

(株)熊谷組技術研究所 正員 大塚本天
 同 同 上野正高
 同 同 〇畠高伸一

1. はじめに

地下構造物を合理的に設計・施工する上に、理論的考察結果と実例結果を比較すると、かなりの相違が生じてしまう。この原因としては、理論的考察には、地山の物性値、施工に対する影響、時間の経過等の全ての要因を的確には考慮できないし、また概念的には理解していても、実際に全ての要因を折込んで設計することは困難である。ここでは、これ等の問題に対して、トンネルの塑性領域について考察してみた。

2. 理論的弾・塑性解析

地山の降伏条件式と、 $\tau = C + \sigma_n \tan \phi$ とし、円形トンネル周辺応力及び塑性領域の範囲は、次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{rp} &= (P + CA) \left(\frac{r_0}{r} \right)^{1-\lambda} - CA \\ \sigma_{\theta p} &= \lambda (P + CA) \left(\frac{r_0}{r} \right)^{1-\lambda} - CA \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

$$\frac{R}{r_0} = \left[\frac{(P_0 + CA) - (P_0 + CA) \sin \phi}{P + CA} \right]^{\frac{1}{\lambda-1}} \text{----- (2)}$$

ただし

σ_{rp} ; 塑性体の半径方向応力

P_0 ; 地山の内部応力

$\sigma_{\theta p}$; 塑性体の接線方向応力

P ; トンネルの内圧

λ ; $\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$

r_0 ; トンネル半径

r ; 任意の動径

CA ; $C \cot \phi$

R ; 塑性領域の半径

(1), (2)式を用いて、試験値による地山の物性値を代入して塑性領域を求めた結果と、実際の地山で得られた結果では、かなりの差異が認められる。結果的には、地山の物性値を割引かないと実際と一致しない。この原因として考えられることは、地山の異方性と施工によるスプリット現象を正しく評価していないことと思われる。

上越新幹線中山トンネル中山工区での物性試験結果は、次に示すものである。

内部摩擦角 $\phi = 57^\circ$
 圧縮強度 $\sigma_c = 116 \text{ kg/cm}^2$
 引張強度 $\sigma_t = 10 \text{ kg/cm}^2$
 粘着力 $C = 17 \text{ kg/cm}^2$
 弾性係数 $E_{50} = 23,700 \text{ kg/cm}^2$

理論的に考察して、実例結果と一致すべく物性値を修正すると、次に示すものとなる。

内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$
 圧縮強度 $\sigma_c = 8 \text{ kg/cm}^2$
 引張強度 $\sigma_t = 2.6 \text{ kg/cm}^2$
 粘着力 $C = 2.3 \text{ kg/cm}^2$

修正値を用いて、光弾性実験結果により、馬蹄形導坑のアーバーストレスの領域を求めると、Fig-1に示されるものとなる。Fig-2は、スプリット現象を評価して、地山の内部摩擦角と主応力の比によって、弾・塑性の境界が生ずるものとして、有限要素法によって求めた結果と、さらにFig-3に、円形トンネルのものを示した。

3. 実測値

理論的トンネル周辺の弾・塑性解析に対して実測値としては、Fig-4に示すような地山の変位測定及びFig-5に示す弾性波速度試験による低速度の分布により、弾・塑性の境界を考察した。Fig-4には、各々の測定位置の変形の経時変化がプロットしてある。この結果をトンネル壁面に對するひずみの分布に変換すると、Fig-6の結果がえられ、弾・塑性の境界条件としては、地山の物性値を考慮して、 $\epsilon = 0.015$ を越える領域を塑性領域と考えた。あるいは、地山の変位試験結果より、Fig-7に示すような、異常変曲より、弾・塑性の境界を見分けることができる。

弾性波速度と弾性係数の関係及び試験片の弾性波速度試験値を考慮することになるが、ここでは、 $0.7 \sim 1.0 \text{ km/sec}$ の反曲を塑性体と見なす領域と考えることができる。

4. 結 論

試験片の物性値を用いて、理論式にあてはめても、現実の結果と一致しないであろう。その理由として地山の異质性、施工時のスプリット現象を考慮しないからだと考えられる。

ここでは、上越新幹線中山トンネル中山工区の導坑でえられた実測値をもとにして、理論と実測値の歩み寄りについて考察してみた。理論解析の不備な点は是正及び改定に何かの役に立てばと思っています。

計画については、日本鉄道建設公団高山建設所の須賀沢長並びに森副所長の御理解と御指導をいただき、現場においては、当江矢木所長に積極的に協力をいただき、誠に深く感謝を表します。

参考文献

- 1)、日本鉄道建設公団東京新幹線建設局高山鉄道建設所；上越新幹線中山トンネル(中山)工事、ロックボルト一次、二次試験反荷報告書 昭和51年12月、52年5月
- 2)、新井田四郎、須賀武；膨圧トンネルにおけるロックボルト工 上越新幹線中山トンネル 昭和52年5月
- 3)、溝口健二；上越新幹線中山トンネルにおける膨張性地山の掘削 土木施工 昭和62年6月

