

# 注入式長尺鋼管先受工法（AGF工法）を適用したトンネルの地山挙動

佐々木 武 多田 哲夫  
武内 秀木 河上 清和

## 要 旨

土被りの浅い未固結地山のトンネル掘削を実施するにあたり、補助工法として長尺先受工法の1つであり、近年施工実績が急増しており、“地山の状況に対し迅速に対応できる”という特徴を持っているAGF工法を採用した。今回、このAGF工法による施工の安全性および周辺への影響低減等の効果のメカニズムを調査することを目的に、現場計測を実施し、その結果を分析し、逆解析により地山の挙動を推察するとともに効果の検証を行った。

AGFの効果を総合的に判断すると、周辺の地山に対する変位抑止効果は少ないものの、天端の崩落、掘削断面の変形および、山抜け等の危険性を除外することのできる、安全かつ経済的な工法であることが確認できた。

## 1. まえがき

国道162号は京都市を起点に、京都府北桑郡を経て福井県に入り、名田庄村、小浜市を經由して福井県三方町内で国道27号に接続する幹線道路である。

本国道は、福井県小浜市～三方町間は小漁村を結ぶ重要な生活道路となっているが、道幅が狭い上に急峻な尾根を縫うように海岸沿いを走っており、交通の難所となっているため、福井県において道路整備事業の対象になっており、現在整備中である。このうち、志積トンネルは小浜市矢代から志積を結ぶ全長214mの2車線トンネルで、平成5年7月着工後、平成6年11月に上半が開通した。

本報告は、支保方式を矢板工法から吹付け工法へ変更した経緯と注入式長尺先受工法の計測結果について述べるものである。

## 2. 工事概要

### 2.1 地形・地質概要

本トンネルは、「若狭破碎帯」と呼ばれる区域の西部に位置しており、地山の標高は最大95mで、山地としては低山性の地形となっているが、山腹斜面は比較的急峻で平均35～40°の勾配である。ただし、坑口部では斜面勾配が緩やかな崖錐地形を呈している。

工事起点側である矢代側坑口部の斜面形は凹形尾根型斜面で地すべり地形である。さらに、トンネル掘進方向と斜面との関係は谷部進入型から平行型に分類され、掘進方向としては有利な地形ではない。一方、工事終点側である志積側坑口部の斜面形は等斉尾根型斜面で、トンネル掘進方向と斜面の関係は、尾根部進入型に分類され

るが、以奥では谷部進入型に変わる。本トンネルの施工位置および、トンネル平面図を図-1、図-2に示す。

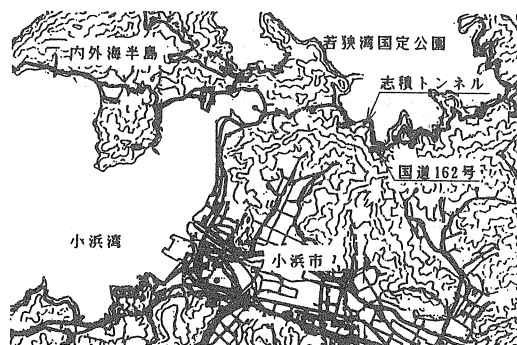


図-1 施工位置



図-2 志積トンネル平面図

図-3に地質縦断面図を示す。図中に見られるように、本トンネルの基岩は含礫粘板岩、石灰岩および、凝灰岩を主体としたオリストリス（岩塊）である。この基岩は断層破碎作用を強く受けており、そのために地山には縦横無尽に断層破碎帯が走っている。矢代側坑口より行ったボーリング調査結果によれば、基岩はほとんどが破碎岩に分類され、角礫～砂礫状を呈しており、さらに軟質化している。RQDは0～23%で、Deerの岩盤分類によれば「非常に悪い」に分類される。特に断層部では一部粘土化している。

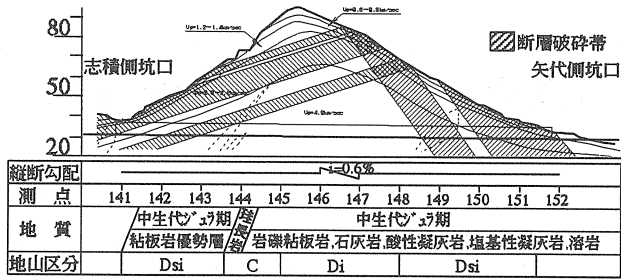


図-3 地質縦断面

坑口部ではこの基岩を覆うように粘性土混り礫質土が堆積している。この粘性土混り礫質土はφ2~10mmの礫を含みN値3~8である。

### 2.2 工事概要

本トンネルの工事概要および、諸元を表-1に示す。

表-1 工事概要

路線名	国道162号
工事場所	福井県小浜市志積~矢代地係
道路規格	第3種3級
設計速度	50 km/h
幅員構成	車道 3.0m×2 歩道 1.5m 路肩 0.5m 監査路 0.75m
トンネル延長	214m
横断勾配	0.60%
内空断面積	62.3m

### 3. 吹付け工法の採用経緯

#### 3.1 当初設計支保パターン

当初設計では、側壁導坑による矢板工法で計画されていた。図-4に当初設計支保パターン図を示す。

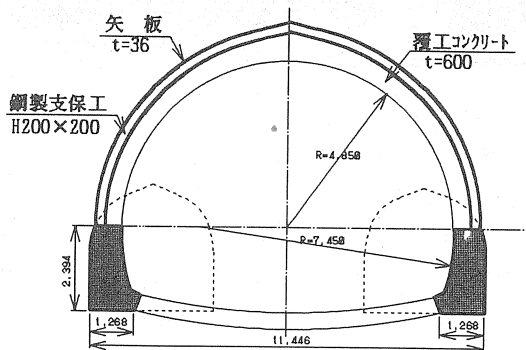


図-4 坑口部当初設計支保パターン

#### 3.2 側壁導坑掘削時の状況

##### (1) 切羽状況

坑口付近の地山は粘性土を主体とする崩壊性堆積土砂であり、破碎による細かい亀裂が不規則に発達した土砂状の地山であった。一部は粘土化し、指で押すと簡単にへこむほど軟弱化している部分も見られた。湧水は滲水程度であるが切羽全面から出ており、全体的に湿っていた。坑口から10m程度の位置で採取した岩石コアの一軸圧縮強度は3.5~6.3kgf/cm<sup>2</sup> (343~617.4KPa)程度、弾性波速度は1.2km/sec程度であった。また、膨張性粘土鉱物も検出された。

地山の深部に入ると、崩壊性土砂は見られなくなるが、著しい褶曲作用と地下水のため、岩石は破碎・風化され全体的に軟質化している。岩種は油目の発達した粘板岩主体である。岩石単体の圧縮強度は50kgf/cm<sup>2</sup> (4900KPa)程度であった。また、水による劣化の程度は大きく、路盤の泥ねい化も発生した。写真-1にNo.151+1.0の山側側壁導坑における切羽写真を示す。

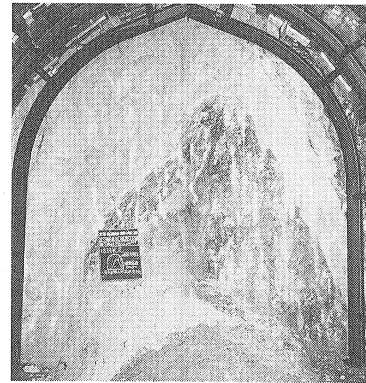


写真-1 山側側壁動坑の切羽写真 (No.151+1.0)

##### (2) 支保工の変形

導坑掘削時は、縫地あるいは送り矢板工法で施工することによって切羽天端の崩落もなく、地山と矢板の当りも十分とれ、空隙を最小限に抑えることができた。

また、切羽からの湧水は滲水程度で掘削作業には影響がないが、掘削後の空気と水による地山の風化は早く、地山の緩み範囲も時間と共に大きくなっているようであった。このことは矢板の折れ、ひび割れが徐々に増加する傾向からもわかる。また、坑口のり面吹付けコンクリート(t=10cm)にも数本のクラック、剥離等が現れ、のり面補強ボルトにも変状が見られた。

そこで対策工として、支保工脚部を10cm長く製作して地山に埋設するように建て込み、支保工脚部の側圧に対する耐力を増すように施工した。

しかし、掘削後4~5日すると支保工脚部が4~6cm内側に押し出されたので、直ちに設計掘削盤以下の部分

に、厚さ10~20cmのストラットコンクリートを打設した。ストラットコンクリート打設以後は脚部の変位はなくなったが、鋼製支保工のはらみや矢板の矢尻折れ等は徐々に増加した。また、坑口部地山に設置した地表面伸縮計に変位が現れ、地すべりの兆候が見られた。

(3) 問題点の整理と対策工の立案

導坑掘削時に生じた鋼製支保工の押しおおよび、変状進行の流れを図-5のように推測した。

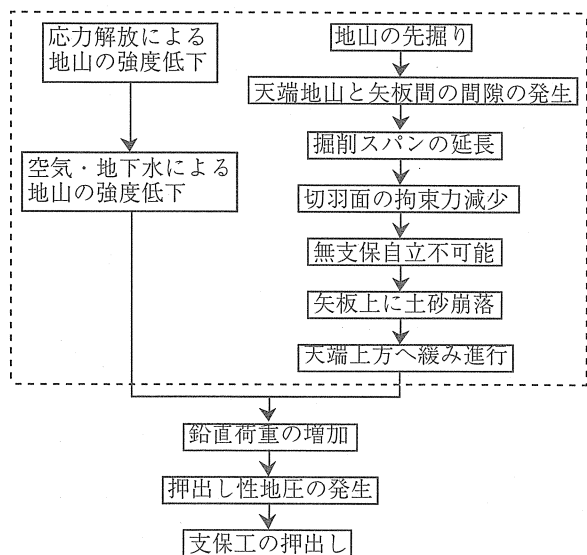


図-5 変状進行の流れ

この流れから、上半掘削時の変状を未然に防止するためには、

- ①地山を先掘りしない。
- ②地山と矢板の間に空隙を作らない。
- ③無支保工の状態でも天端を安定させる。
- ④矢板上に土砂を崩落させない。
- ⑤応力解放域を小さくする。
- ⑥空気および、地下水による劣化を生じさせない。

以上のことが要件であると考えた。

そこで、下記の条件を満足する対策工を選定した。

- ①切羽天端の崩落を防止できること
- ②切羽前方地山の緩みを防止できること
- ③矢板と地山の間に隙間を作らないこと
- ④地山を劣化させないこと

その結果、注入式長尺先受工法（AGF工法）を併用した吹付け工法が、予想される現象に対し有効であると判断し、図-6の支保パターン図に示すような支保方式に変更した。

4. 上半掘削時の地山挙動  
4.1 注入式長尺先受工法

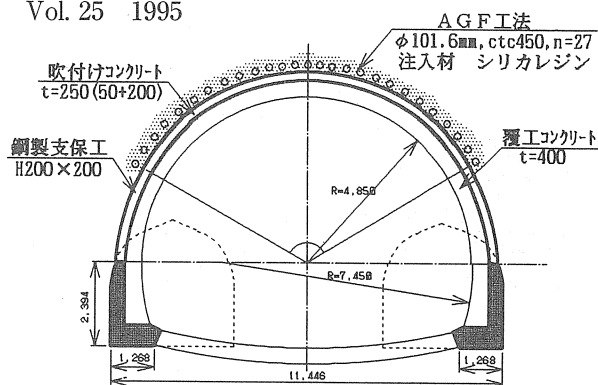


図-6 吹付けを支保方式とする支保パターン

AGF工法は、鋼管と注入材（シリカレジン）を用いた長尺先受工法で、油圧ジャンボで施工することができ、先行変位の抑制効果に優れ、パイプルーフと注入式フォアポーリングの両者の機能を併せ持つ工法であると言われている。

写真-2、写真-3にAGF施工状況写真を示す。

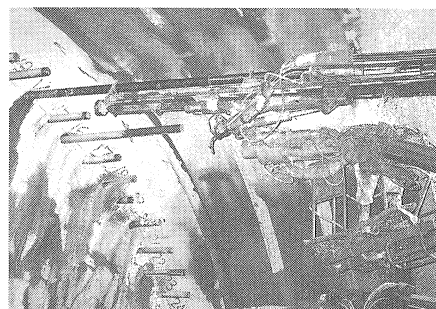


写真-2 AGF施工状況（打設状況）

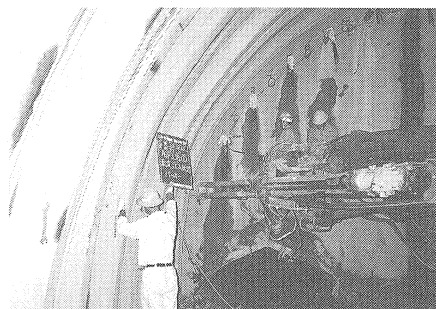


写真-3 AGF施工状況（注入状況）

4.2 計測工

(1) 計測目的と計測項目

変更支保方式および、AGF工法の効果を確認し、それを施工にフィードバックするために、表-2に示すような各種計測工を実施した。それらの計測位置を図-7に示す。

表-2 計測項目

計測工A	計測工B
坑内観察調査	地表面沈下計測
内空変位計測	AGF鋼管変位計測
天端沈下計測	地表面変位計測

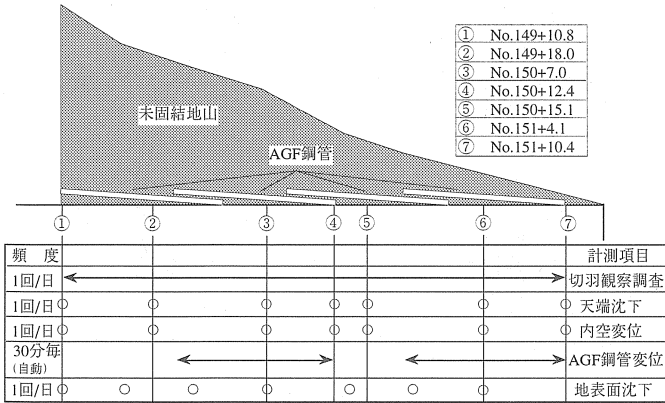


図-7 計測位置と計測項目

(2) A計測の結果

1.切羽状況

坑口部付近の代表的な切羽状況を図-8に示す。地山は表-3に示す切羽状況(A~I)をもとに、次式による評価点法で評価した。

$$\text{地山評価点} = 100 - ((\sum(A \sim I) / 9 - 1) \times 100 / 3)$$

その結果、坑口部では評価点は10~30点前半となり、地山としては最下級に属していることがわかった。

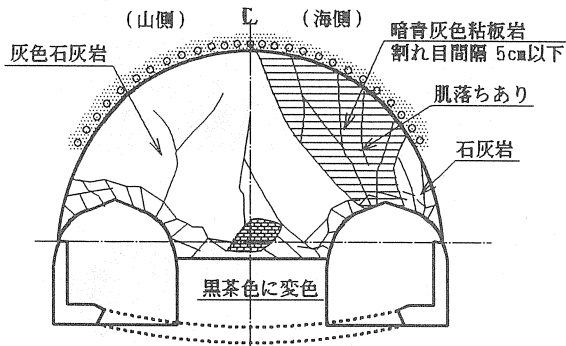


図-8 切羽状況

表-3 切羽状況

	切羽観察項目	点数
A: 切羽の状況	「鏡面から岩塊が抜け落ちる」 「鏡面は自立せず崩れあるいは流出」	2~4
B: 素掘面の状況	「自立困難掘削後早期に支保する」 「掘削に先行して山を受ける必要あり」	3
C: 圧縮強度	「50kgf/cm <sup>2</sup> > σc ハマ刃先くい込む」	4
D: 風化変質	「土砂状、粘土状、破碎、未固結」	4
E: 割れ目の頻度	「5cm > d 破碎 当初より未固結」	4
F: 割れ目の状態	「粘土をはさむ 当初より未固結」	4
G: 割れ目の形態	「土砂状、細片状 当初より未固結」	4
H: 湧水	「なし、滲水程度」	1
I: 水による劣化	「緩みを生ず~軟弱化」	2~3

(1kgf/cm<sup>2</sup>=98KPa)

2.天端沈下、内空変位

坑口部付近の典型的なトンネル内の変位状況の経時変化を図-9に示す。

図-9によれば、天端沈下量は、最大でも0.5cmと極めて小さい。沈下の状況としては、海側は沈下し山側は隆起

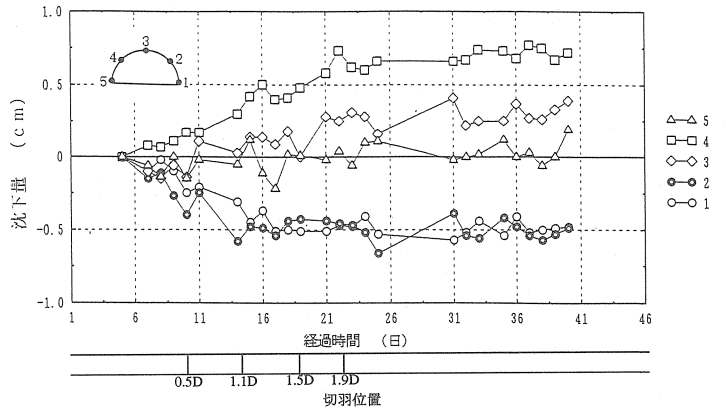


図-9 沈下量計測結果

している。また、水平方向には、海側から山側に押される傾向を示している。図-7に示した7断面の計測結果より、このような傾向は坑口部付近において顕著に現れており、全体的には支保工脚部付近の変位量は少なく、測点2の変位量は比較的大きい傾向を示している。これは、トンネル内の変形が土被り・地形と密接な関係を持つことを推測させるものである。総合的に判断すると、偏圧は切羽進行方向に対し右斜め上から作用しているといえる。

トンネル内の変位計測により以上のような結果が得られた。その最大値は比較的小さく、AGF施工範囲ではトンネルの変形を促進させるような地圧の作用を最小限に抑止できたものと判断できる。

(3) B計測の結果

1.地表面沈下

図-10~図-12にNo.151+3.05、No.150+6.55、縦断面の沈下状況を示す。横断面の計測位置はトンネル中心からの距離を、縦断面計測位置はC1 (No.151+3.05) からの距離を示している。ここで、図中に示された破線は初期地盤形状を表している。また、縦断面は各測点を切羽が通過する時刻の値を図示している。

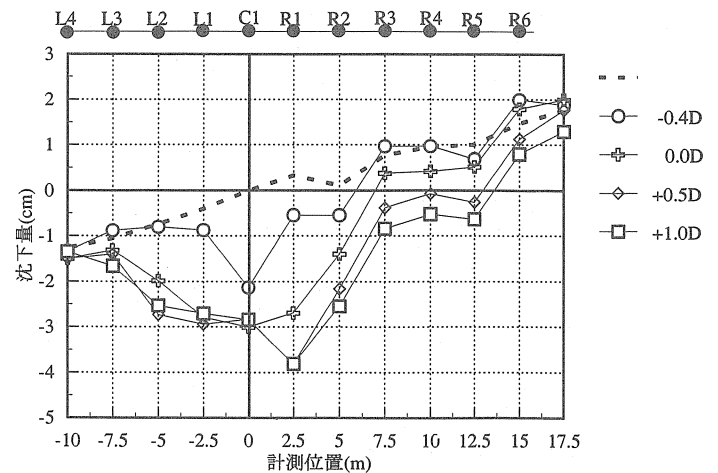


図-10 地表面沈下計測結果 (No.151+3.05)

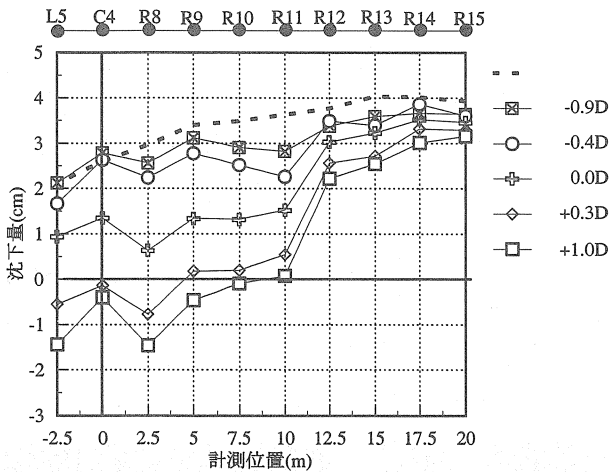


図-11 地表面沈下計測結果(No.150+6.55)

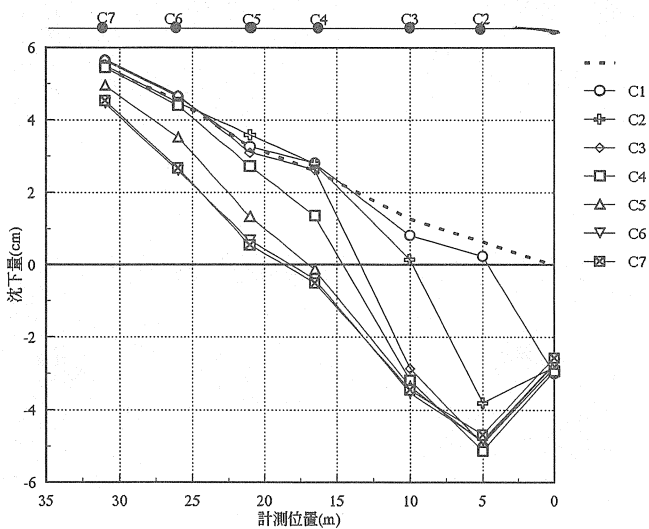


図-12 地表面沈下計測結果(縦断面)

これより、横断面および、縦断面ともに切羽の進行に伴い沈下していることが明かである。また、図中には示していないが、AGF施工中の切羽が停止している期間には沈下の傾向は見られないことを確認している。

各断面を詳細に見ると、両測点ともにトンネル中心に向かって沈下する傾向にあった。また、縦断面に着目すると、坑口に向かい沈下し、C3～C2の沈下量が大きく、沈下量は最大で50～60mm程度であった。

図-13に縦断面の経距変化を示し、地表面の最終絶対変位をベクトル表示で図-14に示す。

図より明らかなように、地山はC1～C2間のトンネル方向に向かって挙動している。これは天端沈下・内空変位計測から予想された結果と一致するものであった。

これらの結果より地表面の挙動は、切羽の進行に伴い先行沈下を生ずるが、収束は比較的早く、変位する期間は比較的短いことが判明した。つまり、AGF工法には、トンネル掘削時の地山のゆるみを最小限に抑止し、切羽通過後の地山の挙動を早期に収束させる効果のあること

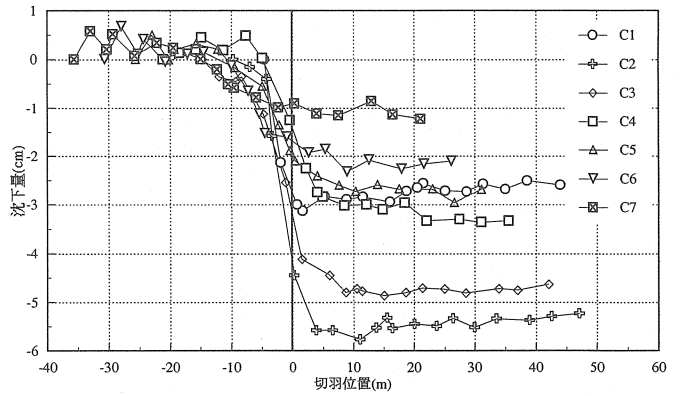


図-13 経距変化(縦断面)

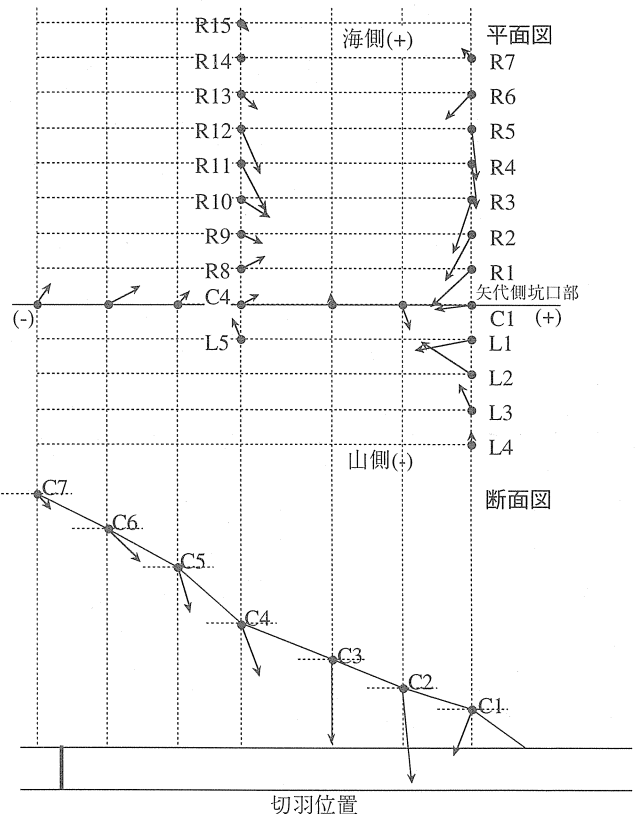


図-14 変位ベクトル

が確認できた。また、地山の挙動とトンネルに作用する偏圧の影響は連動しており、本工法の適用が効果的であったと判断された。

### 2.AGF鋼管の変位

計測は、12m (1m間隔12測点) の範囲において、第1シフト・第3シフトで実施した。計測方法は、AGF鋼管のたわみ角を捉え、そのたわみ角から変位量を求めるものである。変位量は、管口の絶対変位により補正を行っている。第1シフト、第3シフトでの切羽の進行に伴う鋼管の変位状況を図-15、16に示す。

図より、AGF施工範囲を掘削中は、切羽の進行に伴いその掘削断面付近の沈下量が大きい傾向にあり、掘削

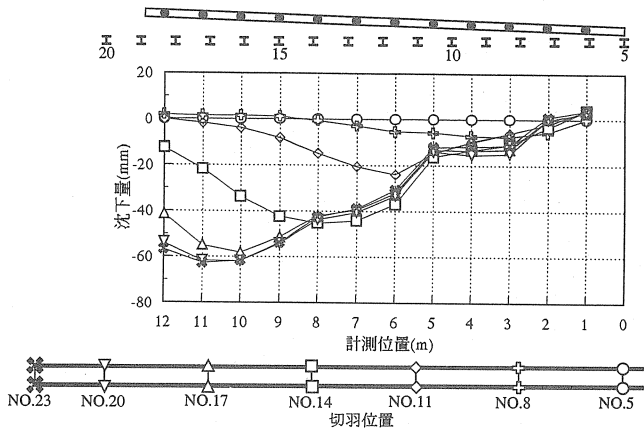


図-15 AGF鋼管変位計測 (第1シフト)

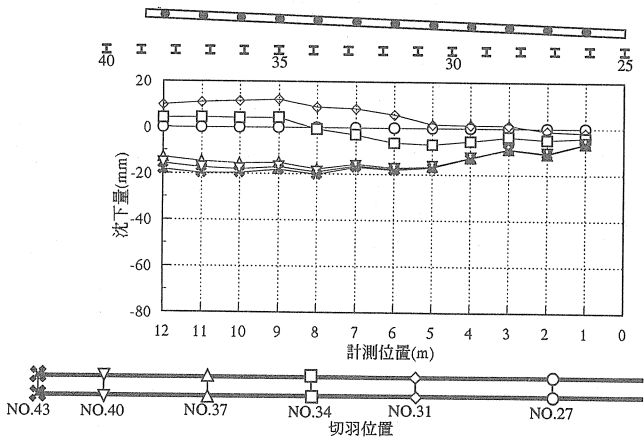


図-16 AGF鋼管変位計測 (第3シフト)

による地山の挙動と密接に関連していると考えられる。  
 第1シフトにおいて、AGF施工範囲外を掘削中にも変位しているのは、切羽の進行に伴い地山は縦断面のC1～C2つまりNo.151+0.0付近に向かって沈下し、その影響により第1シフト先端が変位したためと考えられる。  
 第3シフトの計測値は、第1シフトと同様の傾向を示すものの、変位する範囲は小さく、AGF施工範囲外掘削時の変位量も少ない。変位は第1シフトと比較してかなり早く収束する傾向であり、切羽状況を考慮すると地山の強度が高くなっているものと推測された。

地表面沈下とAGF鋼管変位計測では、18基、37基付近がそれぞれC2、C5に相当し、類似した値を示している。

AGF工法は、地形の影響を受け鋼管自体は変形するけれども、地山全体の変位を早期に収束させ、山抜け等の危険性を除外できる工法であることが確認できた。

5.解析結果

計測結果を基に、逆解析を実施し、どの程度の支保効果が発揮されているのかについて、実測と解析の両面から検証し、評価を行った。AGF工法による改良補強領域は剛性比で評価し、その部分の弾性係数は次式により求

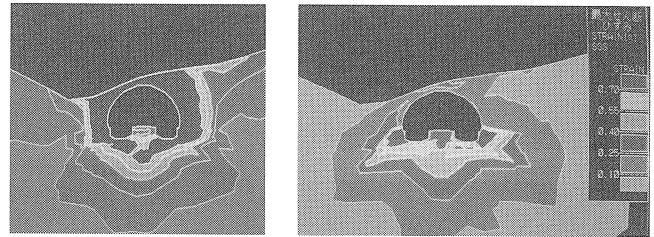
めている。

入力変位量は、導坑掘削後からの累計変位であるた

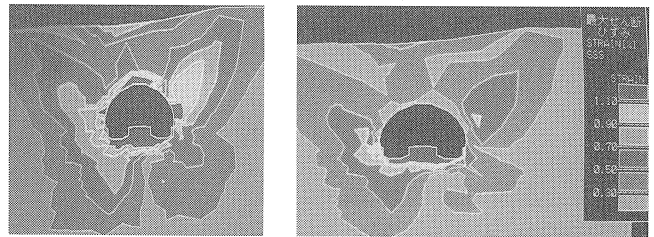
$$E_{AGF} = \frac{E_1 \times A_1 + E_2 \times A_2}{A}$$

- ここに、
- E1: 地山の弾性係数
  - A1: 地山の断面積
  - E2: AGF鋼管の弾性係数
  - A2: AGF鋼管の断面積
  - EAGF: 改良部の弾性係数
  - A: 断面積

め、導坑と上半の掘削断面積比を掛けて、導坑掘削時の変位量も考慮している。また、解析は逆解析と順解析を実施し、無対策とAGF工法を適用した場合の比較を行った。解析結果を図-17、18に示す。



無対策 AGF施工  
 図-17 最大せん断ひずみ (NO.151+3.05)



無対策 AGF施工  
 図-18 最大せん断ひずみ (NO.150+6.55)

解析結果と計測された変位量の差(計測値-解析値)は0.8程度であり比較的良好一致が見られた。AGF工法と無対策による最大ひずみを比較すると、無対策ではトンネル周辺で大きなひずみを生じるが、AGF施工時には地山全体のひずみが小さく抑えられ、解析結果からもAGF工法の有効性が確認された。

6.まとめ

以上、志積トンネル終点側(矢代側)坑口部の崩壊性地山において実施した支保方式の変更経緯、AGF法の施工および計測結果について報告した。今回の報告は、崩壊性地山の坑口部対策工に関するものであり、今後の坑口部対策工の検討の手助けになれば幸いである。

謝辞

なお、本研究を実施するにあたり、山口大学中川浩二教授に多大なご指導とご協力を頂きました。この紙面をかりて感謝致します。