

論文 透水型枠によるコンクリート表層の改質効果とその評価手法に関する検討

田中 亮一*1・羽瀧 貴士*2・網野 貴彦*3・福手 勤*4

要旨: コンクリート表層の品質を改善することはコンクリート構造物の耐久性を向上させることにつながり、そのひとつの手法として透水型枠を用いた工法がある。本研究では、コンクリート試験体を用いて中性化深さ試験、塩化物イオン浸透深さ試験、透気試験、反発度試験および透水試験を実施し、透水型枠によるコンクリート表層の改質効果とその評価手法に関する検討を行った。その結果、透気係数の改善率と中性化深さ、塩化物イオン浸透深さ、反発度および透水量の改善率との関係を整理し、透気試験によってコンクリート表層の改質効果を定量的に評価できる可能性を示した。

キーワード: 透水型枠, 中性化深さ, 塩化物イオン浸透深さ, 透気係数, 反発度, 透水量

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、劣化因子の侵入を防止することが重要である。特に劣化因子はコンクリート表面から侵入するため、コンクリート表層の品質を改質させることが耐久性の確保の上で直接的な対策であり、これまでに密実なコンクリートを施工するための様々な検討がなされてきた。

コンクリート表層の品質を改質させる技術のひとつに透水型枠を用いた工法がある。透水型枠とは、不織布などを組み合わせた透水シートを型枠に貼り付けたものである。透水型枠によるコンクリートの改質メカニズムは、型枠内に打ち込んだコンクリートの側圧と内部振動機による締固めによって、透水型枠面(透水シート内)より余剰水と気泡を排出させるものであり、これによりコンクリート表面のあばたを減少させ、コンクリート表層部を緻密化させる。透水型枠による品質改善効果については、これまでに多くの研究^{1),2),3)}で明らかにされてきたが、既往の研究では、非破壊検査手法を用いて耐久性(中性化の進行や塩化物イオンの浸透に対する抵抗性)を定量的に評価するような検討はなされていない。

そこで本研究では、コンクリート試験体を用いて中性化深さ、塩化物イオン浸透深さ、反発度および透水量についての透水型枠による改善効果を確認し、非破壊検査手法である透気試験との関係について実験的検討を行った。

2. 実験概要

透水型枠によるコンクリート表層の改質効果を確認するために、2種類の試験体(シリーズ1, シリーズ2)

で実験を行った。シリーズ1は小型の試験体を用いて行い、シリーズ2は実構造物をイメージした試験体で実験を行った。

2.1 コンクリートの配合

試験体の製作に使用したコンクリートの配合を表-1に示す。コンクリートは水セメント比55%程度、スランプ10~12cm、単位水量165kg/m³程度の普通コンクリートとし、シリーズ1では比較用として水セメント比65%のコンクリートも対象とした。

シリーズ1のセメントは普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³), 細骨材は埼玉県川越市増形産陸砂(表乾密度2.61g/cm³, 粗粒率2.81)と千葉県香取市西和田産山砂(表乾密度2.58g/cm³, 粗粒率1.88), 粗骨材は埼玉県飯能市坂石産(表乾密度2.63g/cm³, 実積率59.6%), 混和剤は変性リグニンスルホン酸系AE減水剤を用いた。

シリーズ2のセメントは普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³), 細骨材は千葉県君津産山砂(表乾密度2.60g/cm³, 粗粒率2.59), 粗骨材は北海道北斗市峯朗産砕石2005(表乾密度2.70g/cm³, 実積率61.0%), 混和剤はリグニンスルホン酸系AE減水剤を用いた。

表-1 コンクリートの配合

シリーズ	W/C (%)	単位量(kg/m ³)					AD (C×%)
		W	C	S1	S2	G	
1	55	163	296	584	248	995	1.0
	65	163	251	622	264	978	1.0
2	57.4	167	291	814	—	1035	0.25

※粗骨材(G)の最大寸法20mm, 空気量4.5%

*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 (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リーダー 博(工) (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 博(工) (正会員)

*4 東洋大学 理工学部都市環境デザイン学科教授 工博 (正会員)

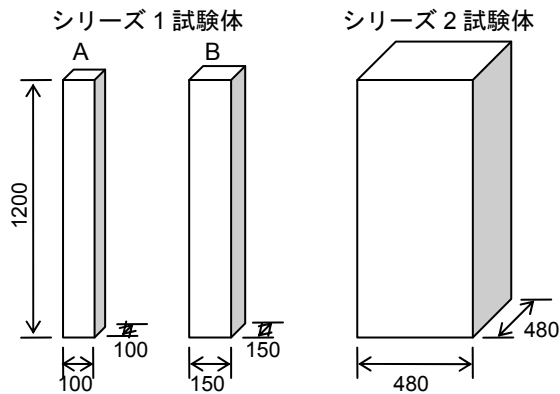


図-1 試験体の形状

表-2 試験ケース (シリーズ 1)

ケース名	W/C(%)	条件
55-なし	55	透水シートなし
55-あり		透水シートあり
55-斜		透水シートあり, 型枠 30° 傾け
65-なし	65	透水シートなし
65-あり		透水シートあり

2.2 試験体

試験体の形状を図-1に示す。シリーズ1の試験体Aの形状は100×100×1200mm、試験体Bは150×150×1200mmとし、鉛直面の相対する2面を透水型枠、それ以外の2面を木製型枠としてコンクリートの打込みを行った。なお、透水型枠には、不織布と有孔フィルムを組み合わせた透水シートを木製型枠に貼り付けたものを用いた。コンクリートは1層400mmの3層で打込み、バイブレータを各層で5秒間加振して締め固めた。養生は材齢7日まで型枠を存置し、その後室内で気中養生した。

シリーズ2の試験体の形状は480×480×1200mmとし、試験体の鉛直面1面毎に型枠の条件を変えて製作を行った。養生は材齢5日まで型枠を存置し、その後室内で気中養生した。

2.3 試験ケースおよび試験項目

(1) シリーズ1

シリーズ1の試験ケースおよび試験項目を表-2、表-3に示す。試験ケース(55-斜)は斜め試験体のケースで、型枠を30°傾けて透水型枠面が傾けた型枠の上面となるように製作した。

促進中性化試験および塩化物イオン浸透深さ試験は試験体Aを用いて行った。試験体は図-2に示すとおり、高さ方向に6箇所の位置で100×100×50mmに切り出し、暴露面以外の5面をエポキシ樹脂で被覆した。材齢28日に促進中性化試験および10%NaCl溶液への浸漬を開

表-3 試験項目 (シリーズ 1)

試験項目および方法	ケース名	試験日 [※] (日)
促進中性化試験 JIS A 1153 に準拠	55-なし	56
	55-あり	28,56,91
	55-斜	56
	65-なし	56
塩化物イオン浸透深さ試験 JIS A 1171 の 7.8 に準拠 溶液: 10%NaCl 溶液	55-なし	56
	55-あり	28,56,91
	55-斜	56
	65-なし	56

※試験日は、暴露開始後の日数

試験項目および方法	ケース名	材齢(日)
透気試験 トレント法 ⁴⁾	55-なし	7,28,56,84,119
	55-あり	
	65-なし	
	65-あり	

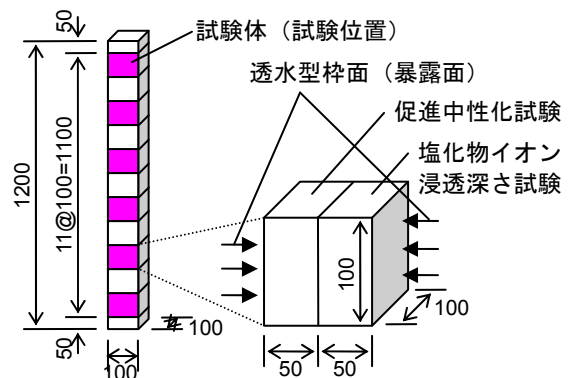


図-2 シリーズ1の試験体Aの概要

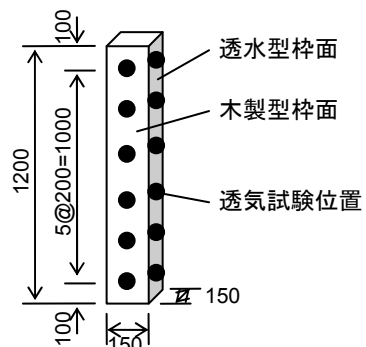


図-3 シリーズ1の試験体Bの概要

始し、暴露開始56日後に中性化深さおよび塩化物イオンの浸透深さを測定した。また、試験ケース(55-あり)のみ、暴露開始28日後および91日後でも中性化深さおよび塩化物イオンの浸透深さを測定した。

透気試験は試験体Bを用いて行った。測定は型枠脱型

表-4 試験ケース (シリーズ 2)

ケース名	透水シート	型枠	その他条件
NW	なし	木製	—
NM		鋼製	—
NM2			型枠剥離剤
AW	A	木製	—
AW2		鋼製	上部排水孔
AM			—
BW	B	木製	—
BM		鋼製	—

直後の材齢 7 日, 28 日, 56 日, 84 日, 119 日に図-3 に示す位置で実施した。なお, 透気試験を行った位置は, 促進中性化試験および塩化物イオン浸透深さ試験を実施した高さに合わせて。

(2) シリーズ 2

シリーズ 2 の試験ケースを表-4 に示す。型枠には木製型枠および鋼製型枠を使用し, 透水型枠は透水シート A (不織布+有孔フィルム) および透水シート B (不織布+粘着材層) の 2 種類を用いた。透水型枠はコンクリートの自重による側圧によって余剰水が排水される仕組みであると先述したが, 側圧が大きくなる打込み下部のほうがコンクリート表層の品質改善効果が大きくなるため, 試験ケース (AW2) では, 図-4 に示すように上層 30cm に排水孔を設けて排水を促進させるケースとした。試験ケース (NM2) は, あばたの抑制効果のある型枠剥離剤を塗布したケースとした。

シリーズ 2 で実施した試験項目を表-5 に示す。透気試験および透水試験は図-5 に示す位置で, 反発度試験は透気試験と同じ位置で, 材齢 91 日に試験を実施した。なお, 透水試験は, 試験開始 24 時間後の透水量 (以下, 24 時間透水量) を計測した。

3. 実験結果

3.1 シリーズ 1 の結果

シリーズ 1 の試験体製作時のフレッシュコンクリートの性状と材齢 28 日の圧縮強度試験の結果を表-6 に示す。

促進中性化試験および塩化物イオン浸透深さ試験の結果を図-6 に示す。図-6(a)は水セメント比 55%の透水シートあり (55-あり) の結果である。試験結果より, 試験体の下部のほうが中性化深さおよび塩化物イオン浸透深さが小さくなっており, 特に下からの高さ 300mm の位置までは暴露開始 91 日後でも中性化していなかった。図-6(b)は水セメント比 55%の暴露開始 56 日後の結果である。透水型枠を用いないケース (55-なし) では, 試験体の高さ方向で中性化深さおよび塩化物イオン浸

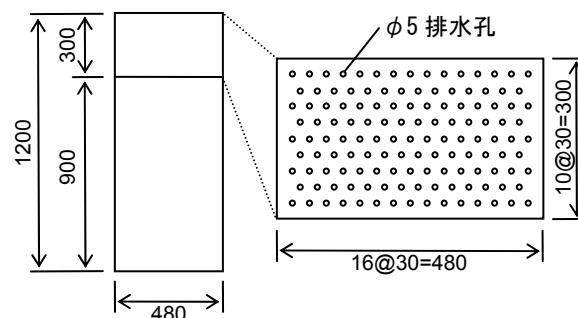


図-4 シリーズ 2 の試験ケース(AW2)の型枠詳細

表-5 試験項目 (シリーズ 2)

試験項目	試験方法
透気試験	トレント法 ⁴⁾
透水試験	JIS A 6909 の 7.12 に準拠 試験は鉛直面で実施
反発度試験	JIS A 1155 に準拠

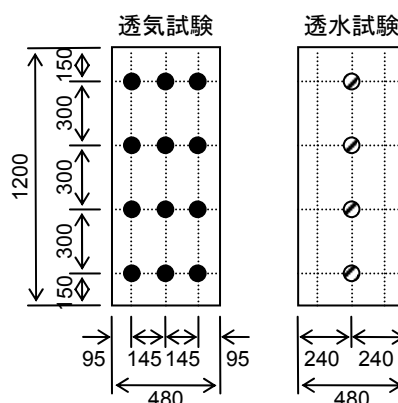


図-5 シリーズ 2 の試験体の概要

表-6 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度試験の結果 (シリーズ 1)

W/C (%)	SL (cm)	Air (%)	C.T. (°C)	ブリーディング率 (%)	圧縮強度 (N/mm ²)
55	11.5	3.8	30.0	3.41	39.1
65	11.5	3.5	30.5	4.46	29.3

※SL:スランプ, Air:空気量, C.T.:コンクリート温度

透深さはほぼ同じであった。透水型枠を用いたケース (55-あり) と比較すると, 透水型枠を用いることによる中性化深さの抑制効果は, 試験体上部で 20%程度, 中間部で 30~50%程度, 下部で 100%であった。塩化物イオン浸透深さの抑制効果は, 試験体上部で 20%程度, 中間部で 30%程度, 下部で 50%程度であり, 高さ方向で抑制効果に違いがあった。また, 斜め試験体 (55-斜) の結果

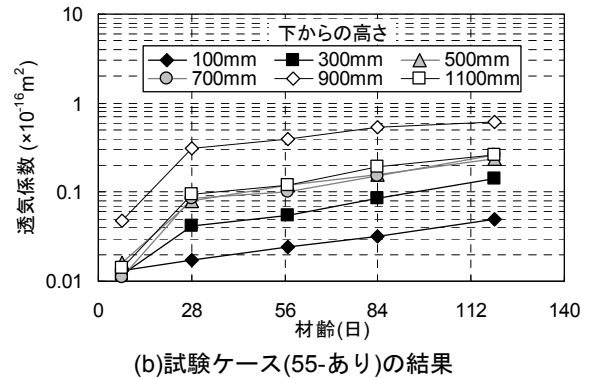
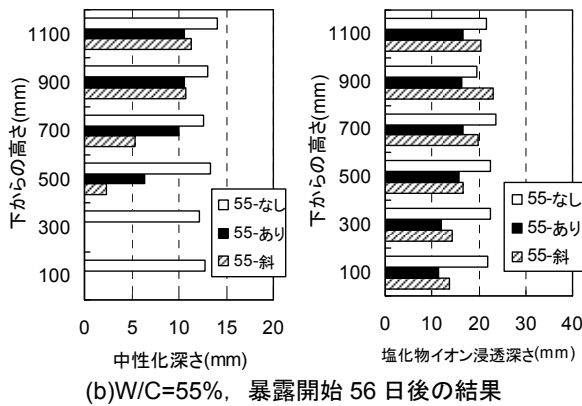
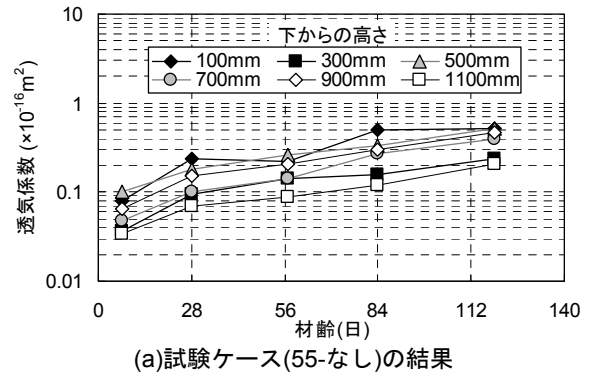
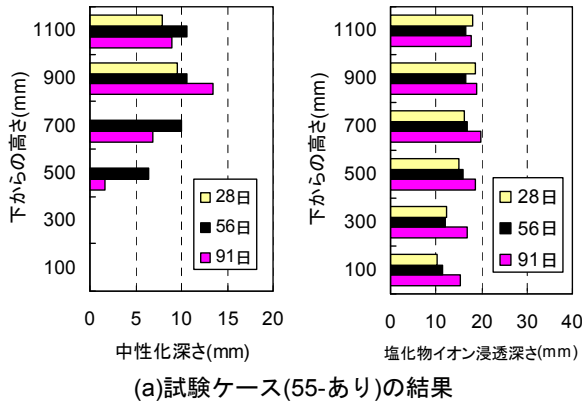


図-7 シリーズ 1 の透気試験結果 (経時変化)

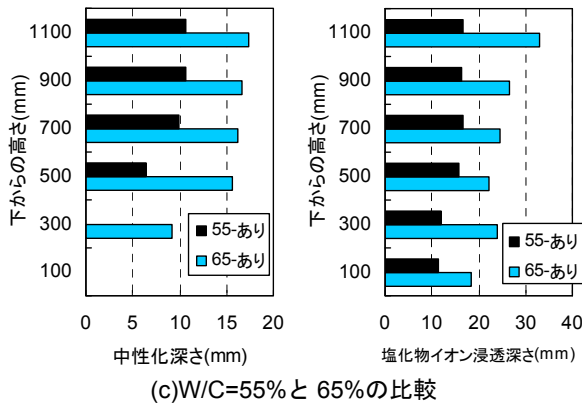
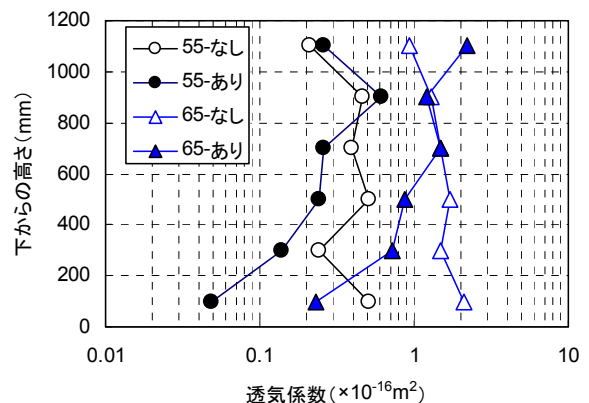


図-6 シリーズ 1 の試験結果



は鉛直試験体 (55-あり) の結果と同等であった。図-6(c) は水セメント比 55%と 65%の透水型枠を用いたケースを比較した結果である。水セメント比が大きくなると中性化深さおよび塩化物イオン浸透深さは大きくなったが、試験体の上部に比べて下部の抑制効果が大きい傾向は、水セメント比に関わらず同様であった。さらに、水セメント比 65%においても、暴露開始 56 日後の下からの高さ 100mm の位置までは中性化していなかった。

透気試験の結果を図-7 および図-8 に示す。図-7 の経時変化は水セメント比 55%の試験結果である。図-7 の試験結果より、材齢 28 日以降の透気係数の増加傾向は、下からの高さによらず同じであった。この傾向は水セメント比 65%でも同様であった。図-8 は材齢 119 日

における透気試験の結果である。透水型枠を用いないケースにおいては、試験体の高さ方向で大きな差はなかった。透水型枠を用いたケースでは、試験体の下部のほうが上部に比べて透気係数が小さかった。これは透水型枠によって試験体の下部においてコンクリート表層部がより緻密化したためであり、中性化深さおよび塩化物イオン浸透深さの抑制効果の傾向と同様であった。

3.2 シリーズ 2 の結果

シリーズ 2 の試験体製作時のフレッシュコンクリートの性状と材齢 28 日の圧縮強度試験の結果を表-7 に示す。

透気試験の結果を図-9(a)に示す。透水型枠を用いないケースにおいては、試験体の高さ方向で透気係数に大きな差はなく、また、試験ケースによる違いもなかった。

透水型枠を用いたケースでは、試験体の最上部以外はコンクリート表層の品質改善効果が大きく、試験体の下端から 800mm 付近までは透気係数が最上部よりも 70%以上小さかった。この傾向はシリーズ1の試験結果よりも顕著であった。また、本実験では透水シート B を木製型枠に貼り付けたケースにおいて、透気係数が最も小さかった。さらに、型枠上部に排水孔を設けたケース (AW2) の試験体上部の透気係数は、排水孔を設けていないケース (AW) に比べて若干小さくなったが、品質改善の効果は明確ではなかった。

反発度試験の結果を図-9(b)に示す。透水型枠を用いないケースにおいては、透気試験の結果と同様に試験体の高さ方向で反発度に大きな差はなく、また、試験ケースによる違いもなかった。透水型枠を用いたケースでは、試験体の下端から 800mm 付近までは反発度が 10~20%程度大きく、透水シート B を用いたケースにおいて、全体的に反発度が大きかった。

透水試験の結果を図-9(c)に示す。透水型枠を用いないケースにおいて、試験体の上部に比べて下部のほうが 24 時間透水量は小さく、あばた抑制効果のある型枠剥離剤を塗布したケース (NM2) の結果がその他のケースより小さかった。透水型枠を用いたケースにおいては、透水型枠を用いないケースに比べて 24 時間透水量が大きく改善 (低減) され、試験体の上部においては透水シート B を木製型枠に貼り付けたケースが最も小さかった。

3.3 耐久性能の改善率

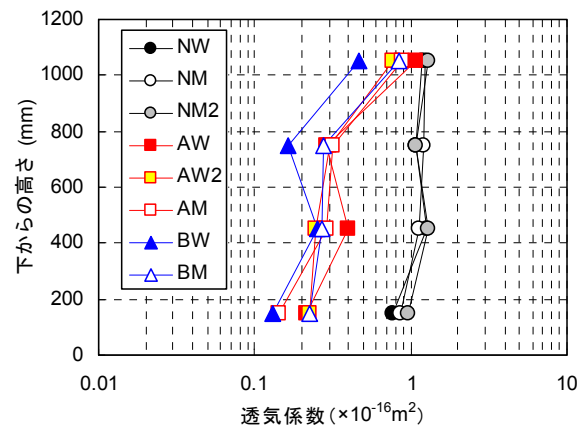
シリーズ1およびシリーズ2の試験結果より、透気係数の改善率と各試験値の改善率との関係を表わしたものを図-10、図-11に示す。ここでいう改善率は、シリーズ毎の各試験によって得られた値の内、透水型枠を用いないケースでの透気係数、中性化深さ、塩化物イオン浸透深さおよび 24 時間透水量については最大値、反発度については最小値を基準値 (改善率ゼロ) として、各測点における基準値に対する比率とした。

図-10の試験結果より、透水型枠を用いないケースにおいて、透気係数改善率が 0~75%の範囲で広く分布しているが、中性化深さ改善率および塩化物イオン浸透深さ改善率は小さかった。透水型枠を用いたケースにおいては、透気係数改善率は 60~100%の範囲にあり、透気係数改善率が大きくなれば中性化深さ改善率は大きくなる傾向を示した。塩化物イオン浸透深さ改善率についても、ばらつきはあるが中性化深さ改善率の傾向と同様に、透気係数改善率が大きくなれば塩化物イオン浸透深さ改善率は大きくなるものと考えられた。この結果より、実構造物で透気係数改善率が測定できれば、中性化深さ改善率を予測することができると考えられ、塩化物イオン浸透深さ改善率についても透気係数改善率から予測

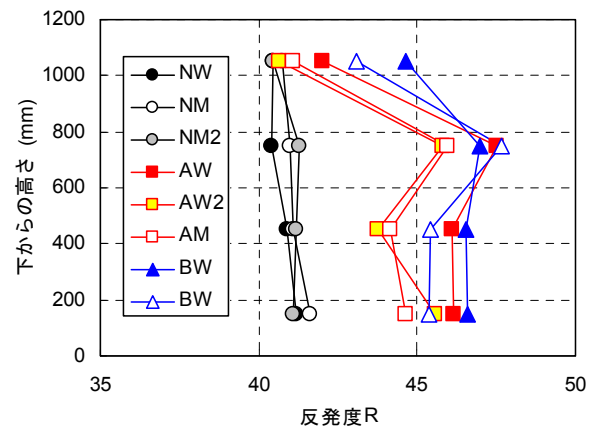
表-7 フレッシュコンクリートの性状および
圧縮強度試験の結果 (シリーズ 2)

SL (cm)	Air (%)	C.T. (°C)	ブリーデ ィング率 (%)	圧縮強度(N/mm ²)	
				標準 養生	現場封 緘養生
13.0	4.6	26.2	0.73	37.1	36.9

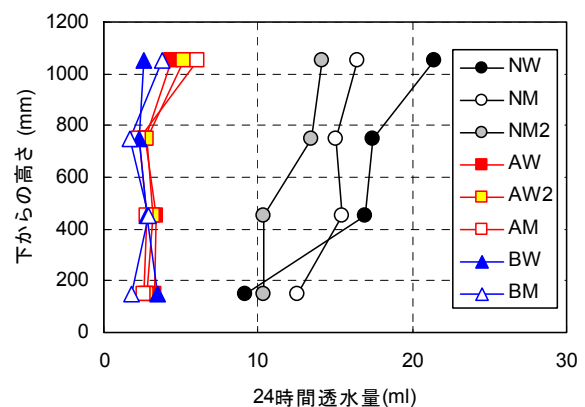
※SL:スランプ, Air:空気量, C.T.:コンクリート温度



(a)透気試験の結果

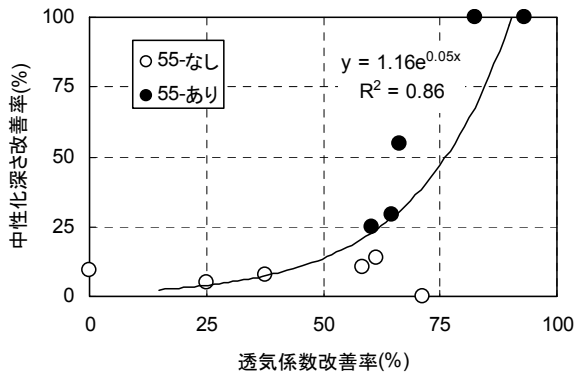


(b)反発度試験の結果

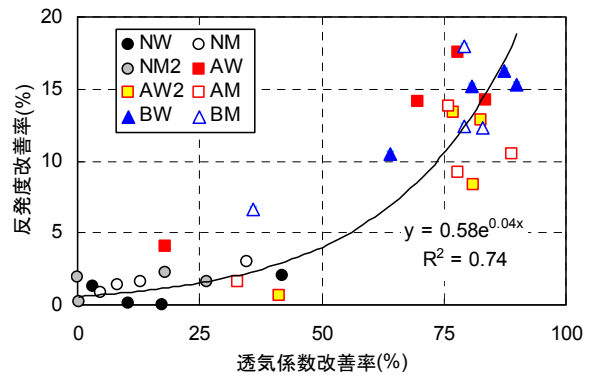


(c)透水試験の結果

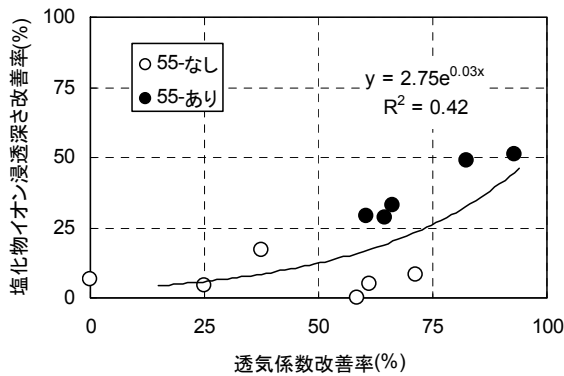
図-9 シリーズ 2 の試験結果



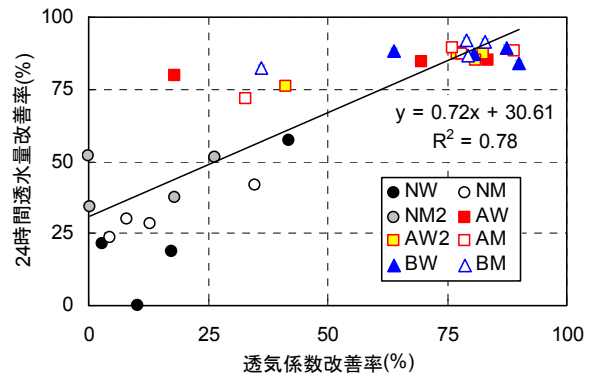
(a)透気係数と中性化深さ



(a)透気係数と反発度



(b)透気係数と塩化物イオン浸透深さ



(b)透気係数と24時間透水量

図-10 表層品質の改善効果 (シリーズ1)

図-11 表層品質の改善効果 (シリーズ2)

できる可能性が示唆された。ただし、この点についてはさらなるデータの蓄積が必要である。

図-11の試験結果より、透水型枠を用いないケースの透気係数改善率は0~50%の範囲に分布した。透水型枠を用いたケースの透気係数改善率はおおむね70%以上の値となり、50%以下にプロットされた点は試験体の最上部での試験結果である。先と同様に透気係数改善率が大きくなれば、反発度改善率および24時間透水量改善率は大きくなる傾向を示した。

4. まとめ

本検討により得られた知見を以下に示す。

- (1) 透水型枠を用いることで、耐久性（中性化深さおよび塩化物イオン浸透深さ）、透気係数、反発度および24時間透水量を改善することができ、コンクリートの打込み下部ほど改善効果は大きかった。
- (2) 透気係数改善率が大きくなるほど、中性化深さ改善率、塩化物イオン浸透深さ改善率、反発度改善率および24時間透水量改善率は大きくなった。
- (3) 実構造物で透気係数改善率が測定できれば、中性化深さ改善率を予測することができると考えられ、塩化物イオン浸透深さ改善率に関してもばらつきは大きいものの予測できる可能性が示唆された。

謝辞

本研究を行うにあたり、東洋大学学生の高橋和弘君、鶴岡みかさんに多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 透水・脱水によるコンクリートの品質改善に関するシンポジウム委員会報告書、日本コンクリート工学協会、2004.9
- 2) 竹田宣典、平田隆祥、十河茂幸、芳賀孝成：透水性シートを用いた型わくによるコンクリート表面の品質改善、コンクリート工学年次論文集、Vol.11、No.1、pp.683-688、1989
- 3) 竹中 寛、末岡英二、安田正雪：透水型枠工法を用いたコンクリートの表面品質の改善に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.31、No.1、pp.955-960、2009
- 4) Torrent, R.: A two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, Mater. & Struct., v.25, n.150, pp.358-365, July 1992