

ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの実用化に向けた試作

(株) 安部日鋼工業 正会員 ○大木 信洋
 (株) 安部日鋼工業 正会員 東原 実
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 佐藤 隆恒
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 上原 元樹

1. 緒言

筆者らは、ジオポリマー(GP)硬化体をプレストレストコンクリート(PC)まくらぎに適用するため、フライアッシュ(FA) I 種を使用した種々の配合で GP 硬化体を作製し、低コスト化や塩化物イオン浸透抑制効果を検討した。その結果、化学的耐久性が要求される箇所での使用を想定したポストテンション式 JIS 3 号 GP-PC まくらぎ⁽¹⁾や短繊維補強により鉄筋量を減らした GP 短まくらぎ⁽²⁾⁽³⁾を試作し、各種まくらぎの要求性能を満たすことを確認した。

今回は、実用化に向けて流通性の良い FA II 種を使用して GP コンクリートの練混ぜを行い、基本特性を確認した。その後、GP コンクリート製のポストテンション式 PC まくらぎを試作し、その性能確認試験を行った。本発表では、その基本特性値や性能確認試験結果などを報告する。

2. 使用材料

表 1 使用材料

本配合検討では、表 1 に示す材料を使用し、ステップ 1, 2, 3 の順で練混ぜを行った。筆者らはこれまで安定した反応結果を得る目的で FA I 種を

材料名	記号	基本配合	ステップ 1	ステップ 2,3
フライアッシュ	FA	I 種 (JIS A 6201)	II 種 (JIS A 6201)	
アルカリ溶液 (作製方法)	AS	NaOH (フレーク状+水)	NaOH (48%水溶液+水)	
高炉スラグ微粉末	BS	ブレン値 4000cm ² /g (JIS A 6206)		
混和材	SF	シリカフェーム (JIS A 6207)		
混和剤 (流動・遅延剤)	SP	オキシカルボン酸ナトリウム系		
細骨材	S	表面乾燥飽水状態		
粗骨材	G	表面乾燥飽水状態		

使用してきたが、ステップ 1~3 では流通性の良い FA II 種を選定した。また、アルカリ溶液の水酸化ナトリウム(NaOH)は、これまでフレーク状の NaOH を練混ぜ前に水で溶解して使用してきたが、ステップ 2, 3 では 48%濃度の NaOH 水溶液に水を加えて使用した。フレーク状の NaOH 溶解作業では水溶液が 90℃程度になるが、48%濃度の NaOH 水溶液を用いることにより水溶液の温度が 40℃程度となるため、水溶液を取扱うときの安全性が向上する。

3. 基本特性確認試験

FA II 種を使用した GP のフレッシュ性状や圧縮強度の基本特性を把握するため、表 2 に示す配合で練混ぜを行った。GP の作製方法は、ケイ素源としてシリカフェーム(SF)を練混ぜ時に溶解させる方法(溶解法)⁽⁴⁾を採用し、養生は 80℃、10 時間の蒸気養生(上昇:3 時間かけて 80℃、冷却:放冷)とした。また、目標圧縮強度は PC まくらぎに使用されるコンクリートの圧縮強度(55~60N/mm², 材齢 7 日)とした。

ステップ 1 では、FA I 種を使用した基本配合を基にケイ素アルカリ比(Si/A)=0.163 として圧縮強度とアルカリ水比(A/W)

表 2 配合

(単位 : kg/m³)

ステップ	配合名	FA 品質	BS 置換率	A/W	Si/A	W/B	FA+BS	AS	SF	SP	S	G	単位水量 W
1	基本配合	I 種	40vol.%	0.188	0.163	0.35	516.8	258.4	19.1	9.3	726.5	836.9	188.1
	試番 1-1	II 種	40 vol.%	0.093	0.163	0.35	525.2	217.9	9.5	9.6	748.8	862.5	186.3
	試番 1-2			0.140		0.36	518.7	237.4	14.2	9.5	739.5	851.8	186.3
	試番 1-3			0.185		0.37	512.7	256.2	19.3	9.4	730.9	841.9	188.1
2	試番 2-1	II 種	30 vol.%	0.150	0.150	0.35	528.6	239.9	14.2	9.9	719.1	829.9	185
	試番 2-2				0.200	0.35	528.6	239.9	18.9	9.9	714.6	824.6	185
	試番 2-3				0.250	0.35	528.6	239.9	23.6	9.9	710.1	819.4	185
3	試番 3	II 種	30 vol.%	0.150	0.200	0.30	587.8	204.9	16.2	9.9	699.4	807.1	175

※BS 置換率(体積比):BS/(FA+BS), W/B(重量比):W/(FA+BS)

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

連絡先 : 〒161-0033 東京都新宿区下落合 2 丁目 3 番地 18 号 SK ビル TEL03-5906-5372 FAX03-5906-5420

の関係を確認した。フレッシュ性状および圧縮強度は、表3に示すとおりであった。圧縮強度は、Si/A 一定の場合、既往の研究結果と同様に A/W が大きくなると圧縮強度も大きくなる結果が得られた(図 1)。また、目標圧縮強度を得るためには、A/W=0.15 程度であることがわかった。

ステップ2では、A/W=0.15として圧縮強度とSi/Aの関係を確認した。BS置換率は既往の研究結果から30vol.%でも高い塩化物イオン浸透抑制効果が得られること⁽⁴⁾、BS置換率を下げることによって使用時間の確保およびコスト削減ができることから、BS置換率を30 vol.%とした。練混ぜの結果、フレッシュ性状は試番2-1~2-3の配合において良好な結果が得られた。また、A/W一定の場合、圧縮強度とSi/Aの関係はSi/A=0.20近傍で圧縮強度が大きくなる結果となった(図2)。なお、圧縮強度はBS置換率を40vol.%から30vol.%に変更した影響で、目標圧縮強度に達しなかったと考えられる。

ステップ3では、目標圧縮強度を得るため、本検討ではBS置換率30vol.%を変更せずに、A/W=0.15, Si/A=0.20である試番2-2の単位水量を減らし、水粉体比(W/B)を小さくした配合を検討した。練混ぜの結果、フレッシュ性状は良好な結果が得られ、圧縮強度は目標圧縮強度を得ることができた。

表3 フレッシュ性状・蒸気養生後の特性値

ステップ	配合名	スランブフロー (mm)	CT (°C)	圧縮強度 (N/mm ²)
	基本配合	450×460	39.1	71.0
1	試番 1-1	スランブ 22.5cm	33.6	49.4
	試番 1-2	560×570	35.6	60.8
	試番 1-3	470×485	43.6	74.1
2	試番 2-1	520×530	16.8	40.2
	試番 2-2	550×580	14.7	51.1
	試番 2-3	560×570	14.3	38.9
3	試番 3	500×530	20.1	58.8
試験方法		JIS R 5201		JIS A 1108

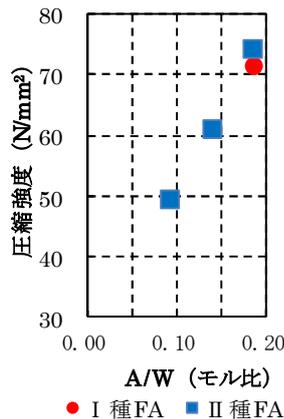


図1 圧縮強度と A/W の関係

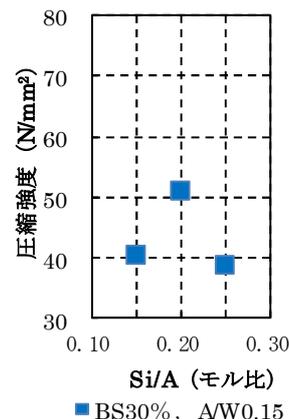


図2 圧縮強度と Si/A の関係

4. まくらぎ性能確認試験

ステップ1~3の結果から、試番3の配合で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製作し、性能確認試験を行った。表4に示すとおり、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GP-PCまくらぎの耐荷力は、その要求性能を満たす結果となった。

表4 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 引抜き試験	
	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 (試番3)	ひび割れなし (123)	170	ひび割れなし (70)	138	ひび割れなし	105
通常コンクリート	ひび割れなし (145)	203	ひび割れなし (83)	130	ひび割れなし	137

※試験体数量1体で各試験を行った。()内数値はひび割れが発生したときの荷重を示す。
 ※曲げ保証荷重: 曲げ保証荷重を加えたときにひび割れが生じてはならない。
 ※曲げ破壊荷重: 破壊させたときの荷重が曲げ破壊荷重を超えるものでなければならない。

5. まとめ

筆者らはジオポリマー製品の实用化に向けて、使用材料に流通性の良いフライアッシュII種を使用し、溶解法によりジオポリマーコンクリート製のポストテンション式PCまくらぎを試作し、性能確認試験を行った。その結果、試作したPC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、本配合を基本として量産化を目指し、配合および製作方法などを検証していく予定である。

参考文献

(1) 大木他, ジオポリマー法による環境負荷低減PCまくらぎの試作, 土木学会第71回年次学術講演会, 2016.
 (2) 東原他, 繊維補強ジオポリマー短まくらぎの实用化に向けた試作, 土木学会第70回年次学術講演会, 2015.
 (3) 佐藤他, 石炭灰を原料とした短繊維補強ジオポリマー短まくらぎの試作, コンクリート工学年次大会, 2013
 (4) 上原他, ジオポリマー硬化体の配合と諸性質, 土木学会第69回年次学術講演会, 2014