

アクアソイル工法に関する研究（その3）

——中型水槽におけるポンプ打設実験——

喜田大三 久保 博
漆原知則

Studies on Aqua Soil Method (Part 3)

——Experiments on Placement by Pump into Medium-Sized Water Tanks——

Daizo Kita Hiroshi Kubo
Kazunori Urushibara

Abstract

In order to test the influences of mix proportions and placing conditions of Aqua Soil on water quality, the self-levelling capability of Aqua Soil in water, and the properties of Aqua Soil after solidification in water, experiments on placing by pump into medium-sized water tanks were conducted.

(1) Increases in pH and turbidity of water on placing were held down by the segregation controlling admixture.

(2) The mound of Aqua Soil after placement in water had a gentler slope the higher the slump and the larger the content of segregation controlling admixture.

(3) The strength of solidified Aqua Soil decreased with increased distance from the vent of the placement pipe, and the phenomenon was more indistinct the gentler the slope of Aqua Soil. Strengths were not affected by height of vent in the range of height of 25 to 75 cm.

(4) Aqua Soil placed on solidified Aqua Soil filled recessed parts well, even V-shaped gutters made in solidified Aqua Soil for test purposes, and solidified in a condition of close adhesion to the older Aqua Soil.

概 要

標記工法において、アクアソイル（必要に応じて粘結剤を添加した流動状のソイルセメント）の配合や水中打設の条件が水質、アクアソイルのセルフレベルリング性によってできる形状、固化体性状に及ぼす影響を調べるため、中型水槽実験を行った。

(1) 水中打設に伴う海水の pH 上昇および濁度の増大は、粘結剤の分離低減効果などによってわずかであった。

(2) 打設後のアクアソイルの形状は、スランプが大きいほど、また粘結剤が多いほど緩やかな勾配になった。

(3) アクアソイル固化体の強度は、吐出管からの水平距離とともに低下したが、その程度は、打設後のアクアソイルの勾配が緩やかなほど小さかった。また、底面からの吐出口高さが25～75cmの場合、固化体の強度の差は認められなかった。

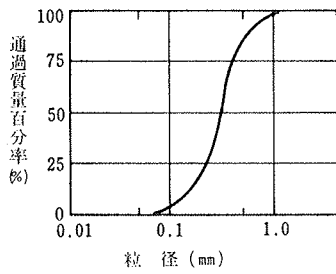
(4) 打継いだアクアソイルは、調査のために切った V 字型の溝にも充てんされ、打継ぎ面は全体によく密着していた。

1. はじめに

アクアソイル工法は、既報^{1),2)}のように、築島に伴う中詰め・埋土工事や水底盛土工事などにおいて極めて有効な工法の一つである。この工法によって造成される地盤の強度および密度は、土砂、セメント、水、粘結剤の

配合によって任意に設定できる。

アクアソイル工法において特に重要なことは、水中打設時の分離をできるだけ抑制すること、また水中では、敷均しや締固めができないのでできるだけセルフレベルリング性を良好にすること、さらに固化体の強度のばらつきをできるだけ小さくすることなどである。これらの目



図一1 土砂の粒径加積曲線

標を達成するための条件について、この報告では中型水槽実験によって、さらに詳細な検討を行なった。

その結果、室内実験や小型水槽実験では得られない有益な知見を得たので、以下に述べる。

2. 供試材料

アクアソイルの材料は、土砂、セメント、粘結剤および混練水である。土砂は千葉県富津市の山砂で、図一1に示すような粒度分布であった。その含水比は約8%であった。セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。また、粘結剤としては、メチルセルロースを主成分とする材料と消泡剤を混合したものを用いて、それらの含量を粘結剤量として表わした。

また、この工法は、海域で適用されることが多いため、混練水および水槽内の水には、人工海水（以下、海水という）を用いた。

3. 実験方法

3.1. 実験ケース

実験ケースは、表一1に示す12ケースとした。各ケースの条件は、以下のように設定した。

セメント量は、150 kg/m³ および 200 kg/m³ とし、粘結剤量は、1.5~9.5 kg/m³ とした。また、水量は、混練直後のスランプが 22 cm, 25 cm および 27 cm になるように調整した。そして、打設条件として、吐出口を水槽底面から 25 cm, 50 cm および 75 cm の高さに固定した。

これらのうち、No. 5, 9, 2, 4 を比較することによって粘結剤の影響を、No. 1, 2, 3 を比較することによってスランプの影響を、また No. 8, 9, 10 と No. 6, 2, 7 の比較によって吐出口高さの影響を調べた。

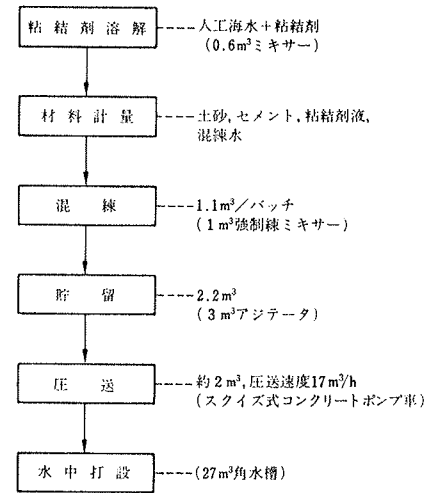
3.2. アクアソイルの混練・打設

混練・打設方法を図一2に示す。強制練ミキサー(1 m³)によってアクアソイルを混練し、強制練ミキサー2バッチ分をアジテータに移し、1ケース当り 2.2 m³

No.	1 m ³ 当りの配合				目標 吐出口	
	山砂*1 (kg)	セメント (kg)	粘結剤 (kg)	水*2 (ℓ)	スランプ (cm)	高さ (cm)
1	1340	200	4.5	435	22	50
2	1310	200	4.5	445	25	50
3	1270	200	4.5	460	27	50
4	1270	200	9.5	460	25	50
5	1330	200	1.5	440	25	50
6	1310	200	4.5	445	25	25
7	1310	200	4.5	445	25	75
8	1310	200	2.0	445	25	25
9	1310	200	2.0	445	25	50
10	1310	200	2.0	445	25	75
11	1320	150	4.5	460	25	50
12	1340	150	2.0	450	25	50

*1 乾土で表示 *2 土砂中の水+混練水

表一1 実験ケース



図一2 アクアソイルの混練・打設方法

作製した。そして、スクイズ式コンクリートポンプ車によって、約 24 m³ の海水を入れた水槽 (27 m³) に約 2 m³ を打設した。水槽内の海水は、各ケースの実験終了後に回収し、2~3 回繰返し使用した。なお、打設管は、φ 10 cm の鋼管とし、水槽のコーナー部に固定した。打設状況を図一3に示す。

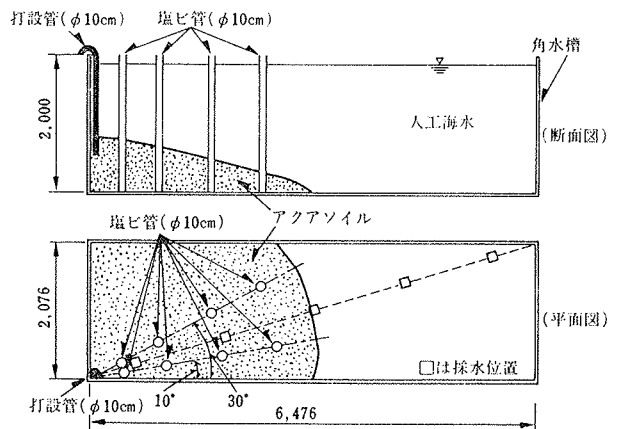
3.3. 試験項目と方法

3.3.1. 打設前のアクアソイルの性状 打設直前のアクアソイルをアジテータから採取し、スランプ、密度および含水比を測定した。

3.3.2. 水質 打設直前・直後の海水を採取し、濁度および pH を測定した。打設直後の海水は、図一3の5箇所において、1/4 水深および 3/4 水深から採取した。

3.3.3. 打設後のアクアソイルの形状 アクアソイルを打設した翌日に海水を除去し、アクアソイルの厚さを 50 cm メッシュで測定した。

3.3.4. アクアソイル固化体の性状 打設直後のアク



図一3 打設状況および試料水・固化体採取位置

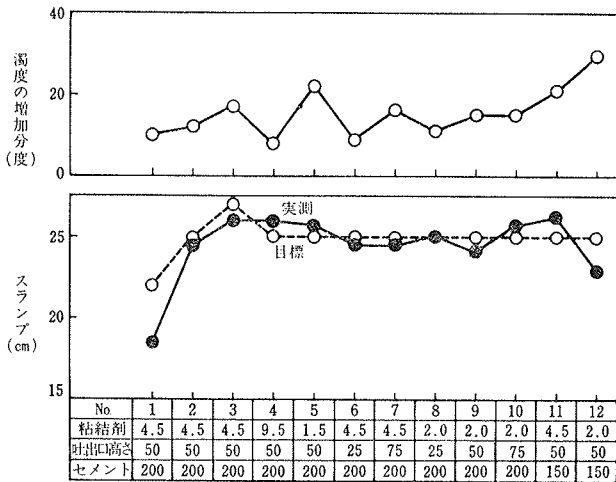


図-4 スランプおよび打設に伴う濁度の増加

アソイルに対して、図-3の位置にφ10cmの塩ビ管を6~8本挿入し、3日後に引き抜いて塩ビ管ごと20℃水中で養生した。そして、材令28日で塩ビ管内の試料を約20cmに分割し、密度、一軸圧縮強度、含水比および一部の試料についてセメント含有量を調べた。

また、打設直前のアクアソイルをモールドに詰めて、水中打設した試料と同じ条件で養生し、密度、一軸圧縮強度および含水比を測定した。

3.3.5. 打継ぎ面の性状 一部のケースにおいて、固化したのちのアクアソイル面にV字型の溝を切り、再び海水を満して次のケースの打設（打継ぎ）を行なった。そして、固化後に断面を切り、打継ぎ面を観察した。なお、打継ぎの時間間隔は、4日間とした。

4. 結果と考察

4.1. 打設前のアクアソイルの性状

No. 1~No. 12のアクアソイルのスランプを図-4に

示す。アクアソイルのスランプは、ほぼ目標どおりであった。また、密度は1.84~1.89 g/cm³、含水比は27~33%であった。これらの値は、配合から計算される値とほぼ一致しており、空気混入量は4~6%と計算された。

4.2. 打設後の水質

打設に伴う海水の濁度の増加（10箇所の平均）を図-4に示す。濁度の増加とは、打設前の濁度と打設後の濁度の差である。

濁度の増加は、実験ケースによってやや異なるが、全体を通じて10~30度とかなり小さかった。なお、濁度の増加を詳細に比較すると、粘結剤を多く加えるほど（No. 5, 9, 2, 4の順）、また吐出高さを低くするほど（No. 7, 2, 6の順）やや抑制された。

一方、pHは、海水を繰返し使用したため、打設前では7.2~9.8と異なり、実験ケース間の比較は困難であった。全ケースを通じて、pHの上昇は、0.2~0.8の範囲であり、小さかった。

ところで、打設に伴う濁度の増加やpHの上昇は、前報²⁾の小型水槽における打設実験の結果を比べると、いずれも著しく小さかった。この理由として、この実験では、改良した粘結剤を使用したことや実験条件（水槽、打設量、打設条件など）が異なるためと考えられる。

4.3. アクアソイル面の形状

アクアソイル面の形状の例として、No. 1, 2, 3における30°線（図-3参照）での形状を図-5に示す。

No. 1, 2, 3は、セメント量、粘結剤量および吐出高さと同じで、スランプのみが異なる。アクアソイル面の勾配は、スランプ18.4cmのNo. 1で18°、スランプ24.4cmのNo. 2で12°、さらにスランプ26.0cmのNo. 3では7°まで減少した。このように、アクアソイル面の勾配は、スランプの増大に伴って緩やかになった。

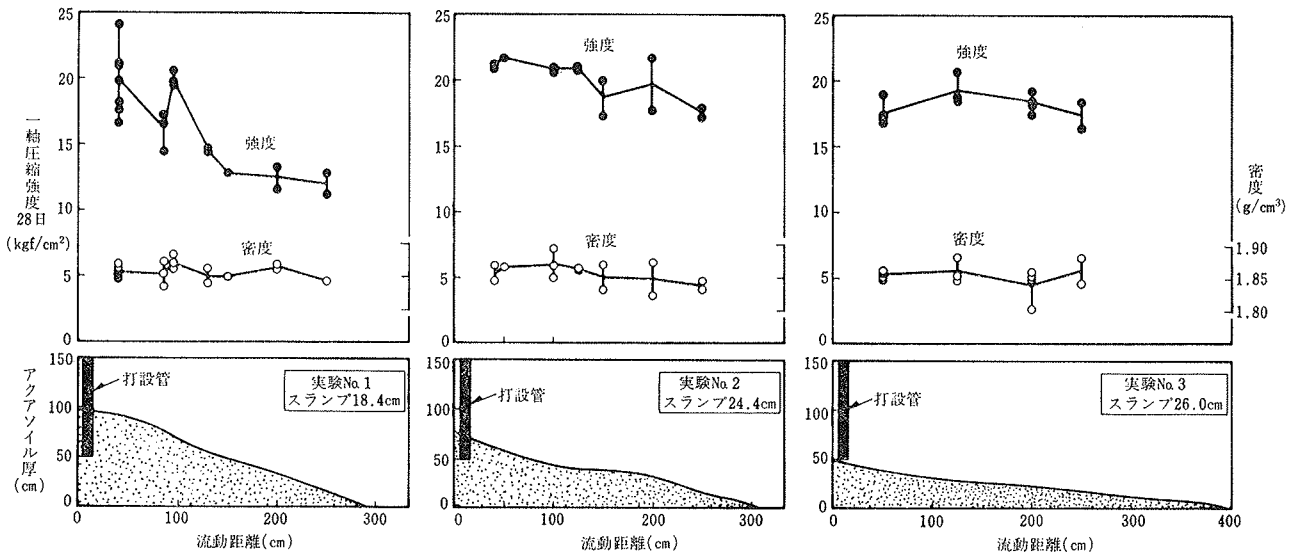


図-5 スランプの異なるアクアソイルの表面形状と強度・密度（No. 1, 2, 3）

また、全ケースのスランプと勾配の関係を図-6に示す。粘結剤を4.5 kg/m³添加したケース (No. 1, 2, 3, 6, 7, 11) では、勾配はスランプの増大とともに明瞭に緩やかになった。

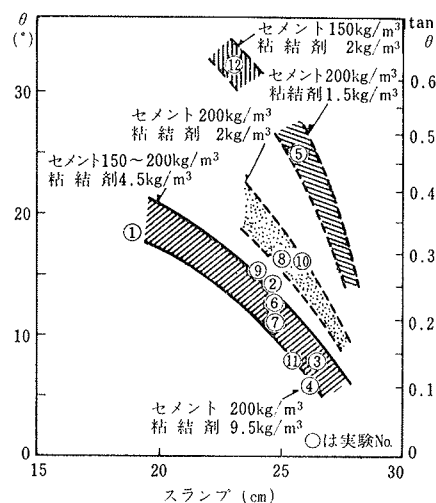


図-6 スランプと表面勾配の関係

また、同一スランプであっても、粘結剤が1.5 kg/m³, 2.0 kg/m³, 4.5 kg/m³と増すに従って、勾配が緩やかになる傾向が認められた。

以上のように、アクアソイル面の勾配は、スランプが大きいほど、また同一スランプの場合には、粘結剤が多いほど緩やかになることが判明した。

4.4. アクアソイル固化体の性状

アクアソイルの強度の試験結果の例を図-5に示す。No. 1 および No. 2 の強度は、吐出口から水平方向に離れるに従って低下しており、その程度は勾配の緩い No. 2の方が小さかった。さらに、勾配の緩い No. 3 では、水平距離に伴う強度低下はほとんど見られなかった。また、強度のばらつきを変動係数で表わすと、No. 1で21%, No. 2で8%, No. 3で6%であった。このように、アクアソイル面の勾配が緩やかなほど、水平距離に伴う強度低下や強度のばらつきが小さくなることが判明した。

また、No. 1~No. 10の勾配と強度を図-7に示す。水平距離に伴う強度低下は、全ケースを通じて勾配が緩やかなほど小さくなる傾向が認められた。そして、勾配がほぼ同じ No. 2とNo. 9を比較、またNo. 7とNo. 8を比較すると、粘結剤が多いNo. 2およびNo. 7の方が、水平距離に伴う強度低下は小さかった。従って、粘結剤は、水平距離に伴う強度低下を抑制する効果も有することが認められた。

以上のことから、アクアソイルの強度のばらつきは、粘結剤の量やスランプを調整することによって、かなり抑制できるものと考えられる。

ところで、No. 1 および No. 3の固化体についてカルシウム量を分析し、セメント含有量を求めた。結果を図-8に示す。No. 3のセメント含有量は、190~198 kg/m³ではほぼ一定しており、距離に伴う強度低下もみられ

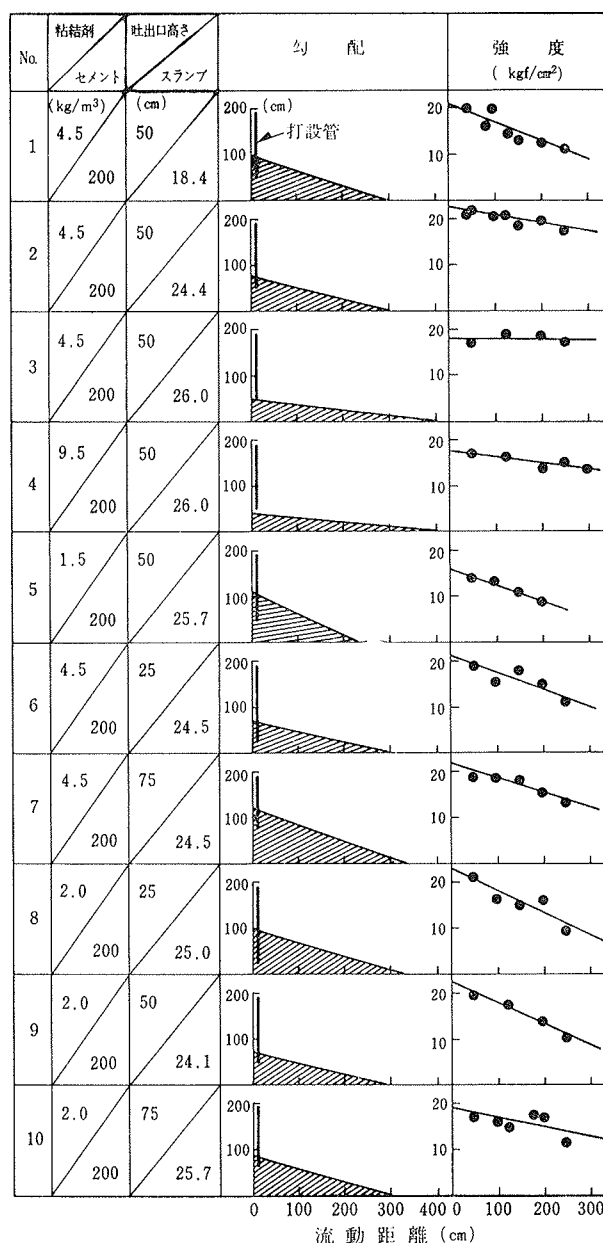


図-7 アクアソイル面の勾配と強度

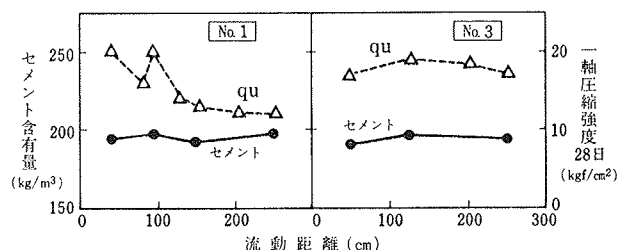


図-8 水平距離ごとのセメント含有量と強度

なかった。これに対して、No. 1の場合には、セメント含有量は、192~198 kg/m³とほぼ一定しているにもかかわらず、強度は距離とともに低下した。このことから、水平距離に伴う強度低下は、セメントの分離によるものではなく、セルフレベリング性の悪いアクアソイルを無

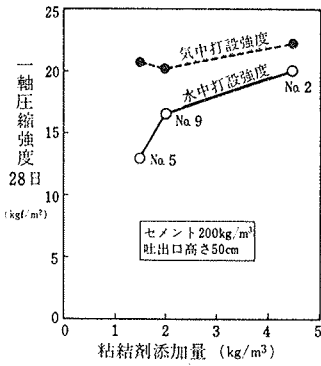


図-9 粘結剤添加量と強度の関係

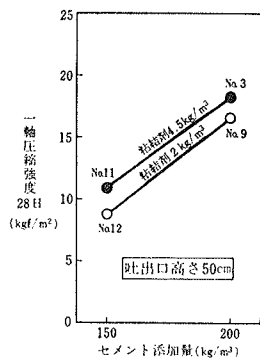


図-10 セメント添加量と強度の関係

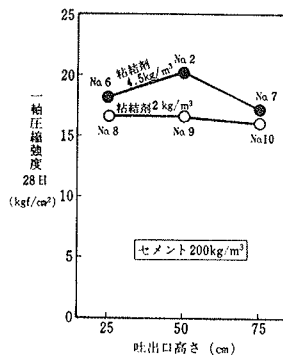


図-11 吐出口高さとの関係

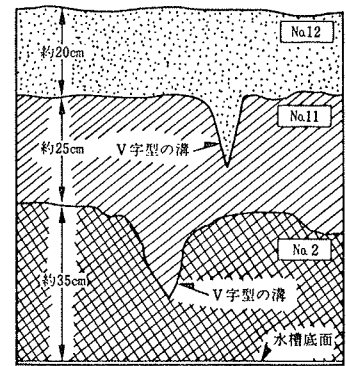


図-12 V字型に切った溝部分の打継ぎ断面のスケッチ

理に流動させた場合に起こる粒子相互の僅かな緩みなどによると推察される。

粘結剤の添加量と平均強度の関係を図-9に示す。同図に併記した気中打設強度は、粘結剤の量にかかわらずほぼ近似していた。一方、水中打設した固化体の平均強度は、粘結剤が多いほど増大しており、粘結剤による水中打設時の分離抑制効果が認められた。

また、セメント添加量と水中打設した固化体の平均強度の関係を図-10に示す。平均強度は、粘結剤が多い場合にやや高い値を示すが、セメント 150 kg/m³ で 9~11 kgf/cm²、セメント 200 kg/m³ で 17~18 kgf/cm²であった。

吐出口高さとの関係を示す。吐出口高さ 25~75 cm の範囲では、粘結剤 2 kg/m³、4.5 kg/m³ 添加のいずれの場合も水中打設強度に及ぼす影響は見られなかった。

なお、水中打設した固化体の密度は 1.84~1.91 g/cm³、含水比は 24~31% で、気中打設した固化体とほぼ類似していた。

4.5. 打継ぎ面の性状

No. 2 の上に No. 11 を打継ぎ、その上にさらに No. 12 を打継いだ。その際、打継ぎを行なう前に固化体表面に幅 10~15 cm、深さ 15~20 cm のV字型の溝を切っておいた。結果の一例を図-12に示すように、溝および溝以外の部分で、アクアソイルはよく密着し、間隙などがまったく認められなかった。

従って、スランプ 24~26 cm 程度の流動性のものを打継いだ場合、多小の起伏がある面に対してもよく密着すると考えられる。

5. まとめ

アクアソイルの配合や水中打設の条件が水質、アクアソイル面の形状、固化体性状に及ぼす影響を調べるため、中型水槽実験を行ない、以下のことを明らかにした。

(1) アクアソイルは、スランプ 18.4~26.0 cm、密度 1.84~1.89 g/cm³、含水比 27~33%であった。

(2) 打設に伴って海水の濁度は増加したが、その程度は、10~30度と全体を通じて小さく、粘結剤による分離低減効果が認められた。また、pH の上昇も 0.2~0.8 と小さかった。

(3) 打設したアクアソイルの面は、スランプが大きいほど、また粘結剤が多いほど緩やかになった。

(4) アクアソイルの強度は、吐出口から水平方向に離れるに従って低下した。その程度は、アクアソイル面の勾配が緩やかな場合ほど、また粘結剤が多い場合ほど小さかった。

また、粘結剤が多いほど、水中打設時の分離が抑制され、水中打設強度は気中打設強度に近似した。そして、吐出口高さが 25~75 cm の範囲では、強度の差は認められなかった。

水中打設した固化体の強度 (qu 28 日) は、セメント 150 kg/m³ で 9~11 kgf/cm²、セメント 200 kg/m³ で 17~18 kgf/cm²であった。

(5) 打継いだアクアソイルは、調査のために切ったV字型の溝にも充てんされ、全体によく密着していた。

以上の結果から、適量の粘結剤を添加し、適度の流動性を与えたアクアソイルを用いることによって、水中打設時の分離を抑制でき、均一な固化地盤を水中に造成することが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 喜田, 久保, 漆原: アクアソイル工法に関する研究 (その1), 大林組技術研究所報, No. 34, (1987), pp. 47~51
- 2) 喜田, 久保, 漆原: アクアソイル工法に関する研究 (その2), 大林組技術研究所報, No. 35, (1987), pp. 47~50