

GRI

Geo-Research Institute

ANNUAL REPORT

2023

2023.10.1 ~ 2024.9.30

目 次

1. トップメッセージ	1
2. 業務実績	5
3. 研究成果	9
4. 技術研究発表会	21
5. 技術トピック	23
6. GRI Sustainable Action (GSA)の紹介	27

1. トップメッセージ

・2023 年度業務全体の総括

(株)地域地盤環境研究所(株式 GRI)は、財団法人地域地盤環境研究所(現 一般財団法人 GRI 財団)より、地盤解析、調査、計測部門を分社化して 2009 年 4 月より本格的に始動し、はや 16 年が経過しました。この間、弊社の母体である財団 GRI とともに GRI グループとして、地盤の地域特性と環境保全についての調査研究および地盤解析技術と調査・計測技術にもとづいた総合コンサルティングをおこない、地盤に対する良きアドバイスをご提供し、社会に貢献できるような日々、努力を重ねてまいりました。

このアニュアルレポートでは、2023 年度(2023 年 10 月 1 日～2024 年 9 月 30 日)を振り返り、弊社の業務実績や研究成果等をご報告いたします。

(1) 業務実績

弊社の主な業務内容としては、地盤・地下水・構造物の解析業務、地盤調査・試験、現場計測工法を用いた施工管理業務であり、2023 年度は総受注件数 70 件、総受注高 412 百万円(前年 410 百万円)を計上し、昨年とほぼ同じでありました。弊社では土木工事に関わる地盤調査や現場計測に係る業務をおこなっておりますが、近年、多くの現場での工程が遅延することが多く、工程管理に苦慮しているところであります。このような業務状況の変化に対して柔軟に対応し、効率的な業務活動がおこなえるよう取り組んでいきます。

(2) 研究成果

今年度は実現場における地盤解析と現場計測管理を中心に 12 件の論文投稿をおこないました。その多くは、現場における地盤の変状と地盤解析に関する論文であり、解析には中井顧問考案の Subloading tij model を用いたり、3 次元解析をおこなうことで、より精度の高い実現場に適用した事例として紹介しています。

(3) 技術研究発表会

弊社では、毎年、日頃の業務成果を広く社員に共有、若手社員のプレゼン能力の向上を目的として技術研究発表会をおこなっています。今年は全 9 編の発表があり、若手から技術顧問の先生方まで活発な意見交換がおこなわれました。また、今年度より特化技術開発として実施している「三次元地盤モデル作成技術」、「サンプリングモアレ法による計測技術」に関する中間報告を合わせておこないました。どちらも今後の業務への実用化に向けては課題がありますが、その対応方針について議論がなされました。

(4) 技術トピック

弊社では、分社化する以前より橋本会長を中心に中国、オランダ、シンガポール等の海外との技術協力を数多く実施してきました。今回の「技術トピック」では弊社の海外事業の歴史と今後の展望を橋本会長へのインタビュー形式で掲載しました。

(5) GSA 紹介

弊社では、社会とともに持続的に成長・発展する未来へのサステナビリティ活動(GSA)を推進し、持続可能な開発目標(SDGs)を支援する活動に取り組んでいます。本レポートでその活動の一部を紹介いたします。

近年の日本では、地震や豪雨による自然災害、地下工事におけるトラブルや事故が多発しています。厳しい自然環境や地下構造物が搬送する厳しい施工条件下での工事は、これまでとは異なる高い技術が必要となります。弊社も地盤に関わる技術集団として、実現場に即した総合的なコンサルティングをおこない、良きアドバイスを提供できるよう、努力してまいります。

代表取締役 長屋 淳一

GRI は、地盤を友とする

調査・解析・計測等を集約した技術集団です。

経営理念

我々は、地盤を友とする調査・計測・解析等を集約した技術集団であり、技術もアイデアも新発想で地盤環境問題に対処する優れた技術を提供します。

We have Superior Technology and New Vision.

事業目的

地盤構成物質の工学的研究を行い、地盤工学の進歩に貢献すると同時に、地盤の調査・試験・解析・計測及び施工管理等の一環した技術を地盤工学やプロジェクトの実務に活かすことによって、建設工事や防災工事の合理的、経済的向上、発展に寄与します。また、地震、地すべりなどの地盤災害、構造物の維持管理または地盤環境保全に向けての技術集積によって、人々に安全で快適な生活環境を提供します。

会社概要

商 号 株式会社 地域 地盤 環境 研究所(英文表記 Geo-Research Institute)

所 在 地 本 社 / 〒540-0008 大阪市中央区大手前 2 丁目 1 番 2 号

東京事務所 / 〒113-0034 東京都文京区湯島 1 丁目 8 番 4 号

名古屋事務所 / 〒464-0856 名古屋市千種区吹上 1 丁目 1-8-706

設 立 年 月 日 昭和 53 年 8 月 18 日

資 本 金 3,000 万円

取 締 役 会 長 橋 本 正

代表取締役社長 長 屋 淳一

登 録 事 業 建設コンサルタント業 建 06 第 3704 号 / 土質及び基礎部門

地質調査業 質 06 第 2493 号

建設業 大阪府知事許可(般-6)第 131877 号 / とび・土木工事業

労働者派遣事業登録 派 27-304118

社 員 数 30 名

有 資 格 者 数 技術士(建設部門):4 名 博士(工学):4 名 地質調査技士:1 名 測量士:2 名
一級土木施工管理技士:6 名 地盤品質判定士:2 名 地質情報管理士:1 名

顧 問 立命館大学 総合科学技術研究機構 上席研究員 小山 幸則

(就任順) 名古屋工業大学名誉教授 中井 照夫

中国同濟大学教授 朱 合華

早稲田大学非常勤講師 早稲田大学招聘研究員 小西 真治

一般財団法人 GRI 財団 技術顧問 塩谷 智弘

一般財団法人 GRI 財団 代表理事 三村 衛

中国同濟大学教授 名古屋工業大学名誉教授 張 鋒

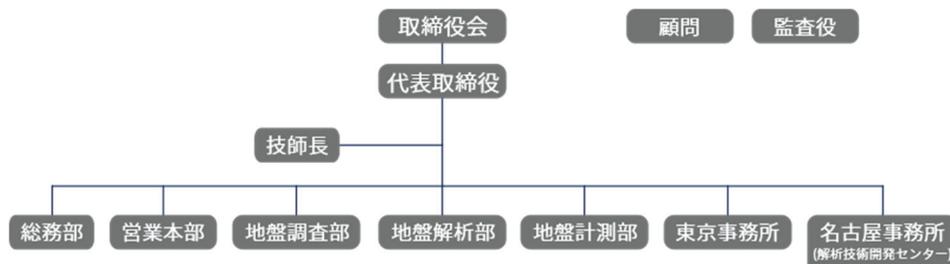
中国同濟大学教授 馬 險峰

上海交通大学教授 叶 冠林

事業内容

1. 地質・地盤調査、現場計測および評価
2. 地盤材料の試験及び評価
3. 土木・建設及び防災に関する技術解析、技術指導及び設計・施工管理
4. 地下水地盤環境の保全に関する調査、計測、解析及びコンサルティング
5. 建設副産物や産業廃棄物の処分及びリサイクル資源の有効活用を考慮した環境事業
6. 建造物や地盤構造物の維持管理に関わる調査、修復及び技術コンサルティング
7. とび・土木工事の設計、施工、監理、請負
8. 前各号に関する機器器具の製造、販売及び技術、製品の輸出入
9. 前各号に関する品質・安全・施工管理を主体とした役務提供
10. 労働者派遣事業
11. 前各号に付帯関連する一切の業務

組 織



地域地盤環境研究所(GRI)グループ

(株)地域地盤環境研究所は、2009年に財団法人地域地盤環境研究所(現：一般財団法人 GRI 財団)より、地盤解析部門と調査・計測部門を分社化して本格的に始動しました。現在は、地域地盤環境研究所(GRI) グループとして、(一財)GRI財団とともに多くの国内外の大学や研究機関と密な連携をとり、技術レベルの向上および専門技術の習得を通して、現場のニーズに応えられるよう日々努力しています。

*) 2023年(令和5年)7月、(一財)地域地盤環境研究所は、(一財)GRI財団に名称を変更いたしました。

・ GRI グループの沿革

一般財団法人 GRI 財団		株式会社 地域地盤環境研究所
土質試験サービス機関として尼崎に発足	1958年07月	
大阪府より財団設立許可を取得、財団法人 大阪土質試験所となる	1960年04月	
事務所を尼崎市から大阪市西区・大阪科学技術センタービルに移転、尼崎事務所を土質試験室とする	1963年08月	
福岡市に福岡事務所を開設	1978年08月	(財)大阪土質試験所の出資により、(株)ジオテクトロニクス・インターナショナルを設立し、本店を尼崎市杭瀬南新町に置く
大阪市西区に阿波座事務所を開設	1982年10月	社名を株式会社 地盤工学研究所に改称
大阪市西区に梅田ビルを取得し、同ビルに阿波座事務所を移転	1987年07月	
財団法人 地域 地盤 環境 研究所に名称を変更	1999年10月	大阪市西区立売堀の梅田ビルに本社を移転
東京都文京区に東京事務所を開設	2002年08月	
	2006年10月	社名を株式会社 地域 地盤 環境 研究所に改称
土質試験室を神戸市東灘区に移転しジオテクトラボとする	2009年04月	(財)地域 地盤 環境 研究所から地盤工学研究部門、東京事務所、福岡事務所等の事業譲渡を受け、社員数27名で本格的始動
	2011年05月	阪神高速技研株式会社と共同出資で阪申土木技術諮詢(上海)有限公司を開設(2024年に閉鎖)
一般財団法人 地域 地盤 環境 研究所に名称を変更	2013年04月	名古屋市に名古屋事務所(解析技術開発センター)を開設
	2015年06月	大阪市中央区大手前の国民會館・住友生命ビルに本社を移転(現 国民會館大阪城ビル)
阿波座事務所を大阪市中央区に移転し、大手前事務所とする	2015年07月	
一般財団法人 GRI 財団に名称を変更	2023年07月	

・ GRI グループの組織編制とコンサルティングへの取り組み

一般財団法人 GRI 財団	株式会社 地域地盤環境研究所
研究開発部門 地震防災 G 地質地震 G 地盤工学ラボ	技術部門 地盤調査部 地盤解析部 地盤計測部 東京事務所 名古屋事務所

★地盤の地域特性と環境保全についての調査研究およびコンサルティング

★地盤解析技術と調査・計測技術に基づいた総合コンサルティングおよび研究開発

現場と研究の積極的な交流を基礎に

- 地域の地盤特性および地盤環境問題を把握し
- 適切に対処するための情報発信基地となり
- 複雑な地盤問題に関するドクターとして

土に対する良きアドバイスをご提供し、社会に貢献いたします



本社

〒540-0008 大阪市中央区大手前 2 丁目 1 番 2 号 国民會館大阪城ビル 4F
TEL : 06-6943-9705 FAX : 06-6943-9709



アクセスマップ

東京事務所

〒113-0034 東京都文京区湯島 1 丁目 8 番 4 号 山川ビル 2F
TEL : 03-3812-4792 FAX : 03-3812-4793



アクセスマップ

名古屋事務所(解析技術開発センター)

〒464-0856 名古屋市千種区吹上 1-1-8 SOHIA IZUMO 706
TEL : 052-734-4426 FAX : 052-734-4426



アクセスマップ



会社情報はこちらからも
ご確認ください。

<https://geor.co.jp/company/>

2. 業務実績

当社は、地盤解析技術と調査計測技術にもとづいた総合コンサルティングです。

【事業目的】

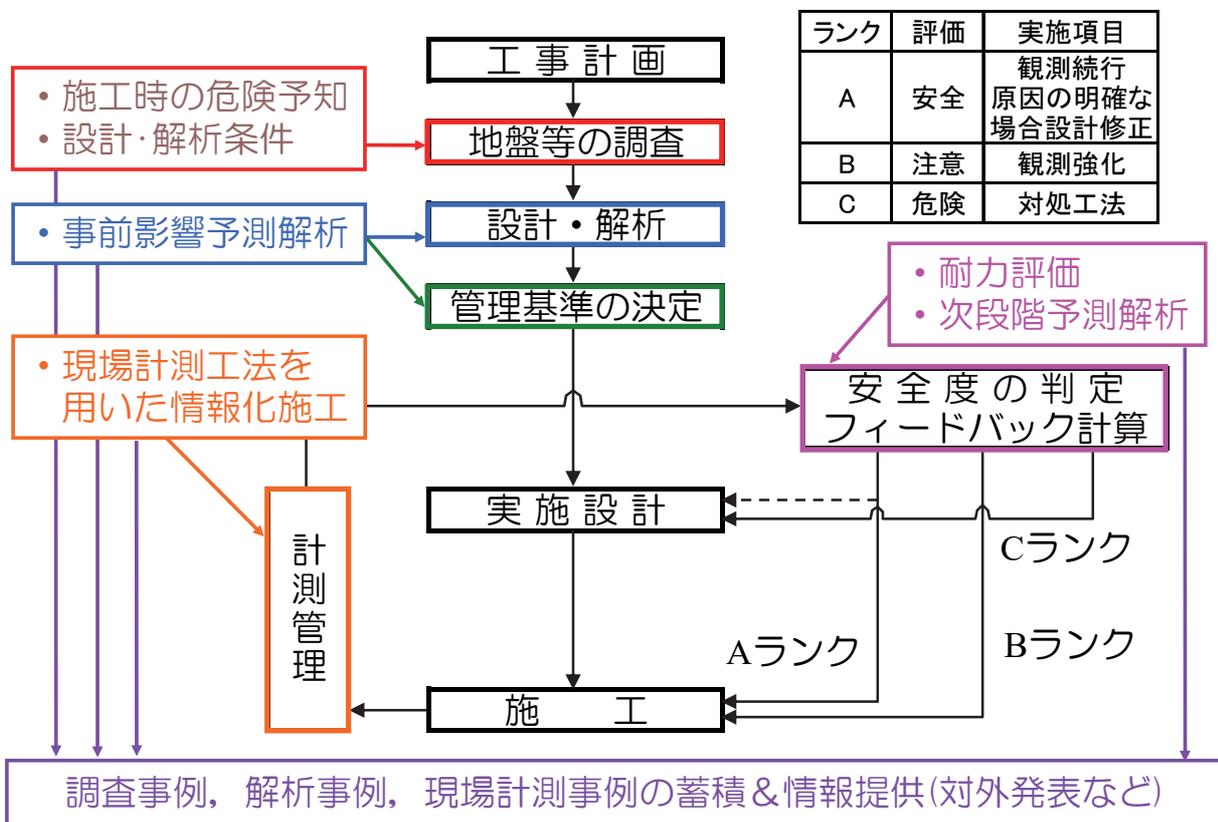
地盤構成物質の工学的研究を行い、地盤工学の進歩に貢献すると同時に、**地盤の調査・試験・計測・解析及び施工管理等の一環した技術**を地盤工学やプロジェクトの実務に活かすことによって、建設工事や防災工事の合理的、経済的向上、発展に寄与します。

また、地震、地すべりなどの地盤災害、構造物の維持管理または地盤環境保全に向けての技術集積によって、人々に安全で快適な生活環境を提供します。

[知恵袋としての GRI]

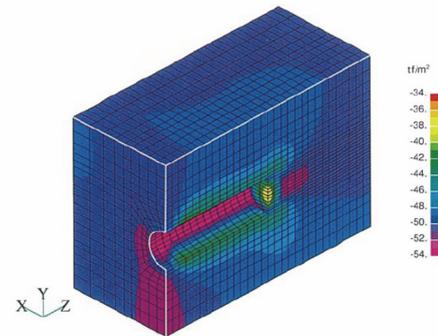
地盤・地下水・構造物の解析

地盤調査・試験
現場計測工法を用いた施工管理

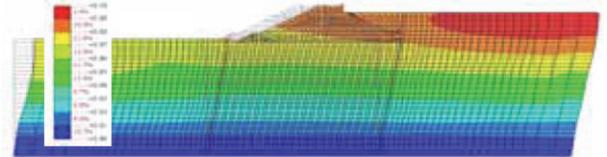


1. 地盤・地下水・構造物の解析技術

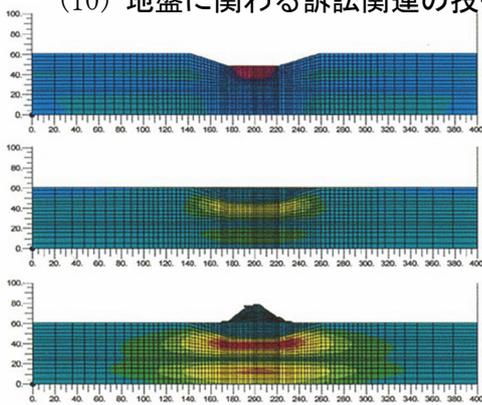
- (1) 地盤掘削や盛土等の地盤変形解析
- (2) 埋め立て、盛土や地下水位低下等による圧密沈下解析
- (3) 自然斜面や切土、盛土、法面を対象とした斜面安定解析
- (4) 開削工事における土留め壁変形解析
- (5) 施工時荷重を考慮したトンネル構造物等の応力解析
- (6) 近接施工時の地盤・構造物の近接影響検討解析
- (7) 地下水や降雨浸透等を対象とした浸透流解析
- (8) 地下工事を対象とした地下水流動保全解析
- (9) 地震時の液状化現象等に関する動的解析
- (10) 地盤に関わる訴訟関連の技術資料作成



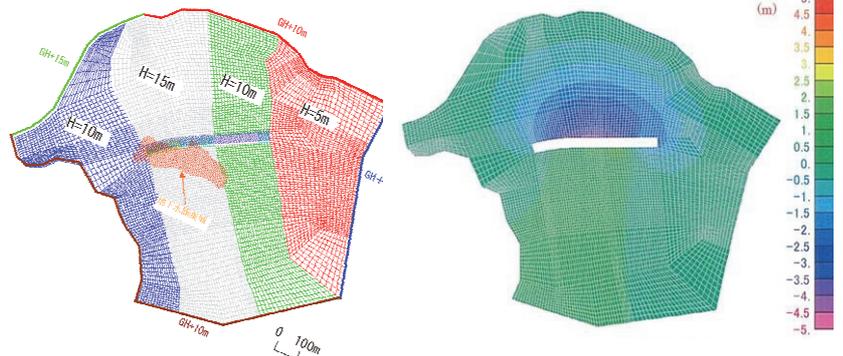
【3次元地盤変形解析例(地盤内応力変化分布)】



【護岸の動的解析例(変位分布図)】



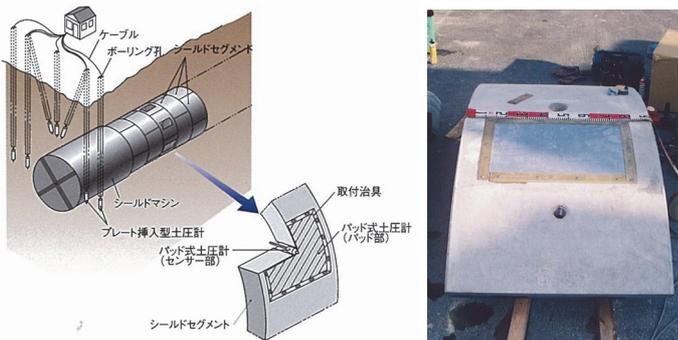
【圧密沈下解析例(地盤内の過剰間隙水圧の変化)】



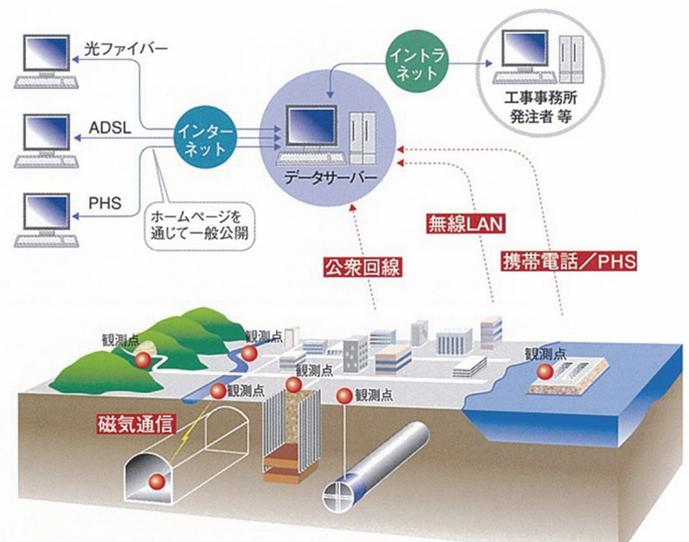
【地下水流動阻害に伴う浸透流解析結果例(右:水位変動量)】

2. 地盤調査・試験と現場計測工法を用いた施工管理

- (1) 地質・地盤調査
- (2) 音響トモグラフィを用いた高精度地盤調査
- (3) 地盤内の磁気探査、空洞探査
- (4) 土留め壁等遮水壁の遮水効果調査
- (5) 工事に関わる水質・土壌環境調査
- (6) 近接施工時の計測施工管理
- (7) 土留め掘削やトンネルにおける計測施工管理
- (8) 地盤・構造物の GPS 変状計測管理
- (9) 地すべり調査・観測
- (10) Web サーバーを用いた広域自動計測システム



【トンネル覆工作用圧測定器(パッド式土圧計)の開発】



【Web サーバーを用いた広域自動計測システム】

(1) 2023 年度部門別発注件数，受注高および発注者別売上高の内訳

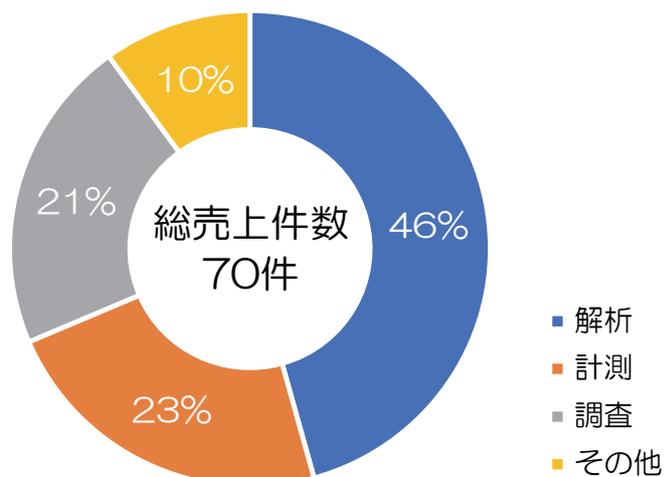


図 2.1 部門別受注件数内訳(2023 年度(2023.10.1~2024.9.30))

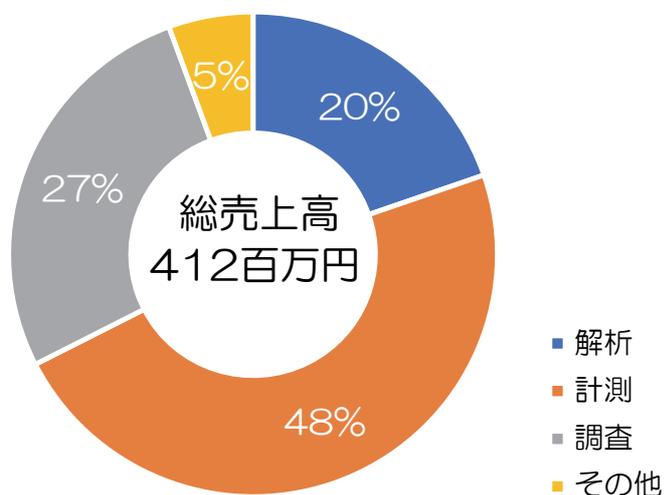


図 2.2 部門別受注高内訳(2023 年度(2023.10.1~2024.9.30))

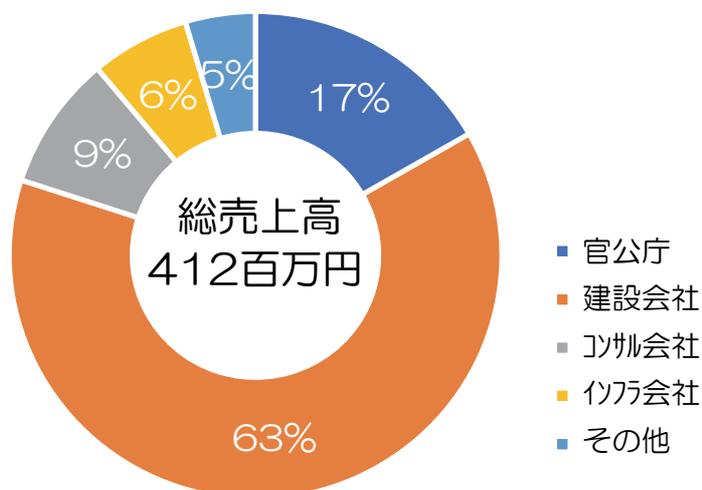


図 2.3 発注者別受注高内訳(2023 年度(2023.10.1~2024.9.30))

(2) 過去5年間の部門別、発注者別売上高の一覧

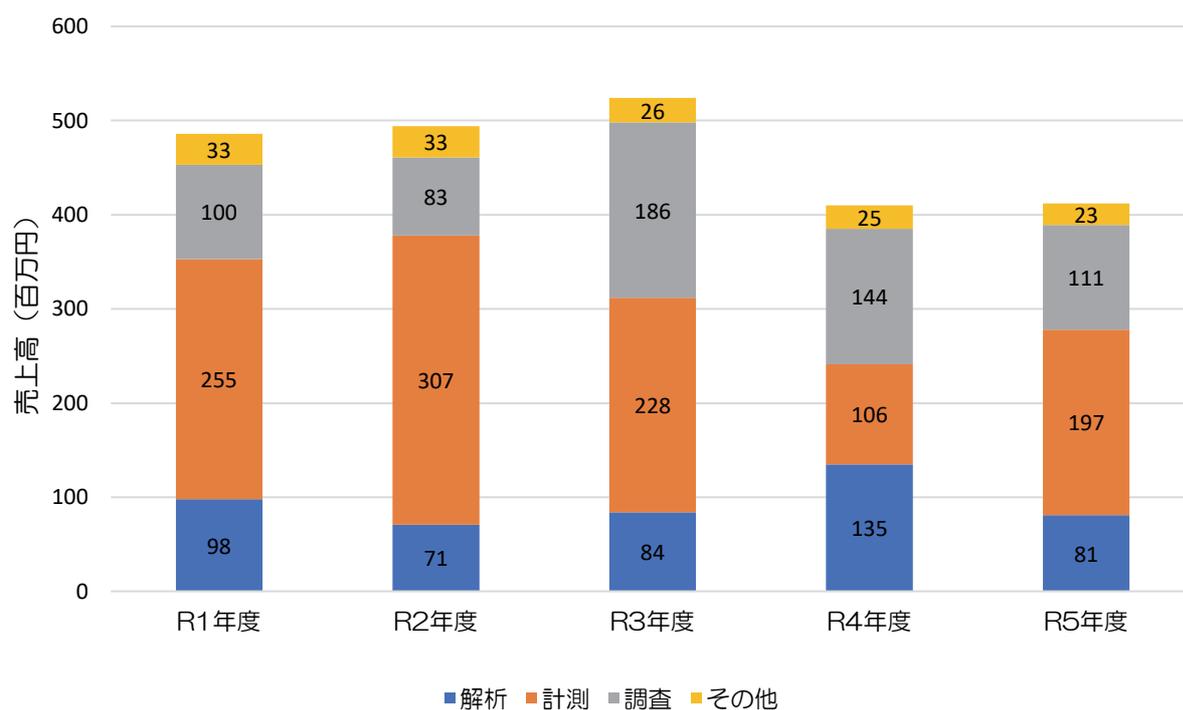


図 2.4 過去5年間の部門別受注高一覧(2019(令和元)年度～2023(令和5)年度)

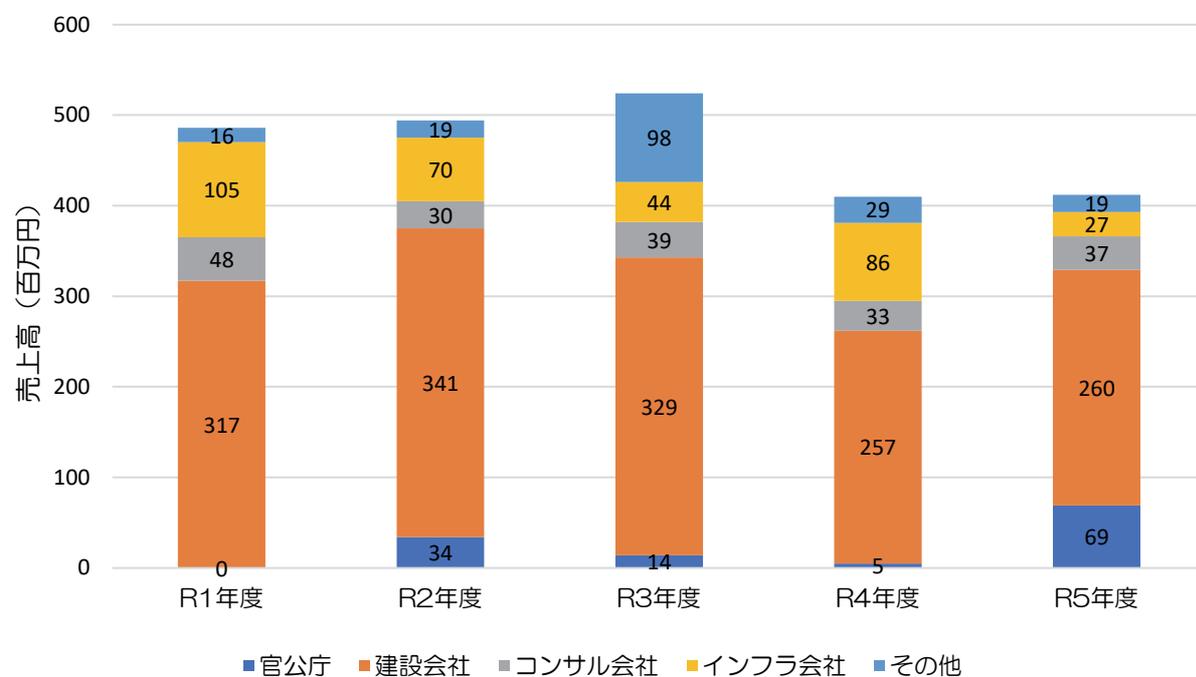


図 2.5 過去5年間の発注者別受注高一覧(2019(令和元)年度～2023(令和5)年度)

3. 研究成果

以下に、2023年(令和5年)10月1日～2024年(令和6年)9月30日までに当社スタッフが関係した対外発表論文リストを示します。

表 3.1 当社研究成果一覧表(2023年(令和5年)10月1日～2024年(令和6年)9月30日)

題目：線路下開放型推進工事における小規模地下水低下工法の検討(その1)	
発行年：	2024年
著者名：	森 顕, 譽田 孝宏, 足立 勝美
掲載誌：	第79回土木学会年次学術講演会
分類：	現場計測, 圧縮・圧密, 地中構造物・トンネル・シールド, 地下水・透水・浸透・排水, 地盤改良
題目：線路下開放型推進工事における小規模地下水位低下工法の検討(その2)	
発行年：	2024年
著者名：	森 顕, 譽田 孝宏, 劉 通剣
掲載誌：	第79回土木学会年次学術講演会
分類：	圧縮・圧密, 地中構造物・トンネル・シールド, 数値解析
題目：鋼管杭の薄層支持メカニズムに関する解析的検討	
発行年：	2024年
著者名：	篠原 聖二, 藤井 遥, 稲垣 祐輔, 譽田 孝宏
掲載誌：	第79回土木学会年次学術講演会
分類：	地形・地質, 基礎と杭, 数値解析
題目：薄層支持地盤における鋼管杭の鉛直載荷試験の再現解析	
発行年：	2024年
著者名：	稲垣 祐輔, 山内 雅基, 篠原 聖二, 服部 駿佑, 藤井 遥
掲載誌：	第79回土木学会年次学術講演会
分類：	地形・地質, 基礎と杭, 数値解析
題目：デジタルツインによる土圧シールドの現場計測工法	
発行年：	2024年
著者名：	長屋 淳一, 岩崎 好規, 伊藤 肇
掲載誌：	地盤工学会誌(WEB版), Vol.72, No.8, Ser.No.799
分類：	現場計測, 地中構造物・トンネル・シールド, 数値解析
題目：デジタルツインによる土圧シールドにおける管理土圧の設定	
発行年：	2024年
著者名：	岩崎 好規, 伊藤 肇, 長屋 淳一
掲載誌：	第59回地盤工学研究発表会
分類：	現場計測, 地中構造物・トンネル・シールド, 数値解析

題目：埋立地盤でのシールド掘進に伴う後続沈下の評価	
発行年：	2024 年
著者名：	赤木 淳, 譽田 孝宏, 稲垣 祐輔
掲載誌：	第 59 回地盤工学研究発表会
分 類：	現場計測 , 地中構造物・トンネル・シールド
題目：古墳石室の長期温度計測と再現解析に基づく遺構展示の影響評価	
発行年：	2024 年
著者名：	谷 珠美令, 澤田 茉伊, 三村 衛
掲載誌：	第 59 回地盤工学研究発表会
分 類：	熱的性質 , 遺跡文化財
題目：流動化しやすい砂地盤をシールド掘進する際の諸問題と留意事項—微細砂地盤を対象とした地下鉄工事を例にして—	
発行年：	2023 年
著者名：	南川 真介, 中西 平, 譽田 孝宏
掲載誌：	トンネルと地下 12 月号, Vol.54, No.12
分 類：	地形・地質 , 地中構造物・トンネル・シールド
題目：高架橋基礎杭直下の大深度・長距離シールド掘削工事における近接影響評価	
発行年：	2023 年
著者名：	山内 雅基, 稲垣 祐輔, 譽田 孝宏, 原 信行, 内田 泰彦
掲載誌：	トンネル工学報告集第 33 巻
分 類：	地形・地質 , 基礎と杭 , 地中構造物・トンネル・シールド , 数値解析
題目：地形改変と液状化発生の関係 その 1 —淀川流域における旧河道領域の推定—	
発行年：	2023 年
著者名：	北田 奈緒子, 長屋 淳一, 大島 昭彦, 諏訪 靖二, 磯野 栄一, 野牧 優達, 春日井 麻里
掲載誌：	Kansai Geo-Symposium 2023 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集
分 類：	地形・地質 , 地震・耐震
題目：地形改変と液状化発生の関係 その 2 —旧河道における土質特性—	
発行年：	2023 年
著者名：	長屋 淳一, 大島 昭彦, 北田 奈緒子, 諏訪 靖二, 磯野 栄一, 野牧 優達, 春日井 麻里
掲載誌：	Kansai Geo-Symposium 2023 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集
分 類：	地形・地質 , 地震・耐震



当社論文の掲載ページです。
<https://geor.co.jp/research/>

埋立地盤でのシールド掘進に伴う後続沈下の評価

埋立地盤 シールドトンネル 後続沈下

大阪市高速電気軌道 赤木 淳
 地域地盤環境研究所 国際会員 ○譽田 孝宏, 稲垣 祐輔

1. はじめに 北港テクノポート線(以下、北港TP線)は、大阪市域西端の大阪湾における埋立地である「夢洲」で開削トンネルおよびシールドトンネルにより建設を進めている¹⁾。このうちシールドトンネルは、主として埋立地盤(浚渫粘性土層)に位置しており、シールド掘進時におけるトンネル周辺地盤のかく乱が原因となって、トンネルが長期間にわたって沈下する可能性が危惧された。ここでは、過去の計測事例にもとづいて後続沈下量を推定するとともに、実施工における計測結果から後続沈下を分析した。

2. 対象地盤の特徴 北港TP線沿いの土質縦断面図と土性図を図1に示す。Bc層は、自然堆積地盤である沖積粘性土層(Ac層(Ma13層))の上部に敷砂層(Bs層)を挟んで人工的に投入した浚渫粘性土層であり、非排水せん断強さは上部で $s_u=20\sim40\text{ kN/m}^2$ 、下部で $s_u=65\text{ kN/m}^2$ 程度である。これは、埋立時の圧密促進対策としてBc層に配置したプラスチックボードドレーン(以下、PBD)による効果によって強度増加したと考えられる。また、液性限界 $w_L=100\%$ 程度、自然含水比 $w_n=70\%$ 程度、塑性限界 $w_p=40\%$ 程度であることから液性指数 $I_L=0.5$ 程度である。東大阪の超軟弱な鋭敏粘性土地盤では $I_L=1.0$ 前後(自然含水比 w_n が液性限界 w_L に近い状態)に達する²⁾ことを考えると、東大阪粘性土ほど超軟弱ではない状態にある。

夢咲トンネル
 アプローチ部

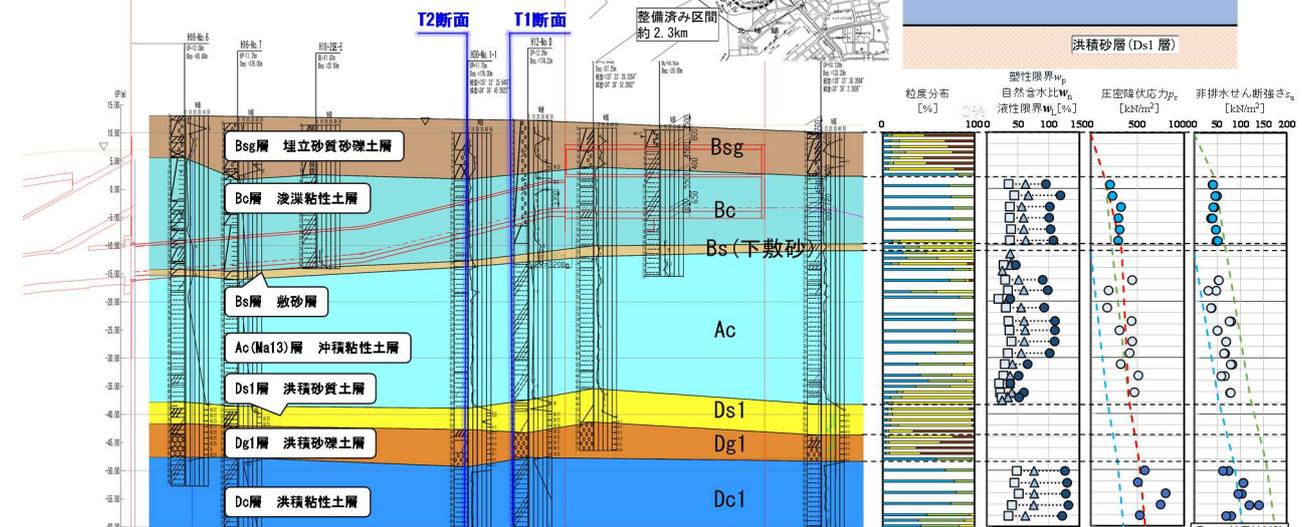


図1 北港TP線沿いの土質縦断面図および開削トンネル区間北端部付近の土性図

3. シールド掘進中の計測結果にもとづいた後続沈下予測

本シールド工事におけるトライアル計測(以下、T1およびT2)は、シールド施工に伴う夢咲トンネルアプローチ部に位置する道路構造物への影響を最小限に抑制するための適切な掘進管理方法を確立することを目的に、鉛直変位計と間隙水圧計を用いて実施した。トライアル計測の断面図例を図2に示す。

T1およびT2における計測結果を図3に示すが、T1ではシールド通過時の最大変形量が4.1mm沈下であったのに対してT2では18.0mm隆起となった。これは、T2の地山の性状がT1に比べて若干軟弱であり、同時裏込め注入管による凸部と周辺地盤の間において競りが発生しやすい状態にあったことが原因の1つとして考えられる¹⁾。

過去の計測結果にもとづいたシールド通過時の最大変形量と後続沈下の関係³⁾を図4に示す。同図より、シールド

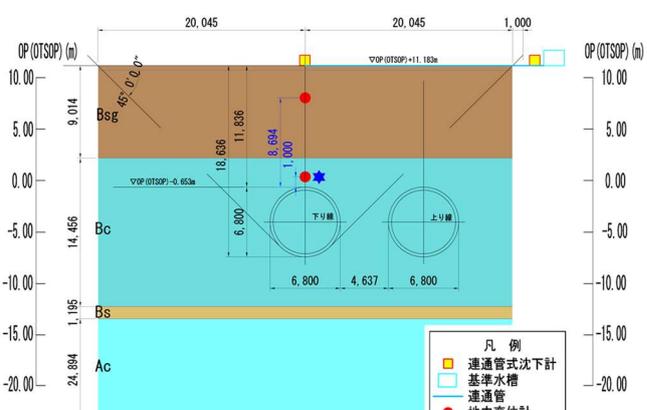


図2 トライアル計測断面図 (T1断面, T2断面も類似配置)

Evaluation of Subsequent Settlement due to Shield Excavation in Reclaimed Ground 1 AKAGI, J. (Osaka Metro Co., Ltd)
 2 KONDA, T. & Y. INAGAKI (Geo-Research Institute)

ド通過時の最大変形量(隆起量, 沈下量)が大きいほど後続沈下量は大きくなる傾向にあり, 掘削対象地盤の液性指数 I_L が大きいほどその傾向は顕著になる. つまり, 液性指数 I_L が大きい粘性土ほど, シールド掘進時に周辺地盤を乱して大きく変形させると後続沈下も大きくなる特徴がある. 今回のトライアル計測断面付近の地盤は $I_L=0.5$ 程度であることから, シールド通過時の挙動より T1 で 0~10 mm, T2 で 15~25 mm の後続沈下が予測された(図4 橙色破線部参照).

4. シールド通過後の計測結果にもとづいた後続沈下予測の検証

ここで, T1 と T2 における後続沈下量は, テール通過 1D(D: シールド外径)以降, 沈下が収束するまでを仮定した.

テール通過 1D 後におけるトンネル直上 1.0 m の鉛直変位量は, T1 と T2 で異なる変位量を示していたものの, テール通過 1D 後以降の後続沈下量は T1 で 6.5 mm, T2 で 4.8 mm と同程度であった. これは, トンネル直上地盤内に発生した過剰間隙水圧が, テール通過 1D 後以降に同程度減少して圧密沈下したものと考えられる.

T1 と T2 におけるシールド通過時の最大変形量と後続沈下の関係を図4に加筆した. T1 は, シールド通過時の最大変形量および後続沈下量ともに小さく, 過去の実績と類似した傾向にあったが, T2 は, シールド通過時の最大変形量に比べて後続沈下量が小さく, 過去の実績とは異なる傾向を示した. これは, 図5に示すように, シールド掘削地盤である Bc 層には, 圧密促進用の PBD が設置されていることから, シールド通過中に発生した過剰間隙水圧が PBD から上下の敷砂層に向かって適度に排水された可能性や, 残留した過剰間隙水圧自体が小さかったこともあり, およそ 1 カ月程度の短時間で沈下が収束したことが一つの考察として考えられる.

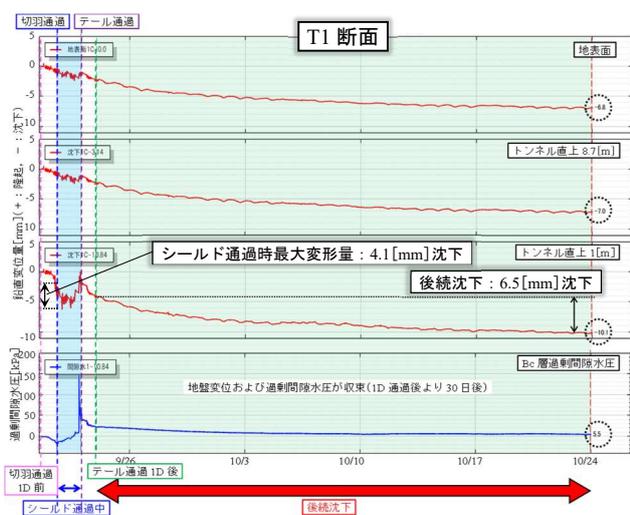


図3 シールド直上地盤の鉛直変位量に関する経時変化図

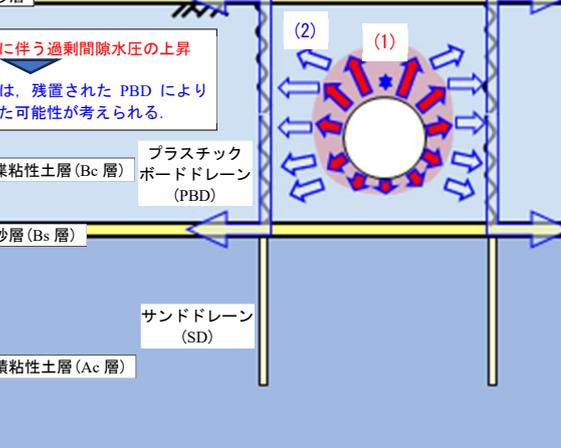
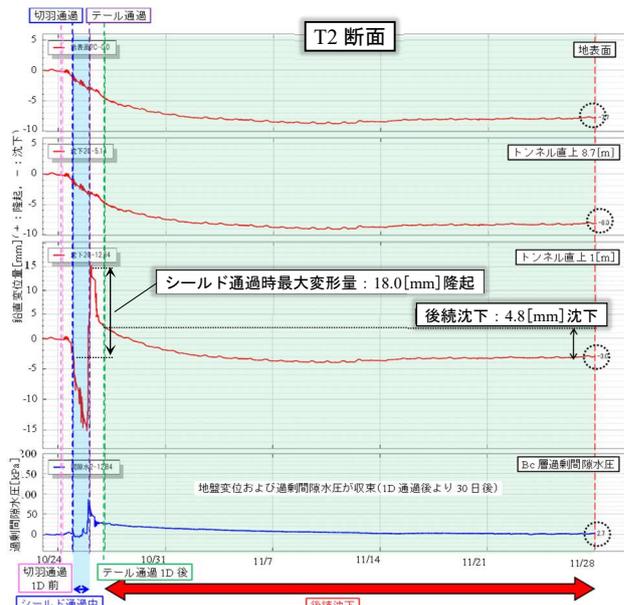


図4 シールド通過時の最大変形量と後続沈下の関係³⁾に加筆

図5 Bc層に発生した過剰間隙水圧の消散の推定

5. おわりに 埋立地盤におけるシールド掘進に伴う後続沈下量について分析した結果, 過去の計測事例に比べて本現場における後続沈下量は小さかった. これは, 埋立時の圧密促進対策として配置した PBD の効果により, 過剰間隙水圧の発生量が小さく, 速やかに排水されたことが1つの考察として考えられる.

参考文献: 1) 南川他: 大阪・関西万博に向けた埋立地盤での泥土圧シールドの施工—北港テクノポート線インフラ部整備工事—, トンネルと地下, 2024(投稿中). 2) KG-NET・関西圏地盤研究会: 新関西地盤—大阪平野から大阪湾—, pp.62-63, 2007. 3) 太田他: シールド掘進に伴うシールド直上地盤の変形挙動に関する考察, 土木学会トンネル工学報告集, Vol.17, pp.299-306, 2007.

薄層支持地盤における鋼管杭の鉛直載荷試験の再現解析

(株)地域地盤環境研究所 正会員○稲垣 祐輔, 山内 雅基
 阪神高速道路(株) 正会員 篠原 聖二, 服部 駿佑, 藤井 遥

1. はじめに

海上橋梁基礎の設計において支持層は砂礫層に富み、かつ粘土を挟在する洪積砂泥互層が分布し、薄層支持状態となる場合がある¹⁾。このような複雑な互層状態となる地盤の支持力は適切に評価する必要があることから、鋼管杭の支持力評価を目的に実施した大口径(1,500 mm)鋼管杭の鉛直載荷試験(押し込み試験)¹⁾を実施した。本稿では、その鉛直載荷試験に関する再現解析をおこなったので、その結果について報告する。

2. 当該現場の地盤条件

本検討箇所の地質は、海底面から海成粘土層(Ma13層, N値=0程度)、沖積砂礫層(平均N値=22)および洪積砂礫層(N値=20~100)と洪積粘土層(N値=10~30)の互層の地層構成を呈している。Ma13層では、細粒分が大半を占めるおおむね均一な粒度分布であるが、鋼管杭下端が位置する洪積層では砂分が多い(砂分約90%)深度とシルト・粘土分が多い(細粒分約77%)深度などがあり、均一な砂礫層ではなく、0.5~1.0mの不連続な弱層(粘性土層)が挟在していることが特徴的である。

3. 再現解析の条件

本検討では、1/4円モデルの3次元弾塑性FEM解析(解析ソフト: PLAXIS, Bentley製)を実施し、鉛直載荷試験(押し込み試験)は短期的な挙動であると仮定して全応力解析により検討した。FEM解析モデルを図-1に示す。地盤をソリッド要素、鋼管杭をシェル要素で設定し、地盤と鋼管杭の間には摩擦を考慮したジョイント要素(図-2)を、杭先端付近には薄層支持状態(薄い粘性土)をモデル化した。地盤材料パラメータ一覧を表-1に、鋼管杭の諸元を表-2に示す。解析領域は、荷重の影響が無視できる領域まで広げることが念頭に、鉛直方向には鋼管杭下端から10D(D:鋼管杭径(=1.5m))、水平方向には鋼管杭中心から10Dをモデル化した²⁾。境界条件は、モデル側面で鉛直ローラー、モデル下端で完全固定とした。

地盤は、一般的な力学試験から推定したパラメータを用いて簡単に地盤の降伏を表現できる弾塑性モデルの1つであるMohr-Coulombモデルを採

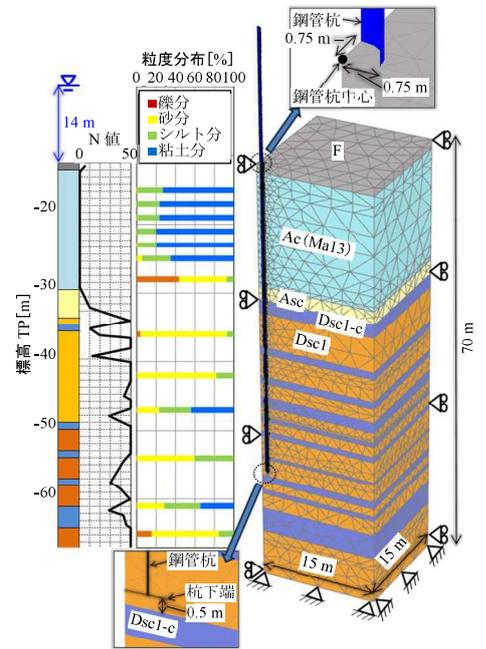


図-1 柱状図および解析モデル図

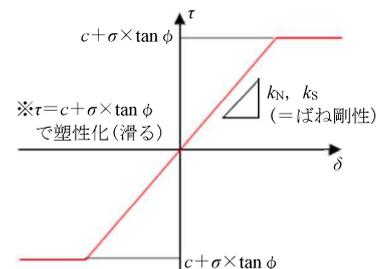


図-2 ジョイント要素のモデル概念図

表-1 地盤材料パラメータ一覧

土層	鋼管杭	単位体積重量 γ [kN/m ³]	粘着力 c [kN/m ²]		内部摩擦角 ϕ [°]		変形係数 E [kN/m ²]		ポアソン比 ν	静止土圧係数 K_0
			Case1	Case2	Case1	Case2	Case1	Case2		
			F	19.7	5.7	23.0	40.1	35.3		
Ac(Ma13)	14.2 ~ 15.5	12.5 ~ 53.6	11.2 ~ 50.4	0.0		2,625 ~ 11,256	29,500	0.45	0.80	
Asc	19.7	5.7	23.0	40.1	35.3	61,600	121,500	0.35	0.36	
Dsc1-c	19.0	60.0 ~ 180.0	96.0 ~ 250.0	0.0		28,800 ~ 86,400	120,000 ~ 517,000	0.45	0.50	
Dsc1	17.1 ~ 19.6	1.4 ~ 52.8	23.0 ~ 150.0	34.3 ~ 40.4	35.0	47,600 ~ 159,600	266,000 ~ 517,000	0.35	0.35 ~ 0.44	
Dsc1-c	18.7 ~ 19.0	72.0 ~ 156.0	290.1 ~ 326.9	0.0		34,560 ~ 74,880	833,500	0.45	0.50	
Dsc1	19.4 ~ 19.6	8.3 ~ 52.8	53.5 ~ 68.0	34.3 ~ 37.0	45.0	134,400 ~ 280,000	833,500	0.35	0.40 ~ 0.44	

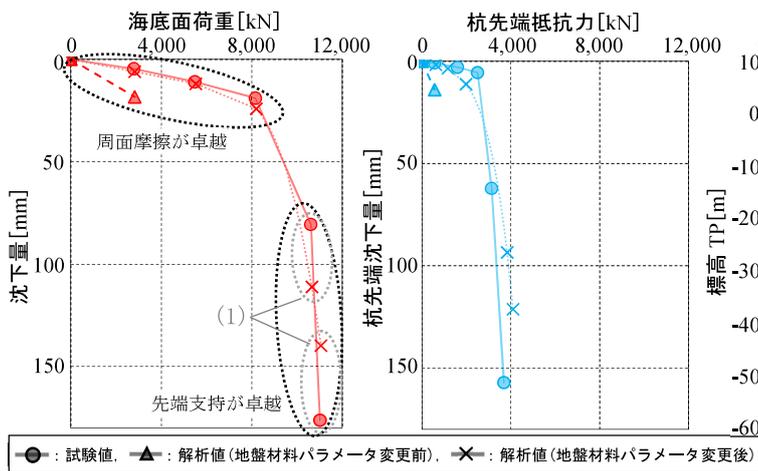
※Case1: 土質調査結果に基づいて設定した地盤材料パラメータ, Case2: 再現解析結果にもとづいた再考値

表-2 鋼管杭の諸元

材料	鋼管杭SKK490	
寸法	外径 D	1.5 m
	厚さ h	0.021 m
材料定数	ヤング係数 E	9.3×10^8 kN/m ²
	単位体積重量 γ	77 kN/m ³
	ポアソン比 ν	0.3

キーワード 薄層支持, 鋼管杭, 載荷試験, 再現解析, 3次元弾塑性有限要素法

連絡先 〒540-0008 大阪府中央区大手前2丁目1番2号 (株)地域地盤環境研究所 TEL06-6943-9706



(a) 周面摩擦+先端支持

(b) 先端支持

図-3 鋼管杭の鉛直変位～荷重関係

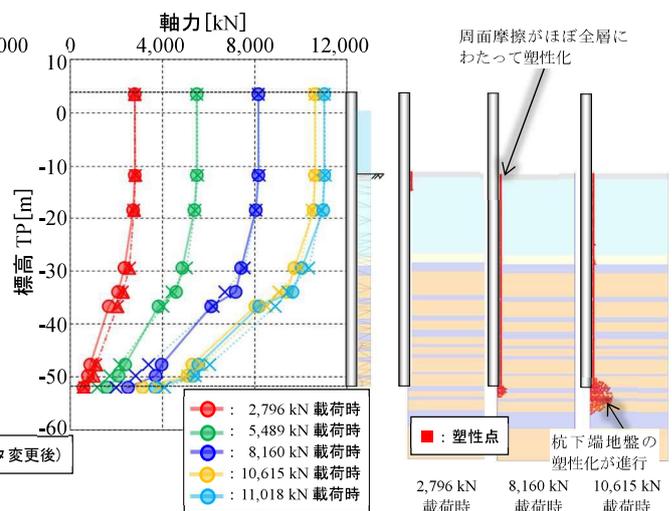


図-4 鋼管杭の軸力分布

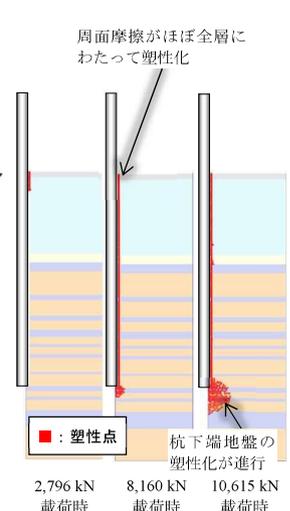


図-5 塑性分布

用した。地盤材料パラメータは、単位体積重量 γ では湿潤密度試験、粘着力 c および内部摩擦角 ϕ では三軸圧縮試験などの試験結果を採用することを基本とし、試験結果がない層はN値より推定した。また、変形係数およびジョイント要素のばね係数は、砂層でN値、粘土層で粘着力 c より推定した。

4. 再現解析結果

鉛直荷重試験結果と再現解析結果の比較に関して、鋼管杭の鉛直変位～荷重関係を図-3に、鋼管杭の軸力分布を図-4に示す。土質試験結果に基づいて設定した地盤材料パラメータを用いた解析値(Case1)は、荷重荷初期段階から試験値より大きな変位を示し、解が発散する結果となった(図-3の△)。これは、本検討に用いた地盤材料パラメータのうち地盤強度や地盤剛性が実地盤より軟質な設定となっていたためと考えられる。そこで、地盤材料パラメータを再考して再検討した。具体的には、地盤剛性はPS検層結果、地盤強度は粘着力 c および内部摩擦角 ϕ に関するパラメトリックスタディにより設定した(Case2)。その結果、地盤強度および地盤剛性を大きくすることで、鉛直荷重試験(押し込み試験)結果をおおむね再現できた(図-3の×)。杭周辺地盤の塑性分布図を図-5に示すが、8,160 kN 荷重時には杭の周面摩擦がほぼ全層にわたって塑性化していることから、荷重荷初期段階では周面摩擦力が大きく寄与していると考えられる。さらに、荷重荷重が大きくなると杭下端地盤の塑性化が進行していることから、荷重負担は先端支持に移行していると考えられ、図-3に示す鉛直変位～荷重関係と整合が取れた。

土質試験結果から設定した地盤材料パラメータ(Case1)と鉛直荷重試験を再現できた地盤材料パラメータ(Case2)で乖離があった要因として、杭貫入時の地盤押し広げにより杭周辺地盤では密度が増加して強度増加している可能性が考えられる(図-6)。つまり、室内土質試験を実施した杭貫入前の乱れの少ないサンプリング試料と、杭貫入後に地盤を押し広げた状況では異なるシチュエーションにあったためと考えられる。なお、10,615～11,018 kN 荷重時で解析値と試験値で若干の乖離があった(図-3の(1))。さらに緻密に試験値を表現するためには、ひずみ軟化を表現できる地盤構成モデルが必要と考えられる。

5. まとめ

本稿では、大口徑鋼管杭の鉛直荷重試験(押し込み試験)を対象に、3次元弾塑性 FEM 解析により再現解析を実施した。試験結果との比較から、地盤強度および地盤剛性を土質試験結果より設定した地盤材料パラメータより大きくすることで変位～荷重関係および軸力分布ともにおおむね再現できることを確認した。今後、本稿で構築した再現解析モデルを用いて、薄層支持状態となっている鋼管杭の支持力評価を実施する予定である。

参考文献

- 1)服部ら：鉛直荷重試験をふまえた大口徑鋼管杭の支持力評価方法，第78回年次学術講演会，III-262，2023。2)大志万ら：薄層支持杭の支持力特性に関する研究，阪神高速道路(株)「技報」第10号，1991。



杭貫入時の地盤押し広げに伴って締め固まる領域
図-6 鋼管杭打設時の周辺地盤への影響

線路下開放型推進工事における小規模地下水位低下工法の検討(その2)

大鉄工業株式会社 正会員 森 顕
株式会社地域地盤環境研究所 正会員 ○譽田 孝宏, 劉 通剣

1. はじめに JR 山陽本線姫路～英賀保間における線路下工事では、営業線直下を低土被りで地山を極力緩まらずに非開削工事が可能な「URT 工法(Under Railway / Road Tunnelling Method)」を採用している¹⁾。当該現場では、地下水位が上床エレメント中央深度付近に位置していることから、通常、薬液注入による遮水が必要となるが、線路から地下水位までの離隔が小さいことから薬液注入施工時に線路が隆起する現象が懸念された。ここでは、地下水位を上床エレメント下端までわずかに低下させることによって、薬液注入による改良を極力回避する小規模地下水位低下工法を採用した場合の影響について検討したので、その内容を示す。

2. 当該工事の概要 当該工事現場の平面図と断面図を図1に示す。本工事では、JR 山陽本線と県道直下において両立坑間 33～43 m に鋼殻断面(内空幅 16.4 m×内空高さ 6.5 m)を完成させたのち、内部を掘削して道路トンネルを構築する。地盤は、地表面から B 層(盛土層), Ac 層(沖積粘性土層, N 値=3 程度, $c_u=28 \text{ kN/m}^2$), Ag 層(沖積砂礫層, N 値=19 程度), Dg1 層(洪積礫層, N 値=30 程度)が堆積している。Ag 層と Dg1 層を一つの帯水層として考えると、設計高水位(以下, HWL)は TP+5.71 m(地表面からの離隔 1.2 m)にあって降雨の影響を受ける自由水であることから、日変動および季節変動をしている。なお、設計低水位 LWL は TP+3.08 m である。

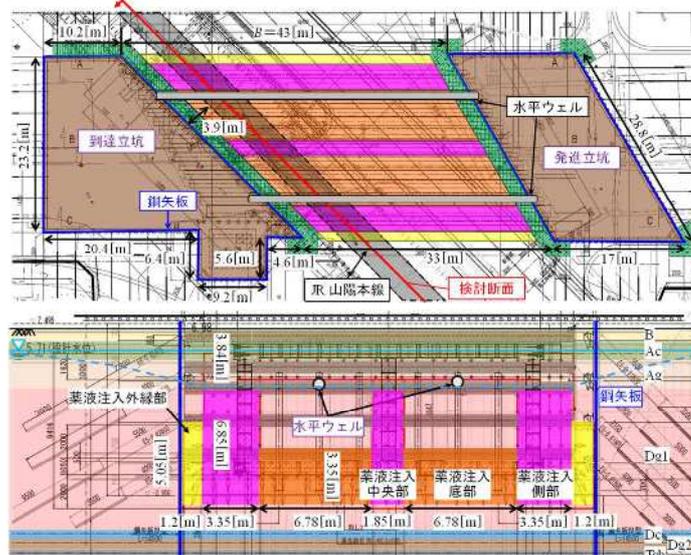


図1 当該工事付近の平面図および断面図

3. 地下水位低下の検討 HWL が上床エレメント(エレメント高さ 0.85 m)の中央深度付近に位置していることから、両立坑間に有孔管(以下, 水平ウエル)を水平設置して上床エレメント下端面以下まで地下水位を 2.57 m 低下させることにより、この部分における遮水用の薬液注入を省略することを考えた。計画とおりに地下水位を低下させるための水平ウエルの配置や本数を決定するために準3次元浸透流解析²⁾を実施した。解析モデルを図2(左側)に、各領域の透水係数を表1に示す。解析モデルの平面領域は、Siechartd の提案式(重力井戸の場合)³⁾による影響半径にもとづいて 860 m×860 m とし、端部に TP+5.71 m の地下水位を設定した。

水平ウエル設置深度における地下水位を 2.57 m 低下させた場合の浸透流解析結果を図2(中央)と図3(上段)に示す。JR 山陽本線(線路方向)の地下水位は、鋼矢板で囲まれた難透水性の立坑部や薬液注入領域の影響を受けながら、薬液注入天端部付近に向かって領域外から緩やかに低下する傾向が得られた。

4. 地表面沈下の検討 水平ウエル位置での地下水位低下に伴い、Ac 層では有効応力が増加して圧密沈下の進行が懸念された。ここでは、浸透流解析から算出した各平面位置での地下水位低下にもとづいて1次元圧密沈下解析を実施し、帯水層における即時沈下量も加算して JR 山陽本線線路方向の沈下量を算出した。沈下解析に用いた地盤材料パラメータを表2に示す。

各平面位置における沈下分布図を図2(右側)に示すが、沈下分布形状は

表1 各領域の透水係数

	透水係数 $k \text{ m/sec}$
帯水層(Ag層, Dg1層)	2.76×10^{-3}
薬液注入領域	1.00×10^{-6}
立坑鋼矢板	3.40×10^{-8}

キーワード URT 工法, 小規模地下水位低下工法, 浸透流解析, 1次元圧密沈下解析
連絡先 〒540-0008 大阪府大阪市中央区大手前2丁目1番2号国民會館大阪城ビル4F
株式会社地域地盤環境研究所 TEL 06-6943-9706

表2 沈下解析に用いた地盤材料パラメータ

土層名	下端標高 TP m	層厚 m	単位体積重量 γ kN/m ³	圧密係数 C_v	圧縮指数 C_s	膨潤指数 C_s	圧密降伏応力 p_c kN/m ²	初期間隙比 e_0
Ac	5.09	1.15	20	6×10^4	0.29	0.00725	2,635	0.647
土層名	下端標高 TP m	層厚 m	単位体積重量 γ kN/m ³	内部摩擦角 ϕ°	弾性係数 E kN/m ²	ポアソン比 ν	静止土圧係数 K_0	体積圧縮係数 m_v m ² /kN
Ag	3.34	1.75	19	36.2	32,900	0.29	0.41	2.32×10^{-5}
Dg1	-5.21	8.55	20	37.6	57,100	0.28	0.38	1.37×10^{-5}

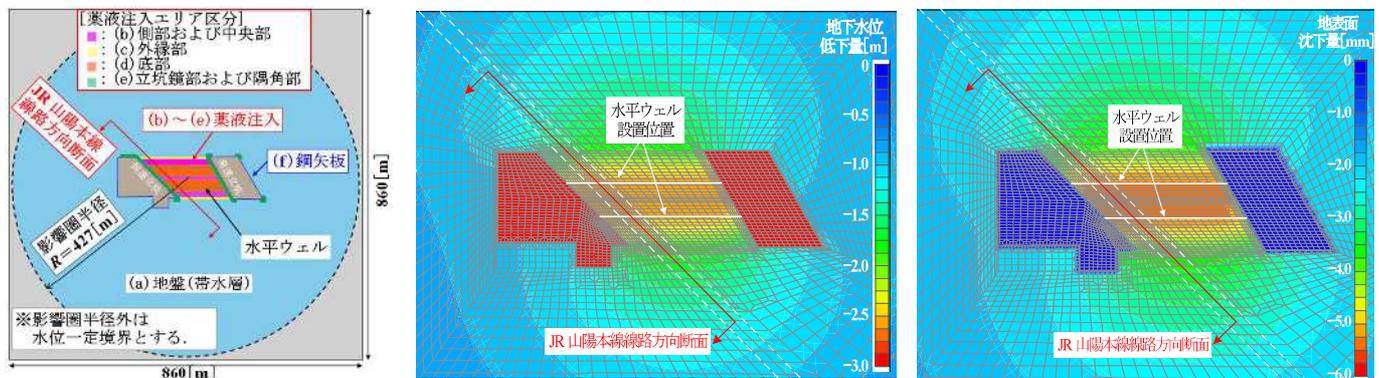


図2 浸透流解析モデル(2次元平面モデル, 左側), 地下水水位低下分布図(中央), 地表面沈下分布図(右側)

地下水水位低下分布形状と類似しており, 地表面沈下量の最大 5.3 mm であった. このうち, Ac 層の最大沈下量は 0.15 mm であり, 全体沈下量の 3%程度と小さかった. これは, Ac 層が圧密しにくい砂質粘性土(低液性限界)であり, 過圧密比 $OCR \div 113$ であることから, 有効応力の増加に伴うわずかな有効応力の変動は過圧密領域内にあったことが要因として考えられる.

この結果を踏まえて, 地表面沈下分布(図3(中段)参照)と JR 山陽本線軌道部の鉛直変位分布は同等と仮定した場合における軌道の高低差(相対変位量)分布図を図3(下段)に示す. 沈下分布は下に凸の形状であり, 側部の薬液注入領域と工事中央部付近で沈下分布の曲率が変わり相対変位量が大きくなる結果となったが, 水平距離に対する沈下量が小さいことから, 10m 弦中央部における高低差は最大 0.3 mm と小さかった.

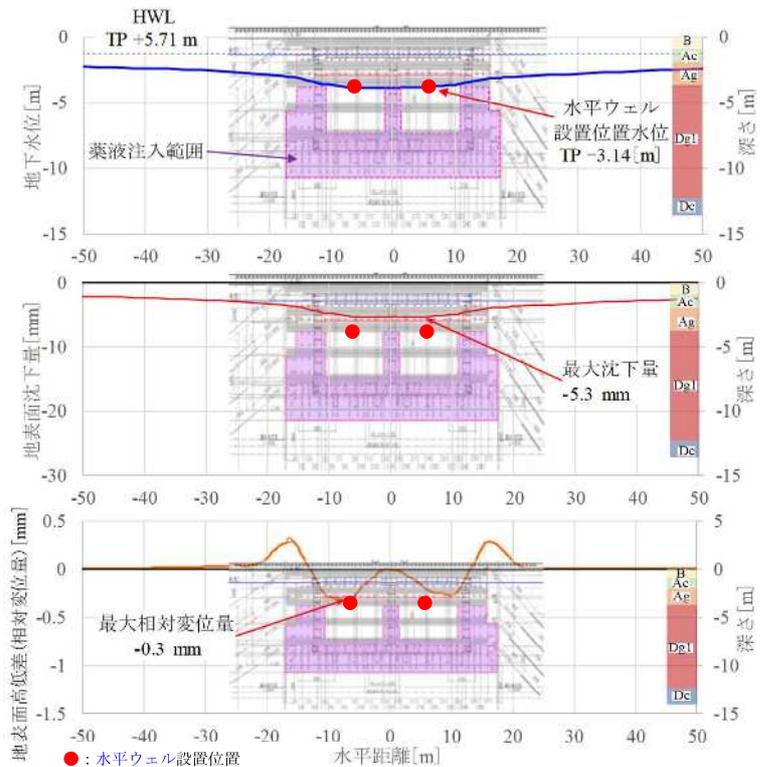


図3 JR 山陽本線線路方向断面の地下水水位分布図(上段), 地表面沈下分布図(中段), 軌道高低差分布図(下段)

5. おわりに 線路下開放型推進工事において採用した小規模地下水水位低下工法の影響について, 準3次元浸透流解析と1次元圧密沈下解析等を用いて検討した. その結果, 2.57mの地下水水位低下に対して粘土層の圧密沈下量は 0.15 mm 程度と小さく, 砂礫層の即時沈下量を考慮しても軌道の高低差に支障をきたさなかった. 本現場のような状況であれば, 施工が難しい線路直下での薬液注入工を回避する方法として小規模地下水水位低下工法は有効であると考えられる.

参考文献 1)森 他:線路下開放型推進工事における小規模地下水水位低下工法の検討(その1), 土木学会全国大会第79回年次学術講演会(投稿中), 2)西垣他:有限要素法による広域地下水挙動の解析 AG-GWAP マニュアル, 地下水学会地下水シミュレーション講習会テキスト, 1998. 3)(公社)地盤工学会:現場技術者のための土と基礎シリーズ19根切り工事と地下水-調査・設計から施工まで-, pp.101-103, 1997.

【地盤解析】

未固結地山区間の山岳トンネル掘削に伴う地表面沈下挙動の検討

Study on ground behavior during excavation of mountain tunnels
in unconsolidated ground section

キーワード：山岳トンネル，3次元弾塑性有限要素法，現場計測，
長尺鋼管先受工法

稲垣 祐輔

(地盤解析部)

譽田 孝宏

(地盤解析部)

1. 概要

Fトンネルの坑口部は未固結地山区間であるため、長尺鋼管先受工法(以下、AGF工法)を適用して掘削したが、施工時の計測において、地表面沈下量が切羽到達前に全沈下量の約80%に達する現象が確認された。本挙動は、一般的な山岳トンネル工事に見られる挙動(切羽到達前に全沈下量の30~40%程度の先行沈下が発生)とは異なっている。本稿では、Fトンネルの掘削過程を詳細に反映した3次元弾塑性FEM解析を実施し、計測値と解析値の比較から一般的な山岳トンネル工事とは異なった坑口部の地表面挙動について検討した。

2. 着目した問題点

- (1) トンネル坑口部の掘削箇所は、地表面から崖錐堆積物(dt層)、強風化砂岩(Ss-w1層)および風化砂岩(Ss-w2層)で構成され、地表面に沿って走向・傾斜している(図-1参照)。また、地表面の不陸に加え、AGF工法やトンネル覆工、ロックボルトなど複雑な施工状況にあったことから、3次元的地盤挙動を示した。
- (2) dt層は緩い地盤(N値6程度、粘着力 10kN/m^2 、内部摩擦角 20.9°)であり、Ss-w1層およびSs-w2層はN値100以上を示すが、Ss-w1層は部分的に風化が激しい箇所があることから、N値14を示すなど大きなばらつきが見られた。

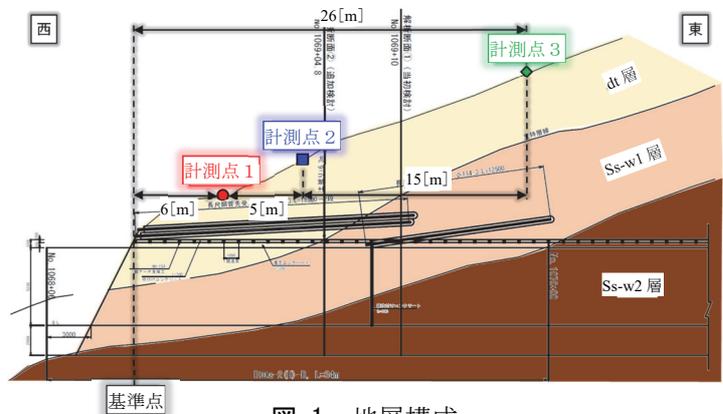


図-1 地層構成

3. 解決・改善の方法

- (1) トンネル坑口部は、AGF工法や地盤改良など実施工条件を可能な限り忠実に

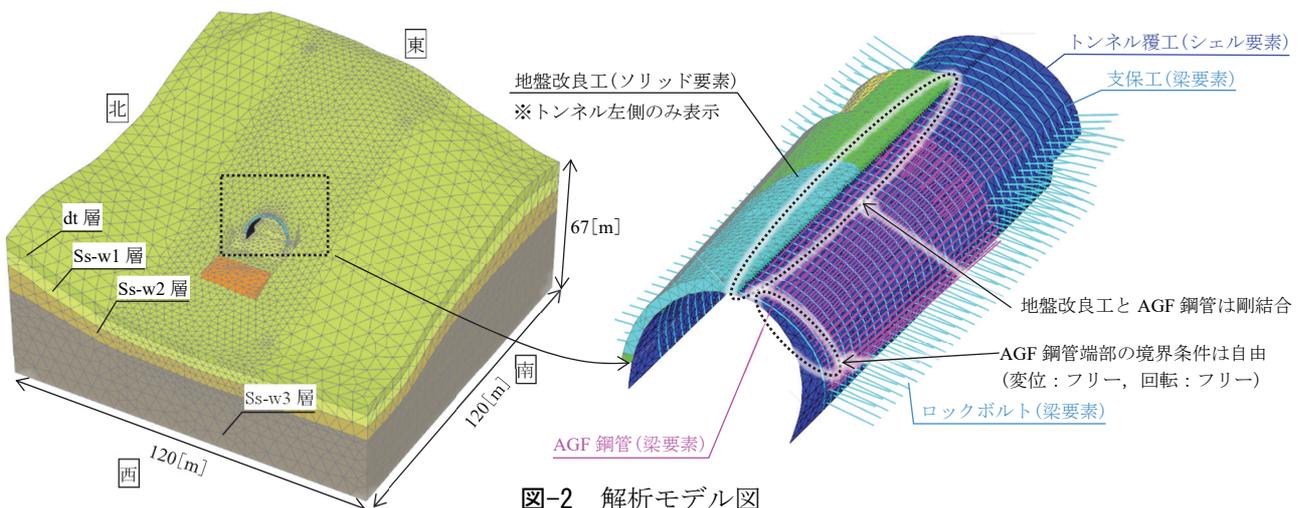


図-2 解析モデル図

再現し、地盤の不陸も考慮できる3次元弾塑性 FEM 解析を実施した(図-2 参照)。地盤構成モデルは、密度の違い(拘束圧依存性)やトンネル掘削時の3次元応力分布(中間主応力の影響を考慮)も的確に表現できる Subloading t_{ij} model を適用した。これにより、緩い地盤(dt 層)から硬質な地盤(Ss-w2 層)まで統一的なパラメータ群で適切な地盤挙動を再現できる。

(2) 土質パラメーター一覧を表-1 に示す。本パラメーター¹⁾は、現場付近で採取した乱れの少ない試料による三軸圧縮試験(dt 層: \overline{CU} 条件, Ss-w1 層, Ss-w2 層: CD 条件)を実施し、要素シミュレーションにより推定した(図-3 参照)。なお、本検討では Ss-w2 層のパラメータをより硬質な地盤状態を想定した解析も実施し、地表面挙動の差異について考察した(表-1 参照)。

4. 得られた結果や技術的知見

- (1) 強度の低い崖錐堆積物(dt 層)は、サンプリング試料にもとづく土質パラメータが実地盤を適切に表現できたため、トンネル坑口付近の地表面挙動に関する解析結果は定性的にも定量的にも計測結果をおおむね再現できた(図-4, 図-5(a) 参照)。
- (2) 強度が大きい風化砂岩(Ss-w2 層)で、解析値は計測値を定性的には再現できたものの、解析値は計測値よりも大きい結果になった(図-4, 図-5(b) 参照)。しかし、地盤剛性や地盤強度を大きくすることにより(たとえば、表-1 の Q_w など参照)、計測結果を表現できることを示唆した。
- (3) 一般的な山岳トンネル工事に見られる地表面挙動とは異なった要因は、強度の低い dt 層などが走向・傾斜する地盤であったためと考えられる。つまり、強度の低い dt 層を掘削した坑口部付近の影響が切羽到達時まで支配的に発生し、硬質な Ss-w2 層を掘削した切羽通過後では地表面への影響がほとんどなかったものと考えられる。

表-1 Subloading t_{ij} model 土質パラメーター一覧

土層	単位体積重量 γ_t [kN/m ³]	圧縮指数 λ	膨潤指数 κ	大気圧下 の間隙比 N	極限状態 主応力比 Rcs	降伏局面 パラメータ β	過圧密特性を表現する パラメータ		自然堆積構造特性を表現する パラメータ			間隙比 e
							a	ka	Q_w	bw	kb	
dt層	17.9	0.120	0.010	0.78	4.1	1.5	10	100.0	7.0	10.0	2.0	0.621
Ws-w1層	20.2	0.120	0.002	0.78	4.4	1.6	200	0.0	30.0	1.0	0.0	0.427
Ws-w2層	要素シミュレーション 硬質に変更後	0.080	0.003	0.50	8.0	1.5	100	1.0	0.0	0.0	0.0	0.325
		0.120	0.002	0.78	4.4	1.6	200	0.0	30.0	1.0	0.0	

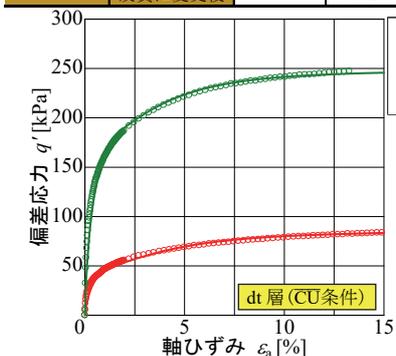


図-3 要素シミュレーション結果

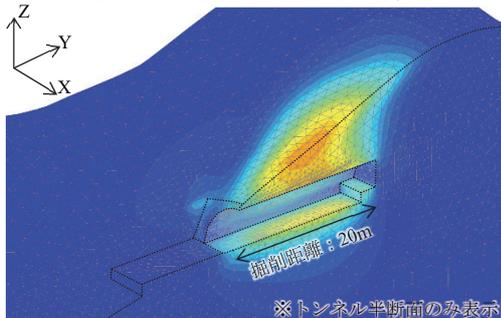


図-4 合成変位(X+Y+Z 方向)コンター図

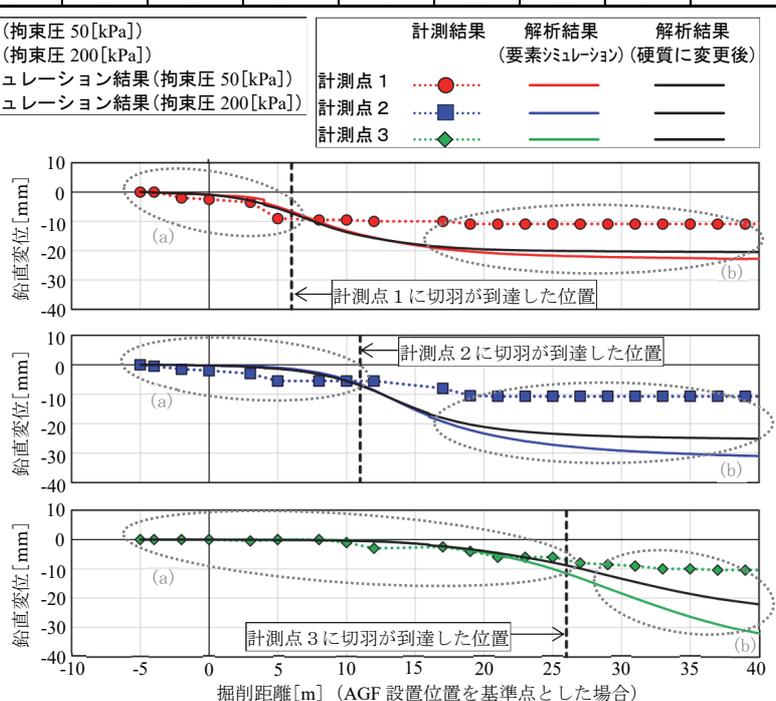


図-5 トンネル掘削に伴う地表面鉛直変位の経時変化図

【参考文献】1) 外木場康将, 木下茂樹, 稲垣祐輔, 譽田孝宏, 中井照夫: 未固結地山区間の長尺鋼管先受工法に関する検討, トンネル工学報告集, Vol.34, I-25, 2024.

【地盤解析】

線路下開放型推進に伴う切羽周辺地盤の挙動に関する検討

Evaluation of ground behavior due to open pushing element jacking under railroad tracks

キーワード：エレメント推進工法，切羽安定，3次元 FEM 弾塑性解析

山内 雅基

(地盤解析部)

譽田 孝宏

(地盤解析部)

1. 概要

線路下に交差構造物を構築するエレメント推進工法では、切羽前方地盤の緩みや直上線路への沈下を最小限に抑えるため、対象地盤を改良する場合が多い。既往検討¹⁾では、極限平衡法による切羽安定計算にもとづいて地盤改良の必要性を評価している。本検討では、3次元 FEM 解析を用いてエレメント推進に伴う地盤内の3次元な緩み領域の進展状況について分析した。

2. 着目した問題点

山岳トンネルやシールドトンネルの切羽問題を対象とした既往モデル^{2),3)}(図-1 参照)では、すべり領域を切羽前方のみと仮定している。文献1)では、切羽前方をすべり領域と仮定することは同様であるが、切羽前方すべり領域の側面における摩擦を考慮することで3次元に拡張している。

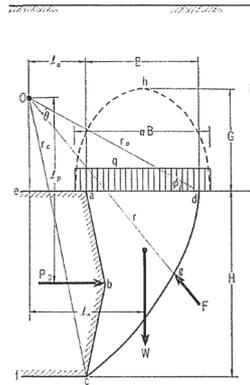


図-1 既往モデルの概要²⁾

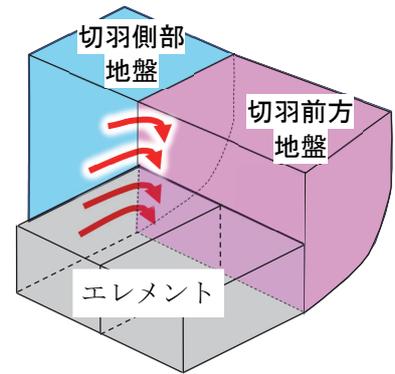


図-2 エレメント推進時の周辺地盤挙動概念図

本検討では、エレメント推進に伴って切羽側部地盤が切羽前方(掘削側)に変形する3次元的な変形挙動に着目した(図-2 参照)。

3. 解決・改善の方法

(1)切羽前方地盤の弾塑性的な挙動を表現することができる3次元弾塑性 FEM 解析により、エレメント幅以上の崩壊領域を確認した。有限要素メッシュ図の一例を図-2に示す。ここでは、軌道直下の基準エレメント推進による影響に着目した。なお、基準エレメントは、一般的に地下水位より浅い深度を掘削することが多いため、本検討では有効応力解析を実施した。地盤の構成則は、既往モデルで使用する c 、 ϕ をそのまま用い

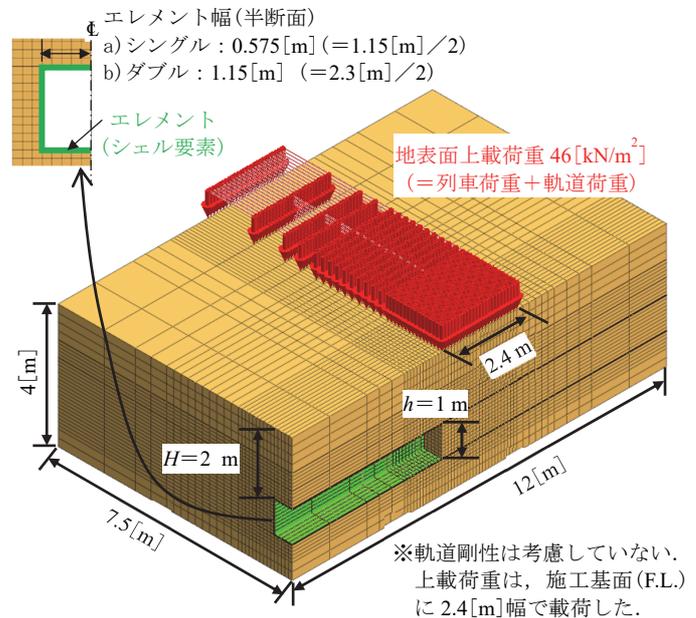


図-2 有限要素メッシュ図(土被り 2[m]の場合)

表-1 検討条件

土被り H	掘削面積(=幅 b×高さ h)	地盤性状		エレメント拘束効果	
0.5[m]	シングルエレメント (1.15[m]×1.0[m])	砂質土	自立性の低い砂	良質な砂質土	有(剛性あり)
			$\phi = 30[^\circ]$	$\phi = 45[^\circ]$	
2.0[m]	ダブルエレメント (2.30[m]×1.0[m])	粘性土	軟らかい粘性土	中位の粘性土	無(剛性なし)
			$c = 18[\text{kN/m}^2]$	$c = 37[\text{kN/m}^2]$	

ることができる弾完全塑性モデルの Mohr-Coulomb モデルを用いた。

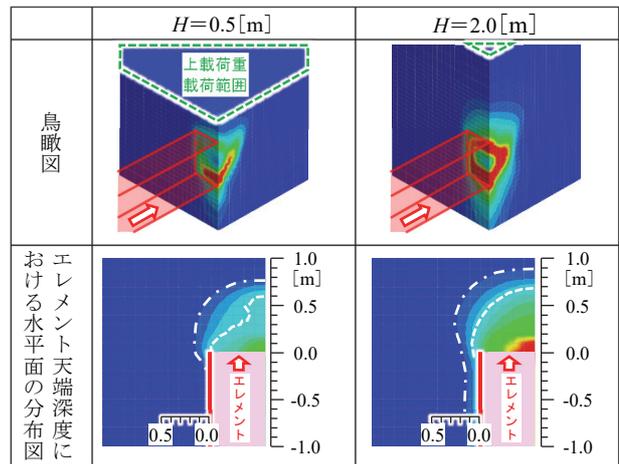
(2) 土被り，掘削面積，地盤性状，エレメント拘束効果の違いによる切羽側部地盤への影響を感度分析した(表-1 参照)．検討ケースは，エレメント推進の施工実績等を考慮した。

4. 得られた結果や技術的知見

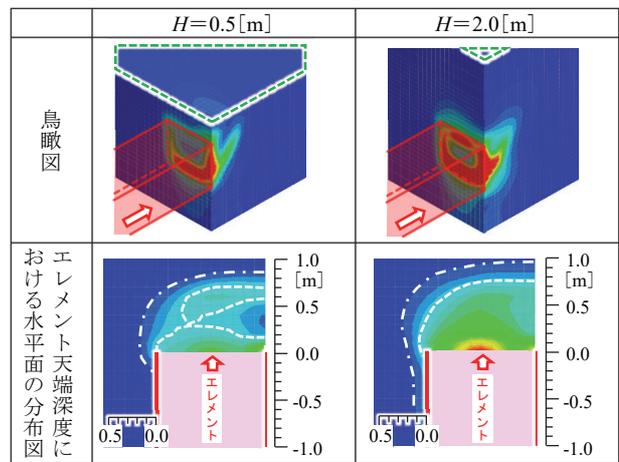
(1) 3次元弾塑性 FEM 解析を用いて，切羽前方と側部地盤の崩壊領域を確認した結果，土被り，掘削面積，地盤性状によらず，エレメント幅以上の偏差ひずみの進展は狭かった．その範囲は，エレメント側部から外側に最大 0.1～0.2[m]の拡大であった(図-3，図-4 参照)．

(2) エレメントの拘束がない(剛性を無視した)場合，拘束効果がある場合に比べて側方地盤へのひずみの進展が大きかった(図-5 参照)．つまり，切羽側方地盤への偏差ひずみの進展程度は，エレメントによる拘束効果に大きく依存していると考えられる．

(3) 粘性土は砂質土に比べて切羽前方へのひずみが進展する傾向であった(図-4 参照)．これは， c 材である粘性土が深度方向に一定値のせん断強度であり，深部から塑性化しやすいためである．



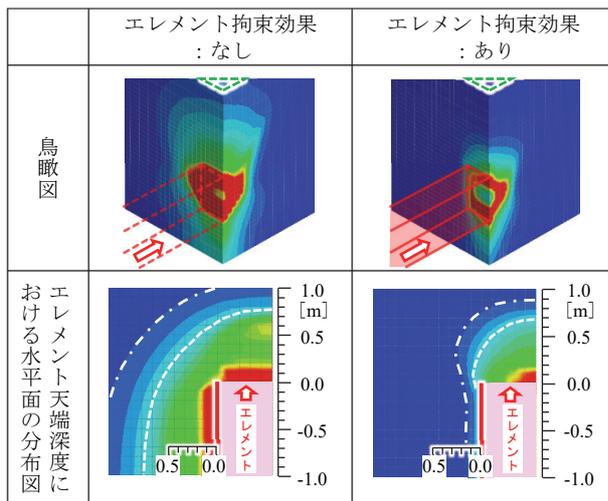
(a) シングルエレメント



(b) ダブルエレメント

※地盤の粘着力 $c=8$ [kN/m²]，内部摩擦角 $\phi=30^\circ$]

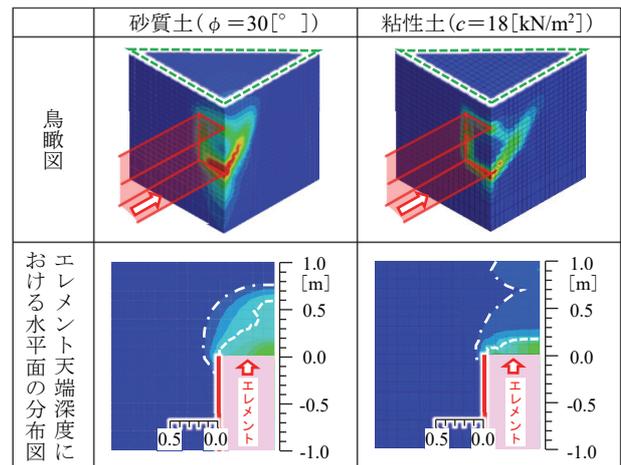
図-3 偏差ひずみ分布(土被りと掘削面積の影響)



※土被り $H=0.5$ [m]，地盤の粘着力 $c=8$ [kN/m²]，内部摩擦角 $\phi=30^\circ$]

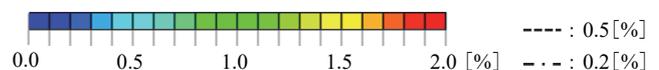
図-5 偏差ひずみ分布(エレメント拘束効果の影響)

$$\text{偏差ひずみ } \varepsilon_{\text{dev}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}$$



※地盤の粘着力 $c=8$ [kN/m²] ※地盤の内部摩擦角 $\phi=0^\circ$]

図-4 偏差ひずみ分布(地盤性状の影響)



【参考文献】 1) 東日本旅客鉄道株式会社：列車運行時間帯の近接工事設計施工マニュアル，2022．

2) 村山他：機械化シールドの掘進性能に関する土質力学的考察，第1回土質工学会研究発表会，pp.75-79，1966．

3) 真下他：トンネル切羽安定性の簡易評価法の提案，土木学会論文集，No.638，III-49，pp.177-129，1999．

4. 技術研究発表会

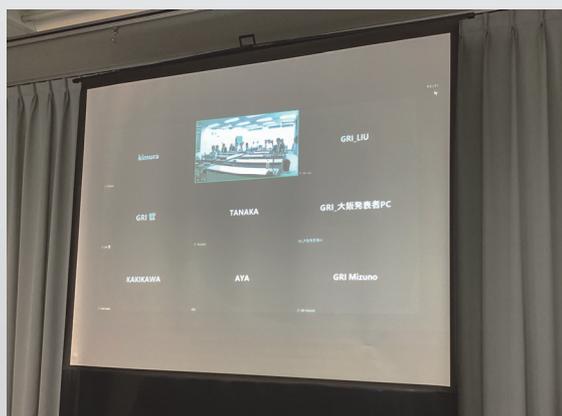
令和6年11月13日(水)～14日(木)の2日間にわたって、令和6年度技術研究発表会を国民會館大阪城ビル12階 小会議室およびWebによるハイブリッド開催にておこないました。

当社は、日頃の業務や研究で得られた成果を広く所員に共有するとともに、技術所員のプレゼン能力および質疑応答対応能力の向上を目指して、年に一度、技術研究発表会を開催しています。

今年度は、技術戦力の一つである特化技術開発の中間報告として、「三次元地盤モデル図作成技術の確立と展開」と題してBIM/CIM対応への取り組み状況と、「サンプリングモアレ法による計測技術の研究について」と題して新しく実用化を目指している計測技術に関する発表がありました。

当日は多岐分野にわたるテーマの発表が全9編あり、発表を通じて他部署の仕事に対する理解も深まり、部署を超えて知識や情報が共有され、個々の力だけでなく組織力の向上も視野にいれたい機会となりました。

弊社は今後も、社内全体の技術力向上に努めてまいります。



ハイブリッド型を採用

当社の技術研究発表会は、対面・オンラインを併用したハイブリッド型を採用しています。これにより、当日会場で参加できない社員も参加が可能となり、社員全員で有意義なディスカッションができました。

(1) チャレンジコース (20 分/件)

題 目	発表者	連名者
未固結地山区間の山岳トンネル掘削に伴う地表面沈下挙動の検討	稲垣 課長 (地盤解析部)	譽田 部長 (地盤解析部)
駅構築に伴う土留め壁と洞道交差部の施工に関する3次元浸透流解析	管 主任研究員 (地盤解析部)	山内 係長 (地盤解析部)
河川改修工事による周辺地下水への影響評価	久松 研究員 (調査計測部)	植田 技師長
線路下開放型推進における刃口前面地盤の安全性基準検討	山内 係長 (地盤解析部)	譽田 部長 (地盤解析部)
河川改修工事に伴う既設鉄道橋梁への影響検討	川本 研究員 (地盤解析部)	山内 係長 (地盤解析部)

(2) トライアルコース (10 分/件)

題 目	発表者	連名者
横浜湘南道路地中接合部計測工(薬液注入による影響)	田中 研究員 (東京事務所)	書川 所長 (東京事務所)

(3) 特化技術開発

題 目	発表者	連名者
三次元地盤モデル図作成技術の確立と展開	亥野 研究員 (調査計測部)	長屋 社長 久松 研究員 (調査計測部)
サンプリングモアレ法による計測技術の研究について	小村 研究員 (調査計測部)	水原 部長 辻 課長 (調査計測部)

(4) 修士論文発表

題 目	発表者
地盤浅部における地中空間の温度・結露解析に基づく遺構展示手法に関する研究	谷 研究員 (地盤解析部)

(5) 特別講演会

【題 目】地盤の土圧・支持力・掘削問題をモデル実験と有限要素解析から考えてみよう

【講 師】中井 照夫 技術顧問

5. 技術トピック 1 [ANNUAL REPORT2022 掲載]

「GRI の技術開発」

— 何が起きているのか 常に知ろうとする努力 —

当社 GRI は、計測機器メーカーと共同で「パッド式土圧計」や「ユニバーサル変位計」等の新しい計測機器の開発をおこなってきました。その技術開発に携わってこられた橋本会長に、開発まで道のりや開発への想いや開発秘話についてお話を伺いました。



取締役会長 橋本 正



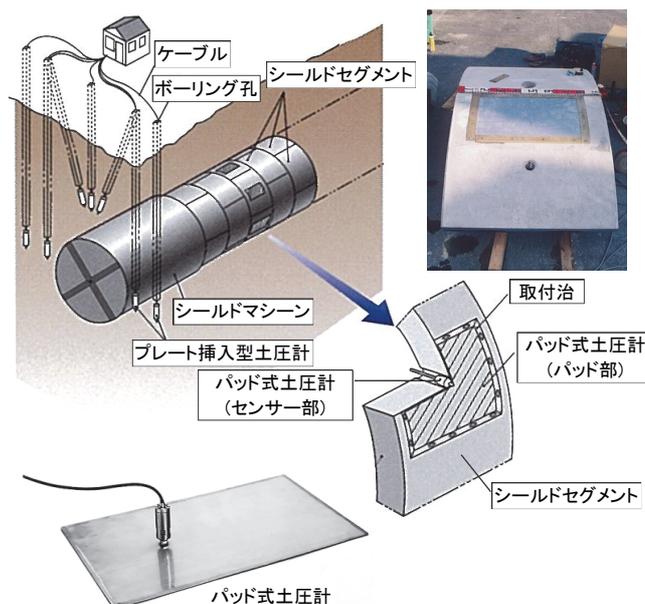
計測機器の開発についての
詳しい内容はこちらから

Q1. 技術開発に至った経緯について教えてください。

GRI では、1990 年頃まで主にシールド工事に伴う地盤の挙動計測と変形解析を中心に研究・受託業務を進めてきましたが、当時、シールドの施工時荷重によるトンネル覆工への影響が顕在化しており、シールド施工時のトンネル覆工に作用する荷重と変形の関係性を知る必要がありました。また、土木学会シールドトンネル標準示方書に記述されている作用圧や覆工設計の考え方は、主に開放型シールドトンネルをベースにしたもので、「土圧式や泥水シールドトンネルにおいてもこの設計基準値でよいのか？」という疑問を持ち、現場の実態把握が必要だと感じました。しかし、知ろうとする目的に適った計測技術がなかったため、既存技術の改良や新規技術の開発の必要性を考えるようになりました。アイデアを実現させるため、賛同し協力してもらえる発注者や企業に参加して頂いて、「三方よし（売り手よし、買い手よし、世間よし）」の理念で技術開発をおこなった結果、「パッド式土圧計」や「ユニバーサル変位計」の計測機器が誕生しました。

Q2. 「パッド式土圧計」の開発について教えてください。

当時、シールドトンネルの覆工に作用する圧力を計測する従来の土圧計は、精度や信頼性に問題がありました。そこでトンネル覆工作用圧を正確に測定できる薄くて大型受圧面を有する「パッド式土圧計」を(株)共和電業殿等と共同で開発しました¹⁾。このパッド式土圧計は、非圧縮性特殊オイルを袋状の薄板ステンレス受圧板内に封入し、裏込め注入圧やテールブラシ圧などの施工時荷重や長期土圧変化を自動計測できるようにしました。開発時には、実セグメントを用いたテールブラシシールドによる引抜きや載荷試験を実施し、安全性、信頼性を確認すると共に、テール通過時の施工時荷重の実験と評価にも役立てる事ができました²⁾。



トンネル覆工作用圧測定器(パッド式土圧計)の開発

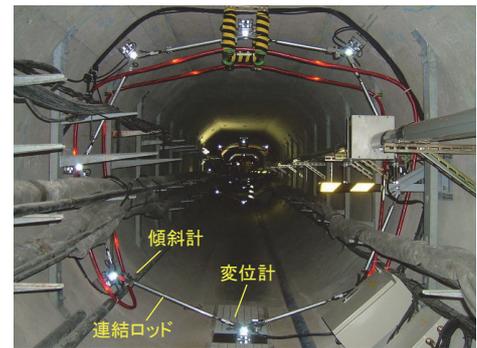
Q3. 「ユニバーサル変位計」の開発について教えてください。

シールド施工時にトンネルの内空変位を測定する場合、従来では、伸縮計や傾斜計などを用いていました。しかし、シールドの後続設備の関係から小スペースでシンプルな設置方法でかつ高精度な自動計測可能な計測手法が望まれていたため、坂田電機(株)殿の協力を得て「ユニバーサル変位計」を開発しました³⁾。このユニバーサル変位計は、伸縮ロッドに取り付けられた軸方向変位計と傾斜計で構成されており、様々な形状の二次元変形を測定することができます。トンネル壁面から内側へのはみだし量が小さいので、トンネル掘進作業への影響が少ないため、常時自動測定ができるのが特徴となります。

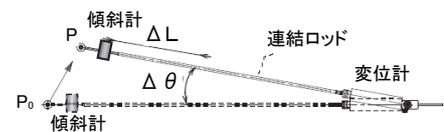
開発段階においては、計測器の仕様、信頼性、設置方法を念頭に研究開発し、精度を上げるための実験を重ね性能検査を実施しました。

実績としては、常磐新線つくばトンネル⁴⁾で初めて採用した後、東京の日本堤幹線の急曲線下水シールド⁵⁾や阪神高速大和川線の超近接シールドトンネルの³⁾変形測定⁶⁾など多くのトンネル現場で使用されました。

ユニバーサル変位計は、その名のとおり自在局面に沿って計器を設置でき、しかもZ方向にも傾斜計を取り付けることによって3次元変形計測が可能となります。また、トンネルの計測だけでなく斜面や曲線状構造物などの2次元～3次元計測への展開も考えています。

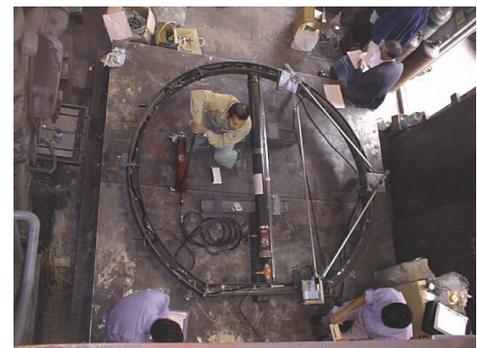


トンネル断面への取付け状況写真



P_0 がPに移動した場合の変位量は、連結ロッドの伸縮量 ΔL と回転角度 $\Delta \theta$ を測定し、計算することによって導き出されます。

測定原理



当時の実験状況写真

Q4. 開発技術者としての想いや次世代へのメッセージをお願いします。

現場で何が起きているのかを常に知ろうとする努力が重要だと思います。特に、地盤の中の動きは目で見る事が出来ないため、地盤調査や現場計測から得た情報をしっかりと理解することが大事であります。調査計測から得られた情報は、施工情報とともに予測解析技術を通じてより正確な現場の実態把握につながり、地盤・構造物の安全性や近接構造物の変形管理や設計の妥当性の評価が可能となります。このようなトータルコンサルティングができるところが、GRIの強みだと思っています。

次世代に伝えたいことは、現場について貪欲に学んでほしいという事です。そうすることで自然と好奇心と関心を持つようになり、地盤工学の知識が蓄積されると共に、色々な発想や興味が生まれてきます。壁にぶつかり辛い事もあると思いますが、楽しめるように努力し、失敗を恐れず積極的にチャレンジして頂きたいです。

引用文献

- 1) 橋本, 他: パッド式シールドセグメント用土圧計の開発, 第28回土質工学研究発表会, pp.2055-2058, 1993.
- 2) 有泉, 他: シールド洞道に働く施工時荷重に関する分析, トンネル工学研究論文・報告集, 第9巻, pp.181-186, 1999.
- 3) 橋本, 他: 連結ユニバーサル変位計の開発, 第2回最近の地盤計測技術に関するシンポジウム発表論文集, pp.11-14, 2000.
- 4) 小野, 他: 連結ユニバーサル変位計を用いたトンネル断面の変形挙動計測, 第39回地盤工学研究発表会, pp.1681-1682, 2004.
- 5) 譽田, 他: 急曲面シールド掘進に伴うトンネル覆工挙動の現場計測, トンネル工学報告集, 第15巻, pp.347-354, 2005.
- 6) 伊佐, 他: 大断面シールドトンネル覆工挙動に与える超近接併設影響の検討, トンネル工学報告集, 第28巻, II-7, 2018.

「GRIの海外事業への参画とグローバルな展望」

— 世界の技術動向を識る努力 世界から孤立しない努力 —

当社は、これまで地盤のトータルコンサルティング会社として、国内だけでなく海外と国際的技術交流をおこなってきました。その海外事業の一翼を担ってこられた橋本会長に、「GRIの海外事業への参画とグローバルな展望」についてお話を伺いました。



取締役会長 橋本 正



GRIの海外事業についての
詳しい内容はこちらから

Q1. GRIの海外事業参画の経緯についてお聞かせ下さい。

当社の海外事業は、(財)大阪土質試験所の時代の約45年前から始まっており、ブラジルや台湾での製鉄所建設工事を始め欧州やアジアでの鉄道トンネルなどにおいて地盤関係に関するコンサルタントを手掛けてきました。

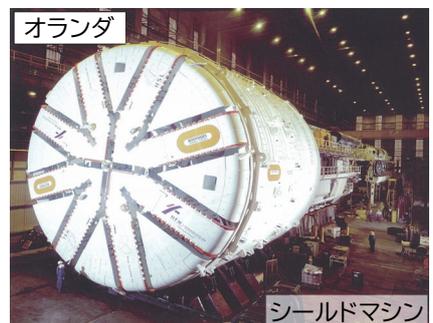
なかでも、中国との関係は、1990年初頭から上海の同済大学土木工学部との技術交流が原点となっております(1992年に技術交流に関する同意書を締結)。これまでに、深圳市工程地質観察院や上海岩土工程観察設計研究院有限公司との技術提携を締結し、上海市建設和交通委員会科学技術委員会の海外専門家を拝命するなど、各種技術交流を数多く実施してまいりました。技術交流のお陰で、当社にはこれまで数多くの中国人スタッフが従事しており、帰国後も大学などの各分野で大活躍されています。また、技術支援業務としては、2003年に発生した上海地下鉄4号線トンネル陥没事故の修復工事への技術支援や寧波地下鉄矩形シールド工法の開発支援などを受託して、大きな成果を納めてきました。

一方、オランダとの関係は、1995年頃にGRI財団の三村代表理事(当時京都大学)にご紹介頂いたのを機に、1997年に地盤工学の研究・技術分野で世界的な評価の高いGeo Delft(現 Deltares)と総括的な技術協力を締結しています。その後、オランダ高速鉄道建設の一環として、当時世界最大径約15mのグリーンハートトンネルの技術支援、シールド裏込め注入技術e-tacの開発支援やGeo Delftで開発したBio Sealing技術の日本における現場実証実験などを手掛けてきました。

シンガポールとの関係は、国際会議などで懇意となった当時ケンブリッジ大学教授のRobert Mair先生の推薦により、LTA(シンガポール政府行政機関の1つである陸上交通庁)の国際諮問委員を拝命したことがきっかけとなり、2008年より約10年間にわたり、地下鉄や地下道路などの地下構造物建設に関するアドバイスをおこなってきました。



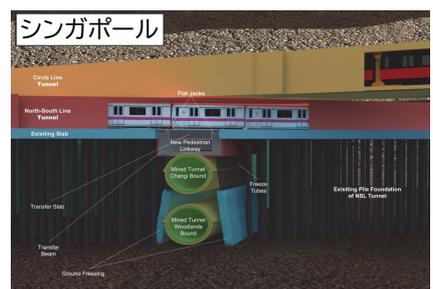
中国
上海地下鉄4号線修復工事の技術支援



オランダ
シールドマシン



グリーンハートトンネルの設計技術支援



シンガポール
マリーナベイ駅トンネルの建設技術支援

Q2. 海外事業での苦労話や驚いた話、果たされてきた役割についてお聞かせください。

例えば、中国寧波地下鉄プロジェクトの扁平大断面矩形シールド開発支援において、技術的アドバイスをおこないましたが、トンネル技術に関する経験や考え方の相違があり、こちらの提案を直ぐには受け入れてもらえない事もありました。しかし、議論を重ねるうちに共通点を見出して、シールド機を改良して、無事に中国初の特殊シールドの開発と試験掘削工事を成功させることができました。

また、驚いたことに関しては、2000年頃上海隧道工程有限公司の技術研究所に招かれて、当時建設中で世界最大径のオランダ高速鉄道グリーンハートトンネルのシールド工事を講演したところ、彼らは直ぐにオランダ側と交渉して、そのシールドマシンを上海で使うために輸入することとし、実際に黄浦江を下越する道路トンネルに使用して成功させました。これが、中国における本格的な大断面シールドトンネルの第1号であり、その後、中国各地で数多くの大断面シールドトンネルを建設していることから、彼らの素早い行動力に感心しました。



扁平大断面矩形シールドの技術支援(2015年)



寧波地下鉄プロジェクト 議論の様子(2016年)

Q3. 海外事業を手掛ける際に心掛けていることをお聞かせください。

自社の職員だけでは限界があるため、日本の関係者の協力も得ながら、相手国の関係機関も含めた人的な交流を深めて、ワンチームでプロジェクトに対処することを心掛けています。これにより、双方が自分たちには足りないものを認識して技術や人材を認めることで、相互に尊重しあいながら良い仕事ができます。また、技術支援する内容と結果は、その場限りで終わらせず、自らの技術力向上に役立てることが肝心です。



技術交流の様子(2016年)

Q4. 今後のグローバルな展望についてお聞かせ下さい。

トンネルなどの土木技術分野では、2000年頃まで特にアジア諸国と比べて日本の技術が圧倒的に勝っていましたが、2010年頃から逆に中国を始めアジア諸国は、最新技術の導入を日本からだけでなく欧米からも迅速に導入していて、特にIT技術などは日本を超す技術もたくさん見られます。

土木技術は経験から得ることが多いのですが、日本ではできない経験や知識の吸収を海外での工事を介して体験し、習得することが重要だと思います。このことは、決して土木技術に限らず、その基礎となる地盤調査、解析・設計などについて、我々が勉強すべきことが多々あることを痛感しています。従って、我々は、常に世界の技術動向に目を光らせて、良い技術があれば日本の条件に合った形で技術導入を図る姿勢が望まれます。

国際的な技術交流に関しては、組織間の技術提携や交流だけでなく、それ以上に人と人の交流を深めることが重要です。

6. GRI Sustainable Action(GSA)の紹介



私たち、(株)地域 地盤 環境 研究所(GRI)の企業理念は、「最新の技術とアイデアを駆使して社会基盤の建設と保全に貢献」することにあり、その一環として社会とともに持続的に成長・発展する未来へ向けてサステナビリティ活動(GSA)を推進しています。

GRIは、持続可能な開発目標(SDGs)を支援するため、身近な取り組みはもちろん、事業を通じて様々な社会課題を解決することを目指し、以下の内容に取り組んでいます。

(1) 「関西エコオフィス宣言」事業所に登録

(2022(R4).07~)

関西広域連合が実施している「関西エコオフィス運動」に賛同し、節電の励行、ごみの再資源化、タブレット使用によるペーパーレス化など身近なところからの省エネルギーや地球温暖化防止対策活動に取り組んでいます。



関西広域連合 HP

(2) エコキャップ運動への参加

(2022(R4).04~)

ペットボトルキャップの分別回収をおこない、キャップを回収事業団体へ提供しています。集められたキャップはリサイクル素材に変えられ、その売却益が開発途上国などの世界の子どもたちのワクチン購入代金となります。この活動は、リサイクルの促進、CO₂の削減、開発途上国の医療支援、障がい者・高齢者雇用促進に貢献しています。

これまでのキャップ回収実績 (2年分)

重量		22.0 kg
個数		約 9,460 個
ワクチン	ポリオ(小児まひ)	11 人分相当※1)
	BCG(結核)	32 人分相当※1)
CO ₂ 削減量		69.3kg※2)

※1) 1kg=10円としてワクチン購入代金から換算

※2) 3,150g/kgで換算



NPO 法人 エコ・ワクチン協会 HP

(3) 不要品リユースによる社会貢献活動への取り組み

NEW (2024(R6).09~)

社内や従業員の家庭から寄贈された不要品をリユースサービス会社へ提供しています。不要になった品をリユースすることでゴミや二酸化炭素の排出量を減らし、また不要品の買取価格が寄付金となり、支援を求める団体へ寄付をおこなっています。



BOOKOFF CORPORATION (株)
「キモチと。」 HP



(一社)いいことファーム
「いいことショップ」HP

(4) 健康促進活動「おおさか健活マイレージ アスマイル」に企業登録 (2022(R4).11~)

社員の健康促進を図るため、大阪府が提供する「おおさか健活マイレージ アスマイル」サービスを導入しています。スマートフォンアプリを活用し、毎日の健康づくり活動を記録し、社員の継続的な健康づくり促進を図っています。



大阪府
「アスマイル」HP

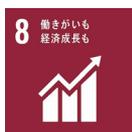
(5) 健康経営・健康づくりの「健康宣言事業」に登録 >>> NEW (2024(R6).07~)

GRI は従業員の健康維持・増進活動を推進しており、全国健康保険協会へ「健康宣言」をおこない、「健康宣言の証」を取得しました。

GRI は健康経営を積極的に取り入れ、より良い職場環境の整備に取り組んでいます。

【GRI 健康宣言】

- (1) 社員の健診受診率 100%
- (2) 健診結果を活用した受診勧奨
- (3) 適切な働き方の実現
- (4) コミュニケーションの促進
- (5) 病気と治療と仕事の両立支援
- (6) 運動機会の増進
- (7) 感染症予防
- (8) 長時間労働者への対応
- (9) 受動喫煙対策



全国健康保険協会
「健康宣言」HP

(6) 「事業継続力強化計画」の運用 >>> NEW (2023(R5).03~)

自社の災害リスクを認識し、防災・減災対策に取り組むため以下を目的とした「事業継続力強化計画」を策定しました。

【GRI 事業継続力強化計画目的】

- (1) 人命を最優先として、社員と社員の家族の安全と生活を守る。
- (2) 地域社会の安全と復興に貢献する。
- (3) 早期の再開によりお客様への影響を最小限に抑える。

災害などのリスク発生時に、被害を最小限に抑え、事業を継続できるよう取り組んでいます。

【今年度の取組み内容】

- (1) 災害時社内ガイドラインの策定
- (2) 全従業員、社用車に災害備蓄品を配布
- (3) 災害時の安否確認システムの運用
- (4) 社内防災訓練の実施



災害備蓄品



社内防災訓練の様子



事業継続力強化計画
(BCP)

GRI

Geo-Research Institute

株式会社 地域 地盤 環境 研究所

●お問い合わせ先

総務部 06-6943-9705(代表)

<https://geor.co.jp/>



本社

〒540-0008 大阪市中央区大手前2丁目1番2号 国民會館大阪城ビル4F

TEL:06-6943-9705 FAX:06-6943-9709

東京事務所

〒113-0034 東京都文京区湯島1丁目8番4号 山川ビル2F

TEL:03-3812-4792 FAX:03-3812-4793

名古屋事務所

〒464-0856 名古屋市千種区吹上1丁目1-8 SPHIA IZUMO 706

TEL:052-734-4426 FAX:052-734-4426