

地すべり地帯の坑口部の長尺フェイスボルトの施工と周辺地山の挙動について

BEHAVIOR OF SOFT GROUND WHICH WAS REINFORCED BY LONGITUDINAL BOLTS

大窪 克己*・明道 俊治**・山本 和義***・高木 勝利****

Katumi Ohkubo, Toshiharu Myodo, Kazuyoshi Yamamoto, Katutoshi Takagi

Recently many kind of face stabilized methods(example: forepiling near-horizontal jet-grouting, precutting, reinforcement of the tunnel face using fiber bolts) were adapted for the tunnel excavation in the unstable face condition. Ground condition of the north portal of Miyauti tunnel was very weathered mud stone. The problems were occurred groundslide by the tunnel excavation and stabilization of the face. The reinforcement of the face using long fiber bolts was adapted. This paper was reported the results of the several measurements of the behavior of the ground.

KEY WORD: portal, groundslide, face-stability, face-reinforcement using long fiber bolts

1. はじめに

上信越自動車道宮内トンネルは、新潟県新井市の西部に位置する2車線の高速道路である。地質的には新第三紀の泥岩地帯であり、地すべり指定地である。特に北側坑口は、大きなすべり面が想定されていて地すべり対策として10段の排土工、5段の押え盛土工が予定されており、トンネルの坑口の施工にあたっては、極力周辺地盤を変位させない切羽安定対策が必要とされた。

切羽(切羽面および天端)の安定対策として、最も一般的に用いられているものは、フォアポーリングである。この時、切羽面が不安定な場合には、鏡吹付けコンクリート、鏡ボルトが併用される。

近年では、不良地山では切羽面および天端の安定対策を兼ねて長尺の先受け工が使用される場合がある。今回のフェイスボルト+フォアポーリングは長尺の先受け工の代替として試験的に実施するものである。従って、入念な計測計画を行い効果の適切な評価が望まれている。

フェイスボルトは、第一には切羽の安定を目的とし、付随する効果として掘削による周辺地山の変形を抑制することで、地滑りの初動をも抑制できるねらいもある。

以上の状況のもと今回の計測の主眼は切羽到達前の地山の変位と安全性の確認のための地山のひずみを把握し適切な計測管理とフェイスボルトの評価をすることである。

* 正会員 日本道路公団 新潟建設局
** 日本道路公団 新潟建設局 上越工事事務所
*** 正会員 清水建設(株) 土木本部 技術第2部
**** 清水・徳倉共同企業体 所長

2. 地形・地質概要

宮内トンネルは、上信越自動車道中郷 I C～上越南 I C間の丘陵を貫くトンネルであり、J R 信越本線新井駅の北西約 4.5 km、新潟県新井市大字青田～同大字宮内地区の西側に位置している。本トンネルルート周辺は、新潟県南西部の西頸城山地東縁と高田平野南西縁の境界部にあたる標高 100～200 m の丘陵地帯である。

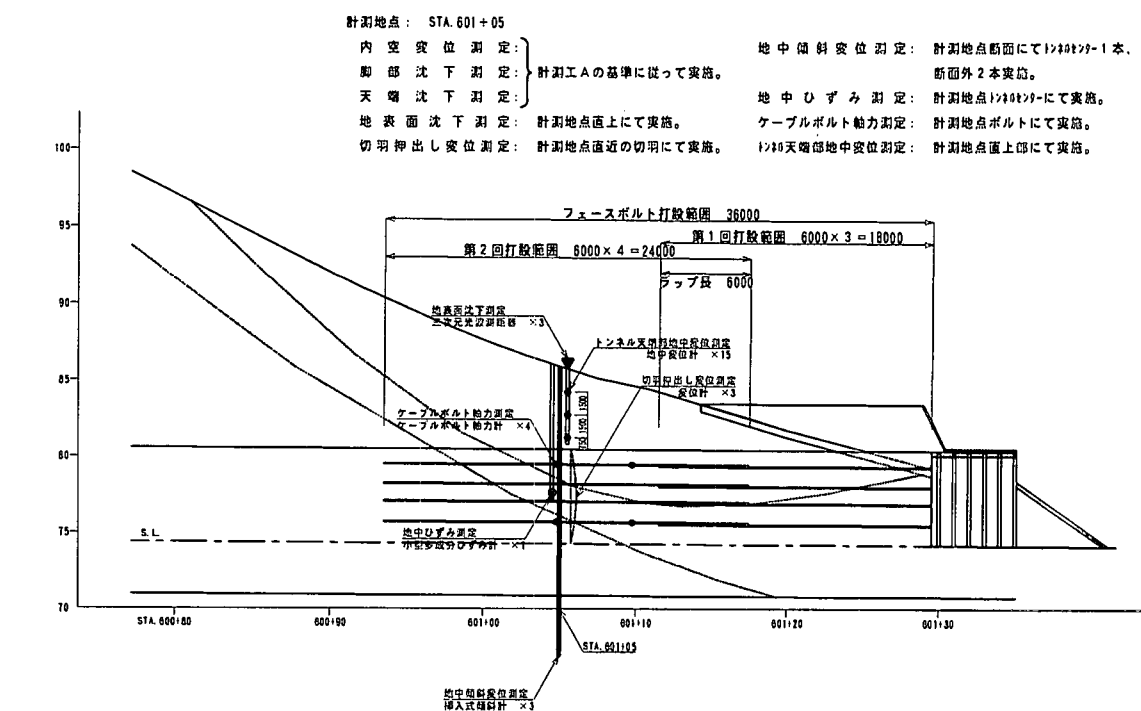
さらに周辺をのぞむと、西～北西方は新第三紀の堆積物が広範囲に分布する西頸城山地、東～北東方は沖積世の堆積物からなる平坦な高田平野、南～南東方は妙高火山起源の泥流や火砕流からなるなだらかな扇状地、東方は新第三紀の堆積物からなる東頸城の丘陵地となっている。

付近を流れる河川は、高田平野を北に向かって流下し日本海に注ぐ関川水系に属し、南側より矢代川・内川・青田川等が主なものであるが、青田川がトンネルに最も近く、観音平トンネルの上越側で丘陵を解析しつつ東下したのち、高田平野の西縁部を北に向かって流れている。

また、当該地域は地すべりの頻発する地帯に属しているが、トンネルルート周辺も例外でなく、宮内トンネルの上越側坑口付近は、典型的な地すべり地形が認められる。

3. フェイスボルトの施工

長尺のフェイスボルトは坑口部の整形を行ったあと、弱風化岩が天端から約 2 m 程度の被りができる範囲 36 m 管を 18 m と 24 m の 2 回に分けて施工した。使用したボルト材料はグラスファイバーの中空型を使用し、ボルト径はφ 22mm、破断荷重 31.6tf の 4 m を基本として繋いで用いた。注入材料としては急硬性のプレミックスセメントミルクを用いた。また、試験的にボルト材料としてケーブルボルトφ 7.5×6 本と 2 駅性のセメントミルクを使用した。フェイスボルトの本数の設定では、便宜的に村山式により、必要抑止力を算定し、また、ラップ長さもすべり範囲を考慮して設定した、図－1 に縦断方向断面および計測計画、図－2 にケーブルボルトの断面配置、図－3 に断面の計測配置を示す。



図－1 縦断方向断面および計測計画

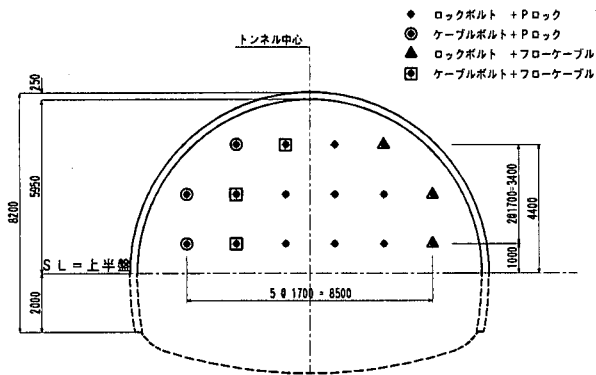


図-2 フェイスボルト打設計画

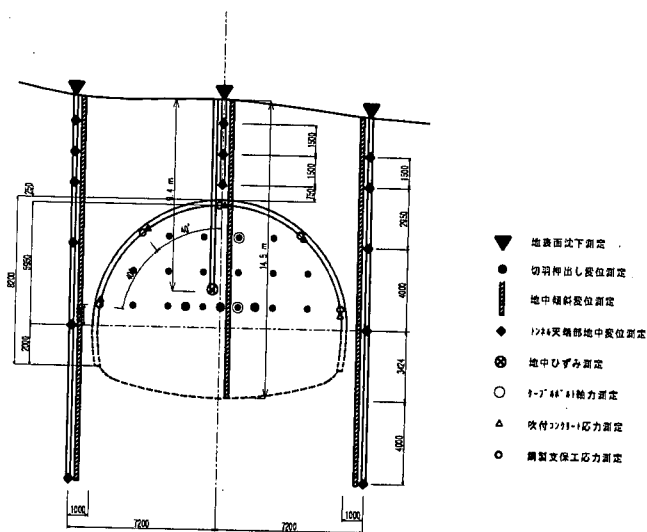


図-3 断面方向計測計画

4. 計測計画

計測項目としては、フェイスボルトの効果は切羽前方地山の縦断方向の拘束と想定しているため極力切羽前方の地山の挙動を推定できるような項目を選定した。

表-1 計測項目一覧表

計測項目	計測によって求める内容	計測法	重要度
①内空変位測定 天端沈下測定		コンバージェンスメジャー レベル	
②地表面沈下測定	土被り2Dまでの区間で、トンネルセンターの地表沈下から切羽位置と先行沈下の相関を求める。	レベル	◎
③切羽押し出し変位測定	切羽面の押し出し量を測定する。	変位計を用いた自動測定	△
④地中傾斜変位測定	切羽前方の水平方向の絶対変位を測定する。	挿入式傾斜計による手動測定	◎
⑤地中鉛直変位測定	切羽前方の鉛直方向の絶対変位を測定する。	地中変位計	◎
⑥地中ひずみ測定	切羽進行に伴う地中内のひずみ変化を測定し、強度定数との比較により切羽ボルトの本数の管理を行う。	小型多成分ひずみ計を用いた自動計測	◎
⑦支保部材応力測定	支保部材の応力を測定する	鋼アーチ支保工ひずみ計 吹付け応力計	○

これらの計測結果のうち、特に先行変位の発生状況、地中内変位の状況、切羽前方地山のひずみの発生状況について報告する。

5. 地表沈下

地表面沈下は、トンネル軸線に沿って5ヶ所、主計測断面では横断方向に2ヶ所計測を行った。図-4では、地表面沈下の絶対値を示したものである。図-5は各沈下の最終値に対する比率で示したものである。沈下の絶対値は、トンネル切羽が奥に行くほど小さくなる傾向が認められる。

沈下の発生は土被りによる地山の応力状況と周辺地山の變形性に支配されると想定され、土被りが大きくなるにつれて、地盤の變形性が良好となる傾向が認められる。沈下の発生比率では、トンネル切羽が奥に行くにつれて、変位の発生傾向が異なっている。

フェイスボルトの残存長で考察すると、STA.601+00（フェイスボルト残存長7m）とSTA.600+95（フェイスボルト残存長2m）では、切羽到達前-1Dで先行変位が発生しているのに対し、フェイスボルト長さが1D以上の測線では、先行変位は約-0.5Dに達しないと発生していない。

また、切羽到達時にはすべての測線で、40～60%程度の先行変位となっており、フェイスボルトの残存長と関係ないと想定できる。また、フェイスボルトの残存長が1D以上ある場合には、切羽の到達前後±0.25D

で全体の80%程度の値を示している。また、変位の収束も同様にフェイスボルトの残存長が十分な場合には0.5D程度では収束することが認められる。

すなわち、地表沈下の絶対値は地山特性（応力状況と地山の變形性）に支配され、地表部に近く風化が進展しているところでは大きくなっているが、変位の発生比率で考察するとむしろ地山状況が良くないと想定される箇所の方が、先行変位も小さくかつ切羽到達後の収束も早いことが認められ、フェイスボルトの効果であると想定できる。

また、STA.601+0.5は、他の測線と異なり先行変位が90%にもなっているが、この箇所丁度地すべり想定面が切羽に出現し、天端からの小崩落が頻発した区間である。フェイスボルト自体は天端安定対策としては位置づけられず、この箇所については大規模な天端安定対策（フォアパイリング）との併用が必要であったかも知れない。

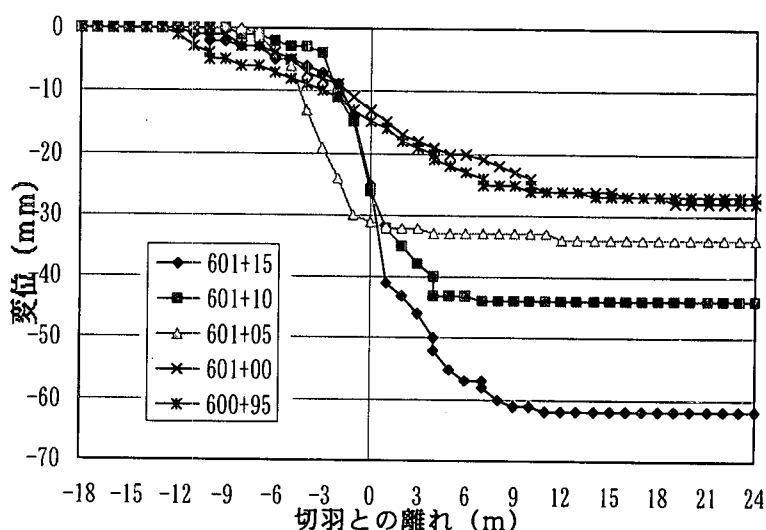


図-4 地表面沈下経距変化（絶対値）

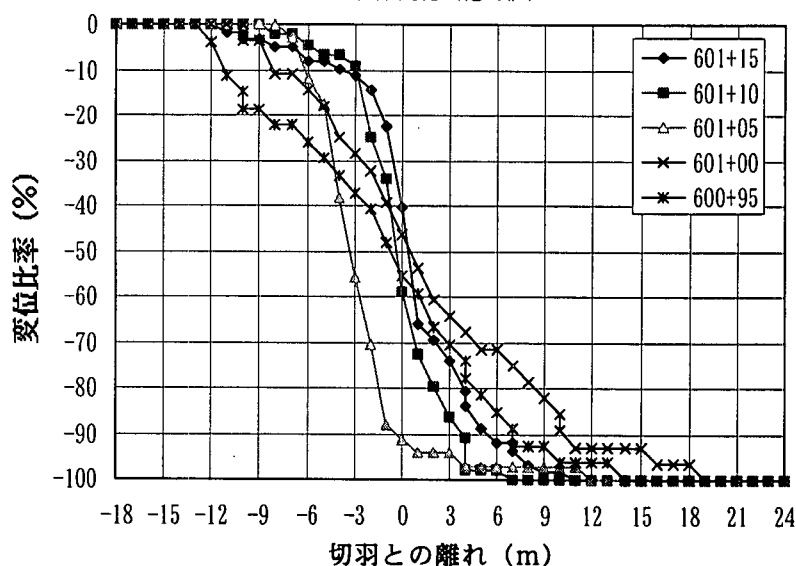


図-5 地表面沈下経距変化（変位比率）

6. 地中内変位測定

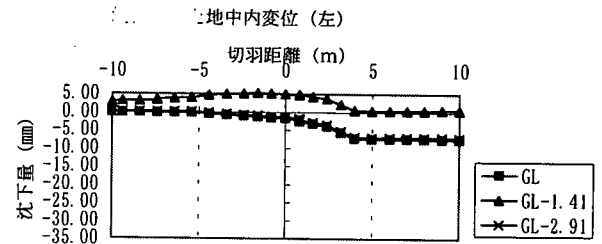
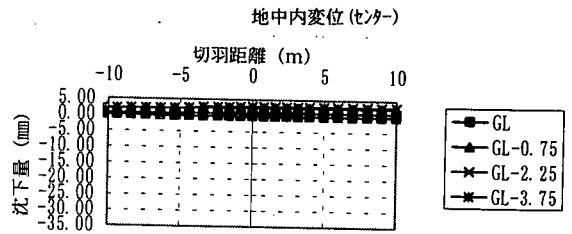
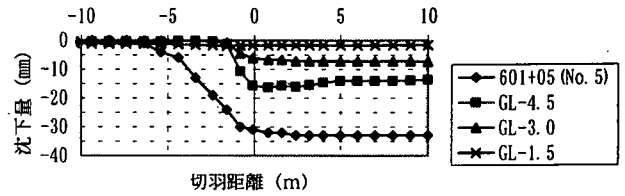
図-6はトンネルセンターと切羽に向かって左右の地中内変位を示したものである。センターでの測定は地表から各深度の変位を示したものであり、左右のデータは最深部を固定とした時の、それぞれの変位を示したものである。

ここではセンターでは地表の沈下が最も大きくなっており、トンネル天端に近づくほど変位量は小さくなっている。一方切羽むかって左のデータでは地表の挙動は明確であるが地中内の挙動は小さく、地表のみがトンネル中心に向かう沈下が発生していると想定できる。切羽右では若干ではあるが深度1.5m付近が隆起傾向にある。こいづれにしても左右の地中内の変位は小さく、地表の挙動がセンター部の沈下に引きずられるように挙動しているものと想定できる。

区間ひずみを図示したのが、図-7である(符号は引張が-、圧縮が+)。センターでは切羽前方2mまでは0.1%程度の小さなひずみを示していたものが、切羽2m程度で急激に引張方向に増加している。増加しているのはトンネル天端近傍で最も大きくなり、地表部のひずみはほとんど発生していない。これは崩落の影響が天端近傍で生じ、次第に上方に及んでいるとこと想定できる。また、切羽直前まで区間ひずみが小さかったことはフェイスボルトの効果で先行変位が抑制された結果と評価している。しかしながら、フェイスボルトそのものは天端の安定にはそれほどの効果が得られず、地山状況によれば、天端安定対策との併用が必要であると考えられる。

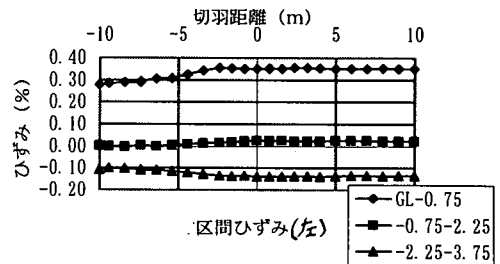
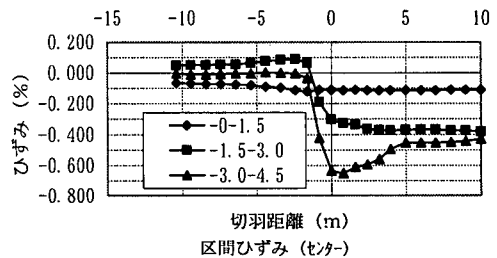
一方左右の測線ではトンネル天端近傍では圧縮方向のひずみを受け、上方は逆に引張りを受けている。すなわちトンネル周辺では圧縮(地盤が縮み)し、その影響で少し離れた近傍では引張(地盤がのびる)挙動を示している。おそらくこの逆転が釣り合う時点で地山アーチが形成されていると考えられ、地山リングはトンネル掘削空洞周辺よりやや離れた位置に形成されたと想定できる。

また、水平方向の地盤の変位は傾斜計で計測を行ったが、左右の測線ともトンネル直角方向、トンネル軸方向とも2mm程度(絶対変位量としては3mm程度)の小さな値を示しており、鉛直方向の変位量に比較的小さな値となっている。



地中内変位 (右)

図-6 地中内鉛直変位



区間ひずみ (右)

図-7 地中内鉛直区間ひずみ

7. 地中内ひずみおよび切羽面の押出し計測

今回の計測では小型多成分ポアホールひずみ計を切羽到達前に設置しておき、切羽進行に伴う前方地山の水平方向のひずみを計測した。ひずみの発生は切羽到達前1D（約10m）からトンネル軸方向には引張、トンネル直角方向には圧縮方向の挙動を示した。切羽到達前2m程度で最もこの傾向が最大となり、トンネル軸方向には -50μ （引張）、トンネル直角方向には 35μ 程度に達した。切羽到達直前では当該箇所は小崩落を示したため、共に圧縮で -300μ となった。

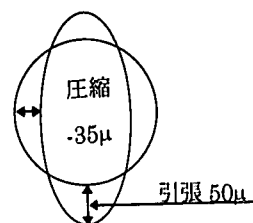


図-8 地中内水平ひずみ

切羽面押出し変位計測は、計測断面 STA.601+16, STA.601+12, STA.601+3.6, STA.600+89 の4ヶ所実施した。このうち STA.601+16, STA.601+12, STA.601+3.6 は十分フェイスボルトの残存長がある所である

表-2 切羽面押し出し変位計測結果

計測断面	NO. 1	NO. 2	NO. 3
STA.601+16	0.46mm	0.24mm	0.49mm
STA.601+12	2.11mm	0.11mm	0.26mm
STA.601+3.6	1.06mm	1.22mm	0.75mm
STA.600+89	1.62mm	3.11mm	3.85mm

表より明らかなように、STA.601+12 の NO.1 以外は切羽面の押し出し量は 1mm 程度であったものが、STA.600+89 のフェイスボルトを施工していない箇所は、切羽の状況は良好にもかかわらず 3mm 以上の値となっている。この計測では明らかにフェイスボルトの効果を示すものと想定できる。

8. まとめ

地表面沈下量では、フェイスボルトが1D以上ある場合には、切羽通過前後 ± 0.25 D程度で全体変位の90%発生し、残存長が短くなるほど、先行変位の発生比率が大きくなり、かつ収束も遅くなる。

地中内鉛直変位では、トンネル直上で最も大きく変位が発生し、左右の測点は中央の沈下に引きずられるような挙動を示した。一方、水平変位はいずれも数mm程度の小さな値を示した。また、地中内の水平方向ひずみも崩落の影響がない範囲では最大でも 50μ 程度の小さな値を示した。切羽面の押し出しに関してもフェイスボルトの残存長と押し出し量は明確な相関が認められた。

また、切羽面に非常に軟弱な層（地すべり想定面）が出現した場合には、天端の小崩落や小崩落に誘発された切羽面の部分的な抜け落ちが発生した。

以上要約すると、フェイスボルトによる効果は切羽前方の地山の水平変位を拘束し、切羽の自立性を高めることが認められた。しかしながら、天端の崩落防止の観点からは地質条件によれば、必ずしも十分でないと想定され、他の天端安定対策との併用も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) Pielto Lunnaridi Preconfinement of an excavation in relation to new orientations fowards the design and consutruction of tunnels, GALLERIE GRANDI OPERE SOTTERRANEE,1995
- 2) 北里新生、飯村博之、梨木裕、楢山孝司、3次元弾塑性FEM解析による長尺鋭ボルトの支保効果に関する検討、土木学会、トンネル工学研究発表会、1995.11