

論文 シングル配筋されたあばら筋を有する RC 梁のせん断耐力と靱性能

古里 健司*1・永坂 具也*2

要旨：本研究は、あばら筋がコアコンクリートを形成しない状況（シングル）で配筋される場合の RC 梁のせん断耐力と曲げ降伏後の靱性能について、同量のあばら筋を変動要因として一般のダブルに配筋した梁との比較の上で実験的に検討したものである。その結果せん断力に関しては、シングル配筋された梁の方がダブル配筋された梁よりも低くなり、ほぼ 80%の耐力となった。他方、シングル配筋された梁は曲げ降伏後早期に耐力を低下しダブル配筋された梁よりも著しく靱性能に劣ることが示された。

キーワード：シングル配筋, ダブル配筋, せん断耐力, 靱性能, 横拘束

1. はじめに

通常の本造あるいは軽微な鉄骨造の住宅に用いられる幅の狭いコンクリート造布基礎では住宅金融公庫仕様に準じて、主筋が一般に断面の幅方向に 1 本しか配筋されないことからそのせん断補強筋もコンクリートを横拘束できない状態で用いられている。その様な、いわばシングル配筋されるせん断補強筋の効果については、既存のデータも少なく、参照すべき設計式もないのが現状である。特に、繰り返し応力に対する有効性は危惧されるところである。そこで、本研究ではシングル配筋されたあばら筋の効果を用用のダブル配筋されたものとの比較の上で実験的に明らかにすることを旨とした。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は梁幅 200mm, 梁せい 400mm, クリアスパン 1500mm とし、主筋には D16 を上下に 3 本（引張鉄筋比 $p_t=0.85\%$ ）配しており、せん断耐力を検討するシリーズでは高強度鉄筋を（以下、H シリーズ）、靱性能を検討するシリーズでは普通鉄筋を使用した。（以下、M シリーズ）その他の主たる変動要因は、D10 を用

いたあばら筋比 p_w (0,0.2,0.4 の 3 種類) およびあばら筋の配筋法（シングル配筋：S, ダブル配筋：W）である。これらの要因の組み合わせにより計 11 体の試験体を作製した。また、試験体 S02H2 はコンクリートの圧縮強度が異なるのみで S02H と同等である。試験体一覧を実験時の材料試験により得られたコンクリートの圧縮強度と併せて表-1 に、試験体概略を図-1 に示す。また、鉄筋の力学特性を表-2 に示す。

表-1 試験体一覧

試験体	$b \times D$	p_t	p_w	s	F_c
NOOH	200 × 400	0.85	0.0	-	41.9
WO2H			0.2	350	46.2
S02H			0.2	175	42.3
S02H2			0.2	175	44.9
WO4H			0.4	175	45.2
S04H			0.4	88	43.8
NOOM	200 × 400	0.85	0.0	-	46.1
WO2M			0.2	350	44.6
S02M			0.2	175	42.4
WO4M			0.4	175	44.0
S04M			0.4	88	42.4

p_t : 引張鉄筋比 (%) F_c : コンクリート圧縮強度 (MPa)

s : あばら筋間隔 (mm) p_w : あばら筋比 (%)

*1 東海大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 東海大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

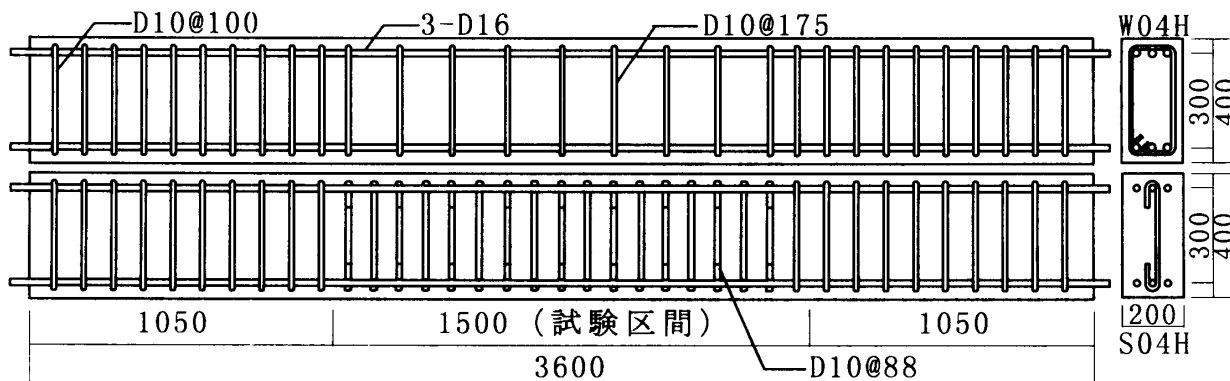


図-1 試験体概略 (例 W04H S04H) (単位: mm)

表-2 鉄筋の力学特性

鉄筋種別	E_s	σ_y	σ_{max}
D16 (高強度)	1.91	853	897
D16 (SD295A)	1.98	337	494
D10 (SD295A)	1.93	353	499

E_s : ヤング係数 ($\times 10^5$ MPa)

σ_y : 降伏強度 (MPa) σ_{max} : 引張強度 (MPa)

2.2 実験方法

本実験で用いた荷重方法の概要を図-2に示す。荷重は、大野式加力により試験対象区間(クリアスパン: L)中央を反曲点とする逆対称曲げモーメントを加えた。Hシリーズ・Mシリーズそれぞれに図-3(a), (b)に示す振幅制御による荷重プログラムに従い、最大耐力の80%に低下したことが確認される振幅あるいは著しく耐力の低下が確認される振幅まで正負繰り返し荷重を行った。梁の変形については、左右に固定した治具に変位計を取り付け、試験体中央1500mm区間における相対たわみを測定した。また主筋・あばら筋のひずみの測定、およびひ

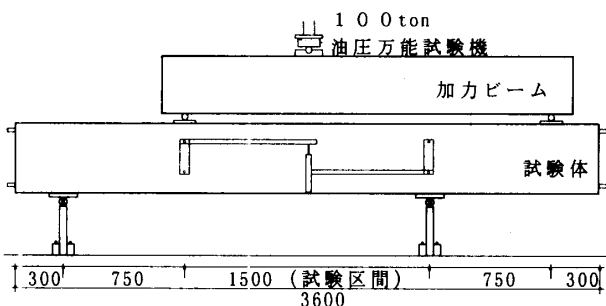
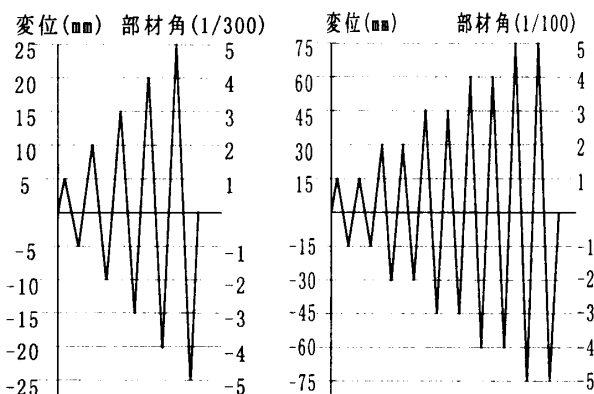


図-2 荷重方法



(a) Hシリーズ (b) Mシリーズ

図-3 荷重プログラム

び割れ・破壊状況の観測も随時行った。

3. 実験結果

3.1 破壊状況

3.1.1 Hシリーズ

図-4にひび割れ図の一例を、図-5にせん断力-変位曲線を示す。各試験体共に10~20kN程度で曲げひび割れが発生し、次いで45~60kNでせん断ひび割れが試験体中央から左右に350~700mmの区間に200~300mmにわたり発生し、N00Hではせん断ひび割れの増大とひび割れ幅拡大により、部材角 7.5×10^{-3} radにおいて耐力が急減し破壊に至った。その他の試験体ではせん断ひび割れ発生後、主筋に沿って付着割裂ひび割れが発生増大し、その後コンクリートの圧潰が始まり、ダブル配筋されたW02Hでは部材角 8.2×10^{-3} radで急激に耐力を失い破壊

に至り、W04H では最大耐力の発現（部材角 $13.3 \times 10^{-3} \text{rad}$ ）後、サイクルが進むにつれて最終的にコンクリートの圧潰により徐々に耐力が低下し破壊に至った。一方、シングル配筋された S02H, S04H では最大耐力を発現（部材角はそれぞれ $9.4 \times 10^{-3} \text{rad}$, $6.7 \times 10^{-3} \text{rad}$ ）直後に破壊に至る要因と思われるコンクリートのはらみ出しが一部分で観測され、さらに S04H に関しては、はらみ出し部分の剥落も観測され急激に耐力が低下し破壊に至った。また、S04H では S02H に比べはらみ出しが大きく広範囲にわたって顕著に見られた。S02H2 は急激な耐力の低下は見られず、サイクルが進むにつれて最終的にコンクリートの圧潰が進展し、徐々に耐力が低下した。なお、以上の破壊過程において、いずれの試験体も曲げ降伏は発生しなかったので得られた最大耐力はせん断耐力と考えられる。

3.1.2 Mシリーズ

図-6 にひび割れ図の一例を、図-7 にせん断力-変位曲線を示す。各試験体共に 10~15kN 程度で曲げひび割れが発生し、次いで 50~90kN でせん断ひび割れが試験体中央から左右に 400~700mm の区間に 200~300mm にわたり発生した後、N00M は梁の片側で下端主筋の引張

降伏が見られたものの、上端主筋が引張降伏せずにひび割れの増加と共にせん断破壊した。その他のすべての試験体では第1サイクル正荷重時 100kN（部材角 $5.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ ）までに主筋がすべて引張降伏した後、最大耐力を発現した。最大耐力以後は、その後の繰り返し荷重により W02M はひび割れ幅の拡大により耐力が低下し、W04M はサイクルが進むにつれて、ひび割れが試験体全域に発生しコンクリートの圧潰の進展や剥落が見られ徐々に耐力が低下していった。

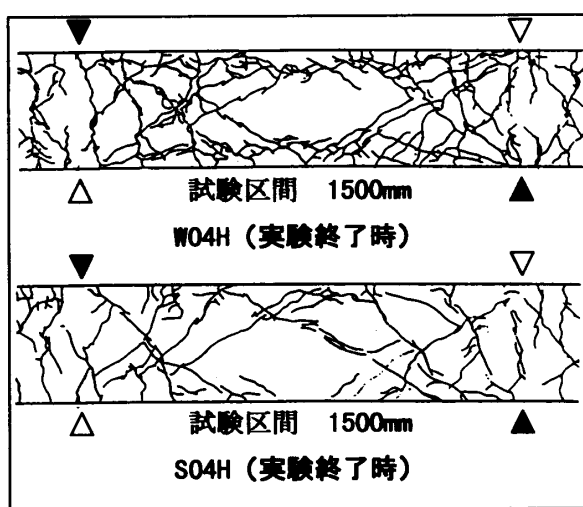


図-4 ひび割れ図 (Hシリーズ)

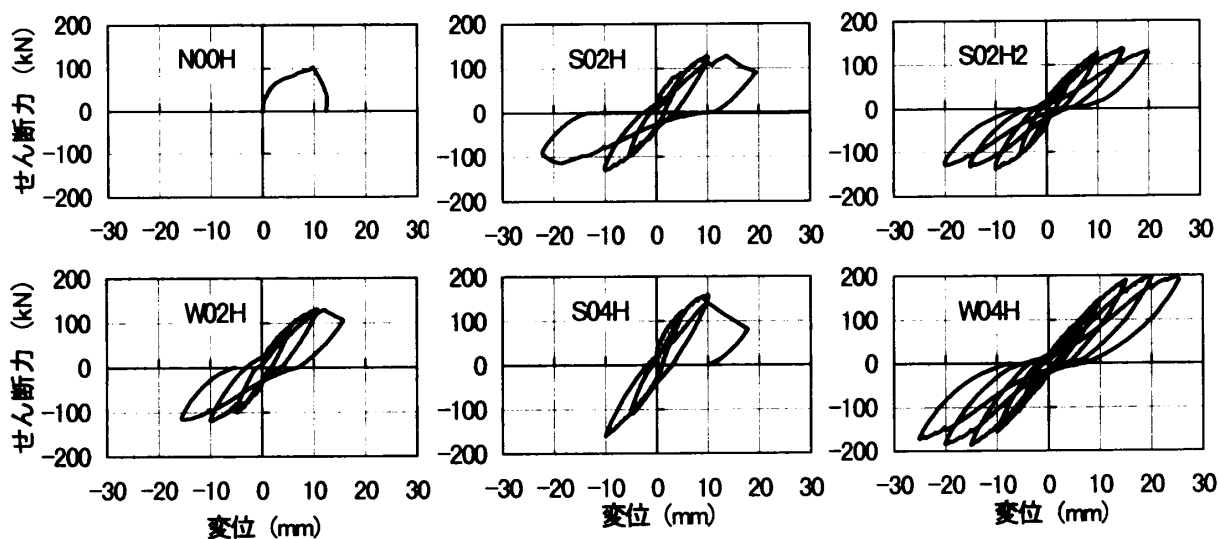


図-5 せん断力-変位曲線 (Hシリーズ)

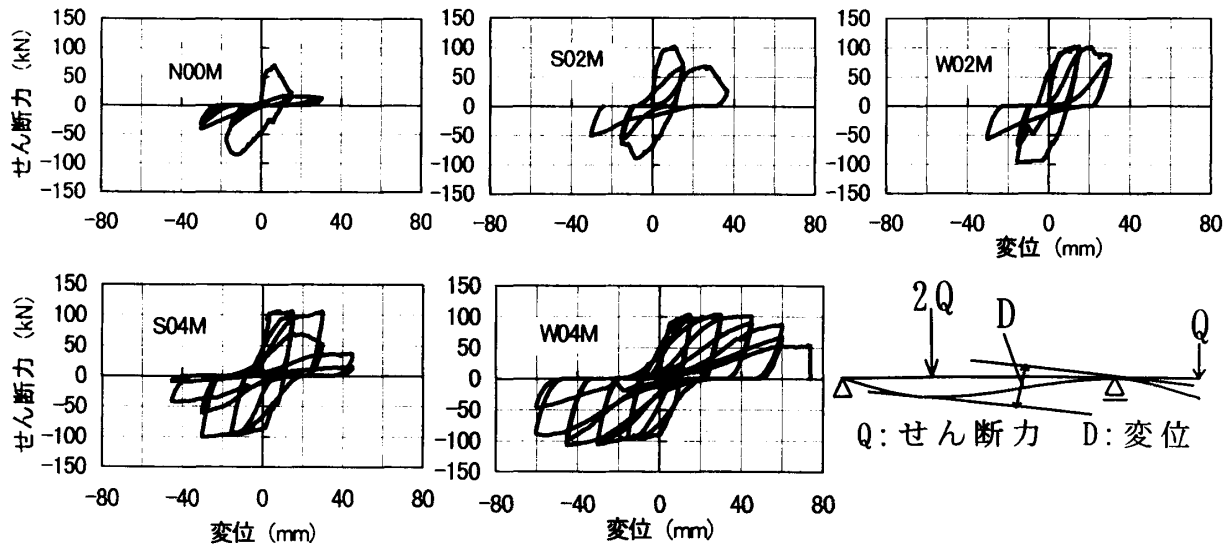


図-7 せん断力-変位曲線 (Mシリーズ)

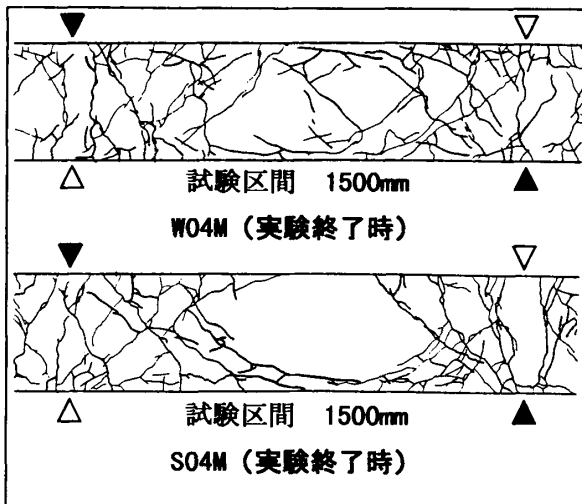


図-6 ひび割れ図 (Mシリーズ)

シングル配筋された S02M, S04M ではコンクリートの剥落、はらみ出しが非常に顕著に見られ、せん断力-変位曲線からも伺えるように耐力の低下が著しかった。これはコンクリートの横拘束が期待できないためと考えられ、ダブル配筋と比較して破壊状況から明らかに脆性的となる挙動が観察された。

3.2 あばら筋のひずみ分布

Hシリーズの各試験体における最大耐力時のあばら筋のひずみ分布をあばら筋比ごとに分け

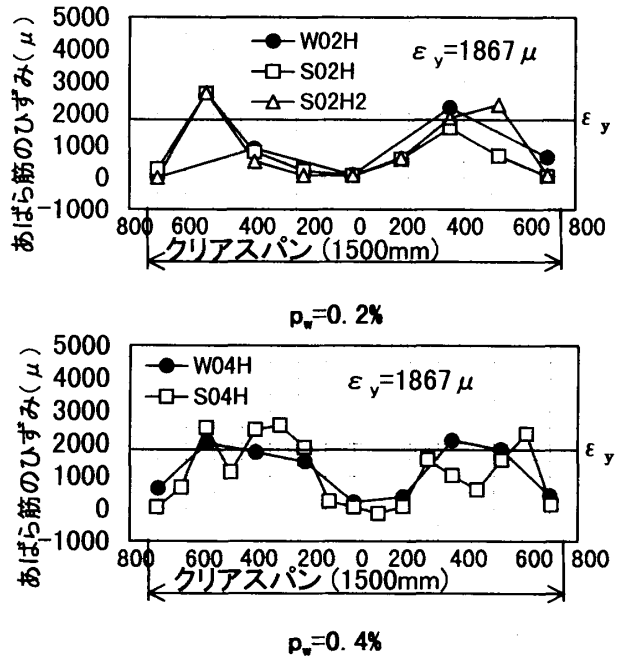


図-8 あばら筋のひずみ分布

て図-8 に示す。 $p_w = 0.2\%$ の場合いずれの試験体も降伏には至っているものの W02H は耐力低下を決定づけるひび割れの入った部分のひずみ量が特に大きくなっていて、その他のあばら筋のひずみ量は小さい。これは、あばら筋間隔が 350mm と粗いのでせん断ひび割れを横切るあばら筋が 1 組しかなかったためと考えられる。一方、S02H, S02H2 では間隔が W02H と比べ 175mm と密になり、生じたひび割れはあばら

筋をほぼ確実に横切る。次に $p_w=0.4\%$ の場合 W04H, S04H 共にあばら筋に降伏が生じているが S04H では、試験体の片側（右側）では一本のあばら筋しか降伏を生じていない。これは、3.1.1 で述べたように最大耐力時にコンクリートのはらみ出しにより破壊したのであばら筋が反力を取れずに余力を残しかつ、有効にせん断力を分担することができなかつたと考えられる。また、あばら筋比に関わらず、シングル配筋はひずみ量の値が大きいことが特徴として見られた。

3.3 せん断耐力

表-3 に H シリーズの最大耐力および計算値の一覧を、図-9 に実験値の最大耐力と計算値との比較を示す。3.1.1 で示したようにいずれの試験体も最大耐力はせん断耐力と考えられる。表-3 より $p_w=0.2\%$ の場合ダブル配筋、シングル配筋共にほぼ同等の耐力であるが、これはあばら筋に D10 を用いたため W02H のあばら筋間隔が 350mm と粗くなり、本来の耐力が出ていないものと考えられる。次に $p_w=0.4\%$ の場合、ダブル配筋と比較するとシングル配筋の方が明らかに低い値となった。図-9 より、シングル配筋されたすべての試験体で実験値はいずれの計算式においても過大評価され、特にダブル配筋において計算式と最も適合性のよい靱性保証型耐震設計指針式によれば $p_w=0.4\%$ において計算値の 75% の耐力しか得られなかった。

即ち、既往の計算式ではシングル配筋の耐力を適正に評価することはできないと考えられる。また、ダブル配筋された試験体において終局強度型耐震設計指針式では、いずれも過大評価され、大野・荒川式では W04H のみが安全側の評価となった。

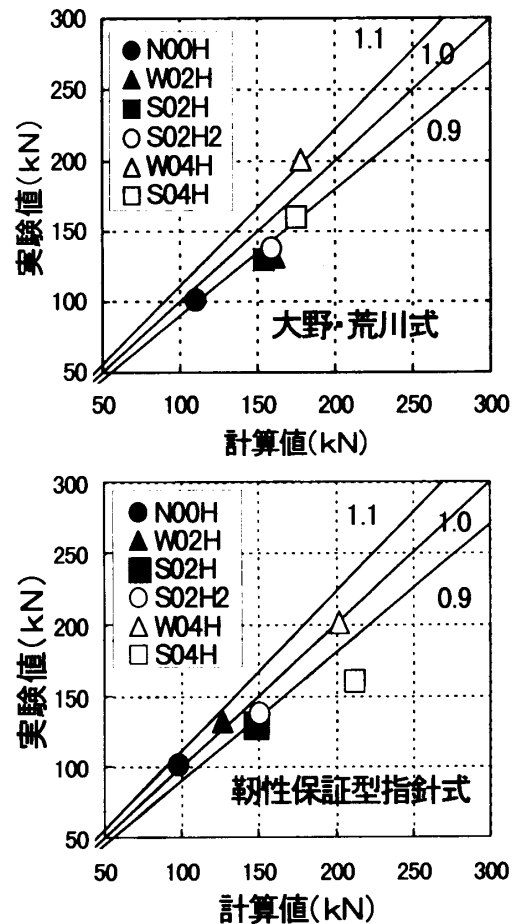


図-9 実験値と計算値の比較

表-3 最大耐力および計算値一覧

試験体	最大耐力 (kN) Q_{max}	計算値 (kN)				実験値/計算値		
		曲げ Q_{mu}	せん断			Q_{max}/Q_{su1}	Q_{max}/Q_{su2}	Q_{max}/Q_{su3}
			Q_{su1}	Q_{su2}	Q_{su3}			
N00H	101	217	110	107	98	0.92	0.94	1.03
W02H	132	219	161	179	127	0.82	0.74	1.04
S02H	130 (S/W=1.0)	217	154	177	148	0.84	0.73	0.88
S02H2	138 (S/W=1.0)	218	159	174	151	0.87	0.79	0.91
W04H	201	218	178	244	202	1.13	0.82	1.00
S04H	160 (S/W=0.8)	217	175	241	212	0.91	0.66	0.75

Q_{max} : 最大耐力実験値

Q_{mu} : 断面解析

Q_{su1} : 大野・荒川式

Q_{su2} : 終局強度型耐震設計指針式

Q_{su3} : 靱性保証型耐震設計指針式

(S/W) はあばら筋比が同等のダブル配筋に対するシングル配筋の比

表-4 実験結果

試験体	最大耐力時		曲げ降伏時			終局時	
	実験耐力 (kN)	計算耐力 (kN)	実験耐力 (kN)	計算耐力 (kN)	部材角 R_y ($\times 10^{-3}$ rad)	実験耐力 (kN)	部材角 R_u ($\times 10^{-3}$ rad)
NO0M	86	93	-	86	-	-	-
W02M	103	93	75	86	2.5	82	15.0
S02M	102	93	97	85	5.0	82	8.7
W04M	107	93	100	85	3.1	86	40.2
S04M	107	93	95	85	2.4	86	23.2

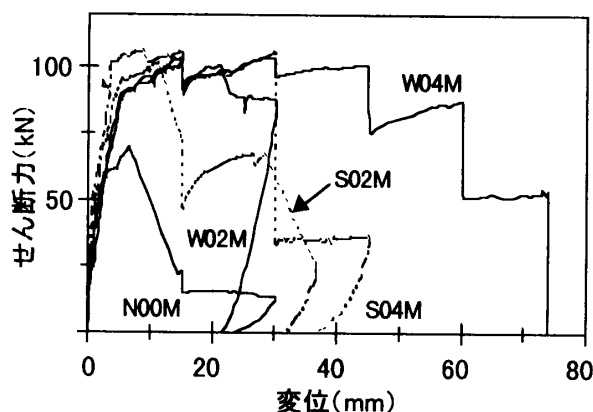


図-10 包絡線

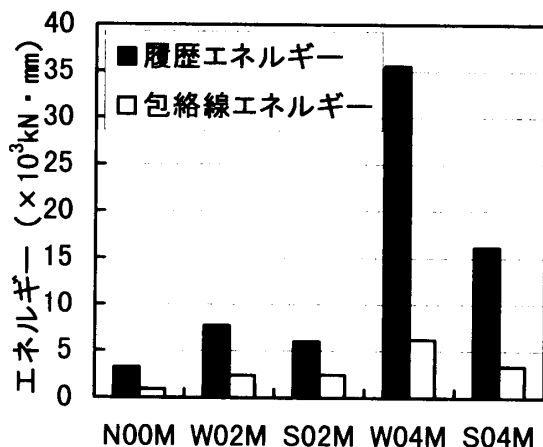


図-11 各試験体のエネルギー

3.4 靱性能

M シリーズの実験結果を表-4 に、包絡線を図-10 に、各試験体のエネルギーを図-11 に示す。ここで終局時とは包絡線上において最大耐力の 80% に低下した時点とした。また、履歴エネルギーは図-7 で履歴曲線が変位軸とで囲む面積をサイクル毎に足しあわせた合計とし、

包絡線エネルギーは図-10 で包絡線が変位軸とで囲む面積とした。表-4 よりあばら筋比に関わらずシングル配の方が、曲げ降伏後終局状態に至るまでの部材角が小さくなり変形能力の劣ることを示している。図-11 からあばら筋比に関わらずシングル配筋の方が履歴エネルギー、包絡線エネルギー共に小さくなり靱性能に乏しいことが分かる。

4. まとめ

あばら筋をシングル配筋された RC 梁について慣用のダブル配筋された梁との比較の上で、実験的に得られた知見を以下に示す。

- (1) あばら筋をシングル配筋された RC 梁ではダブル配筋された RC 梁よりもせん断耐力が低くなり、ほぼ 80% 程度となった。
- (2) 従来の計算式ではシングル配筋された RC 梁のせん断耐力を評価することはできない。適正な設計式を提案することが今後の課題である。
- (3) あばら筋をシングル配筋された RC 梁ではダブル配筋された RC 梁よりも曲げ降伏後の靱性能は著しく劣る結果となった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計準・同解説 1991
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造物の終局強度型耐震設計指針・同解説 1990
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説