

ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの製作

(株) 安部日鋼工業 正会員 ○東原 実
 (財) 鉄道総合技術研究所 正会員 上原 元樹
 (株) 安部日鋼工業 正会員 横川 勝則

1. 緒言

ジオポリマー法は、石炭灰等のアルカリ活性な非晶質粉体と、それを活性化させるアルカリ溶液を混合して、天然で堆積岩が生じる反応と同様な反応により硬化体を得る技術である。その硬化体を利用して作られたジオポリマーコンクリートは、その生産の際に多量の CO_2 を排出するポルトランドセメントを使用しないため、一般的なコンクリートと比較して 80% もの CO_2 を削減できると試算されている⁽¹⁾。また、ジオポリマーコンクリートは石炭灰や高炉スラグなどの産業副産物を有効利用できる点においても環境負荷低減効果が大きい。しかし、製品レベルでのジオポリマーコンクリートの製作例が少ないことから、筆者らは昨年度 80℃、8 時間の養生温度・時間でジオポリマー PC まくらぎを製作し、その脱型性能がやや劣るものの JIS E 1202(ポストテンション式 PC まくらぎ)に規定された要求性能を満たすことを確認した⁽³⁾。ただし、一般的な PC まくらぎ製作工程では 60℃ を上限とするため、より低温で製作できることが望ましい。そこで、本研究では養生温度を 60℃ として、ジオポリマー PC まくらぎを製作し、その製法や諸性質に関して報告する。

表 1 ジオポリマー PC まくらぎの配合

単位量 (kg/m ³)						
FA	BS	KOH	SiO ₂	水	細骨材	粗骨材
355	118	170	57	90	850	850
				水ガラス*1=317		

2. まくらぎ製作および試験

2. 1 まくらぎ製作

本製作では JIS E 1202(ポストテンション式 PC まくらぎ)に規定されている 3 号まくらぎと同一形状まくらぎを製作した。配合は表 1 に示す通りであり、既報告⁽³⁾の 80℃ 養生試料の配合

と比較すると、より低温で高強度が出るようにアルカリ量および高炉スラグ微粉末量を増やしている。表 1 に示した材料を図 1 の製作手順に従い、二軸強制練りミキサ(公称容量 0.06m³)で混合攪拌したのち、型枠に充填し、60℃、8 時間(昇温: 15℃/h、冷却: 放冷)養生した。なお、養生は準備試験の結果から、本配合で 60℃、8 時間行えば、プレストレス導入時に必要な圧縮強度 39.2N/mm² を得られるはずであったが、本製作では所定の強度が得られなかった。そこで、さらに 60℃、14 時間、追加養生を行った。プレストレスは、同時に製作した供試体の圧縮強度が、39.2N/mm² 以上となっていることを確認したのち、PC 鋼棒 1 本当たり 72.6±1.5kN で導入した。また、型枠離型剤には、一般的なコンクリート用の離型剤ではなく、WAX 系の離型剤を用いた。

2. 2 試験

フレッシュコンクリートの性状は、JIS A 1150(コンクリートのスランプフロー試験方法)、および JIS A 1128(フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法—空気室圧力方法)に従って、スランプフロー試験および空気量試験を行った。また、圧縮強度、静弾性係数、および引張強度は、10φcm×20cm の円柱供試体を製作し、JIS A 1108(コンクリー

FA: JIS 1 種フライアッシュ, BS: 高炉スラグ微粉末 (ブレン値 4000cm²/g), *1: KOH, SiO₂ および水の混合溶液

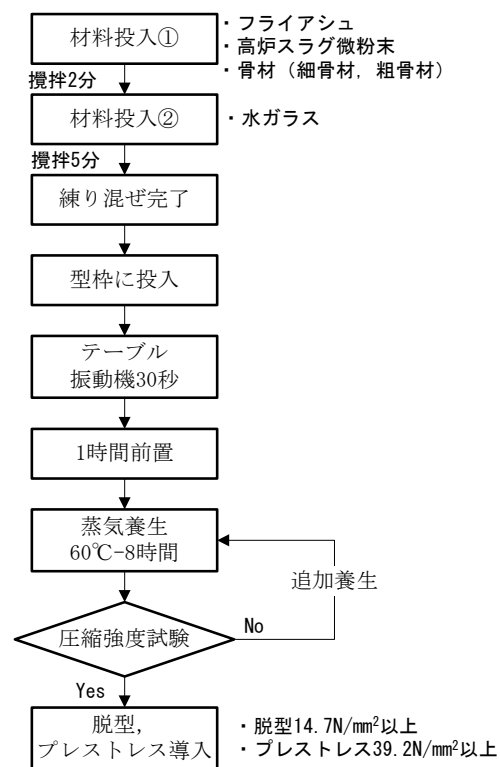


図 1 ジオポリマー PC まくらぎの製作手順

キーワード: ジオポリマー, フライアッシュ, PC まくらぎ, 環境負荷低減

連絡先: 〒162-0842 東京都新宿区市谷砂土原町 2 丁目 7 番地 TK 第一ビル TEL 03-5227-8056

トの圧縮強度試験方法), JIS A 1149(コンクリートの静弾性係数試験方法), JIS A 1113(コンクリートの割裂引張強度試験方法)に準じて求めた. 製作したジオポリマーPC まくらぎに関しては, JIS E 1202(ポストテンション式 PC まくらぎ)に規定されている性能確認試験に準じて, レール位置断面およびまくらぎ中央断面における曲げ試験, 埋込栓の引抜き試験を行った.

3. 結果

表 2 にフレッシュコンクリートの特性値, 表 3 に硬化後の特性値を示す. ジオポリマーコンクリートの材齢 1 日における圧縮強度は 22.5N/mm^2 とプレストレス導入時の基準圧縮強度を満足しなかった. そのため, 追加養生 (60°C , 14 時間)を行った結果, 材齢 2 日における圧縮強度が 92.4N/mm^2 , 材齢 28 日における圧縮強度は 101.1N/mm^2 と強度増進が認められた. なお, プレストレスの導入に関しては, 緊張力, 伸び量とも特に問題となる値はなく一般的なコンクリートと同様に導入できることを確認した. また, 80°C 養生試料で問題であった型枠脱型性に関しては, 離型剤の選定により, 特に問題なく工場の自動型枠脱型装置で脱型できることを確認した.

写真 1 は材齢 1 ヶ月を経たジオポリマーPC まくらぎである. 写真 1 に示すように, まくらぎ上面, 表層部の骨材表面にはく離が認められた. これは保管環境の最低気温が -5°C と低く, 上面に雪が積もるような環境であったことから, 凍結融解によるものと考えられる. ジオポリマーコンクリートの場合, 凍結融解に対する抵抗性は大きいものと考えられているが⁽²⁾, 本試験ではミキサによる攪拌状況が必ずしも良くなかったこと, 高炉スラグ微粉末混入量を増やしたこと等により, 空気量が 1.4% と小さかったことが原因と考えられる. したがって, ジオポリマーコンクリートでも一般的なコンクリートと同様に, 空気量の管理が必須であることがわかった.

表 4 は JIS E 1202(ポストテンション式 PC まくらぎ)に準じて行ったまくらぎ性能確認試験の結果である. 各試験とも保証荷重でひび割れは認められず, 破壊荷重も基準値より大きいことから, 製作したジオポリマーPC まくらぎの耐荷力は, その要求性能を満たすことが確認された. また, 各試験の破壊荷重において, 通常のコンクリート PC まくらぎと比較して同等な結果が得られた.

表 4 ジオポリマーPC まくらぎ性能確認試験結果 (kN)

	レール位置断面 曲げ試験		まくらぎ中央断面 曲げ試験		埋込栓 引抜試験	
	曲げ保証荷重	曲げ破壊荷重	曲げ保証荷重	曲げ破壊荷重	引抜保証荷重	引抜破壊荷重
基準値	77	159	45	92	30	50
ジオポリマー	ひび割れなし	213	ひび割れなし	153	ひび割れなし	110
通常コンクリート	ひび割れなし	185	ひび割れなし	134	ひび割れなし	125

4. まとめ

普通ポルトランドセメントを使用せず, 産業副産物を原料としたジオポリマーPC まくらぎを製作した. その結果, 製作したまくらぎの耐荷力が JIS E 1202 に規定された要求性能を満足することを確認した. 今後, 量産時の生産効率化に向けて, 配合の検討, 養生時間の短縮等の改善や表面はく離の原因を解明するとともにフレッシュコンクリートに適切な空気量を連行する技術の確立を検討して行く予定である.

参考文献

- (1) 辻村他, 鉄道材料の環境負荷, 第 15 回鉄道技術・政策連合シンポジウム(J-RAIL2008)講演要旨, 2008.
- (2) 上原, ジオポリマー法による環境負荷低減コンクリートの開発, 鉄道総研報告, 第 22 巻 4 号, 2008.
- (3) 上原他, ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの作製, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 2009.

表 2 フレッシュコンクリートの特性値

気温 ($^\circ\text{C}$)	コンクリート の温度($^\circ\text{C}$)	スランブ フロー(mm)	空気量 (%)
12	14	465×460	1.4

表 3 硬化後の特性値

材齢	圧縮強度 (N/mm^2)	静弾性係数 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
1 日	22.5	18,000	---
2 日 (追加養生後)	92.4	35,000	4.3
28 日 (追加養生→水中)	101.1	41,000	4.0

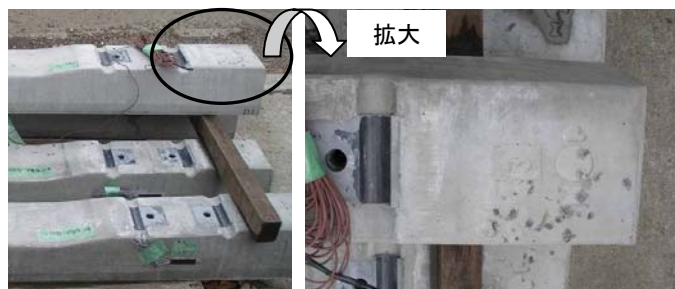


写真 1 材齢 1 ヶ月を経たジオポリマーPC まくらぎ