

# 論文 透水性を有する地盤注入モルタルの開発に関する研究

葛綿 智\*1・高田 賢司\*2・丸山 久一\*3

**要旨:** 透水性を有する地盤注入モルタルの開発を行った。要求性能は、水中で施工が可能であること、透水係数が砂礫層程度であることおよび圧縮強度が  $1\text{N}/\text{mm}^2$  以上であることとし、これらを達成するために、起泡剤、発泡剤、セルロース系増粘剤および可塑化材を用い要求性能を満足する配合の検討を行った。その結果、セルロース系増粘剤と可塑化材を併用することで水中施工が可能となった。さらに、水セメント比を低下させ、発泡剤を添加することで要求性能を満たす配合を見出すことができた。

**キーワード:** 水中施工, 透水係数, 起泡剤, 発泡剤, 可塑化材

## 1. はじめに

地盤注入材・裏込め材などの地中充填材は、施工性と強度は要求されるが、透水性能は一般には必要とされない場合が多い。そのため、ほとんどは透水性の低い材料であり、地盤が砂礫層など透水性の良い地層の場合、充填部に不透水層を形成し地下水の流れが妨げられる。この結果、建設された地中構造物に作用する地下水圧の上昇、下流部での地盤沈下および地下水による地盤変状などが発生する恐れがある。そこで、著者らは従来の充填材に透水性を付与した透水性注入モルタル（以下、透水モルタル）を開発し、砂礫層程度の透水係数  $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$  と圧縮強度  $1\text{N}/\text{mm}^2$  を有する透水モルタルの製造を可能とした<sup>1)</sup>。透水モルタルの更なる実用化を考えると、湧水・流水箇所での裏込め注入、地下水中への空洞充填などが挙げられる。しかしながら、既往の研究の透水モルタルは気中で製造されたものであるため、貯水、湧水、流水等の条件下での性状は明らかとなっていない。

本研究では、水中で施工が可能であり、透水係数が砂礫層程度 ( $1 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ ) および圧縮強度  $1\text{N}/\text{mm}^2$  以上を有する透水モルタルの開発を目的とする。

表-1 モルタルの使用材料

材料 (記号)	種類および物性値
セメント (C)	早強ポルトランドセメント 表乾密度: $3.14\text{g}/\text{cm}^3$ 比表面積: $4580 \text{ cm}^2/\text{g}$
細骨材 (S)	信濃川産川砂 表乾密度: $2.61 \text{ g}/\text{cm}^3$ 吸水率: 2.18%, 粗粒率: 2.04
起泡剤 (Fa)	アニオン系界面活性剤
発泡剤 (Al)	特殊表面処理アルミニウム粉末
増粘剤 (VA)	水溶性セルロースエーテル
高性能減水剤 (Sp)	カルボキシル基含有ポリエーテル系化合物
可塑化材 (Ad)	水溶性硫酸塩

## 2. 水中施工を実現する材料設計

### 2.1 増粘剤添加率の増加

#### (1) 実験概要

実験に使用した材料を表-1に示す。細骨材はプレパックドコンクリートに準じて粒径  $1.2 \text{ mm}$  以下に粒度調整したものを用いた。モルタルの配合を表-2に示す。増粘剤添加率  $0.005\%$  は気

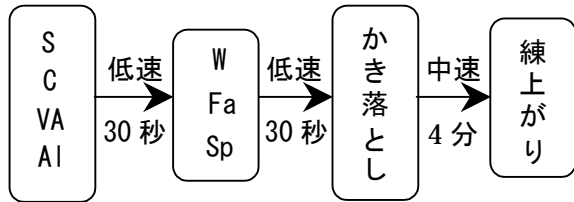
\*1 長岡技術科学大学 大学院 工学研究科 建設工学専攻 (正会員)

\*2 大木建設(株) 技術本部技術研究所 工修 (正会員)

\*3 長岡技術科学大学教授 環境・建設系 Ph.D (正会員)

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Sp/C (%)	VA/W (%)	単体量 (g/L)		
						W	C	S
75	3.5	3.0	1.8	0.5	0.005 ~ 1.0	311	132	557



ミキサ速度	回転数
低速	106rpm
中速	196rpm

図-1 モルタルの練混ぜ方法

中で打設した場合に所要の性能を満足する配合である。これをもとに水中施工を考慮して、増粘剤添加率を0.005~1.0%まで変化させた。

モルタルの練混ぜ方法を図-1に示す。練り混ぜには、ホバート型モルタルミキサを使用し、1バッチ当たりの練混ぜ量は3.0リットルとした。練上がり後、モルタルの流動特性を確認するためにP漏斗流下時間(JSCE-F 521)を測定した。

水中打設供試体作製状況を図-2示す。模型地盤用に5号碎石(粒径12~13mm, 表乾密度2.69g/cm<sup>3</sup>, 実績率50%)を表乾状態に調整し用いた。供試体はプレッパックドコンクリート

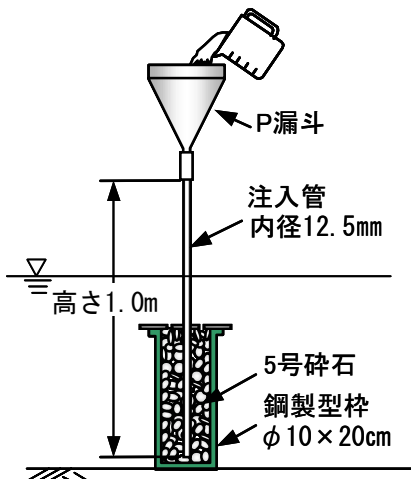


図-2 供試体作製状況

の圧縮試験方法(JSCE-G-522)に準拠した方法により水中で作製し、そのまま水中に7日間静置した。気中打設供試体は、材齢3日で脱型後ビニール袋に入れて温度20℃の恒温室で4日間封かん養生した。材齢7日で透水試験(JIS A 1218)および圧縮強度試験(JIS A 1108)を実施した。

(2) 実験結果

増粘剤添加率とP漏斗流下時間の関係を図-3に示す。モルタルの流動性は、増粘剤添加率の増加に伴い低下し、増粘剤添加率が0.7%以上になるとP漏斗を閉塞し、流下時間を測定できなかった。この結果から、増粘剤添加率0.7%以上のモルタルは、流動性が悪く注入が困難と判断し、供試体を作製せず、P漏斗流下時間を測定することができたモルタルについてだけ供試体を作製することとした。スムーズな注入が可能なP漏斗流下時間は、概ね30秒前後であった。

水中打設状況を写真-1に示す。気泡の抜け出しによる泡の発生とそれに伴うセメント分の流

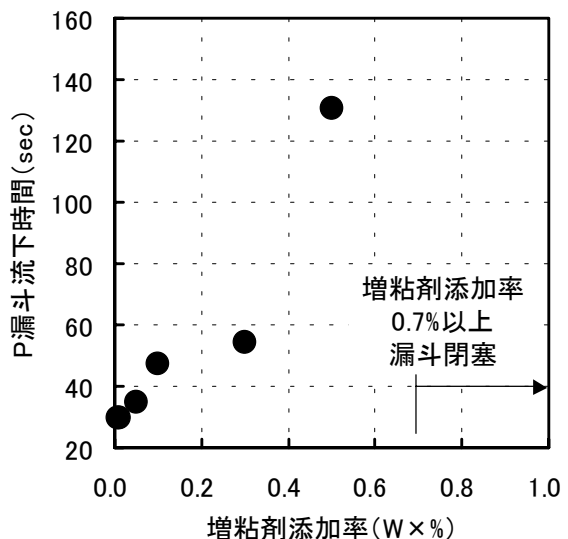


図-3 増粘剤添加率とP漏斗流下時間の関係

失による水の濁りが観察された。また、供試体上面から厚さ1 cm程度の部分は、ペースト分が水によって洗われたため、ほとんど砂だけの状態であった。この部分を削り取った後、キャッピングを施し、圧縮強度試験を実施した。

透水係数と圧縮強度の関係を図-4に示す。モルタルを水中に打設した場合、増粘剤添加率にかかわらず、透水係数・圧縮強度はともに低下した。透水モルタルは、起泡剤によって連行された気泡と発泡剤の時間差による水素ガスにより空隙を連続化させ透水性を向上させている。そのため、透水係数の低下は、比重差により気泡が抜け出し、透水性を有するために重要な連続空隙が形成されなかったためと推測される。また、圧縮強度の低下はセメント分の流失が原因である。

## 2.2 可塑化材の添加

### (1) 実験概要

使用材料は表-1に示したとおりである。モルタルの配合を表-3に示す。水中でのセメント分の流失および気泡の抜出しを抑えるために増粘剤添加率をさらに増加させ、新たに可塑化材を添加し、それぞれの組合せおよび添加率を変化させた。

モルタルの練混ぜ方法は図-1に示したとおりであり、1バッチ当たりの練混ぜ量は1.5リットルとした。可塑化材を添加する場合のモルタルの練混ぜ方法を図-5に示す。中速で4分間練混ぜ後、低速で可塑化材を30秒間で連続投

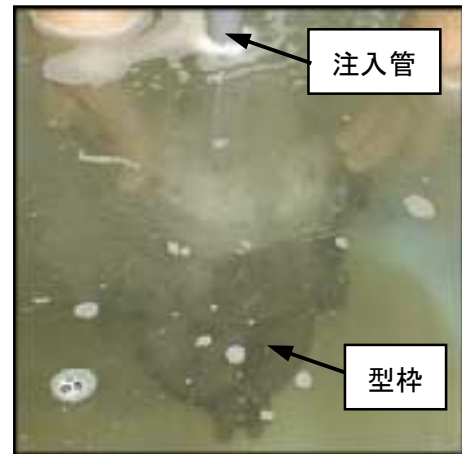


写真-1 水中打設状況

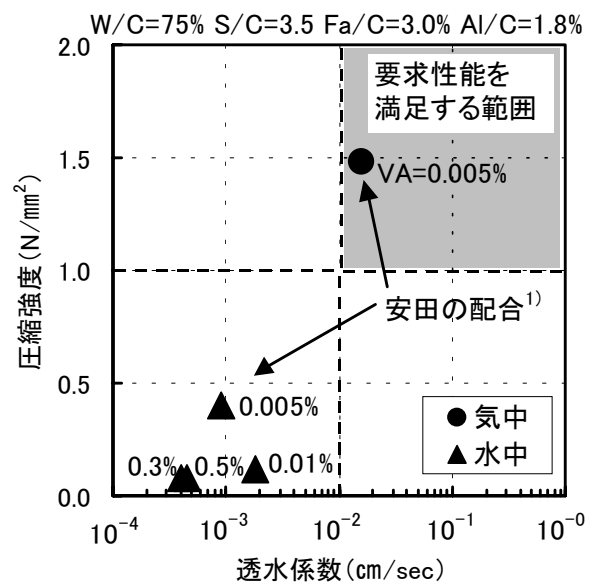


図-4 透水係数と圧縮強度の関係

入し、さらに低速で1分間練混ぜた。練上がり後、フレッシュ性状をフロー試験 (JIS R 5201) で確認し、水中施工性を水中分離抵抗性試験<sup>4)</sup>によって目視で判断した。なお、フロー試験では、落下運動を与えない0打フローと15回の落下運動を与えた15打フローを測定した。

表-3 モルタルの配合

配合 No.	W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Sp/C (%)	VA/W (%)	Ad (g/L)	単位量 (g/L)			
								W	C	S	
1	75	3.5	3.0	0	0.5	0.7	0	311	132	557	
2											1.2
3							0				30
4											90
5							0.7				30
6											90
7							1.2				30
8											90

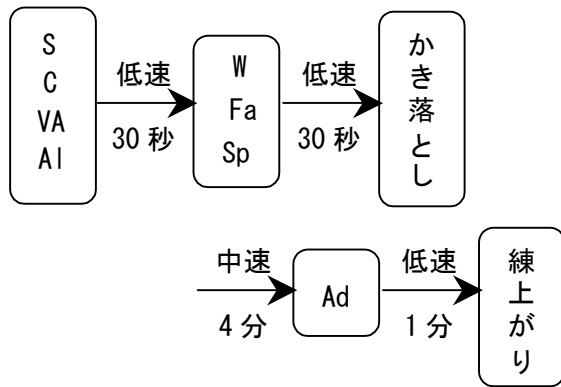
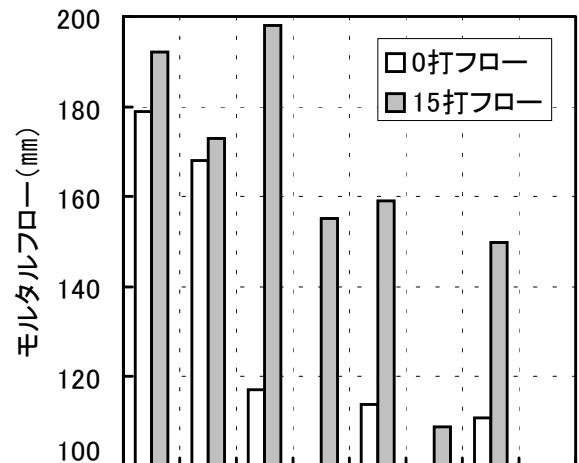


図-5 モルタルの練混ぜ方法

(2) 実験結果

各種配合のモルタルフロー図-6に示す。増粘剤だけ添加した配合は流動性が高く、0打、15打フローともほとんど変化しなかった。可塑化材を添加した配合においては、フローコーン引き抜き直後は、ほとんどコーンの原形を留めていた。しかし、15打後のモルタルは大きく流動・変形した。可塑化材を添加すると衝撃が作用しない状況下では原形を保ち、ある一定の衝撃をあたえることで容易に変形する性状を示した。増粘剤と可塑化材を併用した配合では、可塑化材添加量が90g/Lになると15打後も流動性



配合No.	1	2	3	4	5	6	7	8
増粘剤(W×%)	0.7	1.2	0	0.7	0.7	0.7	1.2	1.2
可塑化材(g/L)	0	0	30	90	30	90	30	90

図-6 各種配合のモルタルフロー

を示さなくなった。(配合No.6, 8)

写真-2は、1000ml ビーカーに800ml 水を満たし、約500gのモルタルを落下させた後の状況を示している。横軸は増粘剤添加率、縦軸は可塑化剤添加量を示す。増粘剤または可塑化材の一方だけを添加した配合No.1, No.2, No.3, No.4は、気泡の抜け出しによる泡の発生とセメント分の流失を抑えられず水が著しく濁っている。これらに対し、増粘剤添加率と可塑化材添加率が増加するほど、モルタルはほとんど分離せず水も透明のままである。このことから、増粘剤と可塑化材を併用したモルタルは、水中での材料分離が少なく、水中施工が可能であると判断した。

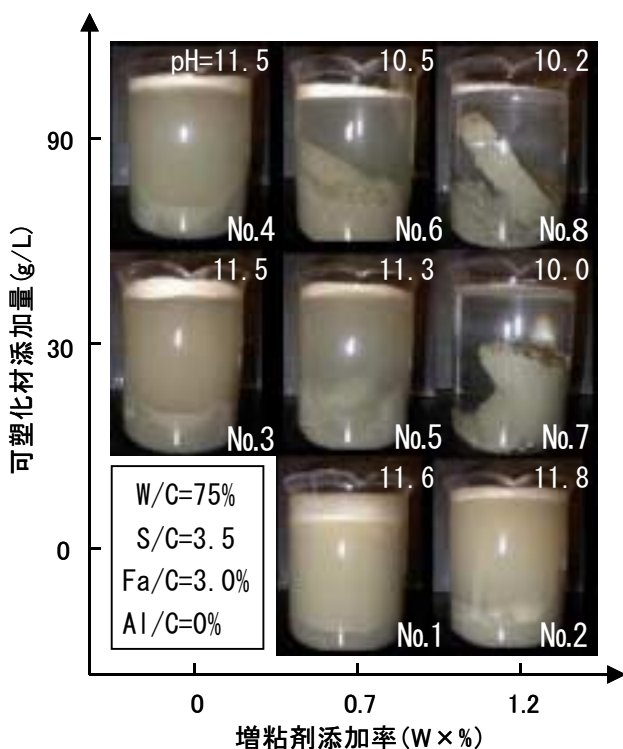


写真-2 水中分離抵抗性試験

以上、フロー試験および水中分離抵抗性試験結果から、15打フローで150mm程度の流動性と水中分離抵抗性のある配合No.7で供試体を作製することとした。供試体の作製状況を図-7に示す。モルタルにP漏斗を流下できるだけの流動性がなく、模型地盤への注入が困難であったため、あらかじめ注入用円筒にモルタル投入し、ピストンを用いて型枠内に注入させた。前述したとおりにそのまま水中に静置して、材齢7日で透水試験および圧縮強度試験を実施した。

増粘剤と可塑化材を併用した配合を図-4の

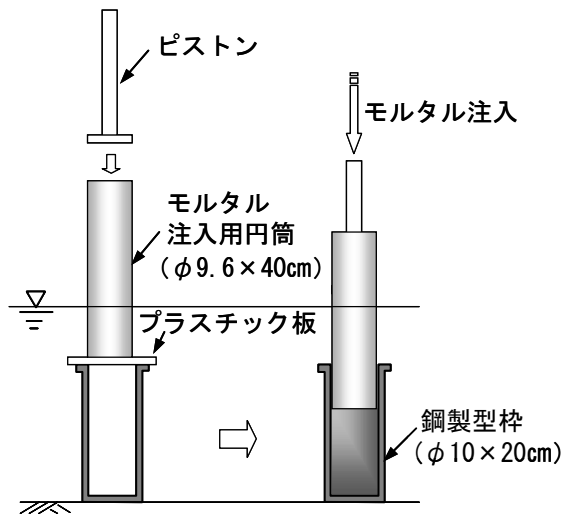


図-7 供試体作製状況

透水係数と圧縮強度の関係にプロットすると図-8 のようになる。配合改良したことで水中施工が可能となり、圧縮強度は要求性能以上となったが、透水係数は要求性能に達していない。

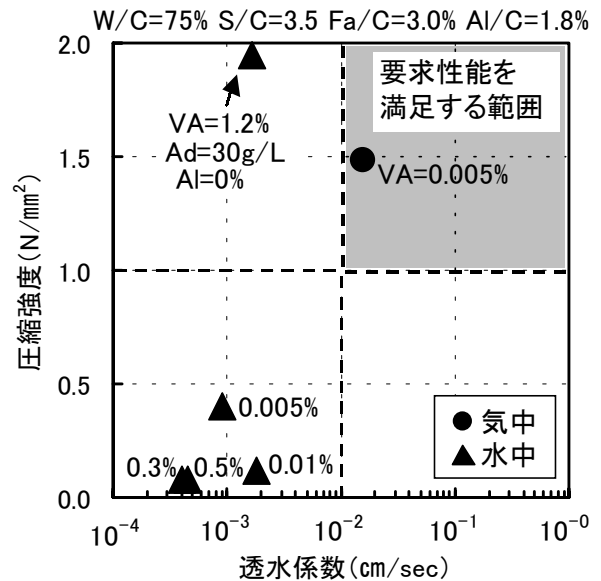


図-8 透水係数と圧縮強度の関係

### 3. 透水性と強度を改善する材料設計

#### 3.1 起泡剤・発泡剤添加率の増加

##### (1) 実験概要

増粘剤と可塑化材を併用した配合により、水中施工が可能となった。圧縮強度は要求性能を達成できたが、透水係数は要求性能に達しない結果となった。安田の研究によって各種配合要因が透水係数および圧縮強度に及ぼす影響は図-9 に示すとおりとなっている。この関係から、増粘剤と可塑化材を併用した配合においても、起泡剤・発泡剤添加率を増加させれば、透水性を改善できるものと考えられる。そこで、起泡剤・発泡剤添加率を増加させた場合について検討した。

##### (2) 実験結果

起泡剤・発泡剤添加率を増加させた場合の透水係数と圧縮強度の関係を図-10 に示す。起泡剤・発泡剤添加率を増加させると透水係数は増加するが圧縮強度は著しく低下している。いずれの配合も透水係数と圧縮強度ともに要求性能を満足する範囲に入るものはなく、さらなる配合改良が必要である。

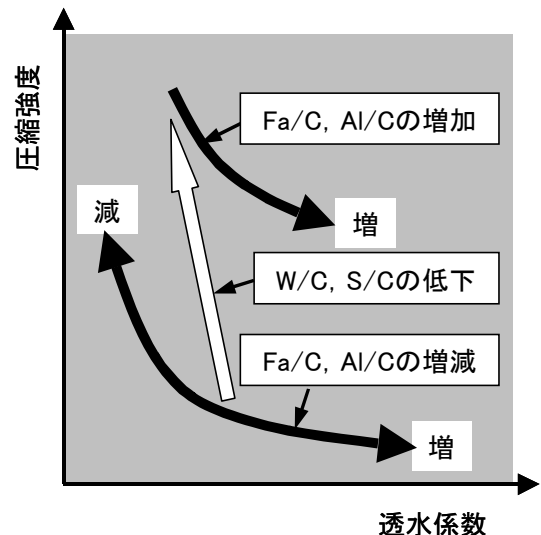


図-9 各種配合要因が透水係数および圧縮強度に及ぼす影響

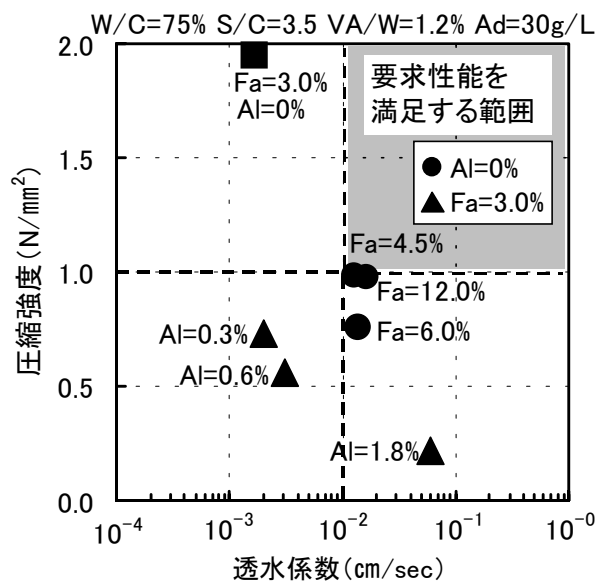


図-10 透水係数と圧縮強度の関係

表-4 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Sp/C (%)	AV/W (%)	Ad (g/L)	単位量 (g/L)		
							W	C	S
55	2.0	3.0~ 12.0	0	1.5	1.2	30	336	194	470
		3.0	0.3~ 1.2						

### 3.2 水セメント比の低下

#### (1) 実験概要

図-9 に示す安田の結果から、水セメント比・砂セメント比を低下させることで圧縮強度を増加できることが明らかとなっている<sup>1)</sup>。この関係から、透水性と強度を改善する配合改良として、圧縮強度を増加させ、さらに起泡剤・発泡剤添加率を増加させることで透水係数を増加させた場合について検討した。モルタルの配合を表-4 に示す。

#### (2) 実験結果

水セメント比・砂セメント比を低下させ、起泡剤・発泡剤添加率を増加させた場合の透水係数と圧縮強度の関係を図-11 に示す。圧縮強度は、水セメント比を低下させることで6.5N/mm<sup>2</sup>程度まで増加した。さらに、透水係数は、起泡剤・発泡剤添加率を増加させることで向上し、発泡剤添加率0.6%の配合で要求性能を満足している。

### 4. まとめ

水中施工が可能であること、透水係数が砂礫層程度であることおよび圧縮強度が1N/mm<sup>2</sup>以上であることの3つの要求性能を満足する透水モルタルを開発するために、起泡剤、発泡剤、セルローズ系増粘剤および可塑化材を用い、要求性能を満足する配合の検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) セルローズ系増粘剤と可塑化材を併用することで水中施工が可能となる。
- (2) 水セメント比 55%の配合で発泡剤添加率を0.6%とすることで要求性能を満足するモルタルを製造できる。

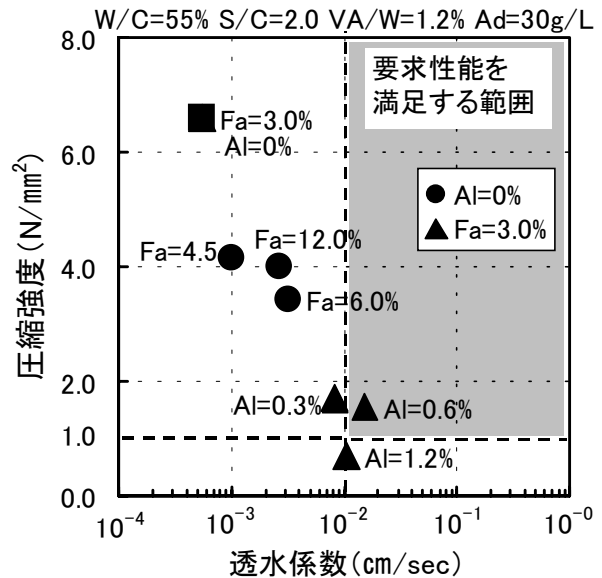


図-11 透水係数と圧縮強度の関係

#### 参考文献

- 1) 安田和弘ほか：裏込めおよび埋め戻し充填材としての透水性を有する注入モルタルの開発，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22, No.2, pp.1279-1284, 2000.6
- 2) 葛綿 智ほか：透水性を有する地盤注入モルタルの水中打設実験，第56回年次学術講演会講演概要集，V-114, 2001.10
- 3) 土木学会コンクリート委員会編：コンクリート標準示方書[規準編]，土木学会，1996
- 4) 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)，コンクリートライブラリーNo.67, 土木学会，1991