

報告 PCU コンポ橋への高流動コンクリートの適用

足立 真康^{*1}・酒井田 実^{*2}・渡辺 准一^{*3}・原田 裕史^{*4}

要旨：戸奈瀬高架橋で採用された PCU コンポ橋は、コスト縮減の一貫としてウェブおよび下床版を薄くし軽量化を図っている。そのため、シースと鉄筋が高密度になることから、内部振動機を用いたコンクリートの締固めが困難なため、自己充てん性を有する高流動コンクリートを適用した。また、耐久性向上のため、早強ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末 6000 で置換し使用した。本書は、PCU コンポ橋への高流動コンクリートの適用を目的として行った各種検討について報告するものである。

キーワード：PCU コンポ橋、高流動コンクリート、高炉スラグ微粉末

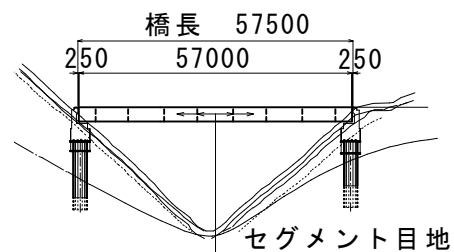
1. はじめに

戸奈瀬高架橋は、京都府綾部市戸奈瀬町地先において、一般国道 478 号京都縦貫自動車道（丹波綾部道路）新設工事の一環として計画された PCU コンポ橋である。PCU コンポ橋は、プレキャストセグメント工法を用いたものであり、工期短縮、コスト縮減を図るとともに、維持管理の容易さや耐久性を保持することを目的とし、長支間に対応できる新しい形式の橋梁として採用されつつある¹⁾。

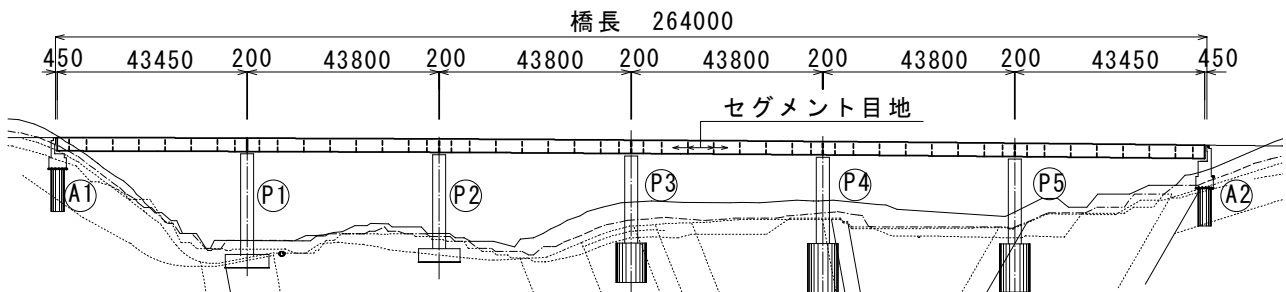
本橋梁の主桁は、U 形断面を有するプレキャスト製品である。本製品は、ウェブおよび下床版の部材厚が 200mm と薄く、この中に内ケーブル用シースと鉄筋が複雑かつ高密度に配置されていることから、内部振動機によるコンクリ

ートの振動・締固めが困難なため、自己充てん性を有する高流動コンクリートを適用した。また、耐久性向上のため、早強ポルトランドセメントの一部を高炉スラグ微粉末 6000 で置換し使用した。

本書は、PCU コンポ橋への高流動コンクリートの適用を目的として行った各種検討を報告するものである。



図－1 第一戸奈瀬高架橋 全体一般図（単位 mm）



図－2 第二戸奈瀬高架橋 全体一般図（単位 mm）

*1 （株）安部工業所 岐阜本社 技術開発部（正会員）

*2 （株）安部工業所 岐阜本社 技術開発部

*3 （株）安部工業所 岐阜本社 工務部

*4 （株）安部工業所 中部支店 岐阜工場

2. 製品概要

本橋梁は、第一橋および第二橋からなり、第一橋は、単純 PCU コンボ橋（図－１参照）、第二橋は 6 径間連結 PCU コンボ橋（図－２参照）である。図－３に本橋梁の主桁断面図を示す。

3. 検討方法

本製品に高流動コンクリートを適用するため、コンクリート配合試験および打設実験を以下に示す手順で実施した。また、フローを図－４に示す。

(1) 要求性能の設定

フレッシュ時における製品の要求性能を決定するため、製品の構造条件等から高流動コンクリートの自己充てん性レベルを決定する。

(2) 配合設計

高流動コンクリート施工指針²⁾（以下、「高流指針」と略す）に準じ、(1)で設定したフレッシュ性能を満足できる配合を決定する。

(3) 室内試験練り

(2)にて決定した配合より試験練りを行い、フレッシュ性能および強度特性を確認する。

(4) 実機プラント試験練り

(3)にて決定した配合を基本とし、実機プラントでの試験練りを行い、フレッシュ性状を確認する。

(5) 縮小モデル供試体による打設実験

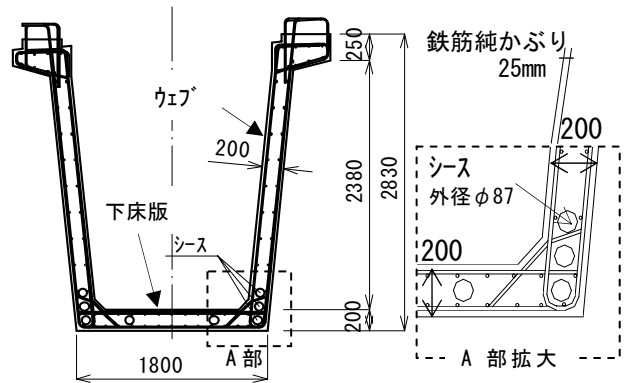
実製品の充てん不良が懸念される部分を取り出したモデルにおいて打設試験を行い、高流動コンクリートの打設方法、流動性能、自己充てん性能を確認する。

(6) 実物モデル供試体による打設実験

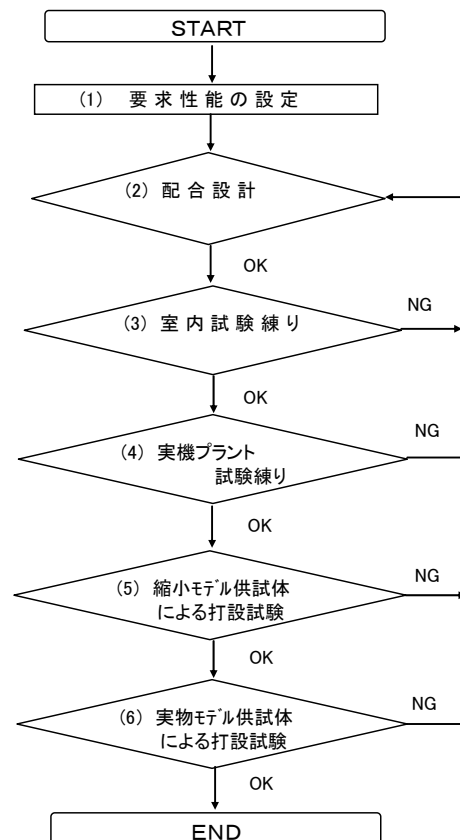
実製品を模擬したモデルにおいて、自己充てん性能を確認する。

4. 要求性能の設定

高流動コンクリートの自己充てん性レベルは、構造物の形状、配筋状態などから、3 ランクに分類される。本製品は、図－３に示すように、内ケーブル用シース（外径φ87mm）と鉄筋（D13、



図－３ 主桁断面図（第二戸奈瀬高架橋）



図－４ 検討フロー

D16) が複雑かつ高密度に配置されており、また、鋼材の最小あき 38mm（鉄筋純かぶり 25mm）かつ鋼材量が 480kg/m³ 程度（シースも全断面鋼材換算）であることから、自己充てん性レベルの最も厳しいランク 1 を採用した。自己充てんランク 1 の各目標値は、高流指針で表－１の通りに設定されている。

5. 配合設計

配合設計は、高流指針を参考に行った。以下に、本配合の特記すべき点を示す。

(1) 使用材料の設定

コンクリートの設計基準強度が 60 N/mm^2 であることから、高強度での実績が多い粉体系を採用した。セメントは、材齢 1 日に型枠の取外しに必要な強度である 14 N/mm^2 以上を確保するために、早強ポルトランドセメントを用いた。

混和材は、高炉スラグ微粉末 6000 および膨張材を使用した。高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは凍結防止剤による塩害に対する抵抗性などに優れており、初期強度発現性に優れた早強ポルトランドセメントと併用して、PC 構造物に適用されつつある³⁾。

本配合においても、コンクリートの耐久性向上を目的として、高炉スラグ微粉末 6000 を実績のある置換率 50% として用いた。また、高流動コンクリートは、普通コンクリートと比べ結合材量が多いことから自己収縮に対する考慮が必要であると考え⁴⁾、その対策として、コンクリート製品用の膨張材を 30 kg/m^3 添加した。使用材料一覧を表 2 に示す。

(2) 粗骨材の最大寸法・単位粗骨材量の設定

粗骨材の最大寸法は、本製品のかぶりが 25mm であることから 15mm とした。

単位粗骨材量は、ランク 1 の標準値が $0.28 \sim 0.30 \text{ m}^3/\text{m}^3$ であり、その下限値である $0.28 \text{ m}^3/\text{m}^3$ を採用した。

(3) 単位水量

粉体系高流動コンクリートの単位水量の範囲は $155 \text{ kg/m}^3 \sim 175 \text{ kg/m}^3$ であり、室内試験練りより 165 kg/m^3 , 170 kg/m^3 , 175 kg/m^3 の 3 ケースにおいてフレッシュ性能を満足する最適な量を設定する。表 3 に各ケースの試験配合を示す。

(4) 混和剤の添加量

高性能 AE 減水剤および AE 剤の添加量は、製造メーカーの推奨値を参考に室内試験練りにより決定する。

表 1 ランク 1 の目標値

	目標値	要求性能
スランプフロー (mm)	650±50	流動性
500mm フロー到達時間 (s)	5~20	材料分離抵抗性
U 形充てん高さ (mm)	300 以上 (障害 R1)	自己充てん性

表 2 使用材料一覧

分類	仕様
粉体	セメント 早強ポルトランドセメント、密度: 3.14 g/cm^3 、比表面積: $4520 \text{ cm}^2/\text{g}$
	混和材 高炉スラグ微粉末 6000、密度: 2.88 g/cm^3 、比表面積: $6110 \text{ cm}^2/\text{g}$
	膨張材、密度: 3.15 g/cm^3 、比表面積: $3450 \text{ cm}^2/\text{g}$
骨材	細骨材 川砂、表乾密度 2.61 g/cm^3
	粗骨材 川砂利、表乾密度 2.64 g/cm^3
混和剤	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸基含有多元ポリマー) AE 剤 (樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤)

6. 室内試験練り

配合設計より設定した各ケースにおいて、試験練りを行った。フレッシュ性状に関する試験結果を図 5 ~ 図 7 に示す。

各ケースの試験結果より、以下に示す事項を考慮し、Case2 の配合に決定した。

- ・スランプフロー：流動性を考慮し、ランク 1 の目標上限値である 700mm に近い値を示す配合
- ・500mm フロー到達時間：材料分離抵抗性を損なうことなく、高い流動性を確保するため、ランク 1 の目標下限値である 5 秒に近い値を示す配合
- ・U 形充てん高さ：自己充てん性能を考慮し、障害条件 R1 での充てん高さが高い値を示す配合

表 3 試験配合

	粗骨材最大寸法 mm	自己充てんラ	水結合材比 %	水粉体容積比 %	空気量 %	単位絶対粗骨材積材 m^3/m^3	単位量 (kg/m^3)							
							水	セメント	混和材		細骨材	粗骨材	混和剤	
									高炉スラグ微粉末 6000	膨張材			高性能 AE 減水剤	AE 剤
							W	C	BS	E	S	G		
Case1	15	1	30	90	4.5	0.28	165	260	260	30	855	739	6.88	0.022
Case2	"	"	"	"	"	"	170	268	268	30	827	739	6.80	0.023
Case3	"	"	"	"	"	"	175	277	277	30	800	739	6.42	0.023

・目視観察において、良好なコンクリートの粘性および材料分離の程度を示す配合

フレッシュ性状より決定した Case2 の配合において、強度試験を行った。供試体は、実製品と同一な養生条件とするため、蒸気養生（前置き 5 時間，最高温度 45℃×10 時間）を行った。試験結果を表－４に示す。

圧縮強度は，材齢 7 日の時点で圧縮強度が設計基準強度を満足した。

静弾性係数は，設計値 $3.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ に比べ若干小さい傾向となった。一般に，高流動コンクリートは，細骨材率が大きく，粗骨材量が少ないことからヤング係数が低くなると言われており⁵⁾，本試験においても同様な結果となった。なお，本試験値 ($3.06 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$) を用いて照査を行い，構造物の安全性に問題がないことを確認している。

7. 実機プラント試験練り

室内試験練りににおいて決定した示方配合を用いて工場の実機プラントによる試験練りを行い，コンクリートのフレッシュ性状に問題がないことを確認した。

8. 縮小モデル供試体による打設実験

8.1 モデル形状

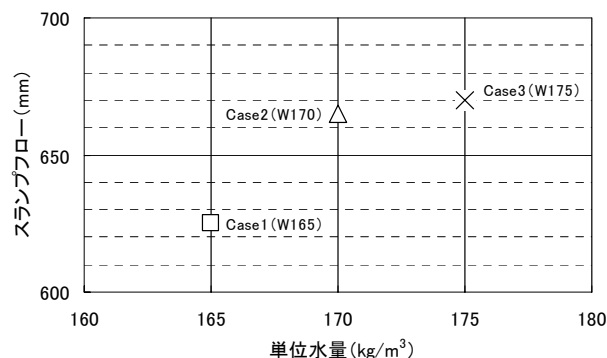
本打設実験は，シースの配置が異なる 2 ケースのモデルを用いた。モデル A は，シース曲げ上げ区間，モデル B は，シース直線区間を想定したものである。奥行きは両モデルとも 2800mm である。使用したモデルの断面図を図－８に示す。

8.2 モデル A 打設実験

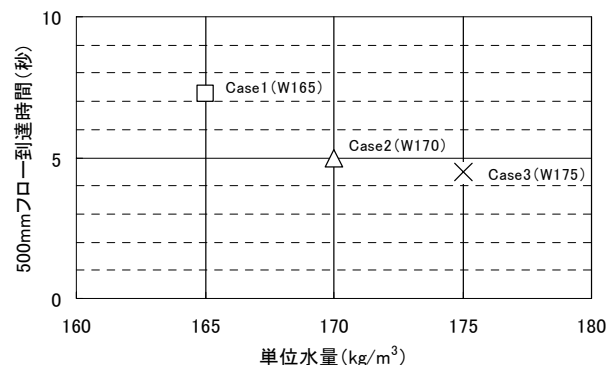
本実験では，片側のウェブから片押で，振動を与えず自己充てんで打設した。また，打設はバケットを用いて行った。図－９は供試体断面，図－10 はウェブ側面，図－11 は下床版のコンクリート流動履歴を示す（図中の時間は打設経過時間を示す）。本実験より，得られた知見を以下に示す。

表－４ 強度試験結果

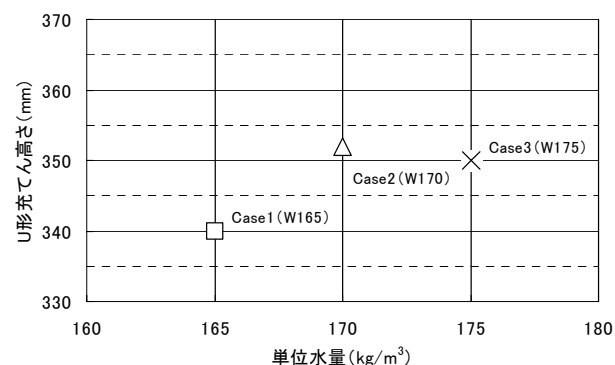
材齢(日)	1	7	14	28
項目				
圧縮強度 (N/mm ²)	48.6	65.0	67.1	68.8
静弾性係数 (N/mm ²)	2.55E+04	2.81E+04	2.72E+04	3.06E+04



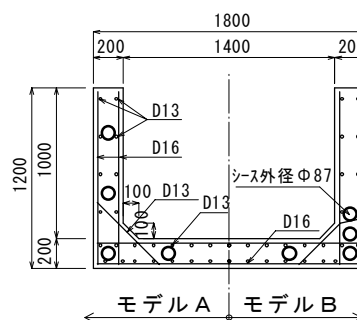
図－５ 試験結果（スランプフロー）



図－６ 試験結果（500mm フロー到達時間）



図－７ 試験結果（U 形充てん高さ）



図－８ モデル形状

・本形状においては、片側のウェブからの打設により、打設反対側のウェブ天端までコンクリートをほぼ充てんできる（図－9 参照）。しかし、打設中に両ウェブよりコンクリートを抜き取り、粗骨材量を測定した結果、打設反対側ウェブの粗骨材量が打設側ウェブに比べ、少ない傾向であった。これは、コンクリートの流動方向が打設反対側ウェブ部分で上向きになることやシースと鉄筋が高密度に配置されていることにより、粗骨材が損失したためと考えられる。以上より、片側からのみの打設方法では、粗骨材量の減少によりコンクリートの均一な品質が得られない可能性がある。

・ウェブ内での流動勾配は、図－10 に示すようにほとんどない。（平均 5% 程度）

・下床版は、図－11 に示すように同心円状にほぼ均等に流動する。

以上の結果、下床版の打設は、空気溜を作らないように片側から打設し、ウェブは、粗骨材を分離させないように、左右均等に打設する方法を用いることとした。

8.3 モデル B 打設実験

モデル A 打設実験を踏まえて、下床版を打設後、両ウェブ均等に打設した。

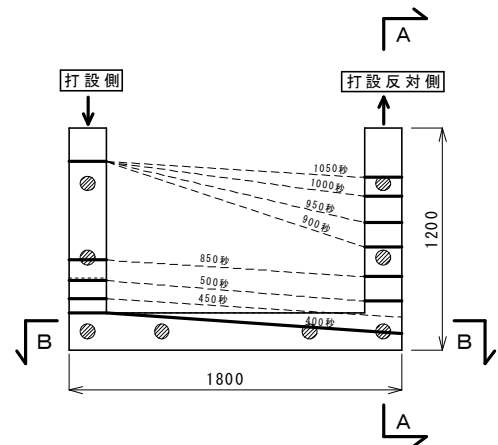
8.4 自己充てん性能

硬化後のモデル A およびモデル B より、シースと鉄筋が高密度に配置されている箇所においても、十分な充てん性能を確保できることを確認した。モデル B の硬化後の状況を写真－1 に示す。

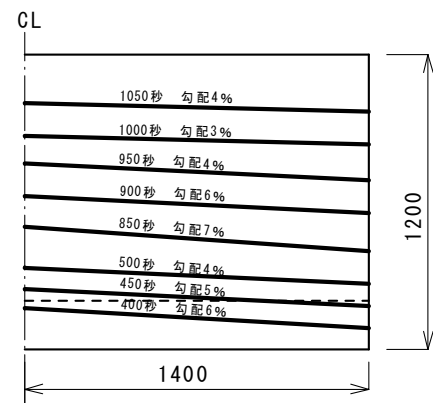
9. 実物モデル供試体による打設実験

実物モデル供試体は、第二戸奈瀬高架橋の第 3 セグメントおよび第 5 セグメントを対象とした（図－12 参照）。第 3 セグメントは、シース曲げ上げ部、第 5 セグメントはシース直線部である。

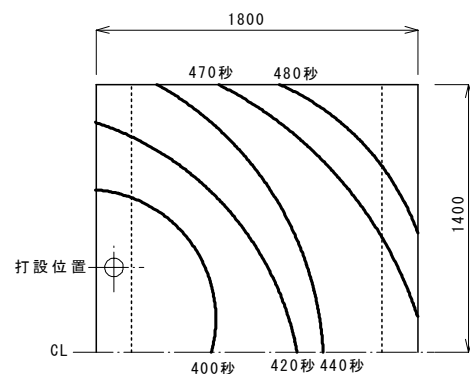
本実験に使用する型枠は、実際の製品製作時に使用するものを用い、また、コンクリートの流動性能および材料分離性状を確認するため、型枠の一部に透明型枠を使用した。打設は、下



図－9 コンクリートの流動履歴（断面）



図－10 コンクリートの流動履歴（側面, A-A 断面）



図－11 コンクリートの流動履歴（下床版, B-B 断面）



写真－1 モデル A の充てん状況

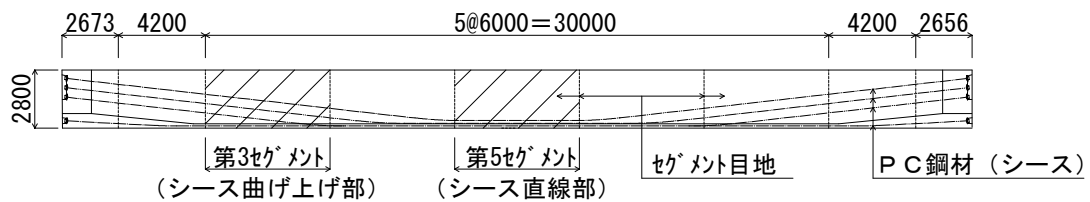


図-12 主桁P C鋼材配置図

床版を打設後、左右ウェブの中央位置から左右の打設差が大きくなるように交互に行った。

9.1 流動性能

写真-2に示すように、打設時の目視観察における充てん確認箇所（透明型枠）の下床版およびウェブには、材料分離は発生しておらず、高流動コンクリートの優れた流動性が確認できた。

9.2 自己充てん性能

写真-3に示すように、型枠解体後の目視観察において、未充てん部は確認されなかった。本セグメントは部材厚が薄く、シースおよび鉄筋が高密度に配置されているが、高流動コンクリートの採用により、有害な気泡の発生も含め、未充てん部がなく製作できることを確認した。



写真-2 ウェブ部充てん状況



写真-3 供試体状況（第5ブロック）

10. まとめ

本検討より、PCU コンボ橋に高流動コンクリートが適用できることを確認した。現在、高流動コンクリートを用いて製品製作を行っているが、不具合はなく順調に進んでいる。

最後に、今回高流動コンクリートを製造するにあたりご協力を頂いた、竹本油脂（株）の方々および関係者に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 古田光司，栴木洋子，城石尚弘，藤井隆：戸奈瀬高架橋（U型コンボ橋）の計画・設計：第14回プレストレスコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，プレストレスコンクリート技術協会，pp.125-134，2005.11
- 2) 土木学会：高流動コンクリート施工指針，pp.29-62，1998.7
- 3) 例えば，小島孝昭，豊福俊泰，小林一輔：塩

害に対応した高耐久性PC構造物の建設と性能評価に関する研究，土木学会論文集 No.802／V-69，pp.235-253，2005.11

- 4) 日本コンクリート工学協会：自己収縮研究委員会報告書，pp.8-9，1996.11
- 5) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針（案）・同解説，pp.35，1997.1