

鋼管矢板基礎の打撃試験報告

— 鋼管矢板の鉛直支持力について —

A Report of Driving Tests of Steel Pipe Sheet Pile Foundations

— Bearing capacity of steel pipe sheet pile —

富 沢 幸 一* 片 倉 浩 司**

Koichi TOMISAWA and Koji KATAKURA

鋼管矢板基礎は、鋼管矢板を仮締切りに兼用することができるなど多くの利点をもつことから広く普及した基礎形式の1つである。

しかし、鋼管矢板の鉛直支持力の判定には不明な点が多い。

このため、鋼管矢板の鉛直支持力判定の基礎資料を得るため、一般国道336号十勝河口橋P-5橋脚基礎において鋼管矢板の打撃試験を実施し、鋼管矢板の打込み特性と打撃応力から鋼管矢板の鉛直支持力について検討した。

その結果、鋼管矢板の鉛直支持力は鋼管杭とほぼ同様に評価できることがわかった。

《基礎；鋼管矢板；鉛直支持力；打撃試験》

Steel pipe sheet pile foundations is a commonly used foundation which has many advantages in cofferdams and so on.

But the vertical bearing capacity of steel pipe sheet piles has not been accurately determined. To obtain basic data, a driving test of steel pipe sheet piles was executed on the P-5 pier foundation in the Tokachikako Bridge on Highway 336 and the characteristics of the pile driving and dynamic stress was examined.

It was found that the bearing capacity of steel pipe sheet piles in the vertical direction could be evaluated by the same methods as steel pipe piles.

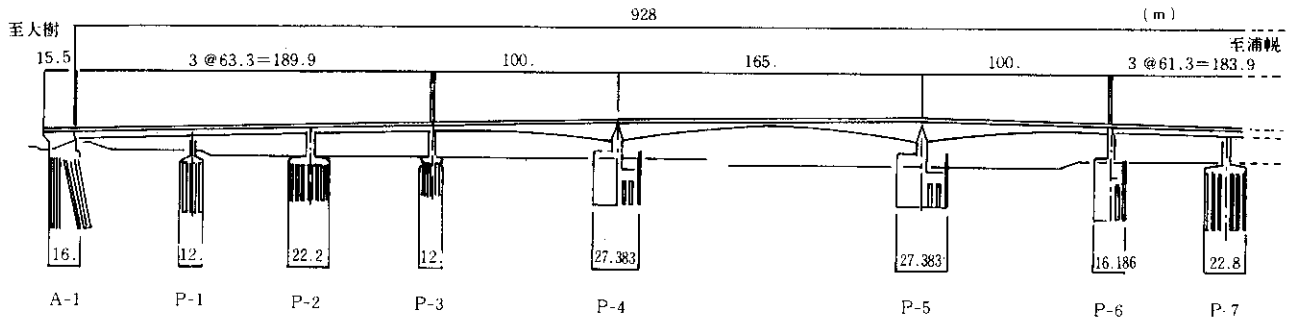
Keywords : foundation, steel pipe sheet pile, bearing capacity, driving test.

1. まえがき

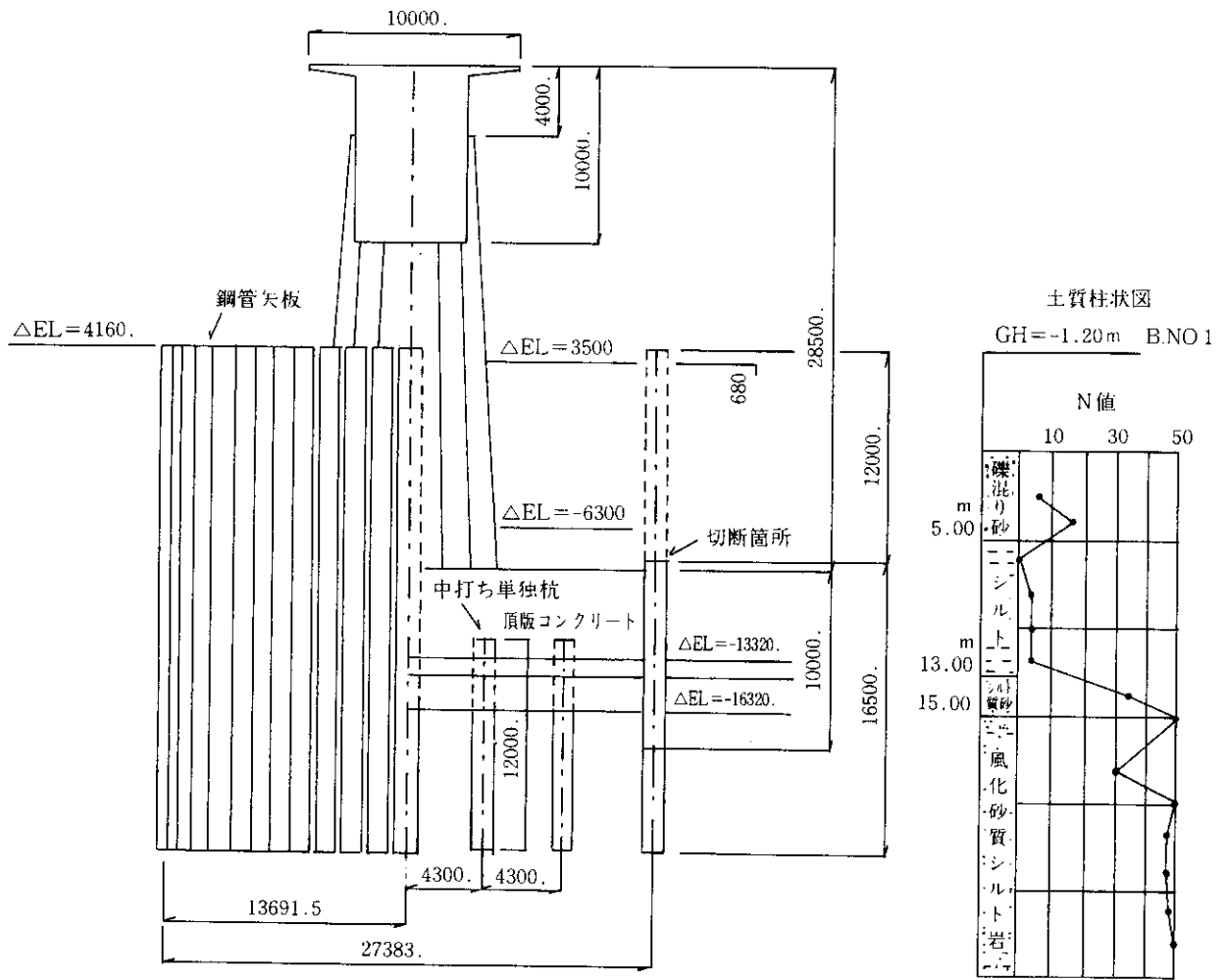
鋼管矢板基礎は、鋼管矢板基礎設計指針・同解説¹⁾によると、「鋼管矢板を現場で円形、小判形、長方形などの閉鎖形状に組合わせて打込み、継手管内をモルタルで充填し、その頭部に頂版を設けて所定の水平抵抗、鉛直支持

力が得られるようにした基礎」と定義されている。この基礎は仮締切りと兼用できるため、工事占用面積を縮小できること、工期を短縮できるなど多くの有用性をもつことから、昭和44年に石狩河口橋の基礎に採用されて以来、橋梁基礎として急速に普及した基礎工法である。特に泥炭性軟弱地盤の多い北海道では、有効な工法といえる。

*土質基礎研究室員 **同室主任研究員



図一 十勝河口橋側面図



P-5 正面図

図一2 P-5 構造, 土質柱状図

反面, 設計・施工面での留意点も多く, 施工上では基本的には杭打ち技術に負うところが大きく, 鋼管矢板は最終的に閉合させることを原則としているため, 通常の杭基礎以上の綿密な施工精度が要求される。設計支持層への鋼管矢板の貫入が本基礎を成立させるうえで重要な要素であるが, 鋼管矢板の打込み特性は単独鋼管杭と比べ継手管の影響など不明な点が多く, 特に高止まりが発

生した場合などの適正な鉛直支持力の確認については, 基礎が閉鎖形状の大規模なものとなるため, 載荷試験が困難なこと, 単独杭の動力学公式が適用でないことからむずかしい問題といえる。一般に鋼管矢板は, 継手管のせり合いや周辺地盤の締固め効果により単独鋼管杭と比べ打込みが困難になる傾向にあり, 場合によっては中掘り工法などの特殊な対策を必要とした例もある。

このため、鋼管矢板の鉛直支持力評価を含めた打止め判定の基礎資料を得る目的で、一般国道336号十勝河口橋 P-5 鋼管矢板基礎において打撃試験を実施した。本報では、鋼管矢板の単独鋼管杭と比較しての打込み特性および打撃応力の違い、隣接杭への応力分散に注目した打撃試験結果について報告する。

2. 現場概要

一般国道336号は、浦河町幌別より浦幌町吉野にいたる延長150.7kmの路線で、付近でナウマン象の化石が発見されたことから「ナウマン国道」とも称されている。本路線のうち、豊頃町大津と浦幌町豊北を結ぶ区間は十勝川によって分断されており、従来より渡船(人、自転車、バイクのみ)あるいは上流の豊頃大橋を利用しなければならない不便を余儀なくされている。十勝河口橋の架橋により交通の円滑化、産業促進など多岐にわたる効果が期待されている。

十勝河口橋の架橋地点は、橋長が最短となる位置および地形条件を考慮して、河口より上流約4km地点が選定されている。本橋は、上部工には主径間部に3径間連

続PC変断面箱げた形式(支間100.0+165.0+100.0)、側径間部に3径間連続PC等断面箱げた形式(支間3@63.3+3@61.3×2)をそれぞれ採用した橋長928mの長大橋である(図-1)。

2-1 土質状況

この地域は、十勝川、浦幌川など大小河川に沿って発達した沖積平原により構成された泥炭および粘土層からなる軟弱地盤地帯となっている。架橋地点の土質性状は、地表より層厚2~5m程度の泥炭層が介在し、これより基盤までは比較的密実なシルト層が分布している。さらに支持層基盤は、深度15m以下に位置する砂岩およびシルト岩で構成されている(図-2)。

2-2 基礎形式

11基の橋脚のうち、P-1~3、P-7~11については、支持層が深い位置にあることから鋼管杭基礎を採用している。P-4・5・6については、支持層が比較的浅く主径間部にあたるため上部工反力が大きいこと、工事期間中の占用区域を極力小さくしなければならないなどの安全性・経済性の理由から、仮締切り兼用方式による井筒型の鋼管矢板基礎²⁾を採用している(図-2)。図

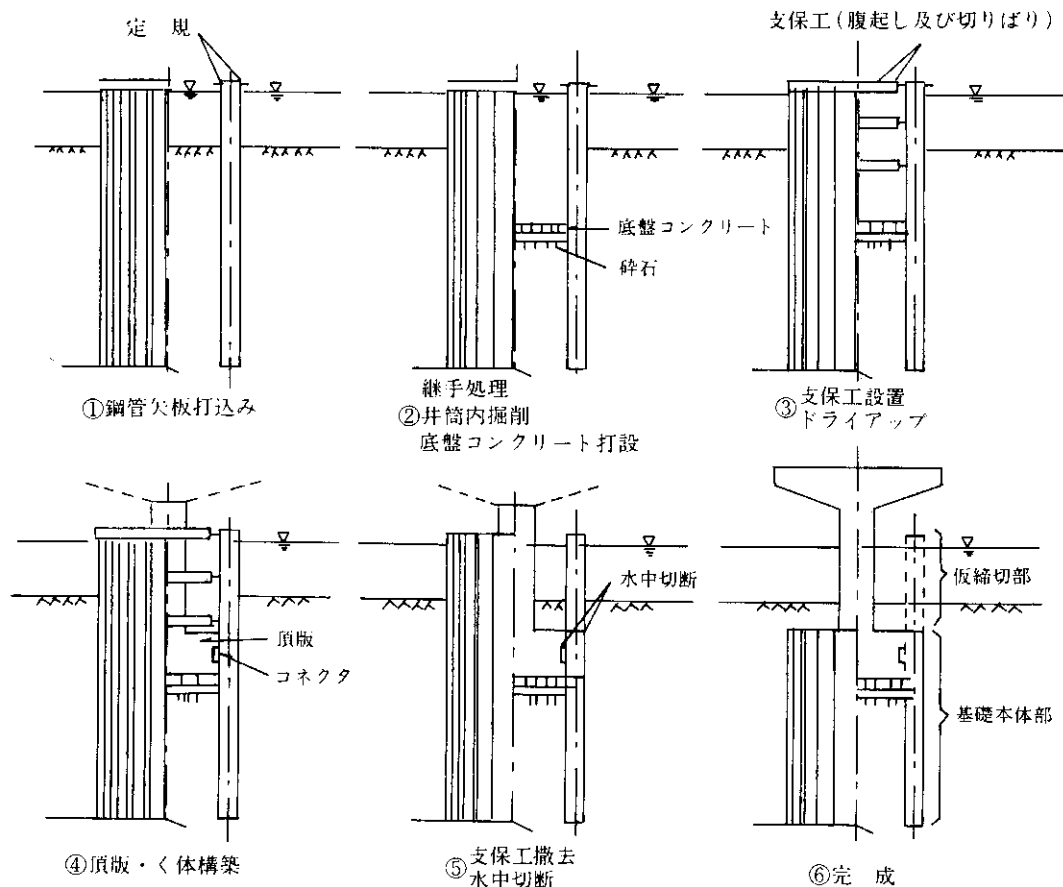
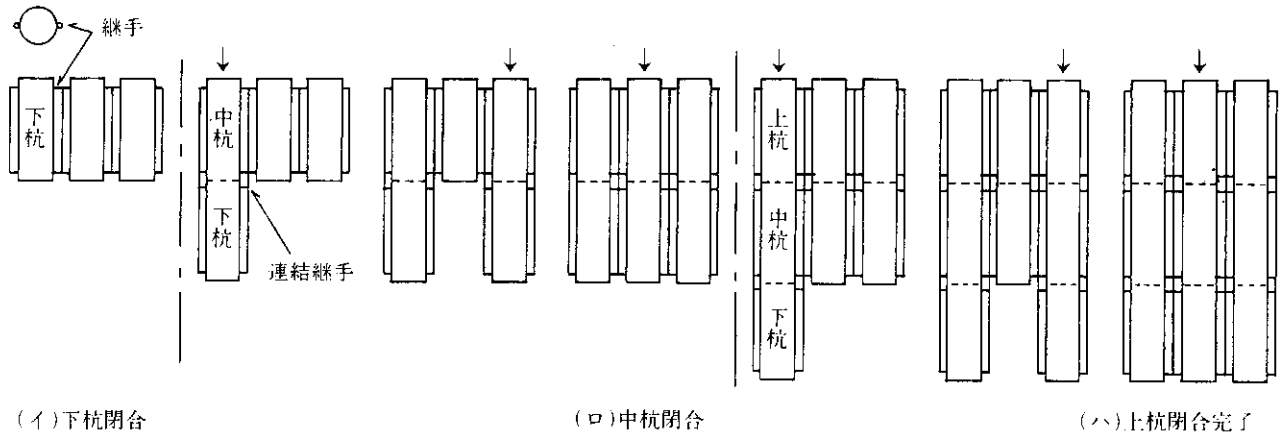


図-3 仮締切兼用方式鋼管矢板基礎の施工順序

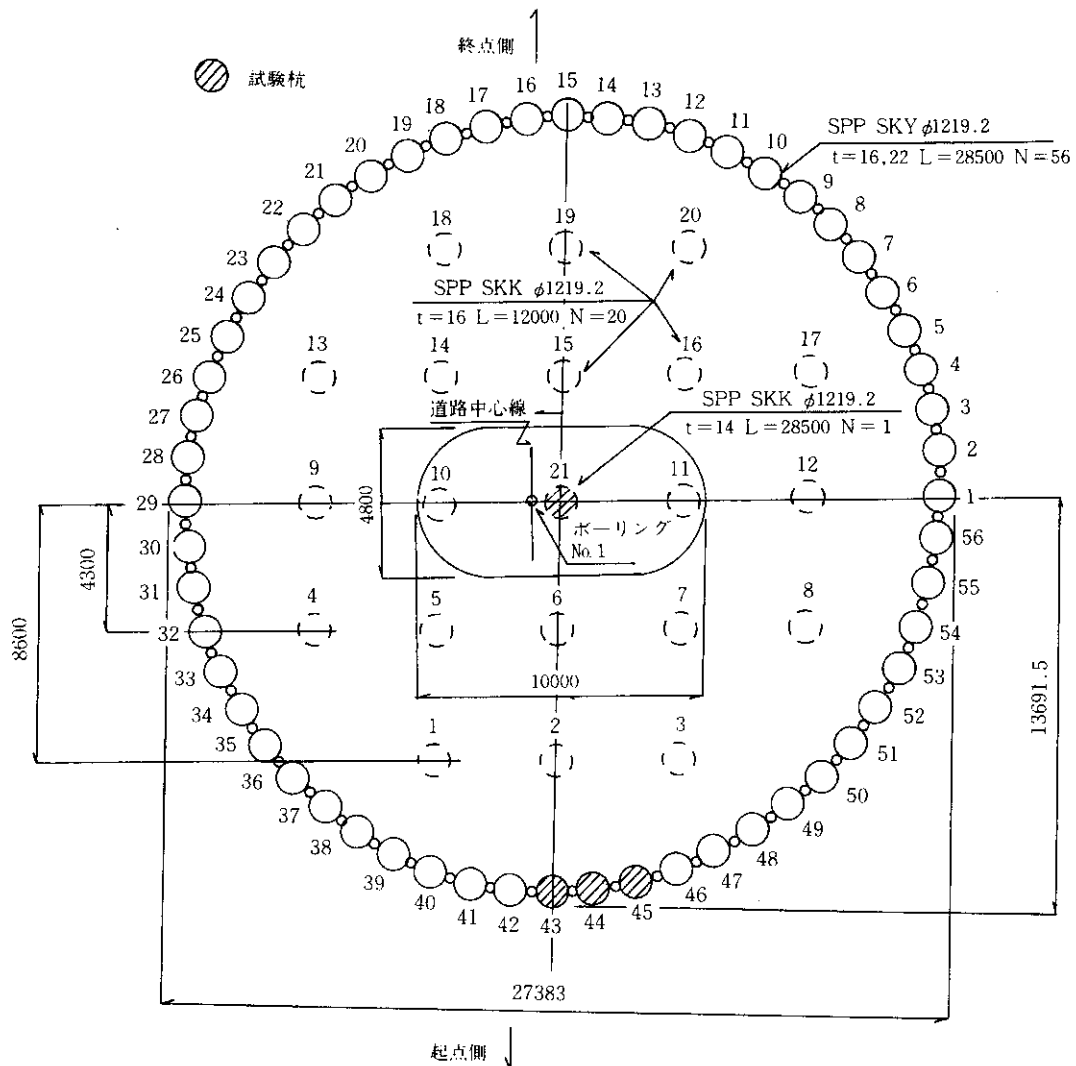


図一 鋼管矢板打込み順序

— 3 に仮締切り兼用方式鋼管矢板基礎の標準的な施工順序を示したが、仮締切り兼用方式では、施工法によっては仮設時の変形や残留応力が基礎本体に悪影響を及ぼす場合も考えられるので、施工順序には十分な検討が必要

である。

また、鋼管矢板基礎は、閉鎖断面を形成することにより成立するため、継手管、鋼管矢板の位置を正確に保持し閉合させる必要があり、そのため鋼管矢板の建込み、



図一 5 P-5 鋼管矢板基礎平面図

打込みは非常に重要な作業といえる。図-4には鋼管矢板の打込み順序を示したが、下杭、中杭、上杭をそれぞれ打込みの各段階で閉合させる形としており、頂版、躯体構築後鋼管矢板を所定の長さで水中切断することとしている。また、P-5鋼管矢板基礎は河川内に入ることから作業空間を確保するため、仮棧橋を施工している。

2-3 P-5 構造概略

P-5鋼管矢板基礎の平面形状は、図-5に示したように56本の鋼管矢板(φ1219.2mm)を閉合させた一般的な円形としており、鋼管矢板頭部と頂版の結合部に生じる応力集中を軽減するため、井筒部鋼管矢板と同径の21本の中打単独鋼管杭を利用して力学的に無理のない構造としている。

鋼管矢板の構造特性は、継手管のせん断剛性の影響によって鋼管矢板群が一体となって挙動するため、杭基礎とケーソン基礎の中間に位置する深い弾性体基礎としての特徴を有している。本体設計に際しては、弾性床の上のはり理論に基づく解析を用いるのを原則としているが、 $\ell_1/B_v \leq 1.0$ (図-6)あるいは変形が大きい場合には、継手管に作用するせん断力の影響、頂版結合部の拘束モーメントの影響が大きくなるので、三次元解析、立体骨組み解析または群杭基礎としての解析により鋼管矢板基礎の安定および躯体の安全性などを照査し、著しく機能を損なわないようにするのがよいとしている。P-5本体設計については、2層系の群杭基礎として安定照査している。

鋼管矢板の鉛直支持力の考え方は、鋼管矢板基礎を構成する鋼管矢板が打込み工法によって施工された鋼管杭に近い性質を持つことから、その支持力は鋼管矢板1本当たりの支持力によるものを基準とし、その算出式も打込み工法による鋼管杭のものを用いている。ただし、施工の都合上、中掘り工法などの特殊な対策を採用する場合は、別途検討する必要がある。

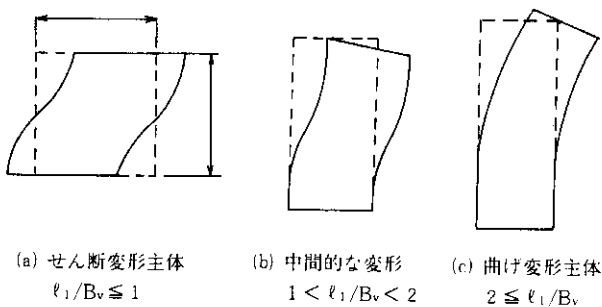


図-6 井筒部の変形モード

3. 試験概要

打撃試験を実施した試験杭は、鋼管矢板と単独鋼管杭との打込み特性および打撃応力の比較、鋼管矢板の継手管を介しての隣接杭への応用分散に注目し、鋼管矢板の適正な鉛直支持力判定の基礎資料を得るという目的から、今回、単独鋼管杭(No.21)、鋼管矢板(No.43, 44, 45)3本の計4本とした(図-5)。

各試験杭の杭諸元および打撃時の応力測定のためのひずみゲージの設置位置を図-7に示した。ひずみゲージによって測定された動ひずみは、図-8に示したように動ひずみ測定器、電磁オシログラフを介して、データレコーダに記録することとしたが、測定は中杭打込み以降とし、1m貫入ごとの最大応力に注目した。

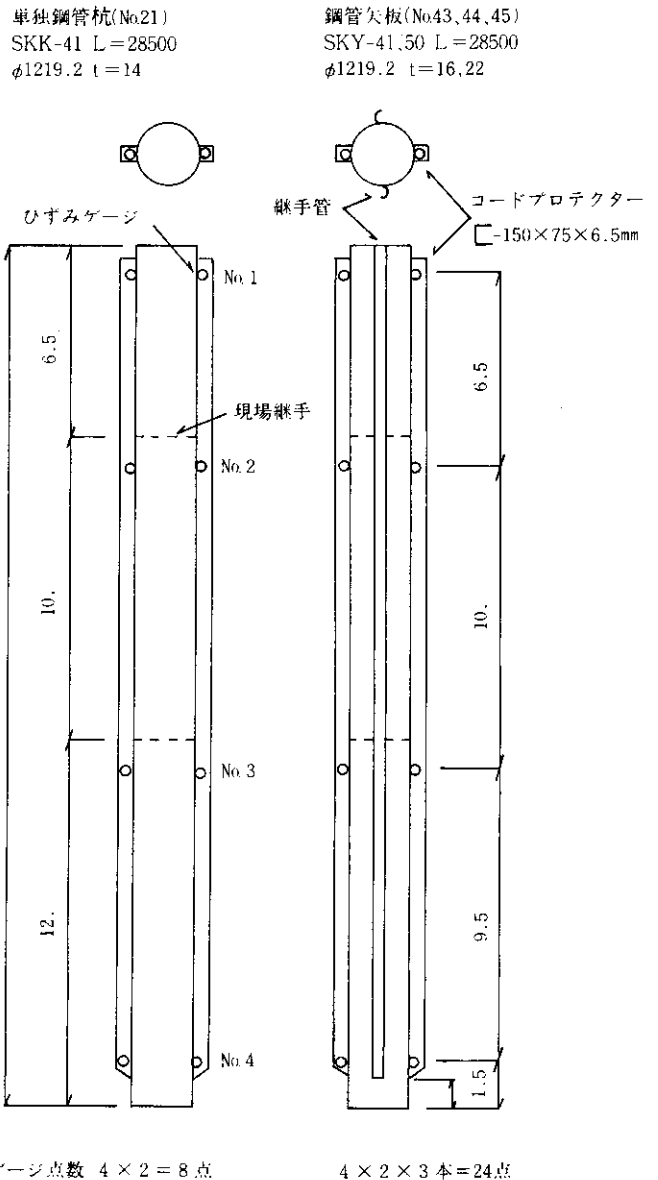


図-7 試験杭



図-8 打撃応力記録方式

打撃応力の測定以外にも打込み特性を調べるため、深さごとの打撃回数、貫入量、リバウンド量、ハンマ落下高などの打込み記録も全ての杭で実施している。

以下に単独鋼管杭、鋼管矢板の打込み特性および打撃試験結果について述べる。

4. 試験結果および検討

4-1 単独鋼管杭

4-1-1 打込み特性

杭打機は、杭径などの適用範囲からディーゼルハンマ MB-70 (Wp=7.2t) を選定している。打止め時の打撃回数、貫入量については、杭種、形状、地盤状況により一義的に定めることは不可能であるが、道路橋示方書³⁾

では、打止め時 1 打当たりの貫入量については 2~10 mm、総打撃回数は 3000 回以下を目安とすると示されている。ただし、支持力が十分と判断できる場合には、貫入量などにこだわる必要はないとしている。

単独鋼管杭は、打撃試験杭を含めて計 21 本あるが、表-1 に各杭の打込み記録を示した。高止まりしている杭がほぼ右岸側に集中して 6 本見受けられるが、総打撃回数は 3000 回を上まわっており、貫入量も 0~0.3mm と非常に小さいものとなっている。これらの杭では、支持層が設計計算で与えられた位置より比較的浅い位置にあったためと考えられる。図-9 には、打撃試験杭 No.21 の打込み深さごとの打撃回数および貫入量の関係を示した。図によれば、打撃回数、貫入量ともほぼその土質性状に沿った値を表している。1m ごとの打撃回数は固結シルト層の 15m 以深で多くなり、20m 以深ではさらに大きく増えている。1 打当たりの貫入量も 18m 以深からかなり小さな値となり、打止め時の貫入量は 2mm 程度である。

表-1 単独鋼管杭打込み記録

NO.	貫入量 S (mm)	リバウンド K (mm)	総打撃回数 n	極限支持力 Ru(t)	備考
1	1.0	16	2238	1445	
2	2.6	16	—	1444	
3	0	14	3127	1358	35cm高止り
4	0.9	15	2376	1401	
5	0.1	17	3280	1469	160cm
6	0.1	17	2987	1489	55cm
7	0.1	18	3055	1532	40cm
8	0.3	18	3350	1532	30cm
9	2.0	14	—	1357	
10	1.1	17	2359	1489	
11	1.7	15	1821	1401	
12	1.3	14	—	1357	
13	0	17	3122	1489	15cm
14	1.5	17	2265	1489	
15	1.2	16	2312	1445	
16	1.4	15	2159	1401	
17	1.2	15	2257	1401	
18	0.5	17	3016	1489	
19	1.7	16	—	1444	
20	1.3	17	2047	1489	
21	1.7	17	1889	1476	
平均	1.0	16	2568	1448	

(注) $\phi 1219.2\text{mm}$, $t = 14\text{mm}$

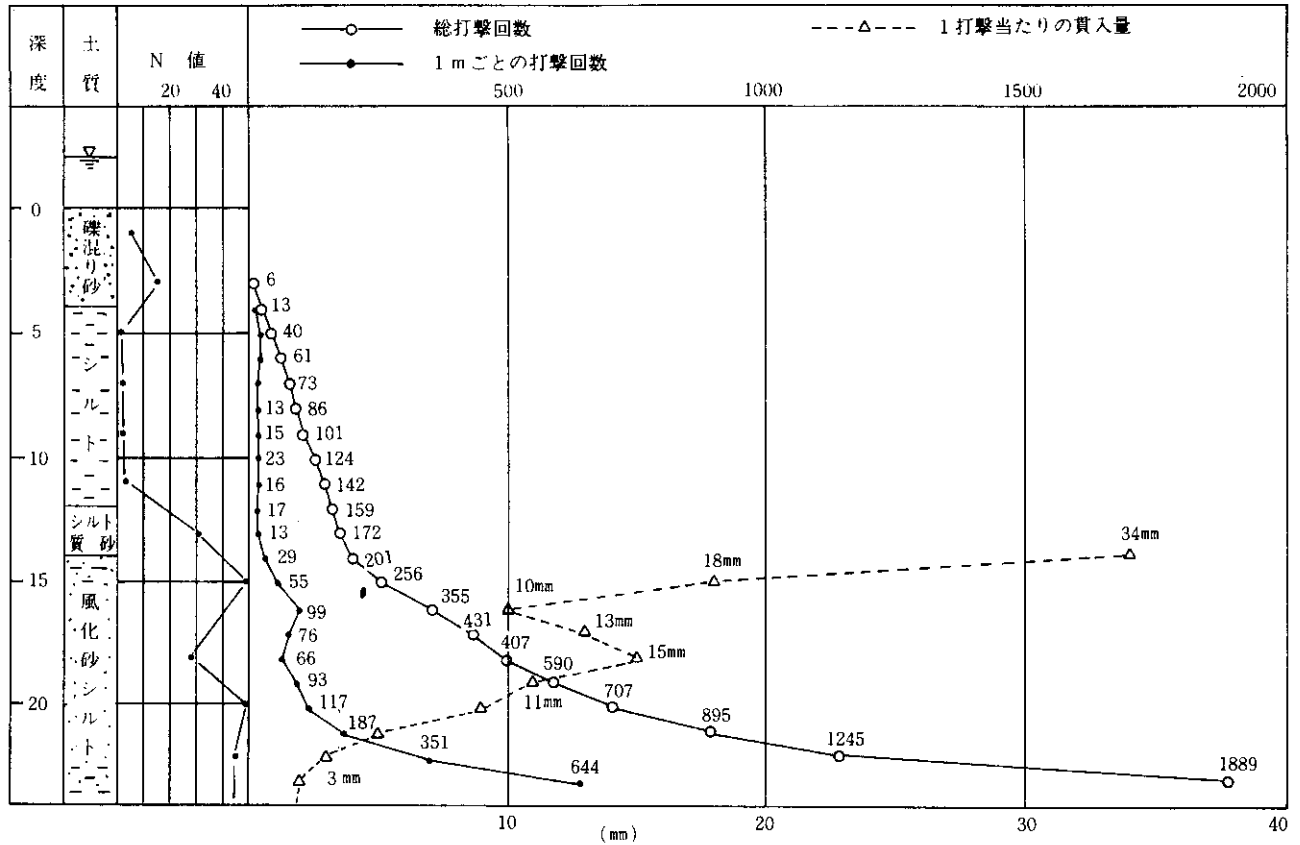


図-9 単独鋼管杭No.21打撃回数・貫入量

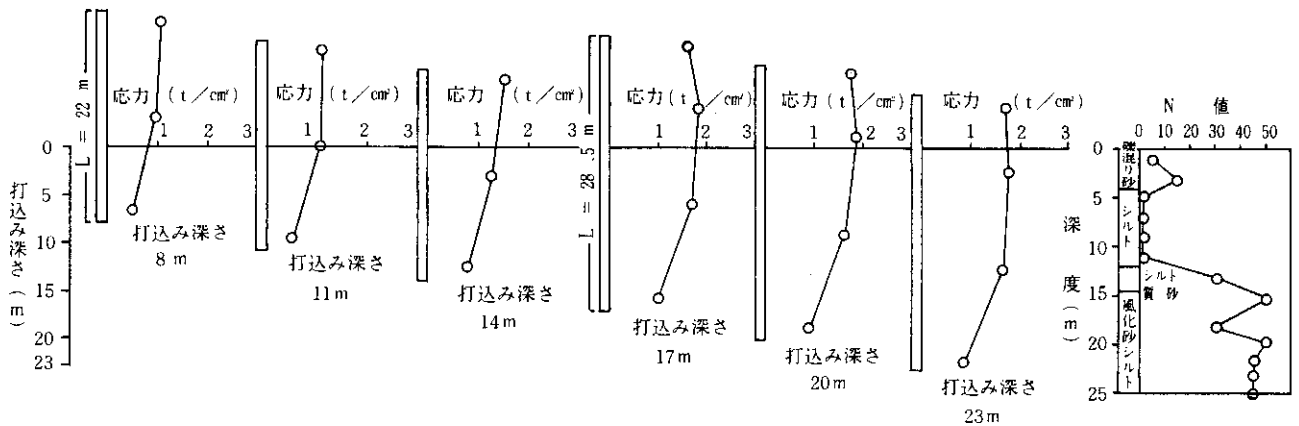


図-10 単独鋼管杭No.21打撃応力分布図

4-1-2 打撃応力

打撃試験杭No.21の打込み深さごとの杭体打撃応力(最大応力)の分布状態を、図-10に示した。図によれば、上杭打込み以降の打撃応力の分布形状にはほとんど変化がなく、杭先端部には杭頭の約半分の応力度が発生しているのがわかる。このことから、支持層の深度15m以深(固結シルト層)では、土質の強度状態はほぼ一様と判断できる。また、打止め付近では杭先端への打込みエネルギーの伝達に対して貫入量は非常に小さく、これ以上打撃をした場合は単に杭体に衝撃荷重を作用させている

のに過ぎず、逆に座屈の問題が生じてしまう。

次に、打撃時の杭頭応力の実測値と各算定式とを対比して検討する。杭打込み時の杭頭打撃応力の算定式は種々提案されているが、以下に示す(1)波動方程式による方法⁴⁾と(2)打撃エネルギーのつり合いによる方法⁴⁾(エネルギー平衡法)とに大別できる。

(1) 波動方程式による方法

強制外力を受けた場合の弾性体の棒の慣性力と応力との平衡から求めた波動方程式に、杭打撃時の条件を入れたもので次式に示される。

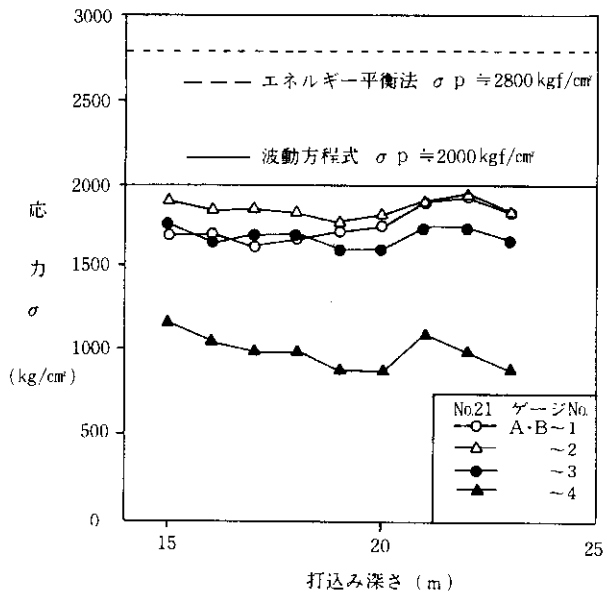


図-11 杭頭打撃応力

$$\sigma_p = \frac{e \sqrt{2 \cdot E_p \cdot \gamma_p \cdot H_p}}{1 + \frac{A_p}{A_H} \sqrt{\frac{E_p \cdot \gamma_p}{E_H \cdot \gamma_H}}}$$

(道路橋下部構造設計指針式)

σ_p : 打撃応力 (kgf/cm²)

e: 打撃効率 (ディーゼルハンマ0.8)

H: ハンマ落下高 (cm)

$E_H \cdot E_p$: ハンマ, 杭材弾性係数 (kgf/cm²)

$A_H \cdot A_p$: ハンマ, 杭材実断面積 (cm²)

$\gamma_H \cdot \gamma_p$: ハンマ, 杭材密度 (kgf/cm³)

(2) エネルギー平衡法

杭先端が堅い支持層に到達した場合で、杭側面の土の影響を無視し、杭応力が杭先端から杭頭まで一様であると仮定した場合の、ハンマの有効エネルギーと杭および地盤の吸収エネルギーとのつり合い条件から求まるもので、次式で示される。

$$\sigma_p = \sqrt{2 \cdot e \cdot \frac{E_p \cdot F}{A_p \cdot L}}$$

σ_p : 打撃応力 (kgf/cm²)

e: 打撃効率 (ディーゼルハンマ0.8)

E_p : 杭材弾性係数 (kgf/cm²)

A_p : 杭材実断面積 (cm²)

L: 杭長 (cm)

F: ハンマ打撃エネルギー (kg · cm²)

ディーゼルハンマ $F = 2 W_H \cdot H$

図-11に、両算定値と実測値を比較し示した。図によると、実測杭頭打撃応力については打込み深さに関係なくほぼ一定値である。波動方程式 ($\sigma_p \approx 2000 \text{kgf/cm}^2$)

は実測杭頭打撃応力に対しかなり近似した値を示しているが、エネルギー平衡法 ($\sigma_p \approx 2800 \text{kgf/cm}^2$) は実測杭頭打撃応力に対しやや大きめの値となっている。一般に打撃応力算定値は実測値に比べ過大となる傾向にあるようで、打撃効率、打撃エネルギーの設定などには検討が必要といえる。

座屈に対する考え方も杭径と板厚などの関係から種々提案されているが、SKK-41, $t = 14 \text{mm}$ では座屈応力は $\sigma_{cr} = 2800 \sim 3200 \text{kgf/cm}^2$ と推定され、今回座屈に対しては問題ないといえる。

4-1-3 鉛直支持力

極限支持力については、設計計算では静力学公式により1200ton以上が必要とされる。支持力推定のための動力学公式は種々提案されているが、ここでは道路橋示方書³⁾に示された、打止め時のリバウンドより算出される動力学公式(次式)により各杭の極限支持力を求め、表-1に示した。

$$R_u = \frac{A \cdot E \cdot K}{e_o \cdot L_1} + \frac{\bar{N} \cdot U \cdot L_2}{e_f}$$

R_u : 極限支持力 (t)

A: 杭材実断面積 (m²)

E: 杭材弾性係数 (tf/m²)

L_1 : 杭全長 (m)

L_2 : 杭地中部長 (m)

U: 杭周長 (m)

\bar{N} : 杭周面平均N値

K: リバウンド量 (m)

$e_o \cdot e_f$: 杭種, ハンマ重量による補正係数

鋼杭 $e_o = 1.5 W_H / W_p$ $e_f = 2.5$

いずれの杭も1400ton程度の極限支持力を確保しており、今回単独鋼管杭では高止まりした杭も含めて支持力に関しては問題ないといえる。

次に、打撃試験杭No.21の打込み深さ23mの打撃応力分布より杭頭打撃力、周面摩擦力、先端支持力の関係について検討する。表-2に、周面摩擦力についてNo.2~3, No.3~4のひずみゲージ区画(図-7)での静力学公式から求まる静摩擦力度と打撃力から求まる動摩擦力度の関係で示した。静摩擦力度は一般に先端閉塞効果を考慮して管外周のみで考えるが、動摩擦力度は管内外を合わ

表-2 摩擦力度

ゲージ区間	No.2~3	No.3~4
静摩擦力度 f (t/m ²)	2.1	8.4
動摩擦力度 f' (t/m ²)	1.3 (2.6)	2.6 (11.4)

() 管外周のみ

せたものと考えられる。今回管内外の分担を決めることはできないが、一般に杭打込み時では動摩擦力度 $f' <$ 静摩擦力度 f となる。同様の考え方をして、杭先端面積を純面積とすると、杭頭打撃力 (960ton) は杭先端打撃力 (470ton) と動摩擦力の和で表すことができる。また、杭先端を純断面積とした場合の静力学公式による極限先端支持力は $q_d \cdot A_p \approx 40\text{ton}$ となり、杭先端部では約10倍の力で打込まれていることになる。

4-2 鋼管矢板

4-2-1 打込み特性

鋼管矢板打込みに用いた杭打機は、単独鋼管杭と比べ

打込みが困難になることをあらかじめ予想して、杭径などの適用範囲からディーゼルハンマ KB-80 ($W_p=8.0\text{t}$) を選定している。

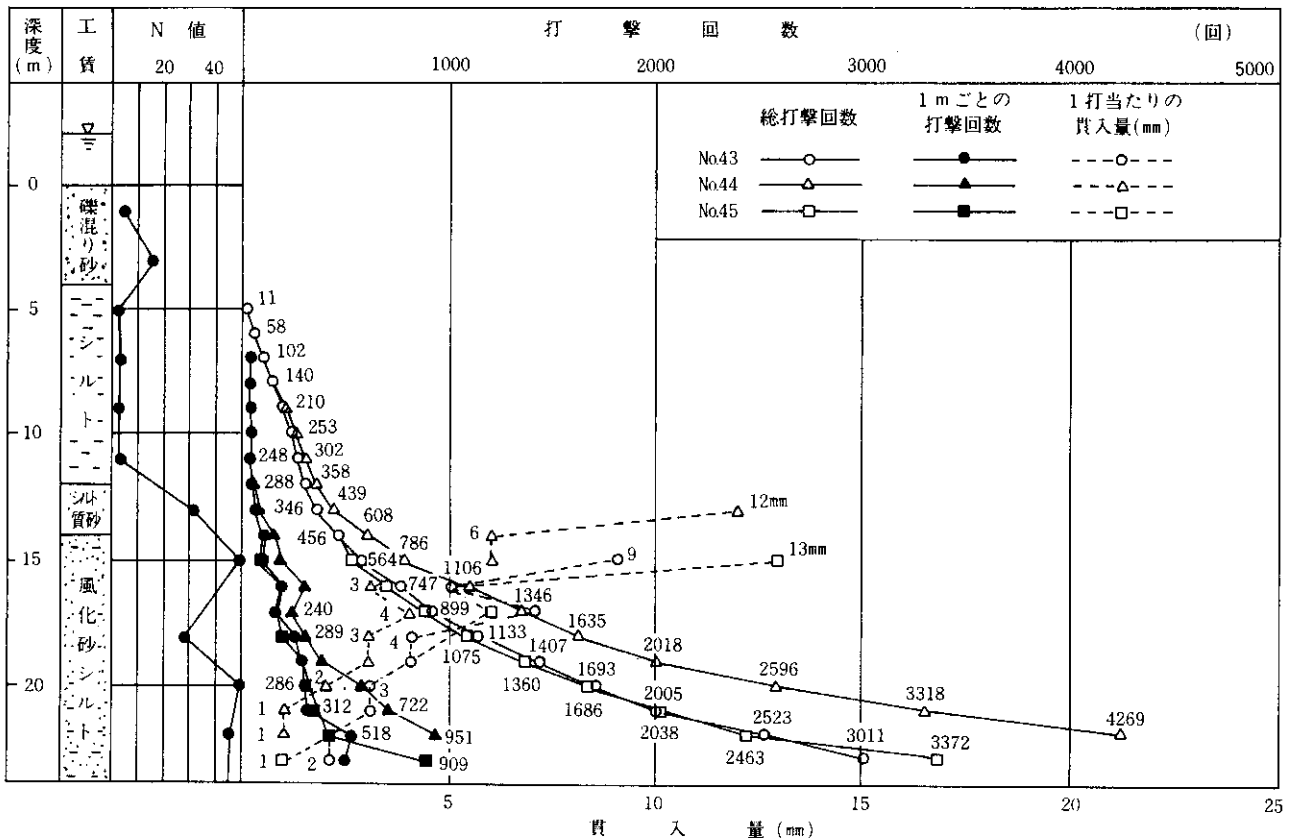
表-3に、打撃試験杭を含めた鋼管矢板56本の打込み記録を示した。単独鋼管杭と打込み記録を比べると、杭打機のハンマー重量が大きいことから、同地盤でありながら貫入量は大きく総打撃回数は小さくなっている。鋼管矢板の杭打ちには、各1本おきに先打ち杭を打込んだ後、その間に後打ち杭を打込んで下杭、中杭、上杭の各段階で井筒を閉合させる方法 (図-4) としている。表より、先打ち杭 (奇数No杭) に対し後打ち杭 (偶数No杭) では、

表-3 鋼管矢板打込み記録

先打ち杭					後打ち杭				
NO.	貫入量 S (mm)	リバウンド K (mm)	総打撃回数 n	極限支持力 Ru (t)	NO.	貫入量 S (mm)	リバウンド K (mm)	総打撃回数 n	極限支持力 Ru (t)
1	6.0	11	1820	1477	2	2.5	10	2513	1431
3	4.3	10	2024	1431	4	2.4	10	2484	1431
5	4.9	11	1935	1433	6	2.6	10	2661	1431
7	3.3	12	2021	1568	8	1.8	11	2731	1499
9	5.2	11	1662	1499	10	0.4	12	3570	1568
11	3.3	11	1792	1499	12	2.2	12	2467	1568
13	3.8	11	1832	1499	14	2.2	11	2716	1499
15	6.8	12	1419	1568	16	2.9	11	2547	1499
17	3.2	11	1758	1499	18	1.2	13	3307	1636
19	4.0	11	1761	1499	20	2.0	10	3266	1431
21	4.2	11	1742	1499	22	2.2	11	2789	1499
23	4.1	9	1671	1363	24	2.5	10	2324	1431
25	3.5	11	1861	1499	26	1.8	12	2556	1568
27	3.4	11	1967	1499	28	2.0	11	2623	1499
29	3.2	11	1996	1499	30	2.0	12	3227	1568
31	3.3	11	2014	1499	32	2.2	11	2615	1499
33	4.0	11	1867	1499	34	2.7	12	2196	1568
35	4.9	11	1735	1499	36	2.9	10	2137	1431
37	6.5	10	1512	1431	38	2.5	12	2253	1568
39	4.4	11	1886	1499	40	1.3	13	3644	1636
41	4.0	11	1639	1499	42	2.9	11	2240	1499
43	2.0	8	3011	1355	44	0.6	10	4269	1431
45	0.9	9	3372	1363	46	3.0	11	2247	1499
47	4.5	11	1689	1499	18	2.4	12	2401	1568
49	4.2	11	1633	1499	50	3.2	10	2066	1431
51	7.2	12	1451	1568	52	3.8	12	1886	1568
53	4.1	10	1799	1431	54	3.3	11	2154	1499
55	4.1	11	2001	1499	56	1.7	11	2942	1499
平均	4.2	10.8	1888	1483	平均	2.3	11.4	2672	1509

(注) $\phi 1219.2\text{mm}$, 上部 $L=14.5\text{m}$, $t=22\text{mm}$, 下部 $L=14\text{m}$, $t=16\text{mm}$

(注) 極限支持力 Ru は、リバウンド K より単独杭の動力学公式より算出



図一12 鋼管矢板No43, No44, No45打撃回数, 貫入量

全体的に打止め時の貫入量は小さく、総打撃回数は多くなっており、多少の継手管のせり合いあるいは隣接杭打込みによる地盤の締め固め効果があると判断できる。

図一12には、打撃試験杭No43, 44, 45の打込み深さごとの打撃回数および貫入量の関係を示した。図によると、1mごとの打撃回数については、いずれの杭も15m以深（固結シルト層）から大きく増えているのがわかる。また、貫入量についても上杭打込み段階から10mm以下とかなり小さいものとなっており、打止め時の貫入量は1mm程度である。作業条件が違うため単独鋼管杭と比べることはできないが、全体的には単独鋼管杭とほぼ同様

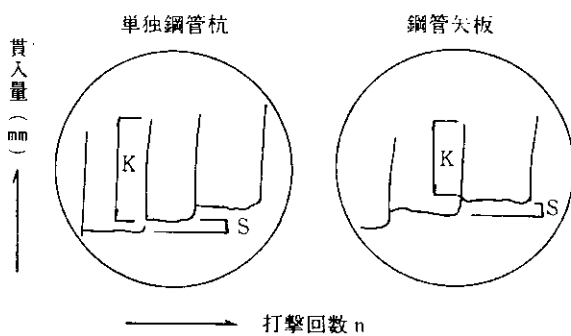
に土質性状に沿った傾向を示しているといえる。

参考のため、図一13に現場で記録された打止め付近での単独鋼管杭と鋼管矢板のリバウンド図の代表例を示した。図からは、リバウンドKを先端地盤リバウンドKsと杭体リバウンドKoに分離することはできないが、単独鋼管杭と鋼管矢板を比較して鋼管矢板のリバウンドKは若干小さくなっているが、ほぼ同じ形状（現象）となっている。仮に鋼管矢板に単独杭で用いられているリバウンドより算出される動力学公式を適用した場合、表一3にも示したように単独鋼管杭同様の鉛直支持力を確保していることになる。

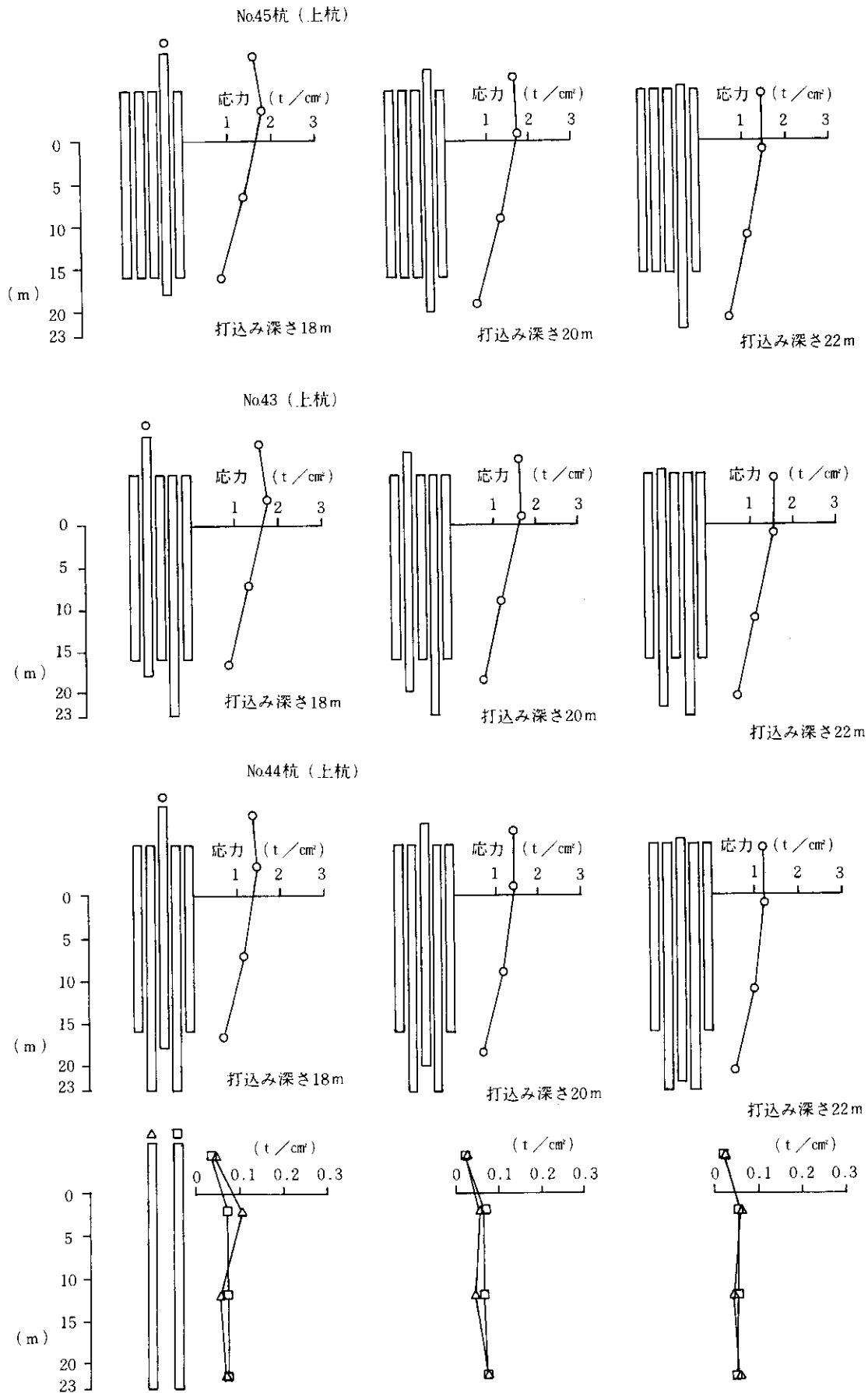
4-2-2 打撃応力

打撃試験杭No43, 44, 45の上杭打込み時の杭体打撃応力（最大応力）の分布状態を図一14に示した。図によると、いずれの杭も上杭打込み以降の打撃応力の分布形状には大きな変化はみられず、杭先端部には杭頭の約半分の応力度が発生している。杭頭打撃力については、ハンマ重量、杭断面が大きいことから、単独鋼管杭と比べて大きいものとなるが、打撃応力の分布形状には大きな変化はみられない。

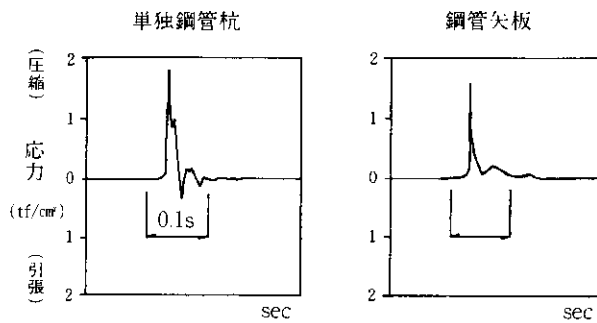
また、図一14にはNo44打込み時の隣接杭No43, 44で測定した応力分布も示した。隣接杭の応力は、打込んでい



図一13 リバウンド図



図一14 鋼管矢板No.43, No.44, No.45打撃応力分布図



図一15 打撃応力波形

杭の杭頭打撃力の約5%で、深さ方向に直線的分布となっている。このことから、隣接杭の応力分散は両隣接杭で約10%と小さく、今回鋼管矢板の打込みに際しては継手管の影響は小さいと判断できる。

単独鋼管杭No21と鋼管矢板No45の打止め付近での杭頭部における打撃応力波形を比較して、図一15に示した。杭頭打撃応力は次第に減少していくが、t時間後の値 σ_p についてはSt. Vanant⁹⁾により次式が導かれている。

$$\sigma_p = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{\gamma_p \cdot A_p}{W_H} C_p \cdot t}$$

$$\sigma_0 = \frac{E_p}{C_p} \sqrt{2gH}$$

σ_0 : St. Vanant解で与えられるピーク応力 (kgf/cm²)

γ_p : 杭単位体積重量 (kgf/cm³)

A_p : 杭断面積 (cm²)

W_H : ハンマ重量 (kgf)

C_p : 杭の弾性波速度 (5120m/s)

E_p : 杭弾性係数 (kgf/cm²)

g : 重力加速度 (980cm/s²)

H : ハンマ落下高 (cm)

実際に、単独鋼管杭をディーゼルハンマで打撃する場合は、ハンマ衝突後にクッション、キャップなどの影響を受けるため、杭頭に作用する最大応力は遅れ時間を2msとして次式で与えられる。

$$\sigma_p = \sigma_0 \cdot e^{-8.04 \frac{A_p}{W_H}}$$

計算の結果、 $\sigma_p \approx 1600 \text{ kgf/cm}^2$ となり、単独鋼管杭の打撃応力の実測値にほぼ一致している。

また、鋼管矢板の打撃応力波形については、単独鋼管杭と比べてみると継手管のせり合いによって引張側の応力が発生せず、応力減衰が若干早くになっているのがわか

る。ただし、最大応力については、隣接杭への分散が小さいこともあり、単独鋼管杭と鋼管矢板はほぼ等しい値となっている。

4-2-3 鉛直支持力

鋼管矢板の鉛直支持力判定が、今回の打撃試験の大きな目的である。鋼管矢板基礎の施工に際しては十分な土質調査が必要であるが、鋼管矢板を設計長打込んだ場合でも、矢板が支持層へ十分貫入して支持力的に問題はないのか、あるいは打込み貫入量が小さくなったのは継手管のせり合いによるものなのかは必ずしも、特に今回のように載荷試験を実施していない場合の鉛直支持力の判定は、継手管の影響をどう評価するかにより決定するといえる。

今回の十勝河口橋P-5鋼管矢板基礎における打撃試験より、単独鋼管杭と鋼管矢板の打込み特性はほぼ土質性状に沿った傾向を示しており、打撃応力分布を比較した結果、単独鋼管杭と鋼管矢板に大きな変化はなく、鋼管矢板には共下り、打縮みなどの現象は見受けられない。また、単独鋼管杭と鋼管矢板のリバウンド図、打撃応力波形の比較および鋼管矢板打込み時の応力分散性状より、鋼管矢板打込み時の継手管の影響は皆無とはいえないが問題となるようなものではなく、後打ち杭で打撃回数が若干増えているのは隣接杭打込みによる地盤の締固め効果によるものと判断できる。

P-5鋼管矢板基礎において、鋼管矢板は設計計算では静力学公式より単独鋼管杭同様1200ton以上鉛直支持力を必要とされるが、以上の検討結果より鋼管矢板打込みに際しては継手管の影響は小さく、鋼管矢板は単独鋼管杭同様の鉛直支持力を確保しているといえる。

5. まとめ

今回の一連の打撃試験より、鋼管矢板基礎の打込み特性および支持力判定のための基礎資料を得ることができたと考えている。鋼管矢板の鉛直支持力判定のための検討結果について、その主なものをまとめると次のようになる。

- 1) 単独鋼管杭と鋼管矢板の打撃回数、貫入量などの打込み特性は、作業条件の違いにより比較することは必ずしもむずかしいが、ほぼ土質性状に沿った傾向を示している。
- 2) 鋼管矢板の深さ方向の打撃応力の分布形状は単独鋼管杭とほぼ等しく、杭先端部へは単独杭同様、杭頭部の約半分の打撃力が伝達されている。
- 3) 支持力算定には打撃応力は直接関係ないが、鋼管矢板打込みに際して隣接杭への応力分散は約10%と小

さく、継手管の影響は少ないと判断できる。

- 4) 鋼管矢板の後打ち杭では、隣接杭打込みによる地盤の締固め効果がみられる。
- 5) 鋼管矢板のリバウンド図には、単独鋼管杭と比べ注目すべき差異はみられない。ただし、打撃応力波形については引張応力がみられない点で隣接杭の継手管の摩擦による若干の影響がでている。

十勝河口橋P-5鋼管矢板基礎における以上の検討結果より、鋼管矢板は現場で得られたリバウンド量から一般に用いられている動力学公式により、単独鋼管杭とほぼ同様の支持力評価をすることができる。

6. あとがき

鋼管矢板は、継手管のフリクションによって貫入困難をきたしたり支持力が得られないなどの疑問をもたれることがある。今回の試験結果から鋼管矢板の打撃性、支持力は単独杭同様と考えてよいことがわかった。

基礎の大型化、複雑化に伴い、基礎杭の適切な鉛直支持力の判定は設計、施工上の大きな問題となる。今後も、

鋼管矢板を含めた基礎杭の鉛直支持力判定の基礎資料収集のため、室内および現場試験を実施し、地盤特性の違いによる影響なども考慮しながら不明な点について究明していく考えである。

最後に、試験の実施・データの収集に際し、多大な御協力をいただいた帯広開発建設部道路課ならびに大津道路建設事業所の皆様方に対し、厚く御礼申しあげる次第である。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：鋼管矢板基礎設計指針・同解説，1984年2月
- 2) 鋼管杭協会：鋼管矢板施工標準 同解説，1981年3月
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書 同解説，下部構造編，1980年5月
- 4) 鋼管杭協会：鋼管杭 その設計と施工，1981年10月
- 5) 土質工学会：杭の貫入性・打撃性に関するシンポジウム発表論文集，1984年9月

*

*

*