

RC 造構造物のひび割れ性状の評価法に関する解析的研究

(株) 大林組 正会員 ○渡辺 伸和 非会員 穴吹 拓也
正会員 佐々木 智大 非会員 米澤 健次

1. はじめに

原子力施設の RC 造構造物においては、地震後の耐漏水機能や機器支持機能等に対する損傷評価が必要となり、その指標となるひび割れ性状を精度良く予測可能な評価手法が求められている。近年、建物の安全性を評価するツールとして非線形 FEM 解析が多く用いられる。しかし、RC 構造物の解析で広く用いられる分散ひび割れモデルでは、ひび割れの幅や長さを直接評価することはできない。そこで、FEM 解析による構造物の変形状態からひび割れ状況を推定し、建物の要求性能を評価することを考えた。更に、気密・水密性の評価には特定のひび割れの大きさだけではなく、ひび割れの総量を評価する必要があると考え、評価指標として、構造物全体でひび割れの幅と長さを集計して求めるひび割れ面積に着目した。本報では、目視計測や画像計測によりひび割れ性状を詳細に測定した RC 造壁部材の静的繰り返し载荷実験を対象に非線形 FEM 解析を実施し、RC 造壁に生じるひび割れ面積の評価法について検討した。

2. 実験概要

図-1 に試験体形状を示す。試験体は上下にスタブを有する両側柱付き RC 造壁を模擬した。主な試験区間は両側柱と上下スタブに囲まれた RC 板である。加力方法としては、最初に両側柱の上部にそれぞれ 146kN の柱軸力を加え、柱軸力を一定に保持した状態で、加力スタブの高さ中央位置に正負交番漸増水平方向加力を行った。加力中は壁脚部に対する水平力载荷位置の水平方向相対変位より変形角を算定し、0.1%, 0.15%, 0.2%, 0.25% で正負繰返し载荷を行った後、正方向に押し切った。ひび割れの計測には、従来の目視による計測とステレオカメラによる画像計測を適用し、壁全体に生じるひび割れ幅、長さ、本数等を詳細に計測した。

3. 解析概要

図-2 に解析モデルの要素分割を示す。解析モデルは対称条件を考慮して壁厚方向の 1/2 をモデル化した 3 次元モデルとした。コンクリートは六面体要素、柱主筋は線材要素、壁筋及び柱帯鉄筋は埋込み鉄筋でモデル化した。コンクリートと柱主筋の間にはばね要素を挿入し、付着すべり特性を考慮した。図-3 にコンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ関係の概念を示す。コンクリートは等価一軸ひずみに基づく直交異方性体とし、非直交分散ひび割れモデルを用いて、多

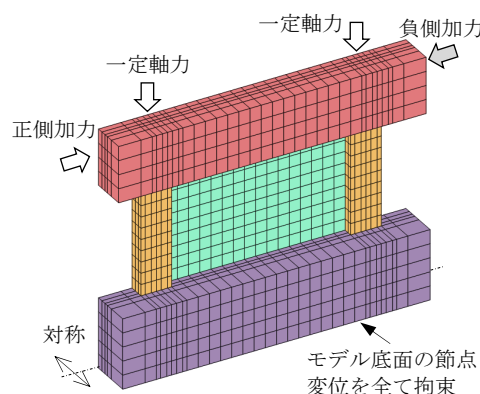


図-2 解析モデル

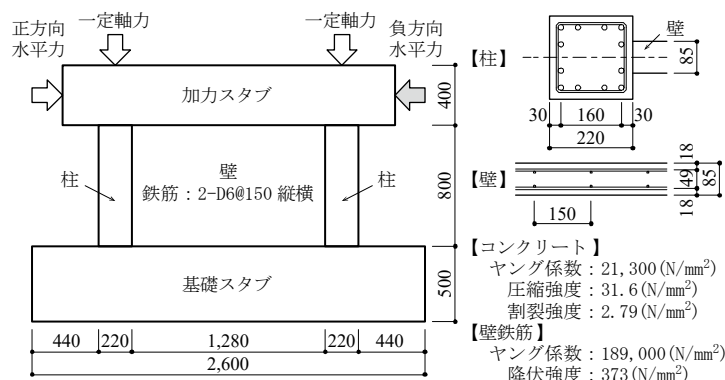


図-1 試験体形状

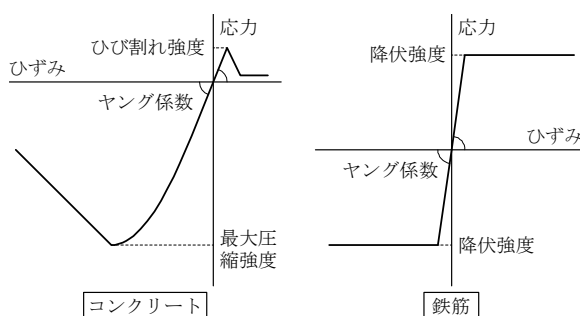


図-3 材料モデルの概念

キーワード RC 造壁, 画像計測, 最大ひび割れ幅, ひび割れ面積, 壁板面積増分, 有限要素解析

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 株式会社大林組技術研究所構造技術研究部 TEL 042-495-1013

方向に生じるひび割れを考慮した．最大圧縮強度以前の圧縮側応力－ひずみ関係は修正 Ahmad モデルにより表し，最大圧縮強度到達後は中村らの圧縮破壊エネルギーに基づく軟化勾配¹⁾を定義した．使用解析コードは「FINAL」である．材料モデルの詳細は文献 2)を参照されたい．

4. 解析結果

図-4 に実験と FEM 解析の荷重－変形関係の比較を示す．解析は，負側加力において実験よりも荷重がやや高かったが，荷重－変形関係の骨格曲線，壁板の初亀裂発生タイミング等については，FEM 解析により実験結果を精度良く再現できた．図-5 に変形角 0.2% (1 回目) における壁及び柱のひび割れ状況に関する実験と FEM 解析の比較を示す．分散ひび割れモデルを用いた場合，壁全体にひび割れが生じるため，実験のようにひび割れが集中する箇所が明確に表れない．これに対処するため，例えば引張主ひずみの分布を確認する等して，ひび割れ幅が大きい領域を定性的に把握しているのが現状である．なお，分散ひび割れモデルを用いてひび割れ幅を算定する手法を佐藤らが提案³⁾しており，そのような手法を用いた場合，実験結果をどの程度の精度で表せるかを確認することは今後の課題である．

5. ひび割れ面積の評価

壁のひび割れが増加すると，壁板の面積がその分増大すると考えられる．そこで，実験において測定したひび割れ面積と，FEM 解析モデルの変形後の節点座標から算定した壁板の面積増分を比較し，FEM 解析によるひび割れ性状の評価法について考察した．

図-6 にひび割れ面積と壁板面積増分の比較を示す．FEM 解析による壁板面積増分は，壁の変形の増大に対して概ね線形に増大しており，実験のひび割れ面積の増大傾向と一致した．以上のことから，分散ひび割れモデルのようにひび割れ幅を陽に出力することができない場合でも，変形後の要素面積（体積）からひび割れ性状を定量的に評価できると考えられる．評価手法を構築し，精度を高めるためには，更に実験データを蓄積し，検証する必要がある．

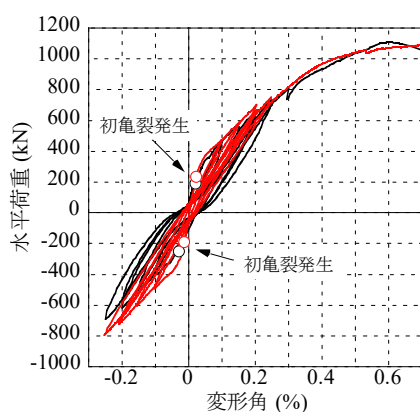
6. まとめ

分散ひび割れモデルを用いた FEM 解析により，ひび割れ幅やひび割れ間隔は直接評価できないものの，変形後の要素の面積増分から構造物に生じたひび割れの面積を推定できる可能性を示した．

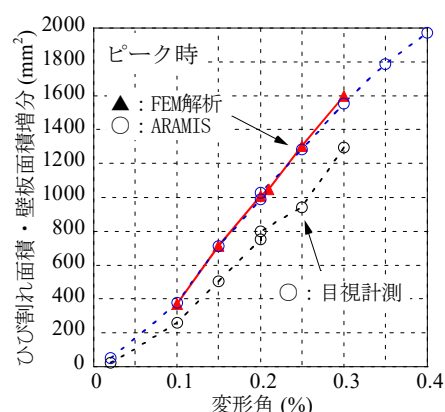
謝辞 本研究の実施にあたり日本大学の長沼教授より貴重なご意見を賜りました．ここにお礼を申し上げます．

参考文献

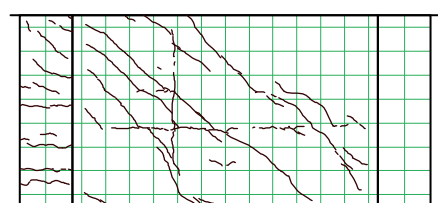
- 1) H. Nakamura and T. Higai: Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Seminar on Post-Peak Behavior of RC Structures Subjected to Seismic Load, JCI-C51E, Vol.2, pp.259-272, 1999.10
- 2) K. Naganuma, et. al.: Simulation of Nonlinear Dynamic Response of Reinforced Concrete Scaled Model Using Three-dimensional Finite Element Method, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No.586, 2004.8
- 3) Y. Sato and K. Naganuma: Discrete-Like Crack Simulation of Reinforced Concrete Incorporated with Analytical Solution of Cyclic Bond Model, Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.140, Issue 3, 2014.3



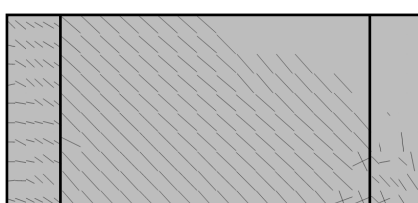
(黒：実験結果，赤：FEM 解析結果)
図-4 荷重－変形関係の比較



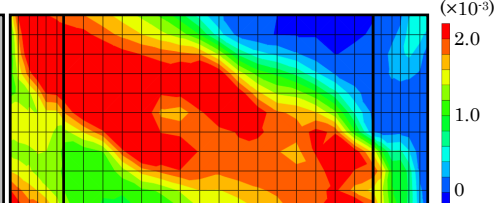
(○：ひび割れ面積，△：壁板面積増分)
図-6 ひび割れ面積と壁板面積増分



(a) 実験：ひび割れ状況



(b) FEM 解析：ひび割れ状況



(c) FEM 解析：引張主ひずみ度分布

図-5 変形角 0.2% (1 回目) のひび割れ状況に関する実験結果と FEM 解析の比較