

北陸新幹線におけるつばさ杭（回転貫入鋼管杭）の施工

— 富山水橋下砂子坂高架橋 —

菱建基礎株式会社 工事部 一色登志夫
菱建基礎株式会社 工事部 田中幹宏
菱建基礎株式会社 工務部 荻田成也

概要：富山水橋下砂子坂高架橋は、北陸新幹線工事において、富山市水橋下砂子坂付近に築造される高架橋であり、橋梁 500m・高架橋 1,200m となっている。工事箇所は、3工区に区分されており、基礎杭の種類は、1工区 ソイルセメント鋼管杭(HYSC工法)、2工区 ソイルセメント鋼管杭(HYSC工法)(未買収)、3工区 回転圧入杭(つばさ杭工法)で計画されており、当社は、3工区の回転圧入杭(つばさ杭) 65本を施工した。本工事において、被圧水が存在する困難な地盤条件でつばさ杭の施工を行った。

Key Words：鋼管杭、回転圧入、無排土、低騒音、高支持力、大口径、開端タイプ、硬さ指標、被圧水、近隣井戸

1. はじめに

先端翼付き回転圧入鋼管杭(つばさ杭)は、先端つばさ翼を有した鋼管を全周回転掘削機にて回転圧入させ杭を構築する工法であり、地盤土砂の掘削を伴わない環境に優しい工法である。また、杭先端に軸径より径の大きなつばさ翼を有しているために通常の軸径と同径の鋼管杭より支持力が大きいのが特徴である。

当工事以前は、杭先端が閉塞タイプで、かつ径 ϕ 1,200に限られた範囲の施工であった。しかしながら、更なる大口径の鋼管杭の需要が高まり、大口径にも対応するべく開端タイプのつばさ杭の開発を行った。2度の実験工事を経て開端タイプの実用化を果たし、今工事において径 ϕ 1,300の開端タイプのつばさ杭を施工し、回転圧入方法の難点の解消方法の発見により、工期の大幅な短縮に成功した。

また、トルク値や管理指標の計測管理に関しても、今工事を始めるに当たり、専用の管理装置に改良を加え、より確実な施工管理を実現した。今後、北陸新幹線に限らず、つばさ杭工法を改良・開発を継続し、あらゆる土質に対応を可能な工法とし、なおかつスムーズで確実な施工を確立することを目指していく。



一色登志夫



田中幹宏



荻田成也



写真-1 つばさ杭開端タイプ



写真-2 つばさ杭閉塞タイプ



写真-3 管理計. 打ち止め時

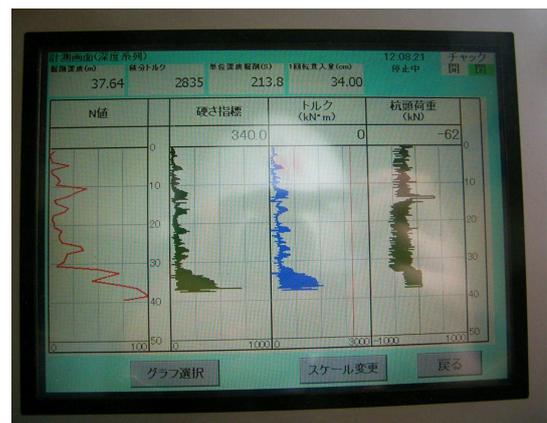


写真-4 管理計. 支持層貫入時

2. 工事概要

2.1 施工地盤条件

当施工範囲は、支持層近辺まで比較的緩い砂・シルト層から構成された沖積層であり、支持層は洪積層の礫質土としている。しかしながら、As2（砂質土）が比較的固く、滑り現象の発生しやすいAc3層（粘性土）が下に有ったため、工事の難点となった。

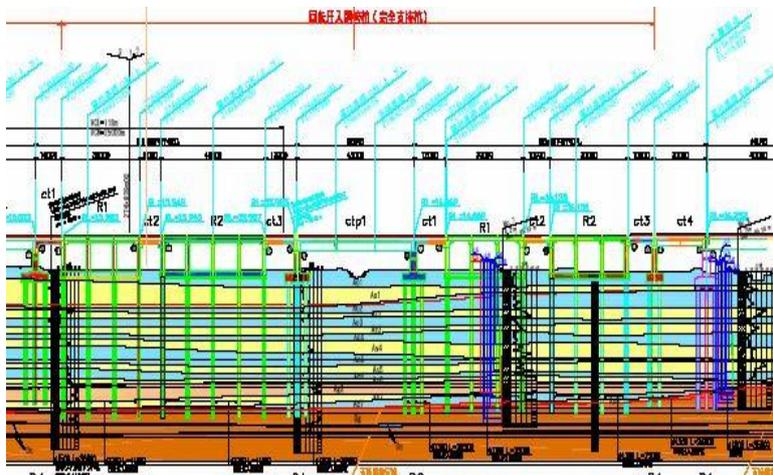


図-1 つばさ杭施工横断面図

地層区分	記号	N値	主な土質名
粘性土1	Ac1	0~18	粘土質シルト、砂質シルト (シルト質砂、シルト混り砂)
砂質土1	As1	1~30	シルト質砂、細砂~粗砂、礫混り砂 (粘土質シルト、砂質シルト)
粘性土2	Ac2	2~21	砂混りシルト、砂質シルト (シルト混り砂)
砂質土2	As2	7~38	シルト混り砂、中砂~粗砂 (シルト、砂質シルト)
粘性土3	Ac3	3~24	砂混りシルト、砂質シルト (シルト混り砂)
砂質土3	As3	6~37	シルト質砂、シルト混り砂、細砂~粗砂 (粘土質シルト)
粘性土4	Ac4	3~20	粘土質シルト、砂質シルト (シルト質砂)
砂質土4	As4	6~40	シルト質砂、シルト混り砂、中砂~粗砂、砂 (砂質シルト)
粘性土5	Ac5	4~38	砂混りシルト、砂質シルト (シルト質砂、細砂)
砂質土5	As5	7~50	シルト質砂、細砂~粗砂、礫混り砂、砂 (砂質シルト)
粘性土6	Ac6	3~34	粘土質シルト、砂質シルト (シルト質砂)
砂質土6	As6	7~50	シルト質砂、中砂、礫混り砂、砂 (砂混りシルト、砂質シルト)
礫質土	As2	17~50	シルト混り砂、中砂~粗砂、礫混り砂、砂 (砂混りシルト)
砂質土7	As7	13~30	シルト質砂 (粘土質シルト、砂質シルト)
粘性土7	Ac7	3~30	粘土質シルト、砂質シルト (シルト質砂)
砂質土8	As8	15~50	シルト質砂、シルト混り砂、礫混り砂、砂 (砂質シルト)
粘性土8	Ac8	18~27	砂質シルト
礫質土	As5	25~50	砂礫、礫混り砂
粘性土	Ac7	12~13	砂混りシルト、砂質シルト

※ 主な土質名欄の()内は読み添

図-2 地質区分

2.2 つばさ杭施工数量

番田川を挟んで、2台施工を行った。以下に施工位置図を示す。

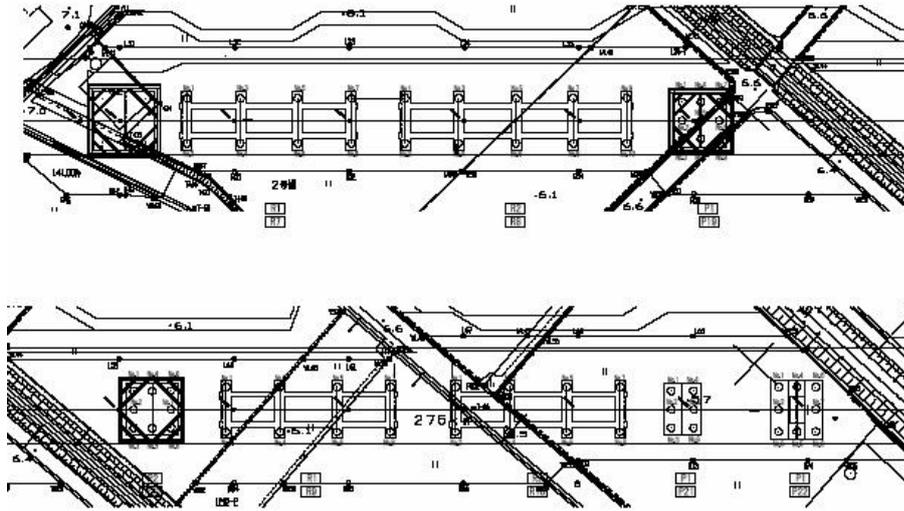


図-3 つばさ杭施工平面図

表-1 杭明細と数量

先導開口部Dw=05 Dp

工区	杭径/翼全 Dp/Dw (mm)	鋼管杭本体				先導		杭容長 Ip (m)	杭容本数 (本)			
		構成	杭長 (m)	板厚 (mm)	材積 (kg)	質量 (kg)	板厚 (mm)			材積 (kg)		
第小橋 下歩形規 R1高橋橋	1300/1950	上杭	18.0	24	SN490	13,500	60	SMB04	1,250	4.0	8	
		中杭	4.0	24	SN490	3,020						
		中杭	10.0	18	SN490	5,600						
		下杭	7.7	18	SN490	4,381						
		下杭	1.3	24	SN490	982						
第小橋 下歩形規 R2高橋橋	1300/1950	上杭	18.0	24	SN490	13,500	60	SMB04	1,250	4.0	10	
		中杭	4.0	24	SN490	3,020						
		中杭	10.0	18	SN490	5,600						
		下杭	7.7	18	SN490	4,381						
		下杭	1.3	24	SN490	982						
番田IB P1橋脚	1300/1950	上杭	18.0	24	SN490	13,500	60	SMB04	1,250	3.0	9	
		中杭	4.5	24	SN490	3,368						
		中杭	7.0	18	SN490	3,983						
		下杭	8.2	18	SN490	4,666						
		下杭	1.3	24	SN490	982						
番田IB P2橋脚	1300/1950	上杭	18.0	22	SN490	12,474	60	SMB04	1,250	3.5	8	
		中杭	2.5	22	SN490	1,733						
		中杭	7.0	18	SN490	3,983						
		下杭	9.7	18	SN490	5,519						
		下杭	1.3	24	SN490	982						
第小橋 下歩形規 R1高橋橋	1300/1950	上杭	18.0	24	SN490	13,500	60	SMB04	1,250	3.0	8	
		中杭	4.0	24	SN490	3,020						
		中杭	7.0	18	SN490	3,983						
		下杭	8.7	18	SN490	4,900						
		下杭	1.3	24	SN490	982						
第小橋 下歩形規 R2高橋橋	1300/1950	上杭	18.0	24	SN490	13,500	60	SMB04	1,250	3.0	8	
		中杭	4.0	24	SN490	3,020						
		中杭	7.0	18	SN490	3,983						
		下杭	8.7	18	SN490	4,900						
		下杭	1.3	24	SN490	982						
第小橋 下歩形規 P1橋脚	1300/1950	上杭	18.0	23	SN490	13,022	60	SMB04	1,250	3.0	6	
		下杭	3.0	23	SN490	2,172						
		下杭	13.7	18	SN490	7,756						
		下杭	1.3	24	SN490	982						
小出IB P1橋脚	1300/1950	上杭	17.0	22	SN490	11,781	60	SMB04	1,250	3.0	8	
		下杭	2.0	22	SN490	1,366						
		下杭	6.0	20	SN490	3,786						
		下杭	8.7	18	SN490	4,900						
下杭	1.3	24	SN490	982								
合計												

施工量

工区	杭径/翼全 Dp/Dw (mm)	杭容長 Ip (m)	杭容本数 n (本)	ヤマト Ly (m)	施工長 L (m/本)	施工延長 ΣL (m)	概算量 W (ton/本)	総量 ΣW (ton)
第小橋 下歩形規 R1高橋橋	1300/1950	4.0	8	1.97	42.97	34,816	28,913	231,35
第小橋 下歩形規 R2高橋橋	1300/1950	4.0	10	1.96	42.96	42,960	28,913	229,131
番田IB P1橋脚	1300/1950	3.0	9	3.59	42.59	33,031	27,868	250,813
番田IB P2橋脚	1300/1950	3.5	8	3.084	41.584	32,672	25,941	207,525
第小橋 下歩形規 R1高橋橋	1300/1950	3.0	8	2.02	41.02	38,176	27,775	222,201
第小橋 下歩形規 R2高橋橋	1300/1950	3.0	8	2.004	41.004	38,022	27,775	222,201
第小橋 下歩形規 P1橋脚	1300/1950	3.0	6	3.135	31.135	24,816	27,775	166,680
小出IB P1橋脚	1300/1950	3.0	8	4.32	31.32	34,676	25,231	201,849
合計			65			2,651,159		1,791,673

JPT本
菱橋本

3. 施工方法

3.1 施工について

3.1.1 工事状況



図-4 施工フローチャート



写真-5 鋼管回転圧入状況

3.1.2 鋼管の回転圧入と芯ずれ対策

回転圧入初期段階から GL-5.0m 程度までは、杭の傾斜が起りやすいため 2 方向よりトランシットにて鉛直性の確認を行い、ゆっくりと貫入させた。その後も、常時直角 2 方向から鉛直性の確認を行った。回転貫入量が所定深度に達しない早い段階（所定深度の中間あたりと支持層貫入前）で、杭芯ずれ量と鉛直性の確認を行い、芯ずれや鉛直精度のずれの大きい場合は修正を行い、全ての杭にて、上記数値は許容範囲内であった。

3.1.3 現場溶接

現場継手溶接の品質管理に関しては、鋼管杭協会編「鋼管杭—その設計と施工—」¹⁾第 5 章 7 節を参考とし、溶接工は、JIS-Z3841「半自動溶接」に規定される「SA-2H」「SS-2H」の資格者を選定した。

当施工場所は、平時においても非常に風が強いため、溶接時は常に上記写真にあるように風除けを行った。

また、上下の鋼管を合わせた際の目違い量・ルート間隔を測定し、設計量（目違い量 4mm 以下・ルート間隔 1~4mm）になるように、上杭を回転させ目違い量・ルート間隔が一番小さくなる位置にて溶接を行った。

溶接終了時に、外観検査・浸透探傷試験を行い、10 箇所にて 1 回超音波探傷試験を行い、溶接欠陥防止につとめた。



写真-6 溶接状況 1



写真-7 溶接状況 2



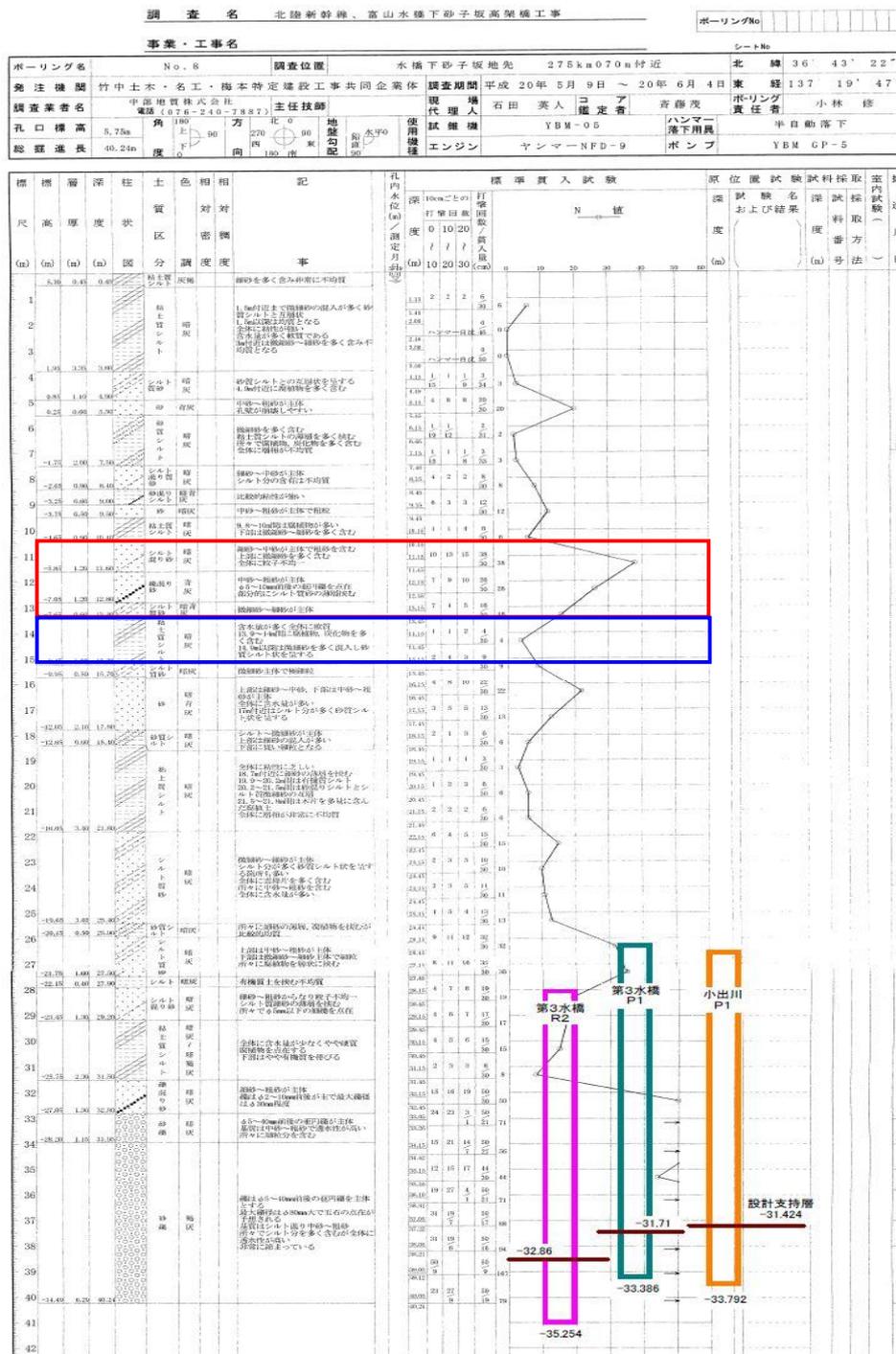
写真-8 目違い量確認

3.2 施工上の問題点

2度の実験工事の経験により、鋼管内の土が閉塞する事により、圧入時に管内に土を取り込めず、圧入不可能となってしまう現象（以下、滑り現象）の発生が確認された。本工事の土質柱状図を検討したところ、滑り現象が危惧される土質であることが判明した。

具体的には、標尺 10.5m~12.8m の砂質土(As2)圧入時において、管内に取り込んだ土が圧密され締まる事により管内が閉塞し、管内が閉塞した状態で標尺 12.8m~15.2m の粘土質シルト層(Ac3)に到達・回転圧入した際、つばさ翼先端部に粘性土が付着して、全体が塊（団子状）となって圧入不可能な状態になったと考えられる。

2度の実験工事の経験の内でも、この現象が事前に予測された。そのため、歩掛も滑り現象が発止し、その解消に時間が掛かるものとして、2日で1本にて事前考慮していた。



3.3 滑り現象の解消

滑り現象が、砂質土の回転圧入時に管内にて砂質土が圧密され閉塞状態になる事により、Ac3層の粘性土が先端翼に付着しやすくなり、先端が塊状になることにより発生すると考えた。

その為、滑り現象が発生した際、鋼管をAs2層まで上げて細かく上下運動させる事により、先端に付着した粘性土を落とすと共に、管内の閉塞状態を解消し、粘性土層（Ac3）においては、押し込み力を掛ける事によりAc3層の貫入に成功した。

このことにより、滑り現象が発止しても大きく時間をロスすることなく所定深度までの回転圧入を終了させる事ができた。

留意点は、以下の2点である。

- ①As2層では圧入が容易であっても一回の貫入量を少なくし、鋼管内に土が閉塞しない様にする。
- ②Ac3層に達したら、細かく鋼管を上げ下げし、上げる際には鋼管を逆回転する事により、翼周辺の土を一時的に軟化させ、付着粘性土を翼から剥離させる事により、貫入時のトルクと押し込み力が杭先端に効率よく伝わるようにした。

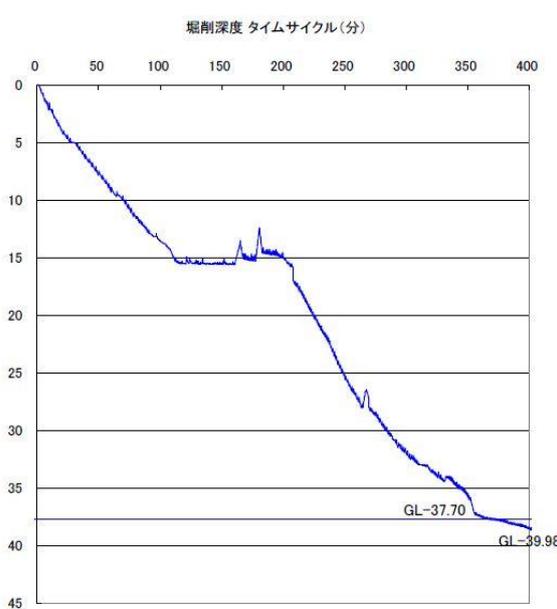


図-6 小出川 BP1(P22)-8 滑り現象の例
(試験杭)

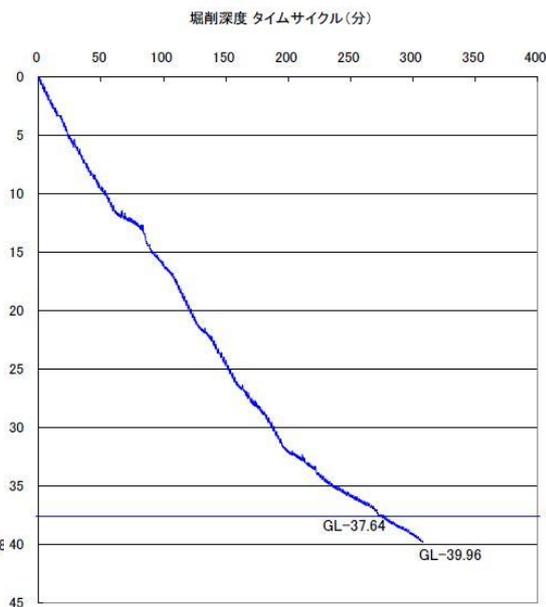


図-7 小出川 BP1(P22) 滑り現象が発生したものの、
その解消に成功した例

3.3.4 トルクの制限

つばさ杭は杭体に非常に大きなトルクをかけて施工する杭であり、トルクが大きく掛かると杭を損傷する恐れがある。そのため、本工事においては、JFE スチールの構造計算結果により制限トルクを 3500KN・m とし、その70%以下にてトルク管理を行った。

3.3.5 支持層の確認

試験杭位置をボーリング調査位置のもっとも近い杭を選定し、支持層貫入時の指標（硬さ指標 K 値）を決定した。その際、鉄道運輸機構と元請会社の立ち会いの下、指標値（硬さ指標）を決定し、打ち止めまで計測して、その管理値を下回らない事を確認した上で、その値を元に他の杭の支持層貫入・打ち止め管理を行った（硬さ指標=トルク値/一回転貫入量 KN・m/cm）。

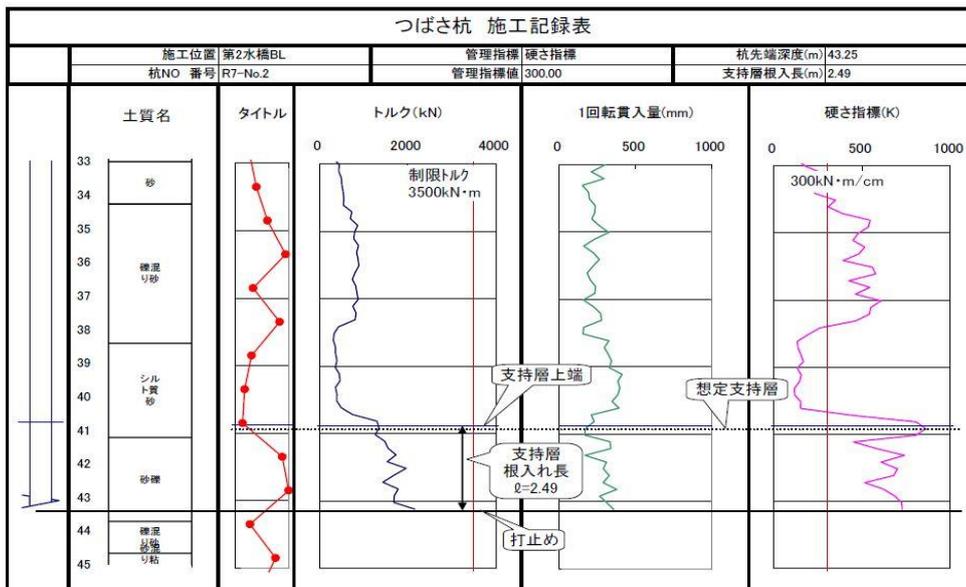
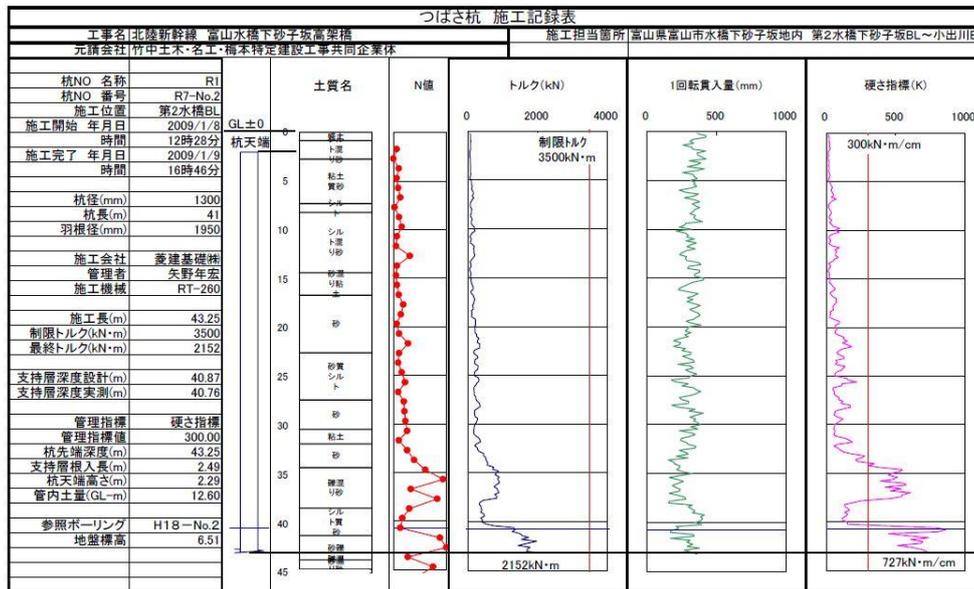


図-8 試験杭施工記録表

4. 施工実績

4.1 支持層の確認

図-10に示すように、想定支持層近辺にて、管理指標値（硬さ指標 K 値）が大きくなった。

この事により、支持層の確認が容易にできた。

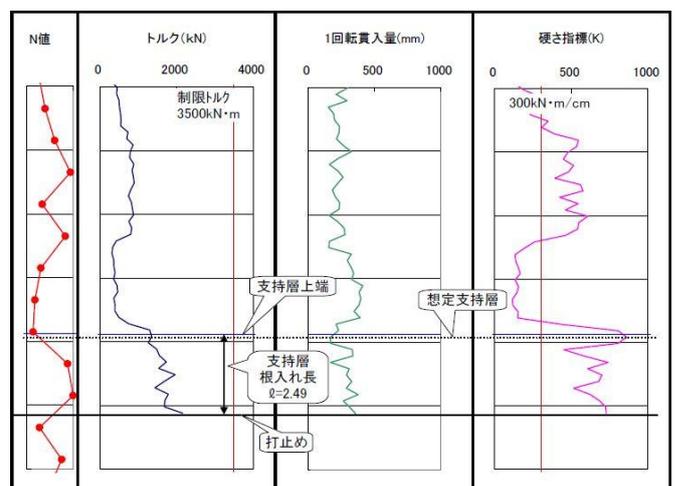


図-9 施工管理表

4.2 打ち止め管理

管理装置により、支持層到達から打ち止めまでリアルタイムにて、管理指標の確認を行い、管理指標値（硬さ指標 K 値）を下回っていない事を確認して、打ち止めとした。

高さ管理は、ヤットコに付けたマーキングをオートレベルにて確認して行った。



写真-9 打ち止め管理

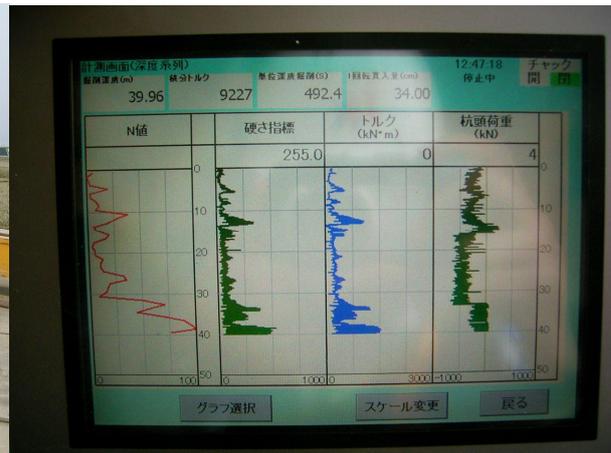


写真-10 打ち止め時管理装置画面

5. まとめ

本工事においては、滑り現象の解消方法の発見により工期内に無事施工を終了した。また、当初危惧された被圧水と周辺井戸への影響はまったくなく、要求品質を十分満たすことが出来た。つばさ杭の施工管理値である硬さ指標は地盤特性（支持層確認）が顕著に確認でき、確実な支持層根入れを行えた。今後、多種多様な地盤に対応できるように更なる研究とノウハウの蓄積に努める所存です。

謝辞

今施工においては、発注者の鉄道運輸機構、並びに元請会社の竹中土木・名工・梅本特定工事建設企業体の方々の多大なご支援をいただきました。また、つばさ杭技術施工協会の各委員には、貴重なご助言をいただきました。これら関係各位に、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 鋼管杭協会：鋼管杭—その設計と施工—，2004