

報文

特殊ポリマー安定液を用いた場所打ち杭の施工例

—AWARD-Sapli (アワード・サプリ) 工法—

浅野 均*1 赤木 寛一*2 近藤 義正*3 上原 精治*4 請川 誠*5 下坂 賢二*6

1 はじめに

「AWARD-Sapli工法」は、高吸水性特殊ポリマー剤（以下「GEOSAP」と記す）を500倍前後に吸水膨張させた安定液（以下サプリ安定液と記す）を用いて、掘削地盤の安定性を確保する技術である。GEOSAPは、紙オムツや生理用品、土壌保水材などに使用されている一般の吸水性ポリマーと同様に、内部のイオン濃度が外部の水よりも高く、両者間に生じる浸透圧によって、水分を吸収する性質を持つ。

サプリ安定液は、添加量を調整することで所要の粘性を確保できるとともに、1.01以下の低比重な安定液であり、孔壁に形成される膜厚を薄く抑えることができるため、従来のベントナイト系安定液に比べ、場所打ちコンクリート杭やRC連続壁などの品質の向上や出来形の確保が図れる安定液である。また施工終了時の処分時には、サプリ安定液に分離剤を添加することで、吸水していた水を分離することができることに加え、ベントナイト系安定液と比較して、掘削残土が泥濘化しにくいこと、産廃処分量の減量化が図れる安定液である。

なお本工法は、場所打ち杭工法（アースドリル工法、リバースサーキュレーション工法、TBH工法、BH工法）、プレボーリング工法やRC連続壁工法など、掘削時に安定液で孔壁安定を図る施工法全般に適用でき、コストパフォーマンスに優れた低炭素社会に貢献できる環境配慮型の地盤掘削置換技術である。

2 AWARD-Sapli工法の概要

2.1 GEOSAP

GEOSAPは、カルボキシル基を多数有する三次元に架橋された分子構造をしており、水が触れるとカルボキシル基がイオン化し、親水性が高まった分子鎖は水に溶け込み、さらに、イオン濃度によって生じる浸透圧で分子鎖間に水が入り込み、図-1のように魚網の網目に水が取り込まれた状態となる。外観は白色粉末状（図-1参照：平均粒径35 μ m程度）をしており、概ね500倍前後の水を吸収することで、安定液として適度な粘性を有する性状を示す。

図-2に水1 m^3 に対するGEOSAP添加量とファンネル粘

性との関係の1例を示す。添加量を多くすれば粘性が上がる傾向を示すが、粘性を上げて比重が1.01以下と低比重であり、高粘性・低比重の安定液であることがサプリ安定液の大きな特徴の1つである。従来のベントナイト系安定液¹⁾が1 m^3 あたり50kg前後の材料を添加する必要があるのに対し、サプリ安定液は1kg前後添加すればよいので、作液の省力化が図れるとともに、材料の置き場スペースが少なくすむため、施工ヤードが非常に狭い現場などに特に有効である。

2.2 AWARD-Sapli工法の適用領域

AWARD-Sapli工法は、高吸水性特殊ポリマー安定液（サプリ安定液）を使用して掘削地盤の安定性を確保する技術であり、場所打ち杭工法（アースドリル工法、リバースサーキュレーション工法、TBH工法、BH工法）、プレボーリング工法やRC連続壁工法など、掘削時に安定液で孔壁安定を図る施工法全般に適用できる。

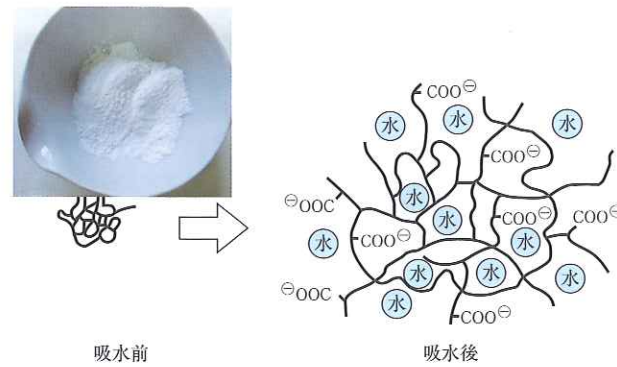


図-2 GEOSAP添加量とファンネル粘性の関係

*1 ASANO Hitoshi	気泡工法研究会 員	戸田建設(株) アーバンレスサンス部 部長	東京都中央区京橋1-7-1
*2 AKAGI Hirokazu	同 上	技術顧問 早稲田大学 理工学術院 教授	東京都新宿区大久保3-4-1
*3 KONDŌ Yoshimasa	同 上	技術顧問 (株) マグマ 代表取締役社長	鎌倉市岩瀬1306
*4 UEHARA Seiji	同 上	会 員 (株) マグマ 技術顧問	同 上
*5 UKEGAWA Makoto	同 上	会 員 戸田建設(株) アーバンレスサンス部 課長	東京都中央区京橋1-7-1
*6 SHIMOSAKA Kenji	同 上	会 員 同 上 主任	同 上

表-1 鉄道構造物等設計標準・同解説による規定

項目	自然泥水	ベントナイト安定液	
定義	ベントナイト濃度3%未満	ベントナイト濃度3~10%	
コンクリート特性値	圧縮、曲げ、引張り、支圧	低減率 $\beta=0.7$	低減率 $\beta=0.6$
	付着強度	$\beta=0.6$	$\beta=0.5$
	ヤング係数	$\beta=0.8$	$\beta=0.7$
	せん断 V_c	$\beta=0.9$	$\beta=0.8$
有効径	支持力 地盤反力係数 算定時	公称径 (場所打ち、深礎杭において掘削機器の大きさを示すために一般に呼称される杭の外径)	同 左
	杭体の剛性 応力度計算	公称径	オールケーシング：公称径 リバース：公称径-5cm アースドリル：公称径-5cm
支持力	最大 周面支持力 (kN/m 2)	砂質土：5N \leq 200 粘性土： $q_u/2$ または 10N \leq 150	砂質土：2N \leq 100 粘性土： $q_u/2$ または 10N \leq 80

3 AWARD-Sapli工法の特徴

3.1 従来のベントナイト系安定液の課題

従来のベントナイト系の安定液の実績は豊富である一方、以下に示す課題が残されている。

第一に、鉄筋にベントナイトが付着して鉄筋の付着強度が低下することや、孔壁にベントナイトが付着して杭の最大周辺摩擦力の低減や杭径が縮小するなどの事例が見られる。鉄道構造物等設計標準・同解説²⁾や道路橋示方書・同解説³⁾などの基準類では、これらの実状を考慮し、表-1に示すように安定液としてベントナイトを使用する場合には、鉄筋の付着強度やコンクリートの各種強度、杭の周辺摩擦力、杭の有効径を低減することなどが規定されている。

第二に、ベントナイト系安定液を使用して掘削した残土は泥濘化しやすく、産廃処分量が増加する傾向にある。さらに、施工中や施工後に処分が必要となるベントナイト系安定液は、全量がバキューム車などによる産廃処分となり、環境負荷の低減の観点からその改善が望まれている。

第三に、透水係数の高い地盤などにはベントナイト濃度を上げる必要があるが、安定液の比重が増大するため、コンクリートとの置換性が低下することになる。

AWARD-Sapli工法は、これらのベントナイト系安定液の諸課題を解決できる技術であり、以下の特徴を有する。

- ① 場所打ちコンクリート杭などの品質向上
- ② 産廃処分量減量化による環境負荷低減
- ③ 施工の合理化

3.2 場所打ちコンクリート杭等の品質向上

3.2.1 孔壁安定性の向上

サプリ安定液は、吸水膨張したGEOSAPによる土粒子間隙部分の目詰め作用と粘性効果により、透水性の高い砂礫地盤においても難透水層を形成し、孔壁の安定性

報文 特殊ポリマー安定液を用いた場所打ち杭の施工例

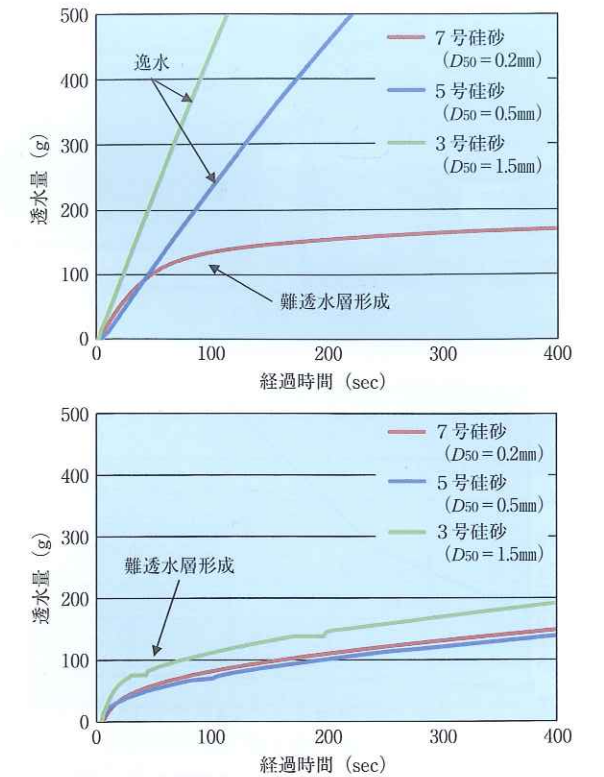


図-3 遮水性試験結果(上：ベントナイト、下：サプリ安定液)

を向上させる。

1) 遮水性試験

ϕ 106mmの円筒容器の下部に模擬地盤を、模擬地盤の上に安定液を配し、模擬地盤下部から出る透水量を測定することにより、遮水性を確認した。模擬地盤をシリカ7号、5号、3号の3種、拘束圧を300kN/m 2 、差圧を20kN/m 2 として、ベントナイト系安定液とサプリ安定液の遮水性を比較した。

図-3にベントナイト系安定液、サプリ安定液の遮水性試験による透水量を示す。ベントナイト系安定液の場合、粒径の粗いシリカ5号および3号では難透水層を形成できなかったのに対し、サプリ安定液はいずれの模擬地盤においても透水係数 10^{-5} cm/sec以下の難透水層を形成でき、孔壁安定性の向上が図れる結果となった。さらに、両安定液が難透水層を形成できるシリカ7号において、難透水層の形成時間が、ベントナイト系安定液91秒に対し、サプリ安定液48秒と約半分の時間であり、サプリ安定液は早期に難透水層を形成する結果が得られた。

2) 掘底部孔壁安定性試験

水槽の中に掘底部角度20度の仕切り板を設置後、仕切り板の片側に試料土（川砂： $D_{50}=0.35$ mm）を、その反対側にサプリ安定液を充填した後、写真-1に示すように仕切り板を撤去することで、優れた孔壁面の安定性を確認した。

3.2.2 出来形確保性の向上

従来工法であるベントナイト系安定液は、マッドケーキを形成することで孔壁を安定させるが、逸水量の増大や比重の増大、コンクリートとの接触などにより、孔壁にマッドケーキが厚く付着する傾向があり、杭の出来形

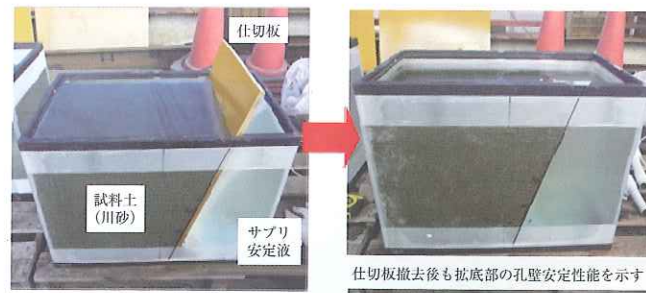
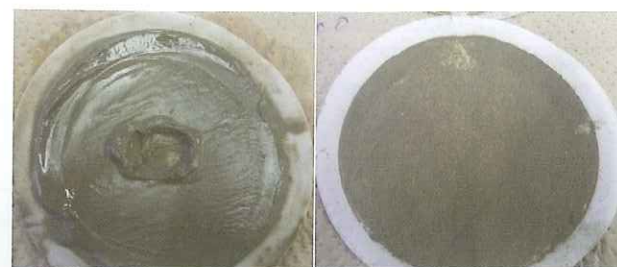


写真-1 拡底部の孔壁



ベントナイト安定液のろ膜 サブリ安定液のろ膜
写真-2 ろ膜形成状況

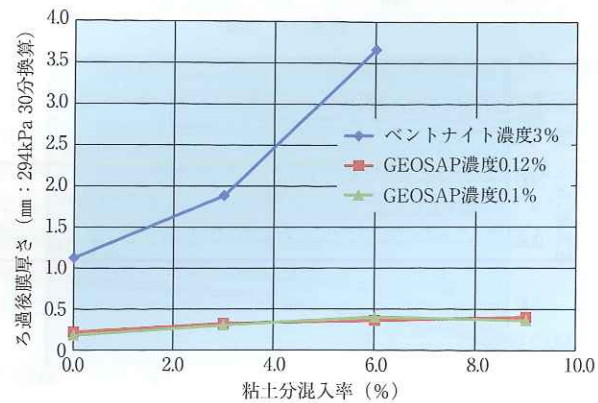


図-4 粘土分混入率とろ膜厚さ



分離剤添加前 分離剤添加後の分離状況
写真-3 サブリ安定液の産廃処分減量化

上する結果となった。

3.2.4 コンクリート置換性の向上

ベントナイト系安定液の作液時の比重 (1.03~1.05程度) に対して、サブリ安定液の比重は1.01未満と低比重となるため、コンクリート打設時の置換性にとって有利となる。コンクリートとの置換が確実にされることを室内試験および実施工で確認している。

3.3 産廃処分量の減量化

ベントナイト系安定液を使用して掘削した残土は、ベントナイトの影響により泥濘化しやすく、一般残土として取り扱うことが難しく、産廃処分量が増加する傾向にある。サブリ安定液は、ベントナイトが混入しないので泥濘化しにくく、産廃処分量の減量化が期待できる。さらに、施工終了時に安定液を処分する場合、ベントナイト系安定液はバキューム車などによる全量産廃処分となるのに対し、サブリ安定液は分離剤添加でポリマー成分と浮遊土砂が水分と分離できるため、比重1.1以下では産廃処分量を約1/2~1/4に減量化できる (写真-3参照)。

3.4 施工の合理化

ベントナイト系安定液は水1m³に対して50kg前後のベントナイトを添加するが、サブリ安定液は水1m³に対して1kg程度の添加ですむので、作液時の省力化が図れる。また、ベントナイトのように泥濘化しないので、現場作業環境が改善するとともに、掘削カッターなどへの粘性土の固着が抑制できるため、掘削効率の向上が期待できる。

4 実現場への適用

4.1 アースドリル工法

アースドリル工法により鉄道高架橋の基礎杭を施工した事例を以下に示す。

4.1.1 施工概要

杭の諸元等は杭径φ1,200mm×掘削長9m×52本であ



写真-4 リバース掘削機による施工状況

り、掘削土層は上部ローム層で、下部は砂礫層である。特に下部の砂礫層は透水性が高く、ベントナイト系安定液を使用して著しい逸水が生じた地層である。

4.1.2 サブリ安定液の性状

透水性の高い砂礫層に対応するため、掘削時のファンネル粘性を30秒程度に管理した。作液時の比重は1.01であり、掘削を繰り返しても極端に上昇することはなく、1.02~1.03と安定していた。

4.1.3 安定液の最終処分

杭施工完了時に、スラッシュタンク内に残った約8m³の安定液に分離剤 (塩化カルシウム) 約15kgを投入し、ポンプにて攪拌し浮遊土砂を沈降分離させることで、安定液の産廃処分量を1/4に減量化できた。

4.2 リバースサーキュレーションドリル工法

リバースサーキュレーションドリル工法で、道路高架橋基礎杭を施工した事例を以下に示す (写真-4参照)。

4.2.1 施工概要

杭の諸元等は杭径φ1,500mm×掘削長67.5m×4本であり、掘削土層は砂質土と粘性土の互層である。

4.2.2 サブリ安定液の性状

掘削深度が深いリバース工法であることから、ファンネル粘性を20秒前後と低粘性として掘削・管理した。比重は、1本目の杭施工時には1.04とそれほど大きな上昇なかったが、2本目以降の杭施工では上昇傾向を示した。比重が高比重になると掘削効率が低下するため、掘削効率が低下しないように比重1.0の新液を注ぎ足し、比重を1.1以下に管理した。

4.2.3 安定液の最終処分

比重が高くなった液は適量廃棄槽に送り、分離剤を添加して廃棄汚泥の減量化を図った。比重1.15の安定液を分離し、産廃処分量を約2/3に減量化できた。

4.3 TBH (トップドライリバース) 工法

TBH工法により鉄道高架橋の基礎杭を施工した事例を以下に示す (写真-5参照)。

4.3.1 施工概要

杭の諸元等は杭径φ1,500mm×掘削長29m×5本であり、掘削土層は砂質土とシルトの互層である。

4.3.2 サブリ安定液の性状

ファンネル粘性を21~25秒程度に管理した。サイクロンスクリーンを配置して、サブリ安定液を転用使用し掘削した。1~3本目の削孔までは、比重は1.03~1.10と



写真-5 TBH掘削機による施工状況

安定していたが、循環槽に溜ったスライムを除去しなかったため、安定液中に溶け込むことで比重が上がり、最終的には1.18まで上昇した。

4.3.3 安定液の最終処分

ベントナイト安定液と比べ、循環水槽での細粒分沈降が早いので、GEOSAP、増粘剤を循環液に適宜投入することで、掘削中安定液を処分することなく転用使用できた。

各槽とも粘性の高いスライムが底だまりしている状態となり、分離は困難状態であった。

4.4 BH工法

BH工法により、地盤のすべり抑止杭を施工した事例を以下に示す。サブリ安定液は、低比重・高粘性の安定液を作液できるため、杭の品質向上と掘削効率との両立が期待できる。

4.4.1 施工概要

杭の諸元等は杭径φ600mm×掘削長17m×13本であり、掘削土層は粘土混り細砂である。

4.4.2 サブリ安定液の性状

ファンネル粘性40~50秒、比重1.01の高粘性・低比重のサブリ安定液で掘削を行った。掘削土は、高粘性液質のサブリ安定液によって地上部に運ばれ、十分な掘削効率が確保できた。ただし掘削土層は、0.85mmふるいで通過質量百分率が99.8%という細粒分の多い粘土混り砂であった。そのため、サイクロンスクリーンを配置していたものの、ほとんどの掘削土が安定液中に溶け込んで比重が上がり、安定液を薄めることを余儀なくされたため、サブリ安定液を効果的に転用使用することができなかった。しかし、掘削土を地上部へ運搬することがサブリ安定液によって可能となったことが実証できたため、サイクロンスクリーンで掘削土の大半が除去できる地山条件であれば、低比重・高粘性の安定液として転用使用の効率化が図れ、BH工法においてもサブリ安定液の特徴を十分に活かせると考えられる。

参考文献

- 1) (株)日本基礎建設協会：場所打ちコンクリート杭の施工と管理、平成21年6月。
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 (基礎構造物・抗土圧構造物)、平成12年6月。
- 3) 道路橋示方書・同解説 (下部構造編)、平成14年3月。
- 4) 2007年制定 コンクリート標準示方書 規準編、平成19年5月。