

NATMの標準設計に関する一考察

九州大学工学部〇学生員 田口 雅文
九州大学工学部 正会員 樫木 武

1. はじめに NATMの普及が著しい現在、その標準設計の確立が待ち望まれている。著者らは本題の解決のための第一歩として新しい地山分類を提案したが、この地山分類では地質条件による分類に主眼があつた。したがって、標準設計ということになると、これに掘削断面積や土被りといった要因を加えることが必要である。本研究ではこれら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つ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、それにもとづいて標準設計を試案するものである。

2. 分析方法および結果 重回帰分析を行うに当り、説明変数、目的変数を以下のように導入する。

地山分類は既報のとおり5分類とするが、これを数量化するため次表のようなダミー変数 $x_1 \sim x_4$ を導入する。また、 x_5 を掘削断面積(m^2)、 x_6 を土被り(m)とする。

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

次に、NATMの設計諸元が目的変数となるが、一断面について必ずしも統一的に表現することはできず、またトンネル断面内と奥行きの問題があるが、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、ロックボルトに関し次の目的変数を設定した。

$y_2 = 1/E$ [$1/m$]、 $y_3 = L/\sqrt{TE}$ (天盤部)、 $y_4 = L/\sqrt{TE}$ (側壁上半部)、 $y_5 = L/\sqrt{TE}$ (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 $L/\sqrt{TE}$ はロックボルトの密度を表わす指標として導入した。吹付けコンクリート厚は h (cm)として導入した。

以上の各変数相互について線型性、非線型性を判断し、それにもとづいて重回帰分析を行つた結果、次の諸式を得た。

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ (y_2)^{1/5} \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ (y_6)^{1/5} \\ (y_7)^{1/5} \\ (y_8)^{1/5} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -8.30 & -5.00 & -3.12 & 0.49 & 0.0864 & 0.480 \\ -5.43 & -0.471 & -0.248 & -0.244 & 0.00423 & 0.00613 \\ -2.08 & -1.43 & -0.64 & -0.82 & 0.0288 & 0.517 \\ -2.11 & -1.68 & -0.90 & -0.85 & 0.0274 & 0.141 \\ -2.43 & -2.08 & -1.09 & -0.88 & 0.0249 & 0.264 \\ -3.93 & -2.73 & -1.27 & -1.86 & 0.0769 & 0.658 \\ -3.95 & -3.01 & -1.64 & -1.69 & 0.0739 & 0.331 \\ -4.67 & -3.47 & -1.68 & -1.53 & 0.0752 & 0.373 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ \ln x_6 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 8.94 \\ 0.763 \\ -0.66 \\ 1.17 \\ 0.80 \\ -0.58 \\ 1.15 \\ 0.77 \end{pmatrix}$$

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

分析の対象は現在まで国内で行なわれたNATMの施工例から94の標本点を選び出したものである。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、複雑な自然を構造の対象とする

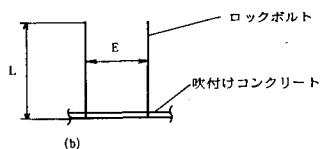
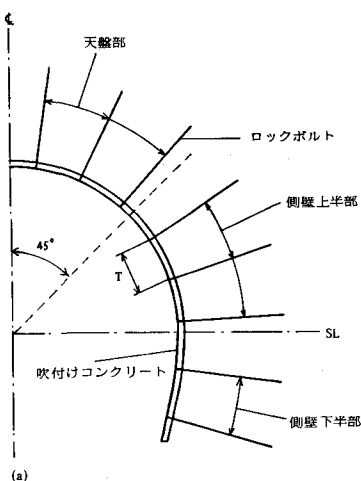


図-1

るトンネル構造物を扱ったものであり、しかも実際の施工例がNATM初期の段階のものである意味においては、試験施工的な内容のものが多く含まれていること、計測による設計変更が相当範囲あり、たことなどを考慮すれば、NATMの概略的な設計を行うための目安を与えるものとして、上述の分析結果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 、 60m^2 、 90m^2 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-1~3のとおりである。ただし、ロックボルト長が 2m 未満のものは通常使用されていないことから、計算値が 2m 未満になるものは無意味と考え、このような場合はロックボルトは省略した。

この結果、表-1に示すように、掘削断面積 30m^2 の場合は地山分類1,2では吹付けコンクリートのみとなる。ロックボルトを省略した分は、吹付けコンクリート厚を増すか、あるいはピッチを大きくとり、 2m のロックボルトを打設するなど、何らかの割増し処置をとるべきであると考えられるが、このためには応力計算などを行ってさらに考察すべきであり、この点については今後の課題である。

設計諸元別に見れば、地山分類が下るにしたがって吹付けコンクリート厚が増加したり、ロックボルトの密度が増加したりしていないものもあるが、全体的に見ればこれらは吹付けコンクリート厚の薄い分をロックボルトの増加で補い、ロックボルトの少ない分を吹付けコンクリート厚の増加で補い、また天盤部ロックボルトの少ない分を他の部分のロックボルトの増加で補うといった形になっていると考えられる。

4. 結語 本研究は、NATMの実績を踏まえたものであり、NATMの実状により近い形でしかも直接簡単にNATMの設計が行なえるような結果を得た。したがって、これらの表をもとにNATMの設計の目安を付け、これをもとに応力計算や現場計測により設計変更を行えば、NATMの設計はより合理的なものになると考えられる。

掘削断面積： 30m^2

地山分類	土被り (m)	吹付け厚 (cm)	E (m)	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

表-1

掘削断面積： 60m^2

地山分類	土被り (m)	吹付け厚 (cm)	E (m)	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

表-2

掘削断面積： 90m^2

地山分類	土被り (m)	吹付け厚 (cm)	E (m)	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

表-3

参考文献

- 1) 田口・樗木「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要集