

横川高架橋 (A1~P5間) の施工

三井住友建設(株) 正会員 ○北川 祐至
 三井住友建設(株) 正会員 花井 崇
 三井住友建設(株) 正会員 浅井 宏隆
 三井住友建設(株) 正会員 樋口 正典

キーワード：耐久性向上，表層品質，高炉スラグ微粉末

1. はじめに

東北中央自動車道「相馬西道路」は、東日本大震災からの福島県相双地方（相馬地域・双葉地域）における早期復興リーディングプロジェクトとして早急に整備されてきており、同地方から中通り地方へのアクセス向上を目的として、相馬市山上に延長6.0kmの道路を構築する事業である。

本工事では、横川高架橋（全長423.5mの連続高架橋）のうち、A1~P5間のPC5径間連結バルブT桁橋の施工を行った。

東北地方では凍結抑制剤を散布するため、沿岸部でなくても塩分の影響を受けやすい環境である。東北地方整備局にて定める「設計施工マニュアル（案）」（H28/3）に基づきT桁橋の設計が見直され、種々の高耐久対策を行った。本稿では、この対策をふまえ、本工事で実施した橋梁に対する耐久性向上対策を報告する。

2. 工事概要

上部工の断面図を図-1に、全体一般図を図-2, 3に示す。

工事名：横川高架橋上部工工事

発注者：国土交通省東北地方整備局
 磐城国道事務所

構造形式：PC5径間連結バルブT桁橋

橋長：182.500m

支間長：35.300m+3@35.500m+35.400m

全幅員：12.800m

架設工法：架設桁架設工法

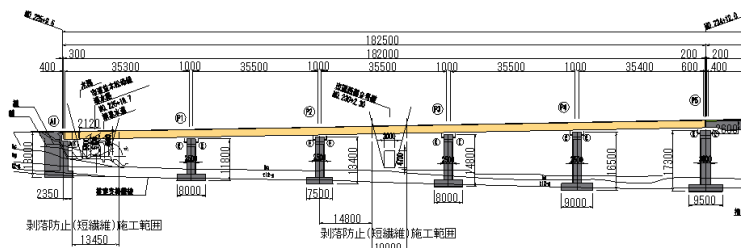


図-2 全体一般図（側面）

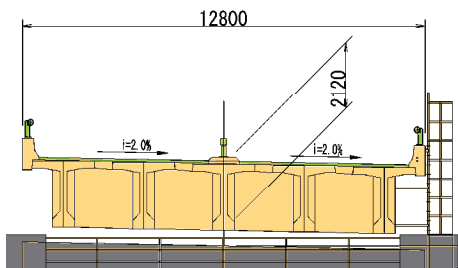


図-1 断面図

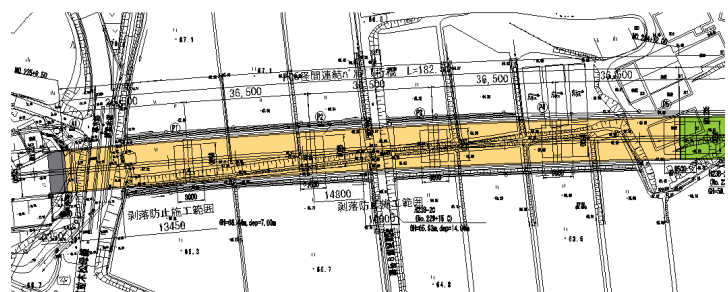


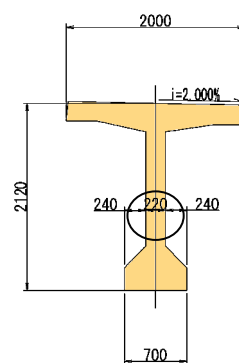
図-3 全体一般図（平面）

3. 耐久性向上対策

本工事では、PC上部工の耐久性向上の施策として次に記す事項について対策を講じた。

3.1 主桁コンクリートの耐久性向上対策

本橋の主桁はバルブT桁断面となっており、桁高2.1m、ウェブ幅が0.22mとなっていた。このウェブ内にφ75mm(外径89mm)のPEシースと鉄筋が配置されており内部振動機の挿入が困難な形状となっていた。また、コンクリートは呼び強度50となっており、粘性の高い性状となることが見込まれた。



本工事では、主桁に高炉スラグ微粉末を添加した高流動コンクリートを採用した。この配合は以下の点に着目し選定した。

- ① 自己充填性ランク2とし締固め不足による豆板などの初期欠陥を防止する
- ② 高炉スラグ微粉末の添加により塩分浸透速度を低減する

(1) 高流動コンクリート

高流動コンクリートについては、早強ポルトランドセメントに置換して高炉スラグ微粉末を使用した。その置換率を数種類変えて試験練りを実施し、一番良好な性状を有した置換率40%配合に決定した。コンクリートの配合を表-1に、品質試験結果を表-2に示す。

表-1 コンクリートの配合

配合 No.	スラグ置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
				水 W	セメント C	スラグ BF	膨張材 EX	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤 Ad
1	30	30.4	51.9	158	334	156	30	878	792	3.90
2	40	30.4	51.9	158	282	208	30	875	792	3.90
3	50	30.4	51.9	158	230	260	30	875	789	3.90
4	0	30.4	51.9	158	490	0	30	883	797	3.90

セメント：早強ポルトランドセメント，スラグ：高炉スラグ微粉末 4000

表-2 品質試験結果

	高炉スラグ置換率	スランプフロー試験	Uロート試験	空気量	塩化物量	圧縮強度試験
規格	-	60±5cm	30cm以上	4.5±1.5%	0.3kg/m ³ 以下	$\sigma_{14} \geq 50\text{N/mm}^2$
試験1	30%	54.5cm		4.0%	0.029kg/m ³	
試験2	40%	61.0cm	31.0cm	4.1%	0.027kg/m ³	$\sigma_7 = 65.1\text{N/mm}^2$
試験3	50%	64.0cm		4.6%	0.022kg/m ³	
試験4	0%	39.5cm		4.3%	0.029kg/m ³	

(2) 塩化物イオンの浸透性

高炉スラグ微粉末の添加は塩化物イオンの浸透抑制に対し有効であるとされることから、試験練時に塩化物イオン拡散係数測定用供試体を採取し、試験を実施した。

試験は、JSCE-G 572-2013「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法(案)」に準じて実施し、浸せき期間は1年間とした。全塩化物イオン分布の測定については、ドリル粉を採取し、電量滴定式塩分計(SALMATE-100/Ws)を用いて塩化物イオン濃度の測定を行った。

試験結果を表-3に示す。見掛けの拡散係数は、式(1)に示すフィックの第2法則に基づいた拡散方程式の解を用い、塩化物イオン濃度の測定値を回帰分析することにより求めた。なお、ここでは初期に含有される全塩化物イオン濃度を 0kg/m³として回帰分析を行った。セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換することによりコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数が 36%程度低下した。また、今回の置換率 30~50%の範囲では、置換率による差は確認できなかった。

表-3 塩化物イオン濃度の測定結果および見掛けの拡散係数

スラグ置換率 (%)	各深さにおける塩化物イオン濃度の測定値(kg/m ³)					見掛けの拡散係数 (cm ² /年)
	0.5cm	1.5cm	2.5cm	3.5cm	4.5cm	
30%	19.60	1.04	0.76	0.68	0.52	0.232
40%	21.57	1.16	1.55	0.92	0.72	0.235
50%	17.04	0.84	0.72	0.68	0.32	0.225
0%	13.43	1.66	0.80	0.64	0.52	0.360

$$C(x,t) - C_i = C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right\} \quad (1)$$

ここに、 x : 表面から全塩化物イオン濃度を測定した箇所までの距離 (cm)

t : 浸せき期間 (年)

$C(x,t)$: 距離 x (cm) , 浸せき期間 t (年) において測定された全塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_{a0} : 浸せき試験によるコンクリート表面の全塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_i : 初期に含有される全塩化物イオン濃度 (kg/m³)

D_{ap} : 浸せき試験による見掛けの拡散係数 (cm²/年)

erf : 誤差関数 $\operatorname{erf}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta$

3.2 場所打ちコンクリートの耐久性向上対策

主桁架設後、床版横組部の施工を行った。当該箇所は既設主桁の現場打ちコンクリートへの影響を鑑みて、コンクリートに膨張材（収縮補償）を混和した。

膨張材の効果は一般的に一週間といわれるが、今回は養生マットを用いて4週間以上の湿潤養生(80%以上)を保つことにより、初期ひび割れの防止と表層品質向上を図った。

(1) 養生マットの保水効果検証

コンクリート床版上にて8種類の養生マットについて保湿効果の検証を行った。マット敷設後に、散水をし、屋外暴露状況下にて80%以上の養生湿度を確保できる期間を検証した。その結果を表-4に示す。

表-4 養生マットの保水効果検証結果

	概要	特徴	検証結果	保湿 (≥80%) 持続期間		概要	特徴	検証結果	保湿 (≥80%) 持続期間
養生マット①	ポリ製で半透明。コンクリート接触面にスリット加工。	少量の散水により水が拡散。透水性がなく、散水は直接マット内に行う必要がある。	保水層がなく、マット内面を浸透した水は暫くすると抜け出るように見えたが、マット内湿度は80%以上を確保。	16日	養生マット⑤	グラスウール製マット。表面コーティング無し。	上縁に不透水層がなく、マット上から散水可能。	1日半程度で乾燥状態になりその後、外気と同じ挙動を示した。	1.5日
養生マット②	保水層の上に銀色のサーモフィルムがコーティングされている。	フィルムに1~2cm間隔の孔加工あり。マット上面からの散水で保水層に浸透。	上縁の孔加工フィルムにより保湿と降雨の吸水双方の効果が得られた。	18日以上	養生マット⑥	マット⑤の上にポリシート敷設。	散水は直接マット内に実施。	⑤に比べ湿度変化は少ないが、外気に連動して乾湿を繰り返した。	5日
養生マット③	保水層の上に黒色のフィルムがコーティングされている。	上縁に孔加工は無く、散水は直接マット内に行う必要あり。	上縁が黒色の為、一目では保湿状態は確認できないが、マット内部の保湿状態は良好。	18日以上	養生マット⑦	布製のマット。表面コーティング無し	上縁に不透水層がなく、マット上から散水可能。	1日半程度で乾燥状態になりその後、外気と同じ挙動を示した。	1.5日
養生マット④	保水層の上に白色のフィルムがコーティングされている。	上縁に孔加工は無く、散水は直接マット内に行う必要あり。	上縁からマットの乾き具合が確認出来た。①同様乾いているように見えても保湿状態は良好。	18日以上	養生マット⑧	マット⑥の上にポリシート敷設。	散水は直接マット内に実施。	⑦に比べ湿度変化は少ないが、外気に連動して乾湿を繰り返した。	15日

養生マット②, ③, ④に関しては計測期間中, 常に養生湿度80%以上が確保された。3種類の養生マットに共通する事項は, 保水層とフィルム層(水分逸散防止層)との組み合わせによる一体構造となっており, フィilm層の欠如が湿潤養生に与える影響が高いことが確認された。

一方, 保水層を有さない養生マット①に関しては外見上すぐに水分が逸散してしまい保湿性能が低いように見受けられたが, 実際に養生面の保湿状態はマット②, ③, ④に準じて良好な値が得られており, 15日間程度は保湿効果が得られた。

今回の検証は東北地方山間地の11月中旬での計測であり, 朝晩の露の影響も鑑みられることから, この検証結果(期間)については, 夏期においては短縮されることが想定される。

(2) 床版の表層品質

養生による場所打ちコンクリートの耐久性向上対策の効果を確認するために, 表層透気試験を実施し, その健全性を評価した。

表層透気試験の結果を表-5に示す。ばらつきはあるものの透気係数が $0.011 \sim 0.0048 \times 10^{-16} \text{m}^2$ という結果となり概ね優判定を得ることができた。また, 耐久性に影響を与えるひび割れの発生はなく, 品質の高い床版の構築ができた。長期間にわたる湿潤養生の効果があったものと考えられる。

表-5 場所打ちコンクリートの表層透気試験結果

	マット①	マット②	マット③	マット④	マット⑥	マット⑧
透気係数 Kt ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	0.0097	0.008	0.011	0.0088	0.0048	0.0097
判定	優	優	良	優	優	優

表層透気係数によるグレーディングの目安 (コンクリート構造物の品質確保の手引き(案))

透気係数 Kt ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	優	良	一般	劣	極劣
	0.001~0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	10~100

コンクリートの配合: 33-8-25H(膨張材入り)

打設日: H29.10.4(養生日数 35日)

4. おわりに

国内の道路橋が最も多く作られていた1970年代から約50年を迎えようとする中, 多くの橋梁が維持補修の対象になってきている。一概に古い橋梁から補修対象となっているわけではなく, 完成から10数年の橋梁もその対象になってきているものもある。

現在, 国土交通省東北地方整備局においては, 過去の損傷事例を踏まえ, 耐久性向上に取り組んでいる。

本工事においては, 上記取り組みを念頭に基本に立ち返り, 丁寧なものづくりを進めてきた(写真-1)。

今回の経験を元に, 次回はより質の高い構造物構築を目指します。

本工事の施工に関し多大なるご指導, ご協力を賜りました磐城国道事務所をはじめとする関係各位に深く御礼を申し上げます。



写真-1 横川高架橋完成写真