

報告 コンクリート構造物の垂直面に適用する噴霧養生手法の検討

宮沢 明良*1・田中 秀周*2・村松 道雄*1・羽瀨 貴士*3

要旨: コンクリートの湿潤養生手法について、水平面（天端面）の湿潤状態を保つことは比較的容易であるが、垂直面に対して確実に湿潤状態を保つことは難しい場合が多い。そこで、垂直面に対しても水平面と同等もしくはこれに近い養生効果を得る湿潤養生手法を確立することを目的として、各種の養生手法が表層品質に与える影響を把握するための小型供試体を用いた室内実験を行い、そこで水中養生に近い湿潤養生効果が確認された噴霧養生手法の実施工規模での効果を確認するための実大現場実験を行った。その結果、十分な水を供給する噴霧養生手法が実大規模のコンクリートに対しても有効であることが確認された。

キーワード: 表層品質, 湿潤養生, 透気係数, 透水量, 塩化物イオン浸透深さ

1. はじめに

コンクリート構造物の表層品質^{1), 2)}の確保のためには、施工段階においては打込みや締固めなどの方法とともに養生方法の及ぼす影響は大きい。とくに初期の湿潤養生は重要であり、湿潤状態をできるだけ長く保つことはコンクリートの表層の緻密性の向上に大きく寄与する。

コンクリートの湿潤養生手法については、水平面（天端面）に対しては湛水養生や散水養生（湿潤マット養生）が確実に湿潤状態を保ち表層品質を確保するために有効な方法であると考えられるが、垂直面に対して確実に湿潤状態を保つことは難しい場合が多く、現場条件に応じて様々な工夫が必要となっている。そのため、水平面と同等もしくはこれに近い養生効果の得られる垂直面の湿潤養生手法の確立が望まれている。

そこで、各種の養生手法がコンクリートの表層品質に与える影響を把握するために、小型供試体を用いた基礎的な室内実験を実施した。ここでは、小型のコンクリート供試体に対して各種の養生手法を用いて養生し、所定の材齢において透気試験、透水量試験、長さ変化試験を実施して、各種の養生手法の湿潤養生効果を比較した。

さらに、室内実験において高い湿潤養生効果の確認された養生手法について、実施工規模での手法の適用性とその湿潤養生効果を確認するために、大型供試体を用いた実大実験を実施した。ここでは、実大規模の壁状供試体の側面に対して脱型後に湿潤養生を行い、所定の材齢において大型供試体の側面での透気試験を行って、湿潤養生の有無による表層品質の違いを確認した。また、大型供試体の打設と同時に小型のコンクリート供試体を作製し、同様の湿潤養生を行った後に、所定の材齢において透気試験、透水量試験、長さ変化試験、塩化物イオン浸透深さ試験を実施して、実施工規模での養生手法の湿潤養生効果を確認した。

2. 室内実験

2.1 実験概要

(1) コンクリート配合および使用材料

コンクリート配合を表-1、使用材料を表-2に示す。コンクリートはスランブ 12cm、水セメント比 52.4%の普通コンクリートとした。

(2) 供試体の寸法および作製

供試体の形状寸法は一辺が 15cm の立方体とし、型枠には木製型枠を使用した。コンクリートは型枠上面からハンドスコップを用いて打ち込み、小型棒状パイプレータ（棒径 25mm、振動数 200Hz）を用いて締固めを行った。全ての供試体は、同時に作製した。

(3) 養生方法

供試体の脱型は、一般のコンクリート施工における圧縮強度発現後の型枠取外し時期を想定して材齢 3 日とし、表-3に示す 7 ケースの養生（主に湿潤養生、気乾養生

表-1 コンクリートの配合

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gmax (mm)	単位量(kg/m ³)				混和剤 AE減水剤 (C×%)
					W	C	S	G	
12	4.5	52.4	44	20	157	300	798	1063	0.25

表-2 使用材料

種類	仕様
セメント C	普通ポルトランドセメント 密度 3.16 g/cm ³ , 比表面積 3280 cm ² /g
細骨材 S	山砂 表乾密度 2.60 g/cm ³ , 粗粒率 2.59
粗骨材 G	石灰碎石 表乾密度 2.70 g/cm ³ , 実積率 61.6%
AE減水剤 Ad	リグニンスルホン酸系 標準形(I種)

*1 東亜建設工業（株） 技術研究開発センター新材料・リニューアル技術グループ 主任研究員（正会員）

*2 東亜建設工業（株） 技術研究開発センター新材料・リニューアル技術グループ 研究員（正会員）

*3 東亜建設工業（株） 技術研究開発センター新材料・リニューアル技術グループ リーダー 博(工)（正会員）



写真-1 湿潤養生実施状況

を含む)を脱型後から7日間(材齢10日まで)実施した。ここで、G噴霧養生では、供試体側面の一面に対して1つの噴霧ノズルから平均粒径 $50\mu\text{m}$ のミストを3秒間噴霧することを15分間隔で断続的に実施した。養生の実施状況を写真-1に示す。7日間の湿潤養生終了後は、全ての供試体を同一の室内環境(室温:18~22℃,湿度:35~55%R.H.)に静置した。

(4) 試験項目および試験方法

試験項目および試験方法を表-4に示す。供試体の数量は、各試験の各養生条件に対して1体ずつであり、各試験には異なる供試体を使用した。また、養生面(試験の実施面)は、供試体作製時における側面の型枠面とし、脱型時の湿潤養生開始前に決定した。

2.2 実験結果

(1) 透気試験結果

湿潤養生終了後30日、60日、100日での透気係数の測定結果を図-1に示す。ここで、縦軸は各材齢におけるA気乾養生の透気係数に対する比率を表している。なお、図に示した値は各材齢において各供試体の試験面中央部の同一箇所を測定した3回の平均値であり、同一箇所での測定であるため3回の測定値に大きなばらつきは見られなかった。

各養生手法ともA気乾養生に対しては小さい値を示しているが、中でもB水中養生とG噴霧養生はそれぞれA気乾養生の透気係数の10%程度、20%程度と非常に小さい値を示した。

また、各養生手法とも養生終了後の日数経過により乾燥が進むため透気係数の値が大きくなる方向に変化した。B水中養生やG噴霧養生のように、コンクリートに十分な水を供給する湿潤養生手法が表層品質の確保にとても有効であることが分かる。また、今回の結果では、表面からの水分逸散を抑制する手法であるC湿空養生、Dビニールシート養生、F被膜養生剤塗布はいずれもB水中養生やG噴霧養生に比較して透気係数が大きくなり、水を供給する養生手法の有効性が確認された。なお、Eマット養生の値が比較的大きくなる傾向を示したが、この理由としてマット面がコンクリートに密着していなかったために十分な水分供給がなされなかった可能性が考え

表-3 各種の養生手法

記号	養生手法	実施内容
A	気乾養生	温度18~22℃,湿度35~55%RHにて養生
B	水中養生	供試体全体を20℃一定の養生水槽に浸漬
C	湿空養生	温度20℃,湿度100%RHにて養生
D	ビニールシート養生	供試体全体をビニールシートで覆い密封
E	マット養生	常に水を含ませた通常の養生マットを供試体天端面のみに設置
F	被膜養生剤塗布	供試体側面の一面のみに塗布量 $150\text{g}/\text{m}^2$ にて塗布
G	噴霧養生	供試体側面の一面のみに一定の時間間隔で噴霧ノズルから散水

※ B, C以外は, Aと同様の室内環境にて養生を実施

表-4 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	実施時期・頻度
透気試験	トレント法:透気試験 四電極法:含水補正	湿潤養生終了後 30日・60日・100日:計3回
透水量試験	JIS A 6909 (透水試験B法)	湿潤養生終了後31日 計1回
長さ変化試験	JIS A 1129-2 (コンタクトゲージ 方法)	脱型後(湿潤養生開始前) 湿潤養生期間中:開始・3日・終了 湿潤養生終了後:1回/週

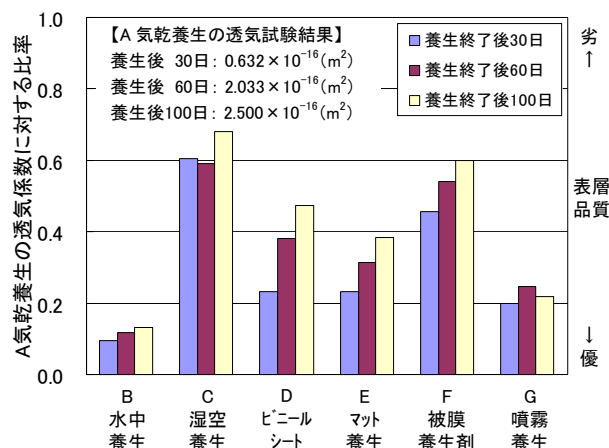


図-1 透気試験結果 (室内実験)

られ、マット養生を垂直面に適用する場合はとくに密着性に配慮する必要があると考えられる。

(2) 透水量試験結果

湿潤養生終了後31日での透水量試験結果を図-2に示す。ここで、縦軸は図-1と同様にA気乾養生の24時間後累計透水量に対する比率を表している。

A気乾養生を除く養生手法の透水量はいずれもA気乾養生の45~60%程度にまで小さくなったが、その中でもB水中養生、Eマット養生、G噴霧養生の透水量は比較的小さく、これらに対してC湿空養生、Dビニールシート養生、F被膜養生剤の透水量が比較的大きくなった。

この傾向は透気係数の場合とほぼ同じであり、透水量(水密性)に関しても、コンクリートに水を供給する湿潤養生手法である水中養生、噴霧養生、マット養生の効果が大きいことが確認された。

そこで、養生終了後30日での透気係数と養生終了後31日での透水量の関係を図-3に示す。透気係数が小さいほど透水量が少ない傾向となっており、両者には相関があることが確認された。

これらの結果から、表面からの水分逸散を抑制する養生手法(湿空養生、ビニールシート養生、被膜養生剤塗布)よりもコンクリートに水を供給する養生手法(水中養生、マット養生、噴霧養生)の方がコンクリート表層部の緻密化および表層品質の向上への効果が大きいと考えられる。

(3) 長さ変化試験結果

湿潤養生終了後56日までの長さ変化試験結果を図-4に示す。養生終了時(材齢7日)の収縮ひずみは、乾燥開始材齢が最も早いA気乾養生が最大となり、脱型後7日間の湿潤養生を行った6ケースの中ではB水中養生が最小であった。この傾向は、養生終了後56日においても同様であった。その他の養生手法は養生終了時において収縮ひずみに差異が見られ、それ以降ではほぼ同様に収縮ひずみが増加する傾向を示した。これらの中ではG噴霧養生の収縮ひずみが最も小さく、その値はB水中養生に最も近かった。

これらのことから、水中養生に比較的近い湿潤養生効果の期待できる手法としてG噴霧養生が有効と考えられる。よって、次に示す実大実験には、噴霧養生手法を適用することとした。なお、Eマット養生も透気性や水密性の確保の面では有効であったが、現場条件によっては実構造物での鉛直面への密着性の確保に課題があることが想定されたため、今回の実大実験の対象外とした。

3. 実大実験

3.1 実験概要

(1) コンクリート配合および使用材料

コンクリート配合を表-5に、使用材料を表-6に示す。使用したコンクリートは、スランプ12cm、水セメン

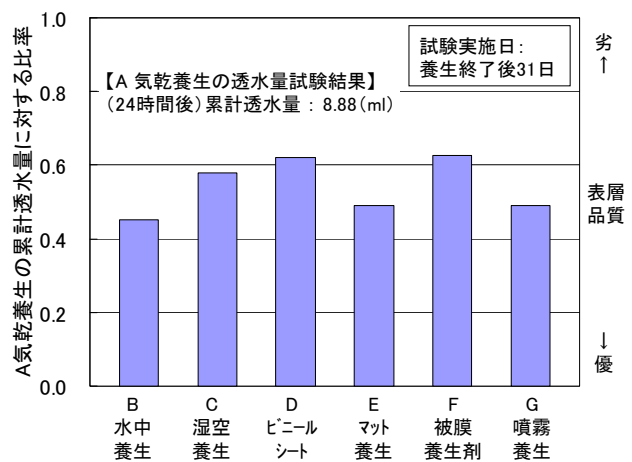


図-2 透水量試験結果 (室内実験)

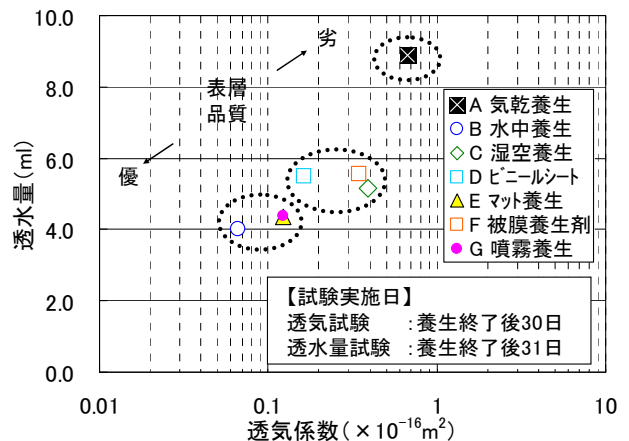


図-3 透気係数と透水量の関係 (室内実験)

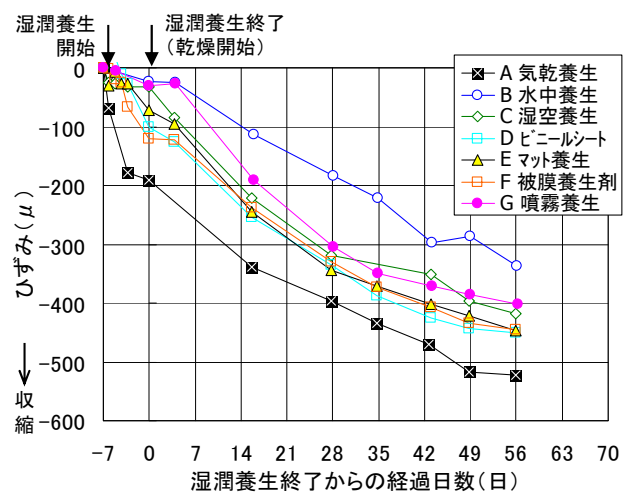


図-4 長さ変化試験結果 (室内実験)

ト比 48.4%のレディーミクストコンクリートとした。

(2) 供試体の形状と打設条件

大型供試体は部材厚：400mm、高さ：3.5m、延長：10.0mで、フーチング上に打設される鉄筋コンクリートの壁状供試体である。打設時期は6月中旬であり、打設時の外気温は27.0℃であった。また、大型供試体のコンクリート打設と同時に、□-150×150×530mmと□-100×100×400mmの小型供試体を作製した。

(3) 噴霧養生方法と環境条件

大型供試体と小型供試体は千葉県内の屋外にて打設し、材齢11日において脱型した。当初は、室内実験と同様に材齢3日で脱型する計画としていたが、荒天等の諸事情により延期せざるを得ない状況であった。

その後、大型供試体の側面の一部(1.5×1.4m)および小型供試体の側面の一面に対して2種類の噴霧ノズルを用いた噴霧養生(Case1, Case2)を行った。噴霧養生の実施期間は7日間とした。また、比較対象として湿潤養生を実施しない気乾養生(Case0)のケースを設定した。

養生ケースは以下の3ケースである。

- ・Case0：気乾養生（屋外に静置）
- ・Case1：噴霧養生（粒径小：平均粒径20～30μm）
- ・Case2：噴霧養生（粒径大：平均粒径45～60μm）

Case1およびCase2の噴霧養生は各ケースとも以下の条件により実施した。噴霧養生状況図を図-7に示す。

- ・対象養生面とノズルの離隔距離：15cm
- ・ノズルの配置間隔：縦方向20cm、横方向15cm
- ・ノズル使用数量：73個
- ・1回の噴霧時間：Case1；20秒間、Case2；10秒間
- ・噴霧時間間隔：15分間隔

噴霧装置は、ノズルを配置した内径12.5mmの鋼製配管に水圧ポンプ（最高吐出圧力6.0MPa）で水を圧送して各ノズルから噴霧させる簡便な構造である。

両ケースの1回の噴霧時間および噴霧時間間隔は、時間あたりの噴霧水量がほぼ同じになるように設定した。なお、この噴霧方法は、両ケースとも噴霧養生の対象範囲(1.5×1.4m)の全面を常に濡れた状態に保つことのできるように設定した。

7日間の噴霧養生終了後は、大型供試体は屋外にそのまま暴露される条件、また小型供試体は温度20℃、湿度60%の室内条件において静置した。

(4) 試験方法

試験項目および方法を表-7に示す。供試体の数量は、各試験の各養生条件で1体ずつであり、各試験には異なる供試体を使用した。また、養生面（試験の実施面）は、供試体作製時における側面の型枠面とし、脱型時の湿潤養生開始前に決定した。実大実験の供試体における試験の実施位置を図-8に示す。

表-5 コンクリートの配合（実大実験）

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	Gmax (mm)	単位量(kg/m ³)					混和剤 AE減水剤 (C×%)
					W	C	S	G1	G2	
12	4.5	48.4	41.4	20	173	358	721	681	373	1.0

表-6 使用材料（実大実験）

種類	仕様
セメント C	高炉セメントB種 密度 3.04 g/cm ³ ，比表面積 3840 cm ² /g
細骨材 S	山砂，砕砂 混合砂(混合比率 60:40) 表乾密度 2.62 g/cm ³ ，粗粒率 2.66
粗骨材 G1	砕石 表乾密度 2.69 g/cm ³ ，実積率 60.9%
粗骨材 G2	砕石 表乾密度 2.74 g/cm ³ ，実積率 59.9%
AE減水剤 Ad	ポリカルボン酸系 遅延形 (I種)

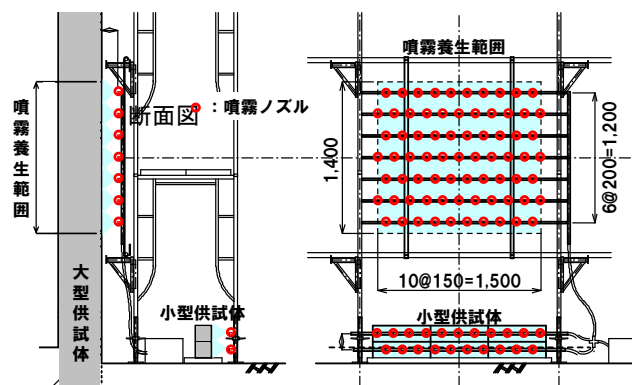


図-7 噴霧養生状況図（実大実験）

表-7 試験項目および方法（実大実験）

試験項目	試験方法	実施時期・頻度
透気試験	トレント法:透気試験	実大構造物：計3回 噴霧養生終了後 14, 30, 60日
	四電極法:含水補正	供試体：計5回 噴霧養生終了後 8,21,35,59,100日
透水量試験	JIS A 6909 (透水試験B法)	養生終了後101日 計1回
長さ変化試験	JIS A 1129-2 (コンタクトゲージ 方法)	脱型後(噴霧養生開始前)
		噴霧養生期間中：開始・3日・終了 噴霧養生終了後：1回/週
塩化物イオン 浸透深さ試験	JIS A 1171	噴霧養生終了後176日：計1回 (塩水浸漬期間56日)

3.2 実験結果

(1) 透気試験結果

透気係数の測定結果を図-9 に示す。図の左側には小型供試体、右側には大型供試体の測定結果を示している。また、小型供試体および大型供試体とも、同一材齢において試験面での異なる3点を測定しており、それらの平均値、最大値、最小値を示している。

同一材齢における同一供試体でも、3点の測定値にはばらつきが見られる。このばらつきを比較する変動係数は、Case0（気乾養生）では0.42、Case1、Case2（噴霧養生）ではそれぞれ0.29、0.24となり、気乾養生よりも噴霧養生を実施した場合の方が小さくなった。一般には表層の品質が高いほど透気係数のばらつきは小さい傾向にあるりとされており、この結果から噴霧養生による表層品質の向上効果が確認できた。

また両者とも、材齢が経過するにしたがって透気係数の値が大きくなる傾向は室内実験の結果と同様に確認された。また、Case0（気乾養生）よりもCase1、Case2の噴霧養生が小さい値を示しており、噴霧養生による養生効果が確認できた。ただし、先に示した室内実験の結果と比較すると、気乾養生に対する噴霧養生の場合の透気係数の低減効果はかなり小さいようであった。この理由として、実大実験での型枠存置期間が11日間と長かったこと（室内実験では3日間）が考えられる。この点からは、型枠存置期間を長くすることはコンクリートの表層品質を向上させる上で有効であることが再確認されたとも考えられる。

ここで、小型供試体と大型供試体の比較では、屋外暴露により風や乾燥の影響を受けやすい大型供試体の方が、気乾養生と噴霧養生での透気係数の差が明確になっていた。これに対し、小型供試体では養生終了後100日において気乾養生と噴霧養生での透気係数の差が明確になる傾向を示してきた。いずれにしろ、噴霧養生の実施によってコンクリートの透気係数を小さくし表層の緻密度を向上させる効果は、屋外の厳しい環境条件においてより大きかったと考えられる。

また、Case1（粒径小）とCase2（粒径大）を比較すると、小型供試体ではCase1の方が小さい値を示したが、大型供試体ではCase1の方が大きい値を示す結果となった。ただし、これが有意な差異であるかどうかは現時点では明確ではない。

(2) 透水量試験結果

養生終了後101日での小型供試体に対する透水量試験の結果を図-10 に示す。24時間後の累計透水量はCase0（気乾養生）が最大であり、噴霧養生を行ったCase1、Case2の透水量はそれぞれCase0の76%、58%となり、気乾養生と比べて小さい値を示した。これにより、噴霧

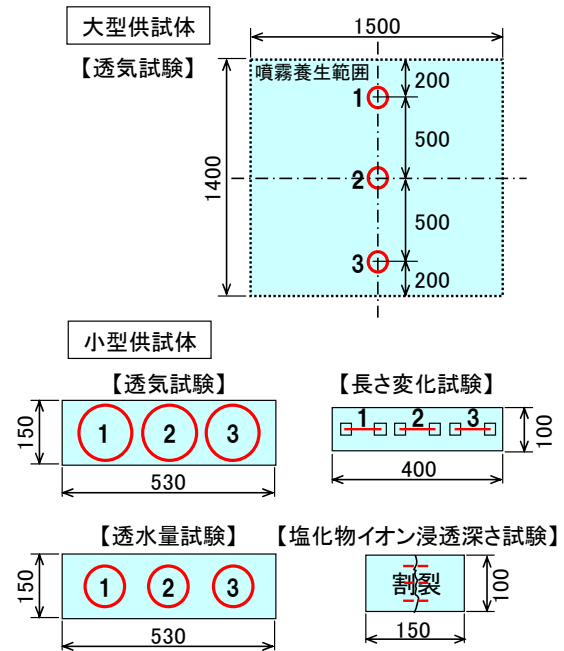


図-8 試験実施位置図（実大実験）

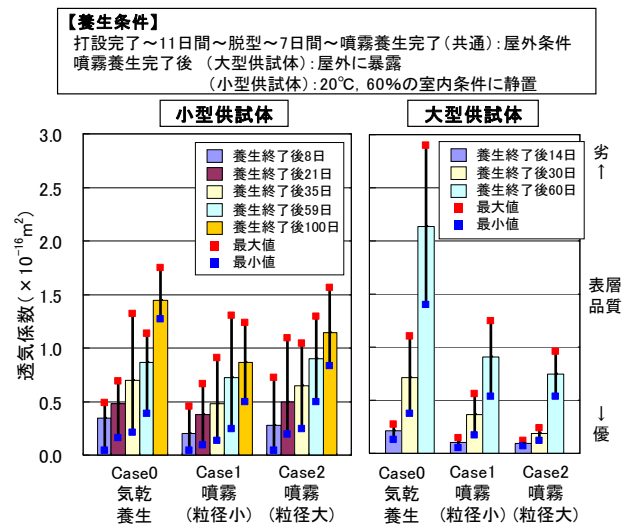


図-9 透気試験結果（実大実験）

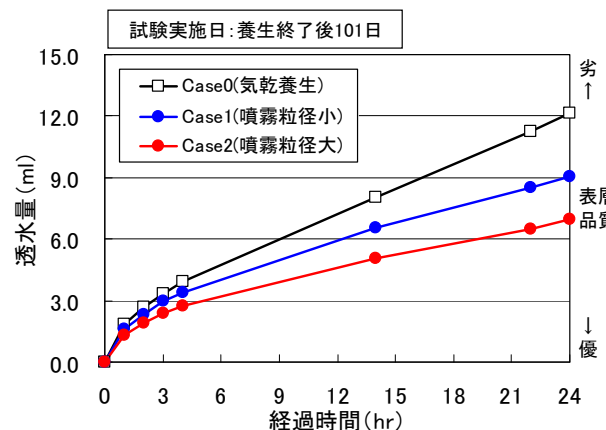


図-10 透水量試験結果（実大実験）

養生によりコンクリート表層の水密性が向上することが確認できた。

しかし、Case1（粒径小）とCase2（粒径大）を比較すると、Case1の方が透水量は多くCase2よりも水密性が劣る傾向となった。前述の透気試験の結果では小型供試体の透気係数はCase1の方が小さい値であったが、このように両試験の結果が表層の緻密度に関して反対の結果となった点については今後の検討が必要である。

(3) 長さ変化試験結果

長さ変化試験の結果を図-11に示す。ここでは、脱型後（噴霧養生開始）から噴霧養生終了後60日までの期間で試験を行った。脱型後7日間の噴霧養生を実施したCase1とCase2は、各材齢においてほぼ同程度の収縮ひずみを示している。これらを同一材齢においてCase0（気乾養生）と比較すると、Case1、Case2は噴霧養生によって乾燥開始材齢が遅くなっているため、収縮ひずみは抑制されていた。

(4) 塩化物イオン浸透深さ試験結果

塩化物イオン浸透深さ試験結果を図-12に示す。試験体は小型供試体を□-150×150×100mmにカットして、養生面（試験の実施面）の一面を除いて全てエポキシ樹脂で被覆したのちに試験に供した。3%濃度のNaCl水溶液への浸漬は噴霧養生終了後120日にて開始し、56日間浸漬した。

その結果、塩化物イオンの浸透深さは、Case0（気乾養生）と比較するとCase1（粒径小）では2mm、Case2（粒径大）では1.5mm程度の抑制効果が確認できた。このことから、噴霧養生を行うことにより気乾養生と比べて表層の緻密度が向上し、物質移動抵抗性（塩化物イオンの浸透抵抗性）が向上することが確認できた。

4. まとめ

コンクリート構造物の垂直面に対しても水平面と同等もしくはこれに近い養生効果を得る湿潤養生手法を確立することを目的として、実験的に各種の養生手法が表層品質に与える影響を検討した。本検討により得られた知見を以下に示す。

- (1) コンクリートの表層品質を向上させるための湿潤養生の効果は、コンクリート表面からの水分逸散を抑制する養生手法よりも、コンクリートに十分な水を供給する養生手法の方が大きいことが認められた。
- (2) コンクリートの垂直面に対する湿潤養生として、脱型後から一定の時間間隔で所定量のミストを噴霧する養生手法（噴霧養生）を適用してコンクリートに十分な水を供給することにより、実大規模のコン

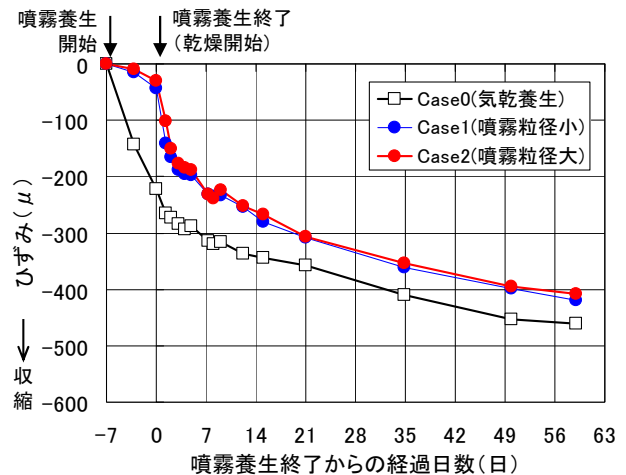


図-11 長さ変化試験結果（実大実験）

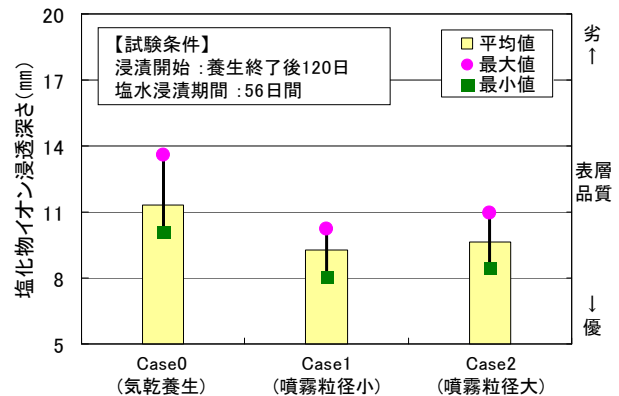


図-12 塩化物イオン浸透深さ試験結果（実大実験）

クリート構造物に対しても表層品質を向上させる効果が期待できることが確認できた。

参考文献

- 1) 土木学会コンクリート委員会構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会：コンクリート技術シリーズ 80, (335 委員会) 成果報告書, 土木学会 (2008)
- 2) 土木学会コンクリート委員会歴代構造物品質評価／品質検査制度研究小委員会：コンクリート技術シリーズ 87, (216 委員会) 成果報告書, 土木学会 (2009)