ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの作製

(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 束原 実
(株)安部日鋼工業 正会員 横川 勝則

1. 緒言

ジオポリマー法による硬化体作製は，石炭灰やメタカオリン等のアルカリに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の低減効果において優れている．このジオポリマー硬化体は，耐酸特性やアルカリシリカ反応抵抗性が大きく，化学的耐久性が大きいことがわかっている(2)が，製品レベルでのジオポリマーコンクリートの作製例は少ない．そこで，筆者らは，PC まくらぎにジオポリマー法を適用し，普通ポルトランドセメントを使用しない PC まくらぎを試作した．本発表では，その作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
456	24	140	47	109	659	850
		製作水ガラス*1=296				

FA：JIS1 種フライアッシュ，BS：高炉スラグ微粉末（ブレーン値 4000cm^2/g） *1：KOH，SiO_2 及び水を混合溶解して作製

2. まくらぎ作製及び試験

2. 1. まくらぎ作製

ジオポリマー法により，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のまくらぎを作製した．配合は表 1 に示す通りである．表 1 に示した材料を図1の練り混ぜ手順に従い，水平一軸強制練りミキサー（公称容量=0.100m^3）で混合撹拌した後，JIS3 号まくらぎ用鋼製型枠に充填し，80℃，8 時間（昇温:15℃/h，冷却:放冷）養生した．なお，充填法及び前置時間として，一つはテーブル振動機で 30 秒振動を加え，前置時間を 1 時間(図 1 の a)，他は振動を加えず前置時間を 3～4.5 時間とした(図 1 の a)．プレストレスは，同時に作製した供試体の圧縮強度が，39.2N/mm^2 以上になっていることを確認した後，PC 鋼棒 1 本当たり 72.6±1.5kN で緊張して導入した．

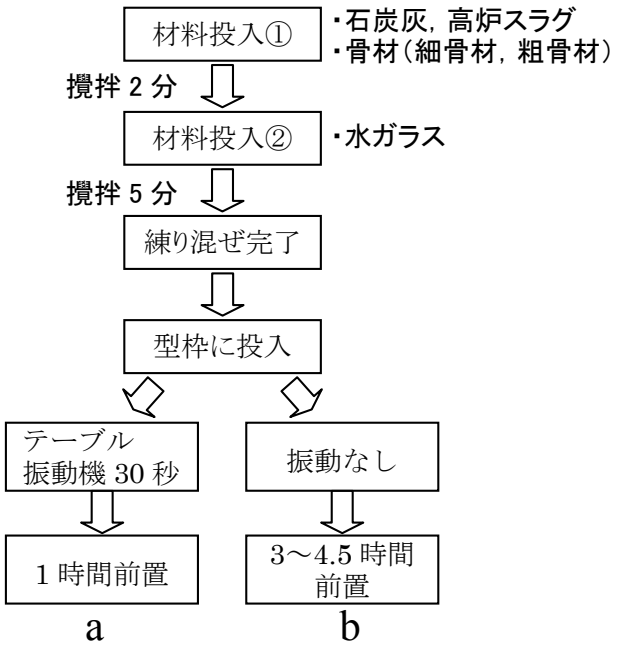

図 1 ジオポリマーコンクリートの練り混ぜ・作製手順

2. 2. 試験

フレッシュコンクリートの性状は，JIS A 1101（コンクリートのフロー試験方法），及び 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－空気室圧方法）に従って，フロー試験及び空気量試験を行った．また，圧縮強度は，10φcm×20cm の円柱供試体を作製し，JIS A 1108(コンクリートの圧縮強度試験)に準じて求めた．作製した PC ジオポリマーまくらぎに関して，JIS E1202(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，レール位置断面及びまくらぎ中

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：国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7338 FAX 042-573-7358

央断面における曲げ試験，埋込栓の引き抜き試験を行った．

3．結果

表1の配合におけるジオポリマーコンクリートの材令1日における圧縮強度は69.3N/mm^{2}と，型枠脱型時の基準圧縮強度14.7N/mm^2，プレストレス導入時の基準圧縮強度39.2N/mm^{2}を上回り，その時点で型枠の脱型及びプレストレスの導入を行って良いことがわかった（表 2）．また，養生・脱型後，水中養生した材令28日試料の圧縮強度は84.9N/mm^{2}と強度増進が認められ，JIS E 1202 に規定された 28 日時基準圧縮強度である49.1N/mm^{2}を満たしている．なお，同配合におけるジオポリマーフレッシュコンクリートのフロー値は520×525mmと大きく，型枠充填施工性も良好であった．

表 2 作製ジオポリマーコンクリートの圧縮強度 フロー値 520×525mm 空気量 3.1%

材令	圧縮強度 (N/mm^2)
1 日	69.3
7 日	76.4
28 日	84.9

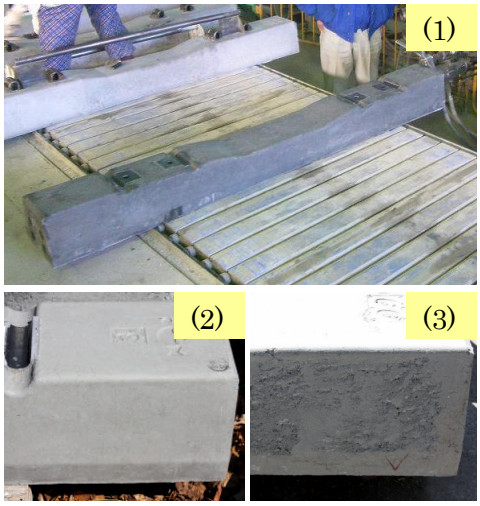

図 2 作製したジオポリマーPC まくらぎ
(1) :図 1 における(a)法で作製
(2) :(1)の拡大 (3):図 2 における(b)法で作製

図2はジオポリマーPC まくらぎである．一般的なセメントを使用したまくらぎと比較して，石炭灰中の未燃カーボンの色を反映し，水に濡れた状態では暗灰色に(図2の(1))，乾燥状態では灰白色を示す(図2の(2))．なお，作製に当たり，プレストレス導入時における PC 鋼棒伸び量等に問題は認められず，一般的なまくらぎと同様の工程で作製できることがわかった．しかし，図1の b 法，すなわち，振動を加えず前置時間を長くしたまくらぎは脱型性が良くなく，コンクリート表面に剥離箇所が認められた(図2の(3))．一方，テーブル振動機を用い，かつ，前置き時間を短くした場合(図1の a 法)，自動脱型機に加えて，ハンマーで振動を加える必要があることなど，普通セメントを使用したものと比較してやや脱型性が劣るものの，外観上特に問題のないまくらぎを得ることができた(図2の(1)と(2))．

表3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，作製したジオポリマー3 号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．

表 3 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 PC まくらぎ	ひび割れ無し* (127)	193	ひび割れ無し* (66)	142	ひび割れ無し*	108

*; 基準値の荷重を加えたときにひび割れの発生なし．（ ）数値はひび割れが生じたときの荷重を示す．

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 まくらぎを試作した．その結果，製作過程における型枠脱型性等に，改良する余地が残されているが，得られた試作まくらぎの耐荷力が JIS E 1202 に規定された要求性能を満たすことを確認した．今後，低コスト化へ向けて，配合の検討，養生温度の低温化や，型枠・剥離剤材質等の見直しによる型枠脱型性の改善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.