

収縮による RC はりのせん断強度低下の考察

広島大学大学院	学生会員	○宮本 和也
太平洋セメント株式会社	正会員	兵頭 彦次
広島大学大学院	学生会員	太田 光貴
広島大学大学院	学生会員	中山 紘輝
広島大学大学院	フェロー会員	佐藤 良一

1. はじめに

近年、骨材品質にともなうコンクリートの高収縮化が大きな問題となっている。収縮によってひび割れ発生リスクが高まることが知られているが、実構造物において甚大な損傷¹⁾が生じ、大きな問題となった。高強度コンクリートにおいては、最近、自己収縮がせん断強度の低下につながる²⁾ことが明らかとされ、耐力算定式が提案されるに至っている³⁾。普通コンクリートにおいては乾燥収縮が主となるが、骨材品質によって過大な収縮が生じた場合、同様に、せん断性能に影響を及ぼす可能性が考えられる。筆者らは、既に W/C50%のコンクリートにおいて、乾燥した場合の斜めひび割れ発生強度が封緘養生した場合よりも低下する³⁾ことを確認している。本検討では、現象の一般性を確認するために、強度レベルを拡張(W/C35%)し、実験的検討を行った。

2. 使用材料, 配合

本研究で使用した材料を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。骨材にはコンクリートの乾燥収縮が大きいとされるものを用いた。単位水量は 170kg/m^3 、W/C は 35%とした。後述するように、収縮の影響を比較するため、養生条件を気乾および封緘の2種類としている。養生条件による収縮の差を明確にするため、封緘養生する供試体については、膨張材(EX)を内割で 20kg/m^3 使用した。

3. 実験概要

3.1 RC はり供試体

3.1.1 供試体概要

RC はり供試体は、引張鉄筋比 1.03~1.06%、せん断補強筋および圧縮鉄筋なし、収縮の程度が高収縮と低収縮の2種類のRC はりを作製した。例として、図-1に $d=1000\text{mm}$ のRC はり供試体の概要図を示す。寸法効果の検討を行うため、有効高さ 250, 500, 1000mm, 高収縮と低収縮の、それぞれ2体ずつ、計12体作製し、供試体名を HSA0.35

表-1 コンクリートの使用材料

材料	記号	種類/物理的性質
水	W	工業用水
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度: 3.16g/cm^3
膨張材	EX	低添加型膨張材(石灰系), 密度: 3.16g/cm^3
細骨材	S	砕砂(砂岩), 表乾密度: 2.65g/cm^3 吸水率: 1.86%
粗骨材	G	砕石(砂岩), 表乾密度: 2.69g/cm^3 吸水率: 0.89%
混和剤	—	高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系) AE 剤

表-2 コンクリートの配合

目標値		WC (%)	sa (%)	単位量(kg/m ³)				
スラブ (mm)	空気量 (%)			W	C	EX	S	G
15±25	4.5±1.5	35	41.0	170	486 466	— 20	686	1001

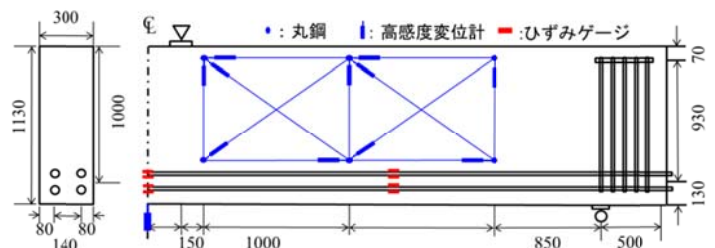


図-1 RC はり供試体概要図($d=1000\text{mm}$)

-250,500,1000-A,B,EX0.35-250,500,1000-A,B とする。RC はりの養生は、材齢7日まで封緘養生、以後載荷試験日まで気乾養生したもの、打ち込み後載荷試験日まで封緘養生したものの2種類とした。

3.1.2 載荷試験概要

載荷試験は、2点集中の単調載荷とし、せん断スパン($=a$)有効高さ比は全て3で統一した。せん断変位を測定するため、打設時にインサートを埋め込み、載荷時に、磨き丸鋼を付け、上辺・下辺・対角辺・縦辺の変位を測定した。

3.2 無拘束供試体概要

コンクリートの自由収縮ひずみを計測するため、RC はりと同一断面の無拘束供試体を有効高さ、養生条件毎に 1 体ずつ、計 6 体作製した。自由ひずみは、断面中心に設置した埋め込み型ひずみゲージで測定した。供試体名は、養生条件に応じて HSA0.35-250,500,1000,EX0.35-250,500,1000 とした。

4. 実験結果

4.1 力学特性

載荷直前のコンクリートの圧縮強度(f_c')、引張強度(f_t)、ヤング係数(E_c)、破壊エネルギー(G_F)、収縮・膨張ひずみ(ϵ_{sh})を表 - 3 に示す。圧縮強度(f_c)、割裂引張強度(f_t)、弾性係数(E_c)いずれについても、EX0.35 より HSA0.35 の方が若干低下する傾向にあった。

4.2 収縮ひずみ

図 - 3 に各無拘束供試体の収縮ひずみを示す。尚、有効材齢は示方書⁴⁾に従って求めており、自由収縮ひずみはいずれも熱膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ として温度補正を行い求めている。図 - 3 より HSA0.35 と EX0.35 に明確な収縮量の差が生じていることが確認できる。また、寸法が小さい程、同一材齢における収縮ひずみが増大する傾向がみられた。これは、寸法が小さい程、体積・表面積比が小さいことによって乾燥収縮の進行速度が速くなったためであると考えられる。

4.3 鉄筋ひずみ

RC はりの鉄筋の支間中央部に設置したひずみゲージの経時変化を図 - 4 に示す。ここでの鉄筋ひずみは、温度変化によって生じたひずみの影響を無くするために実測値からダミーゲージの値を差し引いて補正した値を用いた。同図より RC はりの載荷時の引張鉄筋は養生条件に応じて $300 \times 10^{-6} \sim 350 \times 10^{-6}$ のひずみ差を生じた。

4.4 載荷試験結果

HSA0.35, EX0.35 の荷重と支間中央におけるたわみの関係を図 - 5 に示す。斜めひび割れ発生荷重については、同図の荷重-たわみ関係に加え、せん断変位の急変点(図 - 5)を考慮して決定した。同図より EX0.35 に比べ HSA0.35 の方が、同一荷重に対するたわみが大きい傾向がみられた。これは、収縮の影響により曲げひび割れ発生荷重が低下したためであると考えられる。図 - 7 に斜めひび割れ発生時におけるせん断応力と有効高さの関係を示す。HSA0.35 のせん断応力は、EX0.35 よりも 11~13%程度下回り、コンク

表 - 3 載荷時材料特性

供試体名	有効高さ	材齢	f_c	f_t	E_c	G_F	ϵ_{sh}
	mm	日	N/mm ²	N/mm ²	kN/mm ²	N/mm	$\times 10^{-6}$
HSA0.35-DryingA	250	226	44.3	3.20	22.7	0.21	-672
	500						-574
	1000	306	46.3	3.20	23.2	0.15	-470
HSA0.35-DryingB	250	226	47.5	3.00	23.4	0.23	-696
	500						-574
	1000	306	45.8	3.40	23.3	0.16	-468
EX0.35-SealedA	250	150	59.4	4.00	29.5	0.19	-65
	500						-54
	1000	230	55.0	4.20	32.4	0.17	4
EX0.35-SealedB	250	150	57.8	4.10	29.3	0.16	-65
	500						-54
	1000	230	54.3	4.10	30.4	0.17	3

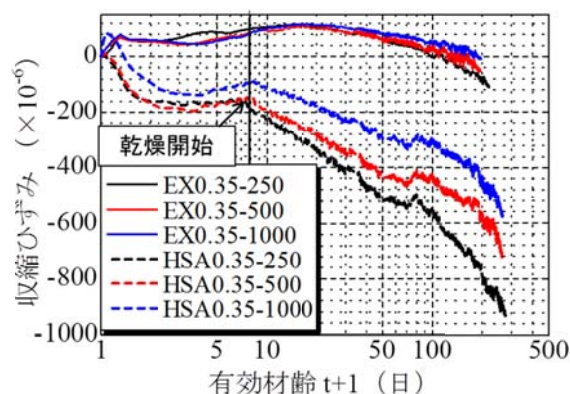


図 - 3 収縮ひずみ

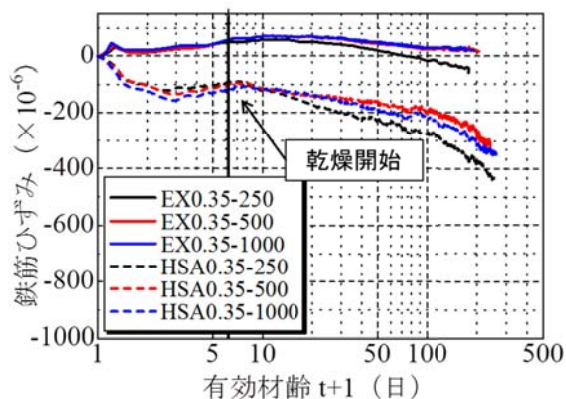


図 - 4 鉄筋ひずみ

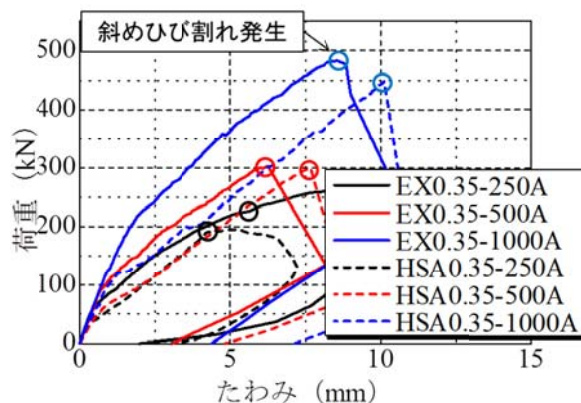


図 - 5 荷重—たわみ関係

リートの強度レベルが異なる場合においても、乾燥によって斜めひび割れ発生強度が低下することが確認された。また、寸法が大きいほど、せん断応力が小さくなる傾向がみられた。これは寸法が大きい程、ひび割れが局所化することが原因であると考えられる。

図-6に、実測値と計算値の比と有効高さの関係を示す。計算値は示方書基式である二羽式⁴⁾(式(1))より、算出した。

$$\tau_c = 0.2 f_c^{1/3} (100 p_s)^{1/3} (d/1000)^{-1/4} (0.75 + 1.4/(a/d)) \quad (1)$$

同図より、 $d=250,500$ については、せん断強度は算定式とほぼ同程度となった。 $d=1000$ については、実測値が計算値に対しEX0.35では9%程度、HSA0.35では20%程度低下し、気乾供試体のほうがより低下する結果となった。EX0.35においては、膨張の影響によって二羽式よりせん断強度が大きくなると予測していたが、 $d=500,1000$ においては強度が小さくなる結果となった。

1. まとめ

(1)気乾供試体は、封緘供試体と比べ同一荷重時のたわみが大きくなることが確認され、載荷試験以前に導入された収縮応力にともなうひび割れ進展挙動の違いを反映した結果であると考えられた。

(2)強度レベルが異なる範囲でも、気乾供試体の斜めひび割れ発生強度が、封緘供試体よりも11~13%低下する傾向があった。

(3)せん断強度の実測値と計算値を比較したところ、有効高さが250,500mmの場合は、同程度であったが、1000mmにおいては、養生条件によらず封緘供試体で9%、気乾供試体で20%程度低下した。

参考文献

- (1) 土木学会：垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会最終報告書，2008.3
- (2) 河金甲：「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EVol.65 No.2,178 - 197, 2009.4
- (3) 三谷昂大，兵頭彦次，太田光貴，佐藤良一：収縮による普通強度RCはりのせん断強度低下とその評価，日本コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.2, pp.721-726, 2011
- (4) 二羽淳一郎ほか：せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，No.372, V-5, pp.167-176, 1986.8

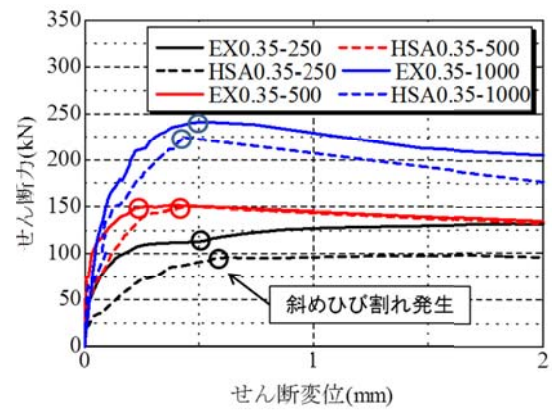


図-6 せん断力—せん断変位関係

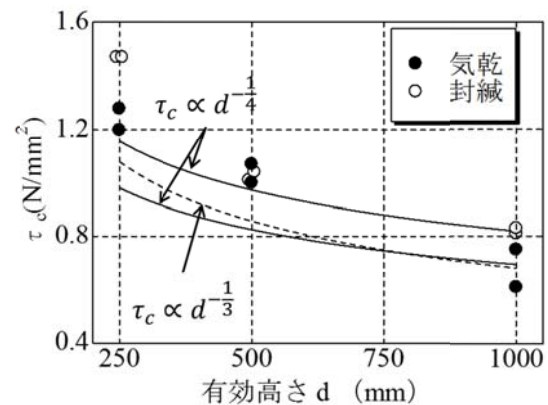


図-7 斜めひび割れ発生荷重—有効高さ関係

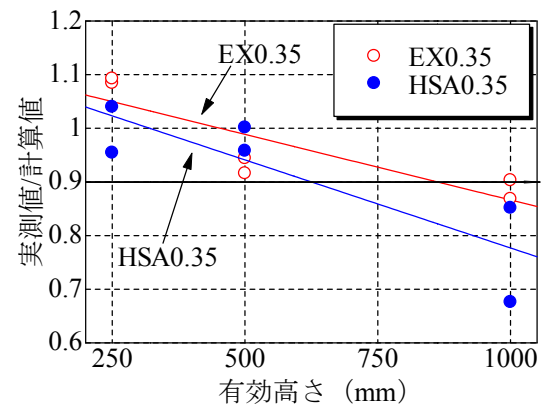


図-8 実測値/計算値