

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「非開削工法用高精度掘削システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成23年9月

委託者 九州経済産業局

委託先 財団法人佐賀県地域産業支援センター

目次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 1
- 1-2 研究体制 3
- 1-3 成果概要 7
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口 7

第2章 本論一（1）

- 2-1 掘削ビット先端の位置計測システムの開発 8
- 2-2 目的と目標 8
- 2-3 センサ選定のための基礎実験 8
- 2-4 実験結果 9
- 2-5 研究成果と今後の課題 9

第3章 本論一（2）

- 3-1 データ伝送システムの開発 10
- 3-2 目的と目標 10
- 3-3 実験方法 10
- 3-4 実験結果 10
- 3-5 研究成果と今後の課題 11

第4章 本論一（3）

- 4-1 3次元表示ソフト開発及び位置決めシステムのプロトタイプ
試作 12
- 4-2 目的と目標 12
- 4-3 開発項目 12
- 4-4 開発結果 13
- 4-5 研究成果と今後の課題 16

第5章 本論一（4）

- 5-1 研究統括、プロジェクトの管理運営 17
- 5-2 実施概要 17
- 5-3 今後の課題と取り組み 17

第6章 総括

- 6-1 研究成果の全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18
- 6-2 サブテーマの総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18
- 6-3 今後の事業化に向けての取組み・・・・・・・・・・ 18

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究の背景及び目的

土木工事用水平ドリルを使った非開削工法は道路などを開削することなく、従って片側通行等の交通規制をすることなく水道管やガス管、電源ケーブルなどを地中に埋設することができる便利な工法である。この工法を使い目的地まで正確に掘削するには、掘削ビットの位置を正確に把握する必要がある。従来工法では掘削ビット根元に取り付けた発信機からの電磁波を真上の受信機で受信し、電磁波の強度によってビットの位置を推定している。この方法では直上に建物や川などがあると、掘削ビットの位置計測が不可能なため非開削工事を行うことができなかった。また、近い将来発生すると予想されている東南海地震などの地震による液状化被害対策として、既存建物直下の地盤改良工事に対応できるシステムの開発が望まれており、多くの建設会社が建物直下の地盤改良工法の開発に着手しているが、リアルタイムに掘削ビットの位置を計測し、位置決めを行える小型のシステムは開発されていない。

このような背景のもとに本研究開発では、オープンカット工法よりもコストが安い非開削工法の普及、及び構築物直下の地盤改良などの工事を行う際に地上に建物の有る無しに関わらずオペレータの手元でボーリング先端位置を特定して、正確にボーリング出来るシステムを開発することを目的とする。

(2) 研究の概要

本研究ではジャイロセンサと加速度センサを組み合わせた小型で安価な位置計測装置を開発し、測定データを弾性波等でオペレータの手元まで伝送して、掘削ビットの位置決めの高精度化に対応した地下掘削位置計測の信頼性向上を図る。これにより、掘削機のビット位置検出と掘削システムの高精度化が可能となり、センサ上部に建物や河川があってもリアルタイムに掘削機の先端位置方向を正確に計測できるようになる。

このような位置決めシステムを備えた非開削工法掘削システムを開発するために、①掘削ビット先端位置計測システムの開発、②データ伝送システムの開発、③三次元ソフト開発及び位置決めシステムのプロトタイプ試作の3つのサブテーマを設定し、地下掘削位置決定の精度を飛躍的に向上させる高精度掘削システムを開発する。

掘削ビット先端の位置計測システムの開発においては、加速度センサ及びジャイロセンサを一体化した位置計測センサと伝送システム、並びに電源となるバッテリーを外径Φ48mm以内のゾンデに収納できるような小型システムを開発する。また、位置データをオペレータの手元まで伝送するため、50mの距離を伝送可能な音波伝送システムの開発と検証を行う。さらに、掘削位置の3次元表示ソフトを開発し、位置決めソフト及びハードを水平ドリルに搭載して50mの位置を0.1%以内の精度で計測でき、最大10Gの振動に耐える位置決めシステムのプロトタイプを試作する。

(3) 実施内容

①掘削ビット先端の位置計測システムの開発（株式会社ワイビーエム、九州大学）

- ・掘削距離最大50mの位置を精度0.1%以内で高精度に測定でき、外径φ48mm以内のゾンデに収納できるような小型の掘削ビット位置計測システムを開発する。
- ・具体的には、使用環境に適したセンサを選定し、センサ動作のための基板を製作して動作特性を確認し、掘削ビットの位置計測システムの絶対精度、繰り返し精度を評価する検証装置を設計・製作する。
- ・また、位置計測システムの小型化を図り、長時間掘削のための必要電力の検証、バッテリーの選定、及び振動式発電システムの開発を行う。

②データ伝送システムの開発（株式会社ワイビーエム、九州大学）

- ・掘削距離50mを伝送可能な音波伝送システムの開発と検証を行う。具体的には以下の項目について研究開発を実施する。
- ・加速度センサとジャイロセンサで測定した掘削ビット先端位置データを、掘削ボーリングロッド内を音波で掘削機オペレータ手元まで伝送するシステムを開発する。
- ・可変式の音波発生装置を製作し、環境によって弾性波が道のように伝わるかを検証する。

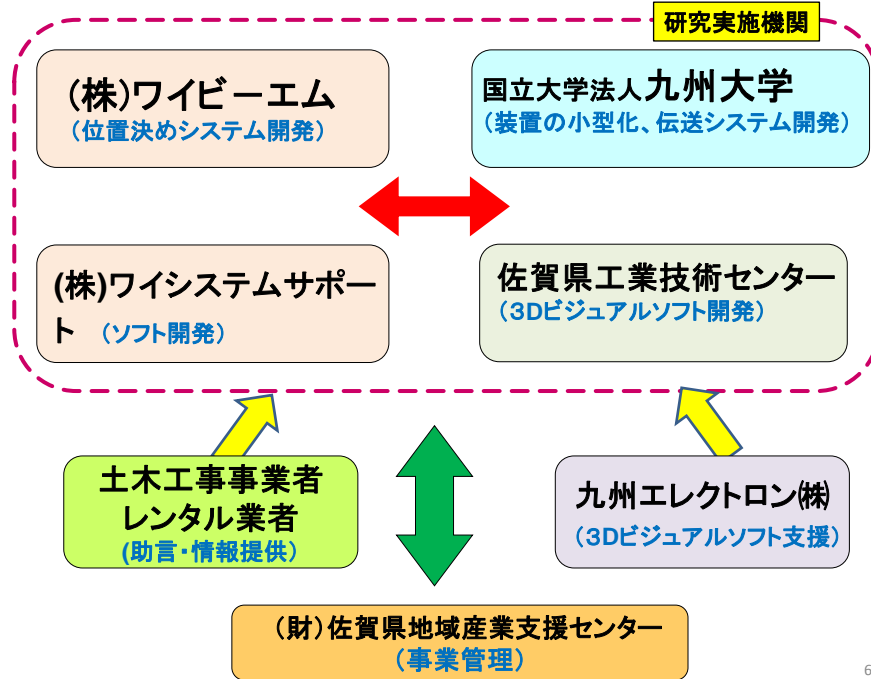
③3次元表示ソフト開発及び位置決めシステムのプロトタイプ試作（株式会社ワイビーエム、九州大学、株式会社ワイシステムサポート、佐賀県工業技術センター）

- ・位置決めハード及びソフトを装備したプロトタイプの位置決め装置を開発し、位置計測システム検証用台車に搭載しての50mのスペース内で実証試験を行い、その結果をフィードバックして位置決め装置の改造を行う。
- ・実際の掘削の軌跡が視覚的にわかる掘削位置の3次元位置表示システムを開発する。
- ・実用機で想定される最大10Gの振動を発生させ、位置計測装置、データ伝送装置を搭載した位置決めシステムプロトタイプ試作機に振動を与えて耐振動性や耐久性を検証し、外部に最大10Gが加わってもセンサ部に加わる加速度を1G以下に抑える防振機構を開発する。

④プロジェクトの管理・運営（財団法人佐賀県地域産業支援センター）

事業推進委員会の開催、プロジェクト会議の開催等、当該プロジェクトが円滑に運営され、かつ目標が確実に達成できるように、参加研究機関及び事業管理者間の連携を密に図るとともに、プロジェクト全体の運営と進捗管理を行い、事業化へ向けた支援を行う。また、研究開発の実施内容を整理し、経理報告書と成果報告書の取りまとめを行う。

参加研究機関の研究分担を図1.1に示す。



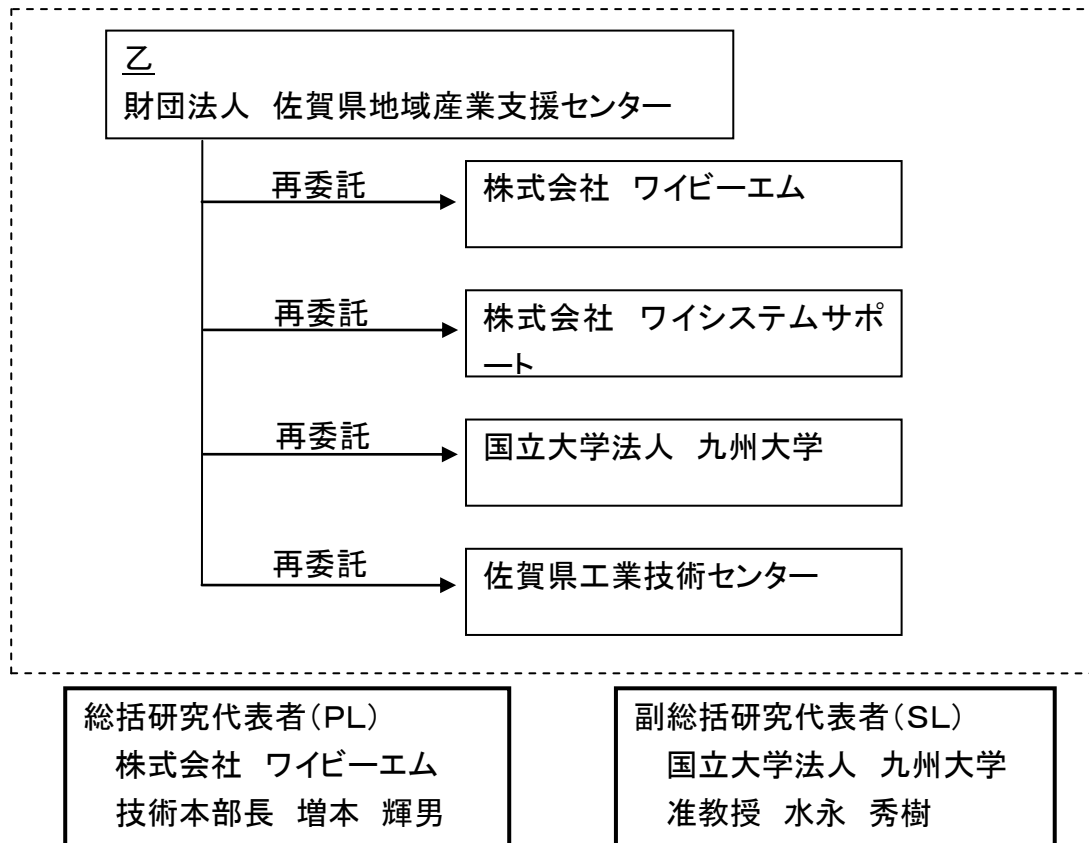
6

図 1.1 研究参加機関の研究分担

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

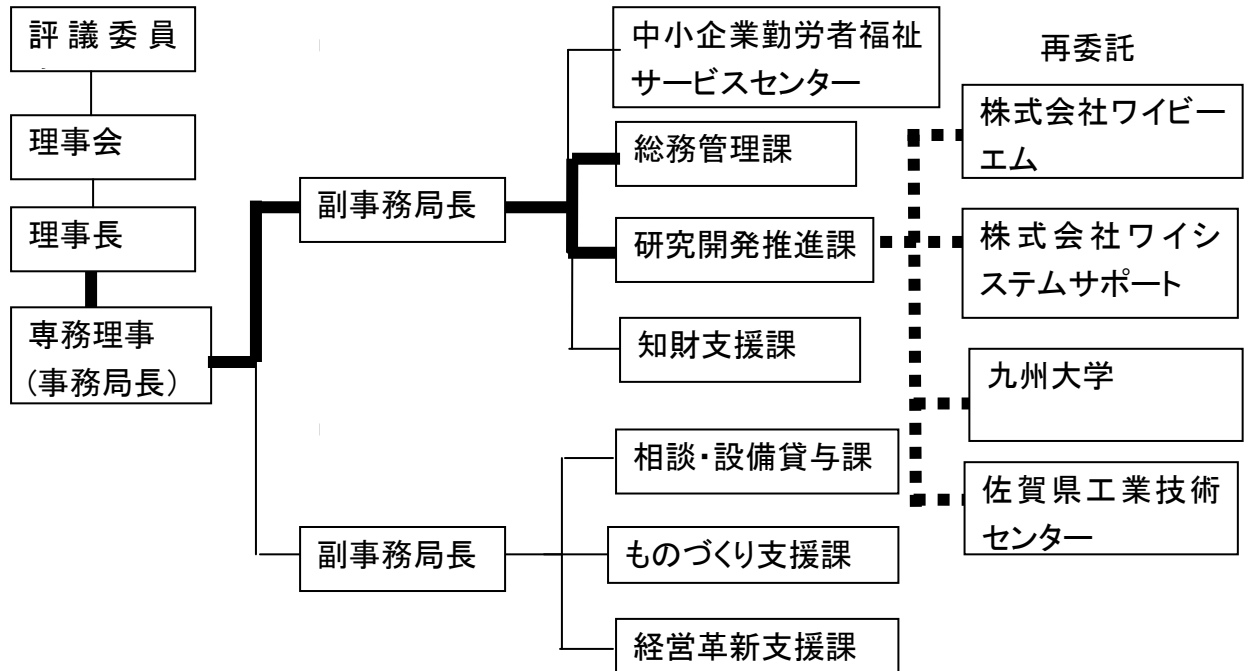
1) 研究組織 (全体)



2) 管理体制

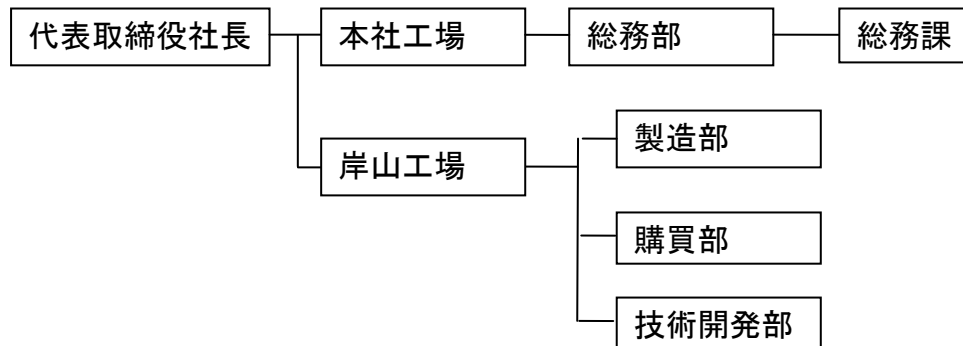
① 管理法人

【財団法人 佐賀県地域産業支援センター】

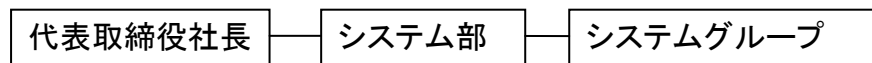


② (再委託先)

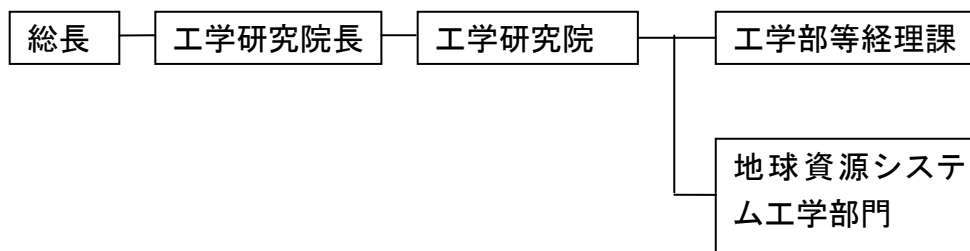
株式会社 ワイビーエム



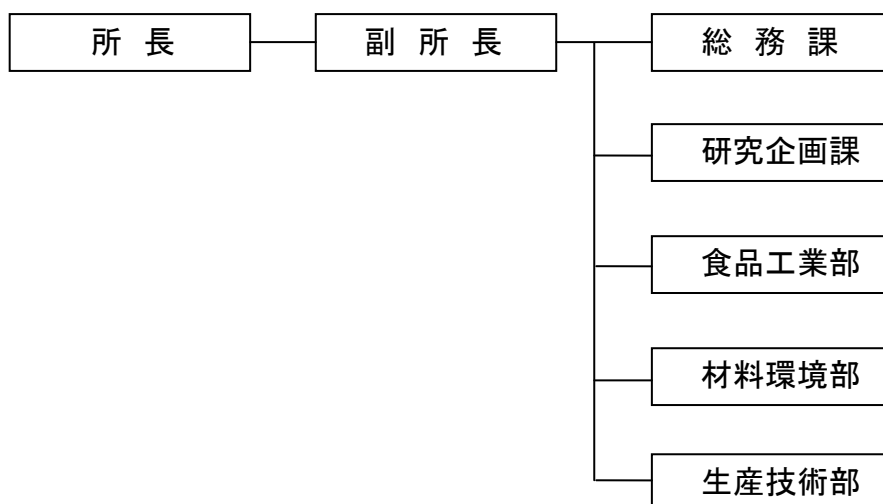
株式会社 ワイシステムサポート



国立大学法人九州大学



佐賀県工業技術センター



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人佐賀県地域産業支援センター

①管理員

氏名	所属・役職
北川 幸浩	副事務局長（総務管理課長兼務）
坂井 亨	研究開発推進課 課長
安田 誠二	研究開発推進課 科学技術コーディネータ
永松 優希	研究開発推進課 主事

②【再委託先】※研究員のみ

株式会社 ワイビーエム

氏名	所属・役職
増本 輝男	取締役 技術本部長
榎田 智之	技術開発部 部長
財部 繁久	技術開発部 副部長
江口 照美	技術開発部 グループ長
武藤 真幸	技術開発部 主査
永石 孝司	技術開発部 グループ長
上田 晃	技術開発部 グループ員

株式会社 ワイシステムサポート

氏名	所属・役職
坂本 光弘	システム部 次長

居石 良	主事
原 遼太郎	一般

国立大学法人 九州大学

氏名	所属・役職
水永 秀樹	大学院工学研究院 准教授
田中 俊昭	大学院工学研究院 助教

佐賀県工業技術センター

氏名	所属・役職
白仁田 和彦	生産技術部 部長
大坪 昭文	生産技術部 特別研究員

③協力者

推進委員会委員

(外部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
関根 康正	関根工業有限会社 社長	アドバイザー
本木 兼人	九州エレクトロン株式会社 代表取締役社長	アドバイザー
牛島 恵輔	九州大学名誉教授	アドバイザー
臼井 一郎	佐賀県工業技術センター所長	アドバイザー

(内部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
吉田 哲雄	株式会社ワイビーエム 代表取締役会長	委員長
増本 輝男	株式会社ワイビーエム 取締役技術本部長	PL
榎田 智之	株式会社ワイビーエム 技術開発部 部長	委
財部 繁久	株式会社ワイビーエム 技術開発部 副部長	委
坂本 光弘	株式会社ワイシステムサポートシステム部次長	委
水永 秀樹	国立大学法人九州大学 大学院工学研究院 准教授	SL
田中 俊昭	国立大学法人九州大学 大学院工学研究院 助教	
白仁田和彦	佐賀県工業技術センター 生産技術部 部長	
大坪 昭文	佐賀県工業技術センター 生産技術部 特別研究員	
山口 悟	財団法人 佐賀県地域産業支援センター 専務理事	

1-3 成果概要

(1) 掘削ビット先端の位置計測システムの開発

本研究により開発した新しい計測方法及びアルゴリズム（計算方法）により計測時の作業性、計測精度共に実用に耐えうるレベルの計測システムを開発することが出来た。

(2) データ伝送システムの開発

小型、小消費電力の音波発生装置及び受信装置を開発し先端に取り付けた掘削用ビットの位置情報データを音波に変換し掘削用ボーリングロッドを通して開発目標である50m以上伝送可能であることを確認できた。

(3) 3次元表示ソフト開発及び位置決めシステムのプロトタイプ試作

1) 3次元表示ソフト開発

掘削位置の数値データから掘削ビットの現在位置と軌跡を三次元的に表示し、実際の掘削の軌跡を視覚的にわかりやすく表示するソフトを開発した。

2) 位置決めシステムのプロトタイプ試作

計測器収納ゾンデ外形 $\Phi 4.8\text{mm}$ 及び外部に10G以上の加速度が加わってもセンサを装着した基板に加わる振動を1G以下に抑えることができる防振機構を備えた位置決めシステムのプロトタイプを開発した。

(4) プロジェクトの管理・運営

研究推進委員会及びプロジェクト会議を委託期間内に各2回開催し、研究の方向付けや研究進捗状況の発表等を行い、プロジェクトマネージャーを中心に研究の方向付けや計画の見直し等を議論し、研究統括の初期の目標を達成した。また、管理法人は研究実施場所を訪問して購入物品等の確認を実施するとともに、経理処理要領や従事日誌作成などを説明し、随時参加機関に電話・メール等で適切な予算執行について指導・助言を行って効率的な経費の運用に努めた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人 佐賀県地域産業支援センター 研究開発推進課 課長 坂井 亨

・住所；〒849-0932 佐賀市鍋島町八戸溝 114

・電話；0952-34-4413

・FAX；0952-34-4412

・E-mail；sakai@mb.infosaga.or.jp

第2章 本論一（1）

2-1 掘削ビット先端の位置計測システムの開発

本研究開発では、掘削ビットの先端位置を掘削中に計測するために、掘削ビットに内蔵した小型の計測システムを開発する。さらに計測データから高精度に掘削位置を推定するアルゴリズムを考案し、掘削位置の3次元座標を計算するプログラムを開発する。

2-2 目的と目標

本研究開発では、掘削作業全体の効率化のため、掘削途中のドリルパイプ交換時に短時間で位置計測できる計測システムを試作する。そのために、1)位置計測に最適なセンサの選定、2)掘削ビットに内蔵できる小型計測システムの開発、3)計測データから掘削ビットの3次元位置を推定する計算プログラムの開発を実施する。

2-3 センサ選定のための基礎実験

2.3.1 加速度センサとジャイロセンサの選定

位置計測システムに搭載予定の高精度の加速度センサ及びジャイロセンサの性能と他のセンサを比較するための基礎実験を実施して実用に耐える精度のセンサを選定し小型化した位置計測装置の基板と受信装置の基板を製作した。図2.3.1に製作した位置計測装置の基板と受信装置の基板を示す。



図 2.3.1 製作した受信装置（上）と位置計測装置（下）の基板

2.3.2 必要電力の検証と電源システム

位置計測装置で測定した結果を地上へ送信する際に最大の電力が必要になる。データ送信時は通常時の5倍の消費電力が必要となり、データ送信を短時間で送信回数を減らすことで、内蔵バッテリーの消費を低減できる。内蔵バッテリーを使用し、連続的にデータ送信した場合でも、1日半の連続稼働が可能であることがわかった。

バッテリーケースを図2.3.2に示す。

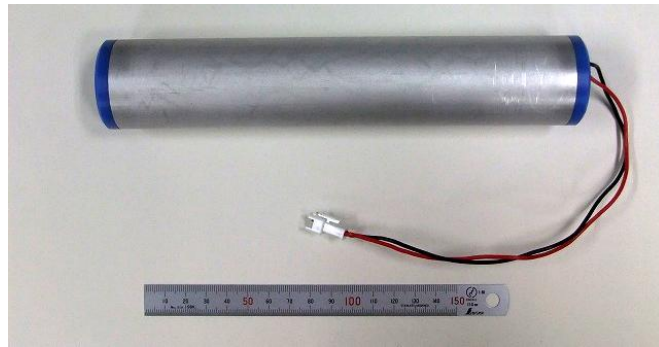


図 2.3.2 バッテリーケース

2-4 実験結果

実際の掘削を想定して、3mのドリルパイプの50本分(計150m)のシミュレーションを実施した。進行方向の水平距離(x)と深度(z)は、極めて高い精度で推定できていることがわかる。図 2.3.3 の横軸は掘削位置からの水平距離であり、縦軸は掘削深度である。▲は計算値をプロットした図、●は理論値をプロットした図。

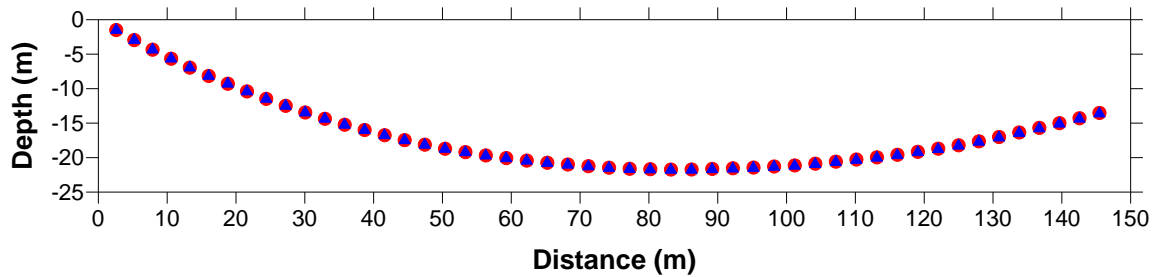


図 2.3.3 3次元位置推定プログラムを用いた計算例

2-5 研究成果と今後の課題

本研究開発では、掘削ビットの先端位置を掘削中に計測するために、掘削ビットに内蔵した小型の計測基板を開発した。大幅に省電力化した小型の計測基板の消費電力を評価したところ、24時間あたり1000回の測定とデータ伝送を実施すると8日間、10000回の測定とデータ伝送を実施しても3日間以上の連続稼働が可能であることが確認された。本研究で開発した計測システムを用いれば、掘削途中のドリルパイプ交換時に短時間で位置計測できる。

小型の計測基板については、ノイズ除去法などの改良によりセンサの測定値の高精度化が今後の課題である。本システムでは、掘削方向の変化が小さい場合には高精度の位置推定が可能であるが、掘削方向が急激に変化する場合には推定精度が低下する場合もあるため、位置推定アルゴリズム及びプログラムの改善を引き続き行う予定である。

第3章 本論一（2）

3-1 データ伝送システムの開発

本研究開発では、掘削ビットに内蔵された位置計測システムから、掘削ロッド自身を情報伝達の媒体として利用し、音波を用いて情報を伝達するデータ伝送システムを開発する。

3-2 目的と目標

本研究開発では、位置計測システムで測定した測定値を地上の掘削機のオペレータの手元まで50m以上の距離を伝送するデータ伝送システムを開発する。データ伝送システムの開発は、弾性波の送信と受信を行う発振機および受信機の選定、掘削ロッドの振動特性の把握、送信回路および受信回路の開発から構成される。

3-3 実験方法

3.3.1 発振機の選定

掘削ロッドを情報伝達の媒体として、音波を用いてデータ伝送するためには、十分な出力の弾性波を送信する必要がある。また長い距離伝播した微弱な弾性波を受信する受信装置は、高感度な受信が可能である必要性がある。

また、掘削ビット中に位置計測システムと送信装置を直径 ϕ 48mm以内のゾンデ内に内蔵するために、送信装置は小型で小電力である必要がある。以上のことを踏まえて、文献調査などを実施した中から最適と判断した発振素子を選定し実験を行った。

3-4 実験結果

実験は株式会社ワイビーエム社岸山工場敷地内の50m以上の直線区間が確保できる場所を選定し、実施した。1本3mの掘削ロッドを順次接続し、延長しながら異なる2種類の弾性波を送信した。受信側では到達する音波の波形と周波数スペクトルを確認し、送信した波形の振幅と歪みを確認した。試験状況を図3.3.1及び図3.3.2に示す。



図 3.3.1 発信側の様子



図 3.3.2 受信側の様子

実験結果の一例として図 3.3.3 に 15m 地点、図 3.3.4 に 51m 地点における音波の振幅(上)及び周波数スペクトル(下)を示す。

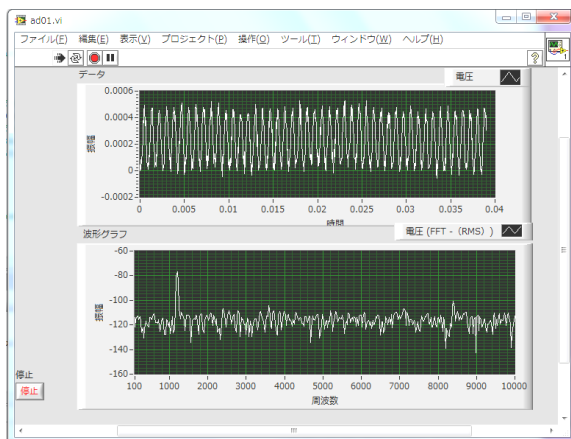


図 3.3.2 15m 地点

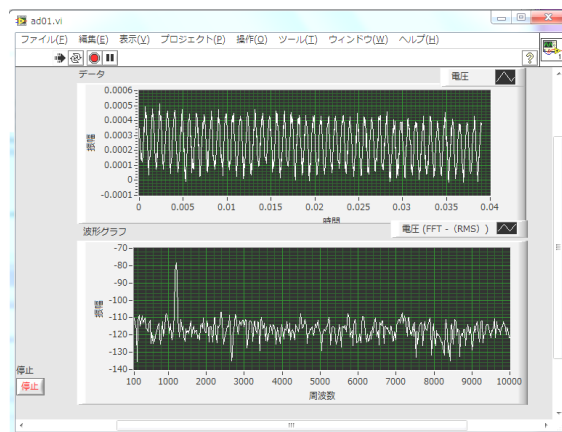


図 3.3.3 51m 地点

15m 地点と 51m 地点とでは振幅に明瞭な差異は認められず、ほとんど減衰の影響はなく 50m 伝送に十分に使用可能なことがわかった。

3-5 研究成果と今後の課題

データ伝送実験の結果、51m 離れた距離でも音波の減衰が認められず、さらなる長距離のデータ伝送の可能性が認められた。また、データ伝送速度は、毎秒 20 ビットの速度でデジタル情報を伝送できることが確認できた。

室内実験や野外実験など、様々な環境でデータ伝送実験を行った結果、ノイズが多い環境では微弱な弾性波を受信する受信回路がノイズの影響を受けやすく、調整が必要な場合もあることがわかった。今後データ伝送システムの耐ノイズ性を向上させるために回路のさらなる改良を行い、データ伝送の安定性を強化することで製品化を目指す。

第4章 本論一（3）

4-1 3次元表示ソフト開発及び位置決めシステムのプロトタイプ試作

先端の位置計測システムからボーリングロッドを通して弾性波で送られてくる信号を処理し現状の掘削位置をオペレータの手元で3次元表示するソフトを開発した。

位置決めハード及びソフトを装備したプロトタイプの位置決め装置を開発し、位置計測システム検証用台車に搭載しての実証試験を行った。

4-2 目的と目標

- 1) 非開削工法用高精度掘削システムにおいて、掘削の軌跡が視覚的にわかりやすく水平ドリル掘削オペレータの補助を行うソフトウェアの開発を目的とし、本事業終了までに、先端プローブより伝送されたデータをもとに3次元位置表示を行うシステムを開発する。
- 2) 位置決めハード及びソフトを装備した位置決め装置プロトタイプを試作する。
計測器収納ゾンデ外形φ48mm
- 3) 検証用台車を製作しプロトタイプ試作機を検証用台車に設置し検証用台車でプロトタイプ試作機の傾きや回転角度を変えて位置情報を50m伝送できることを確認する。
- 4) 実施工で想定される最大10Gの振動を発生させ最大10Gの加速度が加わってもセンサー部に加わる加速度を1G以下に抑える防振機構を開発する。

4-3 開発項目

4.3.1 3次元表示ソフトの開発

施工中に位置検出装置内伝送機から送信される位置情報を計測コントローラが受信し、解析を行い算出された位置情報をオペレータの手元で3次元表示するシステムを開発する。

4.3.2 位置決めプロトタイプの試作

下記寸法の位置決めシステムプロトタイプを試作する。

- ・位置決めシステムプロトタイプ寸法：外形φ106mm×全長1233mm
- ・センサー部収納ゾンデ寸法：外形φ48mm×全長428mm
- ・寸法に関する目標値：センサー部収納ゾンデ外形 φ48mm

4.3.3 検証用台車の製作

位置計測システムプロトタイプ試作機の性能を確認するためGPS計測装置を備えた検証用台車を製作する。

台車にプロトタイプ試作機を設置して前後の傾斜や高さ及び回転角度を変化させながら模擬的に地中にある状況を作り出し、GPSの位置情報と比較することによ

りプロトタイプのパフォーマンスを確認する。

4.3.4 防振機構の開発

実用機で想定される最大10Gの振動を発生させ、位置計測装置、データ伝送装置を搭載した位置決めシステムプロトタイプ試作機に振動を与えて耐振動性や耐久性を検証し、外部に最大10Gが加わってもセンサ部に加わる加速度を1G以下に抑える防振機構を開発する。

4-4 開発結果

4.4.1 3次元表示ソフトの開発

施工中に掘削ビットに取り付けた位置計測システムから得られる3次元位置データをもとに、施工中の軌道を3次元表示する機能の開発を行った。表示画面例を図4.4.1図4.4.2に示す。

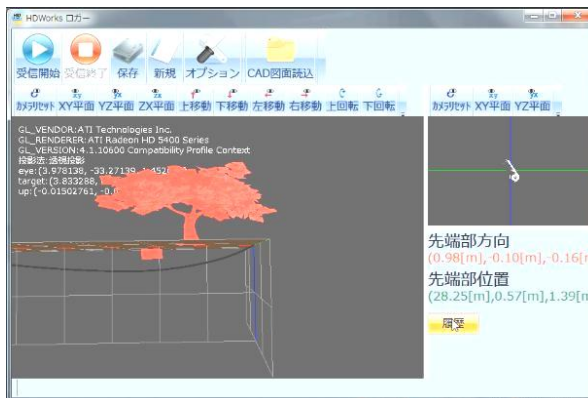


図 4.4.1 表示画面例

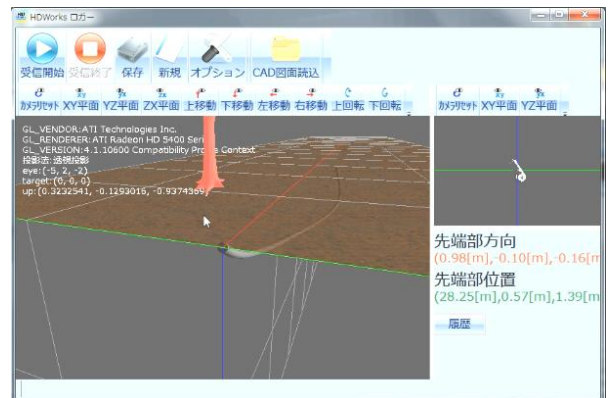


図 4.4.2 表示画面例

4.4.2 位置決めプロトタイプの試作

開発目標値 $\phi 48$ 外形のセンサ部収納ゾンデを内蔵した位置決めプロトタイプ試作機を開発した。プロトタイプ試作機全景を図4.4.3に、センサ収納ゾンデ全景を図4.4.4に示す。



図 4.4.3 位置決め装置プロトタイプ試作機



図 4.4.4 センサー収納ゾンデ外形 $\phi 48$ mm

4.4.3 検証用台車の製作

台車にプロトタイプ試作機を設置して前後の傾斜や高さ及び回転角度、前後左右の位置を変化させ、GPSの位置情報と比較することができる台車を製作した。検証用台車を図 4.4.5 に示す。



図 4.4.5 検証用台車による試験状況

4.4.4 検証用台車による 50m 移動確認試験

位置決めシステムプロトタイプを検証用台車に設置して、50m移動させGPSのデータと照合することで、位置決めシステムプロトタイプの測定精度の検証を行った。

GPSで測定した位置座標と比較した結果を図 4.4.6 に示す。

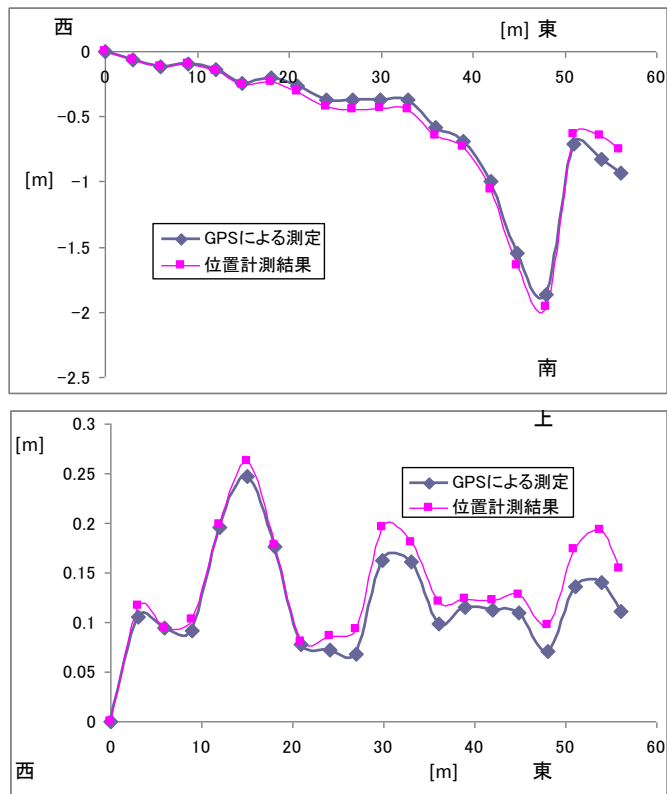


図 4. 4. 6 50m移動確認試験の結果

実験の結果から距離に対する水平誤差は距離約50m未満では概ね0.2%前後であり垂直誤差は全区間で0.1%未満を示し、精度が良いことがわかった。

4. 4. 5 防振機構の開発

ゴム系防振材と樹脂系防振材を組み合わせた防振システムにより外部から20G程度の振動が加わっても内部のセンサ類を装着した基板部に加わる振動をほぼ0に抑えることが出来た。試験結果を図4.4.7に示す。

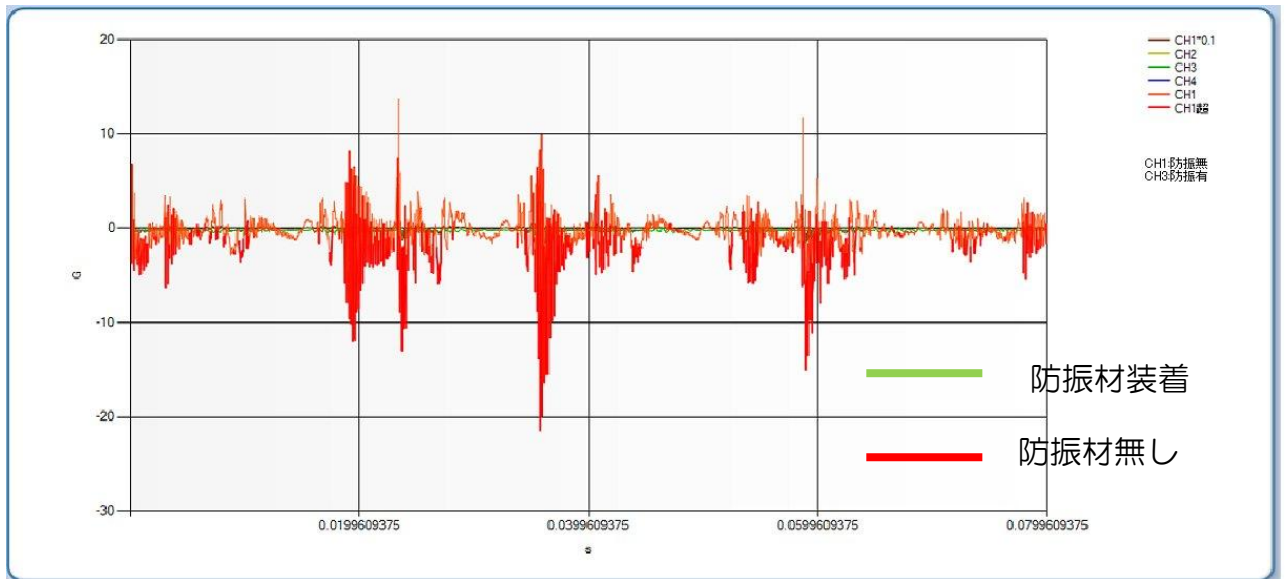


図 4.4.7 防振材装着及び防振材無の振動比較試験結果。

4-5 研究成果と今後の課題

4.5.1 3次元表示ソフト開発

施工中に得られた3次元位置データをもとに、施工中の軌道を3次元表示する機能を開発した。

・今後の課題

実際にオペレータに使用していただきながら使い勝手の良いソフトに仕上げていく予定である。

4.5.2 位置決めシステムのプロトタイプ試作

位置決めシステムプロトタイプの目標値である外形φ48の計測器収納ゾンデを内蔵した位置決めシステムプロトタイプを製作することが出来た。削孔径に合わせて様々なサイズの掘削ビットを取り付けることにより各種サイズの削孔径の水平ボーリングに使用することが可能となる。

・今後の課題

計測器収納ゾンデ現状外形φ48mmをさらに小さくして外形30mmの収納ゾンデに内蔵可能なシステムを開発していくことにより使用できる用途を広げていく予定である。

第5章 本論一（4）

5-1 研究統括、プロジェクトの管理運営

事業管理者である財団法人佐賀県地域産業支援センターは、プロジェクトマネージャーと連携を取りながら本プロジェクトの円滑な推進と研究の進捗管理のため、研究推進委員会及びプロジェクト会議を主催するとともに、必要に応じて技術情報の調査収集、研究機関間の連絡調整、予算等の事務管理を行った。また、中間検査や確定検査に対応するとともに、23年度の成果報告書のとりまとめを行った。

5-2 実施概要

1) 研究推進委員会

○第1回；平成23年3月10日、（場所；唐津ロイヤルホテル、唐津市）

事業管理者より本委員会設置要綱や本事業の制度概要を説明し、全体の研究内容を概説した。また、サブテーマごとに22年度の研究計画を説明し、質疑応答を行った。

○第2回；平成22年8月31日、（場所；唐津ロイヤルホテル、唐津市）

各サブテーマについて研究の進捗状況を分担研究機関より報告した後、各分担研究者より研究開発進捗状況について報告し、質疑応答及び意見・助言などの総合討論を行った。

2) 研究プロジェクト会議

○第1回；平成23年2月24日、（場所；株式会社ワイビーエム本社、唐津市）

事業管理者から経理処理等の注意点を説明し、研究内容については、各研究分担機関よりサブテーマ毎に研究計画の説明をして意見交換を行った。

○第2回；平成23年8月24日、（場所；株式会社ワイビーエム本社、唐津市）

今後の予定及び経理処理について管理法人より説明した後、各分担研究機関より研究開発の進捗状況について報告を行った。

3) その他の管理運営

中間検査や繰越し手続き、計画変更等のスケジュールは内容について随時内部打合せを行って確認した。これらの打合せ結果を踏まえて、管理法人は繰越し申請、計画変更、特許出願の事務処理を行うとともに、中間検査や確定検査のための書類作成や検査対応を行った。また、購入物品の検収や現地確認を行った。

5-3 今後の課題と取り組み

本事業は、22年度予備費で進めた事業であり、研究期間も短かったため、電話やメールにより日常の連絡を密にする必要があった。今後は補完研究で残された研究課題に取り組み、研究成果の事業化に向けて支援していく。

第6章 総括

6-1 研究成果の全体総括

本研究の開発目標5項目はすべて達成した。検証用台車を使った試験では50m掘削で垂直方向の誤差は最大0.1%5cm、水平方向の誤差は最大0.2%10cmとなる。土木工事の精度としては十分に実用範囲であるが、今後さらに精度を上げるためにアルゴリズム(計算方法)の研究を行っていく。

本研究により水平ドリルによる非開削工事を行う際に最大のネックとなっていた先端ビット位置計測システムの商品化に目途を付けることが出来た。

6-2 サブテーマの総括

6.2.1 掘削ビット先端の位置計測システムの開発

本研究で開発した新しい計測方法及びアルゴリズム(計算方法)により実用に耐える計測精度を持つ計測システムを開発することが出来た。

6.2.2 データ伝送システムの開発

小型、小消費電力の音波発生装置及び受信装置を開発し先端に取り付けた掘削用ビットの位置情報データを弾性波に変換し掘削用ボーリングロッドを通して開発目標である50m以上伝送可能であることを確認できた。

6.2.3 3次元表示ソフト開発及び位置決めシステムのプロトタイプ試作

1) 3次元表示ソフト

今回開発した3次元位置表示システムでは、先端ビットの軌跡だけでなく地中の埋設物やその他の障害物を施工中にリアルタイムで表示することができ、施工のために必要な情報が掘削オペレータの手元ですぐにわかるようになった。

2) 位置決めシステムのプロトタイプ試作

- ① 位置決めシステムプロトタイプの目標値である外形φ48計測器収納ゾンデを製作することが出来た。削孔径に合わせて様々なサイズの掘削ビットを取り付けることにより一般的な削孔径の水平ボーリングに使用することが可能となる。
- ② 速度10G以上の振動が加わってもセンサー類を装着している基板部に加わる振動を1G以下に抑える防振システムを開発することが出来た。

6-3 今後の事業に向けての取組

本研究によるデータを基に平成23年度中に商品化に向けた試験研究・設計を行いデモ機1台の製作を行う。

平成24年度にデモ機を提供し施工業者による実地検証を行いデータを蓄積後平成25年度中に水平ドリル掘削用の位置計測システムの販売を開始していく予定である。