

R C床版補強工法における セメント系床版下面充填材の研究

横山 好幸¹・稲垣 太浩²・江口 洋一³・鏡原 宏志⁴・小柳 治⁵

¹正会員 日本道路公団 高松建設局 高松工事事務所 (〒761 高松市一宮町 1040-1)

²日本道路公団 名古屋管理局 技術部 (〒491 一宮市丹陽町九日市場字竹の宮 204)

³日本道路公団 名古屋管理局 栗東管理事務所 (〒520-30 滋賀県栗太郡栗東町小野 758)

⁴財富士技建 (〒532 大阪市淀川区東三国 4-13-3)

⁵正会員 工博 岐阜大学 工学部 土木工学科 (〒501-11 岐阜市柳戸 1-1)

橋梁・床版の老朽化や車両大型化に伴う補強方法として、樹脂系接着材を用いた鋼板接着工法が用いられてきた。しかし、より良い施工性・経済性を望んだ場合、セメント系充填材の採用が考えられる。本研究では、セメント系充填材の材料特性（特に付着力）や施工性に着目し検討・評価を加えた。この結果、実用性に富んだ材料を選定するとともに、セメント系充填材に必要なとされる要求性能を明らかにすることができた。

Key Words : maintenance, super structure, strengthening method of concrete slabs, cement grout materials, rigid steel plate

1. はじめに

平成6年2月の道路橋示方書¹⁾の活荷重規定の改訂、TL-25の採用に対応して、既設橋梁の補強工事が各地で実施されている²⁾。補強する部位としては、主桁・横桁の主構造部材や床版が対象となっている。その内、鋼橋の鉄筋コンクリート床版の補強方法として実績の多いものに、床版増厚工法^{3) 4)}や鋼板接着工法⁵⁾がある。床版増厚工法では上面増厚工法が一般に用いられ、設計荷重および既設床版厚・桁間隔により構造が決定される⁶⁾。鋼板接着工法は、コンクリート部材の引張応力面にアンカーボルトで鋼板を取り付け、その鋼板とコンクリートの間隙に注入したエポキシ樹脂により両者間にせん断力の伝達を行わせ、既設コンクリートと鋼板の一体化を図り、荷重に抵抗するメカニズムとなっている。

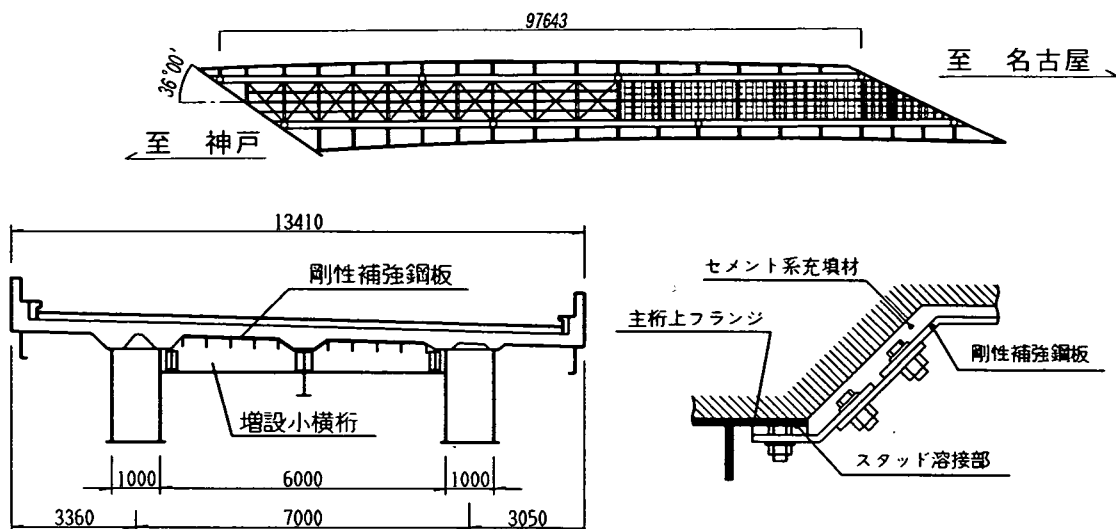
この鋼板接着工法のひとつとして、鋼板の厚みを増やすかわりに、リブを取り付けて鋼板の剛性を大幅に向上させた剛性補強鋼板による補強がある⁷⁾が、この補強を実施するにあたっては、既設床版と鋼板との一体化のための充填材の評価が必要となる。従来の鋼板接着工法に使用していた鋼板 ($t=4.5\text{mm}$

が標準)は、鋼板の変形によって既設床版の不陸にある程度なじんでいたため遊間は4~5mmとしていた。今回の剛性補強鋼板は、鋼板の剛性が高いため、床版下面の不陸を鋼板の変形で吸収することができない構造となる。そこで、出来形および計測結果から床版の不陸、施工余裕を考慮して、遊間量を20mmと設定して既設床版と鋼板との一体化のための充填材の選定を行うことにした。

ここで、この間隙に注入する充填材として、実績のある⁸⁾エポキシ樹脂、アクリル樹脂について事前に検討を行ったところ、これらの材料には以下のような問題があることがわかった。

- ①収縮が大きく、それに伴う拘束ひびわれを生じやすいこと
- ②不透水性であり、床版上面からの水の浸透に伴いコンクリートとの付着力に将来的に問題を生じる可能性があること
- ③硬化発熱があり、厚みが大となると温度変化によるひびわれを生じること
- ④施工費が非常に高くなること

上記に示した理由から、エポキシ樹脂、アクリル樹脂の使用を断念した。そこで、セメント系材料を



図－1 橋梁と剛性補強鋼板の構造概要

用いた充填材を対象として検討することにした。

セメント系材料は、このような利用形態での充填材としての実績が少ないことから、今まで実施・評価された既存の試験の方法と結果⁹⁾を踏まえ、まず最初に各種材料を用いた室内試験を実施し、実験室レベルでその基礎的物性値や施工性などについて評価した。その後、実物大供試体による注入実験を行って、セメント系充填材の施工性および付着力を評価した。

本論文は、主として材料の付着力および施工性に着目して行った実験の結果およびその特性についてまとめたものである。

2. セメント系充填材の要求性能

今回、セメント系充填材の注入を行う橋梁の断面と、剛性補強鋼板の構造概要を図－1に示す。

補強構造は既設の横桁間を4～5分割し、その分割点には小さな断面の横桁を設けている。そして、その間の床版にプレキャストパネルの剛性補強鋼板を設置する構造となっている。剛性補強鋼板のリップは橋軸方向に連続されているが、鋼板は連続していない。そして、鋼板は図－1に示すようにハンチ部まで打ち降ろすとともに、主桁の上フランジ下面にスタッドボルトを打ち、そのスタッドボルトと連結する構造となっている。補強工事の対象となる橋梁は、昭和30年代に建設されたものであり、現行の道路橋示方書で照査すると耐力力が大幅に不足している⁸⁾。そこで、現行示方書に基づく荷重条件にて

必要床版厚を求めるとともに、既設床版の出来形の調査結果および施工余裕を考慮して、既設床版と剛性補強鋼板の遊間量を20mmに設定した。また、床版の必要強度およびリップの溶接施工性から鋼板厚は9mmとし、充填材との付着力を大きくするため内面を縞鋼板としている。剛性補強鋼板による補強構造は、既設床版との遊間に充填した充填材を床版と見なして考えることから、従来の充填材とは異なり強度を必要とする。この強度については、床版のコンクリート強度（建設時の設計強度 $f_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$ (23.5N/mm^2)以上であること、日本道路公団規格の無収縮モルタル品質管理試験方法¹⁰⁾(JHS-312)に規定された強度（圧縮強度は、材令3日で 250kgf/cm^2 (24.5N/mm^2)以上、材令28日で 450kgf/cm^2 (44.1N/mm^2)以上でなければならない)に適合していることを基本として設定した。また、剛性補強鋼板と充填材が付着し一体化することが、この補強工法の重要な事項である。そこで、剛性補強鋼板と充填材の必要付着せん断力については、床版の曲げモーメントによって生じるせん断力を有限要素法にて求め（ $\tau=7.5\text{kgf/cm}^2$ (0.74N/mm^2 ））、この値に安全率を3として $\tau=25\text{kgf/cm}^2$ (2.45N/mm^2 ）を目標設計付着せん断力と設定している。さらに、引張強度や弾性係数については、床版コンクリートと同等以上が望ましい。それ以外の条件も含めて、必要と判断した要求性能を表－1に示す。なお、この要求性能を一部満足しないからといって充填材として不適な材料とはせず、各項目毎に得点付けを行い、総合的に判断することにした。

表-1 セメント系充填材の要求性能

対象	必要とされる性能
構造上	床版コンクリートと同等以上の材料特性が必要である。 剛性補強鋼板と付着し、一体化する必要がある。
充填材	収縮がなく、膨張が少ないこと。 ブリーディング、材料分離がないこと。
施工性	流動性・凝結時間・可使時間が適切であること。

表-2 試験の内容と目的

実験段階	対象	試験内容	試験の内容と目的
STEP-1	構造上	同質性試験	圧縮／曲げ強度・弾性係数
		透水性試験	減水量
		付着せん断強度試験	付着引張強度／せん断強度
	充填材	界面性能試験	ブリーディング率、膨張収縮率
	施工性	流動性試験	JISロート流下時間・粘度
		硬化特性試験	凝結時間
STEP-2	施工性	振動下での硬化特性試験	注入性の確認 付着引張強度の変化
STEP-3	施工性	実物大供試体での施工性確認試験	実施にむけての最終確認

表-3 セメント系充填材の一覧表

記号	主な用途	ポリマーの種別
[A]	セメント系無収縮グラウト材	
[B]	セメント系無収縮グラウト材（ポリマー添加）	SBR系（スチレン-ブタジエン共重合体）
[C]	セメント系無収縮グラウト材（ポリマー添加）	EVA系（変性酢酸ビニル-エチレン共重合体）
[D]	セメント系無収縮グラウト材	
[E]	ポリマーセメント系スラリー注入材	アクリル系
[F]	ポリマーセメント系プレパックドコンクリート結合材	エポキシ系
[G]	ポリマーセメント系プレパックドコンクリート結合材	アクリル系

付着引張試験・付着せん断試験にあたり、材料メーカーから指定がある場合はメーカー推奨のプライマーを使用した（プライマー使用材料：[B][C][G]）。材料[E]については、骨材粒度調整を実施。

3. 実験概要

セメント系の充填材としての採用実績があり、かつ表-1に示す要求性能の提示に対し応募のあった7社のメーカーから推奨材料の提示を受けた。材料の特性については、各メーカーからの提出資料に基づいてまとめるとともに、その材料の基本的特性をチェックする意味で充填性および接着性を主な着目点として各種実験を実施した。以下に実験の概要について述べる。

(1) 実験のフローチャート

実験は図-2に示したフローチャートに従い、3段階に分けて実施した。

(2) 試験の内容と目的

各実験段階で実施した試験の内容と目的を表-2に示す。

(3) 実験に用いた充填材料

材料メーカーから提示のあった推奨材料を表-3に示す。各社から提示のあった材料は大きく分けてセメント系無収縮グラウト材とポリマー（エポキシ系、アクリル系）セメント系プレパックドコンクリート用結合材に分かれる。

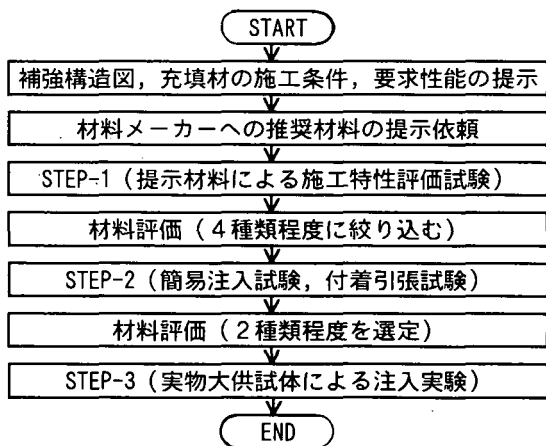


図-2 実験のフローチャート

(4) 実験方法 (STEP-1)

STEP-1は、表-1に示した充填材の要求性能について、材料特性の把握および付着性能の確認をおもな目的として実施し、STEP-2にむけて材料を4種類程度に絞るものとした。

a) 同質性試験

床版コンクリートと硬化した充填材の弾性係数が大幅に異なると、その層間で変形差が生じる。また剛性補強鋼板による補強構造では充填材を床版とみなしていることから、充填材は床版コンクリートと同等以上の材料特性を持つことが要求性能のひとつ

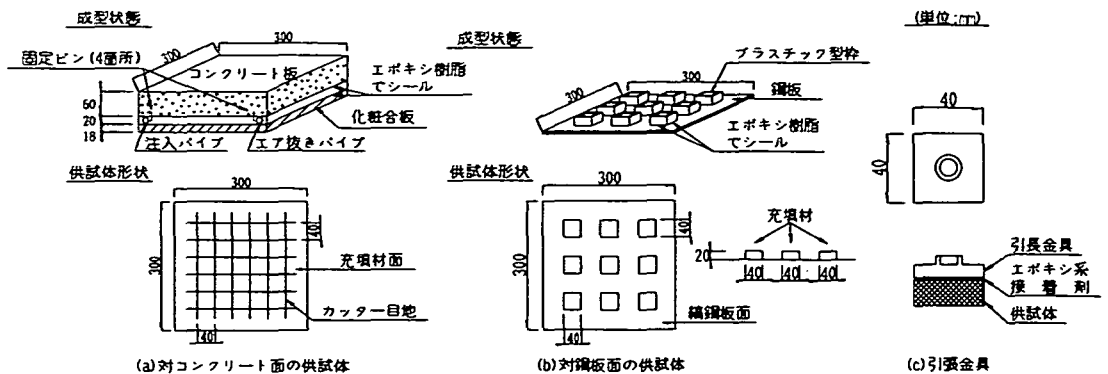


図-3 付着引張強度試験の供試体

である。そこで、セメント系充填材の圧縮強度・曲げ強度、静弾性係数の測定を行った。同質性試験は、JIS-A-1108,1106 によって実施した。

b) 透水性試験

床版の損傷は水の存在により加速度的に進むと考えられている¹¹⁾。そのため、最近では床版上面に防水層を設けることが多い。しかしながら防水層は、施工時の時間的制約から生じる仕上がりの悪さや経時的劣化を生じるため、床版上面からの水の侵入は完全には防ぐことができない。よって、この侵入水が既設床版と充填材の間に溜まらないことが望ましいと考え、充填材にコンクリートと同程度の透水性があることを求めた。なお、コンクリートの透水係数を実験的に求めることは困難である¹²⁾ため、実験は、道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料¹³⁾の防水性試験によって実施した。

c) 付着引張強度試験

付着引張強度試験は、図-3 (a)(b) に示す供試体を作成し、充填材と対コンクリート面、対鋼板面との付着引張強度を測定した。付着引張強度は、40mm×40mmの大きさに成形した供試体に同じ大きさを持つ引張金具(図-3 (c))をエポキシ樹脂系接着剤を用いて張り付け、その引張金具を建研式接着力試験機¹⁴⁾により引張り、その最大荷重および破断状況を観察することにより求めた。また、付着引張強度試験は供試体材令3日、7日、28日時点で実施した。

対コンクリート面の供試体は、床版下面への充填による施工であることを考慮して、上面がコンクリート板、下面が化粧合板、その間隙が20mmとなるように外枠を作製し、充填材を注入した。なお、供試体は材令2日で脱型した。また、対鋼板面の供試体は、幅20mm×厚さ10mmのプラスチック板で作製した型枠(内径40mm×40mm)を、グリッ

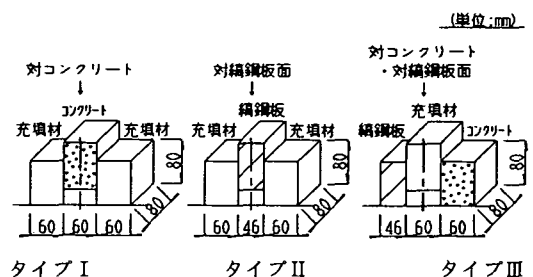


図-4 付着せん断強度試験の供試体

ドブラスト処理後、プライマーを塗布した鋼板面に固定し、その中に充填材を充填して作成した。

d) 付着せん断強度試験

付着せん断強度試験は、接着剤の圧縮せん断強さ試験方法(JIS-K-6852)により、供試体材令3日、7日、28日時点で実施した。供試体は、図-4 に示す3種類(タイプI～III)を作成した。なお、供試体は、コンクリート(幅60mmのコンクリート板を縦80mm×横80mmに切断して作成)、鋼板(t=12mmの片面鋼板にt=22mmの鋼板を接着した後に、縦80mm×横80mmに切断して作成)に、幅60mm×厚さ10mmのプラスチック板で作製した型枠(内寸80mm×80mm)を固定し、その中に充填材を充填して作成した。

e) 界面性能試験

充填性および付着力に影響を及ぼす充填材上面の性状としてブリーディング率、膨張収縮率の測定を行った。界面性能試験は、JHS-312により実施した。また、膨張収縮率については、供試体上面に取り付けた距離測定用光センサーを用いて、供試体作成後24時間迄の経時的な膨張収縮状態を把握する試験も実施した。

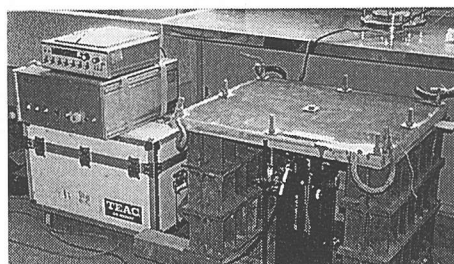


写真-1 STEP-2の測定状況

f) 流動性試験

充填材の流動性を把握するため、JHS-312に規定されたコンシステンシー試験方法によりJ₁₄ロート流下時間を、JIS-K-6833に定められたBM型粘度計により粘度を測定した。測定は、施工条件をふまえ練り上がり直後、30分後、60分後に行い、設定温度（5℃、20℃、35℃）での流動性について確認した。

g) 硬化特性試験

充填材の硬化特性を把握するため、JHS-312に規定された凝結時間試験方法により始発時間、終結時間の測定を実施した。

(5) 実験方法（STEP-2）

STEP-2では施工が供用下で実施されるため、振動下での注入の進展状態の確認、および振動状態で硬化した場合と無振動下で硬化した場合の付着引張強度の違いを把握することを目的として簡易供試体を用いた注入実験を行い、STEP-3にむけて充填材を2種類に絞るものとした。実験の条件としては、橋梁の床版の振動数を33Hz¹⁵⁾、全振幅0.1mmとし、無振動状態で注入したものとの比較を行った。STEP-2の注入状況を写真-1に示す。簡易供試体としては、充填材の下面に縞鋼板、上面は注入の進展状況を確認するためにアクリル板を使用した。なお、測定時の気温は23℃であった。

(6) 実験方法（STEP-3）

STEP-3では、STEP-2で選定した充填材について、施工性、強度特性、硬化状態の確認を行うことを目的として大型の供試体による注入作業を行い、ひとつの充填材に絞り込んだ。また、最終的に、実寸大供試体での注入を行い、施工上の問題点の確認を行った。実験は、次に示す3種類の供試体とし、実際の施工条件に極力合わせて実施した。

- ①大型供試体（0.9m×3.6m）
- ②ハンチ部供試体（1.0m×1.0m、h=0.2m）
- ③実寸大供試体（3.0m×3.5m）

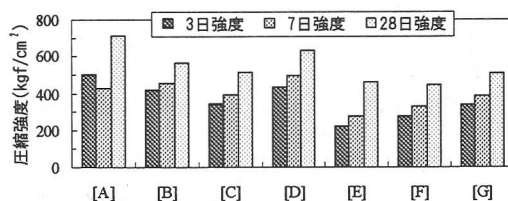


図-5 同質性の測定結果（圧縮強度）

（単位がN/mm²の場合は、図中の値に0.098を乗ずる）

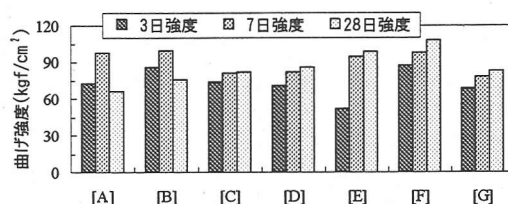


図-6 同質性の測定結果（曲げ強度）

（単位がN/mm²の場合は、図中の値に0.098を乗ずる）

表-4 同質性の測定結果（弾性定数）

（単位：×10⁵ kgf/cm²、kN/mm²）

材令	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
28日強度	2.66	2.19	1.94	2.65	1.64	1.11	1.92

表-5 透水性の測定結果（単位：ml）

材令	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
28日試験体	0.25	0.15	0.25	0.20	0.85	0.50	0.90

4. 実験結果

(1) STEP-1

各試験によって得られた結果について述べる。

a) 同質性試験

同質性試験の測定結果を図-5～6、表-4に示す。JHS-312に規定された圧縮強度の規定は、材令3日で250kgf/cm²（24.5N/mm²）以上、材令28日で450kgf/cm²（44.1N/mm²）以上であり、これは、ポリマー系材料[E][F]が満足していなかった。曲げ強度に関しては、コンクリート標準示方書¹⁶⁾の $f_{bk} = 0.9f'_{ck}{}^{2/3}$ を適用し、28日強度で53kgf/cm²（5.19N/mm²）以上であることを基準としたが、これはすべての材料が満足していた。静弾性係数は床版コンクリートの $E_c = 2.5 \times 10^5$ kgf/cm²（2.5kN/mm²）¹⁶⁾を標準として±25%以内であれば良としたが、圧縮強度の低かった[E][F]はこれより低く、特に[F]は1/2程度であった。したがって、この[E]

表－6 付着引張強度試験の測定結果（単位：kgf/cm²，単位がN/mm²の場合は表中の値に0.098を乗ずる）

材令	コンクリートとの付着引張強度							縞鋼板との付着引張強度						
	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
3日強度	17.0	*	14.8	17.7	*	9.9	16.0	8.4	11.1	19.1	6.7	5.2	14.8	8.2
7日強度	16.2	*	19.0	22.0	*	11.6	18.1	8.5	21.3	28.0	6.0	3.0	20.5	20.6
28日強度	20.8	*	15.8	22.1	*	5.9	25.8	8.0	23.0	31.2	5.5	1.6	16.0	27.9

*印は、面との接着がなかったことを示している。

表－7 付着せん断強度試験の結果

試験項目	材令	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
対コンクリート面 (供試体タイプⅠ)	3日	22 界) 9/1	29 界) 10	30 ▲	33 界) 6/4	17 ▲	35 ▲	25 ▲
	7日	22 界) 5/5	38 ▲	10 界) 10	37 界) 8/2	32 界) 2/8	49 ▲	31 ▲
	28日	21 界) 9/1	44 ▲	16 界) 7/3	24 ▲	32 界) 7/3	48 ▲	25 ▲
対縞鋼板面 (供試体タイプⅡ)	3日	38 両) 付大	17 両) 付中	25 片) 付中	15 両) 付大	17 両) 付小	10 片) 付小	26 両) 付中
	7日	24 両) 付大	23 ▲	26 両) 付中	21 両) 付大	13 両) 付中	13 両) 付中	21 両) 付大
	28日	48 両) 付大	50 両) 付大	36 両) 付大	54 両) 付大	36 両) 付大	24 両) 付大	45 両) 付大
対コンクリート面 ・対縞鋼板面 (供試体タイプⅢ)	3日	11 コ) 5/5	21 コ) 10	28 鋼) 付大	14 鋼) 付大	17 鋼) 付大	34 ▲	28 コ) 8/2
	7日	19 鋼) 付大	25 ▲	15 コ) 5/5	26 鋼) 付小	16 鋼) 付大	31 鋼) 付大	27 鋼) 付大
	28日	58 鋼) 付小	41 コ) 9/1	45 鋼) 付大	37 鋼) 付大	9 鋼) 付小	53 鋼) 付大	36 鋼) 付大

注：1. 付着せん断強度は、2面接着として算出した。

2. 上記の表中のデータは、「左側：付着せん断強度 (kgf/cm²，単位がN/mm²の場合は、0.098を乗じた値となる)，右側：破断位置および破断状況」を示している。

3. 破断位置および破断状況の摘要を以下に示す。

【例1】界) 9/1は界面破壊：90%，材料破壊：10%であることを示している。

【例2】▲は、材料が破壊したことを示している。

【例3】両) 縞鋼板の両側の凸部に付着していたことを示す。片) 片側の凸部に付着していたことを示す。ここで言う「縞鋼板の両側の凸部に付着」とは  の状態を示し、「片側の凸部に付着」とは  の状態を示している。

【例4】「付大，付中，付小」はそれぞれ、縞鋼板の凸部に付着した充填材の大きさの程度「大，中，小」を示している。

[F] 以外の材料については、床版コンクリートとの同質性に対する要求性能を満足していると判断した。

b) 透水性試験

透水性の規定は、道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料の防水層の品質基準の目安としての「減水量0.5ml以下」と建設省土木研究所で行われたコンクリート床版の減水量「0.95ml」を基準として、コンクリート床版の減水量の±50%以内にあるものを良とした。透水性試験として実施した防水性試験の結果を表－5に示す。透水性は、ポリマー系充填材はほぼこの規定を満足していたが、セメント系充填材はポリマー系充填材の50%以下の低い値を示した。したがって、セメント系充填材は透水性が低く、防水材に近い性質を示すと考えられるため、材質的には不適となる。したがって、今回の充填構造でセメント系材料を採用する場合は、材料自体の透水性に依拠することはできないため、コンクリートと充填材間の水抜きのための措置を講ずる必要がある。

c) 付着引張強度試験

付着引張強度は、日本道路公団の断面修復材の品

質規格¹⁷⁾に規定されている28日強度で15kgf/cm² (1.47N/mm²)以上を基準とした。測定結果を表－6に示す。対コンクリート面の付着引張強度試験では、[B]は充填後の材料収縮により、[E]はエアが上部に残留したため、コンクリート面への付着がなかった。また、セメント系の[A][D]とプライマーを塗布したセメント系の[C]、ポリマーセメント系の[G]は15kgf/cm² (1.47N/mm²)以上の付着引張強度を示した。対鋼板面との付着引張強度試験では、プライマー塗布の影響が顕著に現れた。つまり、プライマーを塗布した[B][C][G]は15kgf/cm² (1.47N/mm²)以上の強度が生じたが、無塗布の[A][D][E][F]は界面で破壊し、[A][D][E]においては、その付着引張強度は10kgf/cm² (0.98N/mm²)以下であった。また、材令による付着引張強度の伸びも認められなかった。

d) 付着せん断強度試験

付着せん断強度試験の状況を写真－2，供試体のタイプ別の形状を図－4，測定結果を表－7に示す。

供試体タイプⅠは、コンクリートと充填材の付着せん断強度を求めたものである。ポリマー系材料

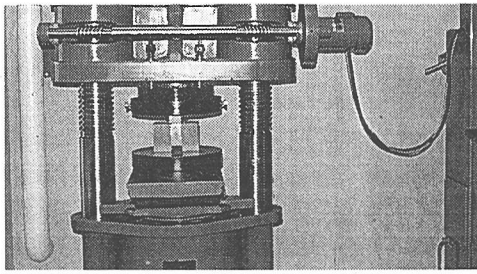


写真-2 付着せん断強度試験の状況

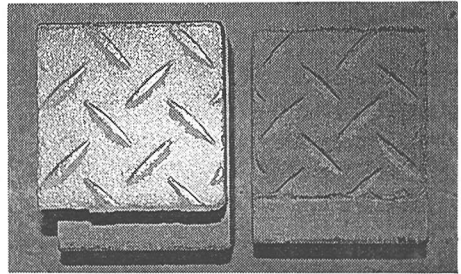


写真-4 付着せん断強度試験 対鋼鋼板面の破壊状況

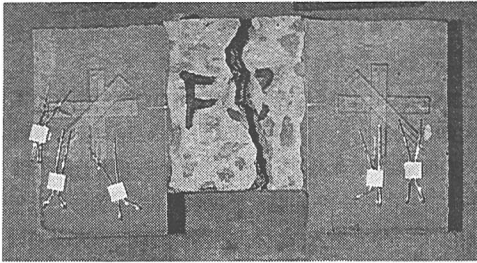


写真-3 付着せん断強度試験 対コンクリート面の破壊状況

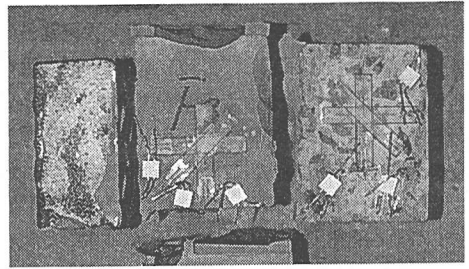


写真-5 付着せん断強度試験
対コンクリート面・対鋼鋼板面の破壊状況

[F][G], セメント系材料 [B] では写真-3 に示したようなコンクリートの破壊が多く生じていること、28 日強度で 25kgf/cm^2 (2.45N/mm^2) 以上生じていることからコンクリートとの付着せん断強度は大きいと考えられる。充填材 [D] は界面破壊が多いが、付着せん断強度はほぼ目標値を満足していると考えられる。したがって、コンクリートの付着せん断強度については、一定の傾向を示していない充填材 [C] と強度的に目標値を下回っている充填材 [A] を除くと、ほぼ要求性能を満足する。

供試体タイプ II は、鋼鋼板と充填材の付着せん断強度を求めたものである。一部に台座となる充填材が破壊したものがあがるが、大半が写真-4 に示したような鋼鋼板の凹凸に抵抗したコンクリート界面で破壊している。また、付着引張強度試験の場合のように、プライマーの塗布による違いは認められないこと、弾性係数の大きさとほぼ比例関係にあることから、充填材と鋼板面の付着力だけでなく、鋼鋼板の凹凸に抵抗することで付着せん断強度が発生していることがわかる。また、付着せん断強度は、充填材 [F] を除いた材料は 28 日強度で $36 \sim 54\text{kgf/cm}^2$ ($3.53 \sim 5.29\text{N/mm}^2$) の範囲にあり、要求性能を満足している。

供試体タイプ III は、実際の施工断面を想定した鋼鋼板とコンクリートに挟まれた状態での付着せん断強度を求めたものである (写真-5)。28 日強度で目標値の 25kgf/cm^2 (2.45N/mm^2) に達していないのは充填材 [E]、コンクリートの界面で破断したのは充填材 [B] である。その他の充填材はすべて鋼

板面で破断しており、その付着せん断強度も $36 \sim 58\text{kgf/cm}^2$ ($3.53 \sim 5.68\text{N/mm}^2$) の範囲にあった。

上記に示した 3 種類の供試体の測定結果で、すべての供試体で目標値の付着せん断強度を上回ったのは、充填材 [B][G] である。しかし、供試体タイプ III で大幅に目標値を下回っている充填材 [E] を除くと、付着せん断強度は目標値の 90% 以上を示していることから、付着せん断強度については、充填材 [E] を除くすべての材料についてほぼ良好な結果が得られていると考えられる。

e) 界面性能試験

実際の施工での充填時には、コンクリート面が充填材の上面となる。そのため、ブリーディングが生じると付着性能に影響するため、ブリーディングを生じない必要がある。また、同様に、収縮が無いことも界面性能として必要である。

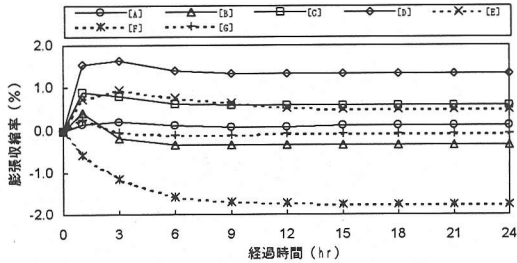
界面性能試験の結果の内、ブリーディング率の測定結果を表-8 に示す。ブリーディング率は、全材料とも 0% であり、ブリーディングを生じず、良好

表－8 界面性能の測定結果（ブリーディング率）

評価項目	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
ブリーディング率	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

表－9 界面性能の測定結果（膨張収縮率，JHS-312）

経過時間	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
2 時間後 (%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1 日後 (%)	0.075	-0.535	0.671	1.383	0.575	-1.310	0.065
7 日後 (%)	0.075	-0.535	0.671	1.383	0.575	-1.310	0.065



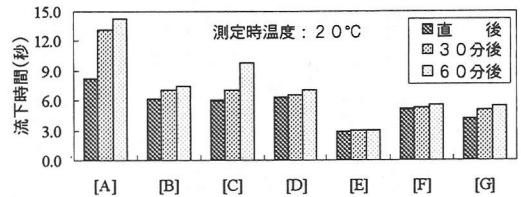
図－7 界面性能の測定結果（膨張収縮率，光センサー使用）

であった。また、表－9 に示した JHS-312 の膨張収縮率試験の測定結果では、充填材 [B][F] が収縮、他の材料は膨張を示していた。この膨張収縮率の充填後 24 時間までの変動状況を光センサーによって測定した結果を示したのが図－7 である。充填材 [B] は充填直後には膨張を示すものの、充填後 1 時間経過した以後は収縮している。また、充填材 [F] は充填直後から収縮を示していることがわかる。また、充填材 [A] は膨張・収縮の差が少なく、安定した膨張率を示した。それ以外の充填材は、初期膨張が発生し、安定した膨張状態までの膨張率に差が生じた。膨張収縮率の結果では、セメント系材料、ポリマー系材料の双方に収縮が生じていることから、収縮は個々の材料特性で発生するものと考えられる。

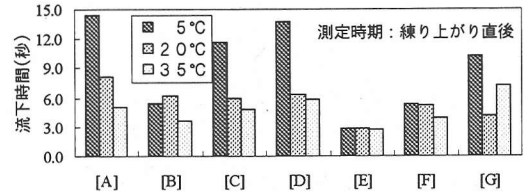
したがって、充填材の界面性能試験の結果から、ブリーディングについては全材料とも条件を満足するが、膨張収縮率で [B][F] は不適であると考えられる。

f) 流動性試験

流動性試験の内、J₁₄ ロート流下時間では、施工時間を考慮して 60 分後の流下時間の低下が少ないものを良として判断した。J₁₄ ロート流下時間の測定結果を図－8 に示す。材料 [A][C] 以外は時間経過によるフローダウンが少なく、フレッシュ性状も良好であった。次に、ロート流下時間の温度による変化を見る試験結果を図－9 に示す。この実験では、規定温度に設定した恒温室に材料を保持した後に、その場で材料の混合を行った。この結果から、[E][F] の充填材以外は、温度による流動性の変化が生



図－8 流動性の測定結果（J₁₄ ロート流下時間）



図－9 流動性の測定結果
（温度変化による J₁₄ ロート流下時間の相違）

じるため、施工時に材料自体および水の温度管理が必要となることがわかった。

また、粘度の測定結果（表－10）から、充填材 [E] は他の材料と比較して粘度が大幅に低い材料特性となっている。これは、[E] がひびわれ注入をおもな目的として開発された材料であるためであると考えられる。また、[A] は他の材料と比較して、粘度が高い材料特性であることがわかった。充填材の注入施工時における適当な粘度の程度は、注入機の性能にも影響を受けるため、一概にその性能を定めることはできない。しかし、充填材の施工時の状況を考えると、充填材が低粘度であるとエアの巻き込み、漏れが生じ、高粘度であると注入圧力の上昇によって漏れ止めのためのシールの破損が生じる。ここで、充填材 [E] は流動性・粘度の実験時の観察結果で、注入機の圧力無しに注入が可能な材料であると判断されることから、注入時のエアの巻き込みが生じるものと考えられ、今回の充填構造での注入には不適であると判断される。

g) 硬化特性試験

凝結時間が長いと他の作業と並行しながら工程を進める上で問題が生じる。凝結時間が短いと可使用時間が短くなるため施工性が悪くなる。また、実際の施工は秋季のように一日の気温差の変化が大きい時期に施工されることもある。そのため、充填材の凝結時間の感温性が高いと充填後の温度管理が必要になる場合がある。そこで、充填後の保持温度を変化させて、練り混ぜから凝結始発、終結までの時間の

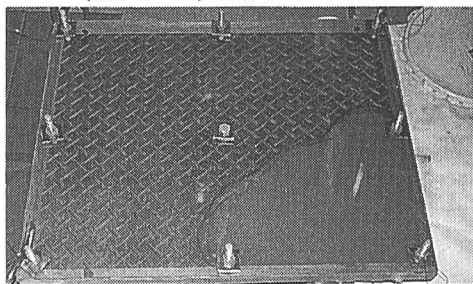
表-10 流動性の測定結果(粘度) (単位: cP)

経過時間	[A]	[B]	[C]	[D]	[E]	[F]	[G]
直 後	8,000	3,250	1,660	3,400	320	3,450	3,200
30分後	9,200	3,500	4,350	6,300	280	4,300	6,950
60分後	14,000	4,500	7,400	7,000	280	4,700	7,500

表-11 付着引張強度 (STEP-2) (単位: kgf/cm²)
(単位が N/mm² の場合は表中の値に 0.098 を乗ずる)

試験状況	材令	[A]	[C]	[D]	[G]
無振動下の硬化確認	7日強度	10.7	20.7	6.4	25.3
	28日強度	5.5	19.4	-	17.8
振動下の硬化確認	7日強度	9.7	24.1	5.0	18.6
	28日強度	3.6	25.7	-	15.4

(表中の-は、付着のなかったことを示す。)



高粘度材料(充填材[A])

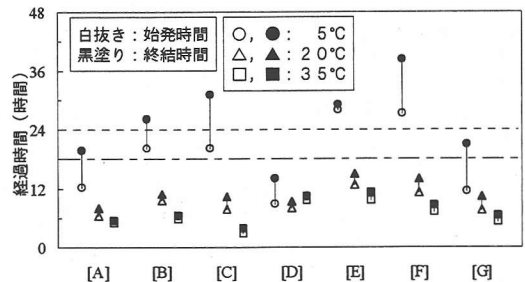
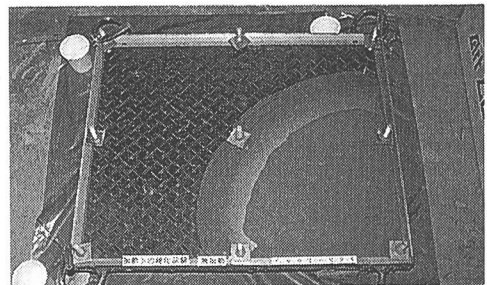


図-10 硬化特性の測定結果



低粘度材料(充填材[C][D][G])

写真-6 充填状況

確認を行った。硬化特性試験の結果を図-10に示す。5℃時の充填材[E][F]の凝結始発時間は遅く、24時間を越えており、[B][C]も18時間を越えている。一方、材料[A][D][G]は各設定温度において12時間以内に凝結始発が生じ、終結も24時間以内に終了していることから変動の少ない凝結時間を示していると考えられる。

硬化特性では、ポリマー系、セメント系で大きな差異は認められなかった。また、注入時の温度については、20℃では24時間以内に終結が終了していること、JHS-312に示された「凝結始発から終結までの時間が10時間以内でなければならない」という規定はすべての材料が満足していることから、冬季のように5℃程度の低い温度が連続した場合には凝結始発時間が遅くなるため、充填材の注入施工時に対処方法を検討する必要があるが、通常の施工時においてはほぼ問題はないと考えられる。

h)STEP-1の試験結果のまとめ

STEP-1の試験で得られた結果をもとに比較検討して、充填材の特性を評価した。その中で、界面性能試験の膨張収縮率試験で収縮することが判明した充填材[B][F]、流動性試験の粘度特性試験結果から、施工の注入時にエアが巻き込むことにより付着力の低下が懸念される充填材[E]については、今回の補強構造では充填材として不適であると考え、採用を見送った。そこで、充填材[A][C][D][G]の4種類の

材料を選択してSTEP-2の試験を行った。

(2) STEP-2

振動下、無振動下で注入を行った簡易供試体の対鋼板面の付着引張強度を測定した結果を表-11に示す。充填材[A][D]は、STEP-1での鋼鋼板との付着引張強度試験の結果と同様に、付着引張強度が低く15kgf/cm²(1.47N/mm²)以下となっていた。また、充填材[C][G]は、いずれも15kgf/cm²(1.47N/mm²)以上の付着引張強度を示していた。この充填材[C][G]の振動下と無振動下で注入した簡易供試体の付着引張強度に差は認められなかった。このことから、実際の施工時に生じる振動は、付着引張強度には影響を与えないものと考えられる。

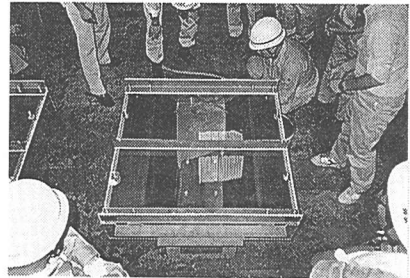
つぎに、簡易供試体への注入状況および硬化モルタルの上面の状況についてまとめたものを表-12に、その状況を写真-6に示す。充填材[A]はSTEP-1で実施した粘度の測定結果で8,000~14,000cPの値となっており、他の充填材と比較して粘度が高い。この充填材[A]を注入すると、空隙の上下面に接触しながらの圧入状態となり、高い注入圧で施工を行う必要があった。したがって、[A]程度の粘度がある場合は、広い面積の充填では施工上問題があり、流動性の改善が必要であることがわかった。充填材[C][D][G]の注入は、下面の充填が先行し、一様に上面に達しながら閉塞する形となっていること

表－１２ 注入試験の結果および評価

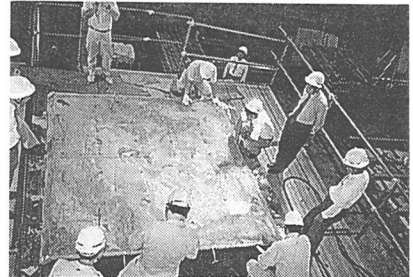
試験材料	注入状況および硬化モルタルの上面状況	評価
[A]	高粘度である。エアの巻き込みは少ないが大面積での注入では流動性に問題がある。硬化モルタル上面は材料分離は認められないが流動抵抗によるものか注入方向に縞模様が認められる。	△ 流動性の改善が必要である
[C]	充填材は下面が先行し上面に達しながら閉塞する注入となる。エアの巻き込みは隅角部で認められるが、エア抜きを設置で問題はない。大面積での注入も問題はない。	○
[D]	注入状況は[C]とほぼ同様である。硬化モルタル上面は細いエア跡が出ている。上面に出た細いエア跡は無振動下・振動下とも同程度である。	○ 膨張剤の影響と考えられるエアが多い
[G]	注入状況は[C]とほぼ同様である。硬化モルタル上面はわずかではあるが細いエア跡がでている。	○

表－１３ 注入時の材料条件

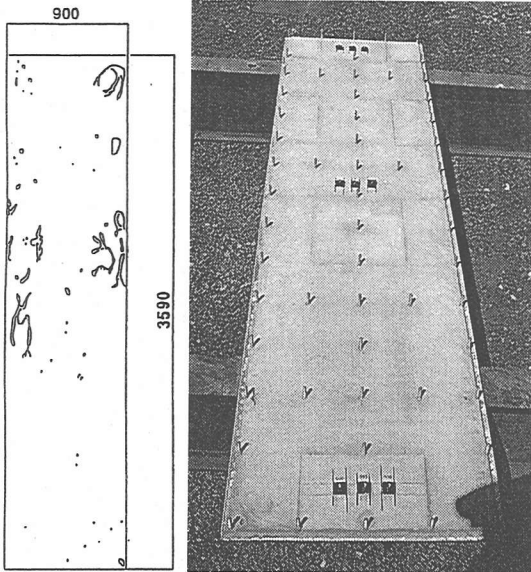
施工条件	測定項目	[C]	[G]
作業環境	気温・湿度	気温：32℃，湿度：63%	
材料物性	材料温度		
	粉体材料	28℃	30℃
	水	26℃	28℃
	粉体材料	25.0kg	20.0kg
	材料配合		
	エマルジョン	-	1.2kg
モルタル物性	水	5.0kg	3.6kg
	Jロート値	5.6秒	5.8秒
	練り上がり温度	35℃	34℃
施工機械	吐出形式	スキーズ式	スネーク式
	能力	11.5 α /分	5.5 α /分



写真－８ ハンチ部供試体 充填状況



写真－９ 実寸大供試体 充填状況



写真－７ 大型供試体 充填状況

から、粘度および充填状況は良好であったと考えられる。しかし、充填材 [D] の硬化後のモルタル上面には、連続したエア跡が認められる。この上面に出たエア跡は振動下・無振動下とも同程度生じていることから、充填材の特性と考えられる。

上記に示した STEP-2 の実験結果より、付着引張強度試験および注入状況とも良好なデータを示した

2つの充填材 [C][G] を選定して、STEP-3 を実施することにした。

(3) STEP-3

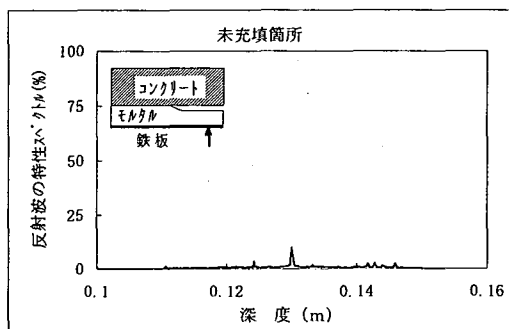
STEP-3 はおもに施工性に着目して実験を実施した。注入時の材料条件を表－１３に示す。

図－１１(a) に示す大型供試体 (写真－７) での注入状況は、[C] は底部の縞鋼板面に充填材が先行し順次天端のアクリル板に充填、エマルジョン跡の波紋を残しながら充填完了に至った。[C] には細かなエアの巻き込みがあり、充填部での残留とエア抜きパイプより流出する充填材への混入も確認された。[G] は J₁₄ ロート値では [C] と大差ない値を示していたが、練り上がり温度、注入ポンプの機種などの影響でフローロスが大きくなり、注入直後の状態から充填材が流動性を失っていた。そのため、充填は 20mm の間隙の上下板に接触しながらの充填完了となった。

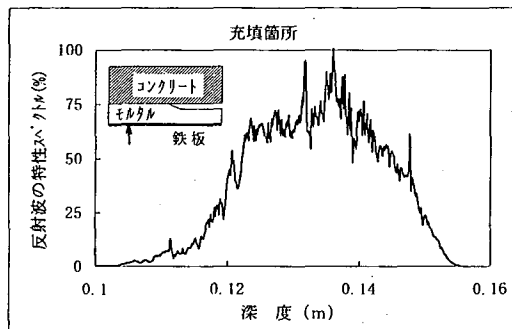
表-1 4 STEP-3 各種強度試験結果

供試体種別	試験種別	測定箇所	[C]	[G]
大型供試体	付着引張強度	注入口部	30(界) 5/5	40(界) 5/5
		中間部	25(材) 10	32(界) 7/3
		吐出部	26(材) 10	26(界) 10
ハンチ部供試体	圧縮強度		420	574
	引張強度		40	52
実寸大供試体	付着引張強度	注入口部	26(界) 8/2	*
		中間部	21(界) 10	
		中間部	17(材) 10	
		吐出部	15(材) 10	

注：1. 大型供試体、実寸大供試体の表中のデータは、「左側：付着せん断強度 (kgf/cm², 単位がN/mm²の場合は、表中の値に0.098を乗ずる), 右側：破断位置および破断状況」を示している。
 2. 破断位置および破断状況の摘要を以下に示す。
 界) 9/1は界面破壊：90%, 材料破壊：10%であることを示している。
 3. *は実験をせず。



未充填箇所



充填箇所

図-1 2 弾性波による充填状況確認 測定結果波形例

ハンチ部供試体 (図-1 1 (b), 写真-8) についても、大型供試体とほぼ同様の状態での施工となった。充填材 [G] は、大型供試体の場合と同様の理由により、セルフレベリング性がない状態で、注入圧が上がらない場合でもアクリル板が押し上げられてたわみが生じていた。また、注入量が多いためか、高い発熱 (90℃) が生じ硬化したモルタル全体にひびわれが生じていた。このようなことから、充填材 [G] は今回のような厚みのある充填構造には適用できないと判断した。前述した2種類の供試体の試験結果から、良好な結果が得られた充填材 [C] を選定し、実寸大供試体の実験を行った。

実寸大供試体 (図-1 1 (c)) の充填施工 (写真-9) は、練り混ぜ10分、注入20分の約30分程度で注入が完了した。

実寸大供試体の付着引張強度の測定結果を表-1 4に示す。測定結果は、STEP-1, STEP-2で得られた強度とほぼ同等であり、今回の充填構造の間隙の充填材として、強度的には問題はないものと考えられる。

なお、注入時、確実に充填するためには、未充填

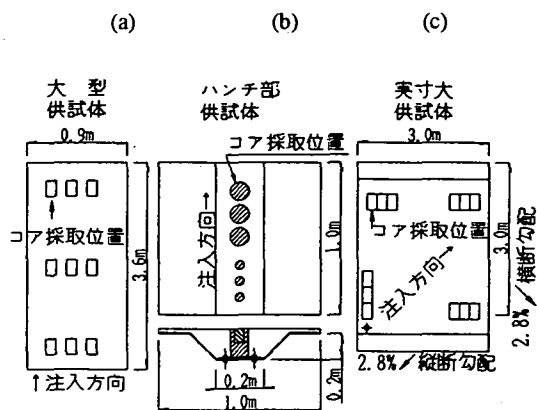


図-1 1 各種試験実施箇所

箇所を把握する必要がある。一般に採用されている木製ハンマーによる反響音法は、ある程度は確認することができるが、ハンチ部などの補強構造の複雑な部分では確認が困難であり、反響音による確認に熟練を要するものと考えられる。そこで、充填材硬化後の充填不良箇所の検出については、弾性波を用いる非破壊検査手法¹⁸⁾により確認を行った。測定結果の一例を図-1 2に示す。充填が良好な箇所において確認できたコンクリート端部 (0.136m) の反射波の特性スペクトル値を100%として、充填が良好な箇所と未充填部の箇所の反射波の特性スペクトルを表示している。充填箇所については、コンクリート端部の反射波が得られているが、未充填箇所については、鋼板とコンクリートの間に空隙があることから、弾性波がコンクリートに伝達されないため、コンクリート端部の反射波を確認することができていない。このような特性スペクトルの違いから充填不良箇所の検出を行った。この方法は簡便で記録性があり、細部の充填不良箇所まで検出することができ、満足する施工結果を得た。

5. まとめ

STEP-1～3の選定試験を行い、セメント系注入材の実施工での可能性について検討を加えてきた。その結果について、今後の開発の方向性とともにとめる。

(1) 本研究により得られた知見

a) 材料関係

①今回の試験では、セメント系無収縮グラウト材とポリマーセメント系プレバックドコンクリート結合材が各1種類ずつ最終選定試験（STEP-3）に残った。材料的には、若干の改良余地は残っているが、今回の目的とした性能は満足しており、セメント系の充填材としての採用について問題がないことが判明した。

②大部分の材料において温度変化（特に低温時）に対する流動性の変動が大きかったため、施工時の気温（温度）に対する流動性の管理基準および温度管理に着目した施工方法のマニュアル化が必要である。また、今後、感温性のより鈍い材料の選定や添加剤による改良の検討が必要となる。

③充填材に混入している粉末エマルジョンは溶けにくく、泡や材料分離の原因となりうる。そのため、充填性や接着性をより向上させるために当初より液化して混入するなどの改良が必要である。

b) 施工

①注入孔・吐き出し孔付近での付着力の差の解消として、充填材に一定の圧力が加わるように注入位置、エア抜きパイプの配置を適切にする必要がある。

②床版面に縦断方向・横断方向の複合された勾配がある場合、エア抜きパイプより流出する充填材の閉栓時期により空洞・ひびわれなどの欠陥の生じる可能性がある。これらの欠陥をなくすためには排出ロス量の設定および閉栓時の判断マニュアルなどの作成が必要である。

c) 使用機械

①実際の施工では大量のグラウトを現場作業で行う必要のあることから、練り混ぜ機は注入ポンプの吐出量の大きな能力を持った機種を選定が必要である。

②注入ポンプは、スクィーズ式とスネーク式が一般的に使用されているが、吐出量・圧力および最終のわずかな吐出量の制御ができる機種はないため、目的に合う機種の開発を行う必要がある。

d) 充填の確認方法

施工時に、一般に採用されている木製ハンマーによるたたき点検で充填状況を確認したところ、鋼板下面の一般部については確認できたが、補強部材の

複雑な部位では確認が困難であった。また、モルタル硬化完了後の充填状況の確認については、弾性波を用いた非破壊検査手法が有効である結果を得た。

(2) 今後の研究課題

セメント系充填材を用いた同様な床版補強工事や橋脚の耐震補強など類似の工事が多く予想される。そのためには今回の評価を進め、より流動性がよく取り扱いやすい材料の開発が急務である。そのためのポイントをまとめると下記のとおりである。

- ①充填限界厚さ（5～20mm）の設定
- ②充填厚さによる温度発熱機構の評価
- ③温度変化（特に低温時）による流動特性の改良
- ④高さ方向での密度変化、強度・付着力の変化の確認
- ⑤充填確認検査手法の確立と評価、検査手法の一般化

6. あとがき

本論文は、実橋の TL-25 荷重に対応する必要性にせまれ、損傷を受けた RC 床版の補強を行うにあたりセメント系充填材の研究を行ったものである。これらの試験研究を踏まえ、粉末エマルジョンの液体化など材料の改良、施工マニュアルの作成、ポンプの性能評価を実施した後、工事は平成6年11月より実施され平成7年12月に無事工事を完成することができた。これらは、計画当初から細部にわたりご指導を頂いた島田委員長（埼玉大学教授）はじめ名神老朽化検討対策委員会の皆様のおかげにより実施できたものである。文末をかりて、感謝する次第である。本文が、同様の補強工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（I 共通編），1994年2月。
- 2) 日本道路公団：車両大型化マニュアル（案），pp. 1-22，1995年3月。
- 3) 肥田研一，石井孝男，香山幸夫，上東泰：床版上面増厚工法の効果確認のための実橋載荷試験，土木学会第48回年次学術講演会（I），pp. 556-557，1993年9月。
- 4) 松井繁之，木村元哉，蓑毛勉：増厚工法による RC 床版補強の耐久性評価，構造工学論文集，Vol. 38A，pp. 1085-1096，1992年3月。
- 5) 山本忠守，飯東義夫，木曾茂：鋼板接着した鋼橋床版の耐久性評価に関する試験，コンクリート工学年次

- 論文報告集, Vol. 14, No. 2, pp. 993-998, 1992年.
- 6) 日本道路公団：上面増厚工法設計施工マニュアル, pp. 16-21, 財団法人高速道路調査会, 1995年11月.
 - 7) 吉兼秀典, 原田俊作, 島田淳次, 新田芳孝：アンダーデッキパネルによるRC床版の補強（檜大橋），橋梁と基礎, 第28巻第8号, pp. 111-112, 1994年8月.
 - 8) 日本道路公団：維持修繕要領（橋梁編）, pp. 4-46, 1988年5月.
 - 9) 充填材の品質評価委員会報告, コンクリート工学, pp. 5-13, Vol. 31, No. 8, 1993年8月.
 - 10) 日本道路公団：日本道路公団規格（無収縮モルタル品質管理試験方法, JHS-312）, 1992年.
 - 11) 松井 繁之：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について, 第9回コンクリート工学年次論文報告集, 9-2, pp. 627, 1987年.
 - 12) （社）日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧【第二版】, pp. 502-504, 技報堂出版(株), 1993年.
 - 13) 日本道路協会：道路橋鉄筋コンクリート床版防水層設計・施工資料, pp. 13, 75, 88-89, 1987年1月.
 - 14) 社団法人日本コンクリート工学協会：コンクリートの非破壊試験法研究委員会報告書, pp. 60-61, 1992年3月.
 - 15) 大島俊之, 岡林隆敏, 梶川康男, 加藤雅史, 川谷充郎, 久保雅邦, 枚本正信, 林川俊郎, 本田秀行, 前田研一, 米田昌弘：橋梁振動の計測と解析, pp. 184-188, 技報堂出版(株), 1993年.
 - 16) 土木学会：コンクリート標準示方書【平成3年版】設計編, pp. 16-34, 1991年9月.
 - 17) 日本道路公団試験研究所：断面修復材品質規格, 材料施工資料（第1号）コンクリート保護工, 日本道路公団試験研究所技術資料第121号, pp. 24-25, 1994年3月.
 - 18) 南荘淳, 森田悠紀雄, 枚本正信：非破壊検査手法を用いた杭基礎の損傷度調査, 第23回地震工学研究発表会, 1995年7月.

(1996. 4. 1受付)

STUDY ON THE CEMENT GROUT MATERIALS FOR STRENGTHENING OF CONCRETE SLABS

Yoshiyuki MOMIYAMA, Motohiro INAGAKI, Yoichi EGUCHI,
Hiroshi KAGAMIHARA and Wataru KOYANAGI

The strengthening technique of the steel plate gluing method has been widely applied to the repair of deteriorated reinforced concrete bridge slabs, where epoxy resin is always used as injection material. The technique is also used as a counterplot for the increase of the standard design load. However, portland cement system injection materials are considered to be more favorable from the view point of construction liability and economy. Various tests made on the cement were properties of the system injection materials for the application of ribbed steel plates in strengthening actual highway bridge slabs. This paper describes the process of the selection and the test results of the required properties in detail.