

# コンクリート構造でのき裂進展解析に関する研究

建設技術研究所 正会員 伊藤恭平  
 オリエンタル建設 正会員 大杉敏之  
 岡山大学環境理工学部 正会員 谷口健男

## 1. はじめに

本論文ではき裂進展解析により構造物の破壊挙動を明らかにし、特に耐荷力を把握することを目的とした。筆者らの研究により非線形破壊力学を用い、また離散ひびわれモデルを採用することによりき裂進展経路の算定が可能となった。<sup>1)</sup> しかしながら、耐荷力に関しては未だ不十分な結果しか得られておらず、そこで、耐荷力の算定に影響が考えられる 引張軟化曲線、き裂先端の要素分割等について種々の数値実験を行うことにより、荷重 - 変位関係の検証を行った。

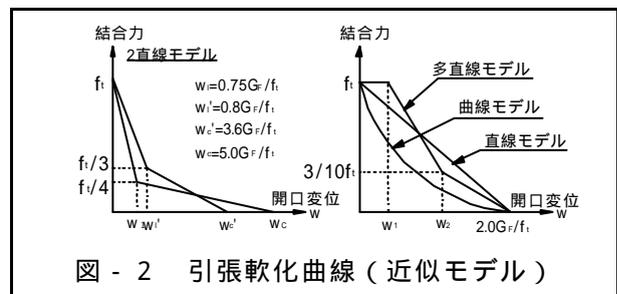
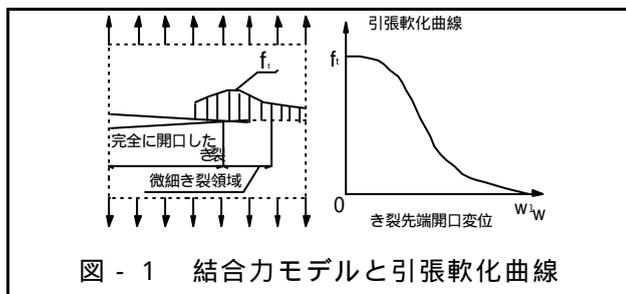
## 2. 非線形き裂進展解析

2.1 き裂進展経路 著者らの研究で線形解析では 1)クラック先端の周方向直応力最大の方向、2)ひずみエネルギー密度最小の方向、また非線形解析では 3)面内せん断型応力拡大係数  $K_{II}=0$  の方向によりそれぞれき裂進展方向を決定してきた。線形解析で用いた 1)、2)の方法にはほとんど差が見られず、実験に近い良好な結果が得られた、一方、3)を用いた非線形解析ではき裂がある長さになるとき裂前面に幅広く  $K_{II}=0$  の領域が出現するため進展方向の決定が困難になり計算を停止した。そこで、ここでは線形解析でき裂進展経路を求めき裂進展方向はのひずみエネルギー密度最小の方向とした。

2.2 耐荷力の算定 Hillerborg<sup>2)</sup>等によって提案された結合力モデルは図-1左図に示すように、き裂先端部に発生する破壊進行領域では開口変位の関数で与えられる結合力が作用していると考えられる。この開口変位 - 結合力関係は図-1右図のような引張軟化曲線として与え、その曲線下の面積が破壊エネルギー  $G_F$  であるというものである。この引張軟化曲線は実験によって得られるが、数値解析には実験で得られた曲線を簡便にした、直線、2直線、多直線および曲線などのモデルが用いられている(図-2)。き裂開口変位が小さい領域の引張伝達力(結合力)のみが耐荷力に重要な役割を果たすことから、コンクリート部材の最大荷重の検討には一般に直線モデルで十分であるとされる<sup>3)</sup>。しかし、破壊エネルギー値  $G_F$  (引張軟化曲線下の面積)を同一にしても全く異なる最大荷重や荷重 - 変位曲線を示すこともあり、引張軟化挙動のモデル化が今後も重要な課題となると考えられる。

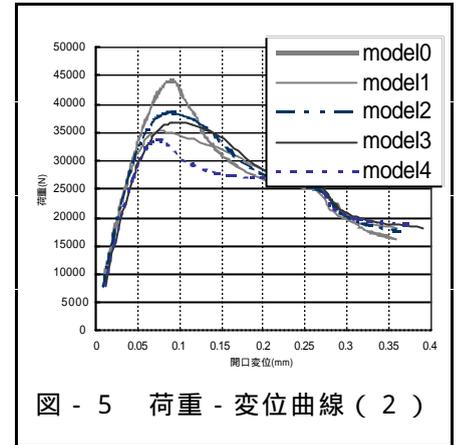
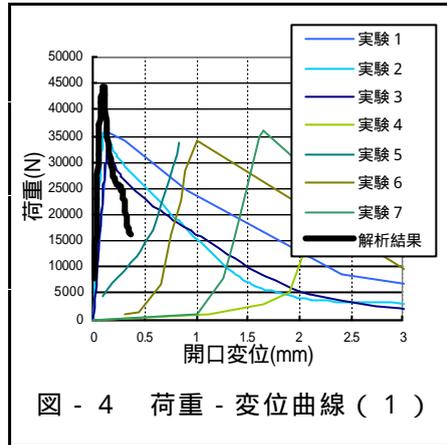
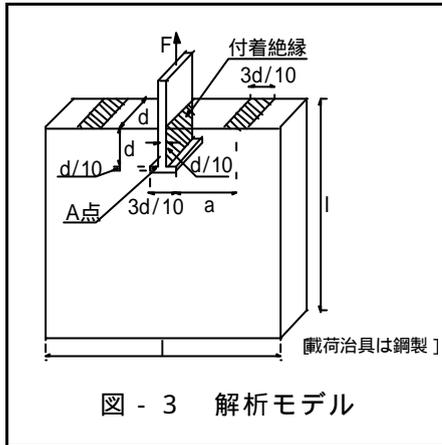
## 3. 数値解析

3.1 解析モデル 社団法人日本コンクリート工学協会による共通解析問題2「アンカーボルトの引き抜き実験及び解析問題」<sup>4)</sup>の#1の非線形き裂進展解析を行う。(図-3参照)



キーワード：き裂進展解析、き裂進展角度、有限要素法、結合力モデル、離散ひびわれ

〒540-0008 大阪市中央区大手前 1-2-15 TEL 06(6944)7851 FAX 06(6944)7892  
 〒530-0012 大阪市北区芝田 2-6-23 TEL 06(6372)0106 FAX 06(6372)9531  
 〒700-8530 岡山市津島中 2-1-1 TEL 086(251)8864 FAX 086(251)8866



3.2 荷重 - 変位曲線 き裂進展方向を線形解析により決定し、その各き裂長のときの耐荷力を非線形解析により算定している。図-4 に示す実験<sup>4)</sup>と数値解析の荷重 - 変位曲線を比較すると、最大荷重については実験結果にくらべて解析結果のほうがやや大きな値を示し、変位に関しては本解析から得られた値の方が小さく実験結果とは開きがあるといえる。そこで、いくつかの検討を行った。

(1) 引張軟化曲線 数値解析には実験で得られた曲線を簡便にしたモデルが用いられているが、ここでは、直線モデルと2直線モデルを用いることにする。得られた荷重 - 変位曲線を図-5に示す。解析結果から2直線(1/4)モデル(model1)を用いたとき、最大荷重が実験値に非常に近づき、最大荷重値以降の曲線の形状が実験結果に比較的近いと思われる。以降、引張軟化曲線は2直線(1/4)モデルを使用した。model3~model4は曲線下の面積を破壊エネルギー $G_F$ になるように作成したものである。

(2) 有効き裂長 き裂面に作用する結合力は引張軟化曲線により開口変位から与えられる。しかし、引張軟化曲線の範囲内に開口変位は位置するがいったん開口してしまったき裂面上の点では応力の伝達はないと考えられる。そこで、き裂先端からの距離がある長さ到達したき裂面上の点では応力の伝達を無くして解析を行った。ここでは、有効き裂長として無限大と100mmを用いた。解析結果より、引張軟化曲線において応力の伝達が行われる開口変位が大きい2つの2直線モデルではき裂長を100mmとした解析結果のほうが荷重値のピーク以降急な勾配で荷重が落ちた。解析結果は十分なものが得られたとは言えないが、応力の伝達が行われるき裂長には限界があると思われる。

#### 4. 結論

筆者らが提案する計算方法で得た解析結果から、耐荷力に注目すると実験に十分近い値が得られているといえる。一方、変位に関しては実験結果とは未だ大きな開きがあることより、いくつかの要因を考えその影響を数値実験で検討したが実験結果との開きは改善できなかった。理由の一つとして、解析モデルではき裂は一つしか存在しないが実験における実際のコンクリート構造にはコンクリート中のき裂近傍に無数の微小き裂が存在している点が挙げられよう。

今後はき裂近傍の無数の微小き裂を考慮するためにき裂進展経路周辺の要素の剛性に異方性を与える、あるいは、損傷を与える、また多数き裂を発生させることができる分布ひび割れモデルの検討を行う等が必要であろう。

#### 参考文献

- 1) 松永昭吾, 廣瀬荘一, 谷口健男, 伊藤恭平: アンカーボルトの引き抜きによるコンクリート構造でのひび割れ伝播解析, 構造工学論文集, Vol. 40A, pp511-517, 1994
- 2) Hillerborg, A., Modeer and P.E. Petersson: Analysis of crack formation and crack growth in concrete by means of fracture mechanics and finite elements, Cement and Concrete Research, Vol. 6, No. 6, pp. 773-781, 1976
- 3) 日本コンクリート工学協会: コンクリートの破壊力学に関するコロキウム, JC1-C19, 1990
- 4) 日本コンクリート工学協会: 破壊力学の応用研究委員会報告, 1993