

想定外の岩盤に対するシールド掘進機での対応

－ 岡山市津高幹線（1工区）－

COUNTERMEASURE OF SHIELD MACHINE UNEXPECTED ON SOLID ROCK

－ OKAYAMA TSUDAKA TRUNK MAIN (Stage 1) －

坪井邦彦¹⁾・宇野 要¹⁾・安原 敏²⁾・長田 淳³⁾・田中 清⁴⁾

Kunihiko THUBOI, Kaname UNO, Satoshi YASUHARA, Kiyoshi OSADA, Kiyoshi TANAKA

Because of the increased variety of construction conditions the technology of Shield excavation has made remarkable progress in recent years. Consequently we are always trying to improve our construction technique by designing our Shield Machines and creating our construction plan based on a careful analysis of prior investigations with the best technology available in the market.

However at Tsudaka sewerage trunk main construction project (Stage 1) in Okayama city, the excavation progress of the shield machine was slowed down markedly by the appearance of solid rock which was much stiffer than we expected based on the results shown in our prior investigation. Under those circumstances, we remodeled our shield machine as much as possible until at last we succeeded in improving our daily progress.

This report will describe the difference in the geological features of the rock from what we expected and that which we actually encountered, and will explain the points and effects of remodeling of the shield machine.

Key Words: shield-tunnel, solid rock, remodeling of the shield machine

1. はじめに

近年のシールド工事では施工条件が多様化しているため、それに伴い施工技術もめざましく進歩している。したがって工事を施工するに当たっては、事前調査の結果をもとに施工条件に最も適した施工方法の検討を行い、最新の技術でシールド掘進機の設計および施工方法の計画を行い技術の向上に努めている。

しかしながら今回の岡山市津高幹線（1工区）工事では、調査結果より想定した強度をはるかに越える強度の岩盤が出現し、シールド掘進機の掘進速度が計画より著しく低下するという状況が発生した。このような状況に対して、シールド掘進機に可能な限りの改造を行い掘進能率の向上を図った結果、掘進速度を上昇させ日進量の改善に結びつけることができた。

ここでは、想定した地質と実際の地質の相違点、シールド掘進機の改良点とその効果について報告する。

-
- 1) 岡山市 下水道局建設部工事課
 - 2) 正会員 岡山市下水道局建設部工事課
 - 3) (株)熊谷組 広島支店土木部
 - 4) 正会員 (株)熊谷組 広島支店土木部

2. 工事概要

(1) 工事概要

岡山市の公共下水道事業は昭和 27 年に着手し、その後市域の拡大とともに整備事業を拡張し平成 12 年度末の下水道普及率はおよそ 40% で、現在整備の中心は市の周辺市街地に移行している。

本工事は、岡山市北部の下水道幹線工事で津高地区、津島地区約一万世帯の生活環境の改善を目的としている。

工事の主な内容は下記の通りである。

工 事 名：津高幹線（1 工区）築造工事	発 注 者：岡山市
工 事 場 所：岡山市津高、津島笹ヶ瀬、津島西坂二丁目、津島南一丁目、津島南二丁目地内	
工 期：平成 11 年 3 月 19 日～平成 13 年 3 月 31 日	
工 事 内 容：掘 削 工 法 泥土圧式シールド工法	最小曲線半径 45m 2 箇所
全 延 長 2,115.5m	土 被 り 7.8～13.3m
岩 盤 部 延 長 783.0m	勾 配 0.8‰
掘 削 外 径 $\phi 2,130\text{mm}$	地 下 水 位 GL-1.1～GL-5.8m
セグメント外径 $\phi 2,000\text{mm}$	土 質 粘土、砂、砂礫、軟岩～硬岩
仕上がり内径 $\phi 800\text{mm}$	一軸圧縮強度 最大 37N/m^2 （事前調査）

図－1 に施工場所の平面図を示す。



図－1 施工場所平面図

(2) 地質概要

工事施工場所は、岡山県南部の瀬戸内沿岸丘陵地と瀬戸内沿岸平野の境界に位置する。シールド施工区間は、図－1 に示すように笹ヶ瀬川周辺の谷部から狭隘部を経て岡山平野に抜ける地帯で、地域的には谷底平野および氾濫原にあたる。谷部は周辺に広がる丘陵地帯を笹ヶ瀬川が浸食してできたものである。

4. 硬岩部での掘進状況

発進部から約320mの地点で、ほぼ計画通り地質は岩盤が変わった。岩盤強度は事前調査結果の 37N/mm^2 より大きく約 100N/mm^2 程度であったが、掘進状態に大きな問題はなく日進量も4~6mを確保できた。

発進部から約750m(岩盤部に入って約430m)の地点で、想定した強度をはるかに越える非常に硬い岩盤($qu=200\sim350\text{N/mm}^2$)が現れたため、掘進速度は $1\sim4\text{mm/min}$ となり日進量も $0.75\sim1.5\text{m}$ と著しく計画を下回った。このときの1リング(0.75m)の掘削時間は平均400分、カッタートルクは上限の $340\text{kN}\cdot\text{m}$ 、総推力はローラカッタの耐久性から 1500kN に押さえる状況が続いた。

また、ローラカッタも本体および軸受け部の損耗が激しく、約1.5リングに1個の割合で交換しなければならない状態であった。

5. 想定した地質と実際の地質の相違点

事前調査による地質調査ボーリングは全線で17箇所実施され、そのうち岩盤部では3箇所行われていた。

調査結果から想定した岩盤と実際の岩盤の性状は大きく異なり、実際の地質は硬質の岩盤が事前調査結果より広範囲に存在していた。一軸圧縮強度も事前調査の 37N/mm^2 に対して、実際の岩盤は最高で約10倍の 340N/mm^2 の値を示した。

また、砂岩および花崗岩とも目も方向性も見られず非常に新鮮で、一部見られた風化状態の土質が岩と複雑に絡み合い、上下左右に不規則な互層となっていた。

事前調査の結果が図-3に示すように実際の地質と大きく相違した理由として次の点が考えられる。

①工事施工場所一帯は道幅が狭く交通量の多い生活道路に民家商店が密集していたため、調査位置は限定され地形や調査間隔などを考慮することができず限られた場所での調査となった。

②調査地点で採取した資料の分析が十分でなかった。

③地形が河川により浸食された狭隘な谷部であることや、地質が砂岩および泥質岩が後に貫入してきた花崗岩により変成作用を受けていることなどを、十分考慮して地質の判定を行っていなかった。

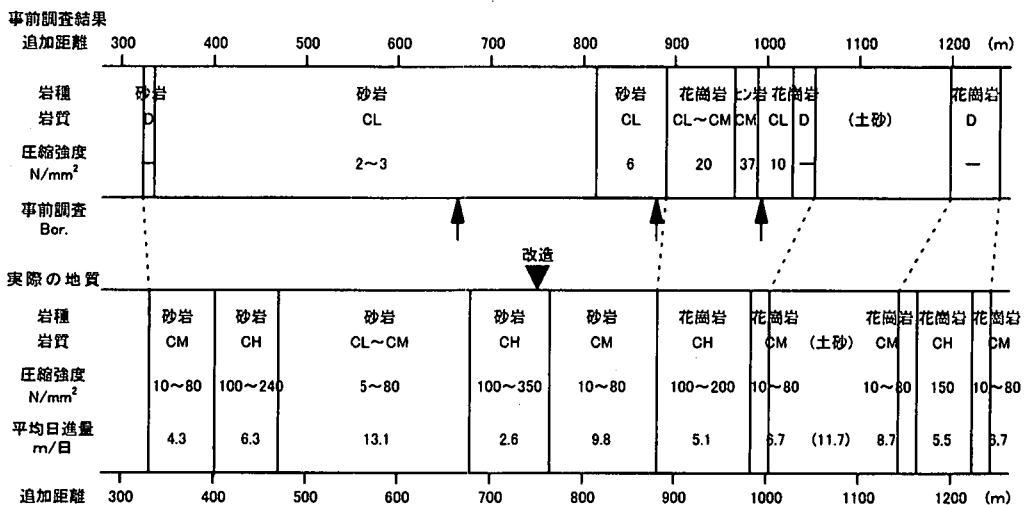


図-3 事前調査と実際の地質の相違

6. シールド掘進機の改造点と改造による効果

(1) 現状シールド掘進機の課題

岩盤部でのシールド掘進機の課題は、掘進速度の低下とローラカッタの損耗であった。このため、この二点を改造項目として検討した。

(2) シールド掘進機の改造点

改造は表－2に示すように次の項目について行った。

①掘進速度を上げ掘削能率を向上させることを目的として、油圧ポンプおよび電動機を増設し油圧オイルの流量を多くすることによりカッタ回転数をアップした。なおトルクは変化させなかった。

②ローラカッタの耐久性を増すため、焼き入れ方法を刃先だけの浸炭焼き入れからカッタ全体の焼き入れとし、カッタ全体の強度を増すことにより衝撃による破損とそれに起因する摩耗の対策とした。

③ゲージカッタの耐衝撃性および耐摩耗性を増すため刃先の角度を鋭角に変更し、外周部でゲージカッタの側面が岩盤と接触しないような角度とした。

④カッタ面板全体の強度を増し推力の向上を図るため、ローラカッタの軸受け形状を耐久性の高い形状に変更するとともに、軸受け押さえボルトのサイズアップを行なった。

(3) シールド掘進機改造による効果

改造の結果、掘進速度およびローラカッタの耐久性に効果があり、表－3に示すように日進量のアップ、ローラカッタの交換回数の低減が確認でき、その後の岩盤部の順調な掘進につながった。

表－2 シールド掘進機改造内容

改 造 項 目	改造前	改造後
カ ャ ャ 油 圧 ポ ン プ	2 台	3 台
電 動 機	5 5 kw×2 台	5 5 kw×3 台
カッタ回転数 低トルク時	3. 5 r. p. m.	5. 0 r. p. m.
” 高トルク時	2. 5 r. p. m.	3. 5 r. p. m.
ローラカッタ 焼 入 れ	刃先浸炭	全体焼入れ
ゲージカッタ 刃先角度	9 0 °	8 6 °
ゲージカッタ軸受固定形式	ボルトタイプ	キータイプ
ローラビット軸受けボルト	M 2 4	M 2 7

表－3 シールド掘進機改造の効果

掘 進 デ ー タ	改造前	改造後
掘 進 速 度	1 ～ 4 mm/min	8 ～ 1 0 mm/min
平均掘進時間 (750mm/R)	4 0 0 min	8 0 min
平 均 日 進 量	0. 9 4 m/日	2. 5 5 m/日
平 均 カ ャ ャ 回 転 数	2. 5 r. p. m.	4. 4 r. p. m.
平均カッタポンプ油圧	2 1 N/mm ²	1 9 N/mm ²
平 均 カ ャ ャ ト ル ク	3 4 0 kN・m	3 1 6 kN・m
平 均 総 推 力	1 5 0 0 kN	2 0 0 0 kN
ローラカッタ交換ピッチ	1. 4 4 R/個	3. 9 0 R/個

7. 考察

(1) 改造の効果

シールド掘進機をトンネルボーリングマシンの理論に近づける発想で行った改造後の掘進データから、ローラカッタを補強しカッタ回転数を 1. 8 倍にしたことにより、カッタトルクが 7%下がり推力は 33%上がった。またローラカッタの耐久性も 2. 5 倍となった。

以上の結果、改造前はシールド掘進機の各能力が $300\text{N}/\text{mm}^2$ の岩盤に対して不十分であったが、改造後はカッタ回転数を上げ切削速度を高めたことと、面板やローラカッタを補強し大きな推力がかけられるようになったことから、カッタおよびシールドジャッキの能力が有効に働き良好な切削状態が得られたものと考えられる。

(2) 岩盤強度と掘削効率

本工事で実際にシールド掘進機で掘削した岩盤部の地質は、砂岩に花崗岩が貫入して変成作用をおよぼしたホルンフェルスにより、激しいところでは数十センチメートル毎に小刻みに変化しており、掘進データにも大きなばらつきが見られた。

本工事での掘進データから得られた岩盤強度と掘進実績の結果を図-4に示す。シールド掘進機改造前と改造後に掘削トルク、掘進速度および推力に改善の効果がみられることから、シールド掘進機の改造が掘進能力の向上に有効であったと考えられる。

また、各値とも一軸圧縮強度が $150\sim 200\text{N}/\text{mm}^2$ を越えると大きくなることから、シールド掘進機の計画において事前調査での岩盤強度の的確な判定が極めて重要であると言える。

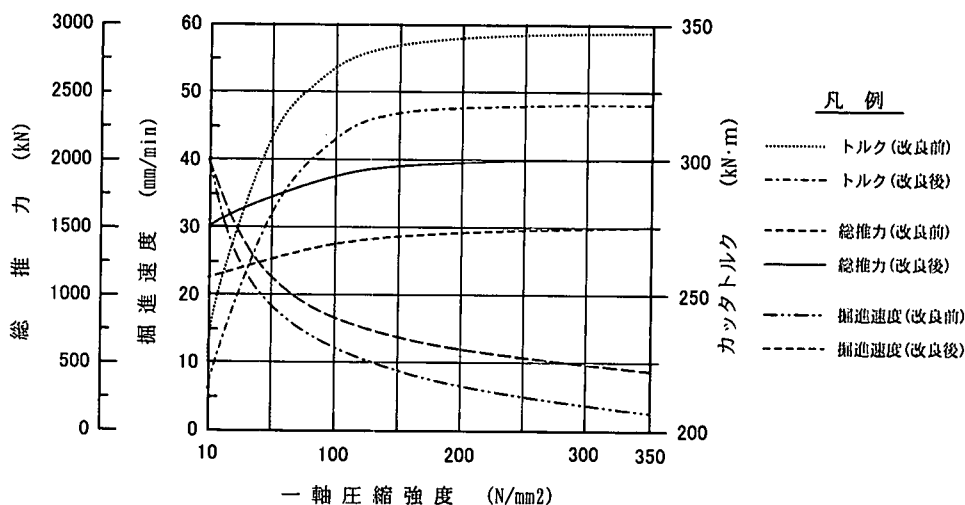


図-4 岩盤強度と掘進実績

8. おわりに

シールド工事を施工するにあたり地質の判定およびシールド掘進機の仕様決定は、仮設備計画の立案とともに最も重要な検討課題の一つである。

今回の工事では調査結果の3倍程度の強度を想定してシールド掘進機の設計を行ったが、実際の岩盤は約10倍の強度があり施工途中での改造という結果となった。岩盤強度の想定には地質学的な判断や他の施工実績などの検討が必要となるが、設計者・施工者それぞれの立場で経済性・施工性を考慮したとき、いかに効率のいいシールド掘進機の設計を行うかが大きな課題となる。

近年のシールド工事は、都市部においても岩盤掘削となることも少なくないが、工事に当たってはまず地質を読むという原点に返り今後一層複雑化する施工条件に対応していかなければならないと考える。

おわりに、本工事にあたり厳しい施工条件下でご協力いただいた日本鋼管株式会社、株式会社宮川工務店をはじめとする関係者の皆様に心より感謝申し上げます。