

低空頭柱列式連続壁（N-BH 工法）の施工 Construction of the Pile Type Diaphragm Wall (N-BH Method)

喜多 紀州* 有吉 善美*
Norikuni Kita Yoshimi Ariyoshi
今村 眞一郎** 佐藤 靖彦***
Shinichiro Imamura Yasuhiko Sato

要 約

既設鉄道橋脚の耐震補強工事の土留壁の施工に、低空頭柱列式連続壁(N-BH 工法)を採用した。N-BH 工法は従来の BH 工法を改良し、小型マシンでもラップ杭による柱列式連続壁の施工を可能にした工法である。

本報文では、狭隘でかつ多くの近接条件下における土留壁施工法の検討内容および採用した N-BH 工法の施工実績について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 土留壁施工法の検討
- § 4. N-BH 工法
- § 5. 施工性および品質確認
- § 6. まとめ

§ 1. はじめに

本工事は、東海道新幹線目黒川橋梁（支間長 25 m、桁 2 連）における目黒川兩岸の橋脚 2 基の耐震補強（RC 巻き）と橋脚付近の護岸改修工事を施工するものである。

現場付近は、新幹線と横須賀線、山手線が並行し、左岸陸上部は交通量の多い山手通りに面し、また地中埋設物があるなど多くの重要施設が近接しており、これら近接物に十分注意した施工が必要とされた。土留め壁の施工条件は、新幹線桁下約 7 m の空頭制限かつ狭隘な施工ヤードであり、また着工前には地中障害物の残存が確認された。

このように制約の多い条件の中で施工可能な土留壁の施工方法を検討し、N-BH 工法を選定した。従来の BH 工法の場合、杭をラップさせることができないため、背面に薬液注入を行い、止水性を確保するのが一般的である。N-BH 工法は従来の BH 工法を改良し、小型マシン

でもラップ杭による柱列式連続壁の施工を可能にした工法である。本工法の施工にあたっては、サイクルタイムなどの施工性や鉛直精度と改良杭の品質を計測試験し、その有効性を確認した。

§ 2. 工事概要

工 事 名：新幹線 8 k080 付近目黒川 B 護岸工ほか
発 注 者：東海旅客鉄道株式会社建設工部
請 負 者：西松・ジェイアール東海建設共同企業体
工事場所：東京都品川区大崎 1 丁目地先
工 期：平成 19 年 4 月 27 日～平成 21 年 11 月 16 日

工事場所を図一に、橋梁平面図を図二に、橋梁・2P 橋脚の概況を写真一、二に示す。



図一 工事場所位置図

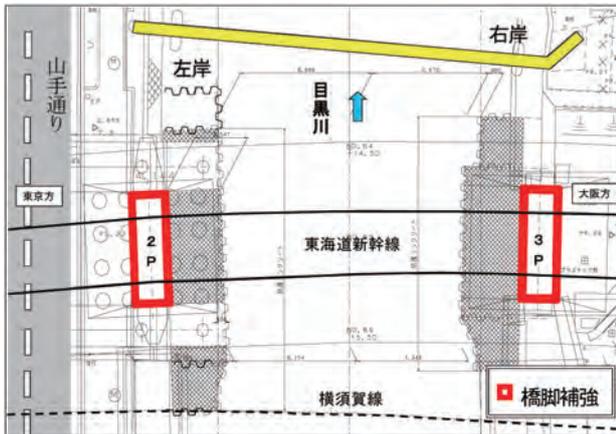
* 関東土木（支）JR 小金井（出）

** 技術研究所土木技術グループ

*** 技術研究所

§3. 土留壁施工法の検討

左岸陸上部 2P 橋脚における工事は、①土留壁の施工、②立坑内のフーチング天端（GL-5.8 m）までの掘削、③鉄筋コンクリート巻きによる橋脚補強という手順で実施した。



図一2 目黒川橋梁平面図



写真一1 目黒川橋梁全景



写真一2 2P 橋脚

供用中の橋脚に近接して掘削や地盤改良を行うため、綿密な施工管理と計測管理のもとで施工する必要があり、当現場では左岸橋脚天端に沈下計と傾斜計を取りつけ、橋脚の変位を計測しながら施工を進めた。

3-1 計画時における問題点

当初計画では、河川に近接し地下水位も高いことから、止水性を考慮して鋼矢板による土留壁を計画していた。また、桁下での施工、狭隘な作業ヤードのため、鋼矢板の打設方法はサイレントパイラーによる鋼矢板圧入工法を計画した。しかし、事前の試掘調査の結果、木矢板やコンクリートガラ等の支障物が地中に残存していることが判明し、鋼矢板圧入工法では支障物を避けて施工することが非常に困難であり、代替工法を検討することにした。

3-2 左岸陸上部における代替工法の検討

代替工法を検討する上で、考慮すべき条件は以下のとおりである。

- ① 桁下低空頭、狭隘な作業ヤードで施工可能
- ② 地中に障害物が残存した状態で施工可能
- ③ 地下水の影響を考慮し、止水性を確保
- ④ NTT埋設管との離隔を確保

これらの条件を踏まえ、表一1に示す地中障害物がある状態で施工可能な3つの代替工法について比較・検討をおこなった。

- A案：親杭横矢板工法（BH工法+薬液注入）。BH工法により親杭横矢板式土留を構築し、背面を薬液注入して止水性を確保する。
- B案：親杭横矢板工法（BH杭2列配置）。BH工法による単杭を2列配置して止水性を確保する。
- C案：柱列式連続壁（N-BH工法）。BH工法を改良したN-BH工法により、単列の改良杭をラップさせて柱列式地中連続壁を造成して止水性を確保する。

上記の3案を比較検討した結果は次のとおりである。

A案の場合、背面側の薬液注入の範囲とNTTの埋設管との最小離隔を確保することができない。

B案の場合、BH杭の打設本数が多いうえ掘削時に横矢板の設置が必要であるため工期、工費の面で不利となる。また、A案と同様にNTT埋設管との離隔が不足することから適用できない。

C案は、単列での施工によりNTT埋設管との離隔を確保でき、かつ地中障害物にも対処可能と判断された。

以上の3工法を、工費、工期、現場適応性について総合的に評価した結果、NTT埋設管との離隔を確保できるC案のN-BH工法による柱列式連続壁が最適である判断し採用した。

表一 土留壁工法の比較検討表

代替案	A 親杭横矢板工法 (BH工法+薬液注入)	B 親杭横矢板工法(二列配置) (BH工法)	C 柱列式連続壁 (N-BH工法)
概念図			
工法概要	<ul style="list-style-type: none"> ・BH工法による親杭横矢板式土留 ・止水性を薬液注入工により確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・BH工法による親杭横矢板式土留 ・止水性をBH杭2列配置で確保 	<ul style="list-style-type: none"> ・N-BH工法による柱列式連続壁
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・止水性確保のための薬液注入が、近接構造物(NTT管)に影響を与える可能性がある。→適用性: × ・NTT管との離隔: 472mm → × 	<ul style="list-style-type: none"> ・BH杭打設本数が多い。また掘削に伴って芯材間に横矢板の設置が必要となる。→工期・工費: Δ ・NTT管との離隔: 743mm → × 	<ul style="list-style-type: none"> ・N-BH工法は特殊工法であるため工費が高い。→工費: Δ ・NTT管との離隔1134mm → ○
工費	○	Δ	Δ
工期	○	Δ	○
適応性	×	×	○
総合評価	×	×	○

§4. N-BH 工法

4-1 工法の特徴

図-3 に N-BH 工法の概念図を示す。

従来の BH 工法は、ロッド剛性と削孔能力の不足より杭をラップさせた柱列式連続壁を構築することができなかった。これに対し N-BH 工法は従来の BH 工法に比べ、以下の特徴を有する (表-2)。

- ① 高剛性ロッド (角型 270 mm) の使用による鉛直削孔精度向上
- ② 回転トルク向上による削孔力の増強
- ③ ワンタッチジョイントロッドの採用による作業性の向上
- ④ 特殊重錘を使用した固化材注入による安定液と固化材の置換向上

これらの改良により止水性が高くかつ狭隘部での作業性が向上した柱列式連続壁の施工が可能となった。

4-2 土留め杭

2P 橋脚耐震補強工事の土留め杭の配置を図-4 に示す。N-BH 工法による柱列式連続壁は、径 φ550 mm、長さ L=9.0~18.0 m の改良杭を計 51 本を配置した。H 鋼 (H340×250×9×14 mm 等) の芯材を 1 本おきに挿入し、親杭とした。

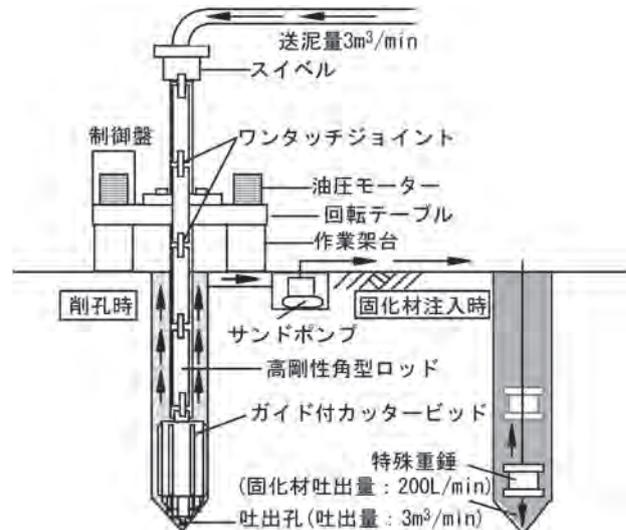


図-3 N-BH 工法の概念図

表-2 BH 工法と N-BH 工法の比較

	BH 工法	N-BH 工法
ロッド口径	円形ロッド内径φ100	角型ロッド 内径φ200
ロッド継手	ねじ継手	ワンタッチジョイント継手
固化材注入方法	芯材建込み後に注入パイプにて固化材注入	芯材建込み前に特殊重錘にて固化材注入
回転トルク	800~1,000kg・m	3,500~4,000kg・m
送水量	0.5m³/min	3.0~4.0m³/min
安定液比重	1.06~1.45	1.06~1.25
削孔精度	約 1/100~1/150	約 1/150~1/250

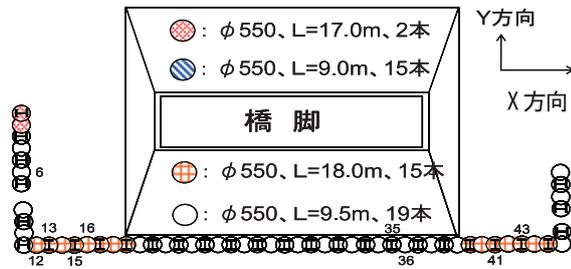


図-4 土留杭の配置図

当該地盤は埋土層と沖積粘性土層からなり、沖積層の土質は砂混じりシルトで、N 値=0~3 である。

4-3 施工手順

N-BH 工法による連続地中壁の施工フローを図-5 に示す。施工は先行杭を打設した後、後行杭を先行杭間にラップ施工して、後行杭に芯材を建て込んだ。

① 布掘工・架台設置

バックホウにて H600 mm×W1600 mm の布掘りを行い、連続壁のガイド溝とする。床付け面を整形後、機械据付のための H 鋼架台を組み立て設置する。

② プラント設置

固化材サイロ、ミキサー、泥水処理プラント等を場内に設置する。

③ 掘削機据付

4.9t ミニクローラークレーンを使用して N-BH 掘削機（約 1.5t）の据付を行う。

④ 掘削

角型ロッド先端にガイド付カッタービットを取り付け、杭芯および垂直精度の確認を行う。掘削方式は安定液をビット先端部から噴出させ、スライムとともに上昇させる正循環方式とした（写真-3、4）。

⑤ 安定液管理

孔壁自立、逸水の防止、掘削残土の流体輸送、残土分離のために、ベントナイトや CMC 等の安定液の管理をおこなう。

⑥ 孔内洗浄

所定深度まで掘削後、一次孔内洗浄として孔底にビットを置いた状態で循環水を送りスライムを除去する。抜管後、特殊重錘（写真-5）を孔底まで下ろし、再度、スライムの有無を確認する。スライムがある場合は、特殊重錘に安定液を送り二次孔内洗浄を行う。

⑦ 固化材注入

二次孔内洗浄後、特殊重錘を孔底に置いた状態で固化材を注入し安定液と置換する。注入量を見ながら特殊重錘を徐々に引き上げ、孔口まで充填する。

固化材の配合を表-3 に示す。設計強度は 1.0 N/mm²、比重 1.35 である。

⑧ 芯材建込み

後行杭においては、固化材注入後、H 鋼の芯材を孔内に挿入し、架台で固定する。

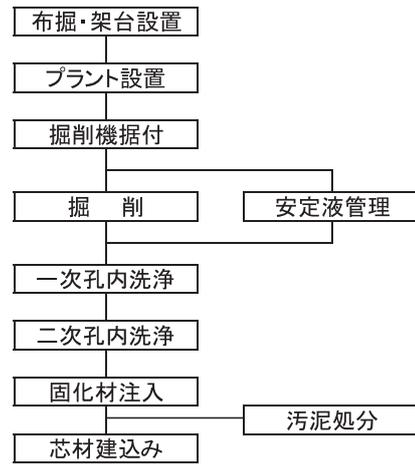


図-5 施工フロー



写真-3 N-BH 掘削機据付

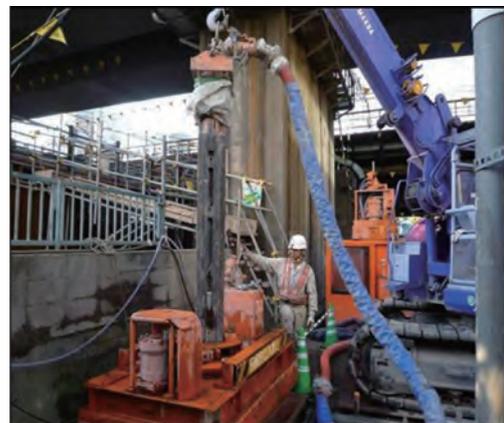


写真-4 掘削状況



写真-5 特殊重錘

表-3 固化材の配合

単位量(kg/m ³)			
高炉セメントB	シーボンド	シーゲル	水道水
350	162	18	816

§5. 施工性および品質確認

N-BH 工法の施工性について確認するために、鉛直精度およびサイクルタイムの確認を行った。また改良杭の品質確認のために施工後に改良杭のオールコアサンプリングを行い、コアの一軸圧縮試験および透水試験を実施した。

5-1 鉛直精度

鉛直精度の測定は、ロッド内に治具を装着した傾斜計ガイド管を挿入し、その後挿入式傾斜計により測定した。測定結果を表-4 に示す。

鉛直精度については掘削底面における改良体の必要耐力と遮水性から、最低鉛直精度を 1/100 とし、杭体の強度の不確実性を考慮し目標精度を 1/150 として施工管理した。

先行杭の施工では、約 1/100~1/300 の鉛直精度を確保することができた。後行杭については、杭 No.35 で鉛直精度が X 方向、Y 方向ともに 1/100 程度であった。これは、ラップ施工時に削孔ビットが先行杭の影響により横滑りを生じたものと考えられた。そこで、写真-6 に示す支障物削孔用のビット (A-1, A-2) で削孔したところ、A-1 ビットでは約 1/100~1/250 に対して、A-2 ビットでは約 1/150~1/400 の鉛直精度を確保することができた。ラップ施工ではビット形状に改良を加えることにより、後行杭の施工でも鉛直精度を確保でき、確実にラップされた柱列式連続壁を構築できることを確認した。

5-2 サイクルタイム

表-5 に N-BH 工法と従来の BH 工法の先行杭 1 本当りの施工サイクルタイムの比較結果を示す。

N-BH 工法では、ワンタッチジョイントを用いることにより削孔ロッドの継ぎ足し作業時間が短縮され、大送水量の孔内洗浄によってスライム処理時間が大幅に短縮された。

ただし、施工時間には地中障害物の有無やラップ施工が影響した。図-6 は、単位深さ当りの削孔時間をまとめたものである。削孔時間は、障害物無、障害物有、ラップ施工の順で長くなり、ラップ施工では障害物無に比べて約 2~3 倍の削孔時間を要している。これは、削孔精度を高めるために、1 m 毎に傾斜測定しながら方向調整の上、時間をかけて削孔したことが影響しているためである。

表-4 鉛直精度の測定結果

No.	杭種	ビット	削孔長	X方向	Y方向
6	先行	A	9.0	1/106	1/290
36	先行	A	9.5	1/134	1/282
16	先行	A	18	1/186	1/242
35	後行	A	9.5	1/101	1/120
15	後行	A-1	18	1/136	1/110
43	後行	A-1	18	1/244	1/108
13	後行	A-2	18	1/200	1/153
41	後行	A-2	18	1/391	1/188

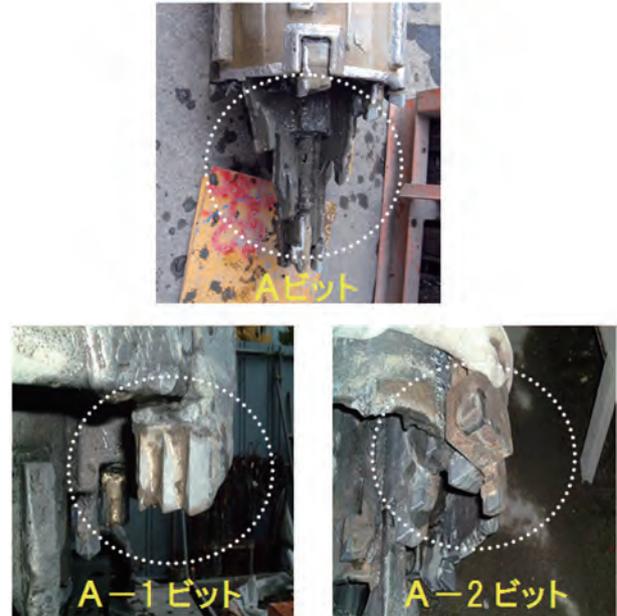


写真-6 使用したビット形状

表-5 サイクルタイムの比較 (単位: min)

項目	N-BH 工法		BH 工法	
	10m	18m	10m	18m
削孔長	10m	18m	10m	18m
削孔	57	195	82	540
スライム処理	10	20	22	64
抜管	11	24	19	20
固化材注入	29	38	31	60

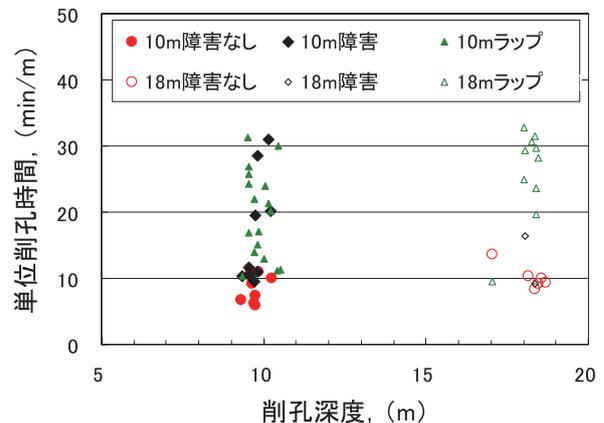
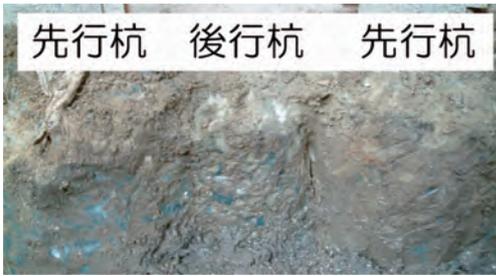
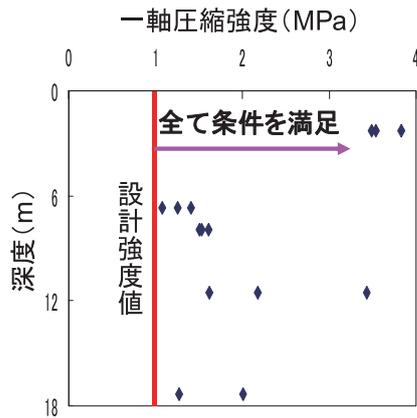


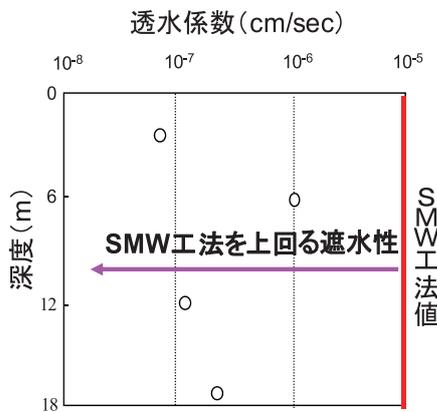
図-6 1 m 当りの削孔時間



写真一七 ラップ部の状況



図一七 改良杭の一軸圧縮強度



図一八 改良杭の透水係数

5-3 改良杭の品質

写真一七に、掘削時における改良杭のラップ状況を示す。先行杭と後行杭は良好にラップしており連続性を確認できた。

杭 No.12 から採取したコアを対象に一軸圧縮試験と室内三軸透水試験を実施した。図一七に一軸圧縮強度を、図一八に透水試験の結果を示す。強度については、すべて設計強度 1 MPa を満足した。また透水係数については $10^{-6} \sim 10^{-7}$ (cm/sec) に分布しており、SMW 工法による土留壁の遮水性能 10^{-5} (cm/sec) と同等以上の遮水性能を有していることを確認した。

§ 6. まとめ

土留壁工法に N-BH 工法による柱列式連続壁を採用し、近接物との離隔確保、低空頭、地中障害物の存在、止水性の確保等の厳しい条件に対して、所要の施工性や品質を満足した土留壁の構築を行うことができた。

今後の既設構造物の補強工事や鉄道の高架化・複々線化の工事など、狭隘で空間制限にある施工条件における土留壁および基礎杭の施工法として、N-BH 工法は有効な技術と考える。

謝辞. 本工事の施工にあたりご指導いただいた東海旅客鉄道株式会社をはじめ、関係各位の皆様には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 前野, 杉崎, 石樽, 良川, 今村, 有吉: 新幹線目黒川橋梁の耐震補強および護岸改修における仮土留壁計画と施工について, 土木学会第 56 回年次学術講演会概要集, VI 部門, pp.523-524, 2010.