

高強度 RC はりのせん断強度への寸法と収縮の影響に関する実験的検討

広島大学大学院 学生会員 ○大賀琢麻  
 極東工業(株) 正会員 河金甲  
 (株)大林組 正会員 川本卓人  
 広島大学大学院 正会員 佐藤良一

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下，RC）構造物に，圧縮強度が  $100\text{N/mm}^2$  を超えるような高強度コンクリートを使用することにより，構造物の断面縮小や耐久性向上が期待できる．しかし，高強度コンクリートは若材齢時において自己収縮が増大する．さらに，高強度 RC 部材のせん断強度は普通強度の RC 部材より寸法効果が大きいことが知られている<sup>1)</sup>．

以上の観点から，本研究では有効高さを 250mm，500mm，1000mm と変化させたせん断補強筋のない高強度 RC はりを用いて，せん断強度への収縮と寸法の影響を実験的に検討した．

2. 実験概要

収縮の影響を検討するため，水結合材比 (W/B) 23% の収縮の大きいコンクリート(以下 HAS)と収縮を低減させたコンクリート(以下 LAS)の2種類を用いて RC はりを製作した．そして，打設直後から載荷直前までの鉄筋ひずみの挙動を経時的に把握した上

で，2点集中荷重により載荷試験を行った．供試体の有効高さ(d)は 250mm，500mm，1000mm の3種類とし，引張鉄筋比( $p_s$ )は 1.6%程度，せん断スパン比(a/d)は 3.0である．本研究で用いたコンクリートの配合を Table1 に，供試体概要の一例と供試体緒元をそれぞれ Fig.1 と Table2 に示す．

3. 実験結果と考察

Table3 に実験結果一覧を示す．載荷時の圧縮強度は HAS は  $117\sim 120\text{N/mm}^2$ ，LAS は  $113\sim 123\text{N/mm}^2$  であった．また，収縮によって引張鉄筋に載荷直前までに蓄積されたひずみは，HAS は  $-227\times 10^{-6}\sim -310\times 10^{-6}$ ，LAS は  $-33\times 10^{-6}\sim -77\times 10^{-6}$  と配合の違いにより明確に異なった．

3-1 支間中央たわみとせん断強度の検討

Fig.2 に荷重と支間中央におけるたわみの関係の一例を示す．図中の●印は斜めひび割れ発生時を示し，Fig.1 に示す位置において測定したせん断変位の急激な増加により判断した．HAS と LAS を比較すると，

収縮により斜めひび割れ発生時のせん断力は  $d=250\text{mm}$  で 4%， $d=500\text{mm}$  で 13%， $d=1000\text{mm}$  で 18%低下した．その原因として，収縮によって引張鉄筋に蓄積された圧縮ひずみがひび割れ発生時に解放され，収縮が大きい場合に曲げひび割れ幅が増大することは知られており<sup>2)</sup>，そのことで骨材の噛み合い効果や中立軸が上がることによって圧縮部コンクリートの断面積が減少するなどのせん断抵抗が低下したことが考えられる．そして，Table3 に示す破壊モードから，HAS 供試体はせん断引張破壊，LAS 供試体はせん断圧縮破壊とな

キーワード 高強度 RC はり，収縮，せん断強度，寸法効果，等価鉄筋比

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学大学院工学研究科 構造材料工学研究室 TEL082-424-7786

Table1 配合表

配合名	W/B (%)	s/a (%)	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )							添加量(B×%)		
			W	NC	LC	SF	EX	S	G	SRA	SP1	SP2
HAS	23	45.0	155	607	0	67	0	731	894	0	1.90	0.0190
LAS	23	45.3	155	0	567	67	40	740	894	6	1.65	0.0165

W/B:水結合材比 s/a:細骨材率 W:水  
 NC:普通ポルトランドセメント LC:低熱ポルトランドセメント  
 SF:シリカフェューム EX:膨張材 S:細骨材 G:粗骨材 SRA:収縮低減剤  
 SP1:高性能AE減水剤 SP2:消泡剤

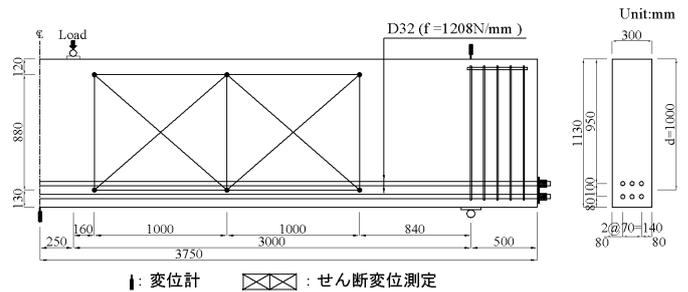


Fig.1 供試体概要(d=1000mm)

Table2 供試体緒元

配合名	供試体名	寸法				せん断スパン比	引張鉄筋比
		幅 b	高さ h	有効高さ d	供試体長さ L		
		mm	mm	mm	mm	a/d	%
HAS	HAS1-A	300	305	250	2300	3.0	1.55(3D22)
	HAS2-A	300	580	500	4500		
	HAS3-A	300	1130	1000	7500		
LAS	LAS1-A	300	305	250	2300	3.0	1.55(3D22)
	LAS2-A	300	580	500	4500		
	LAS3-A	300	1130	1000	7500		

る傾向がある。そのため、終局耐力は  $d=250\text{mm}$  で 47%,  $d=500\text{mm}$  で 41%,  $d=1000\text{mm}$  で 63% 収縮によって低下した。

3-2 寸法効果の検討

Fig.4 に有効高さと斜めひび割れ発生時のせん断強度の関係を示す。検討に際して、高強度 RC はりのせん断強度に対する引張鉄筋比及びせん断スパン比の影響は、普通強度 RC はりと同等であるという報告<sup>3)</sup>があるため、それらの影響を式(1)により排除した。

$$\tau_c^* = \tau_c / \left\{ (100p_s)^{1/3} (0.75 + 1.4/(a/d)) \right\} \quad (1)$$

Fig.4 に HAS と LAS の  $\tau_c^*$  を最小二乗法で回帰した結果を示す。図から、せん断強度は LAS の方では  $d$  の  $-1/2.6$  乗に依存しているのに対して、HAS の方では  $d$  の  $-1/2.1$  乗に依存しており、HAS の方がより寸法増大によるせん断強度の低下が大きいことが分かる。

次に、牛尾らによって提案されている収縮により曲げひび割れ幅が増大しせん断抵抗が減少することと、引張鉄筋比を小さくすることは等価であるとする、等価鉄筋比の概念<sup>4)</sup>を用いた式(2)により評価する。

$$\tau_{c,e}^* = \tau_c / \left\{ \left( 100 \frac{\epsilon_{s,load}}{\epsilon_{s,load} - \epsilon_{s,sh}} \right)^{1/3} (0.75 + 1.4/(a/d)) \right\} \quad (2)$$

$\epsilon_{s,load}$  ; 引張鉄筋応力がゼロ状態から斜めひび割れ発生までのせん断スパン中央の鉄筋ひずみ変化量

$\epsilon_{s,sh}$  ; 引張鉄筋位置コンクリート応力ゼロ状態時の鉄筋ひずみ

Fig.5 に有効高さと  $\tau_{c,e}^*$  の関係を示す。図によると、等価引張鉄筋比を用いることで、有効高さ 250mm から 1000mm までのせん断強度に及ぼす収縮の影響を统一的にほぼ評価できている。同様の検討を主に有効高さ  $d=250\text{mm}$  から 500mm の RC はりを用いて行った牛尾の研究では、せん断強度の寸法効果は有効高さの  $-1/3$  乗に従うとしていたが本研究では、有効高さの  $-1/2.5$  乗に従った。よって、有効高さ 250mm から 1000mm と寸法効果の検討範囲を拡大した結果、せん断強度低下に及ぼす部材寸法の影響は、既往の研究に比べて顕著となった。

4. 結論

- (1) 収縮量が増加することで、斜めひび割れ発生時のせん断力は有効高さ  $d=250\text{mm}$ ,  $500\text{mm}$ ,  $1000\text{mm}$  でそれぞれ 4%, 13%, 18% 低下した。さらに終局時のせん断力については、47%, 41%, 63% 低下した。
- (2) 寸法効果によるせん断強度の低下が HAS では  $d$  の  $-1/2.1$  乗, LAS では  $d$  の  $-1/2.6$  乗に依存し収縮量の違いによって異なり, HAS の方がより寸法効果が顕著になることが明らかとなった。
- (3) 等価鉄筋比の概念を適用することで、有効高さが 250mm から 1000mm までのせん断強度に及ぼす収縮の影響を、有効高さの  $-1/2.5$  乗でほぼ统一的に評価できた。

参考文献

- 1) 藤田他：高強度コンクリートを用いた RC はりのせん断強度と寸法効果，土木学会論文集，V-56，pp.161-172，2002.8
- 2) 谷村他：若材齢時長さ変化を考慮した RC 曲げ部材のひび割れ幅・変形の一般的評価方法，土木学会論文集，No.760，/V-63，pp.181-195，2004.5
- 3) 社) 土木学会：2002 年版コンクリート標準示方書改訂資料，2002.3
- 4) 牛尾他：高強度 RC はりのせん断挙動に及ぼす体積変化の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 28，No. 2: 769-774，2006

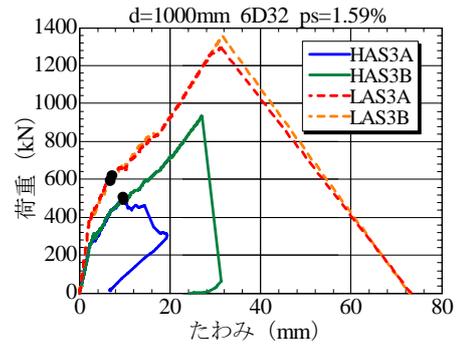


Fig.2 荷重たわみ関係( $d=1000\text{mm}$ )

Table3 .実験結果一覧

配合名	供試体名	コンクリート材料特性				実験結果				破壊モード	
		圧縮強度	ヤング係数	引張強度	収縮ひずみ	斜めひび割れ発生時		終局時			
		$f_c$ N/mm <sup>2</sup>	$E_c$ N/mm <sup>2</sup>	$f_t$ N/mm <sup>2</sup>	$\epsilon_{cs,avg}$ $\times 10^{-3}$	せん断力 kN	せん断応力 N/mm <sup>2</sup>	せん断力 kN	せん断応力 N/mm <sup>2</sup>		
HAS	HAS1	A	120.9	45.9	6.9	-227	118	1.57	136	1.82	せん断引張破壊
		B				-242	127	1.69	127	1.69	せん断引張破壊
	HAS2	A	117.2	47.3	6.7	-310	177	1.18	180	1.20	せん断引張破壊
		B				-310	182	1.21	182	1.21	せん断引張破壊
	HAS3	A	123.4	47.3	7.0	-284	254	0.85	254	0.85	せん断引張破壊
		B				-294	246	0.82	467	1.56	せん断圧縮破壊
LAS	LAS1	A	112.8	46.3	6.7	-59	127	1.64	239	3.19	せん断圧縮破壊
		B				-50	132	1.76	181	2.41	せん断引張破壊
	LAS2	A	123.7	47.9	8.9	-69	197	1.31	219	1.46	せん断引張破壊
		B				-77	197	1.31	303	2.02	せん断引張破壊
	LAS3	A	125.6	50.4	7.3	-33	297	0.99	647	2.16	せん断引張破壊
		B				-37	311	1.04	677	2.26	せん断圧縮破壊

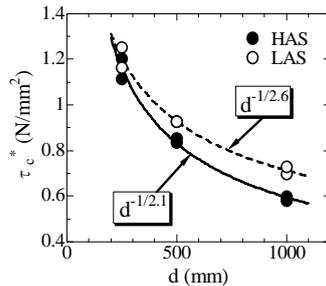


Fig.4 寸法効果 (実鉄筋比使用)

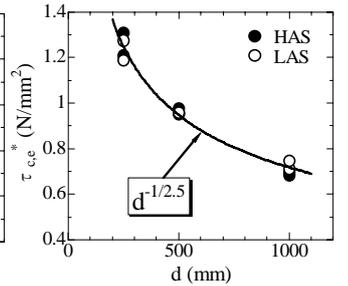


Fig.5 寸法効果 (等価鉄筋比使用)