

論文 コア壁の靱性確保に関する実験的研究

仲地唯治*1・田畑健*2・戸田哲雄*3

センターコア形式の超高層建物において、センターコアを4組のL形のコア壁とした場合、斜め45度方向入力時に高軸力となり、L形隅角部およびその近傍のコンクリートの拘束がコア壁の靱性を左右すると考えられる。そこで隅角部およびその近傍の拘束をパラメーターとしてL形コア壁の水平加力実験、およびその部分実験として壁板の中心圧縮実験を行った。その結果、拘束筋による壁板コンクリートの拘束がコア壁の靱性確保に有効であることが明かとなった。

キーワード：靱性、耐震壁、高強度コンクリート、拘束効果、超高層建物

1. はじめに

超高層建物において、コア部分をRC連層耐震壁とするセンターコア形式とした場合、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および靱性の確保が必要である。センターコアを4組のL形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形隅角部およ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。

著者らは、先にL形隅角部およびその近傍の壁板コンクリートの拘束をパラメーターとするコア壁の水平加力実験を行い、コア壁の靱性に及ぼすコンクリート拘束の影響を検討した[1]。本研究では、L形隅角部および壁板部分を模擬した部分試験体による中心圧縮試験を行い、コア壁の水平加力実験の結果とあわせて検討する。

2. コア壁の水平加力実験

2.1 試験体

図-1に試験体の形状および配筋を示す。

試験体は25階程度の超高層建物の最下層

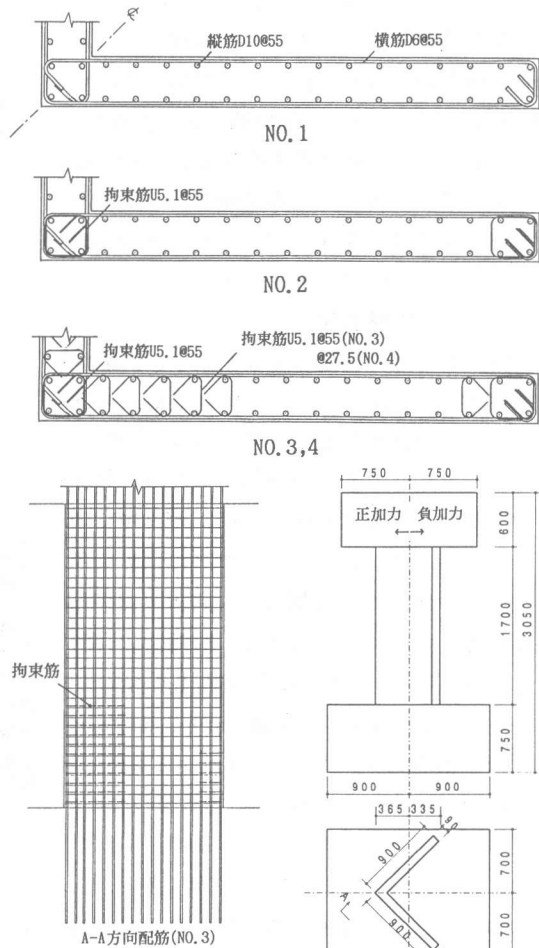


図-1 試験体形状および配筋

*1 榎間組 技術研究所・技術研究部・第2研究室、工修（正会員）

*2 榎間組 技術研究所・技術研究部・第2研究室（正会員）

*3 榎間組 技術研究所・技術開発部・部長（正会員）

3層を想定した、実大の約1/8のモデルで計4体である。試験体形状および縦横筋の配筋は4体共通で、壁断面 $b \times D = 90\text{mm} \times 900\text{mm}$ である。見つけ幅は700mmで、せん断スパン比2.5である。縦筋、横筋には、それぞれD10(SD345)、D6(SD345)を用い、拘束筋には高強度鉄筋U5.1(13000kgf/cm²級)を用いた。試験体のかぶり厚さは5mmである。試験体のコンクリートは、粗骨材に13mmの6号砕石を用い、調合強度を600kgf/cm²とした。表-1、2に材料試験結果を示す。

試験体はせん断耐力が、曲げ降伏時のせん断力を上回るように設計した。NO.1は拘束筋を用いない試験体で、NO.2はNO.1に対し、隅角部に正方形拘束筋を配筋した。NO.3,4はNO.2に対し、隅角部に近い壁板部分に幅止め型の拘束筋を配筋した。NO.4はNO.3に対し、幅止め型拘束筋量が2倍である。拘束筋は2階床レベルに相当する高さ(615mm)まで配筋した。

2.2 実験方法

図-2に加力装置の概要を示す。試験体は一端を反力床に固定し、他端に取り付けたL形の加力治具を介して100tonfアクチュエータにより水平力を作用させた。軸力は試験体上方の1000tonf油圧ジャッキにより載荷し、実建物センターコアの境界梁降伏時を想定して、正加力時(隅角部側が圧縮)に $\sigma_0 = 0.6 \sigma_B$ ($\sigma_0 = N/A$, N:軸力, A:断面積)の定軸力(載荷軸力はNO.1,2,3,4でそれぞれ492,674,664,620tonf)、負加力時に定軸力8tonfとした。加力は2階床レベルに相当する高さ(615mm)での変位制御とし、部材角1/1000(rad.) (1回)、2/1000 (2回)、5, 7.5, 10/1000 (各1回)における正負交番繰り返し加力とした。変位は各層床レベルでの水平変位および鉛直変位を測定し、壁板隅角部および端部において軸方向に分割した各区間の伸縮量を測定した。鉄筋のひずみはストレインゲージ

表-1 コンクリートの材料試験結果

試験体	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	割裂強度 (kgf/cm ²)
NO. 1	536	3.03	38.1
NO. 2	733	3.59	46.0
NO. 3	723	3.47	49.2
NO. 4	675	3.59	33.8
部分実験時	641	3.56	36.8

表-2 鉄筋の材料試験結果

呼び名	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	伸び (%)
D10	3678	5291	1.89	18.2
D6	3889	5353	1.94	20.9
U5.1	13405	14251	1.95	7.5

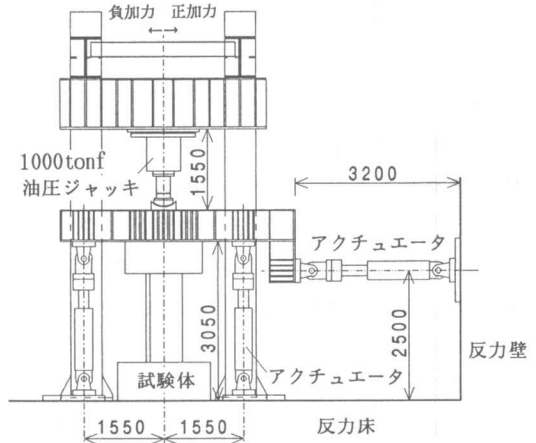


図-2 加力装置

表-3 実験結果一覧

試験体	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4	
曲げひび割れ	荷重	6.3	7.4	5.4	5.7
	部材角	0.5	0.4	0.4	0.3
最大荷重	荷重	47.3	38.4	49.9	56.8
	計算値	36.9	44.9	44.5	42.5
	実/計	1.28	0.86	1.12	1.34
	部材角	4.4	3.1	4.4	7.8
限界部材角*	4.6	3.1	6.0	9.6	

単位: 荷重 tonf, 部材角 $\times 1/1000$ rad.

*最大荷重の80%以上の荷重を保持する最大部材角

$$\text{計算値 } N_u = (0.5a_g \cdot \sigma_v \cdot g_1 \cdot D + 0.024(1+g_1)(3.6-g_1)b \cdot D^2 \cdot F_c) \left(\frac{N_{m \times N}}{N_{m \times N_b}} \right)$$

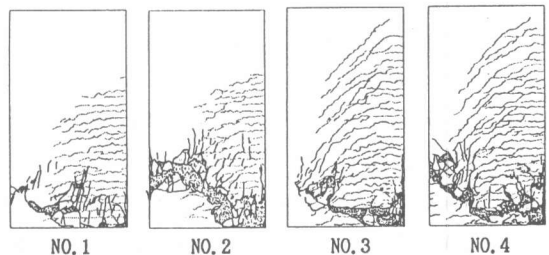


図-3 最終ひび割れ状況

で計測した。

2. 3 実験結果

(1) 破壊経過

表-3に実験結果一覧を、図-3に各試験体の最終ひび割れ状況を示す。表-3中、曲げひび割れ、最大荷重はそれぞれ負、正加力時の値である。正加力時において、いずれの試験体も1/1000のサイクルで最外縁圧縮縦筋が降伏し、2/1000のサイクルまで

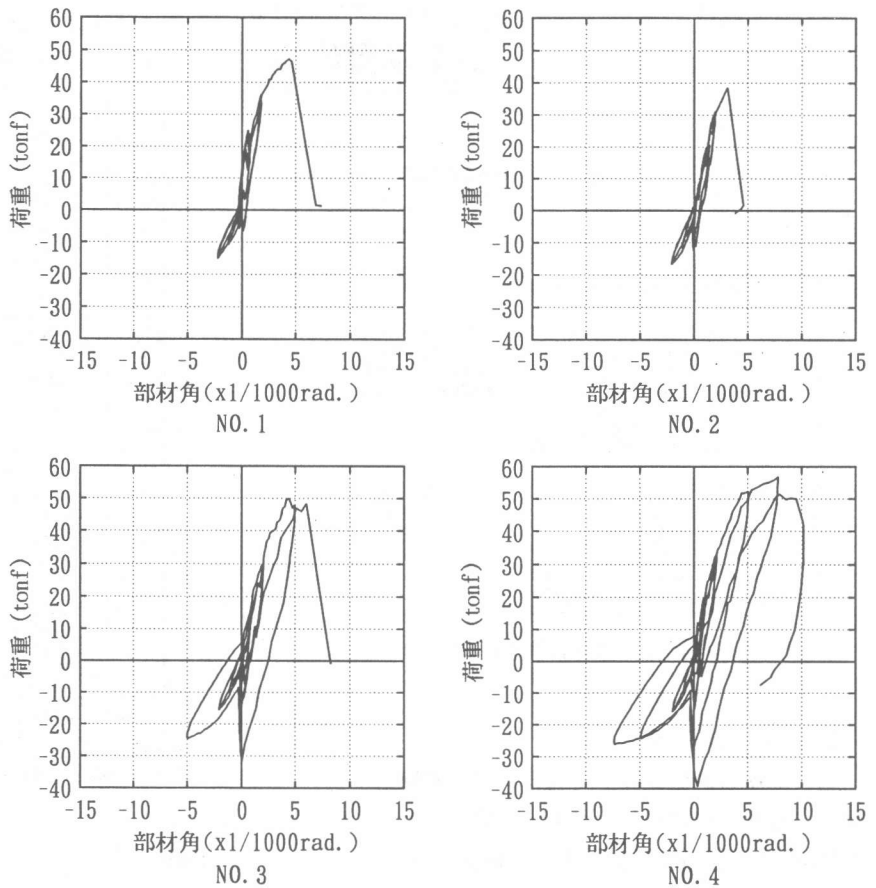


図-4 荷重-変形関係

に圧壊（縦ひび割れ）が発生した。負加力時は1/1000までに曲げひび割れが発生した。最終はいずれも正加力時の圧壊により耐力が低下した。

(2) 最大耐力

最大耐力は既往の耐力式による計算値に比較すると、NO.2以外は実験値が計算値より高くなった。

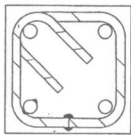
(3) 荷重-変形関係

図-4に各試験体の荷重-変形関係を示す。限界変形角を、拘束筋を用いたNO.2,3,4で比較すると、隅角部のみを拘束したNO.2に対し、その近傍も拘束したNO.3,4が大きい値となり、NO.3とNO.4では拘束筋量の多いNO.4の方がより大きい値となり、コンクリート拘束の影響が示された。拘束筋を用いないNO.1はNO.2より大きな値だが、この原因については後節で検討している。

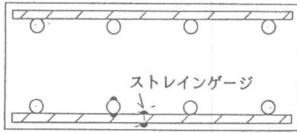
3. 部分試験体の中心圧縮試験

3. 1 試験体

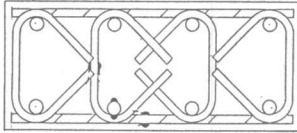
試験体はコア壁試験体の隅角部を模擬した正方形断面の試験体9体と壁板を模擬した長方形断面の試験体20体の計29体である。試験体名は正方形断面試験体がC0~C2、長方形断面試験体がW0~W7で、それぞれ同配筋の試験体を2体あるいは3体ずつ製作し、たとえばC1試験体としてC11、



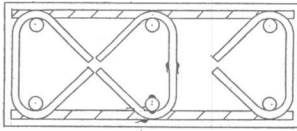
隅角部対応試験体 (断面90mm×90mm)
 C0: 無筋
 C1: 帯筋 (普通強度鉄筋) @55
 C2: 帯筋 (普通強度鉄筋) @55
 拘束筋 (高強度鉄筋) @55



壁板対応試験体 (断面90mm×210mm)
 W0: 無筋
 W1: 拘束筋なし



W2: 拘束筋 @73
 W3: 拘束筋 @55
 W4: 拘束筋 @27.5
 W5: 拘束筋 @19



W6: 拘束筋 @55
 W7: 拘束筋 @27.5

図-5 部分試験体配筋図

表-4 部分試験体一覧

試験体	最大荷重 (tonf)	最大応力 (kgf/cm ²)	最大荷重時歪 (%)
C01	34.2	422	0.23
C02	36.7	453	0.29
C03	38.4	474	0.27
C11	44.5	549	0.45
C12	46.0	568	0.54
C13	49.0	605	0.38
C21	48.6	600	0.88
C22	49.5	611	0.88
C23	52.7	651	1.27
W01	93.7	496	0.25
W02	98.4	521	0.24
W03	97.7	517	0.27
W11	110.9	587	0.26
W12	113.8	602	0.23
W13	113.0	598	0.23
W21	119.3	631	0.24
W22	124.2	657	0.26
W31	128.0	677	0.40
W32	112.1	593	0.28
W33	124.2	657	0.35
W41	119.5	632	0.44
W42	115.9	613	0.43
W43	131.7	697	0.50
W51	127.5	675	0.72
W52	141.3	748	0.56
W61	108.0	571	0.29
W62	120.9	640	0.30
W71	115.6	612	0.38
W72	111.6	590	0.34

最大応力 $\sigma_{max} = P/A$
 P: 最大荷重, A: 断面積

C12, C13の3体を製作した。

正方形断面試験体のうちC1はコア壁試験体NO.1の隅角部に対応しており、帯筋としてSD345の普通強度鉄筋を用いている。C2はNO.2,3,4の隅角部に対応し、帯筋として普通強度鉄筋と高強度鉄筋を重ねて配筋している。

長方形断面試験体は幅止め型拘束筋の拘束筋量をパラメーターとし、W1~W5は高さ方向（圧縮軸方向）のピッチを変えて拘束筋量を変化させている。W1がコア壁試験体NO.1,2に、W3がNO.3に、W4がNO.4にそれぞれ対応している。W6,7はW1~W5に対し、水平方向のピッチが異なる試験体で、高さ方向ピッチについては、W6がW3と、W7がW4とそれぞれ同じである。なお、C0およびW0は無筋試験体である。

試験体の配筋および一覧を図-5、表-4にそれぞれ示す。コンクリートおよび鉄筋はコア壁試験体と共通である。

3.2 実験方法

加力は200tonf万能試験機による単調载荷とし、図-6に示す検長で変位計により軸方向ひずみを、また、ワイヤーストレインゲージにより帯筋、拘束筋、および主筋のひずみを計測した。ゲージ貼付位置は帯筋では一辺の中央、幅止め型拘束筋では試験体厚さ方向中央とした。

3.3 実験結果

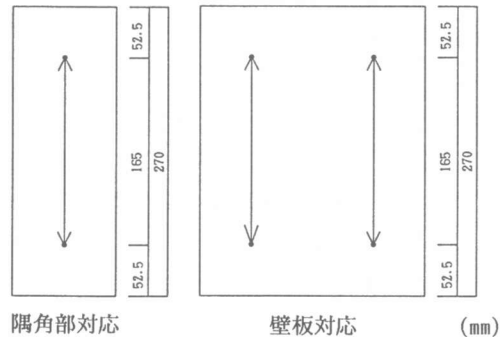


図-6 計測方法

(1) 軸応力-軸ひずみ関係

図-7、8、9に試験体の軸応力-軸ひずみ関係をそれぞれ示す。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軸応力とする。図中の軸応力-軸ひずみ曲線は、同一種類の2または3体ずつのうち、最大荷重が2番目に大きい試験体の曲線を示す。

図-7より、正方形断面試験体において、高強度鉄筋を用いた正方形拘束筋により最大耐力および最大耐力以降の応力が大きく上回っている。

図-8より、幅止め型拘束筋の拘束筋量の増大にともなって、特に最大耐力以降の応力低下が少なくなる傾向が明かである。

図-9より、拘束筋の水平方向ピッチをひろげることにより拘束筋量が低減した場合、最大耐力が低下し、最大耐力以降の応力低下が大きくなる傾向が明かである。

(2) 横補強筋(拘束筋) ひずみ-軸ひずみ関係 図-10~12に試験体の横補強筋(拘束筋) ひずみ-軸ひずみ関係を示す。図中の点線は対応する軸応力-軸ひずみ関係を示す。

図-10において、横補強筋が普通強度鉄筋のみであるC1では軸応力が低下し始めると共にひずみが急激に増大するのに対し、高強度鉄筋による拘束筋を重ねたC2では普通強度横補強筋のひずみ増大はC1ほど顕著ではない。

図-11より、拘束筋量の増大にともない最大耐力以降の耐力低下が少なくなる場合、拘束筋のひずみも大きくなる傾向がある。拘束筋のひずみが降伏ひずみ以下であることから、拘束筋量の増大にともない、より有効に拘束力が作用していると考えられる。

図-12より、水平方向ピッチのひろがったW6,7は拘束効果が低下していると考えられる。

4. 実験結果の検討

4.1 コア壁隅角部の拘束

コア壁試験体の水平加力において、隅角部を正方形拘束筋で拘束したNO.2の限界部材角が3.1/1000rad.であったのに対し、拘束筋を

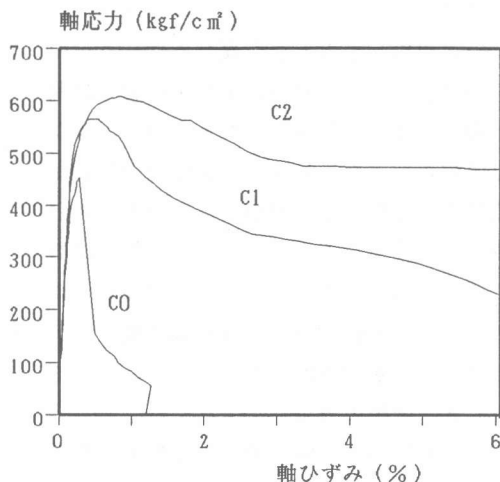


図-7 軸応力-軸ひずみ関係 (C0,C1,C2)

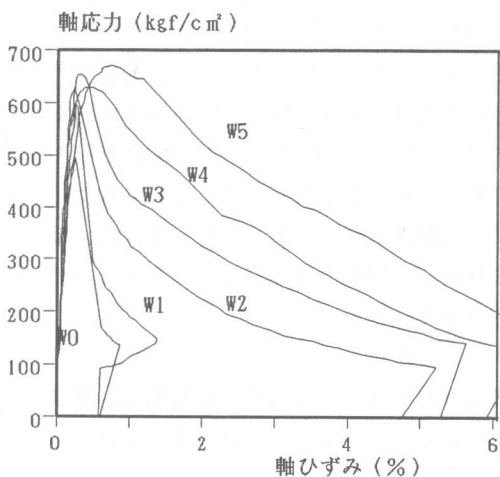


図-8 軸応力-軸ひずみ関係 (W0,W1,W2,W3,W4,W5)

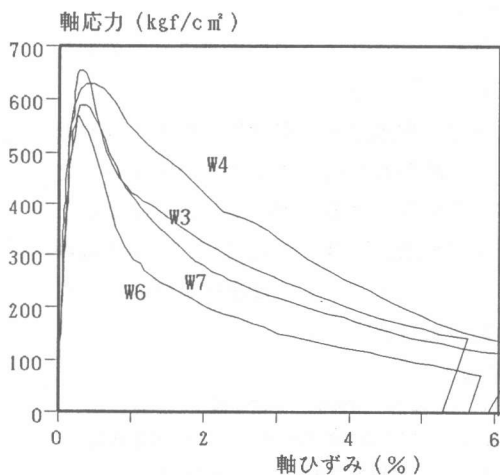


図-9 軸応力-軸ひずみ関係 (W3,W4,W6,W7)

用いていないNO.1は4.6/1000rad.であった。隅角部を模擬した正方形断面試験体による中心圧縮試験では、拘束筋による圧縮靱性の改善が明かに認められたことから、NO.1の方が限界部材角が大きいの、は、荷重軸力の影響が、圧縮靱性改善の効果を上回ったためと考えられる。すなわち、本実験においては軸力比を一定としたため、コンクリート圧縮強度が他の3体に比べて低かったNO.1は荷重軸力が低く、NO.2よりも靱性が高かったと考えられる。

4. 2 壁板の拘束

コア壁試験体で、隅角部のみを拘束したNO.2、隅角部近傍の壁板も拘束したNO.3、NO.3に対し壁板の拘束筋量を増大させたNO.4の限界部材角を比較すると、NO.4が最も大きく、次いで、NO.3、NO.2の順となったが、対応する長方形断面試験体も、NO.4対応のW4が圧縮靱性が高く、次いでNO.3対応のW3、NO.2対応のW1の順となった。したがって、壁板の拘束はコア壁の靱性改善に有効であり、それは、壁板の拘束が、壁板の圧縮靱性を高めるためであると考えられる。

5. まとめ

壁板コンクリートの拘束、隅角部コンクリートの拘束をパラメーターとするコア壁の水平加力実験、および隅角部、壁板を模擬した部分試験体の圧縮試験の結果、以下の事項が明らかになった。

- 1) 壁板コンクリートの拘束はコア壁の靱性確保に有効である。
- 2) 上記の拘束効果の有効性は壁板コンクリートの圧縮靱性の向上によるものであることが部分試験体による試験結果により示された。
- 3) 正方形断面試験体の結果より、高強度鉄筋を用いた正方形拘束筋は圧縮靱性向上に有効であると考えられる。

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、その1 実験概要、その2 実験結果の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.265-268、1994.9

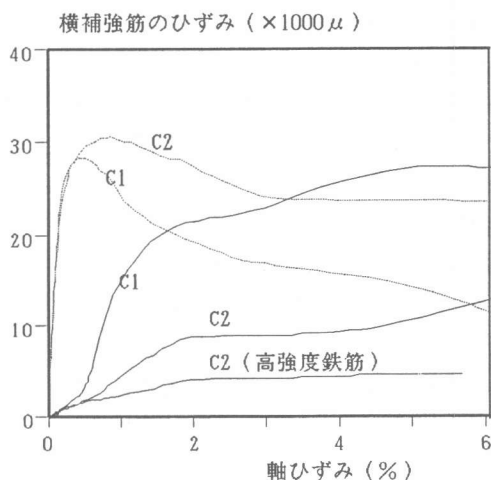


図-10 横補強筋ひずみ-軸ひずみ関係 (C1,C2)

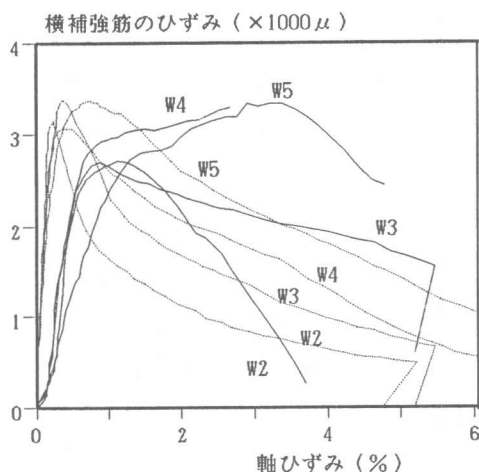


図-11 横補強筋ひずみ-軸ひずみ関係 (W2,W3,W4,W5)

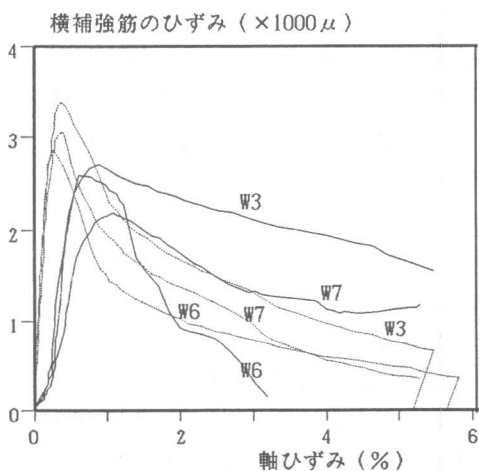


図-12 横補強筋ひずみ-軸ひずみ関係 (W3,W6,W7)