

# 鋼管杭の打撃施工管理のこれから

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所  
港湾空港技術研究所 地盤研究領域

水谷 崇亮

## 鋼管杭の打撃施工管理の現状（港湾分野）

ハイリー式（簡略式）を用いた施工管理

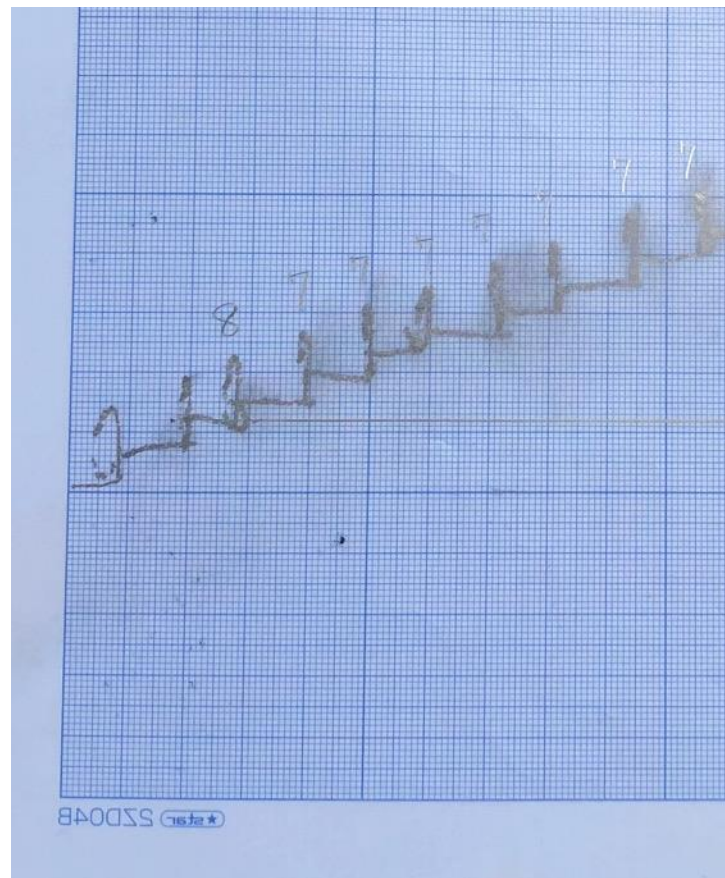
$$R_d = \frac{e_f F}{S + \frac{K}{2}}$$

- $R_d$  : 動的軸方向抵抗力 (kN)  
 $e_f$  : ハンマー効率 (一般に0.5)  
 $F$  : 打撃エネルギー (kNm)  
 $S$  : 貫入量 (m)  
 $K$  : リバウンド量 (m)

$S$ と $K$ の計測：打止め時の10打程度の平均をとる

手作業・紙と鉛筆：精度，保存性，利便性に課題

計測員が作動中のハンマー下に入る：施工性，安全性に課題

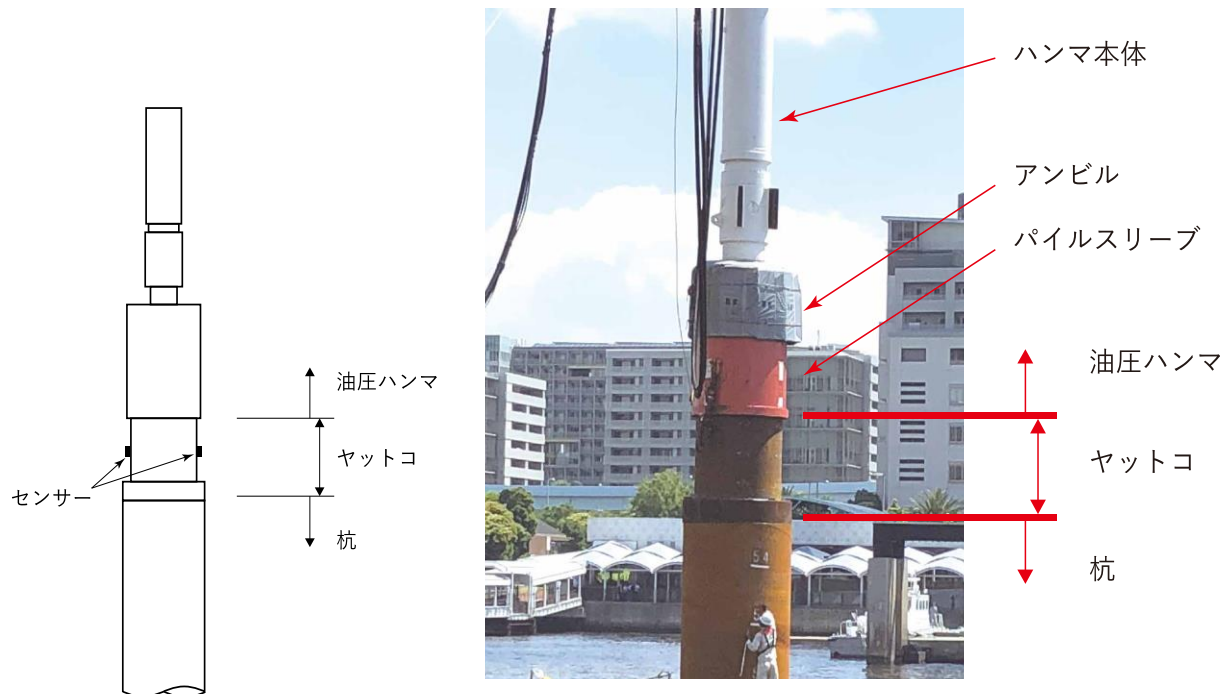


## 施工管理の目的

- × 杭の支持力（軸方向抵抗力）の確認  
支持力の直接的な確認は施工管理では困難  
載荷試験を実施／実績のある適切な推定式を参考に
  
- 支持層への到達確認  
土層との対比が可能な管理値が必要  
例えばN値の変化と対応がよいデータ  
深さ方向に連続したデータ
  
- 不良杭の検知  
隣接杭との比較が可能な管理値が必要  
ばらつきが小さいデータ  
試験杭との比較ができれば間接的な支持力確認が可能

# 計測用のやっこを用いた施工管理（現在検討中）

- センサー付きのやっこを用いて連続的にデータ取得
- 施工時の衝撃载荷試験に相当するデータが得られる
- JASPPによる実証実験に続き来年度以降さらに現地実証を進める計画
- 例えばリアルタイム計測が可能な全抵抗の変化傾向などにより管理する方法等を構築する計画



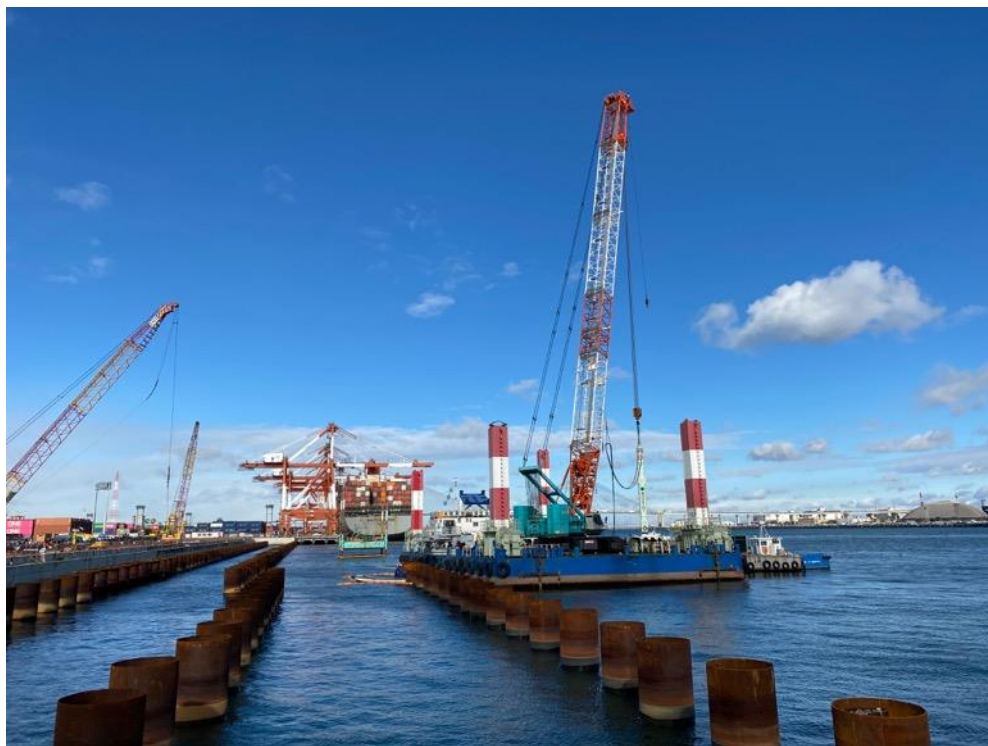
より質の高い施工管理を目指して  
施工方法を統一することも重要

同じ現場・土質条件・杭諸元でも違う打ち方をしたら相対的な比較は困難：不良杭の検知ができない

特に打撃エネルギーの影響が大きい：打撃エネルギーを揃えることではらつきの少ない施工管理データが取得可能

# 名古屋港での試行事例：概要

飛島地区東岸壁の直杭式栈橋の支持杭  
3列の杭のうち海側列の66本を対象として実施  
詳細は港空研資料No.1388<sup>1)</sup>参照



Google Mapに加筆<sup>7</sup>

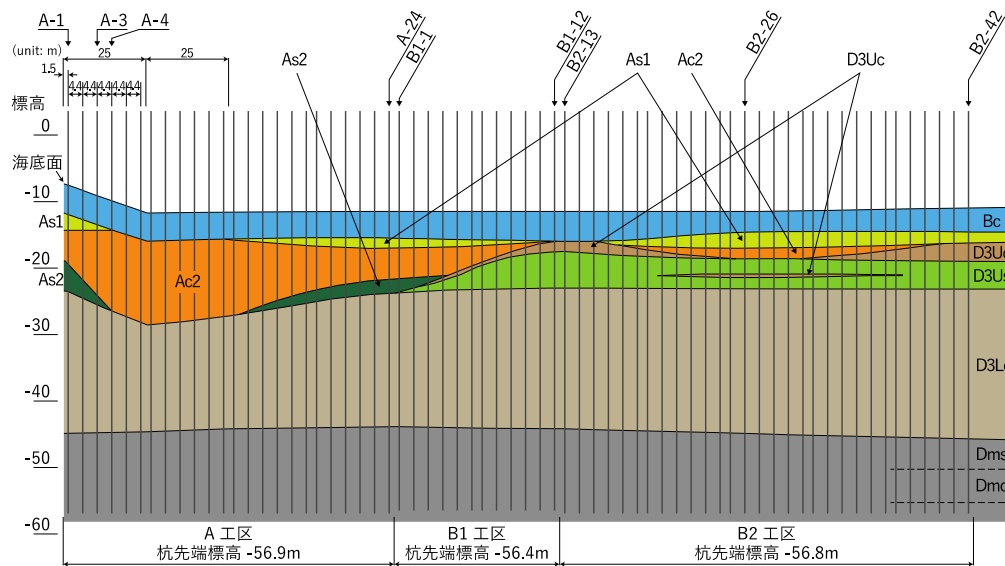
# 名古屋港での試行事例：施工条件

杭径1500mm, 板厚15mm, 杭長60.0~60.5m

使用したハンマー：IHC S-280

支持層：Dms

A工区とB2工区で浅部土層が変化（B1工区が遷移部分）  
Dmsには部分的にN値の低いシルト層（Dmc）が混じる

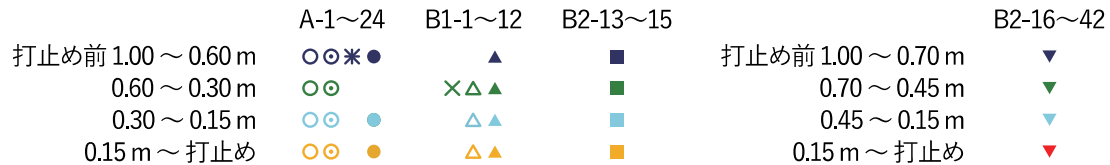
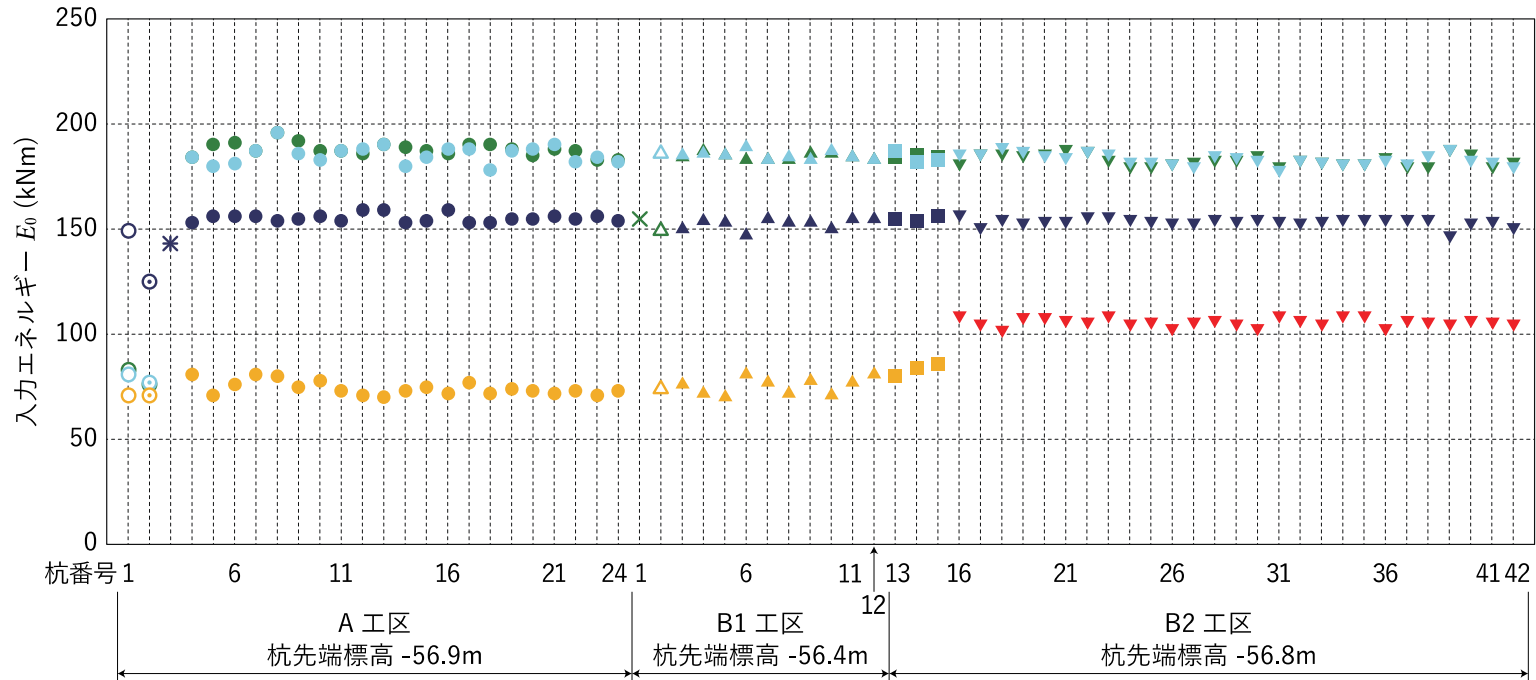


土層名	構成土質	N 値 (平均値)	記 事
As1	中砂 シルト混じり細砂 シルト質細砂	1~22 (8)	細粒分を含む砂, 細粒分をほとんど含まない砂の混合土 シルトの薄層, 貝殻片を混入
Ac2	砂質シルト シルト質粘土	1~4 (2)	概ね均質な粘性土 貝殻片, 細砂の薄層, 植物片を含む
As2	シルト質砂 粘土質砂 砂	4~25 (11)	細粒分をやや多く含む砂が主体 希に砂質シルトの薄層, 粒径7mm以下の亜円礫を含む 部分的に貝殻片を混入
D3Uc	シルト 凝灰質シルト	6~19 (11)	凝灰質粘性土が主体 部分的に礫状に固結 概ね均一だが一部で礫や1cm程度の砂の薄層を挟む
D3Us	シルト質細砂 シルト混じり細砂 細砂	19~50 (41)	細粒分をやや多く含む砂と細粒分を含まない砂からなる 部分的に粒径7mm以下の礫を含む
D3Lc	シルト 粘土 シルト質粘土	4~20 (10)	均質な粘性土で, 上部は砂分をやや多く含む砂質シルト状 全体に貝殻片, 有機物を含む わずかに砂をブロック状に含む
Dms	シルト混じり砂 シルト質砂 細砂・中砂	11~50 (38)	上部は細粒分をやや多く含む砂でシルトの薄層を挟む 下部は細粒分を少量含む砂で概ね均質 下部の一部に礫, シルトの薄層を挟む
Dmc	砂質シルト	13~22 (16)	一部の調査地点で確認された土層 概ね均質な砂質シルトで下部に向かって細粒分が多くなる 一部で火山灰層を挟む



# 名古屋港での試行事例：打撃エネルギーの調整

各杭毎に打止め近くでの3～4深度での値をプロット



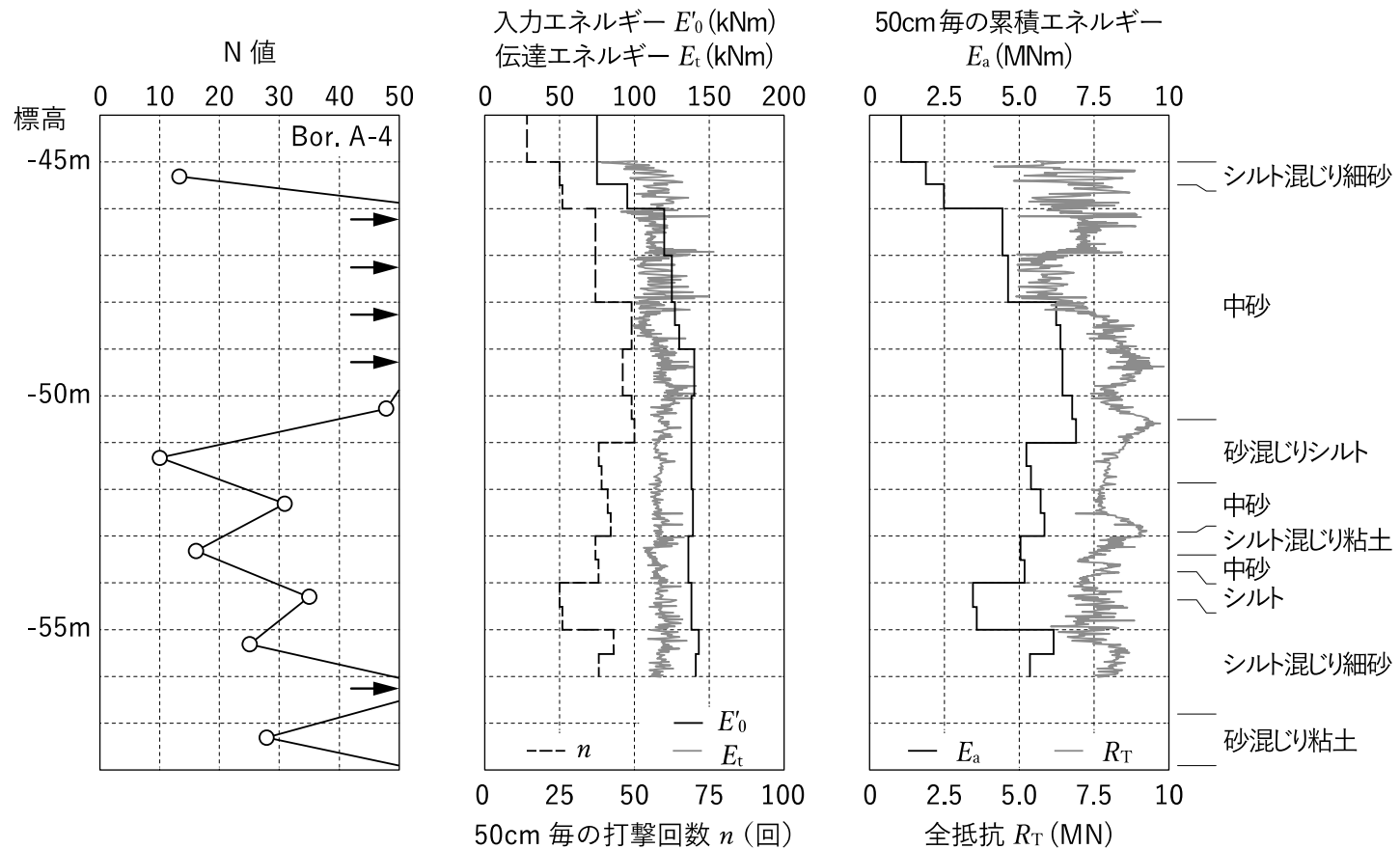
試験杭：A-3 \* B1-1 ×

施工管理状況が他と異なる杭：A-1 ○○○○ A-2 ◎◎◎◎ B1-2 ▲▲▲

# 名古屋港での試行事例：各値の深度方向分布

## 衝撃载荷試験を実施した杭のデータ

### N値と累積エネルギーにはある程度の相関がある

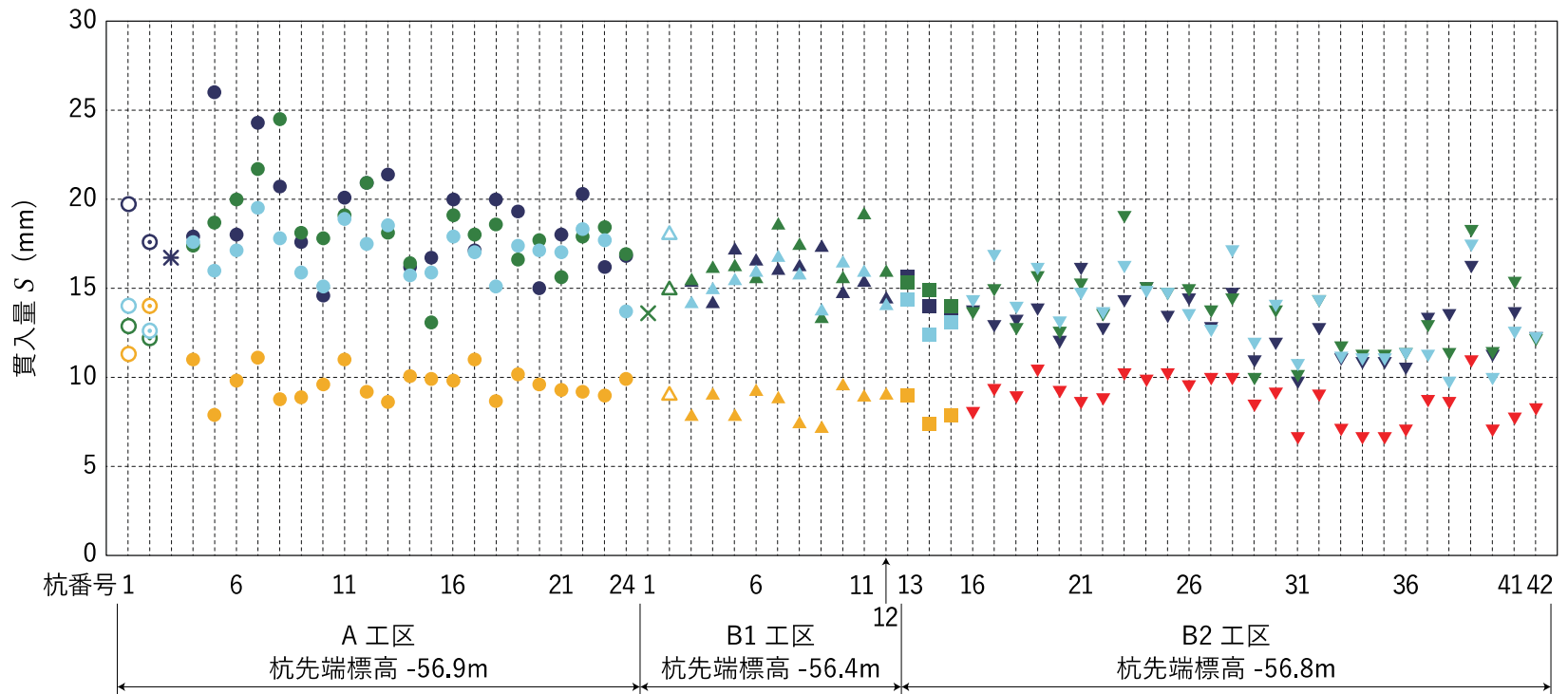


# 名古屋港での試行事例：1 打撃あたりの貫入量

各杭について3～4深度での値をプロット

同じ打撃エネルギーで比較するとA工区からB2工区に向かって貫入量が減少する傾向が見られる

B2-39やB2-41は近隣杭と傾向が異なる様子



# 名古屋港での試行事例：各種統計量の算出結果

打撃エネルギーを揃えて貫入量 $S$ を計測すれば比較的ばらつきの小さいデータが得られる

$E_0$ (kNm)	標本数 (個)	貫入量 $S$			リバウンド量 $K$		
		平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	変動係数 (%)	平均値 (mm)	標準偏差 (mm)	変動係数 (%)
A 工区							
80	27	10.4	1.62	15.7	4.8	1.26	26.2
150	23	18.8	2.78	14.7	7.1	1.14	16.1
180	42	17.7	2.00	11.3	8.1	1.07	13.1
B1 工区から B2 工区 B2-15 まで							
80	14	8.4	0.80	9.5	5.9	0.87	14.7
150	15	15.2	1.22	8.0	6.2	1.14	18.4
180	27	15.5	1.61	10.4	6.8	1.17	17.2
B2 工区 B2-16 以降							
100	27	8.8	1.26	14.4	6.6	1.14	17.4
150	27	13.0	1.68	13.0	6.1	1.49	24.3
180	54	13.5	2.20	16.3	7.1	1.61	22.7
全工区							
80	41	9.7	1.67	17.2	5.2	1.25	24.0
100	27	8.8	1.26	14.4	6.6	1.14	17.4
150	65	15.6	3.30	21.2	6.5	1.36	20.9
180	123	15.4	2.71	17.6	7.4	1.45	19.7

標本数 (個)	平均値 (1/MN)	$S/E_0$		平均値 (1/MN)	$K/E_0$	
		標準偏差 (1/MN)	変動係数 (%)		標準偏差 (1/MN)	変動係数 (%)
A 工区						
93	0.115	0.0244	21.3	0.050	0.0142	28.1
B1 工区から B2 工区 B2-15 まで						
56	0.095	0.0148	15.6	0.048	0.0187	39.0
B2 工区 B2-16 以降						
108	0.079	0.0126	16.0	0.045	0.0137	30.6
全工区						
257	0.095	0.0241	25.3	0.047	0.0152	32.1

## まとめ

ハイリー式による打撃施工管理には種々の課題がある

計測やっところを導入することで施工管理の精度や施工現場の生産性向上を図る

同じ現場での施工方法の統一も重要：打撃エネルギーを揃えて貫入量を計測することで、その深度方向の変化傾向や杭毎の差異から、支持層への到達や不良杭をある程度の精度で検知できそう

今後、数年のうちに、計測やっところを用いた施工管理手法の標準化や施工方法の統一の仕方など、新しい施工管理体系を構築していく予定

## バイブロハンマ工法における計測やっこの導入

バイブロハンマ工法に関しては様々な課題が指摘され使用方法を苦慮しているところ

港湾分野では杭の載荷試験を行うことが標準なので支持力に関する懸念は比較的乗り越えやすい

バイブロハンマ工法では電流値等を用いる管理式が提案されているところではあるが、より合理的で精度の高い施工管理ができないか検討が進められている

油圧ハンマー工法に先行して計測やっこを用いた施工管理が試行されている

## 新潟空港での試行事例：概要

新潟空港の東側の進入灯橋梁の支持杭で計測  
詳細は森ら<sup>2)</sup>参照



Google Mapに加筆

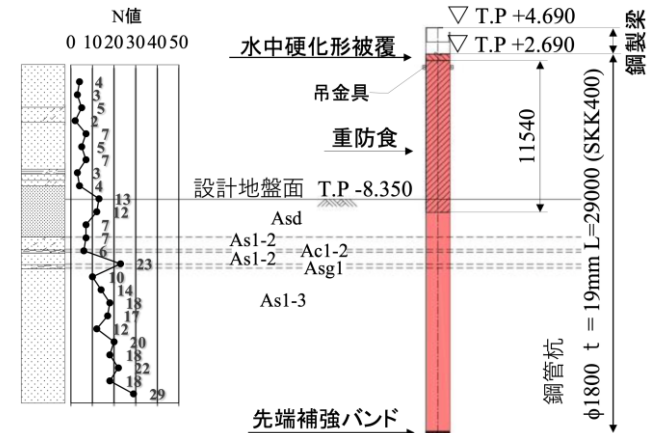
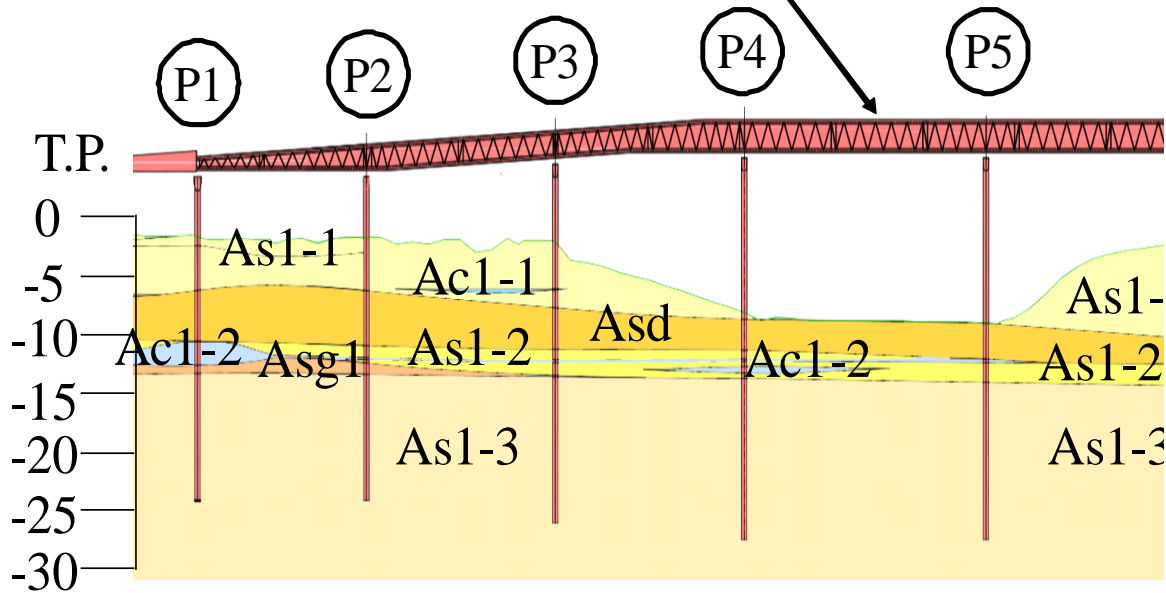
# 新潟空港での試行事例：施工条件

杭径1800mm，板厚19mm，杭長26.5～31.5m

使用したバイブロハンマー：ZERO-320II MR（電動式）

支持層：As1-3層（沖積砂層）

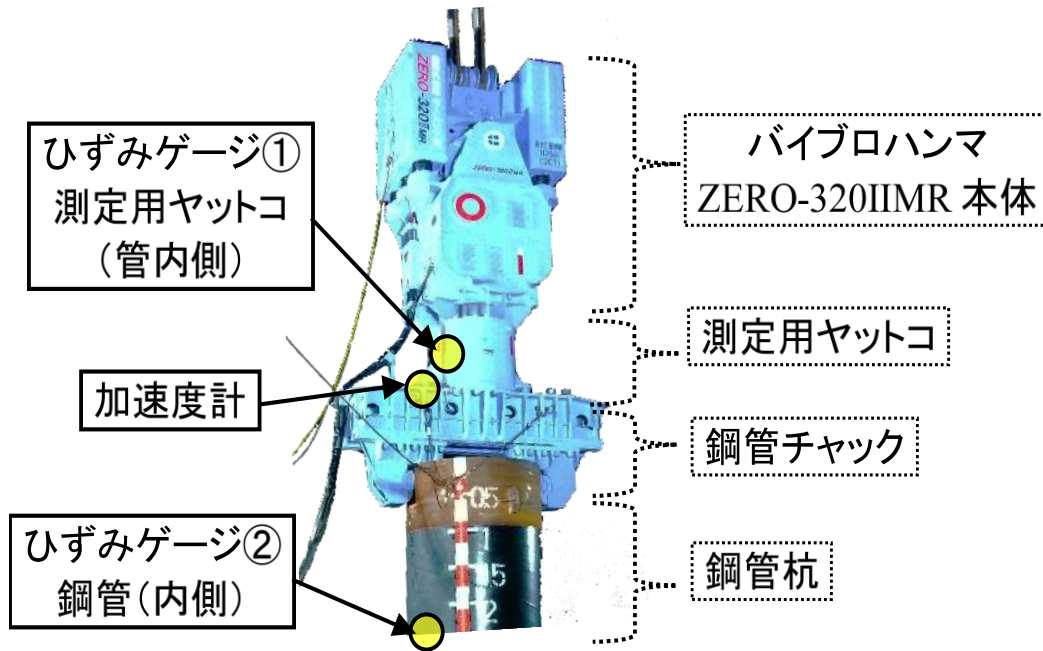
## 進入灯橋梁（上部工）





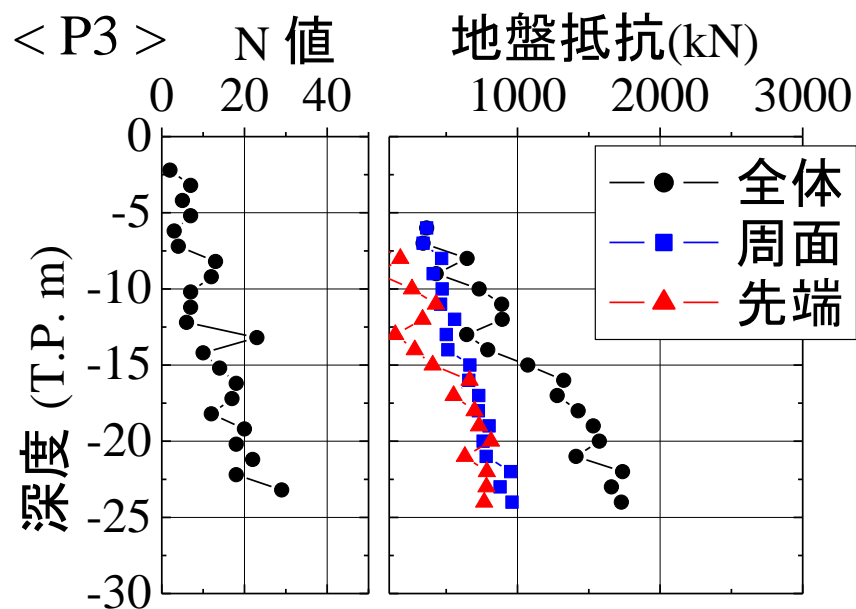
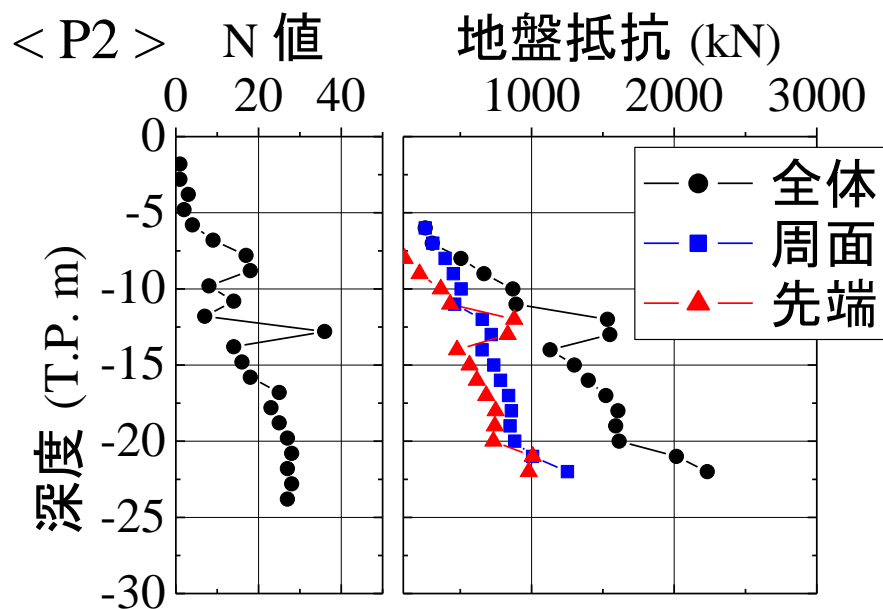
# 新潟空港での試行事例：計測方法

加速度（計測やっところ）  
ひずみ（計測やっところ及び杭本体）  
一質点法又はCase法でデータ整理



## 新潟空港での試行事例：計測結果の例

計測された地盤抵抗はN値の変化傾向とよく対応  
特に先端抵抗とN値の対応がよい  
ひずみの計測位置の影響は小さかった



## まとめ

バイブロハンマ工法について計測やっところを用いた施工管理を試行し良好な結果を得た

他の現場で同様の方法により支持層への到達確認ができた事例もある（データの公表に向けた検証中）

ハンマのタイプが異なる場合についての検証や具体的な施工管理手法の構築などを今後進めていく

油圧ハンマー打撃工法への知見の活用も期待  
（バイブロハンマ工法の場合、鋼管チャックを使うことで杭とハンマ＋計測やっところが一体的に動作するので、比較的きれいなデータが得られやすいと思われる）

## 参考文献

- 1) 水谷崇亮, 松村聡, 藤田亨, 竹内泰弘, 可児昌也, 三枝弘幸, 岸靖. 名古屋港飛島地区における鋼管杭の打込み記録の分析と施工管理手法に関する一考察. 港湾空港技術研究所資料, No.1388, 2021.
- 2) 森拓人, 水谷崇亮, 西村真二. バイブロハンマ工法における施工中の地盤抵抗測定手法の開発. 土木学会論文集B3 (海洋開発), Vol.78, No.2, pp.l\_181-l\_186, 2022.