

2. 循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の開発

A Study on Existing Pile Removal and Backfilling Technology Using Casing Edge Cutting Method Using Circulating Agitation

寺内将貴* 鏡 友明**

—概要—

既存建物の解体を伴う新築工事において、既存杭と新設杭が平面的に干渉する場合、埋戻し部の品質が確保できないと新設杭の施工に支障を及ぼす可能性がある。そこで、品質管理された埋戻し工法として循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法を共同研究会（16社）*により開発を行った。

本報では、縁切引抜工法の埋戻し部の構築における課題を分析し、その課題を解決するための循環攪拌を用いた縁切引抜工法を提案する。本工法の循環性能を把握するため、循環攪拌の模型実験を実施し、さらに現場における適用性を確認するため原位置施工実験を行った。結果、模型実験では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できることがわかった。また、原位置施工実験では、表層を除き概ね良好に埋戻されたことを確認し、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。

—技術的な特長—

本工法は、既存杭引抜き時に注入する埋戻し材をベントナイト水（BM）として孔内の BM と泥水を循環攪拌する（図1）。次にベントナイト泥水（B泥水）の密度を測定し、目標強度に応じたセメントミルク（CM）の添加量を決定する。その後、スパイラルオーガーによる機械攪拌を行うことで、標準的なケーシング縁切引抜き工法よりも品質管理された埋戻し部を構築することができる。

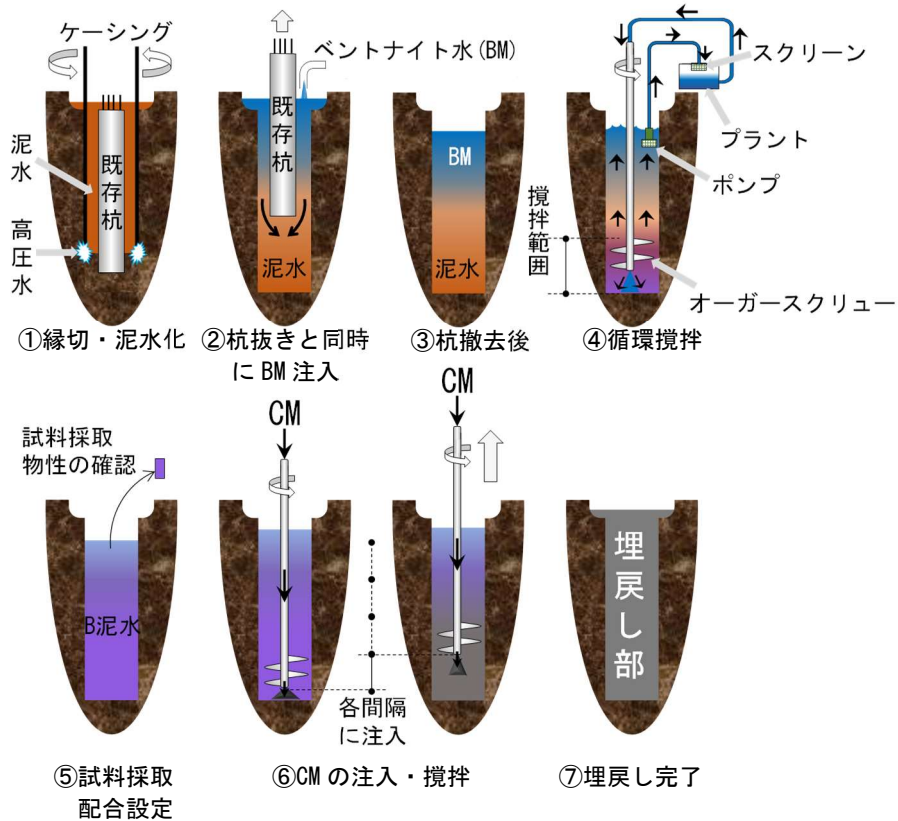


図1 循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の手順

※共同研究会

東急建設（幹事）、青木あすなる建設、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、戸田建設、飛島建設、西松建設、長谷工コーポレーション、ピーエス三菱、松村組

*技術研究所 構造研究部 建築構造研究室 **東京建築本店 設計部

循環攪拌を用いたケーシング縁切引抜工法の開発

A Study on Existing Pile Removal and Backfilling Technology Using Casing Edge Cutting Method Using Circulating Agitation

○寺内 将貴* 鏡 友明**
Masaki TERAUCHI Tomoaki KAGAMI

ABSTRACT The backfill borehole of existing pile by casing cyclic shear removal method is normally unstable status due to effects of the property of the drilling slurry in the borehole, backfill material injection and agitation methods. In this paper, a new method, called the casing cyclic shear removal method using circulation agitation, is proposed to solve the problems happened in the backfill borehole. The effectiveness of this new method was verified by model experiments and in-site tests. The results of model experiment show that the drilling slurry and backfill material were agitated homogeneously by both of circulation agitation method and mechanical agitation method. Besides, according to the investigation results of in-site tests, the whole boreholes were generally backfilled except the ground surface layer. The unconfined compression strength and the wet density of backfill borehole were decreasing with increasing of depth because of consolidation and dehydrating effects. In addition, the circulation agitation method is useful for agitating the drilling slurry and the cement-bentonite water.

Keywords :既存杭, 縁切引抜工法, 埋戻し材, 循環攪拌

Existing piles, Cyclic shear removal method, Backfill material, Circulated agitation

1. はじめに

都市部での既存建物の解体を伴う新築工事では、新設杭に干渉する既存杭の撤去事例が増加している。その場合、既存杭の撤去工事は、敷地面積、工程、経済性を考慮し、ケーシング縁切引抜工法（以下、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および埋戻しでは、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るため、安定した品質を確保することが難しい。

さらに、埋戻し部の状態によっては、新設杭の施工に影響を与えることもあり、この問題に警鐘を鳴らした文献^{1),2)}も確認できる。

本報では、縁切引抜工法の埋戻し部の構築における課題を分析し、その課題を解決するための循環攪拌を用いた縁切引抜工法（以下、循環攪拌工法）を提案する。

2. 縁切引抜工法を用いた既存杭撤去および埋戻しにおける課題

図1に一般の縁切引抜工法の概念図を示す。縁切引抜工法は、ケーシング先端より削孔水を噴出しながら回転削孔し、ケーシングと杭との間の縁を切る。その後、既存杭を撤去するが、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引抜く。その結果、撤去孔はおおむね上部が埋戻し材、下部が泥水の状態となり、孔内の攪拌を必要とするため、①「スパイラルオーガーによる機械攪拌（以下、機械攪拌）」、②「エアブローによるエア攪拌（以下、エア攪拌）」、③「エアリフト攪拌」等による攪拌を行う。この過程において以下のような課題を抽出した。

課題1) CMを注入しながら、既存杭を撤去する場合、既存杭の撤去に時間を要するよ

*技術研究所 構造研究部 建築構造研究室

**東京建築本店 設計部

うな長尺、大径杭である場合には、注入した CM が途中で硬化してしまう。

- 課題 2) 既存杭引抜き後の孔内はおおむね上部が埋戻し材、下部が泥水の 2 層の状態となり、下部が脆弱部となるため、新設杭を施工すると孔曲がりや孔壁崩壊を伴う可能性がある。そのため、埋戻し材と泥水を攪拌する必要があるが、現在行われている攪拌方法では十分攪拌できないことが多い。

- 課題 3) 撤去孔に溜った泥水は、杭周面の土砂・土塊、地下水だけではなく、削孔水・機材の洗い水等も含まれることから、その性状が不明確かつ不安定であるため、2 層となった埋戻し材と泥水を十分に攪拌しても混合体の強度は一定にならない。

3. 課題解決のための循環攪拌工法の提案

課題 1) ~3) を解決するために提案した循環攪拌工法の手順を図 2 に示す。提案する工法は課題の解決にあたり、既存の技術や機材を活用して施工を行うこととした。

- ① 縁切引抜工法と同様に、地盤と既存杭との縁を切るため、既存杭周辺の土を泥水化する。
- 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、杭の引抜きおよび切断に要する時間が確保されることから、施工が複数日となるような場合にも対応できる（課題 1) の対策）。
- ③ 既存杭撤去後の孔内は上部が BM、下部が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み 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させる。孔内にある土塊によるポンプの詰まり防止として、地上部の

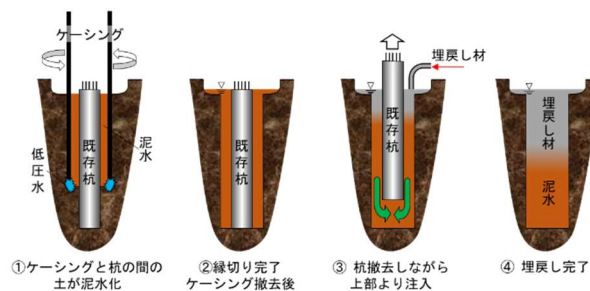


図 1 標準的な縁切引抜工法の手順¹⁾を修正

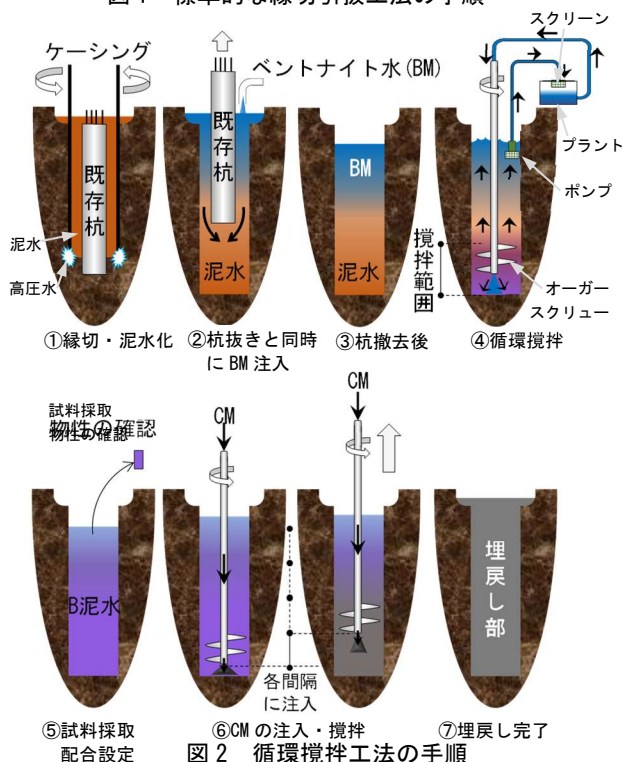


図 2 循環攪拌工法の手順

プラントにスクリーンを設ける。BM と泥水の混合物（以下、B 泥水）の密度をマッドバランスで計測し、攪拌程度を評価する。B 泥水の密度が一定になったところで、循環攪拌を完了する（課題 2) 対策）。

- ⑤ 循環攪拌完了後の B 泥水の体積・密度を計測し、②における BM の投入量から、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（課題 3) 対策）。
- ⑥ 設定した CM をオーガーの先端より注入する。注入方法は、あらかじめ定めた注入範囲区間ごとに必要な添加量を注入する。また、CM 注入により B 泥水のゲル化を伴うため、あわせて機械攪拌を行い、埋戻し部の均質化

を図る。

4. 循環攪拌工法の効果検証模型実験

4.1 実験概要

図3に循環攪拌工法の模型実験のイメージ図を示す。実験装置は、①撤去孔を模したボイド管、②ボイド管上部より試料を回収する鋼製パイプ（以下、回収管）、③回収用のモルタルポンプ、④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、⑤送水用のモルタルポンプ、⑥注入管へ空気を送り込むコンプレッサー、⑦回転させるモーター、⑧ボイド下部まで試料を注入する鋼製パイプ（以下、注入管）によって構成される。

また、機械攪拌については、オーガースクリューを注入管の全長に取り付けた全長スパイラルオーガー（以下、全長オーガー）とオーガースクリューを先端部のみに取り付けた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模擬する。

表1に模型実験の各試験体の実験条件を示す。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、エア攪拌（CASE-1）または全長オーガーによる機械攪拌（CASE-2）を行った。

CASE-3-1およびCASE-3-2は、泥水に普通泥水（CASE-3-1）と高粘性泥水（CASE-3-2）を用いており、CBMを注入し循環攪拌のみで攪拌した簡略化循環攪拌工法である。

CASE-4-1、CASE-4-2およびCASE-4-3は、提案した循環攪拌工法であり、泥水とBMを循環攪拌した後、CMの注入と同時にオーガーによる機械攪拌を行う。CASE-4-1およびCASE-4-3は先端のみオーガー、CASE-4-2は全長オーガーを用いた。CMは、ボイド管の全長を3層に分割して注入し、層毎に3~4分程度の機械攪拌を行う。

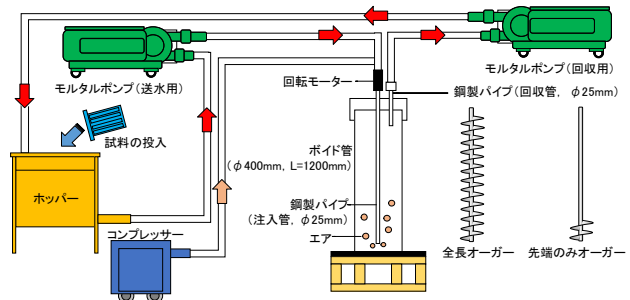


図3 循環攪拌工法の模型実験イメージ図

表1 循環攪拌模型実験の実験条件

CASE	攪拌方法 (工法)	泥水	埋戻し材	容積割合				循環攪拌 泥水+CBM	機械攪拌		エア攪拌
				泥水	CBM	BM	CM		先端	全長	
1	エア攪拌 (在来工法)	普通	CBM	2	1						●
2	機械攪拌 (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	1			●	●		
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

泥水	W(kg/m³)	砂(kg/m³)	粘土(kg/m³)	砂：粘土	密度(kg/m³)
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

	W(kg/m³)	B(kg/m³)	C(kg/m³)	B/W	W/C	密度(kg/m³)
CBM	772	57	656	7%	118%	1.48
BM	945	142	-	15%	-	1.09
CM	656	-	1094	-	60%	1.75

また、普通泥水との比較のためCASE-4-3は高粘性泥水を用いた。

泥水とBMもしくはCBMの循環攪拌を行うCASE-3とCASE-4は、攪拌状態を確認するため、循環攪拌開始から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。すべての試験体で循環攪拌開始後、約6分で試料の密度が一定になり、循環攪拌を完了とした。

表2および表3に泥水および埋戻し材の配合を示す。材料は、水（W、水道水）、ベントナイト（B、密度2.60g/cm³）、高炉セメントB種（C、密度3.16g/cm³）、豊浦砂（密度2.63g/cm³）および粘土（カオリナイト粘土、密度2.58g/cm³）を使用した。泥水の砂と粘土の質量比は1:1を標

準の普通泥水とし、比較として質量比を砂0：粘土1としたものを高粘性泥水とした。

また、泥水および埋戻し材はホッパーへの投入直前にハンドミキサーで5分程度練混ぜを行い投入した。

4.2 実験結果

図4にコア採取位置および一軸圧縮強さ (q_u) の強度分布を示す。コア採取位置以外の一軸圧縮強さは線形補間し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した。

在来工法の機械攪拌であるCASE-2は、側面に高い q_u が分布し、中層にかけて q_u が低くなる傾向にある。これは、全長オーガーによる機械攪拌が側面まで攪拌できていないと考えられる。

循環攪拌のみのCASE-3-1およびCASE-3-2は、深度方向に q_u の差が顕著に見られた。CASE-3-1は下層に低い q_u が分布し、CASE-3-2は上層に低い q_u が分布する傾向を示した。この結果はCASE-3-1は、泥水の流動性が良いため、循環攪拌後に砂分の沈殿が起これ、下層の一部は未固化となり、中層は砂分とCMが混ざり高強度になり、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は高粘性泥水のため、循環攪拌時に下部から注入したCMが上層に行きづらいため、下層にCMが滞留したと考えられる。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、上下層で強度が分かれるため、オーガーによる機械攪拌等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提案工法であるCASE-4シリーズは、先端のみオーガーによる機械攪拌のCASE-4-1およびCASE-4-3は強度のばらつきがあるが、極端に高い強度や未固化となるような低い強度が少ないため、孔内を概ね攪拌できたと考えられる。一方、全長オーガーによる機械攪拌を行ったCASE-4-2は均一な強度分布となり、十分な攪拌ができていた。

5. 原位置施工実験

模型実験の結果から循環攪拌を用いた提案工法の有効性を確認したため、実際の杭を用いた原位置施工実験を実施した。

5.1 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5に既存杭の配置状況および現地盤の概要を示す。地層構成は、地表面(G.L.)より約G.L.-6.0mまでが埋土・細砂層、約G.L.-6.0m~-9.0mがシルト・粘土層、約G.L.-9.0m~-18.0mが細砂層にて構成されている。表4に既存杭の詳細を示す。

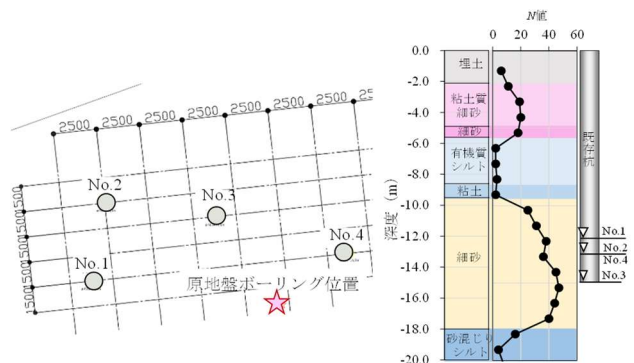


図5 原地盤ボーリング図および既存杭

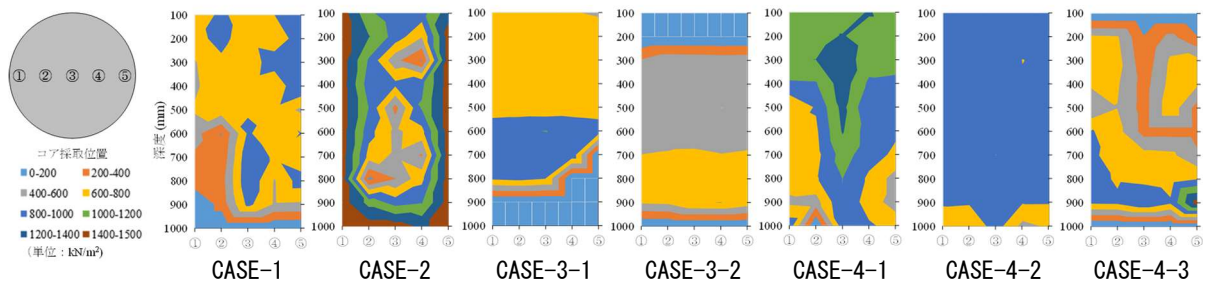


図4 各試験体の一軸圧縮強さの分布

5.2 埋戻し土の配合計画

埋戻し土の配合を決めるため、原位置土を使用し室内配合試験を行った。原位置土を採取し、水道水を使用して密度 $1.2 \text{ g/cm}^3 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$ の泥水を作成した。杭撤去時の釜場の容量、孔内泥水量、BM の投入量および CM の投入量を想定して、B/W を 12%、W/C を 60% とし、泥水との配合試験を行った。表 5 に混合体の配合および試験結果を示す。

5.3 施工手順

模型実験の結果から 2 工法を採用し、原位置施工実験を実施した。図 6 に施工手順を示す。埋戻し材の配合、投入量および埋戻し土の想定強度を表 4 に示す。文献³⁾を参考にして埋戻し部の想定強度を求めた。

(1) A 工法施工手順

①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した後、ワイヤーロープをかけて杭を撤去すると同時に BM を注入する。既存杭引抜き完了時に BM の注入量を確認する。

②BM 循環攪拌

地表部釜場に設置したサンドポンプで孔内上部の B 泥水を吸い上げ、モルタルポンプによりオーガー先端から孔内下部に吐出させることで循環攪拌させる。攪拌時間は B 泥水体積分をモルタルポンプで圧送する時間とし、既存杭 No.1 および No.2 が 80 分、既存杭 No.3 が 100 分実施することとした。

循環攪拌の際、10 分毎に B 泥水の密度を測定し、すべての A 工法で約 40 分後に密度が安定した。最終 B 泥水密度を確認し、投入量を決定した。ただし、原位置施工実験時のケーシングおよび釜場が配合計画時に想定した体積より大きくなったことから、体積に対して BM

表 4 既存杭の仕様および埋戻し工法

既存杭	杭種	杭径 (mm)	杭長 (m)	埋戻し材	B/W	W/C	埋戻し材			埋戻し土 想定強度 (kN/m ²)	工法
							注入量 (m ³)	BM	CM		
No.1	既製 C 杭	620	11.6	BM+CM	22%	60%	5.0	1.5	-	477.7	A
No.2	H 鋼杭	700	12.5	BM+CM	22%	60%	5.0	2.0	-	568.4	A
No.3	既製 C 杭	400-550	14.5	BM+CM	22%	60%	6.0	2.0	-	564.6	A
No.4	H 鋼杭	750	12.85	BCM	12%	180%	-	-	7.5	673.3	B

表 5 混合体の配合計画および試験結果

試料 番号	泥水密 度 (g/cm ³)	B/W	W/C	混合容積 (m ³)					混合体配合 (kg/m ³)					混合体 密度 (kg/m ³)	B _r (%)	28 日 q _u (kN/m ²)
				泥水	BM	CM	W	B	C	S						
1	1.2	12%	60%	7.30	3.11	2.68	847	220	26.2	182	1.28	9.8	591			
2	1.3	12%	60%	7.30	3.11	2.53	813	210	26.5	278	1.33	4.4	831			
3	1.4	12%	60%	7.30	3.11	2.38	779	200	26.8	374	1.38	1.1	1070			

の注入量が少なくなるため、B/W は配合計画の 12% から 22% に変更した。

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 工法施工手順

①縁切り・引上げ

A 工法の手順①と同様の手順になるが、既存杭引抜き時は CBM を注入しながら、既存杭を撤去する。

②CBM 循環攪拌

A 工法と同様に孔内 (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、A 工法と同様に約 40 分後に埋戻し土の密度が安定した。

5.4 埋戻し部の調査結果

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 7 に示すように埋戻し部の中央位置の未固結試料を採取した。また、埋戻し完了から約 11 日後に乱れの少ない試料 (以下、コア試料) を採取した。採取位置は埋戻し部中心に対して 200mm 偏心した位置 (図 7) とし、1 か所または 2 か所とした。

コア試料は 1.0m 毎に固結部採取率を確認した。その結果、No.1 は G.L.-6.0m 以深では採取率が 98% 以上、No.3-1 は G.L.-2.0m 以深の 2 か所の採取率が約 80%、その以外が 90% 以上となった。その他のコア採取位置においては、GL-3.0m 以

深で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。

図 8 (a) に原地盤のボーリング柱状図、各埋戻し部の想定強度、未固結試料およびコア試料の材齢 28 日の一軸圧縮強度 (以下、 q_u) の深度方向分布を示す。

埋戻し部 No.1 にて採取した未固結試料は、G.L.-4.0m で $q_u=30\sim545$ kN/m² とばらつき、G.L.-9.0m で平均 $q_u=672$ kN/m² となり、想定強度 (477.7kN/m²) を上回った。コア試料については、G.L.-0.0m~4.0m において未硬化のため試料採取ができず、G.L.-9.0m まではクラックやパイプ状の未改良部がみられたため、一軸圧縮試験が実施できなかった。また、G.L.-9.0m 付近の細砂層 (DS2) 以深から、想定強度を大きく上回る $q_u=2000$ kN/m² 以上の埋戻し土を形成している。G.L.-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 の未固結試料は $q_u=33.4\sim698$ kN/m² であり、全体的にばらつきが大きい。コア試料については、G.L.-1.4m まで埋土、G.L.-1.4m~G.L.-4.7m までクラックや脆弱部により、試験ができなかった。G.L.-5.0m 以深から固結し、G.L.-9.0m 程度まで概ね 1000~2000kN/m² で漸増し、ばらつきが少ない結果であった。No.1 と同様に約 G.L.-9m 以深より q_u が高くなり、それに伴いばらつきも大きくなっている。G.L.-12m 付近から q_u が顕著に増加し、最大で 4958kN/m² となった。

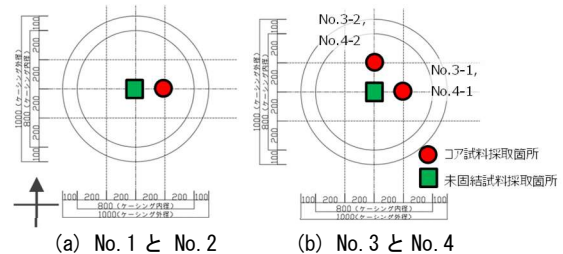
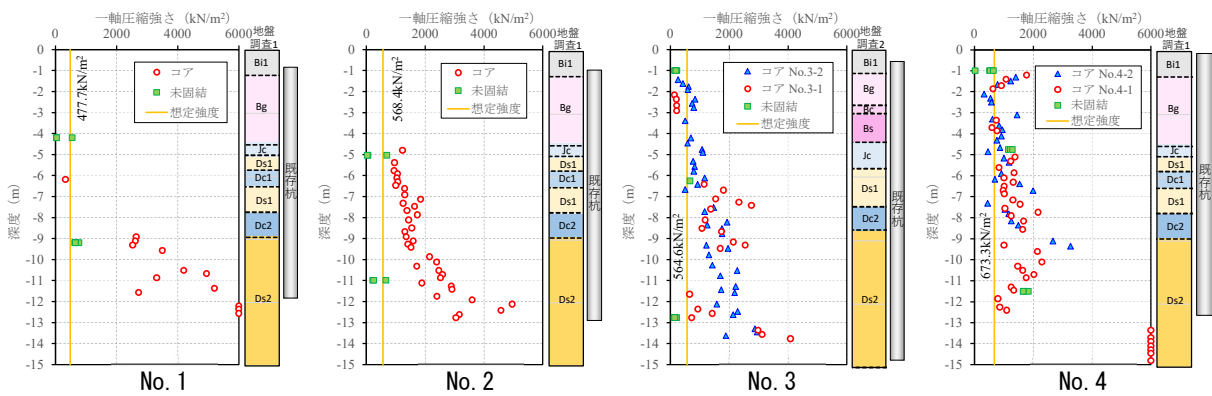
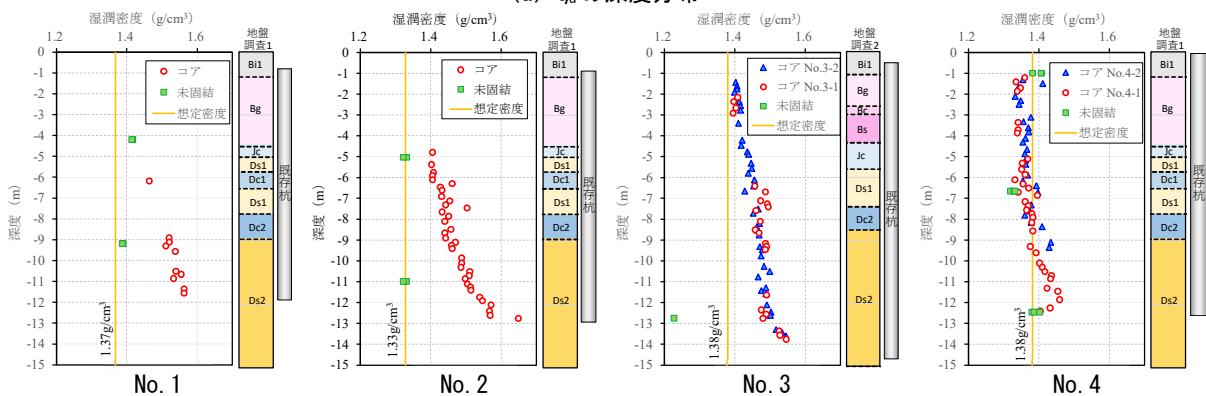


図 7 試料の採取位置



(a) q_u の深度分布



(b) 湿潤密度の深度分布

図 8 採取した試料の q_u および湿潤密度の深度分布

埋戻し部 No.3 の未固結試料については、上部 (G.L.-1.0m 付近) および下部 (G.L.-13.0m 付近) の平均 q_u はそれぞれ 175 kN/m² および 149 kN/m² で小さいが、中間部の q_u は 656kN/m² であり、想定強度 (564.6kN/m²) 近傍となった。また、コア試料については、No.3-1 において G.L.-3.0m~6.3m、G.L.-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、G.L.-13.7m で 4081kN/m² を示しているほかは、最大で 3000kN/m² 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 が概ね同じような値となった。また、埋戻し上部から下部にかけ、わずかに q_u が上昇傾向にあるが、概ね 2300kN/m² 以下を示しており、比較的ばらつきも少ない。

以上より、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。

図 8 (b) にコア試料および未固結試料の湿潤密度の深度分布と均一攪拌を仮定した想定密度および原地盤のボーリング柱状図を併せて示す。

A 工法で埋戻しを実施した No.1~No.3 の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、調査位置が CM の排出口に近く相対的にセメントが多く含まれているため、密度が高くなったと考えられる。また、湿潤密度は、 q_u と同じように深度方向に大きくなる傾向がみられた。未固結試料の湿潤密度は、No.3 を除いて概ね想定密度の近傍にある。

B 工法で実施した No.4 の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。また、No.4 下部の湿潤密度がわずかに漸増していることから、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、下部の湿潤密度および q_u が增大したと推察する。

6. まとめ

既存杭の撤去埋戻し工法として循環攪拌を用いた縁切引抜工法を提案し、循環攪拌工法の効果検証模型実験および原位置施工実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 模型実験の結果より、循環攪拌および機械攪拌を併用し、泥水と埋戻し材を均一な攪拌ができることがわかった。
- (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、全体的には表層を除き、概ね良好に埋戻された。
- (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大きくなる。
- (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。

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、飛鳥組、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年7月
- 2) 遠藤正美, 寺内 将貴, 森清 宣貴, 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, pp.511-512, 2022.7
- 3) 川崎 健二郎, 森 清隆, 門井 大祐, 富田 祐介, 松寄 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, pp.513-514, 2022.7