論文　排水湿潤連続養生における転用可能な透水性シートの開発

直町　聡子[*1]・松元　淳一[*2]・堀口　賢一[*3]・臼井　達哉[*2]

要旨：コンクリートの表層品質を向上する方法である排水湿潤連続養生に使用する，転用可能な透水性シートを開発した。従来の透水性シートは，転用するとセメント粒子の目詰まりが生じ，転用後余剰水を排水することが不可能であった。今回，新たに開発した透水性シートは，織布のポリプロピレン製，不織布をポリエステル製とすることで，転用 10 回目まで余剰水を排水でき，外観，中性化に対する耐久性も従来シートより向上していることが確認できた。今後は実プロジェクトに適用し，表層品質が向上したコンクリート構造物を構築していく予定である。

キーワード：透水型枠，透水性シート，転用回数，表層品質，排水量

1. はじめに

これまでに構築されてきた社会資本の維持管理費用が，今後急激に増大していくことが予想される。特に高度経済成長期に建設された構造物においては喫緊の課題となっている。このようなことから，これからの新設構造物に対しては，従来以上に高品質，高耐久なコンクリートを施工することで，従来のメンテナンスコストの低減が求められている。この対策として，コンクリートの表層品質を改善し，劣化因子の経路となるひび割れを防止することが挙げられ，その具体的な方策としては，水セメント比を低減することや，養生方法を工夫することが考えられる。ここで，養生に関する技術としては，型枠内部に専用のシートを設置し，打込み直後の余剰水や気泡を排出する透水型枠 [1)]や，脱型後のコンクリート表面の湿潤状態を保つ湿潤養生マット [2)]などが実用化されている。

筆者らは，養生によるコンクリートの表層品質の向上を目的として，既に排水湿潤連続養生を開発し，表層品質の改善を実用化している [3)]。排水湿潤連続養生はこれまでに，橋梁やトンネル覆工等の各種構造物に適用されており，コンクリートの表層の品質向上が確認されている。しかしながら，2～3 回型枠を転用すると透水性シートの劣化や，セメント粒子の目詰まりによる余剰水の排水量の低下や，コンクリート表面の色むらが発生するため，型枠としての転用性が低いことが課題として挙げられた。そこで，セメント粒子の目詰まりを防止し，転用性を向上させるために，透水型枠に貼付する新たな透水性シートを開発した。本報では，転用可能な透水性シートに関する研究成果について報告する。

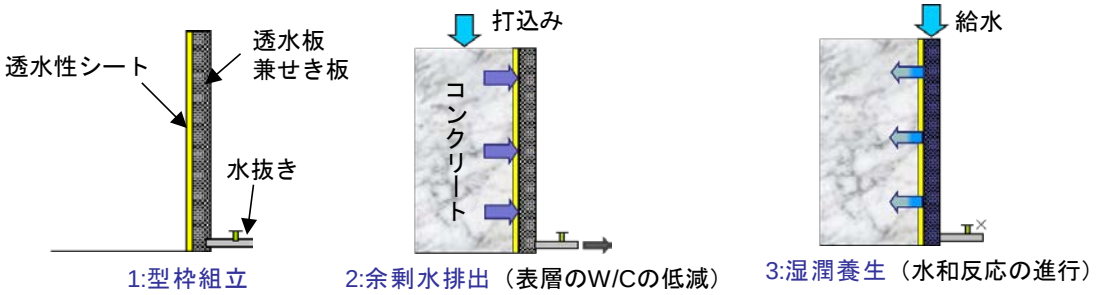
2. 排水湿潤連続養生の概要

図－1 に排水と給水が連続的に行える透水型枠の構造と養生の実施手順を示す。

・フレッシュコンクリートから余剰水を排水し，硬化開始後のコンクリート表面に養生水を給水することができる樹脂製の透水板をせき板とし，コンクリートの接触面には透水性シートを設置した透水型枠を組み立てる。

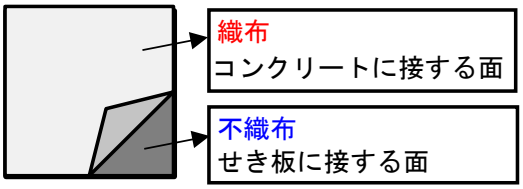
・型枠内にコンクリートを打込む。コンクリート表層の余剰水や空気泡を排出し，表層部の水セメント比を低減させる。

・凝結終了後に水抜きの栓を閉じ，透水板に給水することにより，湿潤養生をする。



図－1　排水湿潤連続養生の概要

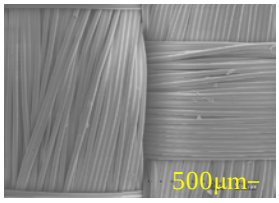
*1 大成建設（株）　技術センター　社会基盤技術研究部材工研究室研究員　博士（工学）　(正会員)
*2 大成建設（株）　技術センター　社会基盤技術研究部材工研究室主任研究員　博士（工学）　(正会員)
*3 大成建設（株）　技術センター　社会基盤技術研究部材工研究室主席研究員　博士（工学）　(正会員)



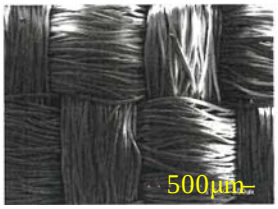
図－2　透水性シートの概要

表－1　透水性シートの物性

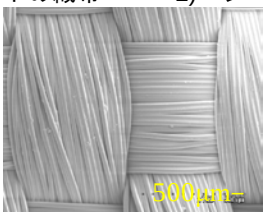
実験番号	シート名称	シート物性	目付 (g/cm^2)
1，2	従来シート	織布：PET(640D) 不織布：PP(70g)	278
1	シート A	織布：PET(300D) 不織布：PP(70g)	245
2	シート B	織布：PP(516D) 不織布：PET(30g)	150



1)　従来シートの織布



2)　シート A の織布



3)　シート B の織布

図－3　透水性シートの拡大写真

本技術開発では，コンクリート表層部の余剰水や空気泡を排出しつつ，セメント粒子による目詰まりの少ない，転用性の高い透水シートの開発を目指した。**図－2** に，透水性シートの概要を示す。透水シートは，織布と不織布を組み合わせたシートであり，織布がコンクリートに接する面，不織布が透水板に接する面に位置する構成となっている。シートを構成する織布と不織布の構成繊維の種類や太さ（デニール数），および目付量(g/m^2)などが，水と空気泡の排出とセメント粒子の堰き止めの役割を担っているため，シートの物性が大きく影響を及ぼすと考えられる。

このようなことから，織布と不織布の種類とデニール数を変化させた時の複数回の転用による余剰水の排水量とコンクリート表面の色合いに着目した際の，転用性の向上効果を検証した。

表－2　コンクリートの配合

実験番号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)				
			W	C	S	G	Ad
1	54.0	47.0	174	323	849	942	2.58
2	55.0	47.7	170	309	848	955	0.77

表－3　コンクリートの使用材料

実験番号	記号	材料種類および物性	
実験 1	W	上水道水	
	C	普通ポルトランドセメント （密度 3.16g/cm^2）	
	S	細骨材 （混合砂 表乾密度 2.62g/cm^2）	千葉県山砂 55%
			高知県砕砂 25%
			三重県砕砂 20%
	G	粗骨材 （混合粗骨材 表乾密度 2.66g/cm^2）	東京都八王子産 40%
			山梨県大月産 30%
			埼玉県秩父産 30%
	Ad	AE 減水剤（標準型）	
実験 2	W	上水道水	
	C	普通ポルトランドセメント （密度 3.16g/cm^2）	
	S	細骨材	君津産混合砂 （表乾密度 2.60g/cm^2）
	G	粗骨材	青梅 5 号 （表乾密度 2.65g/cm^2）
			青梅 6 号 （表乾密度 2.64g/cm^2）
	Ad	AE 減水剤（標準型）	

3. 転用性向上に関する実験

3.1 実験概要

転用可能な透水性シートを開発するために 2 種類の実験をした。実験 1 では，透水性シートの繊維のデニール数の影響を評価した。実験 2 では，透水性シートの繊維の種類の影響を評価した。

(1) 透水性シートの物性

表－1 に，透水性シートの物性を示す。また，**図—3** には，透水性シートの拡大写真を示す。排水湿潤連続養生を適用してきた箇所で使用してきたシートを，従来シートと称す。**表－1** に示すシート物性の織布のデニールは 9000m に対する質量 g を示す。例えば従来シートの織布は 640 デニールのため，9000m が 640g の糸であることを示す。また，不織布は従来シートの場合，1m^2 当たり 70g の質量あることを示す。目付 g/cm^2 は，織布，織布と不織布の接着剤，および不織布の質量を目付量として示した。

実験 1 で用いるシートは，従来シートよりも織布のデニール数を小さくしたシート（シート A，と称す）であ

る。従来シートは，脱型時コンクリートとの剥離性が悪く耐久性に問題があった。そこで，剥離性を向上させるために，従来シートの繊布の 640 デニールよりも小さい 300 デニールのシートを用いた。

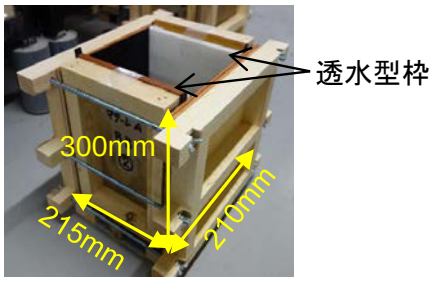
実験 2 で用いるシートは，繊維のデニール数は従来シートと概ね同程度とし繊布をポリプロピレン製，不織布をポリエステル製としたシート（シート B，と称す）である。従来シートは転用に伴い余剰水の排水量が低下し，これはシートへのセメント粒子の目詰まりが原因であると考えられた。そこで，コンクリートに接する面の繊布には素材に傷が入りにくいポリプロピレンを，せき板に接する面の不織布には目付量を従来シートよりも少なくしたポリエステル製とした。

(2) 供試体

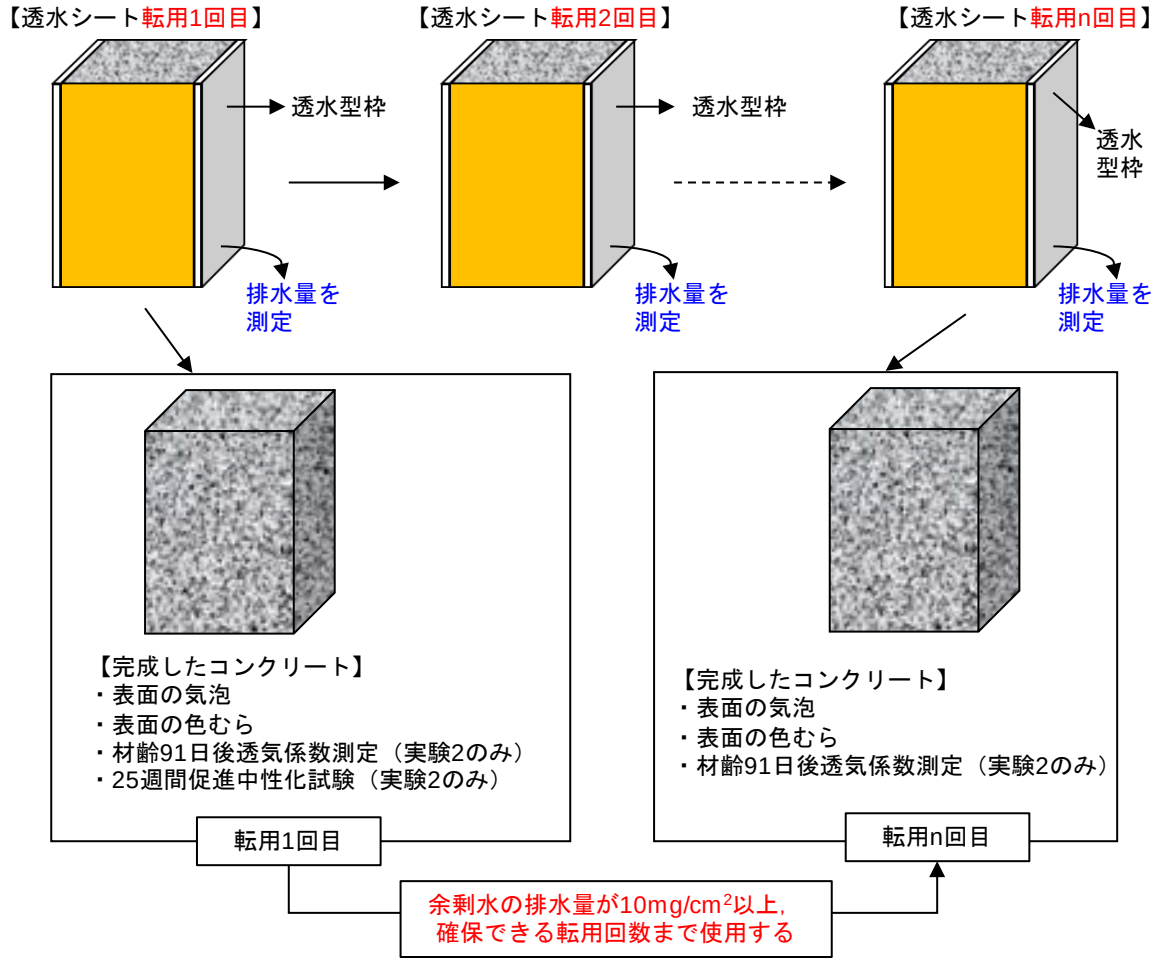
表－2 にコンクリートの配合，**表－3** に使用材料を示す。排水湿潤連続養生型枠の適用現場のコンクリートの配合に合わせ水セメント比 54，55%，単位水量は 174，170kg/m^3 とし，これまでの知見から比較的ブリーディング水量が多く，透水・給水型枠による表層品質向上の効果が期待できる配合を選定した。**図－4** に，供試体形状を示す。側面 2 面に透水型枠を設置した。打込みは 2 層とし，各層それぞれに棒状バイブレータを用いて 10 秒間の締固めを行った。

(3) 実験内容

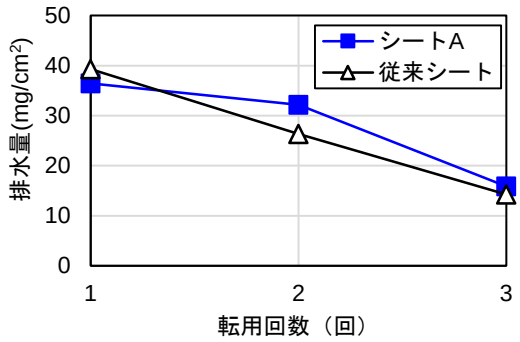
図－5 に，実験フローを示す。コンクリートを打込み，24 時間経過後に脱型し，余剰水の排水量とコンクリート表面の外観を目視により評価した。余剰水を回収し測定可能な最低排水量である 10mg/cm^2 以上の場合，透水型枠を転用することとした。型枠転用の際には，透水性シートは水洗いせず使用した。なお，本来の排水湿潤連続養生では，余剰水の排水後に給水の工程を設けるが，排水時の透水性シートへのセメント粒子の目詰まりに着目



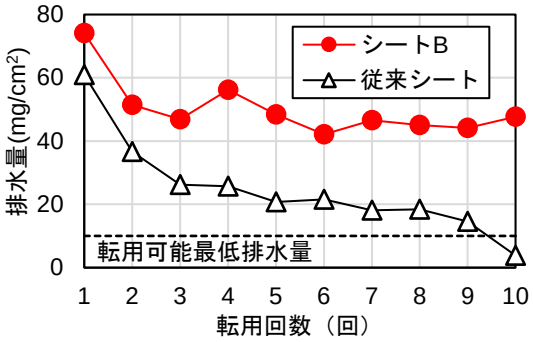
図－4　供試体形状



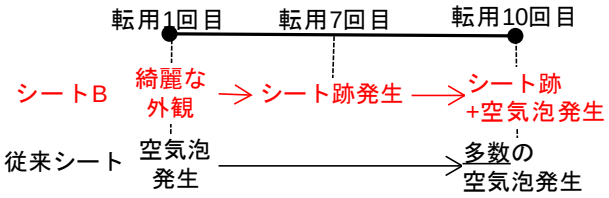
図－5　実験フロー



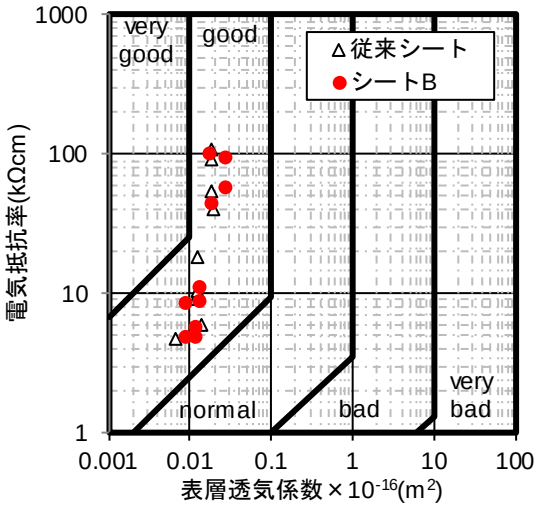
図－6　排水量の測定結果（実験 1）



図－7　排水量の測定結果（実験 2）



図－8　コンクリート表面の外観目視結果



図－9　転用 1～10 回目の排水量の測定結果
（実験 2）

したため，給水工程は実施せずに，透水性シートを複数回転用した。

透水性シートの種類による表層品質を定量的に評価するために，実験 2 で製作した供試体を用いて 2 種類の耐久性試験を実施した。コンクリート打込みから 91 日後に，表層透気試験（トレント法）による表層透気係数 [5] を測定した。また，透水シート転用 1 回目コンクリートの表層透気係数測定後，JIS A 1153 に準拠し促進中性化試験を 25 週間実施した。

4. 実験結果

4.1 透水性シートの繊維のデニール数が排水量に及ぼす影響（実験 1）

図－6 に，実験 1 の余剰水の排水量の測定結果を示す。従来シートとシート A の排水量は，概ね同程度の結果であり，転用回数の増加に伴い排水量は大きく低下した。コンクリートの表面は，シート A で空気泡がコンクリート表面に全体的に残っていた。3 回転用した従来シートとシート A には全体的にセメント粒子が付着し，目詰まりが認められた。また，脱型時にコンクリートから従来シートおよびシート A を剥がす際に，透水性シートがコンクリートに付着し，透水性シート自体の耐久性も十分ではなかった。これは，**図－3** に示すようにシート A の織布は織り目の凹凸が大きい（アンカリング効果）ため，従来シートよりもコンクリートと絡みやすい構造であることが原因であると考えられる。**図－5** では，余剰水の排水量が 10mg/cm² 以上であれば転用することとしたが，透水性シートの目詰まりおよびシートへのコンクリートの付着が確認されたため 3 回以上転用することはできないと判断した。

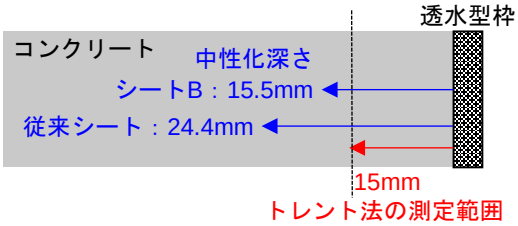
このように，透水性シートの繊維のデニール数を変更しても，転用後の排水量を 10mg/cm² 以上確保することは難しいことや，転用後コンクリートとの剥離性が悪く脱型することが難しかったため，透水性シートの材質を変更し実験 2 を実施した。

4.2 透水性シートの繊維の種類が排水量に及ぼす影響（実験 2）

図－7 に，実験 2 の余剰水の排水量の測定結果を示す。従来シートは，転用に伴う排水量の低下が認められ，転用 10 回目で排水量が 10mg/cm² 以下であった。一方で，シート B で確認された排水量は，転用 2 回目以降，10 回目まで同程度であった。また，**図－8** に，コンクリート表面の外観目視結果で特徴的な点をまとめた。目視で外観を確認したところ，従来シートは，転用 1 回目から 10 回目まで空気泡が全体的に発生していた。一方，シート B は，転用 7 回目以降にシート跡が目立ち，転用 10 回目で初めて空気泡が発生した。

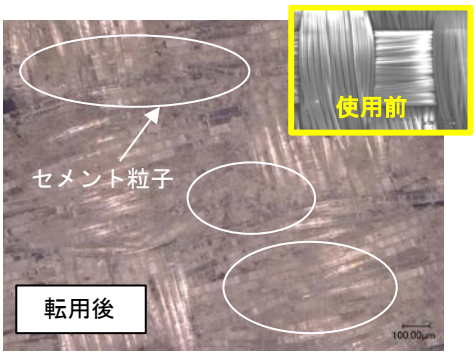
表－4　中性化深さ測定結果（実験 2）

シート種類	促進 25 週 中性化深さ(mm)
シート B	15.5
従来シート	24.4

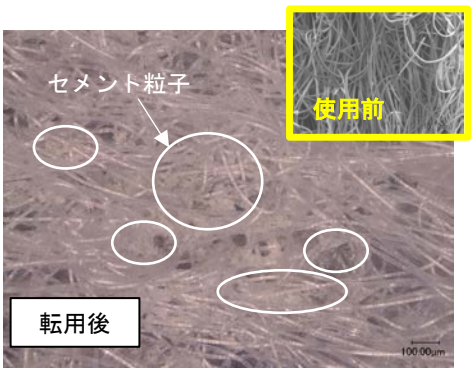


図－10　測定項目と測定範囲について

図－9 に，表層透気係数測定結果を示す。図－9 より，従来シートとシート B の表層透気係数は概ね同程度であるが，電気抵抗率が大きく異なる結果であった。試験体の打込み，養生，表層透気試験実施までの条件は全ての試験体で同様の環境である。そのため，試験までの環境条件でなく，他の原因が電気抵抗率の測定結果に影響を及ぼしていると考えられる。透水型枠の転用回数と電気抵抗率の関係性も確認できていないことから，コンクリートの含水率のばらつきが影響していると考えられるが，この原因については今後の課題とする。図－9 より，表層透気係数に着目すると転用 1～10 回目の全てで同程度の値であることから，転用に伴う表層品質の低下は認められないことがわかった。表－4 に，転用 1 回目のコンクリート供試体の中性化深さ測定結果を示す。表－4 より，従来シートよりも，シート B は中性化深さが小さい。ここで，図－10 に，測定項目とその範囲の概念図を示した。早川ら [5]によると，表面透気試験により評価している深さは，表層透気係数が 0.05($10^{-16}m^2$)程度以下は 15mm 未満，0.05～3($10^{-16}m^2$)程度の範囲では 30mm 未満程度，であることが報告されている。図－9 より，表層透気係数は 0.05($10^{-16}m^2$)程度以下であるため，15mm 未満の評価であることが考えられる。つまり，本研究の従来シートとシート B は，深さ 15mm 程度まで図－9 に示す表層透気係数がシート種類によらず同程度であるため，品質も同程度であると考えられる。一方で，中性化促進試験では，コンクリートの表層 15mm より以深の影響も把握でき，表－4 に示すようにシート B の方が従来シートよりも中性化深さが小さい結果となっているためシート種類の違いが中性化深さに影響を及ぼしていると考えられる。図－7 に示す余剰水の排水量は，シート B の方が従来シートよりも多いため，シート B は表層 15mm よりも以深



1)　織布（コンクリート側）



2)　不織布（透水板側）

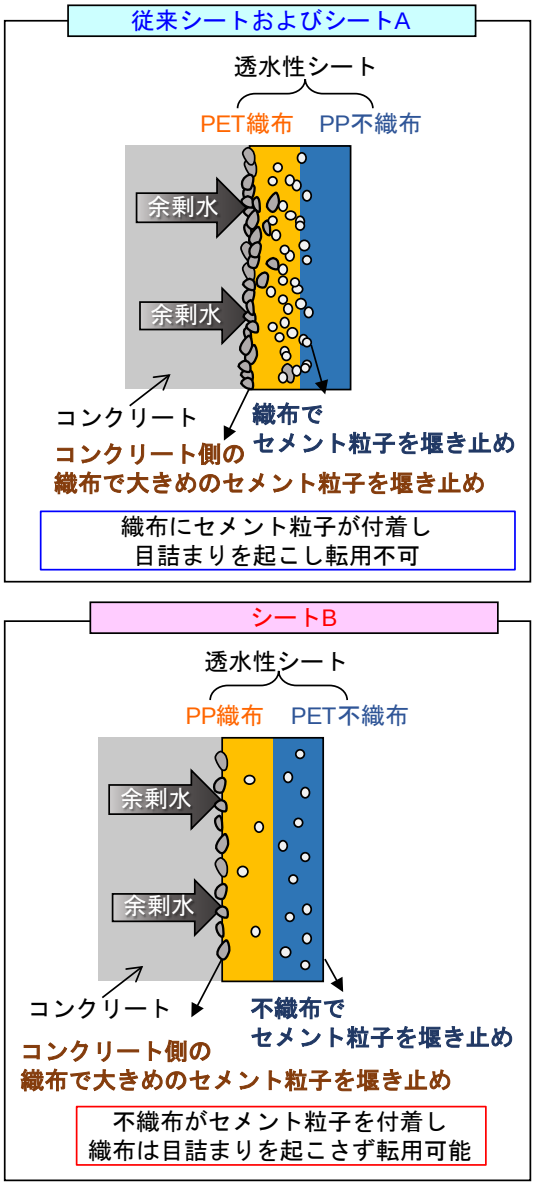
図－11　転用 10 回後のシート B の画像

部分からも余剰水を排水し，内部も密実なコンクリートであると考えられる。

表－1 に示すように，従来シートから織布の材質をポリプロピレン製(PP)に変更したシート B は，余剰水の排水量を確保できシートへのセメント粒子の堰き止め，コンクリートとの剥離性も高く脱型時にシートが破損しなかったことから，10 回まで転用することが可能となった。また，シート B を用いることで表層品質が向上し，表層から 15mm 以深でも密実なコンクリートとなっていると考えられる。

4.3 透水性シートの転用性向上のメカニズム

今回開発したシート（シート B）が，従来シートおよびシート A よりも，転用性が向上した要因について記述する。ここで，図－11 に，転用 10 回後のシート B をマイクロスコープで撮影した写真を示す。図－11 より，コンクリート側の織布にはセメント粒子が付着せず，不織布にセメント粒子が多く付着していることを確認した。また，従来シートは，織布と不織布の間に多くのセメント粒子が残存していることが目視で確認できた。図－12 に，シートの種類毎に考えられる余剰水の排水メカニズムのイメージ図を示す。織布がポリエステルの従来シートおよびシート A は，転用に伴い織布に余剰水と共に移動した比較的大きいセメント粒子の塊や，余剰水中のセメント粒子が付着し目詰まりを起こしたと考えられる。



図－12　シート種類毎の排水メカニズム

つまり，従来シートおよびシート A の転用時に排水量が減少した要因は，ポリエステル製の織布にセメント粒子が詰まり排水が不可能であることが原因であると推察される。一方で，シート B のコンクリート側の織布に比較的大きいセメントの塊が付着し，織布中にはセメント粒子は付着せず，不織布にセメント粒子が付着したと考えられる。これはポリプロピレン製に変更した結果，織布へのセメント粒子の付着が防止され，ポリエステル製の不織布にセメント粒子が付着したため 10 回の転用が可能になったと考えられる。

5. まとめ

排水湿潤連続養生に使用する，転用性の高い透水性シートを開発した。

本研究で得られた知見を以下に示す。

(1) 透水性シートに使用する糸の太さの違いは，余剰水の排水量やコンクリートの表面に気泡の発生の抑制効果がないことがわかった。

(2) 透水性シートの織布の材質をポリエステルからポリプロピレンに変更したところ，余剰水の排水量を確保でき，コンクリートとの剥離性も良いため脱型時の透水性シートの破損もなく，従来シートよりも転用性が向上した。

(3) 今回新たに開発したシートと従来シートの表層透気係数を比較すると同程度であった。一方で中性化深さは，開発したシートの方が従来シートよりも小さいことがわかった。これは開発したシートが表層 15mm 以深からも，余剰水を排水し密実なコンクリートとなっているためである。

(4) 排水湿潤連続養生に使用する透水性シートの織布をポリプロピレン製，不織布をポリエステル製とすることで 10 回転用することが可能である。

今後は，新規透水性シートを用いて排水湿潤連続養生を実プロジェクトに適用し，表層品質が向上したコンクリート構造物を構築する予定である。

謝辞

本研究の透水性シートは，大成建設株式会社と小松マテーレ株式会社との共同開発であることを付記する。関係者各位に感謝する次第である。

参考文献

1) 日本コンクリート工学協会：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・論文集，2004.9

2) 野々目洋，月永洋一，高柳彰宏，藤井真之：吸水性ポリマ及び水膨潤ウレタンを用いたコンクリート養生マットの養生効果に関する研究，セメント・コンクリート論文集，Vol.56，pp.325-332，2002

3) 臼井達哉，宮原茂禎，荻野正貴，岸利治：排水・湿潤連続養生によるコンクリートの耐久性向上技術の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1558-1563，2014

4) R.J.Torrent and G.Frenzer: A method for the rapid determination of the coefficient of permeability of the concrete, Proceedings of the International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering, pp-985-992,1995.9

5) 早川健司，水上翔太，加藤佳孝：表面透気試験による構造体かぶりコンクリートの品質評価に関する基礎的研究，土木学会論文集 E2，Vol.68，No.4，pp.385-398，2012