

V-168 現場条件を考慮した自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの配合設計例

西松建設技術研究所 正会員 西田徳行
西松建設技術研究所 正会員 湊康裕
西松建設技術研究所 正会員 高橋秀樹
東京大学工学部 正会員 小澤一雅

1. まえがき

ハイパフォーマンスコンクリート（以下、HPC）は、締固め不要かつ硬化後の品質が良好であり、コンクリート構造物の信頼性を向上させることができる材料として注目されている。HPCは、適用構造物の施工条件やコンクリート要求性能を満足するよう配合設計を行う必要がある。また、一般的な生コンクリート工場での製造は、材料調達および品質管理において制限を受けることがあるため、これらの現場条件（施工、コンクリート要求性能、生コンクリート工場）を考慮した配合選定が必要である。本報告は、提案されている方法¹⁾に基づき、近畿自動車道吹田インターチェンジ工事のボックスカルバート頂版コンクリートで実施した耐久性と施工および生コンクリート工場の条件等を考慮した自己充填性HPCの配合について、机上の暫定配合と試験配合での修正結果をまとめたものである。

2. 施工条件と生コンクリート工場

本ボックスカルバートは、名神高速道路との交差点土被り厚が小さいことから、パイプ工法により構築された。頂版コンクリートが有効断面（1～1.2m）を確保するためには、ルーフパイプ下端との間隔を20cm以下とする必要があり、締固め作業等の作業空間の確保が困難なため、HPCの適用に至った。また、最小鉄筋間隔は12.5cm（D32 ctc）、設計かぶり厚さ84mm、最大コンクリート打設量は約390m³/日（総打設量約2,000m³）である。本工事

における生コンクリート工場の使用可能材料一覧を表-1に示す。使用頻度の少ないセメントおよび混和材は、入手が困難または高価になる。

3. 配合設計

本工事におけるHPCの配合設計は、耐久性設計と充填性設計から検討した（図-1）。耐久性設計は、構造物の環境・機能に適した性能をもつセメントの種類および混合粉体の置換率を設計するものである。充填性設計は、構造物の形状寸法・配筋および施工方法に適したコンクリートの変形性能および間隙通過性を考慮し配合設計するものである。

なお、机上の暫定配合および試験配合は各2種類選定し、硬化後の強度と水和発熱性状から1つの配合に決定した。

3.1 耐久性設計

耐久性に対するコンクリート要求性能の検討は、強度、温度応力ひびわれ、中性化、塩害および凍害とし、既往の文献等^{2), 3)}を参考に2種類のセメント（普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種）で行った。ただし、粉体（フライアッシュ）を混合させた場合の硬化性状等については、不明確なことからセメント量のみで検討した。塩害および凍害については地理的な環境条件³⁾より、検討不要とした。その他（硬化収縮・乾燥収縮ひびわれ等）については、現在、定量的に評価することは難しいと判断し、ここでは検討しなかった。

配合強度：本構造物の設計基準強度は、240kgf/cm²（28日）である。ここでは配合強度を、300kgf/cm²と仮定し、これを満足する水セメント比を現地の生コンクリート工場の実績（表-2）から求めた。

表-1 使用可能材料一覧表

種 類	入手の難易	設備改造	備 考
セ			
メ			
ン			
ト			
粉			
体			
骨			
材			
混			
和			
剤			

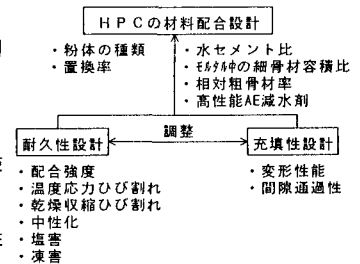


図-1 配合設計概念図

表-2 工場実績の強度推定式

種 類	推定式
普通ポルトランドセメント	$f'_{c(28)} = -20.3 + 189 \times c/w$
高炉セメントB種	$f'_{c(28)} = -37.8 + 188 \times c/w$

温度ひび割れ抵抗性：温度ひび割れ抵抗性は温度解析を行い、[温度のみから求める温度ひび割れ指数]²⁾で評価した。この指数は一般に小さくなると言われていることから指数1.0を満足するセメント量を求めた(図-2)。

中性化に対する耐久性：中性化に対する耐久性³⁾は、劣化深さが等価かぶり厚さ以下であることとし、ここでは、設計耐用年数100年で等価かぶり厚さ(79mm)を満足する水セメント比を求めた(図-2)。

以上、耐久性から求めた配合条件を表-3に示す。

図-2 温度ひび割れと中性化からの配合条件

3.2 充填性設計と暫定配合

充填性設計は提案されている方法¹⁾を参考に、各セメント量が温度ひび割れ指数を満足するようにフライッシュの置換率、空気量を調整することで暫定配合を決定した(表-4)。強度は、設定した水セメント比を満足していないが、水粉体比は十分満足していること、フライッシュのボゾラン反応による強度発現が期待

できること、既往文献の類似配合⁴⁾などから十分な強度が発現すると判断し、後日、強度試験で確認した。フレッシュ性状の目標値は、スランプフロー 65cm程度、Vロート流下時間 7秒程度とし、試験練りで配合を確認・修正した。

4. 試験配合

暫定配合は分離していた。そこで、耐久性上の配合条件、フレッシュ性状の目標値を満足し、経時変化が少ない配合をW/C、S、および高性能AE減水剤(SP)添加量を調節して試験配合から決定した(表-4、図-3、表-5)。以上の結果、本工事のHPC配合は、高炉セメントB種をベースとする配合(2')と決定した。また、本配合の単位水量を増減(砂の表面水±1%)させたフレッシュ性状は、スランプフロー：58.5~66.0cm、Vロート流下時間：9.2~5.7秒であった。なお、実施工において本配合は、骨材の表面水補正・高能AE減水剤の添加量調節により良好な性状を示した。

5. まとめ

本報告では、提案されている方法¹⁾を参考に使用するコンクリートを対象として、簡易な方法による机上の暫定配合と試験配合について自己充填性ハイパフォーマンスコンクリートの配合設計例を示した。本配合は、実施工において良好な結果を得た。今後は、耐久設計において混和材の置換率の影響をより厳密に考慮した配合設計をしたいと考える。

【謝辞】本コンクリートの適用に際し、貴重な御指導を賜りました東京大学 岡村 甫教授をはじめとし、多大な御協力を戴きました関係者の皆様に深く感謝の意を表します。【参考文献】1)岡村 甫、新川定一、小澤一雄：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993. 9. 2)土木学会：コンクリート標準示方書(施工編)、1991. 3)日本コンクリート工学協会：鉄筋コンクリート構造物の耐久性設計に関する考え方、1991. 5. 4)小合澤辰雄：ハイパフォーマンスコンクリートを用いた環境閉鎖工事、ダム技術、No. 70、1992

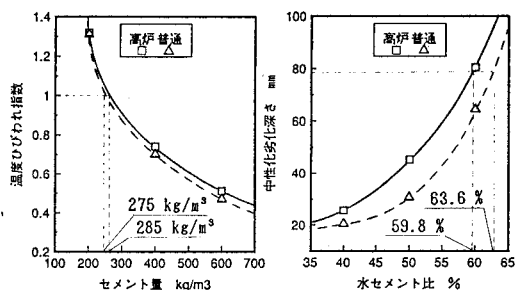


表-3 耐久性からの配合条件

項目	普通ポルトランドセメント	高炉セメントB種
W 中性化	63.6%以下	59.8%以下
C 強度	59.0%以下	55.0%以下
C 温度	275kg/m³以下	285kg/m³以下

塩害：海岸から1km以上内陸にある構造物のため検討不要
凍害：凍害試験範囲のため検討不要

表-4 暫定配合と試験配合

配合	G _{max} (mm)	air (%)	W/P (W/C) (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						粉体混合比 (重量) C : F	G/G _{max} (%)	S ₀ (%)		
					W	C	F	S	G	SP(%)					
暫定 配合	1	20	4.0	33.4 (60.7)	49.2	166	274	223			P×1.50	普通	55.1 : 44.9	52.0	46.6
												P×1.50	高炉 B		
試験 配合	1'	20	4.0	31.6 (60.7)	49.2	167	275	253			P×1.15	普通	52.1 : 47.9	52.0	44.5
	2'											P×1.05	高炉 B		

1)普通ポルトランドセメント：比重 3.16、比表面積 3450
2)高炉セメントB種：比重 3.03、比表面積 4050
3)フライッシュ：比重 2.28、比表面積 3870(関西電力産)
4)細骨材：比重 2.58、実積率 64.6%、FM=2.75、山砂(城陽)70%、砕砂(高槻)30%
5)粗骨材：比重 2.70、実積率 60.4%、FM=6.77、茨木産砕石(15mm)35%、(20mm)65%
6)高性能AE減水剤(SP)：SP-8S(ポリカルボン酸系)

表-5 フレッシュおよび硬化性状

試験配合	フレッシュ性状				硬化性状		
	スランプフロー (cm)	Vロート (秒)	空気量 (%)	練り温度 (℃)	圧縮強度(kgf/cm²)		養生温度上昇量 (引張機) (℃)
					σ ₁	σ ₂	
1'	65.0 × 63.5	6.9	4.7	21.0	336	500	57.5 (43.5)*
2'	67.5 × 64.0	6.0	4.9	21.0	220	424	47.8 (43.3)

*：試験装置の一部が作動不良だったため、参考値

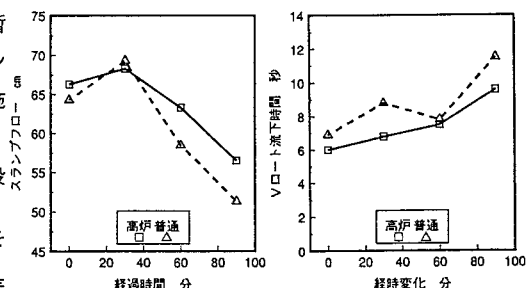


図-3 フレッシュ性状の経時変化