r۶

剛体 - バネモデルを用いた大型RCはりのせん断強度の寸法効果解析

清水建設技術研究所 正会員 吉武 謙二

f_c

1.はじめに

表 - 1

試験体

No

1

5

7

有効 高さ

d (m)

0.1

1.0

3.0

せん断補強鉄筋を用いないRCはりは、有効高さが高くなるにつれて破壊モードが延性的な曲げ破壊から脆性的な 斜め引張破壊に推移し ,せん断強度が有効高さの1/4乗に反比例して低減する寸法効果が存在することが知られてい る。よって、安全かつ合理的な設計をするためには、寸法効果を精度良くシミュレートすることが非常に重要である。

本研究では,塩屋らにより実施された等分布荷重を受けるRCはりのせん断強度に関する実験¹のうち有効高さが 10cm,1m,3mの試験体を対象とする。破壊モードの推移やせん断強度の低下など RC はりのせん断破壊挙動に及ぼす 寸法効果の影響を再現することを目的として,剛体 - バネモデル²¹を用いて解析を実施し考察を加えた。 2.解析手法および解析モデル

コンクリート要素は、要素分割依存性を低減させるためVoronoi多角形に分割 する。各要素を剛体と仮定し要素内の任意点に2次元剛体変位の3自由度を配 する。要素の境界辺に垂直バネとせん断バネからなるバネ系を設け、バネに集 中化したエネルギーを評価する。垂直バネで圧縮および引張挙動を, せん断バ ネでせん断すべり挙動をモデル化する。ひび割れは全てのコンクリート要素の バネに対して図 - 1に示す $r = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_t^2} er_f$ の比 r/r_f が1以上で最大のバ ネのみ発生するとし,ひび割れ発生後は図-2に示す弾塑性破壊モデルに従う と仮定する。

鉄筋は,図-3に示すように1次元はり要素を用いてモデル化する。コンク リート要素内の計算点とその要素内に存在する鉄筋はり要素の節点間にリンク 要素を設定することにより,コンクリートと鉄筋間の付着すべり挙動を表現す る。鉄筋要素はバイリニアモデル,付着すべり挙動は,CEB-FIP Model Code 1990³により設定した。材料定数は表 - 1 に示すように実験時の材料試験に基づ き設定した。また,破壊エネルギーG_cは全ての解析において0.07 N/mmとした。

収束判定は、不平衡力の二乗和の平方根が10%以下の場合、収束が得られたと 判定し,収束が得られない場合は,次のステップに誤差を持ち越した。等分布 荷重載荷のため,荷重制御による増分解析を行った。図-4に試験体No.7に用 いた要素メッシュを示す。全ての試験体のコンクリート要素数は2000個とした。



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



3. 解析結果

実験と解析における最大耐力時におけるひび割れ発生状況を図 -5,6,7に示す。解析でのひび割れ線は計算で得られたひび 割れ幅と比例させて表示している。実験での破壊モードは試験体 No.1は曲げ破壊,試験体 No.5と試験体 No.7は斜め引張破壊で あった。解析では試験体 No.1は曲げひび割れが卓越し,鉄筋降 伏後,最大耐力に至った。試験体 No.5と試験体 No.7は曲げひび 割れが先行して発生・進展した後,最終的にスパン左側に斜め引 張ひび割れが発生し最大耐力に至った。実験と比較すると曲げひ び割れの本数,斜め引張ひび割れの角度が若干異なったが,有効 高さの影響による破壊モードの推移や斜め引張ひび割れの発生を 捉えることができた。

図-8に実験と解析の試験体中央下部での鉛直変位と 載荷圧 カと収束誤差との関係を示す。試験体 No.1の曲げ応答は,実験 と解析で良好に対応している。解析は鉄筋降伏後,鉛直変位が約 8mm で試験体中央部の曲げひび割れが急激に進展し,収束が得 られず計算を終了した。

試験体 No.5 では若干最大耐力が高く評価されたものの,実験 と同様に鉄筋は降伏しておらず,ひび割れ発生後の第二剛性など のせん断応答は良好に再現された。変位が約10mmで曲げひび割 れが急激に発生・進展し,収束が得られないステップがあったが その後は収束が得られ,最終的に斜め引張ひび割れ発生後,収束 が得られず計算を終了した。

試験体 No.7 は試験体 No.5 と同様に鉄筋は降伏せず,最終的に 斜め引張ひび割れ発生後,計算を終了した。最大耐力やひび割れ 発生後の第二剛性などのせん断応答は良好に再現された。

図 - 9に,実験と解析における有効高さと支点から1.5 d の位 置でのせん断強度の関係を示す。荷重制御による増分解析を実施 したためポストピーク挙動を追跡できなかったものの,実験と同 様に有効高さが高くなるにつれて,せん断強度が低下しており, せん断強度の寸法効果を良好に再現することができた。

4.まとめ

Voronoi分割により要素分割依存性を低減させた剛体 - バネモ デルを用いて,有効高さの異なるRCはりのせん断挙動について 解析を実施した。その結果,有効高さが高くなるにつれて,曲げ 破壊から斜め引張破壊となる破壊モードの推移やせん断強度の低 下などのRCはりのせん断挙動に及ぼす寸法効果の影響を良好に 再現することができた。しかし,実験と比較して曲げひび割れの 本数,斜め引張ひび割れの角度が若干異なった。

今後は,ひび割れ性状を詳細にシミュレートするため,鉄筋と コンクリートとの付着モデルやコンクリートのせん断モデルなど を改良していく予定である。

謝辞 本研究は , California大学 Davis校の John E. Bolander 助教授に多大 なご指導,ご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。 参考文献

1) 塩屋俊幸: "大型鉄筋コンクリート部材のせん断特性に関する研究", 東京大学博士論文,1987.

- 2) 川井忠彦,竹内則雄:"離散化極限解析プログラミング", 培風館, 1990.
- 3) CEB : " CEB-FIP Model Code 1990 ", 1991.