

土被りの深い未固結地山におけるトンネル掘削時の地山挙動計測例

建設省中部地方建設局高山国道工事事務所 若杉 芳昭

応用地質株式会社中部支社技術センター 木呂子豊彦

○ 同上

木村 正樹

1. まえがき

安房トンネルは、中部山岳地帯の岐阜・長野の県境に位置する安房峠（標高1,790m）を貫く全長約4,350m、1種3級（設計速度80km/h）の高規格道路トンネルである（図-1参照）。昭和42年から地質調査が行われ、昭和55年から調査坑、平成元年10月からは本坑の掘削が行われている。トンネルルートには、約600mの区間にわたり大量の地下水を内蔵する第四紀の未固結火山碎屑物が分布し、土被りが400mと深く、本トンネル最大の難工事区間となっている。本稿では、この火山碎屑物分布区間において施工された調査坑と水抜坑を利用して行われた、トンネル掘削時の地山変形挙動の計測例を紹介する。

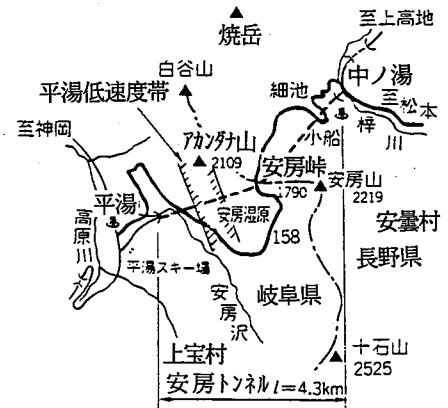


図-1 調査地案内図

2. トンネルルート周辺の地形・地質とトンネル建設上の問題点

安房トンネルルートは、図-1に示すように北に焼岳、白谷山、アカンダナ山、南に十石山、乗鞍山といった2,000~3,000m級の山が連なっている。地形は急峻で、低速度帯を形成する火山碎屑物の年代は炭素同位体による分析の結果、約1万1千年程度と分析されている。

安房トンネルルート沿いの地質は、粘板岩、チャート、砂岩などの堆積岩類（古生界）と、これを貫く中生代~新生代第三紀の貫入岩類および新生代第四紀の未固結の火山碎屑物からなる（図-2参照）。このうち、火山碎屑物は古生界よりなる山体の谷地形部を埋めて、高山側からの坑口距離850m~1,450mの約600mの区間に分布し、土被りは約400mである。この区間の弾性波速度は地表からの探査結果によると2.5~2.9 km/secであり、透水係数は $10^{-1}$ cm/secオーダーと報告されている。火山碎屑物は、安山岩の角礫や同質の粗砂などで構成されており、砂層と砂礫層の不規則な互層状を呈している（表-1参照）。

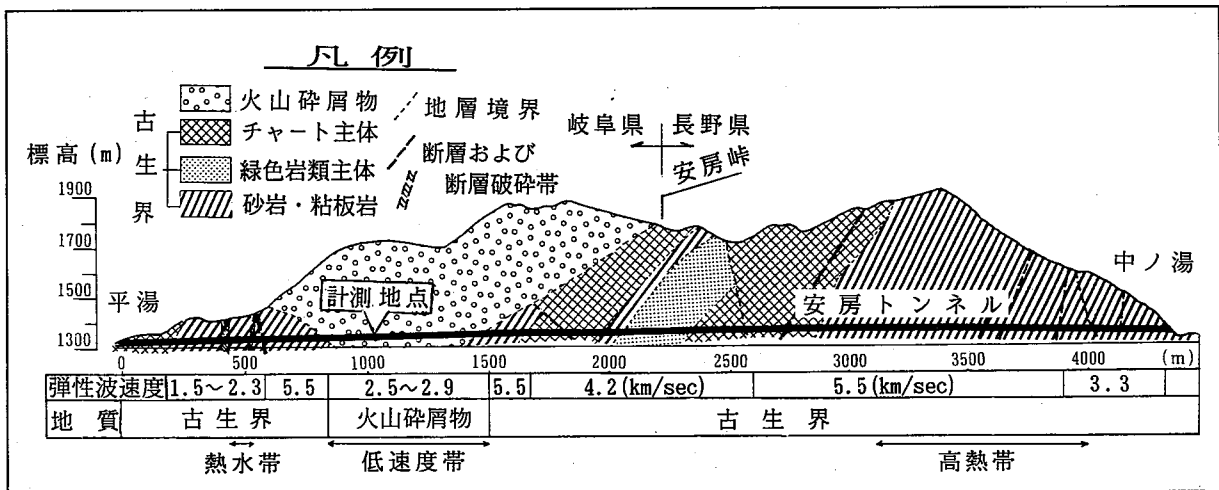


図-2 安房トンネルルート地質断面図

Linewise measurements of Ground behavior due to deep Tunneling.

Yosiaki WAKASUGI (Ministry of Construction) , Toyohiko KIROKO, Masaki KIMURA (OYO corp.)

このような地質状況から、土被りが400mに及ぶ火山砕屑物分布区間での大量の湧水と掘削時の地山の挙動、覆工・支保工応力が問題となった。実際に昭和62年には水抜坑切羽で最大湧水量180m<sup>3</sup>/min, 流出土砂約3000m<sup>3</sup>の異常出水があった。

このうち、湧水対策としては長尺水抜きボーリングや水平バキューム工法による積極的な地下水排除工がとられた。このため、計測時には施工基面付近まで地下水が低下し、さらに、補助工法として注入式フォアパイリング工法を使用したため、調査坑の切羽は自立していた。

### 3. 計測方法

トンネル掘削時の変位計測は、通常のA計測・B計測では切羽到達後に変位計測を開始するため、掘削に伴う全変位を計測することができない。図-3は、火山砕屑物区間における調査の流れ図である。火山砕屑物区間の計測では、調査坑の掘削に伴う地山挙動を計測し、本坑の設計や計測管理に必要な物理定数、力学定数を得るために、先行変位比率・緩み領域の形状と緩み程度を求めることとした。

表-1 火山砕屑物の土質特性

		砂 層	砂 礫 層
粒 度 区 分	レキ分 %	30.5	62.5
	砂 分 %	59.5	32.0
	シルト分 %	6.0	3.5
	粘土分 %	4.0	2.0
均 等 係 数		23.0	19.1
自然含水比 %		10.3	8.9
変形係数 * kgf/cm <sup>2</sup>		4,800	6,360
せん断 強度	C kgf/cm <sup>2</sup>	1.19	1.10
	φ	36°	38°

\* 孔内水平載荷試験による

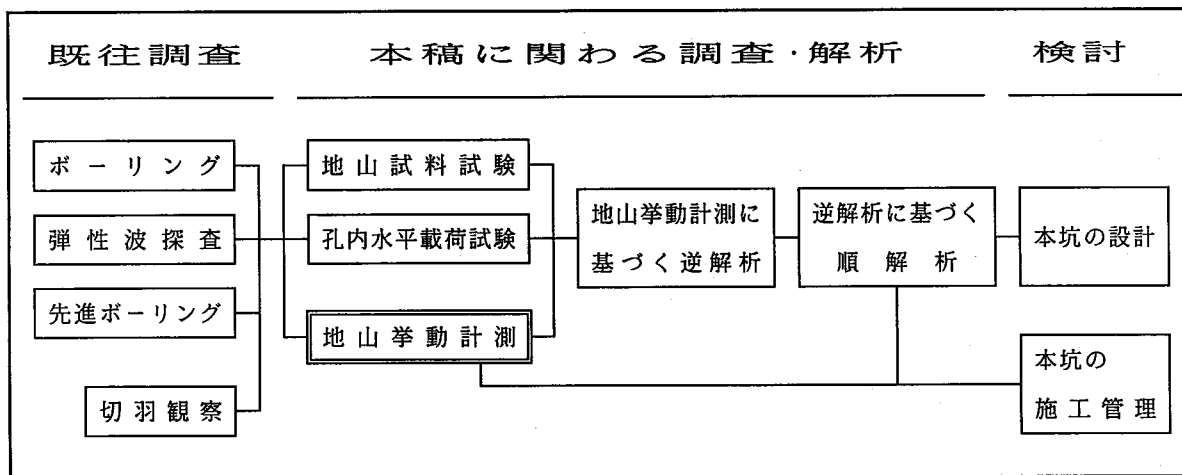


図-3 火山砕屑物区間の調査・解析全体の流れ図

トンネル掘削に伴う全変位を計測する方法としては、

- ①地表から変位計を設置する方法
- ②先進ボーリング孔を利用して計測する方法
- ③隣接するトンネルから変位計を設置する方法

などが考えられる。安房トンネルの調査坑の掘削に伴う全変位の計測では、土被りが400mと深く、かつ調査坑の掘削が昼夜連続して行われていたため、図-4に示すように、先行して掘削されていた左水抜坑のボーリング室から調査坑に向けて計測器を設置した。

計測器は、微小な変位を切羽通過後も連続的に計測でき、かつ、逆解析に使用する鉛直・水平変位を計測できる次の2種類の変位計とした(表-2参照)。

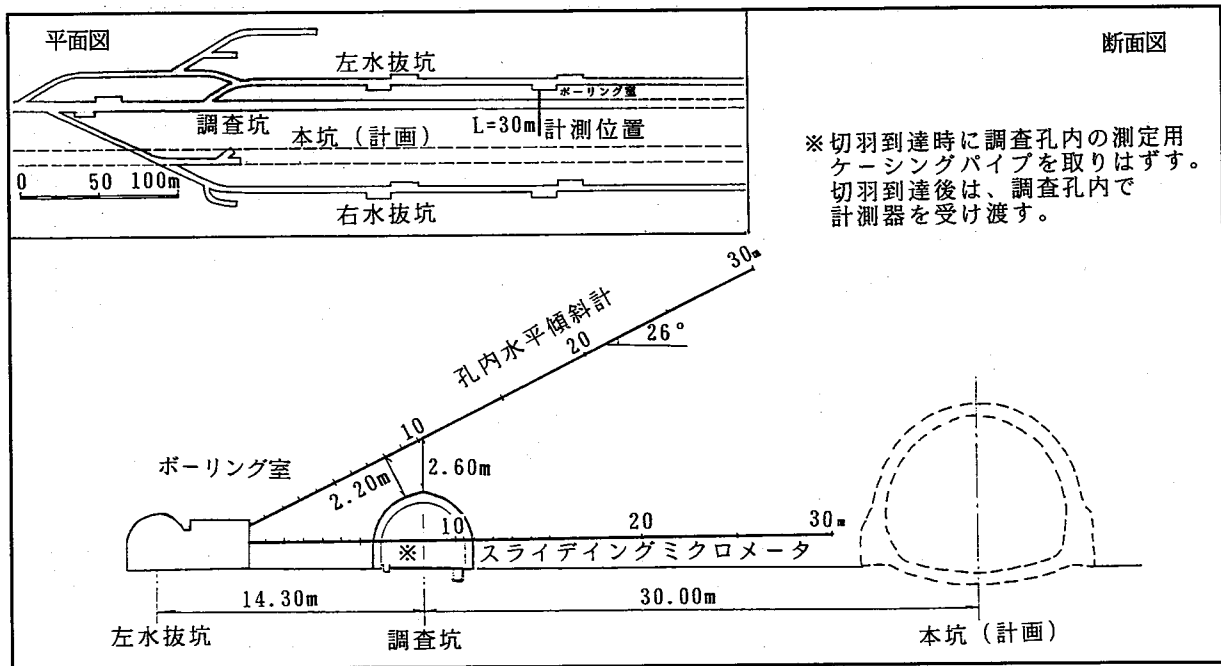


図-4 各トンネルの位置関係と計測孔配置図

- ①孔内水平傾斜計（調査坑上方の鉛直変位計測用）
- ②スライディングマイクロメーター（調査坑側方の水平変位計測用）

計測器の埋設長は、調査坑の右側の壁面から2D（Dはトンネル直径：5.6m）以上の計測ができるよう各々30mとした。また、孔内水平傾斜計計測孔は調査坑の補助工法であるフォアパイリングの打設の影響を避けるために、調査坑の天端上方に向けて26°上向きに設置した。

表-2 計測器と計測孔の諸元

計測器	計測変位	計測間隔	計測孔の方向	計測孔の長さ	計測精度	計測レンジ
孔内水平傾斜計	鉛直方向	0.5m	上向き26°	30m	1/100mm/50cm	±30°
スライディングマイクロメーター	水平方向	1.0m	水平	30m	1/1000mm/1m 1/100mm/1m	±5mm/1m 硬岩用 ±50mm/1m 軟岩用

#### 4. 変位計測結果

スライディングマイクロメーターと孔内水平傾斜計の計測は、切羽距離-4D～+11Dにかけて行った。地山挙動の計測結果図を図-5に、切羽の進行と変位・変位比率の関係図を図-6に示す。

##### 4.1 スライディングマイクロメーター計測結果

スライディングマイクロメーターによる水平方向の変位計測では、次の①～③に示すように調査坑と本坑との間（本坑側）と調査坑と左水抜坑の間（左水抜坑側）では、異なった挙動が計測された。

- ①本坑側では、切羽が約-0.5Dを通過時に縮みの傾向が現れたのに対し、左水抜坑側では-1Dのころから伸びが生じた。
- ②切羽の通過後からは、本坑側も伸びに転じた。本坑側の区間変位量は左水抜坑側に比べ約1/2の変位量で、切羽が2D通過した時点で本坑側では壁面から1区間、左水抜坑側では4区間で硬岩用スライディングマイクロメーターの測定範囲（1mあたりの変位±5mm以内）を越える伸びの区間が現れた。
- ③変位の収束までに明瞭な伸びの変位が認められた区間は、本坑側は調査坑の壁面から3m区間（0.5D程度）に限られたが、左水抜坑側は5mの計測区間すべてが変位した。

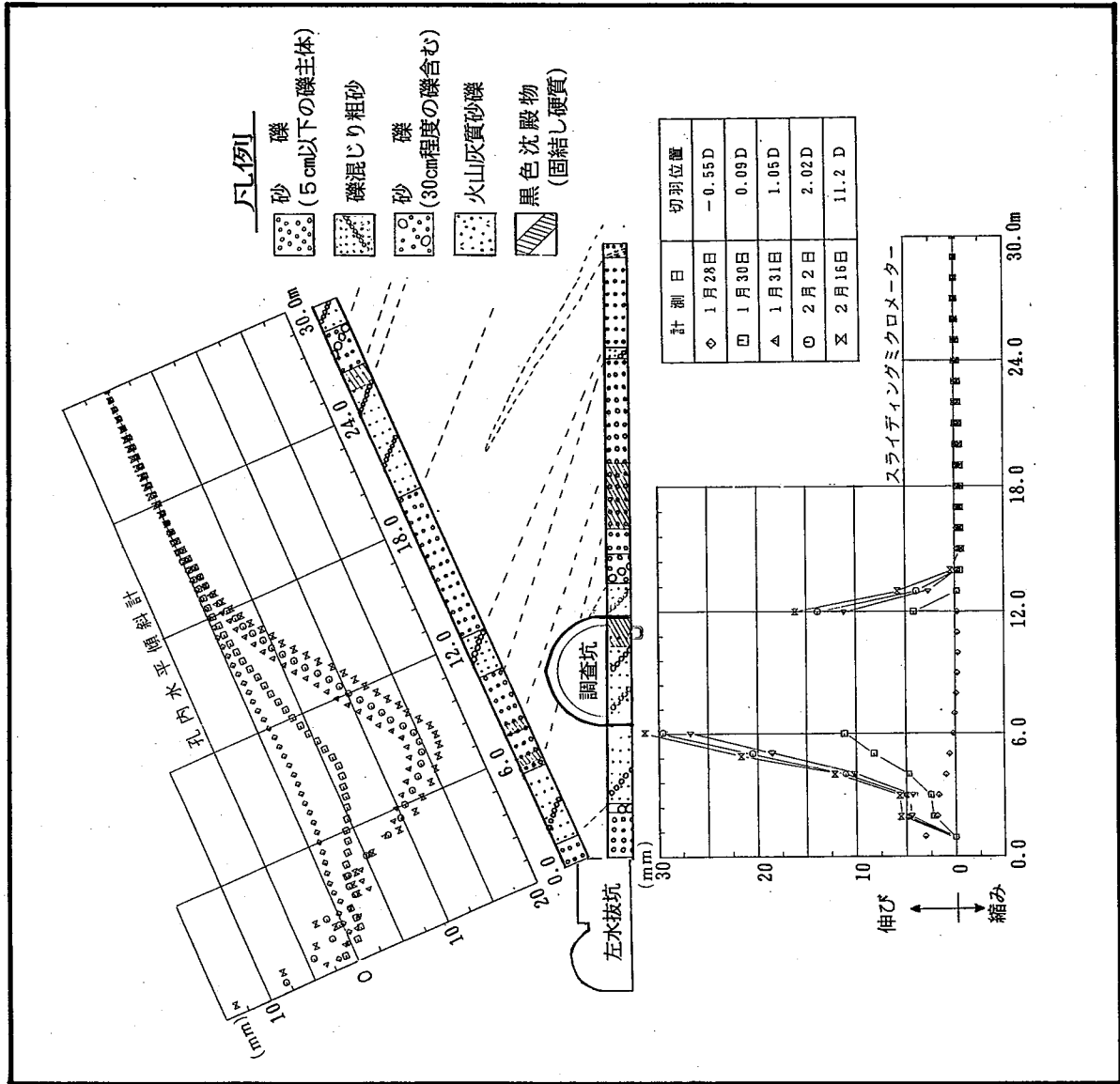


図-5 地山学動計測結果図

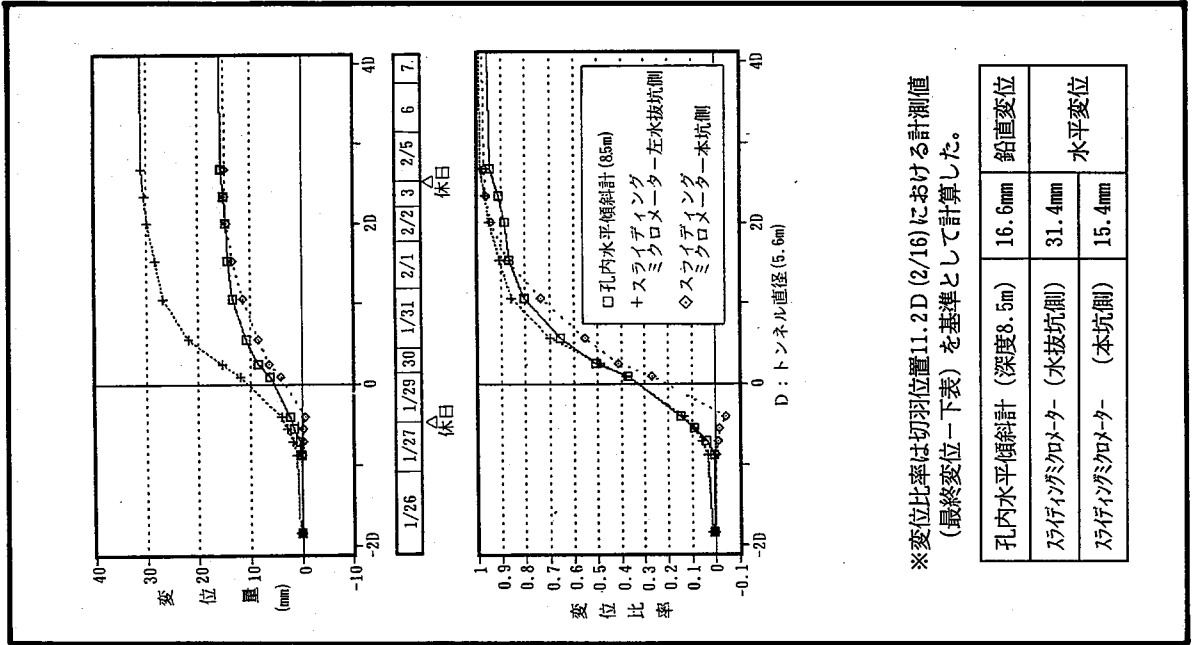


図-6 切羽の進行と変位・変位比率の関係図

#### 4. 2 孔内水平傾斜計測定結果

孔内水平傾斜計による鉛直変位の計測結果は、次の①～③のとおりである。

- ①切羽が約-1Dに達した時点で、下向きの変位が現れた。
- ②調査坑上方の変位は、計測孔が掘削面に最も近い深度8.5m付近で最大で、切羽が2Dを過ぎた後も最終変位(11.2Dでの計測値:16.6mm)の約11%(1.86mm)程度の変位増加が認められた。
- ③鉛直変位分布を見ると、調査坑掘削による地山の変形は深度22m(調査坑天端から約12m $\approx$ 2D)まで及んでいる。

#### 4. 3 先行変位比率

先行変位は、水平方向変位・鉛直方向変位ともに切羽が-1Dを通過した時点で現れ、切羽到達時点では、最終変位(11.2Dでの計測値)に対して0.25~0.33の変形が発生した。切羽通過後の変位比率は、1D通過の時点で0.74~0.86の割合であり、2D通過の時点では0.86~0.94、3D通過の時点では0.95~0.99であった。水平方向変位・鉛直方向変位の変位出現傾向はほぼ同様であるが、1D通過以後の変位収束は鉛直変位の方が水平変位に比較して遅い傾向が認められた(図-6)。

#### 4. 4 変位計測に基づく逆解析

本計測で得られた変位は、調査坑掘削に伴う全変位である。そのため、逆解析では、通常のNATM計測の解析で行う先行変位や計測遅れを見込んだ入力値の検討が不要であり、計測値をそのまま入力値として用いることができる。

2種類の変位計による測定結果では、調査坑-左水抜坑間の変形が本坑側に比べ大きい。そこで、左水抜坑周辺に緩み領域を仮定し、緩み領域の範囲と見かけ弾性係数の比率を変えて繰り返し逆解析を行った。その結果、図-7に示すような緩み領域を仮定し、緩み領域と非緩み領域の見かけ弾性係数の比率を1:5とすると、解析値と計測値が比較的良好に一致した。緩み領域と非緩み領域のみかけ弾性係数は、調査坑掘削前に実施した孔内水平載荷試験による変形係数の、各々0.6倍、2.9倍であった。

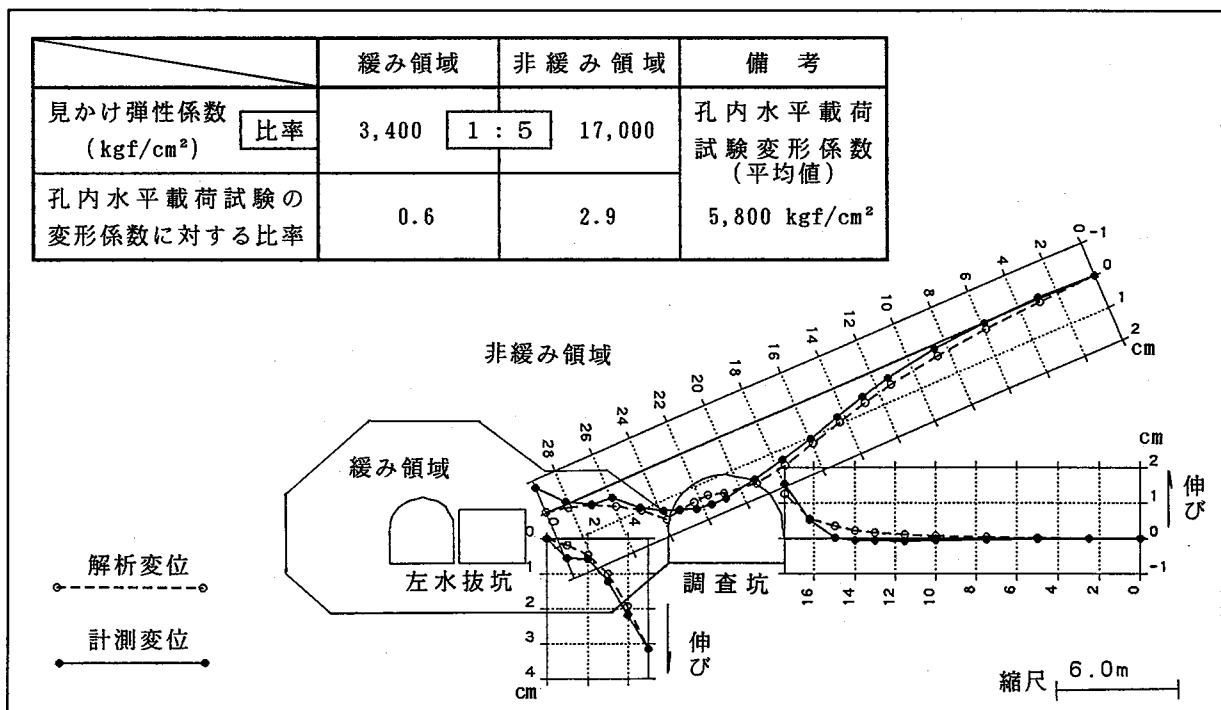


図-7 緩み領域を仮定した逆解析による解析変位と計測変位の対比図

## 5、今後の計測・解析上の課題

逆解析の結果に基づいた本坑の順解析を行ったところ、初期応力として土被り相当応力を仮定すると、部分的に、鋼製支保工や吹き付けコンクリートに許容応力を上回ることが予想された。このため、フォアパイリングの施工範囲の延長や増ボルト・増吹きなどの対処を準備することになった。

調査坑は平成3年7月に貫通し、本坑も低速度帯に到達し平成4年5月末現在で岐阜県側よりサイロットが約1030m, 上半が約950m進行して、B計測も実施されている。今回のB計測の目的は、支保部材の妥当性の検討と地山の安定性を確認する目的の他に、以下の項目を確認することを目的としている。

①調査坑はフォアパイリング併用の在来工法による全断面掘削に対し、本坑はサイロットNATMで施工され、サイロットには変位抑制のためのストラットも施工されるため、施工法の違いによる地山挙動の相違を確認する。

②調査坑、本坑サイロット、本坑の大きさは図-8のような関係にあり、調査坑での解析結果を本坑に適用させる場合の、「寸法効果」を把握する。

今後は、本坑掘削時に得られる変位計測データと調査坑での解析結果を対比しながら、安全施工のための計測管理を進める予定である。

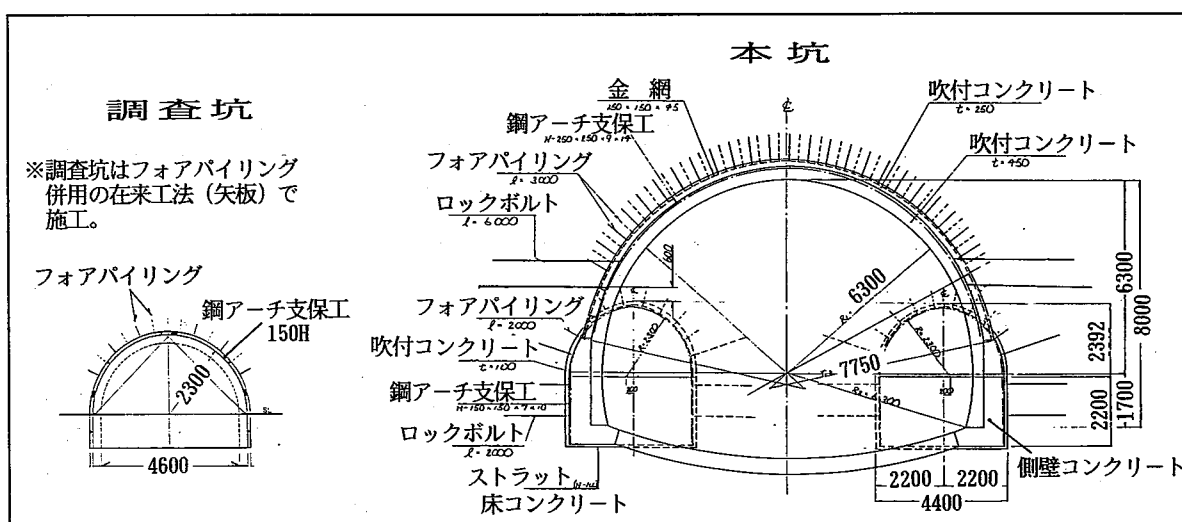


図-8 各トンネルの大きさと施工法の相違

### — 参考文献 —

- 1) 成田賢・松山泰治・掘伸三郎(1984)：孔内傾斜計による計測結果から見たトンネル掘削に伴う地山の挙動  
応用地質調査事務所年報No.6
- 2) 岡部幸彦・近藤達敏(1987)：トンネル掘削時におけるインクリノメーターによる地山変位挙動計測と  
切羽近傍の地山物性値の推定，応用地質年報No.8
- 3) 松下敏郎(1992)：高熱帯と高水圧低速度帯を克服して調査坑が貫通 [一般国道158号安房トンネル]  
トンネルと地下，第23巻3号