

鉄筋コンクリート部材の構造実験データのばらつきと 数値解析の精度に関する研究

国際地震工学センター 主任研究員 諏訪田 晴彦

I はじめに

鉄筋コンクリート部材をコンクリートの設計基準強度や鉄筋の規格降伏強度に基づいて、同一の設計条件で設計した場合、設計式や数値解析で想定する強度や破壊性状に対する実験値のばらつき程度は必ずしも明確ではない。そこで、本研究では、同一の条件で設計・施工された鉄筋コンクリート造梁試験体の過去10年分(2009年～2018年)の曲げせん断実験データを対象として、同一の設計条件であっても確実に発生するであろう材料強度のばらつき、部材の強度や破壊性状のばらつきを確認したうえで、汎用FEM解析による推定精度を検証した。

II 検討対象

本研究で検討対象とした鉄筋コンクリート造梁試験体の形状・配筋詳細を図1に示す。試験体は、せん断破壊先行型のSタイプと曲げ降伏先行型のFタイプを計画した。試験体の設計においては、建築物の構造関係技術基準解説書(2007年版)で推奨されている方法を用いて行う方針とし、曲げ降伏強度の計算には略算式を用い、せん断終局強度の計算には修正荒川式を用いた。また、同書の付録で推奨されている方法により付着割裂破壊に関する計算を行った結果、Sタイプでは、付着割裂破壊を防止するための条件を満たしたが、Fタイプでは、曲げ降伏後(両端部にヒンジが発生する場合)に付着割裂破壊を完全に防止するための条件を満たしていない。なお、コンクリートの目標強度は、開発途上国に向けたデータベースとしても活用することを意図して低強度の18N/mm²として配合計画を行い、鉄筋はすべてSD295Aを使用した。材料試験結果を図3に示す。また、本研究では、実験結果のばらつきに対する汎用FEM解析プログラムDIANAによる解析精度の検証を行った。要素分割図を図2に示す。解析は2次元解析とし、コンクリートには4節点平面応力要素、主筋にはトラス要素、せん断補強筋には埋込鉄筋要素、主筋とコンクリート間には付着を考慮するためのインターフェース要素を用いた。

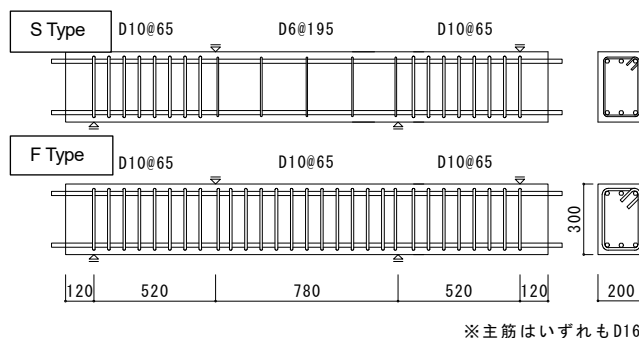


図1 検討対象試験体の形状・配筋詳細

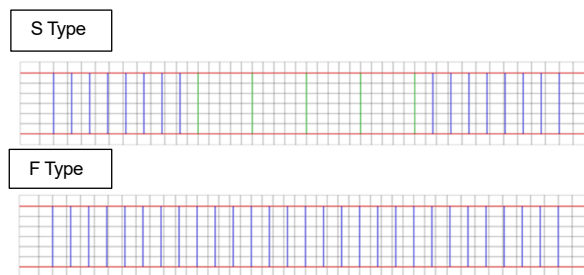


図2 FEM解析の要素分割図

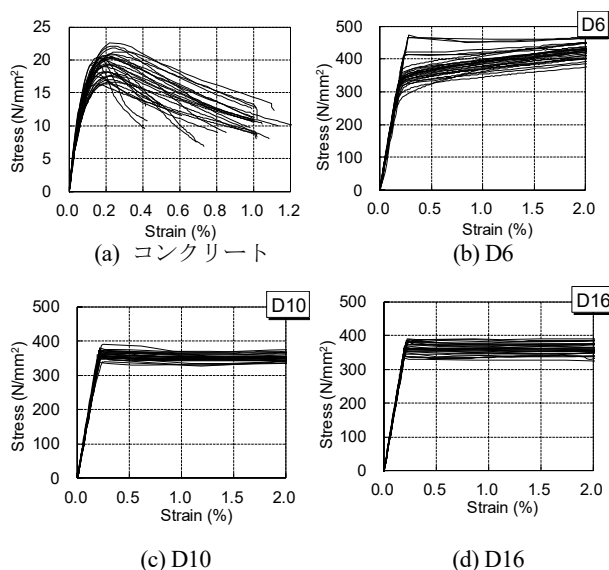


図3 材料試験結果

III 結果と考察

載荷実験および FEM 解析から得られた全試験体のせん断力-一部材角関係を図 4 に示す。実験結果については、S タイプおよび F タイプともに耐力にばらつきが生じており、特に S タイプで顕著である。一方、解析結果については、実験結果よりもばらつきの程度が小さくなっていることがわかる。試験体設計時に想定した部材耐力および破壊形式に対する実験結果の一覧を表 1 に示す。部材耐力については、S タイプでは実験値が設計値に対して 1.05 倍～1.37 倍、F タイプでは 0.97 倍～1.26 倍であった。破壊形式については、S タイプでは付着割裂破壊は生じないものと予測されたが、10 体中 8 体で付着割裂破壊が観察された。また、F タイプでは、すべての試験体が設計での想定通りに曲げ降伏している。

S タイプのせん断強度および F タイプの曲げ降伏強度について、FEM 解析の推定精度を検証した結果を図 5 に示す。S タイプについては、10 体中 8 体で実験結果を危険側に評価しており、ばらつきも大きいことがわかる。F タイプについては、すべて実験結果を安全側に評価しており、ばらつきは S タイプに比べて小さい。以上のことから、同一の条件で設計され、同一の載荷条件で実験を行った梁部材であっても、曲げ降伏前に脆性的な破壊（せん断破壊や付着割裂破壊）が先行するような部材では、FEM 解析の推定精度は必ずしも高いとは言えない。

IV まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめて示す。

- (1) S タイプでは、設計時には付着割裂破壊は生じないものと予測されたが、10 体中 8 体で付着割裂破壊が観察された。また、設計値に対する実験値の比は 1.05 倍～1.36 倍であった。F タイプでは、全ての試験体が設計での想定通りに曲げ降伏し、設計値に対する実験値の比は、0.97 倍～1.25 倍であった。
- (2) S タイプの実験結果に対する汎用 FEM 解析の結果は、10 体中 9 体の部材強度を危険側に評価するとともにばらつきも大きく、さらに破壊形式に対する再現性も低かった。そのため、解析に用いる構成則モデルの選定にはかなりの注意を要するといえる。
- (3) F タイプの実験結果に対する汎用 FEM 解析の結果は、全ての試験体の部材強度をほぼ安全側に評価するとともにばらつきも S タイプほど小さくなく、破壊形式の再現性もおおむね良好であった。

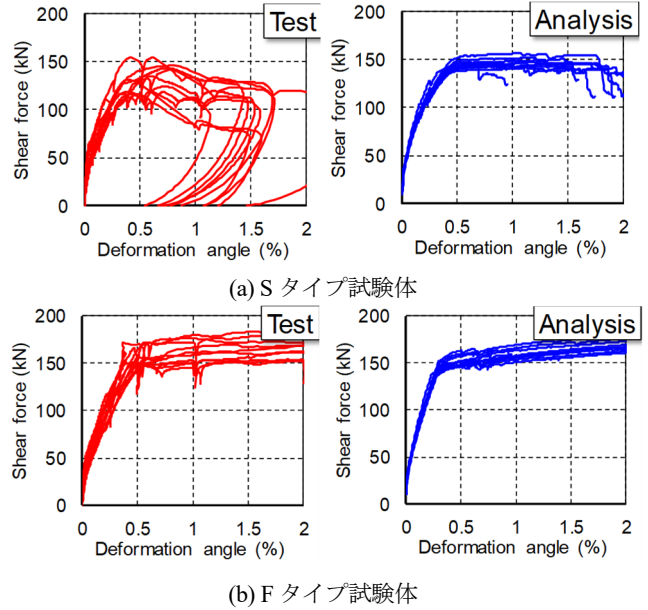


図 4 せん断力-一部材角関係

表 1 設計時の想定と実験値の比較一覧

実験年度	最大耐力 (kN)			破壊形式	
	設計値	実験値	実験値/設計値	設計	実験
2009	112.7*	146.4	1.30	せん断破壊	付着割裂破壊
2010		154.7	1.37		付着割裂破壊
2011		141.4	1.25		付着割裂破壊
2012		130.0	1.15		せん断破壊
2013		118.4	1.05		せん断破壊
2014		143.2	1.27		付着割裂破壊
2015		124.2	1.10		付着割裂破壊
2016		135.2	1.20		付着割裂破壊
2017		118.5	1.05		付着割裂破壊
2018		119.3	1.06		付着割裂破壊

※コンクリートの目標強度18N/mm²、鉄筋の予測強度343N/mm²を用いて修正荒川式により計算した値

実験年度	降伏耐力 (kN)			破壊形式	
	設計値	実験値	実験値/設計値	設計	実験
2009	122.5**2	146.4	1.20	曲げ降伏	曲げ降伏
2010		154.7	1.26		曲げ降伏
2011		141.4	1.15		曲げ降伏
2012		130.0	1.06		曲げ降伏
2013		118.4	0.97		曲げ降伏
2014		143.2	1.17		曲げ降伏
2015		124.2	1.01		曲げ降伏
2016		135.2	1.10		曲げ降伏
2017		118.5	0.97		曲げ降伏
2018		119.3	0.97		曲げ降伏

※コンクリートの目標強度18N/mm²、鉄筋の予測強度343N/mm²を用いて略算式により計算した値

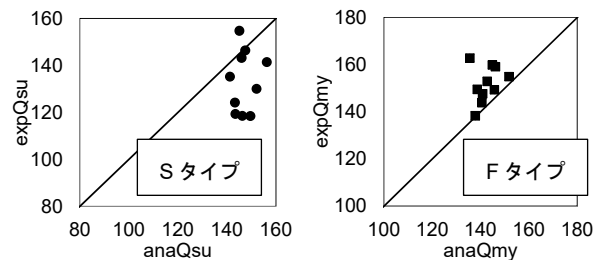


図 5 FEM 解析の推定精度に関する検証結果