

住宅直下における低土被り部の山岳トンネル (NATM) 施工

竹山 真吾*

Shingo Takeyama

原島 大**

Masaru Harashima

吉田 正樹*

Masaki Yoshida

1. はじめに

本工事は都市計画道路城山多古線のうち、小田原市久野〜多古地内のトンネル区間 (L=230 m) の掘削・インバートを施工するものである。地質は新期ローム層 (立川ローム層・武蔵野ローム層) と石英安山岩質軽石流堆積物が分布しており、地上には、住宅・マンションや鉄塔があり、終点側では県道 74 号線が直交している。また、土被りが全線で 2 D 以下となるため、支保パターンはすべて坑口部パターンに属する。

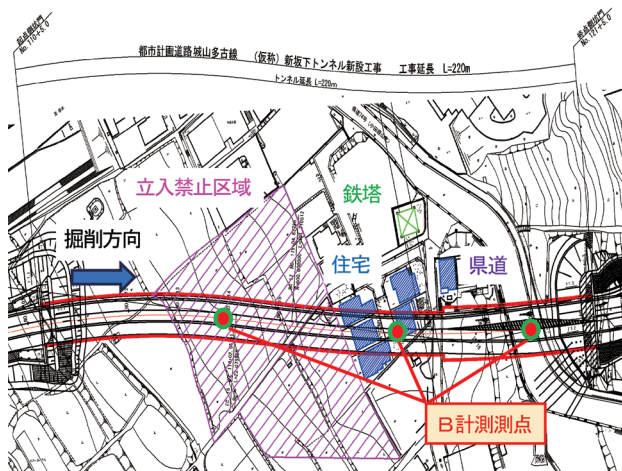
2. トンネル掘削の課題

(1) 課題①

本トンネルは住宅直下を掘削する必要がある、規定されている住宅の許容沈下量を満たす坑内計測管理値の設定が必要であった。また、変位量および変位速度が大きい際に都度対応策を協議していくと対応が遅れ、変位を助長するおそれがある。

(2) 課題②

当初設計には B 計測として、坑内地中変位計および地表・地中変位計が 3 測点含まれている。しかし、1 点目



図一 当初設計 B 計測平面図

* 関東土木 (支) 新坂下 (出)

** 土木設計部設計 2 課

(現: 関東土木 (支) 有家ヶ原 (出))

は地権者の要望により立ち入りが禁止されており、2 点目、3 点目については住宅の敷地内、県道上となるため地中変位計の設置が困難である (図一)。

3. 対策・計測方法変更

計測管理値の設定については、FDM 解析 (有限差分法 FLAC3D 7.00) を用いて行った。

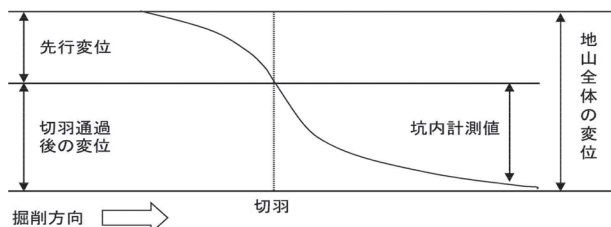
地表面沈下の管理基準値としては、設計段階で規定された -25 mm の値を管理レベルⅢとして設定した (地表に構造物が存在しない DⅢ1 を除く)。坑内の管理基準値は、解析結果に対して地表面沈下量 -25 mm に対する割合 (解析値/-25 mm) と先行変位を考慮して、天端沈下の管理レベルⅢと設定した。また、内空変位は天端沈下の 2 倍とした。管理レベルⅠはレベルⅢの 50%、レベルⅡは 75% とそれぞれ設定した (表一)。

表一 計測管理基準値

支保パターン	天端沈下 (mm)			内空変位 (mm)			地表面沈下 (mm)		
	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ
DⅢ1	-27	-41	-54	-54	-82	-108	-29	-44	-58
DⅢ1-S	-13	-19	-26	-26	-38	-51	-13	-19	-25
DⅢ1-SH1 DⅢ1-SH2	-15	-22	-30	-30	-44	-59			
DⅢ2-SH1 DⅢ2-SH2	-14	-21	-28	-28	-42	-55			
DⅢ2-S	-14	-20	-27	-27	-41	-54			

管理値超過時の対策については、変位レベルに応じた対策を支保パターン毎に設定して発注者と事前協議し、対策を明確にすることで迅速な対応を行えるようにした。

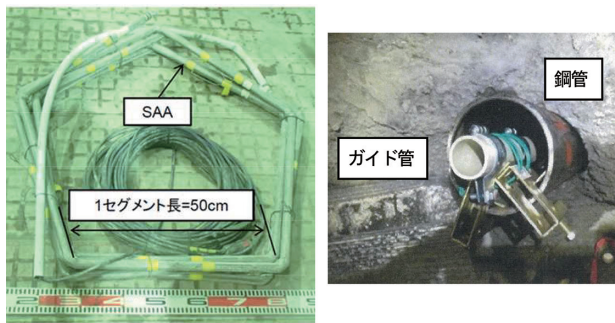
設計にも含まれている地表・地中変位計の計測目的の一つは、切羽の先行変位を測ることである。ここで、先行変位とは掘削に伴う地山の変位が切羽到達前から発生している変位である (図二)。



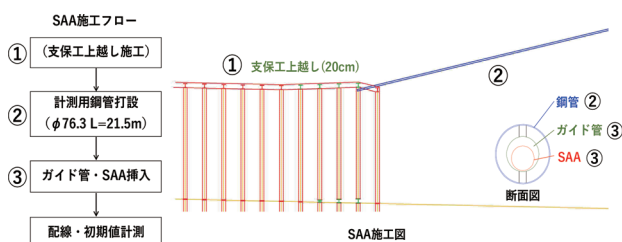
図二 切羽位置と地山挙動の一般的関係

近接構造物等の許容沈下量が非常に小さい場合、切羽通過後の変位だけを評価の対象とすると、切羽通過前に地盤の許容変位を超過する場合や、変位を抑制するための補助対策工を実施するタイミングが遅れる可能性がある。そのため先行変位を計測することが有効であるが、当該箇所は地表・地中変位計の設置が困難な場所であった

ため、先行変位計測代替案として3次元地中変位計SAA（写真—1）を採用した。この測定器は、坑内より切羽前方に向かって縦断的に設置し、切羽の先行変位を計測するもので、施工図・フローを図—3に示す。



写真—1 SAA 計器



図—3 SAA 設置手順

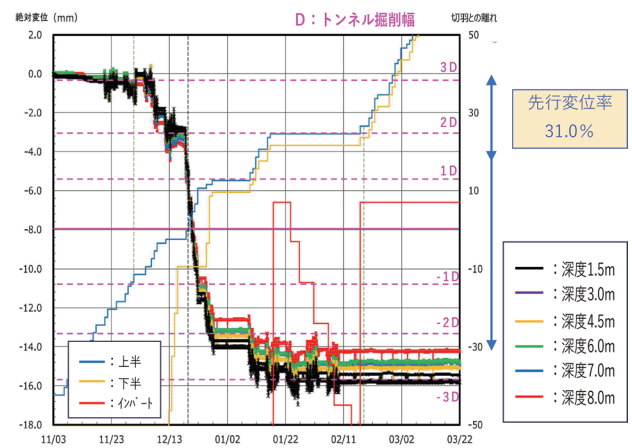
SAAの管理基準値は、前述の3次元解析モデルにSAA施工ステップを反映して解析を行った。その結果から、2m毎切羽が進行した時点での沈下量を抽出した（抽出範囲0m, 2m, …, 50m）。

このような方針で検討をした結果、1点目は立入禁止区域外にて、設計と同様の坑内地中変位計、地表・地中変位計の設置を行い地表・坑内変位の相関性を確認して、解析結果の妥当性を確認した。2点目については、坑内地中変位計は設計通り実施し、地表・地中変位計はSAAに変更して、計器の先端が住宅直下となるよう配置を行った。3点目は坑内地中変位計を設計通り実施し、地表面の沈下を直接計測しながら経過観察を行った。

4. 結果・まとめ

計測結果について、1点目の地表・地中変位経時変化図を図—4に示す。解析値に対し、実測値は小さい値となったが、地表面沈下と坑内天端沈下の相関性および先行変位率は同様の変位傾向が見られた（表—2）。

2点目のSAA計測結果については、最終計測値は管理値の約25%程度の変位となった（図—5）。深度20m部の変位で比較すると、切羽が到達した時点で沈下量2.5mm(①)、切羽が通過して30m離れた時点の沈下量10.3mm(②最終沈下量)であった。先行変位率(①/②×100)としては24%となり、上半先進区間の先行変位率より小さい値となった。

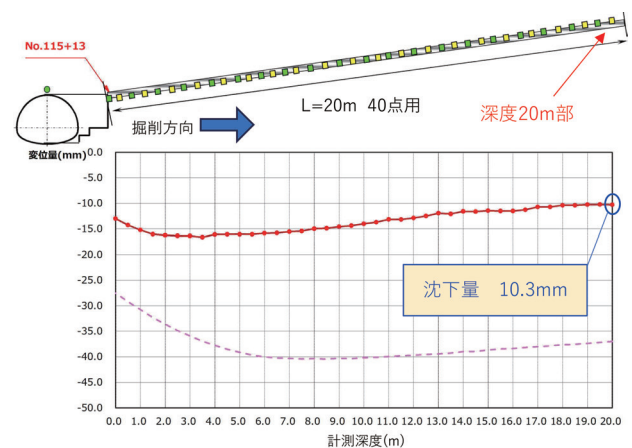


図—4 地表・地中変位経時変化図（上半先進区間）

表—2 解析値と実測値の比較表

1点目	地表面沈下量(mm)	坑内天端沈下量(mm)	先行変位率(%)
解析値	115.8	109.1	29.2
実測値	15.5	14.5	31.0

※先行変位率実測値は深度8m部（4.4mm / 14.2mm × 100 = 31.0%）



図—5 収束時のSAA計測値（早期閉合区間）

本工事においては、より精度の高い計測管理基準の設定が必要となったが、FDM解析により、地形・地表を3次的に考慮した管理値の設定を行うことができた。また、事前に管理基準に応じた対策を決定・協議しておくことで、迅速な対応が可能となった。

地表面計測が不可能であった計測点については、SAAを用いることで先行変位を確認し、解析により最終変位値を予測しながら掘削を行うことができた。計測結果としては、解析値に対して1/4程度の変位で予測を大きく下回る結果となったが、切羽進行に伴う挙動としては解析同様の動きがみられた。今後、同様の施工を実施する場合、逆解析等により地山物性値の見直しを行えば、より正確な変位予測が可能となると考える。