

複数の計測方法によるコンクリートのひび割れ進展評価

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○渡辺 健, 大野又稔
安藤ハザマ技術研究所 正会員 野間康隆

1. はじめに

複数の計測方法により, モルタル, 粗骨材で構成された試験体の破壊過程を追跡することを試みた.

2. 実験概要

図-1 に, 試験に用いた 2 体の供試体を示す. 試験体の中心には直径が 30mm, 高さが 10mm である凝灰岩(吸水率: 15-20%)を配置した. 打設直前の含水状態は絶乾あるいは表乾として配置している. これは, 吸水率の高い岩石を用いることでモルタルとの界面における水分移動を管理し, ひび割れ特性を変化させることを目的としたものである. モルタルは水, セメントおよび細骨材の重量比が 4:10:20 として製作した. 用いた材料および練混ぜ方法は既往の文献¹⁾と同一である. 図-2 に, 使用したモルタルの材齢に伴う強度および初期剛性の変化を示す.

試験体は荷重と同一の方向よりモルタルを打設した後24時間静置した後に脱型し, 温度20℃, 相対湿度60%に制御された恒温恒湿器内に28日間設置した.

図-3 に荷重状況を示す. 荷重では荷重, 試験体の上下に配置した荷重板間の変位, アコースティックエミッション(AE)を試験終了まで計測した. また, ひび割れが顕著とならないプレピーク域において, 画像相関法を用いて面内方向のひずみを計測した²⁾.

消費エネルギーは, 荷重-変位関係下の面積から初期剛性で除荷されると仮定した除荷曲線下の面積を控除した面積として算出した. また, AE は試験体背面に 5 個のセンサを貼付し, しきい値を 43dB, 増幅率 40dB として計測した. 得られた波形から振幅値の積分値として, AE エネルギー(Vs)を算出した.

画像相関法では, 約 2230 万画素を有する画像から移動最小 2 乗法により要素寸法を 0.01mm として試験体の約 86×83mm² の領域の主ひずみを算出した. なお, セメント系材料のように複合材料に対して算出されるひずみの絶対値は, これらの設定値に依存して異なることに注意する必要がある.

3. 実験結果

図-4(a) (b) に画像相関法を用いて算出した最大主ひずみを, 荷重の最大値(P_{max})に対する比で示す. 試験体 A($P_{max}=22.4kN$)では, 荷重が $0.4\sim0.5P_{max}$ に達した際に鉛直方向のひび割れが凝灰岩の中央に発生した. 併記した図では水平方向に主ひずみが増加しており, 荷重が $0.9P_{max}$ に達しても凝灰岩とモルタルの界面に依存したひび割れ進展は観察できなかった. 一方, 試験体 B($P_{max}=36.0kN$)では荷重が $0.2P_{max}$ に達するまでにひび割れが視認できないにもかかわらず(図-3), 凝灰岩の周囲に高ひずみ領域が確認された. 凝灰岩の左右では主ひずみが 45 度方向に増加しており, 凝灰岩とモルタルが荷重方向にずれを生じていたことがわかる. 凝灰岩の下面において最小主ひずみが荷重方向に卓越して発生していることから, 試験体 B では荷重により表乾状態の凝灰岩の下面に存在した脆弱部が変形したことで凝灰岩が移動し, その結果, 凝灰岩とモルタルの界面にひび割れが先行して進展したと考えられる.

図-4(c) (d) に荷重時間に対する消費エネルギーの変化を第 1 軸に, AE エネルギーの累積値を第 2 軸に, 荷重

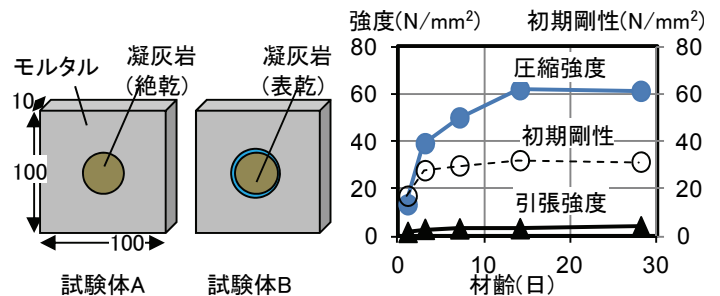


図-1 試験体概要(単位:mm) 図-2 材料試験結果

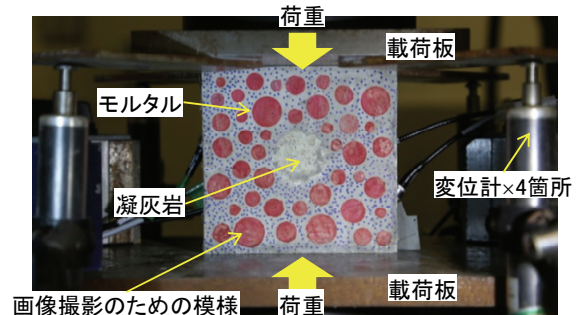


図-3 荷重状況(試験体 B, $0.2P_{max}$)

キーワード モルタル, ひび割れ, AE, 含水状態, 消費エネルギー, 高ひずみ領域

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所コンクリート構造 TEL: 042-573-7281

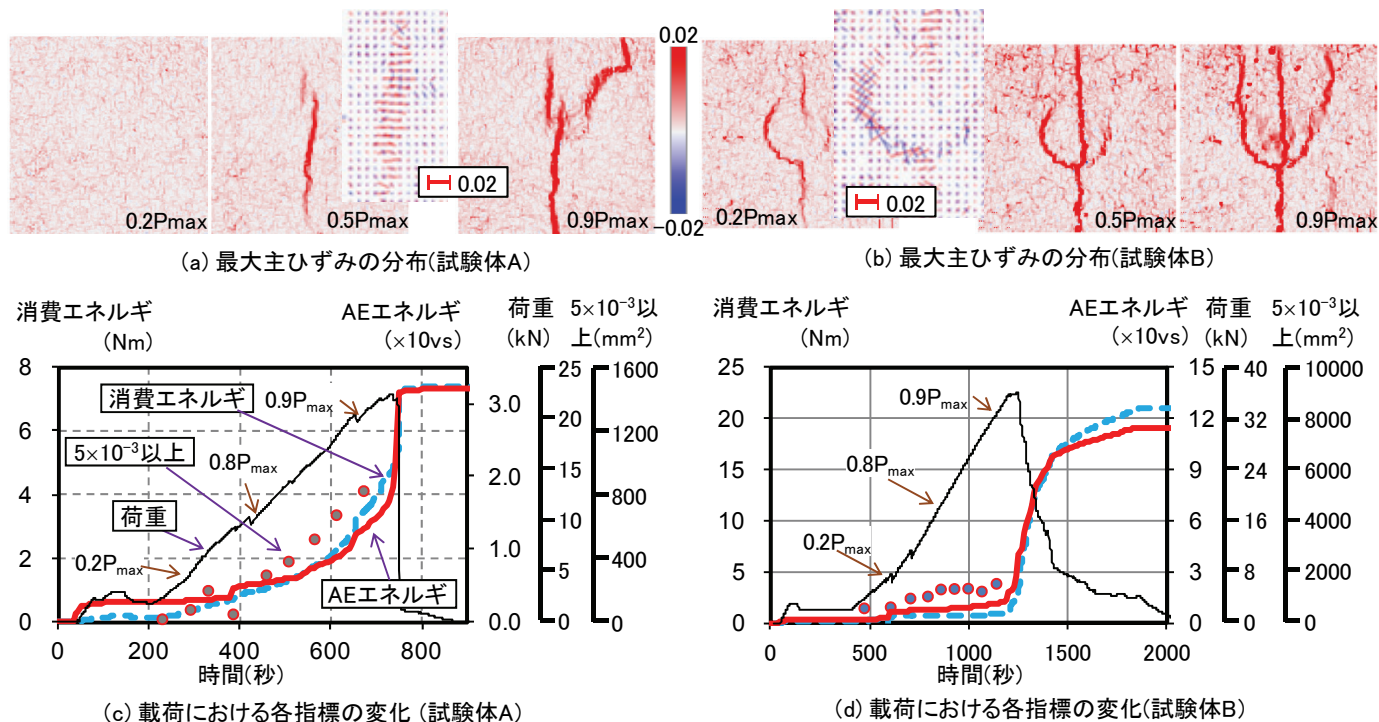


図-4 载荷における試験体の計測値の比較 (c) (d) の凡例は同一)

を第3軸に、画像相関法にて算出した主ひずみが卓越して発生した領域（以下、ひずみ卓越領域）の面積を第4軸に併せて示す。なお、表示するしきい値に依存してこの絶対値は異なるが、ここでは 5×10^{-3} 以上を示す領域を採用している。

载荷開始初期における変位の増加の後に荷重が増加し $P_{\max}$ に達したが、ポストピーク域では試験体Aの荷重が急激に低下したのに対し、試験体Bでは徐々に低下した。また、算出した消費エネルギーおよびAEエネルギーは荷重が $P_{\max}$ に達するに連れて、およびポストピーク域で急激に増加している。特徴的なのは、ひび割れの進展状況は図-4(a) (b) に示したとおり試験体ごとに異なったにもかかわらず、消費エネルギーとAEエネルギーの累積値は载荷時間に対して概ね一致した傾向で増加した点にある。さらにプレピーク域においてこの2つの指標が急増した载荷時間がいくつか確認できたが、これは荷重がやや低下した载荷時間とも一致している。画像相関法に用いた写真の撮影間隔(1枚/ $0.1P_{\max}$)が比較的大きいため、ひずみ卓越領域面積にはこの急増した载荷時間が判別しにくい、ひび割れの明確な進展があったことが推測される。

表-1に検討した3指標の絶対値の比の平均値をまとめる。試験体A, Bでは、ひずみ卓越領域の面積あたりの消費エネルギー(消費/ひずみ)に対して約6倍、AEエネルギー(AE/ひずみ)が約3倍となった。この差

表-1 算定結果の比較

	$P_{\max}$ (kN)	$AE^{*1}/ひずみ^{*2}$ (Vs/mm ²)	$消費^{*3}/ひずみ^{*2}$ (Nm/mm ²)	$AE^{*1}/消費^{*3}$ (Vs/Nm)
試験体A	22.4	2.21×10^{-3}	3.65×10^{-3}	6.00×10^{-1}
試験体B	36.0	7.14×10^{-4}	5.92×10^{-4}	1.22

*¹AE エネルギーの累積値, *²ひずみ卓越領域面積, *³消費エネルギー

の絶対値については計測の設定にも依存する可能性があるが、AEエネルギーが試験体の局所部における破壊現象を捉えているのに対して、荷重と変位の積として計測した消費エネルギーには、ひび割れの分布が異なった2つの試験体において、荷重のひび割れ進展への貢献度が変化するという構造特性を含んでいることを示していると考えられる。

4. まとめ

試験体Aと比較して、脆弱部があったとみられる試験体Bのひび割れ発生荷重は小さいが、荷重が最大値 $P_{\max}$ および応力卓越領域の面積が増加し、ポストピーク域が緩やかになるという特徴があった。試験体の局所的な情報というよりも、これらの配置により試験体としての構造体の特徴が変化したことを捉えた。

参考文献

- 1) 渡辺 健, 榊原直輝, W. Jason WEISS, 二羽淳一郎: 若材齢モルタルの引張型基本クリープと微視的破壊に対するAE法による関連評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.455-460, 2011.6
- 2) 清水雅夫, 奥富正敏: 領域ベースマッチングのための2次元同時サブピクセル推定法, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J-87-D-II, No.2, pp.554-564, 2004.