

## (2) 高流動コンクリートを用いたPC桁の施工

住友建設(株) 技術研究所 正会員 ○永元 直樹  
 静岡県 土木部 増井 明弘  
 同上 土井 克則  
 住友建設(株) 静岡支店 山之上 誠

### 1. はじめに

相良橋は静岡県榛原郡相良町に流れる2級河川荻間川の改良工事ともなつて河口部に架け替えられるPC・2径間連結ボステンT桁橋である。本橋は塩害対策区分Ⅱで設計されているものの、架設位置が海岸線に極めて近いことから、より高い安全性及び信頼性を確保するため、遮塩性に優れている粉体系の高流動コンクリート<sup>1)</sup>を適用した。高流動コンクリートは一般に通常のコンクリートよりも材料の変動等の各変動要因に敏感であり、その製造管理が難しいとされているが、今回も細骨材の表面水率の変動に大きく影響を受けた。そこで、細骨材の表面水の管理手法を変え、練混ぜ時のミキサの負荷値と出荷時のフレッシュ性状試験により出荷時の品質管理を行った結果、品質の安定したコンクリートを得ることができた。また、材料分離の抑制と表面の美観上の改善のために打設方法についても検討した。

本報では、高流動コンクリートを用いた9本のT桁(桁長32.45m)の実施工における製造管理、打設方法に関するこれらの検討結果を報告する。

### 2. 使用材料及び配合

本施工では、通常の生コン工場で設備の増築や材料の入れ替え等を行うことなく、高流動コンクリートの製造を可能にするために、使用材料として通常生コンプラントで使用している普通ポルトランドセメントと骨材、高性能AE減水剤のみを用いた粉体系を採用した(表-1)。また、配合は室内試験練りと実機試験練りの結果から表-2のように定めた。なお、

配合選定の際、コンクリートの変形性を評価するためにスランプフロー試験を、間隙通過性を評価するためにVロート試験

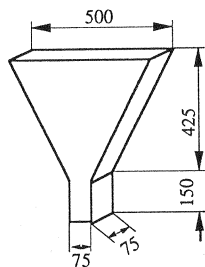


図-1 Vロートの形状

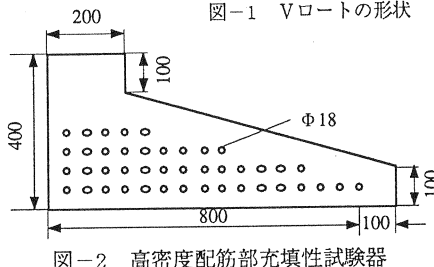


図-2 高密度配筋部充填性試験器

表-1 使用材料一覧表

材料	仕様	比重	比表面積及び実績率	粗粒率
結合材	普通ポルトランドセメント	3.15	比表面積 3270cm <sup>2</sup> /g	-
細骨材	大井川産川砂	2.60	-	2.72
粗骨材	大井川産川砂 利 MS=25mm	2.64	実績率 65.0%	6.94
混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤			

表-2 配合表

W/C (%)	S/a (%)	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )				高性能AE減水剤 (C×%)
		水 W	結合材 C	細骨材 S	粗骨材 G	
29.2	49.3	162	554	798	819	1.50

表-3 管理目標値一覧表

試験位置	スランプフロー	空気量	Vロート流下時間
出荷時	50~65cm	4.5±1.5%	-
荷卸時	55~70cm	4.5±1.5%	6~16秒

験(図-1)<sup>2)</sup>を、自己充填性を評価する際の指標として高密度配筋部充填性試験(図-2)<sup>3)</sup>を行った。また、各試験練りと実物大模型を用いた試験施工の結果から、実施工の管理目標値を表-3のように定めた。

### 3. 製造

#### 3.1 練混ぜ

製造は、レディーミクストコンクリート工場にて行った。ミキサは2.0m<sup>3</sup>練り強制2軸ミキサを使用し、練混ぜ量は1.5m<sup>3</sup>、練り時間は全材料投入後180秒とした。材料の計量、投入はAE助剤以外はすべて自動計量、投入とした。

#### 3.2 細骨材の表面水率の管理

高流動コンクリートの製造において水量の変動は練混ぜ後のコンクリートの品質に大きく影響する。コンクリートの製造において水量の変動を及ぼす最も大きな要因は細骨材の表面水率の変動であり、高流動コンクリートを安定して製造するためには細骨材の表面水率の管理に特に注意を要する。今回、1,2本目の桁製作においては、通常通り搬入した細骨材をコルゲートサイロに貯蔵し随時使用していく方法を行ったが、この方法では搬入される細骨材の表面水率が天候等の影響でばらつくため、表面水率の変動に起因するスランプフローの変動が大きかった。このため、3本目以降では細骨材をあらかじめ搬入してストックヤードにて静置し、水分の安定を図った。さらに、その細骨材を打設日の朝に空のコルゲートサイロに入れて使用した。また、計量器上の骨材貯蔵容器には細骨材が残留しており、その細骨材中の表面水が夜間に沈下する可能性があったため、朝1バッチ目の製造は避けるように配慮した。これらの結果、3本目以降の桁製作時には表面水率のばらつきは1,2本目と比べて小さく抑えることが可能となった(図-3)。

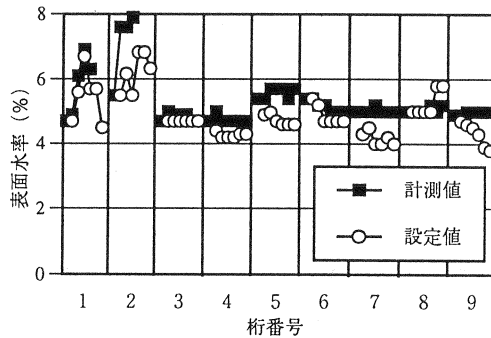


図-3 細骨材の表面水率の変動

#### 3.3 ミキサ負荷値とスランプフローの関係

ミキサの負荷は材料投入直後に最大値をとり、時間とともに減少する軌跡を描く(図-4)。この軌跡はスランプフローが小さいコンクリートの場合は上方へ移行し、大きいコンクリートの場合、下方に移行する。そこで、各アジテータ車の1バッチ目において、練混ぜ時間30、60、180秒の各時点での負荷値を合計し、スランプフローとの関係を検討した。

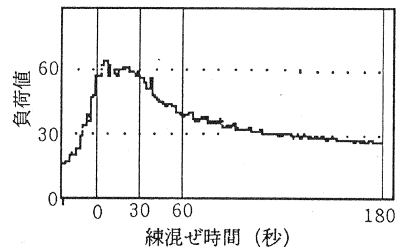


図-4 ミキサの負荷値

この結果、スランプフローと負荷値の合計との間には負の相関がみられ(図-5)、ミキサ負荷値からおおよそのスランプフローを推定した。

#### 3.4 フレッシュ性状

##### (1) スランプフロー

出荷時：コンクリートは1台のアジテータ車に3バッチ積み込んだ。安定したコンクリートを製造するため、スランプフローの計測は1台のアジテータ車について1バッチ積み込み後と全バツ

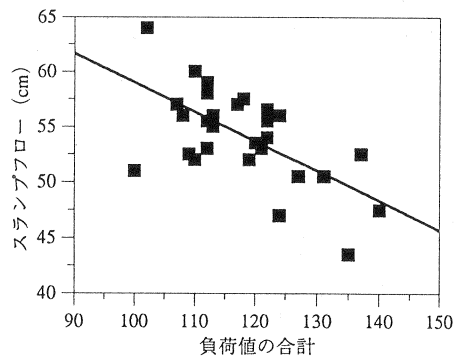


図-5 負荷値とスランプフローの関係

チ積み後の計2回行い、全バッチ積み込んだ時点で目標値を満足するように管理した。出荷時のスランプフロー(全バッチ積み込み後)は、全打設にわたって管理値である50~65cm内の値であった。特に、桁番号3本目以降はほぼ55~65cmで管理できた(図-6)。これは、製造において細骨材の表面水率の管理手法を3.2のように変えたことに起因するものと思われる。

荷卸し時:荷卸し時のスランプフローは出荷時に比べ概ね2~5cm程度大きくなった。これは使用した混和剤の経時変化特性であり、試験練りの際の傾向と同一である。さらに、出荷時のスランプフローが安定した3本目以降は荷卸し時のスランプフローも安定し、現地での試験施工や1,2本目の桁の施工で最も打設に適しているとみなされた58~67cmの範囲内であった(図-7)。

### (2) 空気量

出荷時:空気量もスランプフローと同様にアジテータ車1台について1バッチ目積み込み後と全バッチ積み込み後の2回計測した。空気は1台目に多く混入され、次第に混入量が減少していく傾向を示した(図-8)。このため、規格値を満足するコンクリートを製造するために徐々にAE助剤の混入量を増やして調節した。この結果、全般を通して規格値内の空気量を混入することができた。次第に減少する原因は不明であり、今後の検討課題である。なお、本構造物は凍害対策地域外に架設されることと、密実性向上のため空気量は低めで出荷管理した。

荷卸し時:出荷時に比べ、概ね0.5%程度大きくなった。しかし、出荷時において空気量を低めに管理した事より荷卸しにおいても管理値である4.5±1.5%の範囲を満足し、概ね低めに管理出来た(図-9)。

### (3) Vロート流下時間

Vロートの流下時間はコンクリートの間隙通過性を表す指標と考えられるが<sup>2)</sup>、Vロート流下時間に影響を及ぼす要因としてコンクリートの粘性と骨材同士のかみ合いがある。ここで、コンクリートの配合が変わらない条件で、実際の細骨材の表面水率が設定値より減少するとコンクリートに混入される全水量が減少し細骨材が増える。このため、水セメント比が小さくなりペースト部分の粘性が増加するとともに細骨材の増加が骨材相互のかみ合いを助長し、Vロート流下時間はながくなる。一方、実際の細骨材の表面水率が設定値より多くなるとコンクリート全体の水量が増加し、水セメント比が大きくなるとともに細骨材量が減少する。このため、コンクリート

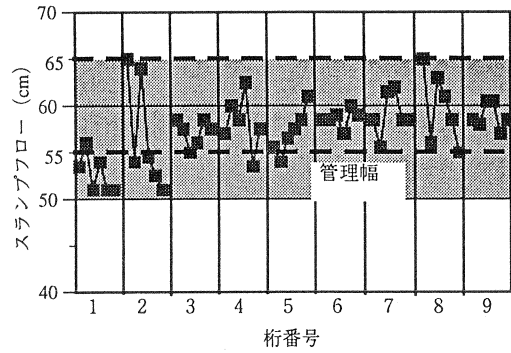


図-6 出荷時のスランプフロー

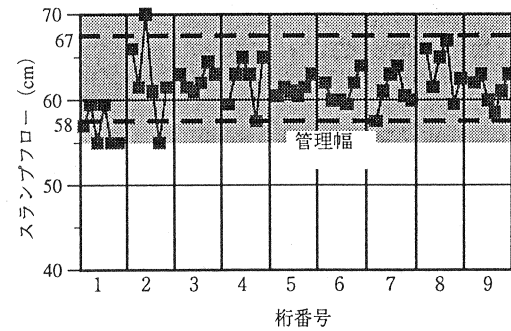


図-7 荷卸し時のスランプフロー

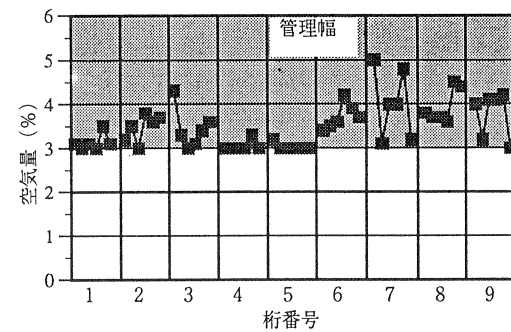


図-8 空気量の変動(出荷時)

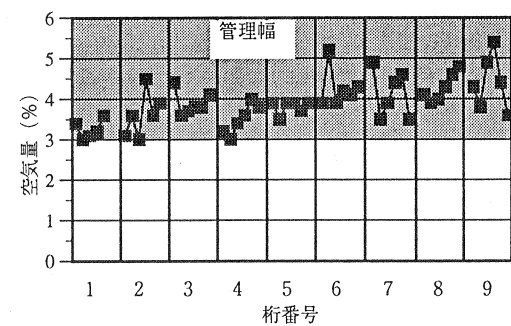


図-9 空気量の変動(荷卸し時)

の粘性が低下するとともに細骨材の減少による骨材相互のかみ合いが減少する。しかし、さらに水量が増加しペースト部分の粘性が低下すると骨材が分離しVロート流出口付近で骨材がかみ合って閉塞する現象をおこし、コンクリートが完全に流出しない場合や、流下時間が極端に遅くなることもある<sup>4)</sup>。これらのことより、今回はフレッシュ性状の管理試験の1つとしてVロート試験を用いた。

試験練りの際の充填性試験との関係や試験施工の結果から、今回の施工においては、Vロート流下時間の適性値は6~16秒と考えた。製造においては、全般にわたってこの範囲を満足しており、適切な間隙通過性を持ったコンクリートが製造できたといえる(図-10)。

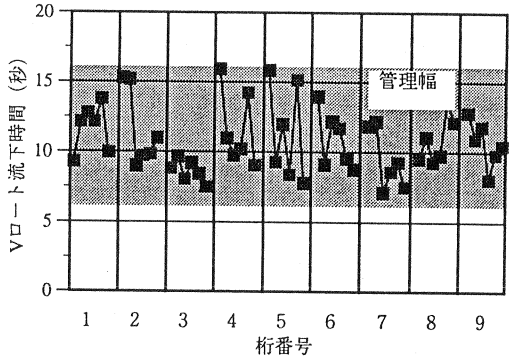


図-10 Vロート流下時間の変動(荷卸し時)

#### 4. 打設

##### 4.1 打設方法および脱型後の表面

打設はピストン式のコンクリートポンプ車を用いて行った。構造物表面の改善のため、打設順序は、1本目、2本目、3本目以降で変えた。なお、型枠剥離剤は試験施工の際に良好な結果を示した油性の剥離剤(高流動コンクリート用に開発されたもの)を使用した。

##### (1) 1本目

本桁には下フランジがあり(図-11)、下フランジハンチ部分に気泡溜りの発生が懸念された。つまり、1度以下フランジ上部まで打設するとハンチ部に空気が溜り、抜け切れずに残留するおそれがあることと、打設速度が速いと空気を多く巻き込むことが考えられた。そこで、1本目の打設においては、1層目を下フランジハンチ下までとし、2層目で下フランジを打設しきる方法を取った。また、打設速度は10m<sup>3</sup>/h程度とした。さらに、材料分離を抑制するために横流し距離は概ね5m、最大10mとすることを考え、流動勾配が10%での施工を考えたため、打設位置を図-12に示すように移動させながら打設した。

この打設方法で打設を行った場合、筒先の移動に時間がかかり前層との打設時間の間隔が最大30分程生じてしまい、打ち継ぎ面が脱型後の側面に薄い筋として認められた。この面の一体性は試験施工の際に10×10×40(cm)供試体の中央断面(端部から20cm断面)において、打継ぎ時間を変えて打継いだものの曲げ強度を比較することによって一体化が確認されていたが(図-13)、美観上の問題から改善するのがよいと考えられた。

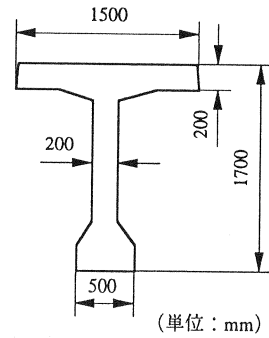


図-11 桁標準断面図

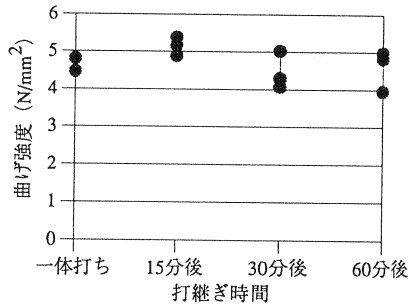


図-13 打継ぎ時間と曲げ強度

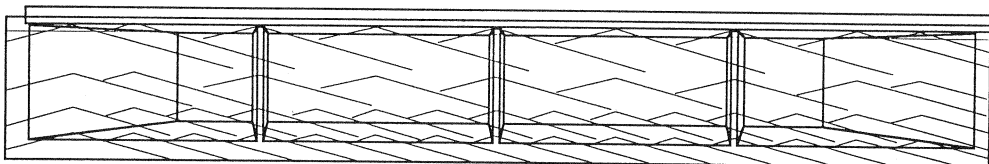


図-12 1本目の打設順序

(2) 2本目

1本目の打設で流動勾配は15%以上であることが確認された。ここで、施工性の改善と表面の美観上の改善のため、筒先の移動による労力的、時間的なロスを少なくすることを考え、打設位置を図-14に示すように限定し、1箇所からの打設数量を増やし施工の簡易化を図った。ただし、打設速度は10m<sup>3</sup>/h程度を維持した。

この結果、施工速度が速くなり、打継ぎ時間も最大20分程度に改善された。このため、脱型後の表面の美観は1本目より良好であった。

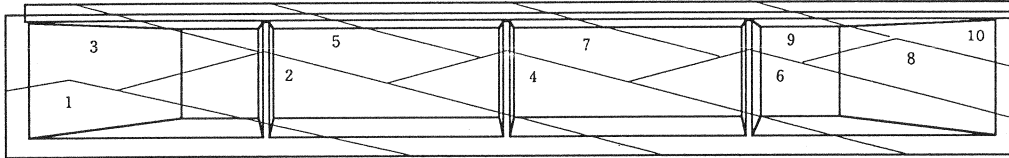


図-14 2本目の打設順序

(3) 3本目以降

打ち継ぎ目を作ることなくコンクリートを打設するには片押し打設が有効である。2本目の打設において流動勾配が20%程度であれば材料の分離を引き起こすことなく片押し打設が行えることがわかった。また、流動勾配20%を得るためにはコンクリートのスランプフローを58~65cm程度にする必要があった。そこで、コンクリートの製造管理をより厳しくし、より安定したコンクリートを供給することを前提とし、表面美観のさらなる改善と施工の合理化のために、3本目以降の打設方法を図-15に示すように片押し打設にした。3本目以降の打設に際しては打設するコンクリートが常に前層のコンクリートを覆っていくため、1,2本目のように打継ぎ間隔があくことがほとんどなく、打継ぎの筋が目立たなくなった（写真-1）。

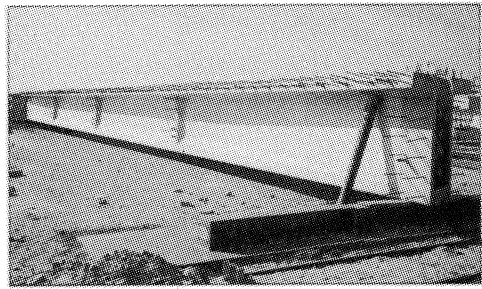


写真-1 3本目の桁の全景

いずれの桁も脱型後のコンクリート表面には未充填部分やジャンカ等は見られず、気泡も通常のT桁と同程度以下であった。

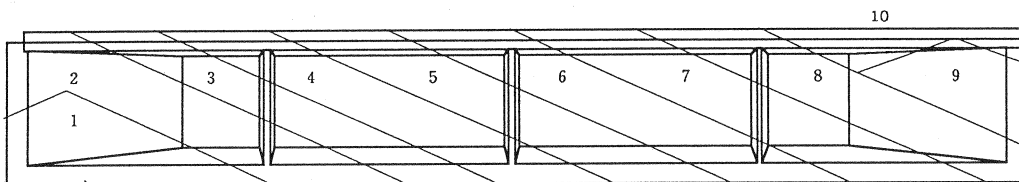


図-15 3本目以降の打設順序

4.2 仕上げ、養生

実施工に先立って、試験施工時に4種類の養生方法について検討を行った（表-4）。なお、各養生方法は試験体1は無養生、試験体2は打設直後から表面をシート養生したもの、試験体3は打設直後にコンクリート表面に水を噴霧にて散布しシート養生したもの（シートとコンクリート表面のクリアランス

表-4 均し方法の検討

試験体番号	1	2	3	4
養生方法	無養生	シートのみ	水散布+シート	養生マット
仕上時間	40分後	100分後	125分後	185分後
表面仕上がり状況	プラスチックひび割れ発生	均し時に若干の表面こわばり	良好	表面に若干の砂面が確認された

は5cm程度）、試験体4は打設直後に湿らせた養生マットにて養生したもの（養生マットはコンクリート表面に直置き）である。各試験体とも同時に打設し、仕上げができる状態になるまで随時観察し、その時間と仕上げ易さを検討した。

試験体1は10分後にすでに表面にはこわばりが生じ、40分後には表面仕上げが可能となったが、コテ仕上げを行うと表面にプラスチックひび割れが生じ仕上げが困難であった。また、表面に水を散布してもフレッシュ性状は回復しなかった。この時の残りの試験体は表面もまだフレッシュな状態であった。試験体2は100分程度で仕上げ可能となったが、このとき表面には若干こわばりが生じていた。試験体3は125分程度で仕上げ可能となった。仕上げ作業においても表面のこわばり等もなく良好な施工性を示した。試験体4は仕上げ可能となるまで185分必要であった。また、打設直後に養生マットをコンクリート表面に直置きしたため、水の逃げ場がなく表面が若干洗われ、細骨材が露出している部分もあった。しかし、材齢初期の養生としては保水性の最も高い養生マットの使用が理想的であるといえる。

これらの結果から、実際の桁の施工の際は箒目仕上げまでは水散布とシート養生を行い、仕上げ後は養生マットにて湿潤養生することとした。この手法を用いた結果、均しによる表面のプラスチックひび割れは生じず、硬化後も表面クラックは認められなかった。

### 5. 強度及び静弾性係数

脱型時の強度はすべて10N/mm<sup>2</sup>以上であり、緊張時（材齢3日）の圧縮強度は標準養生で50～60N/mm<sup>2</sup>の値を示した。また、材齢28日で設計強度の70N/mm<sup>2</sup>を下回るものはなく、配合設計管理値の70～90N/mm<sup>2</sup>を満足した（図-16）。

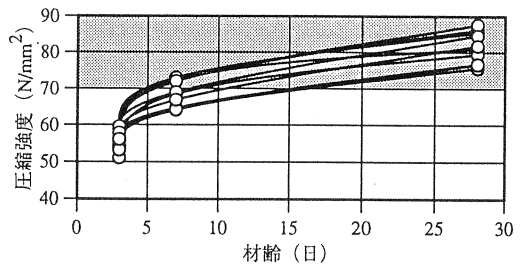


図-16 標準養生の圧縮強度と材齢の関係

### 6. おわりに

ポステンT桁に高流動コンクリートを適用した結果、以下のことが確認できた。

- ①通常のレディーミクストコンクリート工場の設備と材料のみで高流動コンクリートが製造できる。
- ②表面水率の高い細骨材を高流動コンクリートの製造に使用する際には、細骨材をストックヤード等に静置し、排水させ、水分を安定させることが有効である（品質の安定したコンクリートが製造できる）。
- ③配合や使用材料が一定の場合、練混ぜ時のミキサの負荷値により、おおよそのスランプフローが予測できる。
- ④コンクリートの品質管理を厳しくし、安定した高流動コンクリートを供給し、打設方法を片押し打設とすることで表面美観の良好な桁を製作することができた。

高流動コンクリートは熟練作業員不足の現在の建設業事情において、施工の良否を受けずに信頼性の高い耐久なコンクリート構造物が施工できる可能性を秘めたコンクリートである。これらの成果が、これからのコンクリート構造物に高流動コンクリートを適用する際の参考になれば幸いである。なお、本施工にあたっては、試験練りから実施工に至るまで、(株)相良ドラゴンズクラブ、(株)ポゾリス物産、八洋コンクリートコンサルタント(株)の関係各位に多大なる協力をいただいた。末筆ではあるが、ここに感謝の意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書（Ⅱ）、1994.5
- 2) 小澤一雅・坂田 昇・岡村 甫：ロード試験を用いたフレッシュコンクリートの自己充填性評価、土木学会論文集、No.490、V-23、1994.5
- 3) 岡村 甫・前川宏一・小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993.9
- 4) 小澤一雅・永元直樹：モルタルとコンクリートの自己充填性、第49回セメント技術大会講演集、1995.5