

深礎杭の土留工法選定について

- 北海道開発局道路橋設計施工要領選定フロー案の検討 -

福島 宏文* 富澤 幸一** 三田村 浩***

1. 新土留工法の概要

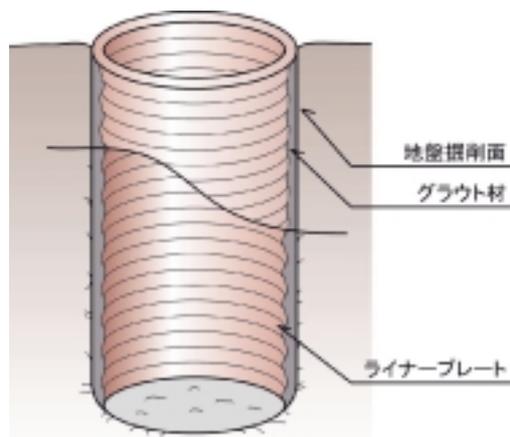
深礎杭の施工において、近年の施工機械の改良および小型化により掘削施工の機械化が可能となってきた。その結果、孔壁の崩壊防止工についても従来のライナープレート方式にかわり、型枠を用いた直打ち方式のモルタルライニングまたは吹付コンクリートによる新しい土留工法の施工が可能となった(図-1)。

これらの新しい土留工法では、地山の緩みが小さく、また杭体と地盤の密着性も確保できることから、従来の深礎杭設計では考慮が難しいとされていた鉛直方向の周面摩擦力を設計に取り入れることが可能となる。また、耐震設計において地震時保有水平耐力法による照査が義務付けられたことから、深礎杭設計で周面摩擦力を考慮し地震抵抗を適正に評価することが不可欠である。

実設計法として、日本道路公団設計要領¹⁾で、モルタルライニング及び吹付コンクリート施工の深礎杭周面摩擦力の評価手法が既に提案されており、実施工も行われている。

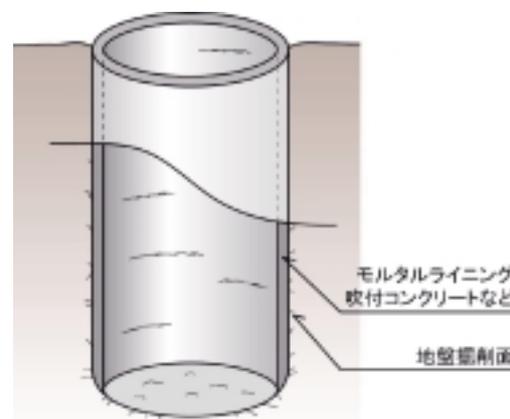
北海道開発局においても、他の地方整備局を含めた全国的な設計基準改訂の考え方に従い、北海道開発局道路橋設計施工要領²⁾の深礎杭設計法を日本道路公団方式に概ね準じた。ただし、その選定手法については、各機関も含め明確化されていないことから、北海道開発局道路橋設計施工要領改訂作業部会及び北海道土木技術会コンクリート研究委員会下部工分科会で一定の協議を行った。

本報ではその協議結果を踏まえ、現場実務設計者のために、深礎杭のモルタルライニング及び吹付コンクリート施工に伴う杭周辺摩擦力を考慮した設計計算法の考え方、さらに深礎杭の土留工法選定フロー案について、予定されている要領改訂に先がけ、ひと足早く紹介する。



(a) 従来工法(ライナープレート工法)

グラウト施工の不確実性などから設計上周面摩擦力を考慮していない



(b) 新工法

(モルタルライニング及び吹付コンクリート工法)

設計上周面摩擦力を考慮することが可能である

図-1 深礎杭工法概念図

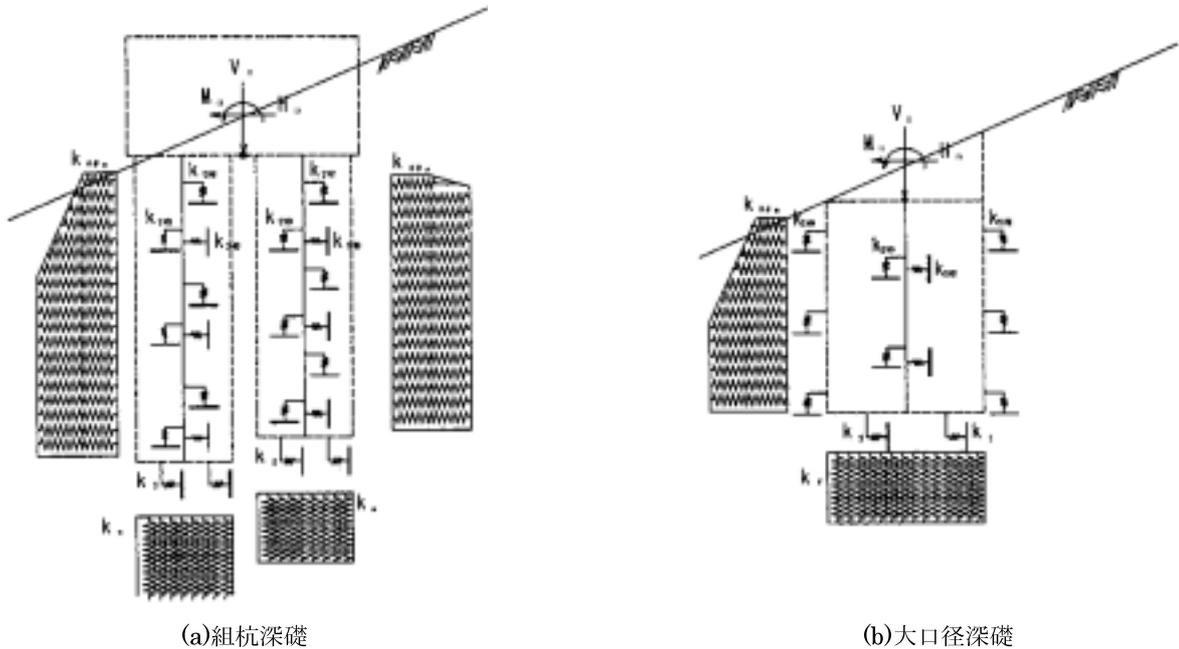
2. 周面摩擦力の設計評価手法

深礎杭の新たな土留工法施工に伴う周面摩擦力は、せん断抵抗としてケーソン基礎の設計手法³⁾に準じてバネ評価される。

考慮される周辺地盤の抵抗要素は、図 - 2 に示した 6 種類のパネ要素とする。これらの地盤抵抗要素及び杭体の剛性は、表 - 1 に示すとおり、それぞれの耐震性能の照査方法ごとにモデル化し、安定設計を行う。このことにより、これまで考慮されていなかった深礎

杭周囲の地盤抵抗は、土留工法に応じてバイリニア型のパネモデルとして扱うことが可能となった。

本手法により、深礎杭の周面摩擦力を評価することとなるため、今後、杭径・杭延長等の杭諸元の経済性が期待されると考えられる。



- $k_{H\theta\mu}$: 杭前面の水平方向地盤反力係数
- k_s : 杭底面のせん断地盤反力係数
- k_v : 杭底面の鉛直方向地盤反力係数
- k_{svB} : 杭前背面の鉛直方向せん断地盤反力係数
- k_{svD} : 杭側面の鉛直方向せん断地盤反力係数
- k_{sHD} : 杭側面の水平方向せん断地盤反力係数

図 - 2 地盤抵抗要素¹⁾

表 - 1 杭体と地盤抵抗のモデル化¹⁾

			常時、暴風時、地震時（震度法）		地震時保有水平耐力法
			変位、地盤反力、断面力	水平方向安定度照査	
杭体の剛性			・弾性体	・弾性体	・ひびわれ、鉄筋降伏による曲げ剛性の低下を考慮したトリリニア型モデル
地盤抵抗要素	杭底面	鉛直方向地盤抵抗 *1	・弾性体 (浮上りを考慮する) ・地盤反力度が許容値内	・弾性体 (浮上りを考慮する)	・バイリニア型モデル (浮上りを考慮する)
		水平方向せん断地盤抵抗	・バイリニア型モデル (浮上りを考慮する)	・バイリニア型モデル (浮上りを考慮する)	・バイリニア型モデル (浮上りを考慮する)
	杭前面	水平方向地盤抵抗	・弾性体	・バイリニア型モデル ・3次元の拡がりを考慮した受働抵抗を上限とする	・バイリニア型モデル ・3次元の拡がりを考慮した受働抵抗を上限とする
	杭前背面	鉛直方向せん断地盤抵抗 *2	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル
	杭側面	鉛直方向せん断地盤抵抗	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル
水平方向せん断地盤抵抗		・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル	・土留工法に応じて考慮 ・バイリニア型モデル	

*1：鉛直方向の地盤反力抵抗による杭底面の回転抵抗も考慮する。なお、大口径深礎については鉛直と回転の連成効果を考慮する。

*2：大口径深礎の場合、鉛直方向せん断地盤抵抗の杭軸線からの離れによる回転成分を考慮する。

3. 深礎杭の土留工法の選定

深礎杭の土留工法は、従来使用されてきたライナープレート工法に加え深礎杭周囲のせん断抵抗を期待できるモルタルライニング及び吹付コンクリートによる土留工法も含め、現場条件に応じて適切な工法を選定する必要がある。

工法選定の要因として、湧水、孔壁自立性、杭径、さらに施工性・経済性が挙げられる。以下に基本的な考え方を示す。

湧水

湧水、被圧水の有無が施工区分の大きな要因になるため、十分な事前調査に基づいた適切な判断が必要となる。これは、孔内の水量が多い場合は、掘削及びモルタルやコンクリートの吹付けが困難となることによる。基本的には、モルタルライニング・吹付コンクリートの硬化前にセメント分が流出するほどの湧水量が無い場合には同工法を適用し、経済設計につとめることとする。ただし、大量の湧水がある場合、ライナープレート工法の採用について検討することとなる。

ポンプ排水が不可能なほど水量が多い場合には、他の基礎形式を選定する必要がある。

孔壁自立性

モルタルライニング及び吹付コンクリートは、掘削後打設・吹付けが完了し、モルタルあるいはコンクリートの強度が発現して土留として機能するまで自立できるような、自立性の高い地山に対して適用する必要がある。掘削地盤の主要な部分が、硬岩など明らかに孔壁が崩壊しない場合や、軟岩においても孔壁の自立性が保たれることが確認できている場合に、同工法を採用しコスト縮減につとめる。

事前調査の結果、地山の自立性が期待できない場合には、ライナープレート等の土留材を用いた土留構造を検討する必要がある。

杭径

大口径深礎（径5m以上）においては、吹付コンクリートとロックボルトを併用した土留構造を採用した事例が日本道路公団などにおいて報告されている。

大口径深礎においては、施工機械の孔内搬入が可能なことから、杭体の小規模化によるコスト縮減が期待されるロックボルトを併用した吹付けコンクリート工法の採用について検討する。

施工性・経済性

深礎杭の最終的な工法決定に際しては、構造物の諸元に関わる施工費の経済比較検討もさることながら、

現場条件に応じた「仮設設備」・「施工ヤード」・「段取り替え」等を含めた安全性・施工性・経済性や、周辺地形の状態、既存資料などから総合的に検討を行い決定する必要がある。

4. 深礎杭の土留工法選定フロー検討案

前項までで述べた工法選定の要因を、深礎杭の土留工法選定フロー検討案として取りまとめた(図-4)。土留工法の選定にあたっては、同フローを参考に、安全性・経済性・施工性・周辺地形や既存資料などから総合的に決定するものとする。

この内、岩質判定は地盤の状況を十分に考慮した上で、判定しなければならない。図-3に設計に用いる定数等の推定の流れを参考例として示す。

設計に際しては、事前調査（各物理試験、一軸圧縮試験、RQD、その他必要な調査）から「岩盤の強度定数の評価」（北海道開発局道路橋設計施工要領²⁾）等を参考に強度定数を設定し、「せん断定数の測定例」（日本道路公団設計要領¹⁾）と対比することで岩級区分を推定することができる(表-2参照)。以上のような各種資料を参考に、設計に必要な定数や条件を定めることになる。

また、大口径深礎の土留構造選定に際しては、推定される岩級区分及び地形条件などから、岩盤部土留構造のパターン例²⁾などの資料を参照し、地山の状況に応じた適切な土留構造のパターンを決定することが可能である。岩級区分と地形条件により土留構造パターンを決定することになるため、特に岩級区分については慎重な判断が必要である。

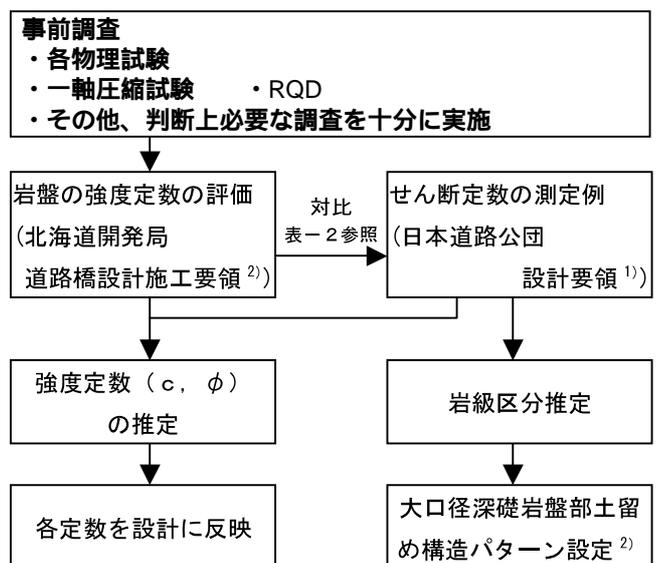
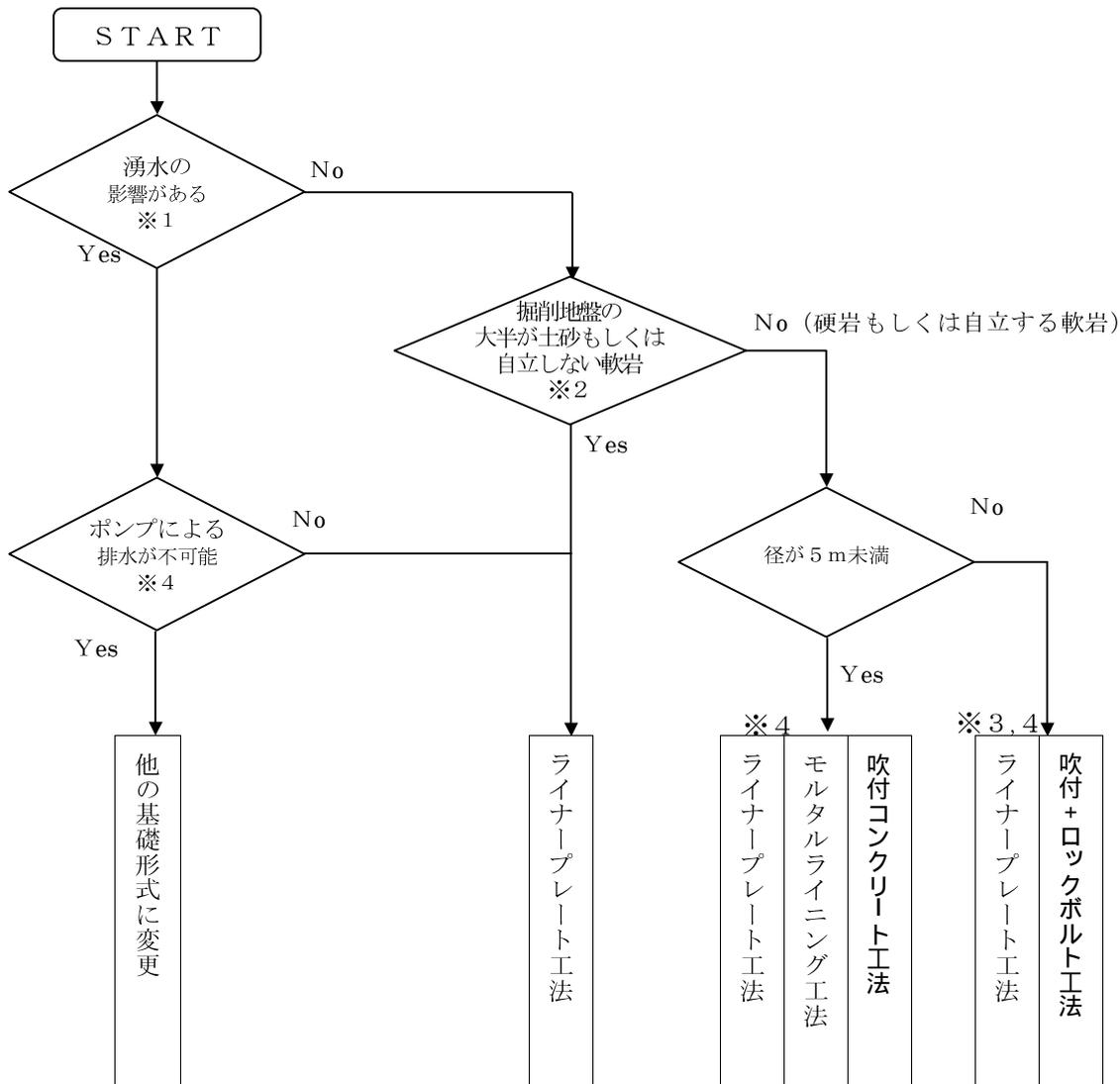


図-3 設計に用いる定数等の推定(参考例)



- 1 吹付コンクリートやモルタルライニングが硬化するまでの間にセメント分が流出するほど湧水量が多い場合とする。
- 2 岩盤部の土留工法は、岩質判定(岩盤の強度定数の評価：北海道開発局道路橋設計施工要領²⁾)を適切に行い、せん断定数の測定例(日本道路公団設計要領第二集¹⁾)などを参考に選定する。
- 3 孔口部の土留工法は吹付コンクリート+鋼製リング支保工、またはライナープレート工法のうち経済的となる工法を選定する。
- 4 工法選定に当たっては、安全性のほか経済性、施工性を考慮して選定する。

図 - 4 深礎杭土留工法選定フロー検討案

表 - 2 岩盤の強度定数対比表

岩盤の強度定数の評価 (北海道開発局道路橋設計施工要領 ²⁾)			せん断定数の測定例 (日本道路公団設計要領第二集 ¹⁾)			
強度区分名	強度定数		岩級区分	せん断定数の代表値(※1)		
	c(kN/m ²)	φ(°)		c(kN/m ²)	φ(°)	
I	2,000	50	硬岩	B	1,500~2,500	45
II	1,500	45		C _H	1,000~2,000	40
III	1,000	40		C _M	500~1,250	40
IV	500	40		C _L	100~500	35~37
V	100	37	軟岩	D	0	25~35
VI	0	35				
VII	0	30				
VI ²	30	35				
VII ²	15	30				

※1 日本道路公団設計要領第二集¹⁾では、「強度定数の代表値を示した岩種は、粘板岩(ダムサイトの例)、花崗岩(本四連絡橋基礎の例)であり、岩石そのものが軟質なもの(例えば、泥岩、第3紀の砂岩、凝灰岩)を除けば参考とすることができる」としている。

5. おわりに

今回、深礎杭の新しい施工法であるモルタルライニング及び吹付コンクリートの採用に当たり、実務者のための土留工法の選定フロー検討案を紹介した。

選定の現場条件は、主に「湧水対策」・「土砂の自立性」・「杭径」となるが、最終的には「施工性・経済性」を考慮した技術者の総合的判断に委ねられることになる。

策定内容については、北海道開発局道路建設課河上橋梁係長及び室蘭開発建設部道路第1課今井橋梁係長をはじめとする関係者の指導並びに関係コンサルタントと今後の要領改訂に向けた協議を実施していることを追記する。なお、北海道開発局では、深礎杭のモル

タルライニング施工およびその試験実績が現在までないことから、北海道開発土木研究所では土留工法に応じた設計周面摩擦力の発現を現場調査により検証していく考えである。

本成果が、今後の基礎杭設計の一端となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 日本道路公団：設計要領第二集（平成10年7月改訂）
- 2) 北海道開発局：道路橋設計施工要領（平成13年2月改訂）
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（平成14年3月改訂）



福島 宏文*

北海道開発土木研究所
構造部土質基礎研究室
研究員



富澤 幸一**

北海道開発土木研究所
構造部土質基礎研究室
研究員



三田村 浩***

国土交通省北海道開発局
札幌開発建設部
道路建設課
橋梁係長