

高強度 RC はりのせん断耐力に及ぼす収縮とせん断補強筋の影響

極東興和(株) 正会員 ○河金 甲
広島大学大学院 フェロー会員 佐藤 良一

1. はじめに

これまでに、自己収縮の増大は高強度コンクリートを用いた RC はりのせん断耐力をせん断補強筋の有無にかかわらず低下させることを筆者らは明らかにした^{1),2),3),4)}。しかし、これらの検討はせん断補強筋がある場合とない場合それぞれで行ってきたため、せん断補強筋の配置が、どの程度せん断耐力の収縮による低下に影響を及ぼすか明確になっていない。一方、コンクリート標準示方書では、コンクリート分担分としてせん断補強筋のない RC はりの斜めひび割れ発生時せん断力を用いた修正トラス理論により、実用的で安全側との観点からせん断補強筋の降伏により RC はりのせん断耐力を定義している⁵⁾。その考えに基づいた修正トラス理論により、せん断補強筋降伏に対応したせん断耐力は収縮の有無にかかわらず概ね評価できることを報告したが²⁾、収縮の影響を受けた高強度 RC はりの終局時せん断耐力と修正トラス理論との対応は明確になっていない。そこで、本研究ではこれまでの検討に用いた RC はりからせん断補強筋の有無以外は同一条件の RC はりを抽出し、高強度 RC はりのせん断耐力の収縮による低下に及ぼすせん断補強筋の影響を検討し、さらに修正トラス理論を用いた終局時せん断耐力評価の考察を行う。

2. RC はり概要

表-1 に示す せん断補強筋の有無のみが異なる(A)~(D)シリーズの 36 体を用いて検討を行った。これらの RC はりは収縮量の異なる 2 種類の高強度コンクリート(高収縮: HAS, 低収縮: LAS)を用いて製作している。なお、載荷時のコンクリートの圧縮強度は HAS が 114~124N/mm², LAS が 108~128N/mm²であった。

3. 検討結果及び考察

3.1 斜めひび割れ発生時せん断力($V_{c,cr}$)に及ぼす収縮とせん断補強筋の影響

せん断補強筋量の増加は、収縮拘束によりコンクリートに生じる引張応力を増大させ、このことによる斜めひび割れ発生強度の低下も考えられる。この検証を、図-1 に示す同一諸元の LAS 供試体を平均した $V_{c,cr}$ ($\{V_{c,cr}\}_{av,LAS}$) に対する HAS 供試体の $V_{c,cr}$ ($\{V_{c,cr}\}_{HAS}$) の比、さらに図-2 に示す HAS 供試体における同一諸元のせん断補強筋のない RC はりの $V_{c,cr}$ の平均値($\{V_{c,cr}\}_{pw=0,av}$)に対するせん断補強筋を有する RC はりの $V_{c,cr}$ の比により行う。図-1 に示した有効高さごとの平均によると、既に報告したように $V_{c,cr}$ は収縮により低下しそれは寸法が増大するにつれて顕著になるものの⁴⁾ $d=250\text{mm}$ と $d=500\text{mm}$ の場合は $V_{c,cr}$ にせん断補強筋の影響はみられず、図-2 に示した HAS 供試体の $V_{c,cr}/\{V_{c,cr}\}_{pw=0,av}$ は、せん断補強筋比が増加しても低下していない。これらのことから本検討に用いた RC はりの範囲では $V_{c,cr}$ にせん断補強筋の影響がほとんどないと考えられる。しかし、図-1 では $d=1000\text{mm}$ の場合にせん断補強筋の有無により $V_{c,cr}$ に 13%の違いがみられ、さらに本研究の $V_{c,cr}$ のばらつきは大きいので、今後、本研究に比べて収縮が大きい場合やせん断補強筋比が大きい場合も含めさらに検証する必要がある。

3.2 終局時コンクリート分担せん断力($V_{c,u}$)に及ぼす収縮とせん断補強筋の影響

終局時せん断力はせん断補強筋量により異なる一方、既往の研究からせん断補強筋が負担するせん断力は圧縮斜材角を 45°としたトラス理論でほぼ評価できることが明らかとなっている²⁾。このため、終局時せん断力の実験値(V_u)が

表-1 供試体概要

シリーズ		文献	供試体数	供試体諸元							載荷時の コンクリートの 圧縮強度	載荷前の鉄筋ひずみ						破壊形態 (せん断補強筋なし ²⁾)						
				幅	高さ	有効高さ	せん断スパン	せん断スパン比	引張鉄筋比	せん断補強筋		引張鉄筋		せん断補強筋 ¹										
										せん断補強筋比 ¹						降伏強度								
																	HAS			LAS	HAS	LAS	HAS	LAS
HAS	LAS	HAS	LAS	HAS	LAS	HAS	LAS																	
$\varepsilon_{s,def}$	$\varepsilon_{s,def}$	$\varepsilon_{w,def}$	$\varepsilon_{w,def}$	HAS	LAS																			
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	a/d	p _s	p _w	f _y	f _{c'}	f _{c'}	$\varepsilon_{s,def}$	$\varepsilon_{s,def}$	$\varepsilon_{w,def}$	$\varepsilon_{w,def}$	HAS	LAS									
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(%)	(%)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)	($\times 10^{-6}$)											
(A)	4)	2	2	150	600	500	1500	3.0	2.06	0.00	-	115	109	-227,-221	-2,-2	-	-	斜め,斜め	せ圧,斜め					
	2)	2	2							0.26(0.76)	740	124	116	-238,-231	11,-4	-432,-450	10,8	-	-					
	2	2	0.48(1.35)							346	124	108	-238,-257	19,20	-424,-406	13,19	-	-						
(B)	4)	2	2	300	305	250	750	3.0	1.55	0.00	-	114	120	-275,-265	-34,-34	-	-	斜め,斜め	せ圧,せ圧					
	3)	2	2							0.38(0.76)	487	119	117	-269,-270	-27,-37	-363(-347),-354(-329)	-28(-14),-14(5)	-	-					
	2	2	0.00							-	120	125	-314,-318	-60,-55	-	-	せ圧,せ圧	斜め,せ圧						
(C)	4)	2	2	300	580	500	1500	3.0	1.59	0.19(0.38)	787	118	127	-328,-306	-94,-78	-414(-421),-434(-417)	-38(-16),-76(-41)	-	-					
	3)	2	2							0.00	-	122	128	-311,-311	-49,-46	-	-	せ圧,せ圧	せ圧,せ圧					
	2	2	0.19(0.38)							787	124	125	-295,-300	-69,-60	-412(-409),-404(-389)	-95(-87),-75(-41)	-	-						
(D)	4)	2	2	300	1130	1500	3000	3.0	1.59	0.00	-	122	128	-311,-311	-49,-46	-	-	せ圧,せ圧	せ圧,せ圧					
	3)	2	2							0.19(0.38)	787	124	125	-295,-300	-69,-60	-412(-409),-404(-389)	-95(-87),-75(-41)	-	-					
	2	2	0.00							-	122	128	-311,-311	-49,-46	-	-	せ圧,せ圧	せ圧,せ圧						

1: () 内は非破壊側の値を示す。なお、せん断補強筋を有する RC はりの $V_{c,cr}$ はせん断補強筋ひずみの増加により決定し、非破壊側にもゲージを貼付した(B)~(D)シリーズの非破壊側の $V_{c,cr}$ も検討に追加した。
2: 破壊形態の「斜め」は斜め引張破壊、「せ圧」はせん断圧縮破壊を示す。

キーワード 高強度 RC はり, せん断耐力, 収縮, せん断補強筋, 修正トラス理論

連絡先 〒732-0052 広島県広島市東区光町 2 丁目 6-31 (株) 極東興和 事業本部 T E L 082-261-1204

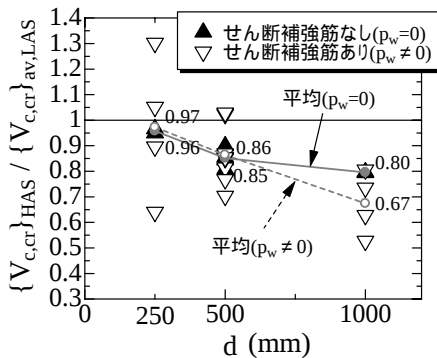


図-1 $V_{c,cr}$ に及ぼす収縮とせん断補強筋の影響

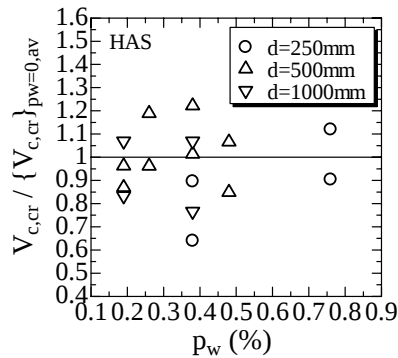


図-2 $V_{c,cr}$ に及ぼすせん断補強筋比の影響 (HAS 供試体)

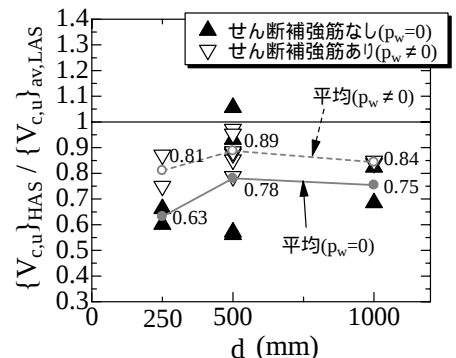


図-3 $V_{c,u}$ に及ぼす収縮とせん断補強筋の影響

ら圧縮斜材角を 45° としたせん断補強筋降伏時のトラス理論値 (V_s) を差し引くことで求めた終局時コンクリート分担せん断力 ($V_{c,u} = V_u - V_s$) によって、終局時せん断耐力に及ぼす収縮とせん断補強筋の影響を検討する。図-3 に、同一諸元の LAS 供試体の平均した $V_{c,u}$ ($\{V_{c,u}\}_{av,LAS}$) に対する HAS 供試体の $V_{c,u}$ ($\{V_{c,u}\}_{HAS}$) の比を、せん断補強筋がない場合とある場合でそれぞれ示す。この図から、収縮により $V_{c,u}$ は低下するが、せん断補強筋の配置により緩和されることがわかる。

3.3 修正トラス理論による終局時せん断耐力評価

修正トラス理論を用いせん断補強筋降伏時に破壊する仮定は、せん断補強筋を有する RC はりの $V_{c,u}$ は、せん断補強筋のない RC はりの $V_{c,cr}$ ($\{V_{c,cr}\}_{pw=0}$) と等しいことを意味する。この妥当性を考察するため、同一諸元の $\{V_{c,cr}\}_{pw=0}$ の平均 ($\{V_{c,cr}\}_{pw=0,av}$) に対する $V_{c,u}$ の比を図-4 に示す。 $V_{c,u} / \{V_{c,cr}\}_{pw=0,av}$ は、HAS 供試体で 1.8 ~ 2.6, LAS 供試体で 2.0 ~ 2.4 となり、収縮の有無にかかわらず $V_{c,u}$ は $\{V_{c,cr}\}_{pw=0}$ より明らかに大きい。適切なせん断補強筋が配置された RC はりではせん断補強筋降伏後に載荷点付近のコンクリートの圧壊により終局に至ることに起因し、コンクリートの高強度化に伴いせん断補強筋降伏後の耐力増加も大きくなることが報告されている⁹⁾。本研究の場合も同様の理由により $V_{c,u}$ が $\{V_{c,cr}\}_{pw=0}$ に対して大きく増加したと思われる。一方で、せん断補強筋を配置しなくても斜めひび割れ発生後にアーチ機構を形成してせん断耐力が増加し、表-1 に示すようにせん断圧縮破壊した場合もある。そこで、せん断圧縮破壊をした同一諸元のせん断補強筋のない RC はりの $V_{c,u}$ ($\{V_{c,u}\}_{pw=0,av}$) とせん断補強筋を有する RC はりの $V_{c,u}$ の比を図-4 に示す。この図でみられるように、 $V_{c,u} / \{V_{c,u}\}_{pw=0,av}$ は、HAS 供試体と LAS 供試体ともにほぼ 1.0 に近くなった。このことは、本研究におけるせん断補強筋降伏後のせん断耐力の増加は、アーチ機構形成によるせん断抵抗力増加が支配的要因であることを示唆するものである。

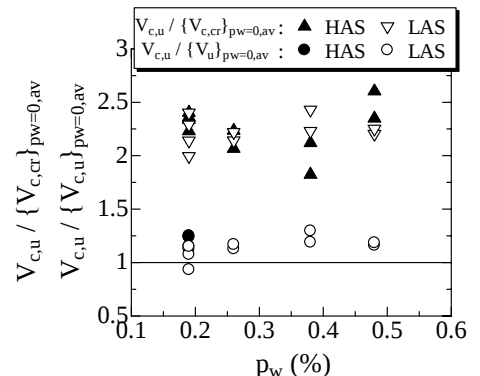


図-4 $V_{c,u}$ とせん断補強筋のない RC はりのせん断耐力との比較

4. まとめ

本研究に用いた高強度 RC はりの場合、斜めひび割れ発生強度の収縮による低下にせん断補強筋の影響はほとんどみられないこと、せん断補強筋の配置により終局時コンクリート負担に及ぼす収縮の影響が緩和されることが明らかになった。高強度 RC はりのせん断耐力に関する研究がまだ非常に少ないことを考慮すると、当面、修正トラス理論を用いせん断補強筋の降伏により高強度 RC はりのせん断耐力を評価するのが妥当と思われるが、本研究でみられたようにせん断補強筋降伏後のせん断耐力が大幅に増加する場合もあるという高強度 RC はりの特性を生かすため、実験データを蓄積し高強度 RC はりの合理的なせん断設計法の確立に努めていかなければならない。

謝辞 本研究の一部は、平成 20 年度吉田研究奨励賞の授与を得て実施したものであり、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 児玉他：収縮が異なる高強度 RC はりのせん断特性の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.25, No.2, pp.1057-1062, 2003
- 2) 河金他：せん断補強筋を有する高強度 RC はりのせん断耐力に及ぼす収縮の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.3, pp.703-708, 2007.
- 3) 河金他：せん断補強筋を有する高強度 RC はりのせん断挙動に及ぼす寸法と収縮の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.31, No.2, pp.763-768, 2009
- 4) 河金他：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
- 5) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，2008
- 6) Johnson, M. K, et al.: Minimum shear reinforcement in beams with higher strength concrete, ACI Structural Journal, 86(S33), pp. 376-382, 1989