

論文・報告

床版取替え用場所打ちSCデッキに適用する早強コンクリートの品質確保

～材齢2日で強度確保と初期ひび割れ抑制の実現～

Quality Assurance of High-Early-Strength Concrete for SC Deck

段下 義典 *1
Yoshinori DANSHITA

田坂 康介 *2
Kosuke TASAKA

江崎 正浩 *3
Masahiro EZAKI

橋 吉宏 *4
Yoshihiro TACHIBANA

北野 勇一 *5
Yuichi KITANO

堀池 一男 *6
Kazuo HORIIKE

鋼橋のRC床版が老朽化し、取替えが必要な段階にまで至った場合、高耐久性床版に取替えて長寿命化を図ることは、ライフサイクルコストの観点から有効な手段となる。本研究では、取替え工事の経済性の向上を図りつつ、施工期間を短縮することを目的に、場所打ちタイプのSCデッキに材齢2日で設計基準強度 30N/mm^2 を得られる早強コンクリートを用いた上で、床版の耐久性に影響する初期ひび割れを抑制することを実験的に検討した。検討の結果、早強型の膨張材を使用することで所要の初期ひび割れ抑制効果を得られることなどが確認された。本研究により、現場施工に適用しても品質を確保できることを確認した。

キーワード：床版取替え、急速施工、初期ひび割れ抑制、材齢2日強度の確保、早強型膨張材

1. はじめに

老朽化により早急な補修が必要とされる橋梁が増加してきており、鋼橋においてはRC床版の損傷が多く報告されている。RC床版の損傷が取替えを必要とする段階にまで至った場合、高耐久性床版に取替えて長寿命化を図ることは、ライフサイクルコストの観点から有効な手段のひとつである。

高耐久性床版である鋼コンクリート合成床版のSCデッキは、施工性にも優れていることから、新設する鋼橋へ広く採用されているが、橋梁の斜角や曲率など道路線形への適応範囲が広いことから床版取替えに採用されるケースもある(写真1)。床版取替えの場合、プレキャストタイプとすることで現場施工の短縮を図ることが考えられるが、架設の作業性、鋼桁のずれ止めや排水桝などの取合いの容易さから、対象路線の交通規制日数の制約が許せば、場所打ちタイプを採用することで施工性が向上するとともに、経済的な工事となる。

場所打ちタイプによる床版取替えの場合、プレキャストタイプよりも交通規制日数が長くなるため、急速施工性が課題となる。超速硬コンクリートの適用も考えられ

るが、経済性の利点を失うこととなる。社会資本である橋梁等構造物の更新時代を迎え、厳しい財政事情であることを踏まえると、より経済的に長寿命化を図る技術が求められる。

そこで、場所打ちタイプを用いた床版取替えの施工期間の短縮化を経済的に実施するため、一般のレディーミクストコンクリート工場で製造が可能であり、材齢2日で設計基準強度 30N/mm^2 を得ることができる早強コンクリート(以下、本早強コンクリート)を用い、養生期間を短くすることを考えた。

著者らは、既往の研究^{1),2)}を通じ、配合によっては所要の収縮補償ひずみを得られない等の課題を明らかにしており、床版の長寿命化のための品質確保を確実なものとするべく、今回、使用する材料を改めた上で検討を進めた。



写真1 斜角が厳しい条件でのSCデッキによる床版取替え事例

*1 川田工業㈱橋梁事業部技術部東京技術部保全技術室 係長

*2 川田工業㈱橋梁事業部工事部東京工事部工事課

*3 川田工業㈱橋梁事業部技術部東京技術部保全技術室 室長

*4 川田工業㈱橋梁事業部技術部東京技術部 次長

*5 川田建設㈱技術部技術課 課長

*6 川田建設㈱東日本統括支店北関東事業所那須工場品質管理課 課長

2. 課題の整理

前述した既往の研究¹⁾では、本早強コンクリートを用いた表1に示す各種の実験を行い、①材齢2日で設計基準強度の強度発現を得られること、②SCデッキ構造の床版試験体に適用した場合において、材齢2日まで散水養生の後、材齢28日まで乾燥暴露させても表面にひび割れが生じなかったこと、などを確認している。このコンクリートの配合は、新設する鋼橋に適用する場合と同じく、初期ひび割れを抑制する目的で低添加型の膨張材を添加したものであった。

表1 既往の研究¹⁾で実施した試験一覧

項目	各種試験の方法
材料試験	圧縮強度：JIS A 1108 (φ10×20cm) により、材齢1, 2, 3, 28日に試験を実施
	自己収縮ひずみ：JCI法 (□10×40cm) を参考に実施
	一軸拘束膨張率：JIS A 6202附属書2 (B法) による
	長さ変化率：JIS A 6204 (□10×40cm) による
床版C試験デック体	コンクリートのひずみ、温度 (材齢28日まで)
	鉄筋のひずみ (材齢28日まで)
	コア (φ2.5×5.0cm) 圧縮強度を、材齢28日に実施

一方で、明らかになった本早強コンクリートの課題を、以下に列挙する。

(1) 収縮補償ひずみの不足 [課題①]

土木学会のコンクリート標準示方書 (2007年制定) 施工編の膨張コンクリートにおいては、収縮補償用コンクリートの膨張率の範囲として、 150×10^{-6} 以上 250×10^{-6} 以下 (材齢7日) が標準として定められている。

これに対して本早強コンクリートの材齢7日における一軸拘束膨張率が 79×10^{-6} となり、収縮補償用コンクリートの膨張率を満足しなかった。

(2) 膨張材の添加による圧縮強度の低下 [課題②]

材齢2日にて設計基準強度 30N/mm^2 の強度発現は得られたものの、初期ひび割れの抑制を目的に膨張材を添加したことで、膨張材を添加していない配合と比較して、約15%圧縮強度が低下した。

表2 既往の研究¹⁾における圧縮強度の実験結果

項目	養生条件	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)		比較
			膨張材無し	膨張材添加 ^{※1}	
			A	B	
材料試験	周辺温度封緘	1	30.1	24.6	82%
		2	56.1	47.5	85%
		3	68.8	56.2	82%
	20°C水中	28	97.5	85.7	88%
		2	59.9	50.9	85%
		28	99.0	87.1	88%

※1：上表に示す2つの配合において、膨張材量を加味した水セメント比を同じにしている。

これらの課題①、課題②は、打込み後材齢初期段階における強度発現と膨張のタイミングがずれることが原因と推察される。そこで、これら課題を解消するために本研究では、早強型膨張材を用いることで強度発現と膨張のタイミングのずれを抑制することを考えた。

一方、早強型膨張材は、早期脱型を目的に主に2次製品向けに使用されるものであり、現場施工に適用する場合にはスランプロスが懸念されるため、これについても検討することとした [課題③]。

3. コンクリートの配合と使用材料

表3に、本研究の実験に使用したコンクリートの各配合を示す。材齢2日にて設計基準強度 30N/mm^2 を目標としたものであり、水セメント比 (膨張材含む) を38%に統一しており、初期強度の発現を早めるために早強セメントを用いている。体積変化特性を比較するため、単位水量は 162kg/m^3 に統一した。スランブは12cm、空気量は4.5%に設定した。

配合No.1は、比較用であり膨張材を添加していない。配合No.2は、使用量が異なるものの既往の研究¹⁾と同じ従来型膨張材を添加し、早強型膨張材とのスランプロスの比較用である。

配合No.3, No.4は、異なる2種類の早強型膨張材を添加した配合である。表4に各膨張材を示すが、早強型膨張材として比表面積が大きいものを使用した。

表3 本研究のコンクリートの配合

配合	単位量 (kg/m ³)					
	W	C	EX	S	G	SP
No.1	162	426	0	763	978	4.48
No.2	162	396	30 (EX-2)	763	978	3.83
No.3	162	396	30 (EX-3)	763	978	4.26
No.4	162	396	30 (EX-4)	763	978	3.84

W:水 (比重1.00), C:早強セメント (比重3.13), EX:膨張材, S:陸砂 (硬質砂岩, 比重2.56), G:砕石2005 (比重2.66), SP:ポリカルボン酸系高性能AE減水剤 (標準形, 比重1.06)

表4 使用した膨張材

	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	備考	配合
EX-2	2.93	3080	従来型	No.2
EX-3	2.93	5900	早強型	No.3
EX-4	3.19	4750	早強型	No.4

EX-2：エトリンサイト-石灰複合系膨張セメント混和材
EX-3：膨張性早期脱型用混和材
EX-4：早強型石灰系膨張材

4. スランプロスに関する検討 [課題③]

表5に20±2°Cの試験室で実施したフレッシュ性状を示す。スランプロスを確認するため、スランブは練混ぜ直後と15分静置した後の2回確認を行った。

膨張材を添加していない配合No. 1と比較すると、配合No. 2～No. 4は、膨張材が添加されたことでスランプロスがやや大きくなる。しかしながら、従来型膨張材を添加した配合No. 2と、早強型膨張材を添加した配合No. 3, No. 4を比較すると、膨張材が早強型であることによる従来型との差異は確認されない。

表5 フレッシュ性状の結果

配合	スランプ(cm)		比率 B/A	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)
	練混ぜ直後 A	15分静置後 B			
No. 1	12.5	8.0	64%	3.3	20.0
No. 2	12.0	6.0	50%	3.3	20.0
No. 3	12.5	6.0	48%	3.1	21.5
No. 4	10.0	5.0	50%	3.2	21.5

スランプ試験の代表例として、写真2に配合No. 4の状態を示す。

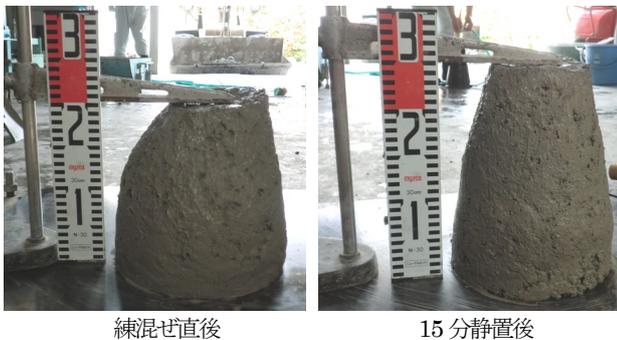


写真2 配合No. 4のスランプ試験

なお、本研究では、配合No. 1, No. 3, No. 4を用いて凝結時間試験(JIS A 1147)を実施しており、その結果を表6に示す。早強型膨張材を添加することで配合No. 3, No. 4の始発及び終結時間が早くなっているが、現場での施工に支障のない範囲である。以降の章に示す床版を模擬した試験体の製作においては、実際の現場施工を想定したタイムスケジュールにて仕上げや養生を行っているが、打込み後15分以降からの木ごてによる荒仕上げと3時間経過以後の金ごてによる最終仕上げは、問題なく実施することができる。

表6 凝結時間試験の結果

配合	凝結時間			
	始発		終結	
	時間:分	(分)	時間:分	(分)
No. 1	6時間00分	360	8時間10分	490
No. 3	4時間45分	285	6時間40分	400
No. 4	4時間35分	275	6時間10分	370

これらの結果から、スランプの経時変化を適切に施工計画に考慮しておけば、早強型膨張材を用いた配合No. 3, No. 4は、現場の施工性に問題はないと考えられる。

5. 収縮補償ひずみに関する検討 [課題①]

(1) 材料試験

表7は、JIS A 6202附属書2(B法)により一軸拘束膨張率を確認した結果である。配合No. 3, No. 4はいずれも、膨張材を添加していない配合No. 1に比べると、膨張性を付与できていることがわかる。特に、材齢2日までの膨張量が大きく、その後、材齢7日まで緩やかに膨張が進む傾向である。

配合No. 3の材齢7日の結果は、収縮補償用コンクリートとしての膨張率の標準の範囲をやや下回る結果となった。一方、配合No. 4の結果を見ると、配合No. 3より膨張量が大きく、標準の範囲を満足する結果となり、この材料試験の結果からは、より良好な配合と考えられる。

表7 一軸拘束膨張の結果

配合	長さ変化率(×10 ⁻⁶) ^{※1}		標準の範囲 ^{※2}	膨張材
	材齢2日	材齢7日		
No. 1	-25	-38	-	-
No. 3	114	140	満たさない	EX-3
No. 4	203	235	満たす	EX-4

※1: 実験値は、3体の平均値を示す。

※2: 土木学会 コンクリート標準示方書における収縮補償用コンクリートの膨張率範囲の標準である150×10⁻⁶以上250×10⁻⁶以下(材齢7日)

(2) 床版試験体

写真3は、床版を模擬した試験体である。試験体は、コンクリート厚を200mm、平面寸法400×400mmに鉄筋D25を8本、D13を1本同一方向に配置したもので、上下面を除く4辺を100mm厚の発泡ポリスチレンで覆い熱と水分の移動をなくした状態とした。高さ及び平面の中心に配置したD13に鉄筋計と、同じ位置に埋込型ひずみ計を配置し、鉄筋及びコンクリートのひずみ、温度を計測することとした。ここで、本実験で1方向のみに鉄筋を配置することにしたのは、既往の研究¹⁾において、板厚9mmの底鋼板に横リブ、スタッドを配置したSCデッキを再現した床版試験体にて実験を行い、直交する2方向のひずみを計測したが、実験値がほぼ同値であったことを踏まえてのことである。

下面は木製型枠であるが、鉄筋による鋼材比は5.22%であり、SCデッキで仮定すると、9mm厚の底鋼板とD19の鉄筋を150mm間隔で配置したことに相当する。

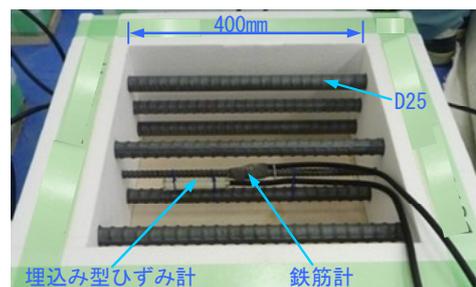


写真3 床版を模擬した試験体(打込み前)

表8に、各配合の床版模擬試験体の養生条件を示す。

養生方法アは、打込み後6時間経過してから材齢2日までで散水養生を行い、その後、温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%$ の室内で1年間乾燥の条件としたものである。

養生方法イは、散水養生の開始時間を打込み後20時間経過してから行い、アの条件に対して、開始時間を遅く、散水養生時間を短くした条件である。これは、現場施工条件の制約等により、散水養生の条件が厳しくなったことを仮定し、それがコンクリートの品質にどのように影響するかを確認するためのものである。また、材齢6ヶ月の時点で計7回の散水養生を短期間中に行い、それ以降は、養生方法アと同様に、材齢1年まで乾燥条件とした。これは、打込み後の初期段階における散水養生時間が短いことで未水和物が残存し、そこに防水層の損傷等の原因で浸水が生じた場合に、コンクリートの異常な遅れ膨張が発生しないかを確認するための条件である。

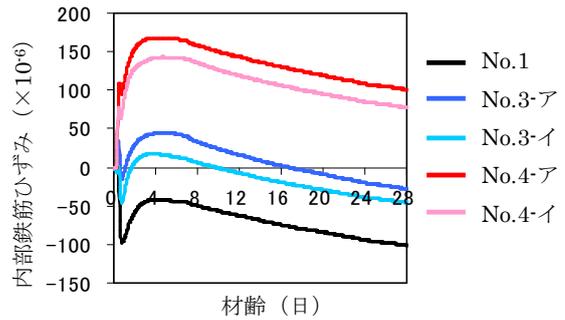
表8 床版模擬試験体の配合と養生条件

床版試験体	配合	養生方法
No. 1	No. 1	ア (打込み) → 養生剤散布 → 打込み後6~44時間の間散水 → 乾燥 (至1年)
No. 3-ア	No. 3	
No. 4-ア	No. 4	
No. 3-イ	No. 3	イ (打込み) → 養生剤散布 → 打込み後20~44時間の間散水 → 材齢6ヶ月時点で7回散水 → 乾燥 (至1年)
No. 4-イ	No. 4	

打込み及び養生は、温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%$ の条件で行なった。

図1は、材齢28日までの鉄筋のひずみを計測した結果である。配合に着目して評価すると、配合No. 3及び配合No. 4を用いた床版試験体では、膨張材の効果によりコンクリートに膨張ひずみが付与されていることがわかる。また、材料試験での傾向と同様に、配合No. 4の膨張量の方が大きい値を示している。

養生条件の違いに着目して評価すると、材齢2日間において、速やかにかつ、長く散水養生を行なった養生方法アの方が、材齢初期における膨張量が大きく、初期の膨張量の差が材齢28日まで保たれるような状態で乾燥収縮が進行していることがわかる。



＋の値はコンクリートに膨張ひずみが付与されたことを示し、－の値はコンクリートに収縮ひずみが生じていることを示す。

図1 材齢28日までの内部鉄筋のひずみ

表9は、材齢1年における鉄筋のひずみ値である。材齢1年まで継続してひずみを計測した結果、乾燥収縮の進行度合いは、いずれの配合も同様であり、材齢初期の膨張ひずみの分が差として残ることが確認された。

養生方法イでは、材齢約6ヶ月の時点で短期間散水養生を行ったことで、その期間中は乾燥収縮が抑制されるひずみ挙動が確認された。材齢初期の散水養生を1日と短くすることで、未水和物が残存し、その後の浸水により遅れ膨張を生じる可能性を懸念したが、そのような異常な現象は確認されなかった。また、養生方法アとイの条件の違いが、材齢1年の結果では差異としてほとんど生じなかったのは、材齢約6ヶ月の時点において、養生方法イを適用した試験体にだけ散水養生を行った影響もあると考えられる。

表9 材齢1年におけるひずみ

床版試験体	内部鉄筋のひずみ ($\times 10^{-6}$)	比較 ^{※1} ($\times 10^{-6}$)
No. 1	-355	-
No. 3-ア	-265	90
No. 3-イ	-256	99
No. 4-ア	-165	190
No. 4-イ	-160	195

※1：試験体No. 1に対する差分量を示す。

内部鉄筋のひずみから、床版コンクリートに生じている引張応力度を、同じ養生条件とした3体の試験体について算出した結果を表10に示す。配合No. 1と配合No. 3では、ひび割れの発生が懸念される引張応力度が生じており、配合No. 3は、ひび割れ抑制効果が不足していると考えられる。一方、配合No. 4では、ひび割れ抑制効果が発揮されていることが確認された。

表10 材齢1年における床版コンクリートの引張応力度

床版試験体	内部鉄筋のひずみ ($\times 10^{-6}$)	コンクリート引張応力度 (N/mm^2)
No. 1	-355	3.9
No. 3-ア	-265	2.9
No. 4-ア	-165	1.8

図6は、従来型膨張材を用いた配合No. 2の材料試験による各材齢の圧縮強度試験の結果と、同じ膨張材を用いて実施した既往の研究¹⁾の結果を比較したものである。既往の研究では、図に示すとおり膨張材を添加することで圧縮強度の低下が確認された。材齢2日における圧縮強度に余裕があったため、本研究では水セメント比（膨張材含む）を38.0%に大きなものに見直しているが、そのことにより膨張材を添加することによる強度低下の程度は、小さく抑えられていることがわかる。

以上のことから、本研究において、配合No. 3及びNo. 4の圧縮強度が、膨張材を添加していない配合No. 1に対して低下しなかった要因として、早強型膨張材であることと、水セメント比を大きくしたことの2つが考えられる。

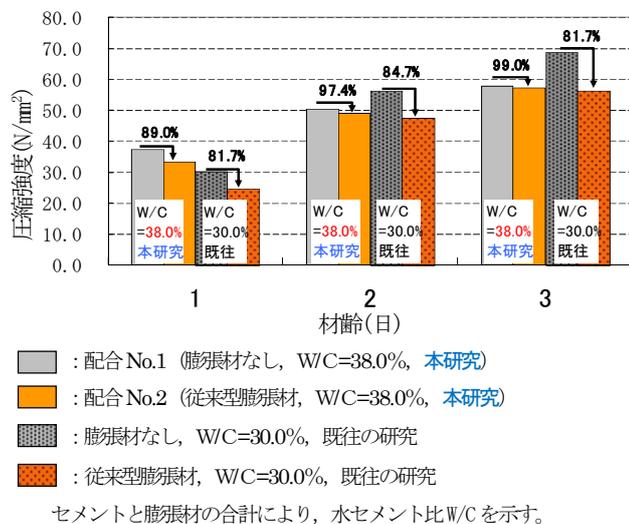


図6 従来型膨張材による既往の研究¹⁾との比較

7. まとめ

本研究を通じ、床版取替えを場所打ちタイプのSCデッキにより行うことを想定し、材齢2日で設計基準強度30N/mm²を確保する早強コンクリートを適用する場合において、本配合に適する種類の早強型膨張材を用いることで初期ひび割れの抑制を図ることができ、品質確保が可能なことを確認した。現場の施工性についても、本研究で留意すべきと確認された事項を適切に施工計画に考慮することで、問題なく使用できるものと考えられる。具体的な結論を以下に示す。

- (1) 材齢2日で設計基準強度を確保する配合において、従来型膨張材では収縮補強ひずみを得られないため、2種類の早強型膨張材により実験を行ったところ、いずれも付与される膨張量が大きくなり改善された。しかしながら、1種類については収縮補強用コンクリートとしての膨張率の標準範囲をわずかに満足しなかった。一方で、もう1種の早強型膨張材では標準範囲を満足する良好な結果が得られた。よって、本

研究の配合において、種々の早強型膨張材のいずれかを使用してもよいということではなく、所要の膨張率を得られる材料を使用すべきことを確認した。

- (2) 従来型膨張材を添加することで圧縮強度が低下する課題に対しても、早強型膨張材を適用することで強度低下の問題は生じない良好な結果が得られた。このことは、材齢1年を経過した床版試験体の圧縮強度においても確認された。
- (3) 材齢2日における散水養生については、打込み後20～44時間と開始が遅く、時間が短い厳しい散水養生条件であっても、床版試験体に初期ひび割れを生じることにはなかった。しかしながら、打込み後6～44時間散水養生を行った結果と比較すると、材齢初期に付与される膨張ひずみがやや小さいものとなり、現場施工においては可能な限り散水養生時間を早期に、かつ、長い時間行うことが望ましいことが改めて確認された。また、本研究で実施した範囲ならば、いずれの散水養生条件でも材齢2日における所要強度の発現を得られると推察されるものの、この散水養生条件の違いが材齢1年の圧縮強度において約1割の影響を及ぼす結果が確認されたため、強度の面でも散水養生時間を確保することが望ましい。
- (4) 早強型膨張材を使用することで、現場施工においてはスランプロスが懸念されたが、従来型膨張材を使用した配合と比較してもスランプの経時変化は同じ程度であった。しかしながら、膨張材を添加していない配合と比較するとスランプの経時変化が大きいため、そのことに留意して施工計画する必要がある。また、床版試験体の製作において、実際の現場施工を想定したタイムスケジュールで仕上げを行ったが、打込み後3時間経過してからの最終仕上げも問題なく実施することができ、施工性に特別な問題はないと考えられる。

参考文献

- 1) 北野, 大友, 橘, 田口: 急速施工を伴う鋼橋取替え床版への高強度膨張コンクリートの適用性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No1, pp. 1265-1270, 2010. 7.
- 2) 段下, 北野, 大友, 堀池, 江崎, 橘: SCデッキによる床版取替え技術, 川田技報, Vol. 30, p. 26, 2011. 1.