

III-243 数量化理論によるトンネル天端沈下量の予測について

三井建設(株)技術研究所 (正) 中田雅夫

日本道路公団 羽根田汎美 城間博通

三井建設(株)技術研究所 (正) 平井正雄 (正) 山地宏志

1. まえがき

NATMにおいては、掘削初期に得たデータから最終変位量を予測するために各種の予測方法が提案されている。切羽観察記録と計測値との関係を数量化理論¹⁾で解析し、最終変位量を予測する試みもその1つであるがこの場合の予測精度について論じたものはあまり見られない。

ここでは北陸自動車道筒石トンネルの上半掘削時に発生する天端沈下量収束値を用いて数量化理論I類による予測精度について検討した結果を報告する。

2. 予測精度の検討

(1) 解析データとその分類

現在、北陸自動車道で用いられている切羽観察記録表を表-1にまた今回の解析に用いたデータを表-2に示す。表-1に見られるように各アイテムとも4~5のカテゴリに分類されているが、3

3個のサンプルを見るとサンプル数の少ないもしくは0のカテゴリがあり、表-3のように各アイテムとも2~3のカテゴリに分類し直した。

(2) 検討方法

全サンプル数33のうち、最初は12個のサンプルを使ってカテゴリウエイトを求めその結果から残り21個の天端沈下の予測値を計算し、実測値と比較することにより誤差のばらつきを評価する。以後計算に使用するサンプル数を1つずつ増やすことにより順次計算を進め、誤差のばらつきの変化状況を切羽の進行に従って追跡した。

ばらつきの評価にあたっては計算に使ったサンプルの標準誤差²⁾(以後、実績値の標準誤差と言う)と予測値の標準誤差によった。

$$\text{実績値の標準誤差} = \sqrt{\frac{\sum (\text{計測値} - \text{計算値})^2}{N_1 - 2}}$$

表-1 切羽観察記録表

(財) 高速道路技術センターによる

A	切羽の状態	1. 自立している。	2. 風落ちがある。	3. 横張りが必要である。	4. 大規模な対策工が必要	
B	① 支保工附近	1. ハンマーがはね返る。強く叩けば亀裂等で大きく割れる。	2. ハンマーで容易に割れる。小片または薄く割れる。	3. ハンマーで容易に割れる。岩片はもう容易に割れる。	4. ハンマーがつかささる。指先で岩片も崩せる。	5. 土砂状
B	② 後面	1. ハンマーがはね返る。強く叩けば亀裂等で大きく割れる。	2. ハンマーで容易に割れる。小片または薄く割れる。	3. ハンマーで容易に割れる。岩片はもう容易に割れる。	4. ハンマーがつかささる。指先で岩片も崩せる。	5. 土砂状
C	風化変質	1. 未風化、新鮮で堅硬	2. 目によって風化が認められる。	3. 目以外の岩全体に風化	4. 部分的又は全体的に土砂化	
D	割れ目間隔 (cm)	1. 100以上	2. 100~50	3. 50~20	4. 20~5	5. 5以下
E	割れ目の状態	1. 割れ目は殆ど認められない。	2. ランダム	3. 方向性(層状片状板状)あり	4. 土砂状、細片状、当初より未固結	
F	割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 全体的に開口	4. 開口部に油目が見られる。	5. 大規模に粘土を挟む。
G	湧水	1. なし	2. 部分的に割れ目または粗粒岩等からにじみ出る。	3. 全体的にぬれている。	4. 部分的に割れ目または粗粒岩等から噴きでる。	5. 特に多い。

表-2 解析データ

計測点 No.	切羽の状態	岩石強度	風化変質	割れ目間隔	割れ目形態	割れ目状態	湧水	天端沈下量
1 (STA. 150+61)	1	2	2	1	3	1	1	26.0
2 (STA. 150+80)	1	2	2	1	2	2	2	29.0
3 (STA. 150+89)	2	3	3	1	1	2	1	16.0
4 (STA. 151+17)	3	2	3	1	1	1	1	23.0
5 (STA. 151+21)	3	3	3	1	3	1	1	37.0
6 (STA. 151+31)	3	3	3	2	3	2	1	25.0
7 (STA. 151+41)	2	3	2	1	1	1	1	12.0
8 (STA. 151+51)	3	4	4	1	1	1	2	39.0
9 (STA. 151+61)	2	3	3	3	1	1	1	30.0
10 (STA. 151+70)	2	4	4	4	4	1	1	54.0
11 (STA. 151+81)	3	3	3	1	1	1	1	39.0
12 (STA. 151+87)	2	3	3	1	1	1	1	31.0
13 (STA. 151+99)	2	3	3	2	1	1	1	29.0
14 (STA. 152+11)	2	3	2	2	1	1	1	36.0
15 (STA. 152+19)	2	2	2	2	1	1	1	26.0
16 (STA. 152+30)	2	2	2	2	1	1	1	33.0
17 (STA. 152+40)	3	3	3	4	3	4	5	66.0
18 (STA. 152+49)	2	2	2	2	1	1	2	13.0
19 (STA. 152+60)	1	2	2	1	1	1	1	25.0
20 (STA. 152+71)	1	2	2	1	1	1	2	8.0
21 (STA. 152+79)	2	2	2	1	1	1	1	11.0
22 (STA. 152+90)	1	2	2	1	1	1	1	39.0
23 (STA. 153+1)	1	2	2	1	1	1	2	12.0
24 (STA. 153+12)	1	2	2	1	1	1	1	25.0
25 (STA. 153+19)	1	2	1	1	1	1	1	7.0
26 (STA. 153+29)	1	1	1	1	1	1	1	12.0
27 (STA. 153+39)	2	2	2	1	1	1	1	22.0
28 (STA. 153+50)	2	2	2	1	1	1	1	20.0
29 (STA. 153+61)	2	2	2	1	1	1	1	19.0
30 (STA. 153+69)	2	2	2	2	2	1	2	22.0
31 (STA. 153+80)	2	2	2	2	2	1	1	22.0
32 (STA. 153+90)	2	2	2	2	1	1	1	21.0
33 (STA. 154+21)	1	1	1	1	1	1	1	10.0

(天端沈下量は上半掘削による収束値である。)

$$\text{予測値の標準誤差} = \sqrt{\frac{\sum (\text{予測値} - \text{計測値})^2}{N_2 - 2}}$$

N_1, N_2 はサンプル数

$$N_1 + N_2 = 33$$

3. 計算結果

図-1に示すように、実績値の標準誤差はサンプル数の増加に従い大きくなる傾向にあるが、予測値の場合は変動量が大きい。が逆に減少する傾向が見られ、サンプル数25（総カテゴリ数18+7）程度で実績値における値とさほど変わらないものになっている。これは実績値でのばらつき程度と実績値を使って予測した値でのばらつき程度がほぼ同じということで、この程度のサンプル数で安定した予測が可能であること示している。

一方、実績値の重相関係数を見るとサンプル数の増加とともに値は減少し、やはりサンプル数25でほぼ一定値になり、データが安定してきたことを示している。サンプル数が少ないときは変動量が大きく、さらに値そのものが大きいことから重相関係数が必ずしも予測精度の目安にはならないことが分かる。

次に予測の一例を示す。予測に用いた27個の実績値の誤差は図-2、予測の結果は表-4の通りでありこの例では予測の精度がかなり高いことが分かる。

4. あとがき

トンネル掘削に伴う切羽観察データを計測値と結びつけて解析することにより、次のトンネル挙動の予測ができないものか？ただし、このときの計測値は必ずしもデータ量が十分とはいえず、また、個々のデータには何らかの誤差が含まれているケースも考えられる。このような問題に対して数量化理論Ⅰ類を適用してどの程度予測が可能であるかという問題について検討を加えた。

その結果、データ数がある程度以上（今回のデータでは総カテゴリ数+7）になると安定した予測が可能であることがわかった。また重相関係数は必ずしも予測精度の目安にはならないものと思われる。

<参考文献>

- 1) 林, 駒澤: 数量化理論とデータ処理, 朝倉書店, PP. 12~14, 1984.
- 2) P. G. ホーエル (浅井, 村上訳): 初等統計学, 培風館, PP. 206~207, 1972.

表-3 アイテムとカテゴリ分類

(全サンプル数33)

アイテム	カテゴリ	I	II	III
A 切羽の状態		1 (10)	2 (17)	3 (6)
B 岩石強度		1, 2 (2) (19)	3 (10)	4 (2)
C 風化変質 (ケース1)		1, 2 (3) (19)	3, 4 (9) (2)	—
風化変質 (ケース2)		1 (3)	2 (19)	3, 4 (9) (2)
D 割れ目間隔 (cm)		1 (21)	2 (9)	3, 4 (1) (2)
E 割れ目の形態		1 (25)	2, 3, 4 (3) (4) (1)	—
F 割れ目の状態		1 (28)	2, 4 (3) (1)	—
G 湧水		1 (28)	2, 5 (6) (1)	—

(1~5 はセンターの分類、カッコ内はサンプル数)

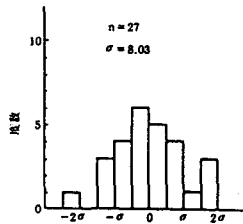


図-2 誤差のヒストグラム
(ケース2)

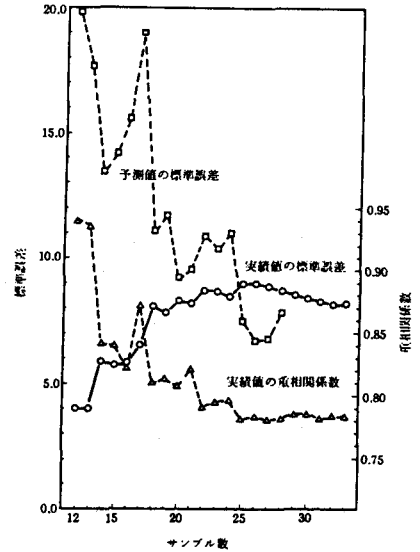


図-1 サンプル数の増加に伴う標準誤差及び重相関係数の変化
(ケース1)

表-4 予測結果 (ケース2)

計測点 No.	計測値 (Y)	予測値 (Y')	残差 (Y-Y')
28	20,000	17,648	2,352
29	19,000	17,648	1,352
30	22,000	20,334	1,666
31	22,000	26,877	-4,877
32	21,000	23,906	-2,906
33	10,000	9,500	0,500