

V-450

セメント構成成分とコンクリートの破壊力学特性値に関する実験的研究

名古屋大学 工学部 学生会員 江崎 篤

名古屋大学 工学部 学生会員 齊藤 稔

名古屋大学 工学部 正会員 二羽 淳一郎

1. はじめに

本研究では、コンクリートの破壊力学特性値に及ぼすセメント構成成分の影響を、骨材界面での遷移帯の存在と結びつけて、実験的に検討した。さらに、セメント種別によるコンクリートの破壊エネルギーの相違が、コンクリートの曲げ強度特性に及ぼす影響を、数値解析により検証した。

2. 破壊エネルギーの計測

1) 実験概要

コンクリートの破壊エネルギーは、RILEM の推奨法を参考にし、切欠きを有する無筋コンクリートはりの 3 点曲げ試験により求めることとした(図-1)。この試験に使用した材料は、早強セメント(比重 3.14、 $C_2S=10.4\%$ 、 $C_3S=64.7\%$)、ビーライト系セメント(比重 3.22、 $C_2S=55.0\%$ 、 $C_3S=25.7\%$)、細骨材(比重 2.51、 $FM=2.80$ 、吸水率 1.47%)、粗骨材(比重 2.62、 $FM=6.62$ 、吸水率 0.86%)である。また、コンクリートの配合については、水セメント比を 50%と一定にした。そして、早強セメントおよびビーライト系セメントを混ぜ合わせることで、 C_2S 含有率を 10.4、20、30、40、55%と変化させたコンクリート供試体を作製し、材齢 7 日、28 日で曲げ試験を行った。

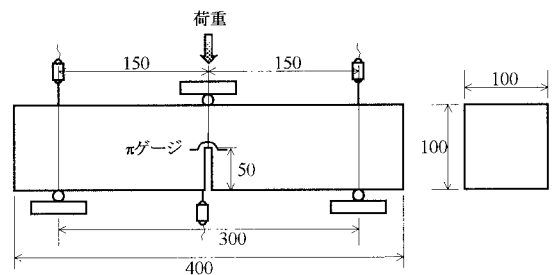


図-1 切欠きはりの3点曲げ試験 (mm)

2) 実験結果

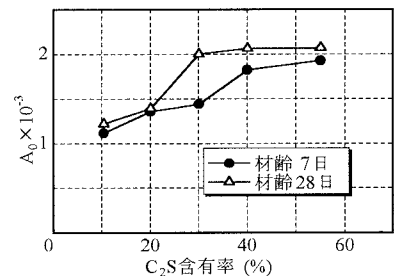
得られた実験結果を表-

表-1 材齢 7 日、28 日の実験結果

1 に示す。表-1 によれば、材齢 28 日において、 C_2S 含有率が増加するにつれ破壊エネルギー G_F も緩やかに増加する傾向にあるが、材齢 7 日においては、明確な関係は認められなかった。こ

セメント種別 C_2S 含有率 (%)	圧縮強度 MPa		引張強度 MPa		G_F N/mm		A_0 $\times 10^{-3}$	
	7 日	28 日	7 日	28 日	7 日	28 日	7 日	28 日
10.4 (早強)	39.5	42.0	3.55	3.14	0.0783	0.0836	1.120	1.225
20	35.5	40.6	2.85	3.72	0.0825	0.0930	1.362	1.398
30	18.2	29.9	2.07	3.02	0.0549	0.1079	1.444	2.006
40	18.4	37.1	1.89	3.20	0.0699	0.1296	1.827	2.071
55 (ビーライト)	11.8	41.4	1.79	3.71	0.0540	0.1400	1.931	2.077

こで、材齢 7 日における C_2S 含有率と圧縮強度の関係をしてみると、コンクリートの圧縮強度はセメントの C_2S 含有率が増加するにつれ低下していることが分かる。一般に引張強度、あるいは圧縮強度が大きくなるほど破壊エネルギーは増大する。従って、引張強度や圧縮強度が相当に違うレベルで、破壊エネルギーの絶対値そのものを比較すべきではないと考えられることから、CEB-FIP Model Code90 を参考にし、実測されたコンクリートの破壊エネルギーを圧縮強度の 0.7 乗で補正した定数 A_0 を材料の特性値と見なし、この値を比較することにした。図-2 は圧縮強度の補正を行った定数

図-2 C_2S 含有率と A_0 の関係

キーワード 破壊エネルギー 遷移帯 C_2S 含有率

連絡先 名古屋大学大学院工学研究科 (052)789-4484

A_0 と C_2S 含有率の関係である。この図からコンクリートの圧縮強度の発現性を考慮すれば、材齢 7 日、28 日ともに、定数 A_0 は C_2S 含有率が増加するにつれて緩やかに増加する傾向にあることが確認された。

3. SEM による硬化コンクリートの観察

骨材界面付近の破壊特性には、そこでの遷移帯生成量が大きく関係すると考えられる。すなわち、遷移帯生成量の少ないピーライト系セメント、相対的に遷移帯生成量の多い早強セメントを用いたコンクリートでは、骨材界面付近の破壊特性に明確な違いが生じていると考えられる。そこで、早強およびピーライト系セメントを用いたコンクリート供試体の割裂試験後の断片を、それぞれ走査型電子顕微鏡(SEM)で観察を行い、早強セメント(写真-1)とピーライト系セメント(写真-2)の場合について比較してみると、その違いを確認することができた。早強セメントを用いたコンクリートの場合、骨材界面において発生した微細ひび割れが凝集し、それによってできたマトリクスひび割れがモルタル部を伝播していることが分かる。一方、ピーライト系セメントを用いたコンクリートの場合、モルタル部においてひび割れが分散して発生していることが分かる。この両者を破壊エネルギーの観点から検討すると、早強セメント使用の場合、遷移帯の存在により、界面破壊が先行した離散的なひび割れが生じ、広範囲に分散しないことから強度当たりの破壊エネルギーが小さくなる。一方、ピーライト系セメント使用の場合、遷移帯生成量が少ないため界面強度が高くなり、モルタル部においてひび割れが分散して起こるため、強度当たりの破壊エネルギーが大きくなると推測できる。

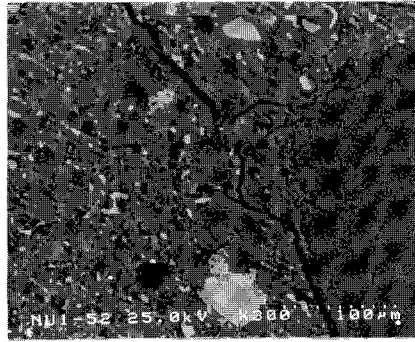


写真-1 早強セメント使用

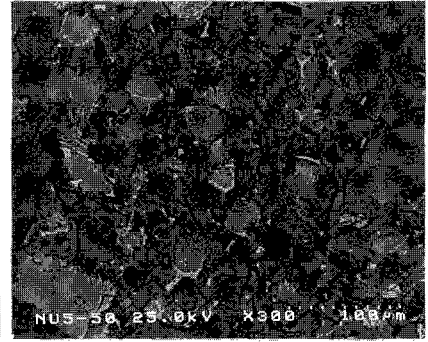


写真-2 ピーライト系セメント使用

れがモルタル部を伝播していることが分かる。一方、ピーライト系セメントを用いたコンクリートの場合、モルタル部においてひび割れが分散して発生していることが分かる。この両者を破壊エネルギーの観点から検討すると、早強セメント使用の場合、遷移帯の存在により、界面破壊が先行した離散的なひび割れが生じ、広範囲に分散しないことから強度当たりの破壊エネルギーが小さくなる。一方、ピーライト系セメント使用の場合、遷移帯生成量が少ないため界面強度が高くなり、モルタル部においてひび割れが分散して起こるため、強度当たりの破壊エネルギーが大きくなると推測できる。

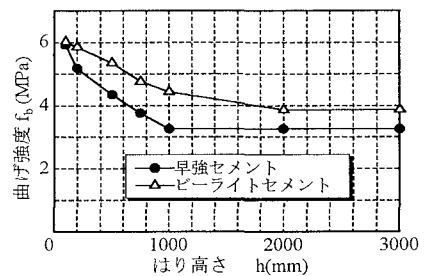
4. 曲げ強度の数値シミュレーション

1) 概要

早強およびピーライト系セメントを用いたコンクリートの破壊エネルギーの相違が、曲げ強度特性にどの程度影響するかを明らかにするために、引張軟化特性を組み込んだ FEM 解析を行った。解析対象は、3 点曲げを受ける無筋の切欠きばりであり、はり高さを段階的に変化させ、変位制御で解析を行った。

2) 解析結果

数値解析の結果を図-3 に示す。図-3 に示される通り、図-3 曲げ強度寸法効果の数値解析結果
ピーライト系セメントを用いたコンクリートの曲げ強度は、早強セメントを用いたコンクリートと比較して大きく、ピーライト系セメントを用いた方が、曲げひび割れ抵抗性に優れていることが分かった。



5. 結論

コンクリートの破壊エネルギーは、圧縮強度による補正を行えば、 C_2S 含有率が増加するに従って緩やかに増加する。また、セメントの C_2S 含有率の増加により、モルタル部での微細なひび割れが分散して発生することで、エネルギー吸収が大きくなることが走査型電子顕微鏡(SEM)による観察で明らかになった。

ピーライト系セメントを用いたコンクリートの曲げ強度は、早強セメントを用いたコンクリートと比較して大きくなり、曲げひび割れ抵抗性に優れていることが FEM 解析により明らかになった。