

III—2 シラス地盤における鋼杭の支持力機構について

日本道路公団 札幌建設局 構造技術課 大西敬夫
○土屋一郎

1. はじめに

北海道における高速自動車国道は、58年11月末までに札幌～白老間、札幌～岩見沢間及び札幌～小樽間が供用しており、総延長は約300kmとなり本格的な高速道路の幕明けをむかえた。現在工事中の区間は、約165kmあり鋭意施工している。このうち、白老～登別間約35kmは、北海道有数の火山灰地帯であり、苫小牧地区は支笏湖シラス、登別地区は倶利伽羅シラスと呼ばれており、土質分類上特殊土とされておりその特性は不明な点が多い。当地区では、橋梁基礎工の施工において、鋼管杭・ベノト杭・ケーソン工・直接基礎が施工されているが、鋼管杭・ベノト杭については施工に先立ちその支持力機構を確認しながら実施しているが、本報告はこれらを紹介するものである。

2. シラス地盤の特性

シラスの研究は南九州で特にさかんであり、¹⁾シラスとは火山の爆発により火山からは多量の火砕流(または軽石流)が流出する“熱雲型噴火”と呼ばれる形状に起因する溶結していない火砕流タイ積物・その他の軽石質火砕タイ積物を総称している。シラスは、一次タイ積シラスと二次タイ積シラスとに分けられることが多いが、両者の標準貫入試験の違いを図-1に示す。一次シラスは、比較的良く締っており粒子がインターロッキング効果により結合力が強く構造物の基礎地盤としては、比較的問題はない。二次シラスは、冲積したシラスと考えられるものが多く、N値が20以下の層が厚く支持層とするには問題がある。又、均等係数も1.0前後を示し、地下水位も高い場合が多い。一次シラスにおけるN値については、粒子がインターロッキング効果で連結しているものを貫入試験により、粒子の結合構造を破壊し、さらに繰返し打撃を加えることにより低く評価していることも考えられその値の採用はむづかしい。これは、鋼管杭の打撃工法とも類似している。

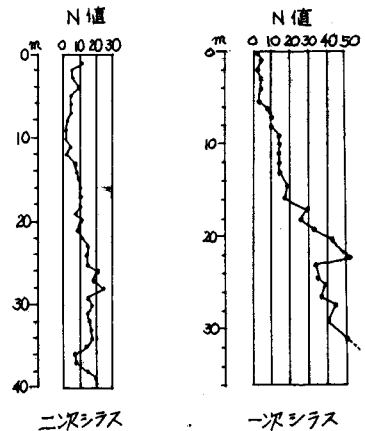


図-1

シラス地盤における基礎工の選定においては、一次シラスの場合はその支持層($N \geq 30$)を目安とし、その構造検討により、ベノト杭あるいは鋼管杭を採用する。二次シラスにおいては、その柱状図から判断すると、一般的に支持地盤は深く支持ぐいとすると、杭長 $L=30m$ 程度とされる場合が多く鋼管杭を採用することになる。鋼管杭をシラス地盤に適用すると、前述したように打撃工法によるシラス粒子の破壊による体積変化あるいは、動的支持力の推定などに多くの不明点がある。例えば、鋼管杭の先端補強バンドの形状によつては、先端閉鎖効果は低下すること及びダイレタンシーが負を示し、鋼管杭外面のマサツカが低下することも考えられる。

3. 場所打ち鉄筋コンクリート杭(ベノト杭)試験

本試験の地盤は、地下-10m位までは $N \leq 10$ の軟弱な泥炭及び粗粒火山灰であり、地下-10m以下、 $N \approx 30$ 位の締った火山灰で一次シラスに近い。(図-2) ベノト杭は、 $\phi 200$ 、 $L=16.5m$ で設計されている。本試験では、ベノト杭の設計支持力の安全性の確認、杭先端部における支持力状況や地盤の横方向反力係数 K 値を調査した。

① 鉛直載荷試験

杭頭部における長期許容支持力は $R_a = 330 \text{ t}$ であり、設計支持力は 231 t である。杭先端地盤における荷重～沈下の関係は、沈下量が初期応力レベルよりかなり大きかった。そして公定で定めている杭先端地盤支持力は $R_a = 300 \text{ t}$ であり、結果はそれに近い $R_a = 330 \text{ t}$ であった。また杭の周囲マサツ強度は非常にバラついていたが、平均的には $f = 0.7 \text{ N}$ であった。

② 水平載荷試験

設計時に採用した横方向地盤反力係数 K 値は、 $K = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ である。結果から K 値（変位 1 cm の時の K 値）で $K_0 = 0.94 \text{ kg/cm}^2$ であり、設計は安全であることが判った。杭頭固定条件として、杭頭変位が 1 cm になる時の水平荷重は $H = 40 \text{ t}$ であった。

③ 杭材の強度と杭先端地盤の N 値

杭材として使用したコンクリートは、打設後約 100 日経過した時で、最大圧縮強度 $\sigma = 440 \sim 470 \text{ kg/cm}^2$ 、ヤング係数は $E = 2.6 \sim 3.3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ であった。

また、杭先端地盤の N 値は、鉛直載荷以前、以後のあいだほとんど変化がなかった。以上のベント杭の載荷試験によると、シラス地盤における設計は通常の砂質土盤として設計しても特に問題がない。

4. 鋼管杭の試験

鋼管杭の施工試験は、いくつかの現場で実施しており下記に示す。

① 試験 A

本試験は、火山灰台地と河川の浸食作用により形成された沖積平野との境界領域に位置し、地層が約 30° 以上の急傾斜の箇所で行った。地質は、 $0 \sim 3.5 \text{ m}$ は N 値 $10 \sim 30$ 程度で、それ以下は $N \geq 30$ となっており一次シラスである。（図-3）含水率は、平均して 50% を超えており、Hagen の式による透水係数は $2 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-5}$ である。本試験では、先端補強バンドの形状による比較、鉛直載荷及び水平載荷試験を行った。

①-1 先端補強バンドの形状の比較

先端補強バンドを表-1に示すような種類を打ち込み試験を行った。管内上の下り量をみると開き効果がわかるが、外側に先端補強バンドを付けた開端杭及びマイナスリブ杭 ($k = 800 \text{ mm}$) は開き効果がほとんど見られず、これは、外側先端補強バンドによりシラス粒子が破壊され、さらに管内に入ったシラス粒子も繰り返し打撃を受けることにより締ることなく、管内土が上昇したことによると考えられる。図-5に一打当りの貫入量の比較を示すが、この結果からも先端開き効果の差がうかがえる。又、表-1に動力学公式による許容支持力を示すが各公式により大きな差が出ている。外側先端補強バンドの形式は、シラス地盤では粒子破壊及び杭外面の周囲マサツカについてシラス粒子が復元力がいさなため、杭外面とシラス地盤との間にすき間があくといった現象が考えられ周囲マサツカの低下も予想される。このため、地工区で外側補強バンドと内側補強バンドとの比較試験を実施した。

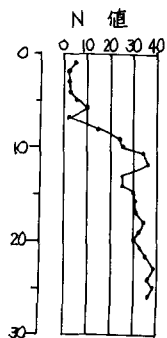


図-2 ベント杭

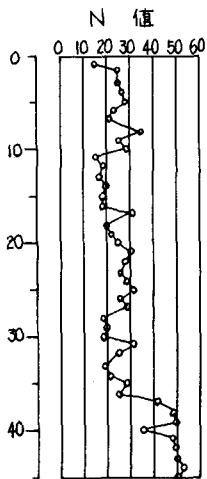


図-3 試験 A

表-1 先端形状と打設試験結果

先端形状	1	2	3	4	5	6
杭長(m)	26.0	45.6	26.0	26.0	26.0	26.0
管内土						
下り量	79.6	100.9	101.6	100.6	99.8	95.3
動力学公式による許容支持力	242	549 (237)	225	221	229	259 (259)
Hiley	272	349 (123)	85	83	121	234 (151)
旧建築学会	129	235 (68)	64	58	74	129 (96)
中極結果	変形				正常	

図-4 に一打当りの貫入量の比較を示すが、これによれば、明らかに内側補強バンドの方が先端閉栓く効果が現れ、動力学公式による支持力も当然大きくなる。このため、当区域のシラス地盤の鋼管杭の先端補強バンドの形式は、比較的浅い層に明確な支持層がある場合を除き、支持層が深い場合は先端支持力の占める割合が小さくなるため内側補強バンドとして施工している。

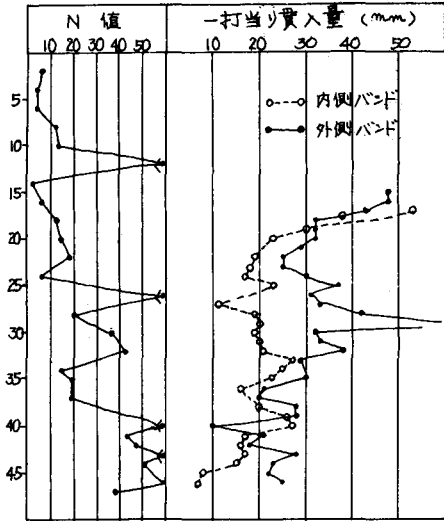


図-4 内側・外側バンドの比較

①-2. 鉛直載荷試験

鉛直載荷試験については、表-1 に示す補強バンド無の開端杭及び十字リブ杭 ($h = 1600 \text{ mm}$) について杭長 $L = 26 \text{ m}$ で実施した。表-2, 3 に結果を示す。開端杭は打込試験による挙動が不自然であったことから、管内土を掘削した結果杭が大きく変形していた。この原因として、傾斜地盤であったこと、杭先端強度の不足、層に小石等の混在が考えられる。なお、載荷試験結果は参考値としている。十字リブ杭の静的載荷試験により求められた許容支持力 ($R_a = 82 \sim 100 \text{ 万}$) は、静的公式より算定された許容支持力 ($R_a = 140 \text{ 万}$) の $60 \sim 70 \%$ であり、動力学公式より求めた許容支持力は、 $1.3 \sim 3.3$ 倍大きな値を示す。従って、当地区の地層では、上記形式の鋼管杭の静的及び動的公式のいずれの適用にも問題がある。表-3 に極限状態の先端支持力、平均周面マサツ強度及び動力学公式による計算値を示す。これによると q_d , f とともに計算値の $1/2 \sim 1/3$ の値を示し、外側補強

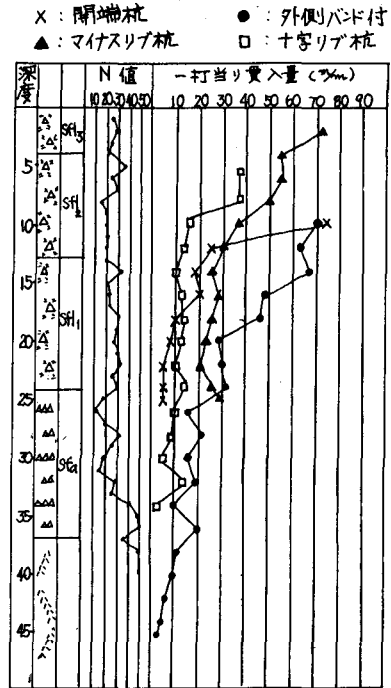


図-5 先端補強の比較

表-2 鉛直載荷試験

		十字リブ杭	開端杭
先端形状			
降伏荷重 P_y		200	(600)
極限荷重 R_u	グラフより	判定せず	判定せず
	Van Der Veenの方法	300	(800)
	宇都宮の方法	245	(860)
長期許容支持力 R_a		82~100	(267~300)
R_a / 設計許容支持力 (140万) $\times 100 \%$		59~71	(191~214)
動力学公式との比較	道路協会式 / R_a	2.7~3.3	(0.83~0.93)
	Hiley式 / R_a	2.3~2.9	(0.91~1.02)
	旧建築学会式 / R_a	1.3~1.6	(0.43~0.48)

表-3 先端支持力・周面マサツ力

	載荷試験	設計値		試験値	修正式
		算定式	計算値		
先端支持力 q_d (t/m^2)	208.5	$q_d = 30 \cdot N$	690	0.30	$q_d = 6 \sim 10 \text{ N}$
周面マサツ力 f (t/m^2)	2.1	$f_i = N/5$ (砂質土)	4.7	0.45	$f_i = 1/10 \sim 1/15 \text{ N}$

バンドのシラス地盤における支持力の低下から、本型式の鋼管杭の採用には問題がある。

①-3. 水平載荷試験

水平載荷試験結果を表-3、4に示す。これによると当区域のシラス地盤においては、鋼管杭の打設による振動によって、杭頭付近の地盤は劣化し、杭頭付近(1/3)のN値は杭打設後において大巾に低下し、結果として、横方向地盤反力係数Kは $1/4$ 程度に低下した。又、水平許容支持力も設計値に比較して大巾に小さく値を示した。なおN値は打設2ヶ月後であっても回復していない。他工区に鋼管杭の打設前後のN値を測定したがN値の変化は小さかった。この原因としては、当工区が含水比の着しく高い箇所であり、地盤の劣化は地下水位との関係が密接であることが予想される。

②. 試験 B

本試験は、GL-6.8mまじは軟弱な砂質シルトとシルト混り泥炭があり、それ以外には火山灰が連続している地層で行った。火山灰地層は中間にシルト層を一部含むがそれ以外はN値10以下が多く、冲積シラス的な性状を示している。試験杭は先端補強バンドを内側で、鉛直載荷試験を行っている。尚、当地区には支持層と見られるようなN30の地層がGL-40~50mに位置する地層が多く、杭長が極めて長くなることから、マサツ杭としての取扱いが可能などうかの確認試験を行った。(図-6)

②-1. 鉛直載荷試験

表-5に鉛直載荷試験の結果を示す。この結果、許容支持力については、試験結果は静的支持力に比べて約1.3倍、動的支持力に比べて86%の値を示した。このうち、静的支持力に比べて、杭の周面マサツ力は約1.6倍、杭の先端支持力は、85%の値であった。周面マサツ強度とN値との関係は $f = 1/5 N + (1 \sim 3)$ 程度となる。一般的に、シラス地盤における支持力は砂質土に比べて小さいと言われているが、本試験を見るかぎり、鋼管杭の先端補強バンドを内側として、シラス地盤を乱さず、様々施工を行えば、静的公式による支持力は十分に得られるものと考えられる。

③ その他の試験

③-1. シラス地盤の上載荷重

本試験は、図-7に示す地盤において切土を行い、その地盤に橋脚を設置する場合の掘削前後のシラス地盤の特性を調査したものである。柱状図を見ると、当地区のシラスは一次シラスでありGL-20m付近は十分な支持層となる。今回、掘削前後と、フーチング施工後の各施工段階による地盤反力係数を調べた結果を図-8に示す。この結果、掘削により地盤は一時的なゆるむが、荷重載荷後もシラス地盤の特性は変わらないに、復元することがわかる。

表-4 杭打設による横方向K値

	打設前	打設後2ヶ月	打設後/打設前
N値(1/3)	24.6	8.4	1/3
道路橋式K値	509 kg/cm ²	1.74	
水平載荷試験K値	-	1.0~1.6	
LLT式試験K値	-	1.78	
設計K値	4.15	1.0~1.6	1/3~1/4

表-5 水平載荷試験

		設計値	試験値	試験値/設計値
水平許容支持力 (t/本)	常時	133	46~66	1/2 ~ 1/3
	地震時	223	77~109	
許容変位量(mm)		常時 15mm 地震時 25mm		

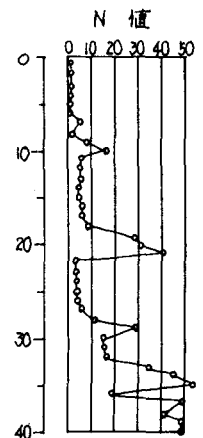


図-6 試験B

表-6 鉛直載荷試験 (トン/本)

	試験結果	静力学支持力	動力学支持力
杭周面マサツ力	244.5	151.1	253.4
杭先端支持力	106.5	124.6	151.9
杭の極限支持力	351.0	275.7	403.3
許容支持力	117.0	91.9	136.8

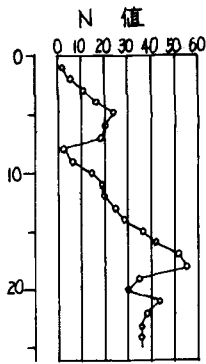


図-7

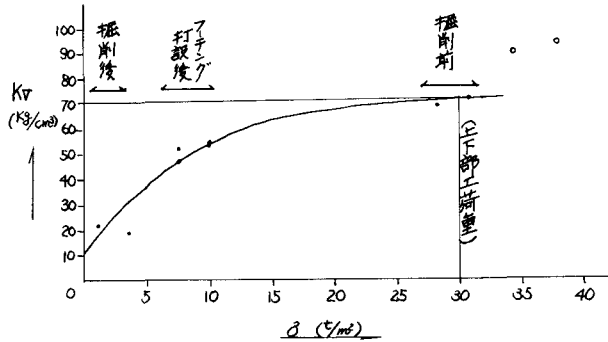


図-8 上載荷重の影響

②-2 深層載荷試験

シラス地盤が負のダイレタンシーを示すことは前述したが、深層載荷試験によるシラス地盤の沈下量の特徴を図-9に示す。この図は、当シラス地盤は荷重を除去した場合の弾性もどり量が特に小さいことを示している。これから、鋼杭で外側補強バンドを付けて打設を行った場合には、補強バンドの厚み部分にすき間が生じ、周面マサツカが低下する恐れがあることを示唆している。

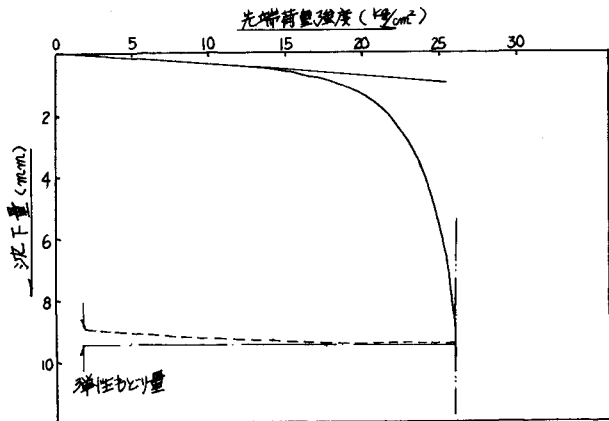


図-9 深層載荷試験 荷重除去による弾性もどり量

5. まとめ

シラス地盤における場所打ち鉄筋コンクリート杭と鋼管杭の試験結果を説明した。この結果、次の英が明らかになった。

①シラス地盤を支持層とする場合には、一次シラスか二次シラスか判別する必要がある。一次シラスの場合は問題となることはおきないが、二次シラスの場合は注意する必要がある。

②シラス地盤に含水比が高い場合は、標準貫入試験及び鋼管杭のような打撃工法によるデータは信頼性が低い。又、杭周辺地盤を乱すことがある。

③鋼管杭をシラス地盤に使用する場合、先端補強バンドを内側に付けることが望ましい。但し、浅い位置に明確な支持層があり、先端閉口効果が十分得られる場合は、外側補強バンドでも良い。

シラス地盤の特性は、十分につかめず各種試験を行い施している現状である。また、ニニには載せていないが、鋼管杭の高さ等いろいろな持異現象もみられる。本報告は、当地のシラス地盤における一つの結果にすぎず、さらに多くの試験をもとに検討する必要があると考えられる。

参考文献 1) 土質調査法 (土質工学会)