

論文 貼付型保水・保温養生シートを用いた長期間養生がコンクリートの耐久性に与える影響

田中 博一*1・Phan Quoc*2・皆川 浩*3・久田 真*4

要旨：長期間養生が可能な貼付型保水・保温養生シートを用いた養生がコンクリートの耐久性に与える影響を定量的に把握するため、養生期間および環境条件を要因として検討した。その結果、貼付型保水・保温養生シートを用いて長期間養生を行うことで、コンクリート表層の緻密性が向上し、表面透気性、表面吸水性が低下すること、中性化速度係数および塩化物イオン浸透深さが小さくなることを明らかにした。さらに、長期間養生によるコンクリートの耐久性向上を非破壊で評価するには、表面透気試験よりも表面吸水試験の方が適している可能性があることを明らかにした。

キーワード：貼付型保水・保温養生シート、長期間養生、表面透気、表面吸水、中性化、塩化物イオン

1. はじめに

コンクリート構造物は、水分、二酸化炭素、塩化物イオンなどの劣化因子が表面から侵入することによって、中性化あるいは塩害による鉄筋腐食やアルカリシリカ反応による膨張などにより劣化する。これらの劣化因子の侵入に対する抵抗性を向上させるためには、コンクリート表層においてセメントの水和反応を十分に進行させ、緻密化させることが重要である。コンクリート表層の品質は養生の影響を受けやすい¹⁾ため、最近では、給水養生^{2), 3)}や水分の逸散を抑制する養生⁴⁾などの新たな工法が開発されている。給水養生は、水和反応に必要な水分を外部から供給できるため、非常に有効であるが、設備や大きな作業労力が必要、比較的高価、長期間養生が困難、などの課題が挙げられる。一方、セメントが完全に水和するのに必要な水量はセメント量の約40%である⁵⁾ため、水セメント比50%~60%程度の場合、水和反応に必要な水量よりも多くの余剰な水を含んでおり、外部から給水しなくても水分の逸散を抑制することで、コンクリート表層におけるセメントの水和反応が十分に進行することを期待できる。そこで、筆者らは、ポリエチレン製の気泡緩衝材にアクリル系の接着剤を用いてシール加工した貼付型保水・保温養生シートを新たに開発した。貼付型保水・保温養生シートを用いた養生は、脱型後にコンクリート表面に貼り付けるのみであり、比較的安価で施工も容易、長期間養生が可能であるなどの利点がある。貼付型保水・保温養生シートにより、脱型後の水分逸散を抑制できるだけでなく、気泡緩衝材により型枠と同等以上の保温効果⁶⁾も期待できる。本研究では、貼付型保水・保温養生シートの水分逸散抑制による

効果を把握するため、養生期間および環境条件がコンクリートの耐久性に与える影響を検討した。

2. 試験概要

2.1 試験ケース

試験ケースを表-1に示す。要因は、環境条件、養生方法、養生期間とした。環境条件は、温度20℃、相対湿度60%一定の室内および宮城県亘郡山元町の海岸近くの屋外(養生期間中の平均気温3.6℃(-3.2~12.2℃)、平均湿度60%(41~83%))とした。養生方法は、貼付型保水・保温養生シートおよび型枠存置とした。貼付型保水・保温養生シートは、写真-1に示すようにポリエチレン製の気泡緩衝材にアクリル系の接着剤を用いてシール加工した養生シートであり、脱型後のコンクリート表面に直接貼り付けるものである。密着して貼り付けることでコンクリート内部の水分逸散を抑制することを期待できる。型枠には、日本農林に適合した表面加工されたコンクリート型枠用合板を用い、剥離剤は使用していない。養生期間は、土木学会コンクリート標準示方書で示されている湿潤養生の標準期間を基準に、環境条件ご



写真-1 貼付型保水・保温養生シート貼り付け状況

*1 清水建設(株)技術研究所社会基盤技術センター 主任研究員 博(工) (正会員)

*2 清水建設(株)土木技術本部基盤技術部 博(工) (正会員)

*3 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻准教授 博(工) (正会員)

*4 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻教授 博(工) (正会員)

とに、標準期間よりも短期間の1ケース、長期間の2ケース、合計4ケースとした。試験体には高炉セメントB種を用いているため、標準期間は、温度20℃の室内で7日、試験体製作時の外気温が5℃以上10℃未満であった屋外で12日とした。

2.2 使用材料および配合

室内試験体は、セメントに高炉セメントB種（密度3.04g/cm³）、細骨材に山砂（表乾密度2.62g/cm³、吸水率1.73%）、粗骨材に砕石（表乾密度2.65g/cm³、吸水率0.56%、最大寸法20mm）、混和剤にAE減水剤を用いた。屋外試験体は、セメントに高炉セメントB種（密度3.04g/cm³）、細骨材に砕砂と陸砂を容積比で7:3に混合させた混合砂（表乾密度2.65g/cm³、吸水率1.87%）、粗骨材に砕石（表乾密度2.69g/cm³、吸水率0.94%、最大寸法20mm）、混和剤にAE減水剤を用いた。示方配合を表-2に示す。室内と屋外では、骨材の種類は異なるが、セメントの種類、最大粗骨材寸法、水セメント比、空気量は同じとし、目標スランプは8cmとした。なお、標準水中養生の材齢28日における圧縮強度は、室内試験体で32.1N/mm²、屋外試験体で33.2N/mm²であり、ほぼ同等であった。

2.3 試験体の作製および養生方法

試験体形状は、幅800×高さ300×奥行き200mmとした。試験体製作および養生は、温度20℃、相対湿度60%一定の室内および温度、湿度が変化する屋外（宮城県亘郡山元町海岸付近）で実施した。室内試験体用のコンクリートは、パン型ミキサ（容量50L）で製造し、屋外試験体用のコンクリートは、市中のレディーミクストコンクリート工場にて製造した。

室内試験体は、コンクリート打込み後1日で脱型し、温度20℃、相対湿度60%一定の室内で所定の養生方法、養生期間で養生し、その後も室内に静置した。屋外試験体は、コンクリート打込み後2日で脱型し、コンクリート表面に雨の影響を直接受けないように屋根を設置した屋外で所定の養生方法、養生期間で養生し、養生後も屋外に静置した。その後、材齢58日に室内試験体と同じ室内に移動させた。なお、試験面以外はアルミ粘着テープを用いてシールした。

2.4 測定項目

(1) 圧縮強度試験

室内において表-1に示す養生方法、養生期間とした圧縮強度試験を実施した。圧縮強度の試験体形状は直径100×高さ200mmとした。温度20℃、相対湿度60%一定の室内で所定の養生方法、養生期間で養生し、その後も室内に静置して、材齢91日においてJIS A 1108に準じて圧縮強度試験を実施した。

(2) 表面透気試験

写真-2に示すダブルチャンバーを用いたTorrent法⁷⁾

表-1 試験ケース

No.	環境条件	養生方法	養生期間
1	室内 (20℃, 60%RH)	型枠存置	1日
2		貼付型 保水・保温 養生シート	7日*
3			28日
4			56日
5		型枠存置	7日*
6	屋外 (宮城県亘郡 山元町)	型枠存置	2日
7		貼付型 保水・保温 養生シート	12日*
8			28日
9			56日
10		型枠存置	12日*

*: 土木学会コンクリート標準示方書の湿潤養生の標準期間

表-2 示方配合

種類	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)			
				W	C	S	G
室内	52.8	47.0	4.5	146	275	886	1010
屋外	52.8	46.4	4.5	166	314	816	1017



写真-2 表面透気試験状況



写真-3 表面吸水試験状況

による表面透気試験を所定の養生方法、養生期間で養生した後、所定の乾燥期間において実施した。1ケースあたり3か所測定した平均値を試験結果とした。

(3) 表面吸水試験

写真-3に示す横浜国立大学が開発した手法⁸⁾で10か月の表面吸水量を材齢約4か月において測定した。1ケースあたり2か所測定した平均値を試験結果とした。

(4) 中性化に対する抵抗性

材齢約5か月において幅800×高さ300×奥行き200mm

の試験体から幅 100×高さ 300×奥行き 200mm の中性化に対する抵抗性試験用の試験体をコンクリートカッターを用いて切り出し、温度 20℃、相対湿度 60%一定の室内で 4 週間乾燥させた後、温度 20℃、相対湿度 60%、二酸化炭素濃度 5%の環境下で促進中性化させた。促進中性化期間 4 週、8 週および 13 週において、JIS A 1152 に準じて試験体を割裂し、フェノールフタレイン法によりノギスを用いて中性化深さを 0.1mm まで測定した。測定箇所は粗骨材の影響を受けていない 5 か所とし平均した。試験体数は 1 ケースにつき 2 体とした。なお、試験面（養生面）以外はアルミ粘着テープを用いてシールした。

(5) 塩化物イオン浸透に対する抵抗性

材齢約 5 か月において幅 800×高さ 300×奥行き 200mm の試験体から φ100×奥行き 100mm の塩化物イオン浸透に対する抵抗性試験用の試験体をコアボーリングにより切り出した。試験体は、水中に 3 日間浸漬させ、試験面（養生面）以外をエポキシ樹脂によりシールした後、10%NaCl 水溶液に 91 日間浸漬させた。浸漬後、試験体を割裂し、割裂面に 0.1N 硝酸銀溶液を噴霧した。試験面から白色化した箇所の深さを塩化物イオン浸透深さとし、ノギスを用いて 0.1mm まで測定した。測定箇所は粗骨材の影響を受けていない 5 か所とし平均した。試験体数は 1 ケースにつき 1 体とした。

3 試験結果および考察

3.1 圧縮強度

養生期間と材齢 91 日の圧縮強度との関係を図-1 に示す。養生期間が長くなるほど、圧縮強度は増加する傾向が認められた。貼付型保水・保温養生シートで養生した場合、標準期間と比較して、圧縮強度は養生期間 28 日で約 20%、養生期間 56 日で約 40%増加した。これは、貼付型保水・保温養生シートで養生することで、長期間にわたりコンクリート内部の水分の逸散が抑制された結果、セメントの水和が十分に進行したためと考えられる。標準期間において、養生方法を比較すると貼付型保水・保温養生シートの圧縮強度は、型枠存置と同等であることが確認された。

3.2 表面透気性

乾燥期間と表面透気係数との関係を図-2 に示す。室内試験体および屋外試験体とも、乾燥期間が長くなるほど表面透気係数は増加する傾向が認められた。これは、乾燥期間が長くなりコンクリート内部の水分が逸散することによりコンクリートが乾燥するためと考えられ、既往の報告⁹⁾と傾向が一致している。また、標準期間より短期養生である室内試験体の型枠存置 1 日および屋外試験体の型枠存置 2 日の場合、他と比較して表面透気係数が著しく大きくなる結果となった。これは、養生期間が

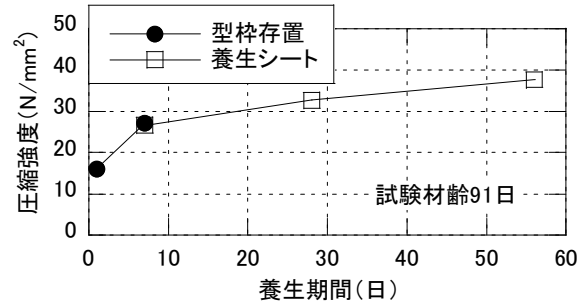


図-1 養生期間と圧縮強度との関係

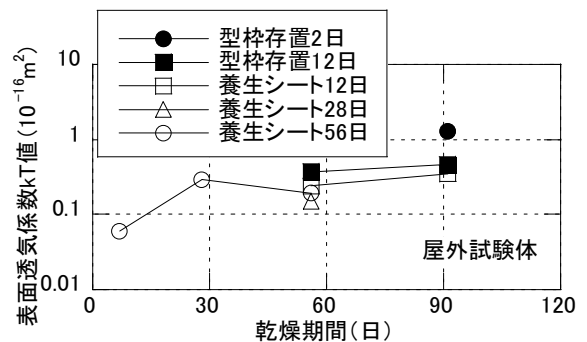
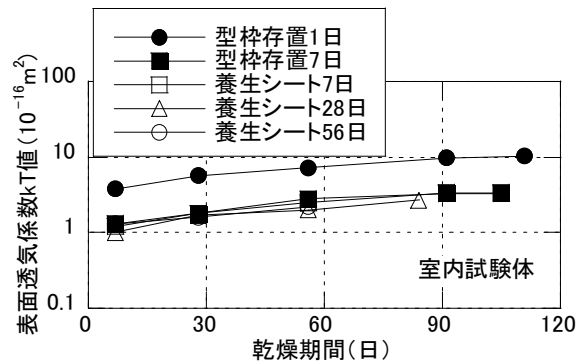


図-2 乾燥期間と表面透気係数との関係

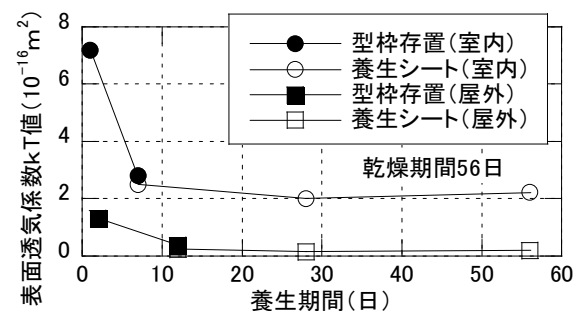


図-3 養生期間と表面透気係数との関係

短い場合、コンクリート表層が若材齢で乾燥することにより、コンクリート表層のセメントの水和反応が十分に進行しなかった結果であると考えられる。

乾燥期間 56 日における養生期間と表面透気係数との関係を図-3 に示す。ただし、屋外試験体の型枠存置 2 日の乾燥期間は 91 日、貼付型保水・保温養生シート 56 日

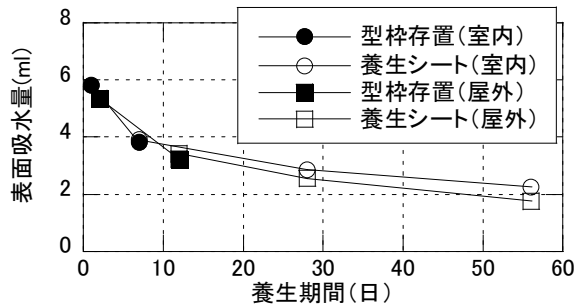


図-4 養生期間と表面吸水量との関係

の乾燥期間は28日である。室内試験体および屋外試験体とも、養生期間が長くなると表面透気係数は低下する傾向が認められたが、標準期間以上の場合、養生期間による差は比較的小さい結果となった。標準期間において、養生方法を比較すると、貼付型保水・保温養生シートの表面透気性は、型枠存置と同等であることが確認された。また、乾燥期間に関わらず、室内試験体の表面透気係数は、屋外試験体と比較して大きくなる傾向が認められた。これは、室内と屋外の環境条件などの影響により、室内試験体の表面から数mm程度のごく表層のコンクリートの緻密性が低下したためと考えられるが、その理由の詳細については現状では不明である。

3.3 表面吸水量

養生期間と10分間の表面吸水量との関係を図-4に示す。養生期間が長くなるほど、表面吸水量が減少する傾向が認められた。標準期間と比較して、表面吸水量は、室内試験体、屋外試験体とも、養生期間28日で約20%、養生期間56日で約40%減少した。標準期間において、養生方法を比較するすると、表面透気性と同様に、貼付型保水・保温養生シートの表面吸水量は型枠存置と同等であることが確認された。また、図-3に示した表面透気係数については、室内試験体と屋外試験体の差が大きかったが、表面吸水量については、室内試験体と屋外試験体の差は小さい結果となった。表面透気試験は気体の移動しやすさ、表面吸水試験は液体の移動しやすさを評価していると考えられる。気体は微細な空隙も透過することが可能であるが、液体は粘性や表面張力による細孔壁との摩擦などの影響により、気体ほど微細な空隙を透過することができないと考えられる。また、既往の研究¹⁰⁾では、10分間の表面吸水試験において、コンクリート中へ水が侵入する深さは10~30mmと報告されている。このことから、屋外試験体と比較して、室内試験体の表面透気係数が大きくなったのは、表面から数mm程度のごく表層の緻密性が低下している影響を受けたためと考えられる。つまり、表面透気試験による評価では、表面から数mm程度のごく表層の品質の影響を受けやすいが、

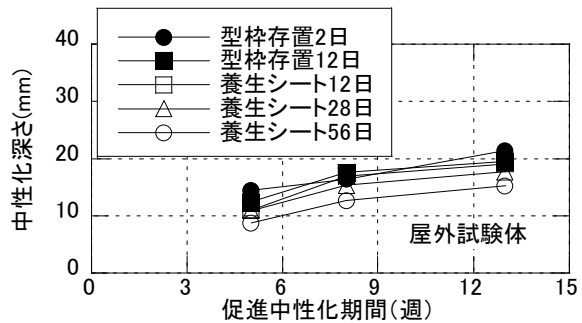
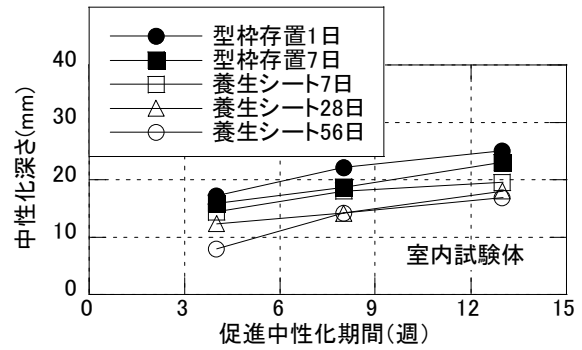


図-5 促進中性化試験結果

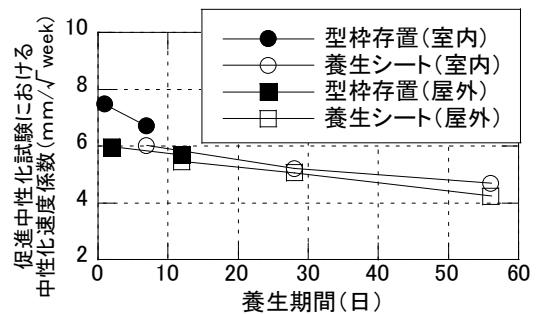


図-6 養生期間と促進中性化試験における中性化速度係数との関係

表面吸水試験による評価では、ごく表層の品質の影響を受けにくく、より深い領域を含めて評価している可能性が示唆される。

3.4 中性化に対する抵抗性

促進中性化期間13週までの促進中性化試験結果を図-5に示す。室内試験体、屋外試験体ともに養生期間が長くなるほど中性化深さが小さくなる傾向が認められた。養生期間と促進中性化試験結果から得られた中性化速度係数との関係を図-6に示す。室内試験体、屋外試験体ともに、養生期間が長くなるほど、促進中性化試験結果から得られた中性化速度係数が小さくなり、中性化に対する抵抗性が向上することが明らかとなった。室内試験体と屋外試験体の中性化速度係数は、標準期間以上ではほぼ同等となり、標準期間と比較して、養生期間28日で約10~20%、養生期間56日で約25~40%小さくなった。これは、既往の研究⁴⁾と同様に、水分逸散が長期間

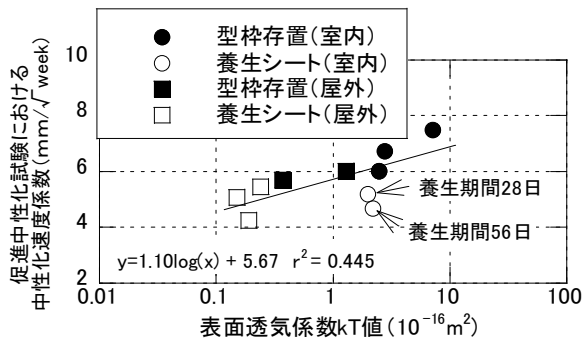


図-7 表面透気係数と促進中性化試験における中性化速度係数との関係

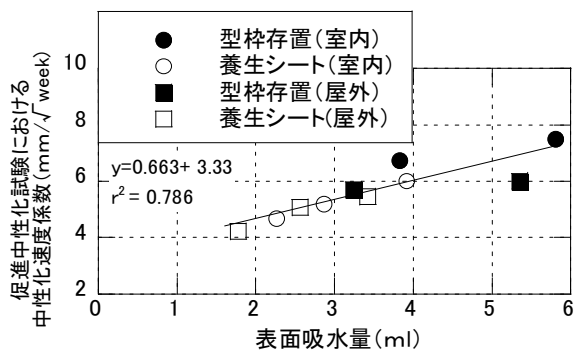


図-8 表面吸水量と促進中性化試験における中性化速度係数との関係

抑制された結果、密実な硬化体組織が形成されたためと考えられる。標準期間において、養生方法を比較すると貼付型保水・保温養生シートの中性化速度係数は、型枠存置とほぼ同等であることが確認された。

乾燥期間 56 日の表面透気係数と促進中性化試験結果から得られた中性化速度係数との関係を図-7 に示す。なお、促進中性化開始時の中性化深さを 0mm として中性化速度係数を算出した。表面透気係数が大きくなるほど、中性化速度係数が大きくなる傾向が認められたものの、相関係数は 0.445 と比較的小さくなった。これは、両者の間に良好な相関性があるとする既往の研究^{11),12)}と異なる結果である。これは、室内試験体で貼付型保水・保温養生シートの養生期間を 28 日および 56 日とした場合、図-3 に示したように表面透気係数は屋外試験体と比較して非常に大きくなったが、図-6 に示したように中性化速度係数は、屋外試験体とほぼ同等となったためである。つまり、室内試験体で貼付型保水・保温養生シートの養生期間を 28 日および 56 日とした場合、表面透気係数は緻密性が低下した表面から数 mm のごく表層領域を評価した結果であるが、中性化速度係数は図-5 に示したように表面から 15~25mm 程度の領域を評価した結果であるため、両者の相関性が小さくなったものと考えられる。したがって、表面透気試験のみから中性化に対する抵抗性を評価するのは困難な場合があるため、他の評価指標

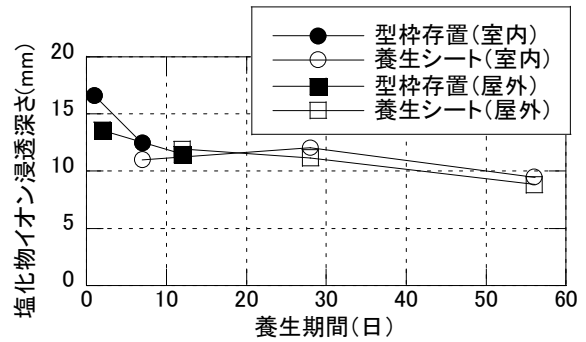


図-9 養生期間と塩化物イオン浸透深さとの関係

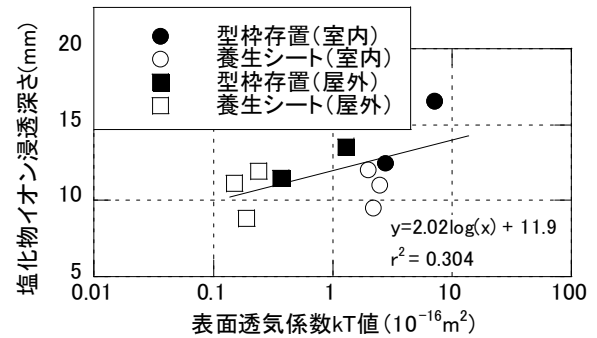


図-10 表面透気係数と塩化物イオン浸透深さとの関係

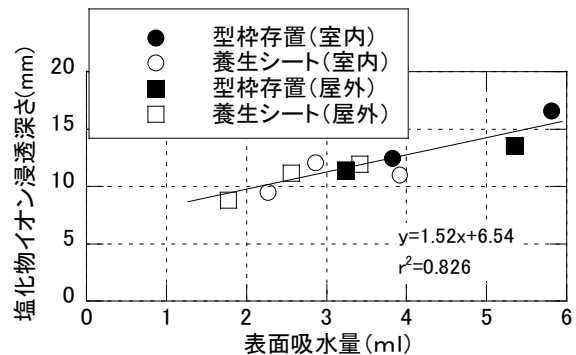


図-11 表面吸水量と塩化物イオン浸透深さとの関係

との併用が必要であるものと考えられる。

表面吸水量と促進中性化試験結果から得られた中性化速度係数との関係を図-8 に示す。表面吸水量と中性化速度係数とは、表面透気係数と比較して高い相関性が認められ、室内試験体、屋外試験体とも、表面吸水量が多くなるにつれ、中性化速度係数が大きくなる傾向が認められた。したがって、表面吸水試験は、表面から数 mm のごく表層のコンクリートの品質の影響を受けにくく、本研究と同様な条件においては、表面吸水試験から、コンクリートの中性化に対する抵抗性を評価できる可能性があるものと考えられる。

3.5 塩化物イオン浸透に対する抵抗性

養生期間と 10%NaCl 水溶液に 91 日間浸漬させた後の塩化物イオン浸透深さとの関係を図-9 に示す。ばらつき

はあるものの、養生期間が長くなるほど、塩化物イオン浸透深さが小さくなり、塩化物イオン浸透に対する抵抗性が向上することが明らかとなった。室内試験体と屋外試験体の塩化物イオン浸透深さは、標準期間以上ではほぼ同等となり、標準期間と比較して、養生期間 28 日で約 5%、養生期間 56 日で約 20% 小さくなった。これは、中性化に対する抵抗性の結果と同様に、水分逸散が長期間抑制された結果、密実な硬化体組織が形成された⁴⁾ためと考えられる。標準期間において、養生方法を比較すると、貼付型保水・保温養生シートの塩化物イオン浸透深さは、型枠存置とほぼ同等であることが確認された。

乾燥期間 56 日の表面透気係数と塩化物イオン浸透深さとの関係を図-10 に示す。中性化速度係数との関係と同様に、表面透気係数と塩化物イオン浸透深さとの相関性は小さい結果となった。これは、図-7 で示した表面透気係数と中性化速度係数との関係の結果と同様に、塩化物イオンが浸透した領域に対し、表面透気試験の評価領域が異なる場合があるためと考えられる。

表面吸水量と塩化物イオン浸透深さとの関係を図-11 に示す。表面吸水量と塩化物イオン浸透深さには比較的高い相関性が認められ、室内試験体および屋外試験体とも、表面吸水量が多くなるにつれ、塩化物イオン浸透深さが大きくなる傾向が認められた。したがって、本研究と同様にコンクリートの乾燥がある程度進行した後に評価する場合、表面吸水試験から、コンクリートの塩化物イオン浸透に対する抵抗性を評価できる可能性があるものと考えられる。

4. まとめ

長期間養生が可能な貼付型保水・保温養生シートを用いた養生がコンクリートの耐久性に与える影響を定量的に把握するため、高炉セメント B 種を用いたコンクリートについて養生期間および環境条件を要因として検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 貼付型保水・保温養生シートは、型枠存置と同等の養生効果を期待できる。
- (2) 貼付型保水・保温養生シートを用いて長期間養生を行うことで、湿潤養生の標準期間と比較して、表層の緻密性が向上し、表面透気性、表面吸水性が低下する。
- (3) 貼付型保水・保温養生シートを用いて長期間養生を行うことで、湿潤養生の標準期間と比較して、中性化に対する抵抗性および塩化物イオン浸透に対する抵抗性が向上する。

(4) 表面透気試験は、表面から数 mm のごく表層のコンクリートの品質に影響を受けやすい場合がある。

(5) 表面吸水試験は、表面から数 mm のごく表層のコンクリートの品質の影響を受けにくいいため、中性化に対する抵抗性を評価できる可能性がある。

(6) 表面吸水試験は、コンクリートの乾燥がある程度進行した後に評価する場合、塩化物イオン浸透に対する抵抗性を評価できる可能性がある。

参考文献

- 1) 土木学会：2012 年制定コンクリート標準示方書[施工編]，p.121，2013.3
- 2) 古川幸則，福留和人，庄野昭：コンクリートの浸水養生システム—型枠取りはずし後の給水養生工法の実用化と効果—，コンクリート工学，Vo.l.49，No.3，pp.21-28，2011.3
- 3) 宮原茂植，丸屋剛，岸利治：排水・水中養生したコンクリートの耐久性評価，コンクリート工学年次論文集，Vo.l.33，No.1，pp.767-772，2011
- 4) 近松竜一，近藤紀人，中嶋智史：コンクリートの表面貼付型養生テープの開発，コンクリート工学年次論文集，Vo.l.24，No.1，pp.1035-1040，2002
- 5) 日本コンクリート工学会：コンクリート技術の要点 '12，p.9，2012.9
- 6) 江渡正満，新美勝之，高木健次，野平明伸，若林雅樹：マスコンクリートの保温養生に用いる養生材の効果に関する実験的検討，土木学会第 53 回年次学術講演会，pp.720-721，1998
- 7) R.J. Torrent，“A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site”，Materials and Structures，Vol.25，No.6，pp.358-368，1992
- 8) 林和彦，細田暁，Usman AKMAL，藤原麻希子：コンクリートの表面吸水試験における計測方法およびデータ処理方法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vo.l.34，No.1，pp.1804-1809，2012
- 9) 蔵重勲，廣永道彦，行平訓規：屋内外に 1 年間曝露したコンクリートの反発度と表層透気係数の推移，土木学会第 66 回年次学術講演会，pp.553-554，2011
- 10) 林和彦，Usman AKMAL，細田暁：埋込みセンサーを用いたコンクリートの表面吸水試験における水分移動の分析，コンクリート工学年次論文集，Vo.l.35，No.1，pp.1789-1794，2013
- 11) 家辺麻里子，秋山仁志，岸利治：水の流下試験によるコンクリート表層の品質評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vo.l.34，No.1，pp.670-675，2012
- 12) 蔵重勲，廣永道彦：コンクリートの中性化抵抗性と表層透気係数の関連分析に基づいた品質検査判定の提案，コンクリート工学年次論文集，Vo.l.34，No.1，pp.718-723，2012