

名古屋大学大学院 学生会員 松沢 秀泰

1. はじめに 内空断面への押し出し量の著しく大きな膨張性地山トンネルにおいては、早期に地山の破壊を予知し、対策工を施すことは重要である。本研究は、第33回土木学会年次学術講演会で発表した膨張性地山の破壊予知法の研究に引き続き、破壊すると予知された地山がそのまま放置された場合、最終的にはどの程度変位するかを予測するものである。現在引き続いて検討中であるが、本研究の方法で最終変位量を予測できるならば、太田らが発表したトンネル支保工にかかる平均的な圧力と半径変化(トンネル壁の変位/トンネル半径)の関係を示す理論式²⁾を用いて、トンネル支保工にかかる平均的な圧力を算定することができ、対策工の規模、例えば、鋼支保工の強度やロックボルトの本数等を決定することができる。従って、地山の破壊が予知される時点、すなわち、後で述べるがC値が破壊予知線と交わる時点で、早期に対策工を施工できると思われる。

用いたデータは、上越新幹線中山トンネル中山工区の側壁導坑先進上部半断面工法(クッション材工法)を採用した区間で得られたもので、断面図をFig-1に示す。また、中山工区は中山累層と呼ばれる緑色凝灰岩を主体とした地層で、地山強度比 γ_u/γ_H 、 γ_u —軸圧縮強度 γ :地山の単位体積重量 H (土かぶり厚)は0.36~1.55(平均0.9)と小さい。なお、中山工区は現在NATMが用いられている。

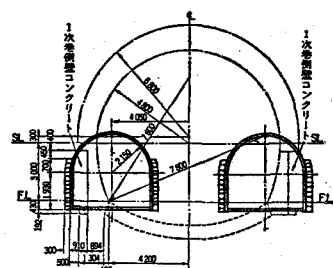


Fig. 1 クッション材工法を採用した区間の断面図
(上越新幹線 中山トンネル 中山工区)

2. 膨張性地山トンネルの破壊予知 本研究で用いる変位量とは、同一断面内で数箇所測定された側壁導坑鋼支保工の内空断面への押し出し量のうち最大の変位量を指す。また、破壊とは著しい変位によって作業者が危険を感じる状態を指し、繰返しやロックボルト工等の対策工を講じる必要のある地山の状態を言う。

今、C値(変位量×変位速度)を用いると、Fig-2の太実線で示される破壊予知線(破壊する地山のC値は破壊予知線より上に位置する)が得られる。ここで縦軸にC値、横軸に変位測定開始からの経過日数を取る。試験坑等で予め破壊予知線を求めておけば、掘進中に地山の破壊を早期に予知する有効な手段となるとと思われる。すなわち、C値が破壊予知線と交わればその時点で地山の破壊を予知でき、早期に対策工を施工できる。また、2~3ヵ月待っても交わらなければ、地山は破壊しないと判断される。

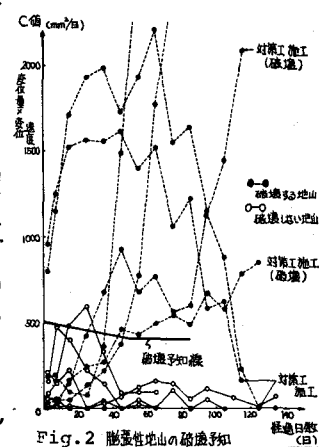


Fig. 2 膨張性地山の破壊予知

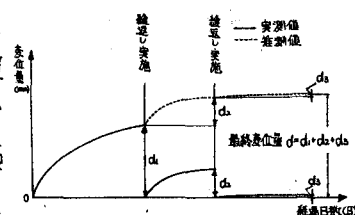


Fig. 3 本研究で用いる最終変位量の求め方

3. 最終変位量の予測

本研究で用いる最終変位量とは鋼支保工を建て込み、たとえ著しい変位を示したとしても繰返しやロックボルト工等の対策工の施されない状態での最終的な変位量を指す。しかし、現実には作業者が危険を感じれば対策工を講じるため、最終変位量を予測することはできない。従って、次のような方法で求める。すなわち、破壊する地山における最終変位量は、対策工や仮巻 Conc 施工直前の変位量を加え合わせて求める。対策工に繰返しを用いた場合で要領を図示したものが Fig-3 で、最終変位量 d は $d = d_1 + d_2 + d_3$ となる。このようにして求めた最終変位量の精度は明確でないが、繰返し等の施工による地山の乱れ、すなわち、変位量の増大を考慮しているため、大きめの最終変位量を見積る（安全側）と思われる。

C 値が破壊予知線と交わる時点の変位量を交点変位量と呼ぶと、交点変位量と最終変位量の比及び破壊予知線と交わる時点の関係は、

Fig-4 のような相関関係を示す。ここで縦軸に（交点変位量 / 最終変位量）、横軸に破壊予知線と交わる時点（ t ）を取る。相関係数は $r = 0.728$ で、回帰分析（線形回帰）を行なえば、平均値 μ は $\mu = 0.285(t + 8.552)$ 、標準偏差 σ は $\sigma = 0.118(t + 8.552)$ となる。また、この関係は地山強度比に影響されない傾向を示し、最終変位量を予測する上で有効な方法であると思われる。

試験坑で予めこの関係を知っておけば、掘進中に C 値が破壊予知線と交わる時、交点変位量及びその時点が分かるため、Fig-4 を参考にすれば簡単に最終変位量を予測できる。すなわち、確定論的手法では Fig-4 の平均値を用い、確率論的手法では、（交点変位量 / 最終変位量）が Fig-5 のように対数正規分布（有意水準 5% で妥当）するので、最終変位量は対数正規分布として与えられる。

本研究は中山工区のデータのみで議論しているため、他のトンネルに関して定量的に議論することはできないが、定性的には有効な概念であると思われる。

4. おわりに

試験坑等において、予め Fig-3, 4 のような施工管理図が得られるならば、掘進中の変位量規定で地山の破壊を予測することができ、さらに最終変位量を予測することができる。本研究は NATM のデータを用いて議論したものではないが、NATM の対策工（再吹付、増しボルト等）の施工時期、施工規模の決定の際、役立つ手法であると考えらる。

最後に、本研究は熊谷組中山作業所の矢木康熙所長の御好意により進められており、矢木所長と山口啓二氏に多大な御教示と御協力を頂いている。ここに厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 松尾 純, 松沢 秀泰; 膨張性地山トンネルにおける変形特性の一考察 第33回土木学会年次学術講演会講演概要集Ⅲ-56 (S.53.9)
- 2) 太田 秀樹, 益岡 勉; トンネル掘削にともなう地山内応力と変形 第13回土質工学研究発表会 E-1 (S.53.6)

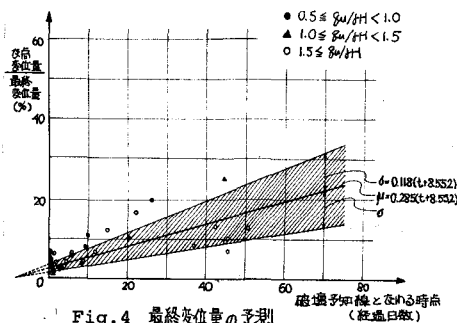


Fig. 4 最終変位量の予測

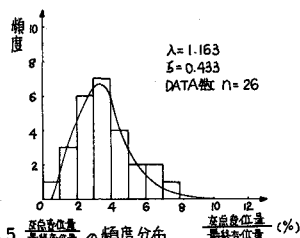


Fig. 5 最終変位量の頻度分布