

東京大学 学生員 井上純哉
東京大学 正 員 堀井秀之

1. まえがき

本研究で取り扱う変形の局所化現象とは材料中で均一であった変形が、破壊の進行にともない一つまたは複数の狭い領域に変形が集中して変位の不連続面画が生じる現象である。つまり、力学的エネルギーの散逸が材料全体で一様に発生するモードからある領域で生じ、他では弾性除荷する現象であると考えられる。変形の局所化現象は異なる材料において共通に起こる現象であり、材料・構造物の強度を支配しており、また変形の局所化に支配された現象では強度の寸法効果があり、解析においてはメッシュ依存性が有ることが知られているため、変形の局所化を再現しうる理論および解析手法を構築することは工学的に重要であると考えられます。このような変形の局所化現象の内、本研究では特にコンクリートの様な引っ張り破壊を起こす材料における亀裂の局所化現象を再現することを試みる。

コンクリートにおいては、引っ張り荷重が引っ張り強度を越えひび割れが発生した後のひび割れにおける伝達応力と開口変位のあいだには図1に示すような引っ張り軟化関係があることが知られている。ここで実線は載荷 (loading) を示し破線は除荷 (unloading) を示している。図では実線からの分岐は2本しか無いが実際には実線上の全ての点において分岐の可能性がある。この性質の為コンクリートの破壊の解析においては、どの亀裂が実線側に又は破線側に分岐して行くのかを決定しなければならない。本研究においては井上・堀井の提案する変形の局所化の理論を用いることにより、この分岐問題を解くことにする。

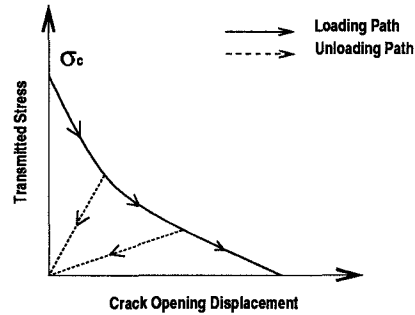


図1 ひずみ軟化曲線 (コンクリート)

2. ひび割れのモデル化

問題を簡略化する為ここでは図2に示すような引っ張り軟化関係を用いることにする。破線は除荷を示し、除荷においては開口変位の変化はないとする。また、開口変位は有限要素法で計算する際の要素に図3に示すような形状関数を導入し、亀裂両端の開口変位を代表点として補完することにする。この形状関数は亀裂内で開口変位が亀裂端から亀裂端にかけて線形に変化するようにした形状関数である。解析は引っ張り応力が引っ張り強度を越えた時点で、各要素内に最大引っ張り応力と垂直方向に3本の亀裂を発生させる事によって行った。

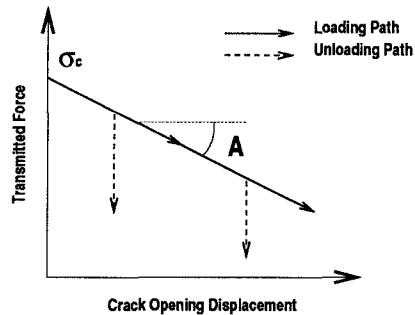


図2 ひずみ軟化曲線 (モデル)

3. 解析例

本節では前節で導入したひび割れのモデルを用いて、コンクリート梁の四点曲げ試験におけるひび割れの進展および局所化問題を解析した例を示す。解析で用いた境界条件は図5に示すものである。解析は分岐解

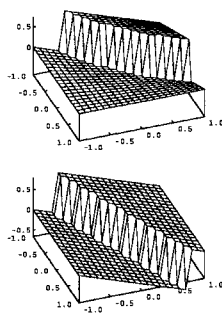


図3 開口変位に対する形状関数



図4 メッシュ分割

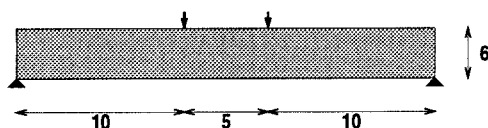


図5 四点荷重試験

析を行ったものと行わなかったものの二通り行った。図7は分岐解析を行った時の亀裂の進展、図8は分岐解析を行わなかった場合の亀裂の進展して行く様子を示した物である。両方ともひび割れの集中する中央2つの荷重点の間の要素だけを表示したものである。要素内の線は亀裂の方向を示しており、太さが開口変位の増分の大きさを表している。また、図6はその時の荷重点における荷重と変位の関係を示したものである。グラフから分かるように分岐解析を行わない解析のピーク荷重は分岐解析を行った時のピークよりも明らかに大きな荷重であり、またピーク荷重での変位も大きく梁の強度を課題評価していることがわかる。また、分岐解析を行わない解析においては引っ張り許容強度を引っ張り応力が上った要素全てにおいて開口変位は増大し、ひび割れの分布は等曲げがかかる領域においてはほぼ均一に広がった。一方、分岐解析を行った解析においては開口変位が増大するひび割れは狭い領域に集中する傾向が見られ、特に荷重の最終段階においては1本の卓越したひび割れが形成された。この結果はコンクリートの曲げ試験で見られる傾向と大変類似していると考えられる。

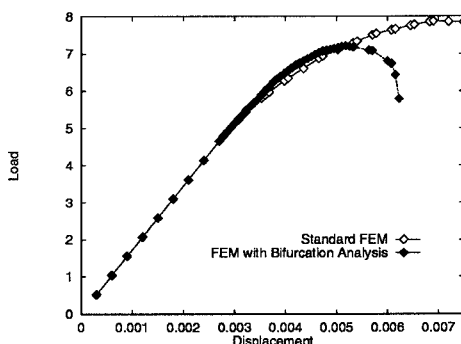


図6 荷重変位曲線

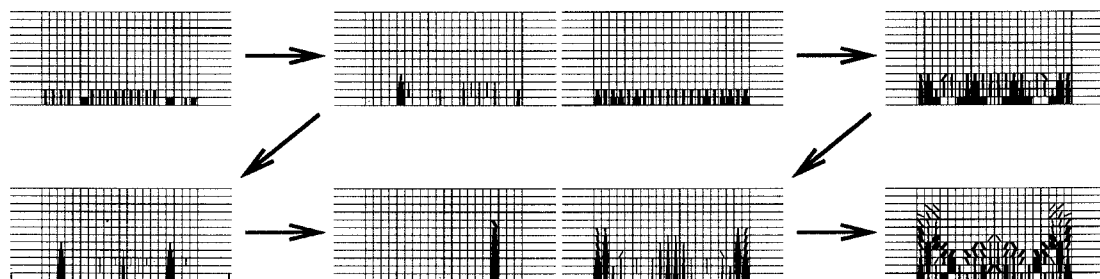


図7 分岐解析あり

図8 分岐解析なし

4. まとめ

本研究ではコンクリートのように引っ張り破壊を起こす材料における変形の局所化を解析することを目的とし、材料の特性をモデル化することにより実験で見られるひび割れ進展の特徴を再現することに成功した。この解析によって得られた結果は、材料の強度に対する変形の局所化の役割の大きさと変形の局所化を考慮した解析の必要性を示すものと考えられる。

参考文献

- 1) 井上 純哉, 熱力学定式化に基づく変形の局所化の理論と解析手法, 土木学会年次学術講演会, 1994