

自硬性安定液に関する研究 (その4)

——逸泥防止用安定液の開発——

喜田大三 齋藤裕司

Studies on Self-Hardening Slurry (Part 4)

—Development of Stabilizer for Preventing Penetration of Slurry into Ground—

Daizo Kita Hiroshi Saitoh

Abstract

This study was made with the objective of developing a slurry which can be prevented from penetrating into ground in order to broaden the application of the slurry to ground of very high permeability ($k=10^{-1}\sim 10^0\text{cm/sec}$). The penetration phenomena were investigated by laboratory tests and by field applications. The results were as follows:

(1) Self-hardening slurry easily penetrates into a ground model ($k=1.7\times 10^0\text{cm/sec}$) made of glass beads of 5 mm diameter. However, penetration is prevented by addition of fibers to the slurry. The most effective result is obtained in case of 1% addition of fibers of 10 mm length. The mechanism of prevention is considered to be that of filling of gaps in the ground with fibers and formation of mud cakes on the fibers.

(2) At a site of reclaimed ground of high permeability ($k=2\sim 9\times 10^0\text{cm/sec}$) made up of large gravels, this slurry containing fibers of 10 mm length showed excellent effects in preventing penetration.

概 要

自硬性安定液工事の適用範囲の拡大を意図し、 $10^{-1}\sim 10^0\text{cm/sec}$ と非常に大きな透水係数を示す地盤での安定液の逸泥防止を目的とした室内実験と現場適用を行ない、以下のことが判明した。

(1) 5 mm 径のガラス玉を使用したモデル地盤($k:1.7\times 10^0\text{cm/sec}$) では安定液は逸泥する。しかし、繊維状の逸泥防止材の添加によって逸泥を防止でき、その際、最も効果のある繊維長は 10mm 以上で、添加量は 1% である。この逸泥防止機構は地盤間隙の繊維による目づめと、その上に形成されるマッドケーキの形成による。

(2) 粗大礫を主体とする埋立地盤 ($k=2\sim 9\times 10^0\text{cm/sec}$) に、繊維長が 10mm の逸泥防止材を適用し、地盤中への浸透範囲は 1% 添加時で 30~180cm と、無添加時の $\frac{1}{2}\sim \frac{1}{3}$ に減少し、逸泥防止材の効果が確認できた。

1. まえがき

自硬性安定液はベントナイト泥水にセメント系の硬化剤を混練したもので、硬化前はベントナイト泥水と同様に掘削孔壁の安定機能を示し、静置するとそのまま硬化する性質を有している。この硬化体は調合によって 5~40 kg/cm² の圧縮強度を示すばかりでなく、すぐれた遮水性能を示すので、筆者らは広範囲の使用を想定した各種調合の自硬性安定液の硬化前後の基本性状を解明する研究を行なっている¹⁾²⁾。

さて、自硬性安定液中のベントナイト粒子は硬化剤のため凝集し、フロックを形成しているので、逸泥(安定液の地盤中への浸透)は 10^{-2}cm/sec 以下の透水係数を示す地盤ではほとんど生じない。この事実はベントナイト泥水を使用した連続地中壁工法での突然に生じた逸泥を簡易に防止する方法に利用されている³⁾。しかし、 $10^{-1}\sim 10^0\text{cm/sec}$ の透水係数を示す特殊な地盤では自硬性安定液とはいえ逸泥はさけられない。逸泥は高いアルカリ性 (pH 12 以上) を示す自硬性安定液による周辺地下水の汚染防止、および経済性の面から防止する必要がある。

ここでは大きな透水係数を示す地盤での逸泥を防止し、この種の地盤でも施工可能とすることを目的とし、室内実験を行なって自硬性安定液用の逸泥防止材を開発し、それを現場適用したところ、良好な結果が得られたので以下に報告する。

2. 室内実験

2.1. 自硬性安定液

自硬性安定液の調合は粗大礫を主体とする地盤を想定し、ベントナイト（群馬県産）75 kg/m³、粘土 25 kg/m³、硬化剤（特殊セラメント）200 kg/m³、添加剤（FO-1）2 kg/m³ とした。

逸泥防止材は繊維工場製品裁断物で、長さを2.5, 5, 10, および 20 mm に切断したものをそれぞれ供試した。ここで、2.5 mm のものは従来から連続地中壁工法の逸泥防止材として利用されている。

2.2. 逸泥実験方法

(1) 逸泥実験装置

加圧ろ過装置を改良したもので、その詳細を図一に示す。

(2) モデル地盤

図一に示したアクリル円筒に 30 cm 厚さに $\phi 5$ mm のガラス玉を充填し、その間隙は水で飽和したもので、その透水係数は 1.7×10^0 cm/sec である。

(3) 測定項目と方法

モデル地盤の上に自硬性安定液を 1 l 入れ、 0.5 kg/cm^2 の加圧を行なった際の排水量を経時的に測定するとともに、地盤中への浸透範囲を測定した。

自硬性安定液の性状としては硬化前の粘度をファンネル粘度計で、硬化後の強度を土の一軸圧縮試験法に準じ

て、それぞれ測定した。

2.3. 実験結果と検討

(1) 逸泥防止材の効果

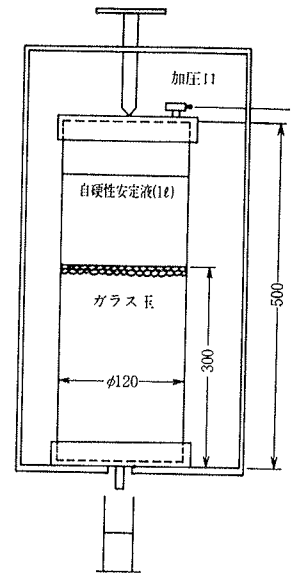
図示しないが、防止材無添加の安定液は、その粘度が測定不能とゲル化状態でも加圧後 10~15 秒の間に全量が排出し、 10^0 cm/sec のオーダーの透水係数を示す地盤では自硬性安定液は逸泥する。

図二に逸泥防止材を添加した場合の排水量の経時変化の測定例を示す。図示したように、加圧開始から 1 分間までの排水量は非常に大きいですが、その後の排水量の増加程度はごくわずかなので、逸泥は防止できると判定される。そして、10 分後の排水量は繊維の長さによって、また同一繊維長でも添加量によって異なっている。

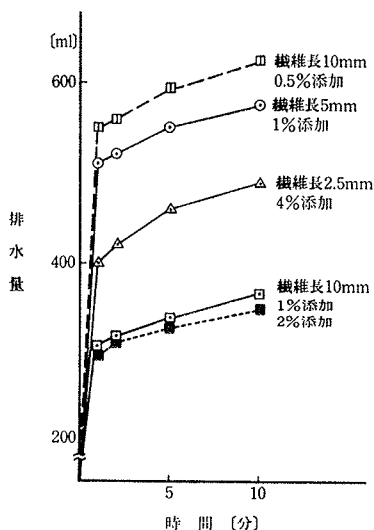
(2) 逸泥防止材の最適長さ と 添加量

排水量は逸泥防止効果を判定する目安となるので、図三に逸泥防止材添加量と 10 分後の排水量、ならびに浸透距離との関係を示す。

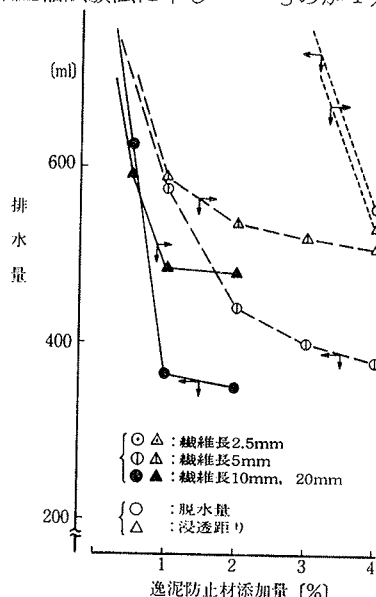
図示したように、繊維長の異なる防止材とも添加量の増大に伴って排水量は減少するが、その程度は添加量に比例しない。添加量を増大してもそれに応じて排水量が減少しない境界点の添加量は繊維長が 10 および 20 mm のものが 1%、5 mm のものは 2% となり、その際の浸透



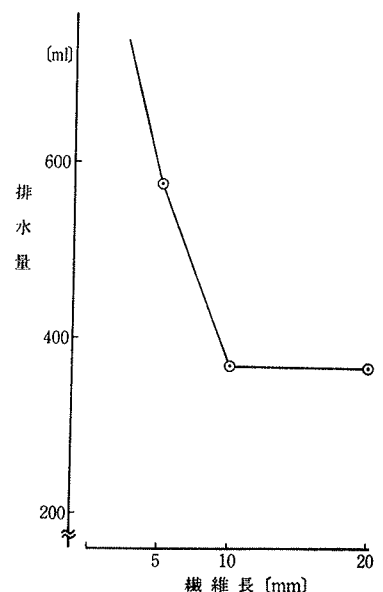
図一 逸泥実験装置



図二 排水量の経時変化



図三 逸泥防止材添加量と排水量・浸透距離の関係



図四 繊維長と排水量の関係

距離は7~11 cm である。

上述のように、繊維長の差異によって逸泥防止効果に顕著な差が認められ、図-4に1%添加時の繊維長と排水量との関係を示す。同図から明らかなように、このモデル地盤では10 mm 以上の繊維長を1%添加するのが効果的である。ここで使用したガラス玉の径は5 mm であるので、径の2倍以上の長さがよいことになる。したがって、粗大礫を主体とする地盤に適用する場合の繊維長を選定する際は地盤の10%粒径⁽¹⁾ (D₁₀) の2倍以上の長さが一応の目安となる。

上述のように、長繊維の逸泥防止材は間隙の大きな地盤での逸泥防止に非常に有効である。しかし、むやみと長い繊維はミキサーで混練できないので10~20 mm程度が使用限界である。

なお、結果は明示しないが、10 mm 長さの繊維は15 mm 径のガラス玉を使用したモデル地盤(k=10⁰cm/sec)でも2%添加によって逸泥防止が可能であることを確認している。

(3) 逸泥防止機構

(1), (2)に前述の事象から長繊維による逸泥防止機構は次のように考えられる。逸泥とは安定液が地盤の間隙中に浸透していくことである。その際、間隙径より小さな安定液中の粘土分、および硬化剤分はそのまま間隙中を通り抜けるが、繊維分は通過できず、間隙は徐々に繊維で目づめされる。したがって、その後の安定液が通過する間隙は地盤の間隙ではなく、繊維がからみあって生じた間隙で、この間隙は粘土と硬化剤の凝集体を捕捉するのに十分小さく、ここにマッドケーキが形成される。

したがって、逸泥防止材には間隙を通過できないだけの有効長さが必要で、5 mm 径のガラス玉地盤ではここで使用した逸泥防止材の場合それが10 mm となる。なお、このマッドケーキはベントナイト粒子と硬化剤粒子の凝集体で形成されるので、その造壁性は一般に使用される泥水のそれより劣り、マッドケーキを介して安定液中の水分の浸透がさらに進行していくと考えられる。

(4) 自硬性安定液の諸性状

安定液の作成時のファンネル粘度、および強度測定結果を表-1に例示する。

表示したように、粘度および強度は無添加に比べてやや増大する。

2.4. まとめ

5 mm 径のガラス玉によるモデル地盤 (k=1.7×10⁰ cm/sec) を使用した室内の逸泥実験を行なって、以下のことが判明した。

- (1) このモデル地盤では自硬性安定液は逸泥する。
- (2) 繊維状の逸泥防止材の添加によって逸泥を防止でき

る。その際、最も効果のある繊維長は10 mm 以上で、その添加量は1% である。

(3) 繊維状の逸泥防止材による逸泥防止機構は地盤間隙の繊維の目づめと、その上に形成されるマッドケーキによる。したがって、繊維は間隙の大きさに応じた長さが必要である。

(4) 逸泥防止材の添加によって、自硬性安定液の粘度および強度はやや増大する。

試料	ファンネル粘度 (秒)	圧縮強度 (kg/cm ²)		
		1週	2週	4週
無添加	42	1.84	5.63	11.5
2%添加 (10mm長)	49	1.86	5.80	12.4

表-1 自硬性安定液の諸性状

3. 現場適用

3.1. 工事概要

3.1.1. 地盤 粗大礫を主体とする埋立地盤で、下部(層厚7.5 m)は風化土(A)の水中埋立て、上部(層厚4.0 m)は150 mm 以下の砕石(B)を巻き出して仕上げた。その際の地下水位はGL-3.0 m で、上部地盤の透水係数はその粒径分布から2~9×10⁰cm/sec と推察される。

埋立てに使用したA, B両材料の粒径加積曲線を図-5に示す。

3.1.2. 自硬性安定液工事 上記地盤で壁厚600 mm, 深さ10 m, 壁長さ14 m規模の自硬性安定液工事を実施した。掘削はKELLY-60M型掘削機で行なった。

3.2. 自硬性安定液

1週材令時に約2 kg/cm² の圧縮強度を得ることを目標とし、表-2に示す調合の自硬性安定液を使用した。

逸泥防止材は地盤のD₁₀ が5 mm であることを考慮し、

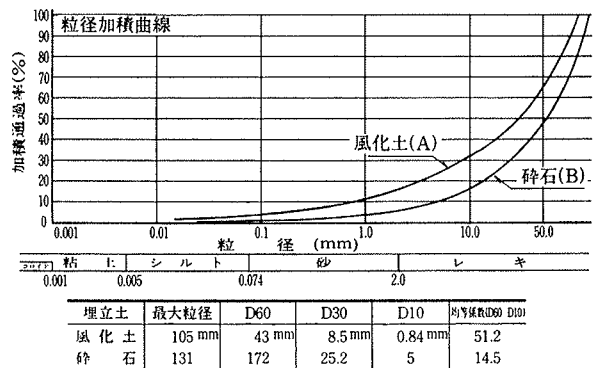


図-5 埋立材料の粒径分布

10mm 長に切断した繊維を使用した。添加量は現地地盤での逸泥防止効果を確認するため、0~1% とした。

材料	種類	添加量(kg/m ³)
硬化剤	高炉C種粗当品	200
ベントナイト	那馬県産	75
粘土		25
添加剤	FO-1	2
逸泥防止材	繊維(10mm長)	0~10

表-2 自硬性安定液の調合

3.3. 調査項目と方法

(1) 安定液の逸泥量

逸泥が予想される上部埋立地盤の掘削完了時に掘削を中止し、安定液面の低下量をトレンチで測定した。

(2) 現場硬化体の性能

2週材令時に、逸泥防止材添加量を異にする2ヶ所でφ50mmのダブルコアチューブを使用してコアボーリングを行なって試料を採取し、各試料の圧縮強度と透水係数をそれぞれ測定した。

(3) 地盤中への浸透状況

施工後、3週間経過した時点で、GL-5.0mまで掘削し、GL-3m、およびGL-4.5m(下部と上部の境界面)における安定液の地盤中への浸透状況を肉眼観察した。

3.4. 調査結果

(1) 逸泥量

上部層の掘削時にシェルによって新しい掘削面ができた際、急激な孔内安定液面の低下が認められたが、逸泥防止材の目づけ効果が働き、静置中の逸泥量は0.1~0.2 m³/Hrであった。

(2) 現場硬化体の性能

No. 11, 5両パネルから採取した深度別各試料の4週材令時に測定した湿潤密度、圧縮強度、および透水係数を表-3に示す。

表示のように、現場硬化体の性能はパネルによる差ならびに深さ方向での差は認められず、ほぼ均一と判定され、調合から期待できる性能を十分に発揮している。

(3) 安定液の地盤中への浸透範囲

図-6に、GL-3mおよびGL-4.5m位置の安定液の浸透範囲を示す。

上部層での浸透範囲は、逸泥防止材の添加量によって異なり、GL-3m位置では無添加区および0.25%添加区で130~120cmと大きいが、1%添加区で30~50cmと減少している。GL-4.5m位置も同様に無添加区および0.25%添加区で290~250cm、1%添加区で90~180cmである。

上述のように、逸泥防止材の1%添加によって浸透範囲は無添加に比べ1/3~1/2に減少し、逸泥防止材の効果が確認できた。

3.5. まとめ

粗大礫を主体とする埋立地盤(k: 2~9×10⁹cm/sec)での自硬性安定液工事に、10mm長さの繊維状逸泥防止材を適用し、以下のことが判明した。

(1) 逸泥防止剤の1%添加によって、安定液の地盤中へ

パネル No.	採取位置	湿潤密度 [t/m ³]	圧縮強度 [kg/cm ²]	透水係数 [m/sec]
11	GL-1m	1.236	10.5	6.61×10 ⁻⁹
	-3m	1.240	11.9	4.23×10 ⁻⁹
	-5m	1.234	11.7	2.60×10 ⁻⁹
	-8m	1.247	9.91	1.13×10 ⁻⁸
5	GL-1m	1.163	11.9	2.79×10 ⁻⁹
	-3m	1.256	11.1	5.07×10 ⁻⁹
	-5m	1.273	15.9	8.27×10 ⁻⁹
	-8m	1.300	11.8	2.15×10 ⁻⁹

表-3 現場硬化体の性能

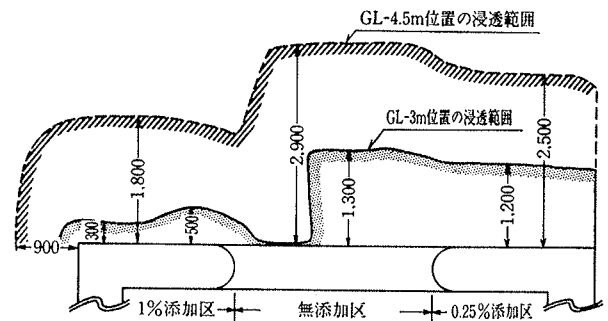


図-6 安定液の浸透状況

の浸透範囲は30~180cmと無添加に比べ1/3~1/2に減少し、逸泥防止材の効果が確認できた。

(2) 現場硬化体の4週材令時の強度は約11 kg/cm²、透水係数は10⁻¹¹cm/secを示し、パネルによる差および深さ方向の差は認められず、ほぼ均一と判定され、調合から期待できる性能を十分に発揮していた。

4. あとがき

10²~10⁹ cm/secの透水係数を示す地盤を対象とした自硬性安定液工事における逸泥防止材の効果を紹介した。逸泥防止材の使用によって、自硬性安定液工事の適用範囲がさらに拡大されるばかりでなく、補助工法として使用することによって、連続地中壁工法の適用範囲もさらに拡大すると確信している。

参考文献

- 1) 喜田, 川地, 斎藤: 自硬性安定液に関する研究(その1), (その2), 大林組技術研究所報, No. 20, (1980), pp. 65~76
- 2) 喜田, 斎藤, 川地: 同上(その3) 大林組技術研究所報, No. 22, (1981), pp. 126~129
- 3) 喜田, 川地: 泥水工法における泥水管理に関する研究(第26報), 大林組技術研究所報, No. 23, (1981), pp. 96~100