

コンクリートの収縮ひび割れについて

1. 背景

コンクリートは、もともと圧縮に強く引張りに弱い材料であり、耐久性のあるコンクリート構造物としては密実で有害なひび割れが発生していないことが望まれています。

コンクリートに発生するひび割れは、膨張型と収縮型の2種類が存在します。膨張型の代表的なものは、アルカリ骨材反応や内部鉄筋の腐食によるひび割れであり、収縮型は、乾燥収縮ひび割れや沈下ひび割れ等が該当します。

RC造建築物に生じるひび割れ対策は、古くから取り組まれていましたが、平成11年に「住宅の品質確保の促進等に関する法律」(品確法)が、平成12年に「住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準」が公布されたため、コンクリートのひび割れへの社会的関心が高まりました。

品確法は、RC造建築物について工事完了・引渡し後少なくとも2年間、住宅については10年間に亘り、瑕疵のあると思われる収縮ひび割れを生じさせてはならないとしています。

近年、大手セネコン数社がコンクリートの収縮率を測定する等、コンクリートの収縮への関心が一層高まっております。

これは、2006年2月に建築学会が刊行した『RC造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針』で、コンクリートの収縮率が規定されたことや、次回の改正でJASS5に取り入れられるとの情報に起因していると考えられます。

この指針では、コンクリートの収縮が何らかの理由で拘束されて発生するひび割れ(収縮ひび割れ)の制御を対象にしており、乾燥収縮ひずみ量が規定されています。

なお、近年は良質骨材の枯渇等で骨材事情が悪化していることから、生コン工場で製造されるコンクリートの乾燥収縮ひずみは増大しているといわれており、工場によっては困難になると思われます。

表1. RC造ひび割れ制御指針

コンクリートの級	乾燥収縮ひずみ	備考
標準	$650 \sim 800 \times 10^{-6}$	試練りによる確認を原則としている
高級	$500 \sim 650 \times 10^{-6}$	
特級	500×10^{-6} 以下	

表2. JASS5:2008(2007.12.17 付け情報)

計画供用期間の級	耐久性設計基準強度(N/mm ²)	乾燥収縮率
短期	18	8×10^{-4} 以下
標準	24	
長期	30	特記による 特記のない場合は 8×10^{-4} 以下
超長期	36	

2.用語の定義

・収縮ひずみ

乾燥収縮ひずみ(炭酸化ひずみを含む)とセメントの水和で生じる自己収縮ひずみ及び温度低下によるひずみの和。

・使用するコンクリートの乾燥収縮ひずみ

100×100×400 mmの直方形供試体を作成し、材齢7日間 標準水中養生をおこなって、6ヶ月間室内(温度 20 ± 3 , 相対湿度 $60\pm5\%$)で乾燥させ、JISA1129 による長さ変化測定値に基づいて規定される材料特性値。

・収縮ひびわれ

構造体や部材の収縮ひずみが、周囲の他の部材や境界条件により拘束を受けて自由に収縮できない結果生じるひび割れ。

3. 調合設計による収縮ひび割れ対策

収縮ひび割れ制御設計・施工指針では、設計基準強度 36N/mm^2 以下に関して次の条件に適合するように、使用材料、調合の選定をおこなうよう規定しています。

使用するコンクリートの乾燥収縮ひずみ: 800×10^{-6} 以下

ブリーディング量: $0.3\text{ cm}^3/\text{cm}^2$ 以下

『RC 造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針』では、対策として仕様設計と性能設計の2種類を規定しています。

設計基準強度 36N/mm^2 以下のコンクリートは、仕様設計により、設計基準強度 36 N/mm^2 を超え 60 N/mm^2 の高強度コンクリートは、収縮等の技術的データが少ないため性能設計をおこないます。

表3. 設計内容

設計区分	内容	対象
仕様設計	これまで施工されてきた鉄筋コンクリート造の技術的蓄積及び現時点までに得られた知見に基づいて構造体および部材に要求される性能の達成を阻害する有害な収縮ひび割れを発生させない意匠・構造設計とコンクリートの材料、調合、施工および品質管理方法の標準的な仕様を定めたもの	$\text{Fc}36\text{N/mm}^2$ 以下
性能設計	使用するコンクリートの基本物性ならびに部材の設計条件および拘束状態を考慮し構造体コンクリートの収縮ひずみ、ひび割れ発生確率およびひび割れ幅ならびに鉄筋の引張応力を推奨される方法、試験または信頼される手法に基づいて予測する 次に構造体及び部材に要求される性能の達成を阻害する収縮ひずみひび割れが構造体コンクリートに発生しないことを検証して、意匠・構造設計上の仕様ならびに使用するコンクリートの材料および施工方法等の使用を定める	$\text{Fc}36\text{ N/mm}^2$ を超え $\text{Fc}60\text{ N/mm}^2$ 以下

3.1 使用材料の選定

使用材料は、JIS に適合することが前提になりますが、適合した材料を使用しても乾燥収縮ひずみが 800×10^{-6} を超える場合があります。

1)セメント

使用するセメントの種類で乾燥収縮ひずみがことなるため、強度発現性・耐久性、経済性を考慮して決定する必要があります。

また、普通ポルトランドセメントを使用することを標準としているが、乾燥収縮は低熱ポルトランドセメントが最も小さくなり、高炉セメントは初期の収縮ひずみが大きくなります。

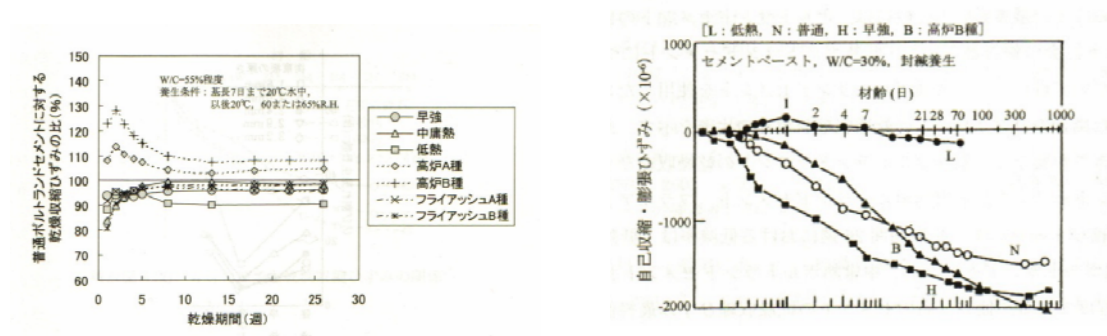


図1.セメントの種類とひずみの関係

2)骨材

JISA5308 附属書 1 レディーミストコンクリート用骨材や JISA5005 に適合し、かつ、コンクリートの収縮が小さくなるものを選定する必要があります。

一般に乾燥収縮に影響を与える骨材の品質項目は、ヤング係数、実積率、細骨材粗粒率及び微粒分量密度、吸水率といわれています。

また、乾燥収縮ひずみは、骨材の種類や原石の種類によっても影響を受けますが、良質な川砂利や石灰石碎石を使用すると収縮ひずみが小さくなります。

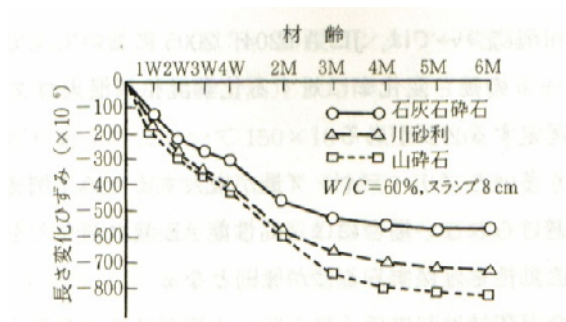


図2.粗骨材種類とひずみの関係

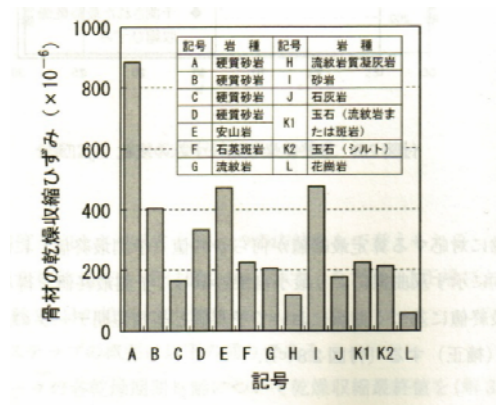
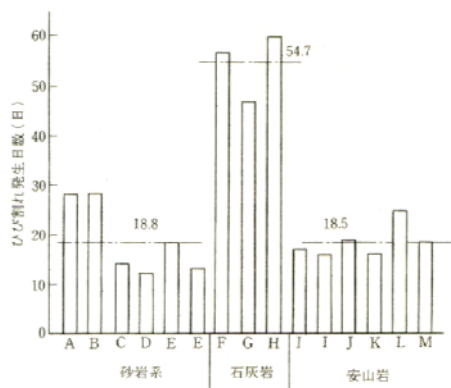


図3. 岩種とひずみの関係

表4. 骨材の品質とコンクリートの収縮

品質項目	コンクリートの収縮に与える効果
ヤング係数	ヤング係数が高いものほど乾燥収縮は小さくなる
吸水率	骨材内部の空隙量と関係があり、骨材内部空隙が小さいものほど乾燥収縮ひずみが小さくなる
粗骨材の実積率	骨材の容積率が増えると乾燥収縮ひずみが低減する
粗骨材の最大寸法	
細骨材の粗粒率	
細骨材の微粒分量	微粒分量の多い細骨材を使用すると、コンクリートの乾燥収縮ひずみが大きくなる

3)化学混和剤

JISA6204 コンクリート用化学混和剤の品質規定では、長さ変化比を 120%以下と規定しており混和剤無添加のものと比較すると、混和剤添加のほうが収縮が大きくなります。

乾燥収縮ひび割れを防止する観点からは、この長さ変化比の小さい混和剤を選定することが望ましくなります。

なお、単位水量が多いとフリーティング量が増大するため、品位の劣る骨材を使用により単位水量の増加する場合は、高性能 AE 減水剤(長さ変化比は大きい)を使用する必要があります。

4) 膨張材，収縮低減剤

膨張材を混和したコンクリートの乾燥収縮ひずみは、無混和に比べて2割程度低減するといわれており、同指針では、膨張材の使用効果を 150×10^{-6} 程度としています。

現在 収縮低減剤は、JIS 等の品質規格が整備されていません。既存のデータでは、収縮低減剤の添加量にもよりますが、15%程度以上収縮ひずみを低減する効果があるといわれています。

また、膨張材と併用することにより収縮ひずみをさらに低減することができます。

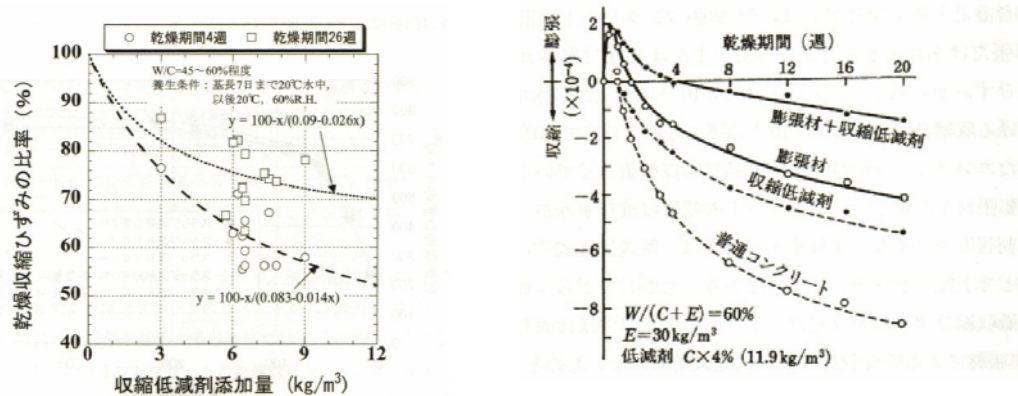


図4．膨張材・収縮低減剤とひずみの関係

5) 練混ぜ用水

水質がコンクリートの諸性質に与える影響は大きく、特にスラッジ水を使用するとコンクリートの乾燥収縮は増大します。

スラッジ水を使用する場合は、固形分濃度を十分に管理し、固形分率が単位セメント量に対して3%を超えないように管理する必要があります。

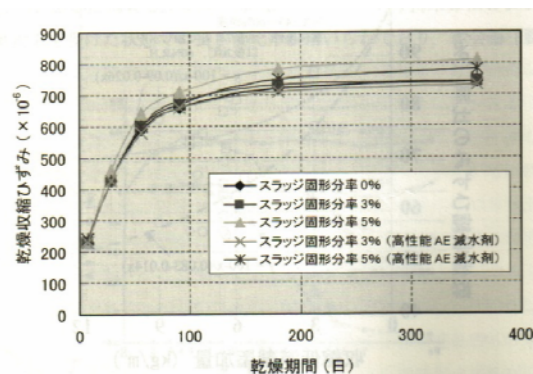


図5．スラッジ固形分率と収縮ひずみの関係

3.2 調合の選定

コンクリートの調合と収縮ひび割れの関係は、明らかになっていないともいわれていますが指針は、乾燥ひずみとフリーディング量を標準値以下にするための調合対策を列記しています。

1)単位水量

単位水量が増加するとフリーディング量が大きくなる傾向があり、乾燥収縮との関係よりも相関が高いとされています。

現在 JASS5:2003 では、乾燥収縮対策から単位上限値を 185 kg/m^3 としていますが、フリーディング量対策から単位水量の上限値を 180 kg/m^3 と一層厳しくしております。

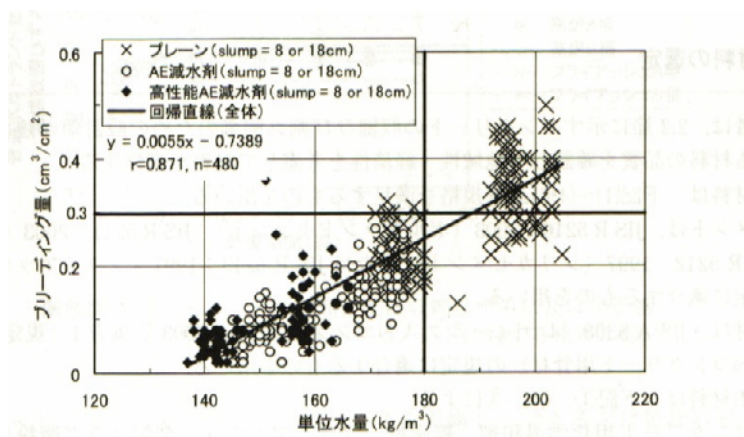


図6．単位水量とフリーディング量の関係

2)水セメント比

水セメント比も乾燥収縮ひずみやフリーディングに与える影響は明確ではありませんが、耐久性の観点から、水セメント比は 60% 以下と定めています。

3)単位セメント量

コンクリートの乾燥収縮や水和熱によるひび割れを低減するためには、セメント量をできるだけ少なくする必要があります。

一方、単位セメント量を過度に小さくすると、ワーカビリティの著しい低下や充填性が低下することから、その最小値を 270 kg/m^3 としています

また、単位セメント量を必要以上に大きくすると、温度ひび割れが発生しやすくなること等から、最大値を 450 kg/m^3 としています(設計基準強度 36 以下を対象にしています)。

4. 使用材料・調合の確認(見直しを含む)

調合について、乾燥収縮ひずみ及びブリーディング量のそれぞれが設計値を満足するかどうかは試し練りによるか、信頼できる資料で確認することとされています。

JASS5:2008(2007.12.17 付け情報)

11.4 使用するコンクリートの品質管理及び検査

- e. コンクリートの乾燥収縮率が特記されている場合は、施工者は、工事開始前に試し練りを行って乾燥収縮率を試験し、特記された乾燥収縮率以下になることを確認しなければならない。ただし、使用するコンクリートまたは類似の材料・調合のコンクリートの収縮率の試験結果がある場合は、試験を省略することができる。

また、練混ぜ水にスラッジ水を用いる場合は、固形分率の上限値(単位セメント量に対して 3%)で試験練りを行って確認するよう規定しています。

乾燥収縮ひずみは JISA1129 による長さ変化測定値で評価を行います。試験が 6 ヶ月以上かかる(26 週)ため、乾燥期間 4 週の測定値から推定して判断してもよいとしています。

その結果、設計値を満足しない場合は、使用材料や調合の変更を検討する必要があります。

調合の検討では、単位粗骨材量(大きくする)や単位水量(小さくする)を見直す必要がありますが、ワーカビリティ確保が前提になるため、大きな収縮低減効果につながらないとも言われています。

一方、収縮ひずみ対策に効果があるのは使用材料の検討とあり、石灰石骨材、収縮低減剤や膨張材を使用すると効果があります(試し練りで効果を確認する必要があります)。

表3. 乾燥収縮低減対策

対策№	使用する材料	対策の具体的内容	期待される効果
	石灰石骨材	石灰石骨材への骨材置換	$600 \sim 700 \times 10^{-6}$ の実現
	膨張材	膨張材を標準量使用	150×10^{-6} 以上の低減効果がある
	収縮低減剤	収縮低減剤を標準量使用	15～30%の低減効果がある

5. 引用文献

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

【参 考】

ひび割れの原因		ひび割れの特徴	発生時期		
			初期	中期	長期
材 料 ・ 調 合	単位水量の多い軟練りコンクリートの採用	コンクリートの沈み・ブリーディングを伴い、打ち込み後1～2時間で、鉄筋の上部や壁と床の境目等に断続的に発生	○		
	自己収縮	骨材周囲から放射状の細かいひび割れが発生し、網目状の微細ひび割れを形成	○		
	乾燥収縮	2～3ヶ月してから発生し、次第に成長する 開口部柱・梁に囲まれた隅部には斜めに発生し、細長い床・壁・梁等にはほぼ等間隔で垂直に発生する		○	○
施 工	急速な打込速度	自己収縮や単位水量の多い軟練りコンクリートと似た形状のひび割れが発生	○		
	初期の急速な乾燥(日照, 風, 湿度不足)	打込み直後の急速な乾燥に伴い、表面の各部分にひび割れが不規則に発生	○	○	
	ポンプ圧送によるセメント量, 水量の増加	乾燥収縮や単位水量の多い軟練りコンクリートと似た形状のひび割れが発生		○	
	型枠の早期除去	位置, パターン, 大きさなどは状況に応じて変化する 急速な乾燥を受けることにより、乾燥収縮ひびわれが早期に発生する		○	
	不均一な打込み・豆板	各種ひび割れの起点になりやすい		○*	
	施工時荷重 凝結硬化中のコンクリートへの振動・衝撃 弱材齢時のコンクリートへの重量物の設置・運搬	位置, パターン, 大きさなどは状況に応じて変化する		○*	
	配筋位置の移動, かぶり厚さ不足	床スラブでは周辺に沿ってサークル状に発生する 配筋・配管の表面に沿って発生する			○*
	コールドジョイント	コンクリートの打継ぎ箇所やコールドジョイントがひび割れとなる			○*
構 造	細部設計の不備	局部に、比較的大きなひび割れが集中して発生する			○
	断面・鉄筋量不足	梁や床の引張り側に、主軸方向と直角にひび割れが発生 床・ひさし等は、垂れ下がる部材軸と直角に発生			○*
環 境	環境温度の変化	乾燥収縮に類似したひび割れが発生し、温度・湿度によ変化に応じて変動する			○
	コンクリート部材断面の温度・湿度差	低温側又は低湿側の表面に、曲がる方向と直角に発生する			○
備 考	初期: 打込み直後からコンクリートの凝結終了まで 中期: 打込み後24時間以降より4週程度まで 長期: 材齢4週程度移行 *: 発生原因は、収縮ひずみ拘束ではないが、ひび割れ発生後に収縮ひび割れにより幅が拡大し有害となる				