

RC ディープビームの有限要素破壊解析に及ぼす要素形状の影響

清水建設技術研究所 正会員 吉武 謙二
清水建設技術研究所 正会員 長谷川俊昭

1. はじめに

汎用有限要素プログラム DIANA を用いて、鉄筋コンクリートディープビーム（せん断スパンと有効高さの比 $a/d=1.0$ ）を対象として、有限要素の形状・寸法および載荷における境界条件の違いが破壊挙動に及ぼす影響を把握することを目的として解析を実施し考察を行った。

2. 解析モデルおよび解析手法

図-1 に試験体の寸法と有限要素メッシュの一例を、図-2 に要素形状を示す。解析ケース A では二等辺三角形の最長辺が 50mm の 3 節点三角形定ひずみ有限要素を、また解析ケース B, C ではそれぞれ 1 辺が 25mm, 50mm の 4 節点四角形アイソパラメトリック有限要素を用いた。載荷板および支承板は解析ケース A, B, C ともに四角形アイソパラメトリック有限要素によりモデル化した。すべての解析ケースで、載荷における境界条件の影響を調べるために、載荷板上部の全節点に載荷した場合と、中央の節点のみに載荷した場合について解析を実施した。

コンクリートの圧縮軟化塑性モデルおよびひび割れ帯モデルに用いた弾塑性軟化挙動は、CEB-FIP MODEL CODE 1990¹⁾ を参考に設定した。ひび割れ帯幅 h は図-2 のように仮定した。主鉄筋の上下 50mm のコンクリートは、鉄筋との付着領域と考え引張硬化を考慮した。鉄筋の構成則は降伏点以降の勾配を零とした弾性完全塑性モデルを用いた。圧縮状態におけるコンクリートの降伏および破壊には、等 2 軸圧縮強度を $1.16f'_c$ (f'_c : 1 軸圧縮強度) として、関連流れ則を仮定し、定数を設定した Drucker-Prager の条件を用いた。引張-圧縮状態、二軸引張状態では、最大主応力が引張強度を超えるとひび割れが発生すると仮定し、ひび割れ発生後はせん断剛性を 1% に低減させた。変位制御にて増分解析を行い、線形弾性剛性法により収束計算を行った。コンクリートの材料特性は松尾らの実験結果²⁾ に基づき、圧縮強度 37.1 N/mm²、引張強度 2.86 N/mm²、弾性係数 31.7 kN/mm²、破壊エネルギー 0.156 N/mm とした。

3. 解析結果

鉛直荷重と、試験体中央と支承板上部の主鉄筋位置での鉛直相対変位の関係を図-3 に示す。全節点載荷、中央節点載荷ともに解析ケース A, C では概ね実験の最大せん断耐力を再現しているが、解析ケース B では過小に評価した。また、鉄筋の応力は最大で 230 N/mm² 程度で、全ての解析において鉄筋は降伏に至らなかった。

全節点載荷での解析ケース A, B, C と中央節点載荷での解析ケース A の最大せん断耐力時のひび割れ発生状況と増分変形を図-4, 5, 6, 7 に示す。解析ケース A, C では、試験体中央下部より曲げひびわれが発生・進展した後、試験体中央の主鉄筋上部のひび割れや、支承板から載荷板へ向かうひび割れが発生した。最終的に載荷板近傍から支承板に向かうせん断ひび割れが発生し、載荷板近傍の要素における圧縮軟化破壊により最大せん断耐力に至った。最終ひび割れ状況を実験と比較すると、

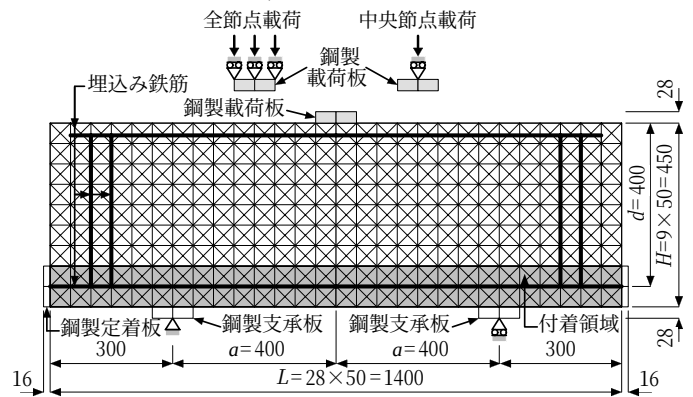
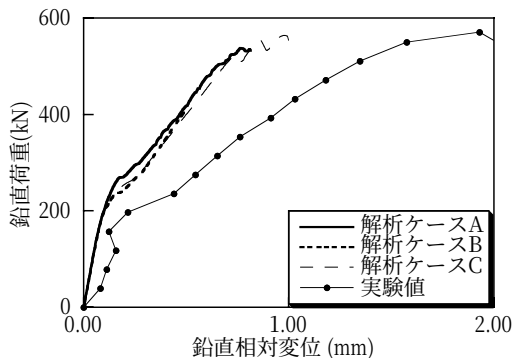
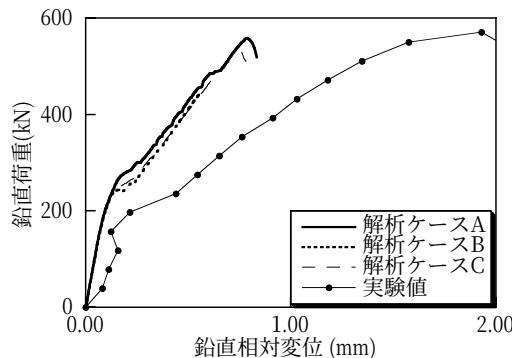


図-1 試験体の寸法と要素メッシュ（解析ケース A）



a) 全節点載荷



b) 中央節点載荷

図-3 せん断応答

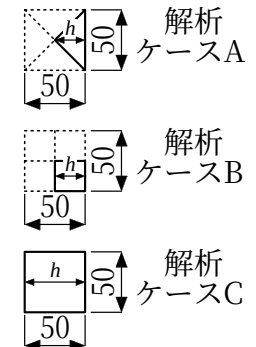


図-2 要素形状

キーワード：鉄筋コンクリート、ディープビーム、要素形状、有限要素破壊解析

〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-5515 FAX 03-3820-5955

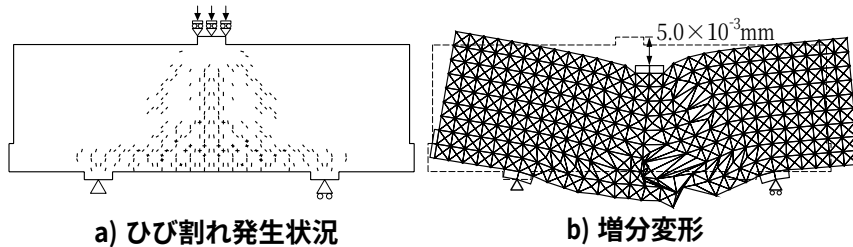


図-4 解析ケースA(全節点载荷)

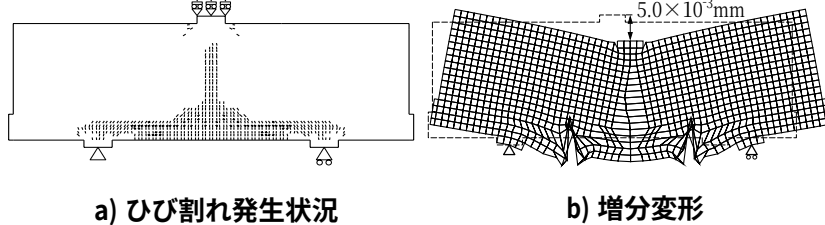


図-5 解析ケースB(全節点载荷)

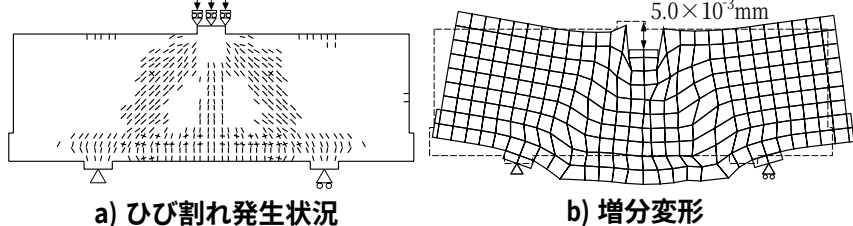


図-6 解析ケースC(全節点载荷)

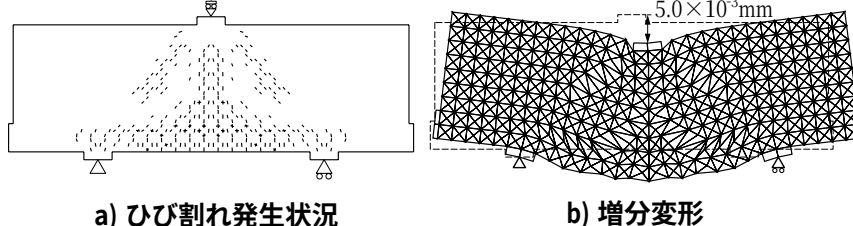


図-7 解析ケースA(中央節点载荷)

解析の方が曲げひび割れが卓越しているが、実験においても類似した破壊過程が確認されており²⁾、本解析は最大せん断耐力以前のRCディープビームの破壊過程を良好に追跡している。一方、解析ケースBでは、曲げひび割れが発生・進展した後、せん断ひび割れが発生する前に計算が発散して終了した。図-5 b)は発散する直前の収束条件が満足されているステップにおける増分変形を、図-8は引張縁と引張縁から3列上の節点における増分変位を示している。引張縁では左右のせん断スパン内の一つの節点が試験体上部方向へ変位しているが、主筋を跨いだ引張縁より3列上の節点では変位が緩和されている。また、引張縁から1, 2列上の節点も引張縁とほぼ同様に変位していた。図-9, 10に全節点载荷での解析ケースBにおける全変形とMisesの等価塑性ひずみを、また図-11に図-9内の有限要素aの引張縁側と有限要素bの圧縮縁側の積分点における主応力履歴を示す。载荷板近傍に局所的な圧縮塑性領域が形成されている様子が伺えるが、要素bが圧縮強度に達していないことから、载荷板近傍の圧縮軟化破壊により最大耐力に至っていないことが理解できる。よって解析ケースBは、図-5および図-8で確認された擬似的運動モードが生じたことにより発散したと推測される。

なお、中央節点载荷の場合は载荷板が回転できるため、せん断ひび割れが左右のせん断スパンを貫通し、ひび割れ状況や変形状況が全節点载荷と異なる場合がみられた。しかし、最大せん断耐力は、一方のせん断ひび割れが貫通することにより決定するため大きな差異は見られなかった。

4. まとめ

本解析手法を用いることにより、RCディープビームの最大せん断耐力および破壊過程を良好に再現することができた。しかし、4節点四角形アイソパラメトリック有限要素を用いた解析において、擬似的運動モードと推測される原因で計算が発散してせん断挙動を最大せん断耐力まで追跡できない場合があった。また、载荷における境界条件の違いによりひび割れ発生状況や変形が異なる場合があるが、最大せん断耐力に大きな差異は見られなかった。

参考文献 1) “CEB-FIP MODEL CODE 1990”, CEB, pp.2-11 ~ 2-14, 1991.

2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書，2001年5月。

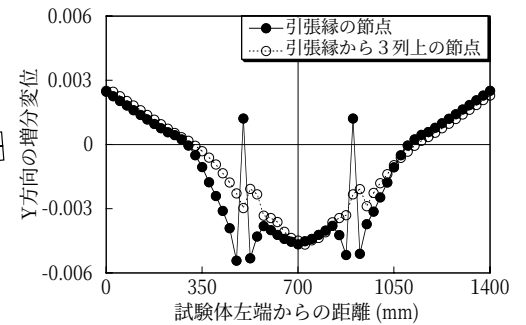


図-8 増分変位

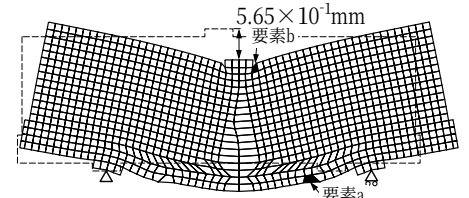


図-9 全変形

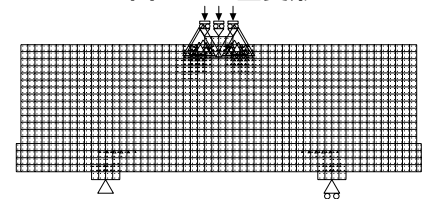


図-10 Misesの等価塑性ひずみ

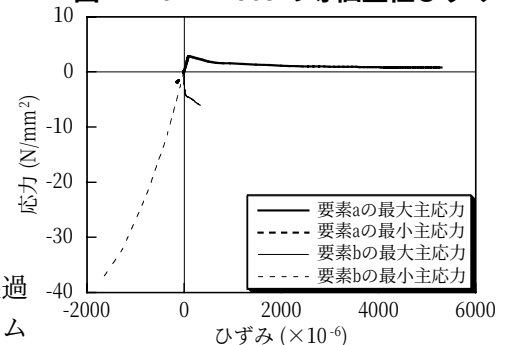


図-11 主応力履歴