

論文 シングル配筋された薄肉RC梁のビニロン繊維補強コンクリートによる限定補強

大川 善丈^{*1}・永坂 具也^{*2}

要旨：主筋がシングル配筋された梁では、あばら筋がコンクリートを横拘束できないため、繰返し交番せん断力を受けることにより、耐力が早期に低下することや腹部に生じる斜めひび割れと梁上下面に生じる付着割裂ひび割れと結びつくことにより、急激な耐力低下を招くことを示してきた。そこで本研究は、急激な耐力低下を招く付着割裂ひび割れを抑制するため、主筋配置領域にのみ繊維補強コンクリートを限定的に用いて、その効果を実験的に検討した。その結果、せん断耐力、および曲げ降伏後の変形能共に顕著に改善されることが示された。

キーワード：シングル配筋，ビニロン繊維補強コンクリート，限定補強，変形能力

1. はじめに

壁式構造における壁梁は幅の狭い断面が用いられるために、主筋、あばら筋共にシングル配筋とされる場合が少なくない。この場合のあばら筋はコンクリートを横拘束できないために、繰返し交番せん断力を受けて耐力が早期に低下することや、また梁の上下面に生じる付着割裂ひび割れが腹部に生じる斜めひび割れと結びつくことにより急激な耐力低下を招くことが知られている^{1)~3)}。さらに、これらの弱点を改善する補強法としてコンクリートに繊維補強コンクリートを用いること提案し、梁のせん断耐力および曲げ降伏後の変形能が顕著に向上するこ

とが実験的に示された^{4)~5)}。しかし、繊維補強コンクリートを薄肉の梁全体に十分に充填するように打設することは容易とは言い難い。そこで本研究では、特に急激な耐力低下を招く付着破壊を抑制するように主筋配置領域に繊維補強コンクリートを限定的に打設することによる構造成能の改善を目指し、その有効性を実験的に検討した。

2. 実験概要

試験体は図-1に示すように試験区間750mm、梁幅150mm、せい500mmの長方形断面とし、シアスパン比を1.5とする片持ち梁状の載荷形式を

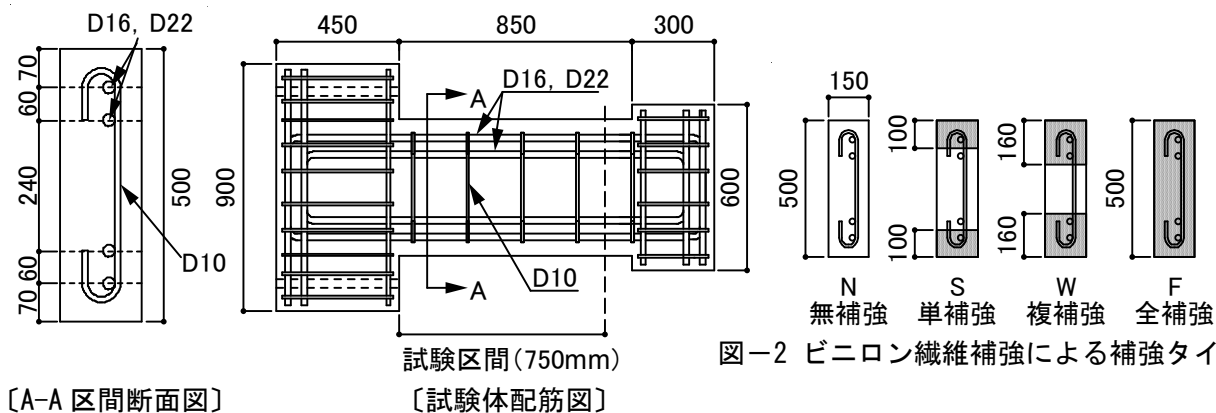


図-1 試験体概要

*1 東海大学大学院工学研究科 修士課程 (正会員)

*2 東海大学工学部建築学科教授 工博 (正会員)

想定したものである。変動要因は主筋量 (4-D22, 4-D16), あばら筋量 $\Phi 10 @ 200\text{mm}$ 150mm, 100mm) およびビニロン繊維補強コンクリートによる補強タイプ (無補強 N, 全補強 F, 単補強 S, 複補強 W) である (図-2)。また, ビニロン繊維の体積混入率は一律に 1% とした。試験体一覧を表-1 に示す。S シリーズはせん断耐力発現, B シリーズは曲げ降伏先行を意図したものである。コンクリートの力学特性を表-1 中に示す。また鉄筋の力学特性を表-2 に示す。ビニロン繊維は樹脂による強集束タイプであり, その材料特性を表-3 に示す。荷重方法は図-3 に示すように梁部材を鉛直にし, 正負交番繰り返し水平せん断力を与えるものとした。荷重プログラムは変位制御によるものとし, 図-4 に示すように, S

シリーズでは, 第一振幅のみ正負 2 回交番繰り返し荷重とし, その後は各振幅正負 1 回荷重とした。B シリーズでは各振幅正負 3 回の交番繰り返し荷重とした。

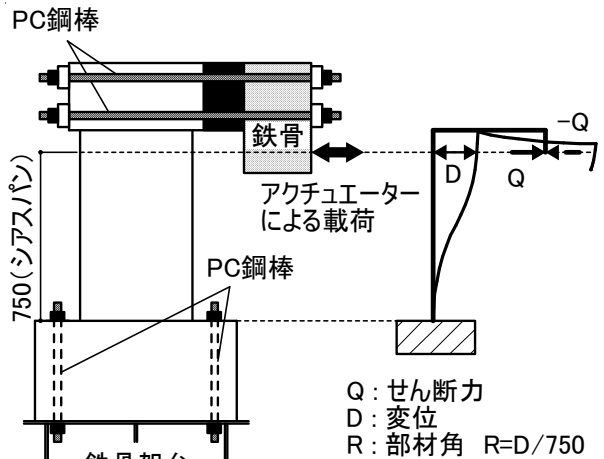


図-3 荷重方法と測定変位

表-1 試験体一覧

試験体名	主筋	あばら筋	補強方法	コンクリートの力学特性			
				σ_B (Pa)	E ($\times 10^4$ MPa)	ε_B ($\times 10^{-6}$)	σ_{sp} (MPa)
S20-N	4-D22 ($p_t=1.29\%$)	D10@200 ($p_w=0.24\%$)	N	22.9	1.82	2540	1.66 (2.62)
S20-S			S	23.6 (28.5)	1.58 (1.69)	2670 (3180)	
S20-W		D10@100 ($p_w=0.47\%$)	W	25.0 (28.4)	1.68 (1.63)	2890 (3450)	
S10-W			W	24.8 (28.6)	1.61 (1.54)	2930 (3660)	
B20-N	4-D16 ($p_t=0.66\%$)	D10@200 ($p_w=0.24\%$)	N	24.1	1.75	2840	1.88(2.75)
B20-S			S	23.7 (22.7)	1.65 (1.45)	2580 (3680)	
B20-W			W	23.7 (26.8)	1.75 (1.64)	2690 (3420)	
B20-F			F	(24.7)	(1.59)	(3550)	
B15-W		D10@150 ($p_w=0.32\%$)	W	25.9 (27.4)	1.77 (1.64)	2860 (3540)	
B10-W		D10@100 ($p_w=0.47\%$)	W	26.6 (27.2)	1.74 (1.53)	2890 (4300)	

σ_B : 圧縮強度, ε_B : 圧縮強度時ひずみ度, E : ヤング係数, σ_{sp} : 割裂強度
() の値は繊維補強コンクリートによる値

表-2 鉄筋の力学特性

鉄筋	ヤング係数 ($\times 10^5$ MPa)	降伏強度 (MPa)	伸び (%)
D10(SD295A)	1.85	371	20.1
D16(SD295A)	1.86	367	19.2
D22(SD390)	2.05	436	18.6

表-3 ビニロン繊維の材料特性

繊維長さ (mm)	繊維径 (mm)	引張強度 (MPa)	伸度 (%)	比重
24	0.45	880	5	1.3

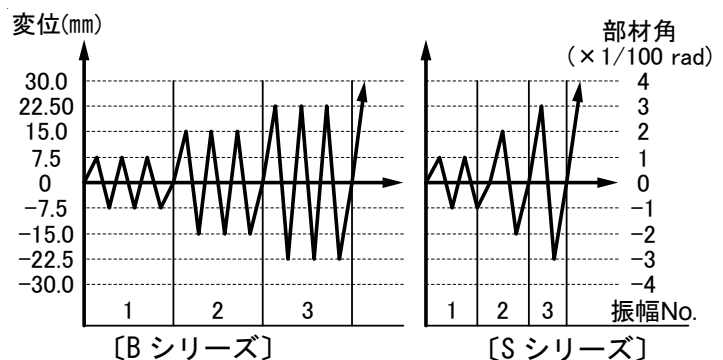


図-4 荷重プログラム

3. 実験結果と考察

Sシリーズについてのひび割れ状況を図-5に例示する。また、B20シリーズ、S20シリーズのせん断力-変位曲線を図-6に例示する。

3.1 破壊状況

あばら筋の間隔が同じ B20 シリーズでは、繊維補強を行っていない N に比べ、S、W、F と補強域が多くなるにつれ、曲げ降伏後の変形能は向上する傾向が見られた。また、S シリーズでは S20-N に比べ、繊維補強を行った S20-S、S20-W、S10-W は、最大耐力が 20% 程度向上した。

破壊過程では、繊維補強をしていない N に比べ繊維補強を行った S、W、F は、繊維コンクリートの混入域の多いほど、ひび割れは細かく、分散して発生する傾向が見られた。また、繊維補強を行った S、W、F の試験体では、打設不良により、打設底面に付着割裂ひび割れが発生したが、打設上面では軽微な付着割裂ひび割れが確認される程度であった。繊維補強を行うことによって、シングル配筋特有の梁両端部に発生する付着割裂ひび割れがせん断ひび割れと結びつくことによる、急激な耐力低下は抑制された。また、実験終了時にはあばら筋の間隔が狭い方が、剥離、剥落がより軽微となった。

3.2 あばら筋のひずみ度分布

主筋配置領域のコンクリートを繊維補強することによる、せん断ひび割れ後のせん断抵抗に対する繊維の協力を検討するため、S シリーズに

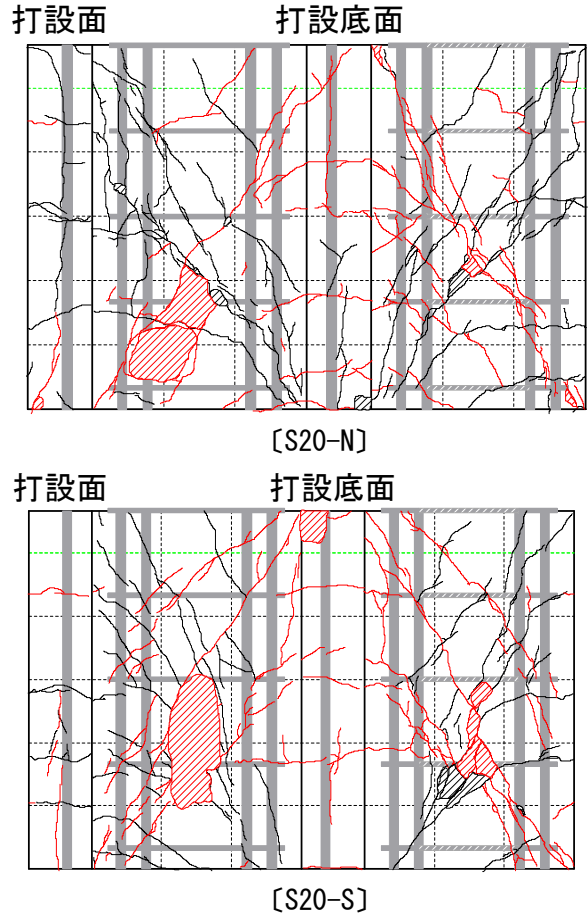


図-5 試験体ひび割れ図

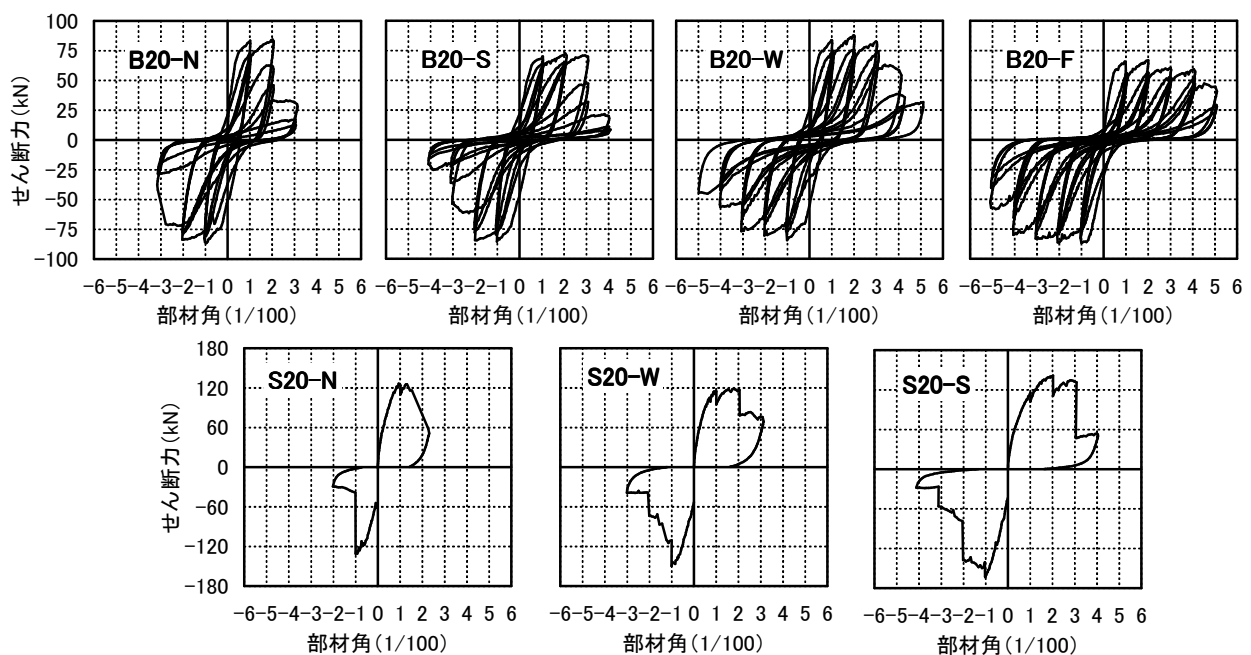


図-6 せん断力-変位曲線

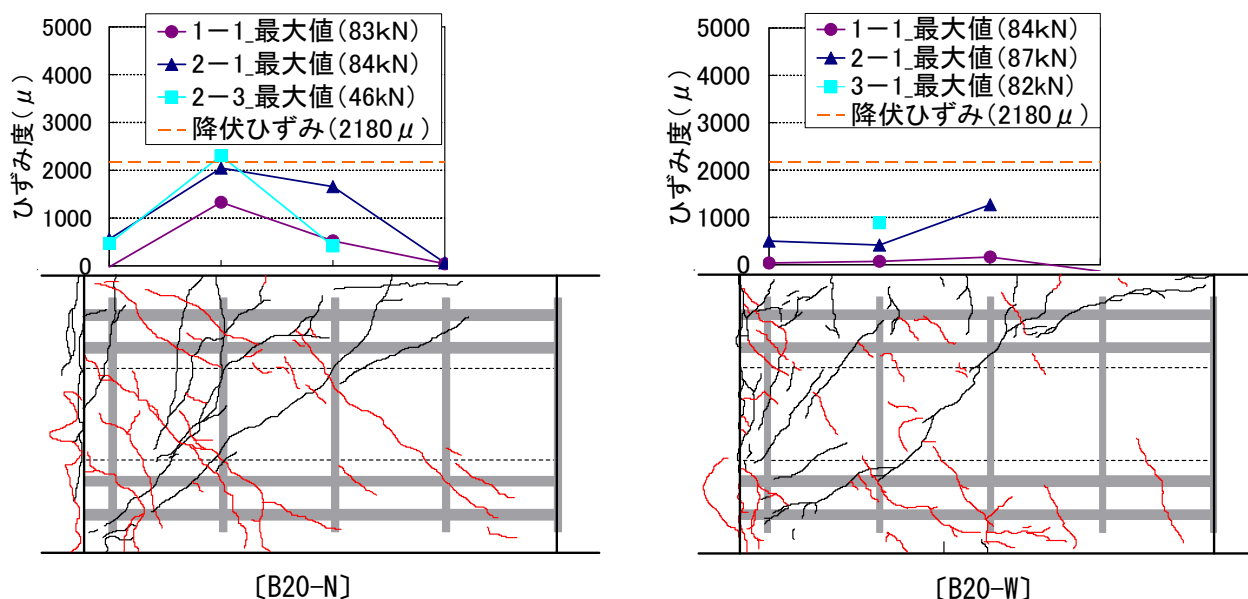


図-7 あばら筋のひずみ度分布

表-3 B シリーズ諸耐力

試験体名	圧縮強度, N/mm ²		最大耐力, kN				せん断余裕度		限界変形		
	プレーン	繊維補強	実験値	曲げ耐力	せん断耐力	実験値	計算値	変形角, ×10 ⁻²	塑性率		
B20-N	24.1	—	−86.5	77.8	−1.11	109	1.51	1.40	2.4	−2.8	5.6
B20-F	—	24.7	−86.7	78.1	−1.11	110		1.41	4.4	−4.5	9.0
B20-S	23.7	22.7	−85.6	77.3	−1.11	107	1.90	1.38	3.3	−2.5	6.6
B20-W	23.7	26.8	87.8	78.9	1.11	113	1.71	1.43	3.5	−3.5	7.0
B15-W	25.9	27.4	−86.4	79.1	−1.09	120		1.52	3.5	−2.9	5.8
B10-W	26.6	27.2	−85.6	79.1	−1.08	131	1.85	1.66	4.5	−4.8	9.6

- 1) 実験値の正負は各値を発現した正・負の载荷時に対応
- 2) 曲げ耐力欄の左側は断面解析による計算値、右側はその計算値に対する実験値の比の値を示す
- 3) せん断耐力は大野・荒川式によって算定したものであり、B20-N以外はコンクリートの圧縮強度には繊維補強コンクリートを用いた
- 4) 塑性率は、B20-Sを除き、曲げ耐力の発現された方向の载荷時に生じた限界変形の基づいて算定。また、その際の降伏変形は1/200とした
- 5) せん断余裕度は、曲げ耐力に対するせん断耐力の比の値を表し、実験値としてはBシリーズの最大耐力に対応するSシリーズの最大耐力の比を用いた

ついて、各振幅の処女サイクル時のせん断力の増大によるあばら筋のひずみ度分布を 図-7 に例示する。B20-N では、顕著なせん断ひび割れを横断するあばら筋においては、あばら筋のひずみ度は降伏ひずみ付近にまで達した。しかし、B20-W では、B20-N に比べ、あばら筋のひずみ度は小さく、部分補強によるせん断抵抗に関する繊維の協力を認めることができた。

3.2 曲げ耐力

B シリーズは、すべての試験体で引張鉄筋が降伏したことが確認されたため、最大耐力は曲げ耐力であると考えられる。平面保持を仮定し、材料試験から得られた鉄筋、コンクリートの応力度-ひずみ度関係に基づいた断面解析による

曲げ耐力の計算値と実験値との関係を 図-8, 9 に示す。図-8 の計算値には各試験体の普通コンクリートの圧縮強度を用い、図-9 では、繊維コンクリートの直接引張試験結果より得られた、ひずみ度が 5000×10^{-5} 時の残存引張耐力を考慮した場合の断面解析による計算値を示す。普通コンクリートによる計算値では、実験値をやや過小評価する傾向が見られたが、繊維コンクリートの残存引張耐力を考慮することにより、より良い適合性が示された。

3.3 せん断耐力

S シリーズでは、あばら筋が降伏したことや破壊状況から見て実験値はすべてせん断耐力であると考えられる。実験で得られた最大耐力と大

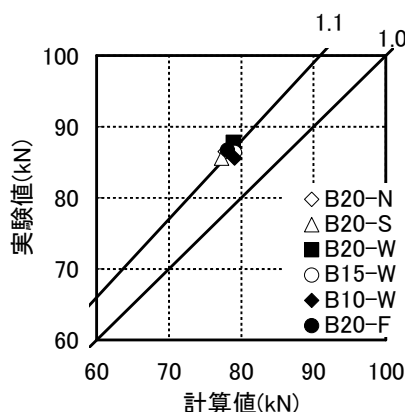


図-8 断面解析

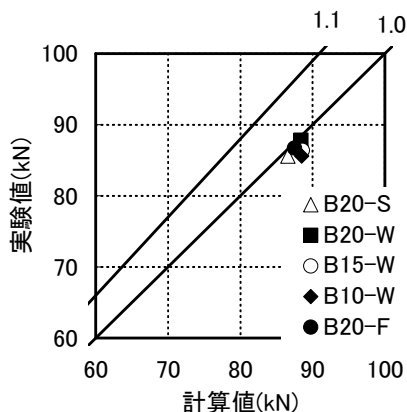


図-9 繊維考慮断面解析

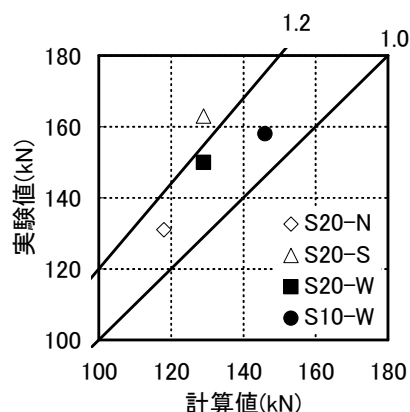


図-10 大野・荒川 mean 式

表-4 S シリーズ諸耐力

試験体名	圧縮強度, N/mm^2		最大耐力, kN				せん断ひび割れ耐力		付着応力度
	プレーン	繊維補強	実験値	せん断耐力	曲げ耐力		実験値, kN	計算値, kN	実験値, N/mm^2
S20-N	22.9	-	-131	118	-1.11	161	55	79	3.33
S20-S	23.6	28.5	-163	129	-1.26	162	65	80	5.24
S20-W	23.6	28.5	-150	129	-1.16	168	70	83	3.93
S10-W	24.8	28.6	-158	146	-1.08	170	70	82	5.69

- 1) 実験値の正負は各値を発現した正・負の荷重時に対応
- 2) せん断耐力は大野・荒川式によって算定したものであり、右側はその計算値に対する実験値の比の値を示す。
S20-N以外はコンクリートの圧縮強度に繊維補強コンクリートの強度を用いた
- 3) 曲げ耐力は断面解析によって算定したものであり、S20-N以外は繊維補強コンクリートのひび割れ後の残存引張耐力を考慮
- 4) せん断ひび割れ耐力の実験値はひび割れが断面のせい/3以上にならないうちにわたって伸展した際の耐力

野・荒川 mean 式によるせん断耐力の計算値との関係を図-10に示す。S20-N、およびあばら筋量が2倍のS10-Wでは、計算値の1.1倍となったが、S20-S、S20-Wでは、1.2倍程度となった。シングル配筋された梁において、ビニロン繊維を限定的に補強することによって慣用の閉鎖型のあばら筋を用いた梁と同程度以上のせん断耐力が得られたと考えられる。

3.4 付着応力度

主筋の長さ方向150mm、200mmの区間両端に貼り付けたひずみゲージより、Sシリーズにおいて発現された最大平均付着応力度を前出の表-4に示す。ビニロン繊維を混入することにより、付着強度が増大する傾向がみられた。

3.5 変形能

Bシリーズのせん断余裕度と限界変形を前出の表-3、4中に示す。せん断余裕度と限界変形との関係を図-11に示す。ここで、最大耐力発現後、その80%に低下した耐力時の変形角を限界変形と定義した。曲げ降伏変形角は、荷重-変

位曲線より、曲げ降伏の生じた変形角が1/200rad程度であったことから、一律に1/200radとした。また、限界塑性率は、曲げ降伏変形角に対する限界変形角の比とし、せん断余裕度は曲げ耐力に対するせん断耐力の比とした。ここで、B20-Fは繊維補強を断面全域にわたって行ったため、付着割裂を抑えるばかりでなく、腹部のせん断補強効果も付加されてせん断耐力が増大したと考えられる。また、B20-Sでは打設不良が著しく見られたため変形能が特に小さくなったと考えられる。よってB20-FとB20-Sの試験体を除くと、限界塑性率とせん断余裕度の間にはほぼ直線的な関係が認められる。図-11中に示された2つの直線は両者の関係を最小二乗法によって近似したものである。太線はせん断耐力に大野・荒川 mean 式、曲げ耐力に断面解析による計算値を用いてせん断余裕度を求めたものである。これより、シングル配筋されたRC梁においても付着割裂破壊が抑えられれば、慣用の閉鎖形のRC梁と同様に変形能がせん断余

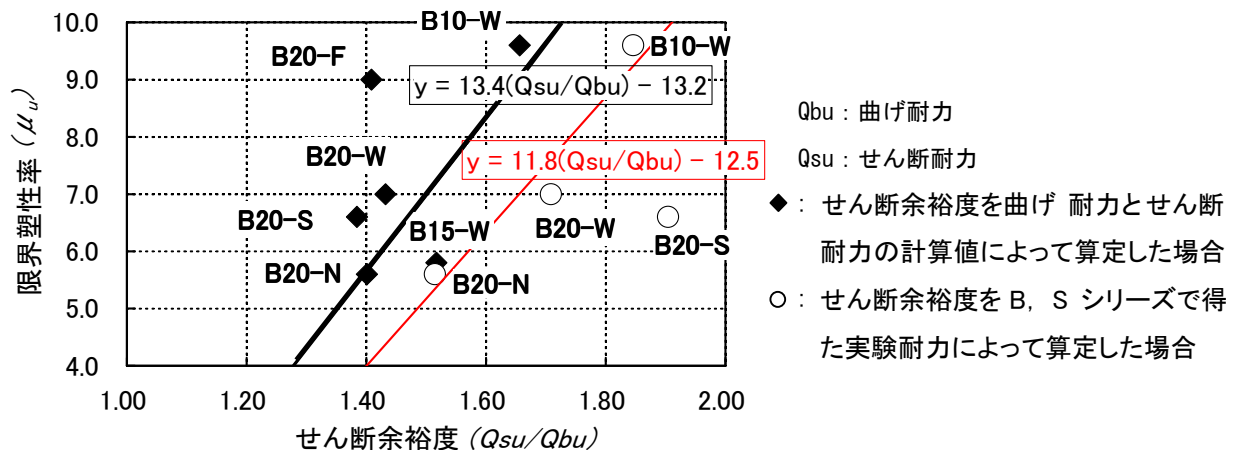


図-11 限界塑性率とせん断余裕度の関係

裕度によって推定できると考えられる。他方、同図中の細線は、B、S シリーズで対応する試験体について実験的に得られた曲げ耐力、せん断耐力を用いてせん断余裕度を求めたものであり、せん断余裕度により限界塑性率の増大する傾向がほぼ同様に認められる。

4. まとめ

シングル配筋された RC 薄肉梁にビニロン繊維コンクリートを限定的に補強する効果を実験的に検討し以下の知見を得た。

- 1) ビニロン繊維の限定補強により、曲げ降伏後の変形能力は向上し、繊維コンクリートの補強範囲が広いほど変形能力が増大した。
- 2) 主筋 2 本分に繊維補強を行った B20-W では、梁全体に繊維コンクリートを使用した B20-F の 80% 程度の変形能力が得られた。
- 4) 繊維補強によって付着割裂破壊を抑えることにより、あばら筋がシングルに配筋された梁においても大野・荒川式により十分安全側に評価されるせん断耐力が示された。
- 5) 慣用の RC 梁同様、限界変形能は、せん断余裕度とともに直線的に増大する傾向が示された。

謝辞

実験に際して協力して頂いた、平成 18 年度永坂研究室所属の卒業研究生、およびビニロン

繊維を提供して頂きましたユニチカ株式会社に対し深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 永坂具也，古町健司：シングル配筋されたあばら筋を有する RC 梁（その 1），（その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2000 年 9 月，pp. 465-468
- 2) 永坂具也，古町健司，中西裕介，内山泰：シングル配筋されたあばら筋を有する薄肉 RC 梁の交番繰返し下のせん断耐力（その 1），（その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2001 年 9 月，pp. 277-280
- 3) 永坂具也，中西裕介，内山泰：シングル配筋されたあばら筋を有する薄肉 RC 梁の曲げ降伏後の靱性能（その 1），（その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2002 年 8 月，pp. 271-274
- 4) 永坂具也，内山泰：鋼繊維による薄肉 RC 梁の耐力と靱性の向上に関する研究（その 1），（その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2003 年 9 月，pp. 33-36
- 5) 永坂具也，長谷川匡輔：シングル配筋された薄肉 RC 梁のビニロン繊維による耐力と靱性の向上に関する研究（その 1），（その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集，2005 年 9 月，pp. 95-98