

# 博士論文概要

## 論文題目

高吸水性ポリマー材を利用した地盤掘削安定液の基本性状と場所打ち杭工法への適用

Utilization of a Superabsorbent Polymer Suspension for The Cast In-situ Pile Construction

申請者

浅野	均
Hitoshi	ASANO

2017年12月

安定液で掘削地盤の孔壁を保持する場所打ち杭工法は、1930年頃にヨーロッパで開発され、日本においては既製杭の打設に伴う騒音・振動が建設公害として社会問題化した1960年代から徐々に採用されるようになった。この場所打ち杭工法に用いられる地盤掘削安定液は、初期の頃はベントナイトを主材とした懸濁液であったが、地中連続壁工法における研究・開発を背景に、安定液の増粘性やろ水減少効果を目的にCMC (Carboxy-Methyl Cellulose) が1970年代より使用されはじめ、現在使用されている安定液はCMCを一部含むベントナイト系安定液が広く採用され、土質等の条件により配合割合を変化させて使用されている。

場所打ち杭工法の安定液は可能な限り繰り返し使用されるが、掘削土砂の混入やコンクリート打設時のセメント成分の影響などによって徐々に性能が低下する。この劣化した安定液は産業廃棄物の「汚泥」として処分されるが、近年、最終処分場の不足、遠隔化などの問題が顕在化している。また、既往のベントナイト系安定液は、実績は豊富である一方、孔壁にベントナイトが付着して杭の最大周面摩擦力や有効杭径が減少することや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などの品質上の課題があり、これらの課題の解決が望まれている。

本研究は、既往のベントナイト系に代わる新たな地盤掘削安定液として、外的条件変化によって吸水状況が変動する特性や逸泥防止材料としての優れた遮水性能が知られている高吸水性ポリマー材に着目し、高吸水性ポリマー材を懸濁した安定液を考案し、その基本的性状の調査と既往の場所打ち杭工法用掘削安定液との性能比較をもとに、上記の産業廃棄物の低減や杭の品質改善につながることを、国内外で初めて実験的に調査したものである。特に、この安定液をアースドリル工法とリバース工法による場所打ち杭工法の現場に適用し、その管理手法を考案するとともに産廃処分量の低減効果及びコスト改善効果を実証した。

本論文の構成は7章からなり、以下に各章の概要を述べる。

第1章では、高吸水性ポリマー材(以下、ポリマー材)を利用した安定液の開発の目的と地盤掘削用安定液として必要な機能を明らかにするとともに、本論文の構成と各章の概要を要約した。

第2章では既往の地盤掘削用安定液全般について整理を行い、孔壁安定性や流動性に係る施工上の課題、場所打ち杭本体構造に与える影響などを明らかにした。

また、建設分野でのポリマー材の利用例を調査し、この材料を地盤掘削用安定液に応用した場合における流動性・孔壁安定性・安定液の最終処分時の減量化などの優位性が期待できる機能を明確化した。

第3章では、高吸水性ポリマー安定液(以下、ポリマー安定液)を、場所打ち杭工法における孔壁の安定性と掘削、コンクリート置換性を成立させるために必要な粘性を配合・調整できることを前提とした「水(溶媒)と吸水膨張させたポリマー材が懸濁した溶液」と定義し、ポリマー材の材料特性とポリマー安定液の基本性状を実験的に解明した。ポリマー安定液の基本性状を実験的に調査するために、

ポリマー安定液の作成方法を定め、その性状に影響する比重・ろ過水量・膜厚・pH・電気伝導率・溶媒の塩分濃度・温度などの測定項目を抽出し、ポリマー材の添加率とポリマー安定液の粘性及び比重の関係、使用溶媒の電気伝導率と吸水倍率との関係を実験的に明らかにした。その結果、ポリマー材の吸水膨張の程度にかかわらず、ポリマー安定液の性能を支配する粘度はポリマー材に吸着された水分を除く余剰水率に依存することを示した。

第4章は、ポリマー安定液の場所打ち杭工法への適用性について、第2章で示した既往の安定液の施工上の課題と場所打ち杭本体構造に与える影響の観点から、各種室内実験を通じて検証した内容についてまとめたものであり、ポリマー安定液実用化の核心となる章である。

まず施工上の課題となる孔壁安定性については、安定液の遮水性能確認試験装置を用いて、粒径の異なる模擬砂地盤に対するポリマー安定液と既往のベントナイト系安定液の遮水性能を比較した。その結果、遮水性能を発揮できる適用地盤の粒径範囲がベントナイト系安定液よりも広く、かつ遮水性能を発揮するまでに要する時間も短いことが判明し、優れた遮水性能を有することがわかった。

流動性については、既往の安定液の流動性を表す指標であるファンネル粘性に着目して、ポリマー安定液のファンネル粘性を調査した。第3章で得られた余剰水率と粘度の関係から、余剰水率とファンネル粘性の関係式を求めた。

適用深度については、加圧が可能なベーンせん断試験装置を用いて、掘削深度50m程度に相当する地下水圧下におけるポリマー安定液と水道水のベーンせん断抵抗を比較した。その結果、加圧に伴いポリマー安定液のベーンせん断抵抗は微増するものの水道水と同程度であることを確認した。

ポリマー安定液は、塩化カルシウムなどの二価の金属イオンを添加して余剰水を含む溶媒の電気伝導率を上昇させることでポリマー材に吸着されていた水が溶出する。これにより懸濁状態が崩れてポリマー材が土粒子とともに沈降し、安定液の上部に排水基準を満足する水が分離でき、廃液処分量の減量化が図れる。ポリマー安定液は比重によって土砂分離度が変わるため、比重の異なる安定液の分離試験を実施し、安定液の比重が1.05以下であれば分離度70%以上が確保できるが、比重が大きくなると分離度が低下する傾向があることを確認した。

次に、場所打ち杭本体への影響を明らかにするために、コンクリートの置換性・杭本体の出来形に影響する泥膜厚さ・鉄筋とコンクリートとの付着性能への影響に係る実験をおこなった。まず杭本体を造成するコンクリートの置換性については、水槽内に満たしたポリマー安定液にコンクリートを底部から打設して置換性に問題がないことを確認した。杭本体の出来形に関係する泥膜厚さについては、既往の安定液のろ過試験装置を用いて、安定液中の粘土分混入率を変化させた場合のポリマー安定液と既往のベントナイト系安定液のろ紙に付着した泥膜厚さを比較した。その結果、既往の安定液では粘土分混入率の増加に伴い泥膜厚さが

1mm 程度から急激に増大するのに対して、ポリマー安定液の場合は 0.5mm 程度で十分薄く、粘土混入率に無関係に一定であることを確認し、泥膜によるマッドケーキの増大で杭径を縮小させる恐れがないことがわかった。鉄筋とコンクリートとの付着性能への影響については、安定液をコンクリートで置換して作製した供試体の鉄筋引き抜き試験を実施し、既往の安定液より付着応力度が約 4~7% 向上する結果が得られ、杭本体の品質向上が期待できると判断された。

さらに、ポリマー安定液の環境特性（材料特性・温度特性・紫外線の影響・pH の影響）についてもそれぞれ調査及び実験をおこない、環境破壊につながることもなく、かつ通常の施工条件において施工性を阻害することもなく、既往の安定液と比べ優れた特性を有した場所打ち杭工法の安定液として適用できることを確認した。なおポリマー安定液の長期安定性を保つための増粘剤の効果確認実験をおこない、安定液中に累積する細粒分による劣化を抑制できることを確認した。

第 5 章では、第 4 章までに得られた室内実験結果に基づいて、ポリマー安定液を実際に現場で使用するための管理手法を検討した。管理項目及び管理限界値については、既往の安定液で通常使用するものにポリマー材の吸水特性に関係する使用溶媒の電気伝導率を加えた内容とし、現場管理手法としては、現場使用水及び地下水の調査、安定液の試験練り・配合計画、現場配合及び施工中の管理、安定液の破棄という手順でフロー図を準備した。

第 6 章では、第 5 章で示したポリマー安定液の現場管理手法を実際の場所打ち杭施工(アースドリル工法, リバース工法)に適用し、その妥当性を検証した。

アースドリル工法については、掘削長 34m で杭径 1~1.5m 程度の 74 本、掘削長 53.7m で杭径 1.7~1.9m の 20 本の 2 現場でポリマー安定液による場所打ち拡底杭施工を特段のトラブルもなく連続施工し、掘削残土の泥濘化が抑えられたため一般残土として取り扱うことができた。リバース工法についても、掘削長 35.5~37m で杭径 1.5~2.5m の 5 本の杭を特段のトラブルもなく連続施工できた。

施工中における深度方向でのポリマー安定液の比重・ファンネル粘性・電気伝導率は深度ごとにばらつきもなく一定していることを確認し、安定液として優れた性状を有しているとともに、第 5 章で示した管理手法が現場管理手法として使用できることを実証した。

また、アースドリル工法の杭 20 本の現場では安定液の最終処分時で約 80% の分離に成功し、リバース工法の現場では安定液の最終処分時では比重 1.1 以上であったが約 29% の分離に成功し、廃液処分量の低減効果が実証された。

ポリマー安定液と既往の安定液との経済性比較では、約 32% の材料コスト低減に加え、安定液及び掘削残土の産廃処分量の低減効果によるコスト低減により、ポリマー安定液はコスト改善効果も期待できることがわかった。

第 7 章は本論文の結論であり、本研究で得られた主要な結果を総括するとともに、今後の課題について要約した章である。

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名： 浅野 均 印

(2017年12月1現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
1. 論文 ○論文	高吸水性ポリマー材を利用した地盤掘削安定液の基本性状と場所打ち杭工法への適用、土木学会論文集 F1, Vol. 73 , No. 2 , pp. 71-87、2017年10月、 <u>浅野均</u> , 下坂賢二, 赤木寛一, 近藤義正
○論文	高吸水性ポリマー掘削安定液のアースドリル工法への適用、第59回地盤工学シンポジウム論文集、21-3、pp. 693~698、2014年11月、 <u>浅野均</u> , 赤木寛一, 近藤義正
2. 講演 ○講演	高吸水性ポリマーを添加した地盤掘削用安定液の基本性状、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol 69、III-234、2014年9月、岩崎光紀, 赤木寛一, <u>浅野均</u> , 請川誠, 下坂賢二
○講演	特殊吸水性ポリマー安定液による地盤掘削技術(AWARD-Sapli 工法)の開発、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol 68、VI-042、2013年9月、請川誠, 赤木寛一, 近藤義正, <u>浅野均</u> , 下坂賢二
○講演	高吸水性ポリマーを用いた地下水流保全型山留め壁工法の研究開発、第11回地盤工学会関東支部発表会、2014年10月、佐藤雅恵, 赤木寛一, 岩崎光紀, <u>浅野均</u> , 請川誠, 下坂賢二, 近藤義正, 上原精治
○講演	高吸水性ポリマーを添加した地盤掘削用安定液の開発、第10回地盤工学会関東支部発表会、2013年10月、坂本達也, 赤木寛一, 岩崎光紀, <u>浅野均</u> , 請川誠, 下坂賢二, 近藤義正, 上原精治
○講演	気泡掘削による深層混合処理工法(AWARD-Demi 工法)の開発、土木学会「土木建設技術発表会2014」、pp191-196、2014年11月26日、下坂賢二, 赤木寛一, 近藤義正, <u>浅野均</u> , 三反畑勇, 安井利彰, 俵豊光
○講演	AWARD-Demi 工法のフィールド試験(その3:品質評価)、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol69、VI-671、2014年9月、安井利彰, 赤木寛一, 近藤義正, 土屋敦雄, <u>浅野均</u>
○講演	気泡安定液の溝壁安定化機構について、土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集、Vol 39、III-1、2012年9月、野口欣彦, 赤木寛一, 松田光, <u>浅野均</u>
○講演	WARD-Demi 工法の開発(その3:施工試験結果)、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol 67、VI-302頁、2012年9月、安井利彰, 赤木寛一, 近藤義正, 土屋敦雄, <u>浅野均</u>
講演	新型雨水貯留浸透施設工法の開発、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol 70、VI-258頁、2015年9月、下坂賢二, <u>浅野均</u> , 請川誠, 田中孝, 津田和義, 朝妻雅博, 竹森敬介
講演	穴あき帯状鋼板によるコンクリートのひび割れ抑制効果について、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol 69、VI-328、2014年9月、関根一郎, <u>浅野均</u> , 田中徹
講演	A 外殻先行トンネル構築法におけるボルト拘束型モルタル充てん継手の開発、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol 66、pp95-96、VI-048、2011年9月、請川誠, <u>浅野均</u> , 下坂賢二
講演	鉄道連続立体交差事業における新しい直上高架化工法の開発(その1)、土木学会年次学術講演会講演概要集 第6部 Vol 66、pp657-658、VI-329、2011年9月、小林修, <u>浅野均</u> , 佐藤郁
講演	鉄道連続立体交差事業における新しい直上高架化工法の開発(その2)、土木学会年次学術講演会講演概要集 第6部 Vol 66、pp659-660、VI-330、2011年9月、小川伸也, <u>浅野均</u> , 小林修, 佐藤郁

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	主桁分割型合成セグメントの開発、土木学会年次学術講演会講演概要集 第6部 Vol165、pp455-456, VI-228、2010年9月、請川誠、 <u>浅野均</u> 、下坂賢二
講演	開削地下構造物の急速構築技術(さくさく SLIT 工法の開発)、土木学会年次学術講演会講演概要集 第6部 Vol164、pp399-400, VI-200、2009年9月、請川誠、 <u>浅野均</u> 、下坂賢二、辻利幸、宇田川徳彦
講演	分割プレキャスト円管接合法の開発、土木学会年次学術講演会講演概要集 第6部 Vol164、pp237-238, VI-119、2009年9月、小林修、 <u>浅野均</u> 、佐藤郁、山中典幸、安井賢太郎
講演	障害物直下のソイルセメント壁構築技術(SWING ウォール工法の開発)、土木学会年次学術講演会講演概要集 第6部 Vol163、pp531-532, VI-266、2008年9月、請川誠、 <u>浅野均</u> 、茂雅夫、 <u>野野知明</u> 、下坂賢二
講演	プレキャストアーチ式高架橋の静的載荷・振動試験、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol162、6-029、2007年9月、 <u>浅野均</u> 、請川誠、佐藤郁、小林修
講演	プレキャストコンクリート製塔状構造物の強度性能に関する実験的研究、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol162、6-028、2007年9月、野本禎久、 <u>浅野均</u> 、請川誠、山中典幸
講演	プレキャストアーチ式高架橋「すいすい SWAN 工法」の開発、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol161、6-183、2006年9月、小林修、 <u>浅野均</u> 、請川誠、佐藤郁、宇田川徳彦
講演	プレキャストアーチ式高架橋「すいすい SWAN 工法」実物大組立性能確認試験、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol161、6-184、2006年9月、佐藤郁、 <u>浅野均</u> 、請川誠、小林修、宇田川徳彦
講演	立体交差急速施工に係わる橋脚柱先行建て込み工法の性能確認試験結果、土木学会年次学術講演会講演概要集第6部 Vol160、6-038、2005年9月、小林修、福井次郎、 <u>浅野均</u> 、請川誠、新田明
講演	立体交差急速施工に係わる橋脚柱先行建て込み工法の適用性について、土木学会年次学術講演会講演概要集第6部 Vol159、6-154、2004年9月、小林修、 <u>浅野均</u> 、中谷眞二、新田明
講演	立体交差急速施工技術「すいすい MOP 工法」上部工施工試験、土木学会年次学術講演会講演概要集第6部 Vol159、6-155、2004年9月、神宮敏樹、大波修二、栗原正幸、 <u>浅野均</u> 、小林修
講演	立体交差工事における二次渋滞の回避を狙った急速施工法の開発、土木学会年次学術講演会講演概要集第6部 Vol158、565-566、2003年9月、朝倉弘明、 <u>浅野均</u> 、中谷眞二、新田明、大波修二
講演	急速立体交差施工技術「すいすい MOP 工法」の開発、(社)日本道路協会、第25回道路会議、2003年11月、 <u>浅野均</u> 、朝倉弘明
3. その他	
○その他	特殊ポリマー安定液を用いた場所打ち杭の施工例 AWARD(アワード)-Sapli(サプリ)工法、基礎工、Vol. 42、No. 3、pp. 46-49、2014年3月、 <u>浅野均</u> 、赤木寛一、近藤義正、上原精治、請川誠、下坂賢二
その他	大口径プレキャスト円管を利用した風力発電設備の開発、基礎工、1月号、2009年1月、小林修、 <u>浅野均</u> 、山中典幸、安井賢太郎
その他	開削地下構造物の急速構築技術「さくさく SLIT 工法」の開発、電力土木、5月号、2011年5月、請川誠、 <u>浅野均</u>
○特許	地盤掘削用膨潤高吸水性ポリマー安定液組成物及びこれを用いた施工法、特許第6113433号、2017年3月24日登録、赤木寛一、近藤義正、上原精治、 <u>浅野均</u> 、請川誠

## 早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○特許	段階式固化施工法、特許第 5513182 号、2014 年 4 月 4 日登録、赤木寛一、近藤義正、土屋敦雄、 <u>浅野均</u> 、請川誠
○特許	鋼殻エレメントの継手構造、特許第 6115956 号、2017 年 3 月 31 日登録、 <u>浅野均</u> 、請川誠、下坂賢二
特許	浮体式洋上風力発電設備、特許第 6108445 号、2017 年 3 月 17 日登録、佐藤郁、 <u>浅野均</u> 、宇都宮智昭、吉田茂雄
特許	セグメントの継手構造、特許第 5752909 号、2015 年 5 月 29 日登録、 <u>浅野均</u> 、請川誠、下坂賢二
特許	地下構造物の構築方法及び地下構造物並びにそのためのプレキャストコンクリート部材、特許第 5513867 号、2014 年 4 月 4 日登録、 <u>浅野均</u> 、請川誠、下坂賢二、辻利幸
特許	直上高架橋の基礎工用施工装置及び施工方法、特許第 5477898 号、2014 年 2 月 21 日登録、 <u>浅野均</u> 、小林修、佐藤郁
特許	地盤浸透機能を備えた雨水貯留構造物、特許第 5190287 号、2013 年 2 月 1 日、 <u>浅野均</u> 、請川誠、小林修、佐藤郁、野本禎久、村野耕作、山中典幸、安井賢太郎
特許	直上高架橋の施工装置及び施工方法、特許 5187969 号、2013 年 4 月 24 日、 <u>浅野均</u> 、小林修、佐藤 郁
特許	合成セグメント、特許 5160521 号、2013 年 3 月 13 日、 <u>浅野均</u> 、請川誠、下坂 賢二
特許	プレキャストコンクリート壁体の止水構造及びその施工方法、特許第 4836276 号、2011 年 10 月 7 日登録、 <u>浅野均</u> 、請川誠、下坂賢二、辻利幸、宇田川徳彦
特許	地中貫入体のための止水装置及びこれを用いた地中貫入体の施工方法、特許 4833089 号、2011 年 12 月 7 日、小玉正文、利根誠、日向利行、多田幸司、請川誠、下坂賢二、 <u>浅野均</u> 、浅井康彦、藤森英男、石本典義
特許	地下構造物の構築方法、特許第 4881555 号、2012 年 2 月 22 日、 <u>浅野均</u> 、請川誠、朝倉弘明、小林修、神谷章、渡辺敬一、辻利幸、宇田川徳彦
特許	軽量盛土構造及びそのための樹脂発泡ブロック体並びにその構築方法、特許第 4747011 号、2011 年 5 月 20 日登録、 <u>浅野均</u> 、請川誠、小林修、下坂賢二、山下剛志、山田浩久
特許	立体高架橋構造の施工方法、特許第 4680803 号、2011 年 2 月 10 日登録、 <u>浅野均</u> 、請川誠、小林修、下坂賢二、辻利幸、宇田川徳彦
特許	プレキャスト工法による変断面塔状構造物、特許第 4494282 号、2010 年 4 月 16 日、 <u>浅野均</u> 、請川誠、小林修、佐藤琢己、野本禎久、村野耕作
特許	シールド掘進機及びそれを用いた地下空間の構築方法、特許第 4461274 号、2010 年 2 月 26 日、 <u>浅野均</u> 、請川誠、吉沢武久、浅井康彦、柳楽毅、杉山雅彦、室延明、小松典彦
特許	外壁パネルの取付け構造及び外壁パネルの組立方法、特許第 4415081 号、2009 年 12 月 4 日登録、福井次郎、 <u>浅野均</u> 、請川誠、小林修
特許	多軸作業ロッド掘削機を用いた拡幅掘削のアタッチメント・拡幅掘削方法及び装置、特許第 4385198 号、2009 年 10 月 9 日、 <u>浅野均</u> 、請川誠、内藤欣雄、柳楽毅、茂雅夫、平川悦雄
特許	地下水流動保全工法、特許第 4274898 号、2009 年 3 月 13 日登録、 <u>浅野均</u> 、請川誠、柳楽毅
特許	道路立体交差施工方法及び橋脚接続構造、特許第 4004423 号、2007 年 8 月 31 日登録、 <u>浅野均</u> 、朝倉弘明、林光芳、落合正水、町田佳則、立田浩研、大波修二、北嶋杉生、栗原正幸、菱木孝浩、長澤大次郎、新田明、中谷眞二