【報告事項1. シールドトンネル掘進状況について】

1. 箕面船場阪大前駅～新千里北換気所までのシールドマシンによる掘進について

1.1 掘進データ

2 台のシールドマシンの掘進データはともに同様の傾向を示した（図 1－1 は南行きシールドの掘進データ）。切羽土圧(グラフ(1))は 101R 付近（新船場南橋）から主働土圧＋50KPa、130R 以降は主働土圧＋70KPa として掘進を行った。マシン負荷は装備推力（グラフ(2)）の 30～40%で切羽土圧と同傾向を示しており、カッタトルク（グラフ(3)）が定格（常用）の 60%程度以下で推移しているため、部分的にトルク値が大きくなることはあったものの、全般的にはシールドマシンは安定した状態で掘進ができたと考えている。一方、ジャッキスピード（グラフ(3)）については平均値 23.6 ㎜/min と一般的な 30～35 ㎜/min よりも遅くなっているが、後述するように神戸層群内では岩塊によって大半のビットが激しく損傷し、配管閉塞が頻繁に発生しており、大阪層群内では損傷したビットでは地山の切削が十分にできなかったことが原因と推定される。裏込め注入（グラフ(4)）は平均 0.56MPa の圧力で注入がなされており、結果的に 126%の注入率で安定して注入ができた。また、掘削土砂量（グラフ(5)）は理論掘削量の平均 90%程度で推移しており、路面測量で沈下が生じていないこと踏まえ、過剰な取り込みは無いと考えている。

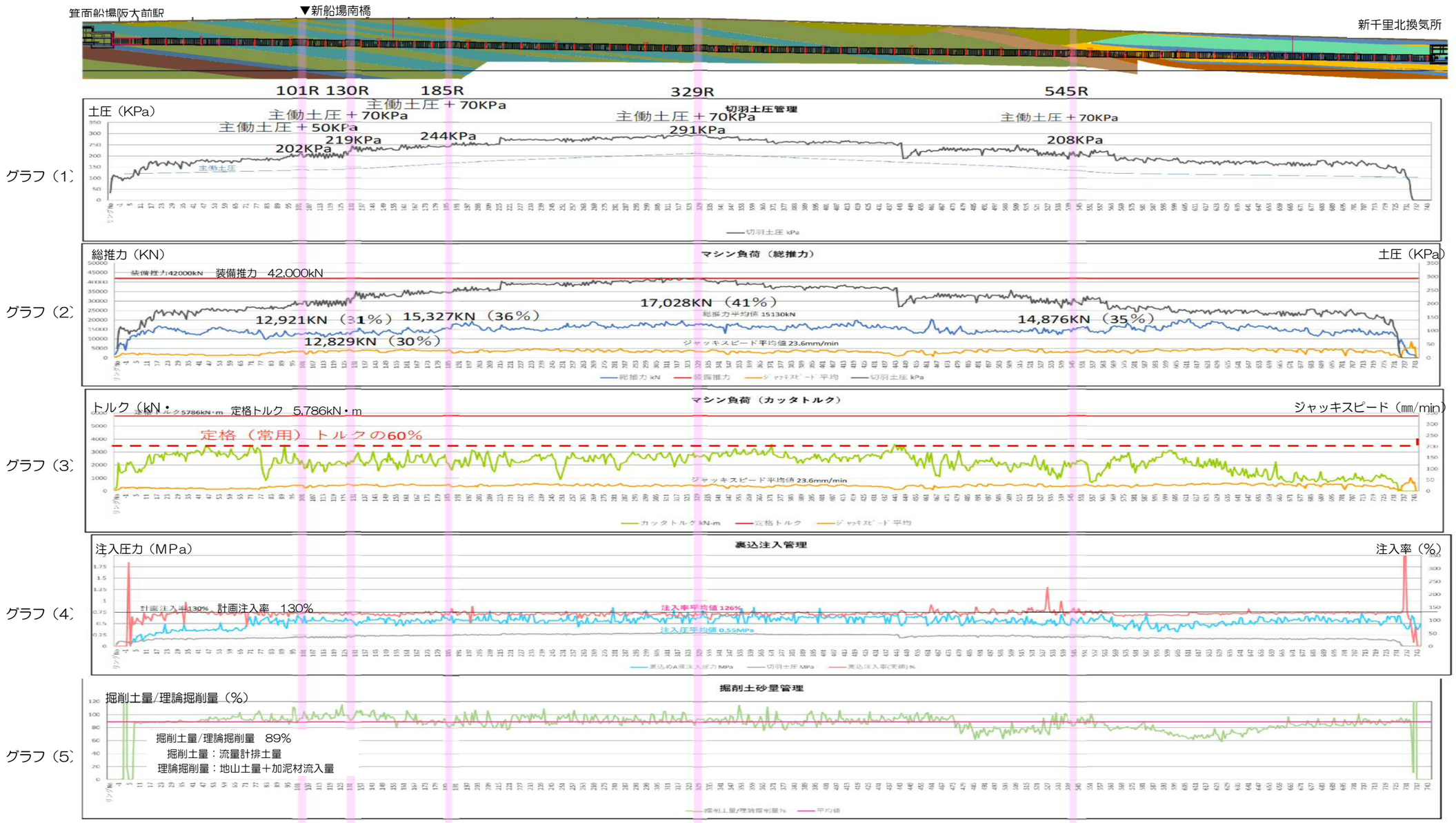


図1－1 南行きシールド掘進データ

1.2 シールドマシンのビットとスポークの損傷

(ア) 実際に製造したシールドマシンのビット摩耗の考え方

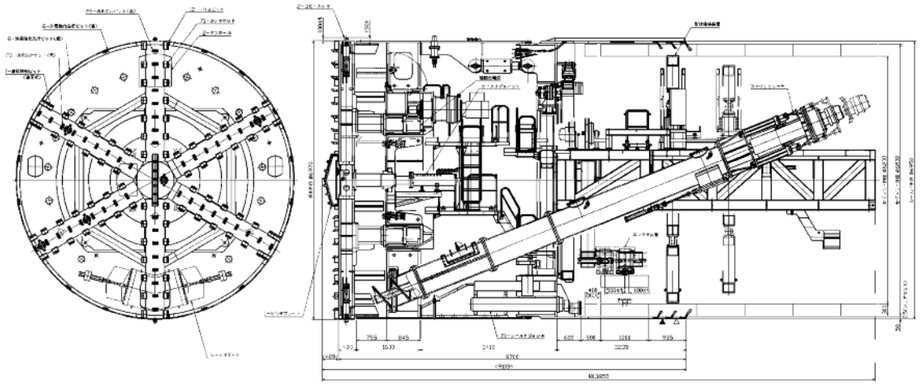


図 1-2 実際に製造したシールドマシン

当初の地盤条件においては、製造したシールドマシンのビットは全区間の掘進に対して交換不要としていた。しかしながら、新千里北換気所まで掘進した結果、ほぼ全てのカッタビットにおいてかなりの摩耗が進行しており、特に外周部のビットは１号機南行き・２号機北行きともに摩耗限界に達した。

そのため、残区間（209m）を掘進するためにはビットを追加する必要が生じた。また、特に１号機南行きについてはスポークも外周部が大きく損傷しており、補修が必要となった（写真１-１）。

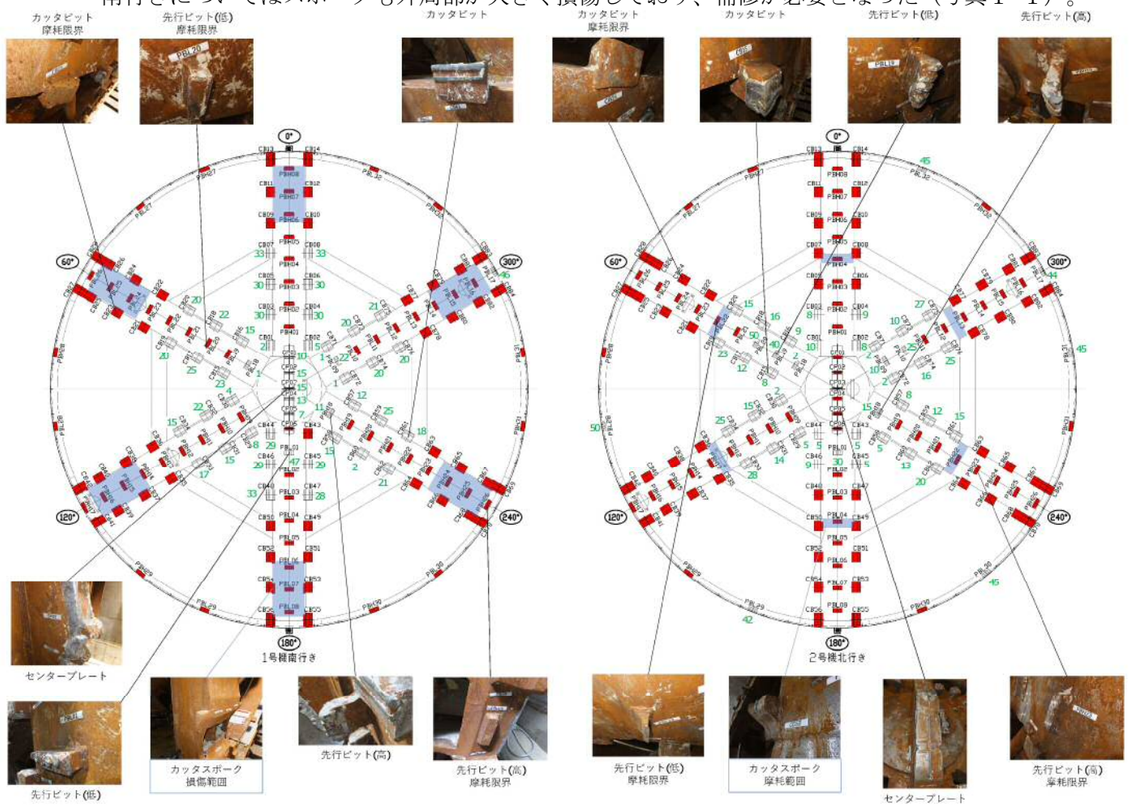
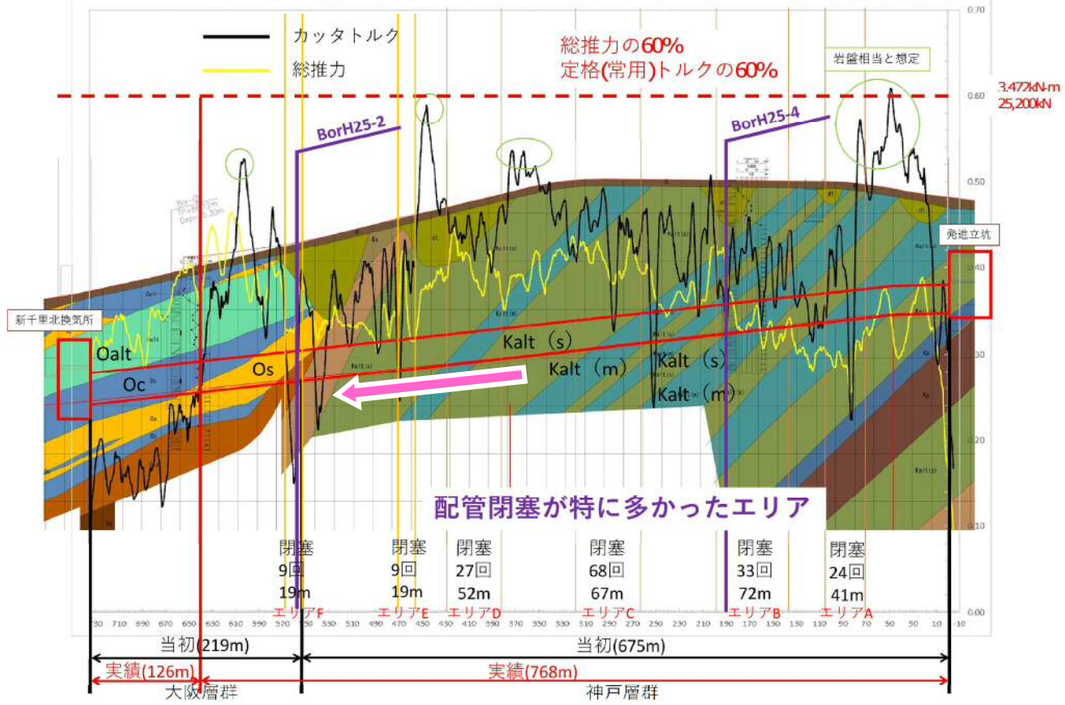


写真１-１ シールドマシンのビットとスポークの損傷状況

■：摩耗限界に達したビット
数字：摩耗量

掘進区間前半の神戸層群を中心に配管閉塞が頻繁に発生していた（図１-３）。

神戸層群においては、土質調査で示された粒径と大きく異なる最大 30 ㎝程度の岩塊が多数発見されており（写真１-２）、「1.1 掘進データ」の各データに示すとおり、シールドマシンに対して過大な負荷はかかっていない状態で掘進ができていたものの、前半の神戸層群において当初想定されたよりも多数の岩塊や硬質地盤の存在によってビットやスポークの損傷が早期に進行したものと考えられる。



※カッタトルクおよび総推力の値は付近の傾向をとらえるために前後5リングの平均値を採用しています

図１-３ 箕面船場阪大前駅～新千里北換気所までのシールド掘進における配管閉塞箇所と回数

写真１-２ 排出された岩塊の例（BorH25-４（190 リング付近））

(イ) ビット摩耗計測結果から逆解析した摩耗係数

１号機南行きおよび２号機北行きで計測した摩耗量から算出した箕面船場阪大前駅～新千里北換気所までの掘削区間における摩耗係数の平均値を表１-１に示す。

摩耗係数（×10-3㎜/km）	設計時	1号機南行			2号機北行		
		最小	平均	最大	最小	平均	最大
先行ビット（高）	56.1	59.8	59.8	59.8	83.0	83.0	83.0
		1.1	1.1	1.1	1.5	1.5	1.5
先行ビット（低）	28.5	52.7	117.8	196.6	48.1	79.7	152.7
		1.8	4.1	6.9	1.7	2.8	5.4
カッタビット	28	4.6	57.1	161.2	9.4	57.1	64.4
		0.2	2.0	5.8	0.3	2.0	2.3

※2 段書きの下段の数値は設計時との比率を示す

表 1-1 箕面船場阪大前駅～新千里北換気所までの掘進データに基づく平均摩耗係数

■　摩耗係数が大きくなった要因

「1.1 掘進データ」に基づき、要因として下記３点を考えている。

①　神戸層群の区間長が土質調査結果によって設定したものより長い可能性がある

②　砂岩が割れて閉塞するなど、泥岩・砂岩の摩耗係数を想定した区間において砂礫相当の摩耗係数が適用される区間が存在していた

③　神戸層群の泥岩・砂岩の間に礫岩層が存在し、その地層中に大きな流紋岩礫が存在していた（部分的にカッタトルクが突出して高い区間）

（ウ）残区間の掘進に向けたビットとスポークの補修検討

【ビットとスポークの補修方針】

- ➢　スポークやカッタビットの母材まで損傷している部分は必要な強度を確保するため補修する
- ➢　フィッシュテールビットは交換し、残区間の掘進に耐えられるよう 6 本のうち 3 本のスポークに対して先行ビット（低）とカッタビットを追加するなど必要最低限の補修を行う

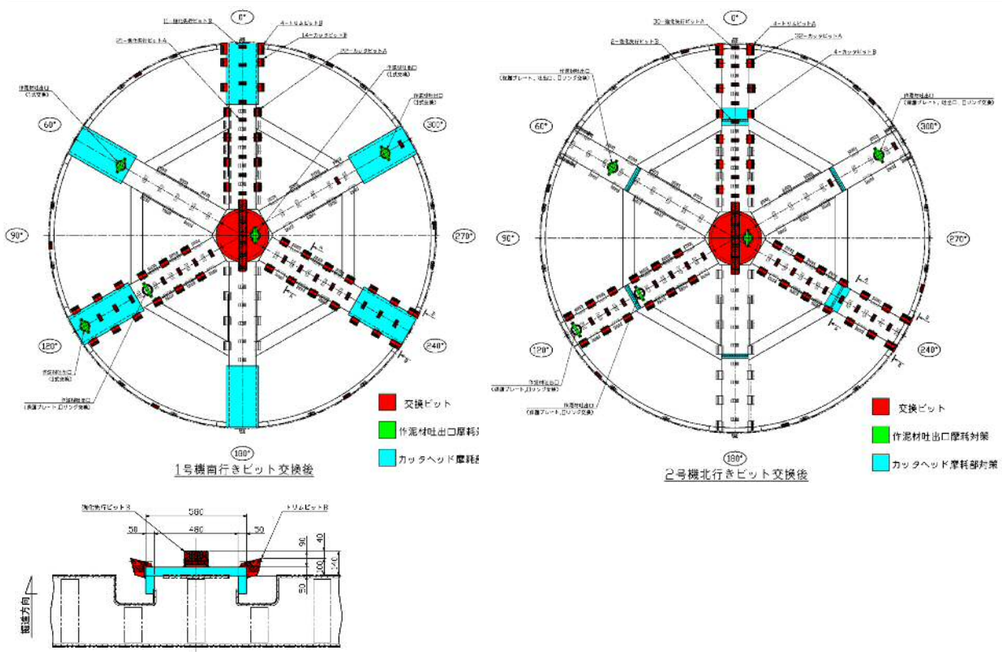


図 1-4 新千里北換気所以南の掘進に向けたビットとスポークの補修箇所

新千里北換気所までの設計摩耗係数をもとに補修工事後のビットを使用して残区間を掘進した場合の摩耗量を計算した結果、許容摩耗量内に収まることを確認した（表１-２）。

また、新千里北換気所までのビット摩耗量から算出した摩耗係数（表１-１）が設計時と比べて最大 6.9 倍増となったことを踏まえ、地盤条件の不確実性に対しても対応可能かを確認するため、6.9 倍した摩耗係数を用いて残区間を掘進した場合の摩耗量も計算した結果、許容摩耗量内に収まることを確認した。

（カッタビットは掘削性能と耐久性の観点から先行ビットと呼ぶ補助ビットを組み合わせて配置するものとする。その摩耗量は摺動距離で評価するものとし、土質区分ごとの掘進延長・カッタビット摩耗量、カッタビット摺動距離を仮定した。）

先行ビット摩耗量

摩耗係数	16.2×10^{-3}㎜/km（111.8×10^{-3}㎜/km）
許容摩耗量	30㎜
推定摩耗量	2.7㎜（18.6㎜）
残許容摩耗量	27.3㎜（11.4㎜）
掘進可能距離	209m

カッタビット摩耗量

摩耗係数	8.1×10^{-3}㎜/km（55.9×10^{-3}㎜/km）
許容摩耗量	20㎜
推定摩耗量	1.4㎜（9.7㎜）
残許容摩耗量	18.6㎜（10.3㎜）
掘進可能距離	209m

（　）内の数値は設計摩耗係数に対して新千里北換気所までのビット摩耗量の最大増加率 6.9 倍を乗じた摩耗係数、摩耗量を示す

表 1-2 残区間のビット摩耗量

2. 新千里北換気所～千里中央駅間のシールドマシンによる掘進について

2.1 大阪層群洪積層内新千里北換気所付近の施工結果

6K480M～6K280M の範囲内で切羽土圧、裏込注入、中間充填材について調整を行い、新千里北換気所～千里中央駅間の残区間を対象とした掘進管理基準値を設定するため、地表面沈下量をレベル測量により確認し、現地地盤に適合した適切な値を調整した。

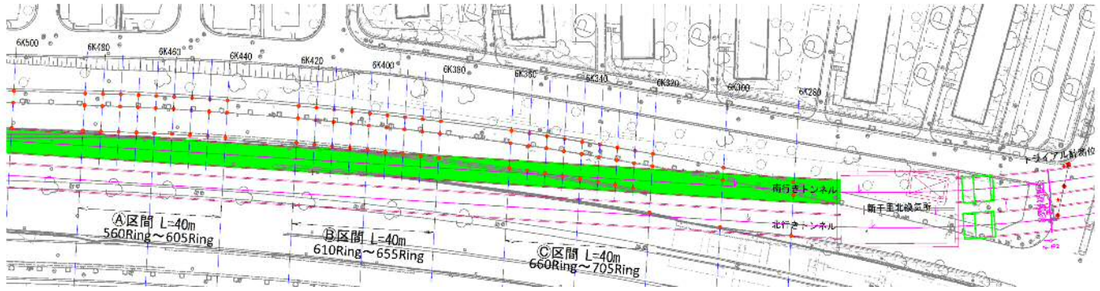


図１－５　新千里北換気所付近の施工

管理項目		トライアルⒶ区間	判定※	トライアルⒷ区間	判定※	トライアルⒸ区間	神戸層実績
切羽土圧	上限	主働土圧※1+70kpa	×	主働土圧※2+80Kpa	×	主働土圧※3+90Kpa	主働土圧+70kpa
	↕				○	主働土圧※3+80Kpa	
	下限		○	主働土圧※2+70Kpa	○	主働土圧※3+70Kpa	
裏込注入	注入率	120%	×	125%	×	130%	130%
					○	125%	
			○	120%	－	120%	
中間充填材	注入率	100%	×	110%	×	120%	100%
					○	110%	
			○	100%	－	100%	

※1 Ⓐ区間主働土圧：110kpa　※2 Ⓑ区間主働土圧：100kpa　※3 Ⓒ区間主働土圧：90kpa

表１－３　切羽土圧、裏込注入、中間充填材の設定

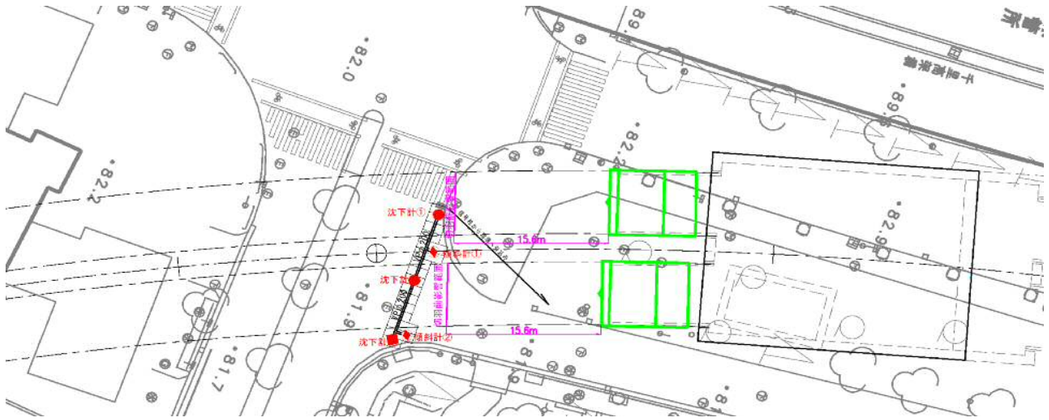
切 羽 土 圧：主働土圧＋70kPa（160kPa）
裏 込 注 入：注入率 130%
中間充填材　：注入率 100%（クレーショック）
加泥材注入　:タックスルー　配合 0.5kg/m^3　注入率 50%

図１－６　再発進時の管理値の設定（再発進時後のトライアル計測で検証する）

2.2 再発進時トライアル計測の実施

新千里北換気所～千里中央駅間の残区間のシールド工事を行うにあたっては、既存の近隣建物の直下での施工であること等を勘案し、図１－７に示すように切羽土圧、同時裏込注入などの掘進管理基準の設定が適切であるかを確認しながら掘り進めるとともに、トライアル計測を行う。また、建物内には計測機器を設置して建物の基礎の変位を計測する。

トライアル計測においては、千里中央駅のシールド到達付近の近接建物への影響検討に使用した応力解放率 15%の妥当性を確認するため FEM 解析を行い、判定基準となる変位量を事前に設定し、計測値との比較を行う。新千里北換気所までの掘進において設定し、表１－３に示した切羽土圧、裏込注入、中間充填材の掘進管理の方法に対してトライアル計測の値を踏まえて更なる調整を行う。



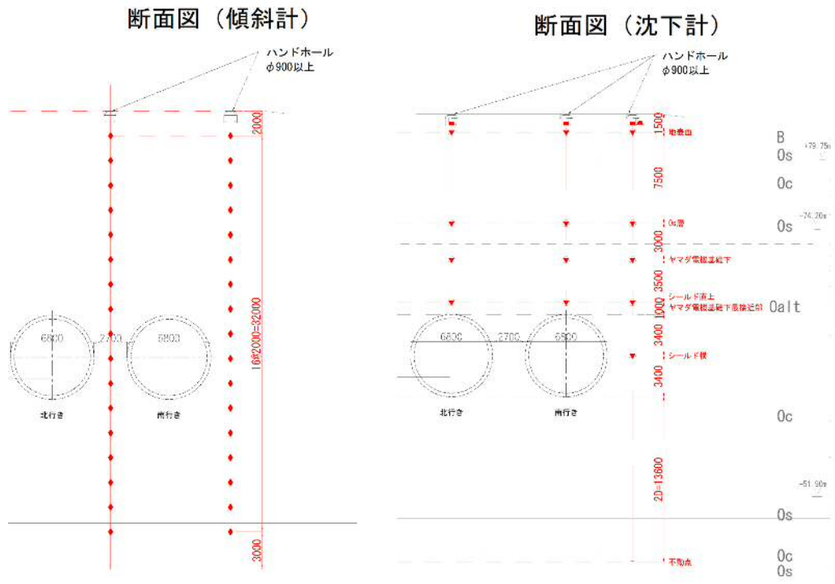


図１－７　再発進時トライアル計測実施