

ジオポリマー硬化体の物性と構造利用に関する基礎的研究

(2) 短繊維を混入したジオポリマーモルタルの曲げ破壊性状

前田建設工業(株) 正会員 〇舟橋 政司 正会員 松林 卓 正会員 南 浩輔

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 上原 元樹 正会員 佐藤 隆恒

1. はじめに

ジオポリマー法による硬化体は、石炭灰や高炉スラグなど産業副産物を活性フィラーとして大量に使用でき、かつ一般的なコンクリートと比較して 80%もの CO₂削減を可能とする材料 1)として注目されている。本材料の基礎理論や実用化に向けた研究 2)が近年行われているが、その諸性状は未だ明らかとなっていない。

本研究では、ジオポリマー法による硬化体の短繊維補強の適用性を検討するために、ジオポリマー法により作製したモルタル(以下、GP モルタルと記す)にコンクリート補強用の短繊維を混入し、これにより製作したはりの曲げ試験を実施した。

2. 実験概要

使用材料は、活性フィラーとしてフライアッシュ I 種(密度 2.40g/cm³)を、細骨材として山砂(密度 2.56g/cm³)および砕砂(密度 2.70g/cm³)を、アルカリ溶液として水ガラスと水酸化カリウムを混合したものを用いた。GP モルタルの配合を表 1 に示す。

GP 硬化体の作製方法は既報 2)に準じて行った。短繊維は、鋼繊維 2 種類、ビニロン繊維 1 種類、計 3 種類とし、ワーカビリティを考慮して混入率を設定した。ここで、混入率は外割りの容積混入率である。使用した短繊維の物性値を表 2 に示す。試験体の加温条件は温度 80℃、湿度 90%RH とし、加温後は、温度 20℃、湿度 60% RH の恒温恒湿室内で試験材齢(28 日)まで気中養生を施した。試験日における GP モルタルの物性値を表 3 に示す。

曲げ試験は、土木学会規準 JSCE-G 552-2010 に準じて行った。ただし、GP モルタルの打込み面を載荷面としたため、載荷面に厚さ 3 mm、幅 20mm の鉄板を石膏を介して設置し、平滑面を確保した上で載荷を行った。同一配合に対する試験体数は 4 体とし、載荷は、鉛直変位が 2.5mm に達するまで実施した。

3. 実験結果

(1) 破壊状況

各配合における試験体のひび割れ発生状況の例を図 1 に示す。短繊維を混入していない配合 P は曲げひび割れが生じるとほぼ同時に脆性的に曲げ破壊した。短繊維を混入した配合 A、B および C は、いずれも曲げひび割れ発生後直ちに破壊することなく変形が増大し

表 1 GP モルタルの配合(kg/m³)

配合名	F	S	AL	短繊維の種類	短繊維混入率(%)
P	530	1415	265	無し	0
A				鋼繊維 A	2.0
B				鋼繊維 B	1.0
C				ビニロン繊維	2.0

F: フィラー, S: 細骨材, AL: アルカリ溶液

表 2 使用した短繊維の物性値

短繊維種類	直径 mm	標準長 mm	アスペクト比	比重	引張強度(N/mm ²)
鋼繊維 A	0.50	20	40	7.8	1000 以上
鋼繊維 B	0.16	13	81	7.8	2000 以上
ビニロン繊維	0.66	30	45	1.3	900

表 3 GP モルタルの物性値

配合名	圧縮強度 N/mm ²	静弾性係数 kN/mm ²
P	30.3	10.7
A	32.4	11.7
B	33.3	11.3
C	32.4	11.5

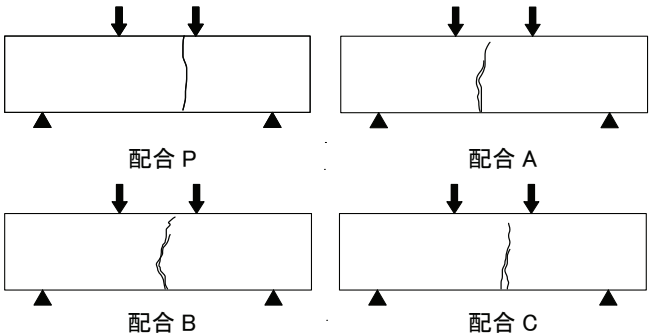


図 1 試験体のひび割れ発生状況の例

た. なお, 試験体に発生した曲げひび割れの本数は, 短繊維の有無に関わらずほぼ 1 本であり, ビニロン繊維を混入した配合 C の試験体 4 体のうち 1 体のみ 2 本のひび割れが発生した.

(2) 短繊維の分散状況

短繊維を混入した配合 A, B, C の試験体について, 載荷により発生した曲げひび割れ面で試験体を 2 つに分断し, その断面における短繊維の分散状況を確認した. 写真 1 に, 各試験体の断面を示す. 目視観察によれば, 3 種類の短繊維はいずれも良好に分散しており, 局所的に短繊維が偏在することはなかった. これより, 本研究で使用した短繊維の種類, 混入率の範囲内では, GP モルタル内においても通常のセメント系材料と同様に均一に分散させることが可能であることがわかった.

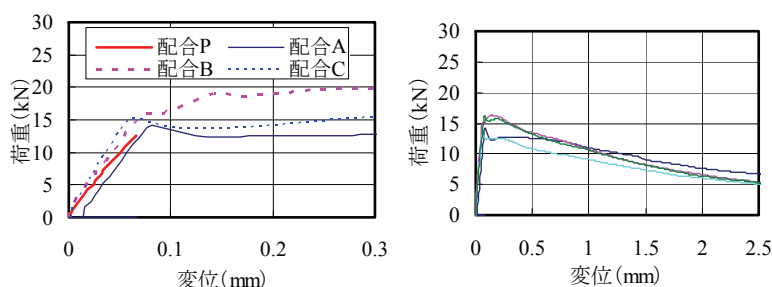


配合 A

配合 B

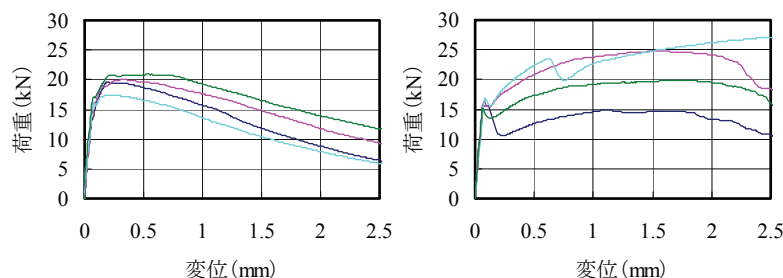
配合 C

写真1 短繊維の分散状況



a) 各配合(変位 0.3mm まで)

b) 配合 A



c) 配合 B

d) 配合 C

図2 荷重-変位関係

(3) 荷重-変位関係および曲げじん性係数

各配合の代表的な荷重-変位関係を図 2 a) に, 短繊維を混入した配合 A, B, C の荷重-変位関係を図 2 b)~d)に示す. なお, 図 2 a)は, ひび割れ発生までの挙動を確認するため, 変位 0.3mm までの範囲を示している. 図 2 a)によれば, 配合 A, B, C の試験体は, 荷重が 14 ~ 16kN 程度において変位が急激に増加しており, この時点でひび割れが発生したものと考えられる. ひび割れ発生に至るまでの荷重-変位関係の勾配は, 短繊維の有無および短繊維種類によらず同等であった. 図 2 b)~d)によれば, ひび割れ発生後の荷重の低下傾向や同一配合における耐荷性能のばらつきの程度に差はあるものの, 短繊維補強によりひび割れ発生後も荷重を負担していることが確認できる. このことから, 本研究の範囲内において, 短繊維によって GP モルタルを補強することで, 曲げじん性を向上させることができるといえる.

JSCE-G 552-2010 に基づいて算定した, 短繊維を混入した試験体の曲げじん性係数を表 4 に示す. 本研究で使用した短繊維の種類および混入率の範囲では, 曲げじん性係数は 2.90~5.29 となった. 先に述べたように, 短繊維の種類によって荷重の低下傾向が異なるため, 曲げじん性係数に加え, 短繊維の特徴と構造物に要求される性能を考慮した上で短繊維を選定する必要がある.

4. まとめ

GP モルタルを短繊維補強することで曲げじん性の向上が可能である. また, 短繊維を GP モルタル内に均一に分散させることが可能である.

参考文献

- 1) 相原直樹他: 鉄道用材料の LCA による環境評価, 鉄道総研報告, Vol.23, No.6, pp.5-10, 2009
- 2) 上原元樹: 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, Vol.22, No.4, pp.41-46, 2008

表4 曲げじん性係数

配合名	曲げじん性係数 N/mm ²
A	2.90
B	4.43
C	5.29