

水平ボーリング調査結果を利用したトンネル切羽面の事前地山評価に関する一考察

山口大学工学部
日本道路公団

(正) 結城則行・(学) ○古川正博・(正) 中川浩二
日永田雅司

1. はじめに

トンネルの事前地質調査は弾性波探査を主体に実施されており、調査手法や工費上の問題等からその精度は十分とはいえない。そのため、事前設計の精度も低く、実際のトンネル施工に際しては切羽観察記録や動態観測を行って実状の岩盤状態を的確に把握しながら施工を行う、いわゆる観測修正法が取られている。

従来より施工時の観察記録や計測データを利用した地山区分に関する研究は種々行われているが、^{1) 2) 3)} いずれの場合も同定に過ぎず、厳密な意味での地質予測になっていない。現時点でトンネルの地質予測の手法としては切羽からの水平ボーリングや非破壊探査などが挙げられるが、その内水平ボーリングは水抜き工との併用で最も多用されている方法で、青函トンネルの掘削工事においても有効に利用されている。⁴⁾ この点、日本道路公団でも従来から事前調査の段階でトンネル坑口部からの水平ボーリングが実施されるケースが多いが、その重要度は年々増加している。しかし、資料を分析するとボーリングのデータが事前設計に十分に活用されていないのが現状であり、筆者らはこの点に着目してボーリングより得られるデータを利用した事前地山評価の手法を構築した。ここで対象としたトンネルは花崗岩トンネル(4箇所)である。

2. 地山区分の変更状況

まず、事前設計の精度を知る目的で実際の地山区分変更状況を調べた。図-1にその結果を示したが、図で基本設計は主に弾性波探査に基づいたもの、詳細設計はさらに水平ボーリングの結果を加味したもの、実施工は実際の地山区分を示している。対象区間は水平ボーリングを実施している区間であり、トンネル全体から見れば施工にとって重要な区間であると言える。図において、詳細設計では地山区分BおよびD2はほぼ実施工に近い割合で決定されている。しかし、C1、D1のかなりの部分がC2に変更されており、全体的に見ると基本設計とそれほど精度は変わっていない。この結果から、水平ボーリングの結果が十分に事前設計に反映されていないことが解る。

3. ボーリングより得られるデータの特性

岩種、RQD、最大コア長、岩盤等級区分等が挙げられるがその内後者の3項目を事前データとして利用することとした。例として、RQD、最大コア長について分布形態を示すと図-2のようになる。すなわち、両指標値とも地山区分にはほぼ対応した分布を示すがかなり広範囲にばらついており、平均値で見るとRQDが最も地山区分との相関性が高い。但し、ここで扱うデータは定量的なデータであり、次に試みる地山評価システムにおいては表-1、-2に示す分類により再区分し、定性的なデータに変換した後にこれらの指標値を説明変数として利用した。(下式で X_{RQD} 、 X_{ML} 、 X_{CL} は各々RQD、最大コア長、岩級区分を示す。)

4. 事前の地質予測の方法

ここで取り扱う地山評価システムは、事前に得られるボーリングデータを対象とした予測システム、施工時の切羽観察項目を対象とした同定システムおよび両者を複合した予測+同定システムである。なお、切羽観察記録の各項目は良好な状態から1~4の4ランクに設定したもので、内容は以下の通りである。

A: 切羽の状態, B: 素掘面の状態, C: 圧縮強度, D: 風化変質, E: 割れ目の頻度, F: 割れ目の状態, G: 割れ目の形態, H: 湧水, I: 水による劣化 (以上9項目)

それぞれのシステムを線形重回帰モデルで近似する。その場合、地山区分(Y_i)を目的変数、ボーリングデータまたは切羽観察項目が説明変数となり、システムは次式で与えられる。

$$\text{予 測 シ ス テ ム} : Y_i = A_0 + A_1 X_{RQD} + A_2 X_{ML} + A_3 X_{CL} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{同定システム} : Y_2 = B_0 + B_1 X_A + B_2 X_B + \dots + B_9 X_I \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{予測+同定システム} : Y_3 = C_0 + C_1 X_{RQD} + C_2 X_{ML} + C_3 X_{CL} + C_4 X_A + \dots + C_{12} X_I \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 A_0, B_0, C_0 : 定数項、 A_i, B_i, C_i : 各項目の回帰係数、 X_i : 説明変数であり、以上のシステムを使用して正解率の変動傾向を分析した。図-3はその結果を示したもので、図でも基本設計に対して詳細設計の正解率が低下しているトンネルも見られ、水平ボーリングの結果が事前設計に十分に活用されていないことが示されている。また、詳細設計における正解率が35~80%なのに対して、今回提案した予測システムでは57~87%となっており、本地山評価システムを使用することによって事前予測の精度が向上することが判明した。さらに、切羽観察項目を追加すること(予測+同定)により正解率は89~100%にまで達することが解る。

5. あとがき

今回提案したトンネルの事前地山評価システムはかなり有効なシステムと考えられるが、水平ボーリングのデータが切羽面のある1点の情報という特殊性を考慮すれば、本システムの精度向上は水平ボーリングの掘進位置の選定や孔曲がりの制御技術などに左右されるものであり、それらの課題が解決されればより確な地質予測のシステムとなり得るものと考ええる。

参考文献 1) 井田隆久：切羽観察による地山評価への判別分析の適用、土木学会第44回年次学術講演会講演要録集、III-129, pp. 332-333, 1989. 10 2) 鈴木昌次・古川浩平・井上洋司・中川浩二：ファジィ回帰モデルに基づくトンネル岩盤分類法の提案、土木学会論文集、第418号/III-13, pp. 181-190, 1990. 6 3) 結城明行・日永田雅可・古川浩平・中川浩二：切羽観察記録分析に基づく施工時の地山評価について、第25回岩盤力学に関するシンポジウム論文集、pp. 16-20, 1993. 2 4) 堀名克彦・矢部哲雄・服部修一：青函海底トンネル建設工事における先進ボーリングによる地質の先方予知と実績、応用地質23巻2号, pp. 19-29, 1982 5) 日本応用地質学会編：岩盤分類応用地質特別号, p. 161, p. 167, 1984

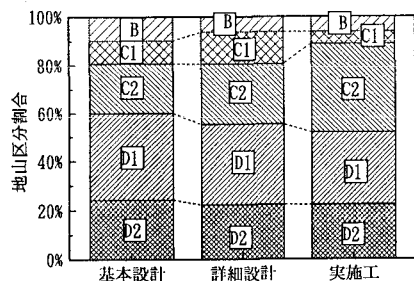


図-1 地山区分の変更状況

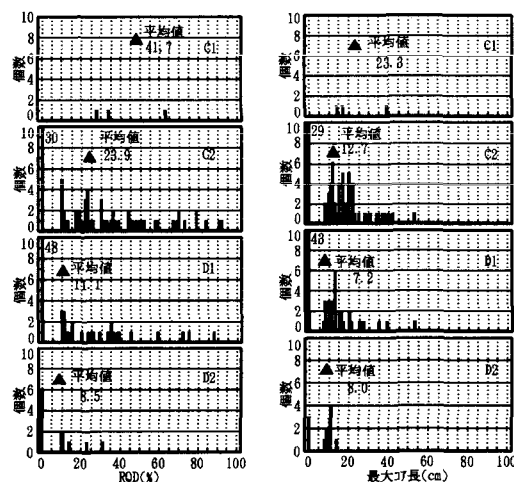


図-2 ボーリングより得られるデータの特性

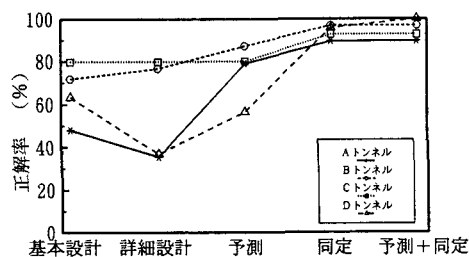


図-3 正解率の変動傾向

表-1 Deereの岩盤分類⁵⁾

区分	RQD (%)	岩盤の状態
1	90 ~ 100	非常に良い
2	75 ~ 90	良好
3	50 ~ 75	普通
4	25 ~ 50	悪い
5	0 ~ 25	非常に悪い

表-2 最大コア長の区分⁵⁾

区分	最大コア長 (cm)
1	30 以上
2	15 ~ 30
3	5 ~ 15
4	5 以下