

# 循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の開発 —新設杭の施工品質を確保できる既存杭撤去・埋戻し工法—

森 清隆<sup>\*1</sup>・崎浜博史<sup>\*2</sup>

既往のケーシング縁切引抜工法（以下、縁切引抜工法）による撤去・埋戻しは、孔内の泥水性状や埋戻し材の注入方法や攪拌方法等の影響を受けて安定した埋戻し部にならない場合がある。それらを解決するために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）を開発した。模型実験により循環攪拌および機械攪拌を併用することで埋戻し材を均一に攪拌できることを確認した。原位置施工実験により、一軸圧縮強さや湿潤密度は想定された強度、密度の近傍にあり、ばらつきも大きくなく、概ね良好に埋戻されることを確認した。循環攪拌工法のセメントベントナイトミルクと泥水に対する有効性が確認できた。

キーワード：循環攪拌，既存杭，ケーシング削孔，撤去・埋戻し，模型実験，原位置施工実験

## 1. はじめに

都市部などの狭隘敷地における既存解体・新築工事では、新設杭位置と既存杭位置が平面的に干渉する場合は既存杭撤去・埋戻しが行われる。現在、既存杭の撤去工事は、敷地条件、経済性、工程を考慮し、縁切引抜工法が広く用いられている。しかし、縁切引抜工法による既存杭撤去・埋戻しの場合、埋戻し部は孔内泥水の性状、埋戻し材の注入方法や攪拌方法等の影響を受けて、安定した状態にならない事例もある。安定した埋戻し（埋戻し部強度  $550\text{kN/m}^2$  以上）ができない場合は、新設杭の設計や施工に影響を及ぼす。文献<sup>1),2)</sup>でもこの問題を取り上げている。

本報では、縁切引抜工法による埋戻し部の構築過程に起因する技術的課題を挙げ、その課題を解決するため開発した循環攪拌工法について示す。循環攪拌工法の効果を確認するため、模型実験により縮小模型レベルでの循環攪拌の効果を報告する。模型実験の結果に基づいた循環攪拌方法により原位置で既存杭の撤去・埋戻しの施工手順に従った原位置施工実験を実施し、埋戻し部の地盤調査を行い、その効果について報告する。

## 2. 従来工法の課題と循環攪拌工法の提案

### 2.1 従来工法の施工手順と課題

図-1に示す標準的な縁切引抜工法の手順から従来工法の課題を説明する。

#### ① 課題Ⅰ：埋戻し材の硬化

既存杭の外周を先端から低圧ジェット水を吐出するケーシングで削孔し地盤との縁を切る。既存杭とケーシングの間は、泥水化した状態となる。次に、既存杭の浮力の確保と孔壁保護のためセメントミルク（以下、CM）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 課題Ⅱ：泥水と埋戻し材の十分な攪拌ができない

引抜き後の撤去孔は、概ね上部が埋戻し材、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十分な攪拌ができていないと言いが難い。攪拌方法とその問題点を図-2に示す。エアリフトでは土塊による管の

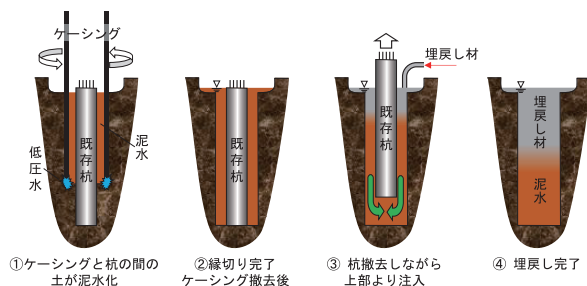


図-1 標準的な縁切引抜工法の手順<sup>1)</sup>を修正

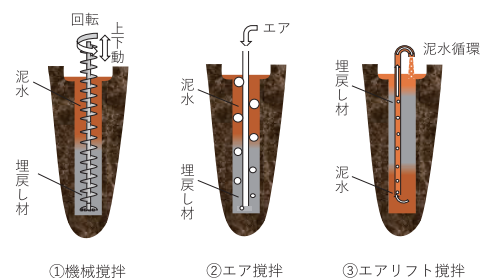


図-2 攪拌方法<sup>1)</sup>を修正

閉塞が問題となり、スパイラルオーガーによる機械攪拌およびエアブローによる攪拌（以下、エア攪拌）では泥水と埋戻し材が十分攪拌できていない状況にある。

③ 課題Ⅲ：強度のばらつき

撤去孔に溜った泥水は、杭周囲の土砂・土塊、地下水だけでなく、削孔水・機材の洗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。

2.2 循環攪拌工法の提案

課題Ⅰ～Ⅲを解決するために図-3に示す循環攪拌工法を提案した。提案工法はできるだけ既存の技術や機材を活用して施工を行う。

- ① 一般的な縁切引抜工法と同様に、地盤と既存杭の縁を切り、既存杭周辺を泥水化する。
- ② 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、既存杭の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Ⅰ対策）。BM投入量は既存杭の体積と同容量とする。
- ③ 既存杭撤去後、撤去孔内は上部がBM、下部に泥水および土塊が堆積する。
- ④ 先端に攪拌翼を有するスパイラルオーガーを建て込む。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しているため、ポンプ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）の密度を定期的にマッドバランスで計測しながら、B泥水密度が一定になるまで循環攪拌を行う（課題Ⅱ対策）。
- ⑤ B泥水の体積・密度を計測する。また、②でBMの投入量が把握できるので、B泥水の水量・土量が概ね推定でき、目標強度範囲に応じたCMの添加量が設定できる。
- ⑥ オーガーの先端よりCMを注入する。CM注入方法は上下ターニングにより、あらかじめ定めた注入範囲

区間毎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、CM注入と並行して機械攪拌を行い、埋戻し部の均質化を図る（課題Ⅲ対策）。

3. 模型実験

循環攪拌の性能を把握するために、埋戻し材を模擬した試料により模型実験を行った。

3.1 実験概要と実験ケース

図-4に模型実験装置および各攪拌方法のイメージ図を示す。実験装置は、撤去孔を模したボイド管（直径φ400mm）、ボイド管上部より試料を回収する鋼製パイプ（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、ボイド下部まで試料を注入する鋼製パイプ（注入管）、回転させるモーターおよび注入管へ空気を送り込むコンプレッサーによって構成される。また、オーガースクリュー（オーガー直径φ385mm）を注入管の全長あるいは先端部のみに取り付けて、それぞれ全長スパイラルオーガー（以下、全長オーガー）と先端のみスパイラルオーガー（以下、先端のみオーガー）とした。これらを用いて循環攪拌、機械攪拌およびエア攪拌を実現できる。

表-1に模型実験の各ケースの実験条件を示す。CASE-1およびCASE-2は、縁切引抜工法の在来工法を再現した実験であり、泥水にセメントベントミルク（以下、CBM）を注入した後、それぞれエア攪拌または機械攪拌（全

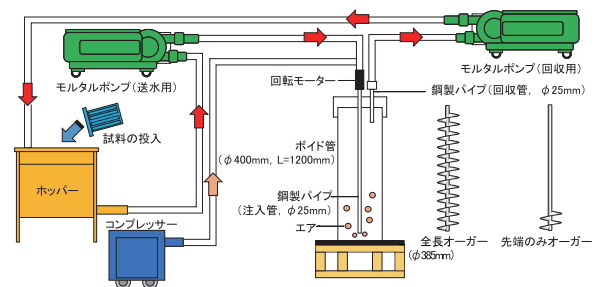


図-4 模型実験方法のイメージ図

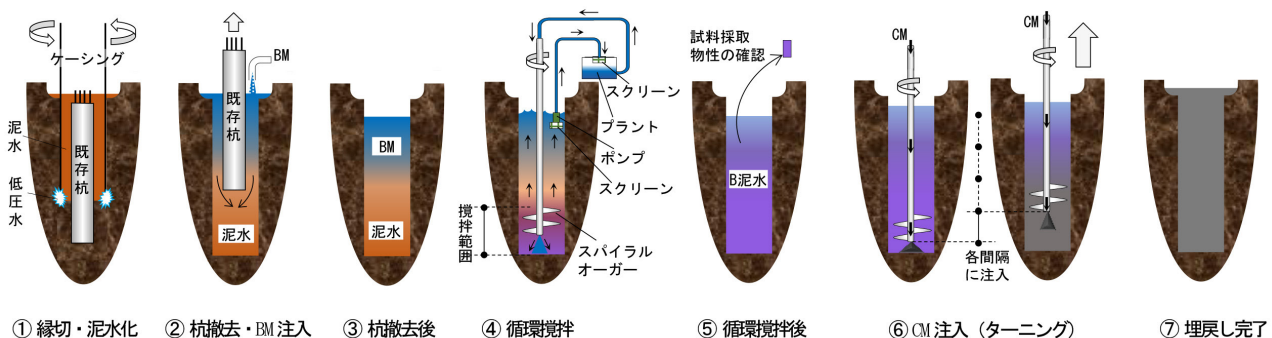


図-3 循環攪拌を用いた縁切引抜工法の手順

長オーガー)を行った。

CASE-3のシリーズは、泥水に対してCBMを循環させ、機械攪拌を実施しない簡略な循環攪拌工法である。また、CASE-3-1およびCASE-3-2は、それぞれ普通泥水と高粘性泥水を用いた。

CASE-4のシリーズは、2.2節で提案した循環攪拌工法である。泥水とBMを循環攪拌した後、CMの注入と同時に機械攪拌を行った。CASE-4-1およびCASE-4-3は先端のみオーガーを用い、CASE-4-2は全長オーガーを用いた。CMの注入方法は、ボイド管の全長を3層に分割してCMを注入した後、層毎に約3～4分の機械攪拌を行った。CASE-4-1およびCASE-4-3は、それぞれ普通泥水および高粘性泥水を用いた。

CASE-3とCASE-4のシリーズは、泥水とBMもしくはCBMの循環攪拌を行う際にボイド管内試料の攪拌状態を確認するため、2分毎にホッパーから試料を採取し、マッ

ドバランスで密度を計測した。循環攪拌において約6分後に試料の密度が一定になり、循環攪拌を完了した。

### 3.2 試料

表-2および表-3に泥水および埋戻し材(CBM, BMおよびCM)の配合を示す。材料は、水(W, 水道水)、ベントナイト(B, 密度 $2.60\text{g/cm}^3$ )、高炉セメントB種(C, 密度 $3.16\text{g/cm}^3$ )、豊浦砂(密度 $2.63\text{g/cm}^3$ )および粘土(カオリナイト粘土, 密度 $2.58\text{g/cm}^3$ )を使用した。泥水の中に砂と粘土の質量比は1:1および0:1を設定し、それぞれ普通泥水および高粘性泥水とした。また、泥水、CBM, BMおよびCMは、それぞれハンドミキサーによって5分程度練混ぜし、投入の直前に用意した。

### 3.3 実験結果

模型実験の攪拌結果を確認するため、図-5に示すコ

表-1 循環攪拌模型実験ケース

CASE	工法	泥水	埋戻し材	容積割合				循環攪拌		機械攪拌		エア攪拌
				泥水	CBM	BM	CM	泥水+CBM	泥水+BM	先端	全長	
1	エア攪拌 (在来工法)	普通	CBM	2	1							●
2	循環攪拌 (在来工法)	普通	CBM	2	1							●
3-1	循環攪拌	普通	CBM	2	1			●				
3-2	循環攪拌	高粘性	CBM	2	1			●				
4-1	循環攪拌 ⇒機械攪拌	普通	BM+CM	2		0.4	0.6		●	●		
4-2	循環攪拌 ⇒機械攪拌	普通	BM+CM	2		0.4	0.6		●		●	
4-3	循環攪拌 ⇒機械攪拌	高粘性	BM+CM	2		0.4	0.6		●	●		

表-2 泥水の配合

試験No.	W ( $\text{kg/m}^3$ )	砂 ( $\text{kg/m}^3$ )	粘土 ( $\text{kg/m}^3$ )	砂:粘土	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )
普通	746	327	327	1:1	1.40
高粘性	746	0	654	0:1	

表-3 埋戻し材の配合

試験No.	W ( $\text{kg/m}^3$ )	B ( $\text{kg/m}^3$ )	C ( $\text{kg/m}^3$ )	B/W	W/C	密度 ( $\text{g/cm}^3$ )
CBM	772	57	656	7%	118%	1.48
BM	945	142	—	15%	—	1.09
CM	656	—	1094	—	60%	1.75

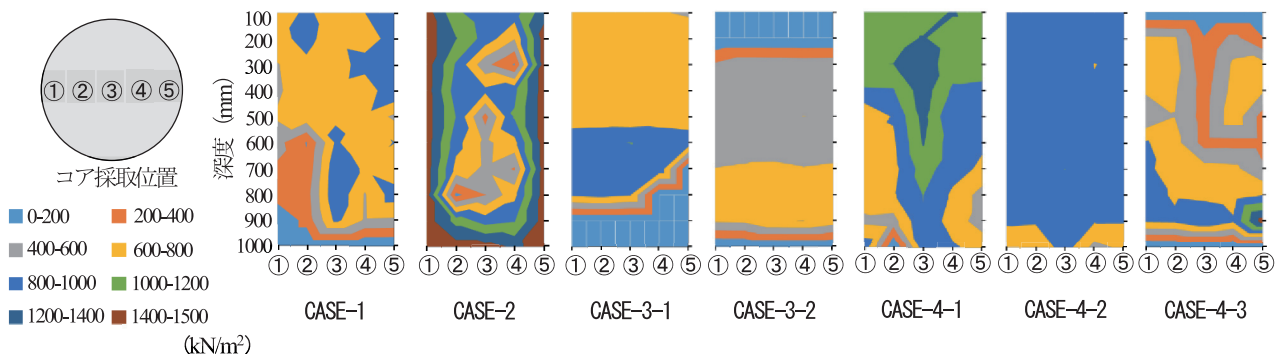


図-5 各実験ケースの一軸圧縮強さ $q_u$ の分布図

ア採取位置における全深度のコア試料を採取し、材齢 28 日で一軸圧縮試験を行った。コア採取位置以外の試料の一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) を線形補間で求め、図-5 に示すように各試験体の強度分布図を得た。

在来工法のエア攪拌である CASE-1 は、強度分布が概ね均一だが、上層の  $q_u$  が高く、下層の  $q_u$  が低くなる傾向を示す。在来工法の機械攪拌である CASE-2 は、高い  $q_u$  が側面に寄り、中層にかけて  $q_u$  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  $q_u$  の差が顕著に見られる。全体的に、CASE-3-1 は下層に低強度が集中し、高粘性の CASE-3-2 は上層に低強度が集中する傾向を確認した。CASE-3-1 は、流動性が良いため、

循環攪拌後に砂分の沈殿が起こり、下層の一部は未固化であり、中層は砂分と CM が混ざって高い強度となり、上層は砂分が少なく CM が多いため、中層よりも低い強度発現になったと考えられる。一方、CASE-3-2 循環攪拌時に CM が上層に行きづらいため、下層に濃い CM がたまったのではと考えられる。以上のことから、高粘性である場合や砂分が多い場合では、機械攪拌が必要であると考えられる。

循環攪拌と機械攪拌を組み合わせた CASE-4 のシリーズは、先端のみオーガーを取付けた CASE-4-1 および CASE-4-3 は全体的に強度のばらつきがあるが、非常に高い強度や低い強度が少ないため、概ね良い攪拌できたと考えられる。一方、全長オーガーを取付けた CASE-4-2 は均一な攪拌ができた。

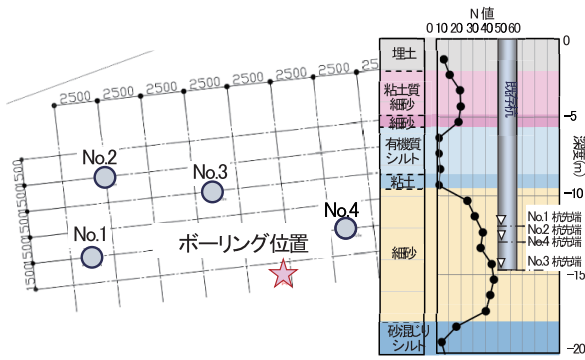


図-6 原地盤ボーリング図および既存杭

表-4 既存杭の詳細と埋戻し方法

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	

#### 4. 原位置施工実験

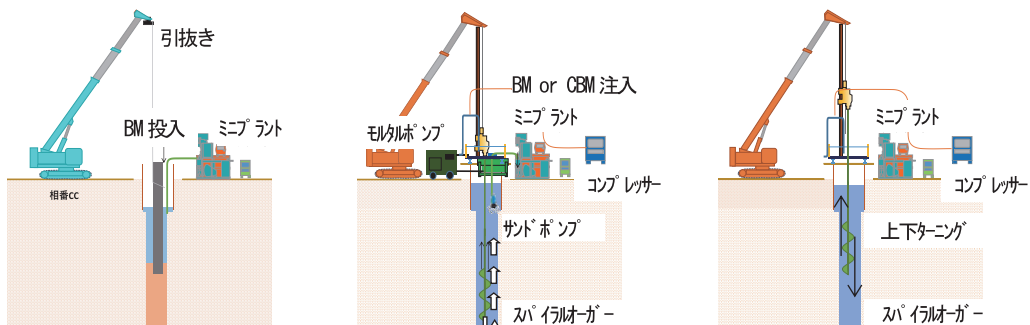
模型実験で性能を確認した循環攪拌および機械攪拌について、循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の原位置施工実験を行った。

表-5 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	ペントナイト B
①	1.2	847	220	26.2
②	1.3	813	210	26.5
③	1.4	779	200	26.8

表-6 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	9.8	186	591
②	1.32	310	3.9	4.4	254	831
③	1.37	260	1.0	1.1	320	1070



①縁切り・杭を引上げる同時に (A 工法) BM を注入 (B 工法) CBM を注入

②(A 工法) 泥水+BM 循環攪拌 (B 工法) 泥水+CBM 循環攪拌

③(A 工法のみ) CM オーガー上下攪拌

図-7 原位置施工実験の施工手順

#### 4. 1 既存杭および原地盤の概要

原位置施工実験は茨城県猿島郡境町で実施した。図-6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～GL-9m），細砂層（GL-9m～GL-18m）で構成される。表-4に対象となる既存杭の詳細と埋戻し方法を示す。表中の試験No.は図-1の既存杭No.と一致している。埋戻し方法の詳細は4.3節に記載する。

#### 4. 2 配合計画

BM, CMの配合量を定めるために現地土を使用した室内配合試験を行った。表-5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-6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，ブリーディング率，一軸圧縮強さが目標範囲に収まることを確認した。表-6の結果と地表部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）を60%とした。

#### 4. 3 施工手順

図-7に施工手順を示す。BM循環攪拌後にCMオーガー上下攪拌を行うA工法とセメントベントナイトミルク（以下，CBM）を循環攪拌させるB工法を実施した。

(1) A工法

・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

表-7 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	37.5L/分	50L/分	50L/分	—

表-8 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		

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、BMを注入しながら、ワイヤーロープをかけて杭を撤去する。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。既存杭撤去完了時にBMの注入量を確認する。

・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（以下、B泥水）を吸い上げることで循環攪

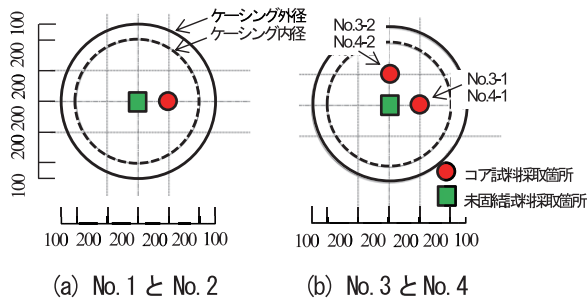
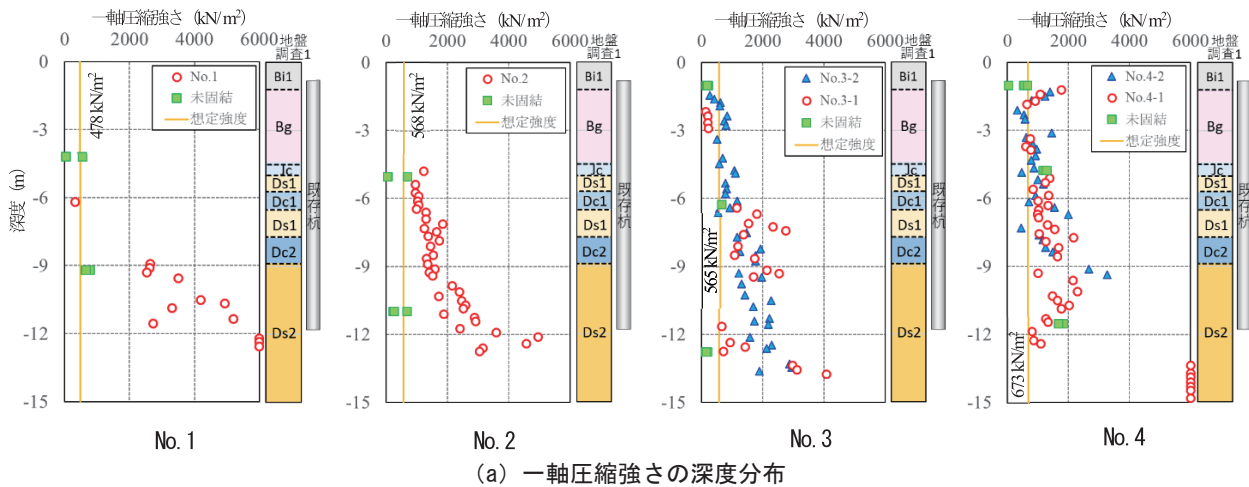


図-8 試料の採取位置

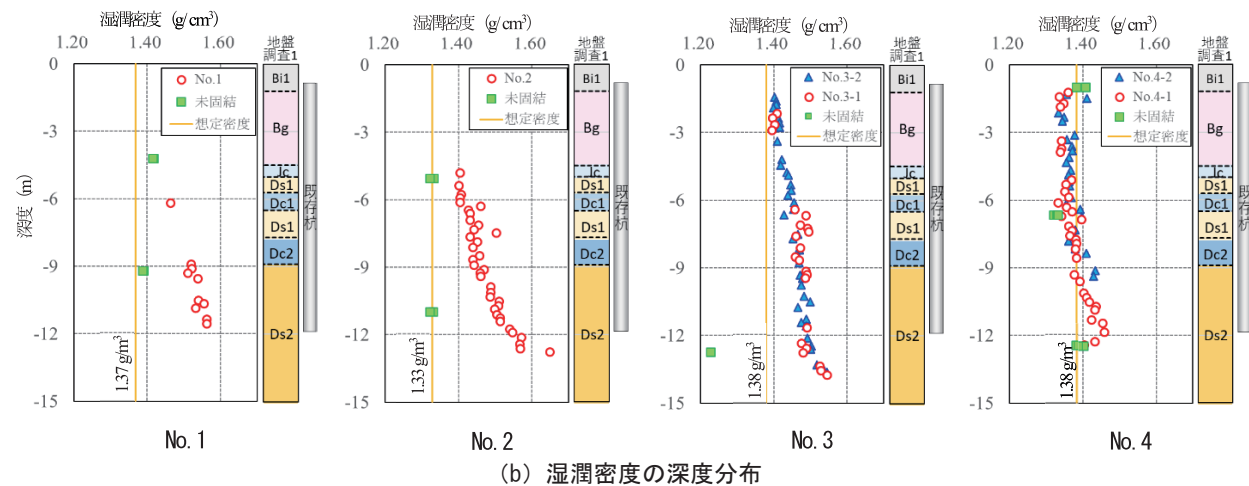
深度 (m)	固結部採取率(%)					
	No.1	No.2	No.3-1	No.3-2	No.4-1	No.4-2
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	58.0	0.0	70.0	100.0	90.0
3	0.0	34.0	100.0	100.0	100.0	95.0
4	0.0	92.0	100.0	100.0	100.0	100.0
5	0.0	100.0	82.0	99.0	100.0	97.0
6	52.0	100.0	100.0	91.0	100.0	100.0
7	100.0	100.0	100.0	89.0	100.0	100.0
8	100.0	100.0	100.0	98.0	100.0	100.0
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	90.0	100.0	100.0	89.0	
13						
14		0.0	90.0	98.0	100.0	
15			0.0	65.0	100.0	
16			0.0		9.0	

■ : 採取率90%未満  
■ : 現地地盤土質

図-9 コア試料の固結部採取率



(a) 一軸圧縮強さの深度分布



(b) 湿潤密度の深度分布

図-10 採取した試料のquおよび湿潤密度の深度分布

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

オーガーの先端を孔底部に設置し、CMを吐出しながら、上下方向にターニング攪拌（5往復以上、約40分間）を行った。

（2）B工法

・手順①：既存杭縁切り・引上げ

A工法の手順①と同様に、CBMを注入しながら、既存杭を撤去する。

・手順②：CBM循環

A工法と同様にCBMと泥水の混合物を循環攪拌させる。攪拌時間は約100分であり、約40分後に埋戻し土の密度が安定した。

## 4.4 埋戻し部の調査結果

### 4.4.1 試料の採取

#### （1）未固結試料のフレッシュ性状

埋戻し状態を確認するため、既存杭の埋戻し完了直後に図-8のように、埋戻し部の中央位置に未固結試料の採取をした。表-8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。未固結試料は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工法は既存杭撤去後にB泥水の水位を測定して計画BM量を投入できないことが分かり、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た。ブリーディングは発生しなかった。B工法も配合計画の混合土密度と未固結試料のCB泥水密度やフロー値は概ね整合した。

#### （2）試料採取

試料採取位置を図-8に示す。コアボーリング位置は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。

#### （3）固結部採取率

図-9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、既存杭根固め部分を示す。No.1およびNo.3-1の全長に対する固結部採取率が58%と60%

と低いことを除けば、74～88%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。

### 4.4.2 一軸圧縮強さ

図-10(a)に各コア試料および未固結採取試料の材齢4週の一軸圧縮強さ（以下、 $q_u$ ）の分布を文献<sup>3)</sup>を参考にして求めた想定強度、近傍地盤の土質柱状図と併せて示す。

#### ① 埋戻し部 No.1 (図-10(a)No.1)

No.1は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一軸圧縮試験ができなかった。GL-9.0m細砂層(DS2)以深から $q_u$ が2000kN/m<sup>2</sup>以上となった。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、残置された根固め部であると考えられる。

#### ② 埋戻し部 No.2 (図-10(a)No.2)

No.2はGL-1.4mまでの埋土とGL-4.7mまでのクラックや脆弱部により試験ができなかった。GL-5.0mから固結し、GL-9.0m程度までおおよそ1000～2000kN/m<sup>2</sup>で漸増している。No.1と同様に約GL-9mより $q_u$ が増加しながらGL-12mで $q_u$ はさらに増加して最大で4958kN/m<sup>2</sup>となった。

#### ③ 埋戻し部 No.3 (図-10(a)No.3)

No.3はNo.3-1ではGL-3.0m～-6.3m, GL-9.6m～-11.5mまでクラックや脆弱部が存在して試験ができなかった。それ以外は、No.3-1, No.3-2ともに同様の傾向となる。埋戻し上部から深くなるにつれ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。

#### ④ 埋戻し部 No.4 (図-10(a)No.4)

No.4は埋戻し上部から深くなるにつれてわずかに $q_u$ 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分かった。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。

### 4.4.3 湿潤密度

図-10(b)にコア試料および未固結試料の湿潤密度の深度分布を、均一攪拌を仮定した想定密度<sup>3)</sup>および原地盤のボーリング柱状図と併せて示す。

#### ① A工法 No.1～No.3 (図-10(b)No.1～No.3)

A工法で実施したNo.1～No.3コア試料の湿潤密度は、想定密度より高い値を示している。これは、A工法において調査位置がCMの排出口に近くセメントが相対的に多く含まれているため、密度が高くなった可能性がある。また、湿潤密度は $q_u$ と同じように深度方向に漸増する傾

向がある。未固結試料はNo. 3を除いて概ね想定密度の近傍にある。

## ② B工法No. 4 (図-10(b)No. 4)

B工法で実施したNo. 4コア試料および未固結試料の湿潤密度は、全体的に想定密度の近傍にあり循環攪拌によって孔内の均一化ができたものと考えられる。ただし、下部の湿潤密度はわずかに漸増する。

A工法、B工法ともに上部埋戻し土の土被り圧によって圧密・脱水の影響を受け、GL-9.0m以深のDs2層で湿潤密度および $q_u$ が増大したと推察される。今後の課題として砂層などの透水層でCMに脱水の影響が予期される場合は、逸水防止を目的とした増粘剤の使用など検討の必要がある。

## 5. まとめ

循環攪拌を用いた縁切引抜工法を提案し、循環攪拌模型実験および原位置施工実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 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な攪拌ができることが分かった。
- (2) 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、表層を除き概ね良好に埋め戻された。
- (3) 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漸増する。
- (4) 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。ただし、(3)に示すように原位置で透水層から脱水の影響を受ける場合

には、逸水防止を目的とした増粘剤の使用なども検討の必要がある。

## 謝辞

本研究は、共研フォーラムの16社との共同研究したものである。ここに、本実験にご協力頂きました関係各位に深く謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 公益社団法人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と施工，総合土木研究所，2022年7月
- 2) 古垣内靖，矢島淳二：新設杭を構築するうえでの既存杭撤去後の埋戻し方法とその注意点，建築技術，pp. 104-108，2018年7月
- 3) 張媛，川崎健二郎，古垣内靖：各種のベントナイトおよびセメントを配合した埋戻し土の力学特性，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 537-538，2018.9

---

### Development of existing pile removal and backfill by casing cyclic shear removal method using circulation agitation

- Existing pile removal and backfilling method that can ensure the construction quality of new piles -

Kiyotaka MORI, Hirofumi SAKIHAMA

The backfill borehole of existing pile by the casing cyclic shear removal method is unable to create a stable backfill area due to the effects of the drilling slurry properties in the borehole, the injection method of the backfill material and agitation methods. To solve these backfill borehole problems, a new method called the casing cyclic shear removal method using circulation agitation was developed. The results of scaled model experiments confirmed that the backfill material could be mixed uniformly by using a combination of the circulation agitation method and mechanical agitation. The results of on-site tests showed that entire boreholes were generally backfilled. The unconfined compression strength and the wet density of the backfill borehole increased with the increase of depth because of the consolidation and dehydrating effects. The effectiveness of the circulation agitation method for cement-bentonite water and the drilling slurry was confirmed.

---