

Ⅲ-566

内空変位計測結果に基づくトンネルの安定性評価

京都大学工学部 谷本 親伯
 (株)大林組 ○吉岡 尚也
 (株)大林組 木梨 秀雄

1. 序

NATMにおける計測の目的は、トンネル掘削直後の地山挙動にその重点が置かれ、内空変位計測や地中変位計測の結果などを総合的に解析し、トンネルの安定性や支保工の経済性を評価することにある。具体的には、施工中の支保工、すなわち吹き付けコンクリートの厚さ、ロックボルトの打設本数や長さ、鋼製支保工の寸法や建て込み間隔を適切に決めることになる。ところが、計測結果に基づいてトンネルの安定性や支保工の経済性を評価するためには、汎用性のある施工管理方法が必要となるが、個々のトンネル現場において独自の管理基準を設定し、それを適用しているのが実態である。これは、簡便かつ実用的に実施できる内空変位計測を利用し、得られた結果を解釈するための方法が提案されなかったことに起因しているものと考ええる。そのため、トンネルの施工時には、いろいろな計測が行われているが、計測の結果が次段階の施工に十分反映されていないのが現状である。

この報告では、NATMでトンネルを掘削したときに大きな変位が生じ、施工面で難渋した凝灰岩や泥岩などの堆積岩地山における原位置での計測、特に内空変位計測を通じて取得したデータを解析し、トンネルの安定性や支保工の経済性を評価する上で重要となる施工管理方法を提案するものである。

2. 地山強度比と内空変位との関係

地山強度比が2以下の地山にトンネルを掘削すると、支保圧力の大きさによってはトンネル周辺の地山に緩み域が形成される。したがって、内空変位曲線の収束状態から緩み域の幅 $W_p^{1)}$ が求まれば、カストナー²⁾の理論解を変形し、下式より

$$\sigma_{gd} = (\xi - 1) / [(\xi + 1)((a + W_p)/a)^{(\xi - 1)} - 2] \\ \times [2P_0 - P_i(\xi + 1)((a + W_p)/a)^{(\xi - 1)}]$$

地山の軸圧縮強度 σ_{gd} を推定できる。ここに、 a はトンネルの半径、 P_0 は初期応力、 P_i は支保圧力、 ξ は内部まさつ角 ϕ_{gd} の関数、そして σ_{gd} は地山の軸圧縮強度を意味している。ここでは、いくつかの内空変位曲線から地山の軸圧縮強度 σ_{gd} を推定した。推定した σ_{gd} を初期応力 P_0 で割ったものが地山強度比 C_f になる。一方、地山の軸圧縮強度の推定を試みた例については、収束時の変位がわかっているため、これらと地山強度比との関係を示すと図-1のようになる。

図-1では、地山強度比と最終変位との関係を5つに区分した。図-1より、例えば地山強度比 C_f が0.5~0.75のような地山にトンネルを掘削すると、安定性が確保されときの内空変位は、80~150mmになることがわかる。また、地山強度比が0.5以下となるような地山にトンネルを掘削すると、150mmを越える内空変位が生じている。しかし、トンネル掘削時の内空変位が150mmを越えた場合には、施工面で難渋し、再掘削を余儀なくされた例が多かった。したがって、トンネルの内空変位は150mmを越えないように施工を行うことが重要となる。

3. 地山支保圧力比と地山強度比との関係

トンネルの安定性や支保工の経済性を簡便に評価するためには、地山支保圧力比と地山強度比との関係を示す図を作成すれば、その判断が容易になる。この関係を示す図は、カストナー²⁾の理論解を用いて、塑性域(あるいは緩み域)と弾性域との境界を求めることにより作成できる。図-2は、地山の内部まさ

つ角を 20° として、地山支保圧力比 I_s と地山強度比 C_f の関係から、塑性域と弾性域の境界を区分できるように描いたものである。同図の○印は、計測結果に基づいて地山強度比 C_f と地山支保圧力比 I_s の関係をプロットしたものである³⁾。

図-2より、地山強度比 C_f が1以下となるような状態の地山において、地山支保圧力比 I_s が小さいところにプロットされている例の多いことがわかる。このように地山支保圧力比 I_s を小さく見積もって施工が行われたのは、地山強度比 C_f が大きい地山での施工例を地山強度比 C_f が小さい地山に適用したためであると考ええる。これでは、トンネルの周辺地山に緩み域が拡大し、トンネルの安定性を確保するうえで問題が生じるのも当然である。さらに、トンネルの安定性および支保工の経済性を評価する観点から図-2を見ると、特に地山強度比 C_f が小さな状態の地山においては、地山支保圧力比 I_s が塑性域と弾性域との境界線上に近いところにプロットされるように剛な支保工を用いて施工を行うことが重要であると考ええる。

4. 結言

1957年から1965年にかけてオーストリアで開発されたNATMは、現場での観察と計測を通して最小の支保工規模でトンネルの安定性を確保しようというのが根本思想である。しかし、支保工の設計のために信頼できるデータを提供することは難しい課題の一つである。したがって、現場で得られた貴重なデータに基づいてトンネルの安定性を評価する場合には、計測値の持つ力学的な意味を具体的に解釈する方法を把握しておくことが重要となる。それゆえ、トンネル現場において簡便かつ実用的に行われている内空変位計測の結果からトンネルの安定性を評価する方法についていろいろな考察を行った。まとめると以下のようになる。

- 1) トンネル掘削前、掘削中に地山強度比を把握しておくことにより、トンネル掘削に伴う収束時の内空変位を予測しながら施工を行えることがわかった。
- 2) トンネル施工時における支保工の過不足については、地山支保圧力比と地山強度比との関係を調べれば、簡便に判断できることがわかった。

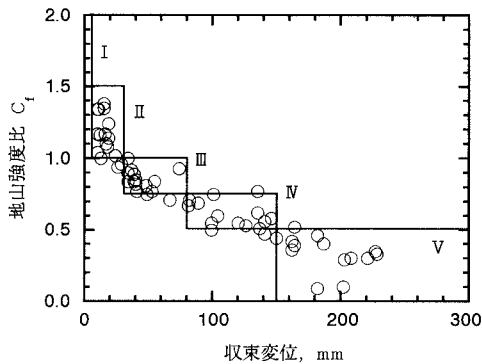


図-1 地山強度比と内空変位の関係

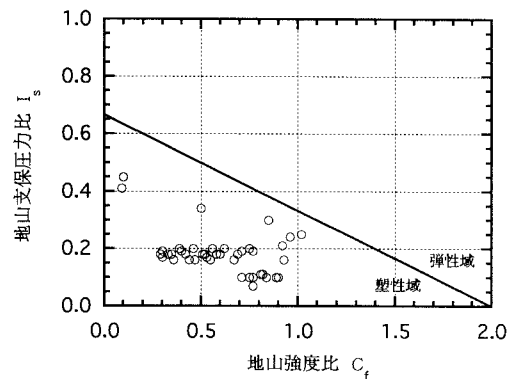


図-2 地山支保圧力比と地山強度比との関係

参考文献

- 1) 谷本親伯、吉岡尚也（1991）：山岳トンネルにおけるコンバージェンス計測の意義、材料、第40巻、第452号、pp.630-636。
- 2) Kastner, H. (1962) : Statik des Tunnel und Stollenbaues, Berlin (金原弘訳 (1977) : トンネルの力学、森北出版、第IV章)。
- 3) 谷本親伯、吉岡尚也（1992）：変形に基づくトンネル地山分類の提案、材料、第41巻、第463号、pp.424-429。