データベース基盤トンネル崩壊危険度管理システムの開発

韓国建設技術研究院地下構造物研究室 非会員 慎 烋晟

○ 権 永哲

鄭 容受

裵 圭振

1. はじめに

トンネル崩壊は地盤条件、岩質、支保パタン、局部的軟弱地盤、地下水条件、切羽管理状態及び施工条件などに 大きく影響を受ける。現在、トンネルの設計においては上記の局部的地盤条件と施工条件の変化に対して設計を検 討・評価する柔軟な手法は未だに存在しないと言っても過言ではない。なお、トンネル施工中に急変する切羽状態 や施工条件を適切に調査し、直ちにトンネル崩壊に対する危険度を定量的に評価することによる体系的な現場管理 を行えるツールも開発されていないのが現状である。そこに、本研究ではトンネル崩壊危険度指数(KICT Tunnel Hazard Index, KTH-index)という新たなアプローチを提案し、与えられた地盤とトンネル施工条件からKTH-Indexを 算定する論理と手法を体系化してきた。この研究で考慮した13個の影響因子別の重み(weight)は韓国国内でここ数 年間収集した57ヶ所のトンネル崩壊事例から出来たデータベースと人工神経綱(ANN)学習を用いて決定されるので、 より客観的が高く、現場データに基づいたアプローチになりうると期待している。本論文では開発経緯と内容につ いて説明するものである。

2. Interaction matrix

Interaction matrixは複数の相関関係を同時に表現するためデータ分析 ツールである。Hudson(1993)は図-1のようにはマトリックスの対角方 向に対象因子を並べ、時計方向に因子間の相関を表現した。格因子の 右上の行列項は因子Bに対する因子Aが及ぼす影響の敏感度を示すもの で、逆に左下の行列項は因子Aに対する因子Bが及ぼす影響の敏感度を 示す。行列の相関度表現は非常に簡単であるが、この概念を活用して 現場データの分析・適用には格因子の敏感度を表す格行列の敏感度を 如何に決定するのかが問題の核心である (Hudson, 1993; Yang & Zhang, 1998)。



図-1 Interaction matrixの概念

3. 影響因子の設定

本研究で最終的に設定した影響因子は図-2のように6項目の大分類下に細分類は13項目があり、各分類項目は3~ 5等級程度で表現できるように分類基準を再構成した。各等級は同間隔あるいは不利な条件を示す区間には少し加 重値を与えて各等級を調整した。影響因子の大分類項目は(1)トンネルと地山の幾何構造、(2)地質条件、(3)不連続 面条件、(4)地下水条件、(5)掘削条件、(6)支保・補強条件である。なお、細分類では換算断面積、土被り高、岩質、 RQD、風化度、不連続面の状態、方向性、地下水の流量と水位、掘削方法、余掘率(排土率)、支保パターン、補強 工法など細かく分けられる。

4. KTH-Indexの算定過程

本研究で使われたANN学習エンジンは57ヶ所の崩壊現場を用いて学習されており、学習のために設計された

キーワード トンネル崩壊, Interaction matrix, Aritificial neural network, 敏感度解析
連絡先 〒411-712 韓国京畿道高陽市一山西区1190 韓国建設技術研究院地下構造物研究室

ANNの構成は入力層(13Nodes)と出力層 (13Nodes)の形式と2つの隠れ層(26Nodes) となる(図-2)。なお、本研究では学習時 線形活性化関数(linear activation function) を使っているので、ある2つの因子間の偏 微分値は他因子による影響を受けない。 学習に適用した学習アルゴリズムは最新 Resilient Propagation Algorithm (RPROP)を 使用し、学習の一般化を図るために early-stopping methodを適用した(Shin, 2001)。





表—1

本システムでは各影響因子と重みを用いてトンネル崩壊・崩落に対する '危険度指数'を算定する。重みの算定 手法は1992年Hudsonによって提案され、以降多数の研究へ適用されてきた(たとえば、Zhang et al., 2004)。 各影響 因子(*i*)が原因に対する影響は C_{pi} であり,結果に対する影響は E_{pi} である。 なお、各因子に与えられる重みの計算 は原因(C_{pi})と結果(E_{pi})の和に対する百分率として表現し、式(2)となり、最終的なKTH-Indexは式(3)によって算定 する。

$$C_{pi} = \sum_{n=1}^{n\max} (I_{mn}), m = i; \quad E_{pi} = \sum_{m=1}^{m\max} (I_{mn}), n = 1$$
(1)

$$W_{i} = \frac{\left(C_{pi} + E_{pi}\right)}{\left(\sum C_{pi} + \sum E_{pi}\right)} \times \frac{100}{N_{grade}}$$
(2)

$$KTH - Index = \sum W_i \cdot V_i \tag{3}$$

線形相関度行列に基づき、なお、上記の式を用いて算定した 各因子に対する重みは表一1のようになる。図一3は各崩壊・陥 没に対するKTH-Indexの評価事例を示す。本評価システムでは 潜在的な崩壊モード別にKTH-Indexの危険度レベルも違うので、 切羽毎に算定したKTH-Indexの崩壊危険度レベルを評価でき、 現場条件を考慮しながら危険度レベルによって具体的な対処方 案などの対応ができる。

5. おわりに

本稿ではKTH-Indexの評価に対する概要について説明した。 現在、システムの現場適用性を確認する研究を行っている。こ れによってシステムに現場問題に対してどれほど対応している かを確かめられると期待ている。なお、今後システムの精度を 高めるために、重みの算定において非線形活性化関数(nonlinear activation function)を用いることと持続的にトンネル崩壊データ ベースのアップデートを行う予定である。

(1-1) Equivalent sectional area	6.43
(1-2) Depth ratio	7.87
(2-1) Rock type	5.33
(2-2) RQD/N-value	8.47
(2-3) Weathering degree	6.44
(3-1) Conditions of discontinuities	13.0
(3-2) Orientation of discontinuities	9.28
(4-1) Inflow per 10m tunnel length	8.29
(4-2) Groundwater level	6.38
(5-1) Method of excavation	4.97
(5-2) Performance of excavation	4.67
(6-1) Support pattern	9.38
(6-2) Auxiliary method	9.49

影響因子別重み



図-3 KTH-Index 評価図

参考文献

- 1. Hudson, J.A. (1992) Rock Engineering Systems: Theory and Practice, p. 185, Horwood, Chicester.
- 2. Shin, H.S. (2001) Neural network based constitutive models for finite element analysis, Ph.D. thesis, University of Wales Swansea (UK).
- Yang, Y. and Zhang, Q. (1998) The application of neural networks to rock engineering systems(RES), Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., Abstr. Vol. 35, No. 6, pp. 727-745.
- 4. Zhang, L.Q., Yang, Z.F., Liao, Q.L., and Chen, J. (2004) An application of the rock engineering systems(RES) methodology in rockfall hazard assessment on the Chengdu-Lhasa highway, China, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Paper 3B11-SINOROCK2004 Symposium, Vol. 41, No. 3, CD-ROM.