

3. L形鉄筋コンクリート造耐震壁の構造性能に対する軸力の影響について

Experimental Study on Effect of Axial Force for Structural Performance of RC

L-shaped Shear Walls

中澤 敏樹*¹ 佐藤 尚隆*¹ 山内 豊英*¹
菊地 克典*² 飛田 喜則*³

要 旨

コア壁構造に水平力が作用した場合の構造性能に対する軸力の影響を把握する目的で、軸力比を変えた等辺L形コア壁2体の構造実験を行った。実験の結果、両試験体共に正加力時では部材角 $R=+0.75\%$ まで、負加力時では -2.00% までは線形なひずみ分布となり、平面保持が成立していたと考えられる。ファイバーモデルを用いた解析結果と実験結果を比較すると、低軸力試験体では $R=+0.5\%$ 、高軸力試験体では $R=\pm 0.25\%$ 以降で実験値を過大評価する結果となった。

キーワード：L形／コア壁／軸力／ファイバーモデル／鉄筋コンクリート構造

1. はじめに

前報¹⁾²⁾において、L形コア壁の構造性能を把握する目的で行った等辺および不等辺のL形壁に対する載荷実験について報告した。実験結果をファイバーモデルによる解析結果と比較すると、 45° 方向加力の場合、平面保持が成立すると思われる変形の範囲内では実験値を精度良く評価できた。しかし、変形が大きくなり平面保持が成立しなくなるとされる変形域では、実験結果を過大評価する結果となった。

今回、L形コア壁の構造性能に対する軸力の影響を把握するために、軸力比を変えた等辺L形コア壁2体の載荷実験を行った。実験の目的は、等辺L形コア壁の軸力による損傷状況の違いを把握し、荷重－変形関係を評価することである。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の諸元を表-1に、実験で用いた鉄筋とコンクリートの材料試験結果を表-2に示す。試験体の計画に際し、図-1に示すような建物のコア部分にL形の壁を4体組み合わせて配置したRC造40階建て集合住宅を想定した。

試験体は、上記モデル建物の低層部6層を想定したL形壁2体であり、L45Cは低軸力、L45Dは高軸力の試験体である。2体の試験体形状および配筋は同一であり、壁厚120mm、各辺720mmの等辺L形壁である。壁の隅角部および端部において120mm×120mmの領域を柱型と考え、横拘束

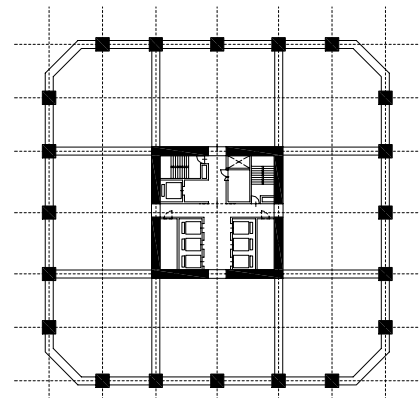


図-1 モデル建物

表-1 試験体諸元

試験体No.		L45C, L45D
L形壁断面	壁厚 D (mm)	120
	壁せい L (mm)	720
柱断面 (柱型A,B,C 共通)	b×D (mm)	120×120
	主筋	4-D13 (SD685)
	横拘束筋 (せん断補強筋)	2-D6 @60 (SD295A) pw=0.88%
壁断面 (W1,W2 共通)	縦筋	2-D10 @60 (SD685) pw=1.98%
	横筋	2-D6 @60 (SD295A) pw=0.88%

表-2 材料試験結果

a) 鉄筋

呼び径	材質	σ_y	E_s
D6	SD295A	407	1.67
D10	SD685	701	1.85
D13	SD685	755	1.80

σ_y ：降伏強度 (N/mm²)

E_s ：ヤング係数 ($\times 10^5$ N/mm²)

b) コンクリート

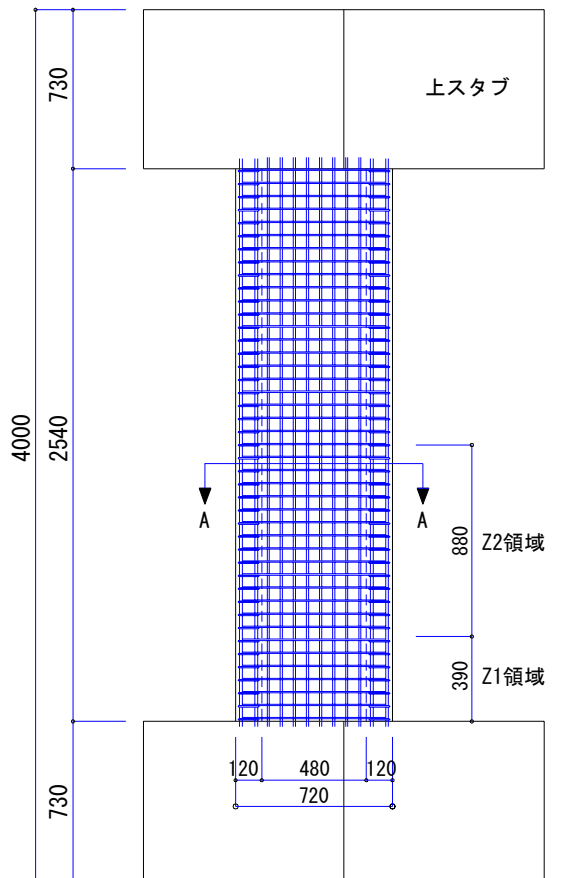
試験体	σ_B	E_c	σ_T
L45C, D	76.5	34.1	4.16

σ_B ：圧縮強度 (N/mm²)

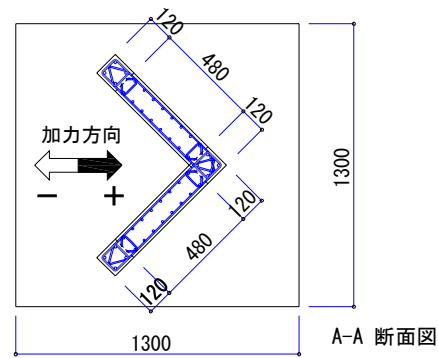
E_c ：ヤング係数 ($\times 10^4$ N/mm²)

σ_T ：引張強度 (N/mm²)

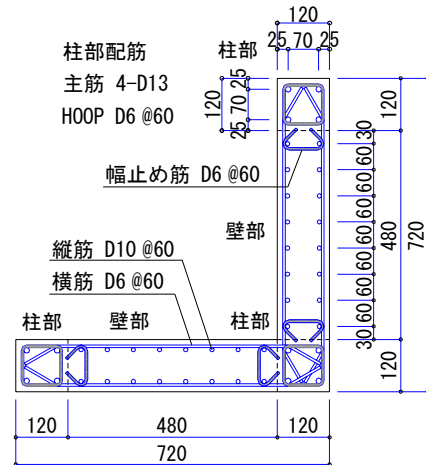
*¹ 技術研究所構造研究グループ *² 東京本店設計部構造グループ *³ 大阪本店設計部構造グループ



立面図



A-A 断面図



断面詳細図

図-2 試験体形状および配筋 (単位 : mm)

筋 D6 を口型に配筋した。また、柱型に最も近い壁縦筋には幅止め筋を配筋した。試験体の形状および配筋図を図-2 に示す。

2.2 荷重計画

荷重装置を図-3 に示す。水平力は 1000kN ジャッキ、軸力は 8000kN ジャッキ 2 本により加力した。荷重は上スタブ中心 (試験体脚部から高さ 2905mm の位置) における水平変位を同高さで除した変形角 R により制御した。

水平力は正負交番繰り返し静的荷重とし、荷重履歴を部材角 $R = \pm 0.05, \pm 0.10, \pm 0.25, \pm 0.5, \pm 0.75, \pm 1.0, \pm 1.5, \pm 2.0$ で各 2 回とした。モデル建物の地震応答解析の結果から図-4 に示すような変動軸力を作用させ、最大軸力比が L45C では 0.35、L45D では 0.5 となるようにした。同図における η は L 形壁全断面に対する軸力比である。

$\eta = N / (A \cdot F_c)$ (N : 軸力、 A : 断面積 158400mm^2 、 F_c : 標準シリンダー圧縮試験強度 76.5N/mm^2)

また、基礎スタブ上面より 0~390mm の区間を Z1 領域、390~1270mm の区間を Z2 領域と称す。

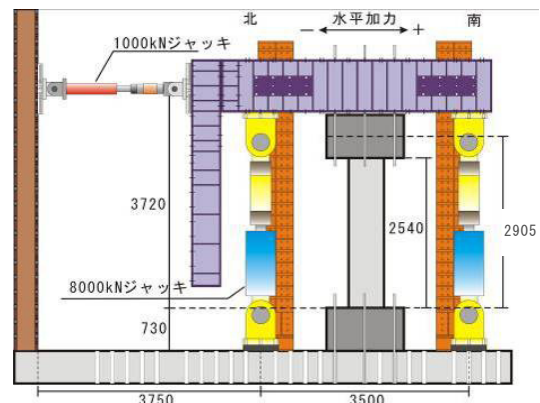


図-3 荷重装置

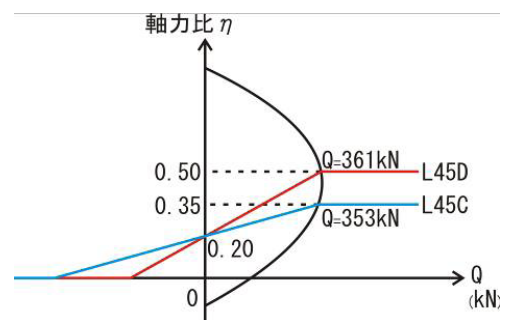
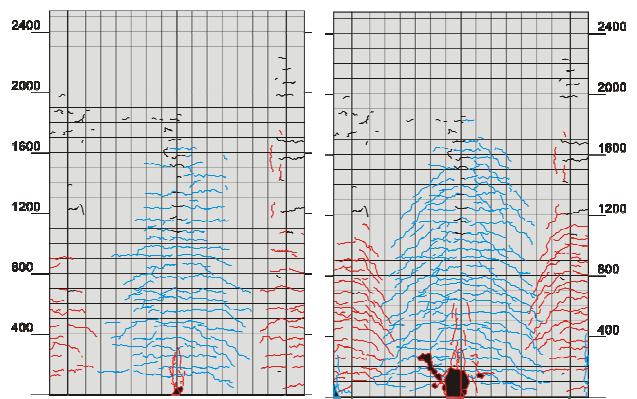
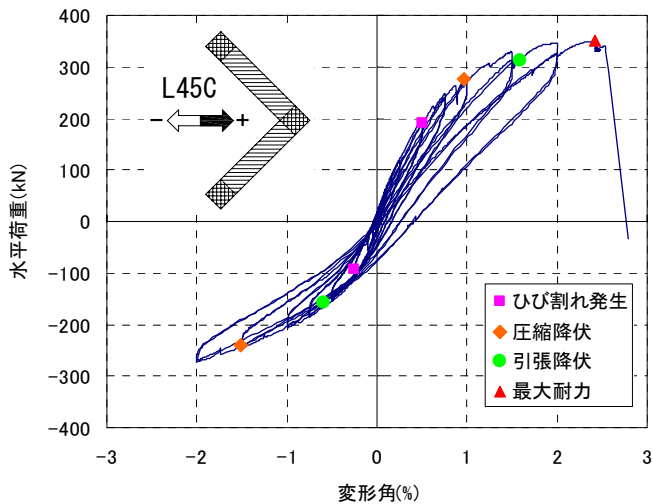


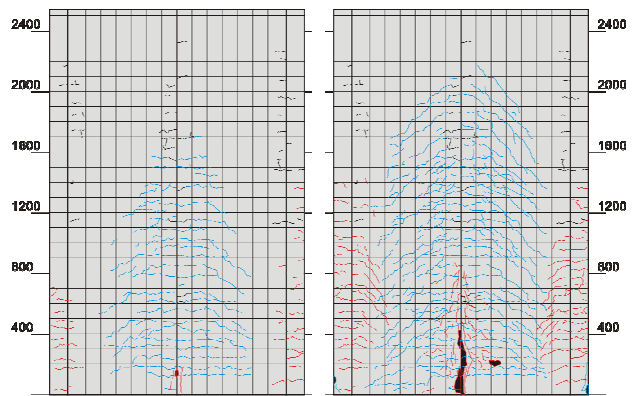
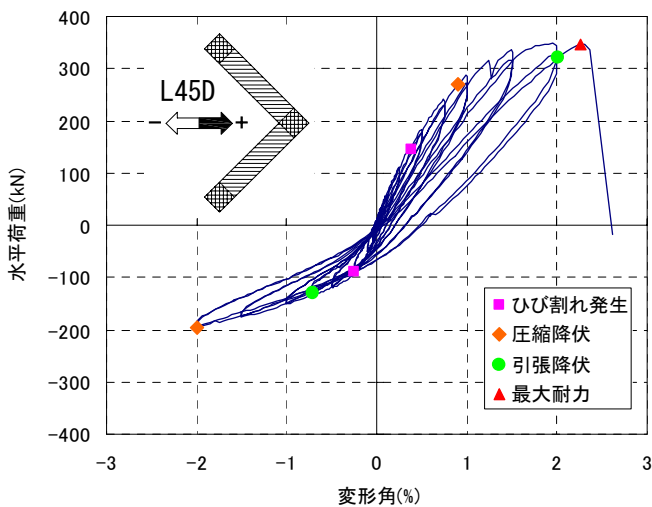
図-4 変動軸力荷重ルール



R=1.0%

R=2.0%

a) L45C



R=1.0%

R=2.0%

b) L45D

図-5 荷重－変形角関係

図-6 ひび割れ発生状況

3. 実験結果

3.1 実験経過

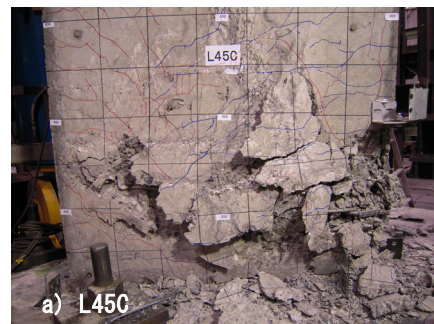
荷重－変形角関係を図-5に示す。変形角1.0%と2.0% 載荷サイクル終了時のひび割れ状況を図-6に、実験終了時の損傷状況を写真-1に示す。

(1) 試験体 L45C (低軸力)

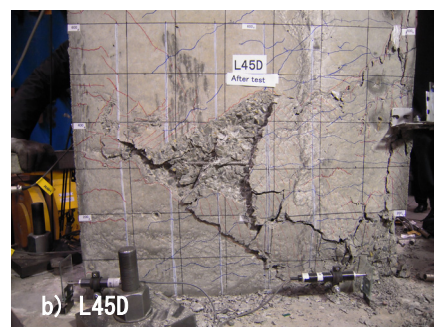
正加力側では、 $R=+0.50\%$ で端部に曲げひび割れが入り、その後曲げひび割れの本数が増加した。 $R=+0.75\%$ で、壁脚部の圧縮縁コンクリートに圧壊による縦ひび割れが入り、 $R=+1.00\%$ で隅角部柱脚部主筋が圧縮降伏した。

負加力側では、 $R=-0.25\%$ で曲げひび割れ、 $R=-1.50\%$ でL形断面の両端圧縮縁で圧壊による縦ひび割れが入った。

$R=+2.42\%$ で最大耐力 357kN に達したときに、壁脚圧縮領域 (L形隅角部) からコンクリートが圧壊した後、斜めせん断ひび割れに沿ってせん断すべりが生じ、最終的に隅角部の柱がせん断破壊した。



a) L45C



b) L45D

写真-1 実験終了時の損傷状況

(2) 試験体 L45D (高軸力)

正加力側では、 $R=+0.50\%$ で端部に曲げひび割れが入り、それ以降本数が増加した。 $R=+1.00\%$ で壁脚部の圧縮縁コンクリートに圧壊による縦ひび割れが入り、柱主筋が圧縮降伏した。隅角部柱の圧壊による縦ひび割れは、軸力の低いL45C では壁脚部から高さ600mmまでの範囲に発生したのに対し、高さ800mmまでの範囲で発生した。

負加力側では、 $R=-0.25\%$ で曲げひび割れが入り、 $R=-1.00\%$ で主筋の引張降伏が生じた。圧縮領域での圧壊と主筋の圧縮降伏が、 $R=-2.00\%$ で発生した。圧壊による縦ひび割れは、負側では軸力の低いL45C の400mm に比べて小さい高さ200mm までの範囲で発生した。

$R=+2.26\%$ で最大耐力 331kN に達したとき、L45C と同様にせん断破壊した。

3.2 断面のひずみ分布

図-7に示す柱主筋及び壁縦筋において、スタブ上面から50mm の高さ位置に貼付したひずみゲージにより測定した各変形角時のひずみ分布を図-8に示す。横軸の位置は隅角部からの距離を示す。

正加力側では、両試験体共 $R=+0.75\%$ まではひずみが線形に分布しており、平面保持が概ね成立したと考えられる。これ以降の変形角においては、隅角部に近い領域の圧縮ひずみが平面保持を仮定したひずみ分布に比べて大きくなり、圧縮破壊が進展したと考えられる領域が隅角部から徐々に広がっていく様子が観察された。圧縮ひずみの急激な進展は、材料試験におけるコンクリートの最大強度時ひずみ $\epsilon_c(0.29\%)$ を超えていた。圧縮域でのひずみは、高軸力のL45DがL45Cに比べて大きくなった。また、引張側のひずみは終始概ね線形であった。

負加力側では、軸力が小さいため正側のように圧縮破壊が顕著に進む様子は観察されず、 $R=-2.00\%$ まで各サイクルとも概ね平面保持と仮定できるひずみ分布を示した。

4. 解析結果

解析は平面保持を仮定したファイバーモデルによって行った。解析に用いたモデルを図-9 に、材料モデルを図-10 に示す。コンクリートの圧縮特性は、横拘束筋に囲われた領域を拘束領域とみなして孫・崎野モデル³⁾で、その他の領域を非拘束領域とみなして Fafitis-Shah モデル⁴⁾でそれぞれ評価した。コンクリートの引張特性に関しては、応力を負担しないモデルとした。鉄筋は完全弾塑性モデルとした。ファイバーモデルによる解析結果と実験結果との比較を図-11 に示す。

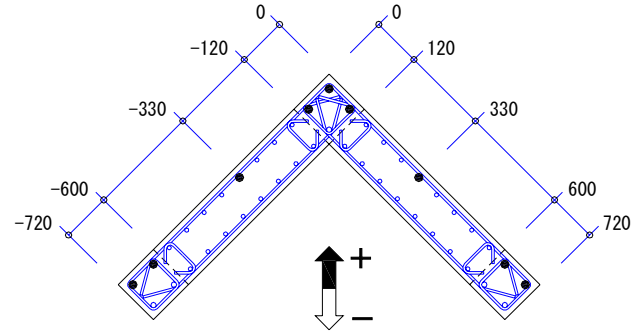


図-7 ひずみゲージ位置

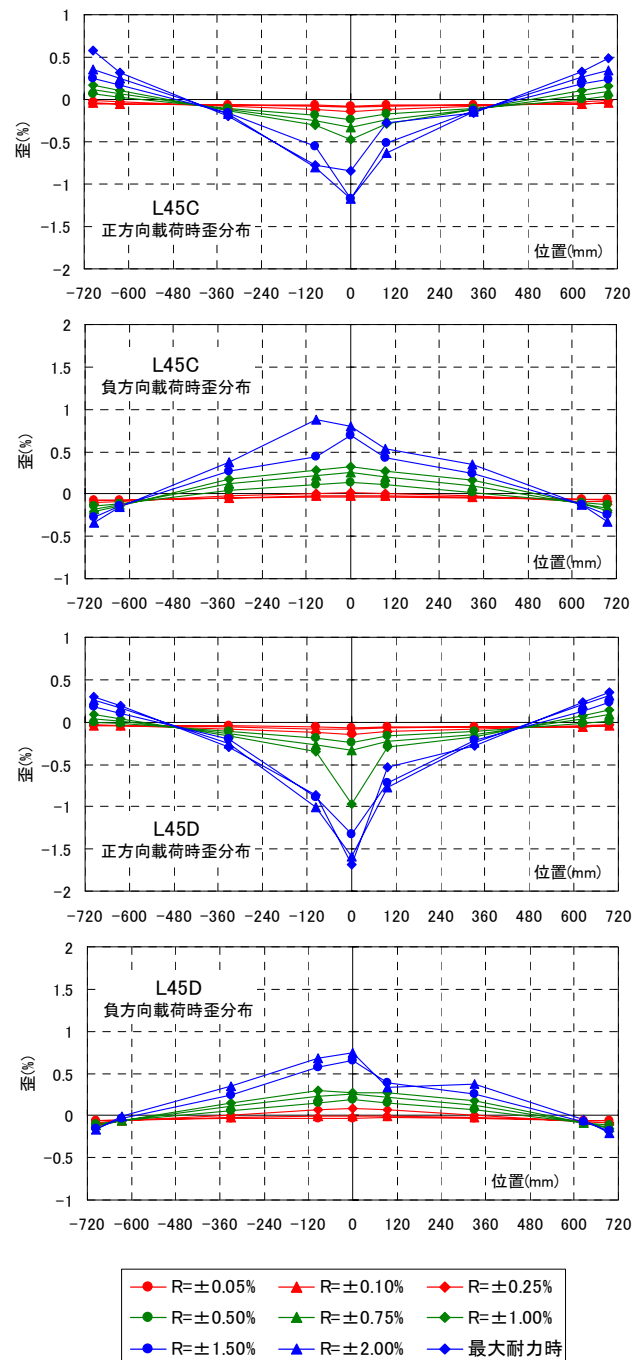


図-8 壁断面のひずみ分布

同図から、L45Cで $R=+0.5\%$ 、L45Dで $R=\pm 0.25\%$ 以降、耐力および剛性の解析値が実験値を過大評価する結果となった。

次に、試験体脚部から390mmまでの領域（Z1領域）と390mm～1270mm（Z2領域）における平均モーメント M と平均曲率 ϕ との関係を図-12、図-13に示す。

同図から、Z2領域では実験値と解析値は高い精度で整合している。しかし、Z1領域では、L45Cで $+400\text{kN}\cdot\text{m}$ 、L45Dで $+600$ 、 $-300\text{kN}\cdot\text{m}$ 以降で実験値と解析値が乖離している。この原因として、ファイバーモデルでは平面保持を仮定しているため、高軸力となる隅角部において圧

縮破壊後の損傷を適切に評価できていないことによると考えられる。このため、実設計においては、想定される変形域において圧縮破壊が発生しないように、隅角部の横補強筋量を決める必要があると思われる。

5. まとめ

超高層RC造40階建て集合住宅の低層6層部分を想定した等辺L形コア壁について、軸力比を変動因子とした試験体2体（L45C、L45D）の載荷実験を行い、復元力特性や損傷状況の違いを把握した。また、ファイバーモデルを用いた解析を行い、実験結果と比較した。得られた知見を以下に示す。

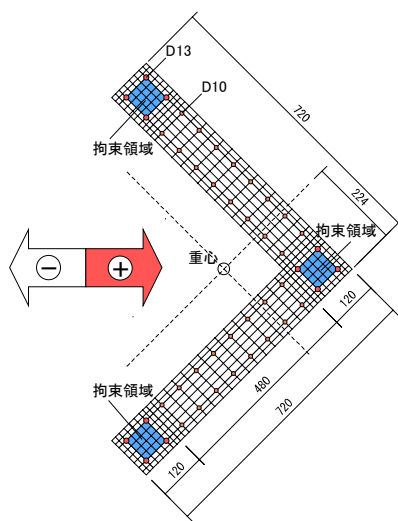


図-9 解析に用いたモデル

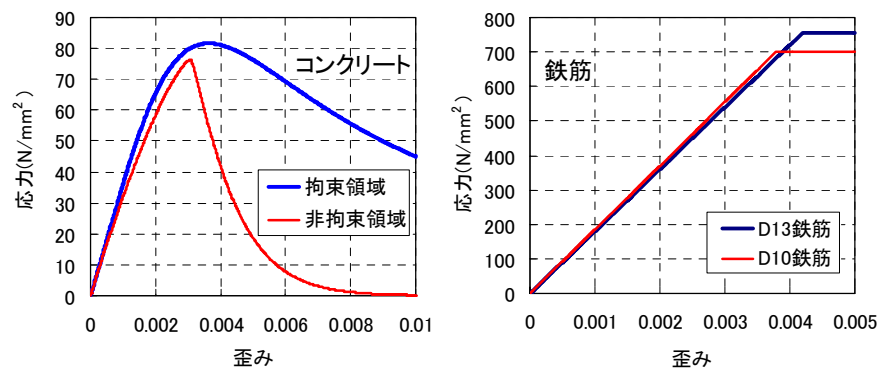


図-10 材料の応力-ひずみ関係

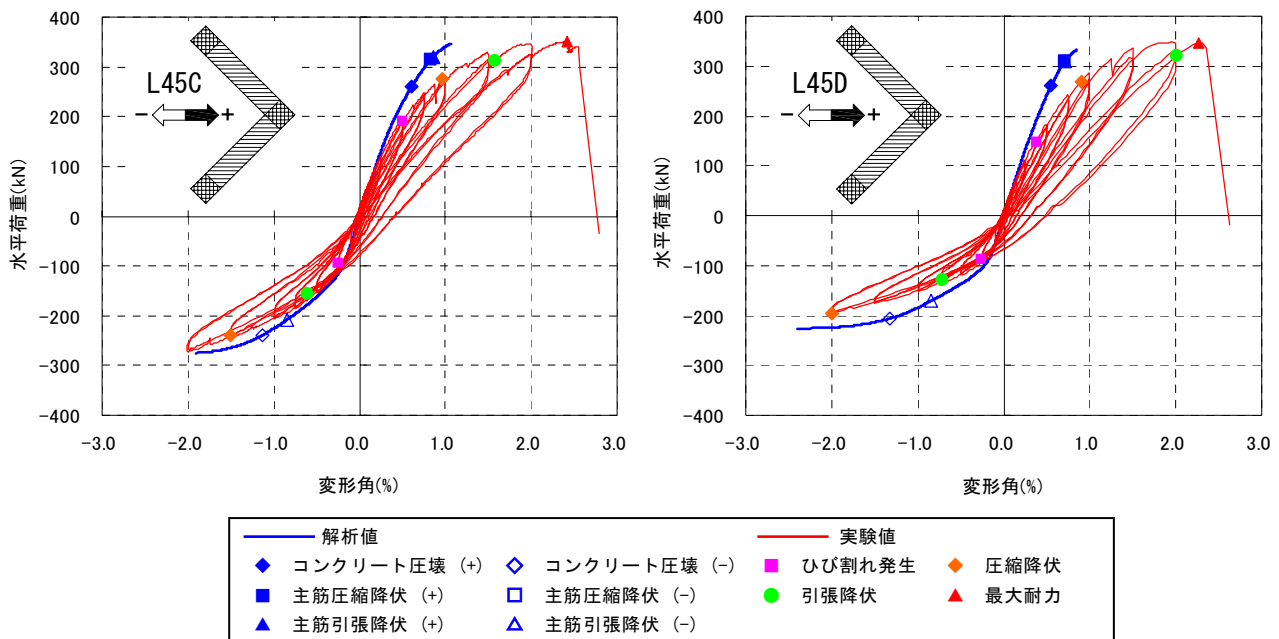


図-11 ファイバーモデルによる解析値と実験値との比較

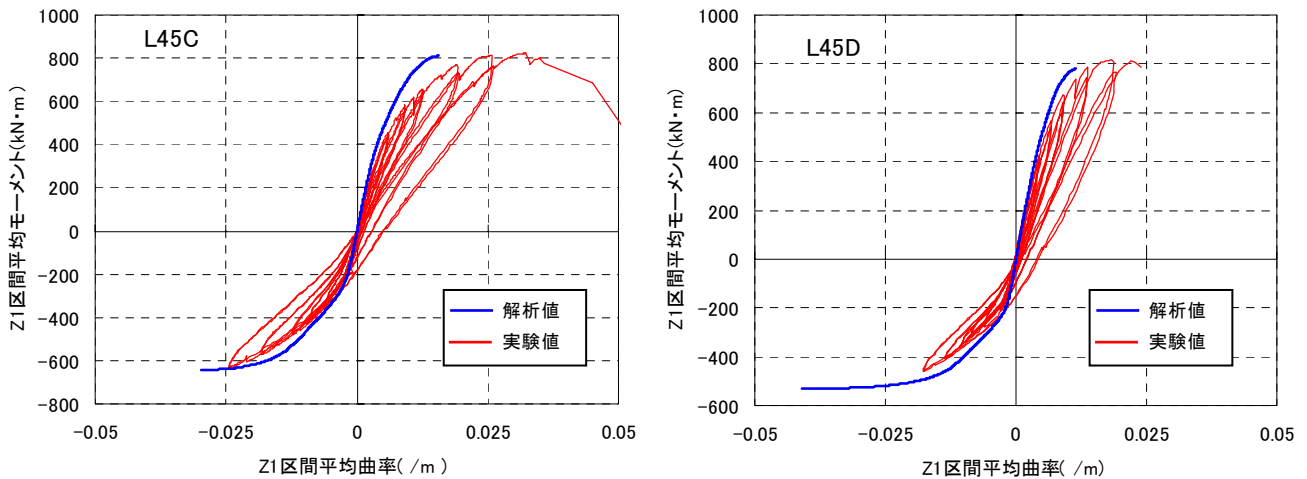


図-12 Z1 領域におけるモーメントー曲率関係

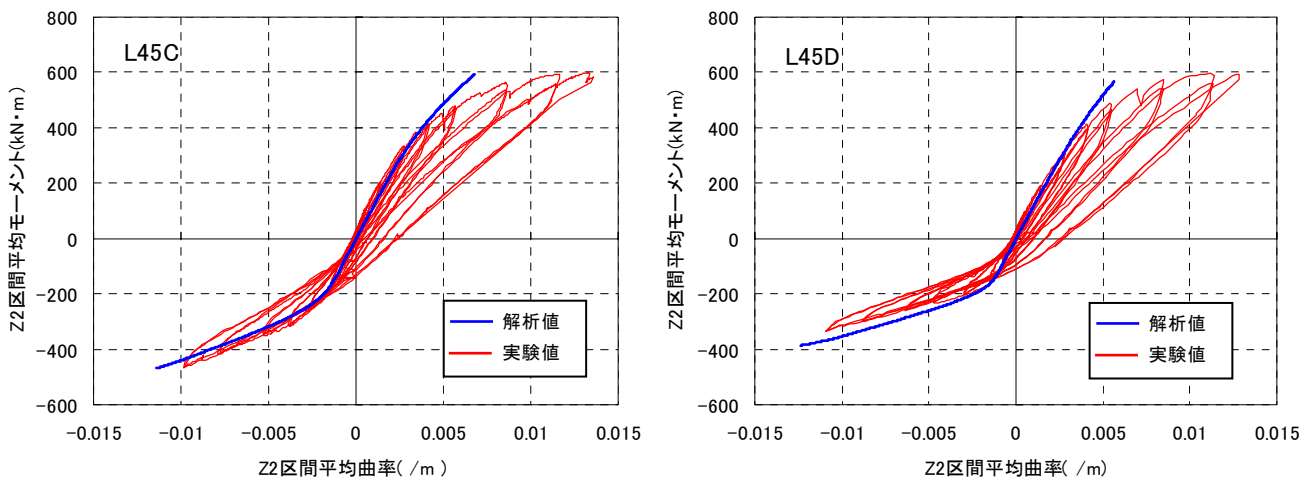


図-13 Z2 領域におけるモーメントー曲率関係

- 1) 低軸力試験体 L45C、高軸力試験体 L45Dのいずれも、正加力側では $R=+0.75\%$ まで、負加力側では $R=-2.00\%$ までひずみが線形に分布しており、平面保持が概ね成立したと考えられる。
- 2) ファイバーモデルを用いた解析結果を実験値と比較すると、L45Cで $R=+0.5\%$ 、L45Dで $R=\pm 0.25\%$ 以降、解析値が実験値を過大評価する結果となった。これは、高軸力となる隅角部において圧縮破壊後の損傷をファイバーモデルでは適切に評価できていないことに起因すると考えられる。

[謝 辞]

本研究は、京都大学の西山研究室と共同で実施しました。本研究を行うにあたり京都大学の河野進准教授にご指導頂きました。また、実験にあたり西山研究室の学生の方々にご協力を頂きました。関係者に深く謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 中澤敏樹、他：L 形鉄筋コンクリート造耐震壁の構造性能に関する実験研究、浅沼組技術研究報告、No.20、pp.7-11、2008。
- 2) 中澤敏樹、他：不等辺 L 形鉄筋コンクリート造耐震壁の構造性能に関する実験研究、浅沼組技術研究報告、No.21、pp.2-1-2-5、2009。
- 3) 孫玉平、崎野健治：高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱の靱性改善に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.15 No.2、pp.719-724、1993。
- 4) Fafitis, A. and Shah, S.P. : Lateral Reinforcement for High-Strength Concrete Columns, ACI SP-87-12, pp.213-232, 1999。
- 5) 阪本康平、稲田和馬、坂下雅信、河野進：L 型断面を有する RC 造コア壁の曲げせん断性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.32 No.2、pp.385-390、2010。