

常呂川下流地区における橋梁の基礎杭の設計について

網走開発建設部 北見農業事務所 第1工事課 ○近道 史菜
伊東 直也
河田 修二

直轄明渠排水事業「常呂川下流地区」では、排水路の整備に伴う橋梁の新設を予定している。施工箇所の基礎地盤は、泥炭、シルト質粘土及びシルト質砂の軟弱地盤であること、また支持層となる堅い地盤が地下50m以深の砂礫層であることから杭基礎が必要となる。本稿では、支持層が深い施工箇所における摩擦杭の設計事例を紹介するものである。

キーワード：排水施設、杭設計、摩擦杭

1. 地区の概要

直轄明渠排水事業「常呂川下流地区」は、北海道北見市に位置する701haの農業地帯である（図-1）。

地区内の排水施設は、国営常呂土地改良事業（昭和50年度～平成2年度）等により造成され、造成後20年以上が経過しているため経年的な劣化が進行している。また、近年の降雨量の変化に伴う流出量の増加により排水能力が不足しているため湛水被害が発生している。

このため、本事業では、排水施設の整備を行い、湛水被害の解消を図り、農業生産性の向上及び農業経営の安定を図ることを目的として令和3年度に着工した。

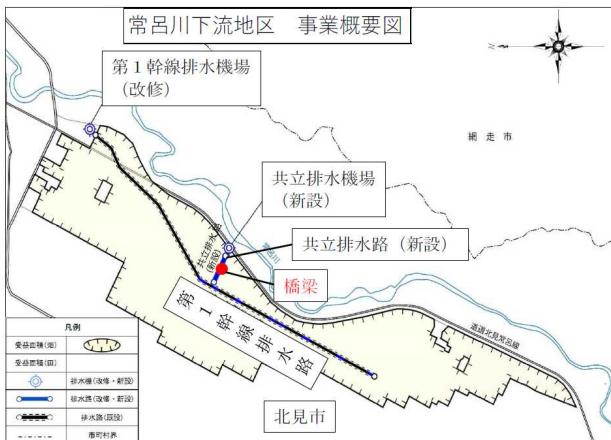


図-1 常呂川下流地区 事業概要図

2. 道路及び橋梁工の概要

共立排水路の新設に伴い、市道基線7号線にかかる位置に橋梁を新設する（写真-1）。道路規模は第3種第4級、橋の重要度はA種である。橋梁の規模は幅員8.7m、橋長12m、上部工はPCプレテンション中空床板桁、下部工は逆式橋台である。

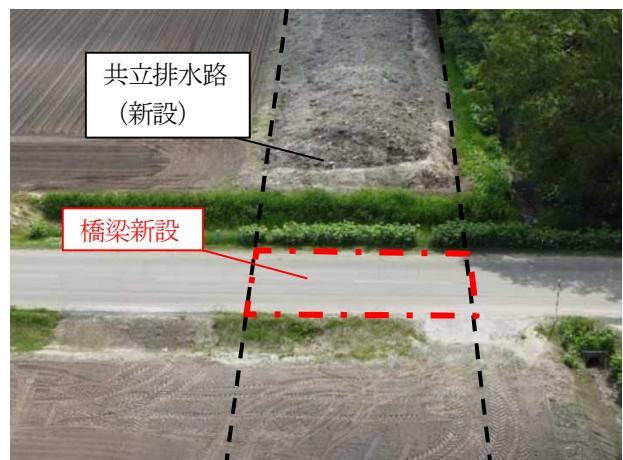


写真-1 橋梁新設箇所

3. 施工箇所の現地条件

橋梁工周辺は畑地帯であり、隣接する市道と接続されている。橋台の基礎底面付近の地層は軟弱なAs1層（シルト質砂微細砂）とAc2層（シルト質粘土）であり、N値が0～3と低い。支持層はN値22～50以上のAg層（砂礫）

であり、50m～56m付近に存在し、支持層が深いことがボーリング調査により確認されている（図-2）（表-1）。

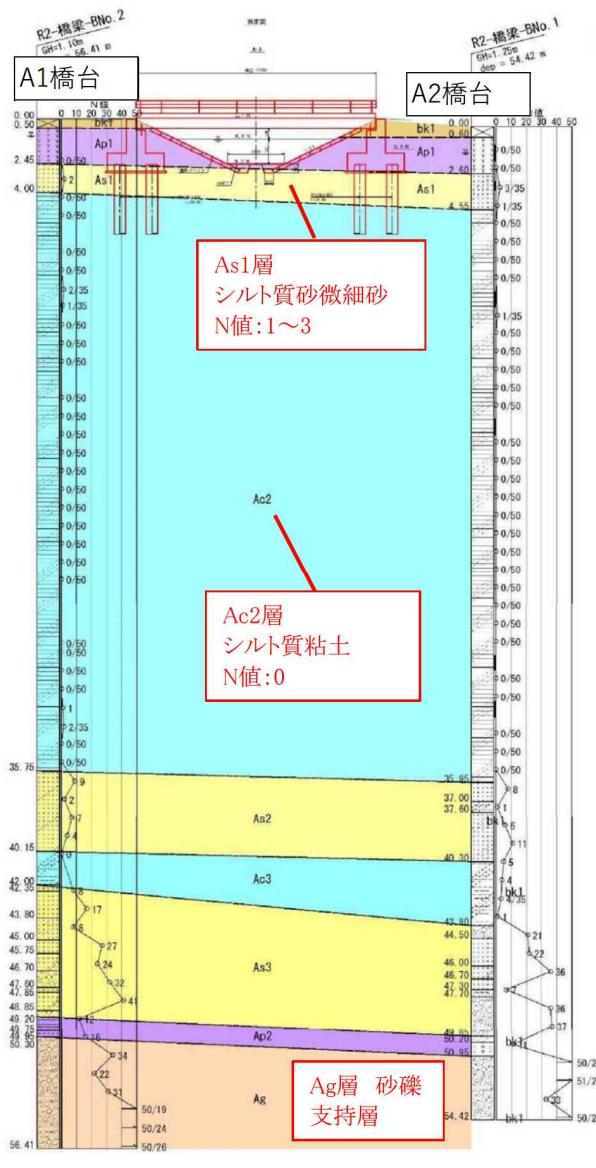


図-2 橋梁箇所の地質概要

表-1 地層の凡例

時代	地層名	記号	構成土質	特 徴	層厚(n)	N値の範囲
第四紀	表 土	bk1	シルト	耕作土。シルト主体で粘土質シルト、砂質シルト、シルト質砂等の区間がある。	0.50～0.60	-
	泥炭1	Ap1	泥炭	鐵種質泥炭を主体とするが、所々粘土を多く含む。	1.95～2.00	0
	砂質土1	As1	シルト質砂 微細砂	微細砂・シルト質砂を主体とするが、部分的にシルトを多く含む。未分解の植物片が散在する。	1.55～1.95	1～3
	粘性土2	Ac2	シルト質粘土	全体に粒度ほぼ均質。異種微片が点在し、一部で貝殻が密集する区間がある。また、黒色の区間がある。所々、ガスを伴う。	31.40～31.75	0
	砂質土2	As2	微細砂 シルト質砂 シルト質じり砂	細～微細砂を主体とするが、所々シルトを多く含む部分がある。まれに木片を混入し、ガスを伴う。	4.15～4.35	1～11
	粘性土3	Ac3	砂質シルト	層相が変化し、シルト質砂や粘土を挟む。	1.85～3.50	0～4
	砂質土3	As3	シルト質砂 め、砂 硬泥じり砂	層相の変化が激しく、粘性土の薄層も伴う。シルト質砂や粘土を挟む。	6.05～7.20	7～36
	泥炭2	Ap2	腐植土	固體化土状を呈するが、鐵種の痕跡は明瞭。腐土部に鰐い粘土を伴う。	0.75～1.10	11～12
	砂 砂	Ag	砂 砂	主に40～50mの円礫を70～80%混入。基質は砂～粗砂、約70%の礫も見られるほか、堆積約200mmの玉石が混じる所がある。	-	22～50以上

4. 設計条件及び支持方法の検討

（1）設計条件

道路橋示方書¹⁾では支持層が浅い場合は直接基礎、深い場合は杭基礎を選定するとされている（図-3）。

今回の施工箇所は支持層までの深さが50m以上と深い一方で、Ac2層（シルト層粘土）は粘性土であり粘着力が大きく、杭周面摩擦力が期待できる地層である。

本稿では、A1橋台（固定側）での検討を紹介する。

基礎形式による分類

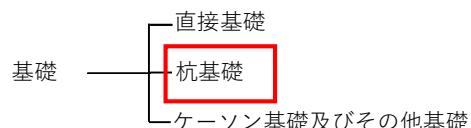


図-3 基礎形式による分類

（2）支持方法の検討

杭基礎の検討フローは以下のとおりである（図-4）。

杭基礎のフロー

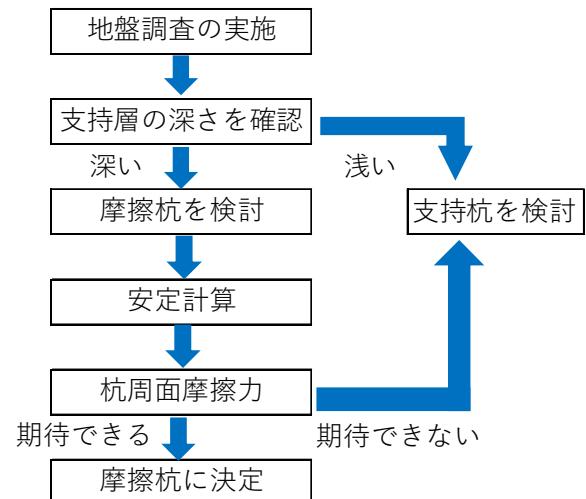


図-4 杭基礎のフロー

道路橋示方書¹⁾により、以下の条件で支持杭での安定計算（変位の制限の照査）を行い、押込力（PNMax：杭を下方向に押し込もうとする力）と引抜力（PNMim：地震時に引き抜こうとする力）の許容値に対して計算値を照査した。許容値は定められた係数、杭で置き換えられる土砂の重量、杭の自重、杭の降伏支持力から決まる。この計算値が許容値以内であれば押込力、引抜力は満足していると言える。

照査した結果、押込力の許容値が1415kNに対し、計算値が282.6kN、引抜力の許容値が0kNに対し、計算値が194.3kNとなり（表-2）、支持杭の場合、十分な支持力を得られることを確認した。

杭の諸条件

杭種：PHC杭
杭径： $\phi 450\text{mm}$
厚さ： $t=70\text{mm}$
杭長： $L=52.90\text{m}$
種類：C種、A種

表-2 支持杭の安定計算結果

	変位の制限の照査		
	計算値	許容値	判定
PNMax kN	282.6	\leq 1415	OK
PNMMin kN	194.3	\geq 0	OK

(3) 摩擦杭の検討

杭の極限支持力は杭先端の支持力と杭周面摩擦力の合計によって決まる。これらを計算した結果、杭先端の支持力が 1034kN 、杭周面摩擦力が 3049kN より、杭の極限支持力は 4083kN となった（表-3）。杭周面摩擦力は全体の75%を占めており、より多くの摩擦力が見込めることが確認されたことから、杭周面摩擦力のみで検証した結果、押込力の許容値は 1046kN となり、実際に作用する押込力 282.6kN よりも十分に余裕があることが分かった（表-4）。

安定計算及び杭の極限支持力より、杭周面摩擦力のみでも十分に余裕があることが分かったため、本杭は摩擦杭とし、さらにここから杭長を短くし安定計算を繰り返し、実際に作用する押込力を確保できる経済的な杭長、杭本数を求ることとした。

表-3 支持杭の極限支持力

極限支持力	= 杭先端の支持力 + 杭周面摩擦力	
4083kN	1034kN	3049kN
割合	25%	75%

表-4 杭周面摩擦力のみの結果

極限支持力	押込力の許容値	実際に作用する押込力	判定
3049kN	1046kN	\geq 282.6kN	OK

杭の設計は下記の設計フローにより算出を行った（図-5）。

杭設計フロー

1. 選定条件の確認

2. 支持形式の検討

支持杭、摩擦杭

3. 杭種・工法の検討

4. 杭の計算

- (1) 杭種・杭径・杭長・杭本数を仮定して計算
- (2) 杭径を変更して計算
- (3) 概算工事費の算出
- (4) 杭種を変更して計算

5. 使用する杭の決定

図-5 摩擦杭の設計フロー

(4) 摩擦杭の設計

図-5 設計フロー「4. 杭の計算」により杭種・杭径・杭長を以下のとおり仮定して安定計算を行った。安定計算は杭周面摩擦力、水平変位、押込力、引抜力について検証を行った。

a) 杭の諸条件

杭種：PHC杭
杭径： $\phi 450\text{mm}$
杭長： 24.9m
杭打込長： $L=27.5\text{m}$ (ヤットコ 2.6m 含む)

b) 杭周面摩擦力の確認

杭周面摩擦力 f_i は以下のとおりとなった（表-5）。杭長 24.9m は層No. 1～4の間となる。層No. 4は層厚が 31.75m であり、杭の大部分がこの層に収まる。この層は N 値が0の軟弱地盤であり、粘着力 c は 28kN/m^2 とやや軟弱粘土である。杭周面摩擦力 f_i は 28.0kN/m^2 であり、杭の側面積に応じて摩擦力が得られる。

表-5 杭周面摩擦力 f_i

層No	標高(m)	層厚(m)	土質	平均N値	粘着力 c (kN/m ²)	f_i (kN/m ²)
1	1.100 0.600	0.500	粘性	0.0	21.0	21.0
2	0.600 -1.350	1.950	粘性	0.0	16.0	16.0
3	-1.350 -2.900	1.550	砂質	2.0	0.0	10.0
4	-2.900 -34.650	31.750	粘性	0.0	28.0	28.0
5	-34.650 -39.050	4.400	砂質	3.9	0.0	19.5
6	-39.050 -40.900	1.850	粘性	0.0	64.0	64.0
7	-40.900 -48.100	7.200	砂質	16.3	0.0	81.5
8	-48.100 -49.200	1.100	粘性	12.0	72.0	70.0
9	-49.200 -55.310	6.110	砂質	33.4	0.0	100.0

c) 水平変位、押込力、引抜力の確認

水平変位、押込力(PNMax)、引抜力(PNMin)の検討結果を表-6に示す。変位の制限は、杭基礎全体を「杭群」としてモデル化し、杭頭部の配置を介して水平力・鉛直力・回転モーメントに釣り合う変位を求めるもので、変位法を用いて計算したものである。安定の耐荷性能の照査は、杭基礎の安定性を確認し、荷重に対して適切な支持力や抵抗力が確保されているか照査するものである。杭の照査では、変位の制限と安定の耐荷性能の両項目で照査が必要であると道路橋示方書¹⁾に定められている。

検討結果は、両照査項目で計算値が許容値内であることから、上記で示した杭の諸条件は妥当であると言える。

表-6 水平変位、押込力、引抜力の照査結果

計算値	変位の制限の照査		安定の耐荷性能の照査		安定の耐荷性能の照査				
	地震の想定なしの場合		地震の想定ありの場合						
	許容値	判定	計算値	許容値	判定	計算値	許容値	判定	
水平変位 kN	1.99	≤ 15.0	OK	2.11	≤ 15.0	OK	7.64	≤ 15.0	OK
PNMax kN	245.3	≤ 313	OK	267	≤ 413	OK	341	≤ 406	OK
PNMin kN	164.5	≥ 0	OK	177.5	≥ -335	OK	-12.9	≥ -333	OK

5. 杭打工法と杭種の検討

杭打設工法として、施工箇所の周辺は畠地帯であり特段制約がないことから、施工性に優る打撃工法とした。

杭種としては、PHC杭 $\phi 450\text{mm}$ と $\phi 500\text{mm}$ を対象に杭径毎に必要な杭長、杭本数を構造計算より算出し経済比較を行った(図-6)。鋼管杭はPHC杭と比べ施工費が2倍以上となり、経済性に劣るため比較の対象外とした。この結果、PHC $\phi 450$ が施工費を含め経済性で有利となったことから採用した。

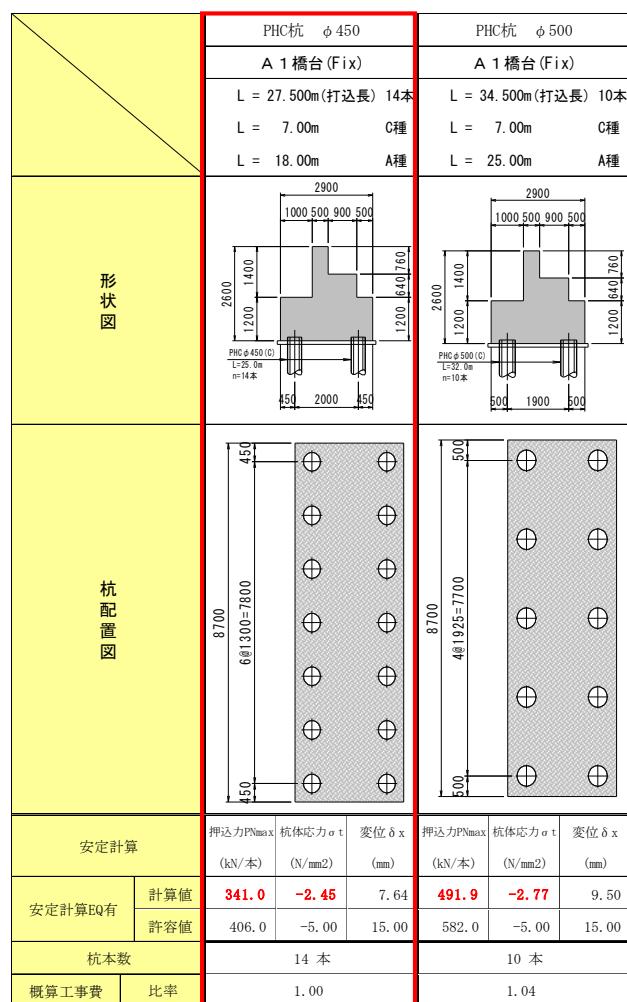


図-6 PHC杭 経済比較

6. 施工状況

今年度施工した状況について紹介する。施工諸元は以下のとおり。

PHC杭 杭径 $\phi 450\text{mm}$

A1橋台 杭長 $L=25.0\text{m}$

杭打込長: $L=27.6\text{m}$ (ヤットコ2.6m含む)

杭本数14本

上杭C種 $L=7.0\text{m}$ 下杭A種 $L=9.0\text{m}$ 下杭A種 $L=9.0\text{m}$

A2橋台 杭長 $L=31.0\text{m}$

杭打込長: $L=33.6\text{m}$ (ヤットコ2.6m含む)

杭本数10本

上杭C種 $L=7.0\text{m}$ 下杭A種 $L=12.0\text{m}$ 下杭A種 $L=12.0\text{m}$

(図-7)

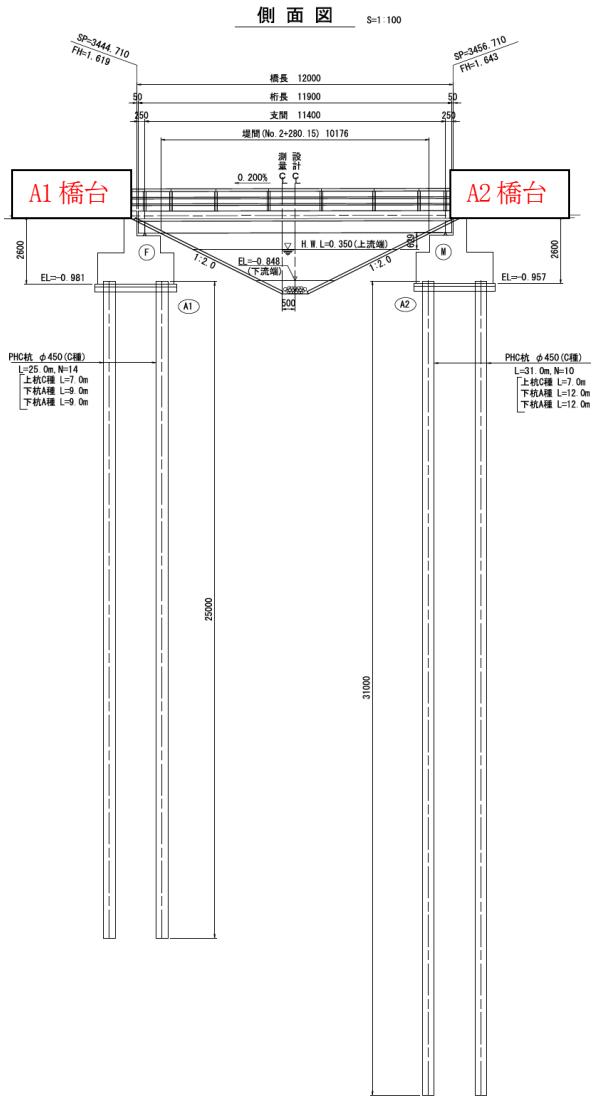


図-7 橋梁工 側面図

施工はPHC杭を杭打ち機にセットし、打撃工法により施工を行った（写真-2）。

杭の打ち止め管理は、道路橋示方書¹⁾によると、「摩擦杭基礎における杭の打ち止めは、設計により定めた深度で行うことを原則とする。」とされている。このため、本杭の施工も所定の深度に杭が設置されることで打ち止めとした。

施工に当たっては、施工基面が軟弱のため地盤の調査を行い、敷鉄板による養生を行った。

本杭は継ぎ杭のため、継ぎ目は溶接し、溶接箇所は浸透探傷試験（カラーチェック）を行い溶接の割れなどの異常がないか確認を行った（写真-3）。

杭の打ち始めの貫入量は10cm程度と大きく、打ち込みが進むと徐々に貫入量は小さくなつた。最終の打ち込みはヤットコを使用し、レベルにより打ち込み高さの管理を行つた（写真-4）。



写真-2 杭の打設状況



写真-3 浸透探傷試験（カラーチェック）状況



写真-4 ヤットコによる最終打ち込み

7. おわりに

常呂川下流地区は、過去に圃場の湛水被害が多発し作物への被害も甚大であり、地域住民から早期の排水施設整備を望まれている。本橋梁の施工にあたっては、軟弱地盤の特異性を考慮しながら安全に施工を終えることができた。

今後の工事についても、安全に配慮しながら地区完了に向けて事業進捗に努め地域の期待に応えたい。

参考文献

1)道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編