

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

コンクリートが、硬化の開始前後から湿潤養生を行うまでの間に急激な乾燥を受けた場合、乾燥に伴う表層部のひび割れや品質の低下が懸念される。そこで、著者らは、このような初期材齢における乾燥を効果的に抑制するため、「生分解性吸水高分子ゲル養生」と称する新たな湿潤養生の工法を考案し、現在、実施工への普及を進めている。本稿では、当該工法の適用事例の紹介と、現場の検証試験により明らかとなった、コンクリートの乾燥収縮の抑制効果や、表層部の硬化品質の改善効果について述べる。

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

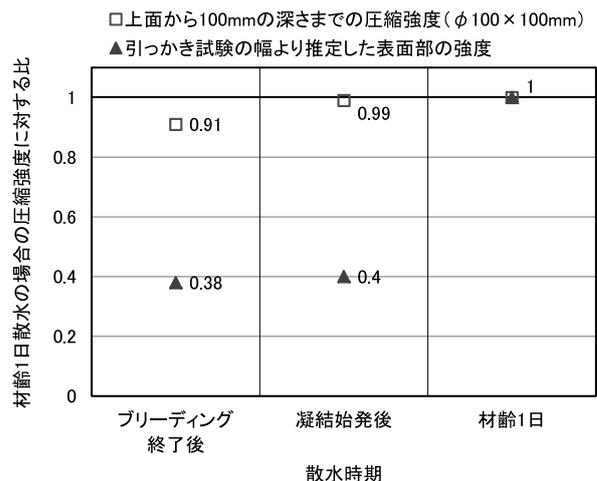
1. はじめに

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。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、硬化過程における養生水が不足し、強度や水密性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いスラブ状の部材の場合、その上面は、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）。また、極初期材齢での養生を目的とする③についても、弊社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かったといえる。



写真—1 湛水（散水）時期によるコンクリート表面の美観の違い



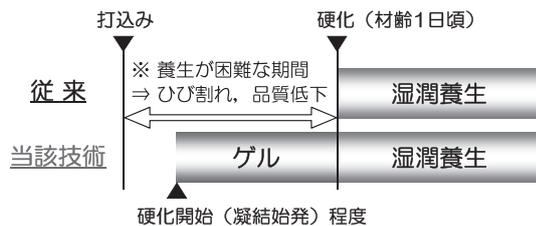
図—1 湛水（散水）時期がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

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、

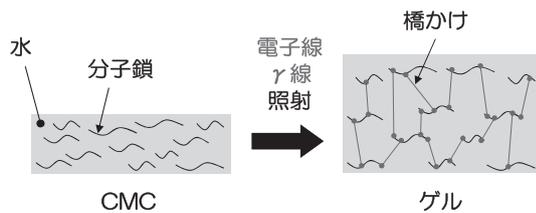
その効果についてこれまで検討を進めてきた^{2)~4)}。本稿では、当該工法を適用した施工事例の紹介と、現場の検証試験で確認された、ゲル養生がコンクリートの収縮や硬化後の品質に及ぼす影響について述べる。

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、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（図一2）。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であり（図一3）、吸水性や形状保持性に優れる（写真一2）。コンクリートの養生には、このゲルを水で膨潤し、ペースト状に加工したものを使用する。



図一2 生分解性吸水高分子ゲル養生の概要図



図一3 生分解性吸水高分子ゲルのイメージ



写真一2 吸水後のゲル

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. 施工事例

ここで、ゲル養生を適用した港湾構造物の施工事例について紹介する。

はじめの事例（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散布用ノズルを用いて散布した（写真一3）。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、結果的に、ゲル養生を行った箇所にひび割れは認められなかった。



写真一3 ゲルの散布完了後の状況（CASE①）

次の事例（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、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、効率的に散布することができた（写真一4）。

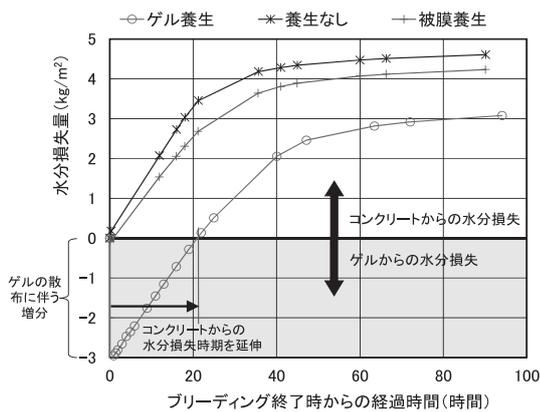


写真一 4 ゲルの散布状況 (CASE ②)

4. 生分解性吸水高分子ゲルの養生効果

(1) 室内試験における極初期材齢の水分逸散

温度 20℃，相対湿度 40% の養生環境における，コンクリートの試験体 (W/C = 55%，L290 × B164 × H85 mm，上面養生・乾燥) の水分損失量を図一 4 に



図一 4 コンクリートの水分損失量

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，比較のために行ったパラフィン系の被膜養生についても，養生なしに比べて水分損失量が 10% 程度低減するが，その効果は小さい。一方，ゲル養生の場合は，水の損失速度は養生なしおよび被膜養生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% 程度低減した。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考えられ，この効果が，実際の施工環境におけるコンクリートの収縮や硬化後の品質に及ぼす影響について検証した。

(2) 検証試験の概要

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 (CASE ③) を加え，計 3 件の工事にて実施した。各事例のコンクリートの配合と環境条件は表一 1 に示すとおりである。また，比較検討した養生条件は表一 2 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」では各種埋込み型のセンサや強度試験などで評価を行った。

表一 1 コンクリートの配合と環境条件

事例ケース	コンクリートの配合			コンクリートの打設・養生環境 (外気温)
	呼び強度	W/C (%)	セメント	
CASE ①	18	63.5	BB	屋外 6 ~ 7 月 (16 ~ 34℃)
CASE ②	24	54.0	BB	屋外 11 月 (7 ~ 24℃)
CASE ③	18	63.5	BB	屋外 2 月 (-2 ~ 20℃)

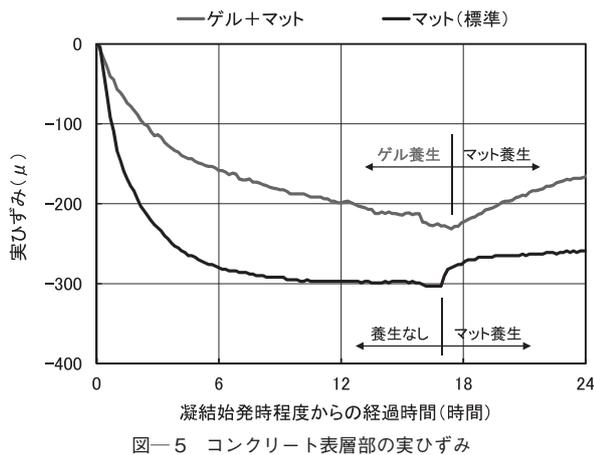
表一 2 コンクリートの養生条件

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

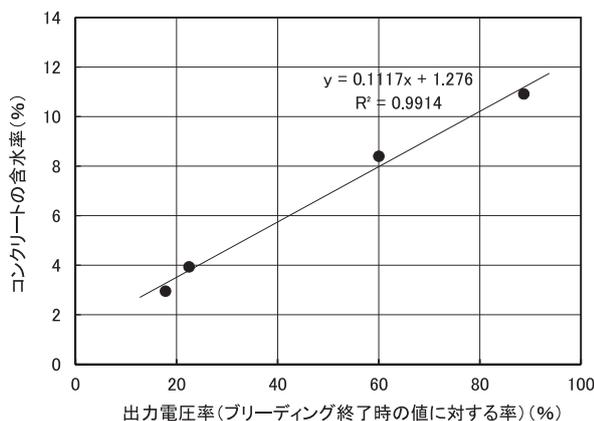
	湿潤マット養生
	ゲル養生
	散水養生

(3) 乾燥収縮の抑制

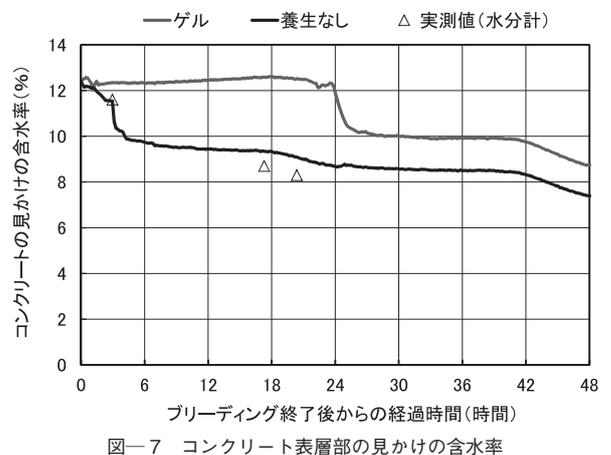
モデル試験体 (CASE ③, L290×B164×H85 mm, 上面養生・乾燥) の表面から 10 mm の深さにモールドゲージを設置し、コンクリート表層部の実ひずみ(収縮ひずみ)を計測した。その結果、ゲル養生を行った場合、極初期材齢の養生を行わない標準的な養生(マット)に比べて表層部の収縮ひずみが小さくなる傾向を示し、特に、経過時間が6時間前後にその傾向は顕著となり、ひずみの差異は 150 μ 程度であった (図-5)。



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 20 mm の深さ)して計測を行った。計測で使用した水分センサは、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-6)を用いて養生期間中の見かけの含水率を求めた。なお、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を比較した結果、養生なしの場合はブリーディング終了直後から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(図-7)。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、前述し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。



(4) 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 (CASE ①~③, φ 100 × 110 mm, 上面養生・乾燥) による圧縮強度試験を行った。各ケースにおいて、標準的な養生(マット)の圧縮強度に対する強度比でそれぞれ比較すると、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得られており、当該工法が、コンクリート表層部の強度増進にも効果的であることが明らかとなった(図-8)。

また、実構造物における養生効果を確認するため、CASE ③の部材上面において、トレント法による透気性試験と超音波法による伝播速度試験を行った。その結果、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

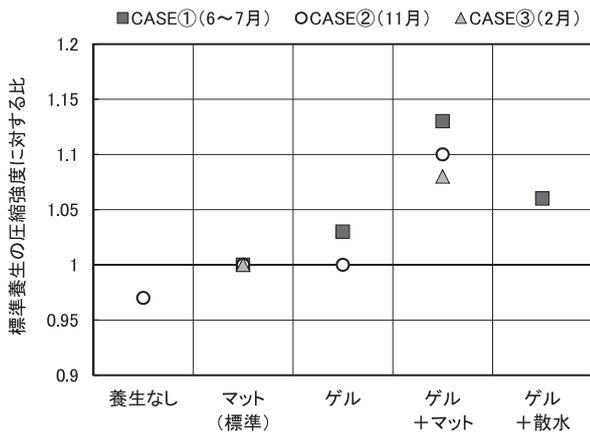


図-8 養生方法がコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響

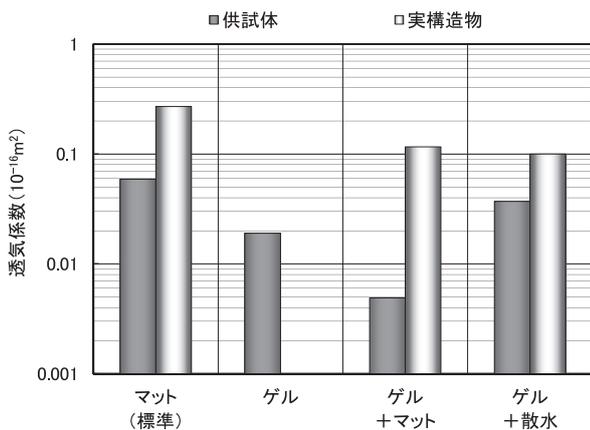


図-9 養生方法がコンクリートの透気係数に及ぼす影響

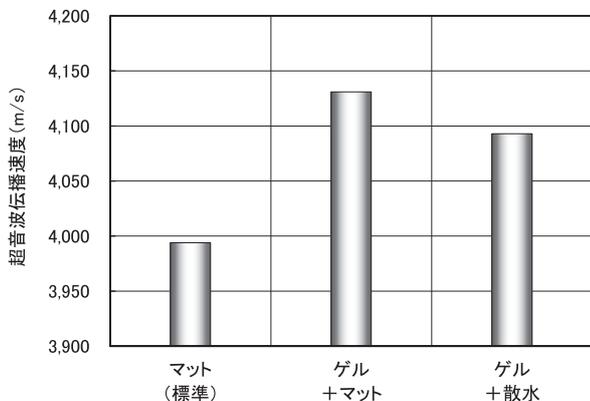


図-10 養生方法がコンクリートの超音波伝播速度に及ぼす影響

波伝播速度が速くなる傾向を示した (図-9, 10)。透気係数や超音波伝播速度は、コンクリートの強度特性や耐久性と相関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。

5. おわりに

以上のように、コンクリートの硬化が開始する前後の極初期材齢において、コンクリートの上面に生分解性吸水高分子ゲルを散布する新たな養生工法「名称：GETT キュア」を適用することで表層部の乾燥が抑制され、乾燥に起因する収縮の制御や、硬化後の品質の向上に効果的であることがわかった。今後も、施工実績を増やして当該工法の普及を推進するとともに、施工条件に応じてより効果的、効率的な工法となるよう、改良を図る予定である。

謝 辞

なお、当該工法は、東海大学との共同研究により開発した技術であり、ご指導を頂いた笠井教授に対してここに感謝申し上げます。

J C M A

【参考文献】

- 1) 竹中寛ら：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) 竹中寛ら：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，竹中寛，安田正雪，末岡英二：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) 加藤満ら：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

【筆者紹介】

竹中 寛 (たけなか ひろし)
 東洋建設(株)
 総合技術研究所 美浦研究所 材料研究室
 主任研究員

