

低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体の開発

オリエンタル白石(株) 正会員 工修 ○俵 道和
 太平洋マテリアル(株) 石田 学
 オリエンタル白石(株) 中西 雅人
 西日本高速道路(株) 加藤 大樹

キーワード：連結床版，低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体，移動式ミキサ

1. はじめに

PC連結桁橋では、図-1(a)に示すとおり、一般に架設した隣接径間のPC桁どうしを横桁上で横桁と一体化させる方法が用いられる。しかし、連結部の鉄筋量が多く施工が煩雑であり、隣接する主桁の桁高や断面形状が異なる場合には横桁部で断面および桁下端側の配筋が不連続となる場合がある。これに対して図-1(b)に示す連結床版構造は、隣り合う径間のPC桁を床版で連結して連結桁橋とするもので、PC桁を変形性能の高い床版でつなげて、連結部に作用する断面力を低減でき、連結部の施工性や維持管理の向上を図ることが可能となる。とくに断面力が大きい箇所の連結床版に関しては一般的なコンクリートよりも弾性係数が低い材料を使用し、床版支間を大きくすることで、床版部に作用する断面力を低減することができる。しかし、従来のコンクリートについて弾性係数を低くしようとすると、圧縮強度が低下し、必要とする設計基準強度を満足することができなくなる。また、一般的なモルタルや軽量骨材などを使用することで弾性係数は小さくなるが、初期ひび割れの発生や脆性的な破壊を生じる可能性があり、長期耐久性の低下が懸念される。

そこで本稿では、連結床版構造に使用する材料に関してこれらの問題を解決するため、弾性係数が低く、じん性を有し、ひび割れ分散性および鉄筋防食効果などの耐久性に優れた低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体の適用性について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体の材料特性

低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体は、中国自動車道の福崎IC～山崎IC間に位置する福崎新高架橋の連結床版への適用を目指して、設計に示される要求性能を満足するように配合選定を行った。本工事での低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体に示される要求性能を表-1に示す。道路橋示方書¹⁾に示される圧縮強度が30N/mm²のコンクリートのヤング係数は28kN/mm²に対して、要

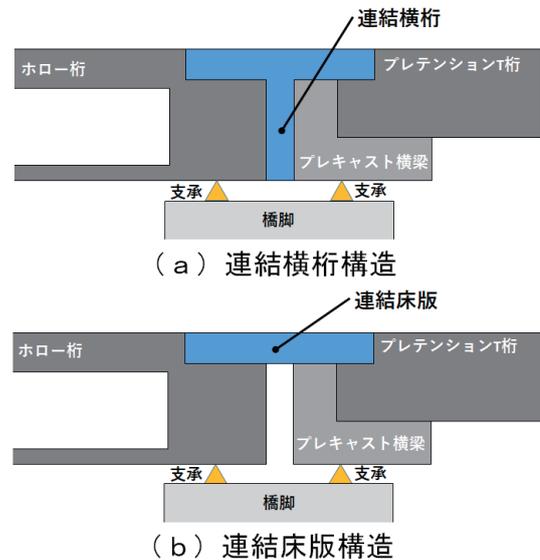


図-1 連結横桁構造と連結床版構造の比較

表-1 要求性能

項目	要求性能
圧縮強度	材齢7日で30N/mm ² 以上
ヤング係数	材齢28日で25kN/mm ² 以下
全収縮	最終値で-1000×10 ⁻⁶ 以上
塩分浸透抵抗性	普通コンクリートと同等以上の性能
中性化抵抗性	
凍結融解抵抗性	凍結融解300サイクルでの相対動弾性係数が60%以上

表-2 使用材料

項目	種類
モルタルパウダー	セメント系複合体
ゴムラテックス混和液	SBR系ポリマー
有機繊維	PP繊維 (繊維長12mm)

表-3 配合表

混和液 パウダー比 (%)	繊維 混入量 (Vol%)	単位量 (kg/m ³)		
		ゴムラテックス 混和液	モルタル パウダー	有機繊維
13.6	0.8	258	1895	7.58

求性能は25kN/mm²以下であり困難を要する条件であった。また、既設の場所打ちホロー桁と架け替え新設のプレテンションT桁を連結する連結床版部は後打ち施工となるため、主桁に拘束されひび割れが発生する懸念があった。このため、低弾性高じん性セメント系複合体は、繊維を混入することでじん性とひび割れ分散性に優れて、収縮については一般的なコンクリートと同等以上の性能を満足するものとした。また、塩分浸透抵抗性や中性化抵抗性などの耐久性については、ひび割れ発生懸念があるために、ポリマーを分散し緻密となる硬化体を生成することで、一般的なコンクリートよりも高い耐久性能を確保した。

表-4 室内試験結果

試験項目	試験方法	試験結果
環境温度 (°C)	棒状温度計	20.0
練り上がり温度 (°C)	JIS A 1156	24.4
フロー値 (mm)	0打	118×116
	15打	151×150
単位容積質量 (kg/L)	JIS A 1171	2.05
凝結時間 (h-m)	始発	8-40
	終結	10-15
圧縮強度 (N/mm ²)	7日	41.1
	28日	51.4
ヤング係数 (kN/mm ²)	28日	21.5
曲げ強度 (N/mm ²)	JIS A 1106	10.3
曲げじん性係数 (N/mm ²)	JSCCE-G552	5.0
自己収縮 (×10 ⁻⁶)	7日	埋め込み型ひずみ計 +131 (膨張)
乾燥収縮 (×10 ⁻⁶)	182日	JIS A 1129-3 -313 (収縮)
見かけの拡散係数 (cm ² /年)	JSCCE G 572	0.285
中性化抵抗性 (mm)	JIS A 1153	1.0
凍結融解抵抗性 (%)	JIS A 1127	79.4

2.2 使用材料および配合

使用材料を表-2に示す。低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体は、表-3に示すとおり、ゴムラテックス混和液、モルタルパウダーおよび有機繊維を混合して製造する。モルタルパウダーは、セメント、混和材、膨張材および細骨材で構成された材料である。練混ぜ水は、専用のゴムラテックス混和液を原液で使用した。

2.3 製造方法

開発した低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体は、ハンドミキサーを用いた手練りもしくは大型の移動式ミキサーを用いた練混ぜも可能であり、移動式ミキサーを使用することで大規模な施工にも対応可能である。ハンドミキサーを用いて製造する場合は、ゴムラテックス混和液 (標準使用量3.4kg) を先に投入し、ハンドミキサーを回転させながらモルタルパウダー (25kg/袋) を徐々に加えて60秒攪拌し、有機繊維を加えてさらに60秒間均一になるまで攪拌する。写真-1に示す移動式ミキサーを使用する場合は、1バッチの製造量は0.7m³ (公称容量1.0m³) とし、ゴムラテックス混和液を全量投入し、モルタルパウダーおよび有機繊維の半量を投入し60秒攪拌した後、残りのモルタルパウダーおよび有機繊維の半量を投入し180秒攪拌した後排出する。



写真-1 移動式ミキサー

3. 試験結果

3.1 室内試験結果

標準的な配合として、ハンドミキサーでモルタルパウダー25kg/袋について低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体を製造した試験結果を表-4に示す。見かけの拡散係数は材齢13週まで10%NaCl溶液に浸漬し電子線マイクロアナライザ (以下、EPMAと示す。) で測定した結果を示し、中性化抵抗性は材齢26週での結果を示す。流動性を表す指標として15打モルタルフローの状況を写真-2に示す。0打フロー値が117mmで、15打フロー値は151mmであった。写真-2に示すように、振動を与えることで材

料分離を生じることなくフロー値が大きくなることが確認された。図-2に自己収縮の試験結果を示す。モルタルパウダーには膨張材が混和されているために材齢1日で 130×10^{-6} 程度の膨張が確認され、材齢60日で -50×10^{-6} 程度の収縮が確認された。図-3に乾燥収縮の試験結果を示す。材齢1日の脱枠後を基準として測定した結果を示すが材齢10日程度まで膨張効果を持続しており、その後、材齢182日で 313×10^{-6} 程度の収縮を示した。コンクリート標準示方書²⁾に示される式で収縮の最終値を算出した結果、 365×10^{-6} の収縮であり要求性能を満足することが確認された。

3.2 移動式ミキサの練混ぜ性能確認試験

実機施工を想定し、移動式ミキサの練混ぜ性能を確認するためにミキサから排出される排出前、排出中、排出後の圧縮強度用の試験体を採取し圧縮強度および単位容積質量の比較を行った。練混ぜ方法は材料をすべて投入した後の練混ぜ時間を120秒と180秒の2種類を設定した。移動式ミキサから排出された排出前、排出中、排出後の圧縮強度の平均値とそれぞれの圧縮強度の比を示したものを図-4に示し、単位容積質量の平均値とそれぞれの単位容積質量の比を示したものを図-5に示す。練混ぜ時間が120秒の場合は、圧縮強度比および単位質量容積比が排出前、排出中、排出後の順で小さくなることが確認された。その原因として、ミキサ内で材料が均一に練り混ぜられる前の状況であり、ミキサの形状が傾動式であるため低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体を排出する際に排出前の部分にミキサ下部の低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体が排出され、排出中、排出後の順で上部の低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体が排出され排出位置の密度の差によって圧縮強度および単位容積質量について違いが生じたものと考えられる。一方、練混ぜ時間を180秒とした場合は、圧縮強度比については多少のバラツキはあるが120秒時と比較して試験体採取箇所の違いによる圧縮強度比の差は小さくなり、単位容積質量比も試験体採取箇所の違いによらず同程度の値を示していることから均一に攪拌されていると考えられる。

3.3 実機施工試験の結果

連結床版の施工箇所は、既設のホロー桁と新設のプレテンションT桁の連結床版部の施工を行った。施工寸法は長さ2.0m×幅11.0m×厚さ0.225mで低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体の設計数量は約4.9m³であった。低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体の実機施工での製造には写真-1に示す移動式ミキサを用いた。1バッチの練混ぜ量は0.7m³とし、7バッチの製造を行った。排出された低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体をバケットで受けて、クレーンを用いて打ち込みを行った。材料投入から排出までの時間は平均で16分/バッチであり、2時間程度で低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体の打ち込みを完了した。打ち込み箇所には、橋軸方向にD25、橋軸直角方向にD16およびD19の鉄筋が配置されており過密配筋の状況であったが、コンクリートの打ち込みに使用する直径50mmの棒



写真-2 15打モルタルフローの状況

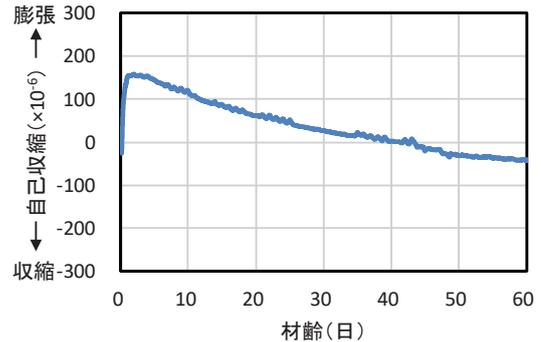


図-2 自己収縮

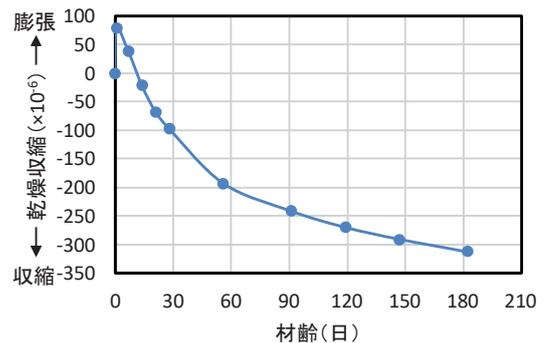


図-3 乾燥収縮

状バイブレーターを用いることで適切に打ち込みできることが確認された。低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体を打ち込み後は、仕上げ補助剤としてゴムラテックス混和液を水で5倍希釈した溶液を散布してコテ仕上げを行った。コテ仕上げ終了後は通常のコンクリートと同様に養生マットを用いて湿潤養生を行った。

実機施工時に採取した試験体を用いて、JSCE G 572に準拠し塩化物イオン浸透深さを測定した結果を図-6に示し、図-7にEPMAで測定した材齢26週塩水浸漬後の低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体の塩化物イオンのマッピング図を示す。比較として、一般的なPC上部工に使用される早強ポルトランドセメントを用いた単位水量 $155\text{kg}/\text{m}^3$ 、水セメント比35%のコンクリートの結果を示す。見かけの拡散係数について低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体は $0.12\text{cm}^2/\text{年}$ であり、水セメント比35%のコンクリートは $0.18\text{cm}^2/\text{年}$ であり30%程度小さいことが確認された。JIS A 1153に準拠し中性化深さを測定した結果を図-8に示す。一般的なPC上部工に使用される配合についても材齢26週で3.5mmと非常に小さい値であるが、低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体は中性化深さは確認されず、中性化に対する抵抗性がより高いことが確認された。

4. まとめ

低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体に関して以下のことが確認された。

- (1) 設計基準強度 $30\text{N}/\text{mm}^2$ を満足する圧縮強度を得ながらヤング係数を $25\text{kN}/\text{mm}^2$ 以下に設定できることが確認された。
- (2) 収縮が小さく、塩分浸透抵抗性および中性化抵抗性も一般的に使用される PC 上部工の配合と比較して高い性能を有することが確認された。
- (3) 移動式ミキサを用いて繊維を混入した配合であっても均一な状態で製造でき、コンクリートの施工に使用される棒状バイブレーターを用いて打ち込みが可能であることが確認された。

参考文献

1) 社団法人日本道路橋協会：道路橋示方書・同解説，コンクリート橋編・コンクリート部材編，pp. 56-53, 2017. 11
 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編] , pp. 45-49, 2002

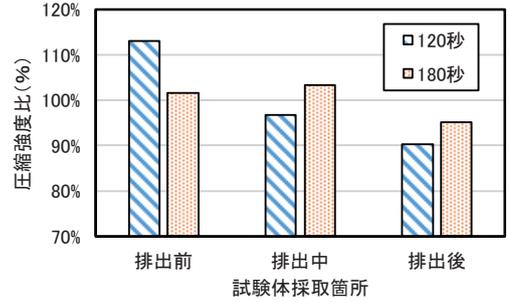


図-4 採取位置の違いによる圧縮強度比

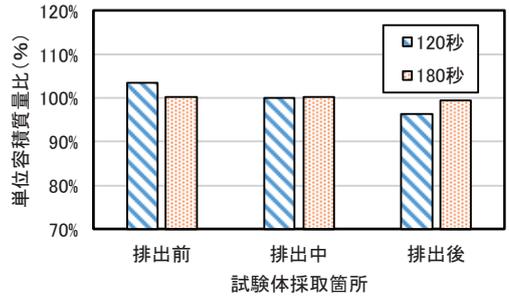


図-5 採取位置の違いによる単位容積質量比

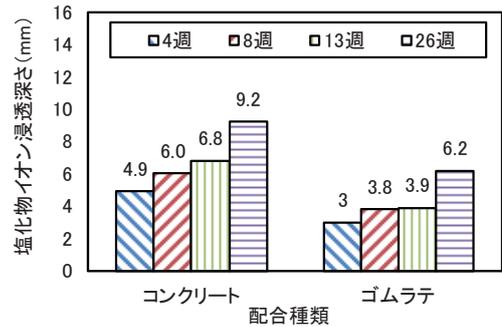


図-6 塩化物イオン浸透深さの比較

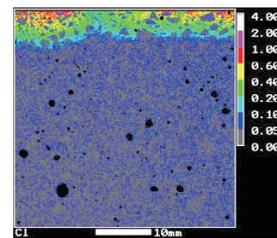


図-7 低弾性高じん性ポリマーセメント系複合体のEPMAマッピング図

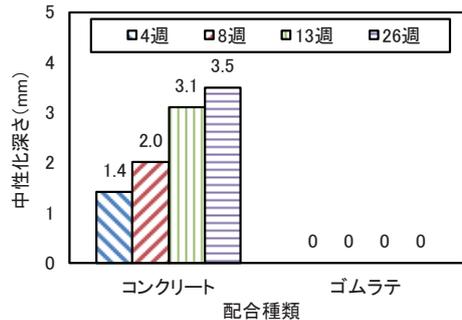


図-8 中性化深さの比較