

膨張材を混和した高強度コンクリートの長さ変化に及ぼす養生条件の影響

太平洋セメント（株） 正会員 ○谷村 充 雙龍セメント工業（株） 正会員(KSCE) 李 雄鍾
太平洋セメント（株） 正会員 三谷裕二

1. はじめに

著者らは、高強度コンクリートの凝結始発からの自己収縮を低減する上で、膨張材の使用が効果的であることを既に報告した¹⁾。これまでの検討は主として、その養生条件を終始封緘養生としていたが、本報告では、材齢 3～14 日間封緘養生あるいは水中養生を施し、その後乾燥養生を行ったときの膨張材混和高強度コンクリートの長さ変化特性について実験的に検討し、膨張材無混和の場合と比較した。

2. 実験概要

2. 1. 使用材料および配合

表－1に使用材料、表－2にコンクリートの配合を示す。実験に用いたコンクリートは、膨張材を混和したもの(記号 NE)および、比較用で膨張材を混和しないもの(記号 N)の2種類であり、水結合材比(30%)、単位水量(175kg/m³)等は同じとした。膨張材の混和量は、自己収縮を相殺する程度とし、セメントに対して内割で 40kg/m³とした。フレッシュ性状は、スランプフロー600±50mm、空気量 2%以内に調整した。圧縮強度は、材齢 28 日(封かん養生)における実測値で、N30 が 89.2N/mm²、NE30 が 80.8N/mm²であった。

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:3.16g/cm ³
膨張材	EX	石灰系、密度:3.14g/cm ³
細骨材	S	小笠産陸砂、密度:2.60g/cm ³ 、FM:2.88
粗骨材(20mm)	G	岩瀬産砕石、密度:2.64g/cm ³ 、FM:6.61
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系

表－2 コンクリートの配合

記号	W/(C+EX) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	EX	S	G	SP
NE30	30	49.2	175	543	40	794	832	6.1
N30			175	583	40			6.1

2. 2. 供試体の作製、養生条件および測定方法

長さ変化測定用の供試体は、寸法を 100×100×400mm とし、「セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの自己収縮および自己膨張試験方法(改訂版 2002)²⁾」に準拠して作製した。コンクリートは 20℃、80%R.H.の試験室内で練混ぜ、打込み終了後直ちに表面仕上げを行い、水分の逸散を防ぐためにポリエステルフィルム(厚さ 0.1mm)で表面を覆い、さらにその上を湿布で覆った。練り混ぜ水を投入してから約 1 日の時点で脱型を行い、乾燥を開始するまで封緘養生を行う供試体は、直ちにその全露出面をアルミ箔粘着テープ(厚さ 0.05mm)でシールした。乾燥開始まで水中養生を行う供試体は、脱型後すぐに 20℃の水中に浸漬した。封緘養生後乾燥養生を行う供試体の乾燥開始材齢は 3 日、7 日、14 日とし、水

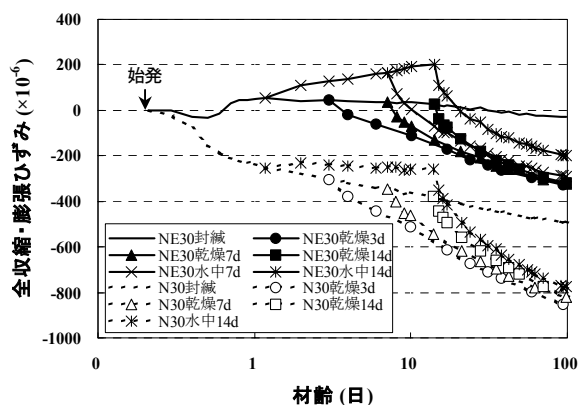
中養生後乾燥養生を行う場合は N30 が 14 日、NE30 が 7 日、14 日とした。封緘養生中の温度は 20℃、乾燥養生の条件は温度 20℃、相対湿度 60%とした。

脱型までの間における長さ変化の測定は、上記文献 2)の方法に準拠して高感度変位計(精度:0.001mm)を用いて行った。これと同時に熱電対を用いて供試体中心部の温度を測定し、コンクリートの線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と仮定して長さの補正を行った。脱型後においては、供試体作製時にコンクリートに埋め込んでおいたゲージプラグ間の距離をコンタクトゲージ(精度:0.001mm)を用いて測定した。供試体の本数は、同一条件の試験に対して 2 本とし、以下の考察では 2 本の平均値を用いる。

3. 結果および考察

図－1は、封緘および水中養生下のひずみに乾燥開始からのひずみを重ねたひずみ(以下、全収縮ひずみ)と材齢の関係を示す。ひずみの起点は凝結始発としている。まず、封緘養生を継続したときのひずみについては、材齢 1 日、91 日において、N30 がそれぞれ約 250 および 500×10^{-6} の収縮ひずみを生じたのに対して、NE30 では全材齢にわたってほぼゼロで推移している。すなわち、膨張材の混和によってほぼ自己収縮ひずみが相殺されている。

次に、封緘養生後乾燥養生を行った場合について検討する。まず、全収縮ひずみであるが、図－1より乾燥開始材齢による差は小さく、材齢 91 日の時点ではほぼ同じ大きさとなった。その大きさは N30 が約 800×10^{-6} であるのに対して、NE30 は約 300×10^{-6} に止まっている。図－2には、乾燥開始以降の全収縮ひずみと材齢の関係を示しており、N30 の場合が乾燥開始材齢 3～14 日で $550 \sim 450 \times 10^{-6}$ 程度であるのに対して、NE30 では乾燥開始材齢にかかわらず 350×10^{-6} 程度となっており、NE30 の場合が 10～30%程度乾燥開始以降の全収縮ひずみが小さい。すなわち、膨張材は乾燥



図－1 全収縮・膨張ひずみの経時変化

キーワード：高強度コンクリート、膨張材、養生条件、長さ変化、自己収縮、乾燥収縮
連絡先（千葉県佐倉市大作 2-4-2、電話：043-498-3909、FAX：043-498-3849）

養生下の収縮ひずみを低減する効果も有する。ただし、全収縮ひずみ低減の観点では、上記の膨張材による乾燥開始までに生じる自己収縮ひずみの低減効果が大きく貢献している。ここで、図-3は、水分逸散にともなう収縮性状を比較する目的で、乾燥開始以降の全収縮ひずみから自己収縮ひずみを差し引いて求めたひずみ(以下、乾燥収縮ひずみ)の経時変化を示す。図-2と比較すると、自己収縮ひずみ成分が取り除かれた結果、乾燥開始材齢の影響が小さくなり、N30とNE30の差も小さくなった。つまり、乾燥収縮ひずみの面では、N30とNE30はほぼ同じに扱うことができると考えられる。図-3には、コンクリート標準示方書の乾燥収縮ひずみ予測式³⁾による推定値(乾燥開始材齢の影響は小さいので7日のみ示す)、および宮澤式⁴⁾による推定値を併記したが、示方書式は、実構造物設計の観点からV/Sが100mm以上の比較的大断面の部材を対象としているため、V/S=25mmの本実験結果に対しては適合性が低くなっている(初期で過小評価、長期で過大評価)。一方、本研究と同寸法の供試体に基づく宮澤式では、膨張材混和の場合も含めて、推定値は実測値の傾向と良く一致している。

次に、水中養生後乾燥養生を行った場合であるが、水中養生期間を材齢14日までとしたものは、N30、NE30いずれの場合も、封緘養生を行ったものより全収縮ひずみが小さくなった(図-1)。その効果はNE30の方が大きく表れており、全収縮ひずみは水中養生を行った場合に約 100×10^6 小さい。図-4には、水中養生中の膨張ひずみおよび質量変化率について、①および③:N30の場合、②および④:NE30の場合を比較して示す。①および②は水中養生供試体のひずみから封緘養生供試体のひずみを差し引いて求めており、①はいわゆる膨潤によるひずみである。②は①よりも大きくなっているが、これは膨張材の作用によるものと考えられる。すなわち、N30とNE30では質量増加率がほぼ一致しており、また材齢1日の圧縮強度(N30:43.6N/mm², NE30:42.0N/mm²)ならびにヤング係数(N30:28.1kN/mm², NE30:26.3kN/mm²)に大差がなかったことより、②と①の差は膨張材起源のひずみの増加量(以下、付加膨張ひずみ)であると考えることができる。これより、約13日間の水中養生中に 60×10^6 程度の付加膨張ひずみが生じており、全収縮ひずみの低減に寄与している。ここで、膨潤によるひずみは付加膨張ひずみの2倍に相当する 120×10^6 を生じており、膨張材の実質的な作用を検討する上で考慮すべき点である。すなわち、一般に膨張コンクリートの膨張量は水中養生によって大きくなるが、その中には水分の浸入による物理的な膨張ひずみ成分が含まれており、無視できない大きさになる場合がある。なお、上記は大きな膨張作用が生じた後の材齢約1日から水中養生を開始した場合の結果であり、より早い時期から水中養生を開始すれば、さらに大きな付加膨張ひずみが生じる可能性がある。

4. まとめ

本研究で得られた知見をまとめると以下のとおりである。

- (1) 膨張材を40kg/m³混和することにより、普通セメントを使用したW/C=30%の高強度コンクリートの自己収縮

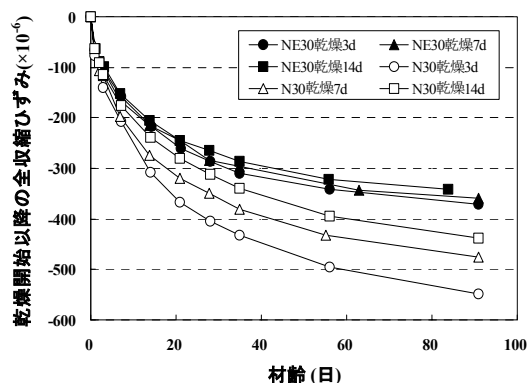


図-2 乾燥開始以降の全収縮ひずみの経時変化

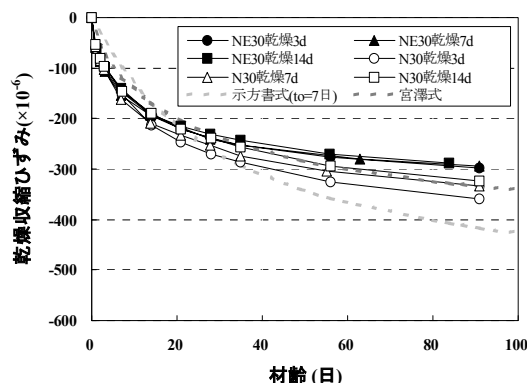


図-3 乾燥収縮ひずみの経時変化

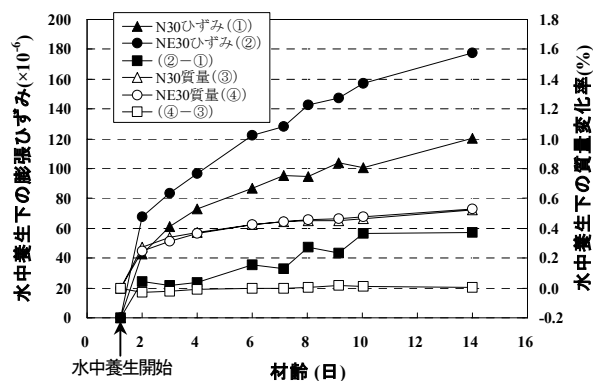


図-4 水中養生下の膨張ひずみと質量変化率

ひずみをほぼ相殺できる。

- (2) 全収縮ひずみに及ぼす乾燥開始材齢の影響は小さい。材齢91日における値はN30の約 800×10^6 に対して、NE30は約 300×10^6 と小さい。
- (3) 乾燥開始材齢3～14日の範囲において、乾燥開始以降の全収縮ひずみはNE30の場合が10～30%程度小さい。
- (4) 乾燥開始以降の全収縮ひずみから自己収縮ひずみを差し引いて求めた乾燥収縮ひずみは、N30とNE30で大差ない。またこの傾向は、宮澤の乾燥収縮ひずみ予測式によって精度良く評価することができた。
- (5) 水中養生期間を長くすることにより、全収縮ひずみを小さくすることができる。なお、膨張材の実質的な作用は、膨潤の影響を考慮して検討する必要がある。

[参考文献]1)例えば、谷村 充ほか:コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.951-956, 2002 2)JCI:コンクリートの自己収縮研究委員会報告書, pp.51-54, 2002 3)土木学会:2002年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編], pp.30-34 4)土木学会:コンクリート技術シリーズ 38, pp.43-49, 2000