

三次元内空変位計測結果の より有効な活用方法について

Effective utilization method of 3 dimensional convergence measurement data

小松原 渉¹・進士 正人²

Wataru Komatsubara, Noriaki Kishida and Masato Shinji

1 学生会員 山口大学大学院 理工学研究科社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: komatsubara@rock.civil.yamaguchi-u.ac.jp

2 正会員 学博 山口大学大学院准教授 理工学研究科社会建設工学専攻 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: shinji@yamaguchi-u.ac.jp

Convergence measurements and tunnel face observations are very common and they are especially powerful tool to decide the design of support. Recently, optic instrument has been used. By using this optic instrument, 3D deformation behavior of tunnel wall would be able to be simply measured. However, 3D deformation behavior in the tunneling is hardly utilized in time.

In this study, the authors pointed out that horizontal displacement along tunnel axis and vertical displacement on the sidewall are a little bigger than crown settlement and convergence measurement. It means that these data which have been ignored since ever should be paid attention.

Key words: 3D, sidewall, deformation behavior, crown settlement and convergence measurement

1. はじめに

わが国の地質状況は脆弱でかつ複雑である。そのような地質状況においてトンネルなど地中構造物を安全かつ経済的に構築するには、地質状況の入念な事前調査が欠かせない。しかし、現在の調査技術では地山状況の完全な把握はほとんど不可能である。そのため、トンネル施工中に現場計測を合わせて実施し、トンネル施工時の地山挙動を計測しながら施工を進める「情報化施工」が実施されている。トンネル施工中の現場計測としては、内空変位計測、天端沈下計測がよく実施され、これら従来の計測は主にスチールテープを利用して計測が行われていた。

近年では計測の合理化の影響もあり、光波測量を原則とした三次元計測が主流となり、その精度も格段に向上している。にもかかわらず、その結果の整理は、従来スタイルの内空変位、天端沈下測定とした整理になっており、スチールテープを用いた計測と代わりがない。

そこで本研究では、三次元数値解析を実施し、前方地山の物性変化が従来の天端沈下および内空変位計測の整理方法では把握できない事を明らかにするとともに、三次元測定による新しいトンネル側面計測の表示方法に関する提案を行う。

2. トンネル標準示方書、施工管理項目

トンネル標準示方書は昭和 39 年に制定され、2006 年までに 5 回の改訂が行われ、より安全かつ経済的な山岳トンネルを施工するための方法および施工管理規準が記されている。2006 年トンネル標準示方書の内容は全 10 編で構成される。この章では第 182 観察・計測位置について調べた。その内容を以下にまとめた。(以下一部引用)

(1) 第 182 条 観察・計測位置¹⁾

内空変位測定、天端沈下測定断面は、同一断面において測定する事を原則とし、地山条件や施工の段階に応じて、所定の間隔で計測断面を設ける。測定間

隔の目安を示す表を表-1 に記す。

表-1 天端沈下，内空変位の測定間隔の目安

条件	坑口付近 (坑口より50m 間)	上被り2D以下 (D:トンネル掘削 幅)	施工初期の段階 (200m程度の施工が 進むまでの段階)	ある程度施工の進んだ段階(標準)
地山等級	B,C	10m	10m	20m
	D	10m	10m	20m
	E	10m	10m	10m

そして，測線配置は掘削工法および想定される地山挙動を考慮して，設定が行われる．その基本的な考え方の一部を以下に抜粋した．

- ① 変形が大きいと予想される場合，施工の初期段階で挙動特性が不明な場合，変圧が予想される場合等は，側壁部と天端とを結んだ斜め方向の左右の変位を比較する．すべての測点を，光波測距儀を用いた絶対変位により評価する事もある．

以上のように，天端沈下，内空変位計測は測定間隔も非常に大きく，変位計測は常に平面（2次元）での評価であることが分る．この事からも，近年の計測機械の精度向上から3次元での計測とその議論の必要性があると感じられる．

3. 解析モデルおよび物性値

本研究の解析にはFLAC3Dを使用し弾性体解析を行った．解析モデルおよびその物性値を図-1及び表-2に示す．解析モデルは奥行き80m，トンネル直径10m(1D)，支保工厚0.5mとし，トンネル側壁まで境界部から3D離れた．また掘削は1mごとに行われ，掘削方向は物性変化がE1からE2の方向に行われた．そして支保工は切羽手前1mまで施工する．物性値は奥行き40mの地点で物性値が変化する．物性変化は，垂直に変化するモデルと奥行き斜め方向に変化するモデルを作成した．

今回の解析では，弾性係数のみを変化させている．その変化のパターンは，E1を150M(N/m²)と固定し，E2の弾性係数のみを変化させる事により，奥行き方向の物性変化を仮定した．そのパターンは75 M(N/m²)，150 M(N/m²)そして300 M(N/m²)の3パターンである．これらを，順に0.5E，1.0E，2.0Eと定義する．

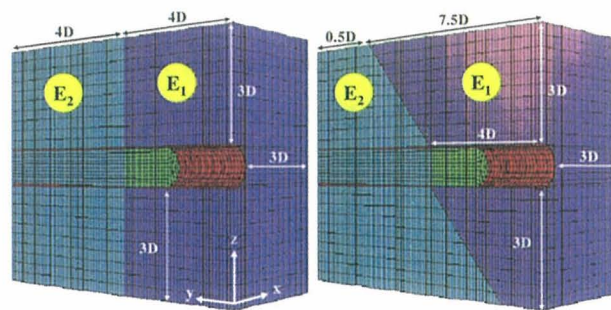


図-1 本研究に用いた解析モデル

表-2 解析物性値

Ground model	Specific weight (N/m ³)	Elastic modulus (MPa)	Poisson's ratio
E1 (1.0E)	20,580	150	0.35
E2 0.5E	20,580	75	0.35
1.0E	20,580	150	0.35
2.0E	20,580	300	0.35
Linning	24,590	8,134	0.20

物性値は，弾性係数のみ変化をさせE1の弾性係数を1.0Eとして，E2の弾性係数を0.5E,1.0E（変化無し）2.0E,と3パターンの解析を行った．そして，計測点是天端及び側面の掘削にともなう変位を見た．

4. 解析結果

図-2に天端および側面の境界手前20m(2D)の計測位置におけるX，Y，Z方向の変位図を示す．さきにも述べたように現場で計測されるデータは天端沈下量，および側面のX方向の挙動である．この2つのデータは直接内空変位，天端沈下としてこれまで積極的に測られてきたものである．まず各々のモデルについて，測点変位の挙動をまとめた．

(1) 従来着目されている変位と三次元計測で得られる変位の比較

図-2から分かるように，直接内空変位に影響を及ぼすと考えられてきた天端沈下および側面X方向変位は，切羽前方の物性値の違いによる挙動の違いは非常に少なく，側面X変位は1mm～2mm程度の違いであり，天端沈下では計測点を切羽が通過して約0.8D～1.0Dして変化が現れることが良く分かる．しかしながら，今まであまり重要視されなかった天端のY方向変位や，側面のZ方向Y方向変位の方は明

らかに切羽が計測点通過後から変位の違いが現れ、その変位量も大きい。すなわち、切羽前方の物性値の違いは通常の内空変位計測や天端沈下計測では計測結果に現れないことが分かる。Schubert氏は、天端部のZ変位とY変位から切羽前方の物性値変化が事前に挙動に影響することを示した²⁾。以上のように切羽前方の物性値変化の影響は事前に現れることがわかる。そこで、図-2の天端部Y方向変位に注目すると、Y方向変位がゼロに近い値を示すときは、切羽前方の物性値は小さいと考えられる。

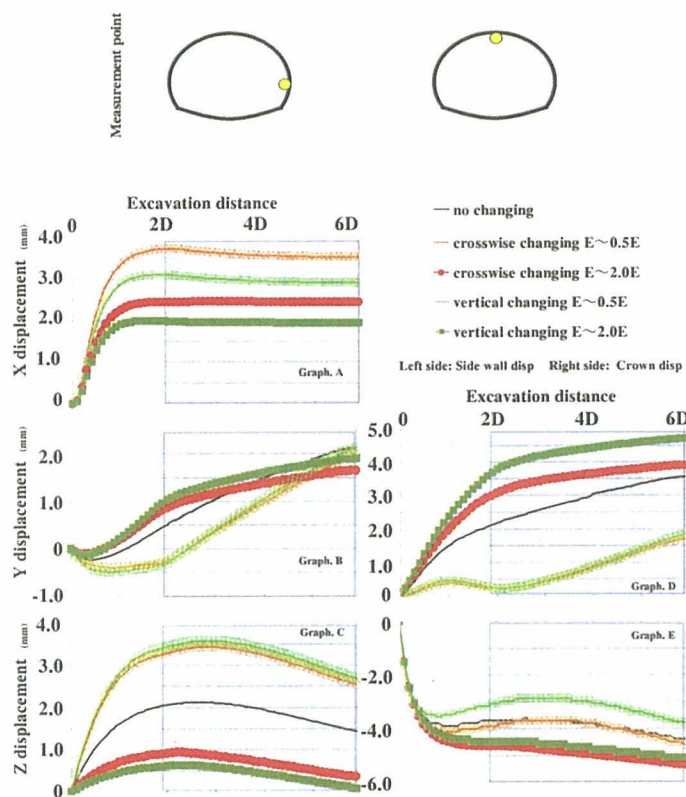


図-2 各計測点でのXYZ方向の掘削に伴う挙動

(2) 垂直変化モデルと斜め変化モデルの違いによる変位の比較

ここでの比較の対象としては、モデルの違いによる変位の違いを比較する。

まず側面 Y,Z 変位および、天端部Y変位に着目してみる。その結果、黄緑とオレンジ色の曲線、緑と赤の曲線はほぼ同じ挙動を示している事が良く分る。つまり、モデルの違いによる挙動の違いは見られないといえる。特に、前方の物性値変化が小さくなる場合 ($E \sim 0.5E$) を見てみると (黄緑とオレンジの曲線)、それらはほぼ同じ挙動をたどっている事が良く分る。

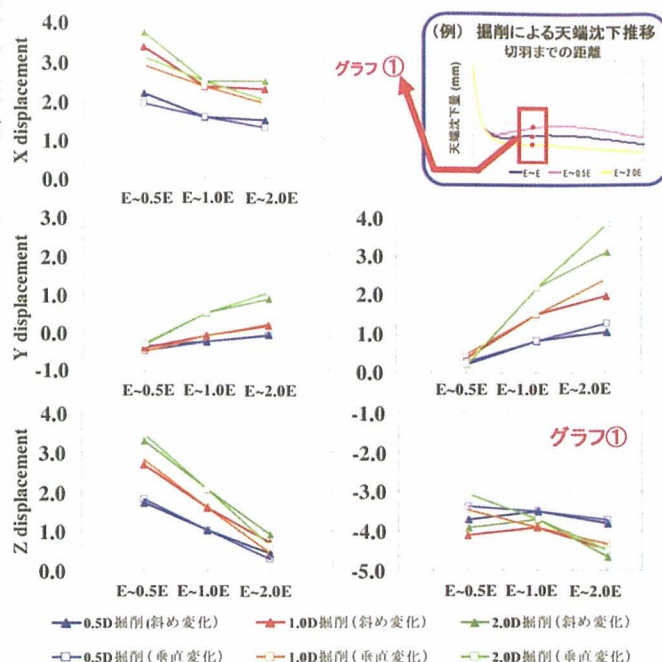


図-3 測点からの掘削距離と前方の物性値の違いによる変位の違い

図-2では、掘削の進み具合による各方向の挙動を示したが、図-3では掘削が0.5D,1.0D,2.0D行われたときの、各物性値の違いによる変位を示すグラフを示す。その結果、従来から着目されている側面X変位や天端Z変位はグラフの傾きが比較的平行を示している。すなわち、前方の物性変化に対して掘削が行われても、変位に違いを生じないといえる。一方で、側面Z変位や天端Y変位は、物性値の違いにより大きく傾いていることから、物性値の影響を受けている事が良く分る。

5. 三次元計測の表記法

X,Y,Z方向を個別に見てきたが、これらを一つの図を利用し挙動の推移を見る。また前の章より、三次元計測により得られる変位の特徴として、早い段階から前方の物性値変化に対する挙動に差が見られることがわかった。そこで、計測点から2mごとの掘削による、掘削10mまでの挙動の推移をレーダー図を利用し図-4に表現する。

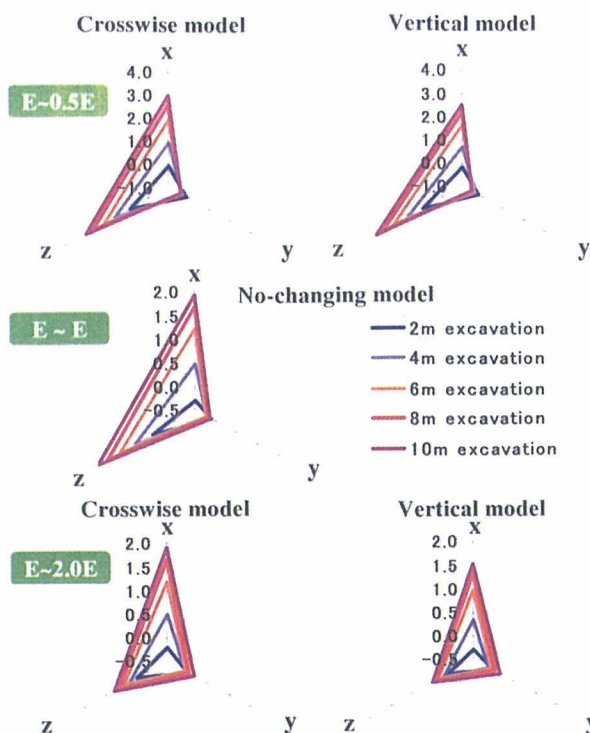


図-4 レーダー図による掘削に伴う変位の表現

まず前方の物性が小さい場合($E \sim 0.5E$)は、変位は物性変化の無いもの($E \sim E$)と比べXおよびZ方向の変位が大きい事がわかる。一方物性が大きくなる変化($E \sim 2.0E$)では、物性変化の無いものに比べ、レーダー図の形が明らかに違い、それはZ方向の変位に現れている事が良く分る。

つまり、前方の物性が小さい場合は、X,Z 変位が大きくなり、レーダー図の三角形は物性の変化が無いものとはほぼ同じになることが分った。また前方の物性が大きい場合は、Z 変位に変位が現れず、その結果はレーダー図の形顕著に違いが表れることが分った。よって、これらの性質を利用する事によって、切羽前方の地山状況を予測できると考えられる。

6. 結論

前方の物性の変化によって、変位に違いが見られることが分った。特にこれらは、従来から着目されていた天端沈下や内空変位ではなく、その他の方向(天端Y方向, 側面Y,Z方向)に見られることが分った。一方で、モデルの違いによる変位の違いはあまり見られなかった。この事から、物性の大小により変位に違いが出るのがわかり、うまく利用する事により前方の物性変化の予測に利用ができると考えられる。

7. 今後の課題

今後は現場のデータと比較し、実際にはどのような挙動を示すのかを調べる必要がある。また、本研究の解析モデルはすべて弾性体による解析である。そのため今後の研究においては弾塑性解析の実施とともに、解析モデルを左右非対称モデルなどを含め、モデルの種類を増やして行きたいと考えている。

参考文献

- 1) 土木学会:2006 年制定トンネル標準示方書 山岳工法同解説, pp.252-253, 2006 年
- 2)SCHUBERT: The role of on-site engineering underground project, ISRM International Symposium 2006 4th Asian Rock Mechanics Symposium, Rock mechanics in underground construction, pp71~82, 2006