

- 333 -

しかし、先に述べた不良地山対策のための支保工施工サイクルの増大や補助工法の施工、あるいはTBM掘削断面の単線区間での輸送量の制限等により、NATMによる掘削は平均進行は50m/月が限界であった。

このような地山を掘削するためには、高湧水圧を事前に低下させておくことが有効な手段である。また、TBM再発進計画立案のためには、前方の地質を確認しておく必要がある。しかし、飛驒トンネルは土被りが大きい地上からの調査によりトンネル前方の対象地質を明確に把握することは困難であり、坑内からの水平ボーリング調査もロッドが粘性土に拘束され長尺ボーリングも成果が得られない状態であった。

上記の問題を解決するために、地下水位低下、前方地質探査およびTBMの再発進計画立案を目的として、避難坑に先行して水抜き坑の施工を採用することにした。この水抜き坑は水抜き効果と輸送量の縮減による進行増を目的として矢板工法を採用することとした。ここでは、高土被り下の脆弱地山での矢板工法の施工にNATMの計測手法を取り入れ、水抜き坑の支保工形状や避難坑との離隔距離の検討、さらにはTBM再発進の条件決定を行った経緯を報告する。

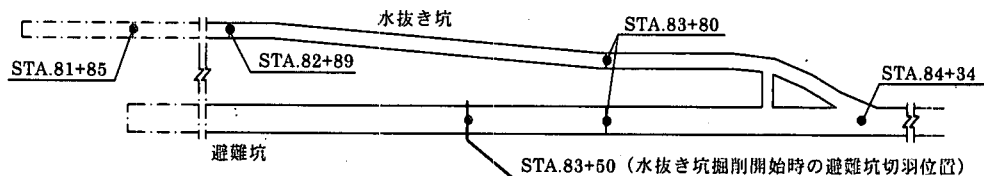


図-1 避難坑－水抜き坑・線形平面図

2. 水抜き坑の断面決定経緯

掘削断面をできるだけ小さくするためにシャフロダKL-7で施工可能な最小断面のH-125 ホロ型（幅2.9m、高さ3.0m、掘削断面7.3m³/m）を採用し、前方探査ボーリングで判明しているその後の強

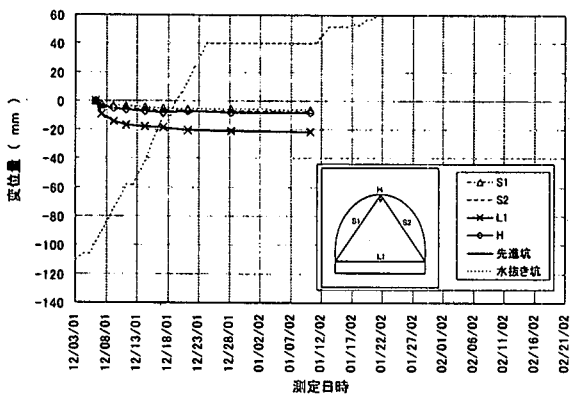


図-2 STA.83+80 内空変位計測結果

変質帯では内空変位や支保工応力測定を行なうがら掘削断面形状や鋼製支保工を検討することとした。

図-2 に STA.83+80 での内空変位計測結果を示す。この位置では水抜き坑の内空変位量は最も大きい水平側線でも22mm程度で収束しており、支保工形状として適切であることが分かる。なお、計測ピンの設置は矢板の影響を避けるため、地山に直接アンカーを打ち込んでい

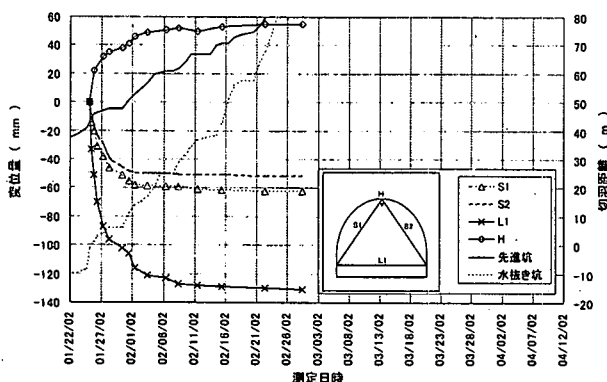


図-3 STA.82+89 内空変位計測結果

次に強変質帯との層境に入り始めた STA.82+89 での内空変位計測結果を図-3 に、その位置でのホロ型・直ストラット支保工の支保工応力測定結果を図-4 示す。

鋼製支保工には大きな応力が作用しており、その結果形状として弱点になる下半の直線部および直ストラットには大きな曲げモーメントが作用している。また内空変位量は水平側線で130mmに達しており、この区間では下半のはらみ出しや写真-1に見られる鋼製支保工の座屈が発生した。

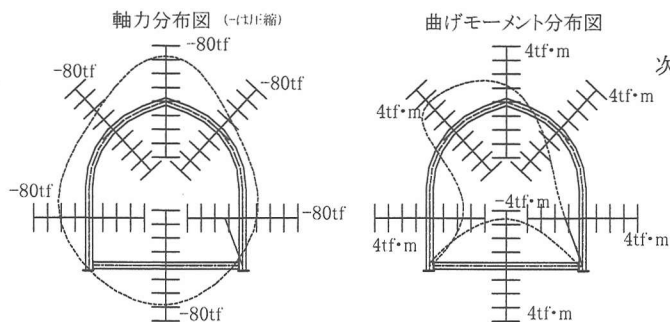


図-4 S T A.82+89 支保工応力計測結果

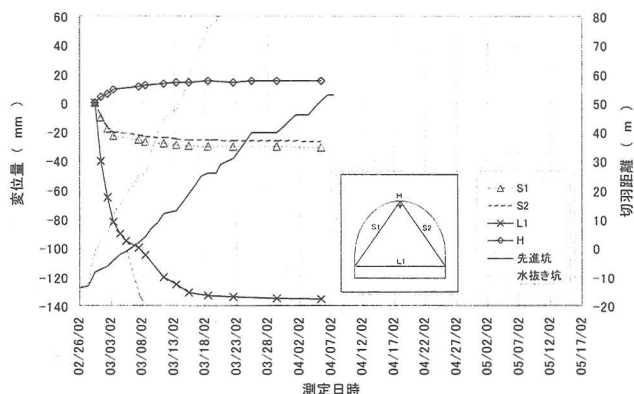


図-5 S T A.81+85 内空変位計測結果

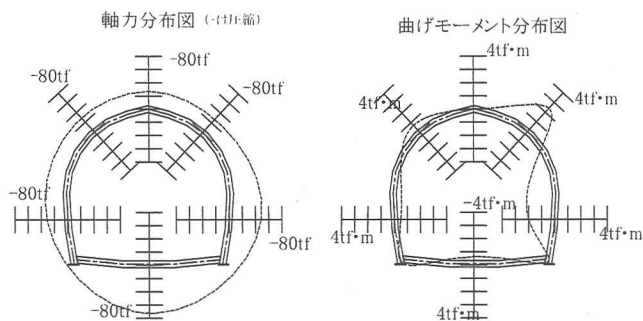


図-6 S T A.81+85 支保工応力計測結果

この結果を基に、強変質帯での鋼製支保工を次のように決定した。

- ① 施工性を勘案してH-125は変更しない。
- ② 下半部に曲線を導入し、形状を馬蹄形にする。
- ③ ストラットにも曲線を導入する。
- ④ 支保工間隔を80cmにする。

この支保工パターンを用いて掘削した強変質層中央付近S T A.81+85での内空変位計測結果を図-5に、その位置での支保工応力計測結果を図-6に示す。

支保工応力の発生状況は軸力、曲げモーメント共にホ口型より小さくなり断面形状として安定していることが分かる。内空変位の発生量も地質条件が前例よりも悪化しているために水平側線の発生量は大きい、斜辺での発生量は1/3程度に抑えられており、よく応力に対抗していると考えられる。掘削量なるべく小さくすることを念頭においたために標準馬蹄形までは採用せず、下半部曲率を4R、ストラットの曲率も6Rにしてあるが、馬蹄形の効果がよく表れている。



写真-1 鋼製支保工・座屈状況

3. 並行する避難坑との離隔

水抜き坑施工の大きな目的の1つが水抜き効果であるため、避難坑との離隔距離をできるだけ小さくする必要があった。よって離隔距離を当初避難坑断面幅の2D(約12m)に設定し、計測の結果をフィードバックしながら離隔距離を見直すこととした。

しかしながら、水抜き坑掘削開始直後から避難坑に変位の再発生が見られ、吹付けコンクリートにクラックが発生し、ロックボルトが破断する現象が見られた。この現象は2Dの離隔が確保された後も続いた。図-2に示した水抜き坑の内空変位計測結果と同じ測点の避難坑側の内空変位計測結果を図-7に示す。

水抜き坑側の内空変位量は水平変位が22mm程度で収束していたが、避難坑側でも約20mm程度の変位が再発生している。そしてこの変位の再発生は水抜き坑切羽が約12m手前に到達した時点から発生している。

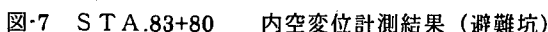


図-1 に示したようにこの位置の NATM 避難坑施工時には水抜き坑の施工は計画になかったため、避難坑の支保は経済性を考慮し最小限にしていたが、掘削断面 30m² の避難坑の横に離隔距離 2D を確保して施工した 8m² の水抜き坑で発生した 22mm の内空変位がダイレクトに避難坑に影響をおよぼしたことは、相設トンネル施工時の互いの支保構造および離隔距離について慎重な対応が必要であることを再認識させられた。

水抜き坑施工の目的の1つが避難坑の前方地質探査であるが、切羽観察等の定性的な調査だけでなくTBM再発達条件を決めるには定量的な指標が必要である。そこでTBMのオーバーカット量に見合う水抜き坑の内空変位量をFEM解析によって算定することとしたが、これには地山特性によって変る先行変位量を特定する必要がある。

Figure 1 is a plan view of the water intake structure. It shows a rectangular layout with dimensions in meters. The total width is 6200m, divided into a 13288m section and a 3225m section. The total length is 14000m. Key features include a circular structure on the left, a rectangular structure on the right, and a central channel with various segments labeled with dimensions like 2500, 2900, 2000, 2000, 1000, 1000, 1000, 1000, 500, and 13000. A label '三次元計測' (3D measurement) points to a specific location.

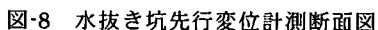


图-9 地中変位分布図

水抜き坑から約 1m の側点の変位特性を切羽距離との関係で図化したものが図-10 である。収束値は 110mm であったが、収束値を 100 として百分率で示した。水抜き坑到達の 4m 前方から変位が始まり、収束までの切羽距離は 90m であった。切羽到達時には全変位の約 30% の変位が先行変位として計測された。また水抜き坑内の内空変位計測開始時点では約 40% の変位率となった。

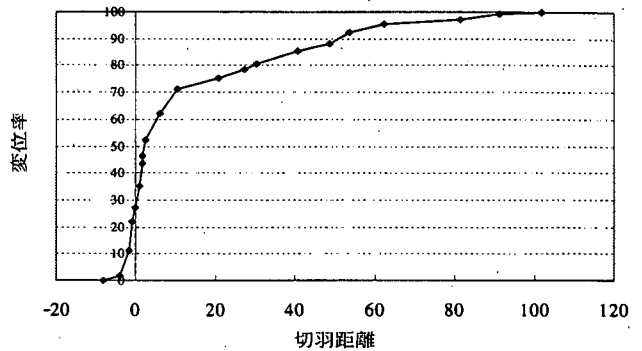


図-10 水抜き坑変位特性曲線

今回得られた変位特性曲線を用いて F E M 解析を実施し、水抜き坑の内空変位量から T B M の発進条件を決定した経緯を以下に述べる。

1) 検討上の設定条件

- ① 先行変位量 30%、水抜き坑の計測の遅れ 10% … 変位特性計測で決定。
- ② T B M 拘束を懸念しなければならない劣悪地山での掘進速度は補助工法の施工を勧奨して 3~5m/日とする。
- ③ 地山の初期変位量 (mm/日) が T B M のオーバーカット量 50mm を超える時は T B M 掘進が困難である。
- ④ T B M 前胴 (約 5m) 通過時 (掘削から 1 日後) の地山変位量は収束値の 1/2 …

N A T M 避難坑および水抜き坑の内空変位計測結果の特性から決定。

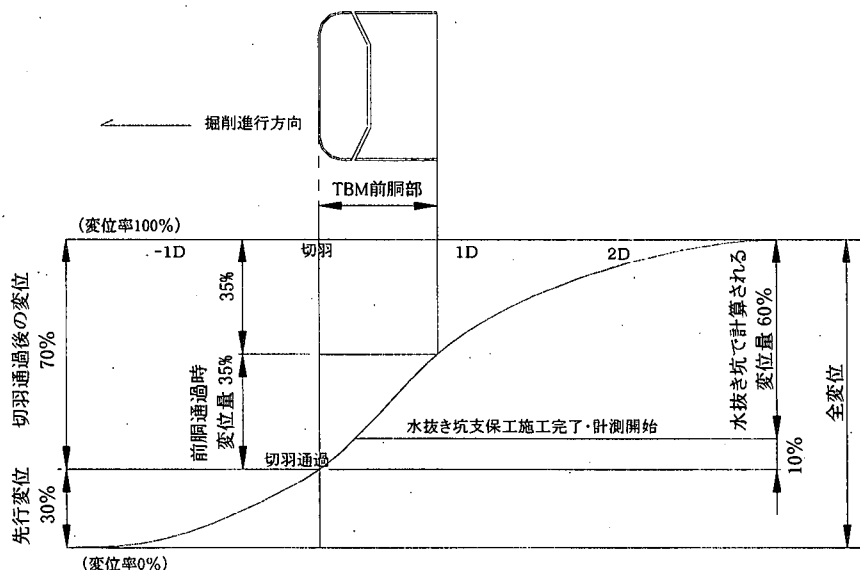


図-11 T B M における前胴通過時の変位量と水抜き坑の計算値の特性曲線図

2) 解析条件

- ① 土被り : 600m
- ② 単位体積重量 : 24.0 k N/m³
- ③ 側圧係数 : 1.0
- ④ 支保条件 : T B M ; 素掘り、水抜き坑 ; H-125 * 125 鋼製支保工のみ考慮

これらの条件は検討位置によって変化していくが、あくまで互いに13mしか離れていない水抜き坑とTBMの変位量との相対的な比率を前提とした検討であるため、条件の多少の変化は無視することができる。また、同様の理由および地山の破壊パラメーターの設定が困難であることから弾性解析により算定する。

3) オーバーカット分の変位量に相当する地山物性値および水抜き坑の内空変位量の算定

TBM掘削から前胴通過までの変位量=50mmのとき、全変位量=50mm÷35%=142mmとなる。
全変位量142mmになる変形係数は $E=336\text{MPa}$ である。

そして、この地山の変形係数 $E=336\text{MPa}$ のときには水抜き坑の計測開始～収束までの変位量（全変位の60%）を算定すると65mmである。

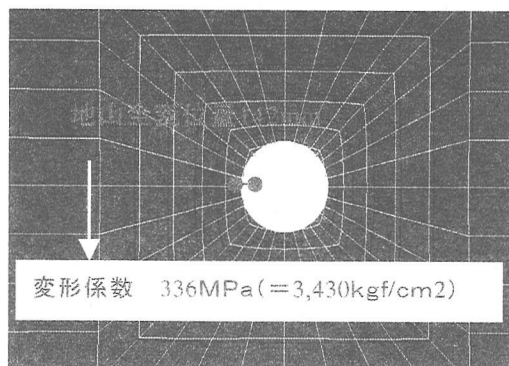


図-12 解析メッシュ図（TBM 周辺）

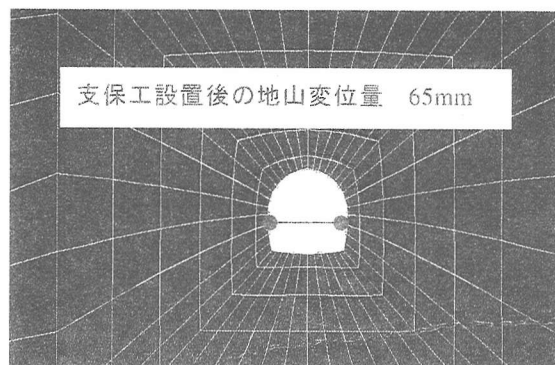


図-13 解析メッシュ図（水抜き坑周辺）

以上の検討から水抜き坑の内空変位計測の収束値が65mm以下であれば、TBMが拘束される可能性は少ないという判断条件を設定した。

5. まとめ

本編で述べてきたように、矢板工法に計測を導入することで必要最小限の断面を検討して進行増に貢献することができたばかりでなく、避難坑との離隔距離も適切に判断しながら強変質層を掘削することができた。さらにTBM再発進条件を決定する指標を導き出すことができ、飛驒トンネル避難坑工事ではこの指標に基づいてNATM施工を710mで終わらせ、TBM再発進位置をSTA.80+00と決定して現在TBM発進準備を行っている。

平成14年9月1日現在、水抜き坑は掘削延長が600mを超え、約370m続いた強変質層を突破してTBM再発進位置より約170m先行し、前方の高水圧多量湧水帯の掘削を行っている。水抜き坑の湧水量は8t/分を超え、事前の水量および水圧低下に大いに貢献しながら掘削を続けている。

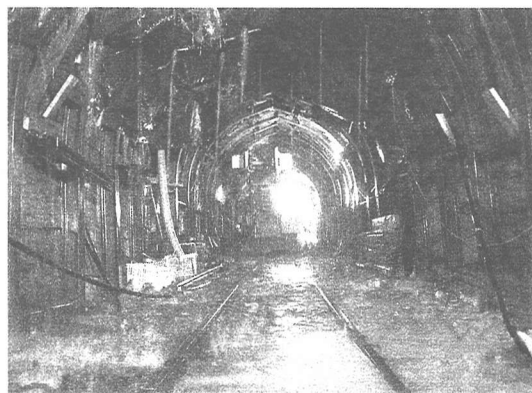


写真-2 水抜き坑内全景



写真-3 切羽・湧水状況