

## 循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の研究

## A STUDY ON CASING CYCLIC SHEAR REMOVAL METHOD USING CIRCULATED AGITATION

田口 智也\*<sup>1</sup>

Tomoya TAGUCHI

Construction work in urban areas often involves the removal of existing piles. The most widely used method at present is the casing edge cutting extraction method. The backfilling part is not necessarily in a stable state because of problems such as the method of placing the backfilling material, the stirring method, and the properties of the drilling slurry are unknown. Therefore, a new method called the casing edge cutting extraction method using circulating stirring is proposed to solve the problems caused by the backfilling process of the casing edge cutting extraction method.

In this paper, modeling experiments and in-site tests were conducted for the purpose of confirming the state of agitation of the circulating agitation method, establishing the construction method, and confirming the quality of the backfilling section. The following results were obtained.

- 1) The results of the modeling experiments show that drilling slurry and backfill material could be mixed uniformly by using a mechanical agitation method in combination with the circulated agitation method.
- 2) The results of the in-situ construction experiment were generally satisfactory, and the uniaxial compressive strength and wet density of the backfilled soil increased with depth. In addition, the effectiveness of the circulating stirring method for cement bentonite milk and drilling slurry was confirmed.

**Keywords:** Existing Piles, Cyclic Shear Removal Method, Backfill, Circulated Agitation

既存杭, 縁切引抜工法, 埋戻し, 循環攪拌

## 1. はじめに

都市部での新築工事では、既存杭撤去を伴うことが常態化してきている。既存杭を撤去した部分は、原地盤に戻らず埋戻し部になるが、埋戻し部の状態によっては、新設杭の設計や施工に大きな影響があり、昨今この問題に警鐘を鳴らした文献<sup>1)</sup>も確認できる。

既存杭撤去で多く採用されている工法は図1に示すケーシング縁切引抜き工法（以下、縁切引抜工法）であるが、縁切引抜工法の埋戻しは必ずしも安定した状態とはならない。その原因として、埋戻し部の生成過程に起因する課題を以下の3点挙げた。

- ①縁切引抜工法は、ケーシング削孔により地盤との縁を切り、既存杭の浮力の確保と孔壁保護のためセメントミルク等の埋戻し材を注入しながら、既存杭を引抜く。しかし、長尺や大径杭等で、引抜きに長時

間を要する場合、注入した埋戻し材が硬化してしまう課題がある。

- ②引抜き後の撤去孔は、おおむね上部が埋戻し材、下部が土塊を含む泥水の2層になり、下部が著しい脆弱部となるため、この状態で新設杭を施工すると孔曲がりや孔壁崩壊する可能性がある。そのため、埋戻し材と泥水を攪拌する必要があるが、現在広く行われている攪拌方法では混合が不十分であることが多い現状がある<sup>1)</sup>。

- ③撤去孔に溜った泥水は、杭周面の土砂・土塊、地下水だけでなく、削孔水・機材の洗い水等も含まれるため、その性状は不明確かつ不安定で、たとえ泥水と埋戻し材を均質に攪拌できたとしても混合体の強度は一定にならないことが想定される。

以上のような課題を分析した結果、解決するための手段として、循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法（以下、循環攪拌工法）を提案する。本論では循環攪拌工法の攪拌状態の確認、施工方法の確立、埋戻し部の品質確認を目的に実施した室内模型実験および原位置施工実験について報告する。

## 2. 循環攪拌工法の施工手順

本論で提案する循環攪拌工法の施工手順を図2および以下に示す。施工方法の課題解決にあたっては、可能な限り既存の技術や機材を活用することとした。

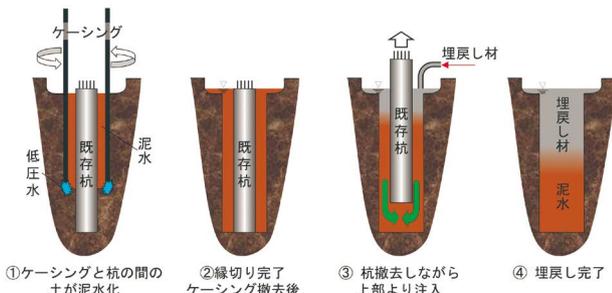


図1 標準的な縁切引抜工法の手順<sup>1)</sup>

\* 1 戸田建設(株)技術研究所 修士(工学)

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

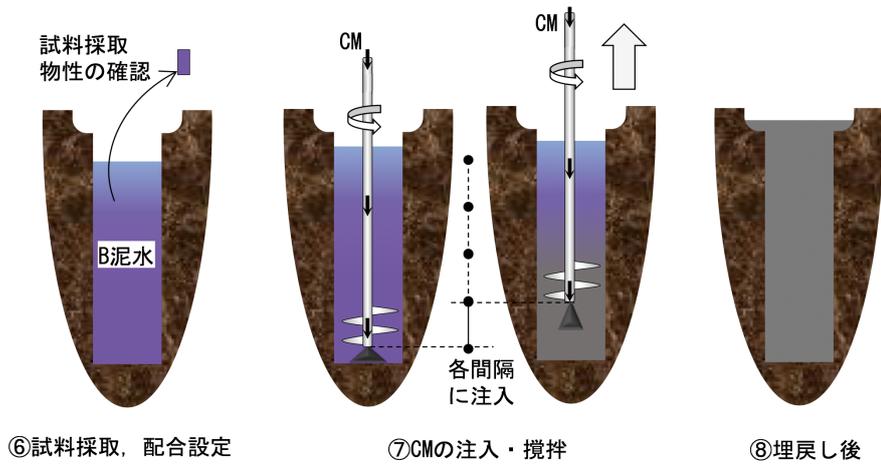
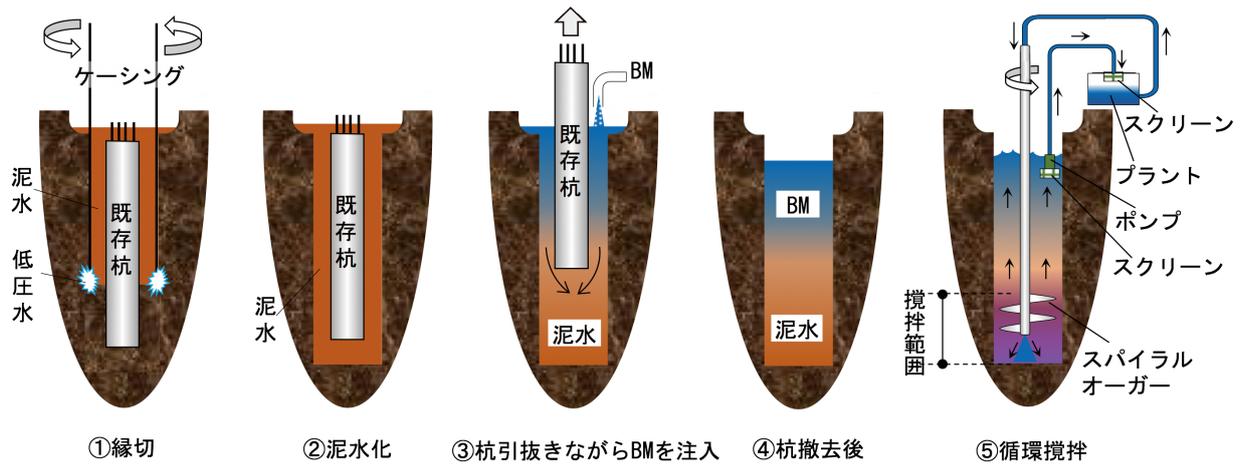


図2 循環攪拌を用いた縁切引抜き工法の手順図

- ①地盤と既存杭との縁を切る。
- ②既存杭周辺の泥水化。一般の縁切引抜き工法と同様。
- ③既存杭を引抜きながら、ベントナイトミルク（以下、BM）を上部より注入する。固化材を使用しないため、引抜きおよび切断に要する時間が確保され複数日にわたる引抜きにも対応できる。（課題①の対策）。
- ④既存杭撤去後の撤去孔は、概ね上部がBM、下部に泥水および土塊が堆積する。
- ⑤先端に攪拌翼を有する注入管を建て込む。BMと泥水を孔口より回収し、プラント等のポンプで圧送して注入管先端より孔内に注入し循環攪拌させる。孔内には土塊が点在するため、管の詰まり防止として地上部のプラントでスクリーンを設ける。BMと泥水の混合物（以下、B泥水）の密度等を経時で観測し攪拌程度を評価する（課題②対策）。
- ⑥循環攪拌後のB泥水の密度・体積等の計測より、掘削水・機材の洗い水・地下水を含む孔内水量、および土量を計算し、セメントミルク（以下、CM）の配合・注入量の設定をする（課題③対策）。
- ⑦⑥で定めた注入量のCMを注入する。注入量は、あらかじめ定めた注入範囲区間ごとに必要な量を注入する。CM注入によりB泥水のゲル化を伴うため、あ

せてスパイラルオーガーによる攪拌を行い埋戻し部の均質化を図る。

### 3. 室内模型実験

#### 3.1 実験目的・概要

循環攪拌工法の攪拌状態を確認することを目的に室内模型実験を実施した。模型実験は2回に分けて行い、模型実験Ⅰでは循環攪拌による攪拌性能を確認した。その結果、孔先端の隅角部に砂などが堆積したため、物理的な攪拌の必要性があると考えた。模型実験Ⅱでは循環攪拌に加えて機械攪拌またはエアブロー攪拌（以下、エア攪拌）を併用することを想定した。以下は模型実験Ⅱの内容について述べる。模型実験Ⅰの詳細については文献<sup>2), 3)</sup>を参照されたい。

#### 3.2 模型実験Ⅱ

##### (1) 実験装置

図3に実験装置を示す。杭撤去孔を模した内径400mmのボイド管、ボイド管上部より試料の回収をする回収管、回収用のモルタルポンプ、回収した試料を送水用のモルタルポンプへ送るためのホッパー、送水用のモルタルポンプ、ボイド下部より試料を吹き出す注入管と注入管を回転させるモーターと注入管へ空気を送り込むコン

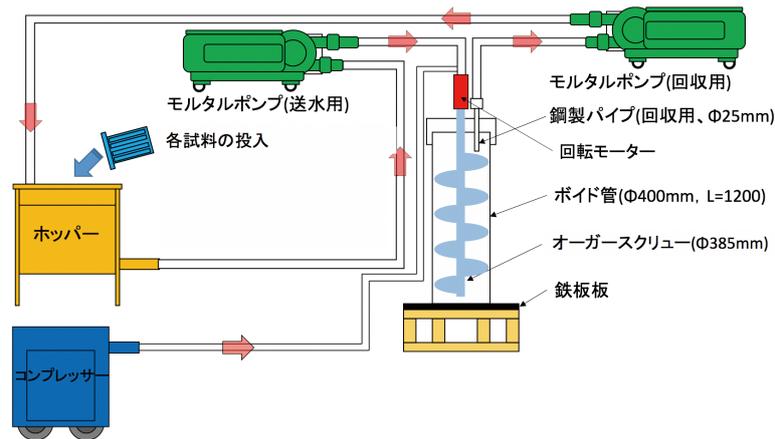


図3 模型実験の装置

表1 試験ケースおよび配合

試験ケース	工法	泥水(粘性)	循環攪拌		機械攪拌		エア攪拌	配合 (kg/m <sup>3</sup> )				
			泥+CB	泥+BM	先端	全長		セメント	砂	粘土	ベントナイト	水
CASE-1	エア攪拌 (在来工法)	普通	-	-	-	-	○	218.7	218.1	218.1	18.9	754.5
CASE-2	機械攪拌 (在来工法)	普通	-	-	-	○	-	218.7	218.1	218.1	18.9	754.5
CASE-3-1	循環攪拌	普通	○	-	-	-	-	218.7	218.1	218.1	18.9	754.5
CASE-3-2	循環攪拌	高粘性	○	-	-	-	-	218.7	0.0	435.8	18.9	754.9
CASE-4-1	循環攪拌 →機械攪拌	普通	-	○	○	-	-	218.7	218.1	218.1	18.9	754.5
CASE-4-2	循環攪拌 →機械攪拌	普通	-	○	-	○	-	218.7	218.1	218.1	18.9	754.5
CASE-4-3	循環攪拌 →機械攪拌	高粘性	-	○	○	-	-	218.7	0.0	435.8	18.9	754.9

ブレッサーで構成され、これらを用いて循環攪拌、機械攪拌およびエア攪拌を行った。循環攪拌はBMあるいはセメントベントナイトミルク（以下、CBM）の投入後、循環中にマッドバランスを使用し密度を2分毎に計測して循環状況の確認を行った。循環は概ね6分間で密度が一定になったことを確認し終了した。

## (2) 実験ケース

表1に試験ケースおよび配合を示す。実験項目は、縁切引抜工法と循環攪拌工法および循環攪拌工法に機械攪拌を加えた試験ケースとした。本実験における機械攪拌とは、オーガースクリューによる攪拌である。通常使用するオーガースクリューを想定し、樹脂系で作製されたオーガースクリューの模型（スクリューオーガー、径385mm、ピッチ150mm）を、全長あるいは先端部のみ取付けて実験を行った。また、各オーガースクリューの先端部からは、各試料の注入とエア攪拌用の空気を吹き出せるようにして実施の状況を再現した。

CASE-1およびCASE-2は、泥水にCBMを注入したあとに機械攪拌またはエア攪拌をするものであり、これら

を一般的な縁切引抜工法として再現した実験を行った。循環攪拌工法のCASE-3-1およびCASE-3-2は、泥水に対してCBMを循環させ、機械攪拌を実施しない簡略化した施工を想定し、実験を行った。なお、CASE-3-2の泥水の粘性は、CASE-3-1と比較し高粘性になるようにした。

循環攪拌→機械攪拌のCASE-4-1、CASE-4-2およびCASE-4-3は、泥水とベントナイト水を循環攪拌させた後に、セメントミルクの注入を行う際に、機械攪拌を行った。セメントミルクの注入方法は、オーガースクリューの先端から噴射させて行った。CASE-4-2はオーガースクリューを全長に取り付けた場合とし、CASE-4-3はCASE-4-1と比較するため、高粘性の泥水でそれぞれ実験を行った。同表に示す泥水は、砂と粘土を1:1で混合した泥水を標準とし、粘土だけで作製した泥水を高粘性とした。

実験で使用した材料は、セメントを高炉セメントB種（密度3.16g/cm<sup>3</sup>）、砂を豊浦砂（密度2.63g/cm<sup>3</sup>）、粘土はカオリナイトを主成分とした無機系原料（密度2.58g/

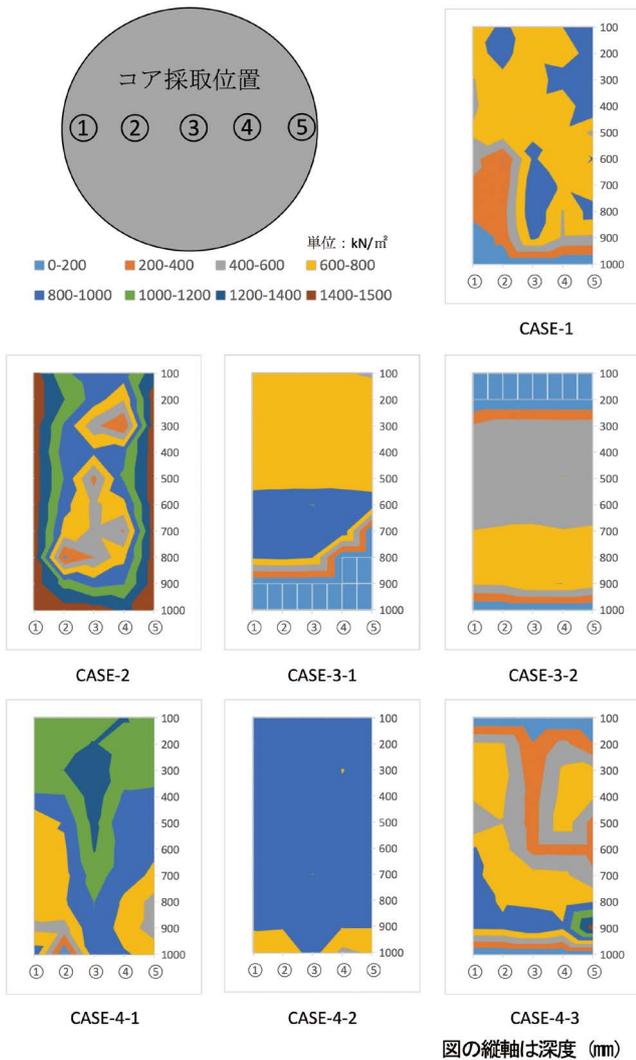


図4 一軸圧縮強さの強度分布

cm<sup>3</sup>), ベントナイトは, 安定液として掘削工事で使用される一般的なベントナイト(密度2.60g/cm<sup>3</sup>)を使用した.

### (3) 実験結果

図4に一軸圧縮試験結果の強度分布を示す. 同図は, 各採取位置および深度における一軸圧縮強さを線形補完した強度分布図である. 在来工法のエア攪拌であるCASE-1は上層の圧縮強度が高く下層の圧縮強度が低い分布を示す. 概ね均一だが, 下層は強度が低くなる傾向がある. 在来工法の機械攪拌であるCASE-2は高い圧縮強度が側面に寄り, 中層にかけて強度が低い傾向にある. これは, 機械攪拌が側面まで及んでいないものと考えられる.

循環攪拌のみのCASE-3シリーズは深度方向に圧縮強度の差が顕著に見られる. 高粘性のCASE-3-2は, 上層に低強度が集中するのに対し, CASE-3-1は下層に低強度が集中する傾向を確認した. CASE-3-2循環攪拌時にセメントミルクが上層に行きづらいため, 下層に濃いセメントミルクがたまつたと考える. 一方でCASE-3-1

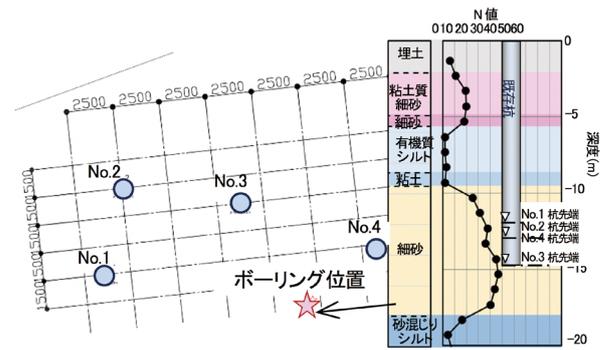


図5 対象既存杭の配置と地盤概要

は, 流動性が良いため, 循環攪拌後に砂分の沈殿が起こり, 下層の一部は未固結であり, 中層は砂分とセメントミルクが混ざって高い強度となり, 上層は砂分が少なくセメントミルクが多いため中層よりも低い強度発現になったと考える. 以上のことから, 高粘性である場合や砂分が多い場合は, 機械攪拌あるいはエア攪拌が必要であったと思われる.

循環攪拌と機械攪拌を組み合わせたCASE-4は, 機械攪拌のオーガースクリューを全長に取付けたCASE-4-2が均一な攪拌を実施できた. 先端部のみのCASE-4-1およびCASE-4-3は全深度に強度のバラツキがあり, 均一な攪拌には至らなかった. これはセメントミルクの流れ道ができ, 一様に攪拌が出来なかったものとする.

## 4. 原位置施工実験

### 4.1 地盤および既存杭の概要

原位置施工実験は茨城県猿島郡境町で実施した. 図5に対象となる既存杭の配置, 地盤概要を示す. 既存杭には本敷地で過去に施工された杭を利用する. 敷地内の地盤は埋土・細砂層 (GL-6mまで), シルト・粘土層 (GL-6m~-9m), 細砂層 (GL-9m~-18m) で構成される. 表2に対象となる既存杭の詳細と埋戻し方法を示す.

### 4.2 埋戻し土の配合計画

BM, CMの配合量を決めるために現地土を使用した室内配合試験を行った. 表3に泥水密度を1.2~1.4g/cm<sup>3</sup>と想定した混合土の配合を示す. 表4に混合土のフレッシュ性状・一軸圧縮強さを示す. 想定される試料①~③の混合土密度に対して, プリーディング率, 一軸圧縮強さが目標範囲に収まることを確認した. 表4の結果と地表部の釜場容量などを考慮したBM, CM投入量を想定して, ベントナイト水比 (B/W) を12%, 水セメント比 (W/C) 60%とした.

### 4.3 施工手順

図6に施工手順を示す. 模型実験の結果により, BM循環攪拌後にCMオーガー上下攪拌を行うA工法(模型実験CASE4-2に相当)とCBMを循環攪拌させるB工法(模型実験CASE3-1に相当)を実施した. いずれの工法

表 2 対象既存杭の配置と地盤概要

試験 No.	既存杭			埋戻し方法
	杭径 (mm)	杭長 (m)	杭種	
1	620	11.6	既製コンクリート杭	A 工法
2	700	12.5	H 鋼杭	
3	400-550	14.5	既製コンクリート杭	
4	750	12.85	H 鋼杭	B 工法

も CM または CBM 注入攪拌後に 2 深度で未固結試料を

表 3 現地土を使用した混合土の配合

試料番号	作液泥水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	混合土の配合 (kg/m <sup>3</sup> )		
		水 W	セメント C	ベントナイト B
①	1.2	847	220	26.2
②	1.3	813	210	26.5
③	1.4	779	200	26.8

表 4 フレッシュ性状・一軸圧縮強さ

試料番号	混合土密度 (g/cm <sup>3</sup> )	フロー値 (mm)	ブリーディング率 (%)		一軸圧縮強さ (kN/m <sup>2</sup> )	
			3 時間	20 時間	7 日材齢	28 日材齢
			①	1.27	430	9.3
②	1.32	310	3.9	4.4	254	831
③	1.37	260	1.0	1.1	320	1070

採取した。

(1) A 工法 (BM 循環攪拌後に CM オーガー上下攪拌)

- ・手順①：既存杭の縁切り・引上げ

先端切羽外周部1050mm のケーシングを用いて、先端から水を噴射しながら既存杭の先端深度まで削孔する。既存杭が共回りして周辺地盤との縁が切れたことを確認後、ワイヤーロープをかけて既存杭を引き上げる。既製コンクリート杭は杭周りのソイルセメントの一部をハイウォッシャーで杭孔に落とした。H 鋼杭はほとんど落とさずに撤去した。

- ・手順②：BM 循環攪拌

配合試験結果を参考にした BM をオーガー先端から吐き出させ、地表部釜場に設置したサンドポンプで BM と泥水の混合物 (B 泥水) を吸い上げることで循環攪拌させる。循環攪拌は B 泥水体積分をモルタルポンプで圧送する時間 (No.1, 2 は80分, No.3は100分) を目安にして、10分おきに B 泥水密度を測定しながら、密度が安定するまで循環させる。B 泥水密度より CM 投入量を決定する。

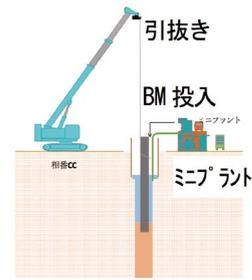
- ・手順③：CM オーガー上下攪拌

オーガーの先端を最下部に設置し、CM を吐出しながら 5 往復以上、上下方向にターニングを行う。

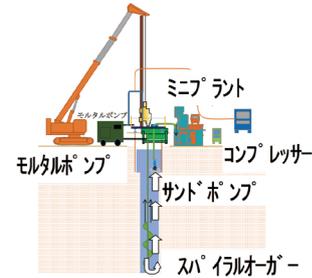
(2) B 工法 (CBM 循環攪拌)

- ・手順①：A 工法の手順①と同じである。
- ・手順②：CBM 循環

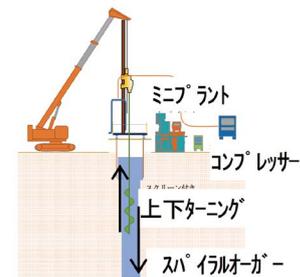
A 工法と同様に CBM と泥水の混合物 (CBM 泥水) を



① (共通) 既存杭縁切・引上げ



② (A 工法) BM 循環攪拌  
(B 工法) CBM 循環攪拌



③ (A 工法) CM オーガー上下攪

図 6 施工手順

循環攪拌させる。攪拌時間も CBM 泥水体積分をモルタルポンプで圧送する時間100分を目安とする。

4.4 施工結果・未固結試料のフレッシュ性状

表 5 に施工結果を示す。ケーシング先端は既存杭先端と同深度に定めた。A 工法は既存杭撤去時の杭孔内の泥水位を計測した結果、BM は計画時よりも投入できないことが判明したので配合計画の B/W12% から22%に変更した。

表 6 に未固結試料の CM 泥水密度、フロー値、ブリーディング率を示す。施工直後に未固結採取器をオーガー先端部と付け替え、表中の深度で未固結試料の採取を試みたが採取器の不具合で採取できない深度もあった。A 工法は配合計画より BM 配合を高くしたが配合計画の混合土密度と未固結試料の CB 泥水密度やフロー値は概ね整合している。未固結試料はブリーディングが発生しなかった。B 工法も配合計画の混合土密度と未固結試料の

表5 施工結果一覧

試験 No. (工法)	No.1 (A)	No.2 (A)	No.3 (A)	No.4 (B)
手順①	既存杭縁切り・引き上げ			
ケーシング先端	GL-11.89m	GL-12.91m	GL-14.65m	GL-13.00m
既存杭先端レベル	GL-11.89m	GL-12.89m	GL-14.71m	GL-12.92m
手順②	BM 循環攪拌			CBM 循環攪拌
オーガー先端	GL-11.89m	GL-12.87m	GL-14.52m	GL-12.99m
B/W (BM 投入量)	22% (5m <sup>3</sup> )	22% (5m <sup>3</sup> )	22% (6m <sup>3</sup> )	B/W : 12% W/C : 180% (CBM : 7.5m <sup>3</sup> )
オーガー回転数	3 秒 / 回転	2.9秒 / 回転	6 ~ 8 秒 / 回転	6 秒 / 回転
ポンプ圧送量	170L / 分	170L / 分	180L / 分	170L / 分
循環攪拌実施時間	80分	80分	100分	100分
密度が安定し始めた時間	40分	40分	40分	40分
最終 B 泥水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.33	1.27	1.35	1.33
手順③	CM 先端オーガー攪拌			
W/C (投入量)	60% (1.5m <sup>3</sup> )	60% (2m <sup>3</sup> )	60% (2m <sup>3</sup> )	—
オーガー回転数	3 秒 / 回転	3 秒 / 回転	3.3秒 / 回転	—
往復時間	8 分 / 往復	8 分 / 往復	8 分 / 往復	—
往復回数 (所要時間)	5 往復 (40分)	5 往復 (40分)	5.3往復 (43分)	—
CM 流量	37.5 L / 分	50 L / 分	50 L / 分	—

表6 未固結試料のフレッシュ性状

試験 No.	No.1		No.2	No.3	No.4		
採取深度	GL-0.9m	GL-9.5m	GL-0.7m	GL-0.7m	GL-0.3m	GL-5.0m	GL-11.7m
CB 泥水密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.36	1.43	1.32	1.36	1.34	1.32	1.39
フロー値 (mm)	400×400超	採取できず	340×340	140×130	320×320	採取できず	280×280
ブリーディング率	0% (24時間)	採取できず	0% (24時間)	採取できず	採取できず		

CB 泥水密度やフロー値は良い対応を示している。

4.5 埋戻し土部の調査結果

(1) 全長コアボーリング

埋戻しの状況および埋戻し部の性状を確認するために、コアボーリングを実施した。コアボーリングは、図7に示す通り埋戻し中心に対して200mm 偏心した位置とし、一か所または二か所とした。二か所としたコア試料は No.3, No.4 でありそれぞれ No.3-1, No.3-2, No.4-1, No.4-2 とした。試料採取はロータリー式スリーブ内蔵二重管サンプラーを使用して乱れの少ない試料を採取した。未固結採取位置は中央とした。

各コア試料の固結部採取率を1m ごとに算定した。図8に各コア試料の固結部採取率を示す。赤で示した部分は90%の採取率に届かなかった部分、青で示した部分は現地地盤土質、既存杭根固め部分である。No.1およびNo.3-1の全長に対する固結部採取率が57.7%と59.5%と低いことを除けば、73.5~87.5%となった。GL-3m 以深では概ね固結部採取率が90%を上回っているため、表層を除き、良好に埋め戻されたと考えられる。

(2) 一軸圧縮強さ

図9 (a) に原地盤のボーリング柱状図、各埋戻し部の想定強度、および全ての試料の材齢28日  $q_u$  の深度方向分布を示す。

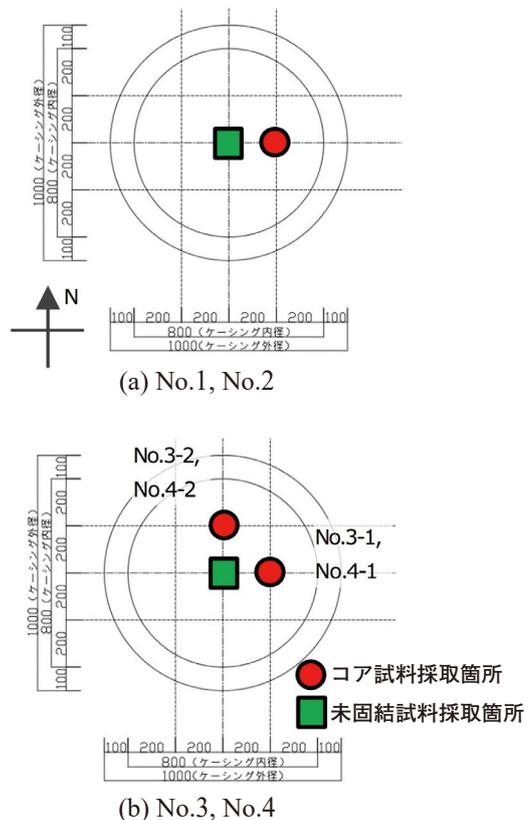


図7 処理孔に対するコアボーリング箇所

周辺地盤 土質柱状図		深度 (m)	固結部採取率(%)					
調査1	調査2		No.1	No.2	No.3-1	No.3-2	No.4-1	No.4-2
Bi1	Bi1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Bg	Bg	2	0.0	58.0	0.0	70.0	100.0	90.0
Bs	Bs	3	0.0	34.0	100.0	100.0	100.0	95.0
Jc	Jc	4	0.0	92.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Ds1	Ds1	5	0.0	100.0	82.0	99.0	100.0	97.0
Dc1	Dc1	6	52.0	100.0	100.0	91.0	100.0	100.0
Ds1	Ds1	7	100.0	100.0	100.0	89.0	100.0	100.0
Dc2	Dc2	8	100.0	100.0	100.0	98.0	100.0	100.0
Ds2	Ds2	9	98.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		10	100.0	100.0	100.0	100.0	97.0	100.0
		11	100.0	100.0	80.0	97.0	100.0	0.0
		12	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
		13	100.0	90.0	100.0	100.0	89.0	
		14		0.0	90.0	98.0	100.0	
		15			0.0	65.0	100.0	
		16					9.0	

図8 コア試料の固結部採取率

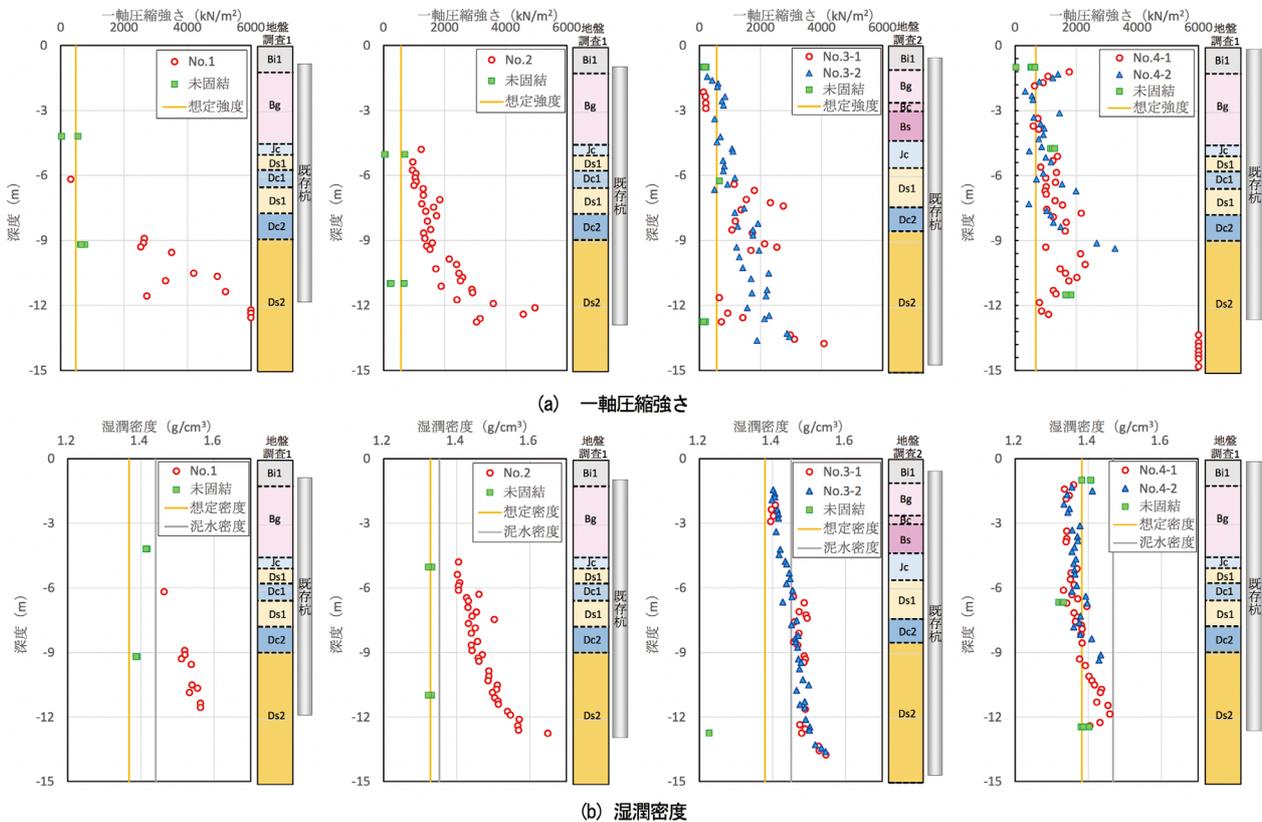


図9 コア試料試験結果

埋戻し部 No.1の未固結試料については、約 GL-4.0m に  $q_u = 30 \sim 545 \text{ kN/m}^2$  とばらつき、約 GL-9.0m に平均  $q_u = 672 \text{ kN/m}^2$  で、想定強度 ( $477.7 \text{ kN/m}^2$ ) より大きく上回った。コア試料については、GL-0.0m ~ -4.0m において未硬化のため試料採取が不能で、約 GL-9.0m まではクラックやパイプ状の未改良部があるため、ほとんどの試料は試験ができなかった。約 GL-9.0m 細砂層 (Ds2) 以深から、試料が強く固結し、 $q_u$  が  $2000 \text{ kN/m}^2$  以上の埋戻し土

を形成している。GL-12.0m 以深は、 $q_u$  が急激に高まり、試料の色調も顕著に変化したため、これは残置された根固め部であると考えられる。

埋戻し部 No.2の未固結試料については  $q_u = 33.4 \sim 698 \text{ kN/m}^2$  であり、全体的にばらつきが大きい。コア試料については、GL-1.4m まで埋土であり、以深より GL-4.7m までクラックや脆弱部により、試験ができなかった。GL-5.0m 以深から固結し、GL-9.0m 程度まで概ね  $1000 \sim$

2000kN/m<sup>2</sup>で漸増し、ばらつきが少ない。No.1と同様に約 GL-9m 以深より  $q_u$  が高まり、それに伴いばらつきも多くなっている。約 GL-12m で  $q_u$  が顕著に増加し、最大で4958kN/m<sup>2</sup>となっている。

埋戻し部 No.3の未固結試料については、上部および下部の平均  $q_u$  はそれぞれ175 kN/m<sup>2</sup>および149 kN/m<sup>2</sup>で小さかったが、中間部の  $q_u$  は656kN/m<sup>2</sup>であり、想定強度(564.6kN/m<sup>2</sup>)の近傍にある。また、コア試料については、No.3-1において GL-3.0m ~ -6.3m, GL-9.6m~-11.5m までクラックや脆弱部が存在し、試験ができなかった。それ以外の部分については、No.3-1, No.3-2ともに同様の傾向を示していることがわかる。埋戻し上端から下端に向けて緩やかに強度が上昇し、GL-13.7m で4081kN/m<sup>2</sup>を示しているほかは、最大で 3000kN/m<sup>2</sup>程度となっており、比較的ばらつきも少ない。埋戻し部 No.4 については、未固結試料とコア試料の  $q_u$  が同様な傾向を示している。また、埋戻し上端から下端にかけ、わずかに  $q_u$  の上昇傾向があるが、概ね2300kN/m<sup>2</sup>以下を示しており、比較的ばらつきも少ないことがわかった。A 工法に対して B 工法は上部の未硬化部分が少なく、CBM と泥水の循環攪拌の有効性が示された。

### (3) 湿潤密度

図 9 (b) に、一軸圧縮試験に使用したコア試料および未固結採取試料の湿潤密度の分布を、実測結果から計算した泥水密度、均一攪拌を仮定した想定密度および近傍地盤の土質柱状図と併せて示す。原位置の測定結果に基づく、想定密度は No.1, No.2, No.3, No.4でそれぞれ 1.37, 1.33, 1.38, 1.38g/cm<sup>3</sup>であり No.4以外のコア試料は概ね高い値を示している。これは、A 工法において、調査位置がセメントミルク排出口に近くセメントミルクが相対的に多く含まれているため、密度が高くなったものと考えられる。また、湿潤密度は深度方向にわずかながら漸増するような傾向が見られる。これは、埋戻し土の液圧によって、脱水を受けるためであると推測される。未固結試料は、No.3を除いて概ね想定密度の近傍にある。このことから中央部分は中央近傍部分と比較してセメントミルクの含有量が低かった可能性がある。B 工法は未固結試料との密度差が少なく想定密度の近傍にあるため、循環攪拌によって孔内の均一化が図られたものと考えられる。

## 5. おわりに

既存杭の撤去工法として循環攪拌を用いた縁切引抜工法を提案し、施工方法の確立、埋戻し部の品質確認を目的に実施した、室内模型実験および原位置施工実験より以下の知見を得た。

- ・ 模型実験の結果より、循環攪拌および機械攪拌を併用することで、泥水と埋戻し材を均一に攪拌ができることがわかった。
- ・ 原位置施工実験後の乱れの少ない試料の固結部採取率

より、全体的には表層を除き、概ね良好に埋戻された。

- ・ 埋戻し下部は土被り圧によって圧密・脱水の影響を受け、一軸圧縮強さおよび湿潤密度は深度が深くなるほど大きくなる。
- ・ セメントベントナイトミルクと泥水に対する循環攪拌工法の有効性が確認された。

## 謝辞

本研究は、青木あすなろ建設、浅沼組、安藤ハザマ、奥村組、熊谷組、鴻池組、五洋建設、西武建設、高松建設、東急建設、戸田建設、飛島組、西松建設、長谷工コーポレーション、ピーエス三菱、松村組の16社で実施したものである。

## 参考文献

- 1) 地盤工学会関東支部 新設杭に干渉する既存杭の撤去・埋戻しに関する研究委員会：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，総合土木研究所，2022.6
- 2) 遠藤正美，寺内 将貴，森清 宣貴，山岸 直樹，山岸 直樹，張媛，沼本 大輝：循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の研究（その2）循環攪拌模型実験の概要および計測結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp511-512，2022.7.
- 3) 川崎 健二郎，森 清隆，門井 大祐，富田 祐介，松崎 達弘，柏木 隆男：循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の研究（その3）模型実験の一軸圧縮強さ，日本建築学会学術講演梗概集，pp513-514，2022.