

# 任意断面シールド工法に関する 共同研究

## 1. はじめに

本報告書は、昨年報告した習志野市で施工中の矩形泥土圧シールド工法による下水道管渠建設工事の主に復路の掘進データを中間報告としてまとめたものである。

## 2. 工事の内容

### 2.1 工事概要

- 1) 工事件名 習志野市菊田川2号幹線管渠建設工事その18および22
- 2) 施工場所 千葉県習志野市藤崎1～4丁目
- 3) 工事内容  
路線延長

往路（発進立坑～回転立坑）392.41m

復路（回転立坑～工事終点）417.23m

合計809.64m

管渠断面（仕上り内径）3,400×2,800mm

セグメント（鉄筋コンクリート，スチール）

外径 横径4,200×縦径3,800mm

内径 横径3,700×縦径3,300mm

厚 250mm

立坑築造工 発進立坑，回転立坑各1箇所

シールド工 矩形泥土圧シールド工法

どへの交通量の多い市道（最小幅員10m）に敷設される。管渠の両側には県水道（φ600mm），NTT管路が並行に埋設されている。また，シールド発進直後に市天然記念物の銀杏の古木があり，古木に影響のないように，半径70mのS字曲線区間を設けている。

さらに，本路線は，矩形断面の管渠を，わずか600mmの間隔で2条併設するもので，復路の終点付近では，曲線半径50mで曲がり，既設の管渠に接合する。

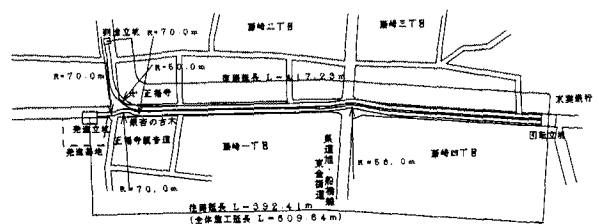


図-1 路線平面図

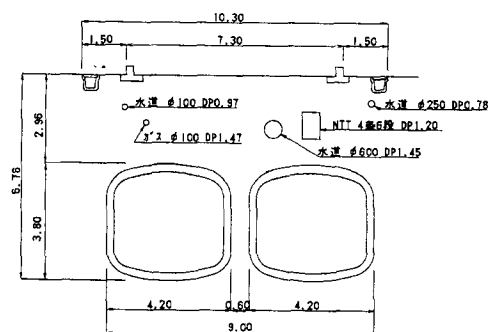


図-2 路線断面図

### 2.2 路線概要

本工区の管渠は，JR津田沼駅，京成津田沼駅な

### 2.3 地質概要

本工事地区は、関東平野の南東部に発達する下総台地の中央部西端に位置し、台地と台地開析平野およびこの団地が浸食された後に堆積した部分と堆積の遅れた後背湿地性低地により構成されている。

地質は、地表面の大部分を覆う関東ロームとその下部に厚く堆積する洪積世の成田砂層から構成されている。

回転立坑から約120リングは、シールドトンネル断面全体が成田砂層となる。660リング付近から主に一部関東ロームをトンネル頂部に含みつつ、大半は成田砂層を掘進し、終点付近は、台地傾斜部から後背湿地性低地になり、腐植土層を含む地質の掘進となる。

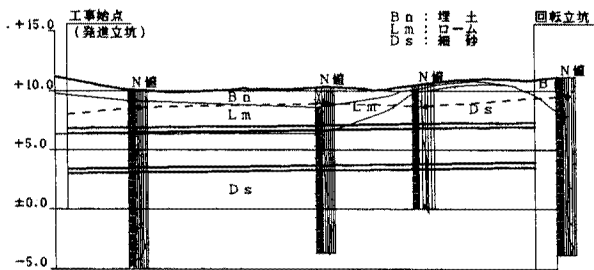


図-3 路線断面図

## 3. 実証確認報告

### 3.1 切羽の安定性

矩形断面泥土圧シールドの小土被り掘進における切羽の安定性について、以下のデータを計測することで確認した。

#### 1) チャンバー内泥土圧

本工事における土質、土被り、地下水位から、往路の掘進管理土圧は、 $0.9 \sim 1.4 \text{ kgf/cm}^2$ と設定したが、復路については、近接施工による往路セグメントへの影響を考慮し、初期掘進では、管理土圧を $0.7 \sim 1.3 \text{ kgf/cm}^2$ と、往路よりやや下げて設定した。本掘進からは、管理土圧の下限値を $0.8 \text{ kgf/cm}^2$ として掘進し、チャンバー内泥土圧は、ほぼその範囲におさまった。図-4に掘進時のチャンバー内泥土圧の値を示す。

#### 2) 排土量

排土の密度、含水比、および流量をスクリュコンベヤの排土口に配置したRI密度・水分計と流量計により、リアルタイムに測定した。

湿潤密度、含水比の計測値は、550リングか

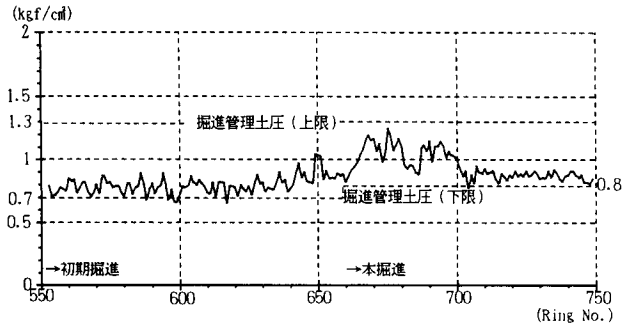


図-4 チャンバー内泥土圧変化図

ら660リング付近までは、断面全体が成田砂層であったため、 $1.90 \sim 1.95 \text{ tf/m}^3$ 、35%前後で安定していた。660リング付近から往路と同様に腐植土が出現したため、 $1.3 \sim 1.35 \text{ tf/m}^3$ 、130%となった。780リング以降は、砂とロームの互層で $1.9 \text{ tf/m}^3$ 、45%前後であった。

排土量については、掘削土量の約120%になっており、掘削土量に作泥材の注入量を加えた値とほぼ一致している。

### 3) 地盤変状

地盤変状については、掘進路線上の地表面沈下の測量により計測している。

変状計測では、往路掘進時先行沈下はほとんど発生せず、マシンが直下に来たとき5mm程度隆起したマシン通過後、5mm程度沈下した。復路掘進時も、シールドセンターにおける後続沈下で最大10mm程度となっており、周辺家屋等、地上への影響は発生していない。図-5に結果を示す。

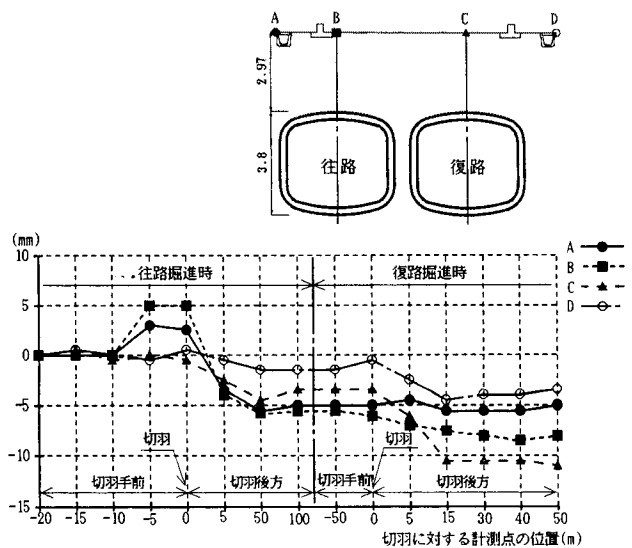


図-5 地盤変状変化図

4) まとめ

本工区の土被り、土質条件においても、チャンパー内泥土圧の管理、および地盤変状の計測結果から、矩形断面泥土圧シールドの切羽の安定は、従来の泥土圧シールドと同様な方式で保持できることがわかった。

3.2 シールド掘進性能

本シールドは、複数の回転軸に設けた平行リンク機構によってカッターを回転させており、カッタートルクやジャッキ推力、掘進速度などの掘進データ計測から、シールドの掘進性能や装備能力について検証した。

1) カッタートルク

往路本掘進中のカッター油圧は、砂層で40～60kgf/cm<sup>2</sup>であり、装備トルク(210kgf/cm<sup>2</sup>)の1/4～1/5程度であった。腐植土層では、約30kgf/cm<sup>2</sup>であり、装備トルクの約1/7程度であった。

復路の掘進でも、同様な傾向であり、950リングからカッター回転数を1/2の2.2rpmで掘進したが、カッター油圧は、最大で装備トルクの約1/3の65kgf/cm<sup>2</sup>程度であった。

本工区の土質条件において、カッタートルクは当初の装備に対し、十分余裕があることがわかった。図-6にその結果を示す。

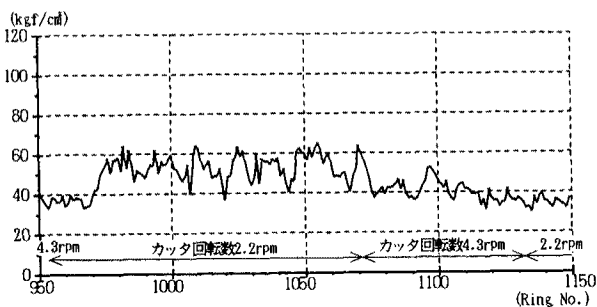


図-6 カッタートルク変化図

2) カッター回転数

カッター回転数は、往路と同様にシールドに装備した最大回転数である4.3rpmで掘進し、推進中に変化は、ほとんど見られていない。

途中でカッター回転数を2.2rpmにして掘進を行ったが、わずかにカッタートルクが上がる程度で掘進でき、この土質条件では、カッタートルク・練り混ぜ共に、特に問題となることはなかった。図-7にその結果を示す。

3) シールドジャッキ推力

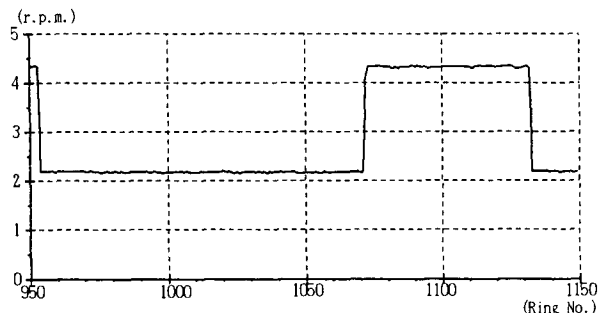


図-7 カッター回転数変化図

装備総推力は、円形断面と同程度の1,780tf(単位面積当たり113tf/m<sup>2</sup>)である。

往路は、発進から350～800tf程度で掘進できた。

復路は、再発進から県道横断まで6%の下り勾配に変更され、地盤改良の影響が少なくなって、推力も小さくなっており、300～700tf程度で掘進できた。

これらの結果から、掘進時のジャッキ推力は、同様な土質条件における円形泥土圧シールドと同程度であることが確認できた。

4) 掘進速度

復路においては、600mmの離隔で、併設の往路トンネルがあり、NTTの人孔等との近接施工もあることから、初期掘進で20～25mm/分程度、本掘進で30mm/分程度で掘進し、到達付近トンネル離隔が大きくなった地点から30～35mm/分で到達した。図-8に到達付近の結果を示す。これらの結果から、矩形断面シールドの掘進速度は、同様な土質条件における円形泥土圧シールドの掘進速度と差異はないことがわかった。

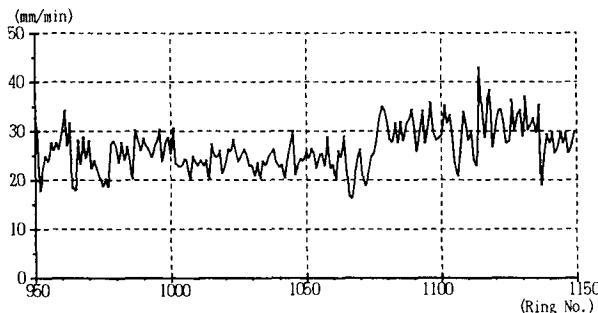


図-8 掘進速度変化図

5) 掘進機能のまとめ

これまでに得られたカッタートルク、カッター回転数は、当初計画に対して、十分余裕がある

ことがわかった。シールドジャッキ推力、推進速度は、円形断面の泥土圧シールドと比較し、大きな差異は認められず、平行リンク機構を用いた本シールドの掘進機能に、特に問題となる点は、認められなかった。

### 3.3 シールドの姿勢および方向制御性能

矩形断面シールドの姿勢制御では、特にローリングの制御が重要であり、ローリング修正機構の性能確認と共に、方向制御、曲線施工性などについて検証した。

#### 1) ローリング

本シールドの1リングの掘進におけるローリングの許容最大値は、シールドのテールクリアランス30mmから決まり、 $\pm 0.6^\circ$ となっている。これに対して1リングの管理値は $\pm 0.3^\circ$ とし、往路、復路共、管理値以内で掘進できた。発生したローリングは、最大で $0.6^\circ$ 程度であり、ローリング修正ジャッキを用いることにより、修正できた。

この結果から、ローリングの修正に、ローリング修正ジャッキが有効であることが確認できた。また、ローリングは、曲線施工時に中折れジャッキを使用した場合に発生しやすいことがわかった。図-9にその結果を示す。

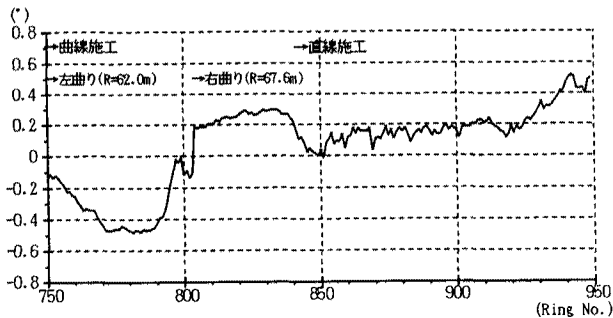


図-9 ローリング変化図

#### 2) ピッチング

本路線の設計縦断勾配は1.3%であり、往路のマシンのピッチングは、5~8%程度で掘進することで、組み立てられたセグメントは設計勾配を保った。復路では、県道横断部の水道管の高さが、計画より低いことが事前調査で判明し、計画勾配をこの箇所まで下りの6%で、ここから到達地点までレベルに変更となった。このトンネルの勾配を維持するため、マシンのピッチングは-6%から+3%程度で掘進した。

#### 3) ジャッキーパターン

復路の曲線施工も往路と同様なジャッキ選択で、 $R=50m$ 他の曲線施工を線形通り掘進できた。

また、セグメントの離隔60cmの近接施工についても、特に特別なジャッキ選択を行うことなく、所定の間隔を保持して掘進が可能であった。

この結果から、曲線施工を含む左右の方向制御（ヨーイング制御）が従来の円形シールドと同様、シールドジャッキの選択によって行なえることが確認できた。

#### 4) オーバーカット量および中折れ角

$R=50m$ の曲線施工時の計算上の中折れ角は、 $3.9^\circ$ でオーバーカット量は、21mmである。実工事における中折れ角も $3.9^\circ$ 、余掘り量は、計算値の2~3倍の余裕を考慮し、50mmで施工した。

図-10にその結果を示す。

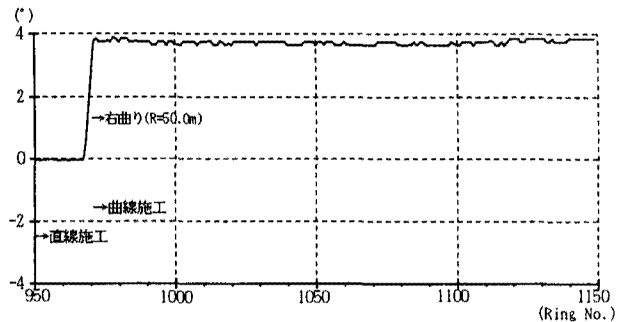


図-10 中折れ角変化図

#### 5) まとめ

シールドの姿勢制御のうち、ローリングの制御は、ローリング修正ジャッキによって、容易に修正できることがわかった。ピッチングおよびヨーイングは、シールドジャッキの選択によって制御できた。曲線施工は、中折れ機構とオーバーカット機構を適宜、線形に合わせて用いることで、 $R=50m$ の曲線を線形通りに施工でき、円形と同様な曲線施工性能が確認できた。

### 3.4 裏込め注入機構、方法

矩形断面は、円形断面に比べ、地盤変状が発生しやすいと考えられることから、裏込め注入の影響は大きい。注入圧、注入量、注入位置、地盤変状などのデータ計測から、同時裏込め注入機構、注入方法について検証した。また、裏込め材は、二液の可塑性固結タイプを用いた。

## 1) 注入圧

往路と同様に上限管理値を $1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ とした。実際の注入圧は $0.5 \sim 1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ 程度で注入した。

注入方式は、シールドジャッキ速度に応じて、注入量を変化させ、注入圧も、管理値を設定して注入できる、自動同時注入方式を用いた。

## 2) 注入量

往路と同様にテールボイド量（1mセグメントで $1280\text{l}/\text{リング}$ 、 $0.5\text{m}$ で $640\text{l}/\text{リング}$ 、 $0.3\text{m}$ で $384\text{l}/\text{リング}$ ）に対して、 $160 \sim 180\%$ 程度の注入量であり、設計注入量よりやや多い結果が得られた。

## 3) 注入位置・注入方法

裏込め注入は、マシンの左右のコーナー頂部に設けた同時裏込め注入管から、掘進と同時に実施し、復路施工に当たっては、既設の往路セグメントへの影響を考慮し、掘進方向右側の同時注入管から注入した。グラウトホールからの裏込め厚の探査により、全体に充填できていることが確認できた。

## 4) まとめ

本工事における裏込め注入は、シールド頂部の同時注入管からの同時注入方式で実施した。その結果、裏込め材もセグメント全周にほぼ均等に充填されており、シールド通過後の地表面沈下も、ほとんど発生していないことから、矩形断面シールドの裏込め注入も円形シールドと同様な同時注入方式によって、対処できることが確認できた。

## 3.5 セグメントの組立時間および日進量

矩形断面は、形状の異なる数種類のセグメントから構成されており、これらの組立時間、エレクターの操作性などから、セグメント組立機構および組み立て補助機構の性能や安全性について検証した。

## 1) 組立時間

セグメントの組立時間は、スチールセグメント（幅 $0.3\text{m}$ ）で1.0時間程度、RCセグメント（幅 $1.0\text{m}$ ）で $1.5 \sim 2.0$ 時間程度かかっており、往路よりやや短くなっている。

## 2) 日進量

復路の日進量も、セグメントの組立時間の影響を受け、平均日進量は $5.1\text{m}$ 程度であり、直線部の最大日進量は $7\text{m}$ であった。特に復路については、往路のセグメントとの近接施工が路線の大部分をしめ、慎重な掘進管理が要求された

ことから、日進量はやや小さいものとなった。

## 3) まとめ

矩形断面では、セグメントの種類や分割数（8分割）が円形断面より多いことから、必然的に組立時間は長くなる。今後は、習熟の度合いによって組立時間の短縮は可能と考えられる。エレクターなどのセグメント組立機構は、装備したもので十分な機能を有することがわかった。

## 3.6 一次覆工の安全性

セグメントおよびシールドに働く土水圧や裏込め圧を土圧計によって計測すると共にセグメントの応力や変形の計測から設計手法の妥当性および覆工の安全性を検証した。

## 1) 計測計画

計測計器は、往路の525リングに設置し、往路掘進時におけるセグメント組立直後のシールド機推進力や裏込め注入圧がセグメントに及ぼす影響や、復路掘進時の近接施工による往路セグメントへの影響度合いを確認するためにセグメントに働く土圧、セグメントの応力、セグメントの変形等の計測を行った。

## 2) 土圧計

往路施工時の土圧は、セグメントテール脱出時において、裏込め注入圧の影響を受けて $0.4 \sim 1.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ を示した。1ヶ月後の計測では、周辺地山の土圧、水圧の影響を受け、頂部の土圧は減少すると共に、側方の土圧が $0.1 \sim 0.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ 上昇している。側部の増加については、地山荷重の作用によりセグメントが変形し、地盤反力を受けているものと考えられる。

これらの値は設計で考慮した裏込め圧より小さく、土水圧はほぼ同程度であった。

また復路施工におけるテール通過時と、1ヶ月後の土圧計の計測値は、往路施工時と顕著な差違は認められなかった。図-11に結果を示す。

## 3) 鉄筋計

復路施工による往路セグメントの鉄筋応力は、復路シールドのテール通過時に、併設施工の裏込め注入の影響を受けて、内縁で $730\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、外縁で $500\text{kgf}/\text{cm}^2$ の最大引張応力を示している。

同じく復路のマシン通過1ヶ月後には、内縁でテール通過時とほぼ同程度の $725\text{kgf}/\text{cm}^2$ の最大応力となっている。外縁は最大で $475\text{kgf}/\text{cm}^2$ の引張応力が発生しているが、いずれも許容応力度内に収まっている。図-12に結果を示す。

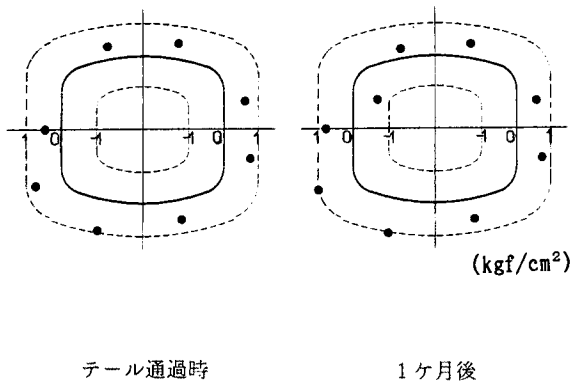


図-11 復路施工時土圧

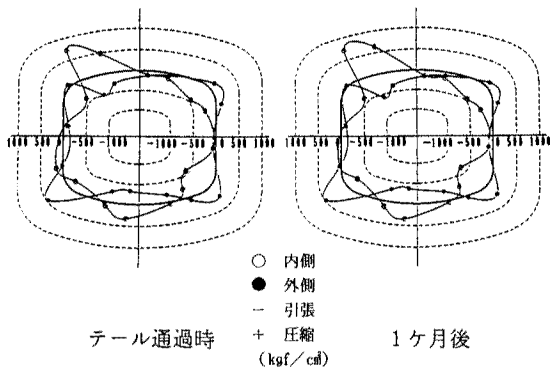


図-12 復路施工時鉄筋応力

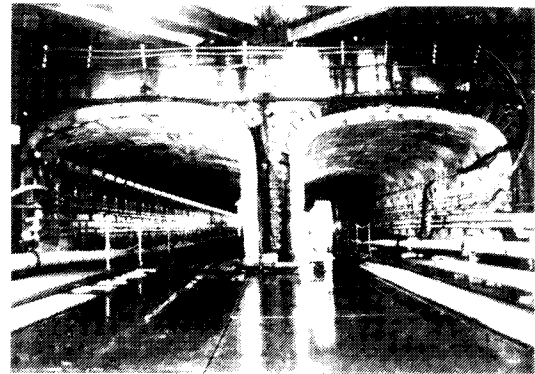


写真-1 往路・復路トンネル状況

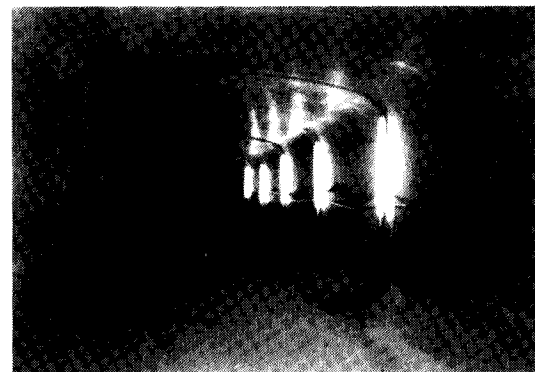


写真-2 二次覆工状況

4) まとめ

矩形断面セグメントの計測により併設シールドの先行トンネルへの影響が確認でき、本工区のような超近接施工においても、セグメント間の地盤改良のみで施工が可能であることがわかった。

3.7 二次覆工

二次覆工の施工手順は、インバートを先行して打設管、スチールフォーム（ $l=9.0m$ ）を設置して、上部及び側壁を打設した。円弧状矩形断面であることから、上部のアーチ効果が期待でき、一日一回の

打設が可能となっている。脱型後もひびわれは発生していない。

4. おわりに

矩形断面泥土圧シールドの実証工事のうち、往路及び復路の一次覆工は大きなトラブルもなく順調に完了し、復路の掘進データを取りまとめたものである。

今後は、二次覆工も含めて、最終的な設計マニュアルを完成させる予定である。

● この調査に関する問い合わせは

- |            |       |
|------------|-------|
| 研究第二部長     | 藤田 昌一 |
| 研究第二部主任研究員 | 中田 穂積 |
| 研究第二部主任研究員 | 城 崇夫  |
| 技術部研究員     | 関根 浩次 |