

I-111

モルタルの微視的亀裂と破壊じん性

東京工大 学生員 田中靖資
東京工大 正員 三木千寿
運輸省 正員 江口秀二

1. まえがき

モルタル中を進展する亀裂の先端には、プロセスゾーンが存在する。本研究ではプロセスゾーンの構造を詳細に観察し、結合力モデルを用いて修正した線形破壊力学をモルタルの破壊じん性値の評価に適用することを試みた。さらに、R-Curve 解析からも、モルタルの破壊じん性値を求めた。

2. 実験概要と観察結果

本研究で用いた試験体は、図1に示す形状・寸法の長方形断面梁である。梁の中央には亀裂の起点として切欠きを設けている。切欠き長は20.40mm、切欠き幅は0.2, 0.8mmである。配合および材料定数は表1に示す。材令は14日である。支点間長26cmの三点曲げ試験であり、変位制御で載荷除荷を繰り返しながら、荷重、梁中央の変位、切欠き端の開口変位、亀裂長を測定した。変位および開口変位は図1に示すような治具を試験体に取り付け、クリップゲージを用いて測定した。亀裂にインクを浸透させ、50倍の顕微鏡でそれを観察した。切欠き先端から発生した亀裂には、開口して応力を伝達しない領域およびインクが極めて細く母材中を浸透する領域とインクがほんやりと母材を浸透する領域が観察された。この3つの領域を図2のようにそれぞれ巨視的亀裂、第一プロセスゾーン、第二プロセスゾーンと定義した。巨視的亀裂が進展を開始するのは、最大耐力に達した後であった。

表1 配合と材料定数

W/C	S/C	ヤング率 (kgf/mm ²)	引張強度 (kgf/mm ²)
0.5	2.0	2750	0.321

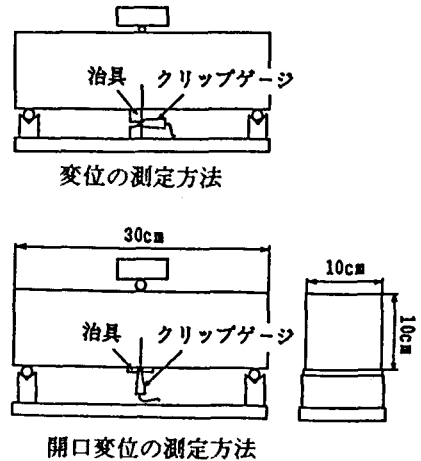


図1 試験方法と試験体の寸法

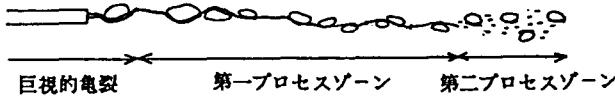


図2 亀裂の定義

3. 結合力モデルによる解析

結合力モデルとは亀裂をプロセスゾーン先端まで延長し、延長された亀裂部分にプロセスゾーンで生じていた力を作用させるモデルである。¹⁾ プロセスゾーン先端まで延長した亀裂を仮想亀裂、作用させる力を結合力という。結合力 σ と仮想亀裂の開口変位 ϕ の関係は、亀裂の観察結果に基づいて図3のように仮定した。モルタル中の応力が引張強度 σ_0 に達した時にプロセスゾーンが発生し、仮想亀裂の開口変位 ϕ が限界値 ϕ_c になった時に巨視的亀裂が進展する。外力による応力拡大

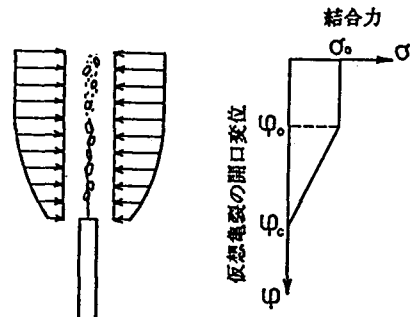


図3 結合力の仮定

係数 K_a と結合力による応力拡大係数 K_b を用いてプロセスゾーン長と開口変位を求めた。²⁾ 図4は切欠き長40mmでの切欠き端の開口変位の実験値と解析結果を示す。また、図5は第一プロセスゾーン先端の位置と第二プロセスゾーン先端の位置の実験値と解析結果を示す。引張強度を0.20~0.22 kgf/mm²と仮定した時、解析結果は実験で得られた開口変位やプロセスゾーン先端の位置の変化をほぼ正確に表現している。巨視的亀裂が進展する時の先端開口変位 ϕ_c は0.02mmであり、破壊じん性値 J_c は50J/m²である。

4. R-Curve による解析

亀裂先端に大きなプロセスゾーンがある場合、引張応力下においても亀裂は安定成長する。これは、亀裂の進展を阻止させる抵抗力が働いているためである。この抵抗力は結合力モデルで仮想亀裂に作用させた結合力に対応しており、亀裂が単位長さ当たり進展するのに必要な力と同じ次元をもつエネルギー解放率で表わすことができる。エネルギー解放率は荷重-変位曲線から得られるコンプライアンスと残留変位から求めた。³⁾ 図6は抵抗力 G_r と亀裂長の関係である。抵抗力の限界値は、モルタルの破壊じん性値 G_c を表わしており、40~60J/m²と得られた。これは、結合力モデルによって得られた破壊じん性値と一致している。

5. まとめ

本研究では、二通りの解析方法でモルタルに破壊力学が適用できることを明かにした。得られた結果を次に示す。

- 1) 結合力モデルを用いた解析では、モデルに含まれるパラメータを適切に定めることにより、モルタルに発生する亀裂の伝播挙動をうまく説明できた。
- 2) 巨視的亀裂は先端開口変位が0.02mmに達した時進展し、破壊じん性値は40~60J/m²であった。

6. 参考文献

- 1) A.Hillerborg, M.Modeer, P-E. Petersson: Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete, Cement and Concrete Research, Vol.6, pp.773-782, 1976.
- 2) 岸谷孝一, 村上聖, 平居孝之: コンクリートの破壊力学に関する研究 その1 破壊過程域の損傷解析、日本建築学会構造系論文報告集 第368号 昭和61年10月
- 3) Methi Wecharatana, Surendra P. Shah: Slow Crack Growth in Cement Composites, Journal of the Structual Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, A S C E, Vol.108, No.ST6, June, 1982.

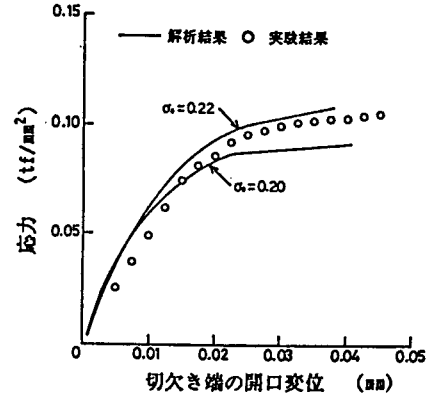


図4 切欠き端の開口変位と応力の関係

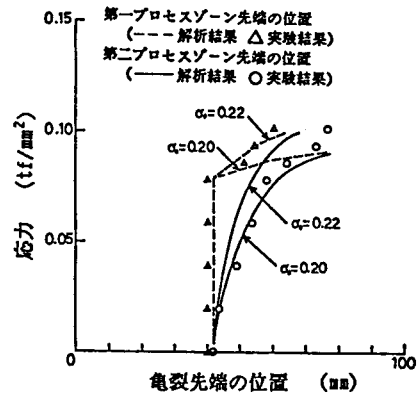


図5 プロセスゾーン先端の位置と応力の関係

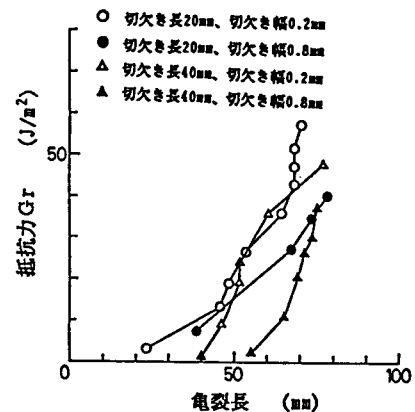


図6 抵抗力と亀裂長の関係