

埼玉大学 正会員 小野寺 遼

埼玉大学 正会員 小田 匡寛

電源開発 正会員 近藤 滋

1 まえがき 現在計画中の本州四国連絡橋のための基礎岩盤調査法として、ボーリング孔内載荷試験が採用され多くの試験結果が得られている。しかし孔内載荷試験法では岩盤の変形特性をスポット的に捕えるに過ぎないが直接的に測定できかつ深さ方向の変化とある程度推定できる利点を持つ。そこで孔内載荷試験から得られた変形係数(E_b)を、コアの肉眼観察や孔内の物理検層などのような深さ方向に連続的に得られる情報で岩盤の深さ方向に対する変形特性の連続的变化と十分な精度で推定できれば上述の欠点の一部は補なわれる。又、一点の測定に時間と経費を要する孔内載荷試験が他の比較的簡単な試験で代用できれば、その利用上の利点は増加しよう。このような目的で以下述べるような変形係数(E_b)の重回帰分析を行なった。

2 解析法 ① 仮定式 $y = \beta X + \epsilon$ — (1) ここで $y = [Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n]$ Y_i : 観測値 $\beta = [\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p]$ β_i : 母数 $\epsilon' = [\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n]$ ϵ : 誤差ベクトル

$$X = \begin{bmatrix} 1 & X_{12} & X_{13} & \dots & X_{1p} \\ 1 & X_{22} & X_{23} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n2} & X_{n3} & \dots & X_{np} \end{bmatrix} \quad \begin{array}{l} X: \text{独立変数} \\ \text{マトリクス} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{次を仮定する} \\ E(\epsilon) = 0 \quad \epsilon_i \text{ は平均値が } 0 \text{ であるような確立変数} \\ V(\epsilon) = I \quad I \text{ は単位マトリクス} \\ X_1, X_2, X_3, \dots, X_p \text{ はたがいに独立である。} \end{array}$$

② 最小二乗推定量 $E'E = (y - X\beta)(y - X\beta)' = yy' - \beta'X'y - y'X\beta + \beta'X'X\beta = yy' - 2\beta'X'y + \beta'X'X\beta$

β の最小二乗推定量は上式に代入したとき $E'E$ を最小にするような b の値である

$$b = (X'X)^{-1}X'y$$

③ 分散 σ^2 の推定量 S^2 は $S^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n-p)$ p : 母数の数 $\hat{Y}_i$: X_i における Y の推定量

④ 回帰係数の検定 (有意性の検定) 帰無仮説 $H_0: b_i = 0$

$t = |b_i| / \sigma_{b_i} \geq t(n-p, \alpha)$ が成りたてば H_0 は否定され有意な b_i が得られたことになる

ここで σ_{b_i} は $(X'X)^{-1}$ の (i, i) 要素に S^2 を乗じたものの平方根, $t(n-p, \alpha)$ は自由度 $n-p$, $\alpha\%$ の t 分布値である。

⑤ 多重決定係数 R^2 $R^2 = \sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 / \sum (Y_i - \bar{Y})^2$ 模型中の β_0 以外の項の有効性を示す尺度である。

⑥ 特定点における Y の平均値に対する $(1-\alpha)\%$ 信頼区間は次式によって与えられる

$$\hat{Y} \pm t(n-p, 1-\alpha/2) \cdot S \sqrt{X' (X'X)^{-1} X}$$

3 導入変数および解析結果 (観測点数 85点) 独立変数として用いた変数は「表1」に示し、計算結果は「表2」に示す

表1 独立変数の選択と配点

	A (5)	B (4)	C (3)	D (2)	E (1)
コアの形状 (COSH)	長柱状 (30cm以上)	柱状 (30~15cm)	短柱 (15~5cm)	岩片状 (5cm以下)	土砂状 (砂状および粘土状)
風化の程度 (WETH)	新鮮 (まったく新鮮)	弱風化 (黒雲母わずかに剥離)	一樣風化 (全般に褐色状雲母 長石類変質のみ)	強風化 (全般に風化亀裂面 は褐色でぬい)	変質顕著 (変質著しく石英の 色を喪失しない)
硬度 (HARD)	極硬 (ハンマーで金属音)	硬い (ハンマーで弱い金属音)	中硬 (ハンマーで金属音 2~3回の打撃で折れる)	軟 (ハンマーで金属音 おれやすい)	極軟 (手で簡単に折れる)

表2 計算結果

	変数名		最小二乗推定量	t 値
独立変数	COSH	ボーリング柱状図に記載されているコアの形状	4.27×10^{-2}	8.41×10^{-1}
	WETH	同上コアの風化の程度	-9.40×10^{-2}	-1.24
	HARD	同上コアの硬軟の程度	2.12×10^{-1}	2.68
	VP	縦波弾性波速度 (ソニック換層)	2.70×10	4.59
	VS	横波弾性波速度 (板たき法)	9.09×10^{-2}	1.21
	RQD	ボーリング長 1m にしめる 10cm 以上のコアの割合	-5.19×10^{-4}	-2.99×10^{-1}
	CONS.	定数項	2.36	1.20×10
従属変数	LEB	孔内載荷試験による変形係数の常用対数		

$$R^2 = 62.5\%$$

$$t(78, \alpha=90\%) = 1.669$$

回帰方程式を推定したボーリング地点以外のボーリングデータを上記回帰方程式に代入し求めた推定値と実際の試験値(真の値ではない)および従来コンサルタントが岩盤区分にもとづいて行なった E_b の予想と比較してみる。下図(A),(B)から回帰分析によって求めた E_b の予想値は従来の岩盤区分だけからの予想に比べ統計的意味が明確で十分実用に向く手法得られたものと考えられ、又導入変数として選択された変数は人間の目を通した主観の入りやすい変数も含まれているが判断の基準が表1からわかるようコアの形状、風化の程度、硬度とそれぞれに細分化され容易に判定出来る変数となっている。又岩盤の力学的性質を表わす E_b を連続した線として表現が可能である。今回は一次線型モデルと仮定し解析したが、今後より複雑な回帰モデルも考慮する必要がある。尚計算機は東大大型電算機センター HITAC 8800, 埼玉大学電算機室 TOSBAC-3400 を使用した。

参考文献

- ・応用回帰分析 Draper Smith 中村慶一訳
- ・HITAC統計計算ライブラリー 解説書
- ・今治～尾道地区海峡部地質調査(その7)(東島報告書)本四公団 ダイヤコンサルタント(株)

