論文　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

竹中　寛[*1]・末岡　英二[*2]・安田　正雪[*3]

要旨：透水型枠工法がコンクリートの品質に及ぼす影響を定量的に評価することを目的として，種類の異なる透水シートを敷設したモデル試験体を用い，コンクリート表面の美観，硬化性状，および耐久性を確認した。その結果，透水シートを敷設したコンクリートは，特に斜面におけるあばた率が大幅に減少し，透気係数は 1/10～1/10^3 程度に低減することがわかった。また，圧縮強度の増加や耐久性の向上に影響を及ぼす範囲は，コンクリートの表面から 50～150mm 程度までであることがわかった。更に，前述した透気係数と中性化深さには相関があることを明らかにし，中性化への抵抗性を透気試験により評価できる可能性を示唆した。

キーワード：透水型枠工法，あばた率，透気係数，伝播速度，圧縮強度，中性化

1. はじめに

近年，コンクリートの品質や耐久性の向上が重要視され，総合評価落札方式においてもキーワードとして用いられる頻度が高い。著者らは，コンクリートの品質や耐久性を向上させることが可能とされている透水型枠工法に着目した検討を行っており，本報では，各種透水型枠の性能を評価した結果について述べる。

透水型枠工法は，型枠に敷設した透水型枠用シート（以下，透水シートと称す）により，打設直後のコンクリート表面から余剰水分と気泡を除去することで表層部の品質を改善する工法で，その効果については今まで多くの研究[1),2),3)]から実証されている。当該工法は作業性が簡便で汎用性が広く，表層の品質改善効果も高いことから，今日まで土木構造物をはじめとした多くの構造物に適用されてきたが，施工費が増加するなどの問題もあり，十分な普及に至っていないのが現状である。しかし，前述したようにコンクリートの品質や耐久性の向上が更に重要視されること，ライフサイクルコストの観点では有利になる可能性もあることから，今後，透水シートの更なる需要の増加が期待される。

そこで本研究では，透水型枠工法の適用がコンクリートの品質や耐久性に及ぼす影響を確認するため，種類の異なる透水シートを型枠内面に敷設したモデル試験体を作製し，コンクリートの硬化性状や耐久性の検証に加え，現位置での測定を可能とする透気試験機を用いてコンクリートの品質を定量的に評価した。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの配合および使用材料

モデル試験体を製造するためのコンクリートは，呼び強度が 30 のレディーミクストコンクリートを用いた。コンクリートの配合表を**表－1** に，使用材料を**表－2** に示す。

2.2 モデル試験体

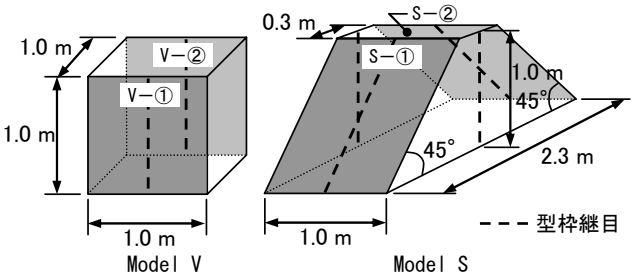
モデル試験体の形状を**図－1** に示す。本研究では，透水シートの斜度の異なる面における効果の違いを確認するため，2 種類のモデル（Model V（鉛直面），Model S（斜面））で検討を行った。モデル試験体は合板型枠を

表－1　コンクリートの配合

W/C (%)	ｽﾗﾝﾌﾟ (cm)	空気量 (%)	粗骨材最大寸法 (mm)	単位量(kg/m^3)					混和剤
				W	C	S1	S2	G	AE (C×%)
48.5	12	4.5	20	159	328	549	235	1041	0.25

表－2　使用材料

種類(記号)	産地・仕様
セメント(C)	高炉セメント B 種 密度 3.04g/cm^3　比表面積 3860cm^2/g
細骨材 1(S1)	茨城県神栖市産 陸砂 表乾密度 2.60g/cm^3　粗粒率 2.40
細骨材 2(S2)	栃木県佐野市会沢町産 石灰砕砂 表乾密度 2.70g/cm^3　粗粒率 3.10
粗骨材(G)	茨城県石岡市染谷産 砕石 2005 表乾密度 2.67g/cm^3　実積率 60.0%
AE 減水剤(AE)	リグニンスルホン酸系



図－1　モデル試験体

*1 東洋建設(株)　技術本部　美浦研究所　材料研究室　主任研究員　工修　(正会員)
*2 東洋建設(株)　技術本部　美浦研究所　材料研究室　室長　博士(工学)　(正会員)
*3 東洋建設(株)　技術本部　美浦研究所　材料研究室　主任研究員　(正会員)

表－3　透水シート敷設ケース

敷設面	試験体 1	試験体 2
V－①	なし	シート A
V－②	シート B	シート C
S－①	なし	シート A
S－②	シート B	シート C

表－4　透水シート

シート No.	材質・構造
なし	シートなし
A	不織布＋有孔フィルムの二層一体構造
B	不織布＋粘着材層の二層一体構造
C	排水ネット＋透水シートの二層分離構造

用いてそれぞれ試験体 1，試験体 2 の 2 基作製し，**表－3** および**表－4** に示す透水シートを**図－1** の側面（V－①，②，S－①，②）の型枠に敷設した。コンクリートは，1 層あたりの打込み高さを 50cm として 2 層で打設し，各層の打込み面において 250mm 間隔で内部振動機を挿入し，1 箇所あたり 5 秒間加振した。なお，model S の加振は，斜面に沿うよう振動機を放射状に挿入して行った。

2.3 モデル試験体の養生条件

コンクリートの打設は，茨城県美浦村の当社研究所施設内で 10 月初旬に行い，コンクリートの硬化後直ちに上面に湿潤マットを敷設して材齢 7 日まで養生を行った。材齢 7 日に側面の型枠の脱型，および上面の湿潤養生を終了し，その後は直射日光が当たらないように暴露した。

2.4 試験項目および方法

試験項目および方法の一覧を**表－5** に示す。

脱水量は，型枠に敷設した透水シートの下端から排水される水を，透水シートの端部に設置したビニール袋により採取し測定した。

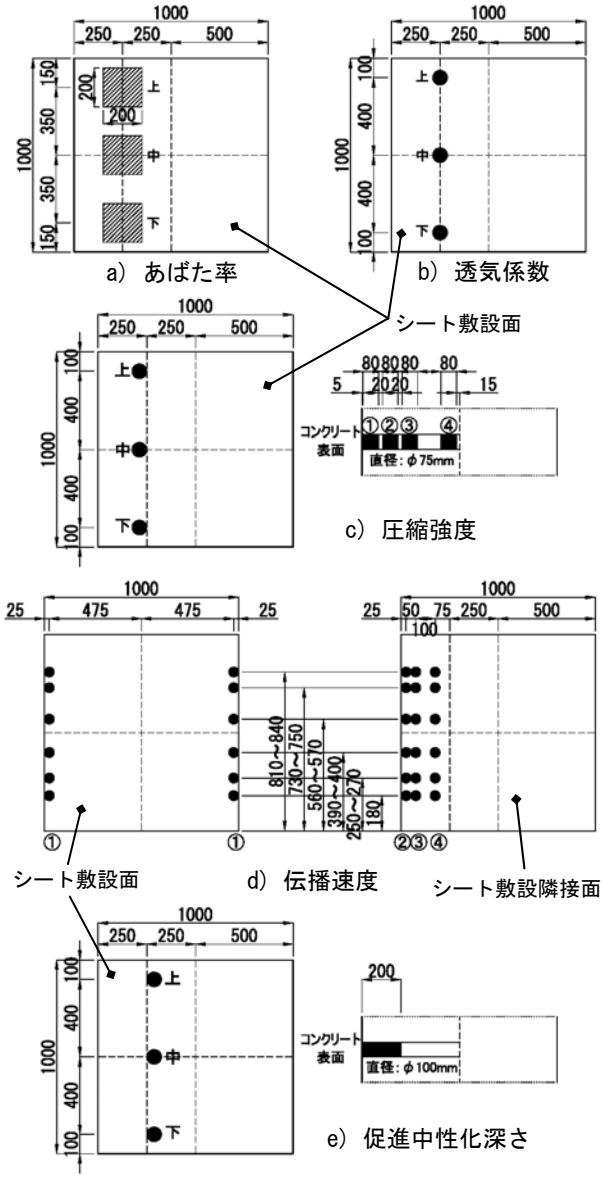
あばた率は，透水型枠工法施工ガイドライン試案 [4]に準拠し，単位面積あたりのあばたの面積率で評価した。本研究では, 200mm×200mm の範囲を単位面積として用いた。なお，測定は**図－2** に示す箇所で行った。

透気係数は，トレント法と呼ばれる透気試験機（**写真－1**）を用いて測定した。試験方法の原理は，**図－3** に示すように，内部チャンバーと外部チャンバーの 2 つの構造を有する装置からなっており，透気性は内部チャンバーの圧力によって評価される。ここで，内部チャンバーと外部チャンバーの圧力を等しくコントロールすることにより，内部チャンバーへの外部からの空気の流入が排除され，内部チャンバー範囲内の透気係数が正確に測定できる仕組みである [5]。なお，測定は**図－2** に示す箇所で行った。

モデル試験体の圧縮強度は，**図－2** に示すとおり，所定の材齢においてφ75mm のコア供試体を採取し，コンクリート表面から深さ方向に 4 本の試験体（L=80mm）

表－5　試験項目および方法

試験項目	試験方法	対象 Model V	対象 Model S
ｽﾗﾝﾌﾟ	JIS A 1101 に準拠	○	
空気量	JIS A 1128 に準拠	○	
ﾌﾞﾘｰﾃﾞｨﾝｸﾞ率	JIS A 1123 に準拠	○	
脱水量	2.4 参照	○	○
あばた率	「透水型枠工法施工ｶﾞｲﾄﾞﾗｲﾝ試案」のあばた率測定方法による (2.4 参照) 測定面積：200×200mm	○	○
透気係数	トレント法による (2.4 参照) 試験材齢：28 日	○	○
圧縮強度	[ﾓﾃﾞﾙ試験体] JIS A 1107 に準拠 (2.4 参照) 試験材齢 28 日	○	－
	[強度確認] JIS A 1108 に準拠 標準水中・現場封かん養生 試験材齢 28 日	○	
伝播速度	超音波式ｺﾝｸﾘｰﾄ試験機による (2.4 参照) 試験材齢 42 日	○	－
促進中性化深さ	中性化促進試験機による (2.4 参照) CO_2 濃度：10 % 試験材齢 56 日(材齢 28 日にコア採取後，28 日間中性化促進)	○	－



図－2　各種試験の測定箇所

写真－1　透気試験機

を用いて検討した。

伝播速度は，市販の超音波式コンクリート試験機（探触子：φ50mm，共振周波数 50kHz）を用いて印加電圧 1.2kV，毎秒 10 パルスで加振し，得られた伝播時間と測定距離から算定して求めた。なお，測定は**図－2** に示す箇所で行った。

促進中性化深さは，**図－2** に示す位置で，材齢 28 日において採取したφ100mm×200mm のコア供試体の両端面にアルミテープを貼り，CO_2 濃度 10%の雰囲気の促進中性化槽内で 28 日間静置させた後，割裂した断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して測定を行った。なお，中性化深さの測定は，コンクリート表面から深さ方向に 10mm 間隔で行った。

3. 実験結果および考察

3.1 基礎性状

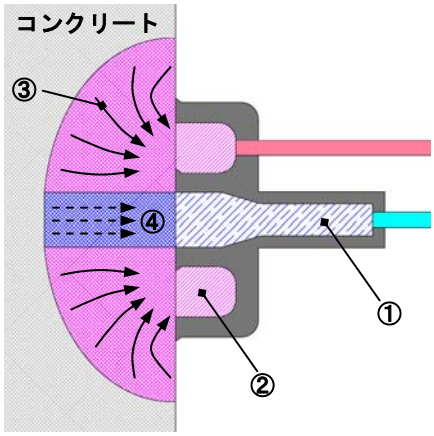
本研究で使用したコンクリートは，荷卸し時のスランプが 11.5cm，空気量が 4.8%，ブリーディング率が 2.24%であった。強度確認用試験体の圧縮強度は，標準水中養生で 31.3N/mm^2，封かん養生で 27.5N/mm^2 であった。

3.2 脱水量

各種透水シートの脱水量を**図－4** に示す。透水シートを敷設した型枠は，敷設していないものに比べて透水量は極めて多くなった。シート A およびシート B において，鉛直モデルの Model V に比べて斜モデルの Model S の透水量が多くなる傾向を示しているが，これは，Model S のほうが Model V に比べて，透水シートの敷設面積が大きかったためであると考えられる。また，シート C については，シート A およびシート B の構造と異なり，排水ネットを透水シートと併用するものであるため，他のシートに比べて排水性が高く，Model V においても脱水量が多くなり，最も脱水効果が優れる結果となった。

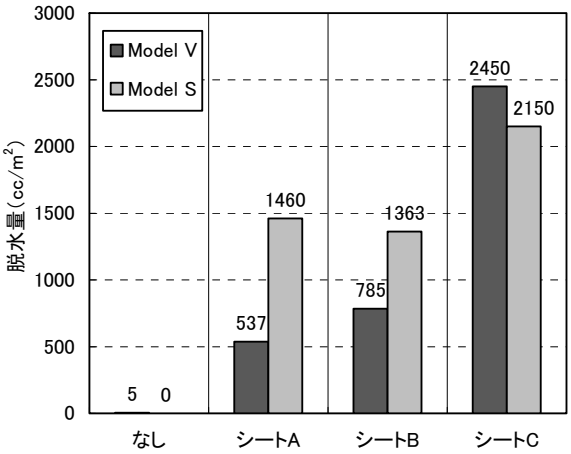
3.3 あばた率

Model S のコンクリートの表面の観察像を**写真－2** に



① 内側チャンバー圧力
② 外側チャンバー圧力
③ 外側チャンバーへの空気流
④ 内側チャンバーへの空気流

図－3　透気試験装置概要図



図－4　脱水量

示す（各種シート形状も併記）。透水シートを敷設していない面では，コンクリートの表面にあばたが多く生じているのに対し，透水シートを敷設したものは殆どあばたが確認されなかった。これらの効果を定量的にあばた率として評価したものを**図－5** に示す。鉛直モデルの Model V の場合，透水シートを敷設していない面でも最大 1%程度とあばた率は小さかった。一方，斜モデルの Model S の場合，透水シートを敷設していない面で 7%程度のあばた率であったのに対し，透水シートを敷設した面は 1%以下と非常に小さな値を示し,透水シートを敷設することによる効果が顕著に表れた。以上の結果より，鉛直面に比べて斜面に敷設することで，透水シートの有効性が高くなることが明らかとなった。

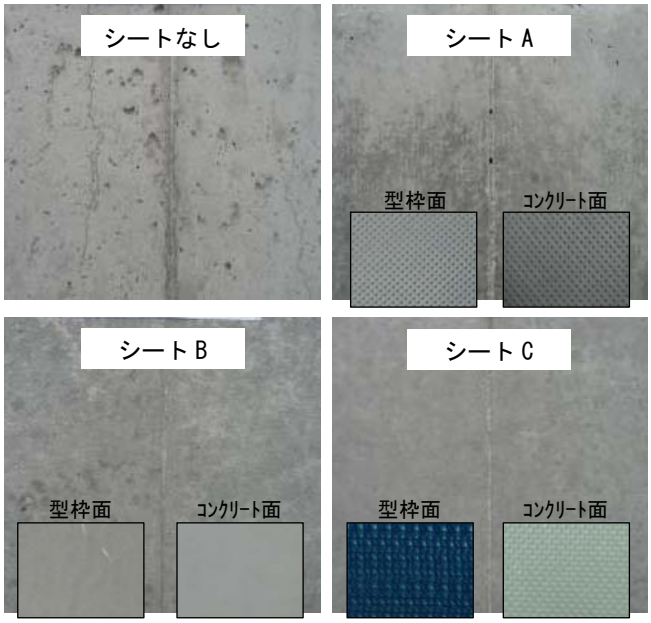
3.4 透気係数

透水シートを敷設した，コンクリートの表面における透気係数を**図－6** に示す。透水シートを敷設した面は，

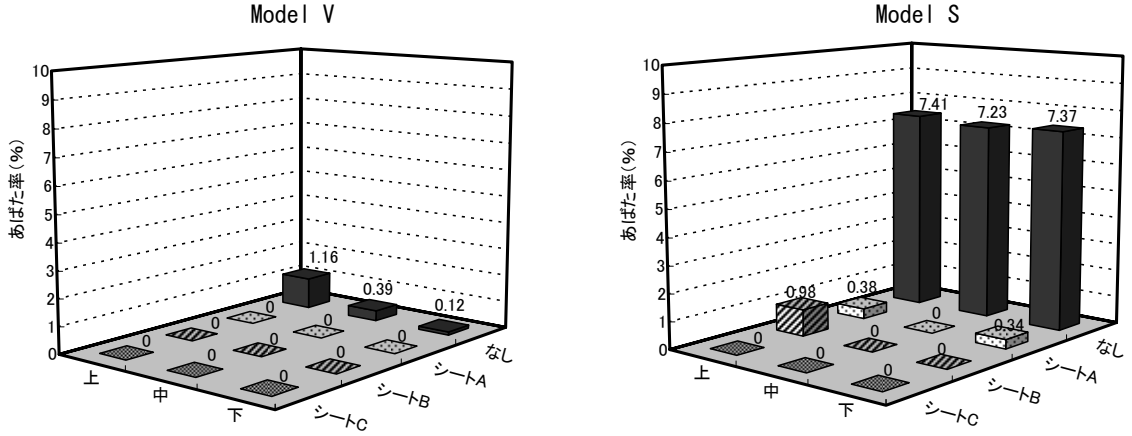
敷設していない面に比べて透気係数が小さくなる傾向がみられた。その傾向は斜モデルの Model S のほうが顕著であり，透水シートを敷設することで 1/10～$1/10^3$ 程度に減少する結果となった。これは，前述した脱水量の増加やあばたの減少により，コンクリートの表面組織が緻密化したためであると考えられる。また，透水シートを敷設していない面では，コンクリートの圧密の影響による高さ方向での値の差が大きかったが，透水シートを敷設した面ではその差異は小さく，これらの結果から，上部の測定箇所（コンクリートの打設面から 100mm 下）においても，透水シートによる改質効果があることが伺える。

3.5 圧縮強度

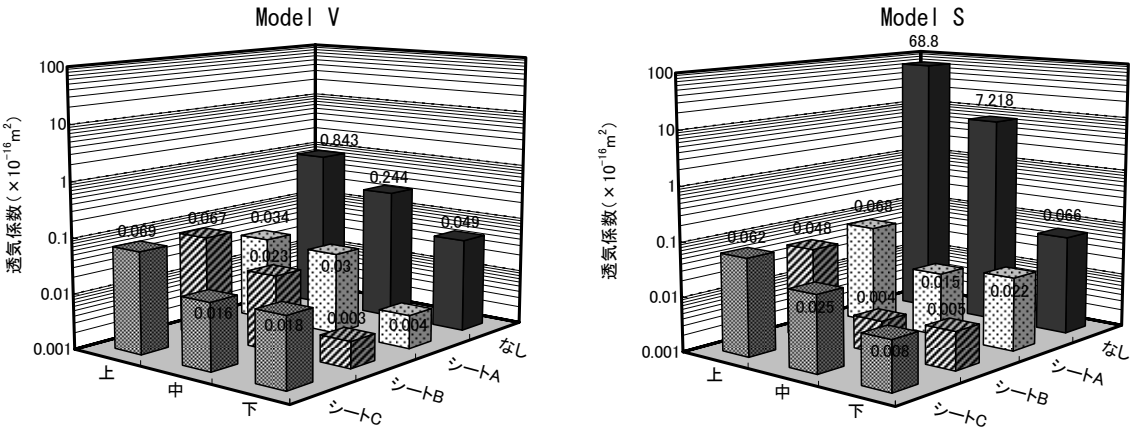
各測点におけるコア供試体の圧縮強度を**図－7** に示す。最もコンクリートの表面に近い測点①では，透水シートを敷設していないコンクリートに比べ，透水シートを敷設したものは，中央部および下部（コンクリ



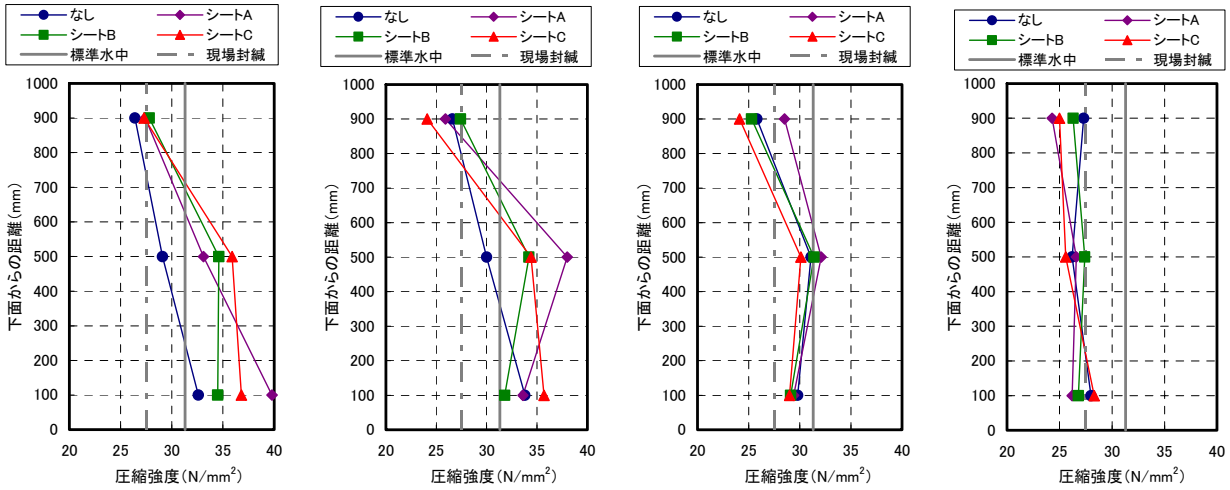
写真－2　あばた観察像（Model S）



図－5　あばた率

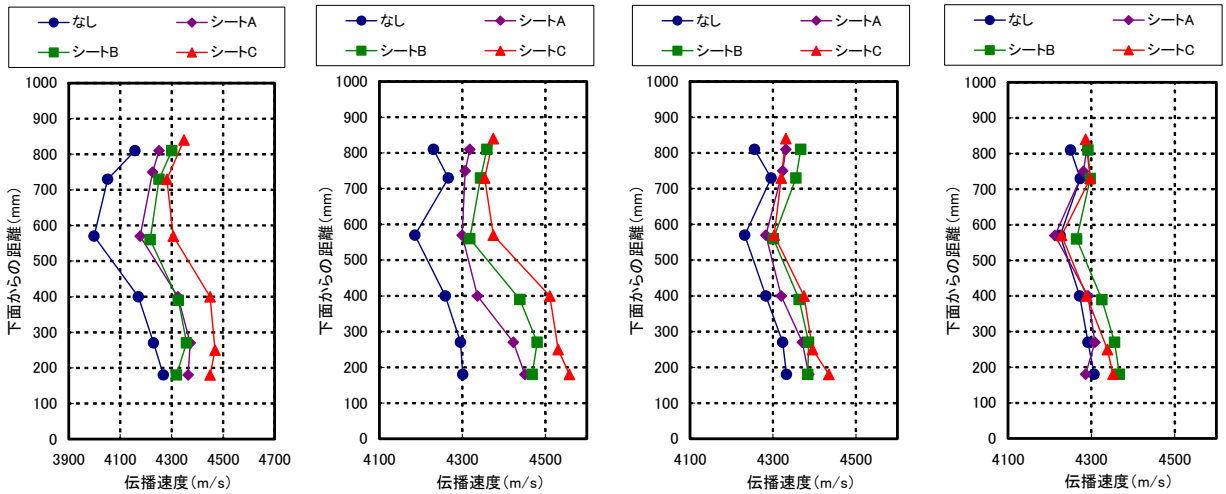


図－6　透気係数



a）測点①（表面から 45mm）　b）測点②（表面から 145mm）　c）測点③（表面から 245mm）　d）測点④（表面から 445mm）

図－7　圧縮強度



a）測点①（表面）　b）測点②（表面から 25mm）　c）測点③（表面から 75mm）　d）測点④（表面から 175mm）

図－8　伝播速度

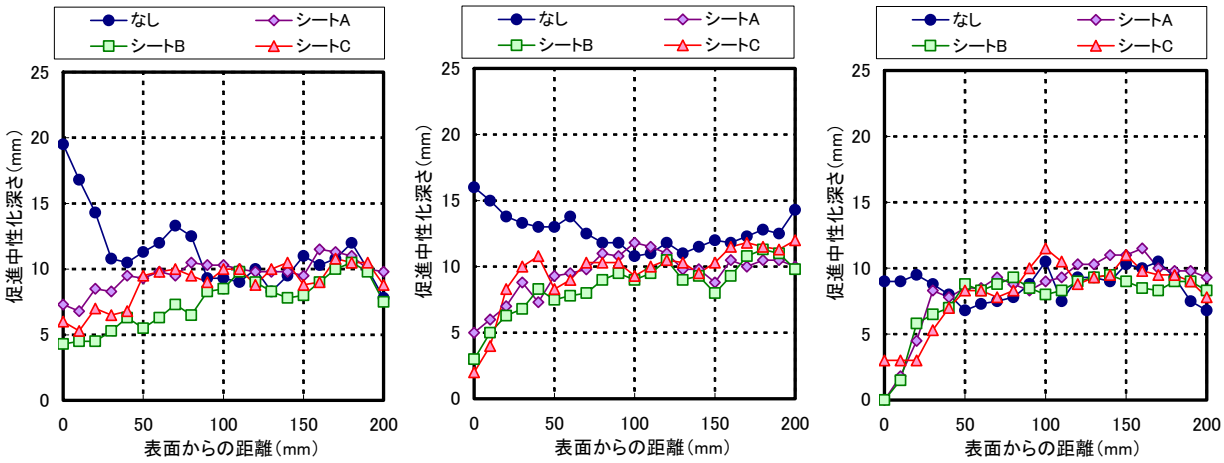
ートの下面から 100mm 上）の圧縮強度が大きくなる傾向を示し，特に中央部では 10N/mm^2 程度の差異がみられた。この圧縮強度の差は，コンクリートの表面からの深さが増加するのに伴い小さくなり，測点③のおよそ 250mm 以深においては，透水シートを敷設していないものとほぼ同等の値を示すことから，本研究で検討した透水シートを用いた場合，測点②の深さが 150mm 程度までは，圧縮強度の増進が期待できることがわかった。

3.6 伝播速度

各測点における伝播速度を**図－8** に示す。測点①のコンクリートの表面，および測点②の表面から 25mm の位置では，透水シートを敷設していないコンクリートに比べ，透水シートを敷設したものは，伝播速度が 100～200m/s 程度小さくなる傾向を示した。この差異は，圧縮強度と同様，コンクリートの表面からの深さが増加するのに伴い小さくなり，測点④の表面から 175mm の位置においては，透水シートを敷設していないものとほぼ同等の値を示した。これより，本研究で検討した透水シートは，伝播速度の結果からもおよそ 150mm 程度の深さまでは改質できることが伺える。

3.7 促進中性化深さ

コア供試体の表面からの距離と促進中性化深さの関係を**図－9** に示す。透水シートを敷設していないコンクリートの場合，上部および中央部において，表面から 50mm の範囲の促進中性化深さは，それ以深のものに比べて大きくなっており，内部のコンクリートよりも組織が粗になっていることが伺える。一方，透水シートを敷設したコンクリートの場合，上部，中央部，および下部の全てにおいて，逆に促進中性化深さは内部のそれに比べて小さくなる傾向を示し，コンクリート表面の改質効



図－9　表面からの距離と促進中性化深さの関係

果がみられた。これは，コンクリート表面組織の緻密化に伴うものと考えられるため，本研究では，コンクリートの表面（表面からの距離 0mm）における促進中性化深さと 3.4 の透気係数との関係性を検討した。その結果，透気係数と促進中性化深さの間には**図－10** に示すとおり概ね相関がみられ，これより，本研究で使用した透気試験機から求まる透気係数を用いることで，コンクリートの中性化に対する抵抗性を評価できることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究の範囲では，以下の結論が得られた。

(1)透水シートを敷設した型枠を使用することにより，コンクリート表面のあばたを大幅に軽減することができるため，シートの模様は若干残るものの美観が向上する。その効果は斜面の場合に顕著となる。

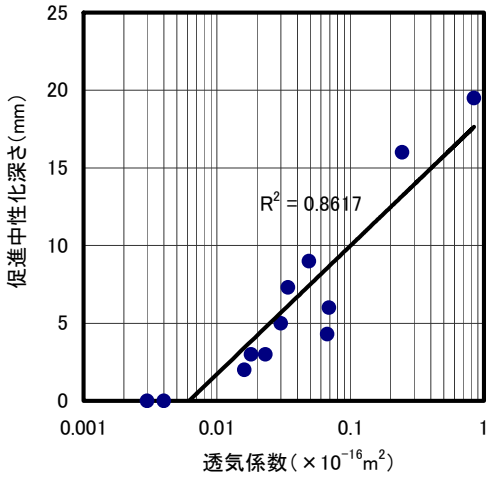
(2)透水シートを敷設した型枠を使用することにより，コンクリート表面の透気性が軽減される。透気係数は，敷設していないものと比較して 1/10～1/10^3 程度に減少する。

(3)透水シートを敷設した型枠を使用することによる，コンクリートの圧縮強度や伝播速度に及ぼす影響範囲は，コンクリート表面から 150mm 程度である。

(4)透水シートを敷設した型枠を使用することにより，コンクリート表面の中性化に対する抵抗性が向上する。

(5)コンクリート表面の中性化深さは透気係数と相関があり，透気試験の結果から，コンクリート表面の中性化に対する抵抗性を間接的に評価することができる。

謝辞:本研究で使用した透気試験機による測定では，富士物産㈱のご協力を頂きました。末筆ながら謝意を表します。



図－10　透気係数と促進中性化深さの関係

参考文献

1) 笠井芳夫ほか：透水型枠及び合板型枠を用いたコンクリートの品質判定に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.10，No.2，pp.441-446，1988.6

2) 竹田宣典ほか: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報告集，Vol.11，No.1，pp.683-688，1989.6

3) 三島直生ほか:透水性型枠を使用したコンクリートの性能改善，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，No.1，pp.363-368，2004.6

4) 透水・脱水コンクリートの品質改善方法研究委員会：透水型枠工法施工ガイドライン試案，日本コンクリート工学協会，2003

5) 今本啓一ほか：実構造物の表層透気性の非・微破壊試験方法に関する研究の現状，コンクリート工学，Vol.44，No.2，pp.31-38，2006.2