

鉄筋コンクリート補強材料の曲げ及びせん断補強効果に関する研究

北園 大和^{*1} 田村 隆弘^{*2}

A study on the effects of reinforcing materials for bending and/or shear strength of R/C member

Yamato KITAZONO^{*1} and Takahiro TAMURA^{*2}

Abstract

The durability of a concrete structure is improved when cracks in the concrete are dispersed and their widths are reduced. The fiber reinforcement sheet is one of technology dispersing a crack. Also, it is well known that more reinforcement rebar (called cracks control rebar) disperse the crack more. However, it isn't clear the ultimate bending and/or shear strength of the member reinforced by such reinforcement materials. Here, the ultimate strength and fracture state of such member was observed by a bending test. In this study, seven types of specimens reinforced by glass fiber sheets or by crack control rebar were tested. In this condition, the increase in the ultimate strength of the member by a reinforcing material was confirmed. In addition, the accuracy of the equation for the ultimate strength of the member reinforced by glass fiber sheets was confirmed.

Key Words : glass fiber, reinforcing materials, disperse the cracks crack control rebar

1. 序論

近年、鉄筋コンクリート構造物の長寿命化が重視されている現状にあつて、鉄筋コンクリート構造物に発生するひび割れが問題となっている。コンクリートの性質上、避けられない収縮ひび割れは鉄筋コンクリート構造物の耐久性に大きな影響を与える。実際の構造物において、梁は両端を柱によって固定されている。そのため、コンクリートは自己収縮により、部材に軸方向引張力が作用し、コンクリートの伸び能力を超えるとひび割れが発生する。また、構造物における外部拘束による温度ひび割れに関しても、打設後3~4日のうちに発生するため、これも解決が難しいとされている。これらに対して考えられているひび割れ対策の中には、あえて構造的に無害なひび割れを発生させようとする技術が考えられている。例えば、繊維補強シー

トを用いて、ひび割れを分散させたりする技術であるが、ひび割れを分散させることによって、無害なものとして、コンクリート構造物の耐久性を向上させるのである^{1),2)}。最近では繊維の中でも比較的安価であるガラス繊維が使用されることが多く、コンクリートの内部に設置しても問題のないように耐アルカリ性のガラス繊維が開発され、ひび割れ分散の目的で、より一層の実用化が進んでいる。しかし、これらの繊維などの補強材の曲げ、せん断に対する抵抗力は、これを定量的に表現する手法が確立されていない。

このような背景のもと、本研究では打設をしてから3日経った梁部材(鉄筋コンクリート棒部材)を対象とした直接引張試験を行い、補強材によってひび割れを分散させた梁で曲げ試験を実施し、その曲げ、せん断耐力について確認した。また、今回使用した補強材が算定式に適用できるかについても検証した。

^{*1} 環境建設工学専攻2年

^{*2} 土木建築工学科

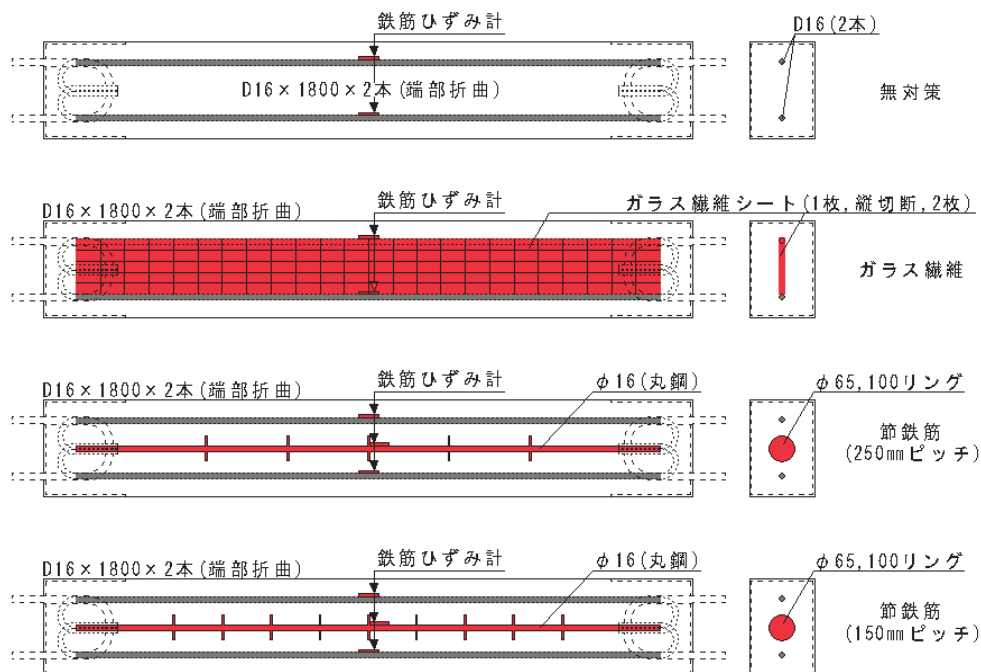


図1 補強配置図

表1 供試体の材料特性

コンクリート	
圧縮強度 f_c (N/mm ²)	20.7
鉄筋 (D-16)	
引張降伏強度 f_y (N/mm ²)	399
引張強度 f_u (N/mm ²)	559

2. 実験概要

2. 1 供試体条件

寸法は全長 2,000mm, 有効長さ 1,500mm, 幅 200mm, 高さ 300mm の長方形梁とした。各補強材の配置図を図1に示す。使用したコンクリートの材齢3日における強度は表1に示す。ガラス繊維の供試体は各供試体共通のD-16の鉄筋2本とこれを挟むようにガラス繊維シートを2列配置し, 1重, 縦メッシュ切断, 2重の3種類で実施した。節鉄筋の供試体はφ16の丸鋼に円盤(φ65, 100)を等間隔(250, 150mm)に設置したものを中央に配置した(表2参照)。

2. 2 実験方法

2. 2. 1 引張試験

写真1のような両端を拘束した直接引張試験を行った。本試験では荷重速度は0.25mm/minとし, 強制的に4mm程度引張り, その際のひび割れ性状などを確認した。

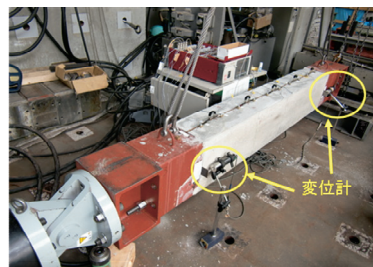


写真1 引張試験の様子

2. 2. 2 曲げ試験

曲げ荷重試験は, 図2のように鉛直アクチュエータを使用し, 4点荷重を行った。すべての実験でせん断スパン比 $a/d=3.0$ とした。実験では, 各荷重ステップでスパン中央の変位, ひび割れの状況を確認した。

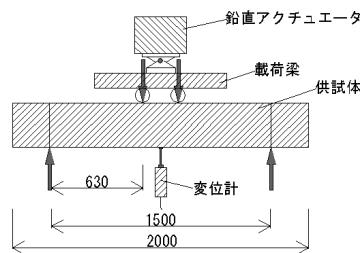


図2 実験装置(4点曲げ荷重)

表2 供試体条件

供試体	供試体 番号	鉄筋	使用 本数	補強材	備考
無対策	N-1	D-16	2	なし	
ガラス 繊維	G-1	D-16	2	ガラス繊維シート	1重(繊維シート)
	G-2	D-16	2	ガラス繊維シート	縦メッシュ切断
	G-3	D-16	2	ガラス繊維シート	2重(繊維シート)
節鉄筋	R-65-250	D-16	2	節鉄筋(丸鋼φ16)	65mmリング250mmピッチ
	R-65-150	D-16	2	節鉄筋(丸鋼φ16)	65mmリング150mmピッチ
	R-100-250	D-16	2	節鉄筋(丸鋼φ16)	100mmリング250mmピッチ
	R-100-150	D-16	2	節鉄筋(丸鋼φ16)	100mmリング150mmピッチ

表3 せん断耐力

供試体 番号	f _{vcd}	β _d	β _p	β _n	β _{a/d}	V _{yd} (kN)	P _v (kN)
N-1	0.503	1.477	0.779	1.000	1.217	29.59	59.18
G-1	0.503	1.477	0.779	1.000	1.217	29.59	59.18
G-2	0.503	1.477	0.779	1.000	1.217	29.59	59.18
G-3	0.503	1.477	0.779	1.000	1.217	29.59	59.18
R-65-250	0.503	1.500	1.033	1.000	1.217	34.16	68.32
R-65-150	0.503	1.500	1.033	1.000	1.217	34.16	68.32
R-100-250	0.503	1.500	1.033	1.000	1.217	34.16	68.32
R-100-150	0.503	1.500	1.033	1.000	1.217	34.16	68.32

 β_d : 有効高さに関する係数 β_p : 軸方向鉄筋比に関する係数 β_n : 軸方向力に関する係数 V_{yd} : 設計せん断耐力 P_v : せん断破壊荷重(理論値)

2. 3 耐力算定式

2. 3. 1 曲げ耐力

部材の曲げ降伏耐力は、以下の式(1)³⁾で算定する。

$$M_u = (A_s \cdot f_{yd} - A'_s \cdot f'_{yd}) \cdot [d - (a/2)] + A'_s \cdot f'_{yd} \cdot (d - d') \quad (1)$$

ここで、

M_u : 終局曲げ耐力 A_s : 引張鉄筋量

A'_s : 圧縮鉄筋量 f_{yd} : 引張鉄筋設計降伏強度

f'_{yd} : 圧縮鉄筋応力度 d : 有効高さ

d' : 圧縮鉄筋の深さ

a : コンクリート圧縮域等価ブロック高さ

2. 3. 2 せん断耐力

以下に土木学会示方書算定式⁴⁾を示す。また、この式を用いて計算した各梁のせん断耐力を表3に示す。

ここで、せん断耐力 V_{yd} は、せん断補強鋼材を用いない棒部材のせん断耐力 V_{cd} で、式(2)による。

$$V_{yd} = V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_{a/d} \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \quad (2)$$

$$f_{vcd} = 0.2 \sqrt[3]{f'_{cd}} \left(N/mm^2 \right) \quad \text{ただし、} \quad f_{vcd} \leq 0.72$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d:m) \quad \beta_d > 1.5 \text{ の場合は、} 1.5 \text{ とする。}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_w} \quad \beta_p > 1.5 \text{ の場合は、} 1.5 \text{ とする。}$$

$$p_w = A_s / (b_w \cdot d)$$

$$\beta_{a/d} = 0.75 + 1.4 / (a/d)$$

$$\beta_n = 1 + M_o / M_d \quad \beta_n \geq 2 \text{ の場合は} 2 \text{ とする。}$$

$$\beta_n = 1 + 2M_o / M_d \quad \beta_n < 0 \text{ の場合は} 0 \text{ とする。}$$

ここで、

β_d : 有効高さの項

β_p : 鉄筋比の項

β_n : 軸力の項

$\beta_{a/d}$: せん断スパン比の項

b_w : 腹部の幅

f'_{cd} : 設計圧縮強度

M_d : 設計曲げモーメント

γ_b : 一般に 1.0

表4 引張試験結果

供試体 番号	補強材の 種類	ひび割れ 本数
N-1	無対策 p=0.661%	2本
G-1	ガラス繊維 p=0.661%	4本
G-2		4本
G-3		6本
R-65-250	節鉄筋 p=0.996%	5本
R-65-150		6本
R-100-250		5本
R-100-150		5本

表5 破壊モード

供試体 番号	補強材の 種類	曲げ降伏荷重(kN) (理論)	せん断破壊荷重(kN) (理論)	破壊モード	
				理論	実験
N-1	無対策 $p=0.661\%$	58.37	59.18	曲げ	曲げ
G-1	ガラス繊維 $p=0.661\%$	58.37	59.18	曲げ	曲げ
G-2		58.37	59.18	曲げ	曲げ
G-3		58.37	59.18	曲げ	曲げ
R-65-250	節鉄筋 $p=0.996\%$	77.29	68.32	せん断	曲げ
R-65-150		77.29	68.32	せん断	曲げせん断
R-100-250		77.29	68.32	せん断	曲げせん断
R-100-150		77.29	68.32	せん断	曲げ

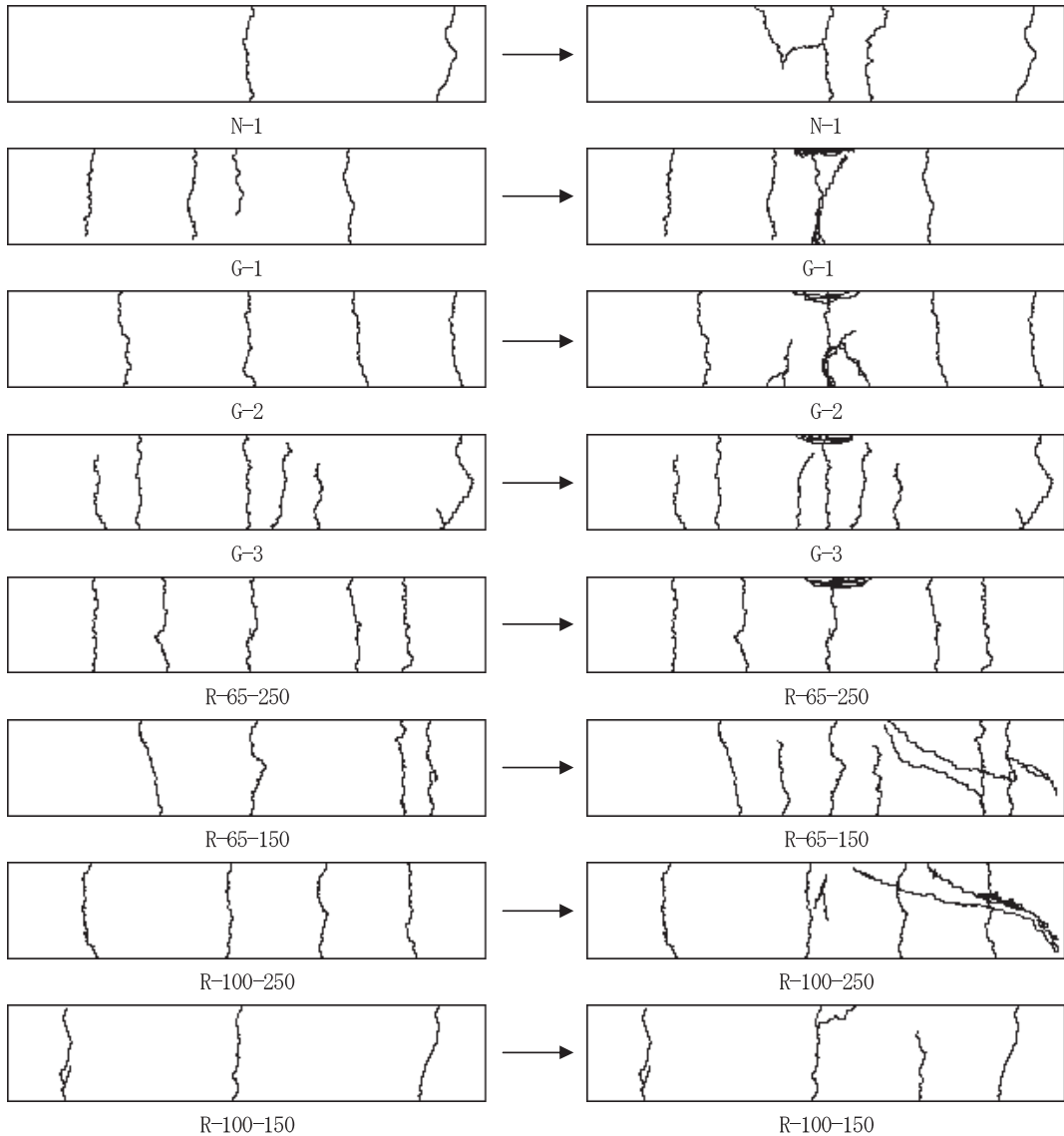


図3 ひび割れ状況(引張試験後, 曲げ試験前)

図4 ひび割れ状況(曲げ試験後)

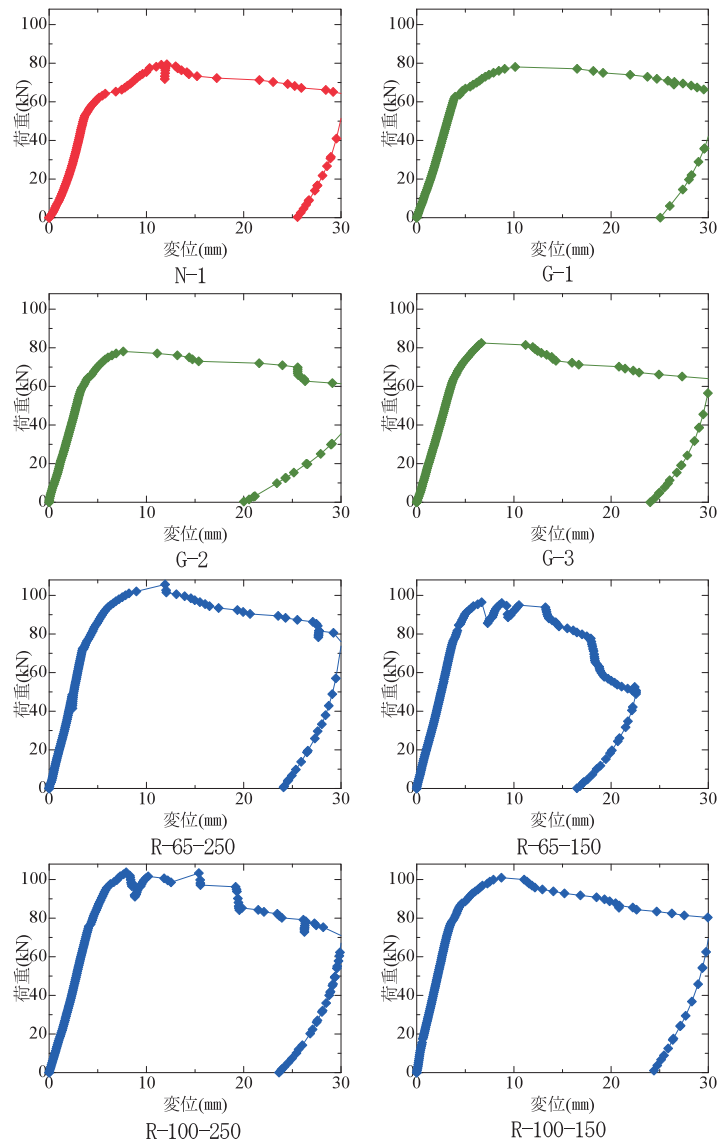


図5 荷重 - 変位

3. 実験結果

3. 1 引張試験

表4に引張試験の結果を示す。また、引張試験後(すなわち、曲げ試験前)のひび割れ状況を図3に示す。無対策の供試体では2本の幅の広いひび割れが発生した。また、ガラス繊維補強ではシート1重の場合はいずれも4本、2重では、ひび割れは6本に分散された。節鉄筋補強ではひび割れは5～6本に分散された。

3. 2 曲げ試験

3. 2. 1 破壊性状

各供試体の破壊モードを表5に、各供試体の載荷試験後のひび割れ状況を図4に示す。それぞれの供試体の詳細な結果を以下に示す。

曲げ破壊に至った供試体に関しては引張試験時のひび割れが拡大していくもの(N-1, G-2, G-3, R-100-150)もあったが、ひび割れが新規で発生したものが多かった(G-1, R-65-250). R-65-150 と R-100-250 に関しては、前述の供試体と同様に鉛直方向のひび割れが拡大していくのみだったが、変位の増大とともに斜めひび割れ

表6 モーメント比較

供試体 番号	実験結果		M_u (kN・cm)	M_b/M_u
	P_b (kN)	M_b (kN・cm)		
N・1	58.11	1830.47	1838.81	1.00
G・1	62.64	1973.16	1838.81	1.07
G・2	64.50	2031.75	1838.81	1.10
G・3	69.09	2176.34	1838.81	1.18
R・65・250	76.38	2405.97	2434.71	0.99
R・65・150	81.75	2575.13	2434.71	1.06
R・100・250	75.75	2386.13	2434.71	0.98
R・100・150	78.24	2464.56	2434.71	1.01

P_b : 破壊荷重 M_b : 破壊モーメント(実験値) M_u : 設計終局曲げ耐力

へと成長していき、最終的にはせん断破壊に至った。

ガラス繊維の供試体は曲げひび割れの発達による圧縮側の圧壊により破壊し、節鉄筋の供試体では最終的に斜めひび割れが発生したのもあったが、4体とも曲げひび割れが発達して、破壊する傾向にあった。

3. 2. 2 荷重-変位

鉛直荷重と梁中央部引張縁におけるたわみとの関係を図5に示す。ガラス繊維の供試体に関しては3体において傾向が類似していることが確認できる。節鉄筋の供試体に関しては斜めひび割れが発生した供試体(R-65-150, R-100-250)はその他の供試体(R-65-250, R-100-150)と比較して、変位の伸びが緩やかではないとことが確認できる。また、節鉄筋の供試体では図からも確認できるように降伏点が2ヶ所あることが分かる。これは供試体の中央に配置した節鉄筋が降伏した時の点と下端筋が降伏した時の点であると推察できる。

3. 2. 3 算定式との比較

実験におけるパラメータ及び曲げモーメントの示方書算定式²⁾とのモーメント比較の結果を表6に示す。実験値である M_b (破壊モーメント)を理論値である M_u (設計終局曲げ耐力)で割った値をモーメント比較値とする。

理論値である設計終局曲げ耐力は、曲げ破壊した場合を想定したものであり、曲げ破壊の場合だと1を上回る。全ての供試体で曲げ破壊が先行したため、モーメント比較値が1を上回っているものが多いことが確認できる。

4. 結論

本研究で得られた結果より、結論を以下に示す。

- (1) 今回の条件では、ガラス繊維シートのメッシュ間隔による影響はほとんど確認できず、シートの枚数を増やすことで若干の耐力増加を確認することができた。
- (2) また、ガラス繊維シートを補強した供試体では全て曲げ破壊、節鉄筋補強のものでは2体で曲げせん断破壊に至り、ともにせん断に対する抵抗力を発揮していることが確認できた。
- (3) 節鉄筋補強R-65-150とR-100-250において、鉄筋が降伏に達していることが確認できるため、曲げ破壊に至ったあとに斜めひび割れが発生したと考えられる。
- (4) 節鉄筋補強ではリングの径や配置する数などによって断面欠損率に差が生じるため、それらを考慮した算定式を検討する必要がある。

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性能に関する研究，平成19年度徳山工業高等専門学校卒業研究論文集，pp.233-240, 2007.
- 2) 毎田悠承，田村隆弘：鉄筋コンクリート補強材のひび割れ分散性能に関する研究，(社)日本建築学会学術講演会2010年度大会，CD-ROM, 2010.
- 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) 土木学会：コンクリート標準示方書・設計編，2007.
(2010.9.21 受理)