-5.6.1 に一定載荷を実施した RC39 供試体の載荷荷重せん断強度比と破壊時走行回数関係を示す。図は、縦軸 (S) に静的押し抜きせん断強度 P_0 (式-4.2.1) に対する載荷荷重 P の比を無次元量で示し、横軸 (N) の破壊時走行回数をともに対数で示す。

さらに、図-5.6.2 に荷重一定載荷結果および階段状荷重漸増載荷結果に示す各供試体の載荷荷重せん断強度比と破壊時走行回数の関係を示す。図は、縦軸 (S) に既往の文献を参考にした有効幅を持った押し抜きせん断強度⁹⁾ P_{sx} (式-5.6.1) に対する載荷荷重 P の比を無次元量で示し、横軸 (N) の破壊時走行回数をともに対数で示す。ここで、階段載荷を実施した RC47-2~4, RC8o-1~3, RC8n-1~3 供試体については既往の文献を参考にした S-N 関係⁹⁾ (式-5.6.2) の傾きを用いて 157kN の一定載荷荷重と等価な走行回数を算出して示している。

$$P_{sx} = 2B (\tau_{smax} X_m + \sigma_{tmax} C_m) \quad (式-5.6.1)$$

X_m, C_m はそれぞれ主鉄筋断面の中立軸深さ (cm) およびかぶり (cm)

$\tau_{smax}, \sigma_{tmax}$ はそれぞれコンクリートの最大せん断応力度 (kgf/cm²) および最大引張応力度 (kgf/cm²)

$$\tau_{smax} = 0.252 \sigma_{ck} - 0.000246 \sigma_{ck}^2$$

$$\sigma_{tmax} = 0.583 (\sigma_{ck})^{2/3}$$

σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm²)

$$\text{Log}(P/P_{sx}) = -0.07835 \text{Log}N + \text{Log}1.52 \quad (式-5.6.2)$$

P: 載荷荷重

N: 走行回数

P_{sx} は有効幅 B のはりの押し抜きせん断耐荷力

また、図-5.6.1 および図-5.6.2 には、それぞれのプロットに対して近似線を求めあわせて示した。ここで参考にした既往の研究⁹⁾ と直接比較できると考えられる図-5.6.2 に示す近似線は、それと異なる結果となった。これは、既往の研究と比較して大きな床版支間および載荷に用いたブロックの影響等の試験条件や試験機によるものが考えられる。また、ここでは輪荷重の走行によって生じる衝撃の影響も載荷荷重 P に考慮していない。

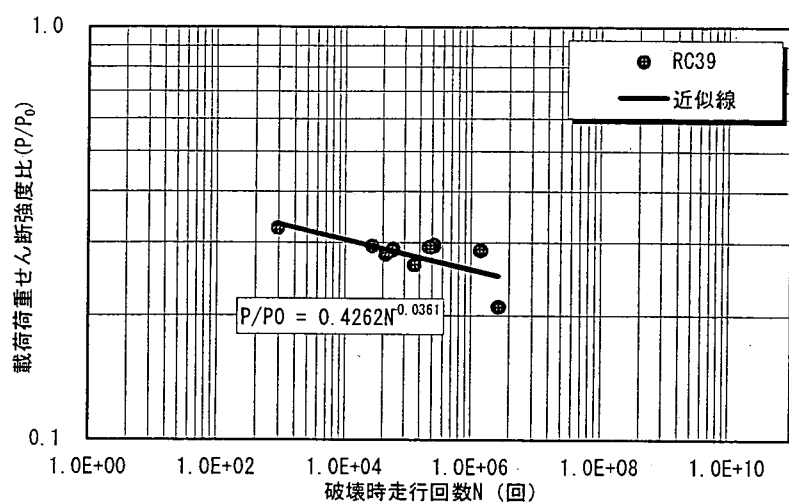


図-5.6.1 荷重一定載荷結果を行った RC39-1～9 供試体の
載荷荷重せん断強度比 (P/P_0) と破壊時走行回数 N の関係

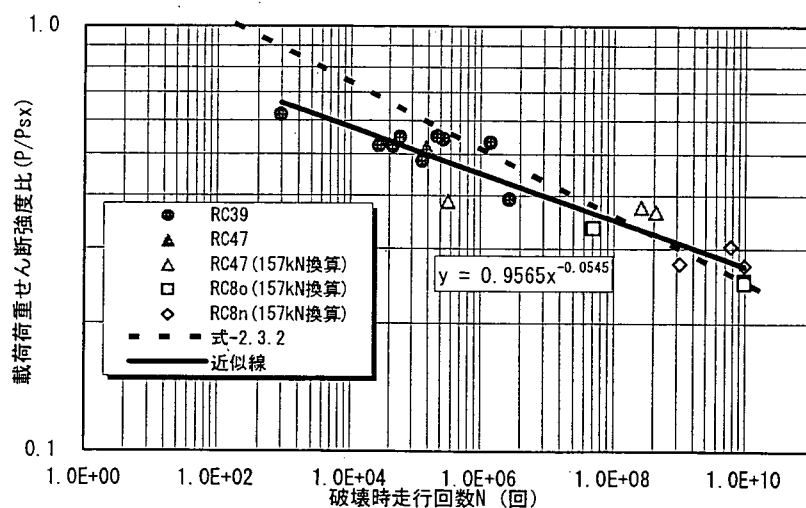


図-5.6.2 全供試体の載荷荷重せん断強度比 (P/P_{sx}) と破壊時走行回数 N の関係

5.7 道路橋床版の疲労耐久性の評価

各供試体の走行回数と破壊荷重の関係を図-5.7.1 に示す。図には図-5.1.1 に示す階段載荷における試験結果に加えて 5.6 で階段載荷を一定載荷に換算した逆の手法による一定載荷の試験結果もあわせて示す。さらに図-5.7.2 に各供試体の走行回数とコンクリート圧縮強度の関係を示す。図より同じく作成した供試体でもコンクリート圧縮強度が異なることおよび高い圧縮強度を示した供試体の走行回数が多い傾向に有ることがわかる。このことから、これら各供試体の破壊時走行回数を直接比較する事で疲労耐久性の評価を行うことが十分とは考えられない。そこで、各供試体の破壊時走行回数を直接比較が可能にするため、コンクリート強度のばらつきを補正することとした。このほか、各供試体の破壊時走行回数には床版の厚さや鉄筋の配置位置の誤差が考えられたため試験終了後の供試体を切断した後それらを計測したものもあったが、今回の検討ではそれらの影響を考慮していない。

補正は、既往の研究から⁹⁾ 本研究で対象となる各供試体が式-5.6.2 に示す S-N 曲線に従うものと仮定して行った。ここで 1、主鉄筋断面の中立軸深さ x_n に関して RC 供試体は 5.5 において中立軸が計算値と実測値で良く整合したので計算値を、PC8-1, 2 供試体では 5.5 で破壊の直前に示した実測値の 80mm および 70mm を用いた。

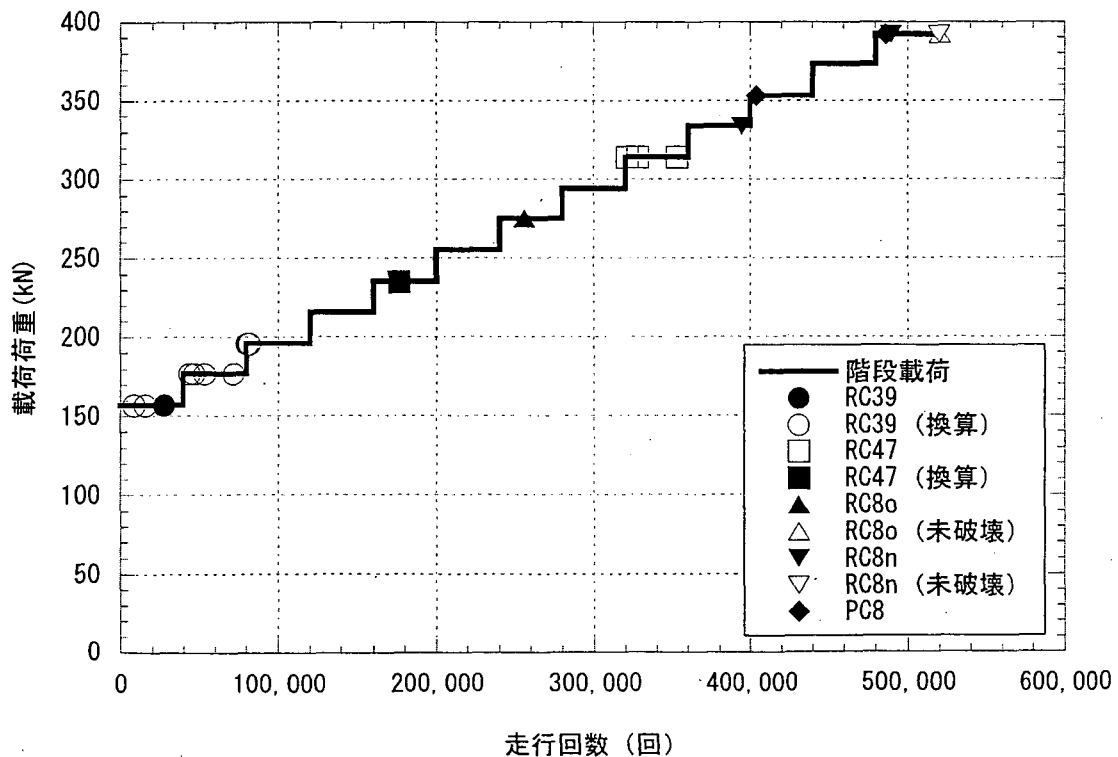


図-5.7.1 階段載荷における載荷荷重と破壊時走行回数の関係

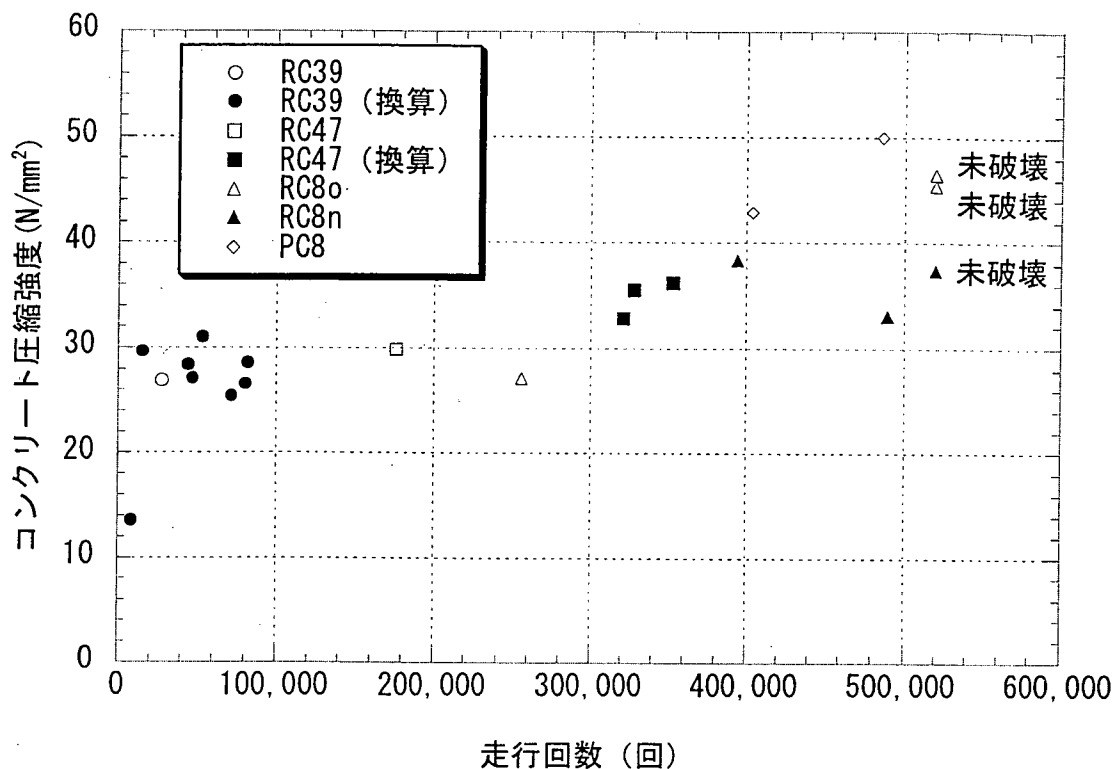


図-5.7.2 コンクリート圧縮強度と破壊時走行回数の関係

P_{sx} =有効幅Bのはりの押し抜きせん断耐力

$$=2B (\tau_{max} \cdot x_n \cdot \alpha_n + \sigma_{tmax} \cdot c_n) \quad \text{式-5.7.1}$$

B=はりの有効幅

$$b+2d_d$$

b=載荷ブロックの配筋筋方向の辺長(cm)

d_d =配筋鉄筋の有効高さ(cm)

τ_{max} =コンクリートの最大せん断応力度(kgf/cm²)

$$=0.252 \sigma_{ck} - 0.000246 \sigma_{ck}^2 \quad \text{式-5.7.2}$$

$$=2.214 \sigma_{ck}^{0.553} \quad \text{式-5.7.3}$$

σ_{tmax} =コンクリートの最大引張応力度(kgf/cm²)

$$=0.583 (\sigma_{ck})^{2/3} \quad \text{式 5.7.4}$$

σ_{ck} =コンクリートの圧縮強度(kgf/cm²)

x_n =主鉄筋断面の中立軸深さ(cm)

c_n =主鉄筋断面のかぶり(cm)

$$\alpha_n = 1 / \tan \theta$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2\tau_{cr}}{\sigma_{pe}} \right)$$

$$\tau_{cr} = 1.005 \sqrt{\sigma_{tmax}^2 + \sigma_{tmax} \cdot \sigma_{pe}}$$

補正手順は、階段載荷により得られた各供試体の走行回数を 5.6 で行った手法と同様の手順で、一定荷重 P で載荷したときの N に換算した。次にこの N と材料試験結果で求めた P_{sx} および補正するコンクリート強度で求めた P_{sx} の関係から式-5.6.2 の傾きを用いて、コンクリート強度が補正された N を求めた。さらに、先に行った手法により、この N を同様に階段載荷へ換算した。補正における RC39, RC47, RC8 供試体および PC8 供試体のコンクリート圧縮強度は、道示に規定されている最低設計基準強度の 24N/mm^2 および 30N/mm^2 とした。また、コンクリート圧縮強度を補正するにあたり、各供試体に使用されるコンクリートの材料試験結果から、コンクリートの引張強度は式-5.7.4 の比率をもって補正し、コンクリートの弾性係数は、道示の弾性係数を直線補間した値と実測値との比が設計基準強度での道示の弾性係数と補正值との比が同じになるように求めた。なお、コンクリートの最大せん断応力度 τ_{max} の計算は、既往の文献^{9), 10), 11)}を参考に RC8 で式-5.7.2 を PC8 で式-5.7.3 を用いている。

以上の結果より、図-5.7.3 に設計基準強度における階段載荷の補正結果を示す。図より各供試体の破壊時走行回数は、RC39 が約 1～9 万回、RC47 が約 12～24 万回、RC8 が約 22 万回～37 万回以上、PC8 供試体が約 27～34 万回の範囲に分布し、僅かではあるが、RC8n が RC8o より、やや多めの破壊時走行回数となった。さらに PC8 供試体と RC8 供試体を比較すると PC8 供試体は、RC8 供試体と比較して若干破壊時走行回数が多いが RC8 供試体の中には未破壊で試験を終了しているものもある。

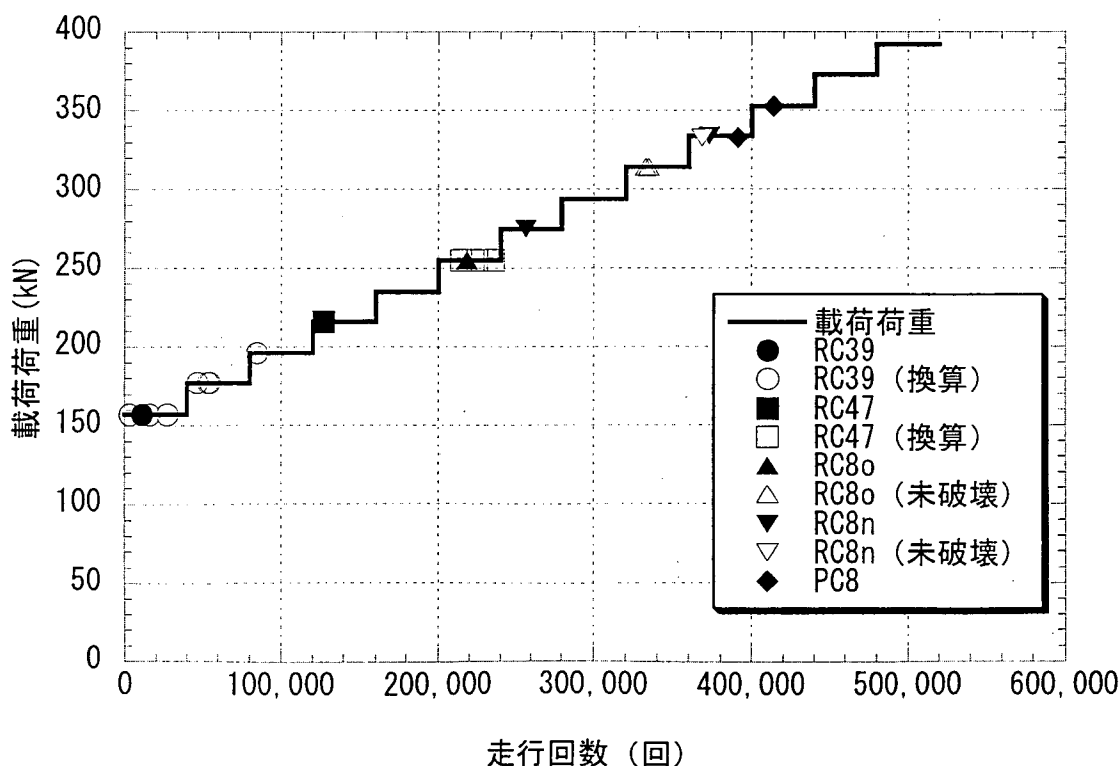


図-5.7.3 統一した階段載荷における載荷荷重と破壊時走行回数の関係

これらの検討により階段載荷での各供試体の破壊時走行回数を直接比較する事が可能となったと考えられるが、これらは設計荷重と比較して大きな荷重を載荷する試験を実施した場合であり、実橋の荷重状態を考慮した疲労耐久性を評価するにはさらに検討が必要な場合があると考えられる。これにはPC8供試体の様に

橋軸直角方向の床版上下面に引張り応力度が発生しないように設計される床版において、ひび割れが多数生じる状態での載荷試験を行った場合等があげられる。つまりPC8供試体は、橋軸直角方向において設計荷重用時には床版下面に引張り応力度が生じない様に設計されているので、設計の条件を考慮すると式-5.7.1に示すせん断に抵抗する断面が階段載荷を行った状態と比較して大きくなり、高い疲労耐久性が期待できる。このことから実橋におけるPC床版は、RC床版と比較して同等以上の疲労耐久性を有すると考えられる。

なお、これらの検討において疲労耐久性のある程度明らかになっている床版との相対的な比較による評価が可能となったと考えられるが、実際の耐用年数など疲労寿命を適切に求めることは困難であると考えられた。つまり、今回の検討の様に同様な条件で試験を行った場合は、各供試体間の相対的な比較による疲労耐久性の評価が可能だが、輪荷重の載荷位置、輪荷重の接地面積、衝撃の影響、水の影響など試験の条件だけでも実橋における状態と異なる床版の疲労寿命を適切に求めるのは困難であると考えられた。

5.8 まとめ

既設道路橋床版の疲労耐久性を把握することを目的に RC および PC 床版供試体の輪荷重走行試験を実施し考察した結果、以下の知見が得られた。

- (1) いずれの供試体の破壊形態は、供試体上面に設置した載荷ブロック端部から床版下面に広がる押抜きせん断による破壊であった。また PC 床版の押し抜きせん断による破壊の広がり、RC 床版のそれと比較して大きなものであった。
- (2) 一定載荷のみならず階段載荷を実施した RC 床版の破壊形態は実橋のそれと同様であり、輪荷重走行試験は、RC 床版の破壊メカニズムを再現できることが確認された。
- (3) 各供試体の中央におけるたわみは、載荷初期に急増し、その後漸増するが破壊の直前において再度急増することが確認された。
- (4) 各供試体に配置された鉄筋のひずみは、破壊直前においていずれもほとんど降伏ひずみに達していないことが確認された。
- (5) 各供試体の鉄筋ひずみから求めた中立軸高さは、主鉄筋断面において載荷初期に急激に減少するがその後微少に変化するものの破壊の直前においてもその傾向が変化しないことが確認された。
- (6) 階段載荷において今回行った検討により疲労耐久性のある程度明らかとなっている床版との相対的な比較による評価が可能となったと考えられるが、疲労寿命を適切に求めることは困難であると考えられた。
- (7) 適用示方書が新しくなる毎に RC 床版の疲労耐久性が大幅に向上していることが確認された。
- (8) 平成 8 年道示に準拠して床版厚さ 180mm で製作された PC 床版は、同じく平成 8 年道示に準拠して 250mm で製作された RC 床版と比較して同等以上の疲労耐久性を有することが考察された。

6 章 補強床版の試験結果

本章は、昭和 39 年道示に準じて製作した RC39 供試体に 4.2.3 に示す損傷を与えた後、鋼板接着および上面増厚工法を実施し、その補強効果を検討したものである。

6.1 初期損傷の状況

各供試体の初期損傷度Ⅱに至ったときの走行回数、供試体中央のたわみおよび鉄筋のひずみを表-6.1.1 に示す。

表-6.1.1 損傷度Ⅱ到達時の走行回数、床版中央部のたわみおよび鉄筋ひずみ

供試体名	走行回数 (回)	載荷時たわみ (mm)	除荷時たわみ (mm)	活荷重たわみ (mm)	主鉄筋の ひずみ (μ)	配力鉄筋の ひずみ (μ)
RC39+鋼板-1	6,523	8.01	3.72	4.29	1484	841
RC39+鋼板-2	72,025	8.02	3.81	4.21	1233	808
RC39+上面-1	257,010	8.05	4.18	3.87	1049	979
RC39+上面-2	181,505	8.00	3.98	4.02	1070	783

図-6.1.1(a)(b)(c)に各供試体の走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と床版中央変位の関係を示す。図より、載荷時たわみ 8mm とした損傷度Ⅱに至る走行回数にばらつきはある。しかし、横軸を走行回数比とした場合、載荷時たわみはすべての供試体とも同様な曲線を描いた。活荷重たわみおよび除荷時たわみは、損傷度Ⅱ到達時には、それぞれ 10%以内で若干ばらついた。

同様に、図-6.1.2(a)(b)(c)に各供試体の走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と床版中央の引張主鉄筋ひずみの関係を、図-6.1.3(a)(b)(c)に各供試体の走行回数比（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と床版中央の引張配力鉄筋ひずみの関係を示す。損傷度Ⅱ到達時の主鉄筋の載荷時ひずみは 1050～1500 μ 、配力鉄筋の載荷時ひずみは 780～1000 μ 程度となった。

図-6.1.4 に損傷度Ⅱの床版下面におけるひび割れ状況の一例(RC39+鋼板-1 供試体)を示す。損傷度Ⅱの時のひび割れ状況は、床版下面では亀甲状（15～20cm）の曲げひび割れが発生したが同様な供試体の破壊状況（図-5.2.1）と比較してひび割れの密度が低いことがわかる。

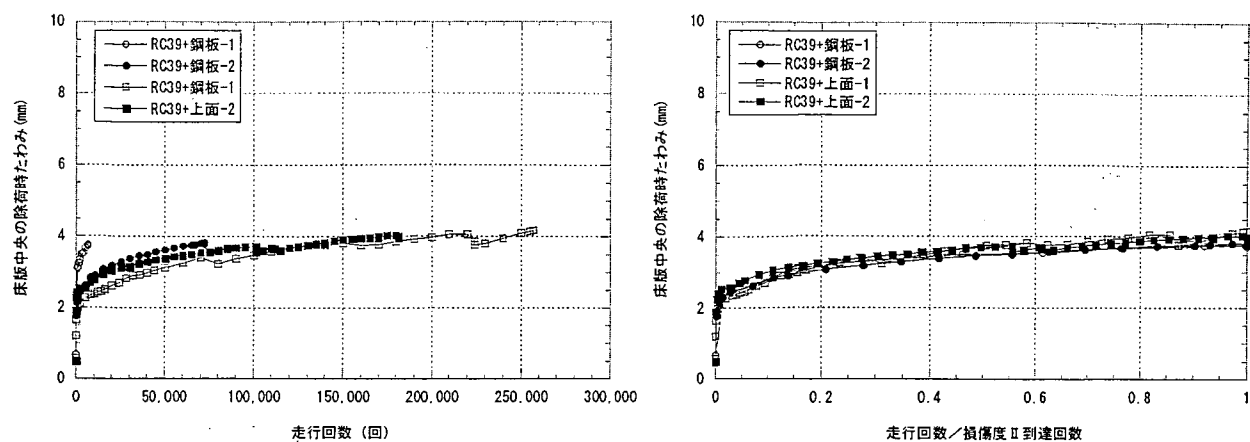


図-6.1.1(a) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と床版中央の除荷時たわみの関係

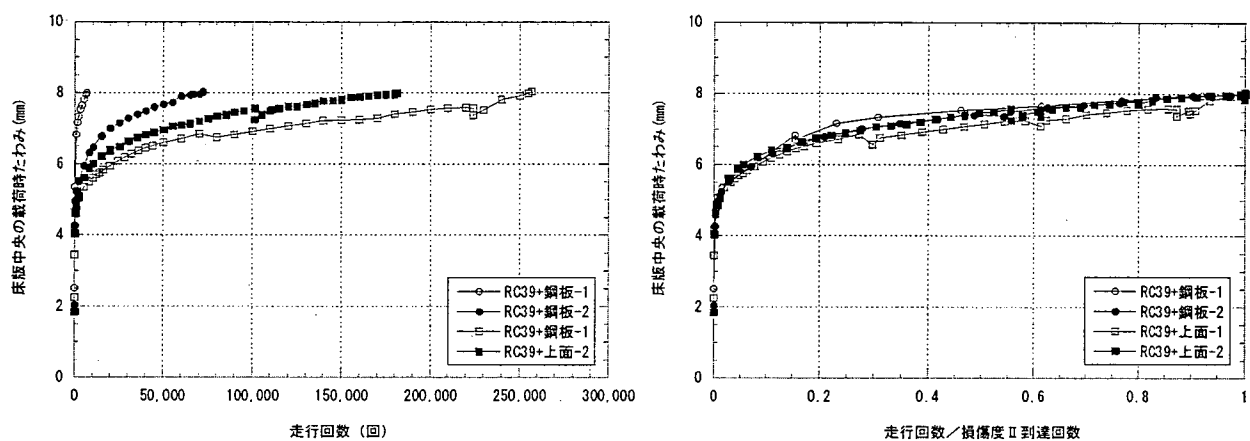


図-6.1.1(b) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と床版中央の載荷時たわみの関係

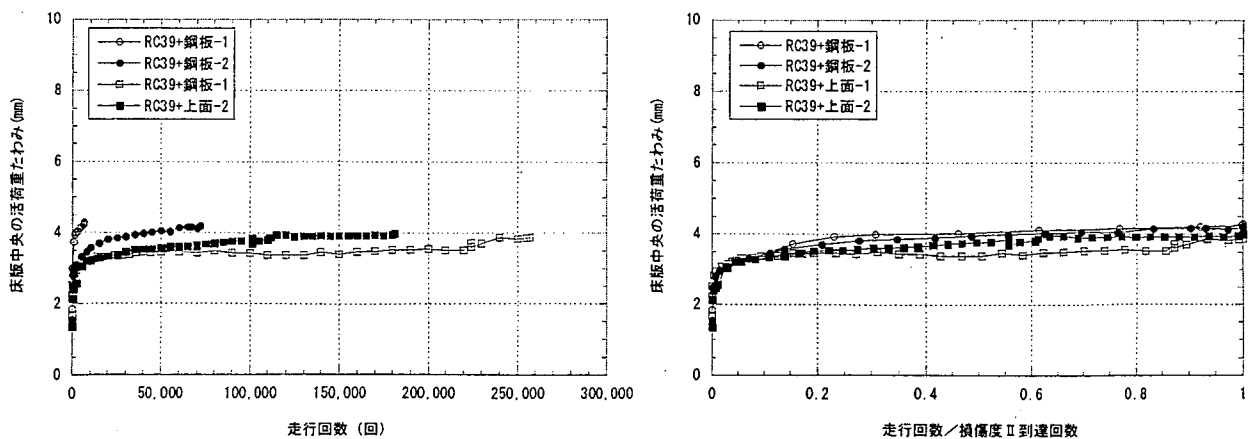


図-6.1.1(c) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と床版中央の活荷重たわみの関係

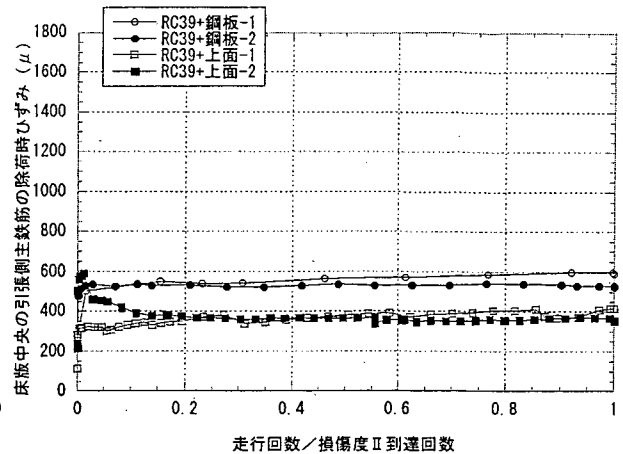
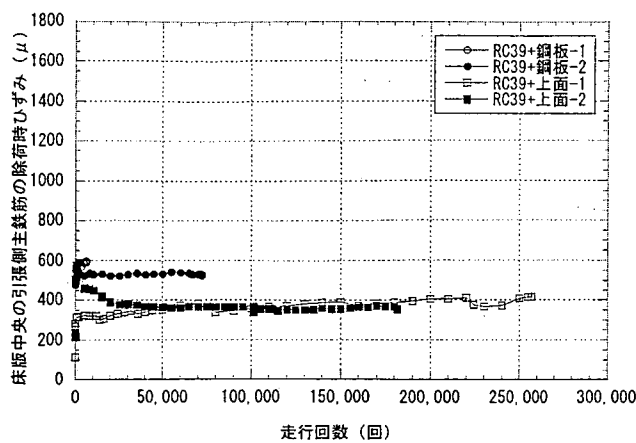


図-6.1.2(a) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と
床版中央の引張側主鉄筋の除荷時ひずみの関係

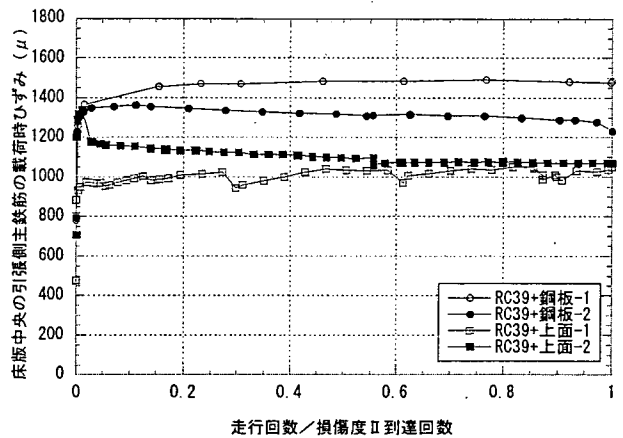
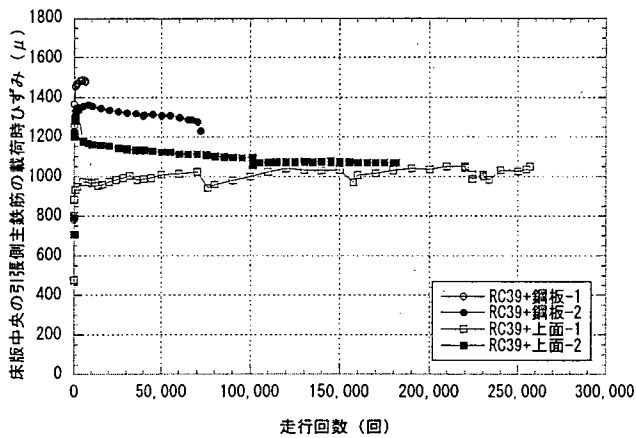


図-6.1.2(b) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と
床版中央の引張側主鉄筋の載荷時ひずみの関係

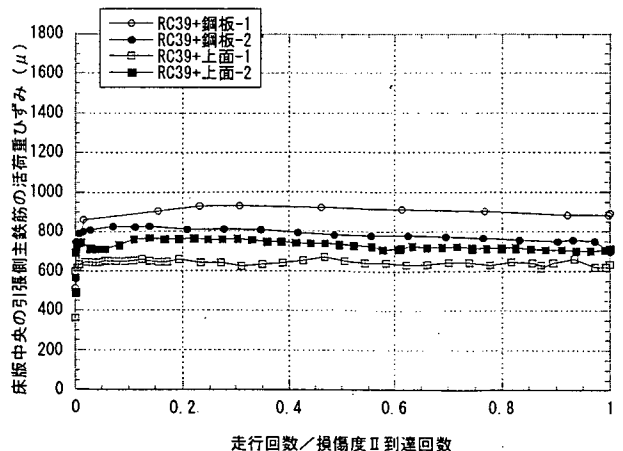
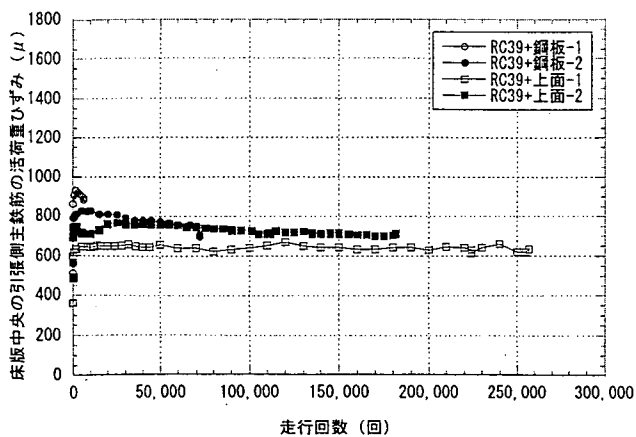


図-6.1.2(c) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と
床版中央の引張側主鉄筋の活荷重ひずみの関係

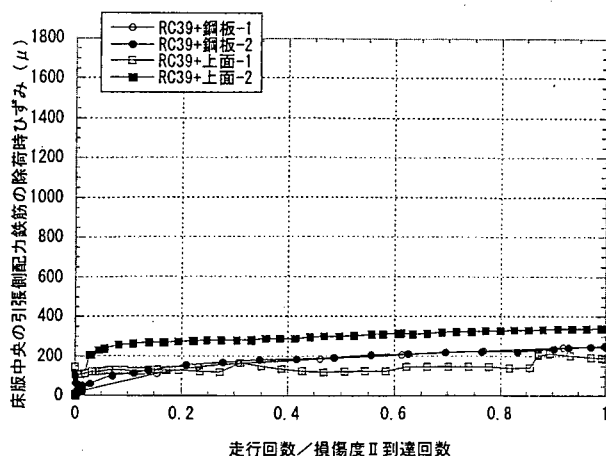
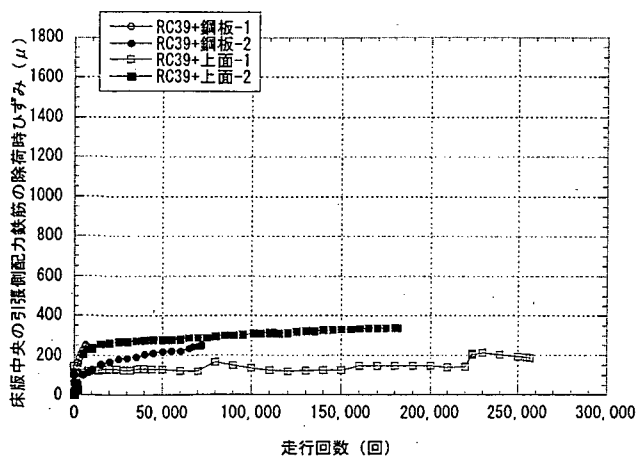


図-6.1.3(a) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と
床版中央の引張側配力鉄筋の除荷時ひずみの関係

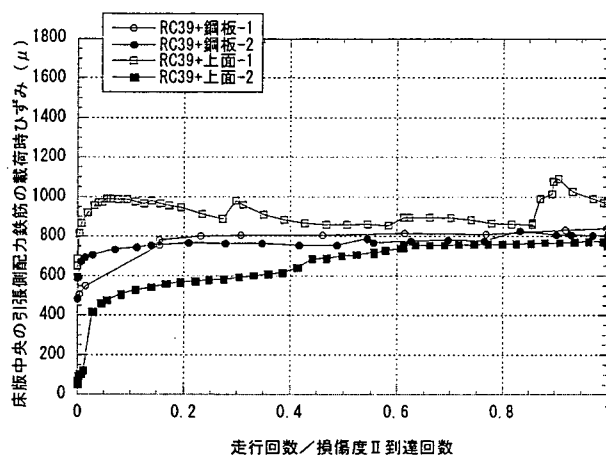
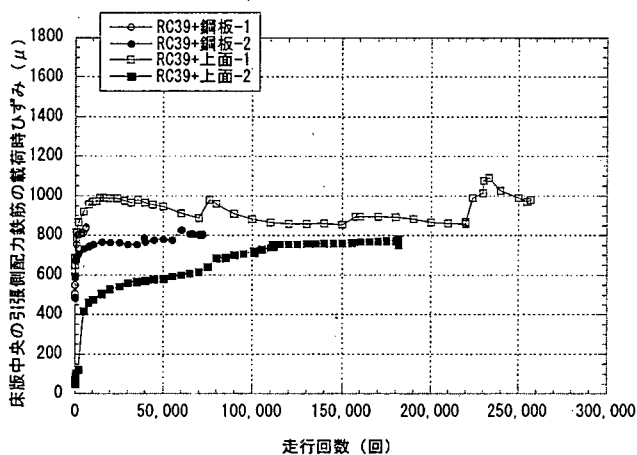


図-6.1.3(b) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と
床版中央の引張側配力鉄筋の載荷時ひずみの関係

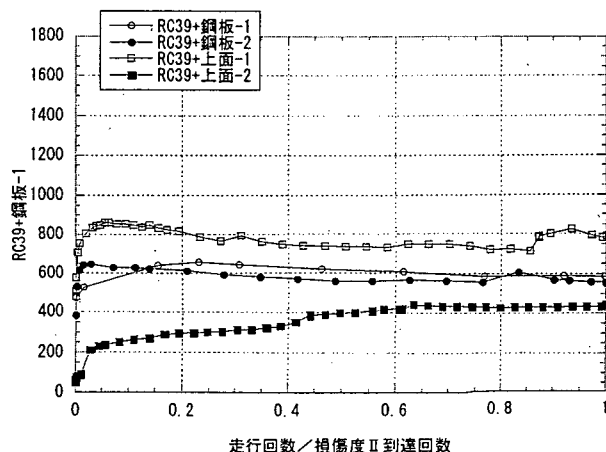
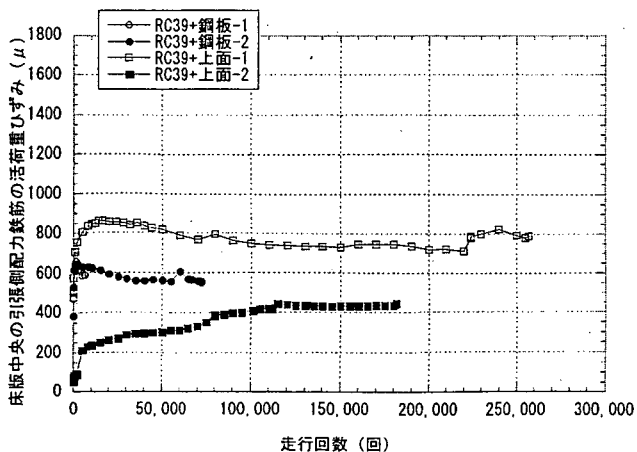


図-6.1.3(c) 損傷度Ⅱまでの走行回数（走行回数／損傷度Ⅱ到達回数）と
床版中央の引張側配力鉄筋の活荷重ひずみの関係

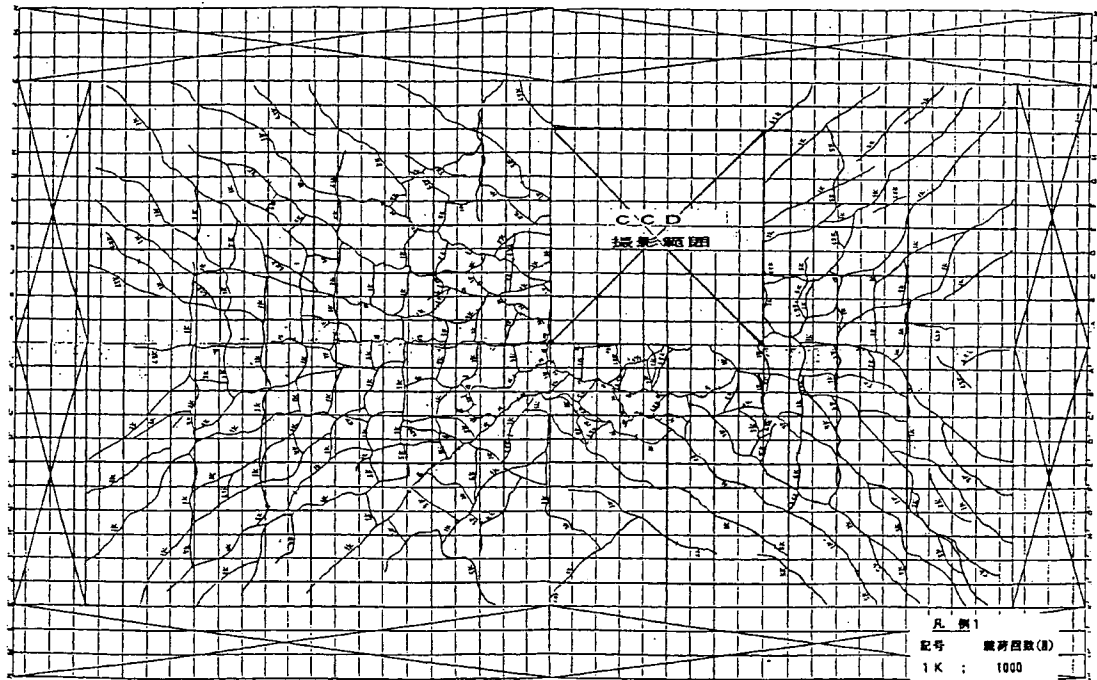


図-6.1.4 損傷度Ⅱの床版下面におけるひび割れ状況の一例(RC39+鋼板-1 供試体)

6.2 補強前後の床版中央たわみおよび鉄筋ひずみ

表－6.2.1に各補強を実施した床版の補強前後における157kN 載荷時の供試体中央位置の活荷重たわみを、表－6.2.2に補強前後における157kN 載荷時の供試体中央位置における主鉄筋のひずみおよび配力鉄筋のひずみを示す。

補強後の活荷重たわみは、RC39+鋼板-1, 2 が補強前のたわみの27%, 25%、RC39+上面-1, 2 はその45%, 41%に減少した。主鉄筋のひずみはRC39+鋼板1, 2 が補強前のたわみの47%, 52%、RC39+上面1, 2 はその77%, 70%に減少した。また、配力鉄筋のひずみは、RC39+鋼板-1, 2 が補強前のたわみの40%, 38%、RC39+上面-1, 2 はその52%, 78%に減少した。

鋼板接着工法と上面増厚工法のたわみおよび鉄筋ひずみの低減量は、鋼板接着を行った床版の方が大きくなった。

表－6.2.1 157kN 載荷時の補強前後における供試体中央位置の活荷重たわみ

供試体名	補強前 (mm)	補強後 (mm)	補強後/補強前 (%)
RC39+鋼板-1	4.29	1.14	27
RC39+鋼板-2	4.21	1.05	25
RC39+上面-1	3.87	1.75	45
RC39+上面-2	4.02	1.63	41

表－6.2.2 157kN 載荷時の補強前後における供試体中央位置の鉄筋ひずみ

供試体名	主鉄筋のひずみ			配力鉄筋のひずみ		
	補強前 (μ)	補強後 (μ)	補強後/補強前 (%)	補強前 (μ)	補強後 (μ)	補強後/補強前 (%)
RC39+鋼板-1	1484	697	47	841	336	40
RC39+鋼板-2	1233	637	52	808	303	38
RC39+上面-1	1049	805	77	979	512	52
RC39+上面-2	1070	748	70	783	607	78

6.3 補強床版の破壊時走行回数と載荷荷重

各供試体の補強後の階段載荷による輪荷重走行試験の結果を表－6.3.1 および図－6.3.1 に示す。なお、表および図には5章に示す RC39-1～9 供試体、RC47-1～4 供試体、RC8 供試体の試験結果も合わせて示す。

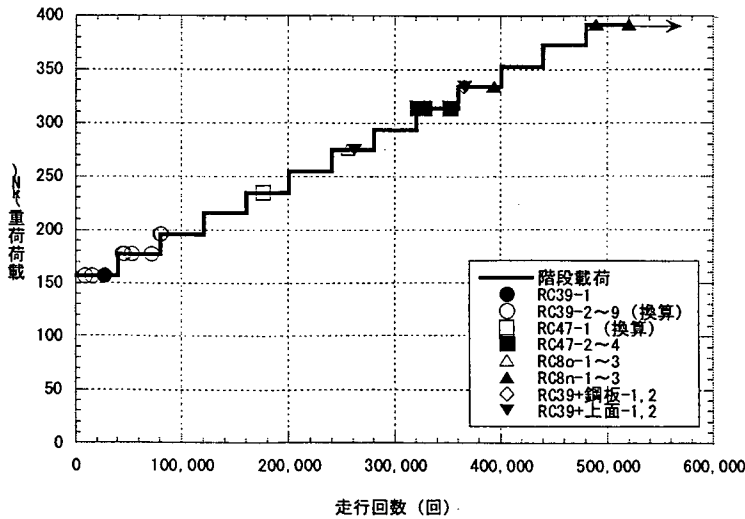
RC39+鋼板-1, 2 供試体の破壊時走行回数は、RC39 供試体の破壊時走行回数を大きく上回り、RC47 供試体および一部の RC8 供試体と同等の破壊時走行回数を示した。

RC39+上面-1, 2 供試体の破壊時走行回数は、RC39+鋼板供試体と同様に RC39 供試体の疲労耐久性を大きく上回り、RC47 供試体および一部の RC8 供試体と同等の破壊時走行回数を示した。

表－6.3.1 輪荷重走行試験結果

供試体名	破壊時 荷重 (kN)	破壊時 走行回数 (回)
RC39-1	157	27,392
RC39-2	196*	81,597
RC39-3	157*	8,387
RC39-4	157*	15,190
RC39-5	177*	52,817
RC39-6	177*	43,875
RC39-7	177*	71,507
RC39-8	177*	46,675
RC39-9	196*	80,288
RC39+鋼板-1	334	365,719
RC39+鋼板-2	314	324,419
RC39+上面-1	275	261,978
RC39+上面-2	334	366,527
RC47-1	235*	176,150
RC47-2	314	327,725
RC47-3	314	352,667
RC47-4	314	321,127
RC8o-1	275	255,649
RC8o-2	392	520,000
RC8o-3	392	520,000
RC8n-1	392	489,555
RC8n-2	334	394,122
RC8n-3	392	520,000

* ; 一定載荷を階段載荷に換算



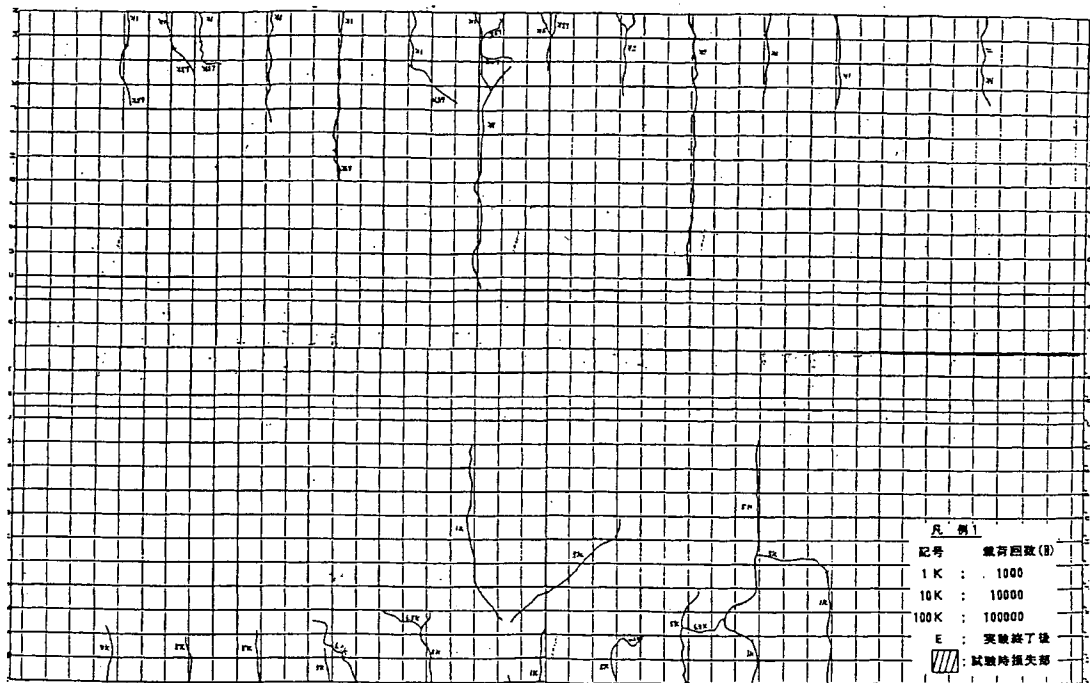
図－6.3.1 輪荷重走行試験結果

6.4 補強床版の破壊状況

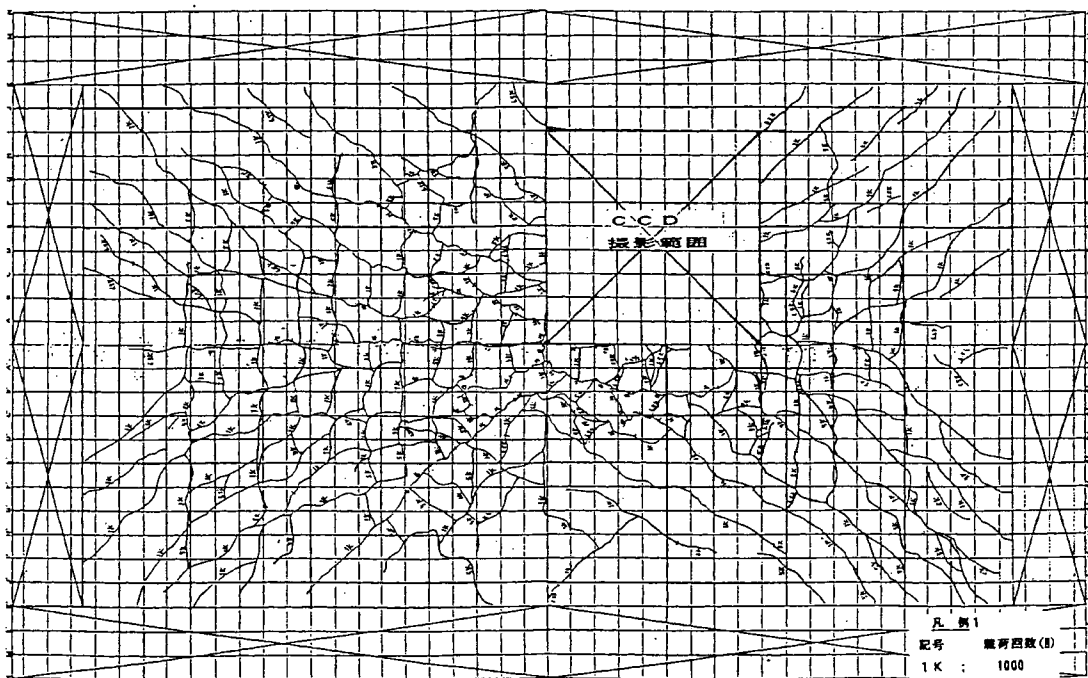
各供試体の破壊状況を図－6.4.1～6.4.4に示す。

RC39+鋼板-1, 2 供試体の破壊形態は、破壊の直前に添接板位置で鋼板とコンクリートの剥離が部分的に確認された後、RC39+鋼板-1 供試体が支点端部におけるせん断破壊、RC39+鋼板-2 供試体が押抜きせん断破壊であった。また、試験後の観察により、アンカーボルトは鋼板の剥離にともない抜けが生じた。

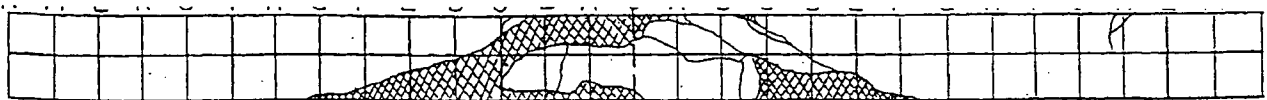
RC39+上面-1, 2 供試体は、既設コンクリート部が押抜きせん断破壊したが、増厚コンクリート部は押抜きせん断破壊を生じず、供試体上面において輪荷重の走行位置より離れた位置にひび割れが発生した。RC39+上面-1 供試体では、試験中の供試体側面の観察より、走行回数 8.6 万回頃（載荷荷重 196kN）から既設コンクリートと増厚コンクリートとの付着切れが床版供試体隅部で始まり、走行回数 23 万回（載荷荷重 235kN）時には床版供試体の全周にわたり付着切れが確認された。また、せん断補強筋を配置した RC39+上面-2 供試体においても一部に発生したことと、破壊後の供試体内部の状況から既設コンクリートと増厚コンクリートの付着切れが確認されたことから、いずれの供試体でも既設コンクリートと増厚コンクリートの一体性が損なわれたものと考えられる。



a) 上面

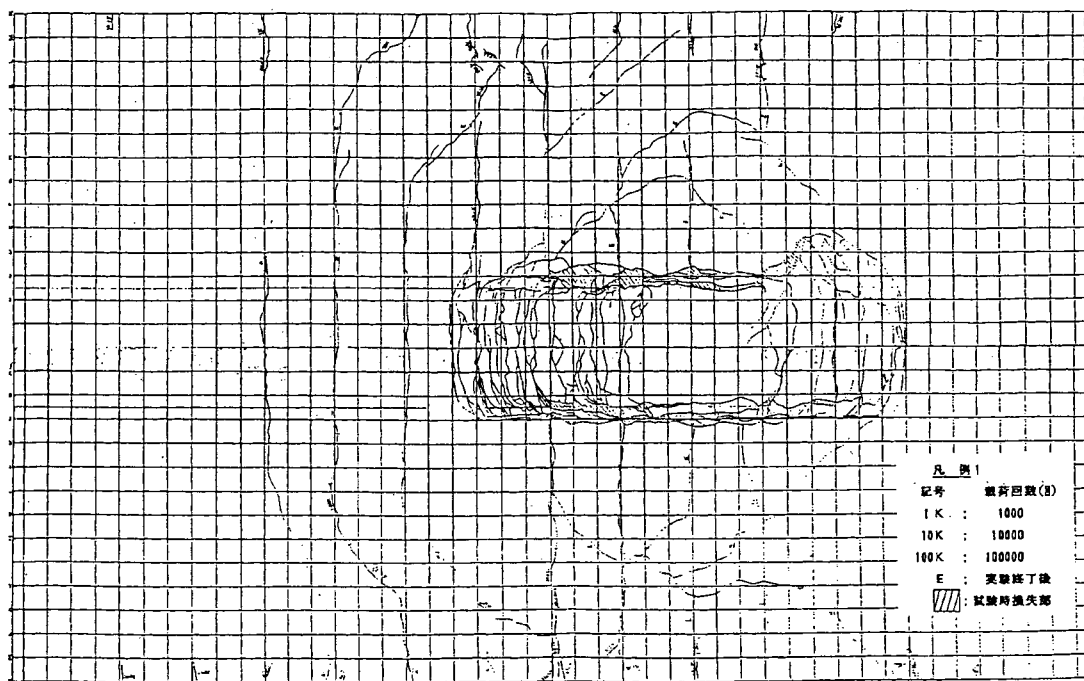


b) 下面(補強前)

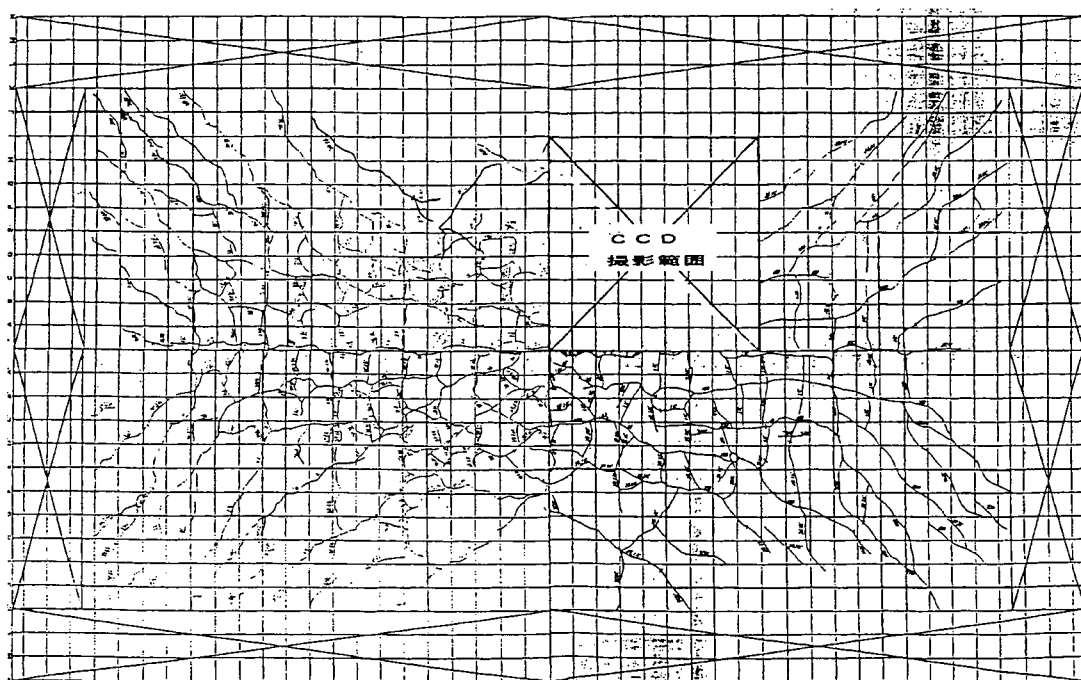


c) 断面

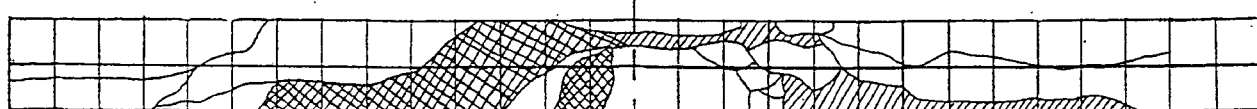
図-6.4.1 RC39+鋼板-1 供試体の破壊状況



a) 上面

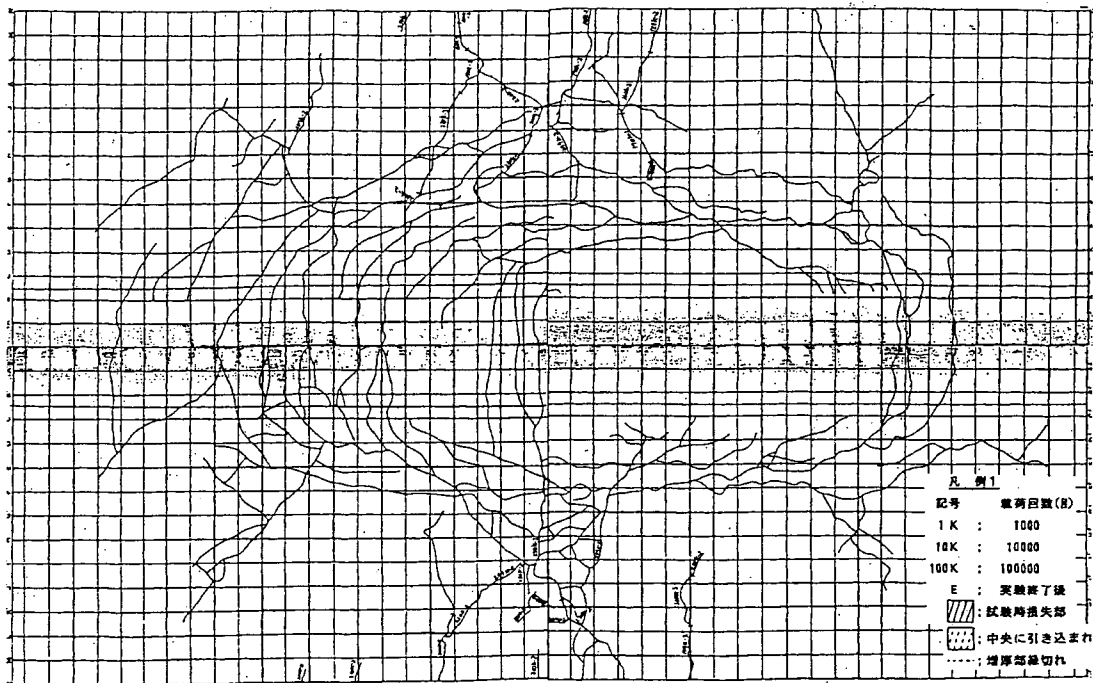


b) 下面(補強前)

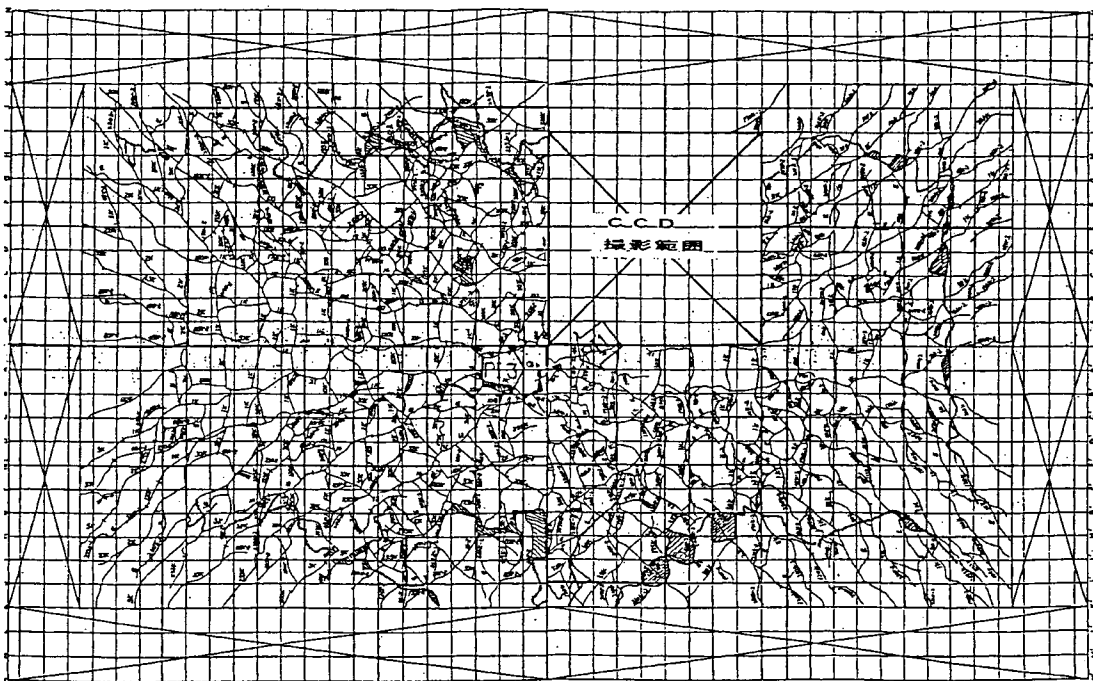


c) 断面

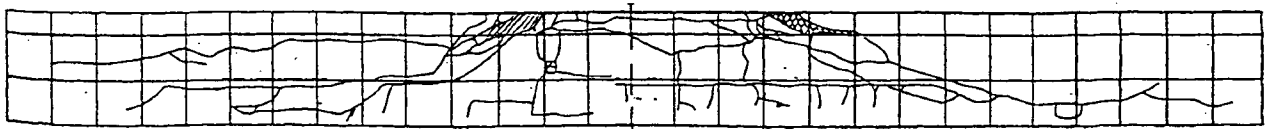
図-6.4.2 RC39+鋼板-2 供試体の破壊状況



a) 上面

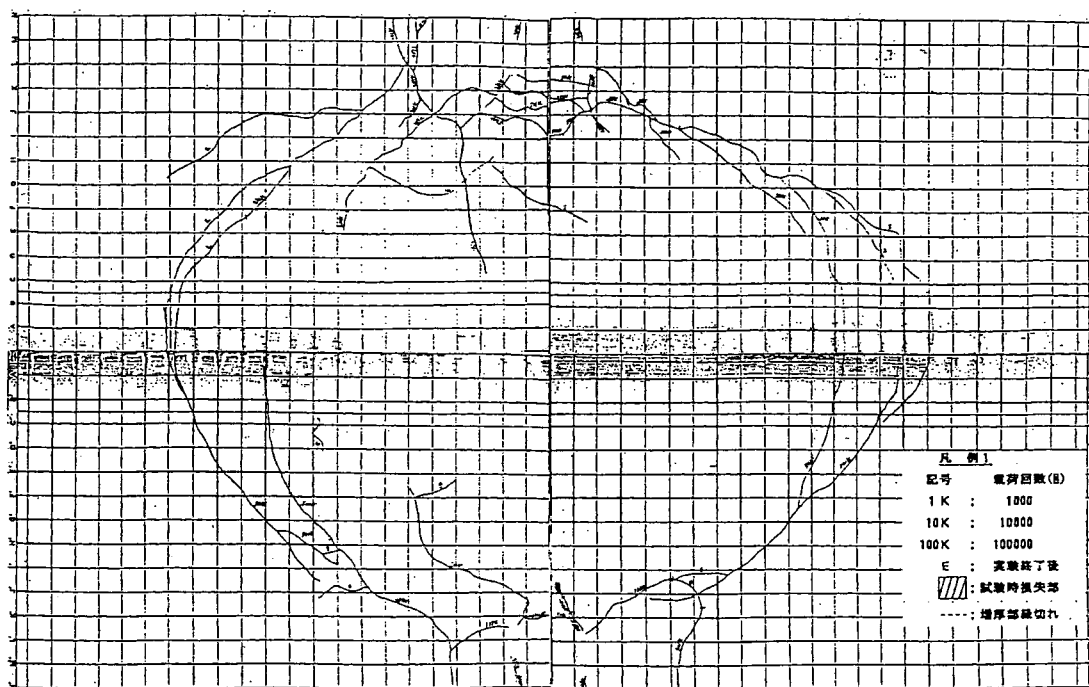


b) 下面

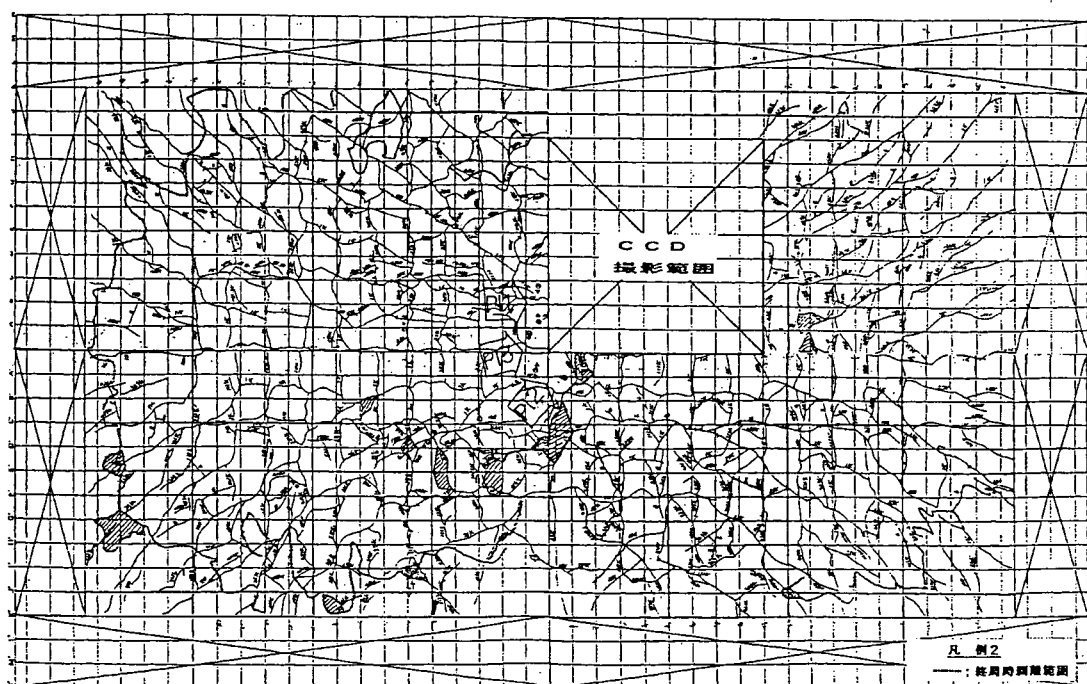


c) 断面

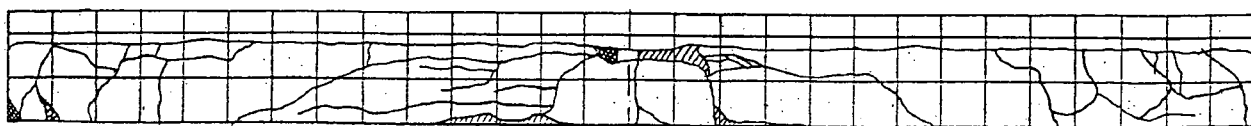
図-6.4.3 RC39+上面-1 供試体の破壊状況



a) 上面



b) 下面



c) 断面

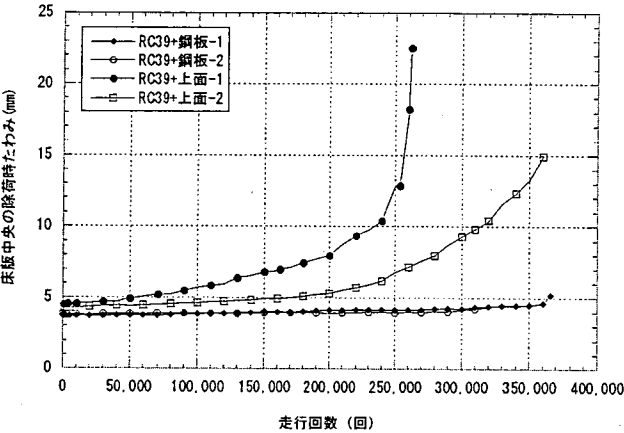
図-6.4.4 RC39+上面-2 供試体の破壊状況

6.5 補強後の走行回数と床版中央たわみ

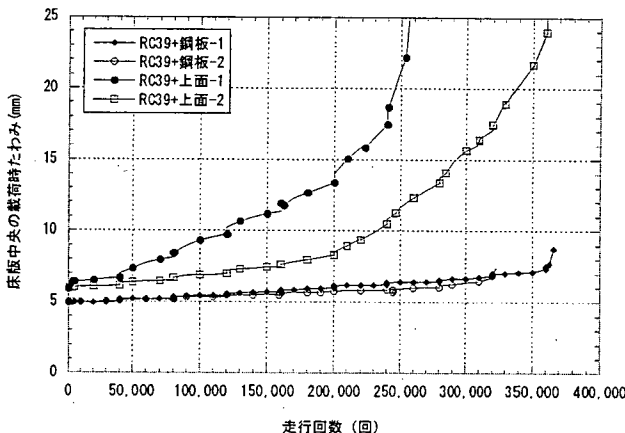
図-6.5.1 (a) (b) (c)に各供試体の床版中央のたわみと走行回数の関係を示す。なお、補強供試体の除荷時たわみおよび載荷時たわみは、補強前の残留たわみを加えたものである。

RC39+鋼板-1, 2 供試体のそれぞれのたわみは、RC39+上面-1, 2 供試体のそれを下回っており、破壊直前まではほぼ載荷荷重の増加に対して漸増した値を示している。

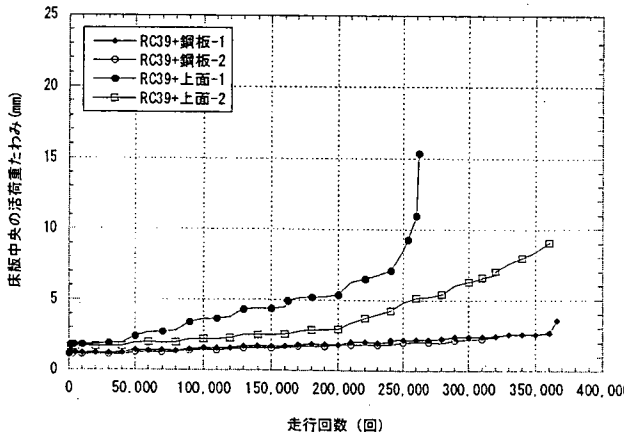
RC39+上面-1, 2 供試体は、RC39+鋼板-1, 2 供試体のそれぞれの破壊時たわみを超えても破壊に至らず、これらの供試体と比較して、走行回数および載荷荷重が大きくなるとたわみの増加が著しくなることがわかる。このたわみの増加は、本試験が一種の促進試験のため、実際よりも大きい荷重を加えていること、供試体の大きさが限られていることから、RC39+上面-1 供試体では走行回数 8.6 万回頃、RC39+上面-2 供試体では走行回数 20 万回頃から生じた供試体内部での既設コンクリートと増厚コンクリートの付着切れの進行にともなって起こっているものと考えられる。なお、付着切れの発生が確認された時期とたわみの増加の時期は、一致している。



(a) 除荷時たわみ



(b) 載荷時たわみ



(c) 活荷重たわみ

図-6.5.1 補強後の走行回数と床版中央たわみの関係

6.6 補強後の走行回数と鉄筋ひずみ、補強鋼板ひずみ

図-6.6.1(a)(b)、図-6.6.2(a)(b)に各供試体の走行回数と床版中央の主鉄筋ひずみおよび配力鉄筋ひずみの関係を示す。なお、図-6.6.1(a)(b)の鉄筋ひずみは補強前の残留ひずみを加えたものであり、図-6.6.2(a)(b)は補強前に発生していた残留ひずみを減じた鉄筋ひずみである。

RC39+鋼板-1,2 供試体のそれぞれの鉄筋ひずみは、RC39+上面-1,2 供試体のそれを下回っており、破壊直前まで変化の割合が小さい。

RC39+上面-1,2 供試体は、RC39+鋼板-1,2 供試体と比較して、走行回数および載荷荷重が大きくなると鉄筋ひずみの増加が著しくなることがわかる。これは前述のたわみの増加と同様、本試験が一種の促進試験のため、実際よりも大きい荷重をかけていること、供試体の大きさが限られていることから、供試体内部での既設コンクリートと増厚コンクリートの付着切れの進行にともなって起こっているものと考えられる。

図-6.6.3 に RC39+鋼板-1,2 供試体の補強鋼板の主鉄筋方向および配力鉄筋方向のひずみを示す。主鉄筋方向の発生ひずみは破壊直前において約 500μ 、配力鉄筋方向の発生ひずみは約 200μ 程度であった。

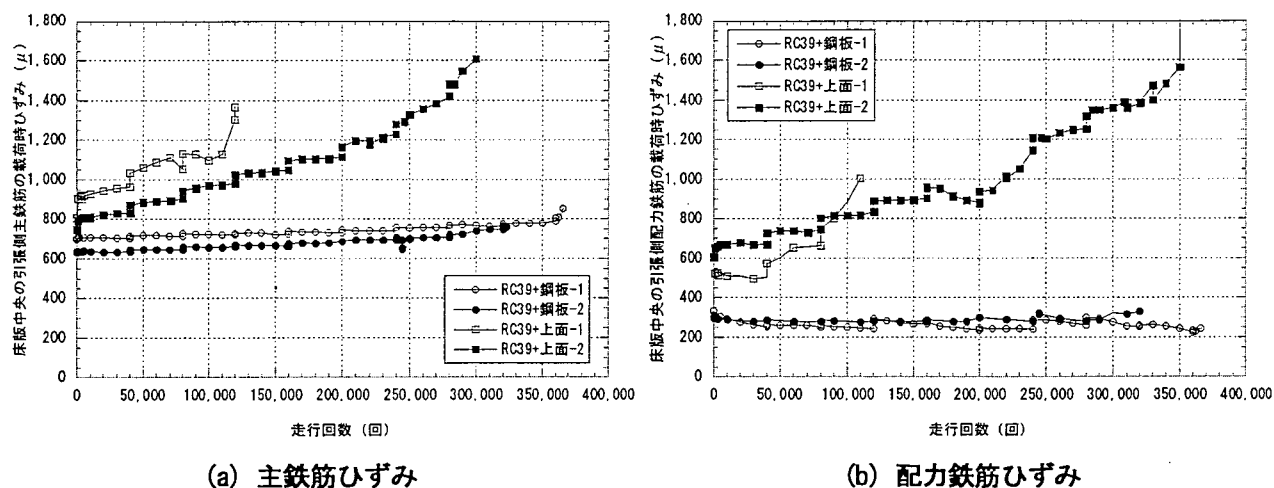


図-6.6.1 補強後の走行回数と床版中央の引張側鉄筋の載荷時ひずみの関係

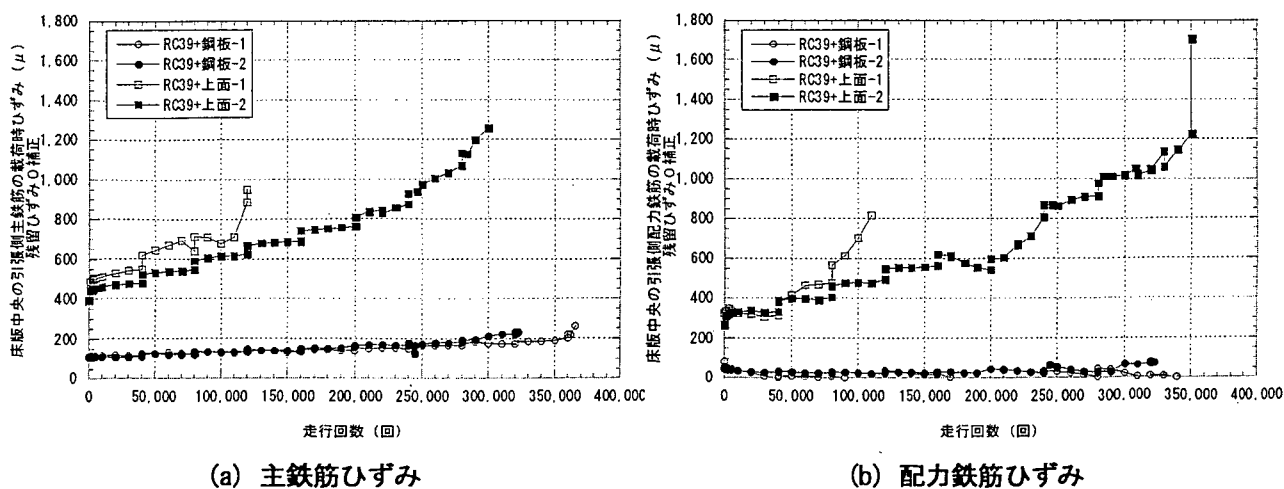


図-6.6.2 補強後の走行回数と床版中央の引張側鉄筋の載荷時ひずみ（残留ひずみ〇補正後）の関係

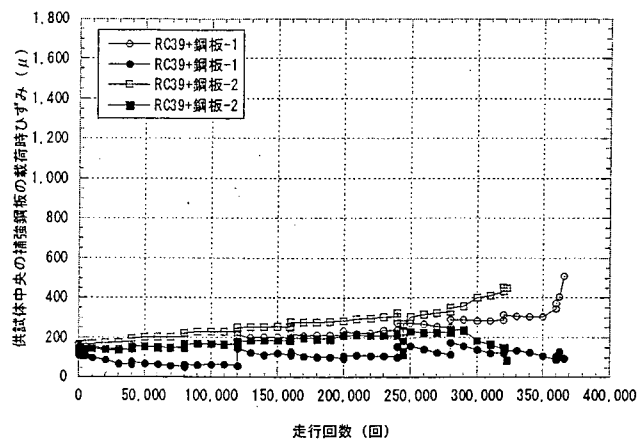


図-6.6.3 RC39+鋼板-1, 2 の走行回数と床版中央の補強鋼板の載荷時ひずみの関係

6.7 まとめ

比較的大きな損傷を与えた RC39 供試体に鋼板接着工法および上面増厚工法を実施し、階段載荷による輪荷重走行試験を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 鋼板接着と上面増厚工法を実施した直後の静的載荷 (157kN) の結果、たわみおよび鉄筋のひずみは補強前のそれと比較すると大幅に低減する。
- (2) 補強後の階段載荷による輪荷重走行試験の結果、鋼板接着工法および上面増厚工法は、RC39 供試体を大きく上回り、RC47 供試体および一部の RC8 供試体と同等の破壊時走行回数を示すことが確認された。
- (3) 階段載荷を行った上面増厚工法は、大きな荷重を加えたことによる付着切れが発生し、たわみおよび鉄筋のひずみの増加が確認された。

しかし、本試験により RC39+上面-1,2 供試体には、階段載荷や供試体寸法の制限に起因すると考えられる供試体内部での既設コンクリートと増厚コンクリートの付着切れが確認された。実橋における付着切れの有無やその程度が確認されなかったため今回の検討ではその影響を明確に評価することが出来なかった。今後は、実橋におけるこの付着切れの有無やその程度の確認、さらにこれによる影響が試験結果や疲労耐久性の評価に与える影響を検討にする必要があると考えられる。

7章 おわりに

本研究およびその他の研究^{12)~48)}によって、輪荷重走行試験機は、鉄筋コンクリート床版の破壊メカニズムが再現できること、階段載荷において今回行った検討により疲労耐久性のある程度明らかとなっている床版との相対的な比較による評価が可能であることが確認された。また本研究により既設床版の疲労耐久性が明らかとなり、これまでに施工実績の多い鋼板接着工法および上面増厚工法による既設 RC 床版の疲労耐久性についても明らかとなったと考えられる。

ただし、各補修・補強工法の実施工では、次の点に注意することが必要である。鋼板接着工法の実施工においては、コンクリートと鋼板の一体性が重要であるため、エポキシ樹脂を鋼板全面に充填させること、また、上面増厚工法においては、既設コンクリートと増厚コンクリートの一体化を図ることが重要であるため、床版全面にわたり確実な締固めが必要である。

既設 RC 床版の補修・補強は、床版の損傷原因あるいは損傷メカニズムに対する補強効果ならびに新設時の施工と比較し、作業空間の制限や通行車両の安全確保および経済性等を考慮し、最適な工法を選定する必要がある。本研究では、損傷がかなり進んだ橋梁点検要領（案）における損傷度Ⅱにおいて補強を行ったが、より早期の対策（損傷度Ⅲ、Ⅳ）であれば、補修・補強工法の選択の幅が広がり、さらに安価かつ効果的である。しかし、対策が遅くなればなるほど、同じ効果に対するコストは高くなるものと考えられる。

最後に、路面からの漏水は床版の損傷を加速することが明らかとなっているため⁹⁾、床版の疲労耐久性を確保するためには床版上面の防水を確実に行うことが重要である。

参考文献

- 1) 西川和廣：ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案，橋梁と基礎，1997. 8
- 2) 西川和廣，杉山純，山本悟司：道路橋床版の実態調査結果の分析，第 20 回日本道路会議論文集，1993. 10
- 3) 建設省土木研究所橋梁研究室：既設 RC 床版の補修補強工法，土木技術資料，第 40 巻，第 8 号，1998.
- 4) 松井繁之，西川和廣，大田孝二：鋼橋の床版 RC 床版とその損傷，橋梁と基礎，1998. 6
- 5) 日本道路協会：鋼道路橋設計示方書，1964
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，1972
- 7) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，1996
- 8) 建設省土木研究所：土木研究所資料 橋梁点検要領(案)，1988. 7
- 9) 阪神高速道路公団，阪神高速道路管理技術センター：道路橋 RC 床版のひび割れ損傷と耐久性，1991. 12
- 10) 安松敏雄，長谷川俊彦，篠原修二，長瀬嘉理：交通荷重実態を考慮した鋼橋床版の疲労設計に関する検討，第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，土木学会，1998. 10. 11
- 11) 東山，松井：プレストレスしたコンクリート床版の押し抜きせん断耐力，構造工学論文集 Vol. 44a，1998. 3
- 12) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，炭素繊維補修・補強工法技術研究会：共同研究報告書整理番号 220 号コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅰ）－炭素繊維シート接着工法によるコンクリート部材の補強効果に関する研究－，平成 11 年 3 月
- 13) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，炭素繊維補修・補強工法技術研究会：共同研究報告書整理番号 230 号コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅱ）－炭素繊維シート接着工法によるコンクリート部材の補強効果に関する研究－，平成 11 年 10 月
- 14) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，炭素繊維補修・補強工法技術研究会：共同研究報告書整理番号 235 号コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書（Ⅲ）－炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案）－，平成 11 年 12 月
- 15) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，（社）日本橋梁建設協会：共同研究報告書整理番号 240 号 省力化に対応した鋼桁橋の設計施工に関する共同研究報告書（Ⅰ）－RC ループ継手を有するプレキャスト PC 床版の輪荷重走行実験－，平成 11 年 12 月
- 16) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室，（社）日本橋梁建設協会：共同研究報告書整理番号 241 号 省力化に対応した鋼桁橋の設計施工に関する共同研究報告書（Ⅱ）－パーシャルプレストレスを導入した PC 床版の輪荷重走行実験－，平成 11 年 12 月
- 17) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室他：共同研究報告書整理番号 221 号 道路橋床版の輪荷重走行試験機における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その 1）－標準試験方法および第 1 回試験報告－，平成 11 年 3 月
- 18) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室他：共同研究報告書整理番号 233 号 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その 2）－標準試験方法および第 2

回試験報告一，平成 11 年 10 月

- 19) 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室他：共同研究報告書整理番号 250 号 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その 3）－標準試験方法および第 3 回試験報告一，平成 12 年 11 月
- 20) 国土交通省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室他：共同研究報告書整理番号 262 号 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その 4）－標準試験方法および第 4 回試験報告一，平成 13 年 1 月
- 21) 国土交通省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室他：共同研究報告書整理番号 277 号 道路橋床版の輪荷重走行試験における疲労耐久性評価手法の開発に関する共同研究報告書（その 5）－評価編一，平成 14 年 3 月
- 22) 内田賢一，西川和廣，神田昌幸：輪荷重走行試験機による道路橋床版の疲労試験、土木学会第 51 回年次学術講演会、1996. 9
- 23) 淵上優子，西川和廣，神田，内田賢一，宮崎和彦：炭素繊維シート接着工法による RC 床版の補強効果に関する実験的研究、土木学会第 52 回年次学術講演会、1997. 9
- 24) 澤田浩昭，西川和廣，神田昌幸，内田賢一：PC 合成げた橋（PC 合成床版タイプ）に関する実験および解析，第 7 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，1997 年 10 月
- 25) 西川和廣，内田賢一：既設床版の疲労耐久性に関する実験的検討、第 22 回日本道路会議論文集、1997. 12
- 26) 西川和廣，内田賢一，廣松新：各種補強工法を施した床版の疲労耐久性に関する実験的研究、第 22 回日本道路会議論文集、1997. 12
- 27) 西川和廣，内田賢一，松尾伸二：炭素繊維シートにより補強された RC 床版の疲労耐久性に関する実験的研究、第 22 回日本道路会議論文集、1997. 12
- 28) 西川和廣，内田賢一，管谷晃彦：PC 合成床版（PC 合成げた橋）の耐久性に関する実験的研究、第 22 回日本道路会議論文集、1997. 12
- 29) 宇治公隆，西川和廣，内田賢一，松尾伸二：炭素繊維シートによる道路橋床版の補強に関する研究、土木学会コンクリート技術シリーズ コンクリート構造物の補強設計・施工の将来像、1998. 4
- 30) 内田賢一，西川和廣：既設道路橋床版の疲労耐久性に関する検討、土木学会第 53 回年次学術講演会、1998. 10
- 31) 松尾伸二，西川和廣，内田賢一，宇治公隆，小林朗：炭素繊維シートにより補強された RC 床版の疲労耐久性、土木学会第 53 回年次学術講演会、1998. 10
- 32) 宮崎和彦，西川和廣，内田賢一，廣松新，松尾伸二：上面増厚工法および鋼板接着工法で補強した RC 床版の輪荷重走行試験、土木学会第 53 回年次学術講演会、1998. 10
- 33) 松尾伸二，西川和廣，内田賢一，宇治公隆，小林朗：荷重一定載荷による炭素繊維シート接着床版の疲労耐久性に関する実験的検討、土木学会第 54 回年次学術講演会、1999. 9
- 34) 八部順一，西川和廣，内田賢一，宮崎和彦，川畑篤敬，佐々木保隆：パーシャルプレストレスを導入した PC 床版の輪荷重走行試験、土木学会第 53 回年次学術講演会、1998. 10

- 35) 佐々木保隆, 西川和廣, 内田賢一, 宮崎和彦, 太田貞次, 八部順一: RCループ継手を有するプレキャスト PC床版の輪荷重走行試験、土木学会第53回年次学術講演会、1998. 10
- 36) 西川和廣, 内田賢一, 宮崎和彦, 松尾伸二: 既設RC床版の補修・補強効果、土木技術資料 40-10、1998. 10
- 37) 内田賢一, 西川和廣: 既設道路橋床版の疲労耐久性に関する検討、土木学会第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、1998. 11
- 38) 八部順一, 川畑篤敬, 佐々木保隆, 内田賢一, 宮崎和彦, 西川和廣: パーシャルプレストレスを導入したPC床版の輪荷重走行試験、土木学会第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、1998. 11
- 39) 佐々木保隆, 八部順一, 太田貞次, 内田賢一, 宮崎和彦, 西川和廣: RCループ継手を有するプレキャストPC床版の輪荷重走行試験、土木学会第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、1998. 11
- 40) 松尾伸二, 西川和廣, 内田賢一: 炭素繊維シート接着工法による既設RC床版の疲労耐久性に関する研究、土木学会第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、1998. 11
- 41) 西川和廣, 内田賢一, 宮崎和彦, 松尾伸二: 上面増厚および鋼板接着工法で補強したRC床版の疲労耐久性に関する検討、土木学会第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、1998. 11
- 42) 松尾伸二, 西川和廣, 内田賢一, 宇治公隆, 小林朗: 荷重一定載荷による炭素繊維シート接着床版の疲労耐久性に関する実験的検討、土木学会第54回年次学術講演会、1999年9月
- 43) 西川和廣, 内田賢一: 既設RC床版の健全度評価に関する実験的検討、第23回日本道路会議論文集、1999. 12
- 44) 川間重一, 内田賢一, 西川和廣: 既設RC床版の階段状荷重漸増載荷における疲労耐久性評価手法に関する検討、土木学会第55回年次学術講演会、2000年9月
- 45) 内田賢一, 西川和廣, 神田昌幸: 既設RC床版の健全度評価手法に関する実験的検討、土木学会第55回年次学術講演会、2000年9月
- 46) 川間重一, 西川和廣, 内田賢一: 一方向をプレストレスしたPC床版の疲労耐久性に関する検討、土木学会第二回鋼橋床版シンポジウム講演論文集、2000. 10
- 47) 松尾伸二, 西川和廣, 内田賢一, 川間重一: 既設コンクリート床版の補修補強に関する検討、橋梁と基礎 Vol. 34, No. 11, 2000年11月
- 48) 内田賢一: 既設RC床版の疲労耐久性とその補修補強工法について、平成12年度第54回建設省技術研究会 2000年11月

付属資料

付属資料-1 三軸変位計を用いた健全度評価の可能性について	73
-------------------------------	----

付属資料-2 各道示床版の床版中央変位、鉄筋ひずみ

付図-2.1 RC39-1 供試体	75
付図-2.2 RC39-2 供試体	76
付図-2.3 RC39-3 供試体	77
付図-2.4 RC39-4 供試体	78
付図-2.5 RC39-5 供試体	79
付図-2.6 RC39-6 供試体	80
付図-2.7 RC39-7 供試体	81
付図-2.8 RC39-8 供試体	82
付図-2.9 RC39-9 供試体	83
付図-3.1 RC47-1 供試体	84
付図-3.2 RC47-2 供試体	85
付図-3.3 RC47-3 供試体	86
付図-3.4 RC47-4 供試体	87
付図-4.1 RC8o-1 供試体	88
付図-4.2 RC8o-2 供試体	89
付図-4.3 RC8o-3 供試体	90
付図-4.4 RC8n-1 供試体	91
付図-4.5 RC8n-2 供試体	92
付図-4.6 RC8n-3 供試体	93
付図-5.1 PC8-1 供試体	94
付図-5.2 PC8-2 供試体	95

付属資料-3 補修補強床版の床版中央変位、鉄筋ひずみ

付図-6.1 RC39+鋼板-1 (初期損傷)	96
付図-6.2 RC39+鋼板-1 (補強後)	97
付図-6.3 RC39+鋼板-2 (初期損傷)	99
付図-6.4 RC39+鋼板-2 (補強後)	100
付図-6.5 RC39+上面-1 (初期損傷)	102
付図-6.6 RC39+上面-1 (補強後)	103
付図-6.7 RC39+上面-2 (初期損傷)	104

付図－6.8	RC39＋上面-2（補強後）	105
--------	----------------	-----

付属資料-4 各道示床版のひび割れ状況（床版上面、床版下面、床版内部）

付図－7.1	RC39-1 供試体	106
付図－7.2	RC39-2 供試体	108
付図－7.3	RC39-3 供試体	110
付図－7.4	RC39-4 供試体	112
付図－7.5	RC39-5 供試体	114
付図－7.6	RC39-6 供試体	116
付図－7.7	RC39-7 供試体	118
付図－7.8	RC39-8 供試体	120
付図－7.9	RC39-9 供試体	122
付図－7.10	RC47-1 供試体	124
付図－7.11	RC47-2 供試体	126
付図－7.12	RC47-3 供試体	128
付図－7.13	RC47-4 供試体	130
付図－7.14	RC8o-1 供試体	132
付図－7.15	RC8o-2 供試体	134
付図－7.16	RC8o-3 供試体	136
付図－7.17	RC8n-1 供試体	138
付図－7.18	RC8n-2 供試体	140
付図－7.19	RC8n-3 供試体	142
付図－7.20	PC8-1 供試体	144
付図－7.21	PC8-2 供試体	146

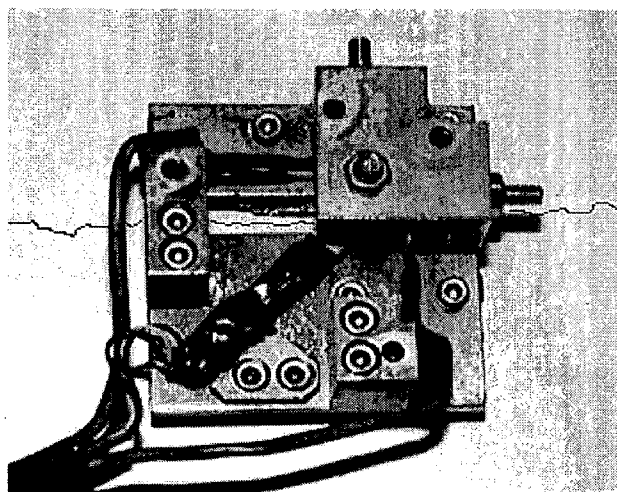
付属資料-5 補修補強床版のひび割れ状況（床版上面、床版下面、床版内部）

付図－8.1	RC39＋鋼板-1	148
付図－8.2	RC39＋鋼板-2	150
付図－8.3	RC39＋上面-1	152
付図－8.4	RC39＋上面-2	154

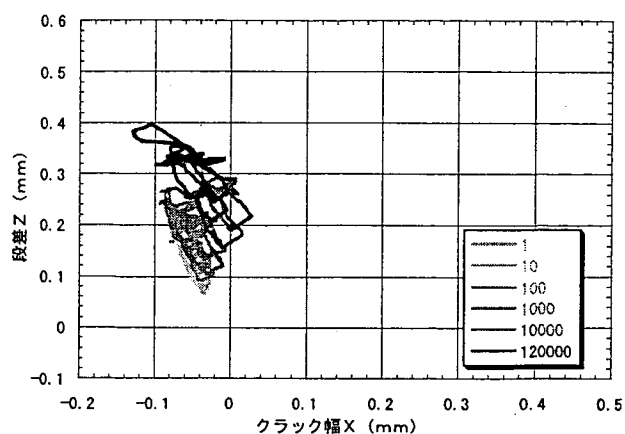
付-1 三軸変位計を用いた健全度評価の可能性について

実験用供試体を用いた活荷重たわみによる損傷度のモデル化を行ってきたが、実橋床版において供用期間を通じて活荷重たわみを正確に計測することは困難であると考えられる。そこで、実験用供試体に発生しているひび割れの挙動に着目した損傷過程を検討することにした。

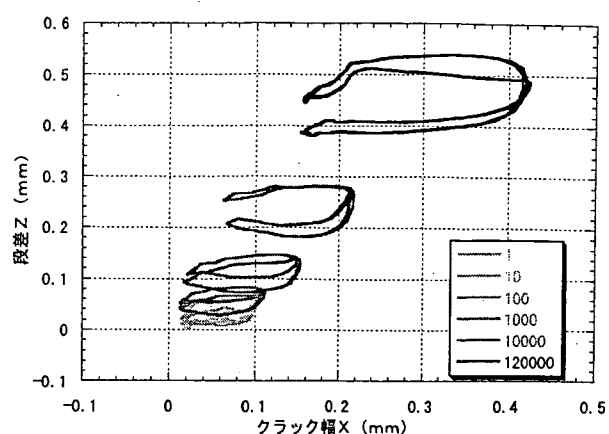
付図-1.1、付図-1.2、付図-1.3 に RC38-6、RC47-1、RC8n-1 供試体の橋軸および橋軸直角方向ひび割れのひび割れ幅とひび割れ段差の関係を示す。計測は、付写真-1.1 に示す 3 方向変位計を用い、載荷試験初期に生じた供試体中央付近の橋軸方向および橋軸直角方向のひび割れに取り付け、輪荷重走行試験中に動的に行った。適用示方書の異なる付図-1.1、付図-1.2、付図-1.3 において a) 橋軸方向ひび割れおよび b) 橋軸直角方向ひび割れは、それぞれ同様な傾向を示すことが理解される。ここで、付図-1.3a) において橋軸方向ひび割れ幅-段差の関係は輪荷重が計測点に接近することにより幅および段差が線形的な変化を示し、載荷初期から破壊の直前まで絶対量は増加するもののその傾向はかわらなかった。付図-1.3b) に示す橋軸直角方向のひび割れ幅-段差の関係においては、載荷初期に橋軸方向ひび割れと同様な傾向を示したものの、走行回数 200,000 回程度からひび割れ幅最大時における段差の変化量が増加した。このひび割れ幅最大時の段差の変化量は破壊の直前において約 0.1mm と大きなものであった。以上の結果より床版に生じた橋軸直角方向のひび割れの幅と段差の関係を計測することにより床版の健全度を評価する指標となる可能性が有ると考えられる。



付写真-1.1 3軸変位計

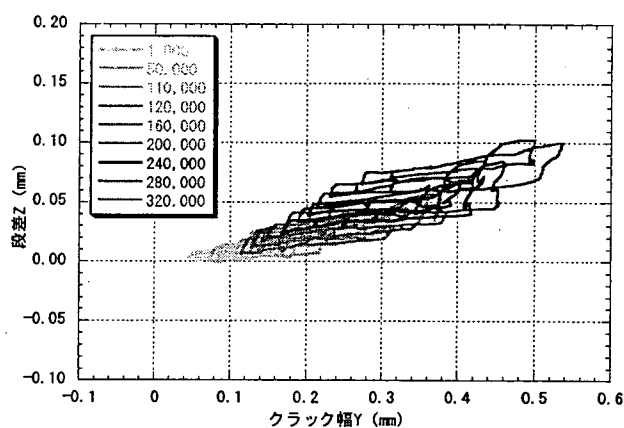


a) 橋軸方向ひび割れ

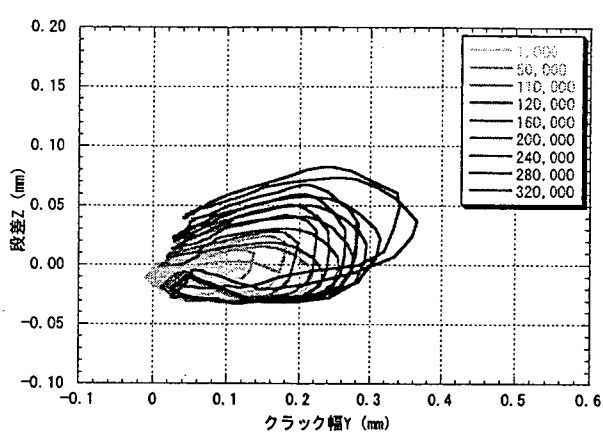


b) 橋軸直角方向ひび割れ

付図-1.1 RC39-6 供試体のひび割れ幅-段差の関係

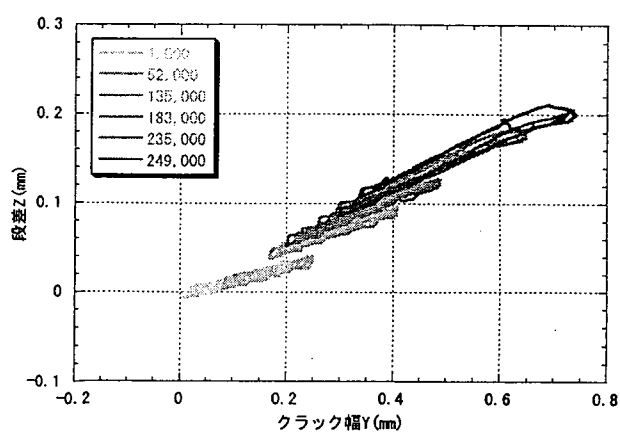


a) 橋軸方向ひび割れ

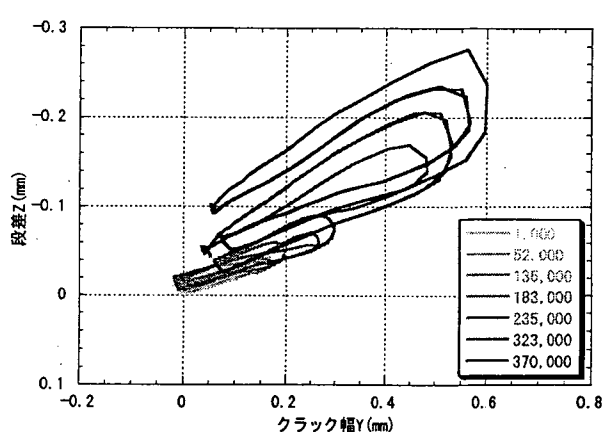


b) 橋軸直角方向ひび割れ

付図-1.2 RC47-1 供試体のひび割れ幅-段差の関係

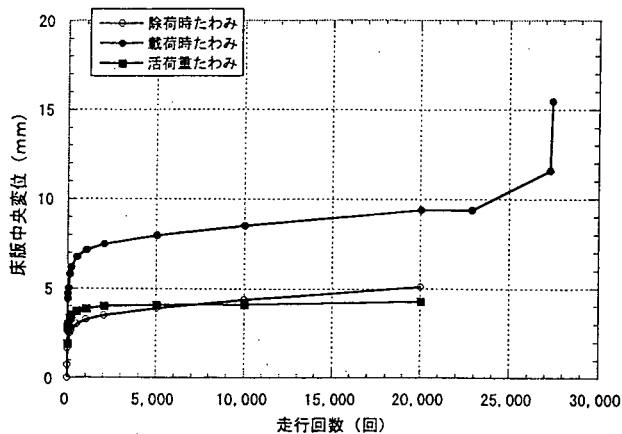


a) 橋軸方向ひび割れ

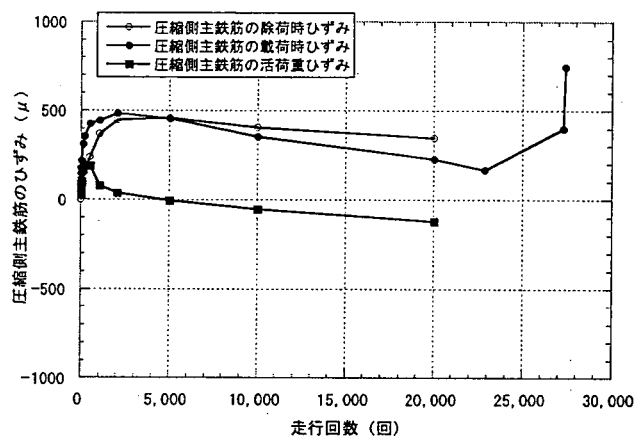


b) 橋軸直角方向ひび割れ

付図-1.3 RC8n-1 供試体のひび割れ幅-段差の関係

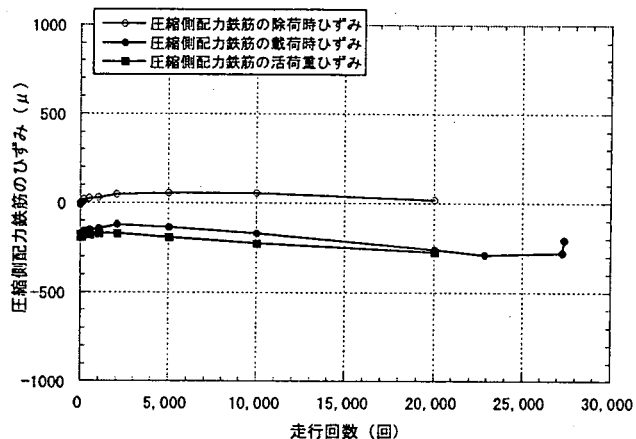


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



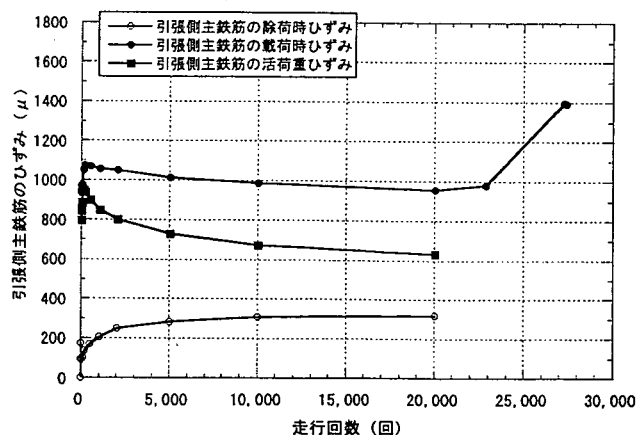
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



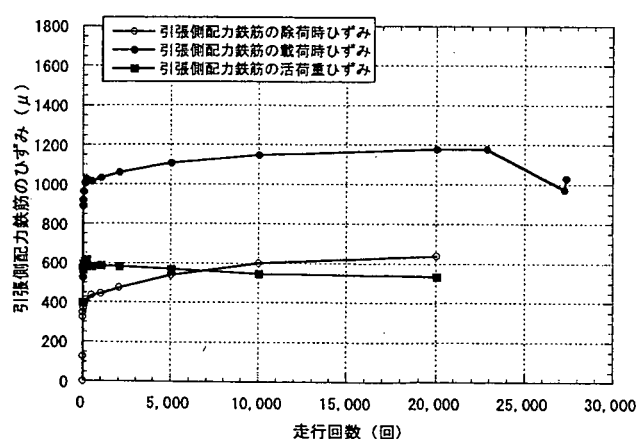
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

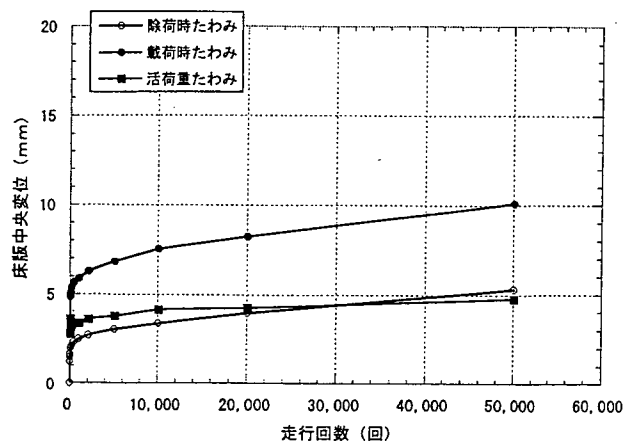
主鉄筋のひずみの関係



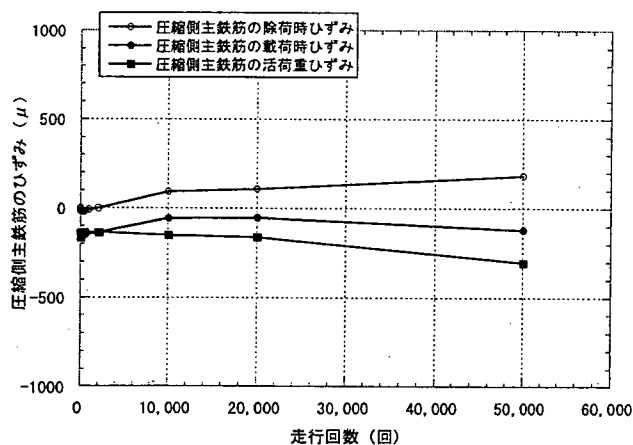
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.1 RC39-1 供試体

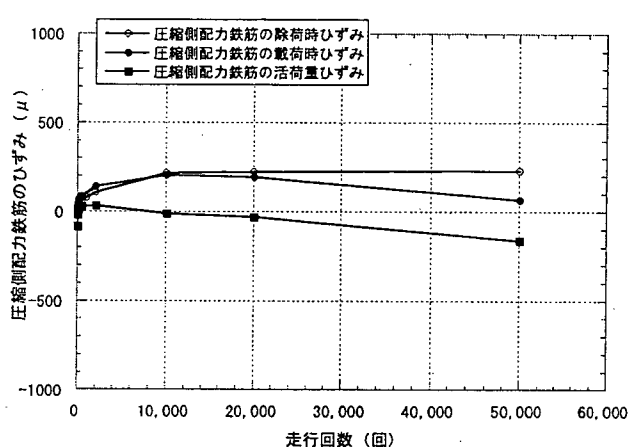


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



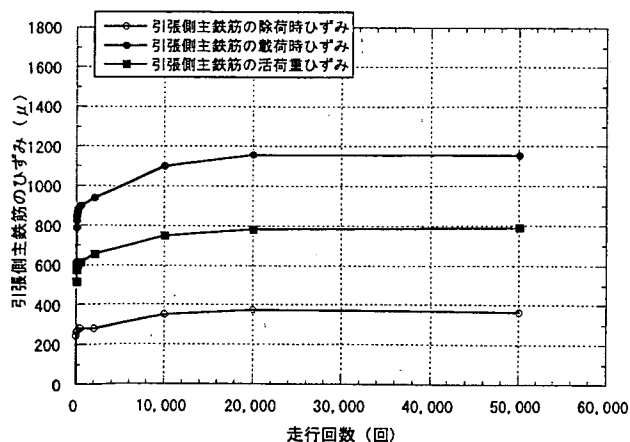
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



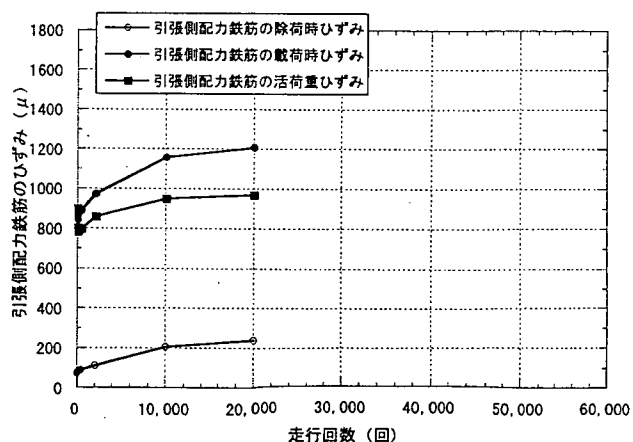
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

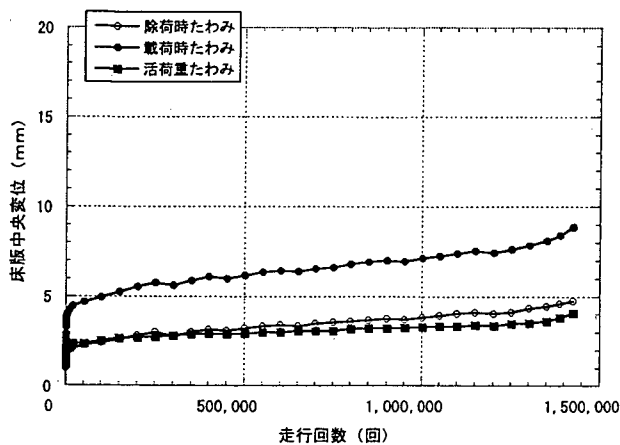
主鉄筋のひずみの関係



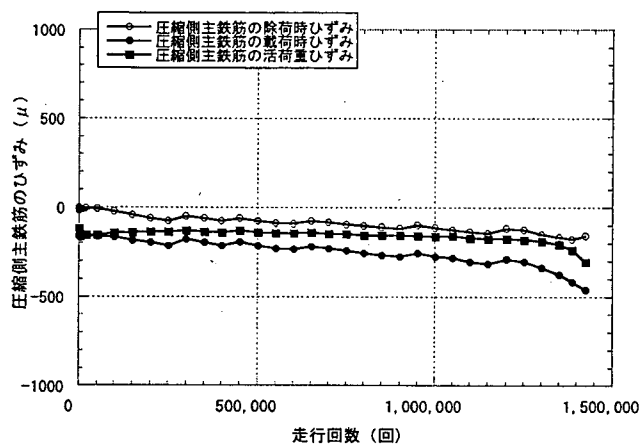
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.2 RC39-2 供試体

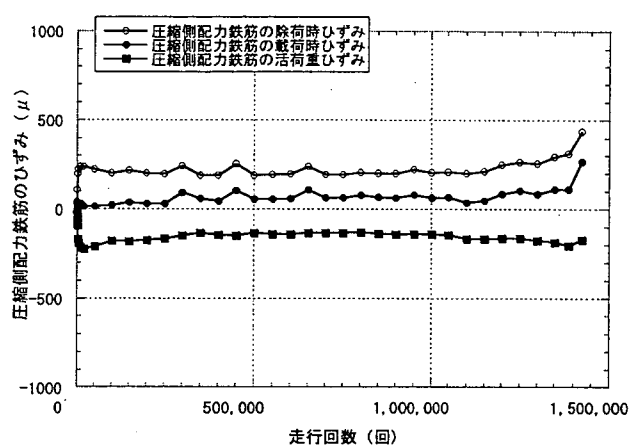


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



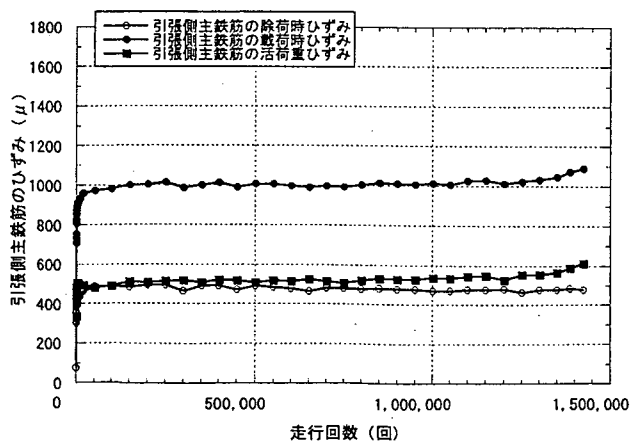
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



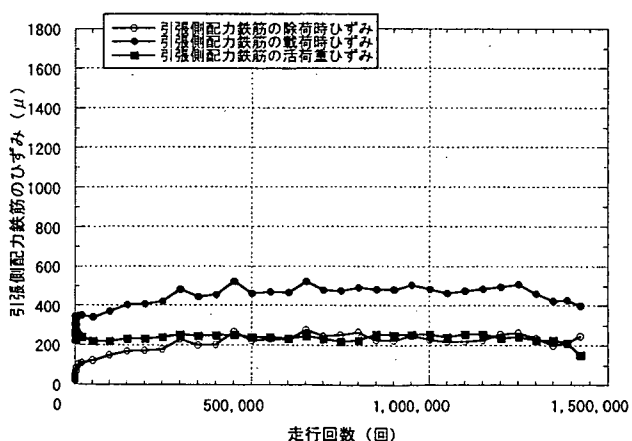
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

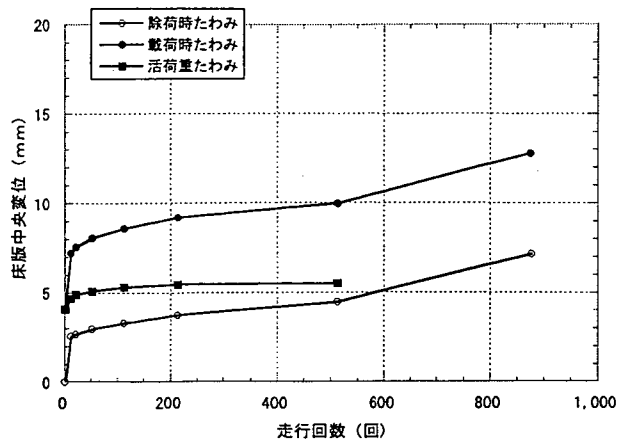
主鉄筋のひずみの関係



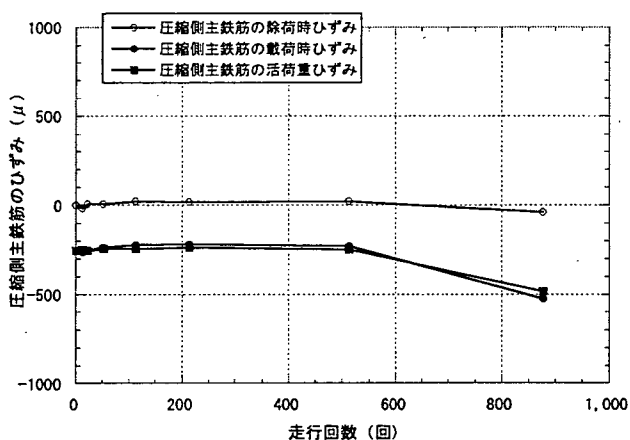
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.3 RC39-3 供試体

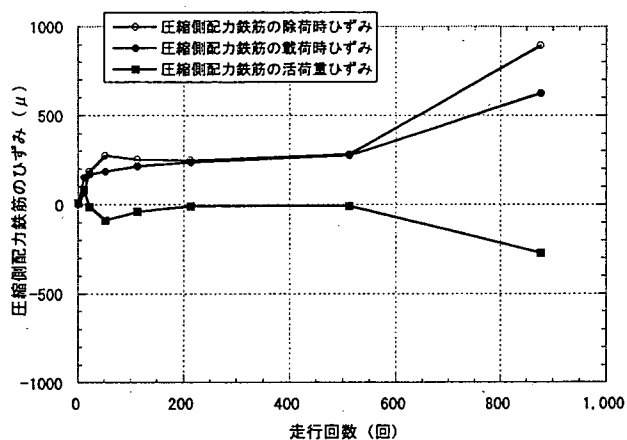


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



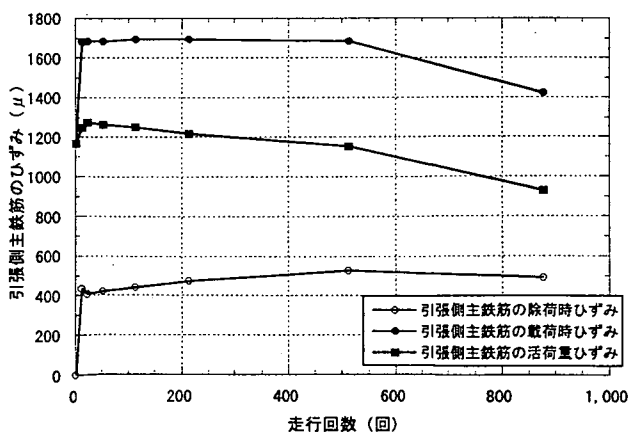
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



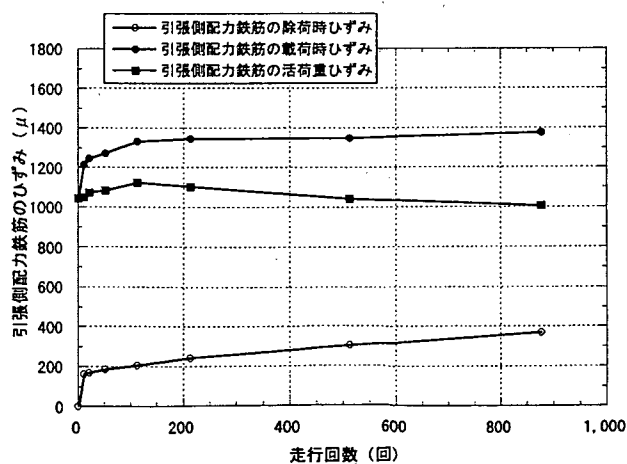
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

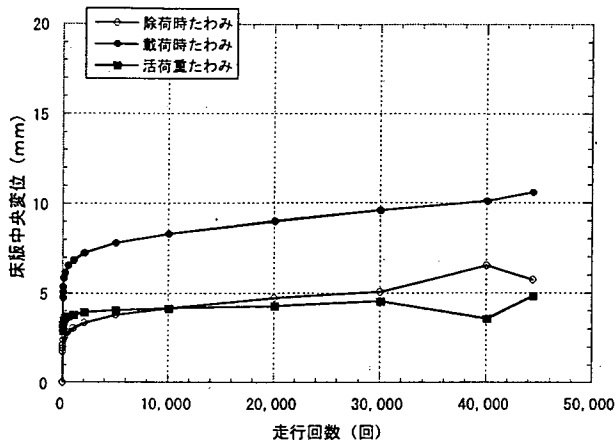
主鉄筋のひずみの関係



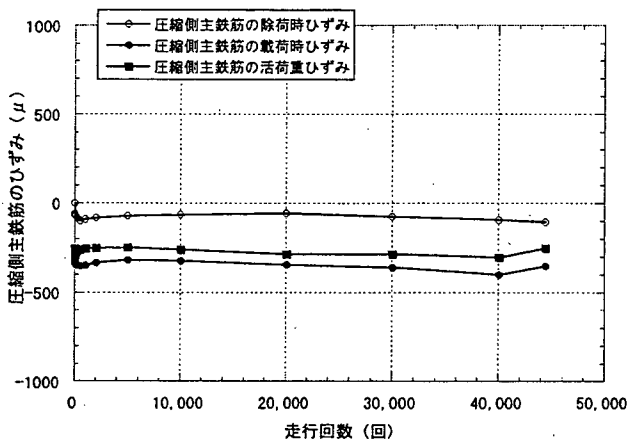
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.4 RC39-4 供試体

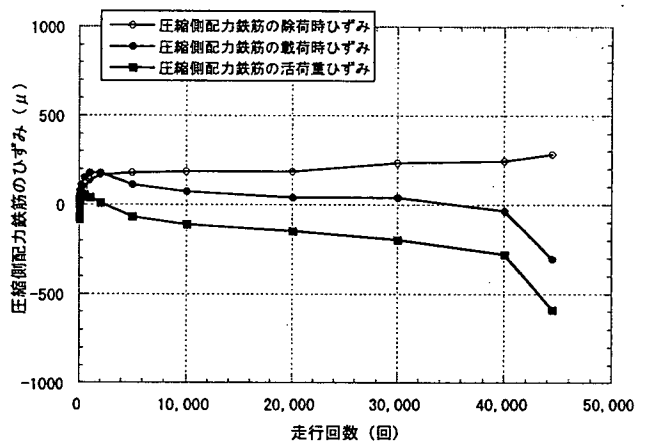


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



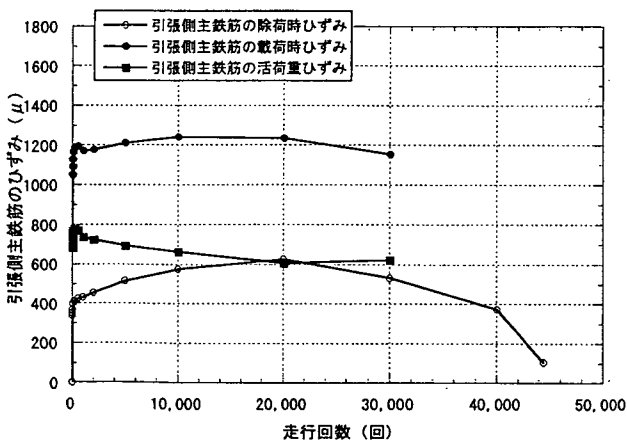
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



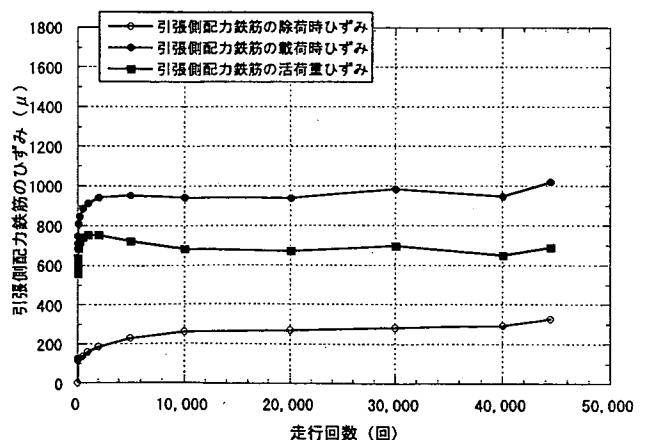
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

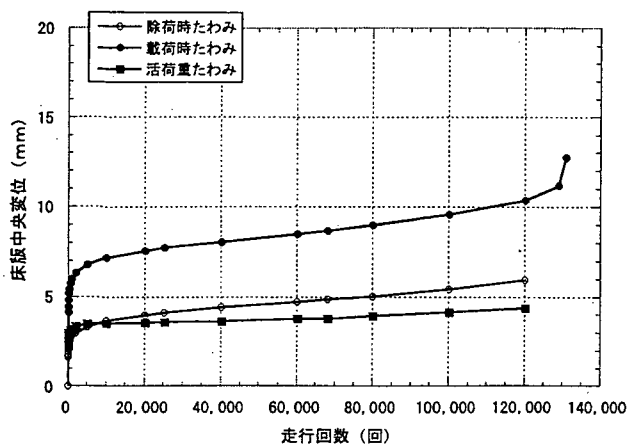
主鉄筋のひずみの関係



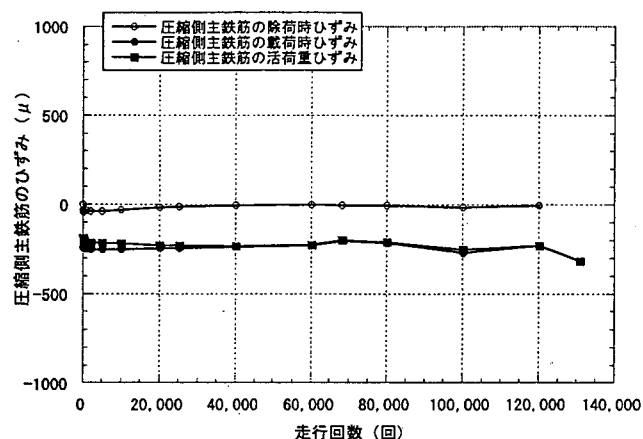
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.5 RC39-5 供試体

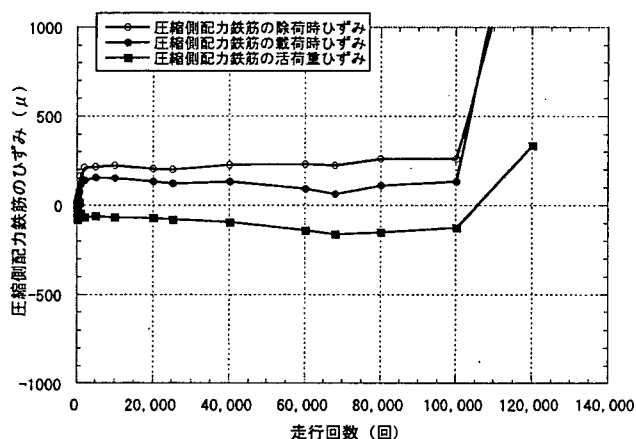


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



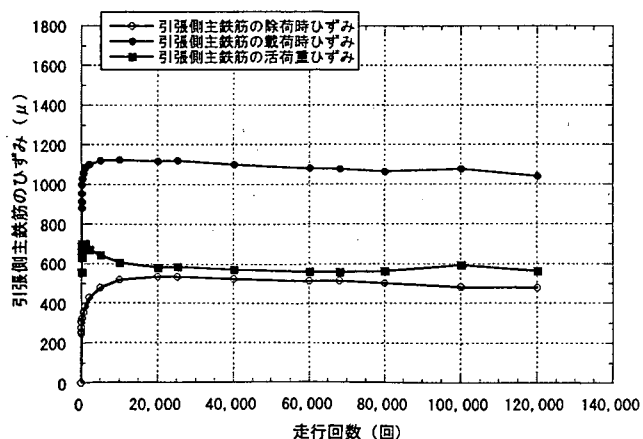
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



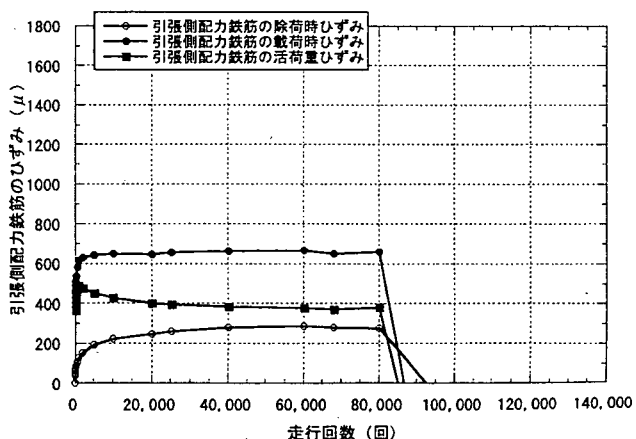
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

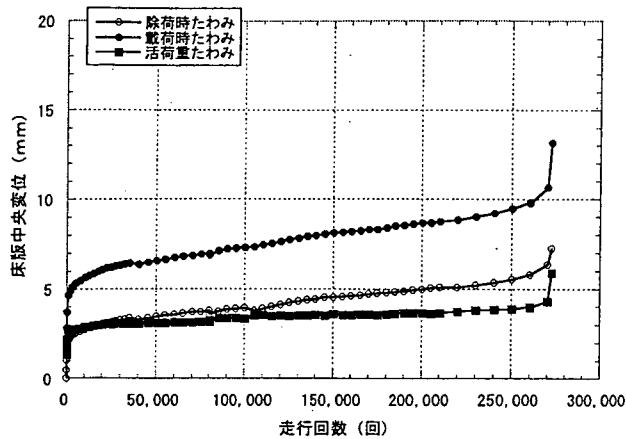
主鉄筋のひずみの関係



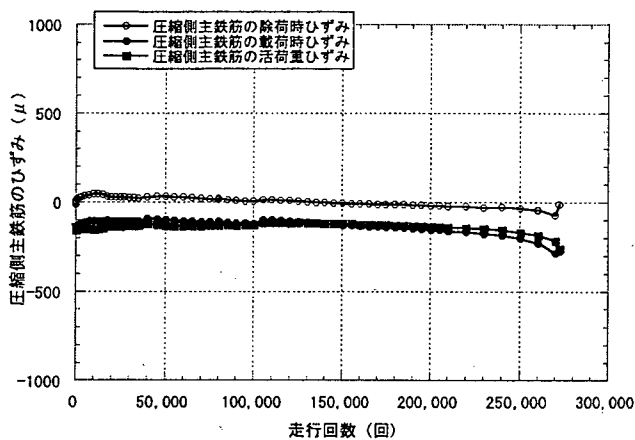
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.6 RC39-6 供試体

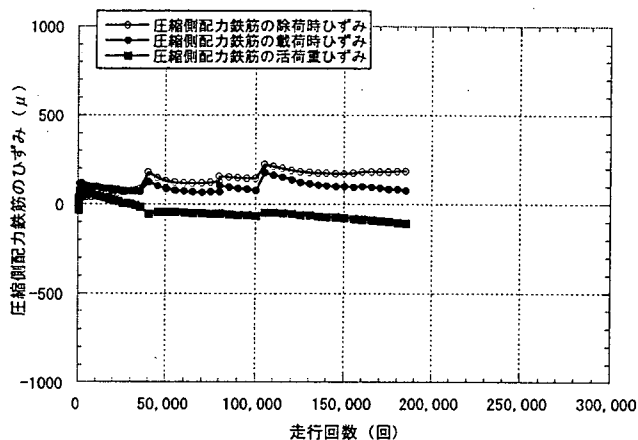


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



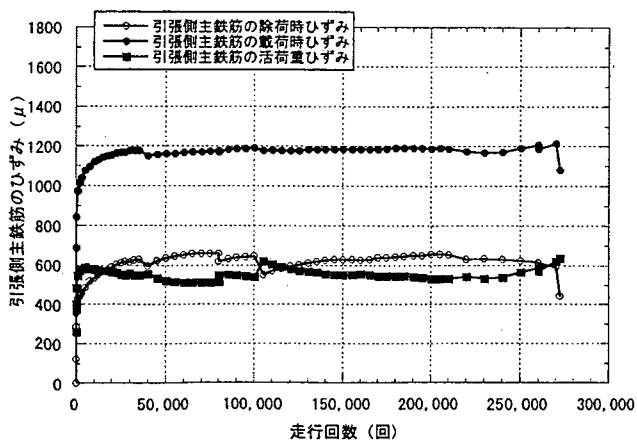
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



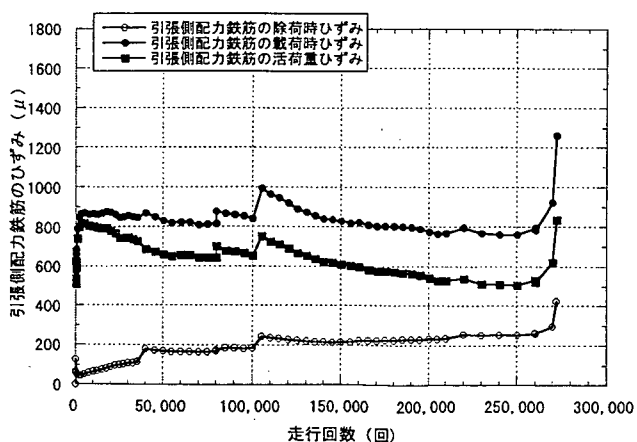
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

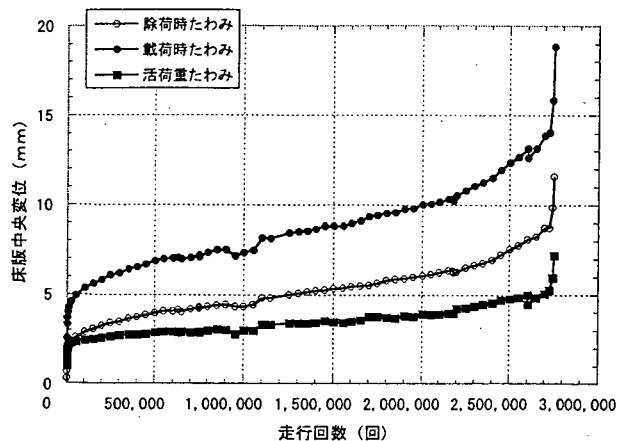
主鉄筋のひずみの関係



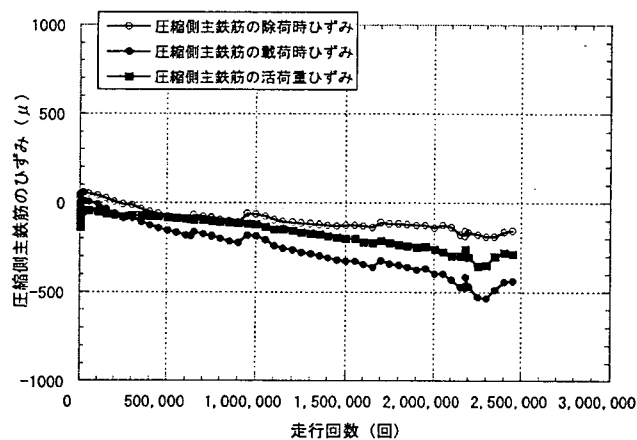
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.7 RC39-7 供試体

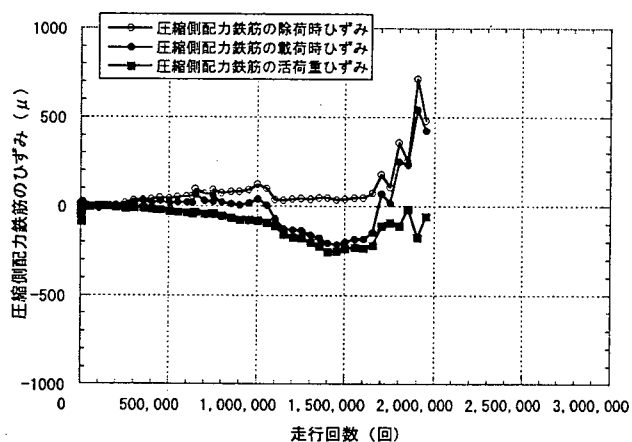


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



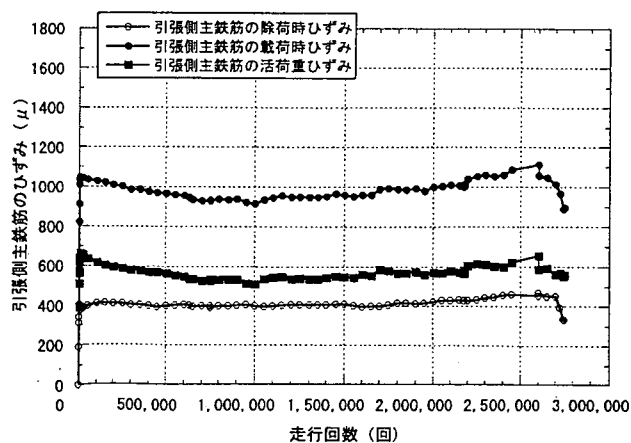
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



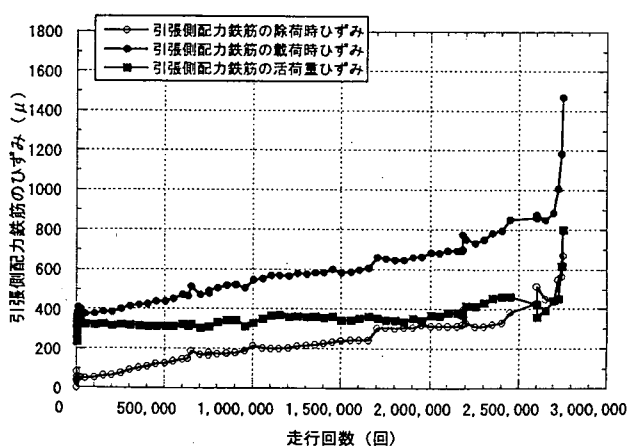
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

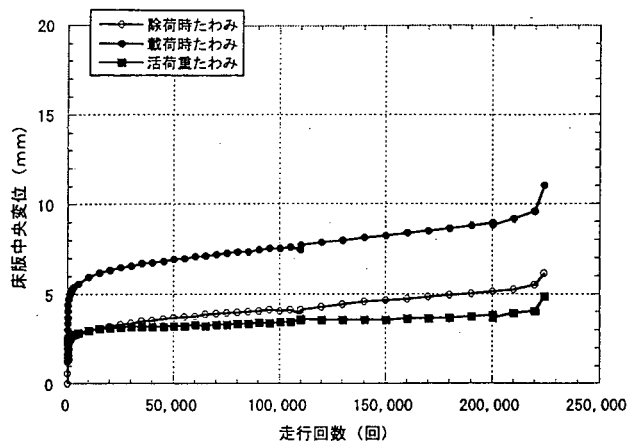
主鉄筋のひずみの関係



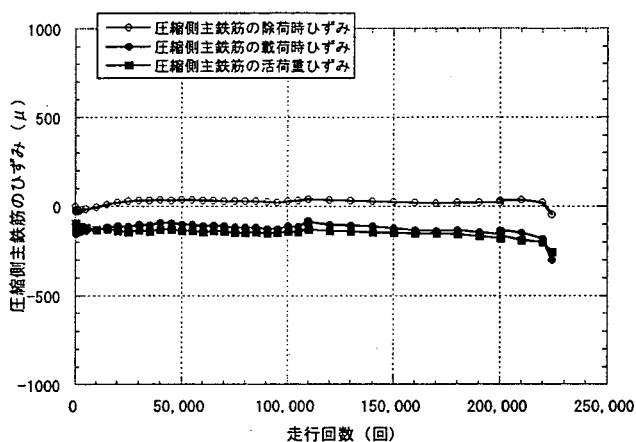
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.8 RC39-8 供試体

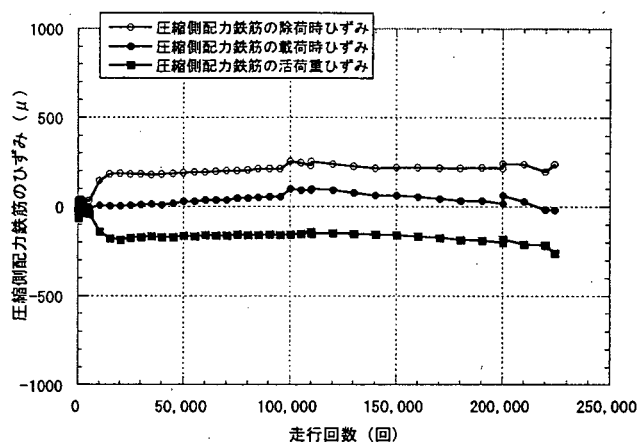


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



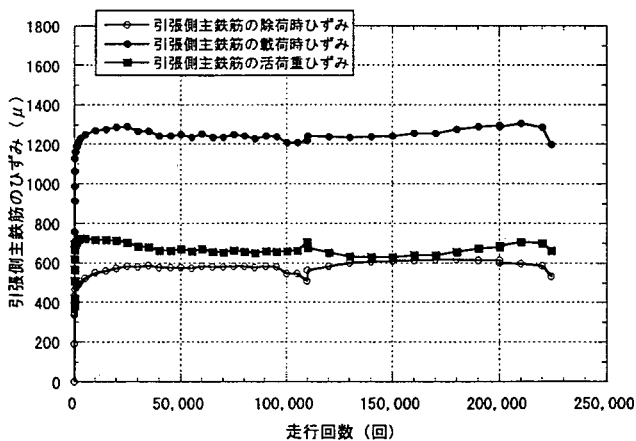
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



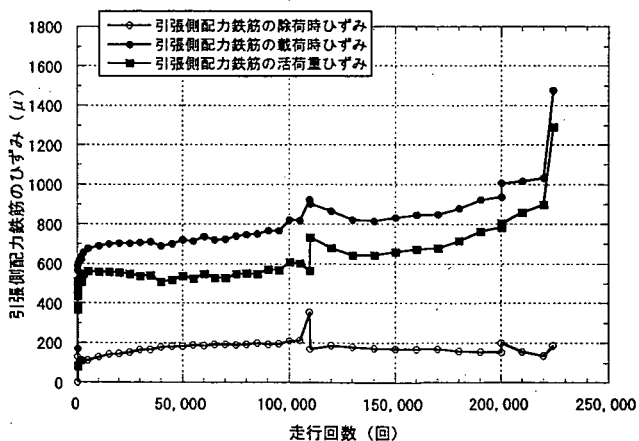
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

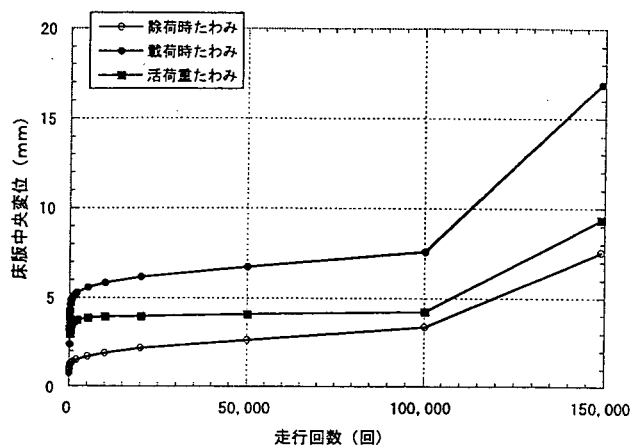
主鉄筋のひずみの関係



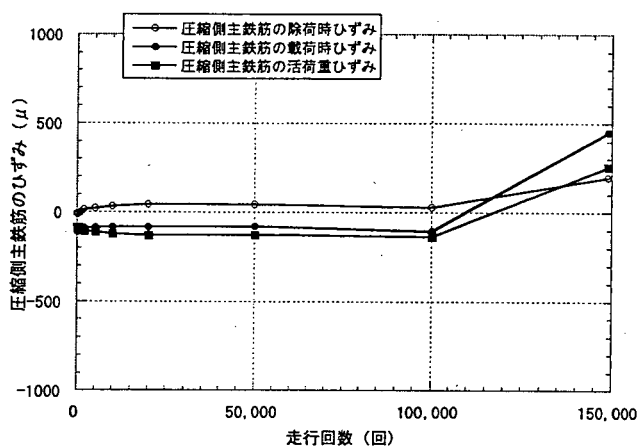
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-2.9 RC39-9 供試体

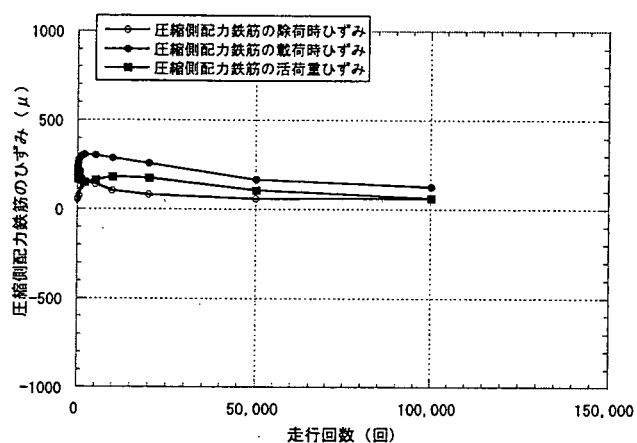


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



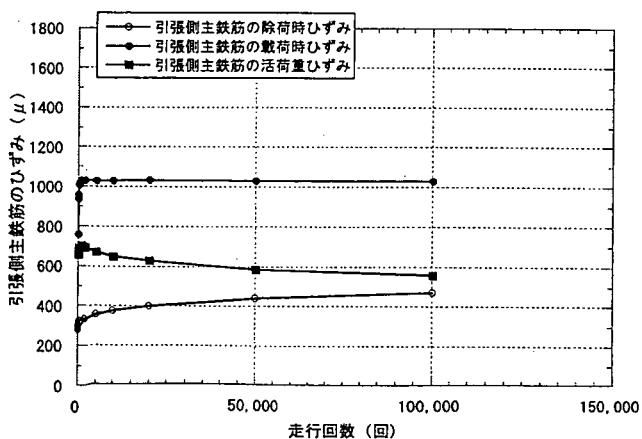
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



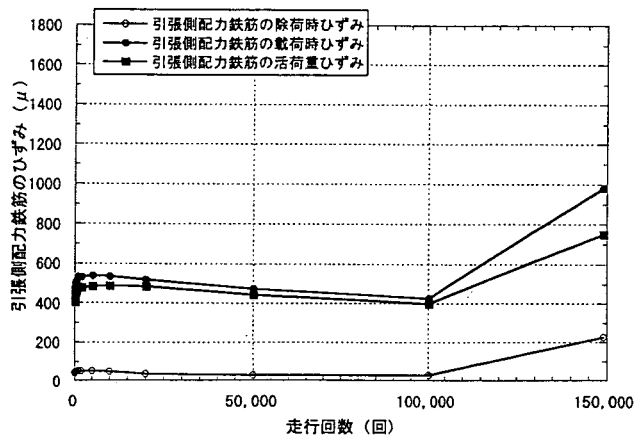
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

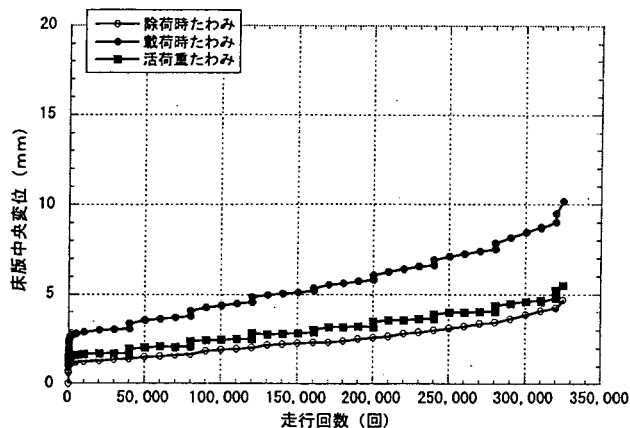
主鉄筋のひずみの関係



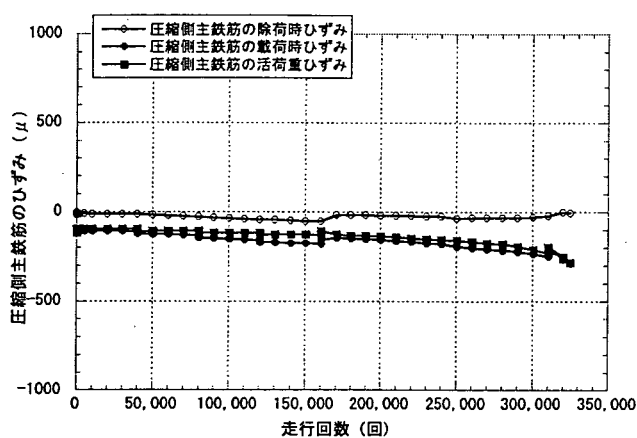
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-3.1 RC47-1 供試体

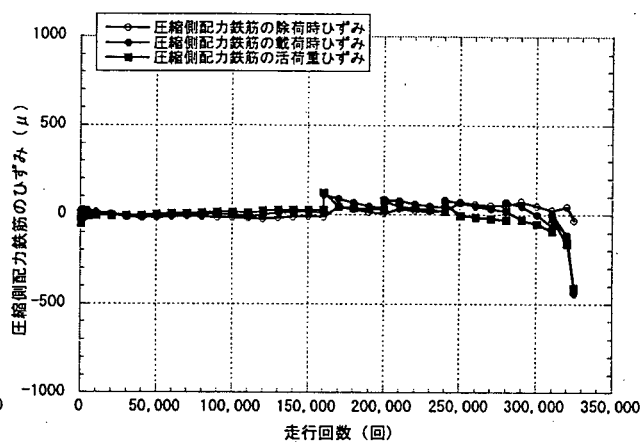


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



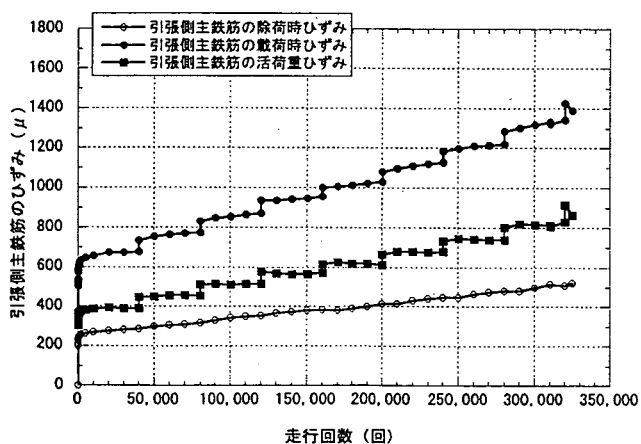
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



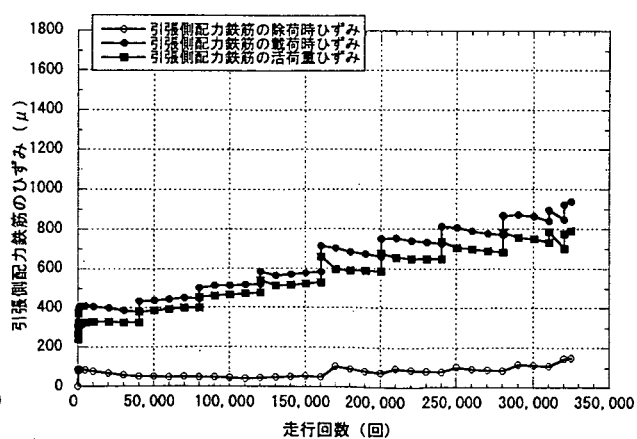
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

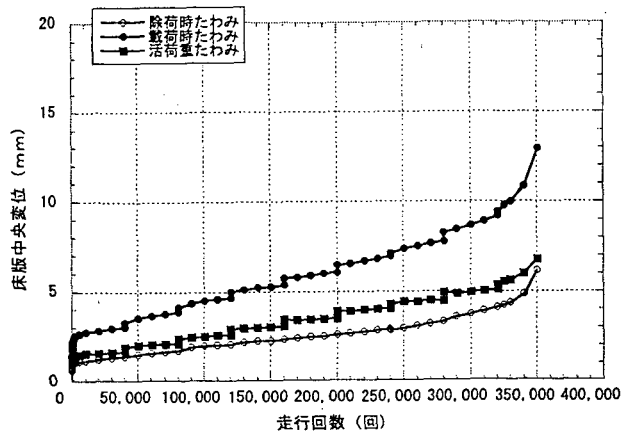
主鉄筋のひずみの関係



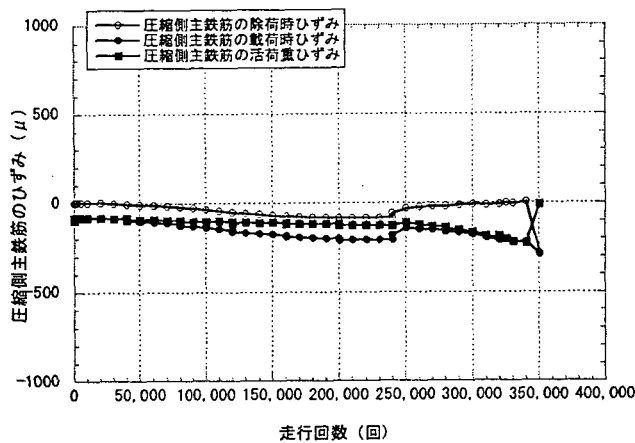
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-3.2 RC47-2 供試体

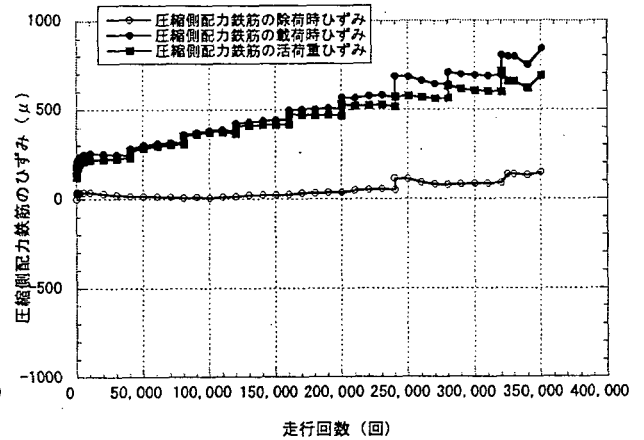


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



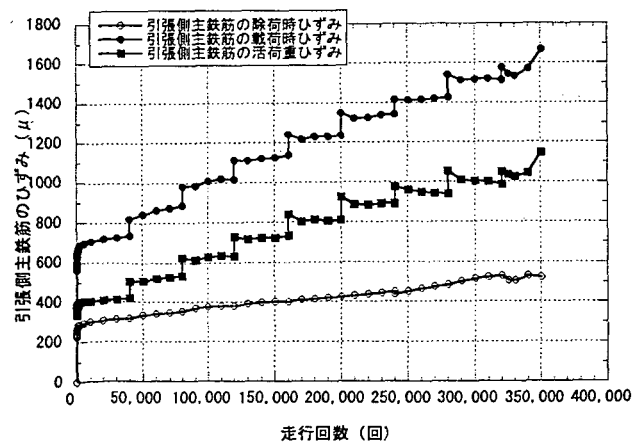
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



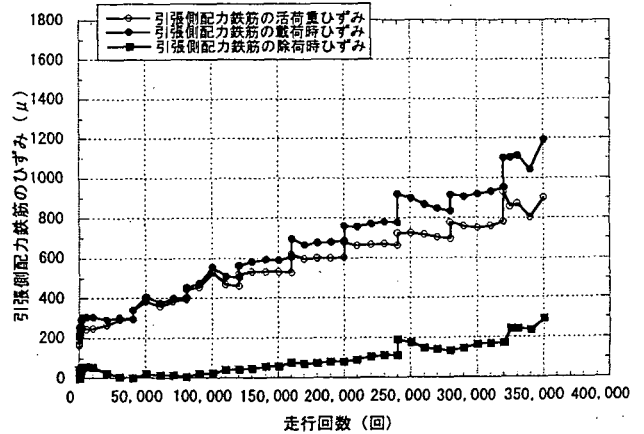
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

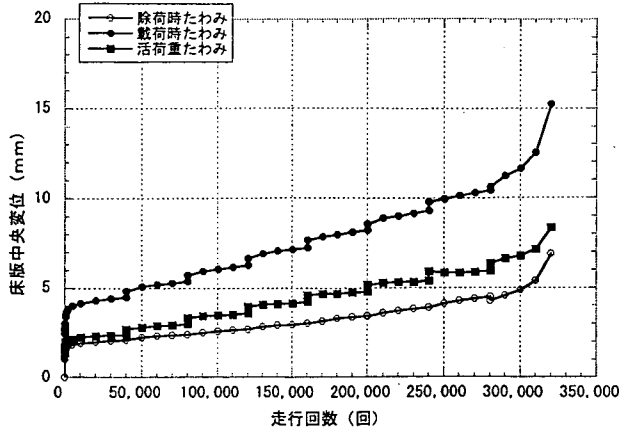
主鉄筋のひずみの関係



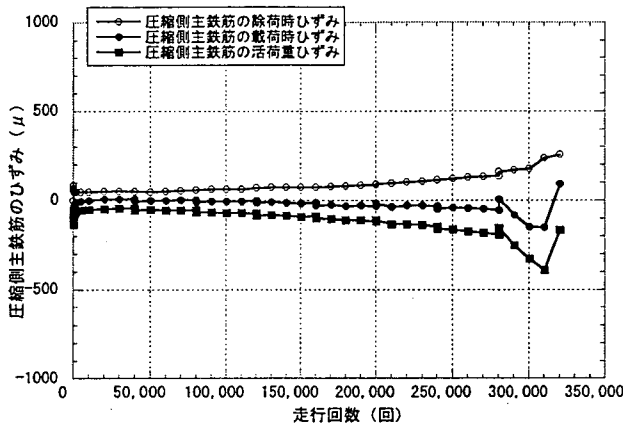
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

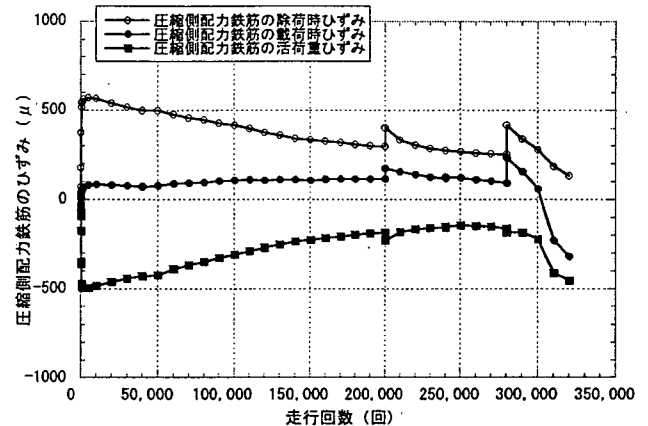
付図-3.3 RC47-3 供試体



(a) 走行回数と床版中央変位の関係

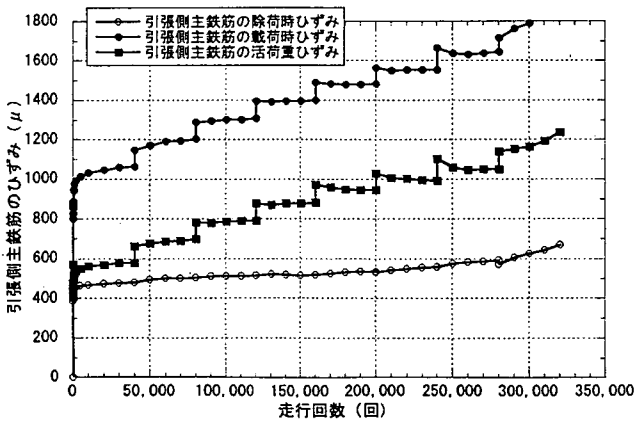


(b) 走行回数と床版中央圧縮側



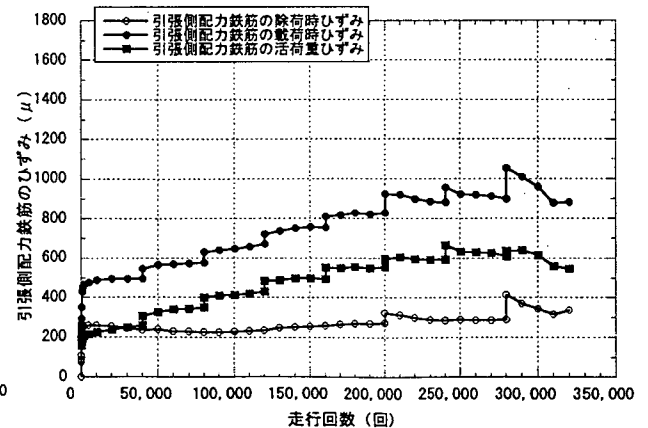
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

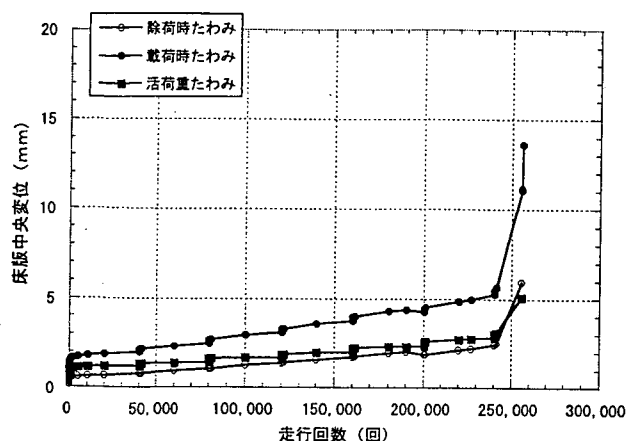


(e) 走行回数と床版中央引張側

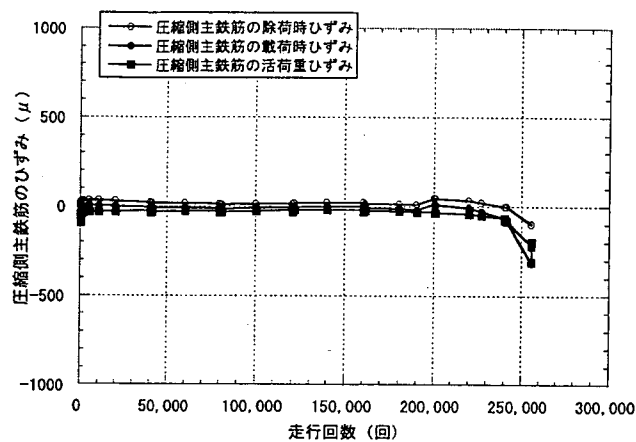
主鉄筋のひずみの関係

配力鉄筋のひずみの関係

付図-3.4 RC47-4 供試体

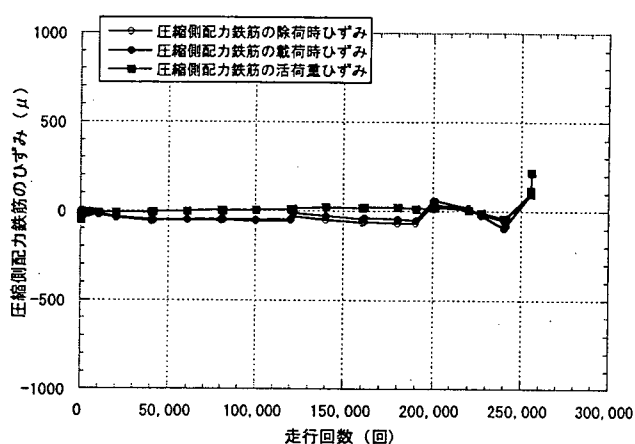


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



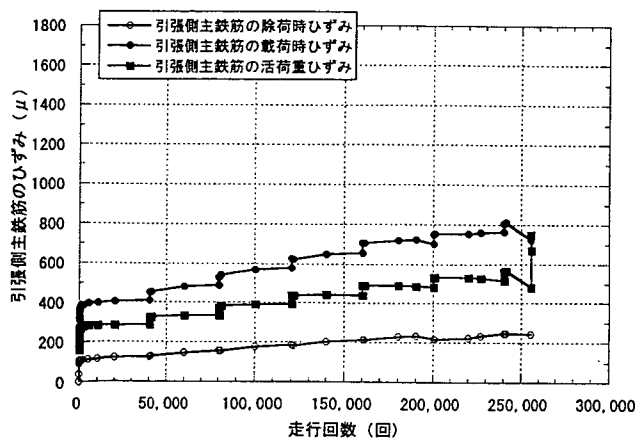
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



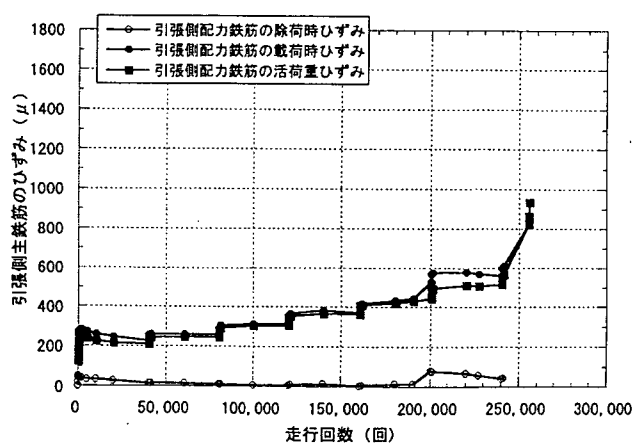
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

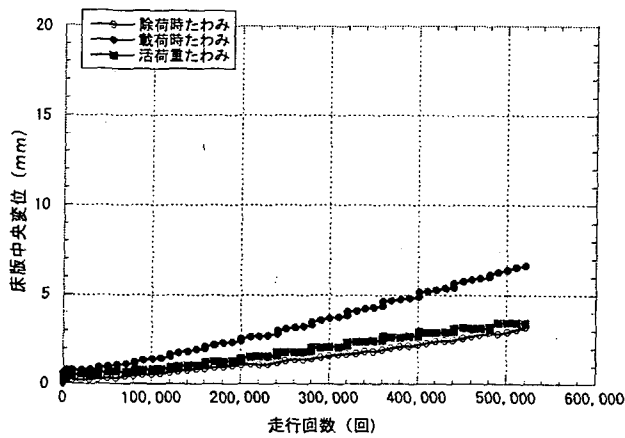
主鉄筋のひずみの関係



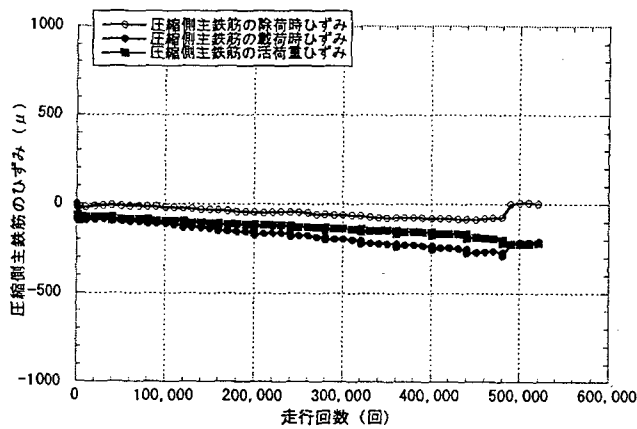
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

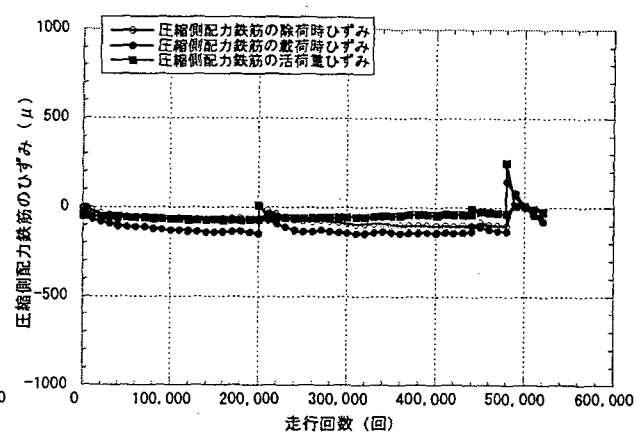
付図-4.1 RC8o-1 供試体



(a) 走行回数と床版中央変位の関係



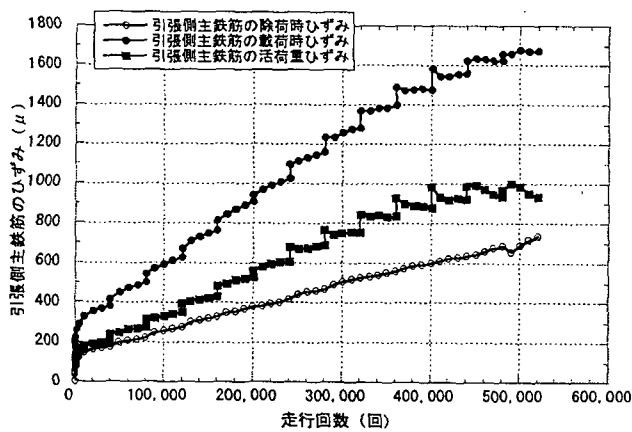
(b) 走行回数と床版中央圧縮側



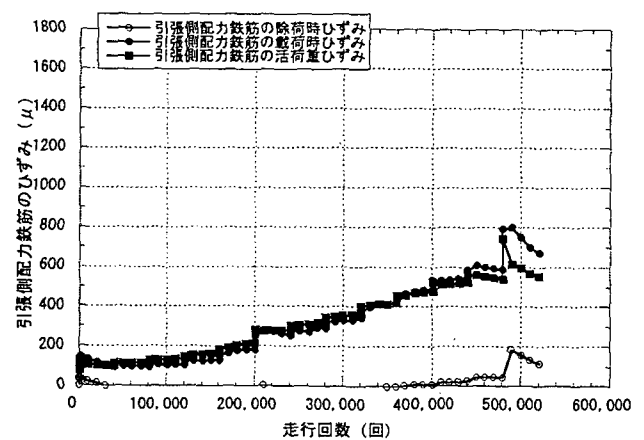
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

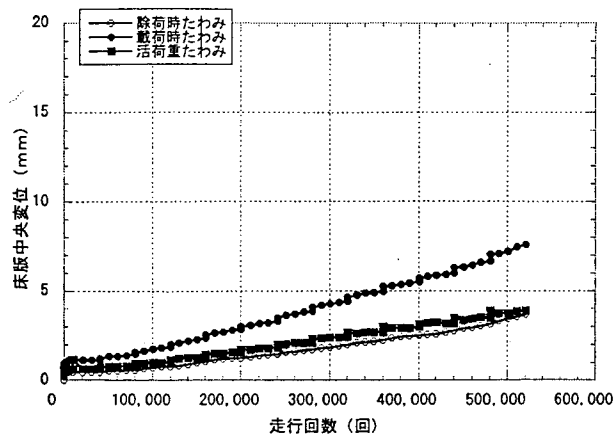


(e) 走行回数と床版中央引張側

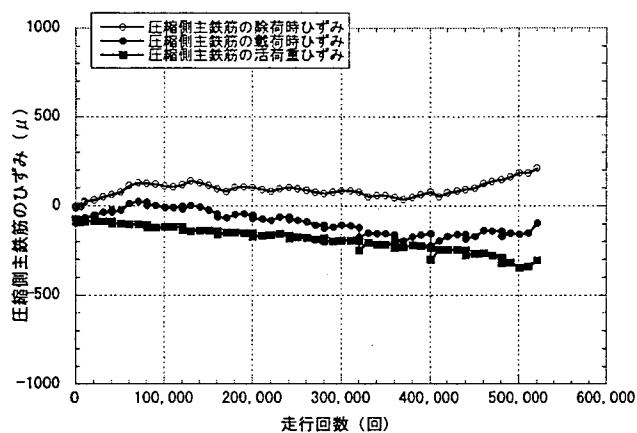
主鉄筋のひずみの関係

配力鉄筋のひずみの関係

付図-4.2 RC80-2 供試体

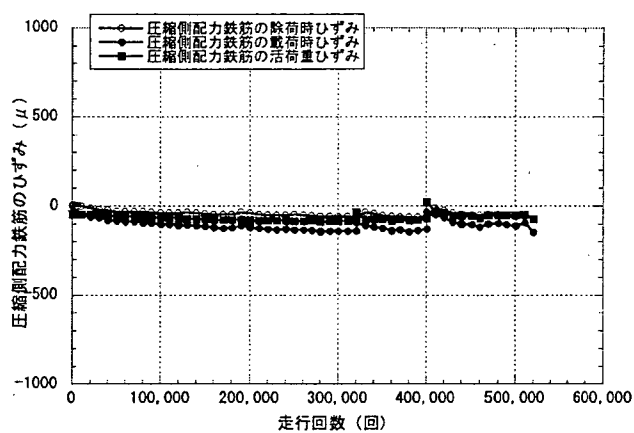


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



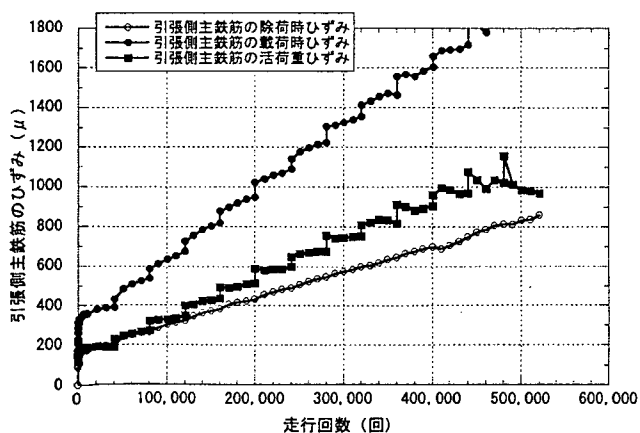
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



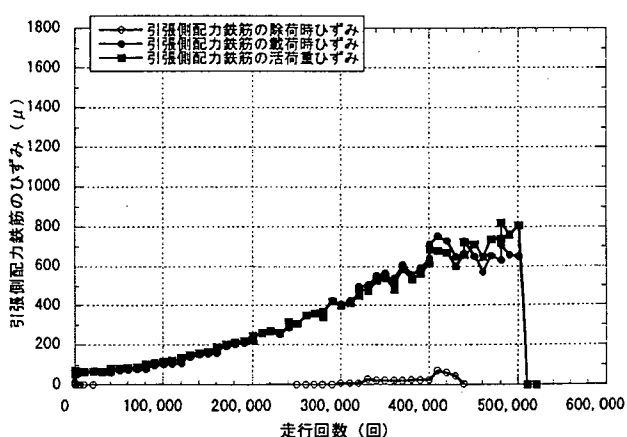
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

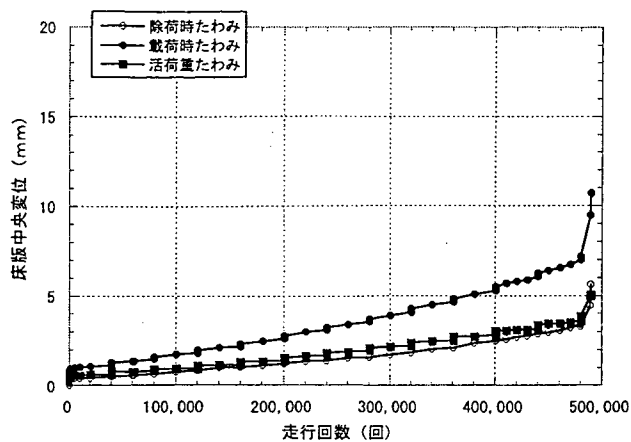
主鉄筋のひずみの関係



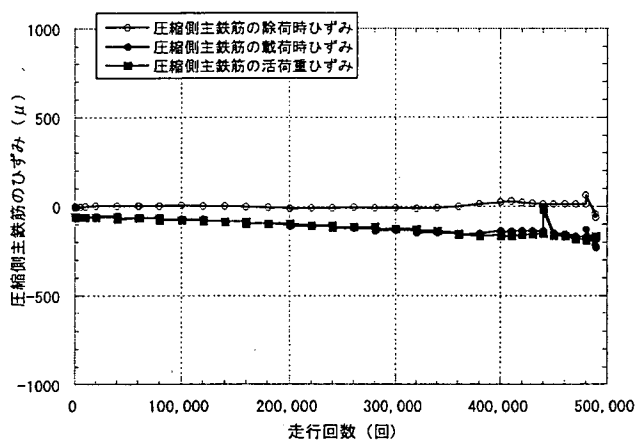
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-4.3 RC80-3 供試体

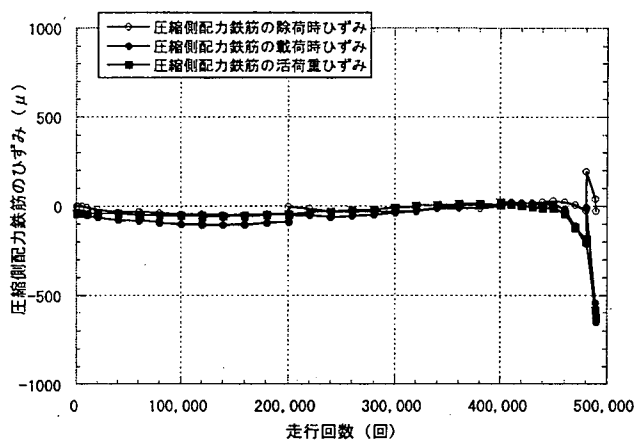


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



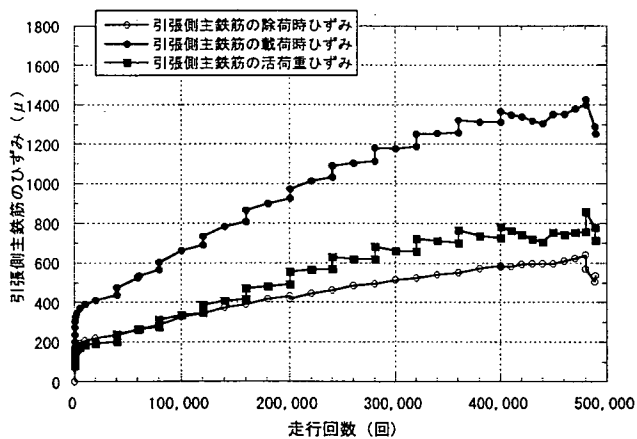
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



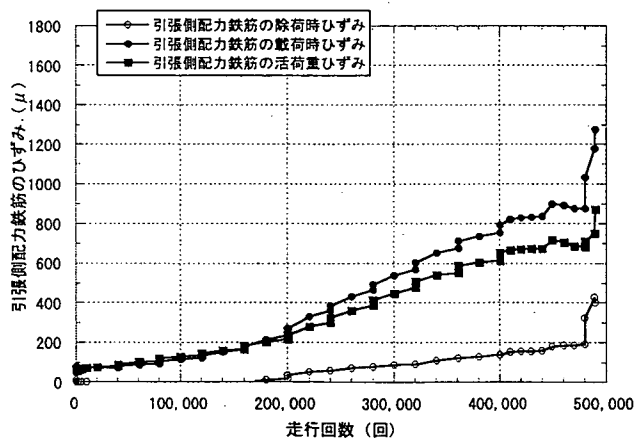
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

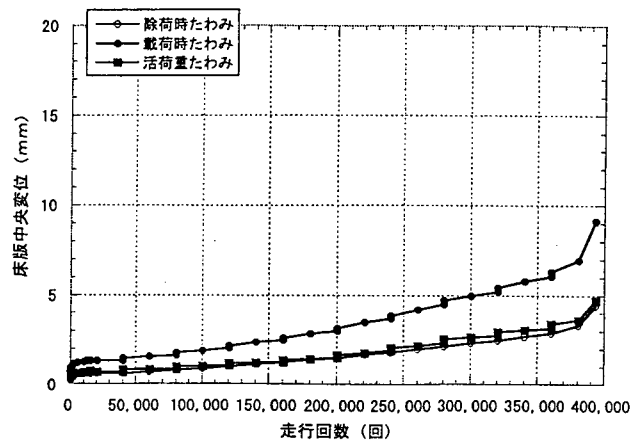
主鉄筋のひずみの関係



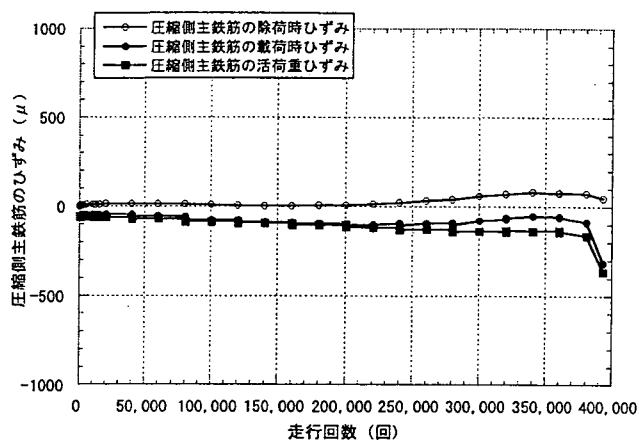
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-4.4 RC8n-1 供試体

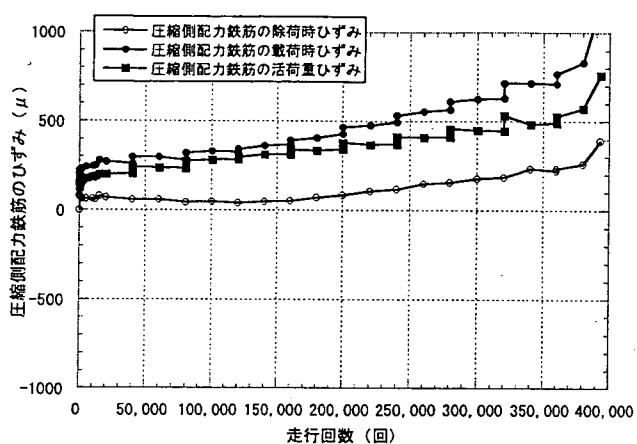


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



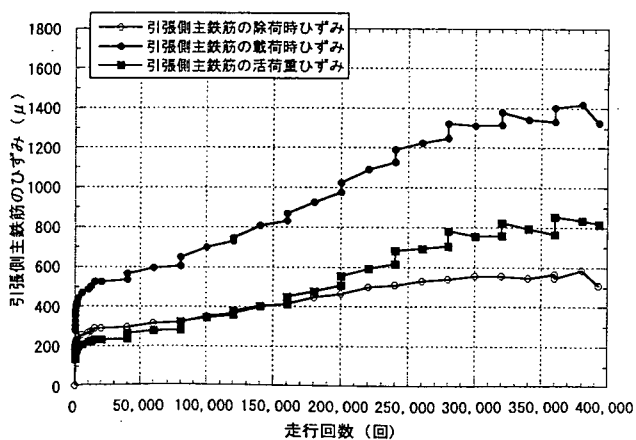
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



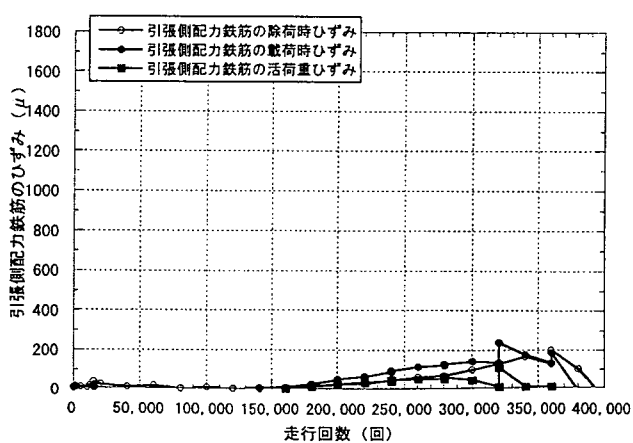
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

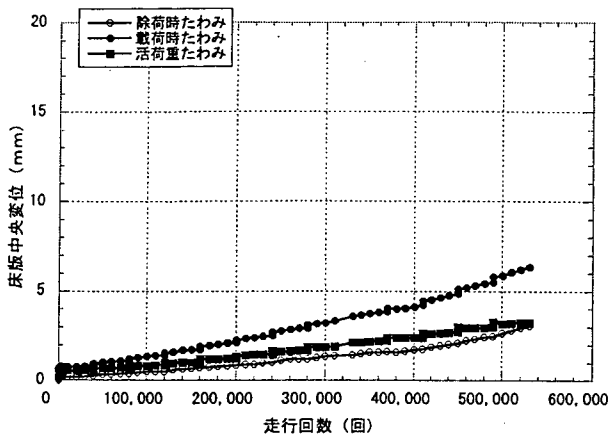
主鉄筋のひずみの関係



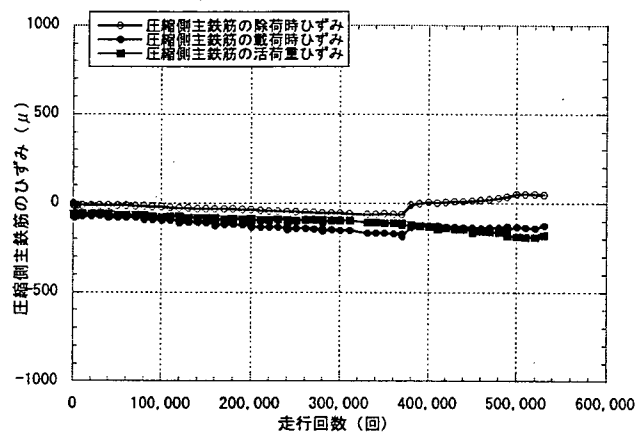
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-4.5 RC8n-2 供試体

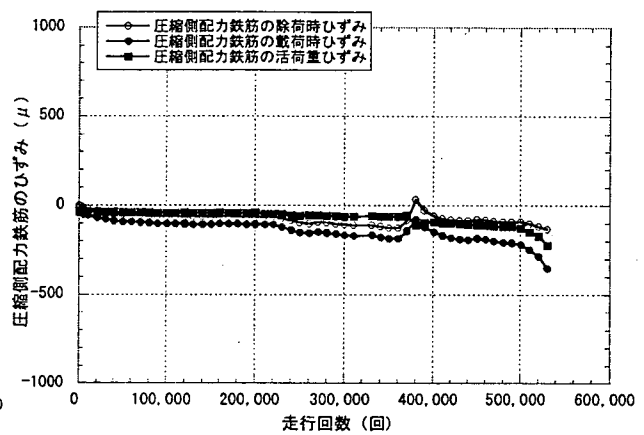


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



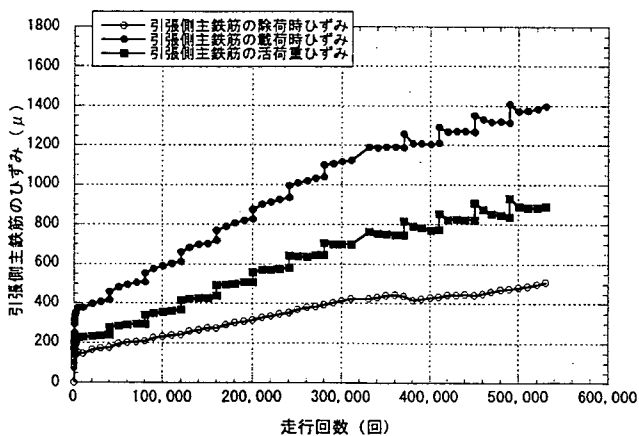
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



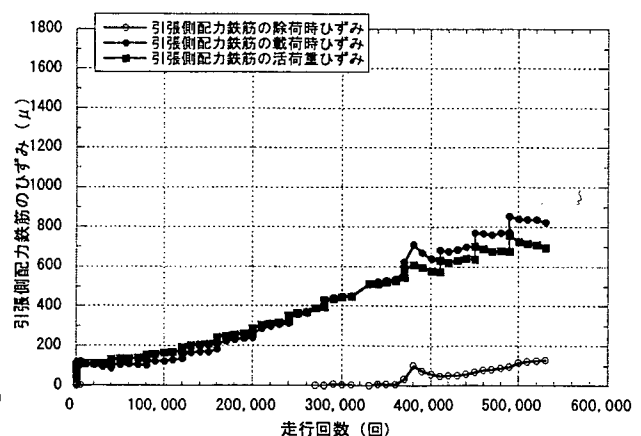
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

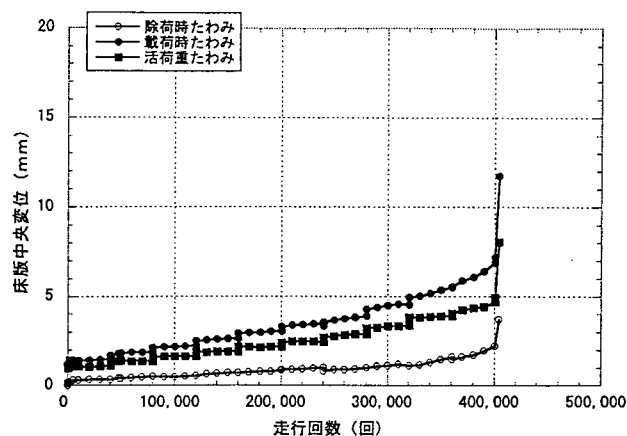
主鉄筋のひずみの関係



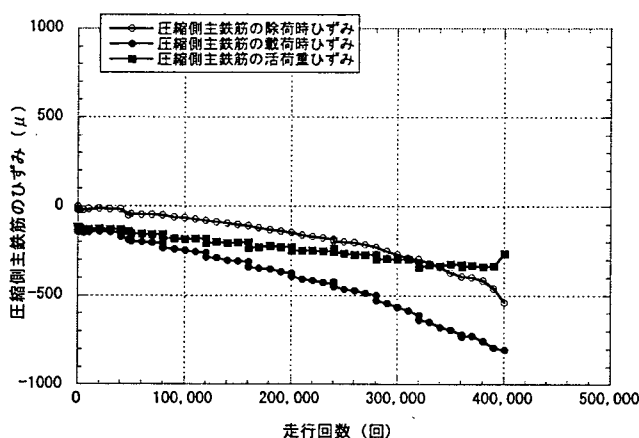
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-4.6 RC8n-3 供試体

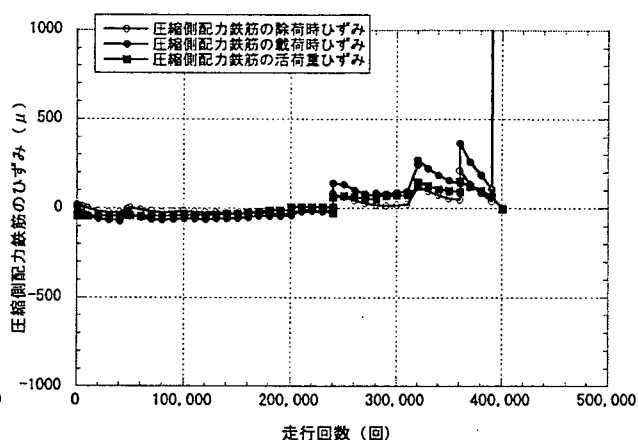


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



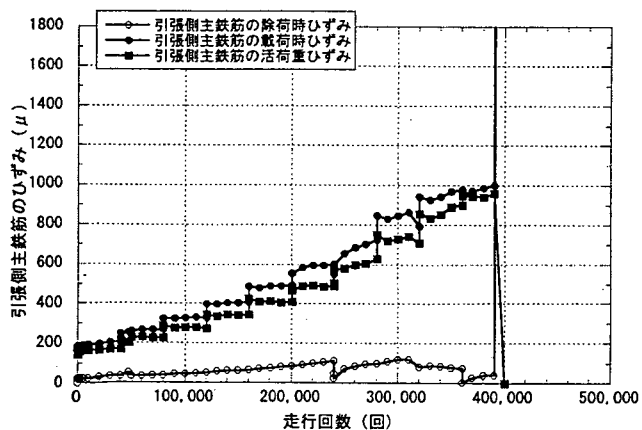
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



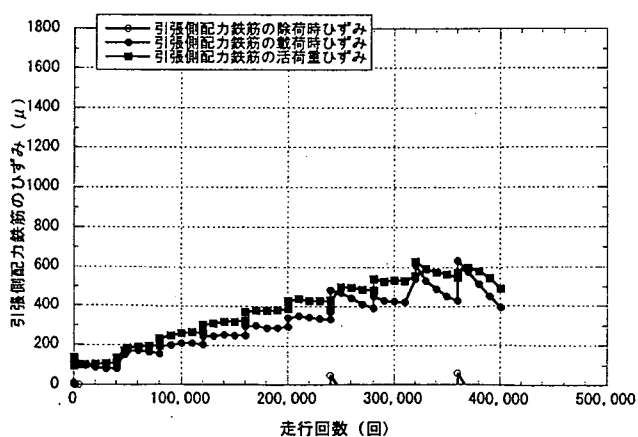
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

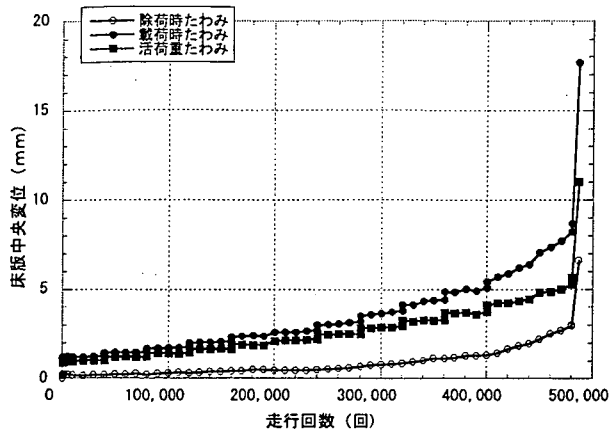
主鉄筋のひずみの関係



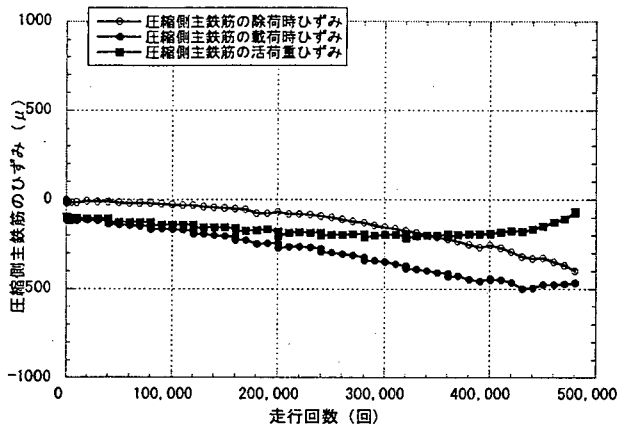
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-5.1 PC8-1 供試体

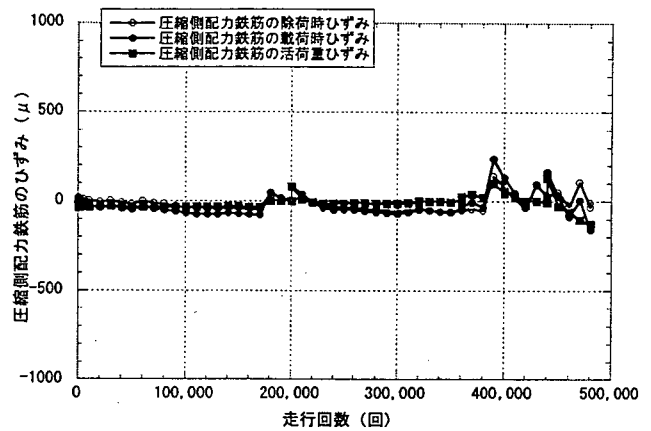


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



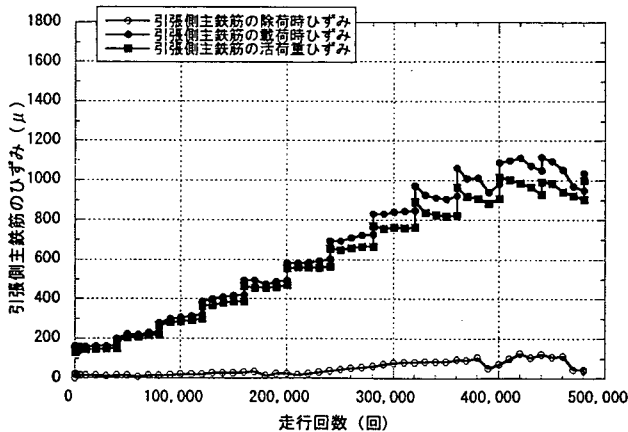
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



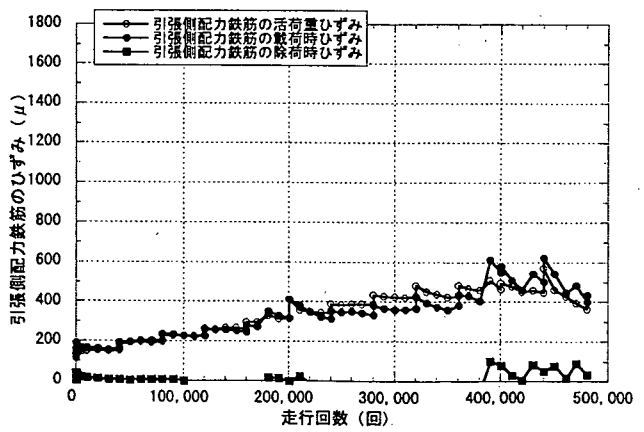
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

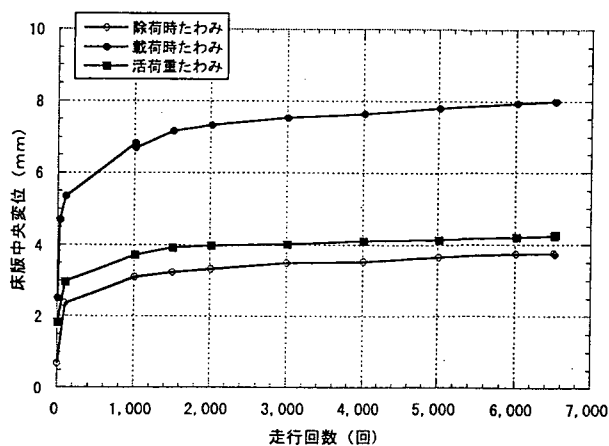
主鉄筋のひずみの関係



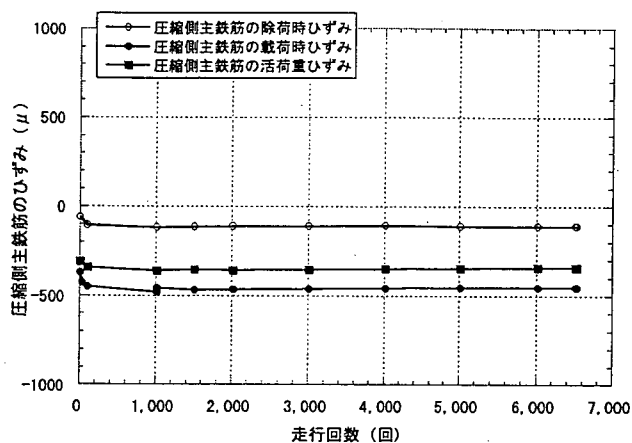
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-5.2 PC8-2 供試体

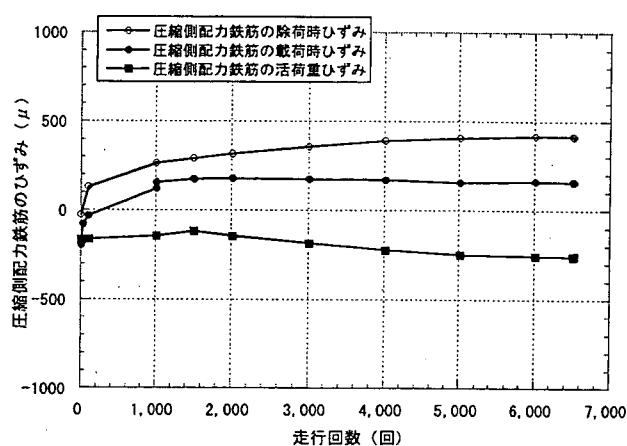


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



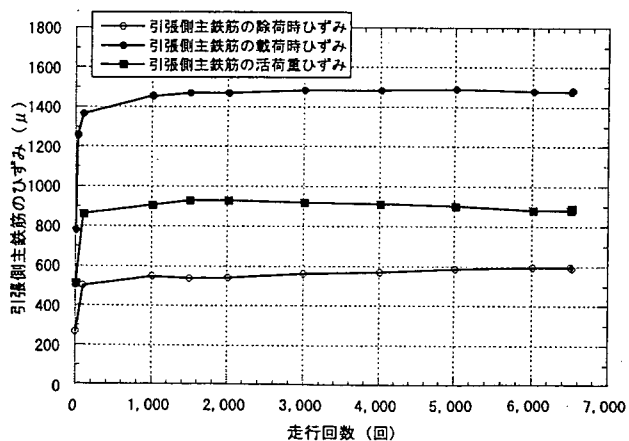
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



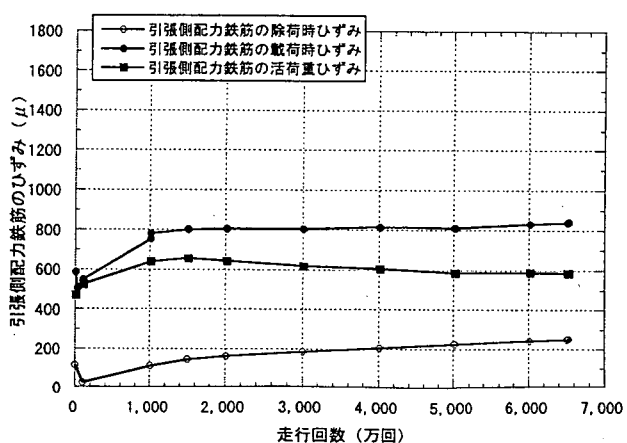
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

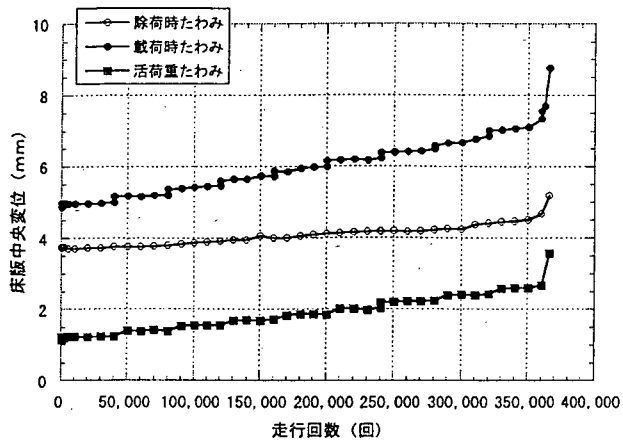
主鉄筋のひずみの関係



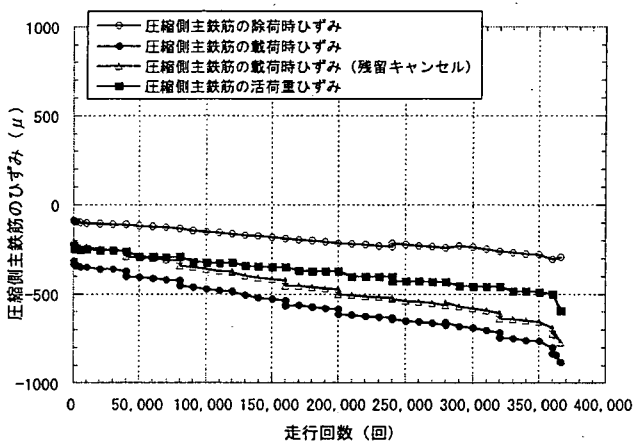
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-6.1 RC39+鋼板-1 (初期損傷)

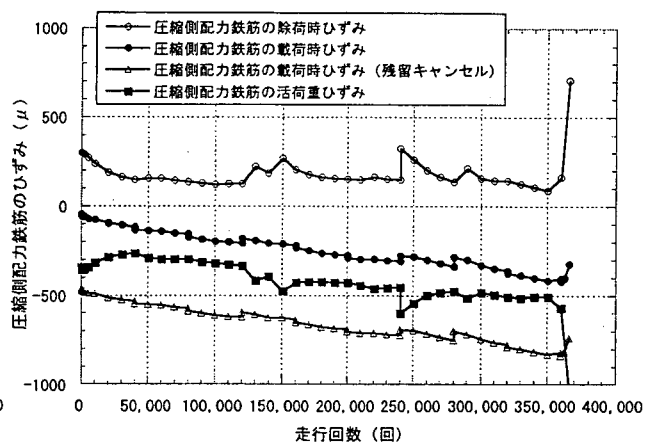


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



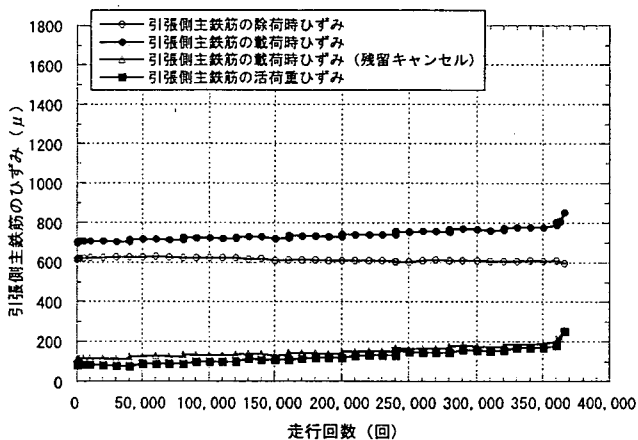
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



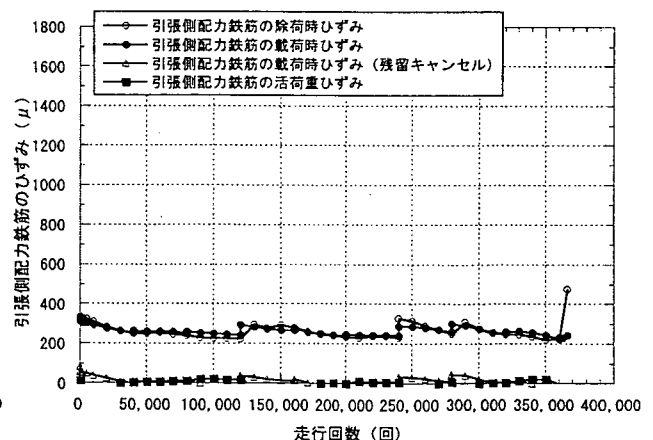
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



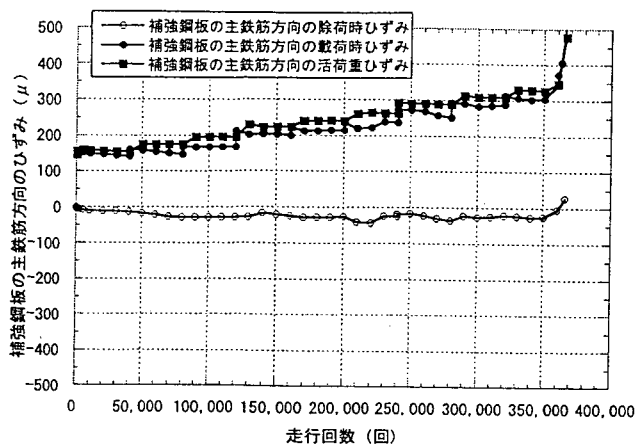
(d) 走行回数と床版中央引張側

主鉄筋のひずみの関係



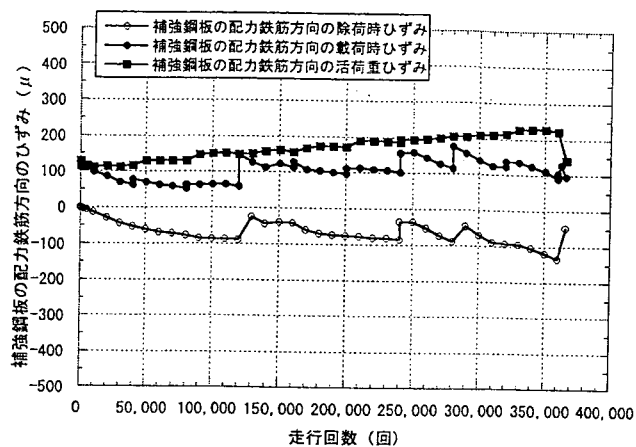
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係



(f) 走行回数と補強鋼板の

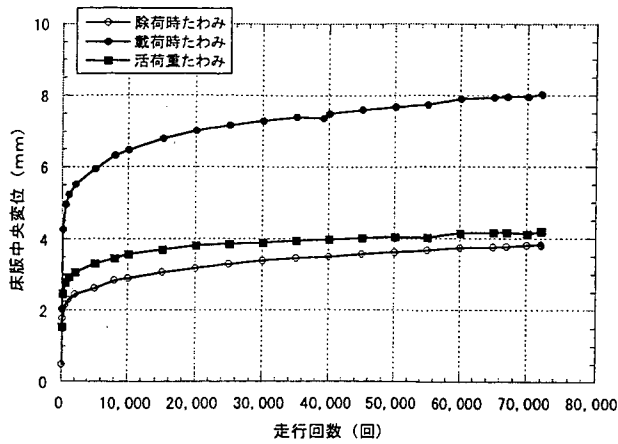
主鉄筋方向のひずみの関係



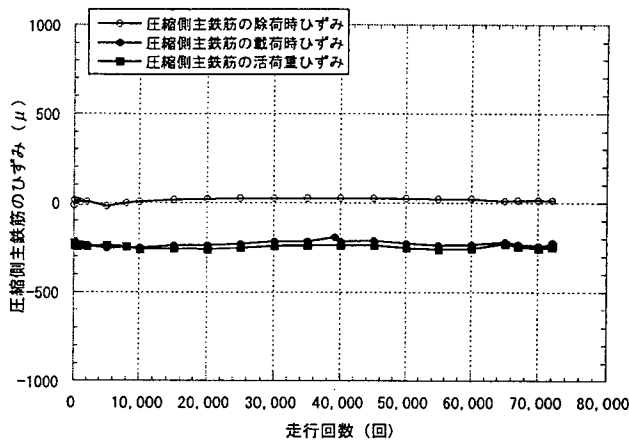
(g) 走行回数と補強鋼板の

配力鉄筋方向のひずみの関係

付図-6.2 RC39+鋼板-1 (補強後)

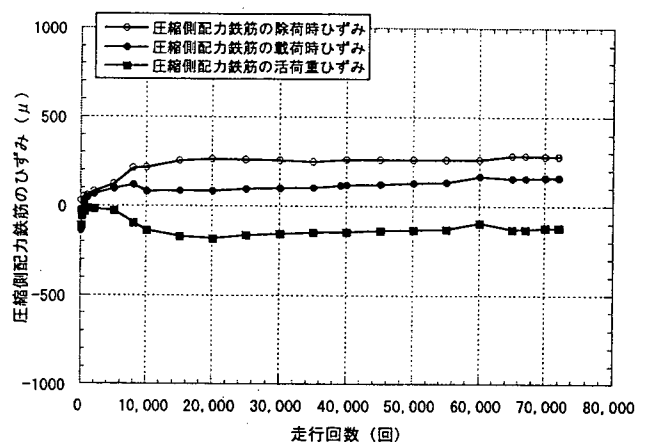


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



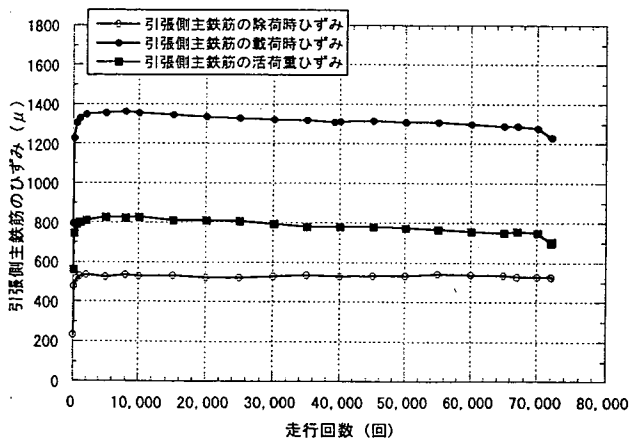
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



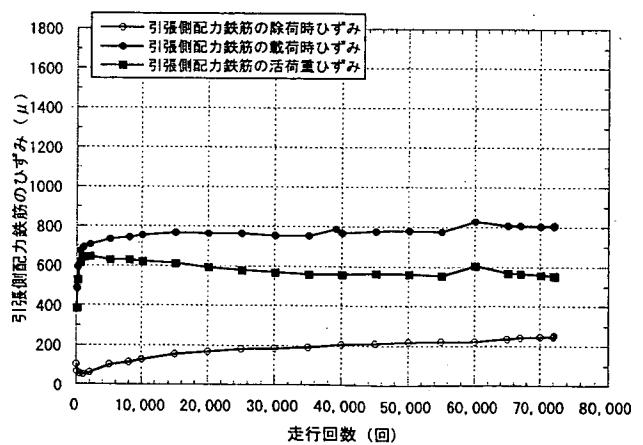
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

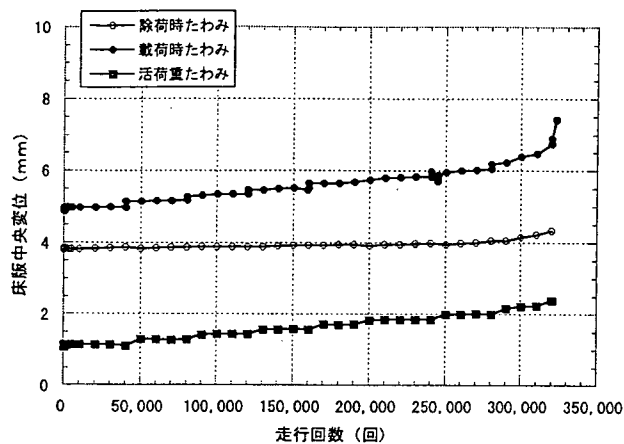
主鉄筋のひずみの関係



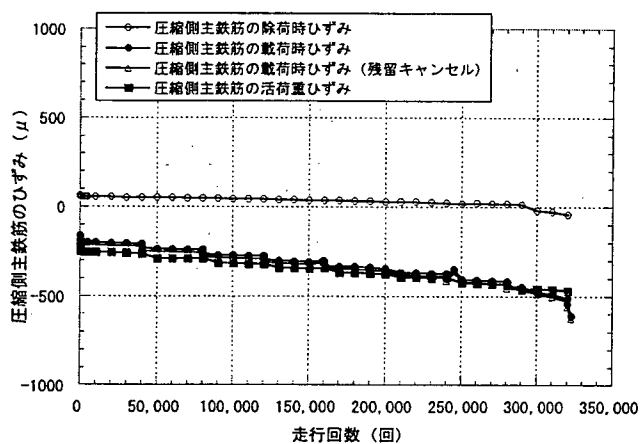
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-6.3 RC39+鋼板-2 (初期損傷)

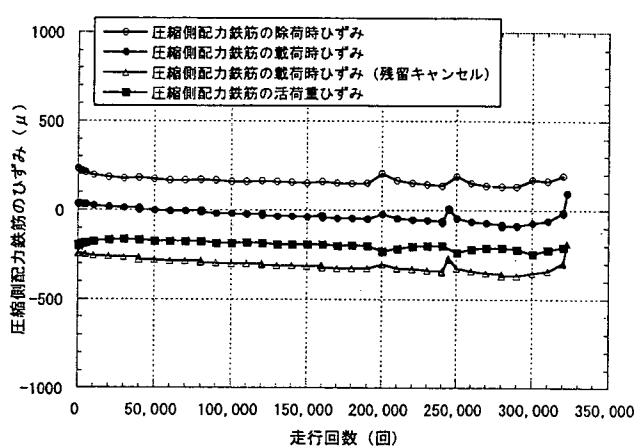


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



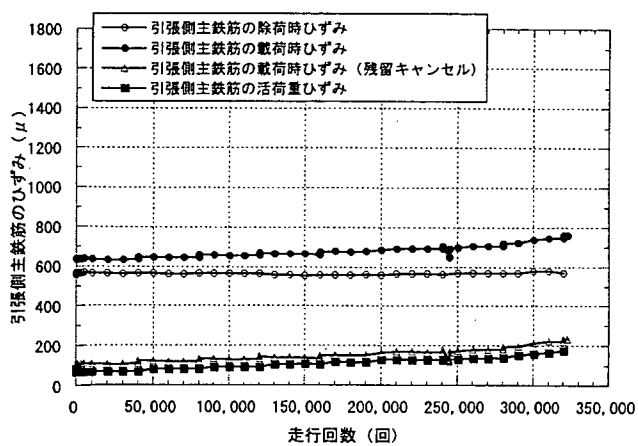
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



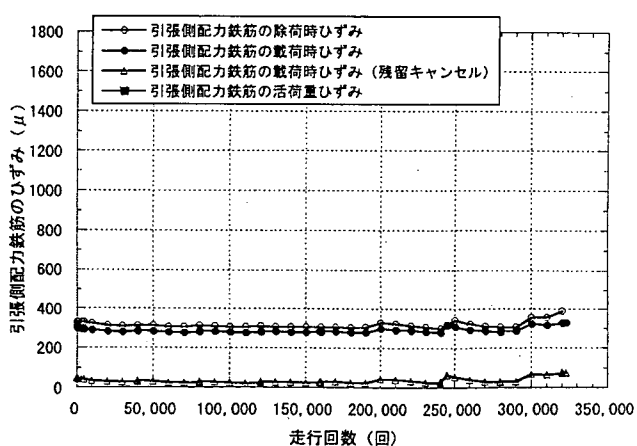
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



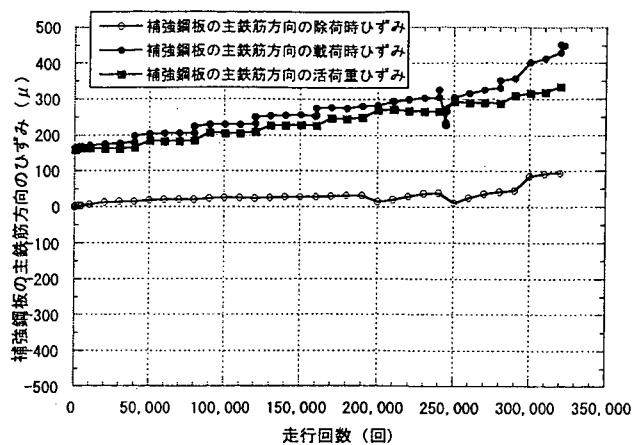
(d) 走行回数と床版中央引張側

主鉄筋のひずみの関係



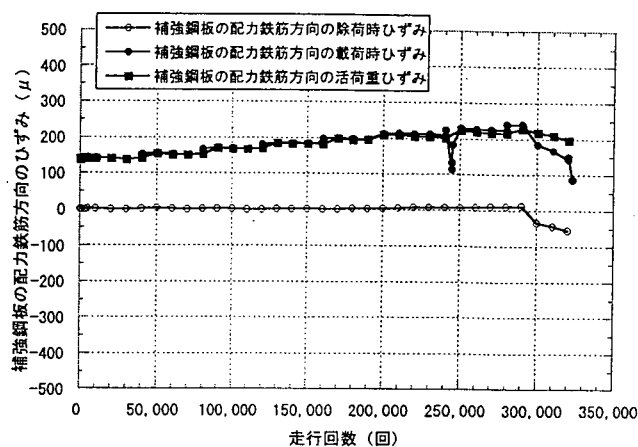
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係



(f) 走行回数と補強鋼板の

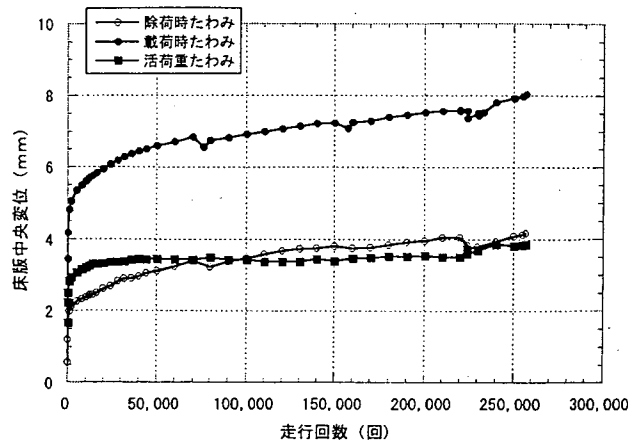
主鉄筋方向のひずみの関係



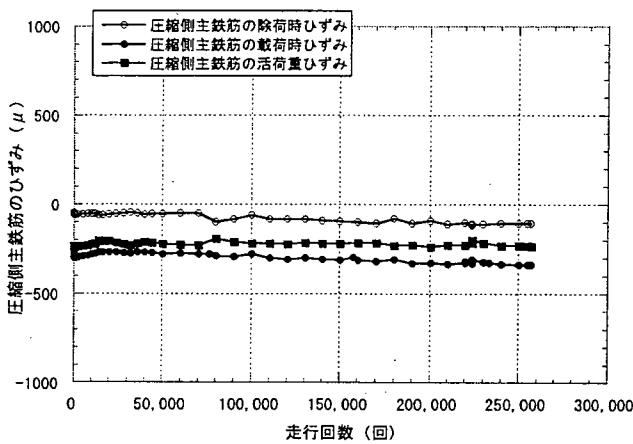
(g) 走行回数と補強鋼板の

配力鉄筋方向のひずみの関係

付図—6.4 RC39+鋼板-2 (補強後)

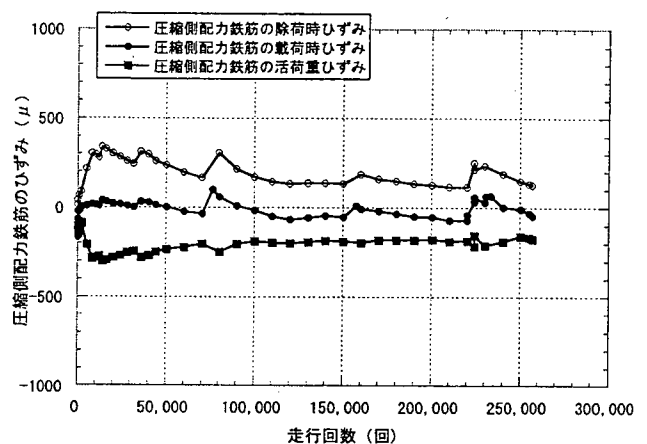


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



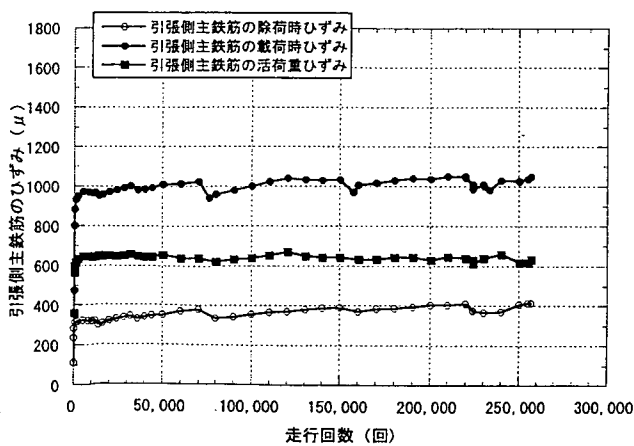
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



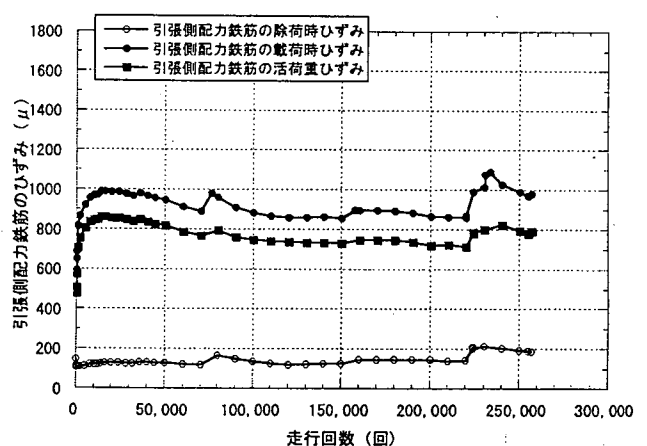
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

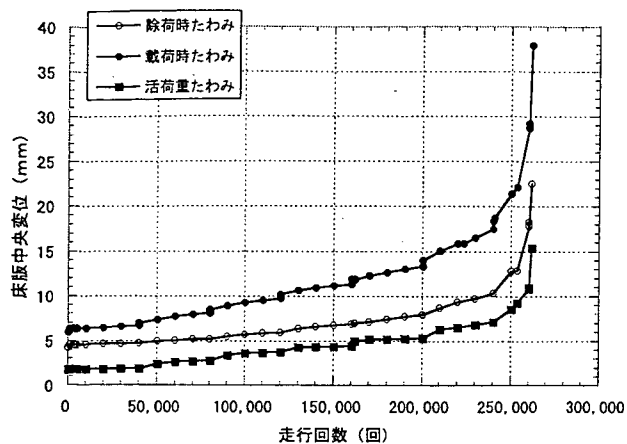
主鉄筋のひずみの関係



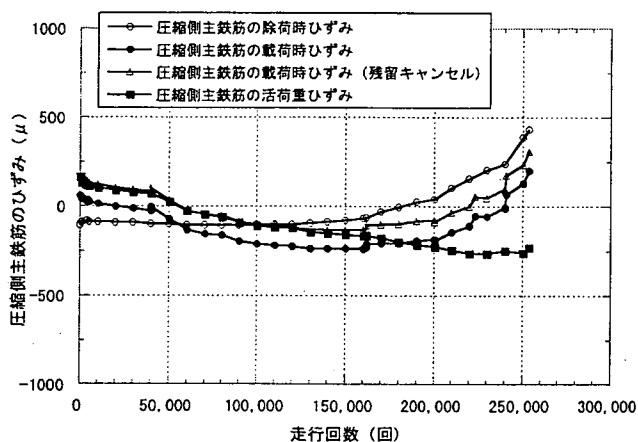
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-6.5 RC39+上面-1 (初期損傷)

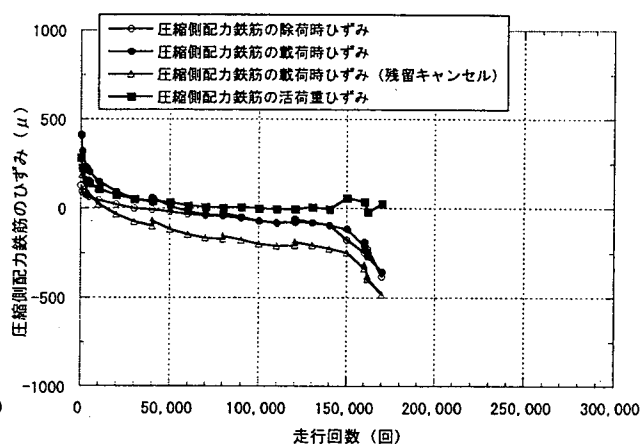


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



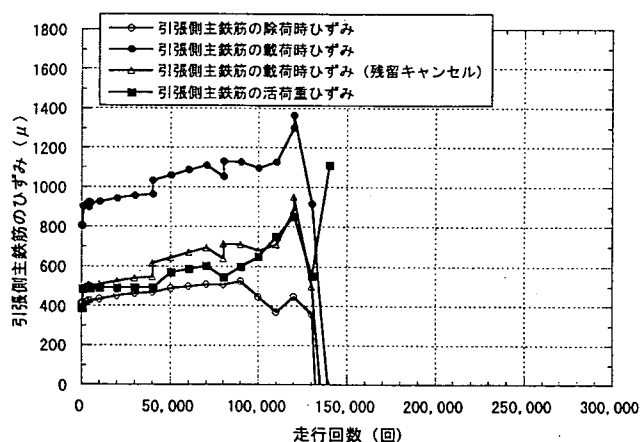
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



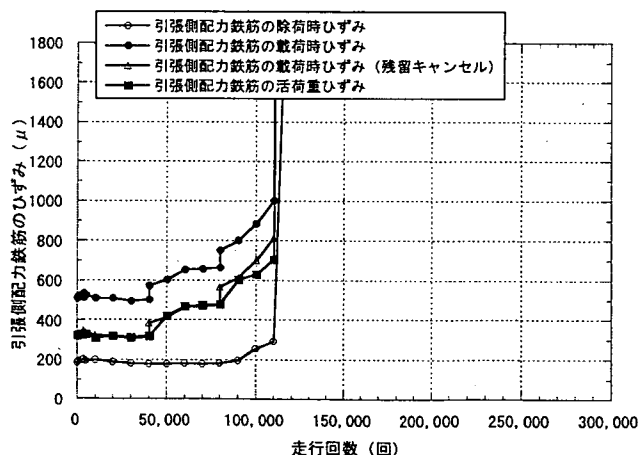
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

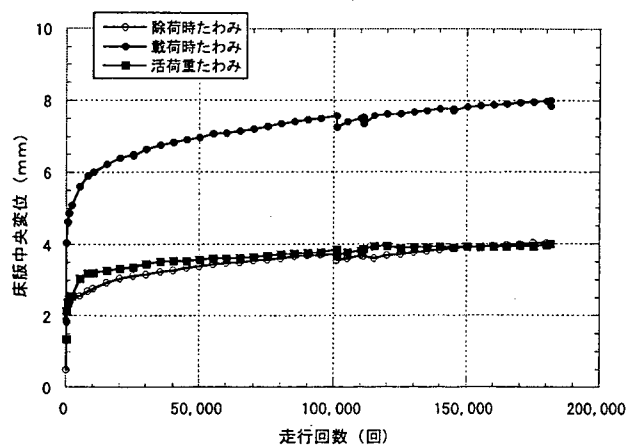
主鉄筋のひずみの関係



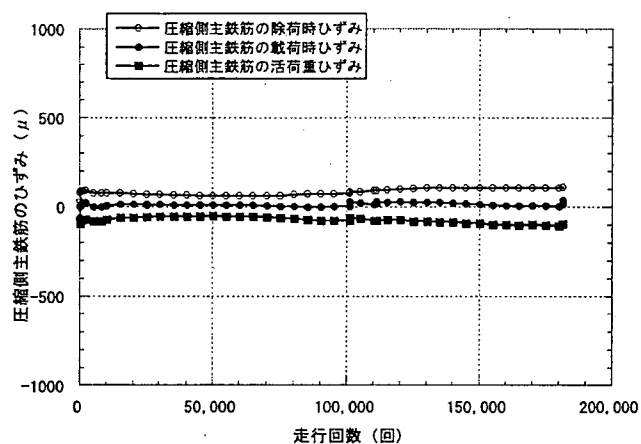
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

付図-6.6 RC39+上面-1 (補強後)

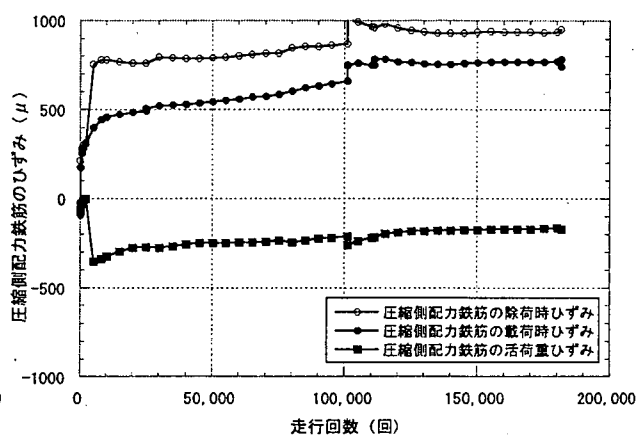


(a) 走行回数と床版中央変位の関係



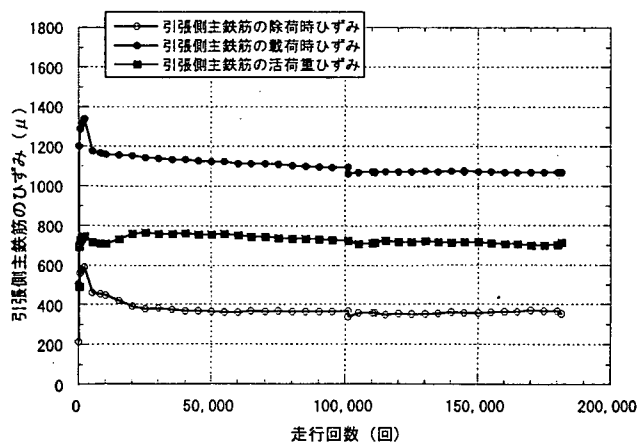
(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係



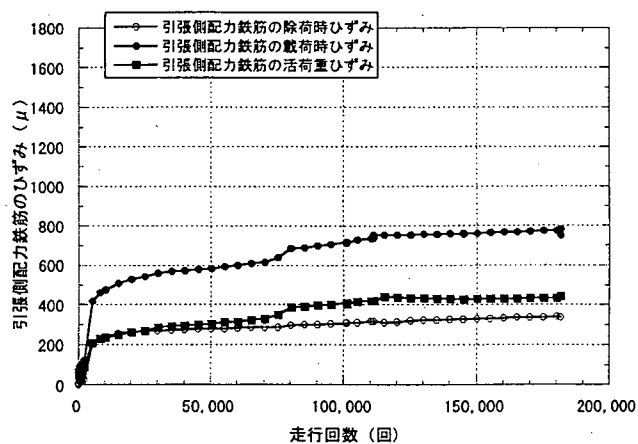
(c) 走行回数と床版中央圧縮側

配力鉄筋のひずみの関係



(d) 走行回数と床版中央引張側

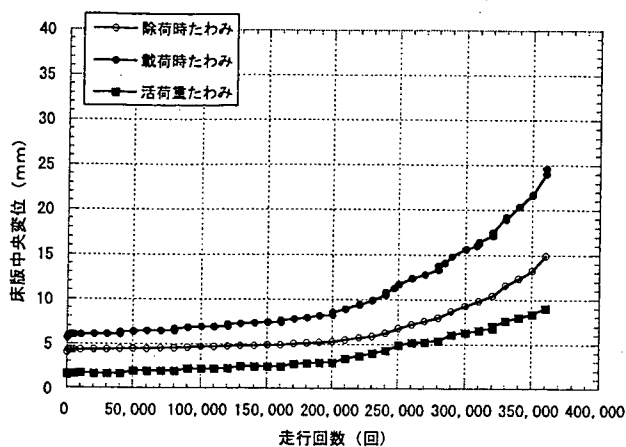
主鉄筋のひずみの関係



(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

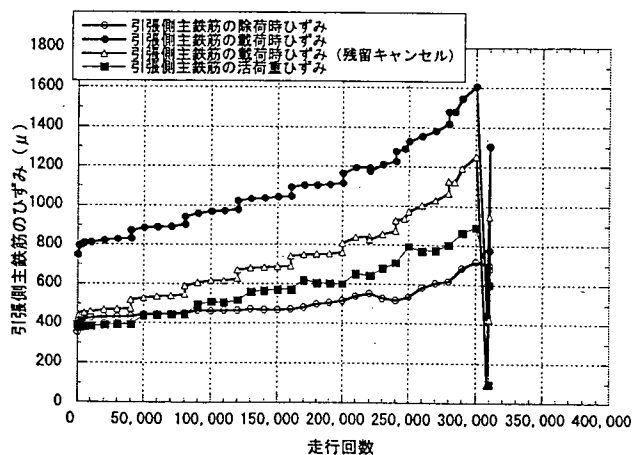
付図-6.7 RC39+上面-2 (初期損傷)



(a) 走行回数と床版中央変位の関係

(b) 走行回数と床版中央圧縮側

主鉄筋のひずみの関係

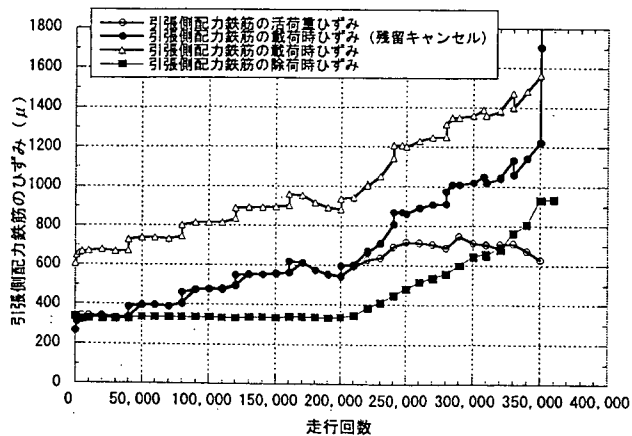


(d) 走行回数と床版中央引張側

主鉄筋のひずみの関係

(c) 走行回数と床版中央圧縮側

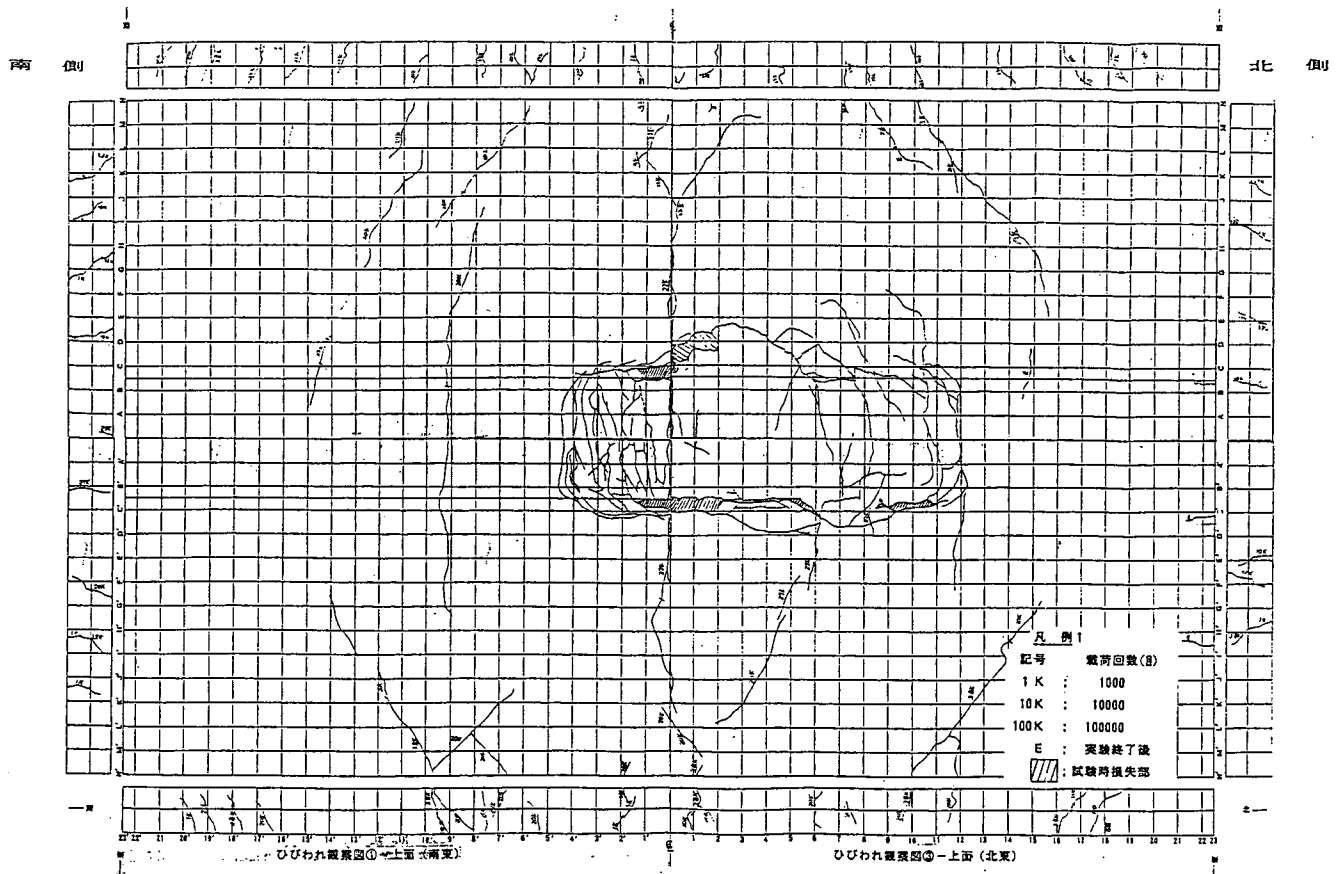
配力鉄筋のひずみの関係



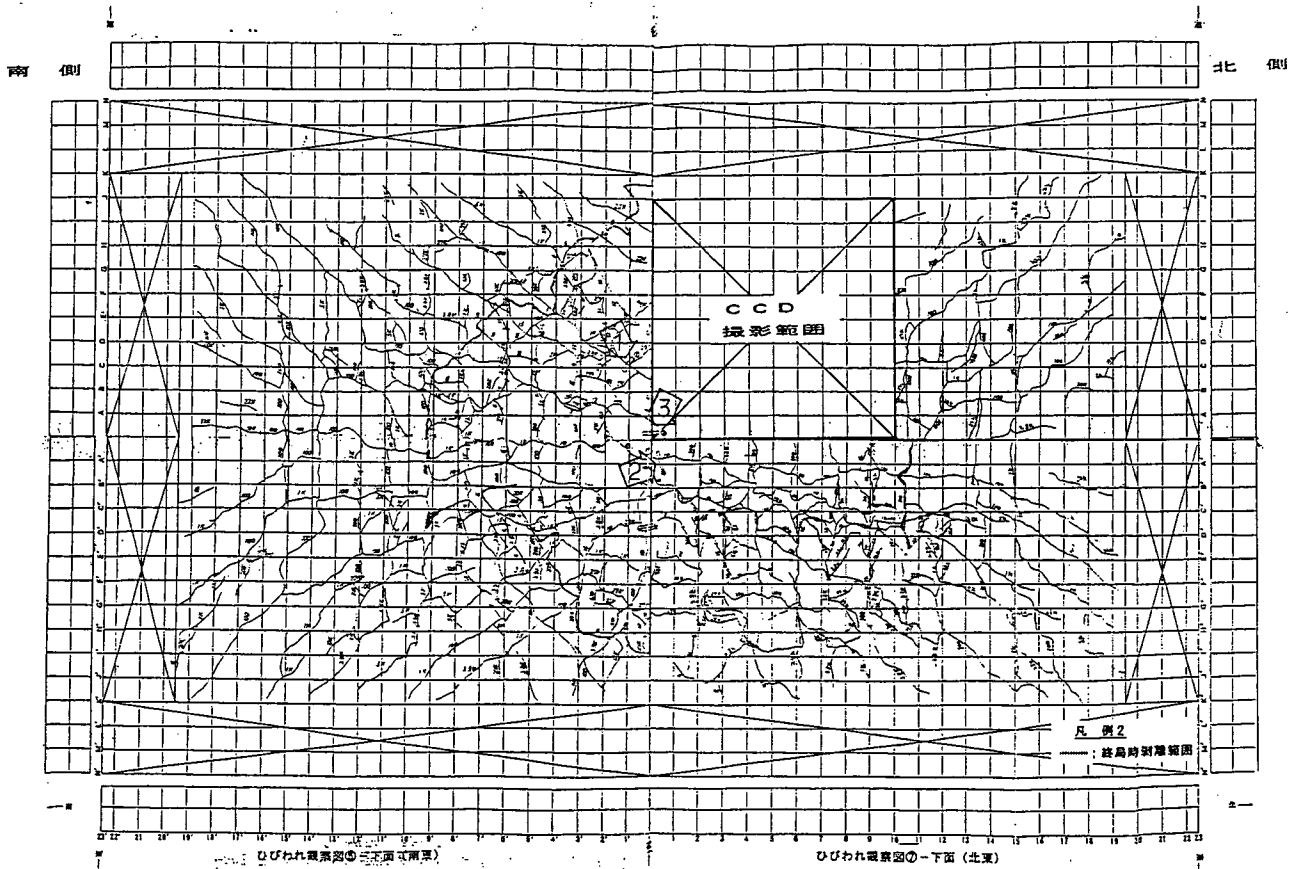
(e) 走行回数と床版中央引張側

配力鉄筋のひずみの関係

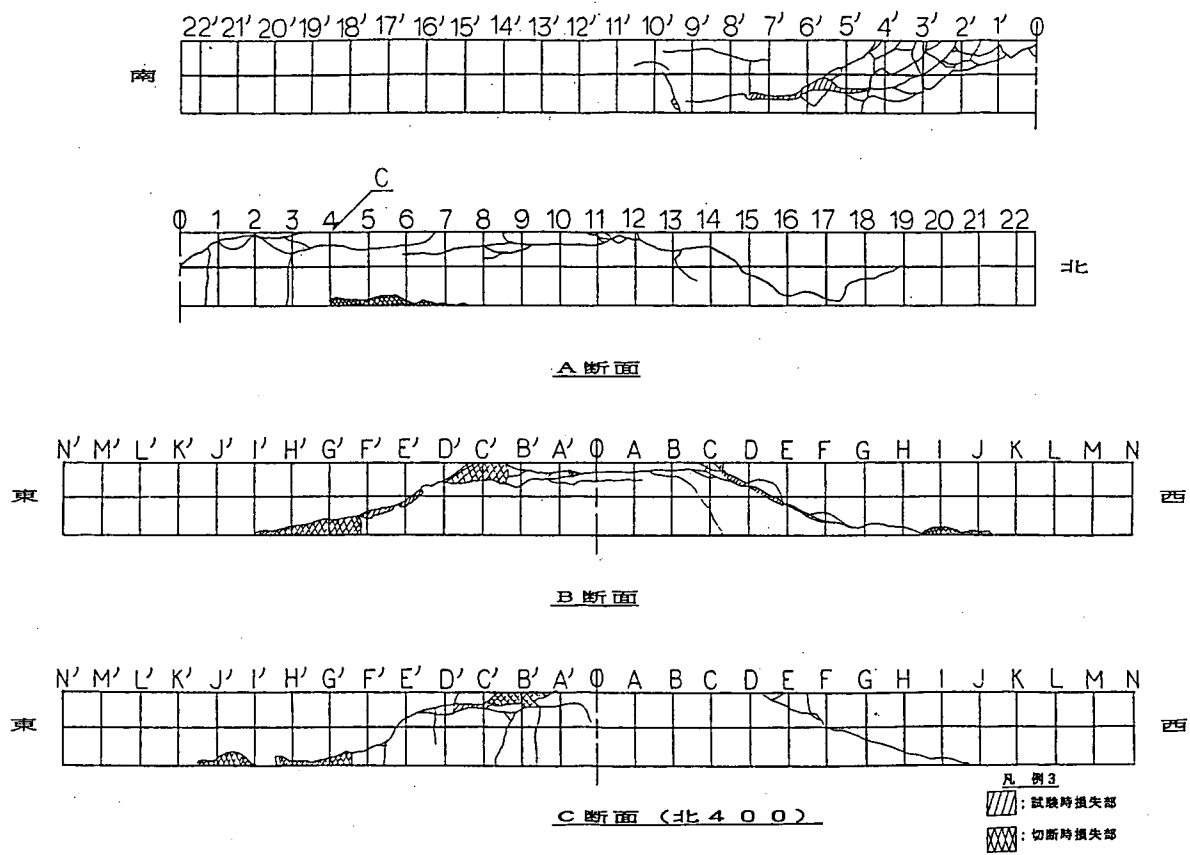
付図-6.8 RC39+上面-2 (補強後)



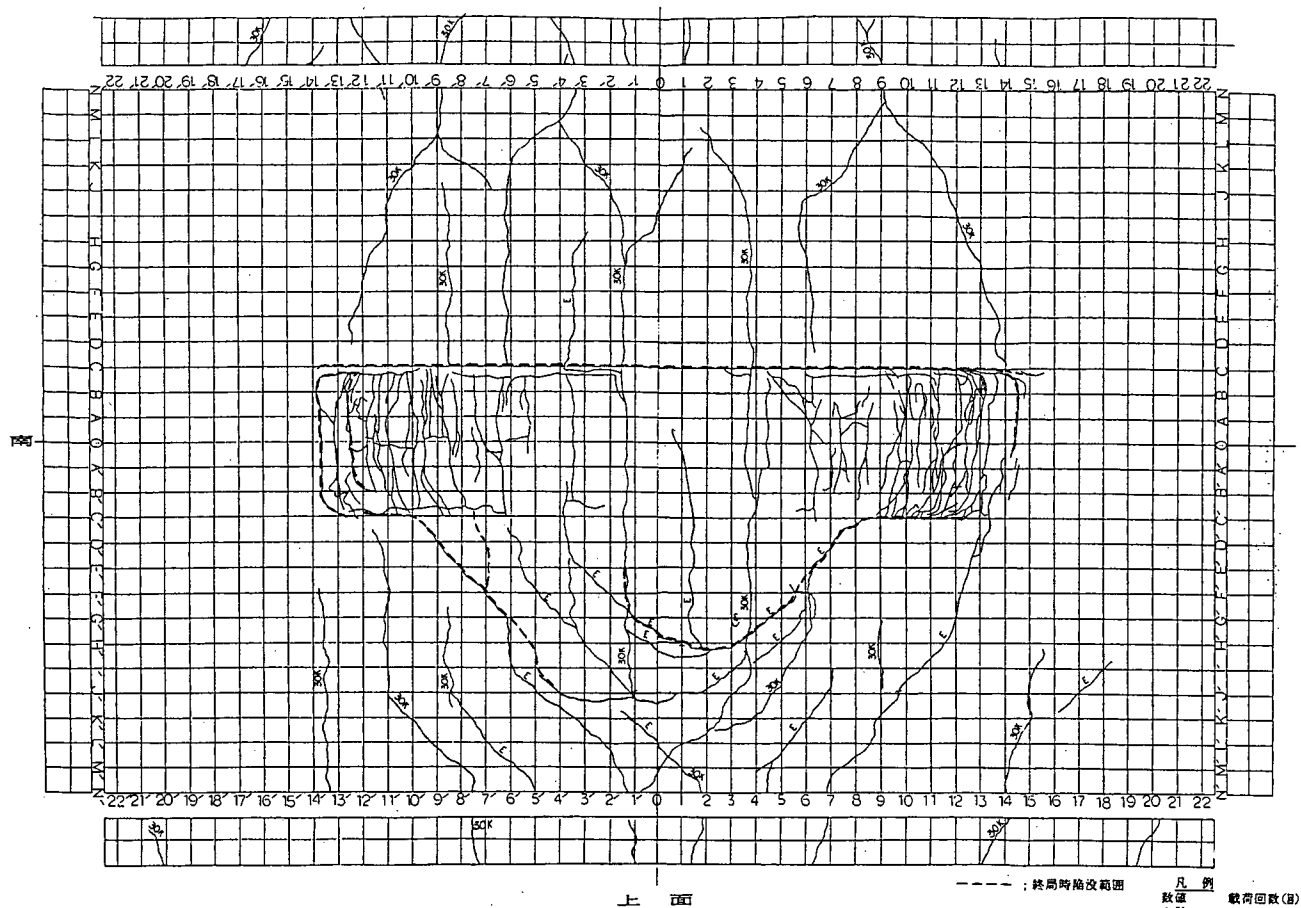
付図-7.1.1 RC39-1 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



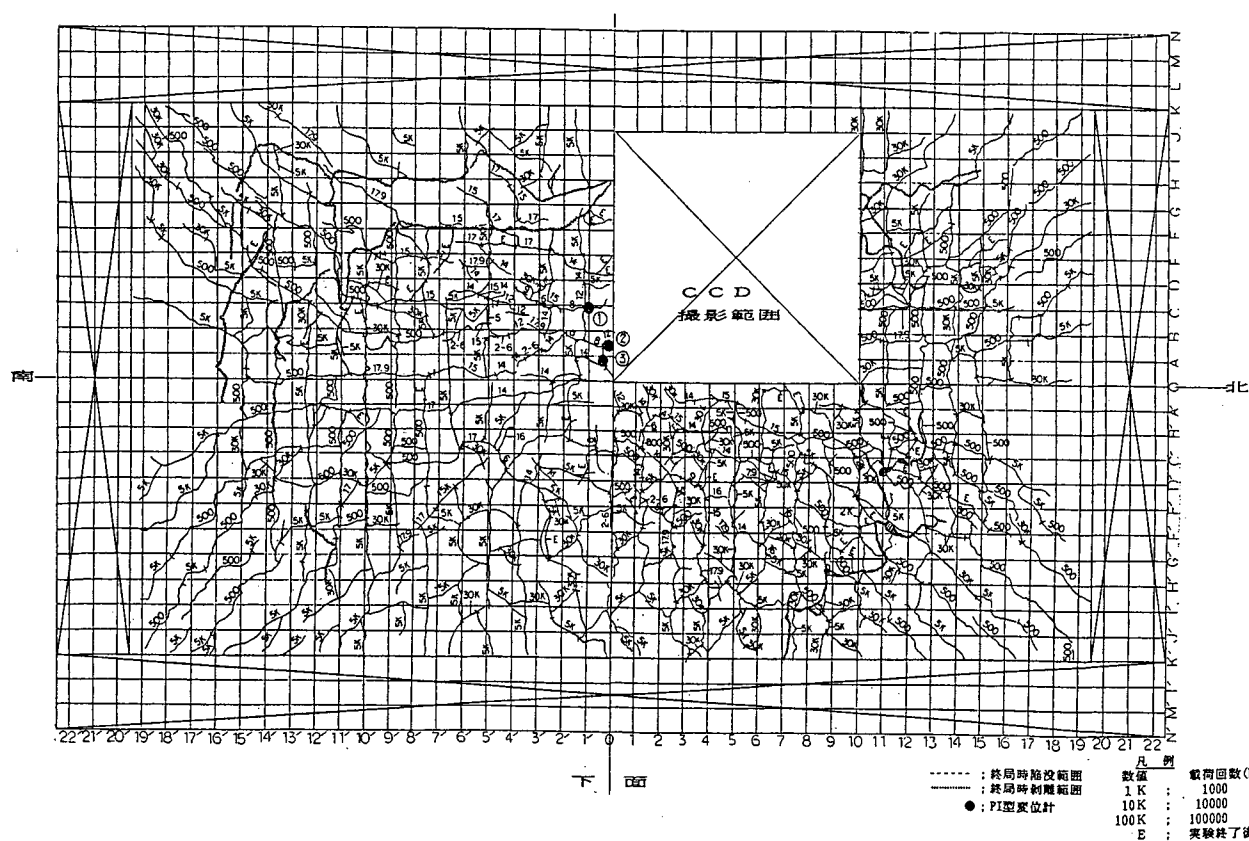
付図-7.1.2 RC39-1 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



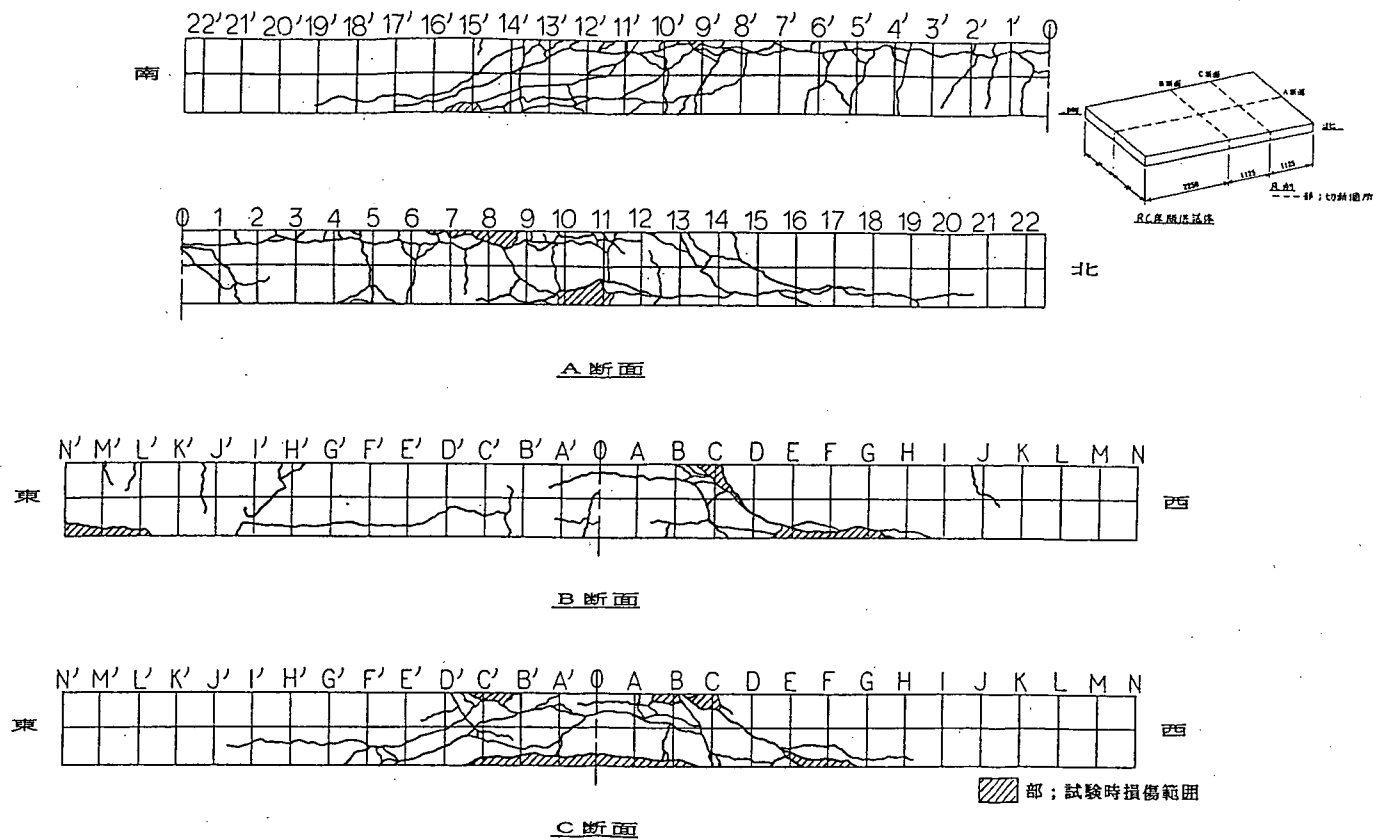
付図-7.1.3 RC39-1 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



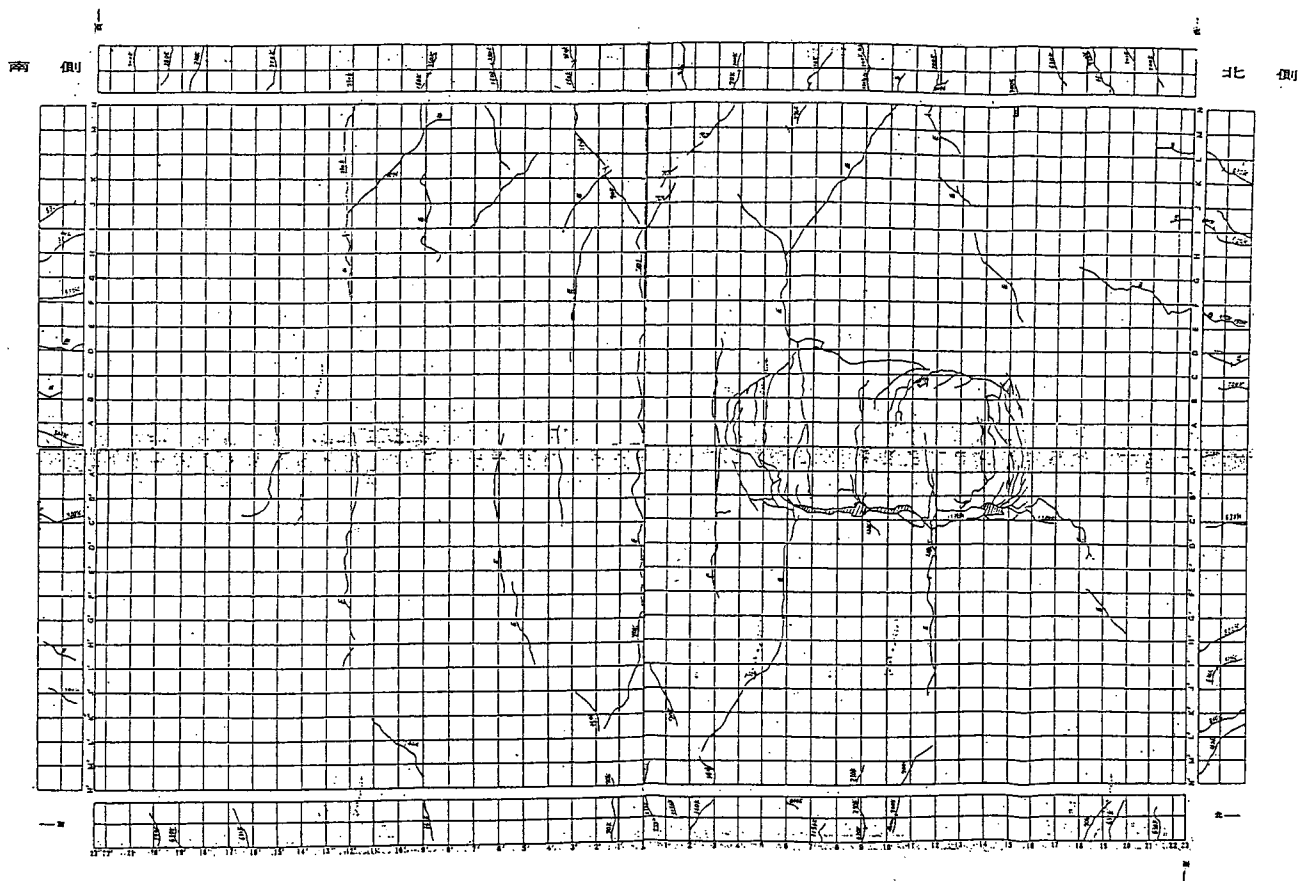
付図-7.2.1 RC39-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



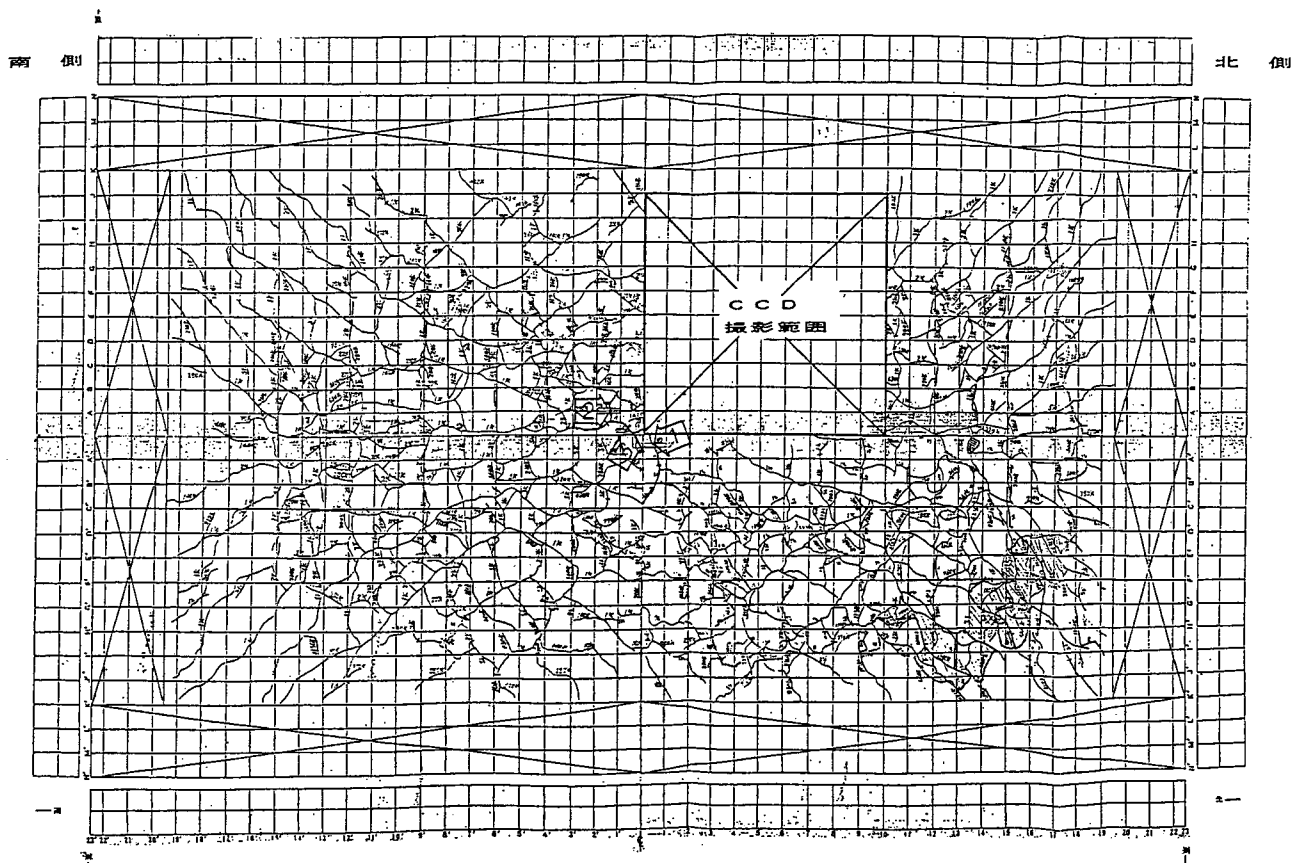
付図-7.2.2 RC39-2 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



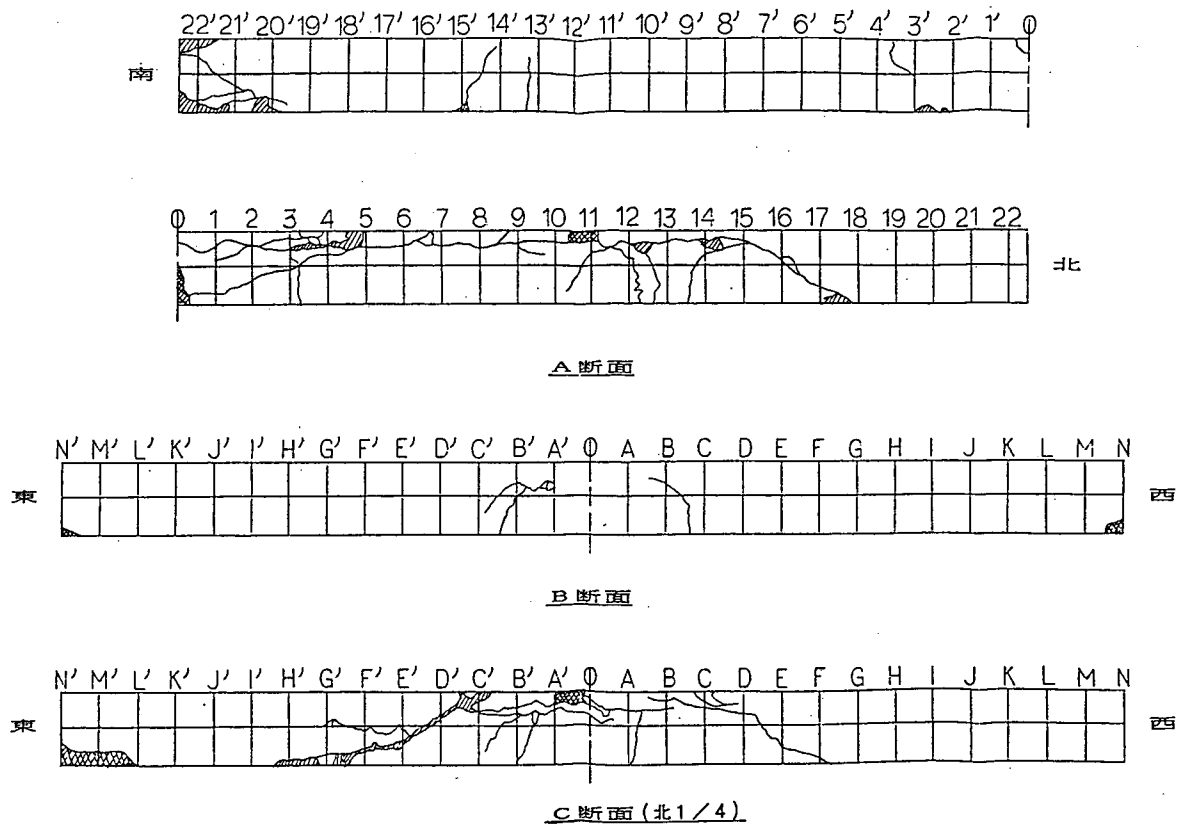
付図-7.2.3 RC39-2 供試体のひび割れ状況（床版断面）



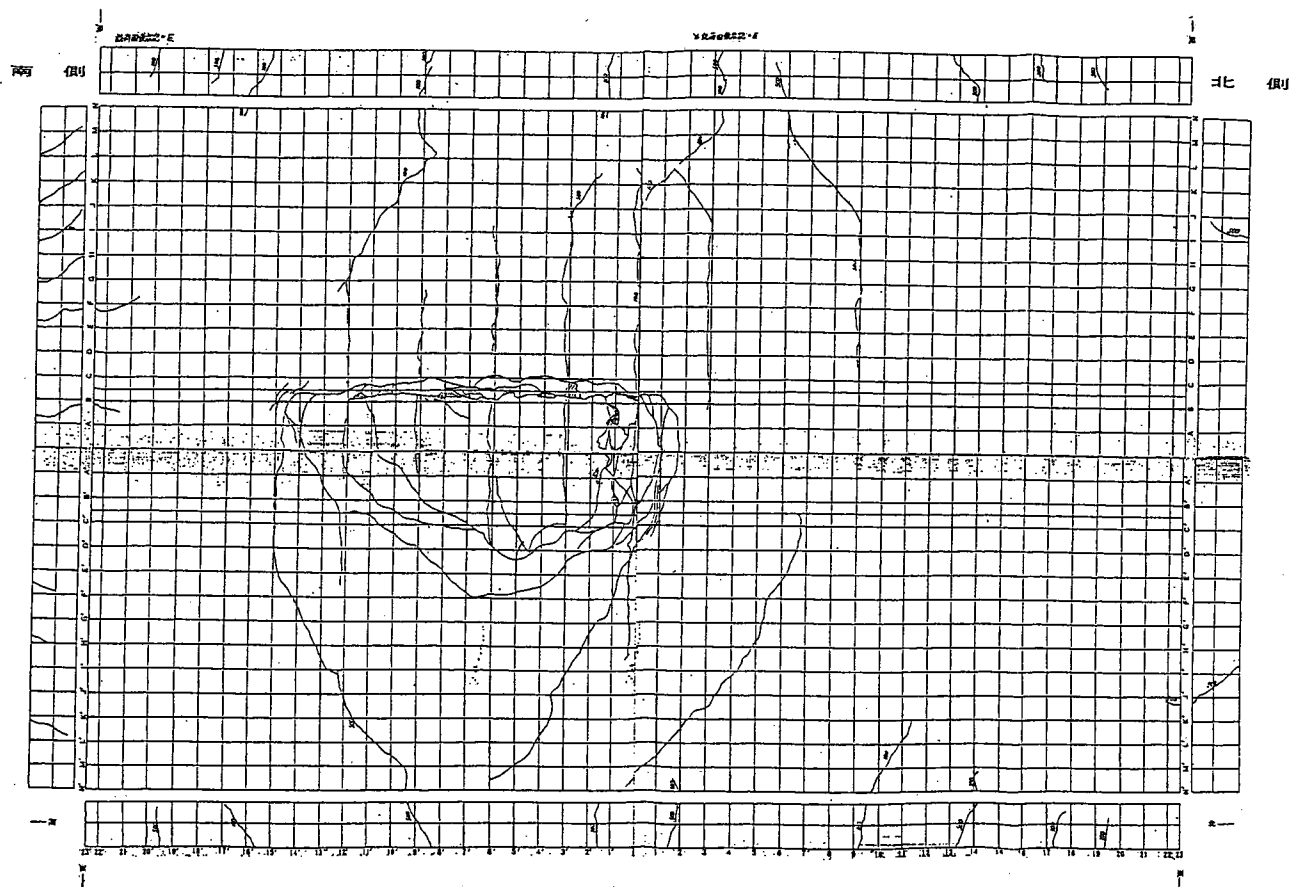
付図－7.3.1 RC39-3 供試体のひび割れ状況（床版上面）



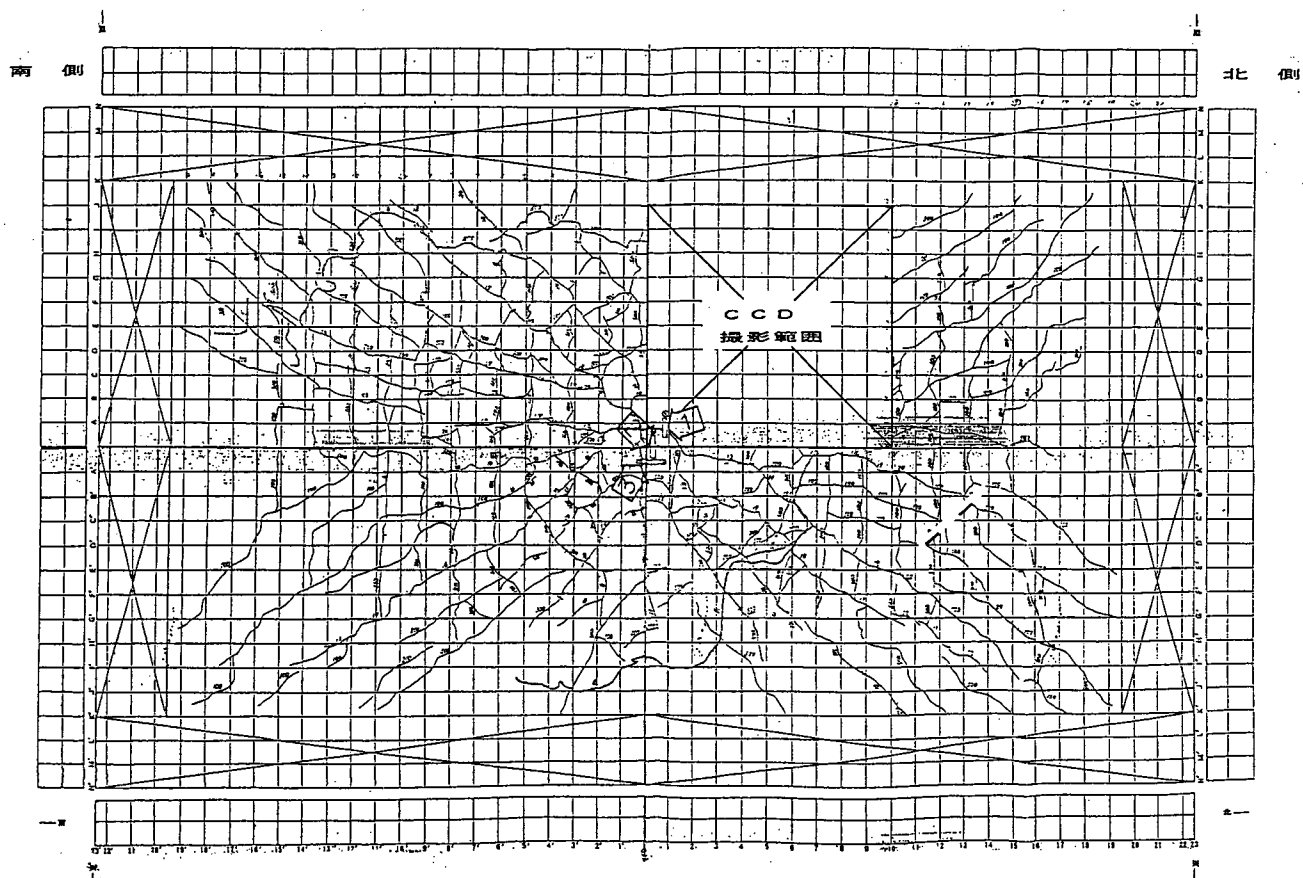
付図－7.3.2 RC39-3 供試体のひび割れ状況（床版下面）



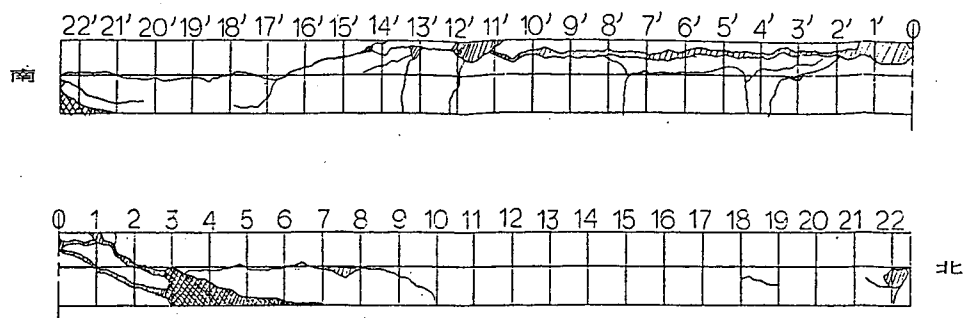
付図-7.3.3 RC39-3 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



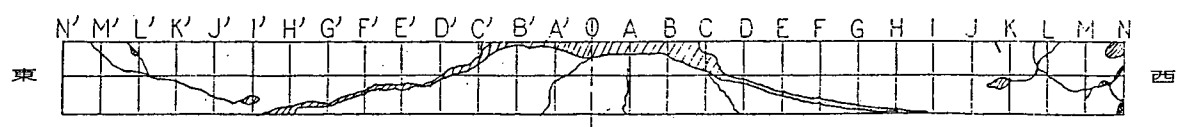
付図-7.4.1 RC39-4 供試体のひび割れ状況（床版上面）



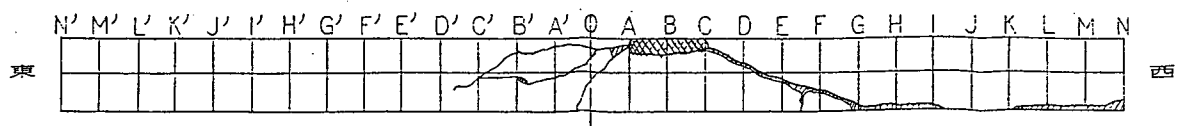
付図-7.4.2 RC39-4 供試体のひび割れ状況（床版下面）



A断面

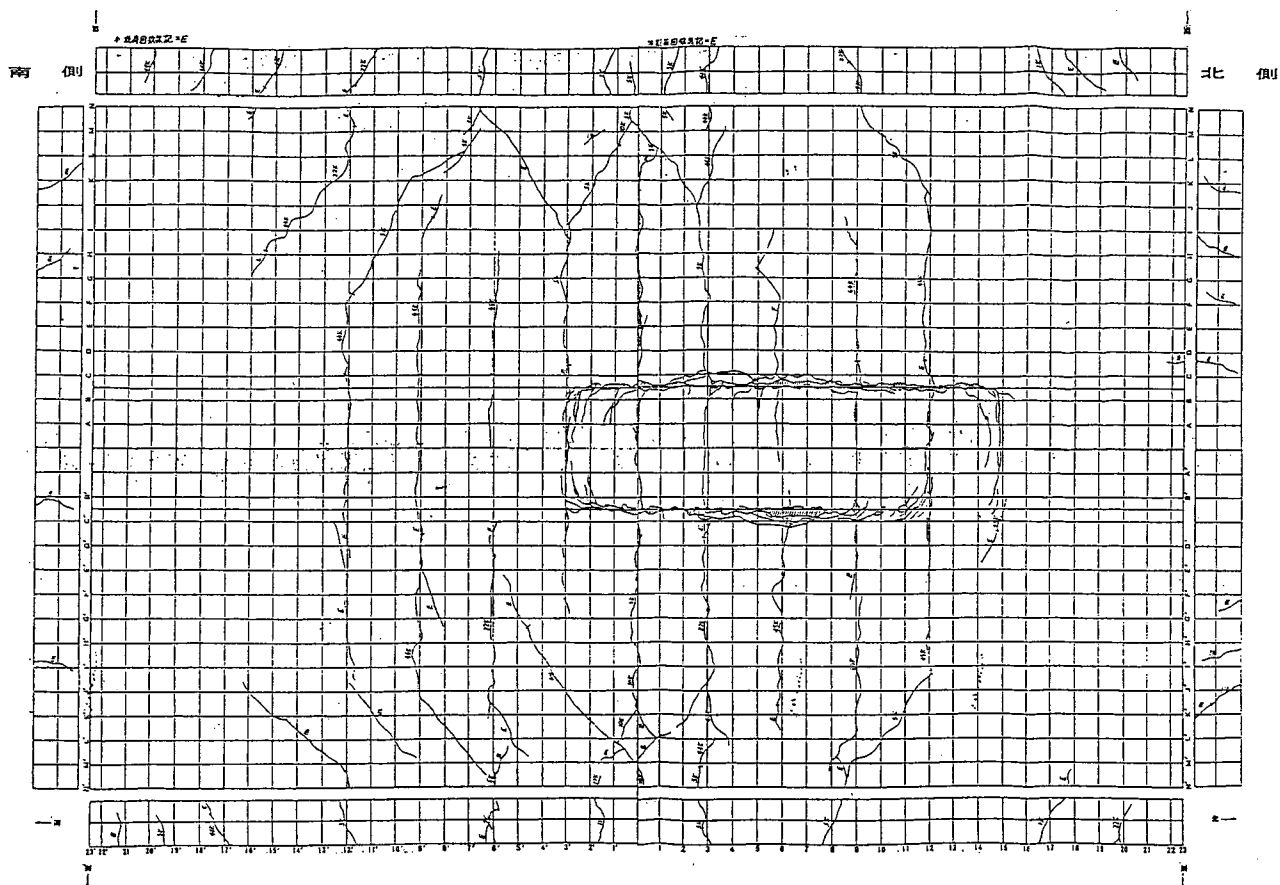


B断面

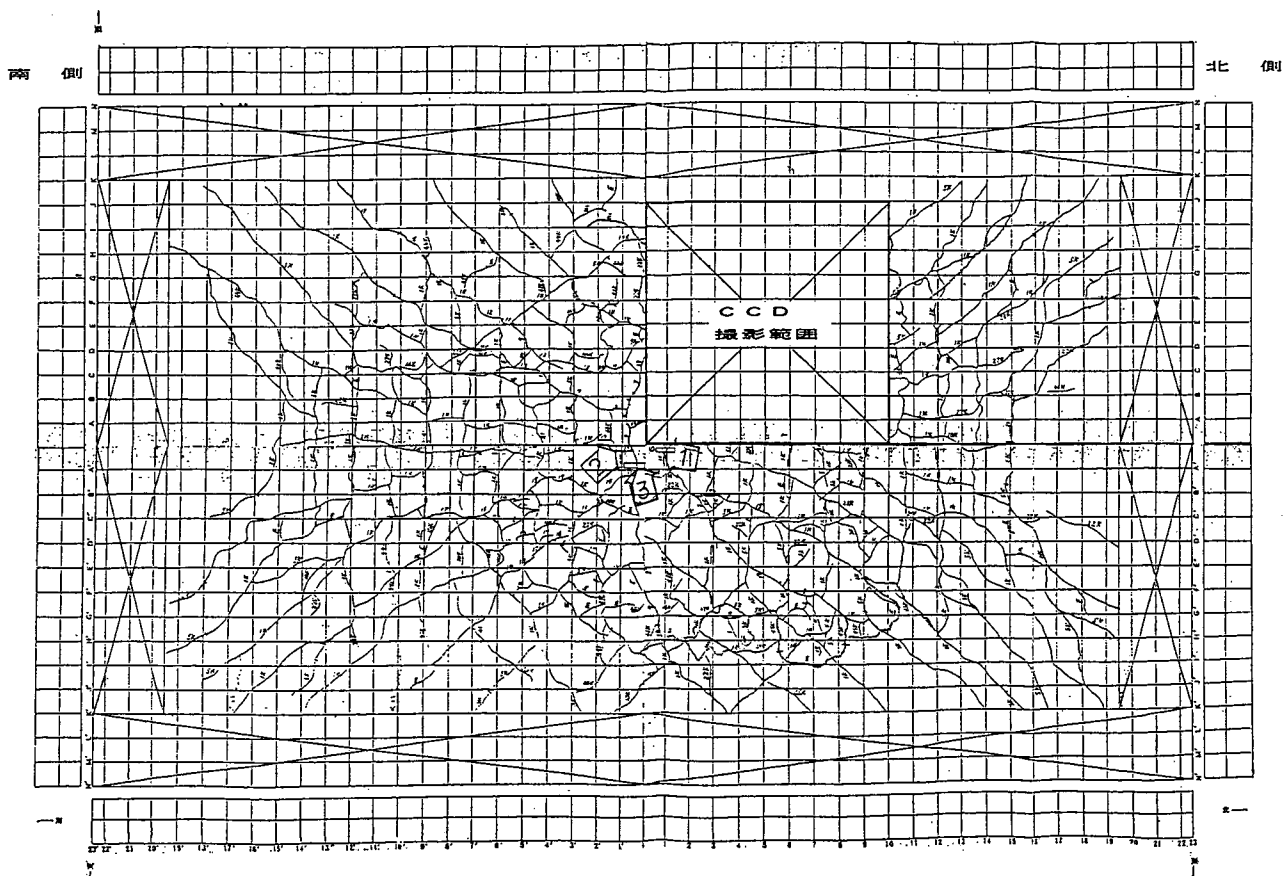


C断面 (南1/4)

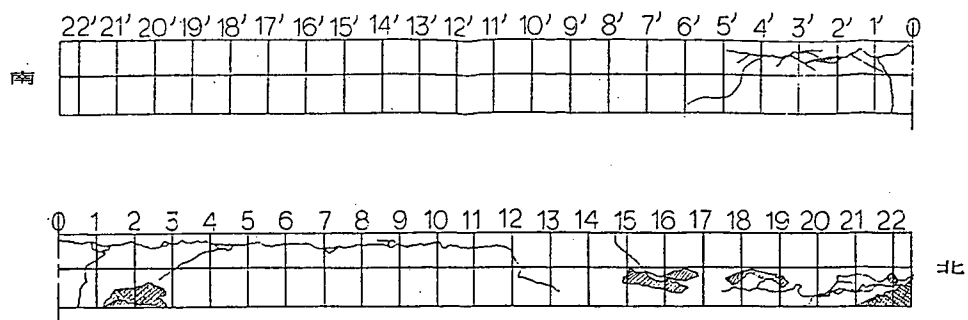
付図-7.4.3 RC39-4 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



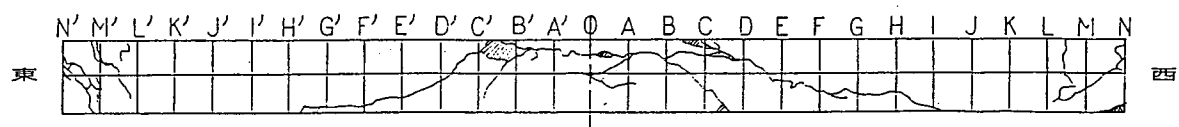
付図-7.5.1 RC39-5 供試体のひび割れ状況（床版上面）



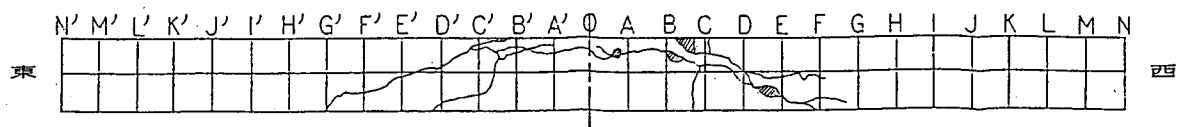
付図-7.5.2 RC39-5 供試体のひび割れ状況（床版下面）



A断面

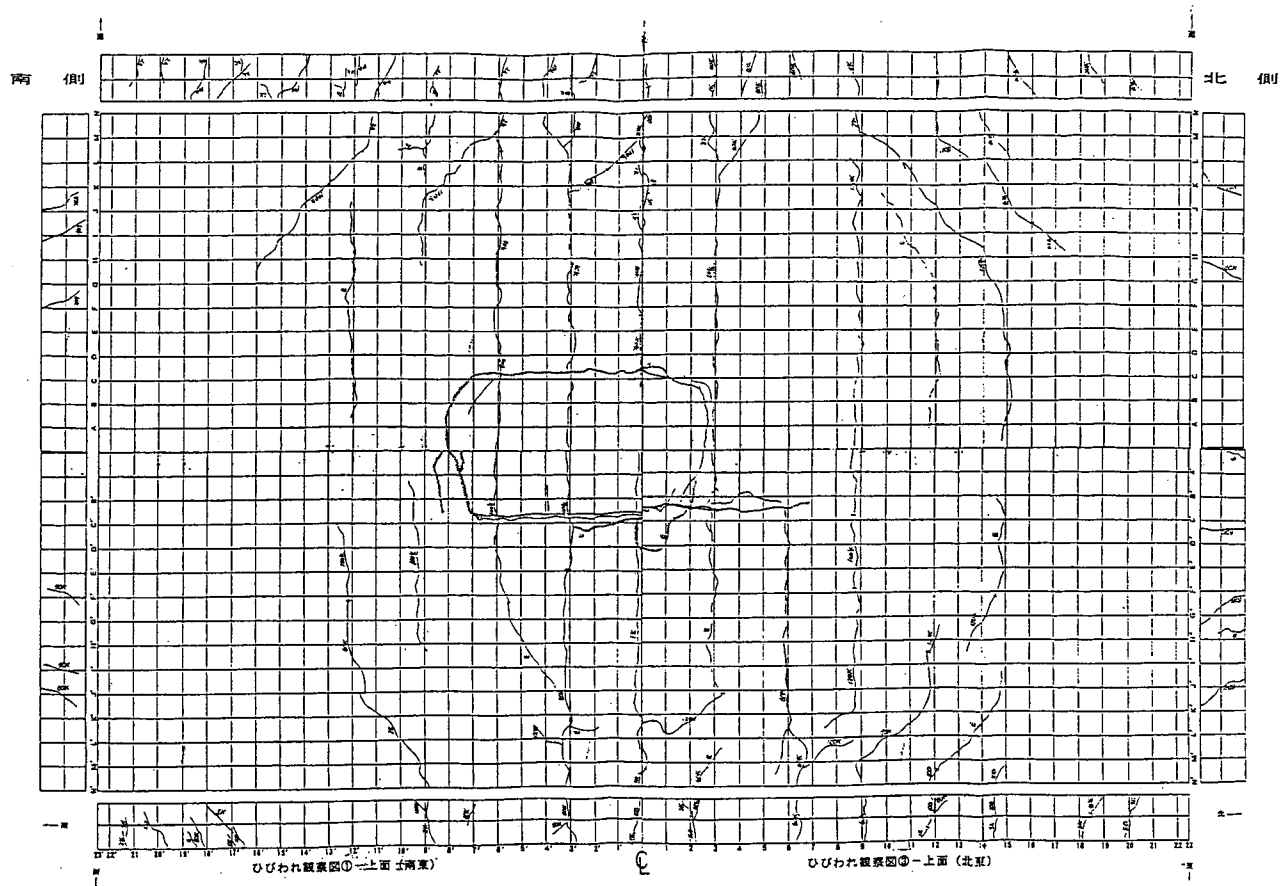


B断面

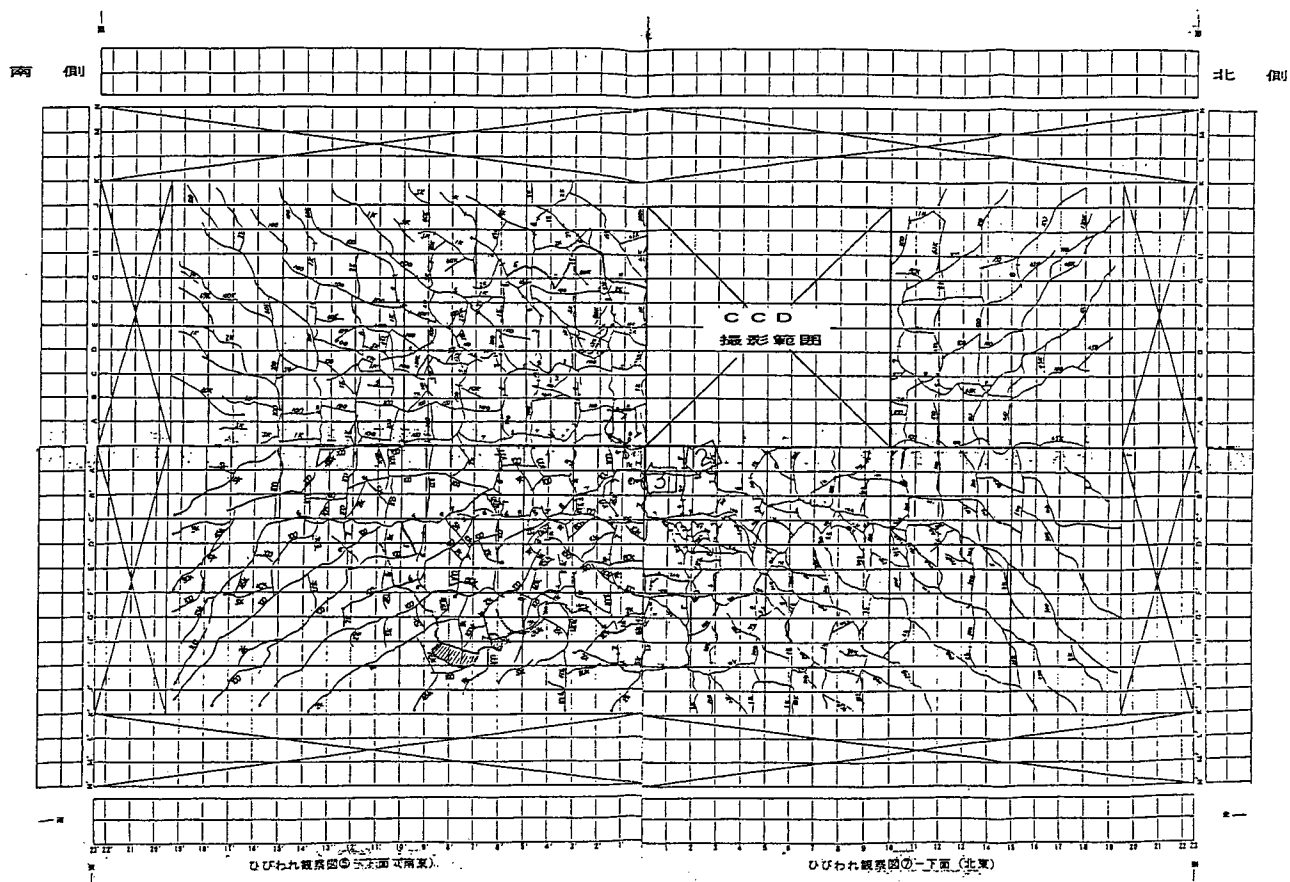


C断面 (北1/4)

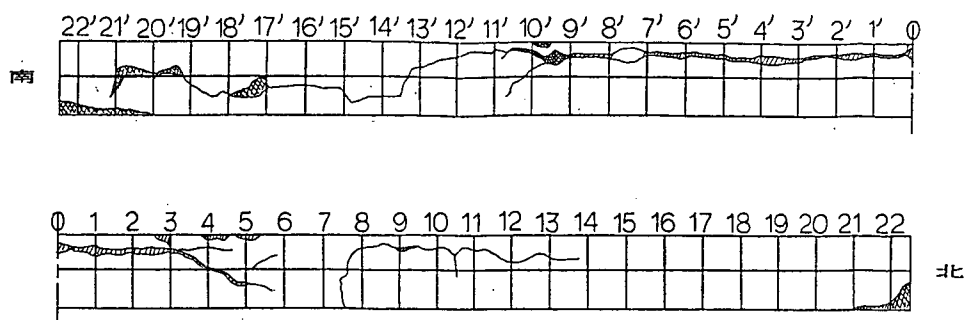
付図-7.5.3 RC39-5 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



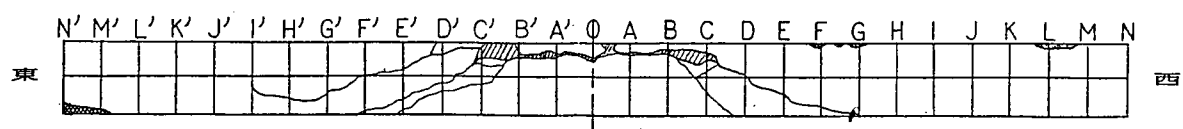
付図-7.6.1 RC39-6 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



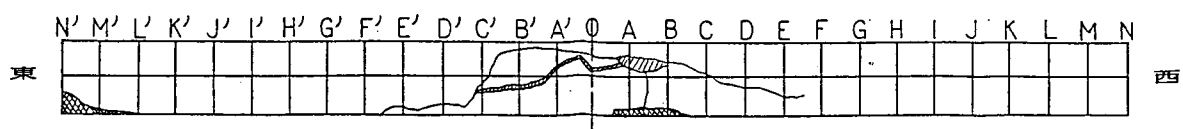
付図-7.6.2 RC39-6 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A断面

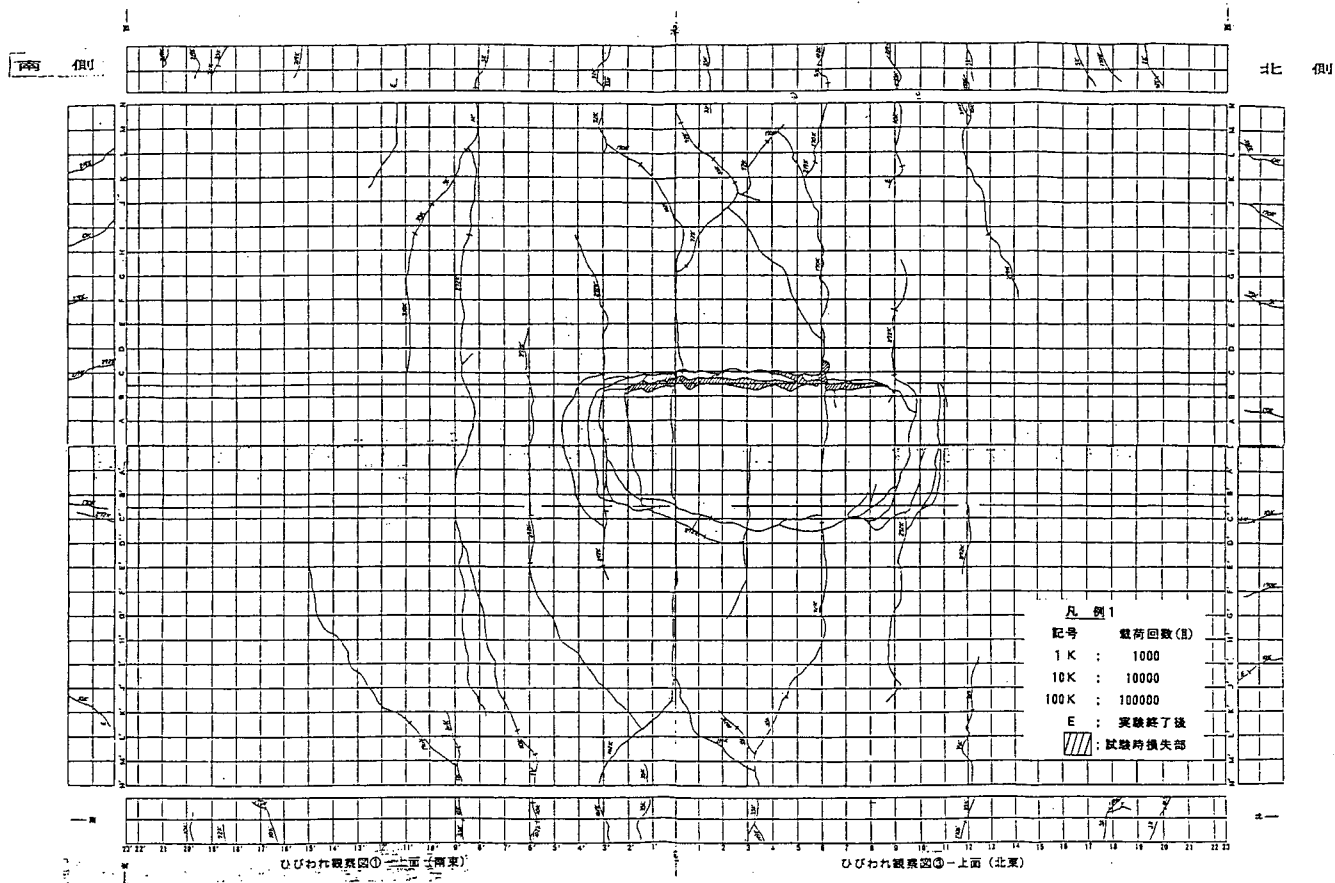


B断面

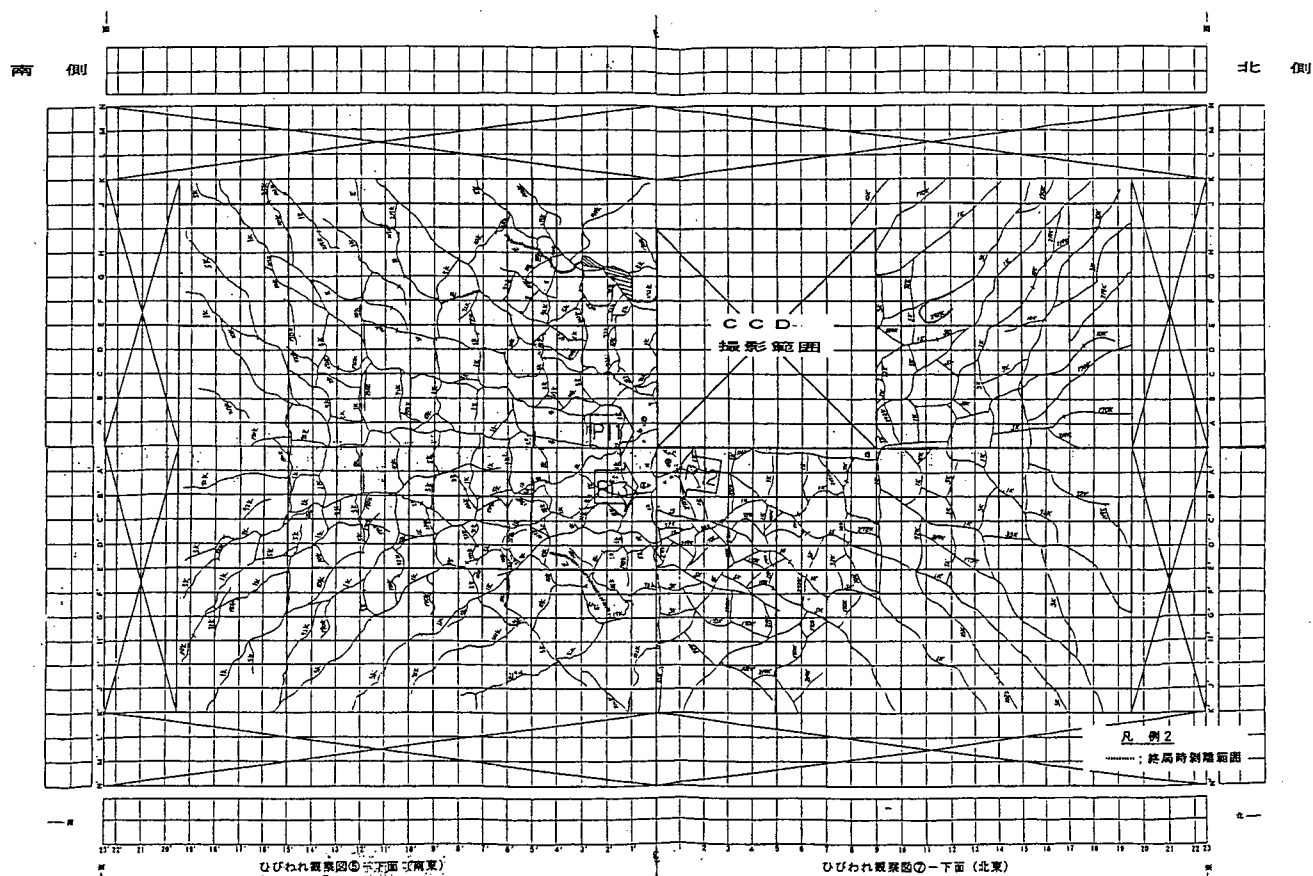


C断面

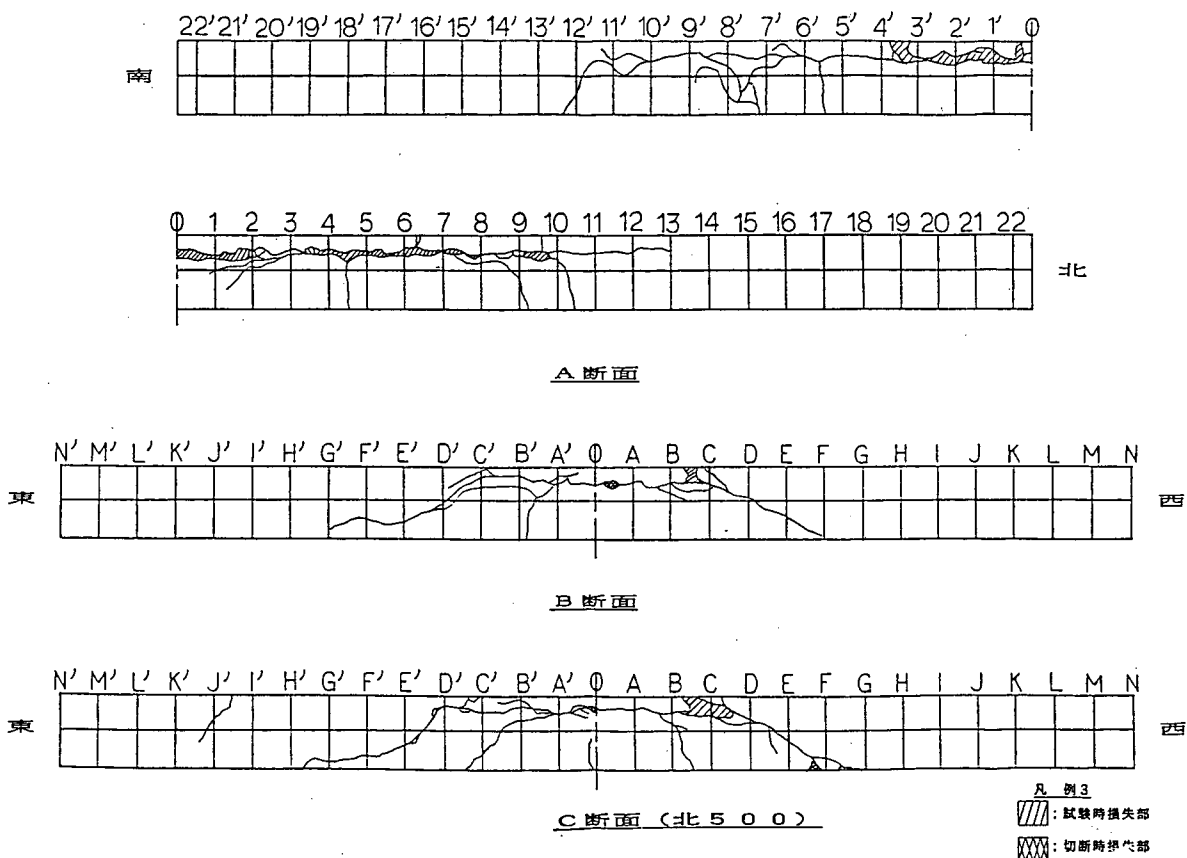
付図-7.6.3 RC39-6 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



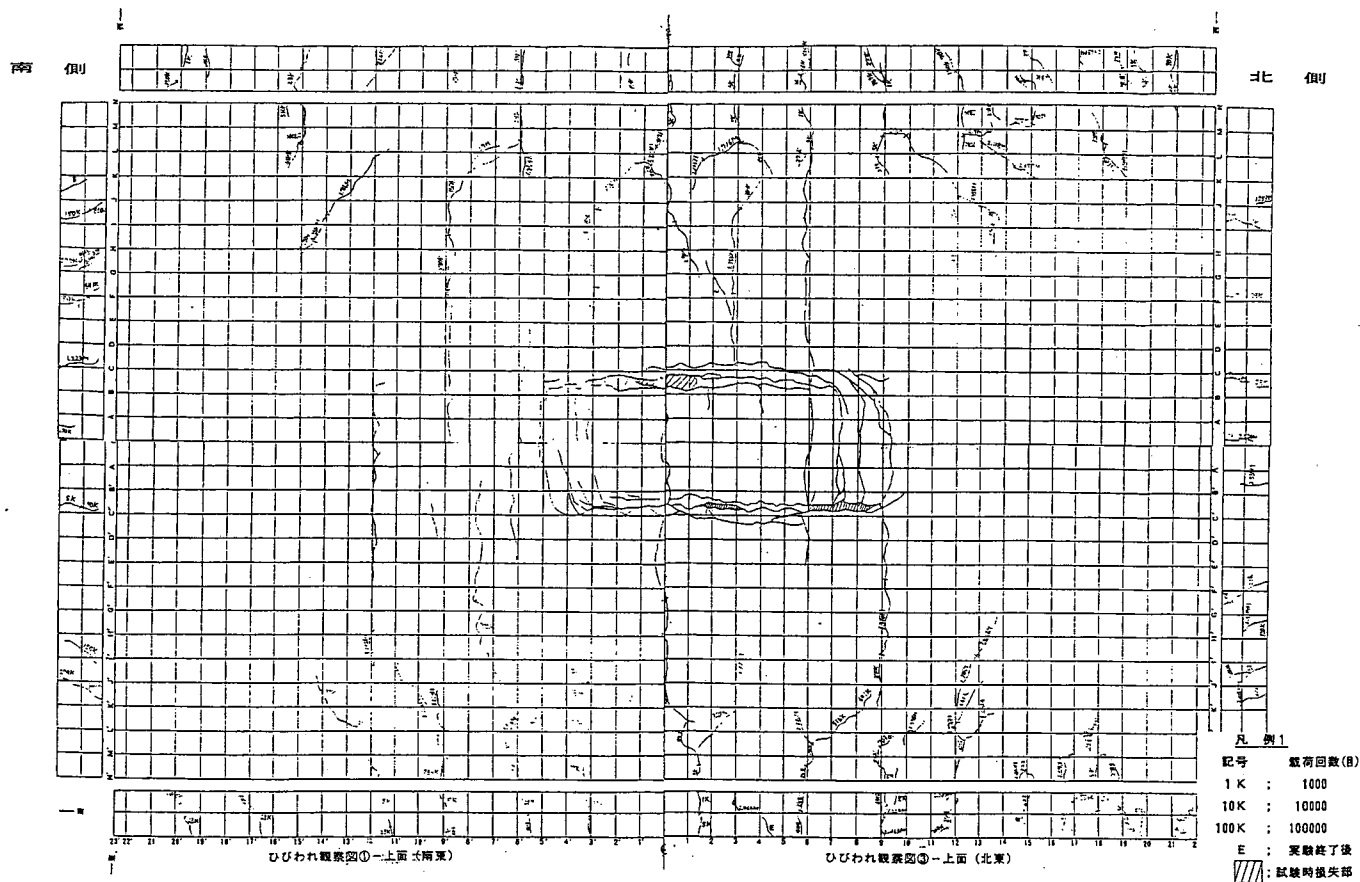
付図-7.7.1 RC39-7 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



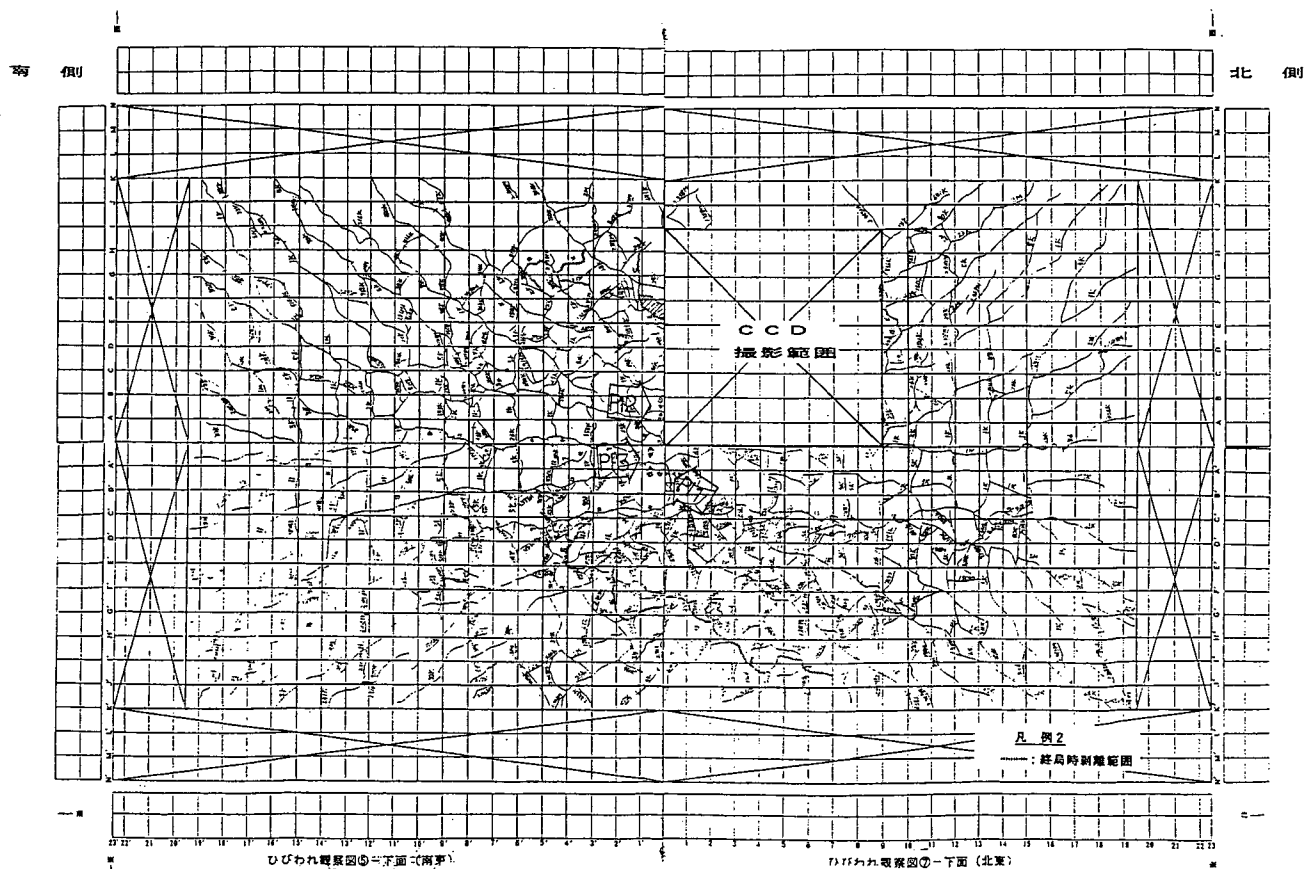
付図-7.7.2 RC39-7 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



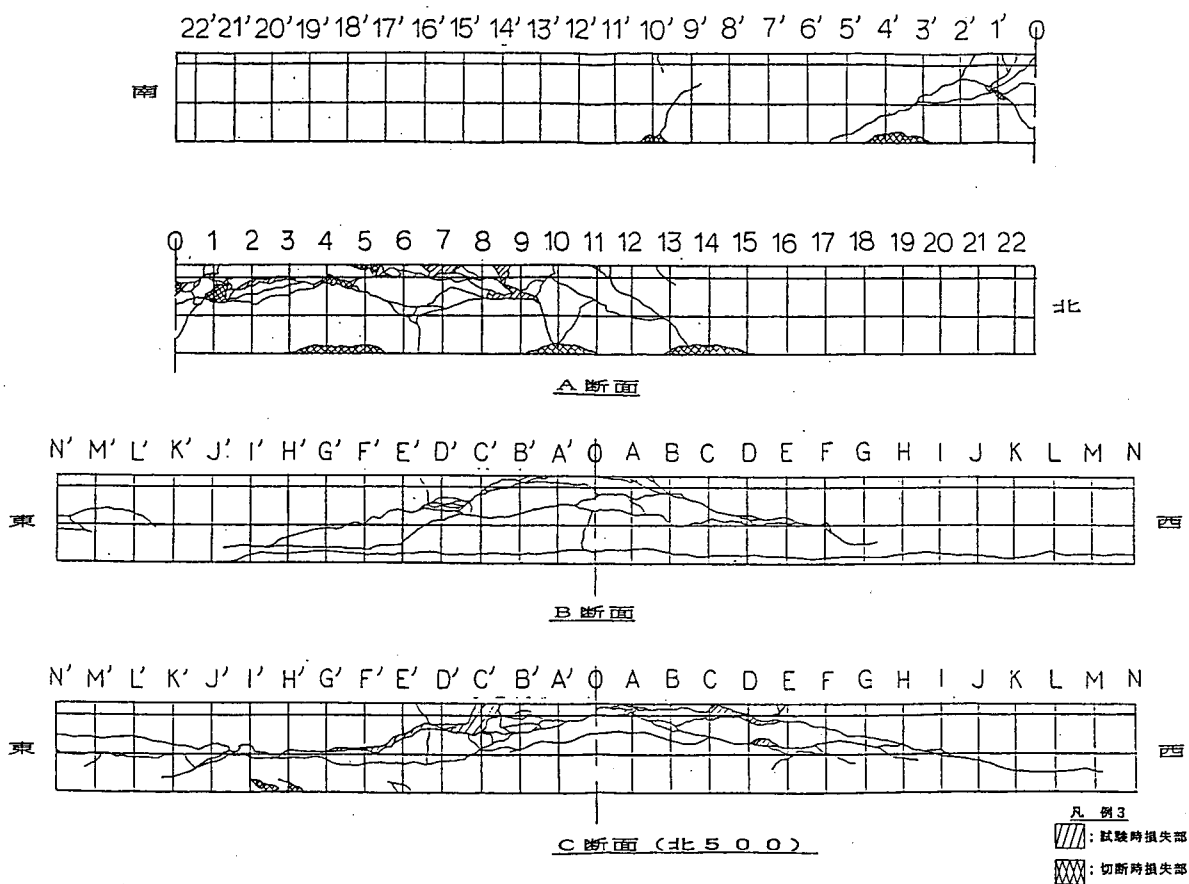
付図-7.7.3 RC39-7 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



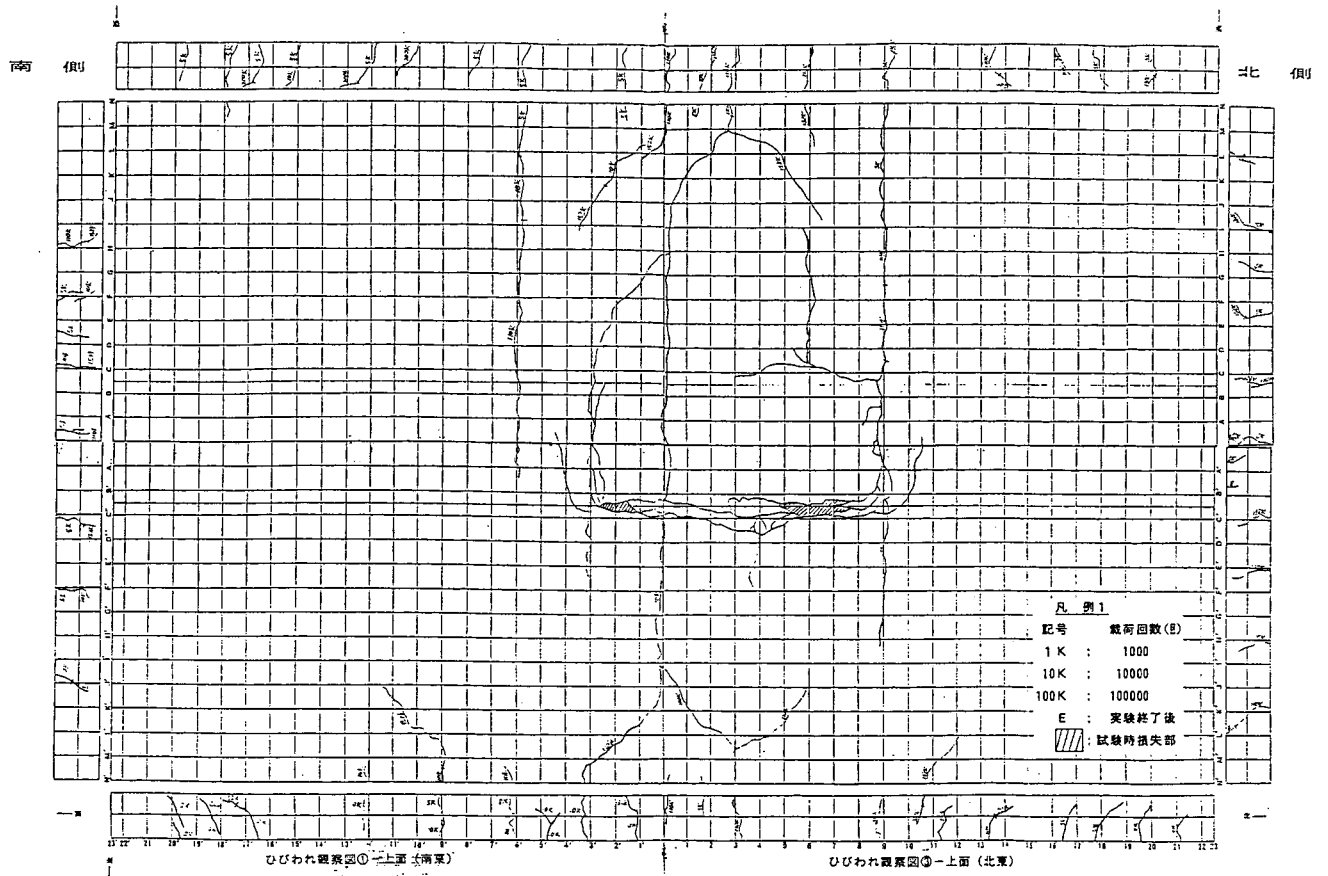
付図-7.8.1 RC39-8 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



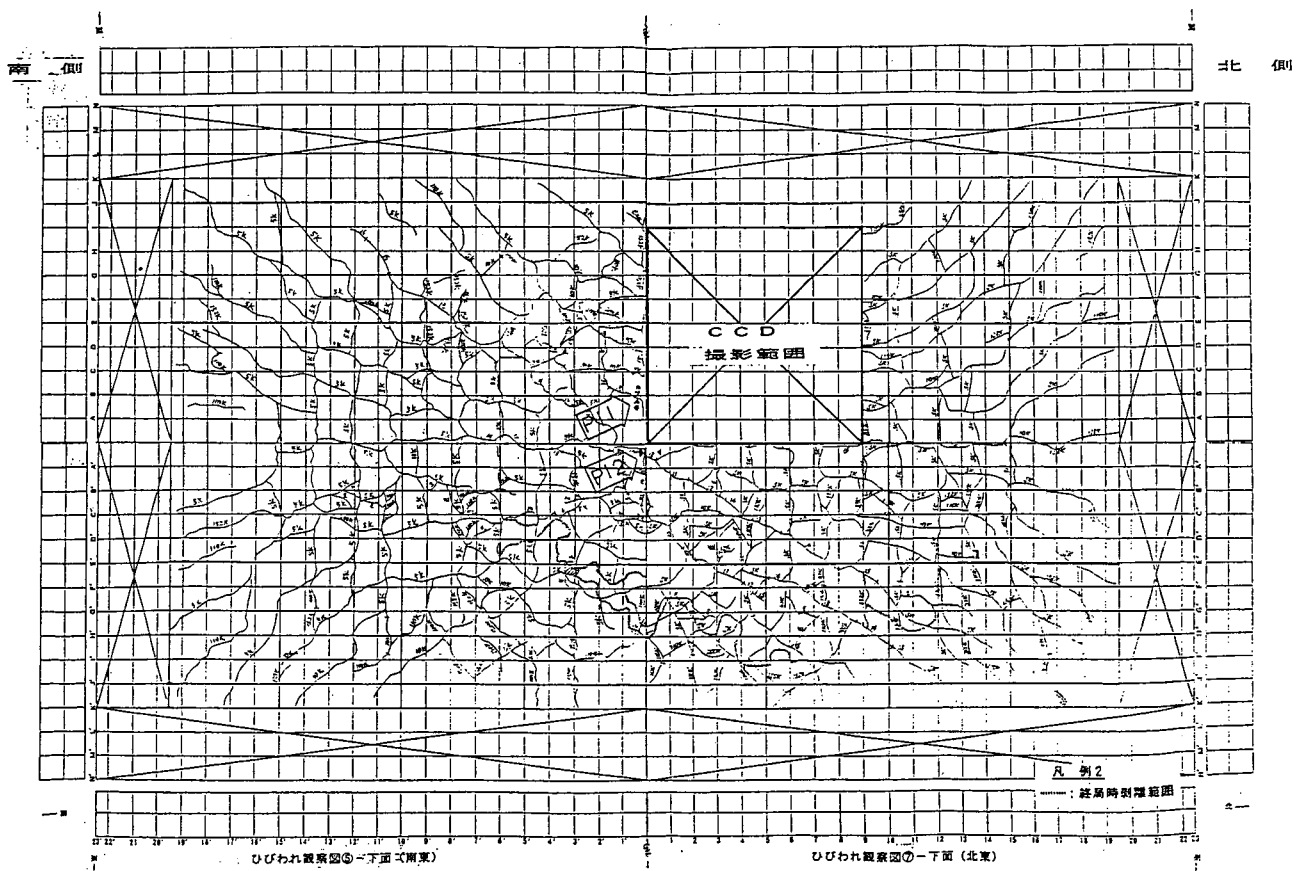
付図-7.8.2 RC39-8 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



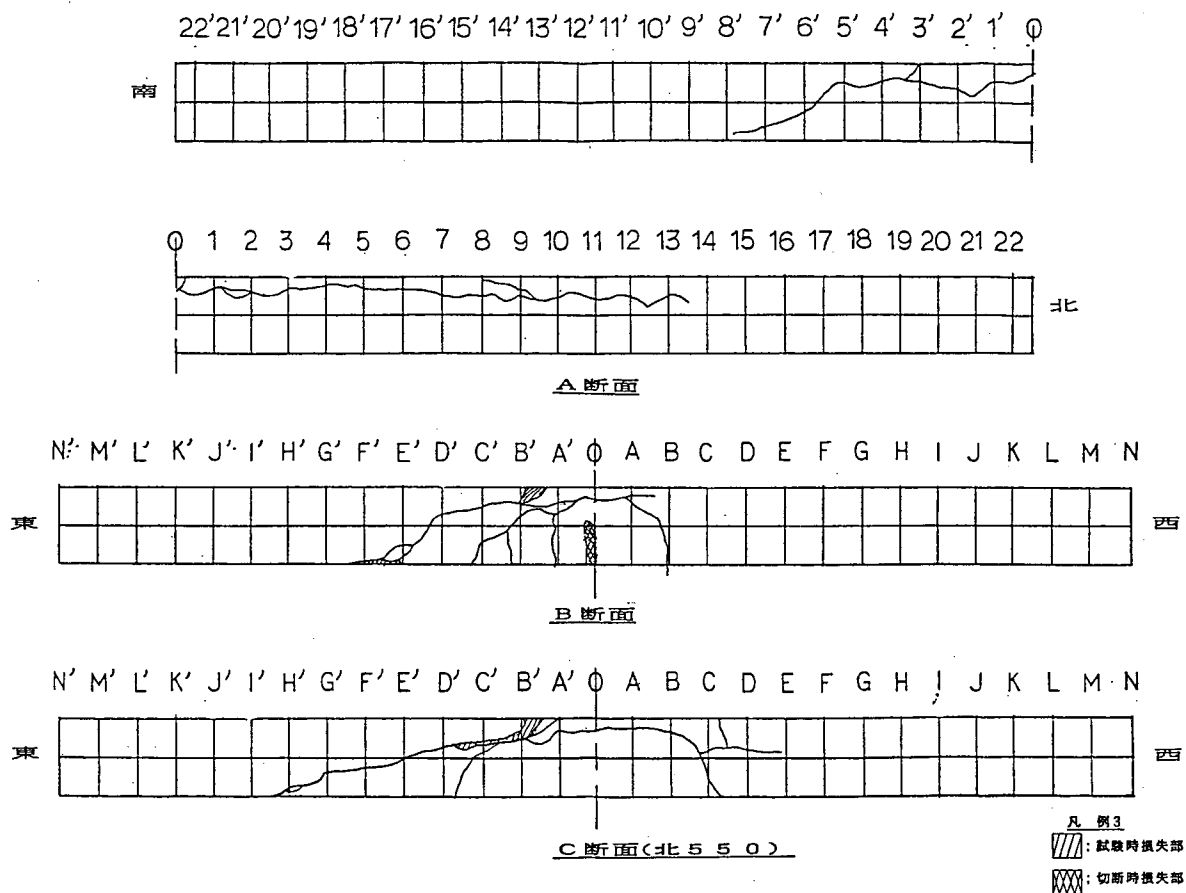
付図-7.8.3 RC39-8 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



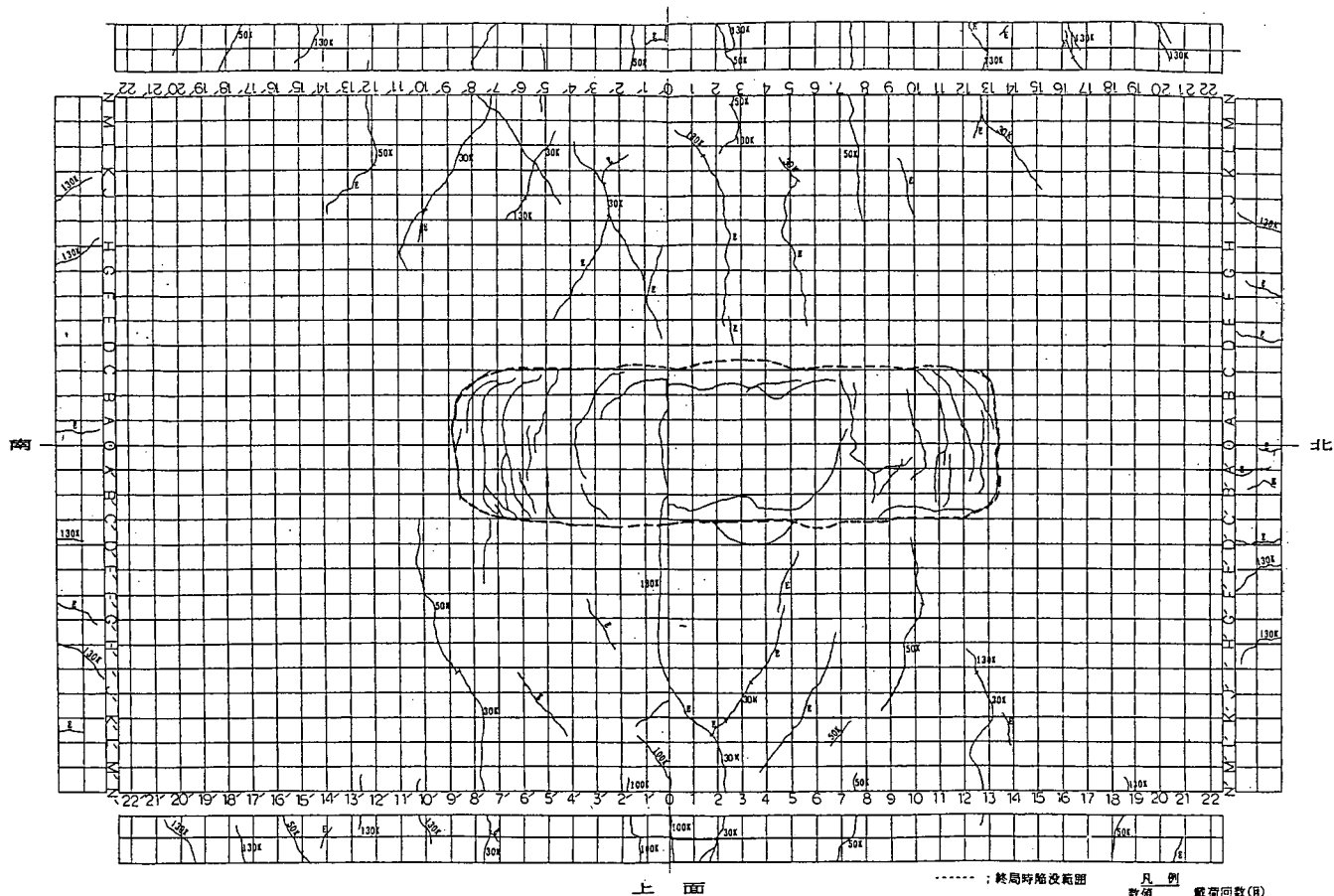
付図-7.9.1 RC39-9 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



付図-7.9.2 RC39-9 供試体のひび割れ状況 (床版下面)

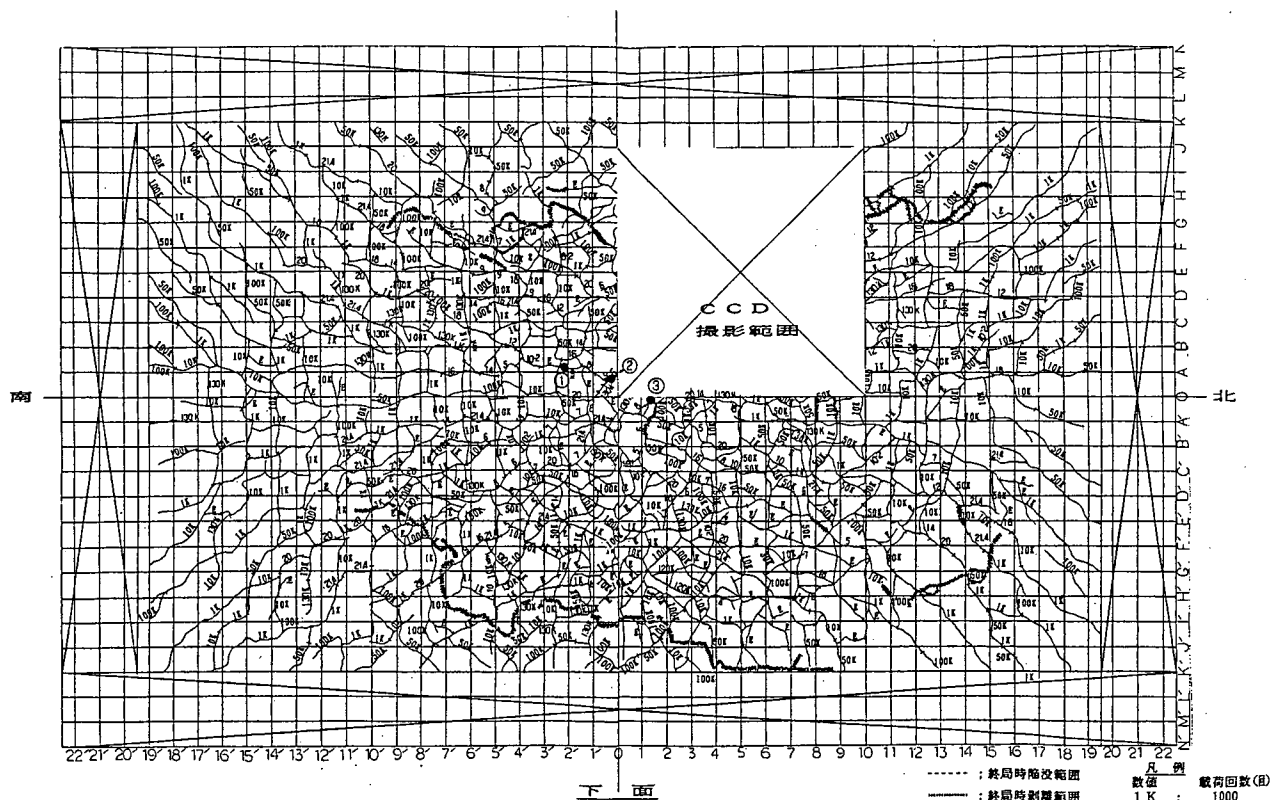


付図-7.9.3 RC39-9 供試体のひび割れ状況 (床版断面)

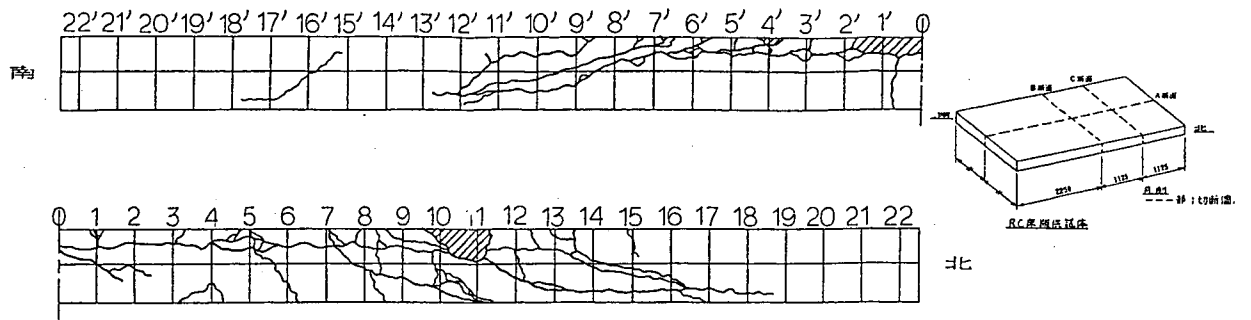


付図-7.10.1 RC47-1 供試体のひび割れ状況 (床版上面)

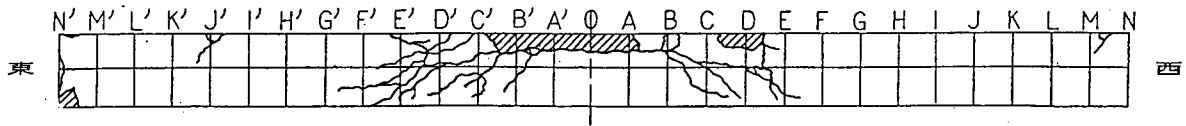
凡 例
 数値 載荷回数(H)
 1 K : 1000
 10 K : 10000
 100 K : 100000
 E : 実験終了後



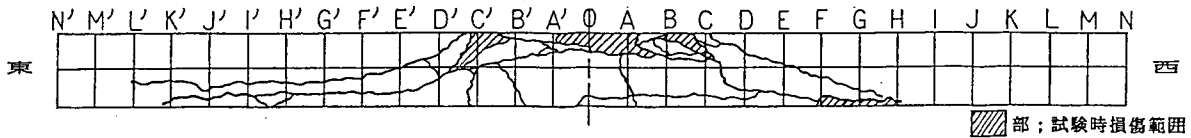
付図-7.10.2 RC47-1 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A 断面

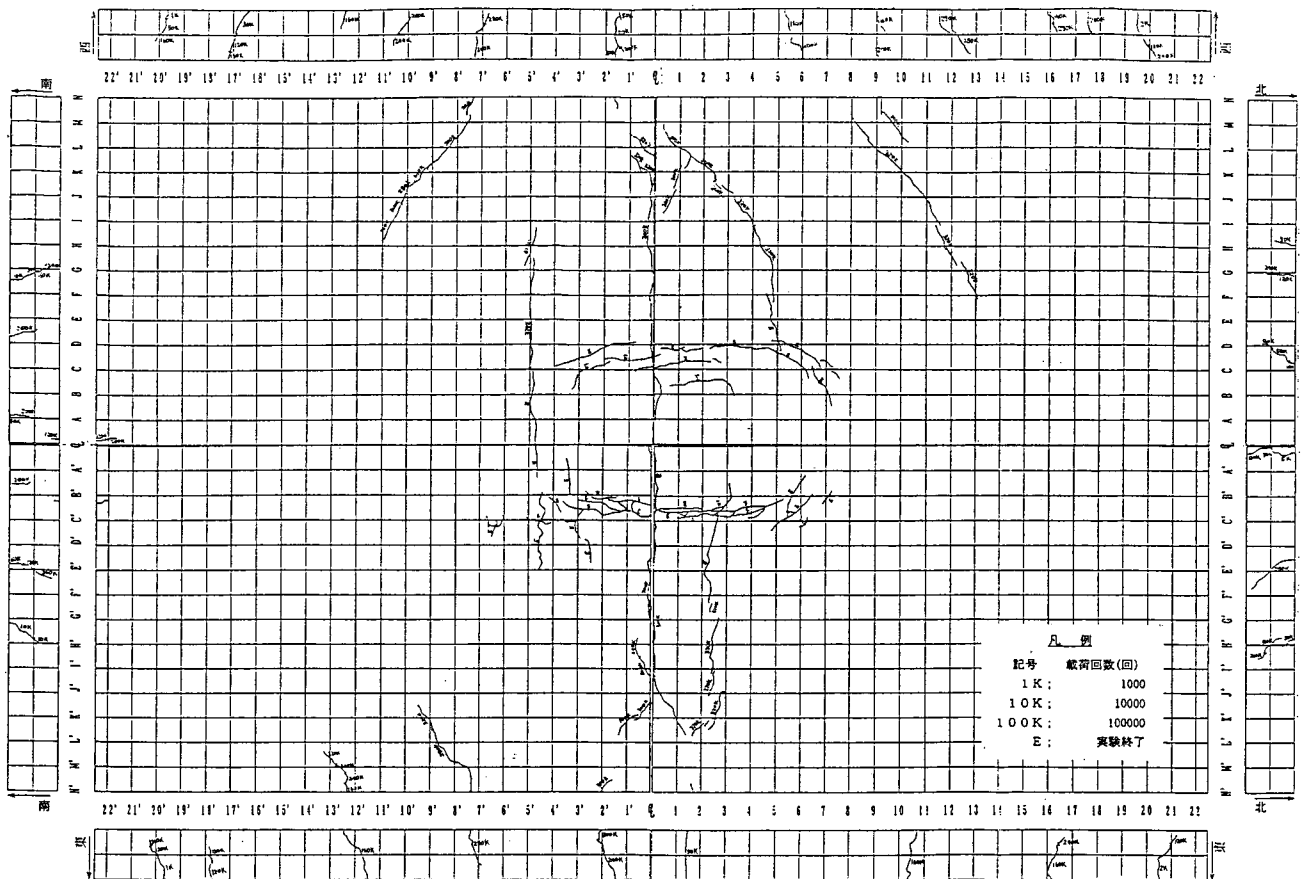


B 断面

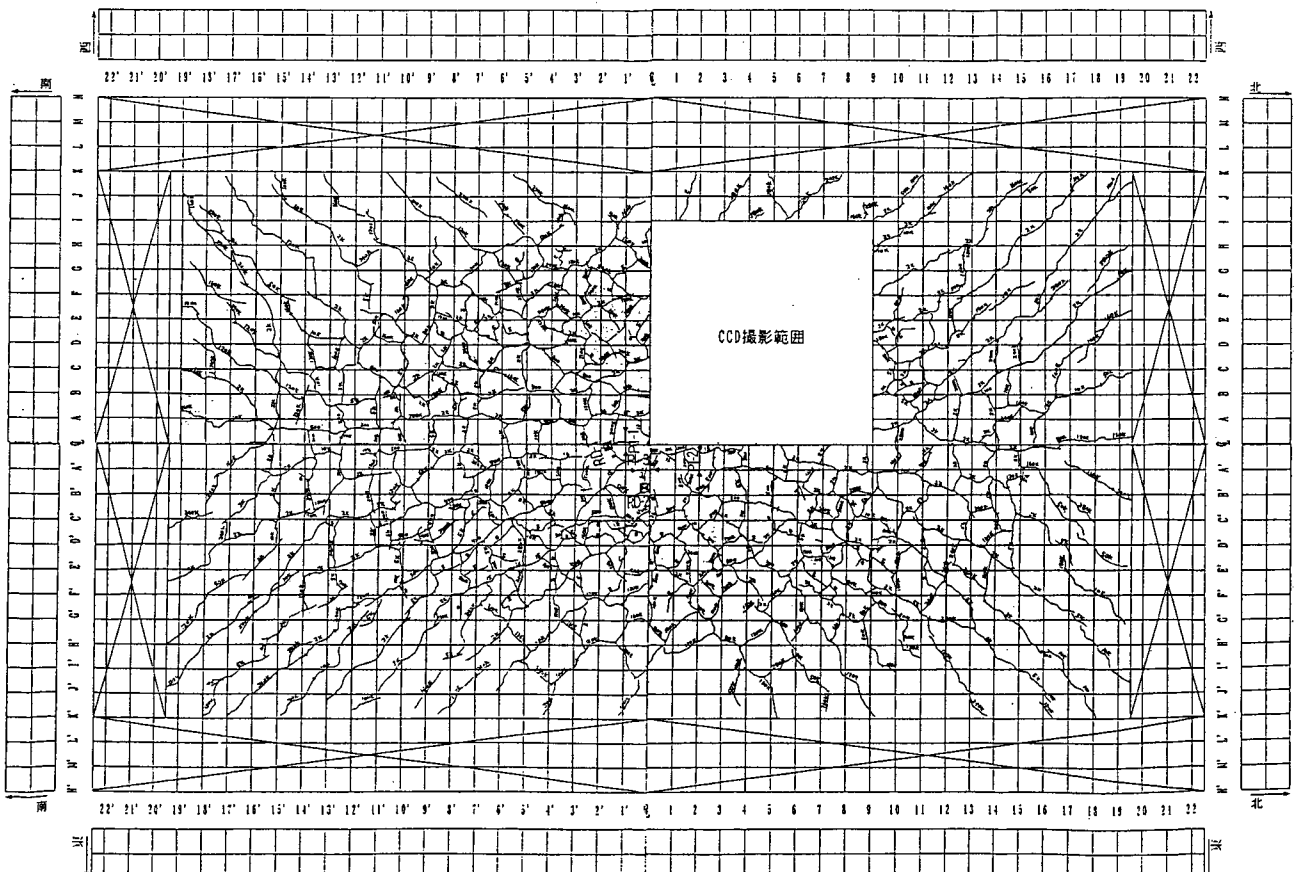


C 断面

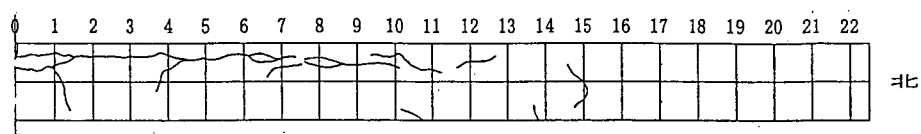
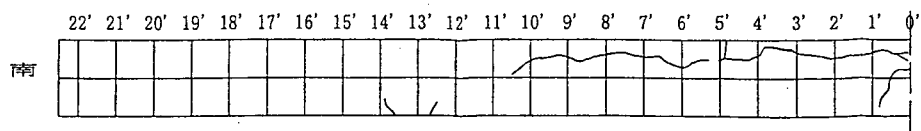
付図-7.10.3 RC47-1 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



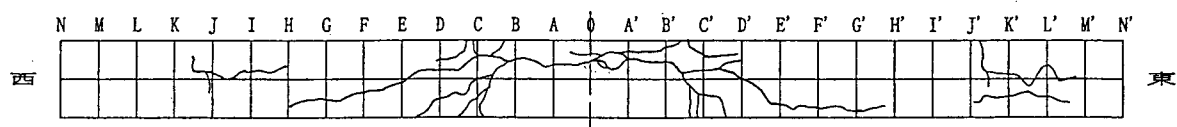
付図-7.11.1 RC47-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



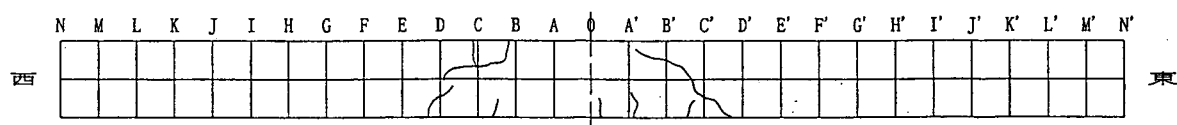
付図-7.11.2 RC47-2 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A断面



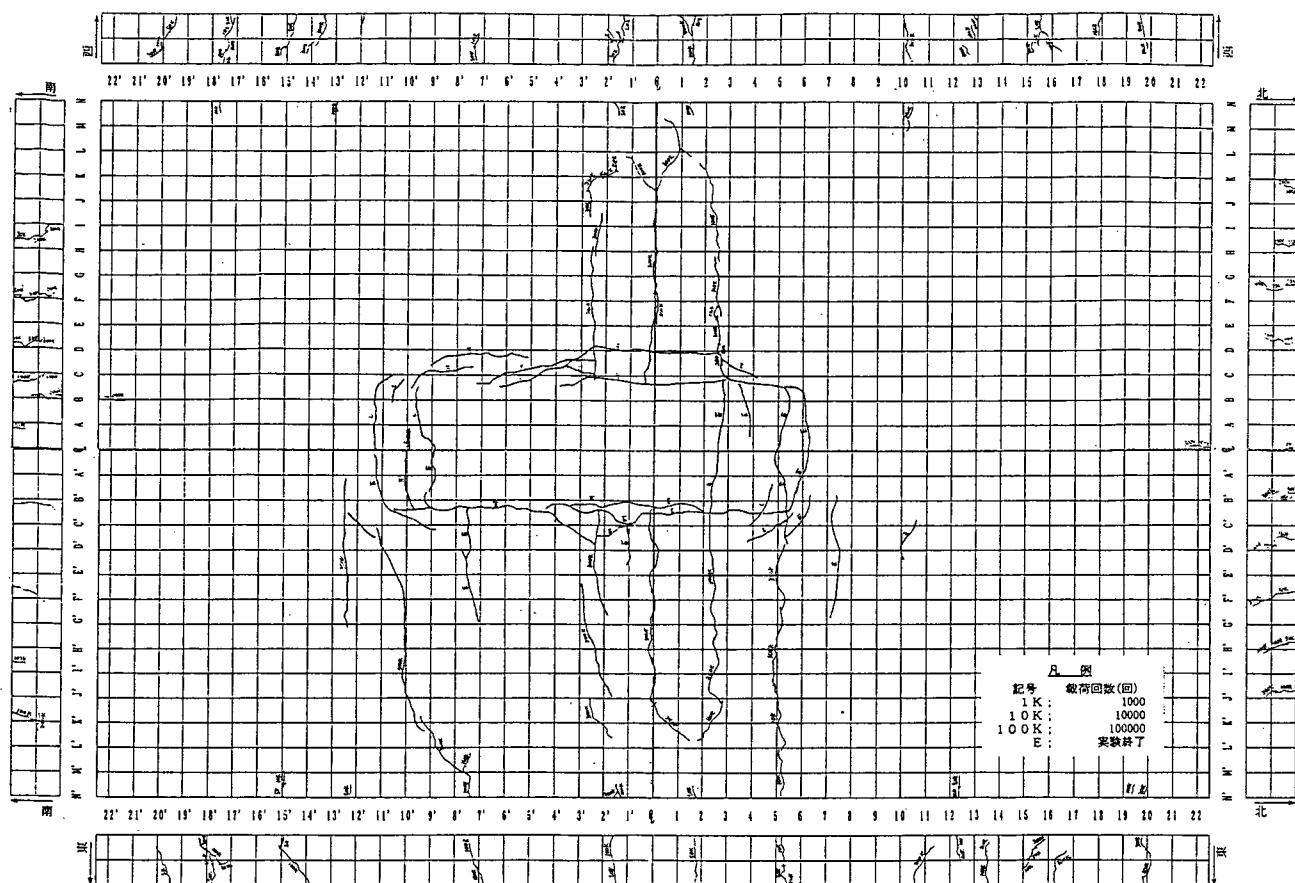
B断面



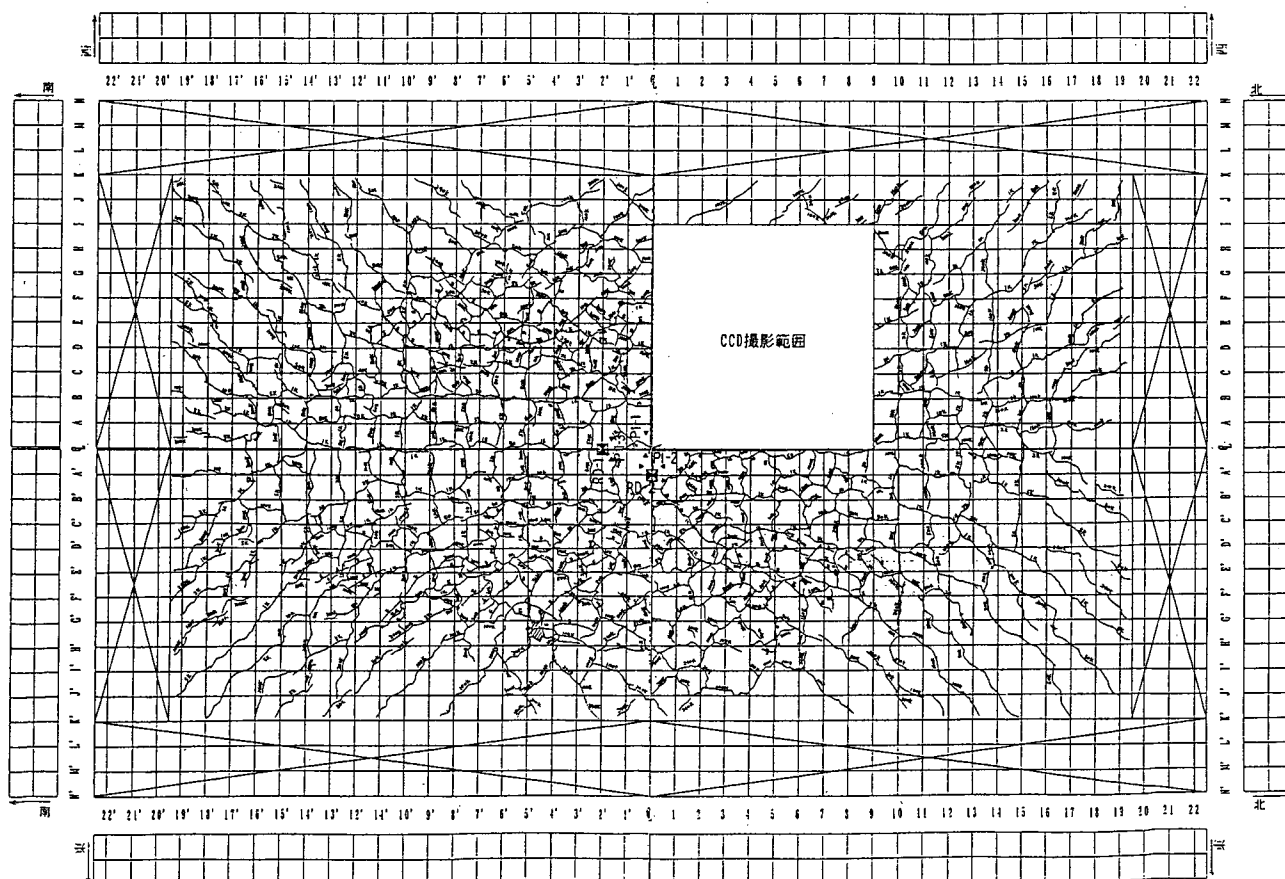
C断面

※切断位置
 A断面— (センターより東へ50mm)
 B断面— (センターより南へ50mm)
 C断面— (センターより南へ1100mm)

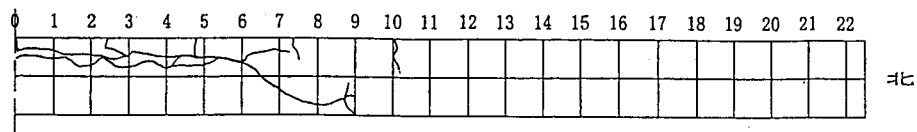
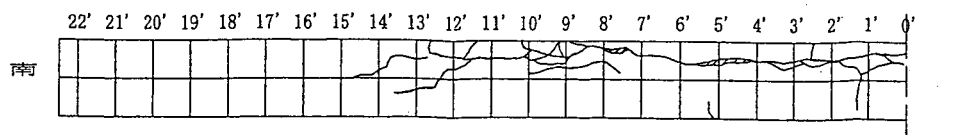
付図-7.11.3 RC47-2 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



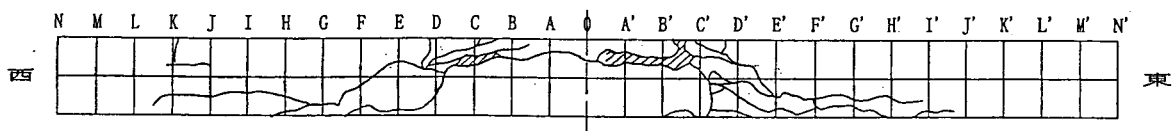
付図-7.12.1 RC47-3 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



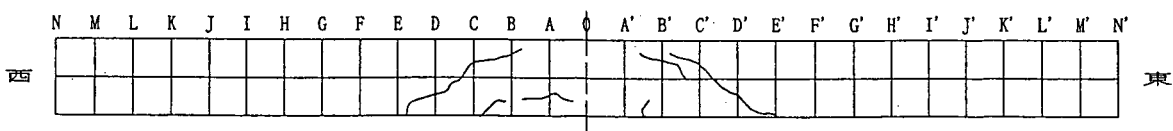
付図-7.12.2 RC47-3 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A断面



B断面



C断面

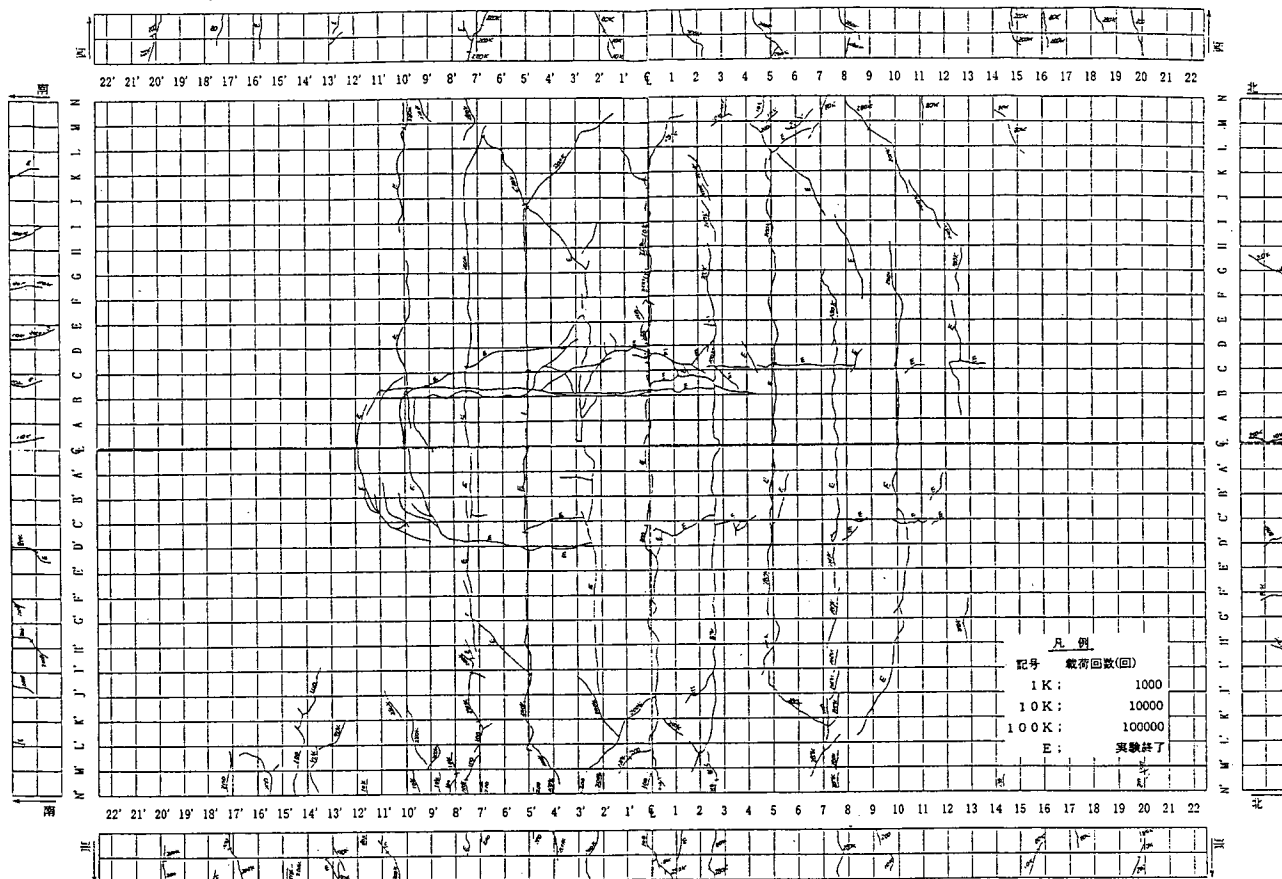
凡 例 2

/// : 試験時損失部

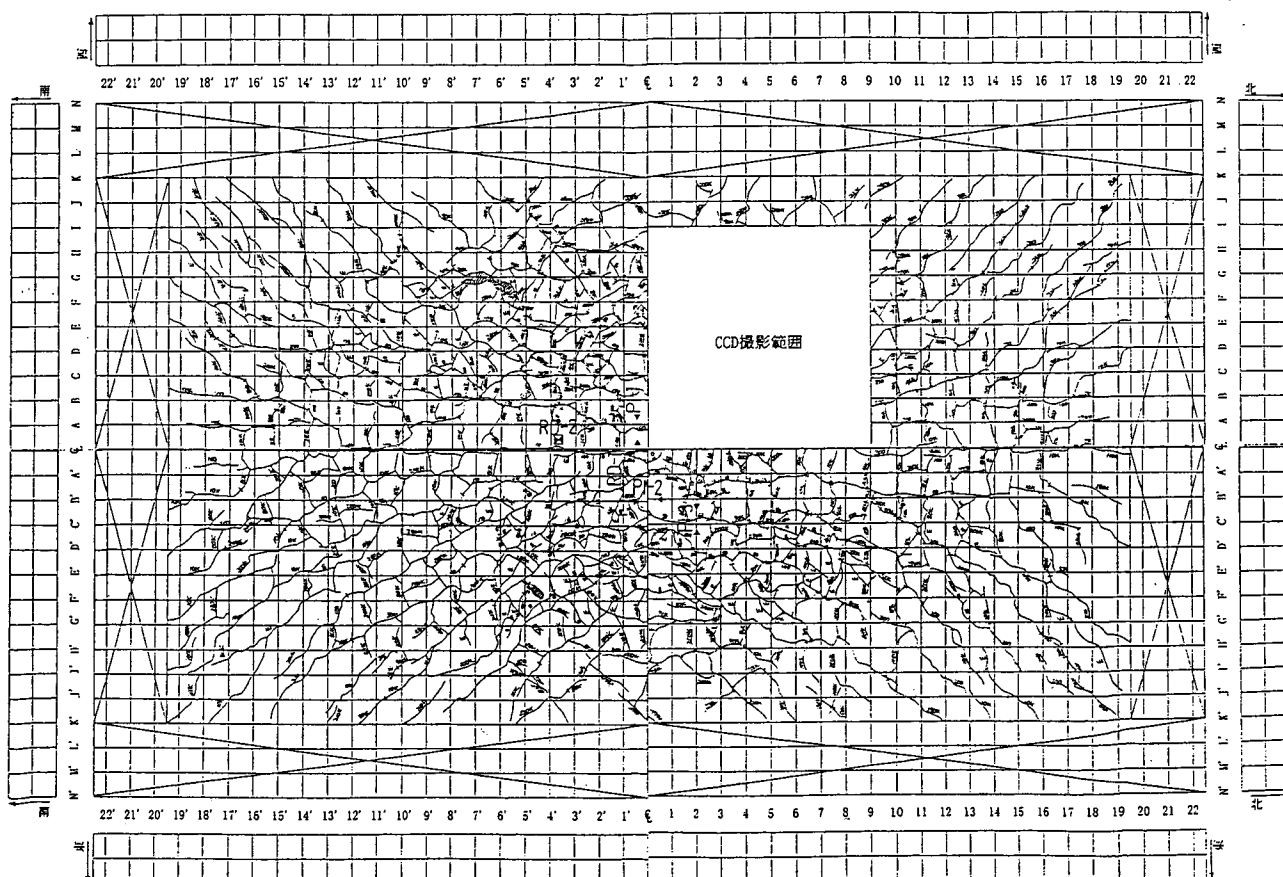
※切断位置

- A断面— (センターより東へ50mm)
- B断面— (センターより南へ50mm)
- C断面— (センターより北へ900mm)

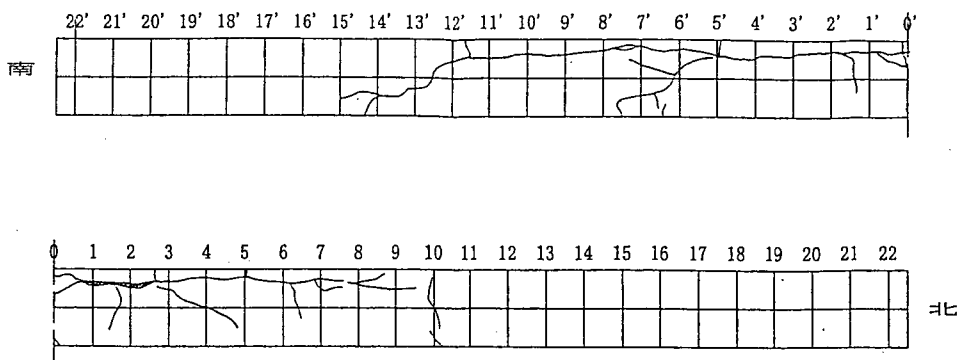
付図-7.12.3 RC47-3 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



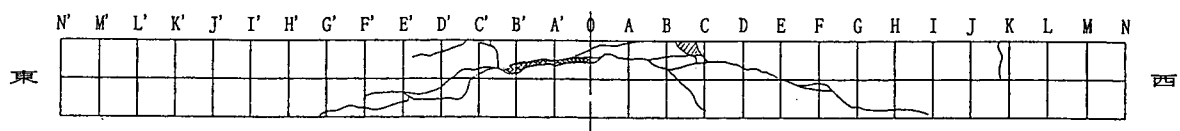
付図-7.13.1 RC47-4 供試体のひび割れ状況（床版上面）



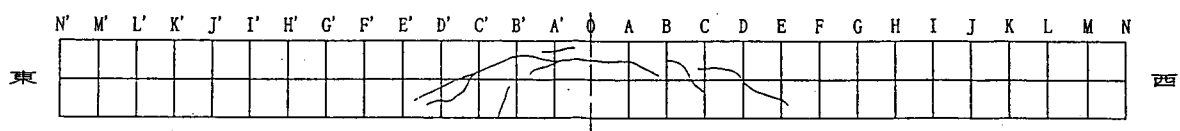
付図-7.13.2 RC47-4 供試体のひび割れ状況（床版下面）



A断面



B断面



C断面

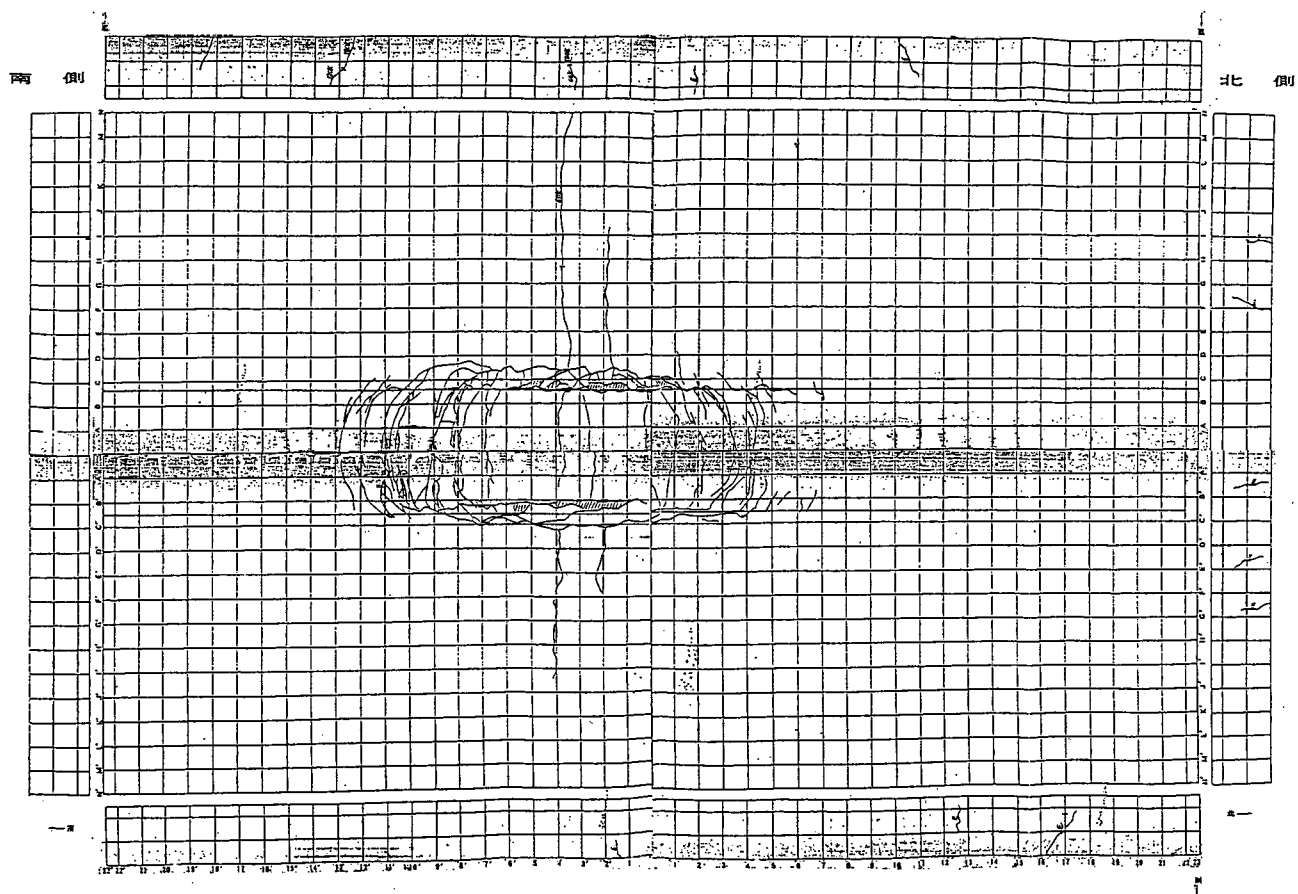
凡 例 3

-  : 試験時損失部
 : 切断時損失部

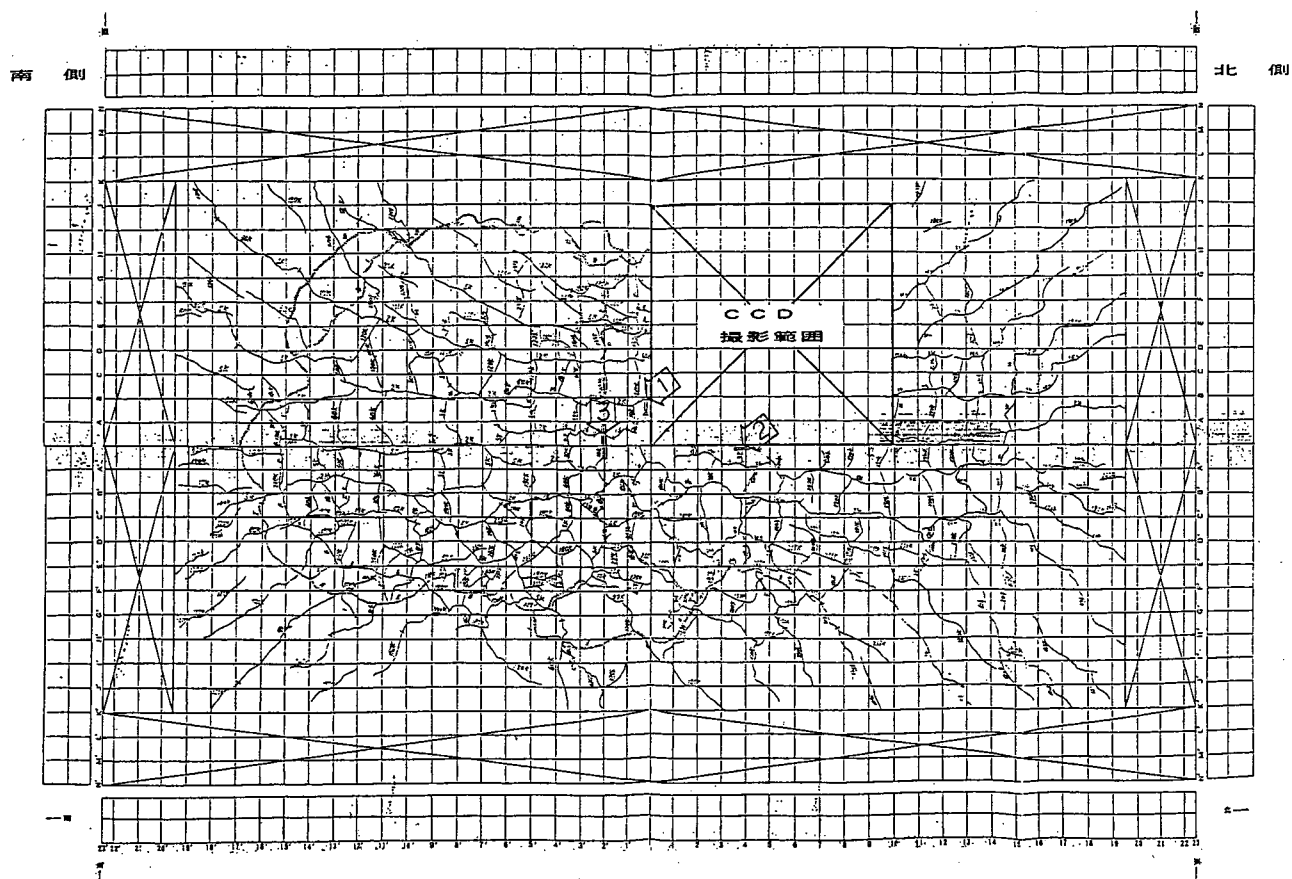
付図-7.13.3 RC47-4 供試体のひび割れ状況 (床版断面)

※切断位置

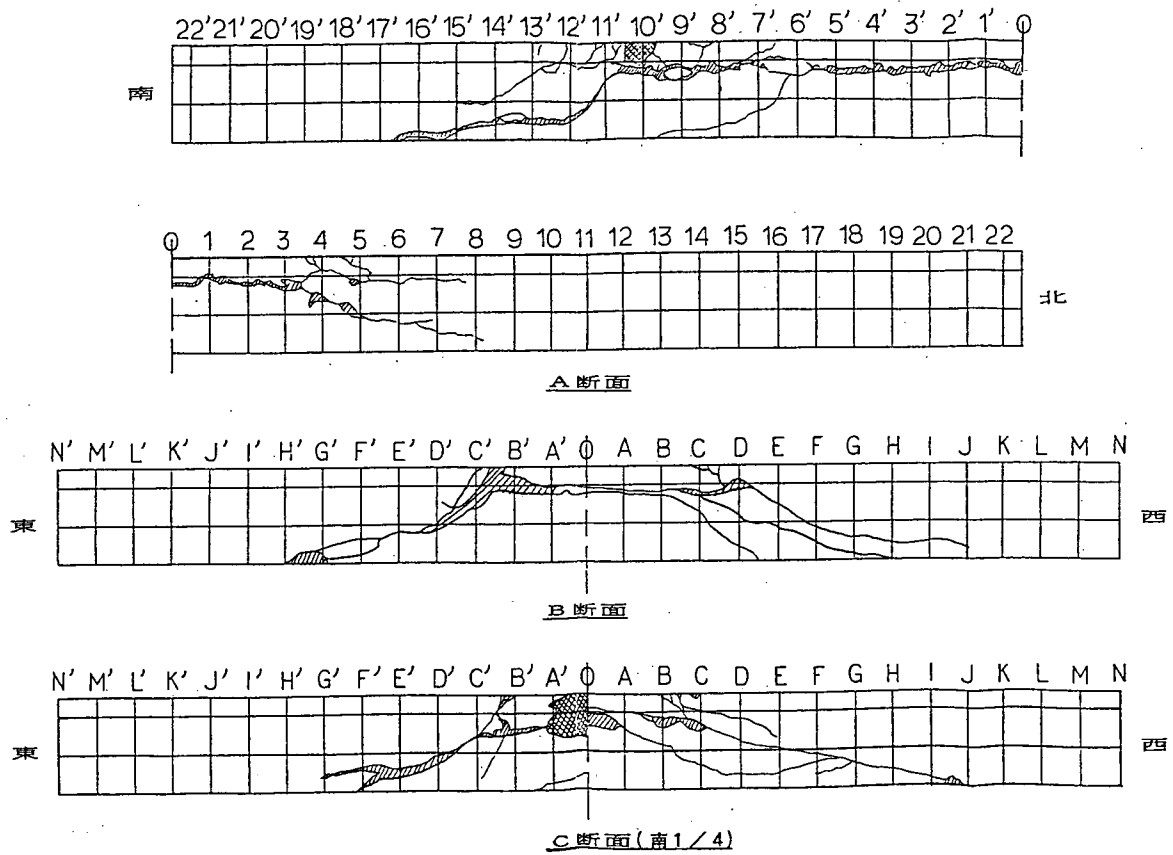
- A断面— (センターより東へ50mm)
 B断面— (センターより南へ50mm)
 C断面— (センターより北へ900mm)



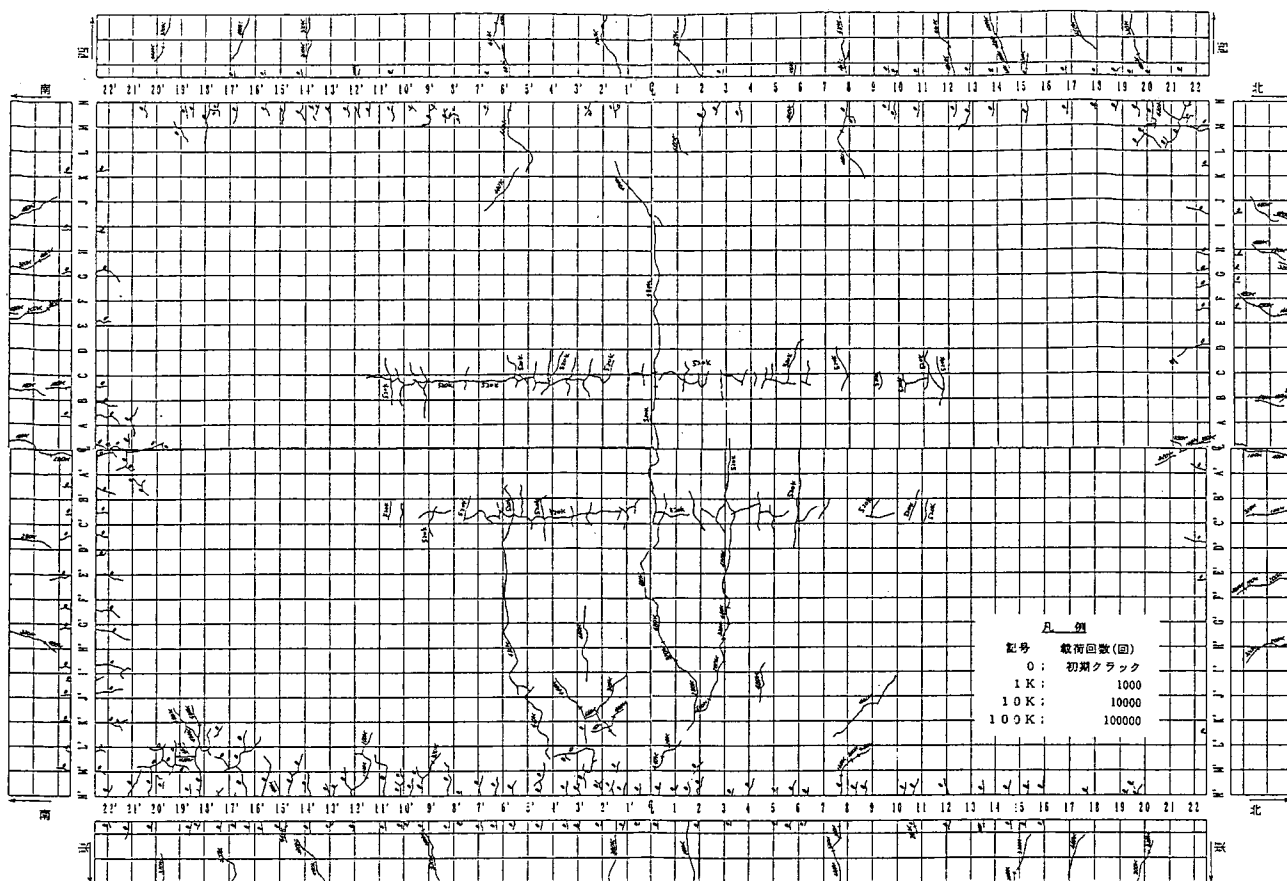
付図-7.14.1 RC80-1 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



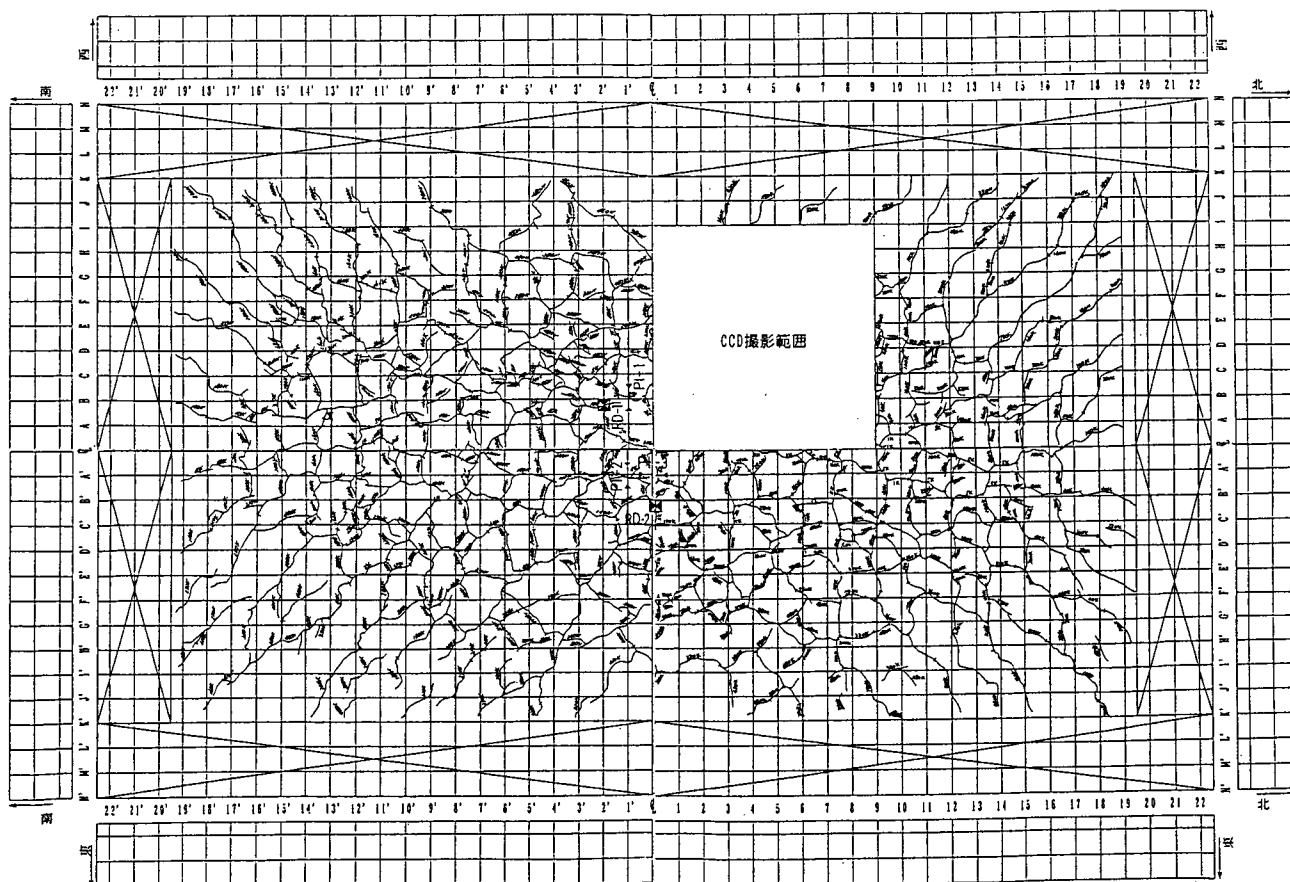
付図-7.14.2 RC80-1 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



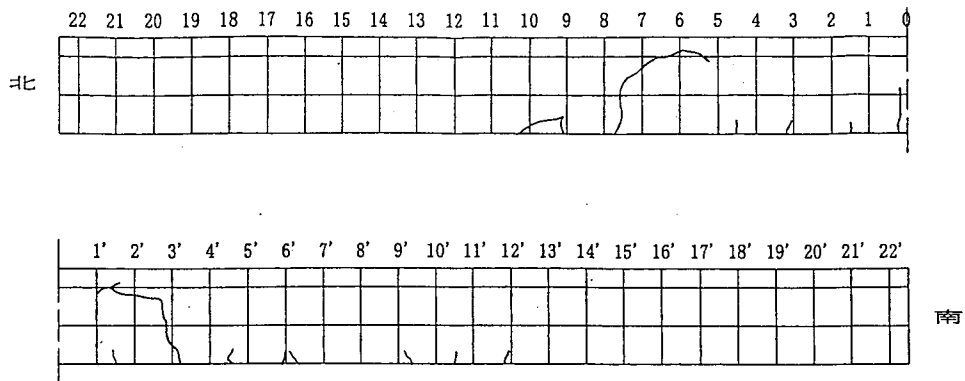
付図-7.14.3 RC80-1 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



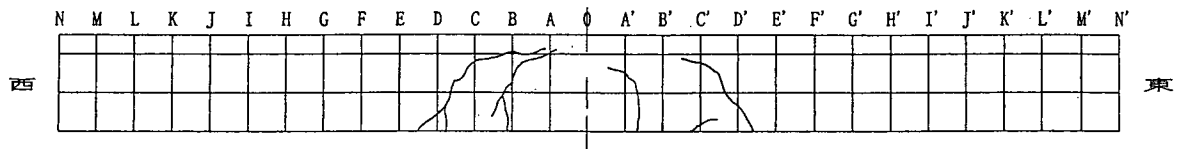
付図-7.15.1 RC80-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



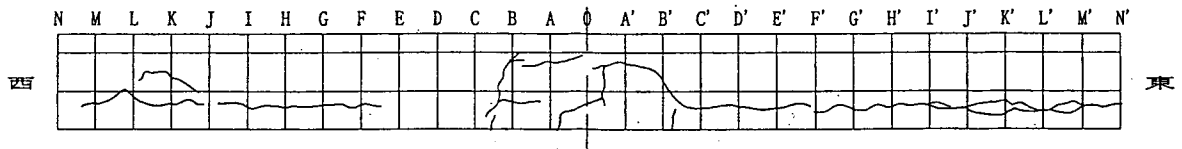
付図-7.15.2 RC80-2 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A断面



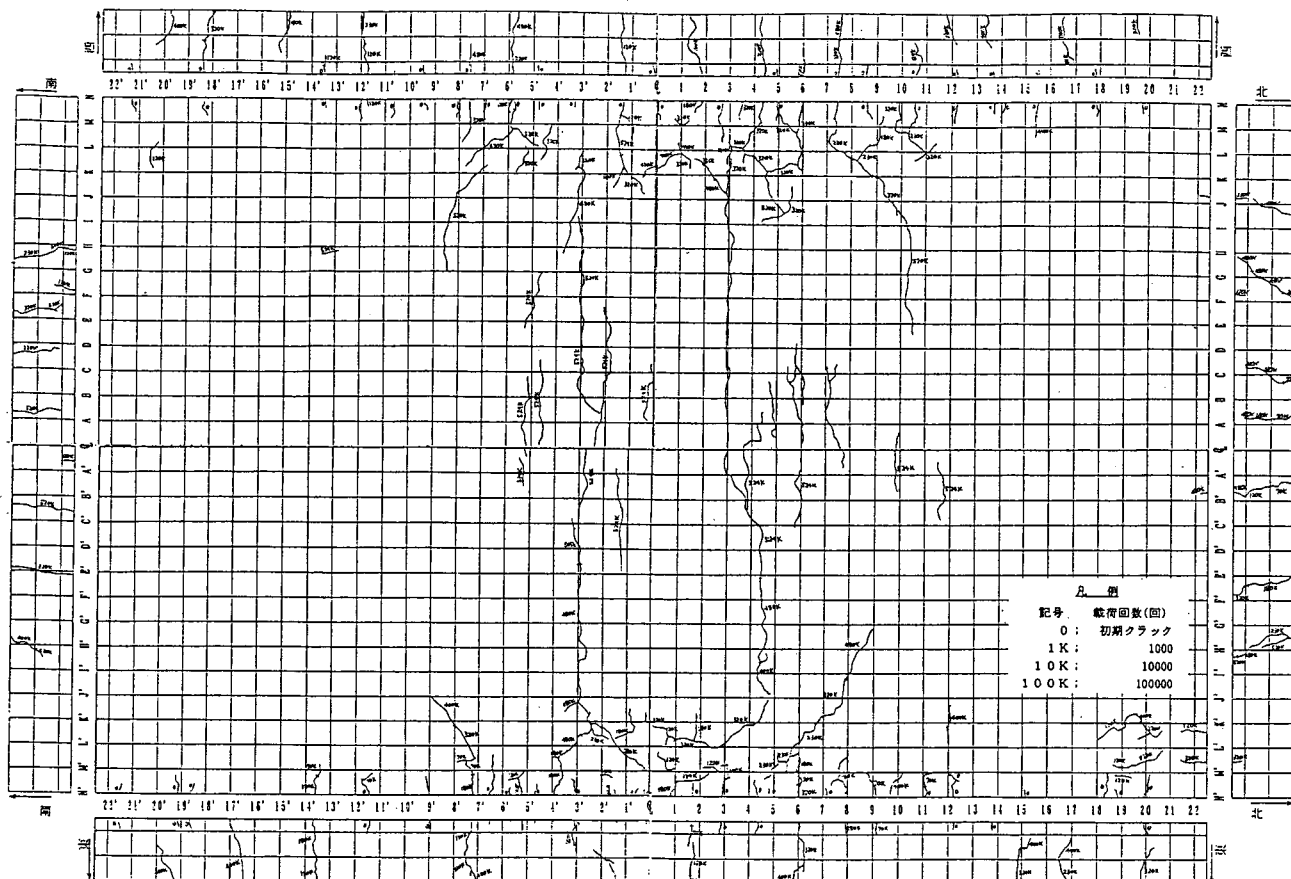
B断面



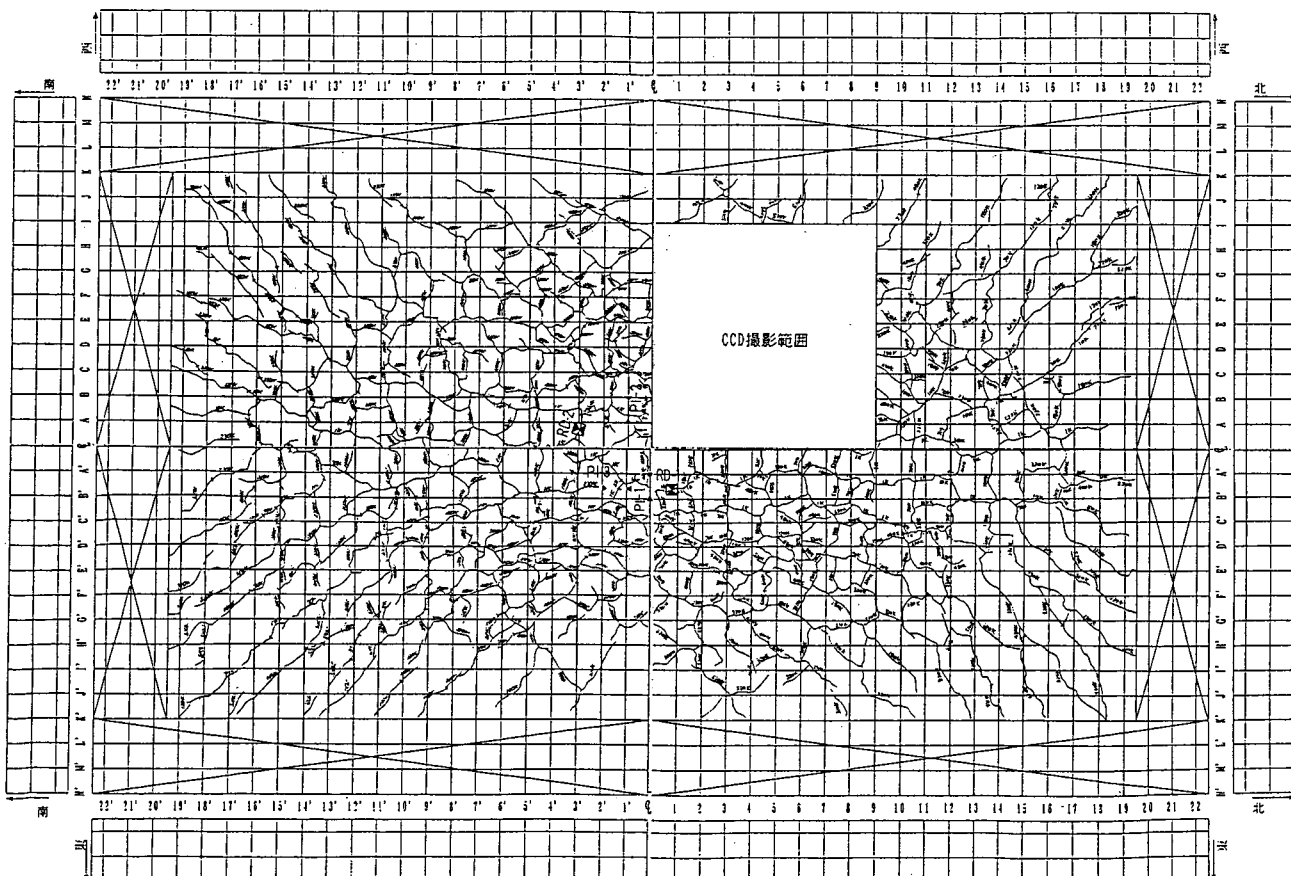
C断面

※切断位置
 A断面— (センターより東へ50mm)
 B断面— (センターより南へ50mm)
 C断面— (センターより北へ700mm)

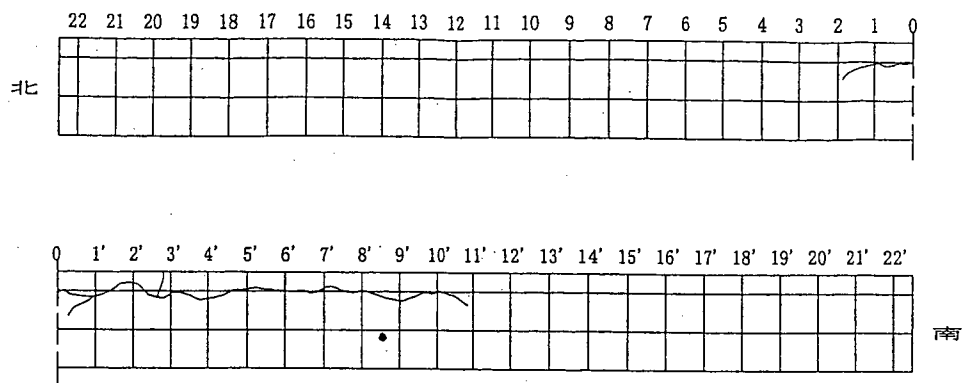
付図-7.15.3 RC80-2 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



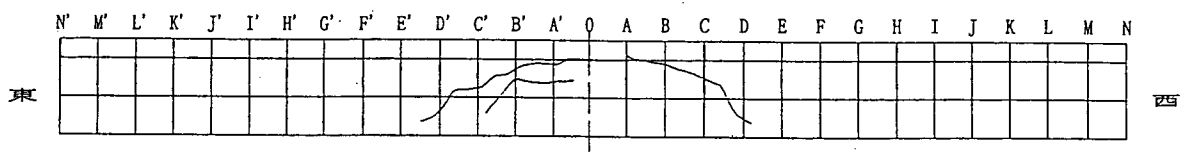
付図-7.16.1 RC80-3 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



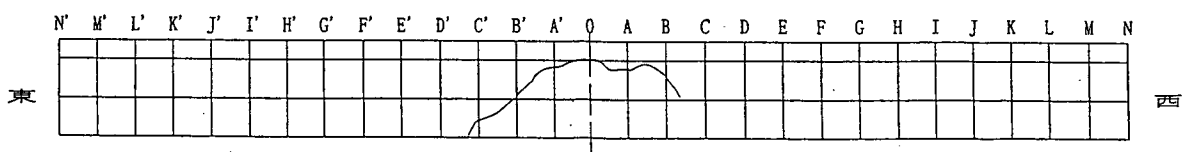
付図-7.16.2 RC80-3 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A断面



B断面



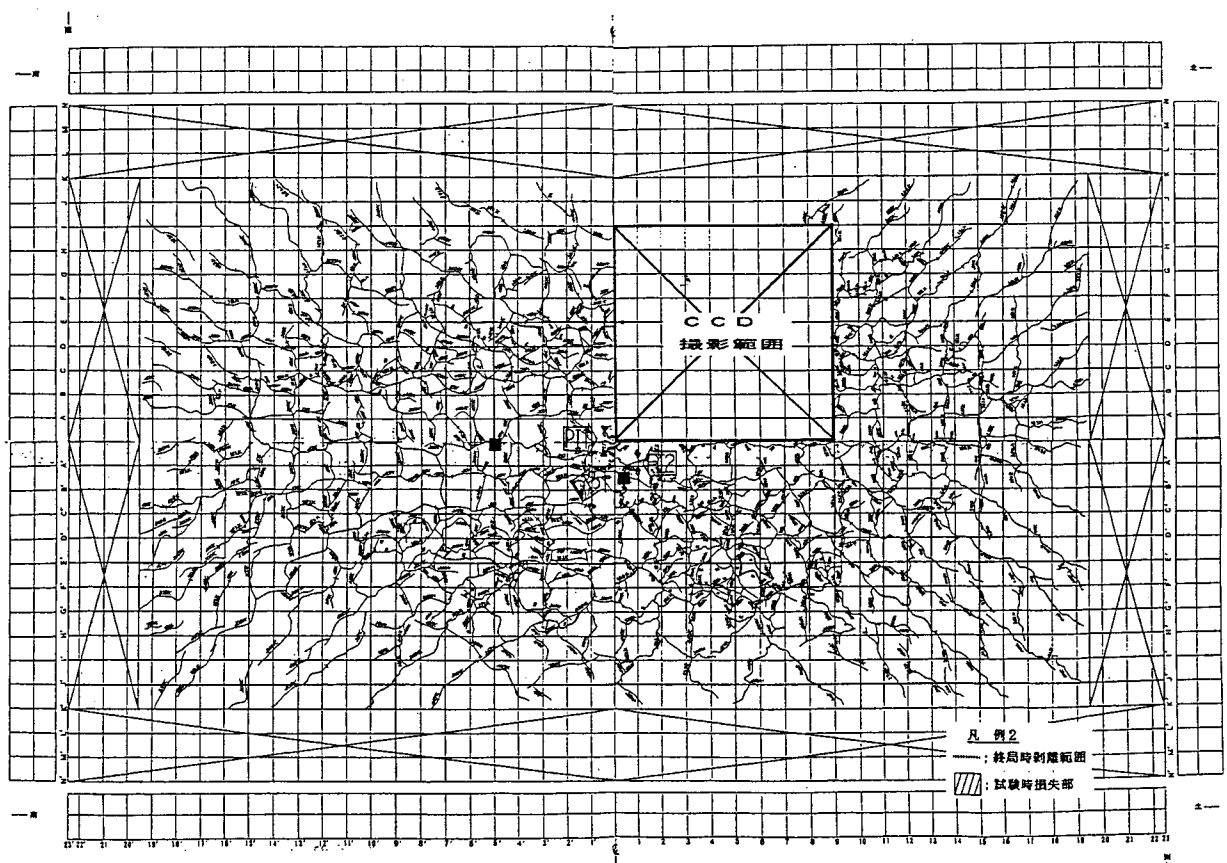
C断面

※切断位置
 A断面— (センターより東へ30mm)
 B断面— (センターより南へ30mm)
 C断面— (センターより南へ1000mm)

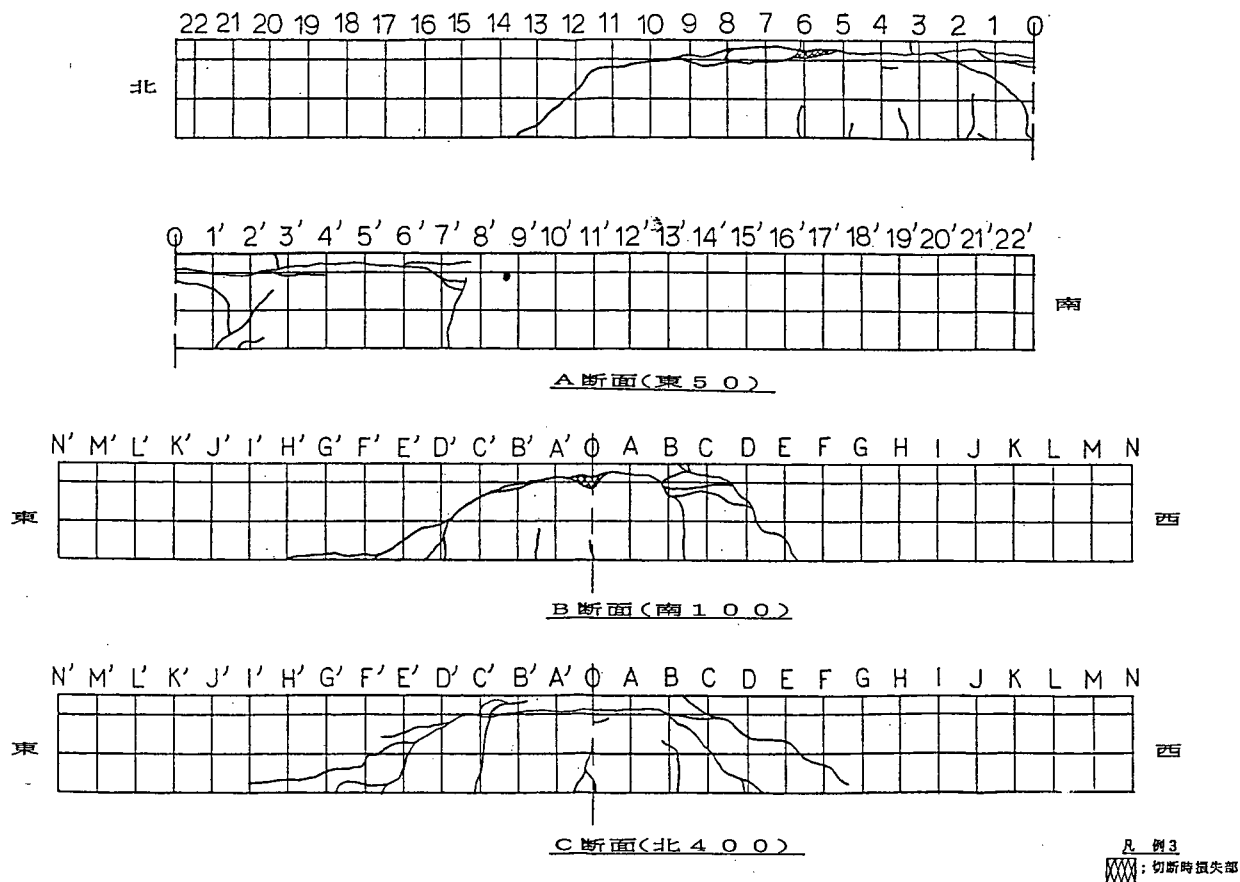
付図-7.16.3 RC80-3 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



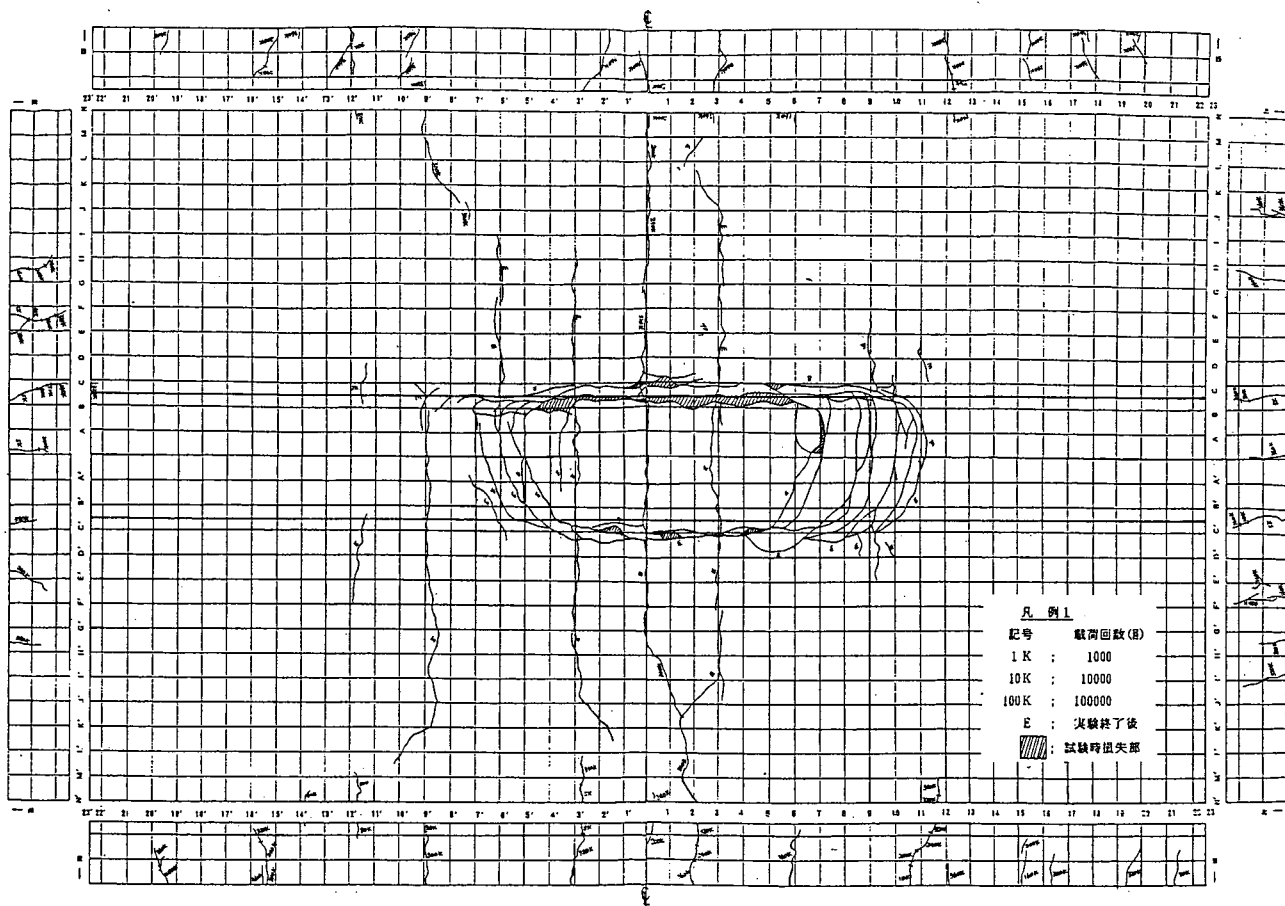
付図-7.17.1 RC8n-1 供試体のひび割れ状況（床版上面）



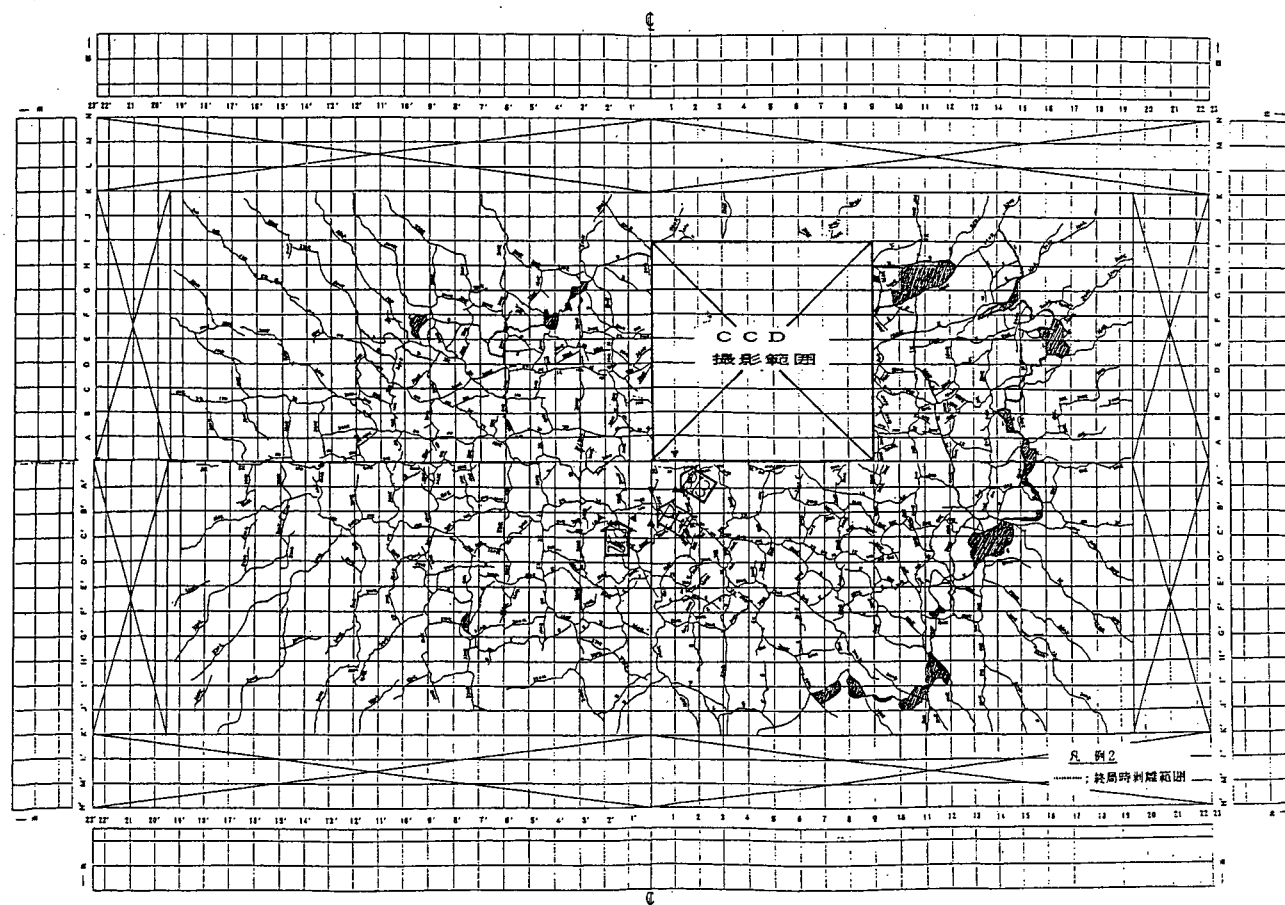
付図-7.17.2 RC8n-1 供試体のひび割れ状況（床版下面）



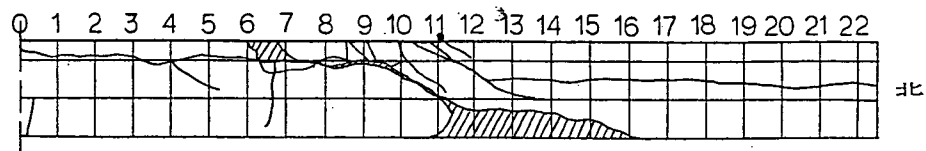
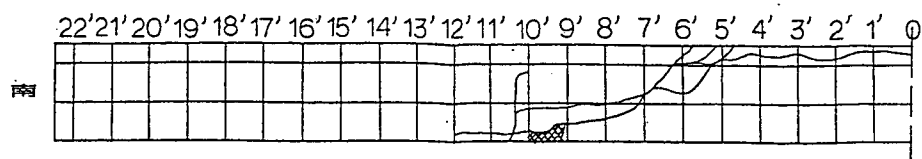
付図-7.17.3 RC8n-1 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



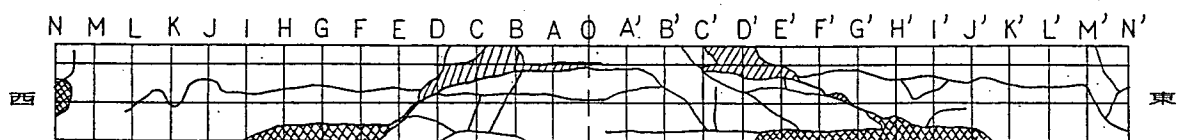
付図-7.18.1 RC8n-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



付図-7.18.2 RC8n-2 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A断面(東50)



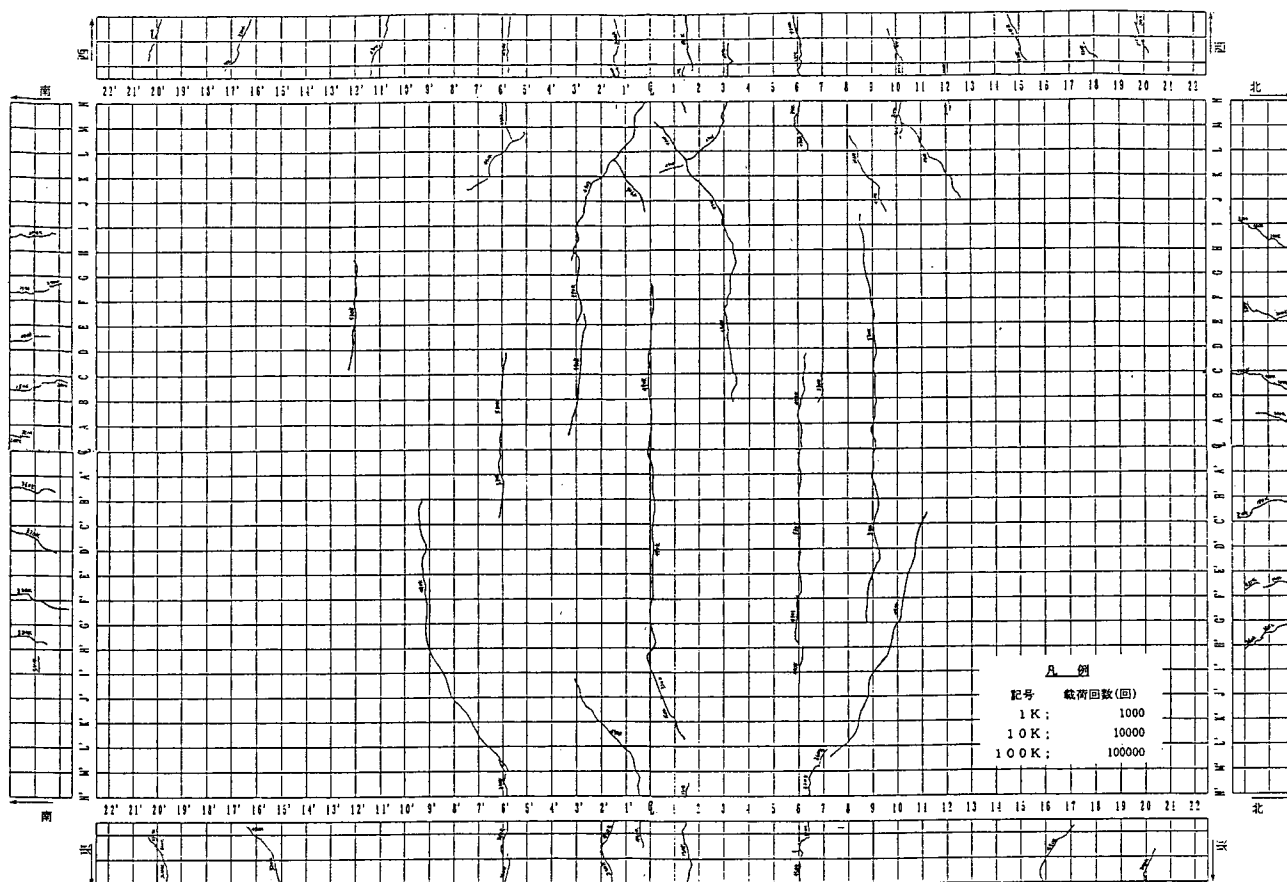
B断面(北300)



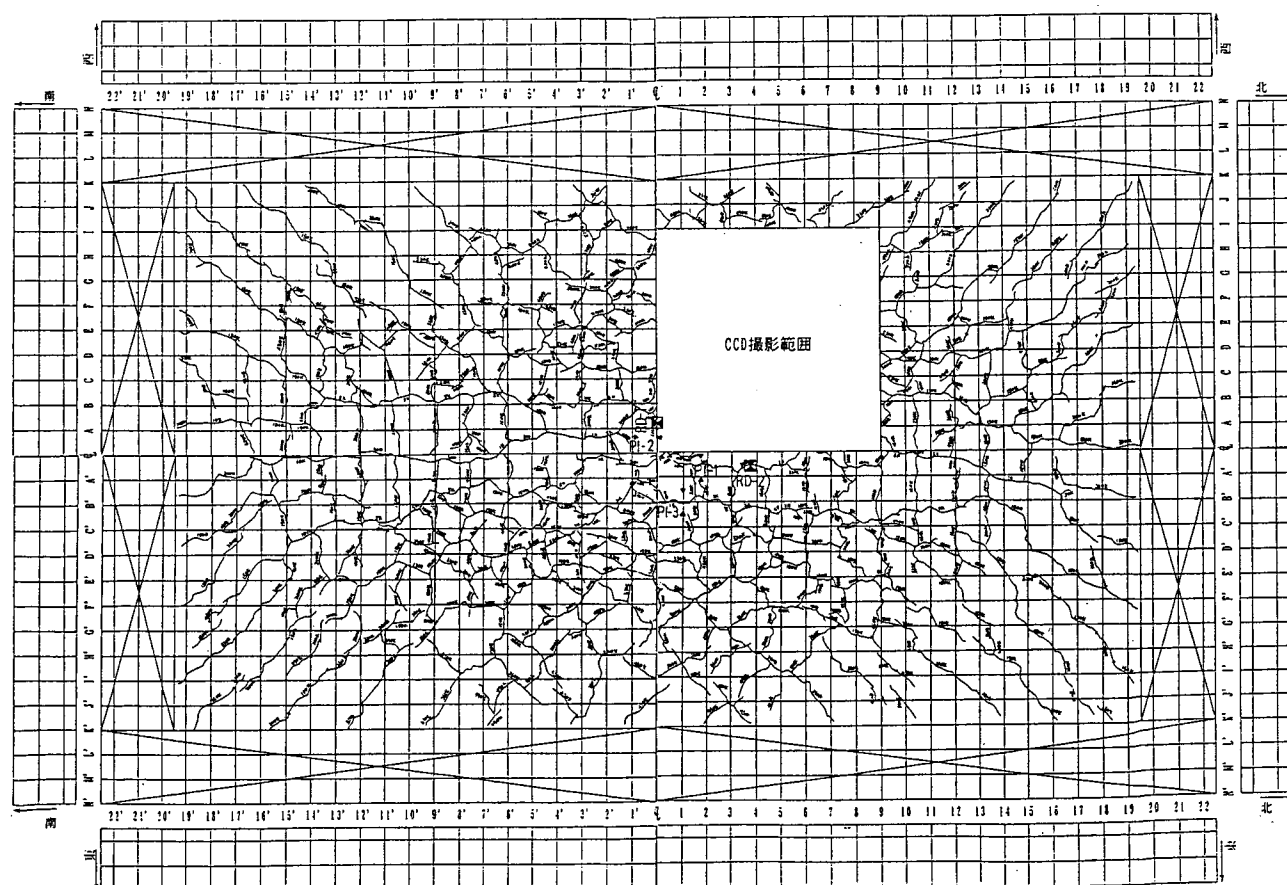
C断面(南1000)

凡 例3
 : 試験時損失部
 : 切断時損失部

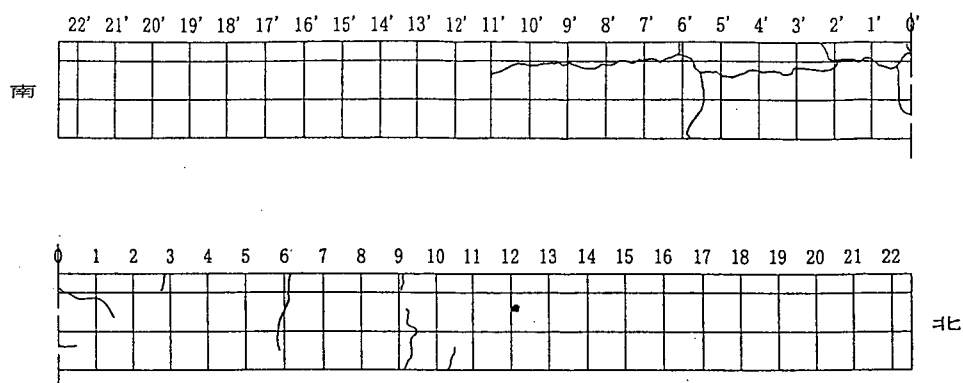
付図-7.18.3 RC8n-2 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



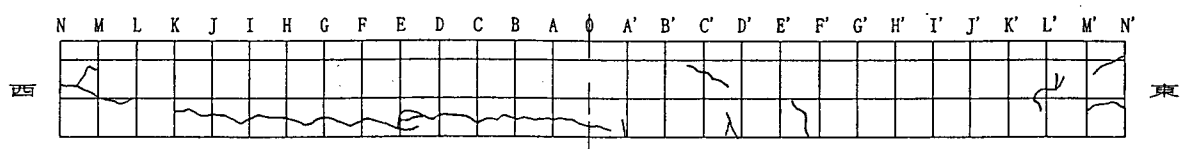
付図－7.19.1 RC8n-3 供試体のひび割れ状況（床版上面）



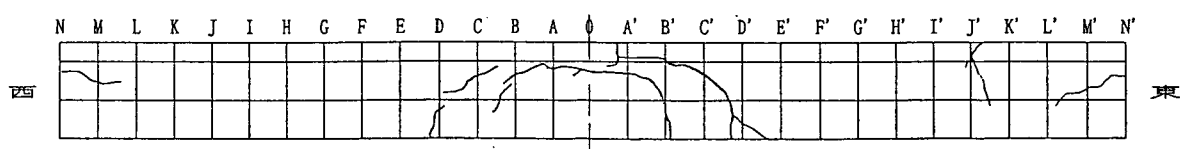
付図－7.19.2 RC8n-3 供試体のひび割れ状況（床版下面）



A断面



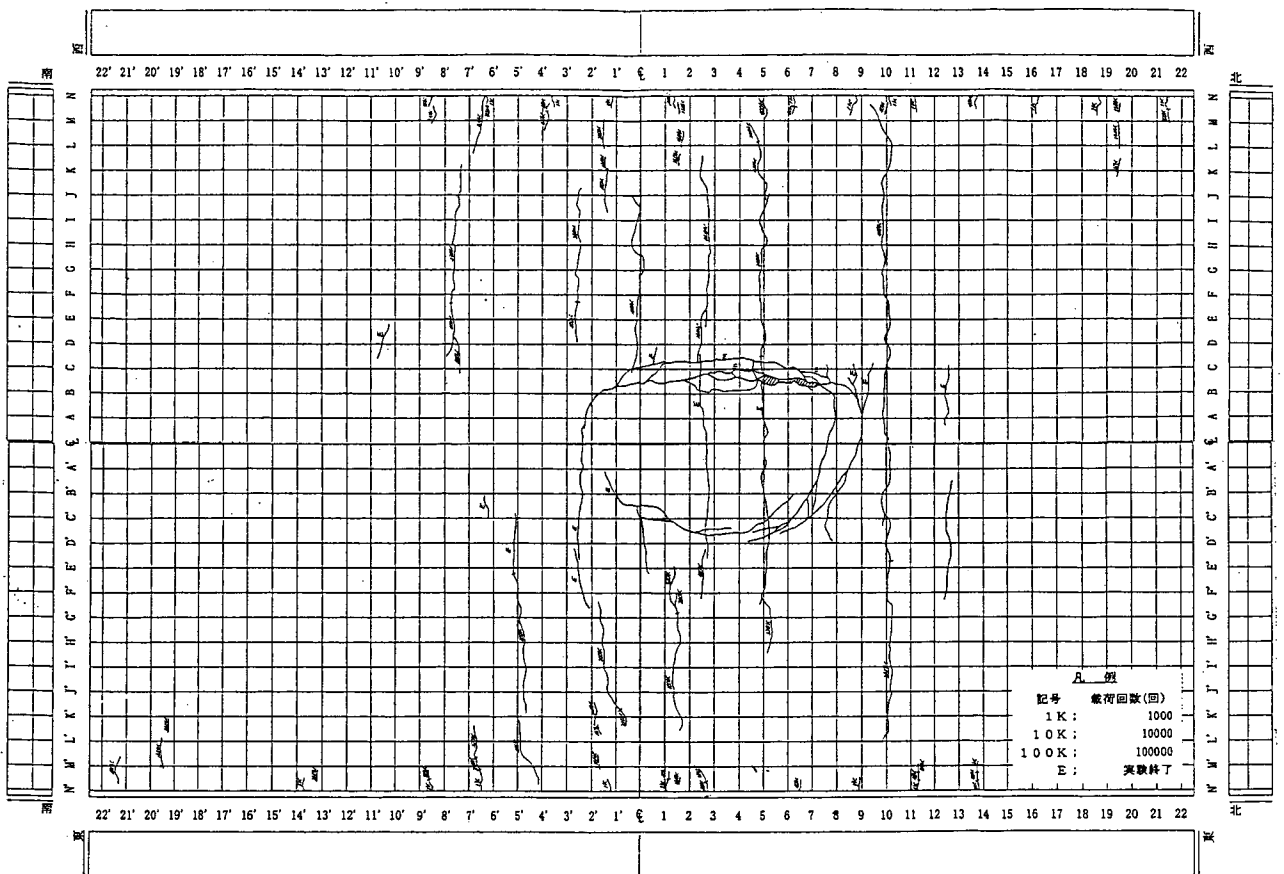
C断面



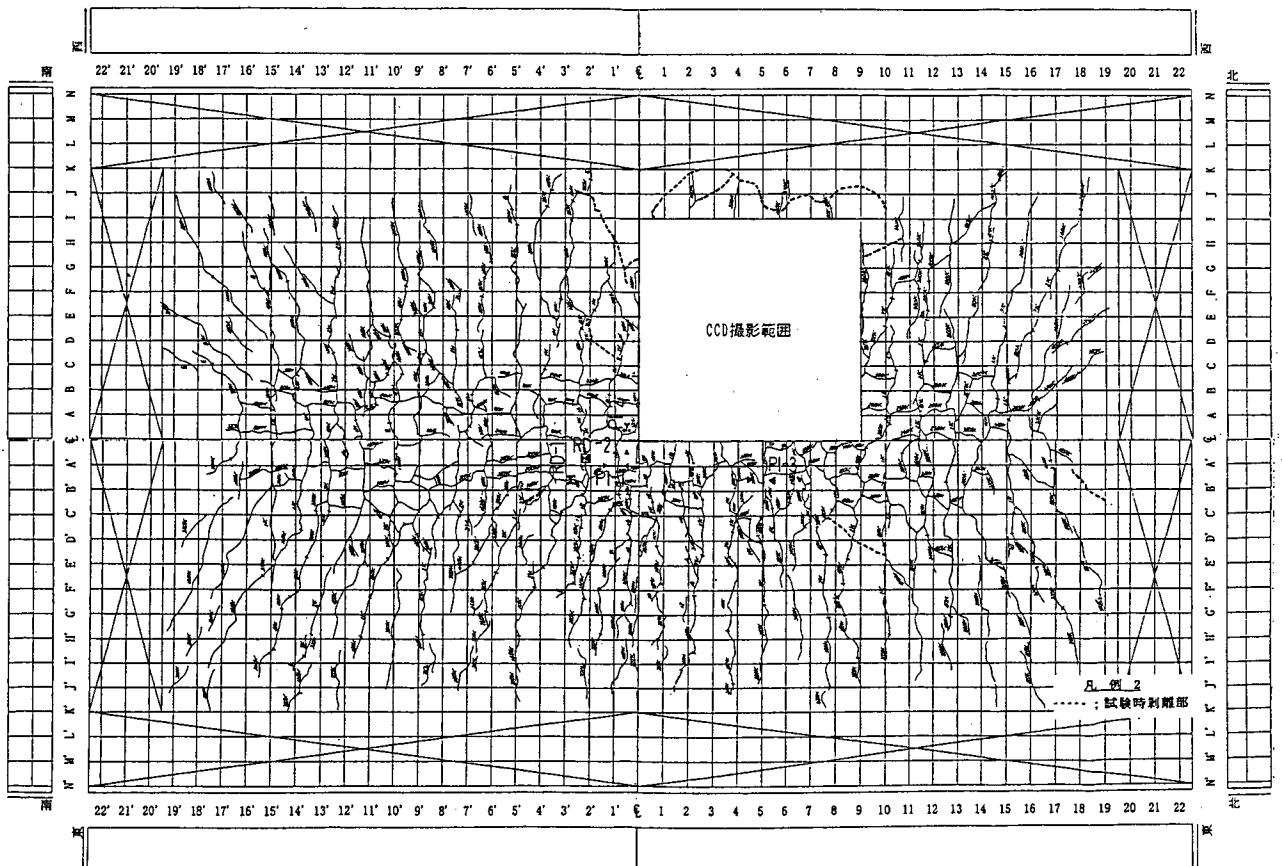
B断面

※切断位置
 A断面— (センターより東へ50mm)
 B断面— (センターより北へ50mm)
 C断面— (センターより南へ1100mm)

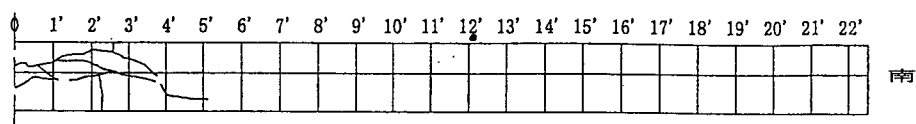
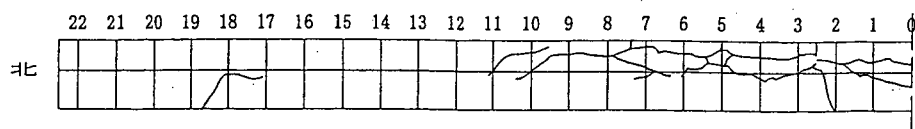
付図-7.19.3 RC8n-3 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



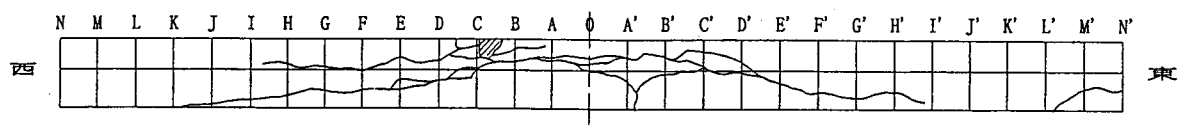
付図-7.20.1 PC8-1 供試体のひび割れ状況（床版上面）



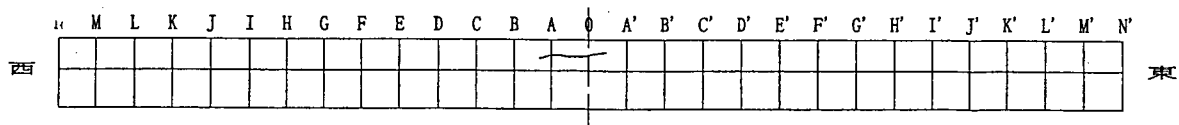
付図-7.20.2 PC8-1 供試体のひび割れ状況（床版下面）



A断面



B断面



C断面

凡 例 2

/// : 試験時損失部

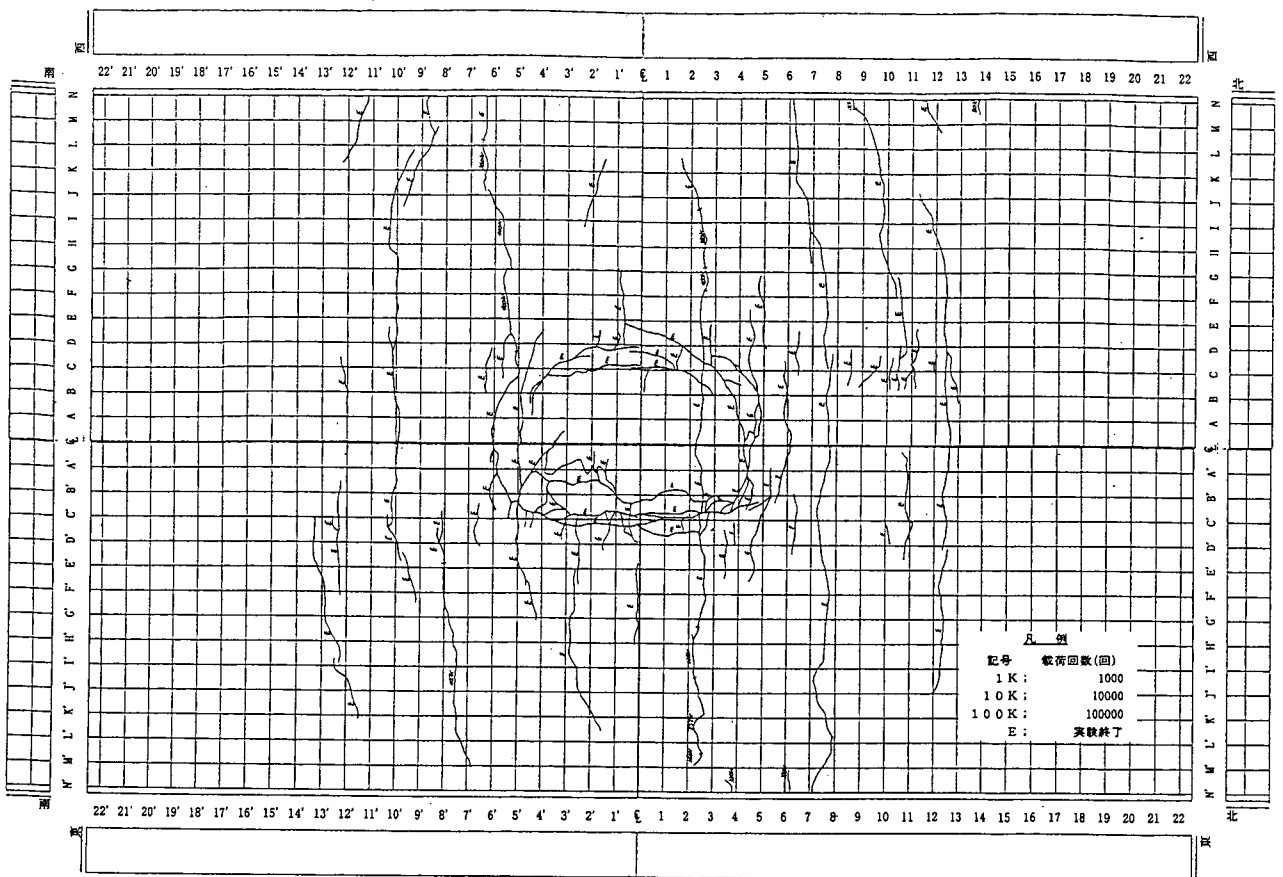
付図-7.20.3 PC8-1 供試体のひび割れ状況 (床版断面)

※切断位置

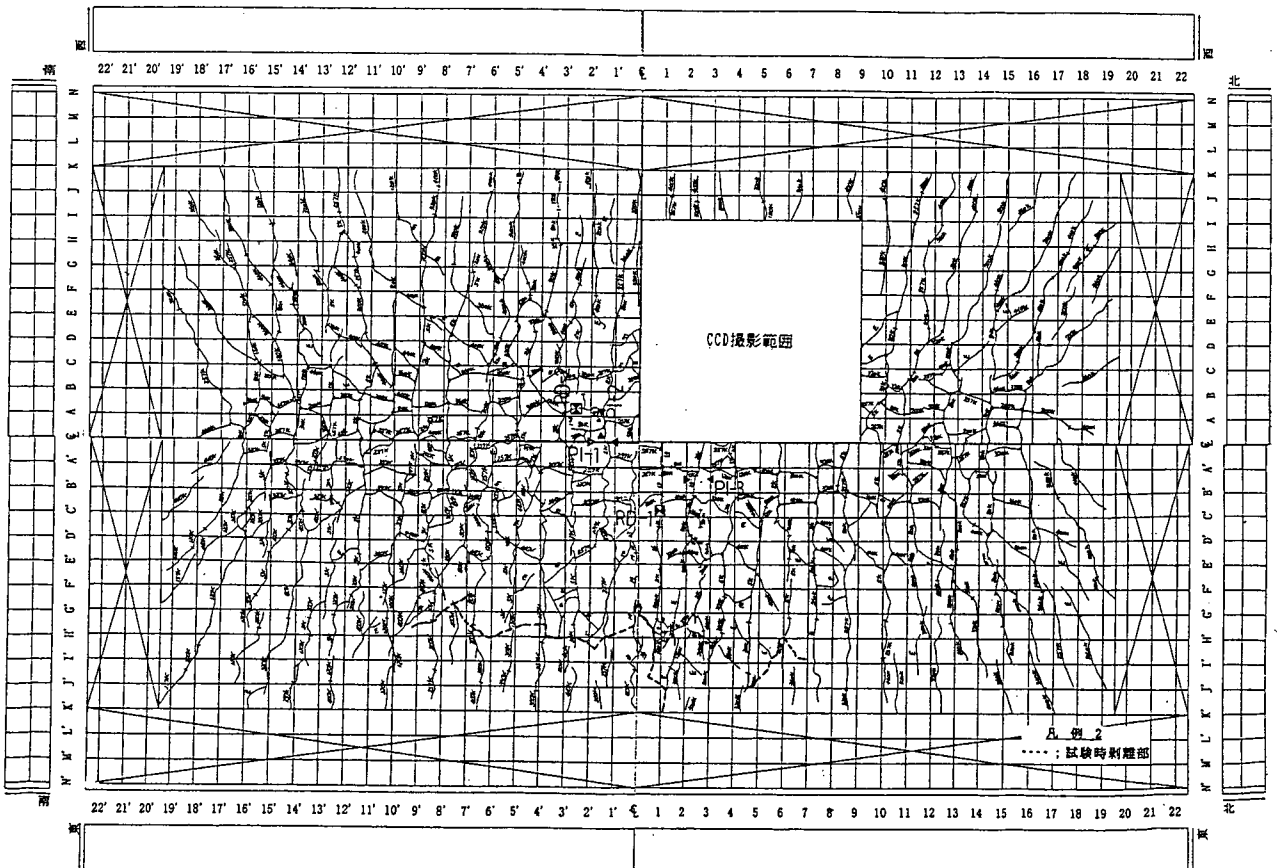
A断面- (センターより東へ30mm)

B断面- (センターより北へ300mm)

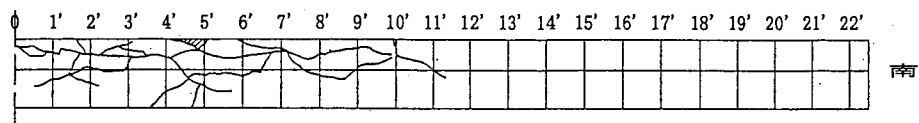
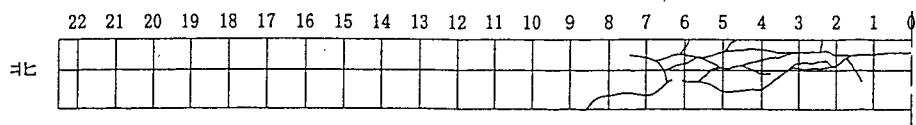
C断面- (センターより南へ1030mm)



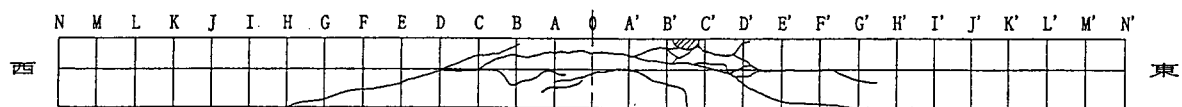
付図-7.21.1 PC8-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



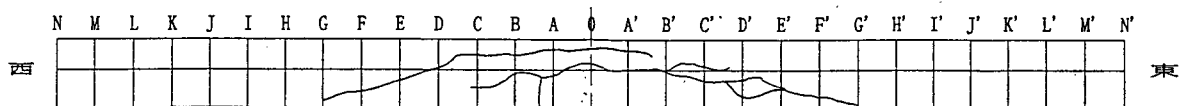
付図-7.21.2 PC8-2 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



A 断面



B 断面



C 断面

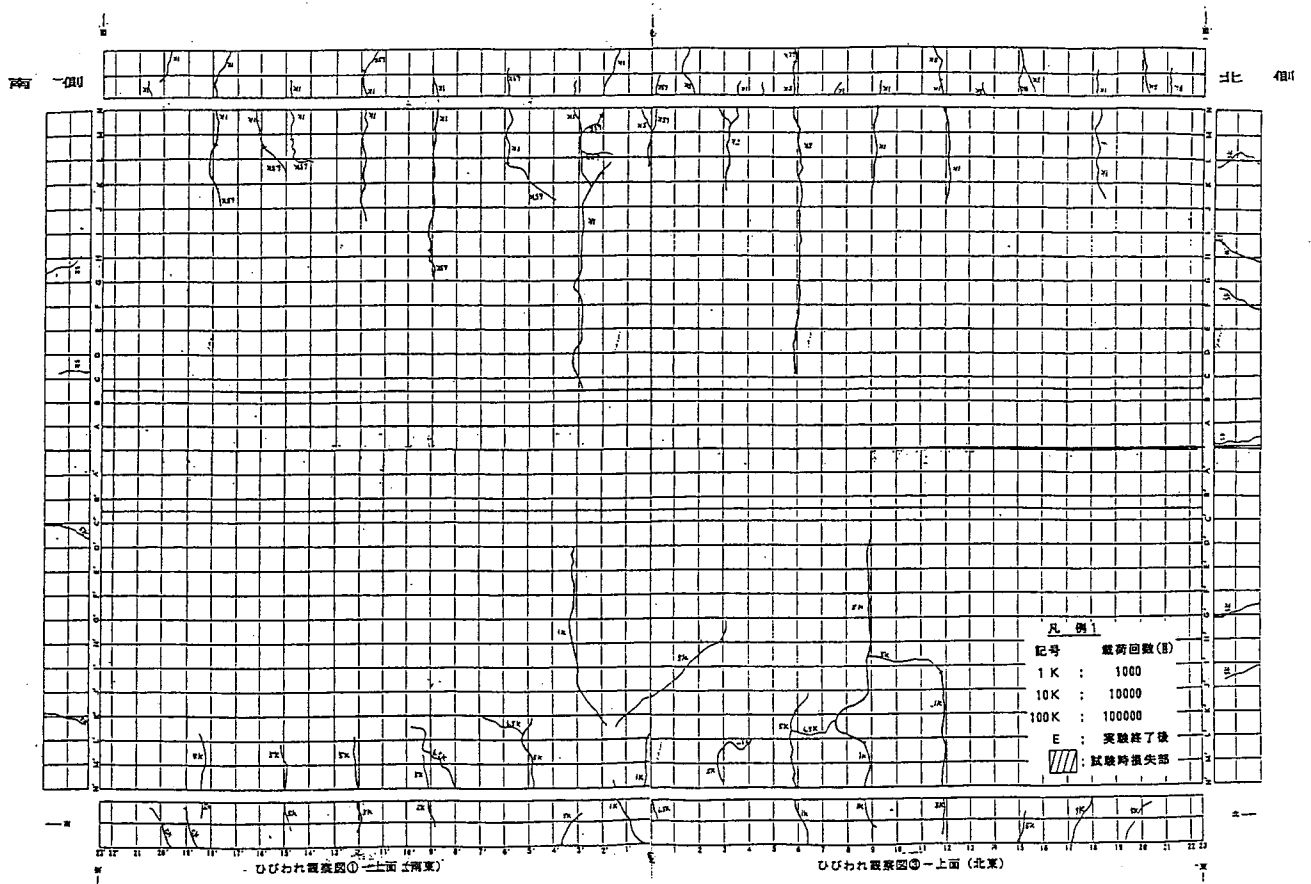
凡 例 2

; 試験時損失部

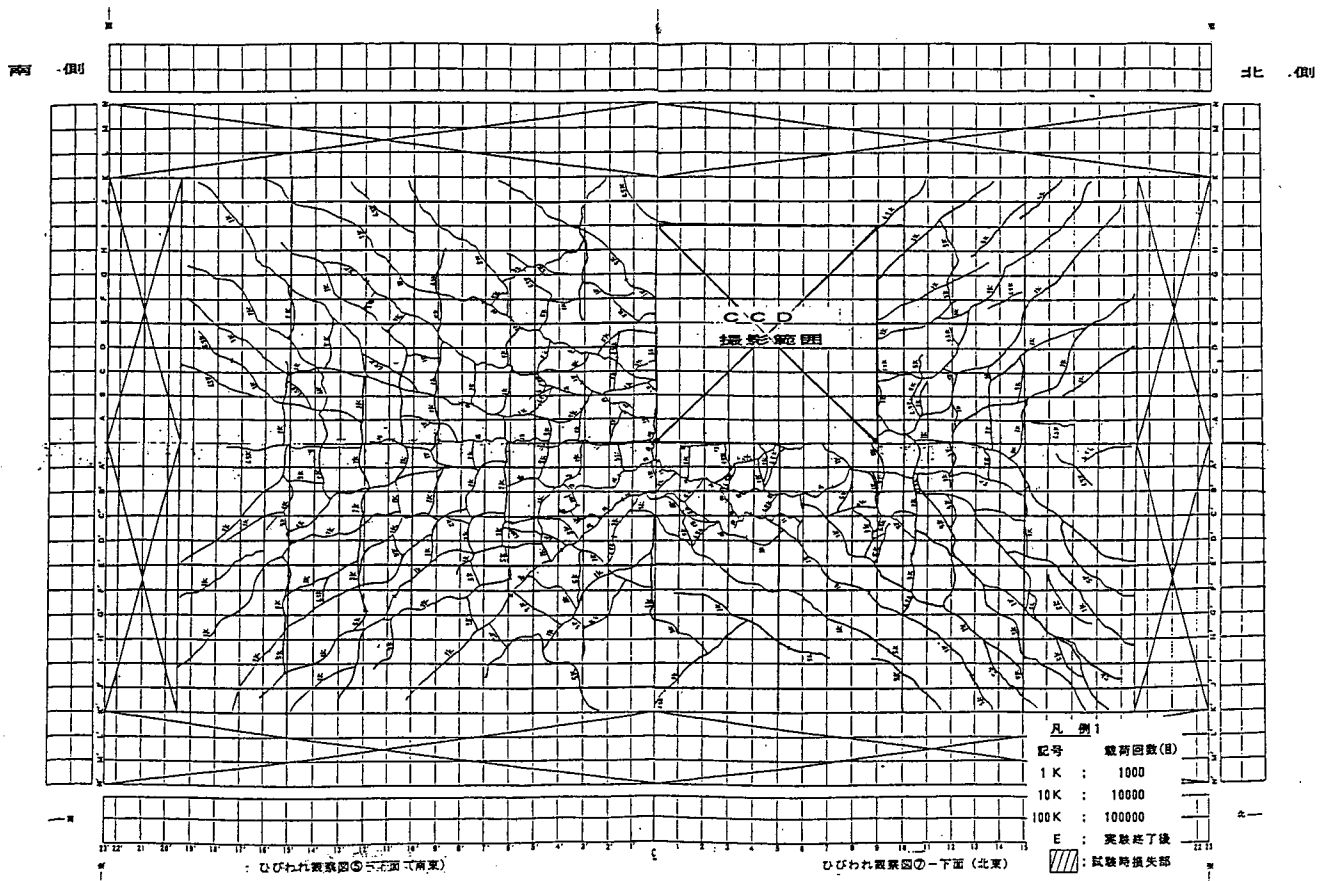
付図-7.21.3 PC8-2 供試体のひび割れ状況 (床版断面)

※切断位置

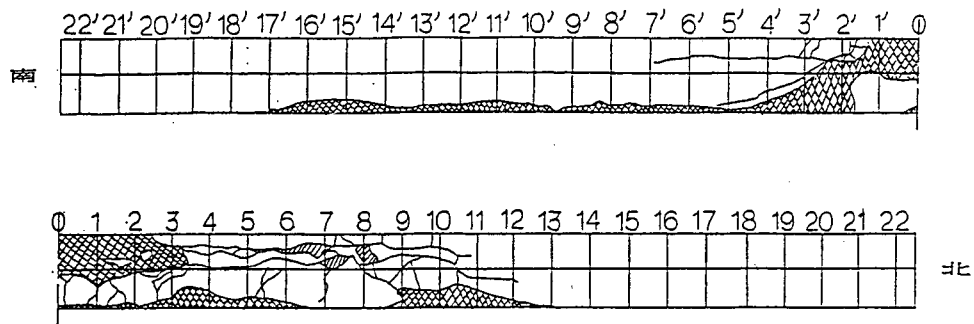
- A断面— (センターより東へ50mm)
- B断面— (センターより南へ50mm)
- C断面— (センターより南へ800mm)



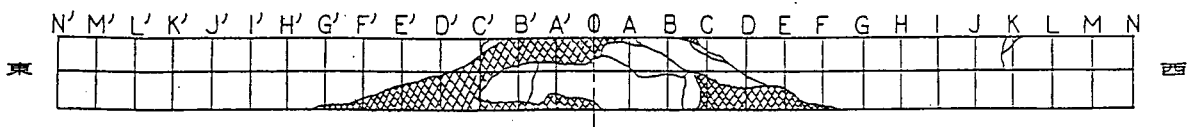
付図-8.1.1 RC39+鋼板-1 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



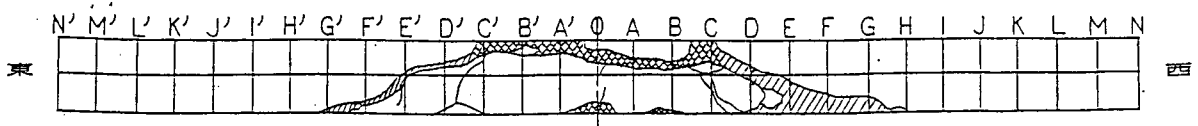
付図-8.1.2 RC39+鋼板-1 供試体のひび割れ状況 (床版下面: 補強前)



A断面



B断面



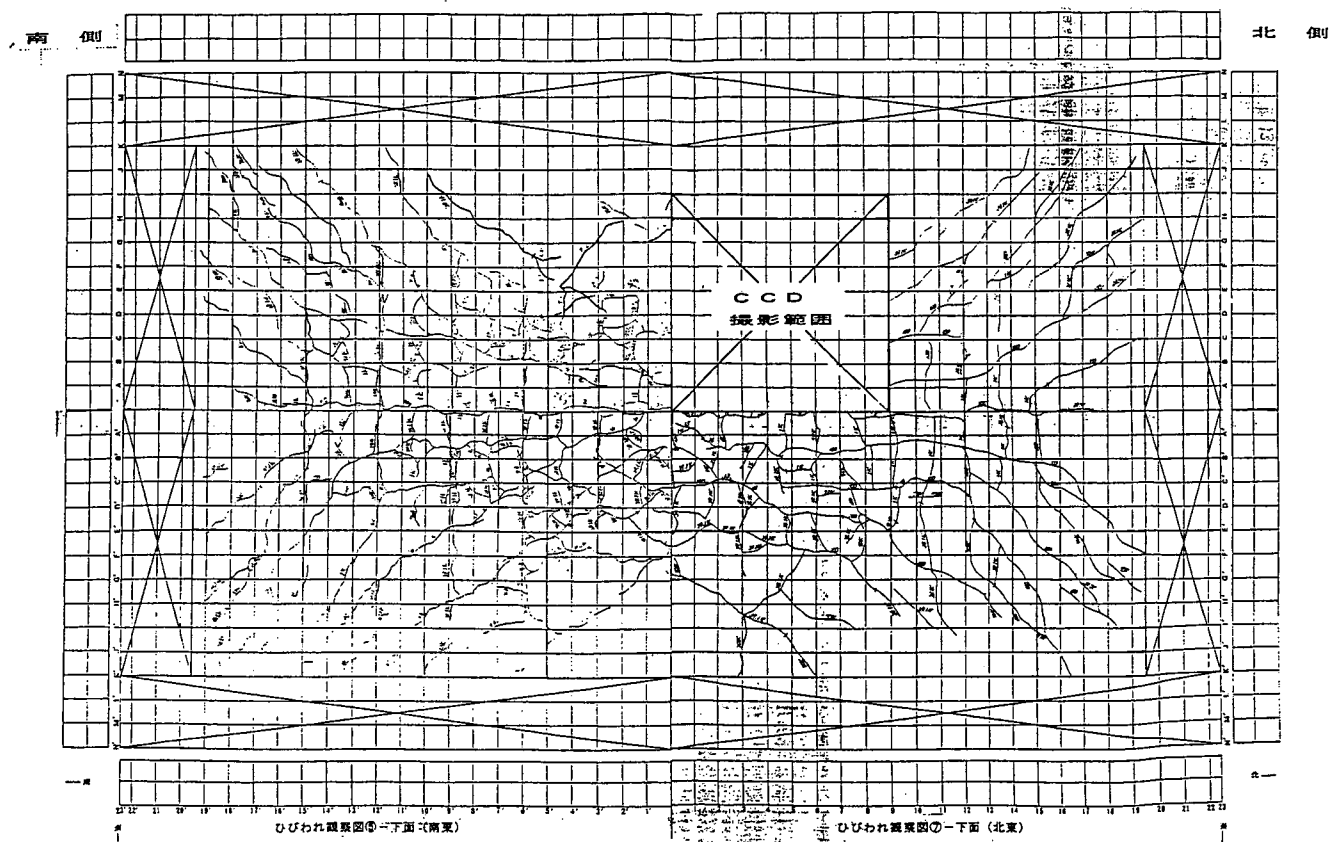
C断面 (北350)

凡 例 3
 : 試験時損失部
 : 切断時損失部

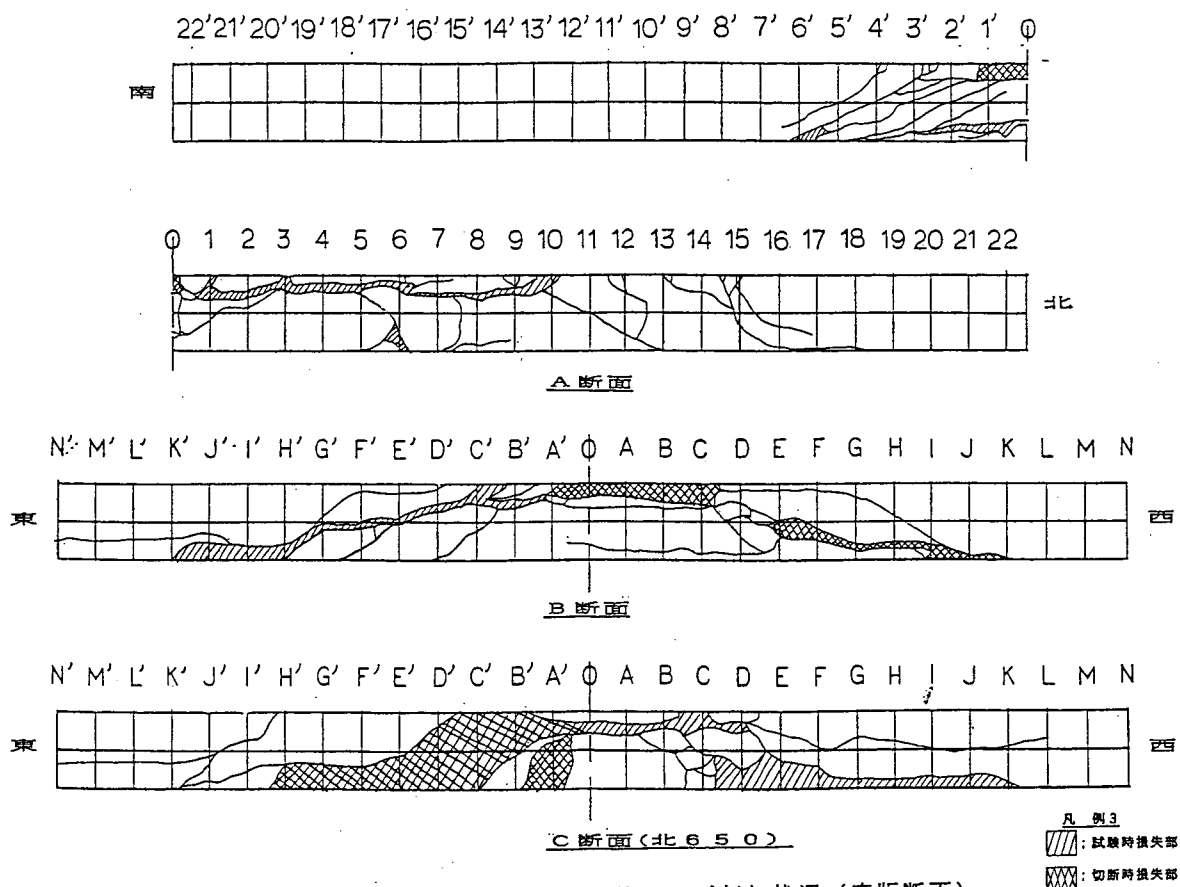
付図-8.1.3 RC39+鋼板-1 供試体のひび割れ状況 (床版断面)



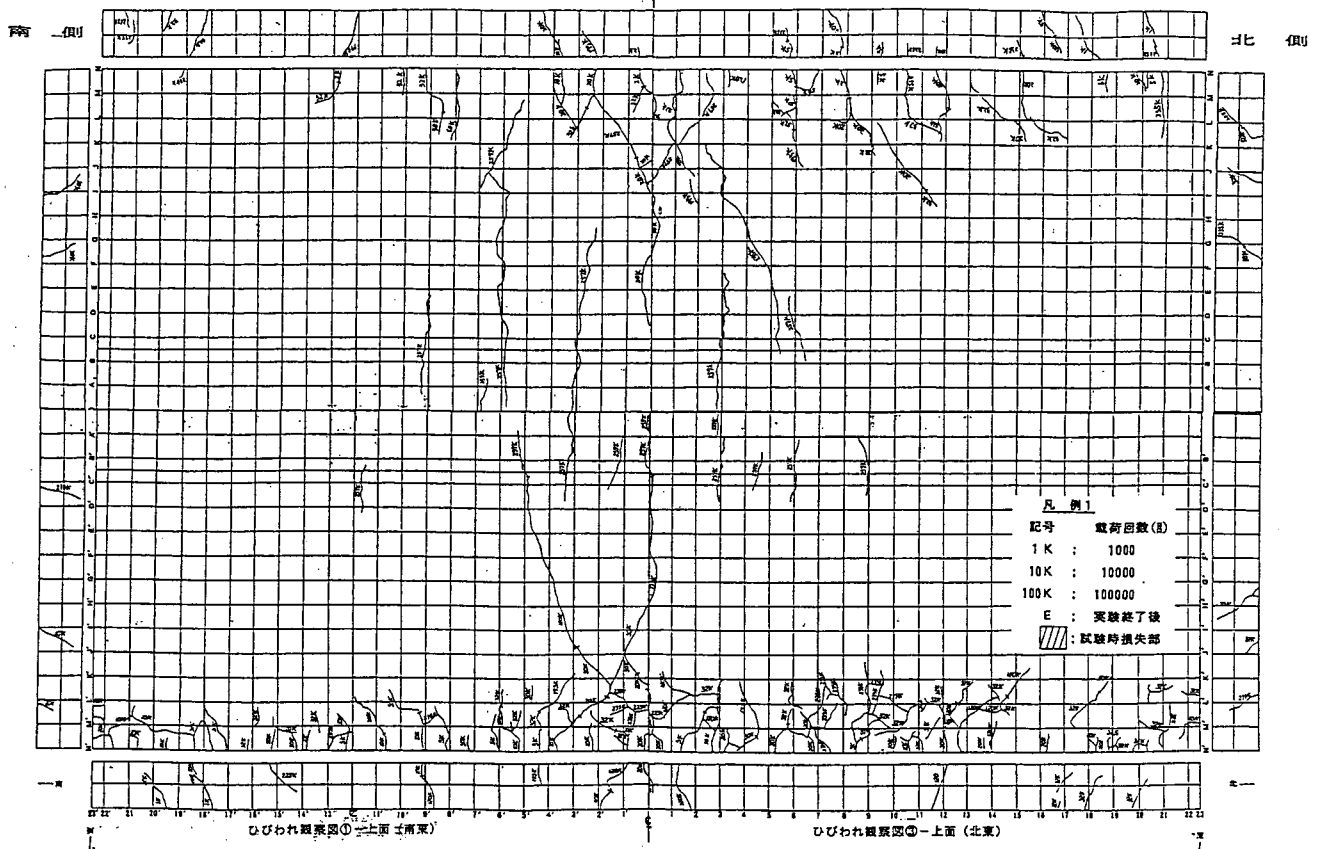
付図-8.2.1 RC39+鋼板-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面)



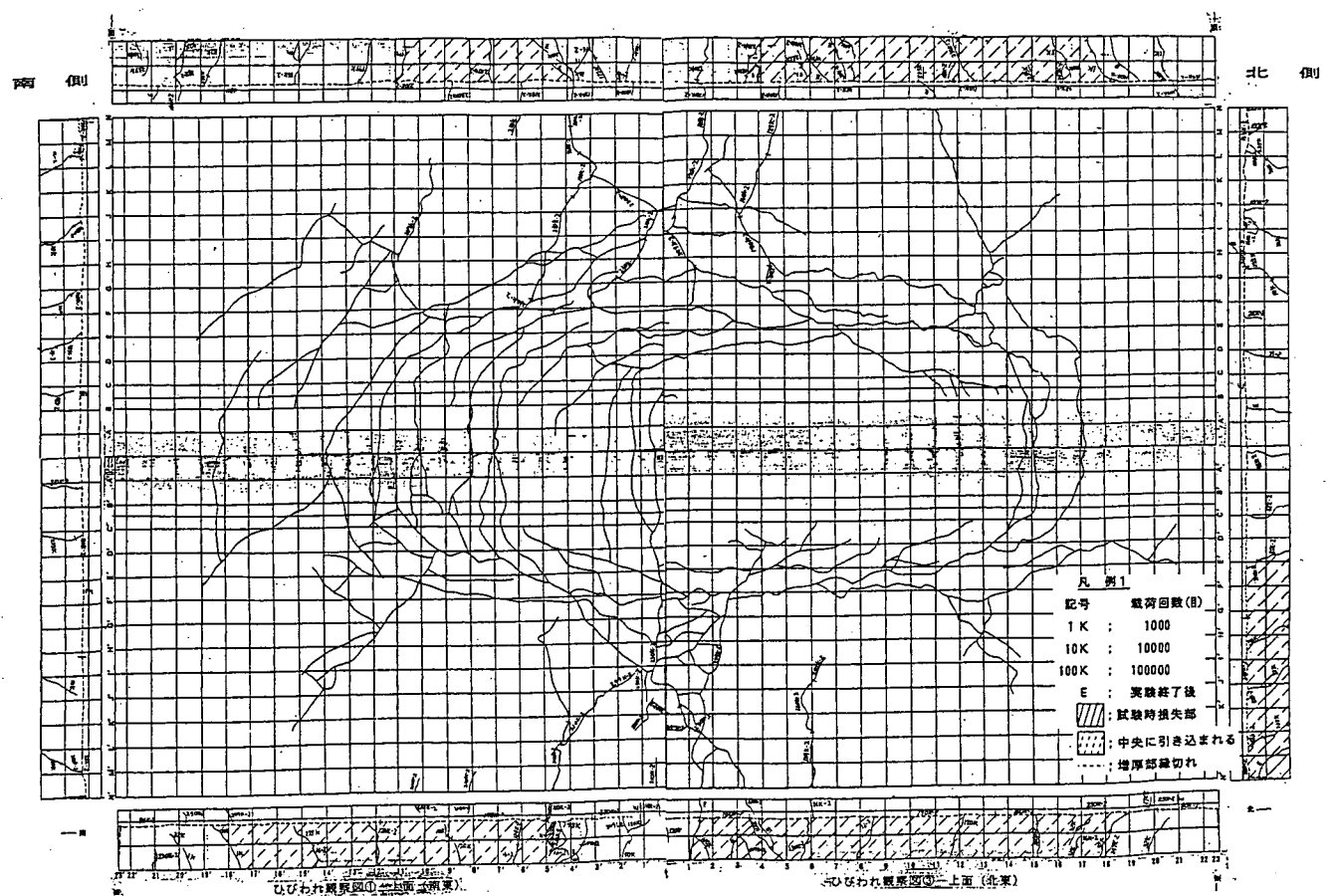
付図-8.2.2 RC39+鋼板-2 供試体のひび割れ状況 (床版下面：補強前)



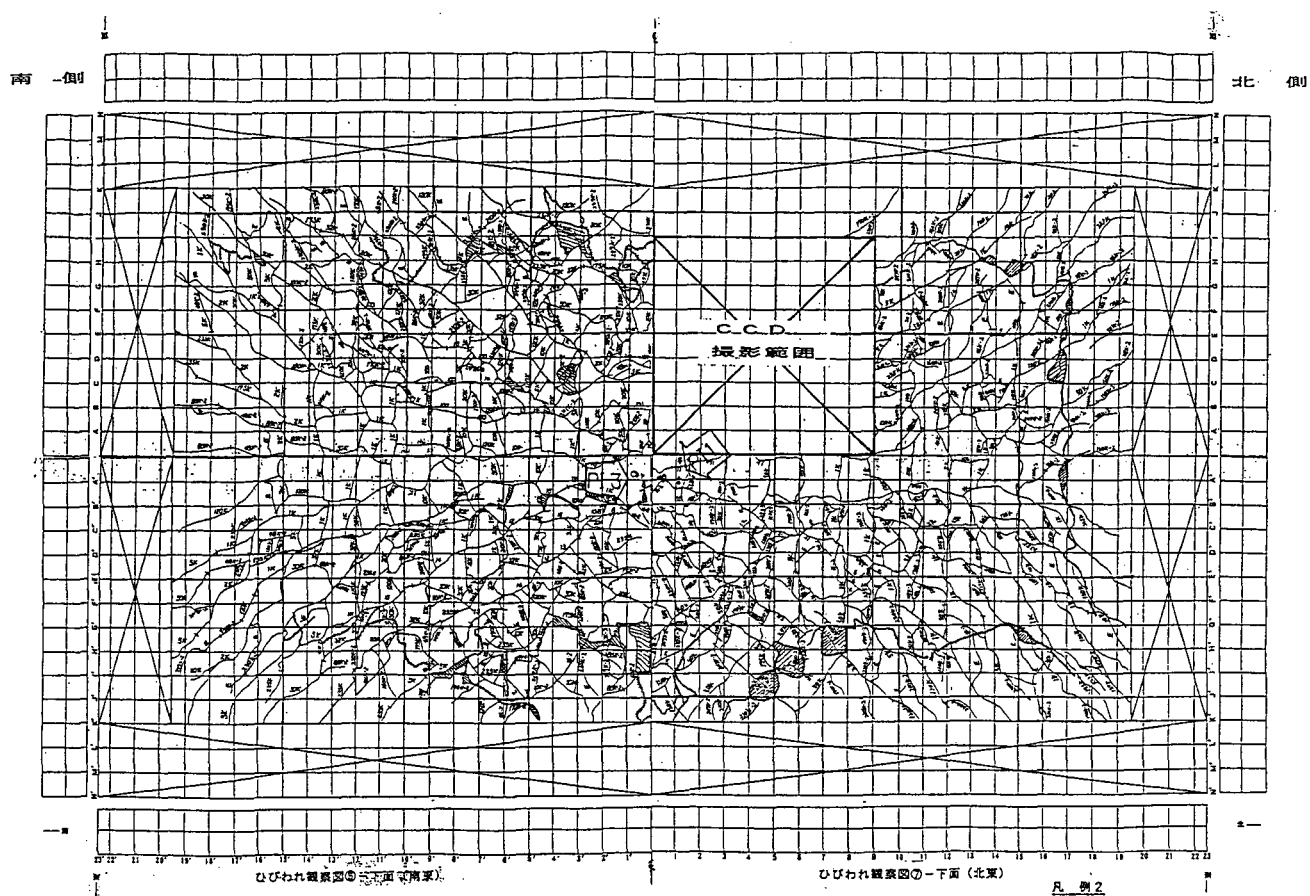
付図-8.2.3 RC39+鋼板-2 供試体のひび割れ状況(床版断面)



付図-8.3.1 RC39+上面-1 供試体のひび割れ状況 (床版上面: 補強前)

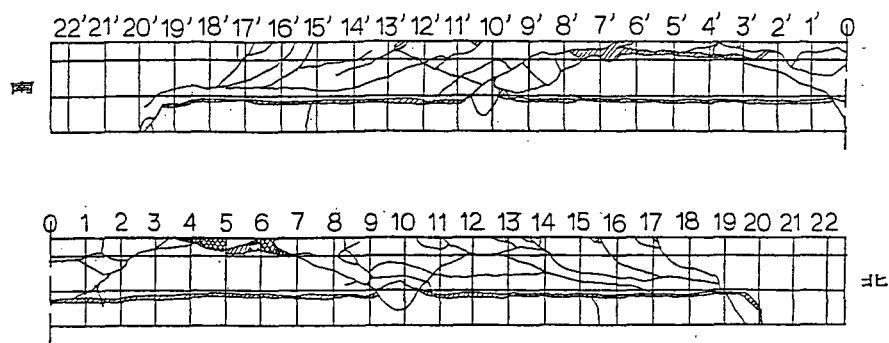


付図-8.3.2 RC39+上面-1 供試体のひび割れ状況 (床版上面: 補強後)

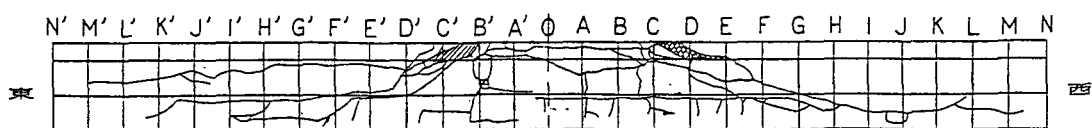


付図-8.3.3 RC39+上面-1 供試体のひび割れ状況 (床版下面)

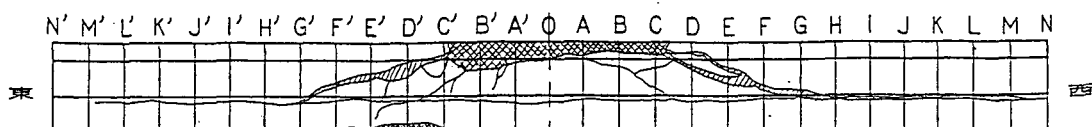
凡 例 2
 —: 終局時刻離隔図
 ▨: 試験時損失部



A断面



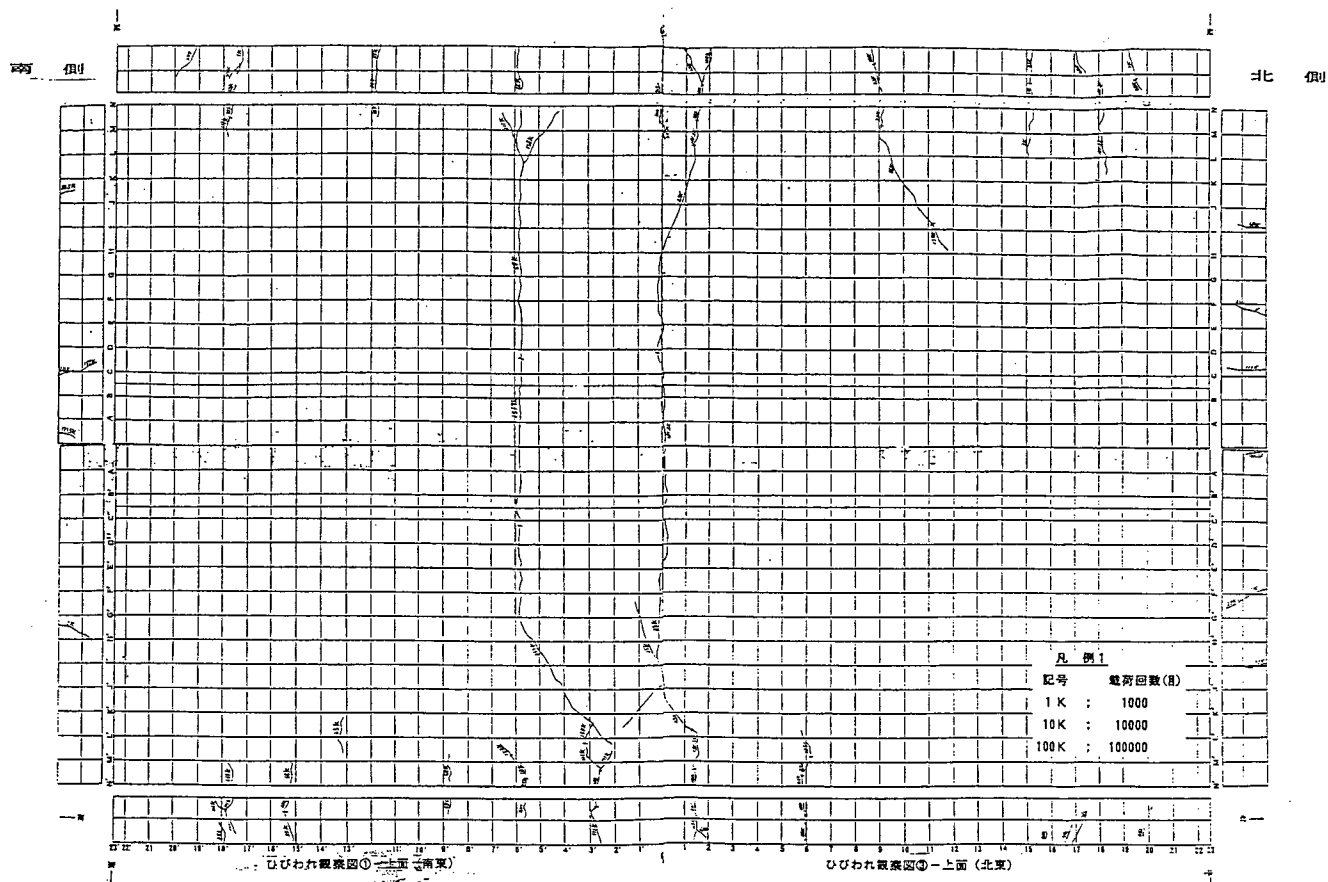
B断面



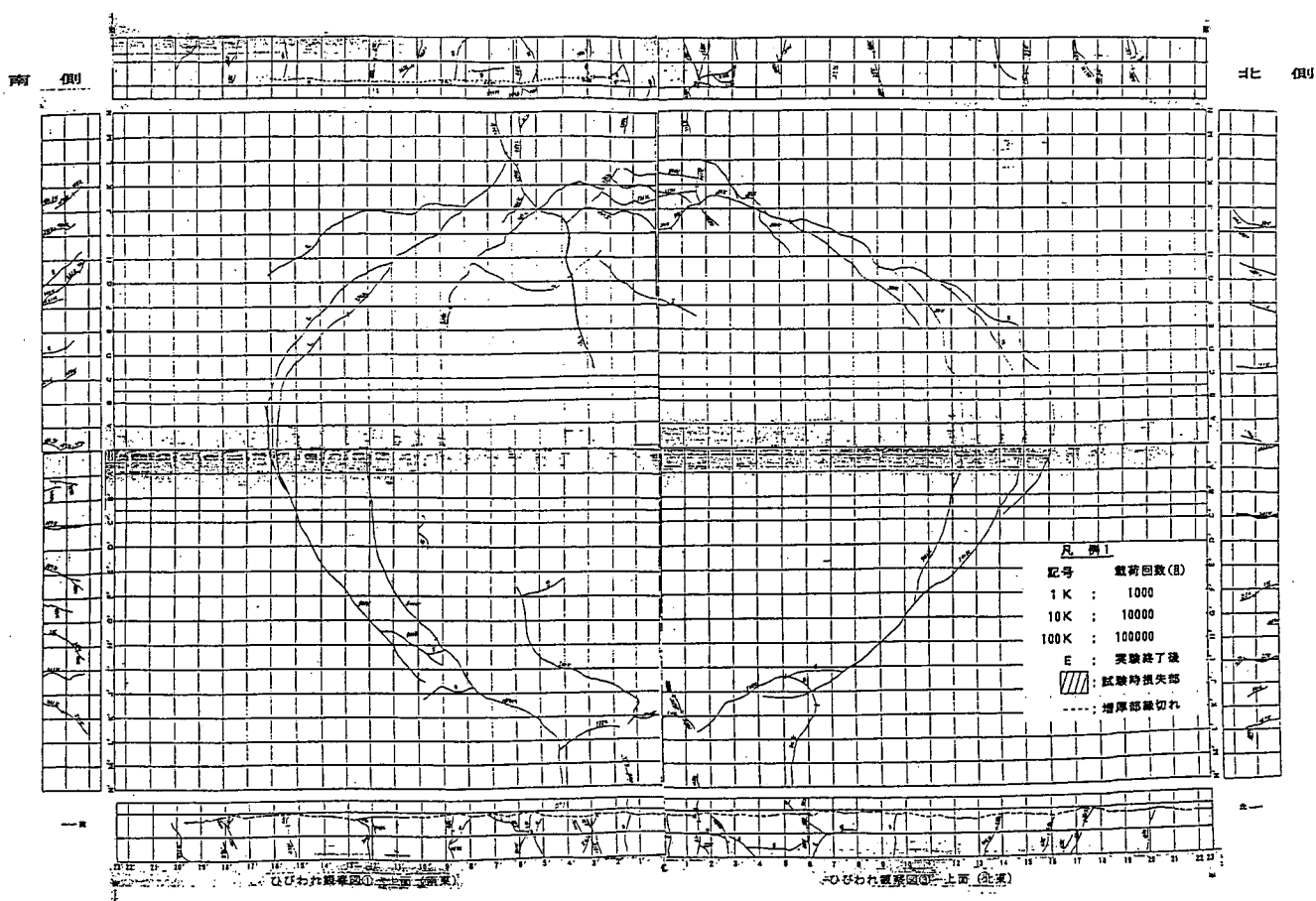
C断面

付図-8.3.4 RC39+上面-1 供試体のひび割れ状況 (床版断面)

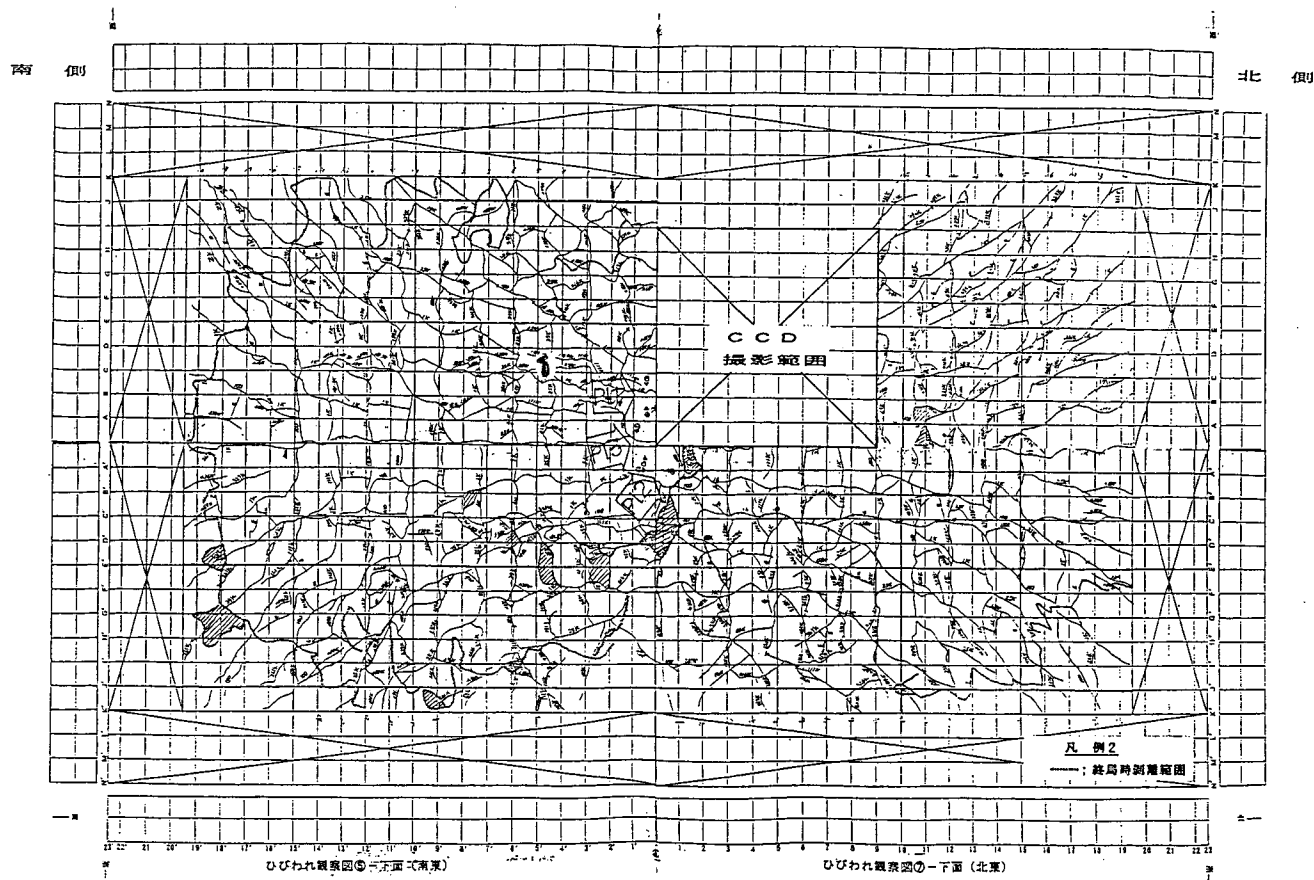
凡 例 3
 ▨: 試験時損失部
 ▩: 切断時損失部



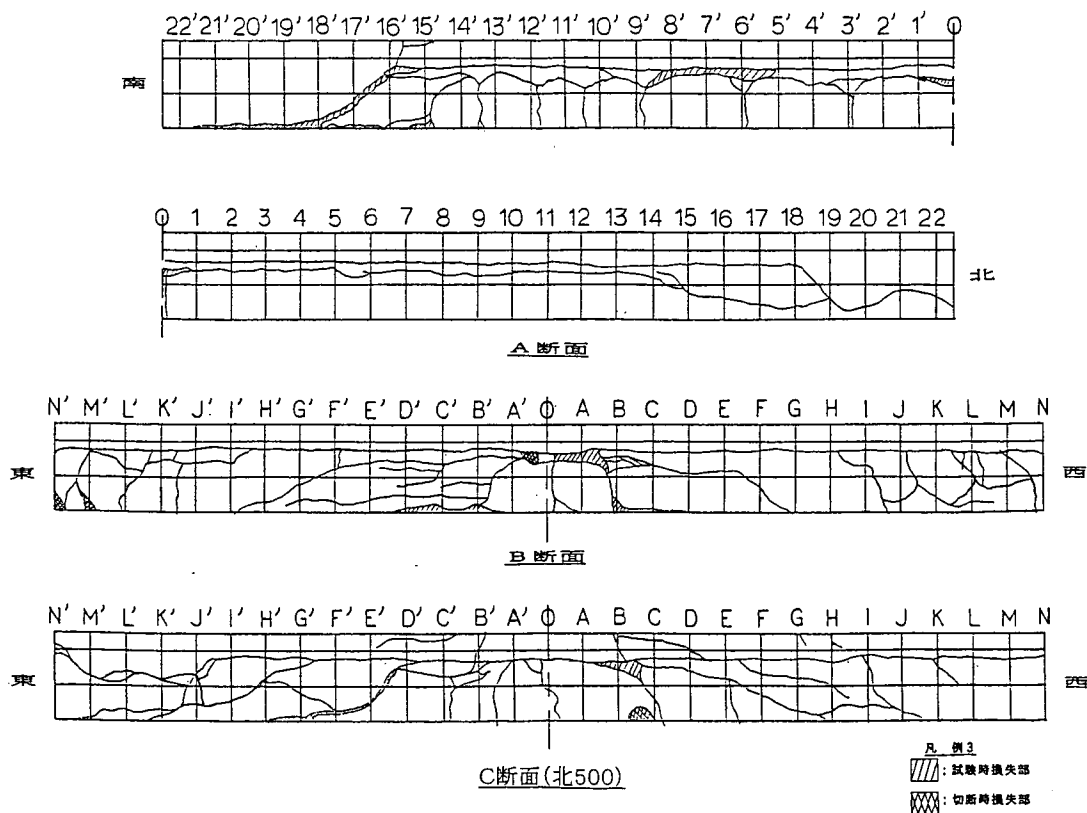
付図-8.4.1 RC39+上面-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面: 補強前)



付図-8.4.2 RC39+上面-2 供試体のひび割れ状況 (床版上面: 補強後)



付図-8.4.3 RC39+上面-2 供試体のひび割れ状況 (床版下面)



付図-8.4.4 RC39+上面-2 供試体のひび割れ状況 (床版断面)

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of N I L I M
No. 28 March 2 0 0 2

編集・発行 © 国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複製の問い合わせは
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地
企画部研究評価・推進課 TEL 0298-64-2674