

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1304 March 2015

埋設鋼管杭の変形計測システムの開発

松本さゆり
平林 丈嗣
田中 敏成
白井 一洋
吉江 宗生
水谷 崇亮
片倉 景義

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 超音波式側壁測定装置の適用検討.....	4
2.1 超音波式側壁測定装置.....	4
2.2 現地計測事例	6
2.3 改善案	10
3. 傾斜の大きい埋設鋼管杭および斜杭への対応.....	11
3.1 カスタマイズの提案.....	11
3.2 計測台車及びウインチ部.....	12
3.3 ログ記録アプリケーション.....	14
3.4 内壁接触台車に関する計測精度試験	14
3.5 現地計測事例	18
3.6 まとめ	20
4. 超音波計測の精度向上に関する検討.....	21
4.1 精密計測方法の提案	21
4.2 室内水槽での超音波の精密計測.....	22
4.3 現地計測事例	24
4.4 まとめ	30
5. データ処理ソフト関連	30
5.1 傾斜及び管口径の図化ソフト.....	30
5.2 放電紙記録データ読取ソフトImageReader	31
6. おわりに	35
参考文献	35
記号表	35

Development of Measuring System for Buried Steel Pipe Pile Deformation

Sayuri MATSUMOTO*
Taketsugu HIRABAYASHI**
Toshinari TANAKA**
Kazuhiro SHIRAI**
Muneo YOSHIE***
Takaaki MIZUTANI****
Kageyoshi KATAKURA*****

Synopsis

Deformation of buried steel pipe piles by a disaster or change over time etc. may effect the bearing strength of a structure, so it is important to correctly clarify such deformation. An attempt was made to apply an ultrasonic sidewall measuring device, the Drilling Monitor (DM-604) from KODEN. The DM-604, which is device used for pre-pile driving inspections of holes bored for foundation piles of high-rise buildings etc., confirms the inclination of boreholes. As its ultrasonic sensor is lowered and raised inside a borehole filled with water, it measures the distance from the ultrasonic sensor to the inside wall at the same time as it records this distance on electrically-sensitive recording paper, confirming the inclination of the borehole.

With the conventional method of using an ultrasonic sidewall measuring device, it is possible to measure section deformation of a buried steel pipe pile if it is only slightly inclined, but it has been confirmed that when a buried steel pipe pile is extremely inclined, or when the pile is a batter pile, an inappropriate situation occurs: the ultrasonic sensor contacts the pipe wall as it rotates. So a new method—installing an ultrasonic sensor and gyro on a carrier and inserting it into the inside of a buried steel pipe pile—was proposed, it has been shown that it can be used to measure inclination and unevenness of the surface. The results revealed that it is necessary to understand section shapes such as those of buried steel pipe piles in greater detail, so by directly recording and analyzing signals received from an internal circuit board of the ultrasonic sidewall measurement device, more precise measurements are done, obtaining generally good results. This improvement successfully boosted the nominal precision of the DM-604 from 2% to 0.5%. And an analysis use application needed for these measurements has been manufactured, so a document will be complied concerning these.

Key Words: buried steel pipe pile, soundness inspection, deformation, inclination, section shape, ultrasonic sidewall measurement device.

* Head of Group, and **Senior researcher, Sensing and System Technology Group, New Technology Development Field
*** Research Planning Director, **** Head of Group, Foundations Group, Geotechnical Engineering Field, *****
Visiting Senior Researcher
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5062 Fax : +81-46-844-0575 e-mail:matsumoto-s@pari.go.jp

埋設鋼管杭の変状計測システムの開発

松本 さゆり*・平林 丈嗣**・田中 敏成**・白井一洋**・吉江 宗生***
水谷 崇亮****・片倉 景義*****

要 旨

災害や経年変化等による埋設鋼管杭の変形は、構造物の耐力に影響を及ぼす可能性があるため、正確に取得することが重要である。既存の方法として、挿入式傾斜計（Borehole Inclinator）により鋼管杭の傾斜を定期的にモニタする方法がある。これは施工時に鋼管杭の内壁に計測用のガイド管を設けておく必要があり、ガイド管の設置がない埋設鋼管杭ではその傾斜を適切に測ることは難しい。また、埋設鋼管杭の健全度を調査するために、傾斜と断面形状を取得することは有用と考えられたが、その様な方法は存在せず、新たな開発が望まれた。

初めに、超音波式側壁測定装置（KODEN社製、DM-604）の適用を試みた。超音波式側壁測定装置は高層ビル等の基礎杭用掘削孔の打設前検査に用いられ、掘削孔の鉛直度を確認する装置である。これは、水を満たした掘削孔で超音波センサを下降または上昇させ、超音波センサから内壁までの距離を計測すると同時に放電記録紙に記録し、掘削孔の鉛直度を確認するものである。従来の超音波式側壁測定装置の使用方法では、埋設鋼管杭の傾斜がわずかな場合は断面形状の計測が可能であったが、埋設鋼管杭の傾斜が大きい場合や斜杭の場合には超音波センサが管壁に接触し回転してしまう不適な状況を確認した。

次に、超音波センサとジャイロを台車に搭載して埋設鋼管杭内に挿入する方法を提案し、傾斜と表面の凹凸の計測が可能であることを示した。これらの結果を基に、埋設鋼管杭内のより詳細な断面形状が必要と分かったので、超音波式側壁測定装置の内部基盤より受信信号を直接収録して解析する方法にて精密計測を行い、おおむね良好な成果を得た。本改良により、超音波式側壁測定装置の公称精度2%から0.5%程度へ向上させることができた。また、これらの計測に必要な解析用アプリケーションを作成したので、それらについても資料としてまとめておく。

キーワード：埋設鋼管杭、健全度調査、変形、傾斜、断面形状、超音波式側壁測定装置

* 新技術研究開発領域計測・システム研究チーム チームリーダー

** 新技術研究開発領域計測・システム研究チーム 主任研究官

*** 研究計画官

**** 地盤研究領域基礎工研究チーム チームリーダー

***** 客員研究官

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所

電話：046-844-5062 Fax：046-844-0575

e-mail: matsumoto-s@pari.go.jp

1. まえがき

2012年3月11日の東日本大震災により、港湾の荷役施設は多くの被害を受けた。多くの被災施設の中で、あるコンテナターミナルのガントリークレーンのレールの基礎が移動し、脱線などによる被害があった。対象のレールの基礎部分は地中で鋼管杭により支持されており、これを修復しない限りはガントリークレーンを使用できないため、復旧が急がれていた。レール部分の構造を一部撤去し、地表での埋設鋼管杭の位置を測量したところ、最大で約50cm海側へ移動しているというものであった。



写真-1.1 挿入型傾斜計用ガイド管



写真-1.2 管壁への接触状況

ここで、鋼管杭の変形のうち傾斜を計測する方法として、挿入型傾斜計がある。これは、傾斜計を挿入するガイド管として、角パイプなどを付帯工事としてあらかじめ設置しておく、経年などによる変位量を計測するものである。しかしながら、計測対象となった鋼管杭には既設ガイド管はなく、即席で仮設ガイドを設け、挿入型傾斜計をそれに沿わせて傾きを計測する方法が試された。ガイド管は3m毎に張り出し機構付きのエクステンションで延長され（写真-1.1）、鋼管杭に挿入された（写真-1.2）。途中、ガイド管がうまく挿入できない場合には、ガイド管上部をパワーショベルで押し込んで設置された。この方法で得られた結果は概ねの傾斜傾向を得ることはできたが、ある深度で急激な曲がりを取得しており、ガイド管設置時にパワーショベルで押し込むなどの過程から、ガイド管やそのジョイント部に曲がりを生じさせ、それを併せ持つ傾斜を取得した可能性があると考えられた。

そこで、土木的検討のために、杭が深度方向にどのような曲がりや変形を生じているか、その詳細を把握し、杭の健全度評価を行うため、変形状態を把握する効果的なセンシング手法として、超音波、光学ビデオカメラ、傾斜計等を組み合わせた計測装置を製作し、鋼管杭内に挿入して各種データを取得し、鋼管杭の健全度を評価する手法を検討したので報告する。

2. 超音波式側壁測定装置の適用検討

本章では、傾斜のある埋設鋼管杭に対して、超音波式側壁測定装置及び光学ビデオカメラのみを用いて計測を行い、健全度評価の適用性について検討する。

2.1 超音波式側壁測定装置

超音波式側壁測定装置は、高層ビル等大型建造物の基礎杭のため、掘削した孔壁の鉛直性を計測し、即時表示するものである。大深度測定を可能とし、高濃度の泥水や安定液の中でも鮮明な記録が可能である。高層ビル等の建設では約40年に亘る使用実績があり、信頼度も十分である。

この装置は、記録機（制御・記録）とウインチ部から成る（図-2.1）。掘削孔の上にウインチ部を設置し、記録機とケーブル接続する。図-2.1 下図に示すとおり、ウインチを介してワイヤを繰り出ししながら、センサユニットを昇降させる。センサユニット内には超音波トランスデューサを備えている。図中の丸窓から超音波を発し、管壁までの往復時間から、センサと内壁との距離を得る。深度はワイヤの繰り出し量より取得する。尚、センサユニットは上部に位置するハンガ機構で二点吊りとなっており、昇降時に回転

は起こらない。これらの計測時の様子を図-2.2に示す。計測記録は図-2.3に示すように、放電記録紙にリアルタイムに表示される。計測中心をセンサユニット中心として、DM-602はX軸上で正対する2方向、DM-604はX及びY軸上でそれぞれ正対する4方向の各深度の管壁の位置を記録する。



掘削孔の上にセットされたウインチ(左)
ケーブル接続された記録機(右)

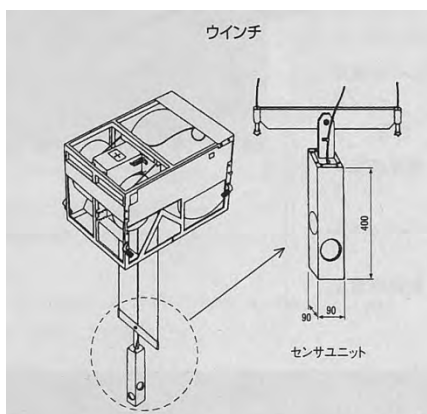
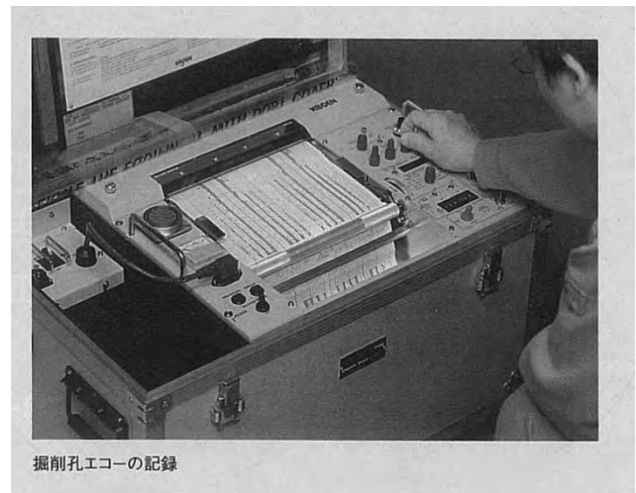


図-2.1 超音波式側壁測定装置
出典 光電製作所カタログ

また、コントローラ本体にはRS-232Cの出力端子が搭載されている。これは、放電記録紙に記録される側壁記録のうち、ひとつの深度に対して側壁方向の最短距離1点を電子データとして出力する。しかしながら、放電記録紙上では側壁記録の他にノイズも表示されており、ノイズが最短記録として電子出力されるケースが多々ある。紙面上では人の判断によりノイズは除外して読み取ることができるが、電子データだけを用いて側壁を人的に判断するのは難しく、RS-232Cの電子出力の活用事例は報告されていない。3～

5章にて電子出力の検討について記述したので参照されたい。



掘削孔エコーの記録

図-2.2 掘削孔エコーの記録の様子
出典 光電製作所カタログ

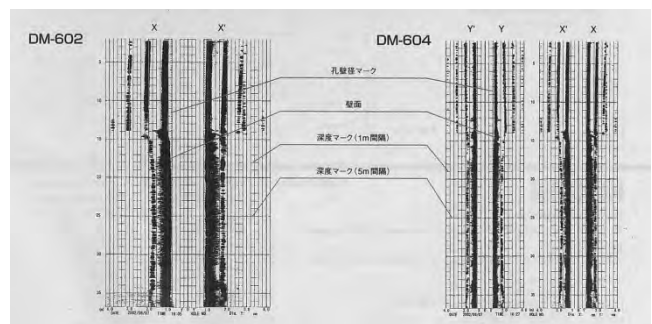


図-2.3 孔壁の記録例
出典 光電製作所カタログ

主要性能は表-2.1の通りである。適用範囲、すなわちセンサユニットから計測対象までの距離は、測定レンジとして示されており、対象杭の半径に相当する。公称精度は測定レンジ±2%以内である。本機器は孔壁が垂直であることを検査するシステムであるため、管壁までの距離精度は追及されておらず、より高い精度を要する場合は4章を参照のこと。尚、詳細明示はないが、本装置は全てアナログで製作されている。

表-2.1 主要性能
出典 光電製作所カタログ

主要性能		
●記録機		
測定方式	超音波パルス方式	
記録方式	DM-602 ベルトによる直線記録方式、2方向(X-X'、Y-Y')切り換え測定	
	DM-604 ベルトによる直線記録方式、4方向(X、X'、Y、Y')同時測定	
記録紙	放電記録紙 250 mm×20 m (DMP-250)	
測定レンジ(半径)	0.5 m 1.0 m 2.0 m 4.0 m	
シフト	0% 0 ~ 0.5 m 0 ~ 1.0 m 0 ~ 2.0 m 0 ~ 4.0 m	
	50% 0.25 ~ 0.75 m 0.5 ~ 1.5 m 1.0 ~ 3.0 m 2.0 ~ 6.0 m	
	100% 0.5 ~ 1.0 m 1.0 ~ 2.0 m 2.0 ~ 4.0 m 4.0 ~ 8.0 m	
紙送り	定速送り 7.5 mm/分、15 mm/分、30 mm/分、60 mm/分	
送り	深度比例 1/40 25 mm/センサユニットの昇降長 1 m	
速度	1/50 20 mm/センサユニットの昇降長 1 m	
	1/100 10 mm/センサユニットの昇降長 1 m	
	1/200 5 mm/センサユニットの昇降長 1 m	
測定精度	±2% (測定レンジ)	
深度マーク	1 mごとにマーク印字、5 mごとに数字で自動印字	
データ出力	RS 232Cシリアルデータ (内部ケーブルはオプション)	
電源保護回路	ノンヒューズブレーカ (2 A、8 A)、漏電ブレーカ (20 A)、過電圧保護回路内蔵	
電源	AC 100 V、50/60 Hz AC 110 V、50/60 Hz AC 220 V、50/60 Hz AC 440 V、50/60 Hz	
消費電力(代表値)	約500 VA 約700 VA 約700 VA 約700 VA	
使用温度範囲	-10℃ ~ +50℃	
●ウインチ		
昇降速度	0~20 m/分 (記録機側で連続可変)	
昇降長	100 m (最大)	
蓋底と格納の検出	リミットスイッチによる自動検出	
使用温度範囲	-10℃ ~ +50℃	
●標準構成		
記録機	DMR-602 (DM-602) アルミケースに収納	47 kg
	DMR-604 (DM-604) アルミケースに収納	47 kg
トランスユニット	DMT-000 AC 100 V電源用、アルミケースに収納	10 kg
	DMT-001 AC 110 V電源用、アルミケースに収納	10 kg
	DMT-002 AC 220 V電源用、アルミケースに収納	10 kg
	DMT-003 AC 440 V電源用、アルミケースに収納	12 kg
ウインチ	DMW-001A (DM-602) センサユニット、センサケーブル付き	121 kg
	DMW-002A (DM-604) センサユニット、センサケーブル付き	121 kg
接続ケーブル	CW-558 両端15ピンコネクタ付き	10 m
AC電源ケーブル	CW-71 片端3ピンコネクタ付き/片端未処理	10 m
予備品	アルミケースに収納、予備品表参照	1式
取扱説明書	DM-602/604共用	1
操作手順	DM-602用	1
	DM-604用	1
●予備品(消耗品)		
記録紙	DMP-250 250×20 mm (A3-560)	2
記録針	DMS-001 ビニール袋入り	2
通電針	DMS-002 ビニール袋入り	2
●オプション		
RS-232C出力ポート	CW-384	出力コネクタ: D-Sub 25ピン

2.2 現地計測事例

計測はひたちなか北埠頭12 m岸壁のクレーン基礎杭 (図-2.4) を対象に、2011年8月23日~25日に実施した。南は海側、北は山側測、東西は法線方向である。計測対象の杭は、No.16ケーソン東より2本目、直径90 cm、杭長約20 mであった。計測に際しては、管口上部まで海水で満たした。尚、事前情報として、測量により杭頭位置が南側に数十 cm移動していると分かっていた。当日の天候はそれぞれ、23日くもり、24日くもりのち雨のち晴れ、25日くもりであった。使用機器は、超音波式側壁測定装置 (光電製作所、DM-602)、光学ビデオカメラ (SONY) である。計測時、管内の水は濁っており、目視では内部の様子は確認できなかった。ここでは超音波式側壁測定装置は、X軸上で正対する2方向を計測するDM-604の用意が間に合わず、DM-602を使用した。

図-2.5は、計測時のセンサユニット中心位置である。(a)は断面図、(b)は平面図である。この計測系では、Z軸が重力方向である。垂直な杭の場合、杭の中心にセンサユニットを設置して計測を行うが、杭が傾斜しているため、センサユニ

ットを真っ直ぐ降ろしてゆくと、管壁に接触する可能性が高いことが予想された。そこで、センサユニットの位置を4つの条件として計測を行った。また、X (またはY) 軸方向の計測した後、ウインチ部を水平面内で45度回転させて設置し直すことでY (またはX) 軸方向の計測を行った。

ここでは以下の4条件で、計測を行った。

【条件1】 X軸を南北方向、Y軸をXの方向に290 mmシフトさせて設置

【条件2】 条件1を北東方向へ45度回転させて設置

【条件3】 X軸を南北方向、Y軸をXの方向に110 mmシフトさせて、北西方向へ45度回転させて設置

【条件4】 X軸を南北方向、北東方向へ45度回転させて設置

この計測では、放電記録紙への記録のみを取得した。放電記録紙上の側壁位置判定は手作業とし、読み取り値をグラフ化した。

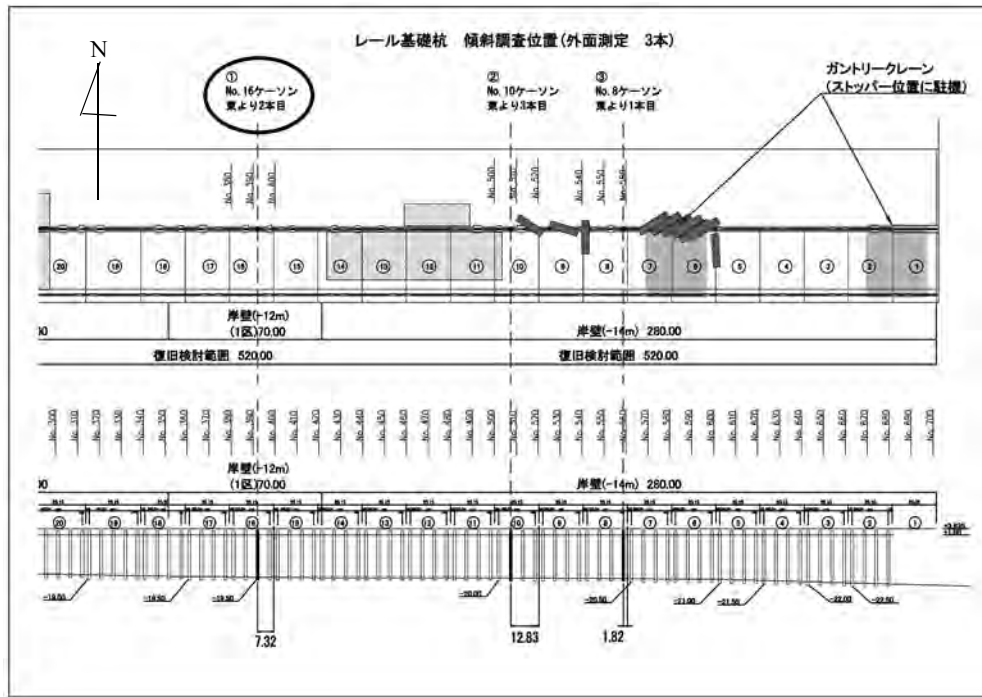


図-2.4 調査対象杭の場所（茨城県ひたちなか市の北埠頭 12 m 岸壁）
資料提供 関東地方整備局 横浜技術調査事務所

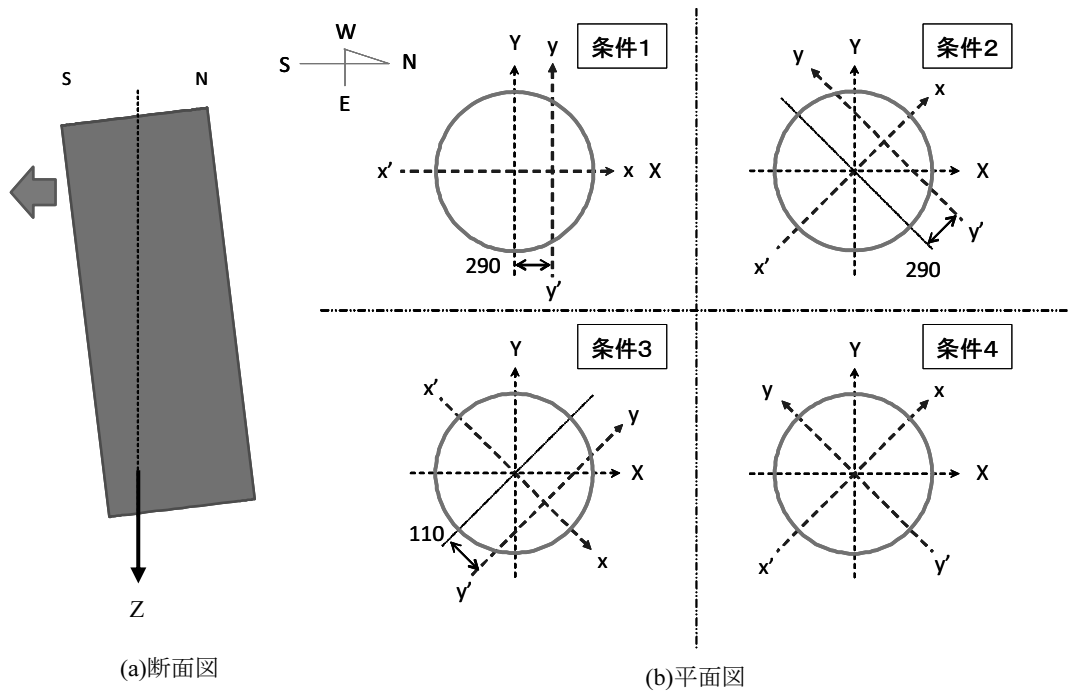


図-2.5 計測時のセンサ中心位置
単位 mm

A) 断面図

図-2.6に、条件1の断面図を示す。深度1~17 m付近までのデータを基に、東西方向、南北方向共に、折れや強い曲がりではなく、管口を基準位置とすると深度17 mまでの間に、東から西へ約12 cm、南から北へ約40 cm、緩やかな傾斜があることが確認された。ビデオ撮影にて、管壁に泥の付着が確認されたので、17 m以深のデータは示していない。

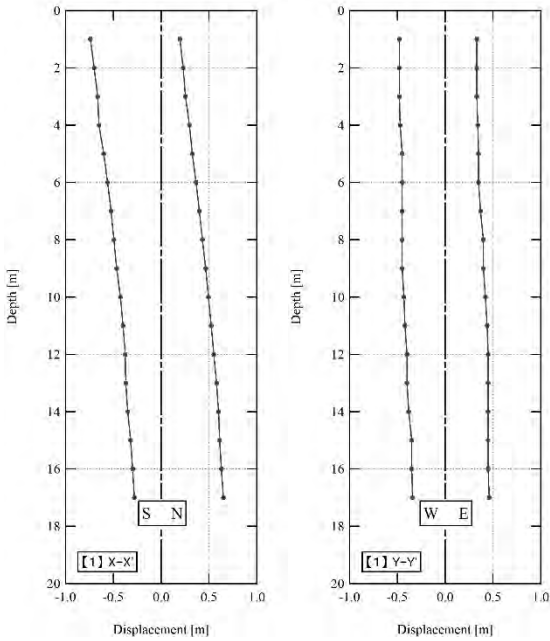


図-2.6 【条件1】の断面図

図-2.7~2.9に、条件2~条件4の断面図を順に示す。5 m以深では記録紙上の管壁位置が大きく歪んでおり、センサユニット上部のハンガと管壁との接触が考えられたので、管口から5 mまでのデータのみ記載した。

また、図-2.6~2.8では、各深度のY-Y'の間隔がX-X'に比してやや狭い。これは、図-2.5に示す通り、いずれもY軸をX寄りにシフトさせて設置していることと矛盾しない。

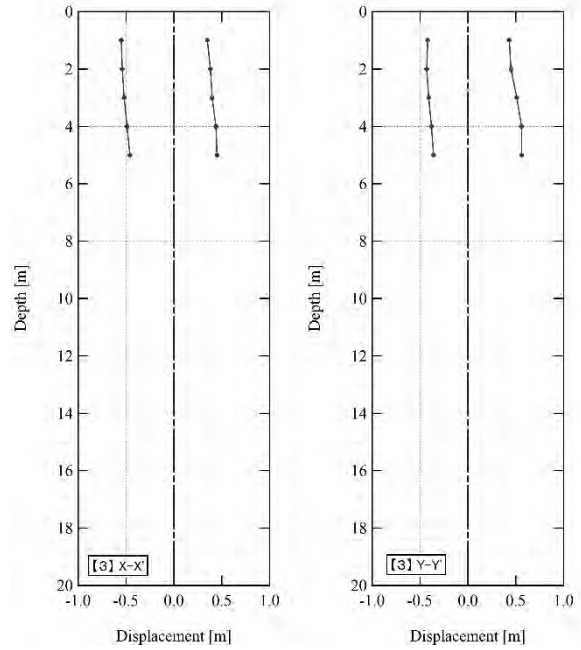


図-2.8 【条件3】の断面図

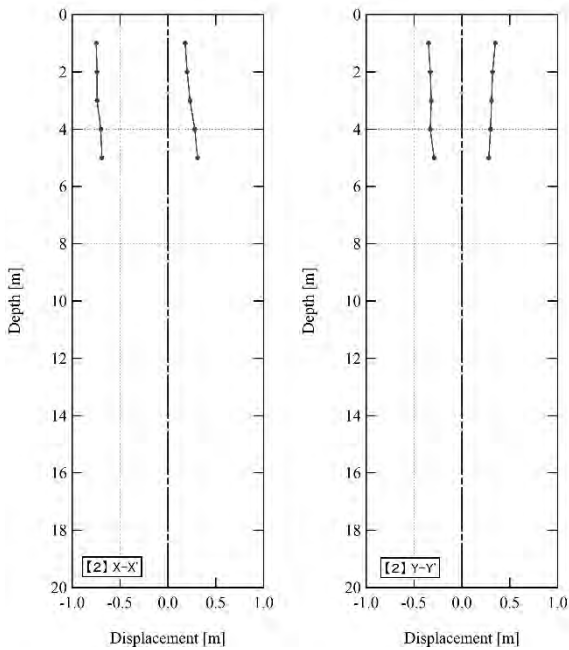


図-2.7 【条件2】の断面図

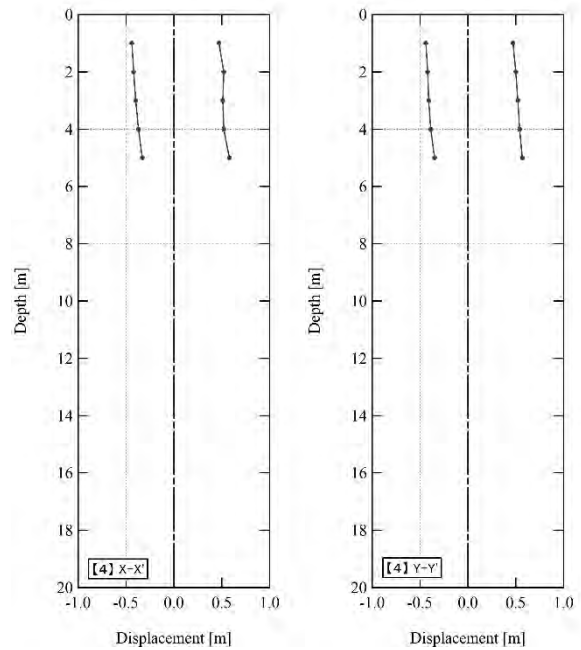


図-2.9 【条件4】の断面図

B) 平面図

深度が管口から 5 m の範囲では、条件 1 より条件 4 を合わせると、各深度において 8 点以上の超音波センサから側壁までの距離を取得できた。そこで、管口から 5 m までの平面図の描画を試みた (図-2.10)。これらより、詳細な検討はしていないが、計測対象となった鋼管杭においては、各深度の平面形状は概ね円形が保たれているようである。

また、6 m 以深は、各深度の超音波センサから側壁までの距離を取得できたのは、A で述べた通り条件 1 のみである。これより、各深度の超音波センサから側壁までの距離は 4 点のみとなり、平面形状の確認には至らなかった。

以上より、より詳細な平面形状を知るためには、鋼管杭の内周をより多くの計測点を取得して描画する必要があると分かった。

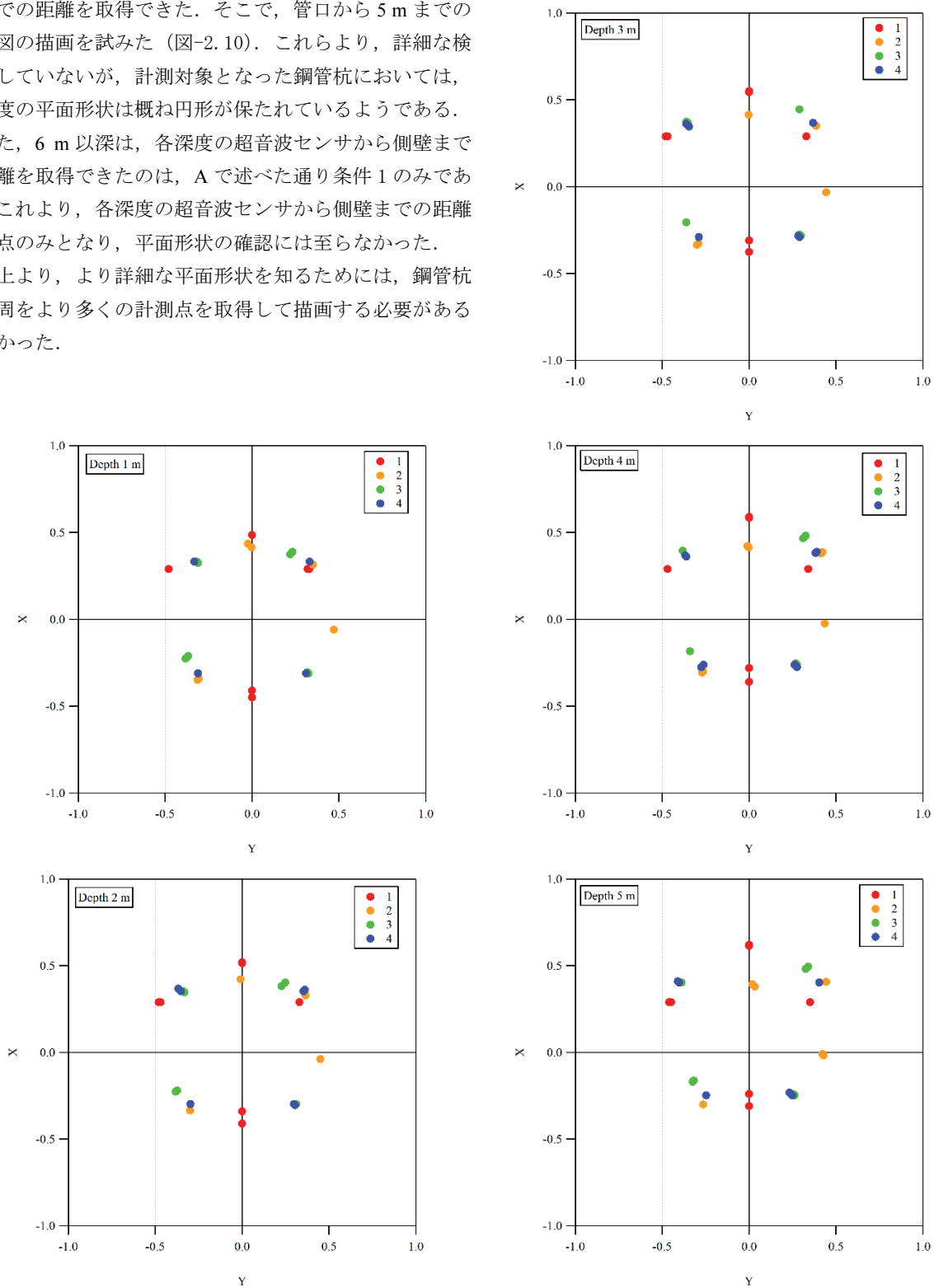


図-2.10 管口から深度 5 m までの杭の平面図

2.3 改善案

超音波式側壁測定装置を使用した埋設鋼管杭の変形計測について、まとめる。

当該装置はワイヤで吊り下げた超音波センサユニット（距離計）を電動ウインチで昇降させ、孔内の各深度における超音波センサユニットから側壁までの距離を計測し、そのプロフィールを示すものである。通常、この超音波センサユニットはワイヤで吊下することで鉛直に保たれているが、側壁に接触すると鉛直が担保されず計測不能となる。

今回計測した鋼管杭は、事前の測量及び計測により、大きな屈曲がなく、緩やかに傾いているのみと想定された。そのため、通常は管口での円の中心に超音波センサユニットを設置するところを、管壁との接触を避ける方向にシフトさせ、管壁との接触を避けられた範囲では、鋼管杭の傾きを示す断面図を取得できた。また、超音波センサユニットの向きを水平面で 45 度回転するようウインチ部を設置することで、同一深度内の計測点数を増やし、深度が管口から 5 m までの範囲では離散的ではあるが平面図を得る事が出来た。以上より、超音波式側壁測定装置を用いて、埋設鋼管杭の傾きを示す断面図、形状確認のための平面図の取得は可能であり、一工夫すれば適用は可能であると考えられた。

改善すべき点は以下の三点である。

一つ目は、超音波センサユニットの位置をシフトさせるのみで管壁との接触をかわすことが不可能なほどに鋼管の傾斜や屈曲が大きい場合あるいは斜杭に適用させるため、鋼管杭の内壁に沿って移動する台車を製作し、これに超音波センサユニット及び FOG 姿勢計測装置 (FOG; Fiber Optic Gyro の略、光ファイバー式ジャイロ) を搭載し、各深度の超音波センサユニットから側壁までの距離及び傾斜を計測する方法を提案する。この方法については、3 章で述べる。

二つ目は、超音波式側壁測定装置の出力は放電式紙記録のみである。概査の場合は計測と同時に紙録紙も残り、大変便利である。しかし、記録紙の読み取りは人的作業である。このため、グラフ等を作成するのに時間を要し、深度方向の読み取りピッチの粗さ、読み取りに人為誤差を含む可能性も問題点としてあげられた。これについては、超音波式側壁測定装置に標準装備されている外部出力端子 RS-232C を使用して、電子データ出力の利用を試み、前述の計測台車の導入と併せて 3 章に示す。また、精度よりも応急的な対応が優先される場合に備え、放電式紙記録からデジタルデータに変換する読み取りソフトを作成したので、5 章を参照されたい。

三つ目は、ウインチ部の設置である。計測時の原点となる超音波センサユニット位置や向きは、ウインチの設置位置にて調整を行った。簡単な方法ではあるが、ウインチ部は 121 kg の重量物であり、位置や角度（水平方位）を正確に設置することは難しい。各深度の平面図を作成する際に、複数の計測データを重ね合わせなければならないが、設置時の位置あるいは向きの誤差も含むこととなる。現場作業では、ウインチ部の位置や角度（水平方位）を正確に設置するためのガイド等があれば望ましい。ニーズがあれば検討したいと考える。

3. 傾斜の大きい埋設鋼管杭および斜杭への対応

前章では、超音波式側壁測定装置を用いた埋設鋼管杭への適用について述べた。改善案のひとつとして挙げた、鋼管の傾斜や屈曲が大きい場合あるいは斜杭に適用させるため、鋼管杭の傾斜に沿って移動する台車を製作し、これに超音波センサユニットとFOG姿勢計測装置を搭載し、各深度の超音波センサユニットから側壁までの距離及び傾斜を計測する方法について述べる。

3.1 カスタマイズの提案

鋼管杭の傾斜や屈曲が大きい場合あるいは斜杭に対応させるため、超音波センサユニットのハンガ部にFOG姿勢計測装置を搭載した計測台車を取り付け、鋼管杭の内壁に沿って走行させる。FOG姿勢計測の出力から鋼管杭の傾斜プロフィール、超音波センサユニットの出力から側壁の凹凸を計測する方法を提案した。

計測台車に搭載したFOG姿勢計測装置(図-3.1)は、光ファイバー式ジャイロと加速度計を使用したストラップダウン型(センサ部が機器とともに傾斜する形式)の三軸姿勢角センサであり、三軸周りの傾斜(姿勢角)とその角速度、三軸方向の加速度を同時に計測可能である。各センサの計測精度は表3-1に示す。ここでは鋼管杭の傾斜状況を計測するため、姿勢角計測機能のみを利用することとした。また、超音波式側壁測定装置に既設の超音波センサユニット(距離計)はそのまま残してあり、センサユニットから側壁までの距離が計測可能である。ここでは、センサユニットの鉛直が担保されないため、そのデータは鋼管杭側壁の表面の凹凸を見るために用いることとした

図-3.2に計測作業の模式図を示す。計測台車の上下に配置したローラが常に内壁に接触して走行することで、台車は鋼管杭の傾斜に追従する。計測台車の追従性及び計測精度については3.3で検討したので参照されたい。



図-3.1 FOG 姿勢計測装置 JCS-7402-A
(日本航空電子工業株式会社製)
(<http://www.jae.co.jp/product/koki/gyro.html>)

表-3.1 FOG 姿勢計測装置 (JOC-7402A) の仕様性能

	測定範囲	分解能	精度
ロール角	± 45°	± 0.1° 以下	± 0.15° <2° /min>
ピッチ角	± 45°	± 0.1° 以下	± 0.15° <2° /min>
方位角	± 180°	± 0.1° 以下	±(1% of 入力各 + 2° /min)
X加速度	± 19.6 m/s ²	0.1 m/s ² 以下	± 0.5 m/s ²
Y加速度	± 19.6 m/s ²	0.1 m/s ² 以下	± 0.5 m/s ²
Z加速度	± 19.6 m/s ²	0.1 m/s ² 以下	± 0.5 m/s ²
X角速度	± 100° /s	0.1° /s以下	± 5° /s
Y角速度	± 100° /s	0.1° /s以下	± 5° /s
Z角速度	± 100° /s	0.1° /s以下	± 5° /s

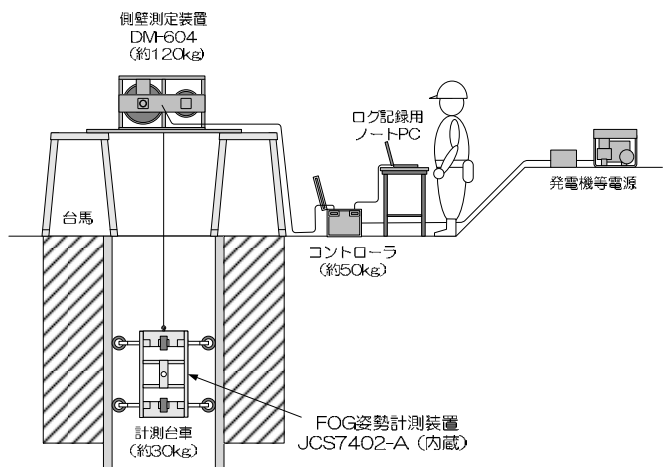


図-3.2 計測作業の模式図

FOG 姿勢計測装置で計測した傾斜角 (θ) の他、計測台車の移動量 (ΔL) をウインチの繰り出し量から計測すれば、平面上の変位量 (ΔX) を以下の式から得る。

$$\Delta X = \sin \theta \cdot \Delta L \quad (1)$$

この ΔX の値を積分したものと台車の降下量との関係を図化することで、鋼管杭の曲がりやを計測することが可能となる。

3.2 ログ記録アプリケーション

図-3.2 を実現するための機器接続系統図を図-3.3 に示す。FOG 姿勢計測装置の出力（傾斜），光学式エンコーダの出力（深度），超音波式側壁測定装置の RS-232C 電子出力（深度，超音波センサユニットから側壁までの距離）を，それぞれ USB を介してノート PC に入力し，ログ記録アプリケーションにて記録した。



図-3.3 機器の接続系統図（電源系統を除く）

アプリケーションを起動するとダイアログ（図 3-4）が開かれるので，ログを記録する機器（ここでは画面上の「Gyro（FOG 姿勢計測装置）」，「Counter（エンコーダ）」，「DM（ウインチ）」のそれぞれの COM ポートを選択し，

それらとの通信接続を確立する。FOG 姿勢計測装置の電源投入直後は自動でキャリブレーションを開始するため「Gyro」の「Status」の「MODE」が 1 と表示される。通常，数分でキャリブレーションは完了し，「Status」の「MODE」が 0 に切り替わって計測可能な状態となる。計測ログの記録開始と終了は，ログ記録用アプリケーション上のボタン操作で行う。左下のボックスで csv 形式のログファイル名を設定した後，「計測開始」ボタンを押すとログの記録を開始し，「計測終了」ボタンを押すとログの記録を停止する。なお，「計測開始」ボタンと「計測終了」ボタンは同一であり，ボタン上の表示がトグルで切り替わる。

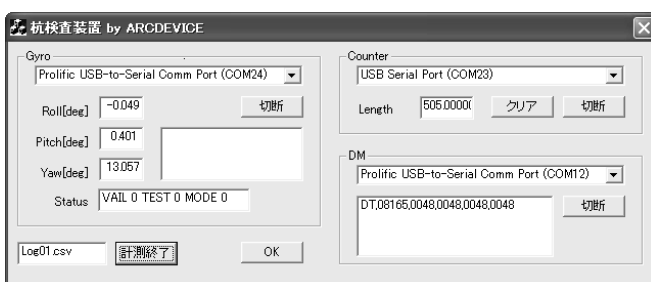


図-3.4 ログ記録アプリケーション

3.3 計測台車及びウインチ部

3.3.1 計測台車

図-3.5に計測台車を示す。計測台車には直径200 mmの固定式車輪4個とトレーリングアーム式のサスペンション付車輪4個で計8個の車輪が天板と底板に設置されている。車輪は計測対象に応じて120度ごと、あるいは90度ごとの放射状に設置することが可能であり、サスペンション付車輪を

固定式車輪に対向する位置に設置することで、固定車輪を管の内壁に押し付ける抗力を発生させることができる。また、管の内壁に多少の段差があってもサスペンションで対応可能であり、さらにサスペンションの設置方向はウインチの巻き上げ時に走行抵抗が小さくなるように設定した。

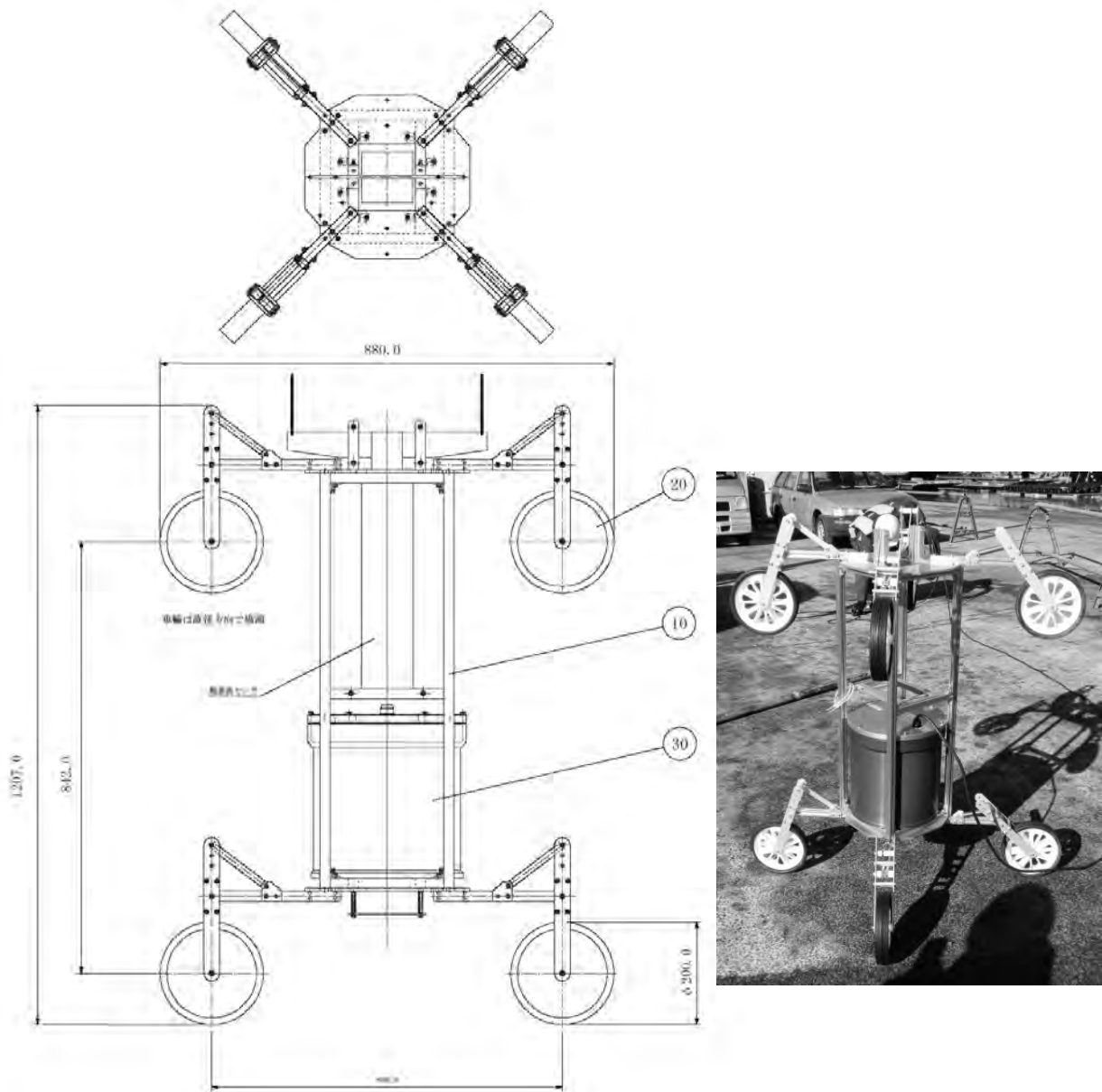


図-3.5 計測台車

3.3.2 ウインチ部の改良

前項で示した計測台車により当該装置で被災した直立埋設鋼管杭の傾斜計測が可能となる。しかしながら、より傾斜の大きな斜杭にこの中に台車を入れようとすると、ワイヤの繰り出し方向が大きく変化し、装置と干渉してしまう。そこで、ウインチのワイヤやケーブルをプーリーで中継し、任意の方向にワイヤとケーブルを繰り出せる斜杭対応用台枠(図-3.6)を製作しウインチ下部に設置した(写真-3.1)。尚、この台枠は必要に応じて容易に着脱が可能である。

また、深度方向の計測位置を正確に把握するため、1回転あたり2000カウントの光学式エンコーダをウインチ部に直接設置した。ウインチひと巻きが1600mmであるため、分解能0.8mmで深度方向の計測位置の特定が可能である。写真-3.2に斜杭対応用台枠とウインチ出力軸に取り付けた光学式エンコーダを示す。



写真-3.1 台枠のウインチへの設置状況



写真-3.2 光学式エンコーダ (COPAL 電子 RE30E)

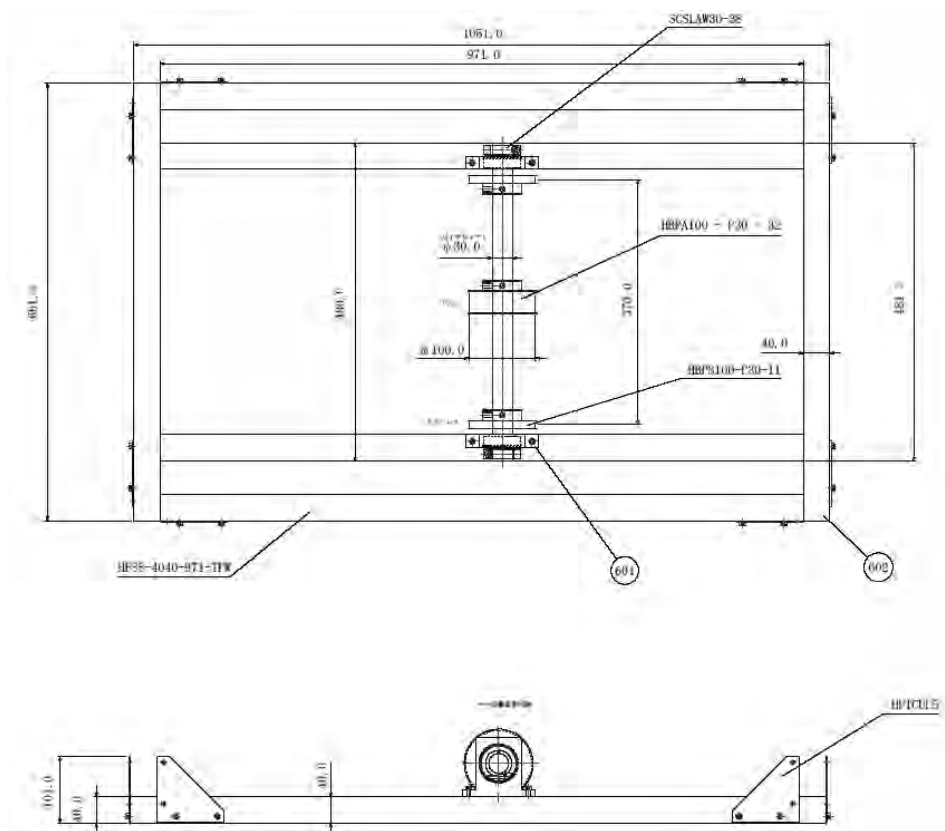


図-3.6 斜杭対応用台枠 (図面)

3.4 計測台車に関する計測精度試験

3.4.1 計測精度確認試験

計測台車用いた計測において、車輪は鋼管杭内壁に常に接触することを前提として、FOG 姿勢計測装置の姿勢角を計測することとなる。姿勢角は式(1)により変位に変換され、深度方向に沿って積分することで、変形を推測するものである。姿勢角は $\pm 0.15^\circ$ の誤差(表-3.1)をもつため、台車が断続的な微小降下(走行距離)をする場合には、鋼管杭内壁表面上の変位量を積分する回数が増え、傾斜計の持つ計測誤差も無視できない可能性がある。また、鋼管杭内壁表面には土や錆などが付着している場合も考えられ、それら付着物上を計測台車の車輪が通過すれば、付着物に起因する傾きも加わった傾斜角を得ると考えられた。

そこで、本方式による変位の計測誤差を確認するため、FOG 姿勢計測装置を一般的な荷台車上に固定したものを試験器として、陸上試験を実施した。ここでは鋼管杭の傾斜状況を計測するため、姿勢角計測機能のみを利用することとした。データ出力方式は RS-232C とし、USB 変換によりサンプリングレート 200Hz でノート型 PC に取り込み記録した。なお、電源は 24V バッテリーより供給した。



写真-3.5 アスファルト



写真-3.6 砂利

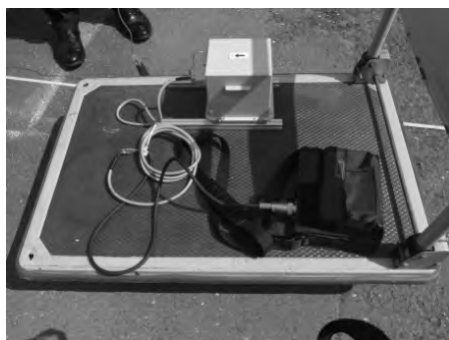


写真-3.3 計測試験器



写真-3.7 トータルステーション計測状況

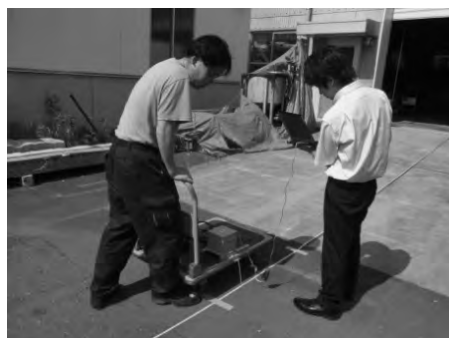


写真-3.4 スロープ

そこで、本方式による計測誤差を確認するため、FOG 姿勢計測装置を一般的な荷台車上に固定したものを試験器として、陸上試験を実施した。ここでは鋼管杭の傾斜状況を計測するため、姿勢角計測機能のみを利用することとした。データ出力方式は RS-232C とし、USB 変換によりサンプリングレート 200Hz でノート型 PC に取り込み記録した。なお、電源は 24V バッテリーより供給した。これらを、写真-3.3 に計測試験の写真を示す。計測対象はスロープ(写真-3.4)、アスファルト舗装路(写真-3.5)、砂利(写真-3.6)

とした。計測方法としては、計測対象面上に設置したメジャーに沿って台車を走行させ、10 cm おきに台車を停止させ、FOG 姿勢計測装置の姿勢角を約 3 秒間（約 600 計測点に相当）収録した（以降、ジャイロデータ）。比較のため、計測間隔を 1 m とした場合についても同様の計測を行った。尚、参考のため、トータルステーションで台車停止位置での計測試験器の高さも計測した（写真-3.7）。

また、ジャイロデータとしては、ある台車停止位置において取得した約 600 計測点のうちの任意の 1 点を採用した。これは、事前検討により、ジャイロデータの約 600 計測点のうち任意の 1 点の値と連続する 100 点の平均値とを比較をしたところ、1/100 桁まで数値が一致した。これより、ここで使用した FOG 姿勢計測装置は傾斜への追従性が高く、任意の 1 点で計測台車の傾斜を十分に計測可能と分かったためである。補足的内容ではあるが、計測台車を一定速度で動かすような、いわゆる連続計測においても適用可能であると言える。

結果を図-3.7～3.9 に示す。図はスロープ、アスファルト、砂利の順に示されており、各々台車の走行方向に対して台車を停止させて計測する間隔を 10 cm の場合と 1 m の場合のジャイロデータによる変位、トータルステーションを用いた場合の変位を示した。

3.4.2 計測精度確認試験結果

1) スロープ

路面のくぼみや折れは鋼管杭の屈曲、路面の細かい凹凸は鋼管杭内壁面の錆を想定し、スロープの計測場所を選定した。台車走行ルートの路面は、開始点はアスファルト、その先に水溜まりができる程度のくぼみ、走行距離約 5 m に上り傾斜のコンクリート路面（スロープ）がある。コンクリート表面は、滑り止めのため数 mm の凹凸がある。尚、アスファルト路面上には、固定されていない小石や砂などが存在した。

台車の走行方向に対して計測間隔を 10 cm とした場合、アスファルト面のくぼみ部分の幅は走行距離にして約 3 m に相当する。くぼみ部分の変位差が最大の箇所を比較すると、走行距離 3.0 m のとき、ジャイロデータでは -15 mm、トータルステーションによる値は -3 mm であり、くぼみ部分では最大 12 mm の差分が生じた。次に、走行距離約 5 m のアスファルトからコンクリートに変化する屈曲部分では、トータルステーションによる変位は 37 mm、ジャイロデータ 12 mm となり、ジャイロデータに 25 mm の遅延が見られるものの、概ねトータルステーションによる値に追従している。この部分のジャイロデータの遅延は、ジャイロデータそのものもつ誤差の他、用意した台車の前と後の車

輪間隔（以降、ホイールベース）600 mm に起因するものと考えられる。一般論ではあるが、計測台車の走行安定のためにはホイールベースは長ければ長いほど良いが、ホイールベースが長い台車の中心位置の軌跡は路面の局所的な凹凸（ピッチング方向の変位）には敏感でないことによる。

最後に、コンクリート面の上り傾斜においては、ジャイロデータはトータルステーションによる値に比して、前述の屈曲部では遅延は残るものの、いずれの結果もほぼ直線を示した。走行距離 6～10 m の間で、トータルステーションによる変位の微小凹凸を無視し、斜面の傾きだけを見ると、その差分は約 25 mm を維持している。これより、ジャイロデータを使用して、路面の傾斜を取得することは可能と考えられた。また、トータルステーションによる変位の微小凹凸はコンクリート路面上の数ミリ程度の凹凸を示しており、ジャイロデータではなめらかな直線となっている。これより、ここで使用した計測台車では、路面の数ミリ程度の凹凸は計測に影響しないとわかる。これは車輪の径よりも十分に小さな凹凸は捉えにくいとめと考えられた。

一方、台車の走行方向に対して計測間隔を 1 m とした場合、走行距離約 2 m のとき、トータルステーションによる変位は -3 mm、ジャイロデータによる値は 12 mm、差分としては 15 mm となった。以降、走行距離約 4 m までの間では、ジャイロデータによる変位はトータルステーションによる値に追従できず、その影響でくぼみ部分の変位が大きめに表示された。これより、計測間隔よりも小さな変位を取得することは難しく、短い走行距離間で屈曲したような変形を捉える場合には、計測間隔を短くする必要があるとわかる。屈曲が生じている区間内に 2 個以上の計測点があれば形状を把握できることによる。

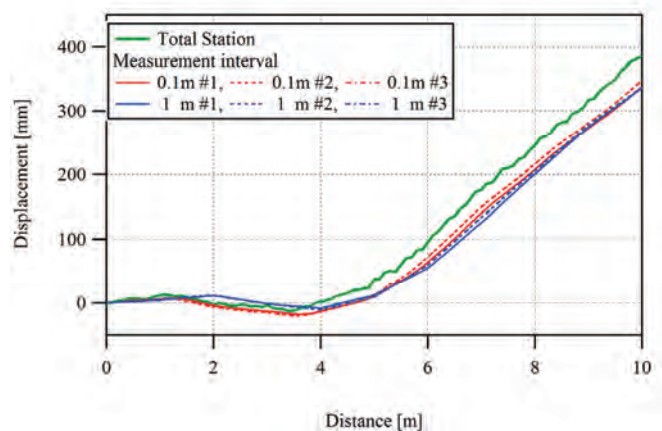


図-3.7 スロープの計測結果

また、走行距離 6~10 mの間では、計測間隔を 1 m とした場合の変位と、計測間隔を 10 cm とした場合のそれは概ね同じ値を示した。傾きがほぼ一定の路面であれば、計測間隔を 10 cm としてもホイールベースの影響がほぼ生じない。式(1)を使用した変位の計算は、取得した姿勢角が次の計測点まで継続すると仮定して積分を行うが、スロープの傾斜が一定ならば、この計算の考え方と合致することによる。

これらより、ここで使用した計測試験器でスロープを走行した場合、以下のことが分かった。

- ・路面上の数ミリ程度の凹凸は、ジャイロデータに影響しない。
- ・計測間隔が 10 cm とした方が路面形状に追従性が良い。変形の生じている区間内で、短い計測間隔として計測すれば、路面の変形を捉え易い。
- ・一定傾斜の路面では、計測間隔 1 m としたとしても路面形状の追従には問題がない。
- ・同一計測区間を比較したとき、計測間隔を小さくすると計測回数が増加し、それに伴って変位量の積分回数が増加することで誤差が増すが、これよりも前述の路面の形状と計測間隔の影響の方が大きい

2) アスファルト路面

地中に埋設された鋼管杭では、深度方向の土圧の違いにより、傾斜が徐々に変化する場合が考えられた。そのような場合を想定し、傾斜が連続的に緩やかに変化する路面を選定した。台車走行ルートは、開始点はアスファルト路面であり且つ上り傾斜があり、走行距離 3.2 m 付近にマンホールがあることで一旦傾斜が緩やかとなり、走行距離 4 m 以降で直線的な上り傾斜の後、走行距離 5 m 付近でやや大きめの曲率でコンクリート平面に移行する。

台車の走行方向に対して、計測間隔 10 cm としたジャイロによる変位はトータルステーションによる値と比較すると、マンホール付近を除いて概ね±10 mm に収まる値を示した。マンホール付近で傾斜が変化する箇所の幅は走行距離にして約 1 m に相当する。変位差が最大の箇所を比較すると、走行距離 3.5 m のとき、ジャイロデータでは 136 mm、トータルステーションによる値は 126 mm であり、差分 10 mm であった。このような短い計測区間で局所的な凸が存在する場合、ジャイロデータの遅延・前進はジャイロそのものも誤差の他、用意した台車のホイールベースに起因するものと考えられる。

また、マンホールを通過した走行距離 4 m 以降の変位は、トータルステーションの値とほぼ等しくなり、走行距離 10

m での最終的な差分は 11 mm であった。

一方、台車の走行方向に対して計測間隔を 1 m とした場合、トータルステーションによる値と比較すると、走行距離 1 m のとき、順に 67 mm、50 mm であった。以降、計測点毎に誤差を蓄積し、路面の傾斜変化に追従できず、走行距離 10 m での最終的な変位差は 40 mm となった。

これらより、ここで使用した計測試験器でアスファルト路面を走行した場合、以下のことが分かった。

- ・計測間隔が 10 cm とした方が路面形状に追従性が良い。変形の生じている区間内で、短い計測間隔として計測すれば、路面の変形を捉え易い。
- ・本計測で示した程度のゆるやかな斜面変化に対しては、十分に追従すると分かった。
- ・スロープの場合の検討と矛盾しない。

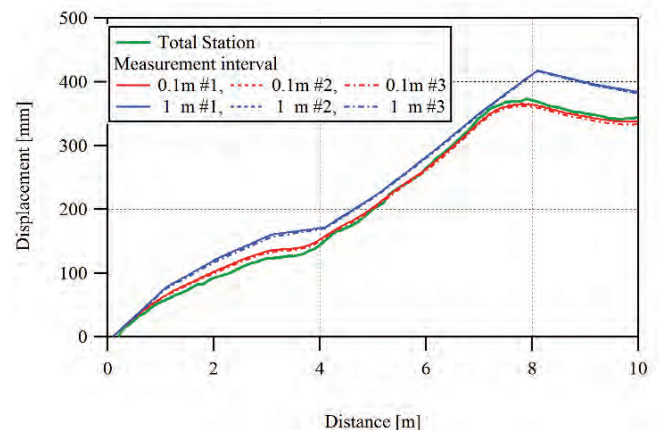


図-3.8 アスファルト路面の計測結果

ジャイロによる鋼管杭内壁面の傾斜計測について考える。全ての傾斜を曲がりと想定すると、ある曲率半径をもつ円弧の一部として置き換えることができる。つまり、緩やかな斜度の変化は曲率半径が大きく、急峻な斜度の変化は曲率半径が小さい。アスファルト路面でのトータルステーションによる値より、走行距離 570~670 cm の付近での変位から、路面の曲率半径を見る。この付近の任意の三点

(0, 251.249)
 (500, 283.718)
 (1000, 320.350)

と、円の公式により、曲率半径 60,467 mm であった。計測可能な曲率半径の限界値については、今後の課題としたい。

3) 砂利

鋼管杭の内壁面に厚めに付着した土や積層錆がある場合、それらの上を車輪が走行すると、短い走行距離で傾斜が変わる可能性がある。また、それらの付着物等は不規則に存在しているため、計測毎に車輪が通るコースが変化すると予想される。このような再現性の無い凹凸面として、粒径 30 ~ 50 mm 程度の砂利面を選択した。

台車の走行方向に対して計測間隔を 10 cm とした場合、トータルステーションの値と比較して、全体的になだらかに下る傾斜は把握できている。走行距離 5 m のとき、ジャイロデータの場合 -70 mm、トータルステーションの値 -78 mm であり、差分は 8 mm であった。また、トータルステーションで取得されている細かな凹凸（ここでは概ね ±20 mm の凹凸）は、ジャイロデータでは計測できなかった。これは、スロープの場合の検討でも述べたが、ジャイロそのもののもつ誤差の他、計測台車のホイールベースが長いことによるピッチング方向の変化の追従性が低いことによると考えられた。

台車の走行方向に対して計測間隔を 1 m とした場合、最も差分の大きい走行距離 2 m のとき、ジャイロデータでは 11 mm、トータルステーションの値は -29 mm であった。

これらより、ここで使用した計測試験器で砂利路面を走行した場合、以下のことが分かった。

- ・計測間隔 1 m に比べて、10 cm とした方が路面形状への追従性が良い。
- ・計測間隔が 10 cm としても、細かな凹凸（ここでは概ね ±20 mm の凹凸）は計測できない。路面の傾斜には概ね追従している。
- ・これは、これまでの検討と矛盾しない。

3.4.3 計測精度試験まとめ

本方式による変位の計測誤差を確認するため、FOG 姿勢計測装置を一般的な荷台車上に固定したものを試験器として、陸上試験を実施した。今回実験で用いた計測試験器では、

- ・計測間隔が 10 cm とした方が路面形状に追従性が良い。変形の生じている区間内で、短い計測間隔を設定すれば、路面の変形を捉え易い。
- ・一定傾斜の路面では、計測間隔 1 m としても路面形状の追従には問題がない。
- ・同一計測区間を比較したとき、計測間隔を小さくすると計測回数が増加し、それに伴って変位量の積分回数が増加することで誤差が増すが、ゆるやかな斜面変化に対しては大きな誤差が無く影響が少ない。一方、斜面にある程度の傾斜変化がある場合では、変位量の積分回数が増加することよりも路面形状にあわせて適切な計測間隔を設定することの方が誤差への影響が大きい。
- ・路面上の数ミリ程度の凹凸は、ジャイロデータに影響しない。
- ・計測間隔が 10 cm としたでも、細かな凹凸（ここでは概ね ±20 mm の凹凸）は計測できない。路面の傾斜には概ね追従している。

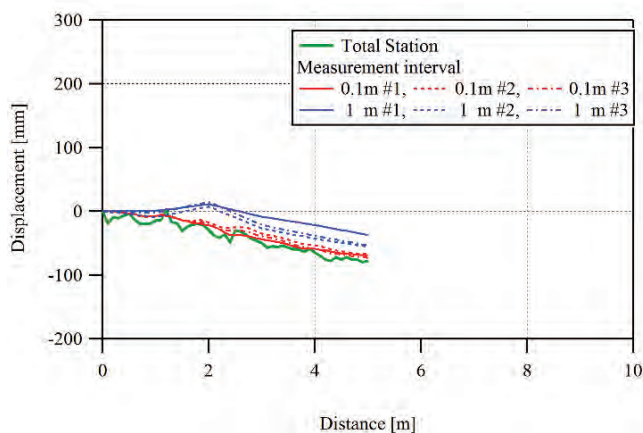


図-3.9 砂利の計測結果

3.5 現地計測事例

3.5.1 試験概要

平成 24 年 1 月 24 日および 25 日にかけて、常陸那珂港北埠頭の被災した埋設鋼管杭（ガントリークレーンのレール下基礎杭）の変形について、前述の装置を用いた現地計測試験を実施した。計測対象杭は 2 章に示したものと同一である。

試験に際してはまず、超音波式側壁測定装置のウインチ部にある超音波センサユニットのハンガに、FOG 姿勢計測装置を内蔵した計測台車を掛ける形で固定した(写真-3.8, 左図)。また、計測台車を取り付けた超音波式側壁測定装置を設置する際は、ウインチ下部の計測台車をかわすために、鋼管杭の開口部両脇にあらかじめ台馬を設置しておくその上にウインチを設置した(写真-3.8, 右図)。この段階でログ記録アプリケーションを起動し待機させておく。次に、ウインチを少しずつ巻きだして計測台車を水没させて一時停止させた。この際、固定車輪に対向して取り付けられているサスペンション付車輪を屈曲させて管内に押し込んだ。このことにより、固定車輪を管内壁に押し付ける抗力を発生させることができる。なお、斜杭のように傾斜の主成分が明らかな場合は、固定車輪を計測台車の自重を支える方向に向けて鋼管内に挿入すると良い。

計測の手順としては、まず、ログ記録用アプリケーションで計測ログの記録を開始してからウインチを巻きだして計測台車をゆっくり降下させる(写真-3.9)。計測台車が着底するとウインチは自動的に停止するのでここでログ記録を一旦終了させる。その後、ウインチの回転方向を切り替えてログ記録を再開し計測台車を巻き上げる。計測台車が水面に浮上した段階でログ記録を終了する。この間、FOG 姿勢計測装置による傾斜値とワイヤの巻きだし量がログに記録されているので、計測終了後オフラインでこれらの計測値から鋼管杭の曲がり具合を推定することができる。また、超音波距離計の値も同時に記録されており内径の変化を把握することができる。

現地計測試験では、当該計測装置の検証を行うために上述の操作を 2 日間にわたって繰返し、動作試験も含めて 17 往復の計測を試みた。なお、今回の計測対象の埋設鋼管の計測対象深さは約 17 m であることが分かっており、実際の計測時には計測台車の高さを除いて約 16 m 降下したところで自動的に停止したことを確認した。その際、計測台車が約 16m の深さを往復するのに要した時間は約 15 分であった。

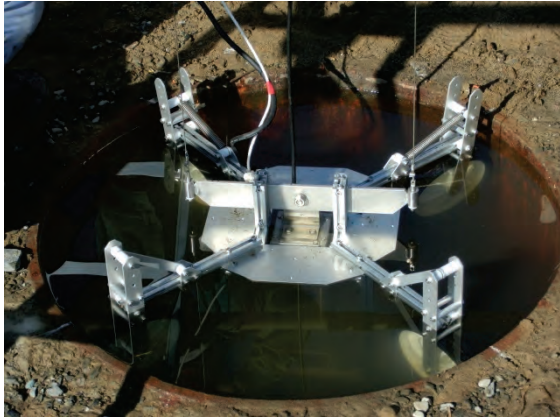


ウインチへの計測台車の取り付け

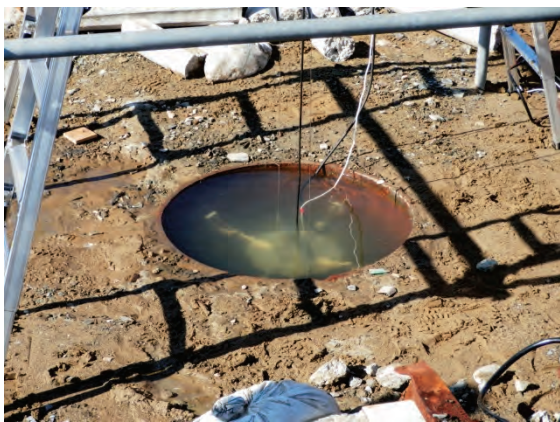


計測台車を取り付けた超音波式側壁測定装置の設置状況

写真-3.8 計測装置設置の様子



計測台車を鋼管内に挿入した様子



ウインチの巻きだしにより降下する計測台車

写真-3.9 計測状況

3.5.2 実験結果

試験結果の一例を図-3.10 に示す。傾斜計データからは、深度1.5mを基準とすると、東から西へ約10cm、北から南へ約40cm、緩やかな傾斜があると分かる。また、超音波データからは、南北方向(X-X')、東西方向(Y-Y')共に、管口から深度約30cmまでは直径がやや大きく、それ以外に表面に大きな凹凸が無いことが見てとれる。

これらの結果は、2章での超音波式側壁測定装置のセンサユニットを直接吊るして計測した場合の結果と同等の値を示しており、計測装置として遜色ない成果を得たものとする。

3.5.3 提案方式と挿入式傾斜計との比較

計測対象とした鋼管杭では、本研究とは別に挿入型傾斜計を用いて計測されている(平成23年6月)。詳細は1章に記述したので参照のこと。

挿入式傾斜計の結果を図-3.10左図に示す。この図では、管口部の原位置を測量し、設計時との変位として表示してあり、新方式傾斜計の結果は、計測開始位置が計測原点としてある(写真-3.9,上図)。双方を比較するため、挿入式による深度1mの変位に合致するよう新方式のデータをシフトさせ、併せて表示したものが図-3.10右図である。

この図より、両方式による傾斜は、東西、南北ともに概ね合致している。しかしながら、鋼管杭の折れや局所的な曲がり等を示すとされる変局点は、挿入式では両方位ともに複数箇所に見受けられるが、新方式では見当たらない。

挿入式では、ガイド管は3m間隔で設けられた張り出し部のみで鋼管杭の管壁に接触するため、そのガイド管中間地点での傾斜は対象の鋼管杭と関連が薄いものと考えられる。ガイド管設置時にパワーショベルで押し込むなどの過程から、ガイド管やそのジョイント部に曲がりを生じさせ、それを併せ持った傾斜を計測した可能性は否めない。

新方式は、計測台車を取り付けた超音波式側壁測定装置を設置すれば、複数回に亘る計測を簡易に実施でき、ここでは示さないが、毎回同等の傾斜を得ることが可能である。

これらより、鋼管杭の変状調査においては、新方式は繰り返し計測が簡易にでき、鋼管杭の傾斜だけでなく内壁の凹凸を示すデータを同時に取得できる。傾斜計のデータのみで鋼管杭の変形を特定しにくい場合、内壁の凹凸を示すデータがサポートになるだろう。

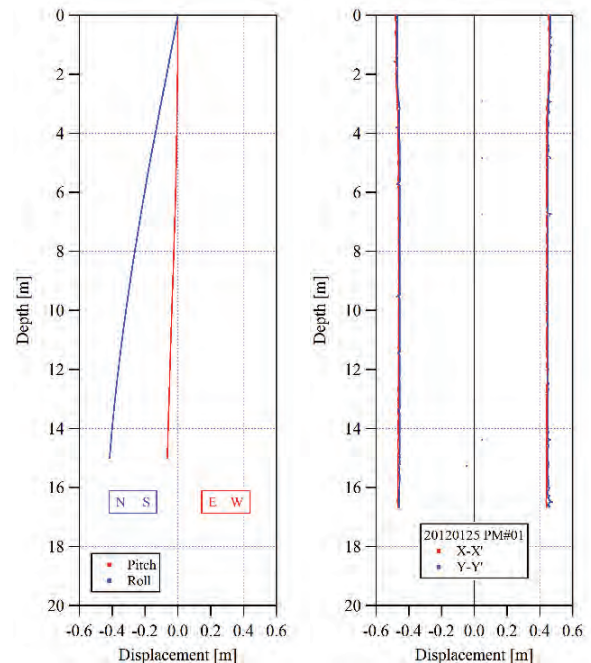


図-3.10 試験結果

左：ジャイロデータ、右：超音波データ

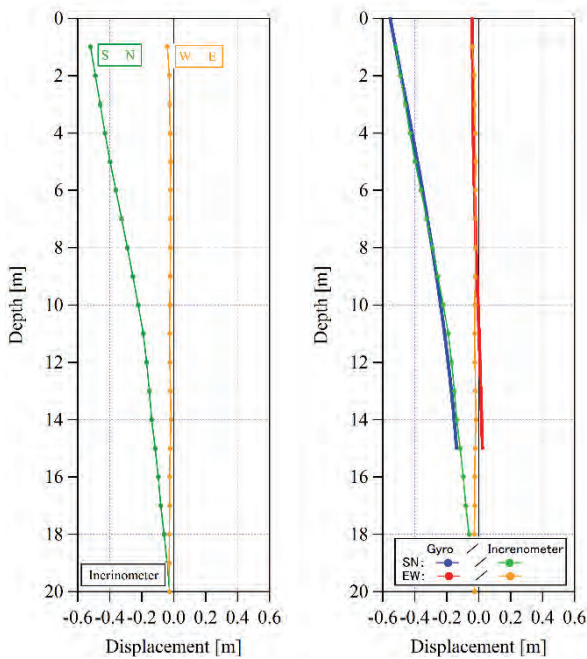


図-3.11 挿入式傾斜計による計測結果との比較
左：挿入式傾斜計，右：ジャイロと挿入式との比較

3.5.3 考察

超音波式側壁測定装置に計測台車を設け、センサユニットとジャイロを搭載した、本件で提案した計測方法(以降、新規提案方式)を用いた鋼管杭の曲がり計測について、考察する。

新規提案方式では、

1. 今回計測した杭のような緩やかな曲がりでは、計測台車がアクセス可能な深度 16 m までジャイロにより杭の曲がりを、超音波により管壁の凹凸を検出できる。但し、台車が管壁に付着する泥等により変位を生じた場合は、その変位も含めたデータとなる。ここでは示していないが、超音波の 4 点を用いた断面図の表示も可能である。

尚、本方式を用いて、傾斜 20 度の斜杭でも計測可能であることを確認済みである。

2. 計測台車があることにより、超音波式側壁測定装置のセンサユニットは、いずれの深度においてもほぼ管中央部の位置を保持可能となった。これにより、超音波のゲイン調整は計測開始時のみで、S/N の良い信号を取得できることとなった。また、質の良いデータを取得できることから、RS-232C より出力される電子データの利用も可能となった。

3. 計測台車があることにより、ウインチ部の設置条件は緩和された。即ち、計測原点は計測台車上のセンサ位置で

あることから、計測台車がスムーズに昇降できれば良い。
4. 深度、超音波データ (センサと管壁の距離、4 方向)、三軸ジャイロの各データが、電子データとして取得できる。
5. 挿入式に比して、信頼度の高いデータが取得できると考える。

以上より、本件の目的である地中に埋設された鋼管杭の健全度評価手法として、杭の曲がり、杭の側壁の凹凸及び断面形状に関する情報を検出可能とする方式を提案した。

3.6 まとめ

杭の健全度評価を行うため、変形状態を把握する効果的なセンシングをする手法として、超音波、光学ビデオカメラ、傾斜計等を組み合わせた計測装置を製作し、鋼管杭内に挿入して各種データを取得し、鋼管杭の健全度を評価する手法を検討した。

第一案として、超音波式側壁測定装置の埋設鋼管杭の計測作業への応用を提案した。現地試験により、ほぼ直立の埋設鋼管杭であればそのまま容易に計測作業が実施できることを確認できた一方で、被災等により一定以上の傾斜をともなった埋設鋼管杭では超音波センサユニットを降下させる途中で、センサユニットを支えるハンガが側壁に接触するケースが確認され、傾斜の大きい杭では対策が必要と分かった。

そこで、第二案として、当該装置を大きな傾斜をともなった鋼管杭の計測に対応させるために、ウインチ下に傾斜計を搭載した計測台車を取り付けて孔内を走行させ、杭のプロフィール (傾斜状況と内壁表面の凹凸) を計測する方法を提案した。計測台車を試作し、現地試験により、斜めの杭の傾斜と管壁表面の凹凸の各々のプロファイルを同時に取得可能であることを確認した。これらの計測結果は第一案の計測結果と矛盾しない。以上の成果より、被災等で傾斜した鋼管杭、斜杭の計測方法の提案が出来たものと考ええる。

今後の課題として、取得した電子データをグラフ化するアプリケーションの作成、超音波データの計測精度確認が必要である。

4. 超音波計測の精度向上に関する検討

2及び3章では、埋設鋼管杭の変状計測法の検討を行い、鋼管杭の傾斜が小さい場合は超音波式側壁測定装置をそのまま使用する方法とし、鋼管杭の傾斜が大きい場合は超音波式側壁測定装置の超音波センサを計測台車に搭載する方法を提案した。これらの内容では、超音波による管内の距離計測は、超音波式側壁測定装置をそのまま使用する方法であった。被災後調査など、埋設鋼管杭が大きく変形したことが分かっている、即時性が大切な場合には、有用である。この場合、表-2.1に示したとおり、販売メーカーによる公称計測精度は計測レンジの±2%以内となっており、例えば計測レンジ1mであれば±20mmの誤差を許容することとなる。一方、埋設鋼管杭は必ずしも大きな変形でなくても補修が必要となる場合がある。例えば、埋め立て部の鋼管矢板やコンテナバース等のジャケット構造の埋設鋼管杭では、支持杭として構造全体に問題が生じていないか否かを判定するようなケースでは、上述に比して僅かな変形を取得したいとの要望があった。

そこで、本章では、埋設鋼管杭の変形をより詳細に検出するため、超音波式側壁測定装置における、超音波計測によるセンサから鋼管杭内壁までの距離計測の高精度化する方法を検討した。

4.1 精密計測方法の提案

3.1節で示した計測システムのうち、側壁の凹凸については超音波式側壁測定装置を利用した超音波計測となっている。超音波センサから鋼管杭内壁までの距離の公称精度は計測レンジの±2%以内である。すなわち、超音波式側壁測定装置は、従来、立坑の鉛直性を確認する機器であり、装置本来の使用目的にあわせて泥水でも安定して側壁記録を得る工夫が成されているが、本来の使用目的ではない計測距離を精密に得るための工夫は成されていない。

ここで、メーカーの協力を得て、超音波式側壁測定装置の内部の処理方法を確認した。送信信号を超音波センサユニットから送波し、壁面より反射してきた音波を受信する。受信信号は演算回路を経て方形波（以降、受信方形信号、図-4.6参照）に置き換え、この信号の飽和電圧値の0.8倍となる時刻を、受信信号の到達時刻 Δt とした。超音波センサから壁面までの距離は、

$$\text{水中音速 } 1500 \text{ (m/s)} \times \Delta t \text{ (s)} / 2$$

として得るということであった（以降、オリジナル計測）。

超音波センサから壁面までの距離の決定において、正確な値を取得することよりも、運用時に現場作業員でも十分に使用できるように難しい調整を不要とする構成と分かる。ひとつ目には受信方形信号を使用した Δt は正確な値の取

得よりも、泥水でも安定した記録を得ることを優先した工夫であること、ふたつ目には水中音速は水温に依存するにもかかわらず1500m/sを固定値として扱っていることであった。

これらを改善するため、ひとつ目については受信方形信号を使用しない送受信時間の取得がポイントである。コントローラ内部の基盤より、リファレンスのための送信信号、演算回路を施す前の受信信号を直接取り出し、後処理により送信信号と受信信号の相互相関関数を求め、そのピーク位置より送受信時間を特定する。これは、超音波センサから壁面までの時間に相当する。ふたつ目については計測場所水温を取得し、水中音速の推定値を使用する。これまで実績では、水中音速の補正の有無により数ミリ～数センチ程度の差が生じる。これら2つを行えば、超音波式側壁測定装置の公称精度よりも高い精度で、超音波センサから壁面までの距離を決定できると考え、精密計測方法の提案とする。尚、超音波式側壁測定装置は全てアナログで構成されている。

図-4.1に精密計測方法のための結線図を示す。破線内は超音波式側壁測定装置及び台車等の既開発部分、今回の提案箇所は一点鎖線内である。また、超音波式側壁測定装置のコントローラ内部の基盤にBNCコネクタを半田付けし、受信、トリガ信号を直接取り出せるようにした。それらの信号をデジタルオシロスコープに結線し、モニタ及びデータ収録を行うこととした。尚、送信信号は事前に収録したものを使用した。計測レンジ毎に特定のバースト波が組み込まれているためである。

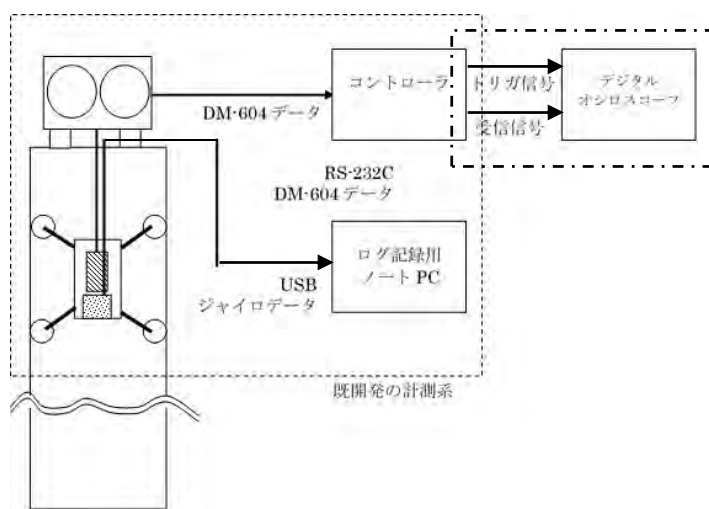


図-4.1 精度確認・向上のための計測系
破線内は既開発の計測系、一点鎖線内は提案部分

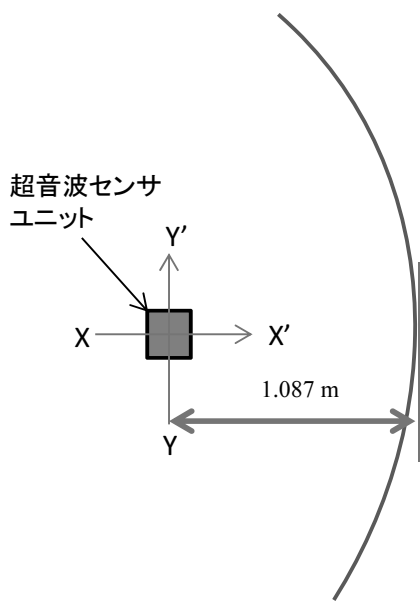
尚、既開発部には計測台車が含まれているが、台車の使用を決定づけるものではなく、鋼管杭の傾斜によって台車の有無を決定すればよい。

4.2 室内水槽での精密計測

4.2.1 実験概要

図-4.1に示した結線図のうち超音波式側壁測定装置と一点鎖線部を使用して、送信、受信信号を直接取得、記録し、後処理により解析し、その超音波での距離計測精度を実験的に確認した。併せて、放電記録紙による記録、RS-232Cによる電子出力についても、同条件にて、正確さの確認を行った。

実験は深さ10 m、直径5 mの円筒型の海底探査水槽で行った。水槽の上部の架台にウインチ部を設置し、水槽内に降下させて深度（ウインチの繰り出し量）2.55 m固定とした。超音波センサユニットのうち、壁面と正対するX'のセンサを使用して計測を行った。この時、超音波センサユニットと水槽側壁の距離は、メジャーでの計測により1.087 mであった（図-4.2）。計測時の水温は21.5度であった。



円筒水槽 管壁

図-4.2 超音波センサユニットの設置位置

超音波式側壁測定装置の設定を表-4.1に示す。ここでは、計測対象が1.087mなので、計測レンジを1 mとし、シフト50%を選択した。

計測前の準備としてバーチェックを行う。放電記録紙の側壁記録を取得する際は必須である（新たに提案した方式では不要）。前述の通り、音速値1500 m/sを使用している

ため、放電記録紙の側壁記録は正確でない距離を示している。これを正す作業をバーチェックといい、管口部で超音波センサユニットから側壁までの距離をメジャーで計測し、超音波式側壁測定装置のコントローラ正面パネル内にある距離補正ダイヤルを用いて、放電記録紙の側壁記録をメジャーで計測した数字に合致させるものである。しかしながら、放電記録紙の目盛は10 cm刻みであり、バーチェック時に距離精度を要求するのは難しい。そのため、ここではバーチェックは行わず、距離補正ダイヤルを0固定とした。

また、近距離抑圧の調整（表-4.1の下、※※近距離抑圧を参照）は、放電記録紙上の側壁記録位置が前後に動くことが確認されたため、超音波式側壁測定装置の放電記録紙あるいは電子出力（RS232C）を使用する場合は、バーチェック後の調整はしないことが肝要である。

表-4.1 計測条件

計測レンジ（半径）	1 m	計測半径
距離補正ダイヤル	0	管の内径に合わせるよう適宜調整/0固定
シフト	50 %	記録範囲/0.5~1.5 m
ゲイン※	自動	受信信号の振幅変化に合わせて自動補正
近距離抑圧※※	—	発信線付近の感度を低下/Min.固定（図-4.5参照）

※ゲイン：手動の場合は、受信感度を調整することにより記録を見やすくする。概ね自動モードで良い計測が実施できるので、使用する頻度は少ないかも知れない。

※※近距離抑圧：送信パルスが長引き、受信パルスに重なることで、側壁記録が正確に得られない場合、送信パルスの後方の信号を抑圧する。その時間幅を調整するツマミである。近距離抑圧の調整を大きく（ツマミを右に回す）すると側壁記録が遠方に移動するため、側壁記録に影響のない範囲で使用する必要がある。

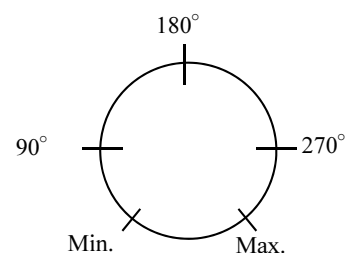


図-4.5 近距離抑圧及びゲインの目盛

4.2.2 精密計測, 波形データ取得

図-4.1 に示す新しい提案方式で精密計測を行った。実験の設定及び条件は 4.2.1 に示す通りである。超音波式側壁測定装置のコントローラ内部の基盤より、送信信号、トリガ信号、受信信号の 3 種類の信号を取り出し、デジタルオシロスコープで記録をした。それぞれの信号を図-4.6 に示す。

参考のために、併せ示した同条件、同時刻での受信方形信号も併せ示してある。これについては、次節で説明する。

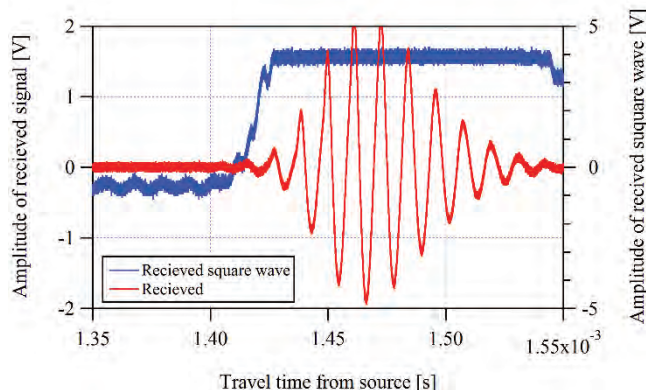
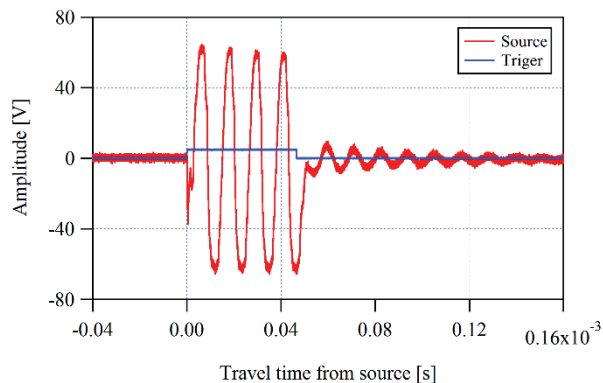


図-4.6 送受及びトリガ信号, 受信信号及び受信方形信号

送信信号と受信信号の相互相関関数を計算し (図-4.7), 最大値より送受信信号間の伝搬時間 0.001403 秒を得た。さらに、計測した水温 T 度より Green-Span の実験式 (実良ら, 1966)

$$c = 1402.736 + 5.03358T - 0.0579506T^2 + 3.31636 \times 10^{-4}T^3 - 1.45262 \times 10^{-6}T^4 + 3.0449 \times 10^{-9}T^5$$

を用いて、水温 21.5 度の際の水音速 1487 m/s を取得した。これらより、超音波センサユニットの中心より管壁ま

での距離 1.093 m を得た。メジャーで計測した値 1.087 m と近い値を示しており、誤差 0.5 % の正確な計測が行われたと考えられる。

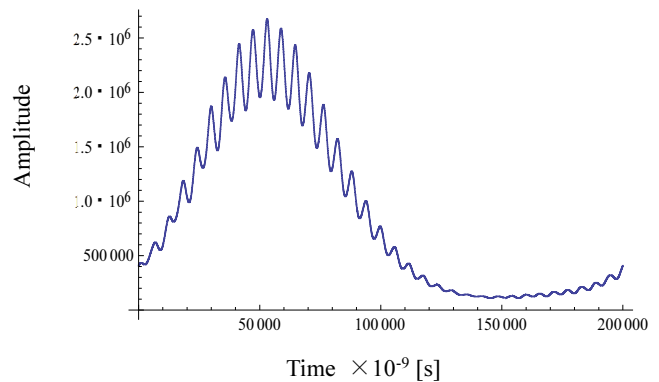


図-4.7 送受信信号と受信信号の相互相関関数

4.2.3 電記録紙, RS-232C による記録

表-4.1 の条件、バーチェック無し (距離補正ダイヤルを 0) とし、近距離抑圧は Min. としたとき、放電記録紙上の側壁位置は 1.2 ~ 1.3 m の間に記録されており (図-4.8), このとき超音波式側壁測定装置からの電子出力 (RS-232C) は 1.227 m であった。ここではバーチェックをしなかったため正確な距離は表示されていないが、記録紙上と電子出力 (RS-232C) の記録は矛盾していない。

ここで、2 章に示した通り、超音波式側壁測定装置からの電子出力 (RS-232C) はあまり活用されていないため、使用に関する情報は見受けられない。そこで、これらをログ記録用ノート PC で表示させたところ、深度、X, X', Y, Y' の並びで、データが逐次出力されることが分かった。計測レンジを 1 m とした場合の各側壁記録の最小単位は 2 mm であった。

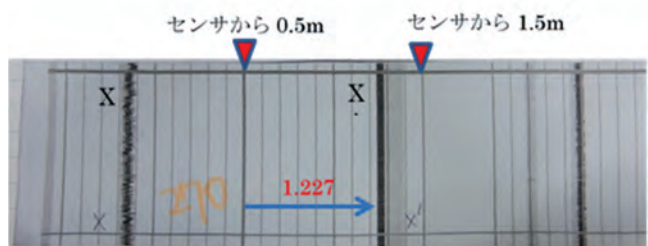


図-4.8 放電記録紙の側壁位置

これより、電子出力（RS-232C）上の X' の記録を見ながらバーチェックを行った場合、誤差は±2 mm 以内となる。

もし、放電記録紙を使用してバーチェックをしたならば、メジャーで計測した値 1.087 m を目指して、放電記録紙の目盛 1.10 m (10cm 刻みの目盛) に合せることとなる。但し、上記検討により、電子出力（RS-232C）を参照してのバーチェックであれば 1.09 m（最小桁 2 mm）に合せることが可能と分かった。

これより、少々手間はかかるものの電子出力（RS-232C）を併用することで、放電記録紙を用いた場合より正確なバーチェックが可能となり、超音波式側壁測定装置のみでも簡易に、より正確な計測ができること分かった。しかしながら、距離補正ダイヤルは 4 つのチャンネル共通に補正を行うものであり、各々のチャンネルの正確なバーチェックは不可能であった。つまり、管口部でいずれかの 1 チャンネルを対象としてバーチェックを行うため、残りの 3 チャンネルは相対的な側壁記録となる。

4.2.4 比較

精密計測の場合、バーチェックの有無に結果が依存しないため、正確な計測が行われた。一方、4.1 で示したオリジナル計測の手順通りに計算すると、伝搬時間は 1.42 ms、超音波センサから管壁までの距離は 1.115 m を得た。4.2.1 のメジャーで計測した値、4.2.2 の精密計測の結果と合せて、表-4.2 にまとめる。

表-4.2 計測結果の比較

	管壁までの距離 m	誤差 %	備考
メジャー	1.087	基準	
精密計測	1.093	0.5	
オリジナル計測	1.115	2.0	超音波式側壁測定装置内の処理

距離の正確さは、製品としての仕様通り ±2 % 以内であった。一方、精密計測として提案した、オシロスコープを併用した後処理をする方法では、位相乱れの少ない受信波形を取得できれば精度 ±0.5% 以内であるとわかった。

4.3 現地調査事例

4.3.1 実験概要

実験は平成 24 年 11 月 20 日、第二海堡南側護岸で行った。図-4.9 に実験場所、図-4.10 に B-B 断面を示す。計測対象は鋼管矢板 No.31 である。対象となった鋼管杭は、打ち込み作業中に高止まりをしており、変形や傾斜がないかを実験的に確認する。

写真-4.1 に示すように管の上部に足場を用意し、前節に示した装置類を設置した（写真-4.2）。鋼管の径は φ1100 であるが管口部では歪みがあった。水位は、管口部より 0.83 m の位置であった。水温は PTST センサを使用し、ロープで吊りながら水中に降ろして計測した。この値を基に Green-Span の式を用いて音速を計算した（図-4.11）。

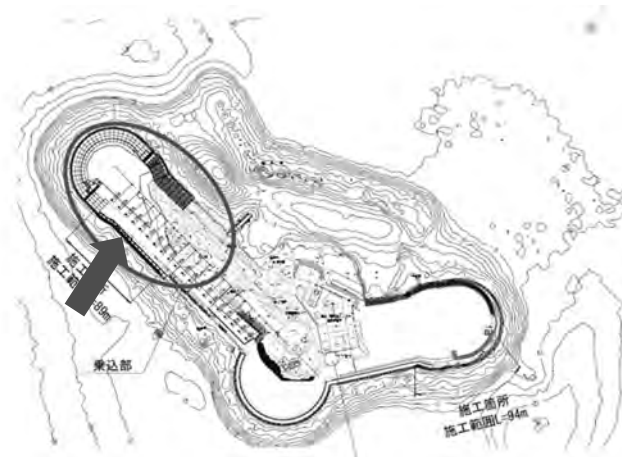


図-4.9 第二海堡の実験場所

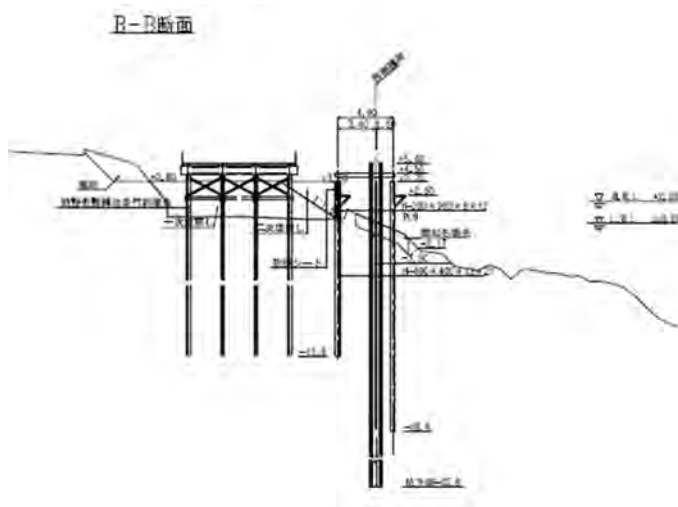
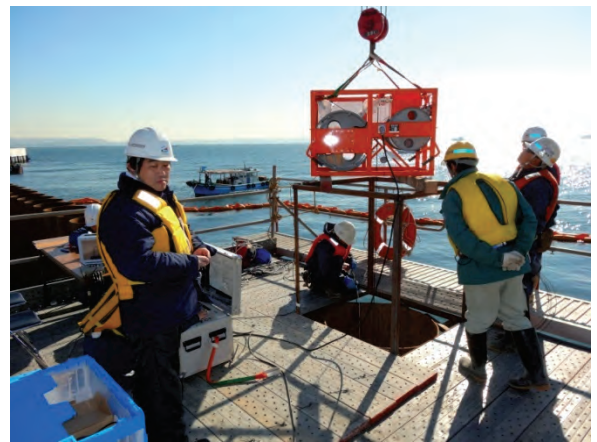


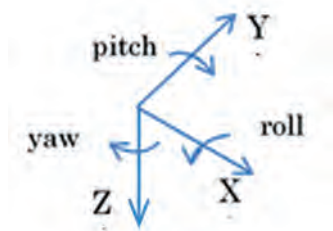
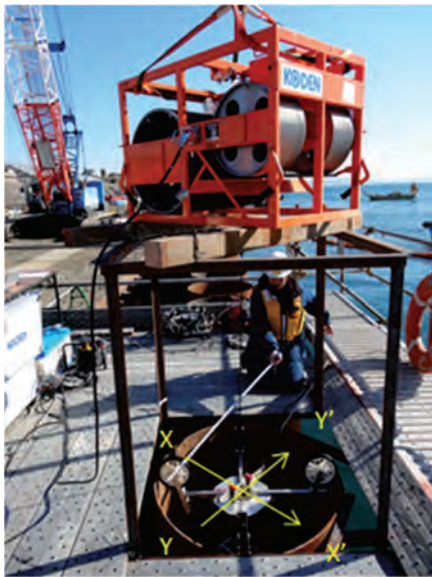
図-4.10 B-B 断面



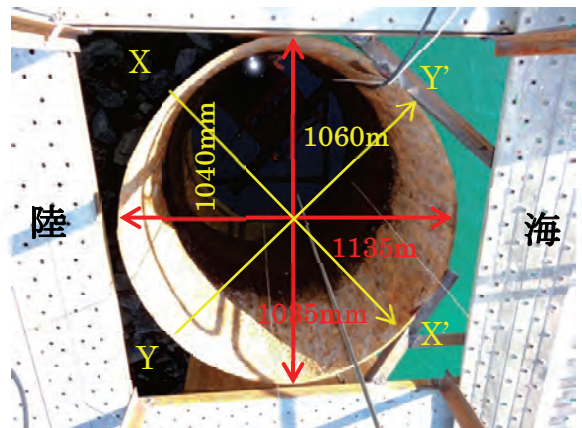
写真-4.1 計測用足場



(a) 計測機器の設置



(b) 計測系



(c) 管口部の直径

写真-4.2 計測機器類の設置と超音波計測の原点
 (a) 計測機器の設置、(b) 計測系、(c) 管口部の直径

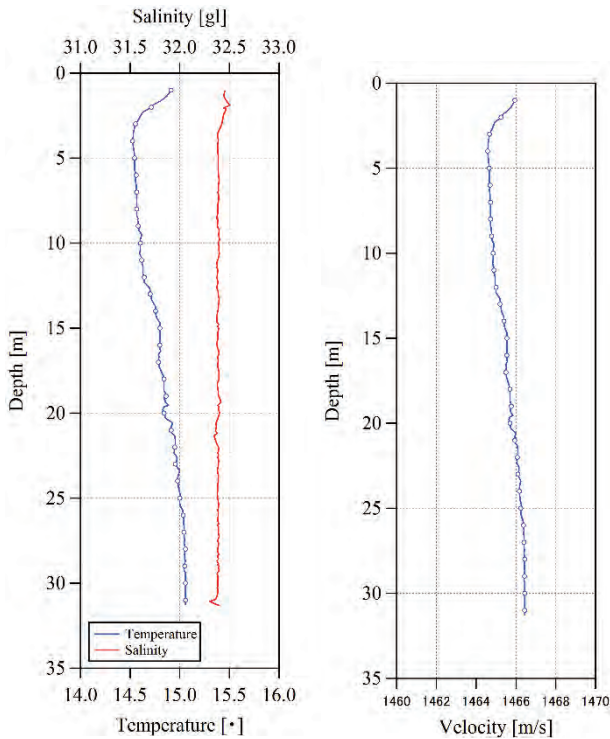


図-4.11 鋼管内の水温と音速値
左：水温及び塩分，右：音速値

4.3.2 実験概要

計測台車を写真-4.2 に示すよう設置し，以下の条件で計測を行った（3章で示した方法と同等）．計測は超音波による管壁までの距離，ジャイロによる傾斜である．計測結果としては，放電記録紙への書き出し，電子出力（RS-232C）の2種類である．バーチェックとして，電子出力（RS-232C）からの出力を見ながら，メジャーで計測したX方向の超音波センサから管壁までの距離を距離補正ダイヤルにより合わせた．

計測結果のうち，計測台車の下降，上昇についての例を図-4.12, 13 に示した．管内の直径はいずれの計測でも，X軸，Y軸共に概ね1000 mmである．3章でも述べたとおり，ここではセンサ類を台車に搭載していることと正確なバーチェックを行っていないことより，超音波による径方向の距離については，管口部を基準にして側壁の凹凸変化を見ることとし，鋼管の傾斜についてはジャイロデータを見ることとする．

双方の図において，超音波による径方向の距離のうち(a) X軸方向，(b) Y軸方向のデータである．管内の直径はいずれの計測でも，X軸，Y軸共に概ね1000 mmである．また，X軸方向のデータにばらつきが多くみられ，Y軸方向のデータは安定している．(c)傾斜計のデータを見ると，ロール方向の変位はほとんどないが，ピッチ方向の変位が僅かに存在する．ピッチ方向はX軸の回転を意味し，X軸方向の管壁距離データが不安定であることと矛盾しない．また，ピッチ方向の変位は，管の傾斜または管壁への付着物による台車の走行不安定が原因として考えられる．

表-4.3 現地実験時の計測条件

計測レンジ (半径)	1 m	計測半径
距離補正ダイヤル	612	管の内径に合わせる
発信線除去	ON	発信線の記録有無/無
信号処理	ON	側壁記録の強調有無/有
シフト	0 %	記録範囲/0~1.0 m
ゲイン	自動	受信信号の変化に合わせて自動補正
近距離抑圧	全 ch. Min.	発信線付近の感度を低下
感度	全 ch.90°	受信信号のレベル調整
超音波センサユニット -側壁間距離	X-X' Y-Y'	1.04 m / 図-4.12 (c) 参照 1.06 m
計測深度	-	0~23 m
ウインチ速度	-	概ね 3 m/min.
水温	-	図-4-13 参照

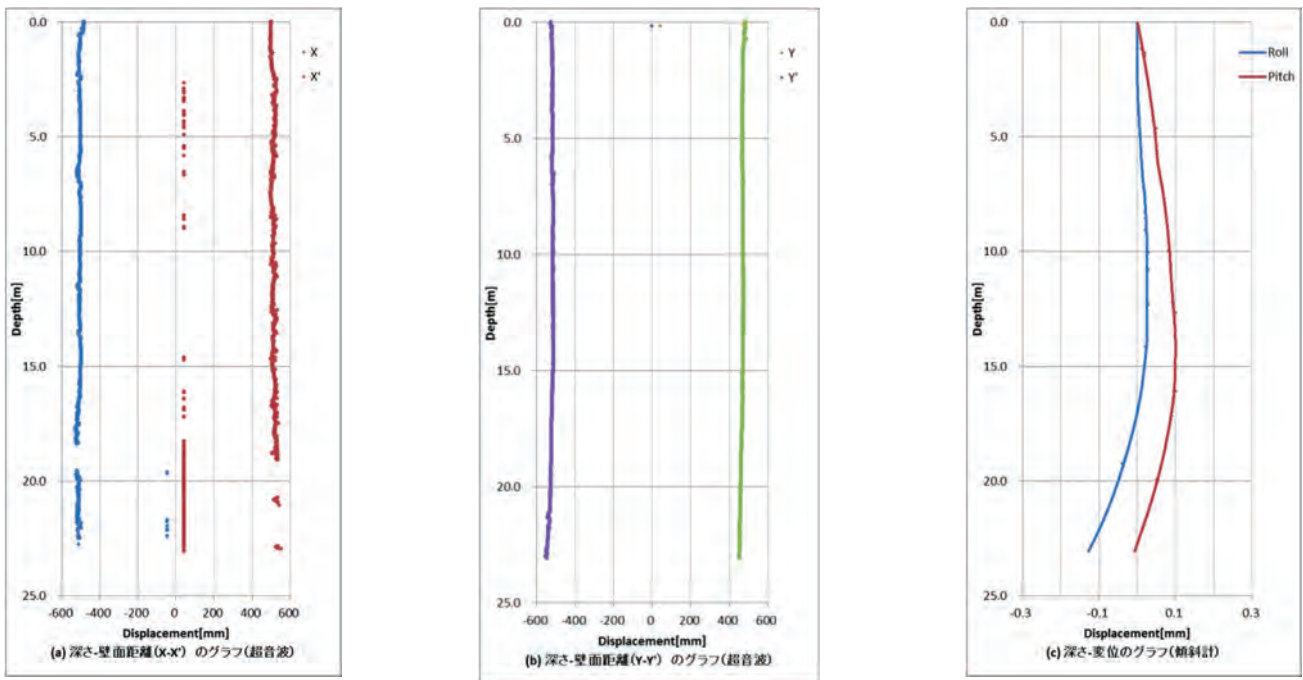


図-4.12 電子出力 (RS-232C)、下降 (20121212_03d)
 5.1 に示した傾斜及び管口径の図化ソフト斜及びびにて作成

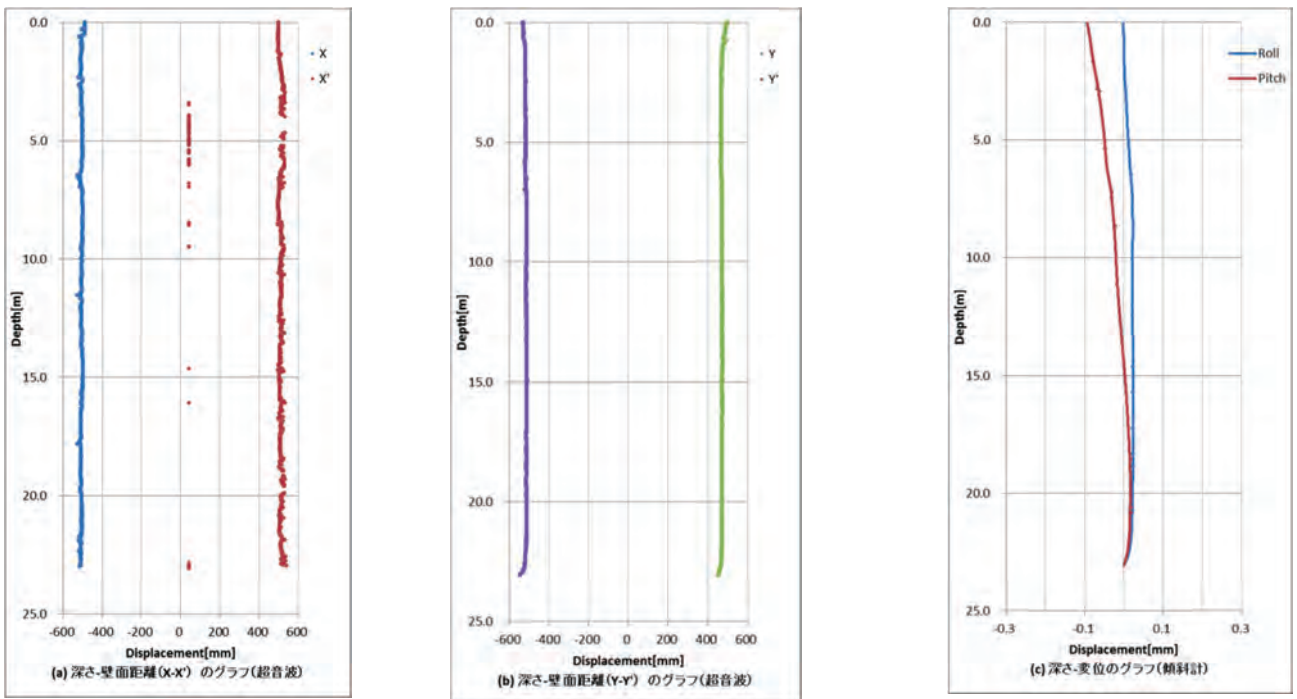


図-4.13 電子出力 (RS-232C)、上昇 (20121212_03u)
 5.1 に示した傾斜及び管口径の図化ソフト斜及びびにて作成

4.3.3 精密計測, 波形データ取得

4.3.2 と同様の条件で, 前節で述べた精密計測, すなわち超音波式側壁測定装置のコントローラ内部の基板から, トリガ信号, 受信信号を取り出し, デジタルオシロスコープで記録をした. この実験においては, 計測台車を 1 m 走行させる毎に停止させて, 受信波形を記録することとした. 計測台車を停止させる間隔は, 4.3.2 の検討結果より対象とする鋼管杭が大きな傾斜や曲りがなかったことと, 3.4

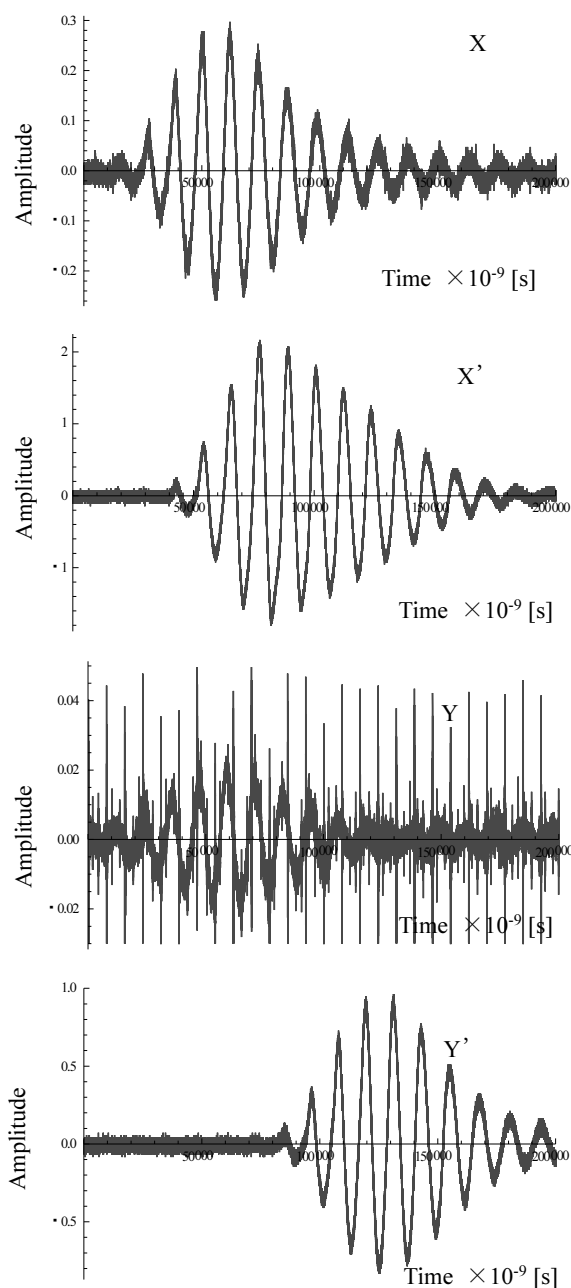


図-4.14 深度 1 m の時の受信波形

の計測台車に関する計測精度試験の結果を受けて決定した. オシロスコープによる, 受信信号の記録例を図-4.14 に示す. 4.2.2 と同様の手順で, 各深度で超音波センサから管壁までの距離を求めた (図-4.15). 尚, 参照波とした送信信号は計測レンジに毎に特定のバースト波となっているため, 4.2.2 の室内実験時に取得したものを使用した. 精密計測の場合, 計測台車を停止して計測を行うため, 計測点数が約 30 と限られてしまうが, X-X' で約 990 mm, Y-Y' で約 980 mm のほぼ真直ぐなプロフィールとなった. 前出の図-4.12 及び 4.13 とも共通するが, X 方向の管口部はやや狭まり, Y 方向の管口部はやや広がっており, Y 軸方向を長径とする楕円形状への変形が認められる.

また, 比較のため, 同時に取得した電子出力 (RS-232C) についても, 図-4.16 に示した. いずれの管壁記録ともに鋼管の内壁間距離は約 1000 mm を示しており, 精密計測と同等に見受けられる. 電子出力 (RS-232C) の記録にはデータのふらつきが存在する. この原因としては, 4.2.4 で既に述べたとおり, 精密計測と電子出力 (RS-232C) との解析に対する考え方とそのアプローチの仕方の違いによるものと考えられる.

4.3.4 比較

鋼管の内壁間距離について比較を行う. メジャー計測は管口部 (深度 0 m) で行い, その他の計測は深度 5 m とした結果を表-4.4 にまとめた. ここでは, 管口部に目視でわかる歪みがあることと, 比較する深度が同一でないことから, メジャー計測の値は参考にとどめる. また, 管口部のひずみにより各チャンネルのデータ比較は困難であったため, ここでは直径として表示している.

精密計測の結果を基準値とすると, オリジナル計測では Y 軸方向に 2.1 %, X 軸方向に 3.8 % のずれがあった. ここでは直径で比較しているため, 超音波式側壁測定装置の電子出力及び同等処理は ±4 % 以下となるはずであり, 計測結果は矛盾しない.

表-4.4 野外計測結果の比較

	管壁までの距離 m	誤差 %	備考
精密計測	0.993 / 0.973	基準値	
オリジナル計測	1.014 / 1.010	2.1 / 3.8	超音波式側壁測定装置内の処理
メジャー (上部)	1.060 / 1.040	—	参考, 深度 0 m
放電記録紙	—	—	参考, パーチェック無
電子出力 (RS-232C)	1.022 / 0.982	2.9 / 0.9	参考, パーチェック X のみ

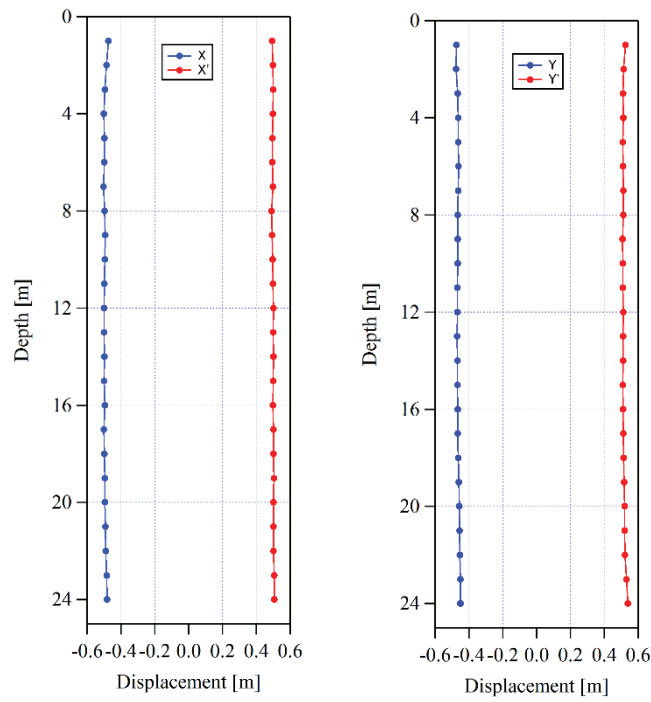


図-4.15 精密計測による管壁距離と直径

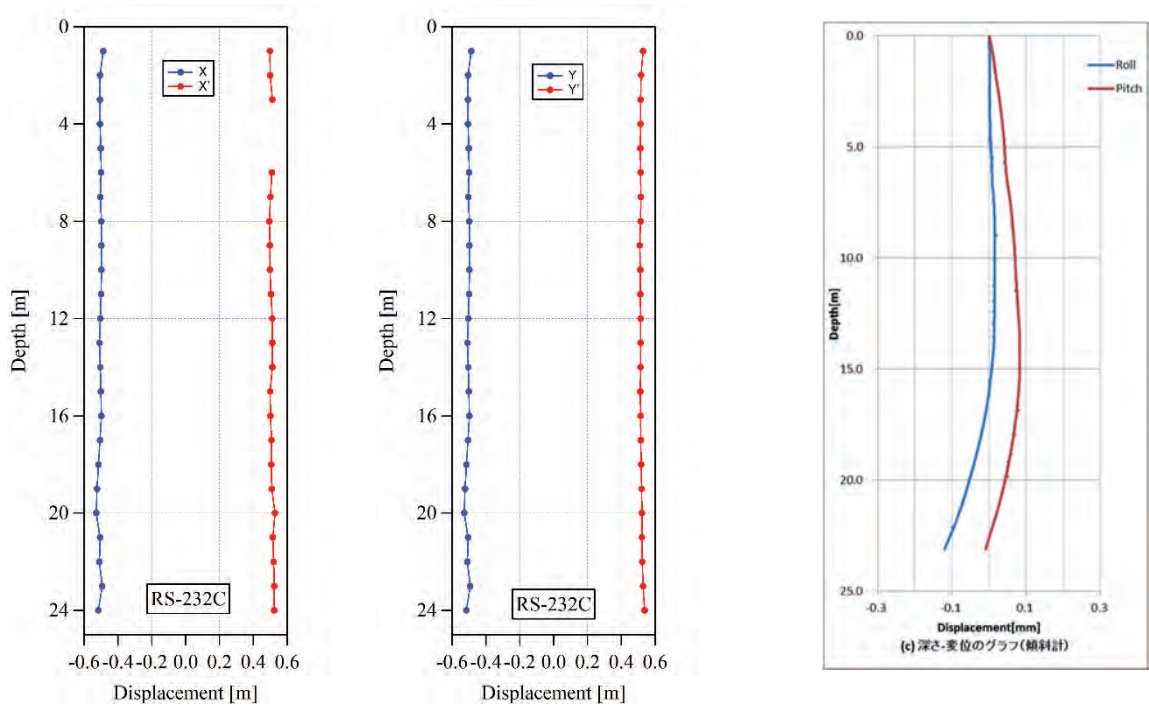


図-4.16 4-15 と同時に取得した電子出力 (RS-232C) による管壁距離

4.4 まとめ

水槽実験により、超音波側壁測定装置単体での計測精度を検証した。放電記録紙あるいはRS-232C（電子出力）では、管口部でいずれかの1チャンネルを対象としてバーチェックを行うが、放電記録紙は最小目盛10cm、RS-232C（電子出力）は最小目盛2mmで合せることができる。しかしながら、他の3チャンネルは管口部の値を基準とした相対的な側壁記録となる。また、オリジナル計測によれば、製品としての仕様通り±2%以内の計測精度であった。一方、精密計測として提案した、オシロスコープを併用して受信波形を記録し、後処理をする方法では、位相乱れの少ない受信波形を取得できれば精度±0.5%以内であった。

次に、現地にてこれらの計測を行った。現地では、図-4.1に示す計測台車を含む、全てのシステムを使用した。そのため、上述の超音波センサ単体の計測精度だけでなく、計測台車による変位の誤差も重ね合わせたものであった。今回の計測対象である鋼管杭は、大きな傾斜は存在せず、計測台車由来の誤差は小さいものと考えられる。

また、ここでは実施しなかったが、対象とする鋼管杭の傾きや曲りが微小な場合は、計測台車を外して、4.2で行った室内水槽での精密計測の場合と同様に、超音波式側壁測定装置とオシロスコープのみの計測の方が鋼管杭の変形を精度良く取得できる可能性がある。

さらに、管口部に目視で分かるほどの歪みある杭への対応は、これが初めてであった。バーチェックを全ての方向で実施することができないため、簡易計測では正確な計測はできなかった。新しく提案した方法は、精密だけでなく、バーチェックが不要であるから、このようなケースでも有用である。

これらより、提案した精密計測は鋼管の変形を精密に調査したいときに十分適用できること、放電記録紙及び電子出力での記録は即時的なデータ確認あるいは被災後調査向きであることを示した。計測対象によって計測台車の有無の検討が必要なことも、合せて示しておく。

5. データ処理ソフトの作成

4章までに様々な使用方法についての試みを報告してきた。現地で計測する際、超音波による鋼管壁面記録はDM-604の放電記録紙によるデータがあるため、正確でなくともリアルタイムに概ねの傾向を把握することができる。しかしながら、傾斜及び管口径の正確なデータは、収録した電子データを読み出して、データの並びを整理してグラフ化する必要がある。さほどの作業量ではないが、現場作業員のみで対応するにはやや難度が高いように思われた。また、前出の放電記録紙データであるが、ここから管口径を読み取ってデータを起す場合には、人力で行うしかなく、作業量が膨大であることと人為読み取りは大きな誤差の原因となる。以上の事から、被災後等の使用において運用性を向上させるため、取得データから即時に描画をするアプリケーション、放電式記録紙から鋼管内壁までの距離を取得するアプリケーションを開発したので報告する。

5.1 傾斜及び管口径の図化ソフト

5.1.1 作成したソフトウェアとデータとの関係

今回作成したソフトウェアはデータ変換ソフト DataConverter.exe、新規計測ソフト、グラフ描画ソフト GraphPlotter.xlsm の三個である。

データ収録を行う計測ソフト(ログ記録用PC内に収録)は旧版と新規版と二種類存在する(図-5.1)。新旧ソフトではデータは配列が異なるため、既存・計測ソフトを使用して収録したデータは、データ変換ソフト

DataConverter.exe を用いて、新規・計測ソフトを使用した場合と同様の並びに変換する(計測生データ)。このデータを基に、グラフ描画ソフト GraphPlotter.xlsm により、図化する。尚、グラフ描画ソフト GraphPlotter.xlsm はエクセルのマクロであるため、マイクロソフトエクセルの使用を前提としている。

5.1.2 使用方法

1) 既存・データ計測ソフトを使用した場合

既存・データ計測ソフトにより収録したデータはその並びを変更する必要があるため、描画前にデータ変換ソフト DataConverter.exe を使用する(24年度までの収録データはこちらの方法を使用すること)。使用方法は以下の通りである。

(1) CSV ファイルを DataConverter.exe にドラッグアンドドロップすると変換が行われる。

(2) 変換したファイルのファイル名はファイル名先頭に"cnv_"が付加される。

(3) 複数ファイルもドラッグアンドドロップで変換可能。変換後のデータをグラフ描画ソフト GraphPlotter.xlsm により、図化する。使用方法は以下の通りである。

(1) GraphPlotter を開く。この時点では古いデータが入っている。

(2) 読み込み&描画ボタンを押して、グラフ化したいファイル(変換済みのもの 例:cnv_1201241407u.csv)を選択する。

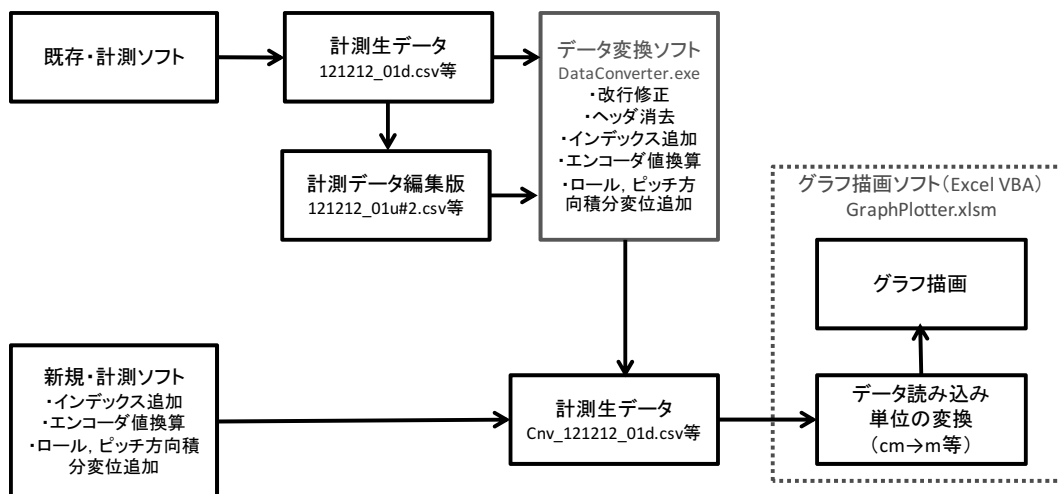


図-5.1 各ソフトウェアとデータ変換等の関係

5.2 放電記録紙データ読取ソフト ImageReader

ImageReader は、鋼管内径計測を行った紙データをデジタル化するソフトウェアである。ここでは、このソフトウェアの取り扱い方法を記載する。

5.2.1 仕様

5.2.1.1 動作環境

OS:Microsoft WindowsXp,Vista,7

ディスプレイ : XGA 以上

メモリー : 1GB 以上を推奨

5.2.1.2 必要なモジュール

Microsoft VisualBasic6.0 (SP6)ランタイム (図-5.2)
このランタイムは、マイクロソフトのサイトからダウンロードできる。

2013/3/15 現在のダウンロードサイト :

<http://www.microsoft.com/ja-jp/download/details.aspx?id=24417>

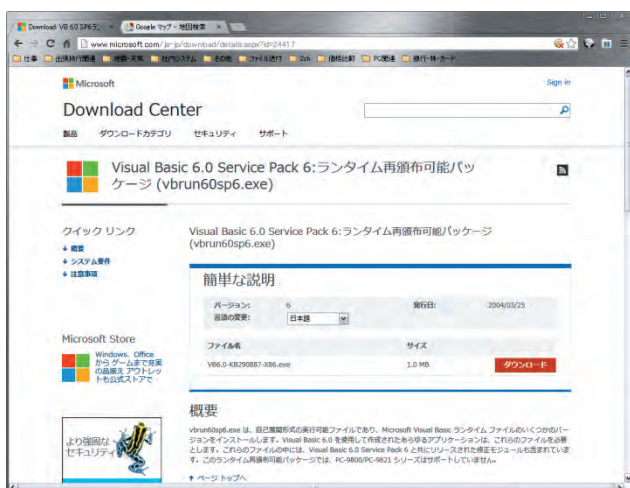


図-5.2 Microsoft VisualBasic6.0 (SP6)ランタイム
ダウンロードサイトの画面

5.2.1.3 インストール方法

図-5.3に示した ImageReader.exe をダブルクリックするとプログラムが作動する。インストールは不要である。

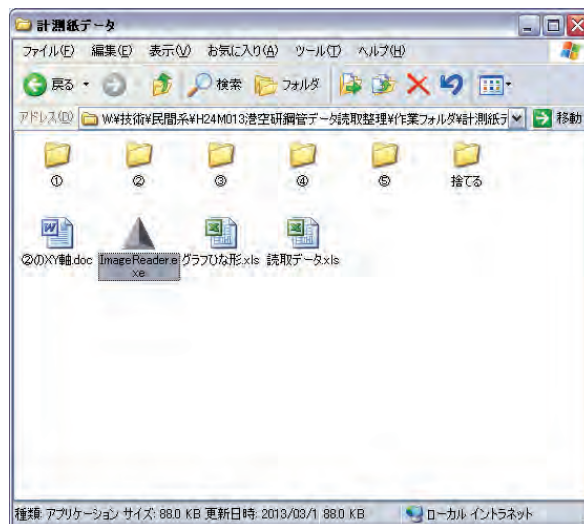


図-5.3 ImageReader.exe のアイコン

5.2.1.4. データ化の流れ

図-5.4 の流れでデータ化を行う。

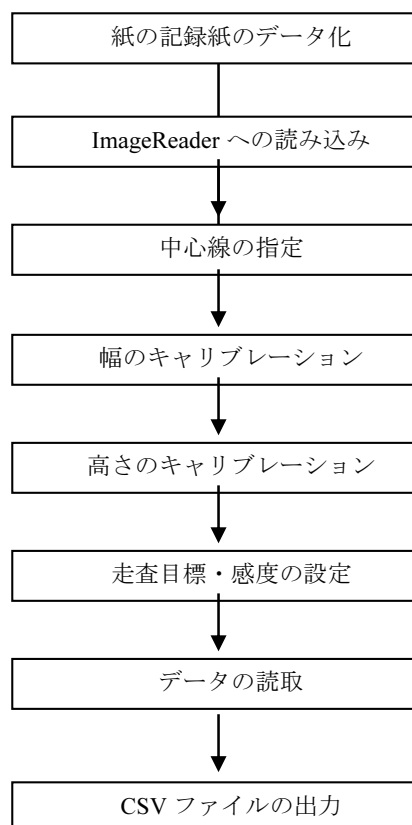


図-5.4 データ化の流れ

5.2.2 操作方法

5.2.2.1 ImageReader へ読み込み

ImageReader を立ち上げた画面を図-5.5 に示す。「ファイル」-「イメージファイルを開く」を選択、又は「イメージファイル読み込み」ボタンをクリックすると、「イメージファイルを開く」ダイアログが立ち上がるので、ファイルを指定して読み込む。

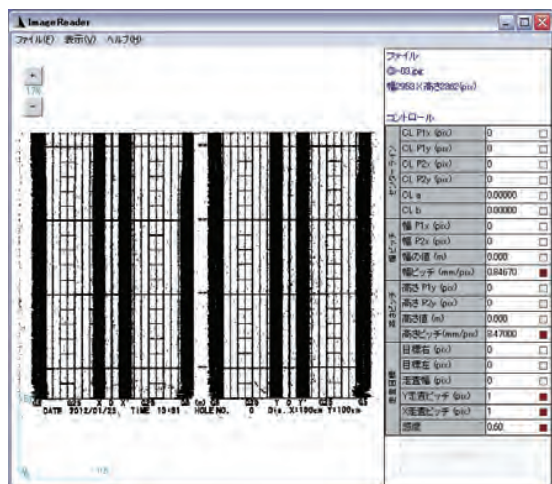
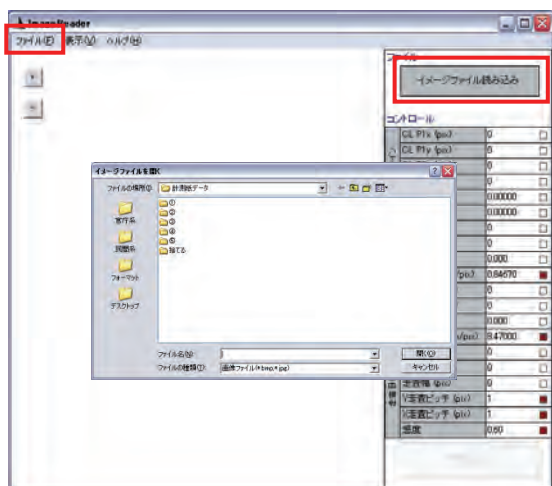


図-5.5 ImageReader ヘデータ読み込み

- スキャナーを使用して、JPEG ファイル又はビットマップファイルにする。
- その際に 300dpi 以上の解像度で読み込む事を推奨する。
- JPEG ファイルは白黒の設定を推奨する。

5.2.2.2 中心線の指定

中心線の指定について図-5.6 に示す。中心線を 2 点で指定する。始めに「CL P1x」又は「CL P1y」をクリックする(①)。すると右の口部分が赤くなるので、中心線の上の点を左側の画面で指定する(②)。その際にプラス又はマイナスボタンで拡大して目標を見やすくできる(③)。同様に「CL P2」を指定する(④、⑤)。指定が済んだ箇所は口が赤く塗りつぶされる(⑥)。また、画面上には中心線が赤色の点線で表示される。

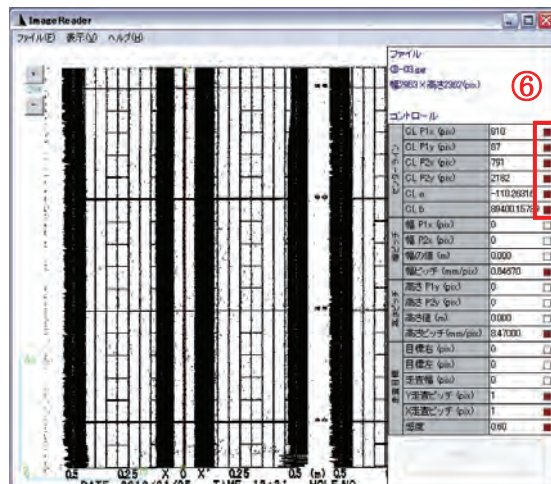
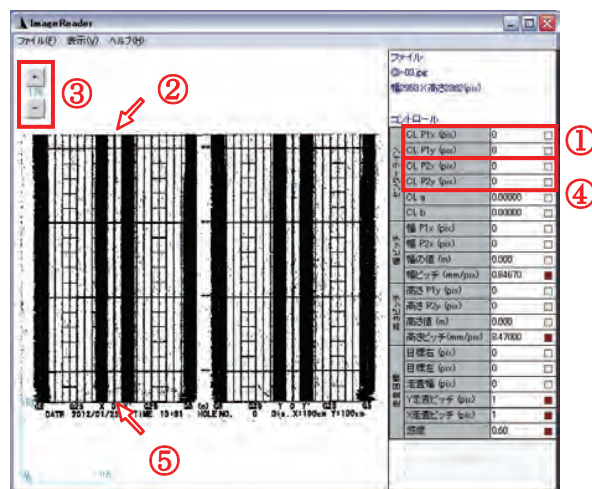


図-5.6 中心線の指定方法

指定した2点(CL P1, CL P2)は、各 Y の値の区間が走査する範囲となる。また X 方向の傾きは、走査するときの傾きとなる (図-5.7)。

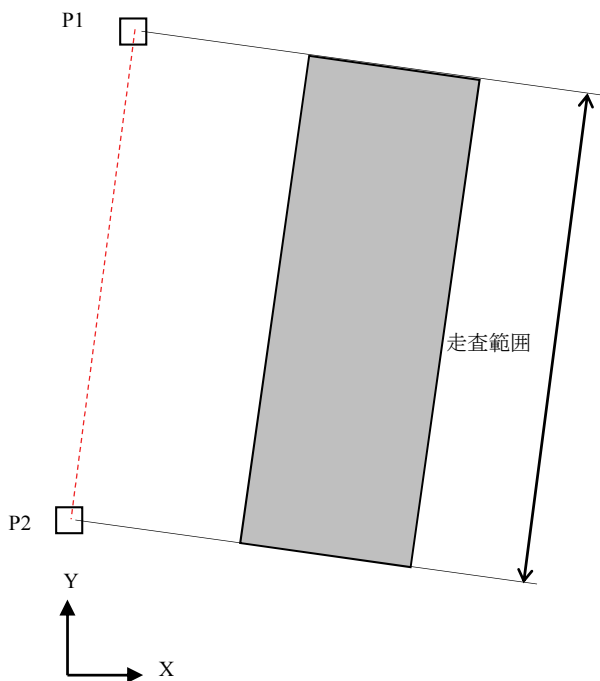


図-5.7 走査範囲の考え方

5.2.2.3. 幅のキャリブレーション

幅のキャリブレーション方法について図-5.7に示す。幅方向の実際の長さをファイル上の幅へと変換する。はじめに「幅 P1x」をクリックして①、左側の画面で中心線などの1点を指定する②。同様に「幅 P2x」を指定する③、④)。

2点が指定できたら「幅の値」をクリックする⑤)。「値入力」ダイアログボックスが表示されるので、2点で指定した間の実際の距離をメートル単位で入力する。入力が完了すると「幅ピッチ」覧に幅のピッチ値(mm/pix)が算出され、設定さる。予めこの値が解っている場合には「幅ピッチ」をクリックして、同様に入力することができる。

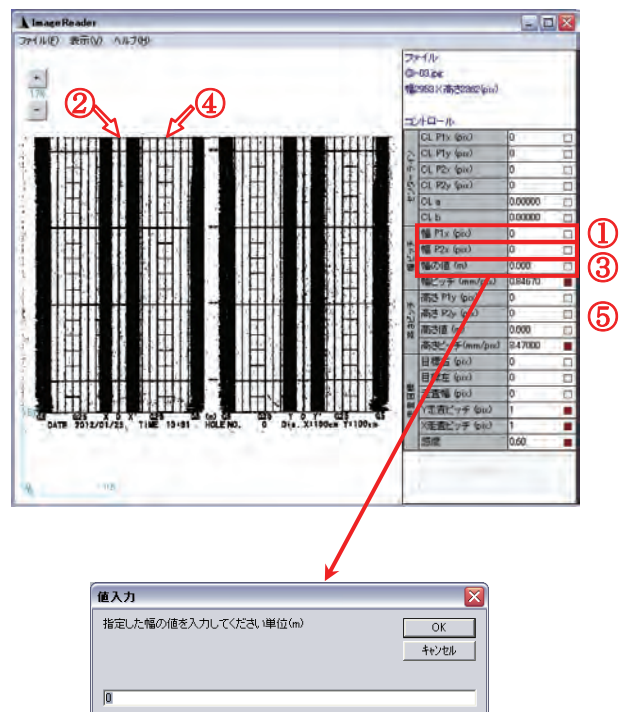


図-5.7 幅のキャリブレーション方法

5.2.2.4. 高さのキャリブレーション

幅のキャリブレーションと同様に、高さ方向の値を指定する。

5.2.2.5. 走査目標・感度の設定

走査目標・感度の設定の説明を図-5.8に示す。走査を行う概略の目標中心を指定する(①)。指定は左右に分けて行う(②, ③)。走査目標は画面上にピンクの点線で表示される。

指定が済んだら「走査幅」をクリックして(④)、走査する幅(pixel)を指定する。走査の幅は先ほど指定した走査目標から左右に指定した pixel 数となる。走査する範囲は水色の点線で表示される。

感度は、読み取る値がまばらなときや密度が濃い場合に調整を行う項目である。デフォルト値は0.6である。

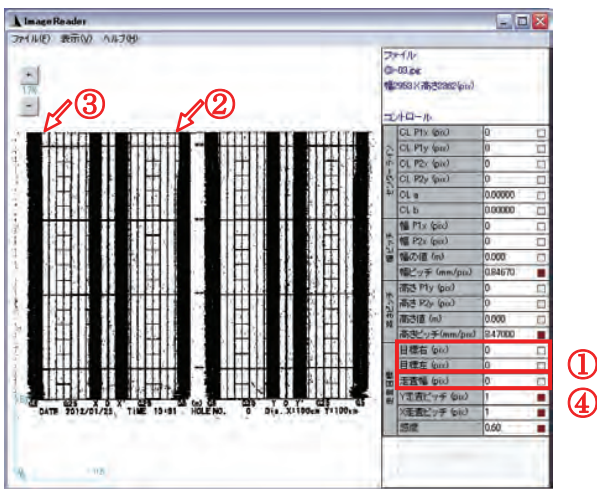
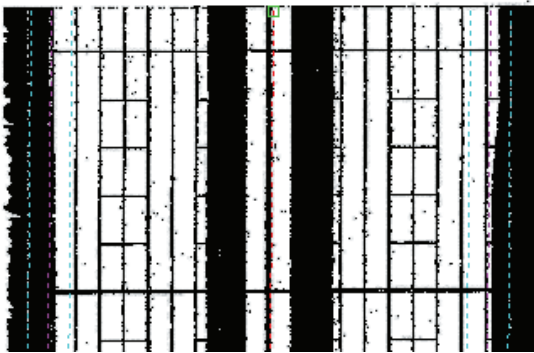


図-5.8 走査目標・感度の設定方法



5.2.2.6. 読取スタート

取得スタートの説明を図-5.9に示す。各項目の設定が済むと「取得スタート」ボタンが表示されるので、このボタンをクリックして読み取りをスタートさせる。読み取りが完了すると結果表示ウィンドウが立ち上がる。

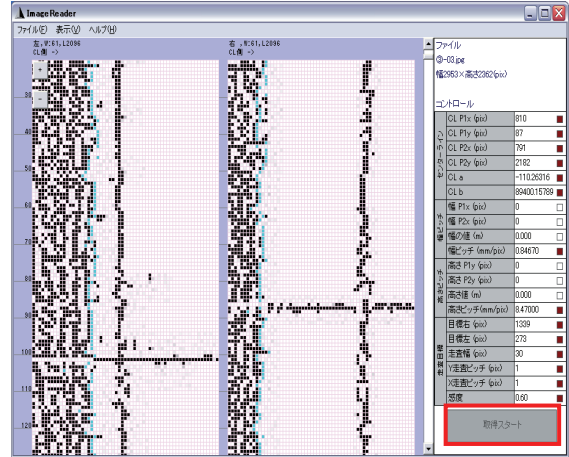


図-5.9 取得スタートの説明

5.2.2.7. CSV ファイルの出力

「ファイル」-「CSV ファイルを保存」を選択して、CSV ファイルを保存する (図-5.10)。

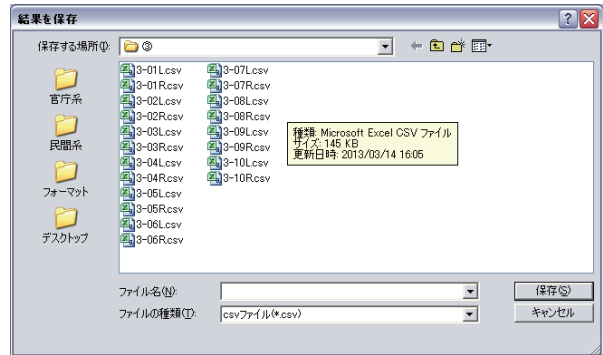


図-5.10 ファイルを保存指定画面

5.2.2.8 ファイル操作

ファイル操作の説明を図-5.11 示す。読取条件は外部ファイルに保存して、再度読み込むことで、再び利用できる。

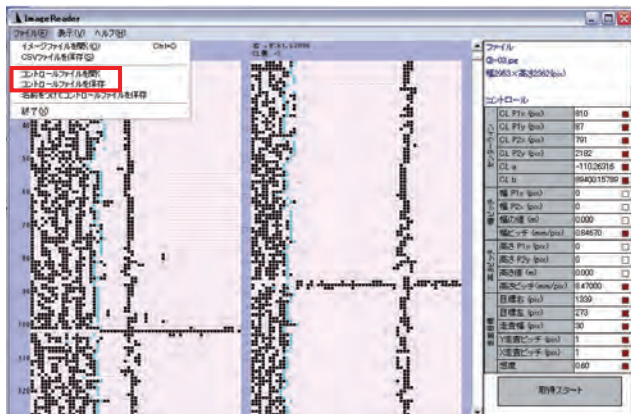


図-5.11 ファイル操作の説明図

コントロールファイルを開く・・・条件を読み込む

コントロールファイルを保存・・・条件を保存

コントロールファイルは拡張子 cri のテキスト形式である。

6. まとめ

地中に埋設された鋼管杭の変形計測手法について、超音波式側壁測定装置をベースとした検討を行った。

超音波式側壁測定装置とジャイロを組合せて一つの台車に搭載し、深度、超音波データ（4方向のセンサと正対する管壁の距離、）より管壁の凹凸の検出、3軸ジャイロにより鋼管の傾きを同時に計測する方法を提案した。また、各深度において、超音波の4点を用いた断面図の表示も可能であると分かった。さらに、各計測は電子データとして取得でき、簡易に繰り返し計測が可能であった。簡易で、再現性が高いことより、運用向きシステムと考える。

次に、側壁記録の計測精度の検証と併せて、精密計測の提案を行った。超音波側壁測定装置の放電記録紙あるいはRS-232C（電子出力）では、管口部でいずれかの1チャンネルを対象としてパーチェックを行うため、残りの3チャンネルは相対的な側壁記録であった。距離の正確さはパーチェックをしたチャンネルでは、製品としての仕様通り±2%以内であった。一方、精密計測として提案した、オシロスコープを併用し後処理をする方法では、位相乱れの少ない

受信波形を取得できれば精度±0.5%以内であるとわかった。また、現地にてこれらの計測を行い、実証した。これらの検討より、提案した精密計測は鋼管の変形を精密に調査したいときに十分適用できること、放電記録紙及び電子出力での記録は即時的なデータ確認あるいは被災後調査向きであることを示した。さらに、運用性を向上させるため、被災後調査に対しては即時的な図化アプリケーションを構築し、それらについてまとめた。

7. おわりに

これまで、既設ガイド管のない埋設鋼管杭に変形等の不具合があるかも知れない場合、その変形計測を評価する方法が存在しなかった。本検討により、鋼管杭の鋼管杭の変形計測手法として、大きく分けて二種類の方法を得た。すなわち、被災後等に即時的に埋設鋼管杭の傾斜あるいは表面の凹凸を確認する方法と、経年変化等の緩やかな変形を精密に取得する方法である。いずれの方式も、センサ部を搭載する計測台車を併用することで、鋼管杭の傾斜が大きい場合にも対応することが可能となった。これらのいずれの方式も、計測対象の埋設鋼管杭内部を水で飽和すること、管上部に超音波式側壁測定装置のウインチを設置できるスペースがあれば、適用が可能である。

本検討にて提案した方式を適用することで、既設埋設鋼管杭に変形推定するための基礎データを取得することが可能となった。これにより、補修工事などの設計や定期メンテナンス等の際に、使用材料、労務コスト等のコスト削減をもたらす効果が期待できると考える。

尚、本検討終了後に、2回ほど調査依頼を受けて某防波堤の鋼管矢板等について精密計測を実施しており、その後の構造解析の基礎データとして使用されたことを申し添えておく。

(2014年11月7日受付)

参考文献

実吉・菊池・能本 (1966) : 超音波技術便覧, 日刊工業新聞社, pp.1202.

記号表

c : 水中音速 (m/s)

T : 水温 (°C)

港湾空港技術研究所資料 No.1304

2015. 3

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 大 應

Copyright © (2015) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。