

V-416 コンクリートのひび割れを考慮した三次元FEM解析

鉄建建設（株）技術研究所 正会員 益田彰久 正会員 松岡 茂
日本道路公団試験研究所 正会員 三谷浩二 正会員 海瀬 忍

1. はじめに

筆者らは斜めひび割れの進展によって最終耐力が決定されるせん断破壊モードを持つコンクリート構造物を対象に、ひび割れを考慮した解析モデルを提案している¹⁾。しかしながら従来行った解析はいずれも二次元モデルを解析対象にしたものであり、鉄筋の配置や三次元的に進展するひび割れが破壊挙動に影響を与えると考えられる問題については対応が困難であった。

そこで本報告では三次元にまで拡張した解析モデルの提案を行った。またそのモデルによってコンクリート平板の押し抜き試験を対象に解析を行い、その適用性について考察した。

2. 三次元解析モデル

筆者らが提案しているひび割れの発生・進展を考慮した解析モデルを三次元に拡張するために次のようなモデル化を行った。ある三次元要素の最大主応力がひび割れ発生応力に達したとき、最大主応力方向と直角方向にかつ三次元要素の図心を通るようなひび割れ面が形成されるものと仮定した。このときひび割れ開口幅はひび割れ面に対し法線方向および接線方向に生じる変位により式(1)に示されるような関係で表されるものとした。

$$w = \sqrt{\delta_{nc}^2 + \delta_{sc}^2} \quad (1)$$

ここに、 w ：ひび割れ開口幅、 δ_{nc} ：ひび割れ面に対し鉛直方向に生じたひび割れ開口変位、 δ_{sc} ：ひび割れ面に沿って生じたひび割れ開口変位、である。このひび割れ開口幅によってひび割れ面での応力伝達を考慮した。

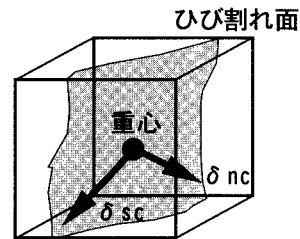


図-1 立方体要素におけるひび割れ

ひび割れ面の面積は主応力方向により様々な値を取りうる

可能性がある。例えば1辺を a とする立方体要素を考えた時、ひび割れ面積値の範囲は a^2 から $\sqrt{3} \cdot a^2$ となる。本報告では計算の簡略化のため、ひび割れ面の面積は $\sqrt{3} \cdot a^2$ になるものと仮定した。

3. コンクリート供試体の押し抜き試験

解析対象とした実験はコンクリート平板を押し抜くようにに载荷した試験である²⁾。供試体は無筋コンクリート、丸鋼を配筋したRCおよびSFRCの3種類とした。試験概要を図-2に、コンクリート強度を表-1に示す。丸鋼は150×150の溶接金網 JIS G 3551 を使用、SFは長さ30mmアスペクト比50のものを1.0%混入した。

解析モデルは対象条件により1/4とした。供試体の支承面には架台と供試体が接する方向に変位するときには大きな反力が作用し、離れる方向に変位するときにはフリーとなるような非線形パネを配置した。丸鋼はメッシュの交点のみが三次元のコンクリート要素と剛結しているものとしてモデル化し、応力-ひずみモデルは完全弾塑性とした。

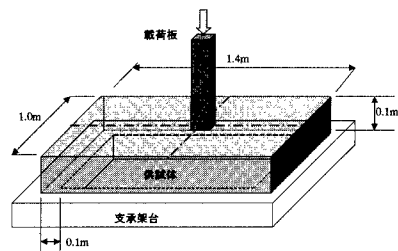


図-2 コンクリート平板押し抜き試験

表-1 コンクリート強度

供試体	無筋	RC	SFRC
圧縮強度 (MPa)	28.86	28.93	25.92
引張(割裂)強度 (MPa)	2.49	2.67	2.50

キーワード：ひび割れ、三次元FEM解析

連絡先：鉄建建設（株）技術研究所、〒286-0825 成田市新泉9-1 TEL 0476(36)2355 FAX 0476(36)2380
日本道路公団試験研究所、〒194-8508 町田市忠生1-4-1 TEL 042(791)1621 FAX 042(792)8650

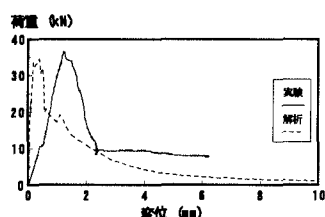


図-2 荷重-変位曲線（無筋）

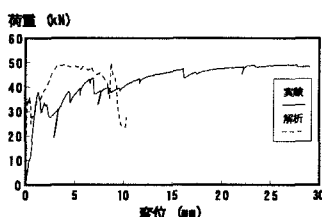


図-3 荷重-変位曲線（RC）

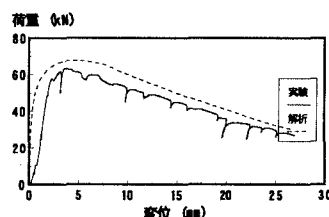


図-4 荷重-変位曲線（SFRC）

また引張軟化曲線は、無筋では 0.02mm のひび割れ開口で引張応力が零になるような直線、SFRCは第二勾配を 0.2N/mm^2 とした。

4. 実験および解析結果

荷重と載荷点変位の関係についてまとめたものを図-2～4に示す。全体的な傾向として、解析結果による初期剛性が実験結果に比べ大きくなっている。解析では供試体の周面が全て理想的に架台に接触しているようにモデル化される。これに対し実験では架台と供試体とは面接触とはならずに応力集中を起こしており、ひび割れはこの応力集中点から発生し、進展する傾向がある。このような両者の支承条件の差から、実験結果が解析に比べ剛性が小さくなってしまったと考えられる。

無筋コンクリートについては、実験・解析とも最終的には曲げ破壊となり最大荷重値も良好な一致を得た。無筋コンクリートであるためにひび割れは急激に進展し、また前述のような支承の影響のため実験と解析では同一位置にひび割れが発生しているわけではないが、両者ともひび割れが主に載荷点を中心として放射状に発生するという特徴を有しており、解析は妥当なものと考えられる。

RCでは初期のコンクリートのひび割れによると思われる第1ピークについては両者近い値となったが、それ以後は最大荷重値は近いもののその挙動に大きな差が出た。実験では曲げ破壊の性状を示し、一方解析では鉄筋に沿ったひび割れが卓越して計算が終了した。今回使用した鋼材は 6mm 径という細い丸鋼であるため、材料試験などを実施しその材料モデル・立体要素との結合条件等を再考する必要があると考えられる。

SFRCについては実験・解析とも曲げ破壊とはならず、載荷点付近が押し抜かれる結果となった。SFRCでは最大荷重値およびピーク後の挙動も両者は近い傾向を示しており、ひび割れが載荷点を中心に円周方向に発生するという特徴も一致している。

5. まとめ

以上のように、解析により得られた値は実験値に対しほぼ妥当なものとなった。特に無筋コンクリートやSFRCのように均質なものとモデル化されるものについては、荷重ピーク以後、終局に至るまで実験値に対し良好な結果を得ることが出来た。しかしRCのような複合材料のモデルでは個々の材料モデルが大きく結果に影響を与えるため、良い結果を得ることが出来なかった。より適切な材料モデルを求め解析に組み入れていく必要があると考えられる。また今後は解析例を増やし、その適用性を確認していく所存である。

【参考文献】

- 1) 松岡 茂, 益田彰久, 武田康司, 土井至朗: ひび割れ発生・進展に支配されたコンクリート構造物の解析モデル, 土木学会論文集, No. 620, V-43, 1999.5.
- 2) 柳 博文, 三谷浩二, 海瀬 忍, 松岡 茂: トンネル支保を想定したコンクリート載荷実験, 土木学会第54回年次学術講演会第Ⅲ部門（投稿中）

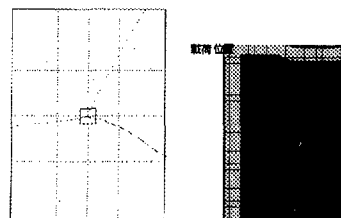


図-5 ひび割れ状況（無筋）

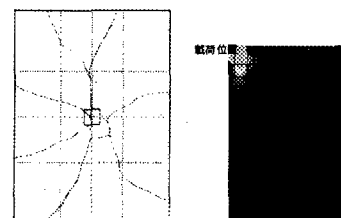


図-6 ひび割れ状況（SFRC）