

生分解性吸水高分子ゲルを用いた コンクリートの初期養生

竹中 寛¹

¹東洋建設株式会社 総合技術研究所 美浦研究所.

沿岸域の港湾構造物は、施工中も強風などの厳しい気象環境に曝されることが多い。このような環境下では、コンクリートの上面は硬化が開始する前後の極めて初期の材齢においても乾燥の影響を受けやすく、乾燥収縮に起因するひび割れが発生しやすくなるほか、表層部の品質の低下が懸念される。そこで、著者らは、コンクリートの初期材齢における効果的な養生方法を確立すべく、生分解性吸水高分子ゲルを用いた養生工法を開発し、室内実験や実構造物での検証実験を行った。その結果、当該工法の適用した場合、初期材齢のコンクリートの保水性が向上し、表層部の品質の低下を抑制できることが明らかとなった。

キーワード：生分解性吸水高分子ゲル、初期養生、水分損失、収縮ひずみ、圧縮強度

1. はじめに

沿岸域に構築される港湾構造物は、施工中においても強風などの厳しい気象環境に曝されることが多い。打込み後のコンクリートは、強風などの影響により急激な乾燥を受けた場合、乾燥収縮に起因するひび割れが発生しやすくなるほか、硬化過程において養生水が不足し、表層部の強度発現が不十分となるなどの品質の低下が懸念される。中でも、防波堤や護岸の上部工コンクリートのように、打込み面の面積が比較的大きな部材の上面は、コンクリートを打ち込み、硬化が開始する前後の極めて初期の材齢（以下、極初期材齢と称す）において乾燥の影響を受けやすく、いわゆるプラスチック収縮に起因した表面ひび割れが生じることや、表層部の品質低下が助長されることがある。

コンクリートの乾燥を防止する方法は、既往の技術として、①養生用マットによる湿潤養生、②湛水養生、③膜養生剤の散布などが挙げられる。しかし、これらをスラブ状のコンクリートの上面で適用しようとした場合、①や②はある程度硬化が進行した後であれば十分な効果が期待できるが、まだコンクリートが脆弱である極初期材齢の場合は、表面が乱されて美観を損なうこと、表層部の強度が低下することなどが懸念される（写真-1、図-1参照）。また、極初期材齢での養生を目的とする③についても、著者らが検証した範囲では、厳しい乾燥環境下でのコンクリートの乾燥を抑制する効果が十分ではない場合もあり¹⁾、極初期材齢におけるコンクリートの乾

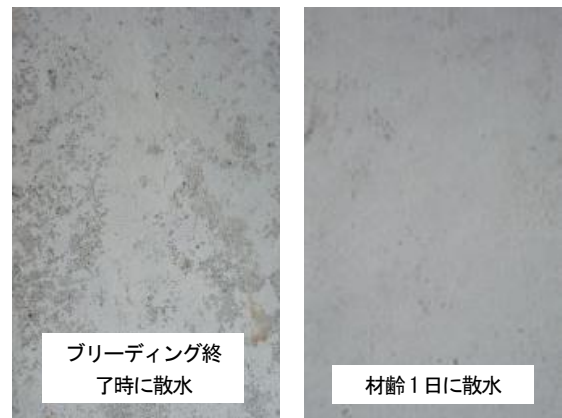


写真-1 湛水（散水）時期がコンクリート表面の美観に及ぼす影響

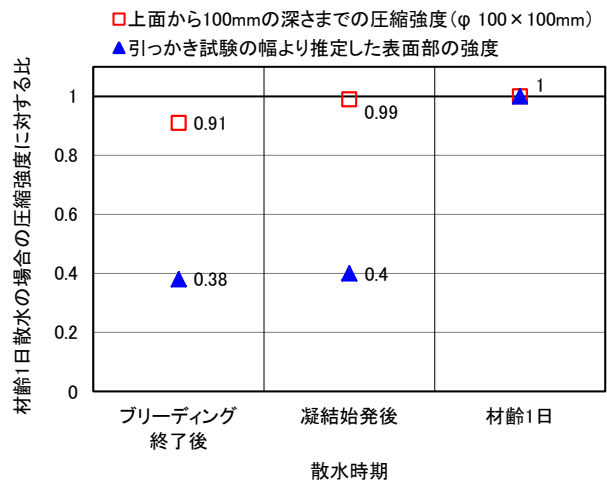


図-1 湛水（散水）時期がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

乾燥抑制に対して確実に効果的な養生技術は、まだ確立されていないといえる。

そこで、著者らは、極初期材齢におけるコンクリートの上面の乾燥に対し、より効果的な養生方法を確立すべく、高分子材料である生分解性吸水高分子ゲル（以下、ゲルと称す）を用いた養生工法を新たに開発し、その効果について検討を進めてきた²⁴⁾。本稿では、当該工法の適用がコンクリートの収縮や硬化後の品質に及ぼす影響など、室内実験や実構造物を対象とした検証実験から得られた知見について述べる。

2. 生分解性吸水高分子ゲル養生

生分解性吸水高分子ゲル養生（以下、ゲル養生と称す）とは、図-2に示すように、コンクリートの打込み後から養生用マットの使用が可能となるまでの間、コンクリートの表面を湿潤状態に保つことを目的とした工法である。その原理は、コンクリート表面にゲル層を形成し、この層に含まれる水を先行して乾燥させることで、ゲルが湿潤状態である期間はコンクリート表層部の乾燥を抑制するものである。当該工法で用いるゲルは、カルボキシメチルセルロース（CMC）に電子線やγ線を照射し、分子鎖に橋かけを形成した高分子材料（図-3参照）であり、吸水性や形状保持性に優れる（写真-2参照）。コンクリートの養生には、このゲル（乾燥状態）を水で膨潤させ、ペースト状に加工したものを使用する。

ゲル養生の主な特長は以下のとおりである。

- ①ゲルの形状保持性が優れるためペースト状に加工しても適度な粘性を有し、養生時の膜厚が保持できる。
- ②適度な粘性を有するため、水に比べてコンクリートへの浸透が少なく、表層部の強度低下が抑制できる。
- ③植物由来の原料を使用しているため、環境への負荷が小さい。
- ④吸水したゲルはほぼ無色透明であるため、散布後のコンクリートの美観を損なわない。

3. 室内実験における養生効果

ゲル養生を行ったコンクリートの養生効果について、室内実験で得られた知見を以下に述べる。

(1) 実験概要

使用したコンクリートの試験体は、写真-3に示すポリエチレン製の型枠を使用し、型枠内にコンクリートを打ち込んだ後、表-1の4種類の条件で初期養生を行った。

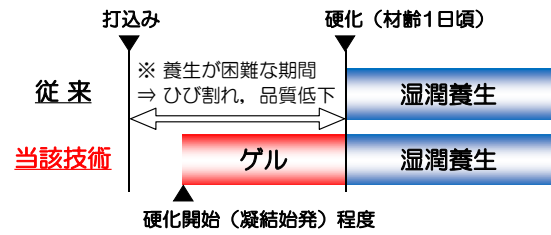


図-2 生分解性吸水高分子ゲル養生

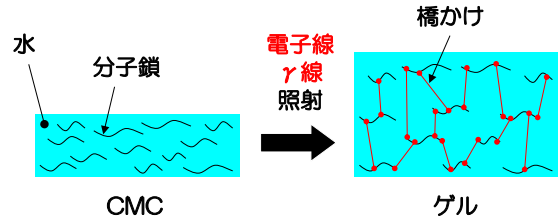


図-3 生分解性吸水高分子ゲルのイメージ

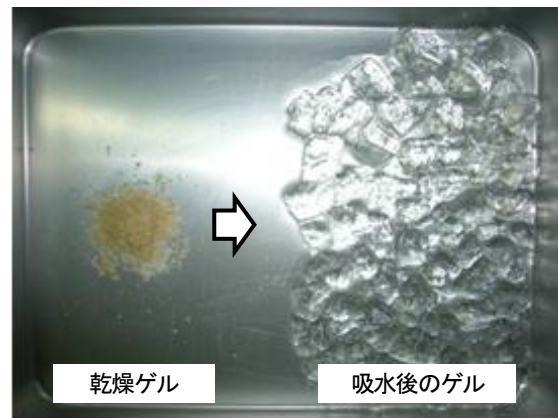


写真-2 生分解性吸水高分子ゲル

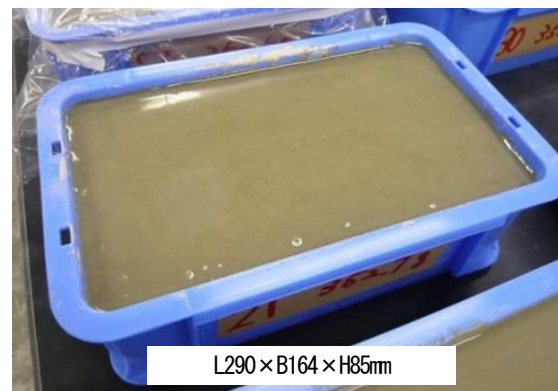


写真-3 室内実験の試験体

表-1 室内実験の養生条件

養生条件	養生方法
養生なし	養生なし
マット(標準)	湿潤マット養生(材齢1~7日)
ゲル+マット	60倍吸水ゲル散布(凝結始発時、t=3mm)後 湿潤マット養生(材齢1~7日)
被膜養生	被膜養生剤散布(プリーディング終了時、100ml/m ²)

コンクリートの配合および使用材料を、それぞれ表-2、表-3に示す。本実験で検討したゲル養生は、乾燥したゲルに60倍（質量比）の水を吸水させてペースト状に攪拌した後、試験体の上面に膜厚が3mmとなるよう均等に散布する方法とした。また、コンクリートからの水分損失の比較を行うための膜養生剤は、パラフィン系の材料を使用し、ブリーディング終了時に散布・仕上げを行った。

コンクリートの養生効果を確認するため、試験体の水分損失量試験および圧縮強度試験を行った。水分損失量試験は、温度20℃、相対湿度40%の養生環境における試験体の質量変化を測定することにより行った。一方、圧縮強度試験は、試験体を温度20℃、相対湿度40%の雰囲気中で養生した後、各試験体からφ70×80mmのコアを3本採取し、材齢28日にJIS A 1107の方法に準拠して行った。

(2) コンクリートの水分損失

コンクリート試験体の水分損失量の経時変化を図-4に示す。図において、ゲルを用いた場合の水分損失量の初期値を負の値としているが、これは、ゲルの質量の増分を負の水分損失量として表示したためである。図より、膜養生剤についても、養生なしに比べると水分損失量の低下が認められるが、その効果は10%程度と小さい。一方、ゲル養生の場合は、水の損失速度は養生なしおよび膜養生剤の場合と同程度であるが、20時間程度まではコンクリート表面を湿潤状態に保ちつつ、連続してゲル表面からの水分損失が続いている。更に、水分損失量の変化が僅かとなる、80時間程度におけるコンクリートからの水分損失量は、ゲル養生の場合の方が大幅に小さくなっており、養生なしに比べて35%程度低下した。このように、極初期材齢のコンクリートの水分損失は、ゲル養生を行うことで効果的に抑制できるものと推察される。

(3) コンクリート表層部の強度特性

各養生方法におけるコンクリートの圧縮強度、およびマット養生（以下、標準養生と称す）の圧縮強度に対する強度比を図-5に示す。図より、養生なしの場合のコンクリート表層部の圧縮強度は、標準養生を行った場合に比べて30%程度低下するのに対し、ゲル養生とマット養生を併用した場合は、標準養生に比べて25%程度増加する傾向を示しており、極初期材齢におけるゲル養生の効果が認められた。以上のように、ゲル養生を行った場合の強度発現性が向上する要因としては、前述したように水分損失量が低下すること、すなわち極初期材齢におけるコンクリートの乾燥が抑制されたことに加え、養生の開始直後からゲルがコンクリート表層部の間隙水を吸水し、表層部近傍のコンクリートの実質水セメント比が低減したことなどが考えられる。

表-2 コンクリートの配合（室内実験）

スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	粗骨材 最大寸法 (mm)	単位量 (kg/m ³)					
					W	C	S1	S2	G	Ad
12	4.5	55	44.0	20	166	302	561	240	1027	0.45

表-3 コンクリートの使用材料（室内実験）

材料名	記号	種類	物理的・化学的性質
練混ぜ水	W	上水道水	
セメント	C	高炉セメントB種	密度3.04g/cm ³
細骨材	S1	陸砂（鹿島産）	表乾密度2.64g/cm ³ 、吸水率0.76%
	S2	砕砂（笠間産）	表乾密度2.65g/cm ³ 、吸水率1.07%
粗骨材	G	砕石2005（岩瀬産）	表乾密度2.66g/cm ³ 、吸水率0.71%
混和剤	Ad	AE減水剤	リグニンスルホン酸系

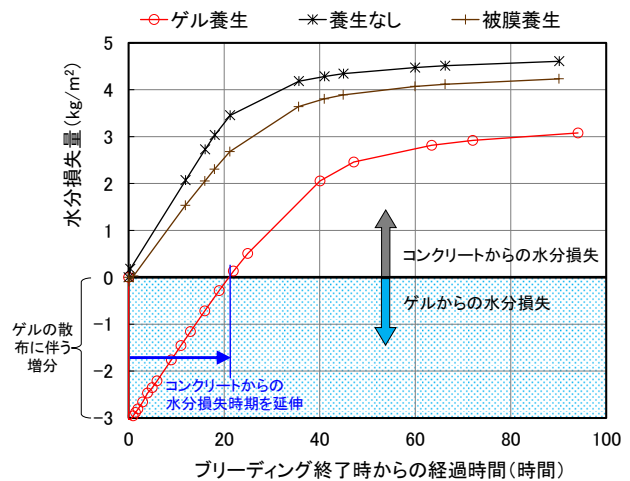


図-4 コンクリートの水分損失量の経時変化

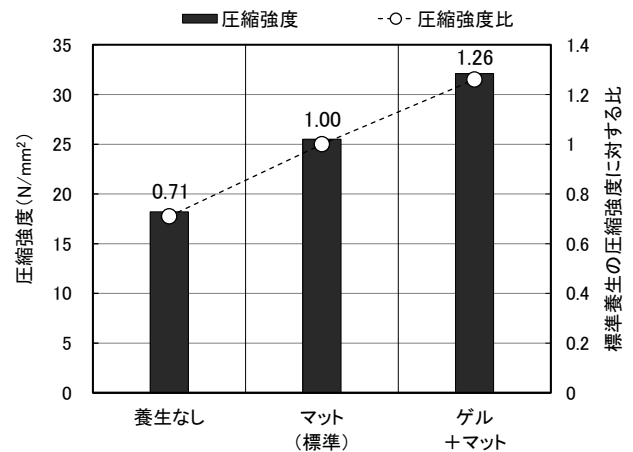


図-5 コンクリートの圧縮強度および圧縮強度比

4. 施工事例

ゲル養生を適用した工事での施工状況を紹介する。

CASE①は、港湾構造物で使用するプレキャストコンクリート部材であり、暑中期に打ち込んだコンクリートの上面にゲル養生を適用した。なお、1部材あたりのゲルの散布面積は15m²程度で、一般的な水中ポンプと専用ノズルを用いて散布した。本事例は、日射の強い暑中期

の施工であったため、打込み直後の急激な乾燥に伴うコンクリート上面のひび割れが懸念されたが、ゲル養生を行った箇所にひび割れは認められなかった（写真-4参照）。

CASE②は、杭式栈橋の上部工コンクリートである。本事例は、ゲル養生を適用する部材上面の面積が広く（幅25m×延長28m（700m²））、施工を行うにあたり、散布用のノズルやホースの移動時に生じるコンクリート表面の乱れや、粘性を有するゲルの長距離送液を行う場合の吐出量の低下などが危惧されたが、写真-5のように部材の横断方向にノズルとホースのガイドワイヤーを設置することや、送液用ポンプの性能を向上するなどの対策を施すことにより、効率的な散布方法を確立することができた。

5. 適用構造物における養生効果

(1) 検証実験の概要

検証試験は、前章で述べた施工事例に防波堤の上部工コンクリートの事例（CASE③）を加え、計3件の工事に



写真-4 ゲル散布完了後の状況 (CASE①)



写真-5 ゲル散布状況 (CASE②)

て実施した。各事例のコンクリートの配合と環境条件は表-4に示すとおりである。また、比較検討した養生条件は表-5の全5水準とし、それぞれの施工事例において養生の効果を検証した。なお、表中の「構造物」や「モデル試験体」は効果を検証した対象物を示しており、「構造物」では非破壊試験、「モデル試験体」では埋込み型のセンサや強度試験などで評価を行った。

(2) 乾燥収縮の抑制

モデル試験体（CASE③, L290×B164×H85mm, 上面のみ養生・乾燥）の表面から10mmの深さにモールドゲージを設置し、コンクリート表層部の実ひずみ（収縮ひずみ）を計測した。その結果、図-6に示すとおり、ゲル養生を行った場合、極初期材齢の養生を行わない標準養生に比べて表層部の収縮ひずみが小さくなる傾向を示した。特に、経過時間が6時間前後でその傾向は顕著となり、ひずみの差異は150 μ 程度であった。

このような収縮ひずみの差異は、コンクリート表層部の含水状態の違いによるものと推察される。そこで、コンクリート中に含まれる水分の挙動を確認するため、上記試験体と同様の形状のものに水分センサを設置（表面から20mmの深さ）して計測を行った。計測で使用した

表-4 コンクリートの配合と養生環境

事例ケース	コンクリートの配合			養生環境 (外気温)
	呼び強度	W/C (%)	セメント種	
CASE①	18	63.5	BB	屋外 6~7月 (16~34℃)
CASE②	24	54.0	BB	屋外 11月 (7~24℃)
CASE③	18	63.5	BB	屋外 2月 (-2~20℃)

表-5 コンクリートの養生条件

養生条件	材齢(日)			事例ケース		
	0	1	7	① 構造物	② モデル	③ 供試体
養生なし						○
マット(標準)	■	■	■	○	○	○
ゲル	■	■	■	○	○	○
ゲル+マット	■	■	■	○	○	○
ゲル+散水	■	■	■	○	○	○

	湿潤マット養生
	ゲル養生
	散水養生

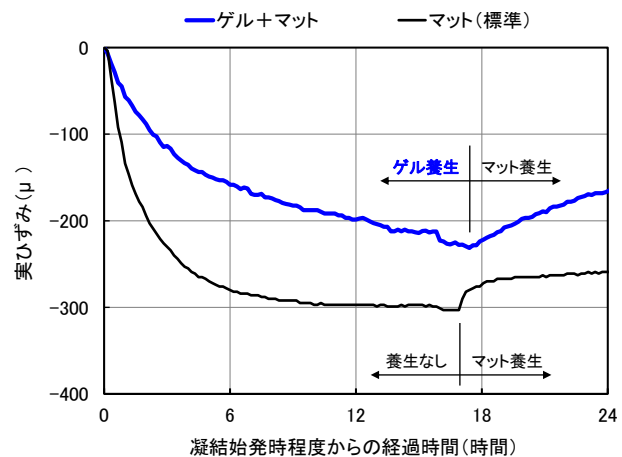


図-6 コンクリート表層部の実ひずみの経時変化

水分センサは、出力電圧率（基準点の出力電圧値に対する率）により水分の挙動を相対的に評価するものである。本検討では、コンクリートの含水状態を定量的に評価するため、硬化した後の試験体の一部を採取して含水率（実測値）を測定し、この含水率と出力電圧率との関係（図-7参照）を用いて養生期間中の見かけの含水率を求めた。なお、前記のコンクリートの含水率（実測値）は、材齢14日以降の試験体に水を散布し、コンクリートが乾燥する過程で表層部のサンプリングを行い、105℃の乾燥炉による乾燥前後の質量差から算定した。以上のような手法により求めたコンクリート表層部の見かけの含水率の経時変化を図-8に示す。養生なしの場合はブリーディング終了直後から含水率が低下する傾向を示すのに対し、ゲル養生を行った場合、ゲルが湿潤状態である24時間後程度までは一定の値を保持しており、極初期材齢におけるコンクリートの保水性が向上することが認められた。なお、図中には、高周波容量式のコンクリート水分計で測定したコンクリート表面の含水率も併記しているが、概ね見かけの含水率と合致しており、本検討で行った計測手法により適切な評価がなされていたものと考えられる。

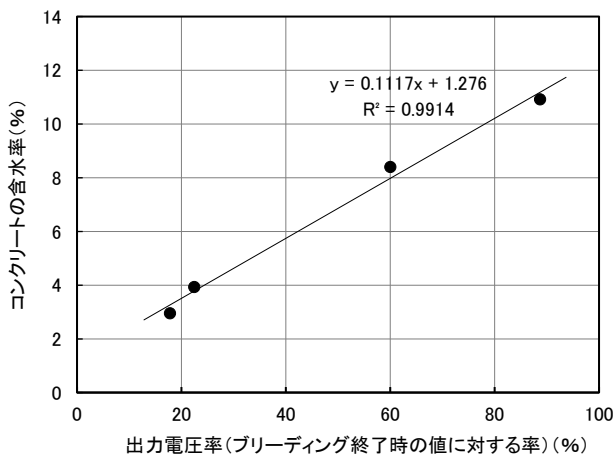


図-7 出力電圧率とコンクリートの含水率の関係

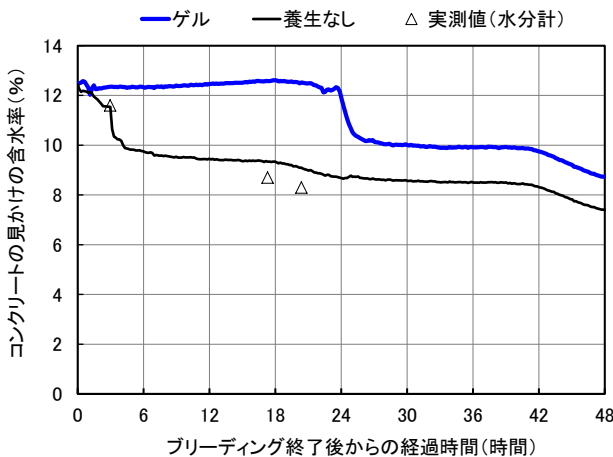


図-8 コンクリートの見かけの含水率の経時変化

(3) 硬化品質の改善

コンクリート表層部の圧縮強度に及ぼす影響を確認するため、モデル試験体（CASE①～③，φ100×110mm，上面のみ養生・乾燥）による圧縮強度試験を行った。各養生方法における、標準養生の圧縮強度に対する強度比を図-9に示す。ゲル養生の後にマットや散水による湿潤養生を行った場合、標準養生に比べて圧縮強度が増加する傾向を示し、特にゲル養生とマット養生を併用した条件では10%程度の増加が認められた。また、本検討の範囲では、ゲル養生のみを行った場合についてもマット養生と同等以上の強度発現性が確認された。これらの結果より、室内実験と同様、実施工においてもゲル養生がコンクリート表層部の強度増加に効果的であることが明らかとなった。

また、実構造物における養生効果を確認するため、CASE③の部材上面において、トレント法による透気試験と超音波法による伝播速度試験（表面波）を行った。それぞれの結果は図-10、図-11のとおりであり、ゲル養生を行った場合、特にマットや散水による湿潤養生を併用した場合は透気係数が小さく、超音波伝播速度が速くなる傾向を示した。透気係数や超音波伝播速度は、コン

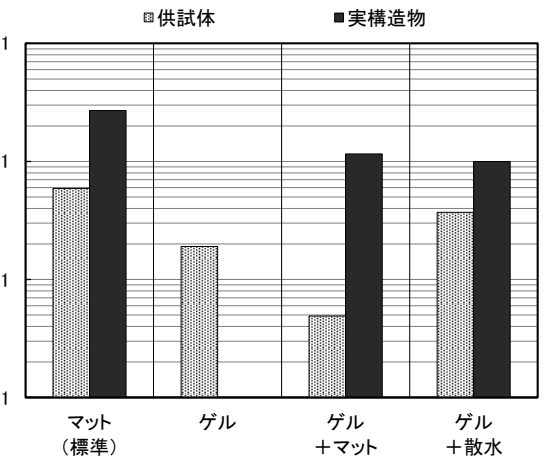
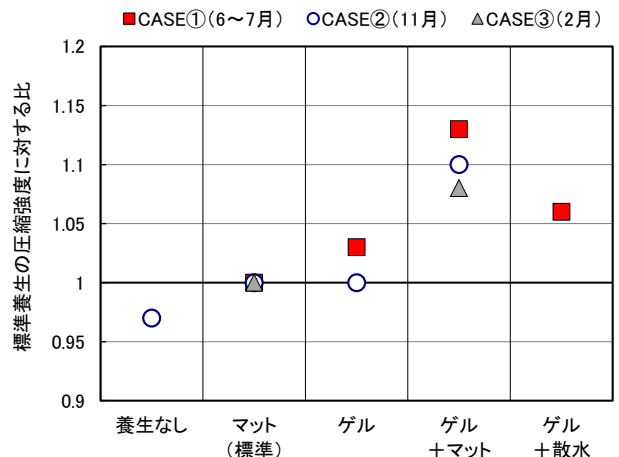


図-10 コンクリート表層部の透気係数

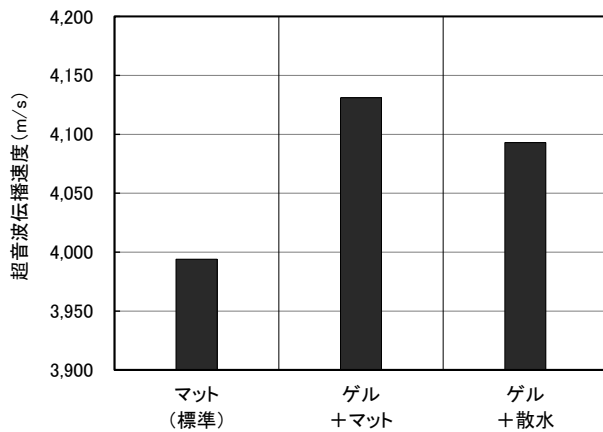


図-11 コンクリート表面の超音波伝播速度

クリートの強度特性や耐久性と関連のあることが知られており、実構造物においてもモデル試験体と同様、ゲル養生によるコンクリートの品質の向上効果が得られたものと推察される。

6. まとめ

コンクリートの初期養生に生分解性吸水高分子ゲルを用いた場合の効果について検討した結果、以下のような知見が得られた。

- (1) ゲル養生を行った場合のコンクリートの水分損失量は、養生なしの場合に比べて小さくなる。特に、ゲルが残留している間のコンクリートの保水性が向上するため、極初期材齢におけるコンクリート

の乾燥が抑制できる。

- (2) ゲル養生を行った場合のコンクリート表層部の収縮ひずみは、標準養生の場合に比べて小さくなる。
- (3) 養生なしの場合、コンクリートの含水率はブリーディング終了直後から低下するのに対し、ゲル養生を行った場合、ゲルが残留している間は一定の値を保持し、極初期材齢におけるコンクリートの保水性が向上する。
- (4) 室内実験および実施工での検証実験の何れにおいても、ゲル養生と標準養生を併用した場合のコンクリート表層部の圧縮強度は、標準養生の場合に比べて大きくなった。
- (5) ゲル養生と湿潤養生（標準養生、散水養生）を併用した場合、標準養生に比べてコンクリート表層部の透気係数は小さく、超音波伝播速度は速くなるため、耐久性の向上も期待できる。

参考文献

- 1)竹中寛, ほか: 初期材齢における養生条件がコンクリートの品質に及ぼす影響, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.63, No.5, pp.597-598, 2008.8
- 2)竹中寛, ほか: 生分解性吸水高分子ゲルを用いた養生効果に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.66, No.5, pp.689-690, 2011.8
- 3)笠井哲郎, ほか: 生分解性吸水高分子ゲルを用いた養生効果に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.34, No.1, pp.1882-1887, 2012.6
- 4)加藤満, ほか: 生分解性吸水高分子ゲルを用いた防波堤上部工コンクリートの初期養生, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.67, No.6, pp.729-730, 2012.8