

メタカオリン含有人工ポゾランを混和材に用いたコンクリートの河川構造物への施工事例

九州大学大学院 正会員 ○山本 大介
(株)柏木興産 柏木 武春

正会員 佐川 康貴 フェロー会員 濱田 秀則
前田 博人 正会員 八丁 一英

1. はじめに

コンクリート構造物の高耐久化を目的として、著者らは石炭ボタを主成分とする新たなコンクリート用混和材であるメタカオリン含有人工ポゾラン（以下、MKP）の開発を進めてきた¹⁾。このMKPは通常のコンクリート用混和材と同様に、セメントに内割り置換して使用するものである。既往の研究成果により、MKP混和コンクリートのフレッシュ性状は通常のコンクリートとほぼ同等であり、強度発現も良好であり、とりわけ耐塩害性が大きく改善されるという特徴を持つ²⁾。塩害劣化が懸念される地域において新設されるコンクリート構造物へMKPを試験施工する機会を得たので、本稿ではコンクリート品質に関する結果を報告する。

2. 使用配合

対象構造物は雨水や農業用水を河川に排出するための水路で、河川に接続する川表翼壁および底版である。また、施工箇所は九州北部の有明海に面する河川の河口付近に位置し、干満の影響で海水が遡上する地域に当たる。そのため、海水の乾湿繰り返し作用による塩害劣化が懸念される。本構造物では、高炉セメントB種を用いた水結合材比52%、呼び強度24の配合（以下、BB）が標準配合に選定されたが、一部には水結合材比50%、呼び強度24でMKPを20%内割り置換した配合（以下、BB80M20）が使用された。表-1にコンクリートの配合を示す。

3. 塩害に対する耐久性の事前調査

事前検討(粗骨材最大寸法20mm, 水結合材比50%)

における、JSCE-G572-2003「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」に従って行った12ヶ月塩水浸漬試験による見掛けの拡散係数は、BBは $1.17\text{cm}^2/\text{year}$ 、BB80M20は $0.56\text{cm}^2/\text{year}$ であった。また、対象構造物の海水に接する面の最小かぶりは120mmである。これらの値を用い、土木学会コンクリート標準示方書〔設計編〕で用いられる式(1)より、鉄筋位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度 $C_{lim}(\text{kg}/\text{m}^3)$ に達するまでの年数を試算した。

$$C(x,t) = \gamma_{cl} \times C_0 \times \left(1 - \text{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) + C_i \quad (1)$$

ここに、 $C(x,t)$: x , t における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)、 C_0 : 表面塩化物イオン濃度 (kg/m^3)、 x : 表面からの距離 (cm)、 D : 拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)、 t : 時間 (年)、 C_i : コンクリート中の塩化物イオン濃度 ($0.3\text{kg}/\text{m}^3$ とする)、 γ_{cl} : ばらつきに関する安全係数 (1.3とする) とする。

対象構造物は汀線付近に位置するため、 C_0 を $4.5\text{kg}/\text{m}^3$ と設定した。BBおよびBB80M20の C_{lim} は示方書に基づき、高炉セメントB種を用いた場合の $1.80\text{kg}/\text{m}^3$ と仮定した。試算の結果、BBは47.8年、BB80M20は99.9年となった。これより、MKPの混和により、BB80M20はBBに比べ約2倍の塩害耐用年数を確保できる予測となった。

4. フレッシュ性状

施工状況を写真-1～写真-3に示す。BBの荷卸し時のスランプは9.0cmであり、目標スランプ8.0cm

表-1 コンクリート配合

配合名	水結合材比 W/B (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	単位量 (kg/m^3)						荷卸し時スランプ 実測値 (cm)	荷卸し時空気量 実測値 (%)	荷卸し時温度 ($^{\circ}\text{C}$)
					水	高炉セメントB種	混和材(MKP)	細骨材	粗骨材	AE減水剤			
BB	52	40	8	4.5	150	288	—	699	1219	2.3	9.0	5.0	8.0
BB80M20	50				150	240	60	681	1219	2.4	6.5	4.8	10.0

キーワード メタカオリン含有人工ポゾラン, 耐塩害性, 見掛けの拡散係数, 透気係数

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 TEL: 092-802-3387 FAX: 092-802-3387



写真-1 BB80M20 打設状況



写真-2 BB80M20 仕上げ状況



写真-3 BB80M20 脱型後の状況

に対し若干大きかったが、材料分離等もなく施工時に問題は生じなかった。一方、BB80M20 の荷卸し時のスランプは、目標スランプ 8.0cm に対し 6.5cm と小さかったが、圧送距離が短かったため、圧送時に問題は生じなかった。BB80M20 の凝結性状は問題なく、BB と同様に仕上げ作業が行われた。また、写真-3 に示すように、脱型後のコンクリート表面は、気泡が少なく良好な仕上がりであった。

5. 施工後の硬化性状評価

施工後の硬化性状を確認するため、材齢 3 日、7 日、28 日に JIS A 1108 に準拠し圧縮強度試験を行った。また、材齢 28 日にトレント法による透気試験を行った。表-2 に圧縮強度試験結果を、表-3 に透気係数（3 回の平均値）および透気係数測定時のコンクリート含水率の測定結果を示す。

表-2 の圧縮試験結果より、標準水中養生の場合、材齢 7 日、材齢 28 日で BB80M20 が BB に比べ若干大きな圧縮強度であることが分かる。現場気中養生条件では標準水中養生より低い強度であるものの、BB80M20 の材齢 28 日では呼び強度 24 を上回る 26.7N/mm² が得られた。

表-3 より、透気係数は BB に比べ BB80M20 の方が若干小さいが、表-4 による透気性評価方法³⁾によると、双方とも透気性グレードは 2 と判定され、同程度の性能であることが確認された。

6. まとめ

- (1) BB の配合では、かぶり 120mm 位置の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に達するまでの年数が 47.8 年であるのに対し、BB80M20 では 99.9 年となり、大幅な塩害耐久性の向上が見込まれる。
- (2) 試験施工に際し、MKP を BB に 20% 混和した BB80M20 は、フレッシュ性状、施工性、およ

表-2 圧縮強度試験結果 (N/mm²)

配合名および養生条件		3日材齢	7日材齢	28日材齢
BB	現場気中養生	11.5	—	—
	標準水中養生	—	20.0	34.1
BB80M20	現場気中養生	10.2	13.4	26.7
	標準水中養生	—	23.0	37.6

表-3 透気係数試験結果

	透気係数 KT (× 10 ⁻¹⁶ m ²)	測定時のコンクリート 含水率 (%)
BB	0.042	4.5
BB80M20	0.035	4.5

表-4 透気性評価方法³⁾

透気係数 KT (× 10 ⁻¹⁶ m ²)	0.001 ~0.01	0.01 ~0.1	0.1 ~1	1 ~10	10 ~100
透気性グレード	1	2	3	4	5
透気性評価	優	良	一般	劣	極劣

び硬化性状ともに BB と遜色なく施工できることが明らかになった。

謝辞 本研究の実施において、国土交通省九州地方整備局武雄河川事務所ならびに(株)福田組より多大なご協力を得た。関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 山本大介, 柏木武春: 石炭ボタからコンクリート用混和材「スーパーハイブリッド」の開発, コンクリートテクノ, pp.26-30, 2016.10
- 2) 山本大介, 佐川 康貴, 坂口伸也, 柏木武春: メタカオリン含有人工ポゾランを用いたコンクリートの強度発現性および塩分浸透抵抗性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.1933-1938, 2015.7
- 3) 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会 (335 委員会) 成果報告書およびシンポジウム講演概要集: コンクリート技術シリーズ 80, pp.30-36, 2008.4