

高収縮コンクリートを用いたRCはりの収縮特性とせん断挙動

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○太田 光貴
広島大学大学院工学研究科 学生会員 三谷 昂大
広島大学大学院工学研究科 フェロー会員 佐藤 良一

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮が一因とされる構造物の損傷問題¹⁾を契機として、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は様々な要因に影響されるが、そのひとつとして骨材の物性の影響が知られている。骨材は、乾燥収縮の主要因であるセメントペーストの体積変化を拘束する役割を果たすが、産地や物性が異なると拘束程度が異なり、乾燥収縮量に変化をもたらす。後藤ら²⁾は、多数の骨材物性とコンクリートの乾燥収縮との関連性を評価し、骨材自身の収縮が影響を与えることを指摘した。

一方、コンクリートの乾燥収縮の評価は、通常 JIS A 1129-3:2001 に準じて行われ、一般に 100×100×400mm の角柱供試体を用いることが多い。実構造物への乾燥収縮の影響を考慮する場合、土木学会では体積/表面積比を要因として寸法の影響を取り入れ、実測に基づかない場合は、従来の最大値の 1.5 倍することを規定しているが、今後さらに検討することも期待されている。

そこで本研究では、比較的コンクリートの乾燥収縮が大きくなる骨材を用いて、断面 300×305mm の供試体を作製し、そのコンクリートの自己収縮、材齢 7 日での乾燥後の収縮を測定した。合わせて同断面の全断面に対する鉄筋比が 0.95% の RC 供試体の鉄筋ひずみを測定し、せん断実験を行うことにより、斜めひび割れ発生荷重などのせん断特性を収縮量の違いから実験的に検討することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

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。本検討で用いた骨材は、比較的コンクリートの乾燥収縮が大きくなる骨材を用いており、コンクリートの収縮を増大するために粗骨材、細骨材いずれにも用いた。この骨材のヤング係数は 58.5kN/mm² であり、φ32×64mm コアの 3 本の平均である。乾燥収縮は、粗骨材自体にひずみゲージ貼り付けて測定したもので、4 個の平均実測値は 454×10⁻⁶ であった。この場合の試験条件は、20℃-7 日水中、その後 20℃、60R.H.% で 12 日間乾燥した結果である。安定性試験は、JIS A 1122:2005 にしたがって行い、その値は JIS の規格値の最大値に近い、11.5% であった。

2.2 RC はり供試体

(1) 供試体概要

RC はり供試体は、コンクリート全断面に対する鉄筋比が 0.95%、幅 300mm、上縁から鉄筋図心までの距離が 250mm（以下、d250 と称す）のものを養生条件ごとに 2 体ずつ作製した。供試体の断面図との側面図

表-1 使用材料

材料	記号	種類／特性
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
細骨材	S	砂岩砕砂、表乾密度 2.65 g/cm ³ 、吸水率 1.86%
粗骨材	G	砂岩碎石、表乾密度 2.69g/cm ³ 、吸水率 0.89%
混和剤	AD	ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤
	AE	AE 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

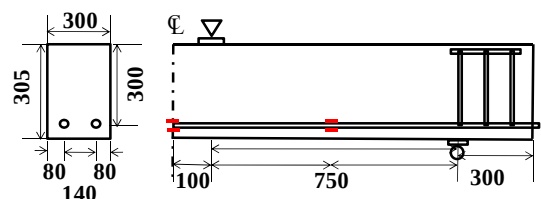


図-1 供試体概要（単位：mm）

を図-1 に示す。

養生条件は、材齢 7 日気中養生（材齢 7 日まで封緘養生（以下、d250-d1, d2 と称す））および、封緘養生（以下 d250-d1, d2 と称す）の 2 種類とした。

また、上記と同一断面の無拘束供試体を作製した（長さ 1000mm）。無拘束供試体の断面図を図-2 に示す。

(2)供試体作製方法

供試体作製時、型枠の側面と底面にはポリエチレンフィルム（厚さ 0.1mm）を二重に貼り付け、その間にグリスプレーを吹き付けることにより型枠とコンクリートの拘束を極力低減した。

打ち込み終了後は、直ちに打ち込み面をラップフィルムと養生マットで覆い、材齢 7 日まで封緘養生を保った。その後、脱型し屋内で気中養生を行った。なお、乾燥条件が長手方向で変化しないよう、両端部はアルミ粘着テープを貼り付けた。d250-s シリーズについては、材齢 7 日以降も封緘養生を続けた。

(3)計測項目

RC はり供試体の鉄筋ひずみを、供試体の支間中央位置でひずみゲージ（ゲージ長 5mm）により計測した。また、無拘束供試体のひずみを、図-2 に示す位置で計測した。ひずみの計測には、埋め込み型ひずみゲージを用いた。なお、計測の開始は打ち込み完了時とした。

3. 実験結果

3.1 材料の力学特性

図-3 に、各収縮測定用供試体と同様の養生を行ったコンクリートの圧縮強度と材齢の関係を示す。

図-4 に、ヤング係数と圧縮強度の関係を示す。また、土木学会 2007 年制定コンクリート標準示方書「設計編」³⁾（以下、示方書と略記する）に示される設計式を併記する。ヤング係数を同一圧縮強度で比較すると、示方書の設計式および比較コンクリートよりも本検討で用いたコンクリートは 25%程度小さかった。

図-5 に引張強度と圧縮強度の関係を示す。同一圧縮強度で引張強度を比較すると、示方書の設計式とほぼ同程度であった。

3.2 収縮ひずみの経時変化

図-6 に、無拘束供試体の収縮ひずみの経時変化を示す。なお、収縮ひずみはいずれも熱膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ として温度ひずみ分を差し引いて求めた。RC はり供試体と同断面の無拘束供試体の乾燥開始時点での

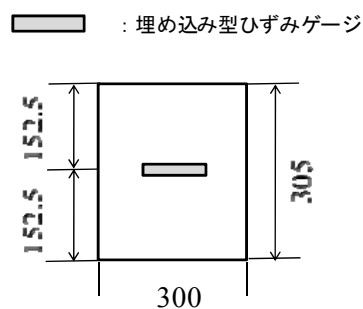


図-2 供試体概要（単位：mm）

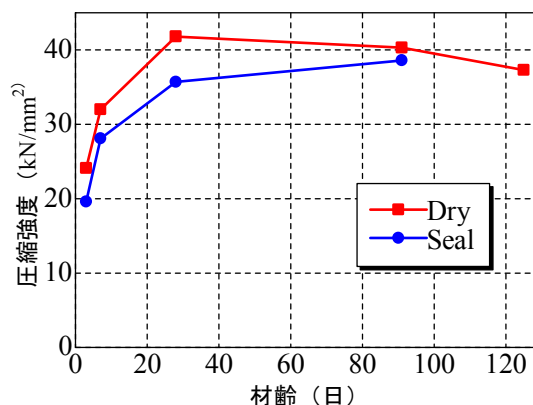


図-3 材齢－圧縮強度

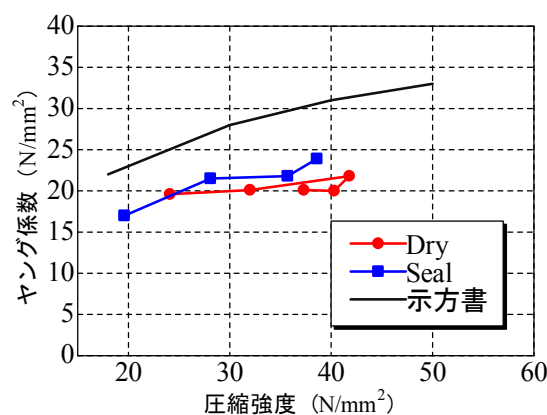


図-4 圧縮強度－ヤング係数

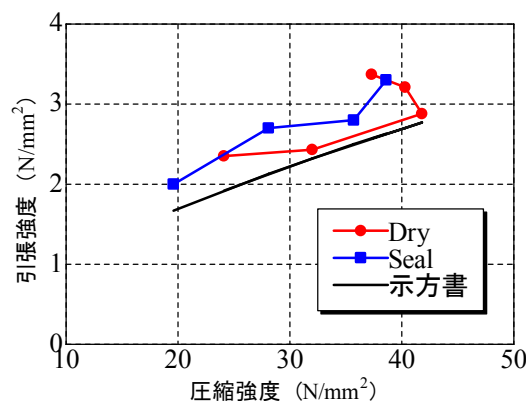


図-5 圧縮強度－引張強度

自己収縮ひずみは 220×10^{-6} であり, 材齢 110 日で 490×10^{-6} であった。

3.3 鉄筋ひずみの経時変化

図-7 に, RC はり供試体の鉄筋ひずみの経時変化を示す。なお, 鉄筋ひずみは収縮ひずみの場合と同様に, 熱膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ として温度ひずみ分を差し引いて求めた。自己収縮による鉄筋ひずみは, 乾燥開始材齢時点で d250-d1, d2, s1, s2 はそれぞれ, -74 , -61 , -37 , -51×10^{-6} であった。乾燥後の鉄筋ひずみは載荷時材齢において, d250-d1, d2 でおよそ 250×10^{-6} , d250-s1, s2 でおよそ 40×10^{-6} となり, d250-d シリーズと d250-s シリーズで 220×10^{-6} 程度のひずみ差が生じた。

3.4 載荷試験結果

図-8 に, 載荷試験の結果の一覧を示す。d250-s シリーズと比較して, d250-d シリーズではひび割れ発生荷重が約 7% 低下した。ここで, 斜め引張破壊をする供試体は, 斜めひび割れ発生時の荷重低下が明確であるが, せん断圧縮破壊をする場合は, 斜めひび割れが生じても荷重低下が明確でなく, 荷重とたわみの関係から斜めひび割れ発生荷重の判別が困難な場合がある。そのため, せん断変位が明確に変化を始めた荷重を斜めひび割れ発生荷重とした。図-9 にせん断力とせん断変位の関係を示す。

3.5 収縮を考慮した斜めひび割れ発生荷重の算定式

普通強度の斜めひび割れ発生強度の算定式である二羽式⁴⁾に, 引張鉄筋ひずみの変化量が収縮によって大きくなることは, 機能的には, 引張鉄筋比が小さくなって引張鉄筋ひずみが大きくなることと等価であるとする等価鉄筋比の概念⁵⁾を組み込み, 乾燥収縮による影響を式(1)で計算した。

$$P_{s,e} = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_s - \epsilon_{s0,def}} P_s \tag{1}$$

ここで, ϵ_s : 斜めひび割れに発達する曲げひび割れ発生断面における, コンクリート引張部を無視した曲げ理論を用いて求めた斜めひび割れ発生時の引張鉄筋ひずみ
 $\epsilon_{s0,def}$: 引張鉄筋位置でのコンクリート応力がゼロ状態の時の引張鉄筋ひずみ

$$V_c = 0.2 f_c^{1/3} (100 p_{s,e})^{1/3} (d/10^3)^{-1/4} (0.75 + 1.4/(a/d)) bd \tag{2}$$

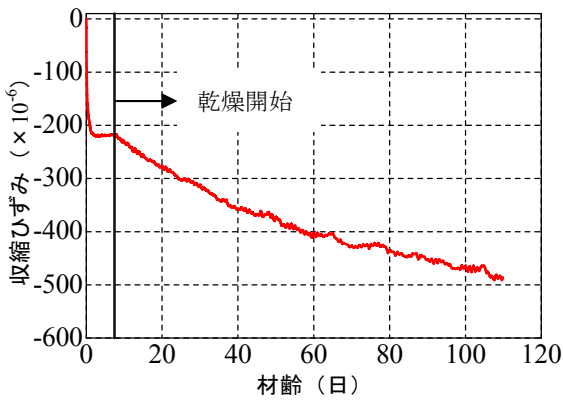


図-6 収縮ひずみ

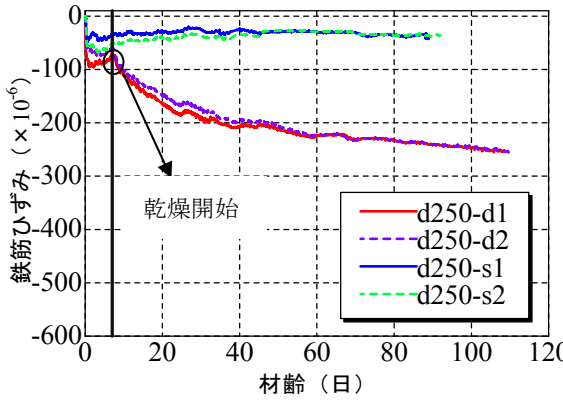


図-7 鉄筋ひずみ

供試体名	引張鉄筋比	実験結果		破壊モード
		引張鉄筋ひずみ	斜めひび割れ発生時	
		$\epsilon_{s,shorex}$	$V_{c,mea}$	
		%	kN	
d250-d1	0.95	255	79	せん断ずれ破壊
d250-d2	0.95	257	78	せん断圧縮破壊
d250-s1	0.95	43	80	斜め引張破壊
d250-s2	0.95	36	88	斜め引張破壊

図-8 載荷試験結果

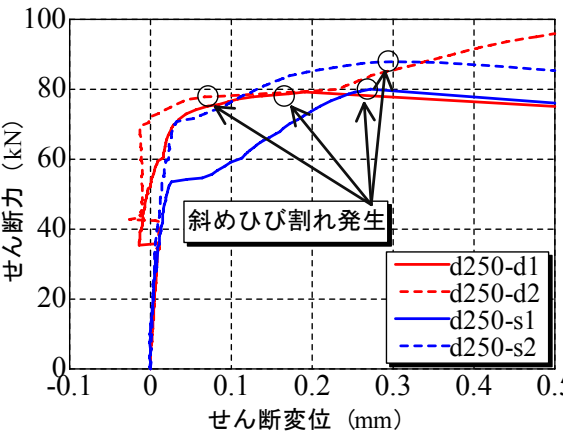


図-9 せん断変位－せん断力

式(2)による計算結果一覧を表-3に示す。表-3より、収縮の影響を考慮することで、d250-dシリーズ、およびd250-sシリーズの斜めひび割れ発生荷重がほぼ計算値と一致した。

このことから、比較的コンクリートの収縮が大きくなる骨材を用いた普通強度のRCはり供試体の斜めひび割れ発生荷重は、等価鉄筋比の概念を二羽式に用いることで評価可能であると考えられる。

表-3 収縮の影響を考慮した計算値と実験値の比較

供試体名	実験値	計算値	実験値/計算値
	$V_c(\text{kN})$	$V_c(\text{kN})$	
気中養生			
d250-d1	79.2	80.04	0.99
d250-d2	77.8	80.00	0.97
封緘養生			
d250-s1	80.1	86.62	0.92
d250-s2	87.9	87.07	1.01

4. まとめ

本研究の範囲で以下の結論が得られた。

- 1) RCはり供試体と同断面の無拘束供試体の乾燥開始時点での自己収縮ひずみは 220×10^{-6} であり、材齢110日で 490×10^{-6} であった。
- 2) d250-dシリーズはd250-sシリーズと比較して、載荷時材齢においておよそ 200×10^{-6} のひずみ差が生じた。
- 3) およそ 200×10^{-6} のひずみ差が生じ、d250-dシリーズの収縮応力が増加によって、斜めひび割れ発生荷重が約7%低下した。
- 4) 斜めひび割れ発生荷重の低下は、既存の等価鉄筋比の概念を二羽式に用いることで、比較的精度よく評価できることを確認した。

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) 後藤幸正，藤原忠司：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響，土木学会論文集，286号，1989.6，pp.125-137
- 3) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書 設計編，2007
- 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
- 5) 谷村充ほか：若材齢時長さ変化を考慮したRC曲げ部材のひび割れ・変形の一般化評価方法，土木学会論文集，No.760，V-63，pp.181-195，2004.5