

III-335 トンネル掘削断面形状の変形特性への影響

三井建設（株）技術研究所 （正）○山地 宏志
神戸大学 工学部 （正） 櫻井 春輔

1. はじめに

トンネル掘削によって得られるトンネル壁面形状は、設計断面に応じた滑らかなものではなく、常に大小の凹凸を有する。このようなトンネル掘削断面の凹凸は、これまで施工上の問題（たとえば余堀り、アタリ等）として取り扱われることはあっても、空洞安定の面から論ぜられることはなかった。ところが、トンネル掘削による地山の力学的挙動は地山の力学特性、初期地圧及びトンネル断面形状に支配される。従って、トンネル壁面に生ずる大小の凹凸は、地山の力学挙動に無視し得ない影響を及ぼすこともあり得るものと考えられる。

本文は、トンネル壁面に発生する凹凸の影響を吹付けコンクリートの弾性係数の定価として評価し、そのシミュレーションの例を示すものである。

2. トンネル壁面凹凸の特性値及び吹付けコンクリートの等価弾性係数

本文ではトンネル壁面上に発生する凹凸を確率過程論的に捉え、エルゴード性有りと仮定する。すなわち、各トンネル掘削を試行回数とし、トンネル横断面上の凹凸分布と同一の確率分布をなすものとする。このとき、確率過程論的な見地から凹凸形状の特性値として次の二つが導かれる。

$$\text{凹凸度} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R}_i)^2}{(N-1)} \right\} \left/ \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N R_i}{N} \right\} \right. \quad (1)$$

$$\text{凹凸長} = \begin{cases} T_{P\text{Max}} : \text{Max}P(T > T_a) \geq \text{Min}P(T < T_a) \\ T_a : \text{Max}P(T > T_a) < \text{Min}P(T < T_a) \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 N は断面上の計測点数を、また R_i は計測点とトンネル中心からの計測距離を、さらに $\bar{R}_i$ は設計距離を表す。一方、 $P(T)$ は周期 T におけるパワースペクトルを示す。離散化による分解能の信頼性の下限（必ずしもナイキスト周期とは一致しない）を T_a とし、一般にはこれ以上の周期で現れるパワースペクトルの最大をもって凹凸長を定めるが、eq. (2)の条件の場合のみ T_a をもって凹凸長とする（図-1参照）。

また、壁面凹凸が地山の变形に与える影響を吹付けコンクリートの低下として評価する。すなわち、凹凸を有する地山に発生する变形と同一の变形を設計断面において与える吹付けコンクリートの弾性係数を求め、これを等価弾性係数と呼ぶ。

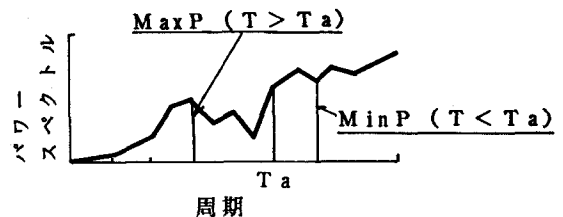


図-1 凹凸長の定義

3. シミュレーション

有限要素モデル上において、トンネル断面形状を標準正規乱数によって作成する。このとき、実測例より吹付け厚を次式のように定める。すなわち、

$$R_i = R_{i0} + 0.6 \times SD_i \quad (3)$$

ここで、 R_i は吹付けコンクリート内側までの実測距離を、また R_{i0} は設計距離を示す。さらに SD_i は各点における設計と実測の差を示す。図-2に覆工モデルの一例を示す。

このようなモデルによって線型弾性体の応力解放問題をFEMにより解き、得られた節点変位を入力値として吹付けコンクリートの等価弾性係数を求める逆解析を実施する。表-1にFEM及び逆解析に用いた緒元を示す。

図-3にシミュレーション例を示す。図中の横軸は凹凸度を、また縦軸は吹付けコンクリートの弾性係数の低下率を示す。図より明らかなように、凹凸度並びに凹凸長の増大に伴い吹付けコンクリートの弾性係数は低下し、はなはだしい場合には約70%も低下する。その低下の傾向は凹凸長によって異なり、凹凸長が0.4以下の場合では最大でも0.4%しか低下しない。このようなシミュレーション例をまとめたものが図-4であり、この図を用いれば凹凸長と凹凸度から等価弾性係数を推定することが可能であろう。

4. おわりに

トンネル掘削時に発生するトンネル断面形状は、地山の力学挙動に大きな影響を与える。本文では、これを吹付けコンクリートの弾性係数の低下として評価したが、問題に応じ適宜評価法を変えることが可能であり、更なる考察を行いたい。

最後に、本研究にあたり有益な御指導・御助言をいただいた応用地質（株）進士正人氏に感謝の意を表します。

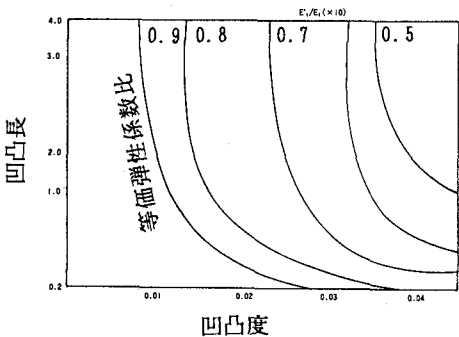


図-4 等価弾性係数算定のためのチャート

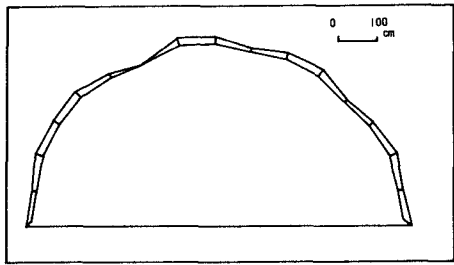


図-2 トンネル断面の測定例

表-1 解析に用いた緒元

吹き付けコンクリートの ポアソン比		0. 2					
岩盤のポアソン比		0. 3					
吹き付けコンクリートの 弾性係数 MP a		9 8 0 0					
岩盤の弾性係数 MP a		9 8		4 9 0		9 8 0	
初期応力 MP a	σ_x^0	-0.049	-0.098	-0.049	-0.098	-0.049	-0.098
	σ_y^0	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.098	-0.049
	τ_{xy}^0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

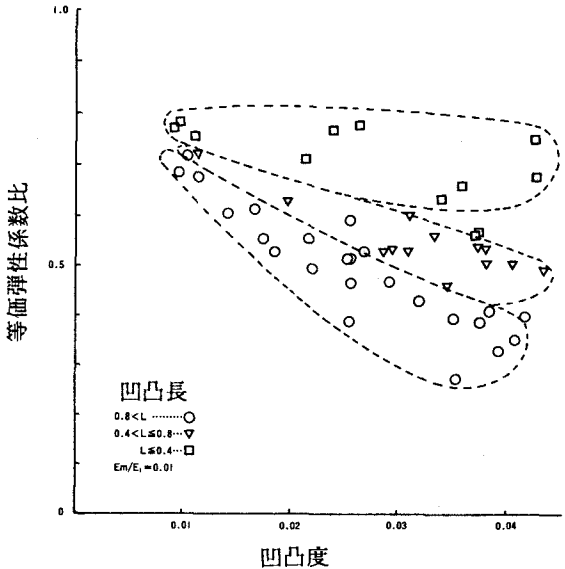


図-3 壁面凹凸による等価弾性係数の変化