

# コンクリートの品質改善を目的とした型わく用透水シートの開発

——エクセルフォーム工法——

芳賀孝成 十河茂幸  
竹田宣典 平田隆祥

## Development of Permeable Sheet for Formwork to Improve Quality of Concrete

——EXCEL Form Method——

Takashige Haga Shigeyuki Sogo  
Nobufumi Takeda Takayoshi Hirata

### Abstract

This report describes the results of experiments on the effects in improvement of durability and appearance of concrete using formworks faced with permeable sheets. The permeable sheet devised by the authors has the property of providing better release from concrete at time of form removal compared with sheets used in conventional methods.

As a result of using this permeable sheet, it was confirmed that surface strength is increased, pockmarks on the surface are decreased, neutralization is inhibited, and water-tightness and sealing off of salts are improved due to removal of surplus water and air bubbles at the surface of concrete. Accordingly, it is considered that the durability of a concrete structure will be improved.

### 概要

本報告は、透水性シートをコンクリート用型わくに貼り付けてコンクリートを打設した場合のコンクリートの耐久性および美観の向上効果についての実験結果をまとめたものである。著者らの考案した透水性シートは、従来工法に用いられているシートに比べて脱型時のコンクリートと剝離性の良いものである。

実験の結果、この透水性シートを用いた場合、コンクリート表面部の余剰水や気泡が排出されるために、コンクリートの表面の強度の増大、あばたの減少、中性化の抑制、水密性・遮塩性の向上などの効果が確認され、コンクリート構造物の耐久性は向上するものと考えられる。

### 1. はじめに

コンクリートの耐久性を向上させることを目的として、型わくに透水性あるいは吸水性のシートを貼り付けてコンクリートを打設する方法が、従来から試みられてきた<sup>1)</sup>。

これらのシートは、コンクリートとの剝離性・シートの耐久性が良くないことあるいはコストが高いことなどの理由により、一般的に普及するには至らなかったが、近年、これらの問題点を解決した透水性あるいは吸水性のシートが考案され、その使用が増加してきている<sup>2),3)</sup>。

これらの工法は、コンクリートの打込み・締め固め時に生じるコンクリート中の余剰水や気泡を、型わくに貼り付けたシートを通して外部に排出させるか、あるいはシートに吸収させることによって、表面部のコンクリートを緻密化・高強度化させるものである。その結果、二

酸化炭素や塩素イオンなどの鉄筋腐食の要因となる物質の浸入の抑制、あるいは水密性の向上が期待でき、コンクリートの耐久性の向上に効果があると考えられる。

著者らは、従来工法に用いられている透水性シートに比べて、脱型時のコンクリートとの剝離性の良い透水性シートを用いた型わく工法（エクセルフォーム工法）を考案し、研究を行ってきた。

本報告では、この透水性シートを用いた型わく工法を適用した場合のコンクリートの耐久性改善の効果について述べる。

### 2. 透水性シートを用いた型わく工法の概要

#### 2.1. 工法の原理

図-1に透水性シートを用いた型わく工法（エクセルフォーム工法）の原理を示す。コンクリート中には、セメントの硬化に必要な水のほかに、適度なワーカビリティ

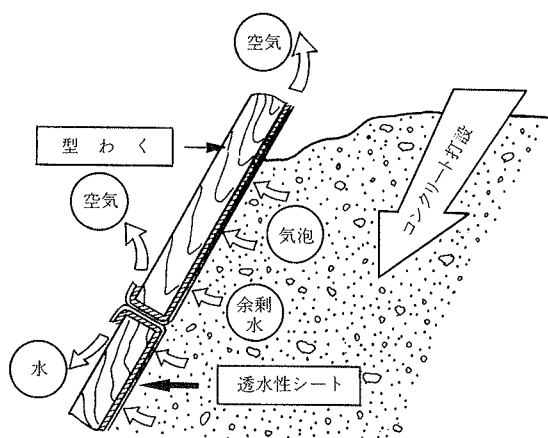


図-1 透水性シートを用いた型わく工法の原理

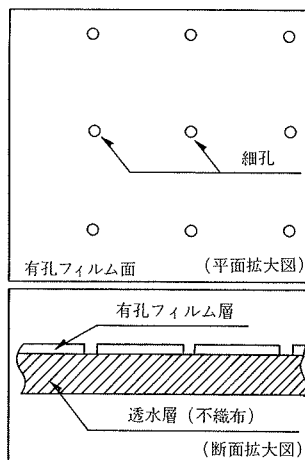


図-2 透水性シートの構造

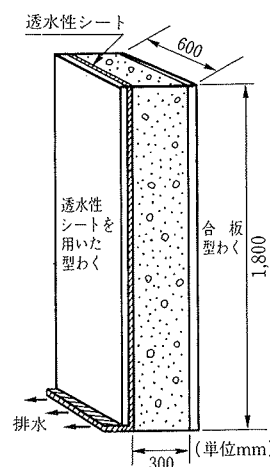


図-3 供試体の形状・寸法

一を確保するための水、あるいは打込み時に混入する気泡が含まれている。これらの余剰水や気泡は、コンクリート打設時に自重による圧力によって、透水性シートに取込まれ、外部へ排出される。その結果、表面部のコンクリートが緻密化し、また水セメント比が低下することにより、表面強度は増大する。

### 2.2. 透水性シートの構造

図-2 に透水性シートの構造を示す。透水性シートは表面に細孔が規則的に配置された有孔フィルム層と透水性の良い材質を用いた透水層との2重構造となっている。

コンクリート表面と接触する有孔フィルムは、コンクリートとの剥離性の良い材料を用いている。余剰水および気泡は有孔フィルムの細孔より取り込まれる。

## 3. 実験概要

### 3.1. 供試体

図-3 に供試体の形状・寸法を示す。

型わくには、厚さ 12 mm の化粧合板を用い、片面の型わくに透水性シートを貼り付け、他方の型わくはそのまま使用した。

表-1 に実験に用いたコンクリートの配合を示す。セメントは普通ポルトランドセメント (NP: 比重 3.16, 比表面積 3,220 cm<sup>2</sup>/g) および中庸熱ポルトランドセメント (MP: 比重 3.21, 比表面積 3,230 cm<sup>2</sup>/g) を用い、後者を用いた配合には内割 20% のフライアッシュ (比重 2.23, 比表面積 4,140 cm<sup>2</sup>/g, SiO<sub>2</sub> 含有率 50.4%) を用いた。細骨材には木更津産山砂 (比重 2.60), 粗骨材には青梅産碎石 (比重 2.65) を用いた。

水結合材比は 60% と 45% とし、スランブは 4 ± 1.5 cm, 14 ± 1.5 cm, 20 ± 1.5 cm の 3 段階とした。

コンクリートは 3 層に分けて打設し、締固めは棒状バイブレータにより 1 層につき 30 秒間行なった。脱型は、

NO	セメントの種類	G <sub>max</sub> (mm)	W/(C+F) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S	G	F	a.d.
①	NP	20	60	47	147	245	899	1034	0	0.61
②					160	267	874	1004	0	0.67
③					168	280	860	988	0	0.70
④	MP		45	44	160	356	786	1020	0	0.89
⑤			60	47	150	200	894	1028	50	0.63
⑥			45	44	150	267	803	1036	67	0.83

表-1 コンクリートの配合

NO	セメントの種類	W/(C+F) (%)	フレッシュコンクリート		圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )*			
			スランブ (cm)	空気量 (%)	標準養生		現場養生	
					材令7日	材令28日	材令7日	材令28日
①	NP	60	4.5	4.4	240	327	141	203
②			14.0	5.0	264	338	153	233
③			20.0	4.0	235	322	138	202
④	MP	45	13.0	3.3	400	501	232	335
⑤		60	14.5	4.9	87	180	59	93
⑥		45	15.0	4.2	187	339	115	185

(\*) 供試体作成・試験方法は JIS A1108 に準拠

表-2 フレッシュコンクリート試験・圧縮強度試験結果

打設後 4 日で行ない、その後、所定の試験材令まで屋外においてシートで覆い気中養生を行なった。

表-2 に試験に用いたフレッシュコンクリートの試験結果と圧縮強度試験結果を示す。

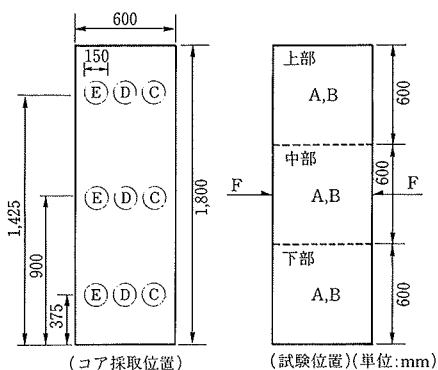
### 3.2. 試験項目・試験方法

表-3 に試験項目および試験方法を示す。中性化促進試験・海水浸漬試験、透水試験は供試体より採取したコア (直径 150 mm) を用いて実施した。

図-4 に試験位置およびコア採取位置を示す。それぞれの試験は供試体の上部・中部・下部において行なった。

試験項目	試験方法	コア採取位置 (試験位置)
脱水量	型枠の下部において、透水性シートによって排出される水の量を測定	—
表面硬度	シュミットテストハンマー 材令7日、28日において試験(日本材料学会) $f'_c=13 \cdot R'-184$ (R'は角度による補正を行なう)	A
表面のあばた	表面あばたの写しとり あばた率= $\frac{\text{あばたの面積}}{\text{測定面積}(30 \times 30 \text{cm})}$	B
中性化速度	中性化促進試験 ・コア供試体( $\phi 150 \times 150$ )、試験材令1箇月 ・CO <sub>2</sub> 濃度5%、温度30°C、湿度40%の室内に2箇月間放置後、割裂しフェノールフタレイン液の変色域を測定	C
塩溶性	人工海水浸透試験 ・コア供試体( $\phi 150 \times 150$ )、試験材令1箇月 ・Cl <sup>-</sup> 濃度1.8%の人工海水に2箇月間浸漬後、割裂しフルオレセインナトリウム液の変色域を測定	D
水密性	透水試験 ・コア供試体( $\phi 150 \times 150$ )、試験材令1箇月 ・10kgf/cm <sup>2</sup> の水圧を48時間作用させ、水の浸透範囲より拡散係数を求める	E
超音波速度(P波)	コンクリート表面から、深さ方向に1cmごとに測定、試験材令2箇月	F

表一三 試験項目・試験方法



図一四 試験位置・コア採取位置

NO	セメントの種類	W/(C+F) (%) (スランプ cm)	測定位置	表面強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) 材令7日				あばた率 (%)		中性化深さ (mm)		塩分浸透 深さ(mm)		脱水量 (cc/m <sup>2</sup> )
				A	B	A	B	A	B	A	B			
①	NP	60 (4.5)	上部	160	101	215	141	0.17	6.0	*	*	*	*	2065
			中部	163	107	238	150	0.02	2.7	11.6	19.6	14.3	17.0	
			下部	167	117	250	176	0	1.8	*	*	*	*	
②	NP	60 (14.0)	上部	161	98	214	152	0.09	7.9	9.8	20.8	10.9	20.6	2690
			中部	158	112	226	174	0.01	2.2	4.5	22.2	12.9	18.6	
			下部	190	117	266	179	0	1.2	3.8	19.0	10.2	19.6	
③	NP	60 (20.0)	上部	152	112	209	160	0	3.9	*	*	*	*	2881
			中部	184	120	240	175	0	1.5	5.0	21.0	10.3	16.6	
			下部	204	128	269	200	0	1.1	*	*	*	*	
④	NP	45 (13.0)	上部	222	131	275	207	0.06	1.9	2.5	10.6	10.3	11.6	2639
			中部	265	160	304	193	0	1.8	0.6	14.4	7.5	11.1	
			下部	270	159	309	213	0	0.3	0.8	13.5	7.4	11.4	
⑤	MP	60 (14.5)	上部	68	40	134	109	2.7	10.5	23.0	36.8	10.5	27.7	2623
			中部	93	46	200	120	0	3.6	16.8	36.2	13.0	30.5	
			下部	151	56	223	121	0	1.3	5.6	36.5	9.7	30.3	
⑥	MP	45 (15.0)	上部	124	93	213	155	0.03	8.5	8.8	25.0	10.9	19.7	2315
			中部	164	82	249	167	0	2.4	0.8	22.2	10.5	22.5	
			下部	206	85	290	182	0	1.3	2.7	19.1	9.4	20.4	

(注) A:透水性シートを用いた型わく、B:合板型わく

表一四 試験結果一覧表

#### 4. 実験結果および考察

表一四に試験結果の一覧表を示す。

##### 4.1. 透水性シートからの脱水量

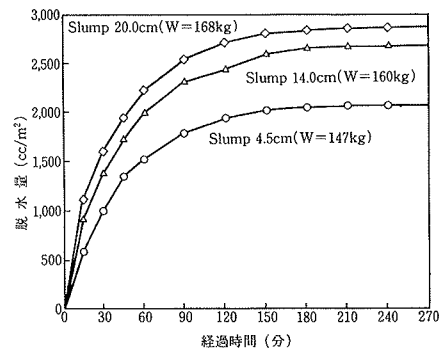
図一五にスランプが異なる場合の脱水量の経時変化を示す。脱水はいずれも、打設後3時間でほぼ終了するが、スランプが大きいほど脱水量は多い。またスランプが同一程度(単位水量=150~160 kg/m<sup>3</sup>)である場合は、セメントの種類、水結合材比にかかわらず、脱水量に大きな差はなかった。今回の実験の範囲内では、脱水量は単位水量に影響されると考えられる。

##### 4.2. あばた率

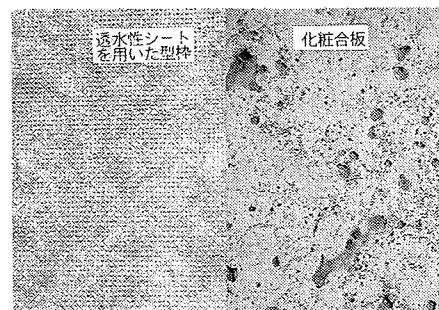
写真一に透水性シートを用いた場合と合板型わくを用いた場合のコンクリートの表面状態を示す。合板型わくを用いた場合のあばた率は1~10%の範囲にあるが、透水性シートを用いた場合は、配合にかかわらず、あばたをほとんど無くすることができた。あばたの減少は、美観の向上の他に耐久性の向上にもつながると考えられる。

##### 4.3. 表面強度

図一六にセメントの種類および水結合材比が異なる場合の表面強度の推定値を示す。いずれの配合も、透水性シートを用いると、合板型わくを用いたものに比べて、著しく表面強度は増加する。また、合板型わくを用いた場合は、高さによる強度差は小さいが、透水性シートを用いると下部ほど表面強度は増加する。これは、下部ほど型わくに作用する圧力が大きいため、脱水が多くなり、水結合材比が小さくなったためと考えられる。



図一五 脱水量の経時変化



写真一 コンクリートの表面状態

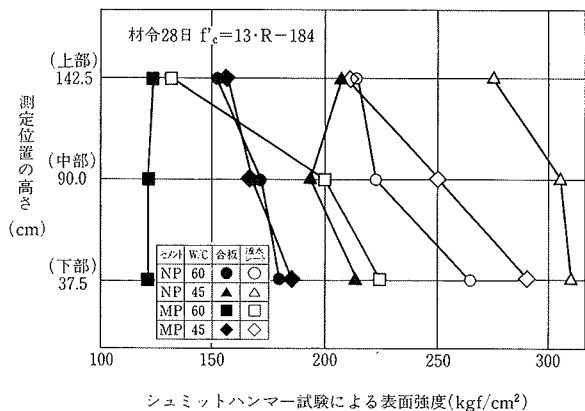


図-6 表面強度の推定値

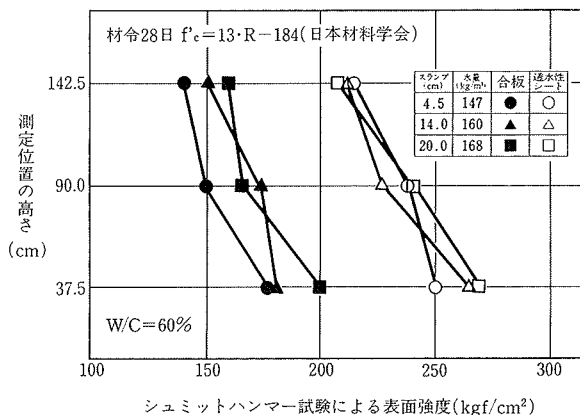


図-8 表面強度の推定値 (スランプが異なる場合)

図-7 に透水性シートを用いた場合の合板型わくを用いた場合に対する表面強度比を示す。いずれの配合も、若材令において強度比は高く、強度発現の遅い中庸熟ポルトランドセメント (MP) を用いたものが、その傾向が強い。材令28日における NP の強度増加率は30~50%であるが、MP (w/c=60%) のそれは、上部で20%、下部で80%であり強度増加率の測定位置による差が大きい。この NP と MP の高さによる強度増加率の差は、コンクリートの凝結速度の違いが、型わくに作用する側圧に影響するために生じると考えられる。

図-8 にスランプが異なる場合の表面強度の推定値を示す。いずれも、透水性シートを用いたものは、合板型わくを用いたものと比べて30~50%程度の強度増加がみられ、下部ほど表面強度は高くなった。

コンクリートの表面強度が増加することは、乾湿繰り返しに対する抵抗性、凍結融解抵抗性、耐磨耗性、二酸化炭素、塩素イオンの侵入の抑制などによりコンクリートの耐久性の向上に効果があると考えられる。

#### 4.4. 中性化速度・塩分浸透速度

図-9 に中性化促進試験および海水浸漬試験の結果を示す。透水性シートを用いた場合の中性化深さは、合板型わくを用いた場合に対して、NP で20~50%、MP で15~60%の範囲であった。また、いずれも下部ほど中性化の進行が遅い。

塩分浸透深さは、いずれも合板型わくを用いた場合に対して小さく、MP では50%以下となった。

また、スランプが大きいほうが、中性化深さおよび塩分浸透深さは小さくなった。これは、単位水量が多い場合、脱水量が多くなるため、表層部のコンクリートが著

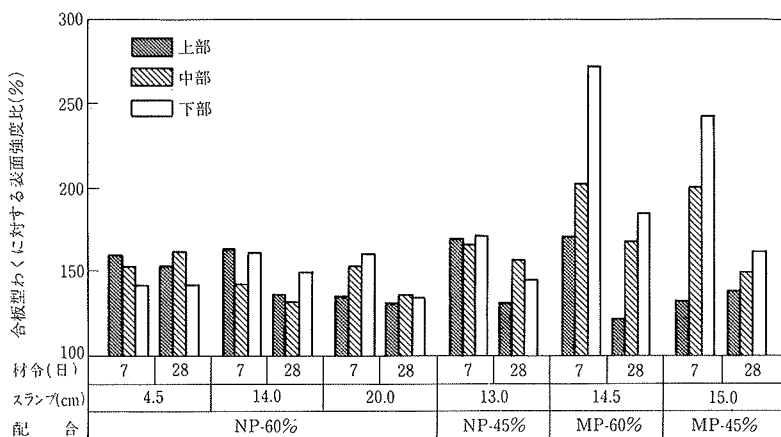


図-7 合板型わくに対する表面強度比 (合板型わく=100)

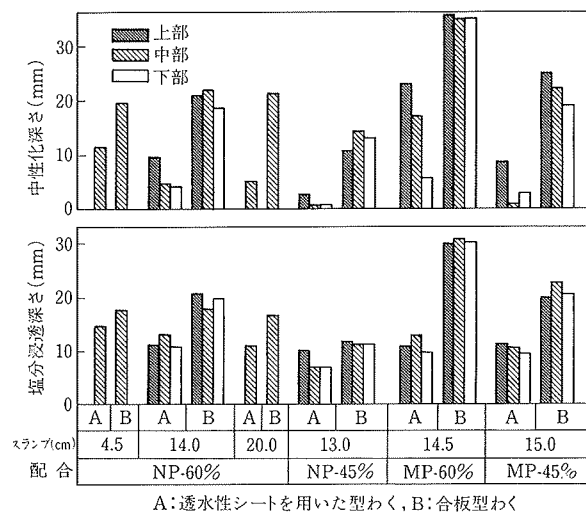
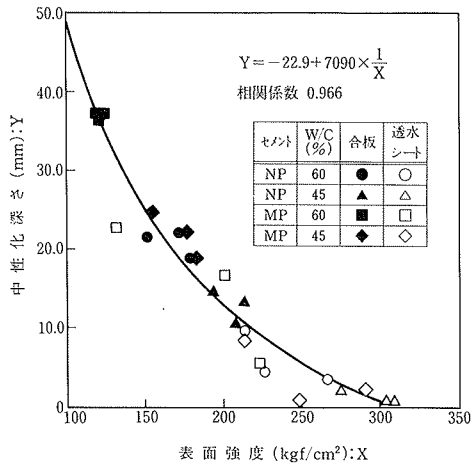


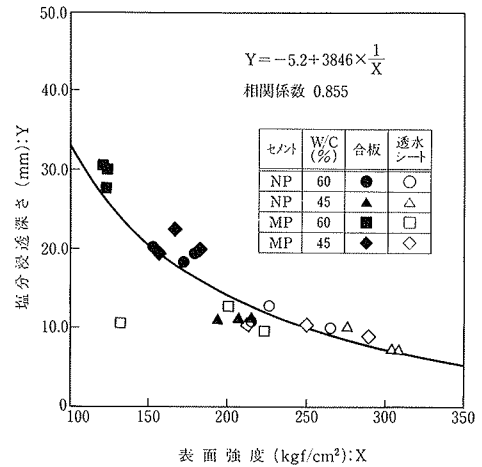
図-9 中性化促進試験・海水浸漬試験結果

しく緻密化し、CO<sub>2</sub> あるいは Cl<sup>-</sup> の侵入を抑制するためであると考えられる。

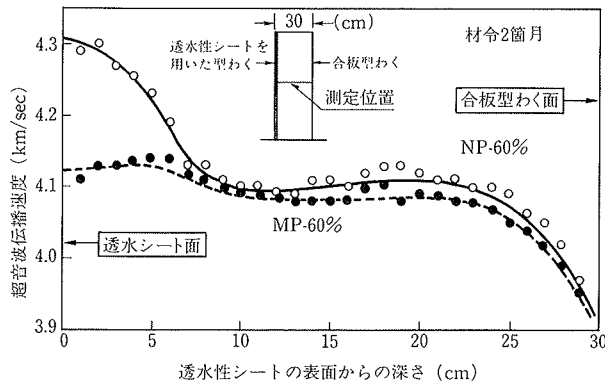
JASS 5 (建築学会標準仕様書) によると、普通セメント (w/c=60%) を使用したコンクリートは20年で約20 mm の深さまで中性化すると推定されるが、同一環境



図一10 表面強度と中性化深さの関係



図一11 表面強度の塩分浸透深さの関係



図一12 超音波伝播速度測定結果

NO	セメントの種類	W/(C+F) (%)	単位水量 (kg/m³)	拡散係数 (×10⁻⁴ cm²/sec)	
				透水シート型わく	合板型わく
①	NP	60	147	172	485
②			160	74	432
③			168	125	528
④			45	160	8.3
⑤	MP	60	150	141	1000以上
⑥			45	150	107

表一5 透水試験結果

条件において、透水性シートを用いたものは5~10 mm程度であり、中性化速度の抑制効果が認められた。

図一10、図一11に表面強度と中性化深さおよび塩分浸透深さの関係を示す。中性化深さおよび塩分浸透深さは表面強度と相関関係があり、コンクリートの表面強度を高くすることにより、中性化速度および塩分浸透速度を遅くすることが可能である。

#### 4.5. 水密性

表一5に透水試験の結果を示す。拡散係数は、配合によって差があるが、透水性シートを用いた場合、合板型わくを用いた場合の1/4~1/16となった。

#### 4.6. 超音波伝播速度

図一12に透水性シートを用いたコンクリートの表面からの深さと超音波伝播速度（縦波）の関係を示す。超音波伝播速度は、合板型わくを用いた場合、表面の乾燥などにより一般的に、表面部では内部に比べて遅くなる。一方、透水性シートを用いた場合には、表面部では内部に比べて速いかあるいは同程度であった。

超音波伝播速度からも、透水性シートの脱水作用により、コンクリートの表面部は合板型わくを用いたものに

比べて、緻密化・高強度化されていることが確認できた。

### 5. まとめ

材料および配合の異なる種々のコンクリートについて、透水性シートを用いた型わく工法を用いた結果、いずれにおいても表面強度の増加、あばた率の減少、中性化の抑制、遮塩性・水密性の向上効果が確認できた。

よって、本工法は耐久性を要するコンクリート構造物に広範囲に適用できるものと考えられる。今後、ダム堤体やドーム構造物などへ適用を図っていく予定である。

### 参考文献

- 1) セメント協会調査室：Hydron（ハイドロン）、吸水性型枠裏張材、セメントコンクリート、No. 48, (1951), pp. 35~38
- 2) 池田, 田中, 他：透水型枠(テキスタイルフォーム)によるコンクリート表層部品質の改善と鉄筋コンクリートと表層部品質の改善と鉄筋コンクリート建築物への適用、熊谷技報第40号, (1987), pp. 55~64
- 3) 大友, 新藤, 他：高吸水ポリマーシートをもちいたコンクリート型枠面の物性改良工法、コンクリート工学年次論文報告集, 9-1, (1987), pp. 311~314