

ジオポリマー法による環境負荷低減 PC まくらぎの試作

(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

ジオポリマー法は、石炭灰などのアルカリ活性な非晶質粉体と、それを活性化させるケイ酸アルカリ溶液を混合し、その重合反応を利用して硬化体を得る技術である。ジオポリマー硬化体は、生産時に 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、ジオポリマー硬化体は、石炭灰や高炉スラグ微粉末(BS)などの産業副産物を有効利用できる観点から環境負荷低減効果が大きく、耐酸特性やアルカリシリカ反応抵抗性等の化学的耐久性が大きい⁽²⁾。

ジオポリマー硬化体作製に用いるケイ酸アルカリ溶液は、アルカリ源となる水酸化ナトリウム(NaOH)や水酸化カリウム(KOH)とケイ素(Si)源となる水ガラスを混合したものを使用する方法(一般法)が一般的である。筆者らは、ジオポリマー硬化体をPC まくらぎに適用するため、一般法に基づきケイ酸アルカリ溶液のアルカリ源としてKOHを使用したPC まくらぎを試作し、その要求性能を満たすことを確認した⁽³⁾。なお、一般法でアルカリ源としてNaOHを単独で使用した場合、凝結が速く、ジオポリマー硬化体の製作が困難である。そこで筆者らは、可使時間を延長する方法としてSi源となる水ガラスの代わりにシリカフューム(SF)粉体を試料練混中に加える方法(ケイ素成分粉体添加その場溶解法)を開発した⁽⁴⁾。

今回は、ケイ酸アルカリ溶液のアルカリ源として NaOH を使用した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、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. PC まくらぎの製作

2. 1 使用材料および配合

使用材料および配合を表1、2に示す。配合は、BS置換率が大きくなるほど、圧縮強度、曲げ強度などが大きくなるほか、塩化物イオンの浸透抑制効果が向上する⁽⁵⁾ことからBS置換率を40%とした。また、PC まくらぎの設計基準強度 49.1N/mm^2 を得るためには、既往の研究⁽⁴⁾からアルカリ水比(A/W)が0.15程度となるが、SFを十分に溶解させるため0.20とした。

表1 使用材料

材料名	記号	規格、性質、成分など
フライアッシュ	FA	I 種(JIS A 6201)
高炉スラグ微粉末	BS	ブレン値 $4000\text{cm}^2/\text{g}$ (JIS A 6206)
アルカリ溶液	AS	NaOH+水
混和材	SF	シリカフューム(JISA6207)
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

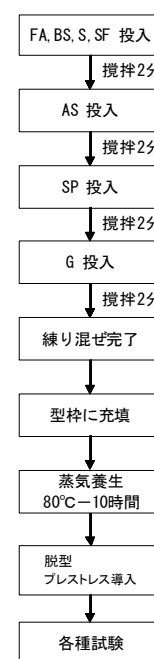


図1 製作方法

表2 配合

(単位: kg/m^3)

BS 置換率 (%)	A/W	Si/A	FA+BS	AS	SF	SP	S	G	単位水量 W
40	0.20	0.236	406.7	200.2	22.3	7.5	819.7	976.1	138.9

※BS置換率(体積比): $\text{BS}/(\text{FA}+\text{BS})$

キーワード: ジオポリマー, フライアッシュ, ケイ素成分粉体添加その場溶解法, 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 TEL03-5227-8056 FAX03-5227-8144

2. 2 製作方法

試作したPCまくらぎは、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のものとした。図1の製作方法に従い、二軸強制練りミキサー(公称容量=0.06m³)で攪拌したのち、型枠に充填し、テーブル振動機で締め固めを行った。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)を行った。

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/mm²以上となっていることを確認したのち、PC鋼棒1本あたり72.6±1.5kNで導入した。

3. 基本特性値およびプレストレスの導入

表3にフレッシュ性状および養生後の特性値を示す。

フレッシュ性状は、スランプフロー430×450mmで型枠充填性は良好であった。養生後の圧縮強度は、プレストレス導入時の基準圧縮強度39.2N/mm²およびJIS E 1202に規定される材齢28日時の基準圧縮強度49.1N/mm²を満たした。

プレストレスの導入に関しては、緊張力、伸び量ともに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。

4. 性能確認試験

表4にJIS E 1202(ポストテンション式PCまくらぎ)に準じて行った性能確認試験結果を示す。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結果となった。また、ケイ酸アルカリ溶液のアルカリ源としてKOHを使用したPCまくらぎと比較して、アルカリ源の種類による差異は小さかった。各試験において、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3 フレッシュ性状・養生後(材齢1日)の特性値

	スランプ フロー (mm)	練上がり 温度 (℃)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂 引張強度 (N/mm ²)
ジオポリマー	430×450	33.9	73.9	4.71
試験方法	JIS R 5201		JIS A 1108	JIS A 1113

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 (AS:NaOH)	ひび割れなし (130)	200	ひび割れなし (84)	144	ひび割れなし	104
ジオポリマー ⁽³⁾ (AS:KOH)	ひび割れなし (127)	193	ひび割れなし (66)	142	ひび割れなし	108
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時の数値を示す。

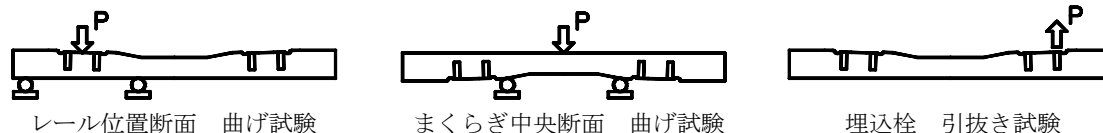


図2 試験概要

5. まとめ

ケイ酸アルカリ溶液のアルカリ源としてNaOHを使用し、ケイ素成分粉体添加その場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、プレテンション式PCまくらぎへの適用などを検討していく予定である。

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
- (4) 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
- (5) 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