

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of  
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.359

December 2006

## エポキシ樹脂塗装鉄筋塗膜の疲労耐久性に関する研究

玉越 隆史・武田 達也・平塚 慶達・大橋 章

Study on the fatigue of the reinforcing rod painted in epoxy resin

Takashi TAMAKOSHI, Tatsuya TAKEDA, Yoshisato HIRATSUKA, Akira OOHASHI

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

## エポキシ樹脂塗装鉄筋塗膜の疲労耐久性に関する研究

玉越 隆史\*  
武田 達也\*\*  
平塚 慶達\*\*\*  
大橋 章\*\*\*\*

Study on the fatigue of the reinforcing rod painted in epoxy resin

Takashi TAMAKOSHI  
Tatsuya TAKEDA  
Yoshisato HIRATSUKA  
Akira OOHASHI

### 概要

近年、道路橋の塩害対策として、エポキシ樹脂塗装鉄筋の適用事例が増えている。しかしながら、エポキシ樹脂塗装鉄筋は、国内での実績がまだ浅く、その長期の耐久性についてのデータは少ない。そのため、エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐久性を明確にするとともに、その評価手法を確立することが課題となっている。これらの背景から、エポキシ樹脂塗装鉄筋塗膜の疲労試験を実施した。本資料はこの結果をとりまとめたものである。

キーワード：道路橋，エポキシ樹脂塗装鉄筋，疲労

## Synopsis

Recently, it is increasing that the application examples of epoxy resin painting reinforcing rod. However, an epoxy resin painting reinforcing rod has not been used usually so far, and it has few data about the long-term durability. Therefore it become a problem to make clear the durability of an epoxy resin painting reinforcing rod, and to establish the evaluation technique. From these backgrounds, we carried out a fatigue test of an epoxy resin painting reinforcing rod. This document gathered this result.

Key Words : highway bridge , reinforcing rod painted in epoxy resin , fatigue

---

\* 道路構造物管理研究室室長  
\*\* 道路構造物管理研究室研究官  
\*\*\* 道路構造物管理研究室交流研究員  
\*\*\*\* 元橋梁研究室交流研究員

\* Head, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM  
\*\* Researcher, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM  
\*\*\* Research Engineer, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM  
\*\*\*\* Former Research Engineer, Bridge Division, Road Department, NILIM

## まえがき

近年、道路橋の塩害対策として、エポキシ樹脂塗装鉄筋の適用事例が増えている。しかしながら、エポキシ樹脂塗装鉄筋は、国内での実績がまだ 20 年程度と浅く、その長期の耐久性についてのデータは少ない状況にある。そのため、エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐久性を明確にするとともに、その評価手法を確立することが課題とされており、この一つとして、塗膜の疲労耐久性が挙げられる。既往の研究<sup>1)</sup>では、繰返し荷重によるエポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜の疲労損傷は確認されていない。しかし、塗膜の特性は、材質や製造方法によって異なることから、道路橋の床版など繰返し载荷を受ける部材に適用する場合には、塗膜の疲労耐久性を検討する必要があると考えられる。

道路構造物管理研究室においては、従来より塩害における損傷事例の収集や、その対策方法について研究を行ってきた。本報告書は、研究成果の一つとして、塩害対策として用いられるエポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜の疲労性状を把握、評価するために、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた角柱供試体による両引き疲労試験を実施した結果をとりまとめたものである。塗膜の疲労性状の確認は、所定の回数まで繰返し载荷を行った後、コンクリートを撤去して、鉄筋を取り出し、目視により塗膜とコンクリート片の状態を観察し、耐食性試験を実施した。

本資料のとりまとめにあたっては、損傷事例の提供など各機関に多大なるご協力をいただいている。ここに謝意を表する。

1) 例えば小林茂敏、片脇清士、他：樹脂塗装鉄筋に関する調査および試験(1)、土木研究所資料第 1819 号、1982.3.

# 目 次

まえがき

第 1 章	塗装鉄筋の性能に関する基礎的検討	1
1.1	はじめに	1
1.2	塗装鉄筋の要求性能	1
1.3	塗装鉄筋の外力履歴の整理	2
第 2 章	塗装鉄筋の疲労による劣化評価に関する検討	6
2.1	疲労試験の検討	6
2.2	疲労試験	12
2.3	耐食性試験	29
2.4	塗装鉄筋の塗膜厚ばらつき調査	32
2.5	まとめ	33
第 3 章	塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋塗膜の疲労耐久性に関する検討	38
3.1	概要	38
3.2	塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の検討	38
3.3	密着性が劣るエポキシ樹脂塗装鉄筋の疲労試験	42
3.4	まとめ	55
付録-1	材料試験結果	57
付録-2	疲労試験結果	72
付録-3	塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の材料試験結果	128
付録-4	塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の疲労試験結果	133

# 第1章 塗装鉄筋の性能に関する基礎的検討

## 1.1 はじめに

塗装鉄筋は鉄筋の防錆が本来求められる機能であり、各種試験によりその有効性（性能）が確認されている<sup>1)</sup>。しかし、その性能については、塗膜が健全であるという前提に立っており、例えば施工中に塗膜に大きな力を受けた場合、あるいは供用後に繰返し大きな荷重が作用した場合に、防食対策としての塗膜が健全であるかについては、十分な検討がなされていない。

ここでは、防食対策としての塗装鉄筋に求められる性能を整理した上で、一般的な道路橋のコンクリートの内部鋼材を対象に塗装鉄筋の製造から構造物の施工にかけて受ける外力、そして施工後、供用中の各種荷重を受けた時に受ける外力履歴を整理し、どの段階における、どんな外力が卓越するのか、そして、それらに対して、塗膜の抵抗力をどのように評価するのかを検討することを目的とする。

## 1.2 塗装鉄筋の要求性能

塗装鉄筋の要求性能は、図 1.2.1 に示す 5 段階のレベルに分類した性能規定の階層モデルを基本として整理する。

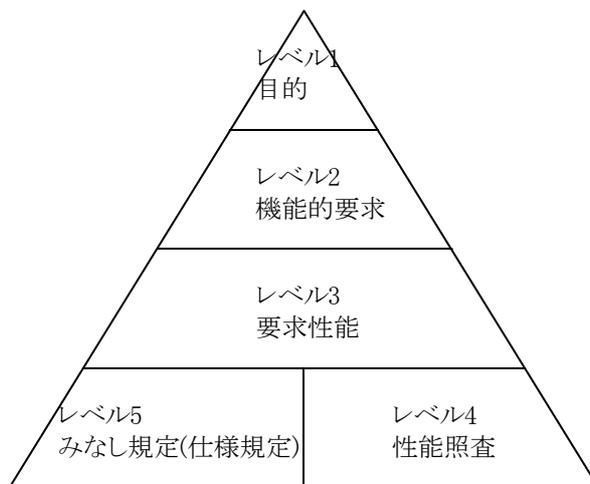


図 1.2.1 要求性能の階層モデル

表 1.2.1 に塗装鉄筋の要求性能の検討を示す。要求性能内容はレベル 1 の目的を「塩害環境下において設計で期待している橋の機能を供用期間中に維持する」こと、レベル 2 の機能的要求を「供用期間中において鋼材が腐食により劣化しない」ことに設定する。

鋼材腐食による劣化を防ぐために、基本的な腐食作用が成立しないように、酸素、水、塩化物イオンなどの腐食因子の制御、運搬、施工により実際的な取扱ができるかなどの施工性を有しているか、対策機能を維持していくための耐久性を有しているか、鋼材とコンクリートの一体性、繰返し変動する要因、工法が原因で他の劣化作用を招いたりしないか、対策効果の短い場合などでは維持管理性を有しているかについて、設定する。

表 1.2.1 塗装鉄筋の要求性能の検討

レベル1 目的	レベル2 機能的要 求	レベル3 要求性能	項目	レベル4 性能照査	レベル5 みなし規定
塩害環境下において設計で期待している橋の機能を供用期間中に維持する	供用期間中において鋼材腐食により劣化しない	水素・水・塩化物イオンの制御	酸素の制御		性能試験、既往データによるみなし (エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格 (JSCE-E 102-2003))
			水の制御		
			塩化物イオンの制御		
		施工性	耐衝撃性	耐衝撃性試験	エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐衝撃性試験 (JSCE-E518-2003)
			耐荷重性 (積み重ね)		
			耐摩耗性		
			曲げ加工性	曲げ試験	エポキシ樹脂塗装鉄筋の曲げ試験 (JSCE-E515-2003)
			耐熱性		既往データによるみなし
			硬度	硬化性試験	エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜硬化試験 方法(案) (JSCE-E519-2003)
			組立精度		
		耐久性	耐候性		既往データによるみなし
			耐アルカリ 性		既往データによるみなし
		鋼材コンクリートの一体性	付着	引抜き試験	エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着強度試験 方法(JSCE-E516-2003)
		疲労耐力	疲労		

現在のところ、酸素、水、塩化物イオンの制御については、塗膜内部への塩化物イオンが浸透したという報告は見あらず、橋梁の耐久性として期待する期間では、機能すると考えられる。これは昭和55年～60年に施工され、平成16年に台風18号の影響により被災した大森大橋<sup>2)</sup>を解体調査した結果、鋼材腐食発錆限界 $1.2\text{kg/m}^3$ を上回る位置においても健全であることが確認されたことから判断される。したがって現在の基準に従った材料を用いて、製作、施工がなされれば、実用上は問題とはならない。

ただし施工性は、局所的な塗膜損傷の欠陥が孔食などの問題を起こす可能性があること、運搬、施工時に受ける外力による塗膜の耐荷重性と耐摩耗性についての評価を適切に評価することが必要と考えられる。また、鉄筋の組立て精度についての確認したデータがないことから、ビニール被覆された鉄線などが塗装鉄筋を保持できる能力についての確認が必要と思われる。さらに繰返し荷重の影響を直接受ける部材においては疲労耐久性の確認が必要と考えられる。

### 1.3 塗装鉄筋の外力履歴の整理

1.2の検討結果を念頭に、各段階を通じて、塗装鉄筋が受ける作用外力の履歴を表により整理し、作用外力モデルを抽出した。表1.3.1に塗装鉄筋の受ける外力の履歴を示す。

また、表 1.3.2 には、作用する外力ごとの品質試験方法を示す。

表 1.3.1(a) 塗装鉄筋の受ける外力の履歴(その 1)

工 程	状 態		想 定 さ れ る 外 力
鉄筋、塗料の製造	鉄筋製造	製作	熱、鉄筋同士のこすれ
		保管	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の圧迫、水・塩分の付着、温度変化、乾湿の繰り返し、ワイヤーによる変形・傷
		運搬	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の衝突、鉄筋同士の圧迫
	塗料製造	製作	塗装材料の異常
		保管	異物の混入、温度変化、乾湿の繰り返し、紫外線
		運搬	異物の混入、温度変化、乾湿の繰り返し、紫外線
鉄筋への塗装	工場	塗装	熱、温度変化、乾湿の繰り返し、紫外線、異物の混入、塗装むら、塗装不良
		保管	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の圧迫、水・塩分の付着、温度変化、乾湿の繰り返し
		出荷	鉄筋同士の圧迫、ワイヤーによる変形・傷
		運搬	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の衝突、鉄筋同士の圧迫
切断・曲げ加工	工場	受け入れ	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の衝突、鉄筋同士の圧迫、ワイヤーによる変形・傷
		保管	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の圧迫、水・塩分の付着、温度変化、乾湿の繰り返し
		曲げ加工	ローラーによるこすれ、曲げによる切れ・剥がれ
		切断	カッターによるこすれ・剥がれ・せん断変形
		保管	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の圧迫、水・塩分の付着、温度変化、乾湿の繰り返し
		出荷	鉄筋同士の圧迫、ワイヤーによる変形・傷
		運搬	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の衝突、鉄筋同士の圧迫
現場	現場	受け入れ	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の衝突、鉄筋同士の圧迫、ワイヤーによる変形・傷
		ヤード内保管	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の圧迫、水・塩分の付着、温度変化、乾湿の繰り返し
		ヤード内運搬	鉄筋同士のこすれ、引きずり、鉄筋同士の圧迫、吊り上げ箇所 のこすれ
		配筋	鉄筋同士のこすれ、鉄筋同士の圧迫、スペーサとのこすれ、 スペーサとの圧迫、結束線とのこすれ、結束線との圧迫、 作業靴とのこすれ、作業靴との圧迫
		型枠	脱型剤との化学反応、型枠の衝突、作業靴とのこすれ、 作業靴との圧迫
		コンクリート 打設	コンクリートとの化学反応、コンクリート落下によるこす れ・すり減り、作業靴とのこすれ、作業靴との圧迫、パイ ブレータとの衝突、パイブレータとのこすれ
		養生	コンクリートとの化学反応、硬化熱による変質、水・塩分 の浸入、アルカリ分の浸入
		施工継目	熱、温度変化、乾湿の繰り返し、紫外線

表 1.3.1 (b) 塗装鉄筋の受ける外力の履歴(その2)

工 程	状 態	想 定 さ れ る 外 力
構造物の供用	死荷重時	コンクリートとの化学反応、鉄筋同士の圧迫、結束線との圧迫、水・塩分の浸入、アルカリ分の浸入、ひびわれからの水・塩分の浸入、ひびわれからの紫外線
	活荷重作用時	鉄筋同士のこすれ、結束線とのこすれ、ひびわれ部のコンクリートとのこすれ
	繰り返し荷重作用時	疲労によるこすれ、疲労による結束線とのこすれ、ひびわれ部付近の疲労によるコンクリートとのこすれ
	衝突荷重作用時	衝撃による塗膜の破れ、ひびわれ部付近の衝撃による塗膜の破れ
	地震時	こすれによる熱の発生、圧迫による塗膜の破れ、ひびわれ部付近のコンクリートとのこすれ

表 1.3.2 作用する外力ごとの品質試験方法

作用する外力	試 験 方 法	評価	具 体 例
アルカリの作用	塗膜の耐薬品性試験 (JSCE-E528-2003)	○	打設時
こすれ	こすれ試験がない	×	作業員の踏みつけ 鉄筋同士のこすれ
圧迫	圧迫試験がない	×	結束線
異物の付着	エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格 (JSCE-E102-2003)	○	塗装時の異物混入
塩分の作用	耐食性試験 (JSCE-E518-2003) 暴露試験 (JIS- Z 2381)	○	供用後の塩害環境
温度変化、硬化熱	暴露試験 (JIS Z 2381)、熱劣化試験	○	硬化熱
乾湿の繰り返し、水分	耐食性試験 (JSCE-E518-2003) 暴露試験 (JIS- Z 2381)	○	打設時の水分
曲げ	付着強度試験 (JSCE-E516-2003) 曲げ試験 (JSCE-E515-2003) エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格 (JSCE-E102-2003)	○	曲げ加工時
紫外線	暴露試験 (JIS Z 2381) サンシャインウエザーメータ試験 (JIS A 6008) エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格 (JSCE-E102-2003)	○	ヤード保管時
衝撃、衝突	耐衝撃性試験 (JSCE-E-2003) エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格 (JSCE-E102-2003)	○	運搬時
振動	耐衝撃性試験 (JSCE-E-2003) エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格 (JSCE-E102-2003)	○	運搬時
疲労	疲労試験がない	×	繰り返し荷重時
塗装むら、塗装不良	ピンホール試験 (JSCE-E512) エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格 (JSCE-E102-2003)	○	ピンホール

○：現行の評価方法で評価できるもの

×：評価手法がないもの

段階検査で容易に異変を検知でき、かつ補修を行うことができる項目については、完成

品の要求性能として評価する必要性が少ないと考えられることから、表 1.3.3 で、工程ごとの塗装鉄筋の段階検査について整理した。

表 1.3.3 工程ごとの塗装鉄筋の段階検査

工 程		検 査	備 考
鉄筋、塗料の製造		製品検査	鉄筋、塗料ごと
鉄筋への塗装		搬入時検査	鉄筋、塗料ごと
		製品検査	
切断・曲げ加工		加工完了検査	
現場	現場受け入れ	搬入時検査	
	配筋	配筋完了検査	ただし鉄筋同士の接触面は検査不能
	型枠	検査無し	
	コンクリート打設	検査無し	
構造物の供用		検査無し	

#### 参考文献

- 1) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針，2003.11.
- 2) 五十嵐義行，西弘明，沼澤一博，三田村浩，佐藤昌志：2004 年台風 18 号による大森大橋の被災状況について，土木学会年次学術講演会講演概要集第 1 部 Vol60，pp.845-846,2005.

## 第2章 塗装鉄筋の疲労による劣化評価に関する検討

### 2.1 疲労試験の検討

#### 2.1.1 疲労メカニズムの整理

1章で整理した塗装鉄筋に作用する外力の中から、塗装鉄筋で着目すべき箇所と考えられる劣化状態を表 2.1.1 に整理した。整理にあたっては、コンクリート部材を構成している鉄筋(対象鉄筋及び交差鉄筋)、結束線や、コンクリートのひびわれ等を考慮することとした。

表 2.1.1 部材中の位置及び考えられる劣化状態

着目箇所	発生する現象	可能性のある劣化状態	再現するための試験方法
ひびわれ面	引張による鉄筋の伸び	塗膜の剥がれ	塗装鉄筋単体の疲労試験
		塗膜の破断	
		塗膜の劣化	
		ピンホールの拡大	
	せん断による鉄筋の伸び	塗膜の剥がれ	塗装鉄筋単体の疲労試験
		塗膜の破断	
		塗膜の劣化	
		ピンホールの拡大	
ひびわれへの水分の浸入	塗膜の劣化	暴露試験	
ひびわれ近傍	引張による塗装鉄筋とコンクリートのこすれ	塗膜の剥がれ	鉄筋コンクリート供試体による疲労試験
		塗膜の破断	
		塗膜の劣化	
		ピンホールの拡大	
	引張による塗装鉄筋のフシとコンクリートの接触	塗膜の剥がれ	鉄筋コンクリート供試体による疲労試験
		塗膜の破断	
		塗膜の劣化	
		ピンホールの拡大	
	せん断による塗装鉄筋とコンクリートのこすれ	塗膜の剥がれ	鉄筋コンクリート供試体による疲労試験
		塗膜の破断	
		塗膜の劣化	
		ピンホールの拡大	
コンクリートとの接触	コンクリート成分による	塗膜の劣化	鉄筋コンクリート供試体による疲労試験
		塗膜の劣化	
交差鉄筋付近	引張による塗膜同士のこすれ	塗膜の剥がれ	鉄筋コンクリート供試体による疲労試験
		塗膜の破断	
		塗膜の劣化	
		ピンホールの拡大	
結束線付近	引張による塗装鉄筋と結束線のこすれ	塗膜の剥がれ	鉄筋コンクリート供試体による疲労試験
		塗膜の破断	
		塗膜の劣化	
		ピンホールの拡大	
コンクリート中	コンクリートとの接触	コンクリート成分による	暴露試験
		塗膜の劣化	

## 2.1.2 コンクリート構造物に作用する応力

コンクリート部材の鋼材に作用する応力状態を表 2.1.2 に整理した。以上から比較的大きい引張力が作用し、かつ高サイクルの繰り返しが作用する RC 床版が疲労に対して最も厳しいと考えられるため、疲労試験の対象とする。

表 2.1.2 コンクリート部材の鋼材に作用する力

部材の種別	鋼材	作用する力			
		死荷重時	活荷重時	地震時(L-1)	地震時(L-2)
RC 橋脚	主鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸力が作用。</li> <li>数十 <math>\text{N/mm}^2</math> 以下の小さな圧縮応力。</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>許容応力度以内の圧縮応力～引張応力</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>降伏強度以内の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>降伏応力度程度の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>
	せん断補強鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>ほとんど作用しない。</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>
RC 橋台	主鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>軸力が作用。</li> <li>数十 <math>\text{N/mm}^2</math> 以下の小さな圧縮応力。</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>許容応力度以内の圧縮応力～引張応力</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>降伏強度以内の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>降伏応力度程度の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>
	せん断補強鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>ほとんど作用しない。</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>
PC 桁	配力鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>数十 <math>\text{N/mm}^2</math> 以下の圧縮応力度。</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>許容応力度以内の圧縮応力～引張応力</li> <li>繰返しは、少ない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>降伏強度以内の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げとせん断力が作用。</li> <li>降伏応力度程度の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>
	せん断補強鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>ほとんど作用しない。</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しはほとんどない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断力が作用。</li> <li>引張応力</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>
RC 床版	主鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>数十 <math>\text{N/mm}^2</math> 以下の引張応力度。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>許容応力度以内の圧縮応力～引張応力(配力鉄筋より大きい)</li> <li>支間が短く、繰返しは、多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>降伏強度以内の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>降伏応力度程度の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>
	配力鉄筋	<ul style="list-style-type: none"> <li>ほとんど作用しない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>許容応力度以内の圧縮応力～引張応力</li> <li>支間が短く、繰返しは、多い。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>降伏強度以内の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げが作用。</li> <li>降伏応力度程度の圧縮応力～引張応力が作用</li> <li>繰返しは数回～数十回。</li> </ul>

注 1) RC 桁は今後、塗装鉄筋を用いて建設されることは少ないと判断し対象外とする。

注 2) ボックスカルバートは RC 床版と同等と考え、省略した。

### 2.1.3 試験の形態と確認できる事項

表 2.1.3 に塗装鉄筋に対する試験形態と、実際に確認できる内容を整理した。

ひびわれ発生後のコンクリート部材においては、ひびわれ面近傍の応力集中により、鉄筋とコンクリートの間で微少なずれが生じ、繰り返しの塗り膜の疲労による損傷の恐れがある。そのため、コンクリートとの相互作用が模擬できる模型供試体に対して繰り返しの試験を行い、塗り膜の疲労を評価する必要がある。一方で今後の試験方法の提案、検討といった側面も考慮した場合、簡易にできる試験方法が求められる。本検討においては表 2.1.5 より、塗装鉄筋単位モデルと同時に確認できる塗装鉄筋とコンクリートの棒部材モデルを採用することとした。

表 2.1.3 塗装鉄筋に対する試験形態と内容

モデル	試験概要	再現性の課題	評価
単鉄筋モデル	塗装鉄筋単体の疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンクリートとの相互作用が試験できない</li> <li>・塗り膜と塗り膜の相互作用は試験できない</li> <li>・容易で安価である。</li> </ul>	塗り膜自身の疲労による損傷を確認するため、予備試験として実施するのが望ましい
棒部材モデル	RC 供試体の疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断による作用は試験できない</li> <li>・1 軸引張疲労試験であり、容易である</li> <li>・RC 床版との相関をキャリブレーションする必要がある</li> </ul>	他の試験と比較して安価で容易であり、コンクリートとの相互作用が確認できるため、疲労試験として望ましい
梁モデル	RC 梁の疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・せん断による作用は2点荷重が必要</li> <li>・試験費用は比較的高価となる</li> <li>・RC 床版との相関をキャリブレーションする必要がある</li> </ul>	棒部材モデルよりも高価となる割りに、疲労に対して明確な結果が得られない
模型床版モデル	RC 床版(模型)疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RC 床版の応力状態をほぼ再現できる</li> <li>・試験費用は高価となる</li> <li>・模型床版と実床版の相関をキャリブレーションする必要がある</li> </ul>	荷重後の塗り膜の確認方法に問題があり、塗装鉄筋塗り膜の評価としては試験の汎用性が低い
実大床版モデル	RC 床版(実大)疲労試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RC 床版の応力状態を再現できる</li> <li>・試験費用は最も高価となる</li> </ul>	模型床版モデルよりも試験費用が高価となり汎用性がさらに低い

### 2.1.4 疲労試験における荷重回数

RC 床版中の鉄筋を接した塗装鉄筋の疲労試験において、適切な荷重回数について考察する。

#### 1) 塗装鉄筋の疲労限界状態

塗装鉄筋の塗装は、鉄筋又は RC 床版が疲労破壊するよりも長期間、その機能を保持する必要はない。塗装鉄筋の塗装が、輪荷重の繰り返しの作用により、その機能を失う場合、表 2.1.4 のような状態が想定される。なお、支間 2.5m の鉄筋コンクリート床版を想定して、疲労破壊回数を算定した結果、鉄筋の疲労破壊と押抜きせん断疲労破壊では、鉄筋の疲労破壊が先行する結果となった。

表 2.1.4 限界状態の区分

区 分	限 界 状 態	破 壊 の 回 数
鉄筋の疲労破断	RC 床版の鉄筋が、輪荷重の繰り返し载荷により、曲げ引張応力を受けて疲労により破断する状態。	支間 2.5m、床版厚さ 240mm の床版鉄筋の疲労破断回数は約 1500 万回。 1 日 1 方向大型車が 1 万台として約 4.1 年に相当。
床版の押抜き疲労破壊	RC 床版のコンクリートが、輪荷重の繰り返し载荷により、亀甲状のひび割れが発生し、押抜きせん断破壊となる状態。	支間 2.5m、床版厚さ 240mm の床版に松井による S-N 曲線を用いた場合 <sup>1)</sup> 、押抜きせん断疲労破壊の破壊回数は 313,000 万回。 1 日 1 方向大型車が 1 万台として約 860 年に相当。
塗装の疲労損傷	RC 床版の塗装鉄筋の塗装が、輪荷重の繰り返し载荷による影響で損傷する状態。	塗装鉄筋の塗装の S-N 曲線は得られていない。

注)鉄筋は主鉄筋 D16ctc125、配力鉄筋 D16、輪荷重は 1 軸 100kN

## 2) RC床版の押抜きせん断疲労試験結果における鉄筋の疲労破断

RC 床版の疲労試験は、今まで数多く行われている。しかし、試験結果において、押抜きせん断疲労破壊した床版では鉄筋の疲労破断は見られておらず、実橋でもコンクリート塊の抜け落ちが先行している(写真 2.1.1)。これは、上記の計算で用いた鉄筋の S-N 曲線は、鉄筋の完全片振り疲労試験によるものであり、コンクリート中に埋め込まれたものと異なるためと想定される。このため、鉄筋に疲労破壊が起こる外力作用による変動を与えることで、実橋で問題となる RC 床版の押抜きせん断疲労破壊までの鉄筋に対する条件より、鉄筋の疲労の観点からは過酷な状況を生じさせていると考える。



写真 2.1.1 実橋で RC 床版のコンクリート塊が抜け落ちた事例

## 3) 载荷試験のパラメータ

以上より塗装鉄筋の疲労試験における载荷回数は、鉄筋の疲労破断の回数を基に設定する。

既往の鉄筋の疲労試験結果では、200 万回を超える試験結果<sup>2)3)4)5)6)7)</sup>が少なく、また、変動応力を小さくすると疲労限以下となることも考えられる。このため、表 2.1.5 に示すパ

ラメータで載荷試験を実施することとした。

表 2.1.5 載荷試験のパラメータ

	パラメータ	標準的な決め方	備考
鉄筋径	D16	RC 床版としての鉄筋径 支間 2.5m、厚さ 240mm の設計より決定	
コンクリート強度	24N/mm <sup>2</sup>	RC 床版としてのコンクリート強度	
載荷荷重	下：20N/mm <sup>2</sup> 上：180N/mm <sup>2</sup>	設計上は上：140N/mm <sup>2</sup> (許容応力度)、下：20N/mm <sup>2</sup> (死荷重)だが、可能な範囲で大きめの値(床版以外の部材における常時の許容応力度)とした。	
載荷回数	100 万回 200 万回 400 万回	通常、疲労試験は 200 万回が多いが、疲労による影響が無いことを確認するために、その倍の 400 万回を選定した。	

### 2.1.5 供試体形状

コンクリートに埋込んだ鉄筋を引抜いた場合には、表面から 6 φ ~ 10 φ の区間は付着切れを起すことが、既往の実験で確認されている<sup>8)</sup>。

RC 床版中の鉄筋も同様であると考えた場合、鉄筋を D16 とすると、その区間長はひびわれより 96mm ~ 160mm に相当する(ただし、上記値は一般の鋼材における値であり、塗装鉄筋ではさらに長くなる可能性がある)。コンクリートと鉄筋のずれ量は、ひびわれ表面で最大となり、反対に付着している部分では 0 となる。図 2.1.1 にひびわれ付近の鉄筋の付着状態の模式図を示す。

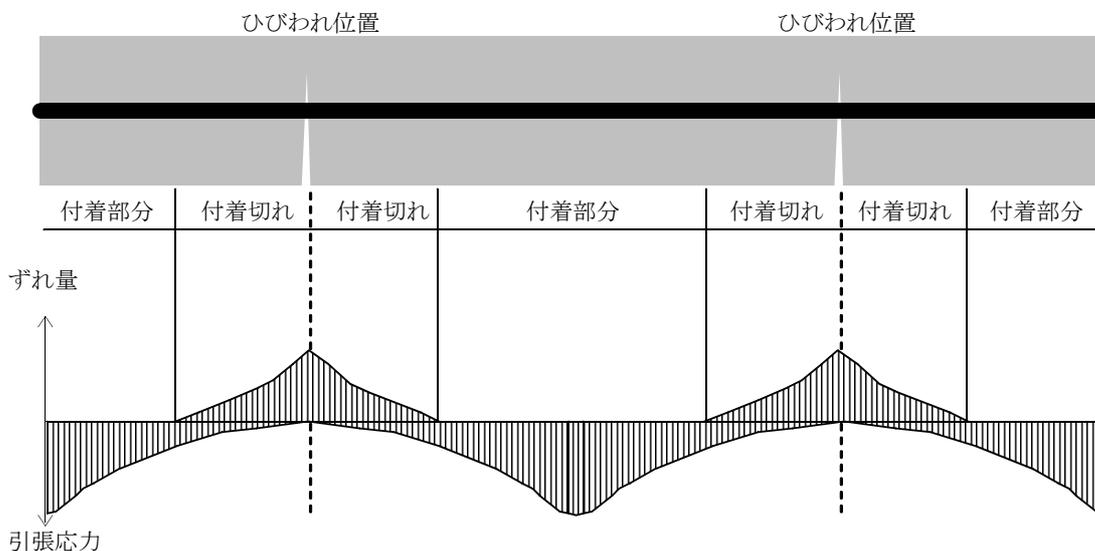


図 2.1.1 ひびわれ付近の鉄筋の付着状態の模式図

本検討の実験においては、一般的な供用条件下で塗膜の疲労が生じるか否かを検証するために、コンクリートと鉄筋のずれ量を実現象より小さくできない。したがって両引きで試験を行う場合のコンクリート部分の最低長さを 300mm 程度確保することが必要である(図 2.1.2 参照)。

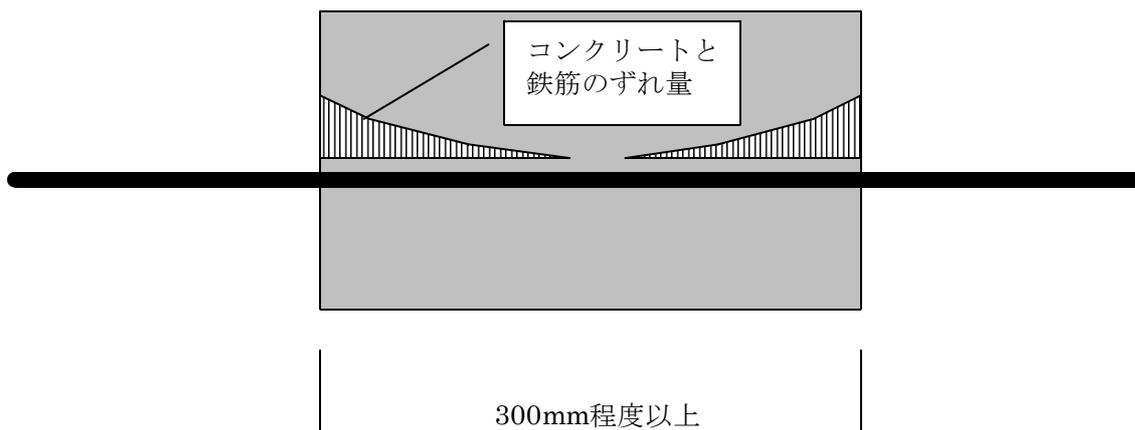


図 2.1.2 両引き試験での供試体寸法

一方、鉄筋表面の塗膜が RC 床版中での活荷重作用時に受ける力は、ひびわれ近傍ではひびわれのない部分とは異なり、図 2.1.3 のように部分的なものになることが想定される。このとき鉄筋は軸方向の引張応力とひびわれ部の段差によるせん断応力を受けるが、設計荷重時程度では、ひびわれ部に発生する段差は小さく、主鉄筋のせん断変形は大きくはならないと考えられる。このため今回の疲労試験では、これら作用のうち主に鉄筋の受ける引張応力と、直交する鉄筋同士の干渉の影響に着目するものとした。

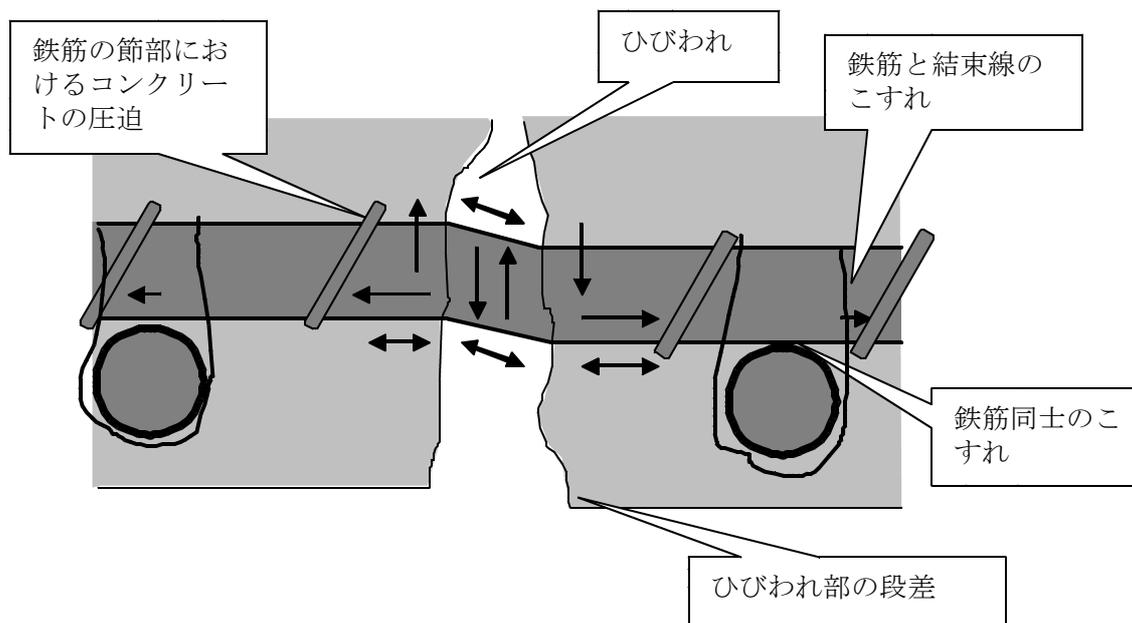


図 2.1.3 活荷重作用時に RC 床版の主鉄筋の受ける応力状態

試験は塗装鉄筋 1 本をコンクリートで覆った供試体に対し、ひびわれを発生させ、両引きで塗装鉄筋塗膜が受ける繰り返し応力を作用させる。試験中には載荷点側の塗装鉄筋の挙動を確認する。載荷終了後、供試体を解体、塗装鉄筋を切り出し、供試体の載荷側とひびわれ部に、外観目視や耐食性試験を行い、疲労の影響を考察することとした。

## 2.2 疲労試験

### 2.2.1 供試体

#### 1) 供試体形状・寸法

図 2.2.1 (a) に試験供試体の形状模式図を、図 2.2.1 (b) に供試体の製作図を示す。

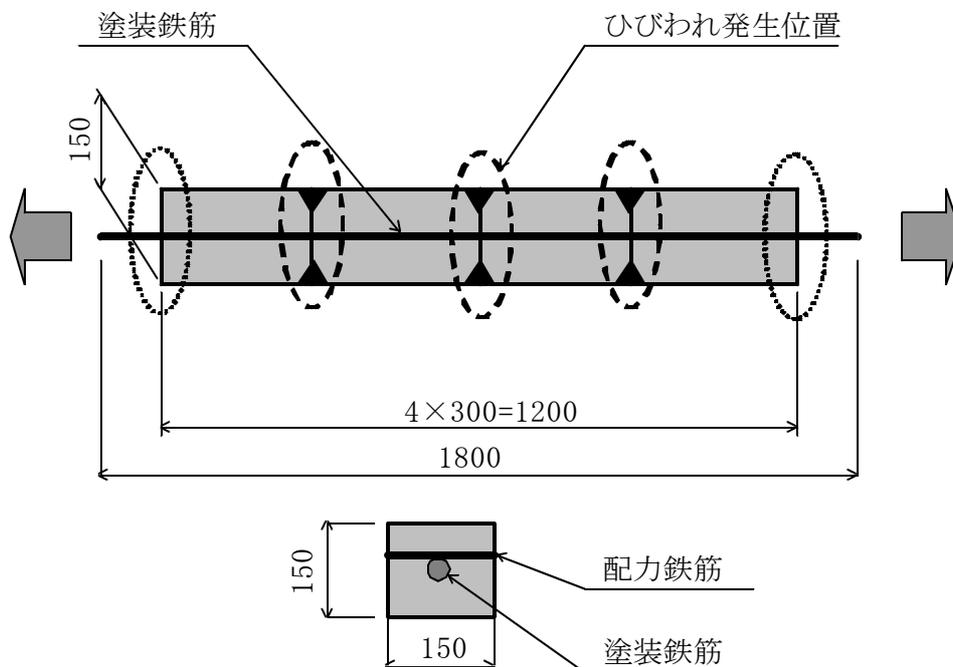


図 2.2.1 (a) 供試体形状

使用材料は、一般的な道路橋における RC 床版の使用材料から、以下のように定めた。

- ・コンクリート : 24N/mm<sup>2</sup>
- ・鉄筋 : SD295A
  - D16 → 実験対象鉄筋
  - D16 → 直交鉄筋 (150mm ピッチ)
- ・塗装鉄筋長 : 1.80m
- ・コンクリート寸法 : 長さ 1.20m × 幅 0.15m × 厚さ 0.15m
- ・ひびわれ誘発目地 : 3 箇所

本供試体ではひびわれ発生位置において、図 2.1.1 に示したように、コンクリートと鉄筋のずれ量が大きくなり、付着切れや塗膜の損傷が生じると考えられる。またひびわれの開閉の影響により、塗装鉄筋の塗膜が擦られることも考えられる。これらは塗膜とコンクリートの相対変位量の違いにより、塗膜の損傷程度に差が出ると考えられるため、その影響を確認する。

試験に先立って表 2.2.1 に示す材料試験を実施した。



表 2.2.1 材料試験

材 料	試験内容	試験方法	実 施 時 期	試験体数	備 考
コンクリート	圧縮試験	JISA1108	打設 28 日後	3 試料	
			最初の試験開始日	3 試料	材令 6 日
			最終の試験終了日	3 試料	材令 69 日
鉄筋	引張試験	JISZ2241	疲労試験実施前	3 試料	

## 2) 載荷ケース

表 2.2.2 に実験に用いた供試体の名称と、載荷回数を示す。

表 2.2.2 実験に用いた供試体の名称と載荷回数

No.	名 称	載荷回数	備 考
1	D16-2	400 万回	
2	D16-4	400 万回	D16-2 の結果から切込(深さ 1cm)を入れる
3	D16-3	400 万回	〃
4	D16-5	200 万回	〃
5	D16-1	100 万回	〃

載荷終了後、塗装鉄筋を切り出し、供試体の載荷側とひびわれ部に、外観目視や耐食性試験を行い、疲労の影響を確認する。

実際の試験では 1 体目の供試体(D16-2)では載荷開始後すぐにはひびわれ誘発目地にひびわれが発生せず、疲労載荷が進むにつれて各誘発目地にひびわれが進行した。本試験はひびわれの開閉により塗膜が擦れる可能性を確認することも目的としているため、各切欠のひびわれはできるだけ 1 回目の載荷で発生させることが望ましい。したがって 2 体目以降は誘発目地の切れ込みを大きくして 1 回目の載荷からひびわれを発生させるため、カッターにより切り欠き部にさらに切込(深さ 1cm)を入れることとした。

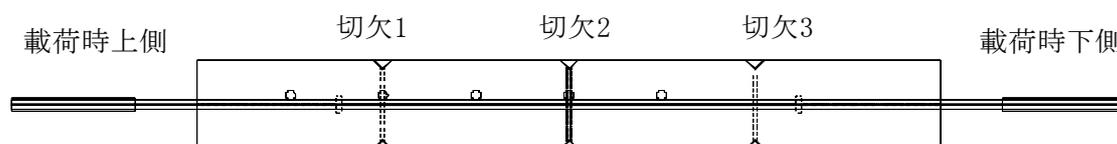


図 2.2.2 切欠位置図

## 2.2.2 試験方法

試験は独立行政法人土木研究所の 60tf・90tf 載荷試験機を用いて行った。図 2.2.3 および写真 2.2.1 に試験装置を示す。

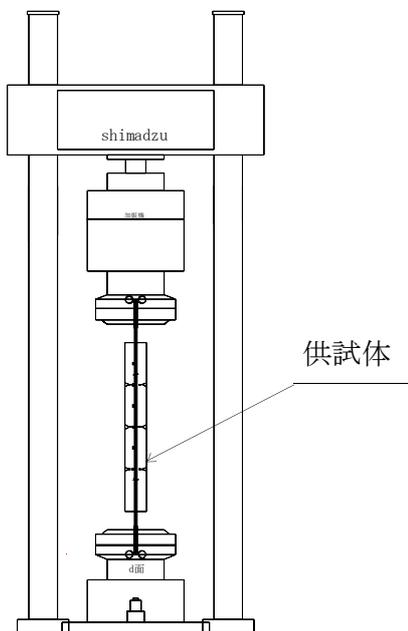


図 2.2.3 載荷装置図



写真 2.2.1 載荷装置

載荷は荷重が小さいため、繰返し荷重の上限である  $P=35.7\text{kN}$  ( $\sigma_s=180\text{N/mm}^2$ ) まで計測なしで一旦上げ、 $N=1$  回の計測とし、その後は所定回数載荷後、いったん  $0\text{kN}$  まで除荷した後に、計測を行った。

また、疲労載荷は荷重制御により、載荷の波形は正弦波により、試験器の能力、供試体の振動状況を考慮して最大載荷速度は  $6\text{Hz}$  とした。

図 2.2.4 に載荷プログラムを示す。

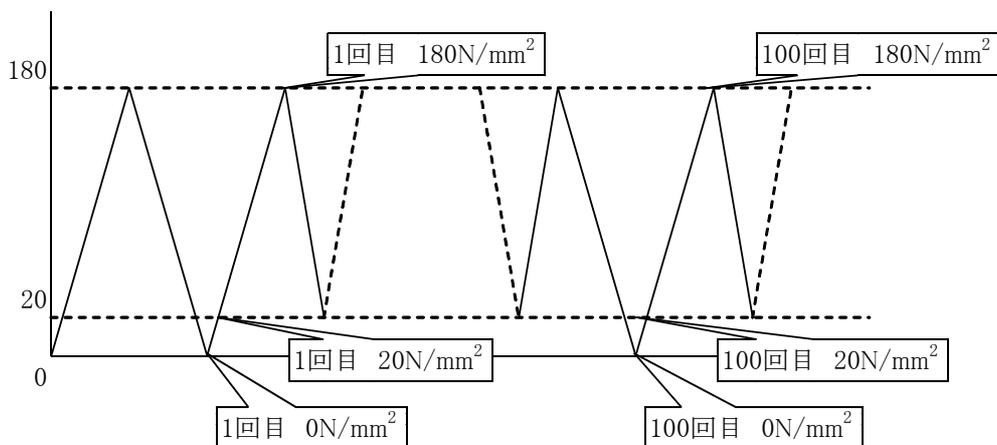


図 2.2.4 載荷プログラム

また荷重段階毎の測定項目を表 2.2.3 に、測定方法を表 2.2.4 に示す。

表 2.2.3 荷重段階毎の測定項目

試験段階	試験項目	確認方法	備考	
材料試験	塗膜傷	目視		
	ピンホール	ホリデーディテクター	マーキング	
	塗膜厚	塗膜厚測定器		
	鉄筋の引張強度	鉄筋の引張試験		
	鉄筋の弾性係数	鉄筋の引張試験		
	コンクリートの圧縮強度	コンクリートの圧縮試験		
	コンクリートの弾性係数	コンクリートの圧縮試験		
供試体作成時	塗膜傷	目視		
	ピンホール	目視		
疲労試験時	1 回	①荷重荷重	ロードセル	
		②鉄筋の発生応力	ひずみゲージ	
		③鉄筋の抜け出し量	変位計	
		④鉄筋露出部の塗膜状況	目視	
		⑤ひびわれ状況	目視	
		⑥ひびわれ幅	コンタクトゲージ	
	100 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	1,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	10,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	20,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	50,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	100,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	500,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	1,000,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	1,500,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	2,000,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	2,500,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	3,000,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	3,500,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
	4,000,000 回	①～⑥	コンタクトゲージ他	
疲労試験後	直後	①荷重荷重	ロードセル	
		②鉄筋の発生応力	ひずみゲージ	
		③鉄筋の抜け出し量	変位計	
		④鉄筋露出部の塗膜状況	目視	
		⑤ひびわれ状況	目視	
		⑥ひびわれ幅	コンタクトゲージ	
	解体後	塗膜傷、破れ、はがれ	目視	
		ピンホール	ホリデーディテクター	
		塗膜厚	塗膜厚測定器	
		ひび割れ部のコンクリート状況	目視	
性能試験	耐食性	塩水噴霧試験		

表 2.2.4 各試験の測定方法

測定項目	着目箇所	時期	測定方法	測定箇所	参考
載荷荷重	載荷装置	載荷時	荷重計(ロードセル)にて、一定載荷間隔で測定する。		
載荷回数	載荷装置	載荷時	動的載荷試験装置で測定する。		
鉄筋の抜けだし量	塗装鉄筋載荷部	載荷時	取り付けた治具間の変位(伸び)を変位計にて、一定載荷間隔で測定する。	2ヶ所/体	
供試体のひび割れ状況	供試体表面 供試体ひび割れ発生位置	載荷時	一定載荷間隔で、近接目視で確認し、写真撮影、スケッチを行う。	3ヶ所/体	
供試体のひび割れ幅	供試体ひび割れ発生位置	載荷時	一定載荷間隔で、コンタクトゲージにより、ひび割れ幅を測定する。	3ヶ所/体	
塗膜のピンホール、割れ、やぶれ、剥がれ <sup>1)</sup>	塗装鉄筋表面 一般部、リブ、節	載荷時 解体後	目視可能範囲は一定載荷間隔で、近接目視で確認し、写真撮影、スケッチを行う。 供試体内部は所定回数載荷して供試体を解体後、近接目視で確認し、写真撮影、スケッチを行う。また、エポキシ樹脂塗装鉄筋のピンホール試験方法に従って、ピンホールの確認を行う。	全長	エポキシ樹脂塗装鉄筋のピンホール試験方法 (JSCE-E512-2003)
塗膜の厚さ <sup>1)</sup>	塗装鉄筋表面 一般部	解体後	所定回数の載荷後、供試体を解体し、鉄筋フシ間の平坦部の塗膜厚を測定装置で測定する。	全長	エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜厚試験方法 (JSCE-E513-2003)
耐食性試験 <sup>1)</sup>	塗装鉄筋表面 一般部、リブ、節	すべての試験後	切り出した鉄筋供試体に、塩水を噴霧し、1000時間～1100時間放置した後、異常の有無を目視で調べる。	2本	エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐食性試験方法(案) (JSCE-E518-2003)

所定回数の載荷完了後、試験装置より供試体を撤去し、解体を行った。

解体は、塗装鉄筋に損傷が生じないように、供試体にカッターにより切込みを入れた後に、アムスラー試験機により側面から載荷し割裂破壊を生じさせた。

## 2.2.3 疲労試験結果

### 1) 変位

図 2.2.5 に変位計の設置位置を示す。なお、D16-2 供試体については、D3、D5、D7、D8 変位計は設置していない。コンクリート部(D2～D5)の平均変位を図 2.2.6 に示す。

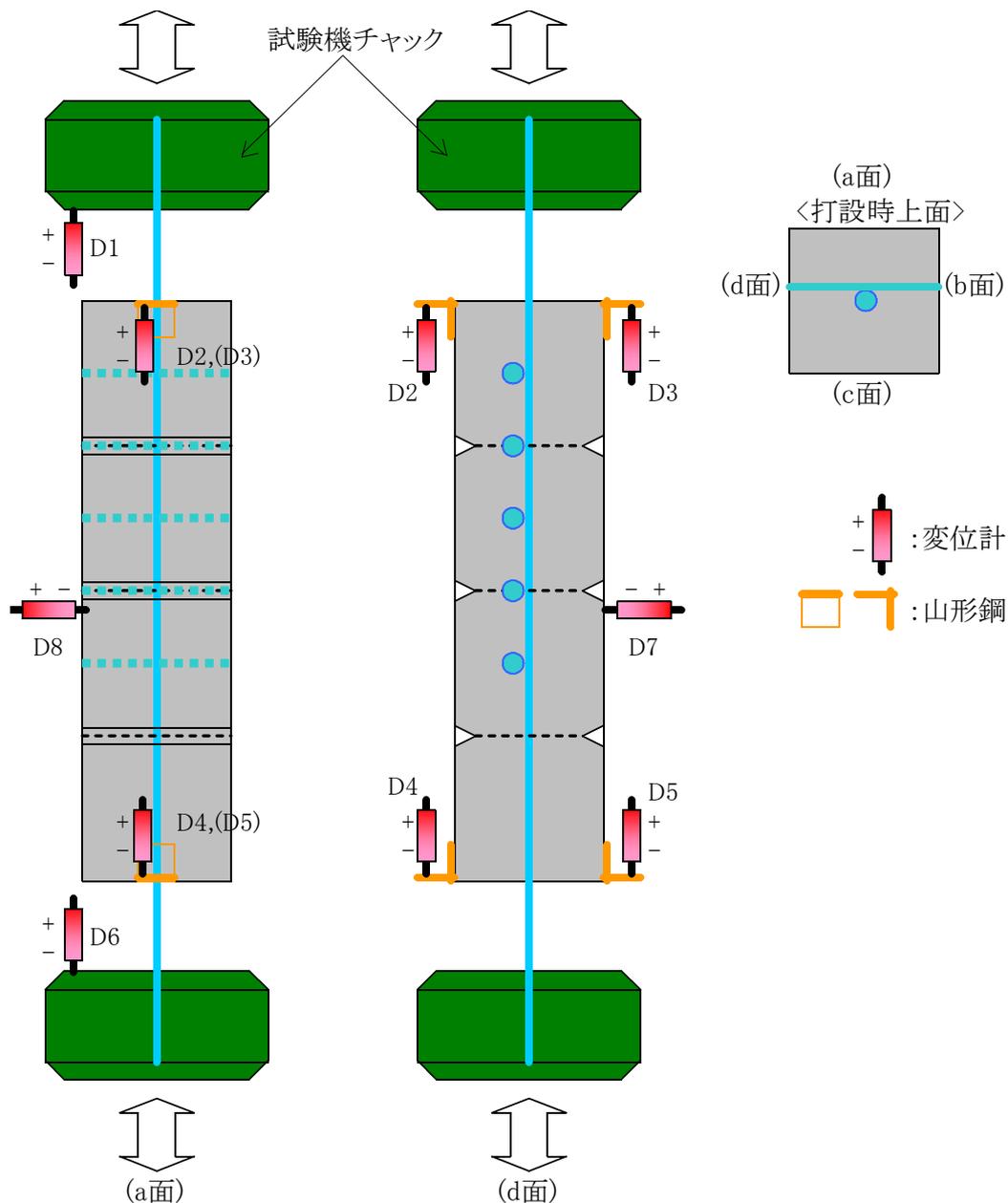


図 2.2.5 変位計の設置位置

コンクリート部の平均変位は、载荷回数が増えるに伴い、増加する傾向が現れた。特に D16-1、D16-2、D16-4 供試体では 50,000 回程度からコンクリート部の平均変位が大きくなる。これらは特に上側のゲージ(D2,D3)で顕著に表れ、除荷時の残留変位も大きくなっていることから、供試体全体が試験機によって引き上げられていることとなる。一方で、試験機に取り付けたゲージ(D1,D6)の除荷時は、D16-1 を除いては、同程度、上下方向に

離れていた。これらは、コンクリート内部の付着切れにより、鉄筋にすべりが生じていることが疑われる。

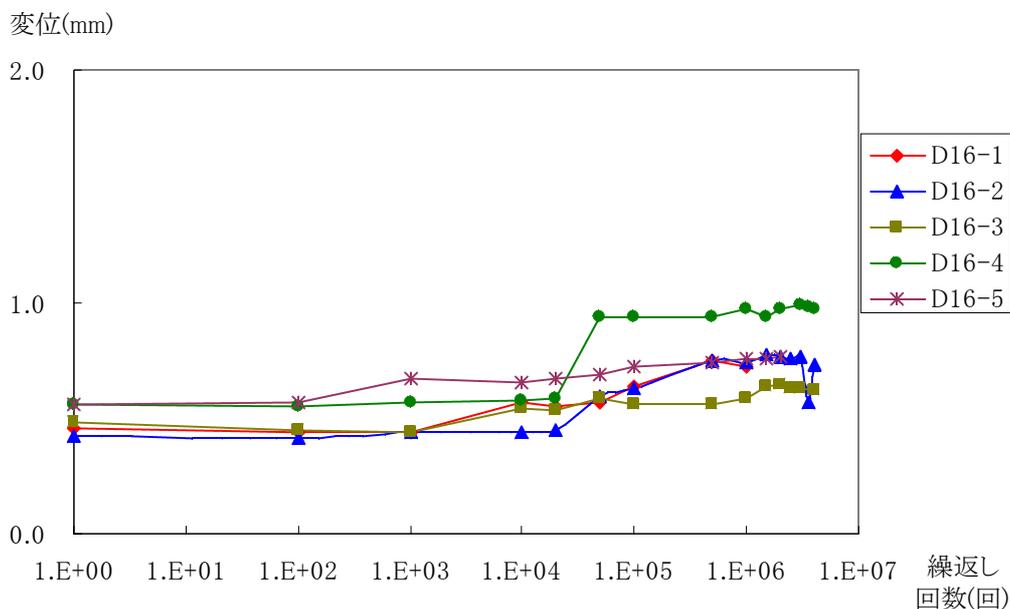


図 2.2.6(a) コンクリート部の平均変位

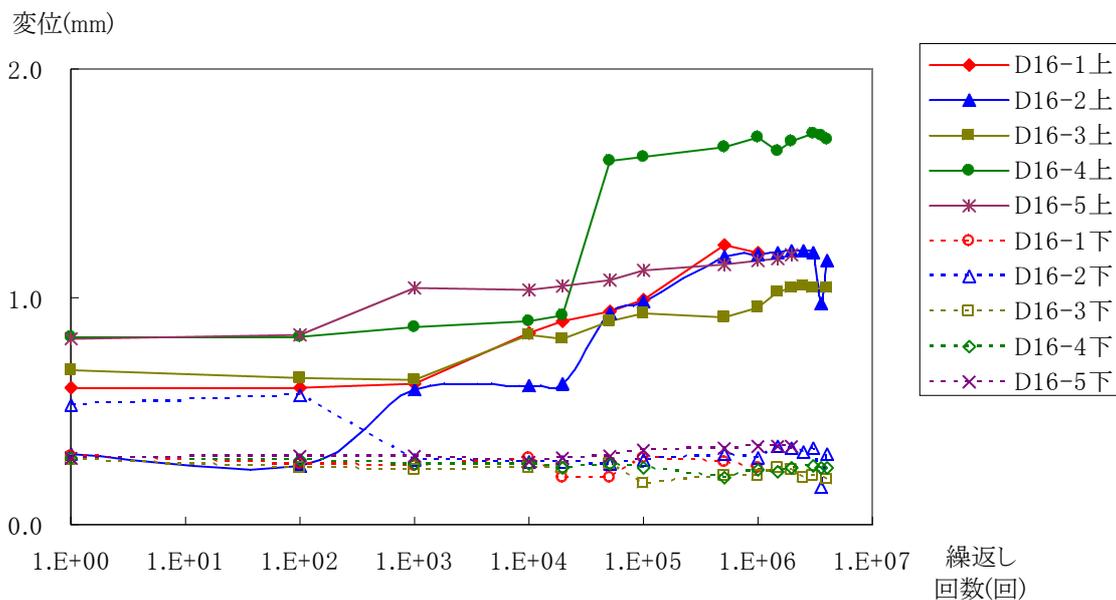


図 2.2.6(b) コンクリート部の平均変位(上側、下側)

各供試体を解体した結果、ひびわれ発生位置まわりのコンクリート面に塗膜のこすれの跡(エポキシ樹脂塗装の青い粉の付着)が見られたことから、塗膜とコンクリートとの間で相対変位が生じていたことが疑われる。

各切り欠きにおけるひびわれ発生時とすべての面のひびわれ貫通時の載荷回数を表

2.2.5 に示す。ひびわれ貫通と平均変位に明確な相関はないものの、ひびわれ貫通後の平均変位は大きくなる傾向が伺えた。

表 2.2.5 各切り欠きにおけるひびわれ発生時、貫通時の载荷回数

		D16-1 (100 万回)	D16-2 (400 万回)	D16-3 (400 万回)	D16-4 (400 万回)	D16-5 (200 万回)
ひびわれ発生	切欠 1	500,000	32,000	1	1	1
	切欠 2	1	1	1	1	1
	切欠 3	2,000	315,000	10,000	1	100
ひびわれ貫通	切欠 1	500,000	36,000	580,000	405,000	1
	切欠 2	100	1,000	10,000	10,000	1
	切欠 3	50,000	450,000	10,000	405,000	10,000

さらに、これらの計測された変位を用いて、鉄筋の抜け出し量として評価することを試みた。鉄筋の抜け出し量は、試験機の変位とコンクリート端部の変位との差とした。さらに、各ひびわれ毎の抜け出し量が同一であると仮定して、中央ひびわれ位置での抜け出し量  $D_c$  を定義し、上下のコンクリート部の変位量を 3 等分することとし、式(2.2.1)により求めた。結果を図 2.2.7 に示す。

$$D_U = D1 - \frac{D2 + D3}{2}$$

$$D_L = D6 - \frac{D4 + D5}{2}$$

$$D_C = \left( \frac{D2 + D3}{2} - \frac{D4 + D5}{2} \right) / 3 \quad (2.2.1)$$

ここに、

- $D_U$  : 上側抜け出し量
- $D_L$  : 下側抜け出し量
- $D_C$  : 中央ひびわれ位置での抜け出し量

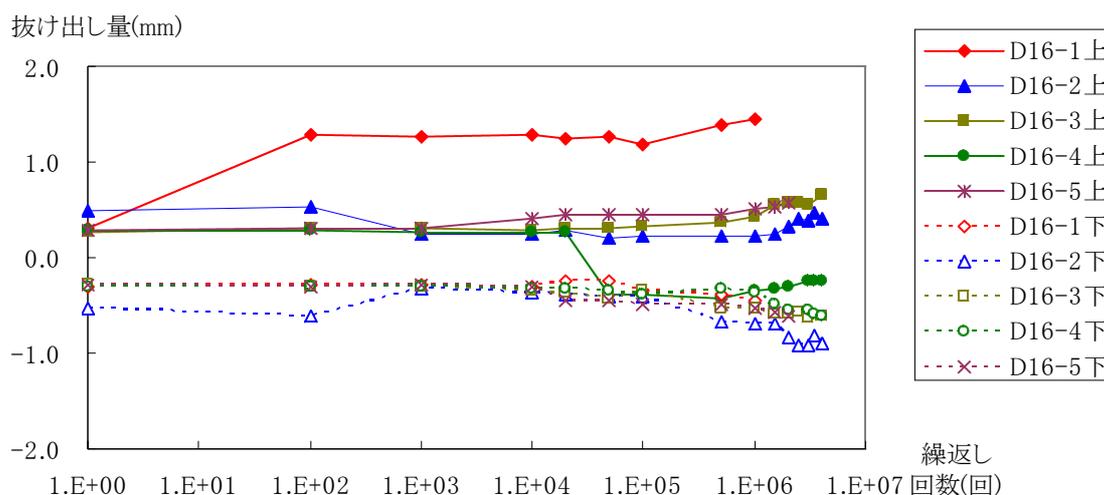


図 2.2.7(a) 鉄筋の抜け出し量 ( $D_U, D_L$ )

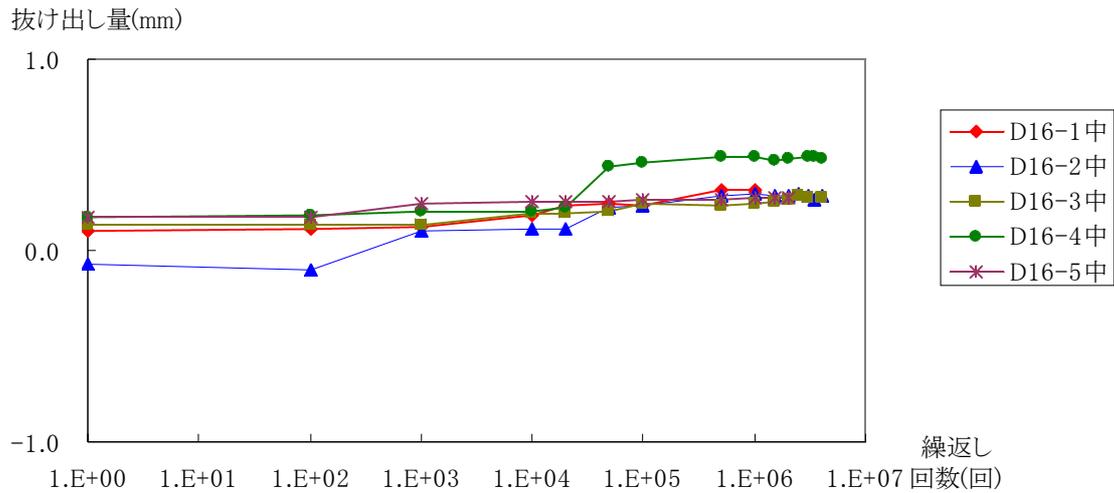


図 2.2.7(b) 鉄筋の抜け出し量(Dc)

鉄筋の抜け出し量もコンクリート部の変位と同様、载荷回数が増えるに伴い、増加する傾向が現れた。D16-4 上側において、5 万回で鉄筋の抜け出し量が急激に低下しているが、このとき同時にコンクリート部の平均変位が急激に増加している部分であり、付着切れ等による鉄筋のすべりが疑われる。なお、その他については明確な変曲点は見られなかったが、除荷時の残留抜け出し量も増加しており、塗膜とコンクリートとの界面で相対変位が生じているものと考えられる。

## 2) 鉄筋ひずみ

図 2.2.8 にひずみゲージの設置位置を示す。なお、D16-2 供試体については、ひずみゲージは設置していない。図 2.2.8 に 180N/mm<sup>2</sup> 载荷時のひずみの変動を示す。

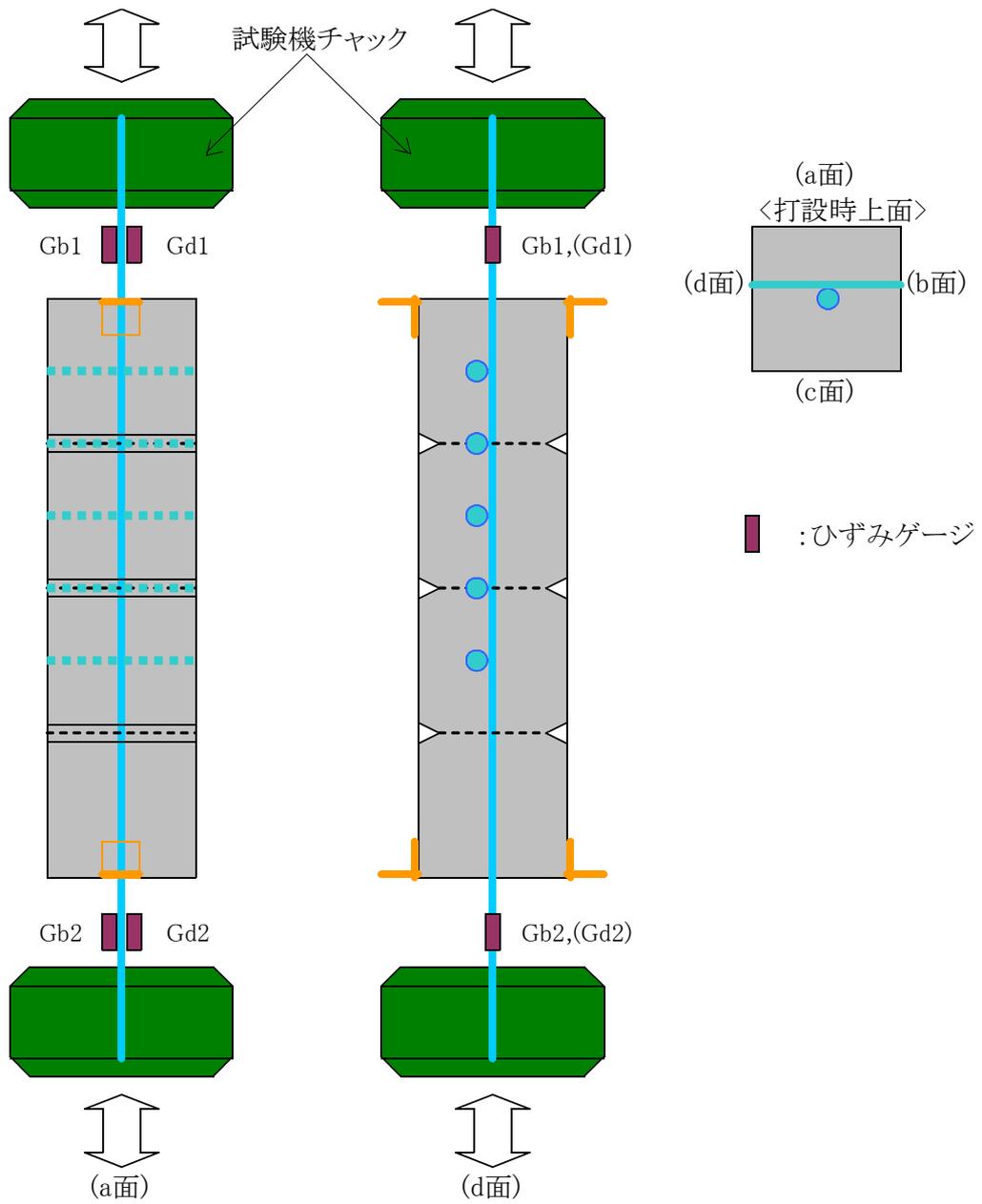


図 2.2.8 ひずみゲージの設置位置

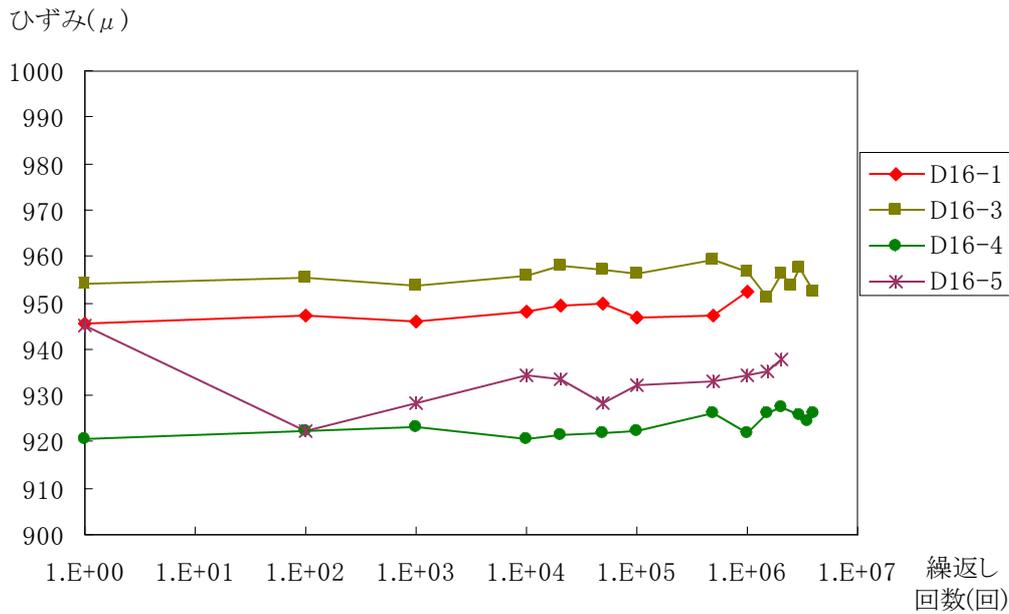


図 2.2.9 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時の平均ひずみ

鉄筋ひずみは載荷回数による明確な違いは確認できず、全供試体ともほぼ一定の値で推移している。ただし、ひびわれ発生箇所の鉄筋のひずみは、局所的に大きくなっている可能性があり、今回のコンクリート端部での計測ではひびわれ部のひずみを計測できていない。

D16-4 の上側 (Gb1、Gd1) において、非対称なひずみの増加が見られた。0N/mm<sup>2</sup> 時の残留ひずみも同様の傾向を示しており、供試体全体に曲げ挙動が生じていると考えられる。

### 3) ひびわれ幅

図 2.2.10 にコンタクトゲージおよびクラックスケールでのひびわれ幅の計測位置を示す。コンタクトゲージによる計測では、評点距離を 100mm として、1 回の測定で 3 度計測することとし、計測値はその平均値を用いた。クラックスケールによる計測は 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時に行うこととし、同一面では原則 1 点の測定とするが、ひびわれ幅が左右で大きく異なる場合は必要に応じて同一面で 2 点計測した。2 点計測にした場合は、L と R の記号を用いて分けることとした。

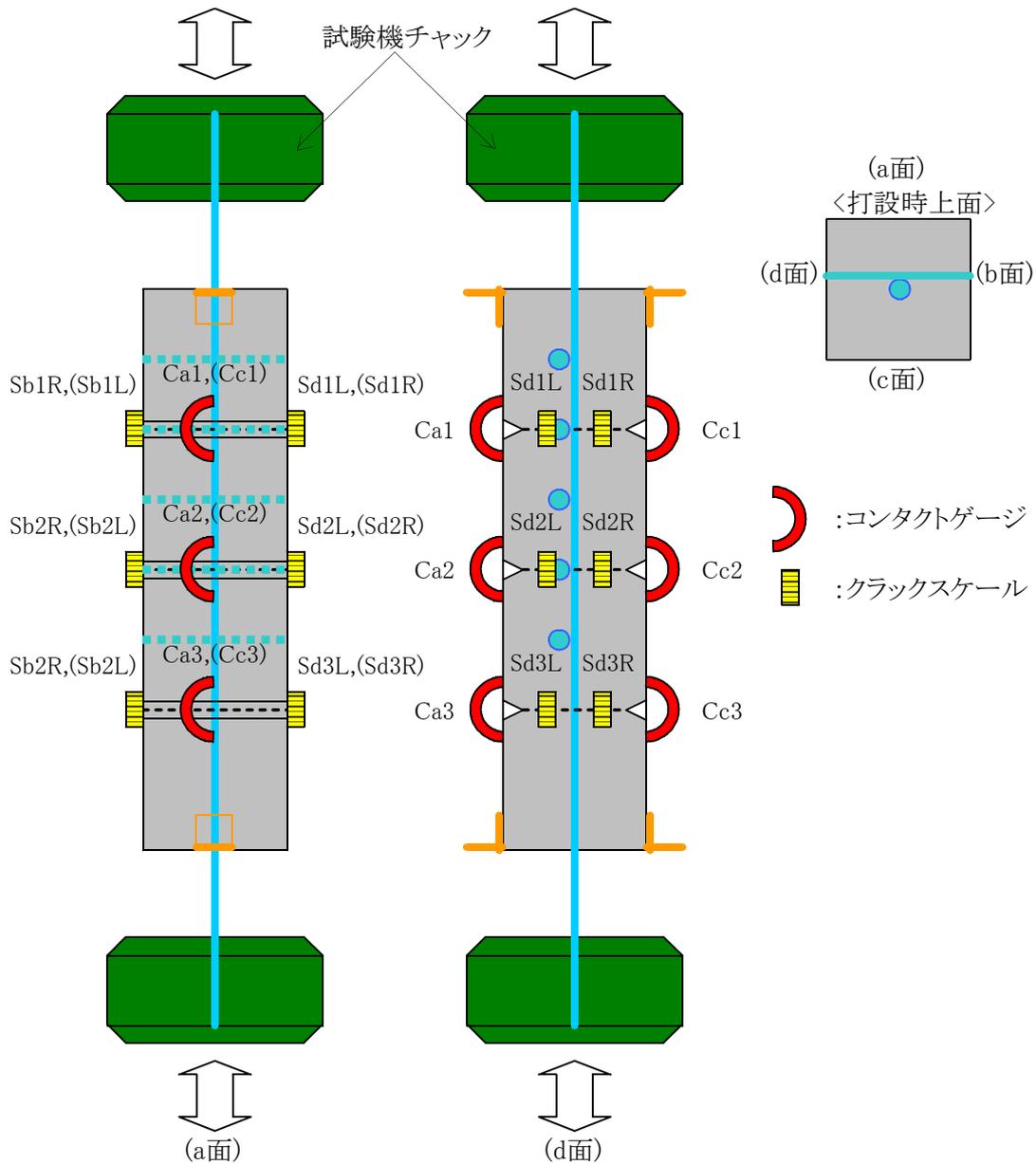


図 2.2.10 コンタクトゲージ、クラックスケール計測位置

図 2.2.11 にコンタクトゲージによる平均ひびわれ幅を示す。ひびわれ発生後、ばらつきはあるものの、平均ひびわれ幅はすべて増加傾向を示した。D16-1、D16-2、D16-5 については、表 2.2.6 に示したひびわれ発生回数に達すると、ひびわれ幅が大幅に増加する傾向が明確に現れた。

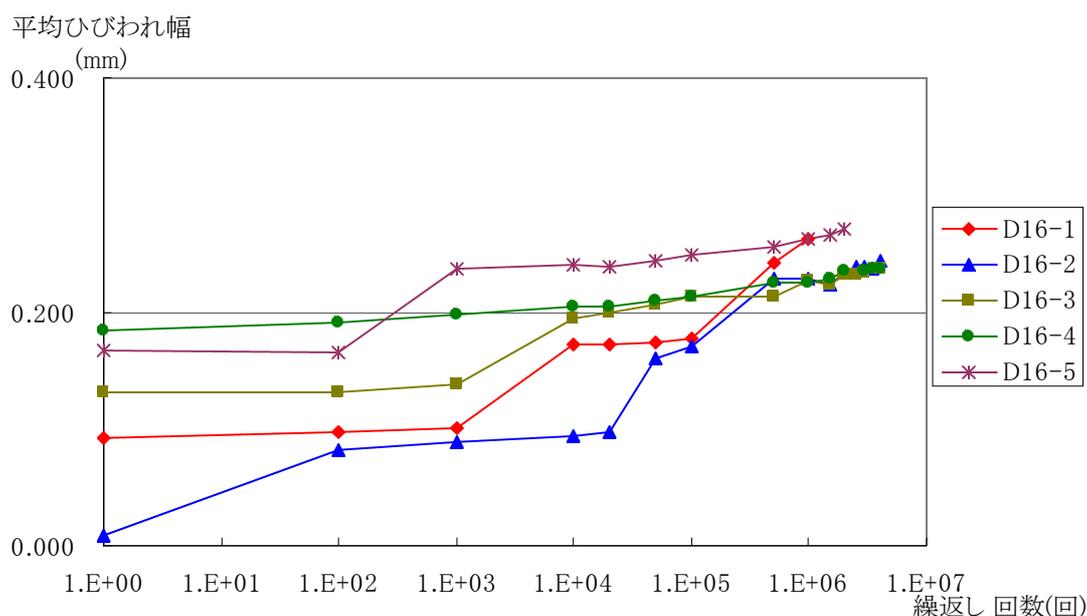


図 2.2.11 コンタクトゲージによる平均ひびわれ幅

付図 2.3.2 に示すように、D16-2 について、切欠 2 (Cc2) の 100 回で、片面のひびわれ幅の急激な進展が確認された。1,000 回から表裏のひびわれ幅が逆転していることから、曲げ等による影響が考えられる。

付図 2.3.3 に示すように、D16-3 については、切欠 1 (Ca1, Cc1)、切欠 2 (Ca2, Cc2) において 1,000,000 回で表裏のひびわれ幅が逆転している。580,000 回で切欠 1 のひびわれ貫通により、曲げ等による影響が解消した可能性がある。

付図 2.3.4 に示すように、D16-4 については、405,000 回で切欠 1、切欠 3 のひびわれが貫通した結果、500,000 回から切欠 2 のひびわれ幅が逆転することとなった。ここでも供試体の挙動が変化したと考えられる。

図 2.2.12 にクラックスケールによる平均ひびわれ幅を示す。クラックスケールによる計測では、平均ひびわれ幅に明確な傾向は捉えられなかった。ただし全供試体の平均ひびわれ幅について、特に急激な進展等は確認されていない。したがって本試験方法は疲労試験として妥当であると考えられる。

付図 2.3.7 に示すように、D16-2 については、100 回の計測時に切欠 2 に 0.2mm と 0.3mm のひびわれが発生し、その後ひびわれ幅は小さくなっている。コンタクトゲージによる計測でも切欠 2 において、急激なひびわれ幅の変化が計測されていることから、供試体によっては、試験の途中より曲げ挙動が現れるなど、挙動に変化を生じる物があったと考えられる。

付図 2.3.8 に示すように、D16-3 について、1,000,000 回で切欠 1 の急激なひびわれ幅の低下が見られた。またこのときから左右のひびわれ幅の相違が発生している。コンタクトゲージによる計測でも 1,000,000 回で左右のひびわれ幅が逆転していること、切欠 1 は 580,000 でひびわれ貫通後初の計測であること等を考慮すれば、曲げ等による影響が考

られる。

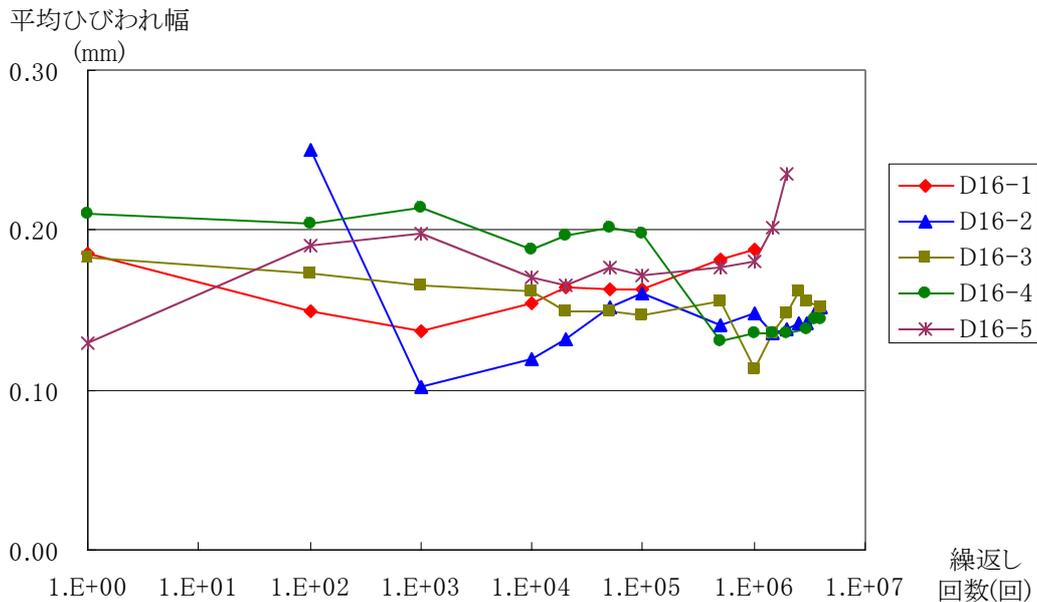


図 2.2.12 クラックスケールによる平均ひびわれ幅

付図 2.3.9 に示すように、D16-4 について、コンタクトゲージによる計測では、500,000 回から切欠 2 のひびわれ幅が逆転しているが、クラックスケールによる計測では、切欠 2 においてひびわれ幅の急激な変化は確認されなかった。一方、切欠 1、切欠 3 において 5,000,000 回からひびわれ幅が急激に低下しているが、コンタクトゲージによる計測では、これらに対応するような変化は確認されていない。コンクリートの変位の増大が 500,000 回で生じた後、载荷を続けることにより供試体の挙動が変化したものと考えられる。

#### 4) 塗膜厚

疲労試験終了後の供試体を解体した後、塗膜の詳細膜厚調査を実施した。図 2.2.13 に塗膜厚の測定位置を示す。鉄筋の断面方向は 4 点計測とし、軸方向はフシを跨いで 4 点計測することとした。

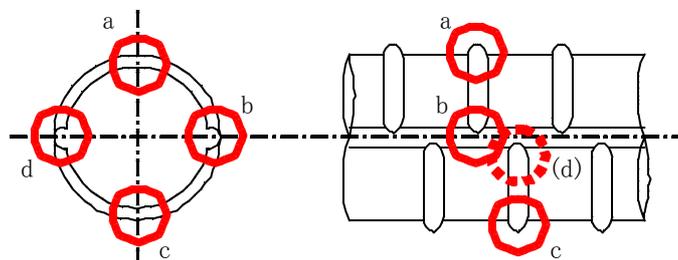


図 2.2.13 (a) 塗膜厚の測定位置(鉄筋の断面方向)

なお、本試験では、事前に詳細な塗膜厚測定が実施できていない。同一の供試体において試験前と試験後と比較することが妥当であるが、やむを得ず無試験の塗装鉄筋と比較することで、塗膜厚の減少量を評価する。図 2.2.14 に全点の各供試体毎の累積頻度分布の測

定結果を示す。

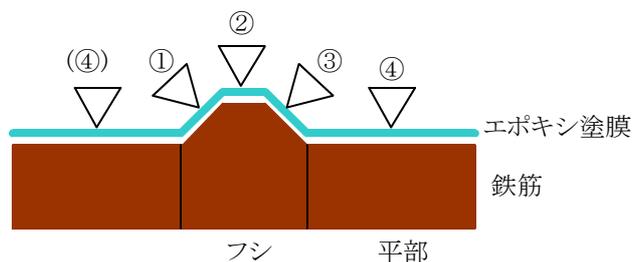


図 2.2.13 (b) 塗膜厚の測定位置(鉄筋の軸方向)

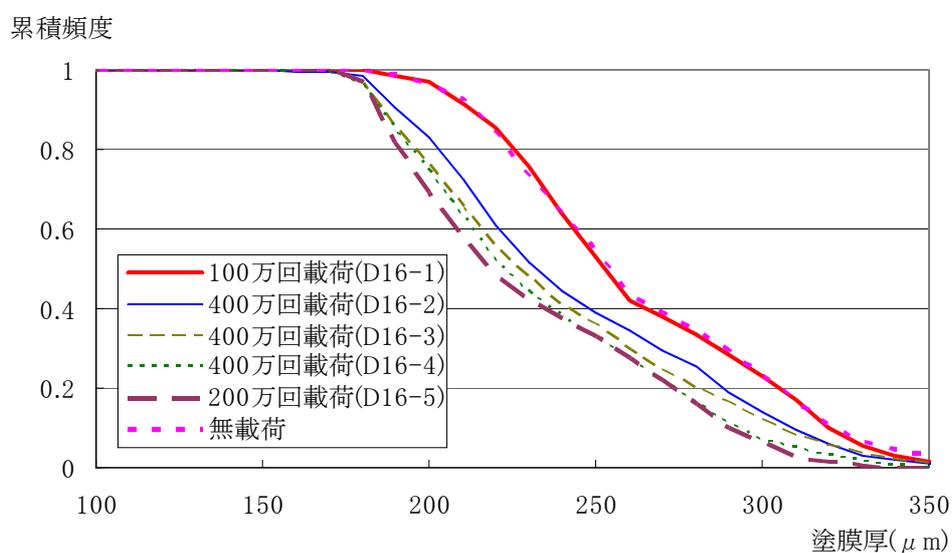


図 2.2.14 塗膜厚の累積頻度分布(全測点)

表 2.2.6 一般的な塗膜厚計測点における平均値、標準偏差の比較(単位:  $\mu\text{m}$ )

		D16-1 (100万回)	D16-2 (400万回)	D16-3 (400万回)	D16-4 (400万回)	D16-5 (200万回)	無载荷
a ④ (上面)	平均値	234.0	221.4	203.5	218.2	201.4	242.4
	標準偏差	18.9	19.7	17.5	18.9	11.8	16.3
	最小値	184	183	174	180	179	197
	下限値以下の数	0	0	5	0	1	0
	下限値の超過率	0.0%	0.0%	4.0%	0.0%	0.8%	0.0%
c ④ (下面)	平均値	239.1	207.2	221.1	208.7	212.4	227.2
	標準偏差	18.1	16.7	18.5	17.7	17.7	20.8
	最小値	185	174	184	161	180	189
	下限値以下の数	0	1	0	2	0	0
	下限値の超過率	0.0%	0.8%	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%

累積頻度分布を見ると、100 万回では無試験と大差はないが、200 万回、400 万回では塗膜厚が減少する方向へシフトしている。この傾向は、測定点の位置に寄らず、全体的に同様の傾向であった。

土木学会の「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針<sup>9)</sup>」による塗膜厚の測点は、本計測では a-4、c-4 となる。両者の平均値、標準偏差、最小値、下限値(180  $\mu\text{m}$ )、下限値の超過率を表 2.2.6 に示す。明らかに 200 万回、400 万回では無載荷の物と比較して膜厚の減少が確認でき、一部下限値を下回る値も確認できた。

図 2.2.15 はコンタクトゲージによるひびわれ幅(載荷終了時)とそのひびわれ付近の塗膜厚との関係である。塗膜厚は各ひびわれ位置から片側 10 点(計 20 点)の平均値と比較することとし、鉄筋の軸方向の測定位置ごとに比較したが、大きな相関はなかった。ただし、これらは載荷終了後の塗膜厚との比較であり、塗膜厚の減少量との比較も必要であると考えられる。

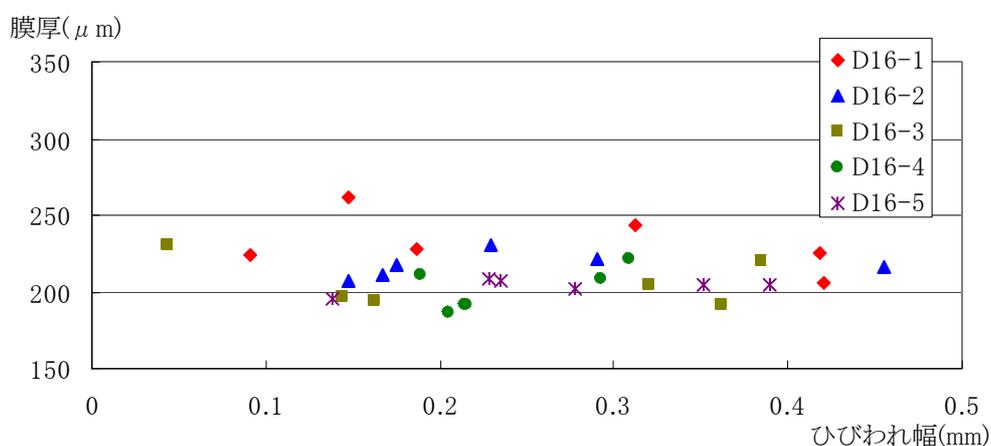


図 2.2.15(a) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係 (a ①,c ①)

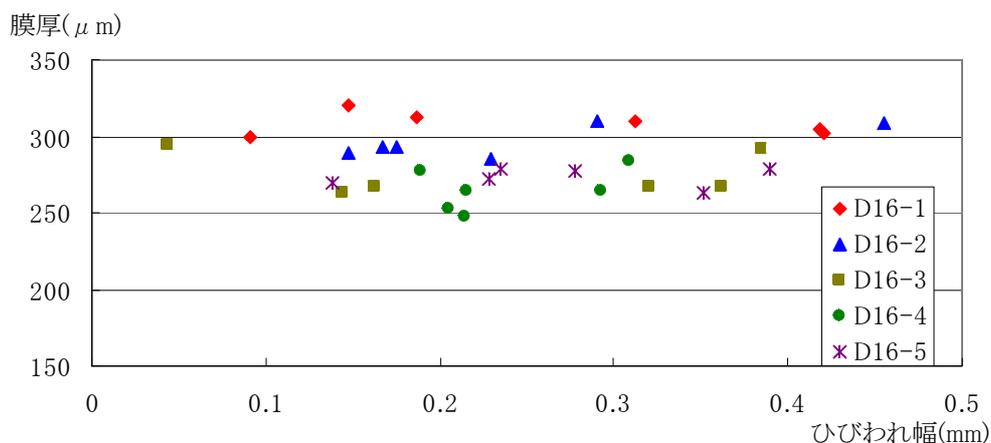


図 2.2.15(b) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係 (a ②,c ②)

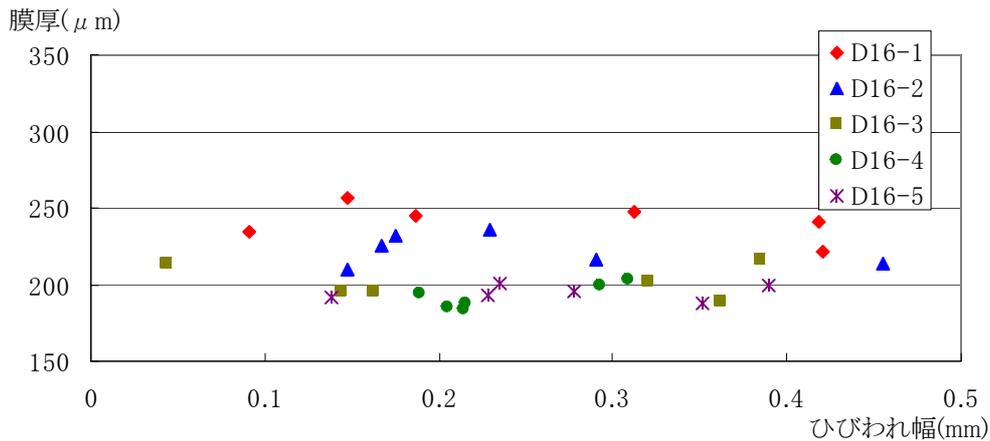


図 2.2.15(c) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係 (a ③,c ③)

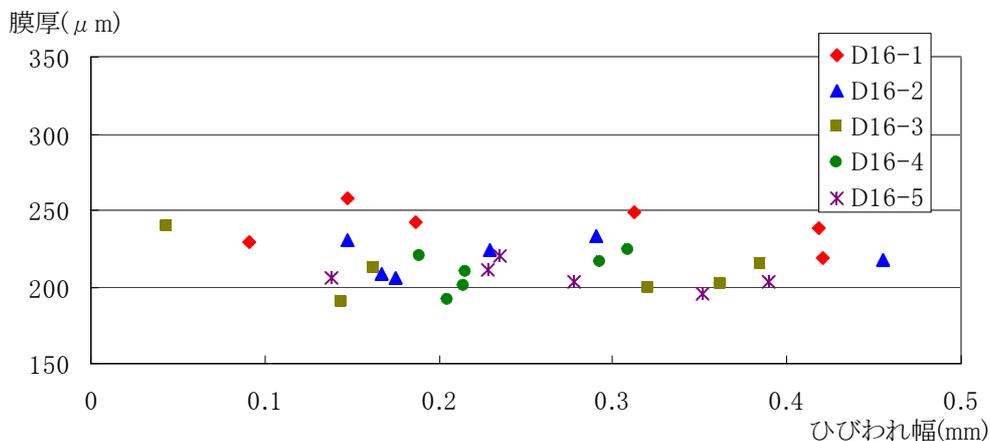


図 2.2.15(d) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係 (a ④,c ④)

以上より疲労試験を通じて、繰り返し応力を受けるコンクリート中の鉄筋では、エポキシ樹脂塗装鉄筋塗膜の消耗が生じることが分かった。このことは解体した供試体コンクリートに樹脂色が付着しており、単なる色写りではなく塗膜の消耗であることから推定が可能である。したがって塗膜の消耗量は不明であるが、防食機能の本質である塗膜が変動応力下でコンクリートとの相対的な変動により消耗することが明らかとなった。次節では塗膜の消耗が防食機能に及ぼす影響を評価するため、耐食性試験を行った。

## 2.3 耐食性試験

### 2.3.1 使用供試体

疲労試験を行ったエポキシ鉄筋に対して塩水噴霧試験を行い、耐食性を試験した。噴霧面は疲労試験時に傷や擦れなどの損傷を多く発生した面とした。

また、試験材 1400mm の長さより損傷を多く含むよう 800mm に切断した。切断端面は補修塗料で補修を行った。

なお試験材の切断位置および噴霧面(天を向いている面)を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 耐食性試験の試験材

No.	疲労試験履歴	噴霧面	切断位置
D16-1	100 万回	c 面	上側
D16-2	400 万回	c 面	下側
D16-3	400 万回	c 面	上側
D16-4	400 万回	c 面	下側
D16-5	200 万回	a 面	上側
D16-B1	0 回	—	—
D16-B2	0 回	—	—

### 2.3.2 試験方法

JSCE-E518 にしたがひ、1000 ～ 1100 時間塩水を噴霧した<sup>9)</sup>。試験条件は表 2.3.2 に示す。

表 2.3.2 塩水噴霧試験の条件

項目	内容
試験槽内温度・湿度	35 ± 1℃ , 98 ～ 99%RH
塩水濃度・pH	5 ± 0.5w/v% , 6.5 ～ 7.2
噴霧時圧力	0.098 ± 0.002MPa
噴霧量	80cm <sup>2</sup> あたり 1.0 ～ 2.0ml/hr

### 2.3.3 試験結果

試験後水で洗浄した後に、目視で錆、ふくれ、および剥離の発生状態を調べた。また錆が発生した部分の塗膜をカッターナイフで除去し、鉄地上に発生している赤錆・黒錆を方眼紙にトレースした。トレースした部分はカッターで切り取り、精密天秤で秤量し計算で面積に換算した。

#### 1) 外観



写真 2.3.1 塩水噴霧試験装置内への配置状況



写真 2.3.2 錆汁の流出状況

塩水噴霧試験後、粉体塗膜にふくれおよび剥離は認められなかった。写真 2.3.1 に 1000

時間終了後の塩水噴霧試験装置内への配置状況を示す。

摩損し鉄地が露出していた部分からは錆汁が流出して、鉄地が露出していたふちの部分はふくれていたが、周囲にふくれは伝播していなかった。また塗膜が擦れて薄くなった部分でも錆やふくれは生じていなかった。写真 2.3.2 に錆汁の流出状況を示す。

## 2) 腐食面積率

腐食が生じていた部分の面積、および腐食が生じていた部分の塗膜を剥離した後に求めた腐食発生部分の面積を表 2.3.3 に示す。また疲労試験回数と腐食面積との関係を図 2.3.1 に示す。いずれも試験回数と腐食面積率との間には明確な関係は認められず、また鉄筋の腐食状況は軽微であった。

表 2.3.3 塩水噴霧試験後の腐食面積率

No.	噴霧面	腐食面積率(1)	腐食面積率(2)	疲労試験回数
D16-1	上	0.11 (%)	0.2 (%)	100 万回
	下	0.11		
D16-2	上	0.21	0.3	400 万回
	下	0.05		
D16-3	上	0.01	0.0	400 万回
	下	0.01		
D16-4	上	0.16	0.3	400 万回
	下	0.10		
D16-5	上	0.04	0.1	200 万回
	下	0.04		
D16-B1	上	0.01	0.0	0 回
	下	0		
D16-B2	上	0.01	0.0	0 回
	下	0		

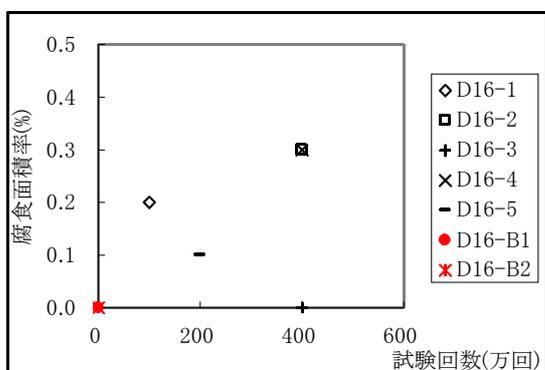


図 2.3.1(a) 試験回数と腐食面積率(上面+下面)

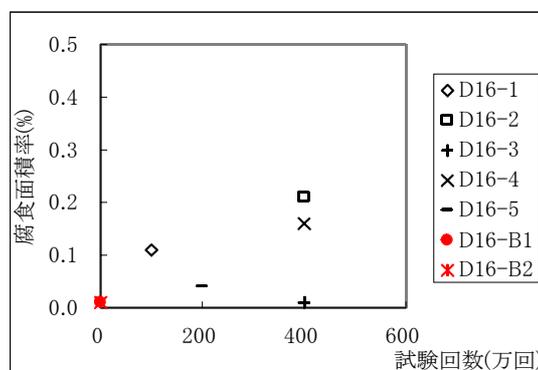


図 2.3.1(b) 試験回数と腐食面積率(上面)

## 2.4 塗装鉄筋の塗膜厚ばらつき調査

### 2.4.1 目的

2.2.3 では、塗装鉄筋の疲労試験を行った後、試験後の塗装鉄筋の塗膜厚を調べ、無試験の供試体と比較することで塗装鉄筋に疲労が発生しているかどうかを調べた。しかし、通常の塗装鉄筋塗膜厚さのばらつきを調べた試験結果等はないため、どの程度ばらつきがあるのかを把握しておらず、どの程度の塗膜厚減少があったかは定量的に示していない。

そこで本調査は、同一に製作された塗装鉄筋の塗膜厚さを調査し、塗装鉄筋塗膜厚さのばらつきの程度を明らかにする。

### 2.4.2 調査方法

#### (1) 塗装鉄筋の種類

##### ① 種類と本数

試験材を1ロット(D16の場合、1ロットは12本程度)から3本抜くことは困難であるため、テスト材として製作する。対象本数は、3本とし、Pr1～Pr3とした。

##### ② 鉄筋径

疲労試験の対象としたD16とする。

#### (2) 塗膜厚測定位置

##### ① 断面の測定位置

鉄筋の断面および平面の測定位置を図2.4.1に示す。なお、[b]および[d]は節とリブの交差部とし、その両側ではなく片側のみとする。

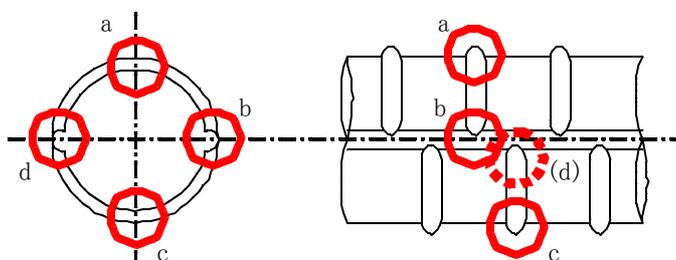


図 2.4.1 (a) 塗膜厚の測定位置(鉄筋の断面方向)

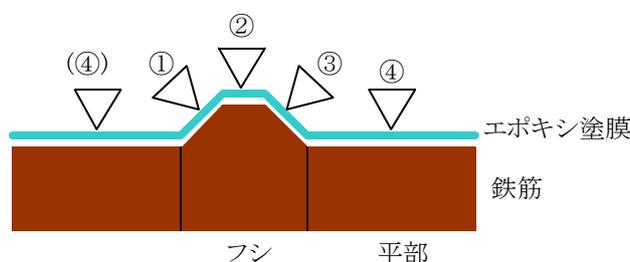


図 2.4.1 (b) 塗膜厚の測定位置(鉄筋の軸方向)

## ②軸方向の測定位置

軸方向の測定は、供試体の長さ 60cm とする。

## (3)測定方法

塗膜厚測定機を用いて測定する。なお、供試体毎に測定位置を同位置にすることは困難であるため、前項の定めに従い大体の位置を決めた後、無作為に測定(厚い箇所や薄い箇所を選ばない)する。

## 2.4.3測定結果

図 2.4.2 に全測点の塗膜厚の累積頻度分布を示す。また表 2.4.1 に全測点の平均値、標準偏差、最大値、最小値を示す。

以上より同一ロットで製作された塗装鉄筋でも、塗膜厚の分布のばらつきが大きく、前節の疲労試験で減少した可能性のある 20  $\mu$  m 程度の量は、製品のばらつきによって生じる程度の差であると考えられる。

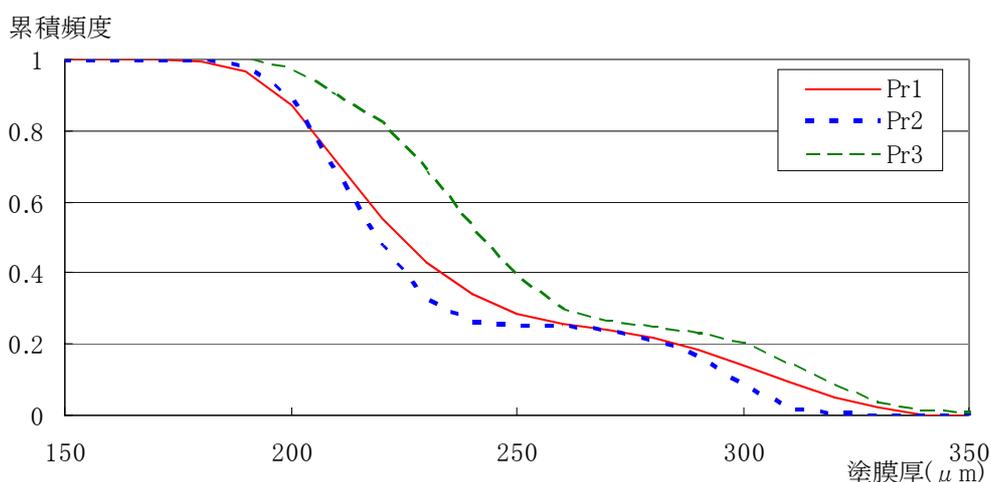


図 2.4.2 塗膜厚の累積頻度分布

表 2.4.1 塗膜厚の平均値、標準偏差、最大値、最小値 ( $\mu$  m)

	Pr1	Pr2	Pr3
平均値	239.0	234.1	253.3
標準偏差	41.4	37.2	39.0
最大値	351	331	359
最小値	178	182	183

## 2.5 まとめ

供試体解体の結果、図 2.5.1 に示す位置で、既往の文献<sup>2)3)4)5)6)7)10)</sup>では報告されていない

ひびわれ付近のコンクリート面に塗膜のこすれの跡(エポキシ樹脂塗装の青い粉の付着)が見られた。

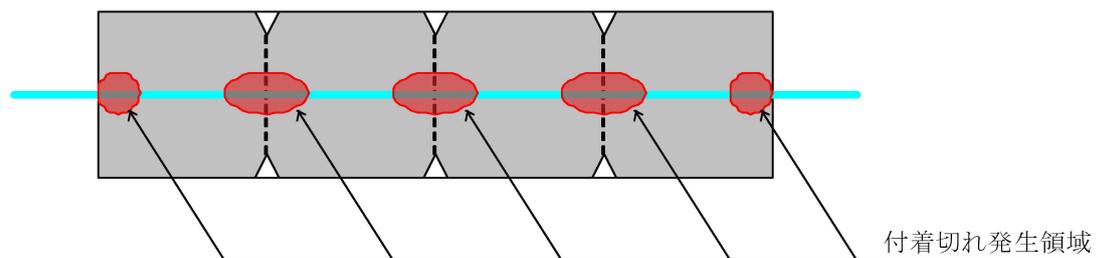


図 2.5.1 付着切れの発生した領域

既往の研究は、梁供試体による定点载荷であったり、両引き試験でも载荷回数が少ないなど、一概に比較はできない。しかし両引きで、200 万回～ 400 万回と鉄筋の疲労耐久性と同等以上の試験を実施した場合、ひびわれの影響により、塗膜とコンクリートとの間で変状が生じる結果となった。

塗膜が十分な強度で鉄筋に付着している場合、ひびわれ発生位置付近では塗膜に切れ等の変状が生じることが考えられる。一方、塗膜と鉄筋の付着が完全に切れて鉄筋が伸縮している状態では、塗膜はコンクリートと同じ動きをするため、コンクリート供試体に塗料粉体の付着は生じない。以上のことから、コンクリートに粉体塗料の付着が生じているということは、鉄筋と塗膜は適度に付着しており、コンクリートと鉄筋の相対変位の大きいところで塗膜がこすれていると考えられる。

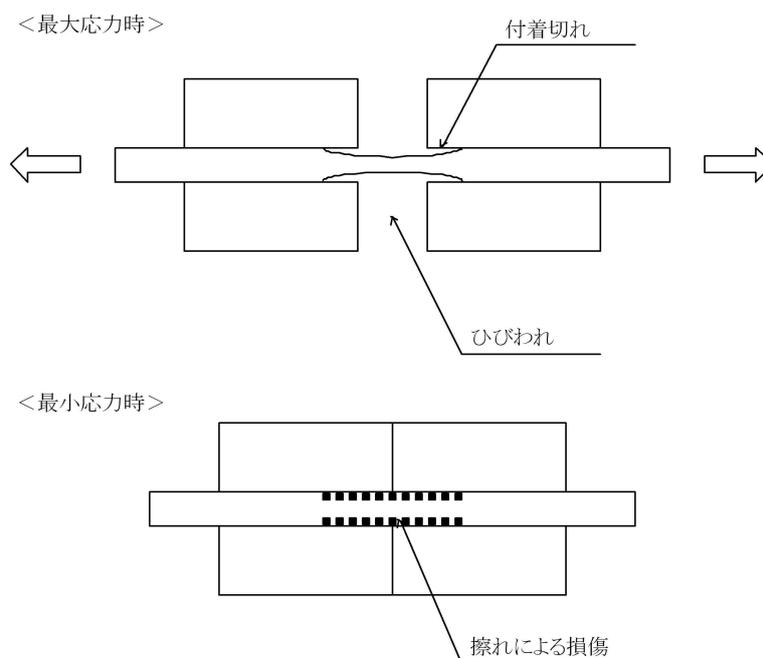


図 2.5.2 塗料付着メカニズムの模式図

ひびわれ部の粉体は、主としてひびわれから 5cm 程度と、コンクリート端部の塗装鉄筋フシ部付着している。写真 2.5.1 に解体後のコンクリート面への塗膜の付着状況の例を示す。これらは 2.2.3 で述べたように、ひびわれ貫通後に変位が大きくなったこと、鉄筋

の抜け出し量が増加する傾向にあったこと、コンタクトゲージの計測値が大きくなる傾向にあったことから、ひびわれ部やコンクリート端部で付着切れが発生し、相対変位が大きくなっていることが推測できる。

一方、写真 2.5.2 に示すように、鉄筋の塗膜自体は、相対変位量の違い等によると考えられる擦れ跡は見られたが、鉄筋素地の広範囲にわたる露出等の著しい損傷はなかった。

これらについて、以下のように考えられる。ひびわれ付近が付着切れした塗装鉄筋供試体に繰返し荷重が作用すると、図 2.5.2 に示すように、ひびわれ部が最大応力時に開き、最小応力時に閉じる状態が繰り返される。すなわち、鉄筋に大きい引張力が作用した場合には、図 2.5.3 に示すように、塗膜とコンクリート間のわずかな摩擦力と、節部の支圧力により引張力に抵抗することになる。この場合、ほぼ引張力に相当する支圧力が節部に作用し、摩擦による分担がないものと仮定すると、節部の塗膜及びコンクリートには、最大で  $600\text{N/mm}^2$  にも達する支圧応力が発生する。その結果、表面の塗膜表面、及びコンクリートの表面に局所的な破壊が進行することによって鉄筋の全長方向への荷重分担が進むと予想される。



写真 2.5.1(a) 解体後の塗膜の付着状況の例



写真 2.5.1(b) 解体後の塗膜の付着状況の例



写真 2.5.2 解体後の塗膜の損傷の例

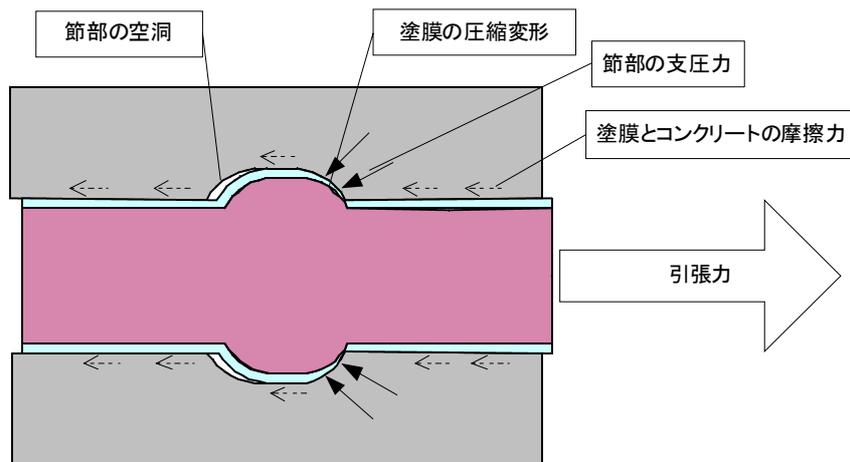


図 2.5.3 フシ部の付着切れ

付着力以上の力で繰返し荷重が作用した場合には、平坦な部分はこすれが繰返され、塗膜及びコンクリート表面のすり減りが発生し、解体後すり減りによって生じた塗膜及びコンクリートの粉末が確認できたものと想定される。また膜厚測定の結果、著しく膜厚が減少している箇所は、いずれもひびわれ発生位置付近であり、コンクリートに塗料粉体の付着が見られる。これらはコンクリートと鉄筋の相対変位の大きさによると考えられるが、今回の実験では鉄筋とコンクリートの相対変位は計測できておらず、分析することはできなかった。一方で、今回疲労試験を行った供試体に対し耐食性試験を実施した結果、すべて平均発錆面積率が 0.5%以内であり、これらは新設で用いる塗装鉄筋としての土木学会基準<sup>9)</sup>を満足している。したがって今回の条件では塗装鉄筋は疲労により塗膜に損傷を受けるが、塗膜厚の減少による防錆効果の低下は、耐久性上問題にはならない程度であると考えられる。

なお、D16-4 については、ひずみゲージの計測値、コンタクトゲージによる計測値、クランクスケールによる計測値から、曲げ等による影響が疑われた。しかし、塗膜厚の減少や耐久性試験における錆の発生に違いは見られなかった。

塗膜厚の減少量については、同一ロットで製作された塗装鉄筋でも、20  $\mu\text{m}$  程度の差が生じており、今回の試験結果から定量的に表現することはできなかった。

鉄筋コンクリート供試体における両引き試験では、上限値を  $180\text{N}/\text{mm}^2$  として疲労载荷を行ってもひびわれの著しい進展が見られなかった。曲げ等による影響が疑われる供試体もあったが、結果に著しい差異は認められなかった。塗膜の疲労性状の確認試験としては、鉄筋の疲労試験として必要な回数の 200 万回载荷試験とその倍の 400 万回载荷試験でも塗膜厚の分布に差はなく、塗膜の疲労試験としては 200 万回载荷程度で十分と考えられる。

#### 参考文献

- 1) 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 床版のひびわれ損傷と耐久性，1991.12.
- 2) 武若耕司，伊藤利治，小林一輔：エポキシ樹脂被覆鉄筋を使用した RC 梁の曲げ性状，コンクリート工学年次論文報告集 2，1980.

- 3) 小林茂敏, 片脇清士, 他: 樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(2), 土木研究所資料第 2041 号, 1984.3.
- 4) 小林茂敏, 丹野弘, 他: 樹脂塗装鉄筋に関する調査及び試験(3), 土木研究所資料第 2211 号, 1985.3.
- 5) 太田利隆, 服部健作, 福井晃: エポキシ樹脂被覆鉄筋の継手に関する疲労試験, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部 Vol39, pp.71-72,1984.
- 6) 坂本信義, 岩崎訓明: 低温下におけるエポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜の耐疲労性について, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部 Vol41, pp.323-324,1986.
- 7) 守分敦郎, 辻清: 厚膜型エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いた供試体の疲労特性について, 土木学会年次学術講演会講演概要集第 5 部 Vol43,pp.586-587,1988.
- 8) 石本陽一, 島弘: 定着鉄筋の伸び出し量に対する荷重速度の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol16,No.2,1994.
- 9) 土木学会: エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針, 2003.11.
- 10) 小林茂敏, 片脇清士, 他: 樹脂塗装鉄筋に関する調査および試験(1), 土木研究所資料第 1819 号, 1982.3.

## 第3章 塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋塗膜の 疲労耐久性に関する検討

### 3.1 概要

第2章では、現在、土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針<sup>1)</sup>」に基づいて使用されるエポキシ樹脂塗装鉄筋としては、塗膜が十分密着している場合、一般的なRC床版の状況を想定した応力変動下において、樹脂塗膜の擦れに対する疲労の観点から耐久性に問題が少ないことを示した。一方で塗装鉄筋の場合、下地処理や予熱・熱硬化の温度管理など、製品の性能に影響することが考えられる施工品質について、一見してもピンホールの発生が明らかなもの以外は不明である。例えば下地処理の不良は鉄素地との密着性低下、温度管理の不良は塗膜本来の伸び率を含む性能が発揮できない(ガラス転移点測定によって判定可能)ということになる。さらに、曲げ加工性がかろうじて合格するレベル(試験温度に依存する)でも密着不良や温度管理不足は長期の耐食性に影響する。塗膜の密着性が劣る場合、疲労試験では2章で述べた擦れによる損傷ではなく、剥がれ等による損傷が発生する可能性も排除できない。また現在の品質規定は、必ずしも疲労耐久性を保証する観点から提示されたものでない。

以上より本研究では、塗装鉄筋塗膜の疲労耐久性に影響を生じさせることが懸念される項目として、塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋について規準どおりの塗膜厚を塗装し、疲労耐久性が確保できるか確認した。

### 3.2 塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の検討

#### 3.2.1 塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋

本試験では塗装鉄筋の耐久性を低下させる要因として、下地処理の程度と塗装時の予熱温度に着目することとした。

①下地処理(ブラスト)の研掃密度を通常の6割程度に低下させた場合

②塗装時の予熱温度を塗料の使用で定められた温度の9割程度にした場合

として試験材を製作した後、ピンホール試験を行った。結果を表3.2.1に示す。パラメータ①+②では土木学会基準(5個/m)を上回った。

表 3.2.1 ブラスト、予熱温度を変化させた塗装鉄筋のピンホール試験の結果

	正規の温度	やや低い温度
正規のブラスト	0.3 個/m	3.7 個/m
ブラストやや不良	4.3 個/m	7.3 個/m

※土木学会合格基準<sup>1)</sup>は5個/m以下

以上より、ブラスト処理、予熱温度のパラメータそれぞれが、ピンホール試験の結果に影響を与えることが伺える。またブラスト処理と予熱温度の両方を低下させた場合は、相乗的な影響がある。したがってこれら試験対象として塗装鉄筋を製作することとした。試験対象とした供試体を表3.2.2に示す。

表 3.2.2 試験対象とした供試体

		予熱温度	
		正規	やや低い
ブラスト	正規	N(2)	B(2)
	やや不良	A(2)	AB(3)

( )内は供試体製作数を示す。

試験対象とする塗装鉄筋に対して、土木学会「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針<sup>1)</sup>」に基づき、エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規準により表 3.2.3 に示す項目の試験を行った。

表 3.2.3 試験項目

試験の名称	基準	内 容
外観	JSCE-E 521-2003	目視観察
ピンホール	JSCE-E 512-2003	乾式・1000V
塗膜厚	JSCE-E 513-2003	平部にて表裏で 98 点を測定
耐衝撃性	JSCE-E 514-2003	1.8kg, タップ先φ9の円柱を17cm上から落錘
曲げ加工性	JSCE-E 515-2003	20℃×φ1.5r×180°
硬化性	JSCE-E 519-2003	硬度Fの鉛筆で引っかく

### 3.2.2 材料試験結果

#### 1) 外観・ピンホール・塗膜厚

付表 3.2.4 塗装鉄筋の外観、膜厚、ピンホール試験結果

No	長さ (mm)	外観	ピンホール		塗膜厚(μm)			判定
			発生数	発生数/長さ	平均	標準偏差	範囲外頻度 (%)	
A1	2000	塗膜が均一でたれ、突起、異物付着を認めない	6 個	3.0 個/m	206	21.0	4	合格
A2	〃	同上	7 個	3.5 個/m	212	26.3	10	合格
B1	〃	同上	5 個	2.5 個/m	205	20.4	7	合格
B2	〃	同上	3 個	1.5 個/m	212	23.5	9	合格
AB1	〃	同上	12 個	6.0 個/m	211	19.5	4	不合格
AB2	〃	同上	19 個	9.5 個/m	232	21.2	8	不合格
AB3	〃	同上	13 個	6.5 個/m	210	20.1	6	不合格
N1	〃	同上	0 個	0 個/m	217	27.0	4	合格
N2	〃	同上	1 個	0.5 個/m	221	29.8	10	合格

(適用) 1.ピンホール … 5 個/m 以下

2.塗膜厚 … 塗膜厚が 220 ± 20 μm の範囲で、かつ測定値の 90%が範囲内にあること  
測定点は表裏で各 98 点ずつ測定した

試験結果を表 3.2.4 に示す。外観と塗膜厚は規準の範囲内で合格した。ピンホールは AB1、2、3 の 3 本で基準値の範囲外であった。その他は範囲内で合格していた。

## 2) 耐衝撃性

試験結果を表 3.2.5 に示す。試験では各塗装条件 1 種類につき 1 本の鉄筋で 5 ヶ所の打刻を行った。すべての試験材で耐衝撃性は規準を満足していた。

表 3.2.5 耐衝撃性試験結果

塗装条件	基準					判定
	1	2	3	4	5	
A	○	○	○	○	○	合格
B	○	○	○	○	○	合格
AB	○	○	○	○	○	合格
N	○	○	○	○	○	合格

(摘要)○…打刻部に塗膜のわれは認められなかった。

## 3) 曲げ加工性

試験結果を表 3.2.6 に示す。試験では各塗装条件 1 種類につき 5 本の鉄筋を 20 °C × 1.5r で曲げ加工した。塗装条件 A ではクラック発生率が規準値の 20% を超えた。その他は規準値を満たしていた。

表 3.2.6 曲げ加工性試験結果

塗装条件	基準					クラック発生率	判定
	1	2	3	4	5		
A	D12	D1	D1	D4	D3	60 (%)	不合格
B	○	○	○	○	○	0	合格
AB	○	○	○	○	○	0	合格
N	D1	○	○	○	○	0	合格

(摘要)1.クラック発生数にはクラックのタイプ(A,B,C,D,E)およびその発生数を脇に添えて示した。

2.クラック発生率 20%以下であること

## 4) 硬化性

試験結果を表 3.2.7 に示す。試験では各塗装条件 1 種類につき 5 本の鉄筋を硬度 F の鉛筆で引っかいた。すべての試験材で耐衝撃性は規準を満足していた。

表 3.2.7 硬化性試験結果

塗装条件	基準					判定
	1	2	3	4	5	
A	○	○	○	○	○	合格
B	○	○	○	○	○	合格
AB	○	○	○	○	○	合格
N	○	○	○	○	○	合格

(摘要)○…鉛筆 F で塗膜に傷が付かない

## 5)まとめ

試験結果一覧を表 3.2.8 に示す。実構造物に塗装鉄筋を適用する場合、ブラストをやや不良とした A は曲げ加工性試験で、ブラストと予熱温度をやや不良とした AB はピンホール試験で除外できることとなった。次節の疲労試験では、塗装鉄筋単体の試験結果が合格となった B については 2 本とも、A、AB については 1 本ずつ疲労試験を実施し、塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の疲労耐久性を確認する。また比較のため N についても 1 本疲労試験を実施する。

表 3.2.8 試験結果一覧

塗装条件	試験項目					総合判定
	ピンホール	塗膜厚	耐衝撃性	曲げ加工性	硬化性	
A	○	○	○	×	○	不合格
B	○	○	○	○	○	合格
AB	×	○	○	○	○	不合格
N	○	○	○	○	○	合格

(摘要)○…各試験で合格

×…各試験で不合格

試験に先立って、塗膜厚さを測定した。図 3.2.9 に塗膜厚の測定位置を示す。一断面で 4 点測定することとし、[b]および[d]は節とリブの交差部の片側のみとする。なお、試験に供する塗装鉄筋のうち、各タイプ毎に 1 本は全長に渡って測定することとし、その他はひびわれ発生部付近についてのみ測定することとした。

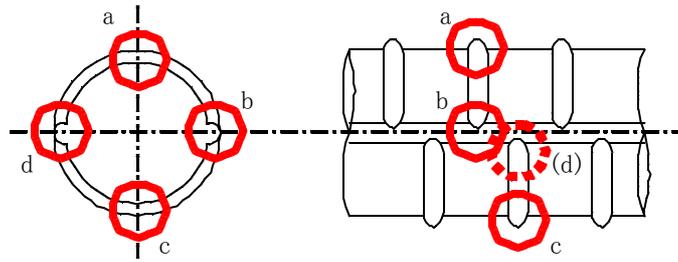


図 3.2.9(a) 塗膜厚の測定位置(鉄筋の断面方向)

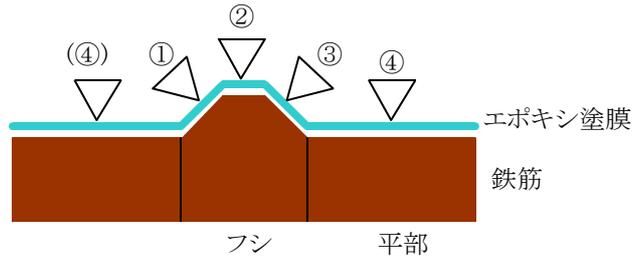


図 3.2.9(b) 塗膜厚の測定位置(鉄筋の軸方向)

### 3.3 密着性が劣るエポキシ樹脂塗装鉄筋の疲労試験

#### 3.3.1 供試体

##### 1) 供試体形状・寸法

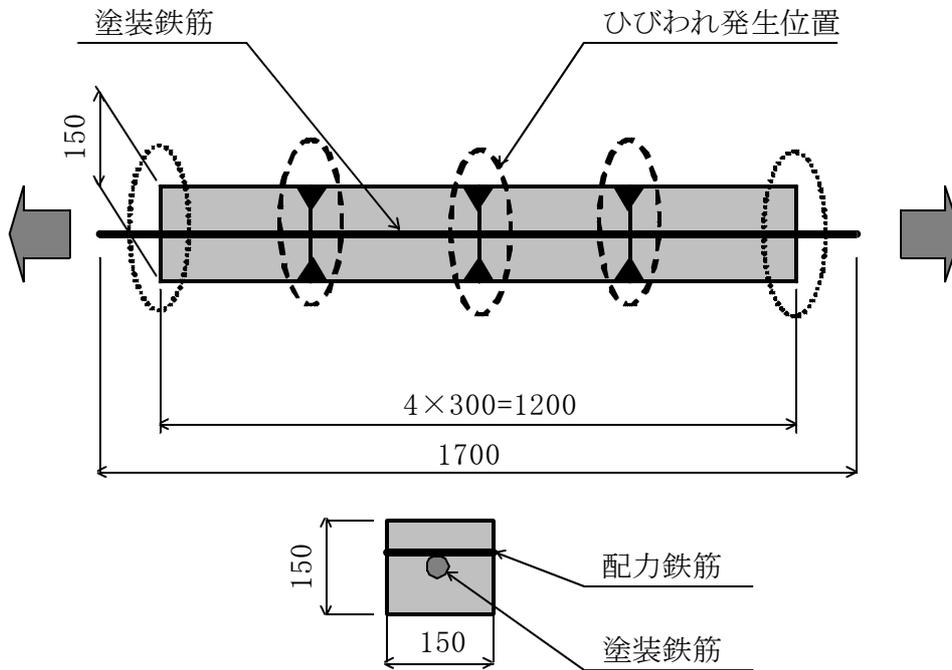


図 3.3.1 供試体形状

試験形態は2章で検討したものを準用することとする。ただし、試験機の都合上、塗装

鉄筋長は 0.1m 短い 1.7m とした。供試体の形状寸法は図 3.3.1 に示すとおりとし、使用する鉄筋は 3.2 で検討した塗膜の密着性が劣るエポキシ樹脂塗装鉄筋 5 本とする(表 3.3.1)。試験に先立って表 3.3.1 に示す材料試験を実施した。

表 3.3.1 材料試験

材 料	試験内容	試験方法	実 施 時 期	試験体数	備 考
コンクリート	圧縮試験	JISA1108	打設 7 日後	3 試料	
			最初の試験開始日	3 試料	材令 18 日
			打設 28 日後	3 試料	
			最終の試験開始日	3 試料	材令 77 日
鉄筋	引張試験	JISZ2241	疲労試験実施前	3 試料	

## 2) 載荷ケース

表 3.3.2 に実験に用いた供試体の名称と、載荷回数、パラメータを示す。

載荷終了後、塗装鉄筋を切り出し、供試体の載荷側とひびわれ部に、外観目視を行い、疲労の影響を確認する。なお、2 章で疲労試験後に実施した耐食性試験は、供試体解体の結果、塗膜の剥がれ具合を考慮し、実施しないこととした。

表 3.3.2 実験に用いた供試体の名称と載荷回数

No.	名 称	載荷回数	パラメータ
1	A1	200 万回	下地処理やや不良
2	B1	200 万回	予熱温度やや低い
3	AB1	200 万回	下地処理やや不良、予熱温度やや低い
4	N1	200 万回	正規
5	B2	200 万回	予熱温度やや低い

### 3.3.2 試験方法

試験は住友金属テクノロジー株式会社の 60tf・90tf 載荷試験機を用いて行った。写真 3.3.1 に試験装置を示す。

載荷は荷重が小さいため、繰返し荷重の上限である  $P=35.7\text{kN}$  ( $\sigma_s = 180\text{N/mm}^2$ ) まで計測なしで一旦上げ、 $N=1$  回の計測とし、その後は所定回数載荷後、いったん  $0\text{kN}$  まで除荷した後に、計測を行った。

また、疲労載荷は荷重制御により、載荷の波形は正弦波により、試験器の能力、供試体の振動状況、計測時刻を考慮して最大載荷速度は  $8\text{Hz}$  とした。

図 3.3.2 に載荷プログラムを示す。

また載荷段階毎の測定項目は一般的な塗装鉄筋の疲労試験と同様、表 2.2.3 にしたがった。また測定方法は表 2.2.4 に示したとおりである。



写真 3.3.1 載荷装置

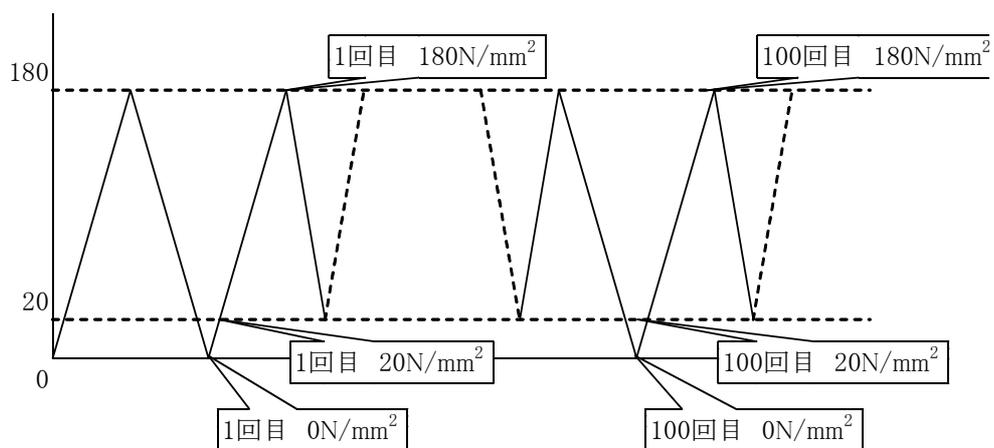


図 3.3.2 載荷プログラム

所定回数の載荷完了後、試験装置より供試体を撤去し、解体を行った。解体は、塗装鉄筋に損傷が生じないように、供試体にカッターにより切込みを入れた後に、アムスラー試験機により側面から載荷し割裂破壊を生じさせた。

### 3.3.3 疲労試験結果

#### 1) 変位

変位計の設置位置は 2 章で検討した図 2.2.5 と同じとする。コンクリート部 (D2 ~ D5) の平均変位を図 3.3.3 に示す。

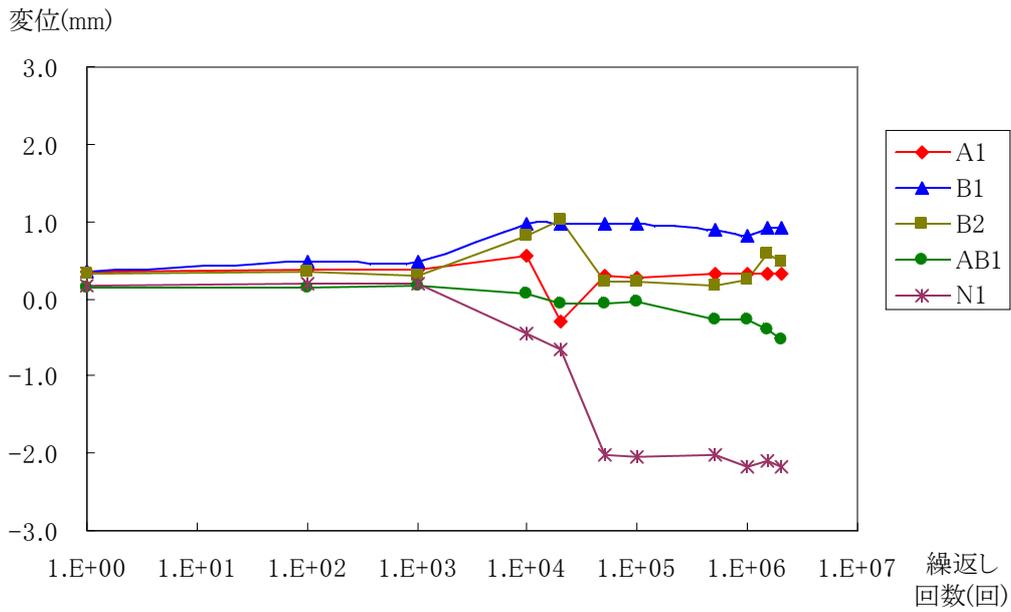


図 3.3.3(a) コンクリート部の平均変位

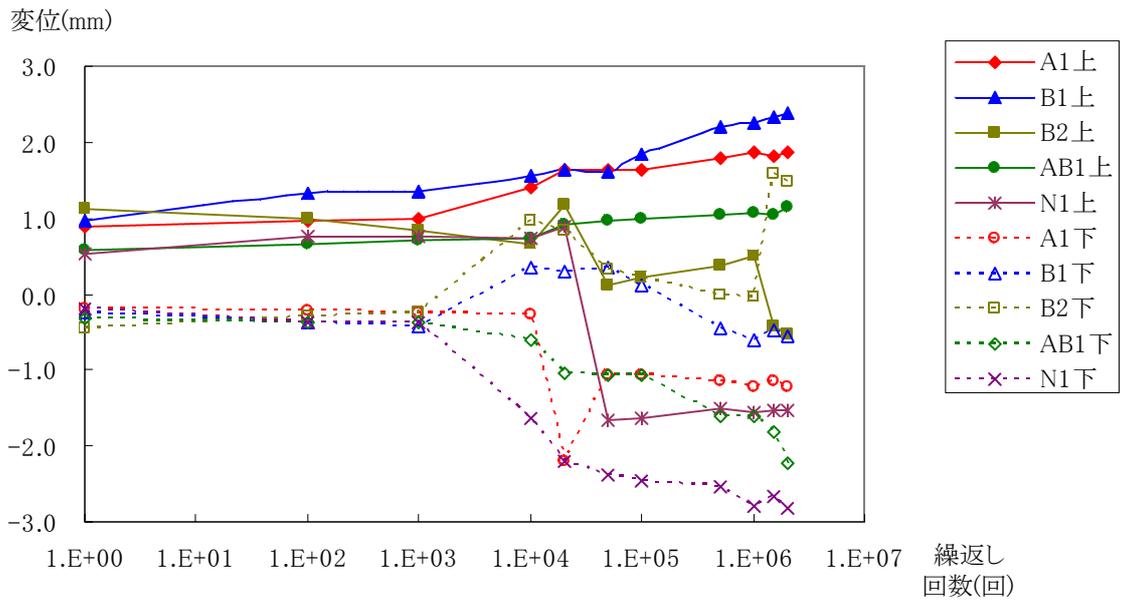


図 3.3.3(b) コンクリート部の平均変位(上側、下側)

A1、B1、AB1 については、载荷回数が増えるに伴い、上側、下側とも変位の絶対値が増加する傾向が現れた。B2 については、10,000 回で下 c 面 (D5) が、50,000 回で上 c 面 (D3) がドリフト(時間経過に伴う変位計の著しい値の変化)し、1,500,000 回で下 c 面 (D5) が再度ドリフトしている。また N1 については、50,000 回で上 c 面 (D3) がドリフトしている。これらドリフトにより、測定値に乱れが生じているが、これらを除けば、変位の絶対値は増加している。特に 10,000 ~ 50,000 回程度に急激に変位が増加しており、この時点で供

試体の挙動が変化した可能性がある。

各切り欠きにおけるひびわれ発生時とすべての面のひびわれ貫通時の載荷回数を表 3.3.3 に示す。

表 3.3.3 各切り欠きにおけるひびわれ発生時、貫通時の載荷回数

		A1	B1	B2	AB1	N1
ひびわれ発生	切欠 1	1	1	1	1	1
	切欠 2	1	1	1	1	1
	切欠 3	1	1	1	1	1
ひびわれ貫通	切欠 1	1,000	100	10,000	1,000	100
	切欠 2	1	100	20,000	20,000	1
	切欠 3	500,000	100	20,000	20,000	100

また、鉄筋の抜け出し量を式(2.2.1)により求めた。結果を図 3.3.4 に示す。

ドリフトが生じていない A1、B1 については、載荷回数にしたがって、鉄筋の抜け出し量が増加している。B2 はドリフトが生じた 10,000 回、50,000 回、1,500,000 回を除けば鉄筋の抜け出し量は漸増傾向にある。AB1 は上(D1)が 20,000 回でドリフトしているが、全体として漸増傾向にある。N1 もドリフトが生じた 50,000 回を除けば鉄筋の抜け出し量は漸増傾向にある。以上からすべての供試体において、鉄筋の抜け出し量は漸増傾向であると言える。ドリフトの影響があるため明確に現れていないが、10,000 ~ 50,000 回程度で鉄筋の抜け出し量の増加があり、解体した供試体に塗料が付着していることと合わせて、塗膜とコンクリートとの間でこすれが生じていると考えられる。

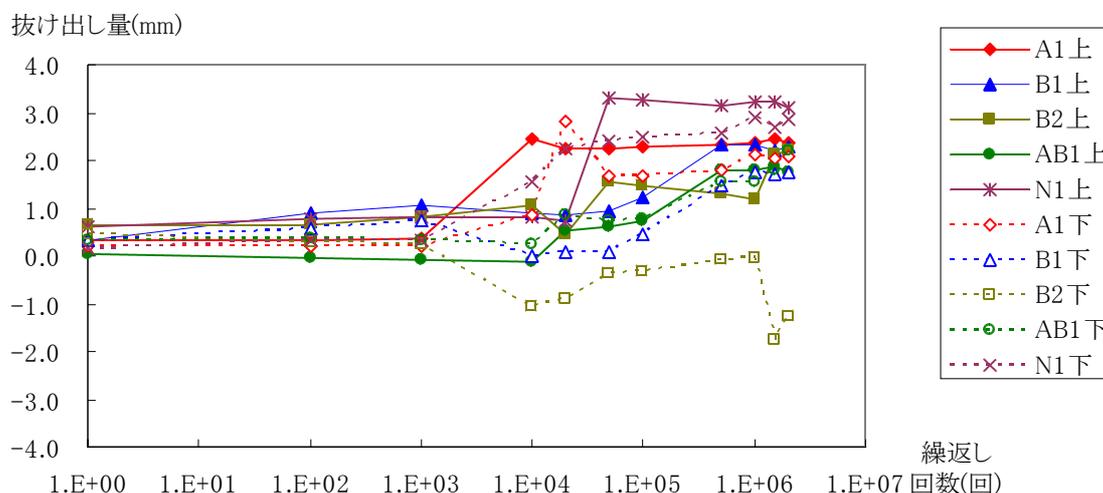


図 3.3.4(a) 鉄筋の抜け出し量 ( $D_u, D_t$ )

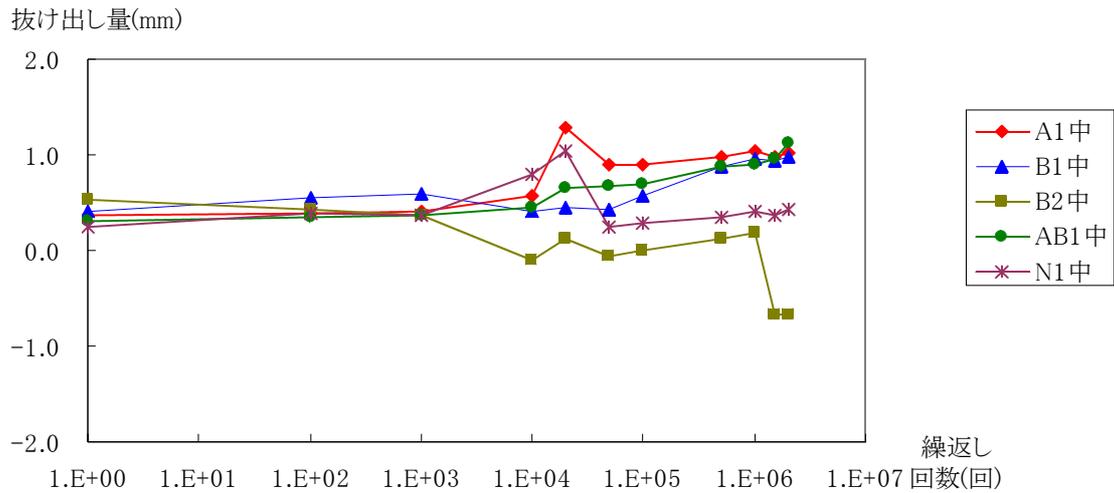


図 3.3.4(b) 鉄筋の抜け出し量(Dc)

## 2) 鉄筋ひずみ

ひずみゲージの設置位置は 2 章で検討した図 2.2.8 と同じとする。図 3.3.5 に 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみの変動を示す。

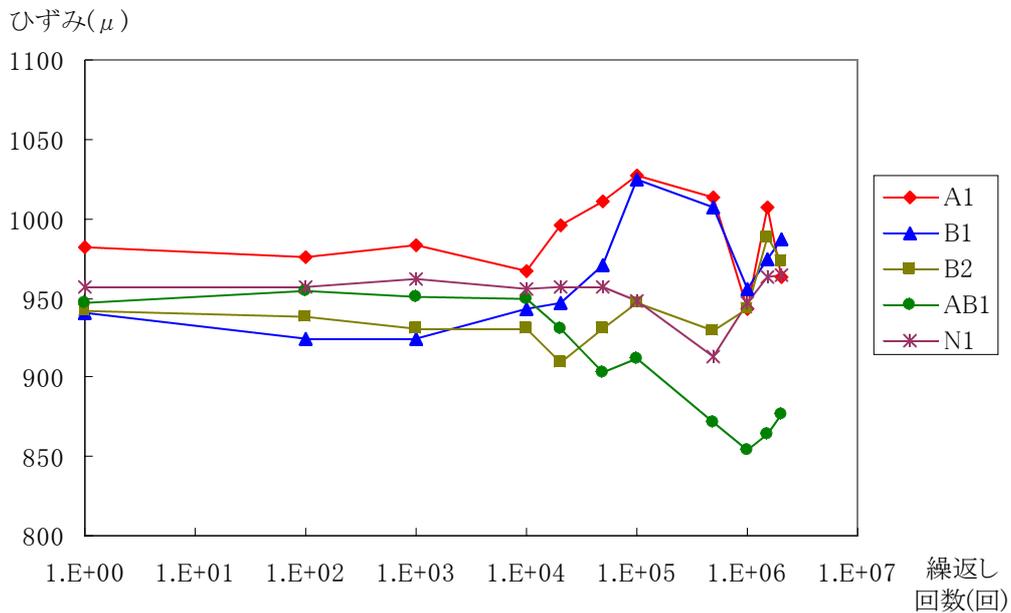


図 3.3.5 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時の平均ひずみ

鉄筋ひずみは明確な違いは確認できない。ただし今回実施した塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋のひずみは、2.2.3 2) で述べた標準的な塗装鉄筋の疲労試験と比較して、20,000 回以降の変動幅が大きい。これら変動幅は各供試体毎に上下で同じような傾向を示している。また 0N/mm<sup>2</sup> 時の残留ひずみも同様の傾向を示しており、載荷回数毎に何らかの作用があ

ったと考えられる。特に载荷回数が増加するごとに、左右でのひずみ差が大きくなる傾向があり、曲げ等が生じている可能性は否定できない。左右のひずみ差は AB1 で顕著に現れている。

### 3) ひびわれ幅

コンタクトゲージ、クラックスケールの計測位置は2章で検討した図 2.2.10 と同じとする。図 3.3.6 にコンタクトゲージによる平均ひびわれ幅を示す。ひびわれ発生後、ばらつきはあるものの、平均ひびわれ幅はすべて増加傾向を示した。

A1 について、Cc1 と Cc2 において 1,000,000 回までは計測値が 0mm を下回っている。これは供試体に曲げが生じているためと考えられる。

B2 について、Ca2 が 500,000 回、1,000,000 回の測定値で負の値となっている。このとき何らかの変状が生じていると考えられる。

2.2.3 3) で述べた標準的な塗装鉄筋の疲労試験と比較して、平均ひびわれ幅が大きい。健全な状態の N1 供試体では、平均ひびわれ幅が 0.2mm 程度と、標準的な塗装鉄筋の疲労試験による結果と差がないことから、N1 以外の供試体では塗膜の密着性が劣るため、鉄筋とコンクリートの付着力がやや低下しているとも考えられる。

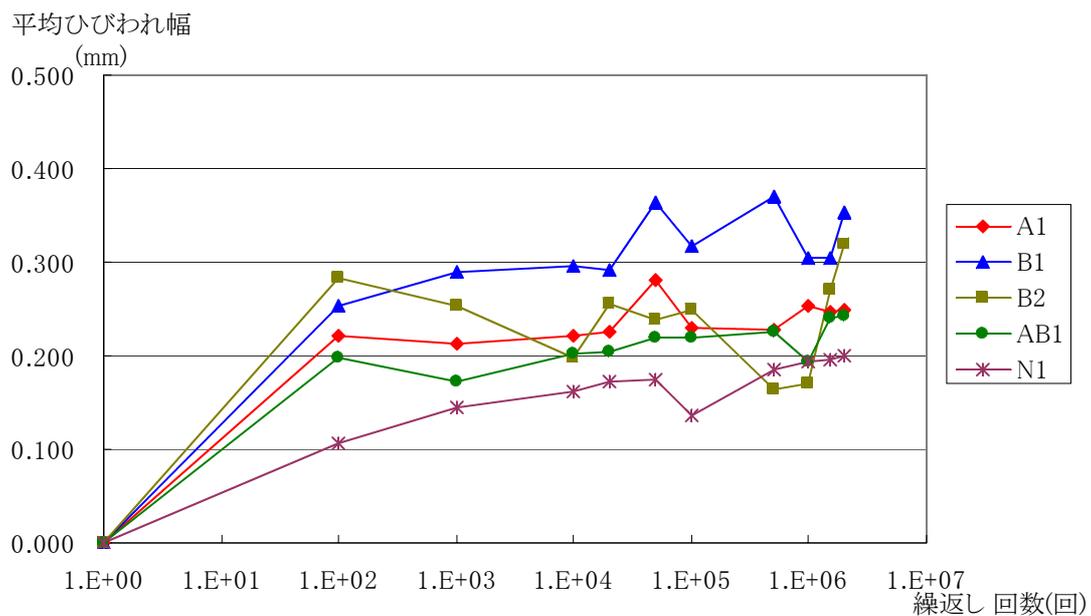


図 3.3.6 コンタクトゲージによる平均ひびわれ幅

図 3.3.7 にクラックスケールによる平均ひびわれ幅を示す。クラックスケールによる計測では、平均ひびわれ幅に明確な傾向は捉えられなかった。ただし全供試体の平均ひびわれ幅について、特に急激な進展等は確認されていない。

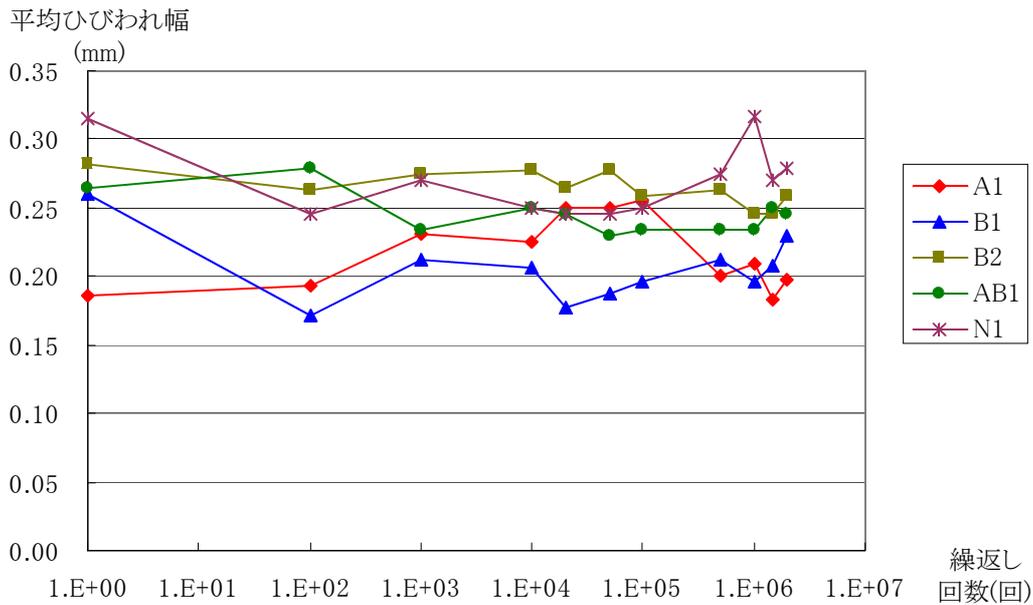


図 3.3.7 クラックスケールによる平均ひびわれ幅

A1 について、コンタクトゲージでは 1,000,000 回まで負の測定値であって切欠 1、切欠 2 の c 面側は、Sb1L、Sd1R、Sb2L、Sd2R が対応するが、いずれも小さな計測値しか出ていない。一方で同一切欠の反対側ではある程度のひびわれ幅が計測されている。このことから、曲げによる影響があると言える。

2.2.3 3) で述べた標準的な塗装鉄筋の疲労試験と比較して、平均ひびわれ幅が大きい。これは標準的な塗装鉄筋の疲労試験では、1 クラックにつき測定点を 1 点ないしは 2 点としていたのに対し今回はすべて 2 点計測としていること以外にも、各測点の計測値が大きいことが原因である。ただクラックスケールによる計測では、健全な状態の N1 供試体でも、標準的な塗装鉄筋の疲労試験による結果より大きめの計測値であるため、今回の試験の特性とも言える。クラックスケールによる計測は目視によるものであり、定量的な比較評価は難しい。

#### 4) 塗膜厚

疲労試験終了後の供試体を解体した後、塗膜の詳細膜厚調査を実施した。測定位置は図 3.2.9 に示したとおりである。測定にあたっては、膜厚計を数回当てて安定した値を記録することとしている。しかし試験前と試験後で確実に同じ位置で測定することは不可能であり、同じ測定位置でも膜厚に違いは生じる。したがって同一ポイントでの増減の比較はあまり意味がなく、全体を評価できる累積頻度分布や平均値を用いて評価することとした。

図 3.3.8 に各タイプ別の塗膜厚の累積頻度分布を示す。

累積頻度分布からは、A1 供試体については塗膜厚が減少する方向へシフトしているが、特に顕著な傾向は得られなかった。

土木学会の「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針<sup>1)</sup>」による塗膜厚の測点は、本計測では a-4、c-4 となる。両者の平均値、標準偏差、最小値、下

限值(180  $\mu\text{m}$ )、下限値の超過率を表 3.3.5 に示す。試験前後で特に大きな傾向は現れていない。

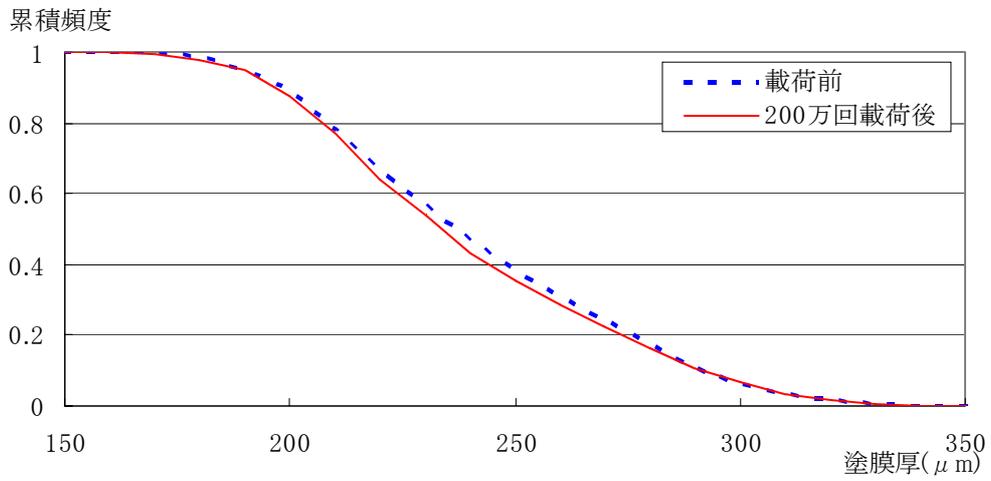


図 3.3.8 (a) 塗膜厚の累積頻度分布 (A1)

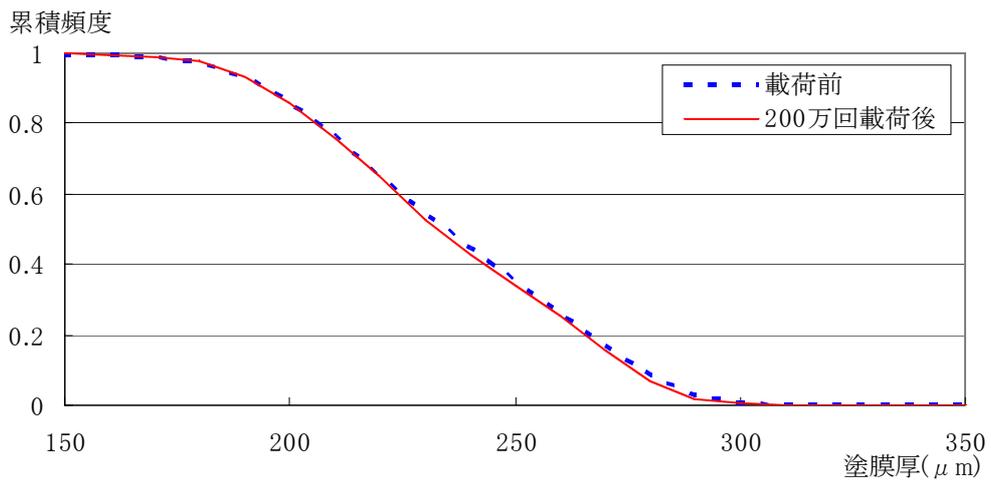


図 3.3.8 (b) 塗膜厚の累積頻度分布 (B1)

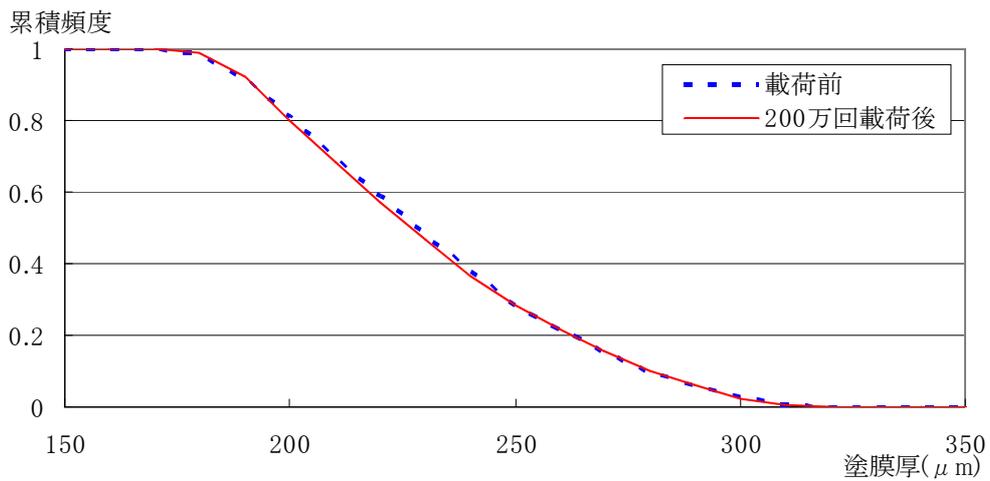


図 3.3.8(c) 塗膜厚の累積頻度分布(B2)

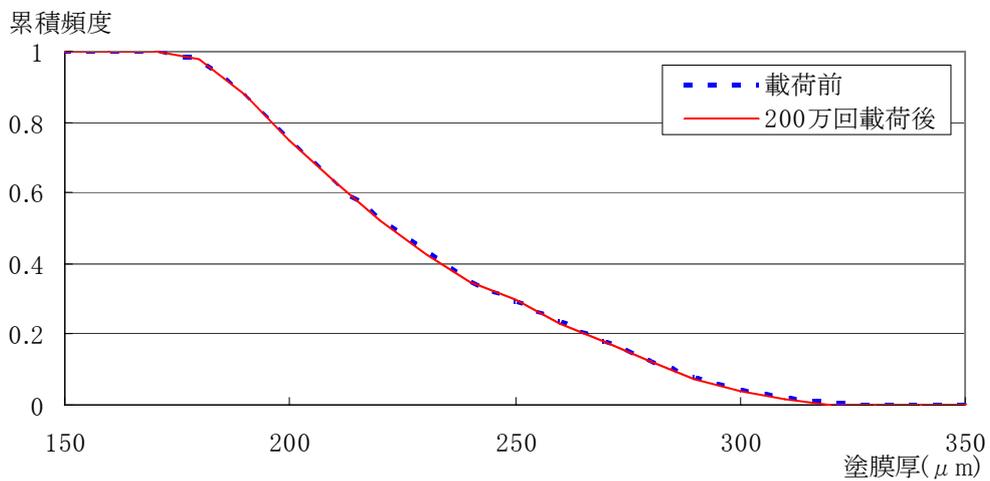


図 3.3.8(d) 塗膜厚の累積頻度分布(AB1)

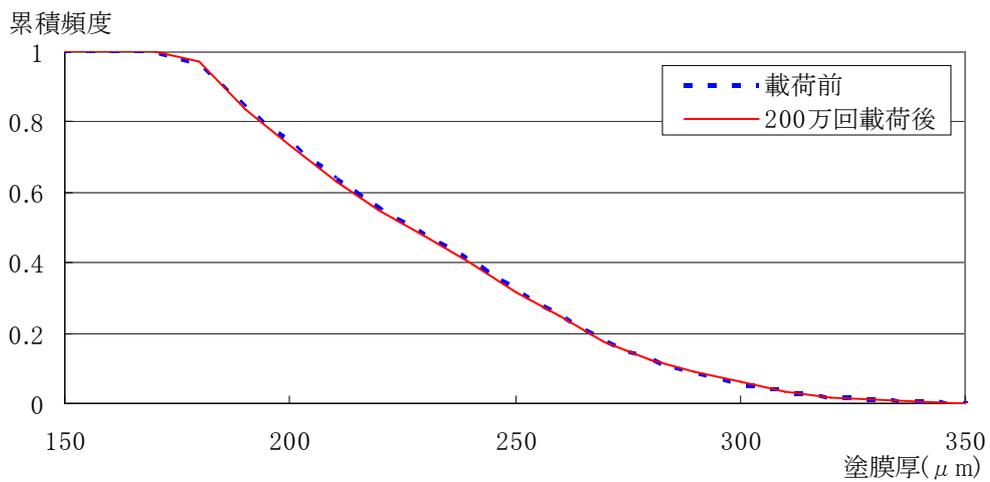


図 3.3.8(e) 塗膜厚の累積頻度分布(N1)

表 3.3.5 一般的な塗膜厚計測点における平均値、標準偏差の比較(単位:  $\mu\text{m}$ )

		A1		B1		B2		AB1		N1	
		試験前	試験後								
a-4 (上面)	平均値	215.7	216.7	210.9	208.6	219.5	220.5	215.1	215.5	213.7	213.3
	標準偏差	21.6	23.4	19.0	18.0	21.8	23.7	19.4	19.9	27.2	26.7
	最小値	176.0	172.0	170.0	170.0	185.0	188.0	183.0	180.0	175.0	176.0
	下限値以下の数	1	6	3	4	0	0	0	0	6	3
	下限値の超過率	0.8%	4.9%	2.5%	3.3%	0%	0%	0%	0%	4.9%	2.5%
c-4 (下面)	平均値	210.7	211.9	211.0	208.8	215.5	214.6	220.5	220.7	210.8	211.2
	標準偏差	15.8	16.5	17.5	16.3	18.9	18.8	21.1	21.1	23.3	23.3
	最小値	170.0	165.0	171.0	171.0	179.0	179.0	175.0	176.0	171.0	176.0
	下限値以下の数	3	6	7	7	1	1	2	2	5	3
	下限値の超過率	2.5%	5.0%	5.9%	5.9%	1.6%	1.6%	1.7%	1.7%	4.1%	2.5%

図 3.3.9 はコンタクトゲージによるひびわれ幅(載荷終了時)とそのひびわれ付近の塗膜厚との関係である。塗膜厚は各ひびわれ位置から片側 10 点(計 20 点)の平均値と比較することとし、鉄筋の軸方向の測定位置ごとに比較したが、大きな相関はなかった。図 3.3.10 はコンタクトゲージによるひびわれ幅(載荷終了時)とそのひびわれ付近の塗膜厚の減少量との比較である。①、③、④ではひびわれ幅が大きくなるにしたがって、塗膜厚が減少する傾向が少し見られた。これは 2.5 で述べたフシ部の付着切れの影響が考えられるが、データ数が少なく明確な評価は困難である。

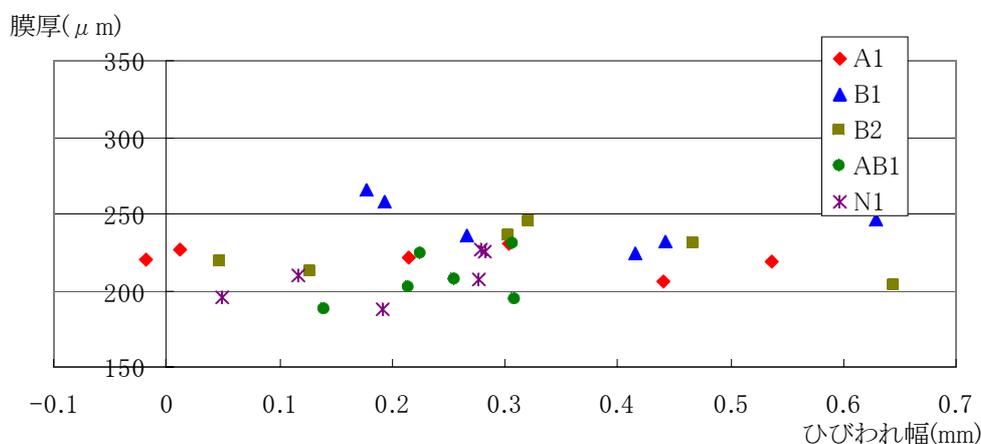


図 3.3.9(a) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係(a ①,c ①)

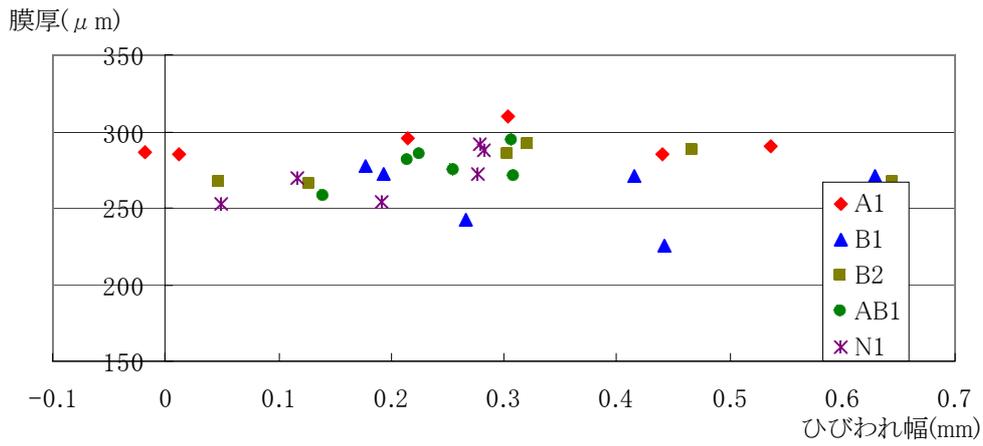


図 3.3.9(b) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係 (a ②,c ②)

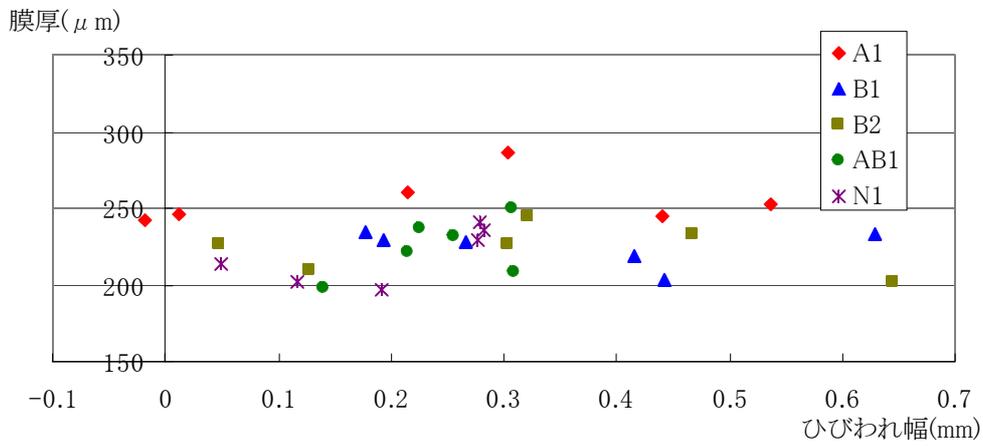


図 3.3.9(c) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係 (a ③,c ③)

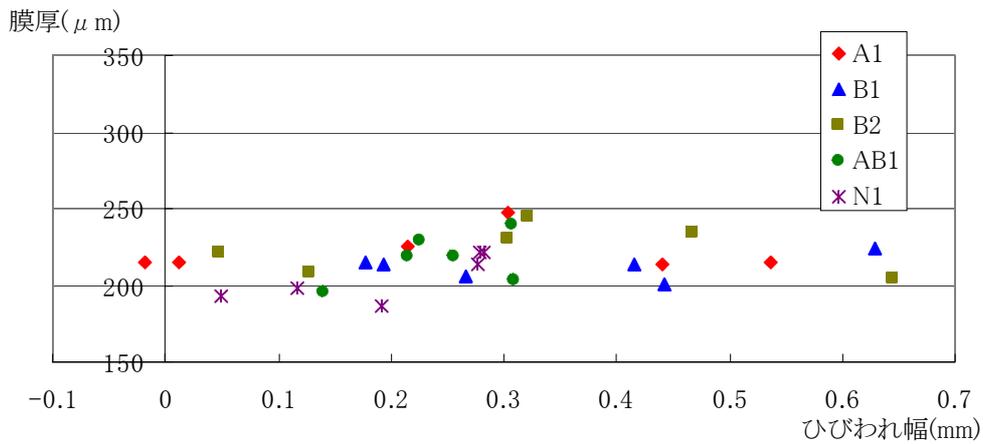


図 3.3.9(d) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚の関係 (a ④,c ④)

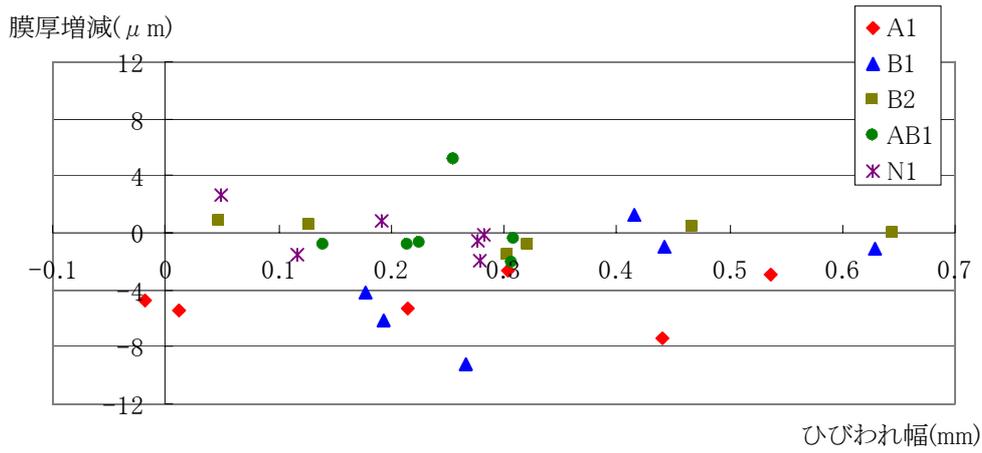


図 3.3.10(a) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚減少量との関係 (a ①,c ①)

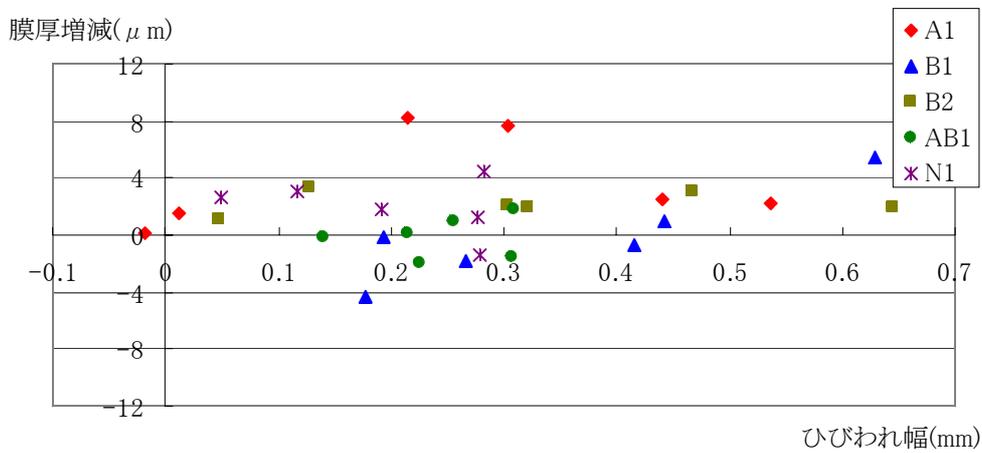


図 3.3.10(b) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚減少量との関係 (a ②,c ②)

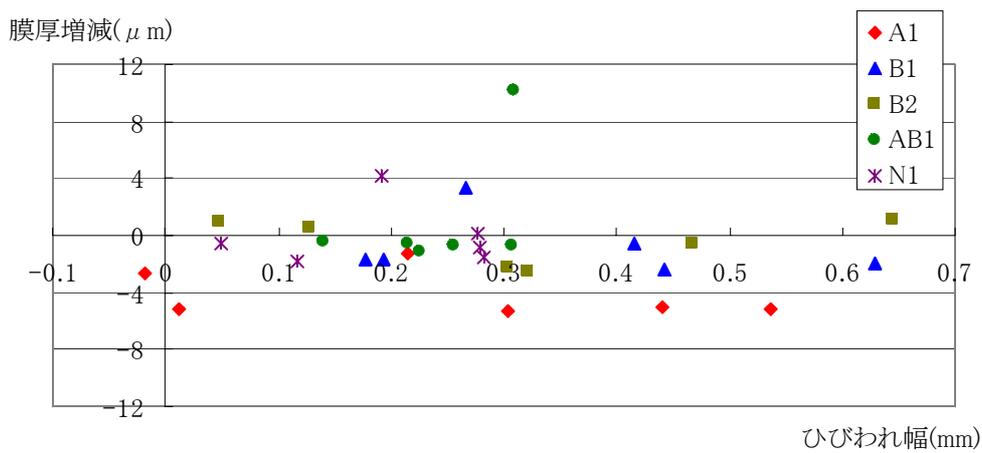


図 3.3.10(c) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚減少量との関係 (a ③,c ③)

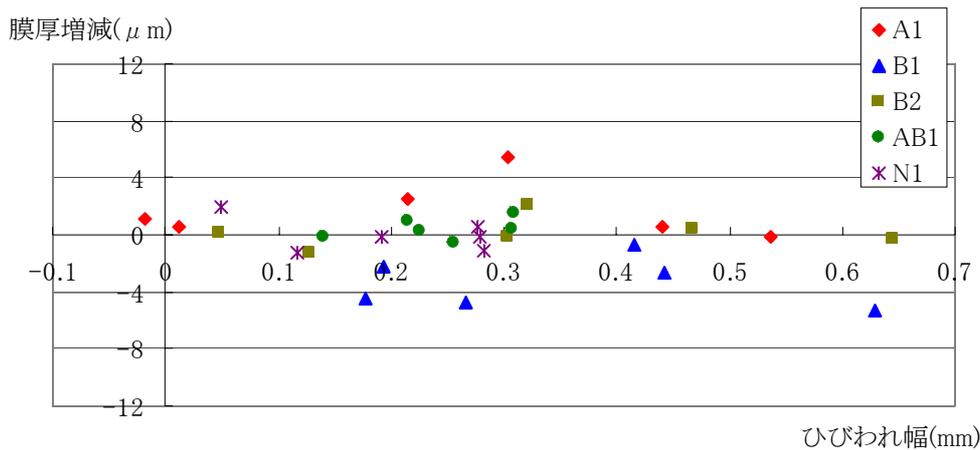


図 3.3.10(d) コンタクトゲージによるひびわれ幅と塗膜厚減少量との関係 (a)④,c)④

### 3.4 まとめ

表 3.4.1 に 2 章で実施した疲労試験と本章で実施した塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の疲労試験の相違点を示す。

表 3.4.1 試験の相違点

		疲労試験 (2 章)	塗膜の密着性が劣る疲労試験 (3 章)
試験機		土木研究所所有	住友金属テクノロジー所有
塗装鉄筋	塗料	一般的な仕様	同左
	塗装方法	一般的な仕様	ブラスト、焼付温度を変化
	製作からの期間	製作してから試験までの期間が長い	製作してから試験までの期間が短い
	初期塗膜厚さ	不明	既知(試験前に確認)
	鉄筋径	D16	同左
	長さ	1800mm	1700mm
	引張強度	368N/mm <sup>2</sup>	359N/mm <sup>2</sup>
	ジグ	鉄筋端部はアルミ加工	鉄筋端部はアルミ巻きのみ
供試体	形状	15 × 15 × 120	同左
	コンクリートの配合	24-8-20-H	同左
	養生期間	20 日後試験	18 日後試験
	圧縮強度(材例 7 日)	33.4N/mm <sup>2</sup>	26.3N/mm <sup>2</sup>
	製作場所	関東	近畿
試験	载荷速度	6Hz	8Hz
	試験日程	1 ~ 3 月	2 ~ 4 月
	測定	試験後のみ塗膜厚さを測定	試験前後で塗膜厚さを測定

健全な供試体と比較して、ブラスト処理をやや低下させた A シリーズの場合、疲労試験により塗膜の下限値以下の測点数が増え、全体の平均値が減少することとなった。焼付温度を低下させた B シリーズ、ブラスト処理、焼付温度とも低下させた AB シリーズ、

標準的な N シリーズの差は、今回の疲労試験では明確にはならなかった。

ピンホール試験の結果から、A シリーズ、B シリーズはいずれも耐久性に対して何らかの問題が生じることは否定できない。さらに AB シリーズはピンホール数が合格範囲内に収まっていない。しかし今回の試験結果から、ピンホールの数が直接、疲労耐久性に与える影響はあまり支配的ではなかった。一方で、コンタクトゲージによる計測ではひびわれ幅が大きくなっている傾向があり、鉄筋とコンクリートの付着力がやや低下しているとも考えられる。これについては、付着力に着目した実験等を実施し、確認する必要があると考えられる。

曲げ加工性試験の結果から、A シリーズは不合格であり、今回の試験結果では最も塗膜厚の平均値が減少した。曲げ加工性が落ちるような膜の不健全な物は、それなりに疲労耐久性とも関連があると考えられる。ただし曲げ試験での割れが生じやすいということは、繰り返し荷重が作用した場合に、必ずしもコンクリートと塗膜の相対移動が大きくなっているとは限らないため、今後塗膜割れと疲労耐久性の関連についても確認する必要があると考えられる。

また、供試体解体の結果、A シリーズ、AB シリーズでは特に供試体端部で著しい塗膜厚の低下が見られ、ひびわれ発生位置とは無関係の範囲でも塗膜厚の低下が見られるものもあった。図 2.5.1 に示した位置以外でも付着切れが発生している可能性、鉄筋と塗膜の付着力の低下が原因である可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針，2003.11.

## 付録-1 材料試験結果

### 1. コンクリートの配合条件

配合名称：24-8-20H(JIS 配合)の配合条件を示す。

付表 1.1.1 コンクリートの配合条件

項目	条件	備考
最大骨材寸法	20mm	
設計基準強度	24N/mm <sup>2</sup>	材例 28 日
空気量	4.5 ± 1.5%	
スランプ	8 ± 2.5cm	

付表 1.1.2 使用材料

種類		記号	産地およびメーカー	物性および商品名
セメント	普通ポルトランドセメント	N	住友大阪セメント(株)	密度;3.13g/cm <sup>3</sup>
細骨材	砂	S1	千葉県富津産	表乾比重;2.58,吸水率;2.50%, FM=2.10
	砕砂	S2	高知県鳥形山産	表乾比重;2.66,吸水率;1.05%, FM=3.40
粗骨材	砕石 2005	G	高知県鳥形山産	最大寸法;20mm,表乾比重;2.70, 吸水率;0.460%,実積率;-%, FM=6.60
混和剤	AE 減水剤	AE	(株)エヌエムビー	ポゾリス 78S(T)

付表 1.1.3 示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					混和剤 Cx (%)	備考
		水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G		
				S1	S2			
54.0	44.5	161	298	482	330	1048	1.0	24-8-20H

### 2. コンクリートの材料試験結果

フレッシュ試験結果を表 1.2.1 に示す。

付表 1.2.1 フレッシュ試験結果

項目	備考
空気量	4.0%
スランプ	8.0cm
コンクリート温度	15.9℃

材齢 6 日および 28 日、および塗装鉄筋の疲労試験実施後の圧縮強度試験、静弾性強度試験、引張強度試験の結果を次頁以降に示す。

表. 圧縮強度試験結果

供試体 記号	平均直径	平均高さ	質量	密度	最大荷重	圧縮強度 <sup>※</sup>	補正後の <sup>※2</sup>	補正係数	供試体内の 鉄筋本数 (本・径)
	d (mm)	h (mm)				W (g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )		
1	100.0	197.7	3700	2.20	262	33.4	33.4	—	なし
2	100.0	195.3	3640	2.14	264	33.6	33.6	—	なし
3	100.0	198.0	3700	2.21	260	33.1	33.1	—	なし
平均	—	—	—	2.18	—	33.4	33.4	—	—

注)試験は、JIS A 1108-1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して行った。

なお、試験機の誤差により±1%以内の誤差を含む。

※1: 圧縮強度 $f_c$ は次式にて算定した。

$$f_c = \frac{P}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} \times 10^3$$

ここに、  
P: 最大荷重(kN)  
d: 供試体の直径(mm)

※2: 補正後の圧縮強度は、供試体の直径と高さの比が1.0を上回り、1.50より小さい場合に、補正係数を乗じて直径の2倍の高さをもつ供試体強度に換算した値を示す。ただし、補正後の圧縮強度が40N/mm<sup>2</sup>を上回る場合には、圧縮強度の補正は行わない。

表. 静弾性係数試験結果

供試体 記号	応力 (N/mm <sup>2</sup> )			ひずみ ( $\mu$ )			静弾性係数 <sup>※3</sup> (×kN/mm <sup>2</sup> )	備考
	S1	S2	S1・S2	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\epsilon_1 \cdot \epsilon_2$	E1	
1	11.13	1.72	9.41	360	50	310	30.4	次頁参照
2	11.21	1.76	9.45	358	50	308	30.7	
3	11.07	1.76	9.31	355	50	305	30.5	
平均	—	—	—	—	—	—	30.5	

注)試験は、JIS A1149-2001「コンクリートの静弾性係数試験方法」に準拠してひずみゲージ法により行った。

※3: 静弾性係数Eは次式にて算定した。

$$E1 = \frac{S1 - S2}{\epsilon_1 - \epsilon_2}$$

ここに、  
E1: 単調増加荷重により求めた静弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)  
S1: 最大荷重の1/3に相当する応力(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\epsilon_1$ : 応力S1によって生ずるひずみ  
S2: 通常、50×10<sup>-6</sup>(ひずみ $\epsilon_2$ )のときに生ずる応力(N/mm<sup>2</sup>)  
 $\epsilon_2$ : 通常、50×10<sup>-6</sup>(応力S2によって生ずるひずみ)

表. 引張強度試験結果

供試体 記号	平均直径	平均高さ	最大荷重	引張強度 <sup>※4</sup>	備考
	d (mm)	h (mm)		P (kN)	
1	100.0	200.8	90	2.85	
2	100.0	200.5	92	2.92	
3	100.0	200.3	84	2.67	
平均	—	—	—	2.82	

注)試験は、JIS A 1113-1999「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に準拠して行った。

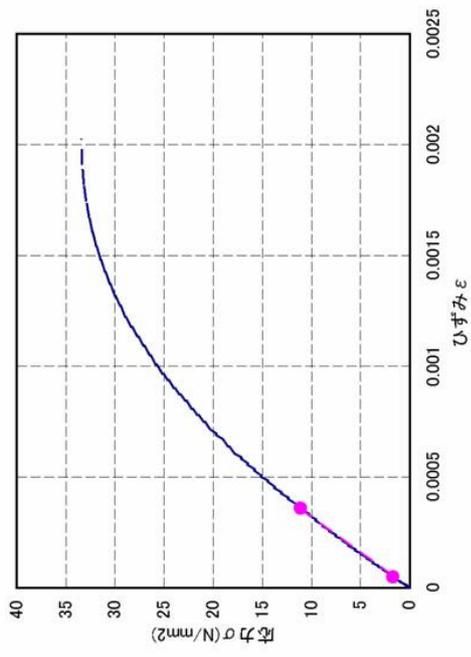
※4: 引張強度 $\sigma_t$ は次式にて算定した。

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi d \ell}$$

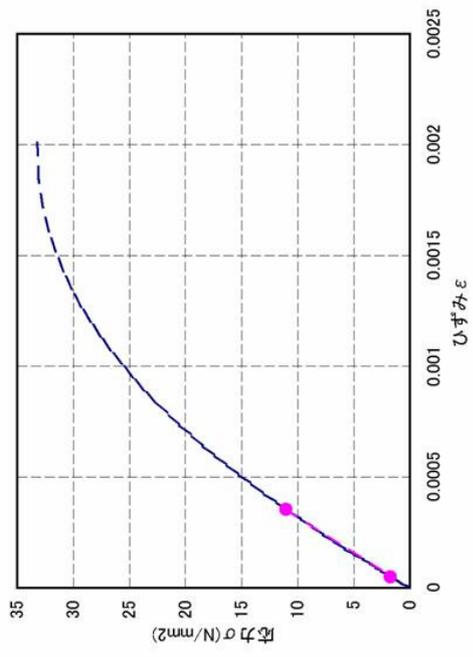
ここに、  
 $\sigma_t$ : 引張強度(N/mm<sup>2</sup>)  
P: 最大荷重(N)  
d: 供試体の直径(mm)  
 $\ell$ : 供試体の長さ(mm)

添付資料-1 静弾性係数試験結果 (応力-ひずみ曲線)

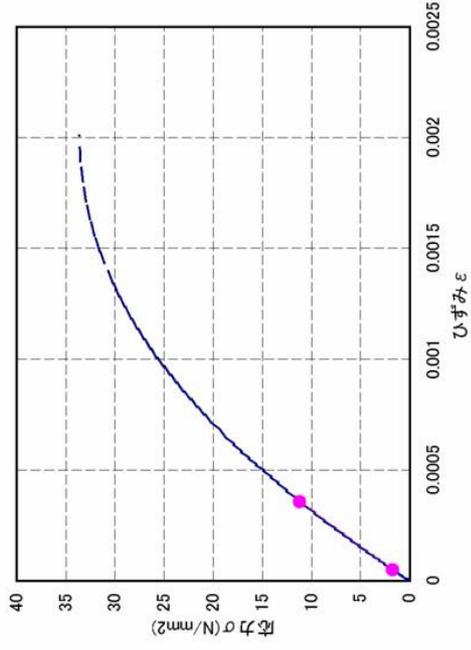
No. 1



No. 3



No. 2



添付資料-2 写真

圧縮強度試験

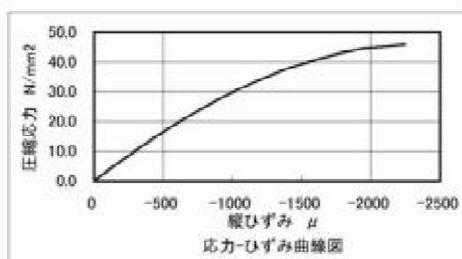


引張強度試験



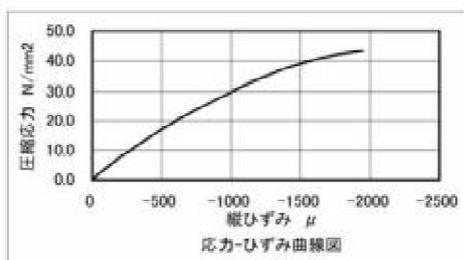
試験実施28日 コンクリート圧縮強度試験結果

直径 mm			長さ mm			TP-Name : D16-2 (4)
D1	D2	平均	L1	L2	平均	材令 : 28
100.10	100.05	100.08	198.00	199.20	198.6	
断面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重 kN [ tf ]		圧縮強度 N/mm <sup>2</sup> [ kgf/cm <sup>2</sup> ]		$\sigma_c/3$ 歪 $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [ E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
7865.8	361.3	36.84	45.9	468	-460	32.83 [ 3.35 ]
測定数 回	荷重 kN [ tf ]		圧縮応力 N/mm <sup>2</sup> [ kgf/cm <sup>2</sup> ]		縦ひずみ $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [ E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	0.0	0.00	0.0	0	0	- [ - ]
2	11.8	1.20	1.5	15	-40	37.4 [ 3.81 ]
3	21.1	2.15	2.7	27	-73	36.5 [ 3.72 ]
4	31.2	3.18	4.0	40	-111	35.6 [ 3.63 ]
5	41.0	4.18	5.2	53	-147	35.5 [ 3.62 ]
6	50.9	5.19	6.5	66	-183	35.3 [ 3.60 ]
7	60.8	6.20	7.7	79	-221	35.0 [ 3.57 ]
8	70.7	7.21	9.0	92	-260	34.6 [ 3.53 ]
9	80.7	8.23	10.3	105	-299	34.3 [ 3.50 ]
10	91.0	9.28	11.6	118	-339	34.1 [ 3.48 ]
11	100.9	10.29	12.8	131	-380	33.8 [ 3.45 ]
12	110.8	11.30	14.1	144	-420	33.5 [ 3.42 ]
13	121.2	12.36	15.4	157	-463	33.3 [ 3.39 ]
14	131.1	13.37	16.7	170	-505	33.0 [ 3.37 ]
15	141.0	14.38	17.9	183	-548	32.7 [ 3.34 ]
16	150.8	15.38	19.2	195	-590	32.5 [ 3.31 ]
17	160.7	16.39	20.4	208	-634	32.2 [ 3.28 ]
18	171.1	17.45	21.8	222	-682	31.9 [ 3.25 ]
19	181.0	18.46	23.0	235	-729	31.6 [ 3.22 ]
20	190.9	19.46	24.3	247	-776	31.3 [ 3.19 ]
21	200.7	20.47	25.5	260	-824	31.0 [ 3.16 ]
22	211.3	21.54	26.9	274	-877	30.6 [ 3.12 ]
23	221.1	22.55	28.1	287	-929	30.3 [ 3.09 ]
24	230.9	23.54	29.4	299	-981	29.9 [ 3.05 ]
25	240.8	24.56	30.6	312	-1037	29.5 [ 3.01 ]
26	250.9	25.58	31.9	325	-1096	29.1 [ 2.97 ]
27	260.9	26.60	33.2	338	-1156	28.7 [ 2.93 ]
28	271.1	27.65	34.5	352	-1221	28.2 [ 2.88 ]
29	281.0	28.65	35.7	364	-1286	27.8 [ 2.83 ]
30	291.1	29.68	37.0	377	-1357	27.3 [ 2.78 ]
31	300.9	30.68	38.3	390	-1431	26.7 [ 2.73 ]
32	311.1	31.72	39.5	403	-1514	26.1 [ 2.66 ]
33	320.9	32.73	40.8	416	-1601	25.5 [ 2.60 ]
34	330.8	33.73	42.1	429	-1698	24.8 [ 2.53 ]
35	340.9	34.77	43.3	442	-1813	23.9 [ 2.44 ]
36	350.6	35.75	44.6	455	-1956	22.8 [ 2.32 ]
37	360.7	36.79	45.9	468	-2246	20.4 [ 2.08 ]
38						
39						
40						



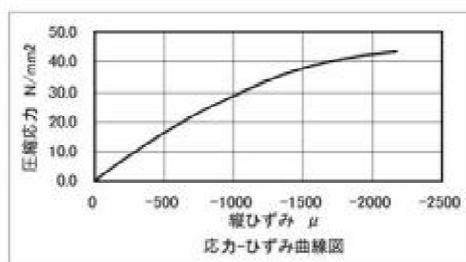
試験実施28日 コンクリート圧縮強度試験結果

直径 mm			長さ mm			TP-Name : D16-2 ⑤
D1	D2	平均	L1	L2	平均	材令 : 28
99.95	100.05	100.00	199.70	199.90	199.8	
断面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重		圧縮強度		$\sigma_c/3$ 歪 $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
7854.0	kN	[ tf ]	N/mm <sup>2</sup>	[ kgf/cm <sup>2</sup> ]		
	343.3	[ 35.01 ]	43.7	[ 446 ]	-416	33.80 [ 3.45 ]
測定数 回	荷重		圧縮応力		縦ひずみ $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
	kN	[ tf ]	N/mm <sup>2</sup>	[ kgf/cm <sup>2</sup> ]		
1	0.0	[ 0.00 ]	0.0	[ 0 ]	0	- [ - ]
2	12.4	[ 1.27 ]	1.6	[ 16 ]	-34	46.1 [ 4.70 ]
3	21.0	[ 2.14 ]	2.7	[ 27 ]	-61	43.5 [ 4.44 ]
4	31.8	[ 3.24 ]	4.0	[ 41 ]	-99	40.9 [ 4.17 ]
5	40.7	[ 4.15 ]	5.2	[ 53 ]	-131	39.6 [ 4.03 ]
6	51.0	[ 5.20 ]	6.5	[ 66 ]	-168	38.7 [ 3.95 ]
7	60.6	[ 6.18 ]	7.7	[ 79 ]	-202	38.1 [ 3.89 ]
8	70.9	[ 7.23 ]	9.0	[ 92 ]	-242	37.3 [ 3.81 ]
9	80.6	[ 8.22 ]	10.3	[ 105 ]	-280	36.7 [ 3.74 ]
10	90.8	[ 9.25 ]	11.6	[ 118 ]	-319	36.2 [ 3.69 ]
11	101.0	[ 10.30 ]	12.9	[ 131 ]	-360	35.7 [ 3.64 ]
12	110.7	[ 11.29 ]	14.1	[ 144 ]	-400	35.2 [ 3.59 ]
13	120.9	[ 12.33 ]	15.4	[ 157 ]	-442	34.8 [ 3.55 ]
14	131.3	[ 13.38 ]	16.7	[ 170 ]	-487	34.3 [ 3.50 ]
15	140.9	[ 14.37 ]	17.9	[ 183 ]	-529	33.9 [ 3.46 ]
16	151.1	[ 15.41 ]	19.2	[ 196 ]	-575	33.5 [ 3.41 ]
17	160.8	[ 16.40 ]	20.5	[ 209 ]	-619	33.1 [ 3.38 ]
18	171.1	[ 17.44 ]	21.8	[ 222 ]	-667	32.6 [ 3.33 ]
19	181.2	[ 18.48 ]	23.1	[ 235 ]	-717	32.2 [ 3.28 ]
20	190.8	[ 19.46 ]	24.3	[ 248 ]	-764	31.8 [ 3.24 ]
21	200.6	[ 20.45 ]	25.5	[ 260 ]	-814	31.4 [ 3.20 ]
22	210.8	[ 21.50 ]	26.8	[ 274 ]	-868	30.9 [ 3.15 ]
23	221.1	[ 22.54 ]	28.1	[ 287 ]	-923	30.5 [ 3.11 ]
24	230.7	[ 23.52 ]	29.4	[ 299 ]	-979	30.0 [ 3.06 ]
25	241.1	[ 24.58 ]	30.7	[ 313 ]	-1038	29.6 [ 3.01 ]
26	250.8	[ 25.58 ]	31.9	[ 326 ]	-1098	29.1 [ 2.97 ]
27	260.9	[ 26.60 ]	33.2	[ 339 ]	-1161	28.6 [ 2.92 ]
28	271.1	[ 27.65 ]	34.5	[ 352 ]	-1230	28.1 [ 2.86 ]
29	280.8	[ 28.63 ]	35.8	[ 365 ]	-1298	27.6 [ 2.81 ]
30	291.0	[ 29.68 ]	37.1	[ 378 ]	-1375	27.0 [ 2.75 ]
31	300.7	[ 30.66 ]	38.3	[ 390 ]	-1453	26.3 [ 2.69 ]
32	311.1	[ 31.73 ]	39.6	[ 404 ]	-1546	25.6 [ 2.61 ]
33	320.7	[ 32.70 ]	40.8	[ 416 ]	-1642	24.9 [ 2.54 ]
34	331.0	[ 33.75 ]	42.1	[ 430 ]	-1771	23.8 [ 2.43 ]
35	340.7	[ 34.74 ]	43.4	[ 442 ]	-1949	22.3 [ 2.27 ]
36						
37						
38						
39						
40						



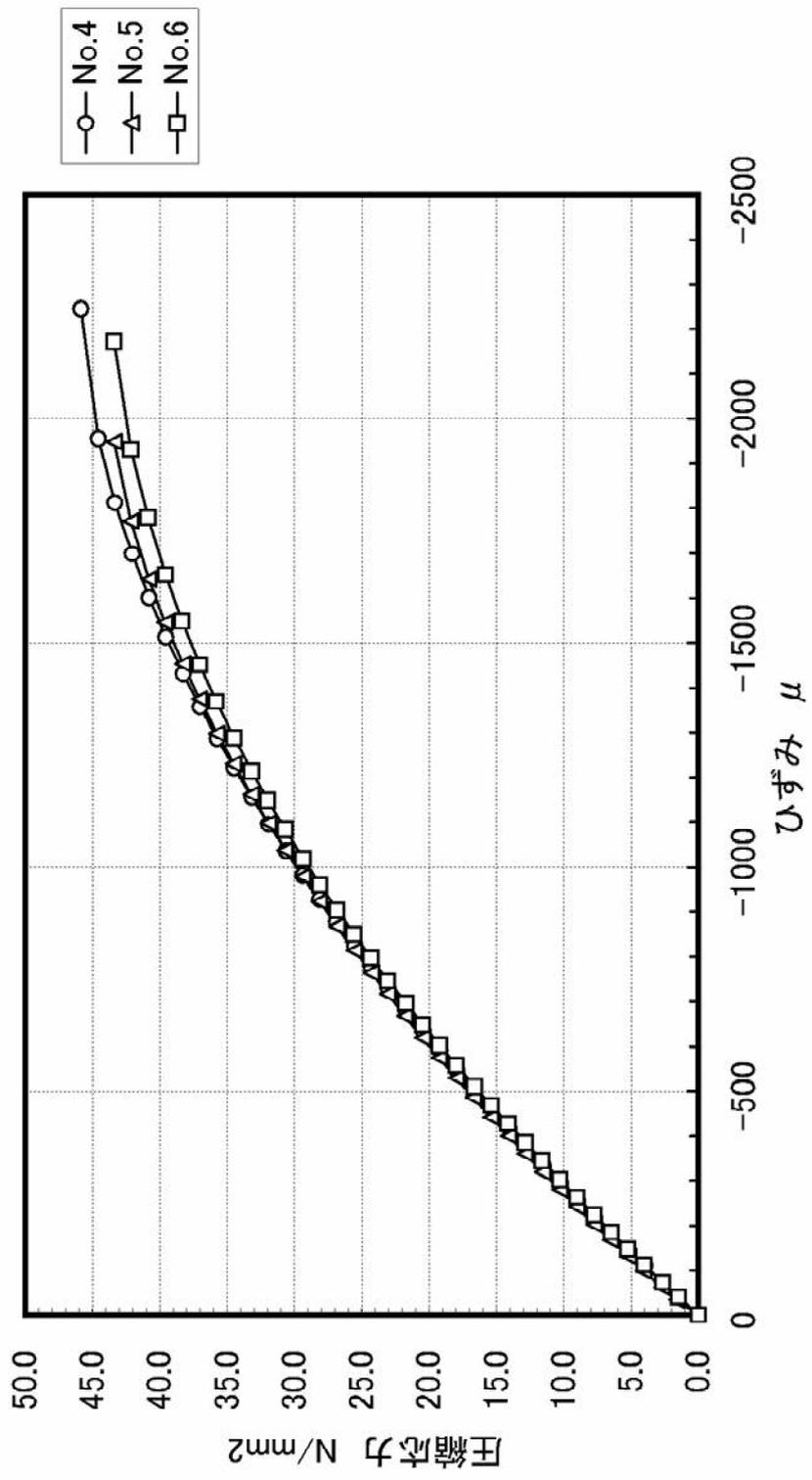
試験実施28日 コンクリート圧縮強度試験結果

直径 mm			長さ mm			TP-Name : D16-2 ⑥	
D1	D2	平均	L1	L2	平均	材令 : 28	
100.01	100.00	100.01	198.00	197.80	197.9		
断面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重		圧縮強度		$\sigma_c/3$ 歪 $\mu$	弾性係数	
7854.8	kN	tf	N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>		kN/mm <sup>2</sup>	[E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
	344.9	35.17	43.9	448	-444	32.57	3.32
測定数 回	荷重		圧縮応力		縦ひずみ $\mu$	弾性係数	
	kN	tf	N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>		kN/mm <sup>2</sup>	[E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	0.0	0.00	0.0	0	0	-	-
2	11.6	1.18	1.5	15	-40	36.5	3.72
3	20.8	2.13	2.7	27	-73	36.2	3.69
4	31.7	3.23	4.0	41	-113	35.7	3.64
5	41.2	4.20	5.2	53	-148	35.4	3.61
6	50.9	5.19	6.5	66	-185	35.0	3.57
7	60.7	6.19	7.7	79	-223	34.6	3.53
8	70.9	7.23	9.0	92	-263	34.3	3.50
9	80.8	8.24	10.3	105	-303	34.0	3.47
10	91.3	9.31	11.6	119	-345	33.7	3.44
11	101.1	10.31	12.9	131	-385	33.4	3.41
12	111.1	11.33	14.1	144	-427	33.1	3.38
13	120.8	12.32	15.4	157	-468	32.8	3.35
14	130.7	13.33	16.6	170	-511	32.6	3.32
15	141.2	14.40	18.0	183	-559	32.2	3.28
16	151.0	15.40	19.2	196	-603	31.9	3.25
17	160.9	16.41	20.5	209	-649	31.6	3.22
18	170.7	17.41	21.7	222	-696	31.2	3.19
19	181.2	18.47	23.1	235	-748	30.9	3.15
20	191.2	19.49	24.3	248	-798	30.5	3.11
21	201.0	20.50	25.6	261	-850	30.1	3.07
22	210.9	21.51	26.8	274	-905	29.7	3.03
23	220.8	22.52	28.1	287	-960	29.3	2.98
24	230.6	23.52	29.4	299	-1019	28.8	2.94
25	241.1	24.58	30.7	313	-1084	28.3	2.89
26	251.2	25.61	32.0	326	-1150	27.8	2.84
27	260.7	26.59	33.2	338	-1214	27.3	2.79
28	271.0	27.63	34.5	352	-1289	26.8	2.73
29	281.3	28.69	35.8	365	-1370	26.1	2.67
30	290.9	29.66	37.0	378	-1452	25.5	2.60
31	301.2	30.71	38.3	391	-1549	24.8	2.52
32	310.8	31.69	39.6	403	-1652	23.9	2.44
33	321.1	32.75	40.9	417	-1780	23.0	2.34
34	331.0	33.75	42.1	430	-1932	21.8	2.22
35	340.8	34.75	43.4	442	-2173	20.0	2.04
36							
37							
38							
39							
40							



試験実施前 コンクリート圧縮強度試験結果

番号	材令 (日)	供試体 番号	D1	D2	D avg	L1	L2	L avg	断面積 mm <sup>2</sup>	体積 (cm <sup>3</sup> )	質量(g)	最大荷重 KN	静弾性係数 Ec(kN/mm <sup>2</sup> )		圧縮強度 fc(N/mm <sup>2</sup> )		見掛け密度 ρ(kg/m <sup>3</sup> )	
													供試体毎	平均値	供試体毎	平均値	供試体 毎	平均値
4		D16-2 ④	100.1	100.05	100.075	198.0	199.2	198.6	7865.8	1562.1	3716.5	361.31	32.83	45.9	2.379			
5	28	D16-2 ⑤	99.95	100.05	100.00	199.7	199.9	199.8	7854.0	1569.2	3729	343.29	33.80	43.7	2.376	44.5	2.38	
6		D16-2 ⑥	100.01	100.00	100.005	198.0	197.8	197.9	7854.8	1554.5	3695.9	344.88	32.57	43.9	2.378			



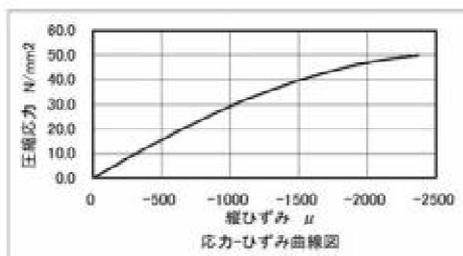
D16-2 試験実施28日 圧縮応力-ひずみ曲線図

試験実施後 コンクリート圧縮強度試験結果

直径 mm			長さ mm			TP-Name : D16- ⑦
D1	D2	平均	L1	L2	平均	材令 : 69
99.95	100.05	100.00	199.20	199.50	199.35	
断面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重		圧縮強度		$\sigma_{c/3\text{歪}}$ $\mu$	弾性係数
7854.0	kN	tf	N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>		kN/mm <sup>2</sup> [E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
	393.2	40.09	50.1	510	-538	30.96 [ 3.16 ]

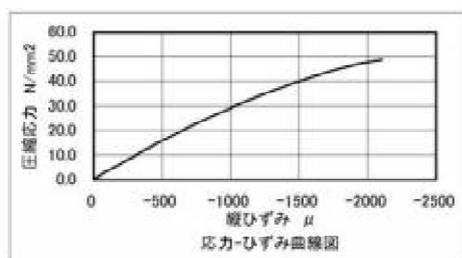
  

測定数 回	荷重		圧縮応力		縦ひずみ $\mu$	弾性係数
	kN	tf	N/mm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>		kN/mm <sup>2</sup> [E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	0.0	0.00	0.0	0	0	- [ - ]
2	12.6	1.28	1.6	16	-51	31.4 [ 3.20 ]
3	21.8	2.22	2.8	28	-88	31.6 [ 3.22 ]
4	34.2	3.49	4.4	44	-135	32.2 [ 3.28 ]
5	42.1	4.30	5.4	55	-167	32.1 [ 3.27 ]
6	52.0	5.30	6.6	68	-207	32.0 [ 3.26 ]
7	61.9	6.31	7.9	80	-248	31.8 [ 3.24 ]
8	72.0	7.34	9.2	93	-289	31.7 [ 3.23 ]
9	81.8	8.34	10.4	106	-330	31.6 [ 3.22 ]
10	91.6	9.34	11.7	119	-370	31.5 [ 3.21 ]
11	101.6	10.36	12.9	132	-411	31.4 [ 3.21 ]
12	111.4	11.36	14.2	145	-453	31.3 [ 3.19 ]
13	122.4	12.48	15.6	159	-501	31.1 [ 3.17 ]
14	132.4	13.50	16.9	172	-544	31.0 [ 3.16 ]
15	142.3	14.51	18.1	185	-586	30.9 [ 3.15 ]
16	152.0	15.50	19.4	197	-630	30.7 [ 3.13 ]
17	162.1	16.52	20.6	210	-675	30.6 [ 3.12 ]
18	171.8	17.52	21.9	223	-720	30.4 [ 3.10 ]
19	181.6	18.51	23.1	236	-766	30.2 [ 3.08 ]
20	191.4	19.52	24.4	249	-811	30.0 [ 3.06 ]
21	201.5	20.54	25.7	262	-860	29.8 [ 3.04 ]
22	211.3	21.55	26.9	274	-909	29.6 [ 3.02 ]
23	222.4	22.68	28.3	289	-966	29.3 [ 2.99 ]
24	232.4	23.70	29.6	302	-1017	29.1 [ 2.97 ]
25	242.1	24.69	30.8	314	-1069	28.8 [ 2.94 ]
26	252.2	25.71	32.1	327	-1124	28.6 [ 2.91 ]
27	262.5	26.77	33.4	341	-1183	28.3 [ 2.88 ]
28	271.4	27.68	34.6	352	-1235	28.0 [ 2.85 ]
29	281.7	28.72	35.9	366	-1298	27.6 [ 2.82 ]
30	292.0	29.78	37.2	379	-1364	27.3 [ 2.78 ]
31	302.3	30.82	38.5	392	-1430	26.9 [ 2.74 ]
32	311.2	31.73	39.6	404	-1493	26.5 [ 2.71 ]
33	321.7	32.81	41.0	418	-1569	26.1 [ 2.66 ]
34	332.1	33.87	42.3	431	-1649	25.6 [ 2.62 ]
35	342.2	34.90	43.6	444	-1731	25.2 [ 2.57 ]
36	352.1	35.91	44.8	457	-1822	24.6 [ 2.51 ]
37	362.0	36.92	46.1	470	-1920	24.0 [ 2.45 ]
38	371.8	37.91	47.3	483	-2030	23.3 [ 2.38 ]
39	381.7	38.92	48.6	496	-2170	22.4 [ 2.28 ]
40	391.0	39.87	49.8	508	-2369	21.0 [ 2.14 ]



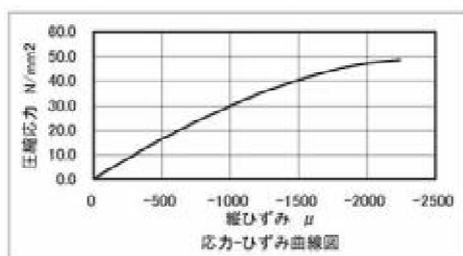
試験実施後 コンクリート圧縮強度試験結果

直径 mm			長さ mm			TP-Name : D16- (8)
D1	D2	平均	L1	L2	平均	材令 : 69
100.05	100.05	100.05	198.50	198.60	198.55	
断面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重 kN [ tf ]		圧縮強度 N/mm <sup>2</sup> [ kgf/cm <sup>2</sup> ]		$\sigma_c/3$ 歪 $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [ E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
7861.8	384.7	39.23	48.9	499	-519	30.90 [ 3.15 ]
測定数 回	荷重 kN [ tf ]		圧縮応力 N/mm <sup>2</sup> [ kgf/cm <sup>2</sup> ]		縦ひずみ $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [ E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	0.0	0.00	0.0	0	0	- [ - ]
2	12.5	1.28	1.6	16	-44	36.4 [ 3.71 ]
3	24.2	2.46	3.1	31	-86	35.9 [ 3.66 ]
4	35.9	3.66	4.6	47	-136	33.5 [ 3.42 ]
5	45.6	4.65	5.8	59	-174	33.4 [ 3.40 ]
6	54.9	5.60	7.0	71	-211	33.0 [ 3.37 ]
7	64.0	6.53	8.1	83	-249	32.7 [ 3.33 ]
8	76.0	7.75	9.7	99	-298	32.4 [ 3.31 ]
9	85.1	8.68	10.8	110	-335	32.3 [ 3.29 ]
10	94.1	9.59	12.0	122	-373	32.1 [ 3.27 ]
11	103.1	10.51	13.1	134	-411	31.9 [ 3.25 ]
12	115.6	11.78	14.7	150	-464	31.7 [ 3.23 ]
13	124.6	12.70	15.8	162	-503	31.5 [ 3.21 ]
14	133.6	13.62	17.0	173	-543	31.3 [ 3.19 ]
15	145.6	14.84	18.5	189	-596	31.1 [ 3.17 ]
16	154.6	15.76	19.7	200	-637	30.9 [ 3.15 ]
17	163.6	16.68	20.8	212	-677	30.7 [ 3.13 ]
18	175.6	17.90	22.3	228	-734	30.4 [ 3.10 ]
19	184.7	18.83	23.5	240	-777	30.2 [ 3.08 ]
20	194.1	19.79	24.7	252	-823	30.0 [ 3.06 ]
21	203.1	20.71	25.8	263	-867	29.8 [ 3.04 ]
22	215.2	21.95	27.4	279	-928	29.5 [ 3.01 ]
23	224.2	22.86	28.5	291	-974	29.3 [ 2.99 ]
24	233.2	23.78	29.7	303	-1021	29.0 [ 2.96 ]
25	245.0	24.99	31.2	318	-1085	28.7 [ 2.93 ]
26	254.1	25.91	32.3	330	-1135	28.5 [ 2.90 ]
27	263.8	26.90	33.6	342	-1190	28.2 [ 2.88 ]
28	275.7	28.12	35.1	358	-1259	27.9 [ 2.84 ]
29	284.8	29.04	36.2	369	-1312	27.6 [ 2.82 ]
30	293.7	29.95	37.4	381	-1368	27.3 [ 2.78 ]
31	305.6	31.16	38.9	396	-1442	27.0 [ 2.75 ]
32	314.5	32.07	40.0	408	-1501	26.6 [ 2.72 ]
33	323.5	32.99	41.1	420	-1563	26.3 [ 2.68 ]
34	335.4	34.21	42.7	435	-1647	25.9 [ 2.64 ]
35	345.1	35.19	43.9	448	-1716	25.6 [ 2.61 ]
36	354.0	36.10	45.0	459	-1785	25.2 [ 2.57 ]
37	365.8	37.30	46.5	474	-1887	24.7 [ 2.51 ]
38	374.4	38.18	47.6	486	-1967	24.2 [ 2.47 ]
39	384.6	39.22	48.9	499	-2107	23.2 [ 2.37 ]
40						



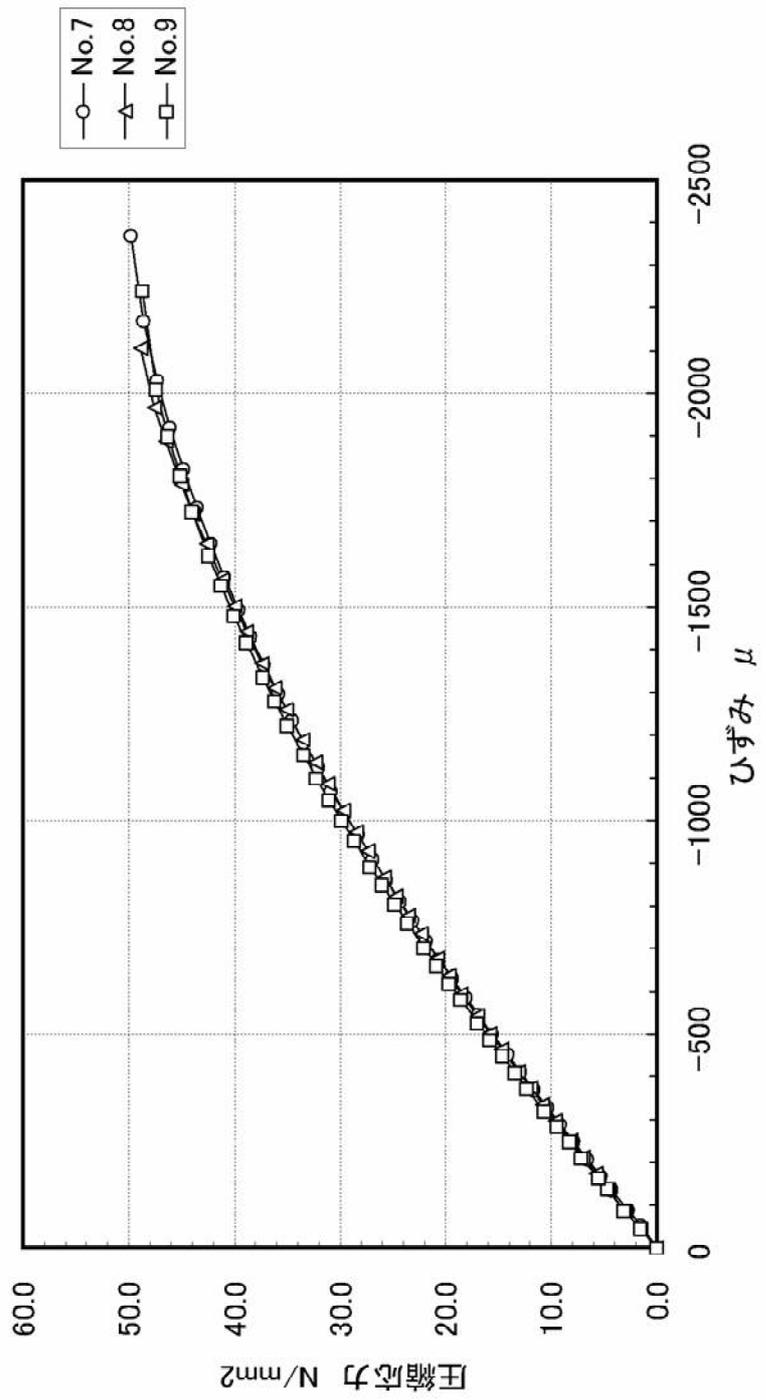
試験実施後 コンクリート圧縮強度試験結果

直径 mm			長さ mm			TP-Name : D16- ⑨
D1	D2	平均	L1	L2	平均	材令 : 69
100.05	100.10	100.08	199.50	199.75	199.625	
断面積 mm <sup>2</sup>	最大荷重 kN [ tf ]		圧縮強度 N/mm <sup>2</sup> [ kgf/cm <sup>2</sup> ]		$\sigma_c/3$ 歪 $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [ E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
7865.8	381.0	38.85	48.4	494	-498	32.03 [ 3.27 ]
測定数 回	荷重 kN [ tf ]		圧縮応力 N/mm <sup>2</sup> [ kgf/cm <sup>2</sup> ]		縦ひずみ $\mu$	弾性係数 kN/mm <sup>2</sup> [ E5kgf/cm <sup>2</sup> ]
1	0.0	0.00	0.0	0	0	- [ - ]
2	12.6	1.28	1.6	16	-45	35.7 [ 3.64 ]
3	24.3	2.48	3.1	32	-87	35.7 [ 3.64 ]
4	37.0	3.78	4.7	48	-137	34.4 [ 3.51 ]
5	43.6	4.45	5.5	57	-162	34.2 [ 3.48 ]
6	56.1	5.73	7.1	73	-210	34.0 [ 3.47 ]
7	65.4	6.67	8.3	85	-247	33.7 [ 3.44 ]
8	74.7	7.62	9.5	97	-283	33.5 [ 3.42 ]
9	83.9	8.56	10.7	109	-320	33.3 [ 3.40 ]
10	96.6	9.86	12.3	125	-372	33.0 [ 3.37 ]
11	105.8	10.79	13.5	137	-409	32.9 [ 3.35 ]
12	115.0	11.72	14.6	149	-448	32.6 [ 3.33 ]
13	124.2	12.66	15.8	161	-486	32.5 [ 3.31 ]
14	133.5	13.61	17.0	173	-526	32.2 [ 3.29 ]
15	145.8	14.86	18.5	189	-580	32.0 [ 3.26 ]
16	154.9	15.80	19.7	201	-619	31.8 [ 3.24 ]
17	164.2	16.74	20.9	213	-661	31.6 [ 3.22 ]
18	173.8	17.72	22.1	225	-704	31.4 [ 3.20 ]
19	185.9	18.96	23.6	241	-760	31.1 [ 3.17 ]
20	195.2	19.90	24.8	253	-803	30.9 [ 3.15 ]
21	204.4	20.85	26.0	265	-848	30.6 [ 3.12 ]
22	213.6	21.78	27.2	277	-892	30.4 [ 3.10 ]
23	225.8	23.02	28.7	293	-953	30.1 [ 3.07 ]
24	235.0	23.96	29.9	305	-1001	29.8 [ 3.04 ]
25	244.1	24.89	31.0	316	-1048	29.6 [ 3.02 ]
26	253.8	25.88	32.3	329	-1100	29.3 [ 2.99 ]
27	263.2	26.84	33.5	341	-1153	29.0 [ 2.96 ]
28	275.3	28.08	35.0	357	-1223	28.6 [ 2.92 ]
29	284.6	29.02	36.2	369	-1279	28.3 [ 2.89 ]
30	293.7	29.95	37.3	381	-1337	27.9 [ 2.85 ]
31	305.8	31.19	38.9	396	-1417	27.4 [ 2.80 ]
32	315.1	32.13	40.1	408	-1480	27.1 [ 2.76 ]
33	324.7	33.11	41.3	421	-1550	26.6 [ 2.71 ]
34	333.8	34.04	42.4	433	-1620	26.2 [ 2.67 ]
35	346.0	35.29	44.0	449	-1722	25.5 [ 2.60 ]
36	355.2	36.22	45.2	460	-1806	25.0 [ 2.55 ]
37	364.1	37.12	46.3	472	-1898	24.4 [ 2.49 ]
38	372.9	38.03	47.4	483	-2010	23.6 [ 2.41 ]
39	382.9	39.05	48.7	496	-2240	21.7 [ 2.22 ]
40						



試験実施前 コンクリート圧縮強度試験結果

番号	材令 (日)	供試体 番号	D1	D2	D avg	L1	L2	L avg	断面積 mm <sup>2</sup>	体積 (cm <sup>3</sup> )	質量(g)	最大荷重 KN	弾性係数 Ec(kN/mm <sup>2</sup> )		圧縮強度 fc(N/mm <sup>2</sup> )		見掛け密度 ρ(kg/m <sup>3</sup> )	
													供試体 毎	平均値	供試体 毎	平均値	供試体 毎	平均値
7		D16-⑦	99.95	100.05	100	199.2	199.5	199.35	7854.0	1565.7	3685.9	393.19	30.96	50.1	2.354			
8	69	D16-⑧	100.05	100.05	100.05	198.5	198.6	198.55	7861.8	1561.0	3718.5	384.74	30.90	48.9	2.382	49.1	2.37	
9		D16-⑨	100.05	100.1	100.075	199.5	199.75	199.625	7865.8	1570.2	3707.7	380.98	32.03	48.4	2.361			



D16 試験実施後 圧縮応力-ひずみ曲線図

### 3. 鉄筋の引張試験

鉄筋の引張強度、弾性係数を求めるため、D16 塗装鉄筋 3 本に対して引張試験を実施した。付表 1.3.1 に結果を示す。

付表 1.3.1 鉄筋の引張試験結果

番号	伸び測定			絞り測定			公称断面積 mm <sup>2</sup>
	標点距離 mm		伸び%	直径 mm		絞り%	
	試験前	試験後		試験前	試験後		
D16-1	127.96	158.16	23.60	15.47	11.08	48.7	198.6
D16-2	127.45	157.41	23.51	15.47	11.46	45.1	
D16-3	127.56	159.81	25.28	15.47	11.54	44.4	
平均値			24.13			46.1	

降伏荷重	降伏応力	降伏歪み	最大荷重	最大応力	弾性係数
kN	N/mm <sup>2</sup>	μ	kN	N/mm <sup>2</sup>	kN/mm <sup>2</sup>
73.21	368.6	1954	111.26	560	188.7
72.48	365.0	1940	109.49	551	188.1
73.59	370.5	1913	109.37	551	193.7
	368.0	1936		554	190.1

### 4. 塗装鉄筋の膜厚およびピンホール試験

JSCE-E 513-2003、および JSCE-E 512-2003 に従い、塗膜厚試験、ピンホール試験を実施した。結果を付表 1.4.1 に示す。

付表 1.4.1 塗装鉄筋の外観、膜厚、ピンホール試験結果

No	長さ (mm)	外観	ピンホール		塗膜厚(μ m)			備考
			発生数	発生数/長さ	平均	標準偏差	範囲外頻度 (%)	
D16-1	2000	塗膜が均一でたれ、突起、異物付着を認めない	3 個	1.5 個/m	211	13.5	0	
D16-2	〃	同上	4 個	2.0 個/m	210	21.3	0	
D16-3	〃	同上	2 個	1.0 個/m	208	23.9	8	
D16-4	〃	同上	4 個	2.0 個/m	211	15.9	0	
D16-5	〃	同上	2 個	1.0 個/m	198	19.9	0	

(適用) 1.ピンホール … 5 個/m 以下

2.塗膜厚 … 塗膜厚が 220 ± 20 μ m の範囲で、かつ測定値の 90%が範囲内にあること  
測定点は表裏で各 6 点ずつ測定した

## 付録-2 疲労試験結果

### 1. 変位

各供試体ごとの変位を付表 2.1.1 ~ 2.1.5 に示す。またコンクリート部の上側平均変位 (D2,D3)、下側平均変位 (D4,D5)、全平均変位 (D2 ~ D5) を付図 2.1.1 ~ 2.1.5 に、鉄筋の抜け出し量を付図 2.1.6 ~ 2.1.10 に示す。

付表 2.1.1 累積疲労回数ごとの変位 (D16-1)

疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
0	0N/mm <sup>2</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.036	0.014	0.016	0.022	0.022	0.002		
1	180N/mm <sup>2</sup>	0.920	0.526	0.682	0.372	0.232	0.006		
100	0N/mm <sup>2</sup>	1.174	0.196	0.188	0.024	0.090	0.004		
100	20N/mm <sup>2</sup>	1.228	0.218	0.224	0.044	0.112	0.004		
100	180N/mm <sup>2</sup>	1.884	0.620	0.580	0.218	0.316	-0.022		
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.194	0.246	0.174	-0.038	0.080	-0.020		
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.260	0.294	0.236	-0.018	0.116	-0.020		
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.884	0.686	0.558	0.180	0.342	-0.020		
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.326	0.372	0.288	-0.034	0.166	-0.020		
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.380	0.398	0.308	-0.018	0.140	-0.026		
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.124	0.940	0.742	0.168	0.408	-0.024	0.352	0.332
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.322	0.410	0.322	-0.046	-0.068	-0.034		
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.380	0.440	0.344	-0.024	-0.042	-0.038		
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.136	0.986	0.802	0.162	0.242	-0.036		
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.372	0.418	0.360	-0.098	-0.008	-0.036		
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.424	0.458	0.386	-0.090	0.026	-0.042		
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.192	1.022	0.846	0.058	0.350	-0.046		
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.314	0.436	0.406	-0.074	0.126	-0.050		
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.382	0.480	0.430	-0.064	0.160	-0.052		
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.176	1.066	0.908	0.092	0.486	-0.050	0.486	0.496
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.508	0.488	0.418	-0.110	0.122	-0.102		
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.576	0.568	0.418	-0.120	0.170	-0.104		
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.602	1.506	0.942	0.014	0.536	-0.106	0.88	0.58
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.526	0.504	0.326	-0.138	0.084	-0.180		
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.606	0.560	0.342	-0.150	-3.076	-0.196		
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.656	1.488	0.906	0.018	0.484	-0.192	2.20	0.65

付表 2.1.2 累積疲労回数ごとの変位 (D16-2)

疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
0	0N/mm <sup>2</sup>	-0.002	0.000		0.000		0.000		
1	180N/mm <sup>2</sup>	0.790	0.308		0.526		-0.008		
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.088	0.046		0.154		-0.038		
100	180N/mm <sup>2</sup>	0.792	0.258		0.570		-0.038		
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.138	0.102		0.066		-0.040		
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	0.840	0.590		0.286		-0.040		
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.126	0.102		0.050		-0.078		
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	0.862	0.608		0.276		-0.086		
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.158	0.092		0.048		-0.118		
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	0.894	0.618		0.276		-0.114		
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.274	0.220		0.074		-0.126		
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.132	0.928		0.264		-0.152		
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.338	0.268		0.092		-0.124		
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.206	0.978		0.280		-0.122		
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.424	0.326		0.134		-0.372		
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.408	1.176		0.310		-0.366		
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.364	0.310		0.090		-0.404		
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.420	0.338		0.110		-0.408		
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.410	1.182		0.290		-0.404		
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.406	0.334		0.144		-0.340		
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.456	0.356		0.162		-0.344		
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.444	1.194		0.346		-0.344		
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.484	0.332		0.144		-0.504		
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.538	0.358		0.162		-0.512		
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.528	1.198		0.338		-0.508		
2,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.560	0.334		0.122		-0.586		
2,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.608	0.356		0.132		-0.594		
2,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.608	1.198		0.320		-0.590		
3,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.544	0.322		0.136		-0.578		
3,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.606	0.362		0.152		-0.582		
3,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.590	1.196		0.338		-0.588		
3,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.414	0.116		-0.030		-0.650		
3,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.454	0.138		-0.024		-0.658		
3,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.438	0.970		0.162		-0.660		
4,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.484	0.268		0.112		-0.586		
4,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.548	0.304		0.122		-0.588		
4,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.558	1.156		0.308		-0.584		

付表 2.1.3 累積疲労回数ごとの変位 (D16-3)

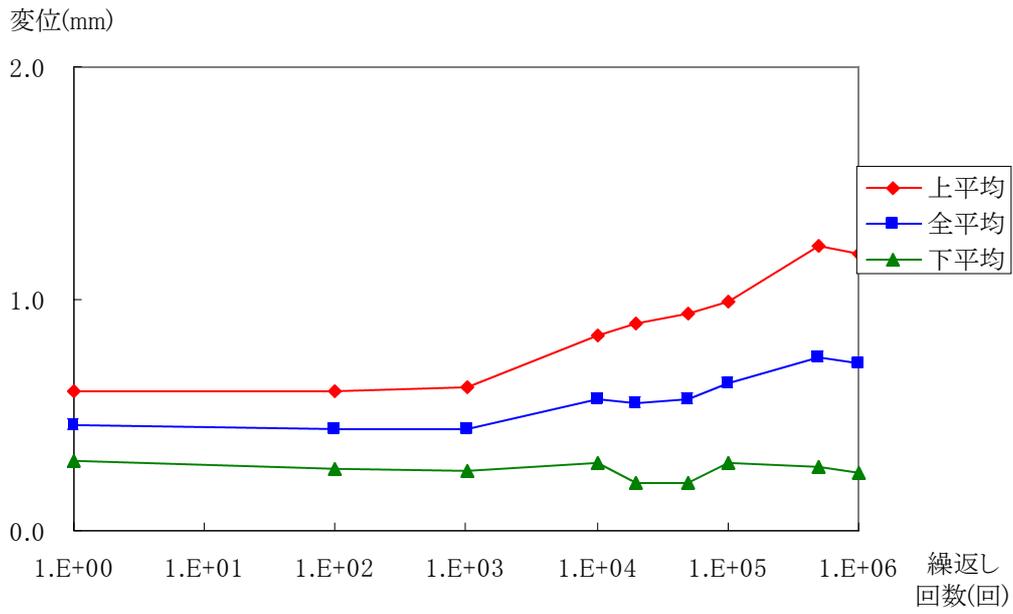
疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
0	0N/mm <sup>2</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.046	0.016	0.014	0.028	0.022	-0.002		
1	180N/mm <sup>2</sup>	0.944	0.368	0.982	0.372	0.196	-0.008		
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.242	0.032	0.320	0.050	-0.002	-0.052		
100	20N/mm <sup>2</sup>	0.286	0.044	0.342	0.064	0.014	-0.056		
100	180N/mm <sup>2</sup>	0.948	0.338	0.942	0.312	0.186	-0.054		
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.210	0.034	0.256	-0.010	0.020	-0.066		
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.274	0.076	0.292	0.014	0.052	-0.066		
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	0.950	0.390	0.878	0.236	0.238	-0.060		
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.308	0.118	0.388	0.060	-0.020	-0.092		
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.342	0.122	0.412	0.068	-0.006	-0.102		
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.126	0.580	1.092	0.166	0.334	-0.106		
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.332	0.164	0.358	-0.024	0.022	-0.110		
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.382	0.192	0.386	0.006	0.042	-0.114		
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.132	0.594	1.042	0.150	0.352	-0.116		
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.350	0.186	0.396	0.008	0.028	-0.152		
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.418	0.218	0.442	0.030	0.054	-0.152		
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.200	0.640	1.150	0.170	0.368	-0.150	0.122	0.104
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.404	0.204	0.446	-0.172	0.038	-0.170		
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.470	0.224	0.492	-0.148	0.064	-0.170		
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.266	0.660	1.202	-0.012	0.378	-0.170		
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.372	0.152	0.390	-0.118	0.034	-0.322		
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.434	0.182	0.428	-0.098	0.054	-0.324		
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.270	0.634	1.180	0.048	0.376	-0.320		
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.462	0.318	0.232	-0.144	0.064	-0.324		
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.532	0.358	0.276	-0.130	0.088	-0.324		
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.392	1.034	0.876	0.020	0.402	-0.322	0.12	0.36
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.638	0.390	0.292	-0.112	0.080	-0.336		
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.710	0.444	0.328	-0.096	0.120	-0.336		
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.582	1.114	0.932	0.054	0.436	-0.340		
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.648	0.410	0.298	-0.128	0.080	-0.352		
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.720	0.452	0.340	-0.104	0.114	-0.356		
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.604	1.136	0.944	0.050	0.438	-0.354	0.086	0.422
2,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.652	0.396	0.308	-0.182	0.058	-0.364		
2,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.722	0.440	0.346	-0.160	0.096	-0.364		
2,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.616	1.136	0.960	-0.002	0.414	-0.360		
3,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.634	0.386	0.268	-0.170	0.030	-0.416		
3,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.698	0.420	0.310	-0.146	0.058	-0.418		
3,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.592	1.156	0.928	0.028	0.394	-0.418	0.16	0.50
3,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-		
3,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-		
3,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-		
4,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.718	0.412	0.248	-0.166	0.060	-0.414		
4,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.788	0.450	0.302	-0.146	0.094	-0.416		
4,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.684	1.148	0.928	-0.016	0.412	-0.416	0.16	0.60

付表 2.1.4 累積疲労回数ごとの変位 (D16-4)

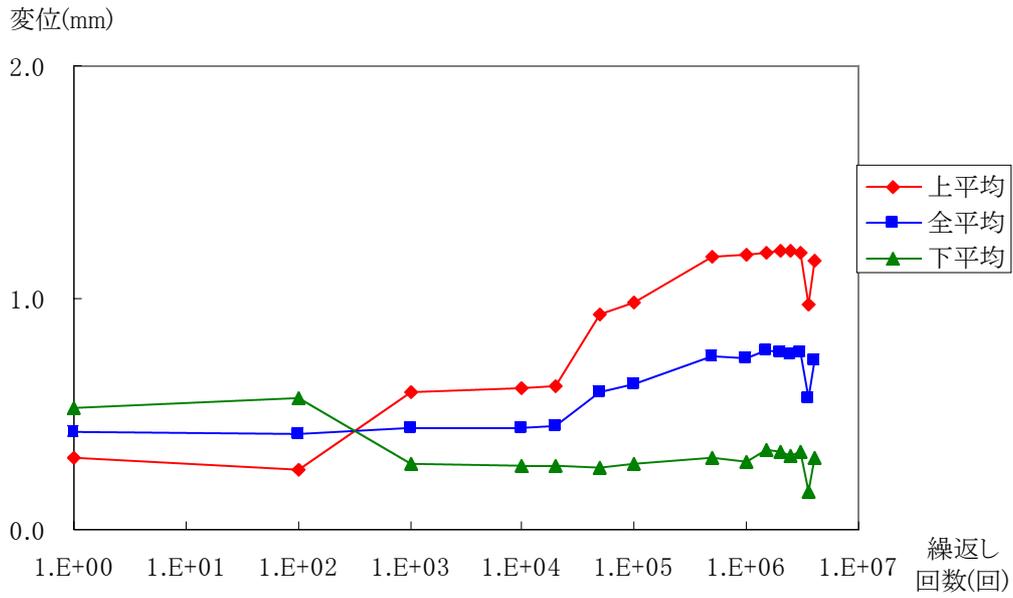
疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
0	0N/mm <sup>2</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.046	0.014	0.018	0.018	0.018	0.002		
1	180N/mm <sup>2</sup>	1.118	0.570	1.078	0.526	0.060	-0.008		
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.262	0.140	0.352	0.104	-0.028	-0.032		
100	20N/mm <sup>2</sup>	0.320	0.164	0.368	0.128	-0.016	-0.034		
100	180N/mm <sup>2</sup>	1.114	0.652	0.996	0.430	0.134	-0.032		
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.250	0.174	0.362	0.070	-0.028	-0.036		
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.316	0.200	0.402	0.086	-0.012	-0.034		
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.126	0.722	1.016	0.370	0.164	-0.032		
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.282	0.218	0.352	0.038	-0.012	-0.054		
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.348	0.238	0.386	0.064	0.010	-0.054		
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.158	0.778	1.000	0.334	0.200	-0.052		
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.306	0.220	0.400	-0.010	-0.006	-0.086		
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.374	0.268	0.432	0.014	0.018	-0.086		
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.190	0.798	1.046	0.290	0.212	-0.082		
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.298	0.268	1.686	-0.020	0.040	-0.084		
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.366	0.296	1.702	0.002	0.062	-0.084		
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.200	0.864	2.322	0.262	0.278	-0.084		
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.308	0.260	1.714	-0.072	0.042	-0.140		
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.372	0.286	1.750	-0.048	0.060	-0.142		
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.226	0.868	2.368	0.214	0.290	-0.140	0.092	0.308
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.212	0.172	1.702	-0.058	-0.086	-0.114		
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.300	0.242	1.752	-0.052	-0.046	-0.114		
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.238	0.880	2.440	0.226	0.182	-0.114	1.32	0.45
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.350	0.270	1.702	-0.034	-0.026	-0.136		
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.422	0.322	1.722	-0.028	0.020	-0.136		
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.360	0.960	2.440	0.258	0.224	-0.136	1.10	0.51
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.288	0.234	1.632	-0.048	-0.028	-0.248		
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.364	0.280	1.666	-0.046	0.008	-0.258		
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.310	0.922	2.362	0.240	0.218	-0.262		
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.356	0.254	1.690	-0.034	0.002	-0.320		
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.426	0.296	1.724	-0.034	0.040	-0.320		
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.370	0.950	2.412	0.254	0.250	-0.304	1.14	0.58
3,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.446	0.258	1.744	0.000	-0.030	-0.292		
3,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.518	0.316	1.774	0.010	0.014	-0.296		
3,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.468	0.984	2.458	0.286	0.236	-0.300	1.104	0.602
3,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.468	0.272	1.760	-0.006	-0.014	-0.316		
3,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.530	0.312	1.780	-0.002	0.022	-0.324		
3,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.470	0.972	2.450	0.268	0.234	-0.334		
4,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.422	0.210	1.732	-0.008	-0.038	-0.352		
4,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.496	0.268	1.758	0.000	0.004	-0.354		
4,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.452	0.956	2.428	0.268	0.230	-0.354	1.312	0.598

付表 2.1.5 累積疲労回数ごとの変位 (D16-5)

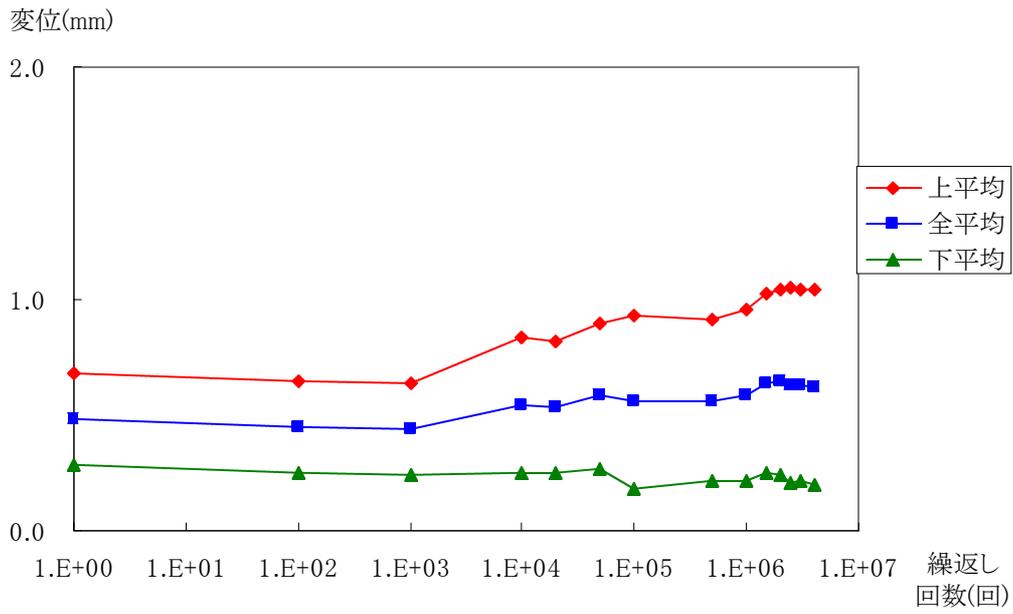
疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
0	0N/mm <sup>2</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002		
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.054	0.016	0.024	0.020	0.022	0.000		
1	180N/mm <sup>2</sup>	1.108	0.940	0.690	0.212	0.380	0.012		
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.356	0.334	0.258	0.034	0.088	0.002		
100	20N/mm <sup>2</sup>	0.412	0.358	0.280	0.050	0.102	0.000		
100	180N/mm <sup>2</sup>	1.140	0.986	0.674	0.216	0.388	0.002		
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.478	0.448	0.364	0.092	0.036	0.006		
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.532	0.478	0.390	0.106	0.064	0.008		
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.356	1.188	0.892	0.276	0.324	0.008		
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.534	0.470	0.300	0.042	0.070	-0.034		
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.602	0.534	0.292	0.028	0.074	-0.032		
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.444	1.256	0.804	0.174	0.376	-0.032		
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.580	0.480	0.288	0.030	0.062	0.154		
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.650	0.558	0.284	0.010	0.120	-0.158		
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.506	1.288	0.812	0.164	0.412	-0.158		
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.572	0.522	0.266	-0.010	0.124	-0.150		
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.646	0.576	0.278	-0.012	0.168	-0.152		
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.520	1.310	0.830	0.164	0.442	-0.154	0.292	0.256
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.612	0.560	0.278	-0.014	0.162	-0.162		
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.676	0.610	0.290	-0.004	0.190	-0.162		
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.558	1.346	0.878	0.176	0.468	-0.162		
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.584	0.522	0.292	-0.008	0.174	-0.156		
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.660	0.594	0.300	-0.012	0.214	-0.154		
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.592	1.392	0.892	0.154	0.518	-0.156	0.34	0.77
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.646	0.526	0.290	0.020	0.176	-0.162		
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.710	0.578	0.304	0.020	0.196	-0.176		
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.670	1.412	0.906	0.172	0.522	-0.180	0.38	0.81
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.648	0.512	0.276	-0.016	0.166	-0.234		
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.720	0.560	0.294	-0.002	0.192	-0.226		
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.700	1.418	0.916	0.162	0.526	-0.224		
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.706	0.548	0.284	-0.010	0.174	-0.274		
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.766	0.582	0.302	0.002	0.188	-0.270		
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.752	1.430	0.936	0.168	0.516	-0.270	0.34	0.66



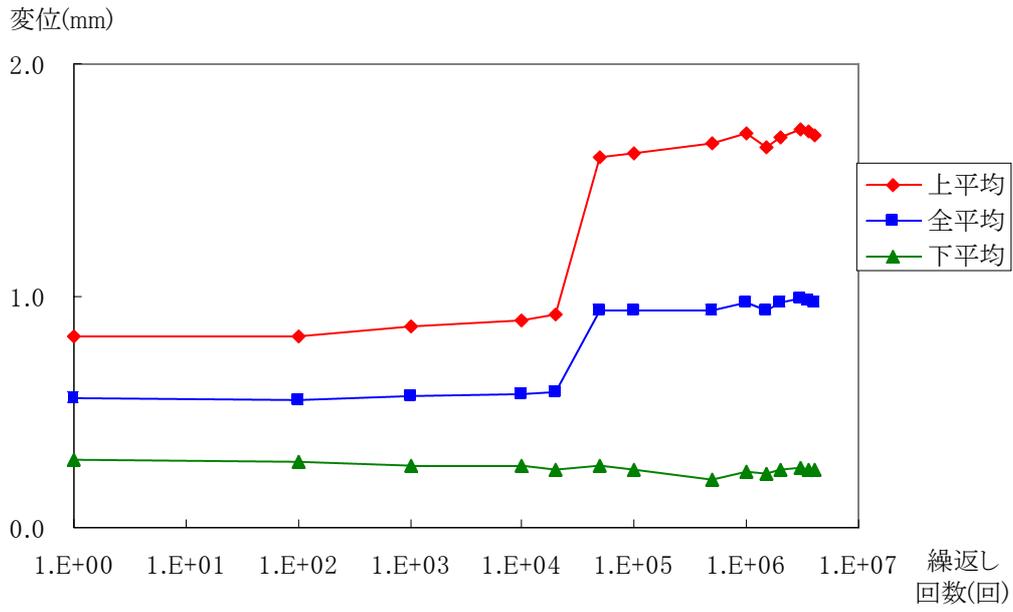
付図 2.1.1 コンクリート部の平均変位 (D16-1)



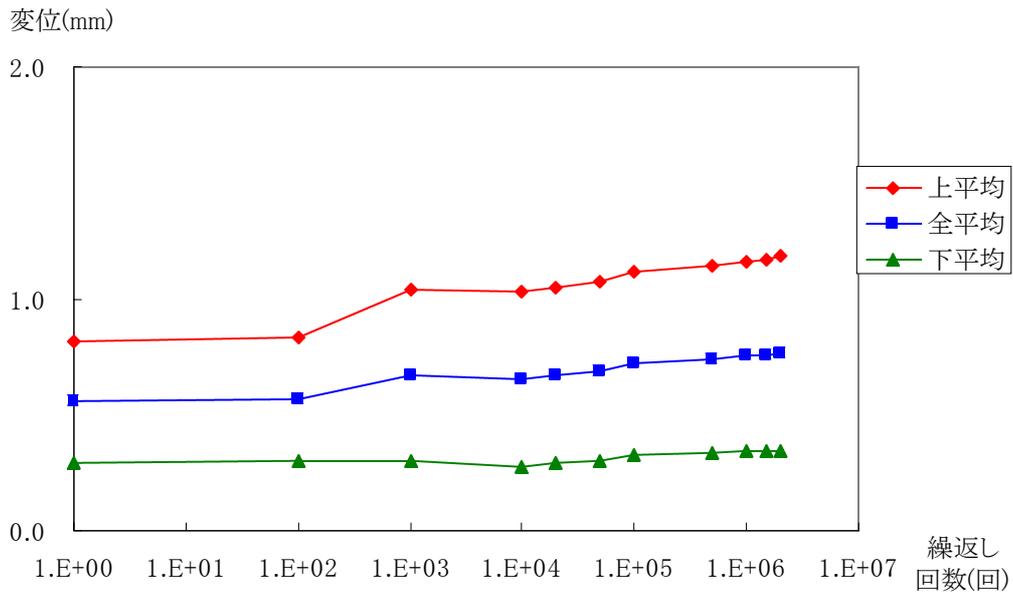
付図 2.1.2 コンクリート部の平均変位 (D16-2)



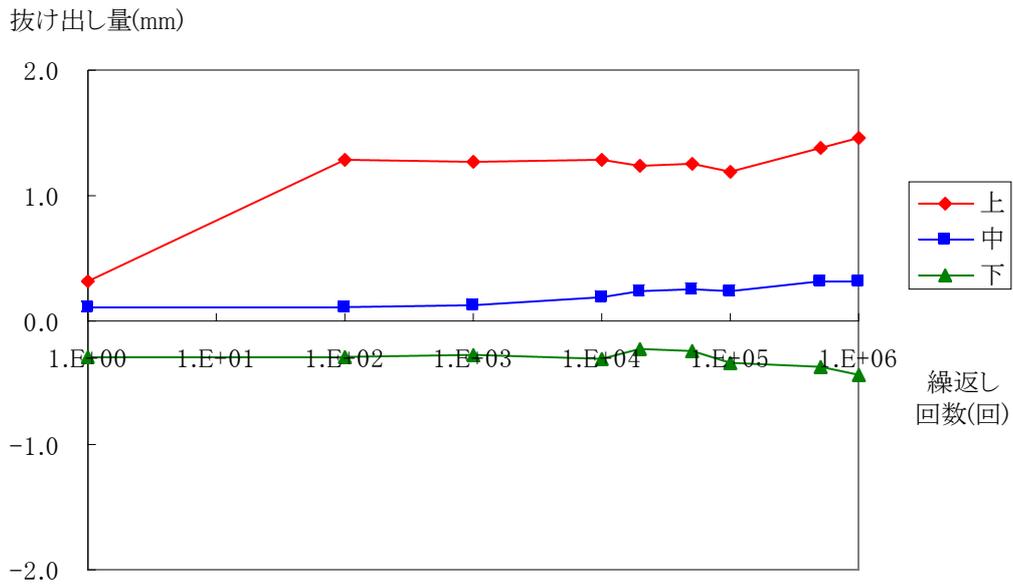
付図 2.1.3 コンクリート部の平均変位 (D16-3)



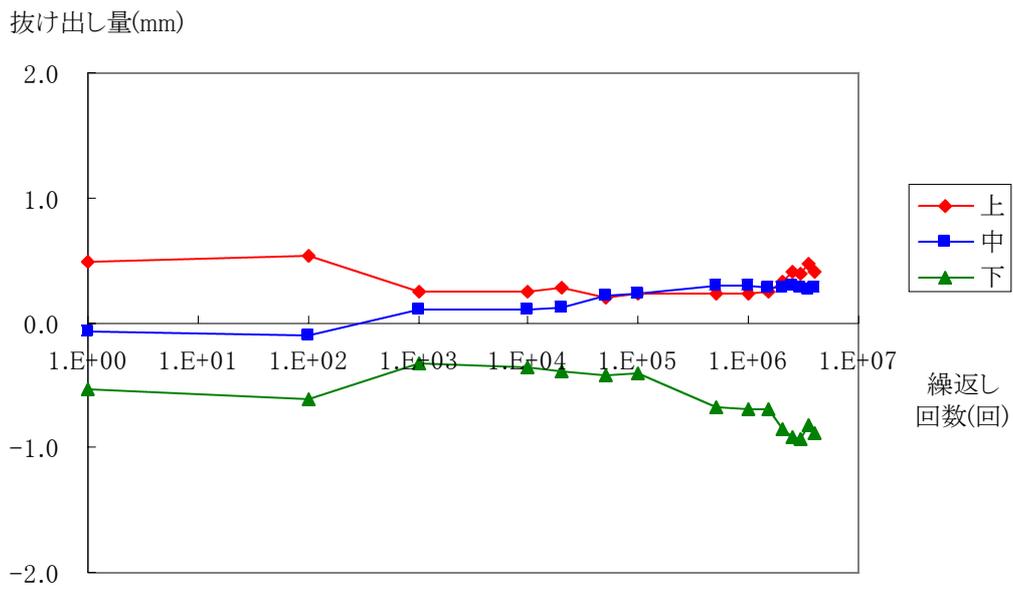
付図 2.1.4 コンクリート部の平均変位 (D16-4)



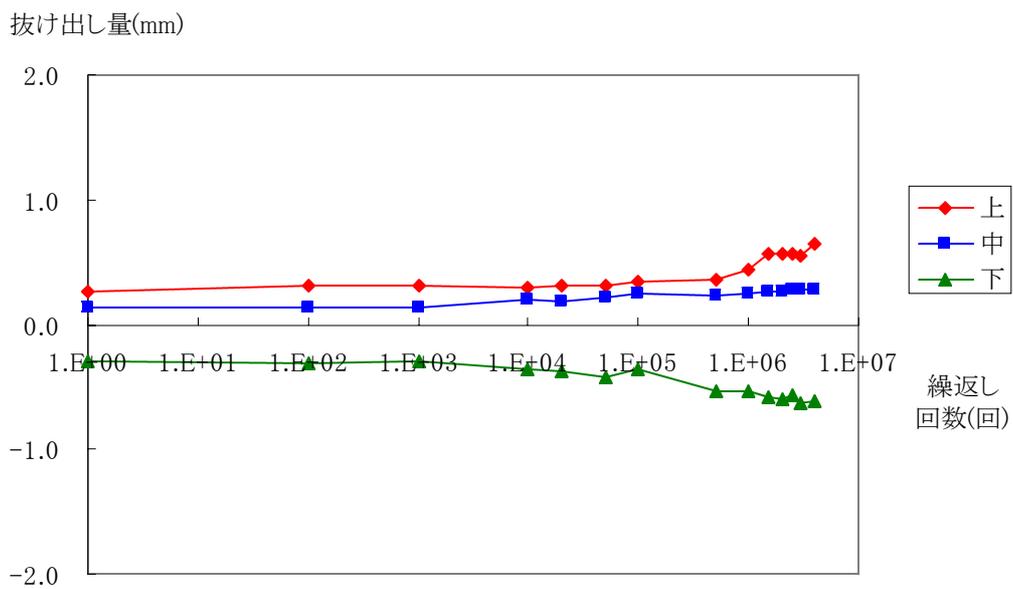
付図 2.1.5 コンクリート部の平均変位 (D16-5)



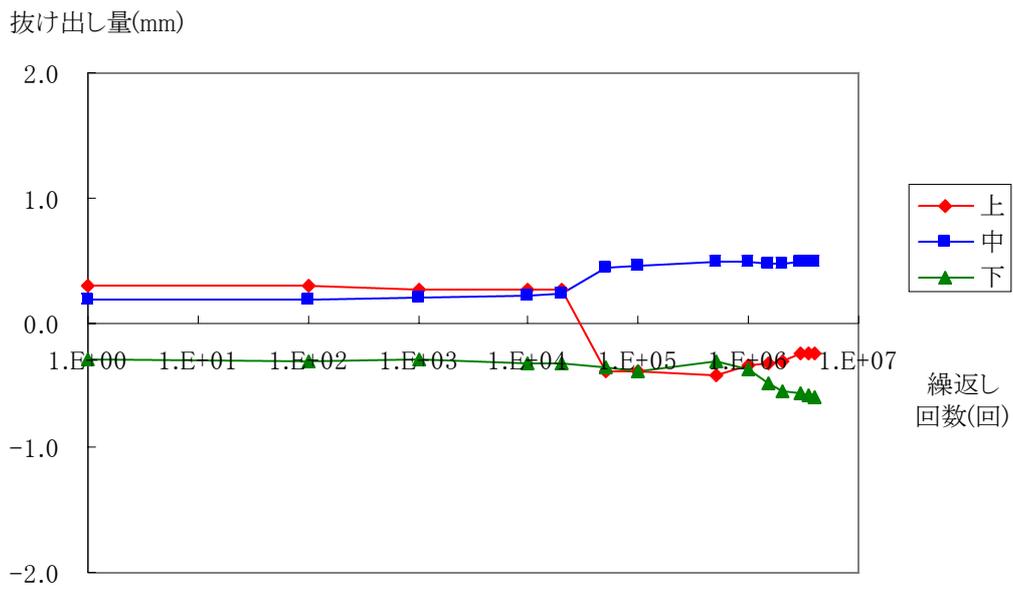
付図 2.1.6 鉄筋の抜け出し量 (D16-1)



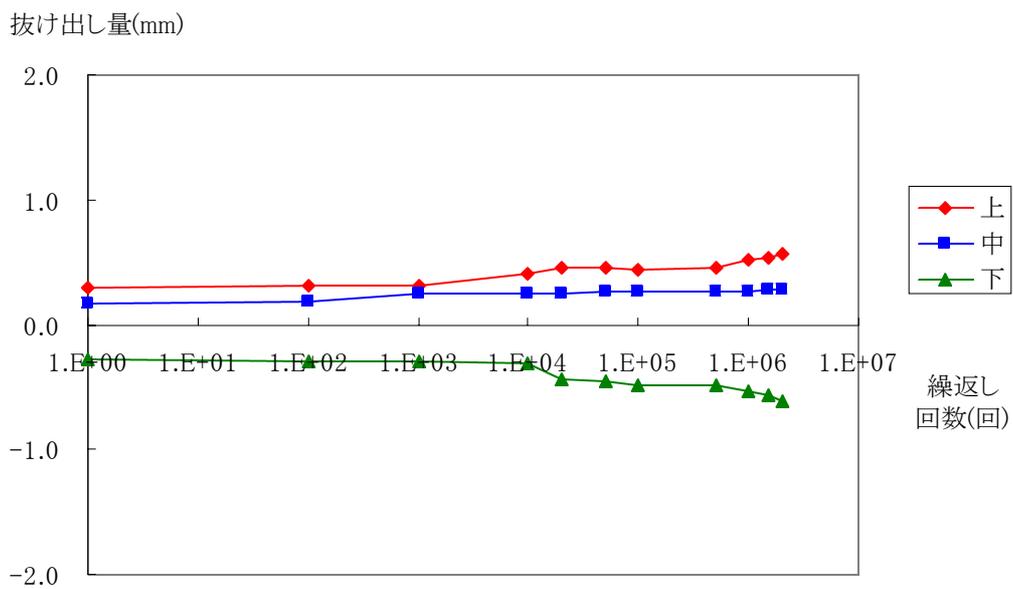
付図 2.1.7 鉄筋の抜け出し量(D16-2)



付図 2.1.8 鉄筋の抜け出し量(D16-3)



付図 2.1.9 鉄筋の抜け出し量(D16-4)



付図 2.1.10 鉄筋の抜け出し量(D16-5)

## 2. 鉄筋ひずみ

各供試体ごとのひずみを付表 2.2.1 ~ 2.2.4 に示す。また 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみを付図 2.2.1 ~ 2.2.4 に示す。

付表 2.2.1 累積疲労回数ごとのひずみ (D16-1)

疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
0	0N/mm <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
1	20N/mm <sup>2</sup>	105	106	106	104	110	107
1	180N/mm <sup>2</sup>	1006	869	938	1000	907	954
100	0N/mm <sup>2</sup>	4	-5	-1	30	-31	-1
100	20N/mm <sup>2</sup>	114	102	108	139	81	110
100	180N/mm <sup>2</sup>	986	892	939	985	926	956
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0	2	1	29	-26	2
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	107	108	108	135	85	110
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	973	902	938	975	934	955
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	-11	16	3	11	-3	4
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	91	123	107	111	109	110
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	943	935	939	903	1012	958
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	-15	19	2	9	-3	3
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	91	132	112	114	114	114
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	937	942	940	904	1015	960
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	-15	23	4	15	-4	6
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	89	135	112	119	109	114
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	934	946	940	923	996	960
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	-21	21	0	11	-9	1
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	83	133	108	117	106	112
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	927	949	938	924	987	956
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	-41	47	3	22	-13	5
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	63	162	113	128	106	117
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	899	977	938	942	970	956
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	-55	63	4	24	-11	7
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	50	173	112	129	103	116
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	898	987	943	953	972	963

付表 2.2.2 累積疲労回数ごとのひずみ (D16-3)

疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
0	0N/mm <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
1	20N/mm <sup>2</sup>	107	103	105	89	128	109
1	180N/mm <sup>2</sup>	1012	905	959	962	938	950
100	0N/mm <sup>2</sup>	33	-21	6	1	7	4
100	20N/mm <sup>2</sup>	140	83	112	99	120	110
100	180N/mm <sup>2</sup>	1011	909	960	946	956	951
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	26	-15	6	-13	20	4
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	136	91	114	85	135	110
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1000	918	959	924	972	948
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	4	13	9	-49	63	7
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	111	117	114	43	181	112
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	954	973	964	853	1044	949
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	6	11	9	-53	65	6
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	113	120	117	42	183	113
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	959	970	965	868	1034	951
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	4	13	9	-61	75	7
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	111	121	116	29	193	111
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	959	969	964	857	1044	951
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	2	12	7	-70	79	5
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	109	123	116	21	202	112
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	958	969	964	848	1050	949
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	1	17	9	-88	101	7
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	108	126	117	3.00	223	113
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	963	970	967	835	1069	952
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	4	11	8	-98	108	5
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	108	118	113	-8	229	111
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	979	947	963	828	1073	951
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	5	6	6	-107	116	5
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	108	111	110	-19	232	107
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	977	937	957	813	1077	945
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	6	10	8	-105	116	6
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	110	118	114	-15	239	112
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	983	942	963	821	1079	950
2,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	3	5	4	-108	115	4
2,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	110	116	113	-17	236	110
2,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	980	939	960	815	1080	948
3,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	5	9	7	-106	115	5
3,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	111	120	116	-15	241	113
3,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	985	941	963	827	1077	952
4,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	3	0	2	-112	117	3
4,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	113	117	115	-25	246	111
4,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	982	935	959	812	1081	947

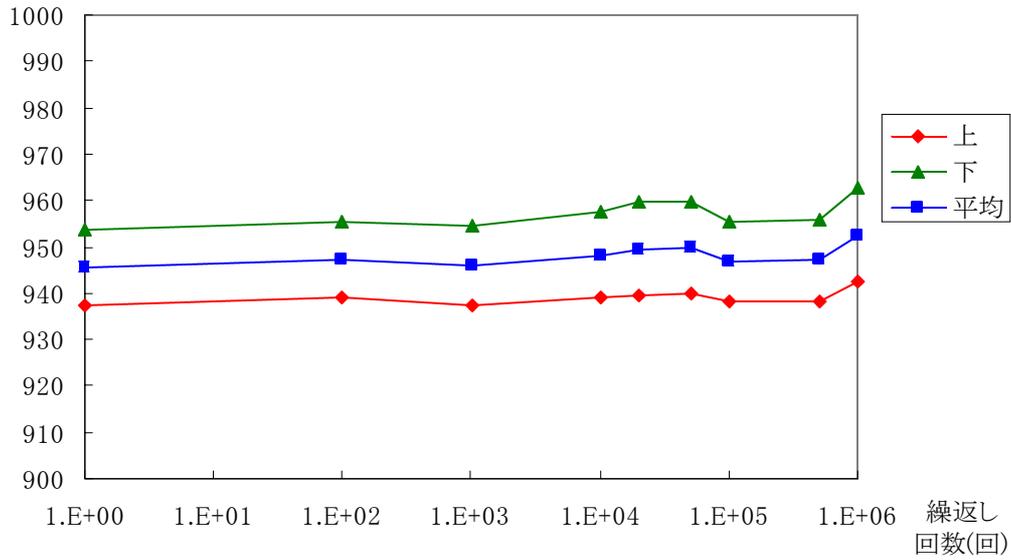
付表 2.2.3 累積疲労回数ごとのひずみ (D16-4)

疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
0	0N/mm <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
1	20N/mm <sup>2</sup>	109	93	101	109	96	103
1	180N/mm <sup>2</sup>	1026	807	917	908	941	925
100	0N/mm <sup>2</sup>	67	-72	-3	-13	2	-6
100	20N/mm <sup>2</sup>	188	25	107	107	105	106
100	180N/mm <sup>2</sup>	1062	774	918	944	909	927
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	80	-78	1	-2	0	-1
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	197	16	107	112	98	105
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1077	761	919	957	898	928
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	92	-88	2	4	-6	-1
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	211	7	109	121	92	107
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1076	756	916	954	896	925
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	93	-91	1	5	-7	-1
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	215	5	110	124	92	108
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1078	756	917	954	898	926
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	95	-91	2	5	-6	-1
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	214	2	108	121	92	107
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1068	766	917	943	910	927
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	96	-94	1	5	-8	-2
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	216	0	108	123	91	107
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1075	761	918	946	908	927
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	95	-89	3	45	-41	2
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	221	-5	108	173	42	108
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1057	785	921	1023	839	931
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	100	-104	-2	43	-47	-2
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	222	-13	105	168	43	106
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1061	772	917	1024	831	928
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	106	-105	1	47	-46	1
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	228	-15	107	171	43	107
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1067	774	921	1031	832	932
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	112	-112	0	52	-47	3
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	238	-19	110	179	43	111
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1071	772	922	1034	833	934
3,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	114	-117	-2	47	-48	-1
3,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	238	-26	106	174	42	108
3,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1076	763	920	1035	829	932
3,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	123	-118	3	53	-47	3
3,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	245	-28	109	179	42	111
3,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1077	759	918	1036	826	931
4,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	123	-118	3	57	-49	4
4,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	246	-27	110	182	41	112
4,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1080	759	920	1039	827	933

付表 2.2.4 累積疲労回数ごとのひずみ (D16-5)

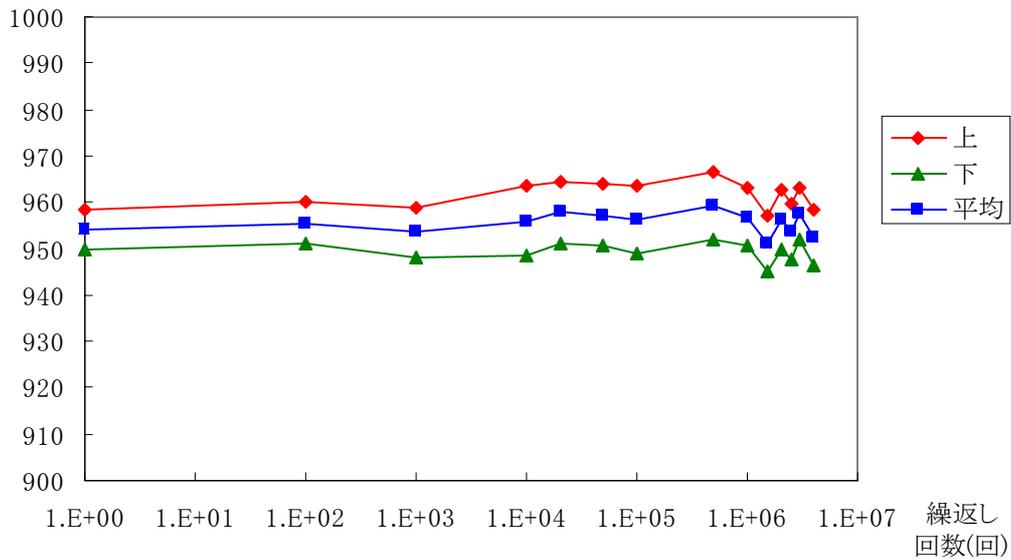
疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
0	0N/mm <sup>2</sup>	0	0	0	0	0	0
1	20N/mm <sup>2</sup>	109	103	106	113	104	109
1	180N/mm <sup>2</sup>	980	891	936	1002	907	955
100	0N/mm <sup>2</sup>	14	-47	-17	10	-35	-13
100	20N/mm <sup>2</sup>	134	54	94	127	63	95
100	180N/mm <sup>2</sup>	952	877	915	966	894	930
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	27	-50	-12	41	-66	-13
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	139	47	93	158	33	96
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	956	882	919	1038	838	938
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	28	-51	-12	43	-71	-14
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	138	46	92	155	30	93
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	947	905	926	1002	883	943
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	18	-46	-14	39	-71	-16
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	132	53	93	156	30	93
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	943	906	925	1010	875	943
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	17	-45	-14	42	-72	-15
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	136	49	93	162	23	93
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	939	901	920	1003	870	937
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	17	-44	-14	41	-73	-16
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	133	49	91	160	22	91
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	941	906	924	1010	872	941
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	5	-25	-10	28	-63	-18
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	116	69	93	153	30	92
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	945	904	925	1013	870	942
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	9	-14	-3	28	-57	-15
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	111	76	94	154	32	93
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	950	902	926	1016	870	943
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	-12	-15	-14	28	-61	-16.5
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	108	77	93	153	30	91.5
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	952	903	928	1016	869	943
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	-8	-12	-10	37	-63	-13
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	111	77	94	162	26	94
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	954	905	930	1023	869	946

ひずみ( $\mu$ )

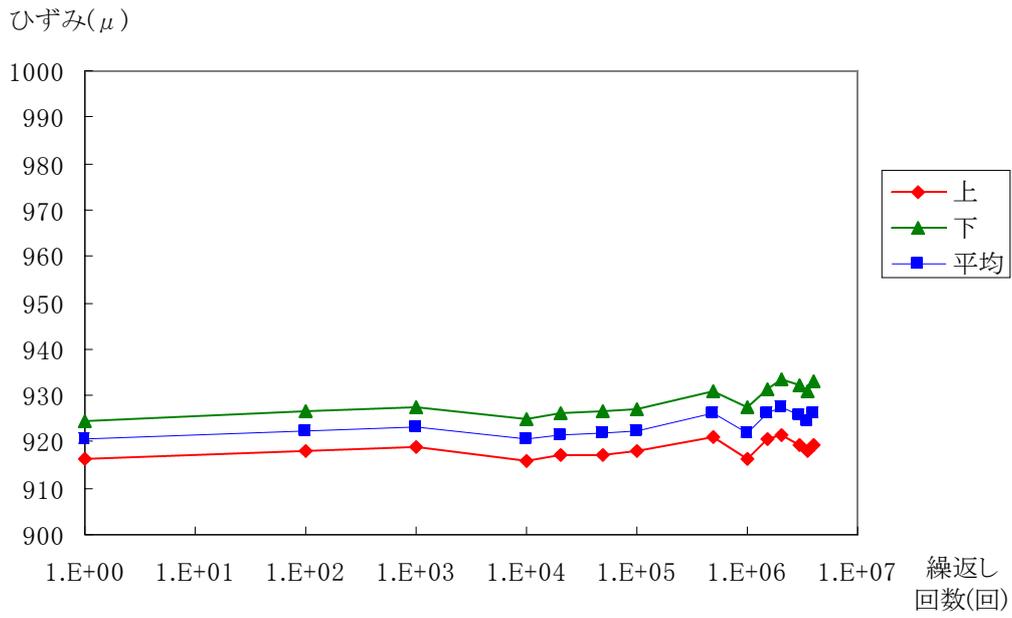


付図 2.2.1 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみ (D16-1)

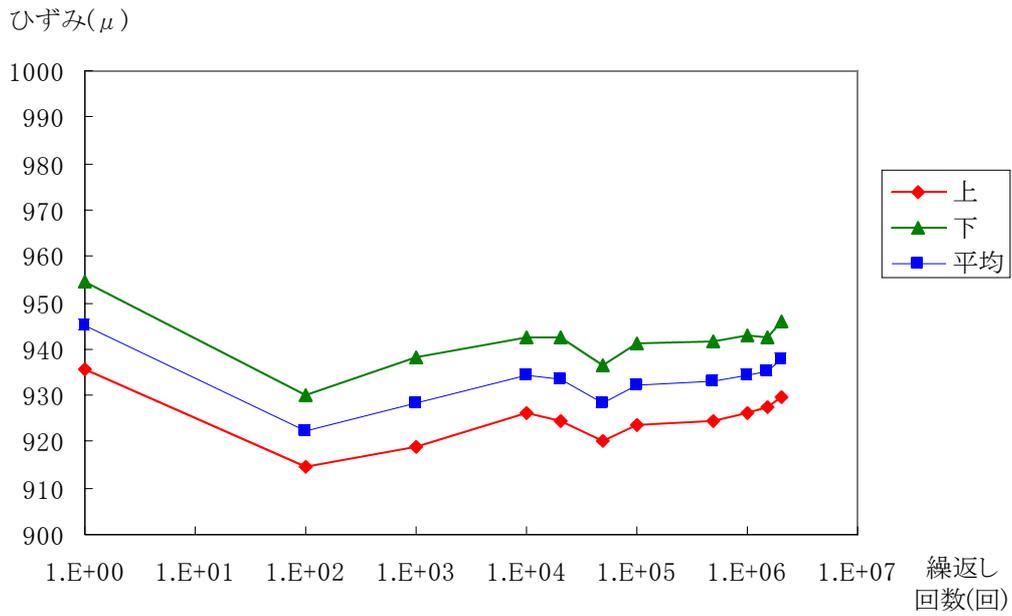
ひずみ( $\mu$ )



付図 2.2.2 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみ (D16-3)



付図 2.2.3 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみ (D16-4)



付図 2.2.4 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみ (D16-5)

### 3. ひびわれ幅

各供試体ごとのコンタクトゲージによる計測値を付表 2.3.1 ~ 2.3.5、付図 2.3.1 ~ 2.3.5 に、クラックスケールによる計測値を付表 2.3.6 ~ 2.3.10、付図 2.3.6 ~ 2.3.10 に示す。

付表 2.3.1 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-1)

疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.003	0.009	0.188	0.335	-0.001	0.017
100	0.004	0.010	0.344	0.203	0.002	0.016
1,000	0.002	0.011	0.396	0.173	-0.006	0.023
10,000	0.006	0.013	0.458	0.134	0.168	0.254
20,000	0.006	0.016	0.465	0.128	0.166	0.248
50,000	0.005	0.020	0.444	0.152	0.281	0.142
100,000	-0.001	0.017	0.449	0.158	0.298	0.142
500,000	0.305	0.084	0.429	0.171	0.313	0.149
1,000,000	0.418	0.091	0.420	0.187	0.312	0.148

付表 2.3.2 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-2)

疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.008	0.010	0.001	0.021	0.003	0.011
100	0.005	0.009	-0.080	0.548	0.000	0.008
1,000	0.002	0.010	0.326	0.187	0.001	0.009
10,000	0.004	0.013	0.348	0.185	0.001	0.013
20,000	0.004	0.016	0.364	0.182	-0.001	0.015
50,000	0.224	0.161	0.369	0.185	0.001	0.019
100,000	0.258	0.164	0.382	0.192	-0.001	0.023
500,000	0.261	0.159	0.426	0.173	0.103	0.245
1,000,000	0.261	0.166	0.414	0.169	0.131	0.228
1,500,000	0.257	0.159	0.404	0.166	0.132	0.224
2,000,000	0.270	0.160	0.438	0.167	0.138	0.225
2,500,000	0.283	0.169	0.436	0.175	0.139	0.227
3,000,000	0.286	0.169	0.438	0.172	0.141	0.228
3,500,000	0.278	0.168	0.442	0.168	0.142	0.225
4,000,000	0.290	0.175	0.455	0.167	0.147	0.229

付表 2.3.3 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-3)

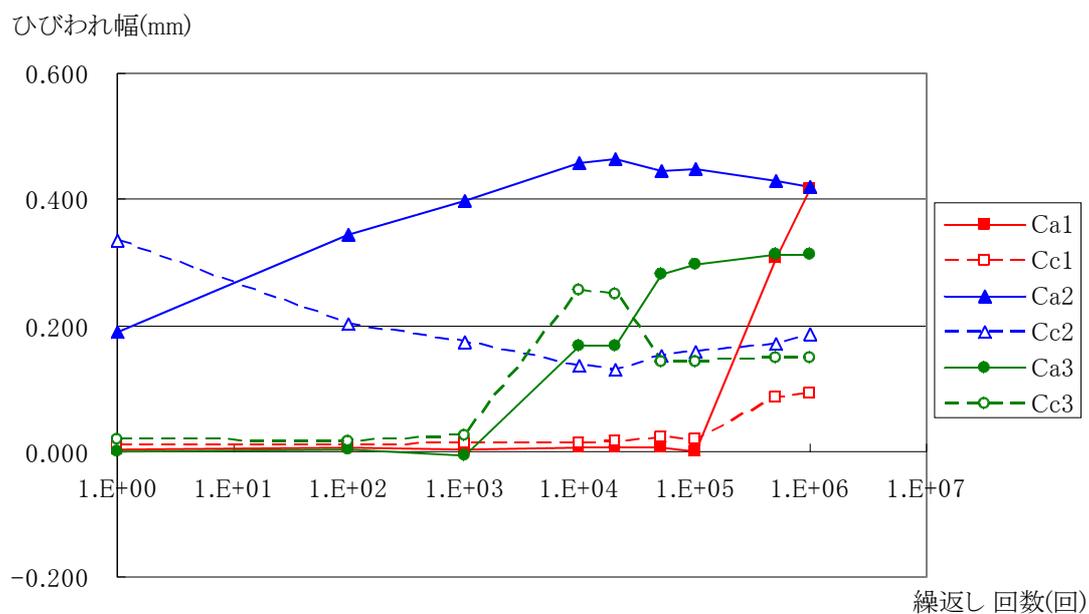
疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	-0.104	0.472	0.250	0.152	0.008	0.011
100	-0.110	0.475	0.252	0.156	0.008	0.011
1,000	-0.111	0.484	0.333	0.101	0.007	0.013
10,000	-0.110	0.489	0.240	0.186	0.319	0.042
20,000	-0.111	0.497	0.229	0.199	0.359	0.022
50,000	-0.110	0.509	0.236	0.206	0.370	0.019
100,000	-0.112	0.517	0.242	0.214	0.391	0.022
500,000	-0.112	0.526	0.246	0.219	0.390	0.012
1,000,000	0.277	0.196	0.144	0.336	0.365	0.042
1,500,000	0.294	0.165	0.135	0.344	0.367	0.036
2,000,000	0.306	0.167	0.145	0.353	0.374	0.044
2,500,000	0.305	0.167	0.140	0.352	0.377	0.045
3,000,000	0.311	0.167	0.142	0.358	0.377	0.041
4,000,000	0.320	0.163	0.144	0.362	0.385	0.044

付表 2.3.4 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-4)

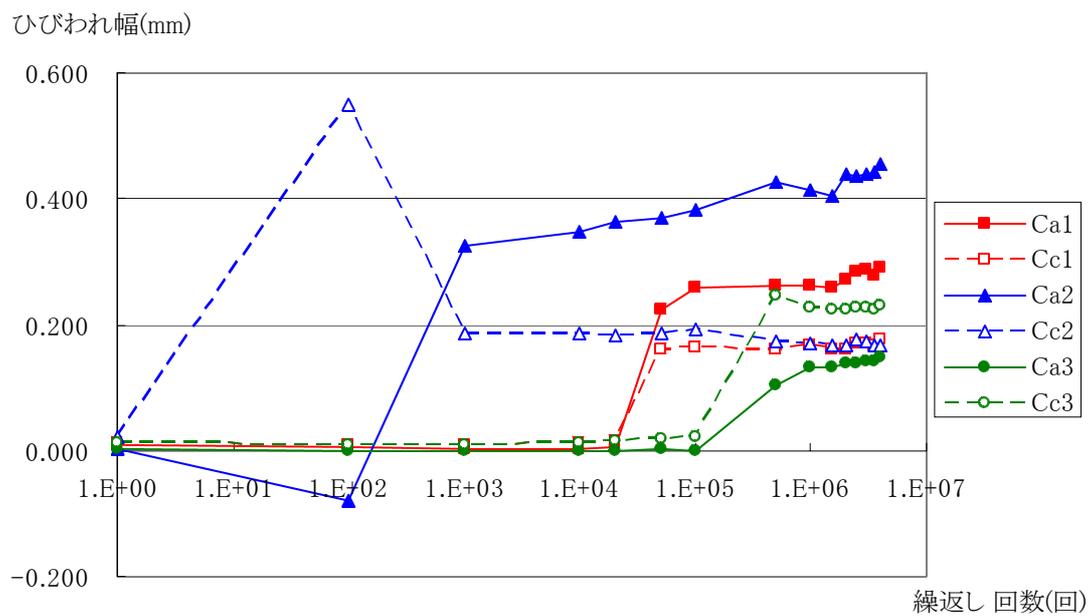
疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.196	0.200	-0.105	0.482	0.190	0.146
100	0.198	0.211	0.003	0.386	0.191	0.156
1,000	0.195	0.218	0.075	0.342	0.191	0.161
10,000	0.196	0.229	0.129	0.304	0.195	0.169
20,000	0.195	0.230	0.140	0.298	0.196	0.169
50,000	0.196	0.241	0.209	0.234	0.202	0.173
100,000	0.197	0.248	0.219	0.232	0.204	0.174
500,000	0.164	0.297	0.281	0.211	0.199	0.193
1,000,000	0.170	0.292	0.288	0.206	0.200	0.195
1,500,000	0.177	0.291	0.291	0.207	0.201	0.197
2,000,000	0.183	0.295	0.308	0.213	0.207	0.204
3,000,000	0.184	0.291	0.310	0.215	0.206	0.201
3,500,000	0.185	0.294	0.313	0.212	0.212	0.208
4,000,000	0.189	0.293	0.309	0.215	0.214	0.205

付表 2.3.5 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-5)

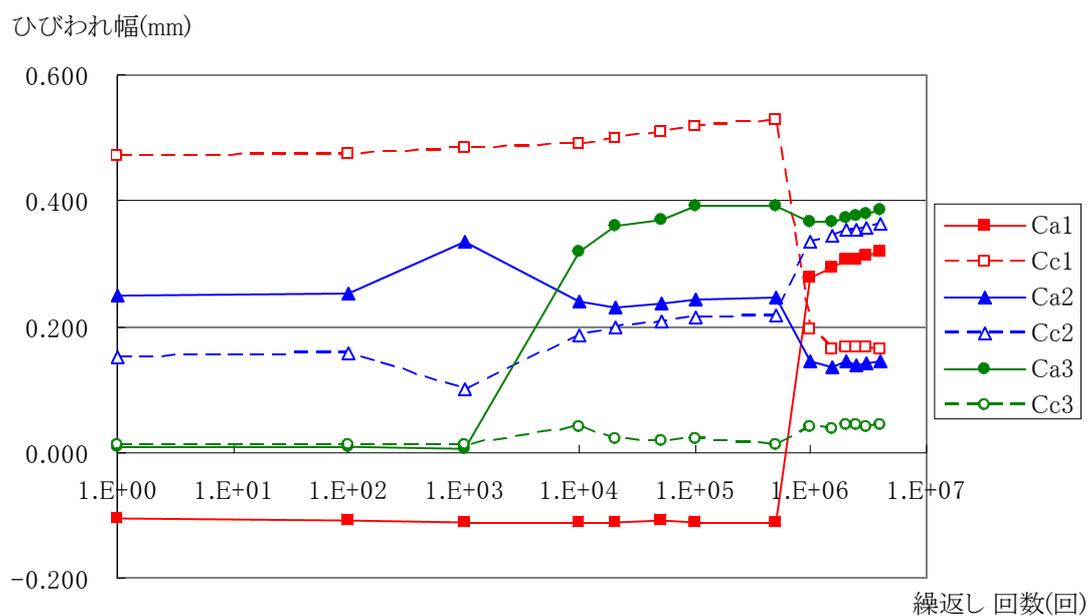
疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.287	0.148	0.327	0.219	0.005	0.018
100	0.294	0.136	0.340	0.200	0.003	0.021
1,000	0.313	0.126	0.369	0.179	0.115	0.319
10,000	0.318	0.132	0.328	0.221	0.231	0.211
20,000	0.317	0.129	0.332	0.217	0.244	0.195
50,000	0.324	0.133	0.338	0.224	0.245	0.195
100,000	0.325	0.133	0.348	0.213	0.260	0.214
500,000	0.336	0.137	0.375	0.215	0.269	0.204
1,000,000	0.341	0.135	0.375	0.235	0.271	0.216
1,500,000	0.346	0.137	0.384	0.234	0.268	0.224
2,000,000	0.351	0.138	0.389	0.235	0.278	0.228



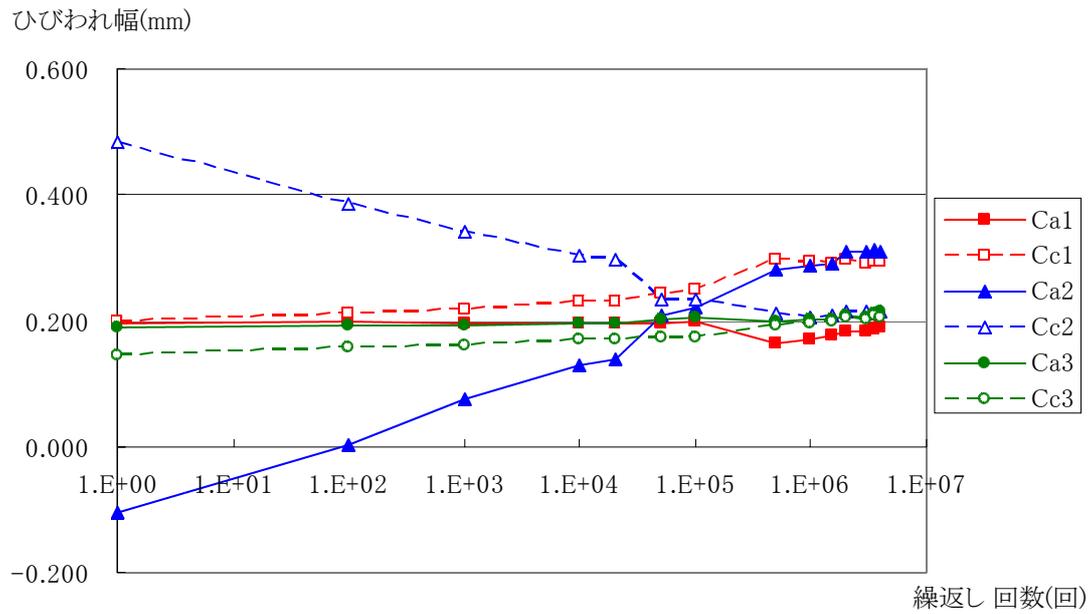
付図 2.3.1 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-1)



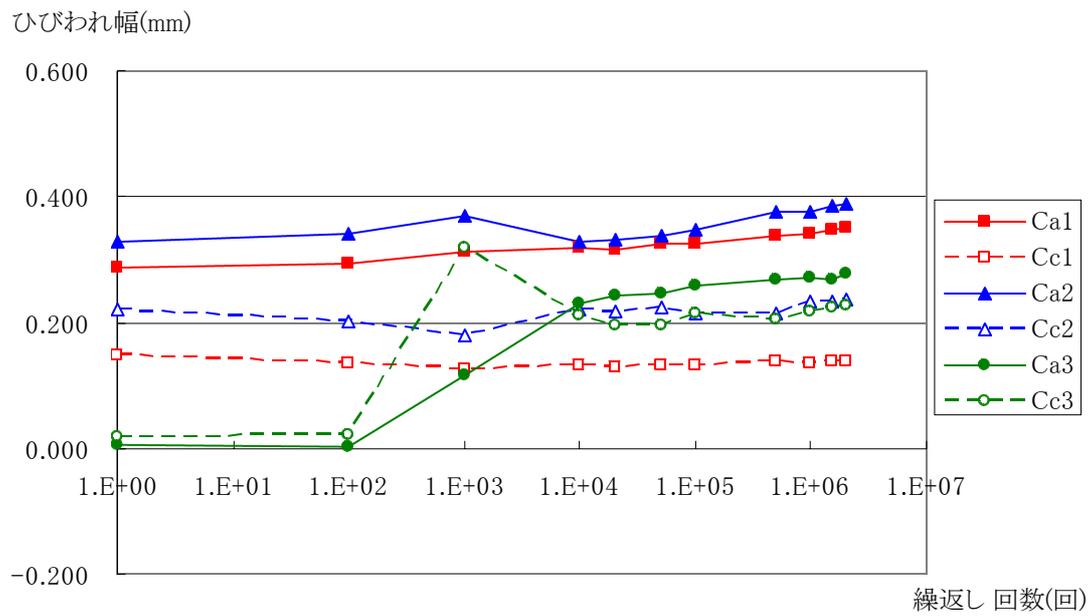
付図 2.3.2 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-2)



付図 2.3.3 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-3)



付図 2.3.4 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-4)



付図 2.3.5 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (D16-5)

付表 2.3.6 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-1)

疲労 累積回数	Sb1 (mm)	Sd1 (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2 (mm)	Sb3L (mm)	Sb3R (mm)	Sd3 (mm)
1	-	-	0.02	-	0.35	-	-	-
100	-	-	0.01	0.04	0.40	-	-	-
1,000	-	-	0.02	0.04	0.35	-	-	-
10,000	-	-	0.01	0.12	0.35	0.25	0.04	-
20,000	-	-	0.01	0.12	0.40	0.27	0.02	-
50,000	-	-	0.01	0.12	0.40	0.27	0.08	0.10
100,000	-	-	0.01	0.12	0.40	0.27	0.08	0.10
500,000	0.30	0.10	0.04	0.12	0.35	0.27	0.12	0.15
1,000,000	0.30	0.12	0.06	0.15	0.35	0.20	0.12	0.20

付表 2.3.7 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-2)

疲労 累積回数	Sb1 (mm)	Sd1 (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2L (mm)	Sd2R (mm)	Sb3 (mm)	Sd3 (mm)
100	-	-	0.30	-	-	0.20	-	-
1,000	-	-	0.06	0.10	0.15	0.10	-	-
10,000	-	-	0.08	0.10	0.20	0.10	-	-
20,000	-	-	0.06	0.12	0.20	0.15	-	-
50,000	0.04	0.10	0.12	0.20	0.30	0.15	-	-
100,000	0.04	0.12	0.12	0.20	0.30	0.18	-	-
500,000	0.04	0.15	0.08	0.20	0.30	0.12	0.04	0.20
1,000,000	0.04	0.15	0.04	0.25	0.30	0.12	0.04	0.25
1,500,000	0.04	0.12	0.04	0.25	0.25	0.12	0.02	0.25
2,000,000	0.04	0.12	0.06	0.25	0.25	0.12	0.02	0.25
2,500,000	0.04	0.15	0.06	0.25	0.25	0.12	0.02	0.25
3,000,000	0.04	0.15	0.06	0.25	0.25	0.12	0.02	0.25
3,500,000	0.04	0.15	0.06	0.30	0.25	0.12	0.02	0.25
4,000,000	0.06	0.15	0.06	0.30	0.25	0.12	0.02	0.25

付表 2.3.8 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-3)

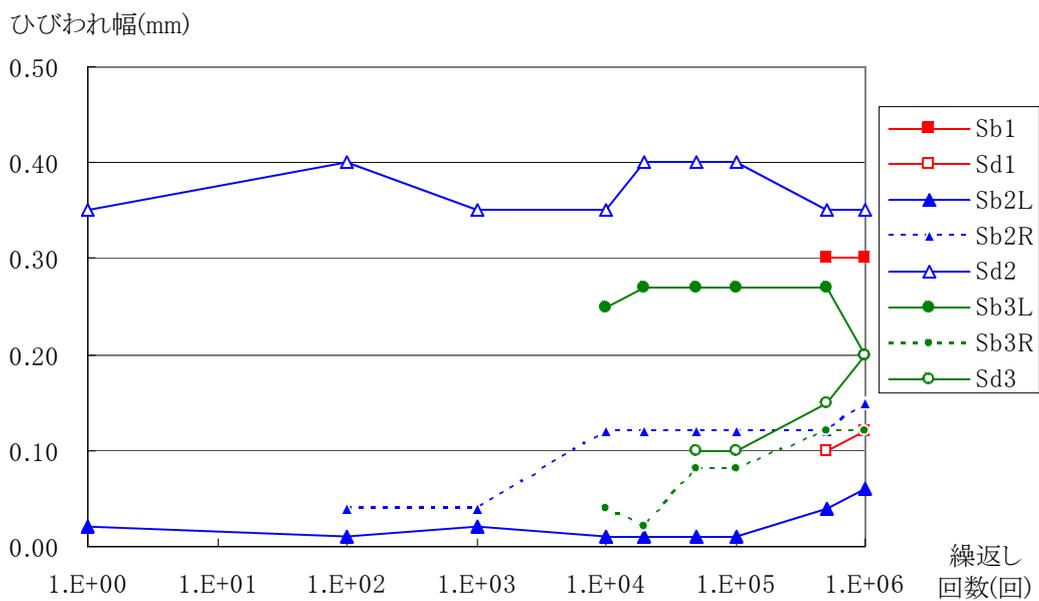
疲労 累積回数	Sb1L (mm)	Sb1R (mm)	Sd1L (mm)	Sd1R (mm)	Sb2 (mm)	Sd2 (mm)	Sb3 (mm)	Sd3 (mm)
1	0.15	-	-	0.10	-	0.30	-	-
100	0.20	-	-	0.15	0.04	0.30	-	-
1,000	0.20	-	-	0.15	0.06	0.25	-	-
10,000	0.25	-	-	0.20	0.10	0.20	0.12	0.10
20,000	0.25	-	-	0.20	0.06	0.15	0.12	0.12
50,000	0.25	-	-	0.20	0.06	0.15	0.12	0.12
100,000	0.25	-	-	0.20	0.06	0.12	0.15	0.10
500,000	0.25	-	-	0.20	0.06	0.15	0.12	0.15
1,000,000	0.12	0.12	0.04	0.15	0.04	0.22	0.10	0.12
1,500,000	0.12	0.20	0.06	0.15	0.04	0.25	0.12	0.15
2,000,000	0.10	0.25	0.06	0.15	0.08	0.25	0.15	0.15
2,500,000	0.10	0.25	0.08	0.15	0.06	0.25	0.20	0.20
3,000,000	0.08	0.25	0.08	0.12	0.06	0.25	0.20	0.20
4,000,000	0.08	0.20	0.08	0.15	0.06	0.27	0.15	0.22

付表 2.3.9 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-4)

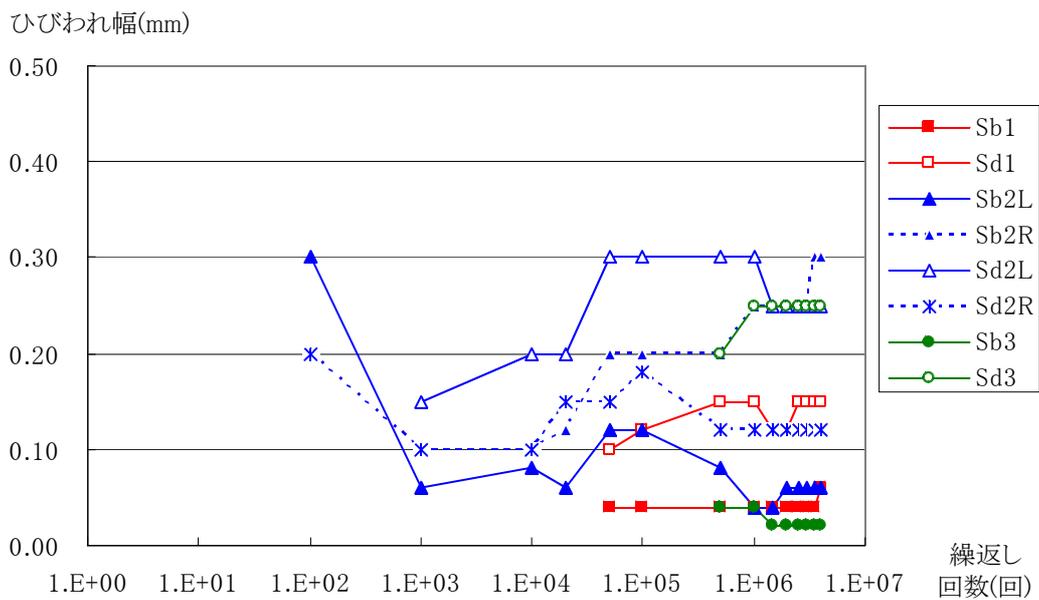
疲労 累積回数	Sb1 (mm)	Sd1L (mm)	Sd1R (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2 (mm)	Sb3 (mm)	Sd3 (mm)
1		0.25	0.25	0.20		0.15	0.20	
100		0.25	0.25	0.15		0.15	0.22	
1,000		0.25	0.25	0.12		0.20	0.25	
10,000		0.25	0.25	0.12	0.04	0.22	0.25	
20,000		0.25	0.30	0.12	0.04	0.22	0.25	
50,000		0.25	0.30	0.12	0.10	0.22	0.22	
100,000		0.25	0.30	0.12	0.10	0.20	0.22	
500,000	0.10	0.15	0.20	0.12	0.10	0.15	0.15	0.08
1,000,000	0.10	0.15	0.25	0.12	0.12	0.15	0.10	0.10
1,500,000	0.10	0.15	0.25	0.12	0.12	0.15	0.10	0.10
2,000,000	0.10	0.15	0.25	0.12	0.12	0.15	0.10	0.10
3,000,000	0.12	0.15	0.25	0.12	0.12	0.15	0.10	0.10
3,500,000	0.12	0.15	0.25	0.12	0.12	0.15	0.10	0.15
4,000,000	0.12	0.15	0.25	0.12	0.12	0.15	0.10	0.15

付表 2.3.10 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-5)

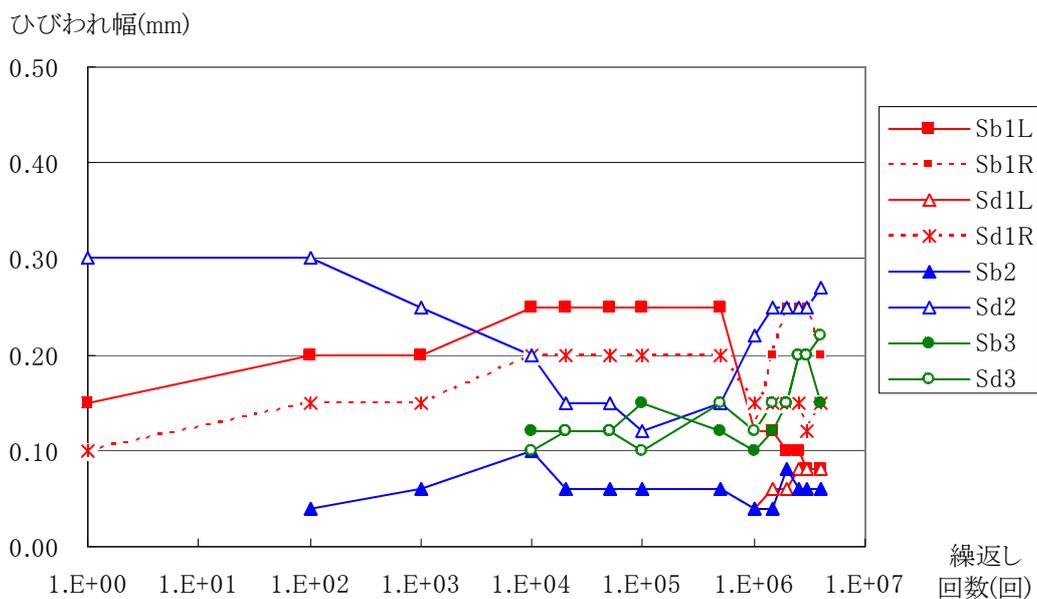
疲労 累積回数	Sb1 (mm)	Sb2 (mm)	Sb2 (mm)	Sd2 (mm)	Sb3 (mm)	Sd3 (mm)	(mm)	(mm)
1	0.10	0.12	0.10	0.20	-	-		
100	0.12	0.15	0.12	0.25	0.25	0.25		
1,000	0.20	0.12	0.20	0.22	0.10	0.35		
10,000	0.15	0.15	0.20	0.20	0.12	0.20		
20,000	0.12	0.15	0.20	0.20	0.10	0.22		
50,000	0.12	0.15	0.20	0.22	0.12	0.25		
100,000	0.12	0.15	0.20	0.22	0.12	0.22		
500,000	0.12	0.15	0.25	0.22	0.10	0.22		
1,000,000	0.12	0.17	0.25	0.20	0.12	0.22		
1,500,000	0.12	0.20	0.30	0.22	0.12	0.25		
2,000,000	0.15	0.25	0.32	0.27	0.12	0.30		



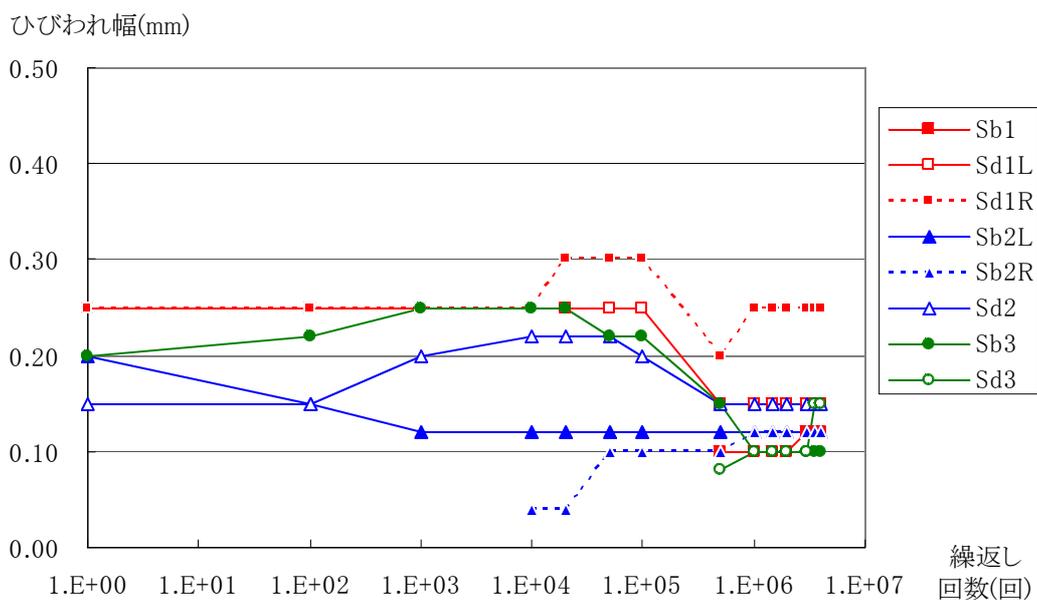
付図 2.3.6 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-1)



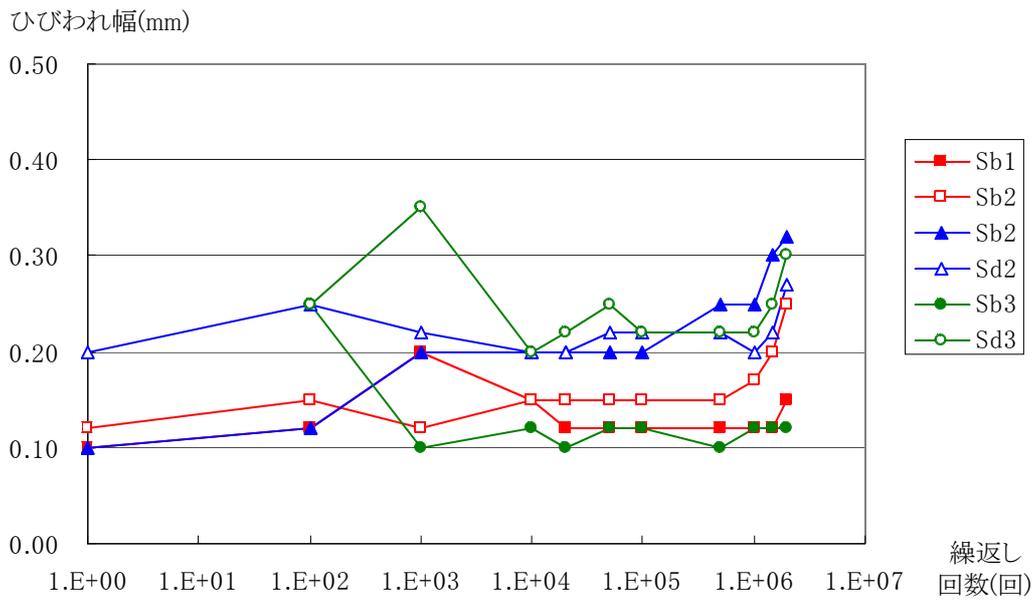
付図 2.3.7 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-2)



付図 2.3.8 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-3)



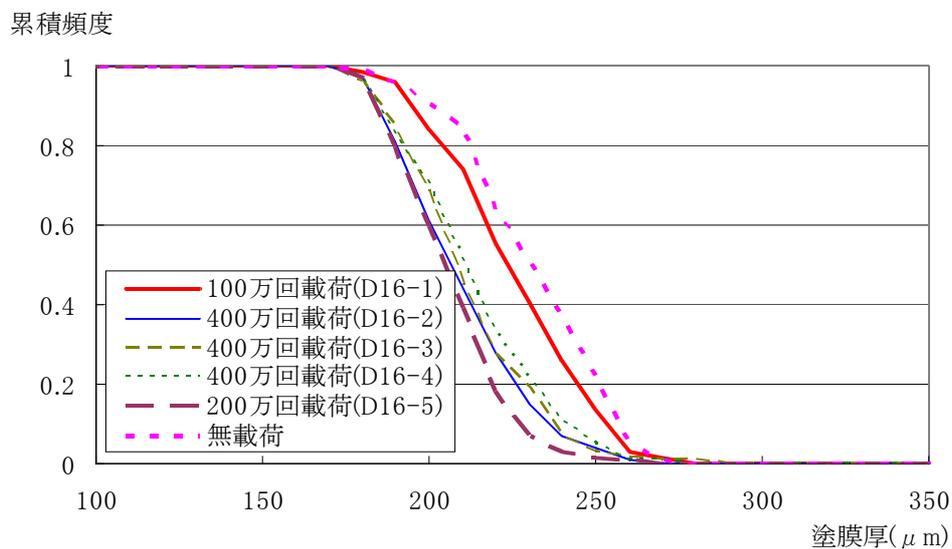
付図 2.3.9 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (D16-4)



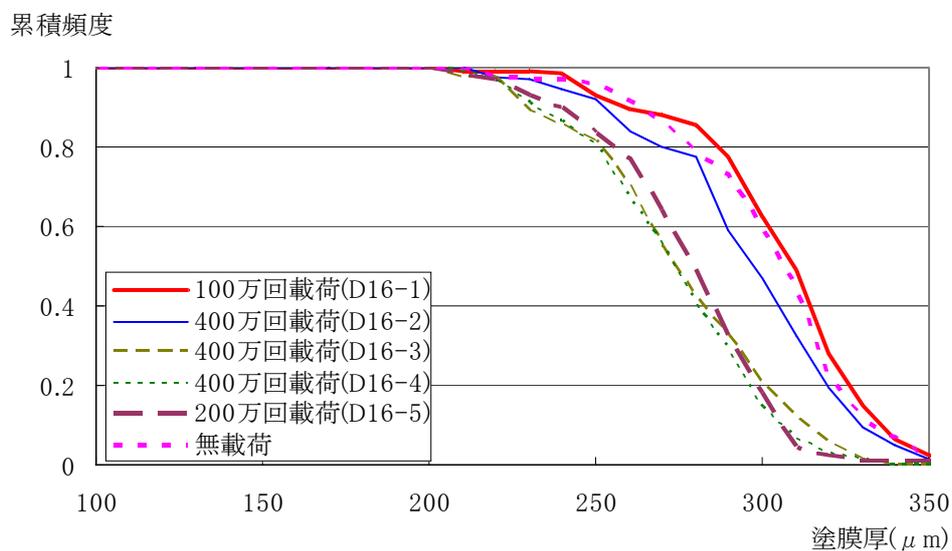
付図 2.3.10 クラックスケールによるひびわれ幅の計測(D16-5)

#### 4. 塗膜厚

各供試体ごとの塗膜厚の累積頻度分布を付図 2.4.1 ~ 2.4.10 に示す。また付表 2.4.1、付図 2.4.11 に各供試体の測点毎の平均値を、付表 2.4.2、付図 2.4.12 に各供試体の測点毎の最小値を、付表 2.4.3、付図 2.4.13 に各供試体の測点毎の下限值(200  $\mu\text{m}$ )の超過確率を示す。

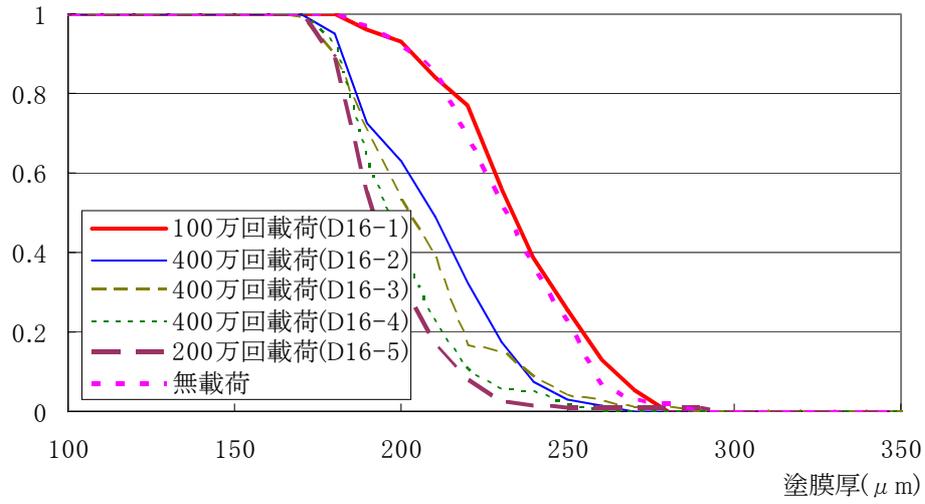


付図 2.4.1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-1)



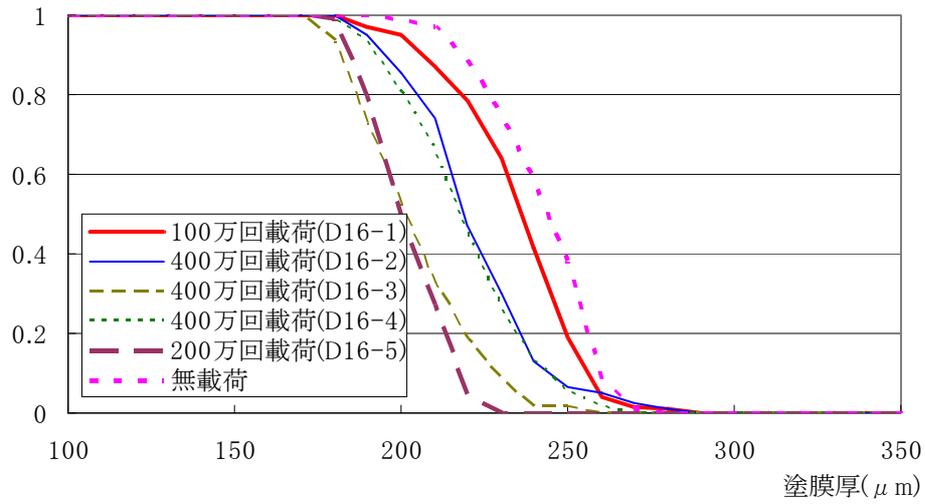
付図 2.4.2 塗膜厚の累積頻度分布 (a-2)

累積頻度



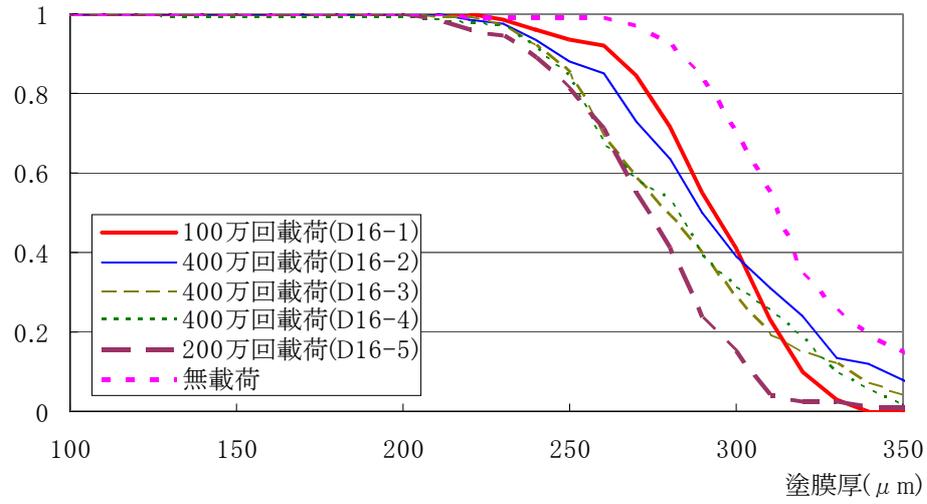
付図 2.4.3 塗膜厚の累積頻度分布 (a-3)

累積頻度



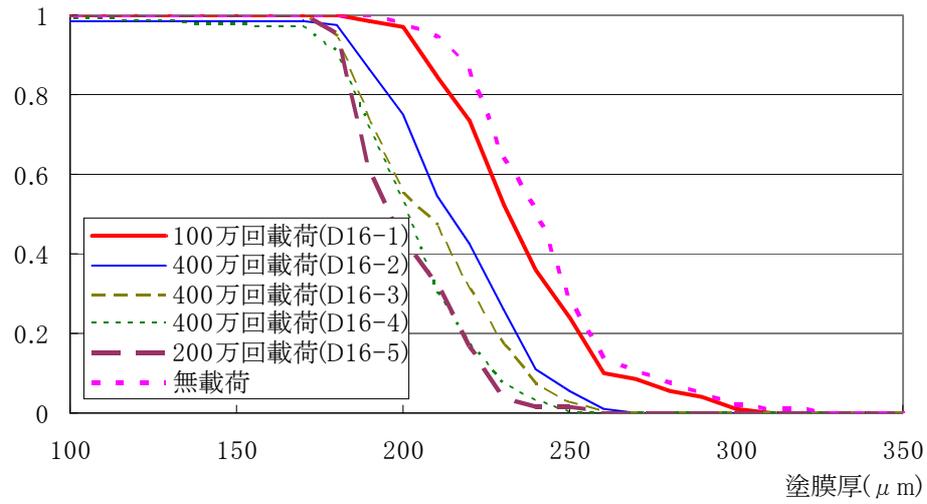
付図 2.4.4 塗膜厚の累積頻度分布 (a-4)

累積頻度



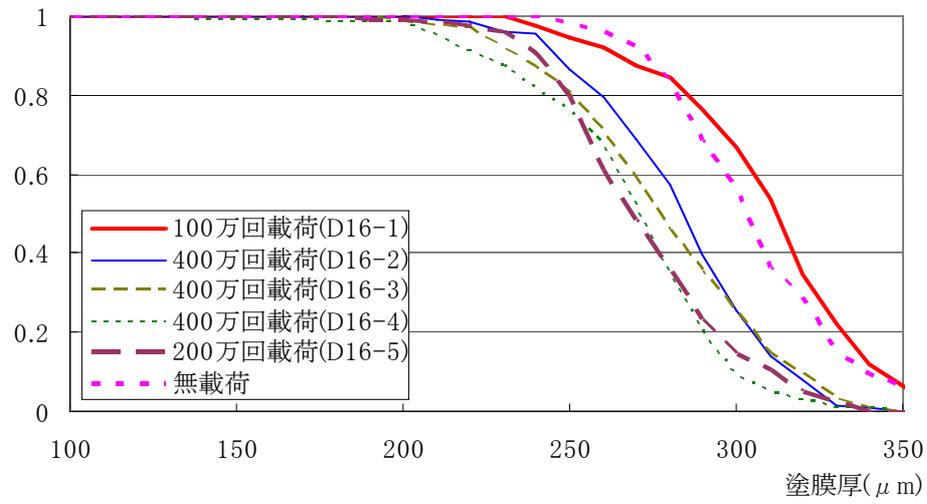
付図 2.4.5 塗膜厚の累積頻度分布 (b)

累積頻度



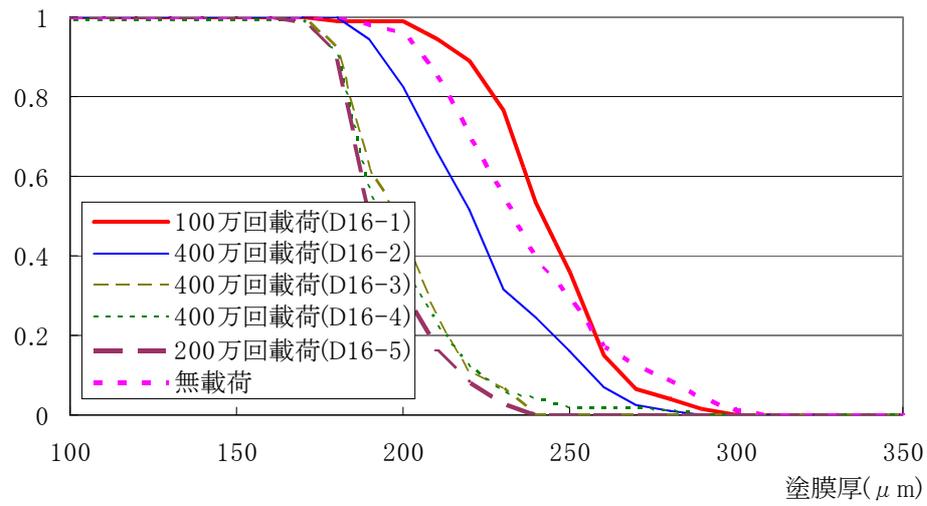
付図 2.4.6 塗膜厚の累積頻度分布 (c-1)

累積頻度



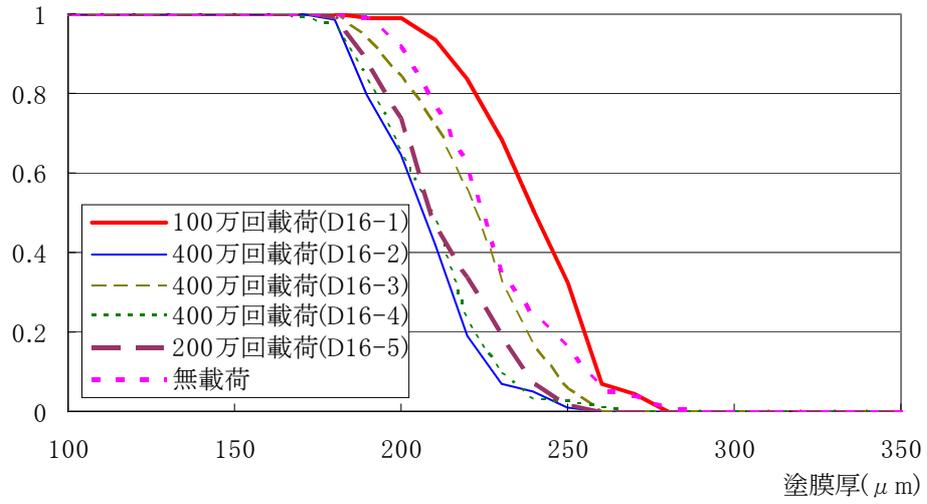
付図 2.4.7 塗膜厚の累積頻度分布(c-2)

累積頻度



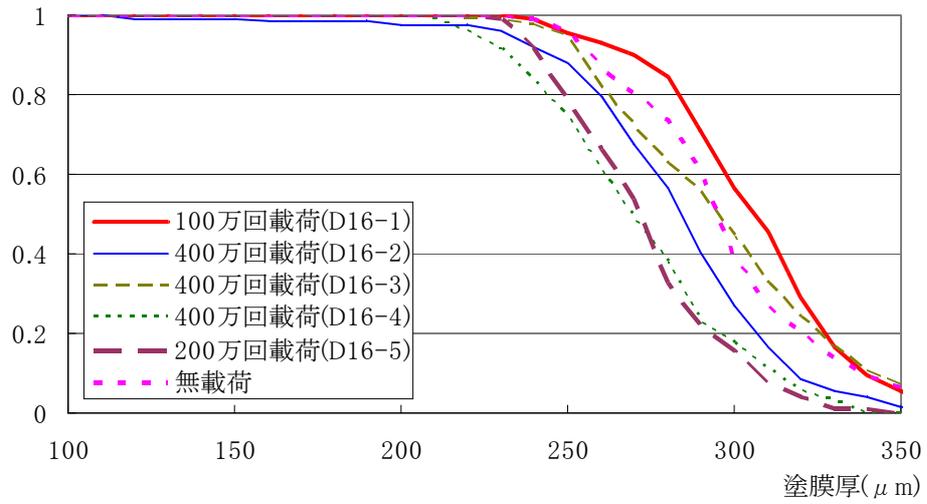
付図 2.4.8 塗膜厚の累積頻度分布(c-3)

累積頻度



付図 2.4.9 塗膜厚の累積頻度分布 (c-4)

累積頻度

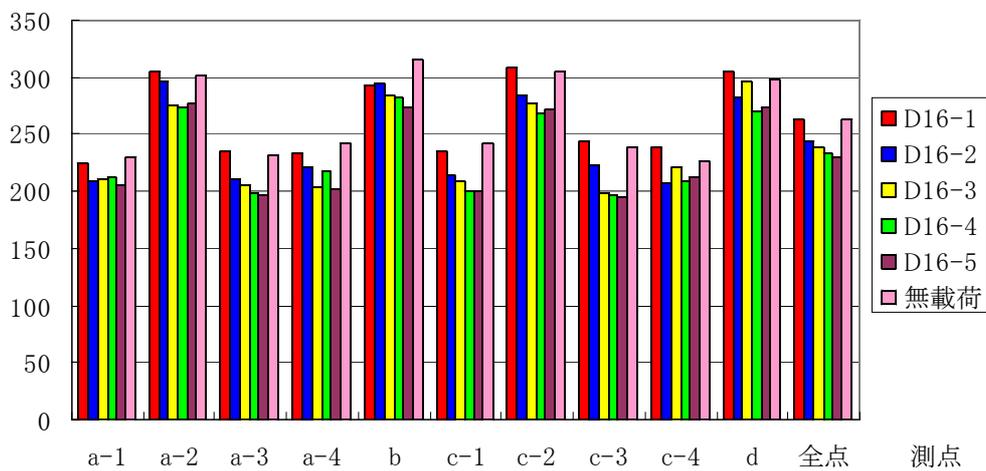


付図 2.4.10 塗膜厚の累積頻度分布 (d)

付表 2.4.1 各供試体の測点毎の平均値

	D16-1	D16-2	D16-3	D16-4	D16-5	無載荷
a-1	225.1	209.5	210.6	212.8	205.9	230.5
a-2	304.7	295.3	274.5	273.2	277.0	301.3
a-3	234.2	209.9	205.5	199.2	196.3	232.3
a-4	234.0	221.4	203.5	218.2	201.4	242.4
b	292.2	293.4	283.1	282.6	272.9	315.7
c-1	235.0	214.0	208.2	200.7	200.8	242.2
c-2	308.5	283.0	277.2	267.4	271.9	305.2
c-3	243.1	223.7	199.2	197.6	195.0	237.7
c-4	239.1	207.2	221.1	208.7	212.4	227.2
d	305.5	281.7	296.3	270.6	273.1	298.1
全点	262.2	243.9	237.9	233.2	230.7	263.3

平均膜厚

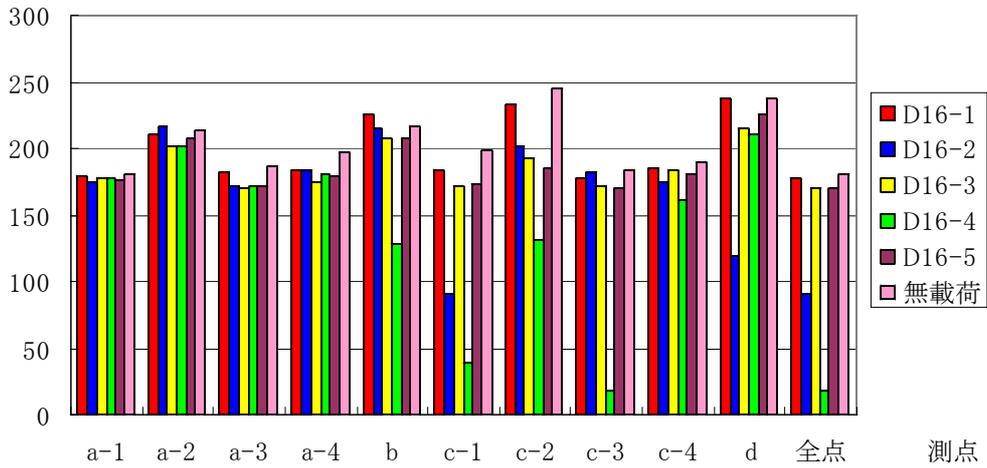


付図 2.4.11 各供試体の測点毎の平均値

付表 2.4.2 各供試体の測点毎の最小値

	D16-1	D16-2	D16-3	D16-4	D16-5	無載荷
a-1	179.0	175.0	177.0	178.0	176.0	180.0
a-2	210.0	217.0	201.0	202.0	208.0	214.0
a-3	182.0	172.0	170.0	171.0	172.0	186.0
a-4	184.0	183.0	174.0	180.0	179.0	197.0
b	226.0	215.0	207.0	128.0	208.0	217.0
c-1	184.0	91.0	172.0	39.0	173.0	199.0
c-2	233.0	202.0	193.0	132.0	185.0	245.0
c-3	178.0	182.0	171.0	18.0	170.0	183.0
c-4	185.0	174.0	184.0	161.0	180.0	189.0
d	237.0	120.0	215.0	210.0	225.0	237.0
全点	178.0	91.0	170.0	18.0	170.0	180.0

最小膜厚

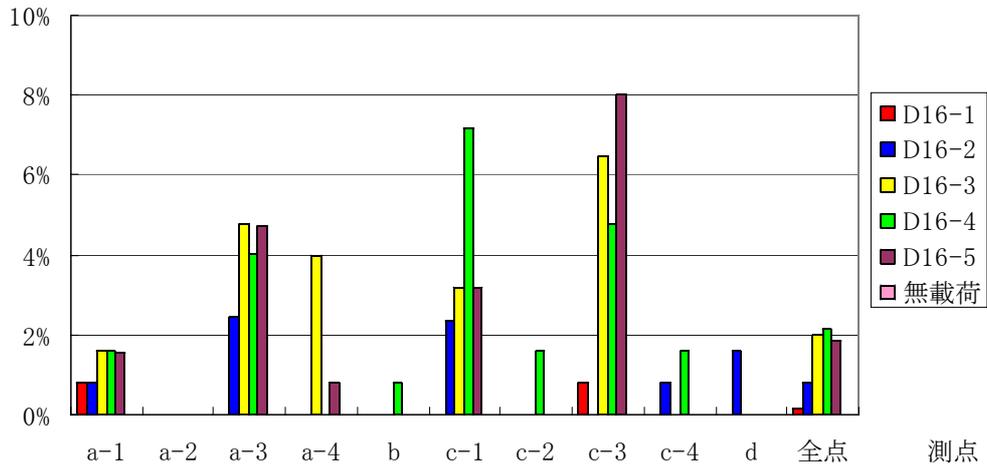


付図 2.4.12 各供試体の測点毎の最小値

付表 2.4.3 各供試体の測点毎の下限值の超過確率

	D16-1	D16-2	D16-3	D16-4	D16-5	無載荷
a-1	1%	1%	2%	2%	2%	0%
a-2	0%	0%	0%	0%	0%	0%
a-3	0%	2%	5%	4%	5%	0%
a-4	0%	0%	4%	0%	1%	0%
b	0%	0%	0%	1%	0%	0%
c-1	0%	2%	3%	7%	3%	0%
c-2	0%	0%	0%	2%	0%	0%
c-3	1%	0%	6%	5%	8%	0%
c-4	0%	1%	0%	2%	0%	0%
d	0%	2%	0%	0%	0%	0%
全点	0%	1%	2%	2%	2%	0%

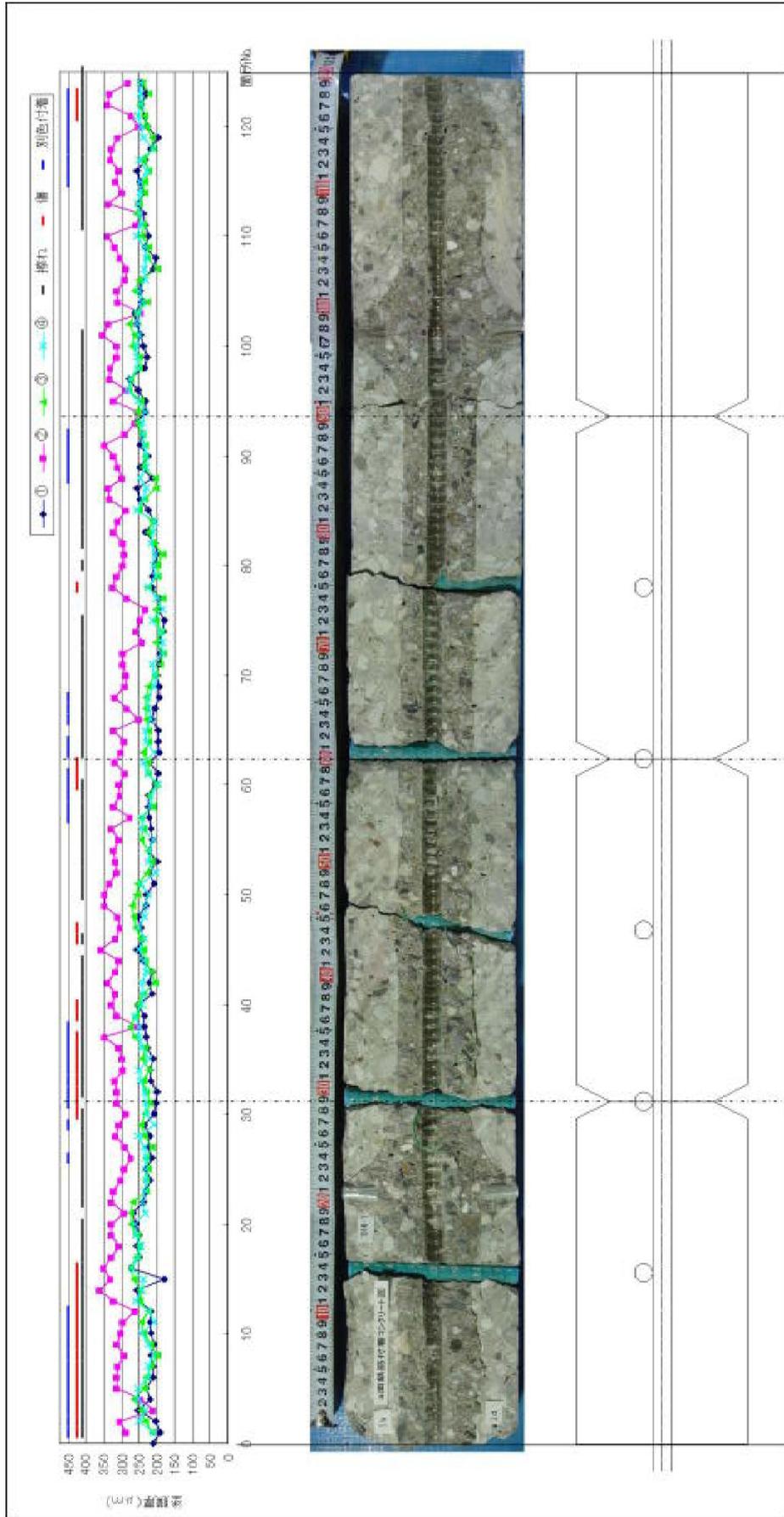
下限値の超過率



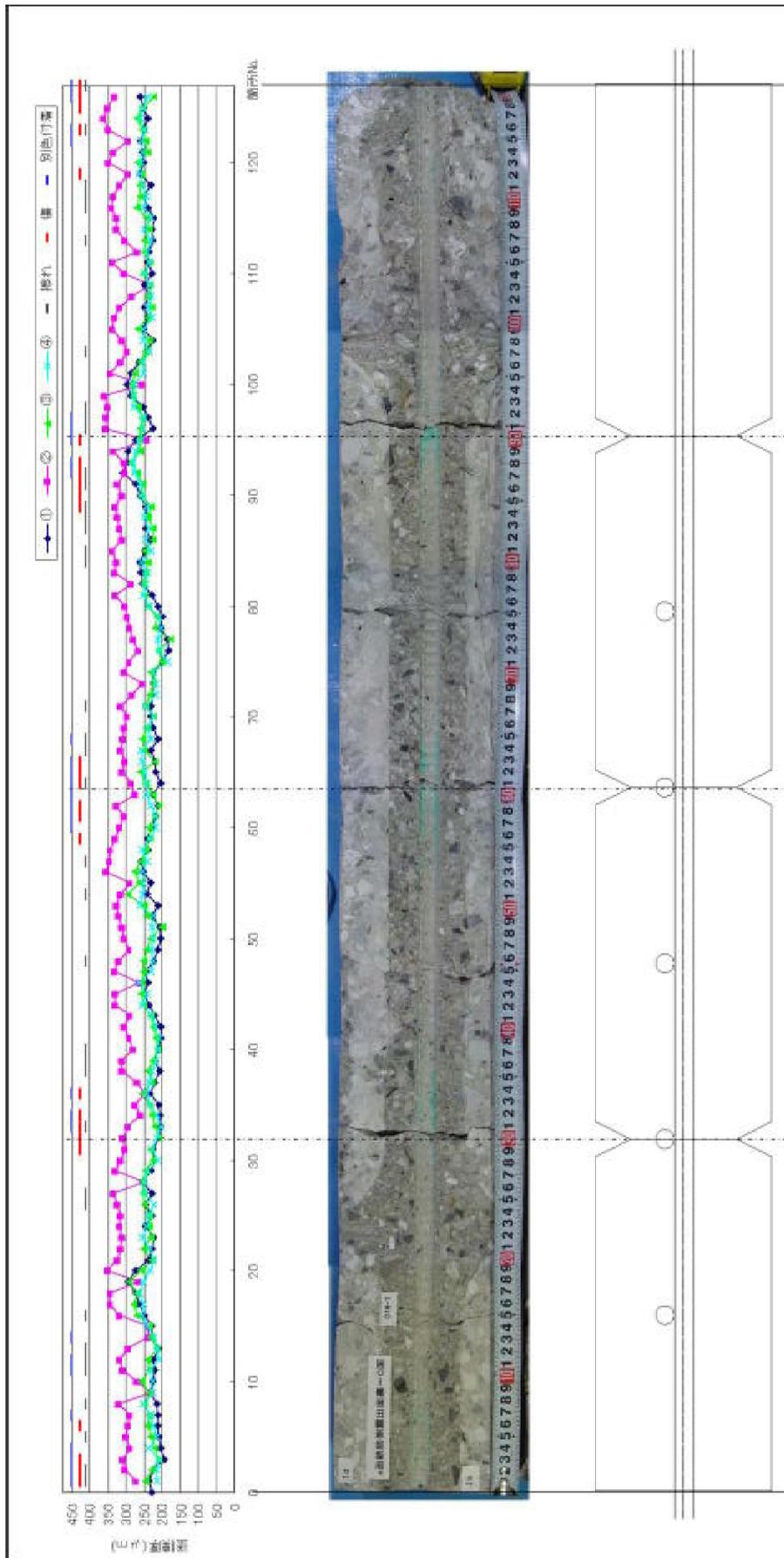
付図 2.4.13 各供試体の測点毎の下限值の超過確率

## 5. 供試体解体

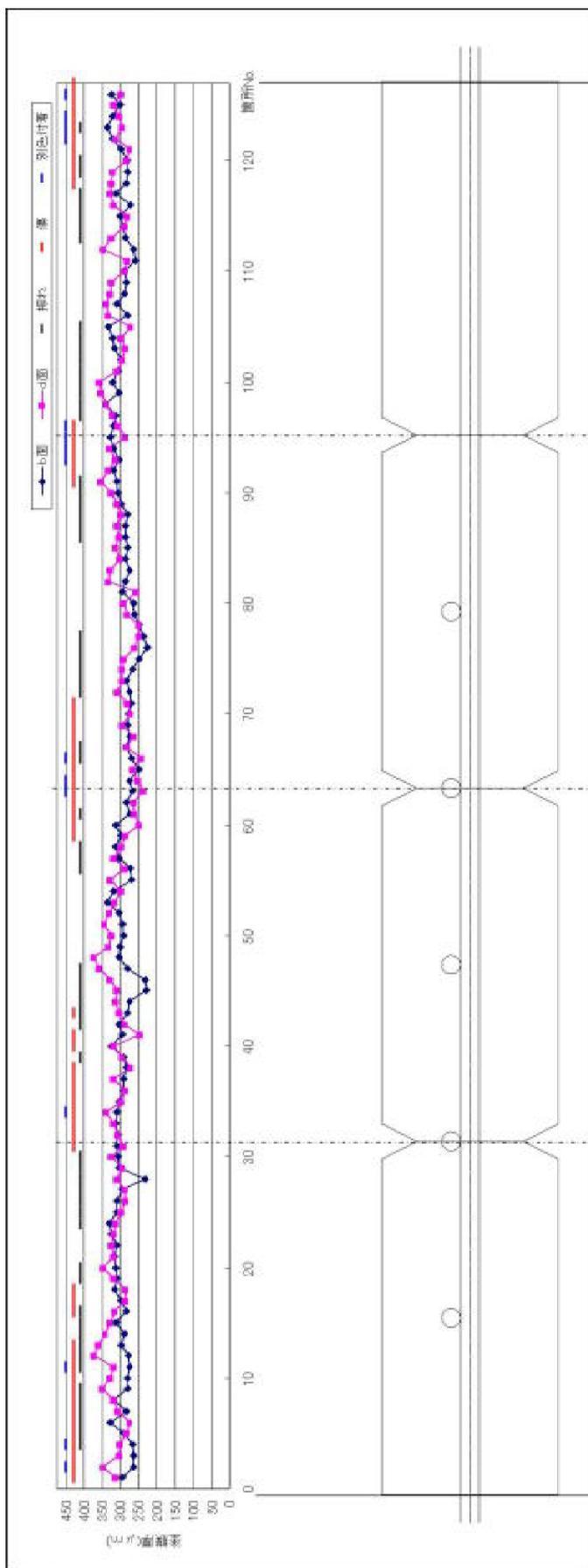
図 2.5.1 ～ 2.5.15 に供試体解体後の状況を示す。また図 2.5.16 ～ 2.5.21 に塩水噴霧試験前後の状況を示す。



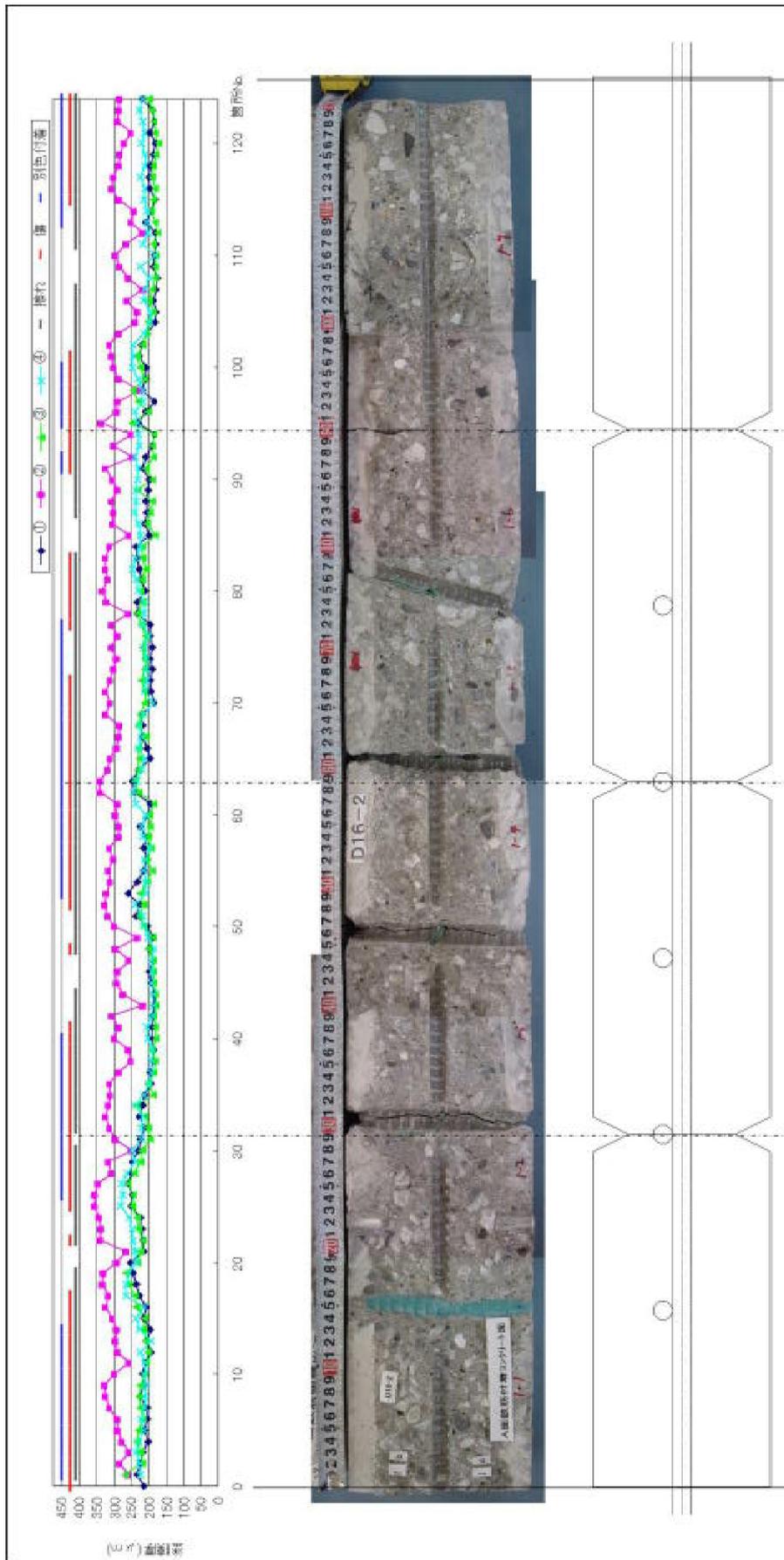
付図 2.5.1 塗膜厚測定結果 (DI6-1 a 面)



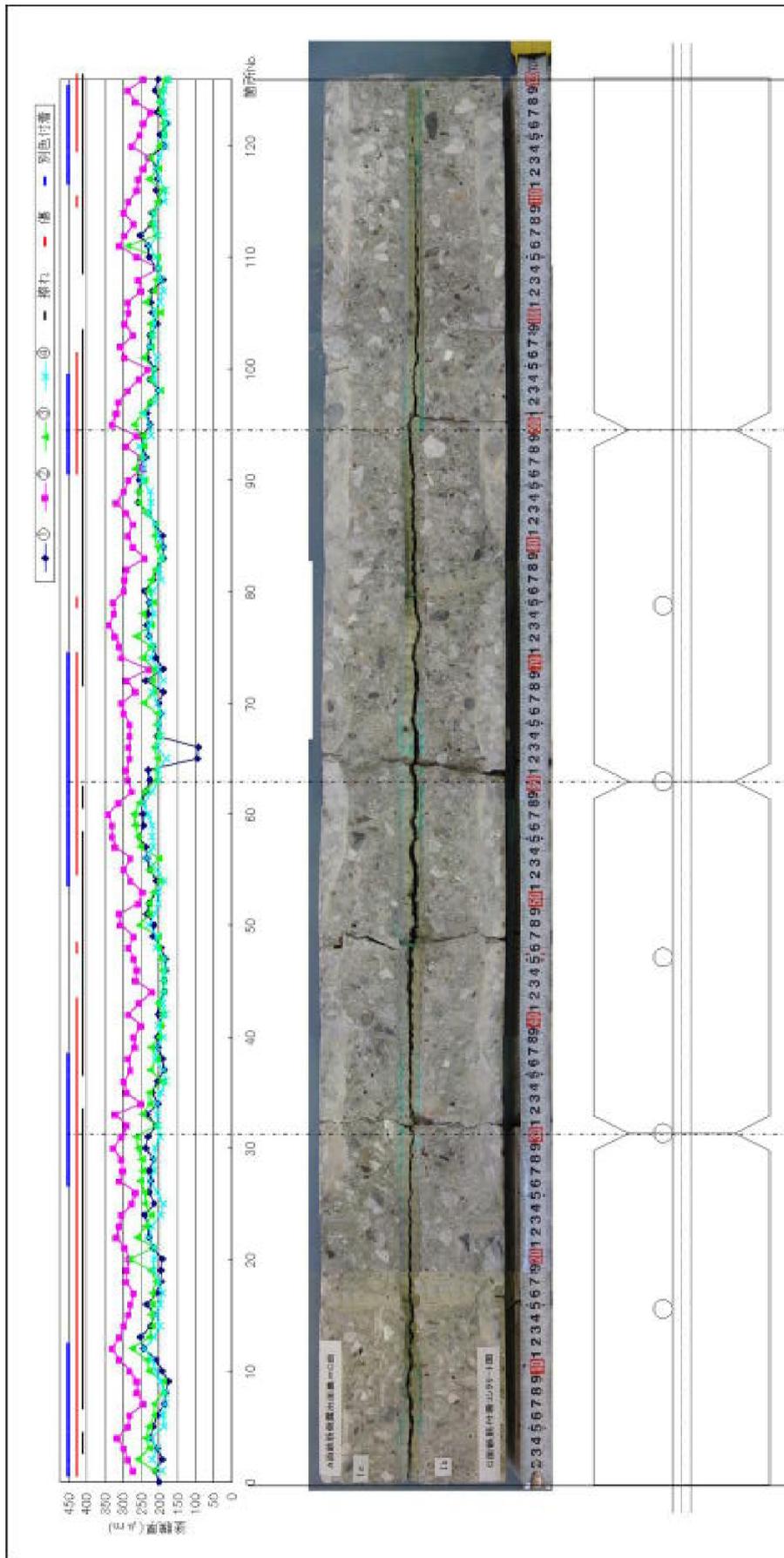
付図 2.5.2 塗膜厚測定結果 (DI6-1 c 面)



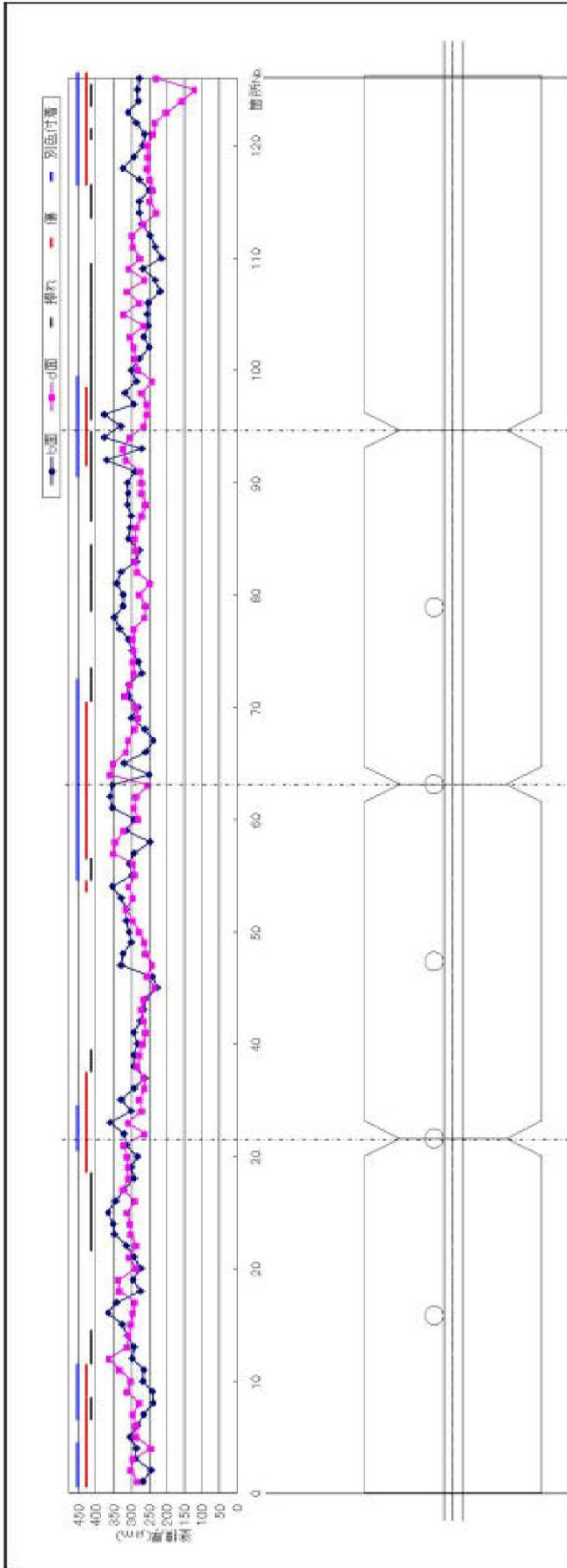
付図 2.5.3 塗膜厚測定結果 (D16-1 b,d 面)



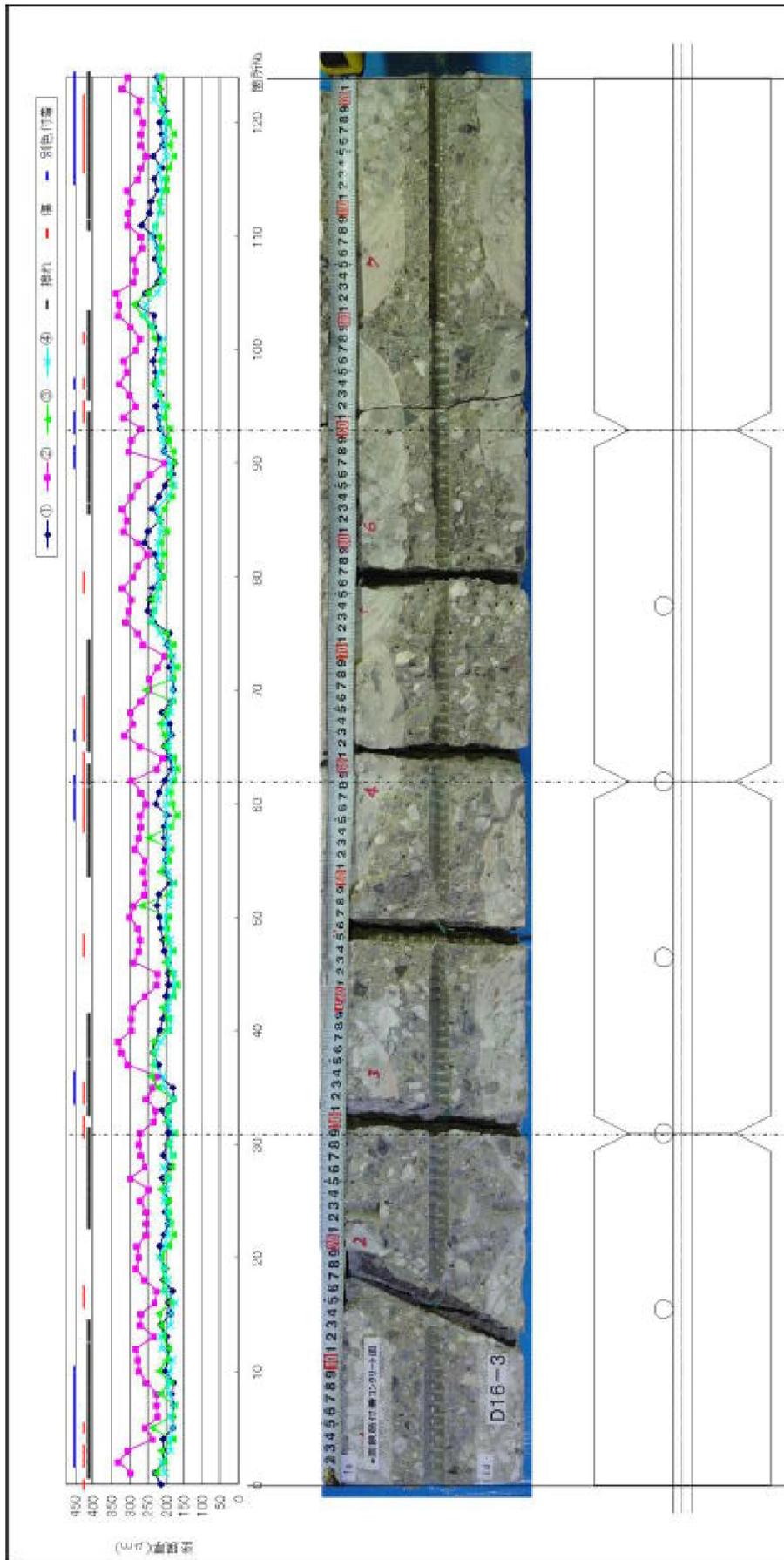
付図 2.5.4 塗膜厚測定結果 (D16-2 a 面)



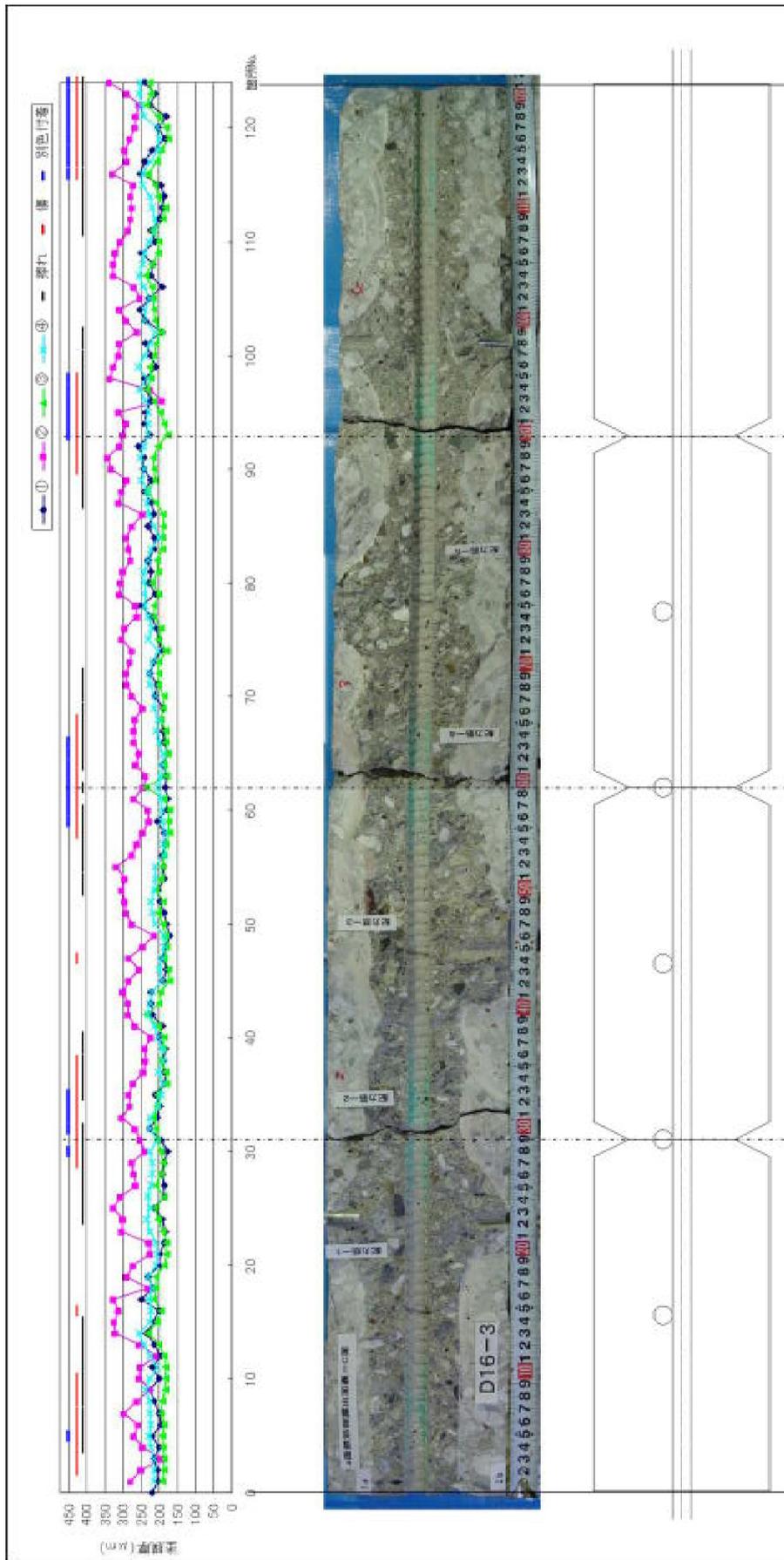
付図 2.5.5 塗膜厚測定結果 (DI6-2 c 面)



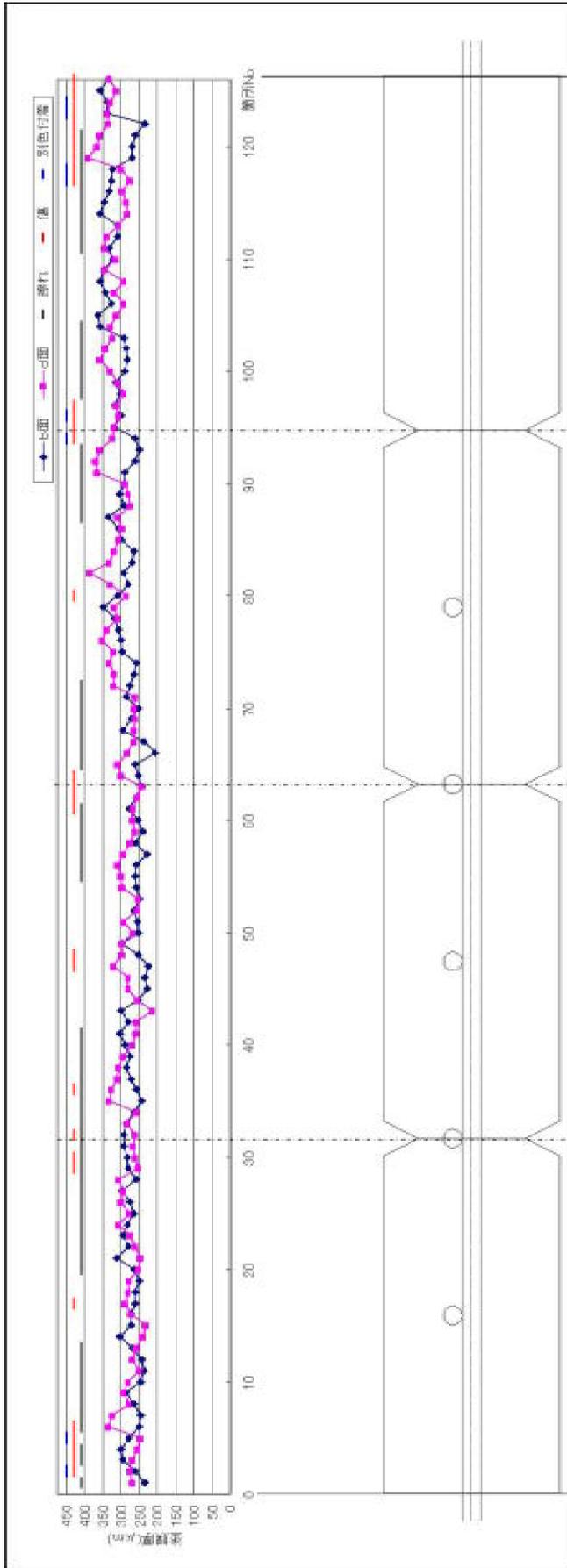
付図 2.5.6 塗膜厚測定結果 (D16-2 b,d 面)



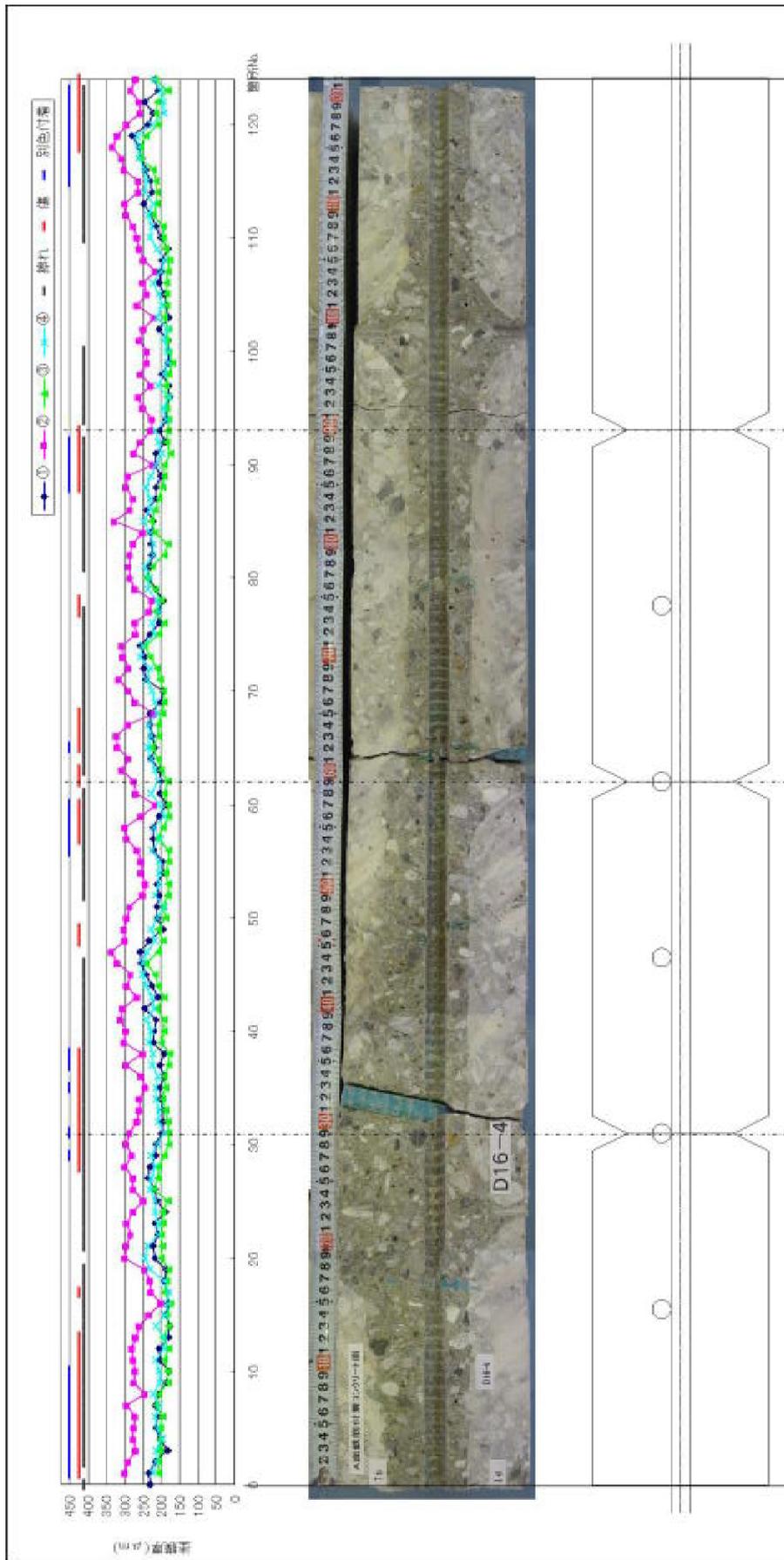
付図 2.5.7 塗膜厚測定結果 (D16-3 a 面)



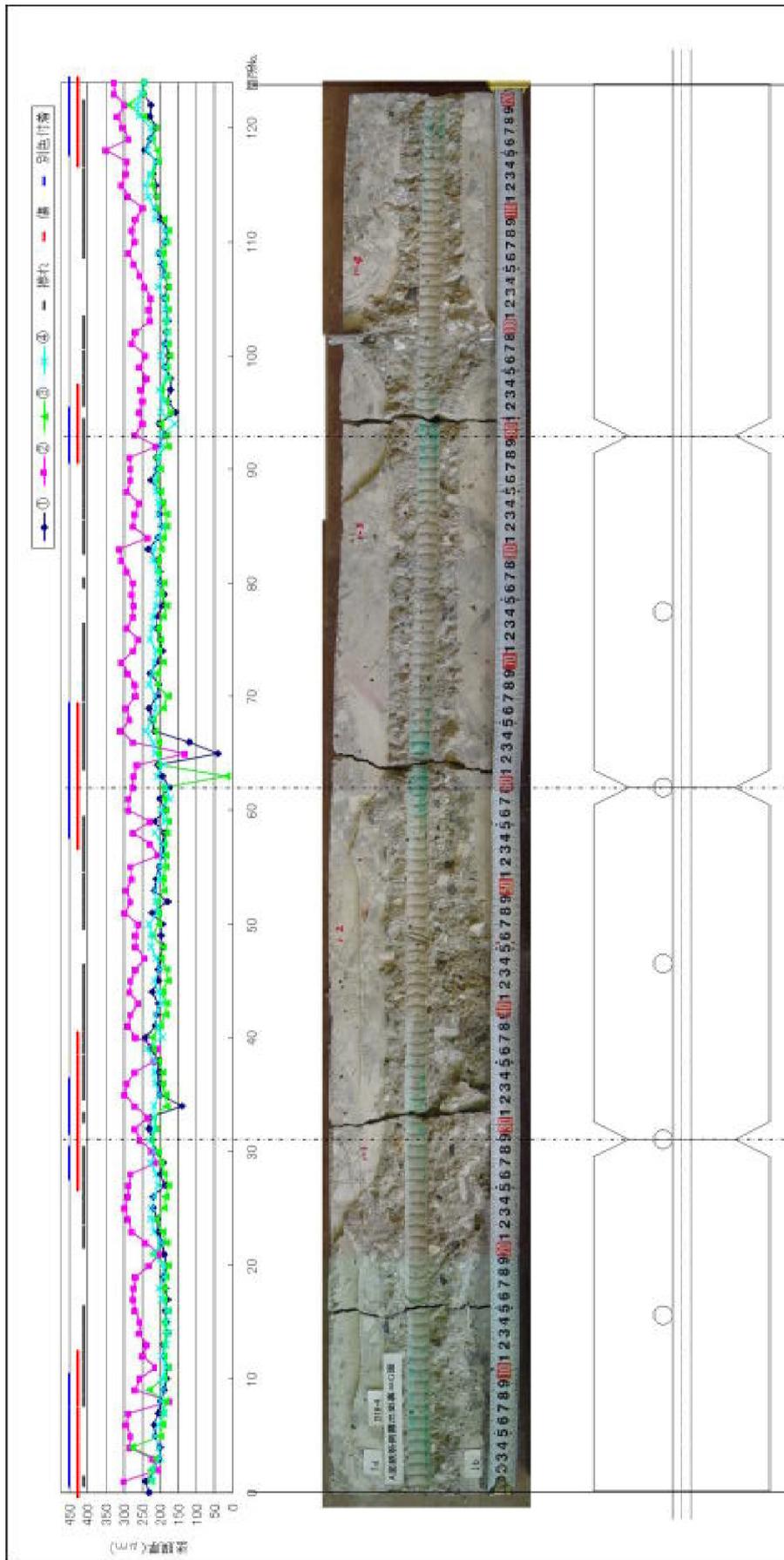
付図 2.5.8 塗膜厚測定結果 (D16-3 c 面)



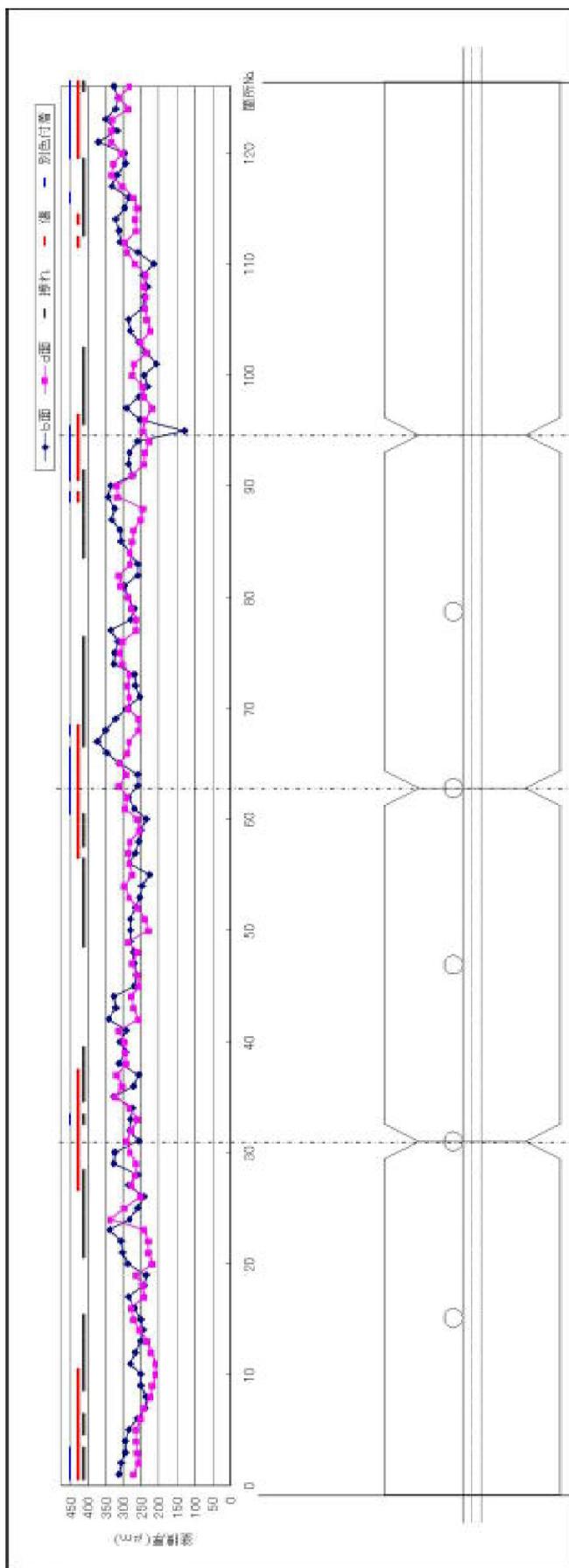
付图 2.5.9 塗膜厚測定結果 (D16-3 b,d 面)



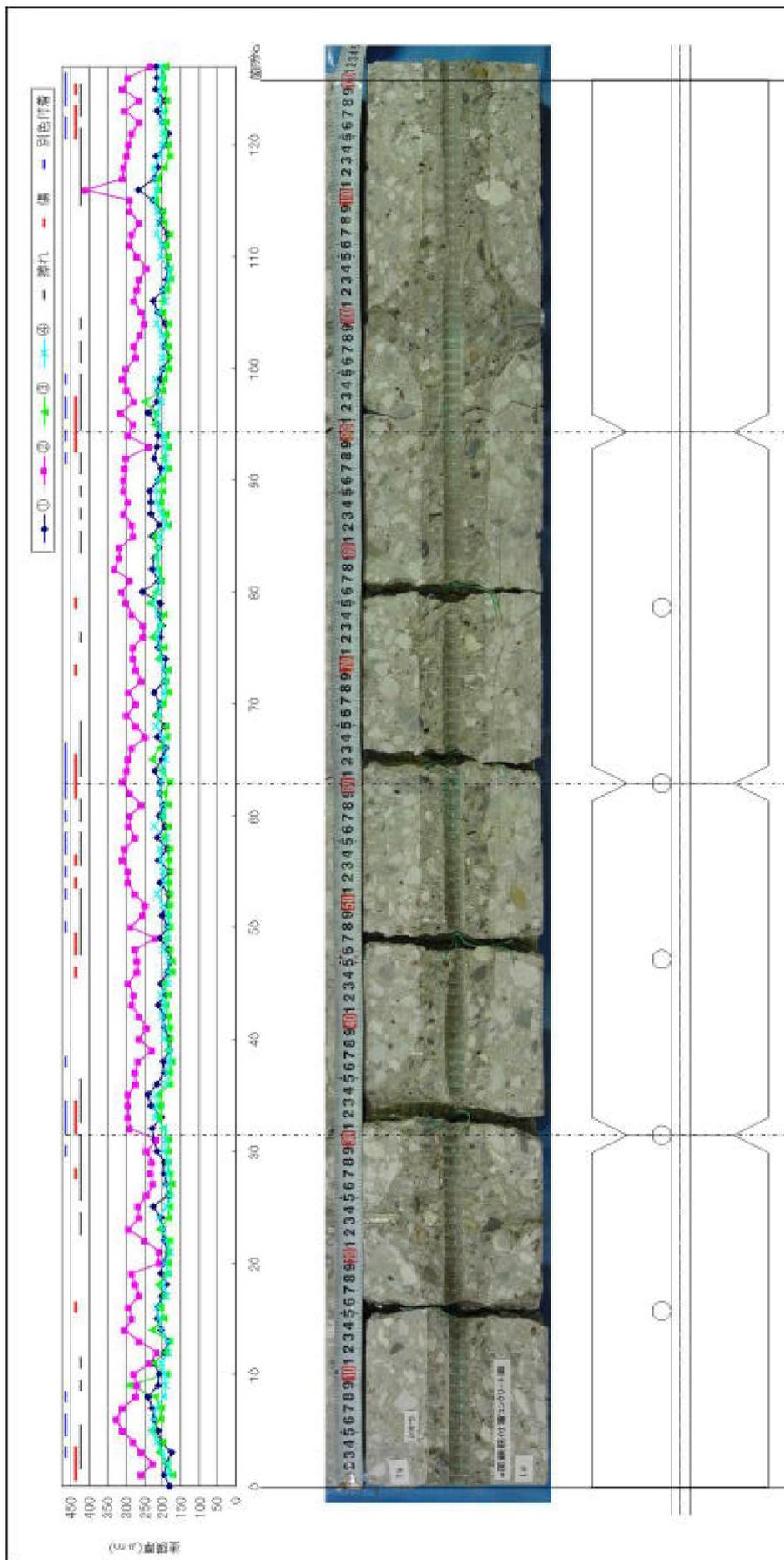
付图 2.5.10 塗膜厚測定結果 (D16-4 a 面)



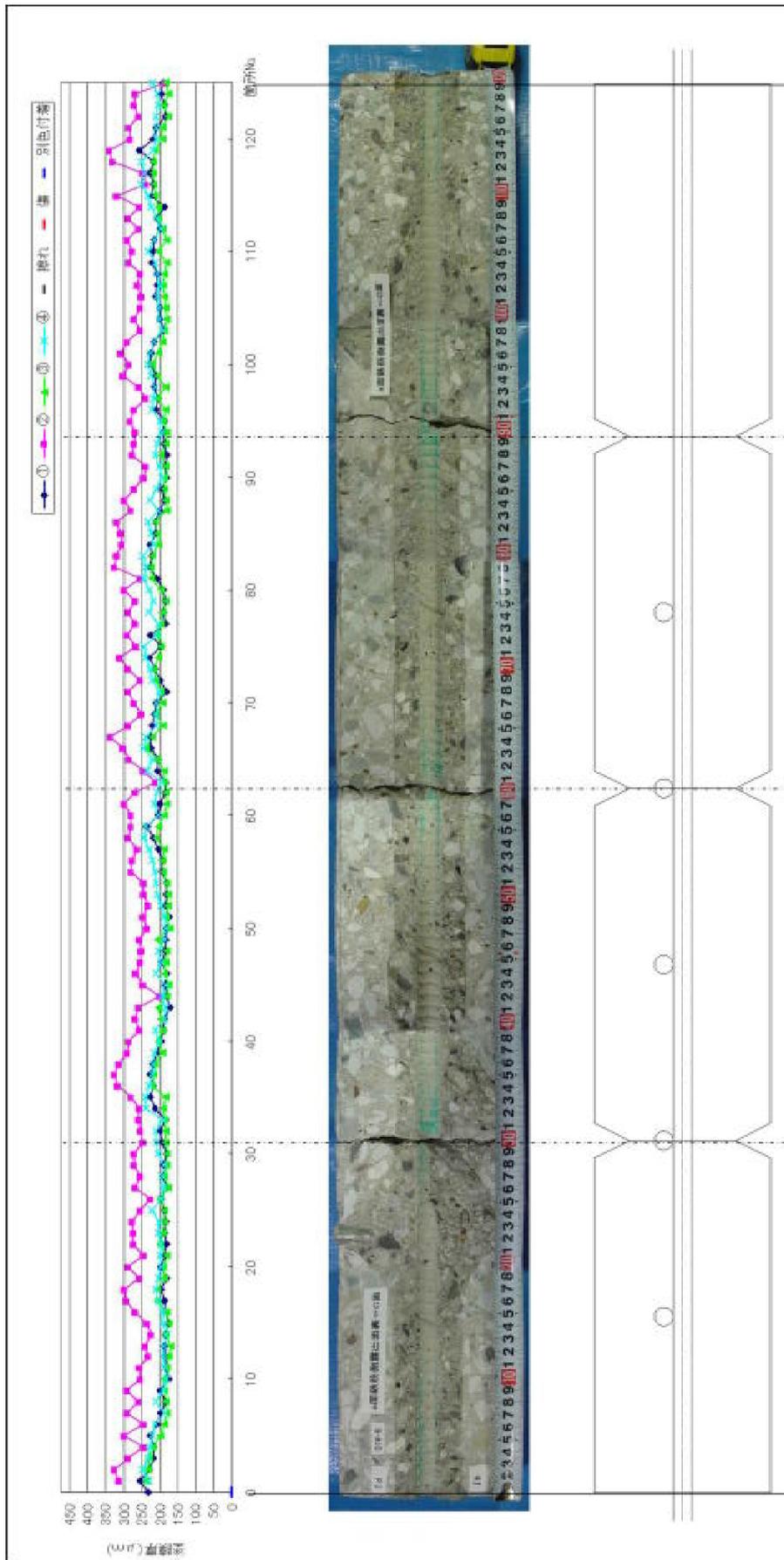
付图 2.5.11 塗膜厚測定結果 (D16-4 c 面)



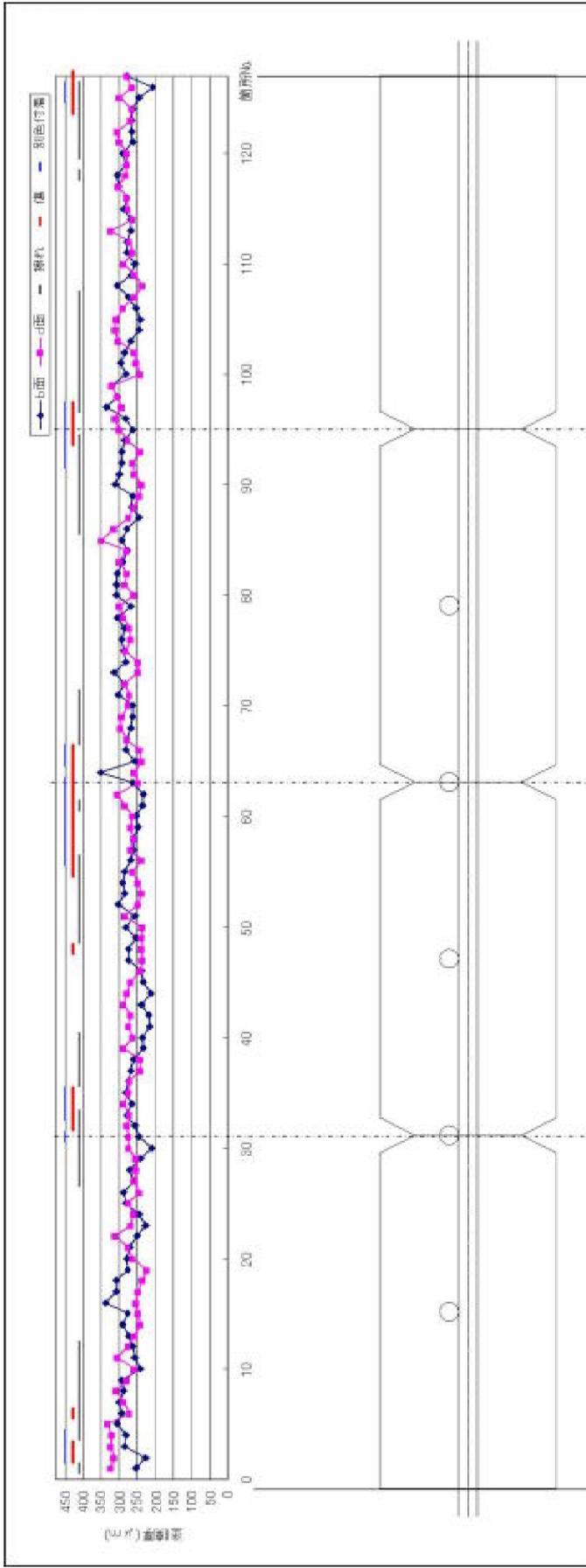
付图 2.5.12 塗膜厚測定結果 (DI6-4 b,d 面)



付图 2.5.13 塗膜厚測定結果 (D16-5 a 面)



付図 2.5.14 塗膜厚測定結果 (D16-5 c 面)



付図 2.5.15 塗膜厚測定結果 (D16-5 b,d 面)



付図 2.5.16(a) D16-1,D16-3,D16-5 塩水噴霧試験前の状況(上(噴霧)面)



付図 2.5.16(b) D16-1,D16-3,D16-5 塩水噴霧試験前の状況(下面)



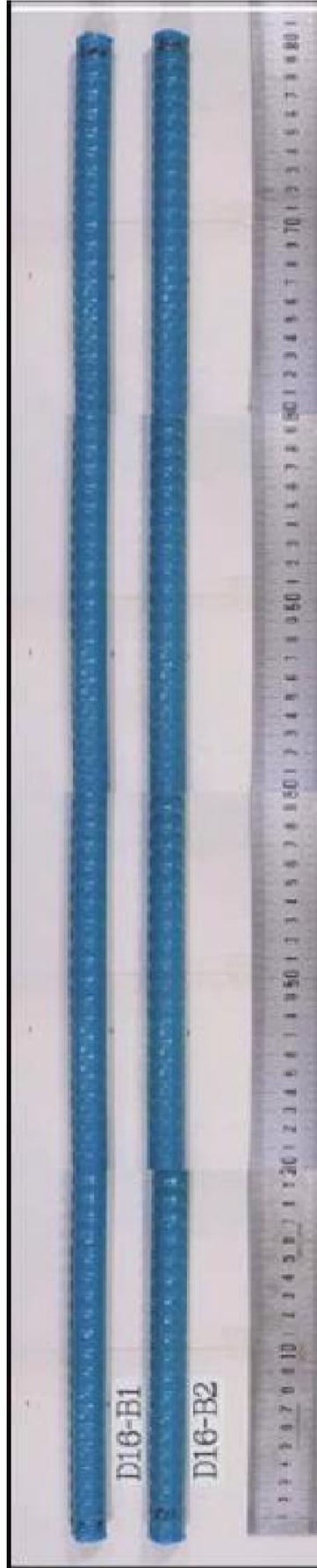
付図 2.5.17(a) D16-2,D16-4 塩水噴霧試験前の状況(上(噴霧)面)



付図 2.5.17(b) D16-2,D16-4 塩水噴霧試験前の状況(下面)



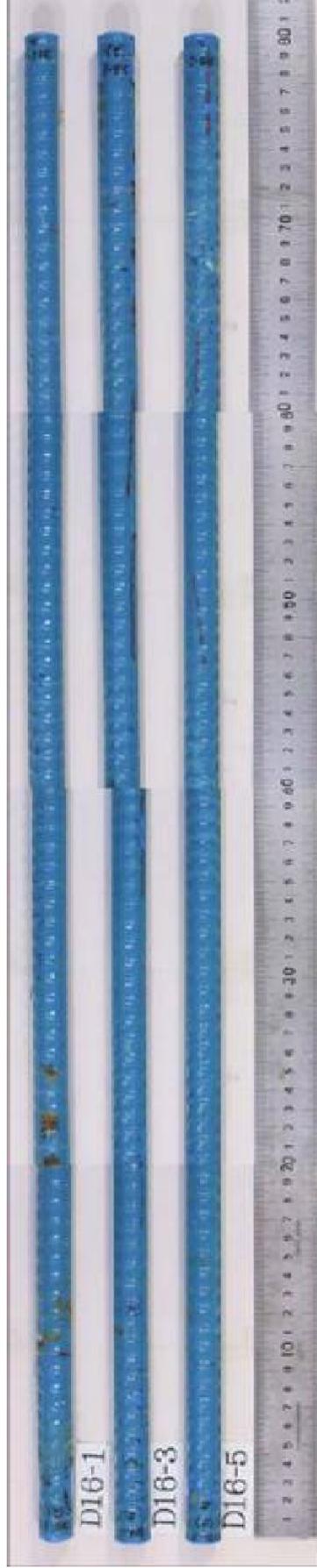
付図 2.5.18(a) D16-B1,D16-B2 塩水噴霧試験前の状況(上(噴霧)面)



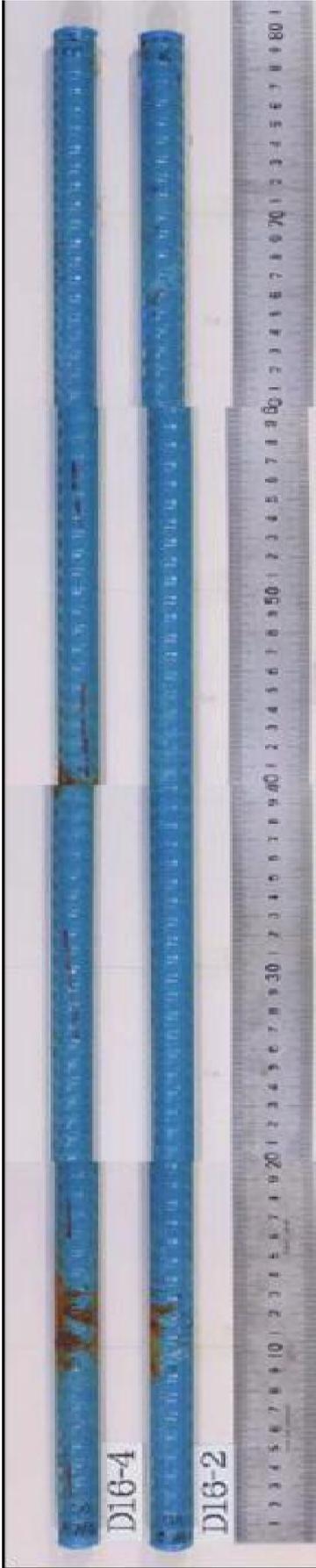
付図 2.5.18(b) D16-B1,D16-B2 塩水噴霧試験前の状況(下面)



付図 2.5.19(a) D16-1,D16-3,D16-5 塩水噴霧試験前の状況(上(噴霧)面)



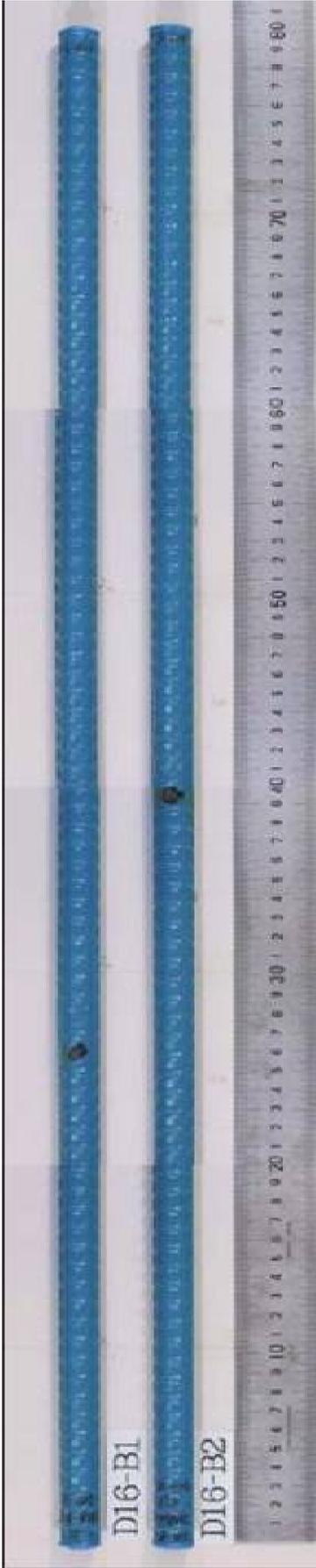
付図 2.5.19(b) D16-1,D16-3,D16-5 塩水噴霧試験前の状況(下面)



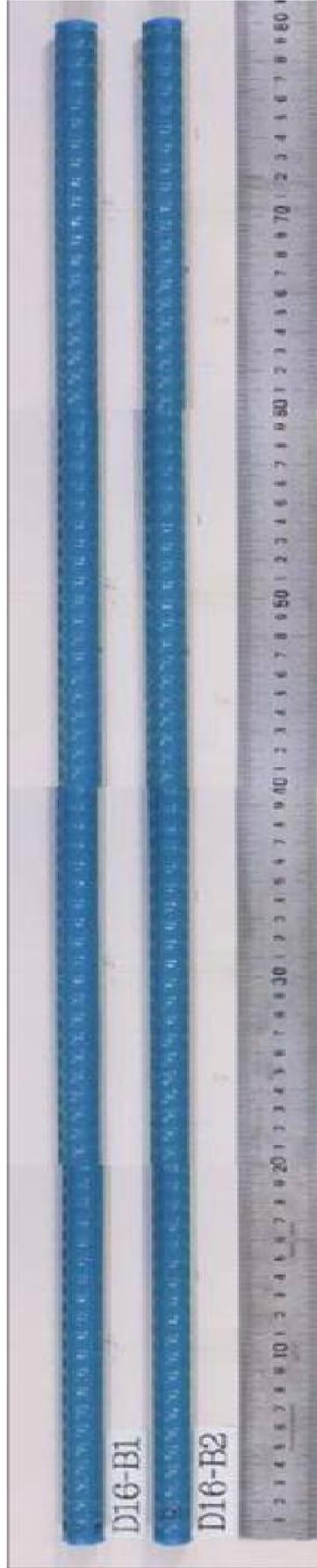
付図 2.5.20(a) D16-2,D16-4 塩水噴霧試験前の状況(上(噴霧)面)



付図 2.5.20(b) D16-2,D16-4 塩水噴霧試験前の状況(下面)



付図 2.5.21 (a) D16-B1,D16-B2 塩水噴霧試験前の状況(上(噴霧)面)



付図 2.5.21 (b) D16-B1,D16-B2 塩水噴霧試験前の状況(下面)

## 付録-3 塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の材料試験結果

### 1. コンクリートの配合条件

配合名称：24-8-20H(JIS 配合)の配合条件を示す。

付表 3.1.1 コンクリートの配合条件

項目	条件	備考
最大骨材寸法	20mm	
設計基準強度	24N/mm <sup>2</sup>	材例 28 日
空気量	4.5 ± 1.5%	
スランプ	8 ± 2.5cm	

付表 3.1.2 使用材料

種類		記号	産地およびメーカー	物性および商品名
セメント	普通ポルトランドセメント	N	(株)トクヤマ	密度;3.14g/cm <sup>3</sup>
細骨材	砂	S1	中国福建省ミン江	表乾比重;2.59,吸水率;1.20%, FM=2.75
	砕砂	S2	兵庫県飾磨郡家島町西島産	表乾比重;2.56,吸水率;1.82%, FM=2.90
粗骨材	砕石 2005	G	兵庫県飾磨郡家島町西島産	最大寸法;20mm,表乾比重;2.62, 吸水率;0.73%,実積率;58%
混和剤	AE 減水剤	AE	(株)エヌエムビー	ポゾリス No.70-250

付表 3.1.3 示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					混和剤 Cx (%)	備考
		水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G		
				S1	S2			
57.0	44.7	169	296	559	238	1003	3.14	24-8-20H

## 2. コンクリートの材料試験結果

フレッシュ試験結果を表 3.2.1 に示す。

付表 3.2.1 フレッシュ試験結果

項目	備考
空気量	5.5%
スランプ	8.5cm
コンクリート温度	11℃

各材齢の圧縮強度試験、静弾性強度試験、引張強度試験の結果を次頁以降に示す。

付表 3.2.2 圧縮試験結果

供試体 記号	平均直径	平均高さ	質量	密度	最大荷重	圧縮強度 <sup>**</sup>	補正後の <sup>**2</sup>	補正係数	備考
	d (mm)	h (mm)				W (g)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )		
1	100.0	200.0	3555	2.26	207.0	26.4	—	—	材齢7日
2	100.0	200.0	3540	2.25	206.0	26.2	—	—	
3	100.0	200.0	3555	2.26	207.0	26.4	—	—	
平均	—	—	—	2.26	—	26.3	—	—	
1	100.0	200.0	3545	2.26	246.0	31.3	—	—	材齢18日
2	100.0	200.0	3554	2.26	247.0	31.4	—	—	
3	100.0	200.0	3571	2.27	254.0	32.3	—	—	
平均	—	—	—	2.26	—	31.7	—	—	
1	100.0	200.0	3550	2.26	273.5	34.8	—	—	材齢28日
2	100.0	200.0	3560	2.27	277.0	35.3	—	—	
3	100.0	200.0	3555	2.26	276.0	35.1	—	—	
平均	—	—	—	2.26	—	35.1	—	—	
1	100.0	200.0	3470	2.21	284.0	36.2	—	—	材齢77日
2	100.0	200.0	3460	2.20	285.0	36.3	—	—	
3	100.0	200.0	3480	2.22	278.0	35.4	—	—	
平均	—	—	—	2.21	—	35.9	—	—	

注) 試験は、JIS A 1108-1999「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準拠して行った。

なお、試験機の誤差により±1%以内の誤差を含む。

※1: 圧縮強度 f<sub>c</sub> は次式にて算定した。

$$f_c = \frac{P}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} \times 10^3$$

ここに

P : 最大荷重 (kN)

d : 直径 (mm)

※2: 補正後の圧縮強度は、供試体の直径と高さの比が 1.0 を上回り、1.90 より小さい場合に、補正係数を乗じて直径の 2 倍の高さをもつ供試体強度に換算した値を示す。ただし、補正後の圧縮強度が 40N/mm<sup>2</sup> を上回る場合には、圧縮強度の補正は行わない。

付表 3.2.3 静弾性係数試験結果

供試体 記号	応力 (N/mm <sup>2</sup> )			ひずみ (μ)			静弾性係数 <sup>※3</sup> (×kN/mm <sup>2</sup> )	備考
	S1	S2	S1-S2	ε1	ε2	ε1-ε2	E1	
1	10.5	1.2	9.2	402.5	50	352.5	26.2	別紙、 応力-ひずみ 曲線参照 材齢18日
2	10.5	1.2	9.4	407	50	357	26.2	
3	10.8	1.3	9.5	410	50	360	26.3	
平均	-			-			26.2	
1	11.6	1.2	10.5	474.2	50	424.2	24.7	別紙、 応力-ひずみ 曲線参照 材齢28日
2	11.8	1.4	10.4	501.1	50	451.1	23.1	
3	11.8	1.4	10.4	466.7	50	416.7	25.0	
平均	-			-			24.3	
1	12.1	1.3	10.8	491.9	50	441.9	24.3	別紙、 応力-ひずみ 曲線参照 材齢77日
2	12.1	1.4	10.8	493.1	50	443.1	24.3	
3	11.9	1.4	10.5	500.0	50	450.0	23.3	
平均	-			-			24.0	

注) 試験は、JIS A1149-2001「コンクリートの静弾性係数試験方法」に準拠してコンプレッソメータを用いて行った。

※3：静弾性係数 E は次式にて算定した。

$$E1 = \frac{S1 - S2}{\epsilon1 - \epsilon2}$$

ここに

E1：単調増加荷重により求めた静弾性係数(N/mm<sup>2</sup>)

S1：最大荷重の1/3に相当する応力(N/mm<sup>2</sup>)

ε1：応力S1によって生ずるひずみ

S2：通常、50×10<sup>6</sup>(ひずみε2)のときに生ずる応力(N/mm<sup>2</sup>)

ε2：通常、50×10<sup>6</sup>(応力S2によって生ずるひずみ)

付表 3.2.4 引張強度試験結果

供試体 記号	平均直径	平均高さ	最大荷重	引張強度 <sup>※4</sup>	備考
	d (mm)	h (mm)	P (kN)	ft (N/mm <sup>2</sup> )	
1	100.0	205.0	81.6	2.53	材齢7日
2	100.0	204.0	71.7	2.24	
3	100.0	206.0	78.6	2.43	
平均	-	-	-	2.40	

注) 試験は、JIS A 1113-1999「コンクリートの割裂引張強度試験方法」に準拠して行った。

※4：引張強度σ<sub>t</sub>は次式にて算定した。

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d \cdot l}$$

ここに

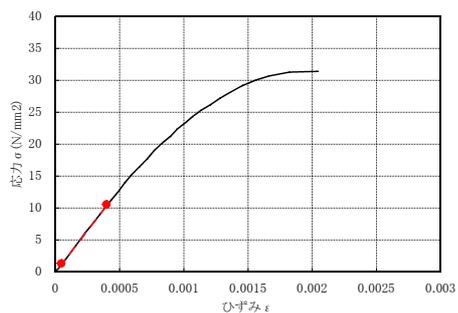
σ<sub>t</sub>：引張強度(N/mm<sup>2</sup>)

P：最大荷重(N)

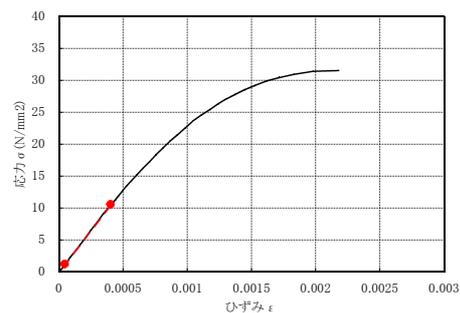
d：供試体の直径(mm)

l：供試体の長さ(mm)

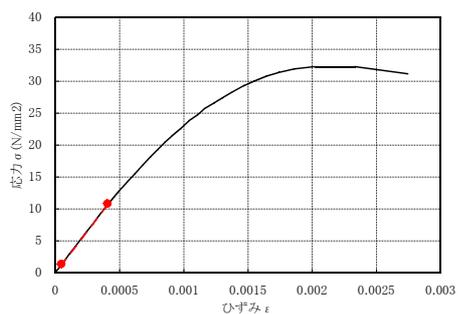
No.1



No.2

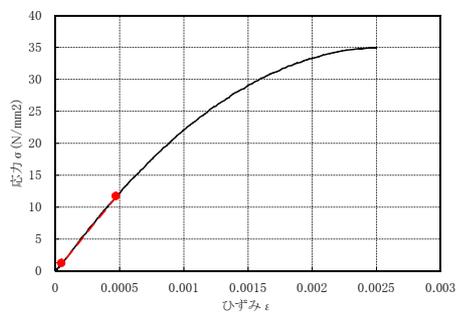


No.3

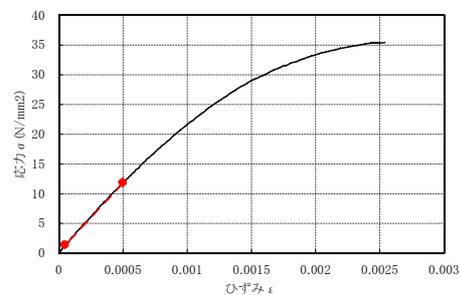


付図 3.2.1 (a) 静弾性係数試験結果(材令 18 日)

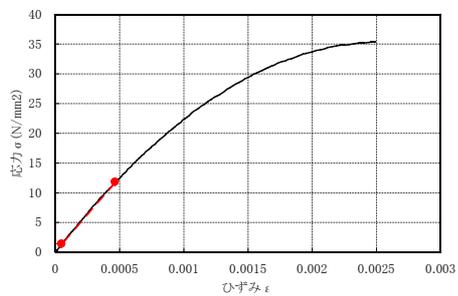
No.1



No.2

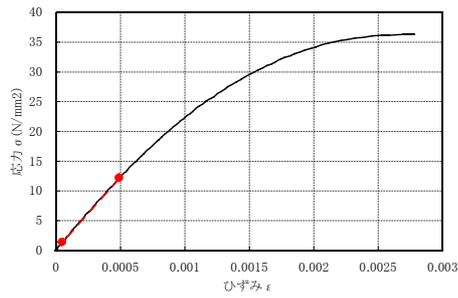


No.3

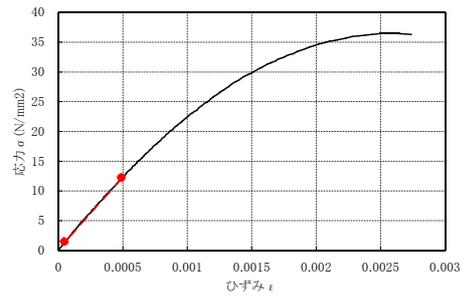


付図 3.2.1 (b) 静弾性係数試験結果(材令 28 日)

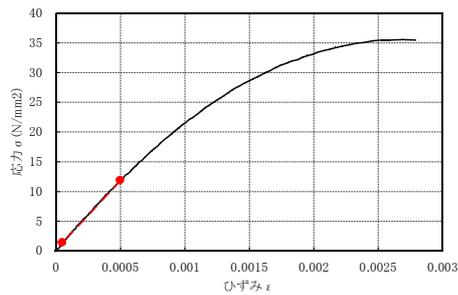
No.1



No.2



No.3



付図 3.2.1(c) 静弾性係数試験結果(材令 77 日)

### 3. 鉄筋の引張試験

鉄筋の引張強度、弾性係数を求めるため、D16 塗装鉄筋 3 本に対して引張試験を実施した。付表 3.3.1 に結果を示す。

付表 3.3.1 鉄筋の引張試験結果

番号	寸法			0.2%耐力		引張強さ	
	外径	断面積	標点距離	荷重	応力	最大荷重	引張強さ
	mm	mm <sup>2</sup>	mm	N	N/mm <sup>2</sup>	N	N/mm <sup>2</sup>
D16-1	15.900	198.56	128	71,200	359	102,700	517
D16-2	15.900	198.56	128	71,200	359	102,700	517
D16-3	15.900	198.56	128	71,300	359	102,700	518
平均値					359		517

伸び		絞り		破断位置
実伸び	百分比	径・幅	百分比	
mm	%	mm	%	
32.0	25.0	10.6	55.4	A
37.3	29.1	10.1	59.6	A
35.3	27.6	10.1	59.6	A
	27.2		58.3	

## 付録-4 塗膜の密着性が劣る塗装鉄筋の疲労試験結果

### 1. 変位

各供試体ごとの変位を付表 4.1.1 ~ 4.1.5 に示す。またコンクリート部の上側平均変位 (D2,D3)、下側平均変位 (D4,D5)、全平均変位 (D2 ~ D5) を付図 4.1.1 ~ 4.1.5 に、鉄筋の抜け出し量を付図 4.1.6 ~ 4.1.10 に示す。

付表 4.1.1 累積疲労回数ごとの変位 (A1)

疲労 累積回数		上	上a面	上c面	下a面	下c面	下	横c面	横b面
		D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D5 (mm)	D6 (mm)	D7 (mm)	D8 (mm)
1	0N/mm <sup>2</sup>	0.165	0.046	0.254	0.000	0.000	-0.003	0.254	-0.440
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.246	0.052	0.308	-0.040	0.090	-0.006	0.308	-0.557
1	180N/mm <sup>2</sup>	1.228	0.436	1.364	-0.040	0.090	-0.006	1.364	-2.120
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.207	0.122	0.371	-0.471	0.080	-0.018	0.371	-0.401
100	20N/mm <sup>2</sup>	0.294	0.088	0.347	-0.120	0.030	-0.033	0.347	-0.532
100	180N/mm <sup>2</sup>	1.294	0.521	1.398	-0.090	0.070	-0.033	1.398	-1.964
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.213	0.097	0.279	-0.491	0.050	-0.033	0.279	-0.327
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.348	0.116	0.357	-0.100	0.030	-0.009	0.357	-0.669
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.351	0.582	1.378	-0.100	0.020	-0.033	1.378	-1.739
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.757	0.472	0.767	-0.501	0.020	0.592	0.767	-0.567
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.841	0.475	0.811	-0.150	0.050	0.592	0.811	-0.620
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	3.847	0.969	1.848	-0.160	0.060	0.592	1.848	-1.700
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.676	0.396	0.987	-0.551	-0.010	0.601	0.987	-0.430
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.862	0.445	1.144	-4.409	0.030	0.604	1.144	-0.835
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	3.859	0.999	2.258	-4.248	0.070	0.601	2.258	-1.637
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.724	0.429	1.139	-4.349	-0.050	0.622	1.139	-0.537
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.832	0.472	1.241	-1.633	0.080	0.622	1.241	-0.708
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	3.865	1.014	2.248	-1.673	0.060	0.622	2.248	-1.588
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.787	0.433	1.168	-2.064	-0.060	0.610	1.168	-0.332
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.892	0.469	1.276	-1.663	0.010	0.616	1.276	-0.489
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	3.922	1.002	2.253	-1.703	-0.010	0.616	2.253	-1.470
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.943	0.463	1.310	-2.084	-0.040	0.652	1.310	-0.449
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.024	0.487	1.417	-1.713	0.020	0.655	1.417	-0.650
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.126	1.115	2.473	-1.774	0.030	0.655	2.473	-1.431
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	3.676	0.530	1.369	-2.144	-0.140	0.893	1.369	-0.591
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.829	0.582	1.535	-1.834	-0.070	0.893	1.535	-0.782
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.243	1.185	2.571	-1.844	-0.010	0.896	2.571	-1.607
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	3.676	0.591	1.383	-2.234	-0.201	0.875	1.383	-0.923
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.829	0.588	1.496	-1.874	0.030	0.896	1.496	-0.962
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.243	1.154	2.463	-1.894	0.020	0.896	2.463	-1.612
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	3.676	0.506	1.422	-2.194	-0.110	0.866	1.422	-0.879
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.829	0.539	1.579	-1.864	-0.040	0.872	1.579	-1.050
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.243	1.173	2.551	-1.904	-0.010	0.872	2.551	-1.690

付表 4.1.2 累積疲労回数ごとの変位 (B1)

疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
1	0N/mm <sup>2</sup>	0.297	0.225	0.503	-0.110	-0.181	0.081	0.020	0.430
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.321	0.210	0.283	-0.060	-0.151	0.081	0.024	0.350
1	180N/mm <sup>2</sup>	1.300	0.853	1.080	-0.281	-0.231	0.078	-0.430	0.570
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.943	0.381	0.674	-0.271	-0.271	0.163	0.278	-0.150
100	20N/mm <sup>2</sup>	1.051	0.448	0.523	-0.261	-0.221	0.211	0.088	-0.290
100	180N/mm <sup>2</sup>	2.204	1.167	1.461	-0.411	-0.321	0.208	-0.479	-0.040
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.096	0.420	0.591	-0.331	-0.321	0.260	0.430	-0.230
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.249	0.487	0.582	-0.331	-0.291	0.326	0.215	-0.370
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.396	1.191	1.520	-0.471	-0.361	0.323	-0.098	-0.100
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.186	0.408	0.870	-0.411	1.355	0.347	-5.408	0.770
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.318	0.554	0.987	-0.361	1.365	0.347	-5.115	0.650
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.468	1.209	1.921	-0.551	1.254	0.350	-5.926	0.780
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.291	0.518	1.002	-0.451	1.315	0.347	-5.408	1.070
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.381	0.551	1.149	-0.331	1.355	0.353	-5.623	1.010
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.514	1.228	2.063	-0.651	1.224	0.356	-5.926	1.170
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.312	0.521	1.041	-0.501	1.264	0.392	-5.110	1.040
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.414	0.481	1.105	-0.311	1.305	0.414	-5.252	1.020
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.532	1.185	2.023	-0.571	1.264	0.411	-5.603	1.110
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.820	0.527	1.305	-0.571	1.335	0.558	-5.335	0.760
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.910	0.631	1.354	-0.471	1.264	0.558	-5.252	0.620
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	3.051	1.337	2.341	-0.842	1.054	0.558	-6.072	0.820
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	3.216	0.835	1.662	-0.892	0.401	1.035	-4.885	0.610
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.351	0.874	1.755	-0.922	0.442	1.035	-5.115	0.590
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.508	1.703	2.693	-1.142	0.251	1.038	-5.462	0.680
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	3.327	0.908	1.716	-0.972	0.251	1.141	-4.563	-0.110
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.453	0.956	1.852	-1.012	0.261	1.138	-4.739	-0.160
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.586	1.730	2.786	-1.343	0.120	1.144	-4.929	-0.020
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	3.240	0.832	1.667	-1.012	0.191	1.216	-4.548	0.040
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.378	1.115	1.784	-0.972	0.221	1.219	-4.758	-0.160
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.535	1.910	2.747	-1.132	0.171	1.213	-5.051	-0.010
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	3.387	1.164	1.764	-1.022	0.221	1.159	-4.397	0.100
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	3.526	1.221	1.877	-0.992	0.281	1.195	-4.841	-0.080
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	4.670	1.986	2.761	-1.242	0.130	1.192	-4.787	0.040

付表 4.1.3 累積疲労回数ごとの変位 (B2)

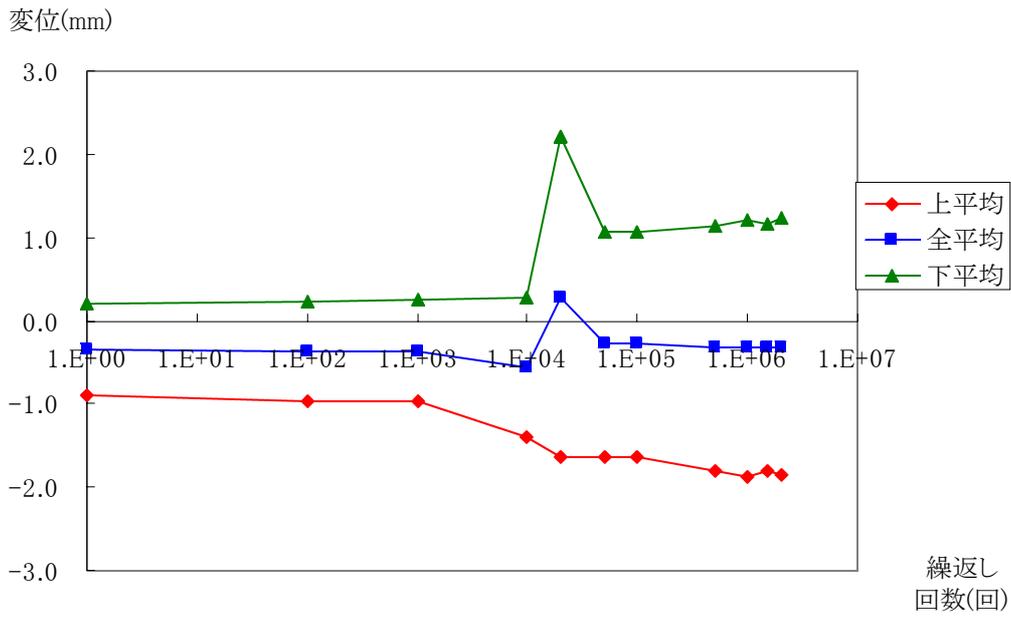
疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
1	0N/mm <sup>2</sup>	0.174	0.067	0.190	-0.020	-0.010	0.000	-0.098	-0.103
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.315	0.067	0.220	-0.100	-0.030	0.000	-0.327	-0.127
1	180N/mm <sup>2</sup>	1.760	1.121	1.110	-0.531	-0.381	0.003	-0.772	0.239
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.429	0.308	0.530	0.010	-0.201	0.000	0.073	0.005
100	20N/mm <sup>2</sup>	0.529	0.295	0.440	0.020	-0.191	0.000	-0.068	-0.024
100	180N/mm <sup>2</sup>	1.655	0.856	1.110	-0.341	-0.251	0.003	-0.977	0.112
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.444	0.317	0.090	0.000	-0.181	0.000	-0.137	-0.005
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.544	0.302	0.000	0.030	-0.171	0.000	-0.195	-0.039
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.661	0.835	0.830	-0.291	-0.211	0.000	-0.957	0.108
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.471	0.183	0.000	-0.060	2.428	-0.072	-0.762	-0.034
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.580	0.198	0.110	-0.100	2.439	-0.072	-0.967	-0.068
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.718	0.899	0.390	-0.491	2.428	-0.072	-1.656	0.117
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.402	0.277	-0.060	-0.110	2.308	-0.045	-0.845	-0.068
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.514	0.280	0.150	-0.160	2.308	-0.045	-1.089	-0.078
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.643	0.978	1.390	-0.521	2.208	-0.057	-1.710	0.166
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.417	0.521	-2.060	-0.130	1.214	-0.066	-0.928	-0.010
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.529	0.521	-1.890	-0.160	1.194	-0.066	-1.148	-0.078
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.670	1.197	-0.940	-0.421	1.054	-0.066	-1.710	0.161
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.438	0.506	-1.810	-0.150	1.024	-0.112	-0.962	-0.059
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.544	0.512	-1.630	-0.180	1.014	-0.109	-1.207	-0.103
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.676	1.179	-0.750	-0.451	0.913	-0.109	-1.793	0.132
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.354	0.466	-1.590	-0.180	0.702	-0.109	-0.957	0.015
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.502	0.512	-1.500	-0.210	0.702	-0.109	-1.299	-0.010
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.661	1.237	-0.490	-0.601	0.572	-0.109	-1.915	0.288
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.414	0.722	-1.470	-0.200	0.472	-0.091	-1.168	0.044
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.532	0.734	-1.440	-0.261	0.482	-0.088	-1.392	0.029
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.706	1.486	-0.480	-0.571	0.512	-0.091	-1.983	0.288
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.414	0.807	-2.340	-0.291	3.823	-0.172	-1.168	0.137
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.523	0.801	-2.360	-0.291	3.853	-0.172	-1.339	0.078
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.697	1.489	-2.360	-0.611	3.773	-0.172	-2.022	0.327
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.408	0.600	-2.370	-0.491	3.833	0.214	-1.319	0.117
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.514	0.609	-2.380	-0.481	3.894	0.214	-1.539	0.073
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.691	1.334	-2.380	-0.832	3.813	0.214	-2.145	0.313

付表 4.1.4 累積疲労回数ごとの変位 (AB1)

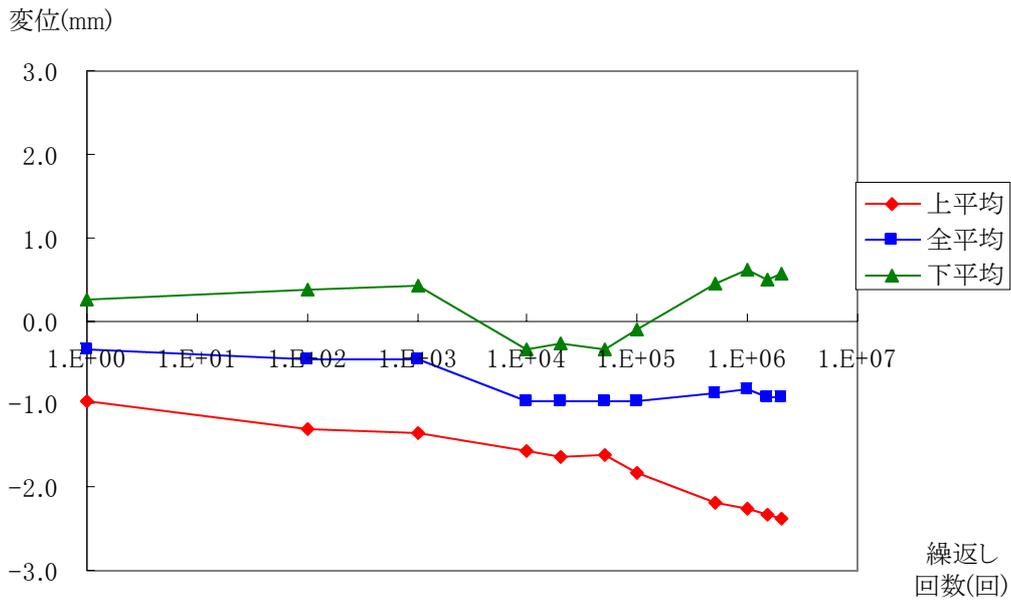
疲労 累積回数		上	上a面	上c面	下a面	下c面	下	横c面	横b面
		D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	D5 (mm)	D6 (mm)	D7 (mm)	D8 (mm)
1	0N/mm <sup>2</sup>	0.111	0.186	0.068	-0.040	-0.151	-0.003	0.293	-0.350
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.162	0.128	0.024	-0.010	-0.140	-0.009	0.186	-0.270
1	180N/mm <sup>2</sup>	0.631	0.710	0.440	-0.371	-0.261	0.000	-0.738	0.690
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.255	0.256	0.108	-0.060	-0.171	-0.009	0.713	-0.610
100	20N/mm <sup>2</sup>	0.628	0.311	0.068	-0.070	-0.181	-0.009	-6.546	-0.540
100	180N/mm <sup>2</sup>	0.628	0.835	0.474	-0.371	-0.361	0.000	-7.377	0.330
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.628	0.350	0.073	-0.100	-0.171	-0.009	-5.432	-0.960
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.628	0.320	0.059	-0.060	-0.161	-0.066	-5.603	-0.920
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	0.631	0.923	0.479	-0.341	-0.401	-0.036	-6.409	-0.540
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.628	0.277	0.049	-0.251	-0.442	-0.347	-5.286	-1.000
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.628	0.311	0.108	-0.271	-0.462	-0.398	-5.467	-0.970
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	0.631	0.975	0.513	-0.591	-0.642	-0.374	-6.199	-0.670
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.330	0.515	0.083	-0.411	-1.024	-0.154	-5.032	-1.310
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.351	0.554	0.112	-0.391	-1.114	-0.196	-5.198	-1.190
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.456	1.246	0.587	-0.802	-1.264	-0.175	-5.916	-1.140
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.432	0.475	0.142	-0.461	-1.144	-0.308	-4.993	-1.480
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.444	0.506	0.191	-0.431	-1.164	-0.359	-5.125	-1.370
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.565	1.267	0.650	-0.812	-1.315	-0.329	-5.906	-1.320
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	1.583	0.539	0.147	-0.411	-1.154	-0.263	-4.988	-1.470
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	1.595	0.560	0.176	-0.401	-1.164	-0.317	-4.963	-1.400
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.724	1.334	0.640	-0.822	-1.315	-0.290	-5.745	-1.380
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.679	1.011	0.186	-0.511	-1.987	-0.030	-5.222	-1.580
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.721	1.008	0.269	-0.551	-1.987	-0.081	-5.388	-1.520
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.841	1.334	0.767	-1.042	-2.178	-0.039	-6.063	-1.540
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.760	1.011	0.249	-0.531	-2.198	-0.039	-4.895	-1.500
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.790	1.008	0.279	-0.601	-2.148	-0.087	-4.895	-1.500
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.883	1.404	0.743	-1.002	-2.228	-0.063	-5.335	-1.430
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.757	0.892	0.215	-0.671	-2.529	0.009	-4.402	-1.490
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.790	0.896	0.283	-0.611	-2.529	-0.036	-4.621	-1.530
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.913	1.331	0.753	-1.012	-2.629	-0.006	-5.413	-1.420
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	2.739	1.039	0.381	-0.601	-3.261	0.015	-4.421	-1.500
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	2.796	1.042	0.411	-0.591	-3.302	-0.036	-4.660	-1.580
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	2.910	1.432	0.885	-1.042	-3.412	-0.015	-5.398	-1.420

付表 4.1.5 累積疲労回数ごとの変位 (N1)

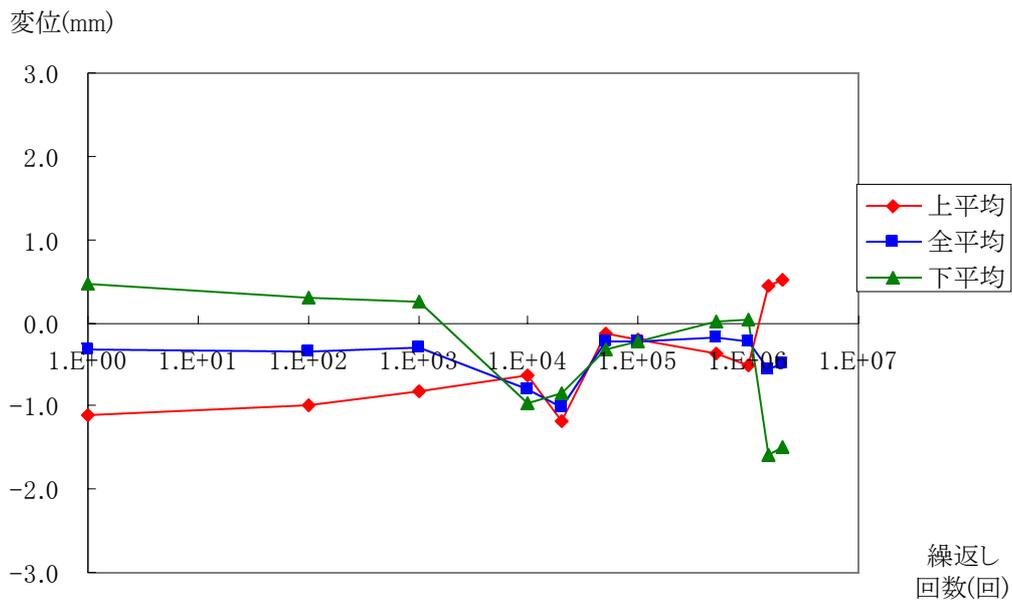
疲労 累積回数		上 D1 (mm)	上a面 D2 (mm)	上c面 D3 (mm)	下a面 D4 (mm)	下c面 D5 (mm)	下 D6 (mm)	横c面 D7 (mm)	横b面 D8 (mm)
1	0N/mm <sup>2</sup>	0.147	0.216	0.073	-0.100	-0.151	-0.009	0.186	0.010
1	20N/mm <sup>2</sup>	0.180	0.213	0.078	0.050	-0.151	-0.012	0.195	-0.150
1	180N/mm <sup>2</sup>	1.135	0.758	0.318	-0.170	-0.191	-0.021	0.083	-0.040
100	0N/mm <sup>2</sup>	0.372	0.411	0.117	-0.170	-0.261	-0.057	0.479	-0.350
100	20N/mm <sup>2</sup>	0.465	0.381	0.098	-0.140	-0.221	-0.054	0.459	-0.410
100	180N/mm <sup>2</sup>	1.526	1.124	0.401	-0.321	-0.432	-0.054	0.449	-0.440
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.417	0.457	0.098	-0.160	-0.281	-0.069	0.537	-0.200
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.514	0.442	0.108	-0.160	-0.241	-0.060	0.503	-0.320
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.553	1.118	0.391	-0.341	-0.401	-0.060	0.489	-0.410
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.396	0.405	-0.020	-0.210	-2.639	-0.085	0.674	-0.140
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.535	0.448	0.000	-0.200	-2.649	-0.081	0.552	-0.270
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.574	1.179	0.298	-0.471	-2.800	-0.085	0.503	-0.390
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.471	0.530	0.034	-0.591	-3.603	0.021	0.787	-0.060
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.592	0.567	0.064	-0.551	-3.583	0.021	0.689	-0.210
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.643	1.322	0.464	-0.762	-3.653	0.024	0.655	-0.350
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.471	0.411	-4.985	-0.521	-3.874	0.024	0.772	0.040
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.598	0.460	-4.946	-0.521	-3.864	0.027	0.630	-0.160
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.643	1.234	-4.580	-0.782	-3.984	0.027	0.630	-0.300
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.508	0.490	-4.932	-0.551	-3.964	0.030	0.723	0.010
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.601	0.478	-4.888	-0.571	-3.974	0.033	0.532	-0.150
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.646	1.237	-4.482	-0.822	-4.084	0.030	0.542	-0.310
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.435	0.472	-4.712	-0.651	-3.984	0.018	0.713	-0.080
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.601	0.490	-4.673	-0.671	-4.034	0.018	0.611	-0.240
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.634	1.285	-4.311	-0.902	-4.195	0.015	0.586	-0.330
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.492	0.393	-4.917	-1.172	-4.205	0.097	0.669	-0.140
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.622	0.463	-4.839	-1.162	-4.185	0.091	0.635	-0.240
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.685	1.292	-4.394	-1.293	-4.285	0.094	0.620	-0.320
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.505	0.475	-4.775	-0.982	-3.894	0.045	0.625	-0.030
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.634	0.530	-4.751	-0.982	-3.924	0.045	0.586	-0.180
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.691	1.316	-4.365	-1.172	-4.134	0.042	0.562	-0.290
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	0.402	0.433	-4.751	-1.293	-3.843	0.009	0.703	-0.310
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	0.553	0.521	-4.673	-1.303	-3.924	0.012	0.606	-0.460
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1.595	1.313	-4.355	-1.503	-4.155	0.009	0.591	-0.540



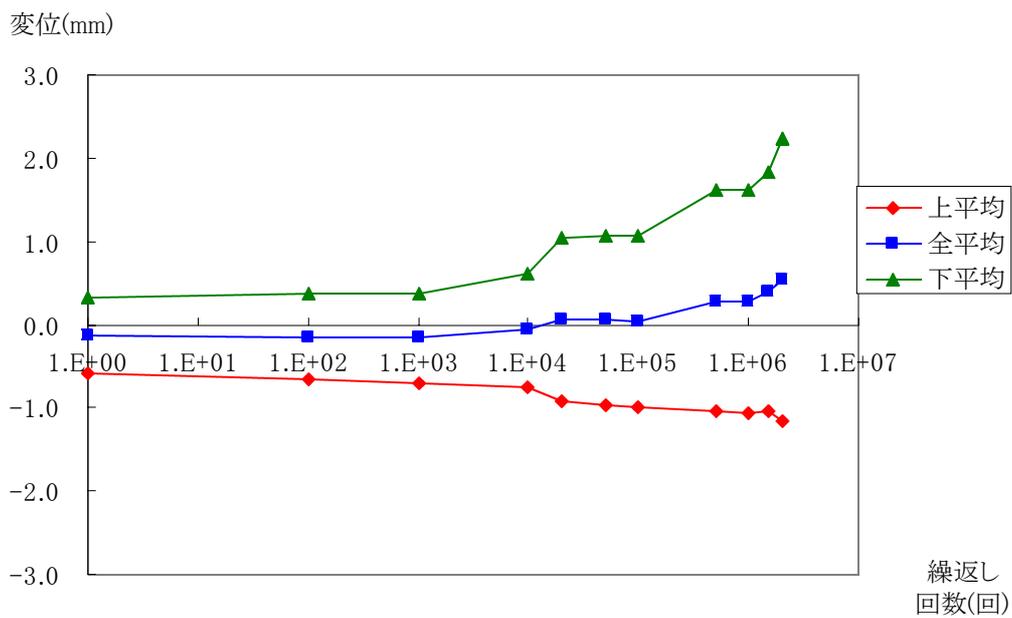
付図 4.1.1 コンクリート部の平均変位 (A1)



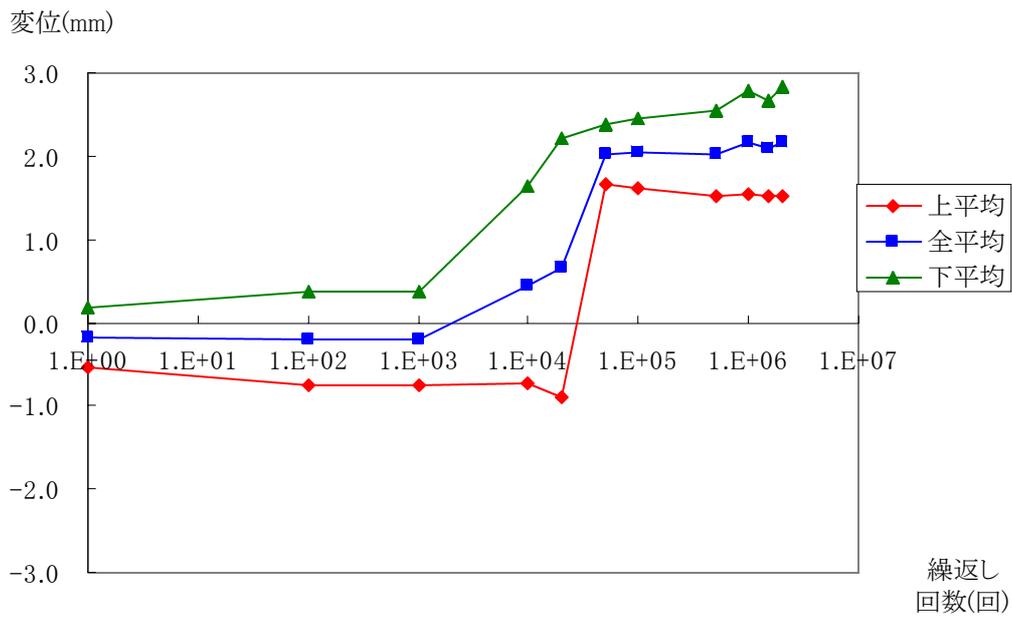
付図 4.1.2 コンクリート部の平均変位 (B1)



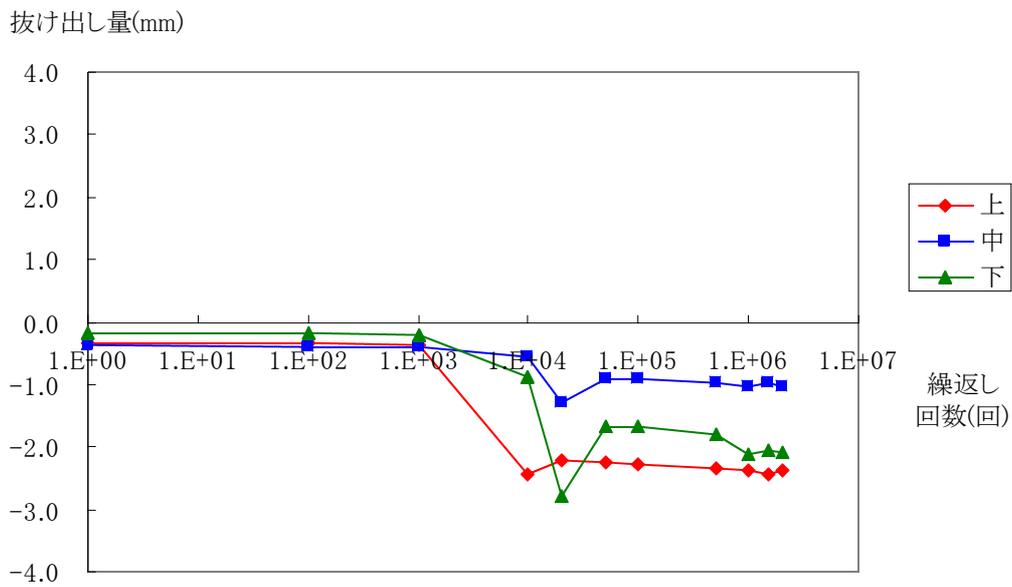
付図 4.1.3 コンクリート部の平均変位 (B2)



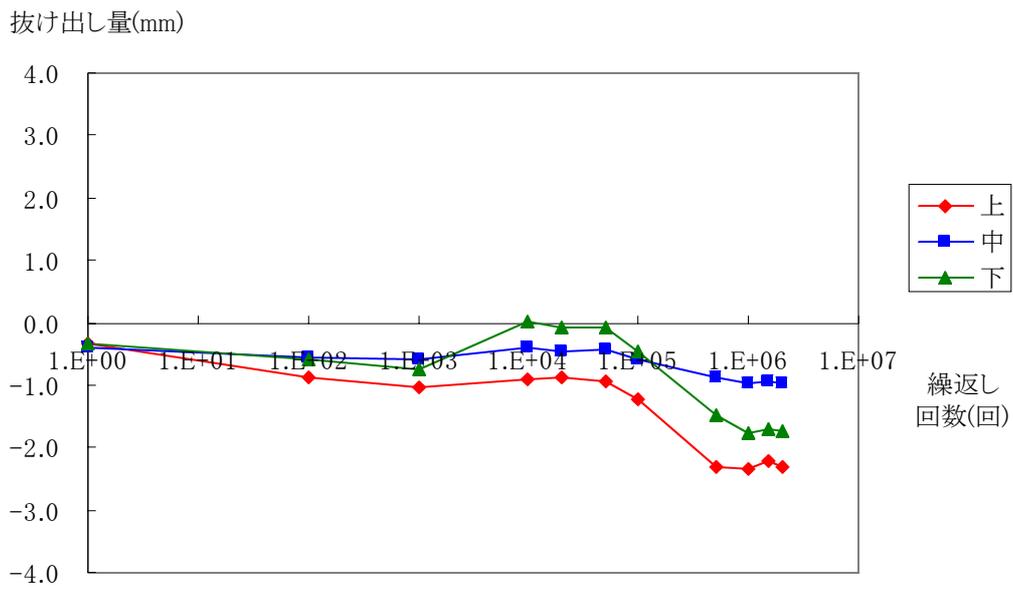
付図 4.1.4 コンクリート部の平均変位 (AB1)



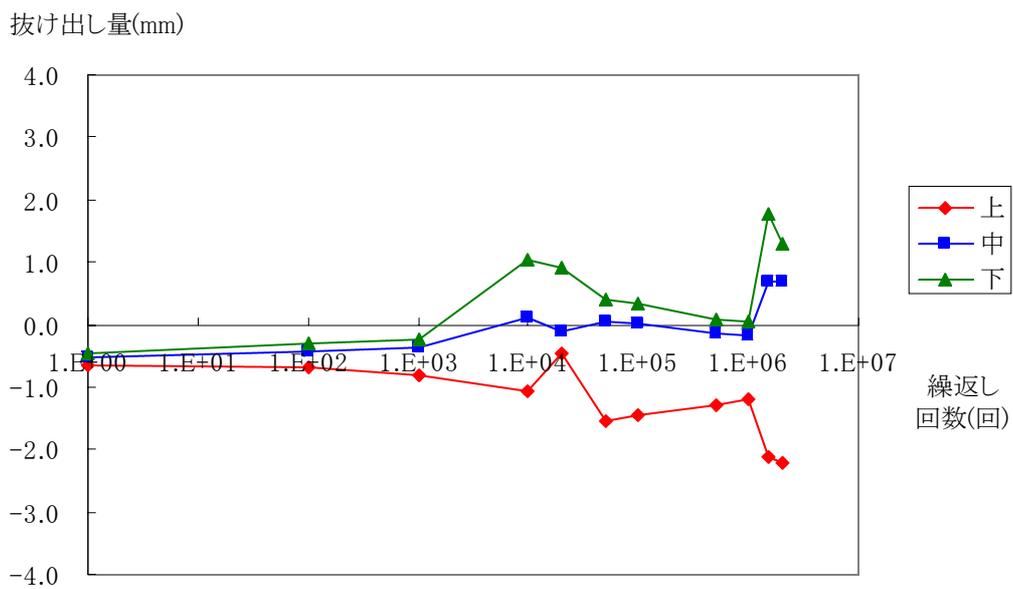
付図 4.1.5 コンクリート部の平均変位(N1)



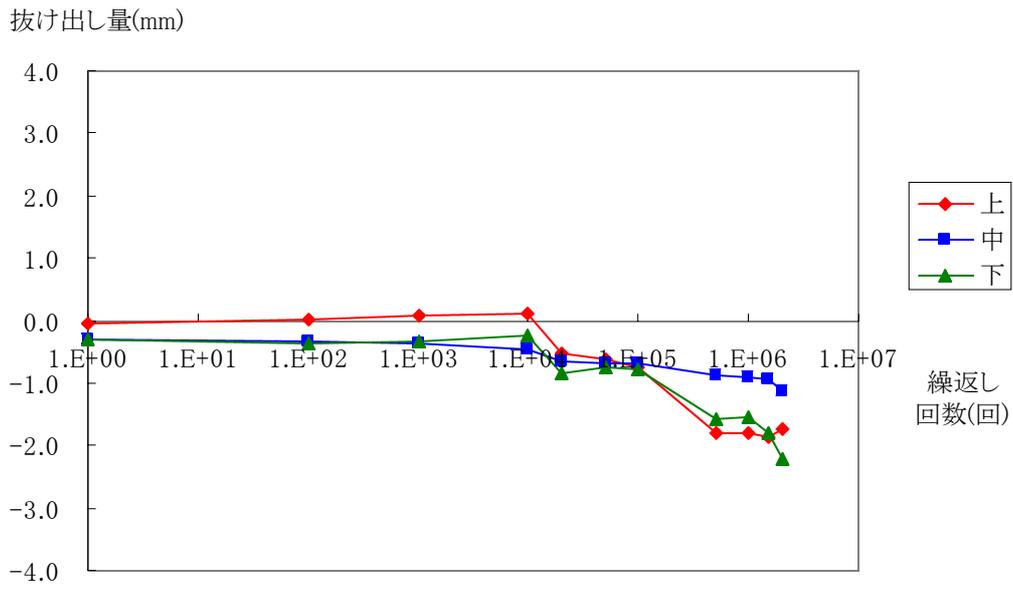
付図 4.1.6 鉄筋の抜け出し量(A1)



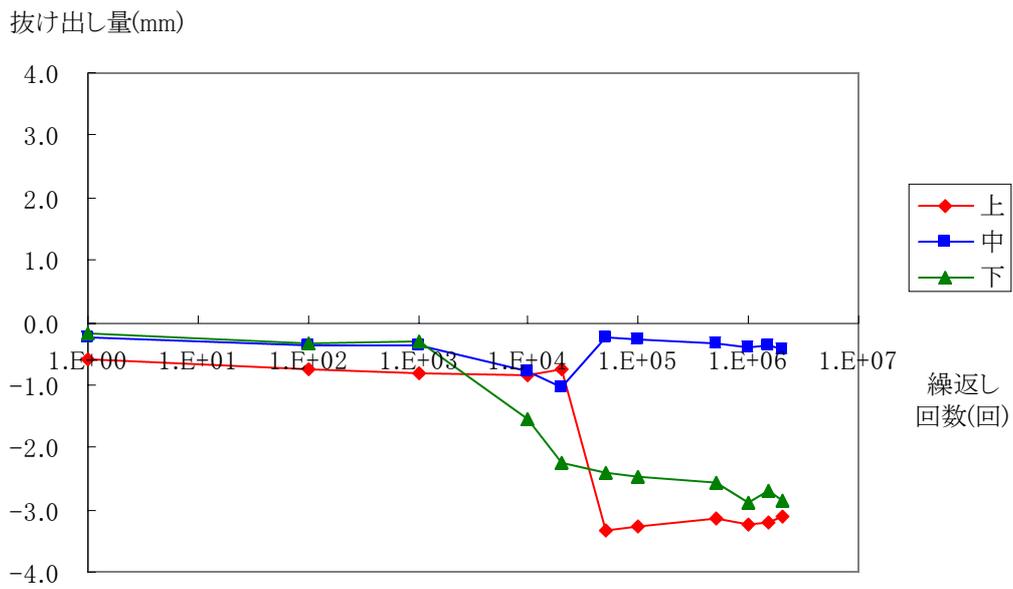
付図 4.1.7 鉄筋の抜け出し量 (B1)



付図 4.1.8 鉄筋の抜け出し量 (B2)



付図 4.1.9 鉄筋の抜け出し量(AB1)



付図 4.1.10 鉄筋の抜け出し量(N1)

## 2. 鉄筋ひずみ

各供試体ごとのひずみを付表 4.2.1 ~ 4.2.4 に示す。また 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみを付図 4.2.1 ~ 4.2.4 に示す。

付表 4.2.1 累積疲労回数ごとのひずみ(A1)

疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
1	0N/mm <sup>2</sup>	27	-22	2	17	-35	-9
1	20N/mm <sup>2</sup>	142	78	110	141	70	105
1	180N/mm <sup>2</sup>	1095	887	991	1088	856	972
100	0N/mm <sup>2</sup>	33	-12	10	27	-16	5
100	20N/mm <sup>2</sup>	156	93	124	141	81	111
100	180N/mm <sup>2</sup>	1089	886	988	1073	857	965
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	40	-2	19	26	-4	11
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	159	101	130	151	95	123
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1088	904	996	1067	874	970
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	36	1	19	26	-5	11
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	142	89	115	126	82	104
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1064	892	978	1049	864	957
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	76	41	58	78	43	61
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	240	174	207	245	169	207
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1085	921	1003	1077	900	988
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	42	61	52	68	27	47
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	152	148	150	176	114	145
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1091	951	1021	1097	906	1002
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	50	59	55	61	38	50
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	182	166	174	186	142	164
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1107	968	1038	1097	938	1017
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	50	52	51	51	45	48
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	167	149	158	162	144	153
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1081	966	1024	1040	968	1004
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	-1	-21	-11	-24	-9	-16
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	92	49	70	76	67	71
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1009	893	951	961	911	936
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	56	37	46	32	48	40
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	168	127	148	148	138	143
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1073	958	1015	1027	970	999
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	7	1	4	-24	-5	-14
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	139	101	120	109	95	102
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1034	924	979	972	923	947

付表 4.2.2 累積疲労回数ごとのひずみ (B1)

疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
1	0N/mm <sup>2</sup>	-4	5	0	-39	22	-9
1	20N/mm <sup>2</sup>	122	125	124	86	141	113
1	180N/mm <sup>2</sup>	903	1000	952	838	1020	929
100	0N/mm <sup>2</sup>	143	-142	0	0	-14	-7
100	20N/mm <sup>2</sup>	260	-42	109	116	84	100
100	180N/mm <sup>2</sup>	1084	785	935	906	921	913
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	137	-152	-8	-4	-21	-12
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	257	-47	105	113	86	100
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1083	786	935	908	921	914
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	125	-124	0	77	0	38
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	234	-33	101	191	78	135
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1071	789	930	999	912	956
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	97	-153	-28	129	-29	50
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	232	-53	89	249	72	160
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1059	776	918	1047	907	977
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	128	-122	3	159	2	80
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	247	-33	107	275	86	180
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1081	800	941	1079	923	1001
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	171	-95	38	276	38	157
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	285	0	143	358	129	244
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1118	835	976	1174	973	1074
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	184	-132	26	217	14	116
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	264	-70	97	311	86	199
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1124	793	958	1167	945	1056
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	158	-168	-5	107	-6	51
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	263	-86	89	205	74	139
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1103	760	932	1044	915	979
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	157	-157	0	196	10	103
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	278	-71	103	324	94	209
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1103	766	935	1106	924	1015
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	180	-128	26	161	33	97
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	296	-42	127	272	124	198
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1131	788	959	1093	939	1016

付表 4.2.3 累積疲労回数ごとのひずみ (B2)

疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
1	0N/mm <sup>2</sup>	95	-95	0	-38	38	0
1	20N/mm <sup>2</sup>	197	27	112	72	152	112
1	180N/mm <sup>2</sup>	900	986	943	827	1056	942
100	0N/mm <sup>2</sup>	2	-16	-7	-55	36	-10
100	20N/mm <sup>2</sup>	100	96	98	42	148	95
100	180N/mm <sup>2</sup>	889	990	939	812	1060	936
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	-3	-16	-10	-61	33	-14
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	93	94	93	35	145	90
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	882	984	933	802	1054	928
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	0	-21	-11	-74	34	-20
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	98	94	96	26	148	87
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	886	985	935	801	1053	927
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	-33	-50	-41	-113	5	-54
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	72	73	72	-4	131	63
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	863	965	914	775	1032	903
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	-1	-18	-10	-84	37	-23
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	96	96	96	14	149	81
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	891	985	938	796	1052	924
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	12	-5	4	-73	48	-12
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	111	110	111	25	161	93
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	904	1005	955	810	1068	939
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	-3	-26	-14	-98	45	-26
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	93	89	91	-2	159	78
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	889	980	935	783	1063	923
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	17	-6	6	-73	72	0
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	109	102	106	20	178	99
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	903	990	947	806	1074	940
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	54	28	41	-43	108	33
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	154	144	149	56	219	137
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	951	1037	994	855	1111	983
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	45	16	31	-53	95	21
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	140	129	134	45	205	125
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	934	1021	978	845	1092	968

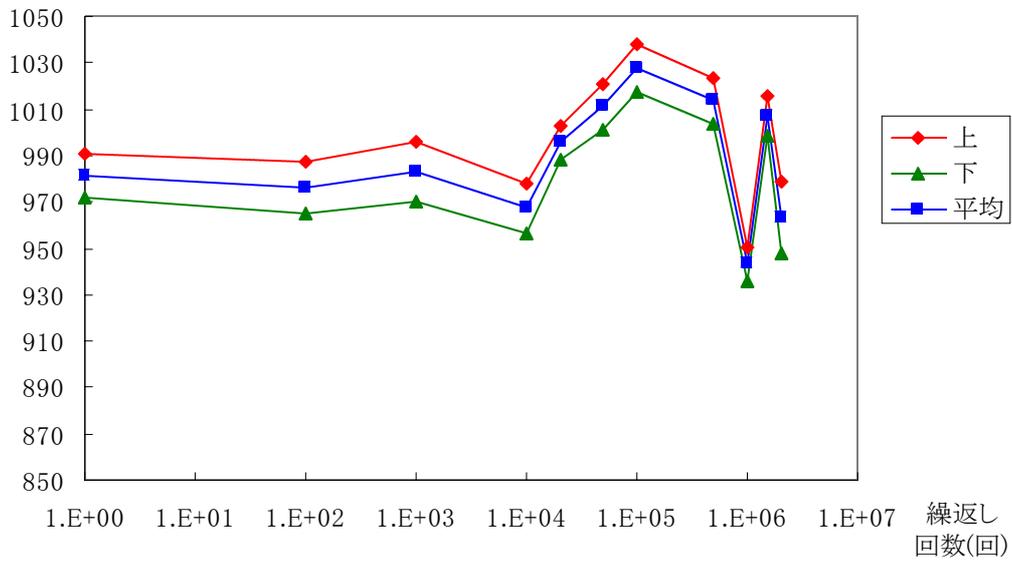
付表 4.2.4 累積疲労回数ごとのひずみ (AB1)

疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
1	0N/mm <sup>2</sup>	41	-27	7	-9	24	8
1	20N/mm <sup>2</sup>	132	84	108	63	137	100
1	180N/mm <sup>2</sup>	903	1013	958	765	1107	936
100	0N/mm <sup>2</sup>	70	-38	16	-31	33	1
100	20N/mm <sup>2</sup>	166	77	121	53	158	105
100	180N/mm <sup>2</sup>	937	1005	971	763	1113	938
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	100	-63	19	-39	23	-8
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	200	36	118	40	139	89
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1028	925	977	771	1079	925
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	99	-59	20	-45	30	-8
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	198	41	120	39	144	91
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1035	911	973	771	1079	925
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	88	-100	-6	-130	64	-33
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	191	7	99	-42	180	69
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1040	866	953	746	1067	907
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	105	-77	14	-113	82	-15
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	202	25	113	-29	193	82
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1014	847	931	721	1029	875
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	101	-64	19	-118	90	-14
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	205	32	118	-35	197	81
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1024	862	943	722	1041	881
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	26	-178	-76	-287	68	-110
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	147	-57	45	-179	190	6
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	993	803	898	628	1062	845
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	63	-186	-61	-303	95	-104
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	161	-87	37	-211	198	-6
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	994	772	883	588	1059	823
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	62	-185	-61	-306	106	-100
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	162	-86	38	-213	207	-3
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1007	784	895	591	1076	834
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	78	-174	-48	-295	127	-84
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	185	-66	59	-193	236	22
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1019	792	906	599	1095	847

付表 4.2.5 累積疲労回数ごとのひずみ(N1)

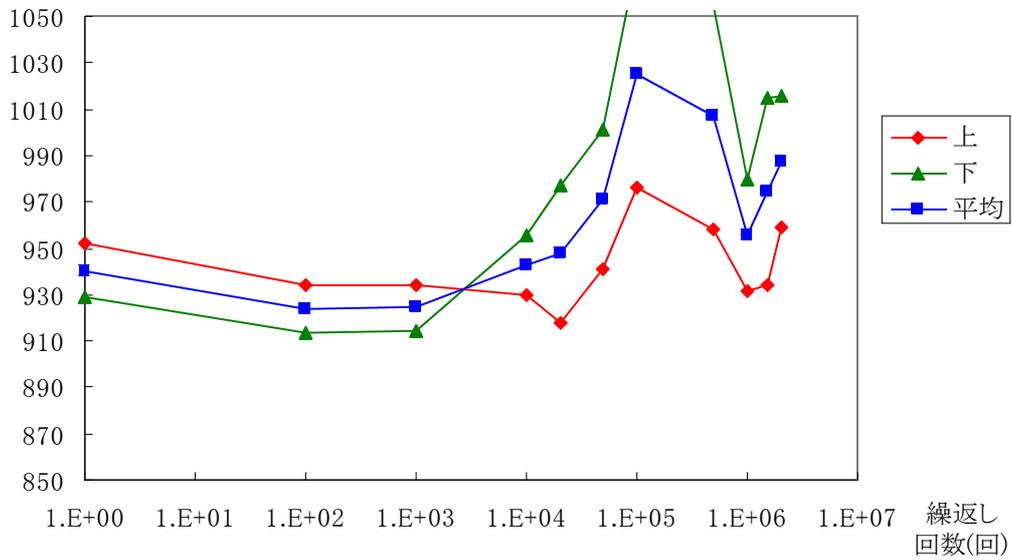
疲労 累積回数		Gb1	Gd1	平均	Gb2	Gd2	平均
		鉄筋上			鉄筋下		
		$\mu$					
1	0N/mm <sup>2</sup>	10	-1	4	10	-11	0
1	20N/mm <sup>2</sup>	129	89	109	119	91	105
1	180N/mm <sup>2</sup>	1060	883	972	933	952	943
100	0N/mm <sup>2</sup>	113	-115	-1	110	-122	-6
100	20N/mm <sup>2</sup>	224	-18	103	218	-23	98
100	180N/mm <sup>2</sup>	1114	827	970	1072	813	943
1,000	0N/mm <sup>2</sup>	106	-119	-6	108	-125	-9
1,000	20N/mm <sup>2</sup>	217	-32	93	211	-35	88
1,000	180N/mm <sup>2</sup>	1124	829	976	1080	814	947
10,000	0N/mm <sup>2</sup>	103	-107	-2	111	-116	-2
10,000	20N/mm <sup>2</sup>	227	-15	106	226	-21	102
10,000	180N/mm <sup>2</sup>	1117	820	968	1075	810	942
20,000	0N/mm <sup>2</sup>	106	-104	1	115	-114	0
20,000	20N/mm <sup>2</sup>	223	-19	102	224	-22	101
20,000	180N/mm <sup>2</sup>	1116	822	969	1078	811	944
50,000	0N/mm <sup>2</sup>	102	-100	1	116	-114	1
50,000	20N/mm <sup>2</sup>	225	-14	105	227	-24	101
50,000	180N/mm <sup>2</sup>	1118	823	970	1079	811	945
100,000	0N/mm <sup>2</sup>	95	-109	-7	115	-117	-1
100,000	20N/mm <sup>2</sup>	217	-21	98	228	-26	101
100,000	180N/mm <sup>2</sup>	1105	812	958	1074	802	938
500,000	0N/mm <sup>2</sup>	51	-163	-56	72	-170	-49
500,000	20N/mm <sup>2</sup>	174	-75	50	183	-73	55
500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1069	775	922	1043	765	904
1,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	95	-120	-12	118	-134	-8
1,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	216	-30	93	224	-35	94
1,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1102	812	957	1078	796	937
1,500,000	0N/mm <sup>2</sup>	120	-81	19	146	-105	21
1,500,000	20N/mm <sup>2</sup>	248	7	127	259	-7	126
1,500,000	180N/mm <sup>2</sup>	1115	834	974	1095	810	952
2,000,000	0N/mm <sup>2</sup>	115	-92	11	141	-114	13
2,000,000	20N/mm <sup>2</sup>	241	-2	120	255	-13	121
2,000,000	180N/mm <sup>2</sup>	1120	833	976	1098	810	954

ひずみ( $\mu$ )

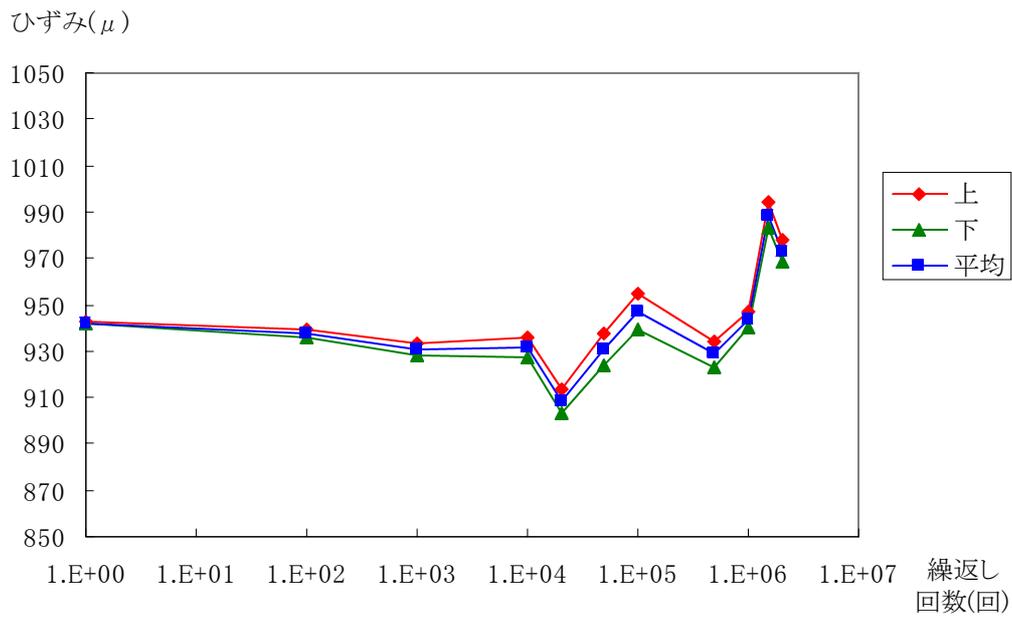


付図 4.2.1 180N/mm<sup>2</sup> 荷重時のひずみ(A1)

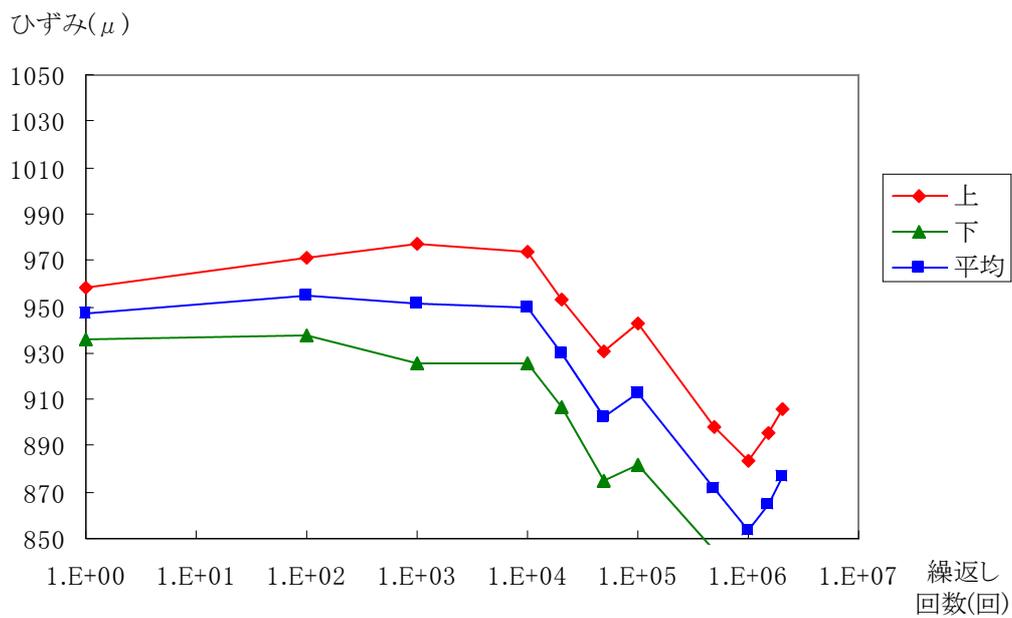
ひずみ( $\mu$ )



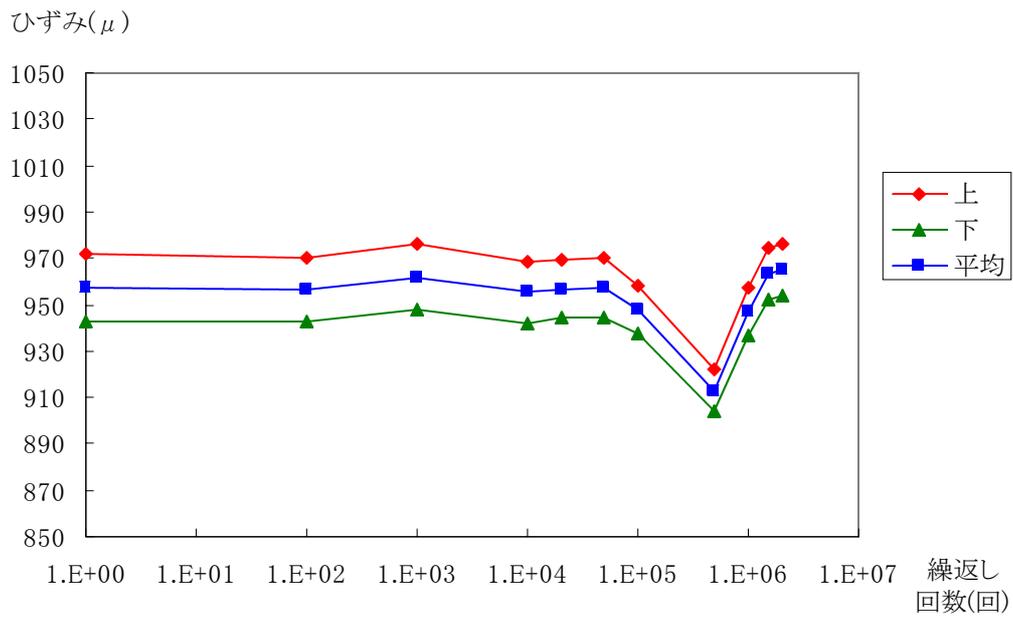
付図 4.2.2 180N/mm<sup>2</sup> 荷重時のひずみ(B1)



付図 4.2.3 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみ (B2)



付図 4.2.4 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみ (AB1)



付図 4.2.5 180N/mm<sup>2</sup> 載荷時のひずみ(N1)

### 3. ひびわれ幅

各供試体ごとのコンタクトゲージによる計測値を付表 2.3.1 ~ 2.3.5、付図 2.3.1 ~ 2.3.5 に、クラックスケールによる計測値を付表 2.3.6 ~ 2.3.10、付図 2.3.6 ~ 2.3.10 に示す。

付表 4.3.1 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測(A1)

疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	0.488	-0.073	0.574	-0.134	0.221	0.246
1,000	0.451	-0.070	0.669	-0.108	0.251	0.084
10,000	0.439	-0.063	0.508	-0.031	0.233	0.244
20,000	0.451	-0.059	0.504	-0.028	0.253	0.236
50,000	0.756	-0.044	0.476	-0.004	0.253	0.242
100,000	0.441	-0.029	0.473	-0.001	0.258	0.240
500,000	0.428	-0.036	0.460	0.000	0.331	0.182
1,000,000	0.423	0.015	0.499	0.069	0.281	0.238
1,500,000	0.435	0.005	0.514	-0.017	0.285	0.259
2,000,000	0.441	0.012	0.537	-0.019	0.304	0.214

付表 4.3.2 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測(B1)

疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	0.232	0.250	0.425	1.236	0.177	0.201
1,000	0.353	0.274	0.415	0.169	0.348	0.179
10,000	0.363	0.277	0.421	0.176	0.353	0.180
20,000	0.372	0.268	0.410	0.181	0.347	0.175
50,000	0.379	0.272	0.418	0.160	0.780	0.178
100,000	0.392	0.267	0.556	0.164	0.351	0.176
500,000	0.393	0.264	0.462	0.163	0.768	0.177
1,000,000	0.407	0.244	0.441	0.168	0.388	0.174
1,500,000	0.423	0.241	0.450	0.157	0.377	0.175
2,000,000	0.443	0.266	0.629	0.194	0.416	0.178

付表 4.3.3 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (B2)

疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	0.325	0.319	0.443	0.049	0.249	0.319
1,000	0.296	0.271	0.388	0.043	0.256	0.263
10,000	0.296	0.274	0.387	0.037	0.256	-0.061
20,000	0.291	0.288	0.353	0.071	0.389	0.146
50,000	0.285	0.285	0.340	0.062	0.381	0.082
100,000	0.295	0.285	0.335	0.068	0.378	0.131
500,000	0.302	0.289	-0.219	0.085	0.399	0.126
1,000,000	0.306	0.293	-0.207	0.109	0.423	0.097
1,500,000	0.323	0.289	0.349	0.121	0.453	0.083
2,000,000	0.321	0.303	0.644	0.127	0.467	0.048

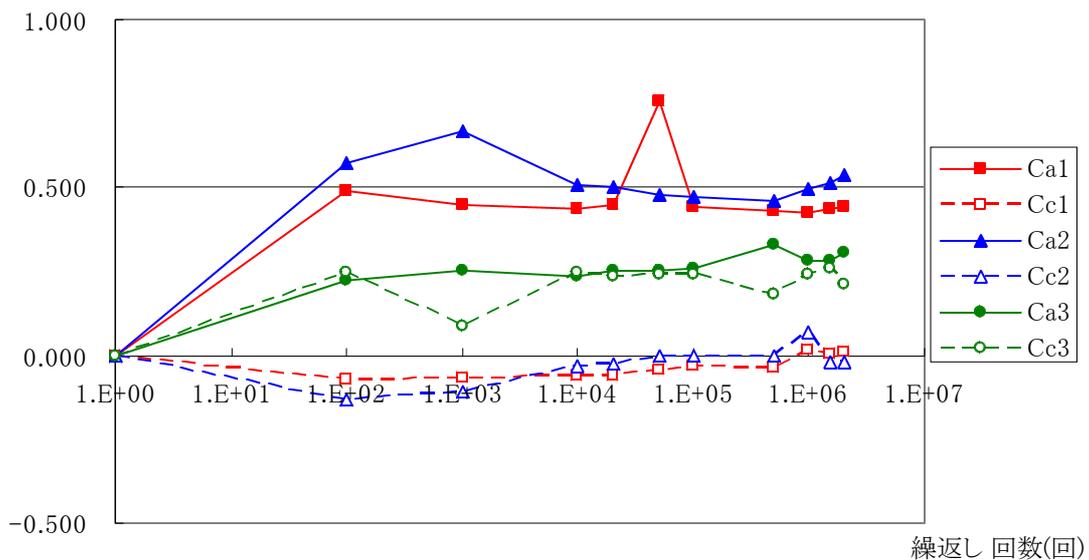
付表 4.3.4 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (AB1)

疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	0.209	0.180	0.344	0.015	0.161	0.275
1,000	0.213	0.204	0.320	0.085	0.176	0.030
10,000	0.156	0.300	0.334	0.085	0.183	0.158
20,000	0.154	0.318	0.320	0.083	0.185	0.159
50,000	0.188	0.283	0.232	0.196	0.286	0.135
100,000	0.203	0.287	0.224	0.200	0.268	0.135
500,000	0.196	0.293	0.233	0.210	0.291	0.125
1,000,000	0.208	0.306	0.233	0.192	0.092	0.136
1,500,000	0.209	0.318	0.252	0.213	0.308	0.137
2,000,000	0.226	0.307	0.256	0.214	0.308	0.140

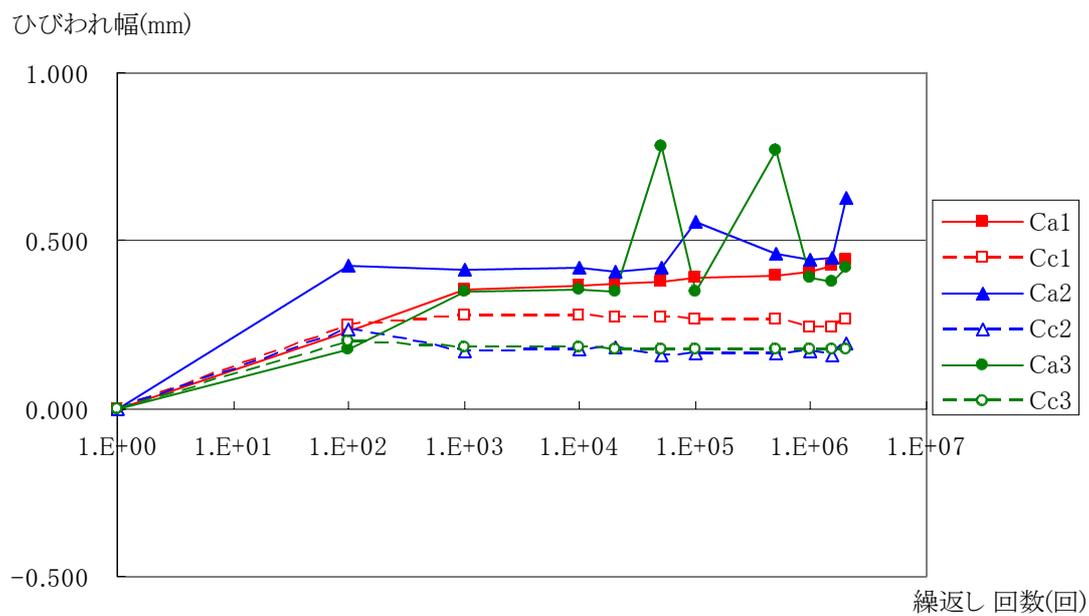
付表 4.3.5 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (N1)

疲労 累積回数	上		中		下	
	Ca1 (mm)	Cc1 (mm)	Ca2 (mm)	Cc2 (mm)	Ca3 (mm)	Cc3 (mm)
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
100	0.024	0.110	0.194	0.174	-0.094	0.232
1,000	0.020	0.262	0.236	0.275	0.099	-0.028
10,000	0.002	0.256	0.229	0.278	0.052	0.160
20,000	0.010	0.266	0.231	0.269	0.091	0.164
50,000	0.015	0.252	0.245	0.280	0.106	0.153
100,000	-0.251	0.263	0.240	0.274	0.096	0.199
500,000	0.027	0.257	0.239	0.268	0.143	0.180
1,000,000	0.020	0.269	0.247	0.271	0.101	0.247
1,500,000	0.032	0.282	0.270	0.288	0.118	0.187
2,000,000	0.050	0.276	0.283	0.279	0.116	0.192

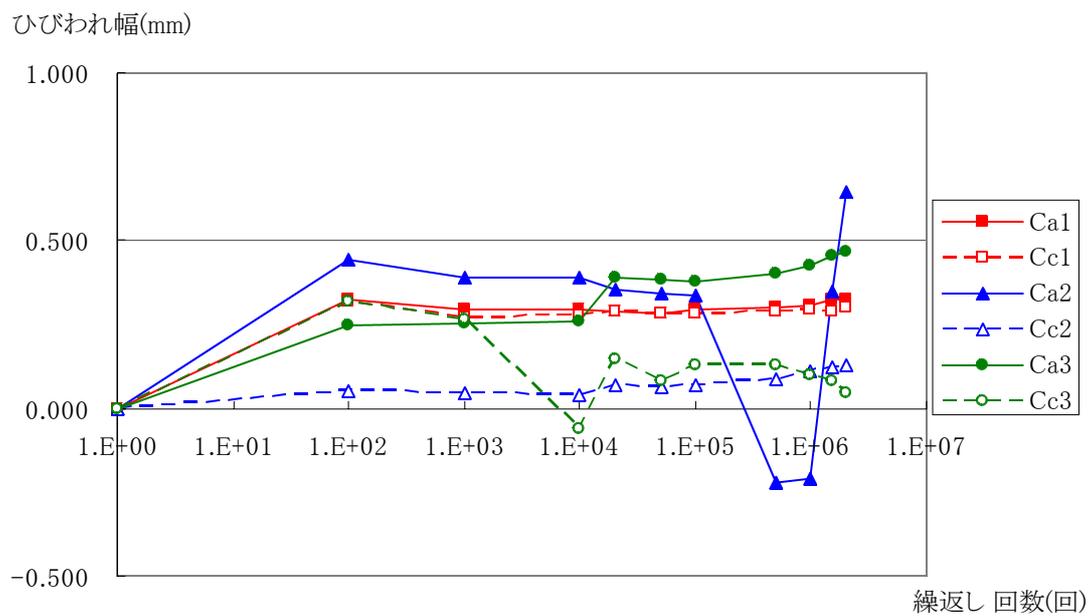
ひびわれ幅(mm)



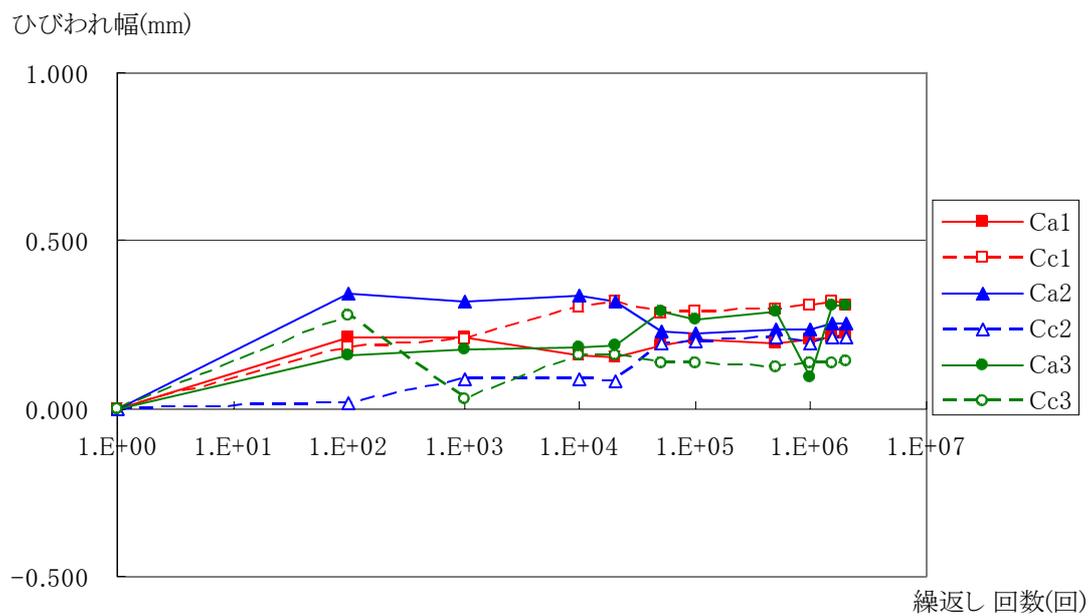
付図 4.3.1 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (A1)



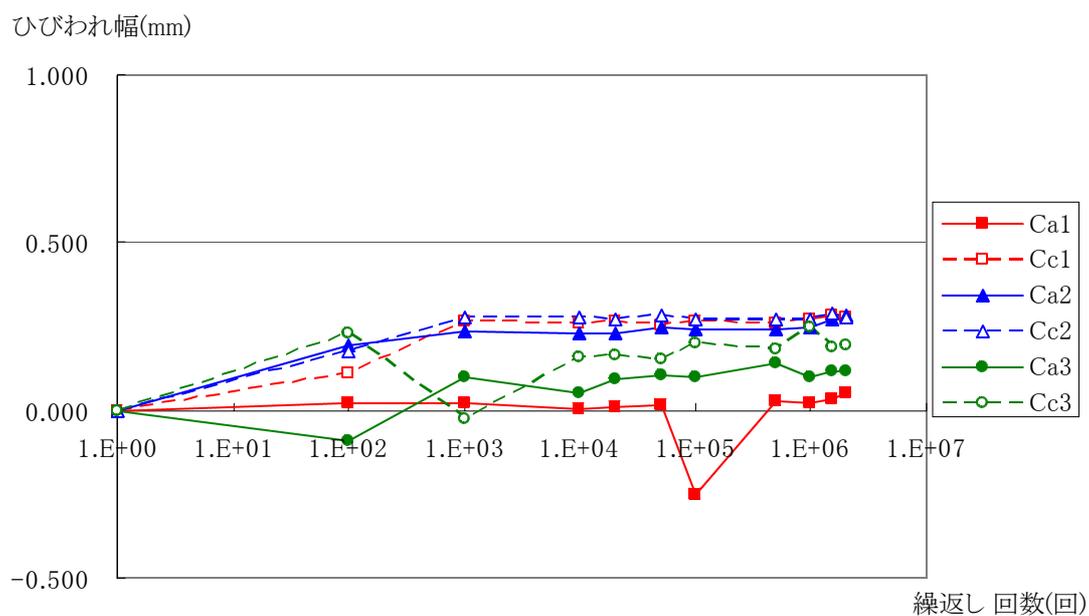
付図 4.3.2 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (B1)



付図 4.3.3 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測 (B2)



付図 4.3.4 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測(AB1)



付図 4.3.5 コンタクトゲージによるひびわれ幅の計測(N1)

付表 4.3.6 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (A1)

疲労 累積回数	Sb1L (mm)	Sb1R (mm)	Sd1L (mm)	Sd1R (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2L (mm)	Sd2R (mm)	Sb3L (mm)	Sb3R (mm)	Sd3L (mm)	Sd3R (mm)
1		0.20	0.30	0.06	0.04	0.30	0.30				0.04	0.25
100		0.15	0.45	0.06	0.04	0.30	0.15				0.10	0.30
1,000		0.20	0.40	0.10	0.15	0.40	0.20				0.10	0.30
10,000		0.15	0.30	0.20	0.20	0.45	0.10				0.15	0.25
20,000		0.15	0.40	0.25	0.20	0.45	0.05				0.25	0.25
50,000		0.10	0.40	0.25	0.15	0.20	0.10				0.45	0.35
100,000		0.15	0.30	0.20	0.25	0.50	0.15				0.25	0.25
500,000		0.10	0.35	0.20	0.15	0.30	0.25	0.06	0.10	0.15	0.30	0.25
1,000,000	0.08	0.25	0.40	0.25	0.20	0.45	0.30	0.10	0.10	0.08	0.10	0.20
1,500,000	0.10	0.20	0.35	0.20	0.10	0.35	0.20	0.05	0.10	0.10	0.20	0.25
2,000,000	0.08	0.15	0.40	0.25	0.10	0.45	0.20	0.10	0.12	0.12	0.20	0.20

付表 4.3.7 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (B1)

疲労 累積回数	Sb1L (mm)	Sb1R (mm)	Sd1L (mm)	Sd1R (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2L (mm)	Sd2R (mm)	Sb3L (mm)	Sb3R (mm)	Sd3L (mm)	Sd3R (mm)
1	0.25	0.40			0.08	0.25	0.35	0.20	0.25	0.30		
100	0.15	0.35	0.15	0.20	0.10	0.20	0.20	0.15	0.15	0.20	0.10	0.10
1,000	0.20	0.30	0.30	0.25	0.10	0.30	0.25	0.15	0.15	0.25	0.15	0.15
10,000	0.10	0.20	0.30	0.30	0.08	0.30	0.25	0.25	0.10	0.25	0.20	0.15
20,000	0.15	0.30	0.25	0.10	0.08	0.25	0.25	0.20	0.15	0.20	0.10	0.10
50,000	0.10	0.30	0.15	0.10	0.10	0.30	0.25	0.15	0.20	0.25	0.20	0.15
100,000	0.25	0.30	0.20	0.15	0.01	0.35	0.20	0.15	0.20	0.15	0.15	0.25
500,000	0.20	0.40	0.25	0.20	0.10	0.40	0.20	0.15	0.15	0.25	0.15	0.10
1,000,000	0.20	0.35	0.20	0.25	0.10	0.30	0.20	0.15	0.20	0.15	0.15	0.10
1,500,000	0.20	0.35	0.25	0.25	0.10	0.30	0.25	0.15	0.20	0.20	0.15	0.10
2,000,000	0.20	0.35	0.20	0.30	0.15	0.40	0.25	0.20	0.10	0.30	0.15	0.15

付表 4.3.8 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (B2)

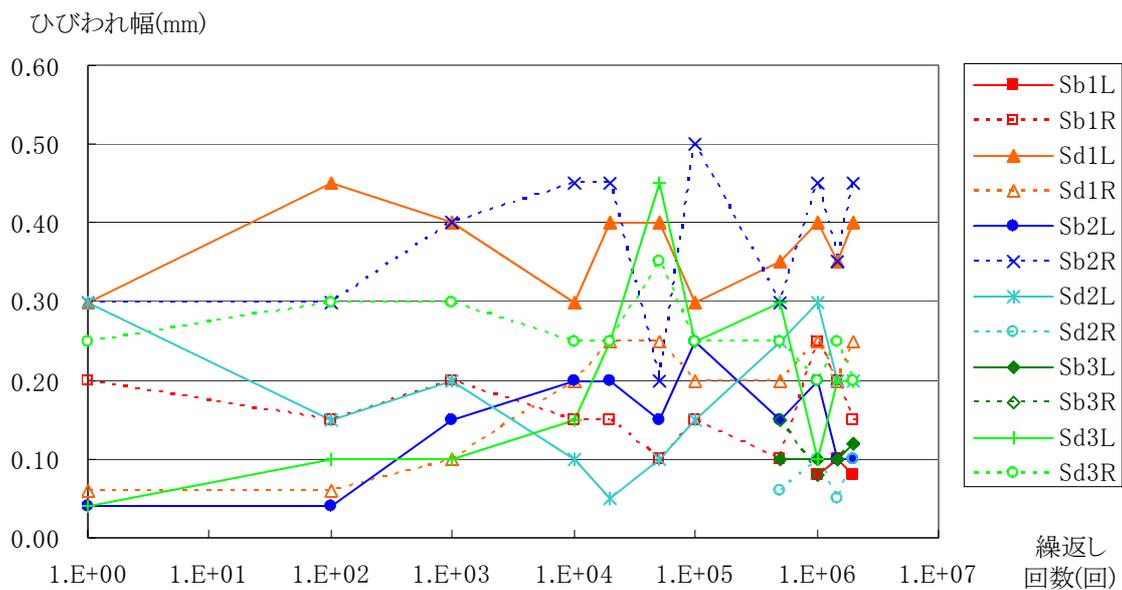
疲労 累積回数	Sb1L (mm)	Sb1R (mm)	Sd1L (mm)	Sd1R (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2L (mm)	Sd2R (mm)	Sb3L (mm)	Sb3R (mm)	Sd3L (mm)	Sd3R (mm)
1	0.20	0.35	0.25			0.20	0.50	0.10	0.35	0.30		
100	0.25	0.35	0.25			0.20	0.35	0.10	0.35	0.25		
1,000	0.30	0.40	0.20			0.25	0.40	0.10	0.30	0.25		
10,000	0.25	0.25	0.25	0.10		0.25	0.35	0.10	0.45	0.50		
20,000	0.30	0.35	0.20	0.10	0.10	0.30	0.30	0.15	0.50	0.50		0.10
50,000	0.25	0.30	0.25	0.10	0.10	0.35	0.40	0.15	0.45	0.55		0.15
100,000	0.25	0.30	0.30	0.10	0.10	0.25	0.35	0.15	0.45	0.50		0.10
500,000	0.20	0.50	0.25	0.10	0.10	0.45	0.30	0.20	0.35	0.45	0.15	0.10
1,000,000	0.25	0.25	0.25	0.10	0.15	0.40	0.30	0.20	0.30	0.50	0.15	0.10
1,500,000	0.20	0.25	0.30	0.10	0.15	0.30	0.30	0.25	0.30	0.55	0.15	0.10
2,000,000	0.25	0.25	0.35	0.10	0.15	0.30	0.40	0.20	0.25	0.50	0.25	0.10

付表 4.3.9 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (AB1)

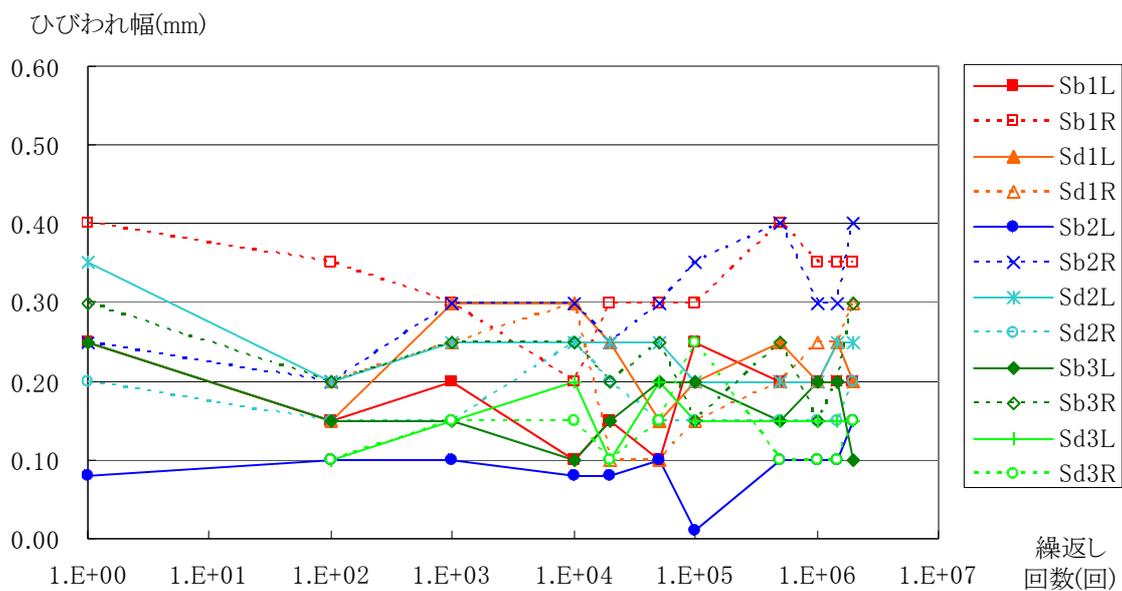
疲労 累積回数	Sb1L (mm)	Sb1R (mm)	Sd1L (mm)	Sd1R (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2L (mm)	Sd2R (mm)	Sb3L (mm)	Sb3R (mm)	Sd3L (mm)	Sd3R (mm)
1	0.30	0.35				0.10	0.35	0.15	0.30	0.30		
100	0.35	0.35				0.10	0.35	0.20	0.30	0.30		
1,000	0.20	0.30	0.10	0.15		0.15	0.35	0.20	0.30	0.35		
10,000	0.20	0.30	0.20	0.20		0.15	0.35	0.20	0.30	0.35		
20,000	0.30	0.35	0.30	0.30	0.10	0.35	0.20	0.10	0.20	0.35	0.25	0.15
50,000	0.30	0.35	0.25	0.30	0.15	0.30	0.20	0.15	0.15	0.30	0.15	0.15
100,000	0.30	0.35	0.25	0.30	0.10	0.30	0.25	0.10	0.20	0.35	0.20	0.10
500,000	0.30	0.35	0.25	0.30	0.15	0.35	0.20	0.15	0.15	0.30	0.15	0.15
1,000,000	0.30	0.35	0.25	0.30	0.10	0.30	0.25	0.10	0.20	0.35	0.20	0.10
1,500,000	0.30	0.35	0.25	0.25	0.25	0.35	0.25	0.10	0.20	0.35	0.25	0.10
2,000,000	0.30	0.35	0.25	0.30	0.20	0.30	0.25	0.10	0.20	0.30	0.25	0.15

付表 4.3.10 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (N1)

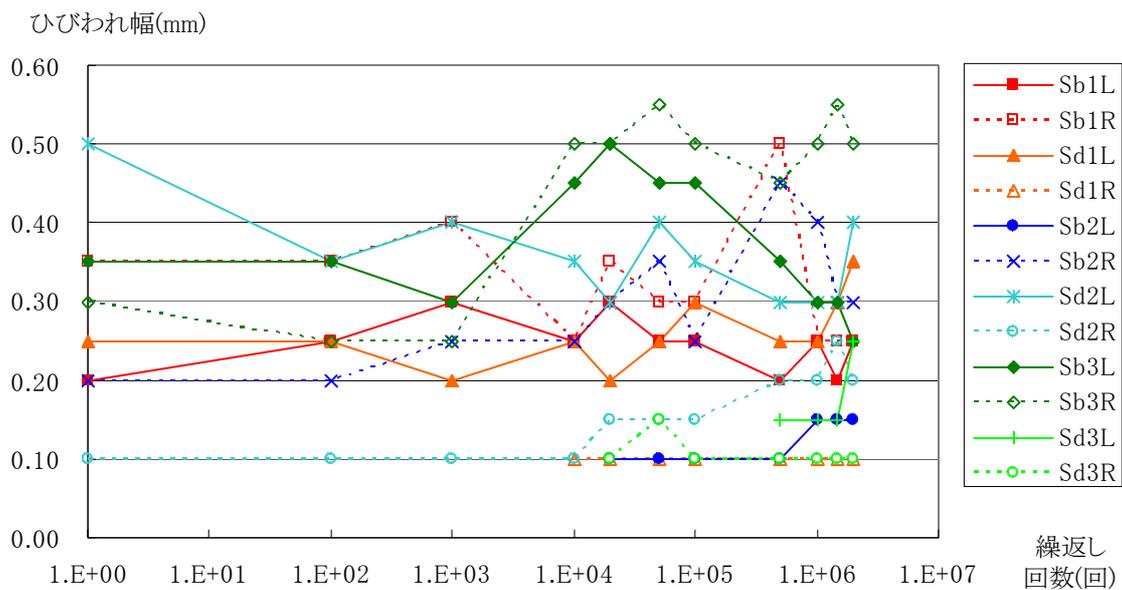
疲労 累積回数	Sb1L (mm)	Sb1R (mm)	Sd1L (mm)	Sd1R (mm)	Sb2L (mm)	Sb2R (mm)	Sd2L (mm)	Sd2R (mm)	Sb3L (mm)	Sb3R (mm)	Sd3L (mm)	Sd3R (mm)
1		0.08	0.50	0.35	0.15	0.30	0.30	0.25	0.45	0.45		
100	0.20	0.20	0.30	0.25	0.30	0.25	0.30	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20
1,000	0.15	0.25	0.40	0.25	0.30	0.25	0.25	0.35	0.30	0.30	0.25	0.20
10,000	0.20	0.25	0.35	0.30	0.25	0.25	0.30	0.20	0.25	0.30	0.15	0.20
20,000	0.15	0.25	0.30	0.25	0.25	0.20	0.25	0.25	0.20	0.30	0.30	0.25
50,000	0.15	0.20	0.35	0.30	0.30	0.20	0.20	0.15	0.30	0.35	0.25	0.20
100,000	0.10	0.25	0.40	0.30	0.25	0.15	0.35	0.20	0.20	0.25	0.30	0.25
500,000	0.10	0.15	0.40	0.35	0.25	0.25	0.40	0.30	0.20	0.25	0.35	0.30
1,000,000	0.25	0.30	0.35	0.30	0.30	0.20	0.40	0.25	0.30	0.35	0.45	0.35
1,500,000	0.15	0.35	0.45	0.30	0.20	0.20	0.30	0.25	0.30	0.25	0.30	0.20
2,000,000	0.20	0.25	0.50	0.35	0.25	0.20	0.30	0.20	0.25	0.30	0.35	0.20



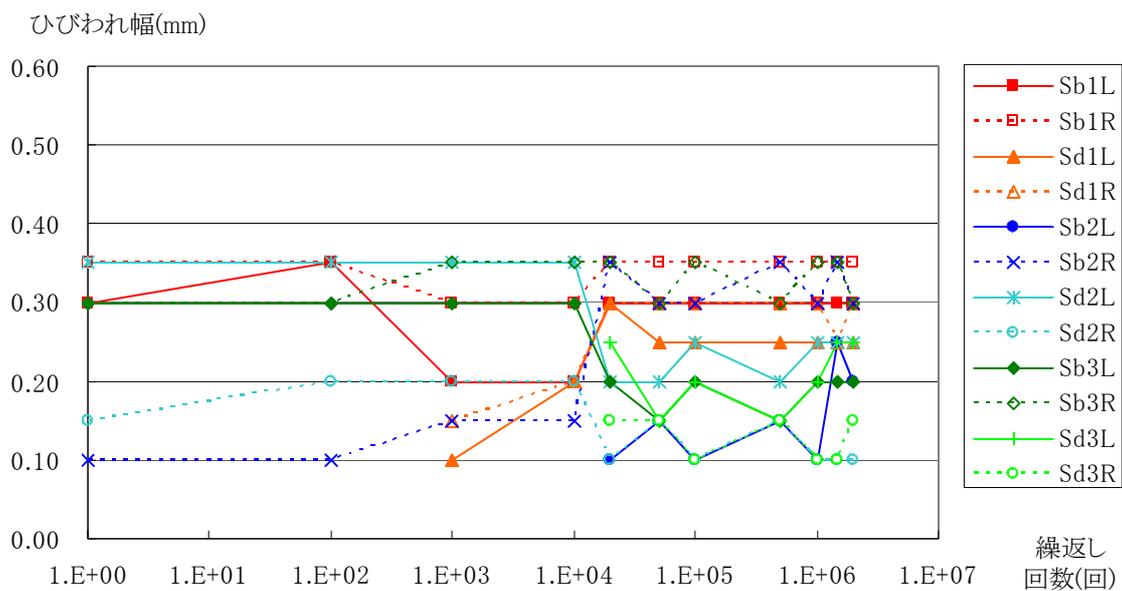
付図 4.3.6 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (A1)



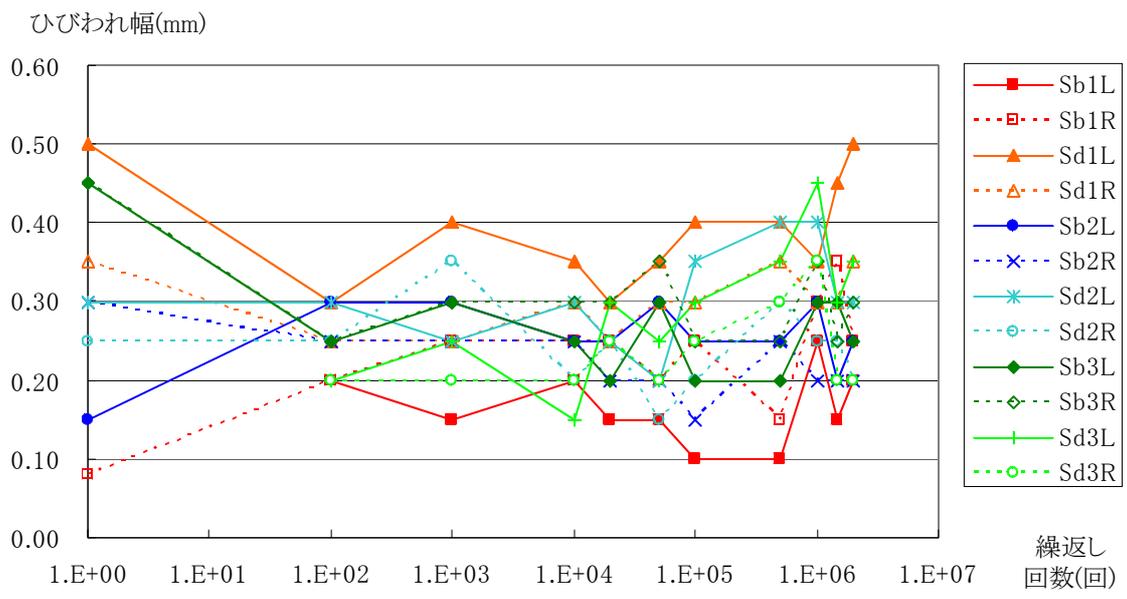
付図 4.3.7 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (B1)



付図 4.3.8 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (B2)



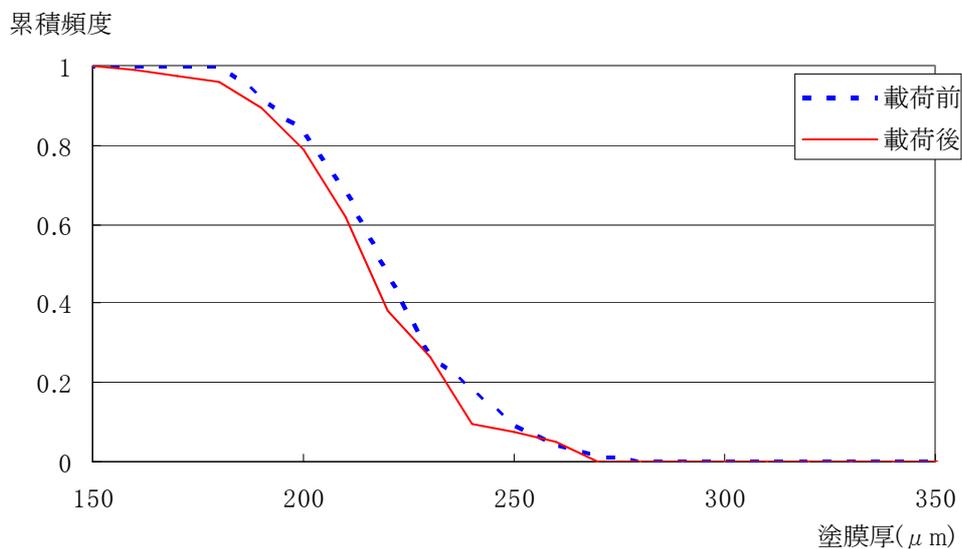
付図 4.3.9 クラックスケールによるひびわれ幅の計測 (AB1)



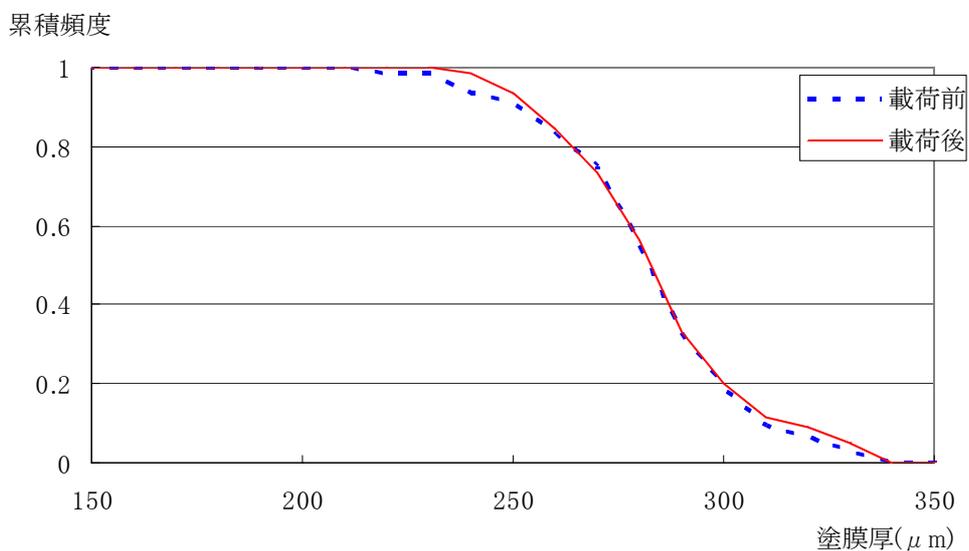
付図 4.3.10 クラックスケールによるひびわれ幅の計測(N1)

#### 4. 塗膜厚

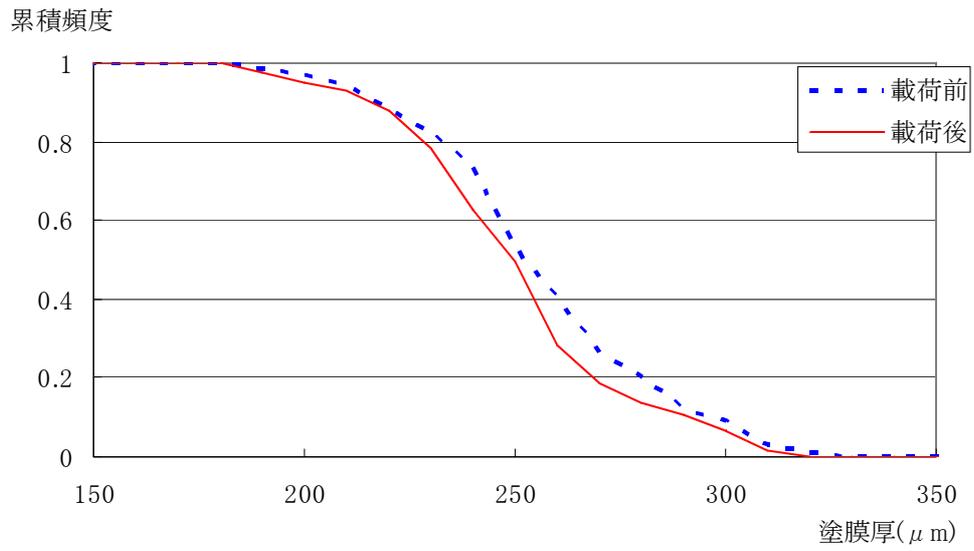
各供試体ごとの塗膜厚の累積頻度分布を付図 4.4.1 ~ 4.4.80 に示す。また付表 4.4.1、付図 4.4.81 ~ 4.4.85 に各供試体の測点毎の平均値を、付表 4.4.2、付図 4.4.86 ~ 4.4.90 に各供試体の測点毎の最小値を、付表 4.4.3、付図 4.4.91 ~ 4.4.95 に各供試体の測点毎の下限値(200  $\mu\text{m}$ )の超過確率を示す。



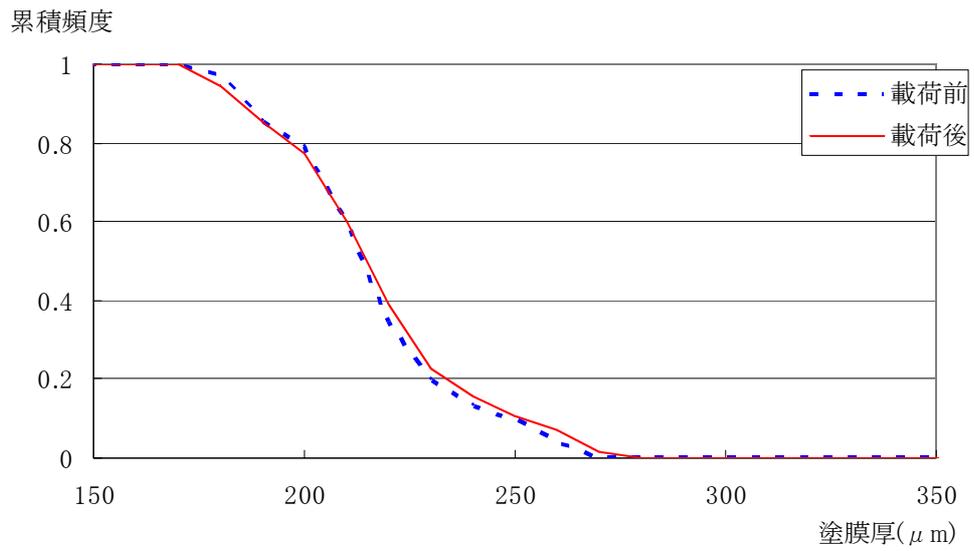
付図 4.4.1 A1 塗膜厚の累積頻度分布(a-1)



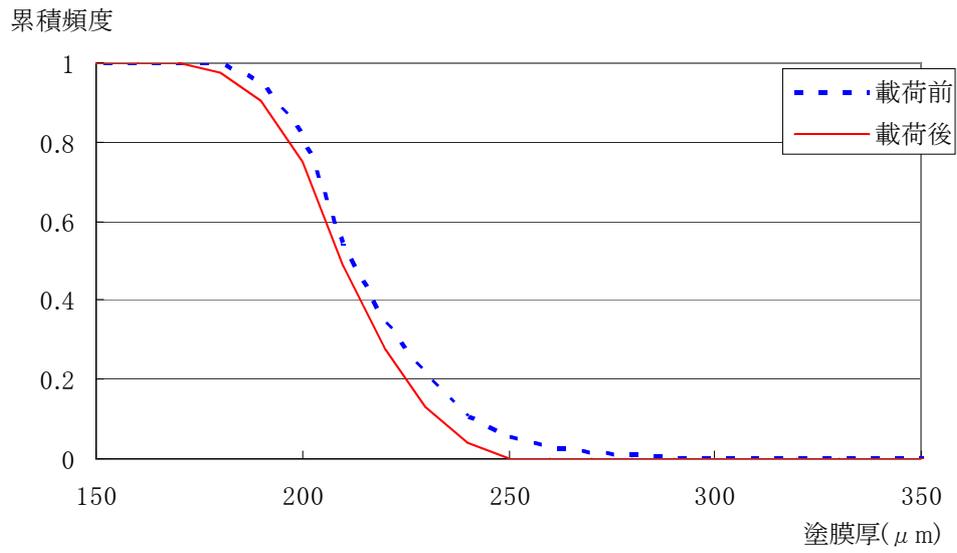
付図 4.4.2 A1 塗膜厚の累積頻度分布(a-2)



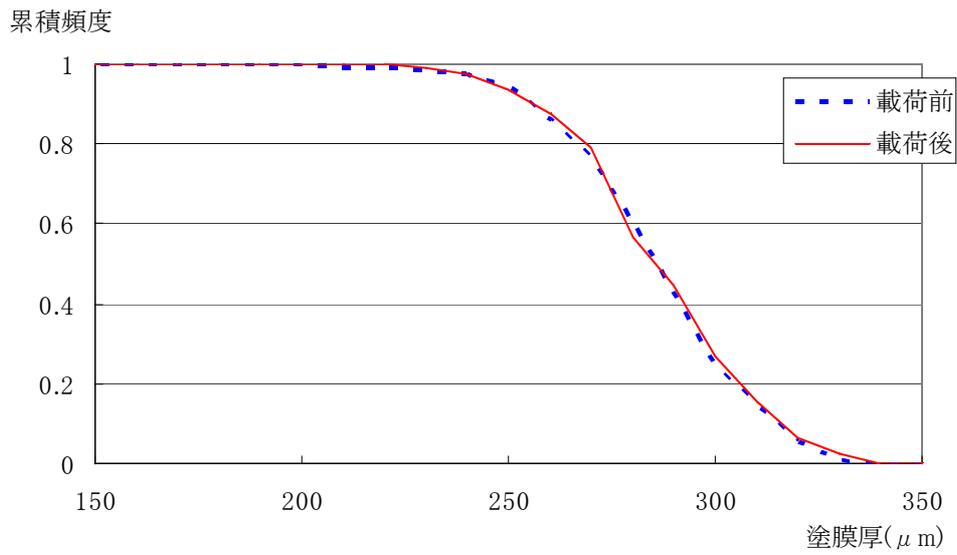
付図 4.4.3 A1 塗膜厚の累積頻度分布(a-3)



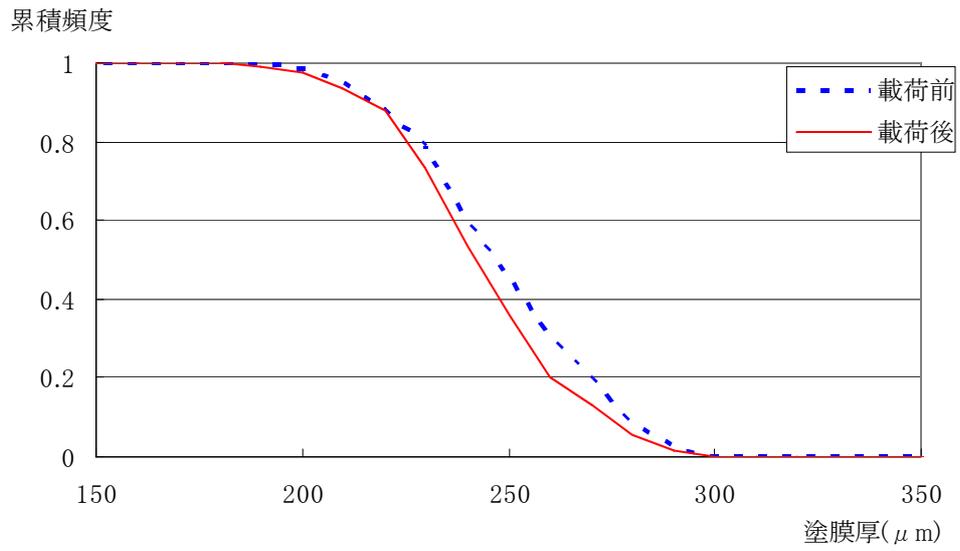
付図 4.4.4 A1 塗膜厚の累積頻度分布(a-4)



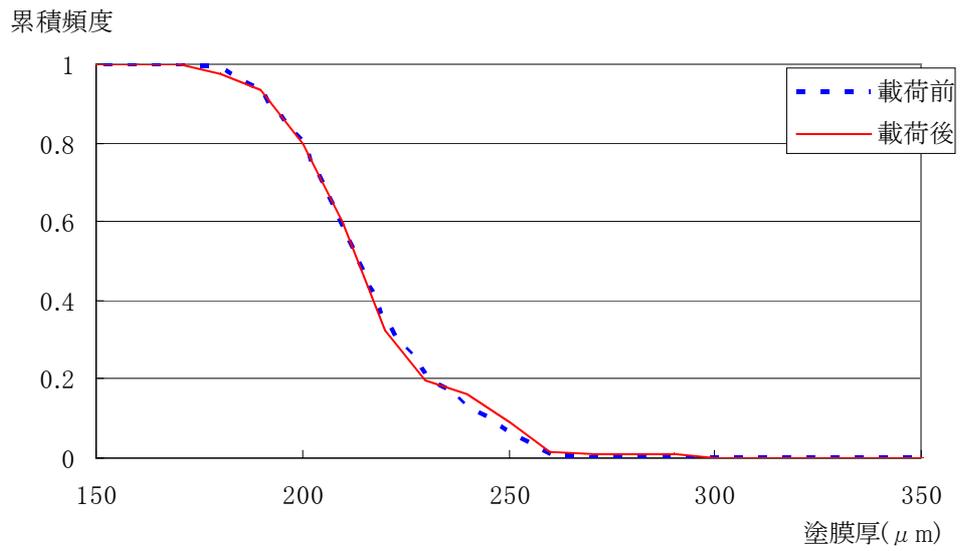
付図 4.4.5 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-1)



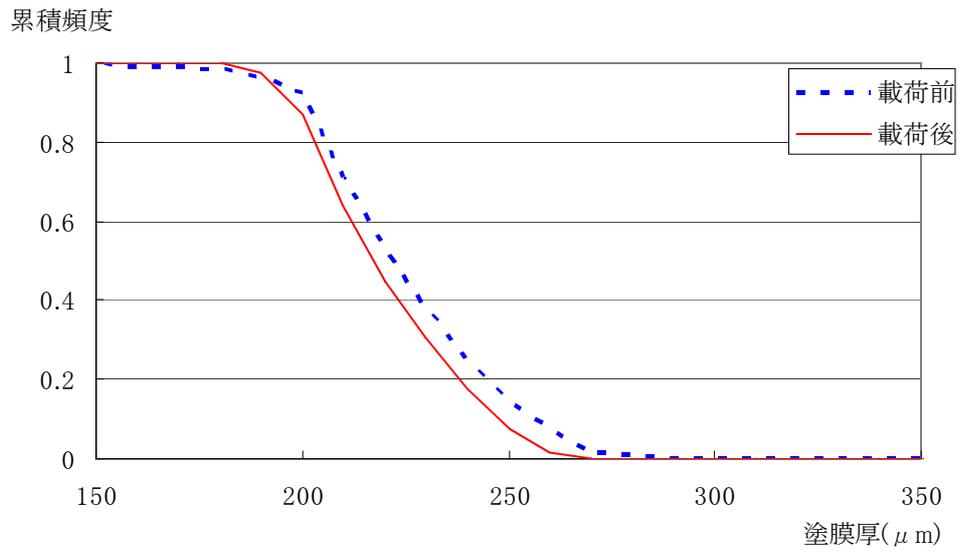
付図 4.4.6 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-2)



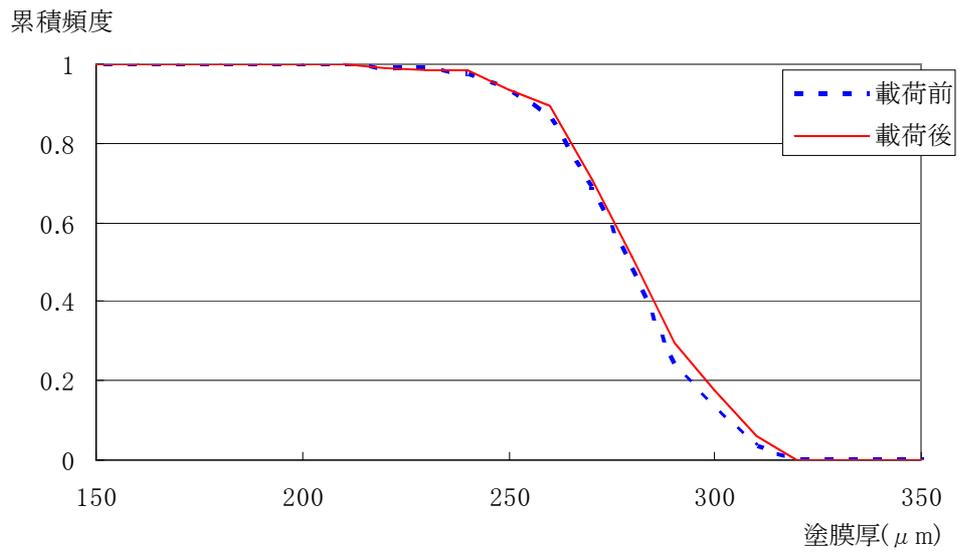
付図 4.4.7 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-3)



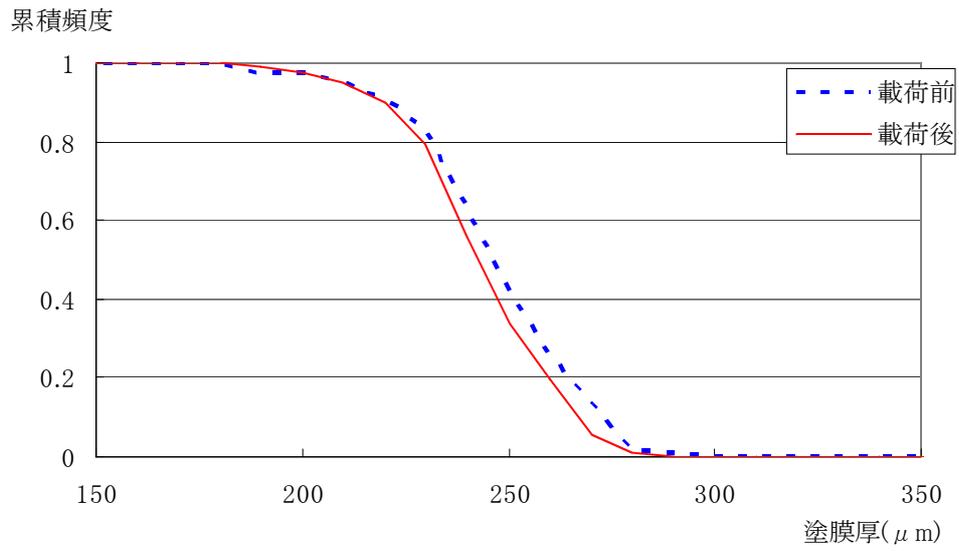
付図 4.4.8 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-4)



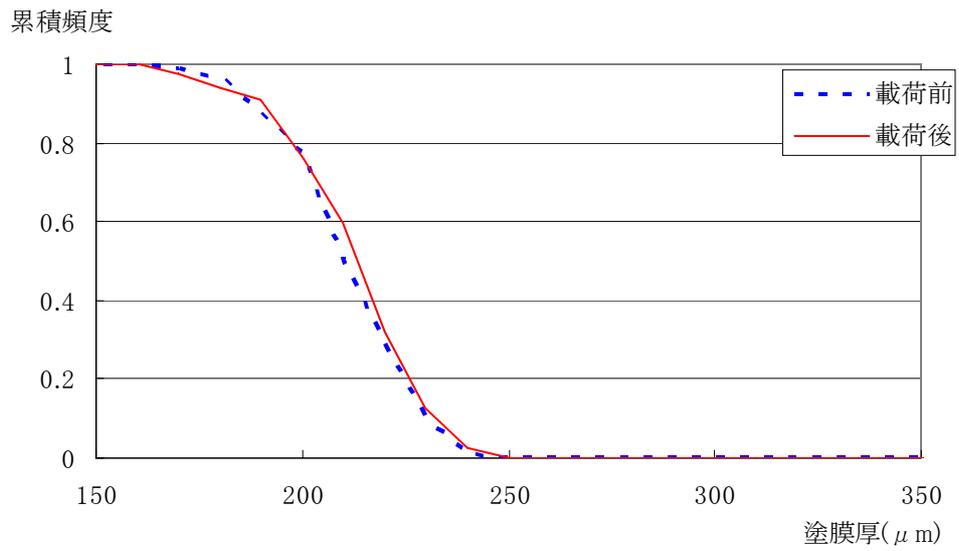
付図 4.4.9 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-1)



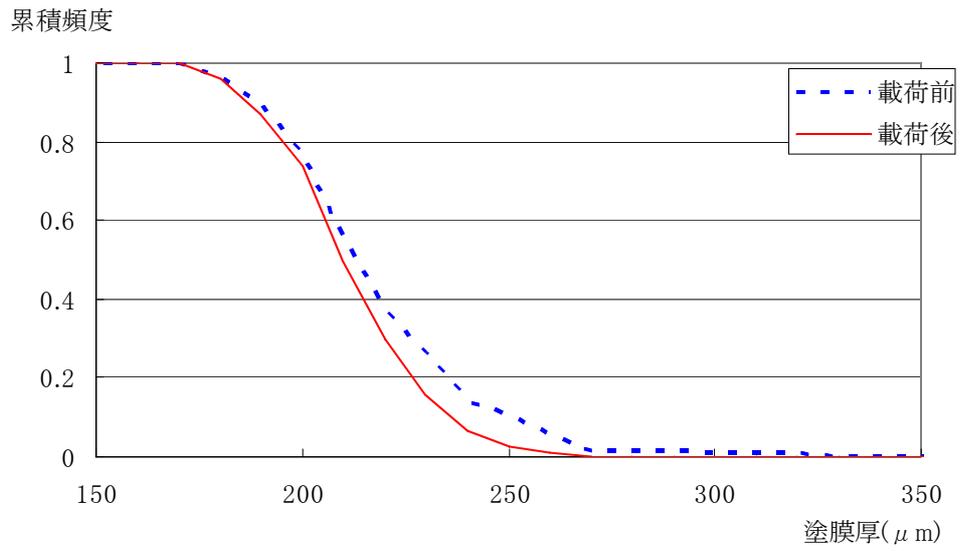
付図 4.4.10 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-2)



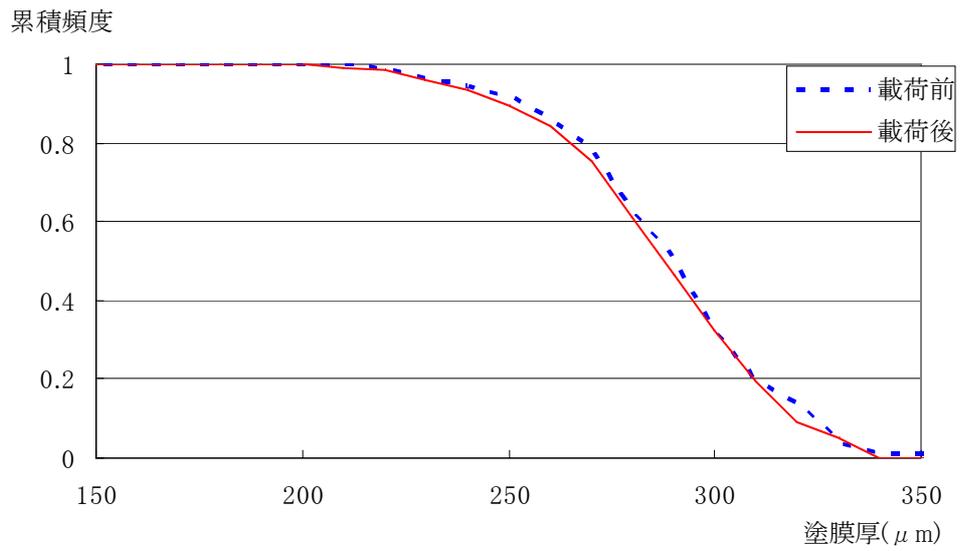
付図 4.4.11 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-3)



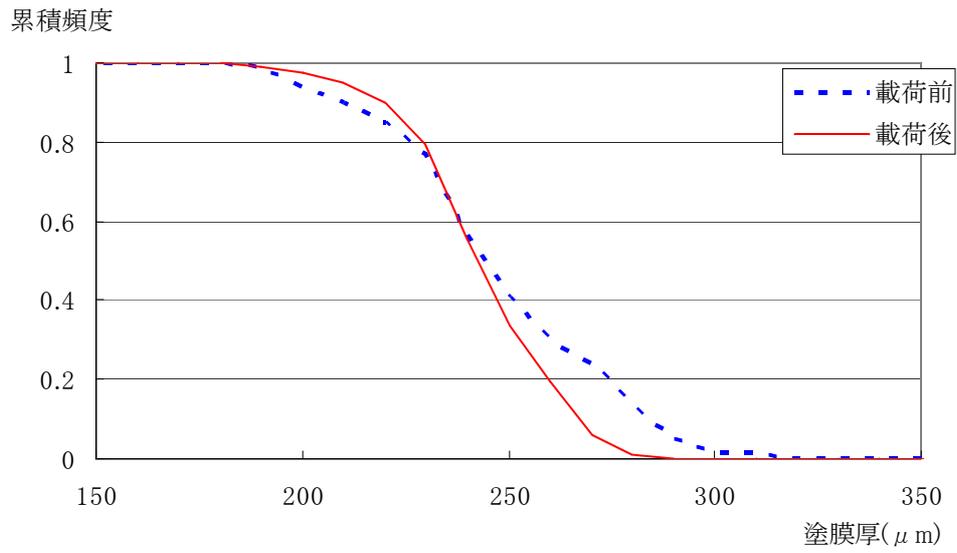
付図 4.4.12 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-4)



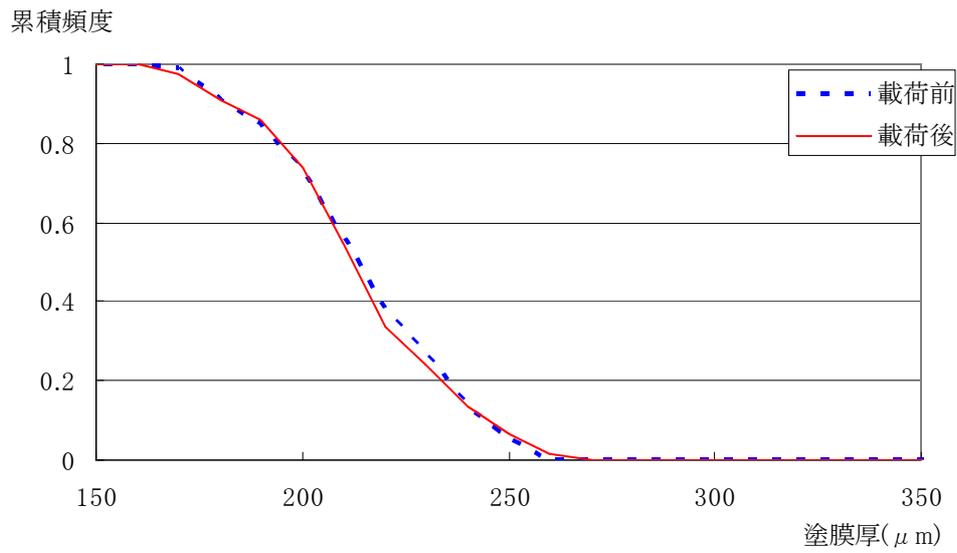
付図 4.4.13 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-1)



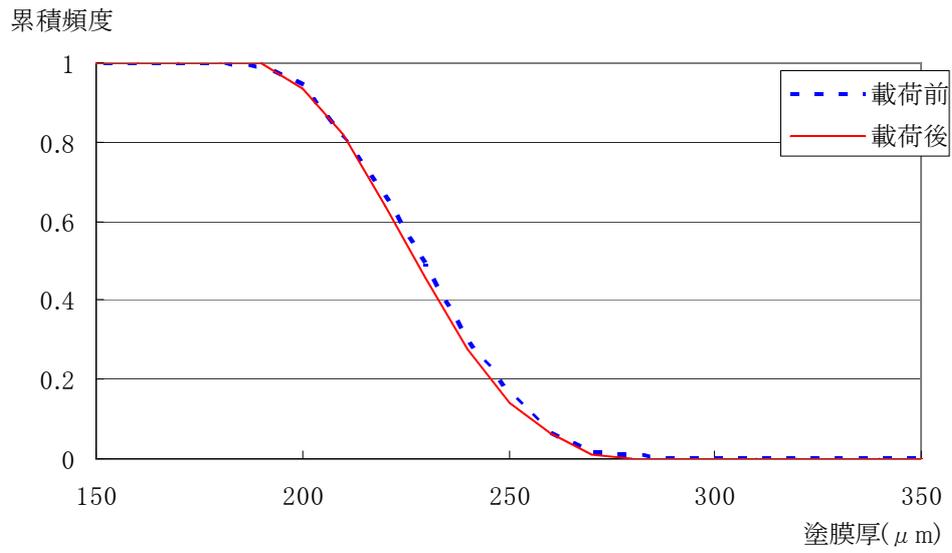
付図 4.4.14 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-2)



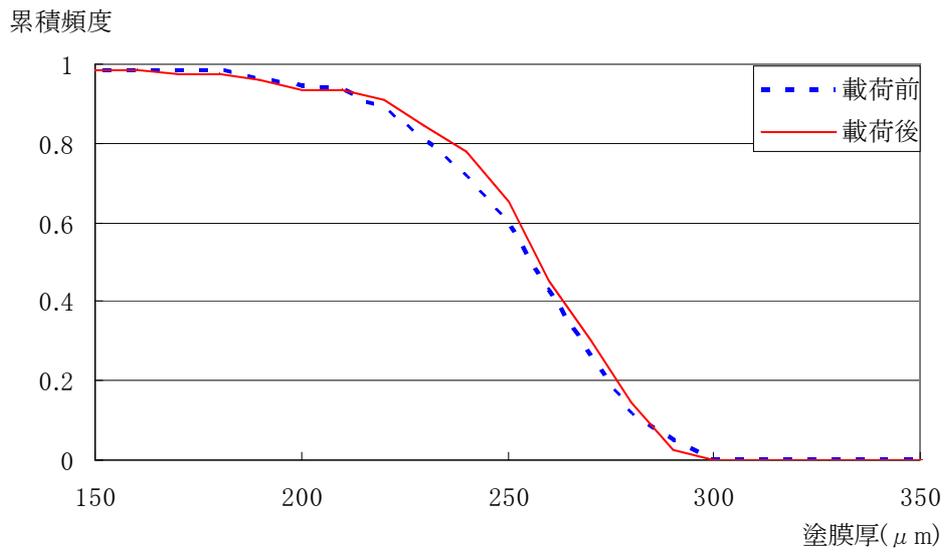
付図 4.4.15 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-3)



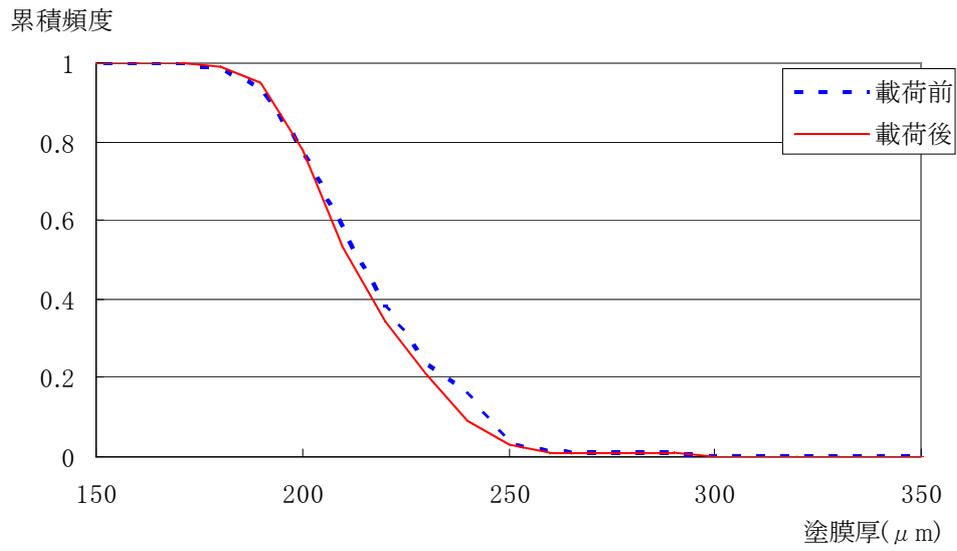
付図 4.4.16 A1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-4)



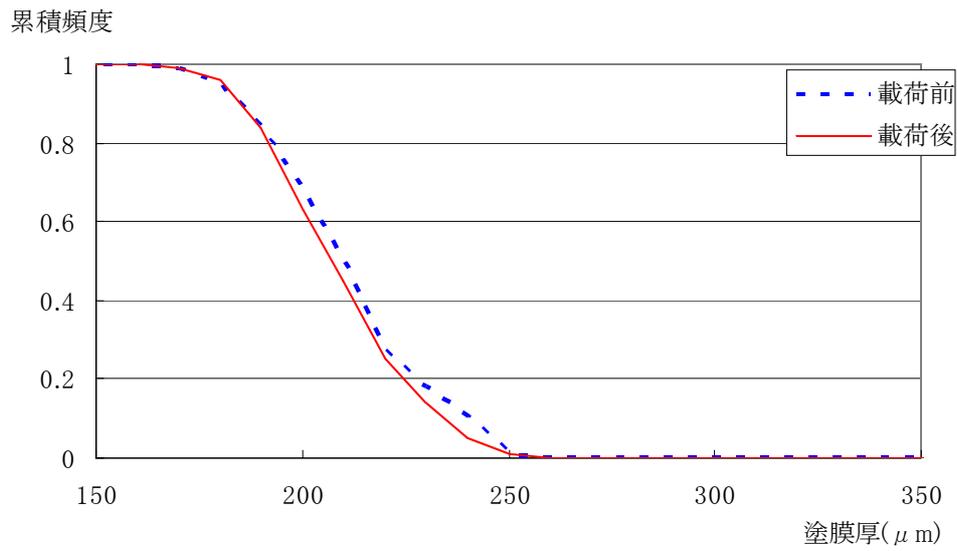
付図 4.4.17 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-1)



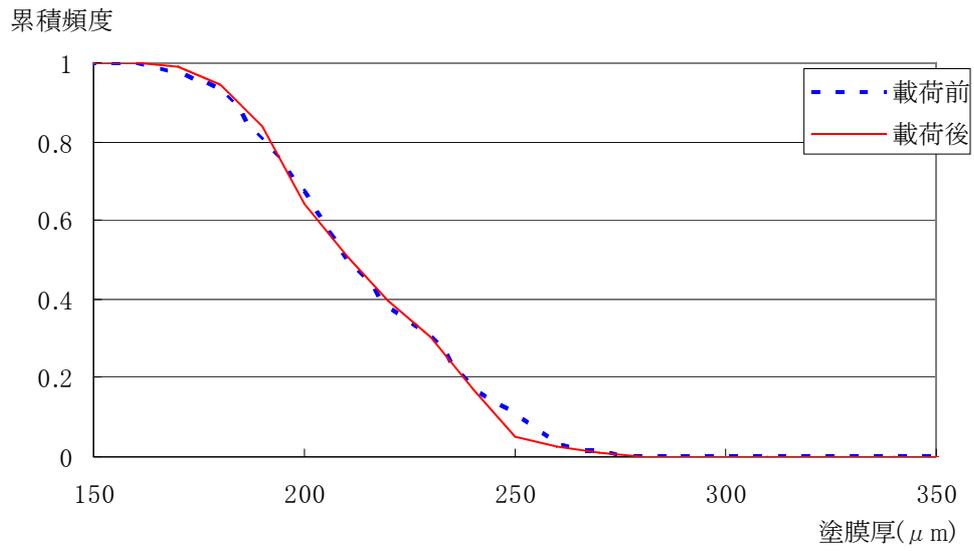
付図 4.4.18 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-2)



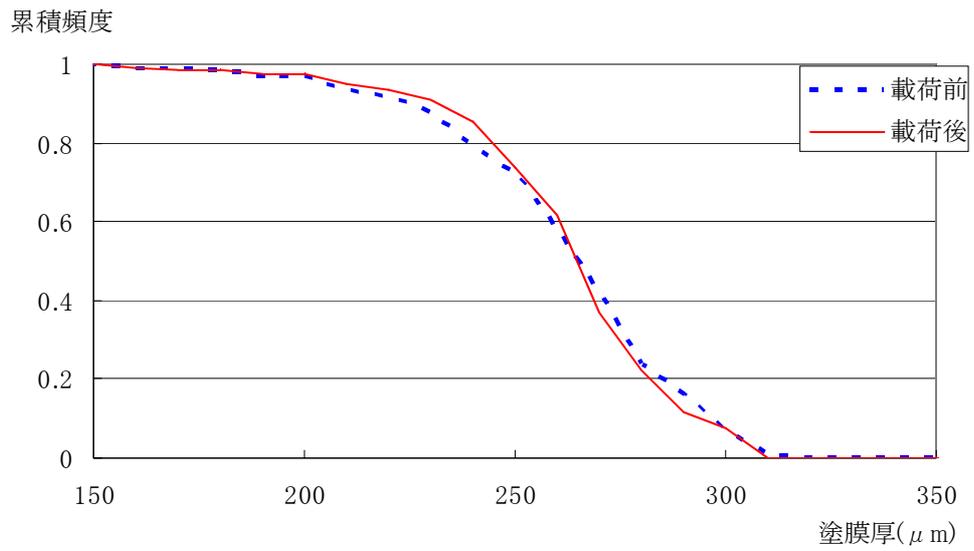
付図 4.4.19 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-3)



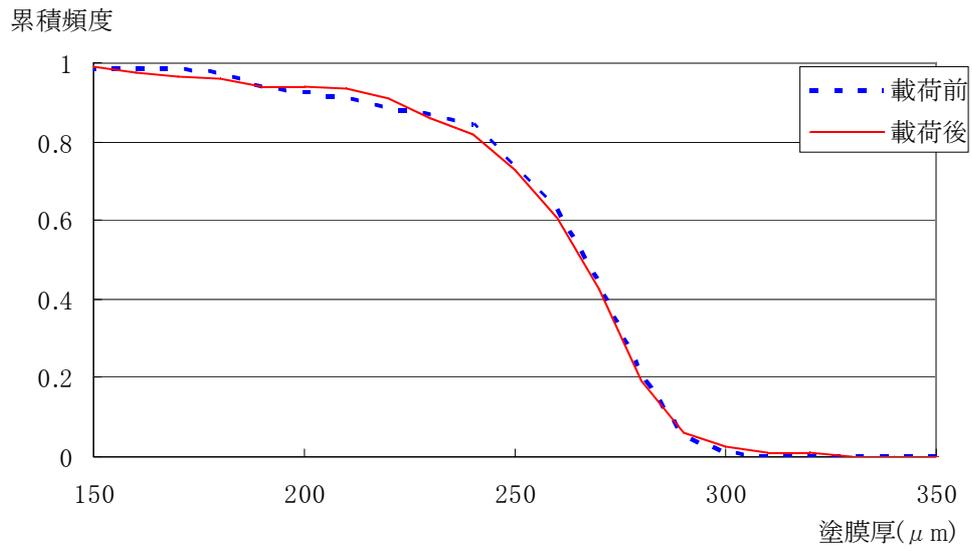
付図 4.4.20 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-4)



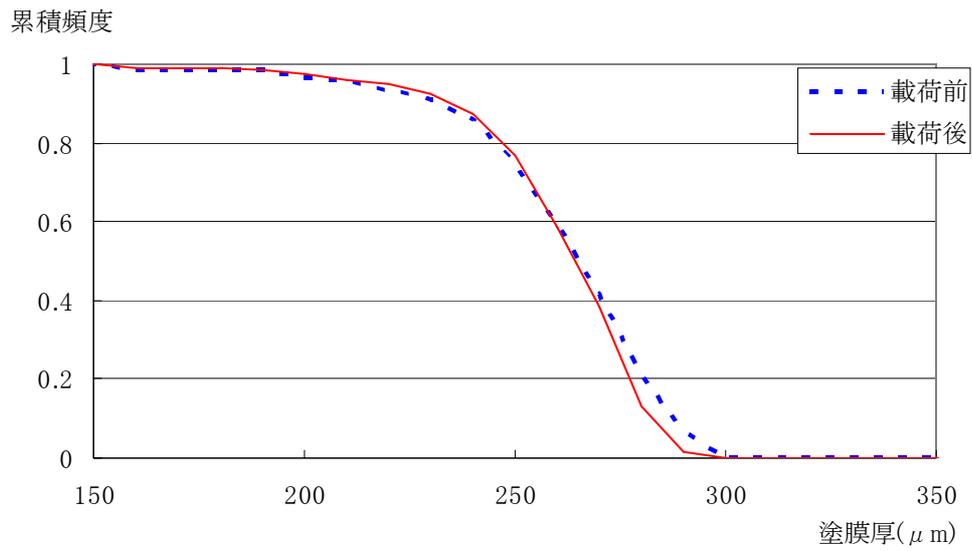
付図 4.4.21 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-1)



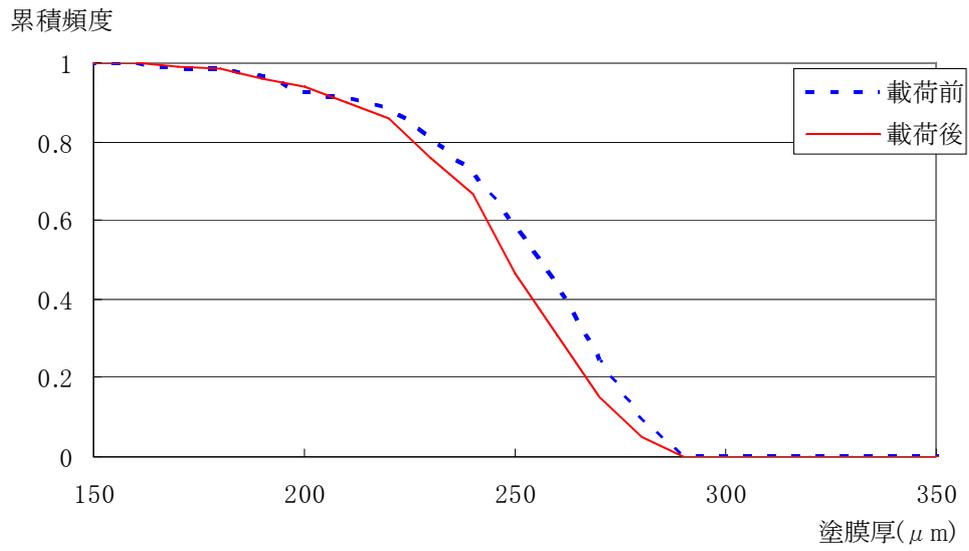
付図 4.4.22 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-2)



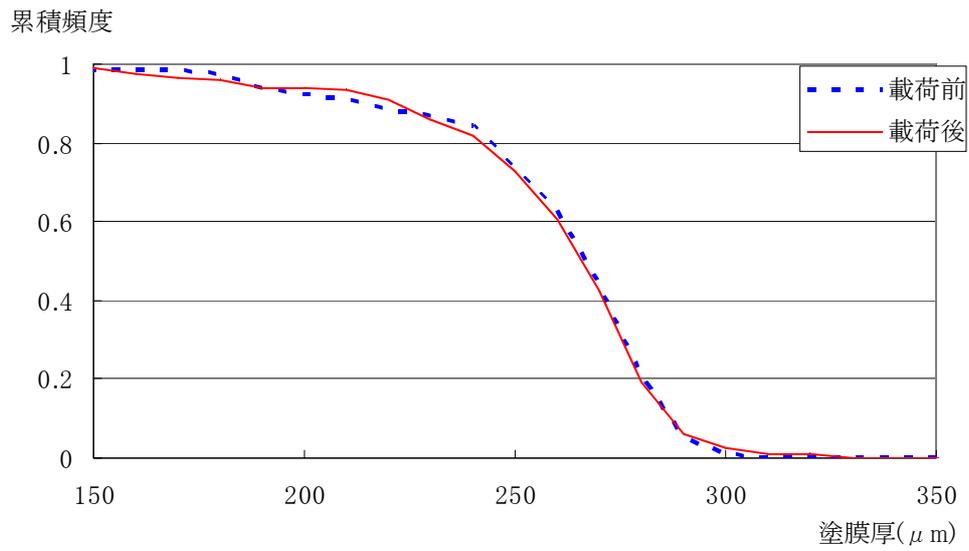
付図 4.4.23 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-3)



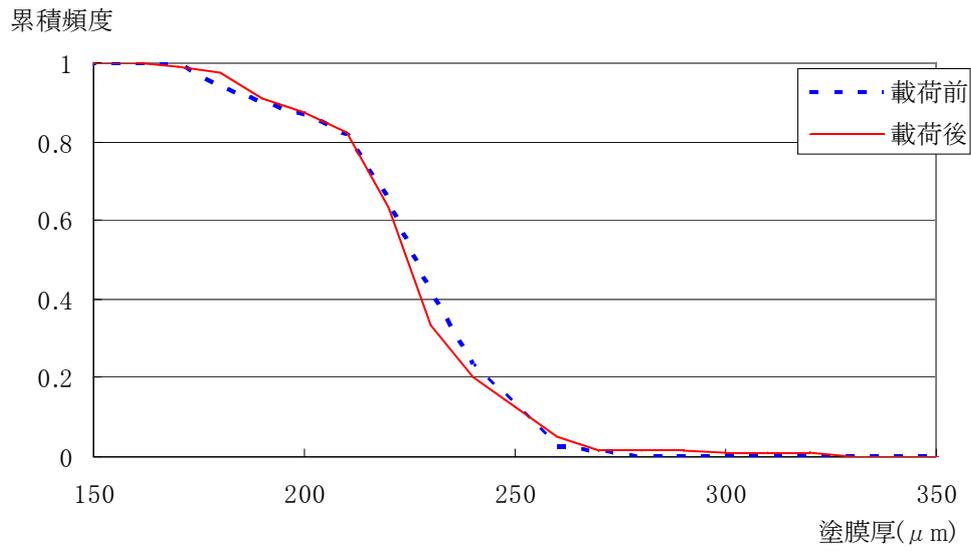
付図 4.4.24 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-4)



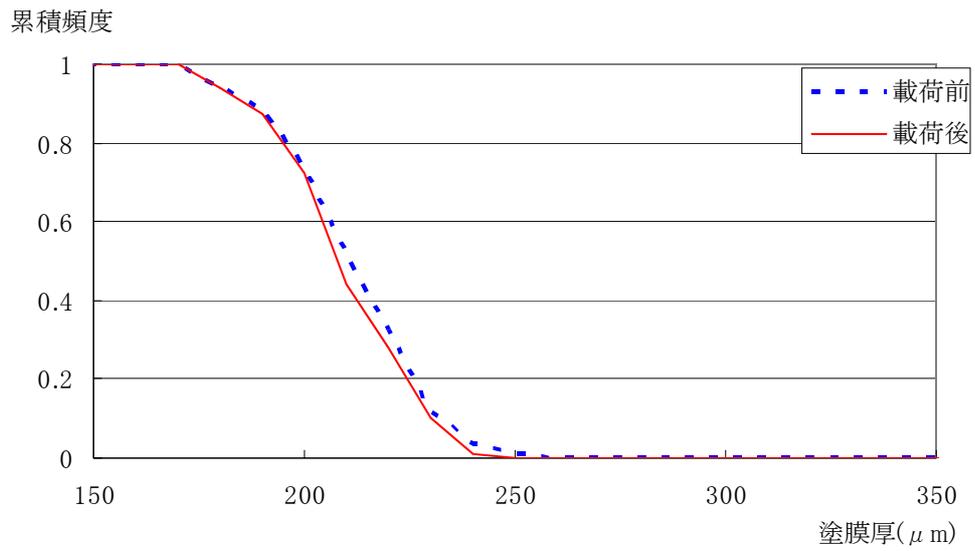
付図 4.4.25 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-1)



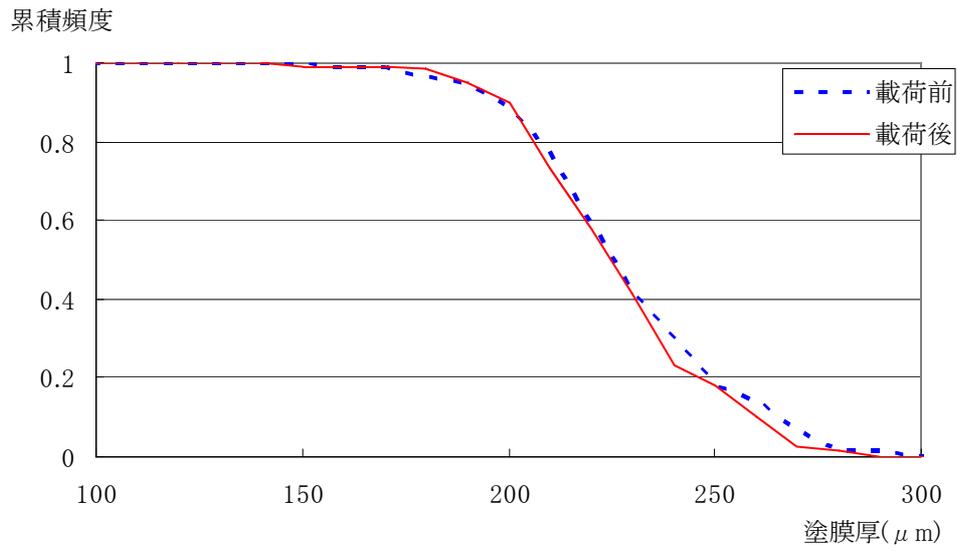
付図 4.4.26 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-2)



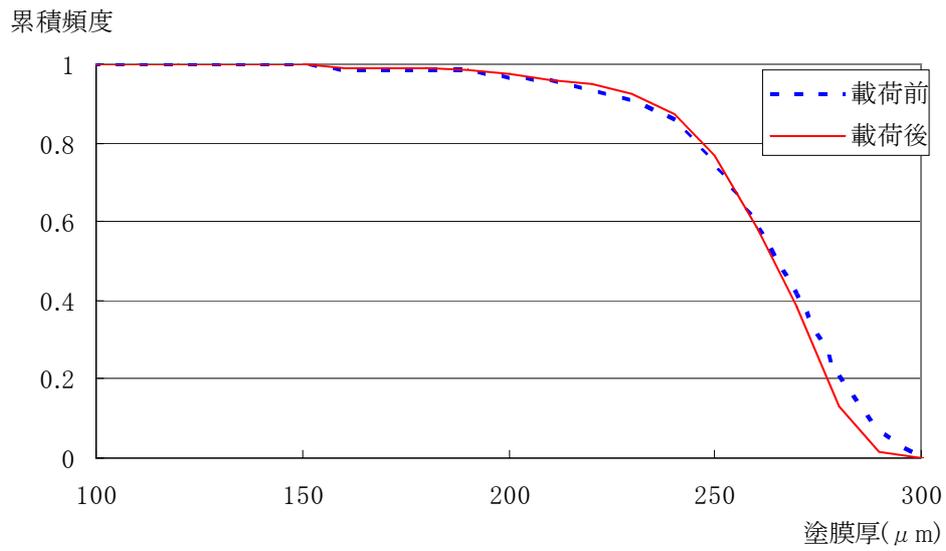
付図 4.4.27 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-3)



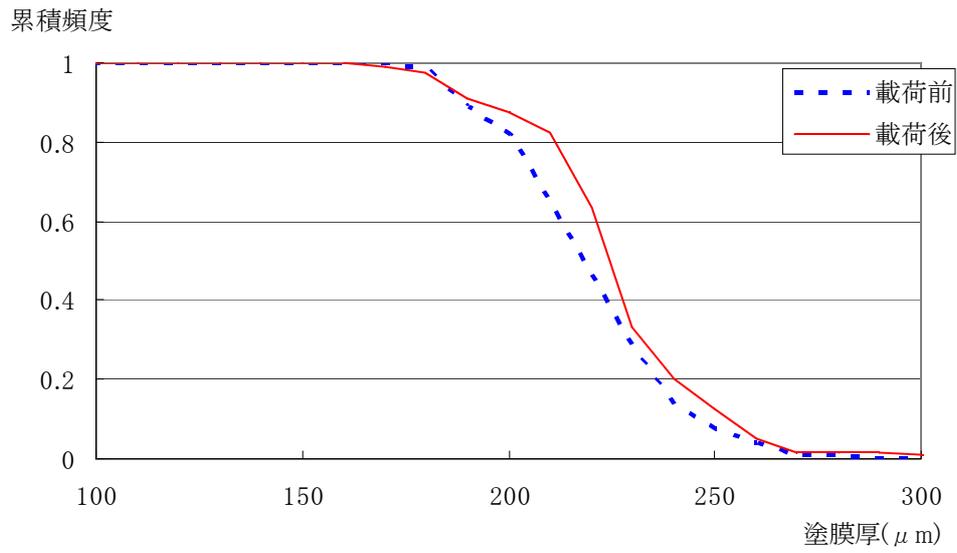
付図 4.4.28 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-4)



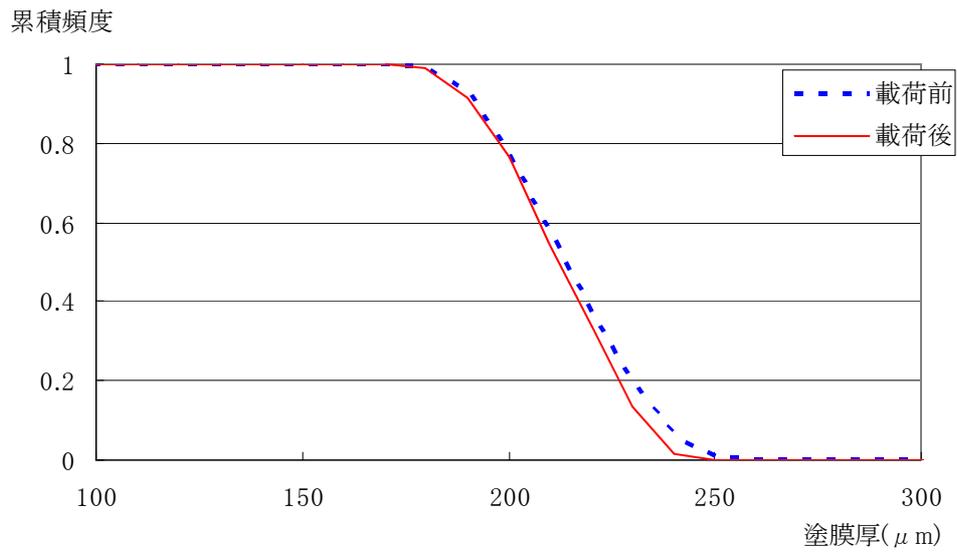
付図 4.4.29 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-1)



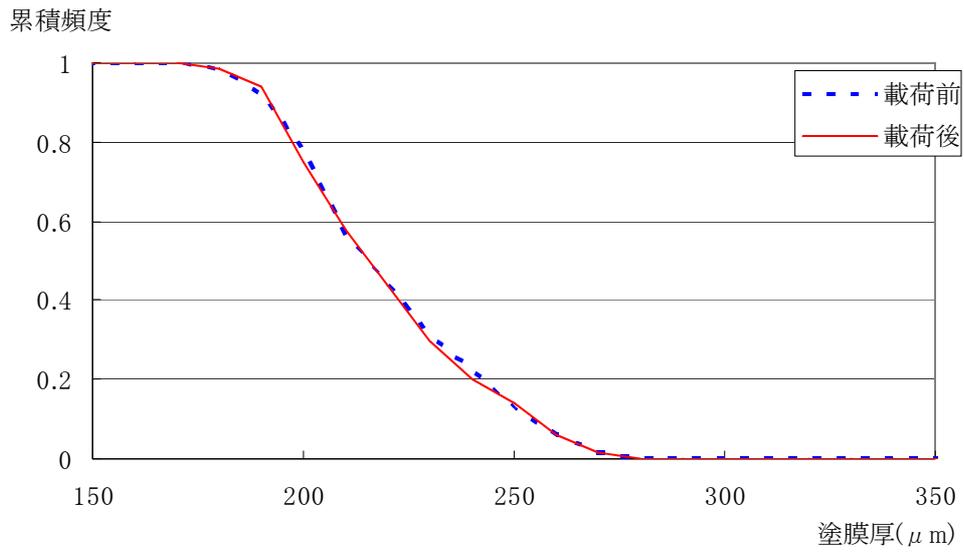
付図 4.4.30 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-2)



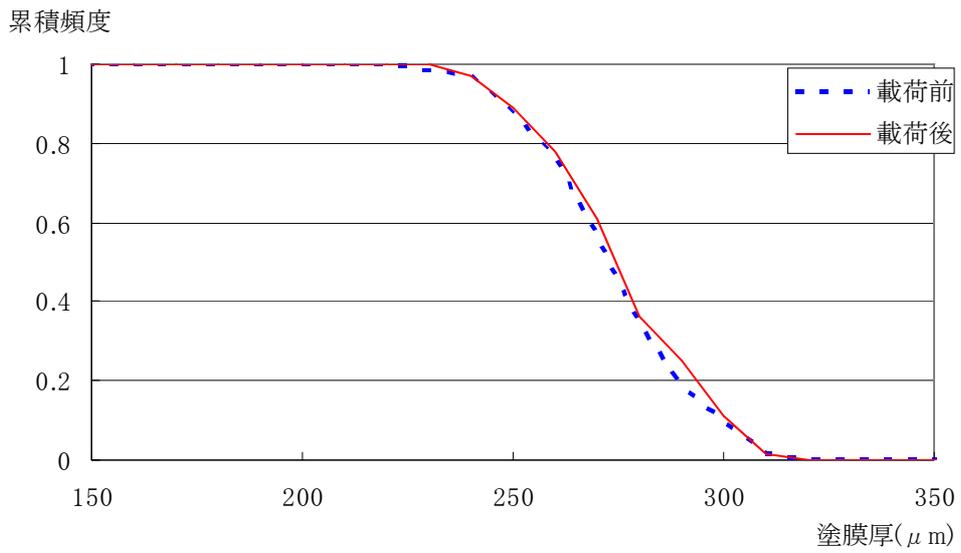
付図 4.4.31 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-3)



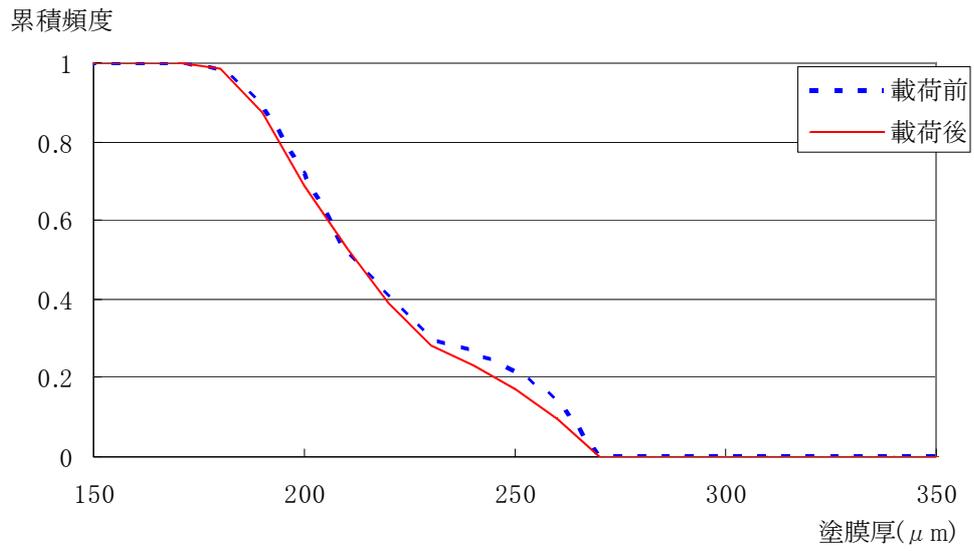
付図 4.4.32 B1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-4)



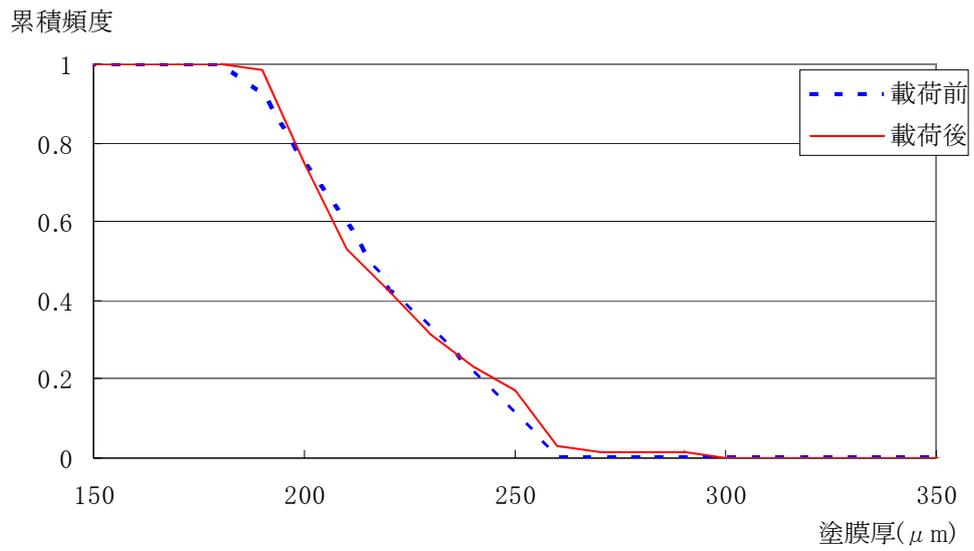
付図 4.4.33 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (a-1)



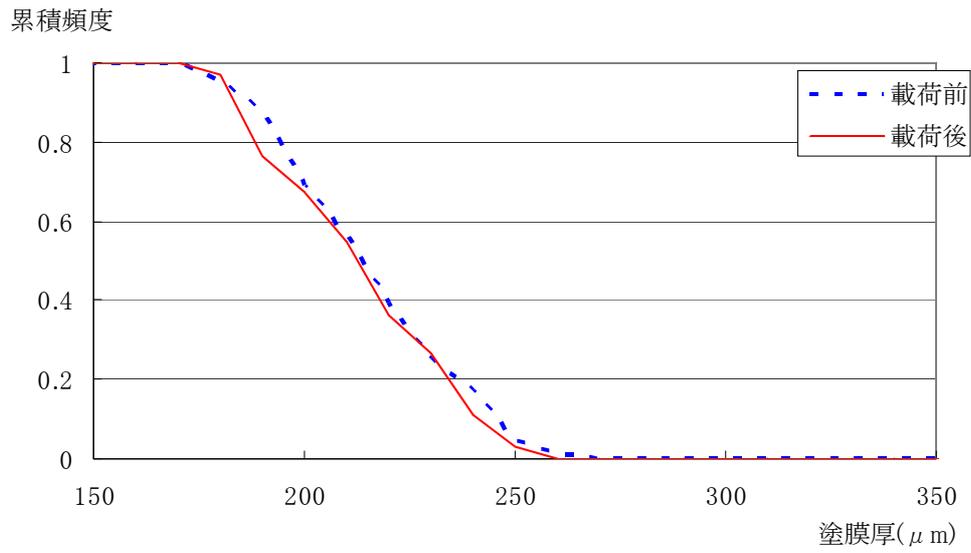
付図 4.4.34 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (a-2)



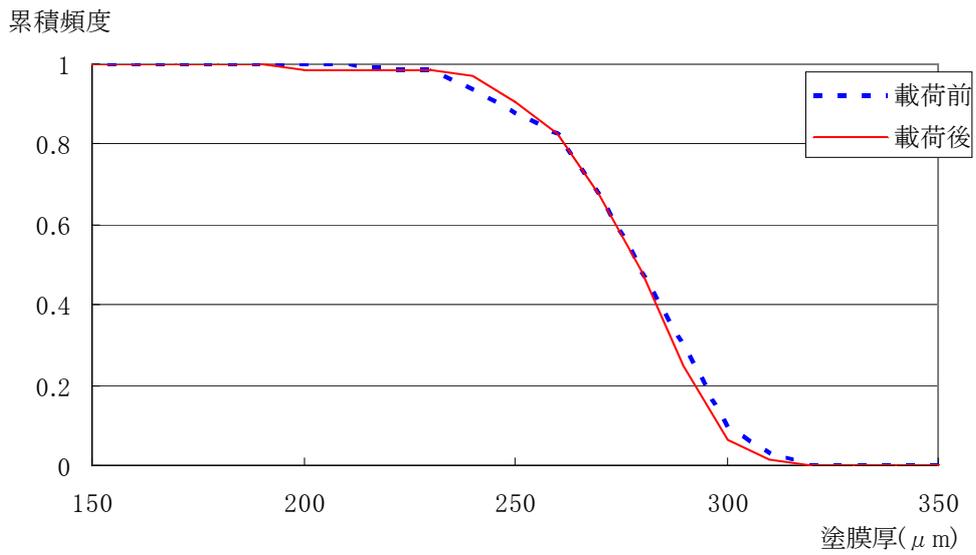
付図 4.4.35 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (a-3)



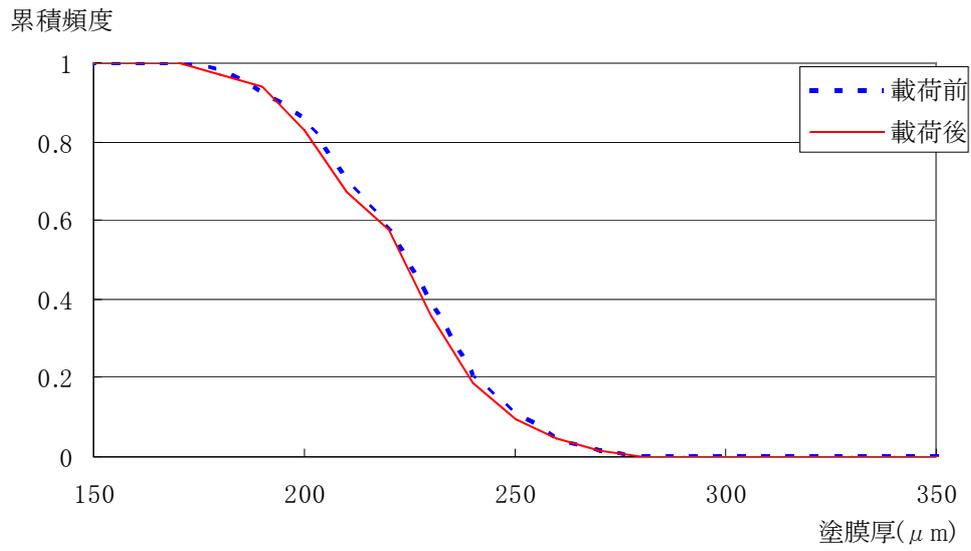
付図 4.4.36 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (a-4)



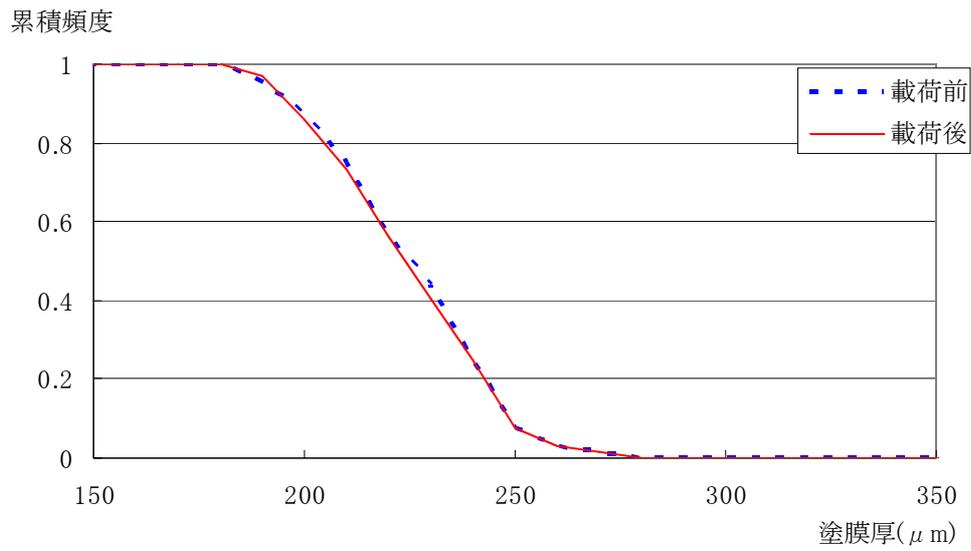
付図 4.4.37 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (b-1)



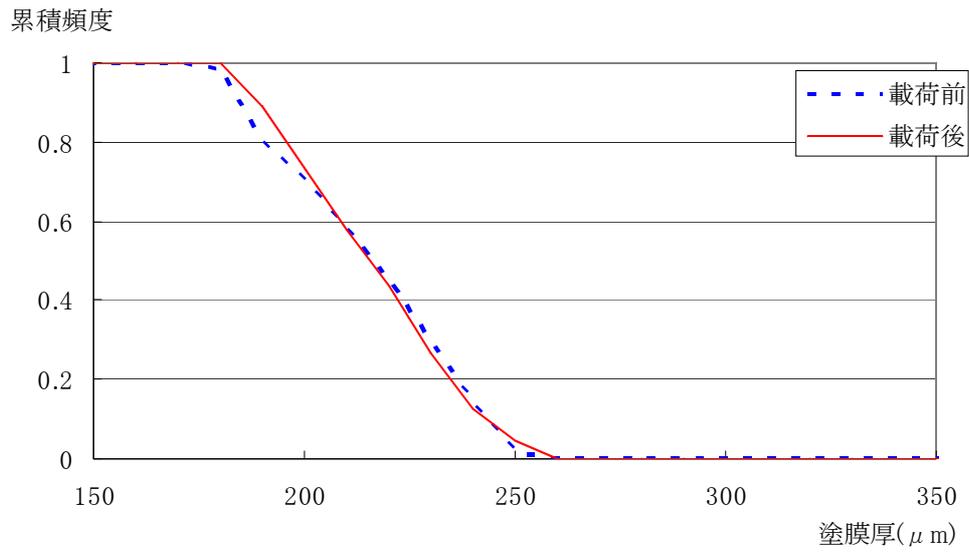
付図 4.4.38 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (b-2)



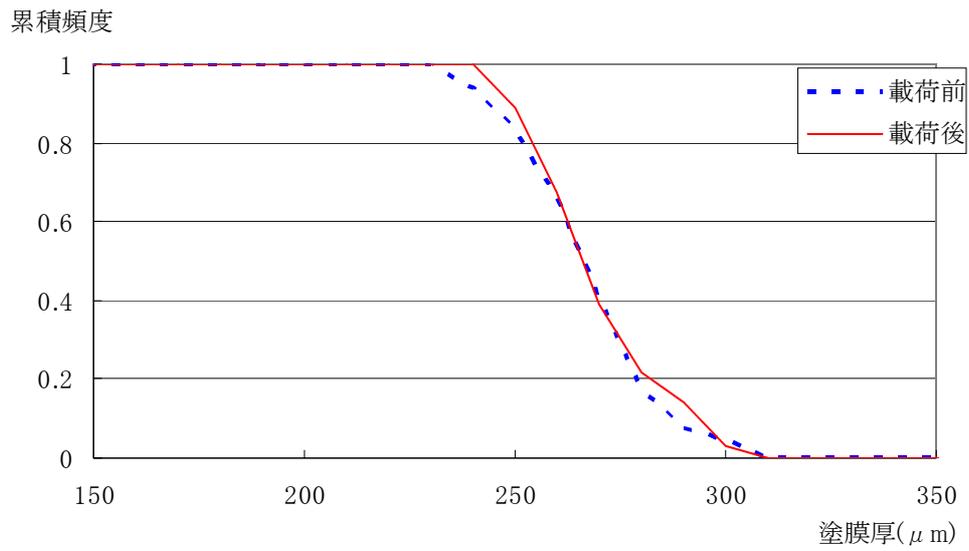
付図 4.4.39 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (b-3)



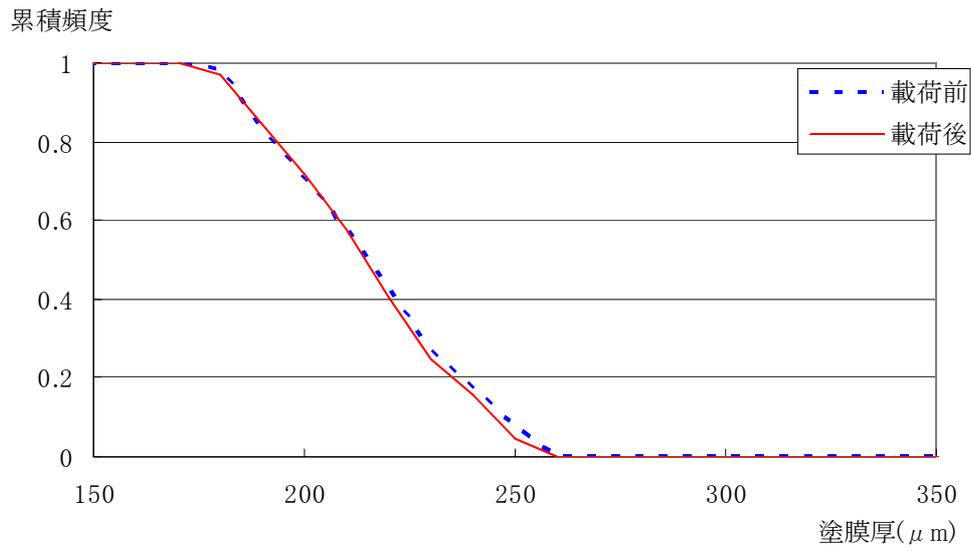
付図 4.4.40 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (b-4)



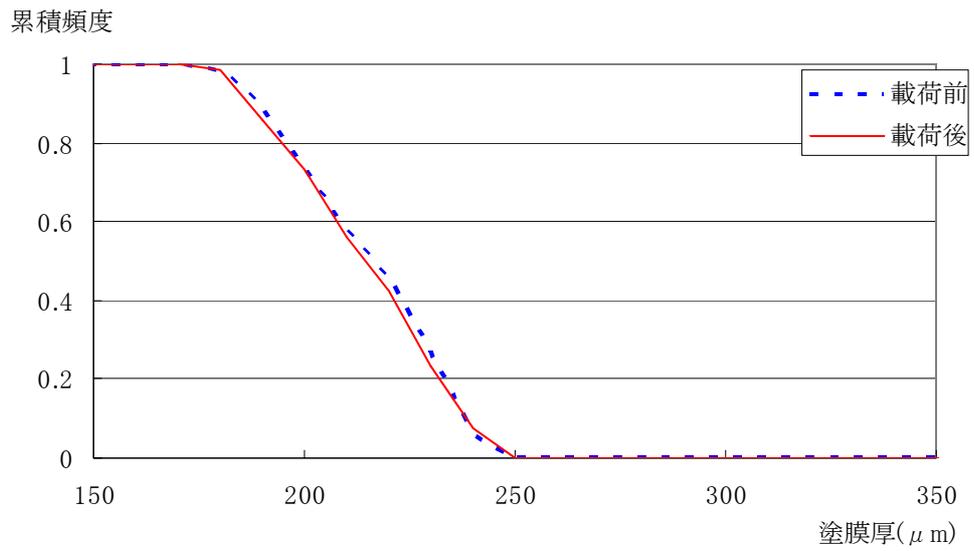
付図 4.4.41 B2 塗膜厚の累積頻度分布(c-1)



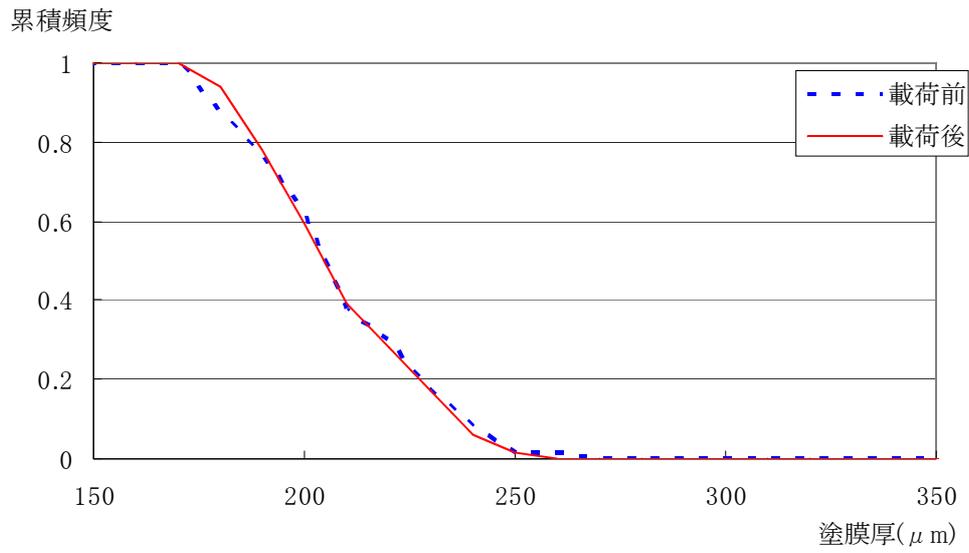
付図 4.4.42 B2 塗膜厚の累積頻度分布(c-2)



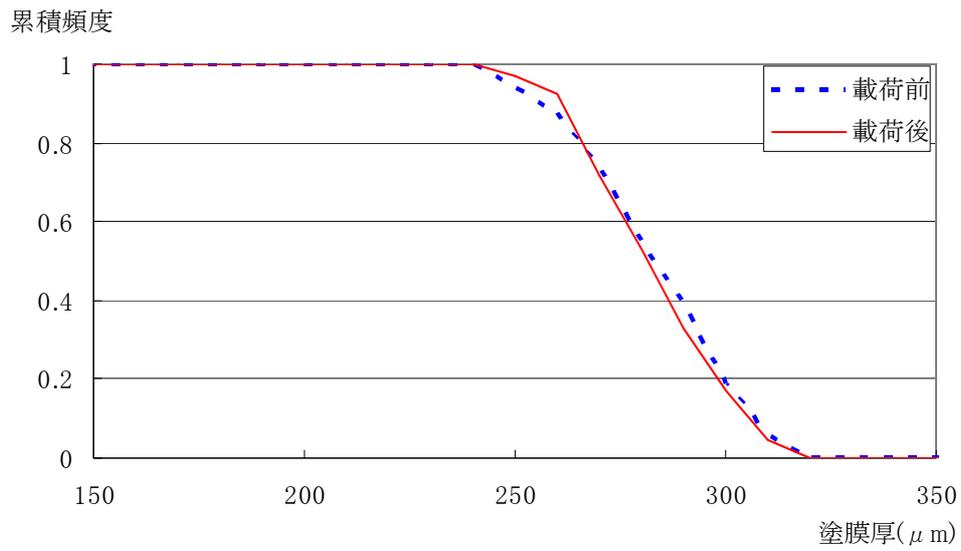
付図 4.4.43 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (c-3)



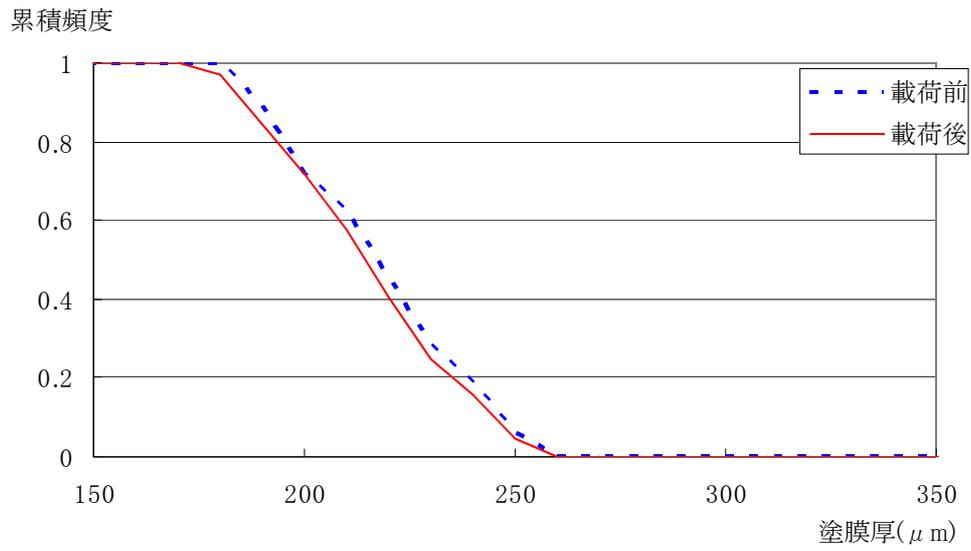
付図 4.4.44 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (c-4)



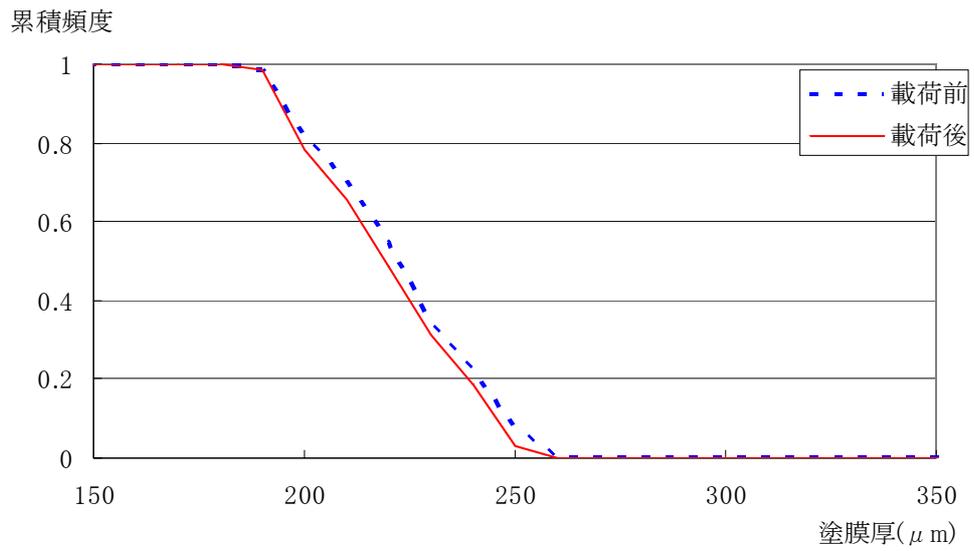
付図 4.4.45 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (d-1)



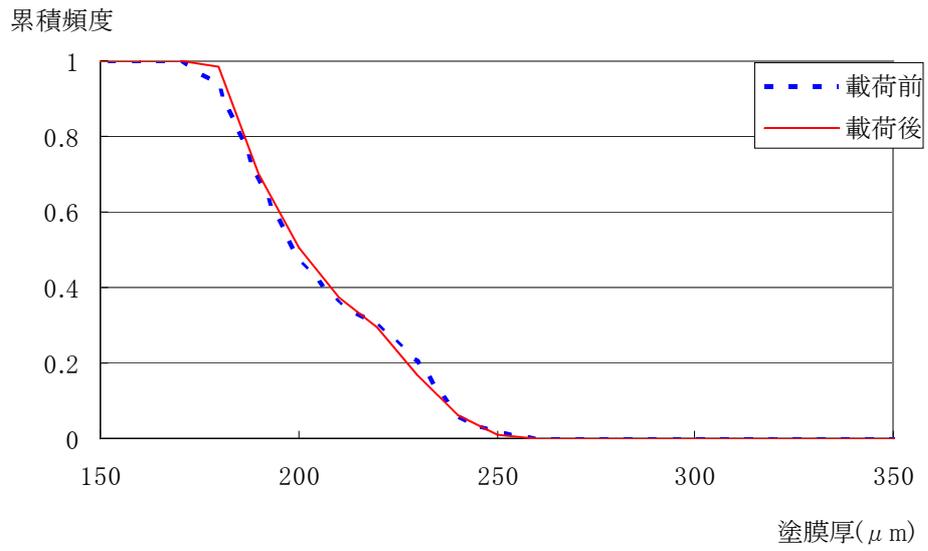
付図 4.4.46 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (d-2)



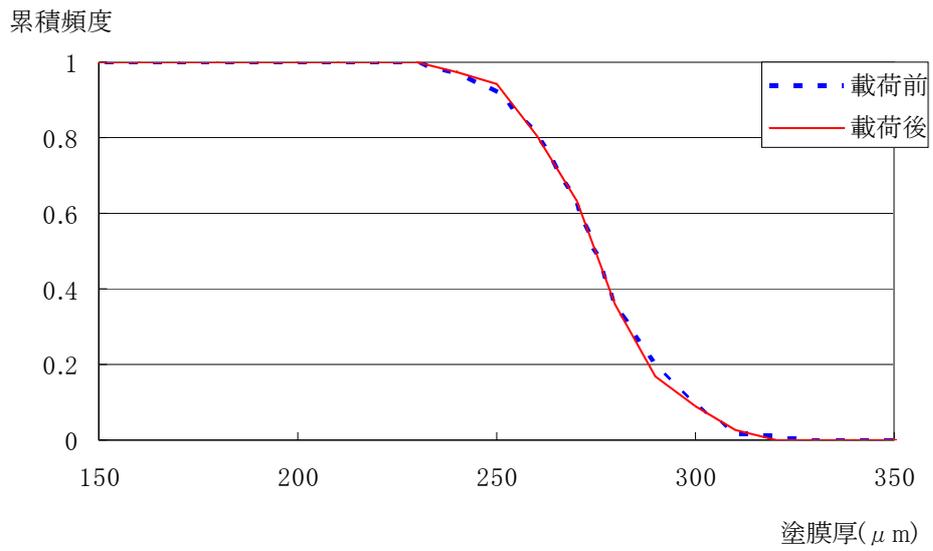
付図 4.4.47 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (d-3)



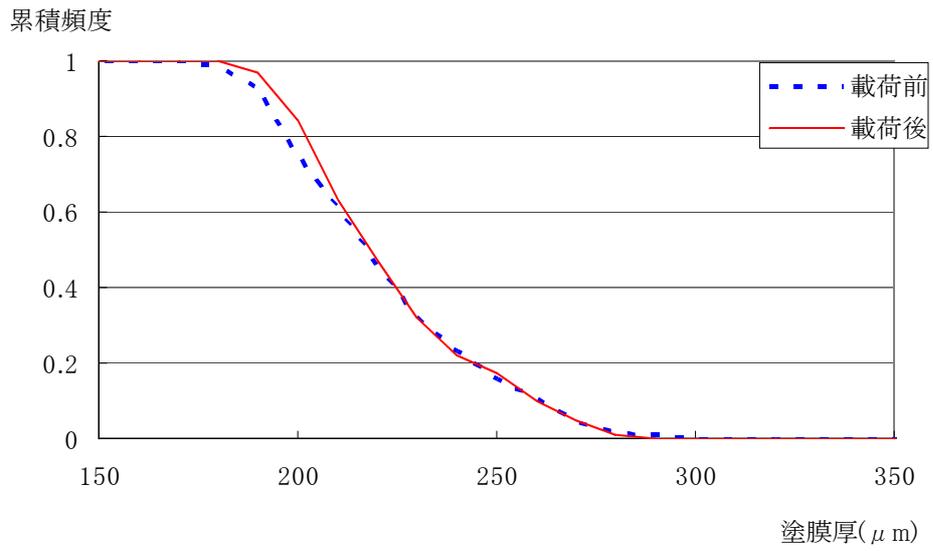
付図 4.4.48 B2 塗膜厚の累積頻度分布 (d-4)



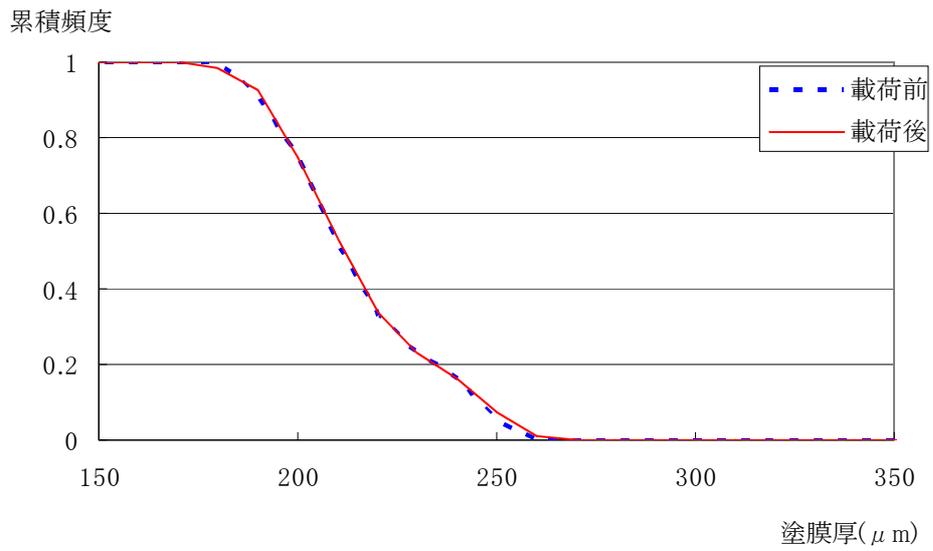
付図 4.4.49 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-1)



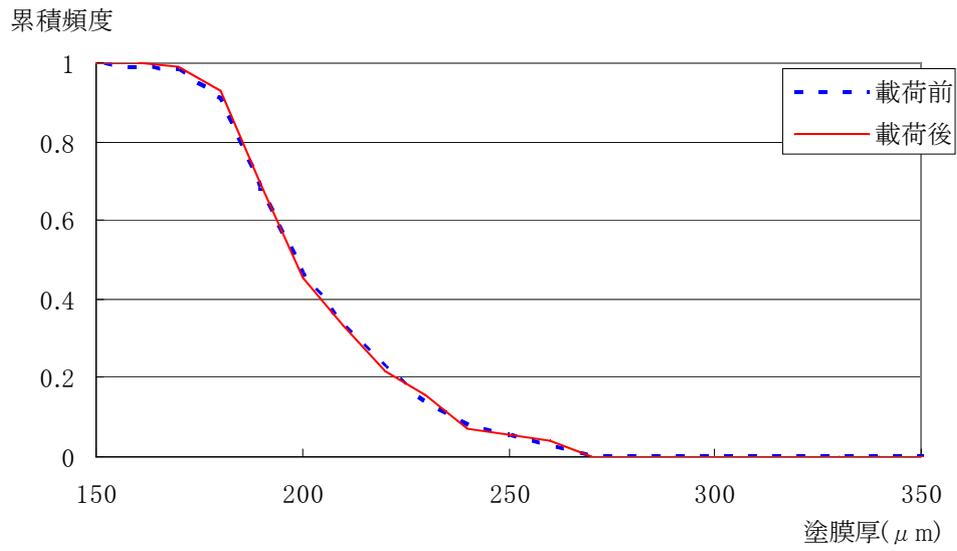
付図 4.4.50 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-2)



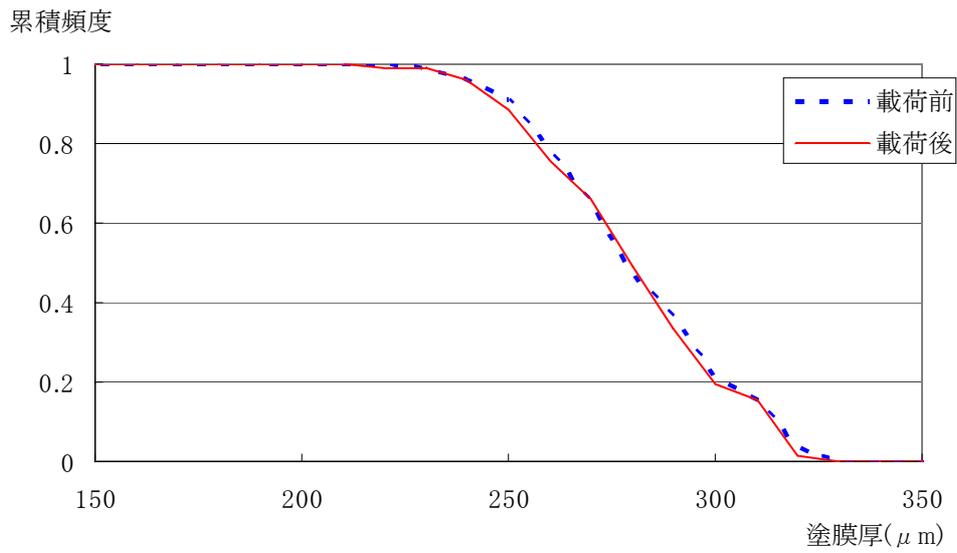
付図 4.4.51 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-3)



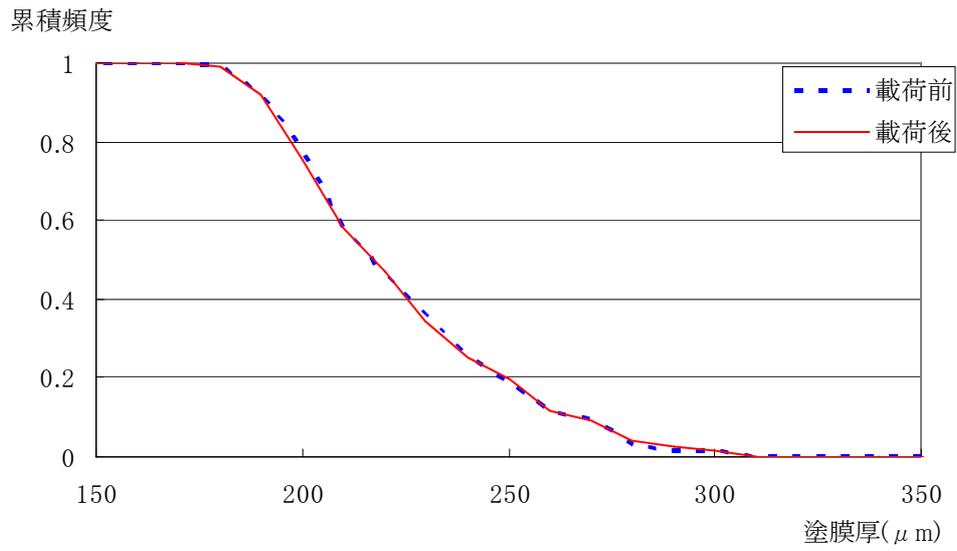
付図 4.4.52 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-4)



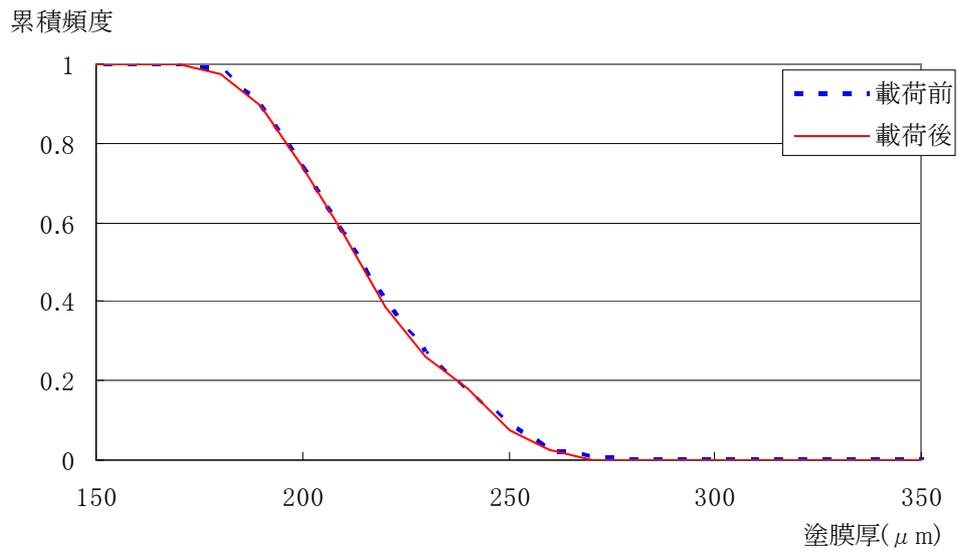
付図 4.4.53 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-1)



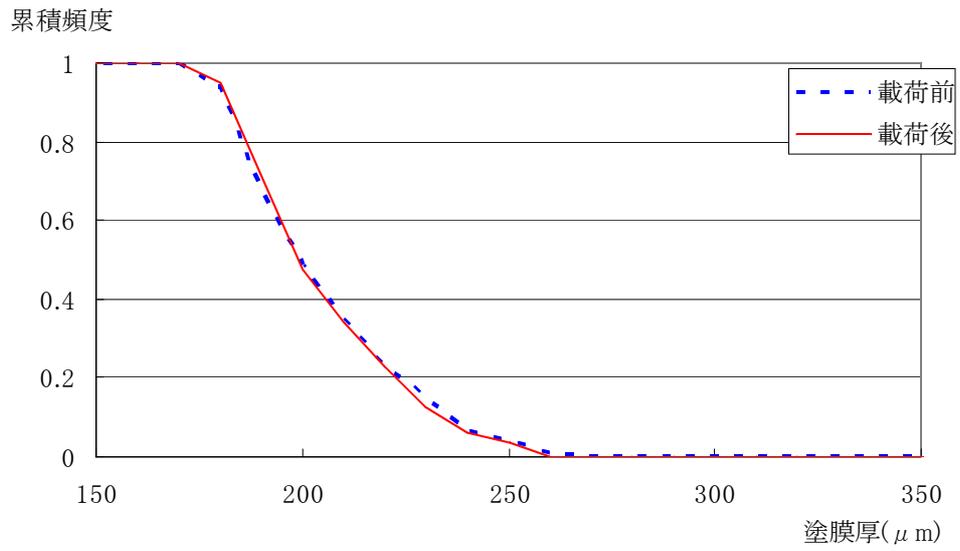
付図 4.4.54 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-2)



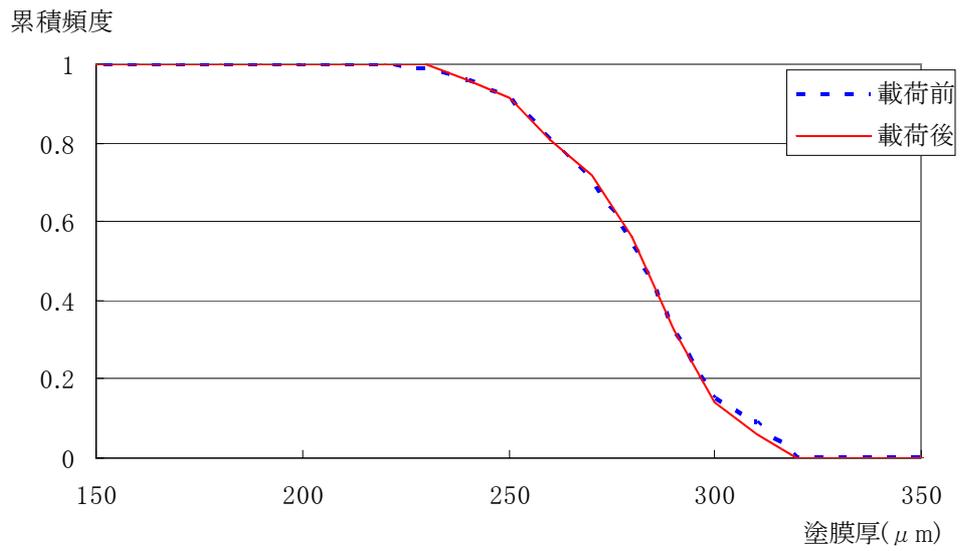
付図 4.4.55 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-3)



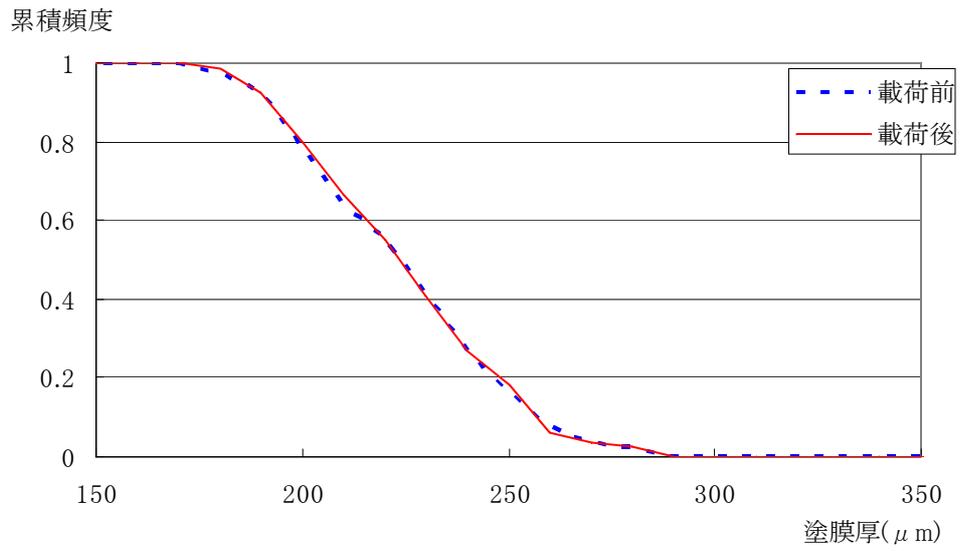
付図 4.4.56 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-4)



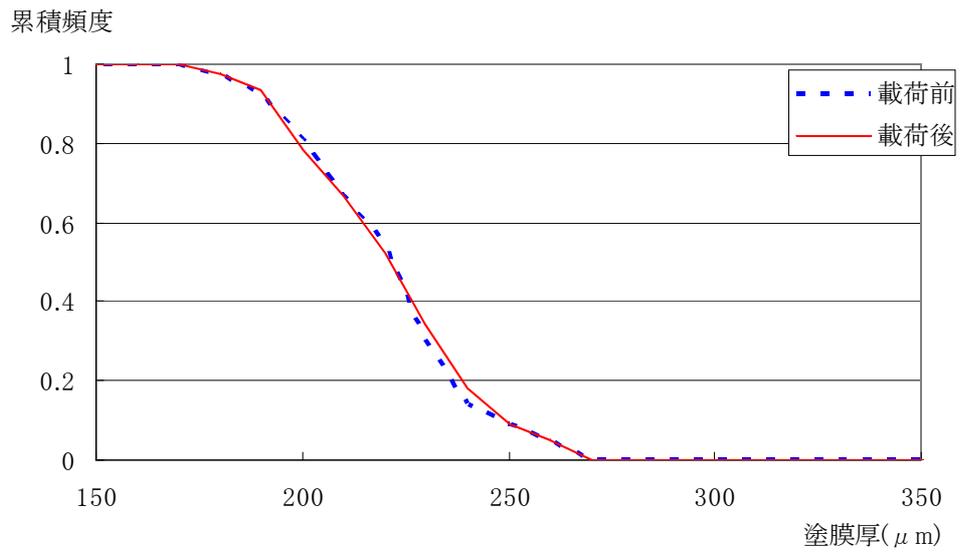
付図 4.4.57 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-1)



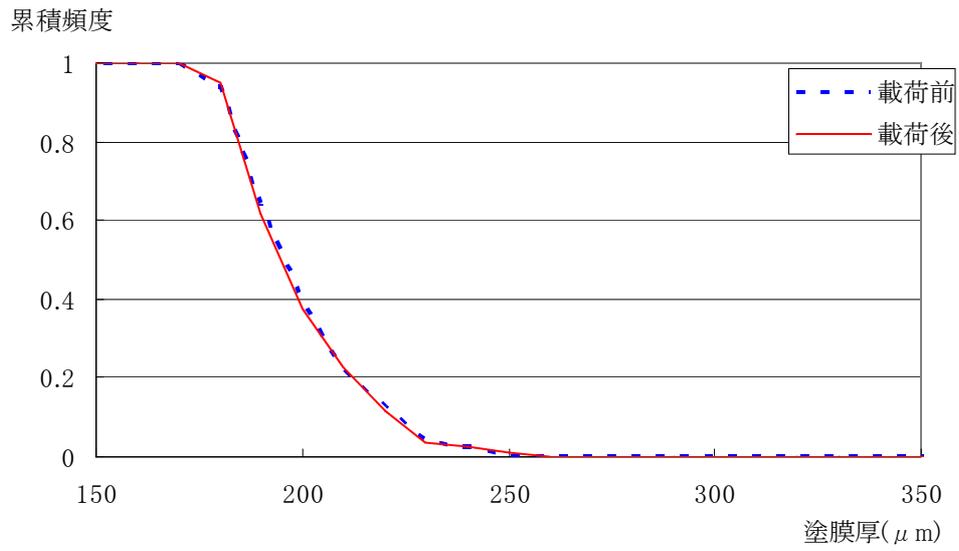
付図 4.4.58 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-2)



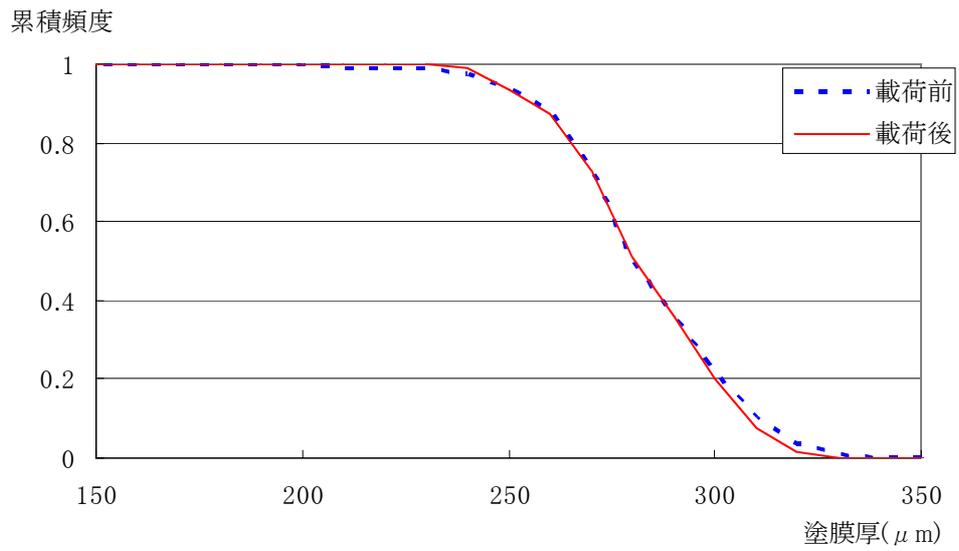
付図 4.4.59 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-3)



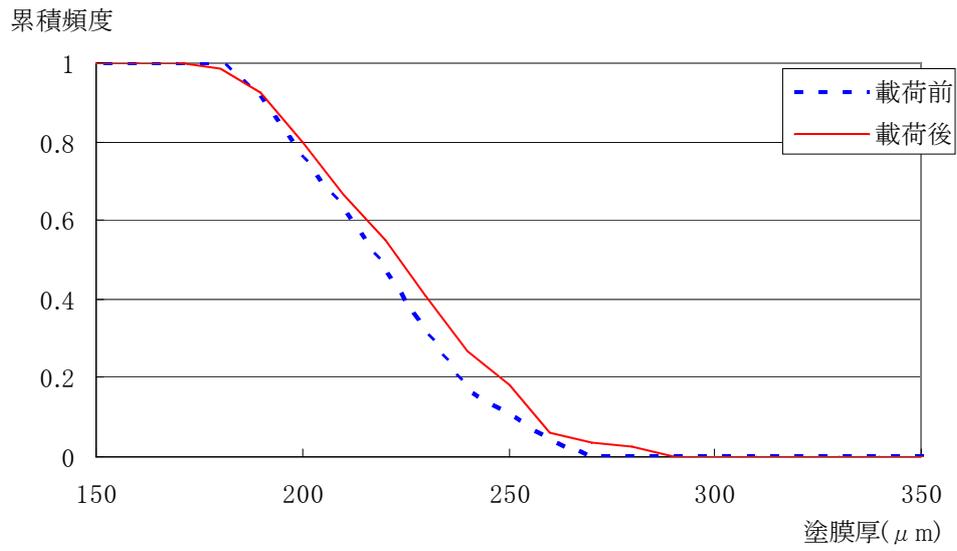
付図 4.4.60 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-4)



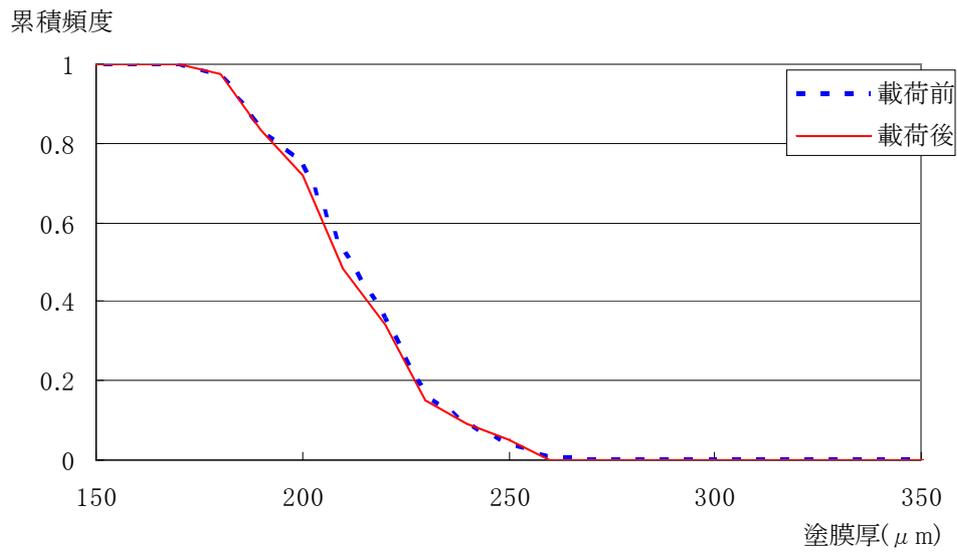
付図 4.4.61 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-1)



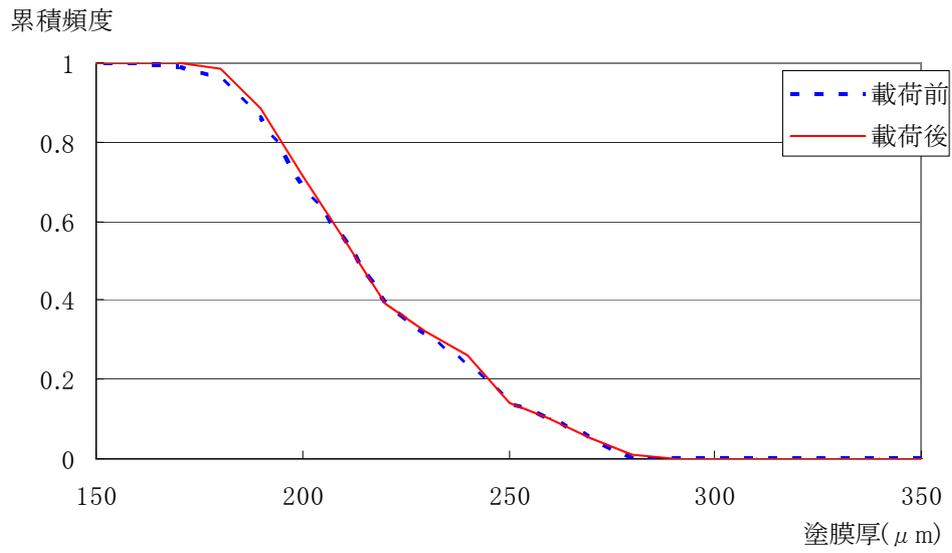
付図 4.4.62 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-2)



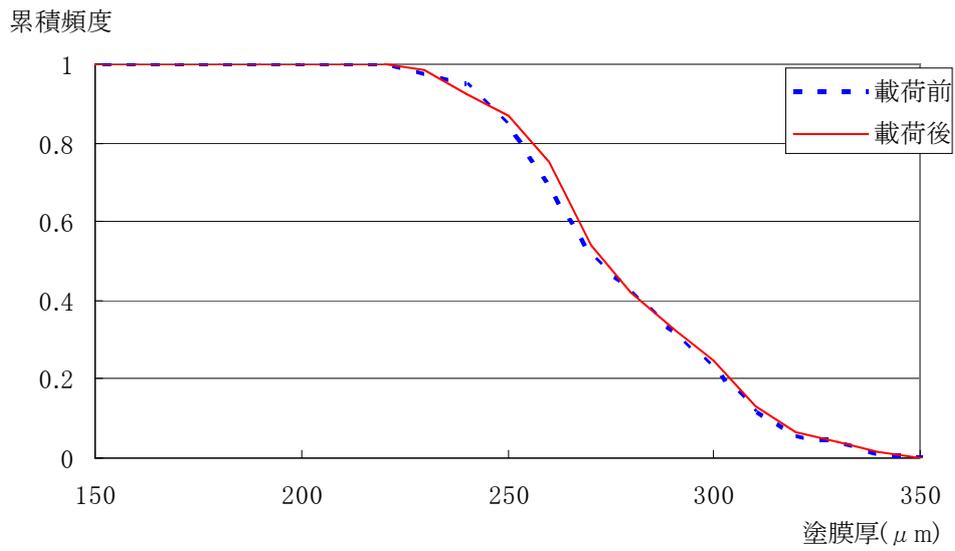
付図 4.4.63 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-3)



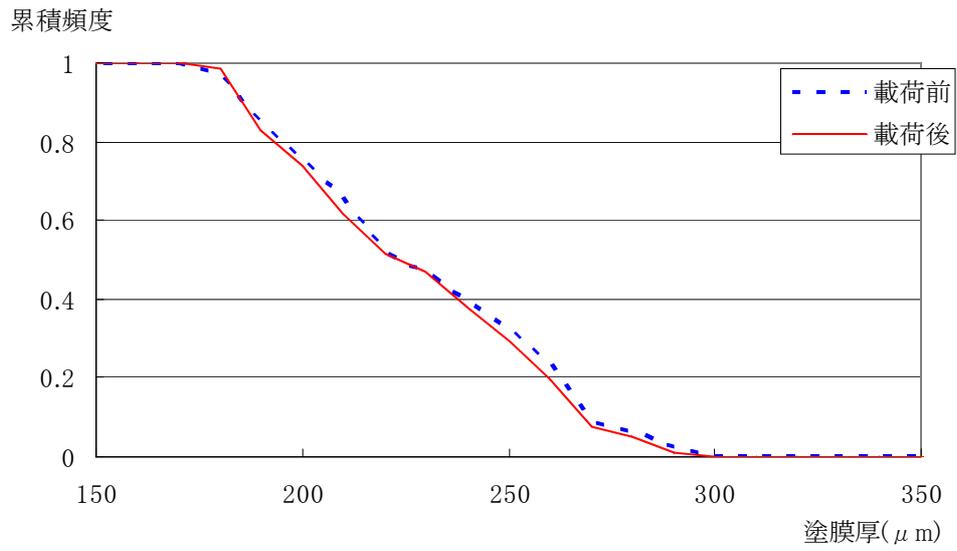
付図 4.4.64 AB1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-4)



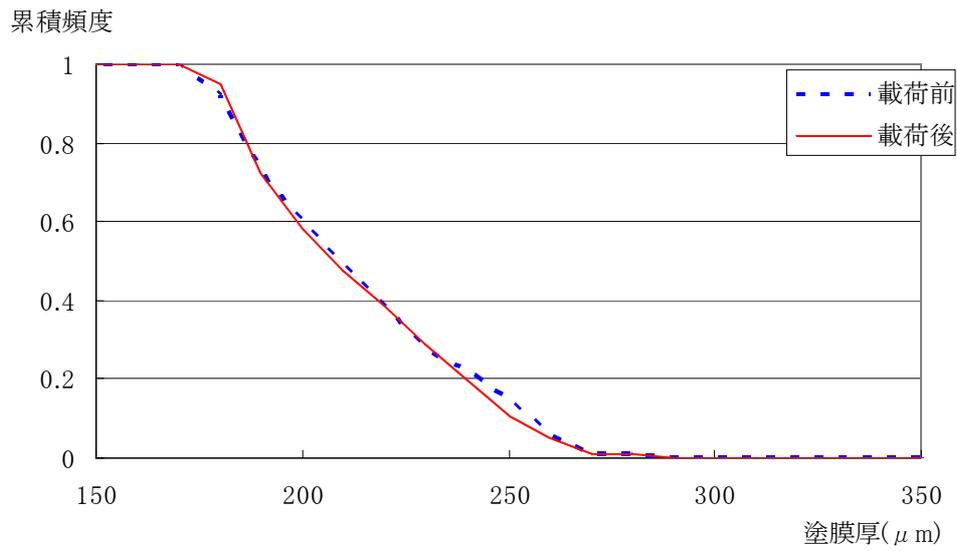
付図 4.4.65 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-1)



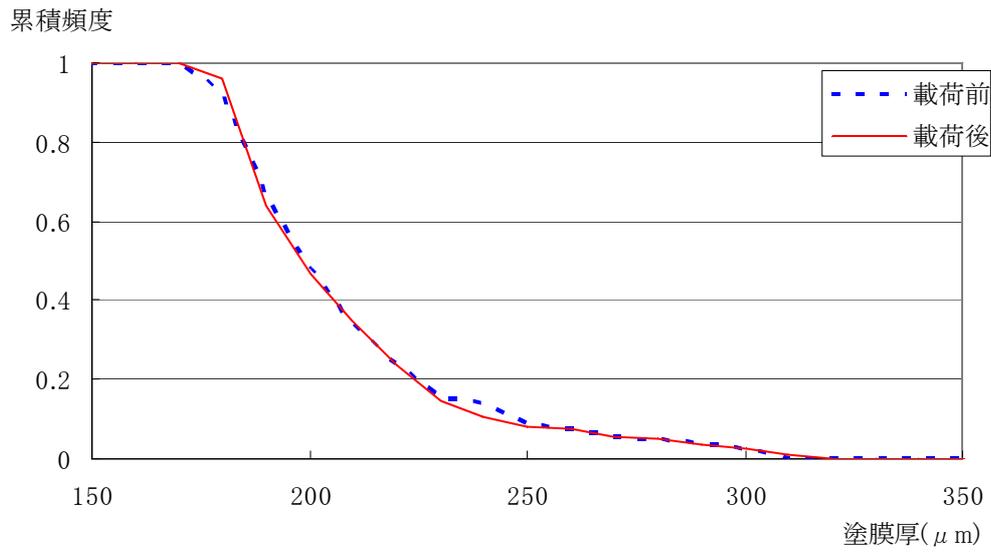
付図 4.4.66 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-2)



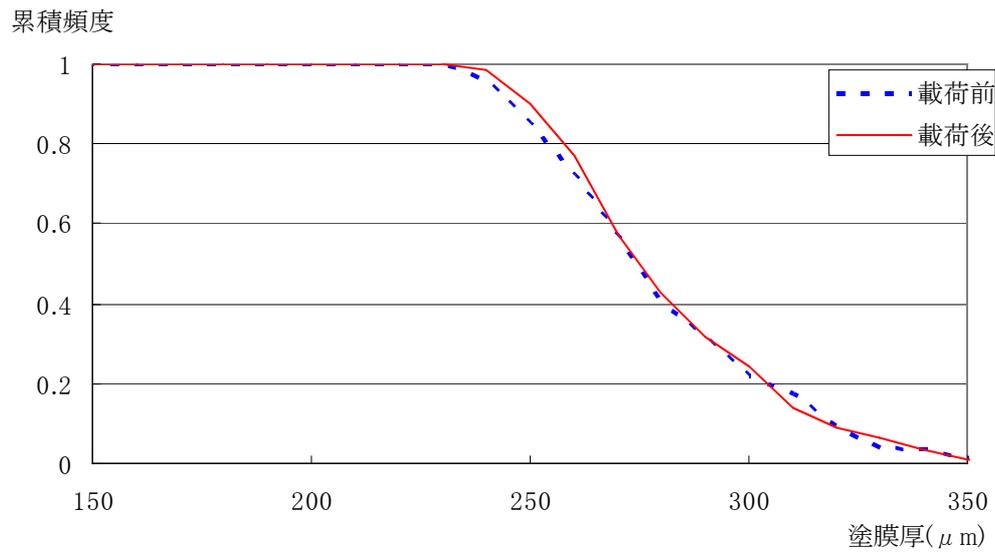
付図 4.4.67 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-3)



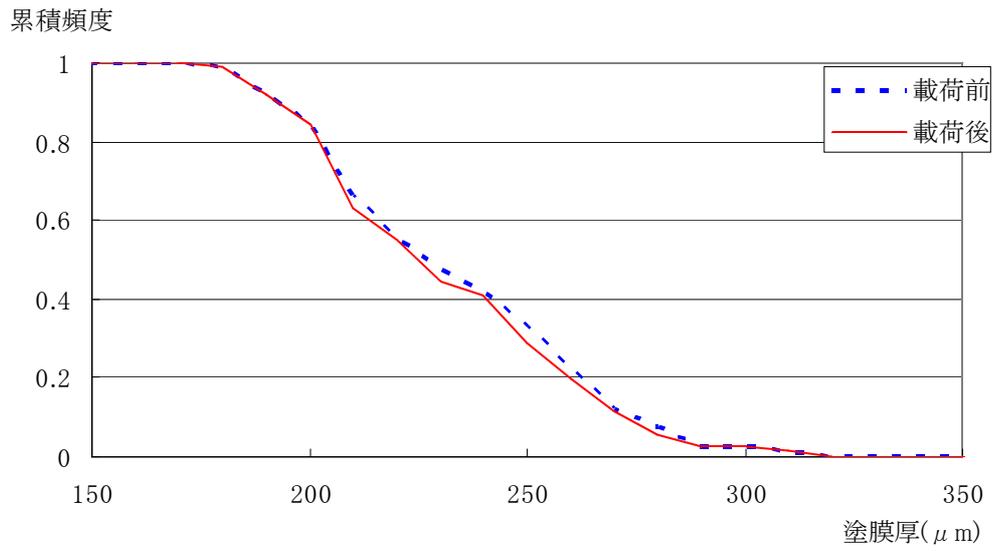
付図 4.4.68 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (a-4)



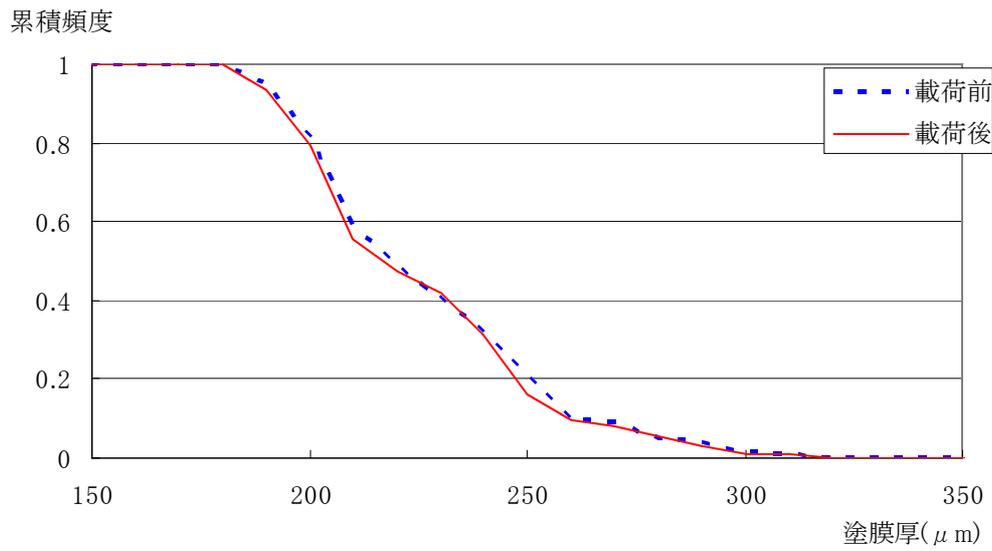
付図 4.4.69 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-1)



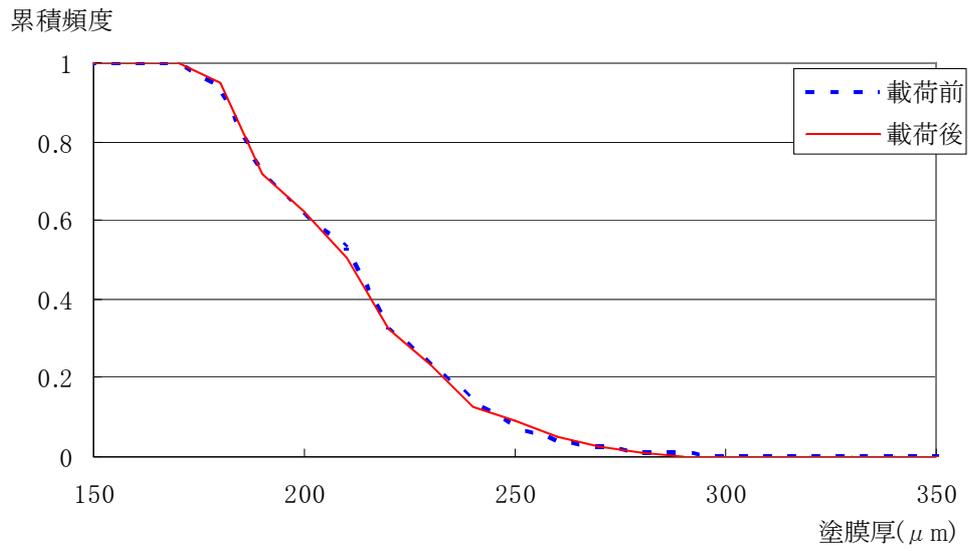
付図 4.4.70 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-2)



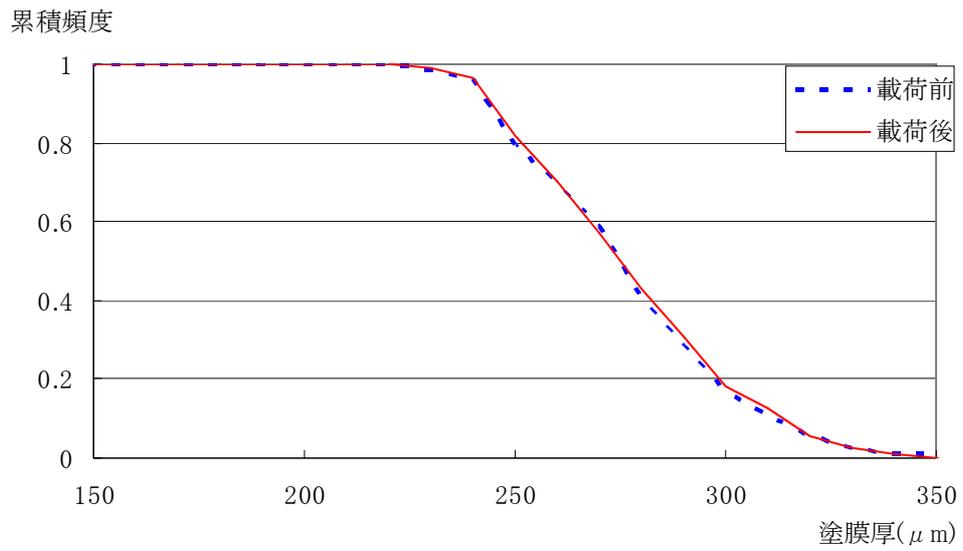
付図 4.4.71 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-3)



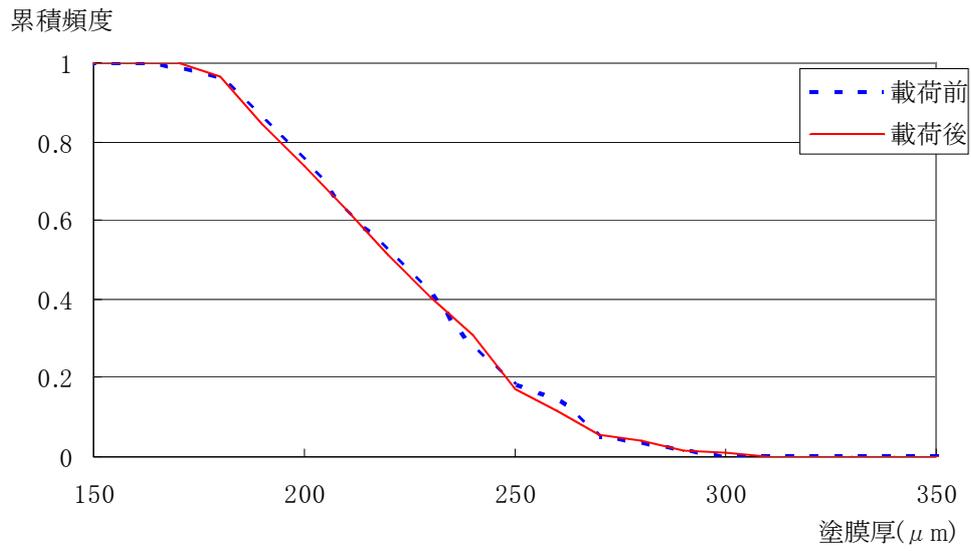
付図 4.4.72 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (b-4)



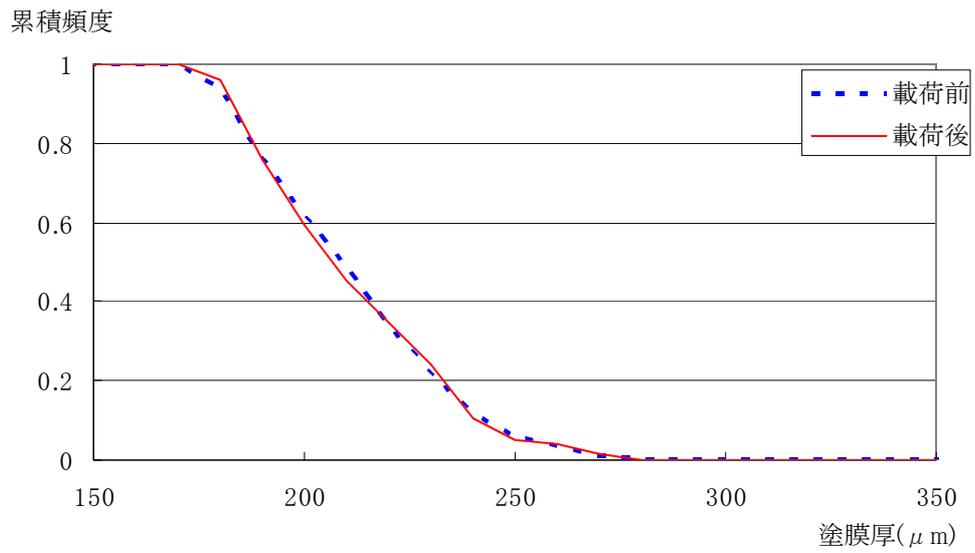
付図 4.4.73 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-1)



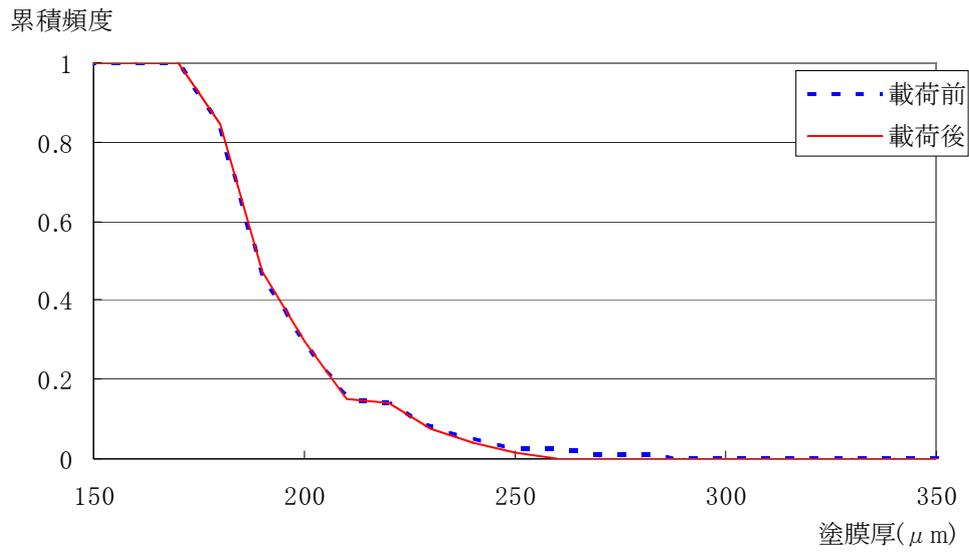
付図 4.4.74 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-2)



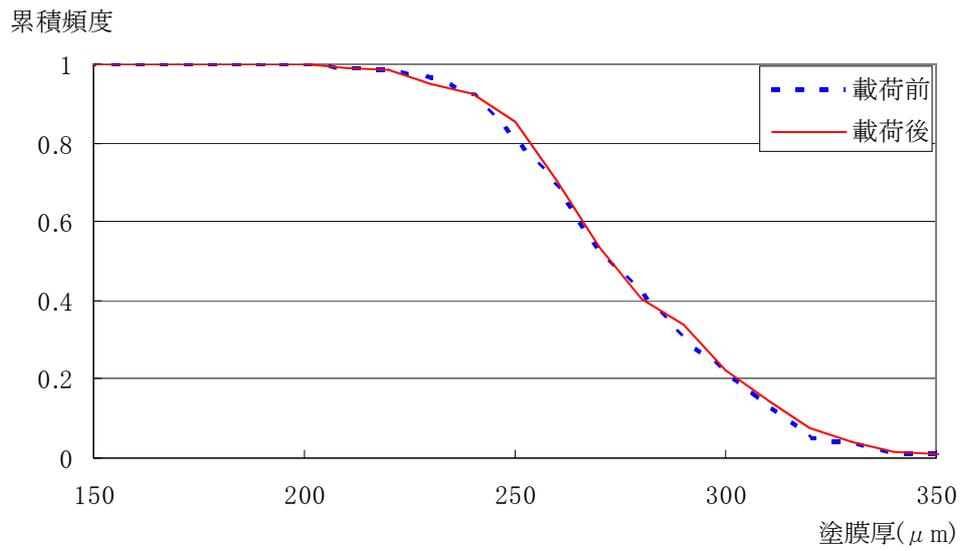
付図 4.4.75 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-3)



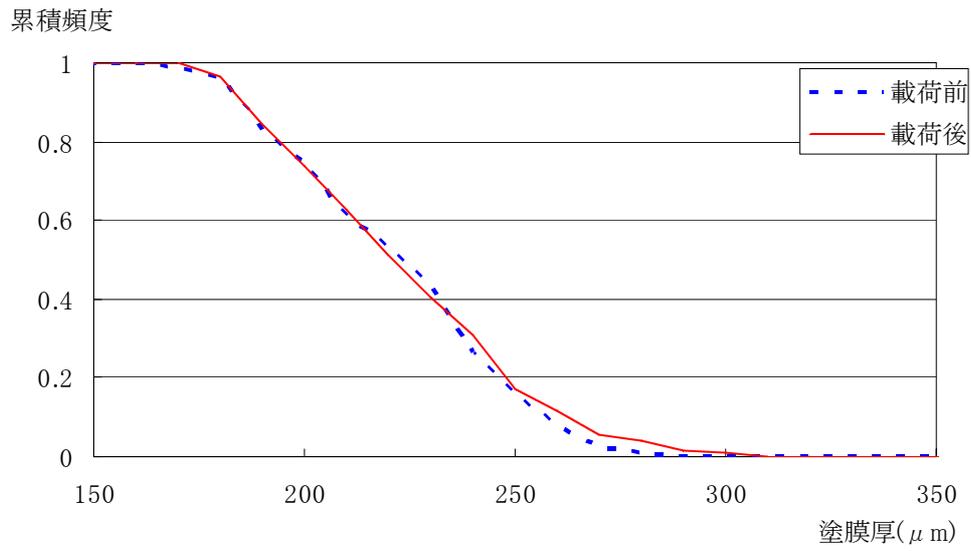
付図 4.4.76 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (c-4)



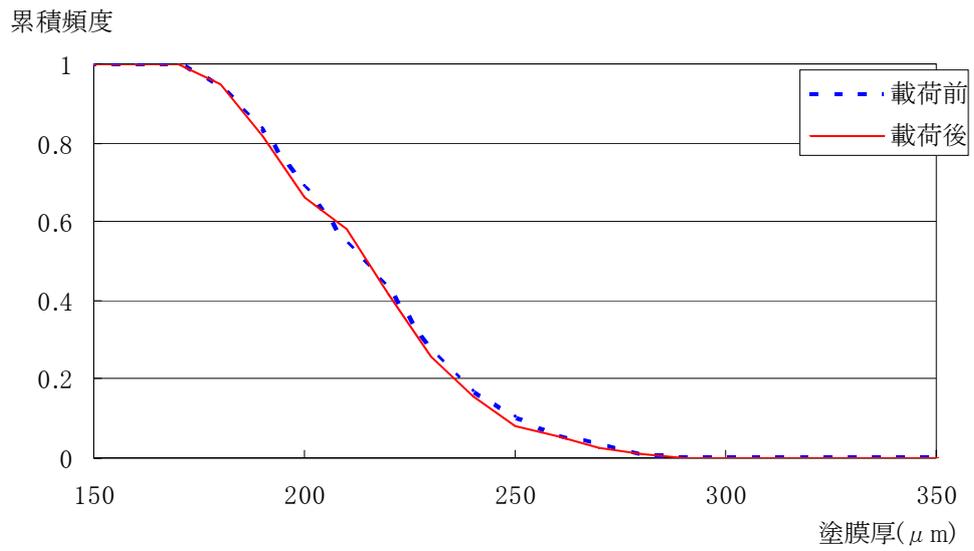
付図 4.4.77 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-1)



付図 4.4.78 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-2)



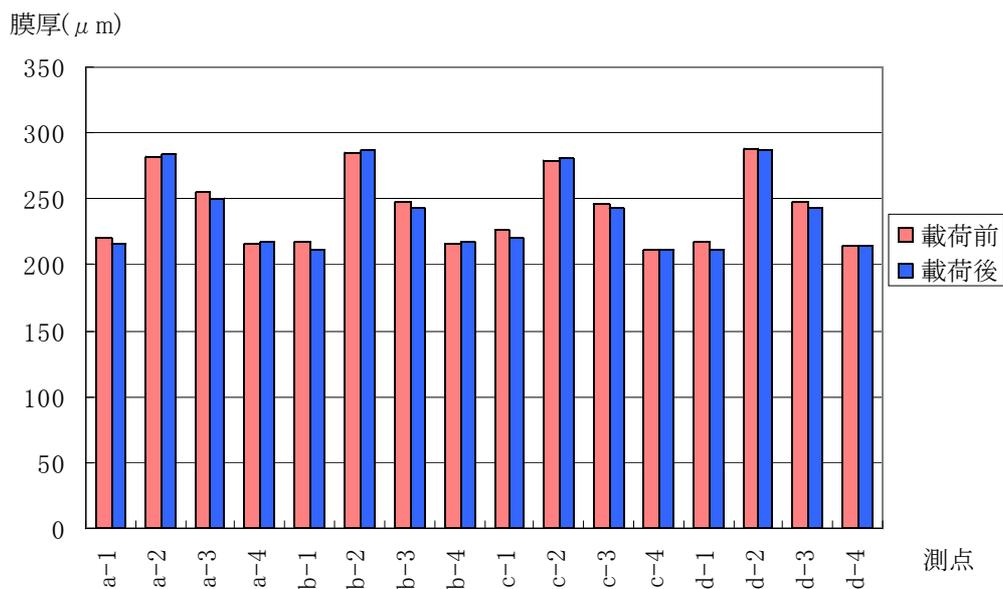
付図 4.4.79 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-3)



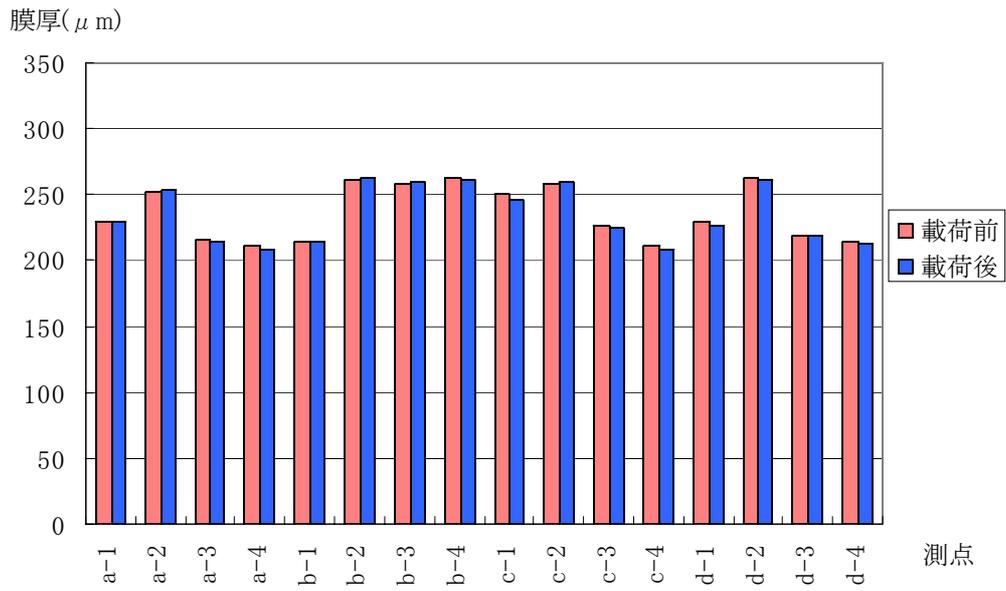
付図 4.4.80 N1 塗膜厚の累積頻度分布 (d-4)

付表 4.4.1 各供試体の測点毎の平均値

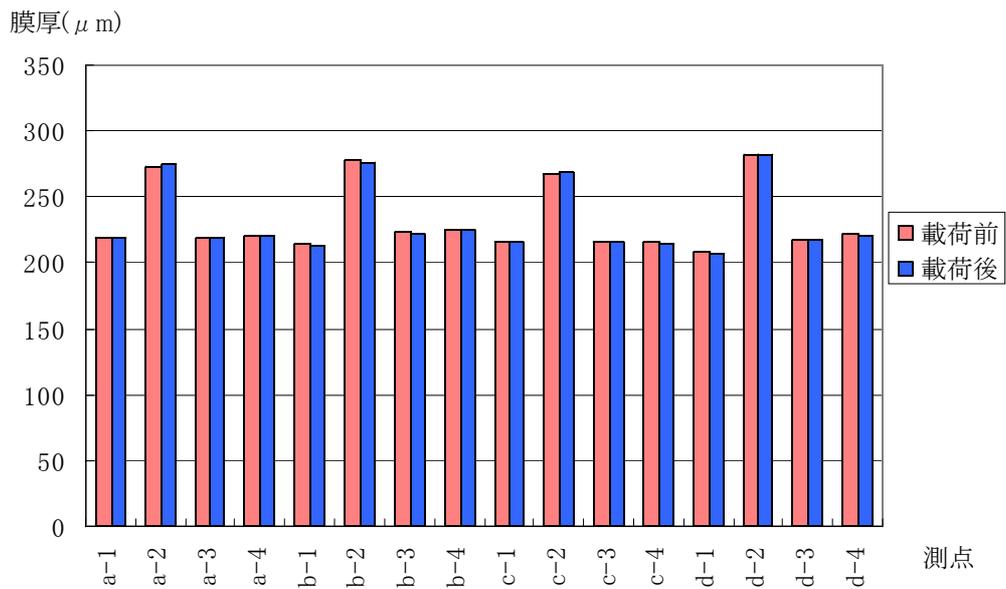
	A1		B1		B2		AB1		N1	
	載荷前	載荷後								
a-1	220.8	216.4	229.9	229.0	219.3	219.0	205.9	206.5	218.8	218.9
a-2	281.9	284.1	251.8	253.3	272.6	275.3	275.3	275.3	277.3	278.6
a-3	255.2	249.7	216.4	214.8	219.4	218.8	221.3	223.1	228.5	226.8
a-4	215.7	216.7	210.9	208.6	219.5	220.5	215.1	215.5	213.7	213.3
b-1	216.6	211.0	214.9	214.3	214.5	212.5	205.0	204.5	207.7	207.3
b-2	285.6	286.0	261.3	262.1	277.1	276.8	280.8	279.8	279.4	280.6
b-3	248.0	243.4	258.7	258.9	223.4	221.9	223.9	223.6	232.0	230.0
b-4	215.9	216.6	261.9	260.9	224.7	224.6	217.1	216.7	226.1	225.1
c-1	225.7	220.2	251.0	245.6	215.5	216.3	205.0	204.6	212.1	211.7
c-2	278.9	280.8	258.7	258.9	266.4	269.0	280.3	279.8	276.4	277.4
c-3	246.6	242.9	225.9	225.5	215.3	215.4	224.3	224.3	223.7	223.9
c-4	210.7	211.9	211.0	208.8	215.5	214.6	220.5	220.7	210.8	211.2
d-1	217.3	211.8	228.6	226.3	207.7	207.0	198.6	198.4	197.2	196.0
d-2	288.8	286.4	261.9	260.9	281.7	282.5	282.5	282.3	276.2	277.2
d-3	247.4	243.3	218.8	218.1	217.3	217.5	219.7	218.8	222.2	221.8
d-4	214.1	213.6	214.6	212.5	222.2	220.3	213.0	212.2	216.2	215.6



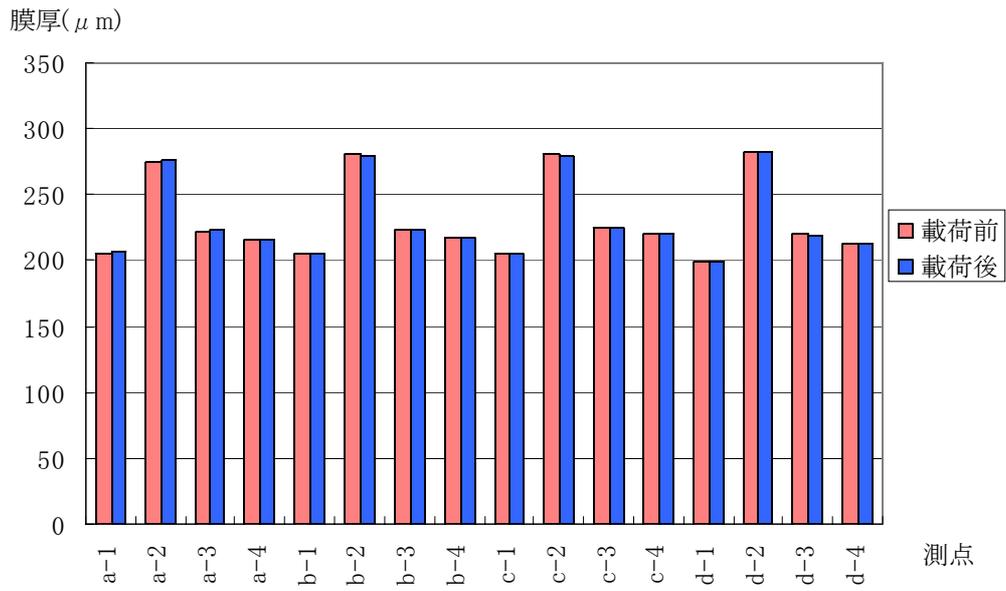
付図 4.4.81 A1 供試体の測点毎の平均値



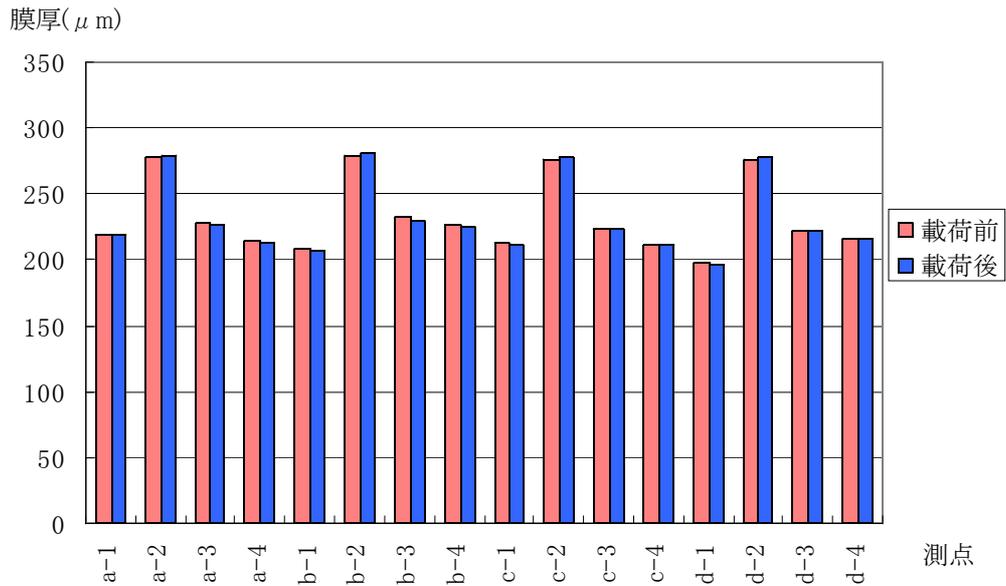
付図 4.4.82 B1 供試体の測点毎の平均値



付図 4.4.83 B2 供試体の測点毎の平均値



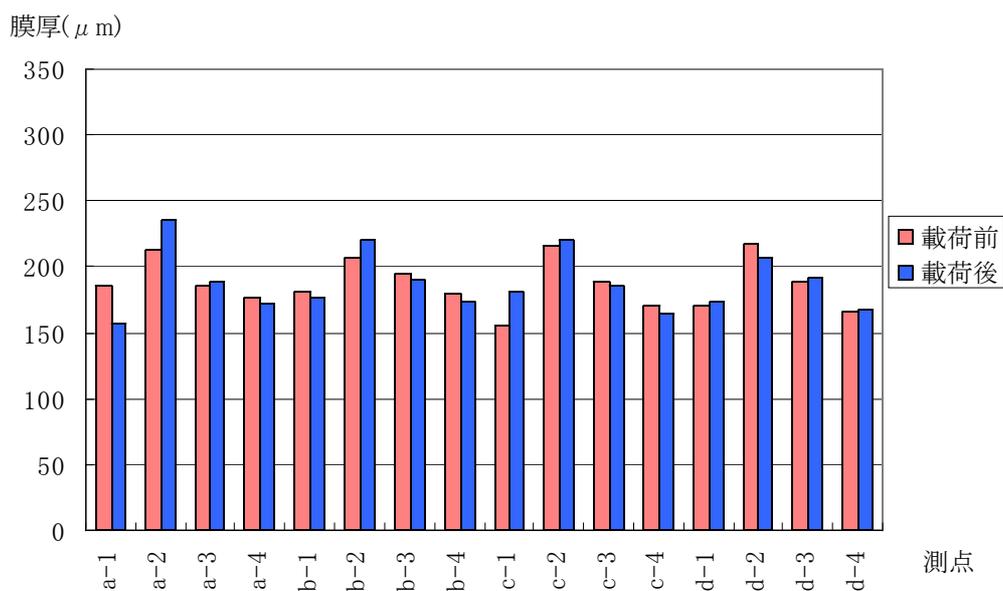
付図 4.4.84 AB1 供試体の測点毎の平均値



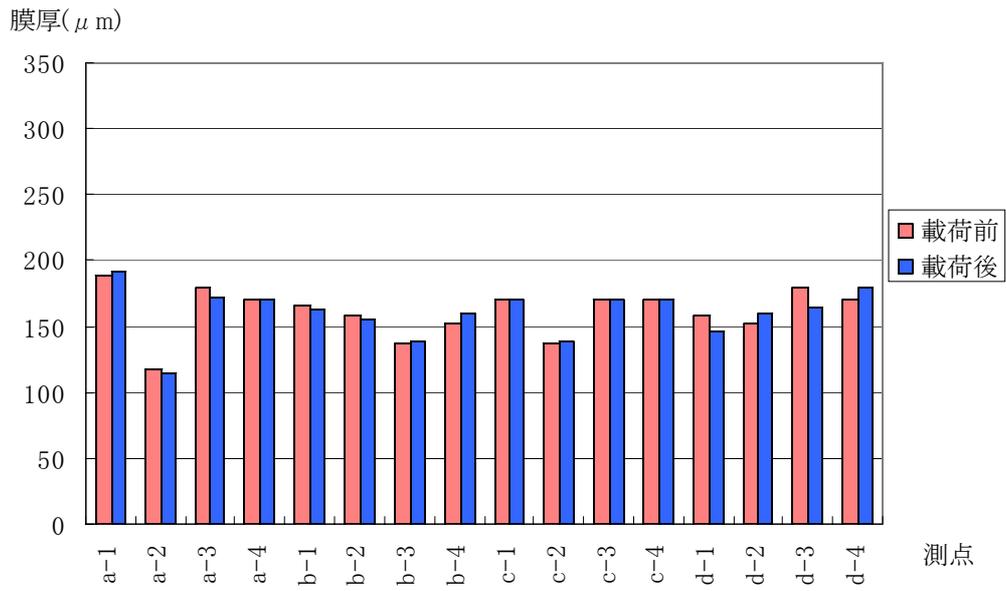
付図 4.4.85 N1 供試体の測点毎の平均値

付表 4.4.2 各供試体の測点毎の最小値

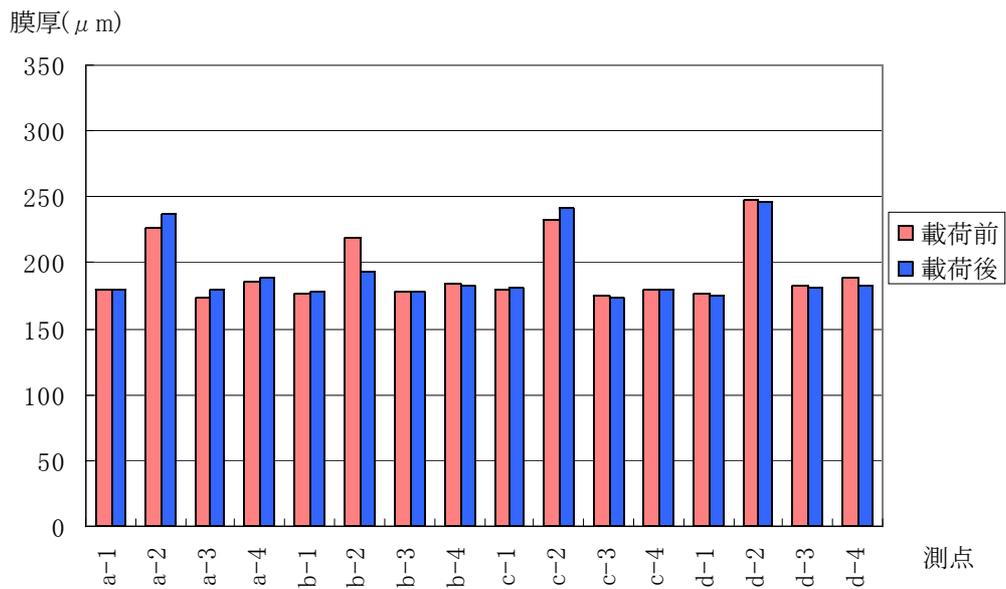
	A1		B1		B2		AB1		N1	
	載荷前	載荷後								
a-1	185	157	189	191	180	180	174	179	168	179
a-2	212	235	118	115	226	237	234	237	223	221
a-3	185	188	180	172	174	180	178	183	176	179
a-4	176	172	170	170	185	188	183	180	175	176
b-1	181	177	166	163	177	178	153	170	173	178
b-2	206	221	158	155	218	193	223	219	235	232
b-3	194	190	138	139	178	178	180	180	179	180
b-4	180	173	152	160	184	183	178	178	183	185
c-1	156	181	170	170	180	181	176	175	176	176
c-2	216	220	138	139	232	242	221	234	230	230
c-3	189	186	171	170	175	174	180	178	167	180
c-4	170	165	171	171	179	179	175	176	171	176
d-1	171	174	158	147	176	175	175	178	172	175
d-2	217	207	152	160	247	246	210	239	204	205
d-3	189	191	180	165	182	181	181	178	170	179
d-4	166	167	171	180	189	183	177	175	172	175



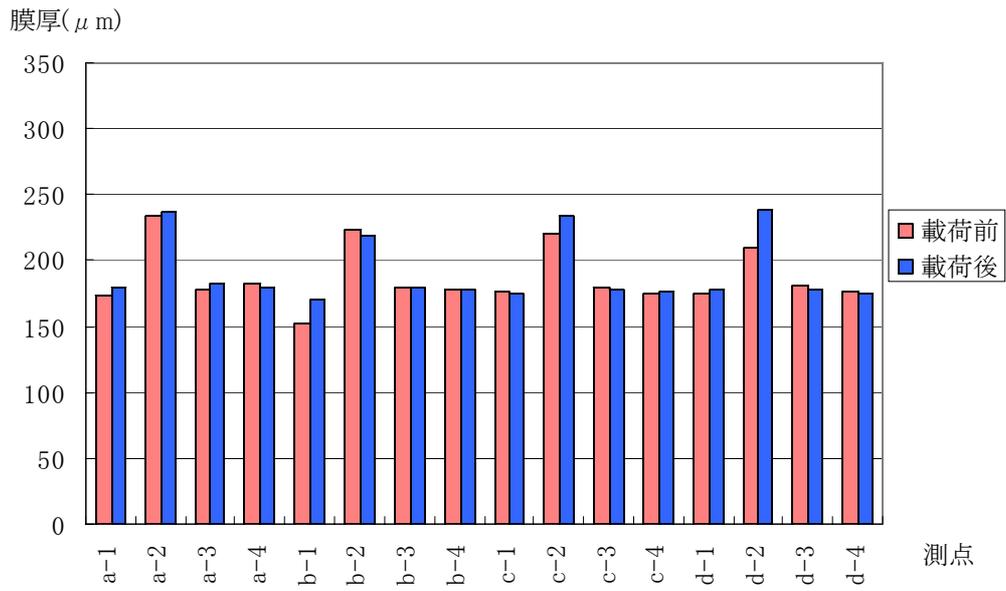
付図 4.4.86 A1 供試体の測点毎の最小値



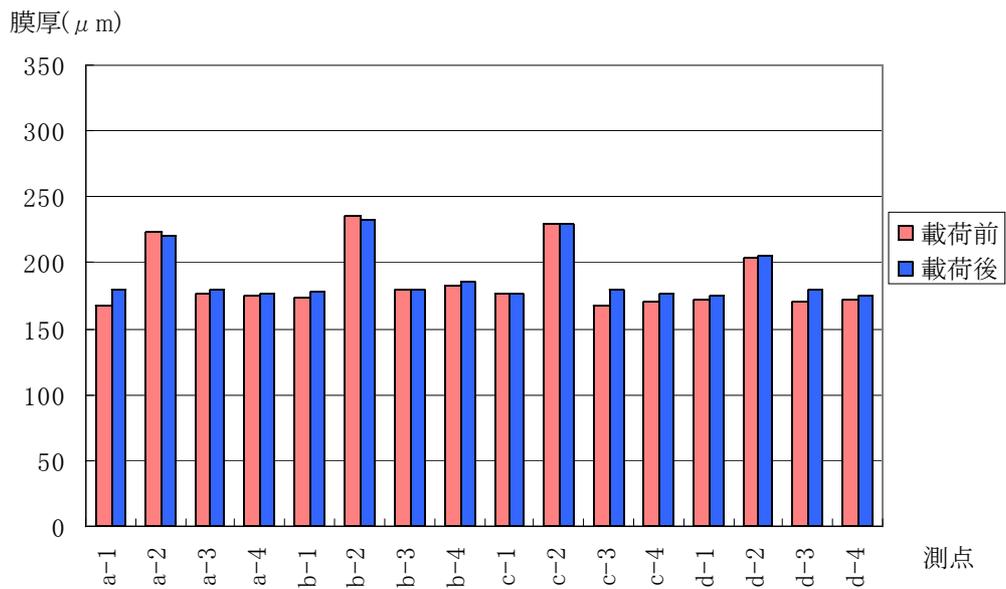
付図 4.4.87 B1 供試体の測点毎の最小値



付図 4.4.88 B2 供試体の測点毎の最小値



付図 4.4.89 AB1 供試体の測点毎の最小値

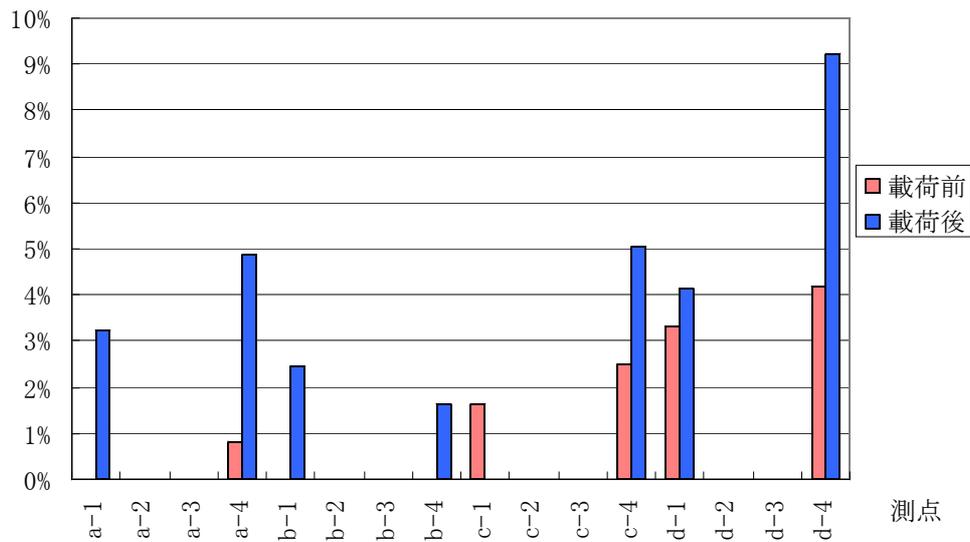


付図 4.4.90 N1 供試体の測点毎の最小値

付表 4.4.3 各供試体の測点毎の下限值の超過確率

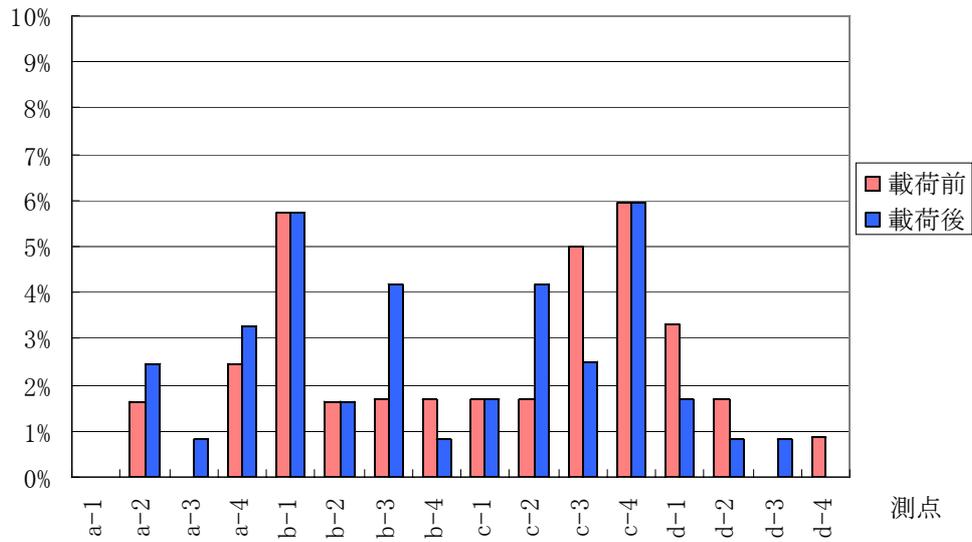
	A1		B1		B2		AB1		N1	
	載荷前	載荷後								
a-1	0.0%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.9%	1.6%	4.1%	0.8%
a-2	0.0%	0.0%	1.6%	2.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
a-3	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	1.6%	0.0%	1.6%	0.0%	0.8%	0.8%
a-4	0.8%	4.9%	2.5%	3.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.9%	2.5%
b-1	0.0%	2.4%	5.7%	5.7%	3.1%	1.6%	7.3%	4.9%	4.9%	2.5%
b-2	0.0%	0.0%	1.6%	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
b-3	0.0%	0.0%	1.7%	4.2%	1.6%	1.6%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%
b-4	0.0%	1.6%	1.7%	0.8%	0.0%	0.0%	0.8%	0.8%	0.0%	0.0%
c-1	1.7%	0.0%	1.7%	1.7%	0.0%	0.0%	3.3%	2.5%	1.7%	3.3%
c-2	0.0%	0.0%	1.7%	4.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
c-3	0.0%	0.0%	5.0%	2.5%	1.6%	1.6%	0.0%	1.7%	0.8%	0.0%
c-4	2.5%	5.0%	5.9%	5.9%	1.6%	1.6%	1.7%	1.7%	4.1%	2.5%
d-1	3.3%	4.1%	3.3%	1.7%	7.8%	6.3%	4.2%	3.3%	5.8%	7.4%
d-2	0.0%	0.0%	1.7%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
d-3	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.8%	0.8%
d-4	4.2%	9.2%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	2.5%	0.8%	5.0%	5.0%

超過率



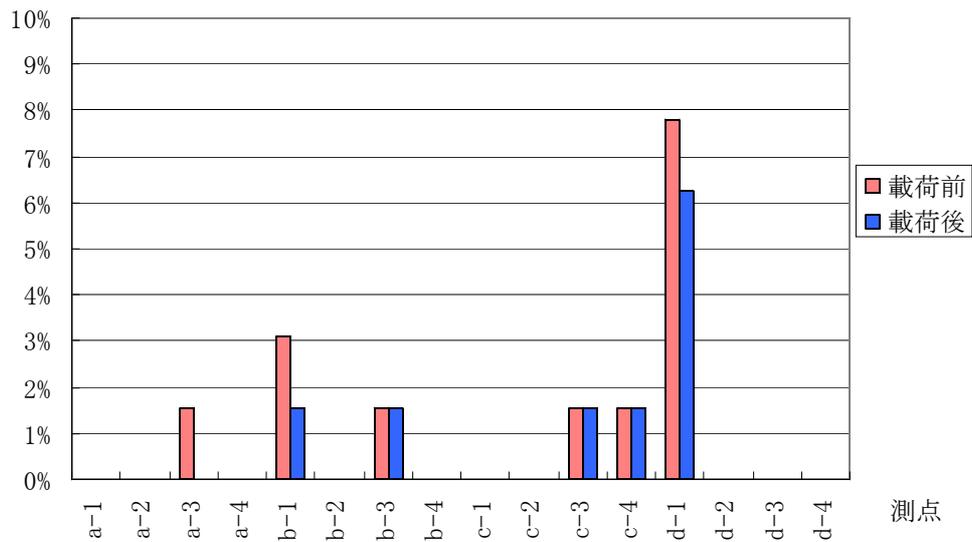
付図 4.4.91 A1 供試体の測点毎の下限值の超過確率

超過率



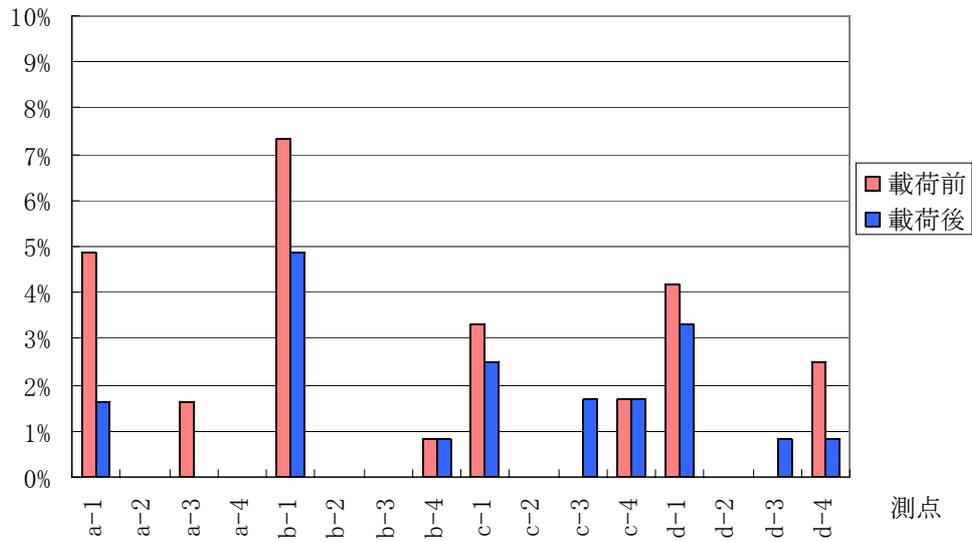
付図 4.4.92 B1 供試体の測点毎の下限值の超過確率

超過率



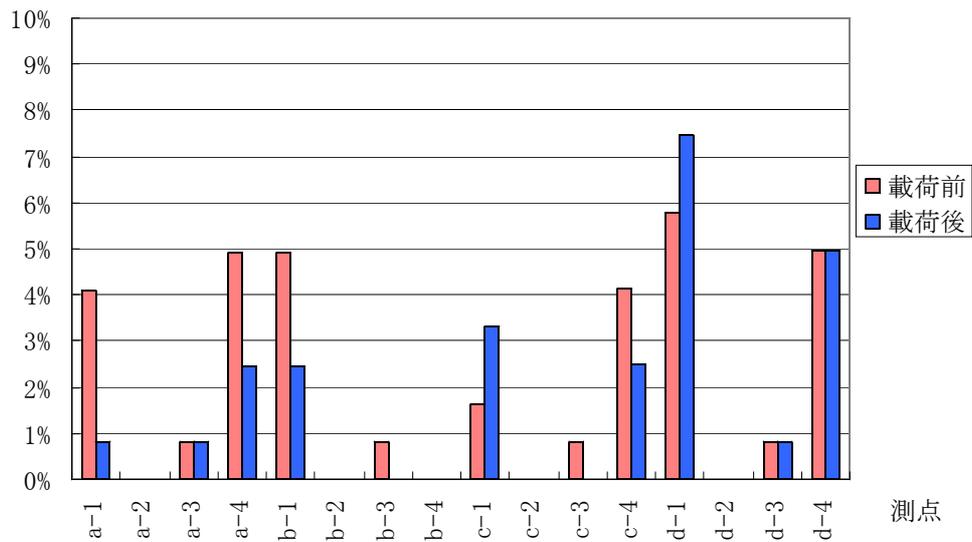
付図 4.4.93 B2 供試体の測点毎の下限值の超過確率

超過率



付図 4.4.94 AB1 供試体の測点毎の下限值の超過確率

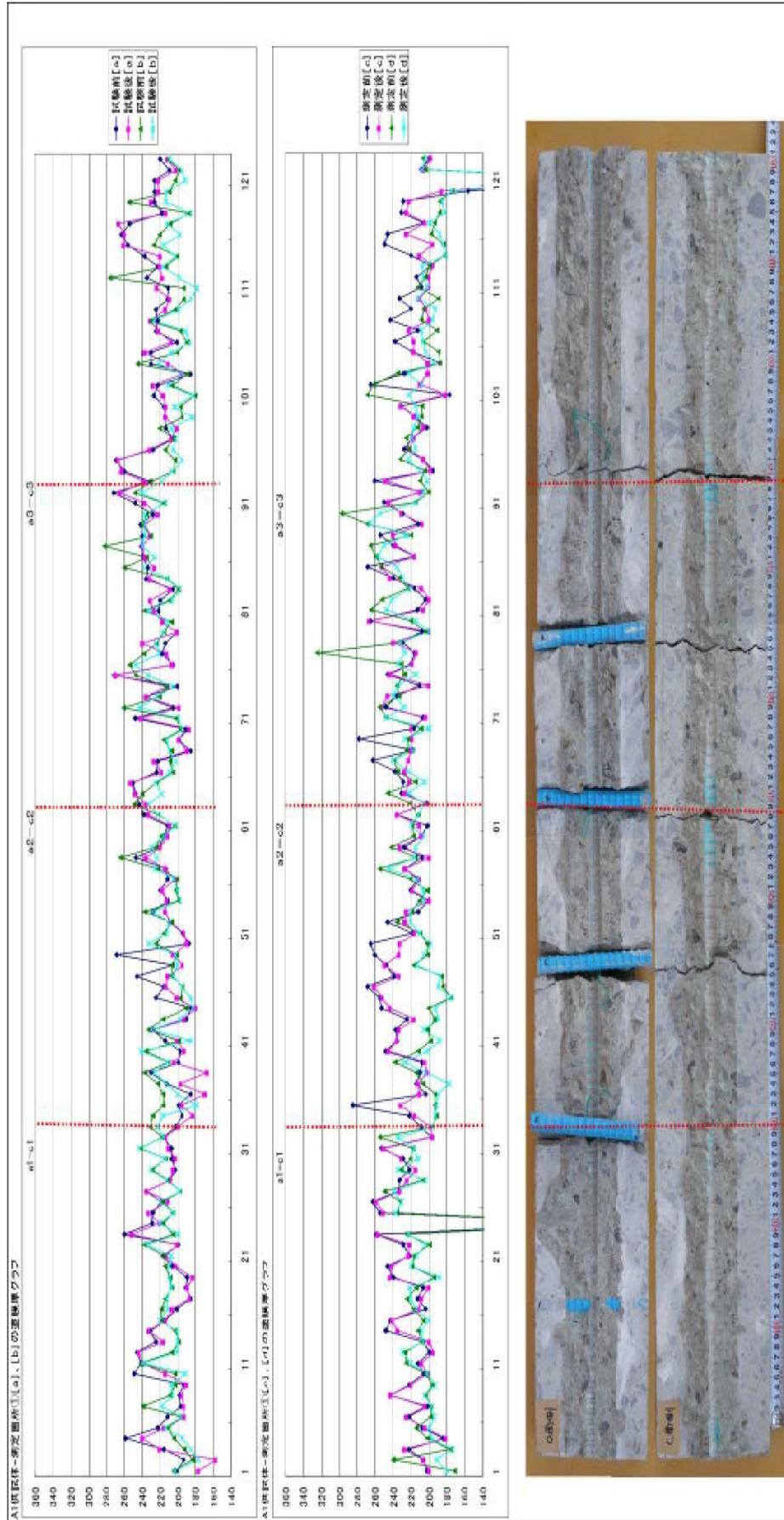
超過率



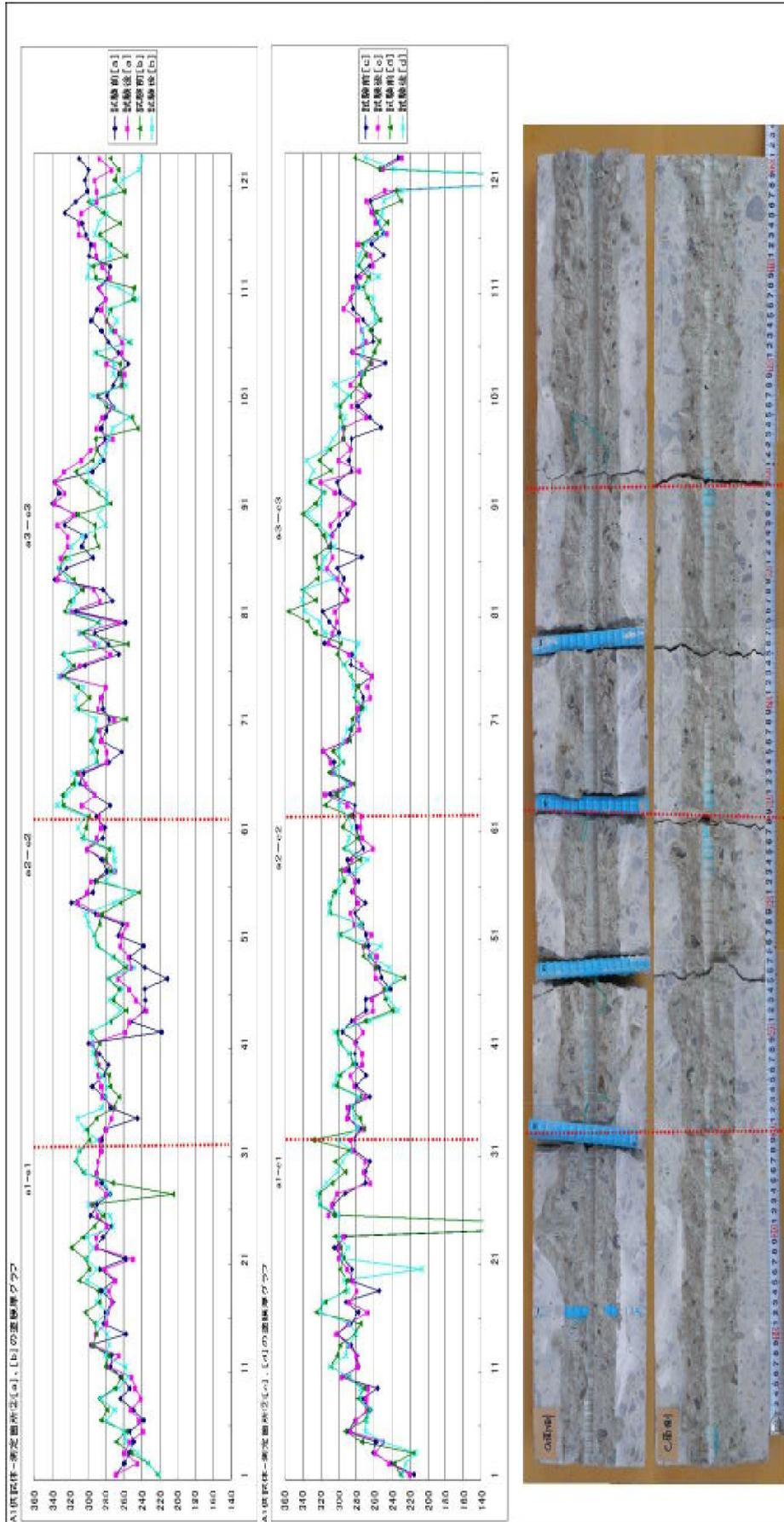
付図 4.4.95 N1 供試体の測点毎の下限值の超過確率

## 5. 供試体解体

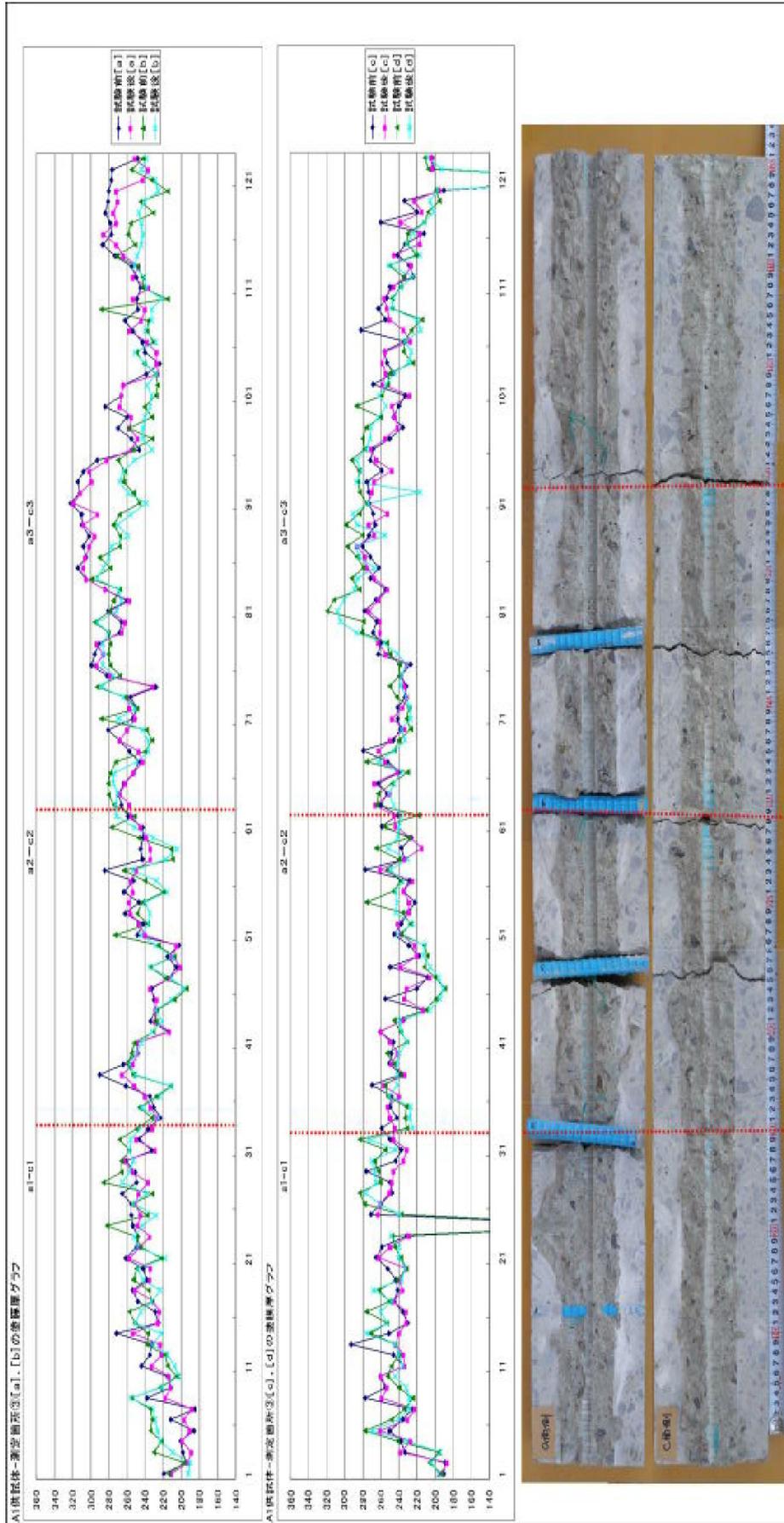
図 4.5.1 ～ 4.5.15 に供試体解体後の状況を示す。

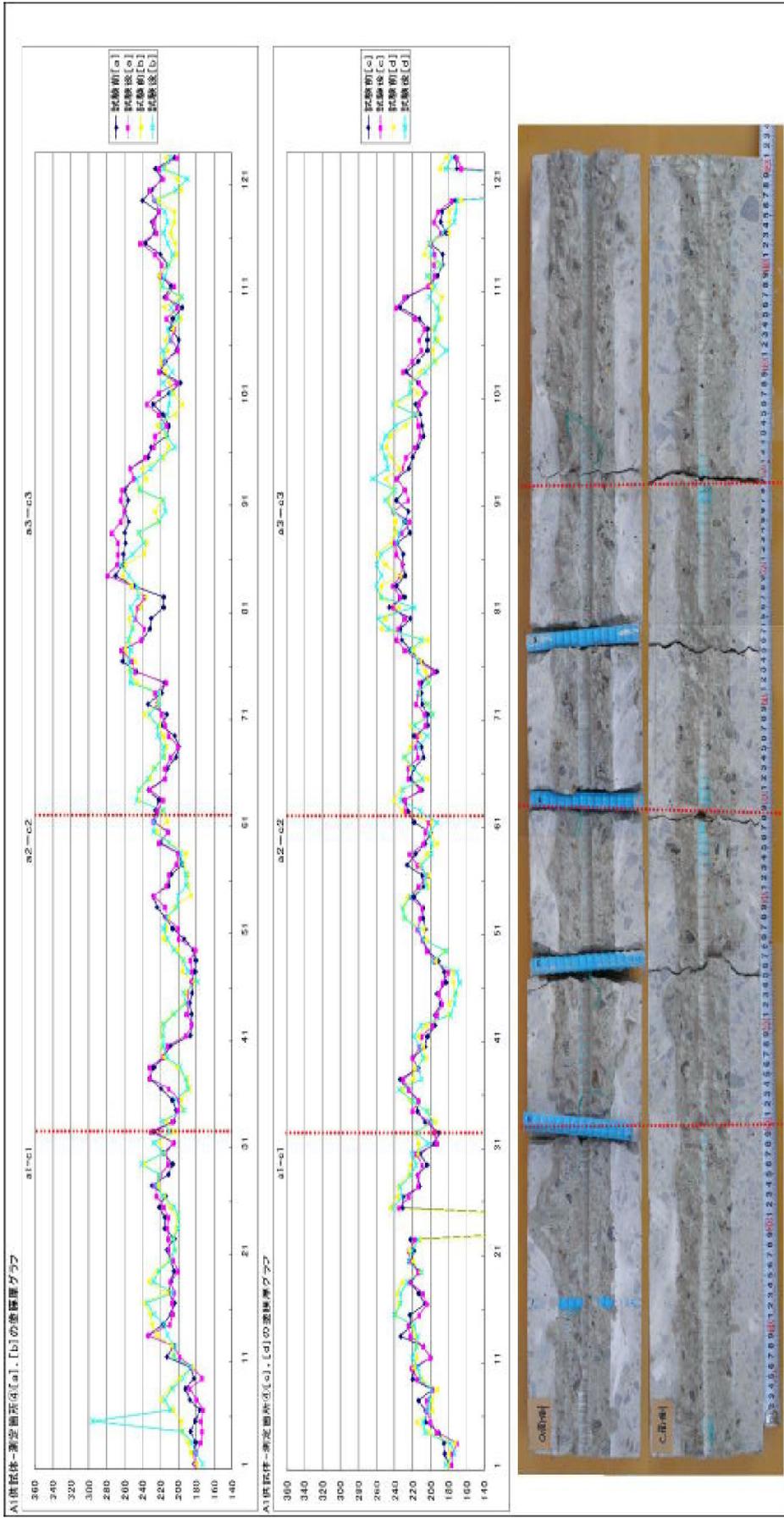


付図 4.5.1 塗膜厚測定結果 (A1 ①)

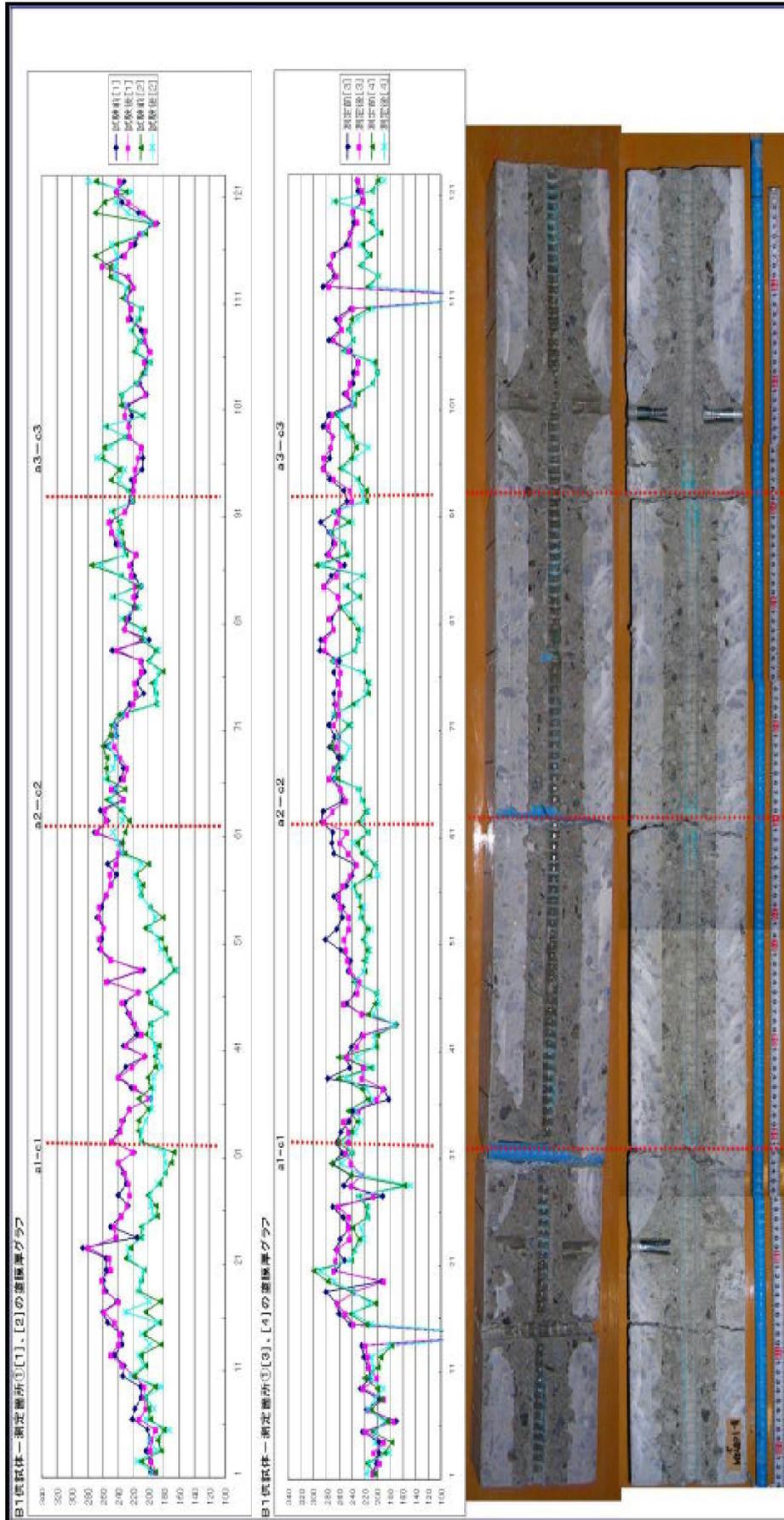


付図 4.5.2 塗膜厚測定結果 (A1 ②)

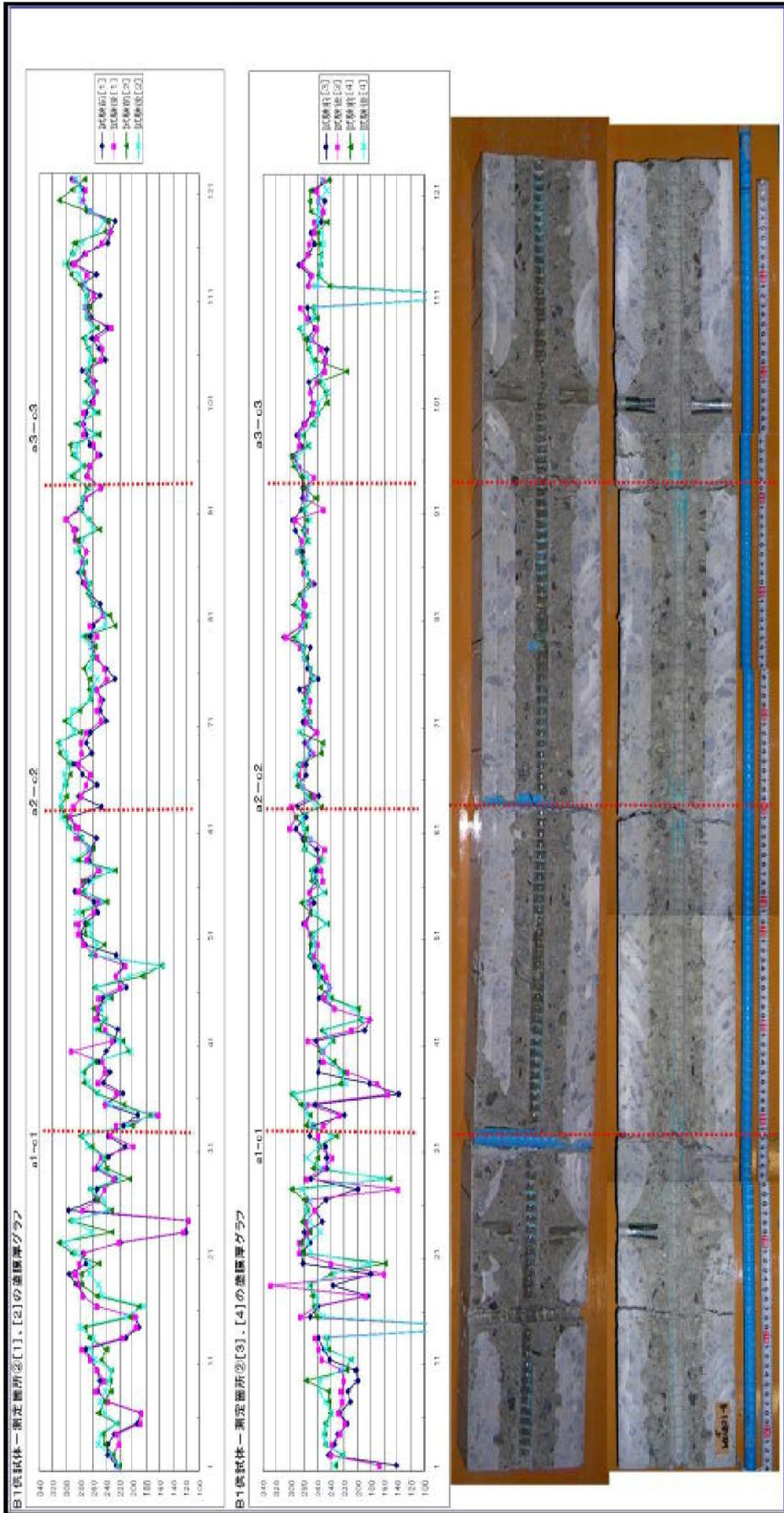




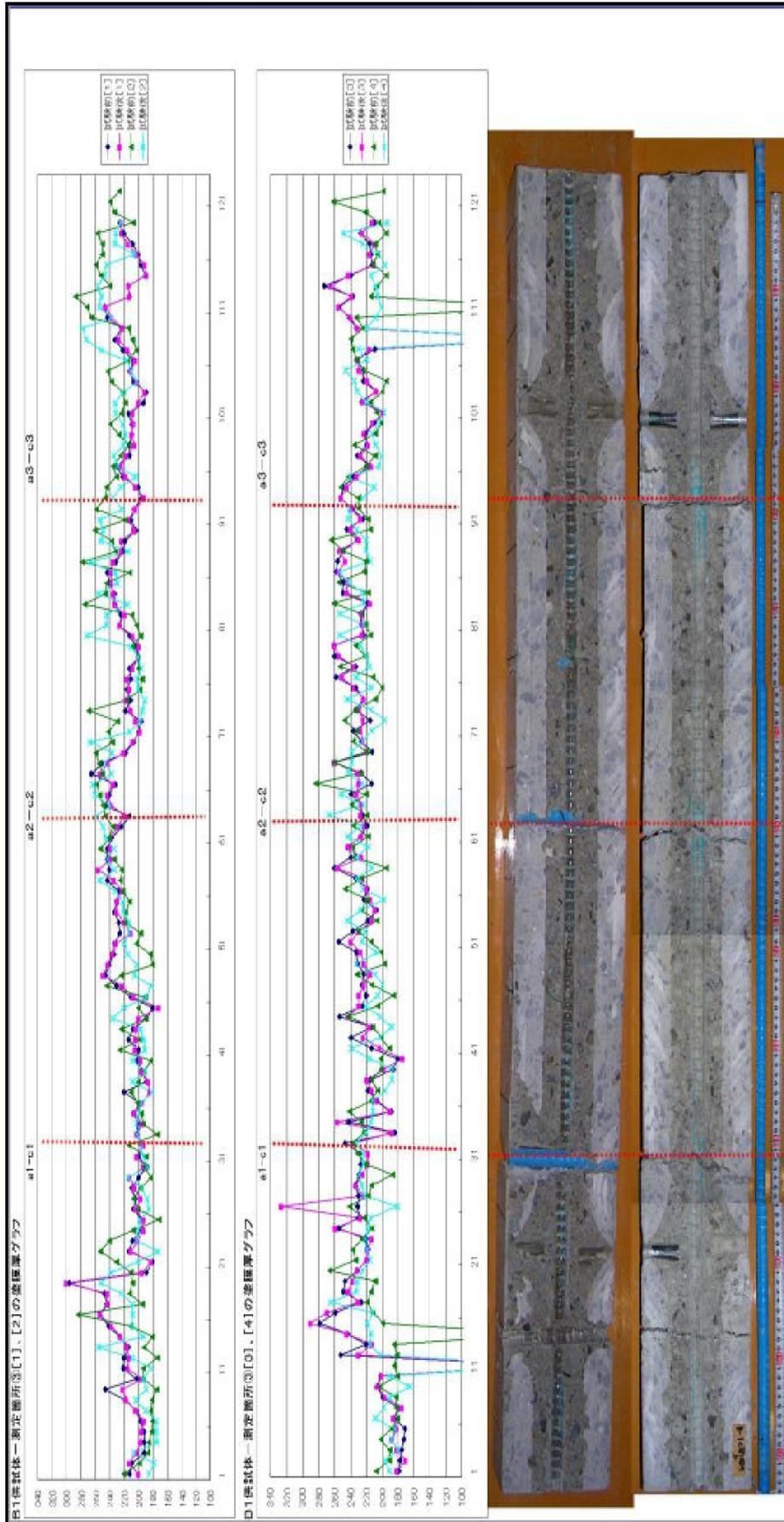
付図 4.5.4 塗膜厚測定結果 (A1 ④)



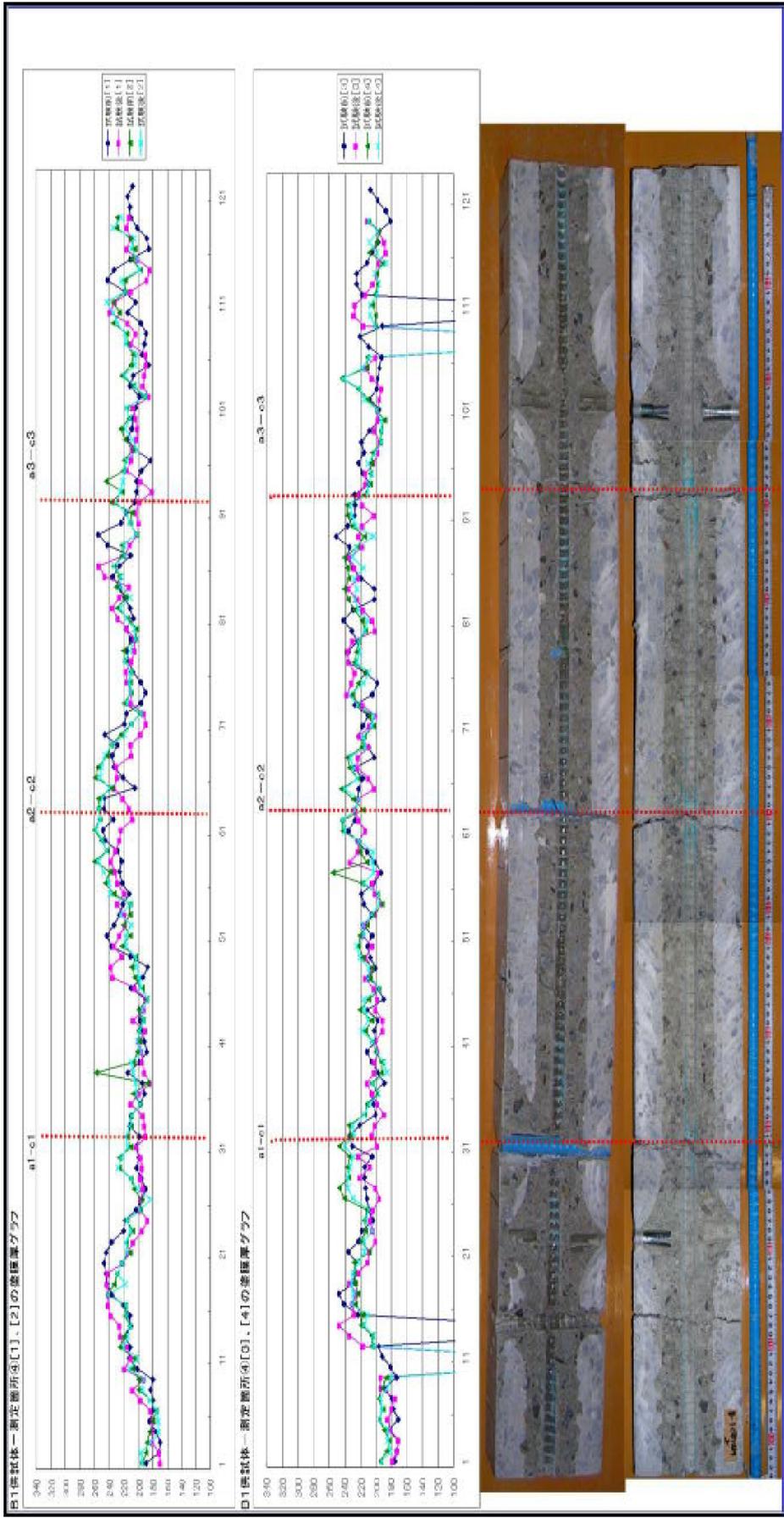
付図 4.5.5 塗膜厚測定結果 (B1 ①)



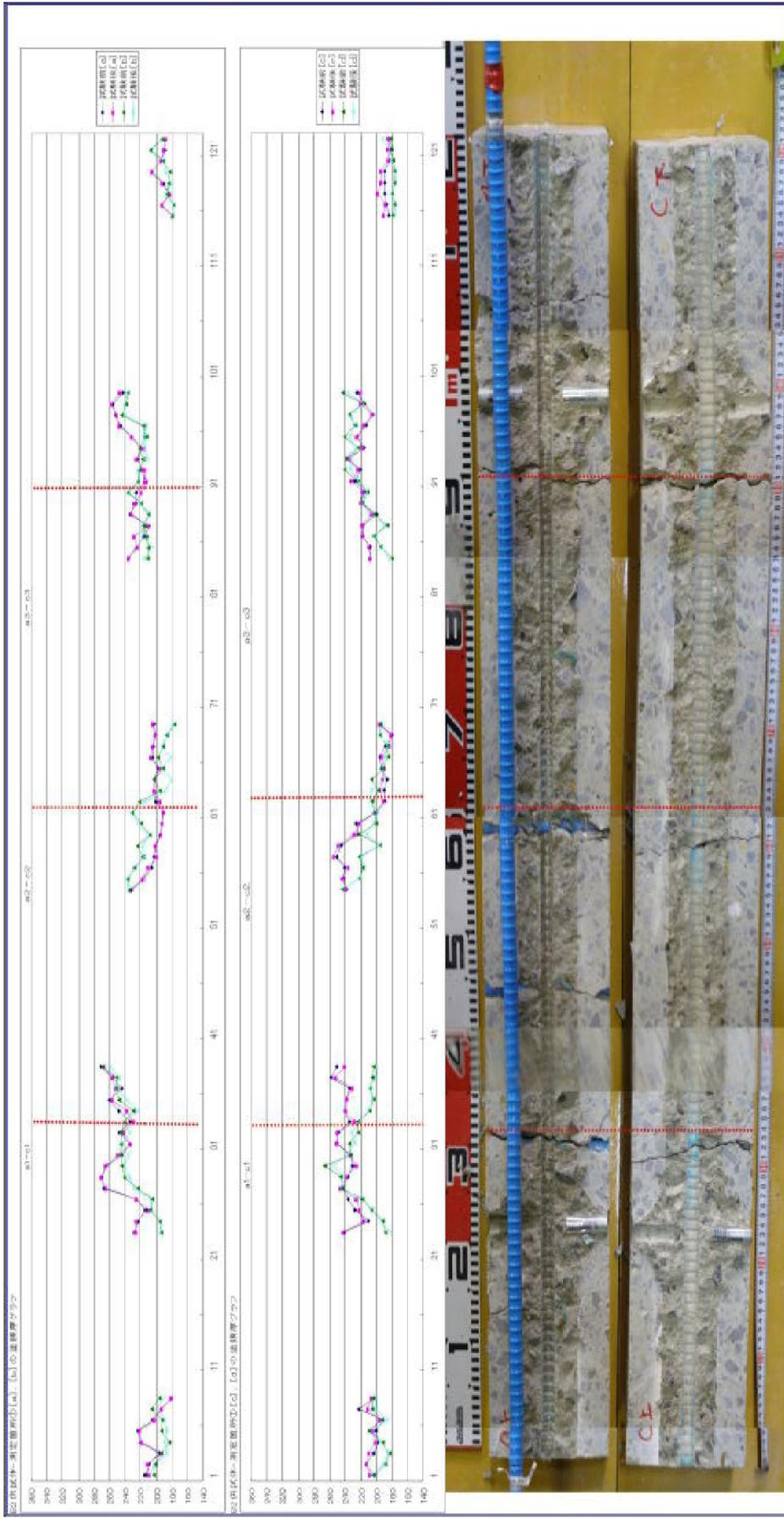
付図 4.5.6 塗膜厚測定結果 (B1 ②)



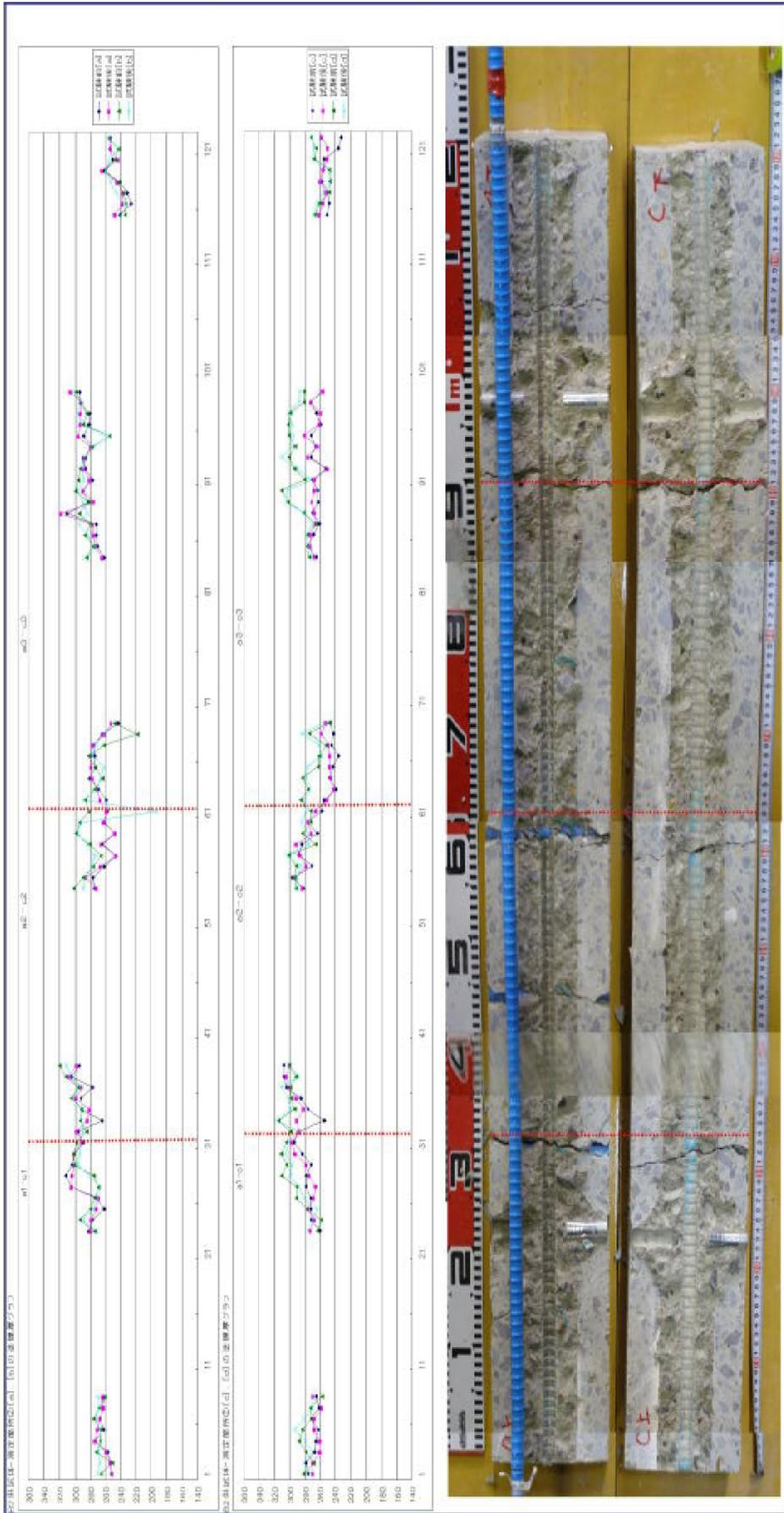
付図 4.5.7 塗膜厚測定結果 (BI ③)



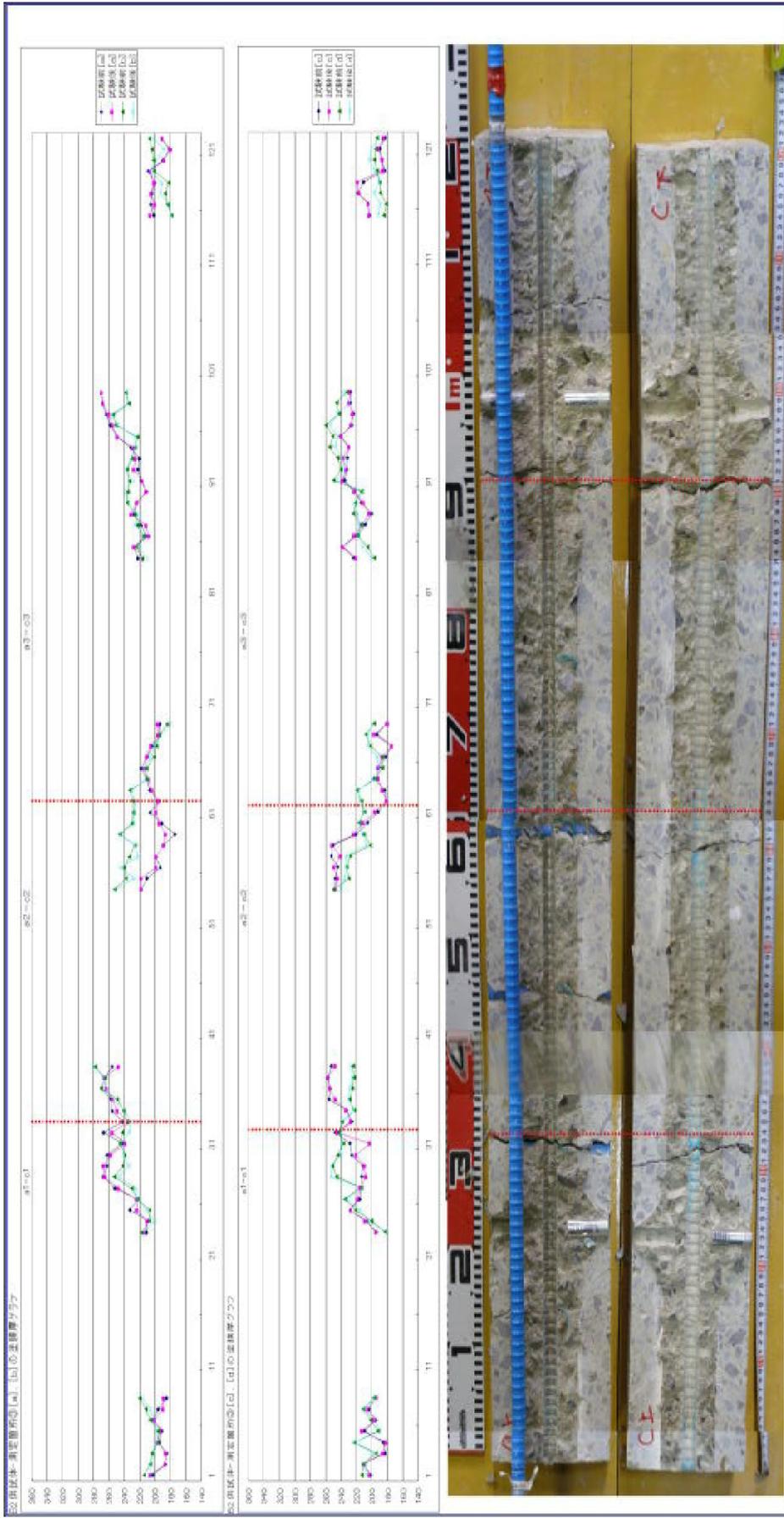
付図 4.5.8 塗膜厚測定結果 (BI ④)



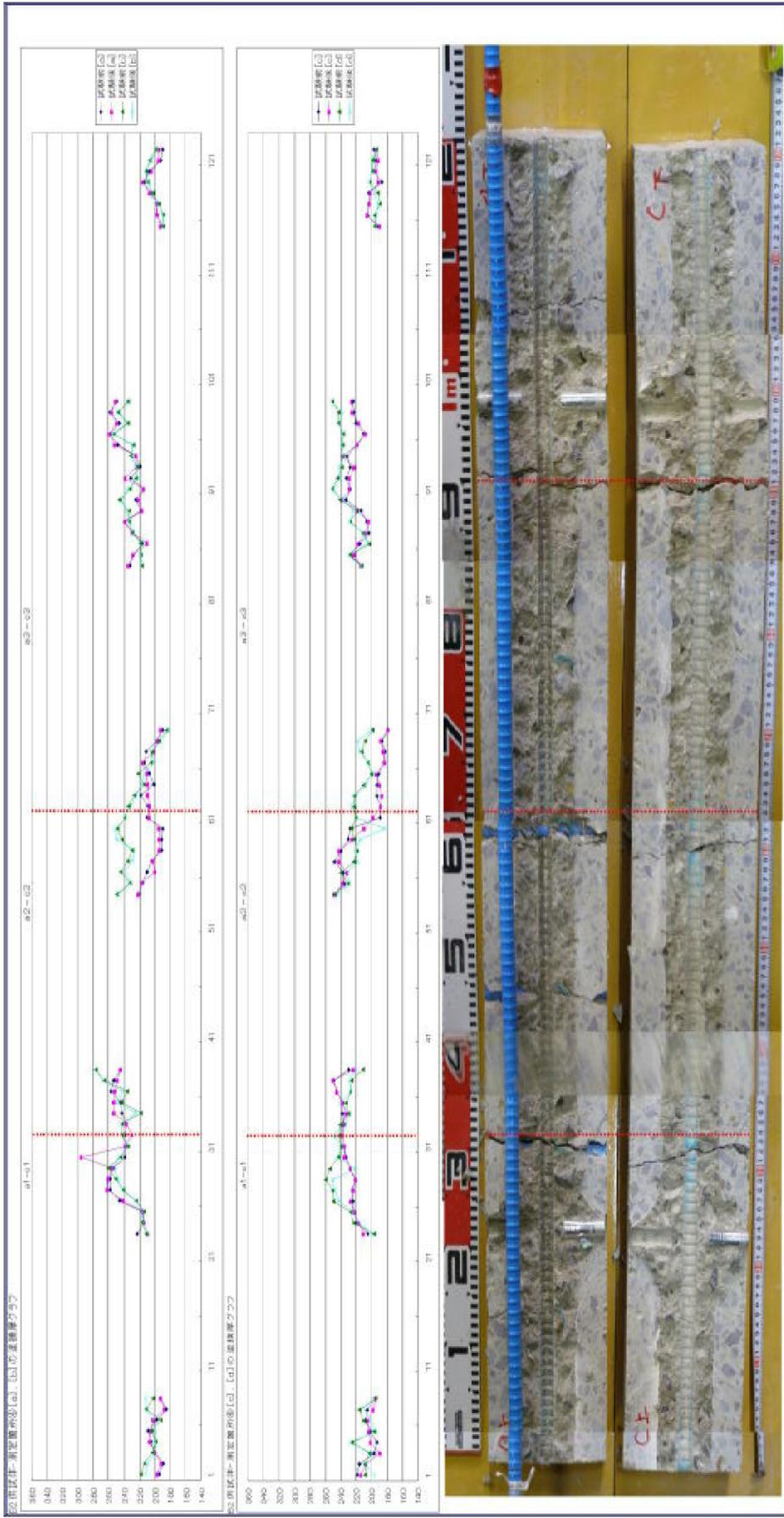
付図 4.5.9 塗膜厚測定結果 (B2 ①)



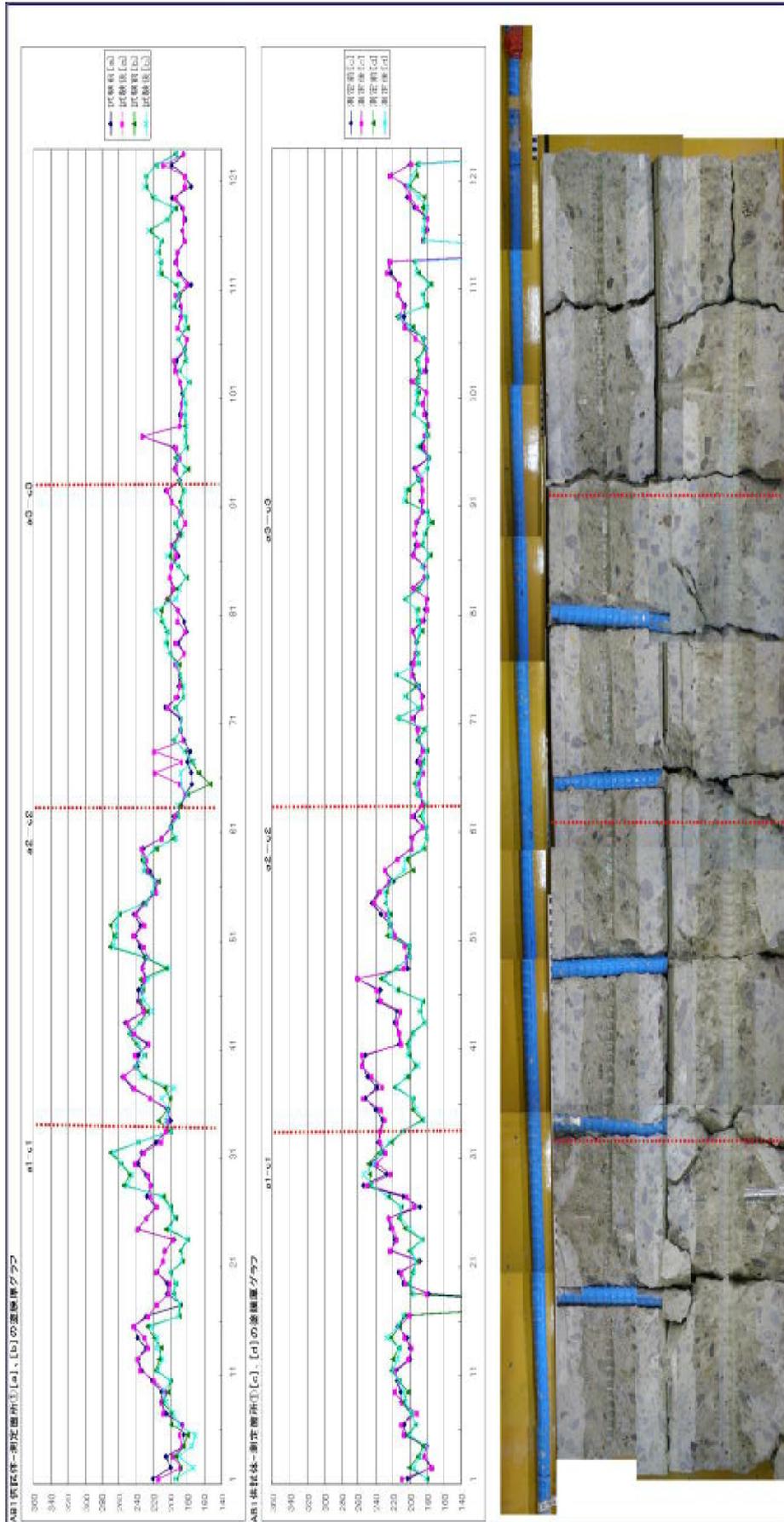
付图 4.5.10 塗膜厚測定結果(B2 ②)



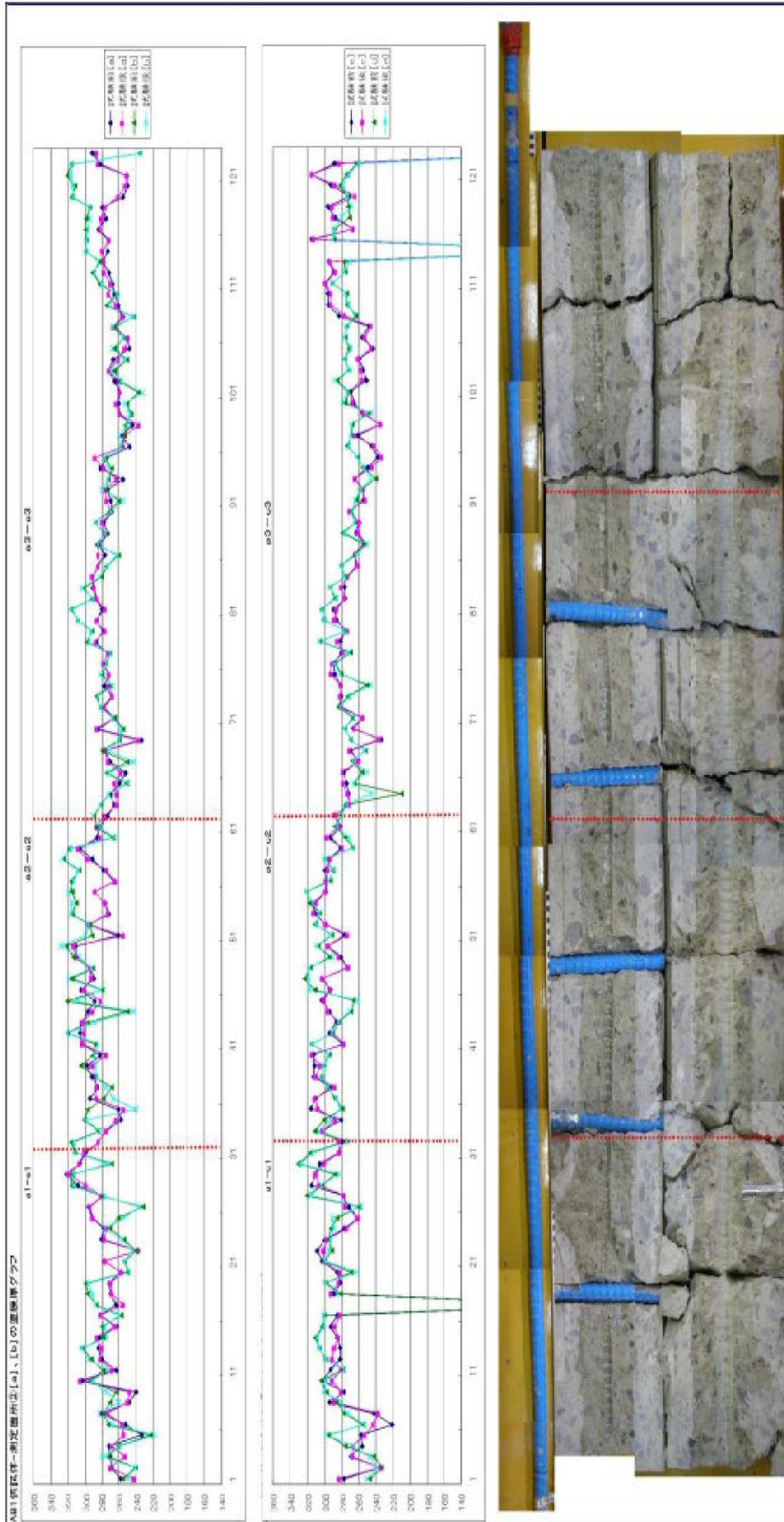
付图 4.5.11 塗膜厚測定結果 (B2 ③)



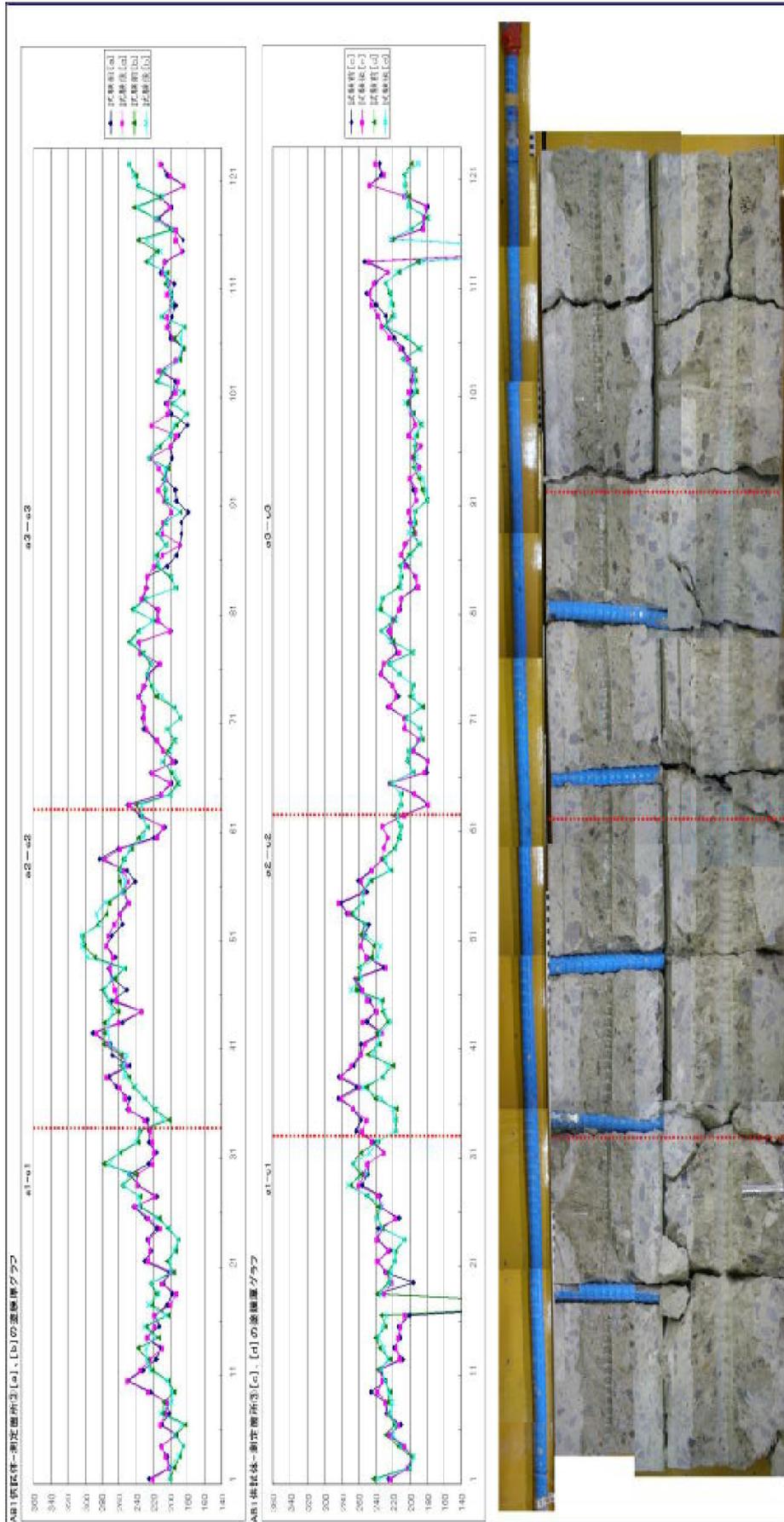
付図 4.5.12 塗膜厚測定結果 (B2 ④)



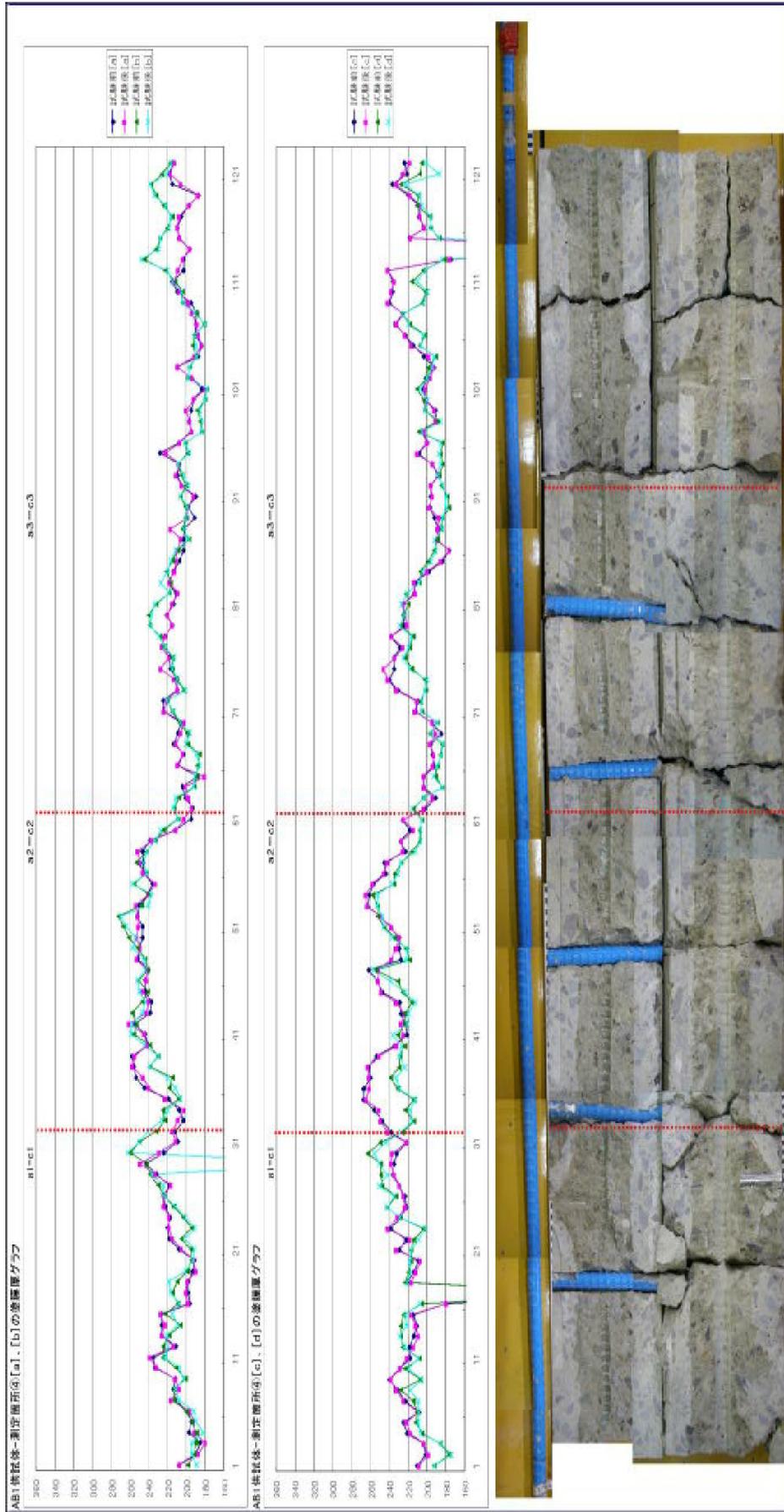
付図 4.5.13 塗膜厚測定結果 (ABI ①)



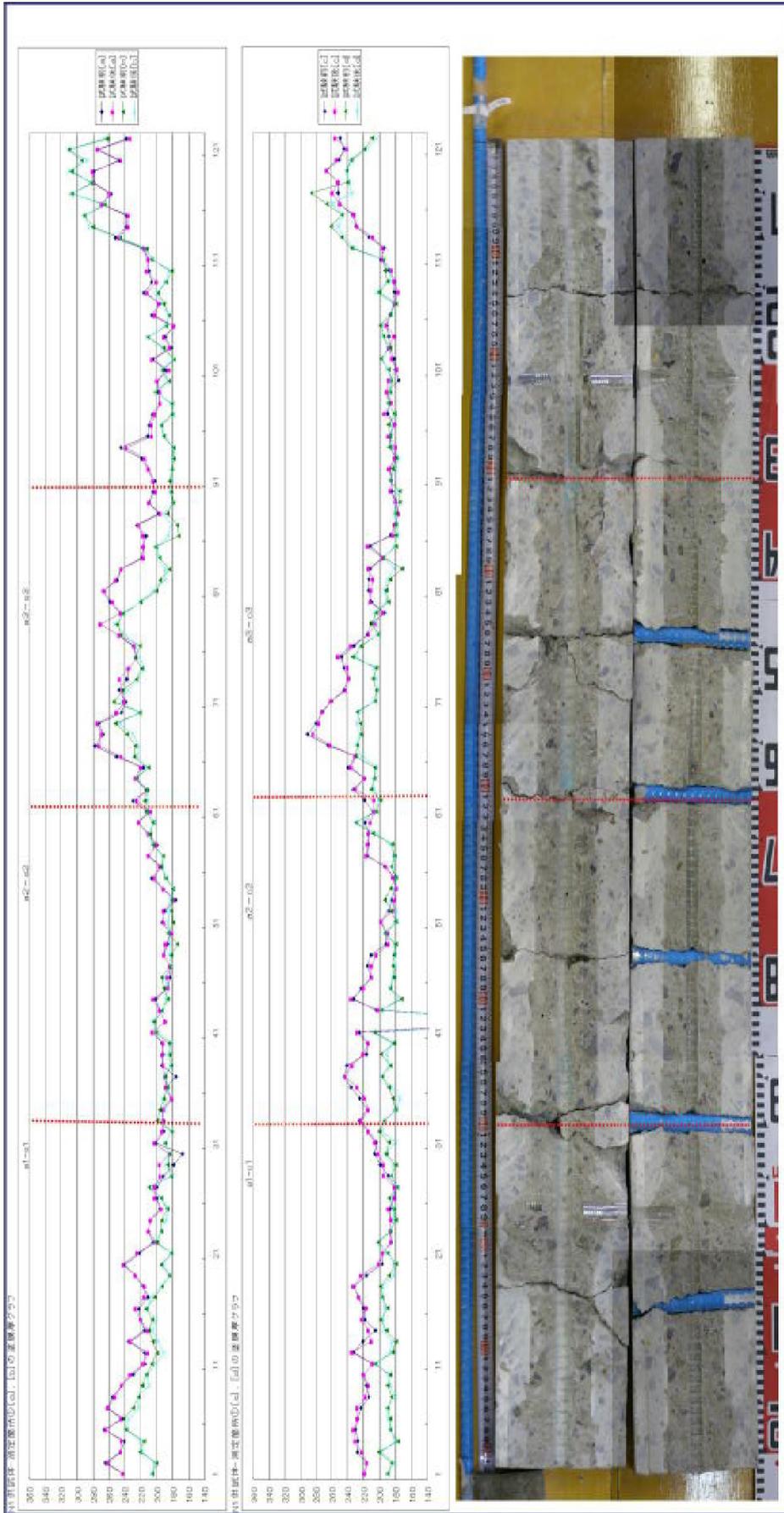
付図 4.5.14 塗膜厚測定結果 (ABI ②)



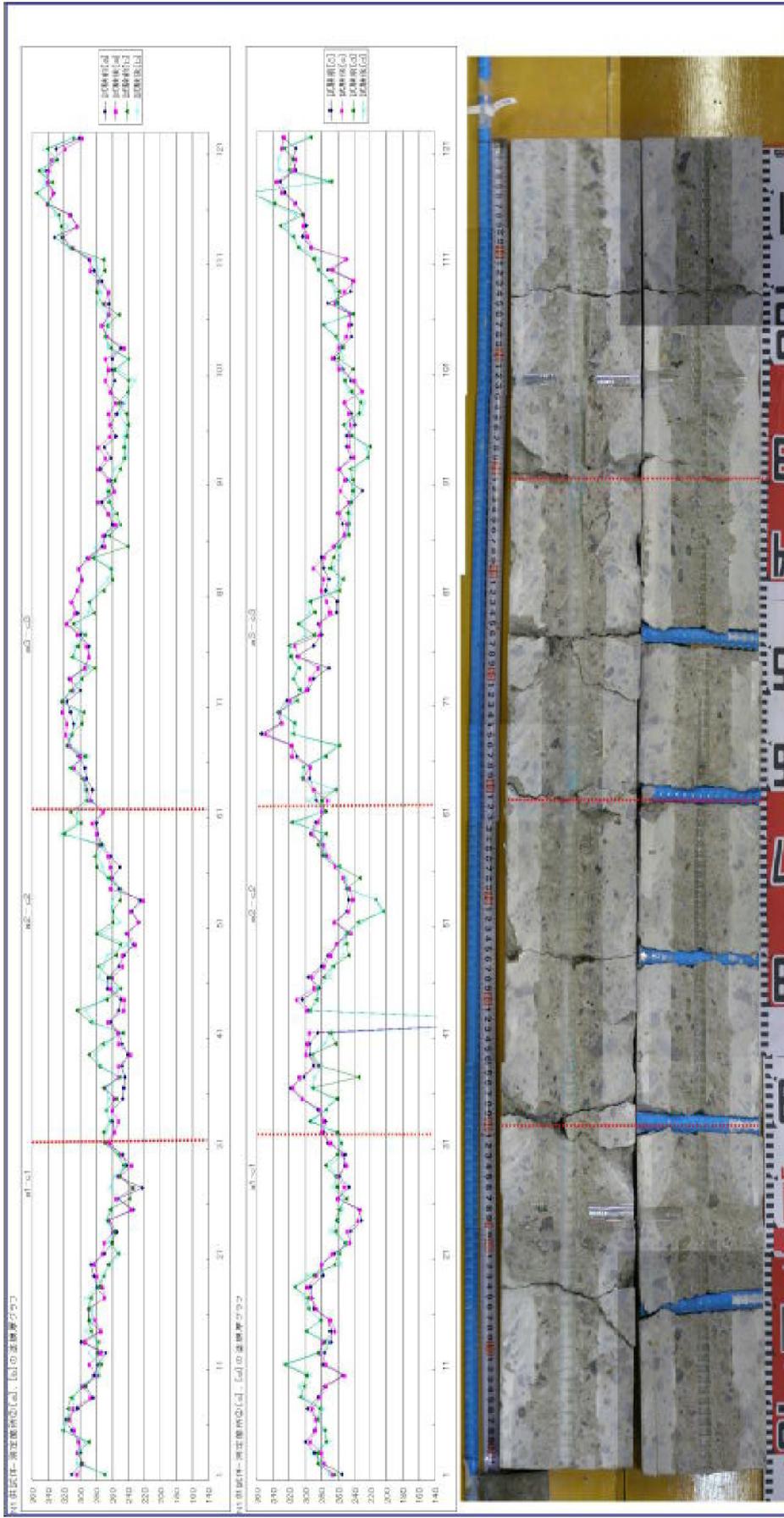
付図 4.5.15 塗膜厚測定結果 (ABI ③)



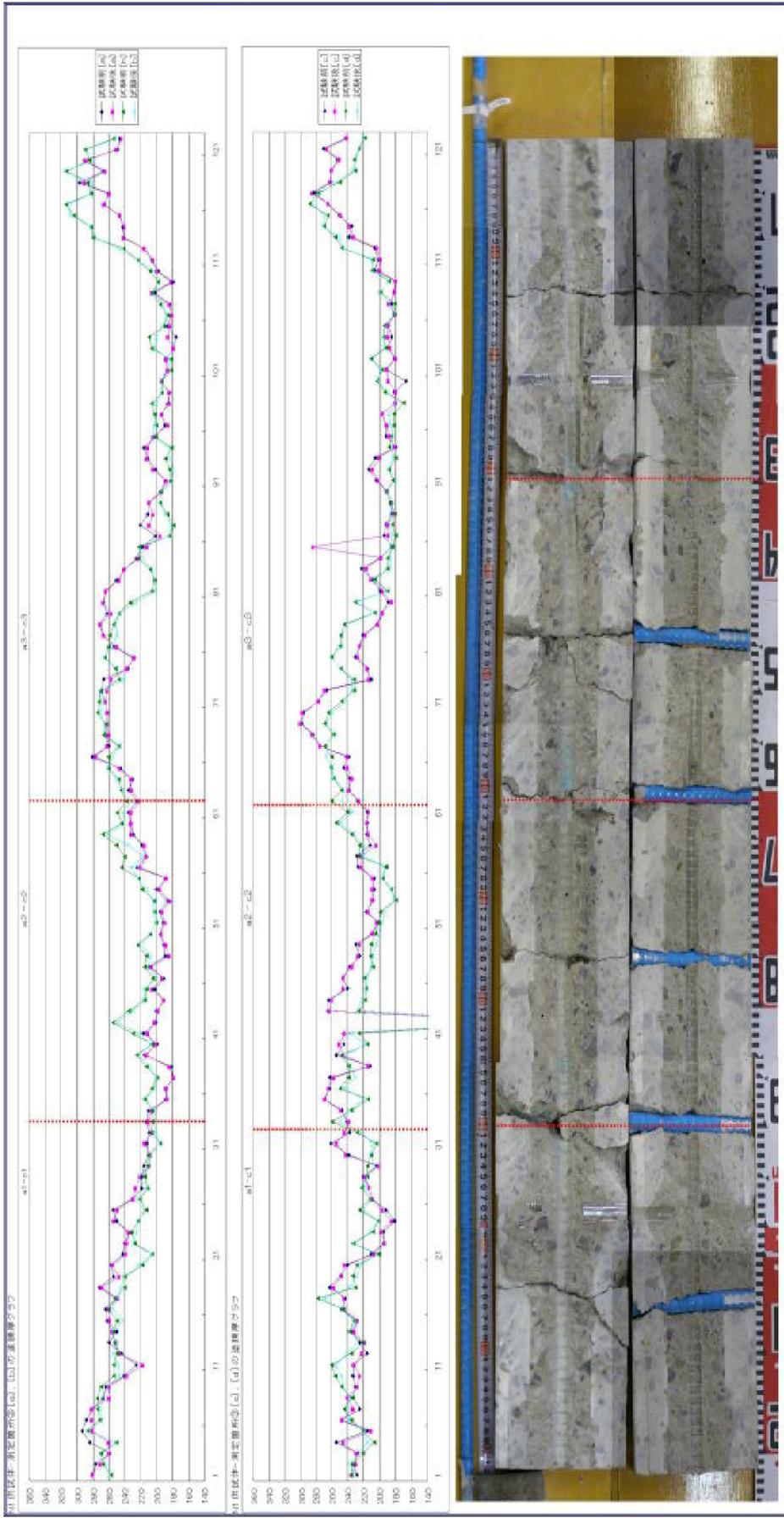
付図 4.5.16 塗膜厚測定結果 (ABI ④)



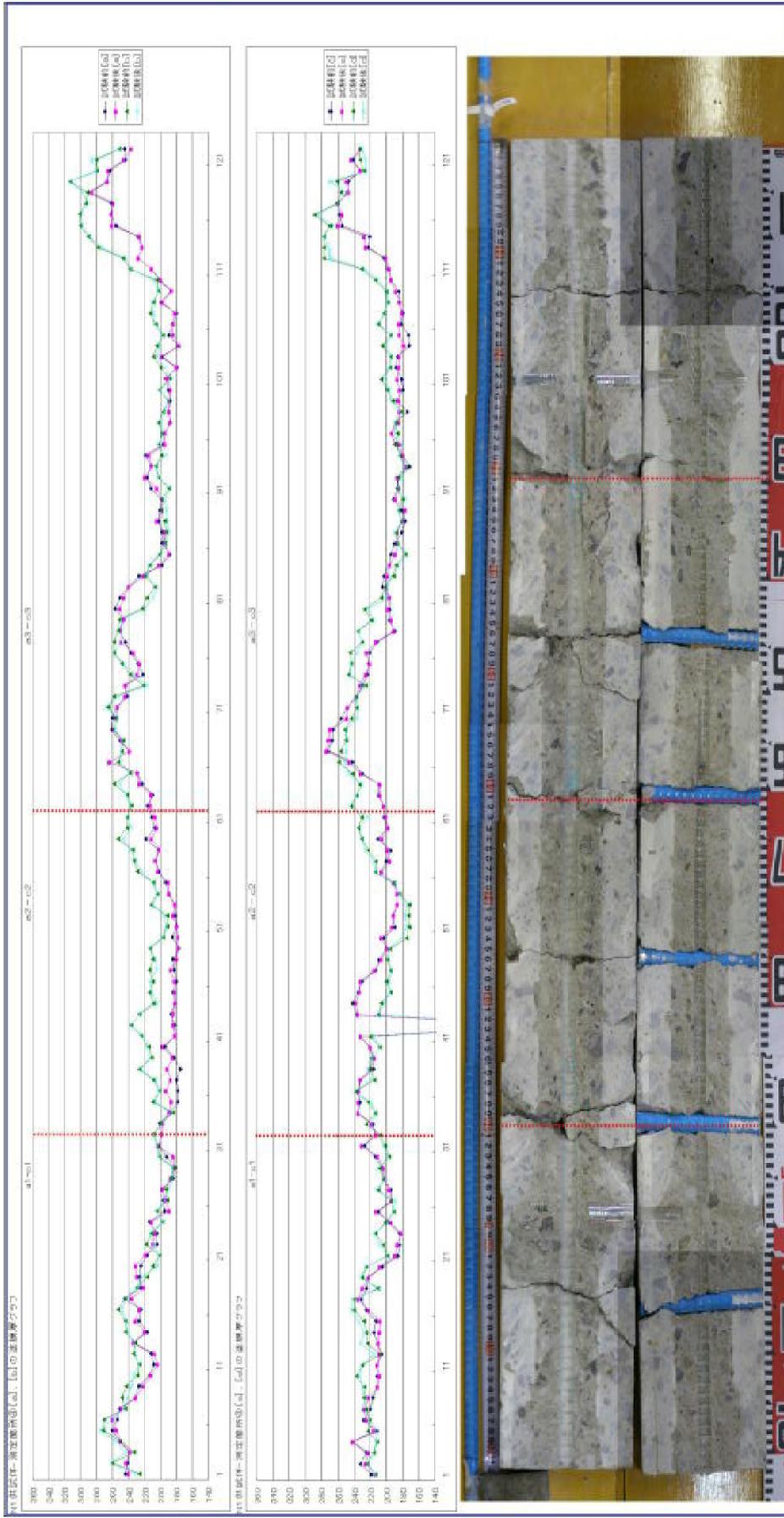
付图 4.5.17 塗膜厚測定結果(N1 ①)



付図 4.5.18 塗膜厚測定結果(N1 ②)



付图 4.5.19 塗膜厚測定結果(N1 ③)



付図 4.5.20 塗膜厚測定結果(N1 ④)

---

国土技術政策総合研究所資料  
TECHNICAL NOTE of NILIM  
No. 359      December 2006

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは  
〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地  
企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675