

Ⅲ-443

能越3号橋打込み鋼管杭の施工・支持力管理（その1） ー各種支持力推定式の信頼性についてー

（株）吉光組

正会員 ○道 勇治

石川県土木部

二塚 保之

NKK基盤技術研究所

正会員

林 正宏

金沢大学工学部

正会員

松本 樹典

1. はじめに

石川県能登半島内の能越自動車道3号橋建設に伴い、1995年3月に珪藻泥岩地盤において鋼管杭の打込み工事が実施された。この杭打ち工事では、施工管理、支持力確認および荷重-沈下関係の推定を目的として、波動理論に基づく動的載荷試験を実施した。本報では、この試験結果の内、各種支持力推定式およびCase法による支持力の比較検討結果について述べる。セットアップ現象や杭頭荷重-沈下関係の推定結果は、「能越3号橋打込み鋼管杭の施工・支持力管理（その2）ー動的載荷試験による支持力特性の推定ー」で述べている。

2. 試験地盤

図-1は、工事箇所の地盤概要である。ここでは、均質な珪藻泥岩が標高3m以深に厚く堆積している。標高-10mまでは、 N 値が20程度である。一軸圧縮強度 q_u は、4試料の試験結果であるが、 $q_u=101\sim148\text{ tf/m}^2$ であった。また、本工事箇所から500mほど離れた地点で66試料の珪藻泥岩の一軸圧縮試験を行っている¹⁾。一次処理を行った後、 q_u の変動係数C.O.Vは、C.O.V=0.11であった。

3. 杭配置および諸元

動的載荷試験は、A1橋台およびP1橋脚に配置するすべての杭で実施した。本報では、そのうちP1橋脚の測定結果について報告する。図-2は、P1橋脚の杭配置図および杭打設順序を示したものである。杭の諸元は、表-1に示すとおりである。なお、動的載荷試験の2ヶ月前には、No.4およびNo.9地点の杭を用いて、道路橋示方書・同解説IVにある支持力推定式（以後 道示式と呼ぶ）を適用して支持力管理を行う目的で、杭打ち試験を実施していた。その試験における再打撃では、ディーゼルハンマー（ラム重量 3.5tf）による打撃で杭を地盤に貫入させることができないにも関わらず、道示式では、設計支持力（350tf）を満足しなかった。

4. 動的載荷試験

4.1 試験手順

動的載荷試験は、FPDS (Foundation Pile Diagnostic System,TNO)により測定を実施した。FPDSによる動

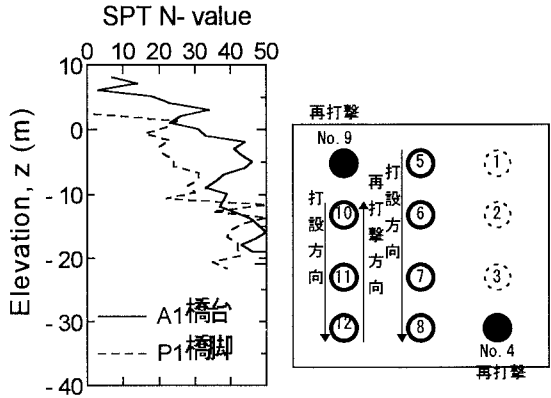


図-1 試験地盤の概要

図-2 P1橋脚の杭配置
および施工手順

表-1 試験杭の諸元

長さ	L (m)	10.0
外径	D (mm)	600.0
板厚	t_w (mm)	9.0
断面積	A (m ²)	0.0167
ヤング率	E (tf/m ²)	2.1×10^7
密度	ρ (t/m ³)	7.85
波速度	v_c (m/s)	5120
質量	m (t)	1.337

表-2 杭打ち作業工程

	3月13日	3月14日	3月15日	3月16日	合計
初期打撃	P1橋脚 7本	P1橋脚, 3本 A1橋台, 1本	A1橋台 14本	A1橋台 3本	28本
再打撃	P1橋脚 6本	P1橋脚 9本	A1橋台 10本	A1橋台 8本	33本
合計	13本	13本	24本	11本	61本

※3月14日は、午後より見学会と杭打ち機の移動を実施

的測定の他に手書きによる貫入量 S 、リバウンド量 K およびハンマーの落下高さ H を測定した。表-2は、杭打ち作業工程である。4日間で28本の初期打撃と、33回の再打撃を行っており、通常の施工速度とほぼ同速度で行った。

表-3 打ち込みデータおよび推定支持力の基本統計量（初期打撃）

	貫入量 S (mm)	リバウント K (mm)	実測ハンマーの落下高さを利用				測定打撃エネルギーを利用				
			道示式 R_u (tf)	道示式 第1項 (tf)	Hiley R_u (tf)	建設省 告示式 $3 \times R_a$ (tf)	打撃 エネルギー E_H (tf m)	Hiley R_u (tf)	建設省 告示式 $3 \times R_a$ (tf)	Case法 ($J_c=0$) R_d (tf)	静的 抵抗力 R_s (tf)
平均値	18.48	3.60	181.2	33.2	244.5	153.3	1.60	79.4	25.0	143.9	77.0
標準偏差	2.21	0.44	4.0	4.0	30.2	9.5	0.23	10.9	3.2	22.9	9.8
最小値	13.30	3.00	175.6	27.6	214.9	144.5	1.16	63.6	20.5	114.0	62.0
最大値	20.70	4.20	186.7	38.7	319.2	176.6	2.00	104.2	31.8	195.0	93.0
変動係数	0.12	0.12	0.02	0.12	0.12	0.06	0.14	0.14	0.13	0.16	0.13

表-4 打ち込みデータおよび推定支持力の基本統計量（再打撃）

	貫入量 S (mm)	リバウント K (mm)	実測ハンマー落下高さを利用				測定打撃エネルギーを利用				
			道示式 R_u (tf)	道示式 第1項 (tf)	Hiley R_u (tf)	建設省 告示式 $3 \times R_a$ (tf)	打撃 エネルギー E_H (tf m)	Hiley R_u (tf)	建設省 告示式 $3 \times R_a$ (tf)	Case法 ($J_c=0$) R_d (tf)	静的 抵抗力 R_s (tf)
平均値	3.71	9.84	238.8	90.8	816.1	331.6	2.00	249.1	51.2	382.9	346.8
標準偏差	3.02	2.75	25.4	25.4	252.9	46.7	0.25	65.2	7.1	46.7	44.0
最小値	0.30	7.20	214.4	66.4	459.9	252.8	1.56	119.7	32.9	308.0	282.0
最大値	9.90	17.60	310.4	162.4	1296.3	413.8	2.41	374.8	59.2	453.0	414.0
変動係数	0.82	0.28	0.11	0.28	0.31	0.14	0.13	0.26	0.14	0.12	0.13

4.2 動的載荷試験結果

表-3、表-4は、P1橋脚の初期打撃時と再打撃時の打ち込みデータ、各種支持力推定式から得られる杭の極限支持力 R_u 、Case法から得られる全抵抗力 R_d および波形マッチング解析から得られる静的抵抗力 R_s を示したものである。 R_u の算定には、道示式、Hileyの簡略式（以後 Hiley式と呼ぶ）、建設省告示式（以後通称の5Sの式と呼ぶ）を用いた。 R_d 算定に用いる打撃エネルギーは、ハンマーの落下高さを利用する場合と測定打撃エネルギーを利用する場合の2つとした。なお、道示式は、初期打撃時にのみ適用となるが、ここでは、比較検討のため再打撃においても R_u を算定した。

同表より、以下に示すことがわかる。

- I. 初期打撃時における道示式による R_u は、初期打撃時の R_s の約2倍あった。しかし、再打撃時の R_s との比較を行うと100～150 tf程小さい値であった。再打撃時において道示式は、 R_s をかなり過小評価していたことがわかった。このことが、杭が地盤に貫入しないにも関わらず、設計支持力を満足しなかった理由である。
- II. Hiley式は、ハンマーの落下高さを利用した場合は、初期打撃、再打撃共に、 R_s より過大評価した。しかし、測定打撃エネルギーを利用して R_u の評価を行うと特に、初期打撃時では、 R_s と良く一致した。Hiley式を適用する場合には、実際の打撃エネルギーを測定することにより、より精度良く R_u を求

めることができる。

- III. 5Sの式は、 $R_u=3 \times R_a$ として R_u の評価を行った。打撃エネルギーを再打撃時の実測ハンマー落下高から算定した時、 R_s とよく一致した。しかし、測定打撃エネルギーから算定した R_u は、 R_s と非常にかけ離れている。
- IV. R_d および R_s の変動係数は、C.O.V=0.12～0.16を示し、あまり大きなばらつきを示さなかった。この変動係数の値は、一軸圧縮強度 q_u のばらつきと良く一致する。したがって、今回の杭打ち作業は、極めて良好に行われたと判断できる。

5. おわりに

従来の支持力推定式は、本工事箇所では、適用しがたいことがわかった。一方、波動理論に基づく動的載荷試験結果は、工事現場における諸条件をよく反映していた。特に、Case法および波形マッチング解析による杭の支持力推定結果のばらつきは、ほぼ地盤強度のばらつきと同程度であった。A1橋脚の測定結果は、別の機会に報告する予定である。

参考文献

- 1) Matsumoto, T., Kusakabe, O., Suzuki, M. and Shogaki, T. (1993): Soil parameter selection for serviceability limit design of a pile foundation in a soft rock, *Proc. Int. Symp. on Limit State Design in Geotech. Engrg.*, Vol.1/3, pp.141-151.