

アクアソイル工法に関する研究（その5）

——粘土含有アクアソイルの室内配合実験とポンプ打設実験——

喜田大三 芳賀孝成
久保博 崎本純治
漆原知則

Studies on Aqua Soil Method (Part 5)

—— Properties and Placement Experiments by Pump on Aqua Soil Containing Clay ——

Daizo Kita Takashige Haga
Hiroshi Kubo Junji Sakimoto
Kazunori Urushibara

Abstract

The mix proportions and placing conditions of flowable soil cement (called Aqua Soil) containing clay were tested. As soils, marine clay, kaolin clay, and soils obtained by mixing these clays with pit sand were used. The consistencies of Aqua Soils just after mixing were controlled at soft (flows by small slump cone about 22 cm) and very soft (flow times with P-type flow cone about 12 sec) by varying water contents.

(1) Regardless of the kind of clay and the consistency of Aqua Soil, Aqua Soil containing clay produced solidified ground of uniform quality in water without segregation by means of burying the end of the placing pipe in the Aqua Soil and by addition of a segregation controlling admixture at the initial stage.

(2) Aqua Soil of very soft consistency was found to become placed at a very gentle grade.

概要

アクアソイル工法において水中に打設する混合処理土（アクアソイルという）の土材料として、粘土を含む土を用いる場合の適正な配合と打設方法を検討した。土として、海成粘土、カオリン土、およびこれらと山砂を混合したものを用いた。また、アクアソイルの練上り時のコンシステンシーを、水量によって、軟練り（小型スランプコーンによるフローで22 cm程度）と超軟練り（Pロートによる流下時間で12秒程度）の2種類に調整した。

(1) 粘土含有のアクアソイルは、いずれの粘土を用いても、またコンシステンシーを軟練り・超軟練りのいずれにしても、打設管先をできるだけアクアソイル中に埋めるようにし、打設初期に粘結剤を使用することによって、水中での材料分離がなく、品質の良好な固化体になることが認められた。

(2) コンシステンシーを超軟練りとしたアクアソイルは、水中で非常に緩やかな流動勾配になることが認められた。

1. まえがき

アクアソイル工法は、土にセメントと水および必要に応じて粘結剤を添加した混合処理土（アクアソイルという）を水中に打設する工法である。この土に砂質土を用いた場合および石炭灰を用いた場合のアクアソイルの諸性状については、既に報告した^{1)~3)}。

ここでは、粘土を含む土を用いた場合のアクアソイルの諸性状について報告する。工事では、使用土が粘性土である場合と、砂質土と粘土を混合して用いる場合が考えられる。このような場合の粘土の性状や含有量がアクアソイルの水中での流動性状、分離抵抗性、固化強度に

与える影響を室内実験によって調査して適切な配合を検討し、さらに中型水槽へのポンプ打設実験によって施工時の材料分離や品質の均一性などの確認を行なった。

2. 供試材料

2.1. 土材料

砂質土として山砂（千葉県富津産、含水比約10%）を用いた。また、粘土として、泥水調整用などの用途で市販されている粘土と、海洋工事では入手の容易な浚渫土を用いた。前者は、岐阜県産のもので、粘土鉱物としてカオリンを多く含む（以下、カオリン土という）。後者は、羽田沖の埋立地から採取したもので、含水比約50%

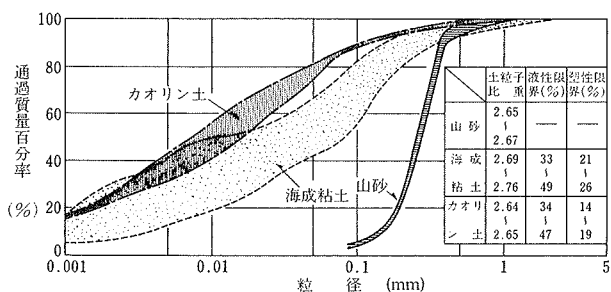


図-1 土の性状

のものに加水しスラリー化して使用した（以下、海成粘土という）。

粒度分布とコンシステンシー限界を図-1に示す。

2.2. その他の材料

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のもの（消泡剤を併用）を用いた。また、混練水は、この工法が海洋工事に適用されることが多く、海水の利用が経済的であることから人工海水とした。

3. 室内配合実験

3.1. 実験方法

図-2の方法で、各材料を混練し、ブリージング、コンシステンシー、水中分離抵抗性、固化強度を測定した。

3.2. アクアソイルのコンシステンシー

アクアソイル練上り時の軟らかさの程度（コンシステンシー）を2種類とした。一つは、従来の実験で施工性が良好と認められたコンシステンシー、すなわちJIS法のスランプが25~27cm、また小型スランプコンによるフローが20~25cmのものとした。これを以下、軟練りという。他の一つは、粘土を含む特徴を生かし、施工性をさらに向上させることを意図し、流動性をさらに高め、コンシステンシー測定にプロットが適するような流動状のものとした。これを以下、超軟練りという。

3.3. 結果と考察

3.3.1. 軟練りアクアソイルの性状

実験結果を図-3の左部分に示す。配合は練上り1m³当りで、また水量は添加水と水中水の合計で表示した。

セメント量は一定の100kg/m³とし、水量と土量を変動させた。なお、山砂と併用する場合の海成粘土およびカオリン土は一定の150kg/m³とした。

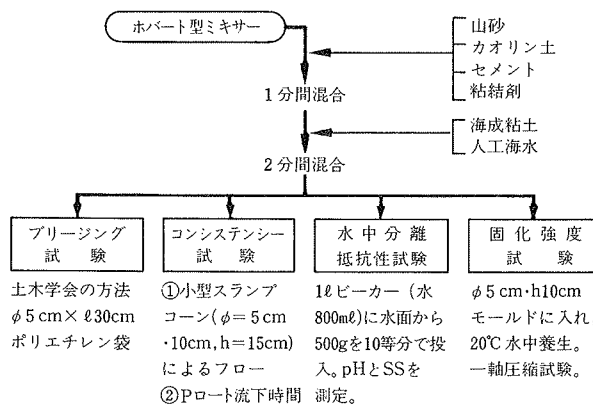


図-2 室内配合実験の方法

水量は同図の横軸の値、土量は同図の上部に示す値になった。小型スランプコンによる一定のフローを得るための水量は、土によって異なった。この水量の差は、土の粒度分布・粒子形状・水分保持特性、さらに粘結剤

	軟練り(1m ³ 当たり, セメント100kg)	超軟練り(1m ³ 当たり, セメント130kg)
○K	カオリン土: 710~920kg	カオリン土: 680~890kg
□M	海成粘土: 870~1010kg	海成粘土: 710~870kg
△S	砂: 1220~1300kg	砂: 1090~1170kg
●SK	(砂: 1120~1200kg)+カオリン土: 150kg	(砂: 1020~1100kg)+(カオリン土: 150kg)
■SM	(砂: 1100~1180kg)+(海成粘土: 150kg)	(砂: 810~1050kg)+(海成粘土: 150kg)
▲SP	(砂: 1170~1330kg)+(粘結剤: 3kg)	(砂: 690~900kg)+(粘結剤: 3kg)

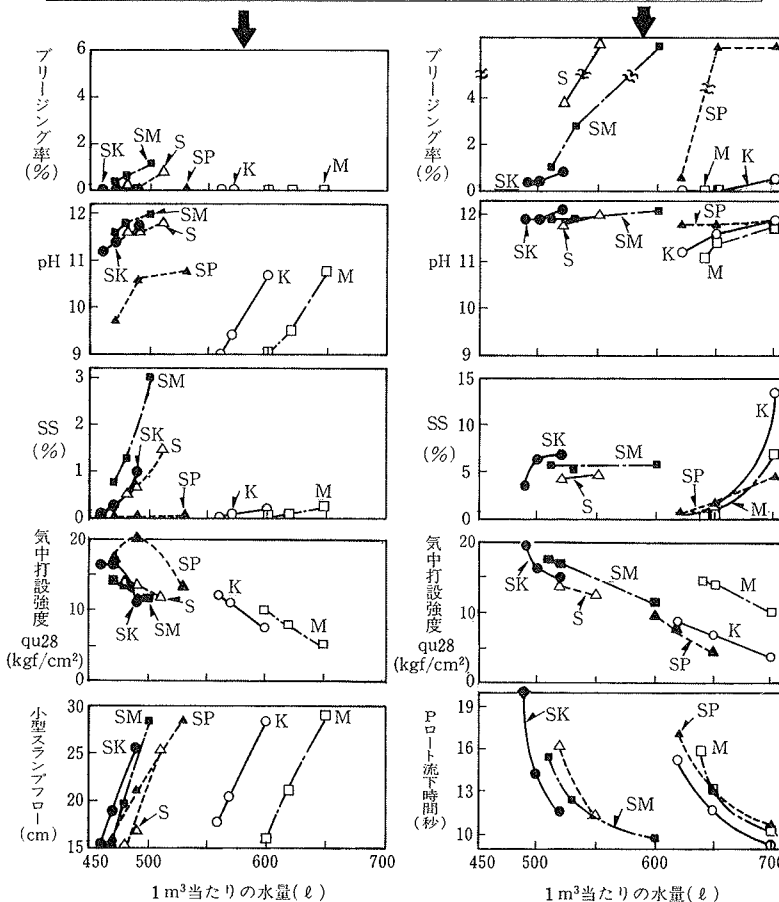


図-3 室内配合実験の結果

の作用などによると考えられる。

使用土がカオリン土および海成粘土の場合、水量が多いが、ブリージングと水中投入時の材料分離がかなり小さく、固化強度も小さくなった。従って、ポンプ打設の際、材料分離は比較的生じにくく、むしろ固化強度の面からセメントの増量が必要と考えられる。

次に、使用土が山砂（粘結剤を使用せず）、山砂+カオリン土、山砂+海成粘土の場合、水量が少なく、固化強度が大きい、ブリージングがやや大きく、水中投入時の材料分離も大きかった。従って、ポンプ打設の際、特に材料分離の防止が重要と考えられる。

また、使用土が山砂で、粘結剤を併用した場合、水量が少なく、ブリージングおよび水中投入時の材料分離が小さく、固化強度が大きいという結果が得られ、ポンプ打設時の問題が最も少ないとみなされた。

以上、軟練りアクアソイルは、使用土によって、異なる性状を示したが、使用土が粘土の場合あるいは粘土を含む場合には、水中打設時の材料分離などの問題があるものの有用な配合の一つになると考えられた。

3.2.2. 超軟練りアクアソイルの性状 実験結果を図-3の右部分に示す。超軟練りは、軟練りよりも水量が多いことを考慮し、セメント量を 130 kg/m^3 とした。

一定のコンシステンシー（ここではPロート流下時間）を得るための水量が使用土によって異なることは、軟練りの場合と同じであった。また、ブリージング率は、使用土がカオリン土、海成粘土、山砂+カオリン土の場合に小さかったが、山砂（粘結剤使用・不使用とも）、山砂+海成粘土の場合には増大した。SSとpHは、軟練り

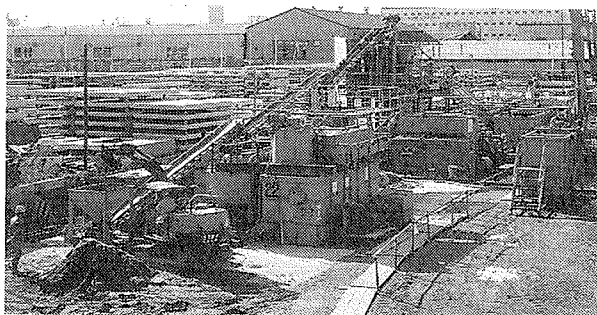


写真-1 ポンプ打設実験の全景

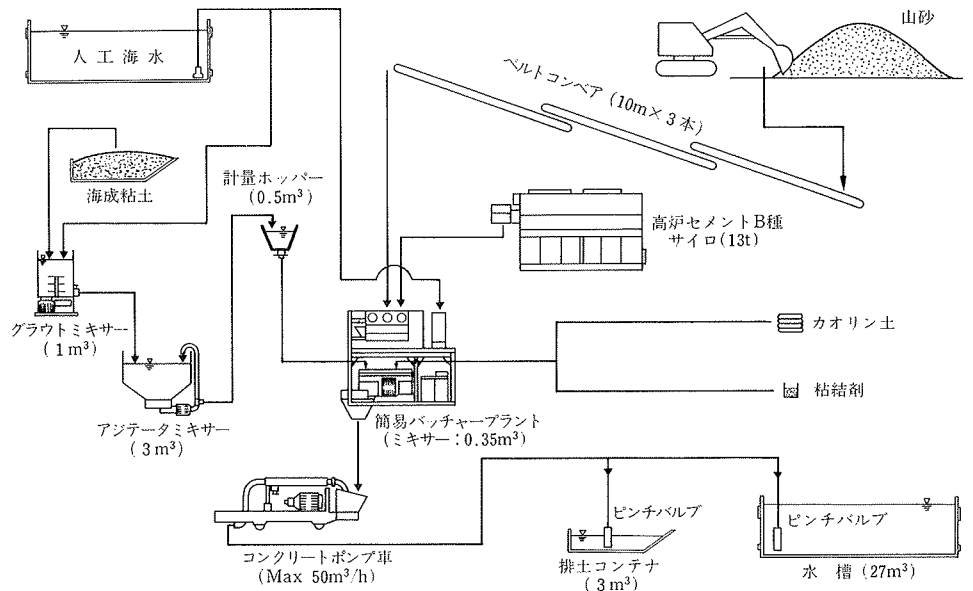


図-4 ポンプ打設実験の機械・装置とフロー

の場合に比べて全体に高い値になった。また、固化強度は、水量の増大とともに低下した。

以上、超軟練りは、軟練りに比べて、ブリージングが顕著になる場合があり、水中投入時の材料分離も大きいという欠点をもつが、水中でのセルフレベルリング性が良好という長所をもつことから、ブリージングの少ない配合にして、材料分離の少ない打設を行えば、有用な方法の一つになり得ると考えられる。

4. ポンプ打設実験

4.1. 実験方法

4.1.1. 機械・装置 機械・装置を図-4に示す。打設管の先端には、直径10cmのピンチバルブを付けた。実験全景を写真-1、打設状況を写真-2に示す。

4.1.2. 配合と打設条件 配合は、表-1の軟練り・超軟練りの計8ケースとした。予備実験において、打設時の材料分離の多くは打設管先がアクアソイルに埋まるまでに発生すること、その防止には粘結剤の添加、打設

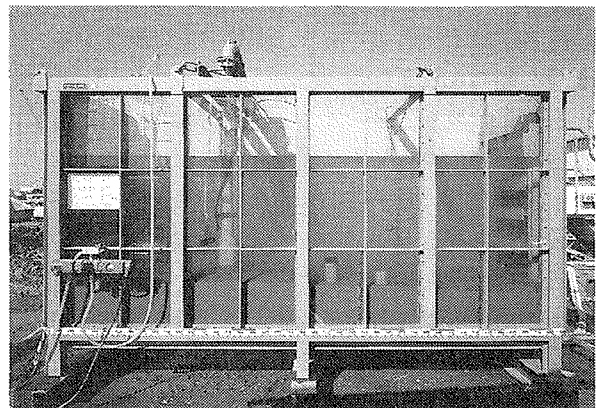


写真-2 水槽へのポンプ打設状況の例

ケース	配 合 (kg/m ³)					粘 結 剤
	砂	粘 土	セメント	海水		
軟 練 り	1	1230	カオリン土 : 150	100	450ℓ	初期の0.2m ³ に 5kg添加
	2	999	" : 300	100	480	
	3	0	" : 655	100	720	
	4	789	海成粘土 : 300	100	560	
超 軟 練 り	5	963	カオリン土 : 150	130	540	初期の0.2m ³ に 8kg添加
	6	759	" : 300	130	560	
	7	0	" : 496	130	770	
	8	523	海成粘土 : 300	130	650	

表一 1 ポンプ打設実験の配合

管先と水槽底面との間隔の短縮，打設速度の低減が有効であることが明らかになった。その結果をもとに，粘結剤の添加を表一1のように行ない，打設管先の底面からの高さを3cmとし，また打設速度を軟練りの場合に10m³/h，超軟練りの場合に5m³/hとし，約2cm³打設した。

4.1.3. 試験項目

- (1) 水質；打設終了後に打設管の近くで採水して濁度およびpHを測定した。
- (2) 流動形状；アクアソイルの硬化後，上水を除去して30~70cmのピッチでその表面高さを測定した。
- (3) 固化強度；打設直後に直径10cmの塩ビ管を流動方向に50~100cmピッチで鉛直に挿入し，硬化後に引抜を，さらに20°Cの水槽で所定の材令まで養生し，一軸圧縮強度を測定した。
- (4) 透水係数；上記の供試体の一部を用いて三軸圧縮試験機を用いて測定した。
- (5) セメント含有量；(3)を測定した試料について，蛍光X線法によるカルシウム分析によって求めた。

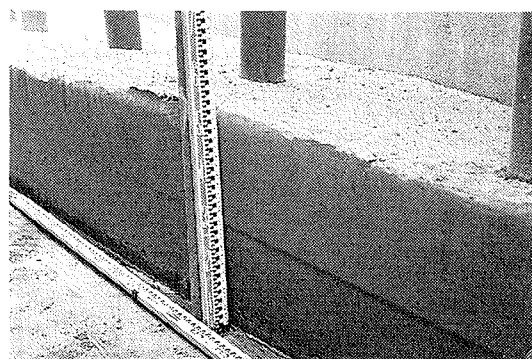
4.2. 結果と考察

4.2.1. 軟練りアクアソイルの場合 一例としてケース2の結果を図一5左部に示す。

ケース2の流動形状は，緩やかで，また材令28日の固化強度は，10~15kgf/cm²の範囲にあり，流動方向にやや減少する傾向を示した。湿潤密度は，1.8~1.9g/cm³の範囲にあった。また，固化体のセメント含有量は，90~110kg/m³で混練時の配合にほぼ一致しており，流動方向に減少するような傾向を示さなかった。

次に，軟練りのケース1~4の流動勾配・固化強度・湿潤密度をまとめて図一6に示す。

- (1) 流動勾配；6.5~10.5°すなわち1:10~1:5の範囲にあり，使用土がカオリン土（ケース3）の場合にやや大きかった。
- (2) 固化強度；材令28日の平均値（試料数15~20個）は，6~14kgf/cm²であり，カオリン土を使用したケース3が室内実験結果と同様に小さかった。このことは，カオリン土を用いると水量が多

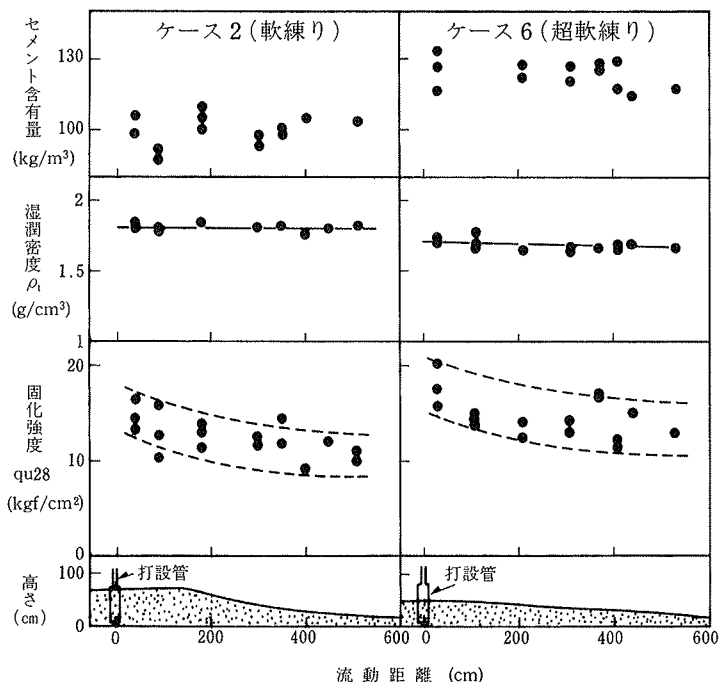


写真一3 水槽に打設された超軟練りアクアソイル固化体の例

くなることなどによる。変動係数は，図中の数字のように13~27%であった。また，同図に併記している気中打設強度とは，アクアソイルを水中に打設する前に気中でモールドに詰めて所定の期間養生した場合の固化強度である。水中打設強度は，気中打設強度よりも小さいが，両者の比は0.8~0.9であった。

- (3) 湿潤密度；多少ばらついたが，配合から計算される値とほぼ一致していた。
- (4) 透水係数；混練時の配合における水量と透水係数の関係を図一7に示す。軟練りの場合には，水量に関係なく10⁻⁶cm/sのオーダーであった。
- (5) 水質；いずれのケースも，濁りはほとんど発生せず，濁度の増大が2~4度，pHが8前後であった。

以上のように，粘土を含み，軟練り状態にしたアクアソイルは，打設管先を低くしてできるだけアクアソイル



図一5 水中打設されたアクアソイルの形状，固化強度，湿潤密度，セメント含有量の例

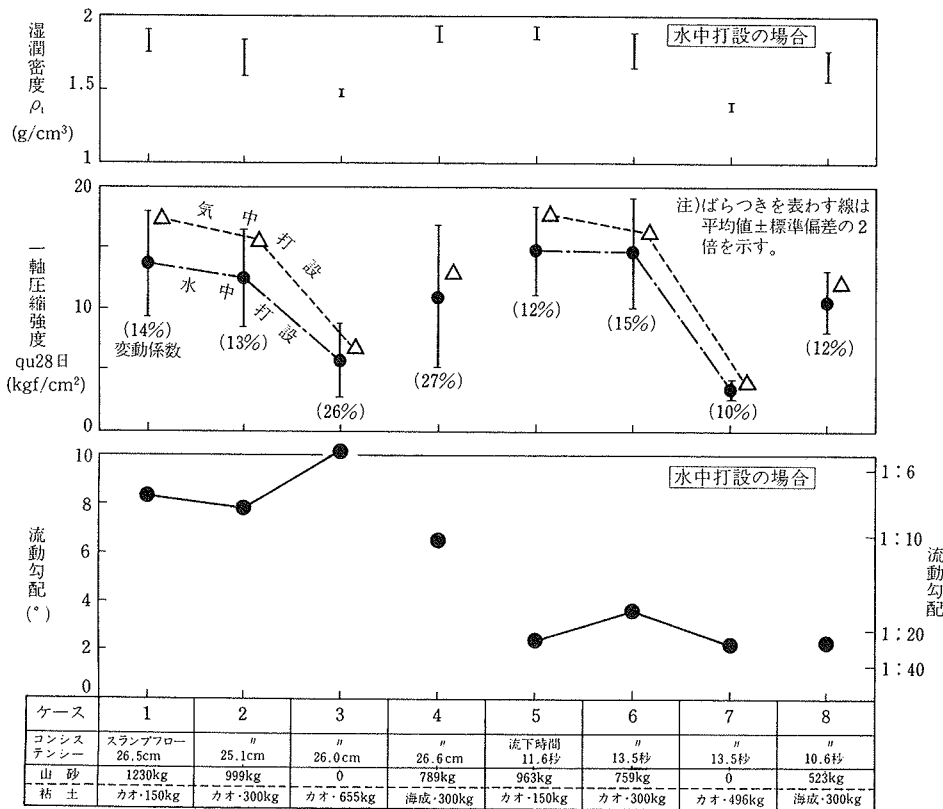


図-6 打設されたアクアソイルの勾配、固化強度、湿潤密度

中に埋めるようにし、打設初期に粘結剤を使用し、打設速度を遅くすることによって、材料分離や水質汚濁がなく、品質の良い固化体になること、その際に粘土の量や種類の影響をそれほど受けないことが明らかになった。従って、このような施工が可能であるような現場条件では、粘土を含み、軟練り状態にしたアクアソイルの適用も有効であろう。

4.2.2. 超軟練りアクアソイルの場合 一例として、ケース6の結果を図-5の右部に示す。同図の左部に示す軟練りのケース2に比べて、流動勾配が非常に緩やかで、また固化強度や湿潤密度の均一性が劣っていないことが認められる。固化体の状況を写真-3に示す。

次に、超軟練りのケース5~8の結果を図-6に示す。

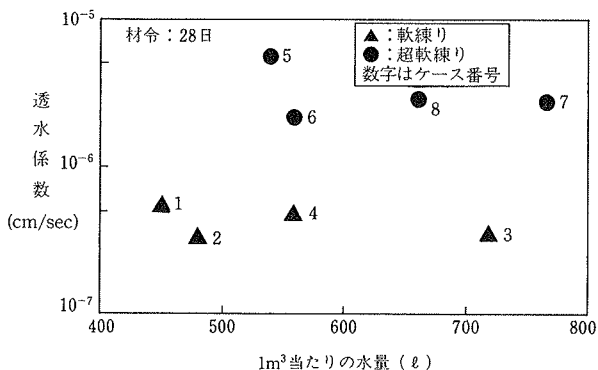


図-7 アクアソイルの水量と固化体の透水係数の関係

超軟練りは、軟練りに比べて、流動勾配が緩やかで、固化強度の変動係数などの品質上の欠点は認められなかった。さらに、打設後の水質も軟練りと同程度であった。

また、図-7に示すように、透水係数は軟練りに比べて1オーダー大きかった。

このように、超軟練りは、軟練りと同様な打設方法によって、材料分離がなく、流動勾配が非常に緩やかで、品質の良い固化体を造成できることが認められた。従って、施工条件によっては、粘土含有・超軟練りのアクアソイルも有効と考えられる。

5. あとがき

アクアソイル工法において、土材料として、粘土を含有する土を用いる場合の適正な配合と打設方法を室内実験とポンプ打設実験によって検討した。

粘土含有アクアソイルは、練上り時のコンシステンシーを軟練り・超軟練りのいずれにした場合でも、打設管先をできるだけアクアソイル中に埋めるようにし、打設初期に粘結剤を用いることによって、材料分離がなく、品質の良い固化体になることが認められた。また、超軟練りは、流動性に特に優れ、この特長を有効に活用すれば、この工法の適用範囲がさらに拡大すると思われる。

なお、この研究は、本社土木部の吉尾一志課長、伊藤義人職員、東京機械工場の渡辺信夫職員、技術研究所の千野裕之職員、平尾淳一職員らの協力のもとに行なわれたものである。

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3), 大林組技術研究所報, No. 36, (1988), pp. 30~34
- 3) 喜田, 久保, 漆原: アクアソイル工法に関する研究 (その4), 大林組技術研究所報, No. 37, (1988), pp. 16~20