

住宅等における地中熱を利用した 空調システムについて

ーその熱交換を小口径鋼管地業(支持くい)
と兼用した場合の問題点と対策ー

平成19年12月18日

応用開発(株) 大畑 幸広

戸建住宅における小口径鋼管地業

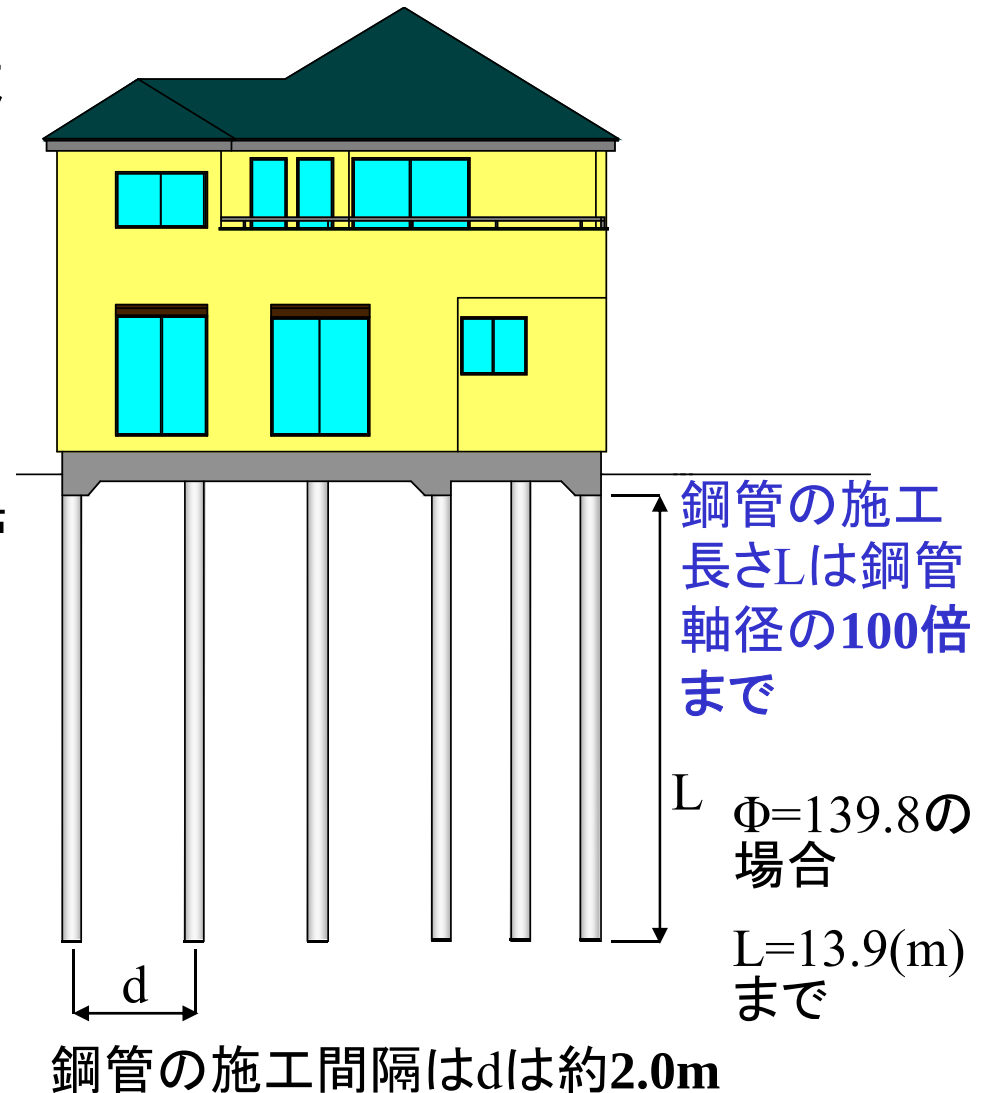
・住宅における基礎くい的现状でその多くは「小口径鋼管」を回転圧入工法で施工されています。

小口径鋼管

材質：一般構造用炭素鋼鋼管

JIS G 3445に規定されている、STK-400,STK-490を用いることが一般的です。

鋼管径： $\phi 114.3 \sim \phi 139.8 \text{mm}$ が多く用いられます。



小口径鋼管の種類と施工

戸建住宅に多く用いられる小口径鋼管には大きく分けると次のようになります。

拡底翼付鋼管

1本当りの支持力は大きい
掘進力は大きい

周面摩擦は期待できない
高価格でる

先端開放

先端閉塞



拡底翼付先端開放



拡底翼付先端閉塞

ストレート鋼管

1本当りの支持力は小さい
掘進力は弱い(軟弱地盤用)

周面摩擦が得られる
比較的安価である

先端開放

先端閉塞



ストレート鋼管先端開放

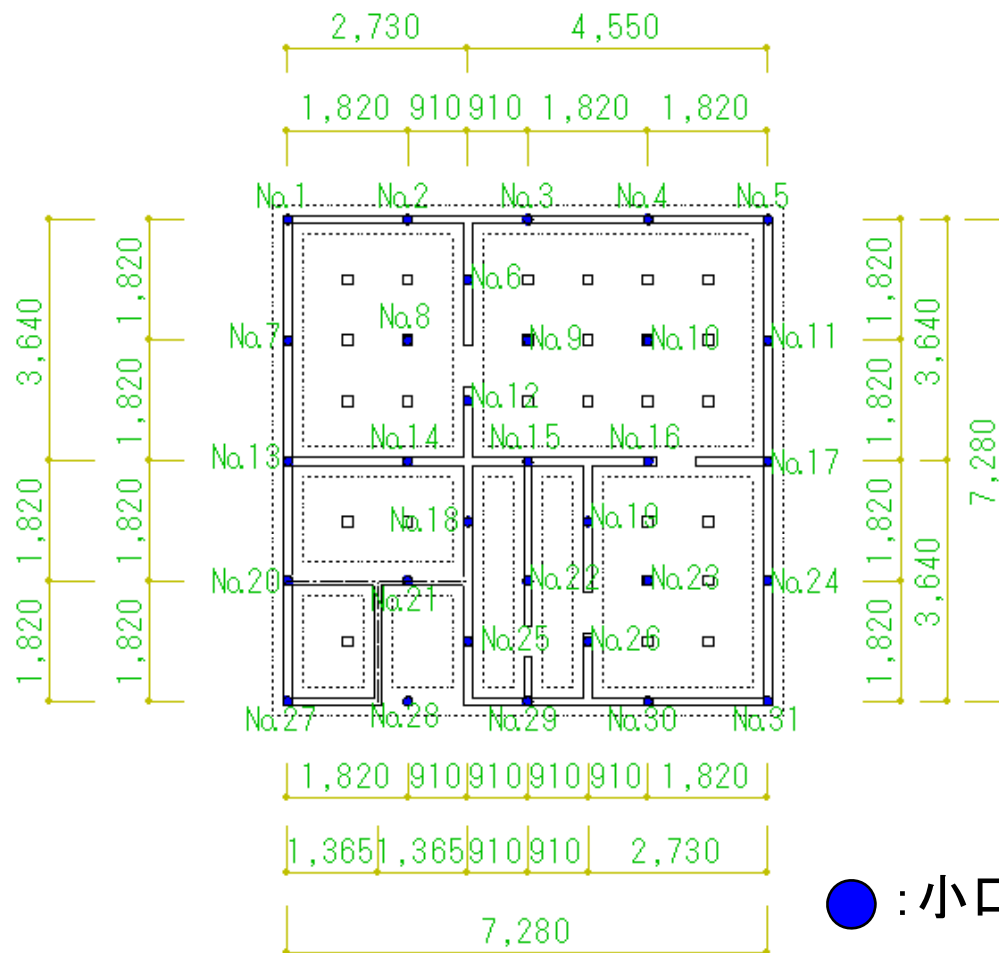


ストレート鋼管先端閉塞

先端開放は、回転圧入施工時に土砂等が侵入します。
先端閉塞は、土砂の侵入もなく中空な状態となります。

戸建住宅の地中熱鋼管地業として①

戸建住宅においては、基礎の形状から、鋼管施工間隔をあまり大きくできません。通常は $d=2.0\text{m}$ 程度です。図-1にその間隔を基に鋼管を配置しました。



建物の1階面積は、 53m^2 で約16坪の場合。

鋼管の施工本数は、31本となります。(1.82mピッチを基準)

建物の重量は、 1m^2 当たり 15kn/m^2 とした場合、その総重量は 795kn となります。

この例では、31箇所を計画しますから、鋼管1本当りの長期許容支持力は、 25.65kN/本 となります。

● : 小口径鋼管

$\phi 139.8\text{mm}$

図-1 小口径鋼管の配置例

戸建住宅の地中熱鋼管地業として②

戸建住宅で適している鋼管

1、先端閉塞の鋼管

2、ストレート鋼管（地盤の構成によっては、拡底翼付鋼管）

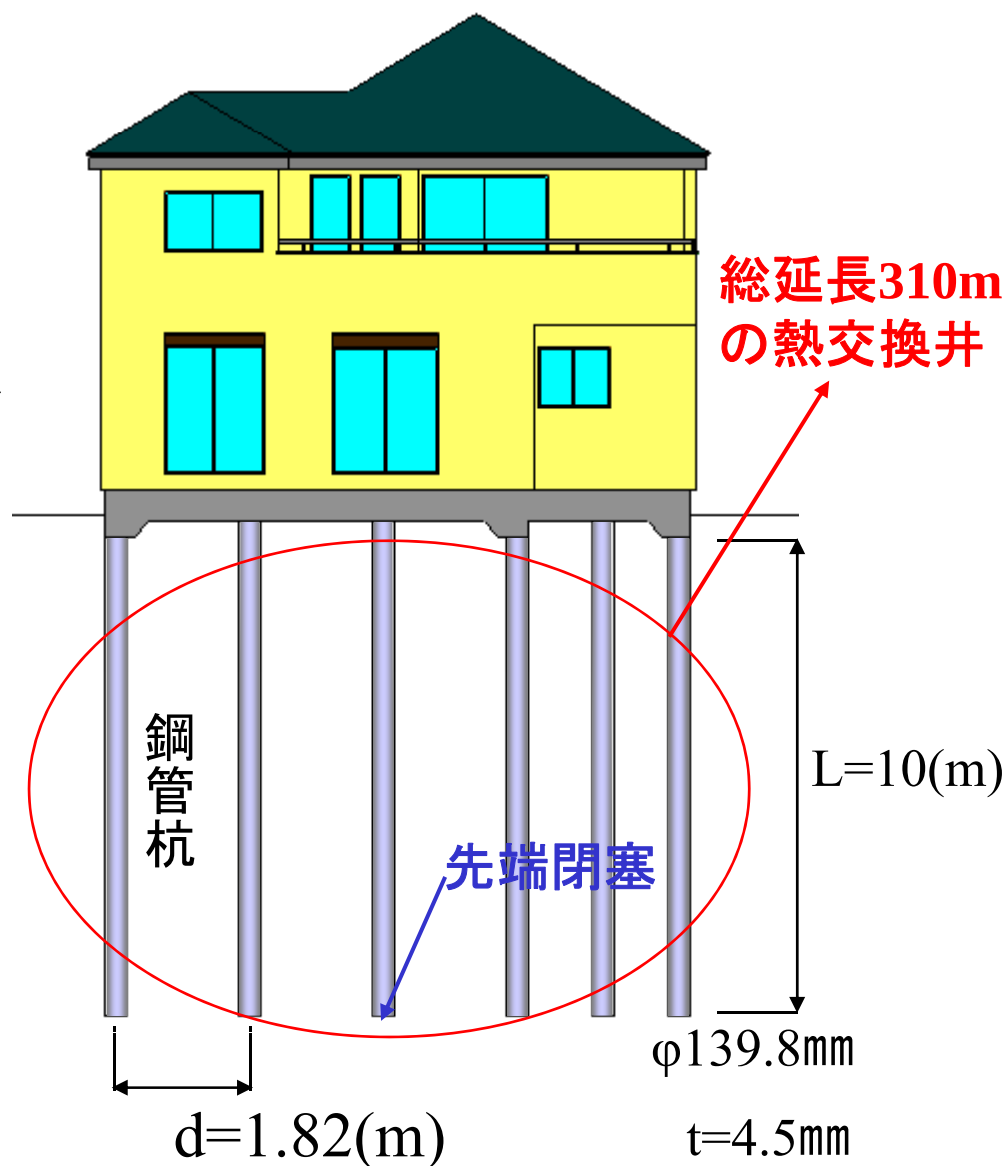
ここで、鋼管地業を基礎杭として用いるために、国土交通大臣の認定を受けた工法を用います。現在、小口径鋼管を用いた認定工法は約20種類以上あります。

ここでは、先端閉塞の認定工法を用いることとし、以下「鋼管杭」とします。

前項①の例題において、打設長 $L(m)$ を10mと想定した場合、鋼管杭の総延長が310(m)となり、戸建住宅の下部地盤に、内径が130.8mm、延長310mの中空部位が存在することとなります。

地中熱熱源としての兼用杭のメリット

- ・ 鋼管杭長=10m、31本の施工で、310mの熱交換井に相当します。
- ・ 10kW のヒートポンプでは、200mが標準的熱交換井の長さで、これを満たします。また、残りの110mで融雪も可能となります。
- ・ 鋼管杭は逆回転をすることで、抜くことが出来るので、現状復帰が可能です。



地中熱熱源としての兼用鋼管杭の問題点

現状では、鋼管杭天端よりコンクリート基礎を貫通する形で熱交換パイプを通し、床下に熱交換パイプが配管されていました。

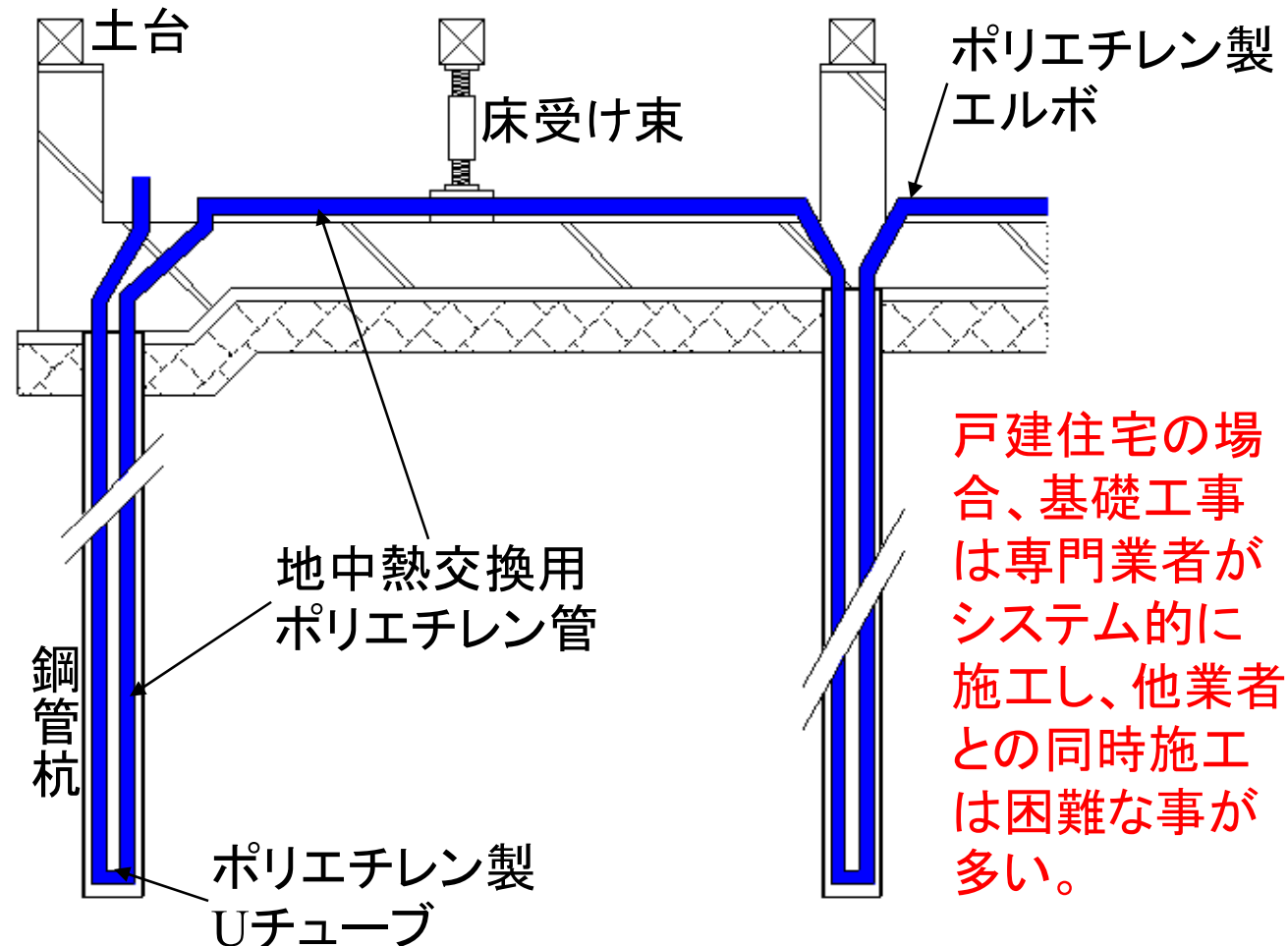
熱交換パイプが基礎コンクリートを貫通



基礎コンクリートに多くの欠損部分ができる。

基礎の施工が困難。

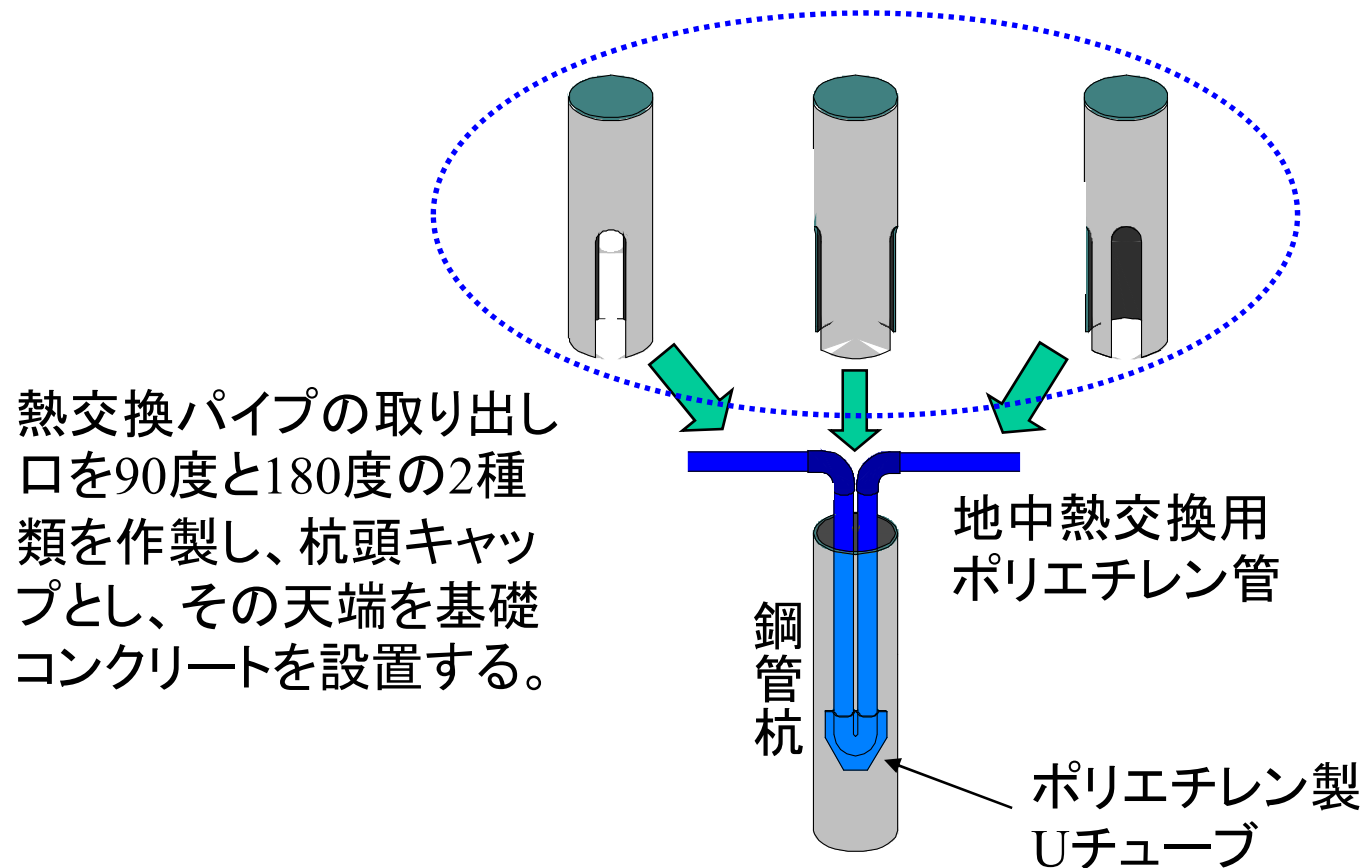
床下に交換パイプが配管。これにより、他の設備管と干渉。



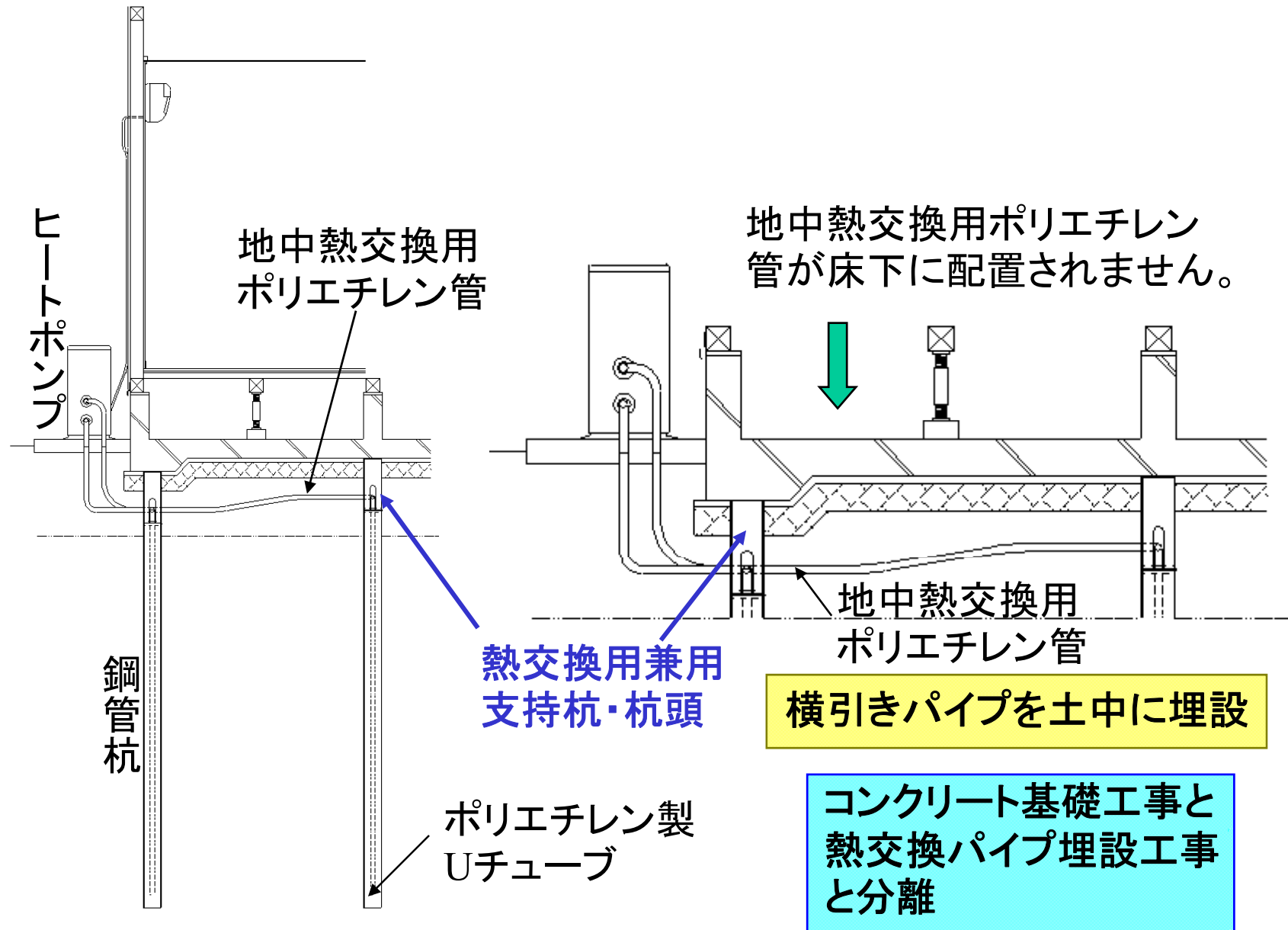
戸建住宅の場合、基礎工事は専門業者が系統的に施工し、他業者との同時施工は困難な事が多い。

問題点の解決

- ・ 鋼管杭の断面から、熱交換パイプを取り出し、土中に熱交換パイプを埋設することにより、鋼管杭に従来通りコンクリート基礎を鋼管杭に支持させるものとします。



熱交換兼用支持くいモデル①



熱交換兼用支持くいモデル②



1. 鋼管杭
の施工
先端閉塞



2. Uチュー
ブの施工



4. 砂の充填



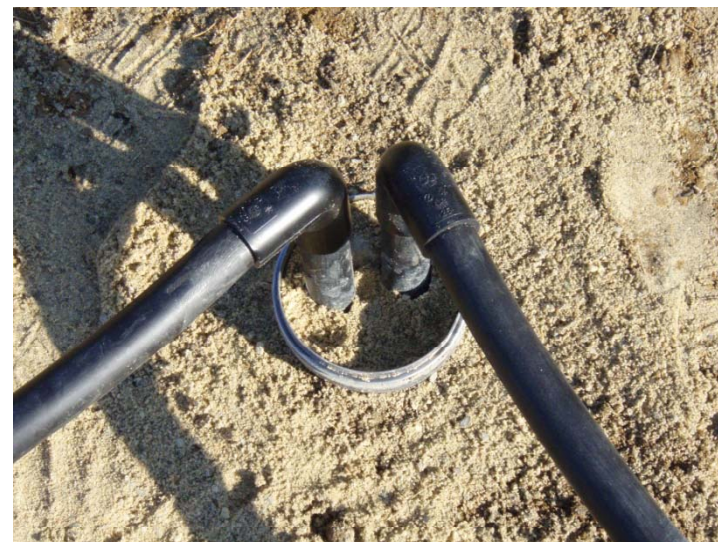
3. Uチュー
ブの施工

熱交換兼用支持くいモデル③



5.ポリエチレン製
エルボの設置
(EF融着)

横引き管の取
付け



6.熱交換兼用支
持杭の杭頭部
溶接



熱交換兼用支持くいモデル④



7.埋め戻し完了



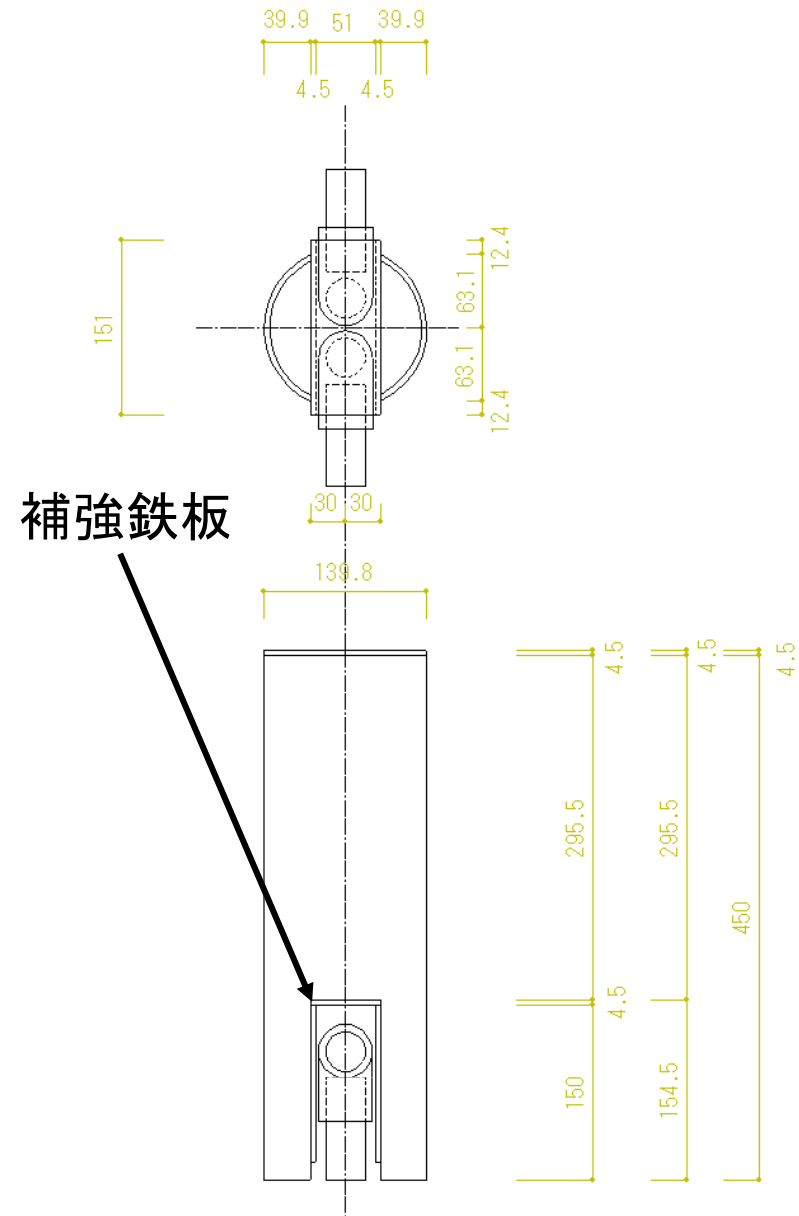
横引き管の埋設イメージ

施工完了後、再度掘削し、
確認してみました。



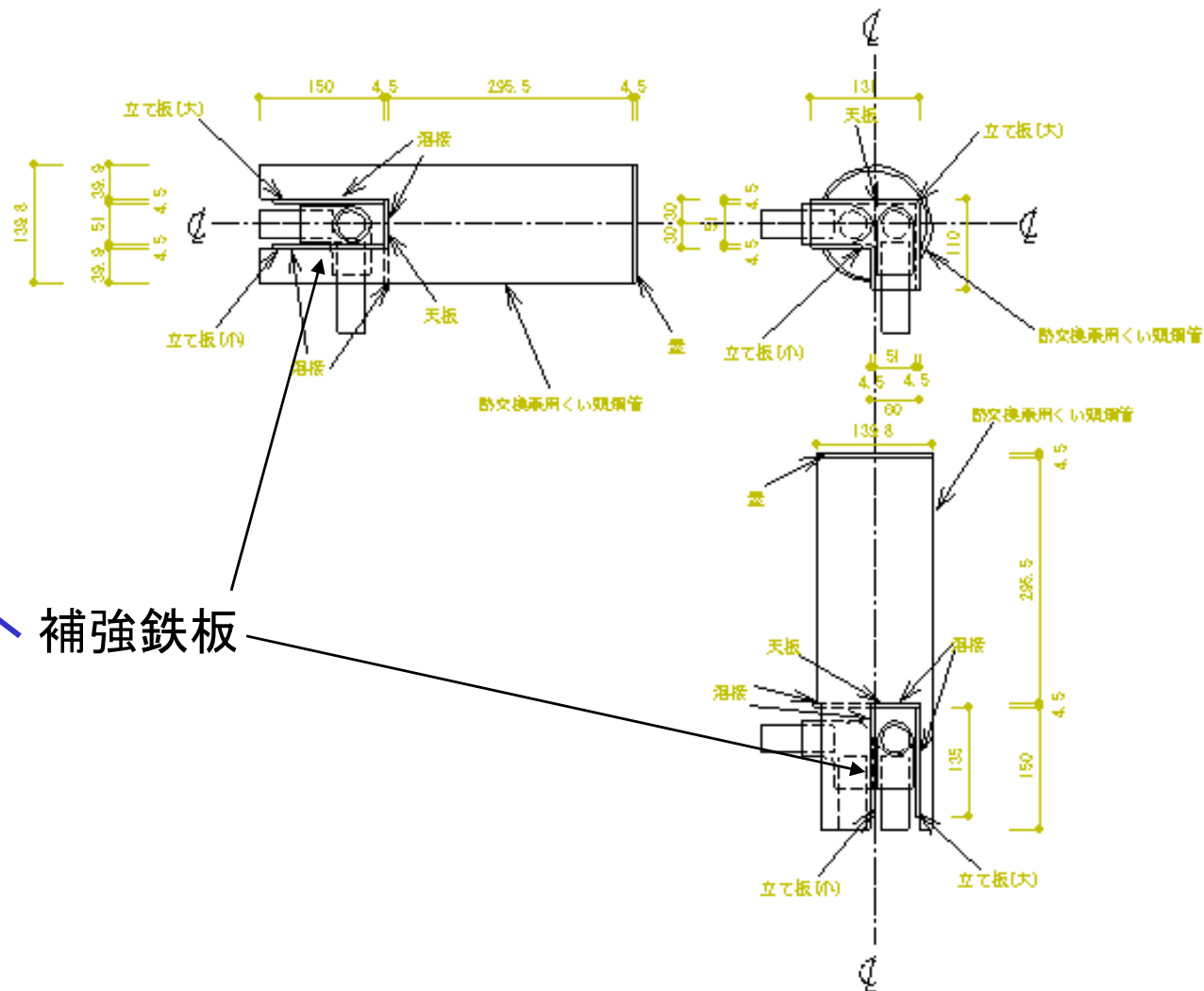
熱交換兼用支持杭の杭頭部詳細①

180度タイプ



熱交換兼用支持杭の杭頭部詳細②

90度タイプ

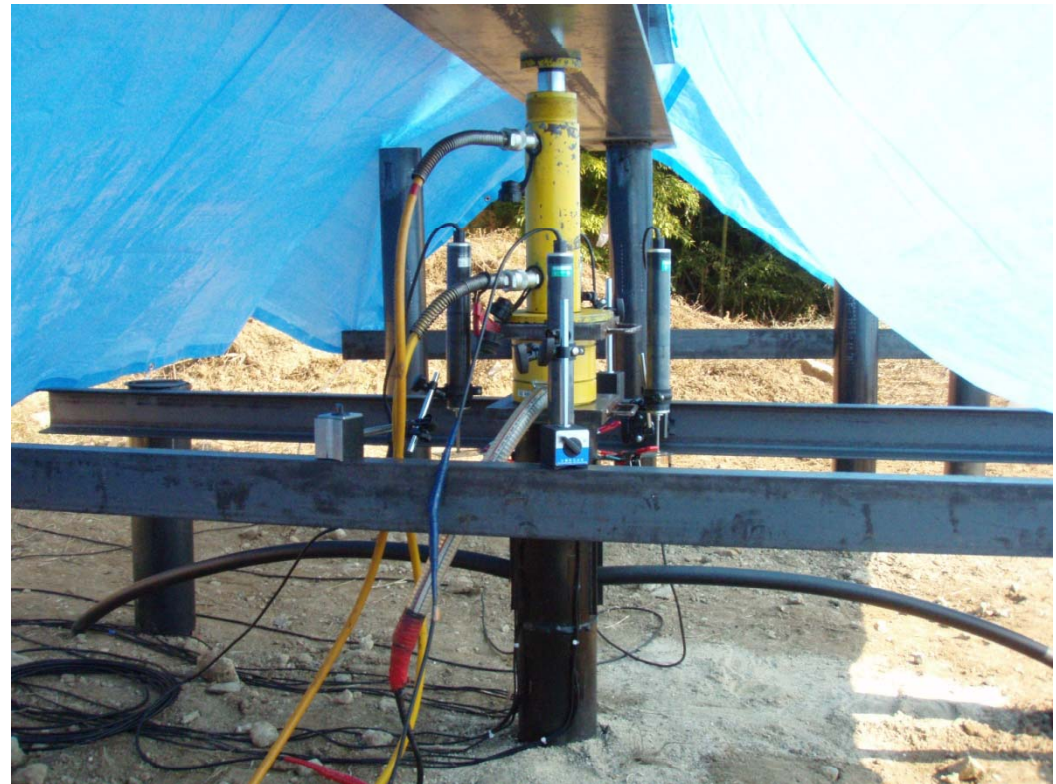


熱交換兼用支持杭の強度試験①

杭の鉛直載荷試験



載荷装置の組立て



杭の鉛直載荷試験状況

熱交換兼用支持杭の強度試験②

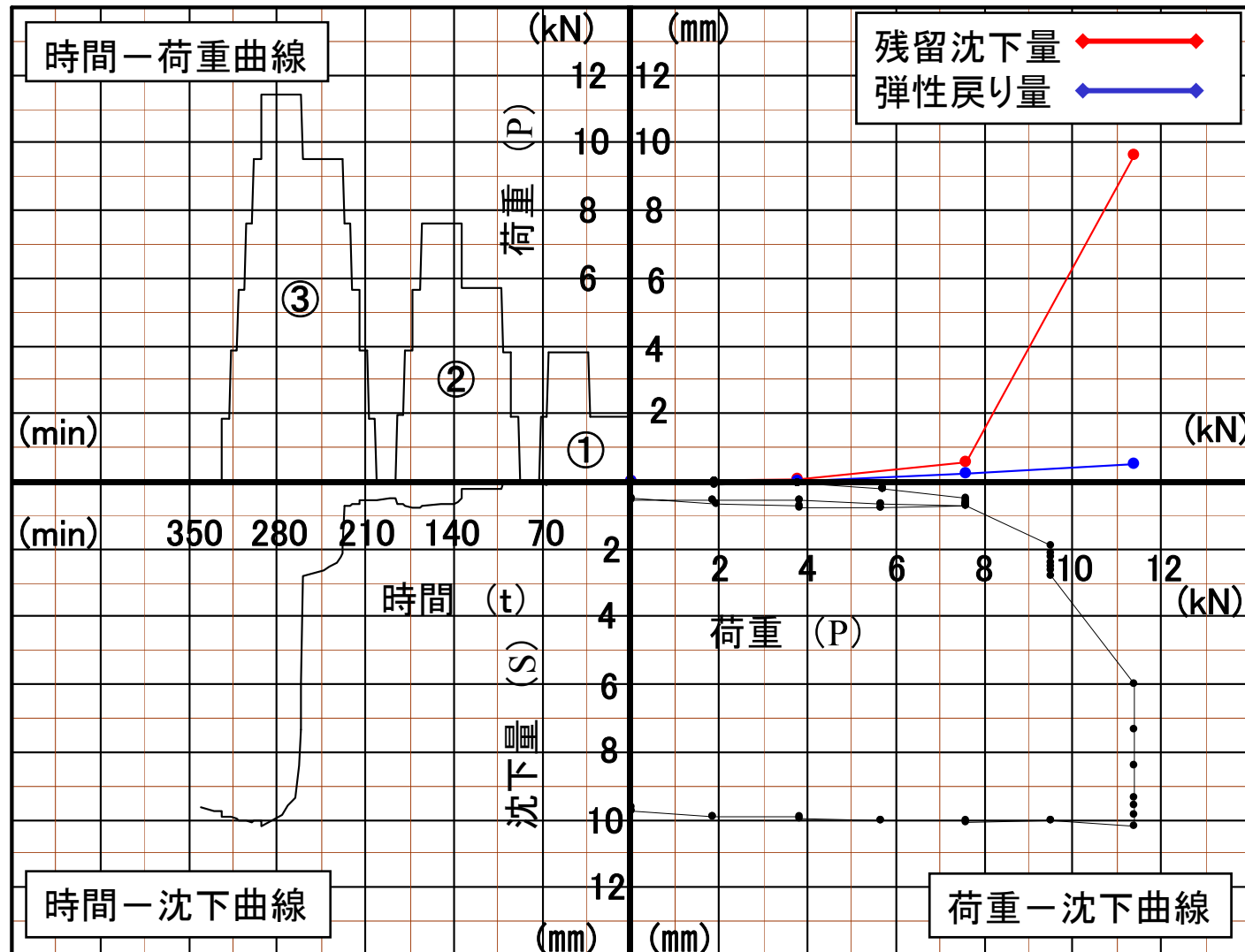
杭の水平載荷試験



熱交換兼用支持杭の強度試験結果①

鉛直載荷試験—1

荷重と時間と沈下の関係 (P~t~S曲線)



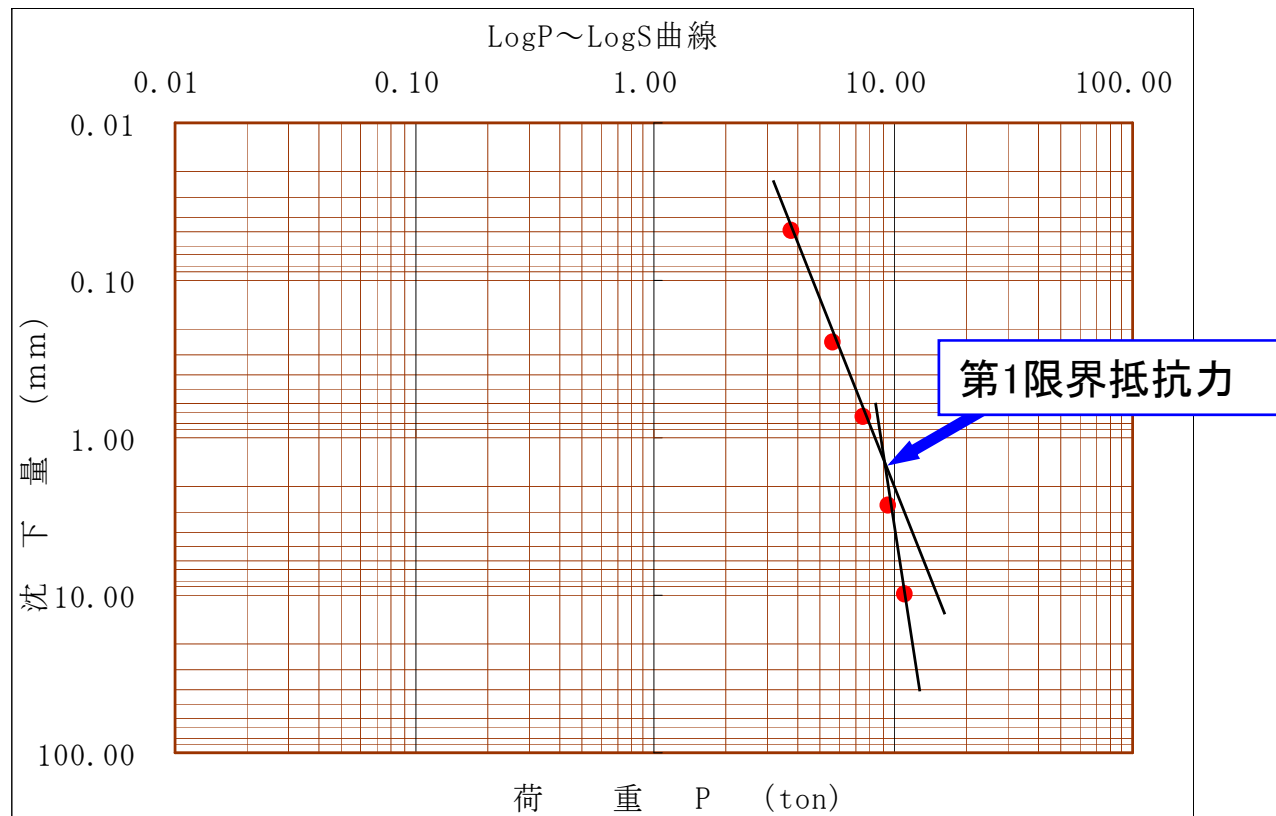
熱交換兼用支持杭の強度試験結果②

鉛直載荷試験－2

(1) 第1限界抵抗力の判定

①Log P ～Log S 図法の判定基準

各新規荷重段階の最終変位量との関係を両対数紙上にプロットし、図上において折れ点を求める。
折れ点が明瞭に現れればこの点を第1限界抵抗力とする。

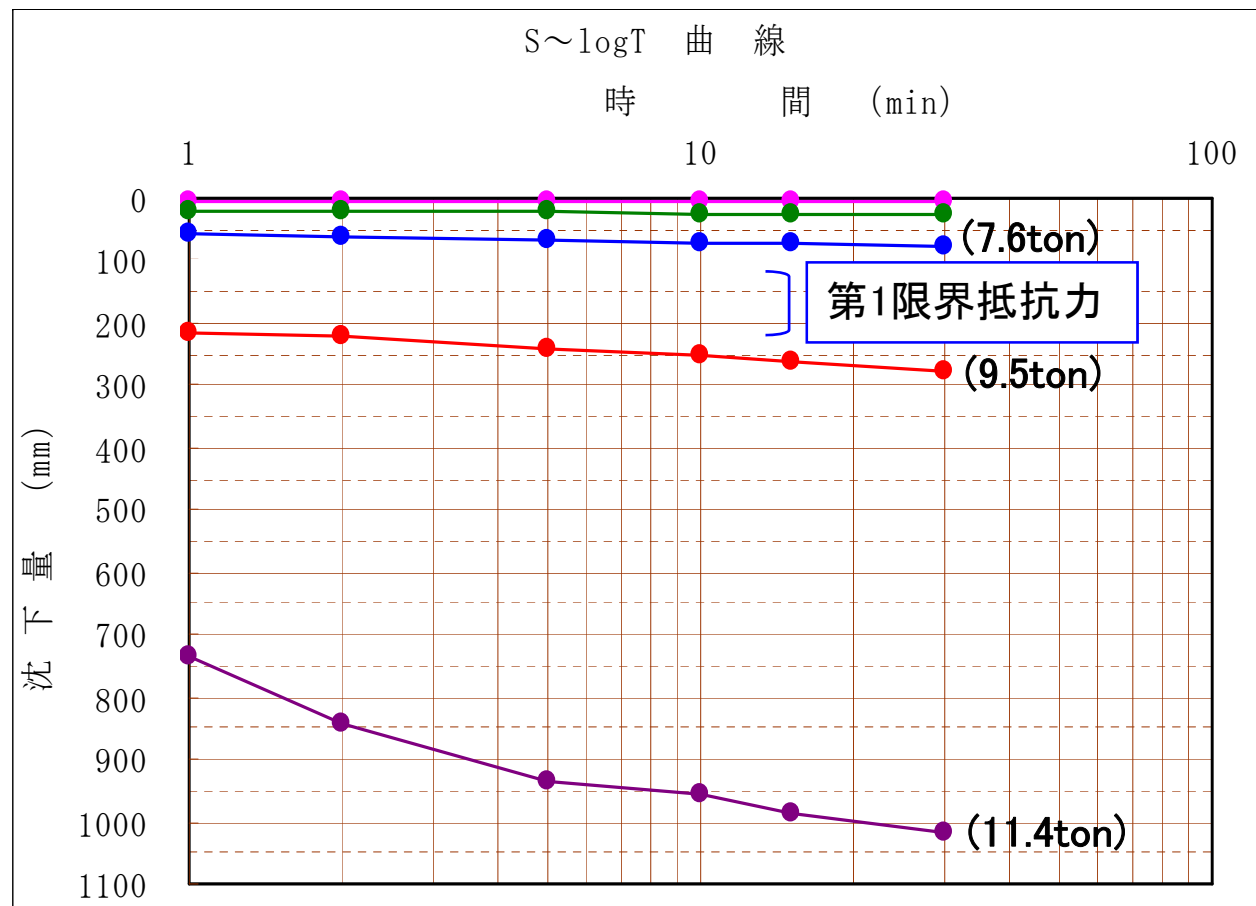


熱交換兼用支持杭の強度試験結果③

鉛直載荷試験—3

②S～Log t 図法の判定基準

各新規荷重段階の変位量を普通目盛、経過時間を分単位の大数目盛とした片大数紙上にプロットし、荷重が小さい範囲では、曲線の傾きが小さいが、荷重が大きくなってくると、間隔が広がり勾配が急になり直線性が失われる限界の荷重をもって、第1限界抵抗力とする。

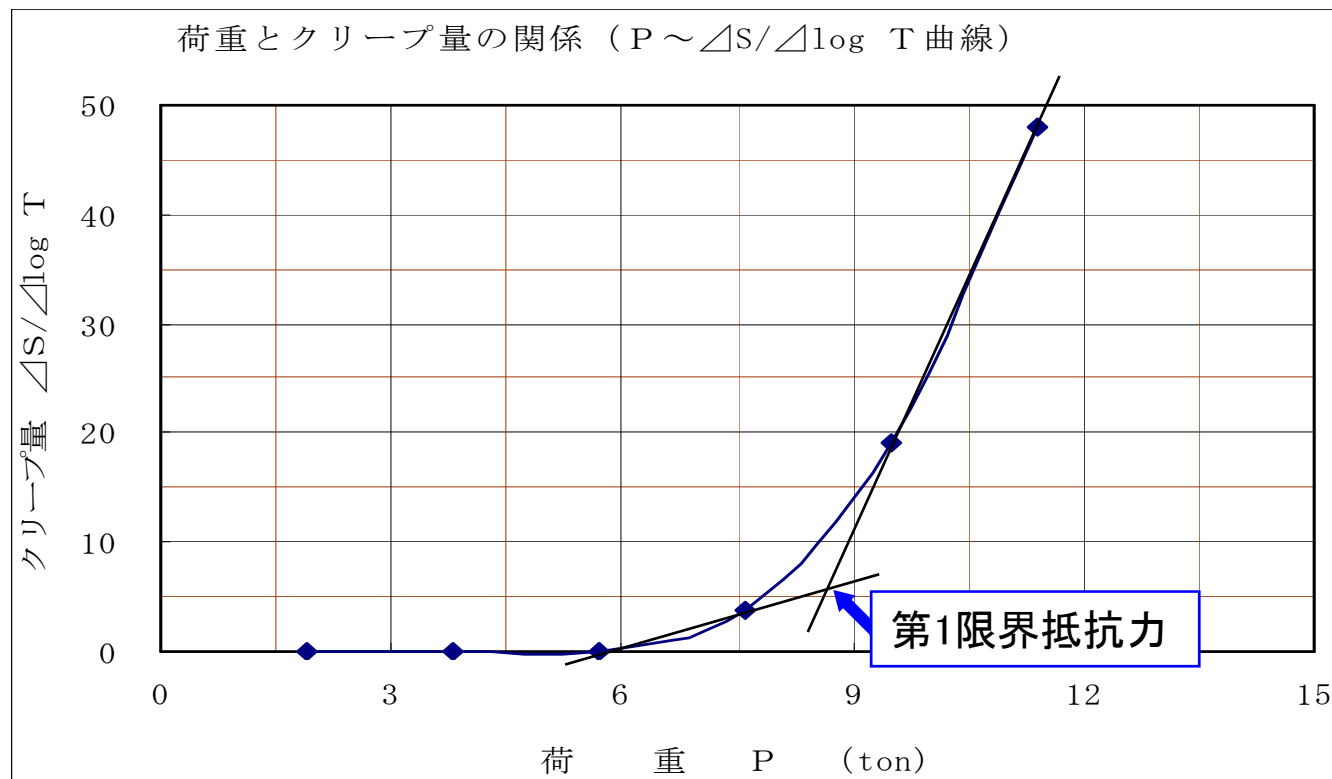


熱交換兼用支持杭の強度試験結果④

鉛直載荷試験—4

③ $\Delta S / \Delta \log t \sim P$ 図法の判定基準

各新規荷重段階における $S \sim \log$ の傾きと荷重の関係を定量的に表現したもので、全曲線通じて $\Delta \log t$ を一定にとった割線勾配を求め、 $\Delta S / \Delta \log t$ が急増する点の荷重をもって第1限界抵抗力とする。



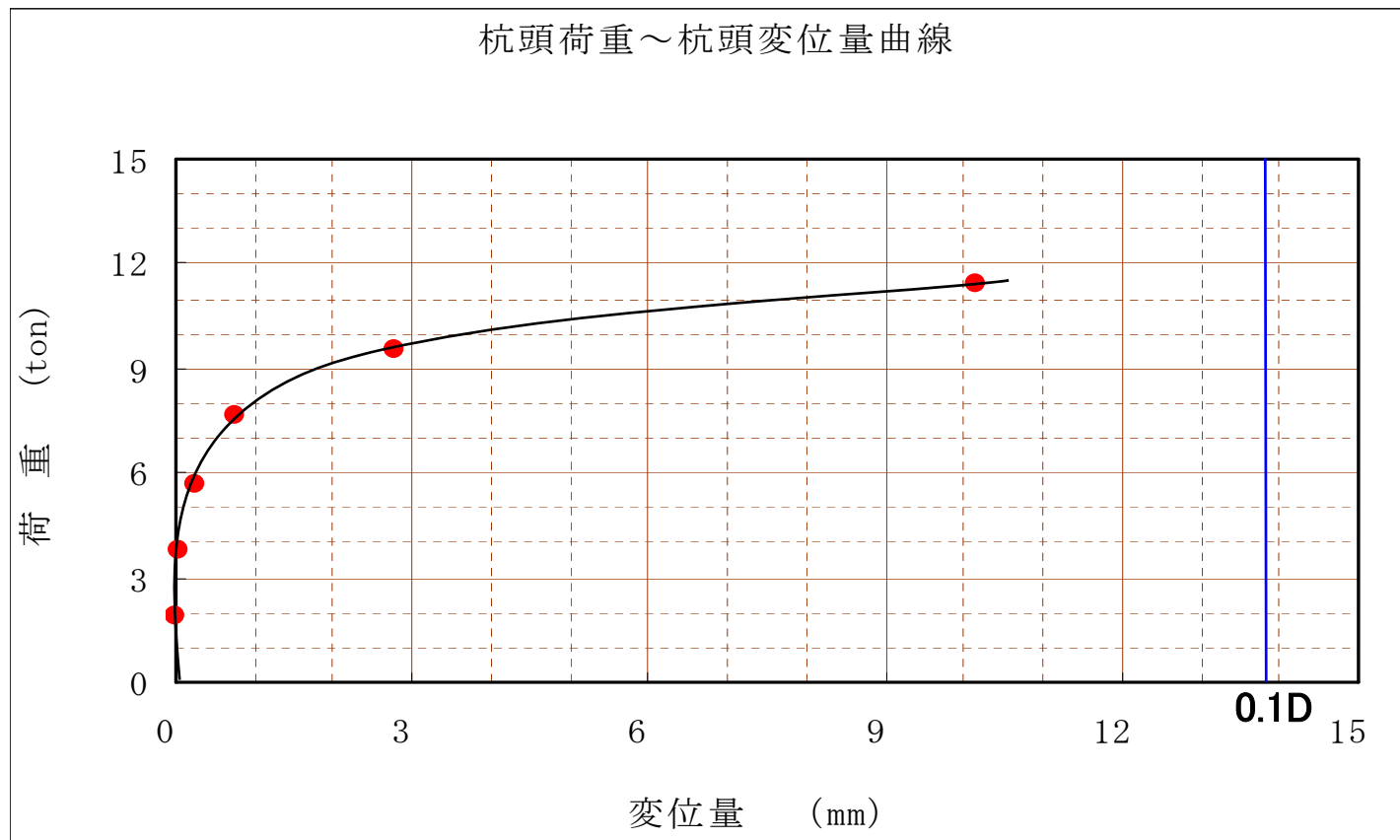
熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑤

鉛直載荷試験—5

(2) 第2限界抵抗力の判断

第2限界抵抗力の判定基準

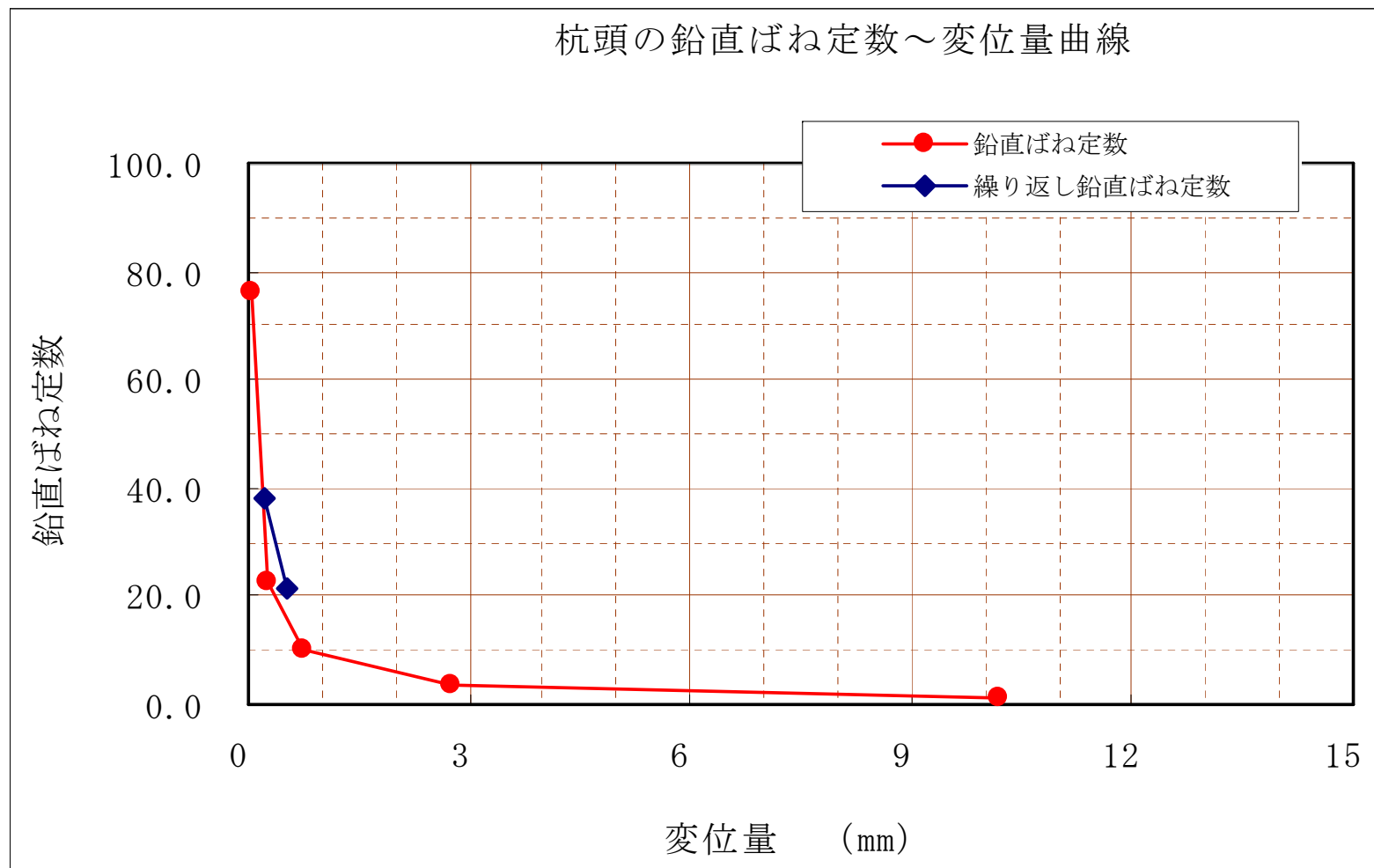
第2限界抵抗力杭頭直径の10%相当の杭頭変位量に至るまでに最大荷重が現れた場合はその荷重をもって第2限界抵抗力とする。



熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑥

鉛直載荷試験—6

(3) 杭頭の鉛直ばね定数は、荷重～変位置曲線の割線勾配により算定する。



熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑦

鉛直載荷試験—7

⑦ - 7. 載荷試験結果からの抵抗力に関する特性値の判定

表-1に各判定曲線からの読取值を示した。

表-1 各判定曲線からの読取值

抵抗力	図法	Log P ~ Log S 図法 の判定 (ton)	S ~ Log t 図法 の判定 (ton)	$\Delta S / \Delta \text{Log } t \sim P$ 図法 の判定 (ton)	杭頭直径の10%相当 の杭頭変位量 (ton)
第1限界抵抗力 (降伏荷重)		9.2	7.5~9.5	8.6	—
第2限界抵抗力 (極限荷重)		—	—	—	—

上記、各判定曲線から表-2に示す判定値を導き出した。

表 試験結果からの判定値 (ton)

第1限界抵抗力	第2限界抵抗力
8.6	—

許容支持力

許容応力度設計法における、杭の長期許容支持力は以下のように求める。

1. 載荷試験により第2限界支持力（極限荷重）が求まった場合には、その荷重の1/3の値。
2. 載荷試験により第2限界支持力（極限荷重）が求まらなく、第1限界支持力（降伏荷重）が求まった場合には、その荷重の1/2の値。
3. 両者が求まった場合には、それらの値の小さい方を長期許容支持力とする。

熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑧

鉛直載荷試験一8

許容応力度設計法から求まる長期許容支持力を表-3に示した。

表一3 判定値からの許容支持力

	長期許容支持力 (ton)
第1限界抵抗力 (降伏荷重)	4.3
第2限界抵抗力 (極限荷重)	—

許容応力度設計法から求まる長期許容支持力と設計値との比較を表-4に示した。

表一4 実測値と設計値の比較

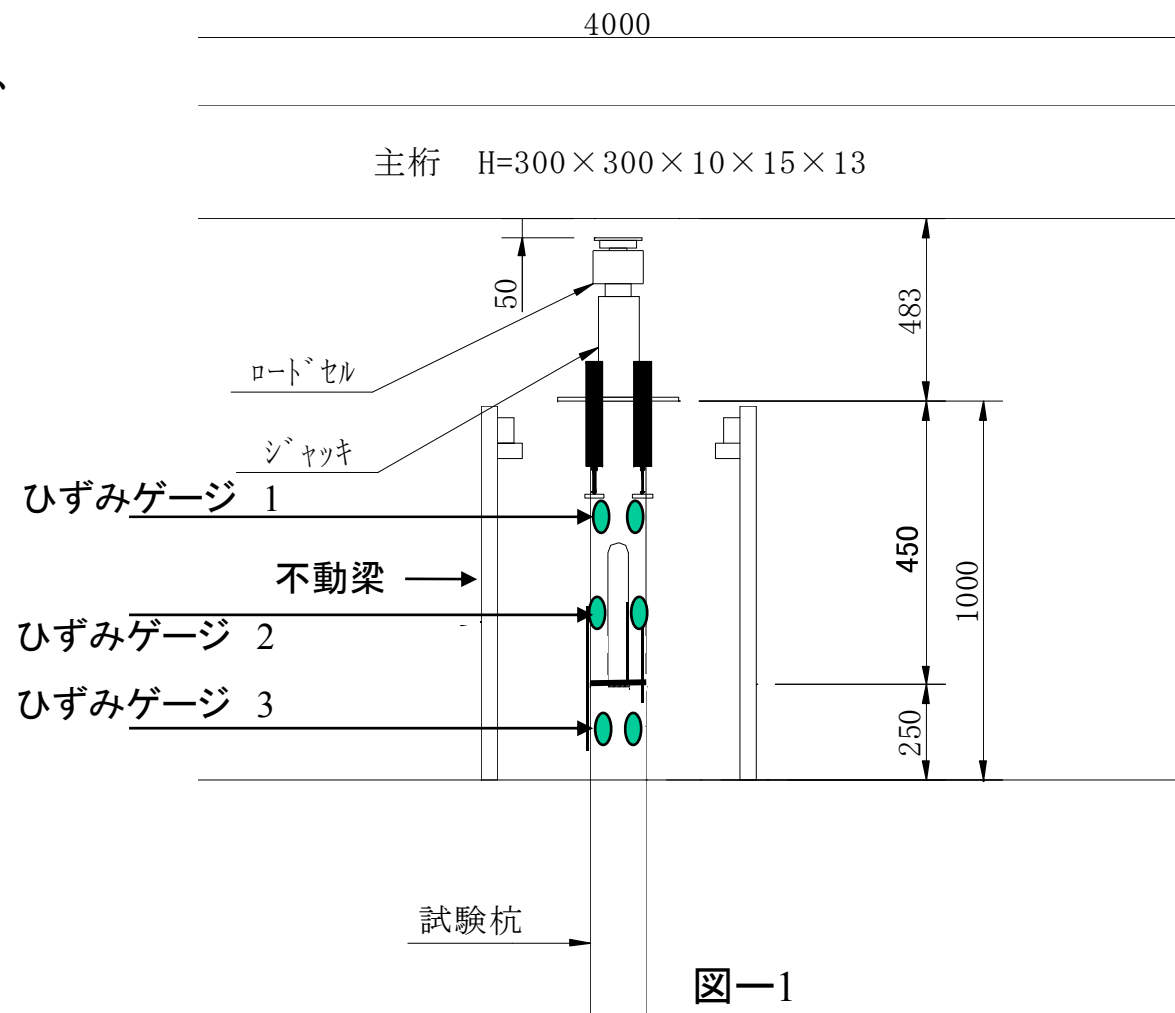
	試験結果からの 長期許容支持力 (ton)	設計からの 長期許容支持力 (ton)
第1限界抵抗力 (降伏荷重)	4.3	4
第2限界抵抗力 (極限荷重)	—	—

熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑨

鉛直載荷試験一9

抵抗力特性の確認と鋼管杭開口部の断面欠損による、遍心荷重と欠損部の荷重の確認を行うと言う目的があり下記に検証する。

ひずみゲージ貼付位置は、
図-1に示した。



熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑩

鉛直載荷試験—10

各断面（1～3）の弾性係数・断面積を表－5に示した。

表－5 弾性係数と断面積

断面	弾性係数 (10 ^{×6} kg/cm ²)	断面積 (cm ²)
1 断面	2.1	19.13
2 断面	2.1	26.9
3 断面	2.1	19.13

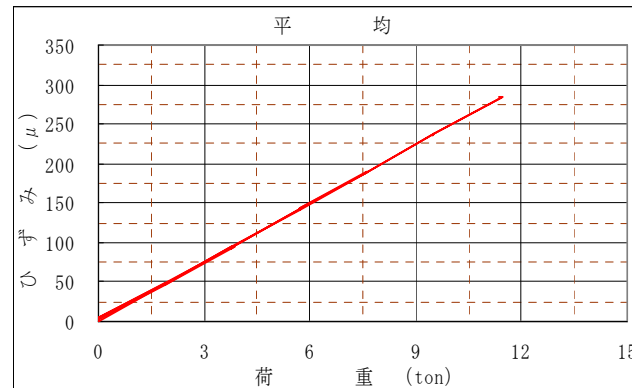
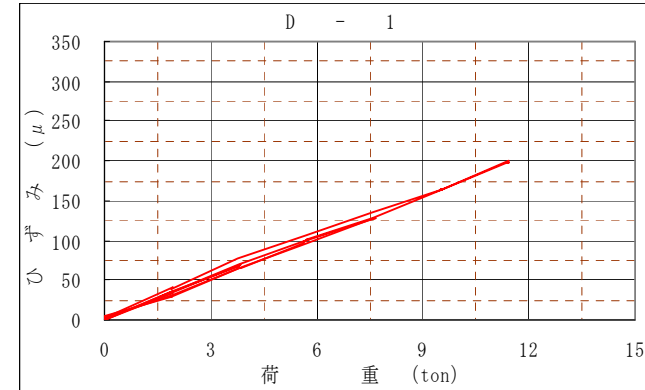
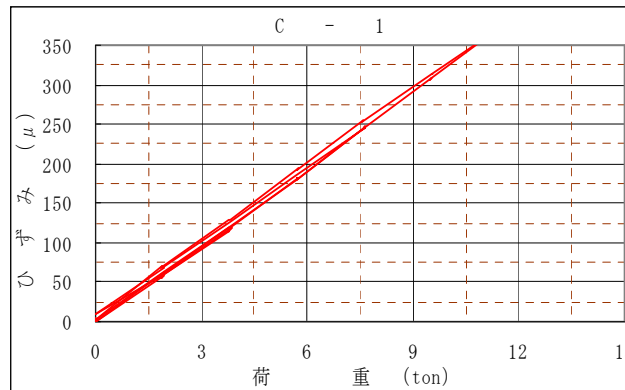
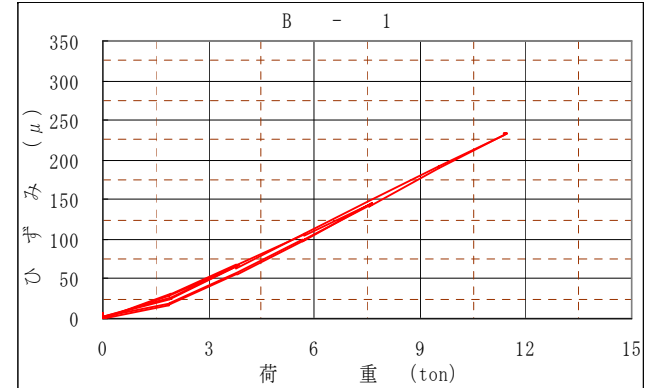
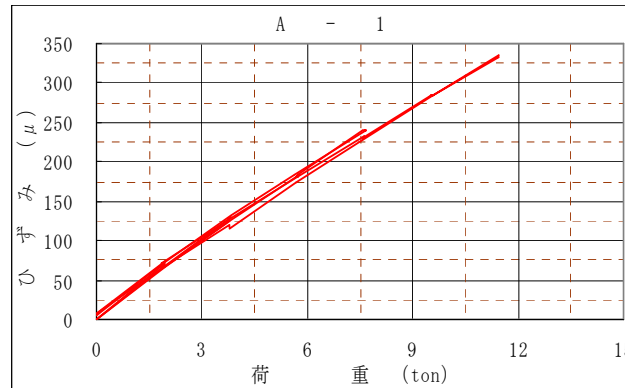
表-5の諸数値から各荷重階での伝達軸力を表-6に示した。

表－6 杭頭荷重と各断面の伝達荷重

荷重 (ton)	1断面		2断面		3断面	
	平均 (μ)	軸力 (ton)	平均 (μ)	軸力 (ton)	平均 (μ)	軸力 (ton)
1.9	47.3	1.9	33.3	1.9	47.0	1.9
3.8	94.3	3.8	67.8	3.8	93.8	3.8
5.7	142.5	5.7	101.8	5.8	141.8	5.7
7.6	190.3	7.6	135.0	7.6	190.3	7.6
9.5	237.5	9.5	168.5	9.5	237.5	9.5
11.4	285.0	11.4	202.3	11.4	284.5	11.4

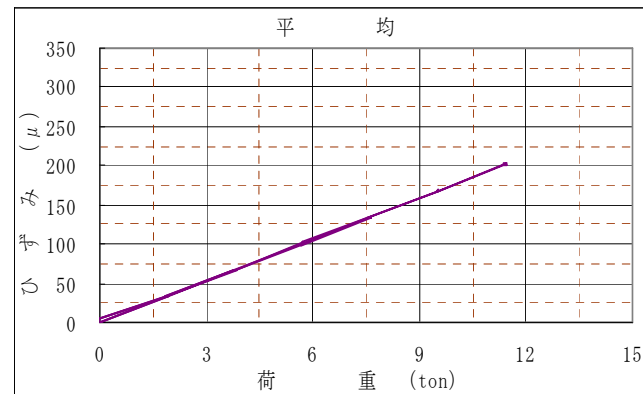
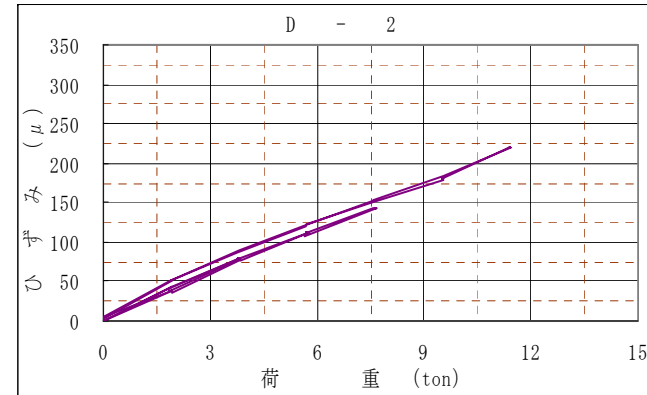
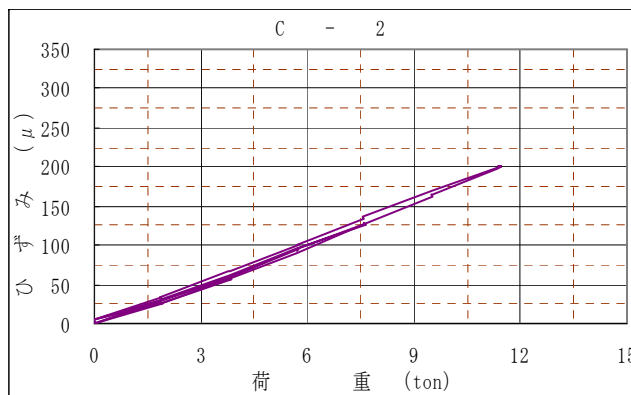
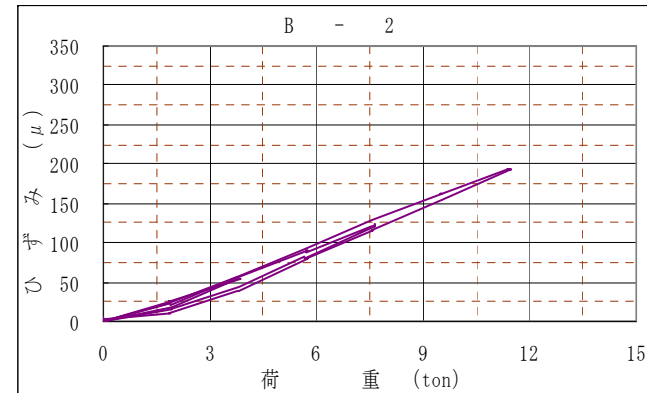
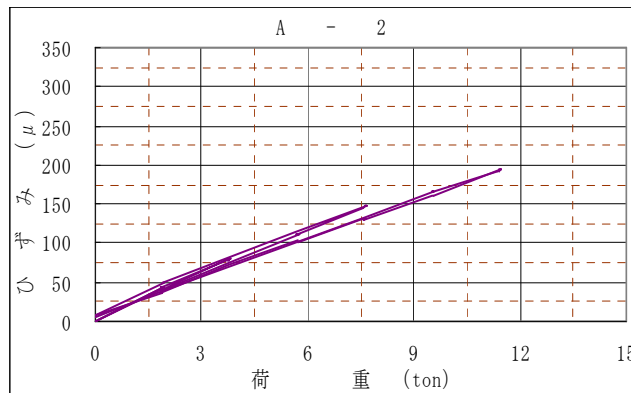
熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑪

鉛直載荷試験—11



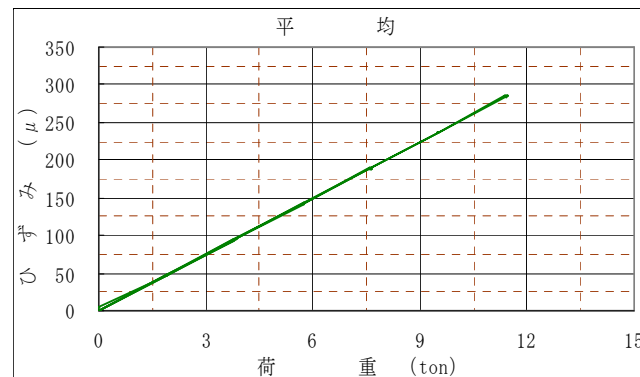
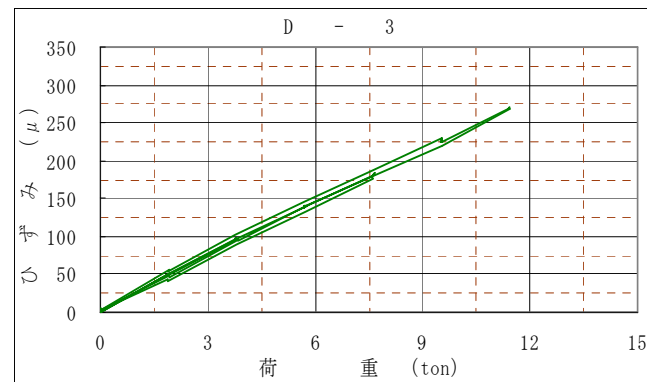
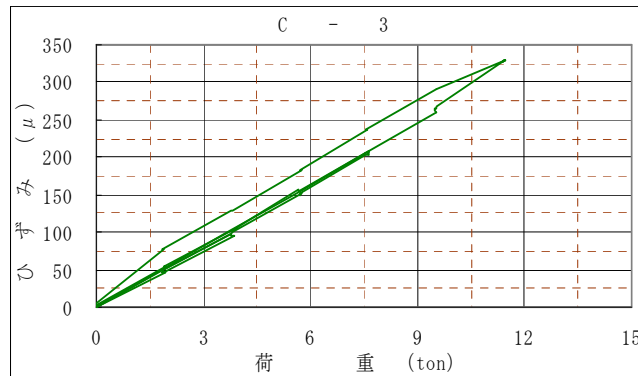
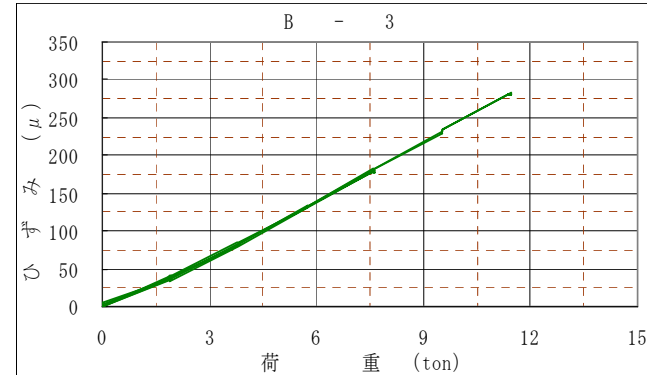
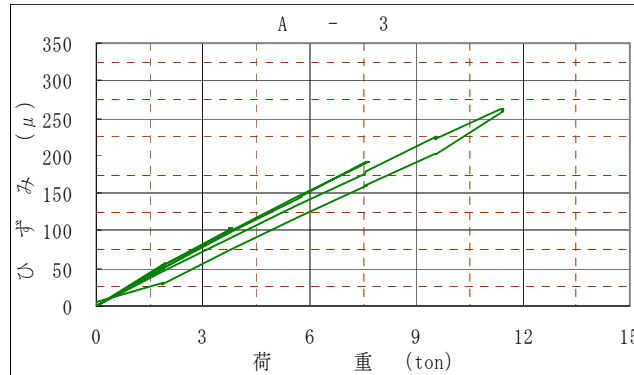
熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑫

鉛直載荷試験—12



熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑬

鉛直載荷試験—13



熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑭

鉛直載荷試験—14

以上の測定結果から、鋼管杭開口部の断面欠損は補強により従来の断面積の1.4倍になり、遍心荷重や欠損部の荷重の増加に伴う変形もなく、荷重はスムーズに伝達されていた。

以上のことから鋼管杭を開口した事で、何ら問題は生じなかった。

熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑮

水平載荷試験—1

水平載荷試験装置

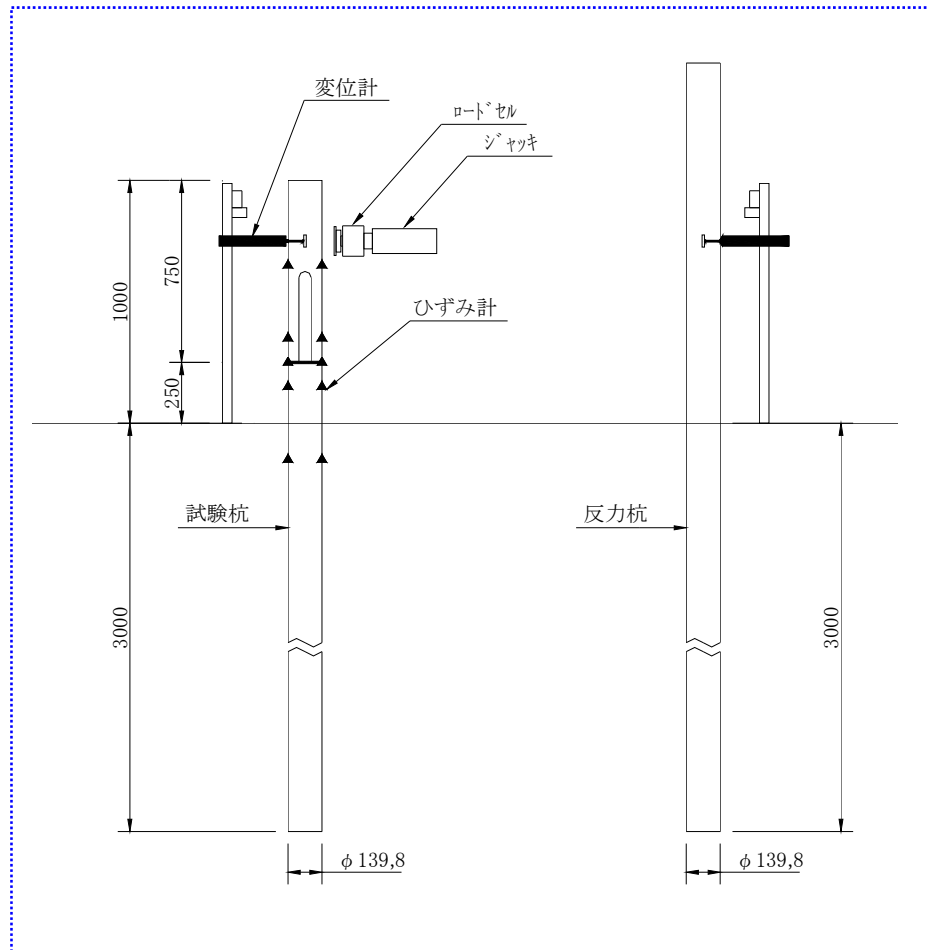


図-2 断面図

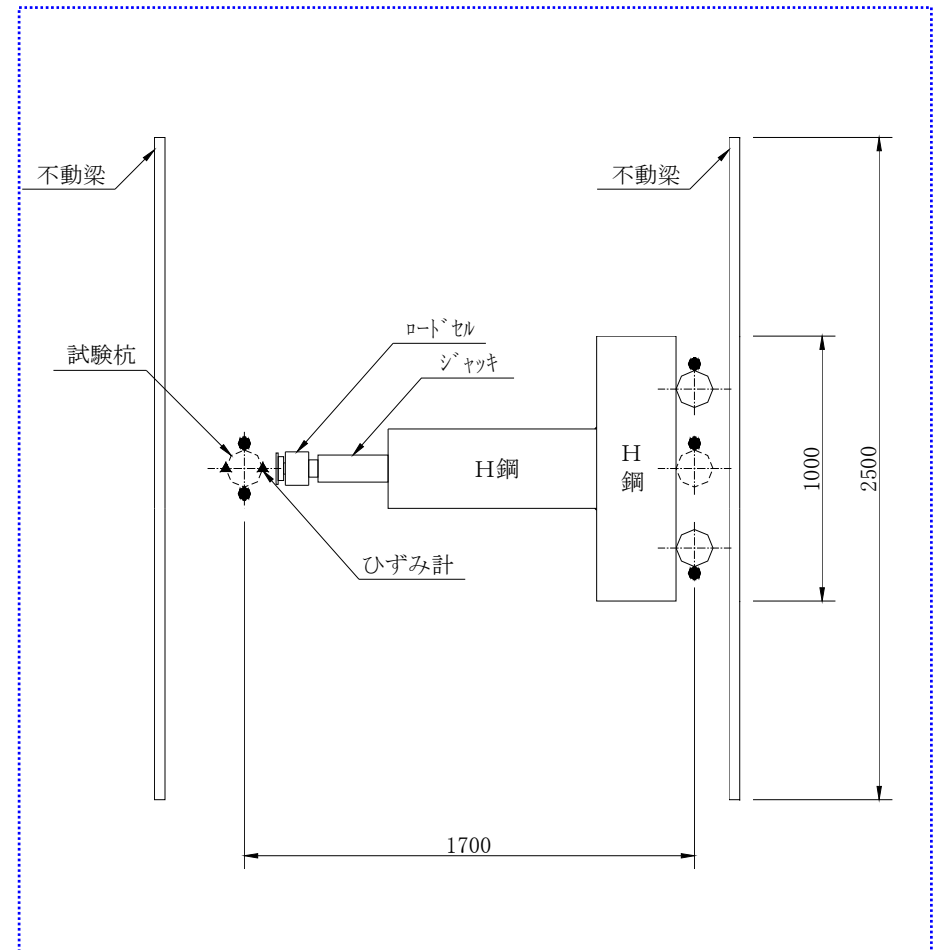


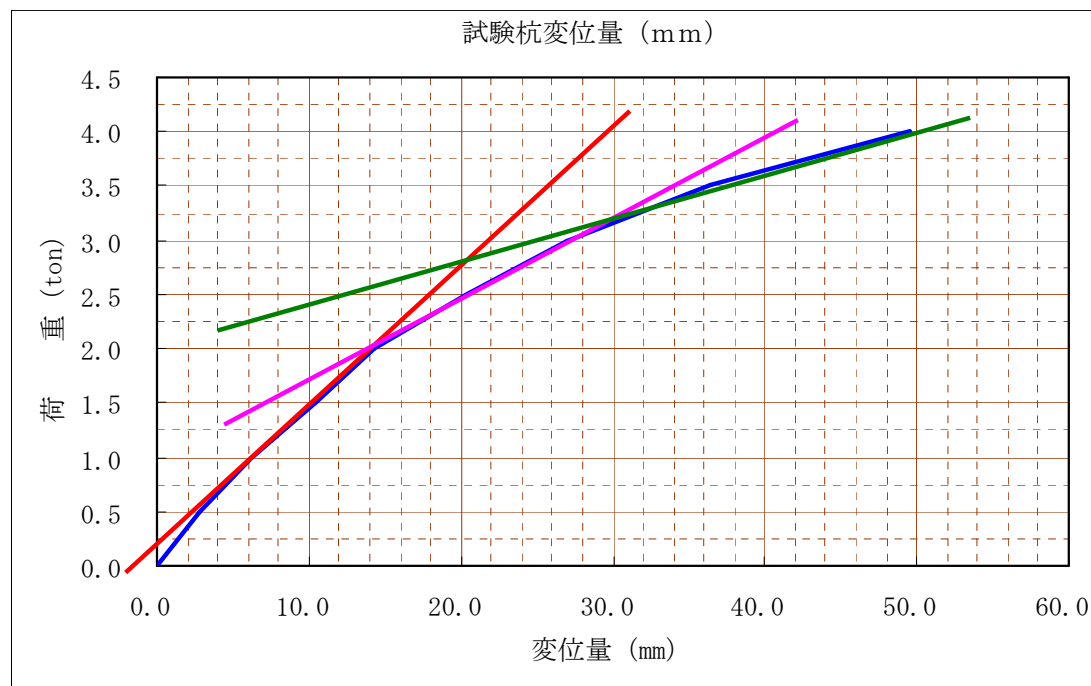
図-3 断面図

熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑮

水平載荷試験—2

各処女荷重保持時間5分の測定結果一覧表

	荷重 (ton)	時刻	経過時間 (min)	試験杭変位(mm)		平均	反力杭変位(mm)		
				変位計①	変位計②		変位計①	変位計②	変位計③
連続式 載荷	0.0	10:48	0	0	0	0.0	0	0	0
	0.5	10:54	5	2.8	2.8	2.8	1.9	1.9	2.3
	1.0	11:00	5	6.2	6.2	6.2	4.2	4.1	4.9
	1.5	11:06	5	10.5	10.5	10.5	6.6	6.4	7.5
	2.0	11:12	5	14.4	14.3	14.4	8.5	8.0	9.2
	2.5	11:18	5	20.4	20.2	20.3	10.9	10.1	11.5
	3.0	11:24	5	27.2	26.8	27.0	13.1	12.0	13.7
	3.5	11:30	5	36.8	36.1	36.5	15.6	14.2	16.0
	4.0	11:51	5	49.8	49.4	49.6	17.4	15.4	17.3



熱交換兼用支持杭の強度試験結果⑮

水平載荷試験一3

水平載荷試験は、単純に水平耐力を導き出す試験を行った場合
図1-4のように幾つかの折点が出現して極限に到る。

本試験では、幾つかの折点は出現したが、極限荷重には到って
おらず、本杭は水平耐力も設計値を満足する結果になった。