論文 ひび割れ供試体を用いた無機系表面含浸材の透水に対する抵抗性評 価

藤井 知明*1·出村 克宣*2·橋本 純*3

要旨:本研究では,新規なひび割れ制御技術を用いて作製したひび割れ供試体に無機系表面含浸材を含浸し て,透水に対する抵抗性の評価を行うと共に,その試験方法の妥当性について検討している。3種類の大きさ のひび割れを有する供試体のひび割れ部分に,表面含浸材を含浸して透水試験を行った結果,ひび割れ幅が 大きくなるほど透水量は大きくなるが,無機系表面含浸材は,ひび割れ内部で結晶を生成することに起因し て,含浸供試体の透水に対する抵抗性は,未含浸供試体の 2~3 割程度向上する。又,適用した試験方法は, 表面含浸材の透水に対する抵抗性の評価に有用である。

キーワード:ひび割れ供試体,ひび割れ幅,透水量,無機系表面含浸材

1. はじめに

表面含浸材はコンクリート表面から含浸して、その表 層部を改善する性能を持つことから、近年、ひび割れ補 修用材料としての表面含浸材の使用が期待されている。 しかし、表面含浸材をひび割れ箇所に適応した場合の性 能については研究事例が少ない。このことは、表面含浸 材の性能評価のためのひび割れを有する供試体の作製 が困難であることによるものと考えられる。これまでに 提案されているひび割れの形成方法としては、円柱供試 体を割裂して、その割裂面を付き合わせてひび割れを形 成する方法1,2)や、コンクリート板の裏側に切り込みを 入れて曲げ載荷して破断し、その破断面を付き合わせて ひび割れを形成する方法³⁾などがある。しかし、これら のひび割れ形成技術によれば、供試体が一度分割された 後、再びそれらを一体化するものであり、鉄筋コンクリ ート構造物において発生しているひび割れを再現して いるとは言い難い。

そこで,筆者らは,硬化したモルタル及びコンクリー ト供試体を割裂することなくひび割れを形成する技術 を開発した。この技術によれば,供試体表面からひび割 れが進行して,供試体の適当な深さにおいてひび割れが 閉塞した状態にあり,既存構造物の表層部から内部に向 かって進行しているひび割れを再現していると考えら れる。

本研究では、その技術を用いて、ひび割れを有する供 試体を作製し、ひび割れ部分に無機系表面含浸材を含浸 して、その透水に対する抵抗性評価を行っている。又、 その結果から、適用した試験方法の表面含浸材の透水に 対する抵抗試験方法としての妥当性について検討して いる。

*1	戸田建設	(株) 修士(工学)(正会員)	
*2	日本大学	工学部建築学科教授 工博	(正会員)
*3	日本大学	工学部機械工学科教授 工博	

2. 使用材料

2.1 セメント

セメントとしては, JIS R 5210(ポルトランドセメント) に規定される普通ポルトランドセメントを使用した。そ の物理特性及び化学性質を Table 1 に示す。

2.2 細骨材

細骨材としては、川砂を使用した。その性質を Table 2 に示す。

Table 1	Physical Properties and Chemical Compositions
	of Ordinary Portland Cement.

Densi (g/cm	Blaine Density Specifi g/cm ³) Surface		Setting Time (h-min)			
		(cm^2/g)	Initial Set	Final Set		
3.16		3320	2-25	3-27		
Compressive Strength of Mortar (MPa)						
3d		7d		28d		
30.2		44.5		60.9		
Chemical Compositions (%)						
MgO	SO ₃	ig. loss	Total Alkali	Chloride Ion		
1.55	2.04	2.04	0.55	0.012		

Table 2	Properties of Fine Aggregate.	

Size (mm)	Bulk Density (kg/l)	Density (g/cm ³)	Water Absorption (%)
≦2.5	1.33	2.64	2.27

2.3 粗骨材

粗骨材としては,砂岩砕石を使用した。その性質を Table 3 に示す。

ater rption %)

Table 3 Properties of Coarse Aggregate.

2.64

1.13

2.4 練混ぜ水

5**~**20

練混ぜ水としては,水道水を使用した。

1.61

2.5 混和剤

混和剤としては, AE 減水剤を使用した。使用した AE 減水剤の主成分は, リグニンスルホン酸化合物とポリオ ールの複合体であり, その性質を Table 4 に示す。

Table 4 Properties of Air-Entraining and Water-
Reducing Admixture.

Appearance	Density (g/cm ³ , 20°C)	Alkaline Content (%)	Chloride Ion Content (%)
Puce lipuid	1.04-1.08	1.0	0.03

2.6 表面含浸材

表面含浸材には, 無機系であるケイ酸ナトリウム系表

面含浸材を使用した。

3. 試験方法

3.1 ひび割れ供試体の作製

3.1.1 基材モルタル及び基材コンクリートの作製

JSCE-K 571 [表面含浸材の試験方法(案)] に従って, 基材モルタル及び基材コンクリートを寸法 100×100× 400mm に成形し, 1d 湿空 [20℃, 90% (RH)] 及び 27d 水中(20℃) 養生を行って,基材モルタル及び基材コン クリートを作製した。Table 5 には,基材モルタル及び基 材コンクリートの調合を示す。

3.1.2 ひび割れの形成

基材モルタル及び基材コンクリートを寸法 100×100 ×50mm 及び 100×100×100mm に切断して供試体とし た後,寸法 100×50mm 又は 100×100mm の 1 面に,ダ イヤモンドカッターにより,幅 3mm,深さ 10mm のひび 割れ制御スリットを設けた。その後,供試体に外部応力 を加えた状態で,ひび割れ制御スリット部分に応力を発 生させて,ひび割れ制御スリットを設けた面からその対 面に向かってひび割れを形成し,これをひび割れ供試体 とした。なお,ひび割れが供試体を貫通しないようにこ れらの応力を制御した。形成するひび割れについては, なお,目標最大ひび割れ幅を L(最大ひび割れ幅:約 0.4mm),M(最大ひび割れ幅:約0.3mm)及び S(最大 ひび割れ幅:約0.2mm)の3種類とした。Table 6 には, ひび割れ供試体を示す。

	gn W/C (%)	Mix Proportions by Mass (kg/m ³)					
Sign		Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate	AE-WRA [*]	Remarks
M 50	50	247	494	1482	_	_	Cement:Sand 1:3 (by mass)
C 50	50	176	271	861	973	0.6775	_
C 65	65	176	352	761	1000	0.8800	_

 Table 5 Mix Proportions of Mortar and Concretes.

Note*: Air-entraining and water- reducing admixture.

L (≒0.4mm) *	M (≒0.3mm) *	S (≒0.2mm) *



Note *: Maximum crack width.

3.2 ひび割れ幅の測定

ひび割れ供試体のひび割れ制御スリット形成面の対 面(Photo 1 の下部)から 10mm 間隔で,8箇所(Photo 1 の 1~8 の箇所)のひび割れ幅を測定し,その平均値を 平均ひび割れ幅とした。又,ひび割れ制御スリット下部 のひび割れ発生起点の幅を最大ひび割れ幅として測定 した。なお,ひび割れの測定には,2 軸測定顕微鏡を使 用した。Photo 1 には,ひび割れ幅の測定箇所を示す。



Photo 1 Crack Width Measuring Points of Specimen.

3.3 透水試験 A 法

3.3.1 供試体の作製

水中養生後の基材モルタル及び基材コンクリートを 7d 乾燥 [20℃, 60% (RH)] 養生した後, 寸法 100×100 ×50mm のひび割れ供試体のひび割れ制御スリット部分 にシーリング材を充填して, ひび割れ供試体の片面に, 表面含浸材製造者の定める仕様で表面含浸材を含浸し, 7d 乾燥養生して含浸供試体とした。Fig.1 に透水試験の 手順を示す。Fig.2 には, 透水試験 A 法の供試体を示す。









3.3.2 透水試験

JSCE-K 571 に準じて,供試体の透水試験を行った。表面含浸材の含浸面に透水試験用の器具を取り付け,供試体下面のひび割れ面に止水テープを張った。次に,水頭が250mmになるように蒸留水を入れて水位を保った状態から,止水テープを取り外し,3min後までの透水量を測定した。なお,比較のため,未含浸供試体についても透水試験を行った。

3.4 透水試験 B 法

3.4.1 供試体の作製

水中養生後の基材モルタル及び基材コンクリートを 7d 乾燥養生した後, 寸法 100×100×100mm のひび割れ 供試体のひび割れ制御スリットを形成した面以外の4面 をエポキシ樹脂系接着剤でコーティングし,表面含浸材 製造者の定める仕様で,ひび割れ制御スリット部分から 無機系表面含浸材を注入し,7d 乾燥 [20℃,60% (RH)] 養生したものを含浸供試体とした。Fig.3 には,透水試験 B 法の手順を示す。Fig.4 には,透水試験 B 法の供試体を 示す。

3.4.2 透水試験



Fig.3 Procedure for Water Permeability Test-B.

Injection of Inorganic-Type



Fig.4 Specimen of Permeability Test-B.

JSCE-K571 に準じて,供試体の透水試験を行った。ひび割れ制御スリット部分に透水試験用の器具を取り付け

た。次に,水頭が250mmになるように蒸留水を入れ,蒸発しないようにパラフィン油をたらし,7d後の透水量を 測定した。その後,透水試験器具の中に蒸留水を留めた ままで,供試体を28d静置し,再度透水試験を行い,7d 後の透水量を測定した。

3.5 無機系表面含浸材の組織構造の観察

3.5.1 供試体の作製

寸法 100×100×100mm の基材モルタル切断面両面の ひび割れ部分をエポキシ樹脂系接着剤で塞ぎ,表面含浸 材製造者の定める仕様で,ひび割れ制御スリット部分か ら無機系表面含浸材を注入し,7d 乾燥養生したものを供 試体とした。

3.5.2 組織構造の観察

供試体の未含浸部分及び無機系表面含浸材組織から試 験片を採取し,その組織構造を,走査型電子顕微鏡で観 察した。

4. 試験結果及び考察

Table 7 には、供試体のひび割れ幅の測定結果を示す。 なお,ここに示す測定結果は、目標最大ひび割れ幅ごと に,40個の供試体について測定した各ひび割れ幅測定箇 所における平均値を示している。又,最大値 (Max.)は, ひび割れ制御スリット下部におけるひび割れ発生起点 の幅を, 平均値 (Average) はひび割れ測定箇所 1~8 の 平均値を表している。供試体寸法を 100×100×50mm 及 び100×100×100mmとし、100×100mmの断面にひび割 れを形成させる場合,本研究で適用した新規なひび割れ 形成技術により、最大ひび割れ幅を 0.15~0.5mm の範囲 で制御できることが明らかである。又、本研究で適用し たひび割れ形成技術によれば、供試体を割裂した場合の ようにその破断面が引き離されることはなく形成され るひび割れは、自然状態に近いものと推察される。なお、 目標最大ひび割れ幅L, M及びSにおける平均ひび割れ 幅は、それぞれ、約0.2、0.1 及び0.05mm であった。

Fig.5 には、透水試験 A 法による試験結果を示す。無 機系表面含浸材の含浸の有無にかかわらず、モルタル及 びコンクリートの透水量は、ひび割れ幅が大きいものほ ど大きい。又、未含浸供試体のものに比べて、ひび割れ 幅の大きさにかかわらず、含浸供試体の透水量は小さく なる傾向にある。これは、無機系表面含浸材を含浸する ことにより、ひび割れ部分に結晶が形成され、透水に対 する抵抗性が改善されることに起因するものと推察さ れる。また、ひび割れ幅 M と S を比較すると、最大ひび 割れ幅が 0.2mm を下回ると透水量は著しく減少する。一 般に、防水性確保のために、ひび割れ幅が 0.2mm 以上で は補修を必要とするひび割れであると言われている⁴⁾。 しかし、 0.2mm 以下のひび割れであっても、無機系表

Table 7 Crack Width of Specimer

Measuring	Crack Width of Specimens			
Points	S (mm)	M (mm)	L (mm)	
1	0.001	0.004	0.019	
2	0.007	0.022	0.046	
3	0.023	0.047	0.086	
4	0.044	0.070	0.129	
5	0.059	0.091	0.178	
6	0.080	0.113	0.259	
7	0.086	0.144	0.282	
8	0.108	0.174	0.325	
Max.	0.149	0.256	0.434	
Average	0.054	0.089	0.175	



Fig.5 Water Permeability Measured by Test-A.

Notes* : Average crack width.

** : Maximum crack width.

面含浸材を含浸することによって,その防水性が著しく 改善される。



Water Permeability (ml)

Fig.6 Water Permeability Measured by Test-B. Notes* : Average crack width.

** : Maximum crack width.

Fig.6には、透水試験B法による試験結果を示す。モル タル及びコンクリートの透水量は、ひび割れ幅が大きい ものほど若干大きくなる。又, コンクリートの透水量は, モルタルのそれの 1/2~2/3 の値を示す。これは、モルタ ルに比べて、コンクリートは粗骨材に沿って、非直線的 にひび割れが入り, その箇所に無機系表面含浸材の結晶 が良好に生成されるためと推察される。又、今回使用し た無機系表面含浸材は、モルタル及びコンクリートの水 酸化カルシウムと反応して、ケイ酸カルシウムを生成す る。それがひび割れを充填したため透水に対する抵抗性 が向上したと考えられる。C50及び C65 を比較すると, ひび割れ幅大,中及び小のいずれも,水セメント比が小 さい方が透水量は小さい。これは、ひび割れ幅が同程度 であっても、水セメント比の小さいものがち密な組織構 造を持つためと考えられる。更に、無機系表面含浸材を 含浸して 7d 後に透水試験を行った含浸供試体と透水試 験後から 28d 後に再度試験を行った含浸供試体の透水量



Photo 2 Microstructure of Unimpregnated Specimen (×50000).



Photo 3 Microstructure of Impregnated Specimen (×50000) .

をそれぞれ比較すると、ひび割れ幅に関わらず全ての含 浸供試体において透水量が 6~7 割程度、透水量が減少す る。これは、含浸供試体を 28d 湿潤状態で静置すること により、ケイ酸系の無機系表面含浸材は時間の経過とと もに、ち密な結晶組織を形成するため、透水量が著しく 減少したと推察される。 又、28d 後の含浸供試体におい ても、水セメント比が小さい方が一部を除き若干透水量 は、小さくなる傾向にある。

Photo 2 には未含浸部分の組織構造を, Photo 3 には無 機系含浸材含浸面(含浸材の結晶部分)の組織構造を示 す。未含浸部分には,多くの針状及び板状結晶が観察さ れるが,空隙が多く存在することが確認される。一方, 表面含浸材含浸面には,微細な結晶が集合した密実な組 織が観察される。従って,この組織の形成により,ひび 割れが閉塞されるものと推察される。

5. 結論

本研究で得られた試験結果を総括すれば、以下の通り

である。

- (1) ひび割れ供試体寸法を100×100×50mm及び100× 100×100mmとし、100×100mmの断面にひび割れ を形成させる場合、本研究で適用した新規なひび割 れ形成技術により、最大ひび割れ幅を0.2~0.4mm の範囲で制御できる。
- (2) 無機系表面含浸材の含浸の有無にかかわらず、モ ルタル及びコンクリートの透水量は、ひび割れ幅が 大きいものほど大きい。
- (3)本研究で用いた無機系表面含浸材をひび割れ部分 に含浸することにより、コンクリートの透水に対 する抵抗性を向上させることができる。
- (4)本研究で適用したひび割れ供試体を用いる試験方法は、表面含浸材の透水に対する抵抗性を評価する方法として適用できる。

謝辞:

本研究で用いた表面含浸材については,(株)SNC より提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 小柳光生,小川晴果:浸透性吸水防止剤のひび割れ 漏水抑制評価に関する-試験,日本建築学会大会学 術講演梗概集,pp.297-298,2005
- 2) 佐々木一人,出村克宣:無機系止水材の性能評価及び止水機構の検討,日本建築学会大会学術講演梗概 集,pp.887-888,2005
- 本多千絵美ほか:浸透性吸水防止剤のひび割れ補修 効果比較試験,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1227-1228,2007
- 4) 日本コンクリート工学協会編:コンクリートのひび 割れ調査,補修・補強指針,技報堂, 6p, 1987