

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

東京工業大学大学院 学生会員 ○刑部 圭祐  
 東京工業大学大学院 正会員 松本 浩嗣  
 東京工業大学大学院 フェロー 二羽 淳一郎

1. はじめに

高強度コンクリートは、若材齢時に大きな自己収縮が生じる。このような材料をRC部材に適用すると、自己収縮による変形を鉄筋が拘束するために、コンクリートに無視できない引張応力が発生する。既往の研究では、自己収縮によるRCはりの斜めひび割れ発生強度の低下およびひび割れパターンの変化が確認されている<sup>1)</sup>が、そのメカニズムは必ずしも十分ではない。また、収縮がせん断補強筋に及ぼす影響に関する研究は少なく、さらなる検討を必要とする。本研究では、収縮を受けた高強度RCはりのせん断破壊メカニズムの解明、およびせん断補強筋を有する高強度RCはりのせん断性状の把握を目的として、画像解析システム<sup>2)</sup>を用いたRCはりの載荷試験を行った。

2. 実験概要

実験パラメータは自己収縮量およびせん断補強筋の有無である。表1に実験ケースを示す。収縮量の異なる2種類の高強度コンクリートを用いて、RCはりを作製した。収縮の大きい配合HAS(High Autogenous Shrinkage)には早強セメント、収縮の小さい配合LAS(Low Autogenous Shrinkage)には中庸熱セメント、膨張材(EX)、および収縮低減剤(SRA)を用いた。表2にコンクリートの配合を示す。いずれの配合もW/Bは0.23とし、

表1 実験ケース

供試体名	収縮量	せん断補強筋
HAS-WO	高	無
HAS-W	高	有
LAS-WO	低	無

結合材質量の10%をシリカフュームで置換した。

図1に供試体概要図を示す。HAS-Wのせん断補強筋比は0.21%である。いずれの供試体も、高強度鉄筋を引張鉄筋に使用し、斜め引張破壊を呈するよう設計した。

打設直後から載荷試験前日までの間、コンクリートの収縮・膨張ひずみおよびRCはりの鉄筋ひずみを測定した。コンクリートの収縮・膨張ひずみの測定は供試体と同時に作製した無拘束供試体により行い、重心位置に設置した埋込み型ひずみ計により、コンクリートの実ひずみおよび実温度を測定した。無拘束供試体はRCはりと同一断面で、長さが600mmの無筋コンクリートである。

載荷試験における計測項目はRCはりの載荷荷重、スパン中央および支点変位、コンクリートひずみ、鉄筋ひずみである。また、載荷中は画像解析を行うため、10kN毎に(ただし、斜めひび割れ発生荷重付近ではより頻繁に)、デジタルカメラにより供試体を撮影した。

3. 実験結果

3.1 収縮量測定結果および載荷試験結果

コンクリートの収縮・膨張ひずみを、測定された実ひずみからコンクリートの熱膨張係数に実温度の増分を乗じた温度ひずみを差し引くことで求めた。ただし、コンクリートの熱膨張係数は $10 \times 10^{-6}$ と仮定した。

表2 コンクリートの示方配合

配合名	セメントの種類	$G_{max}$ [mm]	W/B [%]	単位量 [kg/m <sup>3</sup> ]							
				W	C	SF	S	G	EX	SRA	SP
HAS	早強	20	23	155	607	67	729	891	-	-	20
LAS	中庸熱	20	23	155	567	67	732	895	40	7.5	13

$B=C+SF+EX$ , Wの単位量にはSRAの単位量も含む。

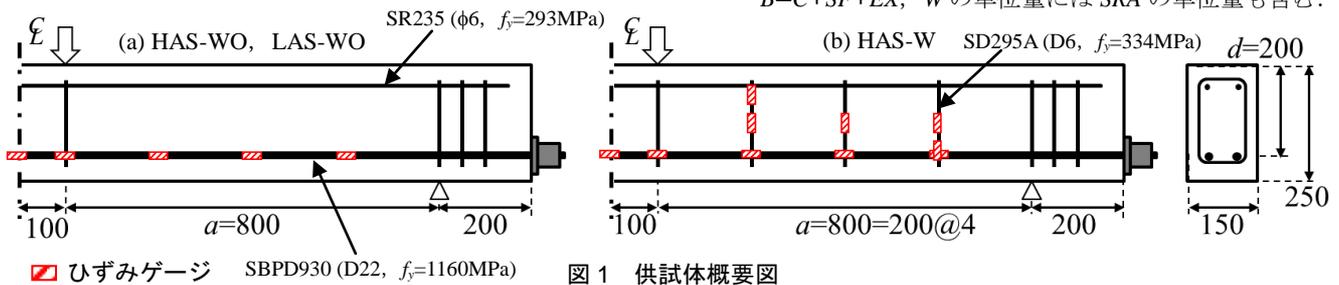


図1 供試体概要図

キーワード 高強度コンクリート, 自己収縮, せん断破壊, せん断補強筋, 画像解析

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 M1-17 TEL 03-5734-2584

表3 収縮量測定結果および荷重試験結果

供試体名	荷重試験前日のひずみ		コンクリートの 圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	荷重試験結果			せん断力レベル		
	無拘束供試体の コンクリート [μ]	RCはりの 引張鉄筋 [μ]		V <sub>cr</sub> [kN]	V <sub>c</sub> [kN]	V <sub>u</sub> [kN]	V <sub>cr</sub> /f' <sub>c</sub> <sup>1/3</sup> [(N・mm) <sup>2/3</sup> ]	V <sub>c</sub> /f' <sub>c</sub> <sup>1/3</sup> [(N・mm) <sup>2/3</sup> ]	V <sub>u</sub> /f' <sub>c</sub> <sup>1/3</sup> [(N・mm) <sup>2/3</sup> ]
HAS-WO	(-559.4)	-567.5	89.8	13.0	65.3	65.3	2.9	14.6	14.6
HAS-W	-559.4	-452.0	83.1	14.5	70.4	85.8	3.3	16.1	19.7
LAS-WO	180.2	-72.8	72.0	19.0	65.7	79.0	4.6	15.8	19.0

ひずみの符号は引張を正、圧縮を負とする。V<sub>cr</sub>：曲げひび割れ発生せん断力、V<sub>c</sub>：斜めひび割れ発生せん断力、V<sub>u</sub>：せん断耐力

表4 せん断補強筋の分担せん断力

V <sub>s,exp</sub> [kN]	V <sub>s,cal</sub> [kN]	V <sub>s,exp</sub> /V <sub>s,cal</sub>
20.4	18.5	1.10

V<sub>s,exp</sub>：実験値、V<sub>s,cal</sub>：計算値

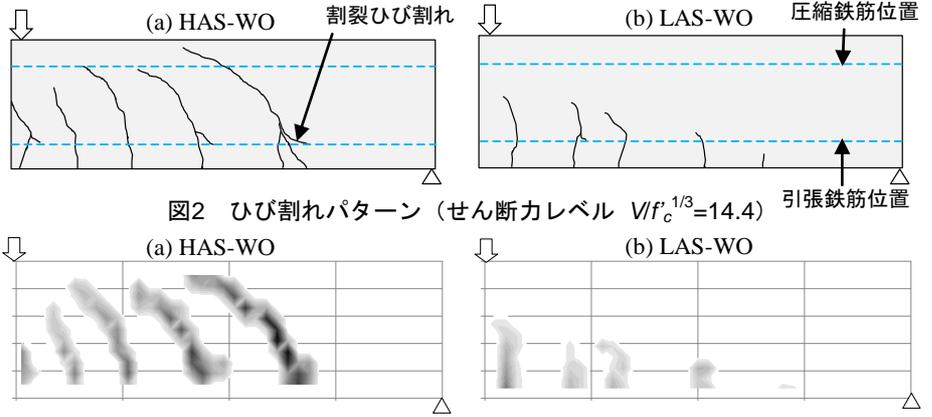


図3 ひび割れ開口変位分布 (せん断力レベル V/f'<sub>c</sub><sup>1/3</sup>=14.4)

表3に収縮量測定結果および荷重試験結果を示す。この表から、配合LASでは収縮の低減が確認できる。ここで、コンクリート強度のばらつきの影響を取り除くために、圧縮強度の1/3乗で正規化したせん断力をせん断力レベルと称する。各せん断力レベルの比較から、収縮による曲げひび割れ発生せん断力、斜めひび割れ発生せん断力、およびせん断耐力の低下が確認できる。

3.2 せん断補強筋分担せん断力

HAS-Wにおける終局時のせん断補強筋の分担せん断力の実験値を、HAS-Wのせん断耐力からHAS-WOのせん断耐力を差し引くことで求めた。トラス理論により、せん断補強筋の分担せん断力の計算値は式(1)で求められる。

$$V_{s,cal} = A_w f_{wy} (z/s) \tag{1}$$

ここで、A<sub>w</sub>はせん断補強筋の断面積、f<sub>wy</sub>はせん断補強筋の降伏強度、zは応力中心間距離、sはせん断補強筋間隔である。

実験値と計算値の比較結果を表4に示す。この結果から、せん断補強筋の分担せん断力は、トラス理論により概ね評価できることがわかる。

3.3 ひび割れ性状

図2および図3に、斜めひび割れ発生以前の同一せん断力レベル (V/f'<sub>c</sub><sup>1/3</sup>=14.4) におけるひび割れパターンおよび画像解析より得られたひび割れ開口変位分布を示す。

図2から、収縮の影響により、ひび割れが圧縮縁側に深く進展していることがわかる。また、収縮が大きい場合、引張鉄筋に沿った割裂ひび割れが生じた。割裂ひび割れは鉄筋のダウエル作用を低下させる。

図3に示すように、収縮の影響により、ひび割れ開口変位は著しく増大した。収縮によるひび割れの拡幅は、引張鉄筋に沿った割裂ひび割れを引き起こすとともに、骨材の噛合せ効果を減少させることから、せん断耐力を低下させる要因であると考えられる。

4. 結論

- (1) 収縮の影響により、せん断補強筋のない高強度RCはりのせん断耐力は著しく低下する。その要因として、深いひび割れの進展、ひび割れ開口変位の増大、および引張鉄筋に沿った割裂ひび割れが挙げられる。
- (2) せん断補強筋比0.21%の高強度RCはりにおけるせん断補強筋の分担せん断力は、トラス理論によって概ね評価できる。

参考文献

- 1) 河金甲ほか：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.178-197，2009.4
- 2) 東広憲ほか：破断した軸方向鉄筋を有するRCはりの破壊に対する画像解析，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.2，pp.727-732，2009.7