共同研究報告書
整理番号第327号

新コンクリート剥落防止工の開発に関する共同研究報告書

－光ネット可視工法－

平成18年3月

独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ
清水建設株式会社
昭和高分子株式会社
倉敷紡績株式会社

Copyright © (2006) by P. W. R. I.

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

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

共同研究報告書
第327号 2006年3月

新コンクリート剥落防止工法の開発に関する共同研究報告書

－　光ネット可視工法　－

独立行政法人土木研究所	基礎道路技術研究グループ		上席研究員　真下　英人
	同		主任研究員　石村　利明
	同		前主任研究員　箱石　安彦
清水建設株式会社	技術研究所	社会基盤技術センター	主席研究員　石井　清
	同		研究員　林　秀彦
	同	研究開発支援センター	清水　和昭
	土木技術本部	技術第一部（リニューアル）	グループ長　前田　敏也
	同		久保　昌史
	同	技術第二部（トンネル）	課長　藤原　康政
	同	（岩盤空洞）	副部長　福田　和寛
昭和高分子株式会社	伊勢崎研究所	ポリエステル研究室	研究主査　滝谷　将志
	同		主任研究員　山本　富生
	同		伊藤　大悟
	同		前研究副参事　大谷　和男
		（現在、上海昭和高分子有限公司、技術部長　兼　製造部長）	
倉敷紡績株式会社	綿合繊事業部	繊維素材部	課長　楠　和也
	同		前川　惠一
	技術研究所	材料化学グループ	研究員　堀本　歴

要旨

既設トンネルにおけるコンクリート剥落防止工として従来、適用の多い連続炭素繊維シート工法等では、施工後、下地が見えなくなるので、維持管理はしにくくなる。このことから、(独)土木研究所、清水建設(株)、昭和高分子(株)および倉敷紡績(株)は、共同研究により施工後も下地を追跡調査することが可能である新しいコンクリート剥落防止工法を開発した。本共同研究報告書は、共同開発成果のうち、主として耐荷力、可視性等の各種性能試験結果および施工性などの基本的事項についてとりまとめたものである。

キーワード：道路トンネル、コンクリート剥落防止工法、維持管理

新コンクリート剥落防止工法の開発に関する報告書

― 光ネット可視工法 ―

目　次

1. 研究概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
　1.1 目　的 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
　1.2 研究期間 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
2. 開発工法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
　2.1 開発対象技術 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
　　2.1.1　技術の概要 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
　　2.1.2　適用範囲 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 3
　　2.1.3　使用材料 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
　　2.1.4　施工方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
　2.2 開発目標とその検証方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7
　2.3 開発のプロセス ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8
　2.4 各種性能試験結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
　　2.4.1　押抜き耐荷力 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
　　2.4.2　付着強度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
　　2.4.3　耐久性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49
　　2.4.4　可視性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 67
　　2.4.5　難燃性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 80
　　2.4.6　洗浄性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83
　　2.4.7　試験結果のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 86
3. 押抜き耐荷力・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87
　3.1 単位強さの考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 87
　3.2 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 90
4. 施工法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 91
　4.1 標準施工要領 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 91
　4.2 施工管理要領 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 102
　4.3 工法１と工法２の組合せ例 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 104
5. 開発全体のまとめと今後の課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 108
　5.1 全体のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 108
　5.2 今後の課題 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 109
謝　辞 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 109

参考資料：
　参考資料－1　工法２のための材料選定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 111
　参考資料－2　大型試験体による押抜き試験(補足) ・・・・・・・・・・・・ 117

参考資料－3　実大トンネル実験施設における可視性試験（補足）　・・・・・・・　126
参考資料－4　一般国道 231 号線 増毛日方泊トンネルにおける試験施工(抜粋)・　128
参考資料－5　貼合せ部分の押抜き耐荷力試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・　132
参考資料－6　目地部の押抜き耐荷力試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　134
参考資料－7　トップコートと耐候性試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　136

1. 研究概要

1.1 目 的

近年、道路トンネル等を対象としたコンクリート剥落防止工法が適用される機会が多くなってきているが、広く適用されている連続繊維接着工法等には、次のような技術課題がある。

(1) 既存工法では、不透明な材料を使うことにより、覆工面の変状を監視することができない。トンネル覆工の変状や漏水等の状況を監視するためには透明な材料の使用が望ましい。

(2) 工数が多く、工期が長くなると、車線規制等の機会が増し、施設利用者への影響時間が長くなる。このため、施設利用者へのサービス低下を防止するため、急速施工ができる工法の開発が望まれる。

(3) 施工性や経済性に優れた工法が望まれている。

上記の観点より、本共同研究では、道路トンネル等を対象としたコンクリート剥落防止工法において、以下の特徴を有する新しい工法を開発する。

① 工法適用後も下地が観察できること（可視性）

② 工数が少なく、短い工期で取り付け作業ができること(急速施工)

③ 施工性や経済性に優れた工法であること（施工性、経済性）

なお、今回、提案する工法は、施工後においても下地の観察が可能であることから、工法適用後においてもコンクリート覆工面の変状の有無などを追跡調査することが可能である。

1.2 研究期間

研究期間は次の通りである。

平成 15(2002)年 2 月 27 日～平成 17(2005)年 3 月 31 日(2 年 2 ヶ月)

2.1 開発対象技術

2.1.1 技術の概要

近年、道路トンネル等を対象としたコンクリート剥落防止工法（**図－2.1.1**）が適用される機会が多くなってきているが、広く適用されている連続繊維接着工法等には、次のような技術課題がある。

(1) 既存工法では、不透明な材料を使うことにより、覆工面の変状を監視することができない。トンネル覆工の変状や漏水等の状況を監視するためには透明な材料の使用が望ましい。

(2) 工数が多く、工期が長くなると、車線規制等の機会が増し、施設利用者への影響時間が長くなる。このため、施設利用者へのサービス低下を防止するため、急速施工ができる工法の開発が望まれる。

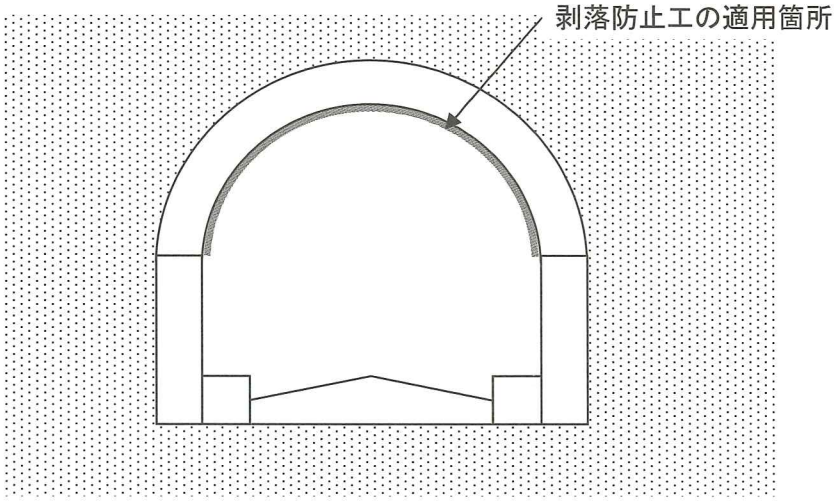
(3) 施工性や経済性に優れた工法が望まれている。

上記の観点より、本共同研究では、道路トンネル等を対象としたコンクリート剥落防止工法において、以下の特徴を有する新しい工法を開発する。

① 工法適用後も下地が観察できること(可視性)

② 工数が少なく、短い工期で取り付け作業ができること(急速施工)

③ 施工性や経済性に優れた工法であること（施工性、経済性）



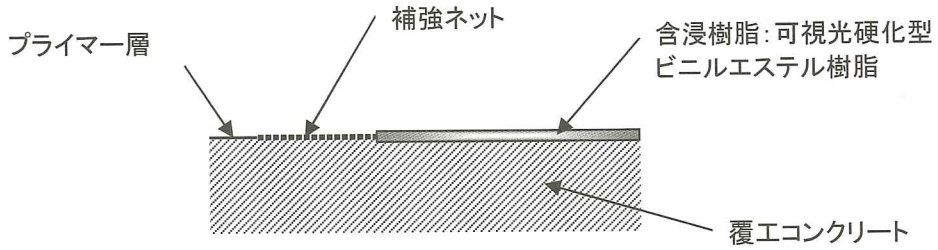
図－2.1.1 道路トンネルの模式図(断面方向)

より具体的には、**表－2.1.1** に示す 2 つの工法をそれぞれ単独もしくは組合せて使用する方法を開発する。

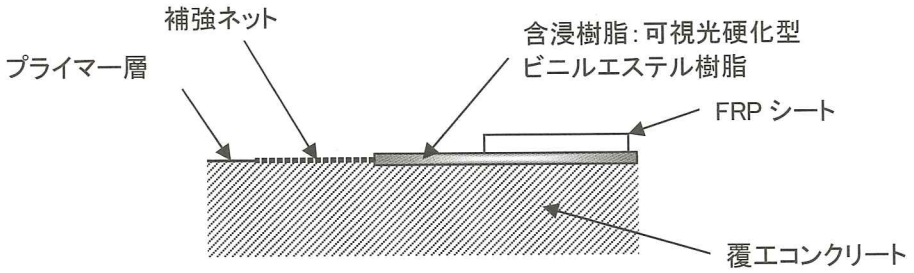
表－2.1.1　工法 1 および 2

	工法 1	工法 2
内容	補強ネット(＊1)を含浸性樹脂（＊2）で貼付け、硬化養生（＊3）させる方法（**図－2.1.2**）	工法 1 において補強ネットの上に、さらに FRP シート(＊4)を貼付け、硬化養生させる方法（**図－2.1.3**）

＊1　高密度ポリエチレン 2 軸メッシュ（2.1.3 の**図－2.1.4 参照**）
＊2　可視光硬化型ビニルエステル樹脂
＊3　光照射により硬化する
＊4　ガラスクロスに光硬化型樹脂を含浸させ、上下面を PET フィルムで積層したシート（2.1.3 の**図－2.1.5 参照**）



図－2.1.2　工法 1 の仕上り図



図－2.1.3　工法 2 の仕上り図

2.1.2 適用範囲

表－2.1.2 に示される適用範囲内で使用されるコンクリート剥落防止工を目指す。

表－2.1.2　本提案工法の適用範囲

適用工法	適用範囲	参考：単位強さ
工法 1	直径 50cm、覆工厚 60~70cm 程度のコンクリート片重さにして 3.0kN 相当まで	3.0N/mm 以上
工法 2	直径 80cm、覆工厚 60～70cm 程度のコンクリート片重さにして 7.5kN 相当まで	4.5N/mm 以上

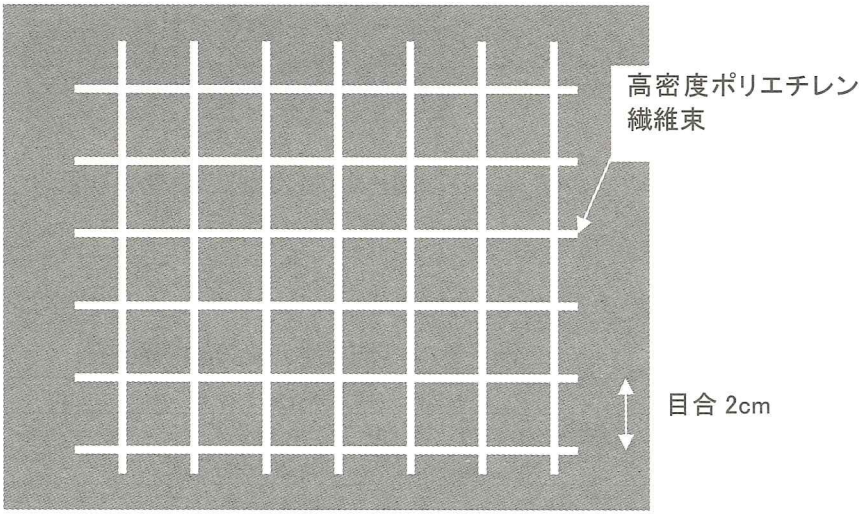
＊ここで単位強さとは、押抜き試験により得られた荷重－変位曲線において接着樹脂の損傷により最初の荷重低下が生じた荷重を押抜き耐荷力 R と定義し、単位強さ S_{p0} は、$L=\pi\phi$（ϕ：コア径）で除した値として定義する。ただし、破壊形態が φ100 のケースのようにコア周辺部のネット破断にならず、ネットの剥離が進展した場合には荷重－剥離周長曲線の平均傾きとしている。

2.1.3 使用材料

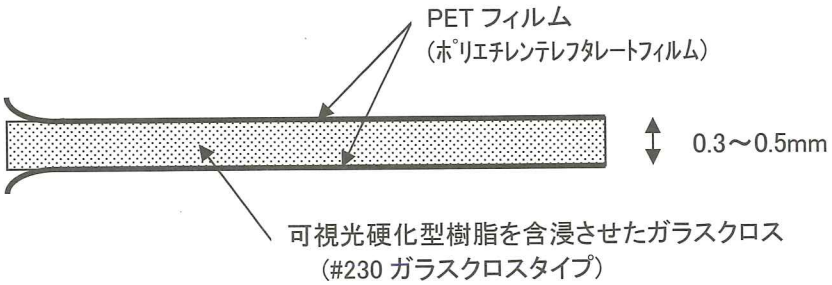
工法において使用されている材料を**表－2.1.3** に示す。

表－2.1.3　工法における主な使用材料

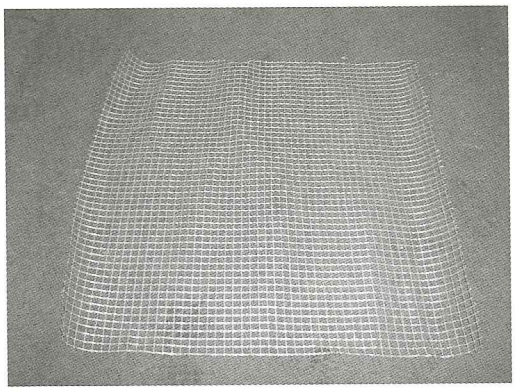
材料名	使用材料	メーカーおよび品番	標準使用数量	
			工法 1	工法 2
ﾌﾟﾗｲﾏｰ	ｴﾎﾟｷｼ系樹脂 主剤：硬化剤＝7：3	昭和高分子(株)製 ﾘﾎﾟｷｼ EP-3800	0.25 × 1.2 ＝ 0.3kg/m²	0.3kg/m²
含浸性樹脂	可視光硬化型ﾋﾞﾆﾙｴｽﾃﾙ樹脂 主剤/硬化剤/促進剤＝ 100/1.5/1	昭和高分子(株)製 ﾘﾎﾟｷｼ LC-3800 主剤：LC-3800 硬化剤：328E 促進剤：ｺﾊﾞﾙﾄ O	1.0×1.2＝ 1.2kg/m²	0.8×1.2＝ 0.96kg/m²
補強ﾈｯﾄ **図－2.1.4** **写真-2.1.1**	高密度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ 2 軸ﾒｯｼｭ 目合：2cm, 目付：45g/m²	倉敷紡績(株)製 ｸﾚﾈｯﾄ DN5500 （使用原糸：東洋紡(株)製高強度ﾎﾟﾘｴﾁﾚﾝ糸ﾀﾞｲﾆｰﾏ(商標登録)）	1.0×1.25 ＝ 1.25m²/m²	1.0×1.25 ＝ 1.25m²/m²
FRP ｼｰﾄ **図－2.1.5** **写真-2.1.2**	#230ｶﾞﾗｽｸﾛｽﾀｲﾌﾟﾌﾟﾘﾌﾟﾚｸﾞｼｰﾄ (ｶﾞﾗｽｸﾛｽに光硬化型樹脂を含浸させ、上下面に PET ﾌｨﾙﾑを配置した FRP 積層ｼｰﾄ) 幅：　45cm 又は 90cm 厚さ:0.3～0.5mm	昭和高分子(株)製 ﾘﾎﾟｷｼｼｰﾄ LCS-3800	—	1.0m²



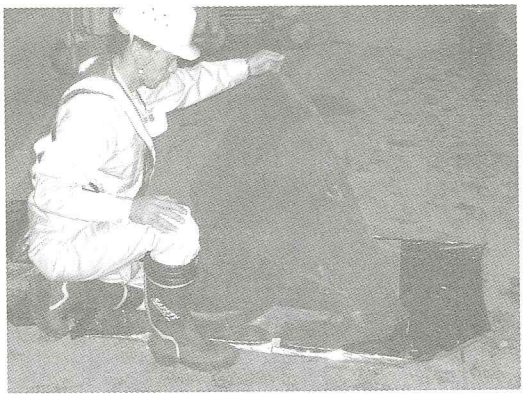
図－2.1.4　補強ネット



図－2.1.5 FRP シートの模式図



写真－2.1.1 補強ネット



写真－2.1.2 FRP シート

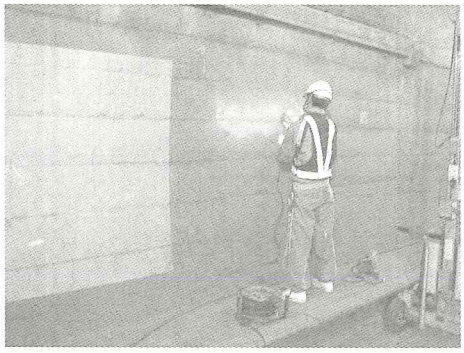
2.1.4 施工方法

施工方法を**表－2.1.4** に示す。工法２は、補強ネットを貼り付けた上に、FRP シートを貼り付けることから１工程増える。また、作業手順を**写真－2.1.3～写真－2.1.9** に示す。

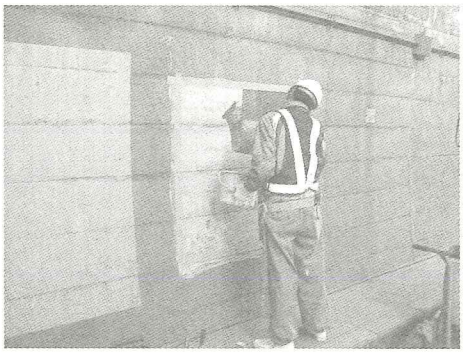
表－2.1.4 施工方法

工法１	工法２
前処理１（＊１）	
前処理２（＊２）	
ﾌﾟﾗｲﾏｰ塗布	
不陸修正	
含浸樹脂の下塗り	
補強ﾈｯﾄの配置・下地への密着	補強ﾈｯﾄの配置・下地への密着
含浸樹脂の上塗り	含浸樹脂の上塗り
―	FRP ｼｰﾄの配置 (下地への密着および脱泡)
硬化養生	
仕上げ塗り（＊３）	

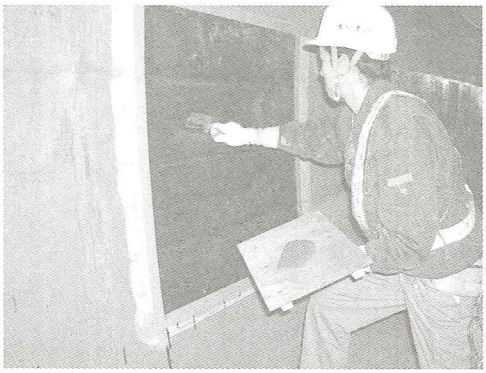
＊１　覆工コンクリートから水漏れがある場合、止水、導水等の対策を施す。
＊２　高圧水洗浄(例えば 15MPa)またはサンディング等により下地表面処理を行う。
＊３　坑口などの耐候性向上のためのアクリル樹脂塗装など



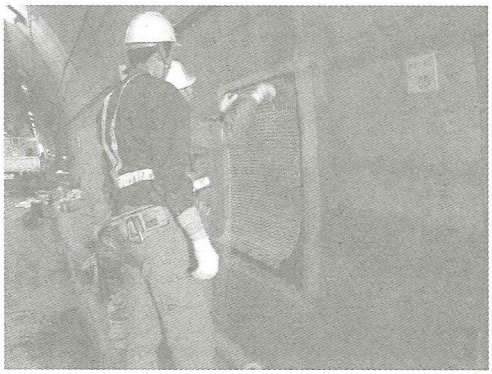
写真－2.1.3 グラインダーによるケレン作業（前処理 2）



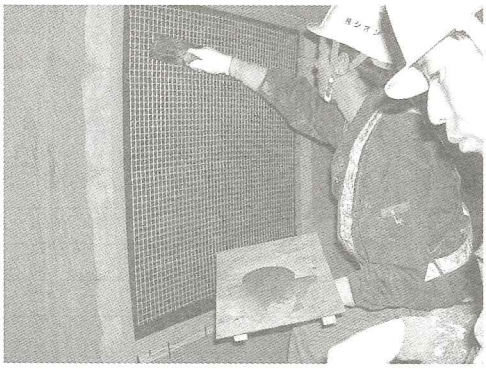
写真－2.1.4 プライマー塗布



写真－2.1.5 含浸樹脂の下塗り



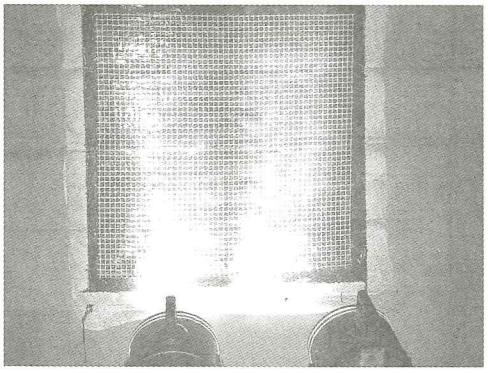
写真－2.1.6 補強ネットの配置・下地への密着



写真－2.1.7 含浸樹脂の上塗り



写真－2.1.8 FRP シートの貼付け



写真－2.1.9 硬化養生（光照射による樹脂硬化）

2.2 開発目標とその検証方法

開発目標は、以下に示すとおりである。

(1) 工法１および工法２は次の性能を有すること。

① 押抜き耐荷力

② 付着強度

③ 耐久性

④ 可視性

⑤ 難燃性

⑥ 洗浄性

(2) 押抜き耐荷力が検討されていること。

(3) 施工法が十分に検討されていること。

(4) 従来工法との比較において、工費・工期が優れていること。

上記の開発目標に対する検証方法を**表－2.2.1** に示す。なお、(4)の工費・工期については、試験施工などを含めても、適用事例はごく僅かであり、不確定性が大きいことから、本報告書では検討を省いている。

表－2.2.1 開発目標に対する検証方法

開発目標	検証項目	検証方法
(1)工法１および工法２は次の性能を有すること ① 押抜き耐荷力	押抜き耐荷力	①は、大型試験体、小型試験体による押抜き耐荷力試験による
② 付着強度	付着強度	②は、JIS A 6916 に従う付着強度試験（建研式引張試験機を使用）による
③ 耐久性	耐久性	③は、温冷繰返し試験、湿潤繰返し試験による
④ 耐久性	可視性	④は、試験施工後、定期的な目視観察試験による
⑤ 難燃性	難燃性	⑤は、トンネル安全対策工法研究会(TSC 研究会)編著「FRP によるトンネル覆工剥落対策マニュアル」(山海堂,2003.3)の参考資料 8 燃焼性試験方法(案)による
⑥ 洗浄性	洗浄性	⑥は、雑巾による拭き取りおよび高圧水洗浄に対する適用性試験(目視観察試験)による
(2) 押抜き耐荷力が検討されていること	単位強さ	(2)については、各種試験による単位強さの検討による
(3) 施工法が十分に検討されていること	施工性	(3)については、標準施工要領が作られていること

2.3 研究のプロセス

本研究では、剥落防止工の設計仕様を定めて、直ちに 2.2 に示した性能確認試験を実施したわけではなく、可視性や押抜き試験等を室内および実大トンネル等で繰り返し、改良を重ねてきた。さらに、補強ネットについては、一般国道 231 号線 増毛日方泊トンネルにおける試験施工の結果から、可視性を向上するために、目合いを 1cm から 2cm へと変更した。

2.4 各種性能試験結果

2.4.1 押抜き耐荷力

押抜き耐荷力試験については、(1)大型試験体による押抜き試験、(2)小型試験体による押抜き試験、および(3)現位置引抜き試験を行った。

(1) 大型試験体による押抜き耐荷力

(1-1) 試験方法

トンネル覆工からコンクリート片が剥落する場合を想定して、**図－2.4.1.1**、**写真－2.4.1.1** および **写真－2.4.1.2** に示す載荷装置を用いて、コンクリートスラブの下面に剥落防止工を取り付けて押抜き試験を行った。この載荷実験では、補強ネット等の観察を容易にするため、実際とは逆に、補強ネット等を貼付けた面を上面側にして、載荷装置を組み立てている。

〔試験体及び載荷方法〕

試験体は、**図－2.4.1.1** に示すように、寸法： 1,500mm×1,500mm×厚さ 150mm のコンクリートスラブであり、中央部に円孔（φ250mm、φ500mm）を設け、その中にコンクリート製の圧子を挿入したものである。コンクリートスラブとコンクリートの圧子との間隙は約 5mm である。

コンクリートスラブの材令 28 日の 1 軸圧縮強度 σc は、26.2N/mm² であった。

補強ネットは、幅 100cm のものを使用し、FRP シートは幅 90cm のものを使用し、**図－2.4.1.1** および**写真－2.4.1.3** に示すように 1,300mm の範囲を補強した。

載荷の方法は、手動ジャッキによる変位制御として、差込みコアに鉛直力を作用させた。強制変位は 0.25mm／min で増加させ、2 分間その状態を保持した後、計測を行うというステップを繰り返し、最大荷重を確認するまで載荷を継続した。

〔試験ケース〕

表－2.4.1.1 に示す 5 体の試験を行った。このうち、試験ケース 3 は、工法 1（補強ネット直貼り）であるが、補強ネットの目付け量を通常品の 2 倍（90g/m²）としたものである。

表－2.4.1.1 大型試験体押抜き試験の試験ケース

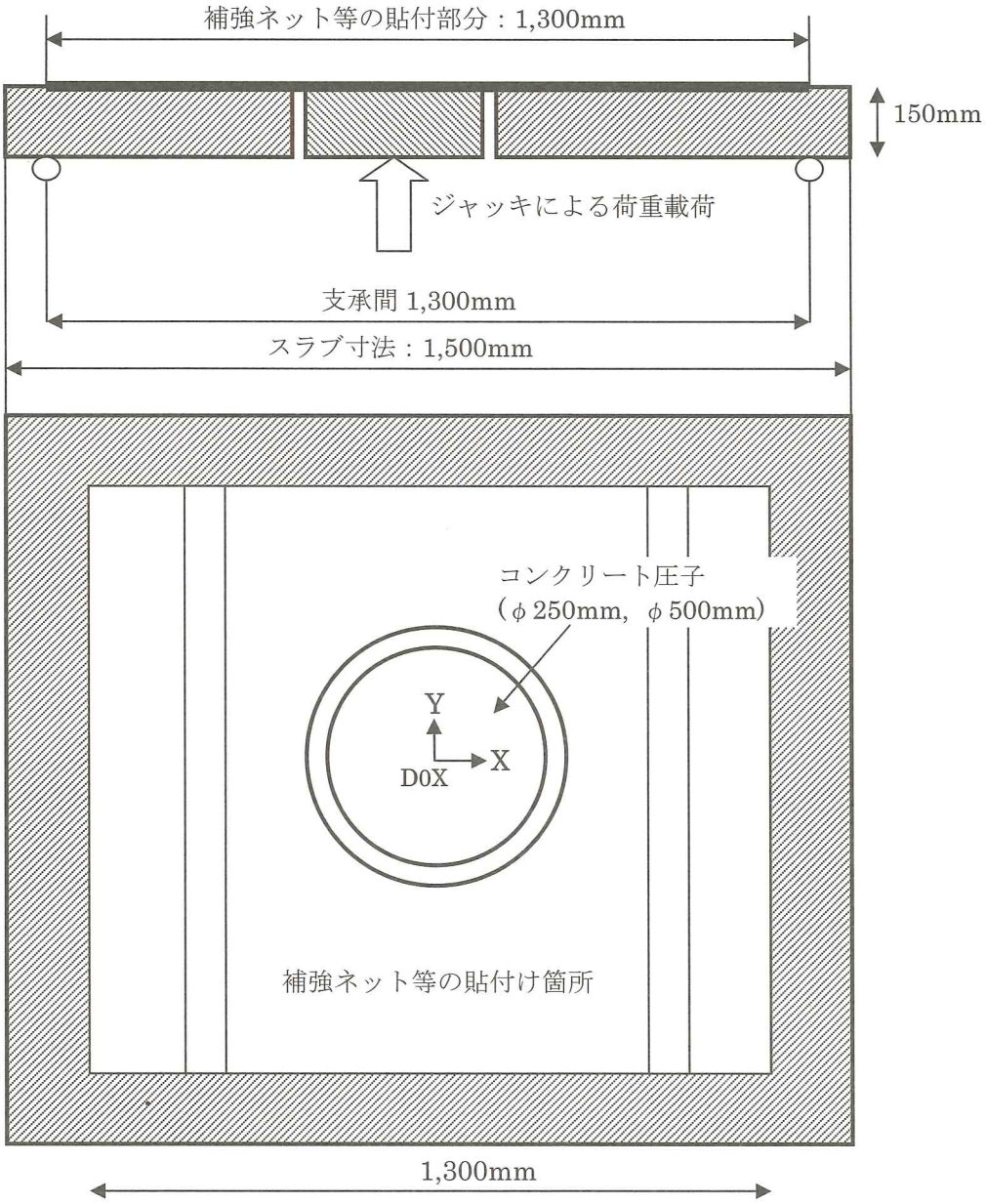
試験ケース	工　法			コア径
	工法	強度	目付量	
1	工法 1（補強ネット直貼り）	通常タイプ	45g/m²	25cm
2			45g/m²	50cm
3		高強度タイプ	90g/m²	50cm
4	工法 2（FRP シート使用）		45g/m²	25cm
5			45g/m²	50cm

〔計測関係〕

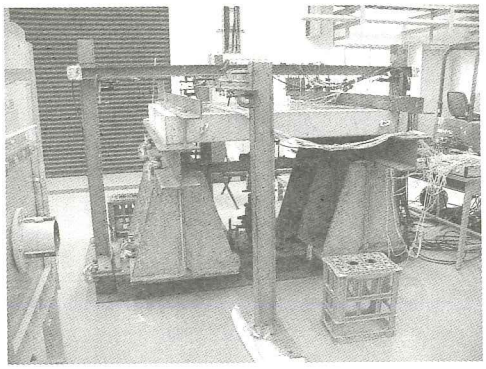
計測項目の概要を**表－2.4.1.2** に示す。試験結果については本文ではコアの変形とジャッキの荷重との関係に着目する。

表－2.4.1.2 大型試験体押抜き試験の計測内容

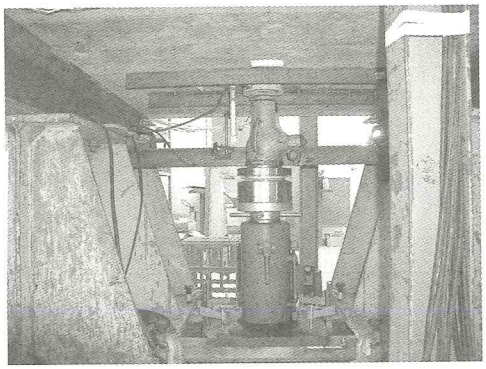
測定部位	測定項目	備考
ジャッキ	荷重・変位	上下方向
差込みコア	変位（X・Y方向）2ヶ所	同上(写真－2.4.1.4)
補強ネット貼付け面	変位（X・Y方向）8ヶ所	
同上	ひずみ（X・Y方向）10ヶ所	3成分
同上	ひずみ（A：180度方向）9ヶ所	コア中心から放射状の方向
同上	ひずみ（B：225度方向）9ケ所	同上
コンクリートスラブ	端部の変位（X方向、180度方向）	上下方向



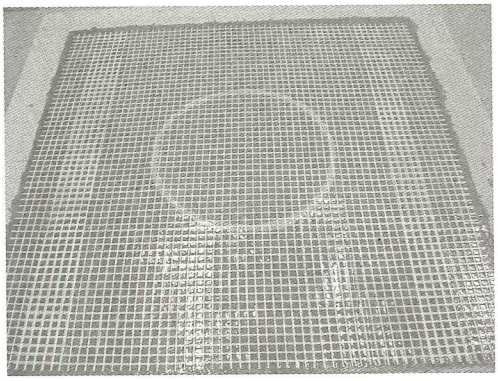
図－2.4.1.1 押抜き試験用の大型試験体



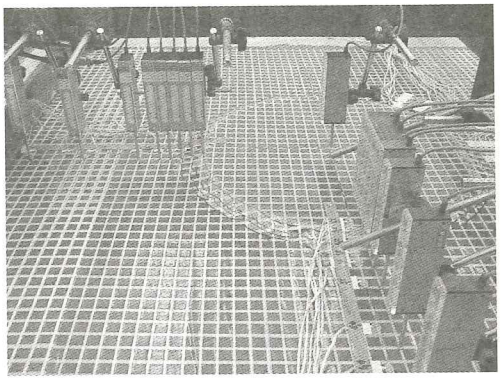
写真－2.4.1.1 大型試験体押抜き試験装置



写真－2.4.1.2 同左試験装置〔ジャッキ部分〕



写真－2.4.1.3 大型試験体の例



写真－2.4.1.4 計測装置（X･Y 方向変位計）

(1-2) 試験結果

最初の荷重低下が起きた段階で押抜き耐荷力を定義すれば、今回の押抜き耐荷力は**表－2.4.1.3** のように整理される。

表－2.4.1.3 大型試験体による押抜き試験結果

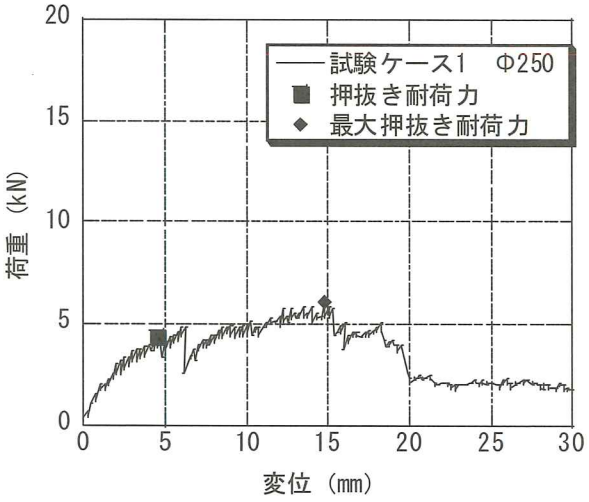
試験ケース	工　法			コア径	押抜き耐荷力（変位）*1	最大押抜き耐荷力（変位）
		強度	目付量			
1	工法 1	通常タイプ	45g/m²	25cm	4.34kN（4.51mm）	6.07kN（14.8mm）
2			45g/m²	50cm	8.18kN（4.51mm）	8.55kN（12.5mm）
3		高強度タイプ	90g/m²	50cm	14.1kN（9.00mm）	15.1kN（11.3mm）
4	工法 2		45g/m²	25cm	9.66kN（6.99mm）	13.3kN（22.5mm）
5			45g/m²	50cm	14.9kN（4.24mm）	17.0kN（11.0mm）

*1　押抜き耐荷力を接着樹脂の損傷により荷重低下が見られたときの荷重として定義する

試験結果として、各試験ケースの荷重－変位曲線を**図－2.4.1.2～図－2.4.1.6** に示す。

図中■印と◆印はそれぞれ押抜き耐荷力と最大押抜き耐荷力を示す。

また、載荷試験終了後の大型試験体の写真を**写真 2.4.1.5～写真－2.4.1.9** に示す。



図－2.4.1.2 荷重-変位曲線(試験ケース 1)
（工法 1、φ250）

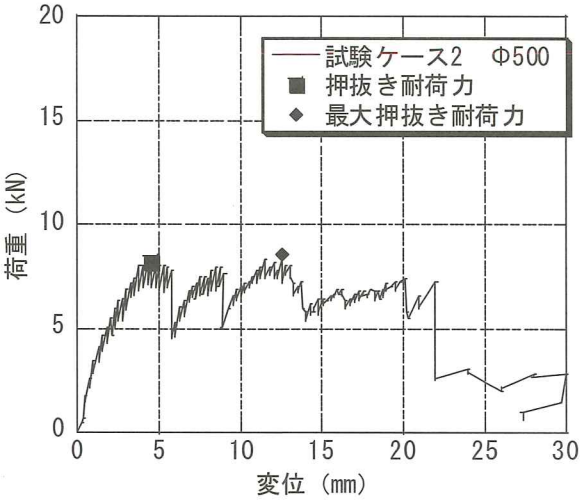
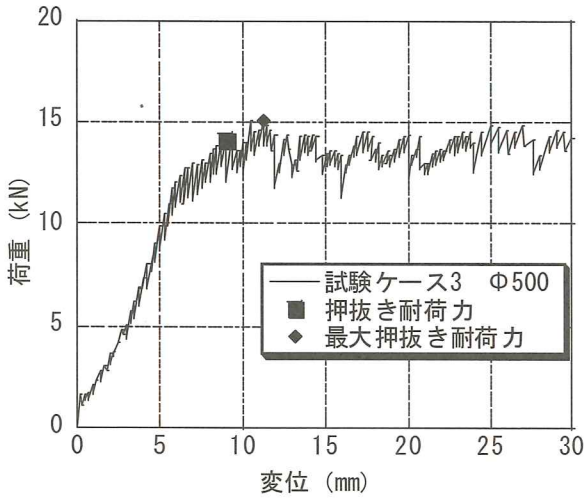
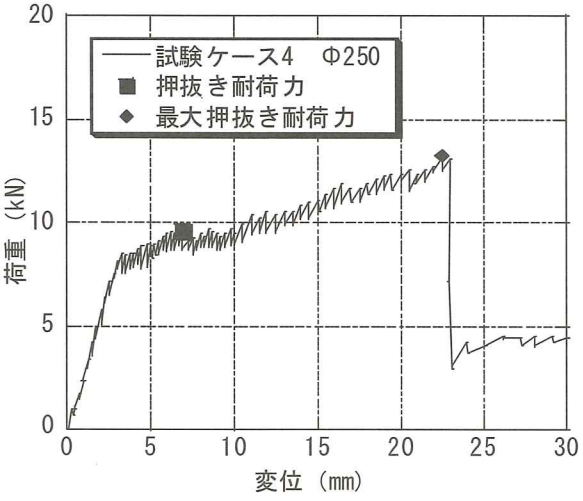


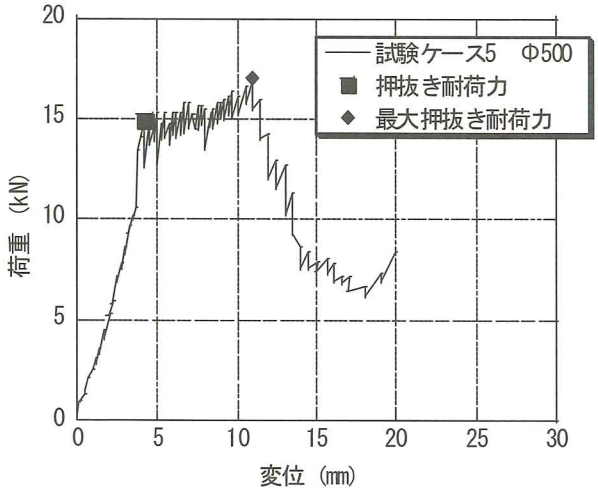
図-2.4.1.3 荷重-変位曲線(試験ケース 2)
（工法1、φ500）



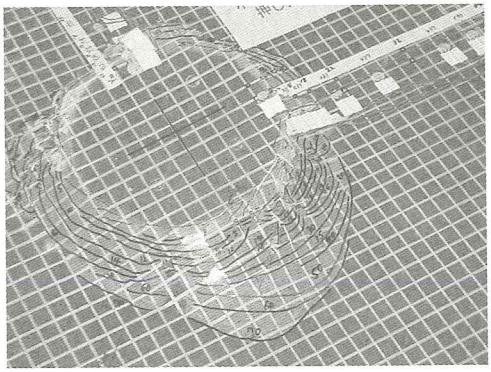
図－2.4.1.4 荷重-変位曲線(試験ケース 3)
（工法 1、φ500、補強ﾈｯﾄ目付量 2 倍）



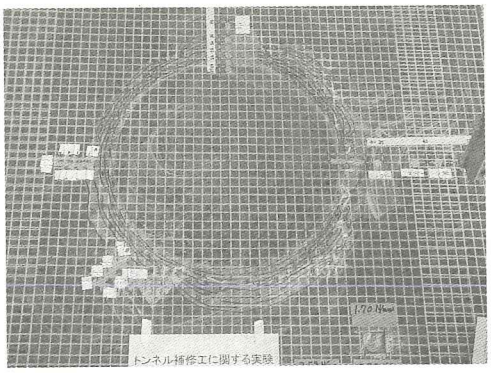
図－2.4.1.5 荷重-変位曲線(試験ケース 4)
（工法 2、φ250）



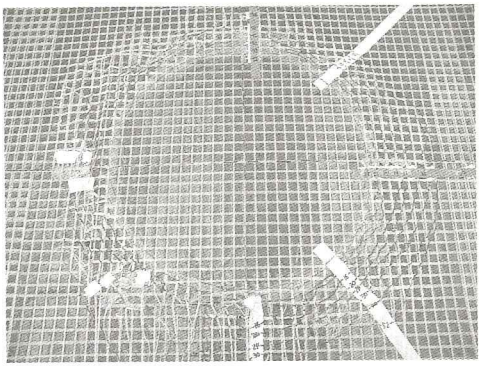
図－2.4.1.6 荷重-変位曲線(試験ケース 5)
（工法 2、φ500）



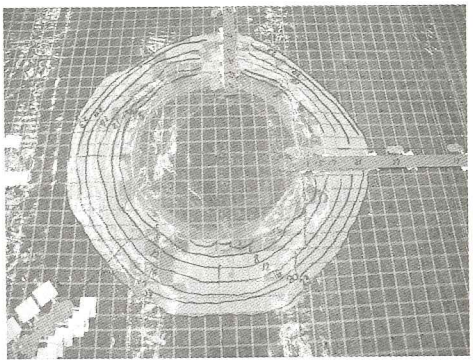
写真－2.4.1.5 載荷試験後の大型試験体
試験ケース 1：工法 1(補強ネット直貼り)
〔目付 45g/m^2, φ250mm〕



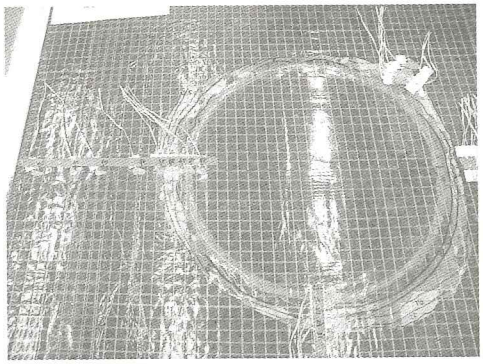
写真－2.4.1.6 載荷試験後の大型試験体
試験ケース 2：工法 1(補強ネット直貼り)
〔目付 45g/m^2, φ500mm〕



写真－2.4.1.7 載荷試験後の大型試験体
試験ケース 3：工法 1(補強ネット直貼り)
〔目付 90g/m^2, φ500mm〕



写真－2.4.1.8 載荷試験後の大型試験体
試験ケース 4：工法 2(FRP シート使用)
〔目付 45g/m^2, φ250mm〕



写真－2.4.1.9 載荷試験後の大型試験体
試験ケース 5：工法 2(FRP シート使用)
〔目付 45g/m^2, φ500mm〕

表－2.4.1.3、図－2.4.1.2～図－2.4.1.6 及び**写真－2.4.1.5～写真－2.4.1.9** から、大型試験体の押抜き試験について次のような考察ができる。

(i) 試験ケース 1 と 2 では、差込みコアが押し出されてくるときの偏心*1 により、差込みコアの抜出し量（変位）が大きい箇所において、樹脂層に割れが生じ、その後、間も無く、補強ネットの繊維束が損傷するという破壊モードが見られた。また、その後、載荷を継続しても剥がれの進展はほとんど見られず、押抜き耐荷力の増加は少ない。この損傷モードの場合、樹脂層や補強ネットの繊維に損傷が及ぶ変位は小さく、試験ケース 2 では 4.5mm たらずであった。また、試験ケース 1 では 6.3mm であった。

(ii) 試験ケース 1 と 2 では、樹脂層や補強ネットの損傷に伴い、変位の拘束が弱まり、荷重が抜けるので、荷重－変位曲線において最初の荷重低下が起きる。この耐荷力は接着樹脂の損傷によって決まり、これより小さい耐荷力では、はく落防止工は無損傷であることから、本研究ではこの値を押抜き耐荷力と定義する。

(iii) 試験ケース 1 と 2 での押抜き耐荷力の値自体は、それぞれ 4.3kN と 8.2kN であり、剥落防止工としては十分に使用可能な押抜き耐荷力を保持しているものと判断される。

(iv) 試験ケース 1 と 2 との比較では、差込みコアの直径が 2 倍違うにも係わらず、押抜き耐荷力は 2 倍以下（正確には 1.9 倍）となっており、そのときの変位も試験ケース 2 はケース 1 と比べてわずかに小さくなっている。これにも差込みコアが押出されるときの傾き(偏心)の影響が関係しているように思われる。

(v) 試験ケース 1 と 2 の最大押抜き耐荷力は 6.1kN と 8.6kN となっている。

(vi) 試験ケース 3 は、試験ケース 2 と比べて、補強ネットの目付量を 2 倍に増やしたものであり、補強ネットが丈夫なため、樹脂層を補強ネットが破りながら、下地から徐々に剥れ、押抜き耐荷力は 14kN となった。ただし、試験ケース 2 と 3 との比較から、押抜き耐荷力は約 1.84 倍と目付け量の比 2 倍よりもわずかに小さい値となっている。

(vii) 試験ケース 4 と 5 は、工法 2、すなわち工法 1 に加えて FRP シートを設置するものであるが、FRP シートの効果は顕著に現れている。すなわち、FRP シートにより、押抜き耐荷力は 9.7kN と 14.9kN となり、補強ネット及び FRP シートの剥れがより円滑に進むように改善されている。

(viii) 試験ケース 4 と 5 の最大押抜き耐荷力は、それぞれ 13.3kN と 17.0kN になっている。差込コアの径がφ250mm の場合（試験ケース 1 と試験ケース 4 との比較）では、押抜き耐荷力は 2.8 倍に、また、差込みコアの径がφ500mm の場合（試験ケース 2 と試験ケース 5 との比較）では、押抜き耐荷力は約 2.1 倍になっている。

(ix) なお、上記(iii)において考察したのと同じように、試験ケース 4 と試験ケース 5 との比較から、コア径が 2 倍になっても、押抜き耐荷力は 1.3 倍にしかなっておらず、比例関係にはなっていない。

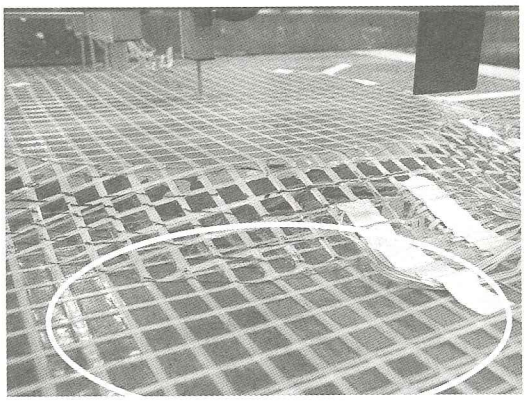
*1 コアの変位については、**参考資料－2** において、測定データ示している。
差込みコアの偏心量を少なくすれば、コア周辺部に均等に荷重が負担されるので、押抜き耐荷力の値は当然大きくなろう。ただし、実際においても、荷重の偏心等による影響は見られると考えられることから、偏心量を抑えるような工夫はあえてしないことにした。

なお、試験ケース 3 は、高強度タイプとして、補強ネットの目付量を 2 倍（通常品 45g/m²→高強度品 90g/m²）とした試作品であり、高い押抜き耐荷力性能を記録したが、次に述べるような理由から、材料としての使用をあきらめた。

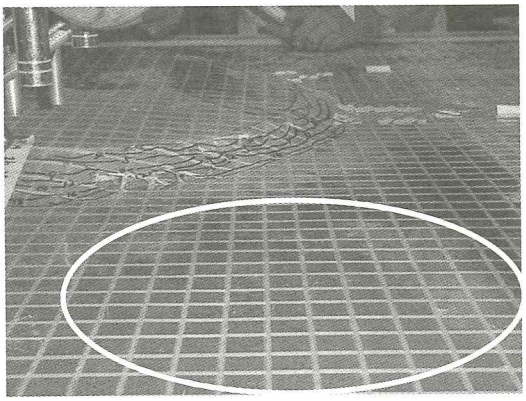
(a) 2 倍目付量の補強ネットの製造が、製造ラインの性能限界に近く、効率の良い生産を期待することに無理があるとの判断が、共同開発者（倉敷紡績(株)）よりなされたこと。

(b) 目付量を 2 倍にすると、補強ネットの束が太く幅広になり、可視性が低下すること。

(c) 目付量が 2 倍にすると、補強ネットの厚みが増し、補強ネットを十分に含浸させる樹脂量の塗り付けに手間がかかること。



写真－2.4.1.10 2 倍目付量の補強ネット（試験ケース 3）



写真－2.4.1.11 通常品の補強ネット

大型試験体による押抜き耐荷力自体については、(2)（差込みコア径φ100mm の）小型試験体による試験結果および(3)現位置引抜き試験結果を含めて、(4)において考察する。

(2) 小型試験体による押抜き試験

(2-1) 試験方法

小型試験体を用いて、以下に示す2通りの方法により押抜き耐荷力を求める。

- 財団法人 鉄道総合技術研究所「トンネル覆工剥落防止用繊維シートの性能確認試験要領（案）」(2003年10月発行)に記載されている押抜き試験方法
- 日本道路公団「コンクリート片はく落防止対策マニュアル」（平成12年11月発行）に記載されている「日本道路公団試験研究所規格 連続繊維シート接着の押抜き試験方法」による押抜き試験

上記2通りの試験方法では、被着体の状況を**表－2.4.1.4**のように分けている。

表－2.4.1.4 被着体の表面状況に対する試験規格の規定

	試験規格	
被着体の表面状況	(財) 鉄道総合研究所規格	日本道路公団試験研究所規格
乾燥状態	○ 必須項目	—
湿潤状態	△ 推奨項目	○ 必須項目
その他	—	△ 実際の現場における施工条件

大型試験体による押抜き試験の供試体（被着体）が乾燥状態における製作であることから、小型試験体による押抜試験では、整合性を取るために、(財)鉄道総合研究所規格では乾燥状態を、また日本道路公団試験研究所規格では、乾燥状態・湿潤状態の2つのケースを試験することとする。

また、(財)鉄道総合研究所の規格に準拠して製作した試験体を計測した結果、コア径の直径は103mm、くり抜かれた穴の直径は112mmであるので、間隙の平均値は4.5mmとなり、大型試験体の製作条件とほぼ整合する形状となっている。

なお、試験規格の主だった項目について、2つの試験規格の比較表を**表－2.4.1.5**に示す。
両規格は、コアの加工方法や載荷における記録のとり方等に違いがある。大型試験体による押抜き試験の方法は、(財)鉄道総合研究所規格に近い。

表－2.4.1.5 小型試験体による2通りの試験方法の違い

項　目		(財) 鉄道総合研究所規格	日本道路公団試験研究所規格
供試体製作法・乾燥状態	供試体の規格	JIS A 5334 に規定する U 形ふた、1 種呼び名 300(400 × 600 × 60mm)を使用する	JIS A 5334 に規定する U 形ふた、1 種呼び名 300(400×600×60mm)を使用する
	コアの加工	中央部にコンクリートコアカッターを用いてφ100mm のコア抜きを行う	中央部をφ100mm のコアカッターによりコア抜きする。コア抜きの方向裏面より 55mm±0.5mm の深さで行う
	コア周辺部の養生方法	被着体のコアおよび孔の側面には,FRP 構造体を塗布する際、液状樹脂が付着しないように予め離型剤を塗布する	—
	施工面積	400×400mm の FRP 構造体を作製する	施工面積は 400×400mm とする
	温度管理	材料、被着体、製作後の温度管理は 24 時間以上、23± 2 ℃の雰囲気におく	—
載荷方法	試験体のスパン	—	試験体のスパン 400mm
	載荷の速度 破壊するまで	試験速度 1mm/min で載荷し、0.5kN 毎に載荷を停止し、剥離長を記録する。剥離周の記録は速やかに行い、5 分以内に載荷を再開し、FRP 構造体が破断または剥離が端部に達した場合には、試験を中止し、このときの最大荷重と剥離周を記録する	載荷はまず 1mm/min の速度で U 形ふたが破壊するまで載荷する
	載荷の速度 最大荷重の測定		その後(目安として、初期のピークが確認されたら)、5mm/min で載荷し、押抜き試験を行い、押抜き最大荷重を測定する
	マーキング		10,20,30mm の各変位において載荷を一時中止し、剥離範囲を供試体にマーキングするとともに、写真記録する。
	データ処理	記録した剥離周の長さを求め、縦軸に荷重、横軸に剥離周をプロットし、原点を通る直線の傾きを回帰分析により求め、単位剥離強さ Spo〔N/mm〕を有効数字 2 桁で求める	

(2-2) 試験結果

(a) (財)鉄道総合研究所規格による押抜き試験結果

(a-1) 工法 1：補強ネット直貼り工法

（財） 鉄道総合研究所規格による乾燥面に対する試験結果を**表－2.4.1.6** に示す。

表－2.4.1.6 押抜き試験結果((財)鉄道総合研究所規格:工法 1,乾燥面)

試験体 No	破壊状態			単位強さ*1 S_{P0}[N/mm]
	最大荷重	変位	破壊形態	
No.1	3.3kN	16.2mm	補強ネット破断	3.5 N/mm
No.2	2.5kN	10.7mm		
平均	2.9kN	13.5mm		

*1 破壊形態が補強ネットの破断によることから、単位強さと呼ぶ。求め方は**表－2.4.1.5(本文 17 ページ)**による

(a-2) 工法 2：FRP シートの上貼り工法

（財） 鉄道総合研究所規格による乾燥面に対する試験結果を**表－2.4.1.7** に示す。

表－2.4.1.7 押抜き試験結果((財)鉄道総合研究所規格:工法 2,乾燥面)

試験体 No	破壊状態			単位強さ*1 S_{P0}[N/mm]
	最大荷重	変位	破壊形態	
No.1	6.0kN	23.8mm	剥れが貼付け面端部に到達	5.0 N/mm
No.2	6.1kN	26.0mm		
平均	6.1kN	24.9mm		

*1 求め方は**表－2.4.1.5(本文 17 ページ)**による

(a-3) 工法 1 と工法 2 との比較

表－2.4.1.6 と**表－2.4.1.7** の比較から、工法 2 の最大荷重（平均値 6.1kN）は、工法 1 の最大荷重(平均値 2.9kN)の 2.1 倍となっており、FRP シートの効果がよく現れている。

(b) 日本道路公団試験研究所規格による押抜き試験結果

(b-1) 工法 1：補強ネット直貼り工法

日本道路公団試験研究所規格による試験結果を**表－2.4.1.8** と**表－2.4.1.9** に示す。

ここで、**表－2.4.1.8** には乾燥面の試験体に対する結果を、また、**表－2.4.1.9** には湿潤面の試験体に対する結果をそれぞれ示している。乾燥面の方が、接着強度が高いため、最大荷重・変位ともに高い値が得られている。

表－2.4.1.8 押抜き試験結果（日本道路公団試験研究所規格：工法 1,乾燥面）

試験体 No.	10 mm 変位時の荷重（kN）	20 mm 変位時の荷重（kN）	破壊状態		
			最大荷重	変位	破壊形態
No.1	3.0	—	3.1kN	11.5 mm	補強ネット破断
No.2	3.4	—	3.4kN	10.0 mm	
平均	—	—	3.3kN	10.8 mm	

表－2.4.1.9 押抜き試験結果（日本道路公団試験研究所規格：工法 1,湿潤面）

試験体 No.	10 mm 変位時の荷重（kN）	20 mm 変位時の荷重（kN）	破壊状態		
			最大荷重	変位	破壊形態
No.1	2.0	2.4	2.6kN	21.9 mm	補強ネット破断
No.2	2.3	—	2.7kN	13.3 mm	
No.3	1.6	—	2.4kN	14.5 mm	
平均	—	—	2.6kN	16.6 mm	

(b-2) 工法 2：FRP シート上貼り工法

表－2.4.1.10 押抜き試験結果（日本道路公団試験研究所規格：工法 2,乾燥面）

試験体 No.	10 mm 変位時の荷重（kN）	20 mm 変位時の荷重（kN）	破壊状態		
			最大荷重	変位	破壊形態
No.1	5.0	7.7	9.3kN	29.4 mm	剥れが貼付け面端部に到達
No.2	5.4	7.8	10.4kN	29.6 mm	
平均	—	—	9.9kN	29.5 mm	

表－2.4.1.11 押抜き試験結果（日本道路公団試験研究所規格：工法 2,湿潤面）

試験体 No.	10 mm 変位時の荷重（kN）	20 mm 変位時の荷重（kN）	破壊状態		
			最大荷重	変位	破壊形態
No.1	2.6	—	4.7kN	17.8 mm	剥れが貼付け面端部に到達
No.2	2.1	4.3	4.3kN	20.0 mm	
No.3	2.7	5.2	6.0kN	23.3 mm	
平均	—	—	5.0kN	20.4 mm	

(b-3) 工法 1 と工法 2 との比較

表－2.4.1.8 と**表－2.4.1.10** の比較から、乾燥面では、工法 2 の押抜き耐荷力（平均値 9.9kN）は、工法 1 の押抜き耐荷力(平均値 3.3kN)の 3.0 倍となっており FRP シートの効果が強く表れている。

また、**表－2.4.1.9** と**表－2.4.1.11** の比較から、湿潤面では、工法 2 の押抜き耐荷力（平均値 5.0kN）は、工法 1 の押抜き耐荷力(平均値 2.6kN)の 1.9 倍となっており FRP シートの効果が表れている。

(2-3) 試験規格による結果の違いについて

(財)鉄道総合研究所規格と日本道路公団試験研究所規格による結果の比較を**表－2.4.1.12** に示す。

(財)鉄道総合研究所規格に準拠したコア径 10cm の押抜き耐荷力は、**表－2.4.1.12** に示すように、日本道路公団試験研究所規格の値と比べて、いずれの場合でも小さめの値となっている。値としては、乾燥面において工法 1 では 13%程度小さく、また、工法 2 では 60%程度になっている。

試験方法による試験結果の違いは、コンクリート試験体のコア部分の制作方法や載荷方法の違いによるものと思われる。

表－2.4.1.12　2 つの試験規格による押抜き試験結果の比較

	試験体の製作条件	(財)鉄道総合研究所規格(A)	日本道路公団試験研究所規格(B)	(B)/(A)
工法 1	乾燥面	2.9kN	3.3kN	1.13
	湿潤面	—	2.6kN	—
工法 2	乾燥面	6.1kN	9.9kN	1.62
	湿潤面	—	5.0kN	—

(2-4) まとめ

小型試験体による押抜き試験は**表－2.4.1.13** のようにまとめられる。

表－2.4.1.13　小型試験体による押抜き試験結果

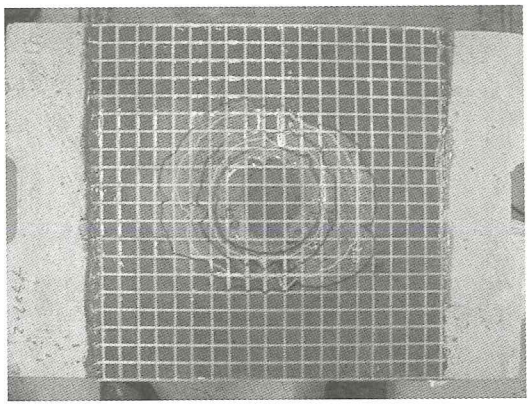
工法	試験体の製作条件	(財)鉄道総合研究所規格(A)		日本道路公団試験研究所規格(B)
		押抜き耐荷力	単位強さ S_{p0}	押抜き耐荷力
工法 1	乾燥面	2.9kN	3.5N/mm	3.3kN
	湿潤面	—	—	2.6kN
工法 2	乾燥面	6.1kN	5.0N/mm	9.9kN
	湿潤面	—	—	5.0kN
工法 2/工法 1	乾燥面	2.10 倍	1.42 倍	3.00 倍
	湿潤面	—	—	1.92 倍

表－2.4.1.13 から、小型試験体による押抜き耐荷力は次のようにまとめることができる。

(i) 工法 2 と工法 1 との比較から、FRP シートにより押抜き耐荷力は、ないものと比べて、2 倍以上増加している。

(ii) （財）鉄道総合研究所規格による試験結果は、日本道路公団試験研究所規格による試験結果よりも安全側の結果となっている。

(財)鉄道総合研究所規格,工法 1,乾燥面の場合:



写真－2.4.1.12 押抜き試験後の試験体
（工法 1,No. 1）

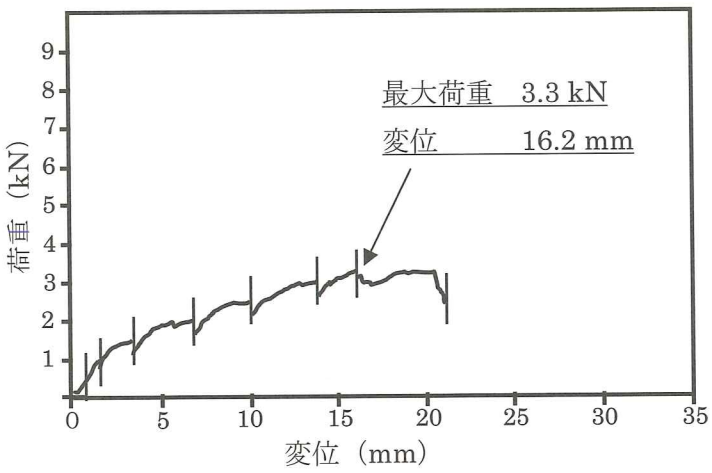
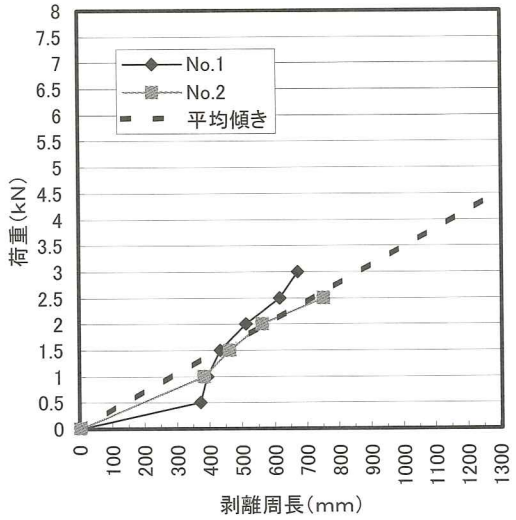


図-2.4.1.7 荷重-変位曲線（工法 1, No. 1）



図－2.4.1.8 荷重－剥離周長曲線（工法 1）

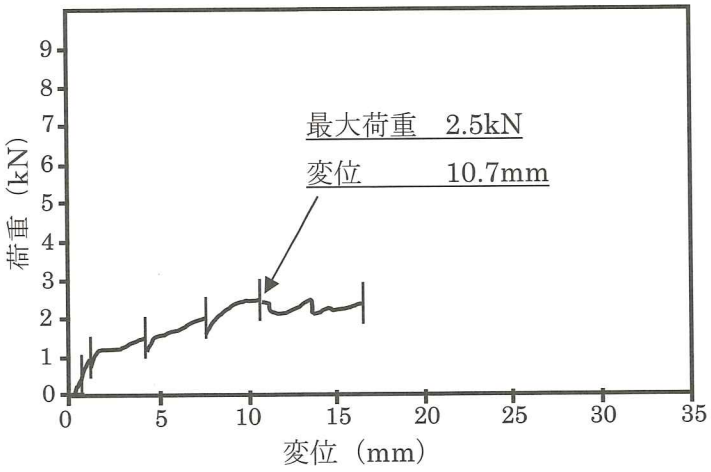
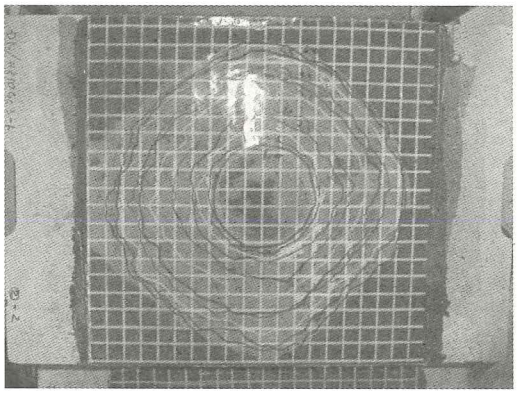


図 2.4.1.9 荷重-変位曲線（工法 1, No. 2）

(財)鉄道総合研究所規格,工法 2,乾燥面の場合:



写真－2.4.1.13 押抜き試験後の試験体
(工法 2,No. 1)

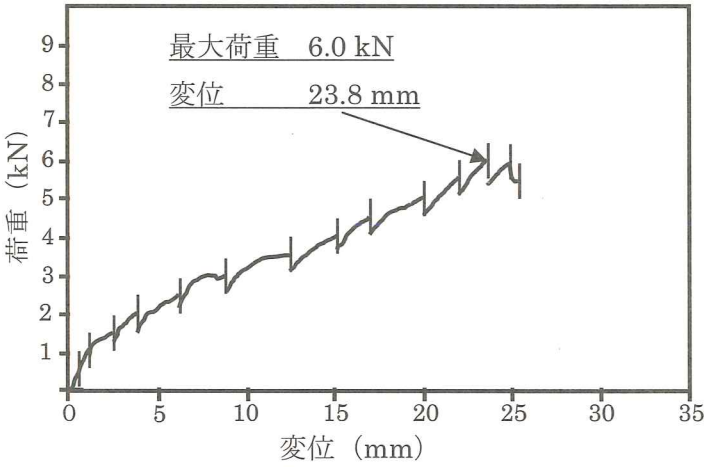
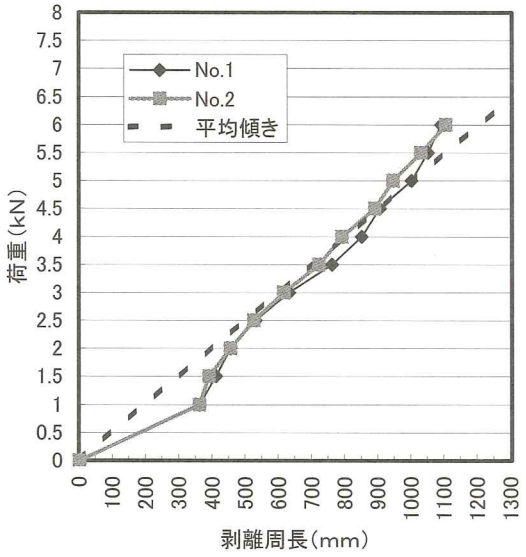


図-2.4.1.10 荷重-変位曲線(工法 2,No. 1)



図－2.4.1.11 荷重－剥離周長曲線(工法 2)

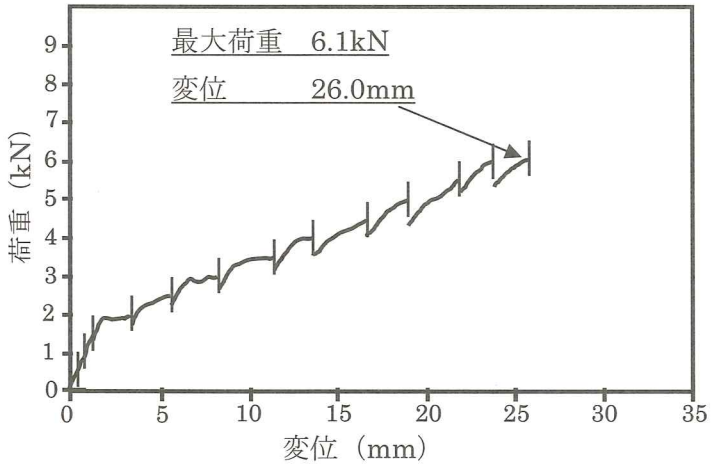
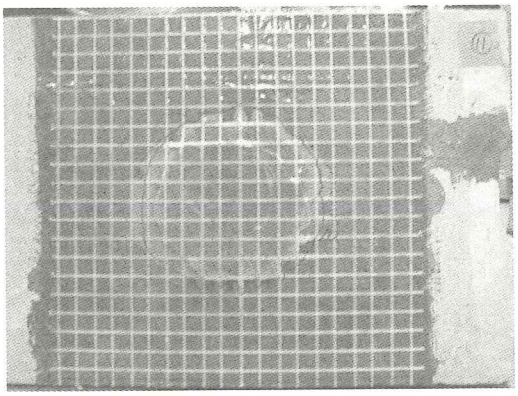
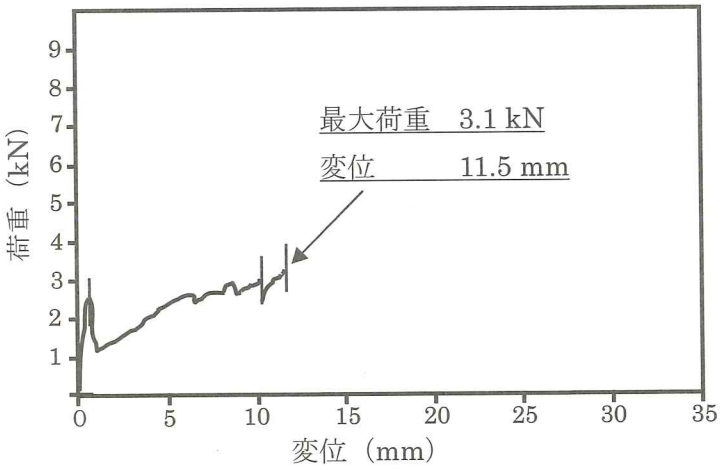


図 2.4.1.12 荷重-変位曲線(工法 2 No. 2)

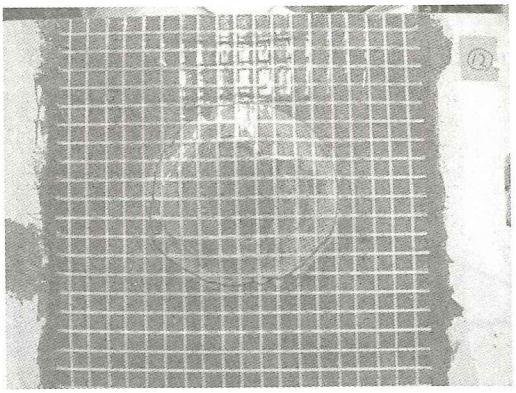
日本道路公団試験研究所規格,工法 1,乾燥面の場合:



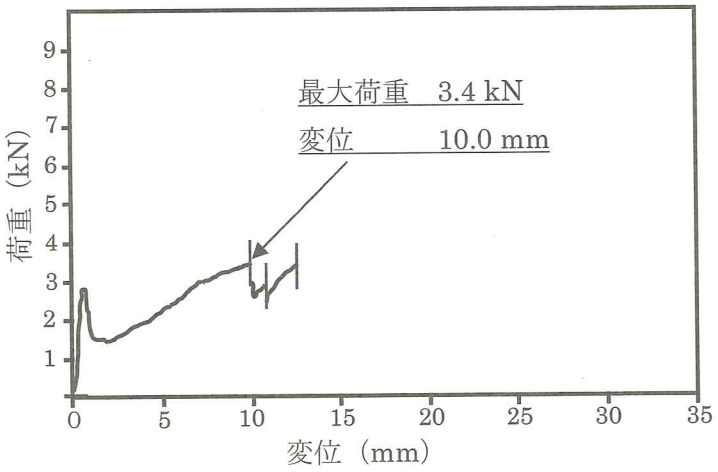
写真－2.4.1.14 押抜き試験後の試験体
（工法 1,No. 1）



図－2.4.1.13 荷重-変位曲線（工法 1,No. 1）

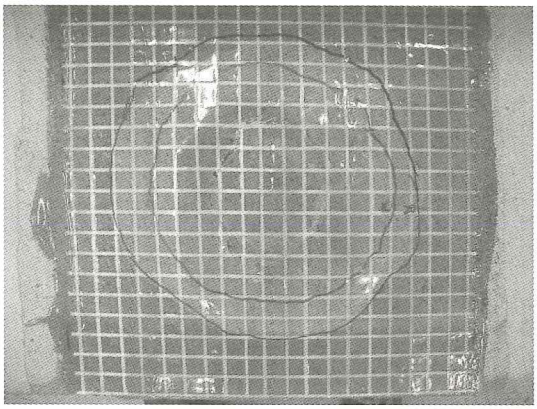


写真－2.4.1.15 押抜き試験後の試験体
（工法 1,No. 2）

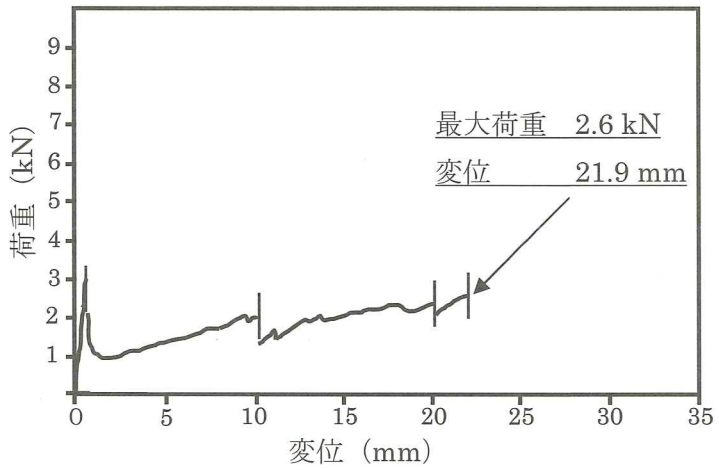


図－2.4.1.14 荷重-変位曲線（工法 1,No. 2）

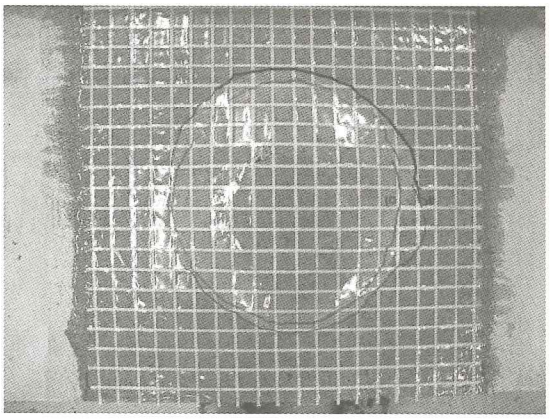
日本道路公団試験研究所規格,工法 1,湿潤面の場合:



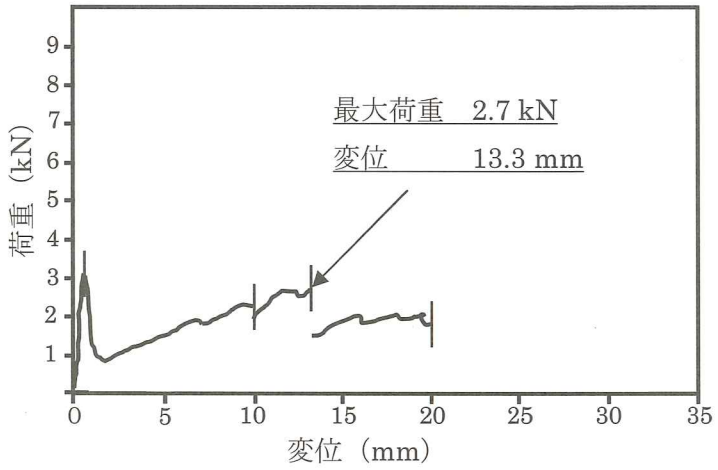
写真－2.4.1.16 押抜き試験後の試験体
(工法 1,No. 1)



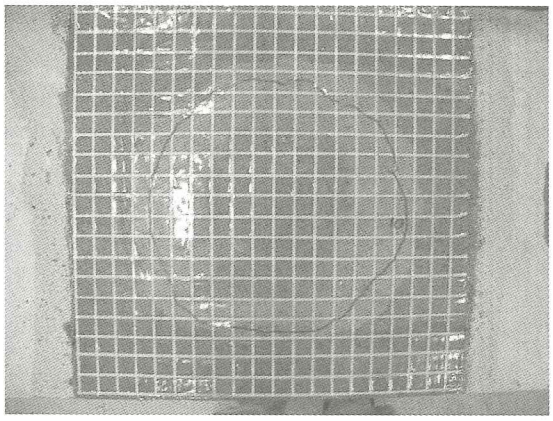
図－2.4.1.15 荷重-変位曲線(工法 1,No. 1)



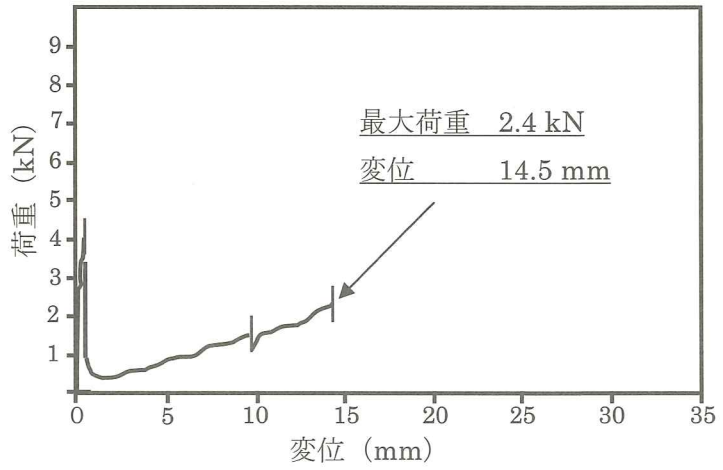
写真－2.4.1.17 押抜き試験後の試験体
(工法 1,No. 2)



図－2.4.1.16 荷重-変位曲線(工法 1,No. 2)

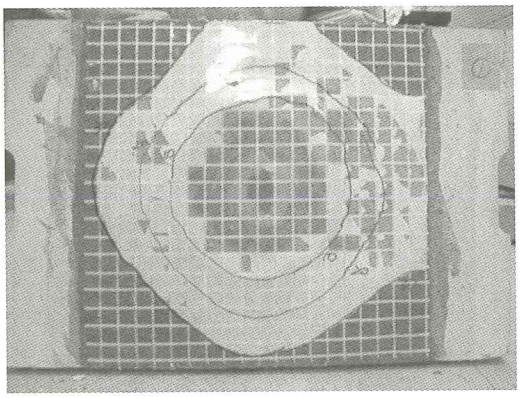


写真－2.4.1.18 押抜き試験後の試験体
(工法 1,No. 3)



図－2.4.1.17 荷重-変位曲線(工法 1,No. 3)

日本道路公団試験研究所規格,工法 2,乾燥面の場合:



写真－2.4.1.19 押抜き試験後の試験体
（工法 2,No. 1）

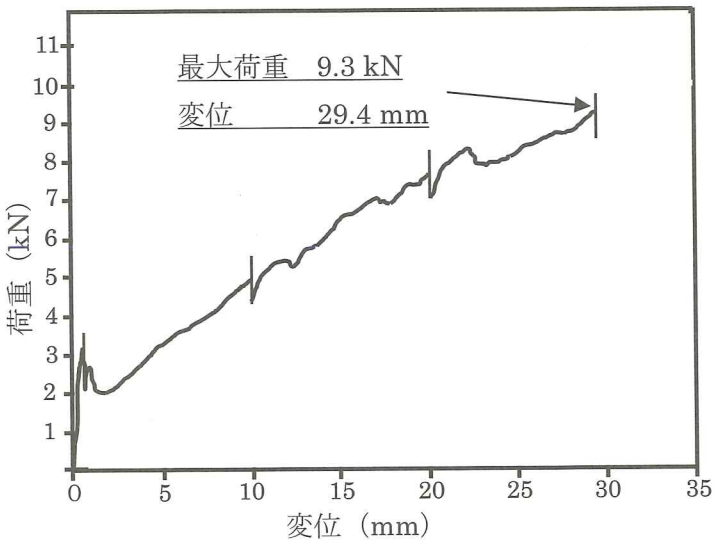
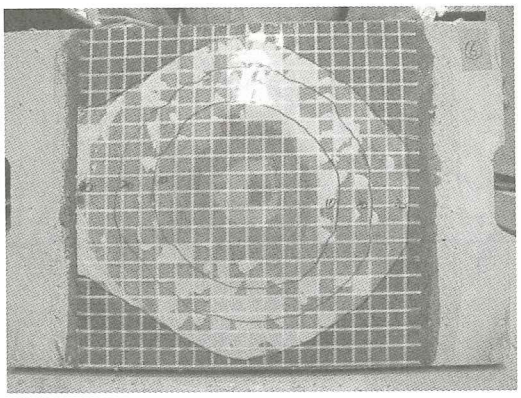
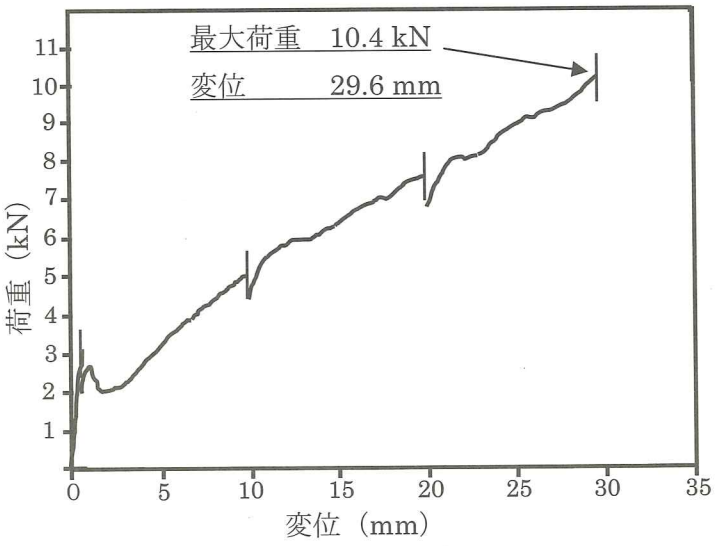


図-2.4.1.18 荷重-変位曲線（工法 2, No. 1）

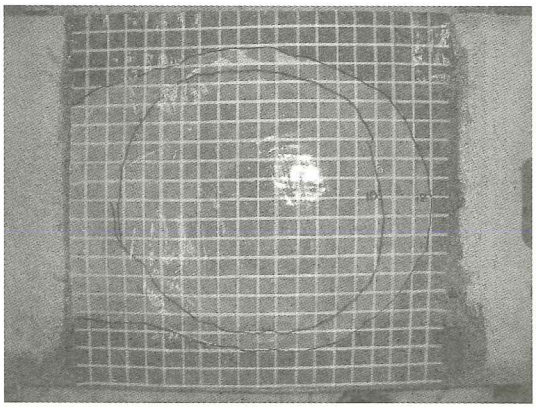


写真－2.4.1.20 押抜き試験後の試験体
（工法 2,No. 2）



図－2.4.1.19 荷重-変位曲線（工法 2,No. 2）

日本道路公団試験研究所規格,工法 2,湿潤面の場合:



写真－2.4.1.21　押抜き試験後の試験体
（工法 2,No. 1）

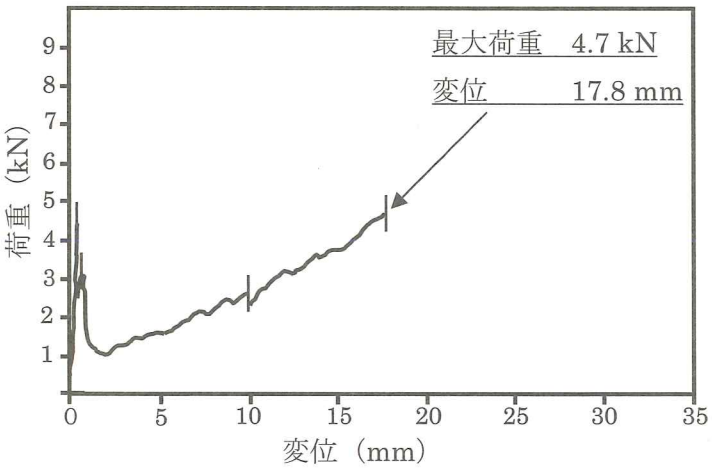
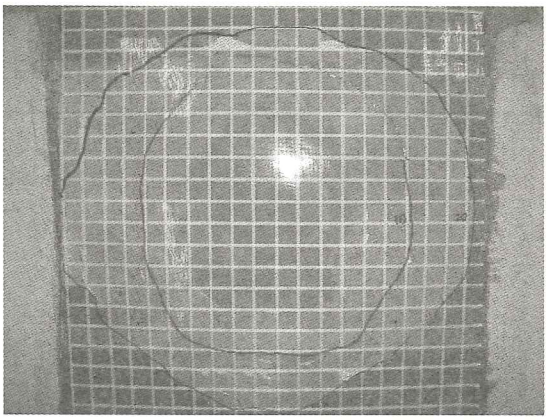
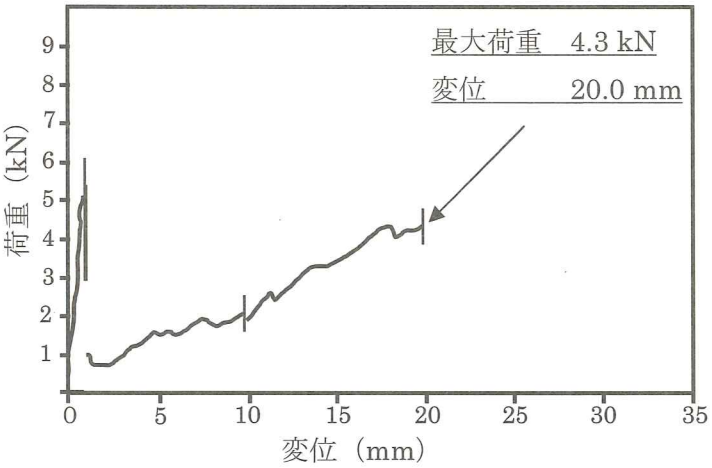


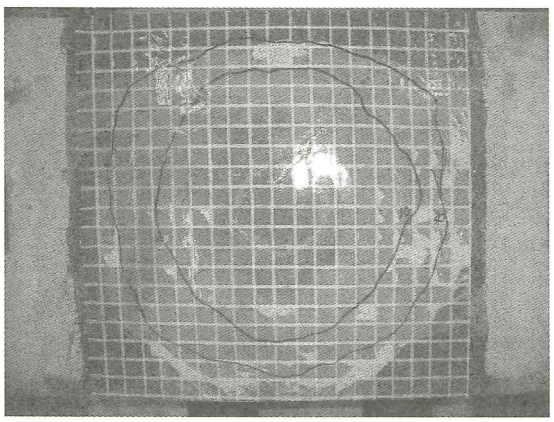
図-2.4.1.20　荷重-変位曲線（工法 2, No. 1）



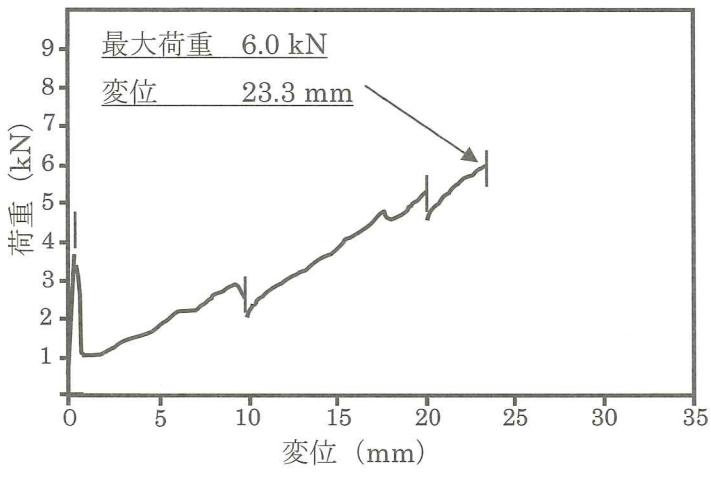
写真－2.4.1.22　押抜き試験後の試験体
（工法 2,No. 2）



図－2.4.1.21　荷重-変位曲線（工法 2,No. 2）



写真－2.4.1.23 押抜き試験後の試験体
（工法 2,No. 3）



図－2.4.1.22　荷重-変位曲線（工法 2,No. 3）

(3) 現位置引抜き試験

平成 15 年 5 月に一般国道 231 号 増毛日方泊トンネル建設工事において、実施した試験施工おいて、現位置引抜き試験を行った（**参考資料－4** 参照）。以下は、その試験内容の抜粋である。

(3-1) 試験方法

一般にコンクリート剥落防止策に用いる連続炭素繊維シート接着の剥落防止性能を確認するために、試験室において中央部をコア抜きしたコンクリート板の 1 面にシートや補強ネットを貼付け、もう一方の面からコア中央部を載荷して押抜く押抜き試験が実施されている。しかし、現位置においては、地山側から押抜き試験を行うことは出来ないことから、補強ネットを貼付ける前に、予め覆工コンクリートからコアを抜いて、その穴の中央部にワイヤーを通した円柱供試体（φ100mm×高さ 200mm、φ250mm×高さ 200mm）を埋め込み、補強ネットを貼付けた後に引抜き試験を実施することにした。**図－2.4.1.23** に試験装置の概要を示す。**図－2.4.1.23(2),(3)**は、φ100mm およびφ250mm 用の引抜きジグであり、**図－2.4.1.23(1)**に示すように試験装置の両端を後施工アンカーによりトンネル側壁に固定して実施した。

引抜き試験は、**表－2.4.1.14** に示す試験ケースとした。ここで、目合が 2cm とする補強ネットの試作はまだ出来上がっていなかったので、目付量は 45g/m² と変化させずに、補強ネットは目合 1cm のものを使用している。各ケースとも 5 体ずつコアを抜いて試験を行った。

引抜き試験の実施位置を**図－2.4.1.24** に示す。測定項目は、引抜き荷重とコア中央部での変位である。変位はワイヤーに穴をあけた細長いプレートを通して、2 点の変位の平均で求めた。10mm ごとに剥離部分をマーキングし、40mm 程度まで実施した。

表－2.4.1.14 現位置引抜き試験の試験ケース

試験ケース	工法	コア径
B	工法 1	φ100mm
C		φ250mm
A	工法 2	φ100mm

試験点数

φ100×200　5点2ヶ所=10点

φ250×200　5点

計　　15点

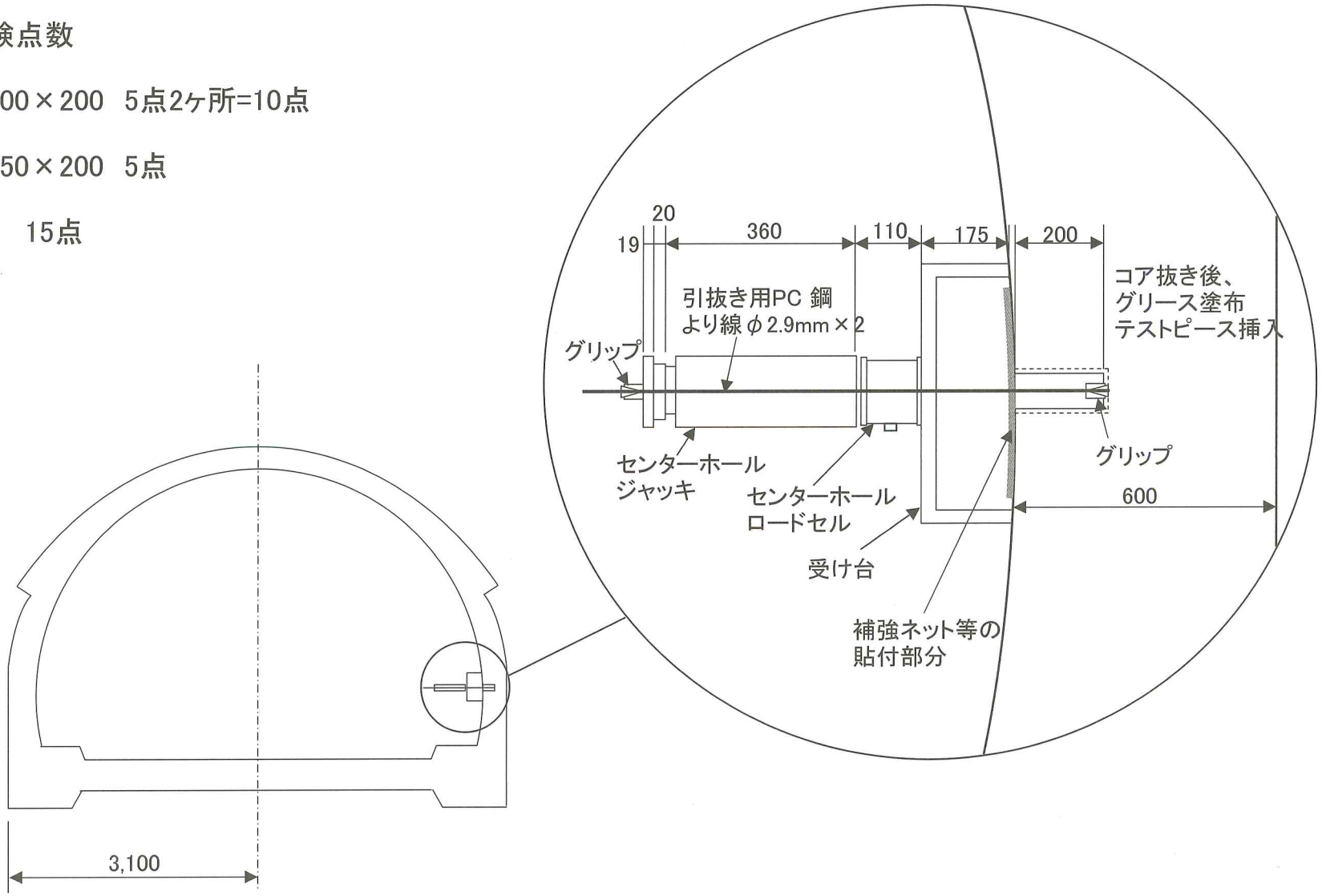


図2.4.1.23(1)　現位置引抜き試験装置(取付け図)

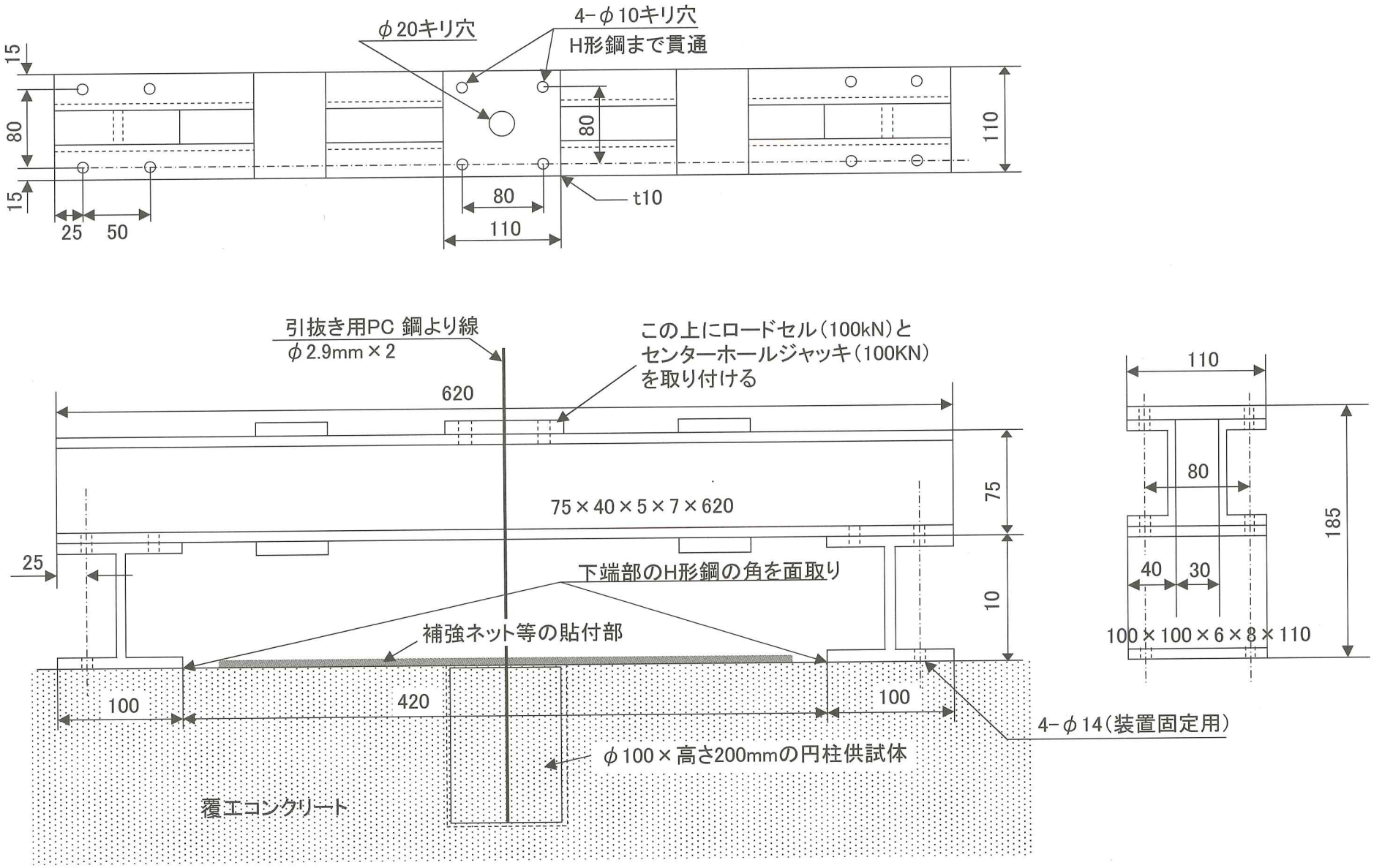


図2.4.1.23(2) 現位置引抜き試験装置(φ100用)

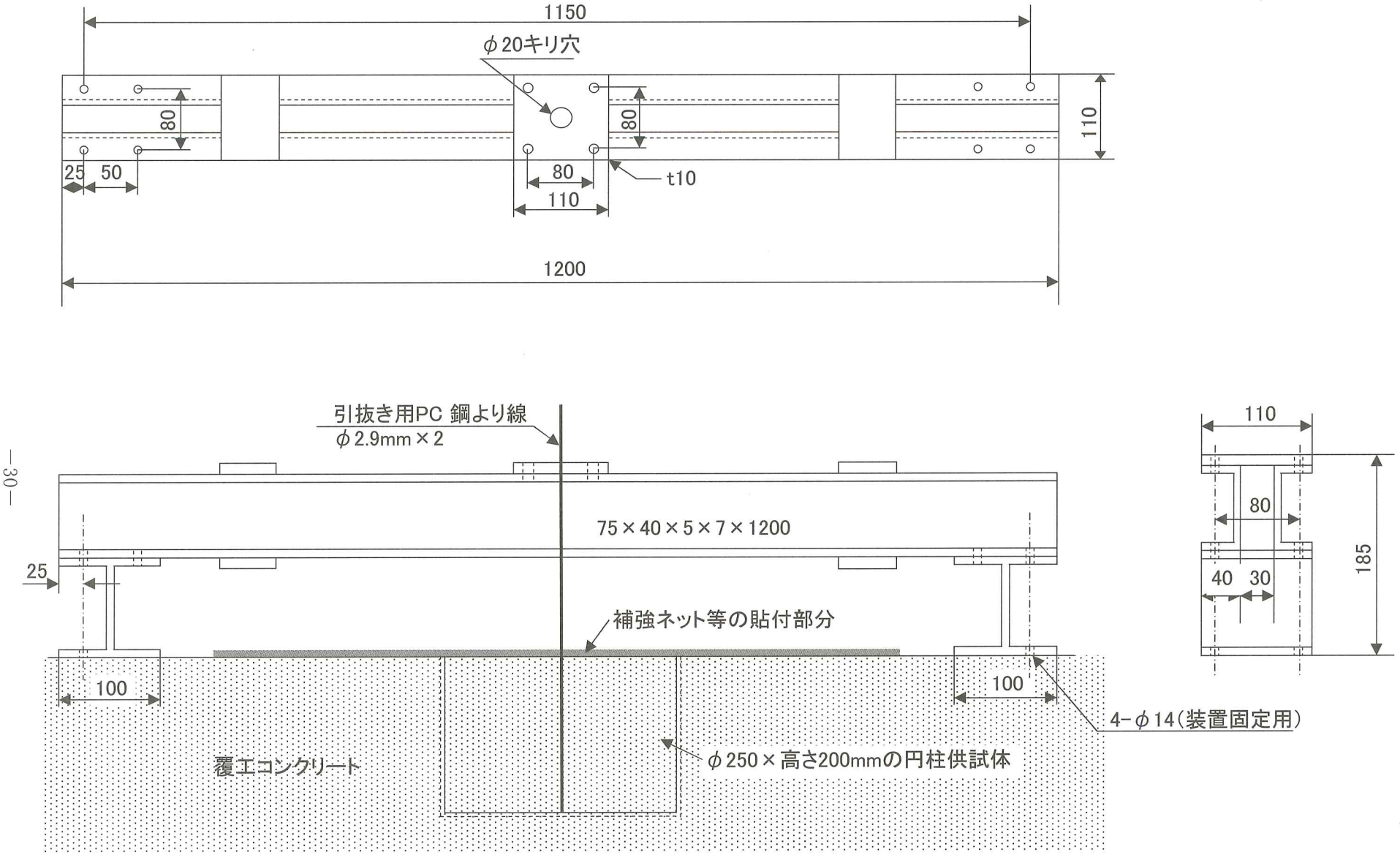


図2.4.1.23(3) 現位置引抜き試験装置(φ250用)

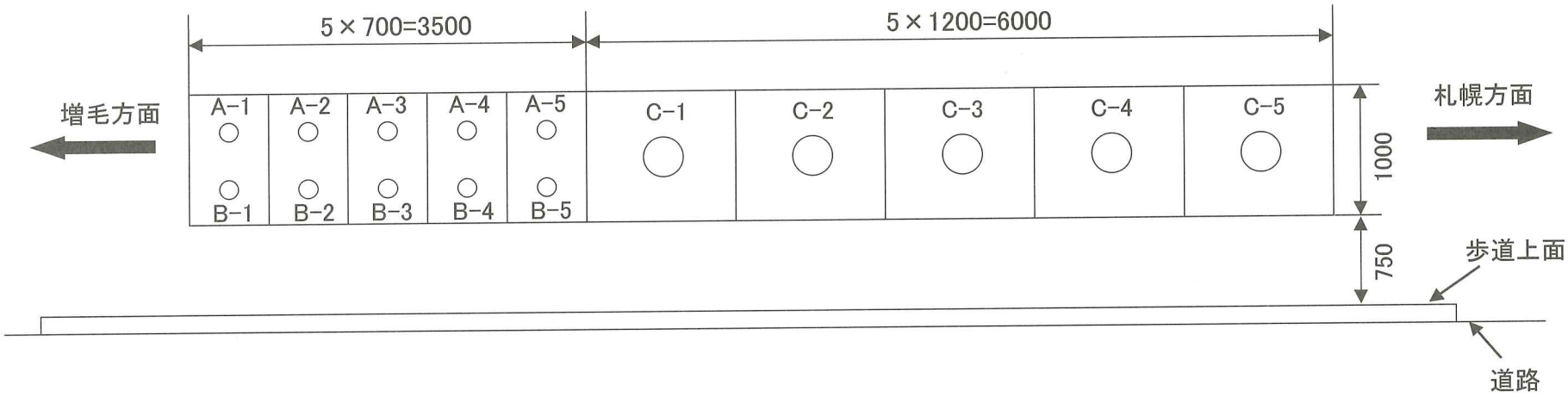


図2.4.1.24　現位置引抜き試験実施位置（側壁）

(3-2) 試験結果

引抜き試験結果の一覧表を**表－2.4.1.15** に示す。**表－2.4.1.15** では、10mm 以下と以上で分けて、最大引抜き荷重、そのときの変位と損傷形態を示している。

この試験結果によれば、φ100mm のコアによる押抜き試験の場合で、試験ケース B（工法 1）では 2.98kN、試験ケース A（工法 2）では 6.80kN の最大引抜き荷重（平均値）が得られている。一方、φ250mm の試験ケース C(工法 1)の場合、引抜き荷重（平均値）7.48kN が得られている。試験ケース B,A（工法 1 と工法 2）を比較すると、試験ケース A（工法 2）の最大荷重は、試験ケース B（工法 1）の最大荷重の 2 倍以上となっており、FRP シートの効果がよく表れている。また、全ケースの最小の引抜き荷重は 1.88kN であった。

荷重－変位関係を**図－2.4.1.25～図－2.4.1.27** に示す。試験ケース A(工法 2)の場合、15mm 付近の最大荷重まで荷重増加が続き、FRP シートの破断に伴って、荷重が低下する三角形の形状を示しているのに対して、試験ケース B（工法 1）では、ピーク以降の急激な荷重低下は見られないが、1~3kN の範囲をだらだらと動いている。なお、試験ケース C（工法 1、φ250）の場合、補強ネットがほとんど切れた状態になっても荷重が上がる傾向がみられた。これは、コア径に比べてコアの長さが相対的に短いために、コアが引き出されるときにコアに傾きが生じ、覆工コンクリートの内壁とコアとに摩擦(当り)が生じることによる。なお、表－2.4.1.15 の結果には関係しない。

表－2.4.1.15 現位置引抜き試験結果（その 1）

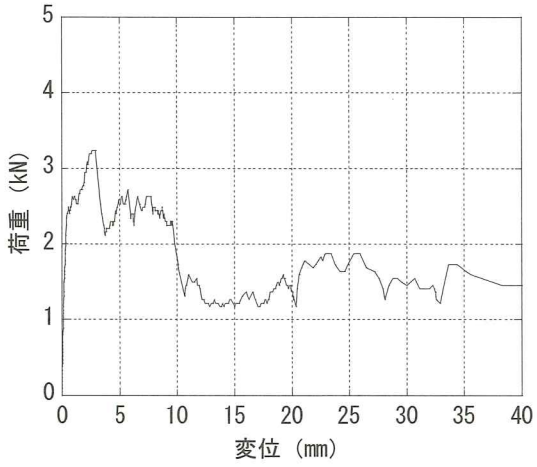
試験 No.	工法	コア径 (mm)	10mm 以下			10mm 以上		
			最大荷重 (kN)	変位 (mm)	損傷形態	最大荷重 (kN)	変位 (mm)	損傷形態
B-1	工法 1	φ100	3.24	2.58	樹脂固化体の損傷あるいは補強ネットの損傷	1.88	25.39	補強ネットの破断
B-2			3.19	7.77		2.96	11.26	
B-3			2.16	9.98		2.35	16.58	
B-4			2.96	9.84		3.28	12.23	
B-5			3.43	9.40		3.66	12.21	
平均			2.98	7.91		2.83	15.53	
C-1	工法 1	φ250	4.42	8.26	同上	6.95	21.11	同上
C-2			7.60	9.02		8.40	12.51	
C-3			6.48	8.05		8.07	22.31	
C-4			5.16	8.73		7.98	22.84	
C-5			9.06	1.93		6.01	22.46	
平均			6.54	7.20		7.48	20.25	
A-1	工法 2	φ100	4.50	8.96	明確な損傷は見受けられない	5.54	13.80	補強ネットの破断シートの割れ
A-2			4.55	9.27		8.21	19.97	
A-3			4.93	9.45		6.43	16.15	
A-4			5.30	9.99		7.32	18.32	
A-5			5.12	9.99		6.52	16.99	
平均			4.88	9.51		6.80	17.05	

また、**表－2.4.1.16** には、大型試験体の押抜き試験との整合性をとるために、荷重－変位曲線において、大きな荷重低下が生じる前の引抜き耐荷力を整理した。

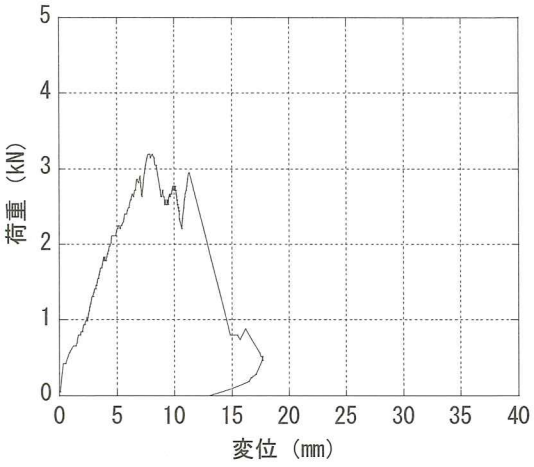
表－2.4.1.16 現位置引張試験結果（その 2）

試験 No.	工法	コア径	引抜き耐荷力	変位	損傷形態
B-1	工法 1	φ100mm	3.24kN	2.58mm	樹脂固化体もしくは補強ネットの損傷 （左の荷重は、変位－荷重曲線において、大きな荷重低下が生じる前の引抜き荷重である）
B-2			3.19kN	7.77mm	
B-3			2.16kN	10.0mm	
B-4			3.05kN	10.2mm	
B-5			3.43kN	9.50mm	
平均			3.01kN	8.01mm	
C-1	工法 1	φ250mm	4.22kN	8.26mm	
C-2			7.60kN	9.02mm	
C-3			6.48kN	8.05mm	
C-4			5.16kN	8.73mm	
C-5			9.06kN	1.93mm	
平均			5.30kN	7.20mm	
A-1	工法 2	φ100mm	4.50kN	8.96mm	
A-2			4.55kN	9.27mm	
A-3			4.93kN	9.45mm	
A-4			5.30kN	9.99mm	
A-5			5.12kN	9.99mm	
平均			4.88kN	9.53mm	

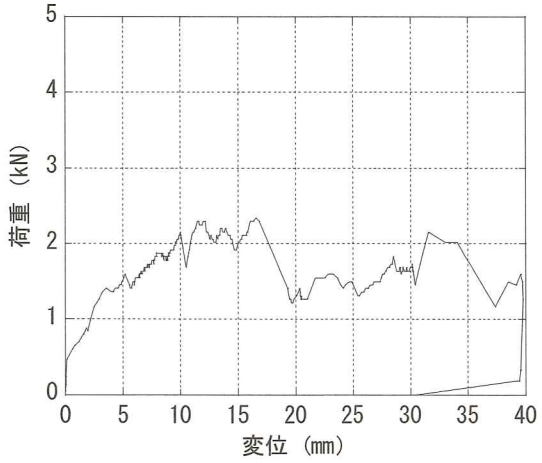
引抜き試験の試験状況を**写真－2.4.1.24～2.4.1.28** に、また各ケースの載荷状況とその最終破壊状況を**写真-2.4.1.29～2.4.1.1.58** に示す。白く見えるのは、コアと穴の隙間に入れた紙粘土である。FRP シートのある試験ケース A（工法 2）が 10mm～20mm にかけて剥離面積が広がっているのに対して、試験ケース B,C（工法 1）は、10mm 以降の剥離範囲が非常に狭くなっている。



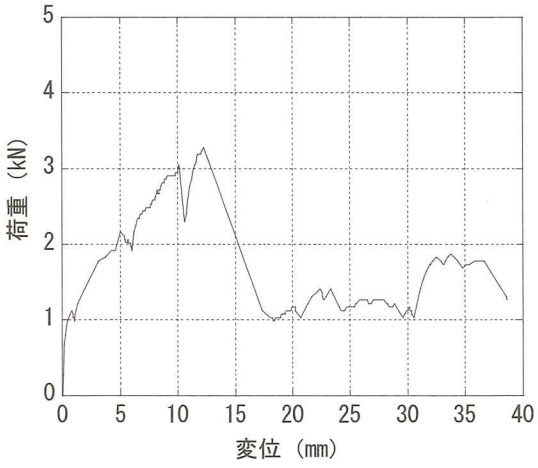
（1） B－1



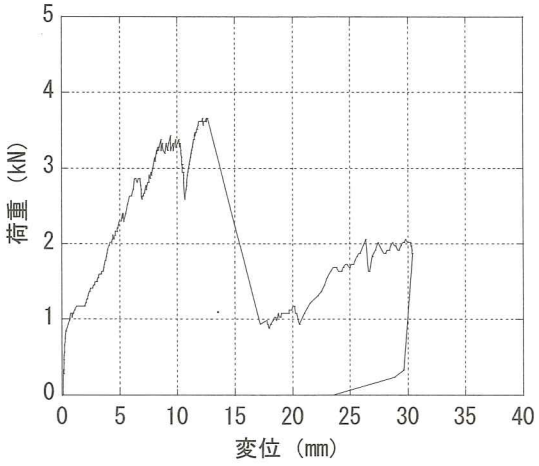
（2） B－2



（3） B－3

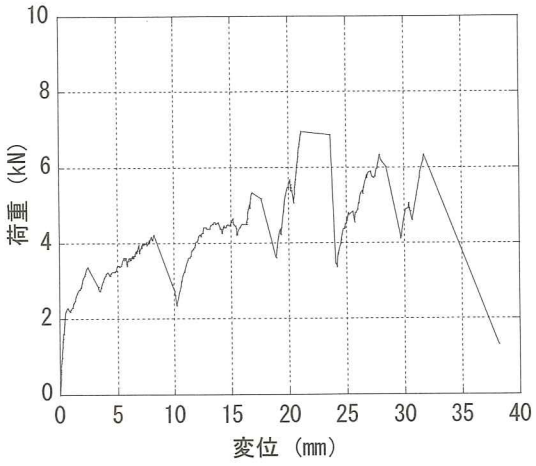


（4） B－4

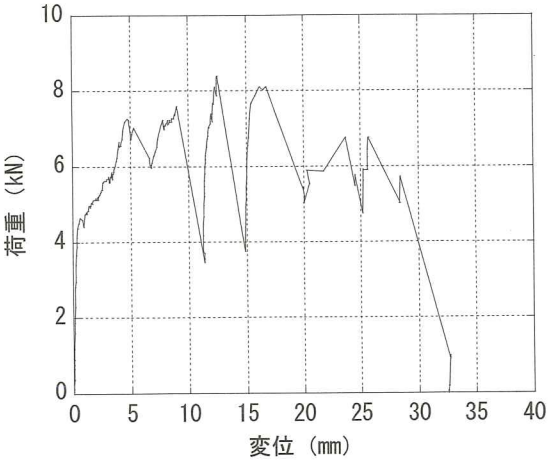


（5） B－5

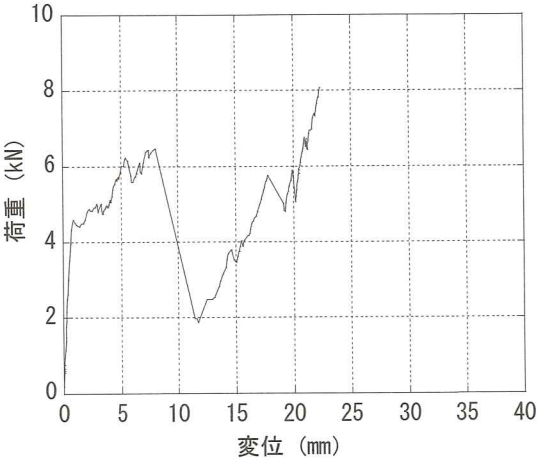
図－2.4.1.25 荷重－変位関係図（試験ケースB：工法1、φ100）



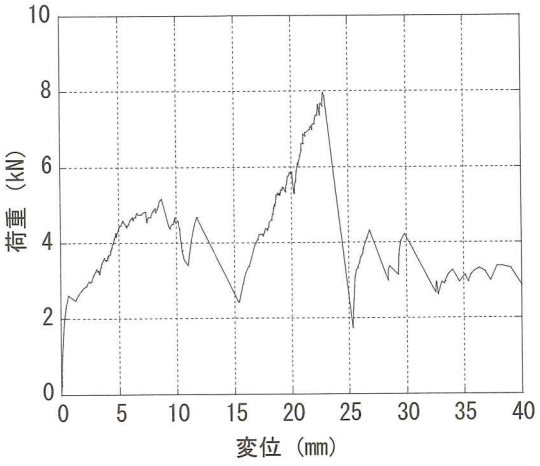
（1） C－1



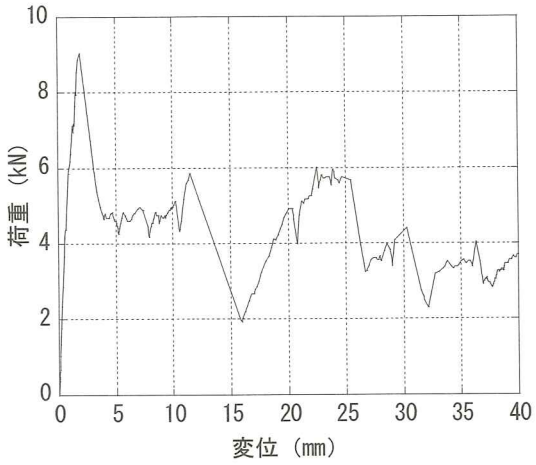
（2） C－2



（3） C－3

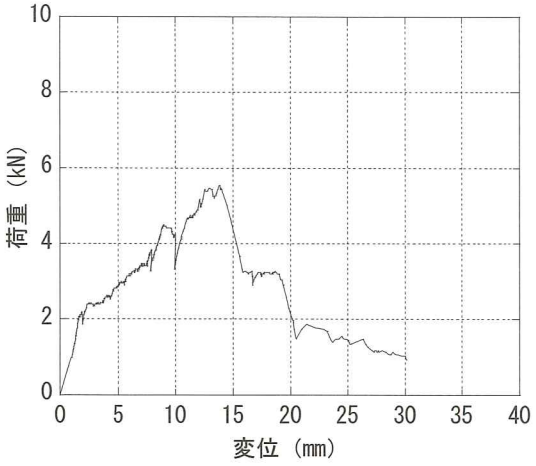


（4） C－4

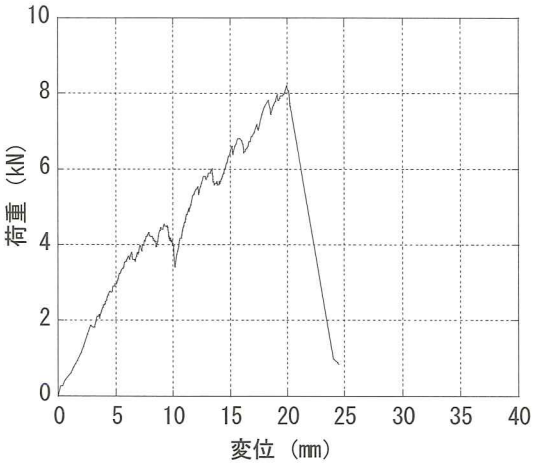


（5） C－5

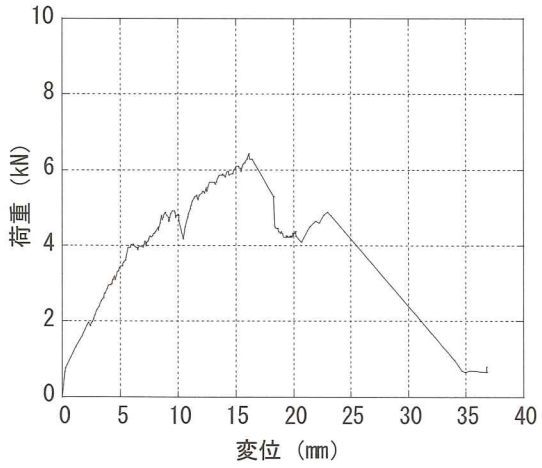
図－2.4.1.26 荷重－変位関係図（試験ケース C：工法 1、φ250）



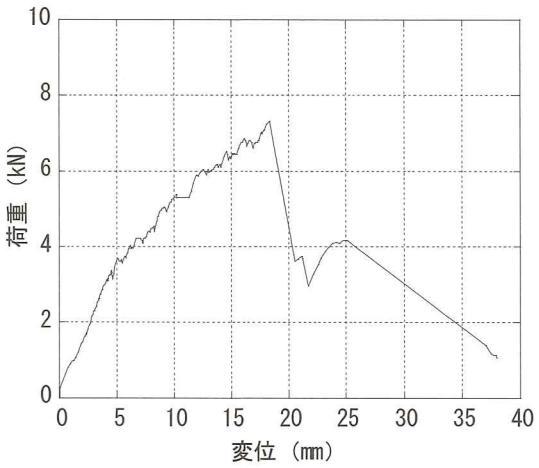
（1） A－1



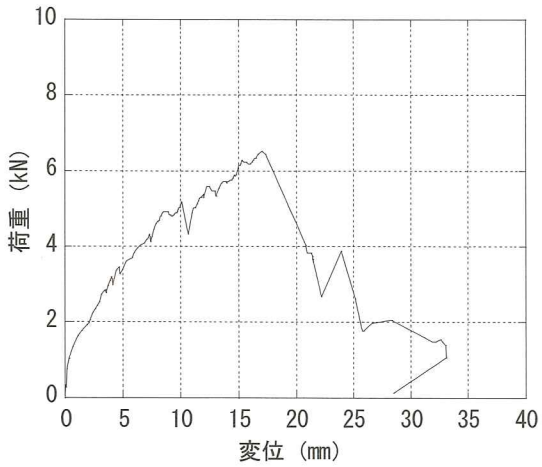
（2） A－2



（3） A－3

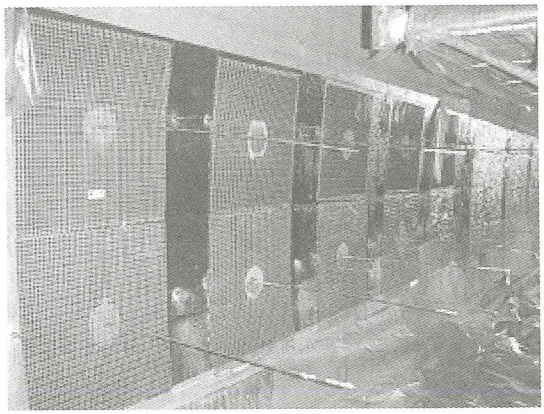


（4） A－4

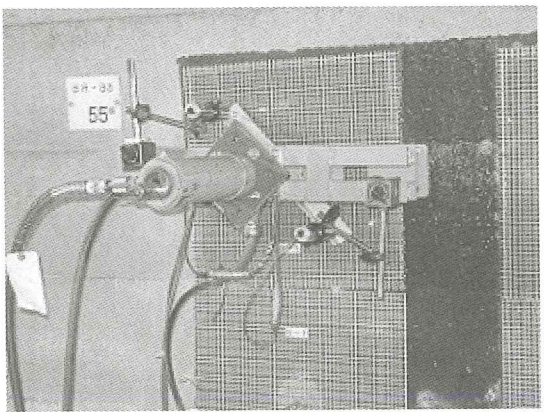


（5） A－5

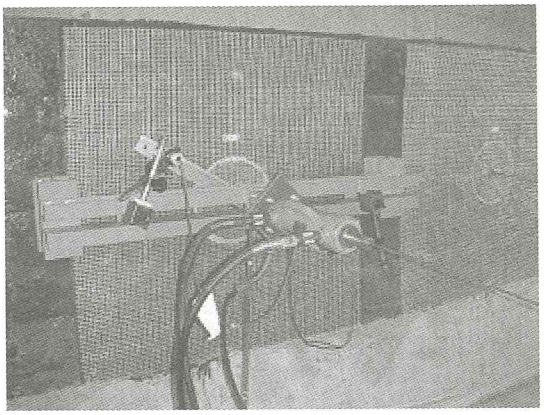
図－2.4.1.27 荷重－変位関係図（試験ケースA:工法2、φ100）



写真－2.4.1.24　引抜き試験準備状況



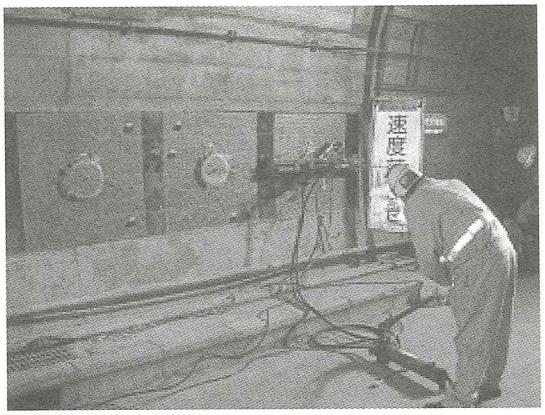
写真－2.4.1.25　引抜き試験装置取付状況
（φ100 用）



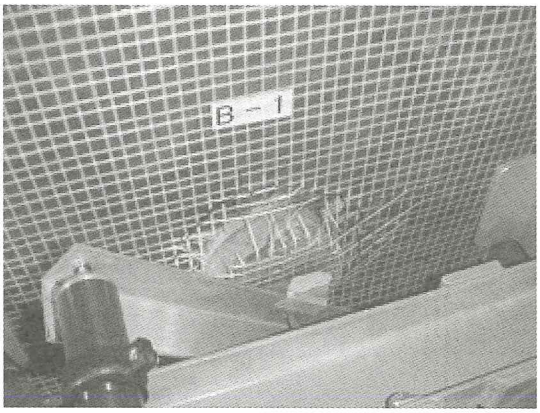
写真－2.4.1.26　引抜き試験装置取付状況
（φ250 用）



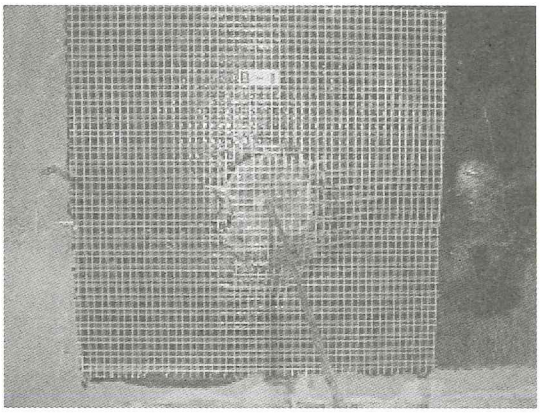
写真－2.4.1.27　引抜き試験計測状況



写真－2.4.1.28　引抜き試験実施状況



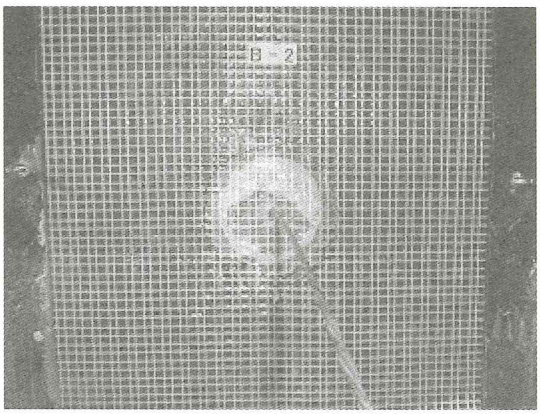
写真－2.4.1.29　B-1 試験状況
（工法 1，φ100）



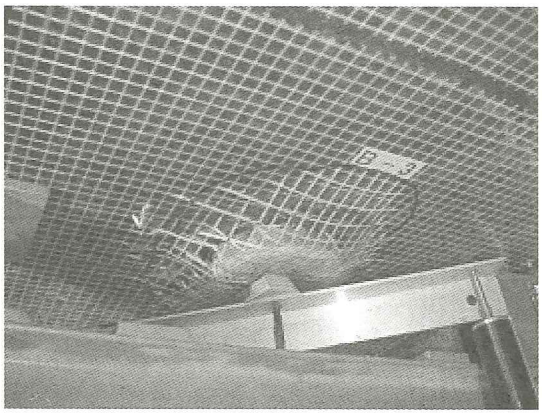
写真－2.4.1.30　B-1 試験結果
（工法 1，φ100）



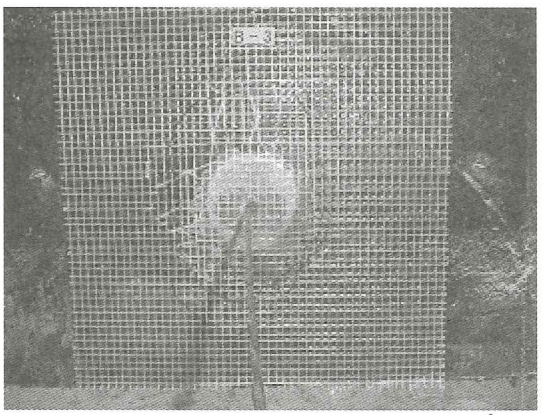
写真－2.4.1.31　B-2 試験状況
（工法 1，φ100）



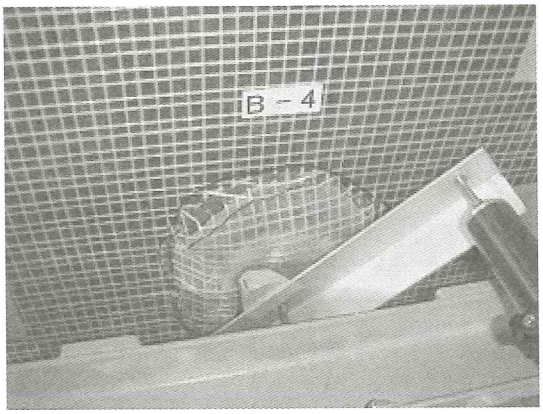
写真－2.4.1.32　B-2 試験結果
（工法 1，φ100）



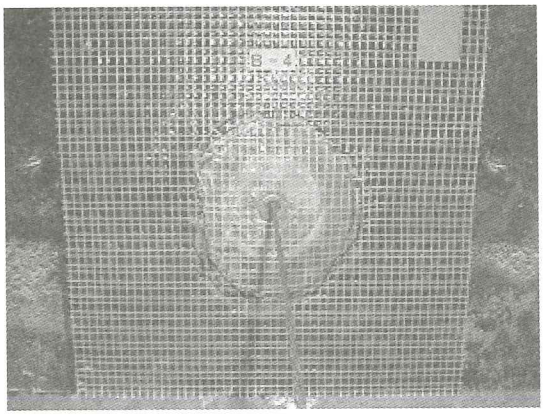
写真－2.4.1.33　B-3 試験状況
（工法 1，φ100）



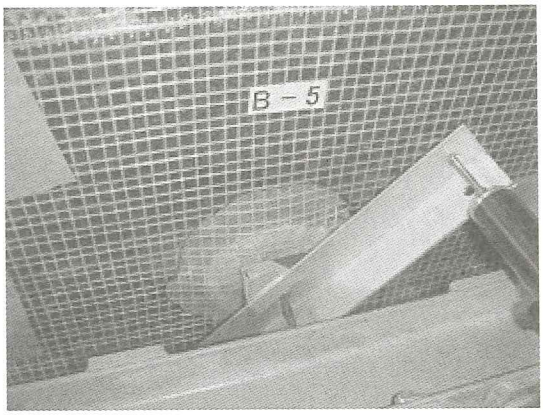
写真－2.4.1.34　B-3 試験結果
（工法 1，φ100）



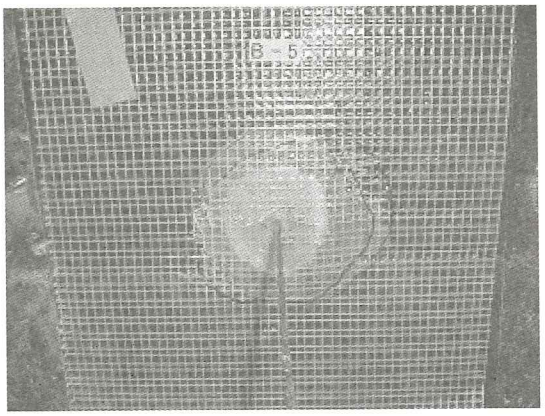
写真－2.4.1.35　B-4 試験状況
（工法 1，φ100）



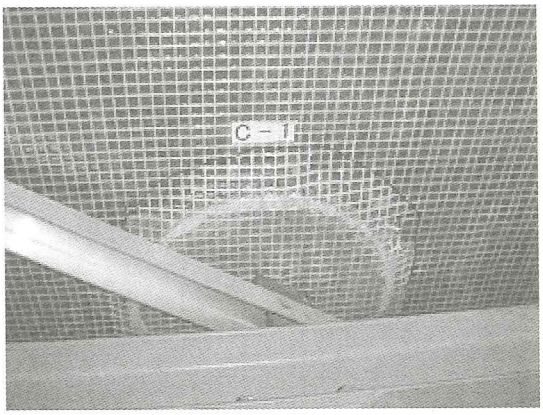
写真－2.4.1.36　B-4 試験結果
（工法 1，φ100）



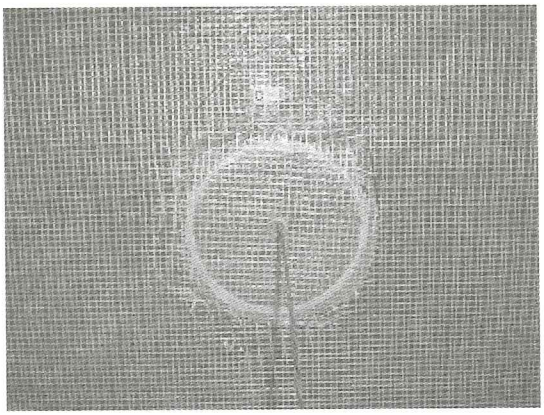
写真－2.4.1.37　B-5 試験状況
（工法 1，φ100）



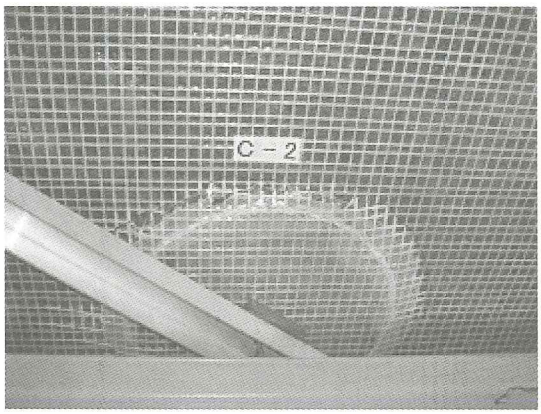
写真－2.4.1.38　B-5 試験結果
（工法 1，φ100）



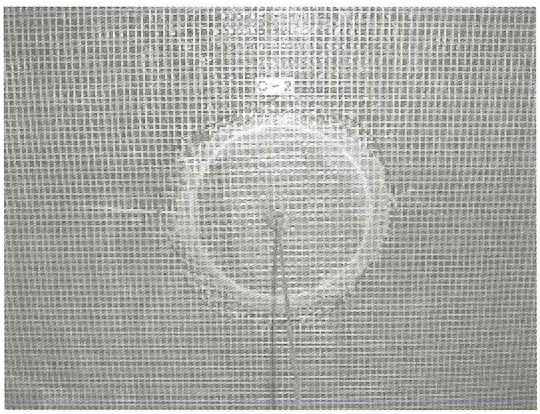
写真－2.4.1.39　C-1 試験状況
（工法 1，φ250）



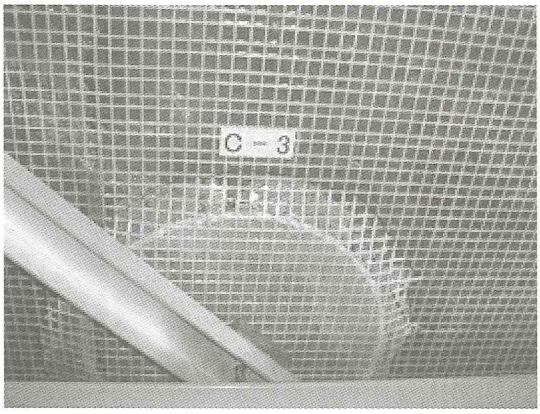
写真－2.4.1.40　C-1 試験結果
（工法 1，φ250）



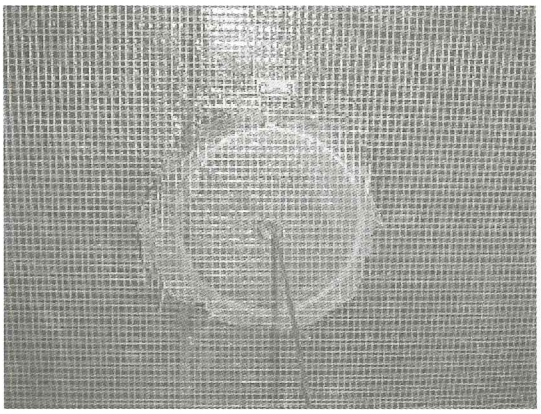
写真－2.4.1.41　C-2 試験状況
（工法 1，φ250）



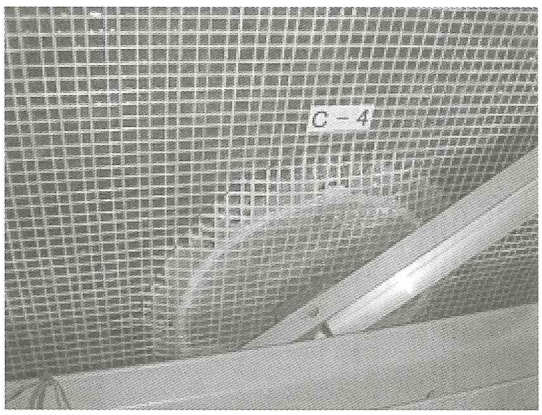
写真－2.4.1.42　C-2 試験結果
（工法 1，φ250）



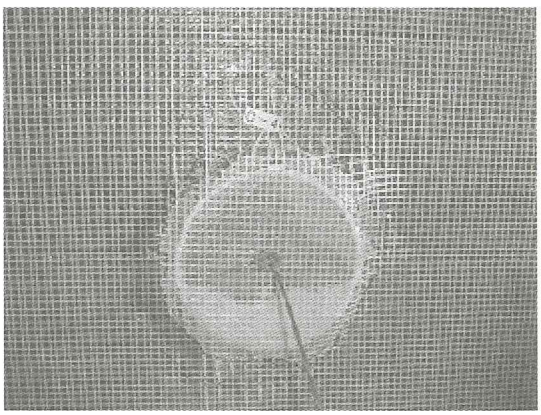
写真－2.4.1.43　C-3 試験状況
（工法 1，φ250）



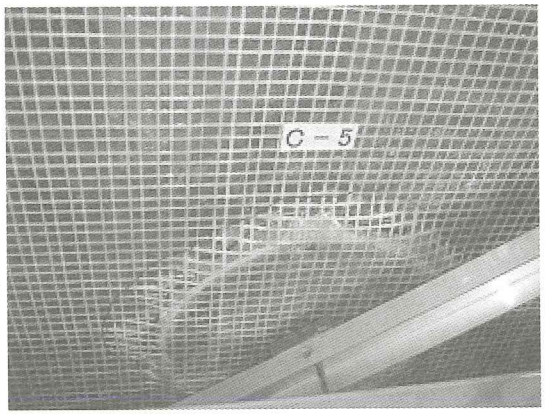
写真－2.4.1.44　C-3 試験結果
（工法 1，φ250）



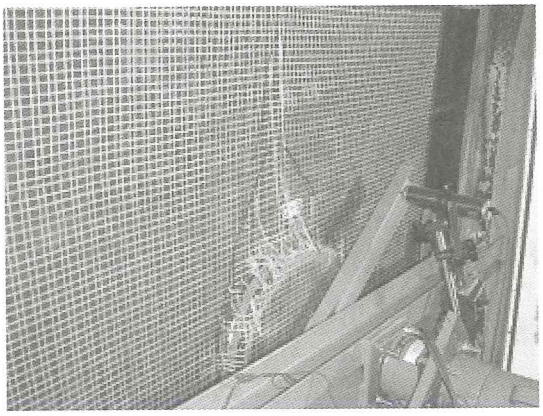
写真－2.4.1.45　C-4 試験状況
（工法 1，φ250）



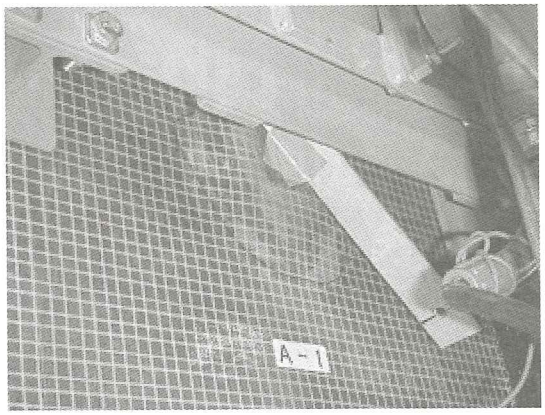
写真－2.4.1.46　C-4 試験結果
（工法 1，φ250）



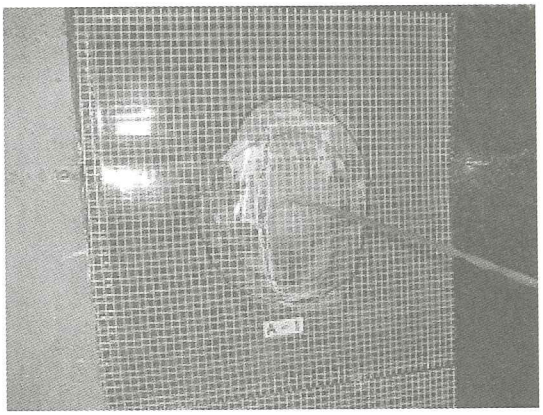
写真－2.4.1.47　C-5 試験状況
（工法 1，φ250）



写真－2.4.1.48　C-5 試験結果
（工法 1，φ250）



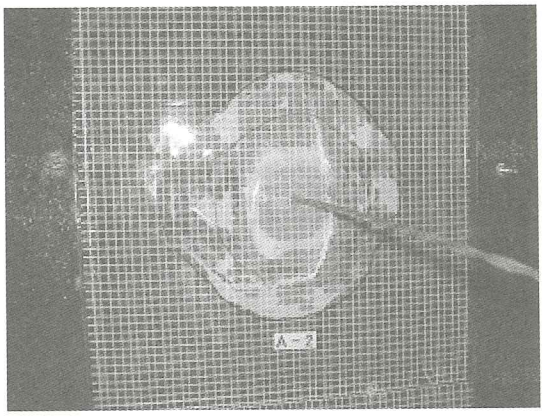
写真－2.4.1.49　A-1 試験状況
（工法 2，φ100）



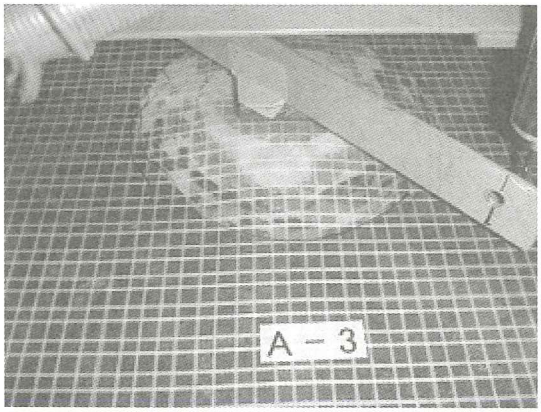
写真－2.4.1.50　A-1 試験結果
（工法 2，φ100）



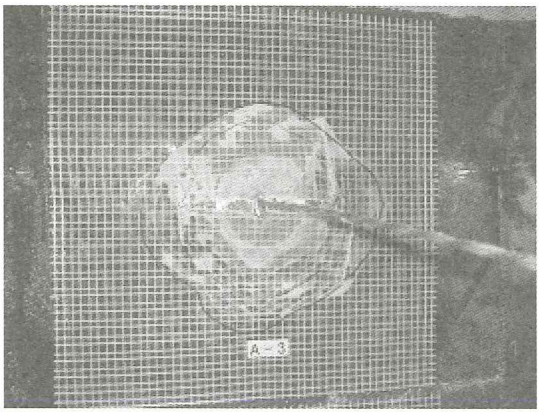
写真－2.4.1.51　A-2 試験状況
（工法 2，φ100）



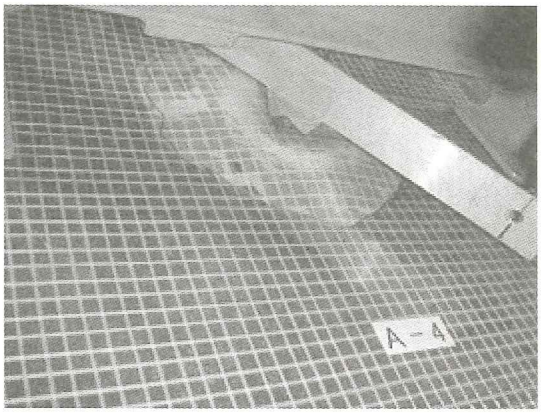
写真－2.4.1.52　A-2 試験結果
（工法 2，φ100）



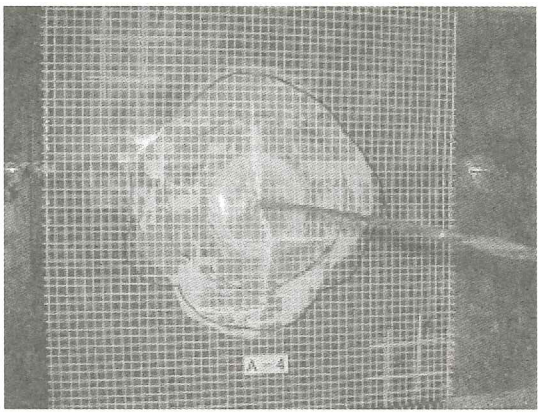
写真－2.4.1.53　A-3 試験状況
（工法 2，φ100）



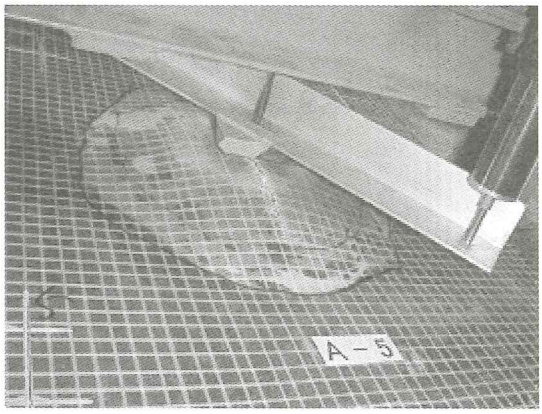
写真－2.4.1.54　A-3 試験結果
（工法 2，φ100）



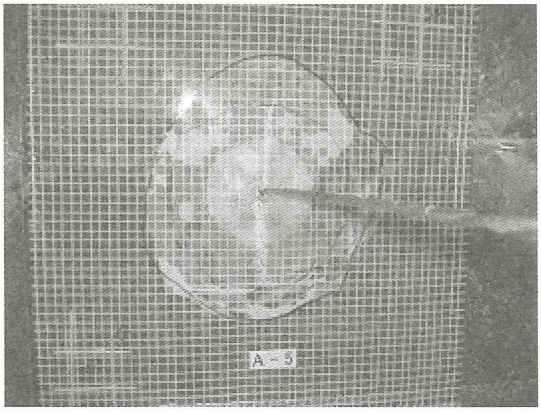
写真－2.4.1.55　A-4 試験状況
（工法 2，φ100）



写真－2.4.1.56　A-4 試験結果
（工法 2，φ100）



写真－2.4.1.57　A-5 試験状況
（工法 2，φ100）



写真－2.4.1.58　A-5 試験結果
（工法 2，φ100）

(3-3) まとめ

現位置における押抜き試験の結果より、以下のことが明らかになった。

(i) φ100mm のコアによる引抜き試験では、全ての箇所で 10mm 以上の変位最大荷重が 1.8kN を上回っている。

(ii) 工法 2（試験ケース A）は、工法 1 と結果を比べてみると、引抜き試験における最大荷重は 2 倍以上となり、FRP シートの使用は、剥落防止性能に大きく寄与することが明らかになった。

(iii) FRP シートのある試験ケース A（工法 2）が 10mm～20mm にかけて剥離面積が広がっているのに対して、試験ケース B,C は、10mm 以降の剥離範囲が非常に狭くなっている。

(iv) φ250mm のコアの引抜き試験では、覆工コンクリート内の穴の内壁とコアとの摩擦力による影響が見られた。このため、大型試験体の押抜き試験との整合性をとるために、荷重－変位曲線において、大きな荷重の落ち込み前の引張り荷重を引抜き耐荷力として整理した。（**表－2.4.1.16** 参照）

(4) 試験結果のまとめ

(1)～(3)の試験結果のうち、押抜き耐荷力(一部、引抜き試験結果を含む)の値を**表－2.4.1.17**に整理した。表中の小型試験体による試験結果は、大型試験体による試験条件と合わせるため、(財)鉄道総合研究所規格のうち乾燥面の結果を示している。

表－2.4.1.17 によれば、2 つの押抜き試験と 1 つの引抜き試験は、試験方法や求められている強度・荷重に違いがあるが、例えば、大型試験体による試験結果は（接着樹脂損傷時の）押抜き耐荷力であり、小型試験体による試験結果は最大押抜き耐荷力であり、また現位置引抜き試験は大型試験体による試験に条件を合わせるべく荷重－変位曲線において大きな落ち込みが生じる前の最大荷重の値（引抜き耐荷力）をとっている。異なる 2 つの方法による試験結果は、試験方法の違いや押抜き・引抜き等の違いがあるにもかかわらず、平均値からのばらつきを示す（差/平均値）では最大で 0.22 と比較的小さい。(**表－2.4.1.18** 参照)

表－2.4.1.17　各種押抜き試験・引抜き試験結果の比較

工法	押抜き（引抜き）耐荷力(kN)			
	コア径 (mm)	大型試験体による試験結果	小型試験体による試験結果	現位置引抜き試験結果
工法 1	100	—	2.87kN(*1) (13.5mm)	3.01kN (8.01mm)
	250	4.34kN (4.51mm)	—	5.30kN (7.20mm)
	500	8.18kN (4.51mm)	—	—
工法 2	100	—	6.06kN (24.9mm)	4.88kN (9.53mm)
	250	9.66kN (6.99mm)	—	—
	500	14.9kN (4.24mm)	—	—

＊1：他の試験結果との比較のため、有効数字 3 桁のデータを示す（**表－2.4.1.6** と **表－2.4.1.7**（**本文 18 ページ**）では 2 桁で表示）

表－2.4.1.18　表－2.4.1.17 に示される試験結果のばらつき

工法	コア径 (mm)	試験結果		計算値		
		試験結果 1	試験結果 2	平均値	差	差/平均値
工法 1	100	2.87kN	3.01kN	2.94kN	0.14kN	0.047
	250	4.34kN	5.30kN	4.82kN	0.96kN	0.20
工法 2	100	6.06kN	4.88kN	5.47kN	1.18kN	0.22

＊試験結果 1，2 は表－2.4.1.17 において、2 つの異なる試験結果がある場合を提示したものである。

単位強さについては、小型試験体による結果のみ得られており、**表－2.4.1.19** のように与えられる。ここで単位強さは、**表－2.4.1.5(本文 17 ページ)**により求められた値である。

表－2.4.1.19 単位強さに関する試験結果

試験方法	工法	単位強さ(N/mm)
小型試験体による *1	工法 1	3.5
	工法 2	5.0

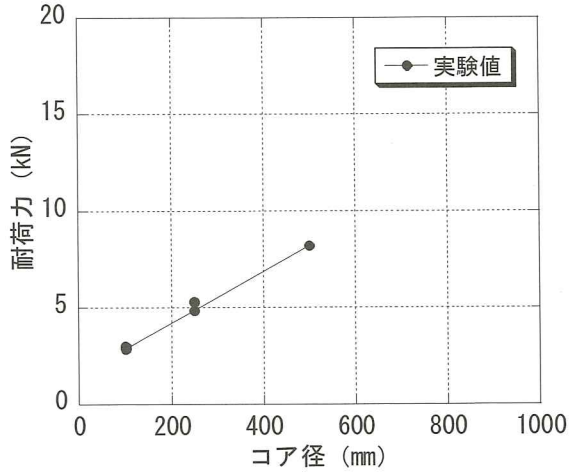
*1　表－2.4.1.6 および表－2.4.1.7 による(本文 18 ページ)

表－2.4.1.17 を図化すると、図－2.4.1.28(1),(2)のようになる。ここで、図の(1)は工法 1、(2)は工法 2 をそれぞれ示す。

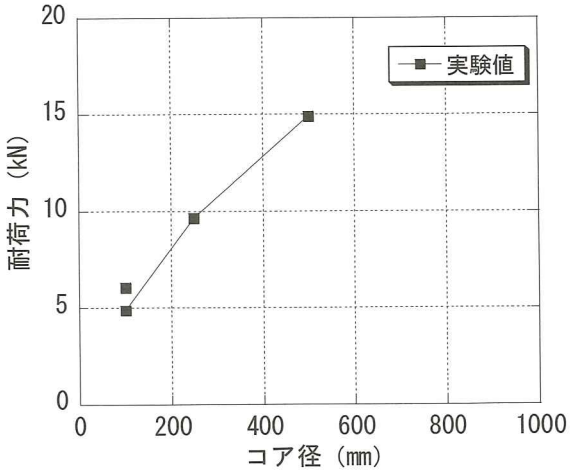
なお、図－2.4.1.28(1),(2)からは次のことが考察できる。

(i)コア径が大きくなるに従って、耐荷力が比例的増加している。これは、コア径にかかる補強ネットの本数が多くなるほど耐荷力が大きくなるためであり、例えば、補強ネットの目合いは 2cm であるので、コア径 100mm,250mm,500mm では 1 方向で 5 本,12 本,25 本と増えるためである。

(ii)目合い 2cm では、コア径 500mm では約 25 本の繊維束がかかり、一方、繊維束 1 本当りの引張り耐力は 584N であるので、これを 25 倍すると 14.6kN となり、コア径 500mm の工法 1 の実験値による押抜き耐荷力 8.2kN はその 56%となっている。すなわち、接着樹脂損傷時で定義される押抜き耐荷力が作用した段階では補強ネットのすべての束は引張り破断には至ってはおらず、平均的にはまだ 40%程度の引張強度の余裕を残していることになる。



図－2.4.1.28(1)　試験結果まとめ （工法 1）



図－2.4.1.28(2)　試験結果まとめ （工法 2）

2.4.2 付着強度試験

(1) 試験目的

提案工法の強度特性を調べるために、コンクリート試験体との付着強度試験を行う。

(2) 試験方法

試験方法は、JIS A 6916 に従う（建研式引張試験機を使用）。

(3) 試験結果

(3-1) 大型試験体（押抜き試験後）の付着強度試験結果

表－2.4.2.1 付着強度試験の結果（押抜き試験後の大型試験体使用）

工法	付着強度（MPa）
工法 1	2.59
	1.70
	2.20
	平均値 2.16
工法 2	データなし

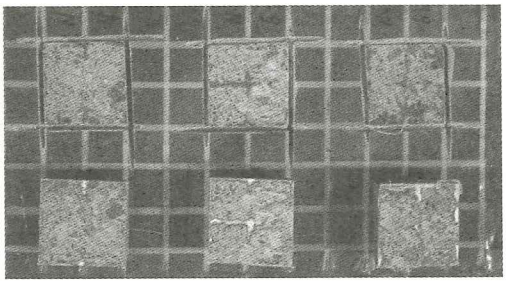
(3-2) 小型試験体による付着強度試験結果

試験体は（財）鉄道総合技術研究所規格（**表－2.4.1.5：本文 17 ページ**）に準拠して製作した。

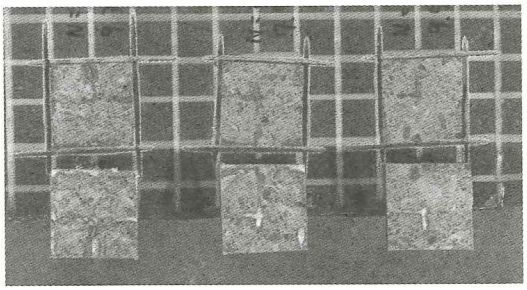
試験結果を**表－2.4.2.2** に示す。

表－2.4.2.2 付着強度試験の結果（小型試験体使用）

工法	付着強度（MPa）
工法 1	3.87
	4.28
	4.38
	平均値 4.18
工法 2	5.98
	4.94
	5.83
	平均値 5.58



写真－2.4.2.1 付着強度試験（工法 1）



写真－2.4.2.2 付着強度試験（工法 2）

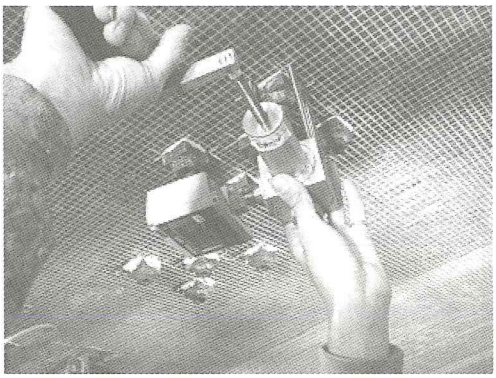
(3-3) 現位置付着強度試験

増毛日方泊トンネル試験施工における現位置付着強度試験の結果を**表－2.4.2.3** に示す。

試験は、試験施工時と 1 年半経過後の 2 回行っている。

表－2.4.2.3 付着強度試験の結果（増毛日方泊トンネル現位置試験）

工法	部位	付着強度（MPa）	
		試験結果（試験施工時）	試験結果（1 年半後）
工法 1	側壁部	5.17	2.71
		3.17	3.68
		4.28	3.50
		3.46	4.36
		2.99	2.57
		平均値 3.81	平均値 3.36
	天井部	データなし	4.95
			5.02
			5.71
			5.44
			5.12
			平均値 5.25
工法 2	側壁部	4.05	4.04
		3.19	3.76
		3.86	3.53
		(0.28：接着不良)	3.32
		4.06	3.28
		平均値 3.79	平均値 3.59
	天井部	データなし	5.62
			3.98
			3.09
			5.71
			5.72
			平均値 4.82



写真－2.4.2.3 付着強度試験(天井部)



写真－2.4.2.4 付着強度試験(側壁部)

(4) 試験結果のまとめ

試験結果は次のようにまとめられる。

・付着強度試験に関しては、室内（大型試験体・小型試験体）試験および現位置試験では、2.1MPa以上（2.16～5.72MPa）の付着強度が得られた。

・付着強度に関しては、一般的には道路公団試験研究所あるいは（財）鉄道総合技術研究所の試験規格である 1.5Mpa 以上を満たしていることが評価方法として挙げられ、工法 1 および工法 2 はこの試験規格を満足する。

・試験体対象ごとに、付着強度の値にばらつきが見られる理由は、破壊状況の多くがコンクリートの母材破壊によるため、コンクリートの引張強度（一軸圧縮強度の 10～15%程度）に依存するためである。

2.4.3. 耐久性

耐久性に関する試験としては、(1)温冷繰返し試験と(2)湿潤繰返し試験を行った。

(1)温冷繰返し

(1-1) 試験目的

外部環境による耐久性を調べるために、温冷繰返し試験を行う。

温冷繰返しを試験体に与えた後、次に述べる 3 通りの試験を行う。

表－2.4.3.1 温冷繰返しの試験内容

試験内容	確認内容
外観試験	温冷繰返し後も、外観にしわ、むら、はがれ、われがない
押抜き試験	温冷繰返し後も、耐荷力に著しい低下が見られない
付着強度試験	温冷繰返し後も、付着強度に著しい強度低下が見られない

試験体の製作方法および押抜き試験方法等については、(財)鉄道総合技術研究所規格（**表－2.4.1.5：本文 17 ページ**）に準拠する。また、大型試験体による押抜き試験に合わせて、試験体は乾燥状態で製作した。

(1-2) 試験方法

(a) 試験体の製作

次に述べる 2 種類の試験体を使用する。

表－2.4.3.2 温冷繰返し用の試験体

試験工法	試験内容	試験体数
工法 1	外観試験	1
	押抜き試験	3
	付着強度試験	0
	計	4
工法 2	外観試験	3
	押抜き試験	1
	付着強度試験	0
	計	4

試験体の寸法は 600mm×400mm×60mm のコンクリート板を使用し、補強メッシュ等の貼付寸法は 400mm×400mm とした。

また、観察用の試験体は、予めハンマーによる打撃により、ひび割れを入れた。

付着強度試験については、押抜き試験を実施した試験体の端部付近における健全な箇所について行うため、専用の試験体は製作していない。

(b) 温冷繰返しの条件

(a)で示した試験体を水温 20℃の水槽に 18 時間浸漬。その後温度－20℃の恒温槽に 3 時間入れ、そして 50℃の恒温槽に 3 時間入れる。以下これを 1 サイクル(1 日)とし、これを 10 サイクル(10 日間)繰り返し、負荷とする。負荷方法については JIS A 6909 に準拠した。

(c) 試験内容

① 外観試験

目視により、貼付箇所にしわ、むら、はがれ、われが生じないことを調べる。

② 押抜き試験方法

試験体は（財）鉄道総合技術研究所規格（**表－2.4.1.5：本文 17 ページ**）に準拠して試験を行った。

③ 付着強度試験方法

JIS A 6916 に従って試験を行う。

(1-3) 試験結果

(a) 外観検査

外観試験の結果を**表－2.4.3.3** に示す。

表－2.4.3.3 外観試験の結果（温冷繰返し試験）

試験工法	試験結果
工法 1	温冷繰返し試験後、貼付箇所にしわ、むら、はがれ、われは生じなかった
工法 2	温冷繰返し試験後、貼付箇所にしわ、むら、はがれ、われは生じなかった

観察用試験体の外観変化について、若干の補足を**表－2.4.3.4** に示す。

表－2.4.3.4 試験体の外観変化について（温冷繰返し試験：補足）

試験工法	経過日数(日)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
工法 1	変化なし	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
工法 2	変化なし	同左	若干黄色化	黄色化が進行	変化なし 4 日目の状態	同左	同左	同左	同左	同左

(b) 押抜き試験結果

押抜き試験の結果を**表－2.4.3.5** に示す。また、押抜き試験の荷重－変位曲線を**図－2.4.3.1～2.4.3.6** に示す。

表－2.4.3.5 押抜き試験結果(温冷繰返し試験)

試験工法	負荷後の試験結果					負荷前の試験結果	
	試験体番号	最大荷重*1 (kN)	最大荷重時の変位 (mm)	損傷形態	単位強さ(*2) Sp_0(N/mm)	最大荷重 (kN)	単位強さ(*2) Sp_0(N/mm)
工法 1	1	2.92	21.5	樹脂固化体および補強ネットの破断	—	2.9 (*3)	3.5 (*3)
	2	2.78	13.9				
	3	3.25	15.1				
	平均	2.98	16.8		4.0		
工法 2	1	5.50	20.4	剥離が貼付け面端部まで進展	—	6.1 (*4)	5.0 (*4)
	2	6.95	22.9				
	3	7.26	20.8	シートおよび補強ネットの破断			
	平均	6.57	21.4		6.1		

*1：変位が 10mm 以上での最大荷重を示す。
*2：単位強さの求め方は**表－2.4.1.5(本文 17ページ)**による。
*3：**表－2.4.1.6(本文 18 ページ)**による。
*4：**表－2.4.1.7(本文 18 ページ)**による。

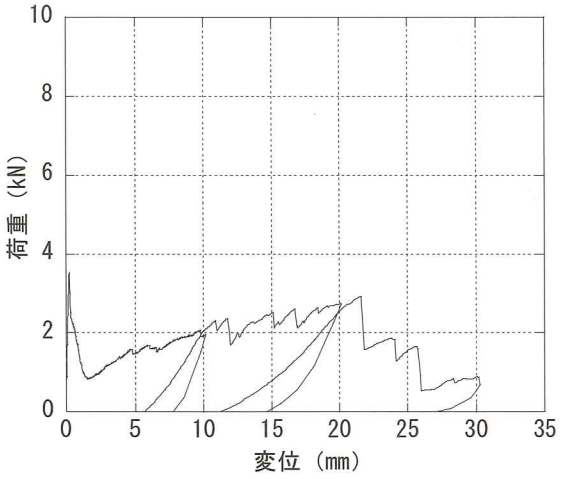
(c) 付着強度試験

付着強度試験の結果を**表－2.4.3.6** に示す。

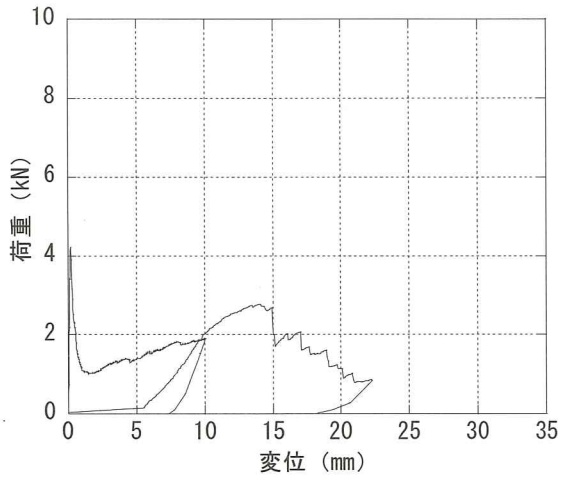
表－2.4.3.6 付着強度試験結果

試験工法	負荷後の試験結果		負荷前の試験結果 (MPa)(*1)
	試験体番号	引張強度（MPa）	
工法 1	1	3.54	4.2
	2	2.49	
	3	2.76	
	平均	2.93	
工法 2	1	2.84	5.6
	2	2.43	
	3	3.08	
	平均	2.78	

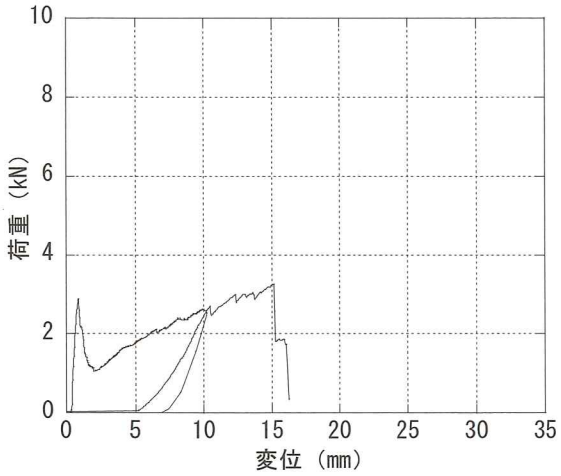
*1：**表－2.4.2.2(本文 46 ページ)**による。



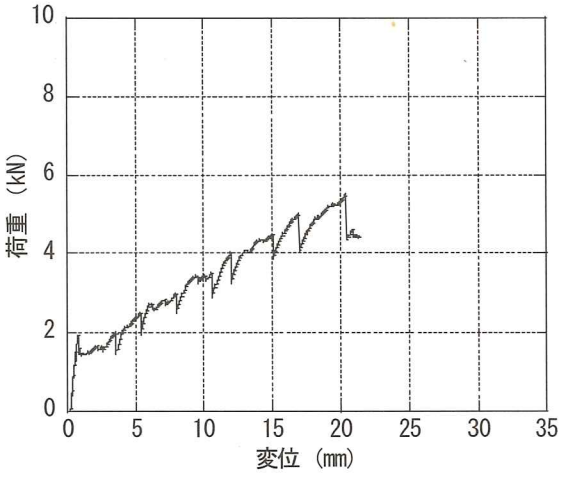
図－2.4.3.1 荷重－変位曲線(工法1, No.1)



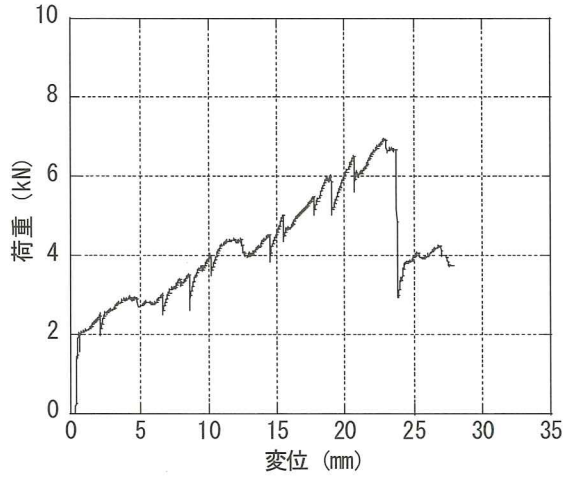
図－2.4.3.2 荷重－変位曲線(工法1, No.2)



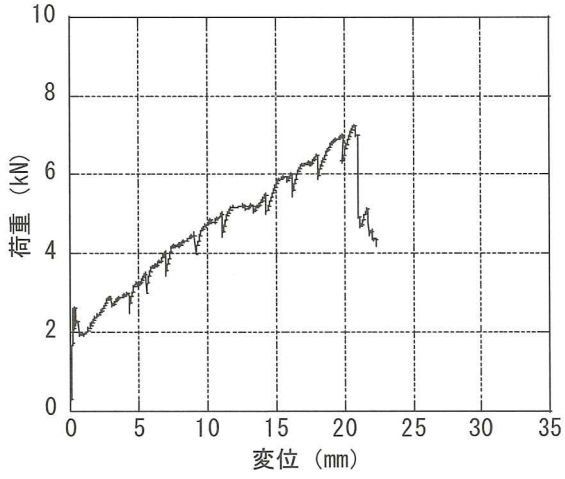
図－2.4.3.3 荷重－変位曲線(工法1, No.3)



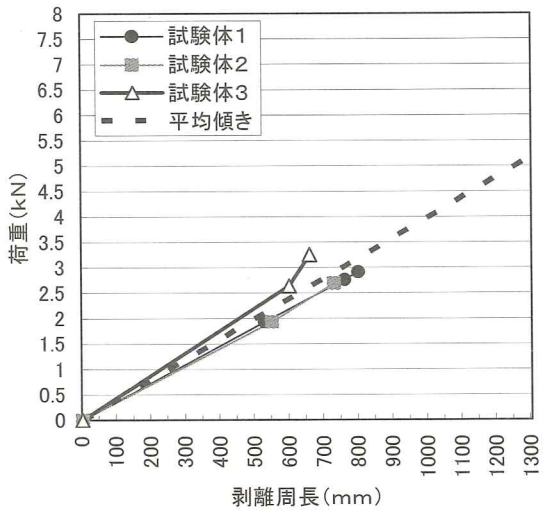
図－2.4.3.4 荷重－変位曲線(工法 2, No.1)



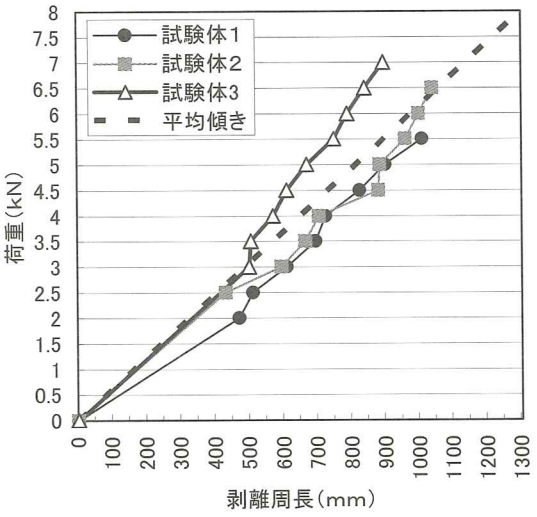
図－2.4.3.5 荷重－変位曲線(工法 2, No.2)



図－2.4.3.6 荷重－変位曲線(工法 2, No.3)



図－2.4.3.7 荷重－剥離周長曲線(工法 1)
負荷後：単位強さ 4.0N/mm



図－2.4.3.8 荷重－剥離周長曲線(工法 2)
負荷後：単位強さ 6.1N/mm

(1-4) まとめ

工法 1 および 2 に対して温冷繰返しの負荷を与えた後、(a)外観、(b)押抜き耐荷力、(c)付着強度の試験をそれぞれ実施した。

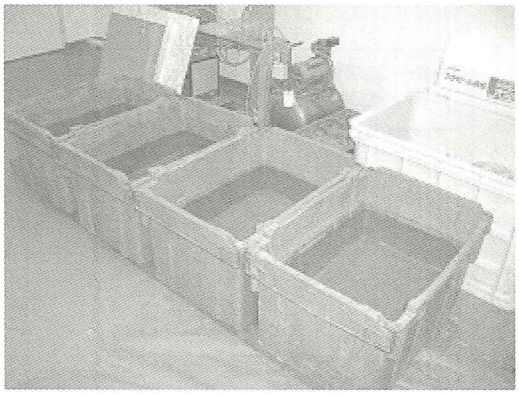
結果は次のようにまとめられる。

① 外観については、工法 1 では負荷後と負荷前とで変化はみられず、可視性（樹脂の透明度）にも変化はなかった。工法 2 では負荷後にやや樹脂の黄変が見られた。

② 押抜き耐荷力の平均値は、負荷後、工法 1 で 2.98kN、工法 2 で 6.57kN であり、負荷前の平均値 2.9kN と 6.1kN と比べてほとんど変わらなかった。

③ 単位強さ S_{p0} は、工法 1 で 4.0N/mm、工法 2 で 6.1N/mm であり、負荷前の平均値 3.5N/mm と 5.0N/mm と比べてやや大きめの値となっている。

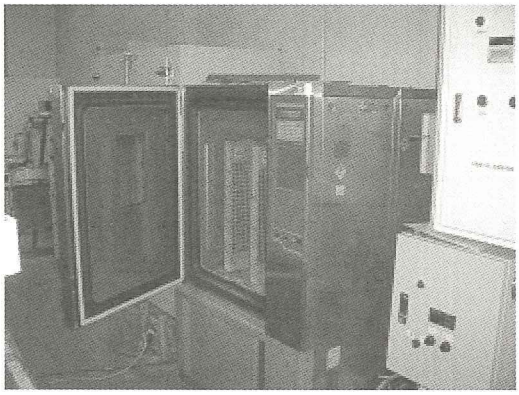
④ 負荷後の付着強度の平均値は、工法 1 で 2.93MPa、工法 2 で 2.78MPa であり、負荷前の平均値 4.2kN と 5.6kN のそれぞれ 70%と 50%となり、強度低下が見られた。しかし負荷後の付着強度は道路公団試験研究所あるいは（財）鉄道総合技術研究所の試験規格（1.5MPa 以上）を満足する。



写真－2.4.3.1 浸漬用水槽



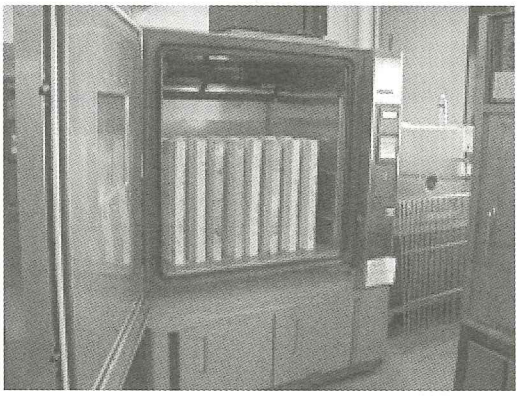
写真－2.4.3.2 試験体浸漬の様子



写真－2.4.3.3－20℃用恒温槽



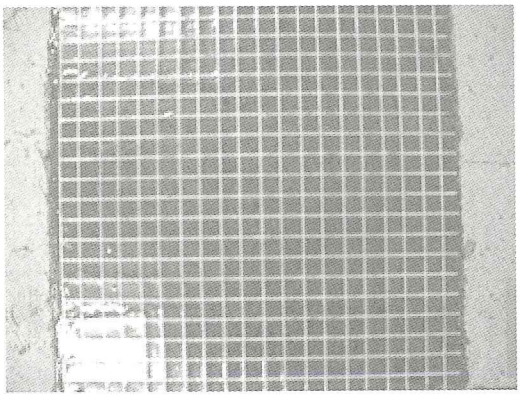
写真－2.4.3.4 試験中の様子(－20℃)



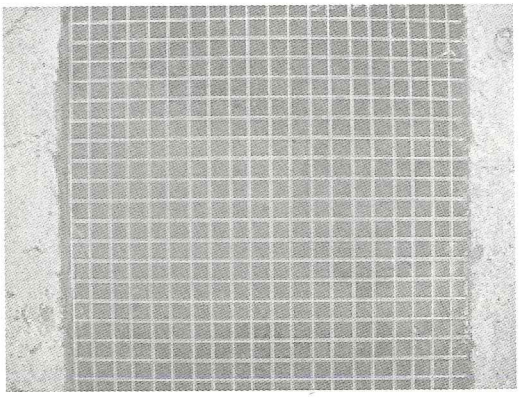
写真－2.4.3.5　50℃用恒温槽



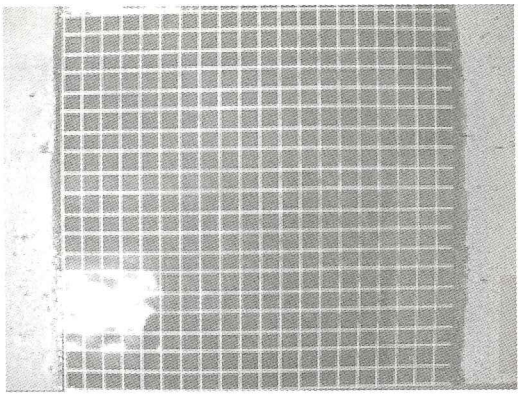
写真－2.4.3.6 試験中の様子(50℃)



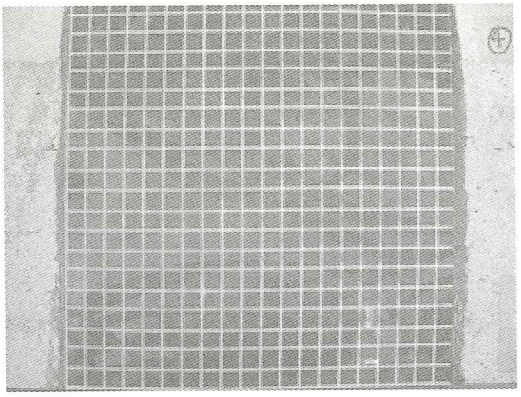
写真－2.4.3.7 外観観察用試験体
（工法 1：負荷前）



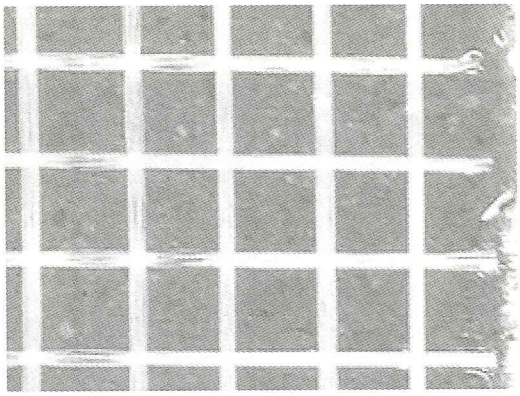
写真－2.4.3.8 外観観察用試験体
（工法 1：負荷後）



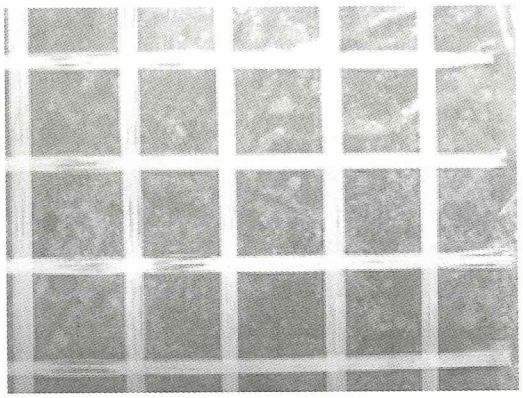
写真－2.4.3.9 外観観察用試験体
（工法 2：負荷前）



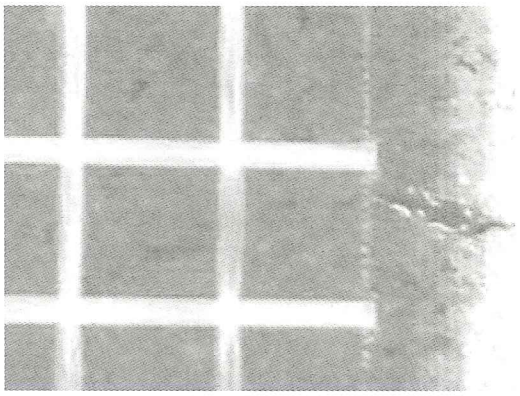
写真－2.4.3.10 外観観察用試験体
（工法 2：負荷後）



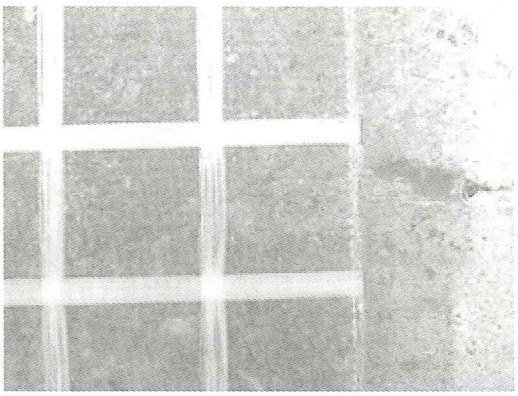
写真－2.4.3.11 ひび割れ観察
（工法 1：負荷前）



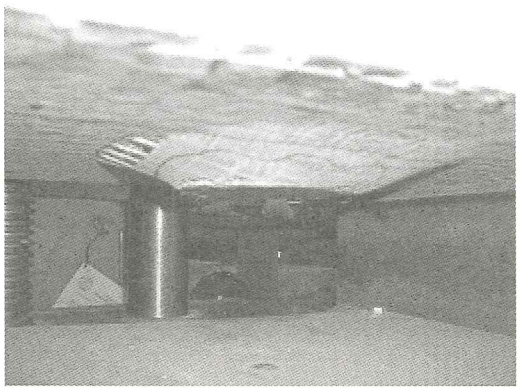
写真－2.4.3.12 ひび割れ観察
（工法 1：負荷後）



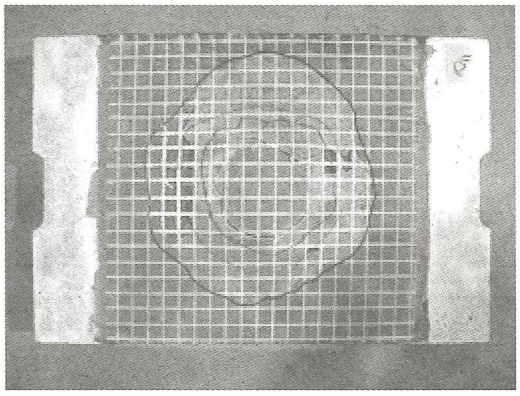
写真－2.4.3.13 ひび割れ観察
（工法 2:負荷前）



写真－2.4.3.14 ひび割れ観察
（工法 2:負荷後）



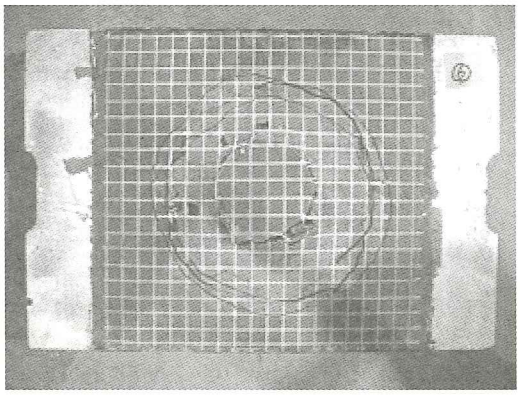
写真－2.4.3.15 破壊状況(工法 1,No.1)



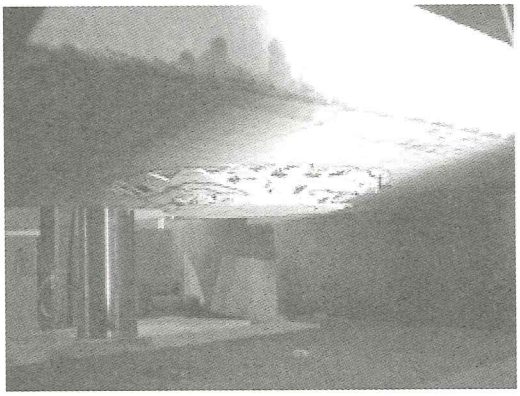
写真－2.4.3.16 試験終了後の試験体
（工法 1,No.1）



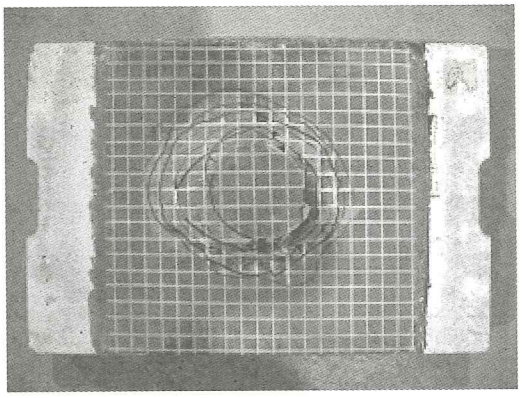
写真－2.4.3.17 破壊状況(工法 1,No.2)



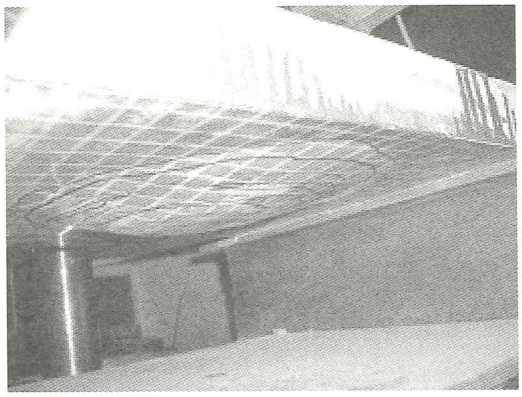
写真－2.4.3.18 試験終了後の試験体
（工法 1,No.2）



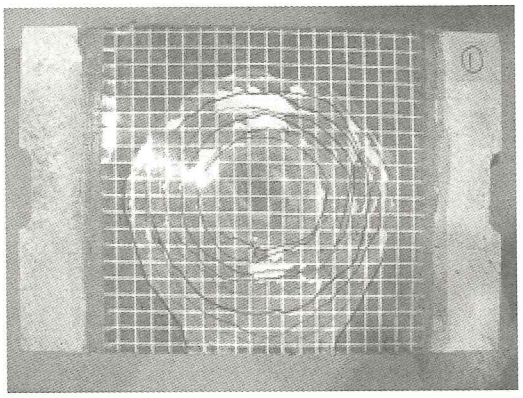
写真－2.4.3.19 破壊状況(工法 1,No.3)



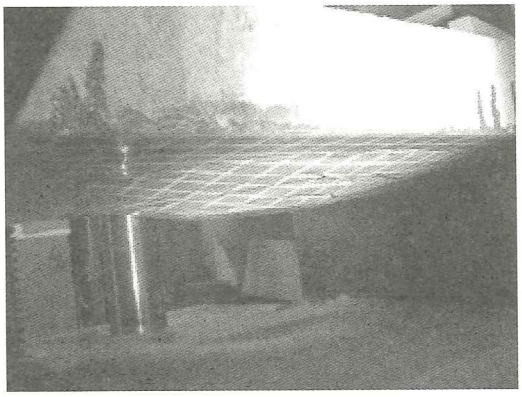
写真－2.4.3.20 試験終了後の試験体
(工法 1,No.3)



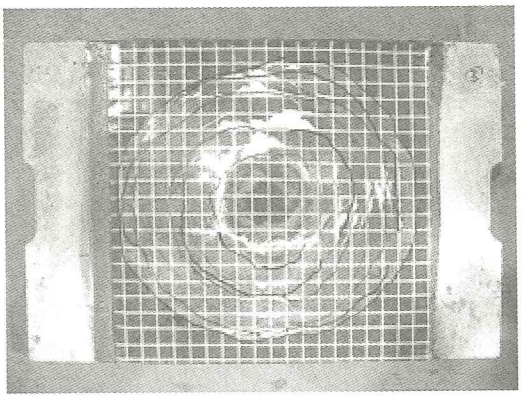
写真－2.4.3.21 破壊状況(工法 2,No.1)



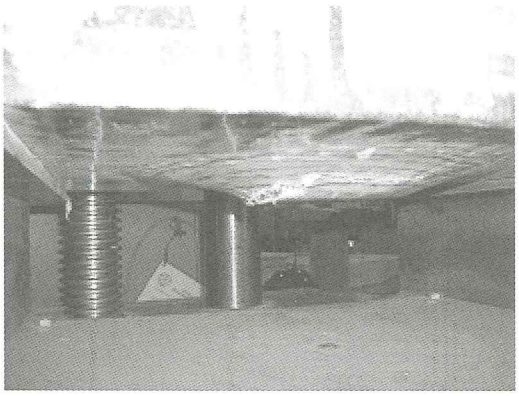
写真－2.4.3.22 試験終了後の試験体
(工法 2,No.1)



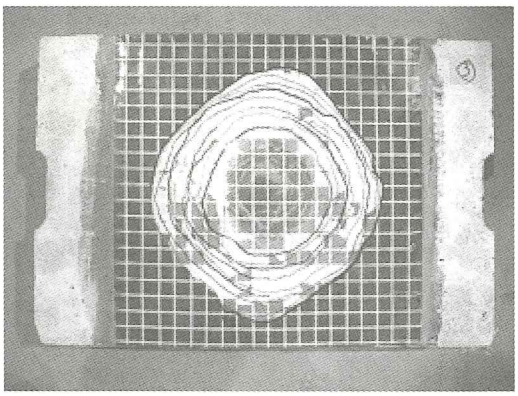
写真－2.4.3.23 破壊状況(工法 2,No.2)



写真－2.4.3.24 試験終了後の試験体
(工法 2,No.2)



写真－2.4.3.25 破壊状況(工法 2,No.3)



写真－2.4.3.26 試験終了後の試験体
(工法 2,No.3)

(2)湿潤繰返し試験

(2-1) 試験目的

外部環境による耐久性を調べるために、湿潤繰り返し試験を行う。

湿潤繰返しのストレスを試験体に与えた後、次に述べる 3 通りの試験を行う。

表－2.4.3.7 湿潤繰返しの試験内容

試験内容	判定基準
外観試験	湿潤繰返し後も、外観にしわ、むら、はがれ、われがない
押抜き試験	湿潤繰返し後も、耐荷力に著しい低下が見られない
付着強度試験	湿潤繰返し後も、付着強度に著しい強度低下が見られない

試験体の製作方法および押抜き試験方法等については、(財)鉄道総合技術研究所規格（**表－2.4.1.5：本文 17 ページ**）に準拠する。

(2-2) 試験方法

(a) 試験体の製作

次に述べる 2 種類の試験体を使用する。

表－2.4.3.8 湿潤繰返し用の試験体

試験工法	試験内容	試験体数
工法 1	外観試験	1
	押抜き試験	3
	付着強度試験	0
	計	4
工法 2	外観試験	3
	押抜き試験	1
	付着強度試験	0
	計	4

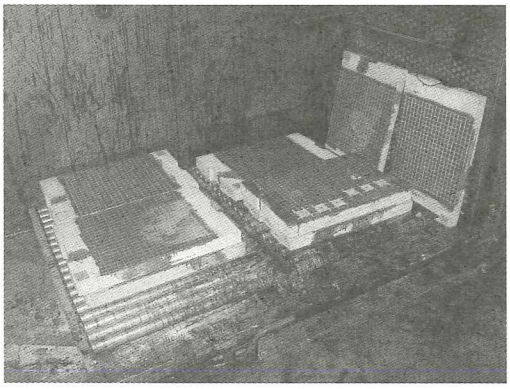
試験体の寸法は 600mm×400mm×60mm のコンクリート板を使用し、補強メッシュ等の貼付寸法は 400mm×400mm とした。

また、観察用の試験体は、予めハンマーによる打撃により、ひび割れを入れた。

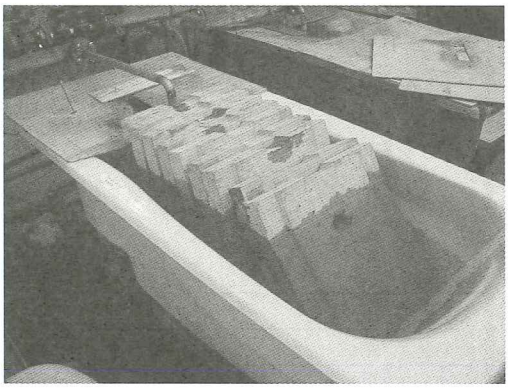
付着強度試験については、押抜き試験を実施した試験体の端部付近における健全な箇所について行うため、専用の試験体は製作していない。

(b) 湿潤繰返しの条件

(a)で示した試験体を、①温度 60℃循環式空気乾燥機で 18 時間養生後、②温度 60℃の恒温水槽で水浸し、6 時間養生する。これを 1 サイクル（1 日）とし、これを 3 サイクル（3 日間）繰返し、負荷を与える（**写真－2.4.4.27, 28** 参照）。その後標準状態で 24 時間養生する。負荷方法については JIS A 6909 に準拠した。



写真－2.4.3.27　60℃空気乾燥



写真－2.4.3.28　60℃水槽養生

(c) 試験内容

① 外観試験

目視により、貼付箇所にしわ、むら、はがれ、われが生じないことを調べる。

② 押抜き試験方法

前述の（財）鉄道総合技術研究所規格（**表－2.4.1.5：本文 17 ページ**）に準拠する。

③ 付着強度試験方法

JIS A 6916 に従って試験を行う。

(2-3) 試験結果

(a) 外観検査

外観試験の結果を**表－2.4.3.9** に示す。

表－2.4.3.9 外観試験の結果（湿潤繰返し試験）

試験工法	試験結果
工法 1	負荷後、貼付箇所にしわ、むら、はがれ、われは生じなかった
工法 2	負荷後、貼付箇所にしわ、むら、はがれ、われは生じなかった

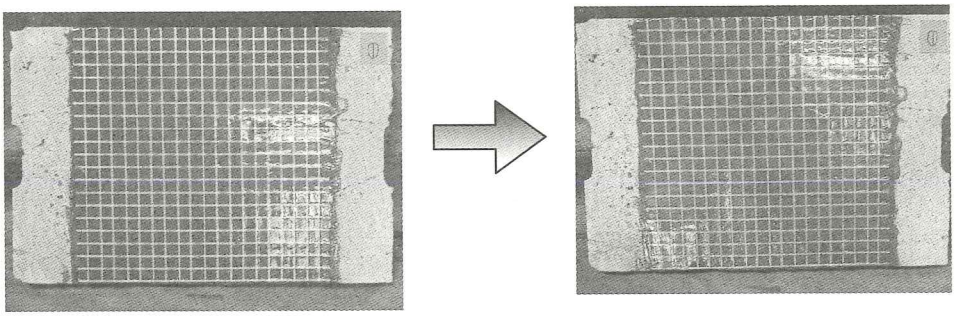
外観観察の詳細を以下に示す。

工法 1 の外観観察：

負荷前と負荷後の外観を観察すると、樹脂塗膜表面の色変（黄変）が見られる（**写真－2.4.3.29, 30** 参照）また、下地のクラックの状態は、塗膜の色に影響されること無く確認することができた。（**写真-2.4.3.31** 参照）

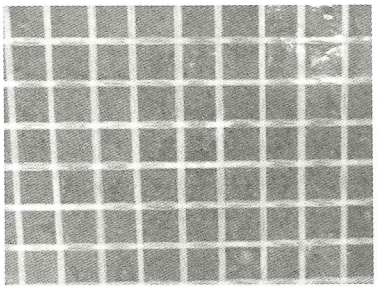
工法 2 の外観観察：

負荷前と負荷後の外観観察では、ほとんど違いはない（**写真－2.4.3.32, 33** 参照）また、下地のクラックの状態も確認することができた。（**写真-2.4.3.34** 参照）

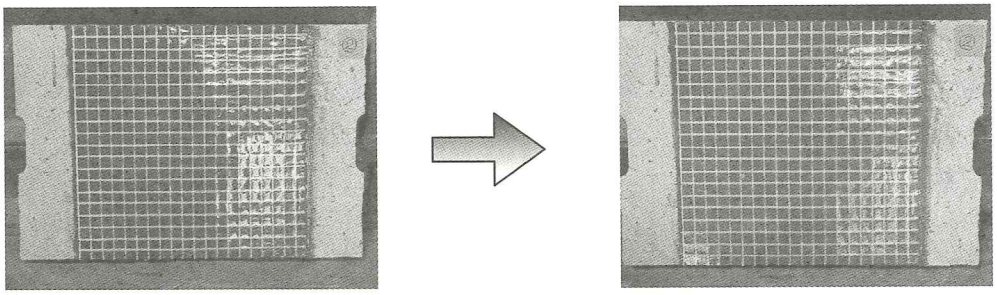


写真－2.4.3.29　負荷前
（湿潤繰返し、工法 1）

写真－2.4.3.30　負荷後
（湿潤繰返し、工法 1）

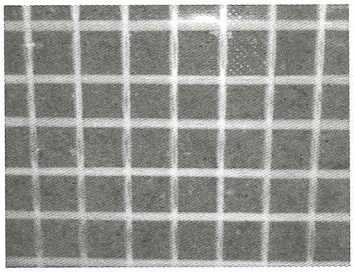


写真－2.4.3.31　負荷後のクラック観察
（湿潤繰返し、工法 1）



写真－2.4.3.32　負荷前
（湿潤繰返し、工法 2）

写真－2.4.3.33　負荷後
（湿潤繰返し、工法 2）



写真－2.4.3.34　負荷後のクラック観察
（湿潤繰返し、工法 2）

(b) 押抜き試験結果

押抜き試験の結果を**表－2.4.3.10** に示す。工法 2 では、単位強さが、負荷前と比べて負荷後の方が僅かに大きくなっているが、誤差レベルであると考えられる。

表－2.4.3.10 押抜き試験結果(湿潤繰返し試験)

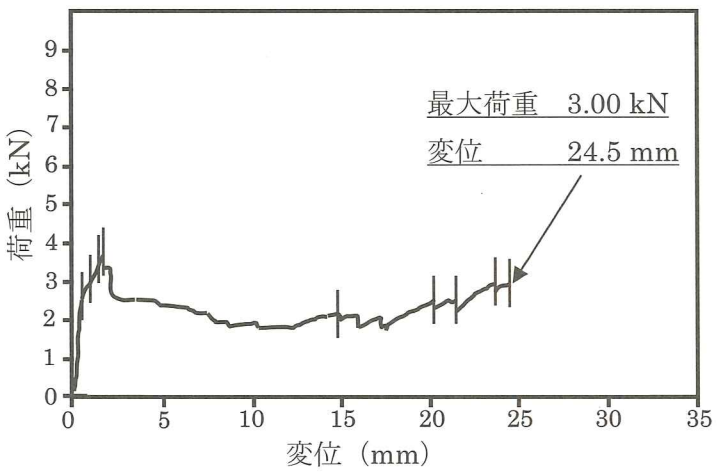
	負荷後の試験結果					負荷前の試験結果	
試験工法	試験体番号	最大荷重*1 (kN)	最大荷重時の変位 (mm)	損傷形態	単位強さ(*2) S_{p0}(N/mm)	最大荷重 (kN)	単位強さ(*2) S_{p0}(N/mm)
工法 1	1	3.00	24.5	樹脂硬化体および補強ネットの破断	—	2.9 (*3)	3.5 (*3)
	2	2.97	27.5		—		
	3	2.98	27.6		—		
	平均	2.98	26.5		3.29		
工法 2	1	6.42	23.5	剥離が貼付け面端部まで進展	—	6.1 (*4)	5.0 (*4)
	2	5.64	18.1	シートおよび補強ネットの破断	—		
	3	5.92	22.1	剥離が貼付け面端部まで進展	—		
	平均	5.99	21.2		5.35		

*1：変位が 10mm 以上での最大荷重を示す。
*2：単位強さの求め方は**表－2.4.1.5(本文 17ページ)**による。
*3：**表－2.4.1.6(本文 18 ページ)**による。
*4：**表－2.4.1.7(本文 18 ページ)**による。

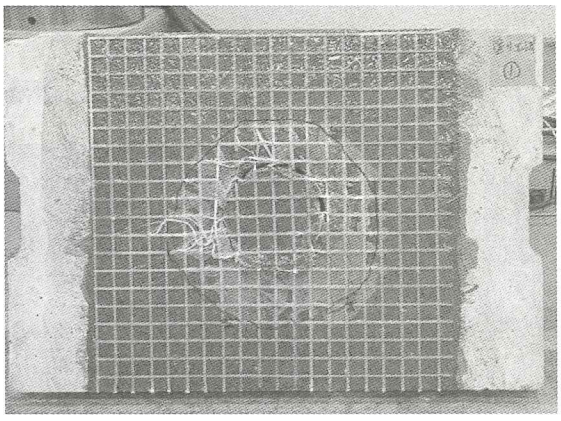
押抜き試験の詳細を以下に示す。

工法１の押抜き荷重：

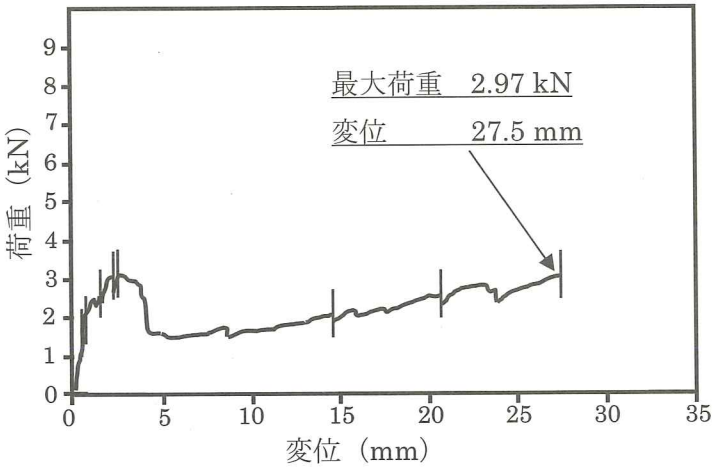
負荷後の押抜き試験において、負荷前の試験体の結果と比較すると、単位強さに大きな違いは無い。また、剥離状態としては、塗膜に小さなクラックは入るが、一定の変位までは荷重に絶えることを確認した。



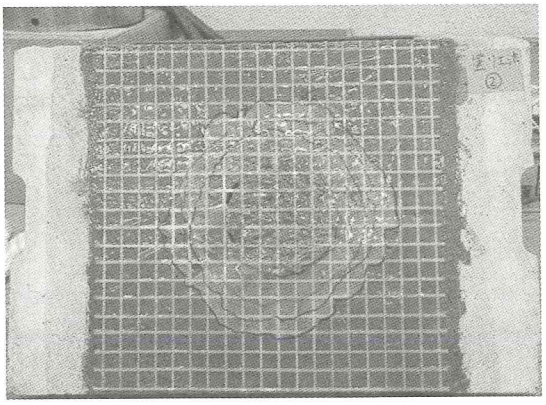
図－2.4.3.9 荷重－変位曲線（工法 1,No. 1）



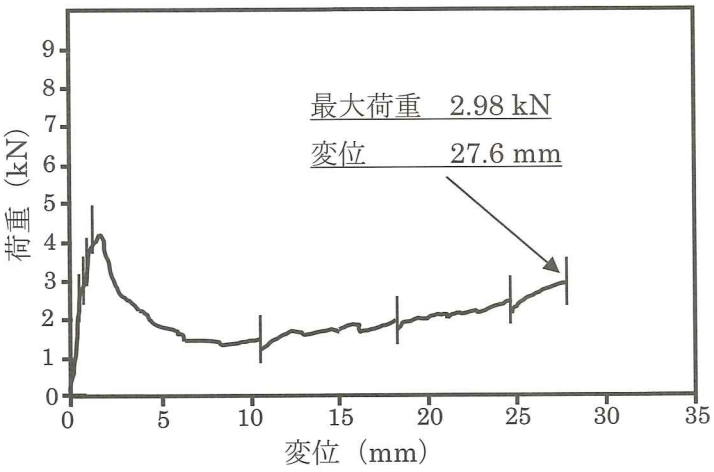
写真－2.4.3.35 押抜き試験後の試験体（工法 1,No. 1）



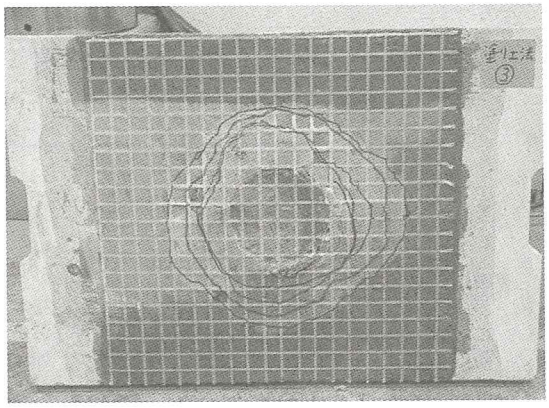
図－2.4.3.10 荷重－変位曲線（工法 1,No. 2）



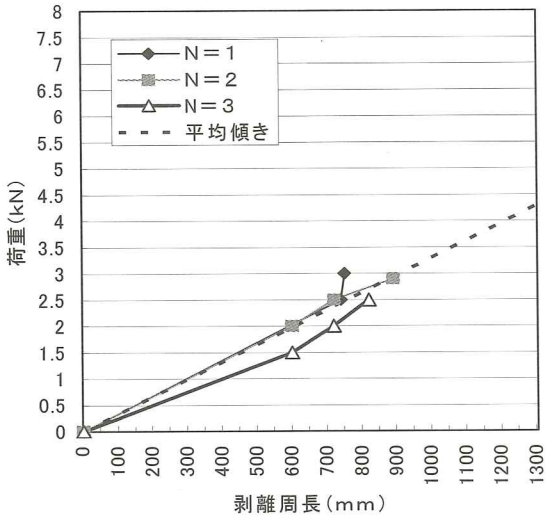
写真－2.4.3.36 押抜き試験後の試験体
（工法 1,No. 2）



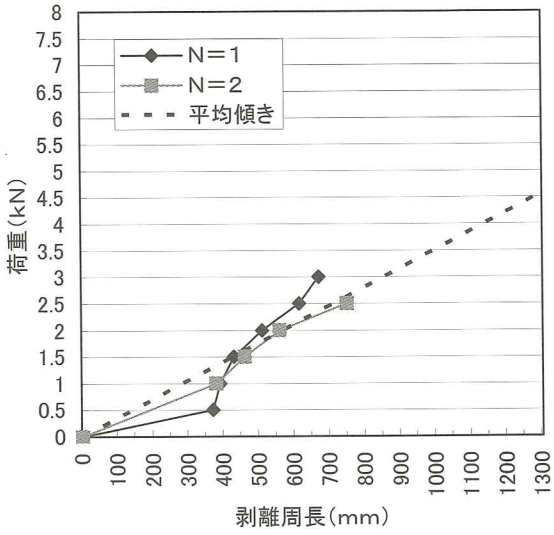
図－2.4.3.11 荷重－変位曲線（工法 1,No. 3）



写真－2.4.3.37 押抜き試験後の試験体
（工法 1,No. 3）



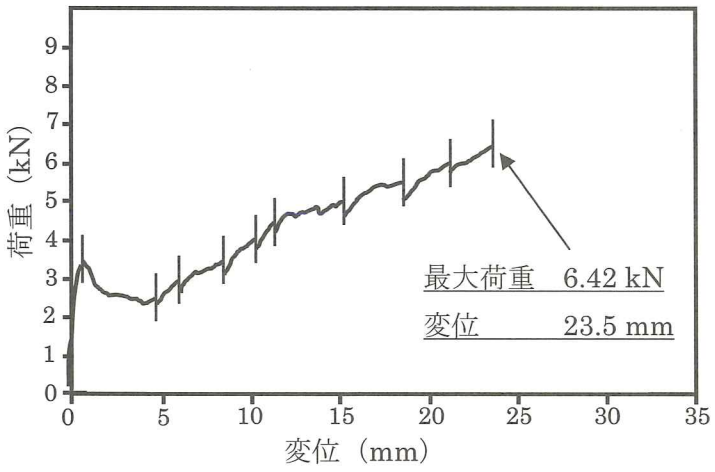
図－2.4.3.12 荷重－剥離周長曲線(工法 1)
負荷後：単位強さ 3.29N/mm



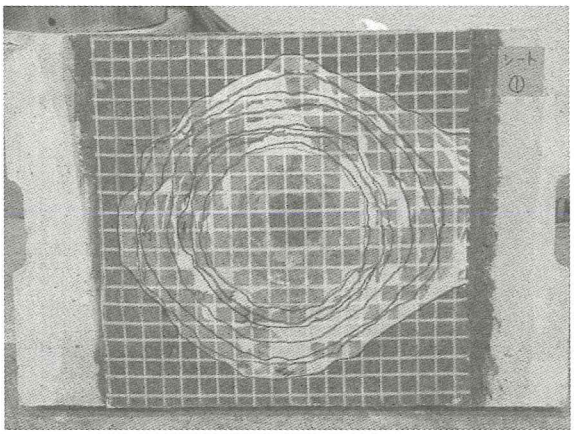
図－2.4.3.13 荷重－剥離周長曲線（工法 1）
負荷前：単位強さ 3.50N/mm

工法２の押抜き荷重

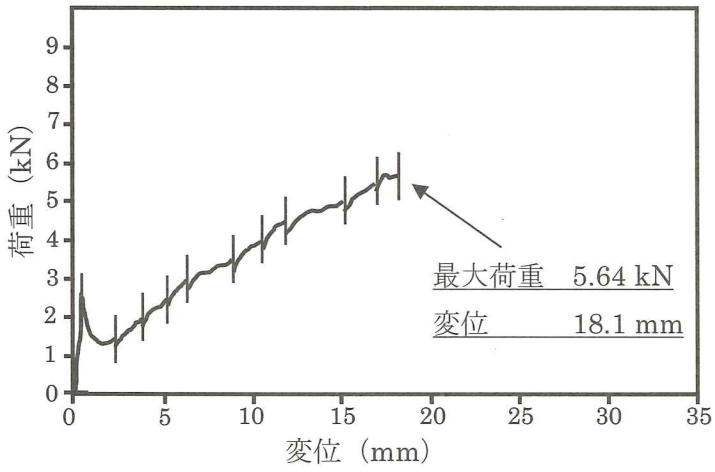
剥離状態としては、コンクリート躯体に施工した塗膜（400×400 mm）の端まで剥離するまでは荷重は上昇し続け、ブランクと同じ結果になった。



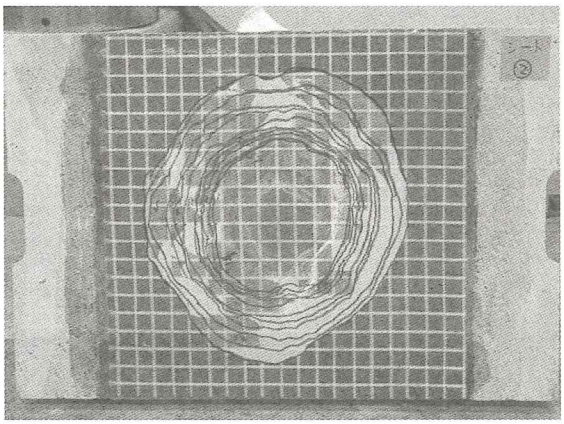
図－2.4.3.14　荷重－変位曲線（工法 2,No. 1）



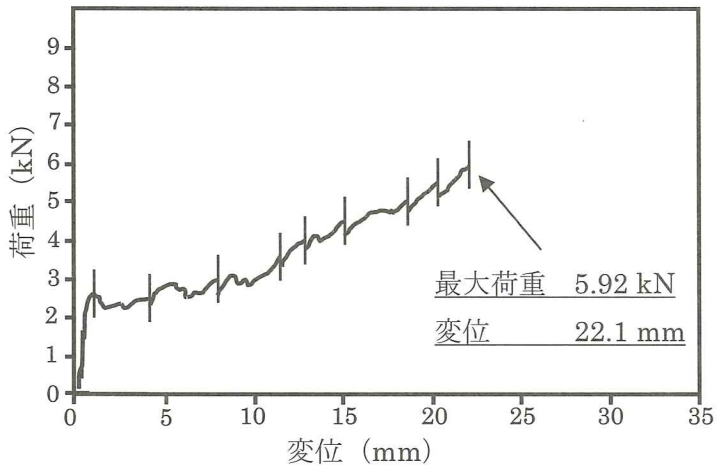
写真－2.4.3.38 押抜き試験後の試験体（工法 2,No. 1）



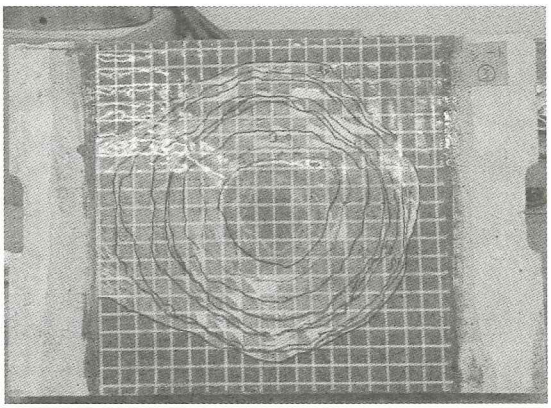
図－2.4.3.15 荷重－変位曲線（工法 2,No. 2）



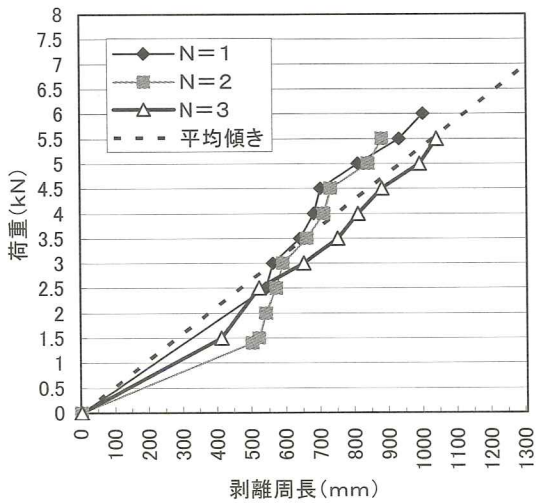
写真－2.4.3.39 押抜き試験後の試験体（工法 2,No. 2）



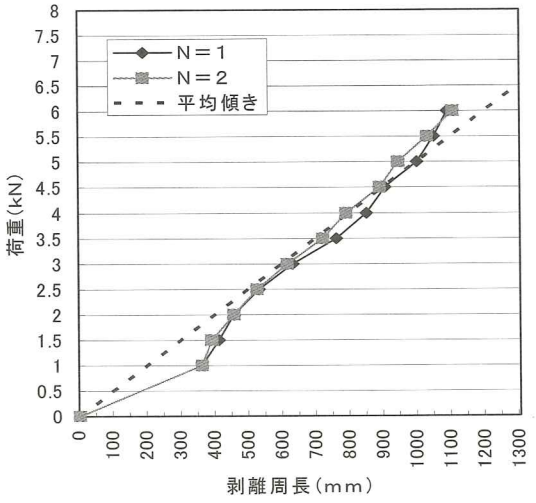
図－2.4.3.16 荷重－変位曲線（工法 2,No. 3）



写真－2.4.3.40 押抜き試験後験体（工法 2,No. 3）



図－2.4.3.17 荷重－剥離周長曲線(工法 2)
負荷後：単位強さ 5.35N/mm



図－2.4.3.18 荷重－剥離周長曲線(工法 2)
負荷前：単位強さ 5.0N/mm

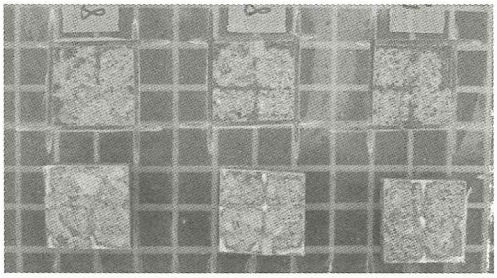
(c) 付着強度試験

付着強度試験の結果を**表－2.4.3.11** に示す。工法 1 および工法 2 ともに、負荷後の付着強度は、負荷前の結果と同等であった。

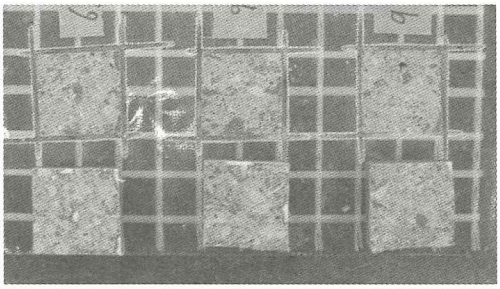
表－2.4.3.11 付着強度試験結果

	負荷後の試験結果		負荷前の試験結果 (MPa)
試験工法	試験体番号	引張強度 (MPa)	
工法 1	1	5.6	4.2 (*1)
	2	5.2	
	3	4.5	
	平均	5.1	
工法 2	1	4.3	5.6 (*1)
	2	5.8	
	3	5.7	
	平均	5.3	

*1：**表－2.4.2.2(本文 46 ページ)**による



写真－2.4.3.41 付着強度試験（湿潤繰返し,工法 1）



写真－2.4.3.42 付着強度試験
（湿潤繰返し,工法 2）

(2-4) まとめ

工法 1 および 2 に対する湿潤繰返しの負荷を与えた後、(a)外観、(b)押抜き耐荷力、(c)付着強度の試験をそれぞれ実施した。

結果は、次のようにまとめられる。

①外観については、工法 1 では負荷後と負荷前とで変化はみられず、樹脂の色変（黄変）が若干みられた。工法 2 では変化は全くみられなかった。

②押抜き耐荷力の平均値は、負荷後、工法 1 で 2.98kN、工法 2 で 5.99kN であり、負荷前の平均値 2.9ｋN と 6.1kN と比べて変化はなかった。

③単位強さについては、負荷後、工法 1 で 3.29N/mm、工法 2 で 5.35N/mm であり、負荷前の平均値 3.5N/mm と 5.0N/mm と比べて変化はほとんどなかった。

④付着強度の平均値は、負荷後、工法 1 で 5.1MPa、工法 2 で 5.3MPa であり,負荷前の平均値 4.2MPa と 5.6MPa と比べて、有意な差はみられなかった。

(3) 耐久性試験のまとめ

耐久性試験では、温冷繰返しと湿潤繰返しの２通りの試験を実施した。各試験において、所定の負荷を与えた後、(a)外観、(b)押抜き耐荷力、(c)付着強度の試験を行った。

結果は、次のようにまとめられる。

① 外観試験から、温冷繰り返試験では負荷後、工法 2 において樹脂の色変（黄変）があり、湿潤繰返し試験では、工法 1 において樹脂の色変（黄変）が認められた。変化の程度は両者とも軽微なものであった。

② 押抜き耐荷力の低下は認められなかった。

③ 単位強さの低下も認められなかった。

④ 付着強度には、温冷繰り返し試験において、やや強度低下が認められた。

2.4.4 可視性

(1) 観察の目的

提案工法の適用後、コンクリート覆工面がどの程度、観察できるかを確認する。
また、貼付け箇所の状況を繰り返し観察することにより、経時的な変化の有無を調べる。

(2) 観察の方法

次に述べる方法により観察を行った。

(a) 目視の条件

- 路面からの目視（高所作業車を使用しない）
- 近接目視（天井部については高所作業車使用）

(b) 照明の条件

- 基本照明(条件 1)：通常での道路トンネル坑内での照明による明るさとほぼ同じ明るさ
- 実験施設の全照明(条件２)：実験施設上でトンネル坑内を通常の道路トンネル坑内の照明よりも明るく設定でき、その照度は、照度計測結果から路面部で 500lx 程度。

貼付け面の大きさは、幅、高さとも約 1m、面積で $1m^2$ とした。

ひび割れ幅の観察は、次のような手順で行った。

(i) 貼付け作業に着手する前に、ポリエチレン製の薄い透明シートを貼付け箇所を覆うように配置し、中央点を通る基線を設けた上で、10cm 間隔に補助線を記入する。

(ii) 次に、目視可能なひび割れを、シート上に書き記す。

(iii) シートの基線および補助線と交わるひび割れについて、クラックゲージを当てて、ひび割れ幅を読み取る。

(iv) 所定の作業手順に従い、貼付け後、再度、ポリエチレン製のシートを当てて、貼付け後のひび割れ幅を読み取る。また、ひび割れが、グラインダーによるケレン掛け、あるいはプライマーや樹脂の充填等によって見えなくなった場合には、シート上にその旨、記録した。

(3) 実施場所・時期とその作業内容

(i) 実施場所：

国土交通省 国土技術政策総合研究所 実大トンネル実験施設内

(ii) 実施時期とその作業内容：

実施時期とその作業内容等を**表－2.4.4.1** に示す。

表－2.4.4.1 実施時期とその作業内容

番号	時　期	位　置 （北坑口より）	主な作業内容	記　事
1	平成 15 年 12 月 15,16 日	・側壁部 208.6m 西側 高さ 2.5m 付近 ・天井部 215.0m	(i)ひび割れの事前観察 (ii)工法 1 の適用	・側壁部の観察ひび割れ台帳番号 B74,B70 ・天井部の観察ひび割れ台帳番号 A87,B45
2	平成 16 年 1 月 7 日 ：第 1 回観察	・同上	(i)路盤からの目視 (ii) 近接目視（基本照明・全照明）によるひび割れ観察	・側壁部の貼付面に不陸修正材の厚塗り箇所に白濁が観察される。 ・そのため、再貼付を行うことを決定
3	平成 16 年 1 月 15,16 日	・側壁部 140.0m 西側 高さ 0.8m 付近 ・天井部 146.0m	(i)ひび割れの事前観察 (ii)工法 1 の適用	・ひび割れ番号のない箇所を選択
4	平成 16 年 2 月 9 日 ：第 2 回観察	・同上	(i)照度計による照度の計測 (ii)近接目視（基本照明・全照明）によるひび割れ観察 (iii)その他	・取付け後：約 1ヶ月
5	平成 16 年 7 月 26 日 ：第 3 回観察	・同上	・同上	・取付け後：約 6ヶ月
6	平成 16 年 11 月 4,5 日	・側壁部 141.0, 138.0m 西側の 2ヶ所	(i)ひび割れの事前観察 (ii)新材料（工法 2 を含む）の適用	・ひび割れ番号のない箇所を選択
7	平成 16 年 11 月 25 日	・同上	(i)近接目視（基本照明・全照明）によるひび割れ観察 (ii)その他	・取付け後：約 1ヶ月
8	平成 17 年 2 月 18 日 ：第 4 回観察	・側壁部 138.0～ 141.0m 西側の 3 箇所 ・天井部 146.0m (カンバンの取付け) ・側壁部 208.6m 西側 ・天井部 215.0m	(i)近接目視（基本照明・全照明）によるひび割れ観察 (ii)その他：カンバンの取付け	・第 3 回観察からみて 1ヶ年経過

第 1～4 回観察では、高所作業車を使用

(4) 観察の結果

(4-1) 路面からの目視観察結果(高所作業車を使用しない場合)

路面からの目視観察に先立ち、トンネルの照明設備による明るさ(照度)と懐中電灯による手元照明の明るさについて、照度計を用いて計測した。その結果を**表－2.4.4.2** と**表－2.4.4.3** に示す。

計測に使用した照度計は次の通りである。

・使用した照度計：ミノルタ・デジタル照度計 T－1H

表－2.4.4.2 トンネル照明設備による照度計測結果

	条件 1 :基本照明		条件 2 :全照明	
	—	懐中電灯使用	—	懐中電灯使用
側壁部： 北坑口より 140.0m	32～46lx 平均 43lx	光源から 10cm で 18,300lx 光源から 20cm で 11,500lx	500～608lx 平均 560lx	光源から 10cm で 30,000lx 程度 光源から 20cm で 20,000lx 程度
側壁部： 北坑口より 141.0m	42～48lx 平均 44	—	401～471 平均 435lx	—
天井部： 北坑口より 146.0m	7～12lx 平均 8.8lx	光源から 10cm で 未測定 光源から 20cm で 未測定	91～139 平均 119lx	光源から 10cm で 21,600 光源から 20cm で 未測定

表－2.4.4.3 懐中電灯による照度計測結果

受光面までの距離	近接	10cm	20cm	30cm	50cm
照　度	40,000lx	30,000lx	20,000lx	15,000lx	8,000lx

路面からの目視観察結果は、表－2.4.4.4 のようにまとめられる。

表－2.4.4.4 路面からの目視観察結果

貼付箇所	工法	照明の条件	
		条件 1：基本照明	条件 2：全照明
側壁部： 北坑口より 140.0m	工法 1 工法 2	判別不可能	判別不可能
		ただし、補強部周辺のひび割れとの連続性を追うことで、ごく一部、ひび割れは追うことができる	補強ネットの白さがやや目立つ
天井部： 北坑口より 146.0m	工法 1 工法 2	判別不可能	判別不可能
		補強ネットの白さが目立つ	同左

路盤からの観察は次のようにまとめられる。

・補強ネットの色が白色であり、プライマーを塗布した覆工部が暗くなることから、白がやや目立ち易い。自動車の運転者が気づくことは少ないであろうが、歩行者や自転車による通行者は、補強箇所を気づくであろう。

但し、実際の道路では、以下のことが考えられる。

- 自動車の排ガスによる煤煙が表面に付着し、灰色になってしまうことから、補強ネットの白は目立たなくなる。
- 全面に補強ネットを貼る場合は、照明を反射することから、照明を補助し、明るい感じになる。

なお、**参考資料－4** に示す北海道国道 231 号線 増毛日方泊トンネル分岐部付近における試験施工箇所の例では、施工後約 1.5 年を経過した現況調査の結果からは、路面からのひび割れ箇所は、むしろ観察しやすくなっているように思われた。ただし、観察のために、工事用の照明設備（商品名：ライトボーイ）2 台を使用しているので、相当に照度は大きくなっている。観察しやすくなったのは、ひび割れ部分が白っぽくなっているためであり、比較的ひび割れ幅の大きなもので、かつひび割れにわずかな動きがある場合、補強ネットとコンクリート覆工面とが縁が切れるために白くなるためではないかと考えられる（日方泊トンネルの試験施工に使用した補強ネットは、目合いが 1cm のものである）。

(4-2) 近接目視による観察結果

(a) 工法 1（補強ネット直貼りする方法）

表－2.4.4.5 工法1による貼付箇所の近接目視結果

照明の条件 ＼ 貼付箇所	条件１：基本照明		条件２：全照明	
	—	懐中電灯使用	—	懐中電灯使用
側壁部：北坑口より 140m	ひび割れは、補強ネットの繊維束が重なった部分を除けば、全て観察可	同左	同左	同左
	クラックゲージでひび割れ幅読み取可	同左	同左	同左
天井部：北坑口より 146m（高所作業車使用）	ひび割れは、補強ネットの繊維束が重なった部分を除けば、全て観察可	同左	同左	同左
	但し、うす暗いためクラックゲージの読み取りは不可（やりにくい）	クラックゲージの読み取りは読み取り可	同左	同左

ひび割れのトレース結果を**図－2. 4.4. 1、図－2.4.4.2** に、またひび割れ計測の結果を**表－2.4.4.6、表－2.4.4.7** に示す。このトレース図は貼付け前（H16.1.15）の時点でポリエチレン製シートを当てて記録した。

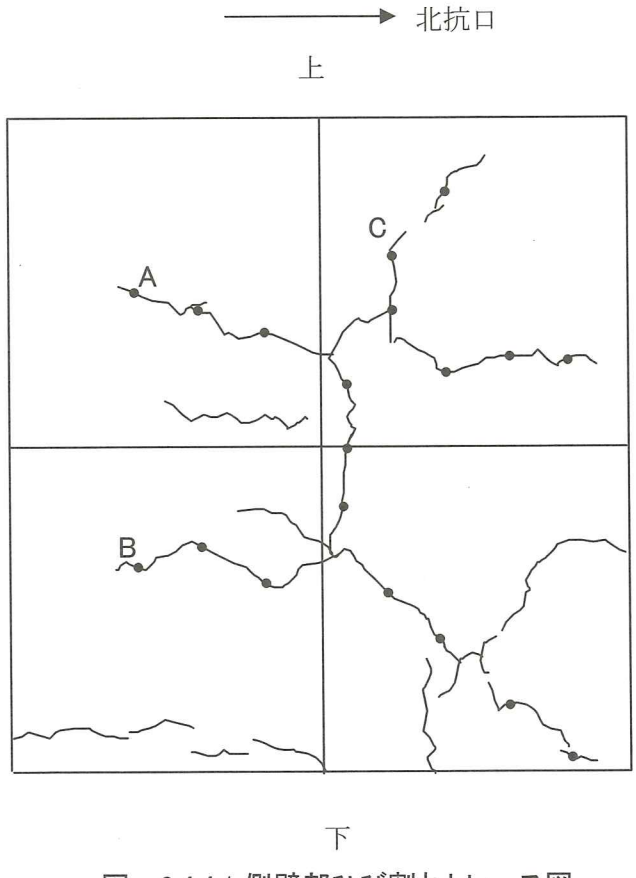
近接目視の結果は、次のようにまとめられる。

(i) 貼付け前に透明フィルムを当てて記録したひび割れ位置をもとに、第 1 回観察以降、貼付け後においても、ひび割れトレースが目視できることを確認した。

(ii)また**表－2.4.4.6、表－2.4.4.7** に示すように、いくつかのポイントにおいてクラックゲージを当ててひび割れ幅を読み取った。ひび割れは補強ネットの束に当る部分を除けば、何ら問題なくひび割れ幅を読み取ることができた。（0.2mm のひび割れも計測可能）

(iii)なお、天井部については基本照明（条件 1）の場合はややうす暗いためひび割れ観察には懐中電灯等の補助光源を使用する方がよい。

(iv)側壁部、天井部共に貼付面全体が若干黄色に変色していることが観察された。わずかな色変は、施工後、約半年で観察された。



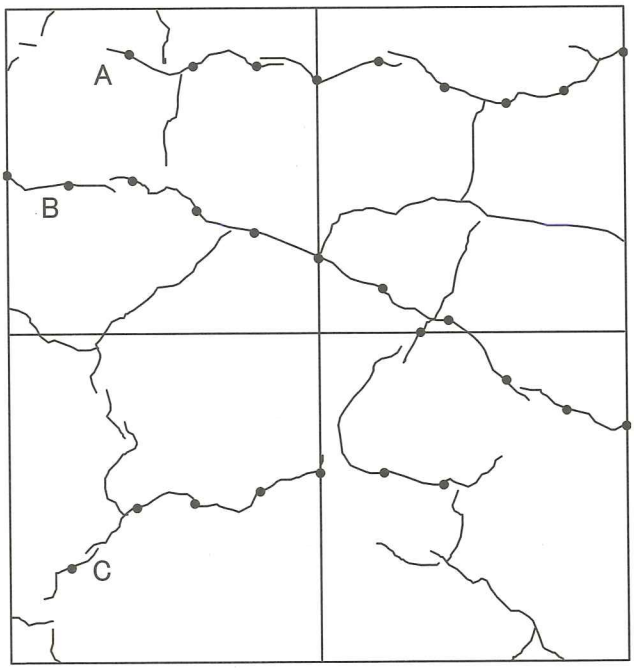
図－2.4.4.1 側壁部ひび割れトレース図
（北坑口から 140m 付近、工法 1 による貼付箇所）

表－2.4.4.6　側壁部ひび割れ計測結果（北坑口より 140m 付近、工法 1 による貼付）

ひび割れ部分		A(*1)				B(*1)				ひび割れ部分		C(*1)			
		貼付前	観察第 2 回	観察第 3 回	観察第 4 回	貼付前	観察第 2 回	観察第 3 回	観察第 4 回			貼付前	観察第 2 回	観察第 3 回	観察第 4 回
		H16.1.15	H16.2.9	H16.7.26	H17.2.18	H16.1.15	H16.2.9	H16.7.26	H17.2.18			H16.1.15	H16.2.9	H16.7.26	H17.2.18
左側	50cm	—	—	—	—	—	—	—	—	上側	50cm	—	—	—	—
	40cm	—	—	—	—	—	—	—	—		40cm	0.1	—	—	—
	30cm	0.1	—	—	—	0.06	—	—	—		30cm	0.15	—	—	—
	20cm	0.06	—	—	—	0.08	0.06	0.08	0.08		20cm	—	—	—	—
	10cm	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	—	—	—		10cm	0.35	0.35	0.35	0.35
中心部分		—	—	—	—	—	—	—	—		中心部分	0.5	0.5	0.5	0.5
右側	10cm	0.06	—	—	—	0.3	0.3	0.3	0.3	下側	10cm	0.35	0.35	0.35	0.35
	20cm	0.04	—	—	—	0.3	0.3	0.3	0.3		20cm	—	—	—	—
	30cm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.15		30cm	—	—	—	—
	40cm	0.06	—	—	—	0.15	—	—	—		40cm	—	—	—	—
	50cm	—	—	—	—	—	—	—	—		50cm	—	—	—	—

＊　ひび割れ幅の読取り数値の単位は mm

*1　図－2.4.4.1 の図中に記した【ひび割れの識別記号】を示す。



図－2.4.4.2 天井部ひび割れトレース図
（北坑口から 146m 付近、工法 1 による貼付箇所）

表－2.4.4.7　天井部ひび割れ計測結果(北坑口より146m、工法1による貼付)

ひび割れ部分		A(*1)				B(*1)				C(*1)			
		貼付前	観察第2回	観察第3回	観察第4回	貼付前	観察第2回	観察第3回	観察第4回	貼付前	観察第2回	観察第3回	観察第4回
		H16.1.15	H16.2.9	H16.7.26	H17.2.18	H16.1.15	H16.2.9	H16.7.26	H17.2.18	H16.1.15	H16.2.9	H16.7.26	H17.2.18
左側	50cm	—	—	—	—	0.1	—	—	0.1	—	—	—	—
	40cm	—	—	—	—	0.3	—	—	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
	30cm	0.15	—	—	0.15	0.2	—	—	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
	20cm	0.3	—	—	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	10cm	0.3	0.3	0.3	0.3	0.8	0.8	0.8	0.8	0.3	0.3	0.3	0.3
中心部分		0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
右側	10cm	0.55	0.55	0.55	0.55	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	—	—	0.3
	20cm	0.4	0.4	0.4	0.4	0.25	0.25	0.25	0.25	0.35	0.35	0.35	0.35
	30cm	0.6	—	—	0.55	0.4	0.4	0.4	0.4	—	—	—	—
	40cm	0.45	—	—	0.45	0.45	—	—	0.45	—	—	—	—
	50cm	0.35	—	—	0.3	0.5	—	—	0.5	—	—	—	—

＊　ひび割れ幅の読取り数値の単位は mm

*1　図－2.4.4.2 の図中に記した【ひび割れの識別記号】を示す。

(b) 工法 2（補強ネットの上に FRP シートを上貼りする方法）

表－2.4.4.8 工法2による貼付箇所の近接目視結果

	基本照明： 照度：42～54lx		全照明： 照度：400～471lx	
	—	懐中電灯使用	—	懐中電灯使用
側壁部： 北坑口より 141m、 高さ 0.8m	ひび割れは、補強ネットの繊維束が重なった部分を除けば、全て観察可	同左	同左	同左
	クラックゲージでひび割れ幅読み取り可	同左	同左	同左

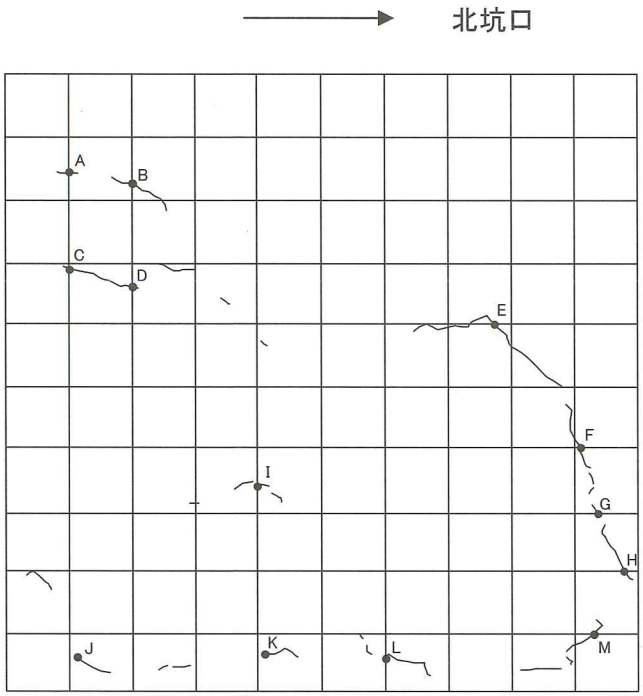
工法 2 を適用した側壁部：北坑口から 141m、高さ 0.8m、における事前と事後のひび割れトレース図を**図－2.4.4.3** と**図－2.4.4.4** に示す。また、**表－2.4.4.9** に、ひび割れ幅の読み取り結果を示す。

表－2.4.4.9 側壁部ひび割れ計測結果（北坑口より 141m、工法 2 による貼付）

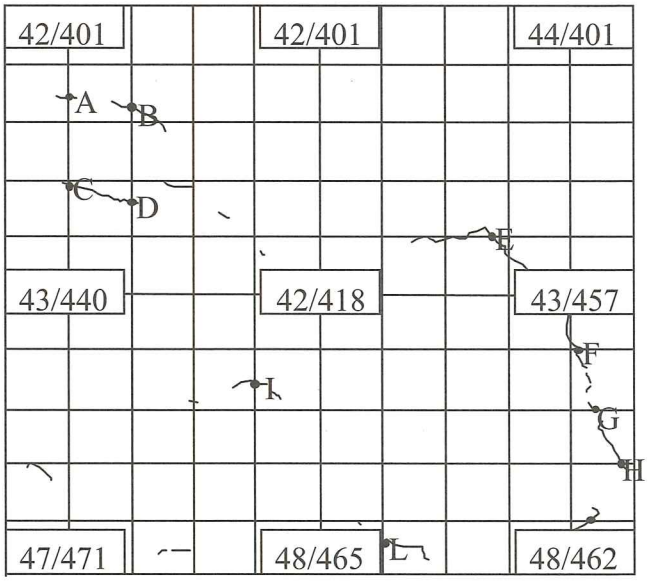
ひび割れ 部分	貼付け前 H16.11.4	観察 第 4 回 H17.2.18
A	0.40	0.40
B	0.65	0.65
C	0.50	0.50
D	0.45	0.45
E	0.45	0.45
F	0.50	0.50
G	0.45	0.45
H	0.45	0.45
I	0.85	0.85
J	0.35	0.35
K	0.40	0.40
L	1.30	1.30
M	0.45	0.45

工法 2 による貼付け箇所に対する近接目視の結果は、次のようにまとめられる。

- 基本照明のみでもひび割れ観察が可能である。
- クラックゲージにより、ひび割れ幅についても読み取り可能である。



図－2.4.4.3　工法適用前の側壁部ひび割れトレース図
（北坑口から 141m、工法 2 による貼付箇所）



図－2.4.4.4　工法適用後の側壁部ひび割れトレース図
（北坑口から 141m、工法 2 による貼付箇所）
図中の○/△の数字は、基本照明と全照明におけるそれぞれ照度（lx）を示す

(5) まとめ

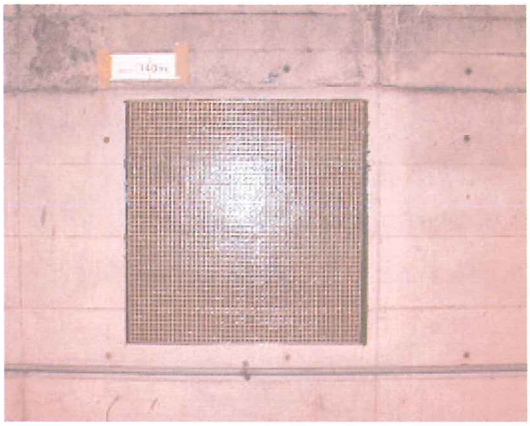
可視性に関しては次のようにまとめられる。

(i)　路面からの目視観測の結果としては、ひび割れ位置を示す手がかり無しに、ひび割れ位置を確認することはできない。

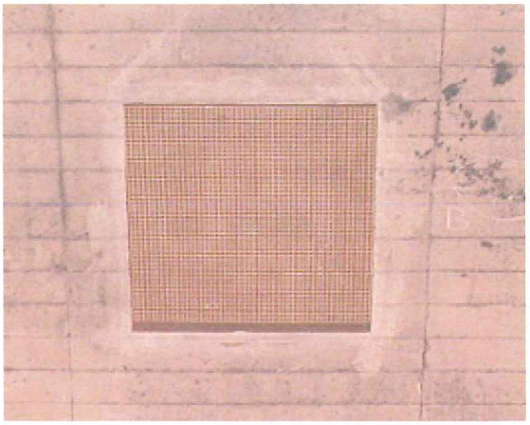
(ii)　近接目視による場合、工法１あるいは２においても、ひび割れは観察可能であり、基本照明においても認識できる。ただし、ひび割れ幅を読み取る等の作業を行う場合には、目が疲れないように、懐中電灯等の補助照明を使用が勧められる。

(iii)　クラックゲージにより読み取り可能な、ひび割れ幅としては概ね 0.2mm 程度と考えられる。

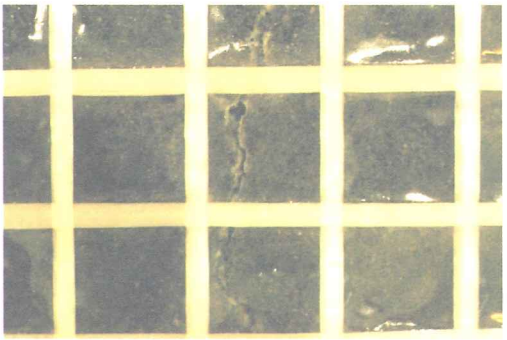
記録写真：



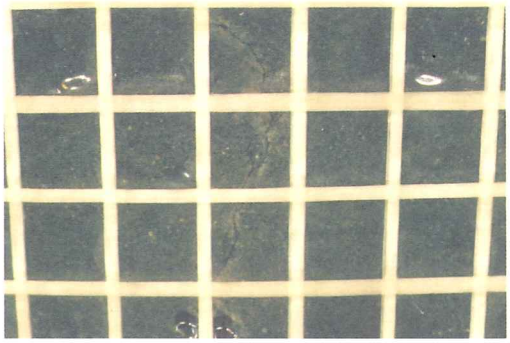
写真－2.4.4.1 側壁部貼付状況（工法 1）
（北坑口より 140m 西側）



写真－2.4.4.2 天井部貼付状況（工法1）
（北坑口より 146m）



写真－2.4.4.3 ひび割れ観察（側壁部・工法 1）



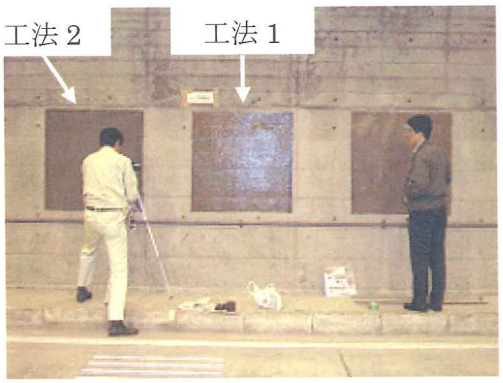
写真－2.4.4.4 ひび割れ観察（側壁部・工法 1）



写真－2.4.4.5 ひび割れ観察（天井部・工法 1）



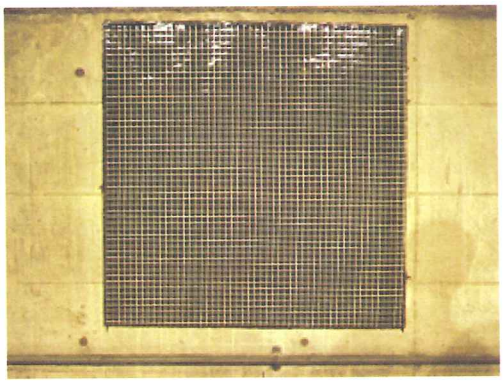
写真－2.4.4.6 貼付箇所観察状況
（天井部・工法 1）



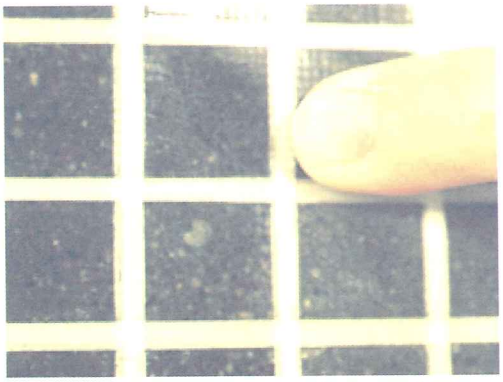
写真－2.4.4.7 側壁部貼付状況(工法 2)



写真－2.4.4.8 照度計による照度測定



写真－2.4.4.9 側壁部貼付状況(工法 2)
(北坑口より 141m 西側)



写真－2.4.4.10 ひび割れ観察
(側壁部・工法 2)

2.4.5 難燃性

(1) 試験目的

トンネル内での火災発生時において、提案工法の類焼・延焼の有無がないことを確認することを目的として、燃焼試験を実施した。

(2) 試験方法

トンネル安全対策工法研究会（TSC 研究会）編著「FRP によるトンネル覆工剥落対策マニュアル～」山海堂,2003.5 に記載されている「参考資料 8　燃焼試験方法（案）」に従い、試験を実施した。

試験方法の概略は次の通りである。

所定の角度（縦壁面、天井面、45°面）に設置した供試体に、1000℃以上のバーナーの炎を 30 秒間当てる。炎を取り去ってから、炎が消えるまでの時間（消炎時間）をストップウォッチを用いて測定する。

(3) 試験結果

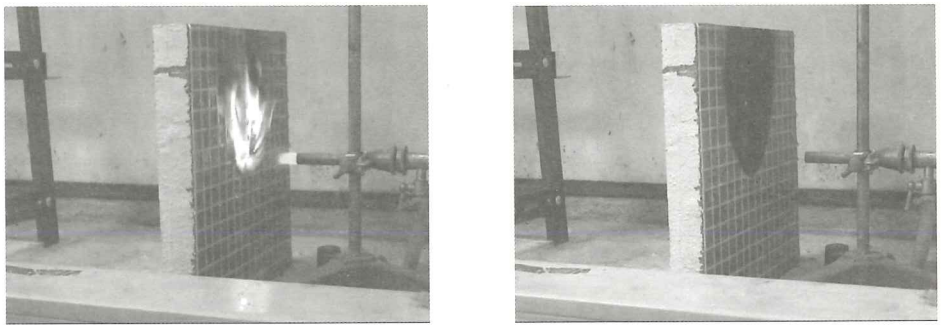
試験結果を**表－2.4.5.1** に示す。

工法 1,2 ともに、30 秒以内に消炎しており、燃えにくいことが確認された。

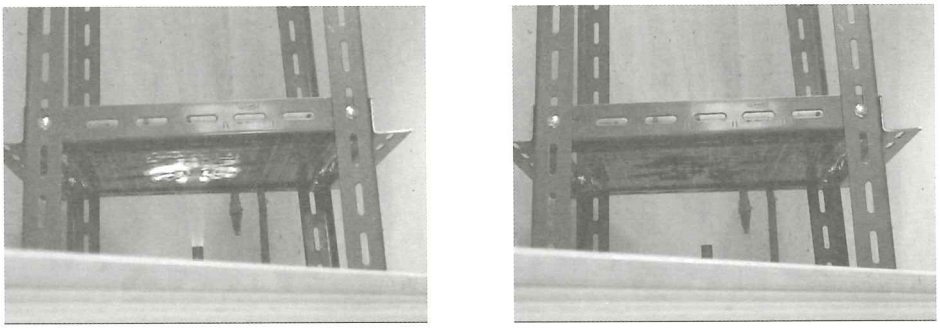
表－2.4.5.1　燃焼試験結果

提案工法	試験条件 (設置角度)	消炎時間
工法 1	縦壁面	28 秒
	天井面	5 秒
	45°面	3 秒
工法 2	縦壁面	1 秒以内
	天井面	3 秒
	45°面	1 秒

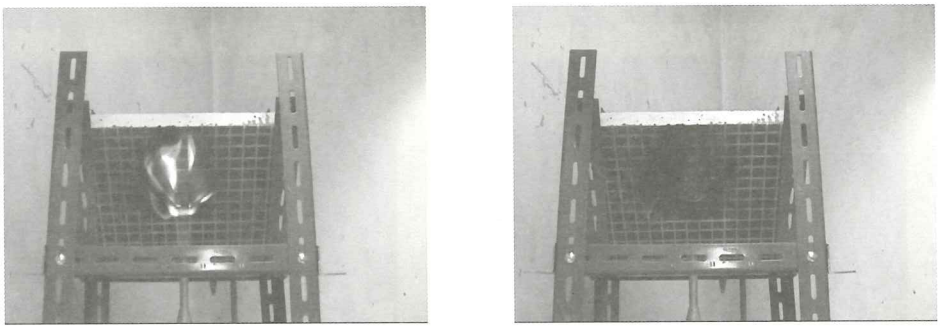
工法 1 に関する記録写真を**写真－2.4.5.1～3** に、また工法 2 に関する記録写真を**写真－2.4.5.4～6** に示す。



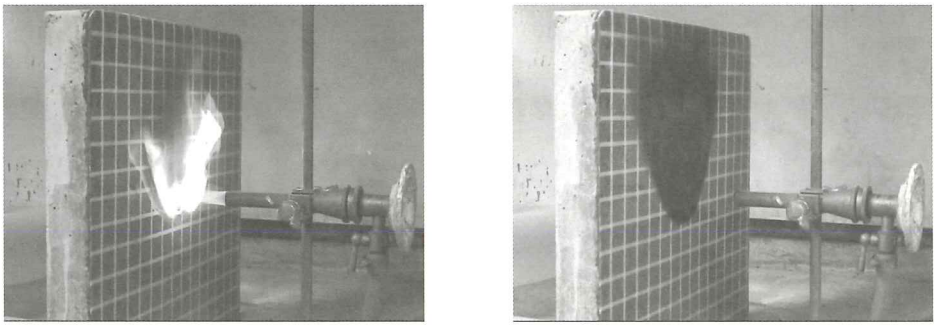
写真－2.4.5.1　工法1：補強ネット直貼り工法　縦壁面



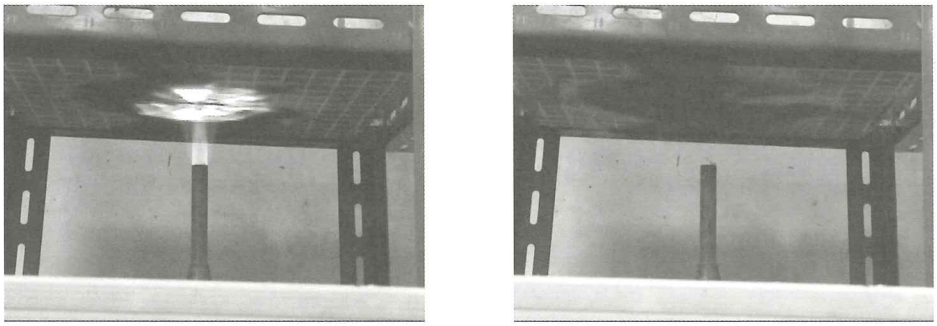
写真－2.4.5.2　工法1：補強ネット直貼り工法　天井面



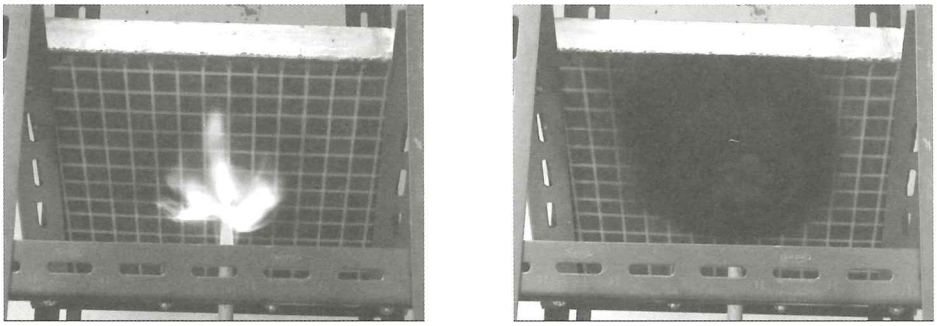
写真－2.4.5.3　工法1：補強ネット直貼り工法　45°　面



写真－2.4.5.4　工法 2：補強ネットに FRP シート上貼り　縦壁面



写真－2.4.5.5　工法 2：補強ネットに FRP シート上貼り　天井面



写真－2.4.5.6　工法 2：補強ネットに FRP シート上貼り　45°面

(4) まとめ

トンネル安全対策工法研究会（TSC 研究会）編著「FRP によるトンネル覆工剥落対策マニュアル」山海堂,2003.5 に記載されている「参考資料 8　燃焼試験方法（案）」に従い試験を実施した結果、提案工法 1,2 ともに、燃えにくいことが確認された。

2.4.6 洗浄性

(1) 試験目的

提案工法の適用後、時間経過とともに表面は排気ガス・埃などにより非常に汚れるため、その表面汚れを洗浄試験し、提案工法適用面の汚れの除去具合、表面塗膜の剥がれなど不具合の有無を確認することを目的とした。

(2) 試験方法

雑巾などによる拭き取り洗浄や高圧水洗浄を実施し、洗浄前後での汚れの状態を比較確認した。高圧水洗浄は、最大水圧 5MPa、提案工法適用面より 20cm 以上離して実施した。

高圧水洗浄に用いた噴射ノズルを**写真－2.4.6.1** に示す。さらに、雑巾による拭き取り洗浄風景を**写真－2.4.6.2** に、高圧水洗浄風景を**写真－2.4.6.3 と写真-2.4.6.4** に示す。



写真-2.4.6.1 高圧水洗浄に用いた噴射ノズル



写真-2.4.6.2 拭取り洗浄風景



写真-2.4.6.3 高圧水洗浄風景



写真-2.4.6.4 高圧水洗浄風景

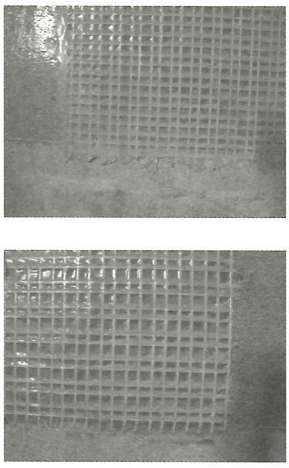
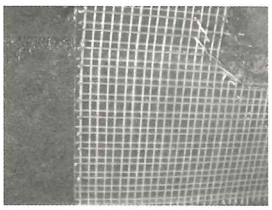
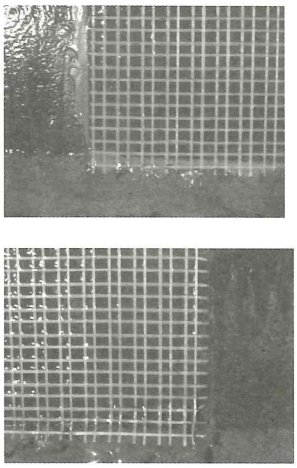
(3) 試験結果

工法１（補強ネット直貼り工法）に関する試験写真を**写真－2.4.6.5** に、また工法２（補強ネットに FRP シート上貼り工法）に関する試験写真を**写真－2.4.6.6** に示す。

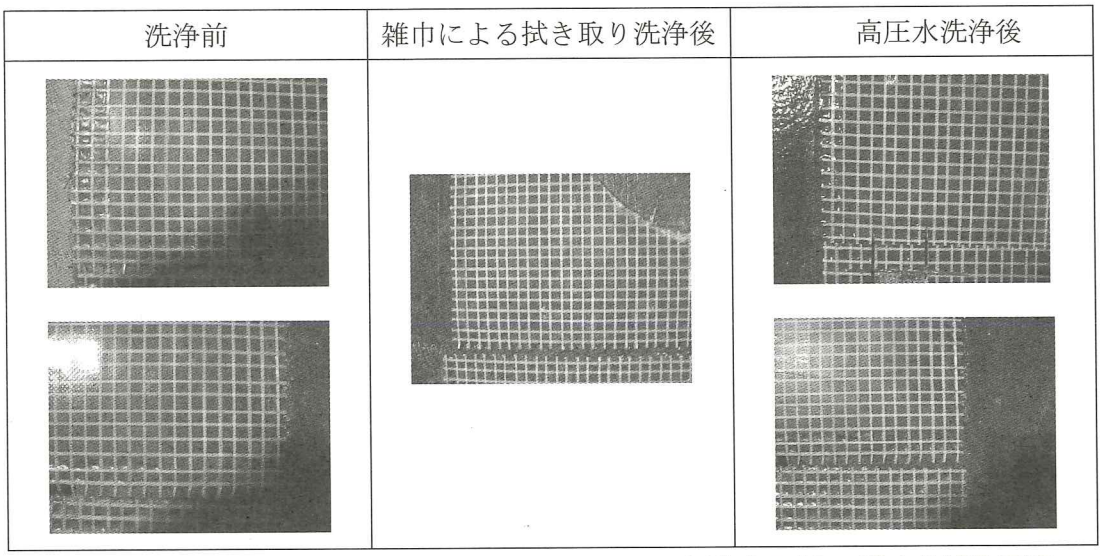
雑巾などによる拭き取り洗浄で、表面の汚れは除去でき、比較的きれいな表面に回復した。

高圧水洗浄では、提案工法適用面に対してできる限り垂直方向より噴射して洗浄した場合、表面の汚れは除去でき、くすんだ感じも無くなってきれいな表面に回復した。表面塗膜の剥がれなど不具合も見受けられなかった。

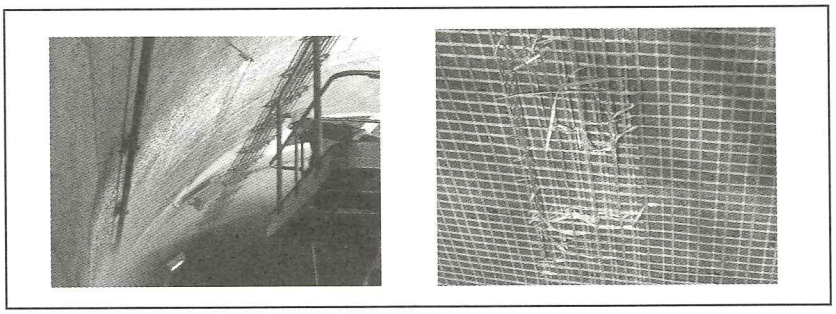
提案工法適用面の端部に対して、浅い角度（適用面より 30 度程度以下）より高圧水を噴射した場合、補強ネット貼り付け端部で一部の繊維が露出し、剥がれる部分があった（**写真－2.4.6.7**）。原因として、補強ネットの端部耳房部分が長い（5mm 以上）場合、貼り付けたときに跳ね上がった状態で固着することがあり、この部分に鋭角から高圧水が当たった場合に表面塗膜の剥がれを助長すると考えられる。補強ネットの製造時には、端部耳房部分を極力短くするように仕様変更して、以後の解決を図った。

洗浄前	雑巾による拭き取り洗浄後	高圧水洗浄後
		

写真－2.4.6.5　工法１（補強ネット直貼り工法）に関する試験写真



写真－2.4.6.6　工法 2（補強ネットにFRPシート上貼り工法）に関する試験写真



写真－2.4.6.7　浅い角度（適用面より 30 度程度以下）より高圧水を噴射し洗浄した場合の一部の繊維の露出・剥がれた部分

(4) まとめ

雑巾などによる拭き取り洗浄の場合、提案工法適用面の汚れは除去でき、比較的きれいな表面が回復する。

高圧水洗浄の場合、提案工法適用面の端部に対して浅い角度より高圧水を噴射して洗浄すると、補強ネット貼り付け端部が剥がれ不具合が生じることがある。しかし、できる限り垂直方向より噴射して洗浄した場合には、汚れの除去が可能で、きれいな表面が回復し、また剥がれなど不具合も無い。

2.4.7 試験結果のまとめ

各種性能試験の結果は**表－2.4.7.1** のようにまとめられる。

表－2.4.7.1 各種試験結果のまとめ

検証項目	試験内容	まとめ
① 押抜き耐荷力	・小型試験体(φ100)、大型試験体(φ250,φ500)による押抜き試験による	【工法1について】 ・φ100 のときの最大押抜き耐荷力は2.9kN であった.破壊形態は補強ネットの破断である ・φ250 とφ500 のときの最大押抜き耐荷力は,6.1kN と 8.6kN であった.破断形態は補強ネットの破断であり,剥離の進展はほとんど見られない ・φ250 とφ500 について,押抜き耐荷力(*1)は 4.3kN と 8.2kN であった
		【工法2について】 ・φ100 のときの最大押抜き耐荷力は6.1kN であった.最終形態は剥離の進展により,剥れが端部に達した ・φ250 とφ500 のときの最大押抜き耐荷力は 13.3kN と 17.0kN であった.破断形態は,シートと補強ネットの破断である.最終段階においても剥離の進展は少ない ・φ250 とφ500 について,押抜き耐荷力(*1)は 9.6kN と 14.9kN であった
② 付着強度	・JIS A 6916 に従う（建研式引張試験機を使用）付着強度試験による	・工法1の付着強度は 2.1MPa 以上、工法2の付着強度は 3.5MPa 以上あることを確認した
③ 耐久性	・温冷繰返し試験、湿潤繰返し試験後、外観観察、押抜き耐荷力試験、付着強度試験を実施	・外観（可視性）、押抜き耐荷力,付着強度に関して耐久的であることを確認した
④ 可視性	・実大トンネル施設内における定期的な目視観察試験による	・トンネル基本照明のもとでも近接位置からであれば 0.2mm 以上のひび割れを視認できることを確認した
⑤ 難燃性	・トンネル安全対策工法研究会(TSC研究会)編著「FRP によるトンネル覆工剥落対策マニュアル」(山海堂,2003.3)の参考資料 8 燃焼性試験方法(案)による	・難燃性であることを確認した
⑥ 洗浄性	・雑巾による拭き取りおよび高圧水洗浄に対する適用性試験(目視観察試験)による	・雑巾の拭き取り,また高圧水洗浄により汚れを除去でき,ほぼ元の状態に復することができることを確認した

*1：本報告では大型試験体による押抜き耐荷力を接着樹脂が損傷したときの押抜き荷重により定義している。これより小さい荷重では、補強材は健全である。

3. 押抜き耐荷力

3.1 単位強さの考察

一般に、剥落防止工法の耐荷力は、円形の剥落部位を想定すれば、単位強さと周長との積によって与えられる。このことから、本章では、押抜き耐荷力について、単位強さの面から考察を行う。

一方、大型試験体による押抜き耐荷力試験からは次のような現象が観察された。

(i)押抜き試験の最終状況においても、剥離の進展は僅かであり、剥離に伴う周長の増大はほとんど見込めない。

(ii)工法１では、荷重・変位図に最初に明確な荷重の落ち込みが観察できるのは、樹脂固化体に損傷(割れ)が生じたときであり、割れが生じる前は、前述の補強ネットと樹脂硬化体の形成物は健全であり、割れが生じた後では、初期の不健全部分(欠陥)が生じたと考えることができる。大型試験体による押抜き試験では、押抜き耐荷力を接着樹脂損傷時の押抜き荷重により定義した。むろん、樹脂硬化体に損傷（割れ）が生じたこの段階においても、補強ネットやシートはまだ直接的な損傷を受けていないので、耐荷力の増加はある程度は期待できる。

上述の観点から、接着樹脂損傷に至る以前の押抜き荷重に着目し、**図－2.4.1.2**, **図－2.4.1.3**, **図－2.4.1.5**, **図－2.4.1.6**（いずれも本文 12 ページ）に示される荷重－変位関係図から、新たに荷重（変位）を読取り直し、この押抜き荷重を押抜きコアの周長で除すことにより単位強さを求めた。これらの結果を**表－2.4.1.3**（本文 11 ページ）に示されている押抜き耐荷力の結果と合わせて、**表－3.1.1** に示す。新たに読み直した荷重と変位の値は、押抜き耐荷力（変位）よりも小さく、当然、最大押し抜き耐荷力（変位）よりも小さくなる。読み取り値の変位は 1.8～3.0mm であり、平均値は 2.2mm であり、この変位では接着樹脂においても損傷はない。

表－3.1.1　押抜き試験結果から計算された単位強さ S_{p0}

工法	コア径	大型試験体による押抜き試験			
		新たな読取値		押抜き耐荷力（変位）*1	最大押抜き耐荷力（変位）
		荷重（変位）	単位強さ		
工法１	φ100	—	—	—	—
	φ250	3.10kN (2.0mm)	3.95N/mm	4.34kN (4.51mm)	6.07kN (14.8mm)
	φ500	5.58kN (2.0mm)	3.55N/mm	8.18kn (4.51mm)	8.55kN (12.5mm)
工法２	φ100	—	—	—	—
	φ250	4.96kN (1.8mm)	6.32N/mm	9.66kN (6.99mm)	13.3kN (22.5mm)
	φ500	8.67kN (3.0mm)	5.52N/mm	14.9kN (4.24mm)	17.0kN (11.0mm)

*1　押抜き耐荷力を接着樹脂の損傷により荷重低下が見られたときの荷重として定義

さらに、変形量を 2.0mm と仮定して、小型試験体による押抜き試験結果および現位置引抜き試験結果から求められた単位強さを上表に付け加えると、**表－3.1.2** のようになる。ここで、周長はコア径の周長とし、剥がれによる周長の増加分は見込んでいない。

表－3.1.2　接着樹脂損傷以前（変位 2mm）のときの単位強さ S_{p0}

工法	コア径	大型試験体による押抜き試験(*1)	小型試験体による押抜き試験（*2)	現位置引抜き試験(*2)	平均値	参考値(*3)
工法 1	φ 100	—	3.49N/mm	3.52N/mm	3.63N/mm	3.5N/mm
	φ 250	3.95N/mm	—	5.09N/mm		—
	φ 500	3.55N/mm	—	—		—
工法 2	φ 100	—	4.50N/mm	5.67N/mm	5.42N/mm	5.0N/mm
	φ 250	6.32N/mm	—	—		—
	φ 500	5.52N/mm	—	—		—

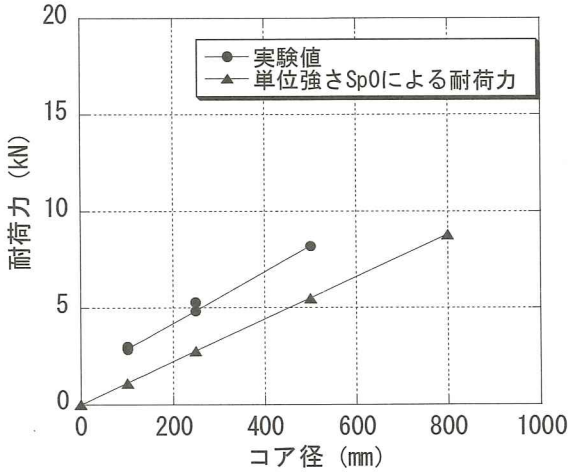
*1　**表－3.1.1** から転記
*2　変位 2.0mm における押抜き荷重と周長の関係から新たに求めた計算値
*3　**表－2.4.1.6、表－2.4.1.7：本文 18 ページ**より。変位 2.0mm 以上のデータも含まれている

表－3.1.2 では、押抜き試験結果から求められた変位 2.0mm 時、すなわち接着樹脂に損傷が生じる以前の状態における単位強さ S_{p0} は、工法 1 では 3.49～3.95N/mm、また工法 2 で 4.50～6.32N/mm となっている。また、単位強さの代表値として、最小値を用いれば、**表－3.1.3** のようになる（有効数字を 2 桁とする）。

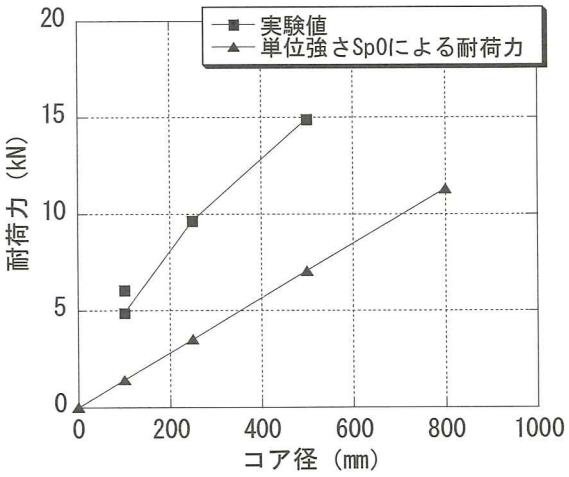
表－3.1.3　接着樹脂損傷以前の単位強さの代表値 S_{p0}

工法	単位強さの最小値 S_{p0}
工法 1	3.5N/mm
工法 2	4.5N/mm

表－3.1.3 に示される単位強さ S_{p0} を、押抜きコアの周長を乗じた押抜き耐荷力を**図－3.1.1(1),(2)**に示す。図の(1),(2)はそれぞれ工法 1、工法 2 を示す。図には、押抜き試験より求められた実験値（**図－2.4.1.28(1),(2)、本文 45 ページ**参照）を示している。結果として、単位強さ S_{p0} と押抜きコアの周長を乗ずることにより得られる耐荷力は実験値を下回ることがわかる。



図－3.1.1(1) 試験結果まとめ（工法 1）



図－3.1.1(2) 試験結果まとめ（工法 2）

上記の接着樹脂損傷時の単位強さ S_{p0} を、工法 1 で 3.5N/mm、工法 2 で 4.5N/mm とした場合の覆工厚(m)とコア径 ϕ(m)との関係を**図－3.1.2** に示す。

ここで、**図－3.1.2** では横軸にコンクリート覆工の厚さをとり、縦軸にコア径(m)をとっている。図中に示されている曲線は、コア径の円を底面 S とし、コンクリート覆工厚さ t を高さとする円柱の剥落荷重（P=S×h×単位体積重量 22.54kN/m^3）と提案工法による押抜き耐荷力 R=単位強さ S_{p0}×周長 L（=$\pi\ \phi$）とがちょうど釣り合う（P=R）ことを示しており、曲線の下側が適用範囲となる。ただし、安全照査では、剥落荷重と耐荷力との間には、安全率あるいは(部分)安全係数（例えば強度係数）γ が導入されるので、$P<R/\gamma$ というような式が安全性照査において使用される。なお、同図では、γ は仮に 1.0 としているので、図中の曲線は

$$P \leqq R \qquad (\gamma：\text{(部分)安全係数、ここでは}\gamma=1.0\text{ と仮定})$$

となり、この式を整理すると

$$\pi(\phi/2)^2\times h\times 22.54 \leqq S_{p0}\times\pi\times\phi$$

$$1/4\times\phi\times h\times 22.54 \leqq S_{p0}$$

$$\phi\times h=(4\div 22.54)\times S_{p0}$$

したがって

$$\phi\times h=0.177\times\text{単位強さ}\ S_{p0} \qquad \text{式(3.1)}$$

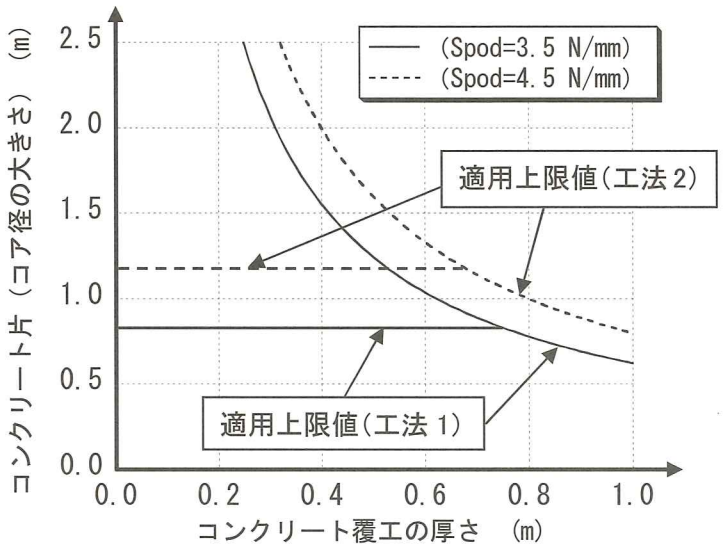
となる。

さらに**図－3.1.2** では、大型試験体による試験がコア径 500mm であることから、コア径に対して外挿が可能な範囲を想定しなくてはならない。工学的な経験からは 2 ないし 3 倍程度の外挿は可能であるように思えるが、懸念される事項として、例えば実験と異なり押抜きのコア（圧子）がさらに傾いて抜け出してくる場合や、コアのエッジ（端部）で補強ネットが早く傷つけられることなどが考えられる。そこで、大型試験体による試験結果か

ら、コア径φ500のときの最大押抜き耐荷力、すなわち工法1で8.55kN、工法2で17.0kNまでは試験結果の参照値があるものとして、適用可能なコア径を設定してみる。すなわち、適用可能なコア径は、**表－3.1.4**に示すように、工法1でφ≦0.8m、工法2でφ≦1.2mとなる。なお、上述のコア径の適応範囲を超えた剥落塊に適用する場合には、別途試験等を実施して耐荷力を確認するか、もしくは他の対策工との併用が必要である。なお本適用工法では、人の頭ほどあるコンクリート塊（コア径φ300程度）に対し、十分余裕を持って剥落防止工を施すことが出来るものと考えられる。

表－3.1.4 適用可能なコア径の上限値

工法	コア径	式(3.1)によるｺﾝｸﾘｰﾄ覆工の厚さ	コアの重量＝剥落荷重P	大型試験体φ500で確認されている耐荷力
工法1	0.8m	0.78m	8.84kN	8.55kN
工法2	1.2m	0.67m	17.1kN	17.0kN



図－3.1.2 覆工厚さ(t)と押抜きコア径(φ)との関係模式図
（単位強さ S_{p0} を仮定して計算。また安全率は考慮していない）

3.2 まとめ

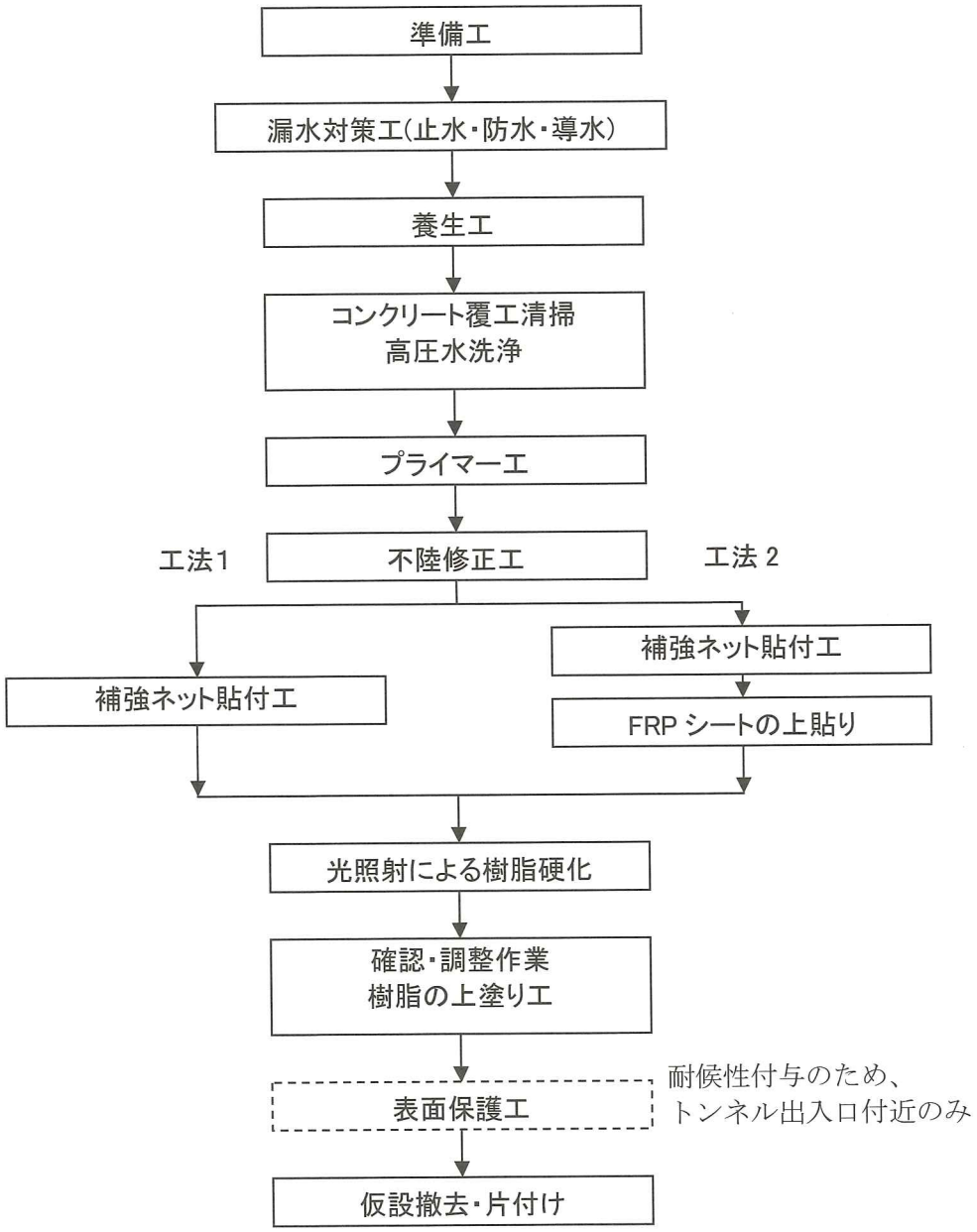
押抜き耐荷力試験を整理した結果として、単位強さは、工法1で3.5N/mm以上、工法2で4.5N/mm以上を期待することができる。

4. 施工法

4.1 標準施工要領

(4.1.1) 作業手順

図－4.1.1 に、施工の手順を示す。



図－4.1.1コンクリート剥落防止工の施工手順

(4.1.2) 各作業の要領

(1) 準備工

- 関係機関と十分に協議の上、施工計画書の作成を行う。
  - (i)仮設備計画：作業用移動足場、光照射装置
  - (ii)資材の搬入および保管
  - (iii)安全管理
  - (iv)環境対策
  - (v)緊急時の処置方法
- 資機材の搬入および保管を行う。
- 仮設足場を組み立てる。

〔注意点〕

① 不陸修正剤は、計画に余裕をもって、必要数量を搬入すること。

② 光照射装置については、計画時に使用機器、作業台車、ランプの位置〔高さ〕と照射時間、電源、施工管理の方法等について入念に仮設および施工計画を立てること。また、光照射装置は、できる限り、車載として、装置の移動や、坑内への搬入・撤去が速やかに行えることが望ましい。

③ 樹脂類（危険物第4種第2石油類）については、施工面積が広くなると、保管に際して、消防法の適用を受ける数量となるので、保管方法〔場所・数量〕を入念に打合せるとともに、施工時期に合わせて、工事に必要な資材を必要量、搬入するといった方法を検討すること。

④ 含浸性樹脂には、有機溶剤であるスチレンが含まれる。このことから、作業環境における換気計画や臭気対策を必要に応じて講ずること。

(2) 漏水に対する対策工

覆工コンクリートに有害な漏水が認められる場合には、漏水を処理する。

〔注意点〕

① 漏水箇所に対する対策工については、適切な方法を講ずること。局所的な漏水対策工としては、線導水工（溝切り工）、水抜き孔、止水工（注入工）などがある。

(3) 養生工

プライマー工および補強ネット・FRPシート貼付工では、樹脂材料を使用することから、樹脂の飛散や落下等がある。このことから、トンネル内の設置されている設備（照明設備、電源・非常用連絡設備、電源・通信ケーブル等）に対して透明シート等を用いて養生する。

道路面に対しても、樹脂ダレによる汚れ防止のため、大型のシート等を用いて養生を行う。ただし、道路面のシート養生は、作業の開始時にシートを広げ、終了時には片付けを行う。シートの片付け後には、路面の点検と清掃を行う。

(4) 高圧水洗浄

高圧洗浄機にてコンクリート覆工面を入念に清掃する。

なお、既設照明器具や電源・非常用連絡設備、また道路面は、養生シート等で覆い、水の飛散・流入を防ぐ処置を講じる。

人員の配置は、状況にも拠るが、6名以上として、以下の構成を基本とする。

表－4.1.1 高圧水洗浄における作業員の配員

作業内容	人数
足場上においてはガン先を握る者	1名
ガン先の側で清掃の良し悪しを点検する者	1名
路上面では洗浄機の圧力等を調整する者	1名
路面等に飛散した水をワイパー等で水掻きする者	3名
作業員計	6名

〔注意点〕

① 高圧水洗浄に伴う扇状の色ムラが生じた場合は、作業台上から、その部分に汚れが落ちていないところがないかどうかを確認すること（汚れが十分に除去されていれば、洗浄による色ムラが残ることは構わない）。

② 既設ケーブルや照明装置の裏面、支持金具周りは汚れが残りやすいことから、必要に応じて、ブラシや雑巾等の使用による手作業も含めて、汚れを残さないように十分に注意すること。

③ 清掃の最終段階では、クラウン部からアーチ下部に向かって、高圧水洗浄を行い、覆工面に汚れが残らないように注意すること。

④ 非常用通信設備や電源設備等、水が流入するとショートし、道路施設の運用に支障をきたす恐れがあるので、シート等を2重にかけて養生すること。重ねて、高圧水洗浄の洗浄水やその飛沫、さらに覆工面から流れ落ちる排水が、これらの設備に直接かからないように注意を払うこと。

(5) プライマー工

コンクリート覆工面が乾燥したのを確認してから、プライマーをローラーにより所定量（0.25kg/m²）、塗布する。

表－4.1.2 プライマーの塗布量

標準使用量	標準塗布量	管理値
0.30 kg/m²	0.25 kg/m²	樹脂使用量：0.26kg/m² （塗布量：0.22 kg/m²）

プライマーの塗布は、2 度塗りを基本とする。ただし、1 度目のプライマー塗付により、プライマーの吸込みがなく、覆工コンクリート面に白い場所がなければ、2 度目のプライマー塗付は省略することができる。

(6) 不陸修正工

剥落防止シート材の試験を目的としているため、浮き、剥離により品質をそこなわないと判断される箇所は高圧水洗浄のみとする。ただし、コンクリート覆工面の巣穴や段差および欠損部については、含浸樹脂を用いて整正する。ここで、可視性が必要のない箇所であるときは、含浸樹脂にシリカを添加することができる（厚塗りすると白濁する）。また、含浸樹脂には常温(硬化)促進剤を入れれば、下塗り材の塗布に先立ち、光硬化作業を行わなくとも良い。

覆工コンクリートの不陸修正の仕方については、**(4.1.3) 不陸調整および目地部の標準処理**を参照のこと。

〔注意点〕

① 当該工法では、高圧水洗浄による覆工コンクリートの表面清掃を除けば、不陸修正は必要最小限に留めることを基本とする。

② 不陸修正材を使用する場合には、下塗り材を使用し、下地の可視性を妨げないように、できるだけ薄く塗付するものとする。

(7) 補強ネット・FRP シートの貼付工（工法 1・2）

工法 1 では、プライマー塗付後、プライマーの乾燥を確認してから含浸用樹脂（光硬化型樹脂）の下塗りを行い、補強ネット（高密度ポリエチレンネット）を貼付け、その上に、さらに含浸性樹脂（光硬化型樹脂）を塗り、ネットの接着と表面の樹脂ならしを行う。これらは一連の作業として行う。また、工法 2 では、前述の作業に引き続き、FRP シートを配置して、FRP シートと下地との密着・脱泡作業を行う。

含浸樹脂の塗布量は、**表－4.1.3** による。

表－4.1.3 含浸性樹脂の塗布量(単位:kg/m²)

工法	標準 使用量	標準 塗布量	1回目 塗布量	2回目 塗布量	管理値
工法1	1.2	1.0	0.50	0.50	使用量0.66 (塗布量:0.55)
工法2	0.96	0.80	0.50	0.30	使用量0.53 (塗布量:0.44)

〔注意点〕

・補強ネットの貼付け方について

① 目地部分において、補強ネットは連続しては貼付けず、間をあけること。

② 補強ネットは、クラウン部、既設ケーブル、アーチ部下部の位置で切分け、分割して貼ること。

③ 既設ケーブル裏へは、長さ10cm程度、補強ネットを差込み、貼付けること。

④ 補強ネットの重ね代は、所定の長さ(10cm)とすること。

・補強ネットの重ね代については**参考資料－5**参照。

⑤ 補強ネットを円周方向にきれいに貼るために、次の注意点を守ること。

⑤－1 補強ネットに長手方向に目印の糸（赤色）が目印として配置されている。この糸は、補強ネットの重ね代（10cm）の位置を示しているので、これに合わせれば、所定の重ね代を設けることができる。

⑤－2 補強ネットを真っ直ぐに貼るために、足場下に作業員を1名、配置して、全体を見通してもらい、その指示のもとに、貼り付ける位置を微調整すること。

⑤－3 シート端部の位置は、ライン（列）を揃えること。ラインの乱れについては、アーチ部下部とクラウン部について注意を払うこと。これには、この位置から補強ネットを貼り始めることにより、容易にラインを揃えることができる。

・補強ネットの切断作業について

⑥ 補強ネットの切断作業は、路上面において行うこと。

⑦ 補強ネットについては、さらに、既設ケーブルや照明装置、さらに支持金具周りに対する切断作業が必要となるが、これらの作業も、採寸の上、⑦の作業と合わせて、路面上で行うこと。また、切欠き分は、2,3cmの余裕代を残して、切断作業を行うこと（きれいに仕上がる）。

⑧ 作業台上において、補強ネットを切断する場合には、専用のはさみを使用すること。（補強ネットの交点を引き剥がさないように注意すること）

・その他

⑨ 既設ケーブルや照明装置、さらに支持金具周りによる補強ネットの切欠き部や切断箇所については、別に切出された補強ネットの小片を貼り付け、補強を行うこと。

(8) FRP シートの上貼り（工法 2）

工法 2 では、下塗り材を塗布した後に補強ネットを貼付け、下地に密着させた後、FRP シートを貼付ける。FRP シートは、ヘラ等を用いて、密着・脱泡（FRP シートの下に含まれた空気を追い出す）を行う。樹脂の使用量は**表－4.1.3** 参照。

・FRP シートの貼付け方は、重ね代を設けてもよいが、**参考資料－5** に示されるように重ね代をとらず、突き合わせとして配置することも考えられる。

〔注意点〕

①FRP シートも鋏による切断作業が可能である。切断作業は補強ネットの切断作業に準じて行う。

(9) 光照射による樹脂硬化

光照射により、含浸性樹脂（光硬化型樹脂）を硬化させる。

硬化の対象部位の端部 4 箇所において、所定の照度が確保されていることを、照度計を用いて確認、記録するとともに、所定の時間、光を照射する（メタルハイドロランプを使用して、照度 1 mW/cm²(波長 380-450nm)で 10 分以上を標準とする*1。また、実際の施工では、20 分以上の照射時間を確保することが望ましい（補強ネット・FRP シートの貼付け作業時間との関係で、この程度の時間を確保することは容易である）。

光照射による樹脂の硬化作業を終了する時には、光硬化型樹脂の硬化状況を十分に確認する。硬化確認には、検査針の使用もしくは検査用ハンマーによる打音検査によればよい。

含浸樹脂の硬化が不十分になることを避けるために、硬化剤として、光硬化用と常温硬化用の 2 種類を併用することもできる。

*1　照度については、mW/cm² と lx を単純に換算することはできない。lx は、光のエネルギーではなく、人間の目によって知覚される光の供給を測定するものである。したがって、両者の変換係数は、光の波長の構成や色温度に応じて変わる。可視光スペクトルの中間の波長 555nm では、1lx は 1.46mW/m² と等しいというデータがあるので、この変換係数をそのまま用いると、1mW/(100cm)²＝10^{-4}mW/cm² になり、1÷（1.46×10^{-4}）＝6,849lx となる。上記の照度計による計測波長域は 380～450nm であるので、555nm の換算係数を用いることは正しくないが、凡そ 1 万 lx 程度の明るさとしてよい。

施工管理では、波長 380～450nm を計測帯域とする上記の照度計を使用し品質管理を行う。

(10) 確認・調整作業

光照射により樹脂硬化後、補強ネットの貼付け面については、作業台上から確認、調整作業を行う。ここで、確認・調整作業とは、クラウン部分においては樹脂ダレの硬化部分の除去、補強ネットの切れや欠損の補修、端部の跳ね上がりなどに対する処理を含む。

また、この作業に合わせて、必要な箇所があれば樹脂の上塗り作業を行う。

〔注意点〕

① 含浸性樹脂の上塗りの際には、常温硬化剤による自然硬化によっても良い。

(11)表面保護工

補強ネットの貼付け位置が、トンネルの坑口に近い場合には、日光が直接当たる坑口より所定の距離、例えば 20m 区間のみ（トンネルの路面からの高さの 3 倍)、ウレタンあるいはアクリル系の樹脂（透明）等を表面に塗布することにより、保護層（トップコート）を設けることがある。

また、本工法の仕様としては、トップコート使用する材料については、具体的な製品の指定は行わない。すなわち、トップコートの材料としては、下地の含浸性樹脂との相性が良く、耐久性などの各種性能確認データが与えられるものであれば、任意の選択に拠って良い。なお、トップコートに使える材料の例とその耐候性試験結果については、**参考資料－7** を参照されたい。

(12)仮設撤去・後片付け

トンネル内の既設設備やケーブル類、また下半盤の養生工を元の状況に復旧する。また、枠組足場を解体する。

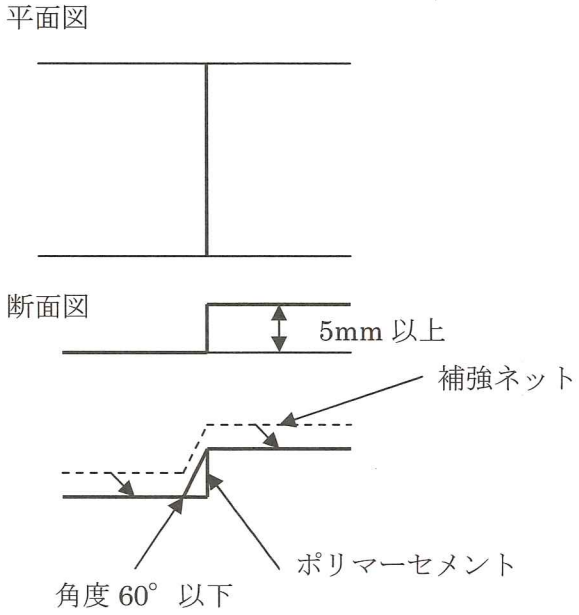
現場付近の清掃を徹底する。

車線開放前の路面清掃、覆工面清掃、飛散物、落下物の除去、点検を確実に実施する。

(4.1.3) 不陸修正および目地部の標準処理

不陸修正については、不陸の状況（種類やその程度）、ネットの断面への追随性、ネットの浮きの範囲(大きさ)、樹脂の漏洩量、樹脂塗布の道具（ロール、刷毛、ヘラ）の寸法などから、以下のように行うこととした。

(1) 段差



・適用対象：段差が 5mm 以上

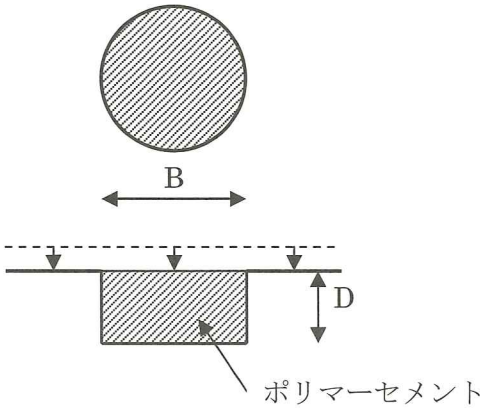
・処理方法：

(1) 上端の端部が鋭角で補強ネットを傷つけないようにするため、端部をサンダー等ですり落とす

(2) 段差の勾配が 60 度以下になるように含浸樹脂を充填する。また、

(3) 上端部を、サンダー等で削り落としても良い

(2) 穴(巣穴)

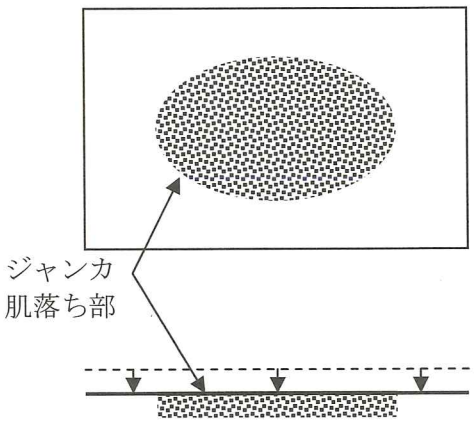


・適用対象：以下の表による
注記：大きさ B が 40cm 以上の場合には A に準じる

・処理方法：含浸樹脂を充填する

大きさ B	2－40cm
深さ D	0.5cm＜

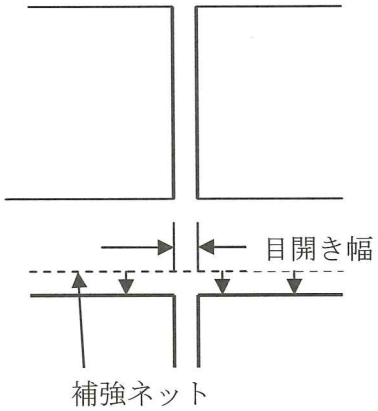
(3) ジャンカ、肌落ち



・適用対象：高低差が 3mm 以上のジャンカや肌落ち部分

・処理方法：含浸樹脂により表面を平滑にする

(4) 欠けがほとんどないクラック（目開き部分）

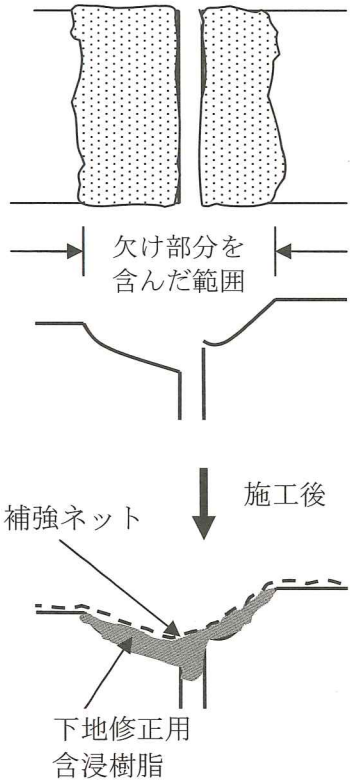


・ 適用対象：欠けがないクラック部分（目開き部分）
（注記）目開き幅は 2cm 以内に適用
2cm 以上の場合は E.を参照

・処理方法：

	出水がある、あるいはその可能性がある場合	出水の可能性がない場合
監視が必要な場合	(1)導水工を行う (2)下地に鋭角な部分があれば、サンダーで削り落とす (3)段差があれば、A を参考に不陸修正を行う (5)プライマーを塗布 (6)補強ネットを貼付け (7)監視箇所にマーキングを施す	・項目(1)を除いて、左欄と同じ
監視が必要ない場合	・項目(7)を除き上記と同じ	・項目(7)を除き上記と同じ

(5) 欠けがあるクラック(目開き部分)



・ 適用対象：欠けがあるクラック（目開き部分）

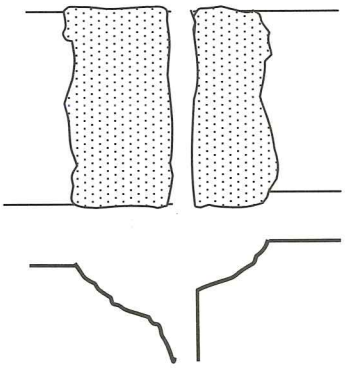
（注記）目開き幅には制限を設けない

但し、欠けを含んだ目開き部分が大きく、不陸の形状に沿わせて補強ネットを貼り付けた場合に、他の部分の貼り付けが困難になると予想される場合には、凹部全体を不陸修正材で充填することができる。

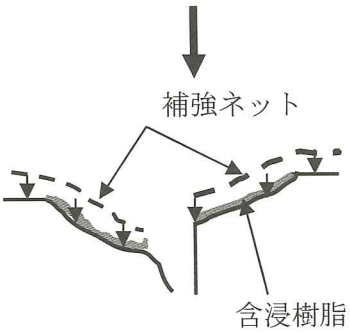
・処理方法：

	出水がある、あるいはその可能性がある場合	出水の可能性がない場合
監視が必要な場合	(1)導水工を行う (2)下地に鋭角な部分があれば、サンダーで削り落とす (3)補強ネットが貼付けられるように、含浸樹脂をコンクリート面の凹凸を無くすように(薄く)貼付ける（穴全体を充填するわけではない） (4)プライマーを塗布 (5)補強ネットを貼付け (6)監視箇所にマーキングを施す	・項目(1)を除いて、左欄と同じ
監視が必要ない場合	・項目(6)を除き、上記と同じ	・項目(6)を除き、上記と同じ

(6) 目地部分



欠けのある目地部



・適用対象：欠けがある目地部

（注意）目地は、補強ネットを分割して、個々に処理する

・処理方法：

	出水がある場合	出水がない場合
監視が必要な場合	(1)導水工を行う (2)下地に鋭角な部分があれば、サンダーで削り落とす (3)補強ネットが貼付けられるように、含浸樹脂をコンクリート面の凹凸を無くすように(薄く)貼付ける (4)プライマーを塗布 (5)補強ネットを貼付け (6)監視箇所にマーキングを施す	・項目(1)を除いて、左欄と同じ
監視が必要ない場合	・項目(6)を除き、上記と同じ	・項目(6)を除き、上記と同じ

・目地部に欠けがない場合は(3)を省略

- 目地部分における押抜き強度試験の結果を**参考資料－6** に示す。
- 目地部分からの小型のコンクリート片の落下を抑えるためには、目地部において補強ネットに若干のたわみ（ゆとり）を持たせればよい。

4.2 施工管理要領

施工管理要領の例を**表－4.2.1** に示す。

表－4.2.1 施工管理要領の一例

作業分類	管理内容	方法	管理基準
準備工			
下地処理工（高圧水洗浄）	レイタンス層等の強度低下部分の除去を確認	作業台上で目視観察、打検による。 200 ㎡で 2 ヶ所程度	脆弱部の有無
	路面上からの色ムラ（洗浄痕）部分における汚れの有無の確認	作業台上で目視観察 200 ㎡で 2 ヶ所程度	汚れの有無 但し、色ムラ自体は対象外
	ケーブル裏、照明装置の裏面の汚れの有無を確認	作業台上で観察 200 ㎡で 2 ヶ所程度 特に照明装置の裏、既設ケーブル裏など	汚れの有無
断面修復工	200 ㎡を管理単位面積としたポリマーセメントの使用料の管理	作業期間中、日報に作業位置と使用量を記載（空袋管理）	必要に応じて、適当量を用いて段差修復を行う
	断面修復箇所の確認	目開き部、目地部の補修部分の観察。 事前調査に基づき、観察箇所を選定。	標準施工要領の適用
プライマー工	躯体からの流水等の有無を確認	目視による確認	流水等がないこと
	プライマー塗布前に、躯体表面、断面修復部の結露の有無、水分量を確認	結露は指触、目視により確認。表面の水分は水分計により測定。 水分計例：ｹｯﾄ化学研究所製、等）	結露のないこと、表面水分量 8%以下を確認
	環境温度の確認	温度計	5～37℃
	200 ㎡を管理単位面積としたプライマー使用料の管理	作業期間中、日報に作業位置と使用量を記載（空缶管理）	使用量 0.26kg/㎡以上（塗布量 0.22kg/㎡以上）
	塗り残しの有無確認	路面上からの観察	白い部分の有無
補強ネット貼付け工 （樹脂塗り、ﾈｯﾄ貼り）	含浸樹脂を塗布する前に、プライマーの乾燥状態を確認	指触、目視による確認。	ヌルツキ、ベタツキの無いこと。
	プライマー塗布面の、結露の有無	指触、目視による確認。	結露のないこと
	環境温度の確認	温度計	5～37℃
	常温硬化剤、促進剤の混合	使用量に対する硬化剤量を天秤等により計測し、硬化剤、促進剤をそれぞれ単独で添加、混合を行う	樹脂量に対し、それぞれ 2%添加、但し、環境温度により調整

	ネット貼付け時100㎡を管理単位面積とした含浸樹脂使用量の管理	作業期間中、日報に作業位置と使用量を記載 （空缶管理）	工法１使用量 0.66kg/㎡以上(塗布量 0.55kg/㎡以上) 工法２使用量 0.53 kg/㎡以上 (塗布量0.44kg/㎡以上)
	補強ネット端部のラインの揃い（アーチ部下端）	路上面から観察	ネット端部の段差 3cm 以内
	円周方向の補強ネットの傾き	同上	鉛直面より傾き 5 度以内
	補強ネットのラップ幅	補強ネットの赤糸を目印に、重ね合わせる	75mm 以上
	ネット欠損部の有無	同上	有れば補修
	既往ケーブル、照明機器及びその固定金具による切り欠き、切断線の補修処理箇所	路上面から、ケーブル、照明機器周辺部を観察	無ければ補修 (ﾈｯﾄの後貼り)
	補強ネットの浮きの有無	目開き部、不陸の多い箇所を観察、事前調査に基づき、観察箇所を選定	標準施工要領の適用
FRP シート貼付け工（工法２）	シート貼付け面の被覆フィルムの剥離を確認	指触、目視による確認。	剥がし忘れのないこと
	著しい剥れ、浮き、気泡、しわ等が無いこと	目視による確認。	直径 40mm 以上の浮き、気泡が無いこと
	全面にシートを貼付ける場合、シートのラップ幅を確認	目視、ﾒｼﾞｬｰによる確認。	35mm 以上
光照射による光硬化工	光照度の確認	硬化対象部位の端部４個所を照度計により確認	1mW/cm² 以上
		各ランプの照射距離による照度分布図をもとに、照射距離を確認	ﾗﾝﾌﾟ型式；SHL-250 の場合、施工部位からの距離が１m で、1×1m 角が硬化可能範囲。但し、照射ﾗﾝﾌﾟ種により、異なる
	照射時間の確認	ストップウォッチ	20 分以上
	硬化状況の確認	指触、打検により確認	ヌルツキがないこと
		施工面または試験用ｺﾝｸﾘｰﾄ板による接着力確認	1.5N/mm² 以上
確認・調整作業	補強ネット貼付け部の破損、跳ね等の確認	目視により確認	標準施工要領の適用
表面保護工	保護層の塗り残しの有無	目視により確認	標準施工要領の適用

4.3 工法１と工法2の組合せ例

(1) 部分的な耐力向上もしくは可視性の向上

FRP シートを、次に示すように上貼りすることによって、次に述べるような利点を発揮することができる。

・品質や耐久性が向上する。

・高圧水洗浄によっても端部に剥がれやほつれが生じにくくなる。

・部分的に表面保護材(FRP シート)を貼付けることにより、必要に応じた耐力向上を図ることができ、全体として工事費を削減することができる。

(a)補強ネットの貼付け面における端部（**図－4.3.1 および図－4.3.2**）

(b)補強ネットの貼合せ部分（**図－4.3.1 および図－4.3.2**）

(c)照明器具やケーブルラックの脚部等、トンネル付属物の周辺において、補強ネットを切り欠いたところ(**図－4.3.3**)

ただし、トンネル付属機器は、できる限り取り外し、補強ネットを切欠くことなく貼付けることを基本とする。

(d)ひび割れ等が集中しており、当初より、比較的大きなコンクリート片の剥落やブロックの抜け出しが予想されるところ(**図－4.3.4**)

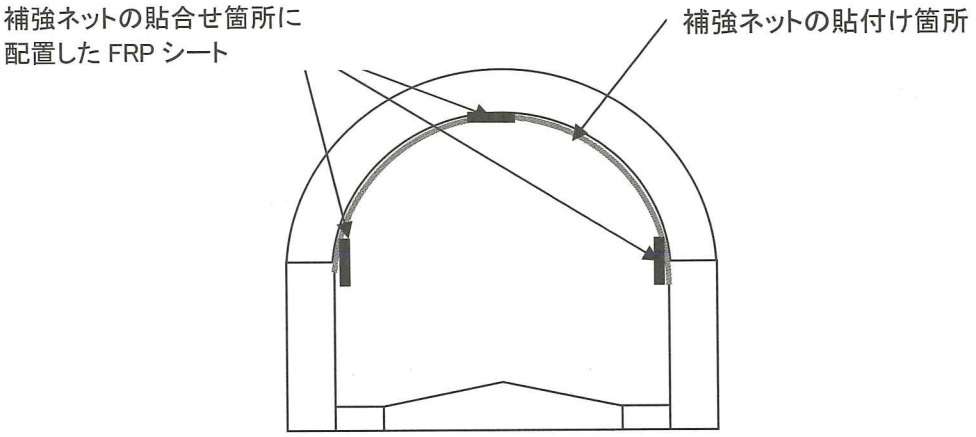
(e)覆工コンクリートに調査用のボーリングを施し、残された穴にモルタルを充填した箇所など（将来的にモルタル充填部の抜出しが予想されるところ）(**図－4.3.5**)

また、重ね代を無くすことにより、可視性の低下を防ぐ。その代わりに、FRP シートを上面に貼付けることにより補強を行う。

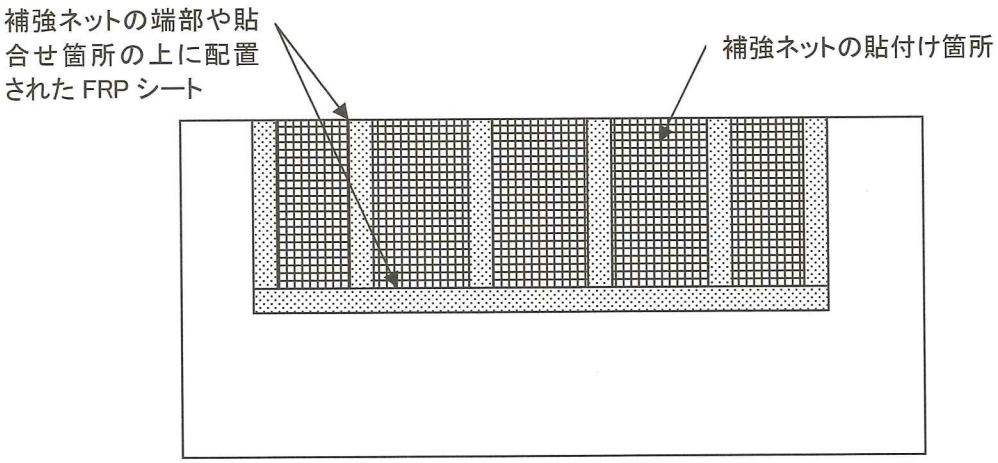
(f) 補強ネットの貼合せ代をなくし、当該部分に FRP シートを配置することにより、下地の可視性を向上させる方法(**図－4.3.6**)

ただし、押抜き強度が所定の強度を満たさない場合は、より厚い FRP シートを使用することもできる。

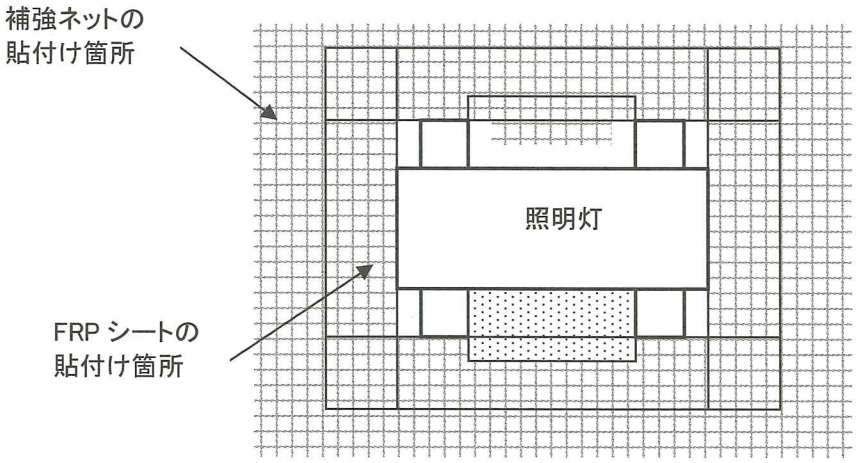
なお、補強ネットの貼合せ部分の押抜き強度については、**参考資料－5** を参照されたい。



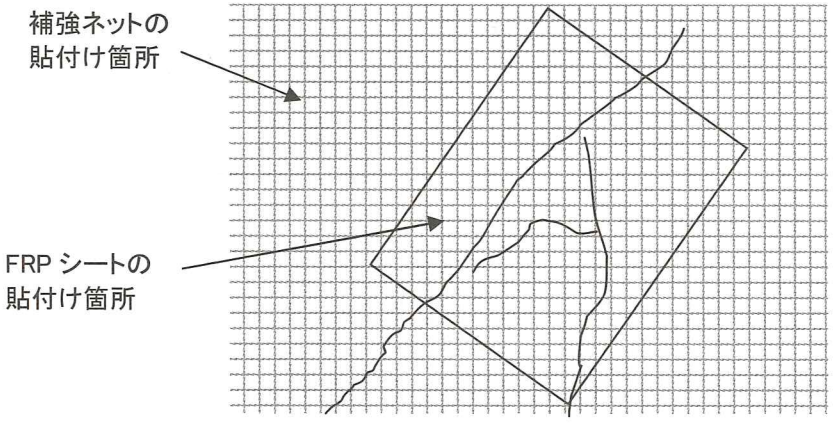
図－4.3.1　FRP シートの配置位置



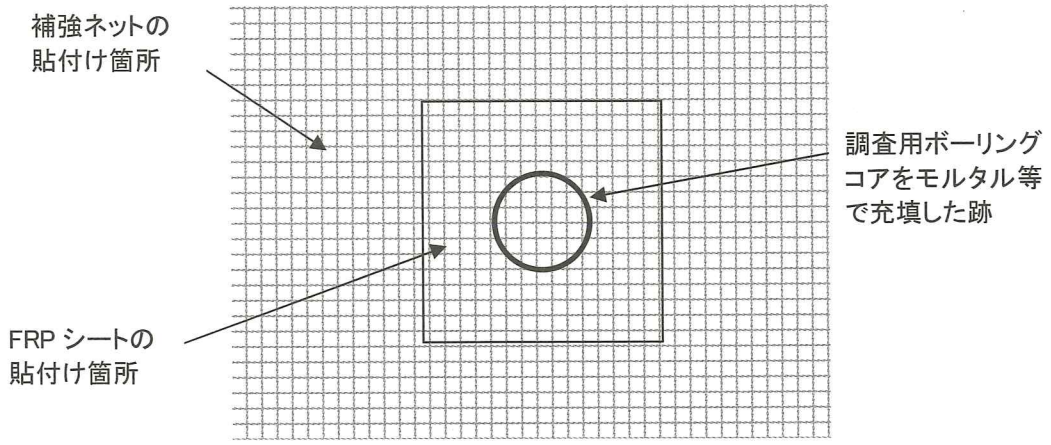
図－4.3.2　FRP シートの配置位置（トンネル長手方向の覆工コンクリート面）
:(a) 補強ネットの端部と(b)貼合せ部分



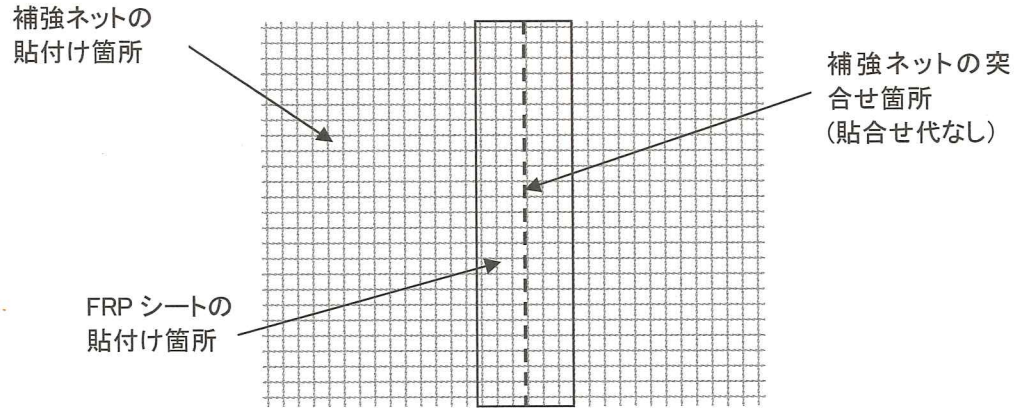
図－4.3.3 FRP シートの配置位置：
(c) トンネル付属施設周辺



図－4.3.4 FRP シートの貼付け箇所：(d)に対応



図－4.3.5 FRP シートの貼付け箇所：(e)に対応



図－4.3.6 補強ネットの配置方法と FRP シートの貼付け方法：(f)に対応

5. 開発全体のまとめと今後の課題

5.1 全体のまとめ

開発目標とその検証方法については、2.2 節(本文 7 ページ)に示されている。

結果は、次のように要約される。

(1)各種性能試験により、次のことが確認された。

①押抜き耐荷力：【工法 1 について】

・小型試験体による押抜きコア φ100 の試験における破壊形態は、補強ネットの破断であり、最大押抜き耐荷力は 2.9kN であった。

・大型試験体による押抜きコア φ250 と φ500 の試験における破断形態は、補強ネットの破断であり、剥離の進展はほとんど見られなかった。最大押抜き耐荷力は 6.1kN と 8.6kN であった。

・大型試験体による押抜きコア φ250 と φ500 の試験において、接着樹脂損傷時の押抜き耐荷力は 4.3kN と 8.2kN であった。本研究ではこの耐荷力で押抜き耐荷力を定義している。この耐荷力以下では補強材に損傷はなく、補強ネット等による耐荷力の増加がわずかに見込める。

【工法 2 について】

・小型試験体による押抜きコア φ100 の試験における最大押抜き耐荷力は 6.1kN であった。この試験の最終形態は、剥離の進展であった。

・大型試験体による押抜きコア φ250 と φ500 の試験における最大押抜き耐荷力は 13.3kN と 17.0kN であった。このときの破断形態は、シートと補強ネットの破断であり、最終段階においても剥離の進展は少なかった。

・大型試験体による押抜きコア φ250 と φ500 の試験において、接着樹脂の損傷時の押抜き耐荷力は 9.6kN と 14.9kN であった

②付着強度：工法 1 の付着強度は 2.1MPa 以上、工法 2 の付着強度は 3.5MPa 以上あることが確認された。

③耐久性：温冷繰返しによる負荷および湿潤繰返しによる負荷を与えた後、外観（可視性）観察、押抜き耐荷力、付着強度について試験を行った。結果として、外観（可視性）、押抜き耐荷力、付着強度のいずれについても性能を保持していた。

④可視性：トンネル基本照明のもとでも近接位置からであれば、0.2mm 以上のひび割れを視認することができることが確認された。

⑤難燃性：樹脂が硬化した後では、燃えにくいことを確認した。

⑥洗浄性：雑巾による拭き取り試験、また高圧水洗浄により、よごれの除去ができ、ほぼもとの状態に復することができることを確認した。

(2) 施工法については、標準施工要領と施工管理要領を示した。

(3) 押抜き耐荷力試験を整理した結果として、単位強さは、工法１で 3.5N/mm 以上、工法２で 4.5N/mm 以上であることを確認した。

なお、本提案工法では、剥離の進展は期待できないので、設計において安全性照査を行う場合には、剥離による周長の増加を考慮せずに計算を行う必要がある。また、設計に先だっては、別途、安全性照査式において、安全余裕に関する定数（安全率や部分安全係数）を適切に設定する必要がある。

5.2 今後の課題

本提案工法については、次のような技術課題が残されている。

施工方法の確立の必要性

提案工法には、工法１と工法２の ２ 通りがあるが、両者の使い分けについては十分に検討されていない。今のところ、工法１が、工法 ２ と比べて作業工程上も優れているので、工法 １ を施工対象の全面に使用し、工法 ２ を 1,2 割程度、補助的に使用するのが最も適した使い方なのではないかと予測している。

謝 辞:

本開発では、国土交通省 北海道開発局 留萌開発建設部 留萌開発事務所、日方泊トンネル清水・田中・堀口特定建設工事共同企業体のご協力をいただいた。ここに記して深謝する。

参考資料

参考資料－1　工法２のための材料選定

工法２の材料選定のために、**付表－1.1** に示す13例のFRPシートについて検討を行った。

主な検討項目は、小型試験体による押抜き耐荷力、可視性、材料費の 3 点とした。押抜き試験は(財)鉄道総合研究所規格に準拠し、試験体は乾燥状態、試験体数は２とした。また、試験ケースは、第１回目として①～⑨を行い、その知見をもとに、第２回目として、⑩～⑬を行った。

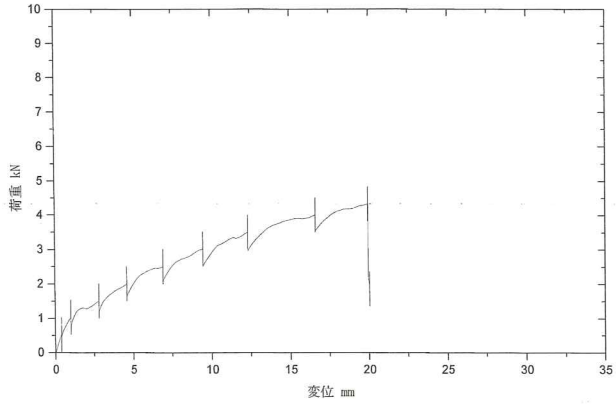
試験結果の一部を次ページ以降に示す。ここでは、試験ケース④、⑥、⑨、⑪を示している（ここで、試験ケース⑩が最終的な材料仕様であるが、本文の記事と重複するので掲載を省略している)。

検討の結果として、工法 2 の材料候補として試験ケース⑩と⑪を選択し、実大トンネル実験施設における可視性試験を行い、最終的に試験ケース⑩を工法 2 の材料として選定した。

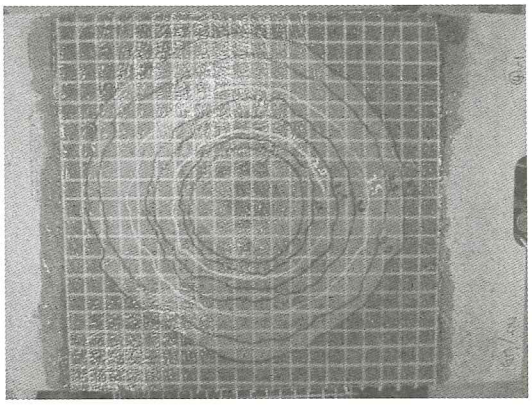
付表－1.1 工法２の材料選定のための試験ケース

ケース	補強ネットと表面保護材の組合せ	押抜き試験結果 最大荷重	押抜き試験結果 変位	単位強さ	押抜き耐荷力	可視性	工法
①	補強ネット	2.48kN	10.7mm	3.50 N/mm	○	◎	工法１ ダミー
		3.26kN	16.2mm				
		クラックが入り終了					
②	補強ネットと ガラスサーフェースマットの一体型 (バインダー無し)	2.43kN	13.0mm	3.00 N/mm	△	×	
		2.95kN	22.5mm				
		クラックが入り終了					
③	補強ネットと ガラスマットの一体型 (バインダー無し)	5.00kN	22.7mm	4.05 N/mm	○	×	
		3.96kN	16.7mm				
		クラックが入り終了					
④	補強ネット ＋ ガラスマット	4.33kN	19.9mm	4.12 N/mm	○	×	
		4.51kN	18.6mm				
		クラックが入り終了					
⑤	補強ネット ＋ ＃350 ガラスクロス	4.49kN	19.9mm	4.14 N/mm	○	×	
		4.48kN	17.6mm				
		塗膜の端まで剥離して終了					
⑥	補強ネット ＋ ＃110 ガラスクロス	3.00kN	15.7mm	3.32 N/mm	△	△	
		2.96kN	14.7mm				
		クラックが入り終了					
⑦	＃30 ガラスサーフェース ＋補強ネット ＋＃350 ガラスクロス	5.45kN	21.1mm	4.51 N/mm	○	×	
		5.00kN	19.8mm				
		塗膜の端まで剥離して終了					
⑧	補強ネットと PET 不織布 一体型 (バインダー有り)	3.46kN	18.2mm	4.18 N/mm	○	△	
		3.18kN	22.1mm				
		2kN を超えるとクラックが入るが、荷重はしばらくキープ					
⑨	補強ネット＋ プリプレグシート (ガラスマット１プライ 1mm 厚)	6.63kN	20.4mm	5.35 N/mm	◎	◎	シートが割高なので候補から省く
		5.43kN	16.1mm				
		１体は端まで剥離、１体はクラックが入り終了					
⑩	補強ネット＋ プリプレグシート (#230 ガラスクロスタイプ)	6.01kN	23.8mm	5.01 N/mm	◎	◎	工法２の第１候補材料
		6.10kN	26.0mm				
		塗膜の端まで剥離して終了					
⑪	補強ネット ＋ #230 ガラスクロス	5.22kN	24.5mm	4.61 N/mm	○	○	工法２の第２候補材料
		5.65kN	24.4mm				
		塗膜の端まで剥離して終了					
⑫	補強ネット/ PET 不織布一体型 (バインダー無し)	3.44kN	23.2mm	3.57 N/mm	○	×	—
		3.49kN	26.2mm				
		クラックが入り終了					
⑬	補強ネット ＋ ガラスロービング	4.82kN	21.0mm	4.49 N/mm	○	×	—
		5.43kN	20.7mm				
		塗膜の端まで剥離して終了					

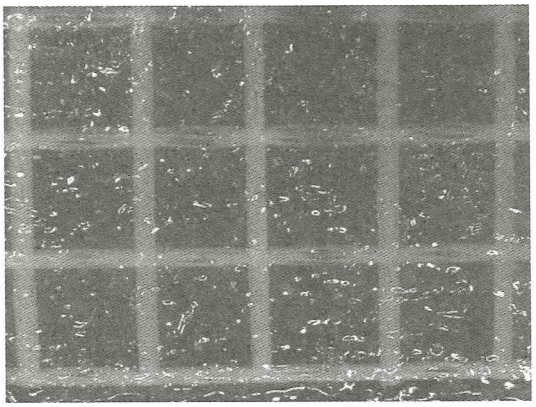
ケース④　補強ネット ＋ ガラスマット



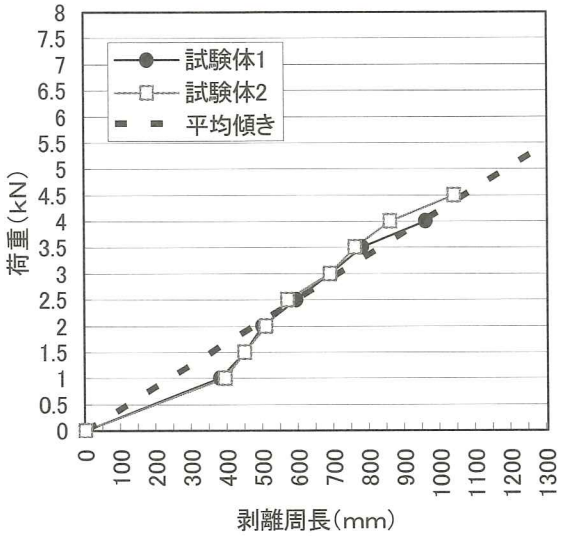
付図－1.1 荷重－変位図



写真－付 1.1 試験後の写真

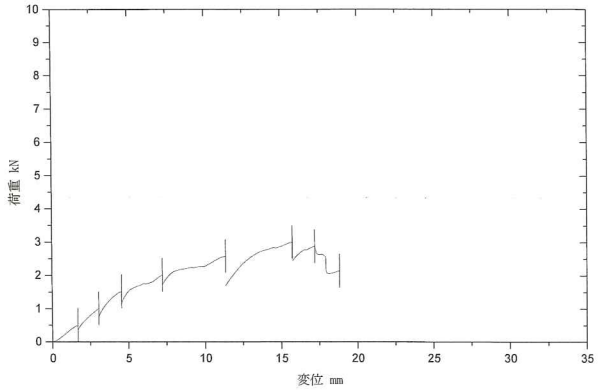


写真－付 1.2 表面状況

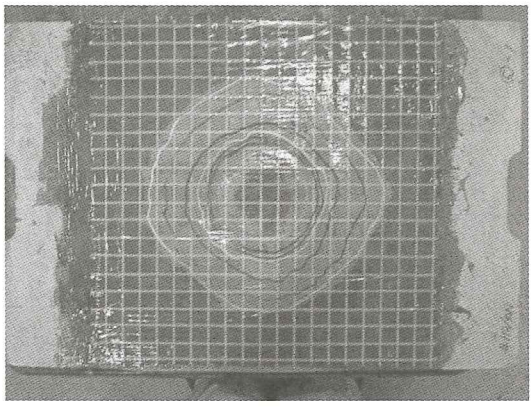


付図－1.2 荷重－剥離周長曲線

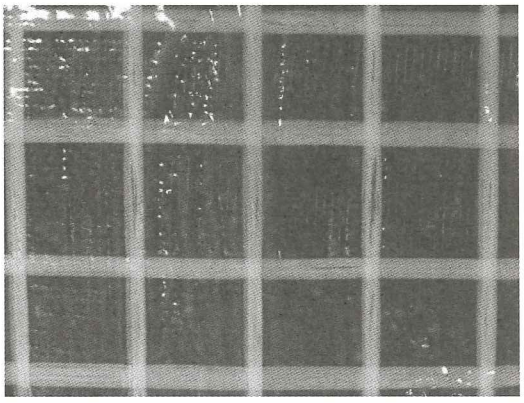
ケース⑥　補強ネット ＋ ＃110ガラスクロス



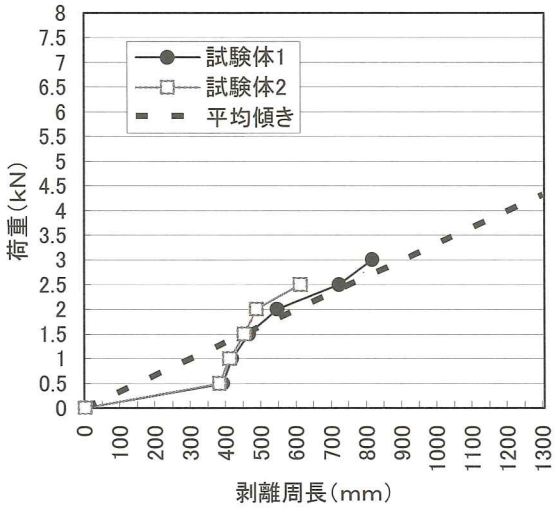
付図－1.3 荷重－変位図



写真－付 1.3 試験後の写真

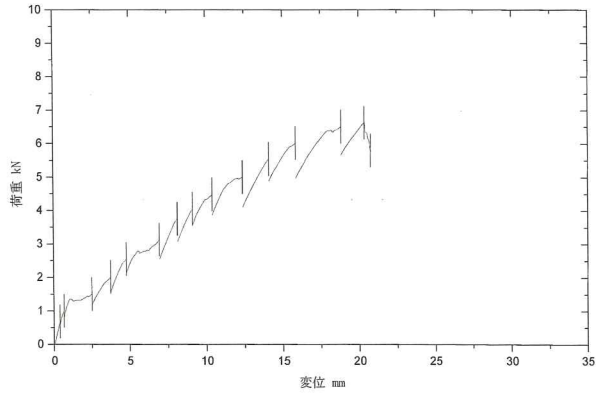


写真－付 1.4 表面状況

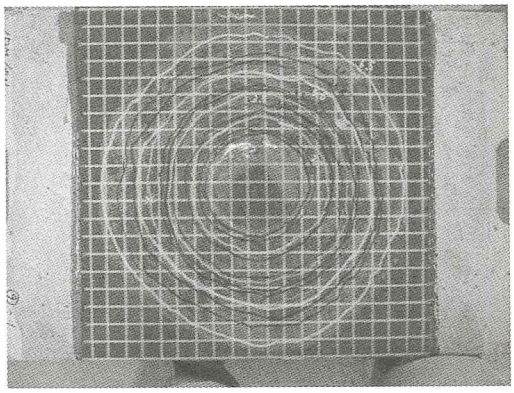


付図－1.4 荷重－剥離周長曲線

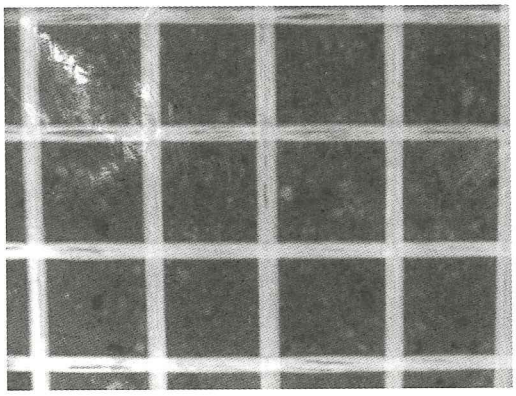
ケース⑨　補強ネット ＋ ガラスマットプリプレグシート



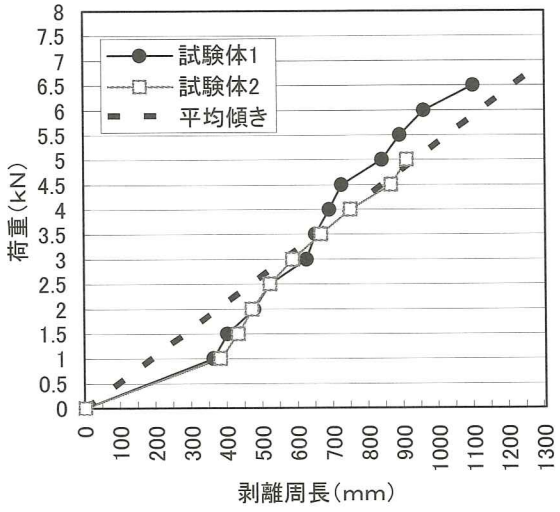
付図－1.5 荷重－変位図



写真－付 1.5 試験後の写真

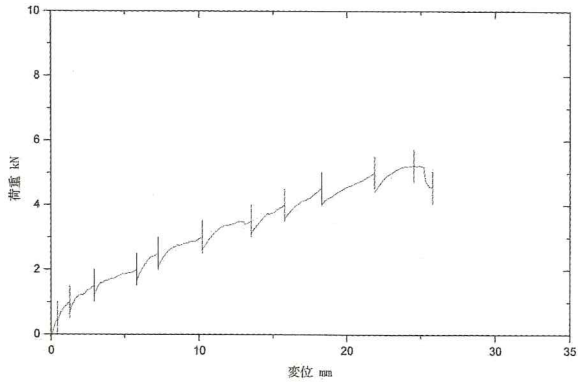


写真－付 1.6 表面状況

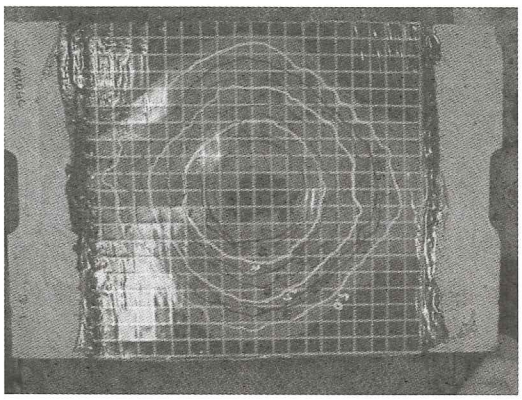


付図－1.6 荷重－剥離周長曲線

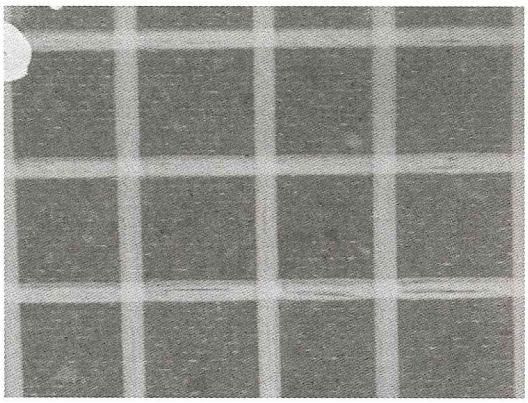
ケース⑪　補強ネット ＋ ＃230ガラスクロス



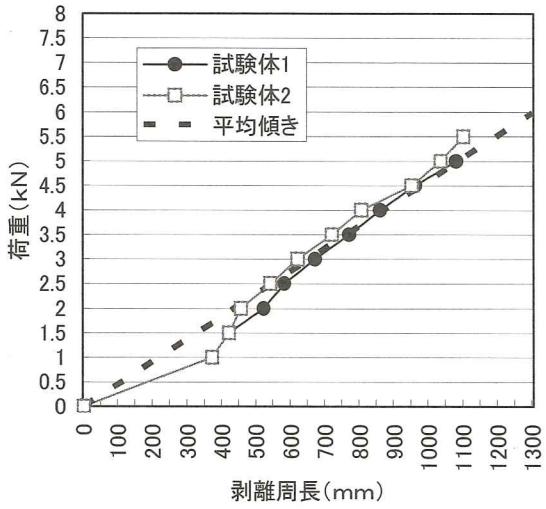
付図－1.7 荷重－変位図



写真－付 1.7 試験後の写真



写真－付 1.8 表面状況



付図－1.8 荷重－剥離周長曲線

参考資料－2　大型試験体による押抜き試験(補足)

大型試験体による押抜き試験の補足として、(1)押抜きコアの偏心量に関する資料と(2)補強ネットおよびFRPシートの破断に関する考察を示す。

1.押抜きコアの偏心量について

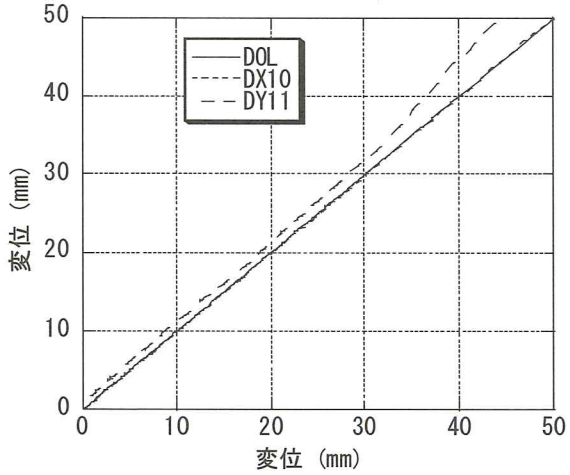
載荷時の押抜きコアの偏心量を調べるために、**付図－2.1** に押抜きコアの変位量を示す。

付図－2.1 では、横軸に押抜きコアの中心部の変位量(D0L)を取り、縦軸に押抜きコアの中心部(D0L)とX・Y方向の端部の変位量を示している(*1)。原点を通る斜め45°の直線(実線)が、押抜きコアの中心部(D0L)を示しており、破線が押抜きコアの偏心を示していることになる。押抜きコアの偏心量は、変位2~3mmのところでさえ、1mmから最大2mm程度はある。

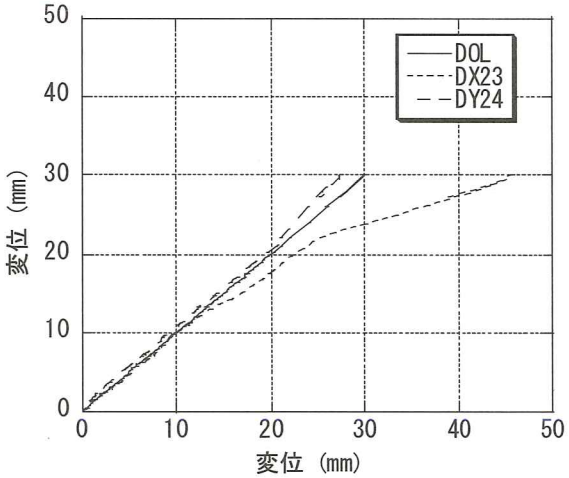
さらに、**付図－2.2** に押抜きコアの端部における変位量から中心部における変位量との差（偏心量）を示す。**付図－2.2** では、横軸は押抜きコアの中心部の変位量とし、縦軸は押抜きコアの偏心量を示している。この図からも 2~3mm 程度のコアの押出しによっても、コア端部において1,2mm程度の変位差が生じていることが判る。

*1　**付図－2.1** および**付図－2.2** の図中の記号、例えば DX10 は、最初の記号 D は変位(Displacement)計測であることを示し、2番目の記号Xは方向がX方向であることを示し、3番目の記号は、コア中心位置からの距離(単位cm)が10cmであることを示す。方向にはX,Y方向があるが、これには**図－2.4.1.1（本文 10 ページ）**を参照されたい。コア径がφ250のとき、押抜きコアの端部は、コアの中心より 10,11cm の位置になる。また、φ500 のときは、端部は23,24cmの位置になる。

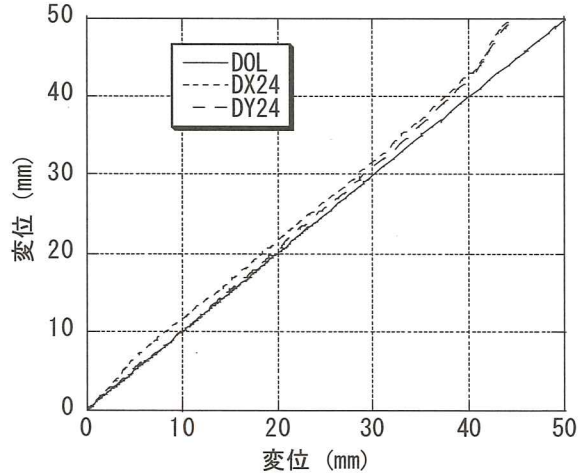
・押出しコア上の変位量



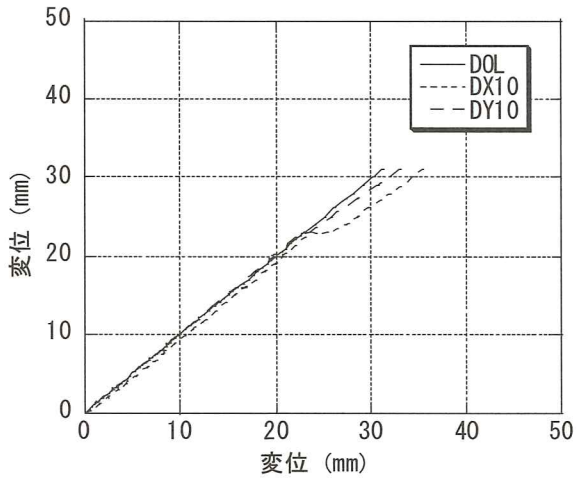
付図－2.1(1) 試験ケース1
（工法 1、φ250）



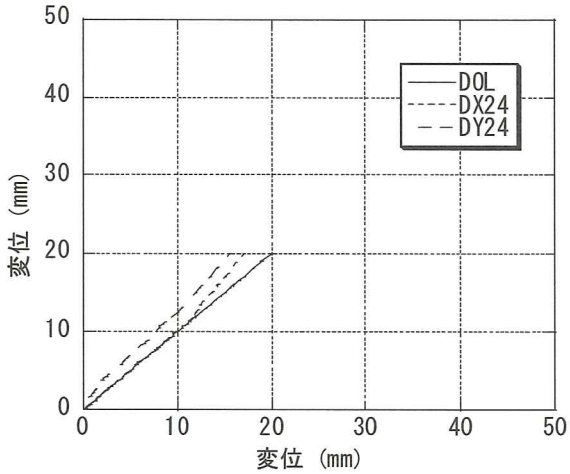
付図－2.1(2) 試験ケース 2
（工法 1、φ500）



付図－2.1(3) 試験ケース 3
（工法 1、φ500、補強ﾈｯﾄの目付量 2 倍）



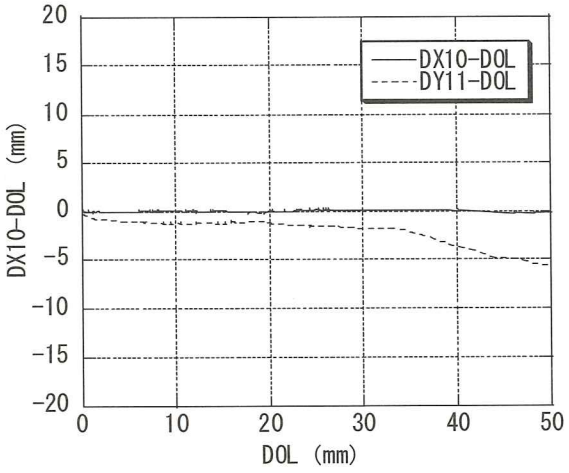
付図－2.1(4) 試験ケース 4
（工法 2、φ250）



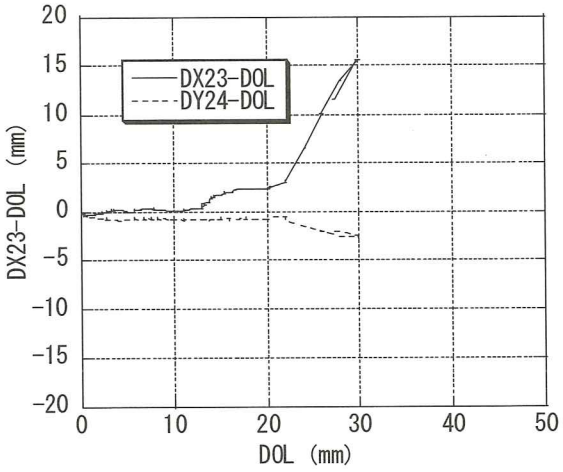
付図－2.1(5) 試験ケース 5
（工法 2、φ500）

横軸:コアの中央点の変位量
縦軸:コアの中央点、X･Y 方向の端部の変位量

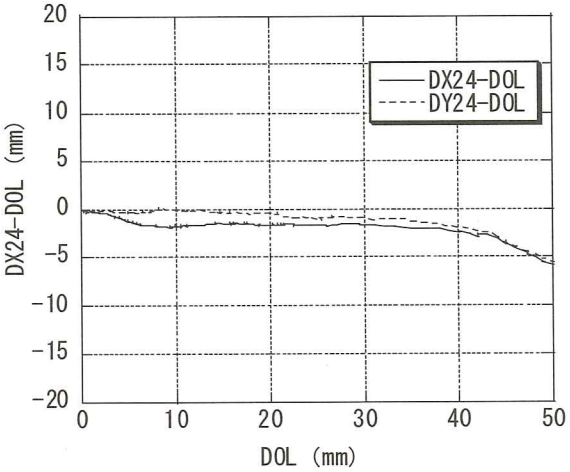
・ 押出しコアの端部と中央点との変位量の差



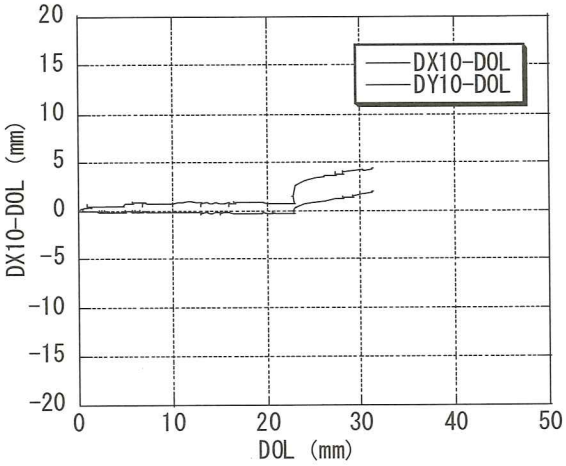
付図－2.2(1) 試験ケース 1
（工法1、φ250）



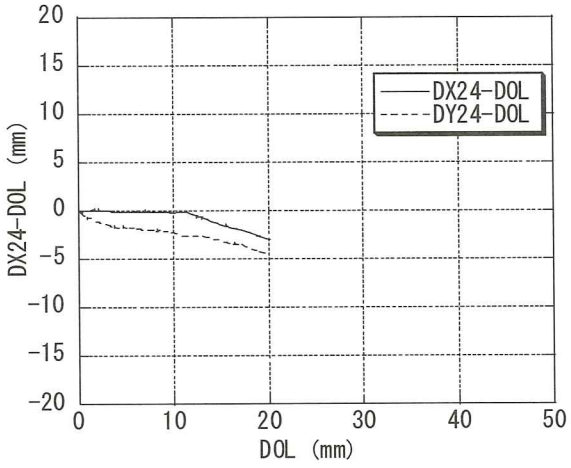
付図－2.2(2) 試験ケース 2
（工法 1、φ500）



付図－2.2(3) 試験ケース 3
（工法 1、φ500、補強ﾈｯﾄの目付量 2 倍）



付図－2.2(4) 試験ケース 4
（工法 2、φ250）



付図－2.2(5) 試験ケース 5
（工法 2、φ500）

横軸：押出しコアの中央点の変位量
縦軸：X・Y 方向のコア上の端部と中央点との変位差

2.補強ネットおよびFRPシートの破断に関する考察

以下、参考として、接着樹脂、補強ネットあるいはFRPシート複合体の破断に関する検討を文献1)に示されている内容に従って行ってみる。

文献1)では、材料の破断に関して剥離発生時の補強ネット（あるいはFRPシート複合体）の応力度σ_{p0}の補強ネット（あるいはFRPシート複合体）の設計引張強度f_{ud}に対する比に、修正係数ρ_mを乗じた値が1.0以下であることを確認するとしている。

文献1)引用

「

$$\rho_m \cdot \sigma_{p0} / f_{ud} \leqq 1.0 \qquad (2.1)$$

ここに、σ_{p0} ： 剥離発生時の補強ネット（あるいはFRPシート複合体）の応力度

f_{ud} ： 補強ネット（あるいはFRPシート複合体）の設計引張強度
（引張強度を材料係数γ_mで除した値。γ_mは通常1.1）

ρ_m ： 修正係数（平板の押抜き試験結果などから3.0）

」

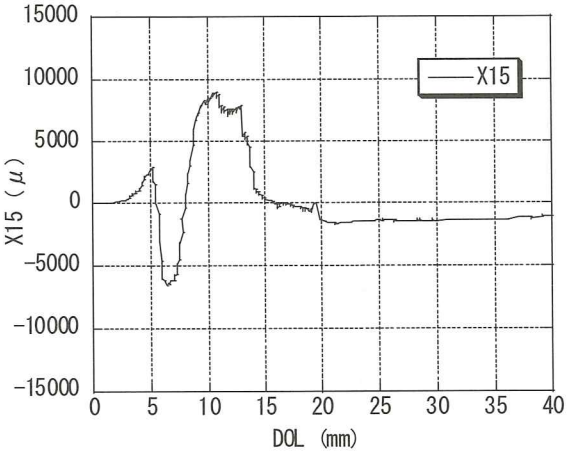
文献1)引用終り

剥離発生時の補強ネットあるいはFRPシート複合体の応力度は、大型試験体の押抜き試験において計測されたひずみデータから推定できる。（付表－2.1）

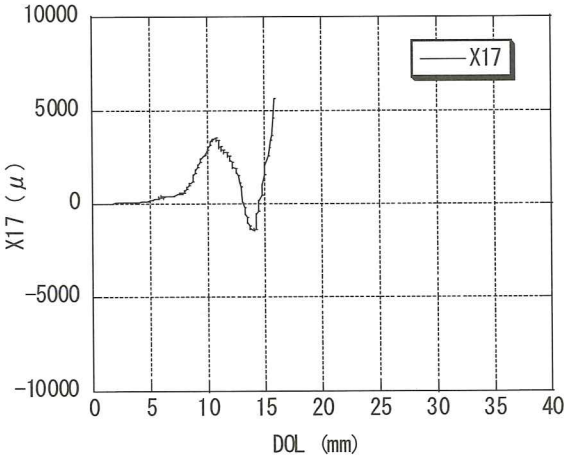
付表－2.1 剥離発生時のひずみ量（大型試験体の押抜き試験結果から）

工 法	試験ケース	計測位置	剥離発生時のひずみ量	コア端部からの距離
工法1	1	X15	2,941μ	25mm
		X17	3,500μ	45mm
	2	X28	3,538μ	10mm
		X30	4,038μ	30mm
		平均値	3,504μ	
工法2	4	X15	2,390μ	25mm
		X17	3,048μ	45mm
		Y15	4,190μ	25mm
		Y17	4,761μ	45mm
	5	X29	4,067μ	40mm
		Y29	2,978μ	40mm
		平均値	3,572μ	

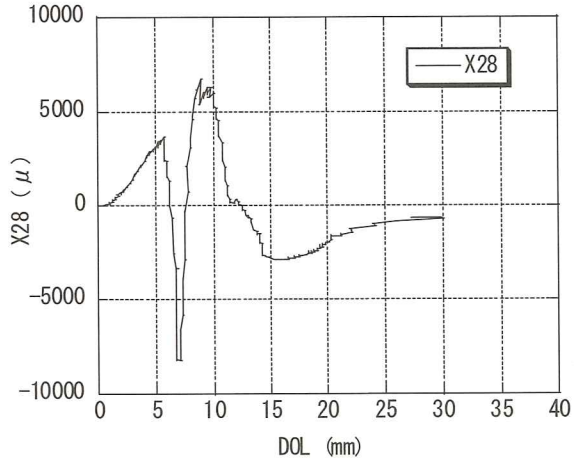
剥離発生時のひずみ計測の例を付図－2.3および付図－2.4に示す。



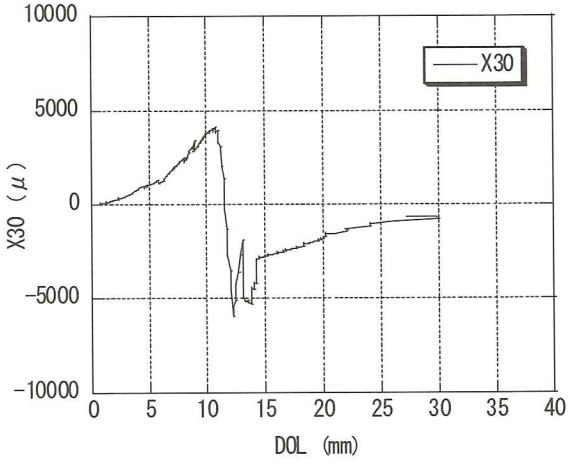
(1) 試験ケース 1



(2) 試験ケース 1



(3) 試験ケース 2

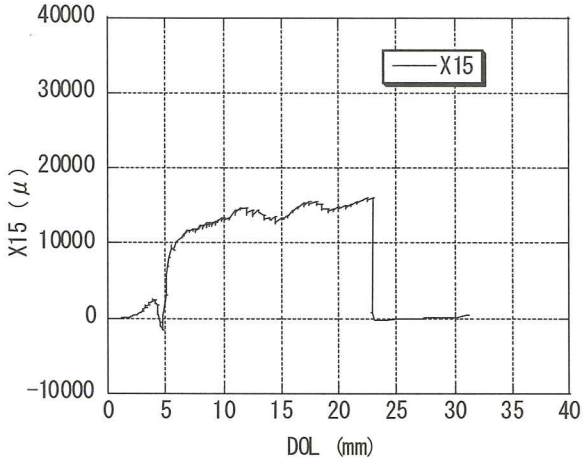


(4) 試験ケース 2

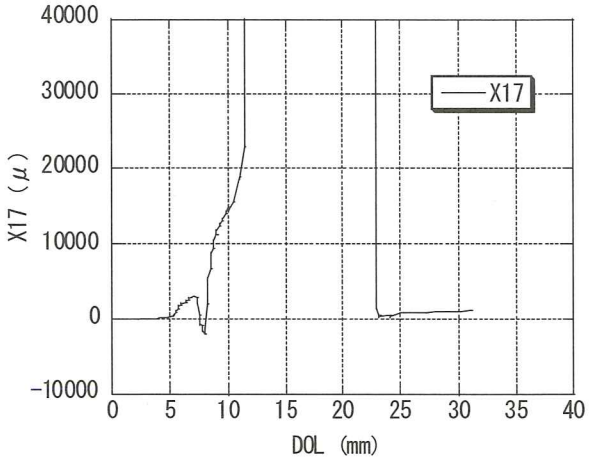
付図－2.3 補強ネット剥離時におけるネットひずみ量の変化(工法 1)

横軸：押し出しコア(中央点)の変位量(mm)

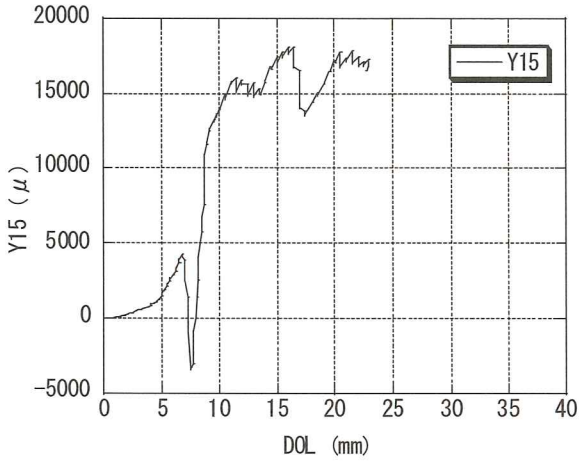
縦軸：補強ネット剥離時におけるひずみ量(μ)



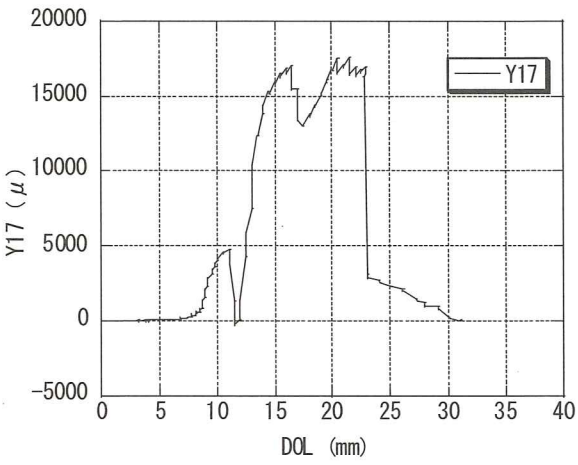
（1） 試験ケース 4



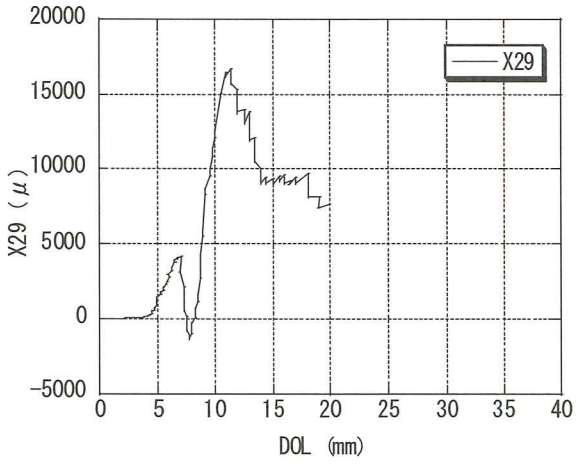
（2） 試験ケース 4



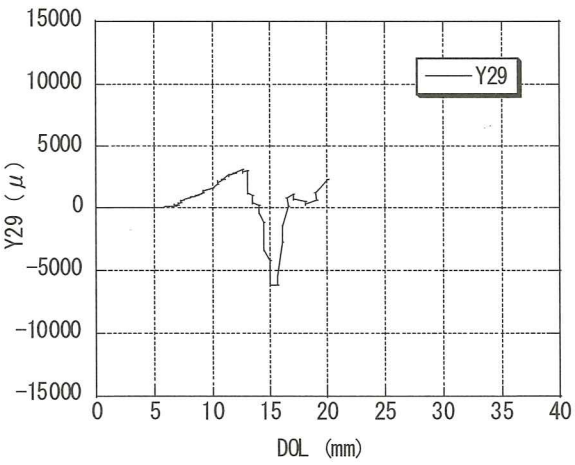
（3） 試験ケース 4



（4） 試験ケース 4



（5） 試験ケース 5



（6） 試験ケース 5

付図－2.4 FRP シート剥離時におけるシートひずみ量の変化（工法 2）

横軸：コア(中央点)の変位量、縦軸：シートのひずみ量

一方、実験により得られている提案工法の材料定数（弾性定数および引張強度）は、**付表－2.2** の通りである。

付表－2.2 補強ネットおよび FRP シート複合体の弾性定数と引張強度(実測値)

工法	材料	引張弾性定数	引張強度	厚さ	備考
工法 1	接着樹脂硬化体	2.5×10^3N/mm^2	23N/mm^2	1.0mm	・メーカー試験値 ・試験法は JIS K7054 に準拠
	補強ネットの束(単体)	8.8×10^4N/mm^2	1,946N/mm^2	—	・束の寸法：幅 2mm×厚さ 0.15mm。面積：0.3mm^2
工法 2	FRP シート複合体	7.1×10^3N/mm^2	64N/mm^2	1.3mm	・メーカー試験値 ・試験法は JIS K7054 に準拠

上記の諸定数を用いて、式（2.1）を計算してみると、次のようになる。

〔工法 1〕

(a) 接着樹脂の損傷について

$E = 2{,}500$N/mm^2

$\varepsilon = 3{,}500\,\mu$ strain$= 3{,}500\times10^{-6} = 0.0035$

$\Rightarrow \quad \sigma = 2{,}500\times0.0035 = 8.75$N/mm^2

（樹脂層が破断したとき）引張強度 $f_u = 23$N/mm^2 $\Rightarrow \quad f_{ud} = 23$N/mm^2/1.1$= 20.9$N/mm^2

式(2.1)に上記の値を代入すると、

$$3.0\times8.75 / 20.9 = 1.26 \quad > \quad 1.0 \quad \Rightarrow \quad \text{不適合(損傷)}$$

となる。すなわち、接着樹脂硬化体では、補強ネットの剥離時において、含浸樹脂の硬化体の応力度が大きくなり、樹脂層に損傷が生じる可能性があることが判る。実際、試験時には、樹脂のひび割れにより押抜き耐荷力の値が決まっているわけであり、試験の結果を裏付けている。

(b) 補強ネットの損傷について

補強ネットの束の損傷について計算してみると、次のようになる。

$E = 8.8\times10^4$N/mm^2

$\varepsilon = 3{,}500\,\mu$ strain$= 3{,}500\times10^{-6} = 0.0035$

$\Rightarrow \quad \sigma = 8.8\times10^4\times0.0035 = 308$N/mm^2

引張強度 $f_u = 1{,}946$N/mm^2 $\Rightarrow \quad f_{ud} = 1{,}946$N/mm^2/1.1$= 1{,}769$N/mm^2

式(2.1)に上記の値を代入すると、

$$3.0\times308\,/\,1{,}796=0.514 \quad \leqq \quad 1.0 \quad \Rightarrow \quad 適 \quad 合(損傷なし)$$

となる。すなわち、補強ネット単体の破断を考えた場合にも、破断はないことになる。

なお、上記のことは**付図－2.3** からも推察が可能である。すなわち、ひずみ量 3,500 μ の部分が、補強ネットが下地から剥れるときに生じるひずみ量であり、剥れると変位の拘束が解かれて、ひずみ量は圧縮側に触れている、その後、全体的に剥離が進展するにつれてひずみ量は増大を続けている。

補強ネットの剥離については、上述の通りであるが、実際には、補強ネットの下地への接着状態や差込みコアの抜け出し方、コア周辺部の間隙など種々の要因により、ひずみの蓄積に伴い接着樹脂層が損傷し、剥離が十分に伸展しないことがあることは大型試験体による押抜き試験 (2.4.1(1) : 本文 11 ページ)において述べた通りである。このことから、接着樹脂が損傷を受け、押抜き耐荷力が小さくなるときを、ひとつのしきい値として押抜き耐荷力を定めれば、その適用範囲内では、補強ネットには損傷は生じることはなく、また補強ネットの破断に関する耐荷力の照査は省くことができよう。

〔工法 2〕

工法 2 についても、補強ネットと FRP シートの複合体の破断について検討してみる。

$E = 7{,}100\text{N/mm}^2$

$\varepsilon = 3{,}570\,\mu\,\text{strain} = 3{,}570\times10^{-6} = 0.0036$

$\Rightarrow \quad \sigma = 7{,}100\times0.0036 = 25.6\text{N/mm}^2$

引張強度 $f_u = 64\text{N/mm}^2 \Rightarrow \quad f_{ud} = 64\text{N/mm}^2/1.1 = 58.2\text{N/mm}^2$

式(2.1)に上記の値を代入すると、

$$3.0\times25.6/\,58.2=1.31 \quad > \quad 1.0 \quad \Rightarrow \quad 不適合(損傷)$$

となる。すなわち式(2.1)によれば、剥離が生じるとき、補強ネットと FRP シートの複合体には、破断が生じる可能性があると判断されることになる。なお、**付図－2.4** から、補強ネットと FRP シートの複合体の最大ひずみ量は 15,000 μ を超えており、引剥しの際に発生するひずみ量、平均で 3,570 μ の 4 倍以上あり、実際上、ひずみ量（応力）には余裕があるので、式(2.1)による評価はこの場合については必ずしも適切ではないことになる。

さらに、工法2においても、押抜き耐荷力を安全性照査に用いる場合は、補強ネットとFRPシートの耐荷力の照査は省くことができる。

参考文献：

1) 日本道路公団技術部：覆工コンクリートはく落対策工〔繊維シート接着工〕設計・施工指針(案)、平成15年11月、p.17

参考資料－3 実大トンネルにおける可視性確認試験（補足）

トンネル照明設備による補修箇所の照度分布について計測の結果を示す。

付表－3.1 トンネル内の照度

		照明条件	
		条件 1：基本照明	条件 2：全照明
側壁部	北坑口より 141.0m	42～48 lx　平均 44 lx	401～471 lx　平均 435 lx
	140.0m	32～46 lx　平均 43 lx	500～608 lx　平均 560 lx
	138.0m	47～54 lx　平均 50 lx	409～480 lx　平均 442 lx
	平均	46 lx	479 lx
天井部	146.0m	7～12 lx　平均 8.8 lx	91～139 lx　平均 119 lx

43	44	45
44	44	44
46	48	32

付図－3.1 側壁部・基本照明時の照度
（北坑口より 140m 位置）

570	567	573
608	534	582
515	500	588

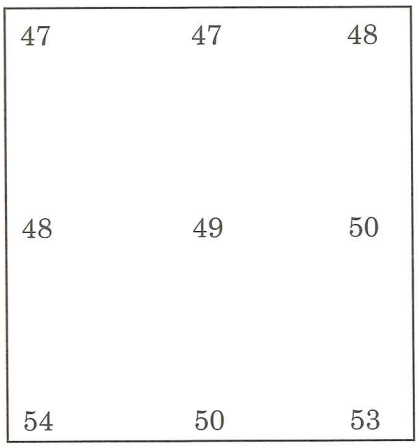
付図－3.2 側壁部・全照明時の照度
（北坑口より 140m 位置）

42	42	44
43	42	43
47	48	48

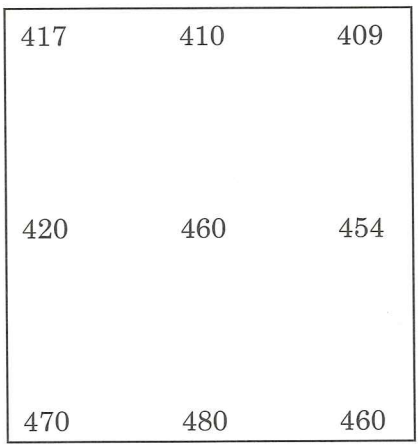
付図－3.3 側壁部・基本照明時の照度
（北坑口より 141m 位置）

401	401	401
440	418	457
471	465	462

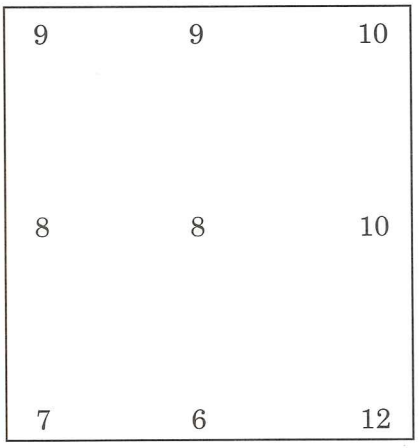
付図－3.4 側壁部・全照明時の照度
（北坑口より 141m 位置）



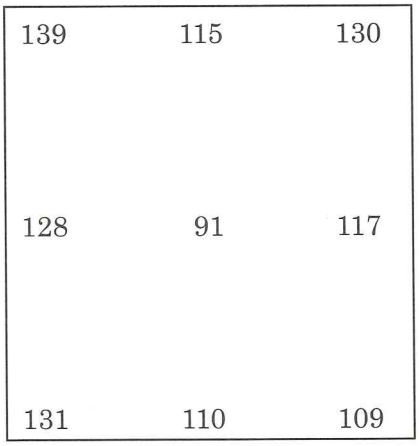
付図－3.5　側壁部・基本照明時の照度
（北坑口より 138m 位置）



付図－3.6　側壁部・全照明時の照度
（北坑口より 138m 位置）



付図－3.7　天井部・基本照明時の照度
（北坑口より 146m 位置）



付図－3.8　天井部・全照明時の照度
（北坑口より 146m 位置）

参考資料－4 一般国道 231 号線 増毛 日方泊トンネルにおける試験施工

1. 工事概要

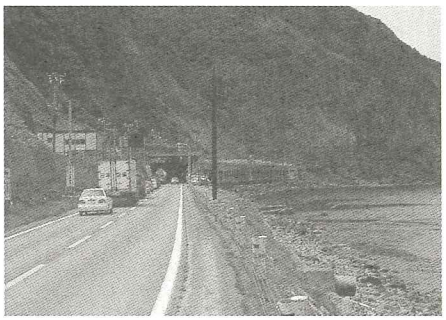
当該施工試験は既設トンネルと新設トンネルの分岐部から留萌よりにある天狗トンネル内 20m 区間において、補強ネットの貼付工事を行い、以下の項目を検討するものである（付図－4.1、写真－付 4.1）。

- 当該現場における施工性の確認および分掛り資料の収集
- 現位置における性能確認及び性能確認試験

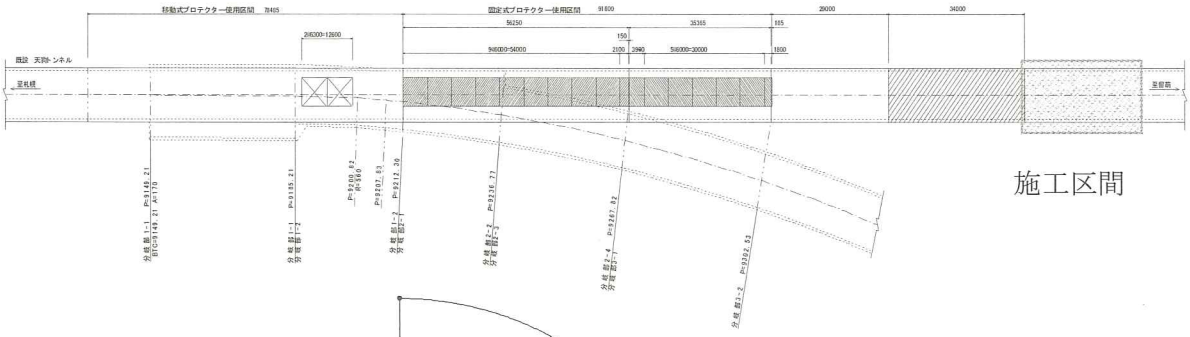
付図－4.2 に試験施工位置を示す。対象区間は日方泊トンネル工事区間外であり、漏水防止板の設置されていない留萌側 20m の区間に試験施工を行った。

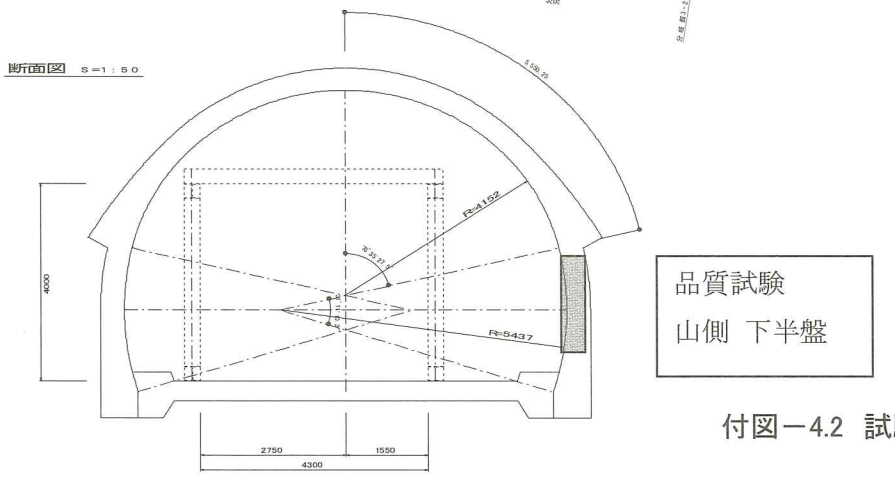


付図－4.1 増毛町の位置図



写真－付 4.1 天狗トンネル遠景（留萌側）





付図－4.2 試験施工位置図

2. 施工概要

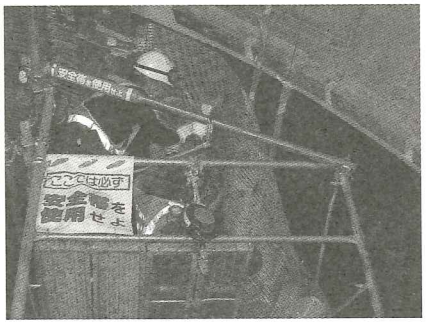
・実施工期：平成 15 年 5 月 19 日―27 日（計画：5 月 19 日―31 日）

・施工数量：付表－4.1 参照

付表－4.1 工事数量一覧表

項　目	仕　様	数　量	備　考
下地処理	高圧水洗浄	222m²	
プライマー塗付工	変性エポキシ樹脂	222m²	
ネット貼付工 (工法 1)	光硬化型ビニールエステル樹脂＋ 補強ネット （但し,目合 1cm を使用）	222m²	光照射による樹脂の硬化作業を含む
FRP シートの上貼り (工法 2)	上記に FRP シートを上貼り	4m²	

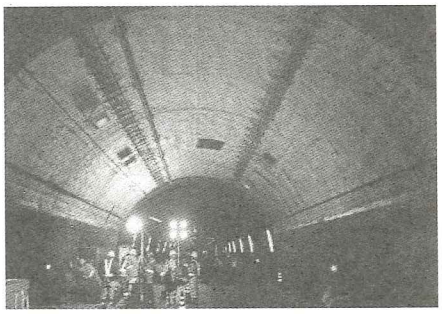
3. 試験施工と強度試験の写真記録（抜粋）



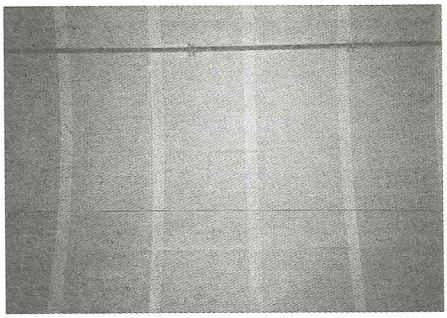
写真－付 4.2 補強ネットの貼付け作業



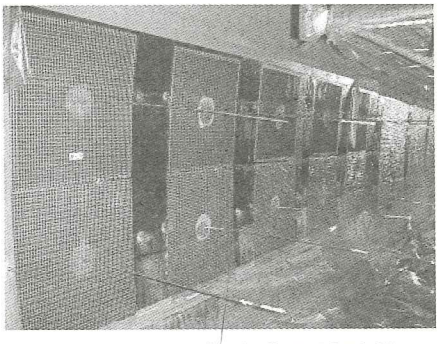
写真－付 4.3 光照射による樹脂の硬化作業



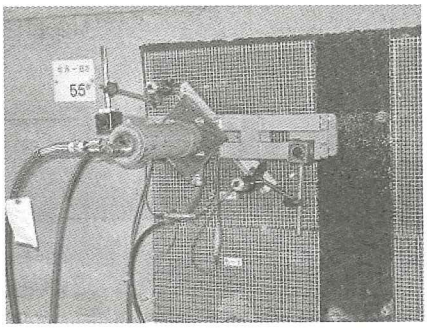
写真－付 4.4 試験施工後のトンネル全景



写真－4.5 補強ネットの貼付け状況



写真－付 4.6 強度試験の試験体



写真－付 4.7 引抜き強度試験の状況

4. 試験施工のまとめ

試験施工の結果は、次のようにまとめられる。

(1) 提案工法により、試験施工の適用面積 222m² を 6 日間で、大きな問題も生じることなく、無事、施工することができた。

(i)補強ネットの不陸に対する適応性が高いことから、下地処理の手間を大幅に減らすことができる。

(ii)光照射による樹脂の硬化作業も、貼付けの作業時間との関係から、十分な硬化時間を確保でき、作業が支障になることはなかった。

(2) 施工やその管理に関わるものとして、以下に示すような改善すべき点がいくつか見出された。これらは、**本文 4 章**において示した標準施工要領(4.1,**本文 91－101 ページ**)や施工管理要領(4.2,**本文 102－103 ページ**)に反映した。

(i)プライマーおよび含浸性樹脂を(必要に応じて)1 度塗りから 2 度塗りへ変更

(ii)含浸性樹脂の塗布量の管理値と管理単位面積の設定

(iii)不陸調整範囲の明確化

(iv)目地部の処理方法の明示

(v)材料搬入量の適正化：充填用不陸調整材の増量

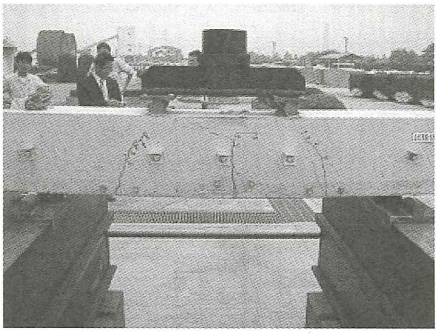
(3) ひび割れの可視性については、補強ネットの貼付部は、全体的に白っぽくなり、路面上からひび割れを認知することは困難であることが判った。

(4) 上記(3)に対して、現在、次の知見を得ている。

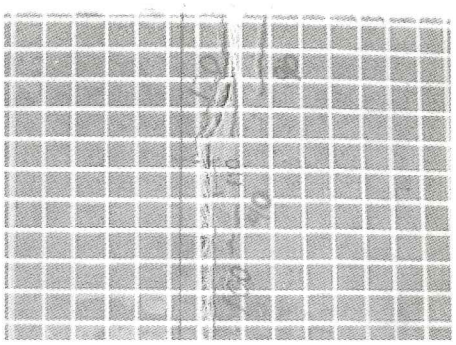
(i)既往のひび割れについては、位置が判っているので、近接することにより、観察が可能である。

(ii)今後、新たに生ずるひび割れについては、ひび割れ幅の拡大により、補強ネットの損傷に先立ち、樹脂が壊れ、白くなることを、平成 15 年 8 月末に実施した小型梁の曲げ引張試験結果において確認した（**写真－付 4.8**)。

(iii)さらに、補強部分に近接した場合においても、目合い 1cm の補強ネットでは、ひび割れが見にくいので、目合い 2cm の補強ネットの試作を行った。これにより、可視性は相当に改善された（**写真－4.9**)。



写真－付 4.8 小型ｺﾝｸﾘｰﾄ梁の曲げ引張試験（載荷試験後の供試体）



写真－付 4.9 ひび割れによる補強ﾈｯﾄの損傷状況

(5)　試験施工の際、現位置において実施した性能試験の結果から、付着強度および引抜き耐荷力は、道路公団試験研究所規格(**表－2.4.1.5：本文 17 ページ**)の所定の値を満足していることを確認した（**付表－4.2** 参照）

付表－4.2　性能確認試験結果

適用工法	押抜き耐荷力(kN)		付着強度（N/mm²）	
	現位置	JH 規格	現位置	JH 規格
工法 1	2.83	10mm 以上で 1.5	4.97	1.5
工法 2	6.80		3.79	

(6)　今後の課題として、長期の耐久性に関する試験、また自動車排気ガスによる施工面の汚染状況の確認と高圧水による洗浄性試験などがある。

(7)　平成 16 年 12 月、施工 1.5 年後、路面からのひび割れ部位の視認性は向上していた。これは、ひび割れ箇所に動きがあり、補強ネットと下地との間にわずかな剥離が生じて、その部位が白っぽくなるためと思われる。

参考資料－5 貼合せ部分の押抜き耐荷力試験

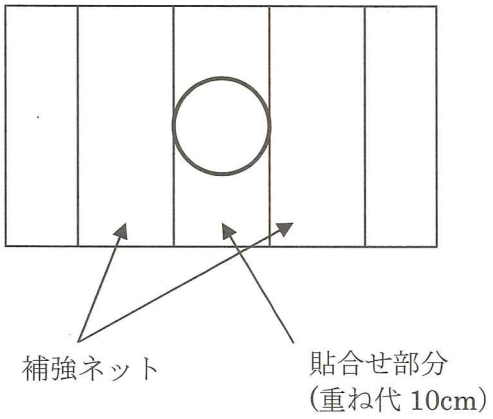
1.試験ケース

付表－5.1 に示す 3 ケースについて押抜き試験を行った。

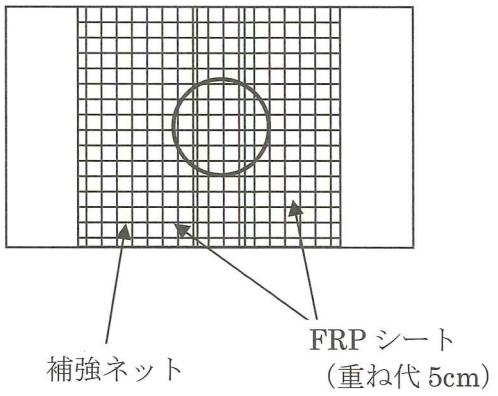
試験は(財)鉄道総合研究所規格に準拠し、乾燥面に対する試験を行った。試験体数は 3 とした。

付表－5.1 貼合せ部分の押抜き強度試験のケース

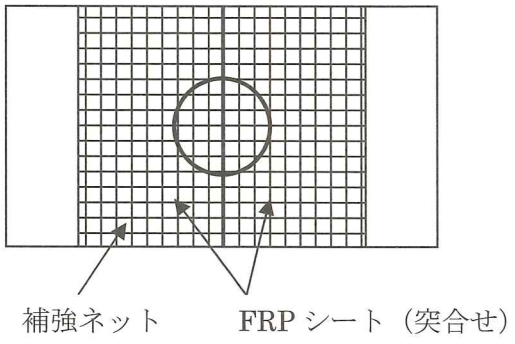
	工法 1	工法 2	
試験ケース	A	B	C
補強ネットの貼合せ長さ	10cm	なし	
FRP シート	—	5cm	0cm（突合せ）
説明図	付図－5.1	付図－5.2	付図－5.3



付図－5.1 工法 1:A ケース



付図－5.2 工法 2:B ケース



付図－5.3 工法 2:C ケース

2. 試験結果

(1) 工法 1：A ケース

付表－5.2 工法 1:ケース A の試験結果(補強ネットの貼合せ長さ 10cm)

試験体 No	破壊状態			単位強さ*1 S_{P0}[N/mm]
	最大荷重	変位	破壊形態	
No.1	3.4kN	16.2mm	剥れが貼付け面端部に到達	4.5N/mm
No.2	3.6kN	18.5mm		
No.3	3.2kN	17.5mm		
平均	3.4kN	17.4mm	—	

*1 表－2.4.1.5(本文 17 ページ)による。

(2) 工法 2：B ケース

付表－5.3 工法 2:ケース B の試験結果(FRP の貼合せ長さ 5cm)

試験体 No	破壊状態			単位強さ*1 S_{P0}[N/mm]
	最大荷重	変位	破壊形態	
No.1	7.0kN	23.5mm	剥れが貼付け面端部に到達	6.0N/mm
No.2	5.5kN	16.3mm		
No.3	4.9kN	13.0mm		
平均	5.8kN	17.6mm	—	

*1 表－2.4.1.5(本文 17 ページ)による。

(3) 工法 2：C ケース

付表－5.4 工法 2:ケース C の試験結果(FRP シートは突合せ)

試験体 No	破壊状態			単位強さ*1 S_{P0}[N/mm]
	最大荷重	変位	破壊形態	
No.1	5.4kN	19.2mm	剥れが貼付け面端部に到達	5.7N/mm
No.2	4.4kN	12.7mm		
No.3	5.2kN	15.0mm		
平均	5.0kN	15.6mm	—	

*1 表－2.4.1.5(本文 17 ページ)による。

3.まとめ

結果は次のようにまとめられる。

(1) 工法 1 では、補強ネットの貼合せ長さ 10cm のケースでは、押抜き耐荷力および単位強さの低下は認められない。

(2) 工法 2 では、FRP シートの貼合せ長さ 5cm のケースでは、押抜き耐荷力および単位強さの低下は認められない。

(3) さらに工法 2 では、仕上げや下地の可視性等から、FRP シートの貼合せを取らず、突合せの状態で配置したとしても、押抜き耐荷力や単位強さの低減は認められない。

参考資料－6　目地部の押抜き耐荷力試験

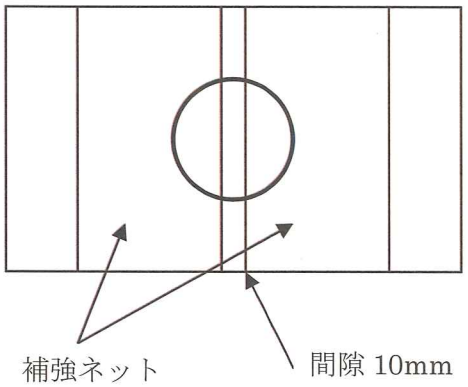
1.　試験ケース

付表－6.1 に示す 2 ケースについて押抜き試験を行った。

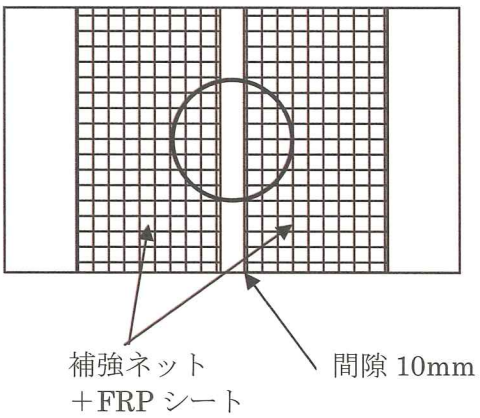
試験は(財)鉄道総合研究所規格(表－2.4.1.5:本文 17 ページ)に準拠し、乾燥面に対する試験を行った。試験体数は 3 とした。補強ネットおよび FRP シートの貼付け方は、目地部を模擬して、中央部で 2 つに分割している。この貼付け方により、押抜き耐荷力は補強ネットや FRP シートにほぼ均等に作用することになる。実際には、目地部の角部におけるコンクリート片の剥落に対しては、片側しか働かないので、押抜き耐荷力は試験結果の半分の値とすればよいことになる。

付表－6.1　目地部の押抜き耐荷力試験のケース

	工法 1	工法 2
試験ケース	A	B
補強ネット	中央部分で 2 つに分割 (間隔 10mm)	中央部分で 2 つに分割 (間隔 10mm)
FRP シート	—	同上
説明図	付図－6.1	付図－6.2



付図－6.1　工法 1:A ケース



付図－6.2　工法 2:B ケース

2.　試験結果

(1)　工法 1：A ケース

付表－6.2　工法1:ケース A の試験結果(目地部)

試験体 No	破壊状態			単位強さ*1 S_{P0}[N/mm]
	最大荷重	変位	破壊形態	
No.1	2.0kN	10.0mm	補強ネットの破断	3.5N/mm
No.2	1.8kN	13.2mm		
No.3	1.8kN	15.3mm		
平均	1.9kN	12.8mm	—	

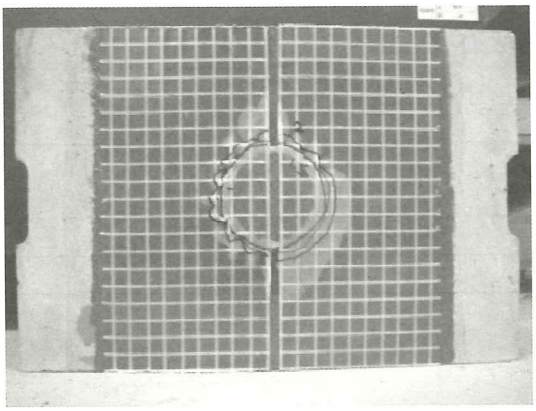
*1　表－2.4.1.5(本文 17 ページ)による。

(2) 工法 2：B ケース

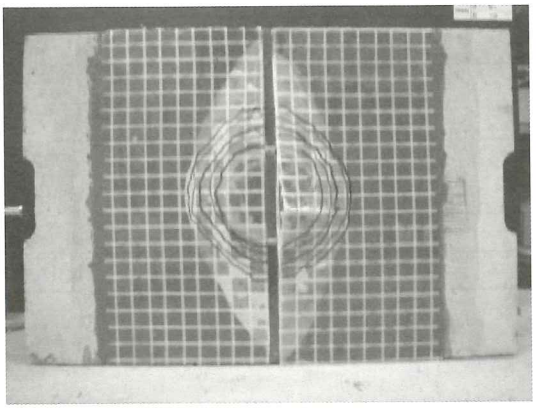
付表－6.3 工法 2:ケース B(目地部)

試験体 No	破壊状態			単位強さ*1 S_{P0}[N/mm]
	最大荷重	変位	破壊形態	
No.1	3.7kN	10.0mm	剥れが貼付面(短辺方向)の端部に到達	5.3N/mm
No.2	3.5kN	10.0mm		
No.3	3.9kN	10.0mm		
平均	3.7kN	10.0mm		

*1 表－2.4.1.5(本文 17 ページ)による。



写真－付 6.1 工法1:ケース A(目地部)



写真－付 6.2 工法2:ケース B(目地部)

3. 試験結果の考察

【工法 1 について】

(1) 通常の試験体の押抜き耐荷力は 2.9kN（本文 p.22 の**表－2.4.1.12**）であるので、目地部を設けたことにより押抜き耐荷力は、通常の状態に対して 65%程度と小さくなっている。

(2) 目地部の角部における剥落を想定した場合、目地部片側で支えられる押抜き耐荷力は**付表－6.2** の半分の値、すなわち 1.9/2＝0.95kN 程度と考えられる。したがって、通常のレンガ大（例えば、寸法：23cm×11.5cm×6.5cm、重さ：0.045kN）程度のコンクリート片であれば、何ら問題なく支えられるものと考えられる。

【工法 2 について】、

(3) 目地部の角部における剥落を想定した場合、目地部片側で支えられる押抜き耐荷力は**付表－6.3** の半分の値、すなわち、3.7/2=1.85kN となる。この押抜き耐荷力は、通常の剥落防止工の押抜き耐荷力として十分な値であると考えられる。

参考資料－7 トップコートと耐候性試験

1. はじめに

トンネル出入口付近における耐候性付与のために、光硬化型樹脂塗膜の上に塗り付ける仕上げ塗装材（トップコート）とその耐候性試験の結果について述べる。なお、ここで取り上げるトップコート材料の２製品は、指定材料ではなく、必要性能を満足する材料であれば、任意の材料が使用できるものとする。また、耐候性の観点からは、不透明な着色材料、例えば黒色が最も優れているが、本提案工法の開発目的から、トップコートについても下地の可視性を保持させるために、無色透明のトップコートとしている。耐候性試験は、キセノンアークウェザーメーター試験機により、照射時間を 500 時間(h)とした。

2. トップコートの材料

付表－7.1 使用材料と塗布方法

	トップコート材	
	材料１	材料２
使用材料	ポリウレタン系 主剤：硬化剤＝4：:1	ウレタンアクリル系樹脂 主剤：硬化剤＝4：1
塗布方法	刷毛塗り	刷毛塗り
塗布量	150g/m²	150g/m²

3. 試験方法

・試験装置　　：ATLAS　Ci4000 Xenon Weather-Ometer

・試験サイクル：①キセノン光照射（波長：300～400nm,照度：100W/m² ）：17h

②水噴射：3h

①＋②を１サイクル(20h)として繰返す。

・試験時間　　：500h、変化を見るために 100h,300h においてもでデータを取得

・試験ケース　：トップコートなし、上記のトップコート２種類と合わせて３ケース

・試験項目　　：色差および光沢(**付表－7.2** 参照)

付表－7.2 試験項目

試験項目	計測内容	備　　考
色　差	Δb	初期状態を０としたときの黄変具合を示す （プラス：黄色、マイナス：青色）
	ΔE	初期状態を０としたときの色の相対変化を示す （明るさ、赤/緑、青/黄）
光　沢	—	光沢（つや）の有無

4. 試験結果

試験結果を**付表－7.3～7.8** に示す。試験結果からは、次のような考察が得られる。

(1)　試験時間 100h では、全ての条件において可視性は保持しているが、トップコートの有無、材料に関わらず、含浸樹脂の黄変が見られる。

(2)　試験時間 300h では、トップコートを塗布しない場合、工法 1,2 ともに、塗膜表面の劣化（肉痩せ）が見られ、塗膜表面の乱反射により僅かに可視性の低下が見られる。

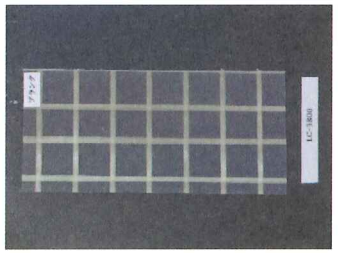
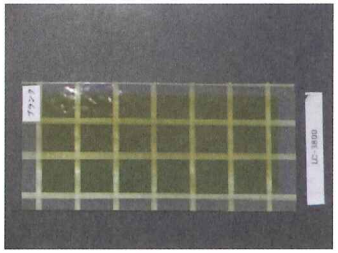
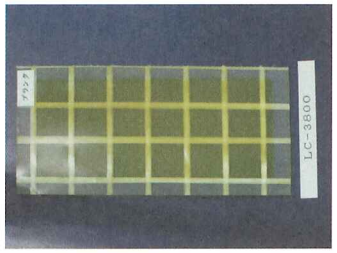
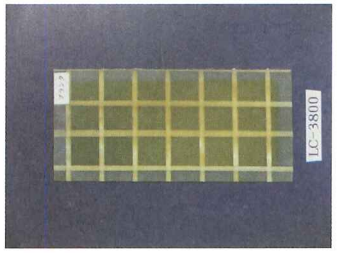
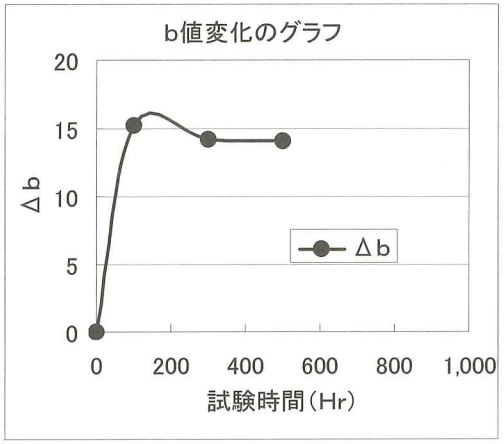
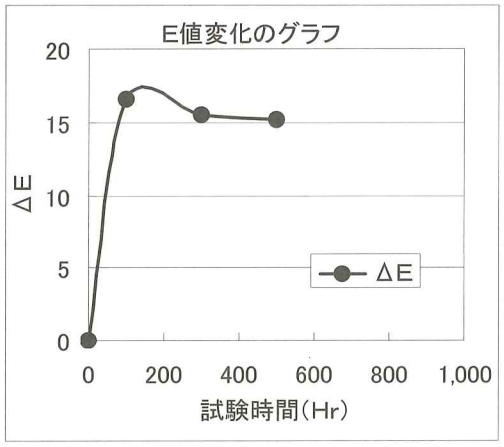
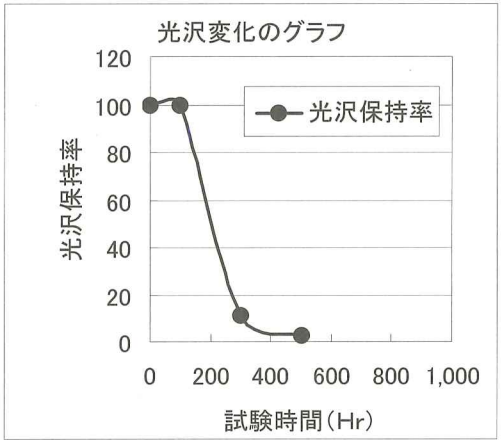
(3)　トップコートを施した場合は、仕様は表面光沢も可視性も保持している。
また、逆に、トップコートを施さない場合、300 時間程度で光沢が失われている。

(3)　試験時間 500h では、試験時間 300h のものと比べて、全ての条件で大きな変化はない。黄変はある一定のレベルに達すると、その後は大きく進行しない、あるいは遅くなるように思われる。

5. まとめ

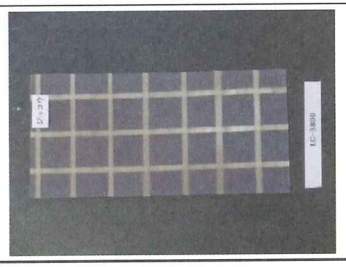
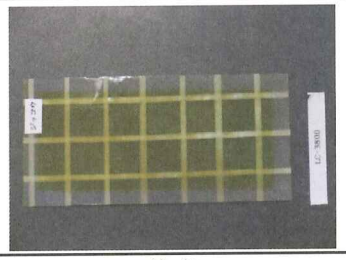
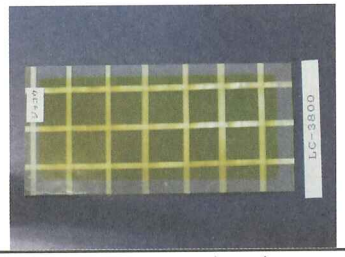
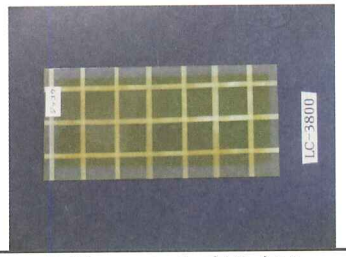
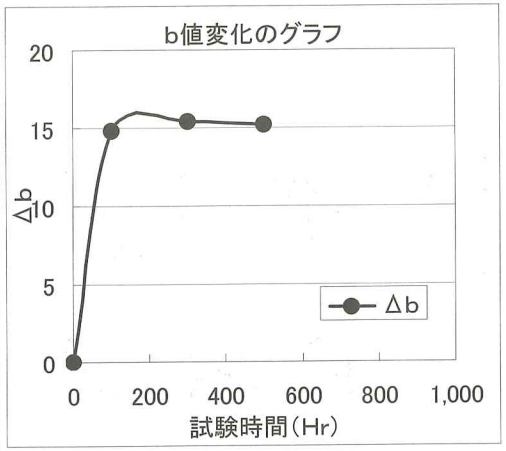
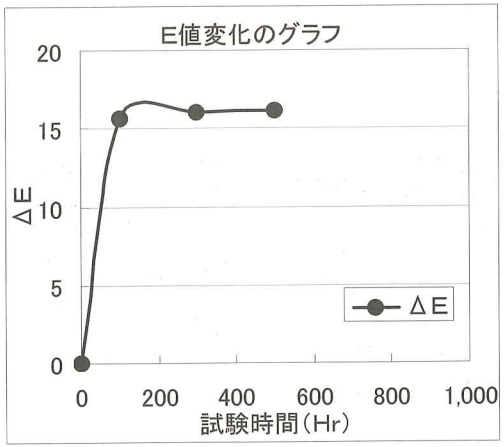
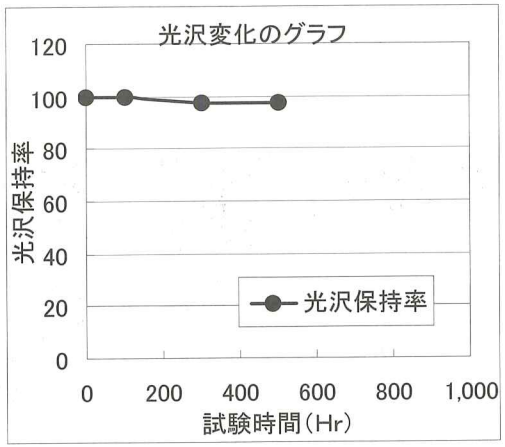
- 試験時間 500h においても可視性は保持されていることが確認された。
- トップコートを施さない場合、300 時間程度で、光沢が失われる。
- 無色透明トップコートは、紫外線の遮蔽効果が低いためか、黄変低減への効果は少ないものと思われる。黄変の程度は、照射時間が比較的短いときに、変化が大きく、その後、変化は小さくなる傾向が見受けられる。
- 塗布しない仕様では、長期に紫外線及び降雨に暴露されることにより、樹脂塗膜表面が劣化し、光の乱反射による可視性低減が起るため、トンネル出入り口付近ではトップコートを塗布する仕様が有効であると考えられる。
(観察が必要な箇所については、透明なトップコート材を使用し、その他の部分については通常の有色のトップコートを使用することも考えられる。

付表－7.3　耐候性試験結果：工法 1（補強ネット直貼り）、トップコートなしの場合

試験時間		0h	100h	300h	500h
色差	Δ b	0	15.24	14.15	14.12
	ΔE	0	16.55	15.47	15.14
光沢（保持率）		100	100	10.96	2.79
外観写真					
色		—	黄変	殆ど 100ｈと変化無し	殆ど 100ｈと変化無し
表面		光沢有り	光沢有り	光沢無し	光沢無し
各値グラフ化					

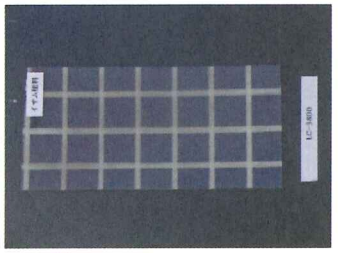
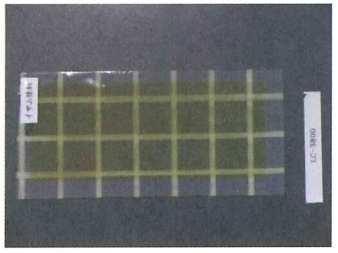
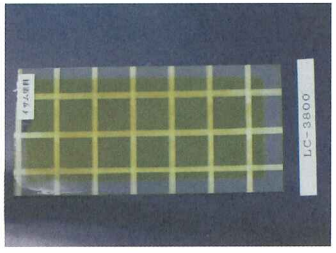
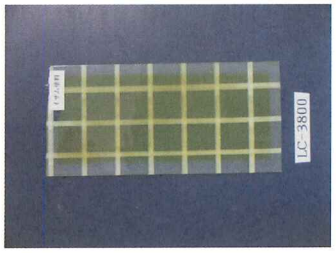
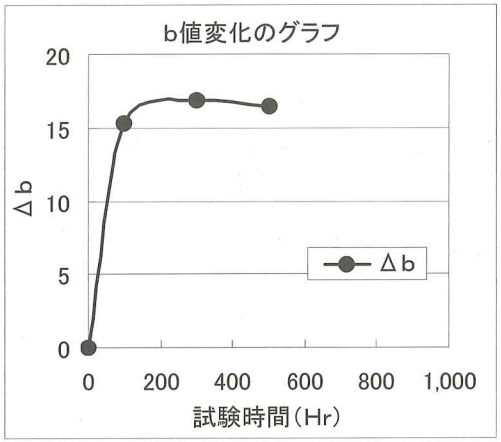
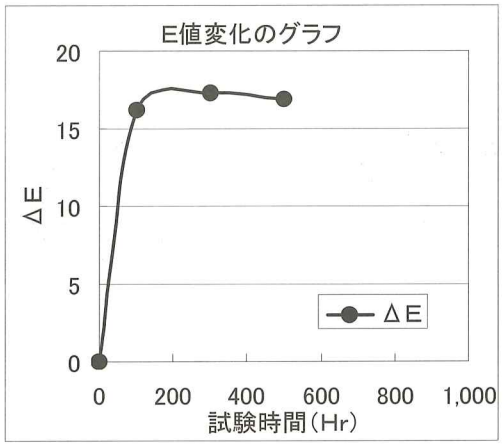
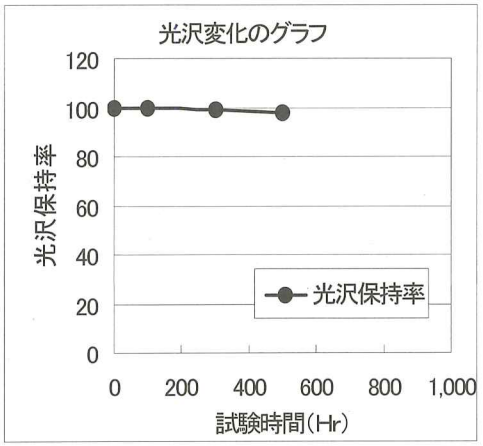
＊ Δb：初期を 0 とした時の黄変具合（ﾌﾟﾗｽ:黄色、ﾏｲﾅｽ:青色），ΔE：初期を 0 とした時の色の相対変化（明るさ、赤／緑、青／黄）

付表－7.4　耐候性試験結果：工法 1（補強ネット直貼り）、トップコートあり（材料1）

試験時間		0h	100h	300h	500h
色差	Δ b	0	14.85	15.36	15.17
	ΔE	0	15.65	16.06	16.16
光沢（保持率）		100	100	97.72	97.18
外観写真					
色			黄変	殆ど 100ｈと変化無し	殆ど 100ｈと変化無し
表面		光沢有り	光沢有り	光沢有り	光沢有り
各値グラフ化					

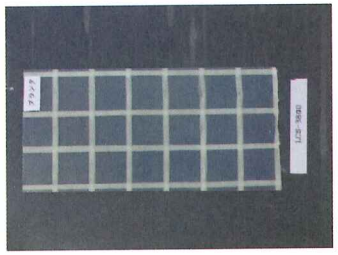
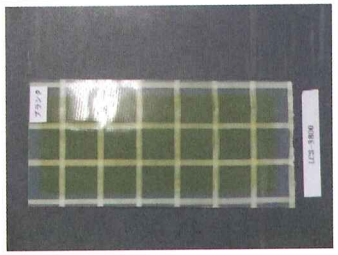
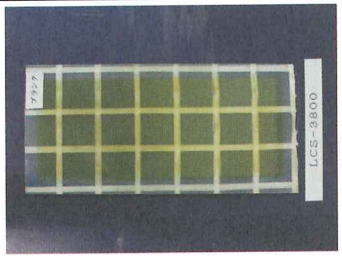
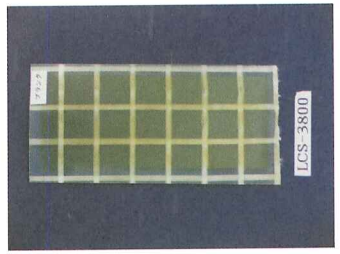
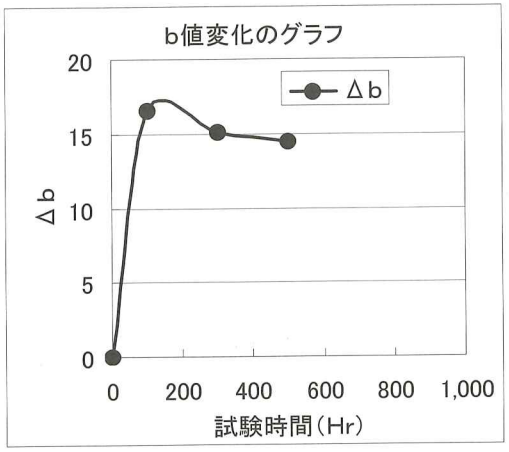
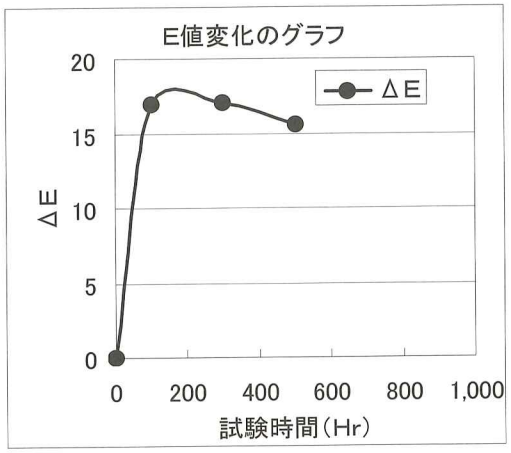
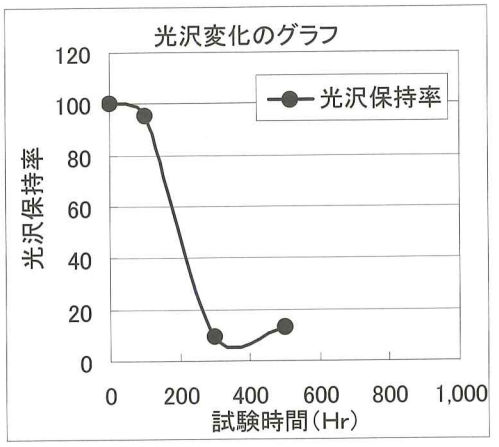
＊　Δb：初期を 0 とした時の黄変具合（ﾌﾟﾗｽ:黄色、ﾏｲﾅｽ:青色），ΔE：初期を 0 とした時の色の相対変化（明るさ、赤／緑、青／黄）

付表－7.5　耐候性試験結果：工法 1（補強ネット直貼り）、トップコート(材料 2)あり

試験時間		0h	100h	300h	500ｈ
色差	Δｂ	0	15.24	16.82	16.44
	ΔＥ	0	16.18	17.3	16.91
光沢（保持率）		100	99.8	98.94	97.77
外観写真					
色		—	黄変	殆ど 100ｈと変化無し	殆ど 100ｈと変化無し
表面		光沢有り	光沢有り	光沢有り	光沢有り
各値グラフ化					

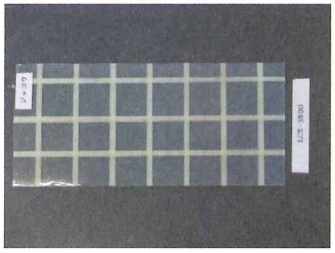
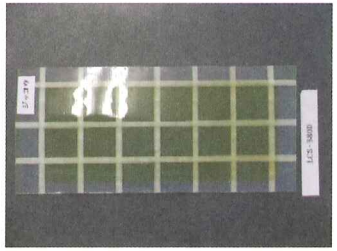
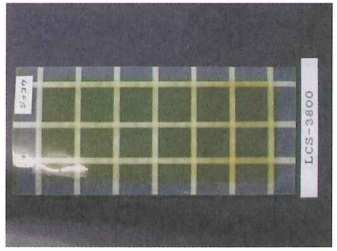
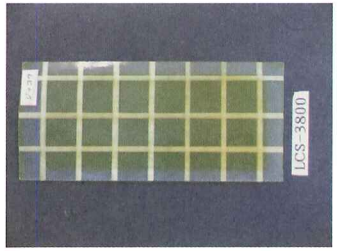
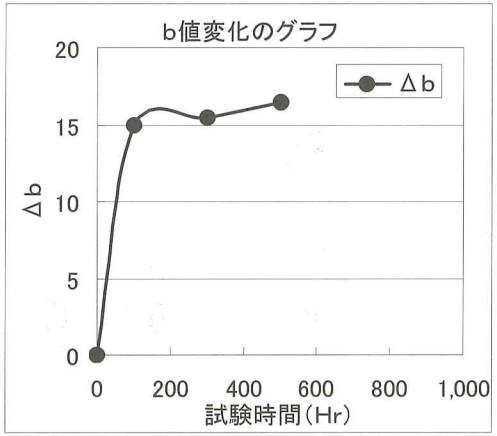
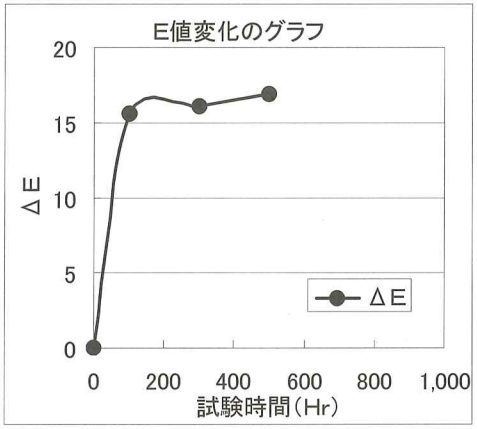
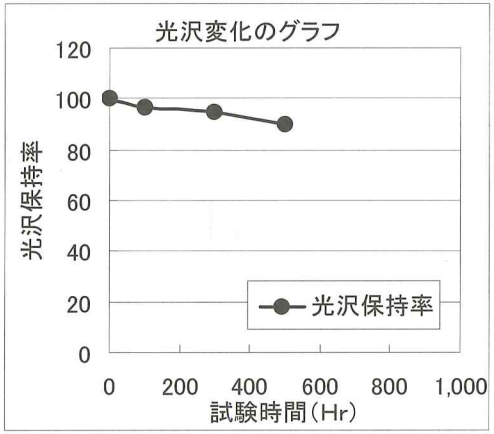
＊　Δｂ：初期を０とした時の黄変具合（ﾌﾟﾗｽ:黄色、ﾏｲﾅｽ:青色），ΔＥ：初期を０とした時の色の相対変化（明るさ、赤／緑、青／黄）

付表－7.6　耐候性試験結果：工法 2（補強ネットに FRP シート上貼り）、トップコートなし

試験時間		0h	100h	300h	500h
色差	Δ b	0	16.54	15.05	14.4
	ΔE	0	16.92	17.04	15.58
光沢（保持率）		100	96	9.34	13.13
外観写真					
色		—	黄変	殆ど 100ｈと変化無し	殆ど 100ｈと変化無し
表面		光沢有り	光沢有り	光沢無し	光沢無し
各値グラフ化					

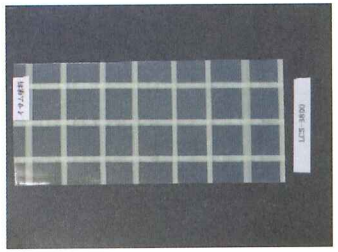
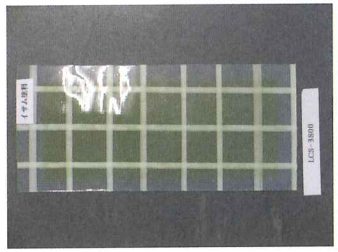
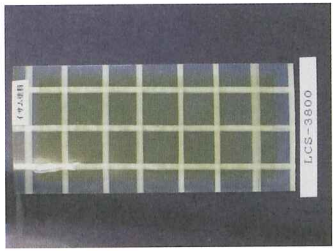
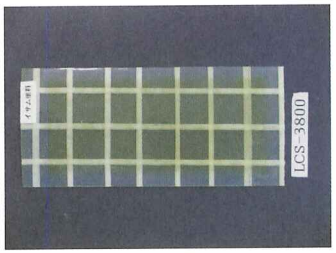
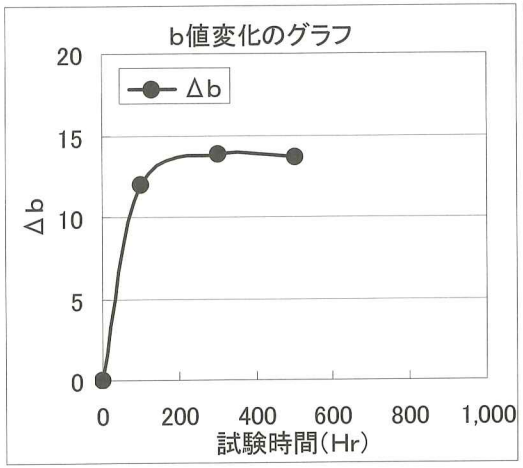
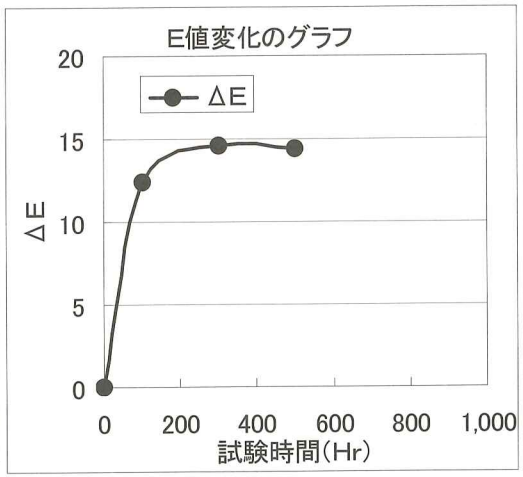
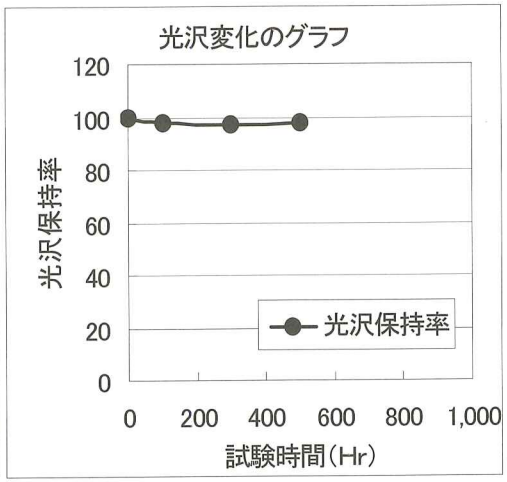
＊ Δb：初期を 0 とした時の黄変具合（ﾌﾟﾗｽ:黄色、ﾏｲﾅｽ:青色），ΔE：初期を 0 とした時の色の相対変化（明るさ、赤／緑、青／黄）

付表－7.7　耐候性試験結果：工法 2（補強ネットの上に FRP シート上貼り）、トップコート（材料1）あり

試験時間		0h	100h	300h	500h
色差	Δ b	0	15.0	15.45	16.45
	ΔE	0	15.59	16.1	16.92
光沢（保持率）		100	96.6	94.87	90.3
外観写真					
色			黄変	殆ど 100ｈと変化無し	殆ど 100ｈと変化無し
表面		光沢有り	光沢有り	光沢有り	光沢有り
各値グラフ化					

＊ Δb：初期を 0 とした時の黄変具合（ﾌﾟﾗｽ:黄色、ﾏｲﾅｽ:青色），ΔE：初期を 0 とした時の色の相対変化（明るさ、赤／緑、青／黄）

付表－7.8　耐候性試験結果：工法 2（補強ネットの上に FRP シート上貼り）、トップコート(材料 2)あり

試験時間		0h	100h	300h	500h
色差	Δ b	0	12.0	13.84	13.67
	ΔE	0	12.42	14.61	14.36
光沢（保持率）		100	97.9	97.22	97.67
外観写真					
色		—	黄変	殆ど 100h と変化無し	殆ど 100ｈと変化無し
表面		光沢有り	光沢有り	光沢有り	光沢有り
各値グラフ化					

＊ Δb：初期を 0 とした時の黄変具合（ﾌﾟﾗｽ:黄色、ﾏｲﾅｽ:青色），ΔE：初期を 0 とした時の色の相対変化（明るさ、赤／緑、青／黄）