

# アクアソイル工法に関する研究（その7）

——砂質土を用いたソイルモルタルの固化前の性状——

久保 博 漆原 知則  
川地 武

## Studies on Aqua Soil Method (Part 7)

——Properties before Hardening of Soil Mortar Mainly Constituted of Sandy Soil——

Hiroshi Kubo Kazunori Urushibara  
Takeshi Kawachi

### Abstract

In the Aqua Soil Method, to control properties before hardening, namely, fluidity, bleeding, and segregation resistance on placing of soil mortar underwater is very important. In this paper, the influences of the properties and the contents of coarse and fine particles in the sand, the content of cement, and the content of segregation-controlling admixture on the properties before hardening of soil mortar of which the main constituents were the coarse particles of the sand were investigated. ① Under the condition of fixed quantities of water, the fluidity of the soil mortar was strongly influenced by the activity and the content of fine particles and the content of coarse particles in the sand. Further, the fluidities were increased with the content of cement, and slightly decreased with the content of the segregation-controlling admixture. ② Under moderate fluidity, the bleeding ratio of the soil mortar was decreased with the increase in activity of fine particles in the sand. ③ With moderate fluidity, the segregation resistance on placing under-water was greatly increased with the content of the segregation-controlling admixture.

### 概 要

アクアソイル工法ではソイルモルタルの固化前の性状、すなわち流動性、ブリージングおよび水中分離抵抗性を適切に調整し、管理することが重要である。ここでは、砂質土を用いたソイルモルタルについて、砂質土中の粗粒分・細粒分の質と量、セメント量、粘結剤量などが固化前の性状に及ぼす影響を調査した。結果を以下に要約する。① 流動性は、一定の水量のもとでは、砂質土中の細粒分の質（活性度など）と量、粗粒分の質（粒度など）に大きく影響を受けた。また、流動性はセメント量とともに向上し、粘結剤添加によってやや低下した。② ブリージングは、適度の流動性のもとでは、細粒分の活性度が高いほど、また細粒分が多いほど抑制された。③ 水中分離抵抗性は、適度の流動性のもとでは、粘結剤によって著しく向上した。

## 1. まえがき

アクアソイル工法とは、土-セメント-水-粘結剤（必要に応じて添加）からなるソイルモルタルを水底に打設して固化地盤を造成する工法である。本工法において使用する土は、大きく砂質土と粘性土に分けられる。適度の流動性を得るために必要な水量は土質によって異なり、一般に砂質土を用いたソイルモルタルは、粘性土を用いたソイルモルタルに比べて、水量が少ないため密度の大きいものになる。ここでは、砂質土を使用する場合を想定した。砂質土に含まれる細粒分の質と量は、多種多様である。従って、本工法に各種の砂質土を用いる場合、砂質土の性状がソイルモルタルの性状に与える影響を把握しておくことは非常に重要である。

ここでは、特にソイルモルタルの固化前の性状、すなわち流動性、ブリージング率および水中分離抵抗性に注目し、それらに対する砂質土の影響を調査した。また、

セメント量がソイルモルタルの流動性に与える影響および水中分離抵抗性を向上させるために添加する粘結剤の影響も検討した。

## 2. 使用材料

### 2.1 土

ここでは、砂質土の0.075 mm以上を粗粒分、0.075 mm以下を細粒分とした。粗粒分および細粒分の物理的性状を表-1、粒度を図-1に示す。

2.1.1 砂質土の粗粒分 粗粒分は、表-1に示すように、山砂A中の粗粒分、山砂B中の粗粒分および豊浦標準砂（以下、標準砂という）の3種類を用いた。山砂A、山砂Bはいずれも千葉県富津の山砂である。両山砂とも0.075 mmふるいで、ふるい通過分がほぼなくなるまで水で洗浄して得たふるい残留分である。標準砂はそのまま粗粒分として用いた。

2.1.2 砂質土の細粒分 細粒分として、表-1 に示すように、山砂 A 中の細粒分 (以下、山砂細粒分という)、カオリン土、ベントナイトおよび粉碎泥岩の4種類を用いた。山砂細粒分は、山砂 A の 0.075 mm ふるい通過分を用いた。カオリン土は岐阜県産、ベントナイトは群馬県産のもので、そのまま細粒分として用いた。また、粉碎泥岩は千葉県君津の泥岩を湿式粉碎し、0.075 mm ふるいを通過したものを用いた。

2.2 セメント、粘結剤および混練水

セメントとして高炉セメント B 種、粘結剤としてセルロース系水溶性高分子、また混練水として人工海水 (商品名: アクアマリン、比重: 1.023) を用いた。海水を使用したのは、海域での工事を想定したからである。

3. 試験方法

3.1 配合の表示方法

土、セメント、水および粘結剤の配合は、練り上がりのソイルモルタル 1 m<sup>3</sup> 当りの質量で表示した。水量は土に含まれている水と混練水として加えた水の合量である。また、砂質土の全体 (粗粒分+細粒分) に対する細粒分の割合を細粒分含有率 (%) と表示した。

3.2 ソイルモルタルの混練

ホバート型ミキサーに砂質土としての粗粒分・細粒分、セメントおよび粘結剤を入れて3分間混合したのち、海水を加えてさらに2分間混合して、ソイルモルタルを製作した。

3.3 ソイルモルタルの性状試験

3.3.1 小型スランプ試験 JIS A 1101に定められたスランプコーンに対して縮小率 1/2、すなわち上径 5 cm、下径 10 cm、高さ 15 cm のコーンを用いた。これに混練直後の試料を詰めて引き上げた際の試料の広がり直径を「小型スランプフロー」(以下、スランプフローという) として表示した。

3.3.2 テーブルフロー試験 JIS R 5201のフローテーブルを用いて、混練直後の試料の広がり直径を測定し、これを「テーブルフロー」として表示した。

3.3.3 ブリージング試験 混練直後のソイルモルタルを土木学会基準にしたがって測定した。

3.3.4 水中分離抵抗性試験 水中不分離性コンクリートマニュアル<sup>1)</sup>に従い、水 800 ml を入れた 1 l ビーカーに、混練直後の試料 500 g を水面から10回に分けて投入した。その直後にほぼ 1/2 水深から採水し、SS (水中の懸濁物質濃度) を測定した。また、投入直後および3分後にビーカー内の水の pH を測定した。

4. 結果と考察

4.1 流動性

ソイルモルタルの流動性の評価方法として、スランプ試験、テーブルフロー試験、ベーンせん断試験などがある。そして、スランプ試験には、標準のスランプ試験 (JIS 法) と小型スランプ試験がある。ここでは、小型スラン

表-1 使用土の物理的性状

	土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	平均粒径 D <sub>50</sub> (mm)	均等係数	曲率係数	最小密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最大密度 (g/cm <sup>3</sup> )
豊浦標準砂	2.63	0.20	1.47	0.98	1.349	1.647
山砂 A 粗粒分	2.68	0.31	2.13	1.34	1.326	1.614
山砂 B 粗粒分	2.67	0.46	3.47	0.77	1.389	1.702

	土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	w <sub>L</sub> (%)	w <sub>P</sub> (%)	<2μm含有量 (%)	活性度 <sup>*1</sup>	沈定容積 <sup>*2</sup> (m <sup>2</sup> /2g)	主要粘土鉱物
カオリン土	2.66	40.9	12.3	39	0.73	3.5	カオリナイト、雲母鉱物
ベントナイト	2.56	348.5	25.6	89	3.63	7.0	スメクタイト
粉碎泥岩	2.66	56.1	31.0	24	1.05	8.5	スメクタイト、クロライト
山砂細粒分	2.72	95.8	20.1	43	1.76	11.5	スメクタイト

\*1 活性度は、塑性指数 (=w<sub>L</sub>-w<sub>P</sub>) を 2μm 以下含有量で除した値である。  
 \*2 細粒分 (乾土) 2g とセメント 0.5g を海水に懸濁させて、24時間放置後の沈殿物の体積である。

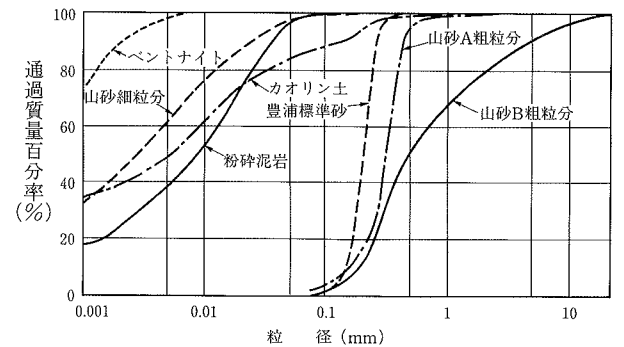


図-1 使用土の粒径加積曲線

プ試験におけるスランプフローを主体に述べる。小型スランプ試験を採用した理由として、水底に打設したソイルモルタルは敷き均しや振動を加えて流動させることが困難なため、セルフレベルリング性が重要である。そして、スランプ試験はセルフレベルリング性を比較的好く反映すると考えられ、ここで取り扱うソイルモルタルのように最大粒径が数 mm である場合、標準のスランプ試験を小型化しても問題ないと考えられたことによる。

4.1.1 細粒分含有率の影響

(1) 細粒分として山砂細粒分を用いた場合 一般に砂質土中の細粒分含有量は広い範囲に及んでいる。ここでは、山砂中の細粒分含有率を任意に変えて、それが流動性に及ぼす影響を調べた。

ソイルモルタルの水量とスランプフローの関係を図-2 に示す。一般にソイルモルタルのスランプフローは、水量とともに増大した。ただし、粘結剤無添加で細粒分 0% の場合、水量を増してもある量以上の水は分離しやすいため、スランプフローの増大に寄与しなかった。

山砂中の細粒分含有率とスランプフローの関係を図-3 に示す。スランプフローは、細粒分含有率が 2.5% でピークを示したのち、細粒分含有率とともに緩やかに低下した。この理由は、前報<sup>1)</sup>でも述べた。すなわち、細粒分含有率 2.5% までの流動性が向上する段階は、細粒分の増大に伴って、粗粒分の間隙にあるスラリー (細粒分-セメント-水) の粘性が増大し、分離しにくくなったこと、およびソイルモルタルの単位体積当りのスラリー量が増大したことによると考えられる。また、細粒分含有率の

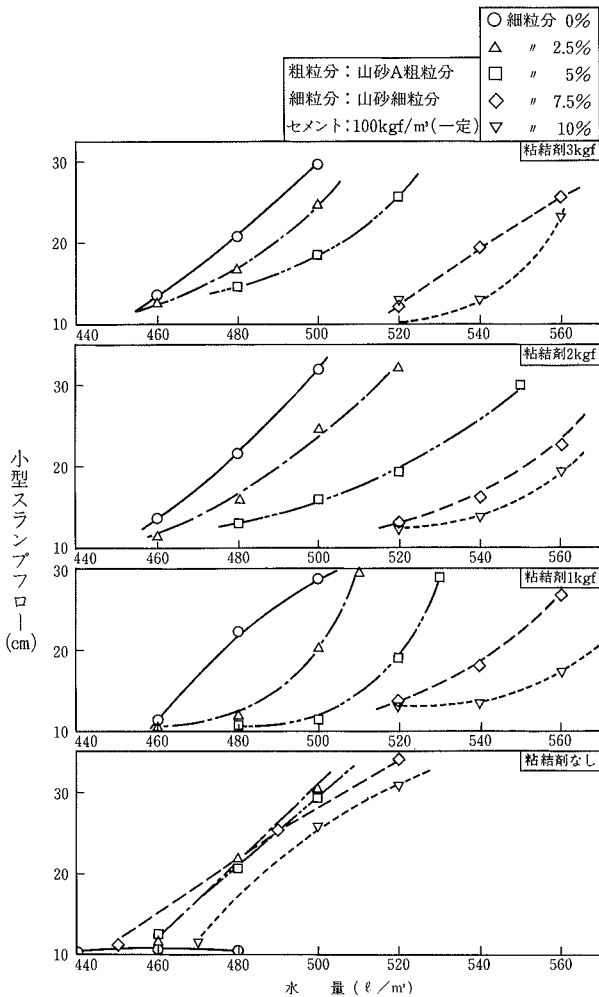


図-2 ソイルモルタルの水量とスランプフローの関係

増大にともない流動性が低下する段階は、スラリーの粘性が高くなり、流動に対する抵抗が増すためと考えられる。

(2) 細粒分として、カオリン土、ベントナイトおよび粉碎泥岩を用いた場合 4種類の細粒分について細粒分含有率を10%一定にした場合のソイルモルタルの水量とスランプフローの関係を図-4に示す。ソイルモルタルの水量と流動性の関係は、細粒分の種類によって異なり、一定水量で比較するとカオリン土が他の3種類の細粒分に比べて非常に大きなスランプフローを示した。

つぎに、水量を480 lとした場合の細粒分含有率とスランプフローの関係を図-5に示す。細粒分含有率とスランプフローの関係は、4種類の細粒分とも図-3と類似の挙動を示した。すなわち、スランプフローは細粒分含有率とともに増大し、ある量でピークを示す。その際、カオリン土は他の細粒分に比べると細粒分含有率が高いところでピークを示し、かつ高いピークを示した。このことは、カオリン土が他の細粒分に比べて活性度や沈定容積が小さいため、細粒分含有率の増大に伴うスラリーの粘性増大が他の細粒分に比べて小さいことと関連している。すなわち、流動性がピークに達するまでに添加し

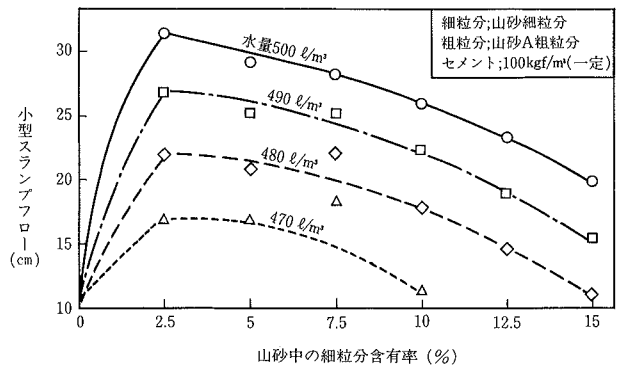


図-3 細粒分含有率とスランプフローの関係(1)

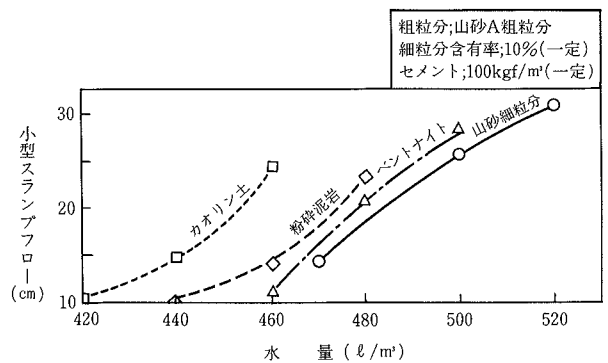


図-4 各種細粒分を用いたソイルモルタルの水量とスランプフローの関係

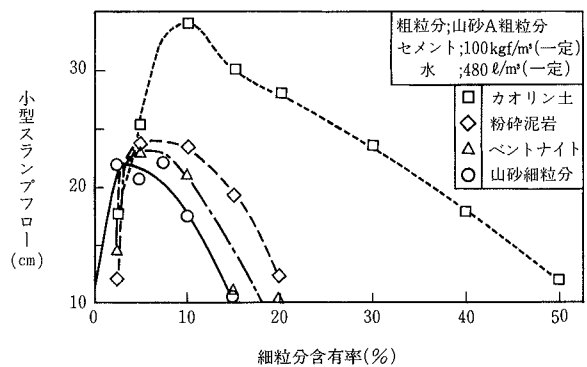


図-5 細粒分含有率とスランプフローの関係(2)

うるカオリン土量が多く、その結果として、流動性ピーク時のスラリー量も多くなるためと考えられる。また、ベントナイトは、活性度が非常に高いにもかかわらず粉碎泥岩などと類似の挙動を示した。この理由は、混合時にセメントからの溶出イオンなどによって膨潤が阻害されたためと考えられる。

4.1.2 粘結剤の影響 (細粒分として山砂細粒分を使用) 粘結剤量とスランプフローの関係を図-6に示す。粘結剤がソイルモルタルの流動性に及ぼす影響は、細粒分含有率によって異なった。細粒分0%の場合、4.1.1の(1)で述べたように、水量を増してもスランプフローは増大しなかったが、粘結剤1 kg/m<sup>3</sup>添加することによってスランプフローは増大し、粘結剤を3 kg/m<sup>3</sup>まで添加してもほぼ一定のスランプフローを示した。これは、粘結剤によってスラリーの粘性が増大し、水の分離が抑制

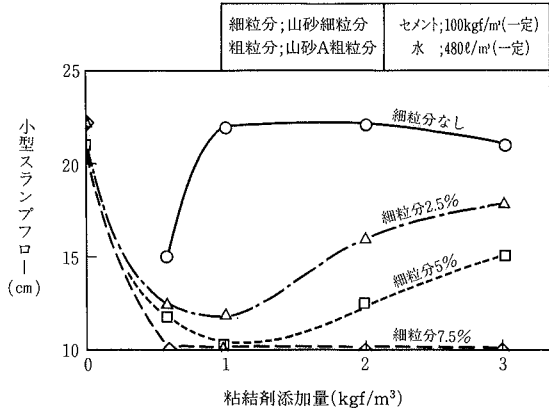


図-6 粘結剤量とスランプフローの関係

されたためと考えられる。

また、細粒分を2.5~10%含む場合、スランプフローは、粘結剤添加量が1 kg/m<sup>3</sup>の場合、極小値を示した。これは、粘結剤(水溶性高分子)と細粒分(荷電した粘土・セメント粒子)の界面化学的な反応すなわち、コロイド粒子の分散・凝集反応が関与していると考えられる<sup>3)</sup>。なお、粘結剤を添加したソイルモルタルにおいても、流動性は細粒分含有率とともに低下した。

4.1.3 セメント量の影響(細粒分として山砂細粒分を使用)

粘結剤無添加および3 kg/m<sup>3</sup>添加したソイルモルタルのセメント量とスランプフローの関係を図-7に示す。細粒分の量、水量、粘結剤量にかかわらず、スランプフローはセメント量とともに増大した。その程度は、細粒分含有率が少ないほど顕著であった。セメントによる流動性の向上は、基本的に前述の細粒分の増大に伴う流動性向上の理由と同じと考えられる。すなわち、セメント量50~150 kg/m<sup>3</sup>において、セメント増量によるスラリーの粘性増大は小さく、スラリー量の増大に伴う流動性増大が顕著に現われるためと考えられる。

4.1.4 粗粒分の種類の影響(細粒分として山砂細粒分を使用)

細粒分含有率5%、粘結剤無添加および3 kg/m<sup>3</sup>添加のソイルモルタルの水量とスランプフローの関係を図-8に示す。ソイルモルタルの流動性は、粗粒分の種類によって大きく異なった。一定のスランプフローを得るための水量は、山砂B粗粒分<山砂A粗粒分<標準砂の順であり、表-1に示した粗粒分の平均粒径が小さいものほど多くの水量を必要とした。実際には、この水量と流動性の関係は、平均粒径だけでなく、均等係数、曲率係数、間隙比および粒子形状などによっても影響されると考えられる。

4.1.5 スランプフローとテーブルフローの関係

上記のすべての配合について、スランプフローとテーブルフローの関係を図-9に示す。両者の間には相関性が認められた。そして、この相関には、粘結剤の量が影響したが、細粒分の種類や量、セメント量などの影響は認められなかった。また、粘結剤無添加で細粒分が0%の場合、水分が分離し、スランプフローは小さな値を示すが、振動を与えた場合の広がり直

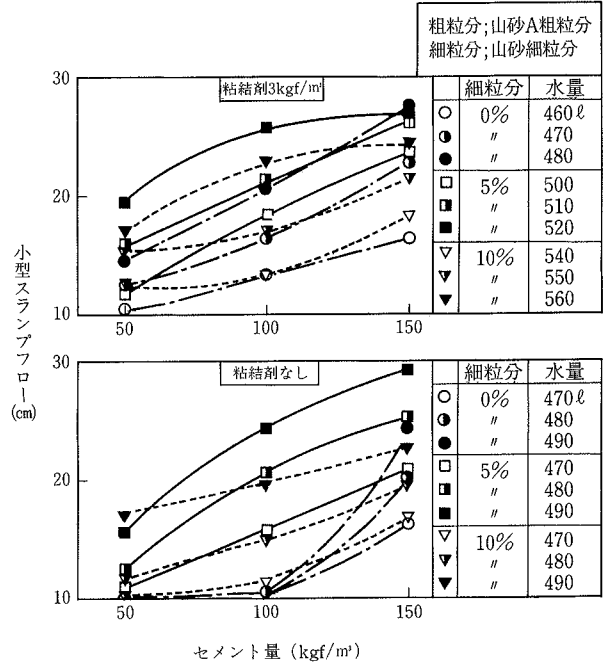


図-7 セメント量とスランプフローの関係

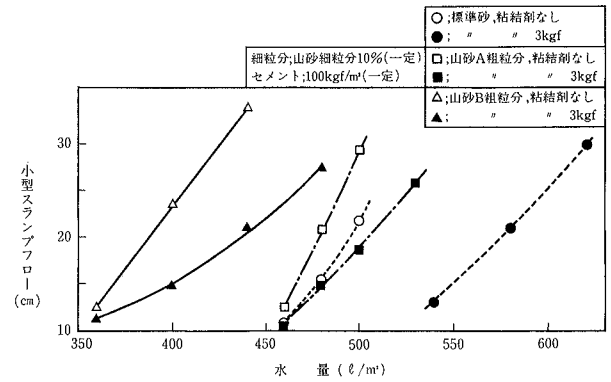


図-8 流動性に及ぼす粗粒分の影響

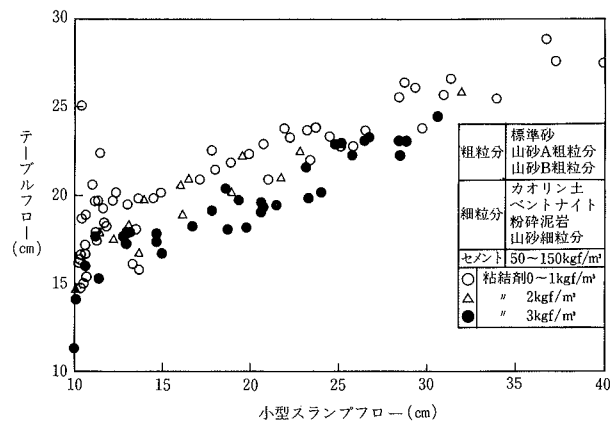


図-9 スランプフローとテーブルフローの関係

径で表すテーブルフローは大きな値を示した。本工法のように、セルフベリング性が重要な場合、ソイルモルタルの流動性をスランプフローで評価の方がよいと考えられる。

4.2 プリージング率

一般にソイルモルタルのプリージングが大きいと、固

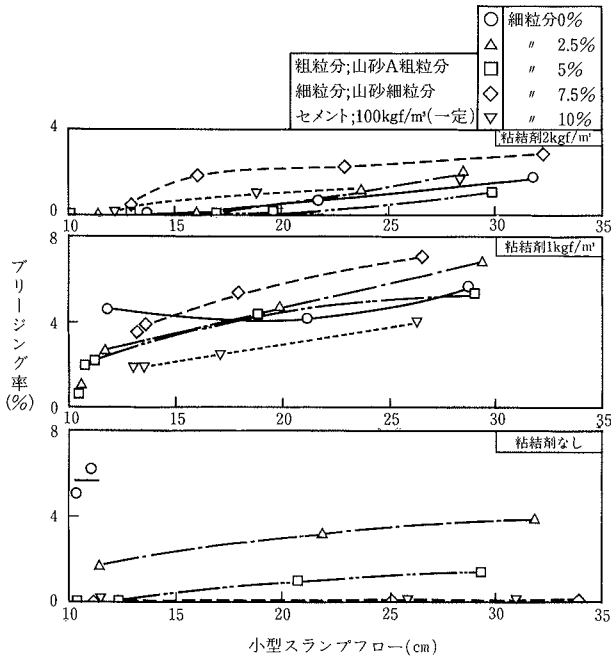


図-10 スランプフローとブリージング率の関係

化体の品質のばらつきを増大させるなどの問題があるため、ブリージングを抑制する必要がある。

4.2.1 細粒分含有率の影響

(1) 山砂細粒分の場合 流動性の指標であるスランプフローとの関係において、ブリージング率を検討した。両者の関係を図-10に示す。

粘結剤無添加のソイルモルタルのブリージング率は、図-10の下段に示すように、細粒分含有率とともに減少し、細粒分含有率7.5%になるとスランプフローが大きい場合でもブリージング率はほぼ0%になった。

(2) カオリン土、ベントナイトおよび粉碎泥岩の場合

細粒分含有率5%および10%のソイルモルタルのスランプフローとブリージング率の関係を図-11に示す。細粒分含有率が5%から10%に増大することによってブリージング率は大きく減少した。また、細粒分含有率5%におけるブリージング率は、ベントナイト<山砂細粒分≦粉碎泥岩<カオリン土の順であり、細粒分の活性度が高いものほど小さな値を示した。

4.2.2 粘結剤量の影響 (細粒分として山砂細粒分を使用)

図-10の中段および上段に示すように、ソイルモルタルのブリージング率は、粘結剤を1 kg/m³から2 kg/m³に増すと減少した。また、粘結剤を添加すると細粒分含有率による一定の影響は認められなかった。スランプフロー15 cmおよび25 cmにおける粘結剤量とブリージング率の関係を図-12に示す。ブリージング率は、粘結剤1 kg/m³添加で極大値を示した。そして、粘結剤3 kg/m³添加になるとすべての配合でほぼ0%になった。粘結剤1 kg/m³におけるブリージング率の増大は、4.1.2で述べたような粘結剤と細粒分の反応によってスラリー中の水を分離しやすい状態になったためと考えられ、4.1.2で述べた流動性に対する影響との関連もあると

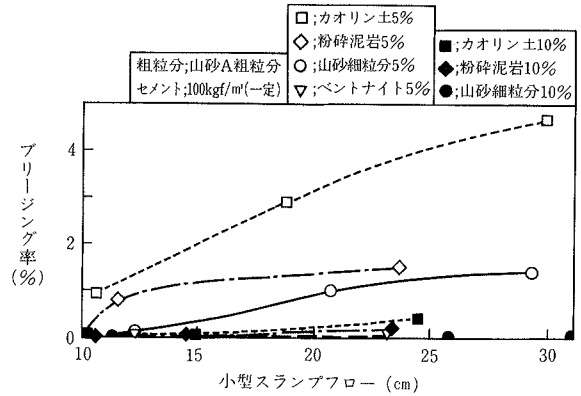


図-11 ブリージング率に及ぼす細粒分の種類と量の影響

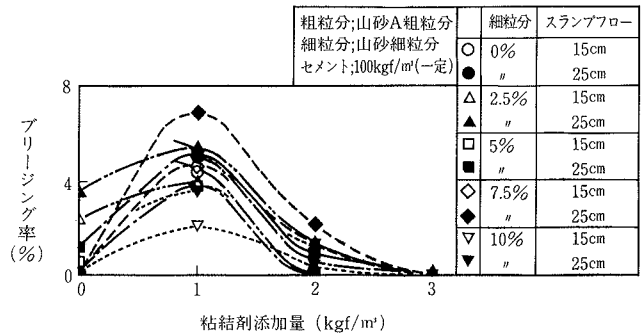


図-12 粘結剤量とブリージング率の関係

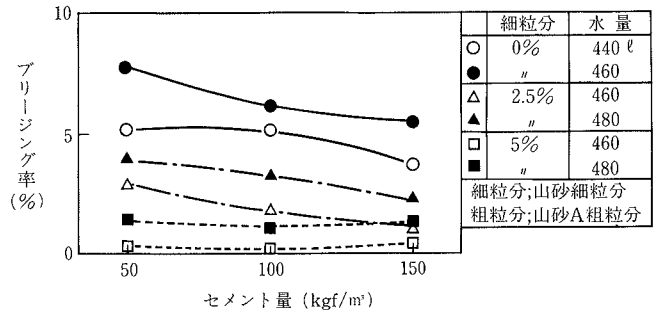


図-13 セメント量とブリージング率の関係

考えられる。

4.2.3 セメント量の影響(細粒分として山砂細粒分を使用) ソイルモルタルのセメント量とブリージング率の関係を図-13に示す。細粒分が少なくブリージング率が比較的大きい場合、セメント量によるブリージング率の低下が認められた。しかし、セメント量がブリージング率に及ぼす影響は、4.2.1および4.2.2に述べた細粒分の質・量、粘結剤量の影響に比べて小さかった。

4.3 水中分離抵抗性

水中分離抵抗性は、前述の3.3.4の試験方法によって、水中に懸濁したソイルモルタル中の微細粒子の濃度(以下、SSという)を指標としている。したがって、SSが小さいものほど水中分離抵抗性が大きい。

4.3.1 細粒含有率の影響(細粒分として山砂細粒分を使用)

図-14にソイルモルタルのスランプフローとSSの関係を示した。粘結剤無添加の場合、同図の下段に示すように、細粒分含有率がSSに及ぼす影響は明瞭でなかった。

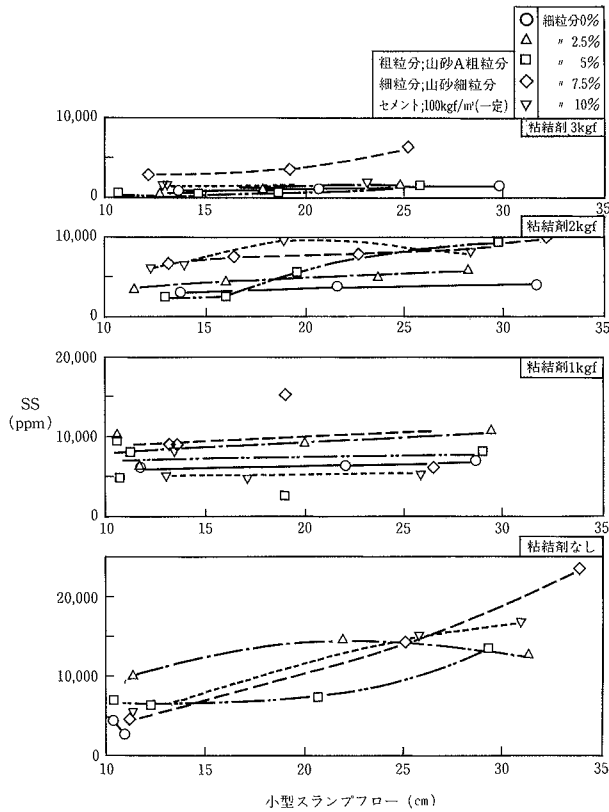


図-14 ソイルモルタルのスラブフローとSSの関係

4.3.2 粘結剤量の影響 (細粒分として山砂細粒分を使用) 粘結剤を添加したソイルモルタルのSSは、図-14に示すように全体を通じて粘結剤量とともに低下し、粘結剤による水中分離抵抗性向上が認められた。なお、粘結剤 1 kg/m<sup>3</sup> 添加の場合、スラブフローとSSの関係は大きくばらついた。これは、前述の流動性、ブリージング率において、粘結剤 1 kg/m<sup>3</sup> 添加の場合に特徴的な傾向が見られたことと関連していると考えられる。

4.3.3 粗粒分の種類の影響 (細粒分として山砂細粒分を使用) SSは、粗粒分の平均粒径が大きいもの、すなわち標準砂<山砂A粗粒分<山砂B粗粒分の順であった。これは、水中を落下する際、粗粒分の粒径が大きいほど分離しやすいためと考えられる。

4.3.4 SSとpHの関係 水中分離抵抗性試験におけるSSとpHの関係を図-15に示す。

pHは、SSの増大とともに急激に上昇したのち、ほぼ一定の値を示した。一定のpHを示した理由として、放置時間が3分間と短いことなどが考えられる。また、両者の間にはセメント量などの配合との関係は認められなかった。

## 5. まとめ

アクアソイル工法におけるソイルモルタルの固化前の

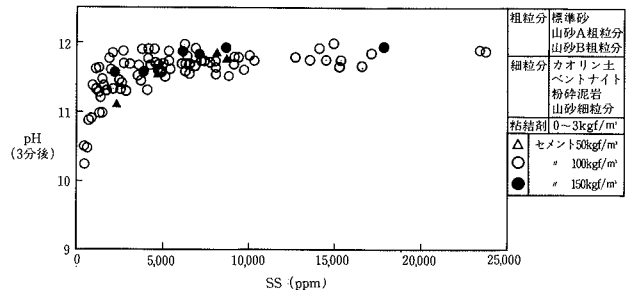


図-15 水中分離抵抗性試験におけるSSとpHの関係

性状に対するソイルモルタルの配合、すなわち土 (ここでは砂質土を対象とした) の種類、セメント量、粘結剤量などの影響を検討した。

① 流動性は、一定の水量のもとでは、砂質土中の細粒分の種類や量、粗粒分の種類に大きく影響され、細粒分の活性度や粗粒分の粒度との相関も認められた。また、流動性は、水量一定のもとでは、通常セメント量においてセメント量とともに増大し、粘結剤添加によってやや低下した。

② ブリージングは、適度の流動性のもとと比較すると、砂質土中の細粒分の活性度が高いほど、細粒分含有率が多いほど、またブリージングの大きいものに対しては粘結剤 2 kg/m<sup>3</sup> 以上添加した場合に抑制された。

③ 水中分離抵抗性は、適度の流動性のもとと比較すると、砂質土中の細粒分の種類や量によってほとんど影響されなかった。そして、水中分離抵抗性は粘結剤の添加によって向上し、3 kg/m<sup>3</sup> 添加では非常に良好であった。

本工法におけるソイルモルタルの配合設計では、まず固化強度を考慮してセメント量を検討することと並んで、適度の流動性になるような配合を検討する必要がある。その流動性は、上記①のようにそれぞれの材料の質と量の影響を強く受けるので、それに応じて水量を調整することが重要である。

つぎに、流動性を満足する配合について、②のブリージング、③の水中分離抵抗性も調査し、必要に応じて配合を修正し、固化強度、流動性、ブリージング、水中分離抵抗性を満足する配合を総合的に決定する必要がある。

## 参考文献

- 1) 沿岸開発技術研究センター編：水中不分離性コンクリート・マニュアル，山海堂，p. 123~124，(1990)
- 2) 喜田，久保，漆原：アクアソイル工法に関する研究 (その6) - 砂質土主体のソイルモルタルの流動性に及ぼす細粒分の効果 -，大林組技術研究所報，No. 42，p. 85~90，(1991)
- 3) 喜田：粘土をつなぐ高分子，高分子 Vol. 13，(1964)