

大深度・厚壁地中連続壁実験報告（その2）（安定液の品質管理）

Field Test Report of Deep & Thick Diaphragm Wall (Part2)
(Experimental Study on Quality Control of Stabilizing Slurry)

| | |
|------------------|--------------------|
| 細川 勝己* | 平井 裕二** |
| Katsumi Hosokawa | Yuji Hirai |
| 斉藤 顕次*** | 小林 康之**** |
| Kenji Saito | Yasuyuki Kobayashi |
| 平岡 博明***** | 千葉 正敏***** |
| Hiroaki Hiraoka | Masatoshi Chiba |

要 約

本報は、深度150m、壁厚2.1mの大深度・厚壁地中連続壁の実験工事に関する安定液の品質管理について検討を行ったものである。その結果、今後の施工に対し以下の知見を得ることができた。①室内再生実験における劣化安定液に対する再生効果は、重曹、分散剤およびCMCの中で、重曹が添加量も少なく優れている。②現場再生実験における重曹の再生効果は、室内再生実験と比較すると濾過水量の再生効果が小さい。③コンクリートカッティング時における劣化安定液の再生方法として、重曹を単独で添加する方法と重曹の添加量を少なくし、これに分散剤、CMCを少量ずつ混合添加する方法とは、再生効果がほぼ同じである。また、再生剤を混合添加する方法は、カルシウムイオンの再混入による劣化防止効果に優れている。④溶解カルシウムイオン(S-CaO)量は、安定液の劣化の度合いを判断するための指標とはならない。⑤安定液の劣化再生を十分に行い、溝内安定液の粘性を低くし、スライムの沈降時間を速くすれば、スライム処理は安定液中のスライムを沈降させてから除去する方法で可能である。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 実験工事概要
- § 3. 品質管理と初期配合の概要
- § 4. 掘削時の品質管理
- § 5. スライム処理時の品質管理
- § 6. コンクリート打設時の品質管理
- § 7. おわりに

§ 1.はじめに

近年、地中連続壁工法は東京湾横断道路をはじめとして大深度・厚壁化の傾向にあり、現在は掘削機械の開発により深度100m、壁厚2mを越える施工が可能となった^{1), 2), 3)}。

しかし、このような大深度掘削は安定液の所要量が膨大となるため、その品質を管理する上でいくつかの問題が生じる。例えば、劣化した安定液は経済性の面から廃棄することなく、効率よく再生しなければならない。特に、エレメント間の継ぎ手としてコンクリートカッティング方式を採用した場合、安定液はカルシウムイオンの混入により劣化するため、頻繁に再生処理する必要がある。また、コンクリート打設時に回収される安定液は、大量

* 技術研究所地質研究課

** 技術研究所先端技術研究課

*** 技術研究所研究部長

**** 技術研究所先端技術研究課長

***** 技術研究所地質研究課係長

***** 東関東(支)外郭春日部(出)工事係長

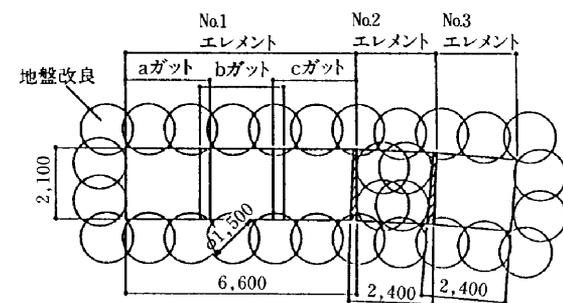
に劣化する。さらに、スライム処理において安定液中の浮遊土粒子を沈降させてから除去する方法は、静置時間が長時間に及ぶ。

本報では深度150m、壁厚2.1mの大深度掘削および深さ100mのコンクリートカッティングの実験工事に関する安定液の掘削時、スライム処理時およびコンクリート打設時の品質管理について検討した。

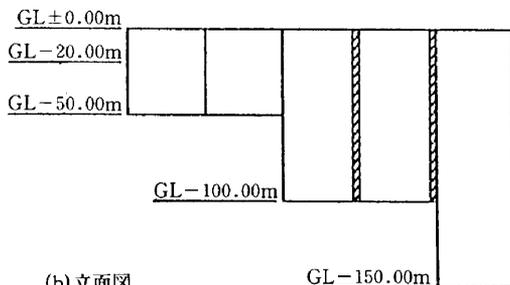
§ 2. 実験工事概要

本実験工事におけるエレメント割付および掘削深度を図-1に示す。本実験工事では、3エレメント、合計5ガット（1ガット幅2.1m×長さ2.4m）、深さ50～150mの掘削を行い、No.3エレメントでは図中の斜線部分に示すコンクリートを深さ100mにわたってカッティングした。なお、軟弱な表層地盤の崩壊を防ぐために、地表面（GL）より-20mまで、エレメントを囲むようにベントナイトモルタルによる地盤改良（直径1500mm）を行った。

土質構成は、地表面（GL）から-3mまでは細砂土からなる埋立層であり、その下部は軟弱な沖積層である有楽町層がGL-26mまで続いている。この有楽町層のうちGL-14mまでは粘性土を咬んでいるゆるい砂層であり、GL-14m～-26mまでは軟弱な粘土層（ $N \leq 2$ ）が主体である。また、GL-26m～-32mまでは粘土層からなる洪積層（ $N=4 \sim 7$ ）、GL-32m～-150mまではよく締まった砂層（ $N \geq 50$ ）である。



(a) 平面図



(b) 立面図

図-1 エレメント割付および掘削深度

§ 3. 品質管理と初期配合の概要

3-1 品質管理

地中連続壁工事に使用する安定液の掘削時の役割は、溝壁の安定を保ちながら掘削土砂の搬送分離を容易にすることである。また、コンクリート打設時の役割は、溝壁の安定を保ちながらコンクリートとの置換をよくすることである。これらの役割を果たす上で必要な安定液の品質は、溝壁の安定に対して、「高比重」・「高粘度」・「少濾水量」である。しかし、掘削土砂の搬送分離およびコンクリートとの置換に対しては、「低比重」・「低粘度」・「低砂分率」であり、異なる品質を要求されている。そのため、安定液の品質は、その役割を果たすために、比重、粘性および濾過水量などを適性な値に保持する必要がある。

したがって、品質管理はこの保持すべき状態を数値的に示した品質管理基準を設定して、この範囲内に収まるように行われた。本実験工事では、表-1に示す管理項目について実験を行い、表-2に示す管理基準を設定した。掘削時の管理基準値は掘削中の溝内安定液に、またスライム処理時の管理基準値はコンクリート打設前の溝

表-1 管理項目と実験方法

| 管理項目 | 実験方法 |
|---------------|---|
| 比重 | マッドバランスにより測定 |
| 砂分率 (%) | 砂分計により測定 |
| ファンネル粘度 (sec) | ファンネル粘度計により測定 |
| 見かけ粘度 (cp) | B型粘度計により測定 |
| 濾過水量 (mℓ) | $P = 3 \text{ kgf/cm}^2$ (0.29MPa) で30分間加圧後の水量 (ml) |
| pH | ガラス電極式pHメーターにより測定 |
| S-CaO量 (ppm) | ドロップテストにより測定 |

表-2 安定液管理基準

| 管理項目 | 掘削（コンクリート打設）時の基準値 | スライム処理時の基準値 |
|---------------|-------------------|-------------|
| 比重 | 1.02～1.15 | 1.02～1.10 |
| 砂分率 (%) | 5.0以下 | 0.5以下 |
| ファンネル粘度 (sec) | 20.0～35.0 | 20.0～30.0 |
| 見かけ粘度 (cp) | 100.0以下 | 100.0以下 |
| 濾過水量 (mℓ) | 30.0以下 | 20.0以下 |
| pH | 8.5～11.5 | 8.5～11.5 |
| S-CaO量 (ppm) | 100以下 | 100以下 |

内安定液に、さらにコンクリート打設時の管理基準値は、打設により回収される安定液に対して適用した。

3-2 初期配合

安定液の初期配合には、耐カルシウムイオン性と懸濁安定性に優れたポリマー系の安定液を用いた。その理由は、ベントナイトモルタルにより改良した地盤の掘削やコンクリートカッティングによって安定液中にカルシウムイオンが混入すること、また大深度の溝内に長期間安定液が放置されることを考慮したためである。初期配合を表-3に、また初期配合時の品質を表-4に示す。

§ 4. 掘削時の品質管理

4-1 掘削時の品質変化

掘削時における安定液の品質変化を図-2に示す。

No.1エレメントでは、安定液中の溶解カルシウム（S-CaO）量を除いて管理基準値を満たしていた。その中で比重およびpHが、掘削初期に上昇しているのが分かる。これは、掘削土砂および地盤改良土の混入によるもので

あるが、pHは地盤改良土の掘削が終了すると低下する傾向を示した。

No.2エレメントでは、見かけ粘度、濾過水量およびS-CaO量が経過日数20日目付近において管理基準値を越えた。この原因は、土砂分離装置の処理能力以上の掘削を

表-3 安定液の初期配合

| 材 料 | 仕 様 | 配合条件 |
|--------|-------------|------------------|
| ベントナイト | 群馬産300メッシュ | 30kg (3.0%) |
| CMC | セルローズ系低粘度粉末 | 3kg (0.3%) |
| 分散剤 | ポリカルボン酸系液体 | 2kg (0.2%) |
| 練り水 | 水道水 | 1 m ³ |

表-4 初期配合時の品質

| 管 理 項 目 | 特 性 値 |
|---------------|-------|
| 比重 | 1.02 |
| 砂分率 (%) | 0 |
| ファンネル粘度 (sec) | 24.7 |
| 見かけ粘度 (cp) | 15.0 |
| 濾過水量 (ml) | 9.0 |
| pH | 10.3 |
| S-CaO量 (ppm) | 70 |

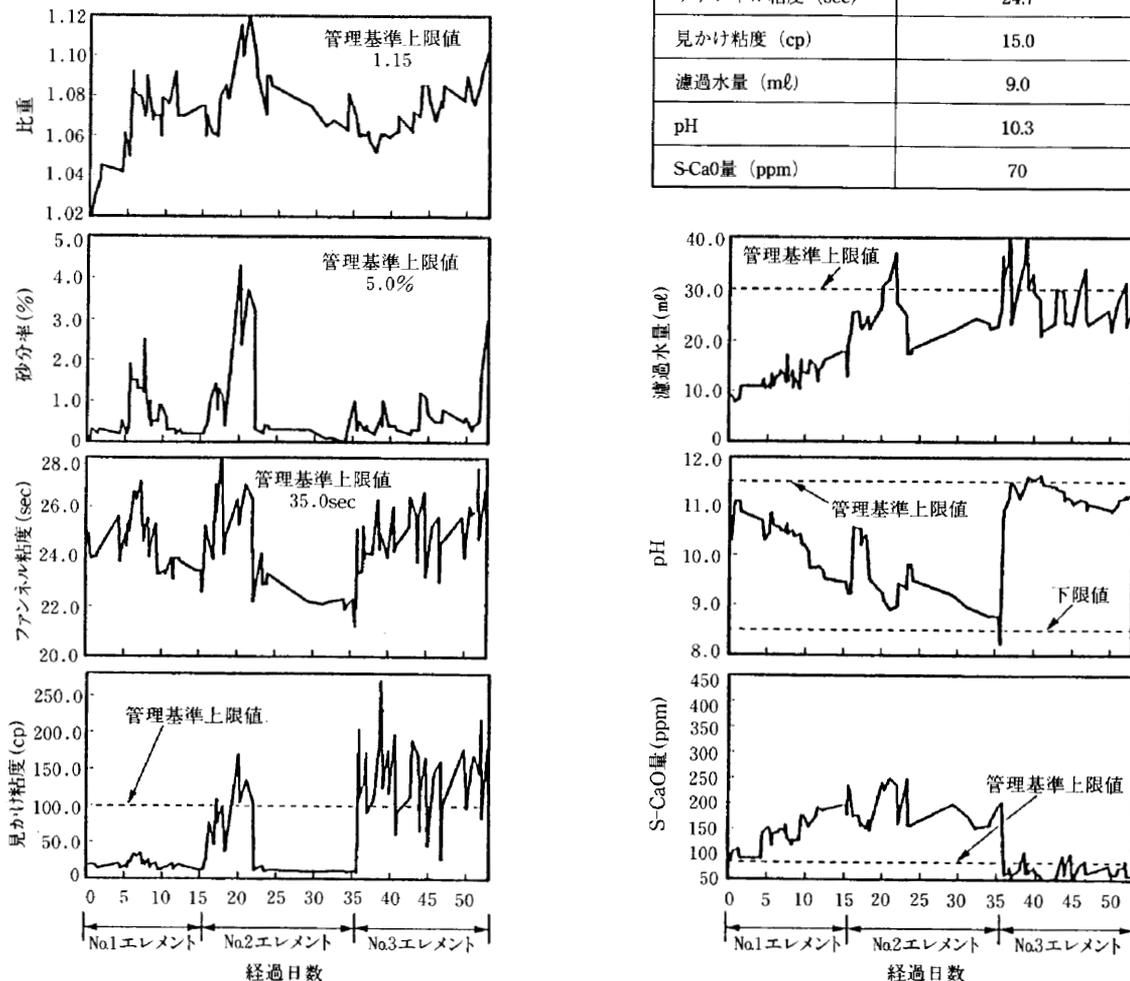


図-2 掘削時における安定液の品質変化

行ったためと考えられる。

No.3エレメントではコンクリートカッティングにより混入したカルシウムイオンによって見かけ粘度、濾過水量およびpHが管理基準値を越えた。そこで適宜重曹を中心とした再生剤を添加し、安定液の再生を図った結果、各管理項目ともその基準内に収まった。しかし見かけ粘度および濾過水量は、すぐに劣化してしまうという繰り返しであった。

一般に S-CaO量の増加に伴い、見かけ粘度および濾過水量は上昇するという報告がなされている⁴⁾。本実験ではNo.1, 2 エレメントの S-CaO量は、管理基準値を大きく越える値を示したが、安定液は劣化していなかった。しかしNo.3エレメントでは、S-CaO量が管理基準値内にあるにもかかわらず安定液は劣化していた。

4-2 劣化安定液の再生処理

地山掘削時における安定液の劣化は、掘削土砂および掘削地盤中のイオンの混入が主な原因と言われている。また、コンクリートカッティング時には、上記の原因に加え、コンクリート中のカルシウムイオンが混入することにより劣化も著しくなる。そのため再生剤を添加し、適宜再生を行わなければならない。再生剤の添加は、管理基準値を越えた項目に対して効果のあるものを単独添加する方法がとられている。しかし、この方法は再生回数も多く効率が悪い。したがって、劣化の程度に応じて各再生剤を必要な量だけ混合添加し、再生回数を少なくできるような効率のよい再生方法の確立が望まれる。そ

こで、再生剤の混合添加による再生効果を調べるために、室内再生実験および現場再生実験を行った。

(1) 室内再生実験

室内再生実験では、セメントで強制的に劣化させた安定液を用いて、各再生剤を単独添加した場合の再生効果について検討を行った。さらに、この結果をもとに、各再生剤を混合添加した場合の再生効果および再生後のイオンに対する劣化防止効果についての検討も行った。なお、ここで使用した劣化安定液は、ベントナイトおよびCMCを水道水に添加後24時間静置させ、さらに普通ポルトランドセメントを添加し24時間静置させたものである。その配合を表-5に、使用した再生剤を表-6に示す。重曹およびCMCはそれぞれ5%、1%水溶液として、また分散剤は原液を用いた。

①再生剤の単独添加実験

再生剤を単独添加した場合の実験結果を図-3に示す。なお重曹とCMCは水溶液として用いたので、水道水の影響を把握するため、水溶液と同量の水道水を添加した実験もあわせて行った。図中の破線は、掘削時における安定液の管理基準範囲もしくはその上限値を示したものである。この図から重曹は、ファンネル粘度、見かけ粘度および濾過水量の全ての項目に対し再生効果が見られ、劣化安定液の再生に必要な最少添加量（最適添加量）は0.21%であった。一方、水道水のみを添加した実験ではファンネル粘度、見かけ粘度および濾過水量に減少は見られなかった。分散剤ではファンネル粘度、見かけ粘度

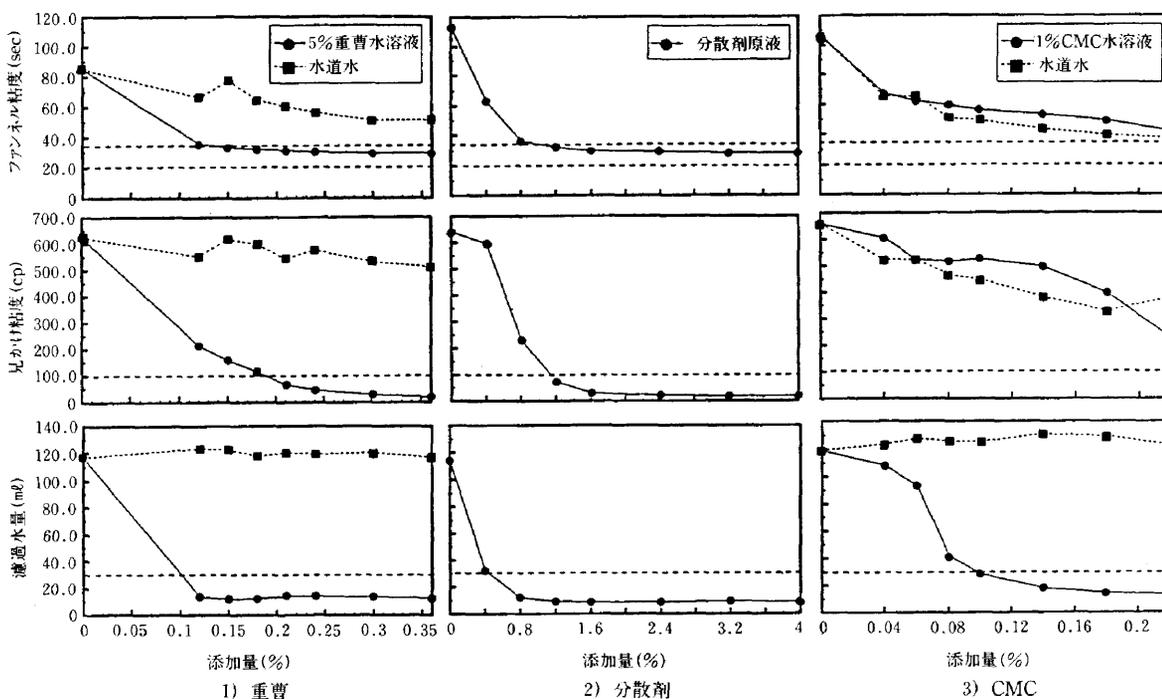


図-3 再生剤による劣化安定液の再生効果（室内再生実験）

表一 5 劣化安定液の初期配合

| 材 料 | 仕 様 | 配合条件 |
|--------|-----------------|------------|
| ベントナイト | 群馬産300メッシュ | 90g (3.0%) |
| CMC | セルローズ系低粘度粉末 | 9g (0.3%) |
| 分散剤 | H社製普通ポルトランドセメント | 45g (1.5%) |
| 練り水 | 水道水 | 3000ml |

表一 6 使用した再生剤

| 材 料 | 仕 様 |
|-----|-------------|
| 重曹 | K社製・試薬1級 |
| CMC | セルローズ系低粘度粉末 |
| 分散剤 | ポリカルボン酸系液体 |

および濾過水量の減少があったが、その最適添加量は1.6%と重曹の単独添加に比べ多かった。CMCは濾過水量に対して著しい効果があり、最適添加量は0.14%であった。また、ファンネル粘度および見かけ粘度が水道水のみを添加した場合と同様な傾向を示したことから、CMC自身による効果はないものと考えられる。以上の結果より、重曹は分散剤およびCMCに比べ添加量も少なく再生効果に優れていることが確認された。

②再生剤の混合添加実験

混合添加実験における配合は、次に示すような3通りについて行った。配合Aは再生剤の単独添加実験による最適添加量に対し重曹50%+分散剤10%+CMC10%、配合Bは重曹50%+分散剤20%+CMC20%、配合Cは重曹50%+分散剤50%+CMC50%とした。この実験結果を表一7に示す。これらより、分散剤およびCMCを10%ずつ混合添加した配合Aが、重曹を単独で最適添加量添加(0.21%)したものと、ほぼ同等の再生効果があった。

③カルシウムイオンに対する劣化防止実験

カルシウムイオンに対する劣化防止実験は、再生効果がほぼ等しい2種類の再生剤（重曹を単独で最適添加量添加するものと配合A）をそれぞれ劣化安定液に添加し再生させた後、普通ポルトランドセメントを添加し、カルシウムイオンに対する劣化防止効果について検討を行った。セメントの添加量は0.5%、0.75%、1.0%とし24時間静置後、ファンネル粘度、見かけ粘度および濾過水量について実験を行った。その結果を図一4に示す。混合添加した配合Aでは、重曹を単独添加したものに比べ見かけ粘度は小さく、濾過水量も少なかった。これより重曹を単独で添加した場合と再生剤を混合添加した場合

を比較すると、後者の方が再生後のカルシウムイオンの再混入に対する劣化防止に優れていることが分かった。

(2) 現場再生実験

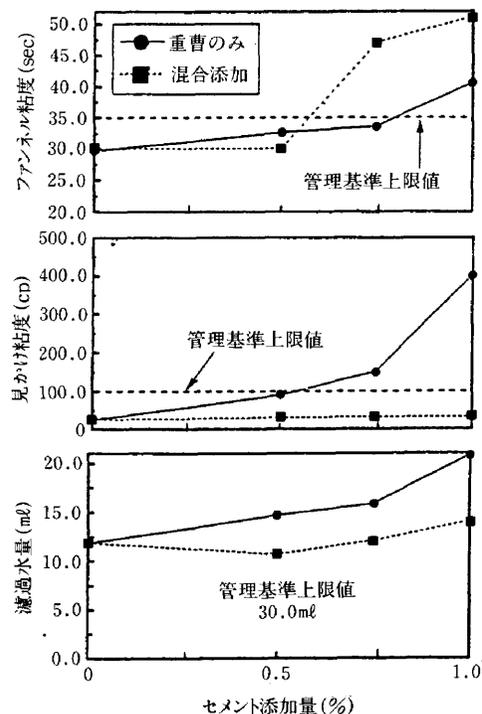
現場再生実験では、現場より採取した劣化安定液を用いてまず各再生剤の効果について調べた。次に、この結果をもとに現場で劣化している安定液に対し、各再生剤を混合添加しその再生効果を調べた。各再生剤は室内再生実験と同様のものを使用した。

①再生剤の単独添加実験

各再生剤を単独添加した場合の実験結果を図一5に示す。重曹は全ての管理項目で再生効果が見られた。しかし、0.1%以上添加しても、これ以上の再生効果は見られなかったため、重曹の最適添加量は0.1%であると考えられる。分散剤を添加した場合は、添加量0.05%で見かけ粘度、濾過水量の減少が見られたが、0.1%以上になると逆に濾過水量が増加したため、分散剤の最適添加

表一 7 混合添加実験結果

| | ファンネル粘度 (sec) | 見かけ粘度 (cp) | 濾過水量 (ml) |
|------|---------------|------------|-----------|
| 重曹のみ | 30.2 | 59.0 | 12.7 |
| A | 32.3 | 73.0 | 11.8 |
| B | 30.6 | 36.0 | 10.1 |
| C | 29.6 | 22.0 | 9.7 |



図一 4 劣化防止実験結果

量は0.05%と考えられる。さらに、CMCは濾過水量の減少に効果があり、添加量0.05%が最適添加量と考えられる。

以上の結果より重曹は室内実験と比較すると、ファンネル粘度および見かけ粘度に対しては同等な再生効果を示したが、濾過水量については再生効果が少なかったことが分かった。

②再生剤の混合添加実験

混合添加実験では、重曹を中心とする3種類の再生剤を混合添加した場合の再生効果を現場規模で調べた。混合添加した再生剤（各再生剤の最適添加量に対し重曹70%+CMC30%+分散剤20%）を清水15m³に添加し、ジェット式ミキサーで30分攪拌後、掘削溝内の安定液に添加した。実験項目を表-1に、その結果を表-8に示す。表より管理基準値を越えていた見かけ粘度および濾過水量は基準値以下となり、ファンネル粘度およびS-CaO量に対しても再生効果があった。

いて100m掘削完了後、溝内安定液の比重および砂分率の経時変化を深度別に測定した。その結果を図-6に示す。スライム処理時の比重および砂分率の管理基準上限値は、それぞれ1.10, 0.5%である。No.2エレメントでは、24時間経過後の比重は1.06~1.08, 砂分率は0.1~0.2%となり、全ての深度で管理基準内の値を示した。しかし、No.3エレメントでは、24時間経過後の比重は1.09~1.11, 砂分率は1.5~2.4%であり、全ての深度で管理基準値を越えたままであった。

スライムの沈降時間に影響を及ぼす要因としては、①スライムの粒径および形状、②スライムおよび安定液の比重、③安定液の粘性などが考えられる。本実験の場合、①と②はNo.2, 3エレメントでほぼ同じであった。一方、③はNo.2エレメントにおける見かけ粘度が10.0~18.3cpであり、No.3エレメントでは81.5~93.1cpであることが

表-8 現場劣化再生実験結果

| | 添加前 | 添加後 |
|--------------|-------|------|
| 比重 | 1.09 | 1.09 |
| 砂分率(%) | 1.0 | 1.2 |
| ファンネル粘度(sec) | 27.5 | 24.8 |
| 見かけ粘度(cp) | 220.0 | 90.0 |
| 濾過水量(ml) | 32.0 | 23.0 |
| pH | 11.2 | 11.2 |
| S-CaO量(ppm) | 90 | 60 |

§ 5. スライム処理時の品質管理

本実験工事のように大深度の場合、スライム処理方法として、掘削完了後に安定液中の浮遊土砂を溝底に沈降させてから除去する方法（底ざらい）は、静置時間が長時間に及ぶため、実用的でないと考えられる。

そこで、ここではスライムの沈降時間に影響を及ぼす要因について検討するために、No.2, 3エレメントにお

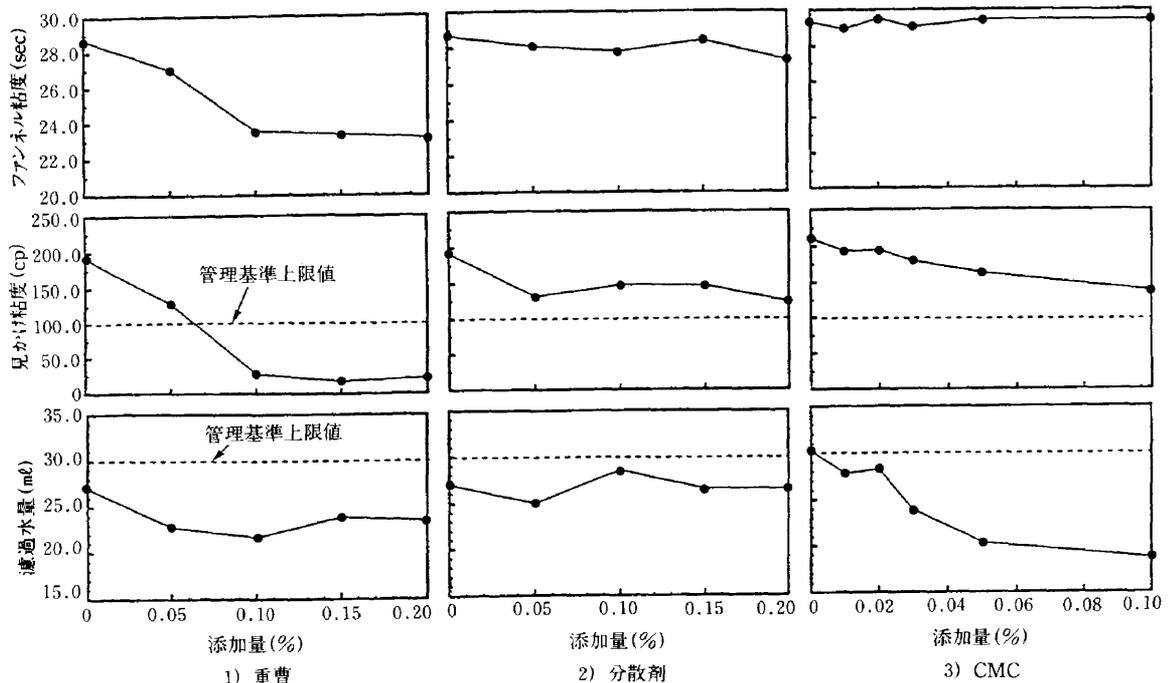


図-5 再生剤による劣化安定液の再生試験（現場再生実験）

ら大きな違いがある。したがって、安定液の粘性がスライムの沈降時間に大きな影響を及ぼす要因であることがわかる。

安定液の粘性に大きな違いが生じた原因は、No.3エレメントではコンクリートカッティングにより安定液が劣化していたためである。したがって、大深度のスライム処理方法としては、安定液の劣化再生を十分にを行い、掘削完了後の溝内安定液の粘性を低くし、スライムの沈降時間を早くすれば、底ざらいだけでスライムを除去することも可能である。

§ 6.コンクリート打設時の品質管理

コンクリートの打設により回収される安定液は、掘削時に再使用する。そのため、コンクリートとの接触により劣化した安定液は、再生または廃棄処分しなければならない。そこで、ここでは劣化した安定液の再生方法を検討するために、コンクリート打設中にコンクリート天端からの距離を変えて安定液を採取し、管理実験を実施した。

6-1 コンクリート天端付近の品質変化

コンクリート天端からの距離を変えて採取した安定液の品質変化を図-7に示す。なお、図中にはコンクリート打設時の管理基準上限値を示している。

No.1エレメントでは、コンクリート天端から2.0m以内で比重の上昇が若干認められるものの、ファンネル粘度および見かけ粘度はほとんど変化がみられなかった。

しかし、No.2エレメントでは、比重、ファンネル粘度および見かけ粘度がコンクリート天端から2.0m以内で上昇する傾向を示し、見かけ粘度は1.0m以内で管理基準値を越えた。

No.3エレメントでは、比重およびファンネル粘度がコンクリート天端から2.0m以内で上昇する傾向を示した。ファンネル粘度は2.0m以内で管理基準値を越え、見かけ粘度においては採取した範囲の安定液はすべて見かけ粘度の管理基準値を越えた。また、コンクリート天端から0.5mの距離では、ファンネル粘度および見かけ粘度は急激に増加し、その値はファンネル粘度が65.7sec、見かけ粘度が678.0cpであった。

以上の結果から、No.1エレメントで採取した安定液は全て再使用が可能であった。しかし、No.2エレメントのコンクリート天端から2m以内の安定液は再生する必要があった。また、No.3エレメントで採取した安定液は全て再生する必要があり、0.5m以内のものは廃棄しなければならなかった。

6-2 劣化要因とその再生方法

コンクリートの打設に伴う安定液の劣化要因としては、安定液とコンクリート成分中のカルシウムイオンとの化学反応によりpHとS-CaO量が上昇することが考えられる⁴⁾。本実験においてもpHの測定結果から、各エレメントともコンクリート天端に近づくにつれ上昇する傾向を示しており、コンクリート打設による影響が認められた。しかしS-CaO量は、No.1エレメントではコンクリート天端から2m以内で増加する傾向を示したものの、No.2、3エレメントではコンクリート天端に近づくにつれむしろ減少する傾向を示していた。これは、No.2、3エレメントの掘削中に、粘性を低減するため添加した炭酸塩が過剰となり、溶解カルシウムイオンを封鎖したためと考えられる。したがって、No.2、3エレメントにおける安定液の劣化は、おもに比重の増加とpHの上昇が原因であったと考えられる。そのため、その再生方法は土砂分離装置による固形分除去および炭酸ガスなどによるpHの低

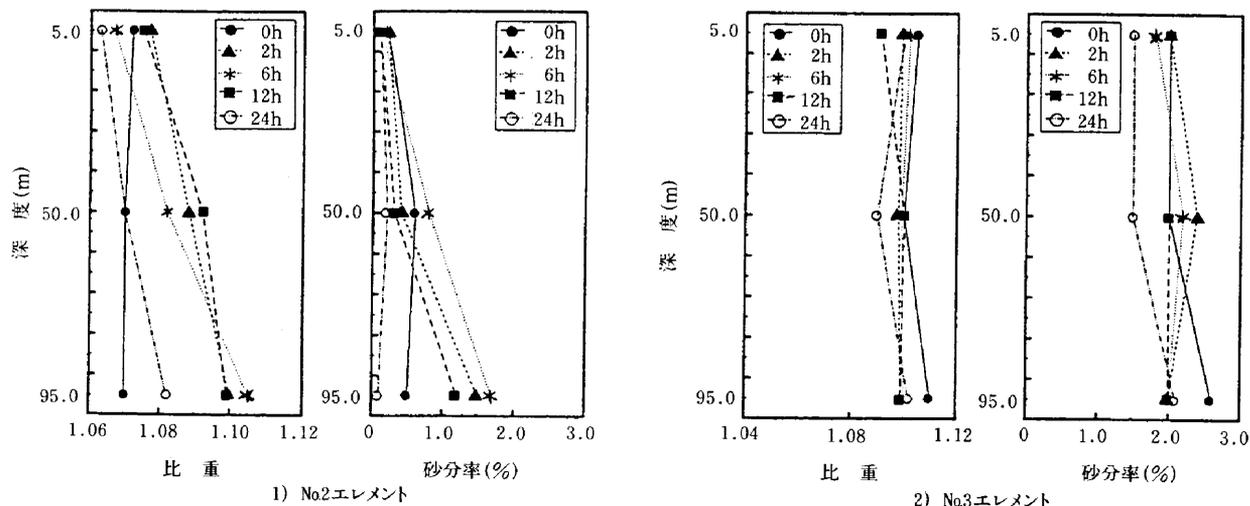


図-6 掘削完了後の溝内安定液の深度別の比重、砂分率の経時変化

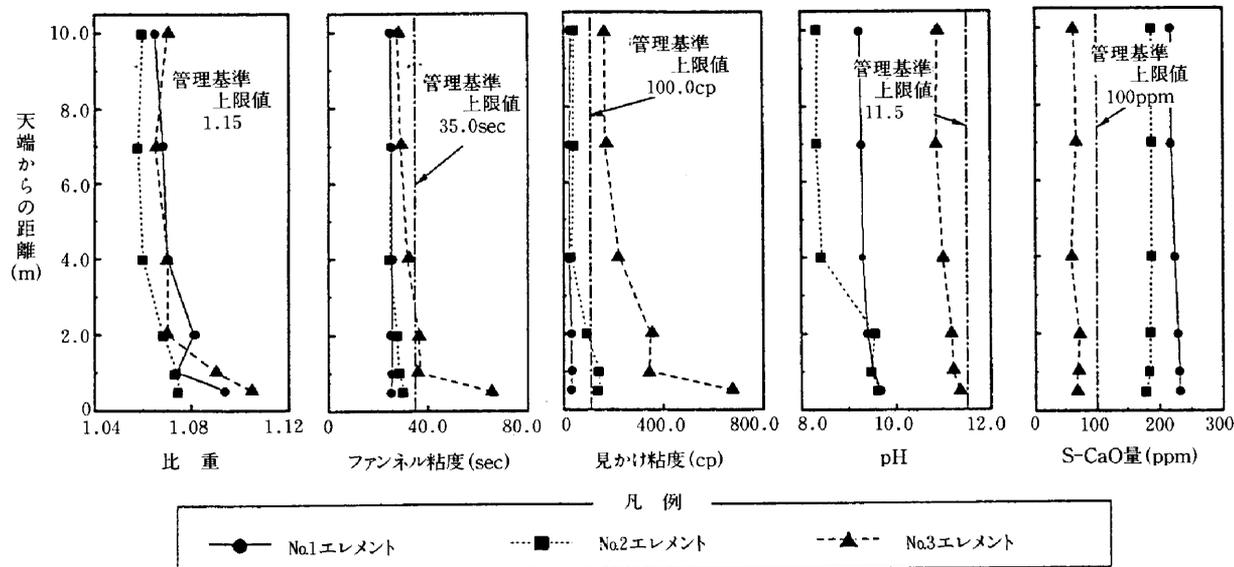


図-7 コンクリート天端からの距離の違いによる品質変化

減⁵⁾が有効であると考えられる。

また、良好な性状を保つためのpH領域およびS-CaO量の上限許容値は、それぞれ9.5~11.0および100ppm程度であると報告されている⁴⁾。今回のpHの結果は、No.1, 2エレメントにおける最大値がともに9.7程度であり、No.3エレメントにおける最大値は11.4であることから、おおそ許容値に一致した。しかし、No.1, 2エレメントのS-CaO量はそれぞれ150ppm以上、250ppm以上と高い値を示し、No.3エレメントだけが100ppm以下となって管理基準値内であった。この傾向は、掘削時の安定液の場合と同様であり、S-CaO量から安定液の劣化の度合いを判断することが不可能であった。

§ 7. おわりに

大深度・厚壁地中連続壁の実験工事に関する安定液の品質管理について検討した結果、以下のことがわかった。

- ①室内再生実験では、重曹はファンネル粘度、見かけ粘度および濾過水量に対し少量で再生効果があり、その効果は使用した再生剤のなかで最も優れていた。分散剤はファンネル粘度、見かけ粘度および濾過水量に対して効果があったが、重曹に比べ添加量を必要とした。CMCは濾過水量のみに効果があった。
- ②室内再生実験では、重曹を単独で最適添加量添加した場合と、重曹の添加量を50%と少なくし、これに分散剤およびCMCを10%ずつ混合添加した場合を比較すると、再生効果は同じであった。
- ③室内再生実験において再生剤を混合添加した場合は、再生後のイオンの混入による劣化防止効果にも優れてい

ることが分かった。

- ④現場再生実験で重曹を単独添加した場合と、室内再生実験で単独添加した場合を比較すると、濾過水量に関する再生効果は現場再生実験の方が少なかった。しかし、再生剤を混合添加すると、劣化した各管理項目がその基準内へと収まり、混合添加の効果が現場規模でも認められた。
- ⑤溶解カルシウム(S-CaO)量により劣化の度合いを判断することは困難であることがわかった。
- ⑥大深度の場合でも、安定液の劣化再生を十分にを行い、溝内安定液の粘性を低くし、スライムの沈降時間を早くすれば、スライム処理は底ざらいだけで可能であることがわかった。

参考文献

- 1) 後藤・渋谷ほか：高強度地中連続壁による地下タンク的设计・施工・東京ガス・袖ヶ浦工場LPG地下タンク、土木技術、Vol.42, No.10, pp.95~104, 1987.
- 2) 野坂・川崎ほか：白鳥大橋主塔基礎における地中連続壁、基礎工、Vol.17, No.10, pp.42~48, 1989.
- 3) 佐野・木村：東京湾横断道路 大直径・大深度地中連続壁的设计・施工、Vol.21, No.1, pp.21~31, 1993.
- 4) 藤崎・今立ほか：pH及びCa²⁺が安定液の性質に及ぼす影響、第24回土質工学研究発表会、pp.1757~1758, 1985.
- 5) 今立・藤崎ほか：炭酸ガスによる安定液の劣化防止方法、第24回土質工学研究発表会、pp.1759~1760, 1985.