

飛騨トンネルの強変質帯における矢板工法による 先進水抜き坑の計画と施工

EXCAVATION OF DRAINAGE DRIFT BY CONVENTIONAL EXCAVATION IN HEAVILY ALTERED ZONE

山田隆昭 1)、川北貞嗣 1)、城本政雄 2)、小川統史 2)、福島耕司 2)
Takaaki YAMADA, Masatsugu KAWAKITA, Masao SHIROMOTO, Tousi OGAWA, Koji FUKUSHIMA

Hida tunnel (10.7km in length) is being constructed in heavily altered zone at the overburden of 600m by means of conventional excavation method. This zone also has very high hydraulic head pressure. We adjusted form of cross section, distance between drainage drift and main tunnel, and estimated a deformation of main tunnel by using the results of convergence measure, measuring stress of steel support, and ground displacement measure.

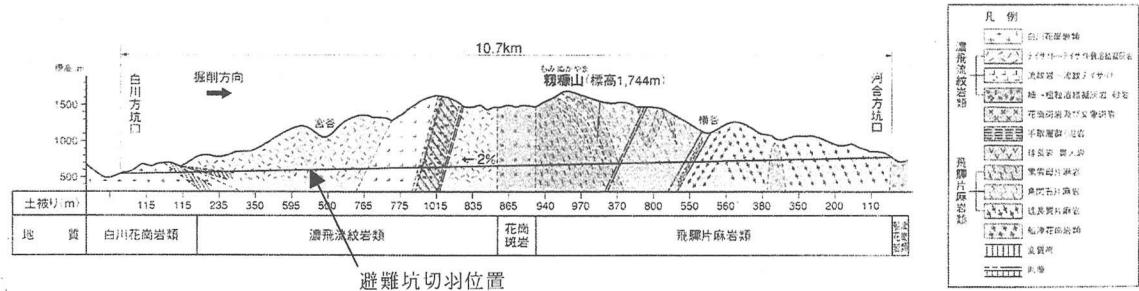
Key Words: conventional excavation, drainage tunnel, altered zone, measurement

1. はじめに

飛騨トンネルは全長 10.7 km の高速道路トンネルであり、急速施工が可能な TBM による掘削方法を本坑避難坑に採用した。このうち避難坑は平成 10 年 3 月に TBM 掘削 ($\phi 4.5\text{m}$) を開始したが破碎帶や変質帯に連続的に遭遇し、数回の崩落や TBM 拘束、切り抜けによる脱出を繰り返した。平成 12 年 9 月には STA.87+11 (T.D 2,040m) で 3 回連続して TBM が拘束され、さらに前方に 28 k g/cm^2 と非常に水圧が高い区間が存在することが判明したため、NATM により TBM を迂回して TBM 前方を掘削している。

この NATM による避難坑の掘削においても、脆弱な地山と高い土被り、および湧水圧のために切羽崩壊、変位の増大等の問題が頻発している。

さらに、この TBM 停止位置から約 900m 前方の宮谷 (STA.78 付近) は森茂断層の主断層と推定され、この位置への接近に伴い、岩盤強度の低下、変質、粘土層の狭在が顕著化しており、この区間の早期の突破が工事の 1 つの課題となっている。



1) 日本道路公団中部支社 清見工事事務所

2) 飛島・鉄建企業体 道公天生作業所

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、高湧水压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、飛騨トンネルは土被りが大きいため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。

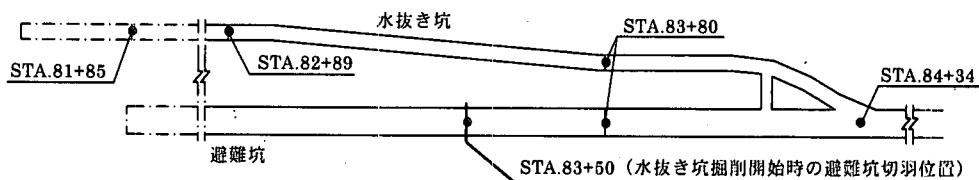


図-1 避難坑－水抜き坑・線形平面図

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ーダ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

変質帶では内空変位や支保工応力測定を行ないな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る。

次に強変質帶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。また内空変位量も水平側線で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。

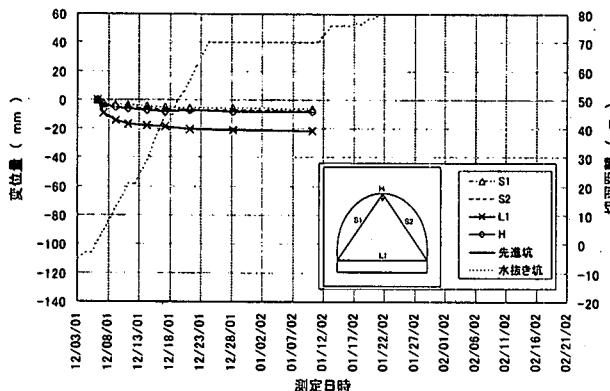


図-2 STA.83+80 内空変位計測結果

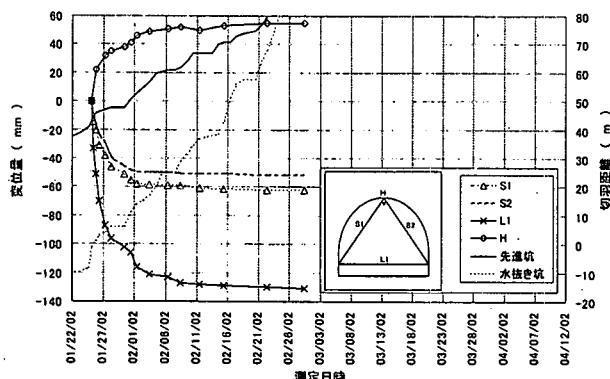


図-3 STA.82+89 内空変位計測結果

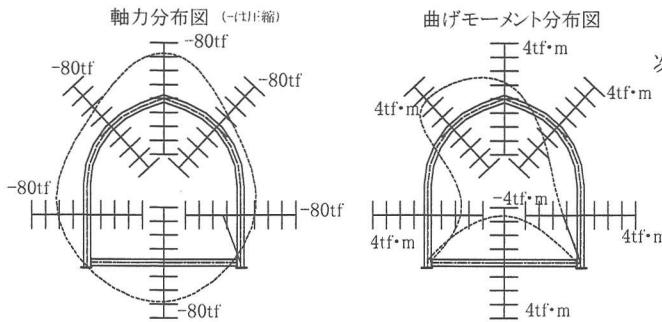


図-4 STA .82+89 支保工応力計測結果

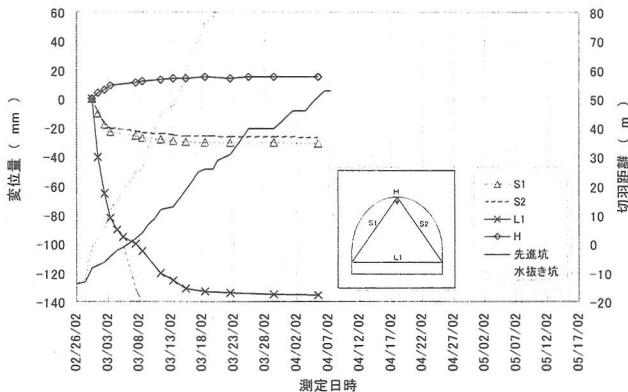


図-5 STA .81+85 内空変位計測結果

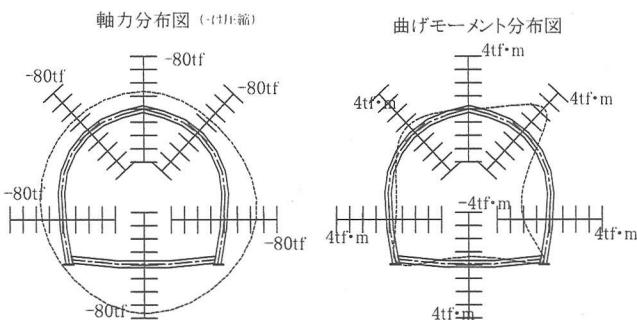


図-6 STA .81+85 支保工応力計測結果

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。

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STA .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、曲げモーメント供にホロ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が、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。掘削量をなるべく小さくすることを念頭において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

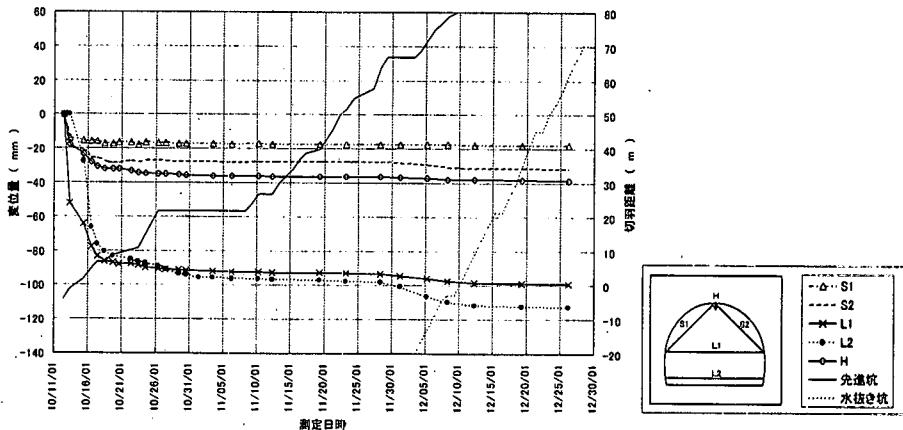


図-7 STA.83+80 内空変位計測結果（避難坑）

水抜き坑の掘削に伴い並行する避難坑に変位の再発生が生じ、吹付けコンクリートの破壊やロックボルトの破断が発生したため、避難坑と水抜き坑の離隔を 2D から 3D に拡げる処置を講じた。その後、その後の強変質帯においても相互作用による変状は観察されなくなった。

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、相対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。

4. TB M 再発進条件の考察

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 TB M 再発進条件を決めるには定量的な指標が必要である。そこで TB M 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。

NATM 避難坑と水抜き坑とは側壁間の離隔距離が 13.3m 程度であり、平成 14 年 2 月下旬までは避難坑が先行する形で掘進していた。そこで避難坑側から水抜き坑前方に先行して 13m の地中変位計を設置し、水抜き坑通過に伴う地山挙動について先行変位を含めた形で計測した。図-8 に地中変位計の設置状況を、図-9 に測定時間ごとの地中変位の分布を示す。図中の測定位置は避難坑からの距離で示している。切羽通過から 2 日（切羽距離 3.2m）の間は水抜き坑側から 1D (D は掘削幅) の約 3m の範囲で変位が大きくなっているが、日数経過とともに 5m 程度までゆるみが拡がる傾向が確認できる。

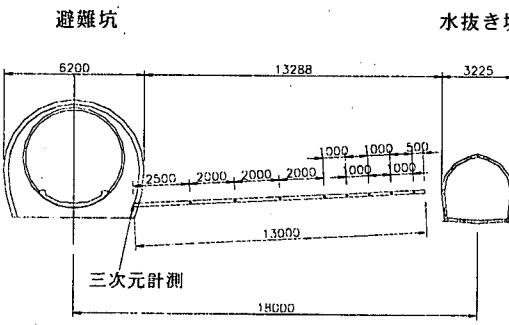


図-8 水抜き坑先行変位計測断面図

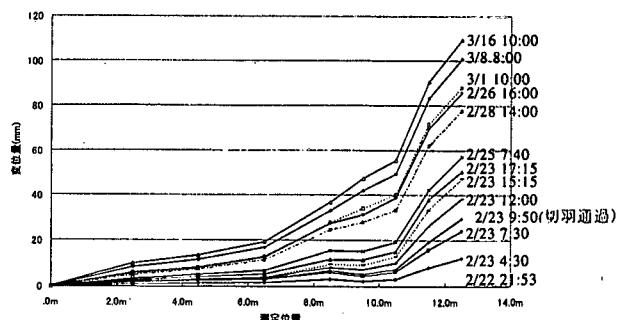


図-9 地中変位分布図

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%の変位率となつた。

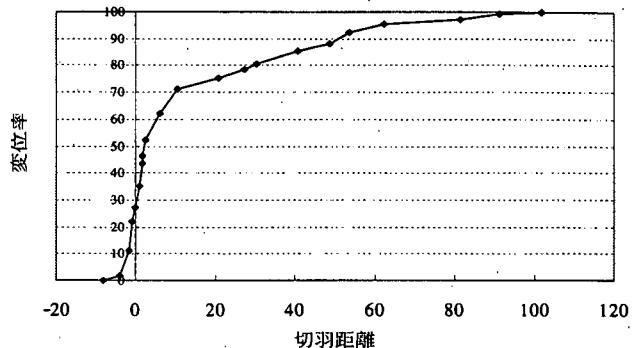


図-10 水抜き坑変位特性曲線

今回得られた変位特性曲線を用いてFEM解析を実施し、水抜き坑の内空変位量からTBM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 TBM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勘案して3~5m/日とする。
- ③ 地山の初期変位量 (mm/日) がTBMのオーバーカット量 50mmを超える時はTBM掘進が困難である。
- ④ TBM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 …

NATM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。

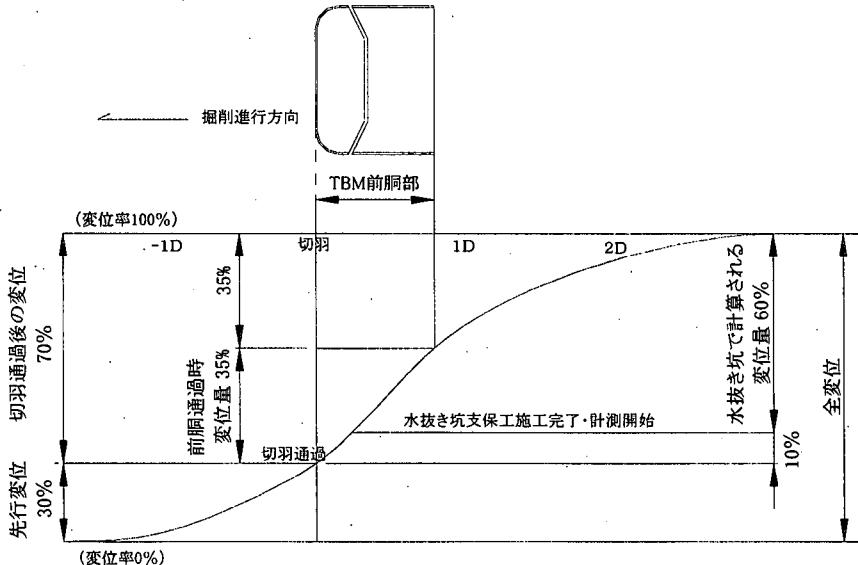


図-11 TBMにおける前胴通過時の変位量と水抜き坑の計算値の特性曲線図

2) 解析条件

- | | |
|----------|--|
| ① 土被り | : 600m |
| ② 単位体積重量 | : 24.0 kN/m³ |
| ③ 側圧係数 | : 1.0 |
| ④ 支保条件 | : TBM ; 素堀り、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 挖削から前胴通過までの変位量 = 50mm のとき、全変位量 = $50\text{mm} \div 35\% = 142\text{mm}$ 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。

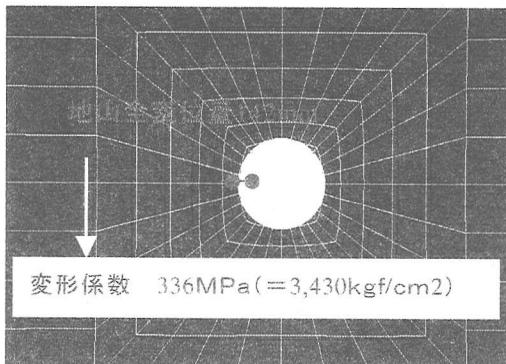


図-12 解析メッシュ図 (TBM 周辺)

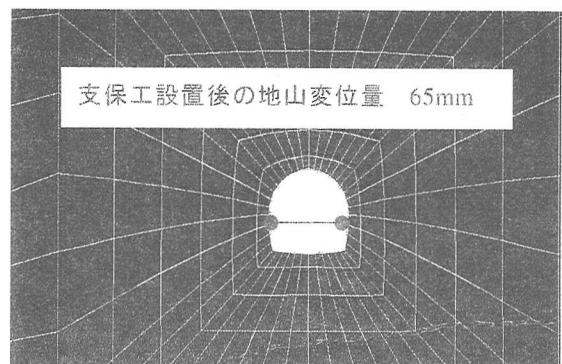


図-13 解析メッシュ図 (水抜き坑周辺)

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、飛騨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 8 t / 分を超える、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