

報告 鋼床版舗装コンクリートへの繊維補強ポリマーセメント コンクリートの適用

伊藤 正憲^{*1}・早川 健司^{*1}・玉井 真一^{*2}・前田 欣昌^{*3}

要旨: 鋼床版上に打設する舗装コンクリートに乾燥収縮等に起因するひび割れの発生が考えられた。そこで、ひび割れの低減と分散、曲げ靱性、防水性等の向上を目的として各種の材料評価試験を実施した。本稿では、材料としてセメント混和用ポリマーディスパージョン、収縮低減剤、合理的な施工が可能なネット状のポリプロピレン繊維等の使用を検討した室内試験の結果と、実際の歩道橋鋼床版上に繊維補強ポリマーセメントコンクリートを適用し、品質管理試験等を実施した結果について報告する。

キーワード: 鋼床版, 繊維, ポリマー, 収縮低減, ひび割れ, 曲げタフネス, 分散性

1. はじめに

対象とした構造物は、渋谷区渋谷駅付近の国道および高速道路を横断する新設の歩道橋である。歩道橋の橋面は鋼床版上のタイル舗装とし、橋軸直角方向に排水勾配を取るために厚さ30～100mmのモルタルを打設するように設計した。

しかし、鋼床版上に一般的なモルタルを打設した場合、乾燥収縮、たわみ変形、振動等の影響により、モルタル自体にひび割れが発生し、歩道表面に貼り付ける厚さ2cmの磁器質タイルにひび割れが発生する可能性が考えられた。このようなひび割れが発生した場合、歩道面自体の美観を損ねるばかりでなく、雨水等が浸透し、鋼床版の発錆、これに伴うタイルのせん断剥離等が進展する可能性も考えられた。

本報告は、鋼床版上に打設する材料として、主に乾燥収縮に起因するひび割れを極力抑制し、また、曲げ靱性、防水性向上等を期待して実施した各種試験の結果と、実際に選定した材料を使用したコンクリートの打設状況および品質管理試験の結果について報告するものである。

2. 構造物概要

対象とした歩道橋はフィレンデル形式の橋桁であり、橋長49.5m、主構幅3.5mである。歩道橋の主桁構造図と横断図を図-1、図-2に示す。

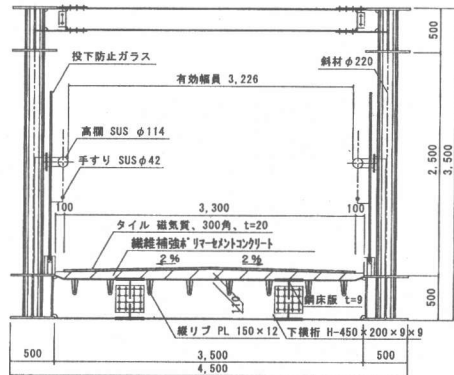


図-1 歩道橋 主桁構造図

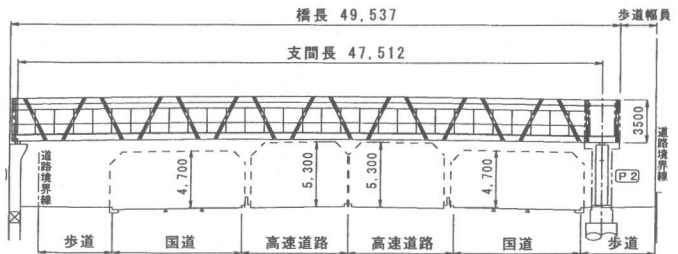


図-2 歩道橋 横断図

*1: 東急建設 (株) 技術研究所 土木研究室 工修(正会員)

*2: 東急建設 (株) 土木技術設計部 工修(正会員)

*3: 東急建設 (株) 土木技術設計部 工修

3. 使用材料の選定

表-1 に検討した使用材料を示す。鋼床版上に打設するコンクリートは、接着性、防水性、耐衝撃性等を考慮してポリマーセメントコンクリートが適用されることが多い。本検討においてもポリマーセメントコンクリートを基本とし、さらに、乾燥に起因する収縮を少なくするため「収縮低減剤」(以下、SRA)、また、ひび割れの低減と分散、耐疲労性の向上、曲げ靱性の向上を期待して「繊維」の使用を検討した。特に、繊維は一般的な補強用繊維と異なり、写真-1 に示すポリプロピレン繊維(以下、PPF)をネット状に結合加工したものを使用した。このPPF は表面に特殊な親水処理を施すことにより、従来の高分子系の繊維で問題となっていた分散性と付着性を改善した繊維であり、現場においてアジテータトラックに直接投入することが可能なものである。なお、粗骨材の最大寸法は最小断面寸法(舗装厚)等を考慮して 13mm とした。

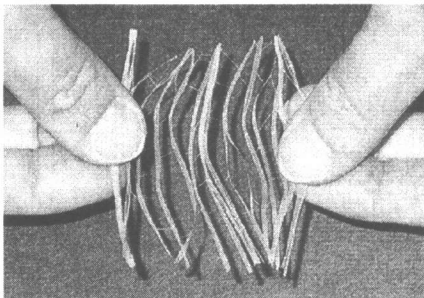


写真-1 ネット状ポリプロピレン繊維(PPF)

表-1 使用材料

項目	記号	種類/諸元	
セメント	C	普通	密度 3.16g/cm ³
		ホルランドセメント	
細骨材	S	細目:君津産	密度 2.64g/cm ³
		粗目:八王子産	細:粗=3:7
粗骨材	G	八王子産碎石	密度 2.64g/cm ³ G _{max} 13mm
ポリマー ディスパージョン	P	アクリルエマルジョン	全固形分 45.0%
繊維	PPF	ポリプロピレン ネット状繊維	L=19mm
収縮低減剤	SRA	低級アルコールのアルキレンオキッド付加物	
高性能減水剤	SP	ホリカルボン酸系	
消泡剤	MA	ホリアルキレングリコール誘導体	

4. 室内試験

4.1 配合

室内試験では、種々の性状を把握するためポリマーセメント比(以下、P/C)、PPF 混入率、SRA 添加量の違いによる影響を検討した。変化させた要因と水準を表-2 に示す。

目標としたコンクリートのスランプは、実施工における圧送、締固め、仕上げ方法などを考慮して 18±2.5cm、空気量 5±1.5%とした。配合を表-3 に示す。なお、収縮低減剤は単位水量の一部として配合計算した。

表-2 検討要因と水準

要因	水準
P/C(%)	0, 3.0, 6.0
PPF 混入率(vol%)	0, 0.15, 0.3
SRA 添加量(kg/m ³)	0, 3.0, 6.0

表-3 示方配合表(W/C=40%, s/a=65%)

No.	P/C (%)	PPF (vol%)	SRA (kg/m ³)	単位量(kg/m ³)					SP	MA
				W	C	S	G	P*		
1	0					1077	582	0	1.2	0.02
2	3	0	0	180		1054	570	13.5	0.6	0.02
3									0.5	0.02
4		0.30	3	177	450				0.8	0.04
5		0							0.6	0.06
6	6	0.30	6	174		1030	555	27	0.9	0.06
7		0.15							0.6	0.06
8		0.15	3	177					0.6	0.04

*: 全固形分の質量

4.2 試験項目

前述の様に本検討において使用を検討したPPF は、現着時にアジテータトラックに直接投入することが可能なものである。そこで、室内試験では実施工を考慮し、出荷時を想定したPPF 以外の材料で製造する「ベースコンクリート」、打設状態を想定した「PPF 混入コンクリート」の2つの状態で試験を実施した。なお、PPF を使用しない配合は、ベースコンクリートの試験のみ実施した。

図-3 に室内試験での練混ぜ方法、試験体採取状況を示す。なお、練混ぜは 50 リットルの強制練りパン型ミキサを使用した。

表-4 に実施した試験の項目と方法を示す。

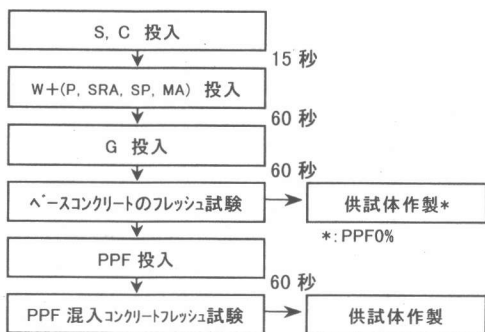


図-3 練混ぜ方法と供試体採取

表-4 試験項目と方法

試験項目	準拠/条件	材齢・試験体・養生等
スランプ*	JIS A 1101	
空気量	JIS A 1128	
吸水率	全浸吸水 24時間まで	材齢 28 日 φ10×5cm
透水	加水圧力 0.3N/mm ² 1 時間	材齢 28 日 φ10×5cm
圧縮強度	JIS A 1108	材齢 7, 28 日 20℃, 60%RH の室内で 封緘養生
ヤング係数	JSCE G502	材齢 28 日 φ10×20cm
曲げ たわみ	JSCE G552	材齢 28 日 □10×10× 40cm
ひび割れ 拘束	JIS 原案「コン クリートの乾 燥収縮ひび 割れ試験 方法」	コンタクトケー ジ法により 測定
長さ 変化率	JIS A 1129	材齢 7 日 まで 湿布養生, 以後, 20℃ 60%RH の室 内に暴露

4. 3 室内試験結果

(1)吸水・透水試験

最適な P/C を選定するた No.1～3 の配合を対象として吸水率試験および透水試験を実施した。図-4 に各コンクリートの 24 時間までの吸水率を示す。P/C を 3%とした場合の吸水率は 0%の場合とほぼ同等であった。一方、P/C を 6%とすると吸水特性が改善される傾向にあった。

表-5 に透水性を評価できる初期拡散係数を示す。ここで、初期拡散係数とは村田⁹⁾が提案している式(1)により算出したものである。その結果、P/C が大きくなるほど初期拡散係数は小さくなる傾向にあった。よって、本コンクリート適用場所が鋼床版上であること、および材

料コスト等を考慮すると P/C は 6%とすることが適当であると考えた。よって、これ以降の検討は、P/C を 6%とした No.3～8 の配合を対象とし、最適な PPF 混入率、SRA 添加量の選定を行った。

$$\beta o^2 = \alpha \frac{Dm^2}{4t\xi^2} \quad (1)$$

ここに、

βo^2 : 初期拡散係数(m²/sec)

Dm : 平均浸透深さ(mm)

t : 水圧を加えた時間(sec)

α : t に関する補正係数

ξ : 水圧に関する係数

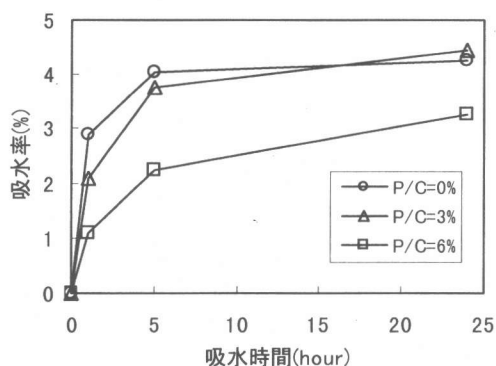


図-4 吸水時間と吸水率の関係

表-5 P/C と初期拡散係数 βo^2

P/C(%)	初期拡散係数 βo^2 (m ² /sec)
0	3.49E-06
3	2.14E-06
6	9.44E-07

(2)PPF を投入した時のスランプの変化

試験体作製時に PPF 投入前後のスランプの変化を確認した結果、PPF 混入率が高くなるに従いスランプは低下し、0.15vol%で 2.5～4.5cm、0.3vol%で 4.0～4.5cm 低下する傾向にあった。

(3)圧縮強度、ヤング係数

図-5 に各コンクリートの材齢 7 日、28 日の圧縮強度を示す。圧縮強度は、材齢 7 日で 29～33N/mm²程度、材齢 28 日は 39～44N/mm²程度が得られた。PPF 混入率の違い、SRA 添加量の違いによる圧縮強度に及ぼす影響はほとんど見られなかった。

図-6 に圧縮強度とヤング係数の関係を示す。圧縮強度に対するヤング係数の比は RC 示方書

の値²⁾よりも若干低くなる傾向にあった。これには、Gmax 等が影響しており、対象とする構造物が鋼床版上のコンクリートであることを考慮すると曲げ剛性が低くなり、たわみ追従性もある程度期待できるとも考えられる。

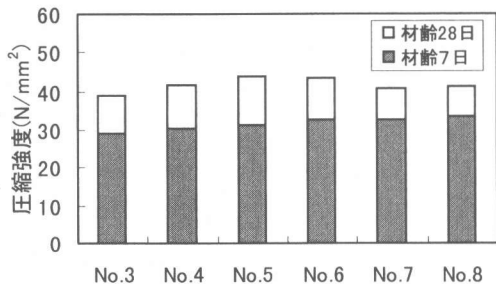


図-5 各配合の圧縮強度

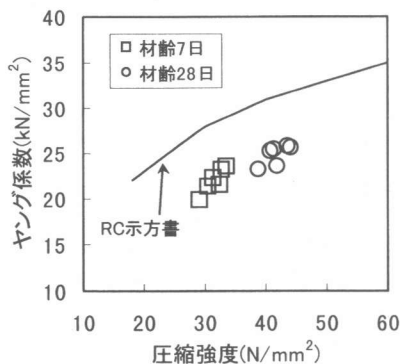


図-6 圧縮強度とヤング係数の関係

(4) 曲げ強度、曲げタフネス

材齢 28 日における曲げ強度は、PPF 混入率、SRA 添加量の違いによる明確な影響は無く 4.6 ～ 5.5 N/mm² 程度であった。

図-7 に曲げタフネス試験結果である荷重-たわみ曲線を、図中に各コンクリートの曲げ靱性係数を示す。試験の結果、PPF を混入したのは、最大荷重に達した後もある程度の耐荷力を示し、その程度は PPF 混入率が高くなるほど大きかった。よって、曲げ靱性係数は、PPF 無混入のもの(No.3, 5)が平均 0.01 N/mm² 以下であったのに対し、PPF:0.15 vol%としたもの(No.7, 8)が平均 0.12 N/mm² 程度、0.3 vol%としたもの(No.4, 6)が平均 0.18 N/mm² 程度となり、PPF 混入により曲げ靱性が改善される傾向にあった。

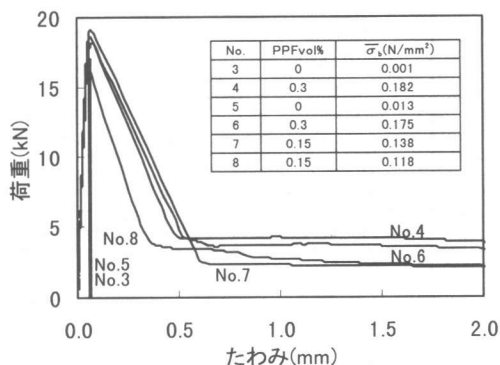


図-7 荷重-たわみ曲線

(5) 長さ変化

図-8 に乾燥期間と自由収縮ひずみの関係を示す。乾燥期間 180 日までの自由収縮ひずみは、SRA を添加することにより小さくなり、無添加のものと比較した場合、6 kg/m³ の添加で約 10 ～ 15% 程度収縮が抑制される傾向にあった。

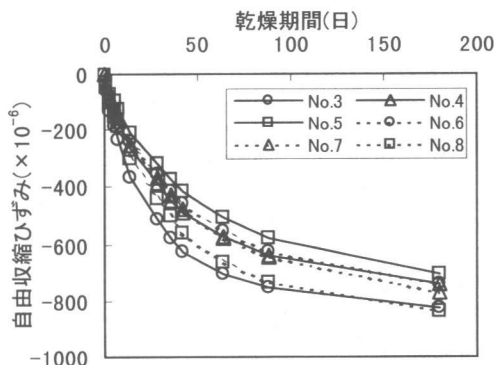


図-8 乾燥期間と自由収縮ひずみの関係

(6) ひび割れ

図-9 にひび割れ拘束試験の結果である乾燥期間と拘束鋼材のひずみの関係を、表-6 には各コンクリートのひび割れ発生日数の平均値を示す。ただし、図-9 には、ひび割れ発生材齢にばらつきがあるため、安全側である最も早くひび割れが発生した試験体のデータを示した。

ひび割れが発生するまでの日数は、SRA の添加量が多くなるほど長くなる傾向にあり、約 2 ～ 3 倍程度長くなる傾向にあった。

図-10 にひび割れ幅の経時変化を示す。なお、ひび割れ幅は自由収縮ひずみを差し引いたものである。また、No.5 は試験体 3 体ともに計測

した区間以外にひび割れが発生したため、データから除外した。

ひび割れ発生後のひび割れ幅の進展は SRA の添加量が多いほど、PPF の混入率が大きくなるほど抑制される傾向にあり、SRA:6kg/m³、PPF:0.3vol%とした No.6 は無添加の No.3 と比較して約 20%程度ひび割れ幅の進展が抑制されていた。しかし、図-10 中の長期乾燥期間における傾きに PPF の混入率による影響がほとんど見られなかった。これは一般的な鋼繊維と比較した場合、ポリプロピレン繊維自体のヤング係数が小さいことに起因するためと考える³⁾。

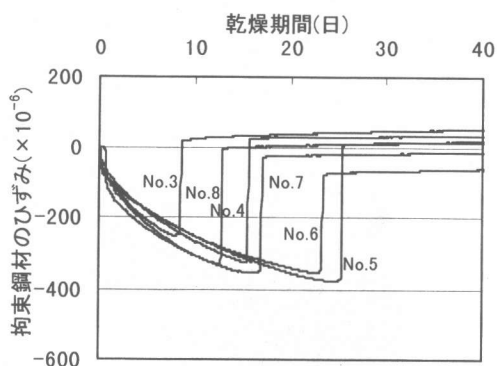


図-9 乾燥期間と拘束鋼材ひずみの関係

表-6 ひび割れ発生日数の平均

No.	3	4	5	6	7	8
SRA(kg/m ³)	0	3	6	6	6	3
PPF(Vol%)	0	0.30	0	0.30	0.15	0.15
ひび割れ発生日数(平均)	9.5	15.6	26.5	26.7	18.7	15.1

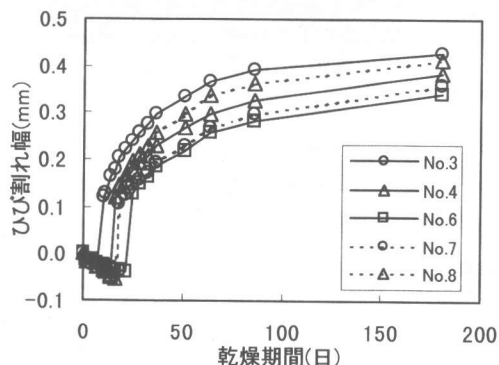


図-10 乾燥期間とひび割れ幅の関係

(7)PPF の分散性

実際の打設では、現着時のアジテータトラックに所要量の PPF を直接投入する。この場合、何分の攪拌時間で PPF が均一に分散するかを確認しておく必要がある。そこで、積載量 2m³で運搬したスランプ 22cm のコンクリートに直接投入から PPF を手投入し、一定の排出量毎(0.3m³ 毎)に試料を採取し PPF の分散性を洗い試験により評価した。なお、分散性の評価では、ポリマー、収縮低減剤は使用しなかった。

表-7 に PPF 洗い試験の結果を示す。なお、このデータは PPF 投入後の攪拌時間を高速 5 分とした場合の結果である。アジテータトラックから 6 回の試料を採取し、各 PPF 混入率を測定した結果、PPF の開繊状態も良好であり、ほぼ一様な結果が得られた(変動係数 3.5%)。よって、実際の打設では PPF 投入後 5 分以上の高速攪拌が必要であることが確認できた。

表-7 PPF 洗い試験結果

採取No.	1	2	3	4	5	6
PPF混入率(%)	0.29	0.30	0.29	0.29	0.32	0.29

平均:0.30%, 変動係数:3.5%

4.4 材料の選定結果

鋼床版上に打設するコンクリートに発生する可能性のあるひび割れを極力抑制するため、主に P/C、収縮低減剤および繊維の混入率を変化させて各種性能評価試験を実施した。その結果、打設するコンクリートとしては、P/C:6%、PPF 混入率:0.3vol%、SRA 添加量:6kg/m³ の No.6 の配合が最も適当であると判断した。

5. 実構造物への適用

5.1 打設概要

(1)配合

配合は骨材物性が室内試験で使用了のものと若干異なっていたため、事前に実際の打設に使用する骨材を使用して試験練りを行い、配合を修正した。また、打設現場周辺の交通量が非常に多く、気温も高いことが予想されたため、想定運搬時間 70 分、気温 30℃程度でスランプ

ロス等がほとんどないことも試験練りにおいて確認した。

(2)品質管理

設計打設数量は約 16m³であった。よって、4m³積みで4車のアジテータトラックで運搬し、各車 12kg(1kg 袋×12)の PPF を投入して 8 分攪拌した後、ポンプ圧送(最長配管約 80m)して打設した。表-8 に品質管理項目と結果をまとめて示す。なお、フレッシュコンクリートの試験は 1 車目と 3 車目で実施し、また、3 車目より圧縮、曲げ強度試験用の試験体采取了。

実際の打設では、平均運搬時間約 55 分、PPF 投入後も室内試験の結果と同じ 4.5cm のスランプロスとなり、想定していたコンシステンシーを確保することができた。

表-8 品質管理項目と結果

項目	時期	基準	1 車目	3 車目
スランプ試験	出荷時	23~24cm	23.5	23.5
	現着時	22~23cm	22.5	-
空気量試験	PPF 投入後	18±2.5cm	18.0	19.5
		5±1.5%	6.5%	6.5%
コンクリート温度		-	31.5℃	32.0℃

表-9 に打設時に採取した試料の圧縮、曲げ強度試験結果を、図-11 に曲げタフネス試験結果の一例を示す。圧縮強度は室内試験の結果よりも若干大きくなり、曲げ強度は同等となった。また、曲げ靱性係数は若干低くなった。しかし、最大荷重に達した後の耐荷力の程度が室内試験の結果とほぼ等しくなったことより、実際に打設したコンクリートは目的としたコンクリートが良好な状態で打設できたものと考ええる。打設状況、完了状況を写真-2、3 に示す。

6. あとがき

本報告では、歩道橋鋼床版上に打設するコンクリートのひび割れの分散と抑制、曲げ靱性、防水性の向上等を目的に各種の材料、配合について室内試験として実施した内容、および実際の現場で適用した状況について報告した。今後も供用後の状態などを追跡調査し、ひび割れの発生の有無等について調査していきたい。

表-9 実施工打設コンクリートの試験結果(N/mm²)

項目		室内(No.6)	実施工
圧縮強度	7d	32.5	38.3
	28d	43.6	49.4
曲げ強度	28d	5.3	5.3
曲げ靱性係数		17.5	14.8

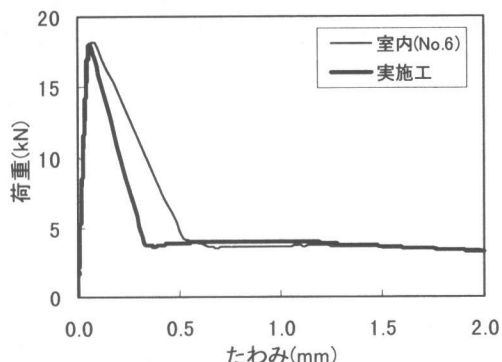


図-11 荷重-たわみ曲線



写真-2 打設状況

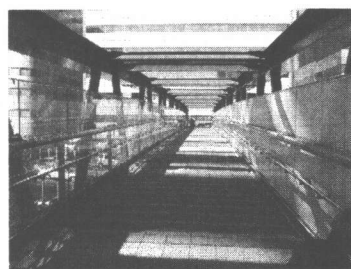


写真-3 橋面工 完了状況

謝辞

本検討を実施するにあたり三菱化学産資(株)手塚氏、武田薬品工業(株)南田氏、(株)ジェーフェック山代氏ほか、関係各位のご協力に感謝致します。

参考文献

- 1)村田二郎他:コンクリートにおける加圧浸透流に関する研究,コンクリート工学論文集,Vol.11, No.1,pp.61-74, 2000.1
- 2)土木学会:コンクリート標準示方書(設計編)
- 3)原田用久他:新交通システム走行路のひび割れ対策に関する実験的研究,土木学会第 49 回年次学術講演会講演概要集,V-501,pp.1002-1003,1994.9