

論文 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

安田和弘*¹・高田賢司*²・五角亘*³・丸山久一*⁴

要旨：地下あるいは地中構造物の建造に際して用いられている埋め戻し材や裏込め材としての気泡モルタルやソイルセメント等に替わり、透水性を有する充填材を開発するのが本研究の目的である。目的とする充填材に要求される性能は、スムーズな充填のための流動性、充填後の所要の強度と透水性である。所要の性能を有する注入モルタルを開発するために、水セメント比、砂セメント比、起泡剤、発泡剤等の配合上の影響因子を、フレッシュ時の流動性試験、硬化後の透水試験および強度試験の各結果に基づいて検討した。その結果、要求性能を満たす配合をほぼ決定するまでに至った。

キーワード：透水係数、発泡剤、水セメント比、砂セメント比

1. はじめに

地盤注入材・裏込めグラウトなどの地中構造物の埋め戻しなどに用いられる充填材は、その目的とする空隙のスムーズな充填、注入後の材料分離抵抗性などが要求される。その他にも周辺の地盤と同程度の強度が得られることなどが挙げられ、透水性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、充填部に実質上の不透水層を形成するものとなっている。しかしもともと地盤が砂礫層などの透水性の良い土層の場合、不透水層が地下水の流れを妨げ、周辺地盤に地下水位低下や、建設された地中構造物にかかる地下水圧の上昇、下流部での地盤沈下、井戸水の枯渇などを発生させる恐れがある。

その問題の解決策として、充填材が硬化後に周辺地盤と同等かそれ以上の透水性を有していれば地下水の流れを妨げないと考え、従来の充填材に要求される硬化後の性質として、地下水の流れを妨げないだけの透水性を有する充填材の研究・開発を行ってきた¹⁾。しかしまだ所要の性能を充分満たすものが開発されてい

るとは言い難いのが現状である。そこで透水性・強度の両方を満足するような最適配合を見つけ出す目的で、水セメント比や発泡剤添加率などの各種配合要因の影響因子を、フレッシュ時の流動性試験、硬化後の透水試験および強度試験の各結果に基づいて検討することとした。

2. 実験概要

2.1 要求品質と目標値

要求品質はスムーズな注入を行えるような流動性と、砂礫層程度の透水性、および周辺地盤と同程度の強度である。それぞれの具体的な目標値は、現実の注入材や地盤の特性を考慮して、流動性としてP漏斗流下時間 25 ± 5 秒、透水性として透水係数 10^{-2} cm/sec 以上、強度として圧縮強度 1.0 N/mm^2 以上と設定した。

2.2 使用材料

使用材料を表-1に示す。細骨材は粒径 1.2 mm 以下のもの、模型地盤用の砂利は5号碎石(粒径 $13 \sim 20 \text{ mm}$ 、比重 2.69 、実積率 50%)をそれぞれ表乾状態に調整して用いた。発泡剤は、練上り直後に反応すると、形成された気泡がモルタ

*1 長岡技術科学大学 大学院 工学研究科 建設工学専攻 (学生員)

*2 (株)大木建設 技術本部技術研究所 工修 (正会員)

*3 長岡技術科学大学 大学院 工学研究科 建設工学専攻

*4 長岡技術科学大学 環境・建設系 教授 Ph.D (正会員)

ル中から抜けてしまう恐れがあるため、発泡開始時間を遅らせる目的で、表面に特殊な焼成処理を施したアルミニウム粉末を用いた。

表-1 使用材料

種類	記号	特性、主成分など
水	W	水道水
早強セメント	C	密度 3.14g/cm^3 、比表面積 $4580\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	S	密度 2.60g/cm^3 、粒度調整をする
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	アクリル系高分子化合物(白色粉末)
高性能減水剤	Sp	カルボキシル基含有ポリエーテル系

2.3 練混ぜ

練混ぜには容量 11.4 リットルのホバート型モルタルミキサを使用した。1 バッチ当たりの練混ぜ量は 3 リットルとした。練混ぜは、まず細骨材・セメント・発泡剤をミキサに投入して、低速(回転数 106rpm)で 30 秒間攪拌した。その後、水・起泡剤・高性能減水剤・増粘剤を投入し、低速で 30 秒攪拌後かき落としを行い、さらに中速(回転数 196rpm)で 4 分間練混ぜを行った。

2.4 試験項目

試験では、P 漏斗流下時間(JSCE-F521 に準拠)、透水係数(JIS A 1218)、圧縮強度(JIS A 1108)を測定した。透水試験、圧縮強度試験用供試体は、図-1 に示すように、プレパックドコンクリートの圧縮強度試験方法(JSCE-G-522)に準拠して作製し、材齢 3 日で脱型した後ビニール袋に入れて温度 20℃、湿度 50%の恒温室で養生した。硬化後の試験は材齢 7 日で実施した。

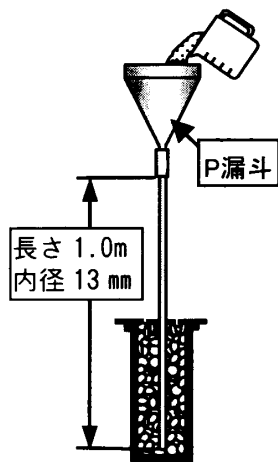


図-1 供試体作製状況

隙を形成して透水性が付与されるものであるため、これらの混和剤は、透水性・強度に大きく影響する。この影響を把握するために、既往の研究で提案されていた配合の水セメント比 90%・砂セメント比 4.0 において、起泡剤・発泡剤添加率を変化させて透水係数、圧縮強度を調べた。実験配合を表-2 に示す。

図-2 に透水係数と圧縮強度の関係を示す。この図から、起泡剤・発泡剤添加率を増加させて、透水係数 0.004 cm/sec 程度までは透水係数が大きくなるに従って圧縮強度は大きく低下しているが、それ以上透水係数が増加しても圧縮強度はほとんど低下していないことがわかる。しかし、この配合の範囲では目標とする透水性と強度をともに満足できるものはなく、所要の透水性を有している配合は、強度が目標値の半分以上となっており、要求品質を満足するためには強度増加を目的とした配合改良を行う必要がある。

表-2 実験配合(Fa/C, Al/C の影響)

W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Ad/W (%)	Sp/C (%)
90	4.0	1.5	0.0	0.005	0.5
		3.0			
		4.5			
		1.3	1.2		
		1.5			
		3.0			
		4.5	2.4		
		1.5			
		3.0			
		4.5			

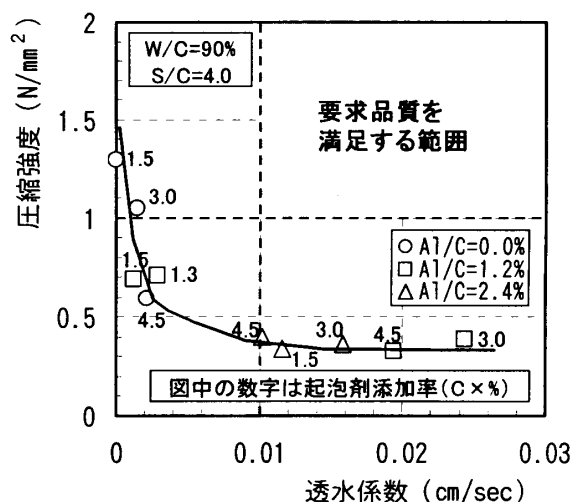


図-2 透水係数と圧縮強度の関係(その1)

3. 実験結果

3.1 既往の配合による実験

透水性を有する注入モルタル(以下透水モルタルと称す)は、起泡剤と発泡剤により連続空

3.2 水セメント比・砂セメント比の影響

既往の研究で目標強度が得られないことがわかったので、透水性を有しつつ強度を増加させる方法を検討することとした。一般に、強度を増加させる方法として、水セメント比の低減、シリカフュームなどの混和材の混入等が挙げられる。しかし、水セメント比を低減すると、流動性も低下するものと考えられ、シリカフューム等の混入は透水性を低下させることがわかっている²⁾。そこで、表-3 に示すようなプレバッキングコンクリート用注入モルタルの配合³⁾に着目し、水セメント比と砂セメント比の相互作用の影響を先ず検討することとした。なお、プレバッキングコンクリートではフライアッシュを水和熱の抑制や、流動性向上を目的として結合材の一部として用いているため、その置換率が流動性に及ぼす影響についても確認したが、フライアッシュ置換率を変化させても流動性はほとんど変化しないことがわかった(図-3 参照)。このことから、今回の実験ではフライアッシュを使用しないこととした。実験配合を表-4 に示す。

図-4 に各水セメント比における砂セメント比とP漏斗流下時間の関係を示す。この図から、P漏斗流下時間は水セメント比、砂セメント比が変化することによって異なっていることがわかる。砂セメント比を増加させた場合、P漏斗流下時間は遅くなっており、水セメント比を増加させた場合、P漏斗流下時間は速くなっていることがわかる。これは、砂セメント比の増減に伴う砂の噛合いの変化や、水セメント比の変化に伴う粘性の変化が影響しているものと考えられる。また、この図から、既往の配合(W/C=90%, S/C=4.0)よりも水セメント比を低下させた場合でも、砂セメント比もそれに対応させて低下させることで、所要の流動性を満足できるということがわかる。

しかしながら、砂セメント比が低い場合は材料分離気味で、特に砂セメント比2.0以下の場合にはモルタル中の砂が沈んでしまう傾向が顕著に見られたため、それらを除いたP漏斗流下

表-3 プレバッキングコンクリート用
注入モルタル配合例

W/(C+F) (%)	S/(C+F)	F/(C+F) (%)	(C+F) (kg/m ³)
48	1.3	33	733
48	1.2	23	774
46	0.8	17	892
48	0.9	20	872
49	1.0	20	815

※Fはフライアッシュ

表-4 実験配合(W/C, S/Cの影響)

W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Ad/W (%)	Sp/C (%)
55~90	1.5~4.0	3.0	1.2	0.005	0.5

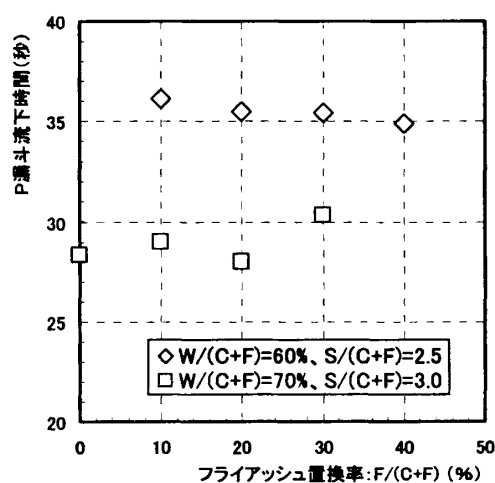


図-3 フライアッシュ置換率と
P漏斗流下時間の関係

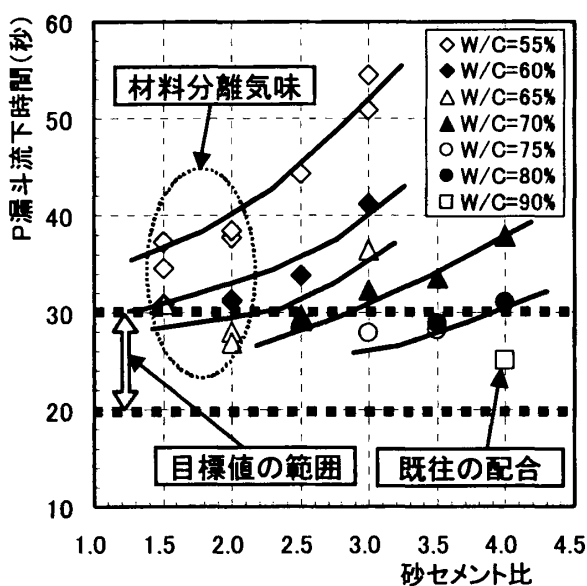


図-4 砂セメント比とP漏斗流下時間の関係

時間が 25 ± 5 秒の範囲に入っている配合について供試体を作製し、透水係数・圧縮強度を調べることとした。

図-5 に各配合の透水係数と圧縮強度を示す。この図から、既往の配合より水セメント比が低い配合になると、圧縮強度は増加するが、透水係数は低下していることがわかる。しかしながら水セメント比を 80%以下にしても、圧縮強度、透水係数ともにほとんど変化していないこともわかる。配合を変化させた場合、圧縮強度は 1.7N/mm^2 程度の値となっており、透水係数は $5 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$ 程度の値となっている。通常のコンクリートでは、水セメント比を低下させると強度は増加するが、透水モルタルの場合、通常のコンクリートより空隙率は 40%以上高いため、水セメント比を低下させてモルタル部の強度を増加させても、全体としての強度はほとんど変化しなかったものと考えられる。

これらの結果を図-2 の透水係数-圧縮強度関係の図にプロットすると、図-6 のようになる。 $W/C=90\%$, $S/C=4.0$ の配合が実線で示すような双曲線の関係にあるのに対して、水セメント比・砂セメント比を低下させた配合は、双曲線上から外れた所に位置していることがわかる。圧縮強度は増加し、所要の値を満足しているが、透水係数はやや低下しているため、水セメント比・砂セメント比を低下させるだけでは要求品質を満足するモルタルを製造できないことがわかる。

3.3 要求品質を満足する配合の検討

水セメント比・砂セメント比を低下させた配合では、強度は所要の値を達成できたが、透水性は目標値を下回る結果となった。しかしながら、図-6 を見ると、各種配合要因は、図-7 に示すように、透水係数-圧縮強度関係は、起泡剤・発泡剤添加率を変化させることで双曲線的に変化し、水セメント比・砂セメント比を低下させることで、透水係数はやや低下するが、強度は増加する傾向にあることがわかる。これらの傾向から、水セメント比・砂セメント比を低

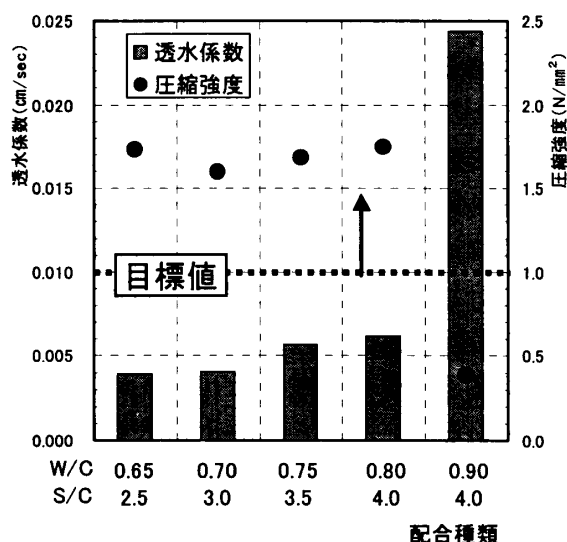


図-5 所要の流動性を満足する配合の透水係数と圧縮強度

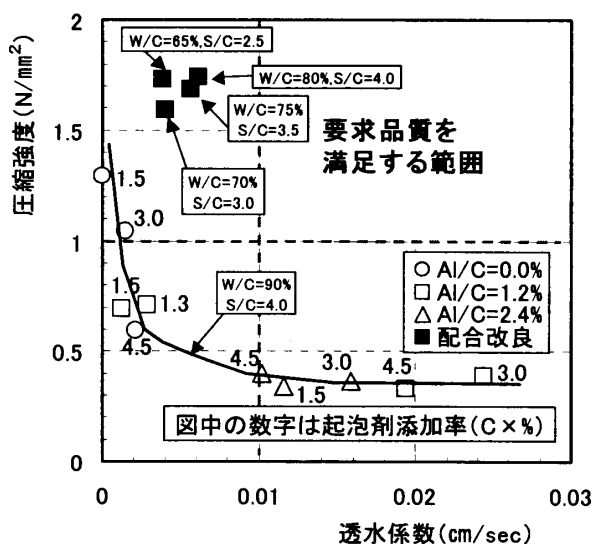


図-6 透水係数と圧縮強度の関係(その2)

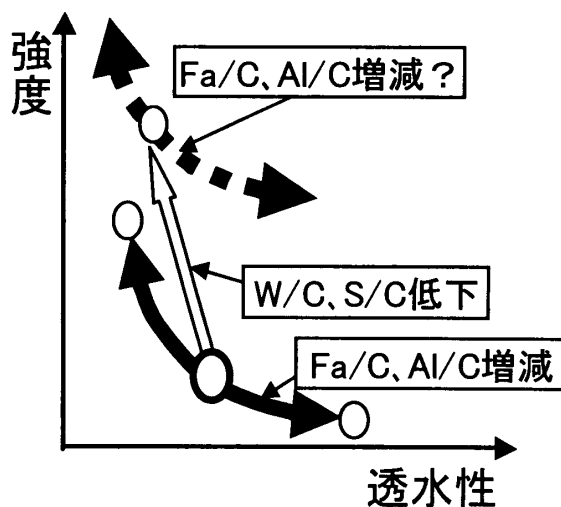


図-7 諸性状に及ぼす配合要因の影響(想定)

下させた配合において、起泡剤・発泡剤添加率を増加させれば、透水性も向上するものと考えられる。そこで、この2つの混和剤のうち、特に透水性向上に効果があると考えられる発泡剤添加率を増加させた場合についてさらに検討した。表-5に実験配合を示す。

図-8に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示す。横軸の透水係数は対数目盛りで示している。この図から、発泡剤添加率が増加すると圧縮強度は低下し、透水係数は増加していることがわかる。図中の△印で示す水セメント比75%, 砂セメント比3.5の配合で要求品質を満足できていることがわかる。図-7で想定したように、既往の配合より水セメント比・砂セメント比を低下させた場合でも、発泡剤添加率を増加させることで双曲線的に変化していることがわかる(図-9参照)。しかしながら、配合によってはその曲線の傾きが異なり、要求品質を満足する範囲に入らない配合もあることがわかる。

そこで、要求品質を満足する配合の範囲を推定するために、透水係数・圧縮強度が配合によって連続的に変化していると考え、各配合と透水係数・圧縮強度の関係をそれぞれの目標値で整理した(図-10参照)。この図から、透水係数はこれらの配合では目標値を満足できているが、圧縮強度は配合によっては目標値を下回っているものがあることがわかる。このことから、要求品質を満足する範囲は強度の結果から決定され、およそ $W/C=72\%$ から $W/C=80\%$ の間の配合で、さらに砂セメント比を水セメント比に対応させて変化させることで、目標とする圧縮強度・透水係数をともに満足できることがわかる。

さらに、これらの配合の発泡剤添加率と圧縮強度・透水係数の関係(図-11参照)から、発泡剤添加率と圧縮強度・透水係数はほぼ直線関係にあり、発泡剤添加率が増加すると透水係数は増加し、圧縮強度は低下していることがわかる。これらの関係から、所要の圧縮

表-5 実験配合(Al/C を増加させた場合)

W/C (%)	S/C	Fa/C (%)	Al/C (%)	Ad/W (%)	Sp/C (%)
65	2.5	3.0	1.2	0.005	0.5
			1.8		
			2.0		
70	3.0	3.0	1.2		
			1.8		
			2.0		
75	3.5	3.0	1.2		
			1.8		
			2.2		
			2.0		
80	4.0	3.0	1.2		
			1.8		
			2.0		

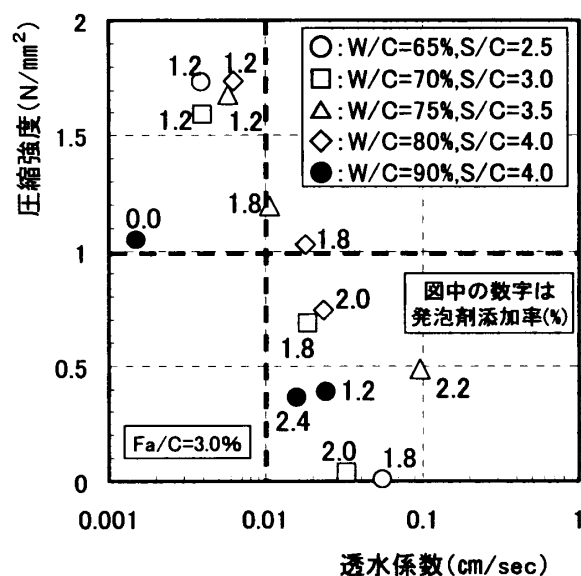


図-8 透水係数と圧縮強度の関係(その3)

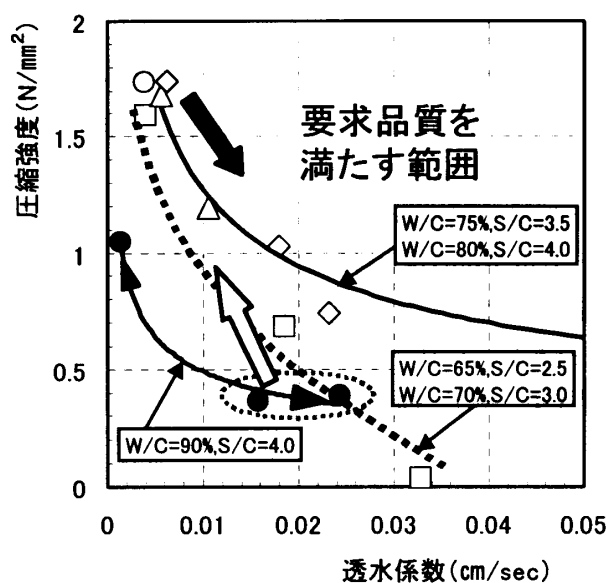


図-9 透水係数と圧縮強度の関係
(配合による違い)

強度・透水係数を満足する発泡剤添加率の範囲をそれぞれ求めることができ、両者の範囲が重なる発泡剤添加率(およそ 1.45~1.85%)であれば、要求品質を満足するモルタルを製造できると推定される。

4. まとめ

透水モルタルの透水性・強度の両方を考慮した最適配合を検討する目的で、流動性に及ぼす水セメント比・砂セメント比の影響を検討し、強度・透水性に及ぼす起泡剤・発泡剤添加率の影響を検討した。今回の実験結果から、以下の事項が明らかとなった。

- (1)水セメント比を低くした場合でも、砂セメント比を調整することで高い流動性を得ることができる。
- (2)起泡剤・発泡剤添加率を増加させることで、透水係数は増加するが、圧縮強度は低下する。
- (3)水セメント比を低下させることで、透水係数はやや低下するものの、圧縮強度を増加できる。
- (4)水セメント比 75%, 砂セメント比 3.5 前後の配合で発泡剤添加率を 1.6%程度とすることで、要求品質を満足するモルタルを製造できる。

5. 参考文献

- 1) 外館良之, 丸山久一, 下村匠: 透水性を有する注入材料の開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, 1996
- 2) 大橋章: 地盤材料の骨材粒度による透水性注入モルタルの透水性および注入特性, 長岡技術科学大学修士論文, 1998
- 3) 日本コンクリート工学協会: コンクリート便覧(第二版), pp.544, 1996

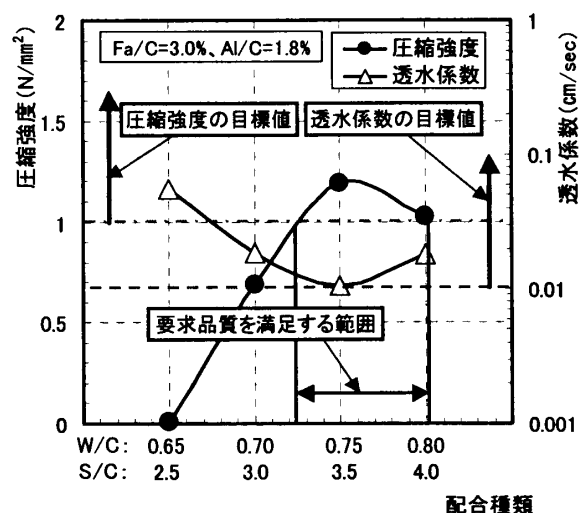


図-10 Fa/C=3.0%, Al/C=1.8%の場合の各配合の圧縮強度と透水係数

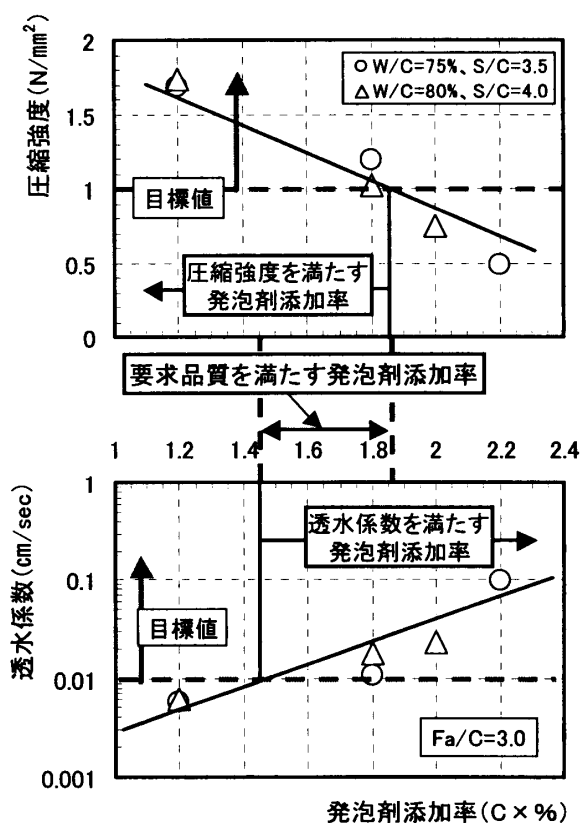


図-11 発泡剤添加率と圧縮強度および透水係数の関係