

論文・報告

SC デッキによる床版取替え技術

～鋼橋の長寿命化に向けた取り組み～

Techniques on Replacing of Concrete Slab with SC Deck

段下 義典 *1
Yoshinori DANSHITA

北野 勇一 *2
Yuichi KITANO

大友 直之 *3
Naoyuki OOTOMO

堀池 一男 *4
Kazuo HORIIKE

江崎 正浩 *5
Masahiro EZAKI

橋 吉宏 *6
Yoshihiro TACHIBANA

鋼橋 RC 床版の老朽化が顕著化してきており、鋼・コンクリート合成床版などの高耐久性床版に取替えて長寿命化を計るケースが増えつつある。床版取替えにおいては、交通規制による地域社会への影響を低減させるなど、多様な要求がある。これらに応じるためには技術開発が必要であり、また、各要素技術を組み合わせた対応が望まれる。本研究では、合成床版 SC デッキによる床版取替えに関する要素技術の全容を示し、その中から場所打ちタイプの急速施工対応技術について詳細に報告する。

キーワード：鋼橋の長寿命化、床版取替え、SC デッキ、急速施工、高強度膨張コンクリート

はじめに

橋齢 40 年以上で早急な補修が必要とされる橋梁の割合が増加してきており、鋼橋においては RC 床版に起因した損傷が多い。予防保全の観点から、RC 床版を高耐久性床版に取替えて橋梁の長寿命化を計る例が増えている。床版取替えとしてはこれまでプレキャスト床版による取替え実績が多かったが、今後、多様化する要求への汎用性の観点から、鋼・コンクリート合成床版が有効であると考えられる。

また、供用下にある老朽化した RC 床版の取替えに対する要求事項を整理すると、以下の①～⑤が挙げられる。

- ① 床版の高耐久性：昭和 39 年版道路橋示方書で設計された鋼橋においては、繰返し荷重による RC 床版の損傷発生が多く報告されており、十分な疲労耐久性を有する床版へ取替えることが求められる。
- ② 道路線形への対応：斜角や曲率半径などの道路線形にも適用することが求められる。
- ③ 橋梁全体の耐力向上への寄与：大型車両が増加した路線においては、鋼桁を現行の B 活荷重に対応させることが求められる。床版取替えの際に、非合成桁を合成桁化するなど、橋梁全体の耐力向上への寄与が期待される。
- ④ 施工時交通規制の低減：交通規制による地域社会への影響を極力低減するため、通行下における施工や、通行を全止めした急速施工が求められる。

- ⑤ 道路の付加価値の提供：近年の社会資本整備の方向から、保全工事には同時にサービス水準の向上が望まれており、床版拡幅による歩行者空間の拡大等に対応することが求められる。

以上より、本研究では、これらの要求に対応可能と考えられる鋼・コンクリート合成床版である SC デッキ（図 1）に着目し、具体的な技術対応について検討した結果を報告する。

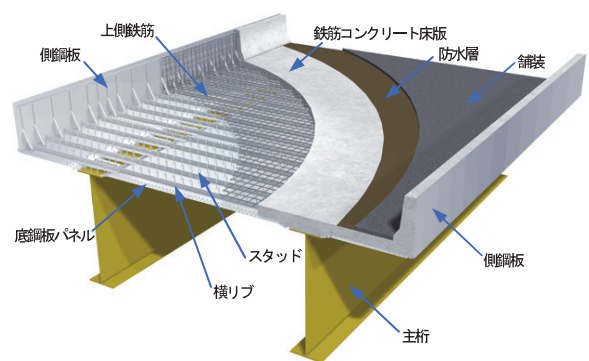


図 1 鋼・コンクリート合成床版 SC デッキの概要

*1 川田工業㈱橋梁事業部保全技術室係長
*2 川田建設㈱技術部技術課係長
*3 川田工業㈱橋梁事業部営業部大阪営業部名古屋営業所

*4 川田建設㈱那須工場品質管理課係長
*5 川田工業㈱橋梁事業部保全技術室室長
*6 川田工業㈱橋梁事業部東京技術部次長

2. SC デッキによる床版取替えの適用性

(1) SCデッキの特徴

SCデッキは、ずれ止めに頭付きスタッドを有する「ロビンソン型合成床版」である。旧建設省土木研究所で実施された輪荷重走行試験¹⁾（写真1）など、既往の研究によりPC床版と同等以上の耐久性を有することが確認されており、前述した床版取替えに対する要求事項①に対応したものである。

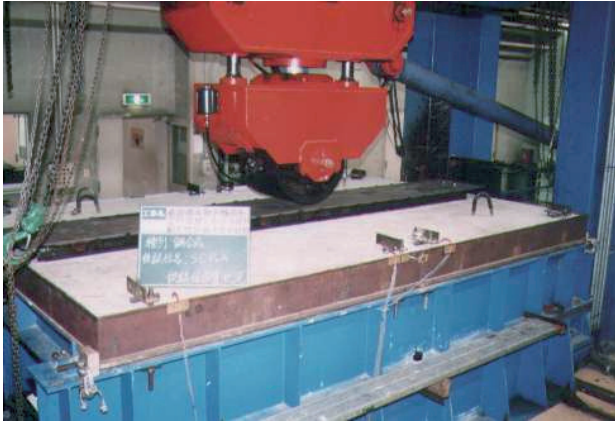


写真1 土木研究所における輪荷重走行試験

要求事項②道路線形への対応について、SCデッキは斜角35度程度、曲率半径100m程度に対応でき、適用範囲が広いものである。写真2は、鉄道路線と交差する道路橋のRC床版をSCデッキにより取替えた事例であり、斜角が35度と厳しい条件にも対応している。



写真2 斜角が厳しい条件でのSCデッキによる取替え事例

要求事項③橋梁全体の耐力向上への寄与については前述のとおりであり、鋼桁への補強等を伴うこともあるが、床版取替えの機会にB活荷重対応の対策も行えば、ライフサイクルコストの観点からも望ましいと考えられる。

(2) SCデッキの工法の選択

写真3は、SCデッキのプレキャストタイプと場所打ちタイプによる床版取替えの事例である。床版取替えの場合、プレキャストタイプが選定されることが多いが、条件によっては場所打ちタイプの方が適することがある。表1は、各々のタイプについて優位性を整理したものであり、架設時のクレーン作業の制約がある場合などでは、場所打ちタイプの方が優位である。

なお、プレキャストタイプに示す写真は、西名阪自動

車道の御幸大橋（下り線）の写真であり、2011年2月28日からの集中工事で床版取替えを実施する予定である。



写真3 プレキャストタイプと場所打ちタイプ

表1 プレキャストタイプと場所打ちタイプの比較

項 目		場所打ち タイプ	プレキャスト タイプ
耐 久 性		◎	◎
経 済 性		◎	○
規 制	規制日数	○	◎
	車線規制への対応	◎	○
鋼 桁	線形対応	◎	○
	ジベル・排水桝対応	◎	○
架 設	足場などの仮設	—	—
	設置時クレーン作業	◎	○
その他		強度発現日数を 配合により調整	種々の継手構造 を開発

評価の凡例 ◎：優れる ○：適応性がある —：差がない

このように条件に応じタイプを選択できるが、各々のタイプで適用の範囲を広げるには課題がある。

プレキャストタイプの場合、配力鉄筋の継手として重ね継手が多く用いられている（写真4）。この場合、間詰部は最大650mmと広いため現場施工のコンクリート量が多く、施工の省力化を計ることが課題であった。

これに対して文献2)、3)では、SCデッキに対して写真5に示す配力鉄筋の先端をねじ切りしたものにナットを設置し、さらにアンカープレートまたは補強鉄筋などを用いることで継手部を合理化し、その挙動を実験と解析により検証している。この合理化継手によると、間詰部は200mmまたは120mmまで短くなり、配力鉄筋に設計応力相当の応力が作用した状態でもひび割れ幅が限界値を超過しないこと等を実験により確認し、さらに解析により中間支点部付近の負曲げモーメント領域に合理化継手を適用した場合の有効性を確認している。

場所打ちタイプの場合は、要求事項④として示した急速施工性が課題となる。その技術対応については、3章、4章に詳述する。

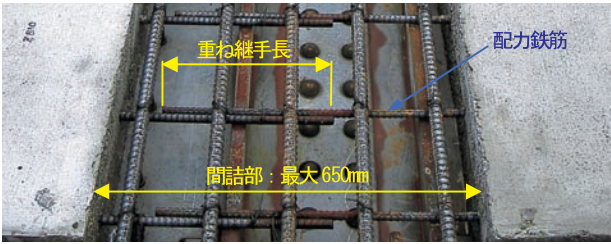


写真4 重ね継手の場合の間詰部

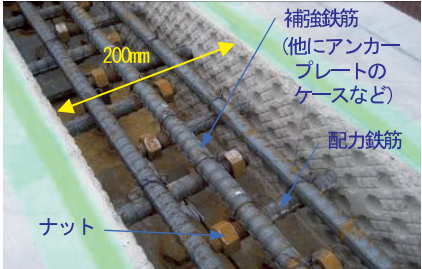


写真5 合理化継手の概要

(3) 床版取替え時の付加価値の提供

昭和40年代以前に建設された橋梁では幅員が狭いことが多く、前述した要求事項⑤のとおり、床版取替えと同時に拡幅して歩行者空間を拡大することが望まれる。拡幅時に車道を広げなければ活荷重による鋼桁への負担は増加せず疲労に対しては問題がないが、死荷重が増加することがある。

図2は、床版取替え時に拡幅する案であり、RC床版からSCデッキに取替えることで、床版厚を20mm薄くし、さらに歩道部のマウンドアップを無くすことで、死荷重を増加させずに歩行者空間を拡大し、バリアフリー化にも寄与する構造としたものである。ただし、このようにできる条件ばかりとは限らず、死荷重の増加を伴う場合について鋼桁への補強など条件ごとに検討が必要である。

老朽化したRC床版を取替えにより復旧させるだけでなく、このように利用者へのサービス水準の向上につながる技術が今後の公共事業には望まれる。

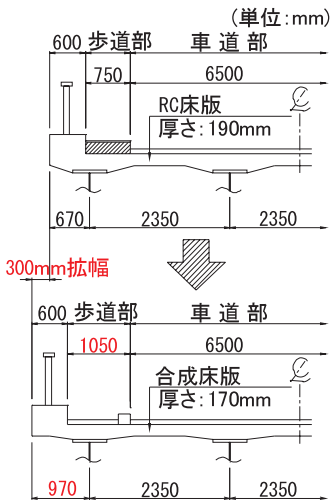


図2 床版取替え時の拡幅案

3. 急速施工への対応（場所打ちコンクリート）

場所打ちタイプの場合、プレキャストタイプより規制日数が多くなるため、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、水和熱や自己収縮ひずみが増大し、床版の耐久性に影響する初期ひび割れの発生が懸念される。

この課題に対応するため、高強度の膨張コンクリート

の適用を検討した。表2は、検討の対象とした高強度膨張コンクリートの配合であり、これを用いてSCデッキ試験体の模擬施工を行い、初期ひび割れ抵抗性を確認した。さらに、解析的検討の結果も以下に報告する。

表2 高強度膨張コンクリートの配合

配合	単位量(kg/m ³)						
	W	C	HA	EX	S	G	SP
HE1	160	524	96	20	728	866	13.4
HE2	160	513	0	20	756	876	8.0

W:水(比重1.00)、C:早強セメント(比重3.13)、HA:スラグセッコウ系混和材(比重2.64)、EX:エトリンガイト-石灰複合系膨張セメント混和材、(標準添加量20kg/m³、比重2.93)、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)

(1) 模擬施工による初期ひび割れ抵抗性の検討

a) SCデッキ試験体の製作

SCデッキの床版支間中央部を想定し、平面寸法1.1×1.2m、床版厚180mm(底鋼板含む)の試験体(写真6)を用い、表3に示す条件の下で各1体製作した。

ここで、試験体SC1(配合HE1)は材齢1日、試験体SC2(配合HE2)は材齢2日で設計基準強度30N/mm²を確保するものとした。製作したSCデッキ試験体は、所定の養生後速やかに床版上面の片側に対して防水層を施工し(防水層施工側)、もう片側の床版上面は何も覆わずに存置した(乾燥暴露側)(写真7)。また、試験体製作から材齢28日までの暴露は、風や降雨の影響を受けない屋内で行った。

なお、JIS A 6202 附属書2による一軸拘束膨張率は、配合HE1で206×10⁻⁶、配合HE2で76×10⁻⁶となった。



写真6 SCデッキ試験体(コンクリート打込み前)

表3 SCデッキ試験体の製作条件

項目	試験体SC1	試験体SC2
使用コンクリート	配合HE1	配合HE2
散水養生時間※1	6~20時間	6~44時間
防水層施工時間※1	20~24時間	44~48時間
材齢1日圧縮強度※2	57.8N/mm ²	52.4N/mm ²
材齢2日圧縮強度※2	86.1N/mm ²	68.3N/mm ²

※1:コンクリートの打込み直後からの経過時間を示す。

※2:SCデッキ試験体の中心温度を追従させた封緘供試体による。

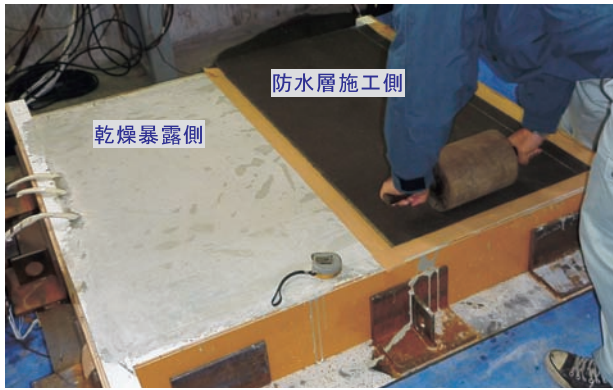


写真7 SCデッキ試験体（防水層施工状況）

b) 初期ひび割れ抵抗性の確認結果

SCデッキ模擬施工を行った結果、乾燥暴露側に初期ひび割れが生じることはなく、防水層施工側のブリスタリングの発生や防水層の異常も見られなかった。

図3には、SCデッキ試験体鉄筋ひずみの実測値と、「仕事量の概念」⁴⁾に基づき一軸拘束膨張率から算出される推定値を示す。これより、材齢7日まではいずれの部位にも膨張ひずみが付与されており、高強度膨張コンクリートの適用と適切な養生により自己収縮ひずみが低減されたと考えられる。また、乾燥暴露側と比較し、防水層施工側は、最大膨張時からの収縮ひずみが進行しにくい傾向にあり、防水層の設置によりコンクリートの乾燥が抑制されたと考えられる。

なお、材齢7日時点の実測値は、推定値に一致したことから、SCデッキに付与される膨張性は一軸拘束膨張率により評価できると考えられる。

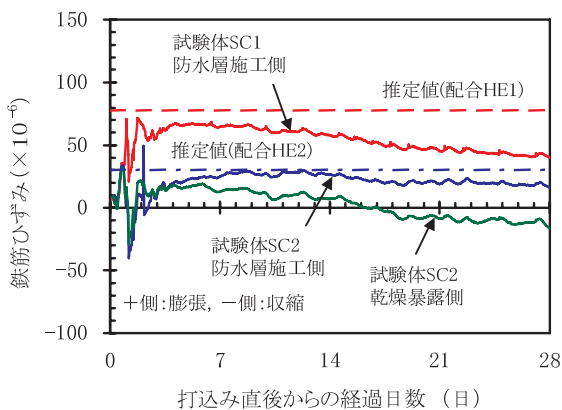


図3 鉄筋ひずみ実測値と推定値

(2) 実橋モデル解析による初期ひび割れ抵抗性の検討

ここでは、(1)節で検証された初期ひび割れ抵抗性が実橋においても有効であるかについて解析的に検討する。

a) 温度応力解析のパラメータ設定

温度応力解析の結果は、材料の熱特性や境界条件に特に影響される。そこで、材料の熱特性は土木学会コンクリート標準示方書（以下、示方書）に準じ、床版上面の熱伝達率は養生中を $8 \text{ W/m}^2\text{°C}$ （養生マット（湿潤）+シー

ト、風速 0 m/s ）⁵⁾、養生完了後を $12 \text{ W/m}^2\text{°C}$ （示方書）と $30 \text{ W/m}^2\text{°C}$ （養生水の気化熱や顕熱の影響を考慮）⁶⁾の2ケースで温度解析を行い(1)節に示したSCデッキ試験体の実測温度と比較した。その結果を図4に示す。これより、SCデッキ試験体中心部の実測温度と解析値はおおむね一致し、今回の高強度膨張コンクリートに対しても示方書に従い解析条件を設定できることがわかった。また、温度上昇中に養生を終えた試験体SC1では、示方書による解析値に比べ温度降下が若干急となり、床版上面の熱伝達率を $30 \text{ W/m}^2\text{°C}$ とした解析値に近づく結果になった。

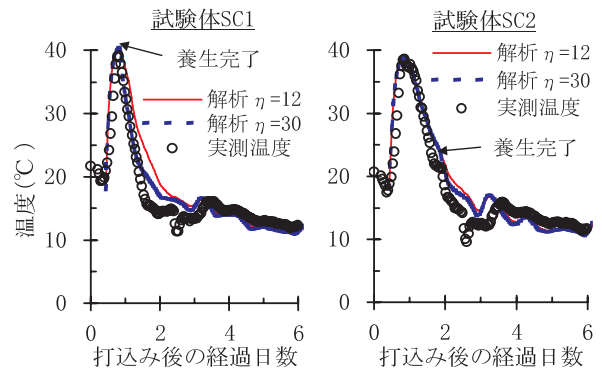


図4 SCデッキ試験体中心部の温度履歴

b) 実橋モデル解析の結果

鋼I桁橋の床版取替えを想定し、図5に示す実橋切り出しモデル（横桁、鉄筋等は未考慮）を用いて温度応力解析を行った。ここで、材料の熱特性や境界条件はa)項の結果を反映し、外気温は 20°C 一定とした。また、自己収縮は(1)節の結果より無視し、乾燥収縮は設計計算に反映されているため、これを考慮しないものとした。

表4には $\sigma_{c28}=30 \text{ N/mm}^2$ の普通コンクリートを含めた解析結果を示す。これより、配合HE1とHE2の高強度膨張コンクリートは、鋼桁上で最高温度 50°C 、温度応力約 1.0 N/mm^2 に達し、マスコンクリートとして取り扱うべきであると考えられる結果が得られた。ただし、この温度応力を差し引いた残留引張応力 $\sigma_{tr}=(\sigma_t \times (I_{cr}-1))$ は、高強度膨張コンクリートが $\sigma_{tr}=1.9 \text{ N/mm}^2$ であり、普通コンクリートの $\sigma_{tr}=1.5 \text{ N/mm}^2$ を下回ることはなかった。

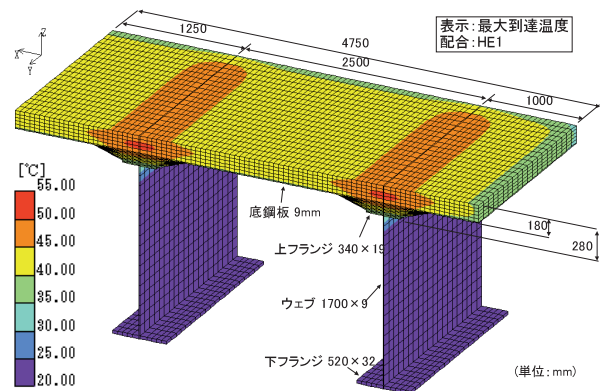


図5 温度応力解析に用いる実橋モデル

表 4 実橋モデル解析の結果

配合	最高到達温度	最大主引張応力 σ_t	ひび割れ指数 I_{cr}
HE1 ^{※1}	50.3℃	1.07N/mm ²	2.74
HE2 ^{※1}	48.2℃	1.00N/mm ²	2.92
普通コンクリート ^{※2}	32.3℃	0.29N/mm ²	6.22

※1:膨張材の効果を考慮しない条件で解析した。

※2:普通セメントC=320kg/m³, 養生期間5日の条件で解析した。

4. 急速施工への対応（防水層）

床版の耐久性を維持するためには、供用下において雨水や凍結防止剤等が床版内部に浸透しないよう防水層を適切に施工することが重要である。3章に示した模擬試験では、防水層に異常は確認されなかったが、防水材料やコンクリート養生剤は各種あり、急速施工時には互いの相性が防水層の品質に影響を及ぼすことも考えられる。

ここでは、急速施工を想定した施工時間において、各種の防水材料と養生剤の組み合わせが防水層の品質に及ぼす影響について検討した結果を報告する。表 5 には、試験の要因と水準を示す。

表 5 試験要因および水準

要 因	水 準
養生剤の種類・ 養生剤の散布方法	E系・仕上げ
	W系・仕上げ ^{※1}
	W系・硬化後 ^{※2}
防水材料	シート系（常温粘着型） 塗膜系（アスファルト加熱型）

※1:仕上げは、打込み後15分以降からの木ごてによる荒仕上げと3時間経過以降の金ごてによる最終仕上げの2回の仕上げを行うものであり、この際、養生剤はメーカー標準使用量を散布した。

※2:硬化後は、前記の仕上げ後、さらに打込み6時間経過以後にメーカー標準使用量の養生剤を散布する。

（1）試験体の製作方法

試験体のサイズは、平面寸法 1.2×1.2m, 厚さ 180mm の実大試験体である。ただし、本検討の目的から SC デッキの構造とする必要は無いと考え、全て木製型枠とした。

使用するコンクリートは、材齢 2 日で設計基準強度 30N/mm² を確保できる表 2 の HE2 の配合とし、初期養生を兼ねた仕上げを実施した後、コンクリート打込み後 6 時間経過以後に養生マットを敷き詰めて充分な量の散水を行い、その上を養生シートで覆い材齢 2 日まで散水養生を行うものとした。また、散水養生完了後、プライマの塗布および防水材の施工を速やかに実施した（写真 8）。ここで、プライマは速乾性のある溶剤型エラストマー系（JIS K 5600 による指触乾燥時間が 20 分以内）のものをを用いることにした。

（2）養生剤の種類と散布方法

コンクリートの高強度化や早強化に伴い、プラスチックひび割れの発生や仕上げ作業性の低下が懸念される。これらの改善を目的とした養生剤には種々のものがある

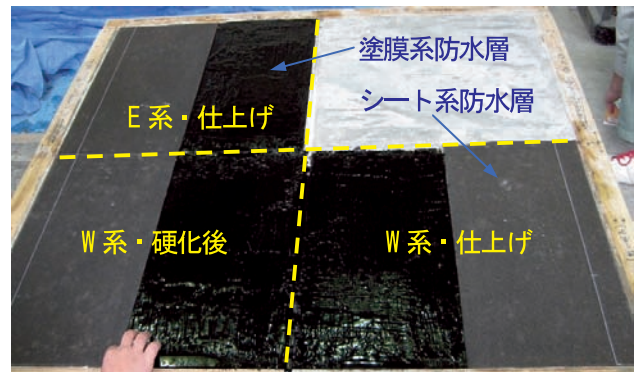


写真 8 防水層の施工区分

が、その中には塗料に対する付着性に劣るものがある⁷⁾。そこで養生剤としては、付着性に優劣のある水性エマルジョン系（E系）と、パラフィンワックス（W系）を取りあげるものとした。

養生剤の散布は、近年、コンクリート表面が固まり出す前に仕上げ補助と膜養生を兼ねた 2 回散布で行われることが多い。一方、文献 7) の付着力試験は、硬化したコンクリート表面に養生剤を散布する条件のもとで実施されている。そこで、養生剤の散布方法は、前者の方法（仕上げ）を標準とし、W系のみ後者の方法（硬化後）についても検討するものとした。

（3）防水層施工試験の結果

防水層の施工性に着目すると、6 ケース全てにおいて順調に施工でき、その後 28 日間の暴露後まで防水層の異常は見られなかった。

防水層施工試験の結果を表 6 に示す。これより、プライマ乾燥時間に着目すると、E系・仕上げの場合は約 20 分であり、おおむね規格試験値に一致することが確認された。一方、W系の場合、プライマ乾燥時間は仕上げおよび硬化後のいずれ散布方法とも 120 分程度からそれ以上となった。規格値（60 分）を超えた時点で、約 60 分ブローで強制乾燥を行ったが、プライマは乾燥しなかった。

表 6 防水層施工試験の結果

項 目	E系・ 仕上げ	W系・ 仕上げ	W系・ 硬化後
施工条件	気温, 湿度: 15℃, 86% コンクリート表面温度 ^{※1} : 20℃ コンクリート水分量 ^{※2} : 5.3~7.0%		
プライマ 乾燥時間 ^{※3}	約20分	約120分	120分以上 ^{※4}
防水層の 施工性	シート系: 順調に施工でき, シートの皺, ふくれもなかった。 塗膜系: 順調に施工でき, 塗りむら, ふくれもなかった。		

※1:放射温度計による。※2:水分計による。※3:指触による。

※4:プライマが未乾燥のまま、防水材を施工した。

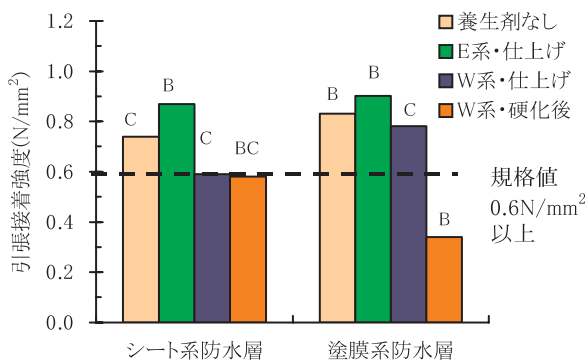
（4）防水層の引張接着特性に関する検討

次に、防水層施工試験と同様な方法で製作した 30×30×6cm の平板供試体を用い、規格試験⁸⁾に基づいて引張接

着試験を行った。また、比較として養生剤を散布せずに仕上げを行った平板供試体（養生剤なし）を製作するものとした。

図6に引張接着試験の結果を示す。これより、平板供試体の引張接着強度は、1)養生剤なしやE系・仕上げの場合、規格値を満足すること、2)W系・仕上げの場合、塗膜系防水層では規格値を満たすものの、シート系防水層では規格値を下回ること、3)W系・硬化後の場合、いずれの防水層でも規格値を満たさないことがわかる。上記1)～3)および(3)節の検討結果より、引張接着強度の低下は、プライマの乾燥遅延に関連しているものと考えられる。

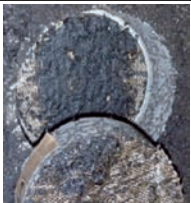
防水層の破壊形態（表7）に着目すると、E系・仕上げの場合は防水層破壊(B)となっており、平板およびプライマが弱点となっていない良好な接着性を有していることが確認された。一方、養生剤なしやW系・仕上げの場合は、平板の表層破壊(C)が見られた。この理由として、前者は仕上げが困難なことで脆弱層が形成されたと考えられ、後者については、プライマの乾燥遅延に起因して接着不良が生じたものと推察される。また、W系・硬化後では防水層と平板の界面破壊(BC)となることもあり、プライマが未乾燥のまま防水材を施工したことに原因があると考えられる。



注) B, C, BCは引張接着強度が最も小さい供試体の破壊形態（表7参照）を示す。

図6 防水層の引張接着強度

表7 防水層の破壊形態

B: 防水層破壊	C: 表面破壊	BC: 界面破壊
防水層破壊が大半を占める	平板の表層破壊が混在する	防水層と平板が界面はく離する
		

5. まとめ

老朽化した橋梁が急増する中で、鋼橋の損傷割合とし

て多いRC床版をSCデッキに取替える場合に着目し、その要素技術の紹介と適用範囲を広げるための検討を行った。以下に得られた結果をまとめる。

- ① 高強度膨張コンクリートを適用して打込み後1～2日で再供用する場合でも初期ひび割れ抵抗性を確保できることが確認された。
- ② コンクリート打込み後2日程度で防水層施工を行う場合、養生剤の種類やその散布方法によりプライマ乾燥時間や引張接着強度が異なることが確認された。また、防水層施工を円滑に行う観点から、今回の検討の範囲では、養生剤としてE系を適用した場合に、良好な結果が得られた。急速施工であっても、防水層の品質を確保するための施工条件を確認した。
- ③ 上記①、②から、高強度膨張コンクリートの適用が可能となった。適用することで、場所打ちの条件であっても、普通コンクリートを適用する場合と比べて、施工・規制日数を大幅短縮することができ、場所打ちタイプの適用範囲が広がった。
- ④ プレキャストタイプの技術開発についての詳細は、文献2)、3)によるが、合理化継手を採用することにより、間詰部の範囲が狭くなる。これにより、現場施工の省力化となり、適用範囲を広げるものである。

謝辞：本文における防水層の施工と試験については、ニチレキ㈱の田中克也様はじめ関係の皆様にご協力を賜りました。紙面を借りて深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺晃, 街道浩, 水口和之, 松村竹司, 松井繁之, 堀川都志雄: 鋼・コンクリート合成床版の開発と実橋への適用について, 第1回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, pp. 213-218, 1998.
- 2) 水野浩, 鳥山裕史, 松井繁之, 街道浩: プレキャスト合成床版の合理化継手構造の継手挙動, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.
- 3) 鳥山裕史, 水野浩, 松井繁之, 街道浩: プレキャスト合成床版に適用する合理化継手のひび割れ幅性状, 土木学会第65回年次学術講演会, 2010.
- 4) 辻幸和: コンクリート工学における膨張エネルギーの評価方法, コンクリート工学, Vol. 26, No. 10, 1988.
- 5) 師山裕, 塩永亮介, 倉田幸宏: 各種養生方法の熱伝達率と風速の関係についての実験的検討, 土木学会第59回年次学術講演会, 5-458, 2004.
- 6) 近久博志, 中原博隆, 筒井雅行, 桜井春輔: コンクリート構造物の熱伝達に関する養生水の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 15, 1993.
- 7) 潮先正博, 片脇清士, 小林茂敏: コンクリート用被膜養生剤の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 12, No. 1, pp. 1005-1008, 1990.
- 8) 日本道路協会: 道路橋床版防水便覧, pp. 128-129, 2007. 3