

論文 高強度材料を用いた RC はりのせん断耐力に関する実験的研究

平岡 慎也*1・松本 浩嗣*2・二羽 淳一郎*3

要旨: せん断補強鉄筋の降伏強度とせん断補強鉄筋比によるせん断耐力への影響を検討した。せん断補強鉄筋の分担せん断力の計算値が同一となるよう高強度鉄筋の代わりに普通強度鉄筋を用い、その結果としてせん断補強鉄筋間隔が密になると、コンクリート分担分のせん断耐力が向上することを示した。また、50～60N/mm²程度の圧縮強度を有するコンクリートと高強度せん断補強鉄筋を併用した場合には、使用したせん断補強鉄筋が、せん断補強鉄筋の設計降伏強度の制限値を満たすにも関わらず、せん断補強鉄筋が降伏しない場合があることを示した。

キーワード: 高強度せん断補強鉄筋, コンクリート強度, RC はり, せん断耐力

1. はじめに

構造物に高強度材料を用いると過密配筋が抑制・配筋の簡略化が可能となり、施工性が向上する。また、部材断面を縮小することが可能となり、構造物の死荷重が低減され、基礎の縮小に繋がることで、建設コストが低減される。このように、高強度材料の活用は、施工性や経済性を向上する利点を有しており、適用例が増えつつある¹⁾。そこで、高強度材料を用いた RC 構造物の設計を合理的に行うためには、せん断耐力の評価が重要である。

高強度材料を用いることによるせん断耐力への影響として、高強度コンクリートを用いた場合には、ひび割れ面の平滑化による骨材の噛み合わせが負担するせん断耐力の低下が考えられる。また、高強度せん断補強鉄筋を用いた場合には、終局時における斜めひび割れ幅が過大となり、ひび割れ面における骨材の噛み合わせや軸方向鉄筋のダウエル作用等が負担するせん断耐力の低下が考えられる。これらの影響は、それぞれ相互に影響を及ぼし合っていると考えられ、それぞれの構成材料の強度の違いがせん断耐力に及ぼす影響を正しく把握し、設計に反映することが求められている。

上記の構成材料の強度の組み合わせの影響を、土木学会コンクリート標準示方書²⁾では、せん断補強鉄筋の設計降伏強度 f_{wyd} に制限を設けることにより考慮している。これは、黒岩らの研究成果²⁾をもとに、 f_{wy} の制限値として $25f_c'$ と 800N/mm^2 のいずれかの小さい値を与えることによって、計算値が実験値と良好な整合性を示すことが確認されたことに基づくものである。さらに最新の岡本らの研究では、 $f_{wy} \leq 25f_c'$ のみの制限値を用いることの妥当性が示されている²⁾。

しかしながら、既往の研究では、コンクリート強度とせん断補強鉄筋比による影響のみに個別に着目し整理し

ている点で、せん断補強鉄筋の降伏強度による影響を考慮しておらず、高強度材料を用いた RC はりのせん断耐力機構を十分に明らかにしているとは言えない。また、高強度せん断補強鉄筋と圧縮強度が 50N/mm^2 以下のコンクリートを併用した場合には、せん断補強鉄筋が降伏に至る前にせん断破壊が生じることがあると確認されているものの、コンクリート強度 f_c' が $50\sim 60\text{N/mm}^2$ の範囲の実験データが少なく、かつ、せん断補強鉄筋比を変化させた研究が限られているため、検討は十分とは言えない。

そこで本検討では、終局時の高強度鉄筋の降伏ひずみ大きいことによる、ひびわれ幅の拡大の影響が、修正トラス理論におけるコンクリート分担分のせん断耐力に及ぼす影響を確かめることを目的としている。さらに、 f_c' が $50\sim 60\text{N/mm}^2$ の程度の圧縮強度を有する RC はりにおいて、せん断補強鉄筋比の影響についても検討した。

2. せん断耐力の算定方法

図-1に示すように、せん断補強鉄筋を有する RC はりでは、せん断耐力は、コンクリート分担分のせん断耐力(V_c)とせん断補強鉄筋分担分のせん断耐力(V_s)との和として、考えられている。コンクリート分担分のせん断耐力(V_c)は、斜めひび割れ面で骨材の噛み合わせが受け持つせん断抵抗 (V_l)、軸方向鉄筋のダウエル作用(V_d)、圧縮部コンクリートのせん断抵抗(V_u)の累加であるとされている。

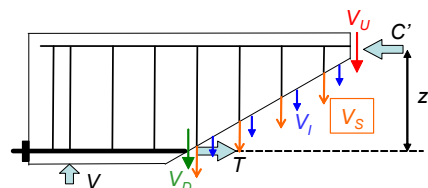


図-1 せん断耐力機構の模式図

*1 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (学生会員)

*2 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 助教 博(工) (正会員)

*3 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 教授 工博 (正会員)

表-1 試験体一覧

試験体	b	d	a	a/d	軸方向鉄筋			せん断補強鉄筋		
	(mm)	(mm)	(mm)		径-強度規格	本数	p_t (%)	径-強度規格	s_s (mm)	p_w (%)
No.1	150	300	840	2.8	D25-SBPD930	2	2.25	D10-SD295	110	0.86
No.2	150	300	840	2.8	D25-SBPD930	2	2.25	D13-SD390	260	0.50
No.3	300	300	840	2.8	D25-SBPD930	4	2.25	UD10-USD785	300	0.16
No.4	225	300	840	2.8	D25-SBPD930	3	2.25	UD10-USD785	300	0.21
No.5	150	300	840	2.8	D25-SBPD930	2	2.25	UD10-USD785	300	0.32

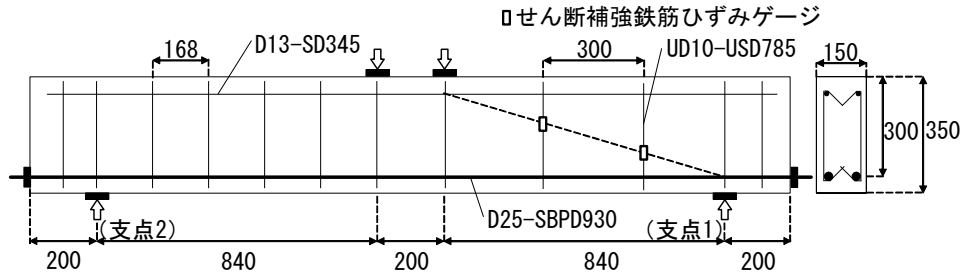


図-2 試験体形状(No.5)

本検討におけるせん断耐力の算定方法を以下に示す。土木学会コンクリート標準示方書²⁾では、先述のせん断耐荷機構の考えに基づき、RC 棒部材のせん断耐力(V_y)は、式(1)により定められている。

$$V_y = V_c + V_s \quad (1)$$

V_c : せん断補強鉄筋を用いない RC 棒部材のせん断耐力

V_s : せん断補強鉄筋により受け持たれる RC 棒部材のせん断耐力

ここで、高強度コンクリートは、自己収縮が大きく、せん断耐力への影響が無視できないことが知られている。本研究では、収縮によるせん断耐力への影響を考慮するため、 V_c の算定式として、河金らが提案している収縮による影響を等価引張鉄筋比の概念を導入して評価した式(2)を用いた⁵⁾。

$$V_c = 0.11E_c^{2/5} f_t^{1/5} \left(\frac{\epsilon_s}{\epsilon_s - \epsilon_{s0,def}} 100 p_t \right)^{1/3} \times d^{-2/5} (0.75 + 1.4/(a/d)) bd \quad (2)$$

ここで、 E_c : コンクリート弾性係数(kN/mm²)、 f_t : コンクリート引張強度(N/mm²)、 ϵ_s : 斜めひび割れに発達する曲げひび割れ発生断面における、コンクリート引張部を無視して曲げ理論を用いて求めた斜めひび割れ発生時の引張鉄筋ひずみ、 $\epsilon_{s0,def}$: 引張鉄筋位置でのコンクリート応力がゼロ状態の時の引張鉄筋ひずみ、である。 ϵ_s の算定断面は、荷重点から $1.5d$ 離れた断面とした。 p_t : 軸方向鉄筋比(%), b : 供試験体幅(mm), d : 有効高さ(mm)

V_s は、トラス理論に基づき式(3)により算定される。

$$V_s = A_w \cdot f_{wy} (\sin \alpha + \cos \alpha) / s_s \cdot z \quad (3)$$

ここに、 A_w : 区間 s_s におけるせん断補強鉄筋の総断面積

表-2 計画配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
		W	C	S	G	SRA	Ad
35.0	53.1	165	471	894	790	7.50	4.71

※SRA: 収縮低減剤, Ad: 高性能減水剤

表-3 鉄筋の材料特性

径	記号	降伏強度	引張強さ	降伏ひずみ	弾性係数
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	($\times 10^{-6}$)	(kN/mm ²)
D10	SD295A	381	503	1905	200
D13	SD390	473	622	2365	200
UD10	USD785	967	1009	4835	200
D25	SBPD930	981	1120	4905	200

(mm²), f_{wy} : せん断補強鉄筋の降伏強度(N/mm²), α : せん断補強鉄筋が部材軸となす角度 (本検討での試験体はすべて $\alpha=90^\circ$), s_s : せん断補強鉄筋の配置間隔(mm), z : 応力中心間距離で、 $d/1.15$ (mm)である。

本検討では、式(1)~(3)による計算値と実験値とを比較にすることにより、せん断補強鉄筋に高強度鉄筋を用いることへの適用性を検討する。

3. 実験概要

3.1 試験体概要

表-1, 2に、本研究で用いた試験体一覧、コンクリートの計画配合を示す。先述した式(2)は、せん断補強鉄筋を有しない高強度 RC はりの実験的検討から、斜めひび割れ発生強度への収縮による影響を評価した算定式である。せん断補強鉄筋を有する場合、せん断補強鉄筋によ

表-4 実験結果一覧

試験体	シリーズ	コンクリート物性			計算値			実験値					比較	
		f_c'	f_t	E_c	$V_{c,CAL}$	$V_{s,CAL}$	$V_{y,CAL}$	$V_{c,EXP}$	$V_{max}(0.5P_{max})$	$\epsilon_{s,def}$	θ	β	$V_{c,EXP}$	$V_{y,EXP}$
		(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/mm ²)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	($\times 10^6$)	($^\circ$)		$/V_{c,CAL}$	$/V_{y,CAL}$
No.1	1	58.9	4.9	34.0	71.0	118.4	189.4	110.0	245.3	-53	36	1.34	1.55	1.29
No.2	1	60.2	4.9	36.6	73.8	120.2	194.0	80.0	196.6	-43	31	0.84	1.08	1.01
No.3	1,2	54.6	5.8	33.1	142.7	120.0	262.7	137.5	279.9	-80	34	0.50	0.96	1.07
No.4	2	52.4	5.6	33.6	106.7	120.0	226.7	112.5	206.1	-83	37	0.49	1.05	0.91
No.5	2	56.4	5.6	32.7	72.5	120.0	192.5	52.5	113.3	-64	41	0.51	0.72	0.59

f_c' : コンクリート圧縮強度, f_t : コンクリート引張強度, E_c : コンクリート弾性係数,

$V_{c,CAL}$: コンクリート分担分のせん断耐力の計算値, $V_{s,CAL}$: せん断補強鉄筋分担分のせん断耐力の計算値

$V_{y,CAL}$: せん断耐力の計算値 ($=V_{c,CAL}+V_{s,CAL}$), $V_{c,EXP}$: コンクリート分担分のせん断耐力の実験値, $V_{max}(0.5P_{max})$: せん断耐力

$\epsilon_{s,def}$: 載荷直前の軸方向鉄筋収縮ひずみ (+: 引張, -: 圧縮), θ : 斜めひび割れが部材軸方向となす角度, β : 付着効率

表-5 試験体上縁からひび割れ上端部までの距離

試験体	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
距離(cm)	9.5	7.5	5.5	3.0	0.0

る収縮拘束により、コンクリートに生じる引張応力が増大し、せん断耐力への影響が懸念される。しかし、その影響は十分に明らかになっていないため、収縮低減剤(SRA)を添加することで、収縮を低減した。載荷直前の軸方向鉄筋収縮ひずみを測定し、式(2)における等価鉄筋比の算出に用いた。なお、圧縮鉄筋の収縮ひずみは、軸方向鉄筋の収縮ひずみと同一と仮定した。養生条件は、打込み後に5日間の湿布養生を行い、その後載荷試験まで気中養生とした。

シリーズ1では、普通強度から高強度鉄筋をせん断補強鉄筋として用い、せん断補強鉄筋が受け持つせん断耐力(V_s)が同程度になるように設計を行った。シリーズ2では、断面幅(b)を変化させて、せん断補強鉄筋比(ρ_w)の影響に着目した。鉄筋の材料特性を表-3に示す。試験体はすべて、せん断破壊するように設計されている。図-2に試験体形状の一例を示す。図-2に示すように、高強度鉄筋(USD785)を用いたせん断補強鉄筋では、折り曲げ加工の制限により、断面幅(b)が150, 225mmの試験体は、両端に鋭角フックの折り曲げ加工を施したせん断補強鉄筋2本を1組のせん断補強鉄筋として使用した。各試験体とも、軸方向鉄筋の定着は、定着プレートとナットを用いて確保した。

3.2 載荷方法および測定項目

載荷は、せん断スパン 840mm、等曲げ区間 200mm の単純はり形式での単調載荷とし、支点は試験体の回転変形および軸方向の変形を拘束しないピン+スライド支持とした。測定は、荷重、変位(たわみ)、ひずみ(鉄筋)、荷重 5kN ごとの写真撮影とした。

4. 実験結果

4.1 実験結果の概要

すべての試験体は、軸方向鉄筋が降伏する前に破壊に至った。表-4に実験結果一覧を示す。破壊形式に関しては、試験体 No.1 は曲げ圧縮破壊であったが、試験体 No.2~No.5 は、斜め引張破壊であった。斜めひび割れ発生せん断耐力($V_{c,EXP}$)は、5kN ごとに撮影した試験体側面の写真を観察し、最も顕著な斜めひび割れが発生した荷重とした。

4.2 破壊性状

図-3に、試験終了後のひび割れ図を示す。試験体 No.1 は、その他の試験体よりも、発生した斜めひび割れの本数が比較的多かった。試験体 No.1 の斜めひび割れ進展状況は、図-3に記載されているひび割れの番号通りであり、ひび割れ(1)~(4)はそれぞれ作用せん断力が 67.5kN, 105kN, 110kN, 147kN で発生した。

表-4に、各試験体の破壊時の主たる斜めひび割れと部材軸方向となす角度(θ)を示す。ひび割れ角度は、ひび割れ先端位置または斜めひび割れが圧縮鉄筋および軸方向引張鉄筋と交わる点を結んだ線が部材軸方向となす角度とした。シリーズ2では、せん断補強鉄筋比(ρ_w)が大きいほど、ひび割れ角度が大きくなる傾向を示した。

表-5に最大荷重直前(最大荷重より 5kN 以内)のひび割れ形状(図-4)の写真を目視によって観察し、試験体上縁から斜めひび割れ上端部までの距離を評価した値を示す。試験体 No.1~No.5 の順に、小さくなっていることがわかる。

曾我部らは、高強度せん断補強鉄筋を用いた RC はりのせん断耐力を、せん断補強鉄筋とコンクリートの付着強度 β を提案し、付着特性が良好なほど高強度せん断補強鉄筋によるせん断補強効果が大きいことを報告している。

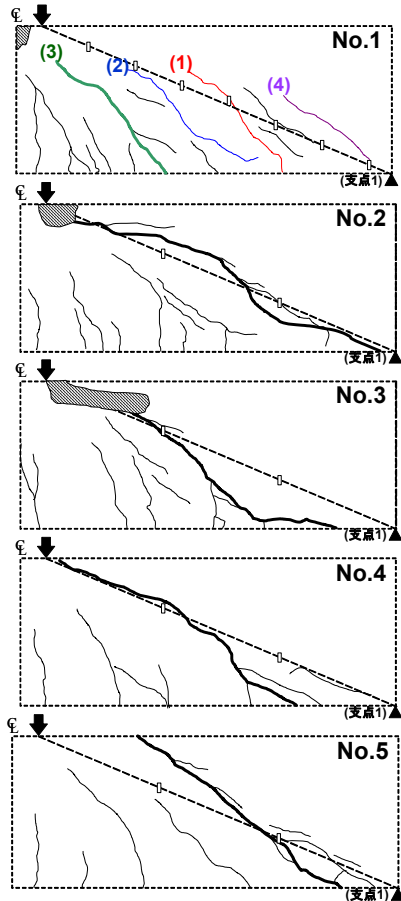


図-3 試験終了後のひび割れ図

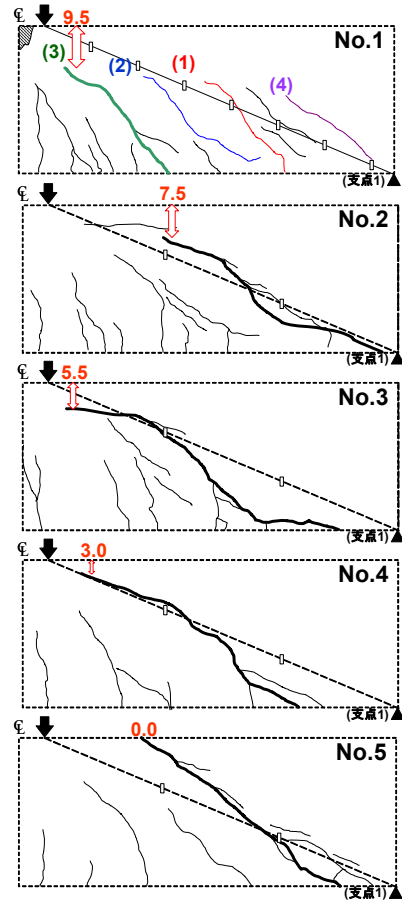


図-4 最大荷重直前のひび割れ図

$$\beta = \frac{4f_{bod}}{f_{yd}\phi} d \quad (4)$$

ϕ はせん断補強鉄筋の直径(mm), f_{yd} はせん断補強鉄筋の降伏強度(N/mm²), f_{bod} はコンクリートの付着強度($f_{bod} = 0.28f_c'^{2/3}$, ただし, $f_{bod} \leq 3.2\text{N/mm}^2$)

表-4に、付着効率 β を示している。シリーズ1において、試験体 No.1~No.3の順に、せん断補強鉄筋の降伏強度が大きいため、付着効率が小さくなっている。付着効率が小さいほど、せん断補強鉄筋の降伏時までに斜めひび割れ箇所から付着が切れる範囲が大きくなるため、斜めひび割れ幅が拡大する。よって、表-5に示した、試験体上縁から斜めひび割れ上端部までの距離が小さくなると考えられる。

4.3 せん断補強鉄筋ひずみ

図-5に各試験体の各せん断補強鉄筋のひずみ変化をせん断力レベル毎に示す(測定位置は図-2に示す)。

試験体 No.2~No.4は、斜め引張破壊させるため、意図的にせん断補強鉄筋間隔をコンクリート標準示方書で規定される最小値($d/2$)より大きく、有効高さ(d)と等しく設計したものである。最小値の規定は、トラス理論における斜めひび割れ45度の仮定を考慮し、斜めひび割れがせん断補強鉄筋と必ず交わるように、決められている値

であり、規定を満たす設計は安全側となる。しかしながら、せん断補強鉄筋間隔が増加して、有効高さ程度となっても、トラス理論が成立する実験データも存在する⁶⁾。したがって本研究では、せん断補強鉄筋間隔が有効高さまで拡大しても、トラス理論が成立するものと考えた。

試験体 No.1およびNo.2は、最大荷重時(V_{max})既に降伏ひずみに達している。一方、試験体 No.3~No.5は、せん断補強鉄筋の降伏強度は、岡本らの報告によるせん断補強鉄筋降伏強度の制限値($25f_c'$)よりも小さく、設計上せん断補強鉄筋は降伏するはずであるが、せん断補強鉄筋は、降伏ひずみに達することなく破壊に至っている。

4.4 せん断耐力

せん断耐力の計算値は、せん断補強鉄筋の降伏強度 f_{wy} を用いて、式(1)~(3)により算出した。試験体 No.1は、曲げ圧縮破壊し、試験体 No.2は、せん断補強鉄筋が降伏してせん断破壊した。試験体 No.3~No.5は高強度せん断補強鉄筋(USD785)を用いた試験体であり、せん断補強鉄筋が降伏に至る前にせん断破壊した。

(1) せん断補強鉄筋の降伏強度の影響(シリーズ1)

図-6に荷重-変位関係を示す。表-4に示すように、試験体 No.1はせん断耐力の実験値 $V_{y,EXP}$ が式(1)~(3)に

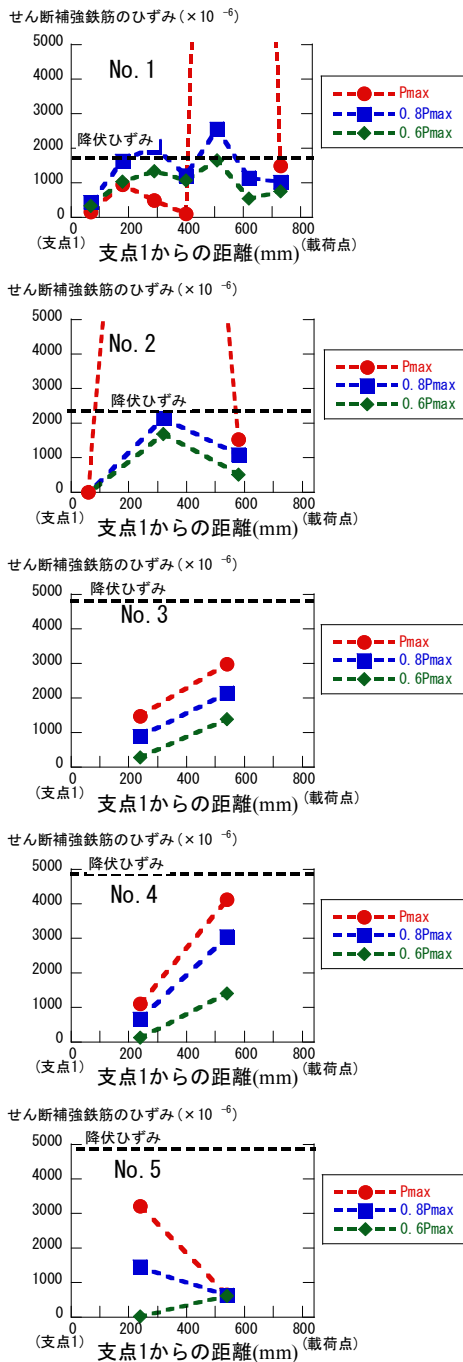


図-5 各せん断補強鉄筋のひずみ分変化

よる計算値 $V_{y,CAL}$ を大きく上回ったことによって、曲げ圧縮破壊に至ったと考えられる。試験体 No.1 は、荷重 135~295kN 付近で複数の斜めひび割れを生じているにも関わらず、図-6 に示すように顕著な剛性の低下は見られなかった。これは、複数の斜めひび割れが生じたことにより、代わりに、各斜めひび割れ幅が小さくなったためと考えられる。斜めひび割れ幅が減少することにより、軸方向鉄筋のダウエル作用や骨材の噛み合わせ効果が作用せん断力の大きい段階でも消失せず、斜めひび割れの進展が抑制されたものと考えられる。その結果、4.2 節で述べたように、普通強度鉄筋をせん断補強鉄筋とし

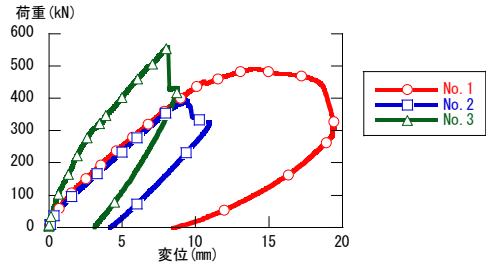


図-6 荷重 - 変位関係(シリーズ 1)

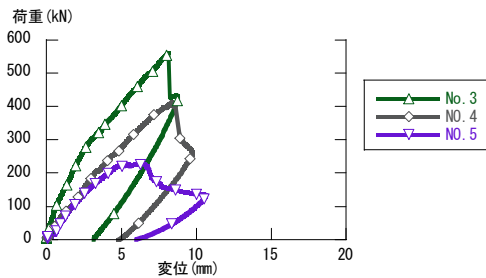


図-7 荷重 - 変位関係(シリーズ 2)

て用いた試験体では、せん断補強鉄筋比が大きいほど試験体上縁と斜めひび割れ上端部との距離が大きくなり、圧縮部のコンクリートが受け持つせん断耐力の増大によりせん断耐力が向上したと考えられる。

計算上の V_s を一定として普通強度から高強度鉄筋をせん断補強鉄筋として用いたシリーズ 1 において、普通強度鉄筋をせん断補強鉄筋として用いた試験体 No.1 では、密な配筋となることで、骨材の噛み合わせが受け持つせん断耐力が残存し、また圧縮部コンクリートの断面積が増加する。よって、コンクリート分担のせん断耐力が向上すると考えられる。

(2) せん断補強鉄筋比の影響 (シリーズ 2)

図-7 に荷重 - 変位関係を示す。試験体 No.5 は、作用せん断力が 77.5kN (約 0.68 V_{max}) 付近で斜めひび割れが圧縮縁を貫通している。

4.2 節で示したように、試験体 No.3~No.5 の順に斜めひび割れ角度が大きくなっており、試験体上縁から斜めひび割れ上端部までの距離は、試験体 No.3~No.5 の順に小さくなっている。高強度せん断補強鉄筋を用いることは斜めひび割れ幅が過大となりやすく、斜めひび割れ上端部が試験体上縁へ進展しやすくなる。そこで、せん断補強鉄筋間隔を大きく設計した場合には、斜めひび割れ上端部付近にせん断補強鉄筋が配置しておらず、ひび割れが試験体上縁へ進展しやすくなることと推測される。試験体 No.5 では、せん断補強鉄筋比が大きくなった結果、斜めひび割れ角度が大きくなり、斜めひび割れ上端部にせん断補強鉄筋が配置されてなかったために、最大荷重よりもはるかに低い荷重レベルにおいて、斜めひび割れが圧縮縁を貫通することになったと考えられる。

圧縮部コンクリートの断面積を断面幅(b)と表-5 に示

表-6 $V_{c,EXP2}$ の算出

試験体	$V_{c,CAL}$	$V_{c,EXP2}$	$V_{c,EXP2}/V_{c,CAL}$	本数 n
No.3	142.7	126.8	0.89	1.3
No.4	106.7	107.6	0.99	1.2
No.5	72.5	20.9	0.29	1.0

した試験体上縁から斜めひび割れ上端部までの距離の積として定義すると、圧縮部コンクリートの断面積がせん断補強鉄筋比を大きくしたことにより減少し、せん断耐力が減少したと考えられる。

表-6 に、測定されたせん断補強鉄筋のひずみより算出されるコンクリート分担分のせん断力とその比較を示す。算出式は式(5),(6),(7)である。

$$V_{c,EXP2} = V_y - V_{s,EXP} \quad (5)$$

$$V_{s,EXP} = A_w \cdot E_s \cdot \epsilon_s \cdot n \quad (6)$$

$$n = s_s \cdot \cot\theta / z \quad (7)$$

ここで、 V_y ：RC はりのせん断耐力、式(1)より算出

$V_{c,EXP2}$ ：せん断補強鉄筋の測定されたひずみから得られるコンクリートの分担せん断耐力の実験値

$V_{s,EXP}$ ：せん断補強鉄筋が受け持つとされるせん断耐力の実験値

E_s ：せん断補強鉄筋の弾性係数(N/mm²)

ϵ_s ：測定されたせん断補強鉄筋ひずみ

$V_{c,EXP2}$ は、せん断補強鉄筋ひずみと斜めひび割れ角度の実測値から算出される、コンクリート分担せん断力の実験値である。各試験体せん断スパン内に2組あるせん断補強鉄筋の内、最大荷重時のひずみが大きい方のひずみを用いて算出した。試験体 No.5 は($V_{c,EXP2}/V_{c,CAL}$)が 0.29 であり、式(2)による $V_{c,CAL}$ が実験値を過大評価していることがわかる。

以上のように、本検討の範囲内では、せん断補強鉄筋に高強度鉄筋を用いた場合、せん断補強鉄筋比を増加すると、圧縮部コンクリートの断面積が大幅に減少したことにより、せん断耐力が低下する傾向を示した。せん断補強鉄筋の測定ひずみより算出したコンクリート分担分のせん断力の実験値は、せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断耐力算定式(式(2))を大幅に下回っており、修正トラス理論式の適合性は、せん断補強鉄筋の引張応力が降伏強度に達しないという要因だけでなく、斜めひび割れ後にコンクリートの分担せん断力が低下するという要因にも影響されている可能性がある。

5. 結論

本研究で得られた結論を以下にまとめて示す。

- 1) 高強度鉄筋の代わりに普通強度の鉄筋を用いて、密な配筋を行った RC はりでは、比較的多数の斜めひ

び割れが生じることで、各斜めひび割れの幅が小さくなり、その結果、骨材の噛み合わせが大きくなると考えられる。このことは、斜めひび割れの試験体上縁への進展を抑制すると考えられ、結果として、コンクリート分担分のせん断耐力が向上することが推測される。

- 2) 高強度せん断補強鉄筋(USD785)を用いた RC はりで、コンクリートの圧縮強度を 50~60N/mm² 程度とすると、せん断補強鉄筋降伏強度が制限値(25fc)より小さいにも関わらず、最大荷重時にせん断補強鉄筋が降伏しなかった。
- 3) 進展する斜めひび割れの上端部近傍に、せん断補強鉄筋が配置されていない場合、斜めひび割れが試験体上縁へ容易に貫通してしまい、圧縮部コンクリートが受け持つせん断力が消失してしまうことで、せん断耐力が低下することがある。
- 4) 高強度せん断補強鉄筋を用いた RC はりにおける、修正トラス理論式の適合性は、せん断補強鉄筋の引張応力が降伏強度に達しないという要因だけでなく、斜めひび割れ後にコンクリートの分担せん断力が低下するという要因にも影響されている可能性がある。

謝辞

本研究で使用した高強度せん断補強鉄筋は、高周波熱錬株式会社にご提供頂きました。ここに深謝いたします。

参考文献

- 1) 曾我部直樹ほか：RC 橋脚における軸方向鉄筋、帯鉄筋への高強度鉄筋の適用に関する実験的研究，土木学会論文集，Vol.67， No.1， pp.131-149， 2011
- 2) 土木学会編：2012 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2012.
- 3) 黒岩俊之，谷村幸裕，岡本大，佐藤勉：高強度せん断補強鉄筋を用いた RC はりのせん断耐力に及ぼすコンクリート強度の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.26， No.2， pp.955-960， 2004
- 4) 岡本大，谷村幸裕，黒岩俊之，渡辺忠朋：高強度せん断補強鉄筋を用いた鉄筋コンクリート梁のせん断耐力算定法に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.35， No.2， pp.631-636， 2013
- 5) 河金甲，佐藤良一：高強度 RC はりの斜めひび割れ発生強度に及ぼす収縮の影響評価，土木学会論文集 E，Vol.65， No.2， pp.178-197， 2009
- 6) 刑部圭祐，松本浩嗣，二羽淳一郎：収縮を受けた高強度コンクリートはりのせん断破壊メカニズム，土木学会年次学術講演会，Vol.67，V-261， pp.521-522，2012