

D滑走路における杭の支持力試験について

長大な大口径鋼管杭の鉛直および水平支持力の確認



接続部護岸・棧橋工区 永谷達也

新原雄二

連絡誘導路工区 森山 信

棧橋 工区 佐藤純哉

棧橋 工区 水野 立

ジャケット製作工区 風野裕明

本報告の内容

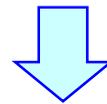
- 1 . 支持力試験を実施した理由
- 2 . 栈橋部・連絡誘導路部の
基礎杭の実施設計の概要
- 3 . 追加土質調査による地盤条件
- 4 . 支持力試験の概要
- 5 . 急速載荷試験の結果
- 6 . 水平載荷試験の結果
- 7 . 実施工における支持力管理

1. 支持力試験を実施した理由

D滑走路の基礎杭は最大径が 1600mmで、長尺な大口径鋼管杭である。長尺な大口径鋼管杭は、

先端支持力の支持力機構が明確でない。

Hiley式等の支持力管理式では過小評価となる。



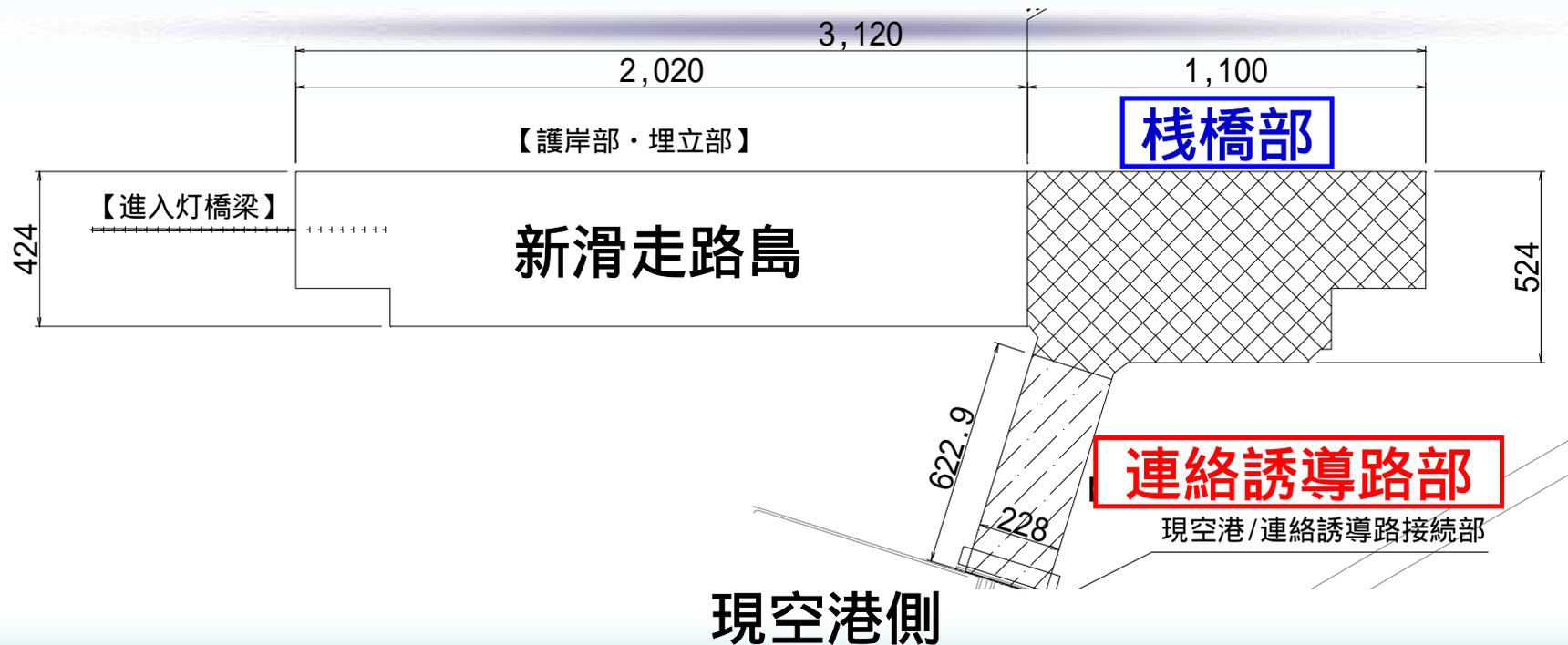
支持力試験を実施して、支持力を確認し、支持力管理式を設定する。

2. 基礎杭の実施設計の概要

1. 基礎杭の仕様:

棧橋部: 1320.8 ~ 1600、1165本

連絡誘導路部: 900 ~ 1422.4、684本



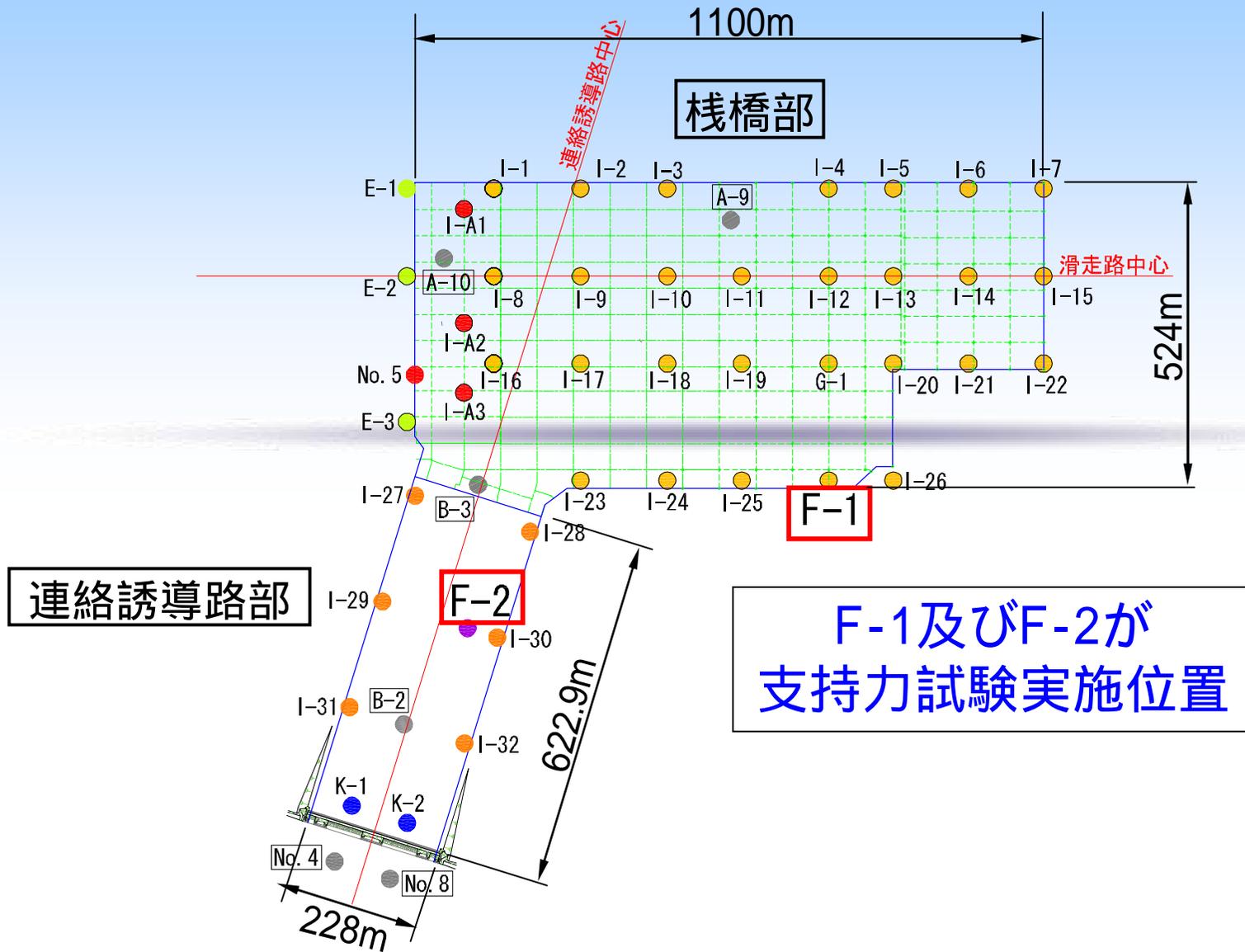
2. 基礎杭の実施設計:

支持層・・・棧橋部: 層、連絡誘導路: 層
(層序構成は入札公告資料を基に設定)

先端支持力・・・根入れ長 $3D$ で先端閉塞率 = 50%
(東京港臨海道路の実績を参考に設定)

周面摩擦力・・・道路橋示方書による
(砂質土: 2N, 粘性土: 1.0C)

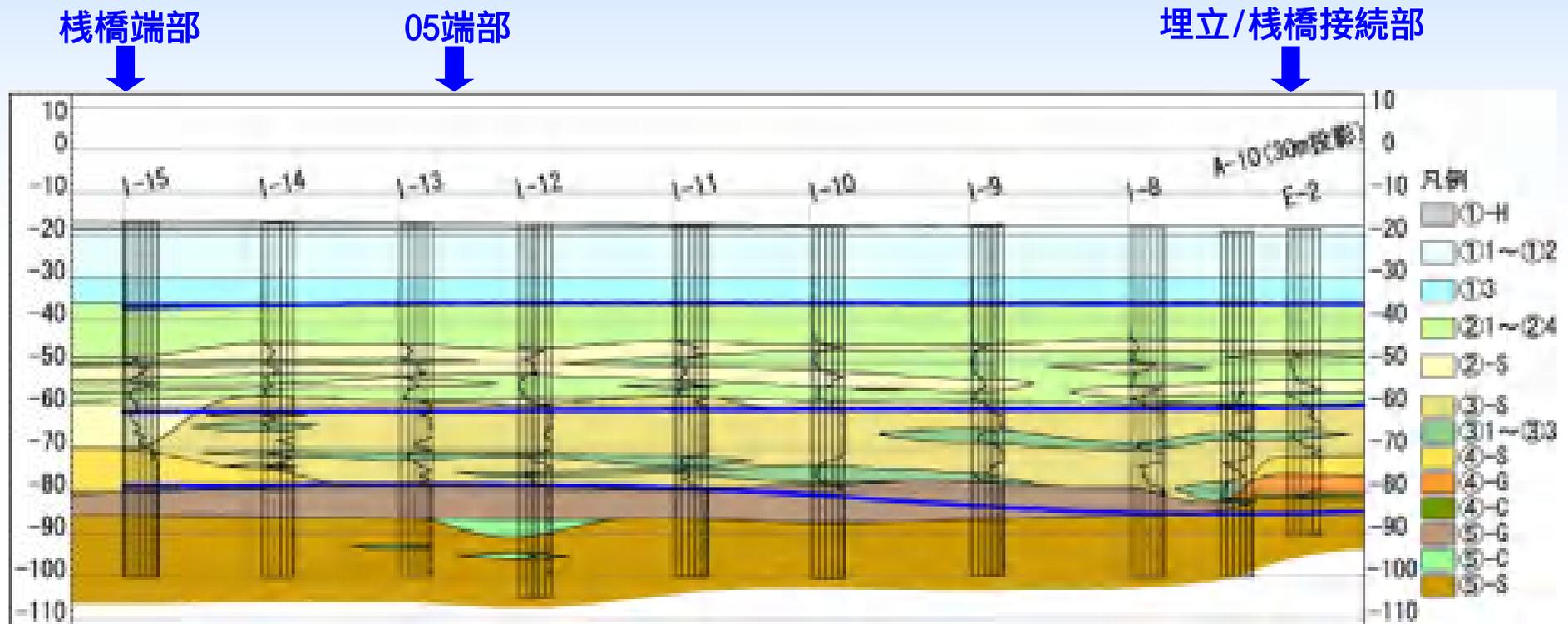
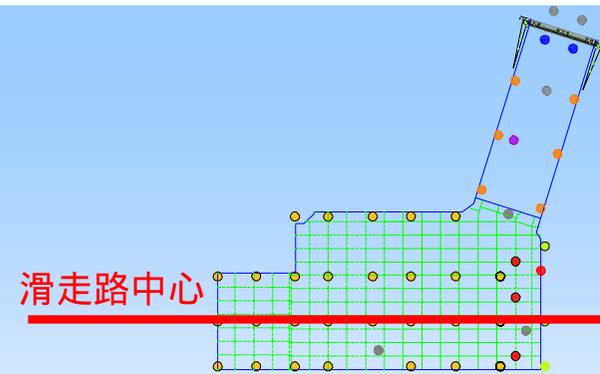
3. 栈橋部・連絡誘導路部の地盤条件



F-1及びF-2が
支持力試験実施位置

追加土質調査 ボーリング位置図

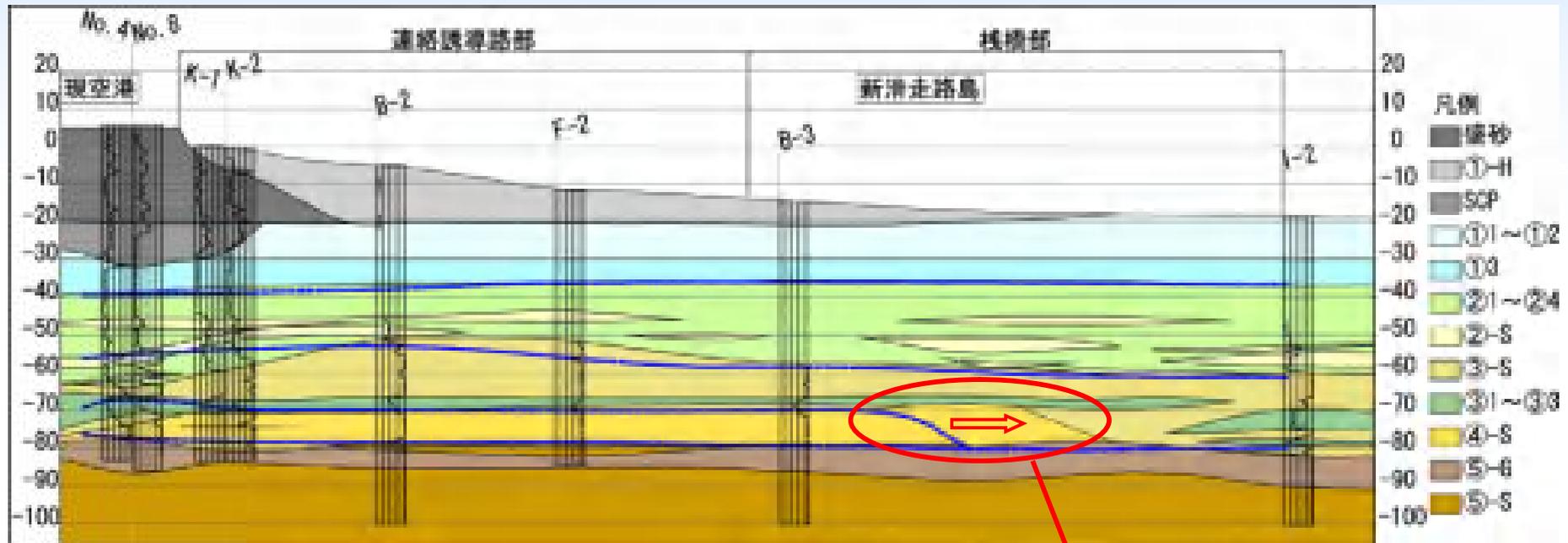
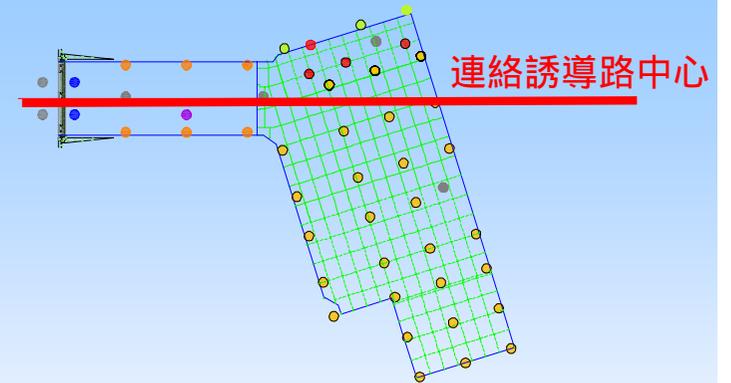
栈橋部の層序構成



— 入札公告資料による地層境界線

地層構成図(滑走路中心断面)

連絡誘導路部の層序構成



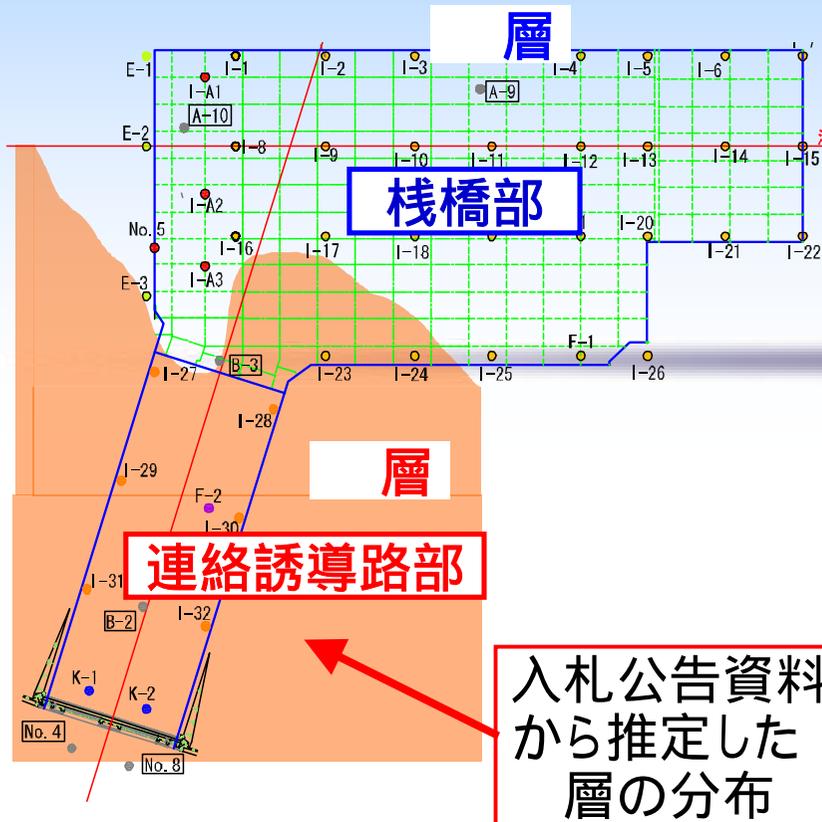
— 入札公告資料による地層境界線

層が棧橋側に広がっている

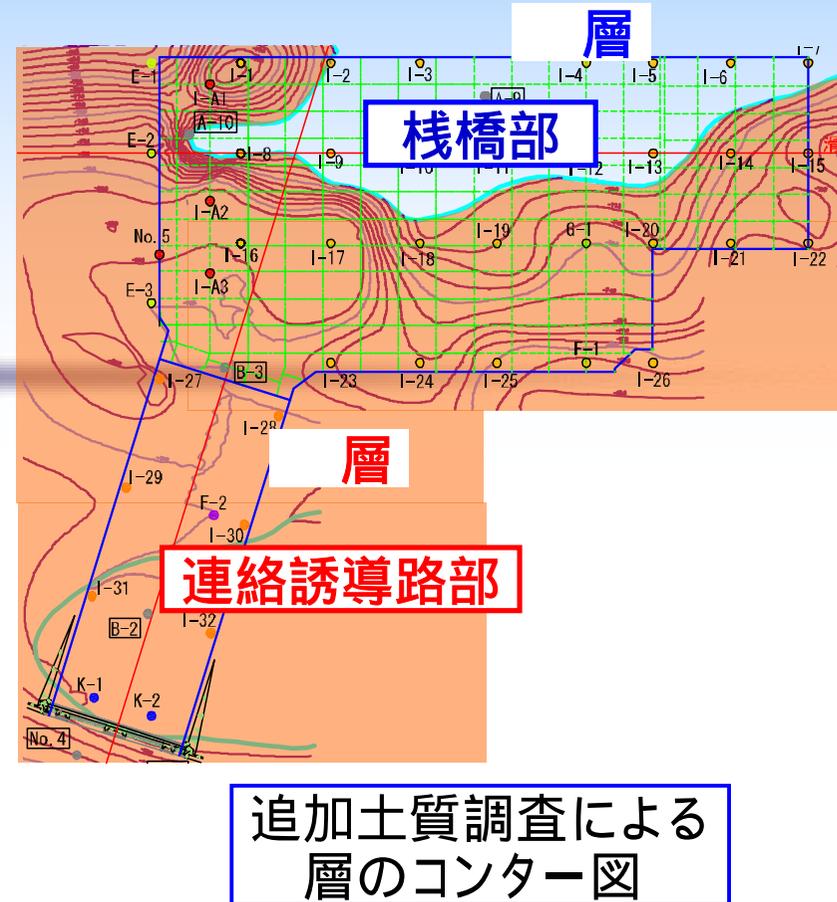
地層構成図(連絡誘導路中心断面)

支持層(層)の分布

栈橋部の支持層 層

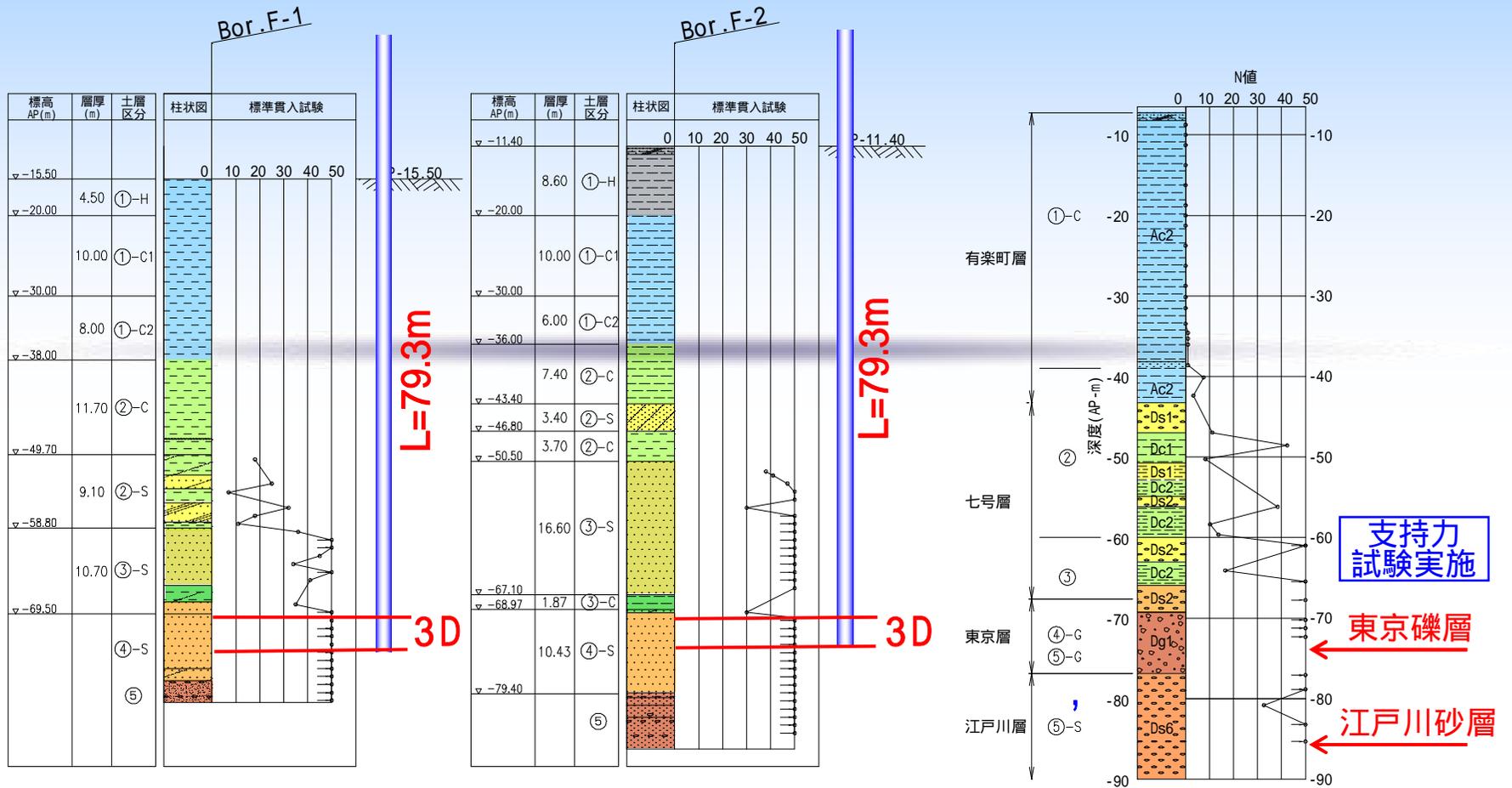


栈橋部にも層が広く分布



連絡誘導路部の支持層 層

試験杭の地盤条件



D滑走路(棧橋部F-1)

D滑走路(連絡誘導部F-2)

東京港臨海道路

4. 支持力試験の概要

1. 試験目的

- 1) 支持力安全性の確認
- 2) 設計の妥当性確認
- 3) 支持力管理式の設定

2. 試験条件

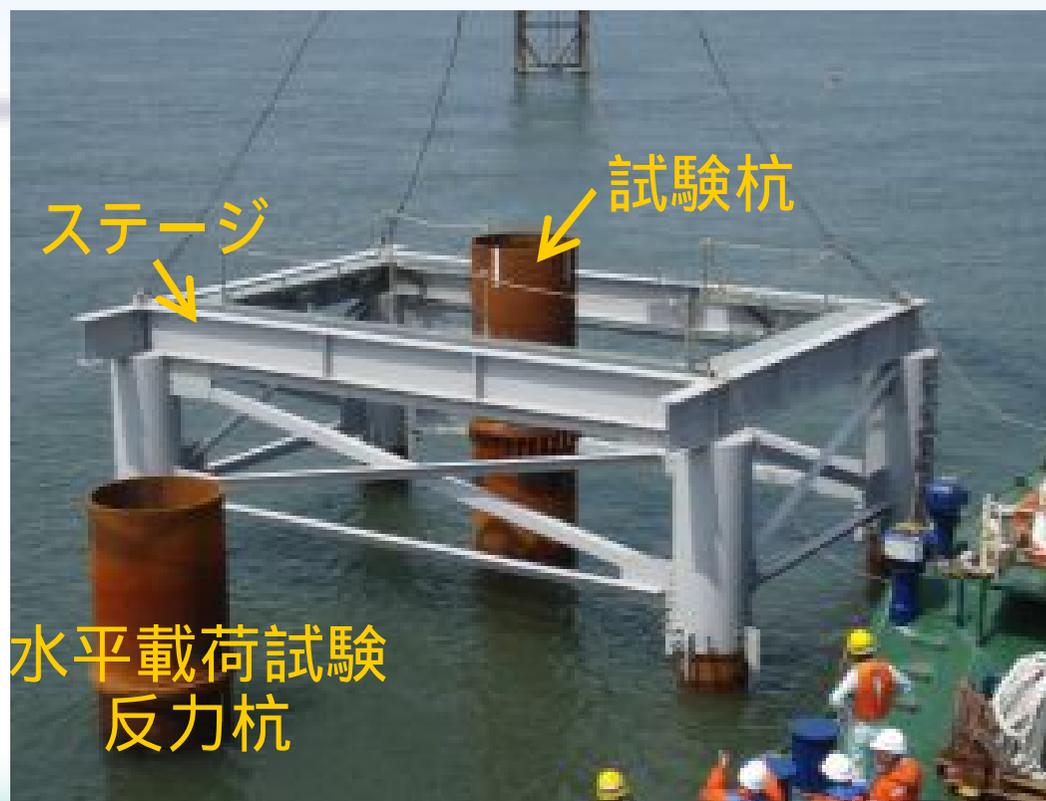
杭径・・・ 棧橋部F-1 1600、連絡誘導路F-2 1422.4

支持層・・・ -S層(砂層)

杭長・・・ 支持層への根入れ長 3D

3. 試験の内容

	栈橋部 (F-1)	連絡誘導路部 (F-2)	確認項目
急速載荷試験			・先端支持力
衝撃載荷試験			・周面摩擦力 ・セットアップ率
水平載荷試験			・地盤バネの確認



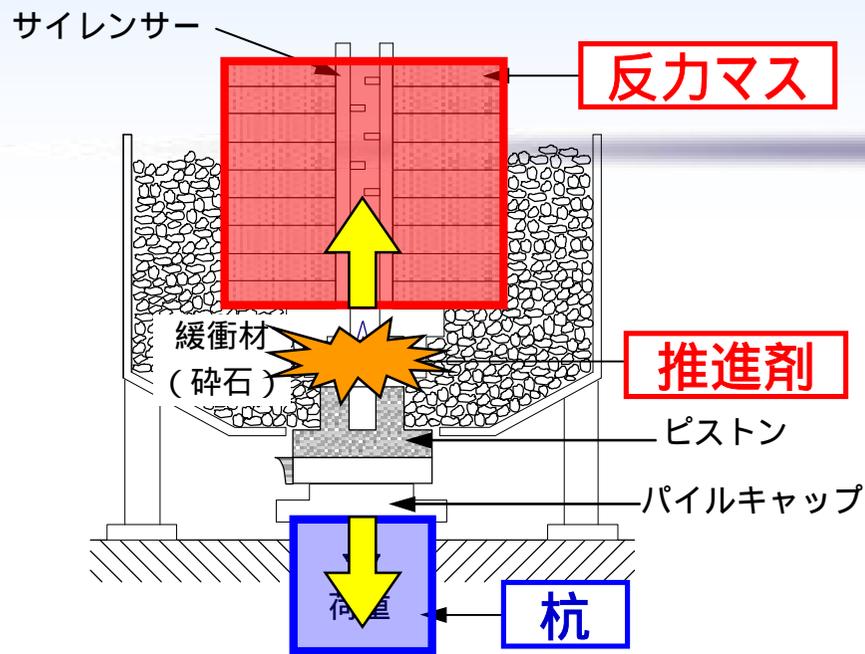


使用船舶：550t吊り級 杭打ち船
油圧ハンマー： IHC-S280

5.急速载荷試験(スタナミック試験)

1.試験概要

杭頭に載せた反力マス(火薬)の燃烧圧力で急速に打ち上げ、その反力で杭に押し込み荷重を与える方法



スタナミック試験の概要



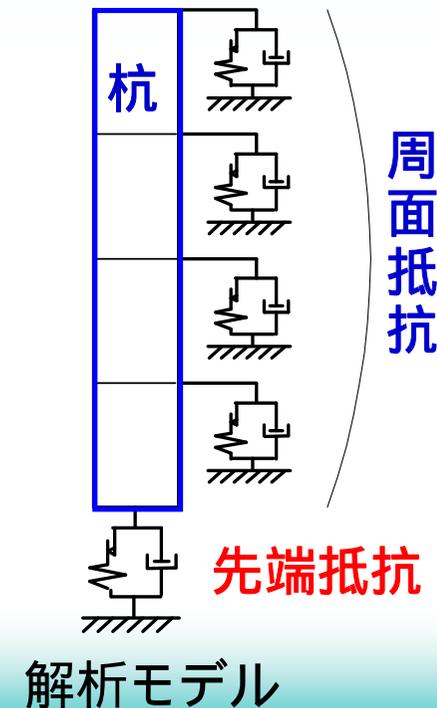
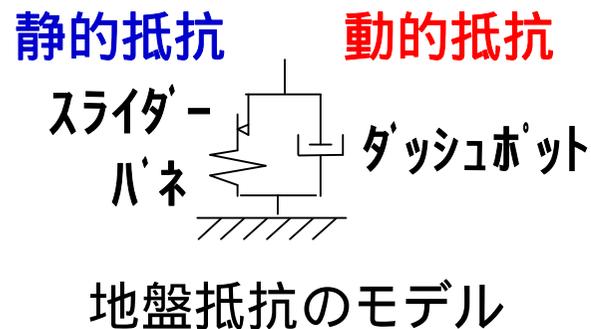
試験装置の設置状況

試験の実施概要

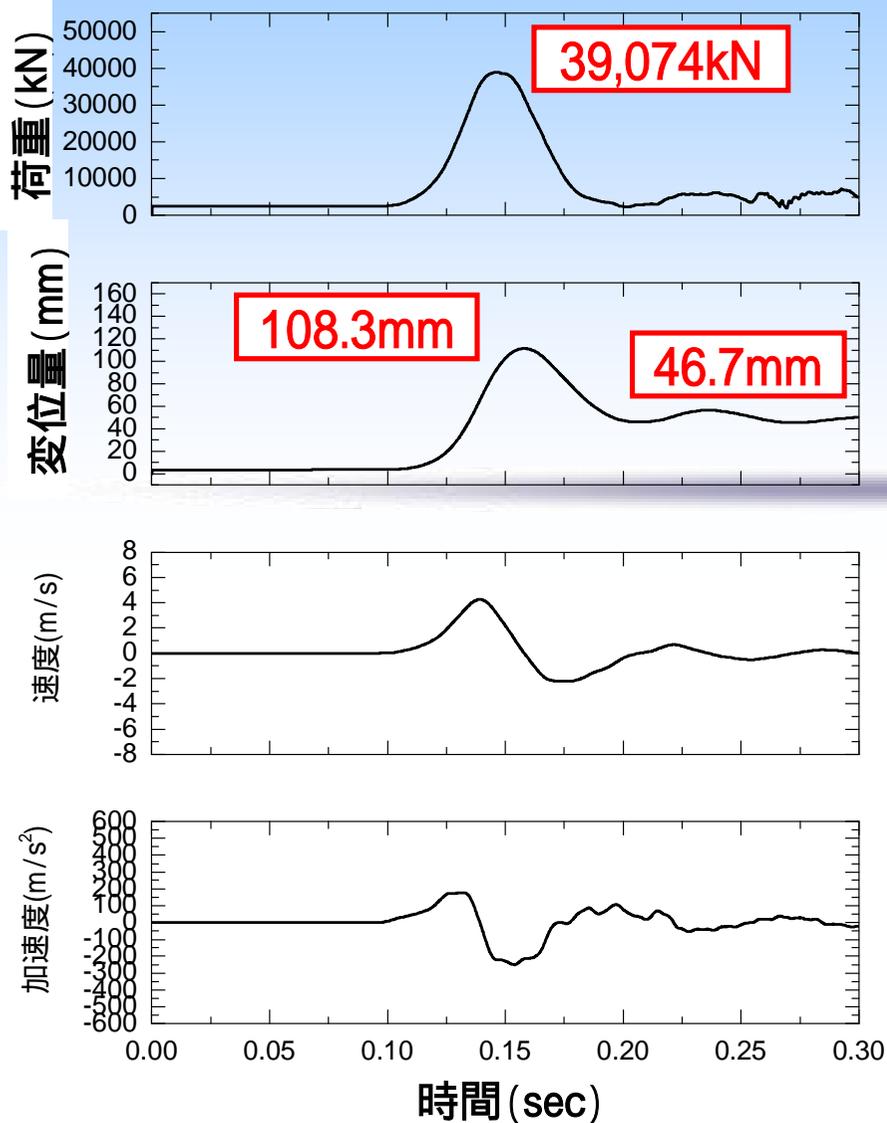
		栈橋部 (F-1)	連絡誘導路部 (F-2)
載荷条件	確認支持力	27,269kN	22,967kN
	予定載荷荷重	38,000kN	30,000kN
実施状況	試験実施日	2007/5/16	2007/6/20
	放置期間	35日	58日

2. 試験結果の解析方法

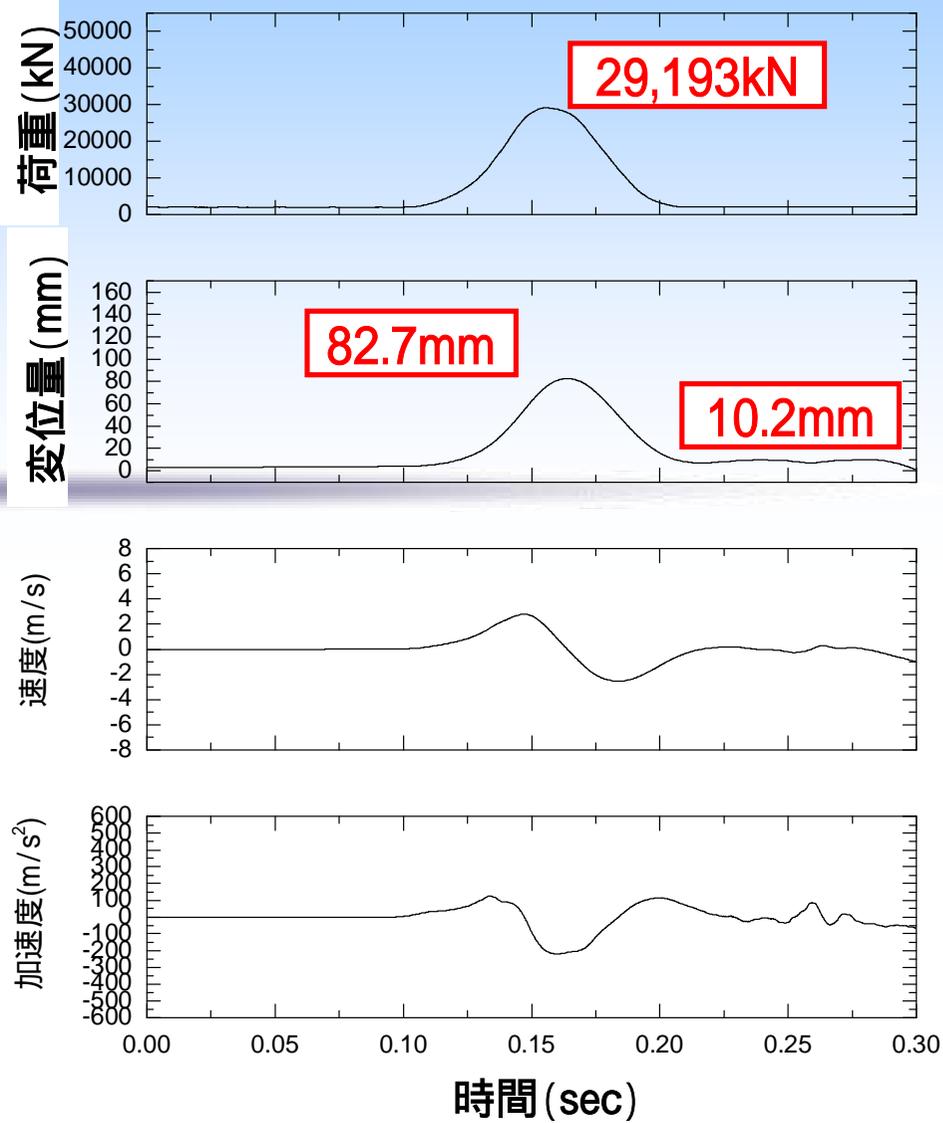
波形マッチング解析によった。



急速載荷試験の結果

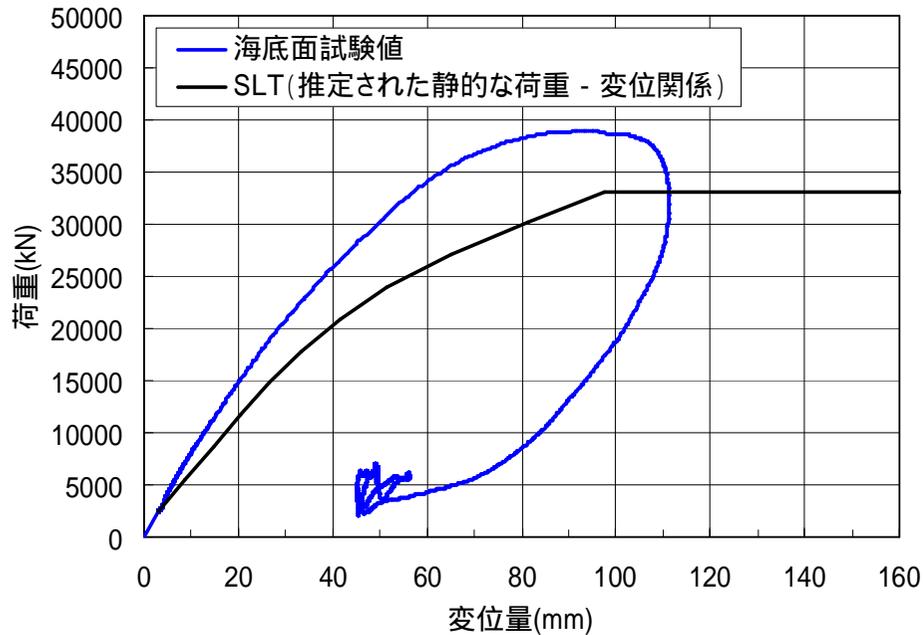


橋橋部 F-1

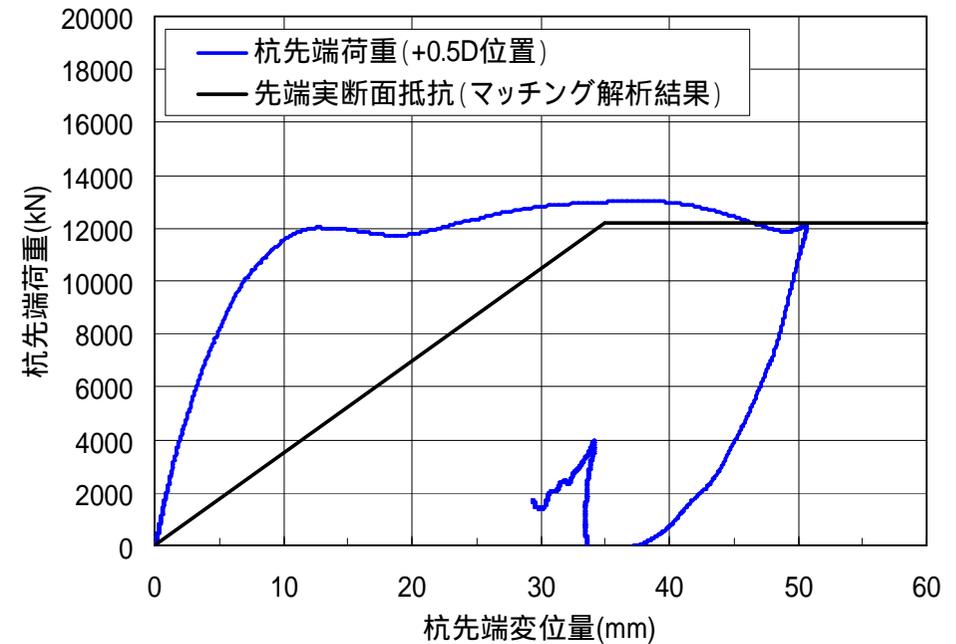


連絡誘導路部 F-2

急速載荷試験結果の解析(棧橋部F-1)

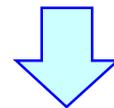


(海底面位置)



(杭先端位置)

静的荷重 - 変位量関係

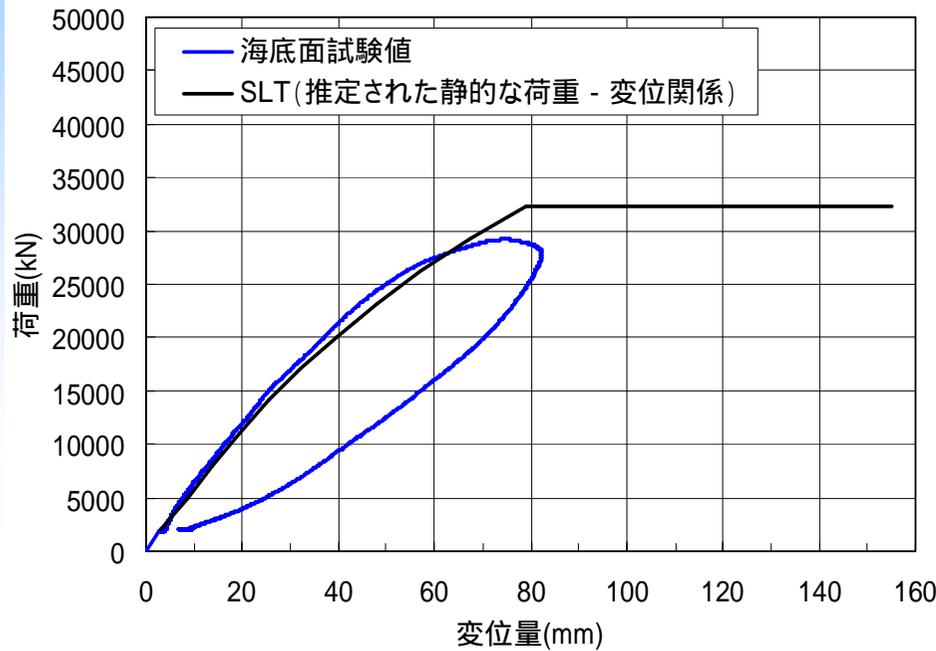


地盤が降伏している。

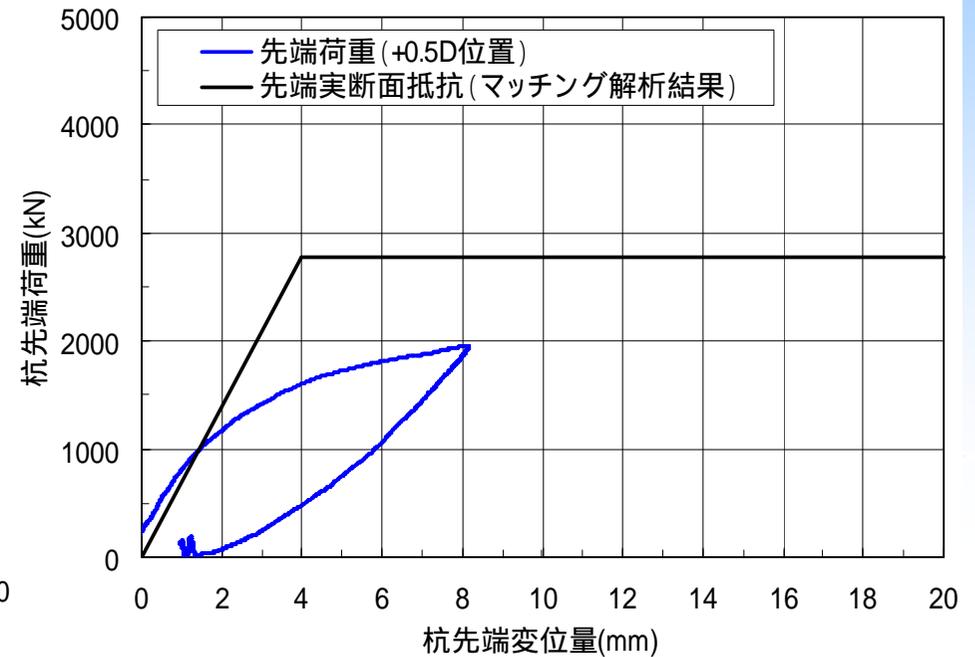
波形マッチング解析結果 (棧橋部F-1)

土層	層厚 (m)	クエーク (mm)	バネ定数 (kN/m ³)	減衰定数 (kNs/m ³)	周面摩擦抵抗力(kN/m ²)			周面摩擦 抵抗力 (kN)
					解析値	初期値	周面摩擦 抵抗力度	
-H -C1	14.5	0	0	0	0	20.2	20.2	1,471
-C2 -C	19.4	15	4667	16	70	3.3	73.3	7,148
-S	9.4	15	3333	25	50	2.0	52.0	2,457
-S	6.4	15	8000	30	121	6.1	126.1	4,057
	4.3	15	8000	30	120	10.0	130.0	2,810
-S	1.6	15	8000	30	120	0.3	120.3	968
	1.6	15	8667	30	130	5.3	135.3	1,088
	1.1	15	8667	30	130	9.2	139.2	770
	0.5	15	8667	30	130	22.9	152.9	384
計	58.8				周面摩擦力合計(kN)			21,153
先端		35	2,574,429	6,000	先端抵抗力度(kN/m ²)			先端抵抗力 (kN)
					解析値	初期値	先端抵抗力度	
					90,105	0	90,105	12,164
先端抵抗力と周面摩擦力の合計								33,317

急速載荷試験結果の解析 (連絡誘導路F-2)

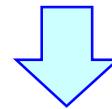


(海底面位置)



(杭先端位置)

静的荷重 - 変位量関係



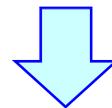
地盤は降伏していない。

波形マッチング解析結果 (連絡誘導路F-2)

土層	層厚 (m)	クI-ク (mm)	ハ'ネ定数 (kN/m ³)	減衰定数 (kNs/m ³)	周面摩擦抵抗力度(kN/m ²)			周面摩擦抵抗 (kN)
					解析値	初期値	周面摩擦 抵抗力度	
-H	8.55	15	2,000	2	30	1.3	31.3	1,196
-C1	10.3	15	2,333	2	35	1.1	36.1	1,661
-C2	5.75	15	2,667	2	40	3.3	43.3	1,112
-C	14.6	5	3,333	2	50	10.3	60.3	3,932
-S -C	19.5	5	36,000	3	180	11.1	191.1	16,647
-S	1.5	5	40,000	3	200	14.2	214.2	1,435
	1.4	5	56,000	3	280	5.2	285.2	1,784
	0.9	5	54,000	3	270	1.0	271.0	1,090
	0.5	5	54,000	3	270	3.0	273.0	610
計	63.0				周面摩擦力合計(kN)			29,467
先端	4	6,250,000	500	先端抵抗力度(kN/m ²)			先端抵抗力 (kN)	
				解析値	初期値	先端抵抗力 度		
				25,000	0	25,000	2,775	
先端抵抗力と周面摩擦力の合計							32,242	

支持力安全性の評価

	載荷試験結果		確認支持力
栈橋部 (F-1)	$R_u = 33,317\text{kN}$	>	$R = 27,269\text{kN}$
連絡誘導路部 (F-2)	$R_u = 32,242\text{kN}$	>	$R = 22,967\text{kN}$



層の支持力安全性が確認された。

極限支持力の推定

栈橋部 (F-1) : 載荷試験で地盤が降伏

試験結果を極限支持力

極限支持力33,317kN

(先端支持力12,164kN、周面摩擦力21,153kN)

連誘部 (F-2) : 載荷試験で地盤が降伏せず

試験最大荷重の1.2倍を極限支持力 (港湾基準)

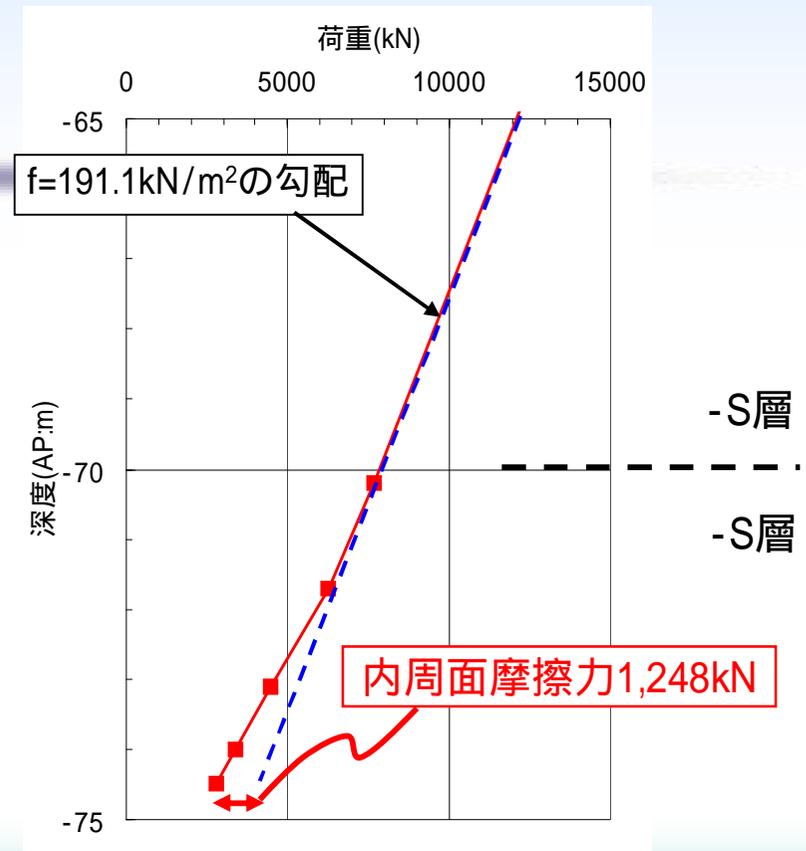
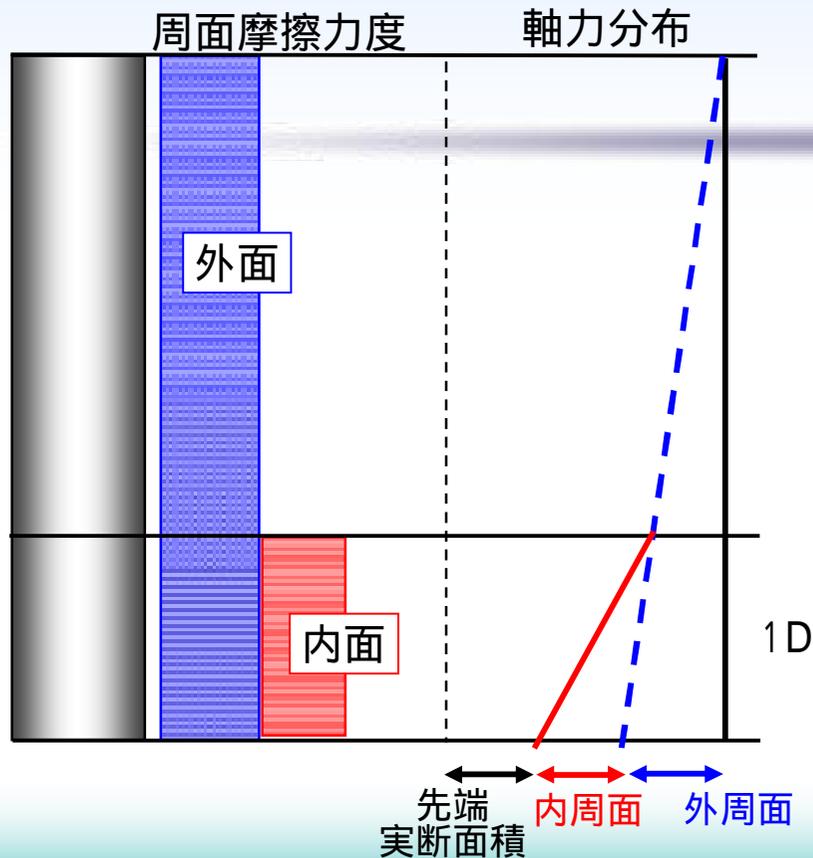
極限支持力38,690kN

(先端支持力10,417kN、周面摩擦力28,273kN)

先端支持力には杭先端の内周面摩擦力を考慮

杭先端の内周面摩擦力の推定 (F-2)

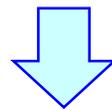
大口径杭の先端支持力 =
 杭先端の実断面積分の抵抗 + 杭先端の内周面摩擦力



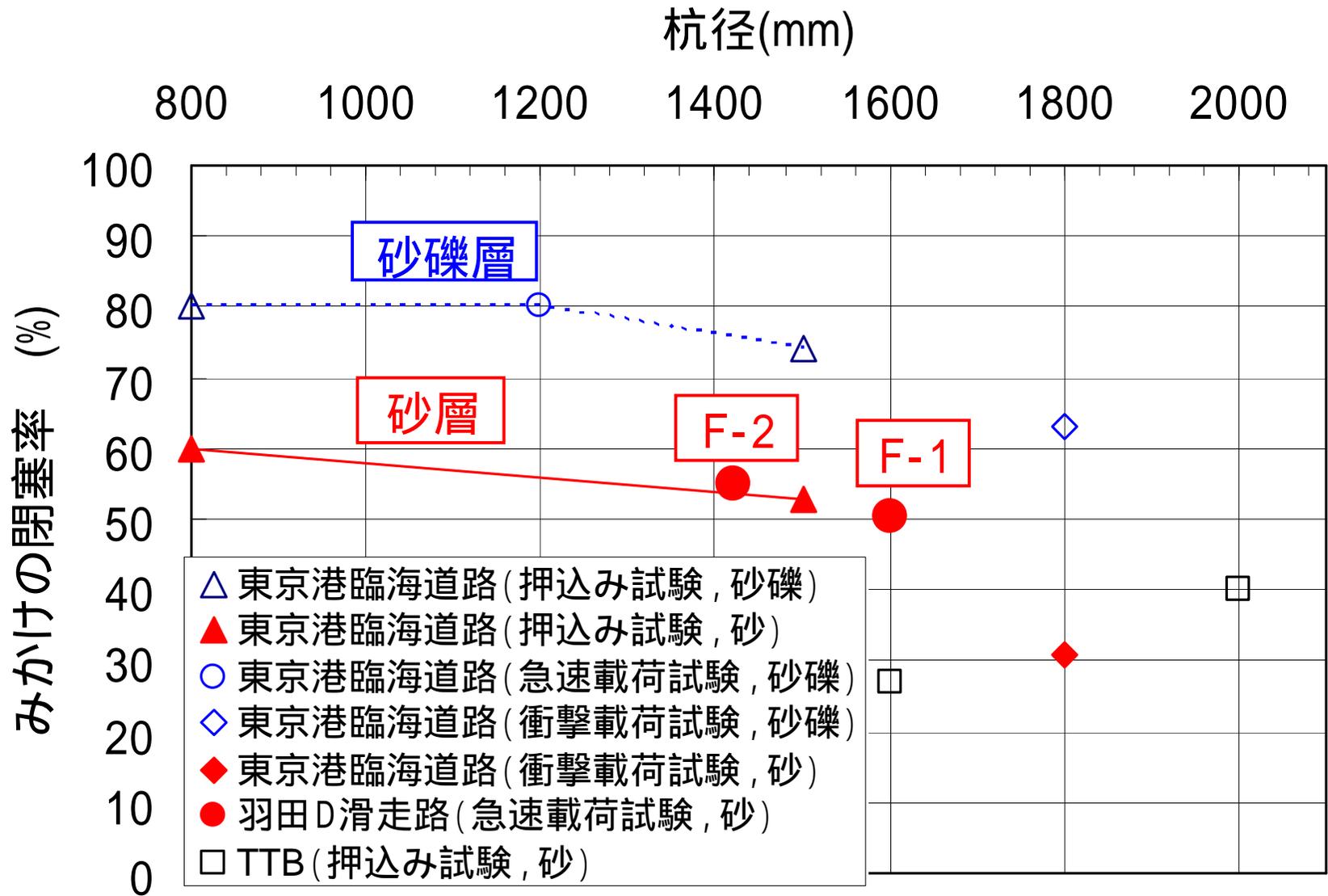
杭先端の軸力分布(F-2)

設計の妥当性確認 (先端支持力)

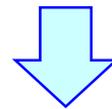
	羽田D滑走路		東京港臨海道路		
	栈橋部 F-1	連絡誘導路 F-2	試験杭	試験杭	試験杭
杭径 (土質)	1600 (砂)	1422.4 (砂)	1200 (砂礫)	1500 (砂礫)	1500 (砂)
先端閉塞率 ()	50.4%	54.9%	80%	74%	53%



実施設計に用いた先端閉塞率 = 50% は妥当



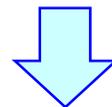
閉塞率と杭径の関係



東京港臨海道路と同様の傾向であった。

設計の妥当性確認 (周面摩擦力)

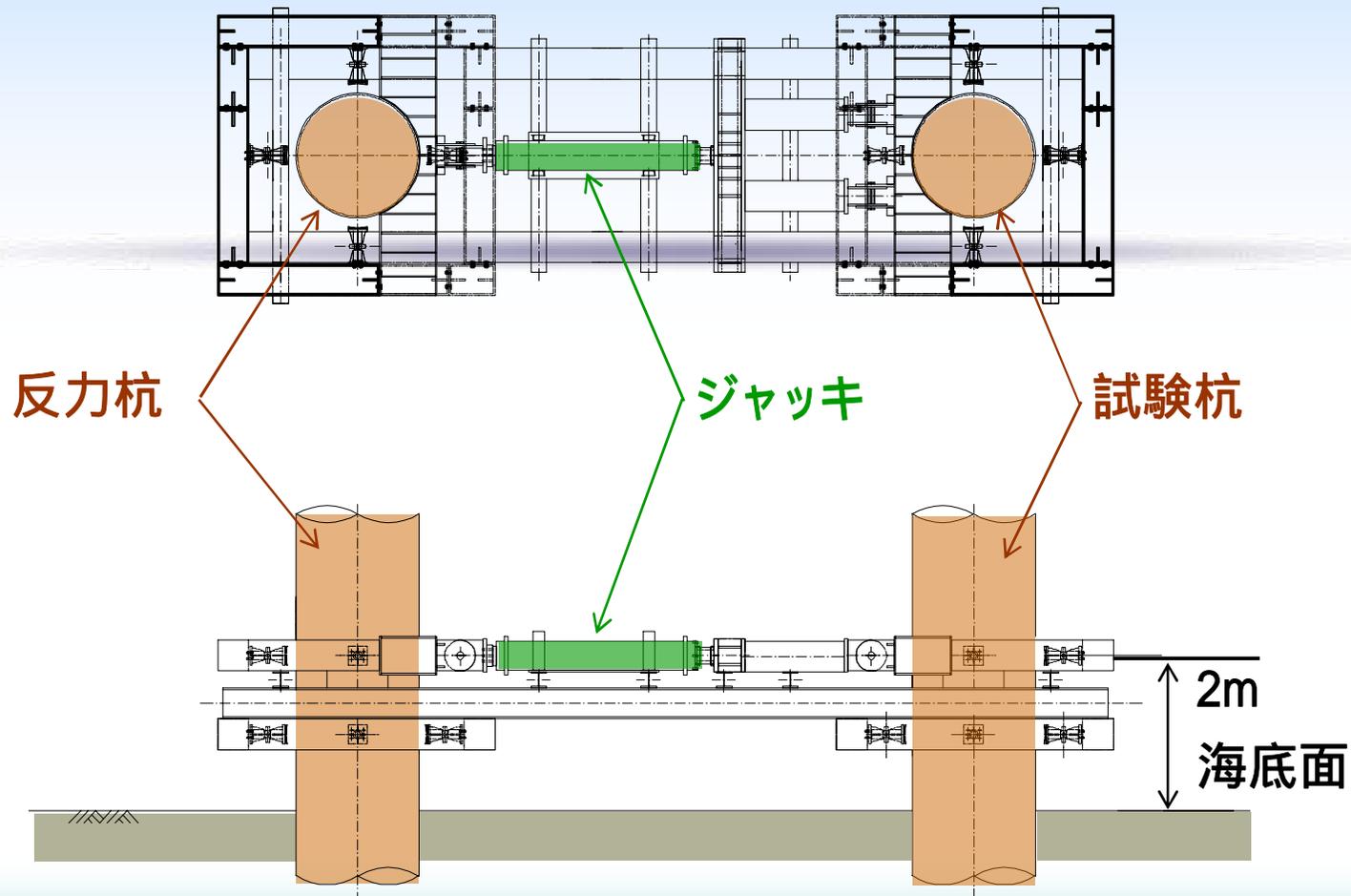
土層名	設計値	羽田D滑走路		東京港臨海道路		
		F-1	F-2	試験杭	試験杭	試験杭
-H	1.0C	1.5C	3.2C	-	-	-
-C1			1.4C	-	-	-
-C2		1.3C	1.1C	-	-	-
-C			0.7C	1.0C	(100kN/m ²)	(100kN/m ²)
-S	2.0N	2.9N	-	2.6N ~ 3.3N (平均3.0N)	1.9N ~ 2.0N (平均2.0N)	2.7N ~ 5.6N (平均3.7N)
-S		2.9N ~ 3.0N (平均2.9N)	4.0N	3.9N ~ 5.0N (平均4.5N)	1.7N ~ 5.4N (平均3.6N)	2.7N ~ 3.1N (平均2.9N)
-C		2.4N ~ 3.1N (平均2.7N)	3.8N	- (S層なし)	- (S層なし)	- (S層なし)



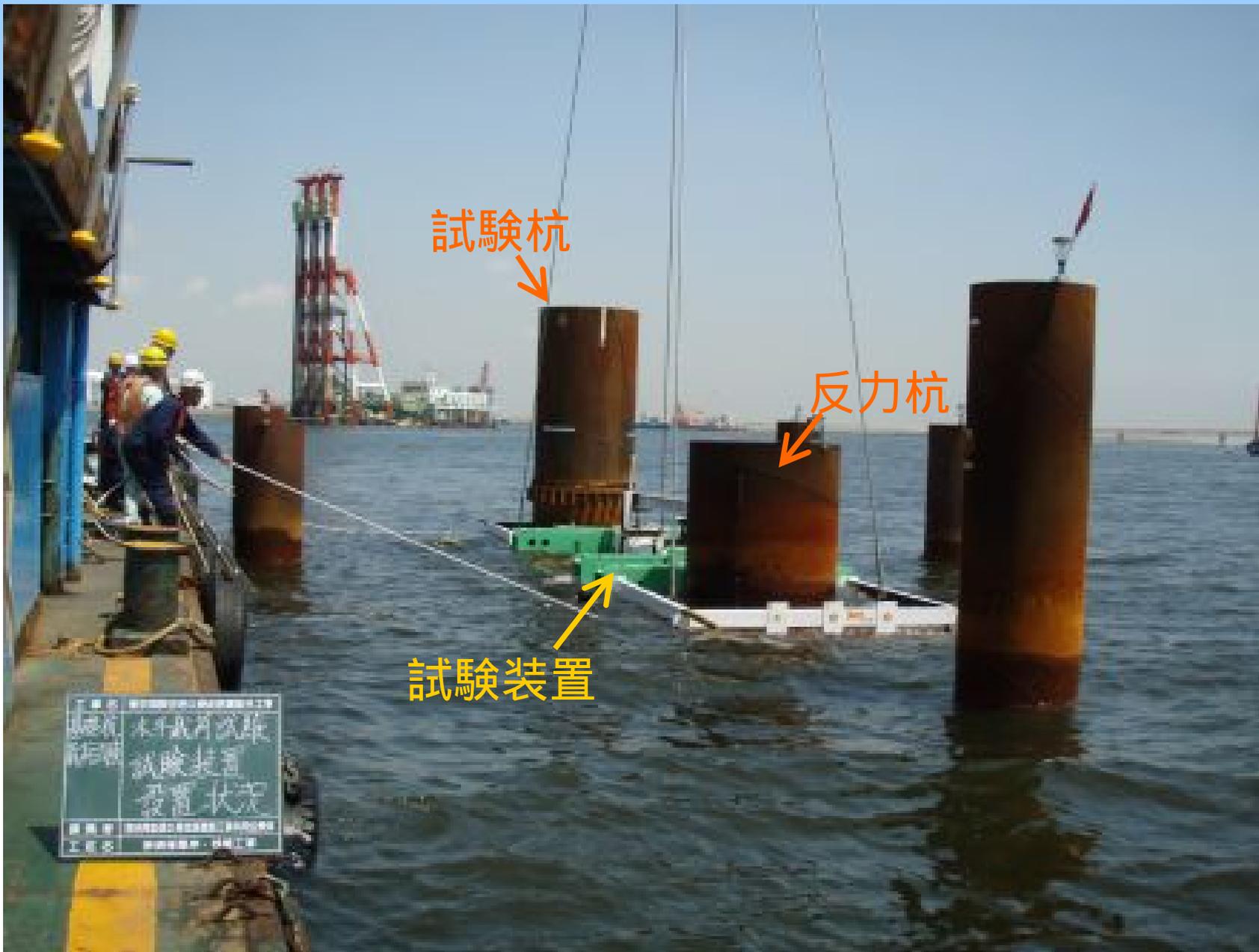
設計値 (1.0C、2N) 以上の周面摩擦力を確認

6. 水平載荷試験の概要

試験方法：海底面上2m高さの位置で
ジャッキにより水平方向に加力

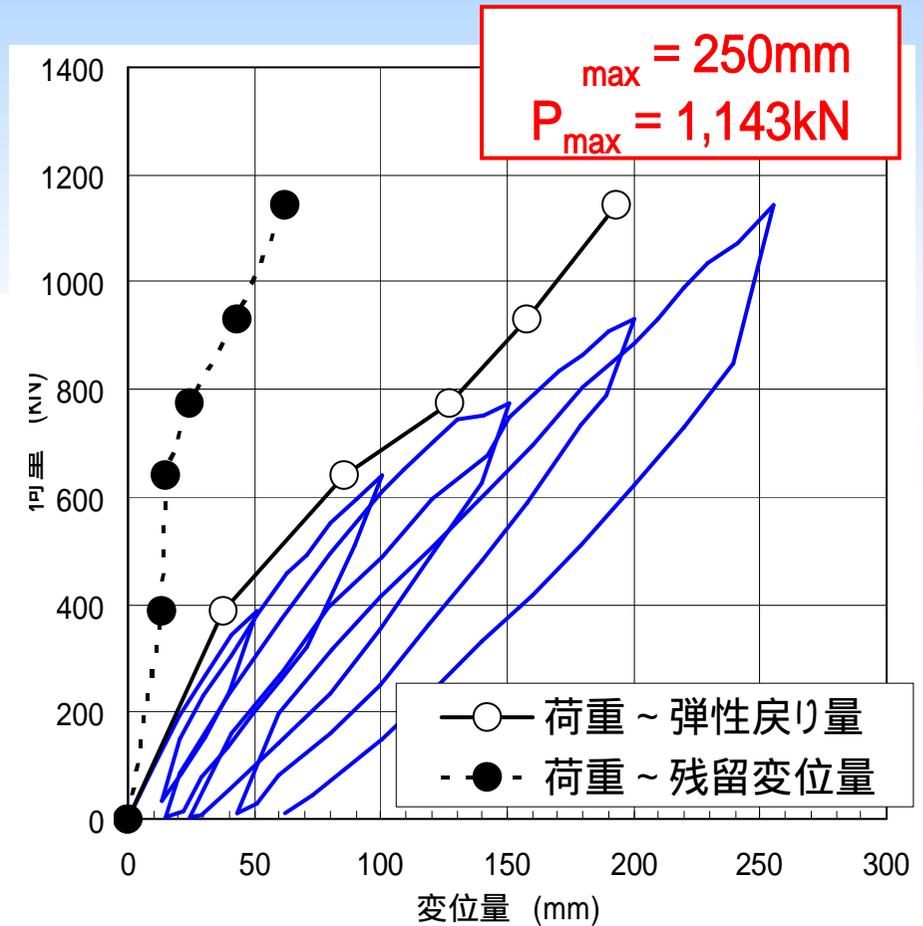
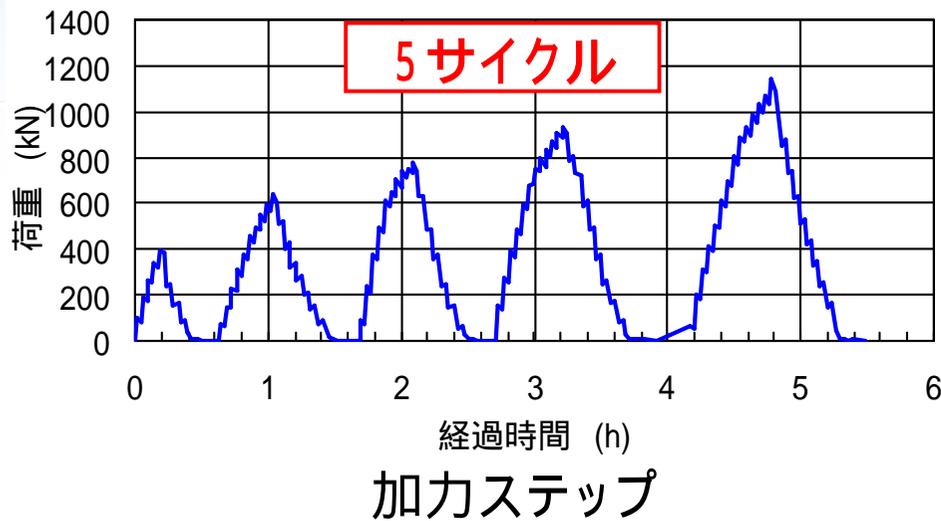


載荷装置設置



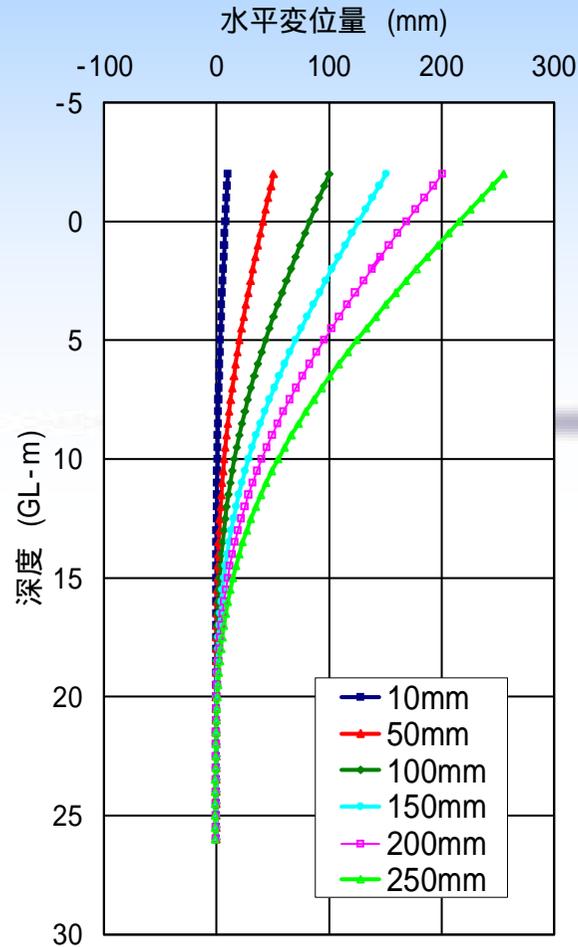
載荷装置設置作業

水平載荷試験による荷重-変位曲線

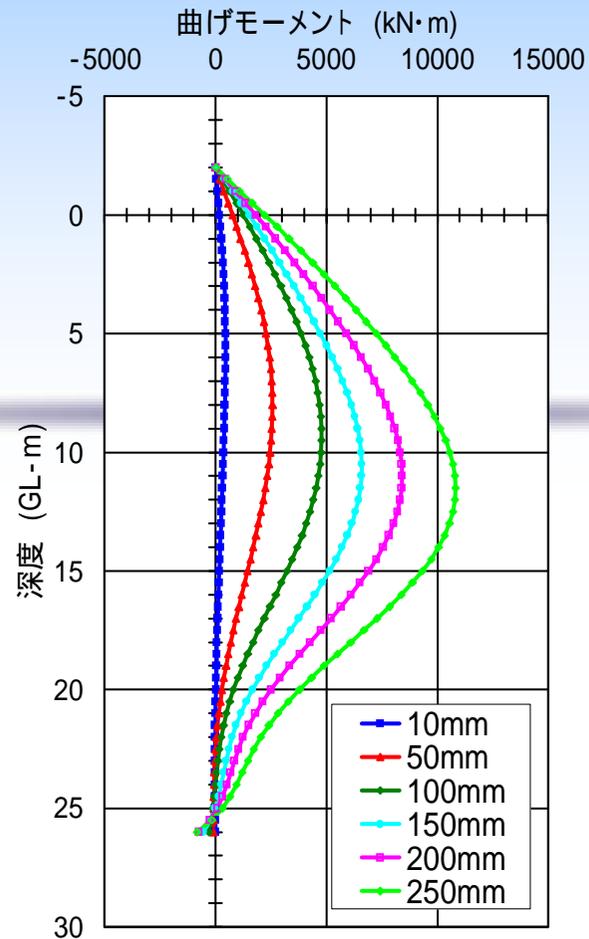


水平荷重 - 変位曲線
(加力位置)

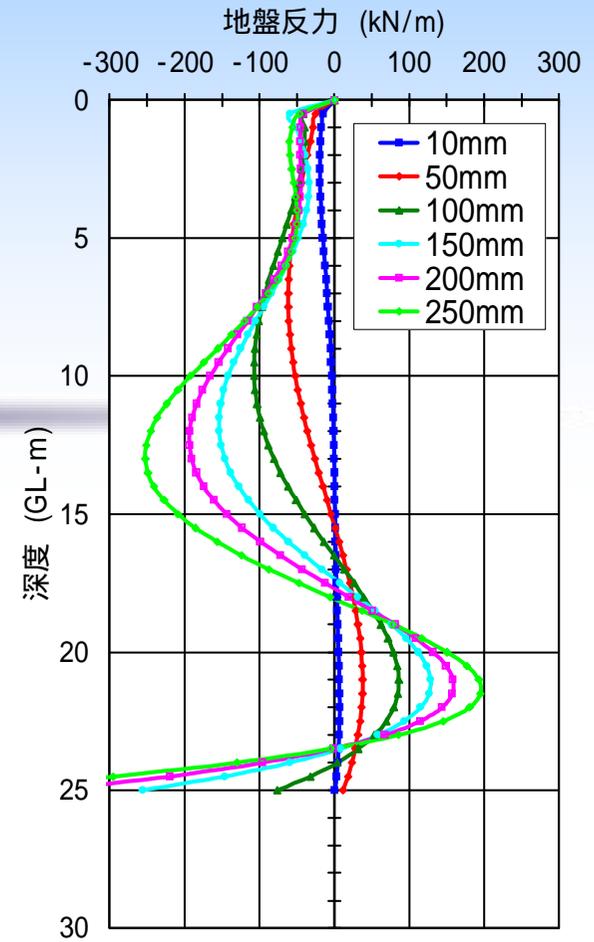
水平載荷試験結果



水平変位量



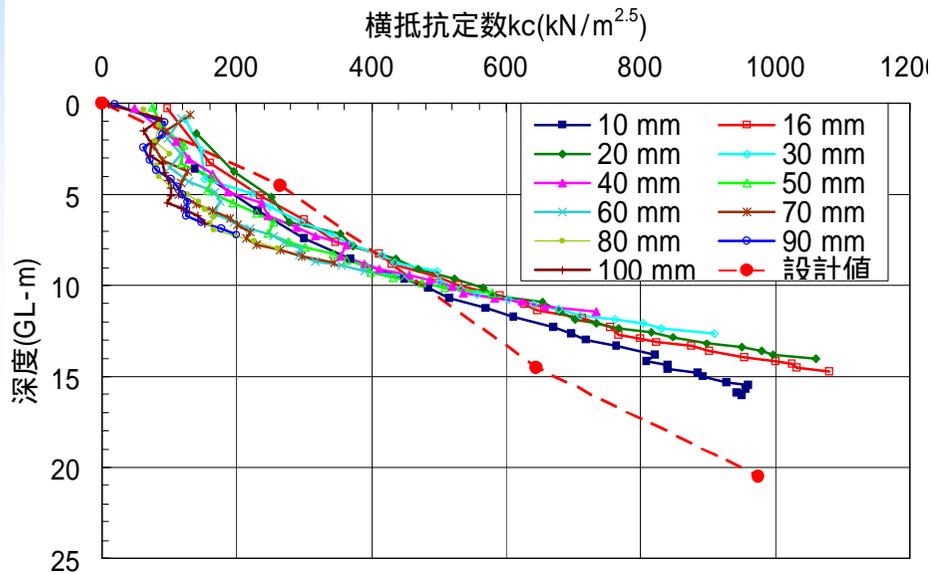
曲げモーメント



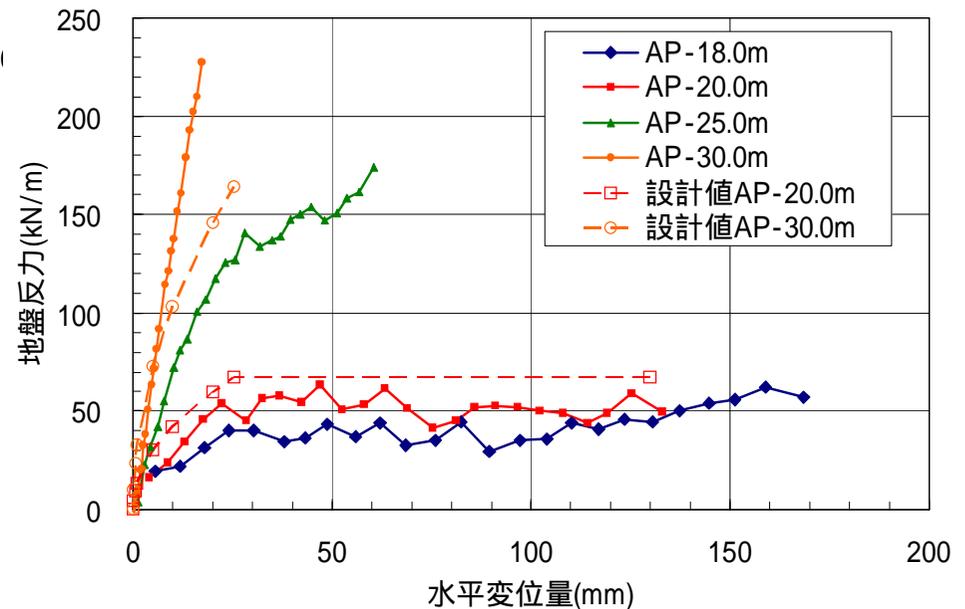
地盤反力

地盤バネの算定結果

港研方式: $\rho = kc \cdot y^{0.5}$



横抵抗定数kc



地盤反力-変位曲線

横抵抗定数のばらつきが、栈橋の部材応力に及ぼす影響が小さいことを確認。

7. 施工管理への反映

支持力管理式

$$R_s = \underbrace{e \times \frac{Eh}{S} \times Cf \times Sr \times St}_{\text{先端抵抗力}} + \underbrace{\sum f_s}_{\text{周面摩擦力}}$$

- Rs** : 支持力
- e** : ハンマー効率
- Eh** : ハンマーエネルギー
- S** : 貫入量
- Cf** : 換算係数
- Sr** : 先端静的抵抗比
- St** : 先端支持力のセットアップ率
- fs** : 地盤回復後の急速載荷試験結果より求めた周面摩擦力の合計

支持力管理式(栈橋部)

	F-1試験結果
杭径	1600
地盤	砂層(-S)
Eh(kN・m)	139
S(mm)	3.6
ハンマー効率e	0.65
換算係数Cf	0.59
静的抵抗比Sr	0.33
セットアップ率St	2.5(先端分)
支持力管理式	$R_s = 0.32 \times Eh/S + fs$

まとめ

- ・ 載荷試験による杭の支持力が確認支持力を満足し、支持力の安全性を確認した。
- ・ 実施設計の妥当性を確認した。
(先端支持力、周面摩擦力、地盤バネ等)
- ・ 実施工に用いる支持力管理式を設定した。