

III-B 95

トンネル掘削時の地山挙動解析に用いる地山変形係数に関する一考察

前田建設工業・技術研究所 正会員 久慈雅栄

正会員 井上博之

橋詰 茂

1. はじめに

今後建設予定の道路では、車線数をあらかじめ3車線に設定した計画が行われ、トンネルも必然的に3車線やそれ以上の大きさを持ったいわゆる偏平大断面トンネルとなる。また、他の目的に供せられるトンネルも大断面、双設断面が多くなっていくと予想される。しかし、こういう特殊断面トンネルの工事施工例は少なく、地山挙動は十分に把握されているとはいえない。そのため、施工は試行錯誤の状態から始めるといっても過言ではない。そこで、数値解析により地山挙動を事前に予測することが重要となるが、FEM解析の結果は入力パラメータの物性値により大きく左右される。そこで、これらのうちの地山の変形係数について、その設定方法に関する検討を行い新たな方法を提案する。

2. 地山変形係数の重要性について

まず、地山変形係数の重要性について示す。図-1は、砂礫層中に掘削された土被り比1.1の3車線トンネル断面において、地山の変形係数 D (1000kgf/cm²)、ポアソン比 ν (0.4)、粘着力 C (2.0kgf/cm²)、内部摩擦角 ϕ (35°)、支保導入時の応力解放率(40%)を取り上げてパラメータスタディを行い、地表面沈下量を10%変化させるのに必要なパラメータの変化率を示している。すなわち、各項目の変化幅が小さいものが「敏感な」パラメータでその設定に注意を要することを意味している。図より、最も敏感なのは ν と ϕ であるが、これらは地山の種類によりほぼ決定されるものである。したがって、結果を左右する敏感なパラメータは地山の変形係数であるといえる。解析では、変形係数を50%小さくすると地表面沈下量は約50%増加するという関係が認められた。これより、予測解析結果をある誤差範囲に抑えるためには、地山の変形係数をその誤差範囲の精度以下で求める必要があることを意味している。しかしながら、従来の予測解析は地山の変形係数に関する試験結果をそのまま用いることが多いため、試験法や地山の不均質性に伴う試験結果の誤差を含んだまま解析を行っていることになる。

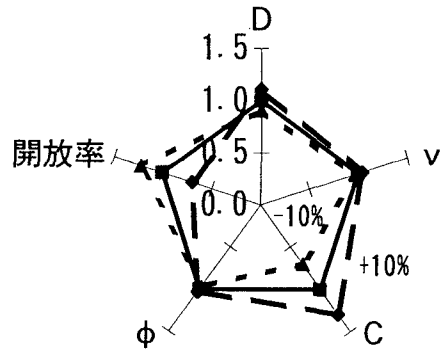


図-1 解析パラメータの結果への影響度合い

敏感なパラメータは地山の変形係数であるといえる。解析では、変形係数を50%小さくすると地表面沈下量は約50%増加するという関係が認められた。これより、予測解析結果をある誤差範囲に抑えるためには、地山の変形係数をその誤差範囲の精度以下で求める必要があることを意味している。しかしながら、従来の予測解析は地山の変形係数に関する試験結果をそのまま用いることが多いため、試験法や地山の不均質性に伴う試験結果の誤差を含んだまま解析を行っていることになる。

3. 地山変形係数の設定方法の提案

そこで、過去の実績を分析して地山の「見かけの」変形係数を求めることを試みた。

過去の実績として公表文献および当社の施工実績を用い、多変量解析により各トンネルの条件と地表面沈下量の関係を求めた。試行の結果、説明変数としてトンネル断面積(A)、偏平率(B)、土被り比(C)、地山強度比(D)、変形係数試験値(E)、掘削方法(F)、補助工法(G)の7項目を採用し、これらのデータを完備している36トンネルの実績に基づいて解析を行った結果、1式に示す地表面沈下量(U)の予測式が得られた。

$$U = 129.489 - 0.143A - 42.368B - 13.932C - 0.466D - 0.009E + F + G \text{ (mm)} \quad \text{----- [1式]}$$

ここに F: 全断面 = 0 ショートベンチ = -31.637 サイロット = -44.252 CD = -34.641

G: 補助工法無し = 0 補助工法A = 16.419 補助工法B = 18.034

この式の重相関係数は0.692となった。図-2に本式で求めた予測沈下量と実測沈下量の関係を示す。理想的

には、これらの関係は1:1にならなければならないが、実測沈下が小さい場合は予測沈下はやや大きく、実測沈下が大きい方はやや小さく予測される結果となった。しかしながら、実測沈下が70mm以下では全体としてほぼ1:1の関係に近いと判断される。

次に、この結果を利用して地山の「見かけの変形係数」を求める。地表面沈下量と地山の変形係数との関係はLimanovにより粘土地山における円形トンネルの全断面掘削時の計測結果から経験式¹⁾が提案されている。この経験式は土被りが0.3~1.5の範囲では砂礫層の地山にも適用できる²⁾ので、これを今回用いることにした。Limanovの条件に合わせるために1式によって補助工法を使用しない全断面相当の予測沈下量を計算し、さらにトンネル断面積から等価半径を求めて、これらの結果を2式に代入して見かけの変形係数を逆算した。

$$E = (1 - \nu^2) p / U \cdot 4r^2 h / (h^2 - r^2) \quad \text{-----} [2式]$$

ここに p : トンネル中心位置での圧力

ν : 地山のポアソン比

r : トンネル半径 h : 深度

このようにして求めた見かけの変形係数と試験値の関係を図-3に示す。ばらつきが大きく、両者を直線関係に近似すると相関係数は0.56となる。しかし、特に試験値3000 kgf/cm²以上での乖離が大きく、それ以下の場合には両者はほぼ1:1の関係に近い。したがって、試験に近い値を与えることがわかる。以上をフロー図にすると図-4となる。このような流れで地山の変形係数を設定することとした。

4. まとめ

以上、地山の変形係数の新しい設定方法の提案を行った。現状では、またサンプル数が少なく、また地下水の影響や実測点の地形的な影響等が盛り込まれていないため決して精度は高いとはいえないが、これまでは試験結果だけから決定されていたのに比べて「期待値」としての変形係数が得られる方法と考えている。また、この方法では仮に試験が実施されていなくても地山性状から推定値される変形係数により見かけの変形係数を求めることが可能である。今後、適用例を増やしてより精度を向上させることを目指していく予定である。

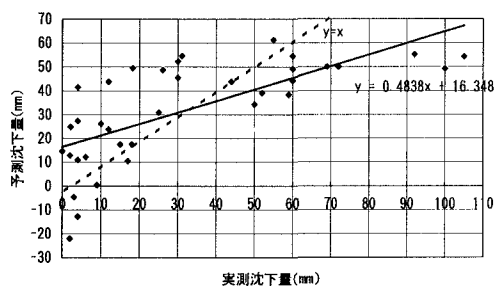


図-2 沈下量の実測値と予測値の関係

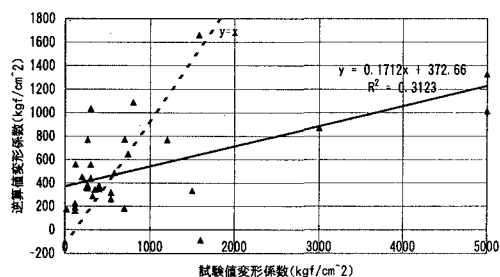


図-3 変形係数の試験値と推定値との関係

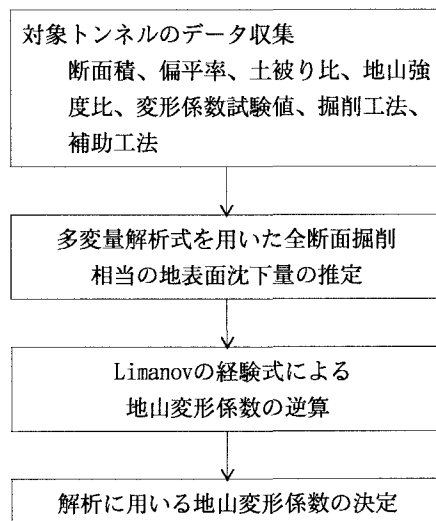


図-4 地山変形係数の設定フロー図

参考文献

- 1) 例えばK. Szecy著(島田隆夫訳)「トンネル工学」鹿島出版会, pp. 653~655, 1971
- 2) 坂山、井上、久慈「実測値に基づいたトンネル断面の違いによる地山挙動の差について」第26回岩盤力学シンポジウム, pp. 201~205, 1995