

(64) NATMにおける変位予測法の適用性 (第2報)

前田建設工業株式会社技術研究所		正会員	関	順一
同	上	正会員	○岡田	正之
同	上	正会員	井上	博之
同	上	正会員	三輪	俊彦

1. まえがき

トンネルの計測管理においては、日常の観測および計測結果にもとづいて、地山の安定性や支保の安全性などを確認しつつ施工を進めることが、重要である。そのためには、変位の増加や収束値をすみやかに予測することにより地山挙動を、早い時期に把握することが必要となる。

一般にトンネル掘削に伴って生じる変位は、切羽距離や経過時間との関係で整理され、グラフ化される場合が多い。著者らは、既報^{1),2)}において、内空変位と切羽距離との相関性に着目し、両者の関係を(1)式で表現した。

$$u_i = u_c (1 - e^{-\beta x_i}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 u_i : 変位 (mm)
 u_c : 上半での変位収束値 (mm)
 x_i : 上半との切羽距離 (m)
 β : 収束係数

そして、非線形最小二乗法を用いできるだけ早い時期に、収束値 u_c と収束係数 β の両者を同時に予測する手法について検討した。ベンチ工法における上半掘削段階での現場実測データを用いて、手法の適用性を考察した結果、前報では次のことが明らかとなった。

○掘削切羽が進むにしたがい、より精度の高い予測が可能である。

○本手法を 岩質区分の異なる種々のデータに適用した結果、その適用性が認められる。また、岩質区分のちがいによる変形過程の特徴が、ある程度明らかとなる。

前報は、上半掘削段階への適用結果であったが、本文では、さらに下半掘削後生じる変位の予測に対して本手法を拡張し、その結果について報告する。

2. 下半掘削段階における変位予測手法

下半掘削段階における変位の増加を図-1に示す。

下半掘削後の全変位 u_i を、上半掘削により生じる変位 u_{1i} と、下半切羽到達前に生じる先行変位 u_d および下半掘削により生じる変位 u_{2i} の和で表現する。

すなわち

$$u_i = u_{1i} + u_d + u_{2i} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 u_i : 全変位 (mm)
 u_{1i} : 上半掘削により生じる変位 (mm)
 u_d : 下半切羽到達前に生じている先行変位 (mm)
 u_{2i} : 下半掘削により生じる変位 (mm)

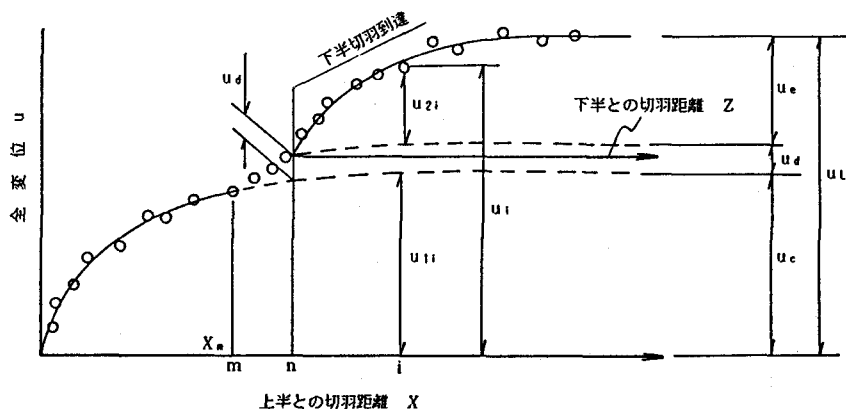


図-1 下半掘削段階における変位の増加の模式図

下半掘削により生じる変位 u_{2i} と、下半との切羽距離 z_i との関係を式(3)で表現する。

$$u_{2i} = u_e (1 - e^{-\gamma z_i}) \quad \text{..... (3)}$$

ここに、 u_{2i} : 下半掘削により生じる変位 (mm)

u_e : 下半掘削により生じる変位の収束値 (mm)

γ : 下半での変位に対する収束係数

z_i : 下半との切羽距離 (m)

ここで、 u_{2i} は式(2)より

$$u_{2i} = u_i - u_{1i} - u_d \quad \text{..... (4)}$$

となる。

u_{1i} は、上半段階での切羽距離 x_m (図-1 参照) までのデータを用いて予測した結果得られる u_c と β を用い、次式により算出する。

$$u_{1i} = u_c (1 - e^{-\beta x_i}) \quad \text{..... (5)}$$

ここに、 u_{1i} : 上半掘削により生じる変位 (mm)

u_c : 上半での変位収束値 (mm)

β : 上半での変位に対する収束係数

x_i : 上半との切羽距離 (m)

したがって、(3)式に対し上半での変位予測の場合と同様に、直接非線形最小二乗法を用いて、下半変位に対する収束値 u_e と収束係数 γ を予測することができる。

3. 適用性の検討

前章で示した手法により、実測データを用いて下半掘削段階における変位の予測を行った例を、図-2に示す。図より、データ数が増すにしたがい、すなわち下半切羽の進行に伴い予測収束値が実測収束値に近づいてゆくことが認められる。これは、前報で示した上半での変位予測の場合と同様である。

また図-2に示した例について、下半切羽進行に伴う予測収束値と収束係数の誤差の変動を図-3に示す。図の例では、切羽距離約4.5Dでの予測誤差は、約10%である。切羽距離が増加するにしたがい、誤差が小さくなり、精度が向上してゆくことが分かる。

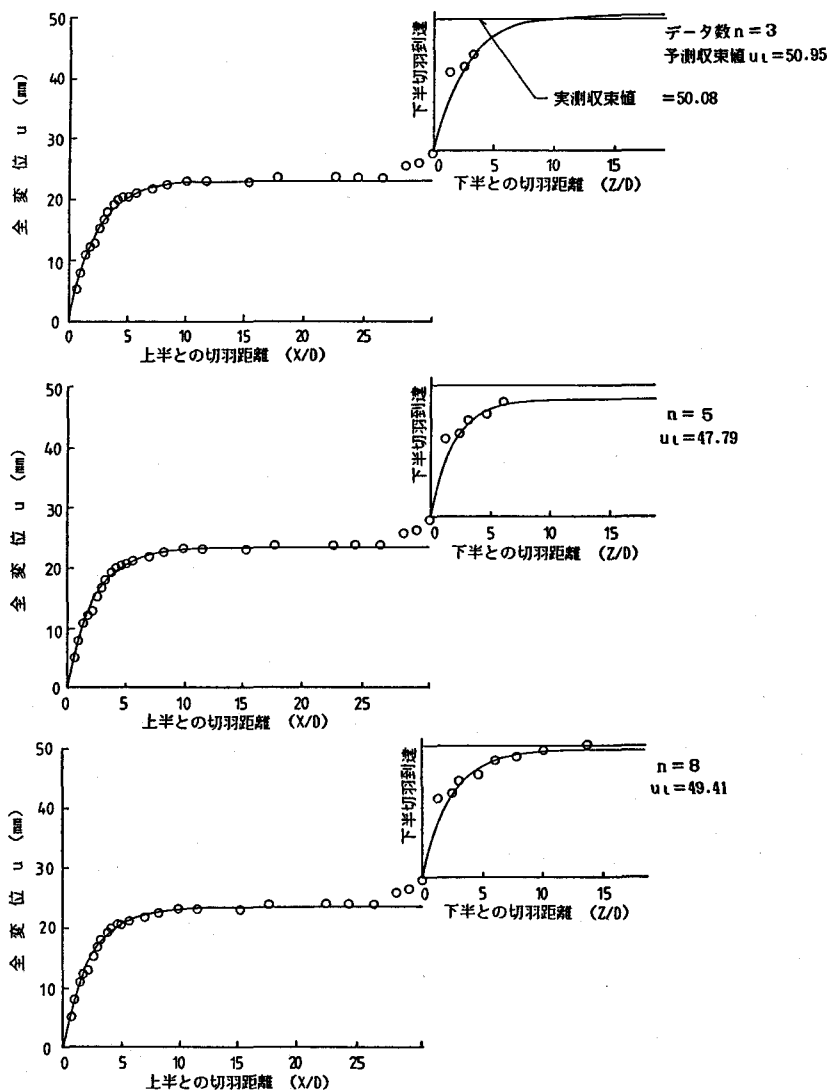


図-2 切羽距離（データ数）の増加に伴う下半施工後の変位予測例

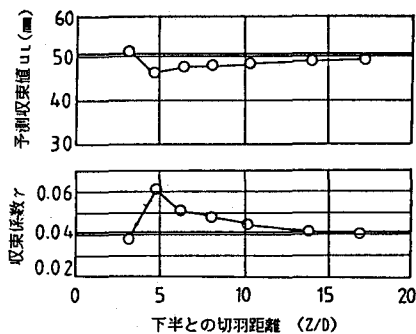


図-3 下半との切羽距離の増加に伴う
予測収束値と収束係数の誤差の変動例

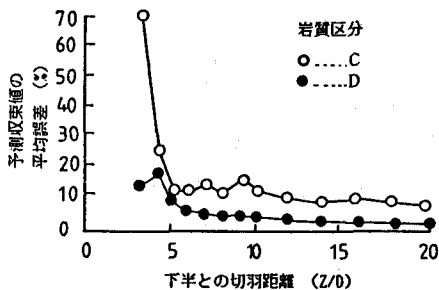


図-4 岩質区分別の下半との切羽距離
と予測収束値の平均誤差の変動

現場での実測データを用いて、下半掘削段階における本手法の適用性を検討した。データは、前報において用いたもののうち、日本道路公団の岩質区分C、Dに相当する2つの岩種のものである。

図-4に下半との切羽距離の増加に伴う、予測収束値の平均誤差の変動傾向を岩質区分別に示す。図より切羽距離4Dでの誤差は、20%前後であり、それ以後は10～15%となっている。この例でのトンネルの場合、上半に比べ下半の1日当り掘進速度が早い。すなわち切羽距離3D以内では通常の1日1回の測定では、データ数が少ないため誤差が大きくなる。従って本手法を用いる場合には、切羽との離れに合せて測定を行う必要があると思われる。図-5に下半施工後、変位が収束した時点での収束係数 γ のヒストグラムを示す。 γ の分布は、上半段階の場合と同様、岩質区分により特徴が見られる。すなわち岩質の良いCの方が γ の値が大きく、収束時期が早いことを示している。

図-6に 上半掘削段階および下半掘削段階での収束係数を岩質区分別に平均値で示す。 γ の平均値は、岩質区分Cが0.14、Dが0.06である。これは 上半段階での β の平均値(Cが0.11、Dが0.08)と同程度の値である。したがって岩質区分が同じものについては、上半掘削段階と下半掘削段階で類似の変形過程を示すものと考えられる。

4. まとめ

掘削にともなう生じる内空変位の収束値と収束係数(収束過程)を直接予測する手法を、下半掘削段階での変位予測へ拡張し、実測データを用いて検討した。その結果、上半の場合と同様に、掘削切羽の進行に伴って、精度を高めつつ予測できることが分った。したがって、本手法を用いることにより、上半、下半と施工段階に応じて計測データが得られるたびに、逐次予測値を修正しながら変形挙動を把握することが可能である。また岩質区分C、Dに相当する実測データを用いて、下半掘削段階での変位予測を行い、上半段階と下半段階とで同様の変形過程を示すことが明らかとなった。

本手法は、実用性を考慮して、パーソナルコンピュータにより、対話形式でデータの入出力を簡便に行えるシステムとなっている。今後、さらに多くのデータを適用し、本手法の有用性を高めてゆく所存である。

参考文献

- 1) 高橋・佐藤・関・岡田: 変形の大きいトンネルでの計測管理事例, 土と基礎, 34-2, 1986
- 2) 関・中村・岡田・三輪: NATMにおける変位予測法の適用性, 第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 土木学会岩盤力学委員会, 1986
- 3) Seki, Okada, Inoue, Miwa: Adaptability of Convergence Forecasting Method of Controlling Tunnel Construction, Field Measurements in Geomechanics 2nd International Symposium, 1987(in press)

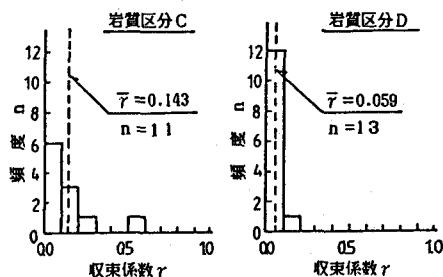


図-5 下半変位に対する収束係数の岩質区分別ヒストグラム

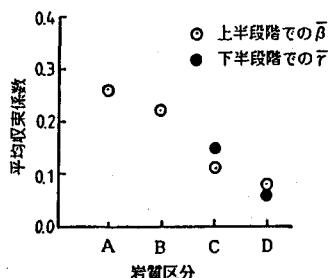


図-6 岩質区分別の上半と下半の収束係数の平均値

(64) ADAPTABILITY OF METHOD FOR FORECASTING DISPLACEMENT UNDER NATM

(PART2)

By Jun'ichi SEKI, MAEDA CONSTRUCTION CO., LTD

Masayuki OKADA do.

Hiroyuki INOUE do.

Toshihiko MIWA do.

Synopsis

In the previous paper, the authors have taken note of the correlation between convergence occurring in the tunnel excavation and distance to tunnel face and expressed with the exponential equation. And the method of forecasting has been investigated, both ultimate displacements and convergent process of displacement in an early stage of excavation by using the least squares method.

It is described in the previous paper, that adaptability of the method at the stage of upper half excavation has been shown. In this paper, the result is indicated, expanding this method to the forecasting displacement of the lower half excavation stage.

As a result, similarly to the upper half, it is clarified that we can forecast displacement improving the precision with the advance of tunnel excavation. Therefore, it is possible that we confirm behavior of deformation with amendment of forecasting displacement one after another as excavation progresses. Moreover, by forecasting lower half displacement with class C and D data, it is found that the tendency of deformation process in the stage of lower half is similar to that of upper half.