

鉄筋コンクリート造コア壁における壁板の中心圧縮実験

畠 中 隆 一*・仲 地 唯 治**

Compression Tests of Panel in Reinforced Concrete Core Walls

Takakazu Hatakenaka and Tadaharu Nakachi

In a core wall system high-rise building, the center core of which consists of four L-shaped core walls, under the action of a diagonal seismic force, the axial load of the core wall is very high. Particularly the corner and the area near the corner of the L-shaped core wall are subject to high compressive stress. Reinforcing these areas is therefore considered effective in improving the deformation capacity of the core walls. In this paper, compression tests were conducted on square and rectangular sections of columns which simulated the corner and the area near the corner of the L-shaped core wall.

1. はじめに

超高層建物において、コア部分を RC 造連層耐震壁とした場合、地震時にコア壁に大きな軸力が作用する。このため、高軸力下におけるコア壁の耐力及び、靱性の確保が必要である。センターコアを 4 組の L 形断面のコア壁とした場合、斜め 45 度方向入力時に特に高軸力となり、高圧縮領域となる L 形隅角部及びその近傍のコンクリートの拘束がコア壁の靱性に大きな影響を及ぼすと考えられる。本研究では、L 形断面コア壁の隅角部及び壁板部分を模擬した部分試験体による中心圧縮実験を行った。

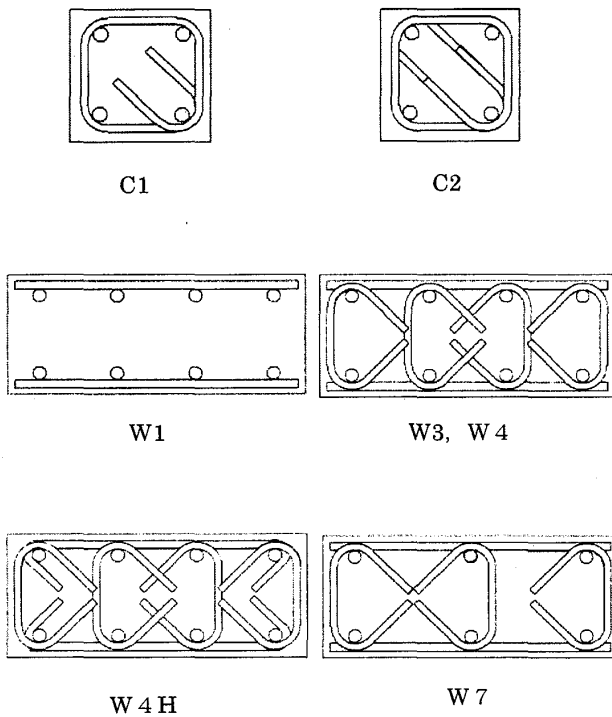
2. 実験概要

試験体配筋図を図-1 に、計測方法を図-2 に、試験体一覧を表-1 に、また、材料試験結果を、表-2、3 に示す。試験体は、以前行われた $F_c 60 \text{ N/mm}^2$ シリーズ¹⁾ の、隅角部を模擬した正方形断面试験体 C0~C2、壁板部分を模擬した長方形断面试験体 W0, 1, 4, 7 に対して、コンクリート強度のみを 42 N/mm^2 , 80 N/mm^2 とした。 42 N/mm^2 に関してはさらに W3 を加えた。

各試験体の壁横筋の高さ方向のピッチは 55mm、拘束筋の高さ方向ピッチは、W4, W4H, W7 で 27.5mm, C1, C2, W3 で 55mm とした。また、主筋のピッチは、55mm とし、W7 のみ 82.5mm とした。80C2 は 80C1 に対し、普通強度の拘束筋に高強度の拘束筋を重ねて配筋した。W4H は W4 に対し、壁横筋端部をフック付とした。加力は、2000kN 万能試験機による単調載荷とした。

検長は、図-2 に示す検長で変位計による軸方向ひずみを (検長 165mm)、また、ワイヤーストレインゲージにより拘束筋、壁横筋のひずみを計測した。

* 建設工学専攻大学院生 ** 建設工学科 建築学専攻



図－１ 試験体配筋図

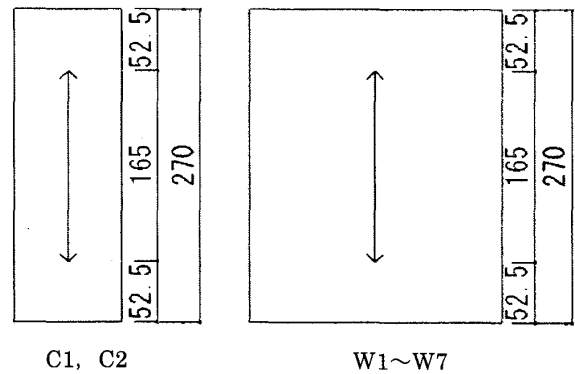
3. 実験結果

実験結果一覧を表－４に、各試験体の応力－ひずみ関係を図－３～８にそれぞれ示す。ただし、ここでは、荷重を断面積で除した値である平均化応力を応力とする。

表－４において、42C0～42C2 では拘束筋の増加に伴い、最大応力、最大荷重時ひずみが増大し、普通強度鉄筋に高強度鉄筋を重ね合わせた C2 は、特に大きな値となった。また、長方形試験体では、壁横筋端部にフックの付いた 42W4H の最大荷重時ひずみが特に大きい。80N/mm²においても、ほぼ同様の結果が得られた。

図－３に、80C2、42C2 に Fc60 シリーズの C2 試験体(60C2)を合わせて示す。コンクリート強度が高い 80C2 が最大応力以降の応力の低下の仕方が急で、次いで、60C2、42C2 の順であった。

図－４に、80W4、42W4 に Fc60 シリーズの W4 試験体(60W4)を合わせて示す。コンクリート強度の最も



図－２ 計測方法

表－１ 試験体一覧

試験体	Fc (N/mm ²)	断面形状 (mm)	拘束筋 の有無	拘束筋 の形状	その他の 特徴
42C0	42	90	無	—	—
42C1		×	有	フープ	—
42C2		90	有	フープ	—
42W0		210	無	—	—
42W1			×	—	—
42W3			有	幅止め	—
42W4			有	幅止め	—
42W4H			有	幅止め	壁横筋フック
42W7			有	幅止め	主筋ピッチ大
80C0	80	90	無	—	—
80C1		×	有	フープ	—
80C2		90	有	フープ	—
80W0		210	無	—	—
80W1			×	—	—
80W4			有	幅止め	—
80W4H			有	幅止め	壁横筋フック
80W7			有	幅止め	主筋ピッチ大

表－２ コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
Fc42シリーズ	45.9	2.65	5.14
Fc60シリーズ	62.8	3.49	3.61
Fc80シリーズ	80.7	3.54	5.93

表－３ 鉄筋の材料試験結果

呼び名	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²)	伸び (%)
D6	407	554	228	22.5
D10	387	586	205	24.8
U5.1	1446	1456	203	11.3

表-4 実験結果一覧

試験体	最大荷重	最大応力	最大荷重時ひずみ
	(kN)	(N/mm ²)	(%)
42C0	301.9	37.3	0.24
42C1	389.4	48.1	0.48
42C2	417.5	51.5	0.88
42W0	644.2	34.1	0.16
42W1	876.8	46.4	0.16
42W3	819.3	43.4	0.29
42W4	867.0	45.9	0.91
42W4H	1028.4	54.4	1.40
42W7	864.4	45.7	0.16
80C0	480.9	59.4	0.21
80C1	615.5	76.4	0.30
80C2	616.1	76.1	0.82
80W0	1166.9	61.7	0.48
80W1	1468.1	77.7	0.31
80W4	1343.3	71.1	0.47
80W4H	1586.4	83.9	1.14
80W7	1374.0	72.7	0.40

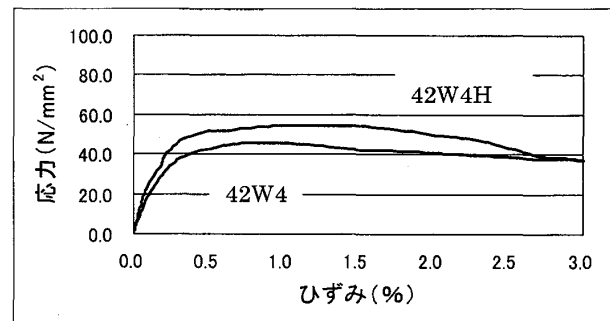


図-5 応力-ひずみ関係 (42W4H)

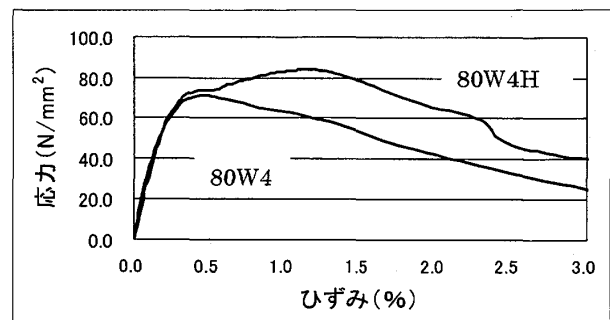


図-6 応力-ひずみ関係 (80W4H)

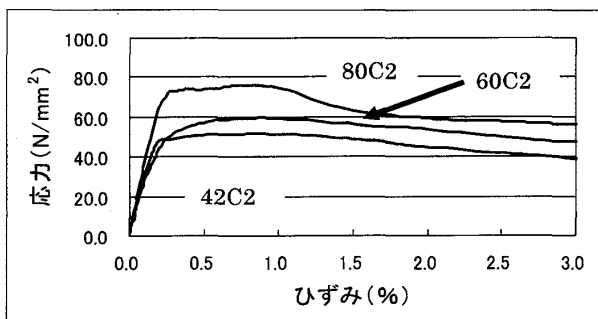


図-3 応力-ひずみ関係 (C2)

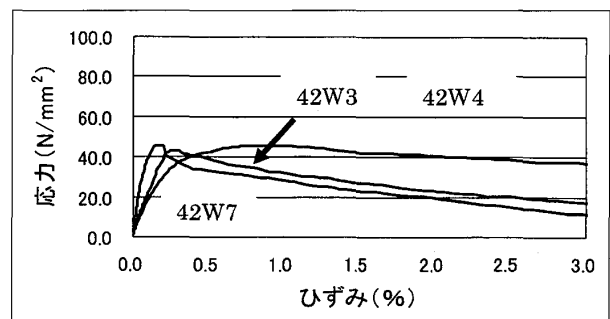


図-7 応力-ひずみ関係 (42W3, W7)

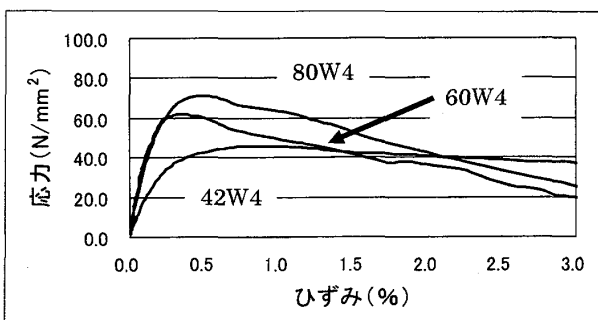


図-4 応力-ひずみ関係 (W4)

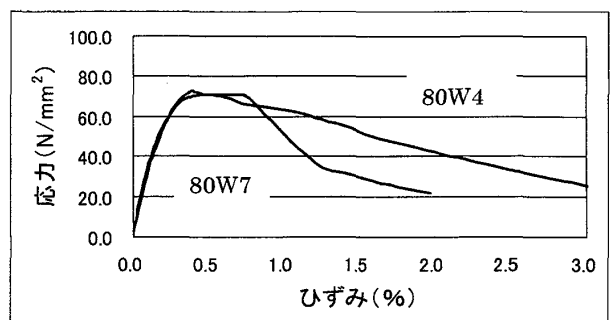


図-8 応力-ひずみ関係 (80W7)

高い 80W4 が最大応力以降の応力の低下の仕方が急で、次いで、60W4、42W4 の順で、C2 の場合と同様の結果となった。

図-5 に、壁横筋端部にフックを付けた 42W4H を、フックのない 42W4 と合わせて示す。フック付きの方が付いてないものに比べて、最大応力、最大荷重時ひずみ、最大荷重時以降の応力が大きなものとなった。これは、壁横筋端部をフック付とすることによるコンクリート拘束効果がはたらいたと考えられる。

図-6 に、壁横筋端部にフックを付けた 80W4H を、フックのない 80W4 と合わせて示す。フック付きの方が付いてないものに比べて、最大応力、最大荷重時ひずみ、最大荷重時の応力が大きなものとなり、 $F_c 42 \text{ N/mm}^2$ の場合と同様の結果となり、この場合も、壁横筋端部をフック付にすることによるコンクリート拘束効果がはたらいたと考えられる。

図-7 に、拘束筋の高さ方向ピッチを 55mm とした 42W3 と 27.5mm とした 42W4 を、また、主筋ピッチを他の試験体の 55mm に対して、82.5mm とした 42W7 を合わせて示す。42W3、42W7 とともに比較対象とした 42W4 よりも最大応力、最大荷重時ひずみ、最大荷重時以降の応力が小さな値となっているが、主筋ピッチを広くした 42W7 のほうが、より小さな値となっている。

図-8 に、主筋ピッチを 82.5mm とした 80W7 と、主筋ピッチ 55mm の 80W4 を合わせて示す。最大応力付近まではほぼ同様であるが、最大応力以降は、80W7 のほうが低下の仕方が急である。これは、80W7 の方が、破壊する領域が大きいと考えられる。

4. 既往の応力-ひずみ関係式との対応

図-9～15 において、実験値は実線で、計算値は破線でそれぞれ示す。実験値は、主筋負担分を除いたものである。また、計算値は文献 2) に示す小室らの既往の提案式を用いた。この提案式では、拘束コンクリートの応力-ひずみ関係を次の 4 点で区分する範囲に分け、(1)～(4) 式で表している。

O : 原点 A : プレーンコンクリートの最大応力点 D : 拘束コンクリートの最大応力点

E : 拘束コンクリートの曲げ圧縮限界ひずみ点

$$O \sim A \quad \sigma_c = E_i \varepsilon_c + \{ (f_c' - E_i \varepsilon_m) / \varepsilon_m^2 \} \varepsilon_c^2 \quad (1)$$

$$A \sim D \quad \sigma_c = \{ (f_c' - \sigma_{cm}) / (\varepsilon_m - \varepsilon_{cm})^2 \} \cdot (\varepsilon_c - \varepsilon_{cm})^2 + \sigma_{cm} \quad (2)$$

$$D \sim E \quad \sigma_c = \{ (\sigma_{cu} - \sigma_{cm}) / (\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{cm}) \} \cdot (\varepsilon_c - \varepsilon_{cm}) + \sigma_{cm} \quad (3)$$

$$\sigma_{cu} = \{ 2(S_c - \sigma_{cm} \varepsilon_{cm}) / (\varepsilon_{cm} + \varepsilon_{cu}) \} + \sigma_{cm} \quad (4)$$

σ_c : 圧縮応力 ε_c : 圧縮ひずみ E_i : 初期弾性係数 f_c' : プレーンコンクリートの圧縮強度

ε_m : f_c' 時のひずみ σ_{cm} : 拘束コンクリートの圧縮強度 ε_{cm} : σ_{cm} 時のひずみ

σ_{cu} : ε_{cu} 時の応力 ε_{cu} : 拘束コンクリートの曲げ圧縮限界ひずみ

S_c : σ_{cm} までの拘束コンクリート応力-ひずみ曲線で囲まれる面積

この提案式では、コンクリート拘束の度合を示す係数として、(5) 式に示す拘束係数 C_c が用いられている。

$$C_c = 0.313 \rho_s f_y^{0.5} (1 - 0.5 s/W) / f_c' \quad (5)$$

ρ_s : 横補強筋の体積比

f_y : 横補強筋降伏強度(N/mm²)

f_c' : コンクリート圧縮強度(N/mm²)

s : 横補強筋の間隔(mm)

W : 拘束コア断面最小寸法(mm)

σ_{cm} , ε_{cm} , ε_{cu} は C_c を用いて, (6) ~ (9) 式によって定められている。

$$\sigma_{cm} = (1 + 49 C_c) f_c' \quad (6)$$

$$\varepsilon_{cm} = (1 + 179 C_c) \varepsilon_m \quad (7)$$

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_u \quad (C_c < 0.0013) \quad (8)$$

$$\varepsilon_{cu} = (-1.44 + 1890 C_c) \varepsilon_u \quad (C_c \geq 0.0013) \quad (9)$$

なお, 本研究においては, コンクリート圧縮強度には C_0 , W_0 試験体の圧縮強度を用いている。また, 長方形断面の W 試験体では, 横補強筋の体積比として, 壁横筋も算入している。

図-9に, 42C2の実験値と計算値を合わせて示す。実験値と計算値が近い値となっていて, 最大応力以降の部分では, 計算値が実験値をやや下回っている。

図-10に, 80C2の実験値と計算値を合わせて示す。図-9と同様に, 実験値と計算値が近い値となっていて, 最大応力以降の部分においては, 計算値が実験値をやや下回っている。

図-11に, 42W4の実験値と計算値を合わせて示す。計算値が $W4H$ と $W4$ の中間くらいの値となっている。すなわち, 壁横筋の両端をフック形状としていない $42W4$ では, 計算値よりも低く, フック付の $42W4H$ は, 計算値よりも高くなっている。計算値を求めるにあたっては, 壁横筋も拘束筋として体積比に算入したが, $42W4$ では両端にフックがないことから, 拘束筋としての作用は少ないと考えられる。逆に, フック付の $42W4H$ では, 壁横筋が拘束筋として, 大きく作用していると考えられる。

図-12に, 80W4の実験値と計算値を合わせて示す。図-11と同様に, 計算値が $W4H$ と $W4$ の中間くらいの値となっている。この場合も, フック付の $80W4H$ が拘束筋として大きく作用していると考えられる。

図-13に, 42W3の実験値と計算値を合わせて示す。計算値が実験値よりも若干大きな値となっている。

図-14に, 42W7の実験値と計算値を合わせて示す。最大応力以降の部分において, 計算値が実験値よりもかなり大きな値となっている。

図-15に, 80W7の実験値と計算値を合わせて示す。図-13のように計算値が実験値よりも若干大きな値となっている。

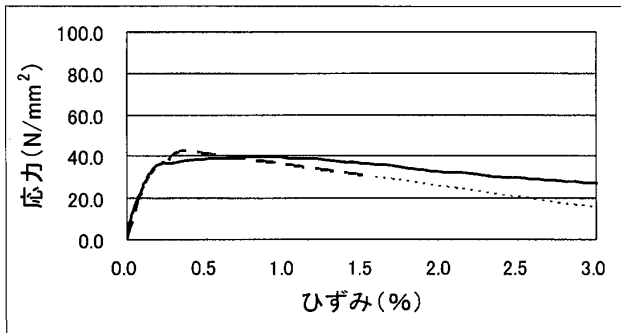


図-9 実験値と計算値 (42C2)

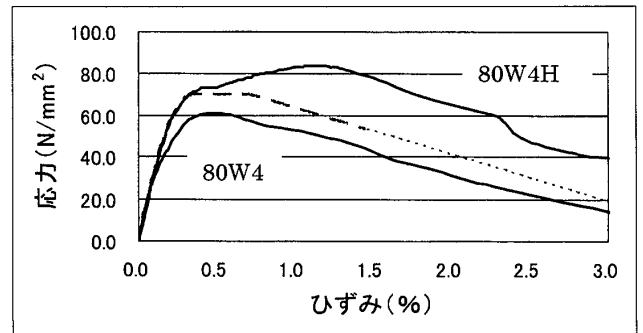


図-12 実験値と計算値 (80W4)

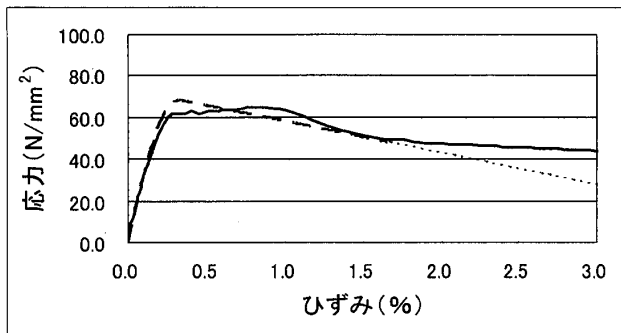


図-10 実験値と計算値 (80C2)

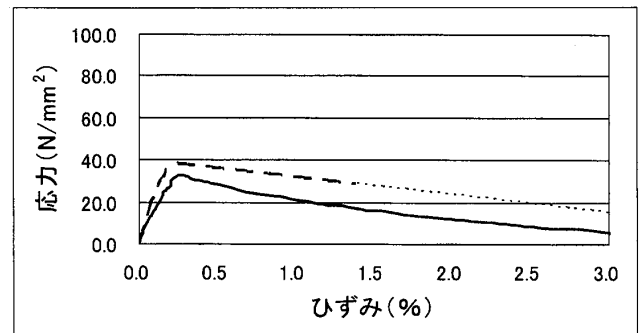


図-13 実験値と計算値 (42W3)

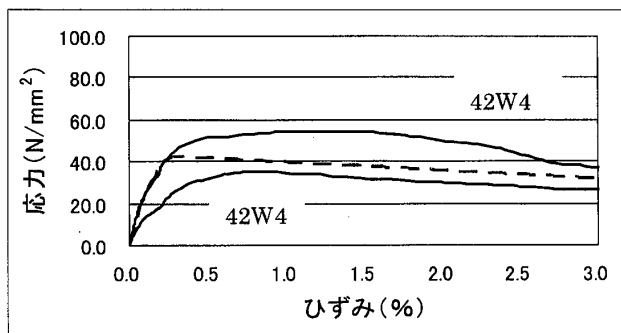


図-11 実験値と計算値 (42W4)

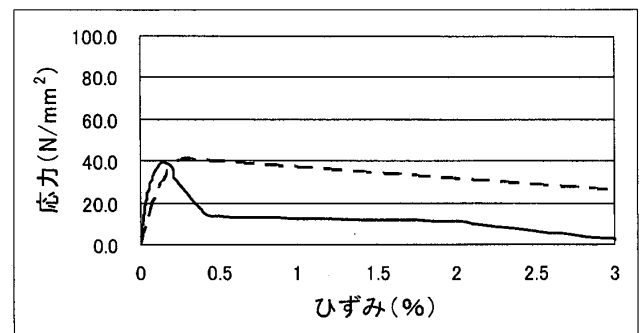
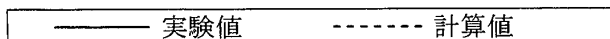


図-14 実験値と計算値 (42W7)



5. 実験における鉄筋のひずみ

図-16に、ひずみゲージの位置を示す。No.1, は試験体の中央高さの段に、No.2, 4はNo.1, 3の段上の部分に取り付けた。また、No.1, 2は高強度拘束筋に、No.3, 4は普通強度の壁横筋に取り付けた

図-17に、42W4における鉄筋のひずみを示す軸ひずみが3%付近になっても、高強度の拘束筋の

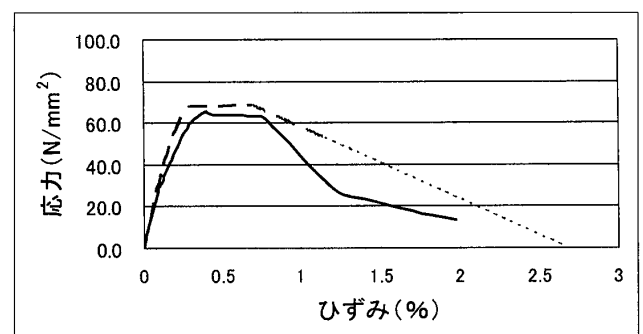


図-15 実験値と計算値 (80W7)

ひずみは 2000μ ほどの値となっているのに対して、普通強度の壁横筋のひずみは軸ひずみ 0.5%あたりで、ほぼ 0%になっている。すなわち、図-11における 42W4 の応力-ひずみ関係において、軸ひずみ 0.5%以降に最大応力となることから、42W4 の壁横筋による拘束効果は、あまりはたらいっていないと考えられる。

図-18に、42W4Hにおける鉄筋のひずみを示す。高強度の拘束筋のひずみにおいては、図-17の値とほぼ同様の値となっているが、普通強度の壁横筋においては、かなり大きな値となっていて、特に No.4 においては、軸ひずみ 2.5%あたりで普通強度の壁横筋のひずみが 10000μ に達している。これはフック付とした事により、断面長辺方向にも拘束効果がはたらき、図-11のように W4 よりも W4H のほうが、最大応力および最大荷重時ひずみが大きくなっていると考えられる。

図-19に、80W4における鉄筋のひずみを示す。高強度の拘束筋のひずみにおいては、 4000μ 位の値となっているのに対して、普通強度の壁横筋は、軸ひずみ 0.5%くらいのところから低下しだしている。すなわち、図-12における 80W4 の応力-ひずみ関係において、軸ひずみ 0.5%付近で最大応力となることから、図-17の場合と同様に、80W4 の壁横筋による拘束効果は、あまりはたらいっていないと考えられる。

図-20に、80W4Hにおける鉄筋のひずみを示す。高強度の拘束筋、普通強度の壁横筋ともに同程度の値となっていて、No.4 においては、軸ひずみ 0.5%付近から値が大きくなっている。これはフック付とした事により、断面長辺方向にも拘束効果がはたらき、図-12のように W4 よりも W4H のほうが、最大応力および最大荷重時ひずみが大きくなっていると考えられる。

なお、小坪ら³⁾が、閉鎖形拘束筋において示した長方形断面試験体における辺長比の影響も考えられる。

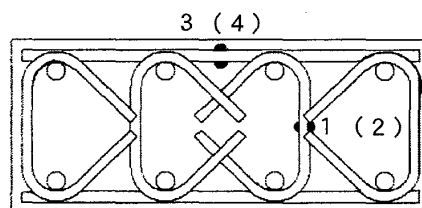


図-16 ひずみゲージ位置

1, 3 は中央高さの段に、2, 4 は 1, 3 の 1 段上の部分

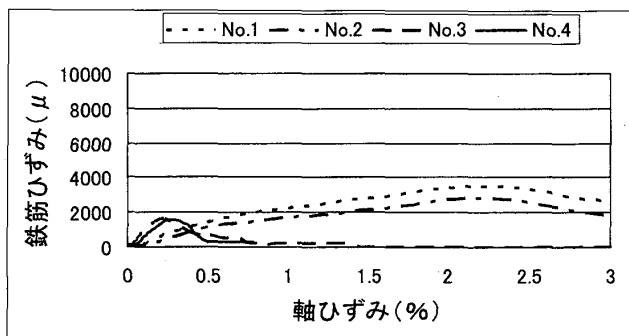


図-17 鉄筋ひずみ-軸ひずみ関係 (42W4)

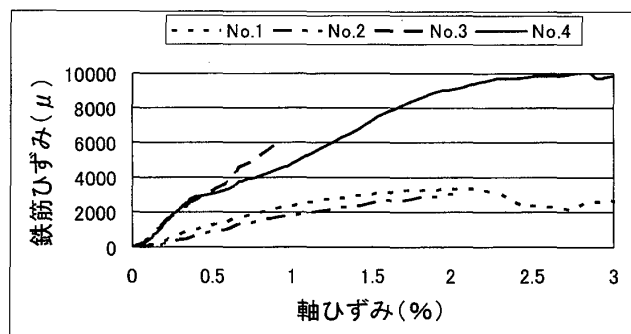


図-18 鉄筋ひずみ-軸ひずみ関係 (42W4H)

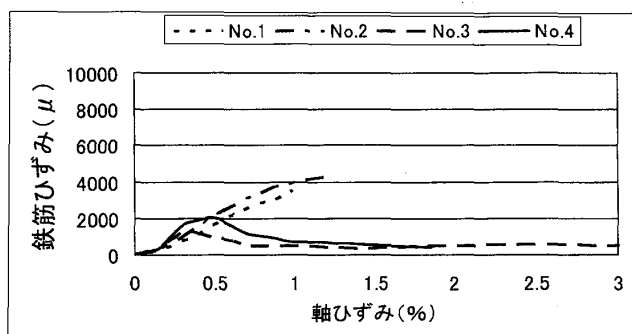


図-19 鉄筋ひずみ-軸ひずみ関係 (80W4)

すなわち、小坪らによると、辺長比の小さいものほど、つまり、正方形に近いほど圧縮強度が若干増加することであるが、本実験においても同様の結果が得られた。

6. まとめ

- 1) 長方形において、高強度のものほど応力の低下の仕方が急であり、一般に正方形断面や円形断面で認められる傾向と一致した。
- 2) 壁横筋端部をフック付とし、主筋を拘束する事は、断面長辺方向にもコンクリート拘束効果を生み出し、有効であった。したがって、壁板の長さ方向の拘束も壁板の圧縮靱性向上に有効であると考えられる
- 3) 水平方向の主筋ピッチが広い試験体では、拘束効果が減る傾向が見られた。これは、水平方向の主筋ピッチを広げることにより、破壊する領域が増大したからであると考えられる。したがって、既往の研究に示される高さ方向のピッチだけではなく、水平方向の主筋ピッチについても、拘束効果算定において、考慮する必要があると考えられる。
- 4) 既往の提案式による計算値と実験値は、正方形断面の C 試験体ではおおむね一致し、長方形断面の W 試験体では壁横筋端部をフック付にするかどうかによって異なった。すなわち、端部がフックなしの場合は、実験値が計算値を下回り、フックありの場合は、実験値が計算値を上回った。
- 5) 計測した鉄筋のひずみより、壁横筋の端部をフック付にした 42W4H および 80W4H の No. 3, No. 4 は比較的大きな値となり、フック付にした事による拘束力が示された。したがって、フック付試験体の靱性向上は、壁横筋の拘束効果によるものであると考えられる。

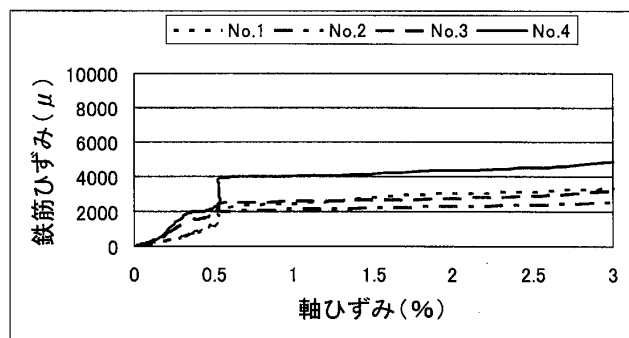


図-20 鉄筋ひずみ-軸ひずみ関係 (80W4H)

謝辞

本研究を実施するにあたり、平成 18 年度福井工業大学特別研究費のご支援をいただきました。深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 仲地唯治, 田畑健, 戸田哲雄: コア壁の靱性確保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.117, No.2, pp.499-504, 1995
- 2) 小室努, 今井和正, 村松晃次, 是永健好, 渡邊史夫: 100~180N/mm² の高強度コンクリートを用いた鉄筋コンクリート柱の圧縮特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 577 号, pp.77-84, 2004.3
- 3) 小坪幸恵, 中塚侑: 角形コンファインドコンクリートの応力-ひずみ特性に及ぼす寸法・辺長比の影響, コンクリート年次論文集, Vol.25, No.2, pp.1147-1152, 2003

(平成19年 3 月29日受理)