

RBSM-FEM 混合型解析法によるPCはりの衝突破壊解析

防衛大学校 正会員 香月 智 深和岳人 学生員 竹本憲介 フェロー 石川信隆

1. 緒言

コンクリート構造物の挙動を解明する代表的な数値解析手法として有限要素法 (FEM) がある。しかし, FEM は連続体を基礎とする理論のため, 不連続な部分の挙動を表現するには特殊な取り扱いを行わなければならない¹⁾。一方, 川井²⁾が提案した剛体パネモデル(RBSM)は, 剛体要素間に境界面を有し, その境界面に全ての情報を集約した物理モデルであるため, 巨視的に取り扱えば, 構造物の不連続面を容易に表現できる。そこで本研究は, RBSM-FEM 混合モデルを提案し, 別途行ったPCはりに対する重錘落下衝突実験をシミュレーション解析し, 破壊の進展について検討したものである。

2. RBSM要素モデル

提案する要素モデルは, 図-1 に示すように4つの節点を接続する四角形の要素形状を有し, 要素の重心を通り, 全体座標系の X 軸と反時計回りになる角度を有する不連続面を持つものである。このように要素の境界点に変位自由度を設定することにより, FEM の4節点四角形要素と同様な取り扱いで全体のプラットホームに組み込むことが可能となる。

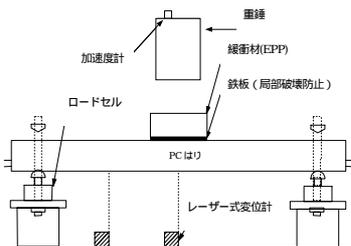


図-6 PCはりの重錘落下衝突実験

なる。すなわち, 図-2 に示す境界面に法線方向と接線方向の3組(6本)のバネを有するモデルを考え, 法線方向および接線方向の構成則は図-3, 4 に示すような除荷を考慮した2段階の線形剛性を持つモデルとした。また, 接線方向バネの降伏点構成則として図-5 に示す Coulomb モデルを用いた。

3. 解析モデルおよび解析法

解析対象とするPCはりの重錘落下衝突実験は, 図-6 に示すように落錘式衝撃実験装置を用い, 重錘(10kN)をはりのスパン中央に90cmの高さから単一載荷したものである。はりの載荷点部にはポリプロピレン(EPP)の緩衝材(厚さ15cm, 長さ40cm, 幅15cm)を設置した。また, 供試体は高さ25cm, 幅15cm, 支間200cmのボンドPCはりである。本研究では, これを図-7 に示すようにコンクリートを FEM 三角形要素と RBSM 要素に, 鉄筋, PC鋼線および緩衝材を棒要素

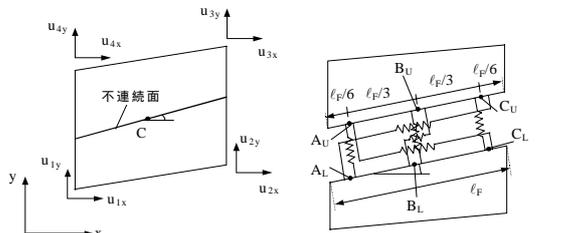


図-1 要素モデル 図-2 不連続面のバネ

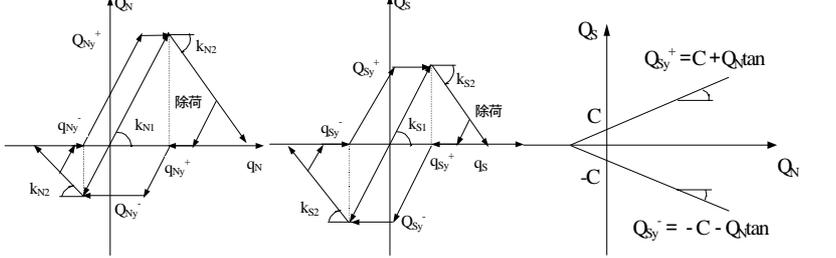


図-3 法線方向バネの構成則 図-4 接線方向バネの構成則 図-5 接線方向バネの降伏点構成則 (クーロンモデル)

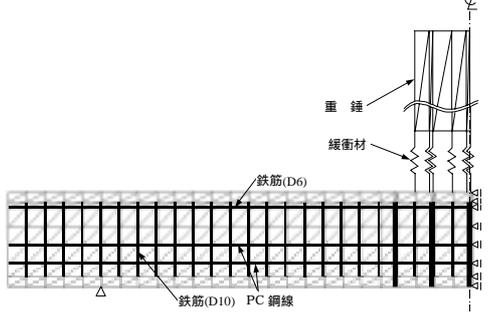


図-7 解析モデル

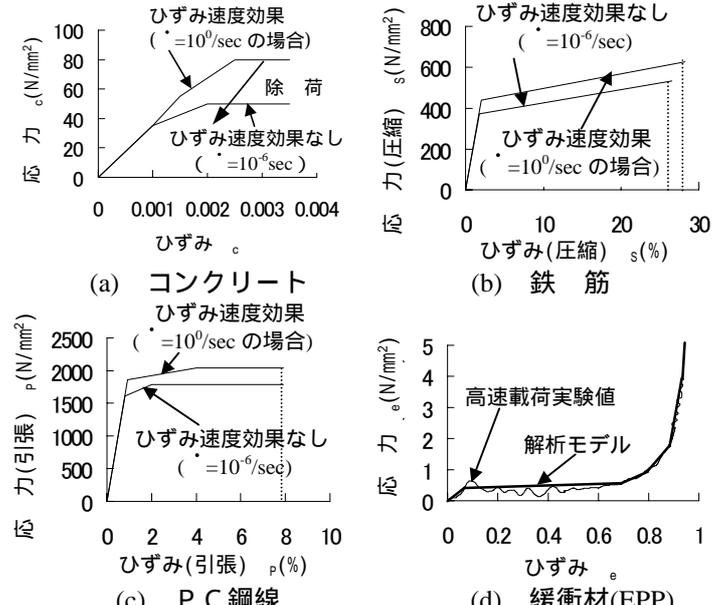


図-8 各要素の構成則

キーワード RBSM-FEM 混合モデル, 重錘落下衝突実験, 破壊の進展
 連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 電話(0468)41-3810 FAX(0468)44-5913

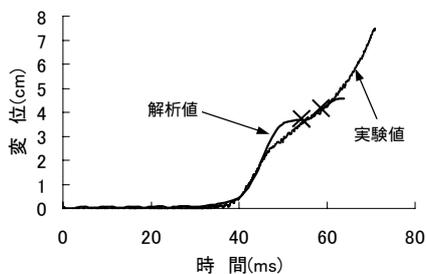


図-9 変位～時間関係

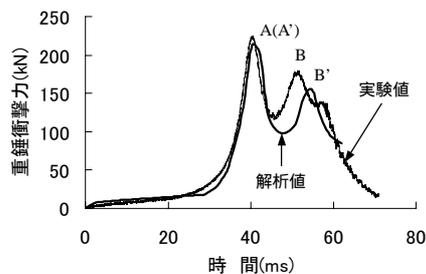


図-10 重錘衝撃力～時間関係

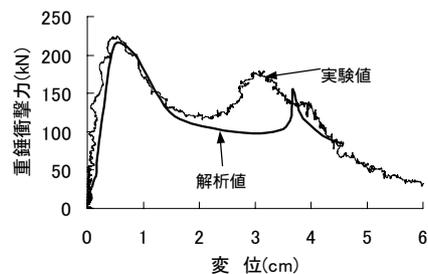
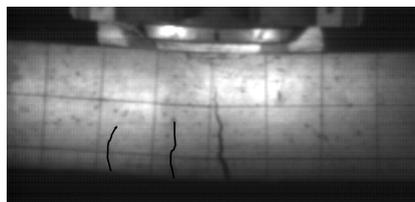
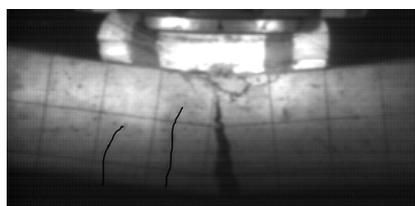


図-11 重錘衝撃力～変位関係

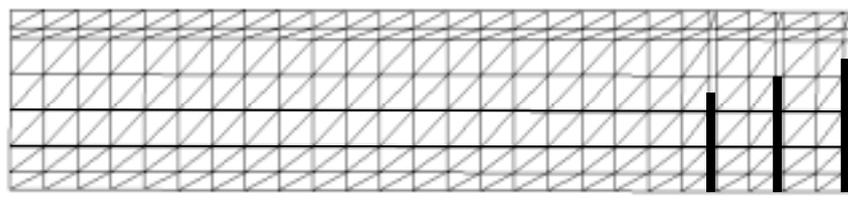


(a) A点 (t=40ms)

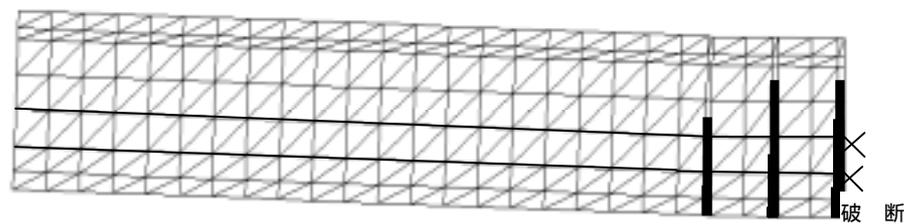


(b) B点 (t=60ms)

写真-1 実験結果の変形形状



(a) A'点 (t=40ms)



(b) B'点 (t=56ms)

図-12 解析における変形図

破断
■ : ひび割れ

素に、重錘を三角形弾性要素によってモデル化した。この際、FEM 三角形要素には Drucker-Prager の降伏条件³⁾に基づく弾塑性モデルを用いた。さらに各構成則には図-8 に示すようにひずみ速度効果^{4),5)}を考慮したものを与えた。

4. 解析結果と考察

図-9 に解析と実験のはりの载荷点下部変位～時間関係を示す。解析値と実験値とはほぼよく一致している。すなわち、37ms までは EPP の変形によりはりにはほとんど変位が生じていないが、37ms 以降ほぼ単調に変位は増加し、実験では 58ms、解析では 55ms で P C 鋼材の破断に対応する破壊が現れる。図-10 に重錘衝撃力と時間の関係を示す。解析値および実験値は 30ms を境に急激に重錘衝撃力が増加し、実験値および解析値ともに 40ms でピーク値の 225kN に達している。その後、急激に低下した重錘は再度緩やかに上昇して、実験では 50ms、解析では 54ms で 2 つ目の小さなピーク値を迎えている。この 2 つのグラフから求めた荷重～変位関係を図-11 に示す。解析値は、実験値よりも衝突直後の荷重の立ち上がりがやや遅いが全体的に良くシミュレートしている。

次に、重錘衝撃力の時間経過における主要な点を図-10 において実験値では A, B, 解析値では A', B' 点と指定してこの間の P C はりの変形を実験 (写真) と比較してみると、写真-1 および図-12 のようになる。まず、重錘衝撃力が最初にピークに達する 40ms (点 A, A') において実験では中央点に大きなひび割れとそこから約 10cm, 20cm 離れたところに小さなひび割れの 3 本確認できる。解析でも中央点および 10, 20cm 離れたところにひび割れを確認できる。次に P C 鋼線が破断する 60ms (点 B) では P C 鋼線が破断し、中央点に大きな破断面が形成される。解析においても P C 鋼線の破断によってはりには破壊に至っている。

5. 結 言

- 1) FEM の 4 節点四角形要素と同様な自由度を有する RBSM - FEM 混合型要素モデルを提案することができた。
- 2) 提案した RBSM-FEM 混合型モデルを用いて P C はりの重錘落下衝突実験のシミュレーション解析を行った。その結果、本解析法は実験結果を良くシミュレートでき、特にひび割れの進展過程も概ね追跡できることが認められた。

参考文献 1) 野口博：有限要素法による鉄筋コンクリートの非線形解析，日本建築学会論文報告集，第 258 号，pp27～37，1977．
2) 川井忠彦：離散化極限解析法概論，培風館，1991．3) 色部誠，河角誠，安達洋：コンクリート構造物の塑性解析，丸善，1985．
4) 高橋芳彦，大野友則，太田俊昭，日野伸一：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼす材料のひずみ速度効果，構造工学論文集，Vol.37A，pp.1567～1580，1991．5) 園田佳巨，小林直行，石川信隆，佐藤紘志：ひずみ速度効果を考慮した P C はり部材の動的曲げ耐力と変形性能，構造工学論文集，Vol.38A，pp.1455-1465，1992．