

アクアソイル工法に関する研究 (その2)

—小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 2)

—Experiment of Placement into a Small-sized Water Tank by Pump—

Daizo Kita Hiroshi Kubo
Kazunori Urushibara

Abstract

In work in an aqueous area, it is frequently necessary for soil-cement ground of uniform quality to be made under-water. In order to investigate the quality of soil-cement ground (called Aqua Soil) made by the Aqua Soil method, experiments of placement by pump into a small-sized water tank were performed. Aqua Soil was made by mixing of sandy soil, ordinary portland cement at a content of 150 kg/m^3 , segregation controlling admixture at a rate of 0 to 4 kg/m^3 , and sea water.

In due consideration of the fact that the distance between the vent of the placing pipe and the surface of the placed Aqua Soil is frequently several tens of centimeters in actual works, the following were recognized in experiments with the distances at 30 cm and 60 cm. The addition of more than 2 kg/m^3 of segregation controlling admixture not only reduced the suspended solids (SS) concentration in water immediately after placement and maintained average strength at a high level, but also production of laitance-like substances was suppressed, cement was dispersed uniformly, and an Aqua Soil of little scatter in strength was obtained.

概 要

水域での工事において、水中に均一な性状のソイルセメント地盤の造成を必要とする場合がある。アクアソイル工法によって造成されるソイルセメント（アクアソイルという）地盤の性状などを調べるため、小型水槽へのポンプ打設実験を行った。土砂として山砂を使用し、普通ポルトランドセメントを 150 kg/m^3 、粘結剤を $0 \sim 4 \text{ kg/m}^3$ 添加した。

その結果、実際の施工で打設管の吐出口と打設面の間隔が数10cmになる場合が多いことを考慮し、その間隔を30cm、60cmとした場合、以下のことが認められた。粘結剤を約 2 kg/m^3 以上添加することによって、打設直後の水中のSS（浮遊物質）濃度が減少し、平均強度が高く保持されるだけでなく、レイタンス状物質の生成が抑えられ、セメントが均一に分布し、強度のばらつきの少ないアクアソイルが得られた。

1. まえがき

近年、海洋空間における工事が増大している。その一つとして、水域に近接して、若令埋立て地盤に地中連続壁やシールドトンネルを掘削する工事がある。このような工事では、埋立て地盤の強度が不足すると、壁面や切羽が崩壊し、著しい場合には水域に貫通して施工不能に

なる恐れがあるため、埋立て地盤の全体をセメントなどで改良しておく必要がある。その際、改良地盤の強度のばらつきが大きい場合には、所定強度の保持に必要なセメント添加量が増大して不経済になるだけでなく、強度が高すぎる部分では掘削の作業性が悪化するなどの問題がある。このために、性状（特に強度）ができるだけ均一なセメント固化埋立て地盤を造成する必要がある。

上記のような条件に適合する工法として、アクアソイル工法、すなわち土砂にあらかじめセメント、粘結剤などを混合して流動状にしたソイルセメント（アクアソイルと呼ぶ）を水中に打設する工法がある。この工法では既報^{1),2)}に述べたように、水中打設時の分離が少ないことから、造成した地盤の均一性も高いと考えられる。

このことを明らかにするため、ここでは粒度のかなり均一な山砂を用いて、水中打設後の性状の均一性に影響する重要な因子である粘結剤添加量と打設管吐出口の高さを変えて、小型水槽へのポンプ打設実験を行なった。

2. 供試材料

供試した土砂は、千葉県富津市の山砂で、含水比が約10%であり、図-1のような粒度分布であった。セメントとしては普通ポルトランドセメント、粘結剤としてはメチルセルロースを主成分とする高分子材料を用いた。

また、この工法は臨海域で適用されることが多く、海水の利用が望まれる。そこで、アクアソイルの混練水に人工海水（主要塩類のみ、表-1の組成）を使用し、小型水槽内の水も人工海水とした。

3. 実験方法

3.1. アクアソイルの混練・打設

アクアソイルは、図-2のようなフローによって混練し水中打設した。その際の1m³当りの配合を以下に示す。

- 山砂……………1,350 kg(乾燥質量)
- セメント……………150 kg
- 土中水+海水……445 l
- 粘結剤……………0, 1, 2, 4 kg

混練直後のアクアソイルのスランプは22~25 cmであり、その際のスランプフローは35~45 cmであった。作製したアクアソイルは、各実験ケースでそれぞれ約100lであり、モルタルポンプによって図-3に示す小型水槽に打設した（写真-1）。

3.2. 打設管吐出口の高さ

アクアソイルの水中へのポンプ打設は、分離低減剤を用いた特殊水中コンクリートの場合と同じと考えてよい。すなわち、広い水底面に打設する際、打設管を逐次差しかえながら平坦になるように打ち上げていく。その際、打設管の吐出口は、ア

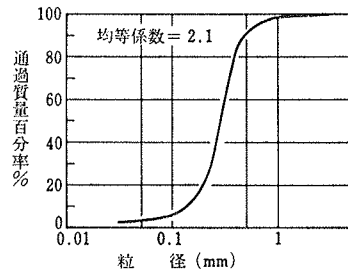


図-1 土砂の粒度分布

塩類	濃度(kg/m ³)
NaCl	27.7
MgCl ₂	3.7
MgSO ₄	2.2
CaSO ₄	1.4

表-1 人工海水(主要塩類のみ)の組成

クアソイル中に埋没している状態もあるが、最下層の打設においては水底地盤から離れていることが多く、ある程度打設された後も打設面から数十 cm 離れている状態が多い。そこで、吐出口と水底地盤あるいは打設面との間隔の影響を調べるため、吐出口と水槽底面の間隔（以下、吐出口高さという）を5 cm, 30 cm, 60 cm の3種類に設定した。なお、実際の工事では吐出口を打設面に応じて上げていく場合もあるが、この実験では打設終了（打設厚約30 cm）まで一定にした。

3.3. 試験項目と方法

(1) 水質 アクアソイル打設直後に打設面上20 cmの水を採取し、pH および SS 濃度を測定した。

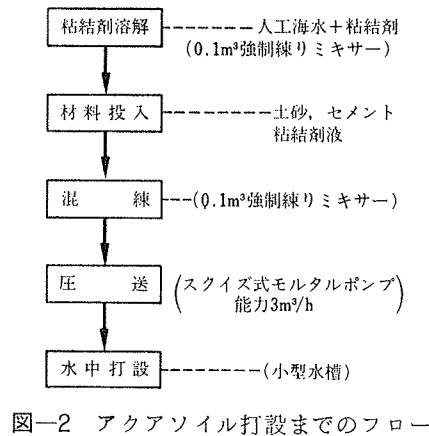


図-2 アクアソイル打設までのフロー

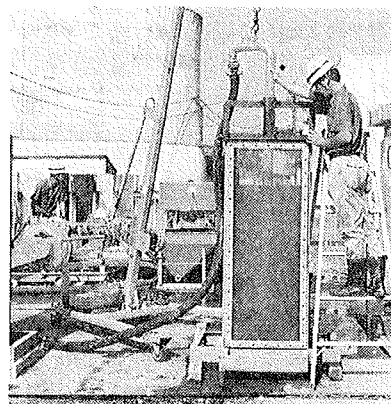


写真-1 実験状況

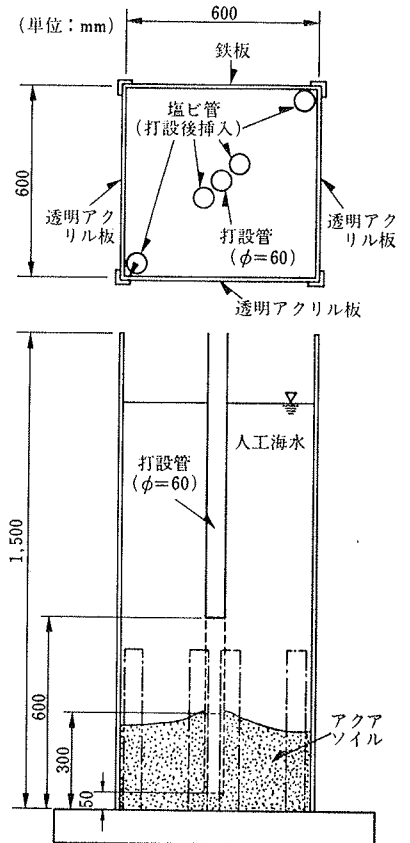


図-3 小型水槽と打設管・試料採取用塩ビ管の位置

(2) 一軸圧縮強度 採水後、水を除去し、図-3のように径6cmの塩ビ管4本を挿入し、翌日引抜き、別の20℃水槽に入れて養生した。そして、28日後に塩ビ管内の試料を取出し、観察した後、切断して上部と下部に分け、それぞれ成形し一軸圧縮強度などを測定した。

(3) レイタンス状物質の厚さ アクアソイルの表層には、条件によってはコンクリートにおけるレイタンスと類似の物質が生成していたので、この厚さを調査した。

(4) セメント含有量 深さ5cmごとに試料採取し、CaO分析によってセメント含有量を求めた。

4. 結果と考察

4.1. 打設直後の水質

水質の試験結果を図-4に示す。SSは、粘結剤の増量によって減少した。このことは、粘結剤が打設時の分離を抑制するためであり、前報¹⁾でも認められている。なお、SSの値が今回と前報で異なるのは、打設量、打設方法、水槽形状などの相違によると考えられる。

また、SSは、吐出口高さにも影響され、吐出口を高くすると増大した。但し、粘結剤を4kg/m³添加すると、吐出口高さの影響を受け難くなり、SSは100ppm以下に抑えられ、分離抑制力が大きかった。

さらに、同図に併記するように、pHは約10~12の範囲でSSとほぼ対応する傾向を示した。

4.2. レイタンス状物質の生成状況

水槽内のアクアソイル断面形状を図-5に示す。レイタンス状物質は、打設時に分離し浮遊したセメントやシルトが浮泥状に堆積し、若干硬化したものである。レイタンス状物質の厚さは、吐出口高さが60cmの場合、粘結剤無添加では平均15cmにも達したが、粘結剤量とともに減少し、2kg/m³では平均1cm、さらに4kg/m³ではほとんど認められなかった。また、粘結剤1kg/m³において、吐出口高さが30cmの場合のレイタンス状物質の厚さは、平均4cmであり、吐出口高さが60cmの場合に比べて約1/2であった。

このように、レイタンス状物質は、粘結剤を増すほど、また吐出口高さを低くするほど減少した。この傾

向は、当然であるが、4.1.に述べた水中のSS濃度と対応していた。したがって、通常の施工で吐出口高さが数十cmになる場合が多いことを考慮すると、固化体の品質低下につながるレイタンス状物質の生成を抑えるためにも、一定量の粘結剤が必要と考えられる。

なお、この小型水槽では、打設面積が小さかったため、アクアソイルの流動形状をほとんど調査できなかったが、粘結剤量とともに、平坦性が良くなる傾向を認めた。

4.3. アクアソイルの固化強度

塩ビ管挿入によって採取し28日養生した固化体について、図-6には粘結剤量と強度の関係、図-7には吐出口高さと強度の関係を示す。これらの図に示した強度は、いずれもレイタンス状物質を除いた部分の強度である。なお、レイタンス状物質の強度を一部の試料について測定した結果、0.3~0.8kgf/cm²と小さかった。

図-6に示すように、平均強度は、いずれの吐出口高さにおいても粘結剤量とともに増大した。そして、このことが特に顕著であったのは、吐出口高さ60cmにおいて粘結剤を1kg/m³から2kg/m³に増大させた場合であった。また、強度のばらつきを変動係数でみると、変動係数は、粘結剤量とともに減少した。そして、このことは、粘結剤量0~2kg/m³において顕著であった。

つぎに、図-7に示すように、平均強度は吐出口高さの増大とともに減少した。この傾向は、粘結剤無添加の場合に顕著であり、粘結剤2kg/m³の場合には微弱であ

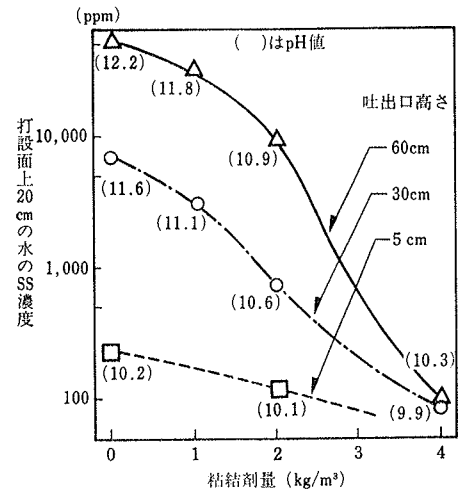


図-4 粘結剤量と打設直後の水質の関係

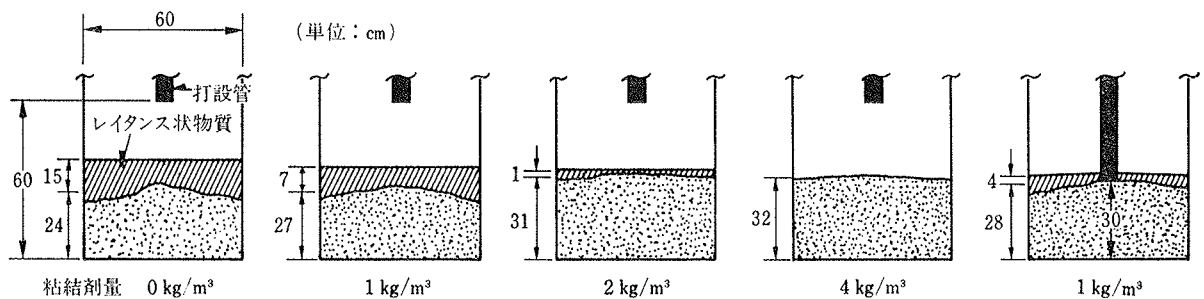


図-5 レイタンス状物質の生成状況の例

った。そして、吐出口高さが5 cm の場合、粘結剤の有無の影響は、小さかった。このことは、吐出口高さ5 cm の場合、打設開始後間もなく吐出口がアクアソイル中に埋まり、分離し難い状態になるためと考えられる。

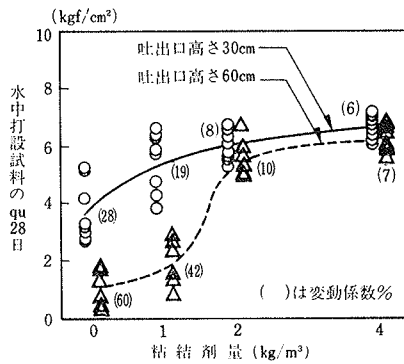


図-6 粘結剤量と固化強度の関係

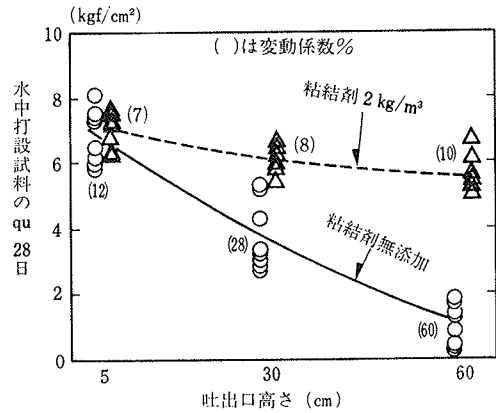


図-7 吐出口高さと固化強度の関係

以上の結果から、吐出口高さが数十 cm になることが多い実際の施工においても、粘結剤を適量添加することによって、固化体の平均強度が高く保持されるだけでなく、固化体の強度の均一性も飛躍的に向上することが示唆された。

4.4. アクアソイルの湿潤密度

上記の一軸圧縮強度を測定する前に測定した湿潤密度を図-8に示す。

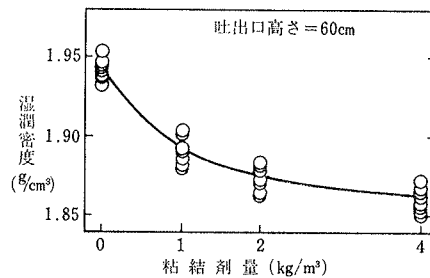


図-8 粘結剤量と湿潤密度の関係

同図に示す値は、レイタンス状物質を除いた部分の値である。なお、レイタンス状物質の湿潤密度は、1.2~1.35 g/cm³ であり、レイタンス状でない部分のそれと比べて非常に小さかった。

湿潤密度は、粘結剤無添加の場合に約 1.94 g/cm³ で最大を示し、粘結剤量とともに減少した。このことは、粘結剤が少ないほど、打設時の分離やブリージングによって土砂粒子間に含まれるセメントミルクが放出されやすいこと、空気の混入が少ないことなどによると考えられる。しかし、粘結剤を2~4 kg/m³ 添加した際の湿潤密度は、1.85 g/cm³ 程度に保持されており、一定値以上の固化体密度を必要とする場合でも、粘結剤の添加はほとんど問題ないと考えられる。

4.5. アクアソイル中のセメント含有量の均一性

セメント含有量は、アクアソイル固化体の CaO 含有量から次式によって求めた。

$$C_2 = C_1 \times \rho_a + 0.064$$

C_2 : セメント含有量 (kg/m³)

C_1 : CaO 含有量 (炉乾燥質量当り%)

ρ_a : 乾燥密度 (g/cm³)

図-9のように、セメント含有量は、粘結剤無添加の場合、著しくばらついてレイタンス状の部分に多く、下部には少なかった。その際、レイタンス状物質は、セメントを多く含むが、水分量にも富み、W/C が大きいため、

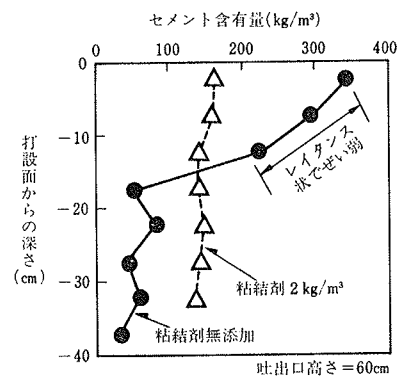


図-9 固化体のセメント含有量の分析例

め、ぜい弱であった。一方、粘結剤を2 kg/m³ 添加した場合、セメント含有量は、150±15 kg/m³ の範囲にあり、かなり均一であった。これらのことは、図-7に示した固化強度の結果と対応していた。

5. まとめ

アクアソイル工法による固化体の性状の均一性などを調べるため、小型水槽へのポンプ打設実験を行なった。その結果、通常の施工条件を考慮し、打設管の吐出口と打設面の間隔を数十 cm にした場合、適量の粘結剤を添加することによって、水中のSS濃度が減少し、平均強度が高く保持されるだけでなく、レイタンス状物質の生成が防止され、セメントが均一に分布し、強度のばらつきの少ない固化体を造成できることが認められた。

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: 水中打設するソイルセメント工法の研究 (その1, 2), 土木学会第41回年次学術講演会講演概要集, 第3部, (1986), pp. 225~228