第Ⅵ部門　　ニューラルネットワークを用いた山岳トンネル地山評価に関する一考察

京都大学工学部地球工学科　学生会員　○小林　拓
京都大学大学院工学研究科　正 会 員　　大津　宏康

1. はじめに

山岳トンネル建設プロジェクトにおいては，予算や期間の制約により，事前調査段階において地盤状況を完全に把握することは不可能である．予見できない地盤条件に起因するリスクはジオリスクと称され，顕在化した場合には事前の積算金額からのコストオーバーラン等が生じ, プロジェクト性に大きな影響を及ぼす可能性がある．そこで，事前調査段階に推定された建設コストと実際の建設コストの乖離の低減が求められており，事前調査段階における地山評価の精度は非常に重要だと推察される．

日本の山岳トンネルの事前調査段階における地山評価では，地山分類表を用いた地山評価が一般的に行われており，近年ではコア評価点を用いた地山評価が提案されている．しかし，両手法とも大きな不確実性を含んでおり，これらに代わるより精度の高い事前調査段階における地山評価手法が求められている．

山岳トンネルの建設コストは，現場の技術者が施工段階における地山評価である切羽評価点を参考にして選定する支保パターンによって決定するため，事前調査段階において施工時の切羽評価点が予測できれば，事前に建設コストを推定することが可能である．しかし，事前調査段階で得られる情報(物性値およびコア評価点)と施工段階で得られる情報(切羽評価点)は線形関係，単純な非線形関係になく，相関式を定式化することは非常に困難である．そこで，本研究では複雑な非線形処理が可能であるニューラルネットワーク(Artificial Neural Network: ANN)[1)]を用いて地山評価を行い，ジオリスク低減に寄与することを目的とする．

2. ニューラルネットワークを用いた地山評価

ANN とは, 人間の脳の構造を模倣して作られた情報処理手法である．本研究では，解析ソフトとして 3 層階層型 ANN である NEUROSIM/L を用いる．また，ANN の学習は誤差逆伝播法により行う．

本研究では，ANN の教師データとして B トンネルデータを用いて ANN の学習を行い, 構築した ANN を用いてR トンネルの切羽評価点予測を行う. 両トンネルとも, 花崗岩を主体とした地山に建設された 2 車線道路トンネルであり，それぞれ 10m ピッチのデータを用いている．

表-1　ANN の入力層の検討ケース

	入力層	出力層
Case1	コア評価点（Cp(Vp)）	切羽評価点
Case2	コア評価点（Cp(ρ)）	
Case3	コア評価点（Cp(Vp)，およびCp(ρ)）	
Case4	物性値（弾性波速度Vp）	
Case5	物性値（比抵抗値ρ）	
Case6	物性値（弾性波速度Vp，および比抵抗値ρ）	

事前調査段階で得られるデータとして**表-1** に示す 6 ケースを用意し, ANN による切羽評価点予測値と施工時切羽評価点を比較することで，どのデータを入力層に用いた場合が最も精度の高い切羽評価点予測が可能かを検討した．その結果，Case6 の物性値である弾性波速度 *Vp* および比抵抗値*ρ*を両者とも入力層に用いた場合が，最も精度の高い地山評価となった．その理由としては，大きな不確実性を内在しているコア評価点に比べ，物性値はより適切に地盤状況を示している可能性，および弾性波速度 *Vp* と比抵抗値*ρ*の両者を用いることで，互いが相互補完的に働いた可能性が推察される．

3. 従来手法との比較

R トンネル建設事例について，地山評価点数および建設コストの観点から, Case6 の ANN を用いた地山評価と従来手法(地山分類表を用いた地山評価およびコア評価点を用いた地山評価)の比較検証を行う．

まず，地山評価点数の観点から比較を行う．**図-1** に R トンネルにおける各手法による地山評価点数分布を示す．ANN を用いた地山評価では切羽評価点の予測を行っている．またコア評価点を用いた地山評価では，コア評価点と切羽評価点がほぼ一致するものとして地山評価を行う．そのため，施工時切羽評価点と各手法の地山評価点数との乖離を見ることで各地山評価の精度を比較することが可能である．**図-2** に施工時切羽評価点と各手法の地

Taku KOBAYASHI, Hiroyasu OHTSU
kobayashi.taku.66u@st.kyoto-u.ac.jp

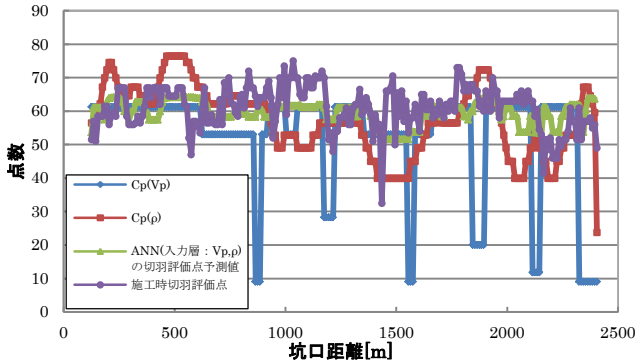

図-1　各地山評価の地山評価点数分布

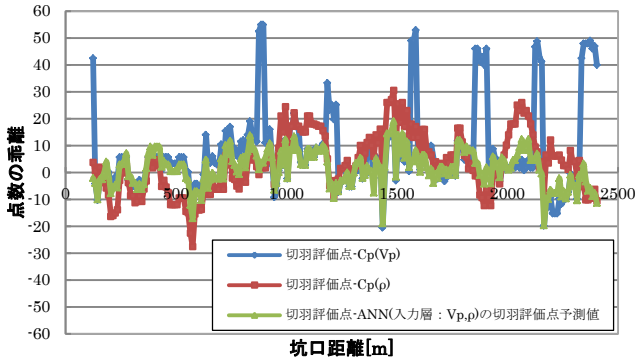

図-2　各地山評価点数と切羽評価点の乖離

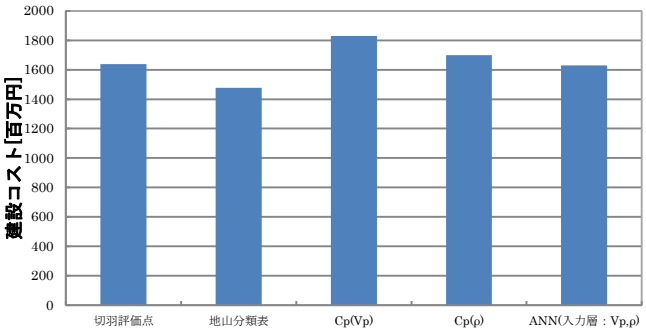

図-3　各地山評価によるトンネル総延長の建設コスト

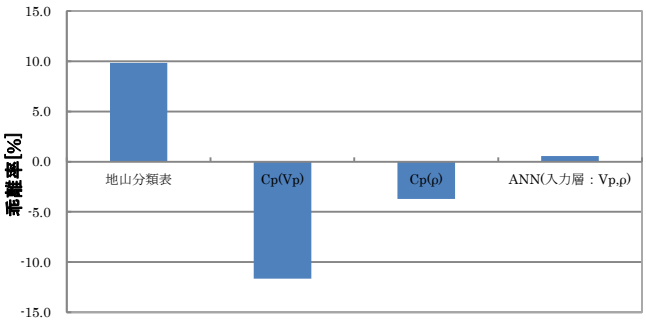

図-4　各地山評価による建設コストの乖離率

山評価点数の乖離を示す．この図より，ANN(入力層：*Vp*，*ρ*)を用いた地山評価は，切羽評価点との点数の乖離が 93%の区間で 10 点以内に収まっていることが確認できる．*Cp(Vp)*を用いた地山評価および *Cp(ρ)*を用いた地山評価はそれぞれ 68%，63%の区間で点数の乖離が 10 点以内に収まっている．また，各地山評価点数と切羽評価点の乖離の絶対値の平均を計算すると，*Cp(Vp)*を用いた地山評価が 11.3 点，*Cp(ρ)*を用いた地山評価が 9.2 点，ANN(入力層：*Vp*，*ρ*)を用いた地山評価が 5.4 点である．

以上の地山評価点数の観点からの比較結果より，ANN を用いた地山評価は，従来手法のコア評価点を用いた地山評価に比べ切羽評価点との乖離が小さく，より精度の高い事前調査段階の地山評価となり得ることが示された．

続いて，建設コストの観点から比較を行う．事前調査段階における推定建設コストは，実際の施工段階における切羽評価点による建設コストに近いほど，その事前調査段階の地山評価が精度の高いものであると言える．**図-3** に各地山評価によるトンネル総延長の建設コストを示す．切羽評価点による建設コストが 1639[百万円]，地山分類表による推定建設コストが 1478[百万円]，*Cp(Vp)*による推定建設コストが 1830[百万円]，*Cp(ρ)*による推定建設コストが 1700[百万円]，そして ANN(入力層：*Vp*，*ρ*)による推定建設コストが 1630[百万円]であることが確認できる．ここで比較のために，次式に示す乖離率を定義し，各地山評価による建設コストの乖離率を**図-4** に示す．

$$\text{乖離率} = \frac{100(C_A - C_E)}{C_A}\,[\%] \qquad (1)$$

ここで，C_Aは切羽評価点による建設コスト，C_Eは事前調査段階の各地山評価による推定建設コストである．

図-4 より各地山評価による建設コストの乖離率は，地山分類表を用いた場合が 9.8%，*Cp(Vp)*を用いた場合が -11.7%，*Cp(ρ)*を用いた場合が-3.7%，ANN(入力層：*Vp*，*ρ*)を用いた場合が 0.5%であることが確認できる．

以上の建設コストの観点からの比較結果より，ANN を用いた地山評価は，トンネル総延長の建設コストの乖離率が小さいことより，従来手法に比べ事前調査段階と施工段階におけるコスト変動リスクを低減できる可能性が示された．

4.　まとめ

本研究では，新たな事前調査段階における地山評価手法として，ANN を用いた地山評価の提案，および手法の構築を行った．そして，地山評価点数および建設コストの両観点から従来手法との比較検証を行い，ジオリスク低減に関して本提案手法の有用性を示した．

参考文献

1)　吉富康成:ニューラルネットワーク, 朝倉書店, 2002.