

NATMにおける坑内切羽観察と地表面沈下量の関係の検討

RELATIONSHIP BETWEEN THE QUANTITATIVE ASSESSMENT OF OBSERVATION OF CUTTING FACE INSIDE NATM AND THE GROUND SURFACE SETTLEMENT

張 得煊¹⁾・山内淑人¹⁾・塩田忠義²⁾・渡部利文³⁾

Dexuan ZHANG, Yoshito YAMAUCHI, Tadayoshi SHIOTA, Toshifumi WATABE

This paper quantified the observation recordings of tunnel cutting face, and then examined the relationship ground surface settlement.

It was found that by using the observed results of tunnel cutting face during excavation, the pre-settlement and ground surface settlement are predictable in some extent. It was shown that even by means value method, it is possible to predict the micro-behaviors of rockmass during excavation of tunnel.

Key Words: tunnel cutting face, ground surface settlement, rockmass

1. まえがき

トンネルの事前調査では、地表面からの地質踏査・弾性波探査・ボーリング調査などにに基づき地山区分がなされているが、詳細な地山評価には限度がある。特に、不確定要因に支配される地盤を対象とするトンネル工事では、施工中の観察や計測による事前設計の見直しが大切である。このようなことから、事前調査の限界をカバーするために、施工の前線で得られた切羽観察結果は、有効に利用すべきである。

一方、都市トンネルにおいて、できるだけ早い段階で最終沈下量を予測することは重要な課題の一つである。これまでに、変位速度や2倍変位法などの計測結果から最終沈下量を予測する方法が提案されている¹⁾。他方、NATMによるトンネル施工中では、坑内の切羽観察が、日常施工管理のために必ず実施すべき計測項目とされている²⁾。本報告は、切羽観察を最終沈下量の予測に利用することができると考え、福岡市地下鉄3号線のNATM区間において、その切羽観察を定量化し、地表面沈下との関係を検討したものである。

2. 対象工事区間の地質概要

図-1に当工区の代表的な地質柱状図を示す。検討対象の区間においては、表土のすぐ下に古第三紀層が分布しており、全体的に頁岩を主体とした砂岩、礫岩の互層である。これらの岩の一軸圧縮強度は5～11MPaの範囲である。

1) 正会員 地域 地盤 環境 研究所

2) 福岡市交通局

3) 熊谷・三菱建設工事共同企業体

3. 地表面沈下の挙動

図-2に地表面沈下（レベル測量）の測定位置を示す。また、その測定結果を切羽からの距離と地表面沈下量の関係として図-3に示す。図より、測点No. 1～No. 6の区間では、地表面沈下量が20mm以上を示している。これらに対して、測点No. 7から地表面沈下量は、徐々に小さくなり、No. 9～No. 16の区間ではその値が5mm以下となっている。

このような地表面沈下の分布の原因として、地山の地質状況と地表面沈下との間に何らかの関係があるのではないかと考え、切羽観察の情報を定量化し、地表面沈下との関係を

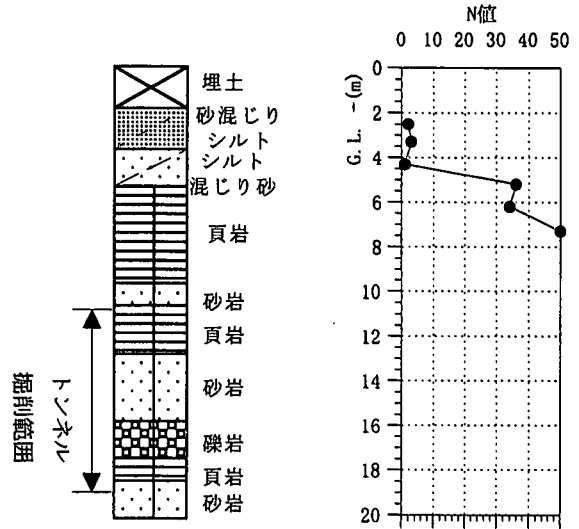


図-1 代表的な地質柱状図

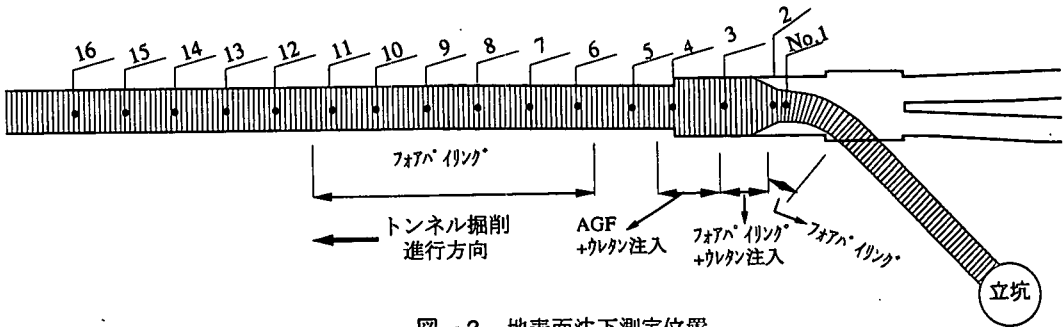


図-2 地表面沈下測定位置

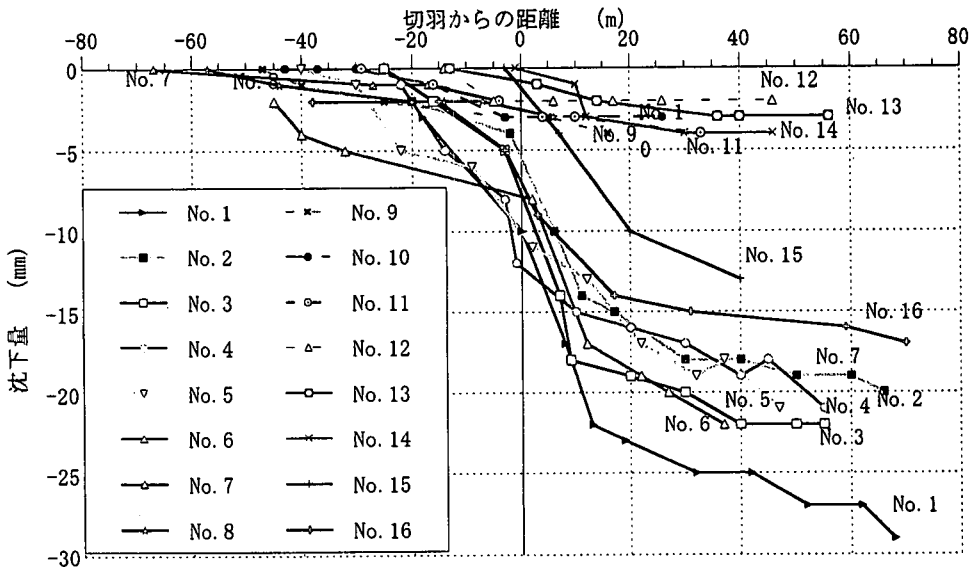


図-3 切羽からの距離と地表面沈下量の関係

評価した。

4. 切羽観察記録の定量化

切羽観察の目的は、これから支保を施工する箇所の地山等級の評価を行い、切羽近傍の安全性を確保するとともに、切羽の地山条件に応じた適切な支保の選定に活用することである。

切羽の観察内容・項目に関しては、図-5に示したように、一般的に使用されている坑内観察調査の記録様式²⁾に従って作成されている。また、切羽観察の定量的評価方法にあたっては、単純平均法・多変量解析による方法などの幾つかの方法が提案されている²⁾が、今回は単純平均法を使用した。単純平均法では、切羽観察各項目の重みをすべて同等と仮定し、切羽状態・素堀面の状態・圧縮強度・風化変質・割れ目の頻度・割れ目の状態・割れ目の形態・湧水・水による劣化の9項目を良好な順に1～4段階のランク付けを行い、その後、各地山状況を100点満点に換算する。すなわち、今回においては、評価点=(1～4ランク) (4段階) × 100

総合的に地山を評価するために、九つの項目の評価点数を累計して項目数で割ることによって地山総合評価点を算出する。

図-5は単純平均法で得られた結果である。図中に示すA～Iは、切羽観察における各項目別のランク評価結果を示す。Jは上記のランク評価に基づいて得られた地山総合評価点である。Kは各地点の地表面沈下の値を示している。この結果を見ると、地山総合評価点の高いほど、地表面沈下量が少ないことがわかる。すなわち、地山総合評価点と地

掘削地点の地山の状態と挙動

A	切羽の状態	①安定	②鏡面から岩塊が抜け落ちる	③鏡面の押し出しを生じる	④鏡面は自立せず崩れあるいは流出	⑤その他
B	素堀面の状態	①自立(管頂不安)	②時間がたつと緩み肌落ちする(後管理)	③自立困難掘削後早期に支保する(先管理)	④掘削に先行して山を受けておく必要がある	⑤
C	圧縮強度	① $\sigma_{cc} \geq 100 \text{ kPa}$ ハンマー打撃ではね返る	② $100 > \sigma_{cc} \geq 20$ ハンマー打撃でくだける	③ $20 > \sigma_{cc} \geq 50$ 軽い打撃でくだける	④ $50 \text{ kPa} > \sigma_{cc}$ ハンマー刃先くい込む	⑤
D	風化変質	①なし・健全	②岩目に沿って変色、強度やや低下	③全体に変色、強度相当に低下	④土砂状、粘土状、礫状、当初より未固結	⑤
E	割れ目の頻度	①間隔 $d \geq 1\text{m}$	② $1\text{m} > d \geq 20\text{cm}$	③ $20\text{cm} > d \geq 5\text{cm}$	④ $5\text{cm} > d$ 破砕、当初より未固結	⑤
F	割れ目の状態	①密着	②部分的に開口	③開口	④粘土をはきむ、当初より未固結	⑤
G	割れ目の形態	①ランダム形状	②柱状	③層状、片状、板状	④土砂状、細片状、当初より未固結	⑤
H	湧水	①なし、滲水程度	②潜水程度	③集中湧水	④全面湧水	⑤
I	水による劣化	①なし	②緩みを生ず	③軟弱化	④崩壊・流出	⑤
掘削方向(切羽面をみて)		①水平($10^\circ > \theta > 0^\circ$) ②さし目($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) ③さし目($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) ④流れ目($80^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) ⑤垂直($\theta \geq 80^\circ$) 【最大傾斜角をとる】				
横断方向(切羽面をみて)		①水平($10^\circ > \theta > 0^\circ$) ②右から左へ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) ③右から左へ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) ④左から右へ($60^\circ > \theta \geq 30^\circ$) ⑤左から右へ($30^\circ > \theta \geq 10^\circ$, $80^\circ > \theta \geq 60^\circ$) ⑥垂直($\theta \geq 80^\circ$) 【切羽面のみかけの傾斜角をとる】				

図-4 切羽観察内容・項目の一例(文献2より)

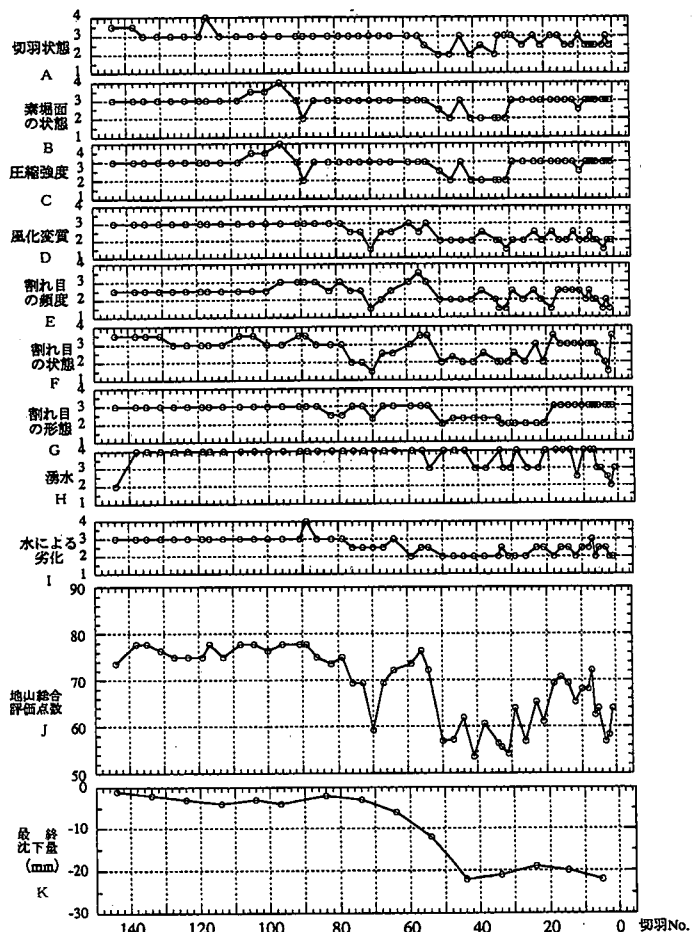


図-5 切羽観察のランク、地山総合評価点数と地表面沈下の関係

表面沈下量の間には相関関係が認められる。

5. 地表面沈下量と地山総合評価点の関係

図-6に先行沈下量(切羽通過前)と地山総合評価点の関係を示している。この図を見ると、先行沈下量と地山総合評価点の関係は2つのグループに分かれると思われる。地山評価点数は67点以下の場合、先行沈下量が4mm以上、地山総合評価点が67点以上であれば、先行沈下量が4mm以下になっている。

図-7に最終地表面沈下量と地山総合評価点の関

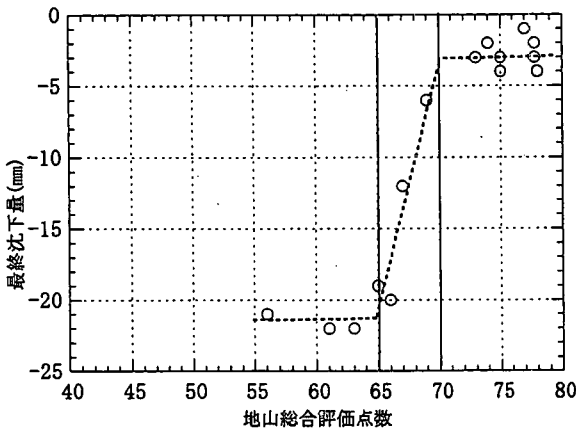


図-7 最終沈下量と地山総合評価点の関係

係を示している。この結果から、地山総合評価点数が65点以下の場合、20mm以上の沈下が発生し、地山総合評価点が65点～70点の間の場合、沈下量は5～20mmとなっている。地山評価点数が70点以上となると、地表面の沈下量は5mm以下の値を示した。

図-8に先行沈下量(Sp)と最終沈下量(Sf)の関係を示している。先行沈下量と最終沈下量はかなりのバラツキを有するが、最終沈下量は先行沈下量の2.4倍程度と考えられる。

6. まとめ

本研究は、切羽観察を定量化し、地表面沈下量との関係を検討した結果、掘削時におけるトンネル切羽の地山総合点と地表面沈下量とは明らかに相関性があることがわかった。このことにより、単純平均法のような簡易な地山評価方法でも、トンネル掘削時の地山の挙動をマクロ的に予測することに利用できるものと考えられる。また、先行沈下量と最終沈下量は相関関係にあり、先行沈下量から最終沈下量を予測することも可能と思われる。今後は、最終沈下量の予測と支保パターンについて検討する予定である。

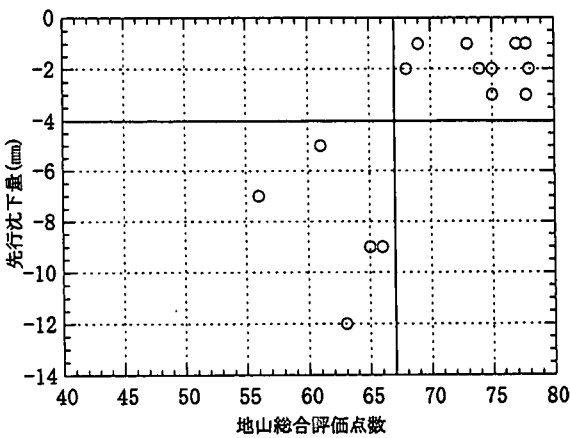


図-6 先行沈下量と地山総合評価点の関係

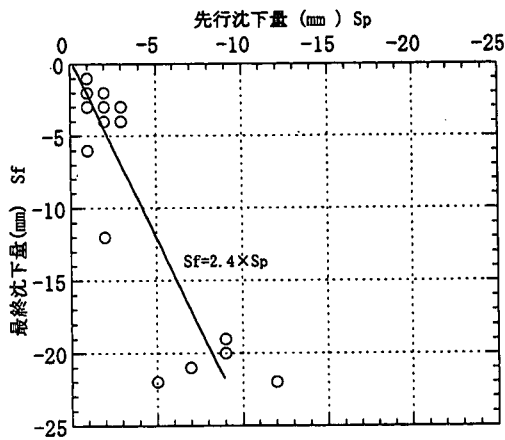


図-8 先行沈下量と最終沈下量の関係

参考文献 1) 土木学会：トンネルにおける調査・計測の評価と利用、 pp.192-210, 1987.

2) 日本鉄道建設団 NATM 設計施工指針、 pp. 281-284, 1997.