

丹波綾部道路瀧谷高架橋での耐久性向上対策 ～橋梁上部工コンクリートへのSEC工法の適用～

熊谷 徹¹

¹大成建設(株)本社土木本部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1新宿センタービル)

SEC (Sand Enveloped with Cement) 工法は、練混ぜ水を最適な比率で2分割して投入・練混ぜを行うことで細骨材周辺を低水セメント比のセメントペーストで覆われるようにコンクリートを製造し、通常の練混ぜ方法と比べて、コンクリートのブリーディング発生を抑制でき、圧縮特性を向上させる1)2)。瀧谷高架橋では、このブリーディング抑制効果による躯体コンクリートの緻密性・耐久性向上に期待し、SEC工法をPC橋梁上部工のコンクリートとしては初めて本格的に適用した。本稿は、適用に当たっての検討結果を報告する。

キーワード SEC工法、分割練混ぜ、ブリーディング抑制、橋梁上部工コンクリート

1. はじめに

丹波綾部道路（綾部市～京丹波町間29.2km）は、京都縦貫自動車道（宮津市～久世郡久御山町間約100km）の一部で、近畿自動車道敦賀線や国道9号、国道27号を結ぶ道路である。本工事は、そのうちの第2工区（京丹波わちICから瑞穂IC間：11.2km）内に、橋長421mのPC6径間連続ラーメン箱桁上部工を建設する橋梁工事である（図-1）。

本橋は、図-2に示すように最高27.7mの橋脚上に建設される橋梁上部工で、供用後の維持管理が難しいために、施工時に上部工コンクリートの耐久性向上の工夫が求められる構造物である。

そこで本工事では、コンクリートの練混ぜ手順を変更するのみでブリーディング量を低減でき、結果的にコンクリートの緻密性・耐久性向上が図れる“SEC工法”を橋梁上部工コンクリートに適用した。本稿では、その適用検討および結果について報告する。



図-1 工事位置図

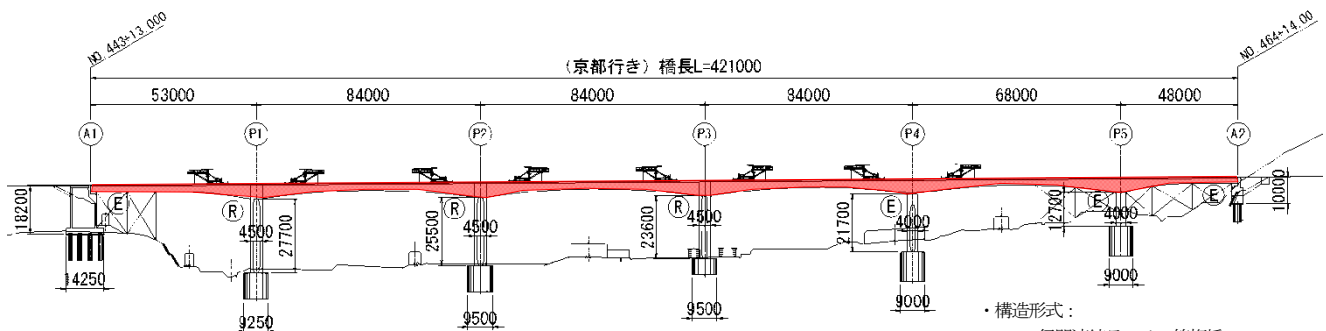


図-2 瀧谷高架橋一般図（■がSEC工法適用範囲）

- ・構造形式：
PC6径間連続ラーメン箱桁橋
- ・橋長：421m
- ・最大支間長：84m
- ・幅員：10.5m
- ・架設工法：
張出工法+固定支保工

2. SEC工法を現場に適用するに当たっての課題

図-3は、大成建設技術センターで実施した、分割練りによるブリーディング抑制効果を確認するための予備実験の結果である。実験は、工事で使用する生コンプラントでの呼び強度24N相当の配合を参考に、通常の場合と練り混ぜ水を分割し練り混ぜたコンクリートのブリーディング試験を行った。このようにSEC工法は、練混ぜ水の投入を2回に分けてコンクリートを製造するだけで、通常の一括投入し練り混ぜを行った場合と比べブリーディングを抑制できる。

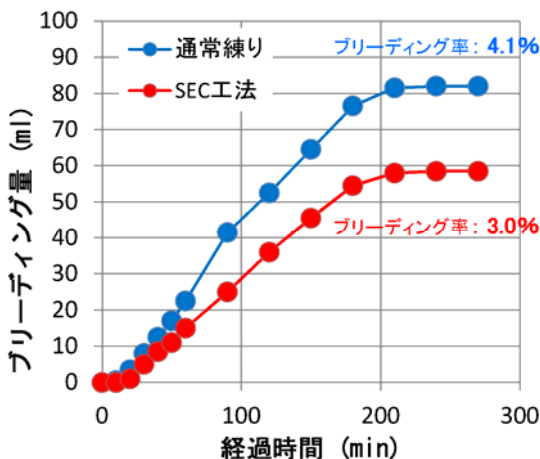


図-3 ブリーディング試験結果（24N配合）

本工法に期待する効果は、ブリーディングが抑制されることで、骨材や鉄筋などの下部に発生する空隙が減少し、結果としてコンクリート自身を緻密化（今回は強度改善効果で判断）できる点である。

しかしSEC工法は、吹付コンクリートやダムコンクリートで多くの実績を有するが、PC橋梁上部工への適用は瀧谷高架橋が初めてであり、実施するに当たっては以下のような懸念があった。

【コンクリートの製造】

- ①元々低W/Cの配合に於いて、練混ぜ水を2分割するため、さらに水の少ない状態で1次練りを実施する必要がある（表-1）。したがって、ミキサへの負荷が増大するために、プラントの設備によっては練混ぜができない可能性がある。
- ②練混ぜを2回に分けるため、自ずと練混ぜ時間も長くなり（通常の約1.5～2倍）、単位時間当たりの生コン供給量が少なくなる。

【配合】

- ③橋梁上部工のコンクリートは、PC構造なので設計基準強度40Nの高強度コンクリート仕様となっている。したがって、W/Cは37%と小さい値となっており、元々ブ

リーディングも少ない。このようなコンクリートでもSEC工法による更なる緻密化（今回は強度改善効果で評価）は得られるのか。

【コテ仕上げの作業性】

- ④一般的にW/Cの少ない高強度コンクリートでは、ブリーディングが少ないのでコンクリート表面のコテ仕上げ時の作業性が悪くなる。SEC工法でよりブリーディングが少なくなった場合、さらに作業性が悪くなる可能性がある。

①に関しては、生コンプラントの設備を確認するとともに、最終的には、実機で試験練りを行い、練混ぜサイクルも含め検討し解決を行った。

②に関しては、幸い生コンプラントが施工現場に非常に近かった（運搬時間約10分）こと、また、部材の殆どが張出施工であり1回の打設量55～70m³程度と少なかった（最大打設量は場所打ち部の320m³/回）ため、大きな問題とはならなかった。

③④に関しては、室内試験練り、実機試験練りを実施し、コンクリート性状を確認したうえで、実施工を行った。

3. 室内試験練りでの検討結果

(1) 1次水セメント比の検討結果

SEC工法の最適一次水量は、下記の式(1a)に、二次水量は式(1b)により算出する。

$$W1 = \alpha / 100 \times C + \beta 0H / 100 \times S \quad (1a)$$

$$W2 = W - (W1 + Ad) \quad (1b)$$

W1：最適一次水量（kg/m³）

W2：二次水量（kg/m³）

W：単位水量（kg/m³）

Ad：混和剤量（kg/m³）

α ：セメントのキャピラリー状態に必要な水セメント比（%）

$\beta 0H$ ：細骨材の拘束水率（%）

C：単位セメント量（kg）

S：単位細骨材量（kg）

今回使用する生コンプラントの材料特性は、試験の結果次のとおりであった。

- ・セメントのキャピラリー状態に必要な水セメント比： $\alpha = 26\%$
- ・細骨材の拘束水率： $\beta 0H = 0.73\%$

以上より決定された配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

W/C	単位量(kg/m³)					
	C	W		S	G	Ad
		W1	W2			
37%	446	121	44	679	1038	3.12

(2) 練混ぜ手順

練混ぜは、表-2 に示す手順で行った。総練混ぜ時間は、通常練りの 100 秒に対し、SEC 工法は 150 秒とした。ミキサはプラント試験室のパン型ミキサ使用し、1 バッチの練混ぜ量は 40 リットルとした。

表-2 試験練時の練り混ぜ手順

通常練り	S, C, G投入→10秒→(W+Ad)→90秒→排出
SEC工法	S, W1投入→30秒→C投入→60秒→(W2+Ad), G→60秒→排出

(3) コンクリートの性状確認

表-3にコンクリートの性状確認試験結果を示す。管理値は、スランブ：12±2.5cm，空気量：4.5±1.5%である。

SEC工法の場合、タッピング時の水上りが若干少ない傾向は認められたが、仕上げ作業に支障を来すほどではなかった。実際の床版仕上げ時には、被膜養生剤を併用しながら作業を行ったので、ブリーディングが抑制されることは問題とならなかった。その他の性状に関しては、分割練り混ぜとしても、通常練りのコンクリートと同等の性状が得られることが確認できた。

また、圧縮強度に関しては、分割練りとすることで約9%向上することが確認できた。これは、SEC工法のブリーディング抑制効果により、骨材下面に生成される空隙も小さくなることの結果⁹⁾であり、コンクリートが緻密化する事を間接的に示すものと考えられる。

表-3 フレッシュコンクリートの試験結果

測定項目	SEC 工法	通常練り
フレッシュコンクリート		
スランブ	 13.5 cm	 14.0 cm
空気量	3.0 %	3.4 %
温度	17.0 °C	16.0 °C
室温	18.0 °C	18.0 °C
1hr 後の コテ仕 上げ状況	 OK (タッピング時の 水上りやや小)	 OK
その他	(スランブの経時変化) 練り上り：13.5 cm 30 分後：14.5 cm 60 分後：14.0 cm 90 分後：13.0 cm	—
圧縮強度		
材齢 3 日	38.4 N/mm ² (通常練りの 1.09 倍)	35.1 N/mm ²
材齢 7 日	63.2 N/mm ² (通常練りの 1.09 倍)	58.0 N/mm ²

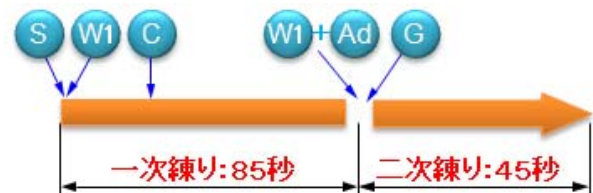


図-4 実機ミキサでの練り混ぜ要領

4. 実機試験練りでの検討結果

(1) プラントでの練り混ぜ要領

図-4 に、実機試験練りでの練り混ぜ要領を示す。今回は、ミキサの負荷低減に配慮し“モルタル先練り”とした。使用プラントに於いて通常練りが 60 秒で排出となるのに対し、SEC 工法では約 130 秒で排出としたが、混練ぜ中のミキサ負荷状況を確認した結果（図-5），ミキサの負荷は問題とはならず、1 次練り，2 次練りとも約 10 秒短縮可能であることが判明したので、実施工では約 110 秒で排出とした。

練混ぜ容量は、何れも 1 バッチ 2 m³で、通常練りは 2 m³，SEC 工法は 2 m³×2 バッチ＝4 m³製造した。



図-5 練り混ぜ中のミキサ負荷

(2) コンクリートの性状確認

実機試験練りでSEC工法により製造したコンクリートは、ミキサ車で現場まで運搬、ポンプ車で約25m上方へ圧送し、P2橋脚脚頭部ブラケット足場上のブロック供試体(900×900×900mm)を3体打設する模擬施工を実施した(写真-1)。

表-5にコンクリートの性状確認試験結果を示す。コンクリートは、練り上り後90分までスランプ、空気量ともに安定しており、圧送後のワーカビリティ低下もなく、ブロック供試体での締固め状況も良好で問題は認められなかった。また、表-6に示すように、通常練りのコンクリートと比較し、ブリーディング率はいずれも0.4%と小さく差異はでなかったが、圧縮強度は室内試験練りと同じくSEC工法のほうが高くなる傾向が再現され、実際のプラントミキサで製造しても、コンクリートの緻密性改善効果が得られることが確認された。



写真-1 模擬打設の状況

表-5 コンクリートの性状確認結果(1)

測定時間	圧送前(荷卸し)		圧送後(筒先)	
	スランプ	空気量	スランプ	空気量
SEC工法				
練上り	12.0 cm	3.2 %	—	—
練上り後1.0hr	11.5 cm	3.6 %	11.5 cm	3.5 %
練上り後1.5hr	10.0 cm	3.5 %	9.5 cm	3.5 %
通常練り				
練上り	10.5 cm	4.3 %	—	—

表-6 コンクリートの性状確認結果(2)

	SEC 工法	通常練り
ブリーディング率		
練上り時試料	0.4%	0.4%
圧縮強度		
材齢 3 日	48.0 N/mm ² (通常練りの 1.09 倍)	44.2 N/mm ²
材齢 7 日	56.1 N/mm ² (通常練りの 1.07 倍)	52.5 N/mm ²

5. 実施工での品質管理結果

当現場では、橋梁上部工工事として、柱頭部、張出し施工部、固定支保工施工部に、延べ約4,000m³にSEC工法を適用した。その施工管理結果を表-7に示す。

コンクリートの総打設回数56回に於いて、スランプの平均値は12.2cm(標準偏差:0.60)、空気量の平均値は4.1%(標準偏差:0.42)で、打設中の供給トラブルもなく平成26年1月に無事に最終打設を完了した。

表-7 実施工での品質試験管理結果

項目	規格値	実測値	差
スランプ			
平均値	12.0 cm	12.2 cm	+0.2 cm
最大値	14.5 cm	13.5 cm	-1.0 cm
最小値	9.5 cm	10.5 cm	+1.0 cm
データ数	—	n=194	—
標準偏差	—	$\sigma = \pm 0.60$	—
空気量			
平均値	4.5 %	4.1 %	-0.4 %
最大値	6.0 %	5.0 %	-1.0 %
最小値	3.0 %	3.3 %	+0.3 %
データ数	—	n=65	—
標準偏差	—	$\sigma = \pm 0.42$	—

6. おわり

SEC工法は、練混ぜ水を最適な比率で2分割して投入・練混ぜを行うことで、コンクリートが本来持っているポテンシャルを引き出せる良い工法である。

しかしながら、市中の生コンプラントで製造する際には、設備的な問題、練混ぜ時間の増大も含めた他工事との供給調整の問題、プラント制御システムの改造費用の問題など、生コンプラントや生コン組合の理解と協力を得られなければ実施する事が難しいのが現状である。

本工法が今後も実績を増やし、生コンプラント関係者へも認知されてゆくことを期待する。

謝辞:SEC工法実施に当たり技術指導頂いたリブコンエンジニアリング(株)殿、またコンクリート製造に当り真摯に協力頂きました関係者の皆様に、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) NETIS登録公開資料 「登録No. KT-100097-A」
- 2) 山本康弘・丸嶋紀夫・早川美光敬・伊東靖郎:SECコンクリートの基礎的性状に関する研究, 第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集, pp121-124, 1982
- 3) 田澤栄一・笠井哲郎・岡本修一:ダブルミキシングで製造したコンクリートの圧縮強度, 土木学会論文集, 第408号, V-11, pp139-146, 1989.8