

複合地盤対応型泥土圧シールドによる岩盤掘削

清水建設(株)	正会員	佐藤卓三
清水建設(株)	正会員	藤本 博
阪神水道企業団		米今博之
阪神水道企業団		安東輝彦

1. はじめに

阪神水道企業団は、現在、阪神間4市（神戸市、尼崎市、西宮市、芦屋市）への将来的な水需要の増加に備え神戸送水路の建設を進めており、阪神・淡路大震災の経験からも災害時の水の安定供給を確保するためのライフラインとして完成が望まれている。

当工区は神戸送水路2工区にあたり、延長 2,232m を泥土圧シールド工法により施工を行った。施工区間内の地質は大阪層群砂層および粘土層の互層から六甲花崗岩へと変化するため、複合地盤対応型のシールドマシンを採用し、岩盤部はカッタービットの交換を行いながら掘削を行った。このうち本文では岩盤部の掘削に着目し、その結果について報告する。

2. 地質概要

シールド工延長 2,232m のうち 1,613m が大阪層群砂層（Os 層）と粘土層（Oc 層）の互層区間であり、619m が六甲花崗岩区間となる。Os 層はよく締まった状態であるが、均等係数の小さいものやダイレイタンスの激しい層が存在し崩壊および流動性に注意を要する地盤である。Oc 層は総じて $N > 50$ の固結した硬質粘土層で付着性も高い。六甲花崗岩に関しては掘削区間中最も硬質なもので中硬岩～硬岩に相当し、施工時に行ったシュミットロックハンマー試験による一軸圧縮強さの推定値は平均で約 130N/mm^2 を示した。

3. シールドマシン

表-2にシールドマシン仕様、図-1に岩盤掘削時のカッタービット配置図を示す。シールドマシンは長距離かつ複合地盤掘削に対応するため、砂・シルト・粘土掘削時は長距離対応型の E3 種超硬チップを有するビットを装備し、岩盤掘削時は押付け力と転動により岩盤を圧壊させる機能を備えたディスクカッタと、靱性（抗折力）の高い E5 種超硬チップを有するビットを使用した。なお、ディスクカッタ径は 305mm である。

表-2 シールドマシン仕様

工 法	泥土圧シールド
外 径	φ 2,680mm
全 長	6,025mm(土砂部) 5,912mm(岩盤部)
総推力	6,272kN
シールドジャッキ	784kN×8本 ストローク 1,150mm
カッタートルク(常用最大)	567kNm(土砂部) 425kNm(岩盤部)
最大中折角	左右4度 上下2度

表-1 工事概要

工事名称	神戸送水路2工区シールド工事
発注者	阪神水道企業団
用 途	上 水
工事場所	芦屋市岩園町～西宮市毘沙門町
工区延長	2,241m
シールド工延長	2,232m(土砂部 1,613m+岩盤部 619m)
土被り	13m～70m
最小曲率半径	R=80m(土砂部) R=50m(岩盤部)
最大縦断勾配	i=50‰(土砂部) i=90‰(岩盤部)
セグメント	スチールセグメント 外径φ 2,550mm
二次覆工(内挿管)	鋼管 内径φ 1,650mm

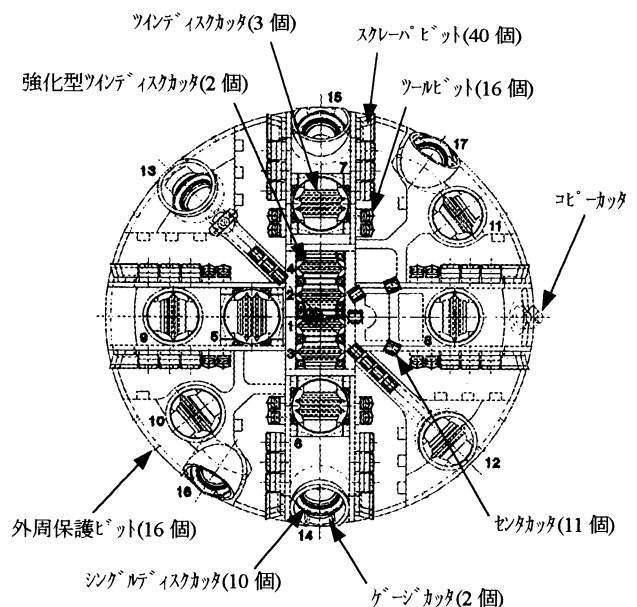


図-1 カッタービット配置図（岩盤掘削時）

キーワード：シールドトンネル、複合地盤、岩盤掘削、ディスクカッタ、摩耗

連絡先：神戸市中央区栄町通4丁目4-6 清水建設(株)神戸支店土木部 TEL 078-361-7055 FAX 078-361-7113

4. 岩盤強度測定

カッタビット交換作業時に、シュミットロックハンマーによる岩盤一軸圧縮強さの測定を行った。シュミットロックハンマーの反発値から一軸圧縮強さを推定する換算特性曲線は次式により与えられる。

$$\sigma_c = 0.098 \times 10^{(0.0307X + 1.4016)} \quad \begin{array}{l} \text{ここに } \sigma_c: \text{岩盤一軸圧縮強さ (N/mm}^2\text{)} \\ X: \text{シュミットロックハンマーの反発値} \end{array}$$

各測点で得た測定結果を図-3に示す。ただし、反発値が大きい場合、上式による一軸圧縮強さ推定値の誤差が発生しやすくなるため、反発値 $X > 60$ については $X = 60$ として一軸圧縮強さを求めた (図-3 ◆印)。参考のため、60 を超える反発値をそのまま上式に適用した結果についても併記する (図-3 ◇印)。

5. 加泥材の選定

大阪層群との層境付近にある岩盤は、変質によりマトリクスに粘土を含んでいることが土質調査で分かっていたため、土砂部で使用した高分子系加泥材を用いて岩盤部の掘削を開始した。R=50m の曲線区間を約 20m 掘削した所で総推力が 4,700kN 程度まで上昇し (図-3)、ジャッキスピードは 3mm/min 程度まで低下した。原因として、切削岩ずりのシールドマシン外周への廻り込みによる胴締め現象が考えられた。そこで、切削岩ずりの塑性流動化を促進し取込み効率を向上させるとともに、シールドマシン外周余掘部の減摩充填効果の期待できる粘土系加泥材に切り替えて掘削を行った。

6. 岩盤部掘削結果

加泥材を変更した後の R=50m 区間の掘削では、総推力が概ね 2,500kN 以下に抑えられ (図-3)、ジャッキスピードも 15mm/min 以上まで回復した。その後も総推力は岩盤の硬さや亀裂の状態により大きく変動しながら推移したが、上記5. に記したような胴締め現象による総推力の上昇は解消された。

掘進速度に関して、施工実績 (岩盤部全区間の平均値) と予測値の比較を表-3に示す。岩盤の一軸圧縮強さは施工前の予測値を大きく上回っていたが、ジャッキスピードおよびディスクカッタ切込深さ (カッタヘッド 1 回転あたりの切込深さ) は両者とも予測値を超える結果であった。

図-3に岩盤の一軸圧縮強さ (σ_c) と総推力、およびディスクカッタ摩耗量 (δ) / 転動距離 (L) の推移を示す。岩盤一軸圧縮強さが特に高い値を示した区間においては、総推力および δ/L が大きくなる傾向が表れている。

図-4は岩盤部全区間を通じたディスクカッタ摩耗量 (δ) と転動距離 (L) との関係プロットしたものである。この結果より回帰直線を求め、 $\delta = 0.0509L$ の関係を得た。

7. おわりに

本工事は延長 2,232m の長距離掘削であり、そのうち 619m は岩盤区間で R=50m の曲線施工を含むものであった。岩盤掘削の初期段階では著しい推力の上昇や掘進速度の低下がみられたが、加泥材料を変更した結果、その後は順調に掘削を行うことができた。近年、シールド工事の長距離化に伴い、岩盤を含む複合地盤に対応したシールドマシンの必要性が高まりつつある。本文では、岩盤部でのディスクカッタの摩耗量と転動距離の関係について示したが、カッタビットの摩耗寿命を研究する上で本報告が参考となれば幸いである。

表-3 岩盤掘削の実績値と予測値の比較

項目	実績値	予測値
岩盤一軸圧縮強さ (N/mm ²)	130	29.4~78.4
ジャッキスピード (mm/min)	23.2	9~17
ディスクカッタ切込深さ (cm/rev)	0.57	0.3~0.5

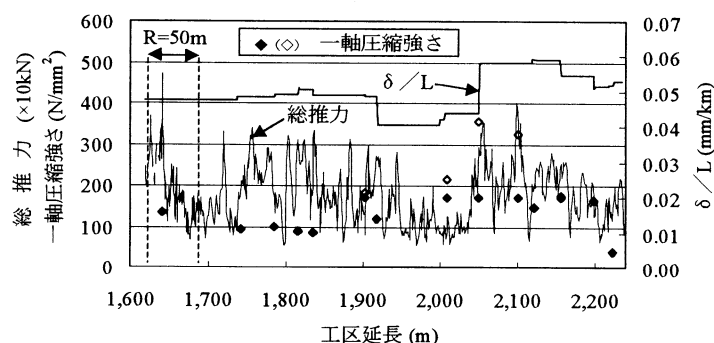


図-3 岩盤の一軸圧縮強さと総推力、 δ/L の推移

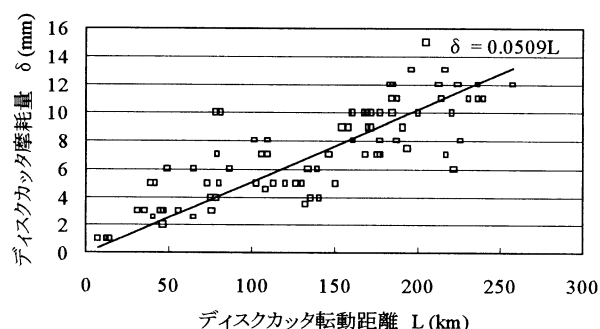


図-4 ディスクカッタの転動距離と摩耗量の関係