

コンクリートの特性に及ぼす養生方法の影響に関する実験的研究

オリエンタル建設(株) 正会員 工学博士 ○呉 承寧
 オリエンタル建設(株) 非会員 工学修士 大熊 晃

1. はじめに

プレストレストコンクリートの二次製品工場では、製造効率を上げるために、蒸気養生または断熱性の高い材料でコンクリートを覆ってセメントの水和熱を利用する断熱(保温)養生などの促進養生を行っている。

一般に、促進養生の後、コンクリート中には未水和のセメント粒子がまだ多く残っており、続けて湿潤養生すなわち二次養生を行うことによってこれらの水和が進み、強度、水密性、耐久性等が改善される可能性がある。しかし、製品工場では、製品の大きさおよび形状の関係で二次養生のできない場合がある。土木学会のコンクリート標準示方書には、工場製品に要求される所要の品質が確保される場合には、二次養生の期間が短縮するか、製品によってはこれを省略することができるとしている。

本研究では、プレテンション式プレストレストコンクリート部材に用いるコンクリートの特性に及ぼす促進養生および二次養生の影響を解明するために、同じバッチのコンクリートに対して、それぞれ標準養生、蒸気養生及び断熱養生を実施し、さらに、水中養生、湿潤養生または気中養生などの二次養生を行い、それぞれの圧縮強度、ヤング係数、クリープ、乾燥収縮、および塩化物イオン浸透抵抗性等の特性を調べる。

2. 試験の概要

2.1 試験用コンクリート

コンクリートの使用材料は、プレストレストコンクリート製品に使用されている材料であり、それらの特性を表-1に示す。試験用コンクリート配合は、実際にプレテンションプレストレストコンクリート製品に用いる配合であり、その示方配合を表-2に示す。

表-1 使用材料の種類と特性値

材料	種類と特性値
セメント	早強ポルトランドセメント、密度=3.14
細骨材	砕砂、F.M.=2.80、表乾密度=2.61
粗骨材	砕石、F.M.=6.78、表乾密度=2.63
減水剤	高性能 AE 減水剤、密度=1.05

表-2 コンクリートの示方配合

最大骨材寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	減水剤	AE 剤
20	8±2.5	4.5±1.5	37	40	155	419	696	1052	3.35	0.02

2.2 コンクリート試験体の養生方法

同じバッチのコンクリートを用いた供試体に対して、表-3に示す養生方法でそれぞれを養生する。各養生方法において、打設後の16時間内のコンクリート温度を図-1に示す。材齢7日後、試験体を温度20℃、相対湿度60%の室内に保管し、試験を行う。

表-3 コンクリートの養生方法

養生方法	一次養生	二次養生
標準	20℃で16時間の封緘養生	材齢7日まで20℃水中養生
蒸気-湿潤	3時間前養生、3時間で55℃に上昇、5時間55℃で恒温養生、3時間徐冷、計16時間の蒸気養生	材齢7日まで20℃で湿布被覆養生
蒸気-気中	同上	20℃、RH60%の気中で保管
断熱-湿潤	発泡スチロール箱に設置、16時間の断熱養生	材齢7日まで20℃で湿布被覆養生
断熱-気中	同上	20℃、RH60%の気中で保管

2.3 測定項目および方法

コンクリートの特性に及ぼす養生方法の影響を調べるために、同じバッチのコンクリートを用いた供試体に対して、それぞれの養生を行い、表-4に示す試験項目において試験を行う。

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	試験体寸法 (cm)
圧縮強度	JIS A 1108	φ10×20
割裂引張強度	JIS A 1113	φ15×15
ヤング係数	JIS A 1149	φ10×20
グリーブ係数	ASTM C512	φ15×30
収縮	JIS A 1129-3	10×10×40
自己収縮	JIS A 1129-3	10×10×40
塩化物浸透抵抗性	ASTM C 1202	φ10×5

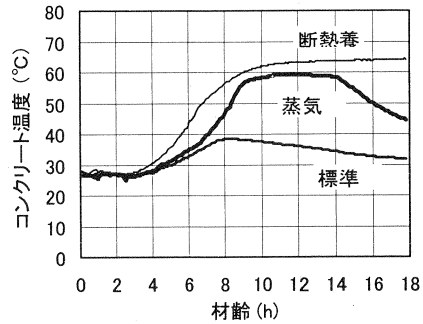


図-1 打設後16時間内のコンクリート温度

3. 試験の結果

3.1 圧縮強度

コンクリートの圧縮強度に及ぼす促進養生の影響は、図-2に示すように、促進養生されたコンクリートは標準養生されたコンクリートに比べ、材齢1日において比較的高い圧縮強度を呈しているが、材齢7日以後の圧縮強度が低くなっている。

また、促進養生の場合でも、断熱養生されたコンクリートは蒸気養生されたコンクリートより、材齢につれて圧縮強度の増加が比較的大きく、長期材齢の圧縮強度が高い。

図-3はコンクリートの圧縮強度に及ぼす二次養生の影響を示す。同図より、蒸気養生されたコンクリートは、促進養生後の二次養生の有無にかかわらず、同じ圧縮強度を有することが分かる。また、断熱養生されたコンクリートは、逆に二次養生のない場合、高い圧縮強度を示している。これらの結果によって、本試験の条件において、促進養生されたコンクリートの圧縮強度に及ぼす二次養生の効果が確認されなかった。

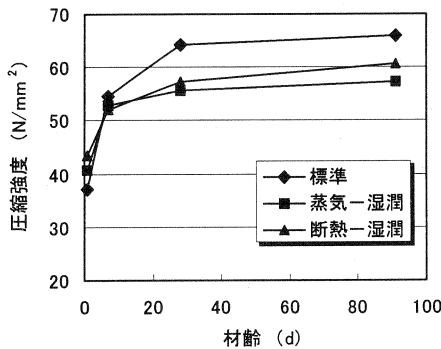


図-2 圧縮強度に及ぼす促進養生の影響

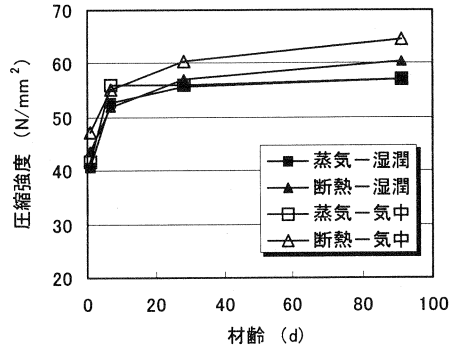


図-3 圧縮強度に及ぼす二次養生の影響

3.2 割裂引張強度

図-4はコンクリートの割裂引張強度に及ぼす養生方法の影響を示す。標準養生されたコンクリートは、促進養生されたコンクリートに比べ、材齢7日の割裂引張強度が顕著に高くなっているが、その後、割裂引張強度が低下し、促進養生されたコンクリートとほぼ同程度となった。材齢7日の割裂引張強度が高くなった理由としては、標準養生されたコンクリートが材齢7日まで水中で養生されるため、コンクリートには乾燥収縮による微細なひび割れの発生が無く、割裂引張強度が高かった。標準養生されたコンクリートは、材齢7日以後空气中に養生され、徐々に乾燥されたため、乾燥収縮によるひび割れが発生し、割裂引張強度が促進養生されたコンクリートと同程度まで低下した。

3.3 ヤング係数

コンクリートのヤング係数に及ぼす養生方法の影響においては、図-5に示すように、圧縮強度に及ぼす影響と同じ傾向が見られる。すなわち、標準養生されたコンクリートは促進養生されたコンクリートに比べ、

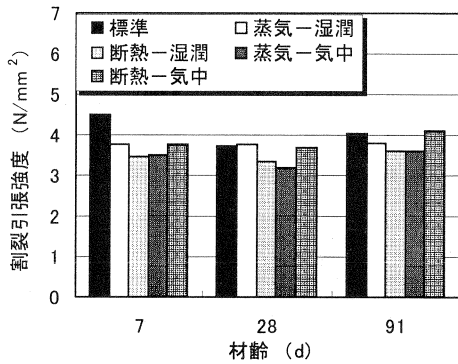


図-4 割裂引張強度に及ぼす養生方法の影響

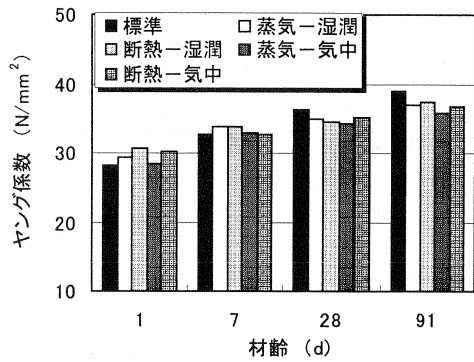


図-5 ヤング係数と養生方法との関係

材齢7日目のヤング係数が低い、その後のヤング係数が高くなっている。

一方、促進養生の場合、養生方法によるヤング係数の差が大きい、材齢91日のヤング係数において、断熱養生されたコンクリートは、蒸気養生されたコンクリートより比較的高い値となった。また、同じ促進養生を受けたコンクリートは、ヤング係数に及ぼす二次養生の影響がほとんど見られなかった。

3.4 収縮と自己収縮

コンクリートの養生方法がコンクリートの収縮特性に影響を及ぼすことが予想される。図-6には標準養生または促進養生を受けたコンクリートの収縮(乾燥収縮+自己収縮)特性を示す。図-6に示すように、標準養生されたコンクリートは水中養生の間に膨張したものの、その後、相対湿度60%の空气中で保管されると、収縮が起り、材齢380日に 740×10^{-6} 程度の収縮ひずみが発生した。しかし、促進養生されたコンクリートに比べ、標準養生されたコンクリートの収縮ひずみが明らかに少ない。但し、標準養生されたコンクリートは、水中養生終了後、大きな収縮が発生した。その理由は、図-7に示すように、促進養生されたコンクリートは長期に渡るにつれてセメントの水和により比較的大きな自己収縮が発生したことと考えられる。一方、促進養生の方法によるコンクリートの収縮ひずみの差も見られた。断熱養生されたコンクリートの収縮ひずみは蒸気養生されたコンクリートに比べ比較的小さい。また、収縮特性に及ぼす二次湿潤養生の影響が図-8に示すようにほとんどなかった。

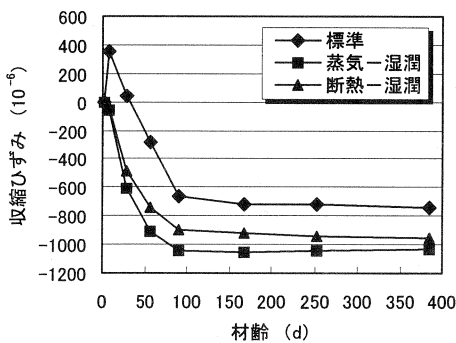


図-6 コンクリートの収縮と養生方法との関係

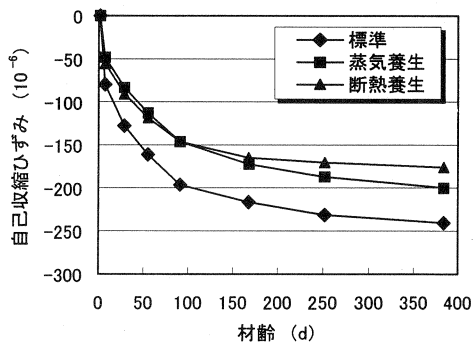


図-7 コンクリートの自己収縮と養生方法との関係

3.5 クリープ

コンクリートのクリープ係数とコンクリートの養生方法との関係を調べるために、前述の各養生方法でそれぞれ養生された供試体に対して材齢7日に同じ荷重で荷重を行い、材齢1年までクリープひずみを測定した。図-9はそれぞれの養生方法で養生されたコンクリートの材齢1年時のクリープ係数である。同図によると、断熱養生後空气中で保管した供試体を除き、他の供試体は養生方法が異なっていたにもかかわらず、

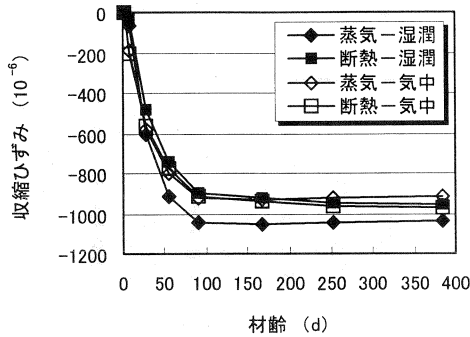


図-8 収縮に及ぼす二次養生の影響

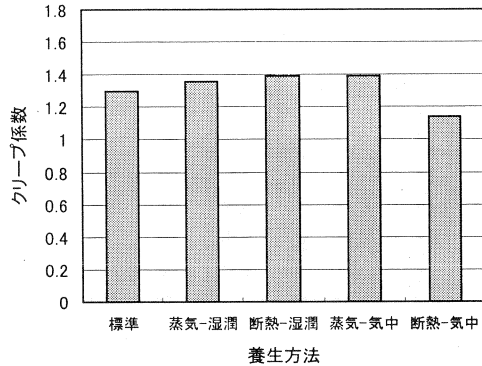


図-9 クリープ係数に及ぼす養生方法の影響

ほぼ同じクリープ係数を有する。すなわち、養生方法はコンクリートのクリープ特性に及ぼす影響が少ないと考えられる。また、断熱養生の後に気中で保管した供試体のクリープ係数が比較的低いことについて、試験誤差の可能性が否定できない。

3.6 塩化物イオン浸透抵抗性

それぞれの養生方法で養生されたコンクリートの塩化物イオン浸透抵抗性を調べるために、材齢 91 日に急速塩化物イオン通過性試験を行った[2]。この試験では測定されたコンクリートの通過電荷量によって、コンクリートの塩化物イオン浸透性を定性的に評価することができる。コンクリートの通過電荷量が 2000~4000 クーロンの範囲内であれば、その塩化物イオン浸透性が中間的と判断される。各コンクリート試験体の通過電荷量は、図-10 に示すように養生方法と関係がなく、ほぼ 2000~4000 クーロンの範囲内にとどまっている。すなわち、各供試体は養生方法が異なってもかかわらず、中間的な塩化物イオン浸透性がある。

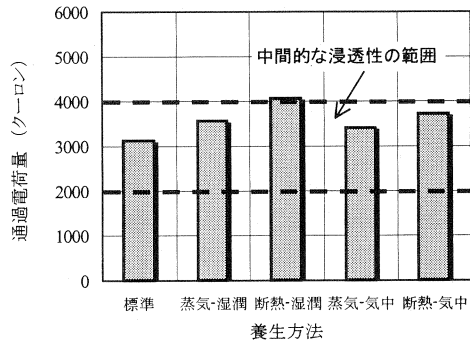


図-10 塩化物イオン浸透性と養生方法の関係

4. まとめ

本研究の範囲内において、コンクリートの特性に及ぼす養生方法の影響について以下の結果を得られた。

- (1) 標準養生されたコンクリートは、促進養生されたコンクリートに比べ、長期材齢の圧縮強度が比較的に高い。促進養生の場合、断熱養生されたコンクリートは、蒸気養生されたコンクリートより圧縮強度の増大が大きい。また、圧縮強度に及ぼす二次養生の効果が確認されなかった。
- (2) 標準養生されたコンクリートは、促進養生されたコンクリートに比べ、材齢 7 日の割裂引張強度が顕著に高くなっているが、その後、乾燥収縮により割裂引張強度が低下し、促進養生されたコンクリートとほぼ同程度となった。
- (3) コンクリートのヤング係数に及ぼす養生方法の影響は、圧縮強度に及ぼす影響とほぼ同じ傾向がある。
- (4) 標準養生されたコンクリートは、促進養生されたコンクリートに比べ、収縮は小さいが、自己収縮は大きい。促進養生の場合、断熱養生されたコンクリートは、蒸気養生されたコンクリートに比べ、自己収縮が少ない。また、コンクリートの収縮の低減に及ぼす二次養生の効果は見られなかった。
- (5) コンクリートのクリープ係数に及ぼす養生方法の影響は確認されなかった。
- (6) 養生方法によるコンクリートの塩化物イオン浸透性の差はほとんどなかった。

参考文献

- [1] 土木学会、「コンクリート標準示方書、施工編」、2002 年版、pp.252-253
- [2] ASTM, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration、ASTM C 1202-94