

[論文No. 10]

名古屋港西五区耐震強化岸壁（-14m）築造工事における栈橋杭の根入れ長の変更

(独) 港湾空港技術研究所 菊池 喜昭
(株) 地盤試験所 西村 真二

1. 事例の概要

名古屋港の西五区に-14mコンテナ船用の栈橋式の耐震強化岸壁が計画され建設された。本工事においては栈橋式岸壁の支持杭の根入れ深度の設定にあたって、杭支持力の詳細な検討を経て杭の載荷試験を実施することにより、大きな経済的な効果と事前に地質リスクの解消を実現した例である。

2. 事例分析のシナリオ

名古屋港西五区の地盤条件は、上部は軟弱な沖積粘性土層、NP-40m付近に5m前後の中間砂層、その下は洪積粘性土で、NP-68mに支持層となる砂層がある。

この地盤条件における栈橋式の岸壁の当初設計はNP-70mまで根入れするものであったが、杭の支持力が過大設計となることから、NP-40mの中間砂層に止めることの可能性が検討された。中間砂層に打ち止めるに際しては杭の支持力不足によるリスクが問題となった。

中間砂層における開端鋼管杭の先端支持力を様々な方法で検討した結果、Meyerhofの方法によるものが最も低い値となり、この値でも必要な支持力をギリギリで満足することがわかった。

工費については杭の打ち止め深度をNP-70mとNP-42mとで比較した結果、350本の支持杭に対して鋼管杭の材料費で約7億円、施工費で約3億円の差であった。

これらの検討を踏まえて、中間砂層で打ち止める方針とし、ただし、支持力不足のリスクを避けるために事前に中間砂層で打ち止めた杭に対し載荷試験を実施し、実杭によって支持力性能を確認することとなった。

載荷試験においては相対的に中間砂層が薄い地点で杭先端条件が開端と十字リブをつけたもの、中間砂層が厚い地点で先端開端のものを試験した。試験方法は反力杭を必要としない急速載荷試験で実施した。試験の結果、中間砂層において所定の支持力が得られ実杭による支持力性能が証明された。試験費用は約1億円であった。

これにより、当初設計と比較して大きな経済効果が得られるとともに支持力不足のリスクも回避することができた。なお経済効果については本工事に隣接する工区についても同様の設計が採用されさらに大きなものが得られた。

本工事の計画から杭の根入れ長設定のフローを図-1に示すとともに以降で詳細について述べる。

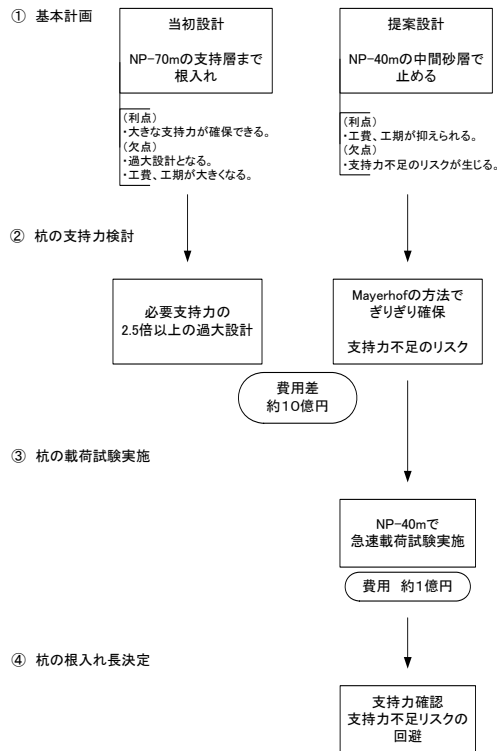


図-1 支持杭の根入れ長設定フロー

3. データ収集分析

(1) 当初設計

杭をNP-68mの支持砂層に根入れする場合の栈橋断面を図-2に示す。この断面による鋼管杭の支持力を港湾基準等によって計算すると極限支持力は海側列杭で29,376kN、陸側列杭で30,679kNとなった。それらを設計荷重と比較した結果を表-1に示す。表によるとこの設計においては必要な支持力に対して2.5~5.0倍の過大設計となることがわかった。

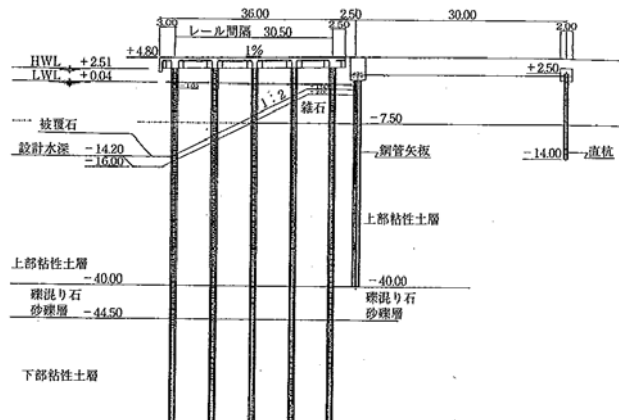


表-1 当初設計による杭の支持力

(2) 提案設計

当初設計では過大設計となることになり、NP-40m付近の中間砂層での打ち止めの可能性が検討されることになった。中間砂層に打ち止めるに際しては中間砂層における鋼管杭の先端支持力の確保と砂層直下の洪積粘性土層の強度の有無が過大であった。中間砂層に打ち止める場合の栈橋断面を図-3に示す。

	海側列杭 鋼管杭φ1500		陸側列杭 鋼管杭φ1500	
	常時	地震時	常時	地震時
極限支持力(kN)	29,376		30,679	
設計条件	常時	地震時	常時	地震時
設計荷重(kN)	3,930	3,940	3,430	4,410
安全率	7.5	7.5	8.9	7.0
必要安全率	3	1.5	3	1.5
安全率の比率	2.5	5.0	3.0	4.6

杭の先端支持力の検討については薄層に杭を止めた場合の検討方法としてMeyerhohの方法、JRの方法、阪神高速道路公団による方法、道路橋示方書による方法が試みられた。その中で最も安全側すなわち小さい計算結果となったMeyerhohの方法により設計荷重と比較した。その結果かろうじて必要支持力を確保できると推定された。Meyerhohの方法を図-4に、その計算結果を表-2に示す。

なお、検討の中で中間砂層直下の洪積粘性土層の強度については図-5に示すとおり200~600kN/m²の一軸圧縮強度を持つ地盤であるが250 kN/m²として計算した。

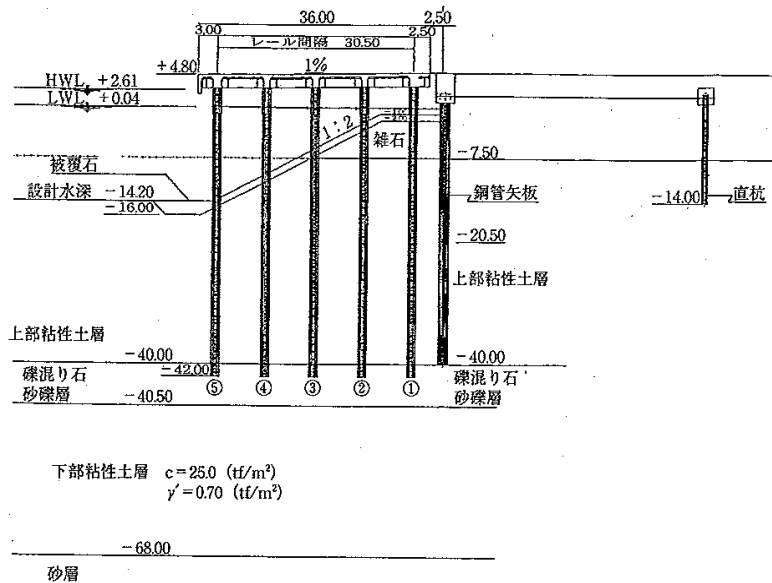


図-3 中間砂層に打ち止める場合の栈橋式護岸断面

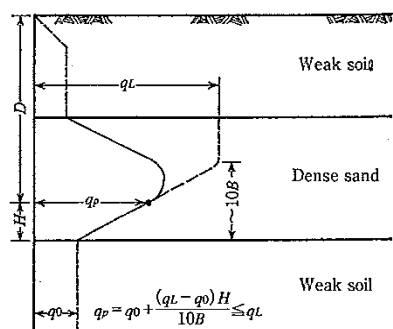


図-4 Meyerhohによる薄層支持力の算定方法

表-2 Meyerhohの方法による杭の支持力

	海側列杭		陸側列杭	
極限支持力(kN)	12,634		13,936	
設計条件	常時	地震時	常時	地震時
設計荷重(kN)	3,930	3,940	3,430	4,410
安全率	3.2	3.2	4.1	3.2
必要安全率	3	1.5	3	1.5

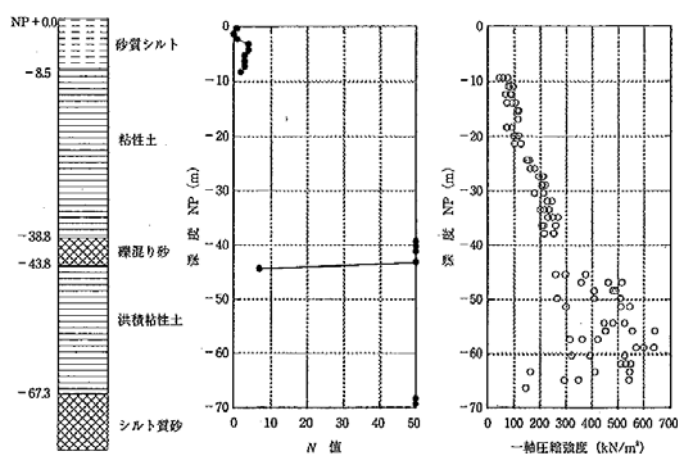


図-5 粘性土地盤の一軸圧縮強度

(3) 費用比較と設計方針

当初設計と提案設計との費用の比較は本工事の護岸延長300mに対して試算した。鋼管杭350本の1本あたり杭径φ1500×板厚15mm部分が28m長くなった場合の材料費および施工費を試算した。その結果、材工で約10億円の差があることがわかった。

材料費 7万円/m × 28m × 350本 = 6.86億円

施工費 3万円/m × 28m × 350本 = 2.94億円 計 9.8億円

経済効果と支持力検討の結果から、中間砂層に打ち止める方針となった。ただし、万が一支持力不足のリスクが顕在化した場合は、その損害は数十億となることが考えられ、事前に実杭による載荷試験を実施して支持力性能を確認することとなった。

(4) 載荷試験の実施

杭の載荷試験を実施するに際しては相対的に薄い地点（砂層厚さ4.5m）と厚い地点（厚さ6.5m）の2地点で実施し、薄い地点においては通常の開端杭と先端支持力を増大させるための十字リブを設けた杭を、厚い地点では通常の開端杭での載荷試験が計画された。

載荷試験方法は急速載荷試験方法が採用された。急速載荷試験は反力杭を必要とせず、異なる地点で複数回の試験を実施する場合に経済的に有利となる。載荷試験杭の条件を図-6に示す。

杭の載荷試験結果として中間砂層が4.5mの地点で実施した開端杭（V-1）の急速載荷試験結果を図-7に示す。また他の杭も合わせた急速載荷試験結果を表-3に示す。急速載荷試験の結果、中間砂層に打ち止めた試験杭は必要な支持力を十分に満足することが確認された。

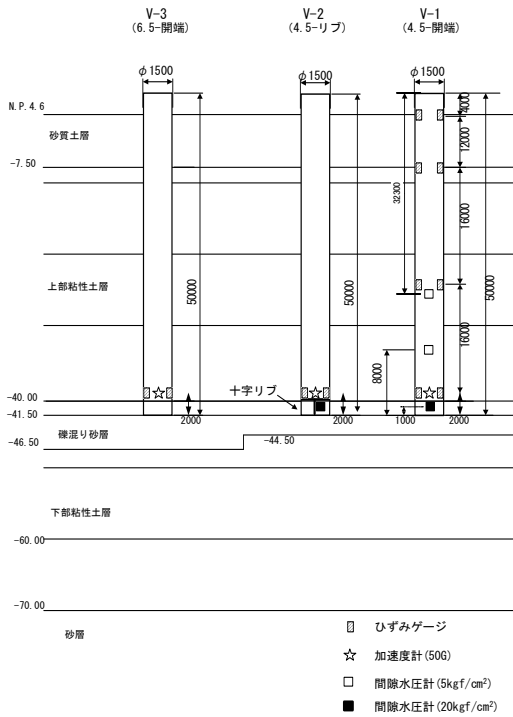


図-6 荷重試験杭条件

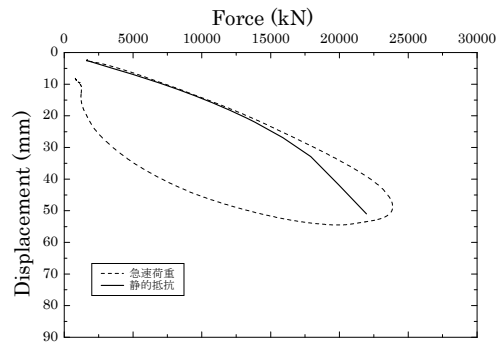


図-7 急速荷重試験結果
(荷重～沈下曲線)

表-3 急速荷重試験のまとめ

NO.	試験条件	周面抵抗	先端抵抗	合計抵抗	必要支持力
V-1	層厚4.5m 開端	15,300	5,100	20,400	11,790
V-2	層厚4.5m 十字リブ	15,600	7,100	22,700	
V-3	層厚6.5m 開端	15,600	5,100	20,700	

4. マネジメントの効果

本工事においては当初設計による杭長を大幅に短くする提案を行い、それを地盤調査結果に基づいた詳細な設計検討を行い中間砂層に打ち止めることになった。中間砂層に打ち止めることにより生じた支持力不足のリスクについては、実杭による荷重試験を実施することにより回避することができた。

本工事におけるコスト面でのまとめは以下の通りである。

杭長を短くすることによるコストダウン: 9.8 億円

荷重試験実施費用 (材工で) : 1 億円

支持力不足が生じた場合の損失: 数十億円

本稿は杭の荷重試験を実施することにより地質リスクを回避するとともに経済設計を実現した例として記述した。なお、本稿で挙げたコストの算定根拠については公式なものではなく定量化のために概算の単価を仮定したものである。

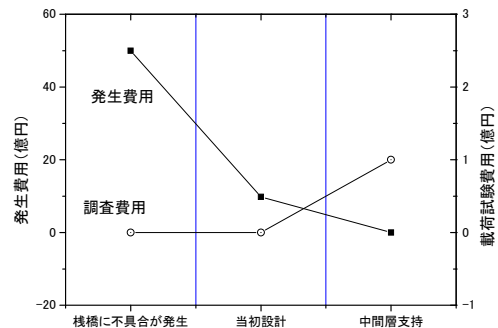


図-8 建設コストの比較

5. データ様式の提案

表-4 様式Aへの記入

大項目	小項目		データ
対象工事	発注者		国土交通省中部地方整備局 名古屋港湾・空港整備事務所
	工事名		名古屋港西5区岸壁(-14m)鋼管杭載荷試験工事
	工種		下部工
	工事概要		鋼管杭による栈橋式の耐震強化岸壁
	①当初工事費		不明
	当初工期		不明
リスク回避事象	予測されたリスク発現時期		① 発注時 ② 竣工後
	予測されたトラブル		① 杭をNP-70mまで根入れした場合の過大設計による高コスト ② 杭を中間層に打ち止めた場合の支持力不足による構造の不具合
	回避した事象		
	工事への影響		
リスク管理の実際	判断した時期		① 計画時 ② 計画時
	判断した者		発注担当者
	判断の内容		杭を中間層に打ち止めるが、事前に杭の載荷試験を実施し支持力性能の確認を行う。
	判断に必要な情報		<ul style="list-style-type: none"> ・ 土質柱状図 ・ 一軸圧縮強度データ ・ 工事コスト ・ 載荷試験コスト
リスク対応の実際	内容	追加調査	杭の載荷試験
		修正設計	
		対策工	
	費用	追加調査	材工で約1億円
		修正設計	
		②合計	1億円
変更工事の内容	工事変更の内容		杭長を28m短縮
	③変更後工事費		当初工事費-9.8億円

	変更工期	
	間接的な影響項目	
	受益者	発注者
リスクマネジメントの 効果	費用(①-③-②)	8.8億円(杭長変更により) 数十億円(支持力不足が生じた場合)
	工期	
	その他	

参考文献

- 1) Meyerhoh. G. G. : Bearing Capacity and settlement of pile foundations, Proc. of ASCE, Vol. 102, 1976
- 2) 菊池ほか：中間薄層で支持された大口径鋼管杭の載荷試験、第 35 回地盤工学研究発表会， 2000
- 3) 菊池ほか：名古屋港西五区耐震強化岸壁（-14m）築造工事における杭の根入れ長の変更， 基礎工