Japan Concrete Institute

報告　ＰＶＡ繊維補強モルタルの軌道構造物への適用

松尾　庄二[*1]・小林　正介[*2]・大和田　裕[*3]・松岡　茂[*4]

要旨：弾性まくらぎ直結軌道の道床コンクリートは，通常，鉄筋コンクリート構造が用いられる。しかし，配筋が複雑なため，鉄筋組立てやコンクリート打設の作業が煩雑になりやすい。このような作業の省力化や鉄筋を無くすことによる耐久性の向上を目的として，分岐部の道床コンクリートを PVA 繊維補強モルタルにより施工した。長距離のポンプ圧送による打設を行ったが，施工性・硬化後の品質ともに良好な結果であった。

キーワード：弾性まくらぎ直結軌道，道床コンクリート，繊維補強モルタル，PVA 繊維

1. はじめに

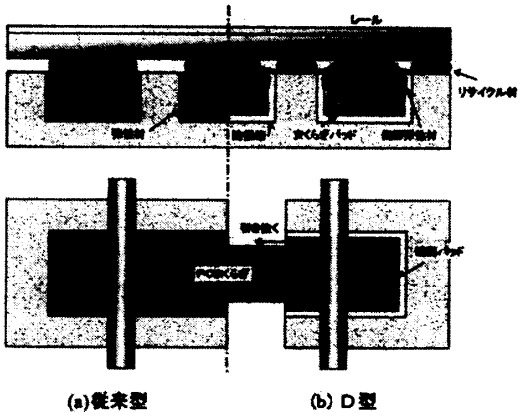
踏切除却による交通渋滞の解消を主たる目的として，都市部を中心に鉄道の高架化事業が進められている。従来，高架軌道では，騒音・振動など沿線環境の面から，有道床軌道が主体となっていたが，近年では騒音の低減に有効な弾性まくらぎ直結軌道（以下，弾直軌道と略称する）も採用されている。弾直軌道の道床コンクリートについては，通常，鉄筋コンクリート構造が用いられる。しかし，まくらぎの下側やまくらぎ間など狭隘な箇所に鉄筋を組み立てるため，かなり労力を要する作業となる。また，特に軌道の分岐部においては，線路軸方向の配筋が複雑となるため，鉄筋組立ての作業はなおさら煩雑である。一方，PVA 繊維などの短繊維で補強された高靭性セメント複合材料(DFRCC)は，ひび割れ面において引張応力を伝達するためひびわれ抵抗性能が高く，靭性に優れた材料である[1)]。このような材料を用いて，道床コンクリートを無筋構造にすることで，配筋作業を省略でき，またコンクリートの打設も容易となる。さらに，無筋構造であることから耐久性上も有利である。このようなことから着脱式弾性まくらぎ直結軌道（Ｄ型弾直軌道）を対象とした，道床コンクリートへの PVA 繊維補強モルタルの適用が検討された[2)3)]。

本報は，分岐部に PVA 繊維補強モルタルを用いた施工事例を紹介するものである。

2. PVA 繊維補強モルタルの道床コンクリートに対する適用性の確認

2.1 Ｄ型弾直軌道の構造

Ｄ型弾直軌道（一般部）は，図－１に示すように，道床コンクリートに埋め込まれた防振箱に弾性材を介して，PC まくらぎを取り付ける構造となっており，従来型と比較するとまくらぎの交換が容易である。



図－１　Ｄ型弾直軌道一般部[鉄道総研 HP より]

*1 鉄建建設（株）　エンジニアリング本部技術センター　(正会員)
*2 横浜市交通局　電車部施設課　課長
*3 鉄建建設（株）　横浜支店ＪＶ横浜軌道作業所　所長
*4 鉄建建設（株）　エンジニアリング本部技術センター　副所長　工博　（正会員）

NII-Electronic Library Service

表－1　PVA 繊維補強モルタルの基本配合

水セメント比(%)	砂セメント比(%)	繊維混入率(%)	単位量(kg/m³)	
			水	セメント
40	1.27	2.0	320	800

一方，分岐部は，道床コンクリートに埋め込まれた栓を介して，合成まくらぎがボルトで締結された構造となっている。

2.2 適用性確認実験

(1) 実験項目

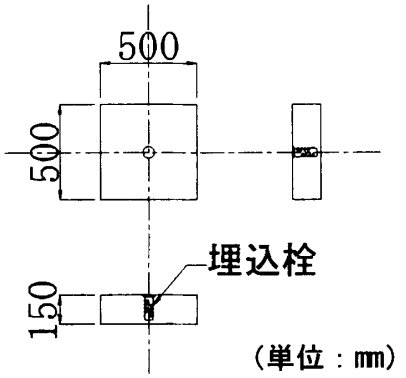
D型弾直軌道の道床コンクリートに繊維補強コンクリートを用いるにあたり，(財)鉄道総合技術研究所・日本鉄道建設公団（現鉄道建設・運輸施設整備支援機構）・北武コンサルタント㈱および鉄建建設㈱の4者により共同研究を行った。

共同研究では，一般部道床コンクリートへの適用性を確認するための実験として，実物大試験体を用いたレール直角方向およびレール長手方向の載荷試験，部分試験体を用いた疲労試験をそれぞれ実施した[2)]。また，分岐部道床コンクリートへの適用性を確認するために，暴露試験によるひび割れ発生状況の調査[3)]，引き抜き抵抗力試験およびせん断抵抗力試験を行った。ただし，いずれの試験体も道床コンクリートとしては，表－1に示すPVA繊維補強モルタルを用いた。なお，補強用繊維としては，繊維長12mm，繊維径0.1mmのPVA繊維を体積比で2%混入し，またセメントは普通ポルトランドセメントを使用した。

(2) 実験内容および結果

上記の実験のうち，実物大の載荷試験・疲労試験および暴露試験については，それぞれ文献2)，3)を参照していただきたい。結果のみを述べると以下のようになる。

- PVA 繊維補強モルタルを用いた一般部道床コンクリートは，強度および疲労に対する耐久性について問題ない。
- 分岐部のように打設面が大きい場合でも，ひび割れ分散効果により有害なひび割れは発生しない。また，加齢により強度が増進しても靭性が保持される。



図－2　引き抜き抵抗力試験体

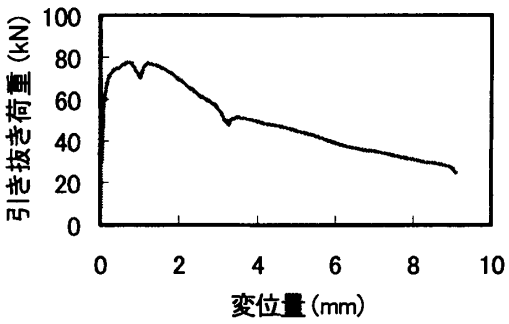
本項では，引き抜き抵抗力試験およびせん断抵抗力試験について報告する。

a) 引き抜き抵抗力試験

列車荷重作用時に，道床コンクリートに埋め込まれた栓の引き抜き抵抗力を確認するために引き抜き試験を行った。図－2に示す平板状の試験体中央の埋込栓に締めこんだボルトを，センターホールジャッキにより引き抜いた。

図－3に引き抜き荷重とボルトの変位量の関係を示す。最大荷重は77.5kNを示し，設計荷重50kNを上回ることを確認した。最大荷重後埋込栓は大きく変位し，最終的には埋込栓が完全に抜けた。埋込栓が抜ける際のひび割れ状況を写真－1に示す。埋込栓は周辺のPVA繊維補強モルタルを多少引きずりながら抜け出てきた。

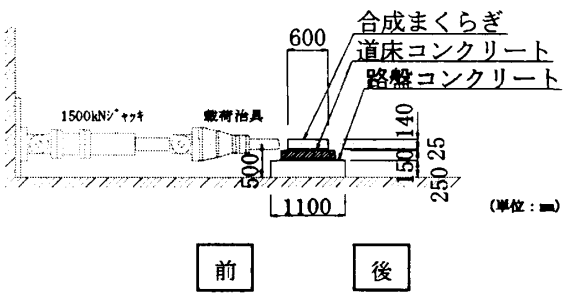
引き抜かれた後の埋込栓は，下部先端が破損



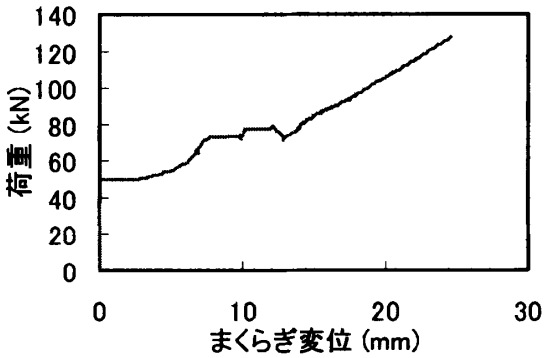
図－3　引き抜き抵抗力試験結果

NII-Electronic Library Service

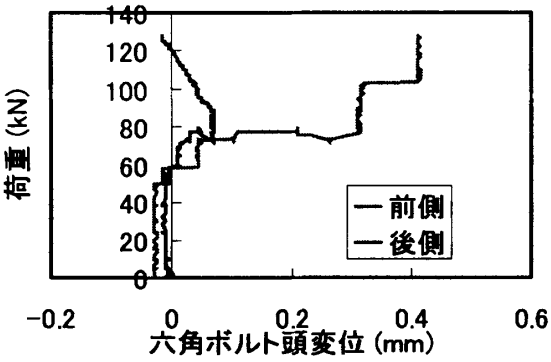
写真－１　埋込栓引き抜き状況



図－４　せん断抵抗力試験載荷方法



図－５　せん断抵抗力試験結果



図－６　六角ボルトの変位

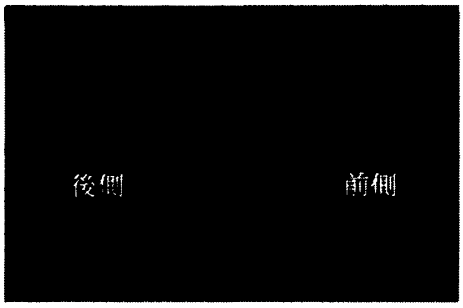
しており，また側面凸部の山が削られていた。すなわち，最大荷重は埋込栓の耐力で決まったものと判断される。

b) せん断抵抗力試験

道床コンクリートに埋め込んだ栓を介して固定したまくらぎを水平方向に載荷し，その挙動からせん断力に対する抵抗性に関する特性を確認するために行った。図－４に載荷の模式図を示す。試験体は，RC 製の路盤コンクリート・PVA 繊維補強モルタル製の道床コンクリートおよび合成まくらぎで構成されている。路盤コンクリートと道床コンクリート間にはジベル筋を配置し，道床コンクリートと合成まくらぎ間には間材として鉄板を配置した。合成まくらぎは，実構造と同様に，道床コンクリート内の埋込栓と六角ボルトにより固定されている。

図－５に荷重とまくらぎの水平変位との関係を示す。荷重 50kN 付近で，いったん変位が進行したものの，その後再び荷重が上昇していき，80kN 付近でまた変位が急に増大した。荷重と六角ボルト頭部の変位の関係は図－６に示すとおりであるが，荷重 80kN 付近で双方のボルトの変位方向が異なってきているのがわかる。この時点で，まくらぎのジャッキ側（前側）が押し上げられてきたものと考えられる。この原因は，写真－２に示すように，ボルト固定用の孔の形状が双方で異なっていたため，均等な抵抗力が生じなかったためと考えられる。ただし，このような条件下でも設計荷重 60kN は上回っており、充分な耐力を有していると判断できる。

以上のような一連の実験結果から，PVA 繊維補強モルタルが D 型弾直軌道の道床コンクリートに適用可能であると判断した。

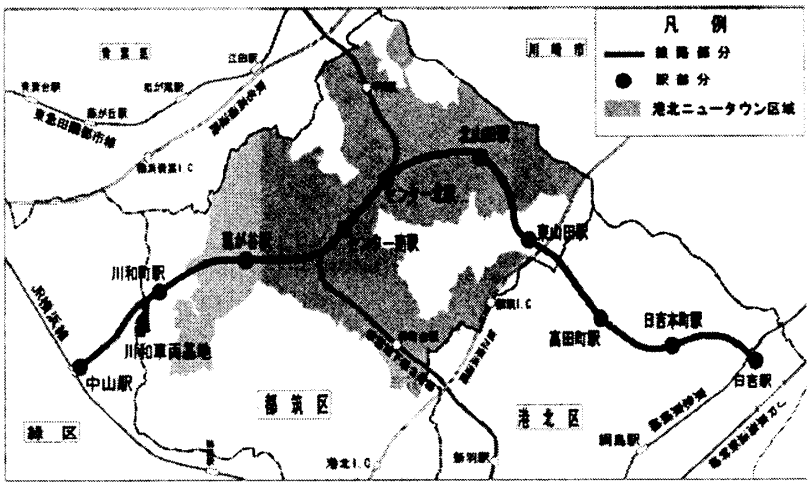


写真－２　ボルトの変形状況

NII-Electronic Library Service

3. 実構造物への適用事例

横浜環状鉄道日吉～中山間新設工事（図－7参照）において，直結軌道分岐部の道床コンクリートにPVA繊維補強モルタルが使用された。以下に，施工の概要・品質管理方法等について記す。



図－7　横浜環状鉄道路線図［横浜市HPより］

3.1 施工箇所

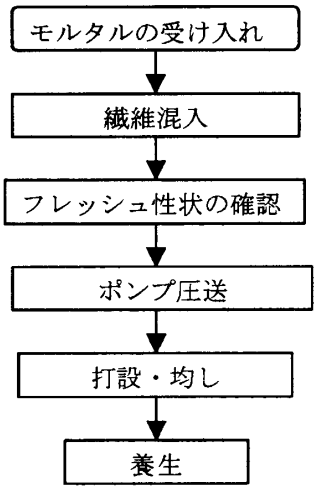
横浜環状鉄道日吉～中山間は，図－7に示すように横浜市北部地域に建設中の総延長 13.1km の地下鉄路線（市営地下鉄4号線）である。このうち，地上区間は 2.4km であり，なかでもセンター北駅～センター南駅間は，既存の市営地下鉄3号線と並行する高架橋区間である。この区間のセンター北駅付近（7k400m～7k650m 間）に，引上げ線および引込み線として中線が設けられている関係で5箇所の軌道分岐部（片開き分岐器，横取り装置）があり，ここでPVA繊維補強モルタルが採用された。1箇所あたりの打設量は約 25m^3 である。

3.2 配合の決定

使用するPVA繊維補強モルタルの配合は，表－1に示す基本配合にしたがって定められた。ポンプ圧送などの施工性の点から，高い流動性が，また，硬化後の性能としてひび割れ抵抗性が要求された。施工前の段階で，生コン工場における室内試験練りおよびアジテータ車を用いた実機練り試験を行い，詳細を決定した。

3.3 施工手順および施工状況

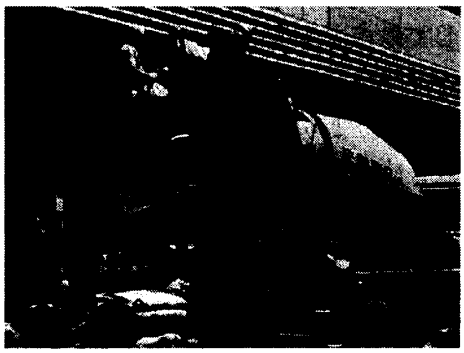
図－8に軌道分岐部におけるPVA繊維補強モルタルの施工手順を示す。



図－8　施工手順

(1) PVA繊維補強モルタルの練り混ぜ

PVA繊維補強モルタル品質確保の点から考えると，生コンプラントにおいてモルタルの製造から繊維の混入，練り混ぜまでの一連の工程を行うことが望ましい。しかし，繊維補強系材料と通常のモルタル・コンクリートとは，同一プラントで交互に製造するのは，実際上不可能である。また，今回の場合，打設数量も少ないためプラントでの製造は難しい。したがって，生コンプラントにおいて製造したプレーンモルタルをアジテータ車により運搬し，打設場所の近傍で繊維を混入することにより，所定のPVA繊



写真－3　PVA繊維投入状況

NII-Electronic Library Service

Japan Concrete Institute

表－2　品質管理試験一覧

項目		検査方法	時期・回数	判定基準
フレッシュコンクリートの状態		責任技術者またはそれと同等の技術者による目視	荷卸し時 随時	ワーカビリティーがよく、品質が均質で安定していること
繊維混入前	スランプフロー	JIS A 1150 の方法	荷卸し時 1回／日または構造物の重要度と工事の規模に応じて約50m³ごとに1回、および荷卸し時に品質変化が認められた時	575～725mm
	空気量	JIS A 1116 の方法 JIS A 1118 の方法 JIS A 1128 の方法		0～7%
	温度	温度測定		10℃～35℃
繊維混入後	スランプ	JIS A 1101 の方法		18.0±2.5cm
	空気量	JIS A 1116 の方法 JIS A 1118 の方法 JIS A 1128 の方法		5～15%
	温度	温度測定		10℃～35℃
硬化後	圧縮強度試験	JIS A 1108 の方法		σ_{28}で 24N/mm²以上
	曲げ強度試験	参考資料－1，2※		σ_{28}での破壊エネルギーが 13.9N/mm以上

※横浜市交通局内部資料

維補強モルタルを製造するものとした。なお，アジテータ車内のモルタル量が多いと PVA 繊維が十分に分散しない恐れがあるため，1 車あたり 3m³ の積載量とした。

運搬されてきたプレーンモルタルについて，スランプフロー等のフレッシュ性状を確認した後，所定量の PVA 繊維をアジテータ車に投入する（**写真－3**）。その際，繊維が固まりにならないように，ドラムを高速回転させながら少しずつ投入していく。所定量（1m³ あたり 26kg）の投入が完了した後，120 秒以上ドラムを高速回転させ，十分に撹拌を行う。練り混ざり状況を目視により確認し，十分でない場合，さらに 60～90 秒程度の高速回転を行うものとした。

(2) フレッシュ性状の確認

練り上がった PVA 繊維補強モルタルについて，フレッシュ性状（スランプ，空気量，温度）の確認を行う。ただし，繊維混入前のモルタルの場合，スランプフローにより規定されるのに対して，繊維混入後はスランプにより管理される。

(3) ポンプ圧送および打設

モルタルの打設は，コンクリートポンプ車を用いてポンプ圧送により行った。作業用地の関係で，配管距離は最長で水平方向が 300m、垂直方向が 10m 程度であったが，モルタル自体の流動性が高いことと，無筋構造であるため打設は容易であった（**写真－4**）。

写真－4　打設状況

4. 品質管理

4.1 管理項目

表－2に，今回使用した PVA 繊維補強モルタルの品質管理項目を示す。このうち，フレッシュ性状に関する項目は，通常のコンクリート工と同様に施工性を保証するものである。ただし，繊維補強コンクリート／モルタルを現場製造する，すなわち本施工のようにアジテータ車による繊維混入を行う場合，繊維混入の前後において各々フレッシュ性状を確認する必要がある。

硬化後の品質管理項目のうち曲げ強度試験は，土木学会規準「鋼繊維補強コンクリートの曲げ強度および曲げタフネス試験方法」(JSCE-G

NII-Electronic Library Service

表－3　フレッシュ性状試験結果例

試験時期	SLF(mm×mm)	SL(cm)	空気量(%)	温度(℃)	外気温(℃)
繊維混入前	660×650	－	2.2	33	31
繊維混入後	－	20.5	9.5	33	31

552-1999)に準じた試験方法であり，ひび割れ分散性能等の靭性を保証する繊維補強系材料に特有の試験項目である。曲げ引張応力－開口幅曲線下の面積を破壊エネルギーと規定して，解析的に定められた管理基準線と曲げ試験による実測値とを比較する方法である[4]。ただし，開口幅としては，供試体底面の曲げスパン部（切欠きは設けない）に標点間距離100mmで設置したパイ型変位計により測定した値を用いる。

4.2 試験結果

(1) フレッシュ性状に関する品質管理試験

表－3に試験結果の一例を示す。夏期の施工であったため，外気温・コンクリート温度ともにかなり高温であった。しかし，繊維の分散性状は，目視による確認結果では良好であった。

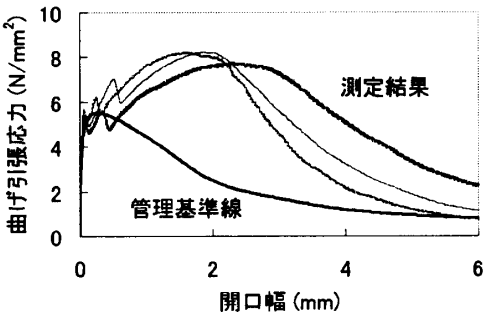
繊維混入による空気量の増分は7.3%と大きいが，全体の練り混ぜ時間（8～10分程度要した）も影響したものと考えられる。

(2) 硬化後の性状

表－3に示したフレッシュ性状試験時に採取した供試体による強度試験結果を表－4および図－9に示す。なお，いずれも3供試体の平均値で表している。この結果は表－2の管理基準値を満たしており，適切な性能を有することが確認できた。また，曲げ強度試験結果のばらつきが小さいことから，フレッシュ時の繊維分散性が良好であったと考えられる。

表－4　強度試験結果例

項目	実測値	管理基準値
圧縮強度	42.6N/mm^2	24N/mm^2
破壊ｴﾈﾙｷﾞｰ	28.9N/mm	13.9N/mm



図－9　曲げ強度試験結果

5. まとめ

本報文では，PVA繊維補強モルタルを弾性まくらぎ直結軌道（分岐部）の道床コンクリートに適用した施工事例を報告した。通常のコンクリートと比較すると，製造・施工の点で若干難しい面があり，またコスト面でも割高になることから，PVA繊維補強モルタルに代表されるDFRCC（高靭性セメント複合材料）は，優秀な性能を発揮するにもかかわらず実施工に使用されることは少ない。本事例のように，少量ながらも使用していくことにより，認知度が高まることを期待するものである。

参考文献

1) (社)日本コンクリート工学協会編：高靭性セメント複合材料を知る・作る・使う，高靭性セメント複合材料の性能評価と構造利用研究委員会報告書，2002.1
2) 向井　明ほか：繊維補強道床コンクリートを用いた弾直軌道の性能試験，土木学会第57回年次学術講演会，IV-454，pp907-908,2002.9
3) 益田　彰久ほか：繊維補強道床コンクリートのひび割れ性状に関する実験的検討，土木学会第58回年次学術講演会，IV-029，pp57-58 2003.9
4) 益田　彰久ほか：繊維補強コンクリート品質管理についての一考察，土木学会第55回年次学術講演会，V-321，pp642-643,2000.9

NII-Electronic Library Service