繊維補強ジオポリマー短まくらぎの実用化に向けた試作

（株）安部日鋼工業 正会員 ○東原 実
（株）安部日鋼工業 正会員 大木 信洋
（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，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，各種繊維の中から強度，製作性，コストなどを考慮し，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(3)．

今回は，その基礎試験結果に基いて配合を改良し，繊維補強ジオポリマー短まくらぎの試作と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．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．配合の改良として，従来，ケイ酸アルカリ溶液に溶解するケイ素源に JIS 1 号水ガラスとシリカフューム（SF）を併用してきたが，今回は，より可使時間の延長が期待できる SF のみとした（SF 添加法(4)）．また，SF 添加法の採用によって，BS 置換率が 15~17%の範囲から 40%まで大きくすることが可能となった．ジオポリマー硬化体は，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他，塩化物イオンの浸透抑制効果などが向上する(4)．ケイ素アルカリ比（Si/AL）は BS 置換率を 40%にしたことから 0.15 とした．短まくらぎの設計基準強度 50N/mm^2 を得るためには，既往の研究(5)からアルカリ水比（AL/W）は 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．PVA 繊維の添加率は，既往の研究(3)から 3vol.%とした．混和剤は，従来用いた SP-A（表 1 参照）に加えて，今回，SP-B（表 1 参照）についてもフレッシュ性状およびジオポリマー硬化体への影響を把握するための検証を行った．

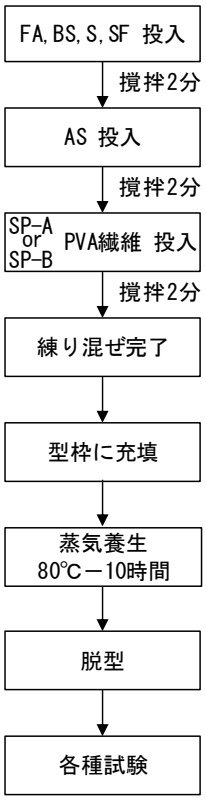

図 1 製作方法

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＋水
混和材		SF	シリカフューム（JISA6207）
混和剤（流動・遅延剤）		SP-A	オキシカルボン酸塩　ナトリウム系
		SP-B	オキシカルボン酸塩　カリウム系
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	絶対乾燥状態の質量に 2%加水

表 2 配合　（単位：kg/m^3）

配合名	BS 置換率（%）	Si/AL	AL/W	PVA（vol.%）	FA+BS	AS	SF	SP-A	SP-B	S	単位水量 W
試番 1	40	0.15	0.20	3	678.5	98.7	22.7	27.1	0	1117.5	218.4
試番 2								0	27.1		

※BS 置換率（質量比）: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

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=0.06m^3）で撹拌したのち，型枠に充填して 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．

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．フロー試験は，練り上がり直後，30 分後，60 分後を測定した．時間の経過に伴う試番 1，2 のフロー値に大きな差異は見られなかった．また，圧縮強度，割裂引張強度も試番 1，2 の試験結果に大きな差異がないことから，混和剤としてカリウム系を使用してもナトリウム系と同様の強度が得られることがわかった．

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15 打（mm）	練上がり温度（℃）	圧縮強度（N/mm^2）	割裂引張強度（N/mm^2）
試番 1	165×175　（直後）	39.5	107.0	8.57
	135×140（30 分後）			
	130×130（60 分後）			
試番 2	160×175　（直後）	38.4	108.5	9.24
	140×140（30 分後）			
	120×130（60 分後）			
試験方法	JIS R 5201		JIS A 1108	JIS A1113

３．試作と性能確認試験

３．１ 短まくらぎの試作

試作した短まくらぎは，営業線で用いられている短まくらぎの中で要求性能が高い水準のものを選定した．軸方向鉄筋の配筋は，鉄筋と PVA 繊維が複合的に抵抗することと配筋性能を考慮し図2のとおりとした．なお，製作数量は，試番 1，2 の配合を用いて短まくらぎをそれぞれ 6 体とした．

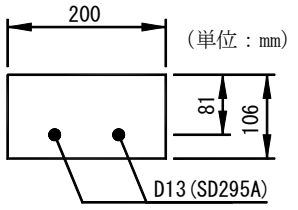

図 2 配筋概要図

３．２ 性能確認試験

表 5 に性能確認試験結果を示す．本試験ではレール位置断面における曲げ試験および埋込栓の引抜き試験を行った（図 3）．両試験ともに保証荷重において，ひび割れは認められず，短まくらぎに要求される性能を満たす結果となった．なお，曲げ試験のひび割れ発生荷重は，試番 2 が試番 1 より 10kN 大きくなった．その要因は，表 3 のフロー試験値に大きな差異がないものの，PVA 繊維の配向性あるいは均一性が試番 1 よりも向上したためと考えられる．

表 5 性能確認試験結果（kN）

	レール位置断面 曲げ試験		埋込栓　引抜き試験	
	保証荷重	ひび割れ発生荷重	保証荷重	ひび割れ発生荷重
基準値	29.4	---	29.4	---
試番 1	ひび割れなし	51.3	ひび割れなし	65.7
試番 2	ひび割れなし	61.3	ひび割れなし	64.0

※試験値は 3 体の平均である．

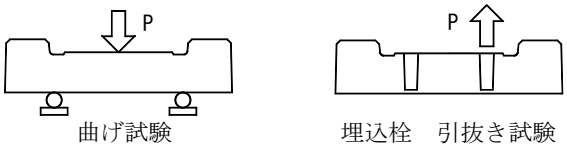

図 3 試験概要

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短まくらぎの試作，性能確認試験を行った．その結果，試作した短まくらぎの耐荷力は，その要求される性能を満たすことを確認した．今回，オキシカルボン酸塩におけるカリウム系の混和剤を使用した配合において，ナトリウム系の混和剤と同程度のフレッシュ性状および圧縮強度，割裂引張強度の結果が得られた．また，曲げ試験におけるひび割れ発生強度が大きくなることもわかった．今後，本配合を基本として，短まくらぎの他，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) 束原他，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，土木学会第 69 回年次学術講演会，2014
(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
(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