

# シールド発進立坑用地の省面積システムに関する研究 (その3)

## 1. 研究の目的

過密化した都市部のシールド工事では立坑用地の確保が年々困難な状況にあり、計画範囲に公園や空地などの候補地があっても広さや形状が適当でなく、標準的な設備配置ができない事例も多い。

省面積システムは、これらの制約事項にこたえるため、発進立坑用地を省スペース化させるための新しい要素技術の確立と環境対策、コスト縮減を目標に開発された技術である。新しく開発した要素技術と改良を加えた既往技術を組み合わせることで、必要面積を従来の1/2～1/3まで省スペース化が可能である。

本機構では1993年より「省面積システム」の研究を行っており、1999年6月には「設計マニュアル(案)〔泥水式シールド編〕」を発刊している。

本研究では、土圧式シールド工法に関する省面積システムの研究および開発を行い、「設計マニュアル〔土圧式シールド編〕」としてまとめることを目的とする。さらに、泥水式シールド工法における固形回収率の輸送距離による低減率の実験を行い、その成果を「設計マニュアル〔泥水式シールド編〕2000年度改訂版」としてまとめる。

## 2. 研究体制

(財)下水道新技術推進機構と戸田建設(株)の共同研究による。

## 3. 研究成果

### 3.1 土圧式シールド関連技術

#### 3.1.1 開発経緯

##### (1) 坑内設備

土圧式シールドは泥水式シールドと比べて設備が小型であり、処理工程も簡便であるため、省面積化された工法といえる。本研究では、「省面積システム」のコンセプトの一つである環境対応の観点から従来工法の見直しを図り、作業環境、周辺環境により適した土砂搬送方式として、土砂圧送方式を標準タイプに採用した。

なお、従来では圧送が困難であった礫質土の適応も考慮し、土圧式シールド工法に適した礫破碎設備を開発した。

##### (2) 坑外設備

泥水式シールド工法の省面積化の研究で開発したセグメントストックシステム、ターンテーブル(自在移動型)に加え、立坑形状が異形な場合も効率的な設備や資材の配置が行える張出し式の天井クレーン(スパン可変型)を開発した。

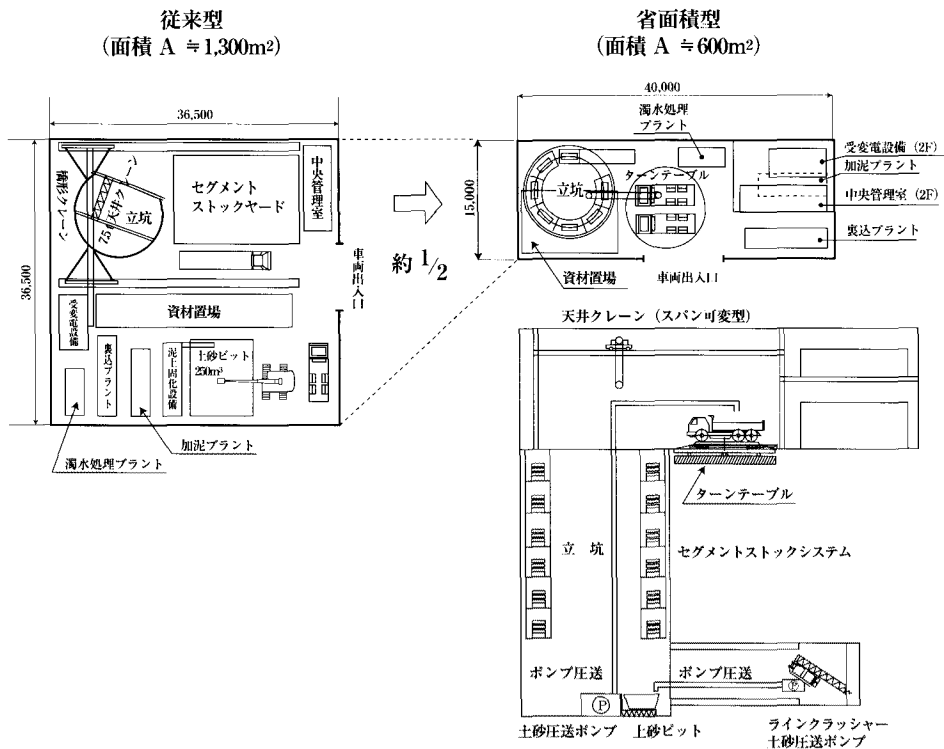


図-1 システムの効果 (土圧式シールド工法)

(3) 実証施工

東京都下水道局の「多摩上流雨水幹線工事」の実証施工により、土砂圧送設備、礫破碎設備、天井クレーン (スパン可変型) の有効性を確認した。

3.1.2 設備構成

土圧式シールド関連技術の設備は坑内設備と坑外設備で構成され、必要発進立坑用地面積を従来の1/2程度にまで縮小可能である (図-1 参照)。

坑内設備：土砂搬送設備  
(土砂圧送設備および礫破碎設備)

坑外設備：セグメントストックシステム  
ターンテーブル (自在移動型)  
天井クレーン (スパン可変型)

3.1.3 土砂搬送設備

(1) 土砂圧送設備

1) 特徴

ポンプ圧送方式は、従来のズリ鋼車による搬送方式に対して、次のような長所がある。

- ・土砂の搬出、資機材の搬入が別系統で行えること、完全密閉型の土砂圧送が可能であることから、作業環境、安全性が向上する。また、長距離掘進に有利である。
- ・地上設備の配置の自由度が向上する。
- ・土砂ピットを立坑下に設置することにより、立坑

用地を省面積化できる。

2) 適用範囲

① 仕上り内径

セグメントの搬入と圧送設備との離隔等を考慮し、仕上り内径2,000mm以上のシールドに適用する。

② 粒度分布

土砂圧送が可能な条件は、「土圧式シールド工法における掘削土砂搬送方式の調査報告書 (社)日本トンネル技術協会 平成7年」により検討する (図-2 参照)。

③ 流動特性

コンクリートポンプの圧送条件に準じて、コンクリートのスランプで8cm相当となるように掘削土を改良する。シルトおよび粘土の場合、スランプ17~18cmが目安となる。なお、図-2を参考として、土質に適した添加材を選定する。

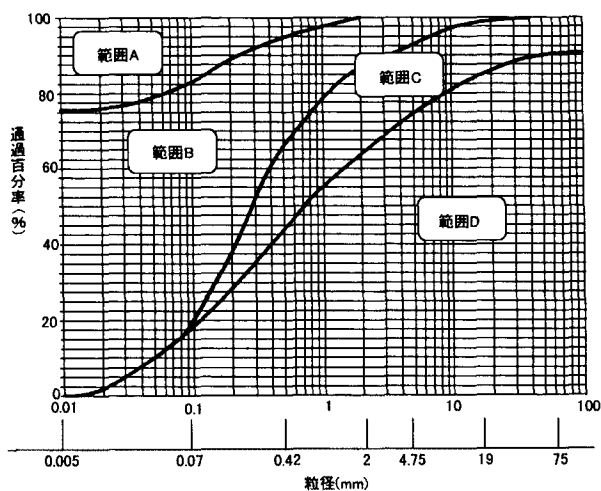
④ 含水比

圧送土砂の含水比は、95%以上となるように調整する。

⑤ 最大礫径

圧送管内を通過できる礫径とする。なお、現在の圧送ポンプの仕様では、圧送管径は150~300mm程度のため、最大礫径は60~70mmを目安とする。

3) 設備計画



(注) 粒度区分と、土砂圧送設備の適用性の関係は以下の通り。  
 範囲A：細粒分多く、含水比が低い場合、注水が必要。  
 範囲B：土砂圧送に最適な範囲、通常の泥土改良により、土砂圧送が可能。  
 範囲C：粗粒分多く、高分子系添材等による泥土改良が必要。  
 範囲D：土砂圧送設備のみでは排泥管やポンプの閉塞が懸念され、圧送は困難、礫破碎設備の適用。

図-2 粒度分布と適用範囲

① 圧送条件

- ・土砂排出速度（シールドジャッキ速度）とポンプの吐出量の関係に留意し、掘削時間以内に土砂圧送が可能なポンプを選定する。
- ・資材（特にセグメント）搬入に支障がないことや経済性等を考慮し、適切なポンプ配置を行う

(図-3 参照)。

② 附帯設備

- ・滑材注入装置、遠隔操作装置、土量計測装置等の適用を検討する。

(2) 礫破碎設備

1) 従来の破碎設備の課題

従来の礫破碎方式には、ズリ鋼車から土砂ピットへの積み替え時に人力により礫を選別してクラッシャーに投入する方法、泥水式シールドのクラッシャーを転用する方法がある。

前者では人力作業を伴うことによる作業効率の低下、後者では土圧式シールドとの圧送土砂の性状の違いでクラッシャーの目詰まりが生じやすく、維持管理に問題があった。

2) 土圧式シールド用礫破碎設備の開発

礫質土の連続圧送が可能で、かつ土圧式シールドの掘削土の性状に適した破碎方式として、スクリーコンベアからの掘削土をコーンクラッシャーをベースとした破碎装置（ラインクラッシャー）に強制的に送り、破碎された礫質土を連続的に圧送ポンプで搬送するシステムを開発した。

3) 礫破碎設備の特徴

本礫破碎方式は、従来の破碎設備に対して、次のような長所がある。

- ・破碎設備が排土ライン上にあり、土砂の破碎や圧送を連続的に行うことができる。
- ・完全密閉型の土砂搬送方式が形成できるため、作業環境や安全性が向上する。
- ・スライドジャッキを装備することにより開口の調

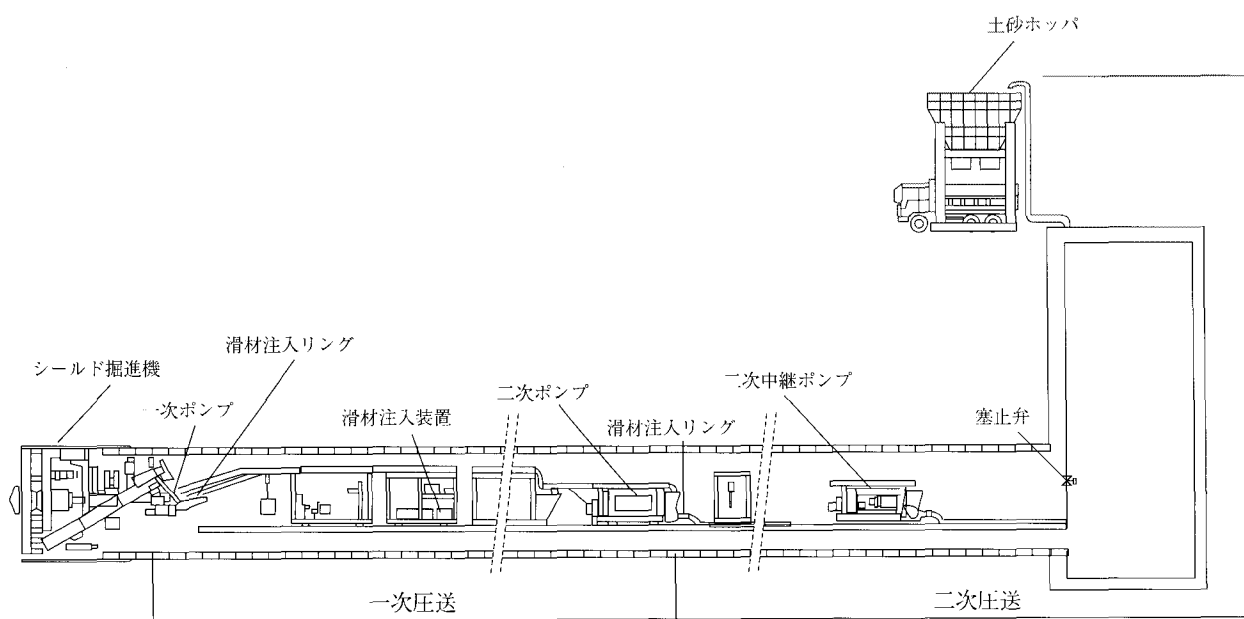


図-3 圧送ポンプの配置

整が可能となり、土質の変化に対応可能となる。

4) 適用条件

最大礫径：175～340mm

(破碎設備の仕様による)

礫率：90%以下を対象とする。

一軸圧縮強度：225Mpa以下を対象とする。

(破碎設備のコーンの仕様による)

なお、掘削時間内で処理可能であること、土砂圧送ポンプの吐出量以上を処理可能であることに留意する必要がある。

礫破碎システムの構造を図-4に、配置例を図-5に示し、仕様一覧を表-1に示す。

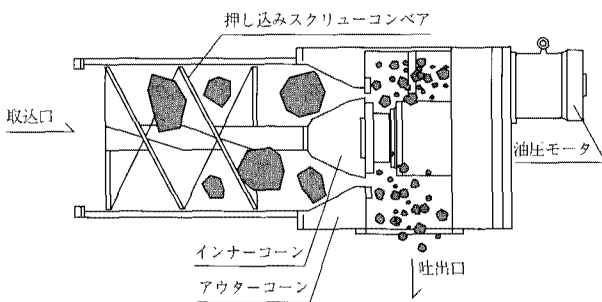


図-4 礫破碎設備の概要

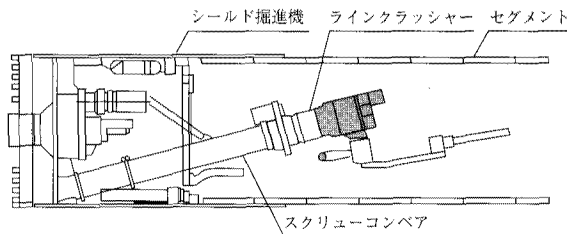


図-5 礫破碎設備配置図

表-1 礫破碎設備仕様一覧

型式	処理能力 (m <sup>3</sup> /h)	対象最大粒径 (mm)	破碎後粒径 (mm)	トン内外径適用下限 (m)
I型	25	175	60	2,000
II型	35	270	60	3,000
III型	60	300	70	4,000
IV型	80	320	70	5,000
V型	100	340	70	6,000

3.1.4 坑外設備

(1) 立坑クレーンの開発目的

立坑上から坑内への荷降し設備として、門型クレーン、天井クレーンあるいはタワークレーン等が使われている。

しかし、資材の搬送範囲が走行レール間に限られる門型クレーンや天井クレーンでは、異形な発進立坑用地において効率的な設備や資材の配置が行えず、セグメントのストック数等が十分確保できない事例も多い。また、防音ハウスを必要とする住宅密集地等では、タワークレーンを使用できない場合もある。

このような理由から、異形な用地を効率的に利用でき、しかも上空制限に対応できる技術を開発した。

(2) 天井クレーン (スパン可変型) の概要

張出し式の天井クレーンであり、図-6に示すように、クレーンガーターの移動を可能にすることで、走行レール間以外の用地も無駄なく利用できる技術である。

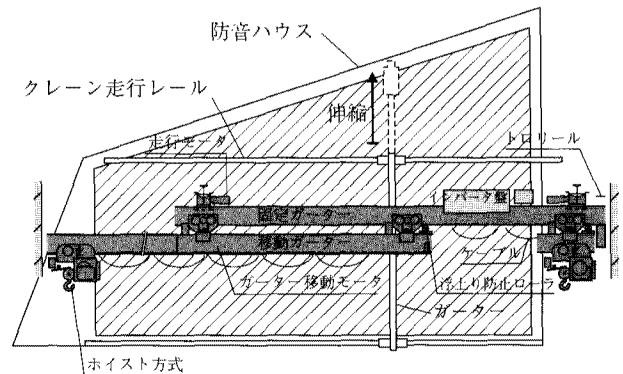


図-6 天井クレーン (スパン可変型) 概要

3.2 泥水式シールド関連技術

3.2.1 固形回収システムの概要

固形回収システムは、N値10以上の粘性土層を対象とし、地山をできるだけ固形状態で切削し、塊のまま流体輸送した後、一次処理設備で分離して回収する技術である。このシステムにより、粘性土の普通残土としての処理量が増加し、建設汚泥の発生量を抑制できる。そのため、二次処理設備への負荷が軽減され、設備の小型化、発進立坑用地の省面積化が図られる。

### 3.2.2 固形回収率と低減係数

固形回収システムを適用して二次処理設備の計画を行うには、掘削土の内、一次処理設備で固形回収される率を正確に把握する必要がある。

設計固形回収率は、切羽での固形物の割合（固形回収率）に、流体輸送中に泥水中に溶解した固形物の割合（低減係数）を乗じて計算する。

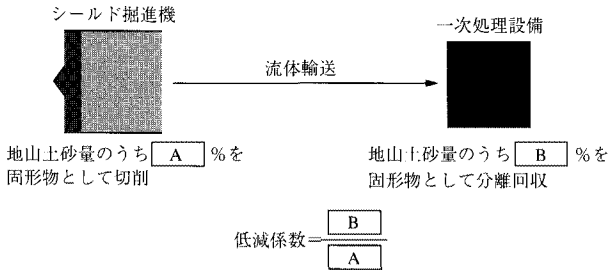


図-7 固形回収率と低減係数

固形回収率は、地山のN値、細粒分含有率により、実績から表-2のようにすでに設定しているが、掘進距離に応じた固形物の溶解割合を乗じて補正する必要がある。そのため、輸送実験を実施し、距離による低減係数を測定することとした。

表-2 固形回収率

細粒分 (シルト, 粘土) 含有率 (%)	固形回収率 (%)		
	10 ≤ N < 20	20 ≤ N < 30	30 ≤ N
60以上80未満	10	20	30
80以上90未満	30	40	60
90以上	40	60	70

### 3.2.3 流体輸送実験の概要

粘性土を通常、固形回収される大きさ（5cm）の立方体に整形し、4インチ管内を泥水輸送する。なお、泥水比重は1.2、流速3 m/secとする。

低減係数は、流体輸送前後のサンプルの重量を測定して計算する。

粘性土は強度（N値）や細粒分の多少により6種類、1種類あたり5個のサンプルを作成した。

### 3.2.4 実験結果

輸送距離1,000mの測定結果を、以下に示す。

比較的軟らかい粘性土（10 ≤ N < 20）：図-8

比較的固い粘性土（30 ≤ N）：図-9

軟らかい粘性土では細粒分含有率による明確な差は見られず、低減係数は0.6~0.8であることが読み

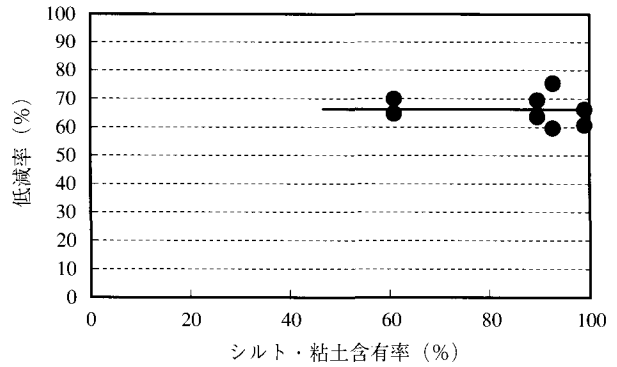


図-8 低減係数測定結果（10 ≤ N < 20, 距離1,000m）

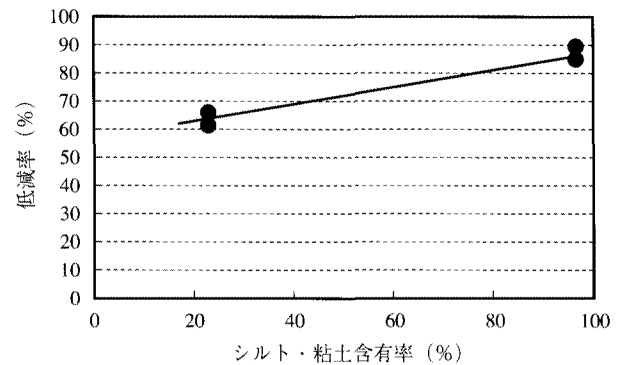


図-9 低減係数測定結果（30 ≤ N, 距離1,000m）

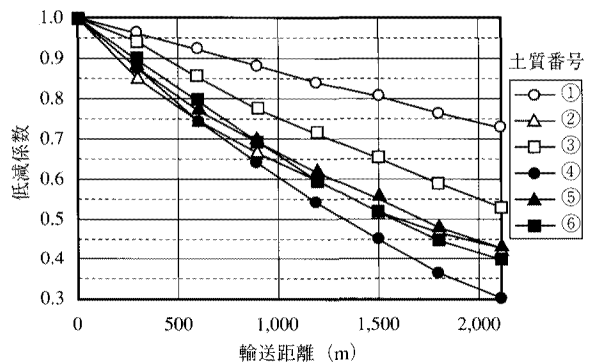


図-10 低減係数の推移

取れる。一方、比較的固い粘土では、細粒分含有率が多くなるに従い、固形回収率が高くなる。

他の輸送距離、N値については、次のように設定した。低減係数の実験および計算結果を表-3に示す。

1) 10 ≤ N < 20：距離1,000mでの低減係数を図-8より読み取り、他の距離については6種類の土質（①~⑥）を用いて実験した結果（図-10）から次の実験式により計算した。

$$T(500) \text{ 計算値} = \sqrt{T(500) \text{ 実験値}}$$

$$T(1500) \text{ 計算値} = T(1000) \text{ 実験値} \times T(500) \text{ 計算値}$$

$$T(2000) \text{ 計算値} = T(1500) \text{ 計算値} \times T(500) \text{ 計算値}$$

2) 30 ≤ N：距離1,000mでの低減係数を図-9より読み取り、他の距離については1)と同様に計算した。

3)  $20 \leq N < 30 : 1$ ) と2) の平均値として計算した。

表-3 固形回収率の低減係数

細粒分 (シルト、粘土) 含有率 (%)	$10 \leq N < 20$				$20 \leq N < 30$				$30 \leq N$			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
60以上80未満	0.80	0.65	0.50	0.40	0.80	0.65	0.55	0.45	0.80	0.70	0.55	0.50
80以上90未満	0.80	0.65	0.50	0.40	0.85	0.70	0.60	0.50	0.85	0.80	0.70	0.60
90以上	0.80	0.65	0.50	0.40	0.85	0.75	0.65	0.55	0.90	0.85	0.75	0.70

- A: 掘進距離が 0~ 500m区間の低減係数  
 B: 掘進距離が 501~1,000m区間の低減係数  
 C: 掘進距離が 1,001~1,500m区間の低減係数  
 D: 掘進距離が 1,501~2,000m区間の低減係数

## 4. マニュアルの構成

研究成果を整理し、[土圧式シールド編] および [泥水式シールド編] の技術マニュアルを作成した。

### 設計マニュアル [土圧式シールド編]

- 第1章 総則
  - 第1節 目的
  - 第2節 適用範囲
  - 第3節 用語の定義
- 第2章 省面積システムの構成
  - 第1節 省面積システムの構成
  - 第2節 設備の導入
- 第3章 土砂搬送設備の設計
  - 第1節 土砂搬送設備の設計手順
  - 第2節 土砂圧送設備
  - 第3節 礫破砕設備
- 第4章 坑外設備の設計
  - 第1節 坑外設備の設計と配置
  - 第2節 坑外設備
- 第5章 施工
  - 第1節 施工計画
  - 第2節 土砂搬送設備の施工管理
  - 第3節 坑外設備の施工管理
- 資料編
  - 1. 設備標準図面
  - 2. 特記仕様書
  - 3. 単位の換算表
  - 4. 資料の問い合わせ先

### 設計マニュアル [泥水式シールド編] 2000年度改訂版

- 第1章 総則
  - 第1節 目的
  - 第2節 適用範囲
  - 第3節 用語の定義
- 第2章 省面積システムの構成
  - 第1節 省面積システムの構成
  - 第2節 設備の導入
- 第3章 泥水設備の設計
  - 第1節 泥水設備の設計手順
  - 第2節 固形回収設備
  - 第3節 泥水管理設備
  - 第4節 泥水処理設備
- 第4章 坑外設備の設計
  - 第1節 坑外設備の設計と配置
  - 第2節 坑外設備
- 第5章 施工
  - 第1節 施工計画
  - 第2節 泥水設備の施工管理
  - 第3節 坑外設備の施工管理
- 資料編
  - 1. 技術資料 (固形回収率の低減係数)
  - 2. 物質収支
  - 3. 積算資料
  - 4. 設備標準図面
  - 5. 単位の換算表
  - 6. 資料の問い合わせ先

## 5. まとめ

省面積システムは立坑用地を省面積化するとともに、環境保全を対象とし、新技術の開発と既存技術の改良を行った技術体系である。

本システムの採用にあたっては、土質条件や周辺環境、コストに応じて適切な要素技術を適用することが重要である。

各要素技術の開発コンセプトと適用条件を十分に理解して頂ければ、効果的な設計および計画が行えるものと考えている。

### ●この研究に関するお問い合わせは

- |            |    |    |
|------------|----|----|
| 研究第二部長     | 中里 | 卓治 |
| 研究第二部主任研究員 | 市川 | 裕一 |
| 研究第二部研究員   | 曾我 | 誠意 |
| 研究第二部研究員   | 加藤 | 雅治 |