

シールド・推進機内部からの前方探査技術

Front inquiry technology from a shield tunnel / the pipe jacking machine inside

千葉工業大学大学院	岸本英之*
東京都下水道サービス株式会社	松田一也**
マイクロサンプリング調査会	富井孝久***

Chiba Institute of Technology	Hideyuki KISHIMOTO*
Tokyo Metropolitan Sewerage Service Corporation	Kazuya MATSUDA**
Micro Sampling Method Research Organization	Takahisa TOMII***

要旨

近年、地下埋設物の増加に伴って、シールド・推進工事において地中で支障物と遭遇する確率が増加してきている。現在の地中埋設物の確認方法では渋滞や近隣への騒音等、地上に影響を与えてしまう。また、支障物の確認は位置だけでなく、形状・材質・範囲の特定が求められている。その為、本研究では、シールド・推進機前面に出現した支障物を機内から形状・材質・範囲を明確にする技術の開発を行った。本技術の開発コンセプトは地上に影響を与えずに、シールド・推進機既設の 50 mm程度 の孔から前方の支障物を明確にする技術である。開発コンセプトに基づき考案した技術を用いて模擬土質試験を行い、各探査機器の性能を確認し、結果から得られた課題をもとに本技術に更なる改良を施した。また改良した技術で再度模擬土質試験を行い、より明確に支障物の確認を果たす事が出来た。

Abstract

In late years, with increase of underground undergrounding thing, a hindrance thing and probability to meet with increase in a shield tunnel / the pipe jacking construction in the underground. I affect ground such as a traffic jam or the noise to a neighborhood by a confirmation method of current underground undergrounding thing. In addition, as for the confirmation of a hindrance thing, specification of not only a position but also shape / materials / a range is found. Therefore, in this study, make shape / materials / a range clear in the hindrance thing that appeared on a shield tunnel / the pipe jacking machine front from a machine; technical; developed it. This technical development concept is technology to make a forward hindrance thing clear from an aperture of 50 f mm degree of a shield tunnel / the pipe jacking machine existing without affecting ground. I performed a sham quality of soil examination with the technology that I devised based on a development concept and confirmed performance of each space probe device and put further improvement for this technology based on a problem provided from a result. In addition, I performed a sham quality of soil examination in the technology that I improved again and was able to carry out confirmation of a hindrance thing more definitely.

1. はじめに

現在、日本全国の下水道普及率は平均 69.3%となっており、まだ完全に整備されているとは言い難い。また東京都 23 区における下水道普及率は 100%であるが、都市型集中豪雨によって近年の浸水戸数が増加傾向にある為、下水道整備について見直しが必要となってきている。さらには既存の下水道においても老朽化が進行してきており、東京都における耐用年数を越えた下水道管の総延長は全体の約 13%にもなっている。このような状況によって、下水道の新設・補修工事が急務となっているが、地下埋設物の増加に伴って新たな地下トンネルを構築する際に支障物に遭遇する確率も増加している。計画段階で支障物が発見された場合は計画の変更を余儀なくされ、掘進途中で遭遇した場合は大幅な工程の遅延と復旧に余計な費用が必要となる。

現在、地中支障物の確認法には地上からウォータージェットを用いて開削し、TVカメラで映像として記録するテクノ・ウォーターホールズ、同じく地上から弾性波や電気、磁気、放射線等を支障物に当て、波形を解析して位置を特定する物理探査等がある。しかし地上からの作業には場所によっては工事用地の確保が難しい場合があり、また支障物の確認は位置だけでなく形状・材質・範囲の特定が求められており、従来の工法を発展させる必要性が高まってきている。

その為、本研究ではシールド・推進機の切羽前面に出現した地中障害物を機内から映像によって記録し、その形状・材質・範囲を明らかにする事を目的とし、技術の開発に着手した。

2. 開発概要

本技術の開発コンセプトは地中のシールド・推進機内部から地上に影響を与える事なく、迅速・

正確に支障物の形状・材質・範囲を特定できる技術である。また調査の際に支障物に与える影響を最小限とする事も念頭に置いた。

2.1 調査ユニット概要

本技術ではシールド・推進機内部から全ての作業を行う為、掘削・排土・補足薬液注入・映像記録が一体で行え、50mmのグラウト注入用の既設孔から機外部に出て行ける大きさのユニットの開発を行った。

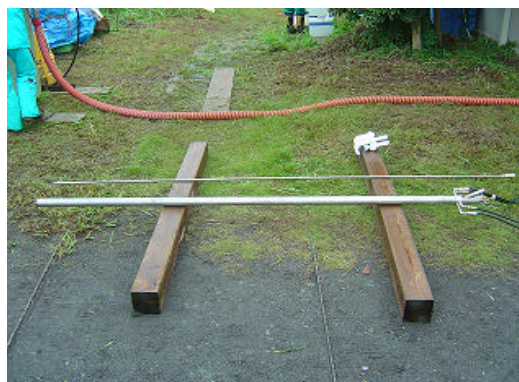


写真 - 1 調査ユニット全体図



写真 - 2 調査ユニットクラウン部

写真 - 1、写真 - 2 は調査ユニットの全体とクラウン部を示したものである。調査ユニットは支障物から機内部までの距離を考慮し全長 2200 mmとし、既設孔の大きさから外径 48.6mm、内径 38.6 mmとした。またクラウン部には圧入を容易にする

為のビットを設けた。上方のカメラ挿入用 18.5 mm孔は CCD カメラの大きさから定めた。またカメラ挿入孔は調査ユニット圧入・補足薬液注入・洗掘時において、土砂や注入固結土が入り込み、カメラ挿入が困難となる可能性がある為、磨き棒を挿入・固定できる形状とした。下方の 18.5 mm孔は排土用である。6 mmと 4 mm小孔はウォータージェット用であり、接続を変換するだけで補足薬液注入孔としても機能できるものとした。

2.2 調査手順

シールド・推進機が支障物に接触した後、探査機器を機内に搬入し仮設備を行う。

調査ユニット圧入に当って、既設の孔に角度調整機、ボールバルブ、プリペンダーを順番に設置し、調査ユニットを孔に挿入後、ボールバルブを開く。油圧ジャッキでプリペンダーの圧力を調整しながらジェット水を噴射し、レバーブロックを用いて人力で調査ユニットを圧入して行く。

調査ユニット先端が支障物に到達後、ジェット水から薬液に噴射を切り替え、グラウト流量圧力測定装置で流量と圧力を確認しながら補足薬液注入を行う。この時の薬液は後の洗掘を考慮して溶液瞬結型とする。また注入地点は支障物直近地点から、調査ユニットを引き戻しながら 5cm 毎に行い、映像記録時の地山崩壊・地下水の流入を防止する量だけ注入する。

薬液注入完了後、再びジェット水噴射に切り替え、調査ユニット前面の注入固結土を洗掘する。

洗掘完了後、磨き棒をカメラ挿入孔から抜き、ジェット水で孔内の洗浄を行ってから、CCD カメラを挿入し、支障物の映像記録を行う。

映像記録終了後はカメラから順に回収していき、探査機器を機外に撤去する。

最後に機内の清掃を行って、作業は終了となる。

3. 模擬土質試験

3.1 試験概要

現場供用試験に備えて本技術と設備機器の安全性と確認精度を実証する為、目標物として軽量鋼矢板を予め設置した圧力容器中に模擬土質を再現して各部効能の確認試験を行った。

模擬土質設定条件は実現場で発生が懸念される危険要因を考慮して、0.07MPa の被圧状態の崩壊性の高いゆるい砂地盤とした。

本試験における確認項目は、調査ユニット圧入時における機内への泥水の流入を防止するプリペンダーの効能、調査ユニットの圧入設備であるレバーブロックの効能、補足薬液注入設備の効能、CCD カメラによる支障物の視認性能の 4 項目とした。プリペンダー効能・CCD カメラの視認性能については撮影記録・目視による確認とし、レバーブロック効能については圧入時間の計測、補足薬液注入設備効能については注入時間とグラウト流量圧力測定装置の計測による確認とした。また本技術の作業性を評価する為、各作業時間の計測を行った。

3.2 試験方法

写真 - 3 の様に模擬土質を再現した圧力容器に角度調整機、ボールバルブ、プリペンダーを設置した状態から試験を開始し、試験手順は 2.2 調査手順と同様に行った。

本技術の作業性の評価は調査ユニットのウォータージェット噴射テストを開始してから、映像記録完了までの作業の計測時間とした。

補足薬液注入は CCD カメラの視認距離を考慮し、支障物直近地点から 10 cm地点まで行った。使用した薬液は溶液型瞬結薬液であり、注入は 2 重管ロッドを用いる 2 ショット方式である。ゲルタイムは計測の結果 4.9 秒であった。



写真 - 3 模擬土質試験圧力容器

3.3 試験結果・考察

ブリペンダーの泥水逸出防止効能は十分に働き、極めて微量の噴出で有効である事が確認出来た。各作業時間の計測結果を表 - 1 に示す。

作業項目		作業時間
機材準備		1分17秒
調査ユニット圧入		6分57秒
1回目	薬液注入	11分32秒
2回目	薬液注入	9分5秒
洗掘・映像記録		59分25秒
合計		1時間28分16秒

表 - 1 各作業時間

調査ユニット圧入に約7分要している理由についてはブリペンダーの効能の確認を行う際、写真撮影や各人の目視による確認作業を行った為と考えられる。実際の圧入時間は2分程度であった。

補足薬液注入を2回行っているが、これは1回目の薬液注入後の洗掘作業において崩落が生じ、カメラ挿入が困難となり、再度の薬液注入を行っ

た為である。

洗掘・映像記録に約1時間要している理由は排土孔に注入固結土が詰まってしまい、洗掘が困難となり、調査ユニットを1度圧力容器外に引き出し、排土孔の洗浄を行った為である。この原因として排土孔の大きさが充分でなかった為に空気の逃げる道が出来ず、バキュームが充分な吸引能力を発揮出来なかった事が考えられる。またカメラ挿入孔と CCD カメラの間には 0.5 mm の余裕しか作らなかった為、土砂一粒の残留でも CCD カメラが挿入出来ず、挿入孔の洗浄に手間取った為である。

補足薬液注入効能結果を表 - 2 に示す。

注入地点		注入量(?)	注入圧(M?)
1回目	目標物地点	40	0.2
	5cm地点	20	0.2
	10cm地点	20	0.2
	合計	80	-
2回目	目標物地点	60	0.25
	5cm地点	14	0.3
	合計	74	-
総合計		154	-

表 - 2 薬液注入量・注入圧

前述の様に補足薬液注入は2回行わなければならなかった。本試験における計画薬液注入量は浸透範囲から80?としたが、実際の試験では倍近い154?が必要となった。崩落の原因としては計画薬液注入量の検討の際に、容器内の注入作業である事を考慮していなかった事と注入圧力の確認による効果判定を行わなかった事の2点が考えられる。作業完了圧力目安を0.25MPaとした2度目の注入では崩落が生じる事はなかった。

CCDカメラの映像記録状況を写真 - 4 に、映像記録状況を図 - 1 に示す。



写真 - 4 目標物映像記録状況

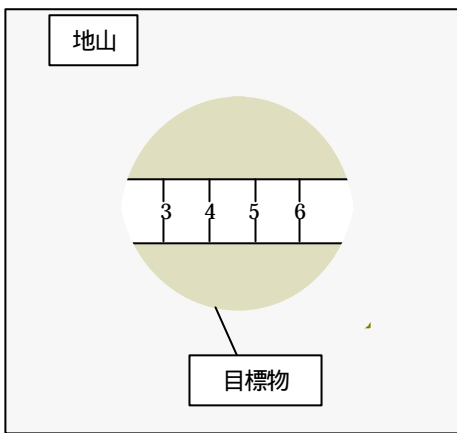


図 - 1 映像記録状況図

本試験での目標物の視認範囲は上下 5 cm 程度となり、この視認範囲では目標物を完全に特定する事は難しい。また CCD カメラに焦点調整機能が無い為、映像が明確ではなかった。

以上の試験結果から排土孔とカメラ挿入孔の形状変更と視認範囲の拡大を可能とする調査ユニットの開発、焦点距離 5 ~ 50 cm 程度のカメラの調達が課題として残った為、改良を行なう必要がある。

4. 改良型模擬土質試験

模擬土質試験の結果を受けて本技術の改良を行った。まず地山崩落を防ぐ為、洗掘時に調査ユニット全体を動かさなくてはならなかった前のタイプから、外側はそのままに内側だけ動かす事が

出来る二重構造とした。また排土孔の拡大とカメラ挿入孔に空間的余裕を持たせる為に、ウォータージェット・補足薬液注入系統と洗掘・排土系統、カメラ系統に分けた。視認範囲の拡大については、洗掘時に角度をつけたウォータージェットを使用する事とした。角度は目標物から 50 cm の距離の時、50 cm の範囲を掘削するものとして 27 度と定めた。CCD カメラはライトの照度が高く、対象物 50 cm 幅の範囲を確認できるものとした。また実現場での作業性を考慮し、小型のモニターに接続できるものとした。

改良型の様子を下記写真 - 5, 6, 7 に示す。



写真 - 5 外管と排土系統



写真 - 6 角度付ウォータージェットの噴射



写真 - 7 ウォータージェット・薬液注入系統

4.1 試験概要・方法

本試験では改良した本技術の作業性を実証する為、前試験と同様に圧力容器中に再現した模擬土質を用いて行なった。

本試験における確認項目は、前試験で2度行なった補足薬液注入の効果確認と新しく作業として加わった拡張洗掘の掘削範囲の確認、改良型での映像記録状況の確認の3点である。また前試験と同様に作業性評価の為、各作業時間の計測を行なった。

試験手順は洗掘の後に拡張洗掘を加えた以外は、前試験と同様である。

4.2 試験結果・考察

作業項目	作業時間	
機材準備	8分17秒	
調査ユニット圧入	1分31秒	
薬液注入	1時間17分5秒	
洗掘・映像記録	4分47秒	
拡張洗掘	1回目	21分43秒
	2回目	9分14秒
映像記録	3回目	3分43秒
	4回目	4分43秒
合計	2時間11分4秒	

表 - 3 各作業時間

各作業時間の計測結果を表 - 3 に示す。

機材準備に8分17秒要している理由は、ウォータージェットの噴射実験の4孔シンクロに手間取った事に加えて、角度付ウォータージェットの噴射実験を行なった為である。

補足薬液注入に1時間17分も要した理由は、圧力容器の耐圧が0.15MPaであるので、安全性を考慮して1分当たりの注入量を通常の4分の1にした事と万全を期して15cm地点において再度の注入を行なった為である。

全体の作業時間としては前試験よりも40分以上も伸びているが、前記した様に薬液注入を4分の1のスピードで行なっている事と実際には2回目の拡張洗掘・映像記録において目標物は確認出来ていた。この事を考慮すると実際の作業時間は1時間程度である。3回目、4回目の拡張洗掘・映像記録は角度付ウォータージェットの噴射圧力を上げた時の掘削能力を確認する為に行なったものである。

補足薬液注入効能結果を表 - 4 に示す。

注入地点	注入量(?)	注入圧(MPa)
目標物地点	24	0.2
5cm地点	18	0.3
10cm地点	54	0.1
15cm地点	30	0.1
20cm地点	30	0.1
25cm地点	32	0.1
30cm地点	58	0.1
35cm地点	6	0.1
15cm地点再	30	0.1
合計	282	

表 - 4 薬液注入量・注入圧

本試験では目標物直近地点から35cm地点まで薬液注入を行なった。本試験では前試験で利用し

た模擬土質をそのまま使用している為、前回の圧入穴を埋める分の薬液注入量が増えている。注入圧力が 10 cm地点から 0.1MPa から変化していないが、容器内被圧が低かった為と考えられる。本試験においては地山の崩落は起こらなかった。

拡張洗掘は目標物から 35 cm地点から行い、掘削範囲は 28 cm程度の半円であり、計算通りの結果となった。

CCD カメラの映像記録状況を写真 - 8 に、映像記録状況図を図 - 2 に示す。



写真 - 8 目標物映像記録状況

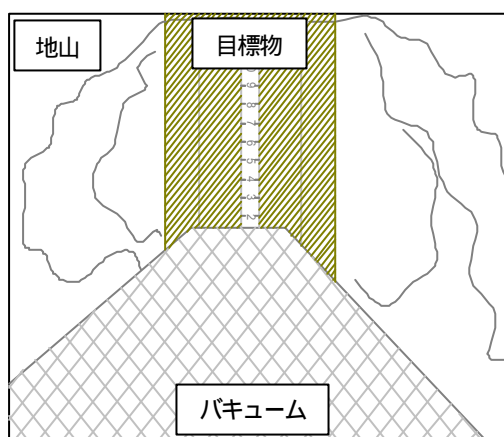


図 - 2 映像記録状況図

映像記録状況は掘削範囲の拡大と新型カメラの

性能により、軽量鋼矢板であることが明確に確認出来た。

以上の試験結果から本技術の作業性が実証された。

5. おわりに

本研究ではシールド・推進機内部からの前方探査技術の開発を行ない、模擬土質試験、改良型模擬土質試験を通じて、本技術の開発コンセプトが実証されてきた。しかし、実現場における環境での試験を未だ行っていない為、現場に即した技術であるとは断言出来ない。

本技術は現段階では地中支障物を確認する為の技術として開発を行なっているが、管路の地中接合における位置確認や薬液注入状況の確認等、今後様々な場面でも活用してゆける可能性を秘めている。その為、今後は実現場での試験施工を行ない、本技術をより確かなものとする為、努力していく。