

RC はりのせん断強度に及ぼす収縮の影響

広島大学大学院
太平洋セメント株式会社
株式会社建設技術研究所
広島大学大学院
広島大学大学院

学生会員
正会員
正会員
学生会員
フェロー会員

○中山 紘紀
兵頭 彦次
三谷 昂大
太田 光貴
佐藤 良一

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮は、内部に配置された鉄筋等に拘束されることで、断面内に引張応力を生じ、ひび割れを誘発させる。近年、コンクリート構造物の品質確保の観点から、土木学会コンクリート標準示方書[設計編]¹⁾では、収縮に関する取扱いを大幅に見直し、コンクリートの乾燥収縮に対する関心が高まっている。コンクリートの乾燥収縮については、材料特性の観点からさまざまな検討がなされているが、構造性能に及ぼす影響についての検討も重要である。本検討では、せん断補強筋のない RC はり部材を対象とし、せん断挙動に及ぼすコンクリートの収縮の影響に加え、部材寸法に関する影響に関する検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 コンクリートの使用材料・配合

本研究で用いた使用材料を表-1 に、コンクリートの配合を表-2 に示す。本研究で用いた細・粗骨材は、コンクリートの乾燥収縮が比較的大きくなるものを用いた。乾燥収縮ひずみを、JIS A 1129-3 (ダイヤルゲージ方法) および附属書 A (参考) で測定した 6 か月の結果は、 1146×10^{-6} と極めて大きいものであった。

2. 2 供試体概要

RC はり供試体の断面図および有効高さ 1000mm の供試体の側面図を図-1 に示す。本検討では、せん断補強筋のない RC はり部材を対象とする。せん断強度に及ぼす供試体寸法の影響を検討するため、有効高さを 250mm, 500mm, 1000mm の 3 種類に変化させた。それ以外の要因を排除するため、RC はりの幅を 300mm, せん断スパン有効高さ比を 3.0 に統一し、引張鉄筋比は 1.03%~1.06% に設定した。また、養生方法を封緘あるいは気乾とすることでコンクリートの収縮量を制御した。封緘供試体は、RC はり全面にアルミ粘着テープを貼り付けた。供試体名は、養生条件 (S: 封緘, D: 気乾), 有効高さ (250, 500, 1000) の順で示しており、各水準あたり 2 体ずつ供試体を作製した。

コンクリートの打込み終了後は、打込み面をポリエステルフィルムと養生マットで覆い、材齢 7 日まで封緘養生した。脱型後、封緘養生するものについては、全面にアルミ粘着テープを貼り付けて、載荷直前まで封緘状態を保った。一方、気乾養生するものについては、乾燥の状態がはり長手方向で変化しないよう、両端部のみアルミ粘着テープを貼り付け、室内暴露した。

3. 実験結果

3. 1 材料特性

表-3 に、RC はり載荷時のコンクリートの材料特性として圧縮強度と割裂引張強度およびヤング係数を示す。気乾養生した場合、封緘養生に比べてヤング係数がやや小さく

表 - 1 使用材料

材料名	記号	種類／特性
セメント	C	普通ポルトランドセメント／密度：3.16g/cm ³
細骨材	S	砂岩砕砂／表乾密度：2.65g/cm ³ 、吸水率1.86%
粗骨材	G	砂岩砕岩／表乾密度：2.69g/cm ³ 、吸水率0.89%
混和剤	AD	高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)
	AE	A E 剤

表 - 2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
		W	C	S	G	AD	AE
50	46.4	170	340	832	977	2.38	0.0153

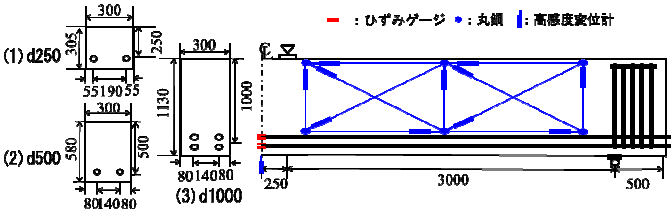


図 - 1 RC 供試体概要 (単位 : mm)

表 - 3 材料特性および鉄筋ひずみとコンクリート応力

供試体名	材 齢 (日)	コンクリートの材料特性			載荷直前鉄筋ひずみとコンクリート応力		
		圧縮強度	ヤング係数	割裂引張強度	$\epsilon_{s,def}$	$\sigma_{c,def}$	$\epsilon_{s0,def}$
		f'_c N/mm ²	E_c kN/mm ²	f_t N/mm ²	μ	N/mm ²	μ
S-250	91	38.6	23.9	3.2	-24	0.08	-28
					-26	0.09	-30
D-250	125	37.3	20.9	3.2	-291	1.02	-342
					-288	1.00	-338
S-500	120	36.7	25.9	3.2	-39	0.17	-46
					-47	0.21	-55
D-500	288	39.7	21.5	3.3	-302	1.30	-367
					-307	1.32	-373
S-1000	120	36.7	25.9	3.2	-73	0.35	-87
					-57	0.28	-68
D-1000	288	39.7	21.5	3.3	-234	1.10	-289
					-246	1.16	-304

なるが、それ以外の強度特性については、養生による明確な差は認められなかった。

封緘供試体は材齢 100 日程度で載荷試験を行った。そのときの鉄筋ひずみは約 50×10^{-6} 程度であった。一方、気乾養生供試体は、鉄筋ひずみが 250×10^{-6} 程度に達した時点で載荷試験に供した。いずれの供試体も、はり下縁に最大 200~300mm の長手直角方向のひび割れが生じた。

表-3 に、材料特性と載荷直前の引張鉄筋ひずみ ($=\epsilon_{s,def}$) および、平面保持を仮定し全断面有効とした場合のゼロ応力状態時のコンクリート応力 ($=\sigma_{c,def}$) を併記する。なお、気中養生供試体の応力は、ひび割れが生じているため参考値である。はり下縁のコンクリート引張応力は、封緘養生供試体の場合、断面寸法によらず 0.3N/mm^2 程度、気乾養

生供試体の場合 1.4N/mm^2 相当と算出された。

図-2 に、荷重-支間中央たわみの関係を示す。同一荷重時のたわみは、封緘供試体と比べ気乾供試体が大きくなる傾向が認められた。これは、気乾供試体における載荷以前に導入された乾燥ひび割れの影響および、収縮によって曲げひび割れ発生荷重が低下したことが要因と考えられる。

図-3 に、斜めひび割れ発生時のせん断強度 τ_c ($=V_d/bd$, V_c : 斜めひび割れ発生時のせん断力) と有効高さとの関係を示す。なお、表-3 中の網掛け部の結果(S-500)については、載荷試験時に長手直角方向で測定したたわみの差が大きく、偏心の影響が考えられたため検討から除外した。斜めひび割れ発生時のせん断強度は、有効高さによらず、気乾養生のほうが封緘養生の供試体よりも小さくなる傾向であった。その低下割合は、有効高さ毎に2体の平均値と比較すると、おおむね10%程度であった。有効高さと τ_c の関係は、封緘が $-1/4$ 乗則、乾燥が $-1/3$ 乗則と一致する傾向であった。

4. 斜めひび割れ発生強度の評価

高強度コンクリートの自己収縮が、RC はり部材の斜めひび割れ発生強度に及ぼす影響の評価方法として、等価引張鉄筋比の概念が提案³⁾されている式(1)。等価引張鉄筋比とは、図-4 に示すように、収縮による載荷前後の引張鉄筋ひずみ変化量の増大は、機能的には引張鉄筋比が小さくなることと等価であるとするものである。

$$p_{s,e} = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_s - \varepsilon_{s0,def}} p_s \quad (1)$$

$p_{s,e}$: 等価引張鉄筋比, ε_s : 曲げせん断スパン中央断面(=1.5d)の曲げ理論で求めた斜めひび割れ発生時の引張鉄筋ひずみ, $\varepsilon_{s0,def}$: コンクリート応力ゼロ状態時の引張鉄筋ひずみ

本手法が乾燥収縮を対象とした普通強度コンクリートにおいても適用可能であるかどうかを検討する。具体的には、二羽式⁴⁾式(2)による計算せん断強度と実測値が、実際の引張鉄筋比を用いた場合(τ_c)と等価引張鉄筋比を用いた場合($\tau_{c,e}$)で、どの程度異なるかを比較する。

$$\tau_c = 0.2f_c^{1/3}(d/1000)^{-1/4}(100p_s)^{-1/3} \quad (2)$$

$$(0.75 + 1.4/(a/d))$$

図-5 に、実測値と計算値の比を示す。同図より、養生条件によらず等価引張鉄筋比を用いた計算値のほうが実測値を良く表現できていることがわかる。封緘養生供試体の場合、平均で0.94(最大1.00, 最小0.90)から0.96(最大1.01, 最小0.92)に、気乾養生供試体の場合、平均で0.88(最大0.95, 最小0.84)から1.00(最大1.08, 最小0.96)になり、気乾養生の場合の適合性がより向上する結果となった。

5. まとめ

(1) 同一荷重時のたわみは、封緘供試体と比べ気乾供試体が大きくなる傾向が認められた。これは、気乾供試体における載荷以前に導入された乾燥ひび割れの影響および、収縮によって曲げひび割れ発生荷重が低下したことが要因と考えられた。

(2) 気乾養生した供試体の斜めひび割れ発生強度は、封緘養生のものより小さくなる傾向であった。

(3) 斜めひび割れ発生強度の計算値は、養生条件によらず、等価引張鉄筋比を用いた方が実際の鉄筋比より実測値を良く表現できた。

謝辞 本研究は、科学研究費(基盤研究(A), 課題番号: 21246071, 代

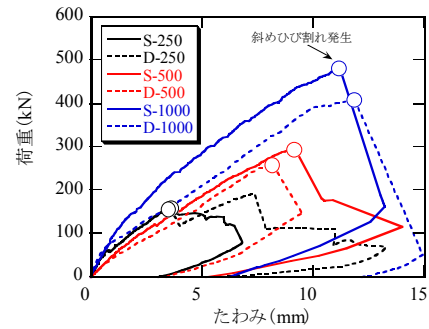


図-2 荷重-支間中央たわみの関係

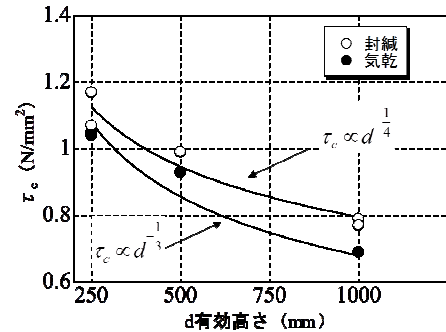


図-3 せん断強度と有効高さ(斜めひび割れ発生時)

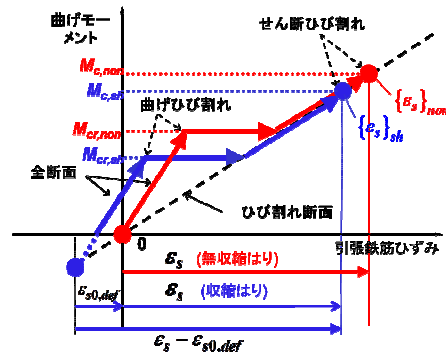


図-4 等価引張鉄筋比の概念

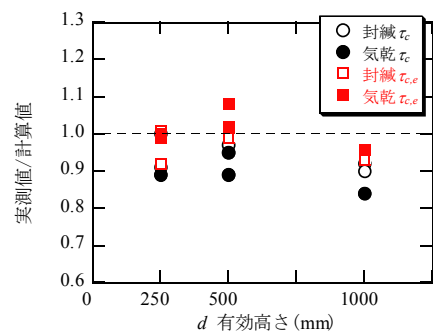


図-5 斜めひび割れ発生強度の実測値および計算値の比較

表: 佐藤良一)の補助を受けて実施したものであり、紙面を借りて厚くお礼申しあげたい。

参考文献

- 1)土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書[設計編], 2008,
- 2)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,
- 3)二羽淳一郎, 山田一字, 横沢和夫, 岡村甫: 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, V-5, pp.167-176, 1986