

ニューマチックケーソン自動掘削工法

—長崎港湾空港女神大橋下部工事—

山縣延文・梶栗福留・松井信行

長崎港の港口に建設される女神大橋（主径間 480 m、鋼斜張橋）主塔基礎（2P、3P）をニューマチックケーソン工法で施工する。そのうち 2P 工事は傾斜した岩盤に 20 m×50 m の矩形ケーソンを沈設深度 39.6 m 施工する工事であることから、従来の発破工法によらない岩盤掘削機を新たに開発し、2000 年 9 月現在刃口深さで約 20 m 沈設中である。本報文では岩盤掘削システムの概要と沈下掘削の実績を中心に報告する。

キーワード：ニューマチックケーソン、岩盤、岩盤掘削機、刃口掘削機

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法は、掘削深度の増大とともに高圧気下の作業環境となり、「潜函病等に関する安全性」及び「作業可能な時間が著しく減少する」といった課題を生じる。

この対策として掘削の機械化・遠隔操作化が実用化されて作業室内の無人化が進み、大深度掘削工法として安全性・施工性に対する評価が見直されてきている。また岩盤に適用した実績もでてきているが、ショベル系掘削機では掘削が不可能なため、作業室内に作業員が入り、「削削」「装薬」「発破」等の旧来工法で掘削しており、岩盤を対象とした自動掘削機の開発が望まれてきた。

このことから遠隔操作による函内無人化システムをさらに進めた自動化と岩盤掘削も可能なシステムの開発が行われ、図—1 に示す女神大橋下部工事に適用された。

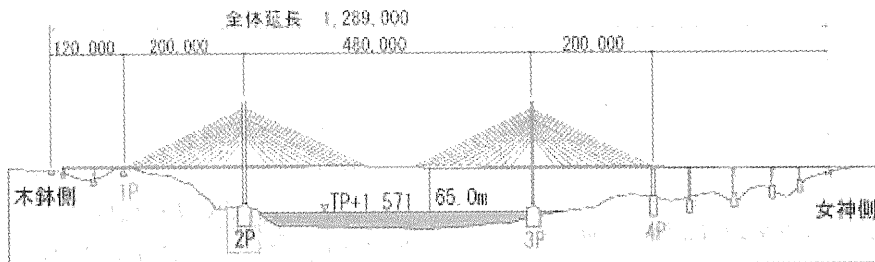
2. 工事概要

女神大橋 2P 地点の地盤条件は、上部は埋土層で、途中山側から安山岩が約 60° の角度で出現する。安山岩の強度は 1 軸圧縮強度で最大約 400 kgf/cm² の強度を有している。

(1) 全体工事概要

- ・工事名：長崎港（女神地区）橋梁（2P）基礎工事
- ・発注者：運輸省第四港湾建設局
- ・工事場所：長崎県長崎市木鉢町地先
- ・工期：平成 10 年 12 月 24 日～平成 13 年 2 月 27 日（構築 10 ロット、沈下掘削 9 ロットまで）

主要工事数量を表—1 に示す。



図—1 女神大橋計画図

表-1 全体工事数量

名称	仕様	数量
先行削孔置換杭	φ2 m×39.6 m	90本
刃口金物	51 m×20 m×2.8 m	86 t
コンクリート(躯体)	24 N-12-20	15,950 m ³
鉄筋	SD 345	1,410 t
掘削土量(沈下掘削)	岩 24,070 m ³	
	埋土, 雑石等 16,050 m ³	40,120 m ³

(2) 工事の特徴

- ① 平面積 1,013 m², 沈設深度 39.6 m の大型・大深度のケーソンである。2P基礎の平面図を図-2 に, 正面図を図-3 に示す。
- ② 約 60° に傾斜した岩盤(安山岩)中を沈設する。図-4 に地質概要を示す。
- ③ 岩盤掘削機による遠隔無人の機械掘削で施工する。
- ④ 理論函内気圧が 0.39 MPa に達する。
- ⑤ 先行削孔置換杭を刃口下に施工している。

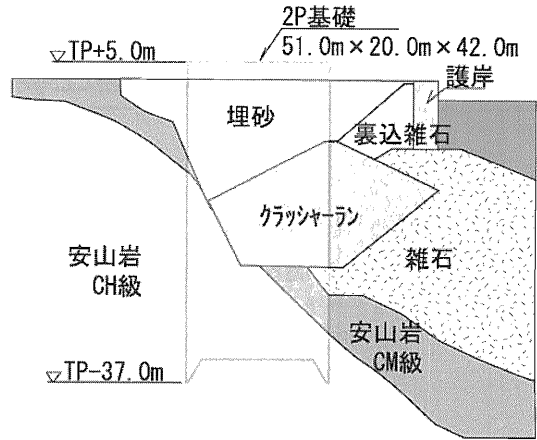


図-4 2P基礎地質概要

(3) 施工手順

施工フローを表-2 に, 施工手順図を図-5, 図-6 に示す。

表-2 施工フロー

1. 先行削孔置換杭
2. 刃口金物据付け
3. 躯体構築 [1, 2 ロット]
4. ニューマチックケーソン設備設置
5. 沈下掘削⇔躯体構築 [3 ロット以降]
6. 中埋めコンクリート
7. 中詰め土へ頂版コンクリート

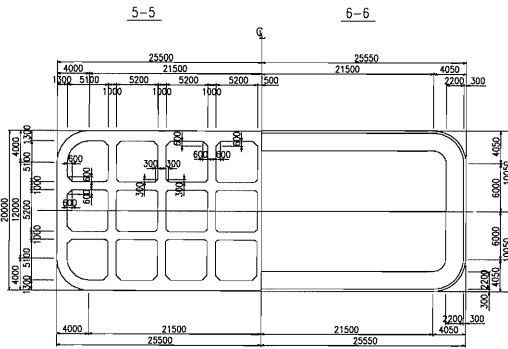


図-2 2P基礎の平面図(単位: mm)

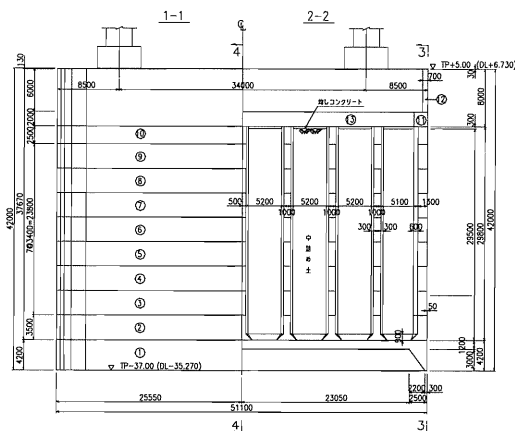


図-3 2P基礎の正面図(単位: mm)

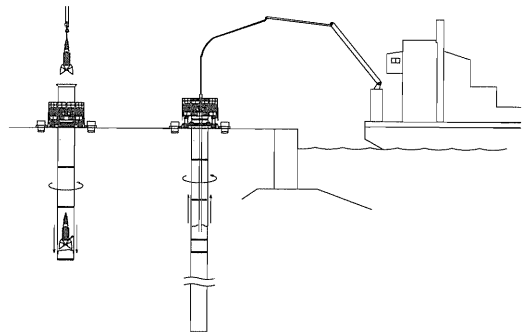
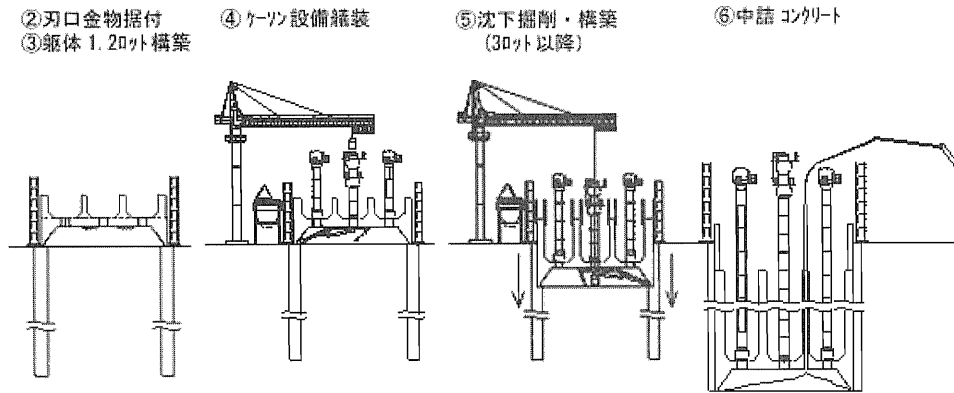


図-5 施工手順(1)

3. システム概要

システムは、「自動岩盤掘削システム」と情報化施工の中核である「掘削形状認識システム」から構成される。



図一6 施工手順 (2)

(1) 自動岩盤掘削システム

自動岩盤掘削機が具備する機能や機構の概要は以下の通りである。掘削システムの基本仕様と能力を表一3に示す。

表一3 掘削基本仕様

項目	仕様	
カット	ドラム 径	φ1,200 mm
	ドラム 長	680 mm
	ビット 形式	コニカルビット
	ビット 本数	111 本
施工条件	切削 深さ	Max. 300 mm
	切削 速度	1~9.9 m/min
駆動装置	掘削油圧ポンプ	110 kW
	操作油圧ポンプ	45 kW
切削性能	5 m ³ /h (地山)	
運転方法	<ul style="list-style-type: none"> 掘削パターン選択による自動運転 地上切替えによる遠隔操作：半自動運転 地上切替えによる遠隔操作：手動運転 	

(a) 掘削機能

掘削ビットを外周に配置したドラム回転式掘削機構により、普通土の他、岩盤における連続掘削機能を有する。

(b) 掘削ずりのコンベヤ積込み機能

掘削によるずりを、回転ドラム側方のブレードと、掻込み機構により連続して自動的にチェーンコンベヤに積込む。

(c) 函内掘削ずり移動機能

コンベヤに積込まれた掘削ずりは、掘削機のブームに沿って搬送され、途中で受替えられ都合2本のチェーンコンベヤを通り排土バケットに搬送される。

(d) 掘削ずりの排土バケット積込み機能

圧気下での地上部へのずり搬出は圧気室のロッ

ク開閉のため断続的となる。このため第2コンベヤを貯留コンベヤとし、排土バケット容量1m³のずり貯留を検知した時点で掘削・積込みを自動的に中止し、排土バケット到着まで待機する。バケットが函内所定位置に着地後、貯留コンベヤを移動して排土バケットへ自動的に積込みを行う。

(e) 掘削パターンと掘削装置移動機構

ケーソンをスムーズに沈下させるために精度を要する刃口部掘削と掘削効率を重視した中央部掘削とに区分し、合理的な掘削パターンを設定し掘削するシステムを採用した。掘削機本体は作業室天井に設置した周回懸架装置により公転運動を行い、掘削ブームは本体を中心に旋回する自転機構とすることにより、多様な掘削パターンを可能にした。

(f) 制御機構

中央掘削部と刃口掘削部の掘削パターン及び掘削地盤の地質に応じて、掘削深さ、掘削幅、掘削速度、ドラム回転数、スラスト荷重等を制御し掘削する。一方、刃口周辺部の掘削等においては、沈下状況を人が判断しながら掘削する「半自動掘削モード」を選択することも可能である。

(g) 監視装置等

複数の掘削機を設置する場合、掘削機間の位置情報を監視し、掘削機間・躯体間との干渉防止のため近接の度合いを検知し自動的に警報して非常停止する。

地上監視室においては、手動・半自動モードにおける掘削機の操作と共に、掘削機の「カット軌跡」「機構異常」「躯体と掘削機との相対位置」「掘削機等の機器との近接状況」を表示している。

(h) 刃口掘削装置

沈下の引金となる刃口直下部の掘削を行う削孔装置を、各岩盤掘削機先端に設置し、刃口直下部を削孔する。図-7に刃口掘削機構を示す。

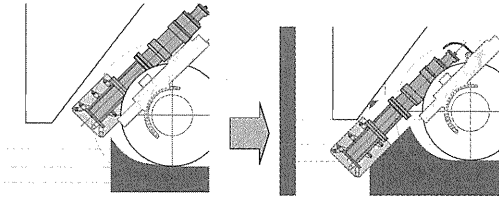


図-7 刃口掘削機構

(2) 掘削形状認識システム

機械装置の座標を演算処理することで掘削機の掘削位置と軌跡を地上監視画面に表示しており、掘残し等の掘削状況は地上で確認する。しかし掘削地盤の形状は掘削機の移動データでは表示できない。このため掘削機とは独立した掘削形状認識システムを開発している。

(a) 形状検知システム

ケーソン刃口肩部に函内を周回するモノレールを設置し、ファンレーザとカメラから構成されたストラクチャードライトセンサを搭載した台車を走行させ、掘削盤の3次元形状計測を行う。このシステムは光学的センサ等による計測と比較し、岩盤掘削に伴い発生する塵埃の影響を受けにくい方式である。

(b) 表示システム

計測データを地上へ送信し、造られた掘削形状モデルと、掘削機からの位置・姿勢情報より作成した掘削機の3次元モデルとを合成し表示する。この3次元表示においてバーチャルカメラの位置・方向を操作し、各掘削機と掘削地盤との相対的な位置、動きをリアルタイムで個別に確認できる。

またバーチャルカメラ位置を地中・天井等に設定することにより見えない領域の可視化も可能となった。さらにデータを加工し地盤高さを色の变化で表示等することで、ITVカメラでは不可能な掘削状況を定量的に把握することができる。

4. 施工実績

(1) 掘削システム

岩盤掘削機を3基設置し51×20 mの矩形断面

を掘削している。地上操作室で掘削状況を確認しながら、自動・半自動・手動掘削を行う。掘削システム概念図を図-8に、沈下掘削概念図を図-9に示す。

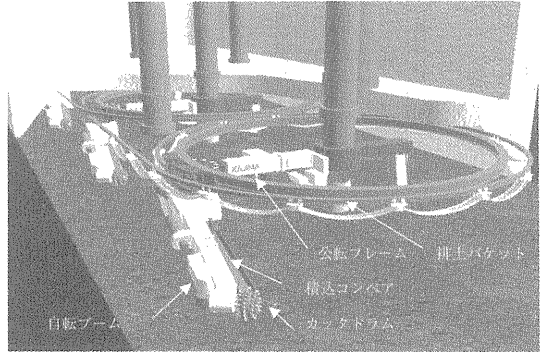
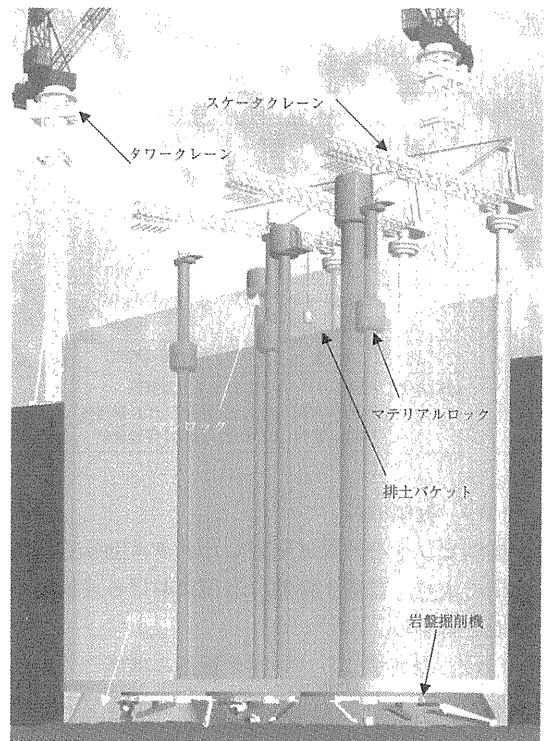


図-8 掘削システム概念図



- タワークレーン
ケーソン躯体の構築、資機材の揚重作業に使用する。
- マンロック
作業のため人が出入するとき、この中で加圧・減圧を行い作業室内の気圧に身体をならす。
- 作業室
地下水の浸入を防ぐために地上より高い圧力に調整されている。
- スケータークレーン
排土バケットの揚重作業に使用する。
- マテリアルロック
排土バケットの搬出入のために使用する。作業室内の圧力を一定に保つために、両端気密扉を設けている。
- 排土バケット
掘削した土砂・岩ずりを排出するために使用する。
- 岩盤掘削機

図-9 沈下掘削概念図

沈下に影響のない中央部分の掘削は、ドラムカッタにより掘削し、最終的な沈下掘削は、沈下状況と地盤とにより設定される掘削パターンに従い刃口掘削装置により掘削する。

写真—1 に岩盤掘削機掘削状況を示す。また刃口掘削状況を写真—2、写真—3 に示す。

(2) 掘削状況表示システム

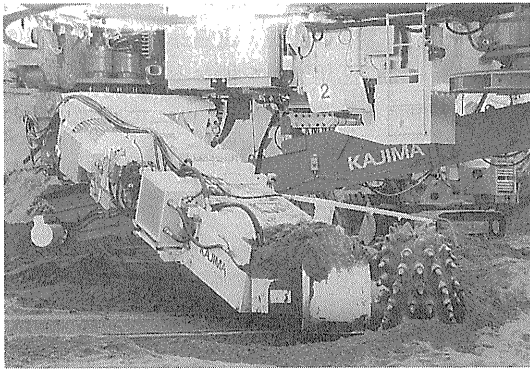
地上操作室における状況を写真—4 に、地上モ

ニタに表示される掘削状況表示と掘削機位置表示状況を写真—5 に示す。

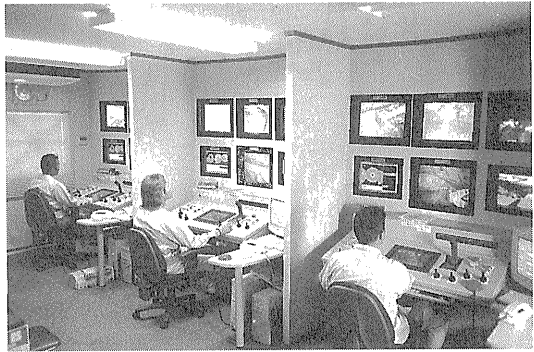
(a) 自動岩盤掘削システム

ケーソン寸法 20 m×51 m に対し、1 台当たり掘削範囲 20 m×20 m (矩形掘削時) の掘削機を 3 台設置している (写真—1 に施工状況を示す)。

耐久性等については今後の岩盤掘削のデータを待つことになるが、システムとして特に問題はなく計画通りの掘削能力を確認している。図—10 に



写真—1 岩盤掘削機掘削状況



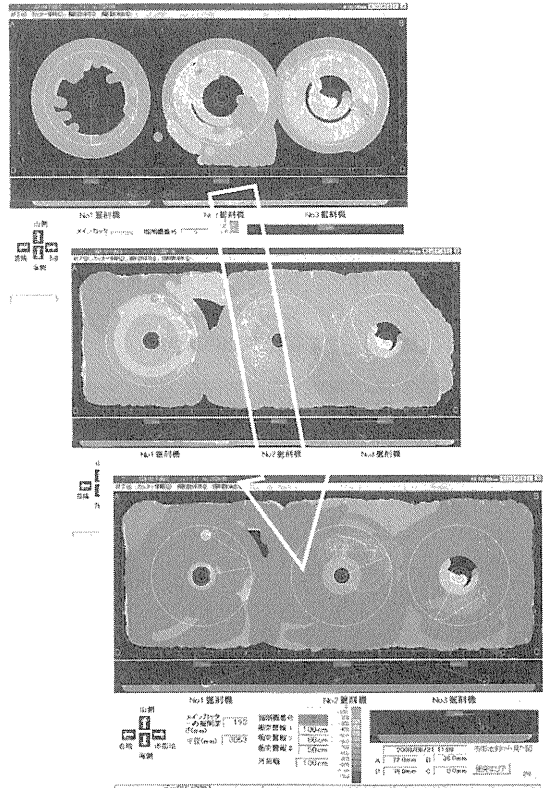
写真—4 地上操作室状況



写真—2 刃口掘削装置掘削状況



写真—3 刃口掘削状況



写真—5 掘削状況と表示画面の推移

掘削機掘削土量のグラフを、図-11 に掘削機稼働率のグラフを示す。

(b) 掘削形状認識システム

ケーソン刃口肩部をセンサ台車1台が走行し、最小15分間隔で更新した掘削地盤形状が作成されている(写真-6参照)。

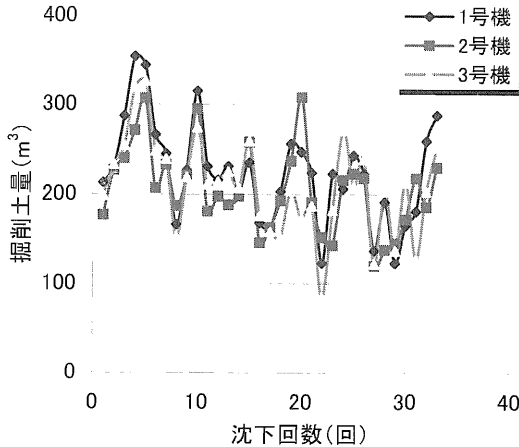


図-10 沈下回数-掘削機掘削土量

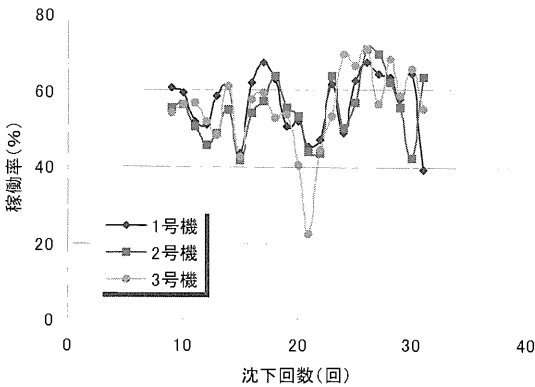


図-11 沈下回数-掘削機稼働率

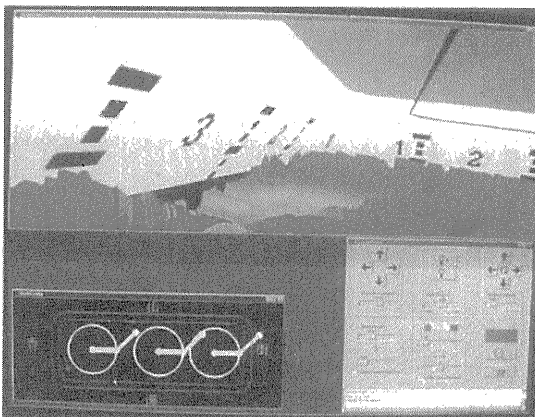


写真-6 掘削形状認識システム表示画面

5. 今後への展開

(1) 自動掘削システム

粘性土掘削への適用研究を進め、岩盤を含めた全地盤対応掘削システムとして展開を図る。また後工程である函外への揚土システムの高速度化・自動化等により一層の省力化・工期短縮を図りたい。

(2) 掘削形状認識システム

自動化システムの監視・遠隔操作における操作ツールとしての活用実績を積むとともに、一般的な建設工事における見えない領域、悪環境下での可視化システムとして展開したい。

【筆者紹介】

山縣 延文 (やまがた のぶふみ)
国土交通省九州地方整備局
長崎港湾空港工事事務所
所長



梶栗 福留 (かじくり ふくとめ)
鹿島建設株式会社
九州支店
女神大橋建設事務所
所長



松井 信行 (まつい のぶゆき)
鹿島建設株式会社
九州支店
女神大橋建設事務所
技術開発課
担当部長

