

土間コンクリートの収縮ひび割れ抑制に関する実験的研究

西 田 浩 和 片 寄 哲 務 ^{*1}
横 須 賀 誠 一 ^{*1} 塩 田 博 之 ^{*2}
添 田 智 美 高 山 勝 行

概 要

土間コンクリートの不具合(ひび割れ、反り、沈下等)は古くて新しい問題であり、それらは建物機能に直接的な影響を与えていないが、程度が大きくなるとクレームとなってくる可能性がある。

本報告は、コンクリートの収縮ひび割れ抑制対策として効果があるとされている石灰石を用いた場合の拘束乾燥収縮ひび割れに関する実験と、近年、用いられることが多くなった乾式カッター目地の有効性に関する実験結果を検討したものである。

実験の結果、ひび割れ抑制対策として石灰石骨材を細・粗骨材とも 100%置換した場合が最も効果的で、石灰石骨材を他岩種骨材と混合使用しても、その混合比率に応じた抑制効果が認められた。この場合、石灰石骨材の置換率が同じであれば細骨材より粗骨材の方が有効であった。

目地切断による断面欠損率 15%程度で、かつ鉄筋を切断しなくても、目地のひび割れ誘発効果は確認された。本工法による適切な目地切断時期は、圧縮強度が 3.5~10N/mm²程度の時期と考えられる。

Experimental Study on Shrinkage Control of Cracks in Dirt Floor Concrete

Abstract

Occurrence of structural defects (such as cracks, curve and subsidence) on concrete floors poured over dirt is age-old problem. Though these defects do not materially affect how the building functions, owners often complain about these issues as they become more noticeable over time.

This report examines measures to prevent shrinkage cracks in concrete by using limestone aggregate. The effect of installing dry joints created by cutting concrete is also examined.

The following findings were obtained :

- (1) Substituting limestone aggregates for the usual fine and coarse aggregates as a crack prevention measure was the most effective.
- (2) The crack controlling effect varied according to the mixture ratios between the lime stone aggregates and other rock aggregates.
- (3) Where limestone aggregate substitution rate was the same, coarse aggregates were more effective at controlling cracks than fine aggregates.
- (4) Crack inducing effect was confirmed by cutting joints with a section loss rate of approximately 15% without cutting reinforcing bars.
- (5) It was confirmed that the best timing to cut joins was a time when the compressive strength was approximately 3.5-10N/mm² in curing process.

キーワード: 石灰石骨材 乾燥収縮 ひび割れ
拘束率 カッター目地

*1 建設本部 建設技術統括部
*2 東京支店 建築技術部

§1. はじめに

土間コンクリートの不具合(ひび割れ、反り、沈下等)は古くて新しい問題であり、それらは建物機能に直接的な影響を与えていないが、程度が大きくなるとクレームとなってくる可能性がある。

本報告は、コンクリートの収縮ひび割れ抑制対策として効果があるとされている石灰石を用いた場合の拘束乾燥収縮ひび割れに関する実験と、近年、用いられることが多くなってきた乾式カッター目地の有効性に関する実験結果を検討したものである。

§2. 石灰石骨材を用いた収縮ひび割れに関する実験

本実験は、収縮ひび割れ抑制対策として効果があるとされている石灰石を、骨材の一部または全てに用いた場合の拘束乾燥収縮ひび割れについて検討したものである。

2.1 使用材料および調査

コンクリートの使用材料、石灰石骨材置換率およびコンクリートの調査をそれぞれ表 1～3 に示す。調査は、土間コンクリートを対象としており、水セメント比は 61%(一定)、単位水量は $178\text{kg}/\text{m}^3$ (一定)とした。目標スランブは 15cm、目標空気量は 4.5%とし、所要のワーカビリティが得られるように AE 減水剤量で調整した。石灰石骨材コンクリートの比較用として、石灰石骨材を用いないコンクリートを基準とし、また、基準とするコンクリート(調査記号:N_Base)に膨張材を用いたものを合わせて行った。なお、調査記号中の「S」は細骨材、「G」は粗骨材、数字(50, 100)は混合比率を示す。

2.2 試験項目・方法

試験項目および試験方法を表 4 に示す。拘束乾燥収縮ひび割れ試験は、図 1 に示すような JIS A 1151 の型枠に次の 2 点の変更を加えたものを用いた。

①鉄筋比 0.3%相当になるように試験体中央部に鉄筋(D6)を配筋した。

②実験の都合上、ひび割れが早期に発生するように試験体中央部の両側面にプラスチック製の面木(△10×10×14mm : h=7mm)を配した。

自由収縮ひずみ試験体は 10×10×40cm 供試体の内部にひずみ計を埋め込んで測定し、拘束乾燥収縮ひび割れ試験体(以下、拘束試験体)とともに材齢 7 日に湿潤養生を止めて脱型した。

2.3 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、水平二軸形強制練りミキサ(公称容量 100ℓ)を使用した。練混ぜ方法は、セメント(膨張材)、細骨材、粗骨材をミキサに投入し、空練りを 15 秒間行ってから水(混和剤)を投入し、90 秒間で練り上げた。

表 1 使用材料

セメント	C:普通ポルトランドセメント, 密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	S1:混合砂(山砂, 陸砂), 表乾密度 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 1.72%
	S2:八戸産石灰砕砂, 表乾密度 $2.67\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 1.02%
粗骨材	G1:青梅産碎石, 表乾密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 0.79%
	G2:八戸産石灰碎石, 表乾密度 $2.70\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 0.22%
水	W:上水道水(神奈川県厚木市)
膨張材	EX:石灰系膨張材, 密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$
混和剤	AD:AE 減水剤(リグニンスルホン酸系)

表 2 石灰石骨材置換率

調査記号	石灰石骨材置換率 (vol%)	
	細骨材	粗骨材
N_Base	0	0
LS50	50	0
LG50	0	50
LSG50	50	50
LSG100	100	100
N_EX	0	0

表 3 コンクリートの調査

調査記号	単位量(kg/m^3)							混和剤 使用量 (cc)*
	W	C	S1	S2	G1	G2	EX	
N_Base	178	292	858	—	954	—	—	350
LS50	178	292	429	434	954	—	—	325
LG50	178	292	858	—	477	486	—	300
LSG50	178	292	429	434	477	486	—	225
LSG100	178	292	—	868	—	972	—	225
N_EX	178	272	858	—	954	—	20	300

※C=100kg 当り

表 4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
練り上がり温度	JIS A 1156
圧縮強度	JIS A 1108 (φ10×20cm)
自由収縮ひずみ	10×10×40cm 角柱供試体に埋め込んだ埋込みひずみ計による
拘束乾燥収縮ひび割れ	JIS A 1151

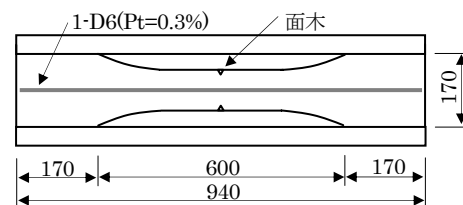


図 1 拘束乾燥収縮ひび割れ試験体の概要(単位:mm)

2.4 コンクリートの試験結果

コンクリートの試験結果を表 5 に示す。いずれの調合とも所定のフレッシュ性状を得ることができた。20℃封かん養生供試体の材齢 28 日における圧縮強度は 28.1～43.2N/mm²、ヤング係数は 24.6×10³～34.7×10³N/mm²であり、石灰石骨材の置換率が大きいほど高くなる傾向にあった。

表 5 コンクリートの試験結果

調合 No.	スラブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (℃)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (10 ³ N/mm ²)※
N_Base	15.0	4.5	20.0	30.8	26.2
LS50	16.0	5.7	20.5	32.9	24.6
LG50	16.0	4.4	21.0	33.0	27.3
LSG50	16.5	4.5	21.5	34.6	28.3
LSG100	16.5	3.6	18.8	43.2	34.7
N_EX	14.0	4.8	22.8	28.1	26.0

※最大応力の 1/3 割線弾性係数

2.5 自由収縮ひずみ

自由収縮ひずみは、文献 1)で提案されている日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針（案）・同解説」の収縮ひずみ予測式を用いた。この式を用いて乾燥材齢 182 日までの測定結果に基づいた予測結果を図 2 に示す。乾燥材齢 500 日での収縮ひずみ予測値は N_Base が 882×10⁻⁶であるのに対して、細骨材・粗骨材とも 100%石灰石骨材を使用した調合 LSG100 は 472×10⁻⁶となっており、54%程度に低減できた。また、調合 N_EX の推定値は、調合 LG50、調合 LS50 と同等程度であった。

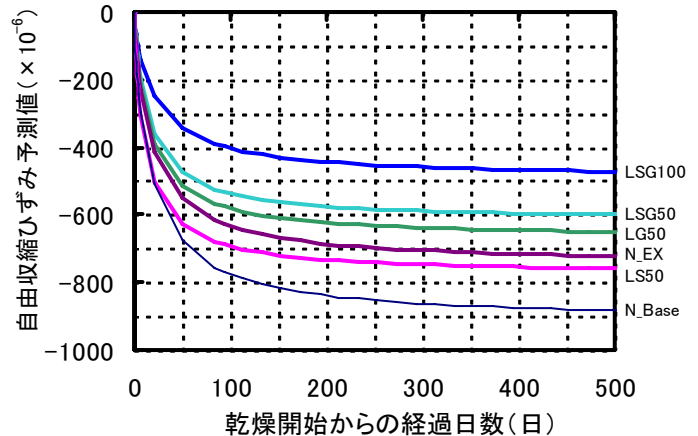


図 2 自由収縮ひずみ予測値

2.6 拘束乾燥収縮ひび割れ

拘束乾燥収縮ひび割れ試験結果より、(1)式から求めた拘束率の経時変化の一例を図 3 に示す。図中で急激に拘束率が変化した時点で試験体にひび割れが発生した。

$$\text{拘束率}(\%) = \frac{\text{自由収縮ひずみ} - \text{拘束形鋼ひずみ}}{\text{自由収縮ひずみ}} \quad (1)$$

ここに、自由収縮ひずみ：10×10×40cm 供試体に埋め込んだひずみ測定値(×10⁻⁶)

拘束形鋼ひずみ：拘束形鋼中央部両側面に生じたひずみ測定値の平均値(×10⁻⁶)

2.7 ひび割れ抑制効果

乾燥開始からひび割れが発生するまでの日数は、以下の手順によって算出した。

①文献 2)の手法に習い、拘束試験体形状によるひび割れ促進度を求めて形状補正した。

形状補正には以下の (2) ～ (5) 式を用いた。

$$\varepsilon_0'' = \varepsilon_0' \times \frac{a}{a'} \quad (2)$$

$$\varepsilon_0' = \varepsilon_0 \times a \times b \quad (3)$$

$$a = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_r}{\varepsilon_0} \quad (4)$$

$$b = \frac{L}{A_0 \times \int_0^L \frac{dx}{A_x}} \quad (5)$$

ここに、

ε_0'' ：コンクリートにひび割れが発生したときに、無筋コンクリートに生じていると推測される自由収縮ひずみ (×10⁻⁶)

ε_0' ：理想試験体にひび割れが発生したときに、無筋コンクリートに生じていると推測される自由収縮ひずみ (×10⁻⁶)

ε_0 ：拘束試験体にひび割れが発生したときに、無筋コンクリートに生じていた自由収縮ひずみの測定値 (×10⁻⁶)

ε_r ：拘束試験体の収縮ひずみ (×10⁻⁶)

a ：拘束試験体の拘束度

a' ：コンクリートの拘束度 (任意)

b ：亀裂促進度 (=1.48)

L ：拘束試験体の中央から端部までの長さ (mm)

A_0 ：拘束試験体中央部の断面積 (mm²)

A_x ：拘束試験体の中央から X の距離における断面積 (mm²)

ここで用いる自由収縮ひずみ(ε_0)は、乾燥開始からの増加量とし、10×10×40cm 無筋試験体の中央に設置した埋込みひずみ計により測定した。また、拘束試験体の収縮ひずみ(ε_r)は拘束形鋼に生じたひずみを用いた。

②実験から得られた拘束率、ひび割れ発生時の自由収縮ひずみおよび 2.5 で推定した自由収縮ひずみ推定終局値からひび割れ発生日数を推定した。なお、拘束率が変化してもコンクリートのひび割れ発生時の引張伸び能力などが同じという前提で推定を行った。

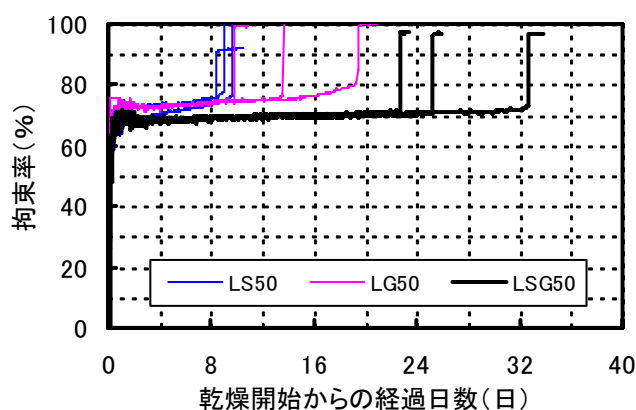


図3 拘束率の経時変化の一例

図4は拘束率が0.6の場合の石灰石骨材絶対容積と推定ひび割れ発生日数(乾燥開始(材齢7日)からの経過日数)を示したものである。図4から調合N_Baseが5日でひび割れが発生する推定結果となったのに対して、石灰石骨材の絶対容積が多いものほど推定ひび割れ発生日数を遅延させることができる結果となった。また、調合LG50と調合LS50を比較すると、推定ひび割れ発生日数はそれぞれ40日、11日となっており、置換率が同じであれば細骨材より粗骨材の方が有効であると推定された。調合N_EXは調合LSG50から調合LSG100の範囲の効果があると推定された。

なお、拘束率が0.3場合は、調合N_Baseが21日でひび割れが発生する推定結果になったのに対して、石灰石骨材をどちらか一方でも50%置換したものおよび膨張材を使用したものはひび割れが発生しないと推定された。

§3. 乾式カッター目地工法に関する実験

本実験は、米国で開発・技術導入され、用いられることが多くなってきた乾式カッター目地の有効性確認のために行った。乾式カッター目地工法は従来の湿式工法に比べて、①切断時期が早くできる、②断面欠損率が少なくすむ、といわれているため、これらを確認するための実験を行った。

3.1 要因・水準

本実験の要因と水準を表6に示す。主なパラメータである目地切断時期は、①切断なし(1体)、②切断あり(打設後9時間、24時間、48時間、96時間：各2体)として、計9体作製した。目地幅は3mm(一定)とし、切断深さは15mm(断面欠損率15%)とした。すなわち、土間コンクリートの厚さが200mmの場合の30mm

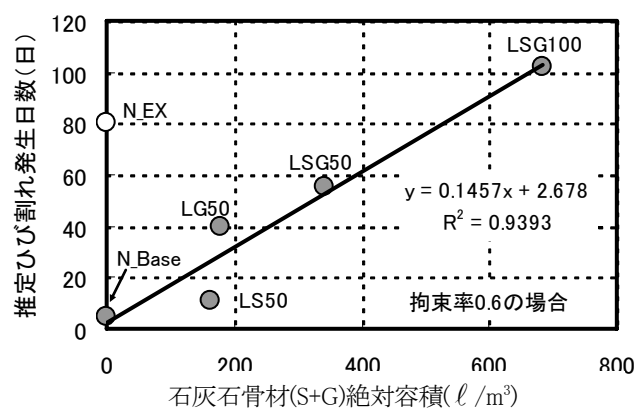


図4 石灰石骨材絶対容積とひび割れ発生日数の関係

表6 要因・水準

要 因		水 準	
切 断	切断なし		
	切断あり	打設後 9 時間	
		打設後 24 時間	
		打設後 48 時間	
		打設後 96 時間	

表7 使用材料

セメント	C:普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm³
細骨材	S:混合砂(山砂, 陸砂), 表乾密度 2.64g/cm³, 吸水率 1.72%
粗骨材	G:青梅産碎石, 表乾密度 2.65g/cm³, 吸水率 0.79%
水	W:上水道水(神奈川県厚木市)
混和剤	AD:AE 減水剤(リグニンスルホン酸系)

表8 コンクリートの調合

調合 No.	単位量(kg/m³)				混和剤 使用量 (cc)※
	W	C	S1	G1	
N_Base	178	292	858	954	350

※C=100kg 当り

表9 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
練り上がり温度	JIS A 1156
凝結時間	JIS A 1147
圧縮強度	JIS A 1108 (φ 10×20cm)
拘束乾燥収縮ひび割れ	JIS A 1151

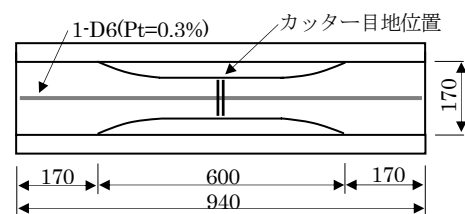
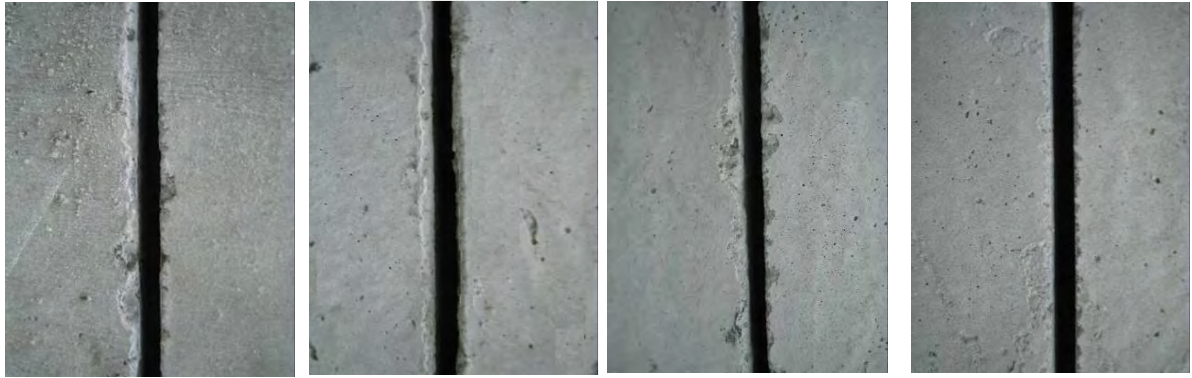


図5 乾式カッター目地試験体の概要(単位:mm)

切断に相当し、上端筋は切断されない深さである。また、面取り(Vカット)は無しとした。

3.2 使用材料および調合

コンクリートの使用材料およびコンクリートの調合をそれぞれ表7および表8に示す。調合は、土間コンク



目地切断時期：9 時間
圧縮強度：1.6N/mm²

24 時間
3.5N/mm²

48 時間
7.0N/mm²

96 時間
14.4N/mm²

写真 1 カッター目地試験結果(切断した目地の状態)

リートを対象としており、水セメント比は 61%(一定)、単位水量は 178kg/m³ (一定) とした。目標スランプは 15cm、目標空気量は 4.5%とし、所要のワーカビリティが得られるように AE 減水剤量で調整した。

3.3 試験項目および試験体形状

試験項目および試験方法を表 9 に示す。試験体は拘束乾燥収縮ひび割れ試験体 (JIS A 1151) を用いることとし、図 5 に示すように次の 2 点の変更を加えたものを用いた。①鉄筋比 0.3%相当になるように試験体中央部に鉄筋(D6)を配筋した。②カッター目地は所定の目地切断時期で、試験体中央部の断面欠損率が 15%(板厚の 1/6.7 で鉄筋切断なし) になるような深さまで切断した。

拘束乾燥収縮ひび割れ試験体 (以下、拘束試験体) はコンクリート打設後、恒温恒湿室内 (20℃、60%RH) に存置した (鋼製型枠内封かん養生、上面はポリ塩化ビニリデン製ラップ養生)。拘束試験体は目地切断直前に拘束形鋼のみ残して脱型して、目地切削後は試験体を鉛直に立てて 20℃気中養生を開始した。

拘束試験体は目地切断周辺部分を目視観察するとともに、拘束形鋼に貼付したひずみゲージの挙動によりひび割れ発生時期を推定することとした。

3.4 練混ぜ

コンクリートの練混ぜは、2.3 と同様に行った。

3.5 フレッシュコンクリートおよび養生方法

いずれのコンクリートとも所定のフレッシュ性状を得ることができた。なお、材齢 9 時間で切削作業をする拘束試験体および圧縮強度試験用供試体は、コンクリートの凝結を促進させるために赤外線ランプによる簡易的な加熱養生を約 4 時間半行っている。その

ときの表面温度は 26～33℃程度であった。

3.6 目地切断時の状態

各切断時期におけるカッター目地切断した状態を写真 1 に示す。また、目地切断時のコンクリートの圧縮強度 (現場封かん養生) を併せて示す。切断時期が 9 時間ではコンクリート強度が低いため切断作業は短時間で終了できるが、目地部分がやや角欠けしやすい傾向にあった。また、切断時期 96 時間では綺麗に切断できるが、コンクリート強度が高いため作業時間がやや長くなるほか、切断による粉塵が発生した。したがって、本実験 (20℃) における適切な切断時期は打設後 1～3 日 (圧縮強度 3.5～10N/mm²程度) と考えられる。これは従来の湿式工法の適切な目地切断時期のほぼ半分の材齢に相当する。なお、目地切断時期は環境温度にも影響を受けるため、夏期においてはやや短め、冬期においてはやや長めに切断時期を設定する必要がある。

3.7 拘束形鋼のひずみ

拘束形鋼に貼付したひずみゲージの挙動を図 6 に示す。目地のない試験体は、コンクリート打設直後からひずみが徐々に増加し、材齢 11 日目くらいでひずみが急減しているのが分かる。この時点で試験体にひび割れが発生したことを目視観察でも確認している。

3.8 ひび割れ発生日

ひび割れ発生日を表 10 に示す。目地がない試験体と比較して、目地切断時期が 9 時間、24 時間、48 時間、96 時間の試験体は打設直後から 5～7 日で目地に沿ってひび割れが発生している。

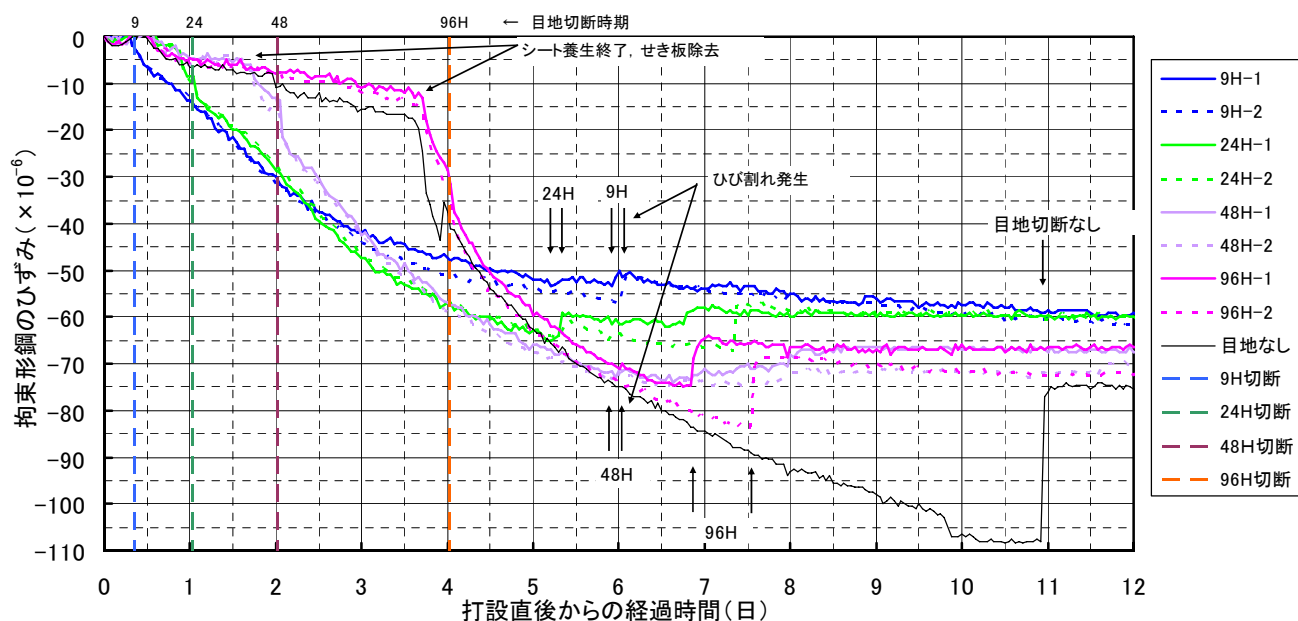


図 6 拘束形鋼のひずみ

§4. まとめ

コンクリートに発生する収縮ひび割れ抑制対策として、石灰石骨材を用いた拘束乾燥収縮ひび割れについて実験・検討した。

また、乾式カッター目地工法の切断時期および断面欠損率の有効性を確認するため、拘束乾燥収縮ひび割れ試験体を用いた実験を行った。それらの結果から以下のことが分かった。

- 1) ひび割れ抑制対策として、石灰石骨材を細・粗骨材とも 100% 使用した場合が最も効果的であった。
- 2) 石灰石骨材を他岩種骨材と混合使用しても、混合比率に応じたひび割れ抑制効果が認められた。この場合、置換率が同じであれば細骨材より粗骨材の方が有効であった。
- 3) 細・粗骨材のどちらか一方を石灰石骨材に 50% 置換することで、自由収縮ひずみの終局値はそれぞれ 800×10^{-6} 以下、 700×10^{-6} 以下に抑えることが予測できた。
- 4) 膨張材は、細・粗骨材とも石灰石骨材 100% 使用の場合よりは低い、50% 置換する以上の効果があると推定された。
- 5) 目地切断による断面欠損率 15% 程度で、かつ鉄筋を切断しなくても、目地のひび割れ誘発効果は確認された。
- 6) 本工法による適切な目地切断時期は、圧縮強度が $3.5 \sim 10 \text{ N/mm}^2$ 程度の時期 (20℃ の環境下では打設後 1～3 日程度) と考えられる。

表 10 ひび割れ発生日

試験体 記号	目地切断時期 (時間)	ひび割れ発生日 (日)		
		打設完了 から	凝結始発 から	目地切断直後 から
目地なし	—	11.0	10.7	7.26(乾燥開始から)
96H-1	96 時間	6.88	6.65	2.86
96H-2		7.58	7.36	3.57
48H-1	48 時間	6.00	5.77	3.98
48H-2		6.00	5.77	3.98
24H-1	24 時間	5.33	5.10	4.31
24H-2		5.42	5.18	4.40
9H-1	9 時間	5.96	5.73	5.60
9H-2		6.04	5.82	5.68

参考文献(引用文献)

- 1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ抑制指針・施工指針(案)・同解説, 2006.2
- 2) 藤松進:コンクリートき裂防止に関する研究(東京大学学位論文), 1963.3
- 3) 西田浩和, 片寄哲務, 横須賀誠一, 塩田博之, 添田智美, 高山勝行:石灰石骨材コンクリートの収縮ひび割れに関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, 2009, pp.271-272
- 4) 富田六郎, 岡本享久, 綾田隆史, 梶尾聡:早期に浅く施工したひび割れ誘発目地の有効性, セメント工業, No.231, pp.2-7, 1992.07.

ひとこと

土間コンクリートは構造躯体でないため軽んじられやすいですが、今後もクレームの少ない高品質なものを構築出来るように尽力したいと思います。



西田 浩和