水平二方向加力でせん断破壊する実規模 RC 部材への三次元材料非線形有限要素法解析の適用

(一財)電力中央研究所 正会員 ○小松 怜史 松尾 豊史 大成建設(株) 正会員 畑 明仁 関西電力(株) 正会員 横田 克哉

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)製地中構造物の耐震性能照査法の高度化・標準化に向けた取り組みに関して、これ まで数値解析検証用のベンチマーク実験は二次元解析を想定したものに留まっていた¹⁾.そこで、筆者らは水 平二方向加力を受ける実規模 RC 部材の載荷実験を行い、数値解析の適用性を検証した.本報では、せん断破 壊で崩壊する RC 部材に対して、三次元材料非線形有限要素法による数値解析を実施した結果を報告する.

2. 実験条件

詳細は別報²に譲り,ここでは解析結果の考察に必要な概要のみを記す.解析対象とした実規模 RC 柱部材の外寸および載荷パターンを図-1,2に示す.コンクリートの設計圧縮強度は 32.1N/mm² である.コンクリート標準示方書[設計編](以下,示方書)³⁾のせん断耐力式で計算した結果,せん断耐力は 1135.0kN,曲げせん断強度比は 0.85 である.フーチングと基部間に打継目を設けず,コンクリートー体打ちとした.

3. 解析条件

東京大学コンクリート研究室で研究・開発が進められている解析コード COM3⁴⁾をもとに作成された汎用ソフト COM3D を使用した. コンクリートの構成則は時間依存型で,2次元の多方向非直交固定ひび割れモデル,1次元の圧縮,引張,せん断伝達モデル等で構成されている.要素分割の様子を図-3に,解析の主なインプット値を表-1に示す.材料の物性値は基本的に同材料で製作された試験体から得られ結果を活用した.コンクリートの引張強度は,載荷までに生じる内部応力(水和熱による温度応力,自己・乾燥収縮による応力等が要因)を考慮し,既往の研究成果を参考¹⁾に,示方書³⁾から算出される引張強度の6割に低減させた.本報では主方向の載荷(図-2の N-1:①②方向, N-2-1:①②方向, N-2-2:④⑤方向)の結果を示す.なお,載荷履歴(速度・時間)を実験と概ね合わせるため,いずれのケースも最大変形時,変位を30分間保持している.

4. 解析結果および考察

各試験体の荷重変位関係を図-4~6 に示す. 図中には,各鉄筋の降伏点も併記した. N-1 では,斜めひび割 れが進展し,最終的に基部コンクリートが圧壊したことで耐力が低下した状況(図-7)が実験と解析で一致し ていた. N-2-1 の解析では,基部隅角部での局所的な損傷が顕著となり(図-8),N-1 と比べ最大耐力が大きく なった. N-2-2 の解析では,直交方向のせん断ひび割れ発生の影響で,主載荷方向のせん断ひび割れの進展が 妨げられ(図-9),N-1 と比べ最大耐力が増加した.本解析は,二次元解析では評価が難しい破壊形態もほぼ 再現可能であり,実験結果で得られた荷重変位関係を最大荷重時点まで概ね評価出来ることが確認された.

各試験体の解析精度を評価した結果を表-2 に示す.各鉄筋の降伏強度は 25%以下の推定精度であった.主鉄筋に比べ,側方鉄筋の降伏点の推定精度がやや劣る理由として,解析では側方鉄筋が RC 部材全体に分散して配置されており,実際の離散的な配筋状況と異なることが一因と考えられる.また,鉄筋降伏荷重の推定精度がせん断耐力よりも低いのは,降伏位置や評価領域の影響も受けるためと考えられる.一方で,せん断耐力に対する解析精度は 10%以下であり,コンクリートが分担するせん断耐力評価式 ³⁾の部材係数 y_b=1.3 よりも十分に小さい範囲となった.

5. おわりに

本検討結果は、三次元非線形解析を用いた RC 地中構造物の耐震性能照査において解析精度を評価するための基礎資料とする.また、今後は耐震性能照査における各種限界値の適用性検討も併せて行う予定である. キーワード RC 製地中構造物、水平二方向加力、三次元材料非線形有限要素法解析、耐震性能照査 連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 TEL 080-3024-6853 E-mail komatsu3762@criepi.denken.or.jp



謝辞

本研究は電力9社と日本原子力発電(株),電源開発(株),日本原燃(株)による原子力リスク研究センター 共通研究の一部として実施した.また横浜国立大学の前川宏一教授との議論が参考になった.深謝致します.

参考文献

 1) 土木学会原子力土木委員会:原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル・照査例 2018
2) 坂下ほか:実大規模二方向載荷実験による載荷履歴がせん断耐力に与える影響の検討,土木学会第75回年次学術 講演概要集(投稿中)

3) 土木学会:コンクリート標準示方書[設計編] 2017

4) K. Maekawa et al.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, CRC Press