

粗骨材に起因したコンクリートの過大な乾燥収縮率の低減対策について

椎名 貴快* 佐藤 幸三**
Takayoshi Shiina Kozo Sato

1. はじめに

近年、良質な河川砂利の供給が不足し、粗骨材に砂利ではなく碎石を用いたコンクリートが増えている。しかし、碎石はその種類や産地によってコンクリートの乾燥収縮が異なり、ひび割れ発生のリスクを左右することがわかってきた。例えば、砂岩や安山岩などは相対的に乾燥収縮率が大きくなるが、石灰石は小さいとの統計データの報告がある¹⁾。

本報では、過大な乾燥収縮率を生じる碎石を粗骨材に用いた試験を実施し、コンクリートの乾燥収縮率を低減する対策（配合や使用材料など）の効果を比較検討した。また JASS5 の乾燥収縮率早期判定式²⁾ について、著者らが保有する乾燥収縮率の測定データを用いて、同式の早期判定係数 α_i の妥当性について検討した。

2. 試験概要

(1) 試験ケース

コンクリートの乾燥収縮率を低減する対策として、①単位水量の低減、②石灰石碎石の使用、③収縮低減剤の使用、の3つの対策に着目し、本試験では表-1 のとおり試験ケースを全6ケースとした。

(2) 使用材料およびコンクリート配合

表-2 および表-3 に使用材料および各試験ケースのコンクリート配合を示す。粗骨材には乾燥収縮率の大きな砂岩碎石 GS を標準使用し、配合は山岳トンネルの二次覆工コンクリートを参考に 21-15-20 N（スランプは運搬ロスを考慮して目標 18 cm）とした。W/C は 59% 一定、フライアッシュ（JIS II 種品）を 30 kg/m³ 混和した。収縮低減剤は外割添加とした。

(3) 試験方法

試験は、JIS A 1129：「モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法」に準拠し、温度 20℃、湿度 60% の環境下でのコンクリートの長さ変化率（乾燥収縮率）を所定の乾燥材齢で測定した。

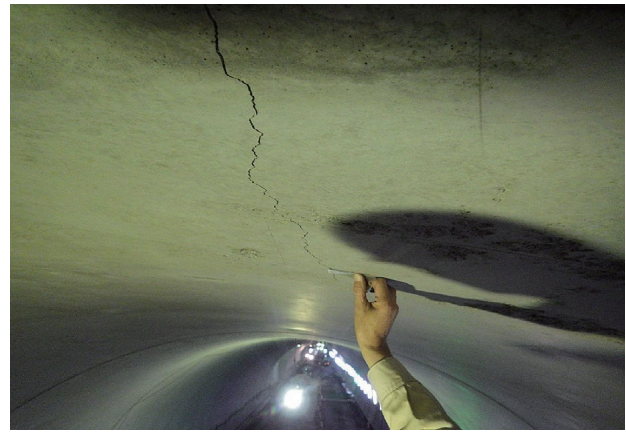


写真-1 トンネル天端に発生した乾燥収縮ひび割れ

表-1 試験ケース

No.	試験の概要	W/C (%)	対策方法		
			① 単位水量 W (kg/m ³)	② 石灰碎石 GL (混合率)	③ 収縮低減剤 SRA (kg/m ³)
1	基準配合 (W 過多)	59	182	-	-
2	W 低減	59	175	-	-
3	GL (50% 混合)			50 %	-
4	GL (100%)			100 %	-
5	SRA 使用			-	4.0
6	GL (100%) + SRA			100 %	4.0

備考) 全ての配合でフライアッシュ II 種を 30 kg/m³ 使用
単位水量の低減には、化学混和剤に高性能 AE 減水剤を使用

表-2 使用材料

材料	記号	仕様
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度 3.16 g/cm ³
水	W	地下水
混和材	FA	フライッシュ II 種、密度 2.25 g/cm ³
細骨材	S	砕砂・細砂混合、表乾密度 2.57 g/cm ³
粗骨材	GS	砂岩碎石 2005、表乾密度 2.63 g/cm ³
	GL	石灰石碎石 2005、表乾密度 2.68 g/cm ³
化学混和剤	AE	AE 減水剤（高性能型）標準形 I 種
	SP	高性能 AE 減水剤 標準形 I 種
	SRA	収縮低減剤

表-3 コンクリート配合

No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								
			W	C	FA	S	G		Ad		
							GS	GL	AE	SP	SRA
1	59	50.4	182	308	30	858	865	-	3.70	-	-
2							863	-		4.46	-
3							432	440		3.86	-
4	59	51.2	175	297	30	887	-	879	-	3.27	-
5							863	-		4.46	4.0
6							-	879		3.27	4.0

* 技術研究所土木技術グループ

** 技術研究所

3. 試験結果

(1) 乾燥収縮率

図-1に各試験ケースにおける乾燥収縮率の測定結果を示す。No.1は乾燥収縮率(26週目)が $-1,260 \times 10^{-6}$ で、土木学会³⁾の乾燥収縮率の上限規定 $-1,000 \times 10^{-6}$ を大幅に超える値であった。No.2は、高性能AE減水剤を用いて単位水量を 182 kg/m^3 から 175 kg/m^3 に 7 kg/m^3 減じたが、乾燥収縮率は $-1,272 \times 10^{-6}$ で、単位水量を減じてもNo.1とほとんど変わらなかった。次に、粗骨材に石灰石碎石を50%混合または100%用いたNo.3およびNo.4は、乾燥収縮率がNo.1に比べて10~22%減少し、乾燥収縮率の低減に極めて有効であった。また収縮低減剤を用いたNo.5も乾燥収縮率がNo.1に比べて12%減少し、石灰石碎石を50%混合したNo.3と同程度の収縮低減効果を発揮した。最後に、No.6は石灰石碎石100%に収縮低減剤を併用した場合だが、乾燥収縮率は -752×10^{-6} でNo.1よりも40%小さく、大幅な収縮低減効果を得られた。

(2) 早期判定係数 α_i

JASS5のコンクリート乾燥収縮率早期判定式²⁾(式(1))は、乾燥期間(i)が4週、8週、13週での乾燥収縮率にそれぞれ係数 α_i を乗じることで26週目の乾燥収縮率を早期に推定することができる。とされる。

$$\epsilon_{sh}^{est} = \alpha_i \times \epsilon_{sh}^i \quad \dots \text{式(1)}$$

(ϵ_{sh}^{est} : 乾燥収縮率(26週), ϵ_{sh}^i : 乾燥期間*i*週での乾燥収縮率 ($i=4, 8, 13$), α_i : i 週での早期判定係数)

そこで、著者が有する3種類の碎石(砂岩, 安山岩, 石灰石)をそれぞれ粗骨材の一部もしくは全量に用いた全17の覆工コンクリート配合での長さ変化試験データについて、式(1)による早期推定が可能か検討した。図-2に各配合での測定値を各々26週目の乾燥収縮率で除して無次元化した値の逆数(=早期判定係数)を示す。また表-4に本試験で得られた係数の平均値をJASS5と比較して示す。データ母数が少ないものの、本試験の結果はJASS5の係数と概ね等しい値であり、JASS5の早期判定式で覆工配合の乾燥収縮率(26週)を概ね早期推定できる。なお乾燥材齢4週以前のデータはばらつきが大きいため、早期判定への使用には向かないと考える。

4. まとめ

過大な乾燥収縮率を引き起こす碎石を粗骨材に用いたコンクリートについて、本試験の範囲内では、W/Cを一定として単位水量を減らしてもコンクリートの乾燥収縮率はほとんど下がらなかった。一方、碎石の一部または全量を石灰石に変更することで乾燥収縮率は小さくなり、さらに収縮低減剤を併用すると大幅に減じることができた。なお、石灰石の中には内部空隙率が大きく、低品質のものも存在し、全ての石灰石と同様の効果を得られるわけではないので注意が必要である。

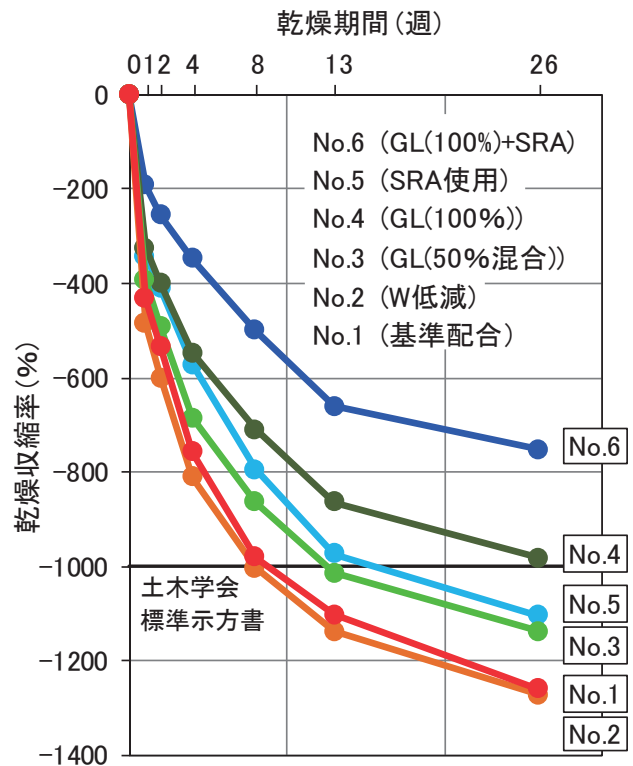


図-1 各試験ケースにおける乾燥収縮率の測定結果

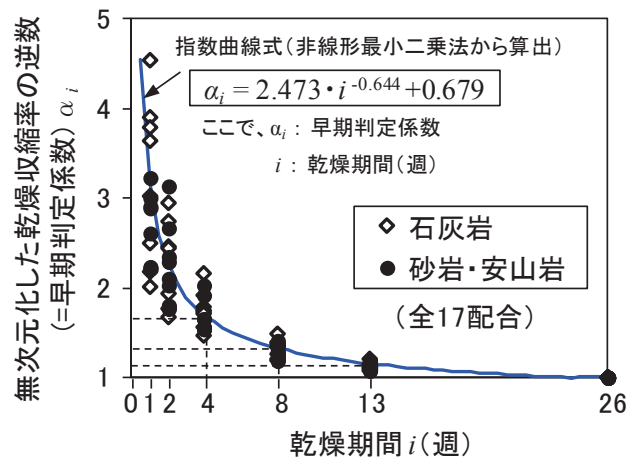


図-2 無次元化した乾燥収縮率から求めた係数 α_i

表-4 早期判定係数 α_i の比較

項目	早期判定係数 α_i		
	4週目	8週目	13週目
本試験	1.66	1.33	1.15
JASS5	1.76	1.31	1.13

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会：コンクリートの収縮問題検討委員会報告書，2010.3
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事
- 3) 土木学会：2012年制定コンクリート標準示方書 [施工編]