

論文 シングル配筋された薄肉RC梁のビニロン繊維による構造性能の改善に関する研究

永坂 具也^{*1}・長谷川 匡輔^{*2}

要旨：壁式構造における壁梁や住宅の布基礎の立ち上り部は一般に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多い。著者らは、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、同量のあばら筋を閉鎖型に用いた慣用の梁に比べ、せん断耐力が劣る一方、曲げ降伏後の変形能が低下することを示した。本論文では、薄肉RC梁のコンクリートにビニロン繊維を混入して曲げせん断試験を行い、最大耐力、靱性能が共に顕著に増大すること、さらに繊維補強コンクリートの圧縮靱性及び、ひび割れ後の引張耐力を考慮することにより、梁の曲げ耐力、せん断耐力を評価する耐力式を示した。

キーワード：薄肉RC梁、シングル配筋、ビニロン繊維補強コンクリート、耐力式、靱性能

1. はじめに

壁式構造の壁梁や住宅の布基礎の立ち上り部は一般に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多い。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、同量のあばら筋を閉鎖型に用いた慣用の梁に比べ、せん断耐力が劣る一方、曲げ降伏後の変形能が低下することが知られている¹⁾。

本研究はシングル配筋が用いられているRC薄肉梁に、ビニロン繊維を混入したコンクリートを用いて梁の耐力と変形能を高めることを目指し、ビニロン繊維による構造性能の改善効果を実験的に明らかにしたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体と载荷・測定方法

試験体はシングル配筋されたものを基本に、図-1に示すようにシアスパン 750mm、梁せい 600mm の長方形薄肉梁とした。主たる変動要因は梁幅 (150mm, 200mm), あばら筋間隔 (D10@100, 150, 200, 300), あばら筋形状 (シ

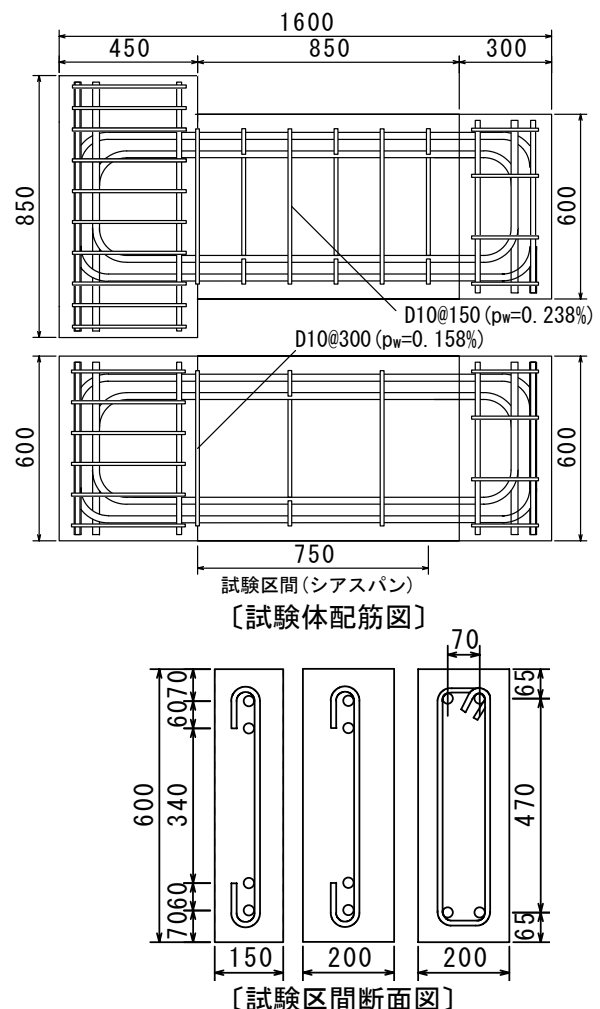


図-1 試験体概要

*1 東海大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

*2 小田急建設 (株) 建築本部

表-1 試験体・諸耐力一覧

試験体名	梁幅 (mm)	主筋	あばら筋 (D10)		ビニロン繊維 体積混入率 V _f (vol%)	*1 σ _B (MPa)	*2 Q _{max} (kN)	*3 R _u (× 10 ⁻² rad.)	*4 破壊 モード
			間隔 (mm)	ρ _w (%)					
S30wc-00	200	4-D22	300	0.238	0.0	25.2	200	—	×
S15w-00			150	0.238	0.0	24.7	220	1.29	S
S15w-10				0.238	1.0	28.5	256	2.04	BS
S20n-00	150		200	0.238	0.0	25.3	158	1.12	S
S20n-10				0.238	1.0	25.9	208	2.15	BS
S30n-00			300	0.158	0.0	23.8	144	1.14	S
S30n-10				0.158	1.0	28.3	209	1.77	BS
S30n-15				0.158	1.5	26.9	204	1.95	BS
B30n-00	150	4-D16	300	0.158	0.0	27.5	100	1.11	BS
B30n-10				0.158	1.0	30.3	116	2.80	B
B30n-15				0.158	1.5	30.3	111	2.81	B
B20n-10			200	0.238	1.0	30.1	116	3.30	B
B10w-00	200		100	0.355	0.0	29.5	117	2.34	B

*1 コンクリート圧縮強度 *2 最大耐力実験値 *3 限界変形角：最大耐力発現後 80%まで
耐力が低下した時点での部材角 *4 ×：支持部スタブ破壊 S：せん断破壊
BS：曲げ降伏後せん断破壊 B：曲げ破壊

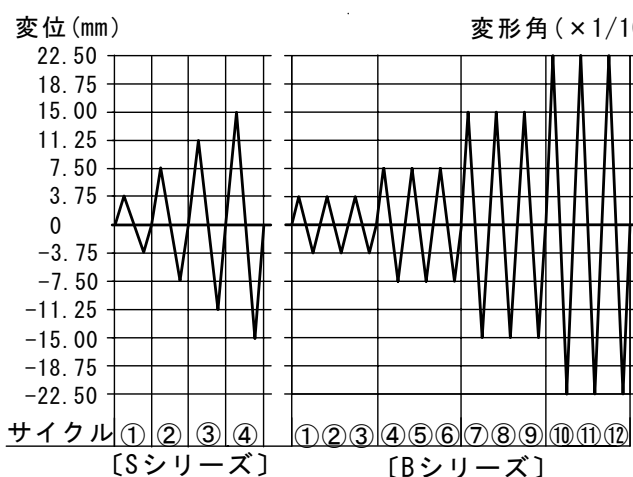


図-2 荷重プログラム

ングル配筋，閉鎖型配筋）とビニロン繊維の体積混入率（0.0%，1.0%，1.5%）とした。試験体の一覧を表-1に示す。Sシリーズは繊維の効果を無視した上でせん断破壊が先行するように，Bシリーズは曲げ降伏破壊が先行するように計画した。各試験体の実験結果を同表中に，鉄筋の力学特性を表-2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-2に示すように，Sシリーズでは各振幅正負1回，Bシリーズ

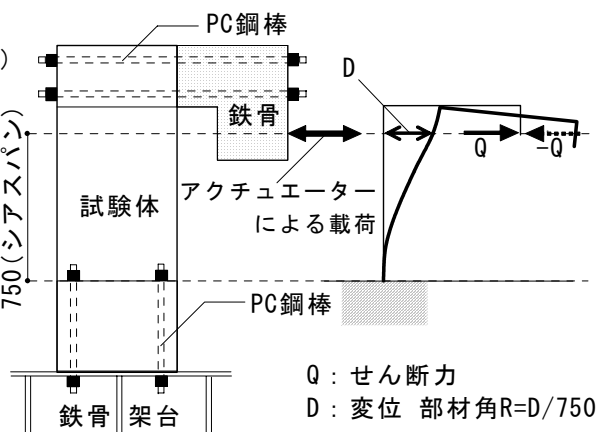


図-3 荷重方法と測定変位

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)	引張強度 (MPa)
D10 (SD295A)	1.85	371	517
D16 (SD295A)	1.86	367	533
D22 (SD390)	2.05	436	625

ズでは各振幅正負3回の交番繰り返し荷重を基本とした。荷重は限界耐力（最大耐力発現以降の繰り返し過程で最大耐力の80%に低下した耐力）を確認したサイクルを以て終了とした。

2.2 ビニロン繊維補強コンクリートの材料特性

コンクリートの調合は表-3に示す。容量0.11m³の傾胴式ミキサーに，生コンプラントよ

り配送されたベースコンクリートと共にビニロン繊維を 2 回に分けて投入し、混練した。使用したビニロン繊維は、樹脂による強集束タイプとし、引張強度 880MPa、比重 1.3、長さ 24mm、外径 0.45mm（円形断面に面積換算した直径）である。

コンクリートの圧縮試験の実験結果は表－4 に示す。プレーンコンクリートの場合は急激な剛性低下に対処するため、鉄骨梁を介しての剛性試験によった。ビニロン繊維を混入することにより、ヤング係数がやや低下するが、圧縮強度時歪度およびタフネス（圧縮歪 0.005）が増大する傾向が示された。引張試験体は、横打ちによる外径 100mm、内径 25mm、高さ 300mm の中空円柱である。引張試験は図－4 のような PC 鋼棒に冶具を取り付け、エポキシ系接着剤を用いて供試体と一体した後に、PC 鋼棒を引張る方式で行った。実験結果を表－5 に示す。同表より繊維を混入することにより、ひび割れ後も有意な引張耐力のあることが認められた。

3. 実験結果と考察

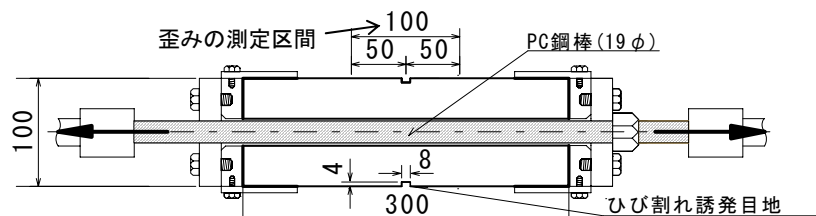
限界耐力時のひび割れ図の一例を図－5 に、繊維混入試験体のせん断力－変位曲線を繊維無混入試験体の包絡線と比較して図－6 に示す。

3.1 破壊状況

B シリーズではいずれも曲げ降伏が先行したが、S シリーズでは、繊維を混入したものは第 2 振幅目（1/100 rad.）で主筋の曲げ降伏が先行し、

表－3 ビニロン繊維補強コンクリート調査表

繊維混入率 V_f (vol%)	質量 (kg/m ³)					
	水	セメント	細骨材	粗骨材	ビニロン繊維	混和剤
0.0	189	315	1036	710	0	4.71
0.5	188	313	1031	707	7	4.69
1.0	187	312	1026	703	13	4.66
1.5	186	310	1020	699	20	4.64



図－4 引張試験概要

表－4 コンクリート圧縮試験結果一覧

シリーズ名	ビニロン繊維 体積混入率 V_f (vol%)	圧縮 強度 σ_B (MPa)	圧縮強度時 歪度 ε_B (μ)	ヤング係数 E_c ($\times 10^4$ MPa)	タフネス (N・mm /mm ³)
S シリーズ	0.0	24.7	2478	1.74	0.097
	0.5	26.3	2975	1.79	0.106
	1.0	27.6	3477	1.69	0.109
	1.5	26.9	3270	1.63	0.107
B シリーズ	0.0	28.5	2470	1.99	0.114
	1.0	30.2	2910	2.01	0.121
	1.5	30.3	3320	1.96	0.121

表－5 コンクリート引張試験結果一覧

供試体名	ビニロン繊維 混入率 V_f (vol%)	圧縮強度 σ_B (MPa)	初ひび割れ時		定歪時引張耐力 (MPa)		
			引張強度 σ_T (MPa)	歪度 ε_T (μ)	$\varepsilon=2000$ (μ)	$\varepsilon=3000$ (μ)	$\varepsilon=4000$ (μ)
0.0%-2	0.0	24.7	1.42	65	—	—	—
0.0%-3	0.0	24.7	1.68	65	0.52	—	—
0.0%-4	0.0	24.7	1.80	63	0.45	—	—
0.5%-1	0.5	26.3	2.23	98	0.88	0.68	0.61
0.5%-2	0.5	26.3	2.38	60	0.92	0.64	0.58
1.0%-2	1.0	27.6	2.68	170	0.54	0.54	0.54
1.0%-4	1.0	27.6	1.40	93	0.47	0.49	0.51
1.0%-5	1.0	27.6	2.13	65	0.67	0.67	0.67
1.5%-2	1.5	26.9	2.79	160	1.61	1.24	1.14
1.5%-3	1.5	26.9	1.28	38	0.55	0.51	0.48

曲げ耐力が発現されたといえる。S30wc-00 では固定ボルトのナット接触部のコンクリートが支圧破壊して耐力を失ったことから耐力と靱性の検討からは除外するものとした。繊維を混入した試験体では、両シリーズ共にコンクリートの剥落が抑えられ、ひび割れが分散した。さらに薄肉梁特有の付着割裂ひび割れも生じず、繊維無混入のものの2倍にもなる付着応力度が発現された(図-7)。せん断ひび割れ幅の伸展を第一振幅目(1/200 rad.)正荷重時について図-8に示す。繊維を混入することによってひび割れ幅の拡大が明らかに抑えられ、1.5%混入のものは1%よりもさらに抑えられる傾向が示された。

3.2 耐力と靱性

図-6のせん断力-変位曲線から明らかに、両シリーズ共にビニロン繊維を混入することによる耐力と靱性能の向上が認められる。

曲げおよびせん断のひび割れ耐力はいずれも、図-9, 10に示すように繊維を1.0%混入することによって30~80%増大したが、1.5%混入してもさらなる耐力の増大は認められなかった。曲げ耐力をBシリーズの梁幅150mmであれば筋間隔300mmのものについて比較すると、繊維の混入により10%以上の増大が得られた。しかし、

最大耐力についてはB, Sシリーズ共に、混入率を1.0%から1.5%に増しても特に増大する傾向は示されなかった。他方、靱性については明らかに1.5%の方がより優れた結果が示された。

3.3 曲げ耐力の評価

表-5の結果を考慮してコンクリートのひび割れ後の引張耐力特性を図-11のように仮定し、

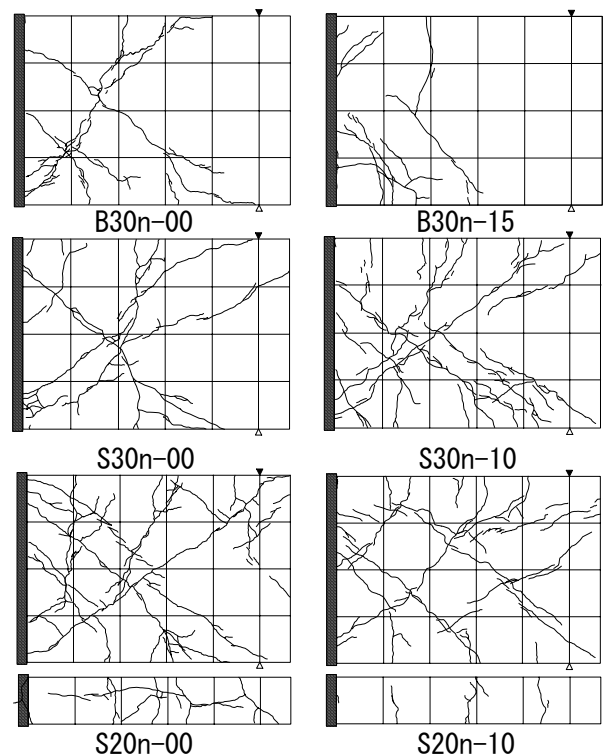


図-5 試験体ひび割れ図例示

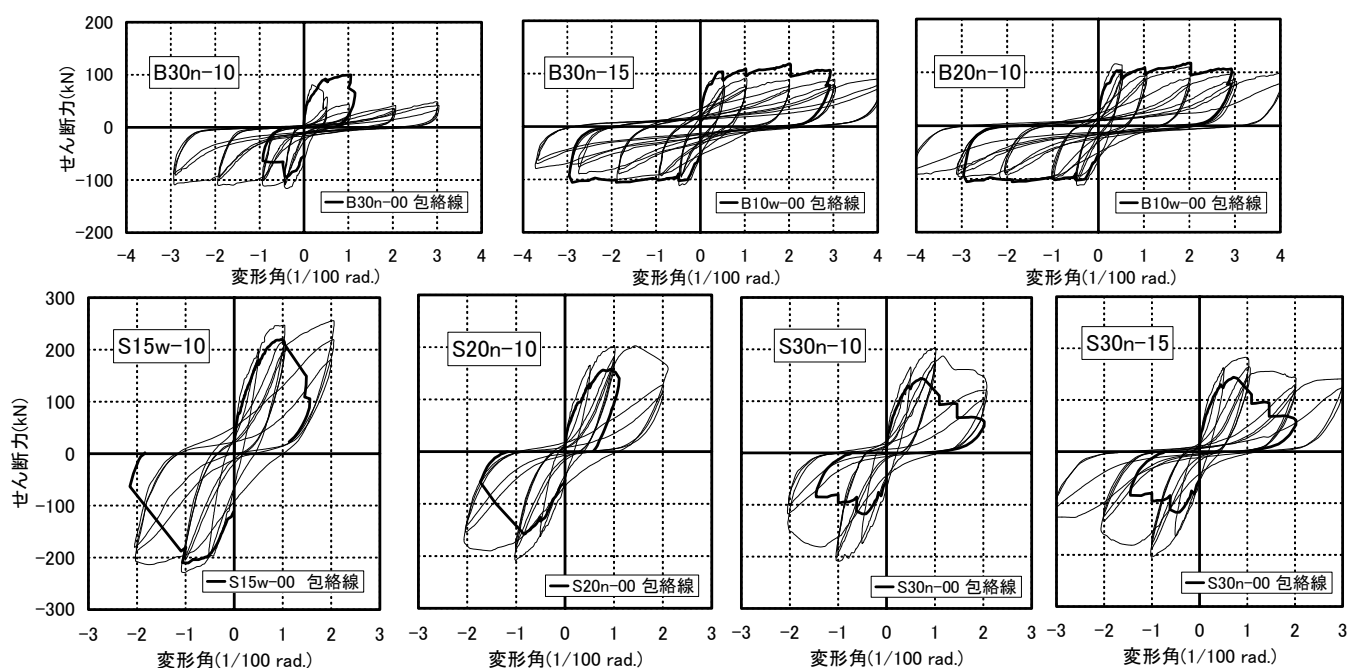


図-6 せん断力-変位関係

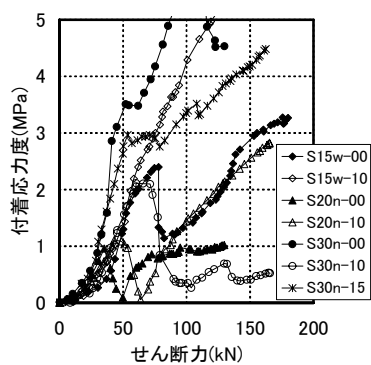


図-7 外側主筋の付着応力度
(算定区間：210mm)

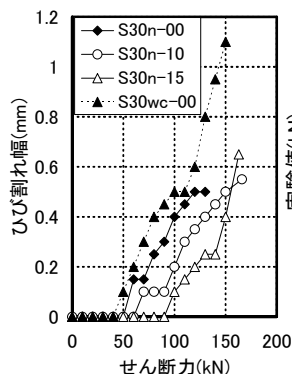


図-8 せん断
ひび割れ幅

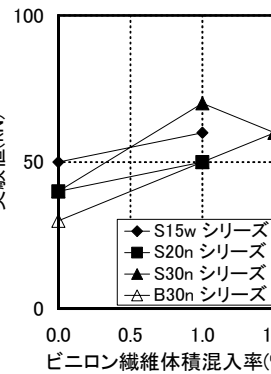


図-9 曲げひび割れ
耐力

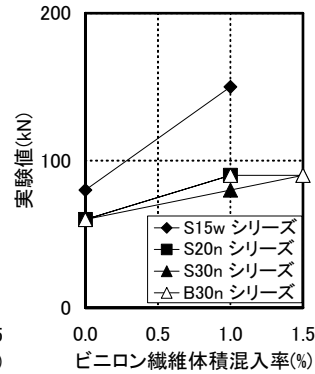


図-10 せん断ひび
割れ耐力

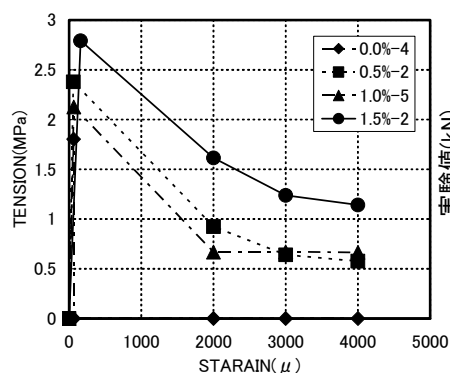


図-11 引張応力度-歪度関係

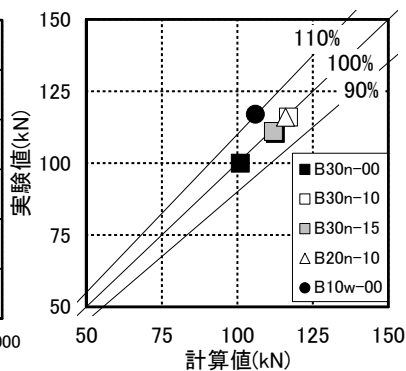


図-12 断面解析

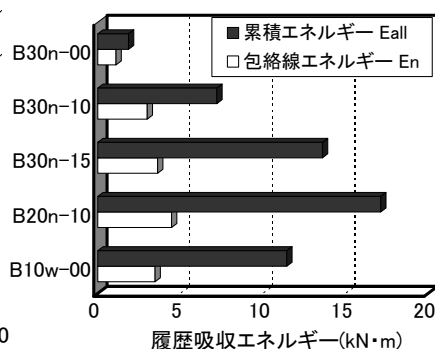


図-13 履歴吸収エネルギー

断面解析により算定した曲げ耐力と実験値との関係を図-12に示す。同図より、繊維補強コンクリートの引張靱性を考慮することにより曲げ耐力をほぼ適正に評価できると言えよう。

3.4 履歴吸収エネルギー

曲げ降伏の先行した B シリーズの限界耐力に至るまでの履歴吸収エネルギーを図-13に示す。履歴吸収エネルギーは、1.5%の繊維混入により約 7 倍に増大した。繊維混入の B20n-10, B30n-15 では、梁幅がより大きく、あばら筋間隔のより狭い繊維無混入の B10w-00 よりも大きくなった。

3.5 せん断耐力

S シリーズでは、繊維を混入した試験体は曲げ降伏が先行した。その最大耐力は繊維無混入の試験体と比較すると、S15w-10 は 16%, S20n-10 は 32%, S30n-10 は 45%, S30n-15 は 42% の増大となった。最大耐力発現後、S20n-10, S30n-10, S30n-15 は次の振幅に進む過程で明確な耐力低下が生じたため、これらの最大耐力は実験的にせん断耐力に近いと考えられる。また、S15w-10 は最大耐力を示した振幅時に著しい耐力低下を

生じたことから、この最大耐力もせん断耐力に近い値と考えられる。

シングル配筋の有効幅を考慮した修正靱性指針式⁵⁾により算出した値と実験値を比較したものを図-14に示す。同図から繊維無混入の試験体については比較的適正な評価が得られたが、繊維を混入した試験体では過小評価されている。そこで、ビニロン繊維補強コンクリートの圧縮タフネス及び、ひび割れ後の引張耐力を考慮して以下のように靱性指針式を修正した。すなわち、コンクリート圧縮強度の低減係数である ν 、及びシングル配筋としての有効梁幅 b_e を、表-4 から繊維混入によって得られる圧縮タフネスの増大率 1.1 で割増すものとした。さらに、ビニロン繊維補強コンクリートの 0.004 の歪時における引張耐力に 3 次元ランダム配向係数 0.41 を乗じた値のせん断力負担が付加されるものとして、あばら筋負担力を増大させた。

図-15 は圧縮タフネスのみを考慮して ν 、 b_e を 1.1 倍した修正靱性指針による計算値と実験値との関係である。同図より計算値に対する実

験値の比は 1.11~1.28 となり、変動係数は 0.065 になった。図-16 は ν 、 b_e を 1.1 倍し、繊維による引張耐力を、あばら筋の負担力を増大した修正靱性指針式（繊維考慮修正靱性指針式）による計算値と実験値との関係である。計算値に対する実験値の比は 1.19~1.0 となり、変動係数は 0.079 となった。これにより全ての試験体の最大耐力が誤差 20%以内で控えめに評価された。

4. まとめ

シングル配筋された RC 薄肉梁にビニロン繊維を混入したコンクリートを用いることにより、耐力と靱性能について実験的に検討し以下の知見が得られた。

- 1) ビニロン繊維を 1.0%及び 1.5%混入することにより、単調圧縮載荷時のコンクリート柱体のタフネスは約 1.1 倍に増大した。一方、直接引張試験の結果、ひび割れ後も耐力が残存し、繊維 1.0%の混入による、0.004 の歪時では引張強度の 30%程度となった。
- 2) ビニロン繊維を混入したコンクリートを用いることにより、梁幅が狭く、あばら筋間隔の粗いシングル配筋の試験体において、以下のような構造性能の向上が示された。
 - ・シングル配筋特有の付着割裂ひび割れが抑えられ、付着強度は 2 倍以上にもなった。
 - ・曲げ降伏先行型の試験体の曲げ耐力は 1%の繊維混入によって、16%程度増大した。
 - ・せん断耐力は 1.0%の繊維混入により、最大で

約 45%増大した。また、あばら筋間隔が粗いものほど増大は大きくなる。

- ・ 1.5%の繊維混入により、靱性能は顕著に増大し、履歴吸収エネルギーは約 7 倍になった。
- 3) ビニロン繊維補強コンクリートの圧縮靱性及びひび割れ後の引張耐力を考慮することにより、梁の曲げ耐力、せん断耐力をほぼ適正に評価することができる。

参考文献

- 1)永坂具也, 古里健司: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp559-564, 2000.6.
- 2)国土交通省国土技術政策総合研究所 他: 壁式コンクリート造設計施工指針, 2003.2.
- 3)日本建築学会: 壁式構造関係設計規準集・同解説(壁式コンクリート造編), 2003.9.
- 4)日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999.7.
- 5)永坂具也, 中西裕介, 長谷川匡輔: 薄肉 RC 梁のせん断耐力とその評価に関する研究(その 1), (その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp29-32, 2003.9.

謝辞

ビニロン繊維を提供頂いたユニチカ株式会社、実験に協力頂いた 2004 年度東海大学永坂研究室卒研生に対し、深く謝意を表します。

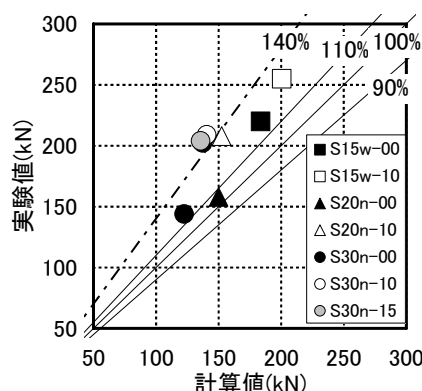


図-14 修正靱性指針式

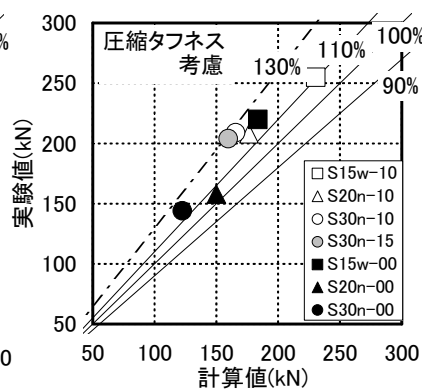


図-15 圧縮タフネス考慮
修正靱性指針式

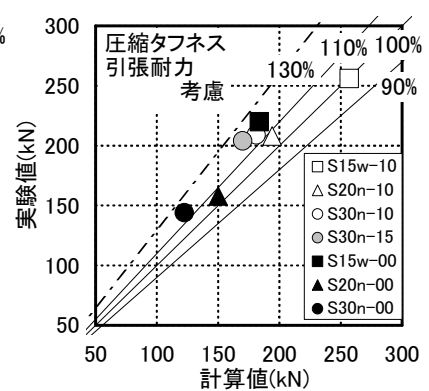


図-16 繊維考慮
修正靱性指針式