

繊維補強ジオポリマー短まくらぎの実用化に向けた基礎試験

(株) 安部日鋼工業
(株) 安部日鋼工業
(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○東原 実
正会員 大木 信洋
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 CO₂ 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 CO₂ を削減できると試算されている⁽¹⁾。また、石炭灰や高炉スラグ微粉末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い⁽²⁾。筆者らは、このジオポリマー硬化体を短まくらぎに適用するため、各種繊維（鋼繊維、有機繊維）を添加した繊維補強ジオポリマー短まくらぎを試作して、その要求性能を満たすことを確認した⁽³⁾⁽⁴⁾。

今回は各種繊維の中から強度、製作性、コスト面などを考慮し、ポリビニルアルコール(PVA)繊維を用いたジオポリマーの配合検討を行い、繊維補強ジオポリマー短まくらぎの実用化に向けた基礎試験を行った。本発表では、その基本特性値や基礎試験結果などを報告する。

2. 繊維補強ジオポリマーモルタルの基本特性

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 17%、繊維添加率 3vol.%、圧縮強度に影響するアルカリ水比(AL/W)を既往の研究⁽⁵⁾から 0.190 程度とした試番 3 を基本とし、繊維添加率を変化させた試番 1、2、単位水量をできるだけ少なくし、かつ SP を多くした試番 3W を設定した。また、BS 置換率を大きくすると、塩化物イオンの浸透抑制効果が大きくなる⁽⁶⁾ことから、BS 置換率を 25%とした試番 4、5 を設定した。なお、BS 置換率を 25%にすると、強度が大きくなるが可使時間が短くなることが想定されたため、AL/W を小さくした。さらにケイ素アルカリ比(Si/AL)を小さくした試番 5Si を設定し、可使時間への影響を検証した。

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	ブレーン値 4000cm ² /g(JIS A 6206)
アルカリ溶液		AS	NaOH+11 倍希釈した JIS 1 号水ガラス
混和材		SF	シリカフューム
混和剤		SP	流動・遅延剤
繊維	ポリビニルアルコール	PVA	長さ 15mm、直径 0.3mm 引張強度 975N/mm ² 、密度=1.3g/cm ³
細骨材		S	絶対乾燥状態の重量に 2%加水

表 2 配合 (単位: kg/m³)

配合名	AL/W	Si/AL	BS 置換率 (%)	PVA (vol.%)	FA+BS	AS	SF		SP	S	単位水量 W
							溶解分	後添加			
試番 1	0.191	0.336	17	0	768.8	352.9	16.2	32.5	10.2	985.5	256.0
試番 2				2	752.9	345.6	15.9	31.8	10.0	965.2	248.9
試番 3				3	745.0	342.0	15.7	31.4	9.9	955.0	246.3
試番 3W				3	661.3	286.3	13.2	26.3	13.2	1157.3	205.0
試番 4	0.175	0.350	25	0	774.2	349.4	16.1	32.1	15.5	985.5	267.1
試番 5				3	750.3	338.6	15.6	31.1	15.0	955.0	258.9
試番 5Si		0.251		3	760.0	343.0	10.1	21.4	15.2	967.4	262.5

※BS 置換率(重量比):BS／(FA+BS)

キーワード：ジオポリマー、フライアッシュ、PVA 繊維、短まくらぎ、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

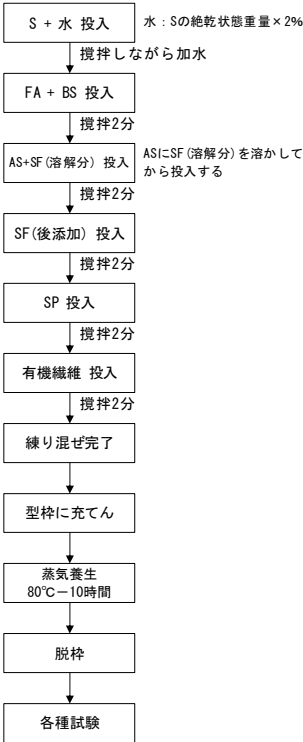


図 1 製作方法

2. 2 製作方法

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、型枠に充てんして 80℃、10 時間(上昇:3 時間かけて 80℃、冷却:放冷)の蒸気養生を行った。

2. 3 基本特性値

表 3 にフレッシュ性状および硬化後の特性値を示す。試験 3W の引張強度、曲げ強度は、試験 3 と比較して、大きい結果となった。また、可使時間は試験 3 と同程度であった。一方、試験 5、試験 5Si の引張強度、曲げ強度は、試験 3 と比較して、大きい結果が得られたが、可使時間は、試験 3 の 1/2 程度であった。また、試験 5 と試験 5Si の可使時間には差異が見られなかったことから、Si/AL の影響は小さいことがわかった。

上記のことから、引張強度、曲げ強度を大きくするには、単位水量を小さくすることや BS 添加量を多くすることが有効であることを確認した。

3. 基礎試験

3. 1 矩形試験体製作

矩形試験体は、図 2 に示すように短まくらぎの形状に近い断面とした。配合は、基本配合とした試験 3 と曲げ強度が最も大きかった試験 3W を選定し、試験体はそれぞれ 3 体製作した。また、繊維の補強効果を確認するため、繊維添加量 0vol.% の試験体(鉄筋比 1%, 鉄筋比 2%)をそれぞれ 1 体製作した。

3. 2 曲げ試験

曲げ試験は、鉄筋比 1% (繊維添加量 0vol.%) の試験体が曲げ破壊となるようにスパンを 650mm に設定し、荷重は中央一点載荷とした。表 4 に曲げ試験結果、図 3 に荷重と変位の関係を示す。図 3 から、試験 3、試験 3W とともに、ばらつきはあるものの鉄筋比 1% の結果を上回り、繊維の補強効果があることを確認した。表 4 から、試験 3W のひび割れ発生荷重が試験 3 と比較して、大きくなった要因は、基本特性値の試験結果と同様に単位水量の影響が考えられる。

4. まとめ

繊維補強ジオポリマー短まくらぎの実用化に向けた配合検討および基礎試験を行った。その結果、BS 置換率 17%, PVA 繊維添加率 3vol.%, 単位水量を小さくした配合(配合名:試験 3W)が強度、可使時間などにおいて良好であった。今後、本配合を基本として、練混ぜ時間の短縮や可使時間の確保など作業性に着目した配合を検討するとともに、繊維補強ジオポリマー短まくらぎの実用化に向け、その性能確認試験を実施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) 東原他, 繊維補強ジオポリマー短まくらぎの製作, 土木学会第 67 回年次学術講演会, 2012
- (4) 大木他, 繊維補強ジオポリマー短まくらぎの製作, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013
- (5) 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
- (6) 上原他, 高炉スラグの添加が石炭灰ジオポリマー硬化体の塩化物イオン浸透性に与える影響, 無機マテリアル学会第 125 回学術講演会, 2012

表 3 フレッシュ性状・硬化後(材齢 7 日)の特性値

配合名	フロー (mm)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)
試験 1	210×215	70.3	4.6	4.7
試験 2	190×200	85.4	6.8	9.3
試験 3	175×185	86.4	7.1	12.3
試験 3W	140×145	82.6	10.6	16.5
試験 4	220×235	76.0	4.3	6.6
試験 5	150×155	84.7	9.9	15.8
試験 5Si	150×190	80.4	10.9	14.0
試験方法	JIS R 5201	JIS A 1108	JIS A 1113	JSCE-G 552-2013

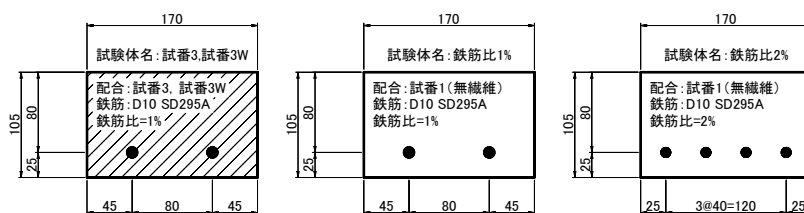


図 2 断面図 (単位:mm)

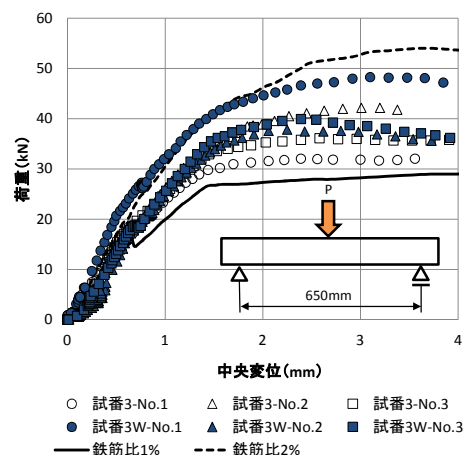


図 3 荷重と変位の関係

表 4 曲げ試験結果

試験体名	破壊荷重 (kN), 材齢 7 日			
	No.1	No.2	No.3	平均
鉄筋比 1%	29.5 (13.0)			29.5 (13.0)
試験 3	32.1 (15.0)	42.1 (18.0)	35.7 (17.0)	36.6 (16.7)
試験 3W	48.2 (26.0)	37.5 (20.0)	39.9 (18.0)	41.9 (21.3)
鉄筋比 2%	55.1 (15.0)			55.1 (15.0)

※()内数値は、ひび割れ発生荷重を示す。