共同研究報告書
整理番号 第325号

既設トンネルの補修技術の開発に関する共同研究報告書

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
鹿島建設株式会社
電気化学工業株式会社

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325号2006年3月

既設トンネルの補修技術の開発に関する共同研究報告書

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
鹿島建設株式会社	土木管理本部　土木技術部	グループ長	金氏　眞
	同	課長	岩井　稔
	同	課長代理	村上　信
	同	前課長代理	三原　良介
電気化学工業株式会社	特殊混和材事業部	担当部長	加藤　貞信
	同　特混町田研究センター	センター長	安東　敏弘
	渋川工場有機材料部ハードロック課	係長	藤間　誠司

要旨

従来の繊維シート接着等のはく落防止工法および材料は対策工実施後に覆工コンクリートの表面が不透明な繊維シートで覆われるため、補修後に目視による点検で新たに生じた変状を確認し難い。本研究では、構造物の維持管理の観点から、はく落防止の耐荷力を備え、かつ補修後にも覆工表面が観察可能な工法を研究開発した。本報告書は、開発工法の耐荷力の押抜き載荷試験結果、補修後の覆工表面の可視性に関する実験検討結果、および実際の道路トンネルでの実施を念頭にした施工法の検討結果について示すものである。

キーワード：トンネル、はく落対策、可視化技術、繊維シート接着工法、アクリル樹脂、ナイロンクロス

目　　次

第１章　研究概要 ・・・

第１章　研究概要

１．１　研究の目的

道路トンネルの供用が長期化し覆工コンクリートの材質劣化等が進行する中で、道路トンネルの維持管理上、コンクリート片のはく落対策などによる利用者被害を未然に防ぐ必要がある。このような観点から、トンネル覆工コンクリートの変状に対しては定期点検等を行い、変状に対して応急対策を実施した上で補修補強対策の要否を検討する標準調査が必要な「判定区分Ａ」、応急対策は必要としないが補修補強対策の要否を検討する標準調査が必要な「判定区分Ｂ」、応急対策や標準調査の必要がない「判定区分Ｓ」のランク付けをし、それぞれ維持管理を行っている。補修補強対策の要否を検討する標準調査において対策が必要と判断された変状に対してはコンクリートはく落防止を目的とした本対策工を実施する[1)]。

トンネル覆工コンクリートのはく落防止を目的とした主要な変状対策のひとつとして強化繊維をコンクリート面に接着する、いわゆる繊維接着工法が実施されてきたが、炭素繊維シートやアラミド繊維シートを用いた繊維接着工法では一度対策工を実施するとその後の覆工コンクリート表面の観察ができなくなり維持管理上の支障となることがあった。

そこで本研究では、対策工実施後も覆工コンクリート表面のひび割れ等の変状観察が可能な本対策工となりうるはく落防止を目的とする補修技術の開発を目的とした。

１．２　研究の実施項目

本研究では上記目的の技術開発のために以下項目を実施した。

１）試験の計画
２）基礎検討（工法・材料の選択）
３）大型供試体試験（押抜き試験）
４）耐久性試験
５）実大トンネル試験（施工性、ひび割れ観察）
６）研究報告書まとめ

第２章　開発した工法

２．１　開発工法の概要と特徴

（1）工法の基本構造

開発した工法の基本構造を図２－１に示す。なお工法名はＮＡＶ（*Nylon Acrylics Visible*）工法と名付け、今後はこの名称で記載する。

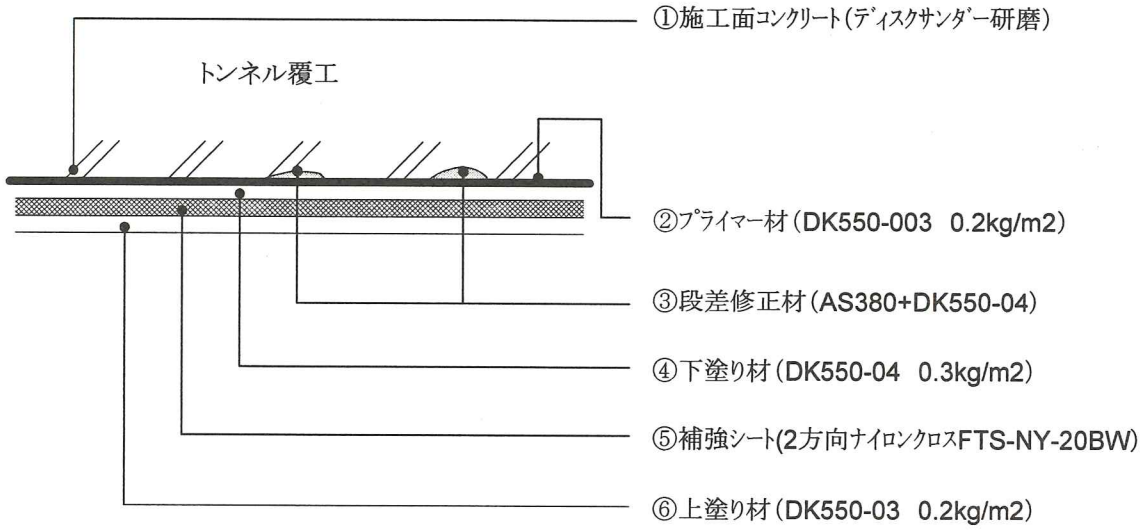


図２－１　　既設トンネルの補修技術の開発＝可視化したはく落対策　NAV 工法の構造

（2）材料

NAV 工法で使用する材料の一覧を表２－１に示す。補強シート材の性状については参考資料-1 に掲載した。

表２－１　　NAV 工法で使用する材料の一覧

材料区分	品　　名	備　考
プライマー材	DK550-003	変性アクリル樹脂、低粘度
段差修正材	DK550-04	変性アクリル樹脂、揺変性
	増粘材 AS380(2wt%)	超微粉無機系化合物
下塗り材	DK550-04	変性アクリル樹脂、揺変性
補強シート材	FTS-NY-20BW	ナイロンクロスシート、繊維重量：200g/m²
上塗り材	DK550-003	変性アクリル樹脂、低粘度

DK550-003 および DK550-04 は施工温度に合わせた季節品種を選択して使用する（表２－３参照）。

（3）塗装仕様

表２－２に NAV 工法の標準的な塗装仕様を、表２－３に各材料の施工温度による季節品種の切り替え目安を示す。

表２－２　　NAV 工法の塗装仕様

	工程	材料 (混合は重量比で記載)	標準使用量 [kg/m²]	施工方法	施工間隔 (20℃)
①	下地処理工	－	－	－	－
②	プライマー 塗布工	DK550-003　A剤/B剤 A：B 混合比＝１：１	0.2	ローラー	10分～30日
③	段差修正工 (必要に応じて)	DK550-04　A剤/B剤 A：B 混合比＝１：１．２ ＋増粘材 AS380 DK550-04：AS380 混合比 ＝１００：２	(必要量)	コテ	2時間～30日
④	下塗り工	DK550-04　A剤/B剤 A：B 混合比＝１：１	0.3	ローラー	0～30分
⑤	補強シート 貼り付け工	２方向ナイロンクロス FTS-NY-20BW	１層 (0.2kg/m²)	脱泡ﾛｰﾗｰ	直ちに
⑥	上塗り工	DK550-003　A剤/B剤 A：B 混合比＝１：１	0.2	ローラー ゴムゴテ	－

表２－３　　NAV 工法での樹脂材料の施工温度による使い分けの目安

施工材料 (樹脂材料のみ)	季節品種	施工温度（気温）[℃]									
		-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35
DK550-003 および DK550-04	W（冬用）	○	◎	◎	◎	○					
	R（春秋用）			○	◎	◎	◎	◎	○		
	S（夏用）						○	◎	◎	◎	○

◎：最適な使用温度環境、○：適用可能な温度環境

（4）NAV 工法の特徴

開発したNAV 工法の特徴を以下に示す。

1) 施工後の下地コンクリート表面の可視性に優れる。

・ナイロンクロスは接着剤を含浸硬化すると透明度の高いＦＲＰを形成する。
・可視性の耐久性が高い。

2) はく落防止性能

・コンクリート接着性、押抜き耐荷力が高く、耐久性も優れる。

3) 施工性に優れる材料を使用。

・ナイロンクロスは柔らかく、施工面の周期の大きな凹凸に追従しやすい。
・アクリル系接着剤は速硬化性で、寒冷期、時間制限のある工事で工期短縮の効果を発揮する。
・養生時間等の待ち時間がないため、高所作業車による施工で工期短縮の効果を発揮する。

4) 安全衛生に優れる。

・接着剤は低皮膚刺激性で環境ホルモン物質を含まないため安全衛生に優れる。
（ビスフェノールA，ノニルフェノール、ＤＯＰ不溶出）
・施工後は難燃性でありトンネル火災の拡大の原因とならない。

5) 経済性

・ナイロンクロスは炭素繊維・アラミド繊維の価格の約 10 分の 1 で経済性に優れる。

これらの特徴については「２．２　性能」以降で実験データをもとに示す。

２．２　性　能

２．２．１　可視性

下地変状の可視性はコンクリート平板及び実大トンネル（国土交通省国土技術政策総合研究所所有）にそれぞれ施工したNAV工法箇所のひび割れ可視性観察で評価した。結果を以下に示す。

（1）コンクリート平板に施工した場合の外観

試験手順：
1) JIS A 5371「プレキャスト無筋コンクリート製品」で規定されている舗装用平板の普通平板略称N呼び300（以下平板と呼ぶ）を曲げ載荷し、あらかじめひび割れを導入する。
2)上平板をシャコ万で押さえて形状を復旧させる。
3)平板打設時の型枠底面に相当する面にNAV工法およびビニロンメッシュ接着工法（仕様を表２－４に示す。）を施工する。
4)外観観察は施工前、施工直後、施工後５日で行った。

試験材料：DK550-003、DK550-04ともに春秋用（R）を使用

試 験 日：試験体作製　平成１５年１２月２４日
施工後５日　平成１５年１２月２９日

試験場所：電気化学工業（株）渋川工場内

試験温度：２０～２３℃

試験結果：
・図２－２にNAV工法とビニロンメッシュ接着工法の外観状況を示す。
・NAV工法はナイロンクロスの繊維に樹脂が充分含浸し、可視光線を透過する補強層を形成する。
・一方、ビニロンメッシュ接着工法はメッシュの繊維束に樹脂が含浸しないため、繊維束が存在する部分の下地変状は目視観察が困難である。

表２－４　　可視性を比較したビニロンメッシュ接着工法の仕様

工程	材料 (混合は重量比で記載)	標準使用量 [kg/m²]	施工方法
下地処理工	－	－	－
プライマー 塗布工	DK550-003　A剤/B剤 A：B 混合比＝１：１	0.2	ローラー
下塗り工	DK550-04　A剤/B剤 A：B 混合比＝１：１	0.3	ローラー
補強シート 貼り付け工	２方向ビニロンメッシュ デンカVKシート(目合い：8mm)	１層 (0.091kg/m²)	脱泡ﾛｰﾗｰ
上塗り工	DK550-003　A剤/B剤 A：B 混合比＝１：１	0.2	ローラー ゴムゴテ

工法選択の経緯：
・当初はビニロンメッシュ接着工法を開発工法の対象としていたが、メッシュの目合いが小さいためメッシュによる覆工コンクリート面の被覆率が大きく、可視性が不充分であった（図２－２）。
・そこでNAV工法ではメッシュの隙間から覆工面変状を観察するという考えから、施工後全面にわたって下地の変状観察が可能となる材料を用いるという考えに変更し、ナイロンクロスを開発工法の対象とすることとした。

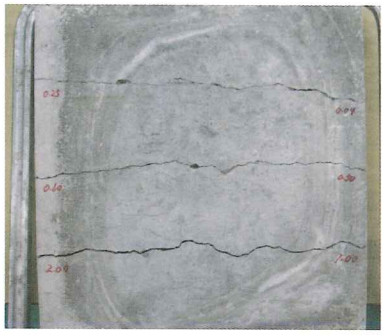
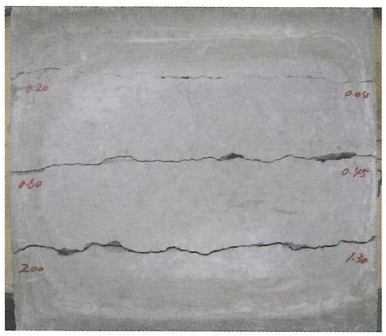
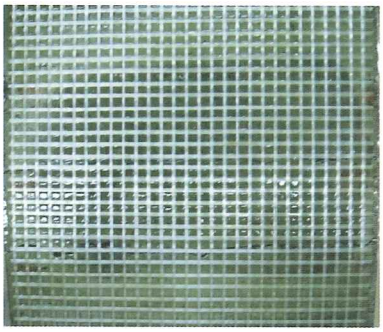
	施工前	施工直後	施工後５日
NAV工法			
ビニロンメッシュ接着工法			
施工前写真で予備導入したひび割れの上部に記載した数字は、クラックスケールで計測したひび割れ幅を示す。			

図２－２　NAV 工法とビニロンメッシュ接着工法の下地変状の可視性の比較

（2）実大トンネルでの下地コンクリートひび割れ可視性観察

試験場所：　実大トンネル（国土交通省国土技術政策総合研究所所有）３ブロック、北抗口より約６０m地点の左側壁（図２－３参照）

試験規模：　NAV工法を１m^2施工

試験材料：　DK550-003、DK550-04 ともに春秋用（R）を使用

施 工 日：　平成１６年1月１３日

変状観察：　第１回　平成１６年　２月　９日
第２回　平成１６年　７月２６日
第３回　平成１７年　２月１８日

観察方法：　全照明条件、基準照明条件および基準照明で高輝度ライト使用の条件の３条件で市販クラックスケールでひび割れ幅を計測。各照明条件での照度を照度計で計測。

試験結果：
- 施工前後の外観および計測対象ひび割れを図２－４に、ひび割れ幅観察結果を表２－５に、まとめのグラフを図２－５～７に示す。
- 施工後のひび割れは１m程度の距離からも目視観察可能であった。
- 全ての照明条件とも至近距離（～３０ｃｍ）ではひび割れ幅計測可能であったが、基準照明ではクラックスケールとひび割れを合致させるのがやや困難であった。
- この影響のためか基準照明では実際ひび割れよりも幅は小さめに計測された。
- 高輝度ハロゲンライトの使用でひび割れ幅は安定して計測できた。
- 施工後の維持管理における坑内観察時（基準証明）では、本試験で使用したようなライト等の照明が必要である。
- 施工後１３ヶ月まで観察したが NAV 工法層の変質による可視性の低下は認められない。

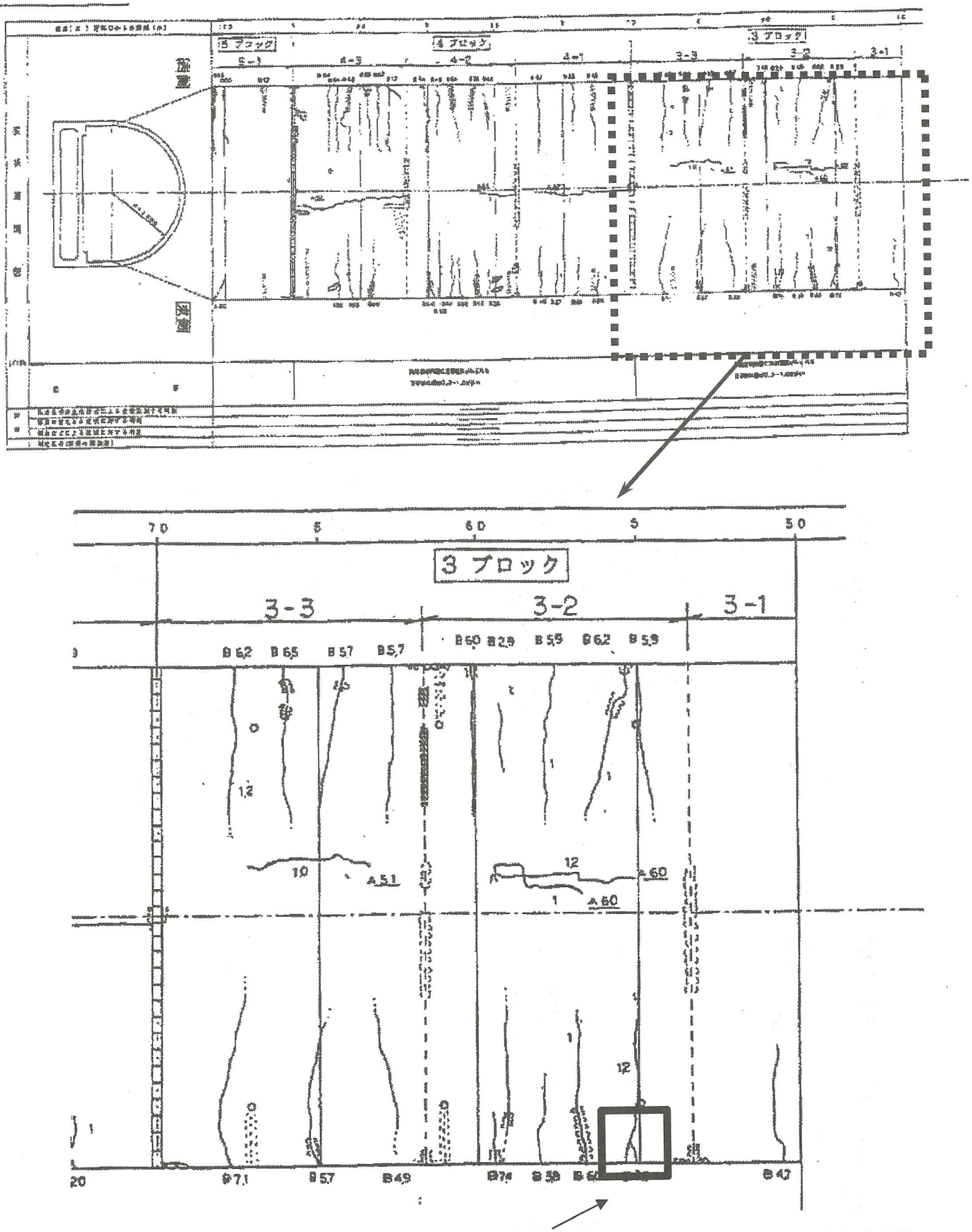
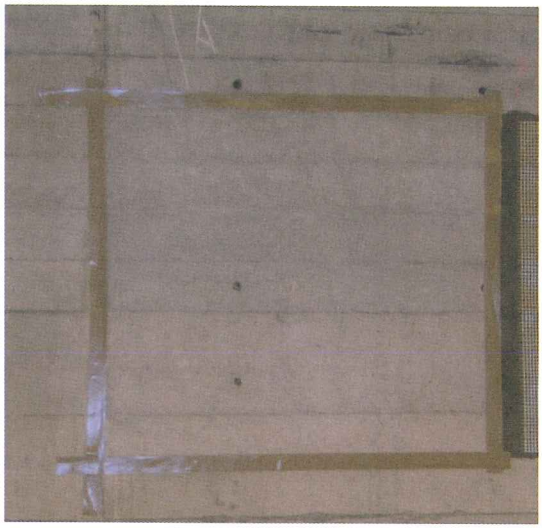
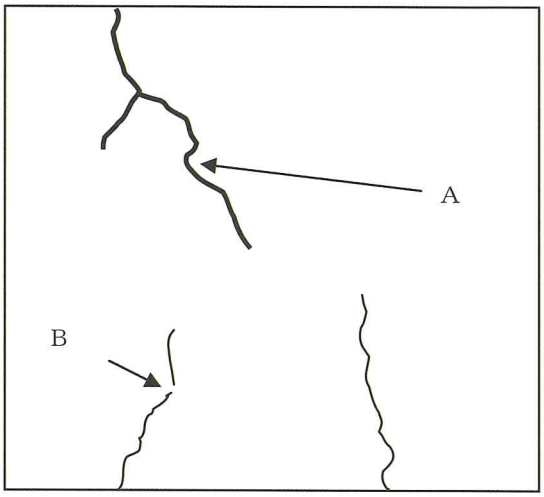


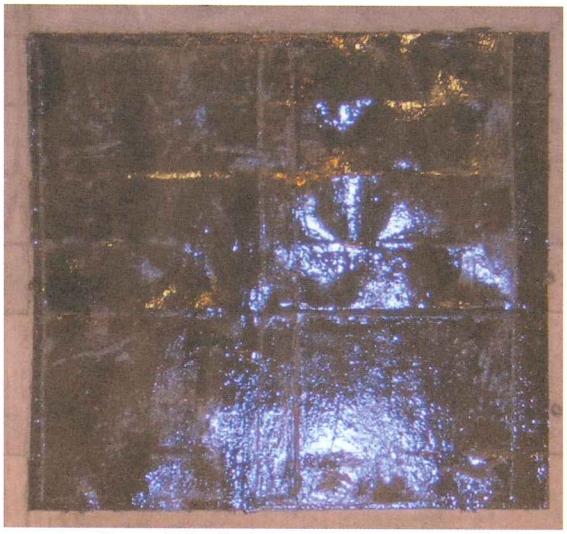
図２－３　　実大トンネル試験場所



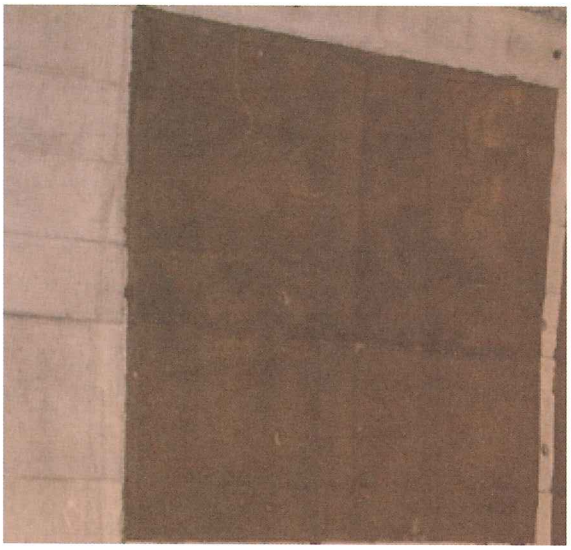
NAV 施工前【平成 16 年 1 月 13 日】



追跡調査したひび割れとポイント A，B



NAV 施工直後【平成 16 年 1 月 13 日】



NAV 施工後約半年後【平成 16 年 7 月 26 日】



NAV 施工後 1 年経過【平成 17 年 2 月 18 日】

図２－４　　実大トンネル観察試験状況および観察ポイント

表２－５　　実大トンネルひび割れ観察試験

計測箇所	観察条件	計測項目	第１回観察 (施工後 27 日)	第２回観察 (施工後 5.5 ヶ月)	第３回観察 (施工後 13 ヶ月)
A	全照明	ひび割れ幅 [mm]	０．９	０．４	０．７
		照度[lx]	１８９	３９０	４０５
	基準照明	ひび割れ幅 [mm]	０．７	０．６	０．７５
		照度[lx]	２６	４４	４１
	基準照明＋高輝度ﾊﾛｹﾞﾝﾗｲﾄ	ひび割れ幅 [mm]	ﾃﾞｰﾀなし	ﾃﾞｰﾀなし	０．８５
		照度[lx]	ﾃﾞｰﾀなし	ﾃﾞｰﾀなし	１９００
B	全照明	ひび割れ幅 [mm]	０．９	０．４	０．９５
		照度[lx]	１９９	２６０	１９０
	基準照明	ひび割れ幅 [mm]	０．５５	０．５５	１．０
		照度[lx]	２４	３２	３９
	基準照明＋高輝度ﾊﾛｹﾞﾝﾗｲﾄ	ひび割れ幅 [mm]	ﾃﾞｰﾀなし	ﾃﾞｰﾀなし	０．９５
		照度[lx]	ﾃﾞｰﾀなし	ﾃﾞｰﾀなし	９８０

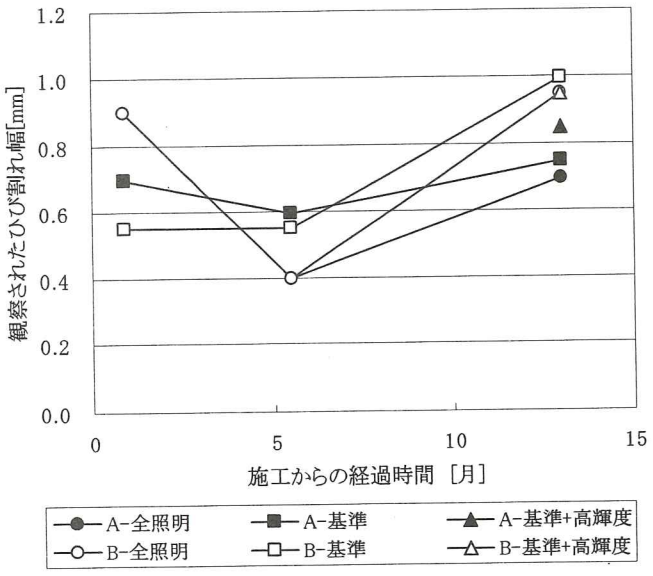


図2－5　照明条件と観察ひび割れ幅の結果まとめ

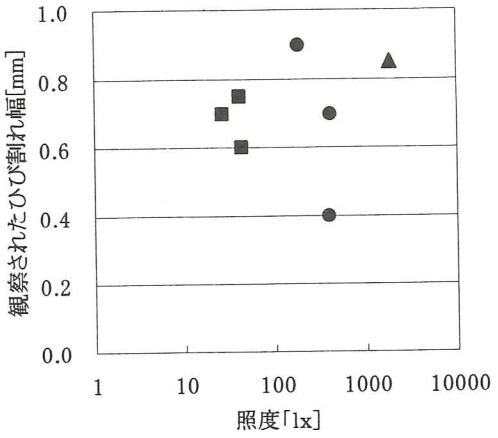


図2－6　箇所Aの観察ひび割れ幅と照度

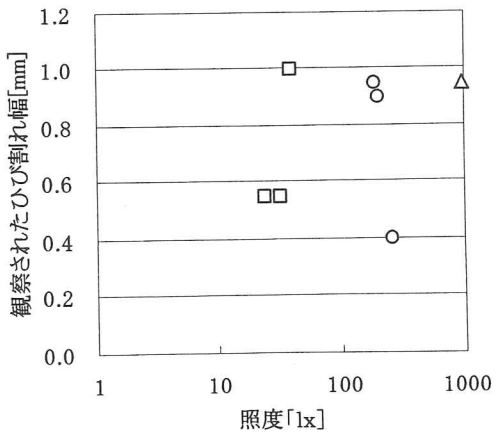


図2－7　箇所Bの観察ひび割れ幅と照度

２．２．２　耐荷力

以下の試験にて、NAV 工法の耐荷力を確認した。

（１）小型試験体（平板）による押抜き試験
（２）大型試験体による（平板および曲面を有する板）
（３）層間付着試験（試験体はモルタルで標準養生、半水中養生）
（４）　〃　　（試験体は大型押抜き試験体で標準養生）

（１）小型試験体（平板）による押抜き試験

試験手順：　試験体の作製

1)試験板にはJIS A 5372-2000「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」に規定するU形ふた、呼び名１種３００（４００×６００×６０mm）を使用した（図２－８）。
2)U形ふた中央部をφ１００mmの形状でコンクリート用コアーカッターにより、底部を５mm残した状態で垂直にコア削孔した。コア抜き方向は表面（はく落防止工法非施工面）より行った。
3)はく落防止工法施工面に、＃８０ペーパーサンダーケレンにより表面処理を行った。
4)塗装仕様に基づきはく落防止工法を施工した。施工面積はU形ふた中心部４００×４００mmとした。
5)試験体の作製個数は、同一施工条件につき３個とし、NAV 施工後、標準養生（温度２０℃、相対湿度６５%、９日）を行った。

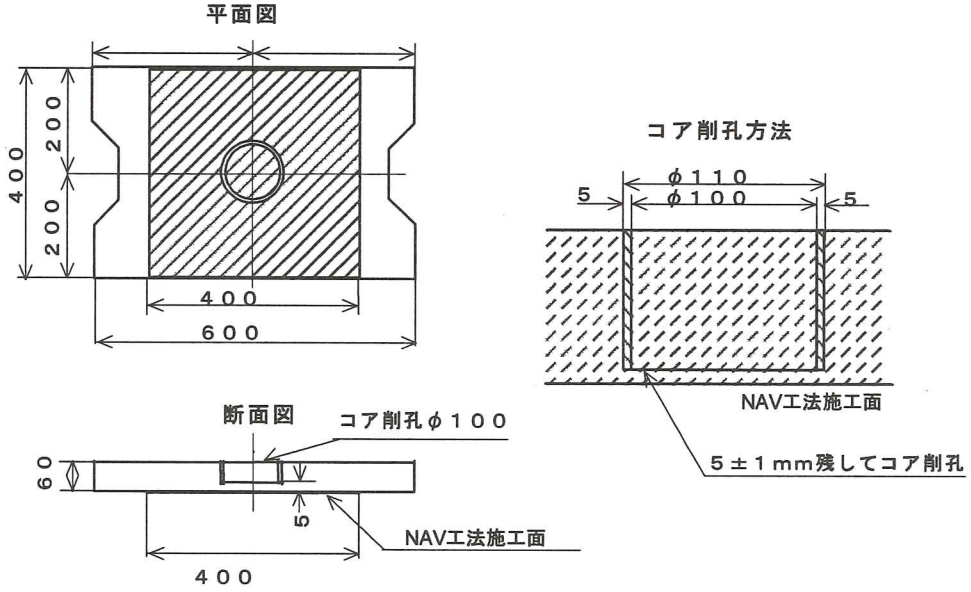


図２－８　　押抜き試験－試験体の作製

載荷試験方法（図２－９参照）

1)試験は同一の施工条件で作製された試験体３個を一組として実施した。
2)試験機は島津製作所社製万能試験機オートグラフAG－３００KNGで行った。
3)試験室内は２０℃とし、試験体も同温とした。
4)試験体をスパン４００mmにてH鋼上にガタが無いようにセットした。
5)コア中央部に鉛直、均等に荷重がかかるように球座をはさんで載荷した。
6)載荷はまず１mm／分の速度で、U形ふたが破壊するまで載荷した。

7)その後５mm／分で載荷し、押し抜き試験を行い、押し抜き最大荷重を測定した。その間、５，１０，１５mm・・・・クロスヘッドの変位５mm毎に載荷を一時中断し、はく離範囲を試験体にマーキングした。最終的な耐荷力（荷重ピーク値）が確認された場合には、その時点で試験を終了した。

8)上記6)、7)の過程では、荷重および変位をデジタル値で記録した。

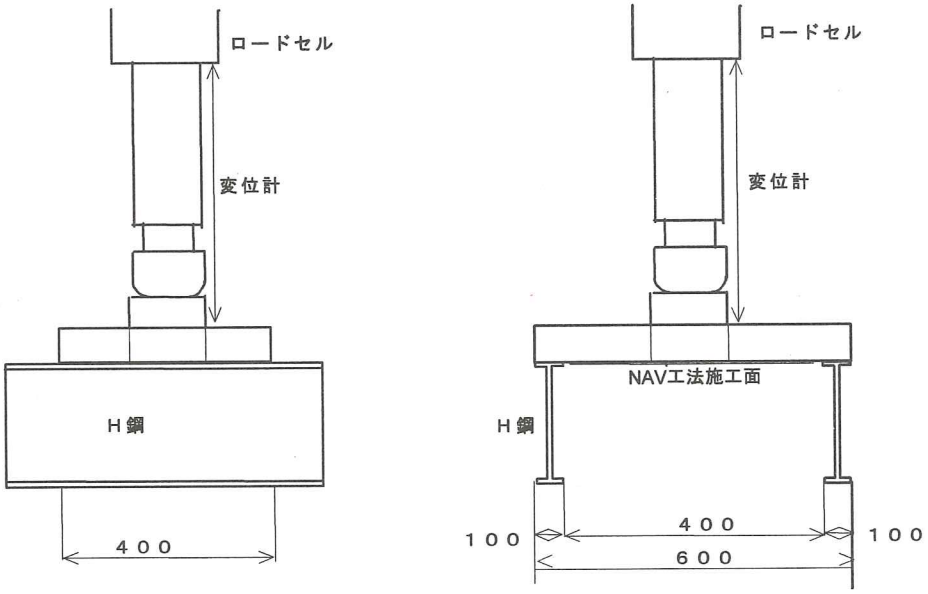


図２－９　　試験体の配置および載荷方法

試験材料：　DK550-003、DK550-04ともに春秋用（R）を使用した。

試 験 日：　試験体作製　平成１５年　９月２４～２６日
試験体養生　平成１５年９月２７日～１０月５日
載 荷 試 験　平成１５年１０月６日

試験場所：　試験体作製・養生　電気化学工業（株）渋川工場内
載荷試験　電気化学工業（株）セメント特混町田研究所内（現特混町田研究センター内）

試験温度：　２０～２３℃

試験結果：
- 表２－６に押抜き試験結果のまとめを、図２－１０に押抜き試験終了前後の試験体の状況写真を、図２－１１に押抜き試験時の荷重ー変位グラフを、図２－１３に単位はく離強さーはく離周長グラフを示す。
- 押抜き最大荷重は３試験体平均で３．９５ｋＮであった。
- 最大荷重時の変位は３試験体平均で１６．３０mm（全試験体で変位１０mm以上）であった。
- 単位はく離強さ（はく離周長が増加するときの荷重増加度）は約４．５Ｎ／mmで変位５mm以上の領域ではほぼ一定値を示した。
- 載荷試験前後の外観では、はく離した部分は白色化し、下地変状の目視観察ができなくなる特徴を有している。

表２－６　　NAV 工法の小型試験体（U 型ふた）による押抜き試験結果まとめ

試験体	最大荷重 [kN]	最大荷重時 変位[mm]	10mm 変位時 荷重[kN]	15mm 変位時 荷重[kN]	※単位はく離強さ [N/mm]
1	3.96	16.14	2.98	3.63	4.43
2	4.37	19.43	3.12	3.69	4.54
3	3.52	13.34	3.06	ｼｰﾄ破断	4.45
平均	**3.95**	**16.30**	**3.05**	—	**4.47**

※：単位はく離強さは変位 5mm 以上の領域での平均値

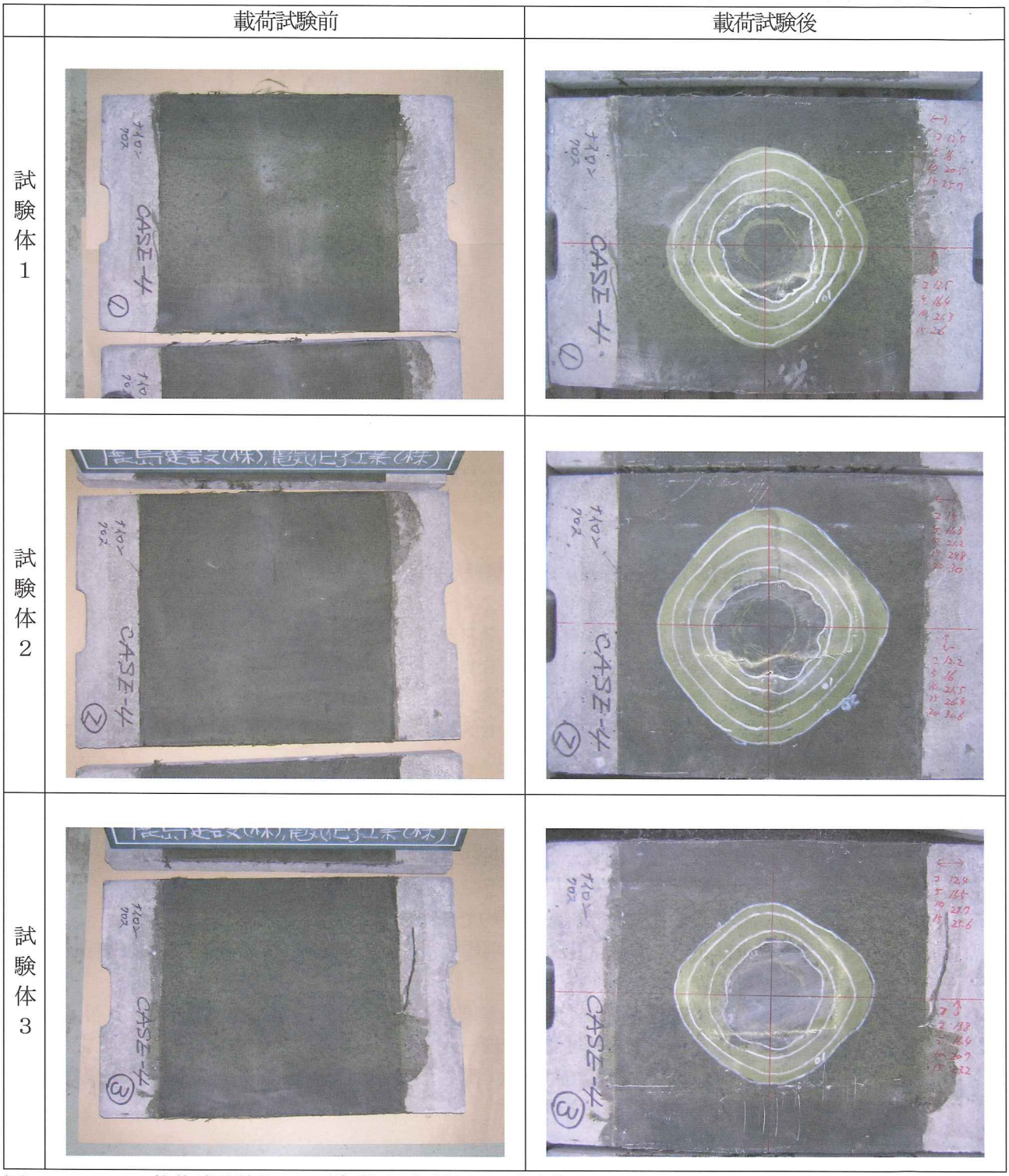


図２－１０　　載荷試験前後の小型押抜き試験結果　試験体状況

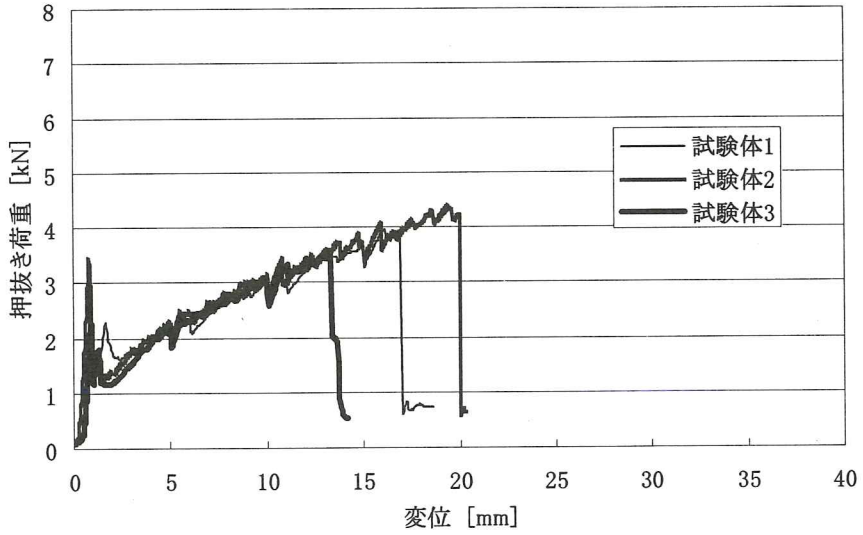


図2－11　小型試験体による押抜き試験結果

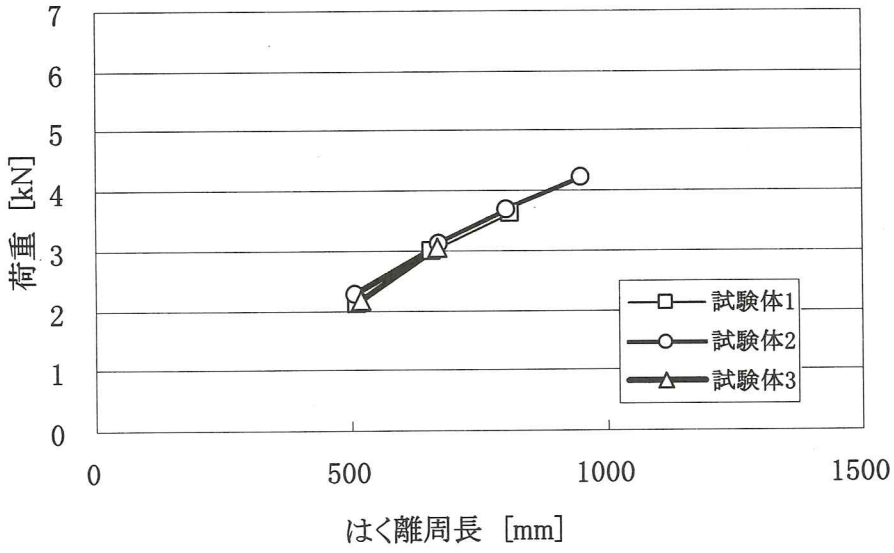


図2－12　小型押抜き試験　押抜き荷重とはく離周長の関係

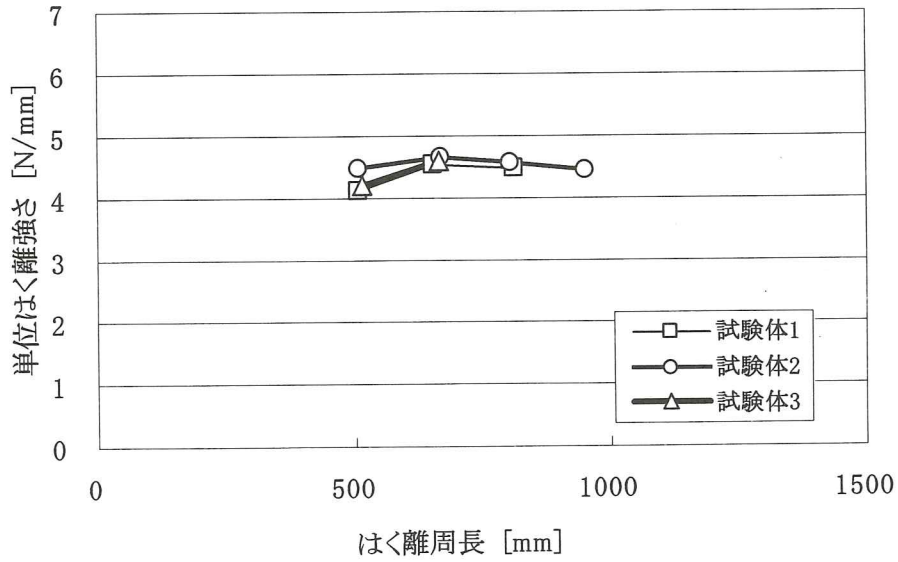


図2－13　小型押抜き試験　単位はく離強さとはく離週長の関係

（2）大型試験体による（平板および曲面を有する板）押抜き試験

試験手順：　試験体の作製

1)試験版は寸法、1500mm x 1500mm x 150mm で押抜き径が 500mm となるように縁切り(間隙 4.5mm)を設け、コンクリートを打設した。フレッシュコンクリートの試験結果は表２－７の通りである。また、試験板の圧縮強さは材齢２８日および試験日において表２－８の通りであった。

表２－７　　フレッシュコンクリートの試験結果

コンクリート呼び強度	スランプ [cm]	空気量 [%]	コンクリート温度[℃]
18	13.5	4.3	14.5

表２－８　　試験板コンクリートの圧縮強さ

材齢	材齢 28 日	試験日(材齢 92 日)		
圧縮強さ [N/mm²]	26.2	26.45	25.13	25.60
		平均　25.7		

試験体の作製（図２－１４a)参照）

1)試験体の作製は試験体サイズが大きくなる以外は小型試験体の場合と同様の方法で作製した。ただし、φ500mm 押抜きコアとの間隙 4.5mm には油粘土を充填し、工法施工部とコア部を縁切りした。

2)ナイロンクロスは幅が 50cm のため図２－１４a)に示すとおり３枚のシートで 1200mm x 1200mm の貼付けを行った。

載荷試験方法

1)試験体への載荷方法は変位 10mm までは載荷速度 0.125mm/2min で、10mm 以降は 0.25mm/min でおこなった（図２－１４b)、図２－１５参照)。

試験材料：　DK550-003、DK550-04 ともに春秋用（R）を使用した。

試 験 日：　1)平板試験体押抜き試験

試験体作製　平成１６年２月１９日

試験体養生　平成１６年２月２０日～３月９日

載 荷 試 験　平成１６年３月１１日

2)曲面施工試験体押抜き試験（曲率は R=4550mm。これは２車線道路トンネルでの覆工を想定した曲率）

試験体作製　平成１７年１月２７日

試験体養生　平成１７年１月２８日～２月１７日

載 荷 試 験　平成１７年２月１８日

試験場所：　試験体作製・養生・載荷試験　独立行政法人土木研究所内

試験温度：　２０～２３℃

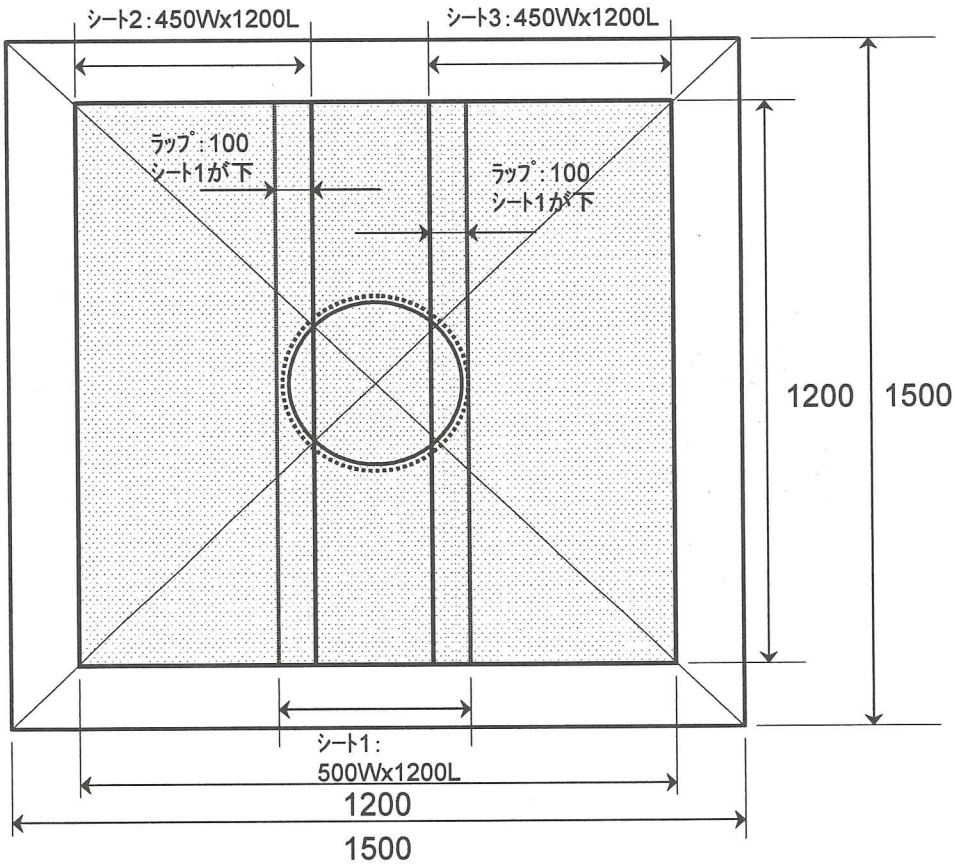
試験結果：

・試験前後の試験体状況を図２－１６に、押抜き試験時の荷重ー変位グラフを図２－１７および図２－１８に、各試験体での押抜き最大荷重を表２－９に示す。

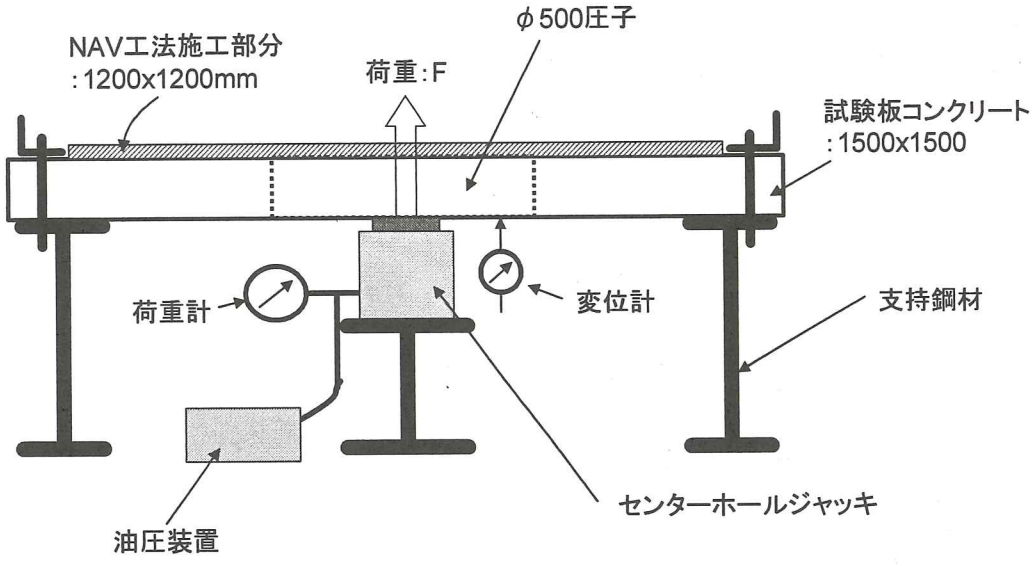
・試験は、はく離範囲が施工範囲境界に達し、荷重が低下して終わっていた。

・押抜き最大荷重は曲面試験体の方が、18%程度小さくなったが、両試験体ではく離形状に大きな差は認められなかったことから、平板と曲面での最大荷重の差は試験ばらつきの範囲内であると考えられる。

・よって押抜き耐荷力は、２車線道路トンネルでの覆工表面の曲面が与える影響はほとんどないといえる。



a) 大型押抜き試験体　試験体の構造（ナイロンクロス接着の方法）



b)大型押抜き試験の概要図

図２－１４　　大型押抜き試験の概念図



図２－１５　　大型試験体による押抜き試験状況

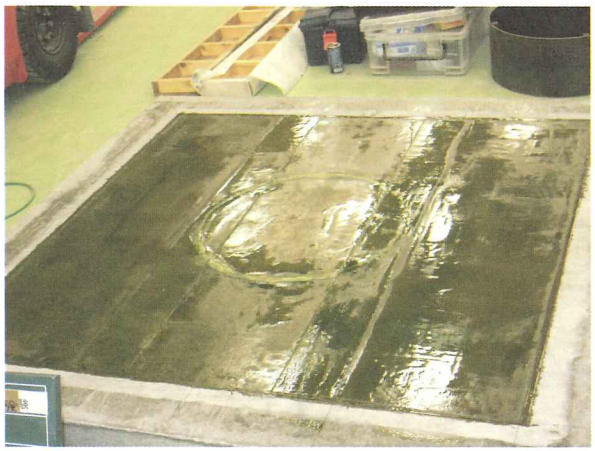
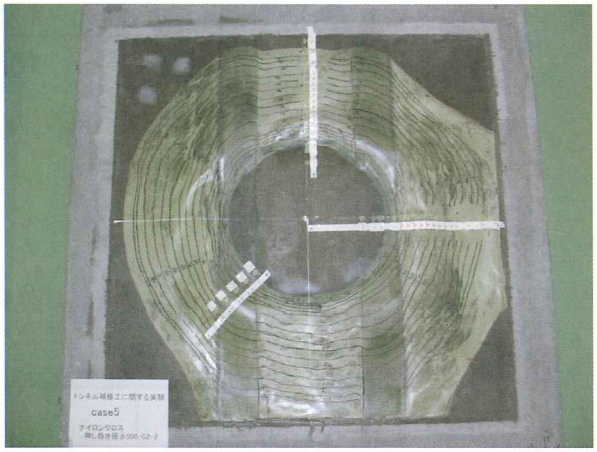
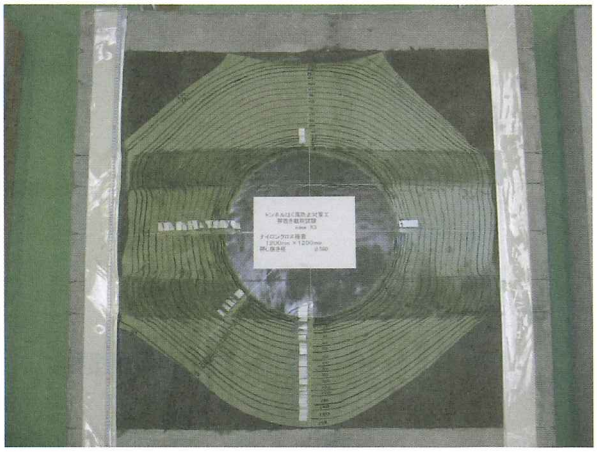
	載荷試験前	載荷試験後
平板試験体		
曲率面試験体		

図２－１６　　押抜き試験前後の試験体状況

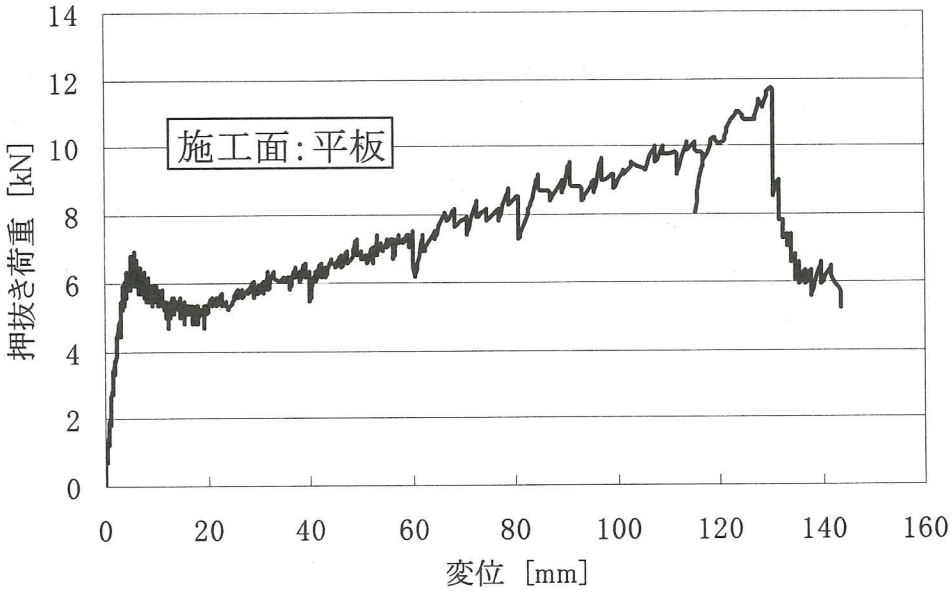


図2－17　大型試験体押抜き試験結果
平板1200x1200mm, コア φ500mm）

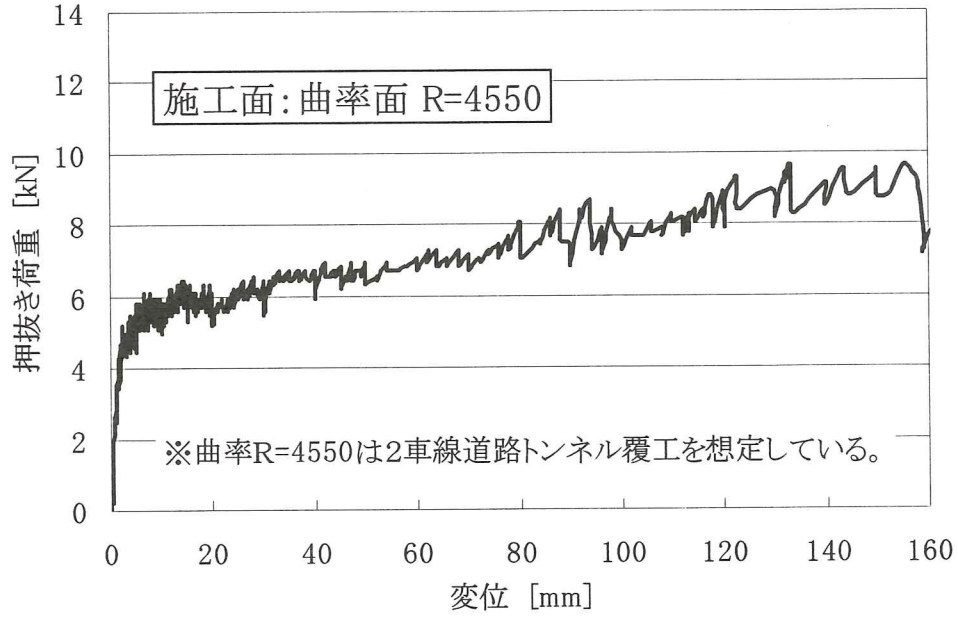


図2－18　大型試験体押抜き試験結果
曲率面 1200x1200mm, コア φ500mm

表2－9　大型押抜き試験での最大荷重（押抜き径φ500mm）

施工面形状	押抜き最大荷重 [kN]
平板	11.8
曲率面 R=4550	9.7

（3）層間付着試験（試験版はモルタル）

試験手順：　試験体作製

1)試験板はJIS A 6909-2000「建築用仕上塗材」７．３ｂ）に規定する市販のモルタル板(70x70x20mm)を使用した。モルタルの配合は質量比でセメント１，標準砂３、水セメント比０．５０である。

2)脱型、養生後、モルタル板の型枠に接していた面を＃８０ペーパーサンダーケレンにより表面処理を行った。

3)次の２条件について、養生およびNAV工法の施工を行った。なお、試験体作製個数は同一条件につき３個とした。

条件Ａ（標準養生）

温度20℃、湿度65%養生24時間以上　→　NAV工法施工　→　温度20℃、湿度65%養生28日間　→　層間付着性試験

a)温度20℃、相対湿度65%（標準養生条件）で24時間以上養生を行った。

b)養生後、塗装仕様に基づきNAV工法を施工した。

c)NAV工法の施工後、直ちに温度20℃、相対湿度65%で28日間養生した。

条件Ｂ（半水中養生）

温度20℃、全没24時間以上養生　→　NAV工法施工　→　温度20℃、水温20℃半水中で20日間養生　→　標準養生24時間→　層間付着性試験

a)試験体を20℃の水中に全没させ、24時間以上養生を行った。

b)養生後、水中から引き上げて水を拭き取ってから、施工仕様に基づきNAV工法を施工した。なお、NAV工法施工は、水中から引き上げて10分以内に行う。

c)NAV工法の施工後、直ちに水槽内の砂の上に試験体を水平に置き、試験体基板上面（施工面）が水面から約5mmの位置に現れるように注水し（図２－１９）、気温20℃、水温20℃の状態で28日間養生した」。その後、標準養生状態で24時間静置して乾燥させる。

※本養生条件は、常に湿潤状態である覆工面にNAV工法を施工した場合の接着性能評価のために実施した。

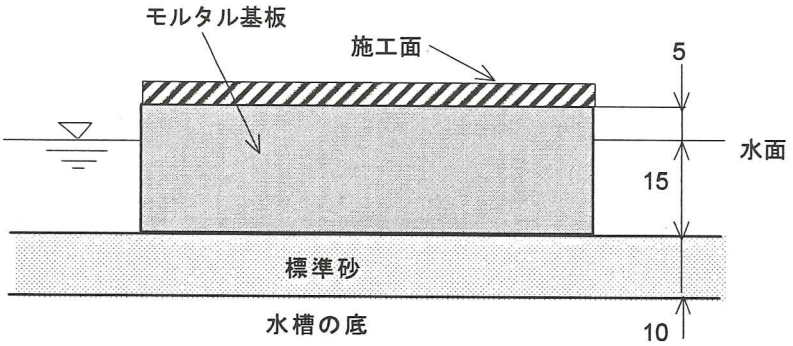


図２－１９　　半水養生条件の浸水方法

載荷試験方法

1)養生の終わった試験体に対して、JIS A 6909-2000 の 7.10.2a 標準状態の試験の手順により図２－２０のように上部引張り用鋼製治具を室温反応型接着剤で接着し、24 時間静置した。

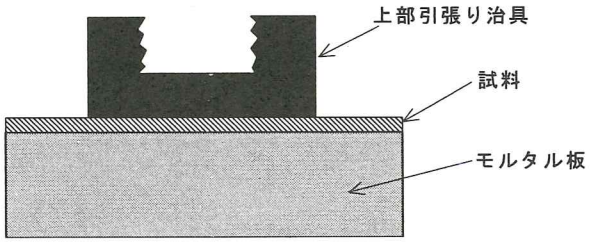


図２－２０　上部引張用鋼製治具の取り付け

2)24 時間後に試験体に接着した上部引張用鋼製治具の周り 40x40mm の方形の４辺に、モルタル基板に達するまでの切込みを入れた（図２－２１）。

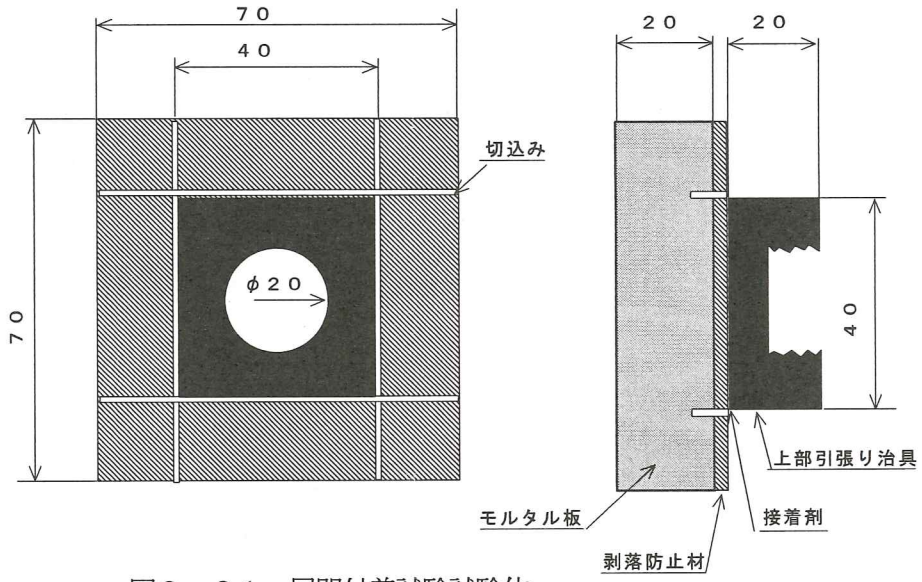


図２－２１　層間付着試験試験体

3)下部引張り用鋼製治具および鋼製あて板を用いて、試験体を試験機に取り付け（図２－２２）、最大引張荷重[N]を求めた。なお試験速度は 1mm/min とした。次式により付着力を求め、付着強さとした。

付着強さ[N/mm²] ＝ 最大引張荷重[N] / 接着面積[mm²]

破断の状態は図２－２３のように表現し、破断箇所のおおよその面積比を示す。

試験材料：　DK550-003、DK550-04 ともに春秋用（R）を使用した。

試 験 日：　1)A標準養生条件

試験体作製　平成１５年８月２１日

試験体養生　平成１５年８月２２日～１０月６日

載 荷 試 験　平成１５年１０月７日

2)B半水中養生条件

試験体作製　平成１５年８月２１日

試験体養生　平成１５年８月２２日～～９月１９日

載 荷 試 験　平成１５年１０月７日

試験場所：　試験体作製・養生　電気化学工業（株）渋川工場内
載荷試験　電気化学工業（株）セメント特混町田研究所内（現特混町田研究センター内）

試験温度：　２０～２３℃

試験結果：
・図２－２４に試験前後の試験体状況を写真で示す。表２－１０、図２－２５、２６に試験結果のまとめを示す。ここで母材破壊率は図２－２３で示した破壊状態のＡ．モルタル基板破壊をおおよその面積割合で表したものである。
・標準養生、半水中養生条件とも付着強さに大きな差は認められなかった。
・半水中養生では１試験体のみ、モルタル／施工材料層の界面破壊が見られた。

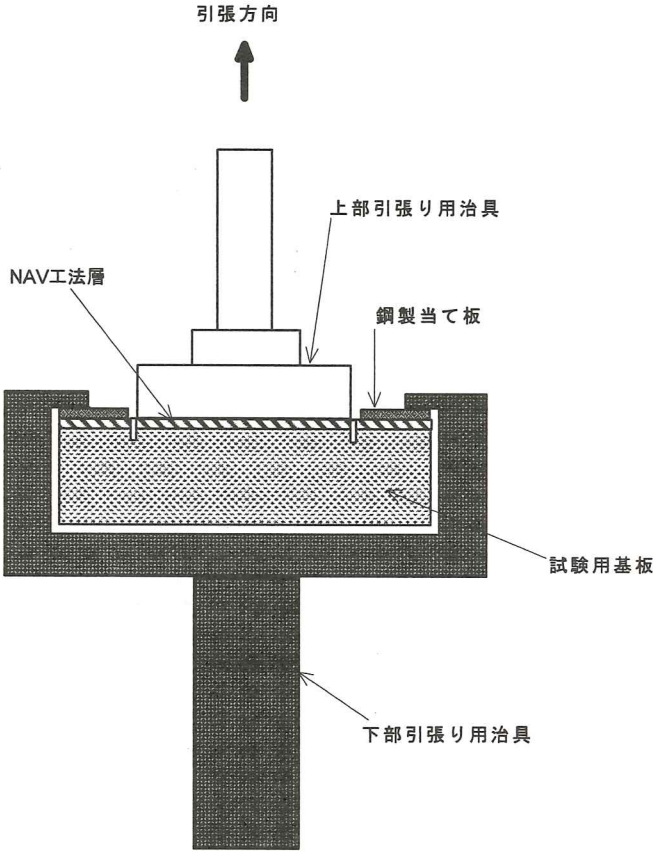


図２－２２　試験体の引張り試験機の取り付け

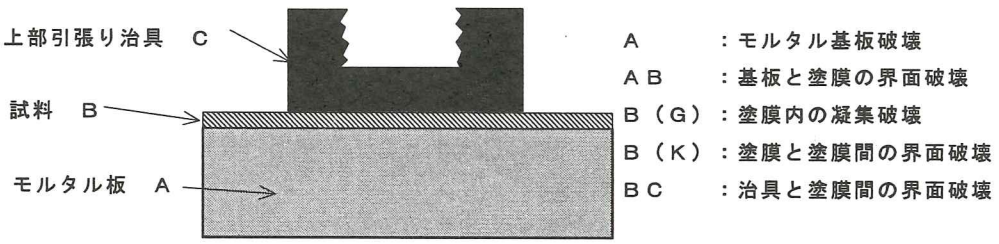


図２－２３　破断箇所の表示方法



図２－２４　　層間付着試験結果－試験前後の試験体状況（被着体：モルタル）

表２－１０　　層間付着試験結果（まとめ）　　破壊状態欄の数値は面積比率を表す

試験体	A．標準養生条件			B．半水中養生条件		
	破壊荷重 [N]	付着強さ [N/mm²]	破壊状態 (図2-3に基づく)	破壊荷重 [N]	付着強さ [N/mm²]	破壊状態 (図2-23に基づく)
1	2837.5	1.77	A 100%	3385.0	2.12	A 100%
2	3870.5	2.42	A 100%	3682.5	2.30	A 100%
3	3352.5	2.10	A 100%	2802.5	1.75	AB 100%
平均		**2.10**			**2.06**	

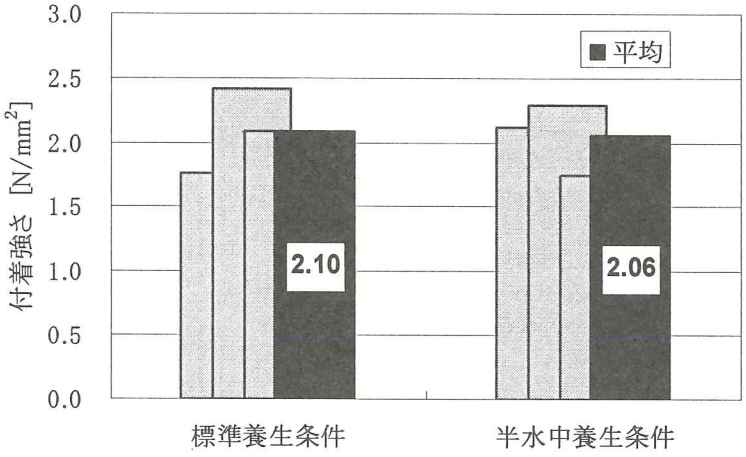


図2－25　層間付着試験(モルタル供試体)　付着強さ

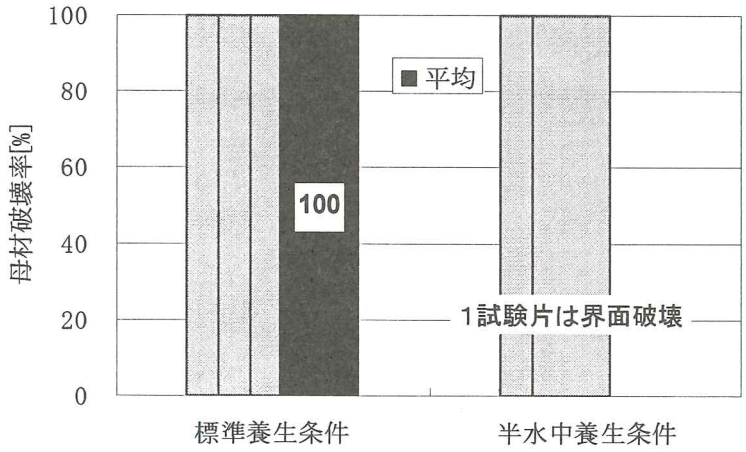


図2－26　層間付着試験(モルタル供試体)

（4）層間付着試験（試験体はコンクリート）

試験手順：　（2）大型押抜き試験体による押抜き試験体中の平板試験体の押抜き終了後のNAV工法が健全に残っている部分で、（3）層間付着試験（試験体はモルタル）と同様の試験原理で引張試験を行った（JSCE-E545-2000に準拠）。

試験材料：　DK550-003、DK550-04ともに春秋用（R）を使用した。

試 験 日：　試験体作製　平成１６年２月１９日
試験体養生　室温20℃で実験室内に放置
載 荷 試 験　平成１６年３月１２日

試験場所：　試験体作製・養生・載荷試験　独立行政法人土木研究所内

試験温度：　２０～２３℃

試験結果：　・図２－２７に試験前後の試験体状況を写真で示す。表２－１１に試験結果のまとめを示す。
・破壊状態はすべて母材コンクリートの破壊であった。

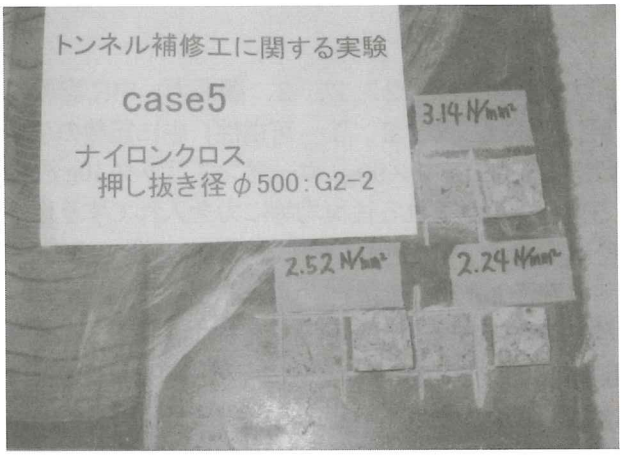
	層間付着試験（試験板：コンクリート・標準養生）
試験前状況	
試験後状況　母材側	
試験後状況　治具側	

図２－２７　　層間付着試験結果―試験前後の試験体状況

表２－１１　　層間付着試験結果　試験板：コンクリート（まとめ）

試験体	標準養生条件	
	付着強さ[N/mm²]	破壊状態（図2-23に基づく）
1	3.14	A 100%
2	2.52	A 100%
3	2.24	A 100%
平均	**2.63**	―

２．２．３　耐久性

NAV 工法の耐久性は、施工対象がトンネル覆工コンクリートであることを考慮し、表２－１２に示す各促進耐久負荷および試験項目について実施した。

表２－１２　　耐久性試験の内訳（数値は試験数）　　◎：第１の目的、○：第２の目的

促進耐久負荷	試験目的		押抜き試験(注4)	層間付着試験	ひび割れ観察
	可視性	耐荷力			
（１）耐汚染性(注1)	◎	×(注5)	3	3	1
（２）温冷繰返し(注2)	○	◎	3	3	1
（３）乾湿繰返し(注3)	○	◎	3	3	1

注１：　首都高速道路公団「コンクリート塗装およびＦＲＰ補修基準(案)平成３年１０月」に準拠。
注２：　JIS A 6909-2000　「建築用仕上塗材」7.10 に準拠。
注３：　JIS A 6024-1998「建築補修用注入エポキシ樹脂」5.4 に準拠。
注４：　押抜き試験のコア削孔は 5mm 残ししない、全抜き条件で実施。
注５：　耐汚染性試験は可視性の試験であり、耐荷力には影響を及ぼさないと考えられる。

（１）耐汚染性

試験手順：　1)押抜き試験体は「２．２．２　耐荷力」中に記載の手順で作製した。ひび割れ観察用試験体は「２．２．１　可視性」中に記載の手順で作製した。
2)汚染物質（白色ﾜｾﾘﾝ 90g+カーボンブラック 10g 混合物）の 18g を布につけて直交する方向へそれぞれ５往復均等に力を入れてすり込 30 分放置した。
3)その後清浄な布できれいに拭き取り、更に 0.5%化粧石鹸水をつけた布で 20 往復こすり洗浄し乾燥した。
4)本促進負荷を以下促進負荷Ａと称す。

試験材料：　DK550-003、DK550-04 ともに春秋用（R）を使用した。

試 験 日：　試験体作製　平成１６年１２月１４日
試験体養生　平成１６年１２月１５～２０日
促進耐久負荷　平成１６年１２月２１日
ひび割れ観察　平成１６年１２月２１日
載 荷 試 験　平成１６年１２月２２日

試験場所：　電気化学工業（株）渋川工場内

試験温度：　２０～２３℃

（２）温冷繰返し

試験手順：　1) 押抜き試験体は「２．２．２　耐荷力」中に記載の手順で作製した。ひび割れ観察用試験体は「２．２．１　可視性」中に記載の手順で作製した。
2) 温冷繰返しは JIS A 6909-2000　「建築用仕上塗材」7.10 に準拠して行った。
3)本促進負荷を以下促進負荷Ｂと称す。

試験材料：　DK550-003、DK550-04 ともに春秋用（R）を使用した。

試 験 日：　試験体作製　平成１６年１１月１７日
試験体養生　平成１６年１１月１８～２４日
促進耐久負荷　平成１６年１１月２５日～１２月８日
ひび割れ観察　平成１６年１２月９日
載 荷 試 験　平成１６年１２月１０日

試験場所：　電気化学工業（株）渋川工場内

試験温度：　２０～２３℃

（3）乾湿繰返し

試験手順：　1) 押抜き試験体は「２．２．２　耐荷力」中に記載の手順で作製した。ひび割れ観察用試験体は「２．２．１　可視性」中に記載の手順で作製した。

2) 乾湿繰返しはJIS A 6024-1998「建築補修用注入エポキシ樹脂」5.4に準拠して行った。

3)本促進負荷を以下促進負荷Cと称す。

試験材料：　DK550-003、DK550-04ともに春秋用（R）を使用した。

試 験 日：　試験体作製　平成１６年１２月２７日
試験体養生　平成１６年１２月２８日～平成１７年1月５日
促進耐久負荷　平成１７年1月６～１１日
ひび割れ観察　平成１７年1月１２日
載 荷 試 験　平成１７年1月１２日

試験場所：　電気化学工業（株）渋川工場内

試験温度：　２０～２３℃

（4）試験結果：
- 図２－２８、２９、表２－１３に各促進負荷条件でのひび割れ観察結果を示す。
- 表２－１４、図２－３０～４１に各促進負荷条件での押抜き試験結果を示す。
- 表２－１５、図２－４２～４３に各促進負荷条件での層間付着試験結果を示す。

可視性ーひび割れ観察結果
- 各促進負荷条件とも、負荷前後での目視レベルおよびクラックスケールを用いて観察したひび割れ幅での可視性低下は認められなかった。
- 促進負荷A／耐汚染性負荷後の試験体から模擬煤煙を除去するには、せっけん等の界面活性剤の使用が必須であった。

耐荷力ー押抜き試験結果
- ２．２．２押抜き耐荷力の項での結果（標準養生）と比較して、すべての促進負荷条件ともに以下の傾向を示した（表２－１４）。
  ①最大荷重は標準養生条件と同レベルであった（図２－３０）
  ②最大荷重時変位は標準養生と比較して大きかった（図２－３１）
  ③単位はく離強さは標準養生と比較して小さい傾向であった（図２－３２）。

層間付着試験結果
- 各促進耐久負荷後も破棄状態は試験版のコンクリート破壊であった。

NAV工法の耐久性
- 可視性：　低下は認められない。
- 耐荷力：　表２－１４に示した単位はく離強さは、促進負荷Aは耐荷力に影響を与える因子ではないと考えられるが、標準養生より低い値をとっている。このことから促進負荷がない場合でも単位はく離強さの値は、試験板の違いその他の要因により4.0～5.1[N/mm]程度のばらつきを持った範囲をとると考えられる。
  促進負荷B，C後の押抜き試験による単位はく離強さは、標準養生と比較して33～37%低下した。

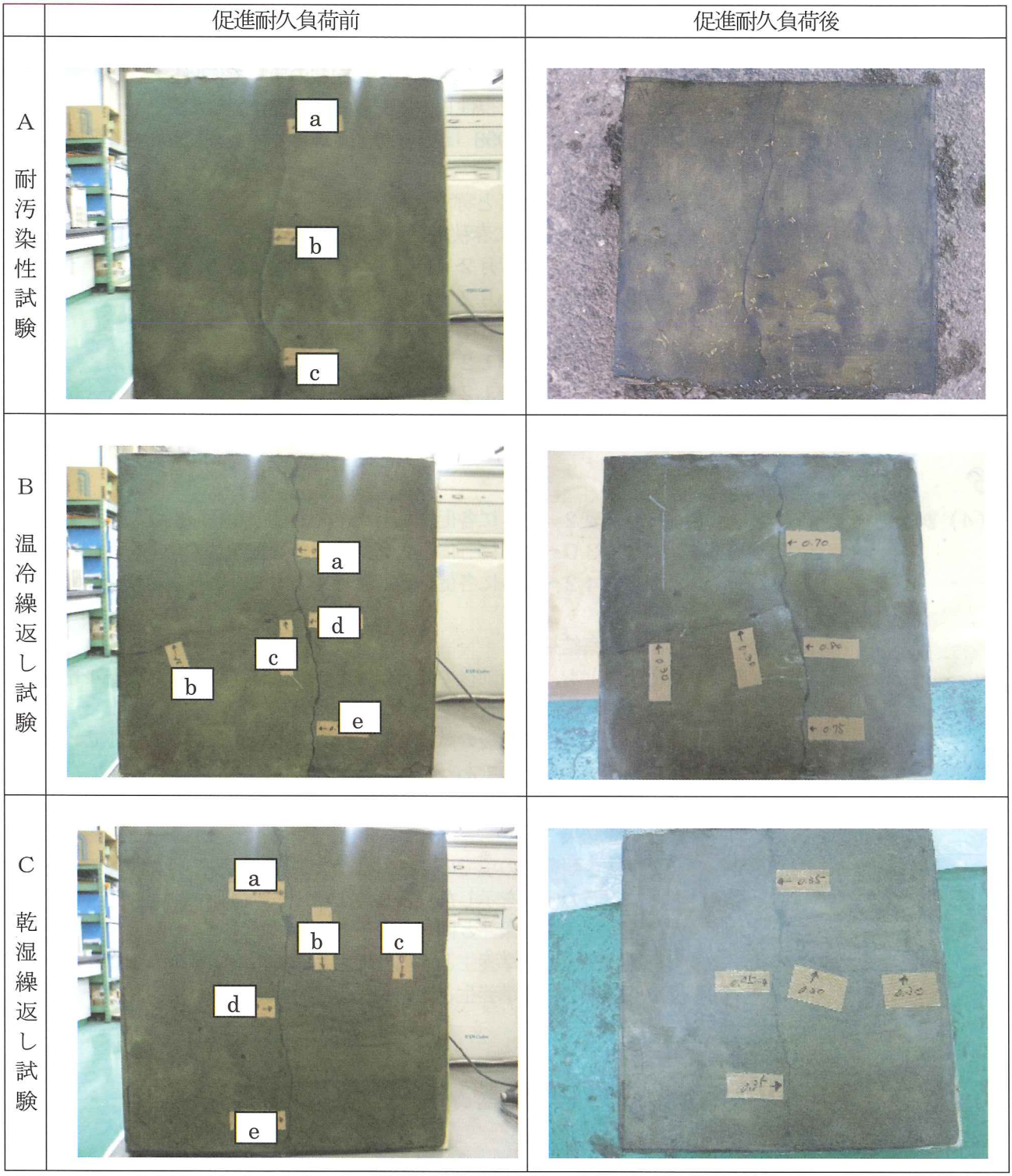


図２－２８　各促進耐久負荷前後のひび割れ観察用試験体の状況

表２－１３　　各促進耐久負荷条件でのひび割れ観察結果　　(単位：mm)

計測ﾀｲﾐﾝｸﾞ	A 耐汚染性試験後			B 温冷繰返し試験					C 乾湿繰返し試験				
	a	b	c	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
NAV 工法施工前	0.65	0.65	0.80	0.70	0.35	0.30	0.85	0.70	0.35	0.35	0.30	0.45	0.35
施工後７日	0.60	0.65	0.85	0.65	0.35	0.30	0.85	0.75	0.35	0.30	0.30	0.40	0.35
促進耐久負荷後	0.60	0.65	0.80	0.70	0.30	0.30	0.80	0.75	0.35	0.40	0.30	0.45	0.35

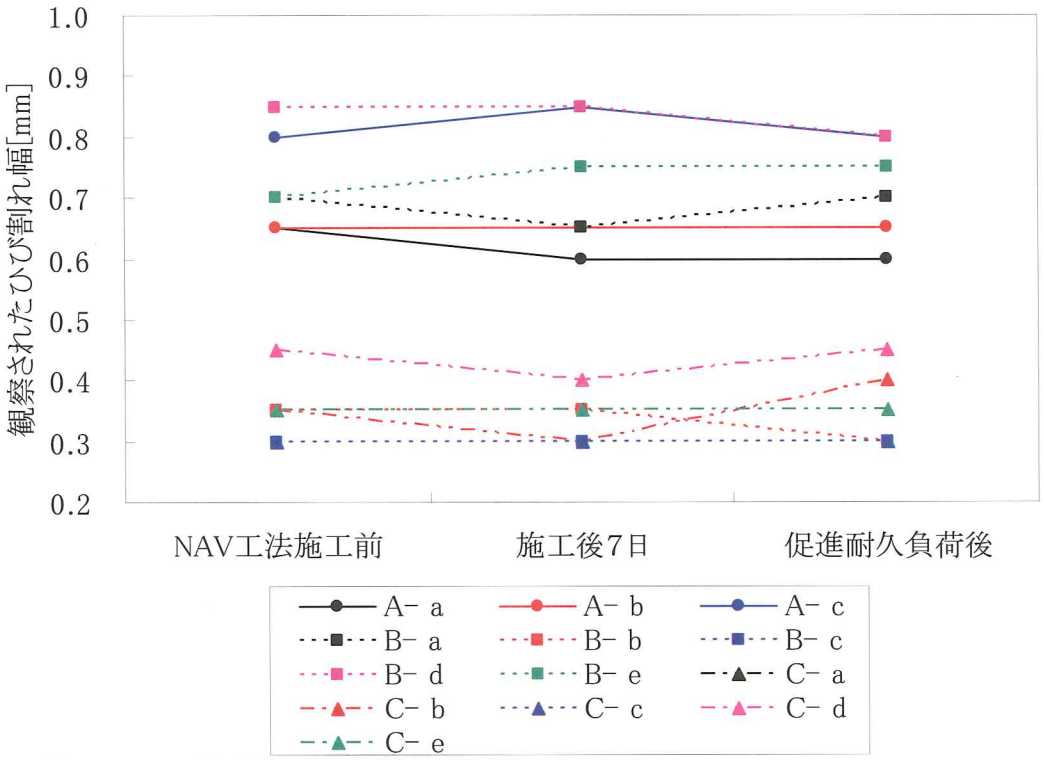


図2－29　耐久性能試験－可視化状況評価　ひび割れ観察の結果

表２－１４　各促進耐久負荷条件での押抜き試験結果

促進負荷	試験体	最大荷重 [N]	最大荷重時 変位[mm]	単位はく離強さ [N/mm]
標準養生 (表 2-6)	1	3.96	16.14	5.04
	2	4.37	19.43	4.41
	3	3.52	13.34	5.97
	平均	**3.95**	**16.30**	**5.14**
A 耐汚染性	1	3.98	66.84	3.79
	2	3.93	66.82	4.18
	3	3.72	68.40	3.87
	平均	**3.88**	**67.35**	**3.95**
B 温冷繰返し	1	3.46	61.80	3.00
	2	3.65	63.82	3.30
	3	3.67	64.16	3.31
	平均	**3.59**	**63.05**	**3.20**
C 温冷繰返し	1	3.92	65.46	3.38
	2	3.81	64.64	3.08
	3	3.84	65.46	3.59
	平均	**3.86**	**65.19**	**3.35**

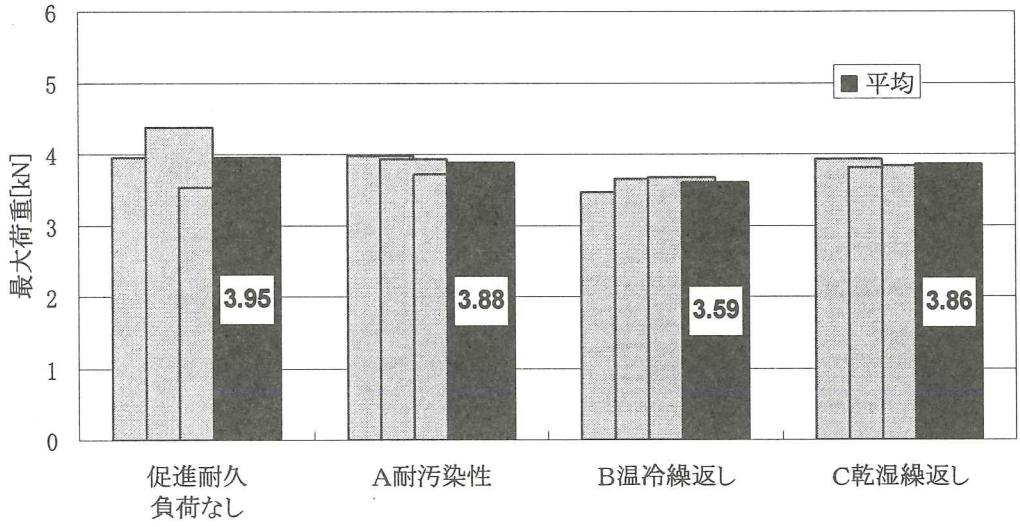


図2－30　耐久性能試験－押抜き試験　最大荷重

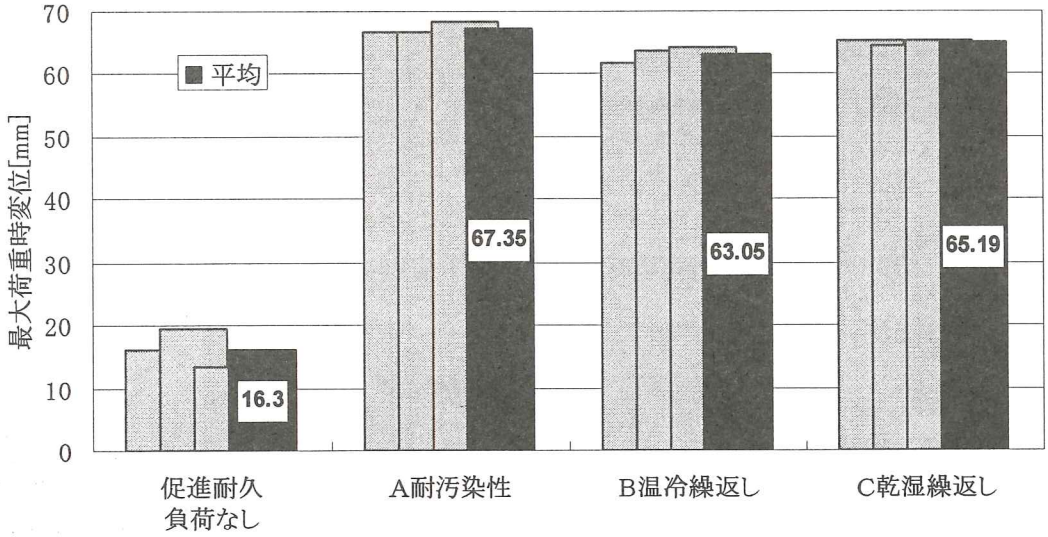


図2－31　耐久性能試験－押抜き試験　最大荷重時変位

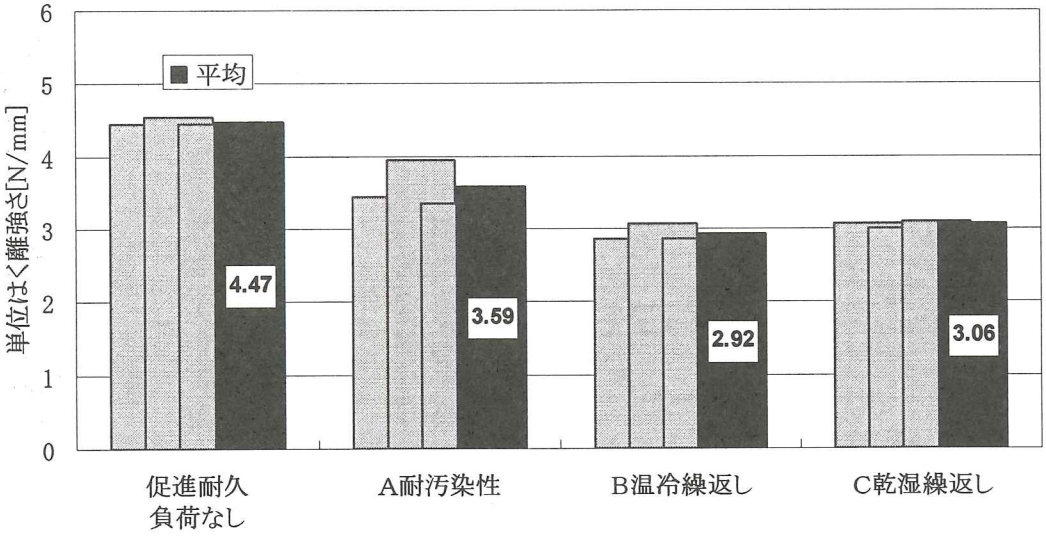


図2－32　耐久性能試験－押抜き試験　単位はく離強さ

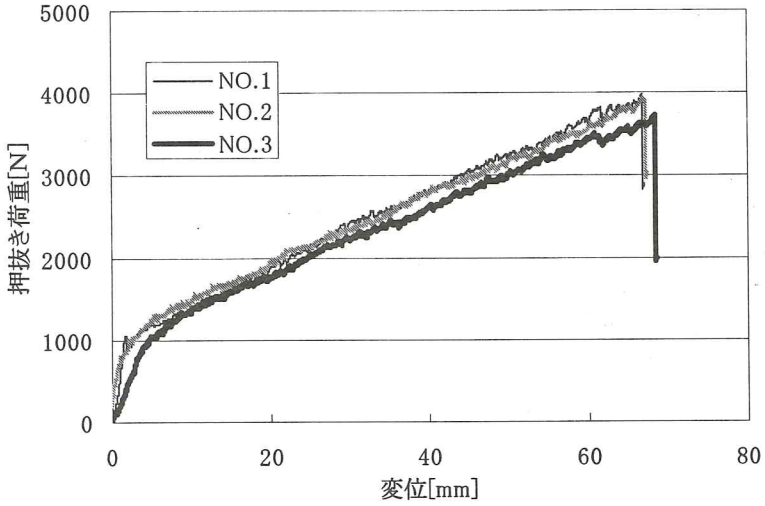


図2－33　耐汚染性負荷後の押抜き試験結果
押抜き荷重－変位

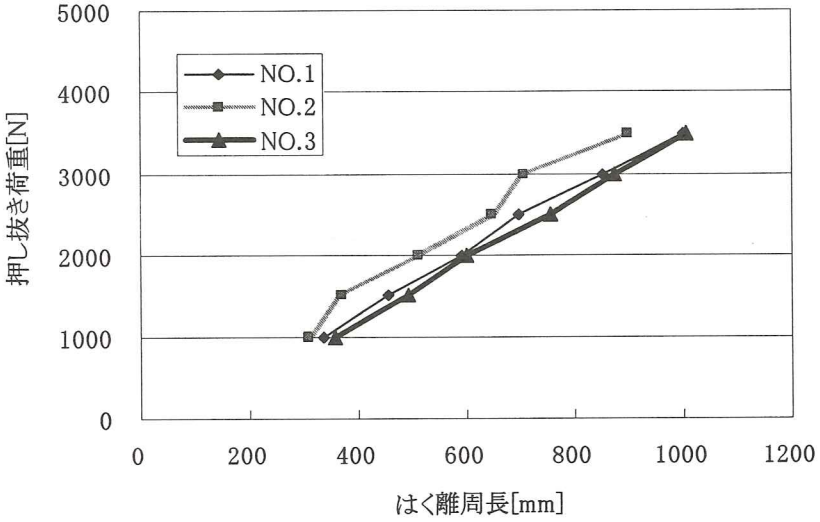


図2－34　耐汚染性負荷後の押抜き試験結果
押抜き荷重－はく離周長

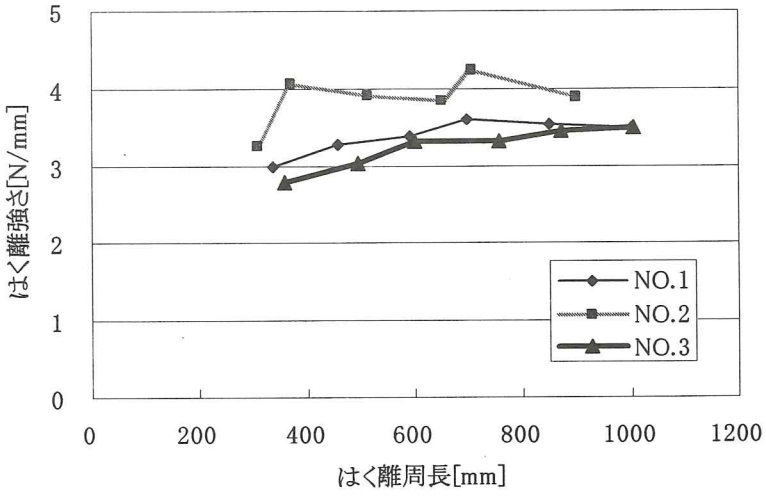


図2－35　耐汚染性負荷後の押抜き試験結果
単位はく離強さ－はく離周長

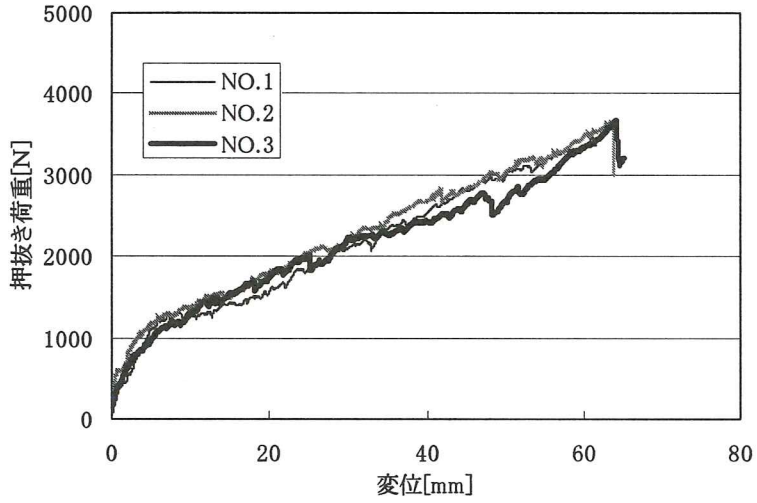


図2－36　温冷繰返し負荷後の押抜き試験結果
押抜き荷重－変位

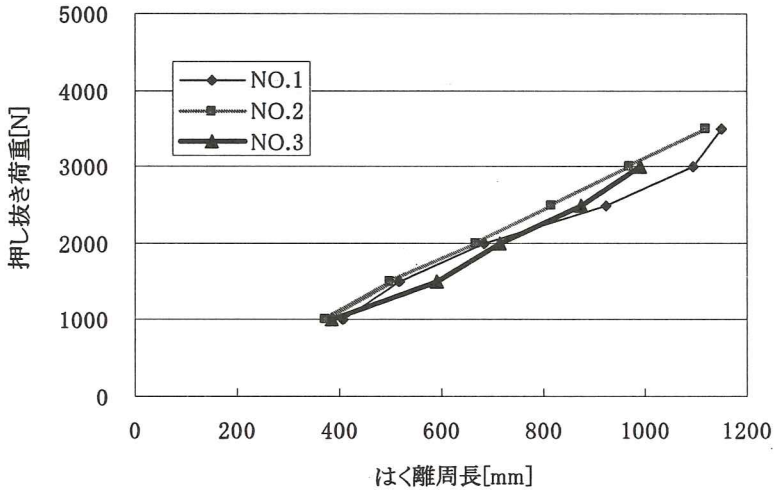


図2－37　温冷繰返し負荷後の押抜き試験結果
押抜き荷重－はく離周長

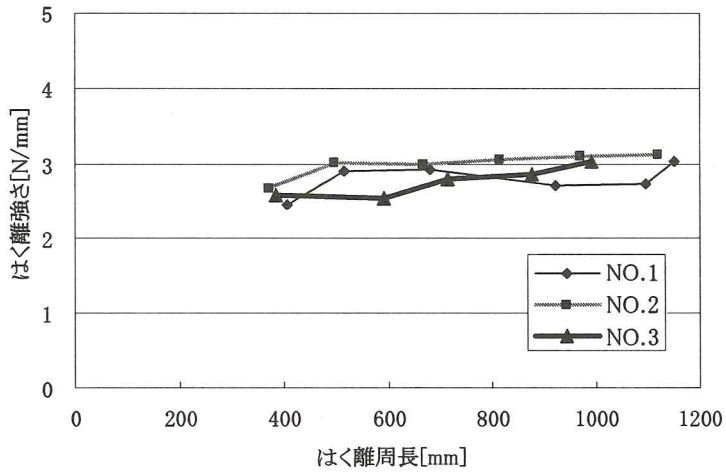


図2－38　温冷繰返し負荷後の押抜き試験結果
単位はく離強さ－はく離周長

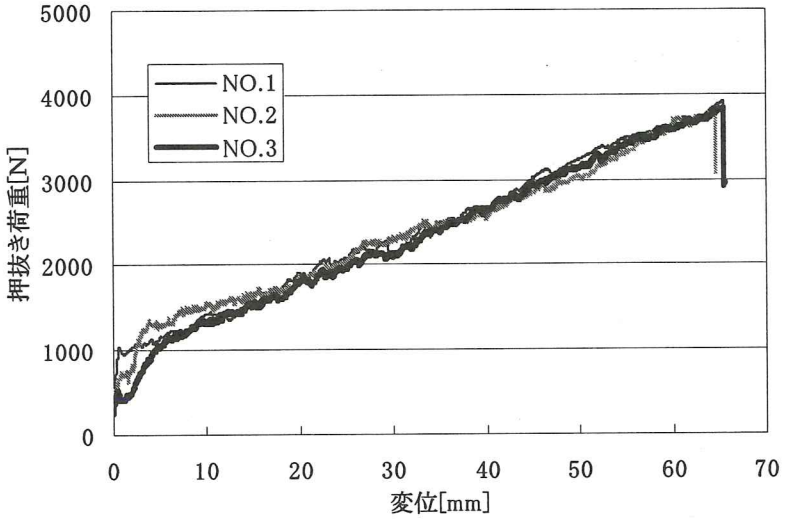


図2－39　乾湿繰返し負荷後の押抜き試験結果
押抜き荷重－変位

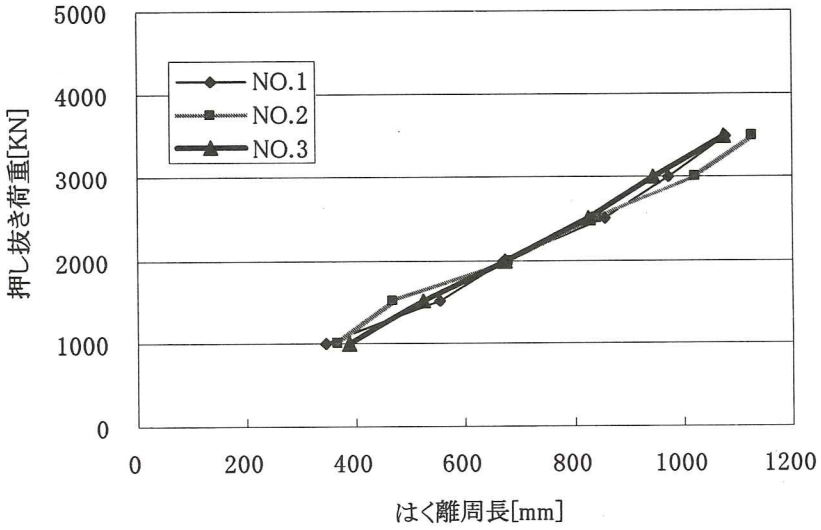


図2－40　乾湿繰返し負荷後の押抜き試験結果
押抜き荷重－はく離周長

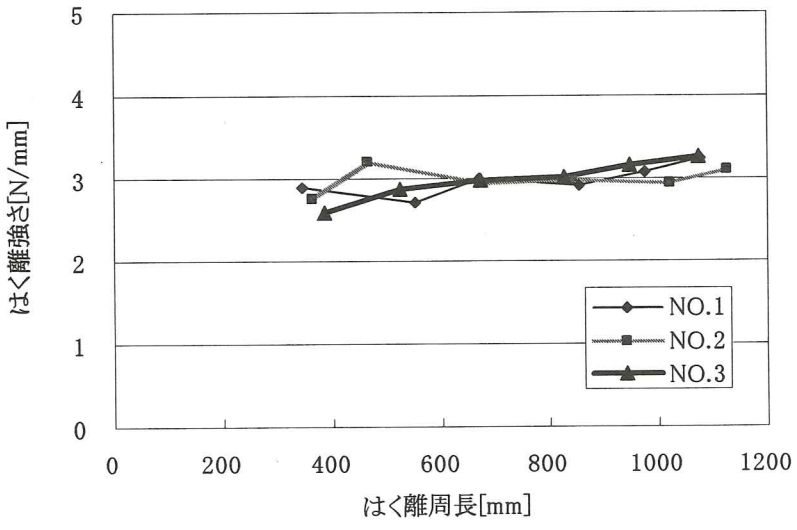


図2－41　乾湿繰返し負荷押抜き試験結果
単位はく離強さ－はく離周長

表２－１５　　耐久性試験ー促進耐久負荷後の層間付着試験結果まとめ

促進耐候負荷	No.	付着子面積 [mm²]	破壊荷重 [10³N]	付着強さ [N/mm²]	破壊状態 (図 2-23 準拠)
なし 被着体：ﾓﾙﾀﾙ （表 2-8 標準）	1	1600	2.84	1.77	A 100%
	2	1600	3.87	2.42	A 100%
	3	1600	3.35	2.10	A 100%
	平均	—	—	**2.10**	—
なし 被着体：ｺﾝｸﾘｰﾄ （表 2-9 標準）	1	1600	5.02	3.14	A 100%
	2	1600	4.03	2.52	A 100%
	3	1600	3.58	2.24	A 100%
	平均	—	—	**2.63**	—
A　耐汚染性	1	1600	4.3	2.69	A 100%
	2	1600	5.4	3.38	A 100%
	3	1600	6.5	4.06	A 100%
	平均	—	—	**3.38**	—
B　温冷繰返し	1	1600	6.9	4.31	A 100%
	2	1600	9.5	5.94	A 100%
	3	1600	4.5	2.81	A 100%
	平均	—	—	**4.35**	—
C　乾湿繰返し	1	1600	4.0	2.50	A 100%
	2	1600	3.9	2.44	A 100%
	3	1600	7.7	4.81	A 100%
	平均	—	—	**3.25**	—

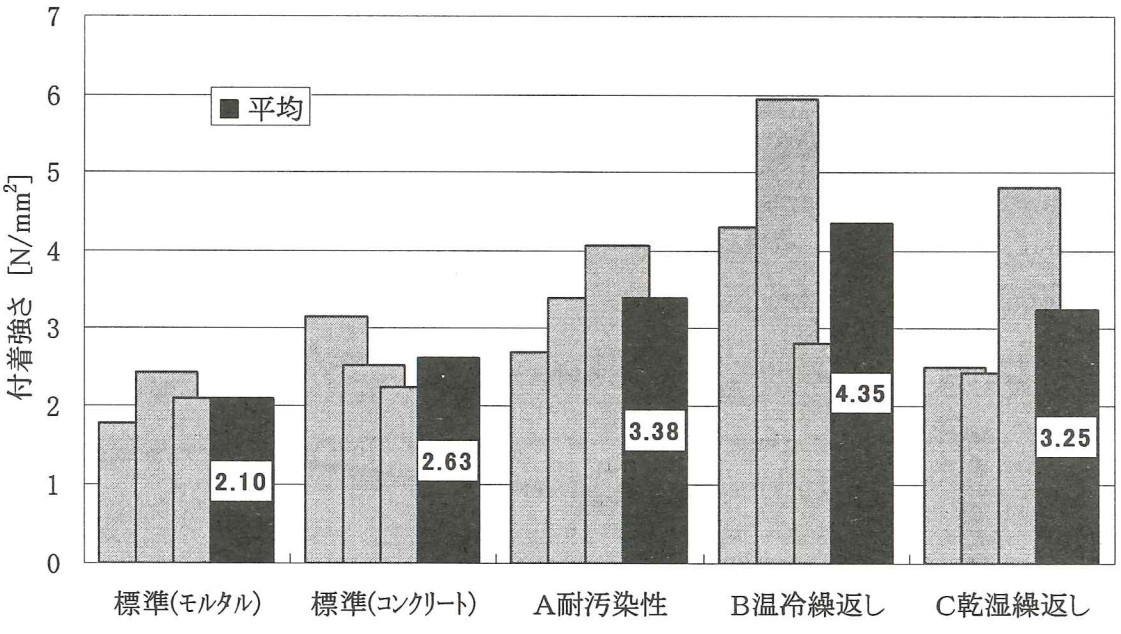


図2－42　耐久性能試験　　層間付着強さ試験結果(付着強さ)

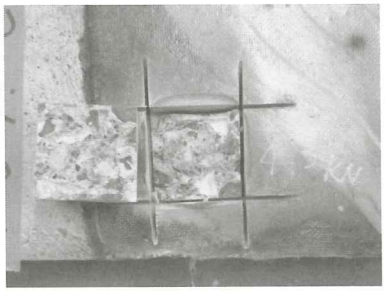
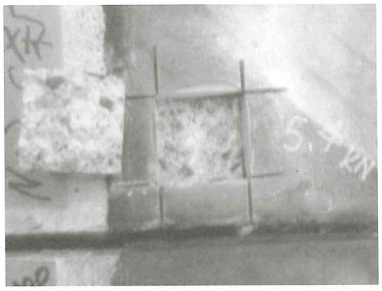
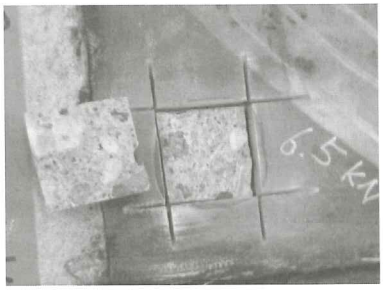
	1	2	3
A 耐汚染性			
B 温冷繰返し			
C 乾湿繰返し			

図２－４３　　耐久性試験－層間付着試験　試験後の破壊状況

第３章　押抜き耐荷力の評価方法

３．１　一般

（１）対象とする覆工コンクリートの変状

本研究で開発したNAV工法は以下に示すトンネル覆工コンクリートのはく落危険箇所に対して対策を行う場合に適用する。

a) ひび割れ箇所　－　特にひび割れが閉合したはく落危険箇所

b) 巣穴、豆板箇所　－　コンクリート中の骨材等のはく落危険箇所

c) その他のはく落危険箇所　－　打音検査で濁音が確認されはく落の危険がある箇所

（２）対象とするはく落規模

NAV工法の適用範囲については第２章の試験結果をもとに３．２で検討する。

３．２　耐荷力の評価

（１）押抜き試験結果による単位はく離強さ

押抜き試験結果より、本工法は押抜きに対して接着したナイロンクロスがはく離進展し、はく離進展が接着範囲の端部に達した時点で耐荷力が決まった。このような破壊形態で耐荷力が決まる場合、耐荷力は単位はく離強さとはく離周長の積で評価できることが報告されている。

本工法の押抜き試験においてもはく離進展時に単位はく離強さがほぼ一定であることを確認した。そこで、本工法の耐荷力は式３－１によって評価できる。

$$\text{耐荷力 } P[\text{N}] = \text{単位はく離強さ } S\ [\text{N/mm}] \times \text{はく離周長 } L[\text{mm}] + P_0 \qquad (\text{式}3-1)$$

小型試験体を用いた押抜き試験結果における単位はく離強さSを表３－１に示す。また、荷重－はく離周長の関係をあらためて図３－１～図３－４に示す。また、この関係を式３－１で近似した時の傾きを単位剥離強さSとして表３－１に示す。

表３－１　　小型試験体を用いた押抜き試験から求めた単位はく離強さS

試験条件		1	2	3	平均
標準養生	単位はく離強さS	5.04	4.41	5.97	**5.14**
	切片値P_0	-418	101	-912	-410
促進負荷A（耐汚染性）	単位はく離強さS	3.79	4.18	3.87	**3.95**
	切片値P_0	-231	-149	-387	-256
促進負荷B（温冷繰返し）	単位はく離強さS	3.00	3.30	3.31	**3.20**
	切片値P_0	-141	-191	-358	-230
促進負荷C（乾湿繰返し）	単位はく離強さS	3.38	3.08	3.59	**3.35**
	切片値P_0	-268	-58	-400	-242

単位：　S[N/mm]、P_0 [N]

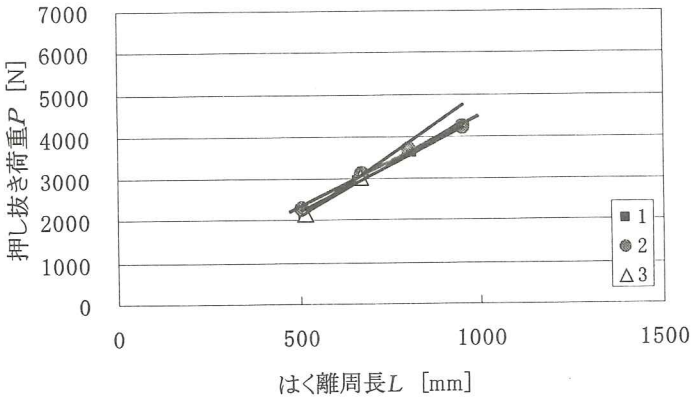


図3－1　単位はく離強さの計算(1)　標準養生後

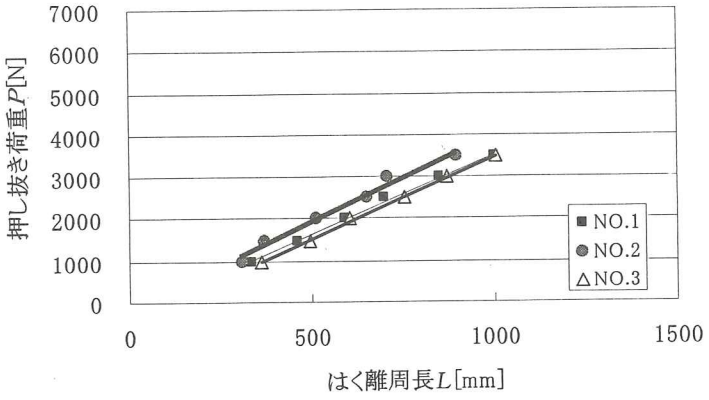


図3－2　単位はく離強さの計算(2)　耐汚染性負荷後

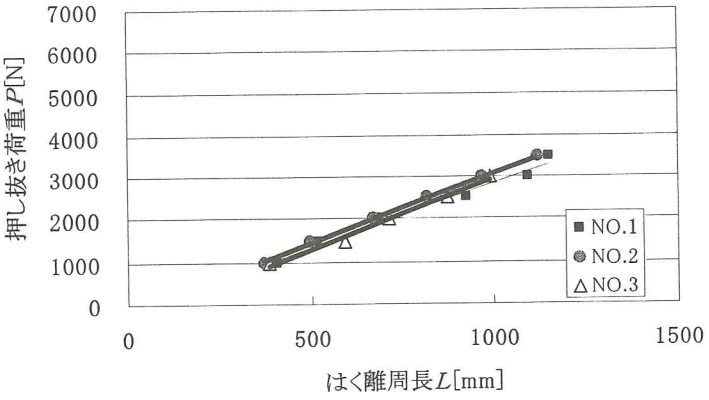


図3－3　単位はく離強さの計算(3)　温冷繰返し負荷後

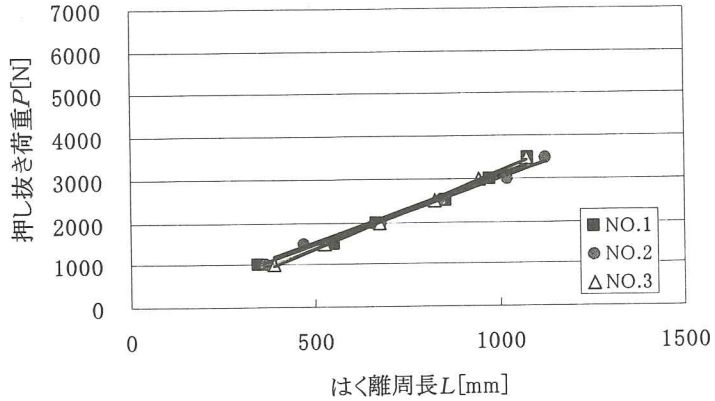


図3－4　単位はく離強さの計算(4)　湿繰返し負荷後

また、大型試験体を用いた押抜き試験結果における単位はく離強さSを以下に求める。

大型試験体では、シートがはく離する際の形状がほぼ円形で進行したことから、はく離した形状を円形と仮定し、押抜き試験後の写真（図３－５）から半径をスケールアップして計測し、計算により間接的にはく離周長を算出した。

はく離周長は、はく離した範囲が写真から判読できる、最大変位115mm（押抜き荷重10.16kN）までの範囲で求める。表３－２に、変位、押抜き荷重、はく離周長と、これらから算出した単位剥離強さSと切片値P_0を示す。大型試験体での押抜き試験は、１供試体のみで実施しているため、この算出結果を大型試験体における代表値とする。図３－６に大型試験体における荷重－はく離周長の関係を示す（比較として、小型試験体（標準養生後）の試験結果を併記する）。

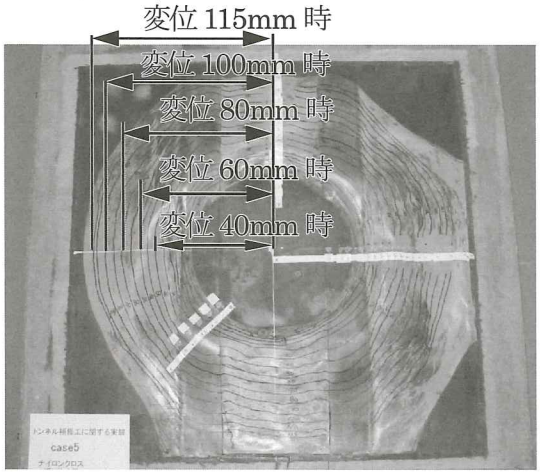


図３－５　大型試験体（平板）ではく離した範囲を円形と仮定した場合の半径計測箇所

表３－２　大型試験体の押抜き試験（平板）から求めた単位はく離強さS

変位 [mm]	押抜き荷重 [N]	写真から計測した半径[mm] ①	はく離周長 [mm] ①×2×π	単位はく離強さ S [N/mm]	切片値 P_0 [N]
40	6318	342	2149	3.17	-440
60	7308	381	2394		
80	8298	443	2783		
100	9288	494	3103		
115	10160	526	3305		

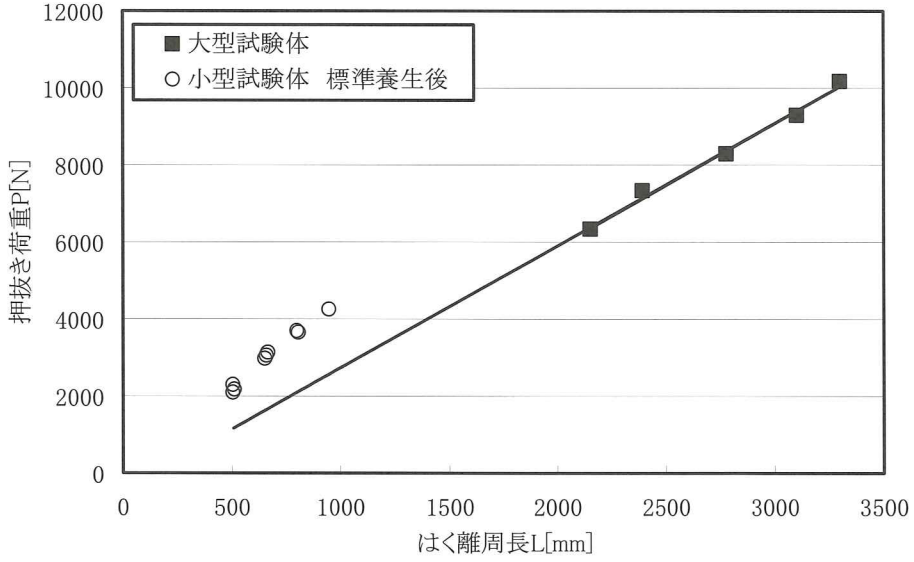


図３－６　単位はく離強さの計算　大型試験体（平板）

（2）NAV 工法の耐荷力

小型試験体および大型試験体を用いた押抜き試験結果から、NAV 工法の耐荷力の評価に必要な単位はく離強さ S を検討する。

小型試験体では、標準養生で平均 5.14[N/mm]の単位はく離強さが得られた。一方、３種類の促進負荷条件では、平均 3.20～3.95[N/mm]の単位はく離強さが得られた。促進負荷の条件によって、ばらつきはあるものの、式３－１に示す、単位はく離強さとはく離周長の関係式で耐荷力を評価することができると考えられる。

また、大型試験体では 3.17[N/mm]の単位はく離強さが得られた。図３－６によると、ほぼ同じ養生条件である小型試験体（標準養生）と比較した場合、両者は似通った傾向を示しており、より大きな押抜き荷重やはく離周長の場合にでも、一つの関係式で耐荷力を評価できると考えられる。

以上から、NAV 工法の耐荷力は、式３－１で評価できるものと考えられ、単位はく離強さ S は大型試験体における値（3.17[N/mm]）を採用する。

大型試験体による試験は、試験体数が少ない（１ケースのみ）ものの、

- より大きな押抜き荷重、はく離周長での傾向を代表している。
- 単位はく離強さが最も小さく、耐荷力の評価が安全側となる。

といった理由からこの値を採用した。

$$\text{耐荷力 } P[\text{N}] = 3.17 \times \text{はく離周長 } L[\text{mm}] - 440 \qquad \text{（式３－２）}$$

よって、NAV 工法が対象とするはく落規模は、想定されるはく落塊（重量 Pi[N]）の周長から式３－２に基づき計算された耐荷力 Pに関して、$Pi < P$ が成立する場合である。

なお、２．２．２（２）大型試験体による押抜き試験結果より、被着面が道路トンネル２車線断面を想定した曲面形状の場合でも、覆工曲面による単位はく離強さの低減は考慮する必要は無いと判断した。

（3）覆工厚ごとのはく落範囲面積ーはく落塊重量の関係

ここでは、NAV 工法の適用範囲に関する式３－２を実際のはく落対策に適用する際の目安を、はく落塊モデルを設定して例示する。式３－２を実際のはく落対策に適用するには、対策対象のはく落規模、すなわち、はく落塊重量およびはく離周長のデータが必要でありそれぞれ以下の通り計算する。

a）はく離周長

図３－７に示すようにはく落塊に外接する長方形をはく落危険範囲と見なし、この長方形の周長、をはく離周長と見なす。

b）はく落塊重量

はく落範囲の面積、覆工厚およびコンクリート単位体積重量（γ_C）の積がはく落塊重量に相当する。NAV 工法の適用範囲の目安を示すため、覆工厚ごとのはく離周長、はく落面積、はく落塊重量及びNAV 工法の耐荷力を図３－６でM=N とした場合について表３－３、図３－８、図３－９に示す。またコンクリートの単位体積重量は22.5[kN/m3]とした。

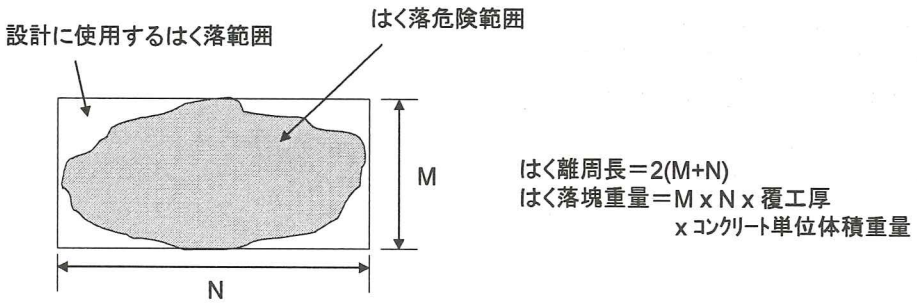


図３－７　はく落塊のモデル図

表３－３　覆工厚ごとのはく離周長、はく落範囲面積、はく落塊重量

はく落範囲周長[m]	はく落範囲面積[m^2] ＼ 覆工厚	はく落塊重量 [kN]						
		10cm	20cm	30cm	40cm	50cm	60cm	70cm
0.5	0.016	0.04	0.07	0.11	0.14	0.18	0.21	0.25
1.0	0.063	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	1.0
1.5	0.141	0.3	0.6	0.9	1.3	1.6	1.9	2.2
2.0	0.250	0.6	1.1	1.7	2.3	2.8	3.4	3.9
2.5	0.391	0.9	1.8	2.6	3.5	4.4	5.3	6.2
3.0	0.563	1.3	2.5	3.8	5.1	6.3	7.6	8.9
3.5	0.766	1.7	3.4	5.2	6.9	8.6	10.3	12.1
4.0	1.000	2.3	4.5	6.8	9.0	11.3	13.5	15.8
4.5	1.266	2.8	5.7	8.5	11.4	14.2	17.1	19.9
5.0	1.563	3.5	7.0	10.5	14.1	17.6	21.1	24.6
5.5	1.891	4.3	8.5	12.8	17.0	21.3	25.5	29.8
6.0	2.250	5.1	10.1	15.2	20.3	25.3	30.4	35.4
6.5	2.641	5.9	11.9	17.8	23.8	29.7	35.6	41.6
7.0	3.063	6.9	13.8	20.7	27.6	34.5	41.3	48.2
7.5	3.516	7.9	15.8	23.7	31.6	39.6	47.5	55.4
8.0	4.000	9.0	18.0	27.0	36.0	45.0	54.0	63.0

（備考）　M=N と仮定した。

NAV 工法の適用検討の対象となる範囲は、大型試験体で確認できた最大耐荷力（11.8kN）までとし、式３－２と表３－３を同一の図として示した図３－８で、式３－２の直線より下方に位置する範囲（Pi＜P）が目安となる。図３－９は図３－８から計算した覆工厚さごとの適用可能なはく離周長を示したものである。なお、この範囲を超えて適用する際は、別途シートの耐荷力を確認するための実験を実施するか、他の対策工との併用などを検討する必要がある。

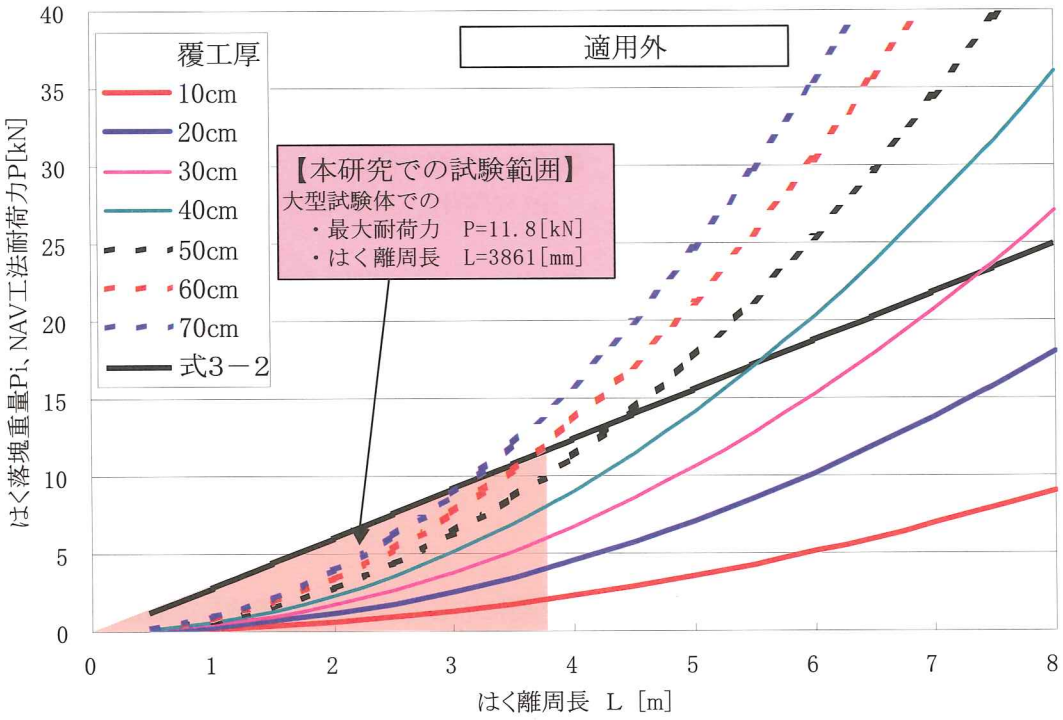


図３－８　NAV 工法の適用検討範囲（はく落塊周長の関係）

（※本研究での試験範囲を超える場合は、耐力の確認試験を行うか、他対策工との併用を検討すること）

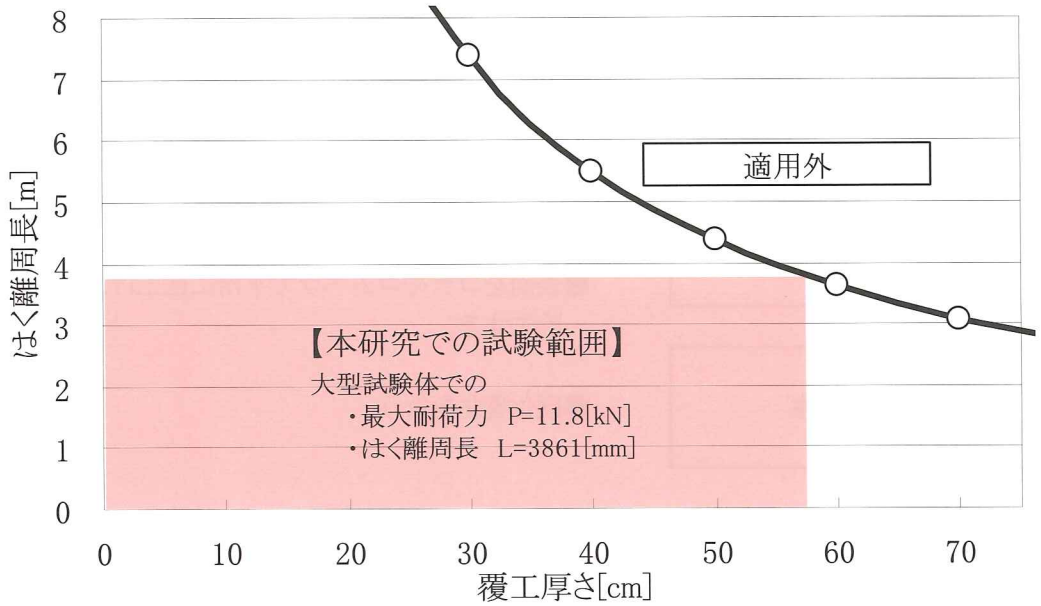


図３－９　NAV 工法の適用検討範囲（覆工厚さとはく落塊周長の関係）

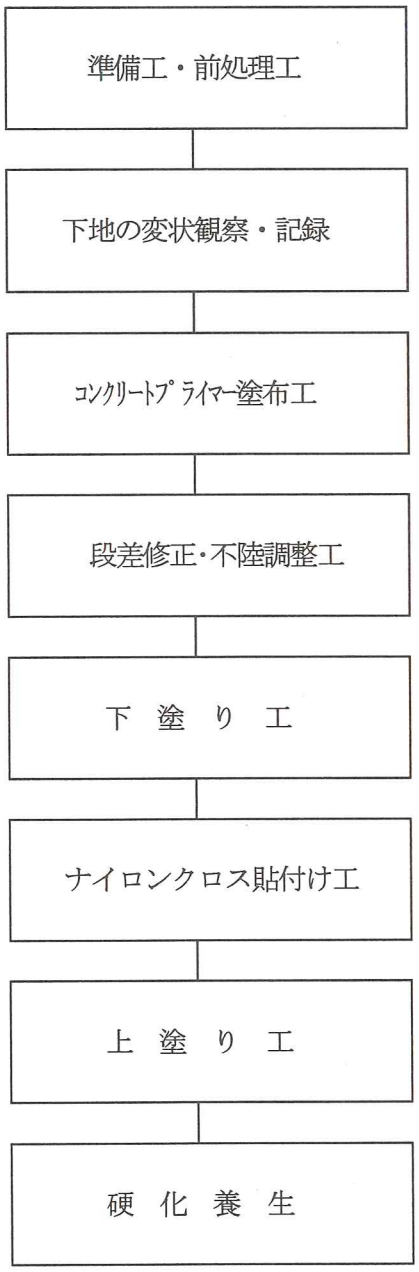
（※本研究での試験範囲を超える場合は、耐力の確認試験を行うか、他対策工との併用を検討すること）

第4章　施　工

4．1　施工手順

4．1．1　施工フロー

NAV 工法の施工は図４－１に示す施工フローによる。



●コンクリート表面の洗浄、乾燥、研磨処理
●段差、欠損部修正
※ひび割れ、欠損（大）は、事前に処理を行う。

●記録が必要な下地の変状を観察し記録する。

●DK550-003 をローラー塗布する。

●必要に応じて AS380 で増粘した DK550-04 で段差修正処理する

●DK550-04 をローラー塗布する。

●FTS-NY-20BW を貼付け、ゴムベラやローラーで押さえを行う。

●DK550-003 をローラー塗布する。
●表面をコテやゴムベラで平滑に仕上げ、余分な材料を除去する。

●硬化養生を行う。

図４－１　　施工フロー

4．1．2　作業方法

以下に NAV 工法の標準的な施工の作業手順を示すが、ここで特殊な条件（覆工面の漏水等）は考慮していない。

（1）準備工・前処理工

コンクリート面の表面処理

- コンクリート面に付着している汚れやレイタンス等の脆弱層をディスクサンダーで取り除き、繊維接着範囲全体にわたって細骨材を露出させる（図４－２参照）。コンクリートの粉末は圧縮空気やエアブローで取り除く。
- ディスクサンダー処理は、＃４０より目の粗いペーパー、ダイヤモンドホイールディスクまたはドライカップディスクの使用を標準とする。

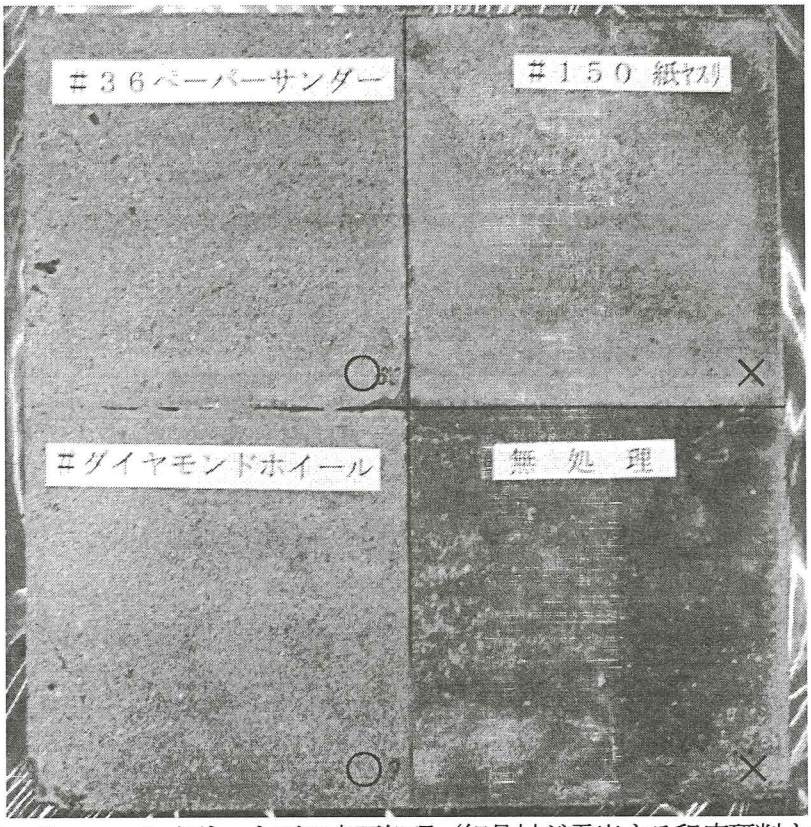


図４－２　　コンクリート面の表面処理（細骨材が露出する程度研削する）

（2）施工前の変状観察・記録

- トンネルの保全管理に必要なひび割れやジャンカ等の観察及び記録（計測値、写真）を行う。

（3）コンクリートプライマー塗布工

計量・混合・塗布

- DK550-003 のＡ剤／Ｂ剤を混合容器中に必要量はかり取り電動ミキサーなどで色が均一になるまで混合する。
- 混合した DK550-003 をナイロンクロス接着位置のコンクリート面にローラーで均一に塗布する。

表4－1　コンクリートプライマー塗布工要領

材料名	混合比（重量）	混合方法	標準塗布量	施工器具
DK550-003	A剤:B剤 = 1:1	電動ミキサー/1分	0.2kg/m^2	ローラー

（4）段差修正・不陸調整工

繊維接着の障害となるような段差、不陸は以下にしたがって処理し平滑化する。

計量・混合・塗布

・DK550-04のA剤／B剤を混合容器中に必要量はかり取り電動ミキサーなどで色が均一になるまで混合し、さらに増粘材AS-380を添加し電動ミキサーなどで全体が均一になるまで混合する。

・金ゴテ、ゴムゴテ等を用いてコンクリートの段差、不陸部分に塗り込む。

表4－2　段差修正・不陸調整工要領

材料名	混合比(重量)	混合方法	標準塗布量	施工器具
DK550-04 及びAS380	A剤:B剤:AS380 = 100:100:6	ﾊﾝﾄﾞﾐｷｻｰ/2分	0.3kg/m^2	ローラー ゴムベラ

（5）ナイロンクロス接着工

①下塗り／計量・混合・塗布

・DK550-04のA剤／B剤を混合容器中に必要量はかり取り電動ミキサーなどで色が均一になるまで混合する。

・混合したDK550-04をローラーやゴムベラ等で均一に塗布する。

表4－3　繊維接着工　下塗り要領

材料名	混合比(重量)	混合方法	標準塗布量	施工器具
DK550-04	A剤:B剤 = 1:1	電動ﾐｷｻｰ/1分	0.3kg/m^2	ローラー

②ナイロンクロスの接着／継ぎ重ね

・ナイロンクロスの切断は重ね合わせ部分を含めて寸法採りを行う。

・下塗りのDK550-04塗布後、ナイロンクロスを直ちに塗布面に貼り付け、シート表面を繊維方向へゴムベラや脱泡ローラーでしごき、シートのたるみをとると同時に繊維接着剤を繊維の中に含浸させる。

・本工法で用いるナイロンクロスは2方向シートなので重ね継ぎはいかなる方向にも100mm以上確保する。

③上塗り／計量・混合・塗布

・DK550-003のA剤／B剤を混合容器中に必要量はかり取り電動ミキサーなどで色が均一になるまで混合する。

・混合したDK550-003をローラーやゴムベラ等で均一に塗布する。

・上塗りの作業後、繊維接着剤の硬化までに繊維のフクレ、シワ、ヨレ等が発生したら直ちに修正を行う。

表4－4　繊維接着工　上塗り要領

材料名	混合比(重量)	混合方法	標準塗布量	施工器具
DK550-003	A剤:B剤 = 1:1	電動ﾐｷｻｰ/1分	0.2kg/m^2	ローラー

（6）硬化養生

施工樹脂の硬化養生を行う。

４．２　施工時の安全衛生

NAV 工法施工時の安全衛生については、人体に対する安全性及び環境衛生検証した。

４．２．１　材料の人体に対する安全性

ここではNAV 工法を施工する場合の材料の作業者に対する安全性について検証した結果を述べる。

（1）繊維基材：ナイロンクロス FTS-NY-20BW

繊維基材の原糸であるナイロンは合成繊維として最も一般的な繊維のひとつで衣服をはじめとして種々の用途で用いられている。ナイロンクロスは繊維状の固体であり、常温では気化したり、火炎がなければ燃焼しない。

通常作業においては作業者がナイロンクロスと直接接触してもかぶれ、中毒、やけど等の健康被害は考えられない。

（2）施工樹脂：DK550-003 及び DK550-04

施工樹脂の DK550-003 及び DK550-04 は常温で液体の化学物質の混合物であり、消防法危険物第４類引火性液体第３石油類に指定される。工事に従事する作業者に対しては以下について考慮する必要があり、それぞれについて安全性を検証する。

a) 材料との接触によるかぶれ
b) 蒸気吸引による中毒
c) 着火源による燃焼による火災、やけど

a) 材料との接触によるかぶれ

DK550-003 及び DK550-04 についてかぶれやすさの目安となる一次皮膚刺激性試験は実施していないが、この２つの材料を構成する主要成分を含有する DK530 及び DK540 についてのウサギの皮膚における皮膚一次刺激性試験（試験機関：(株) 帝人バイオラボラトリーズ、試験方法：ＯＥＣＤガイドライン（１９８１）に準拠）を実施している。その結果を表４－５に示す。

表４－５　　皮膚刺激性試験結果

被検材料		皮膚一次刺激性 P.I.I 値
DK530	A剤	0
	B剤	２．０
DK540	A剤	0
	B剤	１．９
比較ｴﾎﾟｷｼ樹脂	主剤	0
	硬化剤	範囲外（皮膚組織壊死）

参考：　P.I.I 値は 0～8 の範囲で、大きいほど皮膚刺激性が高い
　　ポルトランドセメントペーストは P.I.I 値=約２

表４－５より DK550-003 及び DK550-04 のかぶれやすさは DK530 及び DK540 やセメントペーストと同レベルであると推定する。また、一般に土木分野で施工材料としても使用されているエポキシ樹脂と比較しても皮膚刺激性が小さいと推定する。

b) 蒸気吸引による中毒

DK550-003 及び DK550-04 は液体であり、常温では成分化学物質は蒸気圧を持っている。これら２材料を構成する化学物質で揮発が考えられる２成分（メタクリル系モノマー１，２とする）の沸点データ、許容濃度を表４－６に示す。

表４－６　DK550-003 及び DK550-04 の揮発成分の沸点

成　分　名	沸点［□］	許容濃度[ppm]
メタクリルモノマー１	95(1.33kPa)	設定されていない
メタクリルモノマー２	150(2.5kPa)	設定されていない

1.33kPa=10mmHg，大気圧は 760mmHg

DK550-003 及び DK550-04 の揮発成分の沸点は低圧力下でさえ 100□前後以上であり、大気圧下ではほとんど蒸気圧がなく、非常に揮発しにくく、作業環境を汚染しにくいといえる。また表４－６に示した成分については労働安全上の許容濃度が設定されていないことも含めて考えると、常温では DK550-003 及び DK550-04 の蒸気による中毒はほとんど考えられない。

c) 着火源による燃焼による火災、やけど

DK550-003 及び DK550-04 は消防法危険物第４類引火性液体第３石油類に指定される。工事の現場でスパーク等による引火によるやけどの可能性について検証する。DK550-003 及び DK550-04 で引火の可能性があるのでは表４－６で示した２成分である。表４－７に、これら２成分と比較としてエタノールの引火点データを示す。

表４－７　DK550-003 及び DK550-04 の引火点

成　分　名	引火点［□］	消防法危険物分類
メタクリルモノマー１	108	第四類第三石油類
メタクリルモノマー２	160	第四類第三石油類
エタノール（比較）	12.8	第四類第一石油類

参考：　第一石油類は引火点が 21□未満、第三石油類は引火点が 70℃以上、200℃未満

NAV 工法の施工で使用する樹脂材料で引火の可能性のある成分の引火点は 100℃以上であり、実際の工事現場では裸火に長時間さらされる等のことがない限り、引火による火災、やけどの可能性はほとんど考えられない。

４．２．２　環境衛生

環境衛生の主要なものとしては施工物からの環境への有害物質の溶出が挙げられる。その代表的なものとして生態系に影響を及ぼす環境ホルモン物質溶出に関しての試験結果を示す。対象物質としては、ビスフェノールＡ（エポキシ樹脂の原料）、ノニルフェノール（合成洗剤の原料）、ＤＯＰ（プラスチック可塑剤）の３種である。表４－８に DK550 として実施した溶出試験結果を示す（実施機関：財団法人日本食品分析センター、試験方法：JWWA149(2004)「水道用コンクリート水槽内 FRP ライニング材料」に準拠。報告年月日：平成 16 年 5 月 20 日）。

表４－８　施工樹脂材料硬化物の環境ホルモン物質溶出試験結果

分析化学物質	結　果	検出限界
DOP(ﾌﾀﾙ酸-2-ｴﾁﾙﾍｷｼﾙ)	検出せず	0.1 mg / L
ノニルフェノール	検出せず	0.01 mg / L
ビスフェノールＡ	検出せず	0.0005 mg / L

４．２．３　施工時の安全衛生まとめ

以上考察したとおり、NAV 工法の使用材料は、通常の工事現場での施工作業・取扱いにおいては人体（作業者）に対する安全性が高く、施工後に主要な環境ホルモン物質を溶出しないので環境衛生に優れる。

４．３　開発工法の施工上の特徴

NAV 工法は従来の炭素繊維接着工法と比較して、使用する繊維シートが異なる、材料使用料が少なく、工程の途中に硬化養生工程を含まない特徴があるため、工期短縮や工費低減が期待できる。

第5章　まとめ

本研究で開発したNAV工法の特徴を可視性、耐荷力、施工性、経済性の4点について、以下に要約する。

（1）可視性

NAV工法の可視性は、使用するナイロンクロスを接着剤でコンクリート躯体へ貼り付けた場合、高い透明性を有するFRP層となるため、コンクリートのひび割れ等の変状観察が施工面全体にわたって可能である。また、NAV工法では、道路トンネルが曝される環境を想定した促進負荷を与えても可視性が低下しなかったことから、長期間において可視性が確保できると考えられる。

（2）耐荷力

NAV工法では、押抜き荷重に対して接着したナイロンクロスがはく離進展し、そのはく離進展が接着範囲の端部に達して耐荷力が決まることから、耐荷力は単位はく離強さとはく離周長の積で評価可能である。NAV工法における単位はく離強さ（覆工表面が乾燥した状態で接着した場合）は、温冷繰り返しや乾湿繰り返しが無い場合には平均 5.14N/mm で、温冷繰り返しや乾湿繰り返し促進負荷を受けた場合（JIS A 6909、JIS A 6024）には3.20～3.35N/mm であった。また、大型試験体による押抜き試験においては、最大で 11.8kN の耐荷力が確認できた。小型試験体と同様に、単位はく離強さとはく離周長の積で評価可能であると考えられ、単位はく離強さは 3.17N/mm を得た。ここで、NAV 工法の適用範囲は、基本的に、本研究で実施した押抜き試験の範囲内（最大 11.8kN）とする。この範囲を超えて適用する際は、別途シートの耐荷力を確認するための実験を実施するか、他の対策工との併用などを検討する必要がある。また、施工箇所の覆工コンクリートの健全度や覆工厚さ、外力による変位の有無などの現場条件を十分に調査する必要がある。なお、NAV 工法を2車線道路トンネルに適用するに際しては、2車線道路トンネルを想定した曲面板での押抜き試験結果が平板での結果と大差の無かったことから、平板での押抜き試験結果を利用して耐荷力の評価を行うがことが可能である。

（3）施工性

NAV 工法では、接着樹脂の硬化養生期間が、繊維接着剤の上塗り工後だけであり、従来の繊維接着工法に比べて、硬化養生時間が短い。（従来の繊維接着工法では、各工程間の樹脂硬化養生時間の累計時間が長い。）

（4）経済性

NAV工法では、ナイロンクロスを使用することにより、従来の炭素繊維シート接着工法と比較して以下に示す経済性を有する。

・ナイロンクロスの材料価格は炭素繊維シートの材料価格の約10分の1である。
・ナイロンクロスは2方向クロスのため、1回の接着で直交する2方向への施工が可能である。
・ナイロンクロスの接着は1回のため、樹脂材料の使用量が少なくなる。

（5）まとめ

本研究で開発したNAV工法は、従来の炭素繊維接着工法と比較して、①可視性を有する、②同等の耐荷力を有する、③施工効率が良い、④経済的である、という特徴を持つ。

既設トンネルの補修技術の開発に関する共同研究報告書

参考資料

参考資料－１　ナイロンクロスの性状例
参考資料－２　NAV 工法選定までに試験した材料とその性能（室内試験データ）

参考資料－１

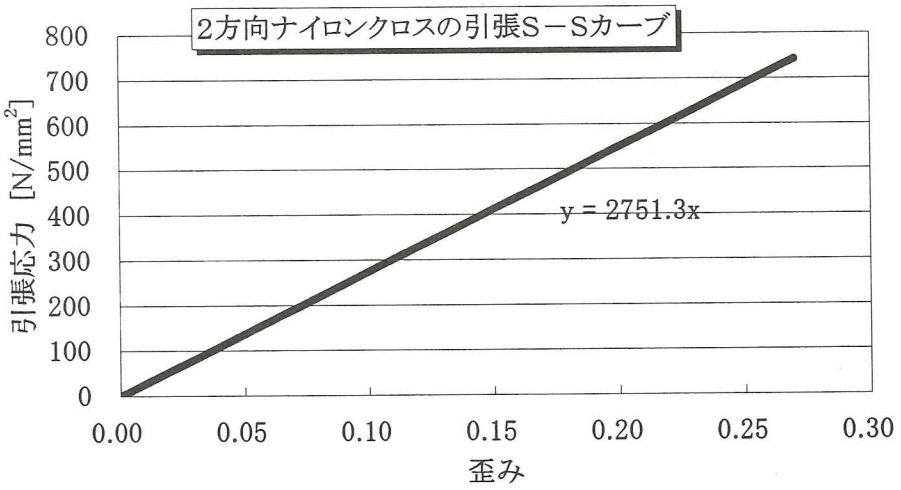
ナイロンクロスの特性例

参考資料－１　　使用材料の性状例

2方向ナイロンクロスの基本性能

項目＼品番		FTS-NY-20BW	
		経	緯
材質		6，6－ナイロン	
目付	[g/m^2]	160以上（1方向あたり80以上）	
設計厚み	[mm]	1方向あたり0．07	
引張強度	[N/5cm]	2600	2600
引張伸度	[%]	(27)	(27)
※引張弾性率	[N/mm^2]	2751	2751

※引張弾性率は計算値、それ以外はカタログ値



参考資料－２

NAV 工法選定までに試験した材料とその性能（室内試験データ）

参考資料－２

NAV工法選定までに試験した材料と
その性能（室内試験データ）

参考資料－２　　NAV 工法選定までに試験した材料とその性能（室内試験データ）

１．繊維シート接着はく落防止工の材料および試験項目

繊維シート接着はく落防止工の室内試験に関する材料および試験項目を表１に示す。なお、繊維シート用接着剤はアクリル樹脂系接着剤で、表２に示す通りである。

表１　繊維シート接着はく落防止工の材料の試験項目

試験番号	はく落防止対策の内容 材料の種類他	繊維シートのメッシュ形状	試験項目		
			押抜き試験		付着試験
			耐荷力	伸び	
case-1	**繊維接着工法** 炭素－ビニロン繊維メッシュ	10x10mm ２方向メッシュ	○	○	○
case-2	**繊維接着工法** アラミド繊維メッシュ	5x5mm ２方向メッシュ	○	○	○
case-3	**繊維接着工法** ガラス繊維組布	４方向組布	○	○	○
case-4 =NAV 工法	**繊維接着工法** ナイロン繊維クロス	２方向クロス	○	○	○
case-5	**繊維接着工法** ビニロン繊維メッシュ	8x8mm ２方向メッシュ	○	○	○
case-6	**ひび割れ注入＋繊維接着工法** 低弾性樹脂注入＋ ビニロン繊維メッシュ	8x8mm ２方向メッシュ	○	○	－

○はｎ＝３で実施。

表２　試験体作製に使用した樹脂材料

材料区分	品番	使用量 [kg/m²]	備考
ｺﾝｸﾘｰﾄﾌﾟﾗｲﾏｰ	DK550-003R	0.2	変性アクリル樹脂
繊維接着剤－下塗り	DK550-04R	0.5	変性アクリル樹脂
繊維接着剤－上塗り	DK550-04R		変性アクリル樹脂
低弾性注入材(case-6)	弾性ロックＲ	－	変性アクリル樹脂、伸び 200%以上

２．試験方法

２．１　押し抜き試験　　報告書本文「２．２　性能」で記載した方法と同様。

２．２　付着試験　　報告書本文「２．２　性能」で記載した方法と同様。

３．試験結果

全試験結果の一覧を表３に示す。

図１～図６に、全試験の押抜き試験時の荷重－変位曲線を示す。

図７～図１２に、全試験の押抜き試験後の繊維シート剥離の状況と各変位での剥離周長の状況を示す。

図１３～１５に case-1～5 の付着試験結果を各養生条件ごとに示す。

表３　繊維シート接着はく落防止工の室内試験結果一覧

試験No.	供試体	押抜き試験			付着試験								
					標準養生			半水中養生			温冷繰返し養生		
		最大荷重 [kN]	最大荷重時変位 [mm]	10mm変位時荷重 [kN]	破壊荷重 [N]	付着強さ [N/mm^2]	破壊状態 注1)	破壊荷重 [N]	付着強さ [N/mm^2]	破壊状態 注1)	破壊荷重 [N]	付着強さ [N/mm^2]	破壊状態 注1)
case-1	1	5.36	21.56	3.19	1622	1.01	A	3708	2.32	A	200	0.13	AB
	2	6.60	21.98	3.39	2912	1.82	A	3258	2.04	A	170	0.11	AB
	3	5.46	21.39	2.85	2612	1.63	A	2902	1.81	A	0	0.00	AB
	平均	5.81	21.64	3.14		1.49			2.06			0.08	
case-2	1	5.12	27.17	2.91	3045	1.90	A	3660	2.29	A	205	0.13	AB
	2	5.13	26.31	2.78	2962	1.85	A	3100	1.94	A	810	0.51	AB
	3	4.35	22.20	2.67	2822	1.76	A	3265	2.04	A	1015	0.63	AB
	平均	4.87	25.23	2.79		1.84			2.09			0.42	
case-3	1	4.03	9.16	-	2910	1.82	A	3470	2.17	AB	320	0.20	AB
	2	4.77	11.94	3.04	3060	1.91	A	4008	2.51	A	1118	0.70	AB
	3	3.04	8.69	-	3265	2.04	A	2758	1.72	AB	0	0.00	AB
	平均	3.95	9.93	3.04		1.92			2.13			0.30	
case-4	1	3.96	16.14	2.98	2837	1.77	A	3385	2.12	A	2620	1.64	AB
	2	4.37	19.43	3.12	3870	2.42	A	3682	2.30	A	598	0.37	AB
	3	3.52	13.34	3.06	3352	2.10	A	2802	1.75	AB	178	0.11	AB
	平均	3.95	16.30	3.05		2.10			2.06			0.71	
case-5	1	2.18	34.88	1.13	3225	2.02	A	4045	2.53	A	3472	2.17	A
	2	2.12	29.05	1.23	3582	2.24	A	3438	2.15	A	3510	2.19	A
	3	2.18	21.31	1.54	2438	1.52	A	3430	2.14	A	0	0.00	AB
	平均	2.16	28.41	1.30		1.93			2.27			1.45	
case-6 注2)	1	8.57	6.73	7.36									
	2	8.07	7.52	6.66									
	3	7.62	9.78	6.92									
	平均	8.09	8.01	6.98									

注1）破壊状態の表記方法は報告書本文の図2－22にしたがった。

注2）case-6の押抜き試験は試験板のU字溝ふたに曲げ破壊が発生した（3体とも）。

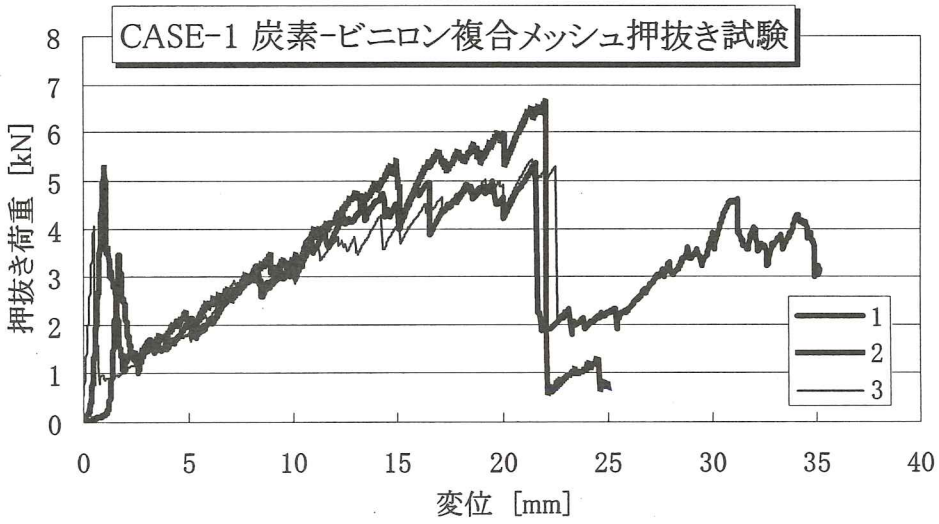


図1　case-1 押抜き試験の荷重－変位曲線

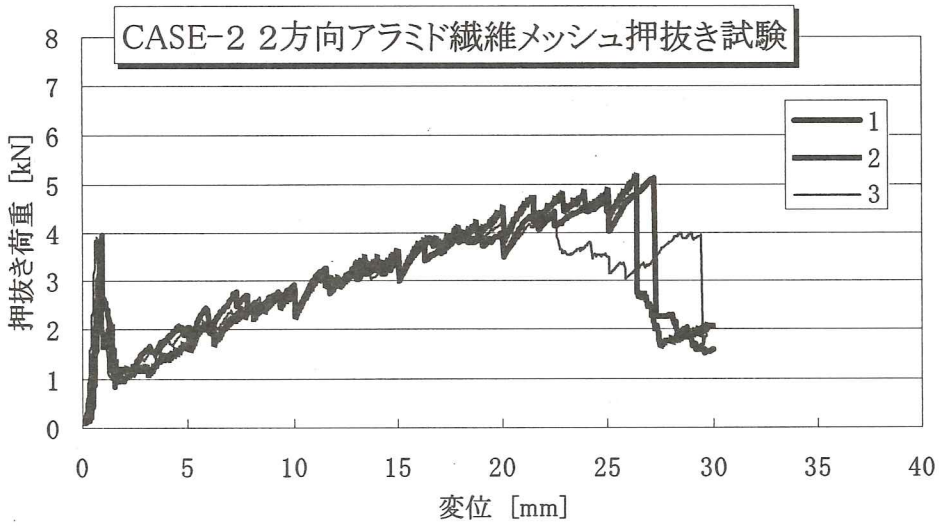


図2　case-2 押抜き試験の荷重－変位曲線

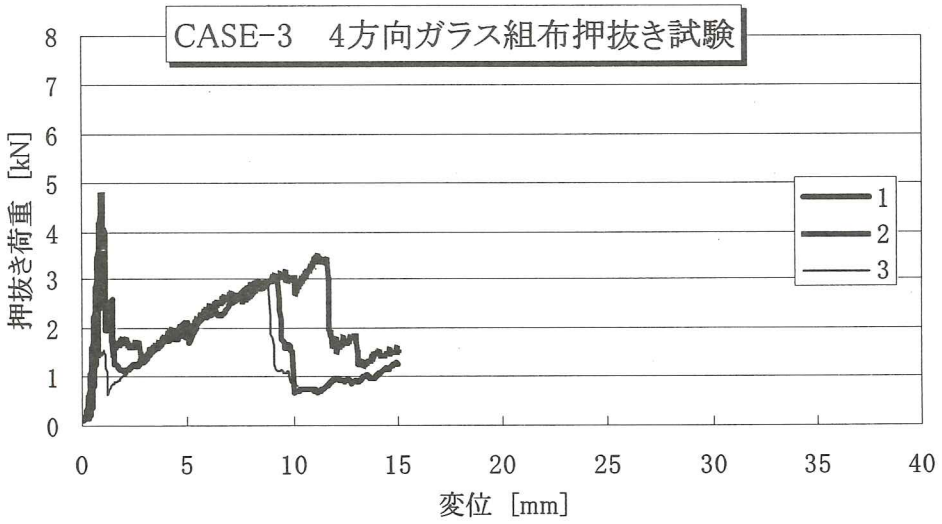


図3　case-3 押抜き試験の荷重－変位曲線

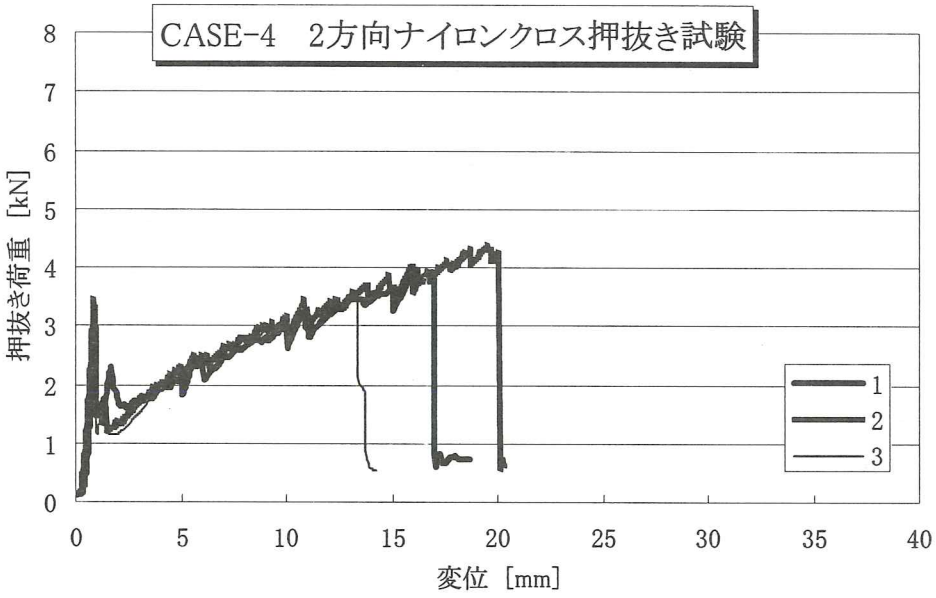


図4　case-4 押抜き試験の荷重－変位曲線

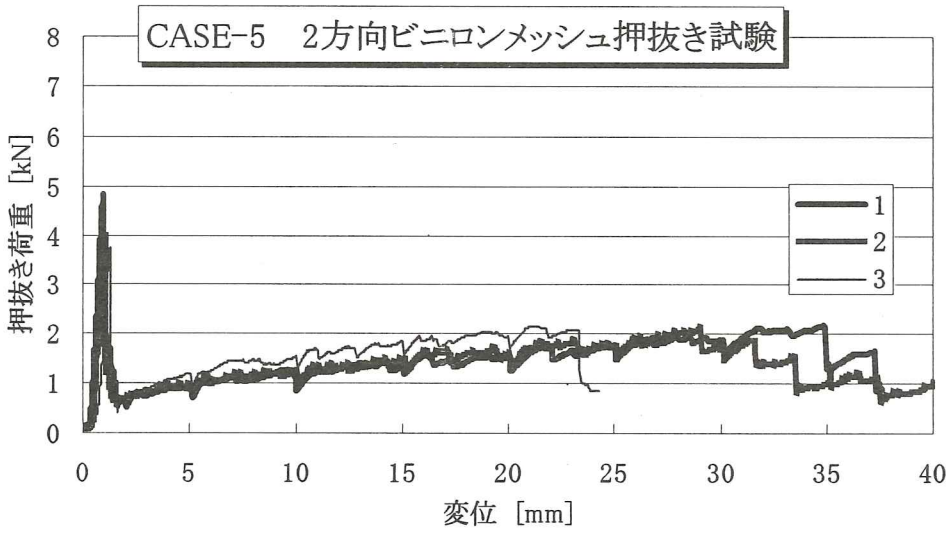


図5　case-5 押抜き試験の荷重－変位曲線

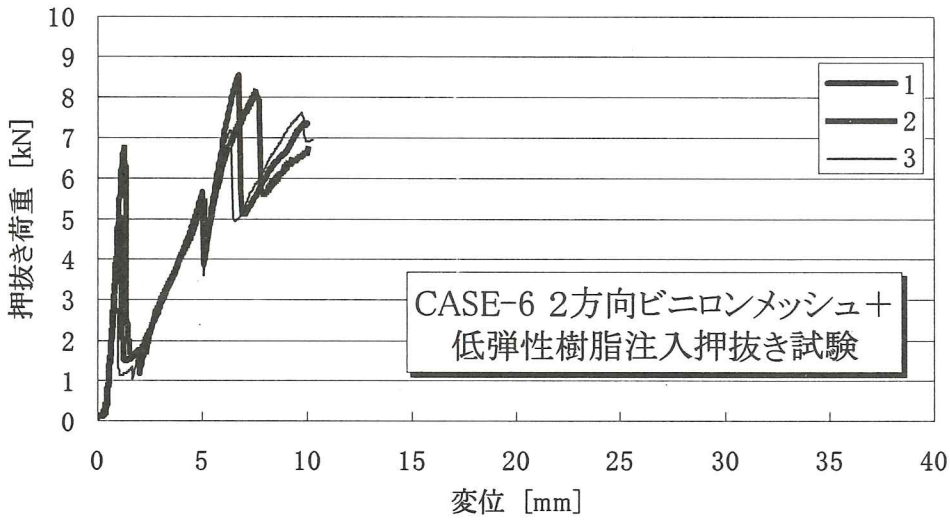
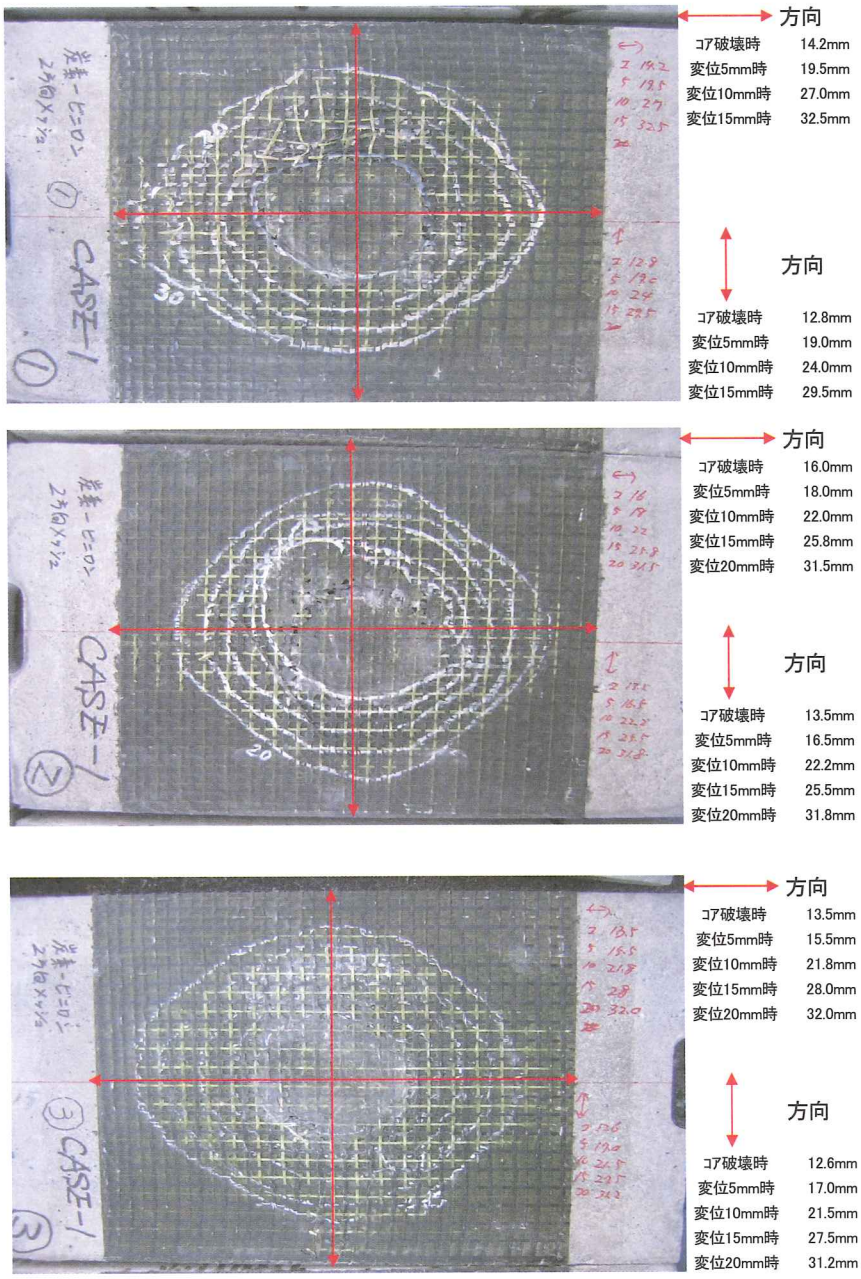


図6　case-6 押抜き試験の荷重－変位曲線



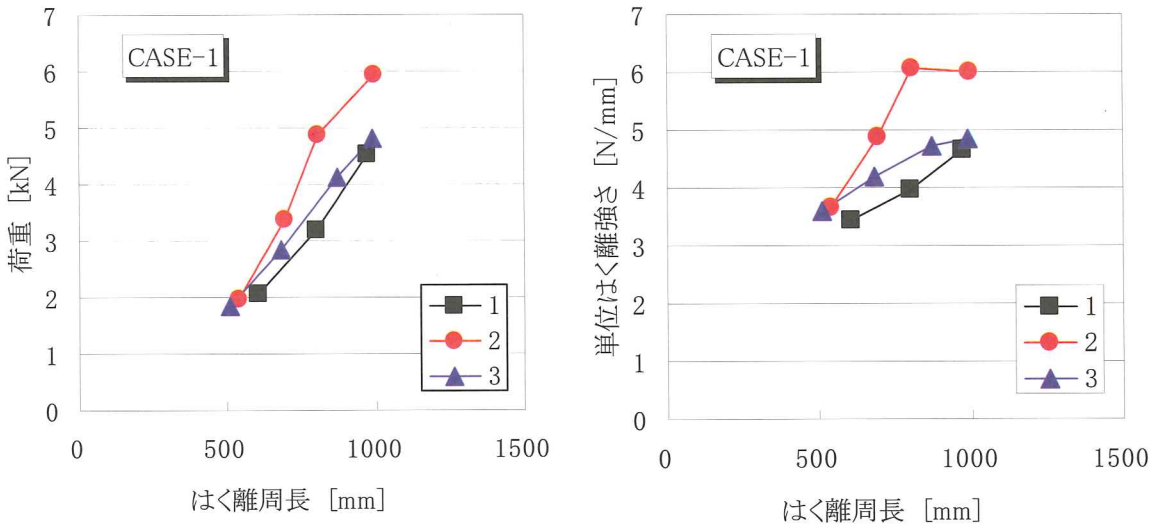
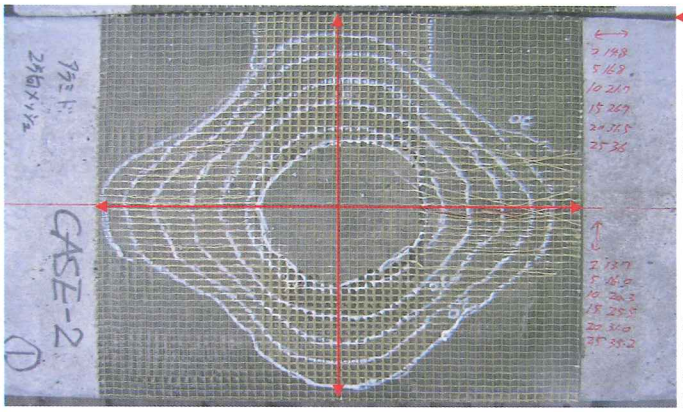
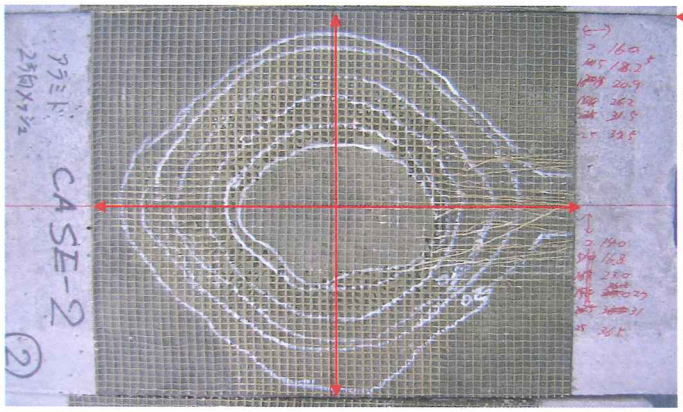
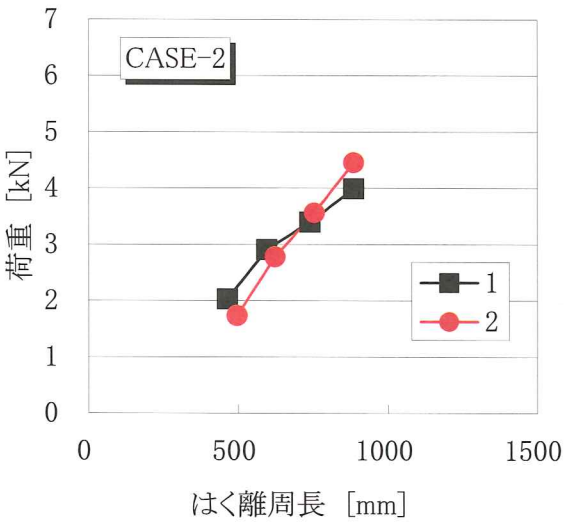


図7　case-1　押抜き試験後の繊維シート剥離の状況







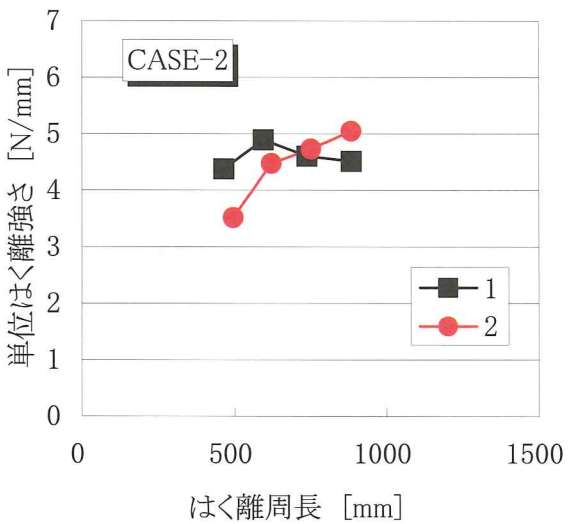
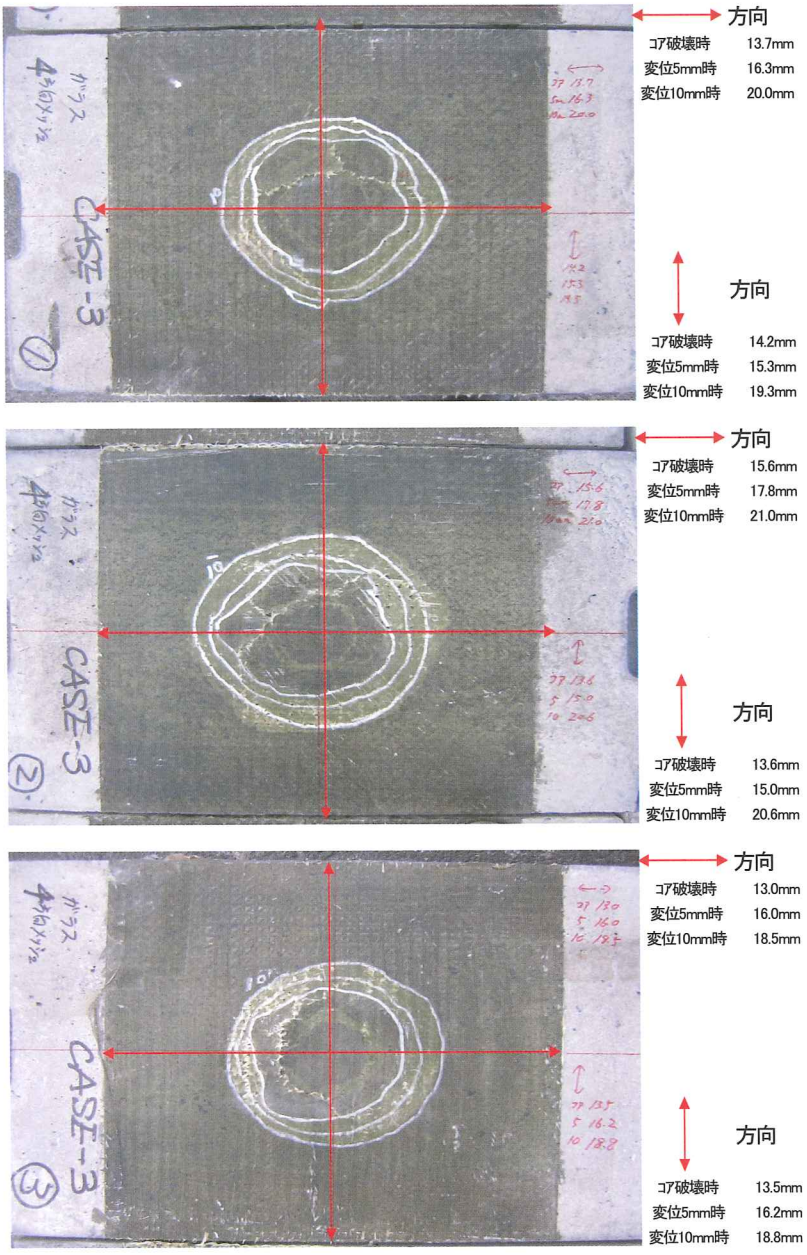


図８　　case-2　押抜き試験後の繊維シート剥離の状況



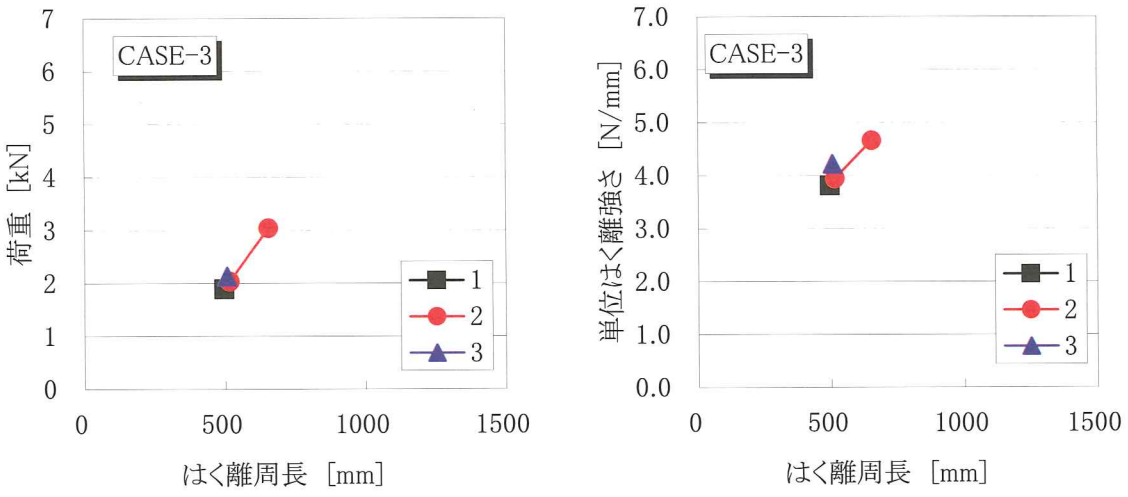
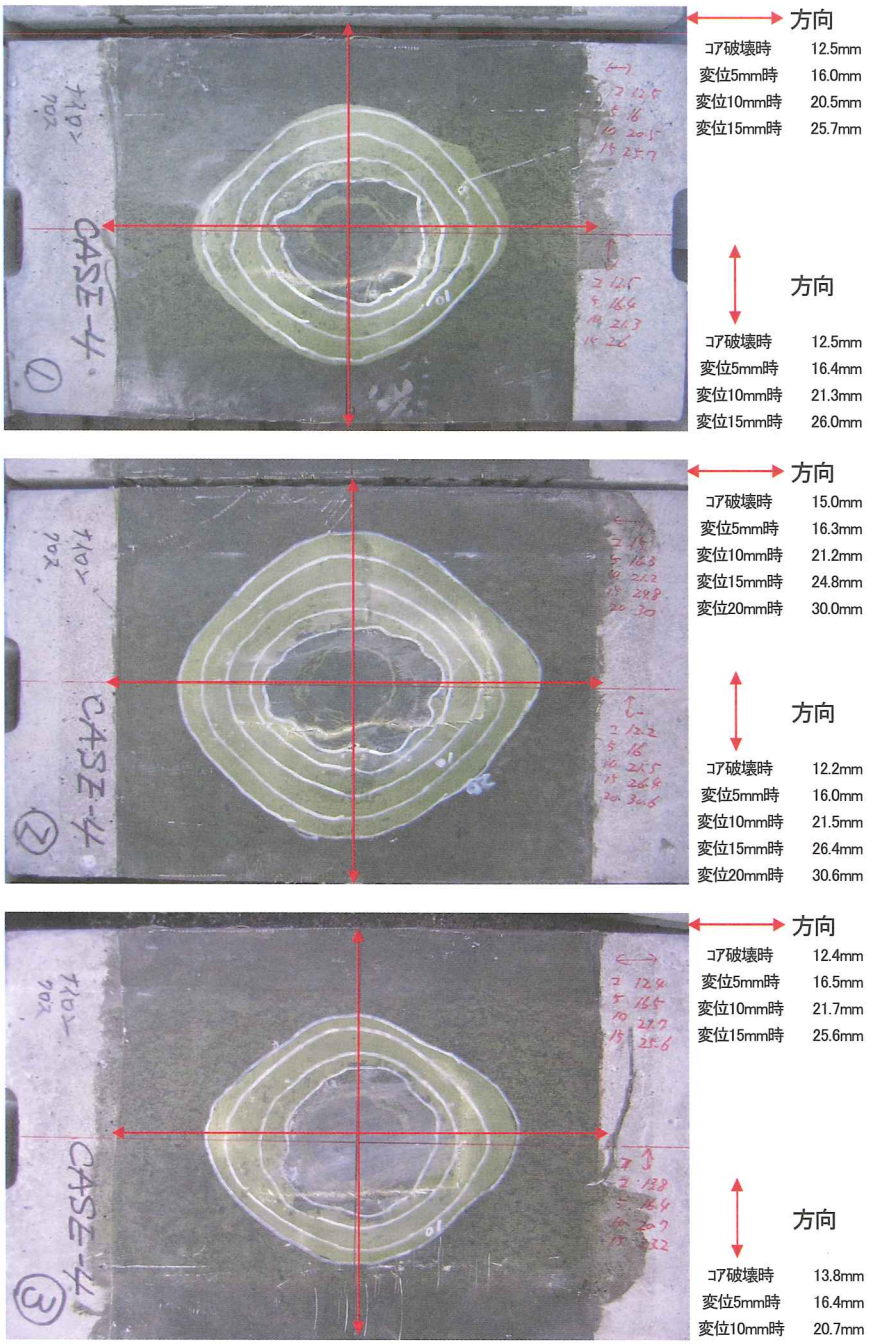


図9　case-3　押抜き試験後の繊維シート剥離の状況



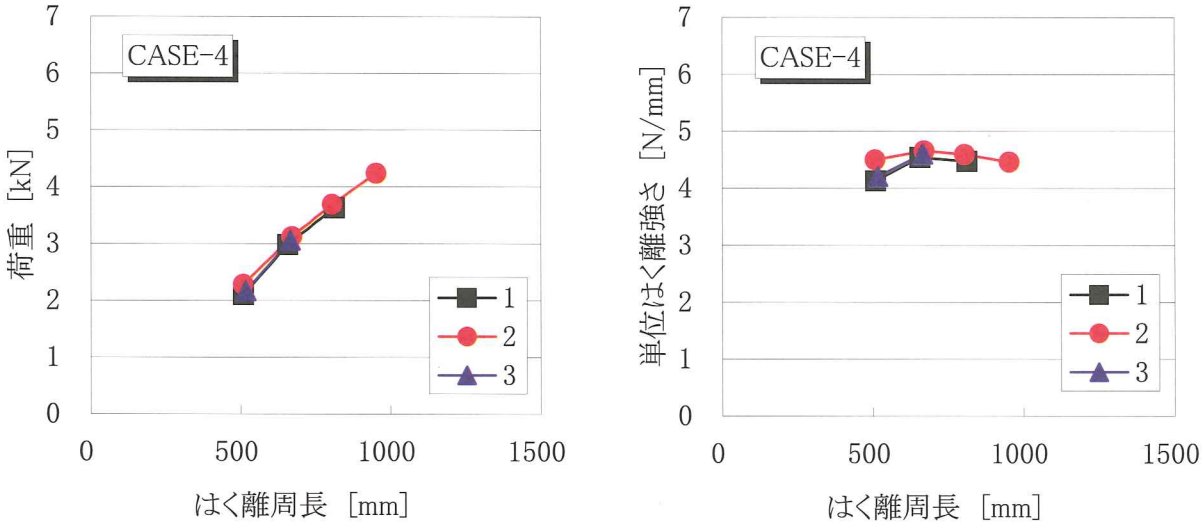
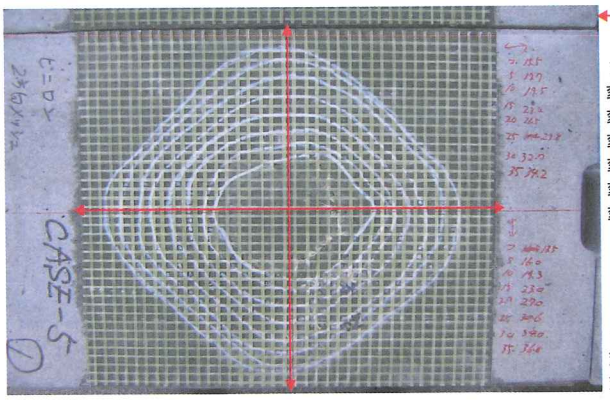


図１０　case-4　押抜き試験後の繊維シート剥離の状況

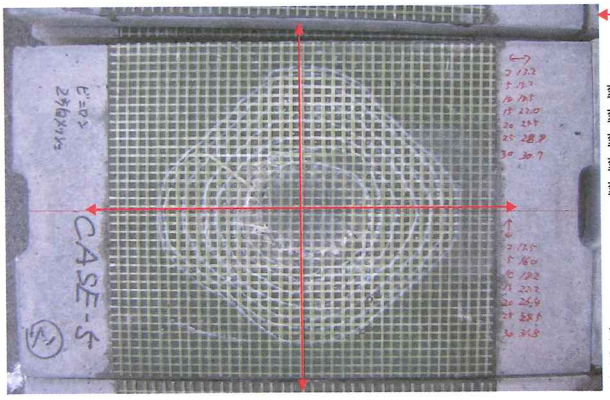


方向

コア破壊時	15.5mm
変位5mm時	17.7mm
変位10mm時	19.5mm
変位15mm時	23.2mm
変位20mm時	26.5mm
変位25mm時	29.8mm
変位30mm時	32.7mm
変位35mm時	34.2mm

方向

コア破壊時	13.5mm
変位5mm時	16.0mm
変位10mm時	19.3mm
変位15mm時	23.0mm
変位20mm時	27.0mm
変位25mm時	30.6mm
変位30mm時	34.0mm
変位35mm時	36.0mm

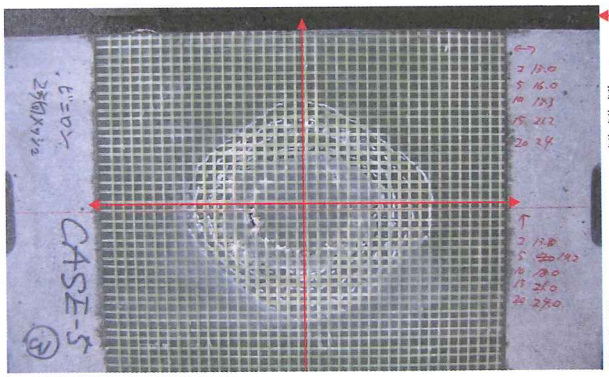


方向

コア破壊時	13.2mm
変位5mm時	15.2mm
変位10mm時	18.5mm
変位15mm時	22.0mm
変位20mm時	25.5mm
変位25mm時	28.8mm
変位30mm時	30.7mm

方向

コア破壊時	13.5mm
変位5mm時	16.0mm
変位10mm時	18.2mm
変位15mm時	22.2mm
変位20mm時	26.4mm
変位25mm時	28.5mm
変位30mm時	31.8mm

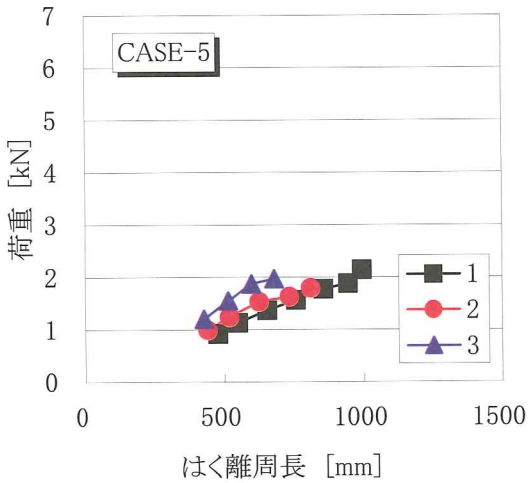


方向

コア破壊時	13.0mm
変位5mm時	16.0mm
変位10mm時	18.3mm
変位15mm時	21.2mm
変位20mm時	24.0mm

方向

コア破壊時	13.0mm
変位5mm時	14.2mm
変位10mm時	18.0mm
変位15mm時	21.0mm
変位20mm時	24.0mm



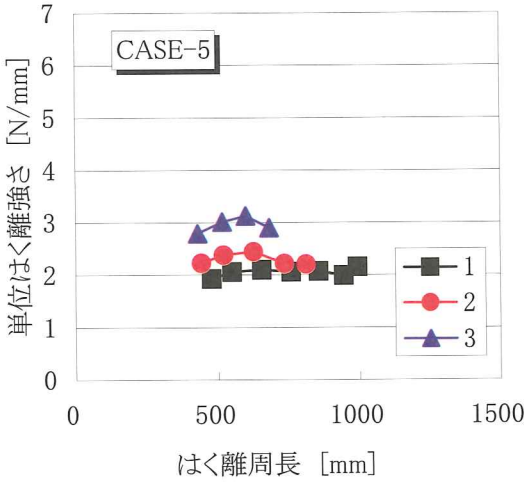


図１１　　case-5　押抜き試験後の繊維シート剥離の状況

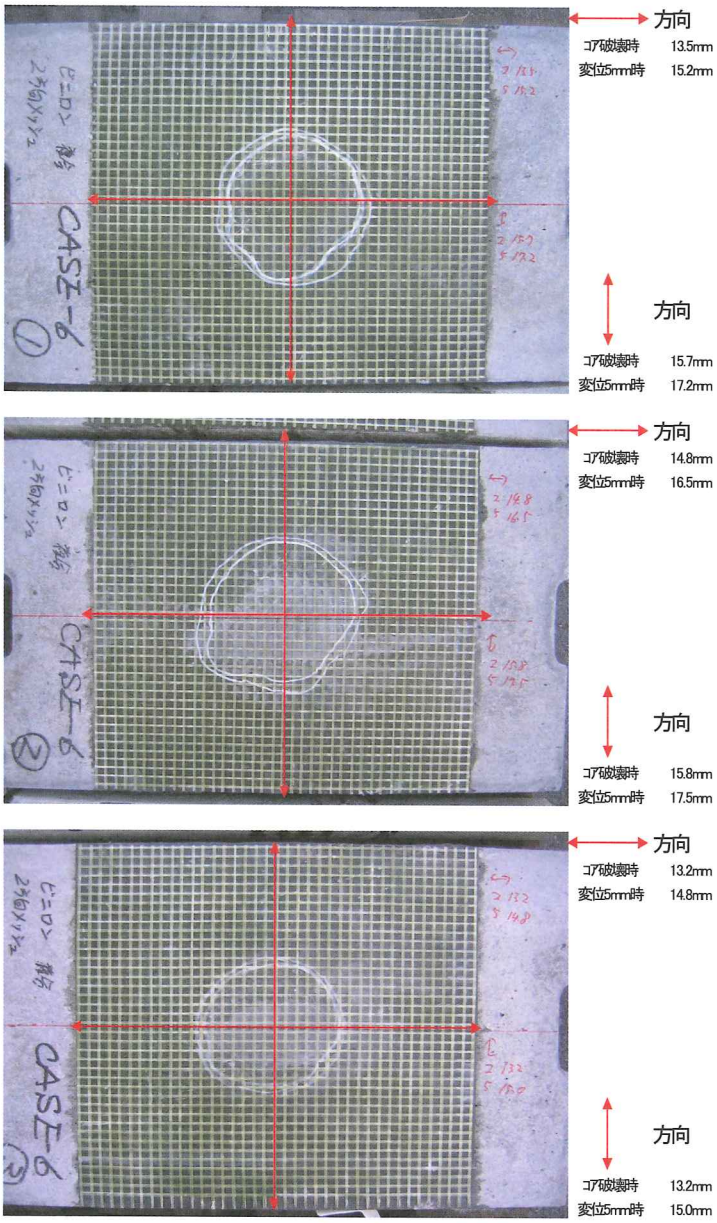


図１２　case-6 試験後の繊維シート剥離状況と各変位での剥離周長

図１３　層間付着性能試験結果
標準養生条件

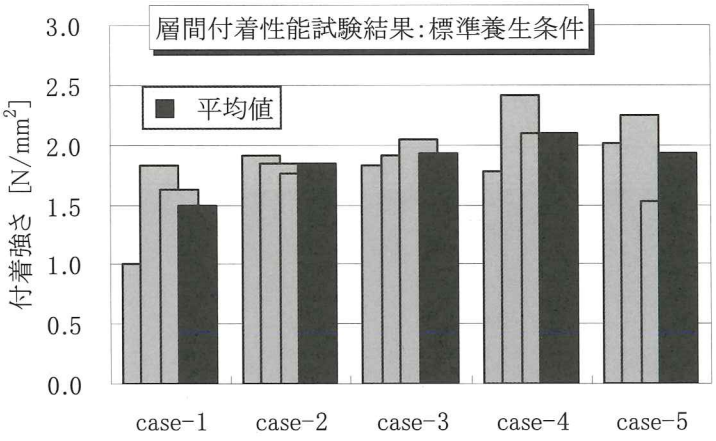


図１４　層間付着性能試験結果
半水中養生条件

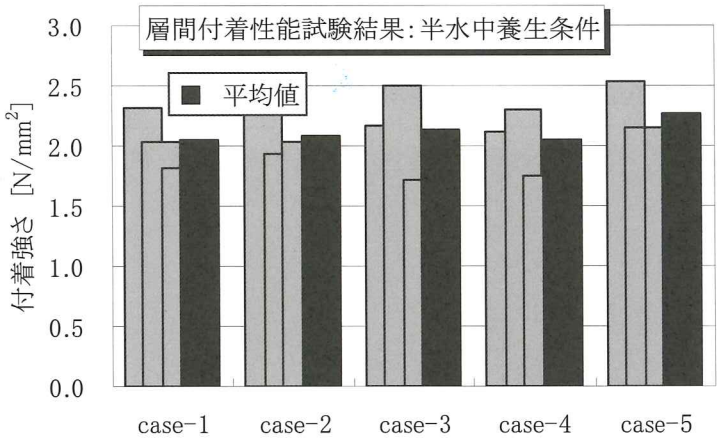
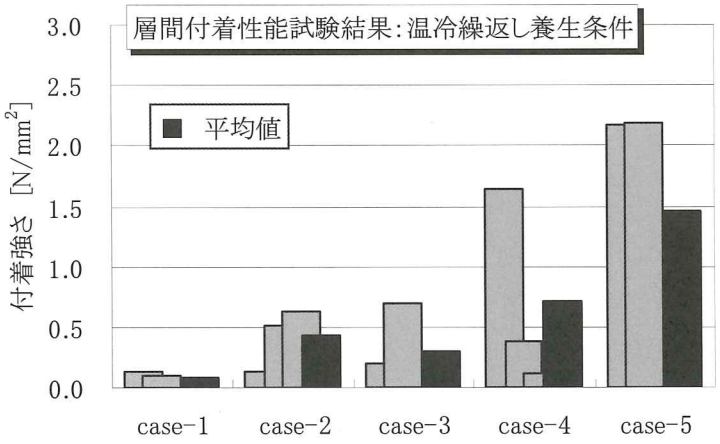


図１５　層間付着性能試験結果
温冷繰返し養生条件



4．まとめ

4．1　繊維シート接着はく落防止工法施工後の可視性

図１６に本室内試験で実際に試験した供試体の写真を用い、各ケース繊維シート接着後の可視性と押抜き試験後の試験体の外観状況を示す。

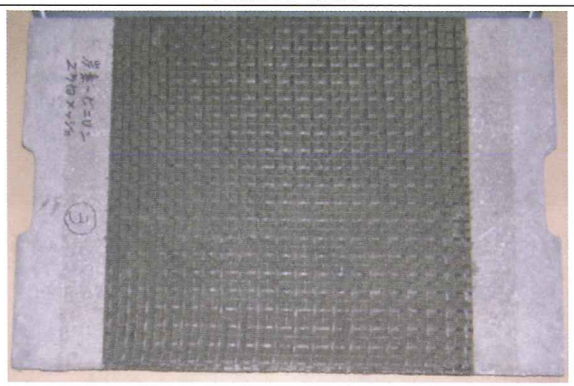
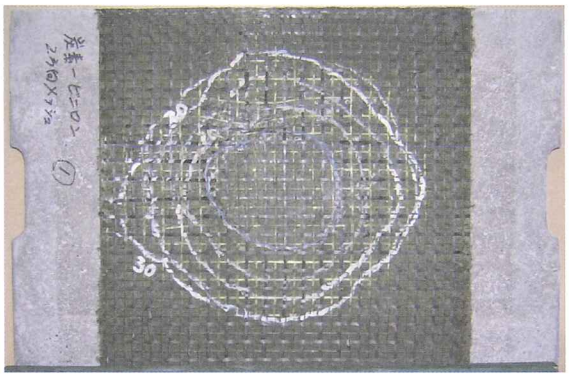
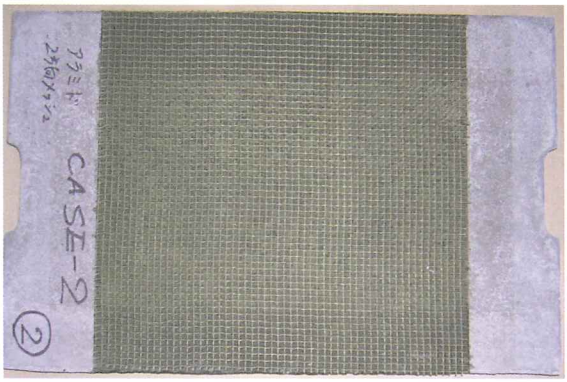
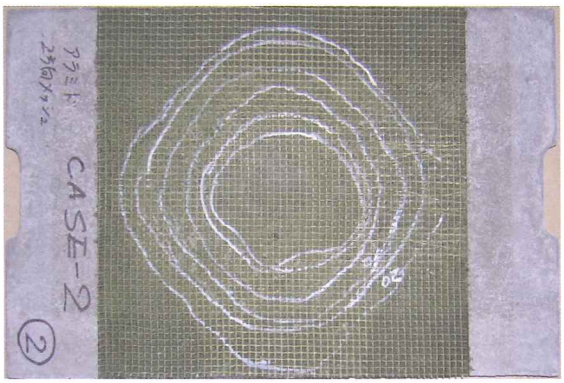
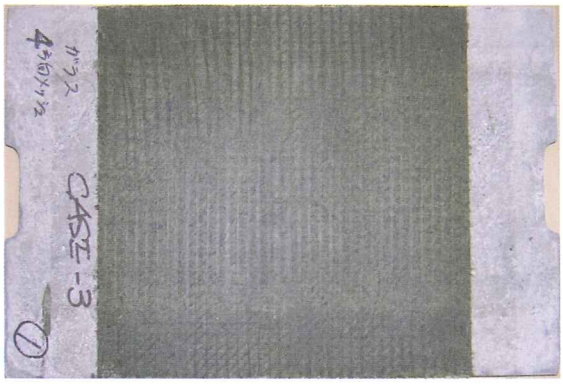
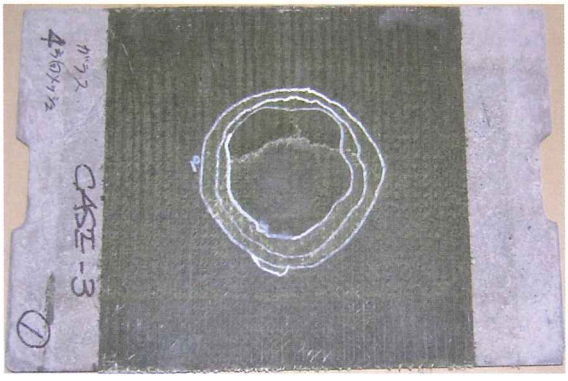
case	押抜き試験前	押抜き試験後
1	 繊維シート接着に接着剤を設計より多く要し、全体が深緑色となり、下地の状況は確認しづらい。	 押抜き試験中も繊維自体が暗色系であり、剥離の確認がしづらい。
2	 メッシュを通して下地コンクリートの状況確認可能（施工部の近傍で）。	 黄色系の繊維メッシュのため押抜き試験中は碁盤目状のメッシュの変形により剥離の確認が可能。
3	 繊維に接着剤が含浸し、全体に下地は確認可能であるが、４方向に繊維を重ねているため、接着剤層がやや厚めとなり、接着剤の深緑色が強い。	 押抜き試験中、剥離範囲は下地状況確認できなくなり、色相もやや薄い緑色系となり、剥離状況の確認が可能。

図１６　押抜き試験前後の繊維シート接着面の状況

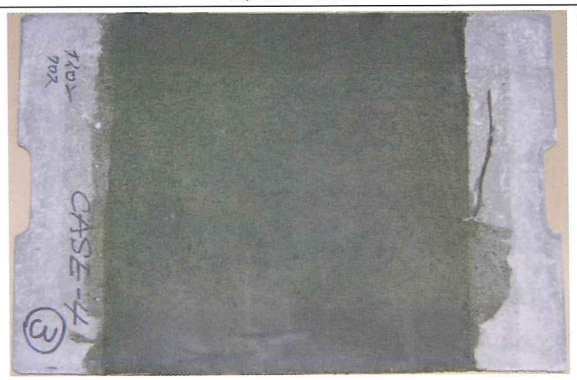
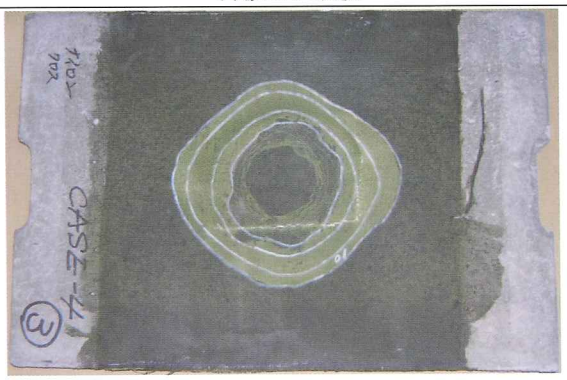
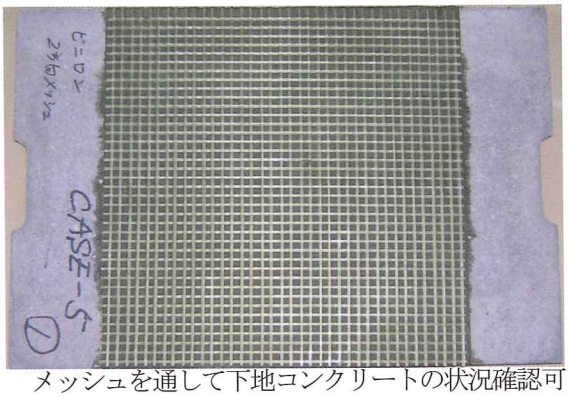
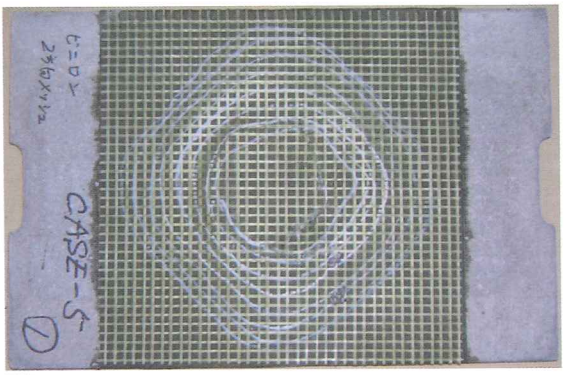
case	押抜き試験前	押抜き試験後
4	 下地状況確認可能。接着剤が繊維に充分含浸しているため繊維の存在がわからない。	 押抜き試験中、剥離範囲は下地状況確認できなくなり、色相もやや薄い緑色系となり、剥離状況の確認が可能。
5	 メッシュを通して下地コンクリートの状況確認可能（施工部の近傍で）。	 白色系の繊維メッシュのため押抜き試験中は碁盤目状のメッシュの変形により剥離の確認が可能。

図１６　押抜き試験前後の繊維シート接着面の状況（つづき）

本室内試験による繊維シート接着後の下地コンクリート状況の確認のしやすさと押抜き試験時のシート剥離状況の確認のしやすさの順位を表４にまとめて示す。

表４　繊維シート接着はく落防止工法施工後の可視性

順位	繊維シート接着後の下地コンクリート状況の確認のしやすさ		押抜き試験時のシート剥離状況の確認のしやすさ	
1	case-4	ナイロン／２方向クロス	case-4	ナイロン／２方向クロス
2	case-2	アラミド／２方向メッシュ	case-5	ビニロン／２方向メッシュ
3	case-3	ガラス／４方向メッシュ	case-2	アラミド／２方向メッシュ
4	case-5	ビニロン／２方向メッシュ	case-3	ガラス／４方向メッシュ
5	case-1	炭素・ﾋﾞﾆﾛﾝ／２方向複合ﾒｯｼｭ	case-1	炭素・ﾋﾞﾆﾛﾝ／２方向複合ﾒｯｼｭ

繊維シート接着後の下地可視性は以下の要因がポイントになっていると考えられる。

1)繊維シートの下地コンクリート表面被覆率　－　有色繊維では表面被覆率低い方が可視性は良好

2)繊維シートの接着剤含浸による透明化度合い　－　ガラスやナイロンのように接着剤含浸でＦＲＰ層が透明化しやすい方が可視性は良好。

3)接着剤の硬化時の色相　－　接着剤の色相は淡色系の方が可視性は良好であろう。

4)接着後の繊維シートＦＲＰの厚み　－　できあがりのＦＲＰ厚みは薄い方が可視性は良好