

# 透水性を有する地盤注入モルタルの水中打設に関する研究

コンクリート研究室 葛綿 智

指導教官 丸山久一

下村 匠

日比野 誠

**要旨：**水中で施工可能な地盤注入モルタルの材料設計について検討した。新たな地盤注入モルタルに要求される性能は、水中施工が可能なこと、および砂礫層程度の透水係数 ( $1 \times 10^{-2}$  cm/sec) と圧縮強度  $1\text{N/mm}^2$  以上を有することである。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・砂セメント比を低下させ、起泡剤・発泡剤を添加することで、透水係数、圧縮強度ともに要求性能を満たす配合を見出すことができた。

## 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、透水性は一般には必要とされていない。このため、地下水以下の空洞を透水性の低い材料で閉塞した場合、地下水の流れが変化し、地下構造物に作用する地下水圧の上昇、下流域における地盤沈下および井戸枯れなどが懸念される。安田らは、練混ぜ中に独立気泡を連行する起泡剤と充填後に水素ガスを発生し、独立気泡を連続化する発泡剤を併用して、砂礫層程度の透水係数 ( $1 \times 10^{-2}$  cm/sec) と圧縮強度 ( $1\text{N/mm}^2$  以上) を有する地盤注入モルタルを開発した<sup>1)</sup>。ただし、このモルタルは気中で製造、施工されたため、湧水が起きているような現実の地下水中で施工性は検討されていない。

そこで本研究では、安田の成果を水中施工に拡大し、水中で施工可能な地盤注入モルタルの材料設計を検討した。新たな地盤注入モルタルに要求される性能は、水中で施工が可能なことおよび砂礫層程度の透水係数 ( $1 \times 10^{-2}$  cm/sec) と圧縮強度 ( $1\text{N/mm}^2$  以上) を有することとし、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モルタルを実験的に検討した。

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： $3.14\text{g/cm}^3$ 比表面積： $4580\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材 (S)	信濃川産川砂 表乾密度： $2.61\text{g/cm}^3$ 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 (Ad)	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 (SR)	水溶性硫酸塩

## 2. 水中施工を実現するモルタルの材料設計

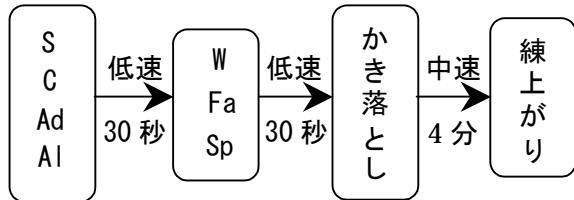
### 2.1 増粘剤添加率の増加

#### (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、増粘剤添加率を  $0.005 \sim 1.0\%$  まで変化させた。

表-2 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Sp/C (%)	Ad/W (%)	単位量 (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

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号砕石(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

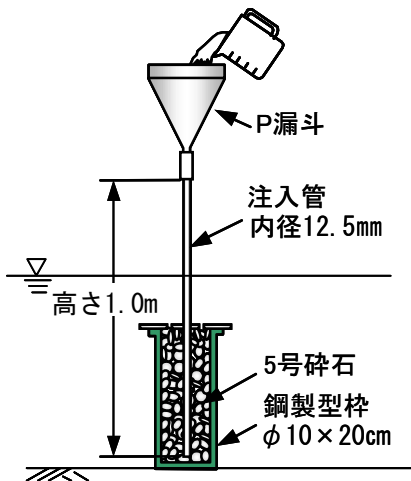


図-2 供試体作製状況

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%以上のモルタルは漏斗を閉塞し、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1cm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

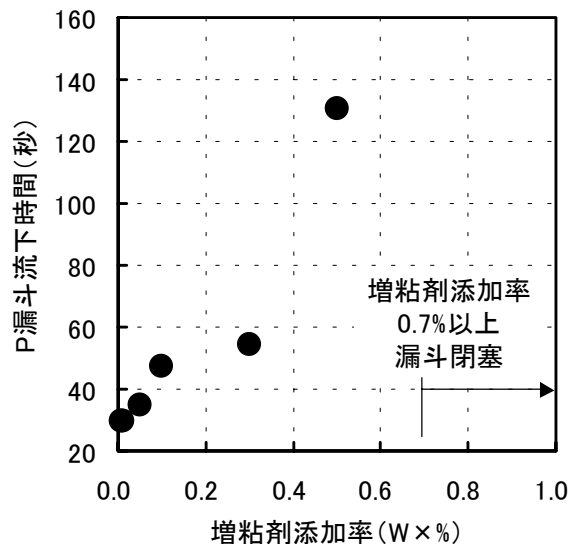


図-3 増粘剤添加率とP漏斗流下時間の関係

態であった。

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、透水係数、圧縮強度は、増粘剤添加率にかかわらずともに低下した。透水モルタルは起泡剤によって連行された独立気泡と発泡剤の時間差による水素ガスにより、独立気泡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、比重差で気泡が抜け出し、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。水中でのセメント分の流失を増粘剤のさらなる増加により、また、モルタルを可塑状固結させることで気泡を封じ込める可塑化材を新たに添加し、気泡の抜け出しを抑えることができるか検討した。モルタルの配合を表-3 に示す。増粘剤、可塑化材の添加率および組合せを変化させた。

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>

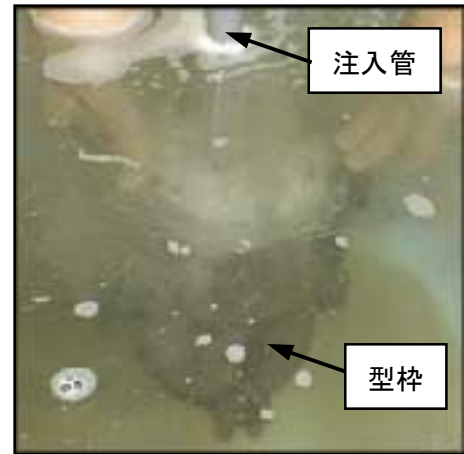


写真-1 水中打設状況

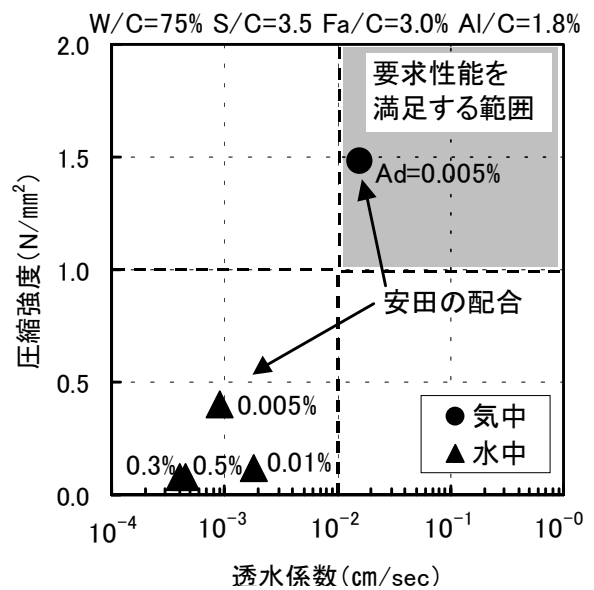


図-4 透水係数と圧縮強度の関係

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。フレッシュ性状と水中分離抵抗性試験結果から、水中施工が可能であるモルタルを選定し、水中供試体を作製した。

表-3 モルタルの配合

配合 No.	W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Sp/C (%)	Ad/W (%)	SR (g/L)	単用量 (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											0	90
5											0.7	30
6											0.7	90
7											1.2	30
8											1.2	90

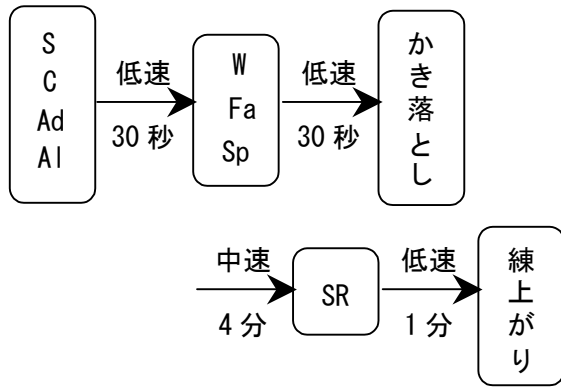


図-5 モルタルの練混ぜ方法

(2) 実験結果

各配合のモルタルフローを図-6に示す。増粘剤だけ添加した配合No.1, No.2 は流動性が高く、モルタルフローは、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No.3~No.8では、0打フローは100~120mm程度で、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、ある一定の衝撃を与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

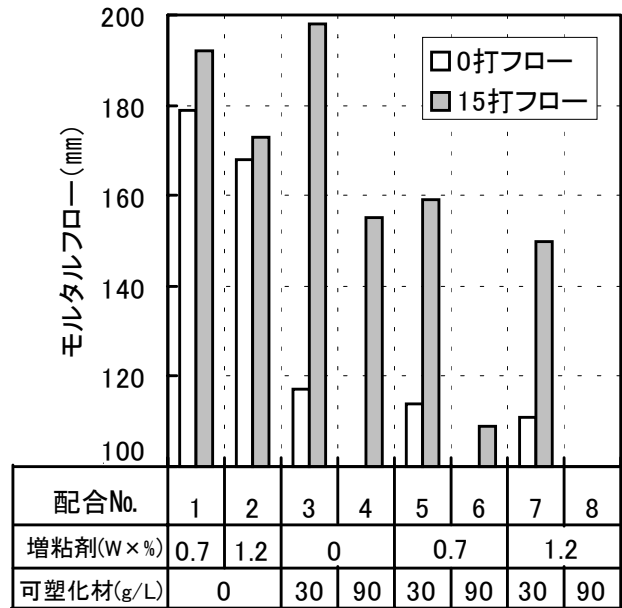


図-6 各配合のモルタルフロー

打後も流動性を示さなくなった(配合No.6, 8)。

写真-2は、1000ml ビーカーに800ml 水を満たして約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增加するほど、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。

以上、フロー試験と水中分離抵抗性試験の結果から、15打フローで150mm程度の流動性と高い水中分離抵抗性を示した配合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はないため、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押し出すことで注入させた。前述したとおり、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モルタルの透水

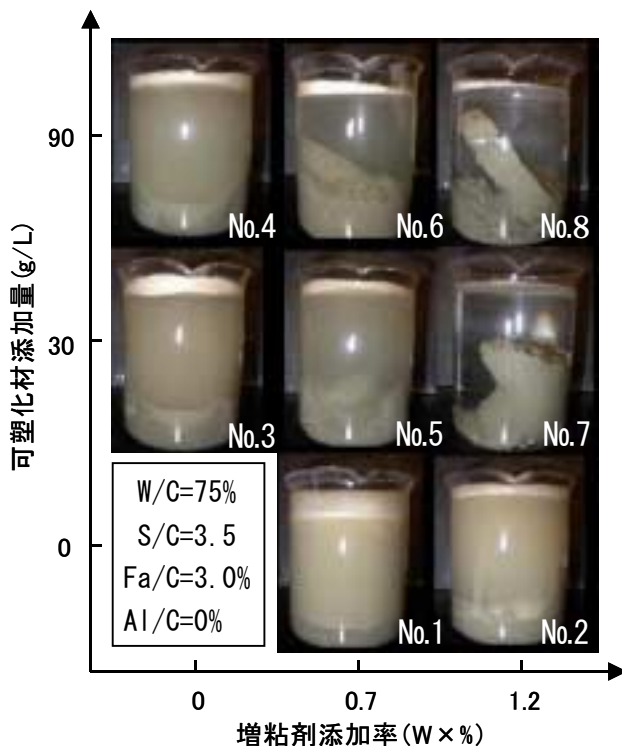


写真-2 水中分離抵抗性試験

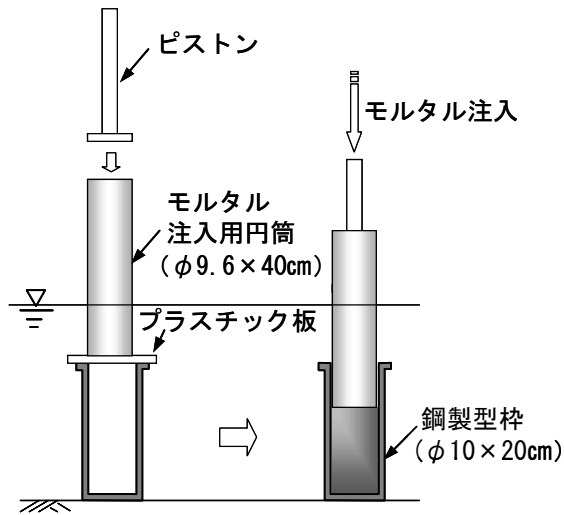


図-7 供試体作製状況

係数と圧縮強度を図-4 の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。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り、圧縮強度は必要とされる強度以上となったが、透水係数は必要とされる透水係数に達していない。

### 3. モルタルの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することで水中施工が可能となり、圧縮強度は必要とされる強度を達成できたが、透水係数は必要とされる透水係数に達しない結果であった。安田の研究から、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でも、起泡剤・発泡剤添加率を増加させれば、圧縮強度はやや低下するが、透水性を改善できると考えられる。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、透水係数は増加し、必要とされると透水係数に達したが、圧縮強度は予想以上に大きく低下し、必要とさ

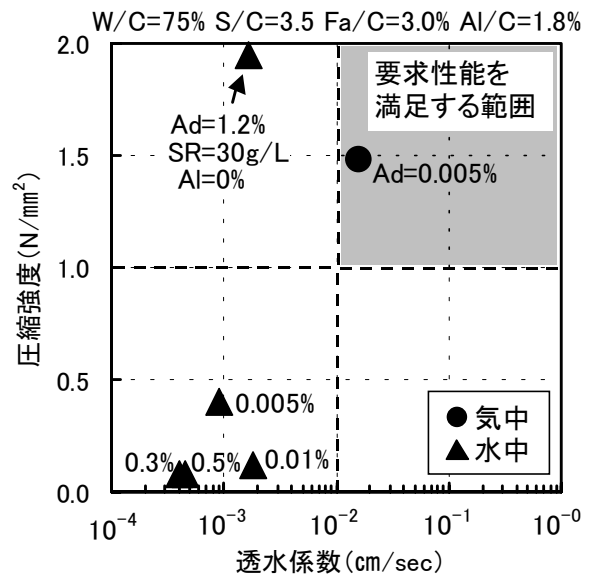


図-8 透水係数と圧縮強度の関係

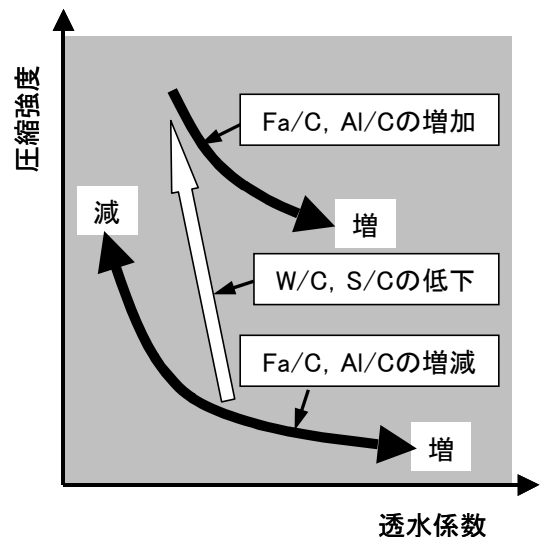


図-9 各種配合要因が透水係数および圧縮強度に及ぼす影響

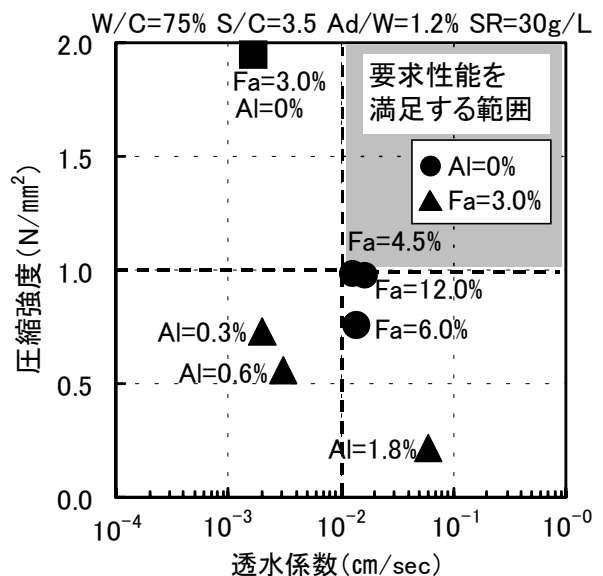


図-10 透水係数と圧縮強度の関係

表-4 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Sp/C (%)	Ad/W (%)	SR (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						

れる強度に達しない結果となった。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のモルタルはなく、さらなる配合改良が必要である。

### 3.2 水セメント比・砂セメント比の低下

#### (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。この関係から、強度を改善する配合改良として、水セメント比・砂セメント比を低下させ、起泡泡剤・発泡泡剤を添加することで要求性能を満足すると予想した。モルタルの配合を表-4 に示す。水セメント比を55%、砂セメント比を2.0に低下させ、起泡泡剤・発泡泡剤を添加した場合について検討した。

#### (2) 実験結果

水セメント比・砂セメント比を低下させ、起泡泡剤・発泡泡剤を添加した場合の透水係数と圧縮強度の関係を図-11 に示す。水セメント比を55%、砂セメント比を2.0に低下させ、発泡泡剤添加率0.6%の配合で要求性能を満足した。

### 4. まとめ

水中施工が可能なこと、および砂礫層程度の透水係数 ( $1 \times 10^{-2}$  cm/sec) と圧縮強度  $1\text{N/mm}^2$  以上を有すること、これら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、起泡泡剤、発泡泡剤、セルロース系増粘剤および新たに可塑化材を用い要求性能を満足するモルタルの検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

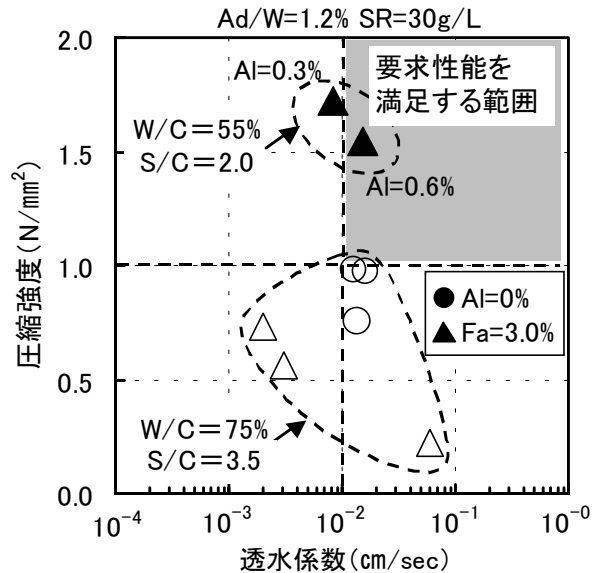


図-11 透水係数と圧縮強度の関係

- (1) 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る。
- (2) 水セメント比55%、砂セメント比2.0の配合で、起泡泡剤添加率3.0%、発泡泡剤添加率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。

#### 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) 日経コンストラクション編：現場の失敗（欠陥構造物を生む設計・施工の落とし穴），日経BP社，pp82-83, 2001.9
- 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