

短スパン RC 梁部材に関する FEM 解析研究

建築学専攻
建築構造システム研究

MJ23065 櫻井 智 清
指導教員 石川 裕次

1. はじめに

今日、全国的に住宅用途の地価は上昇しており、特に東京圏では大きく上昇し続けている。東京都心部の地価上昇に伴い、整った広大な土地の取得は困難になっており、限られた土地を有効活用した、狭小敷地・高アスペクト比の住宅の需要が継続的に高いといえる。狭小敷地で大空間な計画とするには、耐震要素である構造躯体を建物のコア部や外周部に集約させる架構が適しており、開口部などに短スパン RC 梁が必要不可欠となる。本研究では、従来型配筋と X 形配筋の短スパン RC 梁を対象に実験を行い、実験結果と非線形有限要素法 (FEM) 解析による解析的研究結果を比較することで、適切な解析モデルの構築を目指す。

2. 実験概要

(1) 試験体計画

図-1 に試験体図、表-1 に試験体諸元を示す。試験体は 1/2 スケールを想定した、主筋を平行配筋した B1C00 試験体、X 形配筋した B1X00 試験体の計 2 体である。いずれも短スパン (せん断スパン比 1.13) とし、プレキャスト工法を模擬し、試験区間とスタブを打ち分ける製作手順とした。

(2) 荷重計画

荷重方法は、90 度回転して柱状に配置した試験体の上下スタブの平行と軸方向力 (＝0) を維持するように制御し、正負交番繰返し荷重する形式とした(図-2 参照)。部材角 $R=\pm 1.0\times 10^{-3}[\text{rad}]$ 、 $\pm 2.5\times 10^{-3}[\text{rad}]$ を各 2 回、長周期地震動を想定して $R=\pm 5.0\times 10^{-3}[\text{rad}]$ を 10 回正負交番荷重し、 $R=\pm 10\times 10^{-3}[\text{rad}]$ 、 $\pm 20\times 10^{-3}[\text{rad}]$ の後に、小変形サイクルを実施し、 $R=\pm 30\times 10^{-3}[\text{rad}]$ 以降、試験体の耐力が最大耐力から約 20%低下するまで加力した。

3. FEM 解析

3.1 解析モデル・手順

解析は、非線形 FEM 解析ソフト「FINAL」を用いて行った。図-3 に、解析モデル図を示す。コンクリートは六面体要素、主筋およびせん断補強筋は線材要素でモデル化した。下スタブを固定し、上スタブ上面に強制変位を与え、荷重を行う。主筋-コンクリート間には付着要素を挿入し、鉄筋の付着すべりを再現した。図-4 に付着要素の応力-すべり関係を、表-2 にコンクリート材料構成則を示す。

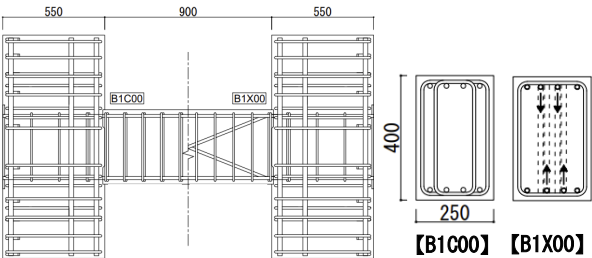


図-1 試験体図 (左 : B1C00, 右 : B1X00)

表-1 試験体諸元

試験体	B1C00	B1X00
配筋方法	平行配筋	X 形配筋
断面	250×400 (M/QD=1.13)	
平行配筋 (主筋)	4-D16	2-D16
引張鉄筋比 :	(SD490 $\sigma_f=528$)	(SD490 $\sigma_f=528$)
p_{ts} [%]	$p_{ts}=0.87$ [%]	$p_{ts}=0.44$ [%]
X 形配筋 (主筋)	---	2-D16 (SD490)
X 形引張鉄筋比 :	---	$p_{ts}=0.41$ [%]
p_{td} [%]	---	---
横補強筋	4-D10@100	2-D10@100
横補強筋比 :	(SD785 $\sigma_f=849$)	(SD785 $\sigma_f=849$)
p_v [%]	$p_v=1.14$ [%]	$p_v=0.57$ [%]
X 形筋補強筋比 :	---	$p_{w}=0.33$ [%]
p_w [%]	---	---
コンクリート圧縮強度 :	37.7	38.7
f'_c [N/mm ²]	(スタブ : 66.4)	(66.4)
割裂引張強度 :	3.18	3.08
f_t [N/mm ²]	(スタブ : 4.56)	(4.56)

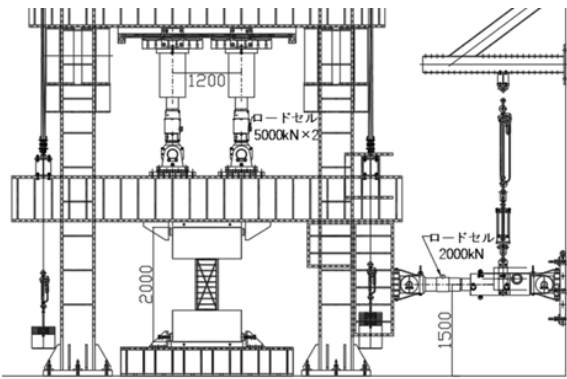


図-2 加力装置図

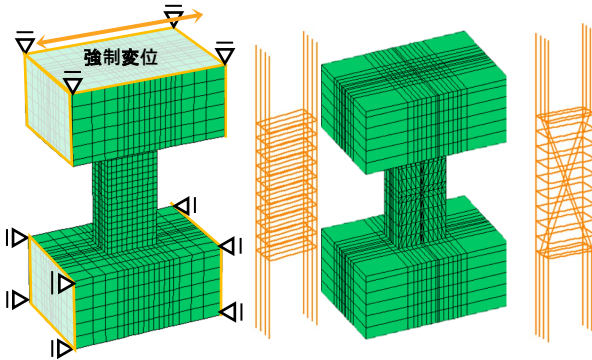


図-3 解析モデル (左 : B1C00, 右 : B1X00)

表-2 材料構成則

材料構成則	コア・かぶり部分
テンションスティフニング特性	出雲モデル ³⁾ $c=0.4$
圧縮強度上昇・軟化域	修正 Ahmad モデル ⁴⁾
圧縮破壊条件	Willam-Warnke の 5 パラメータモデル, 大沼らの係数 ⁴⁾
ひび割れ後のせん断伝達	長沼の提案モデル ⁵⁾

表-3 解析諸元

(付着要素の有無)

	試験 区間	スタブ
FEM1	無*	無*
FEM2	有	有
FEM3	有	無*

*付着要素無は完全付着状態

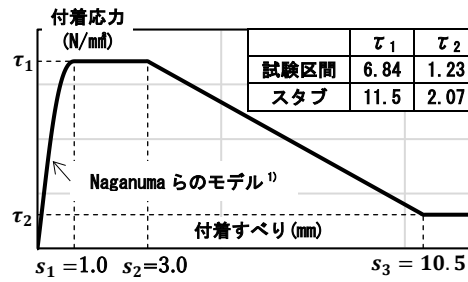


図-4 付着応力-すべり関係

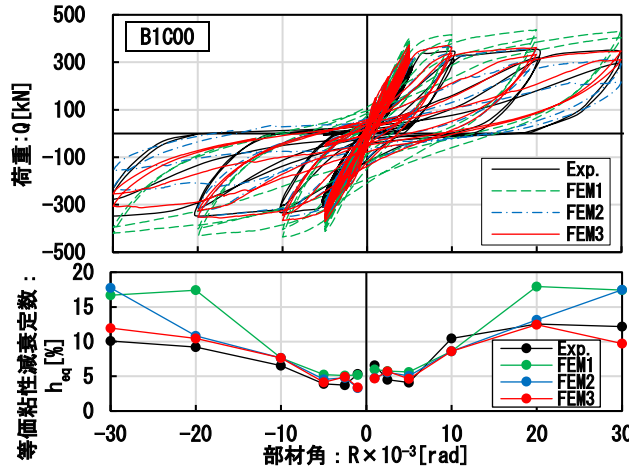


図-5 上：荷重-変形角関係，下：等価粘性減衰定数（左：B1C00，右：B1X00）

付着応力-すべりモデルは Elmorsi ら²⁾の提案より決定し、試験区間の最大付着応力度 τ_1 は RC 靱性指針⁶⁾の付着信頼強度、スタブの τ_1 は柱通し配筋の付着強度とし、 τ_2 は森田・角ら⁷⁾の提案より、 τ_1 の 0.18 倍とした。

平行配筋試験体である B1C00 での解析（表-3 参照）より妥当性を検証後、X 形配筋試験体である B1X00 について解析を行った。

3.2 解析結果

解析と実験結果の比較を図-5 に示す。実験では、B1C00 試験体では部材角 $R=+50 \times 10^{-3} [\text{rad}]$ 、B1X00 試験体では $R=+60 \times 10^{-3} [\text{rad}]$ まで加力したが、コンクリート破壊後の解析精度低下を考慮し、 $R=\pm 30 \times 10^{-3} [\text{rad}]$ のサイクルまでを示した。また、下図には等価粘性減衰定数の比較を示した。

B1C00 の解析において、主筋とコンクリート間の付着要素を、付着すべりを考慮しない完全付着とした FEM1 では、荷重-変形角関係では実験結果 Exp. を大きく上回り、 $R=+20 \times 10^{-3} [\text{rad}]$ 以降の等価粘性減衰定数も過大評価した。付着要素を適用した FEM2 では、最大耐力は概ね一致したが、 $R=+30 \times 10^{-3} [\text{rad}]$ のサイクルでは実験結果を過小評価した。試験区間のみに付着要素を適用した FEM3 では、小変形時には実験結果を過小評価する傾向があったが、大変形まで良好な対応を示した。

B1X00 では、B1C00 試験体の解析で良好に対応した FEM3 と同様の条件で解析を行った。履歴特性、エネルギー吸収能のどちらも良好な対応を示した。

4. まとめ

配筋方法の異なる短スパン梁について、異なる条件で FEM 解析を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 鉄筋とコンクリートの付着特性を考慮することで、履歴特性、エネルギー吸収能を良好に再現できた。
- 2) X 形配筋試験体においても、平行配筋と同様に解析を行うことで、実験結果と良好な対応を示すことを確認した。

参考文献

- 1) Naganuma, K., Yonezawa, K., Kurimoto, O. and Eto, H.: Simulation of nonlinear dynamic response of reinforced concrete scaled model using three-dimensional finite element method, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper, No.586, August., 2004.
- 2) Elmorsi, M., Kianoush, M.R. and Tso, W.K. : Modeling bond-slip deformations in reinforced concrete beam-column joints, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.27, pp.490-505, 2000.
- 3) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫: 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学論文, No.87.9-1, pp.107-120, 1987.9
- 4) 長沼一洋: 三軸圧縮下のコンクリートの応力～ひずみ関係, 日本建築学会構造系論文集, 第 474 号, pp.163-170, 1995.8
- 5) 長沼一洋: 鉄筋コンクリート壁状構造物の非線形解析手法に関する研究 (その 1), 日本建築学会構造系論文報告集, 第 421 号, pp.39-48, 1991.3
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説, 1997
- 7) 森田司朗, 角徹三: 繰返し荷重下における鉄筋とコンクリート間の付着特性に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 229 号, pp.15-24, 1975.3