

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○秋本俊
 徳山工業高等専門学校 正会員 田村隆弘
 徳山工業高等専門学校 非会員 本田拓

1. はじめに

ガラス繊維は一般的にコンクリートの補強材として用いられており、過去の研究¹⁾²⁾から耐力の向上やひび割れ抑制効果、靱性力があることが明らかになっている。また、素材としては軽量性、強度、耐久性、耐蝕性等の諸特性に優れているというメリットが挙げられる。しかしながら、コンクリート部材におけるガラス繊維の役割は、あくまで補助的な役割でしかない。

本研究では、鉄筋コンクリート梁の主鉄筋及びせん断補強筋の代替材としてガラス繊維シートを用いた場合の曲げ及びせん断補強の性能を実験的に検証する。ガラス繊維を用いたコンクリート梁の曲げ・せん断耐力、ガラス繊維シートの配置方法によるせん断破壊抵抗性能を明らかにし、ガラス繊維の用途拡大を目的とする。

2. 実験概要

(1) 実験条件

供試体は全長 1800mm、幅 100mm、高さ 200mm、有効高さ 150mm の複鉄筋長方形梁とする。引張鉄筋に異形鉄筋 D16(SD345)を、圧縮鉄筋に異形鉄筋 D16(SD390)を 2 本配置したものを A の基本形とし、A2, A3 は鉄筋を挟み横方向にガラス繊維シートを 1 枚ずつと 2 枚ずつ配置、A4 は鉄筋の周りを囲うように縦方向にガラス繊維シートを配置する。また、引張鉄筋及び圧縮鉄筋にそれぞれ、異形鉄筋 D13 (SD295) を 2 本ずつ配置したものを B の基本形とし、B2 は引張鉄筋の代わりにガラス繊維シートを 5 枚重ねて板状にしたものを配置する。全ての供試体に、せん断補強筋として異形鉄筋 D6 (SD390) を 300mm 間隔で配置する。以上、6 種類の供試体を計 12 体作成する。なお、各供試体の配筋図を図-1 に示す。

(2) 実験方法

載荷試験は鉛直アクチュエーターを使用して、No.1~No.10 はせん断スパン比 3.0 で、No.11 は 4.05 で 4 点裁荷を行い、No.12 はせん断スパン比 5.0 で 3 点載

荷を行った。ひずみゲージを梁中央部と引張鉄筋中央部に、変位計を梁中央部に設置し、変位を測定した。

3. 実験結果

(1) 最大荷重

各供試体の最大荷重を表-1 に示す。ガラス繊維補強した A2, A3, A4 のいずれも最大荷重の増加が確認され、A2, A3 を比べると分かるように、ガラス繊維の枚数を増やすことで最大荷重の増加が確認された。B2 はいずれも最大荷重が低くなる結果となった。

(2) 荷重-変位

荷重-変位の関係を図-2 に示す。

a) Aタイプ

A1, A2, A3, A4 全ての供試体が急激に耐力を失い、せん断破壊となった。変位量も A1 と A2, A3, A4 の間に変化はみられなかった。

b) Bタイプ

B2 は B1 と比べて半分程度の耐力しかなかったが変位の伸びは大きく、B1 の 2 倍近い変位がみられた。

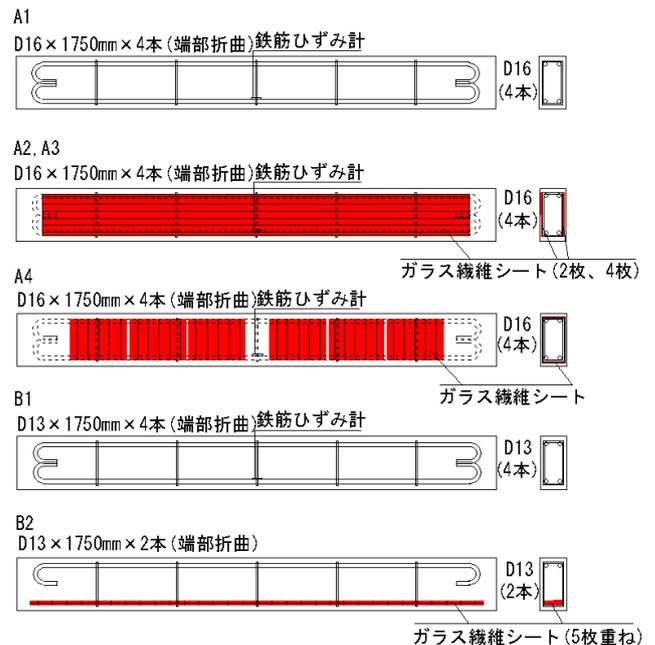


図-1 供試体配筋図

(3) 破壊性状

各供試体の終局時のひび割れ状態を図-3に示す。

a) Aタイプ

Aタイプの供試体は全てがせん断破壊を起こした。

No.4, No.5はA1と比べてひび割れが集中しており、曲げひび割れも少ないことが確認できる。No.6はA1と比べると曲げひび割れの成長が小さいことが確認できる。

b) Bタイプ

B1のNo.7, No.8は曲げ破壊, No.9はせん断破壊を起こした。B2はどの供試体もガラス繊維シートの位置に深い斜めひび割れが確認でき、ガラス繊維がせん断力により破断したことが予測できる。そのため、B2の供試体はせん断破壊したと考えられる。またB2は曲げひび割れが大きく成長していることが確認でき、斜めひび割れはせん断補強筋の間に集中している。

4. 耐力算定式

(1) 曲げ耐力

a) 鉄筋コンクリート部材

鉄筋コンクリート部材の曲げ耐力を土木学会コンクリート標準示方算定式³⁾により算定する。

b) ガラス繊維を用いた鉄筋コンクリート部材

ガラス繊維を用いたAタイプの供試体の曲げ耐力を式(1)⁴⁾により算定する。

$$M_u = (A_s \cdot f_{yd} - A'_s \cdot \sigma'_s) \cdot (d - a/2) + A'_s \cdot \sigma'_s \cdot (d - d') + \alpha \cdot A_f \cdot f_{fd} \cdot d_f \quad (1)$$

B2は引張鉄筋の代わりにガラス繊維を用いた式における引張鉄筋の要素をガラス繊維に置き換えた式(2)により曲げ耐力を算定する。

$$M_u = (A_f \cdot f_{fd} - A'_s \cdot \sigma'_s) \cdot (d - a/2) + A'_s \cdot \sigma'_s \cdot (d - d') \quad (2)$$

(2) せん断耐力

a) 鉄筋コンクリート部材及びB2部材

鉄筋コンクリート部材及びB2のせん断耐力を式(3)により算定する。

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd} \quad (3)$$

ここで、 V_{cd} はせん断補強筋を用いない棒部材の設計せん断耐力で、式(4)⁵⁾による。

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b \cdot d / \gamma_b \quad (4)$$

表-1 最大荷重

番号	供試体種類	最大荷重(KN)	破壊性状
No.1	A-1	56.1	せん断破壊
No.2		60.3	せん断破壊
No.3		51.2	せん断破壊
No.4	A-2	62.9	せん断破壊
No.5	A-3	77.5	せん断破壊
No.6	A-4	77.8	せん断破壊
No.7	B-1	59.1	曲げ破壊
No.8		65.3	曲げ破壊
No.9		44.5	せん断破壊
No.10	B-2	35.4	せん断破壊
No.11		24.8	せん断破壊
No.12		25.4	せん断破壊

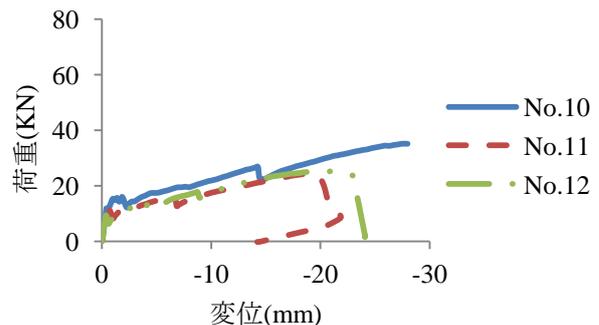
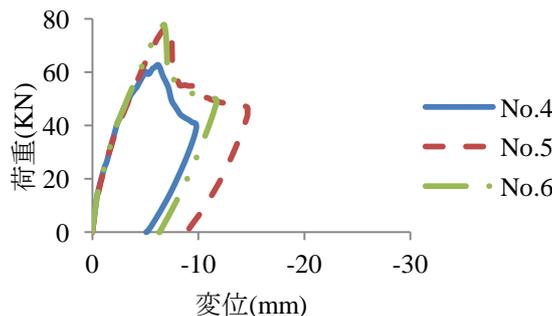
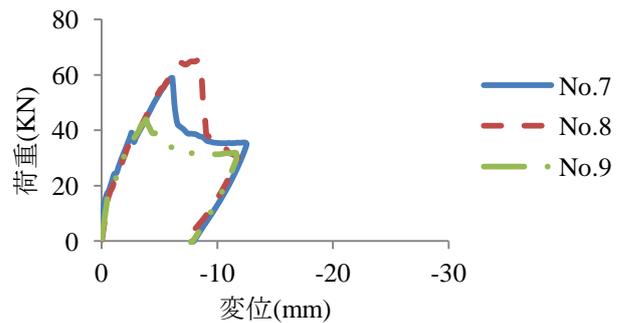
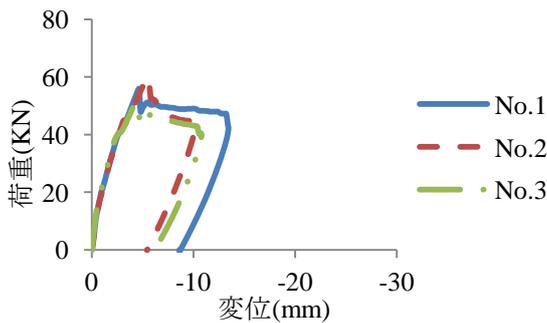


図-2 荷重-変位

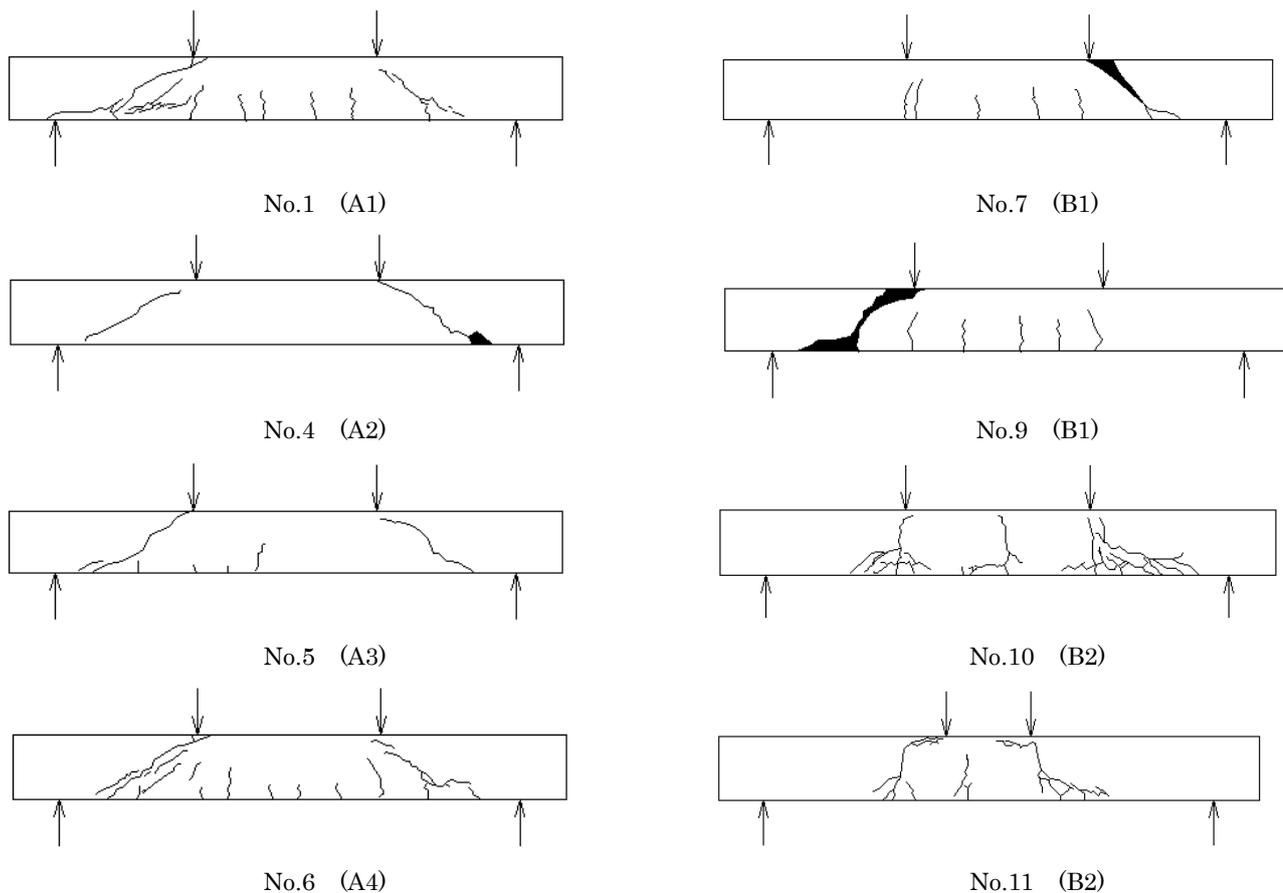


図-3 ひび割れ性状

表-2 せん断耐力比較

番号	供試体種類	f _{vcd}	β_d	β_p	β_n	V _b	V _{cd}	V _{sd}	V _{yd}	V _b /V _{yd}
		(N/mm ²)				(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	
No.1	A1	0.57	1.50	1.38	1	28.05	17.72	10.23	27.96	1.00
No.2		0.57	1.50	1.38	1	30.15	17.72	10.23	27.96	1.08
No.3		0.57	1.50	1.38	1	25.60	17.72	10.23	27.96	0.92
No.4	A2	0.57	—	—	—	31.45	—	—	39.95	0.79
No.5	A3	0.57	—	—	—	38.75	—	—	56.35	0.69
No.6	A4	0.57	—	—	—	38.90	—	—	31.54	1.23
No.7	B1	0.57	1.50	1.19	1	29.55	15.26	10.23	25.49	1.16
No.8		0.57	1.50	1.19	1	32.65	15.26	10.23	25.49	1.28
No.9		0.57	1.50	1.19	1	22.25	15.26	10.23	25.49	0.87
No.10	B2	0.57	1.50	1.19	1	17.70	15.26	10.23	25.49	0.69
No.11		0.57	1.50	1.19	1	12.40	15.26	10.23	25.49	0.49
No.12		0.57	1.50	1.19	1	12.70	15.26	10.23	25.49	0.50

β_d :せん断耐力の有効高さに関する係数

β_n :せん断耐力の軸方向力に関する係数

V_{cd}:コンクリートにより受け持たれる設計せん断耐力

V_{sd}:せん断補強鋼材により受け持たれる設計せん断耐力

β_p :せん断耐力の軸方向鉄筋比に関する係数

V_b:せん断耐荷力 (実験値)

V_{yd}:設計せん断耐力

b) ガラス繊維を用いた鉄筋コンクリート部材

ガラス繊維を用いたAタイプの供試体のせん断耐力を式(5)⁶⁾により算定する。

$$V_{yd} = b \cdot j \cdot \sum (p_w \cdot \sigma_w) \cdot \cot \varphi + \tan \theta \cdot (1 - \beta) \cdot b \cdot h \cdot v \cdot f'_{ck} \quad (5)$$

$$\beta = \left\{ (1 + \cot^2 \varphi) \cdot \sum (p_w \cdot \sigma_w) \right\} / (v \cdot f'_{ck})$$

$$\sum (p_w \cdot \sigma_w) = p_{ws} \cdot f_{wyd} + p_{wf} \cdot E_{fd} \cdot \varepsilon_{fd}$$

$$\varepsilon_{fd} = 0.009 - 0.0002 \cdot p_{wf} \cdot E_{fd} / f'_{ck}$$

ただし、 $p_{wf} \cdot E_{fd} / f'_{ck} > 20$ の場合は $\varepsilon_{fd} = 0.005$

$$p_{wf} = 2t_{wf} / b$$

$$\tan \theta = \sqrt{(L/h)^2 + 1} - L/h$$

$$v = 0.7 - f'_{ck} / 200$$

$\cot \varphi$ の値は次の式のうち最小のものとする

$$\cot \varphi = 2$$

$$\cot \varphi = j/h \cdot \tan \theta$$

$$\cot \varphi = \sqrt{\frac{v \cdot f'_{ck}}{\sum (p_w \cdot \sigma_w)}} - 1$$

(3) 算定値との比較

実験により得られた結果と、土木学会耐力算定式により得られたせん断耐力算定値、曲げ耐力算定値の比較をそれぞれ表-2、表-3に示す。なおここでは、純粋な実験値を比較対象とするため、理論値の算出に際して、安全係数 γ_b を考慮しないものとした。

Aタイプのせん断耐力比較値については、A4は1.0を超えたが、A2、A3は1.0未満で実験値が計算値を下回ったことになる。これは、ガラス繊維シートは素材特性として引張力には強いがせん断力には弱いため、弱い方向に力が作用しガラス繊維シートが破断したためと考えられる。また、ガラス繊維シートを重ねて配置した場合、シートの間までコンクリートが入らずシート間にすべりが生じることでその部分の耐力が低くなる可能性がある。Bタイプのせん断耐力の比較値については、B2はどれも1.0を大きく下回った。これはせん断耐力を算定した式(4)に鉄筋比の項があるが、B2は引張鉄筋がなくガラス繊維が代わりに配置されているためだと考えられる。

表-3 曲げ耐力比較

番号	供試体種類	実験結果		Mu	Mb/Mu
		Pb(KN)	Mb(KN・cm)	(KN・cm)	
No.1	A1	56.1	1262.25	1927.21	0.65
No.2		60.3	1356.75	1927.21	0.70
No.3		51.2	1152.00	1927.21	0.60
No.4	A2	62.9	1414.25	1927.21	0.73
No.5	A3	77.5	1743.75	1927.21	0.90
No.6	A4	77.8	1750.50	2018.16	0.87
No.7	B1	59.1	1329.75	1056.17	1.26
No.8		65.3	1459.25	1056.17	1.38
No.9		44.5	1001.25	1056.17	0.95
No.10	B2	35.4	796.50	1050.12	0.76
No.11		24.8	771.53	1050.12	0.73
No.12		25.4	952.50	1050.12	0.91

5. 結論

主鉄筋およびせん断補強筋の代替材としてガラス繊維シートを用いた鉄筋コンクリート梁部材の曲げ試験を行い、せん断補強の性能を実験的に検証した。得られた結果より、結論を以下に示す。

- (1) ガラス繊維シートでせん断補強することでせん断耐力が向上した。また、ガラス繊維シートを縦方向に配置した方が効率よく耐力が向上した。
- (2) ガラス繊維シートを引張鉄筋の代替材とする場合、靱性は向上したが、せん断耐力が低いことが確認できた。そのためせん断補強を行うことでせん断耐力を補う必要がある。また、耐力算定式(2)は今後実験を重ね、ガラス繊維用に改良する必要がある。
- (3) 引張鉄筋側に配置したガラス繊維シートのせん断抵抗性についても今後、明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) 毎田悠承：鉄筋コンクリート補強材のひび割れ分散機能に関する研究
- 2) 野村梨絵：ガラス繊維シートとウレタン樹脂系塗料を用いたコンクリート補強に関する研究
- 3) 岡田清,伊達和幸,不破昭,平澤征夫：[新訂]鉄筋コンクリート工学, 鹿島出版会,2003
- 4) 日本建築学会：連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案, pp.354-355, 2002
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書・構造性能照査,2002
- 6) 日本建築学会：連続繊維補強コンクリート系構造設計施工指針案, pp.288-290, 2002