

神奈川県 ○正会員 田口 雅文
九州大学工学部 正会員 榎木 武

1. はじめに 近年、NATMの普及が著しいが、その標準設計については未だに十分な検討がない。そこで著者らはその第一歩として新しい地山分類を提案したが、本研究ではこの地山分類に掘削断面積と土被りを加えた3要因を説明変数に採用し、過去の施工実績をもとに重回帰分析を行なって吹付けコンクリート並びにロックボルトの設計諸元を求める回帰式を誘導し、それにもとづく標準設計を試案するものである。

2. 分析方法および結果 説明変数、目的変数を以下のように導入し、重回帰分析を行なった。

すなわち、地山分類は数量的な変数でないため、次表のようなダミー変数 $x_1 \sim x_5$ を導入して表現することとし、さらに x_6 を掘削断面積(m²)、 x_7 を土被り(m)とする。

地山分類	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1

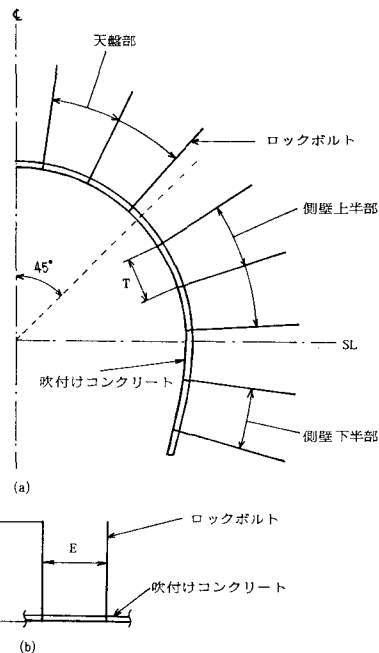
目的変数は、吹付けコンクリートとロックボルトに関する設計諸元とするが、後者は必ずしも一断面内で統一的に表現することはできず、ここではトンネル断面を図-1(a)のように天盤部、側壁上半部、側壁下半部に分け、これらを図-1(b)のトンネル軸方向とで構成されるものとし、以下のような目的変数を設定した。

y_1 = 吹付けコンクリート厚(cm)、 y_2 = $1/E$ (1/本)、 y_3 = $L/\sqrt{E}$ [天盤部]、 y_4 = $L/\sqrt{E}$ [側壁上半部]、 y_5 = $L/\sqrt{E}$ [側壁下半部]、 y_6 = L [天盤部] (m)、 y_7 = L [側壁上半部] (m)、 y_8 = L [側壁下半部] (m)

ここで、 $L/\sqrt{E}$ はロックボルトの密度を表わす指標として導入した無次元量である。

以上の各変数相互間について線型性、非線型性を判断し、現在までに国内で行なわれたNATMの施工例から94の標本点を選び出し、重回帰分析を行なった。その結果、次の諸式が得られた。

図-1



$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.30 & -5.00 & -3.12 & 0.49 & 0.0864 & 0.840 \\ -5.43 & -0.471 & -0.248 & -0.244 & 0.000423 & 0.000613 \\ -2.08 & -1.43 & -0.64 & -0.82 & 0.0288 & 0.517 \\ -2.11 & -1.68 & -0.90 & -0.85 & 0.0274 & 0.141 \\ -2.43 & -2.08 & -1.09 & -0.88 & 0.0249 & 0.264 \\ -3.93 & -2.73 & -1.27 & -1.86 & 0.0769 & 0.658 \\ -3.95 & -3.01 & -1.64 & -1.69 & 0.0739 & 0.331 \\ -4.67 & -3.47 & -1.68 & -1.53 & 0.0752 & 0.373 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ \ln x_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 8.94 \\ 0.763 \\ -0.66 \\ 1.17 \\ 0.80 \\ -0.58 \\ 1.15 \\ 0.77 \end{bmatrix}$$

重相関係数

y_1	0.679
y_2	0.532
y_3	0.597
y_4	0.645
y_5	0.633
y_6	0.668
y_7	0.673
y_8	0.652

重相関係数は、それぞれ0.6前後であり、必ずしも高い相関が得られたとは言えないが、施工実績がNATM初期の段階のものであることを考慮すれば、NATMの概略的な設計を行なうための目安を与えるものとして上式を評価することが可能であろう。

3. 標準設計について

前述の重回帰式をもとに、掘削断面積 30m^2 (鉄道単線相当)、 60m^2 (鉄道複線、道路トンネル相当)、 90m^2 (新幹線、道路トンネル相当) の3種についてそれぞれ5段階の地山分類ごとに、土被り 50m 、 100m 、 200m の3ケースを考え、それぞれの吹付けコンクリート厚およびロックボルト設計諸元を算出すれば表-1(a)~(c)のとおりである。

同表から、地山分類と掘削断面積が予測値に大きな影響を与えること、一断面の3セクションの違いによるロックボルト設計諸元の相異は小さいことなどが読みとれる。

ここで、 2m 未満のロックボルトは通常使用されていない。よって、予測値が 2m 未満になるものについては、支保の効果が無いものとみなし、省略することにした。このため、表-1(a)の地山分類1,2では吹付けコンクリートのみとなり、過小な設計になる恐れがある。そこで、最も危険と思われる掘削断面積 30m^2 、地山分類2、土被り 200m の設計について有限要素法による

弾性解析を行ない、地山および吹付けコンクリートの応力を計算した。

地山物性値は、地山分類2に含まれる標本の平均値から予測し、図-2にその値と地圧、吹付けコンクリート物性値、解析領域を示す。

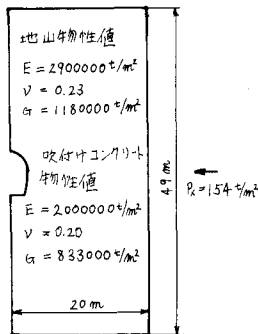


図-2

解析の結果、地山圧縮応力は最大で 109 kg/cm^2 であ

表-1

り、地山分類2の岩石の一軸圧縮強度が平均で 800 kg/cm^2 以上なので十分安全であると言える。吹付けコンクリートの圧縮応力の最大は 80 kg/cm^2 であり、材齢1日強度と同程度であるが、この応力レベルに達するまでには実際には数日を必要とするので、破壊することはないと言えよう。以上の考察により、 2m 未満のロックボルトを省略したことによる破壊の危険はないと考えられる。

4. おわりに 本研究ではNATMの実績を踏まえ、トンネルの基本計画時における標準的な設計を示すことができた。今後はさらに力学解析を各ケースについて行ない、詳細な検討を加えていくつもりである。

参考文献

- 1) 田口・榎木「施工例からみた地山分類とNATMに関する考察」第37回年次学術講演会講演概要集

掘削断面積: 30m^2

地山分類	土被り (m)	吹付け厚 (cm)	E (N)	天盤部		側壁上半部		側壁下半部	
				T (m)	L (m)	T (m)	L (m)	T (m)	L (m)
1	50	5	—	—	—	—	—	—	—
	100	5	—	—	—	—	—	—	—
	200	6	—	—	—	—	—	—	—
2	50	8	—	—	—	—	—	—	—
	100	9	—	—	—	—	—	—	—
	200	9	—	—	—	—	—	—	—
3	50	10	1.3	1.4	2.1	1.3	2.1	—	—
	100	11	1.3	1.1	2.3	1.2	2.2	1.2	2.1
	200	11	1.3	0.9	2.5	1.2	2.3	1.1	2.2
4	50	14	1.3	—	—	1.2	2.1	1.2	2.1
	100	14	1.3	1.0	2.0	1.2	2.2	1.1	2.2
	200	15	1.3	0.8	2.2	1.1	2.3	1.0	2.3
5	50	13	1.1	1.2	2.6	1.1	2.8	1.1	2.8
	100	14	1.1	1.1	2.8	1.1	2.9	1.1	3.0
	200	14	1.1	1.0	3.0	1.1	3.0	1.1	3.2

(a)

掘削断面積: 60m^2

地山分類	土被り (m)	吹付け厚 (cm)	E (N)	天盤部		側壁上半部		側壁下半部	
				T (m)	L (m)	T (m)	L (m)	T (m)	L (m)
1	50	8	1.6	—	—	1.6	2.0	—	—
	100	8	1.6	1.5	2.1	1.5	2.1	—	—
	200	8	1.6	1.1	2.3	1.6	2.3	—	—
2	50	11	1.5	1.5	2.5	1.5	2.5	2.1	2.2
	100	11	1.4	1.3	2.7	1.5	2.6	1.9	2.3
	200	12	1.4	1.0	2.8	1.5	2.7	1.6	2.4
3	50	13	1.2	1.3	3.1	1.2	3.0	1.4	2.9
	100	13	1.2	1.1	3.2	1.2	3.1	1.3	3.0
	200	14	1.2	1.0	3.4	1.2	3.2	1.2	3.1
4	50	16	1.2	1.3	2.8	1.2	3.0	1.3	3.0
	100	17	1.2	1.1	3.0	1.2	3.1	1.2	3.1
	200	17	1.2	1.0	3.2	1.2	3.2	1.1	3.2
5	50	16	1.0	1.3	3.5	1.1	3.6	1.2	3.6
	100	16	1.0	1.2	3.7	1.0	3.7	1.1	3.7
	200	17	1.0	1.1	3.8	1.0	3.8	1.0	3.7

(c)

掘削断面積: 90m^2

地山分類	土被り (m)	吹付け厚 (cm)	E (N)	天盤部		側壁上半部		側壁下半部	
				T (m)	L (m)	T (m)	L (m)	T (m)	L (m)
1	50	10	1.4	1.7	2.9	1.5	3.0	1.9	2.7
	100	10	1.4	1.4	3.1	1.4	3.1	1.7	2.8
	200	11	1.4	1.2	3.3	1.3	3.1	1.5	2.9
2	50	14	1.3	1.4	3.4	1.3	3.3	1.9	3.1
	100	14	1.3	1.1	3.5	1.3	3.4	1.7	3.2
	200	14	1.3	1.0	3.7	1.3	3.5	1.5	3.3
3	50	15	1.1	1.3	3.9	1.2	3.8	1.5	3.8
	100	16	1.1	1.1	4.0	1.2	3.9	1.4	3.9
	200	16	1.1	1.0	4.2	1.2	4.0	1.2	3.9
4	50	19	1.1	1.3	3.7	1.2	3.8	1.3	3.8
	100	19	1.1	1.1	3.8	1.2	3.9	1.2	3.9
	200	20	1.0	1.1	4.0	1.2	3.9	1.3	4.0
5	50	19	0.9	1.3	4.3	1.2	4.3	1.2	4.3
	100	19	0.9	1.2	4.4	1.2	4.4	1.2	4.4
	200	19	0.9	1.1	4.6	1.2	4.5	1.1	4.5