

フライアッシュベースジオポリマーの ひび割れ進展に関するエネルギー的検討

熊本大学大学院 学生会員 ○薬師寺 弘幸
熊本大学大学院 正会員 尾上 幸造

1. 背景及び目的

環境負荷低減および産業副産物の有効利用の観点から、セメントに依存しないジオポリマーによる固化技術が注目され、国内外で活発な研究が展開されている。ジオポリマーとは、活性フィラーとアルカリ溶液を用いて硬化させた材料のことであり、セメントを使用しないことや短時間での強度発現、耐酸性、耐熱性などの優れた特性を有し、次世代の建設材料として期待されている。一方、設計パラメータが多岐にわたり合理的な配合設計が未確立であることやフライアッシュの品質のばらつき、また、長期的な性能に関して不明な点が多いのが現状である。本研究では、フライアッシュベースジオポリマーモルタル（以下、FAGP モルタル）の耐久性に関連すると考えられるひび割れ進展に対する抵抗性に関して普通ポルトランドセメントを用いたモルタル（以下、普通モルタル）と比較することで将来的な実用化に資することを目的として、エネルギー的な検討を行った。

2. 実験概要

FAGPモルタルの材料として、フライアッシュ（JIS A 6201におけるII種、密度：2.27 g/cm³、比表面積：4020 cm²/g）、水ガラス（JIS K 1408に規定されている3号品、密度：1.41 g/cm³）、水酸化ナトリウム水溶液（NaOHaq、濃度：6 M、密度：1.21 g/cm³）、高炉スラグ微粉末4000（密度：2.91 g/cm³、比表面積：4160 cm²/g）、細骨材としてJIS R 5201に規定されている標準砂（密度：2.64 g/cm³）を使用した。普通モルタルの材料として、普通ポルトランドセメント（密度：3.15 g/cm³）および上記と同様の標準砂を用いた。それぞれの配合条件を表-1および2に示す。ここで表-1におけるF/Lとは活性フィラーとアルカリ溶液の容積比のことである。両者の比較を行ううえで、FAGPモルタルと普通モルタルで使用する材料が異なるため、圧縮強度レベルをある程度揃えた上で検討を行った。すなわちFAGPモルタルのF/L=0.6と普通モルタルのW/C=75%、フライアッシュベースジオポリマーモルタルのF/L=0.9と普通モルタルのW/C=54.7%をそれぞれ比較した。ただし、表-3および4に示すように試験時材齢において普通モルタルの方がFAGPモルタルよりも約5 N/mm²ほど高い圧縮強度を示した。

破壊エネルギーは、JCI-S-001-2003¹⁾に準じ、精密万能試験機（オートグラフ）を用いて測定した。供試体には40×40×160 mmの角柱を用いた。破壊エネルギーは、単位面積当たりの破断面を形成するためのエネルギー（単位：N/mm）であり、この値が大きいほどひび割れ進展に対する抵抗性が高いといえる。

ひび割れ進展エネルギー²⁾は、耐圧試験機（容量：1000 kN）の自動制御機能を用いて上限応力比を静的強度の35%、50%、65%、80%とする繰返し圧縮载荷を行うことで測定した。供試体には直径50 mm、高さ100 mmの円柱供試体を用いた。ひび割れ進展エネルギーは、圧縮荷重を受けるコンクリート内部で消費される損失エネルギーのうちひび割れ形成に寄与するエネルギー（単位：N・m）であり、破壊エネルギー（N/mm）とひび割れ面積（mm²）の積として表される量であると考えられる。

表-1 FAGP モルタルの配合

入力値 F/L	水ガラス (g)	NaOHaq (g)	フライアッ シュ (g)	高炉スラグ (g)	標準砂 (g)
0.9	172.9	86.4	348.4	61.5	1350
0.6	205.3	102.6	275.8	48.7	1350

表-2 普通モルタルの配合

水セメント比 (%)	水 (g)	セメント (g)	標準砂 (g)
54.7	233.3	426.4	1350
75	259.0	345.3	1350

キーワード ジオポリマー、破壊エネルギー、ひび割れ進展エネルギー
連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1 TEL 096-342-3542

3. 結果および考察

図-1に破壊エネルギー、図-2および3にひび割れ進展エネルギーの測定結果を示す。破壊エネルギーについて、強度レベルによらずFAGPモルタルと普通モルタルの間の差は小さいものであった。一方、ひび割れ進展エネルギーに関しては、繰返し载荷時の上限応力比が大きくなるにつれて値が大きくなり、FAGPモルタルの方が普通モルタルよりも高い値を示した。ここで、前述したようにひび割れ進展エネルギーは、破壊エネルギーとひび割れ面積の積として表されることができる。図-1の実験結果より強度レベルが同等であれば破壊エネルギーは同程度であると考えられる。そのため、FAGPモルタルのひび割れ進展エネルギーが普通モルタルのそれよりも大きくなるということは、同じ上限応力比を受けた場合にひび割れ量が大きくなることを意味している。FAGPモルタルの方が普通モルタルよりも多孔質であり、ヤング係数も低いことが原因として考えられる。FAGPモルタルの圧縮荷重下におけるひび割れ抵抗性は普通モルタルよりも小さく、圧縮疲労などに対する耐久性が低くなることも予想されるため、設計に際して考慮する必要がある。

4. まとめ

- 1) 曲げ荷重下でのひび割れに対する抵抗性は、強度レベルが同程度であればFAGPモルタルと普通モルタルとの間で大差はない。
- 2) 圧縮荷重下でのひび割れに対する抵抗性は、強度レベルが同程度であればFAGPモルタルの方が普通モルタルよりも小さくなる。このことから、FAGPモルタルの圧縮疲労などに対する耐久性は普通モルタルよりも低くなる可能性がある。

表-3 FAGPモルタルの圧縮強度

F/L	圧縮強度 (N/mm ²)
0.9	40.8
0.6	22.7

表-4 普通モルタルの圧縮強度

水セメント比	圧縮強度 (N/mm ²)
54.7%	46.1
75%	27.8

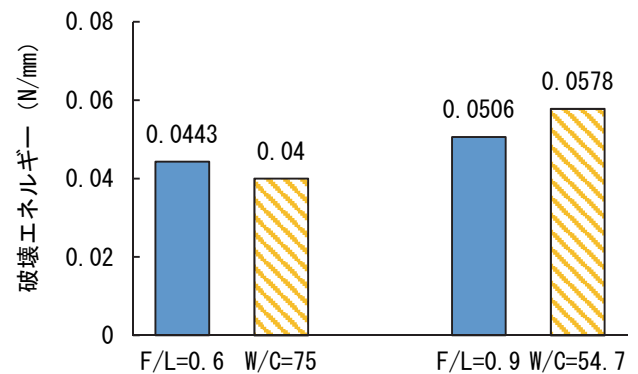


図-1 破壊エネルギーの比較

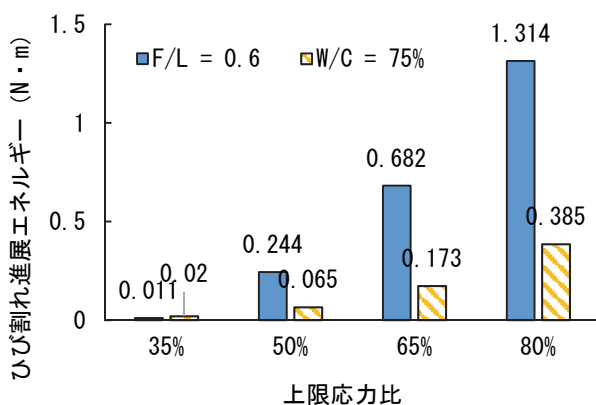


図-2 ひび割れ進展エネルギーの比較
($F/L = 0.6$ と $W/C = 75\%$)

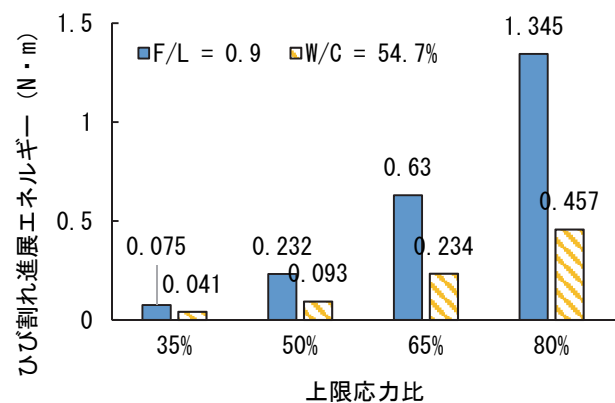


図-3 ひび割れ進展エネルギーの比較
($F/L = 0.9$ と $W/C = 54.7\%$)

謝辞：本研究を実施するにあたり、石塚慶太氏（当時熊本大学工学部4年生）の協力を得ました。ここに付記し謝意を表します。

参考文献

- 1) JCI-S-001-2003「切欠きはりを有いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法」
- 2) 岡田清，小柳治，六郷恵哲：含水量の異なるコンクリートの圧縮破壊過程に関するエネルギー的考察，土木学会論文報告集，No. 248，pp. 129-136，1976.4