

複合地盤における小断面長距離泥水式シールド工法の施工実績

The construction result of small section long distance slurry TBM in compound soil condition

宮本 真志*
Shinji Miyamoto

要 約

本工事は、粘土・砂・砂礫の互層と砂礫層と花崗岩質の砂岩・礫岩からなる複合地盤に、仕上げりφ1350mmの下水道管渠を泥水式シールド工法で延長約2km施工するものである。本報告書では、検討課題、対応策及び施工実績などについて報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 本工事的特殊性
- § 4. 施工計画
- § 5. 長距離シールド施工実績
- § 6. おわりに

施 工 者：西松建設株式会社

§ 1. はじめに

本工事は、大阪府都市計画事業大和川下流南部流域下水道事業の一環として、河内長野市喜多町～西片添町において、流域下水道工事を施工するものである。

施工対象地盤は、粘土・砂・砂礫の互層と砂礫層と花崗岩質の砂岩・礫岩となる複合地盤である。

このような地盤に対して1台のシールド機で管渠延長約1980mの施工を行ったものである。

以下に、当工事の概要及び検討課題、対応策及び施工実績などについて報告するものである。

§ 2. 工事概要

2-1 工事概要

工 事 名：大和川下流流域下水道河内長野幹線（第14工区）下水管渠築造工事

企 業 先：大阪府南部流域下水道事務所

工事場所：大阪府河内長野市喜多町～大阪府河内長野市西片添町（図-1）

工 期：平成11年3月13日～平成14年2月28日

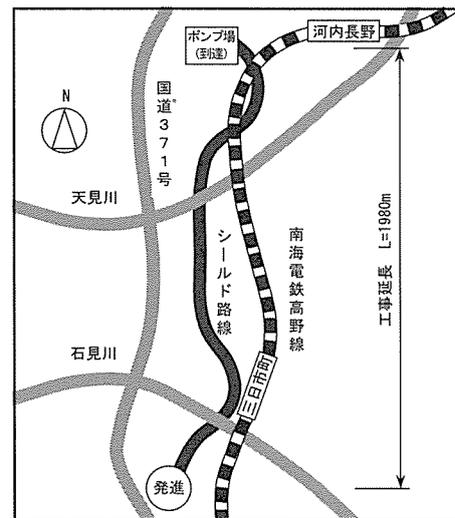


図-1 平面図

2-2 工事内容

シールド工（泥水式シールド）（一次覆工、二次覆工）

- ・管渠延長 L = 1980m
- ・線形 最大R = 300m
最小R = 18m
- ・勾配 1.3‰ (82m)
50‰ (295m)
1.3‰ (1603m)
- ・シールド機外径 φ2140mm
- ・セグメント外径 φ2000mm
- ・仕上内径 φ1350mm
- ・土被り 8.5m～26.8m

*関西（支）河内長野（出）

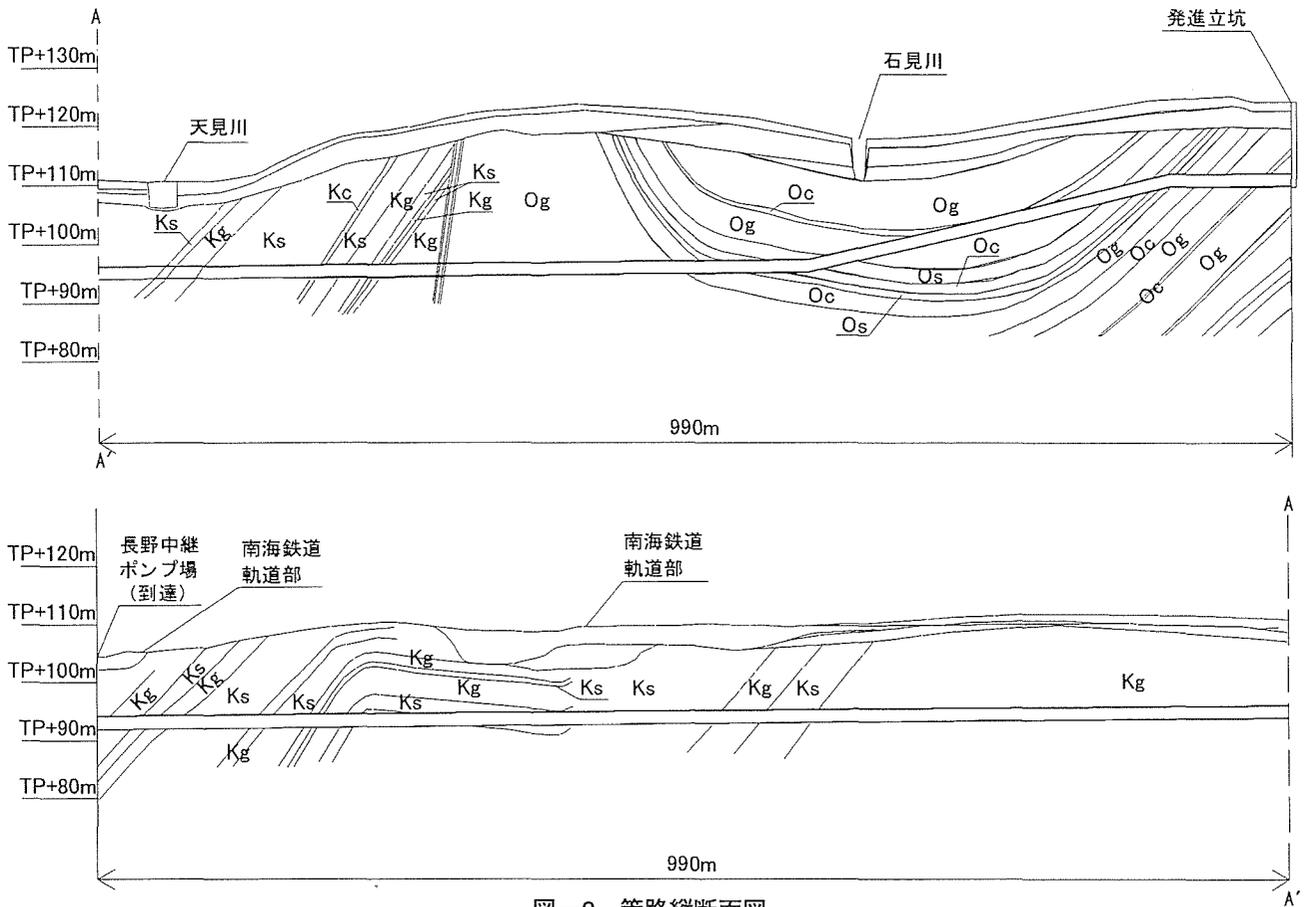


図-2 管路縦断面図

2-3 地質概要

シールド施工区間の土質は大きく分けて以下①～③の3種類に分類される。

① 大阪層群互層区間

- ・発進から600mの区間は、粘土 (Oc2~6), 砂 (Os1~2), 砂礫 (Og1~5) の互層になっており、砂・砂礫共N値60以上を示し、粘土においてもN値30以上を示す非常に密な地層である。
- ・シールド通過部分の透水係数はOg層で $1.75 \times 10^{-3} \sim 2.8 \times 10^{-3}$ (cm/sec) となっている。

② 大阪層群砂礫区間

- ・発進から600m~700mが大阪層群の砂礫層となっており、N値60で10~30%前後のシルト粘土分を含む。
- ・透水係数はシールド通過地点で、 $4.4 \times 10^{-3} \sim 1.5 \times 10^{-5}$ (cm/sec) と砂礫としては低い値を示している。

③ 甘南備累層の花崗岩質砂岩・礫岩区間

- ・発進から700m以降の到達までの約1300m区間が甘南備累層の花崗岩質の砂岩・礫岩となる。
- ・これらは岩盤分類からいえばCM~DLの軟岩であり、かなり風化を受けている箇所もある。
- ・一軸圧縮強度は砂岩で平均2.74MPa (平均28kgf/cm²) 礫岩において平均43.5MPa (平均444kgf/cm²) である。

ただし、礫岩において極端に高い数値を示すものは礫岩に包含される巨礫であると推定され、それらを除いた一軸圧縮強度平均値は11.6MPa (118kgf/cm²) である。

- ・礫岩層内に包含される巨礫は300mm~最大1500mm程度のものまでが想定され、一軸圧縮強度で196MPa (2000 kgf/cm²) 程度が想定される。
- ・ボーリング調査によるRQD値は平均50%以上であり、亀裂が少ない地盤であると考えられる。
- ・岩盤内透水係数は現場透水試験等から見て $10^{-6} \sim 10^{-8}$ (cm/sec) のオーダーであり、透水性の極めて低い土質である。

図-2に管路縦断面図を示す。

§ 3. 本工事の特殊性

今回の工事は以下に示すように多くの特殊性をもつ。

- ①複合地盤の掘進：粘土・砂・砂礫の互層及び岩盤を1台のシールド機で掘削
- ②急曲線施工：最小曲線半径R=18m
- ③ビット交換：当初予定で6回の機内からのビット交換
- ④長距離掘進：1980mに及ぶ長距離掘進及び長距離輸送
- ⑤急勾配施工：1.3%→50%→1.3%
- ⑥ガス対策：低酸素濃度、一酸化炭素、可燃性ガス、硫化水素が存在

これらの特殊性のうち、①③④について以下に記す。

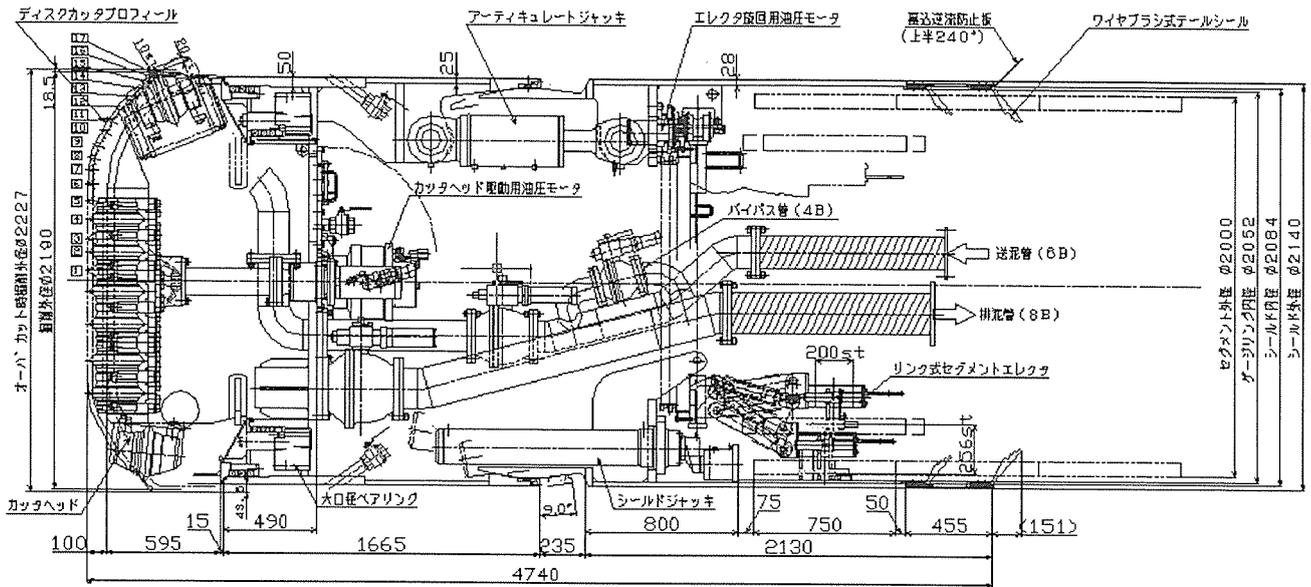


図-3 シールド機構造図

シールド本体		油圧ジャッキ	
外径×機長×分割	φ2140mm×4740mm×一体	名称	数量
スキンプレート厚×材質	前50、中25、後28、xSS400P	シールドジャッキ	8
テーラシールド	ワイヤブラシ式2段	ア-テイキュレトジャッキ	4
推進速度	0~6.3cm/min(全線掘削時)	エレクト昇降ジャッキ	1
総推力	4704kN{480tf}	油圧モータ	
最大中折れ角度	左右:9°,上下:1.5°	用途	台数
セグメントエレクタ		エレクト旋回用	1
形式	リンクヘッド形	カッタヘッド回転用	2
旋回角度×旋回速度	左右各200°×0~1.5rpm	パワーユニット	
昇降範囲×摺動範囲	0~256mm×0~±100mm	用途	台数
押付力×吊上力	17kN×13kN{1.7tf×1.3tf}	シールドジャッキ用	1
カッタヘッド		ア-テイキュレトジャッキ用	1
形式	ドームヘッド形 周辺支持方式 両回転可能	カッタヘッド回転用	4
回転数	最大4.5rpm	ディスクカッタ用	1
回転トルク	常用最大304kNm {31.0tfm}{α=3.10}	自動給脂用	1
開口率	15%	オイル循環用	1
		オイルクーラ用	1

表-1 シールド機諸元

§ 4. 施工計画

4-1 シールド工法の選定

本工事のシールド掘進地質は、前述のように、発進部より600mは、粘土・砂・砂礫の互層、発進部より600m~700mは、大阪層群の砂礫層、発進から700m以降到達までの約1300m区間が、花崗岩質の砂岩・礫岩層となる複合地盤である。

これらの土質条件よりカッタビット耐摩耗性の向上及び長距離掘進に伴う排土処理などを考慮に入れ、泥水加圧式シールドを採用することにした。

4-2 シールド機仕様の検討

1台のシールド機で、砂・粘土・砂礫の互層及び岩盤を掘進するため、以下の検討を行った。

- ① カッタビットの形状、配置
- ② カッタ面板形状
- ③ ビット交換方法

4-3 カッタヘッドの形状
掘削外径がφ2190mmと小さいことから、ビット交換を簡便に実施できるよう周辺支持方式とした。

カッタ形状は、ディスクカッタの最外周部への配置を容易にすることと、ディスクカッタによる切削ビットへの荷

重を低減させるためドームタイプとした。

これまでの岩盤シールドの施工実績より、開口部スリット幅を制限し、ブロック上の岩ズリの取込防止措置をとった。

(図-3, 表-1)

4-4 ディスクカッタ

ディスクカッタの材質は冷間ダイス鋼で、カッタヘッド外周部は、岩盤掘削時の負荷が大きいため、シングルディスクカッタを11個、内周部にはツインディスクカッタを3個配置し、カッタピッチを狭く配置(20mm~90mm)して、硬岩破碎性を確保した。(図-4)

また、カッタの交換は機内で行い、容易に交換が可能な全ボルト方式を採用するとともに、脱落防止として取

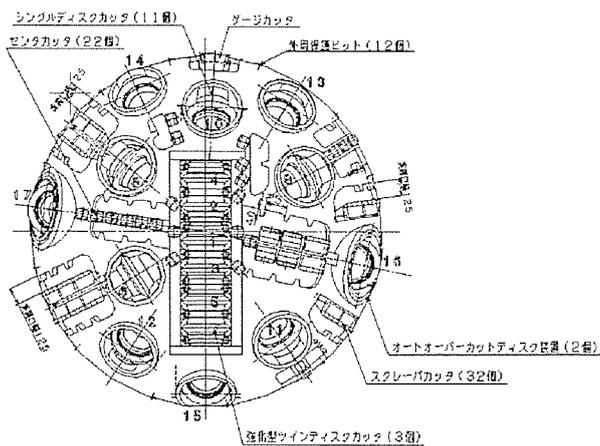


図-4 カッターヘッド図

り付けボルトに荷重のかからない構造とした。

4-5 ビット交換の検討

(1)計算式

砂礫・岩盤部におけるカッタの摩耗量は実際の地盤条件、掘進状況、カッタの破損の有無などに左右され、一概に確定することは困難であるが、今までの実績から以下の式で交換回数が推定される。

1) 砂礫

$$L = 10/2\pi R [0.847/\lambda_1 \cdot Pe_1 + 0.153/\lambda_2 \cdot Pe_2]$$

L : ディスクカッタ摩耗限界までの掘進延長 (m)

R : ディスクカッタ取り付け半径 (m)

λ : ディスクカッタ摩耗限界までの転送距離 (km)

Pe : ディスクカッタ切り込み深さ (cm/rev)

2) 岩盤

$$L = 10Pe\lambda/2\pi R \quad V = PeN$$

V : シールド掘進機の掘進速度 (cm/min)

N : カッタ回転速度 (rpm)

(2)計算条件

1) 砂礫

礫を丸呑み 66%	礫を剥離破碎 34%
礫径 ϕ 125mm以下	礫径 ϕ 700mm $>d>$ 125mm
Pe1 = 1.33 cm/rev	Pe2 = 1.4 cm/rev
λ 1 = 951 km	λ 2 = 450 km
N = 2.25 rpm	N = 2.25 rpm
V = 3 cm/min	V = 3.1 cm/min

2) 岩盤

岩質	砂岩	砂岩	砂岩	砂岩
一軸圧縮強度 (MPa)	4.9	34.3	124.9	217.7
石英含有量 (%)	45	45	45	45
Pe (cm/rev)	1	0.44	0.28	0.19
λ (km)	1104	417	218	165
N (rpm)	4.5	4.5	4.5	4.5
V (cm/min)	4.4	2	1.2	0.85
P (tf)	218	218	218	218
L (m)	1757/R	292/R	97/R	50/R

(3)計算結果

1) 砂礫

ディスクカッタ 取付部位置	ディスクカッタ No.	R (m)	L (m)
内周部	1~4・6	0.545	2882
外周部	5・7~17	1.09	1441

(ディスクカッタ刃先摩耗量が18mmに達するまでの掘進延長)

2) 岩盤

ディスクカッタ 取付部位置	ディスクカ ッタNo.	R(m)	L (m)			
			砂 岩	砂 岩	砂 岩	砂 岩
内周部	1~4・6	0.545	3210	534	178	92
外周部	5・7~17	1.09	1605	267	89	46

(ディスクカッタ刃先摩耗量が10mmに達するまでの掘進延長)

以上の計算結果から、砂礫層約700m、岩盤部約1300mの施工の中でビット交換を6回と想定し、施工を行った。

4-6 泥水の輸送

複合地盤及びトンネルの長距離化に伴う泥水輸送における問題点等について、以下の点に配慮した。

(1)排泥管設備

カッタビットでの破碎可能な礫径に対応するために、シールド機内に配管可能な管径8B (200A) とした。

(2)排泥流速

シールド機〜クラッシャー間の流速は通常、排泥管径8B (200A) の場合、V=2.4m/sで計画を行う。複合地盤では掘削土がチャンバー内で付着したり、排泥管内で土粒子の沈降や礫による閉塞状況が発生する可能性が高い。そのため排泥流速をV=3.4m/sとする事で対応した。

また、上記の排泥流速を確保するため、P0ポンプを2台設置する事とした。

(3)流体輸送保護設備

当口径クラスでの過大圧力回避装置としては、PVバルブでのみ圧力を放出している。土質条件が厳しい複合地盤では閉塞等の発生による異常圧やウォータハンマーによる過大圧力から起こる。過大切羽圧や送排泥管・ポンプ損傷などの保護として、過大圧力が一瞬の間に放出が可能な送・排泥管異常圧放出装置 (ラプチャディスク方式) を採用した。

(4)クラッシャー設備

クラッシャー設備としてはジョークラッシャー型、ロータリークラッシャー型の2機種を検討して土質条件が厳しい地山に対応が可能なジョークラッシャー型を採用した。採用した主な理由は下記の3項目である。

- 1) 破碎可能最大礫径が大きい。
- 2) 粘性土の付着性が少ない。
- 3) 摩耗部品の取り替えが容易である。

§ 5. 長距離シールド掘進実績

5-1 洪積層の掘進

発進当初から洪積砂礫，砂，粘土層の褶曲した複合地盤の掘進である。粘性土質の掘進もトータル距離として100m以上あり，反力不足及び閉塞によりディスクカッタが回転しなかった場合，偏摩耗が発生し，砂礫層においても掘進不能になることがシールド機設計時から懸念された。検討の結果，粘性土においてもN値が40以上もある事から，カッタ回転のための反力は取れるだろうという判断のもと岩盤対応のフェイスで発進するものとした。

なお，最悪のことを考え，カッタフェイス中央部にアローヘッドを製作し，ツインディスクカッタを取り外して交換できるような対応措置をとった。

これまでの掘進実績を図-5に示すが最大日進量で12.75m，最大月進量で247.5mを記録している。

砂礫層における掘進実績

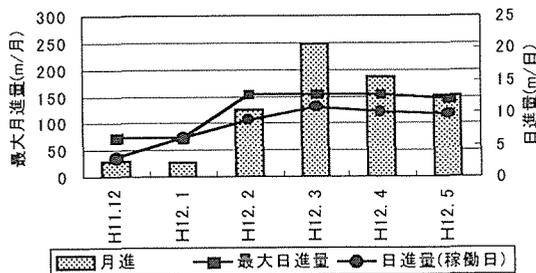


図-5 掘進実績

5-2 岩盤層（甘南備累層）の掘進

700m以降は岩盤層であるが，強風化されており，縦断面図に見られるようなはっきりとした断層的な地層変化は掘進時確認できず，砂礫層が徐々に硬くなっていく感触であった。

また，礫岩と砂岩も明確には分かれておらず砂岩中の風化の度合いが少ないものが礫岩という印象である。

岩盤層に入ってから掘進では，カッタ圧，推力が上昇し掘進スピードは15mm~20mm/minに落ち込む状況が増えてきた。洪積層に比べて大きな礫が破碎した形で数多く見られるようになり，クラッシャーの稼働率は上がり，現在もクラッシャーをすり抜けた扁平な礫による排泥管の閉塞がしばしば発生している。

これまでの掘進実績を図-6に示すが最大日進量で15m，最大月進量で214.5mを記録している。

岩盤層における掘進実績

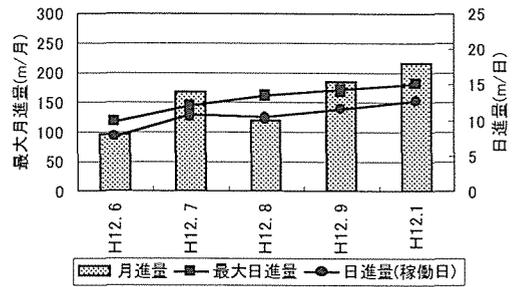


図-6 掘進実績

5-3 カッタ摩耗測定・交換作業

ディスクカッタ摩耗度を前もって推定していたが，大きく異なる結果となった。

ビット交換を重ねるうちに，砂岩中に含まれる粘性土分が，面板中央部付近で閉塞を起こし，取込不足が生じたため，推力が上昇して掘進スピードが低下することが判明した。この現象が見られるようになった時点で，ビット点検を行い，ディスクカッタ摩耗限界値を10mmと設定してビット交換を行った。

ビット交換個数は，表-2のとおりで，計画に対して実績が大幅に上回ったが，その原因として上記に述べたとおり，砂岩層に含まれる粘性土分が，20~40%あることから面板中央部付近で閉塞を起こし，取込不足が原因で，掘削土砂が絶えず滞留し，二次摩耗を起こし，ビットの摩耗を早めたと推定される。

摩耗量の実測と計算による予測との違いを図-7に示す。周辺部においては，面板における粘性土分の閉塞は見られなかったため，計画に対して大きく異なることはなかった。

5-4 配管の摩耗

計画当初から，複合地盤及びトンネルの長距離化に伴い，泥水輸送における配管の摩耗が懸念されていた。対策として，排泥管については，すべてにおいてスケジュール管 (STPG410) を使用した。また，直管部においては定期的に天地替えを行い，摩耗に対する耐久性の向上を施した。また，シールド機本体~後続設備間においては，摩耗検知器にて定期的に測定を行う事で対応した。

それでも，掘進距離で1000mを超えたくらいから排泥管からの泥水漏れが頻繁に見られるようになり，排泥管の交換作業が増える状況であった。

§ 6. おわりに

本工事は，粘土・砂・砂礫の互層及び岩盤といった大きく異なる土質を長距離にわたり，同一シールド機で掘進するという厳しい条件での施工であった。平成12年10月31日現在，一次覆工延長1980mの内，約1545mの施工が完了し，残り約435mを平成13年1月の到達を目標に現在施工中である。

交換回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	計	
掘進リングNo.	678	1113	1117	1347	1550	1781	1828	2023	2177		
掘進距離	509	791	838	964	1115	1288	1323	1481	1588		
区間距離	509	282	46.7	127	150	173	35.3	158	107		
ビット種類	ビットNo.										
ツイン	1	○		○	○	○		○			5
	2	○		○	○	○		○	○		6
	3	○		○	○	○		○			5
	4	○		○	○	○		○	○		6
	5			○	○	○		○	○	○	6
	7			○	○	○		○	○	○	6
	計	4		6	6	6		6	4	2	34
シングル	6			○		○				○	3
	8	○	○	○	○	○		○	○		7
	9		○	○		○		○			4
	10			○		○		○		○	4
	11			○		○	○		○		4
	12			○		○		○		○	4
	13			○		○		○	○		4
	14	○		○		○	○		○		5
	15	○		○		○	○		○		5
	16	○			○		○			○	4
	17	○			○		○			○	4
計	5	2	9	3	9	5	5	5	5	48	

表-2 ビット交換一覧表

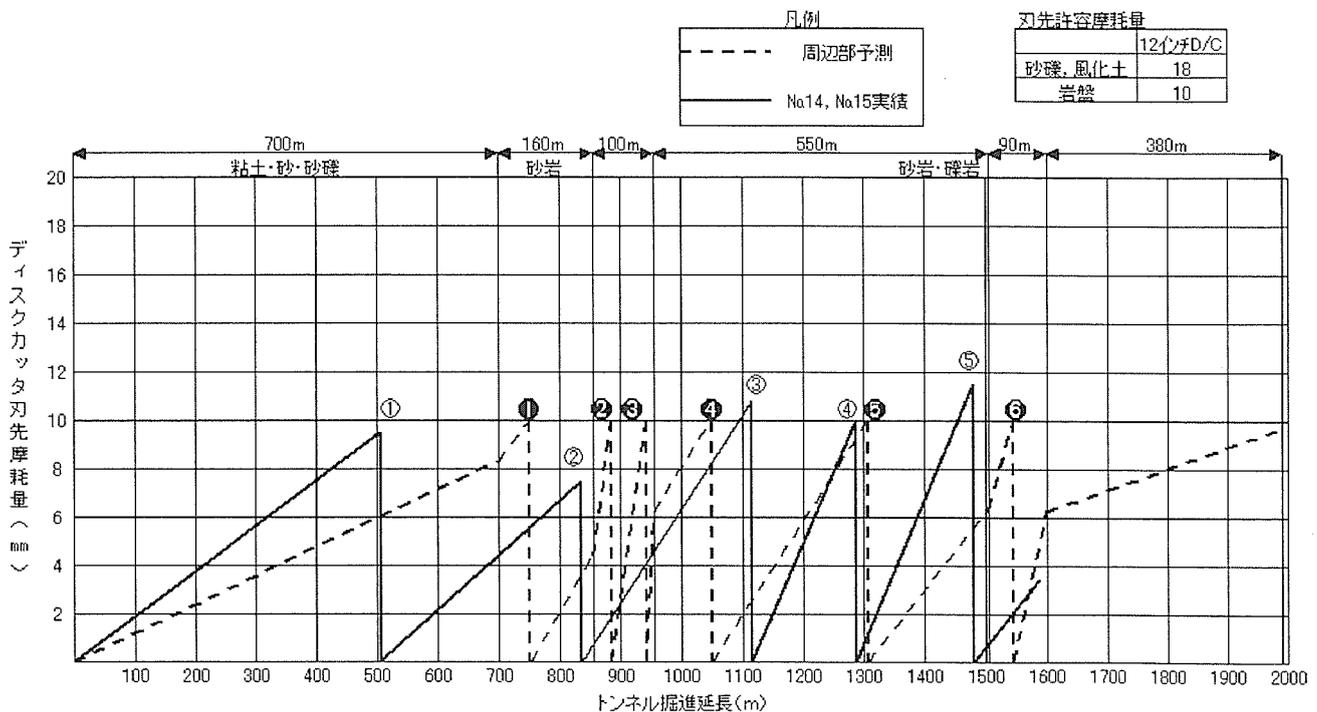


図-7 ビット交換位置予測及び実績

岩盤層部においては予想以上に軟岩であり、閉塞によりビットの摩耗を早めたという施工の厳しさと貴重な経験を得ることとなった。

カッタービットの耐久性については、本工事の実績を地盤の違いによる摩耗係数、マシン推力や乾砂量などの施

工データなどを含めて分析し、今後、耐久性評価手法の精度向上に向けて検討していく必要があると考える。

最後に、本工事に関して御指導・御助言を戴いた関係者各位に深く感謝し、御礼申し上げます。