

一 弾性波速度変化測定結果の統計的処理方法

(株) 間 組 ○正会員 世一 英俊
同 上 正会員 蓮井 昭則
同 上 正会員 山下 亮

1. まえがき

トンネル・地下空洞の掘削によって周辺岩盤にいわゆる“ゆるみ”が発生する。この“ゆるみ”の領域の大きさや挙動を計測により把握することは、構造物の安全性を評価する上で重要である。一般に、ゆるみの計測としては各種計測法があるが、最近、弾性波速度の変化による方法が実施されることが多い。しかしながら、本方法は測定の実現性と測定精度を高めることが大きな課題となっている。

2. 弾性波速度測定システム

本方法は従来の屈折法による弾性波速度測定ではなく、通常、孔間弾性波速度測定の形をとり、さらに測点間隔も短くなっている。従って、伝播時間差の読み取りの精度が厳しく要求されるため、図-1に示す測定システムを採用した。本測定システムの構成を以下に示す。

①受振子として固有振動数の高い(20 kHz)圧電型加速度計を埋設している。このことにより、弾性波立上りの読み取り精度が著しく改善され、設置条件の変動もなくなる。

②データレコーダを用いて、高速記録-低速再生する。時間軸を最大64倍に延長させることができる。

③②のデータレコーダより電磁オシログラフに記録-再生した場合、156 μ sが10 mmの長さに表示される。

④起振は電気雷管で数回実施する。3節に述べる統計的処理により、信頼性の高い品質の保証ができる。

3. 測定結果の統計的処理方法

a) 母平均・母平均の区間推定

各測点間岩盤の弾性波速度(母集団と考える)のサンプリングをし、このサンプル(サンプル数: N)の値から母集団の母平均ならびに母分散を推定する。 N 個のサンプルデータから標準偏差 S を求め、母集団の母分散 σ^2 のかわりに S^2 を用いると、次式により母平均の信頼率95%の信頼限界が得られる。

$$U_0 = \bar{x} \pm t(\phi, \alpha) S / \sqrt{N} \quad (1)$$

ここに、 U_0 : 母平均と母平均の信頼区間

$\bar{x}$: サンプルの平均値

S : サンプルの標準偏差

N : サンプル数

$t(\phi, \alpha)$: 自由度 $\phi = (N - 1)$ の t 分布表から得られる信頼度 $(1 - \alpha)$ の限界値

b) 岩盤状況の変化の検定

掘削により岩盤の応力状態が変化したり、ゆるみが進展すると、岩盤の弾性波速度が変化する。しかしながら、測定値の変化(平均値、バラツキ)が測定精度範囲内か岩盤状況の変化に

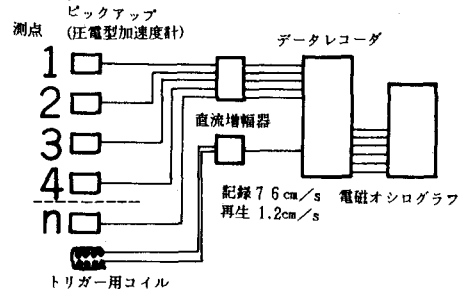


図-1 測定システム

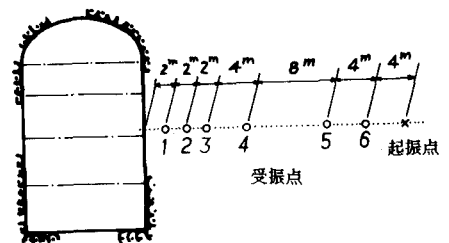


図-2 測点配置例

よるものなのかを検定という手法により評価する。

①分散の差に関する検定

分散の差に関する検定をF検定により実施する。

詳細は紙面の都合により省略するが、 F_0 :分散比、 $F(\phi_1, \phi_2; \alpha/2)$: F分布表の限界値、を比較し、

$$F_0 \leq F(\phi_1, \phi_2; \alpha/2) \quad (2)$$

の時、測定値のバラツキ間に差があるとはいえないという結論が得られる。

②平均値の差に関する検定

分散の検定において有意差が認められない場合、以下に示すように平均値の差を検定する。

分散に有意差がないことから、標準偏差Sは、

$$S = \sqrt{(S_A^2 + S_B^2) / ((N_A - 1) + (N_B - 1))} \quad (3)$$

ここに、 N_A, N_B, S_A, S_B はそれぞれ第A回目および第B回目の測定サンプル数と平方和を示している。

$$\text{統計量 } t_0 = (\bar{x}_A - \bar{x}_B) / S \cdot \sqrt{1/N_A + 1/N_B} \quad (4)$$

は、2組の μ_A, μ_B (母平均) に差があれば自由度 $df = (N_A + N_B - 2)$ なるt分布に従う。

従って、平均値に差がある場合、有意水準5%として、

$$|t_0| > t(N_A + N_B - 2, 0.05) \quad (5)$$

となる。すなわち、検定の結果、式(5)が満足されるならば、岩盤状況に変化が発生したことになる。

4. 測定結果の一例と精度

図-2に示した測点配置に従って、弾性波速度測定を行った時のサンプルデータと整理一覧表を表-1に示す。第14回測定と第16回測定とは空洞掘削の進行がない時点で、日時を改めて測定値の再現性についてチェックしたものである。表に示した測定値を用い、3節に述べた検定を実施した。

(計算例) 区間1~2について、 $N_A = 8, N_B = 6, S_A = 25001, S_B = 29567, \bar{x}_A = 5048.3, \bar{x}_B = 5120.3$ を式(3)、(4)に代入すると、 $S = 67.43, |t_0| = 1.977$ を得る。一方、t分布表より、 $t(12, 0.05) = 2.179$ であるから、 $|t_0| = 1.977 < t = 2.179$ となり、有意差は認められない。すなわち、平均値に差は認められないという結論を得る。同様の計算により、他区間における測定値についても有意差が認められないことがわかる。

このことにより測定値の再現性が確認できた。

図-3は上記サンプル14データについて整理したときの測点間隔と測定値のバラツキ率(標準偏差/速度平均値)を示している。

同図より、測点間隔2mで速度値には2%程度のバラツキしかなく、良好な精度で測定・読み取りが行われていることがわかる。(標準偏差/平均値)

5. あとがき

本測定システムとデータ整理方法とを組み合わせると、従来速度精度と再現性の点で問題のあった弾性波速度変化を高い精度で把握することができ、ゆるみの評価に十分利用できることがわかった。なお、現在同様の方法で弾性波振幅の減衰変化によるゆるみ評価にもとり組んでいる。

(参考文献) 1) (社)日本トンネル技術協会; トンネル掘削によるゆるみ領域の調査報告書, S57.3..2) 本荘, 本島; 新高瀬川発電所の地下掘削に伴う周辺岩盤の弾性波速度変化, 電中研報告 379003, S54.11..3) 吉岡, 鍋岡; 弾性波検層による今市地下発電所周辺岩盤のゆるみの評価, 電中研報告 382028, S57.11..4) 鐵健司; 品質管理のための統計的方法入門, 日科技連, S52.7..

表-1 測定結果と整理法一例

区間	測点番号	サンプルデータ (m/sec)	平均値	標準偏差	S (%)	標準偏差率
1-2	1-2	5266 5002 5078 5082 5066 5130 4971 4971	2700	5068.3	49.76	1.18
	2-3	5047 5172 5043 5223 5027 4944 5055 5027	4702	5028.5	11.52	2.22
	3-4	5033 5240 5047 5172 5172 5172 5085 5379	2236	5172.5	56.35	1.01
	4-5	5190 5124 4947 5172 5172 5172 5172 5172	1234	5172.4	29.88	0.58
	5-6	5183 5469 5134 5040 5066 5066 5181 5370	30073	5067.1	66.54	1.16
1-2	1-2	5197 5197 5180 4987 5001 5130	2855	5120.3	76.70	1.5
	2-3	4964 5223 5067 5093 4893 5267	7368	5047.2	124.00	2.92
	3-4	5103 5166 5175 5047 5107 5133	17047	5164.8	59.09	1.05
	4-5	5121 5126 5153 5182 5183 5182	1875	5182.0	17.25	0.32
	5-6	5173 5181 5191 5167 5192 5167	1593	5192.2	17.42	0.31

※ $2(7, 0.05) = 2.348, 2(6, 0.05) = 2.571$

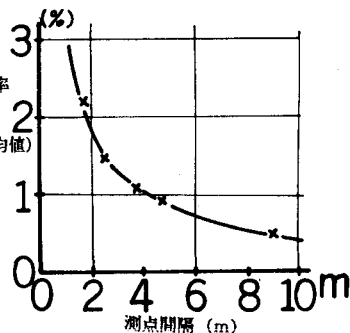


図-3 測点間隔とバラツキ率