

建設省土木研究所 トンネル研究室 猪熊 明

1. はじめに

トンネルに作用する膨張性土圧については、近年の研究でも未解明な点が多く残されている。しかし、トンネル建設現場においては縫い返し等をよぎなくされる場合があるため、なお大きい問題となっており、早急に明らかにすることが望まれている。本報告は、過去に行われた現場計測と土木研究所で行った模型実験を基に膨張性土圧について考察したものである。

2. 膨張性土圧に関する考察

代表的な膨張性地山のトンネルの現場計測と模型実験との比較を表-1に示す^{1), 2), 3), 4)}。表-1で ϕ は内部摩擦角、 C は粘着力、 γ は単位体積重量、 qu は1軸圧縮強度、 d は地山変位、 l は一掘進長、 H は土被り厚、 D はトンネル直径、 T はトンネルに作用する土圧(以下トンネル土圧と呼ぶ)を示す。これらのトンネル土圧に関係すると考えられる諸数値を組み合わせて無次元量 $\pi_1 \sim \pi_7$ を考える⁵⁾。トンネル掘進前に値が定まり実験や現場計測に対して入力と考えられる $\pi_1 \sim \pi_3, \pi_5, \pi_7$ が、掘進後に値を求めることになる出力的なパイナナンバー π_4, π_6 にどのような影響を与えるかを考えてみる。

まず、 $\pi_1=H/D$ は3つの現場の間でも4.2~15.5と大きくバラツキが見られるが、それにもかかわらず3トンネルとも程度の差はあれ膨張性土圧の現象が見られる。この主たる原因は、膨張性土圧の発生は、土被り厚もしくは初期土圧と地山強度の比によって支配されるため、土被り厚のみに支配されるのではないことが考えられる。また、初期土圧が場合によっては土被り厚と線形な関係にないことも考えられる。

地山の粘着力に関するパイナナンバー π_2 について考える。ただし、ここでは π_2 の代わりに膨張性地山に関しては一般的によく用いられる地山強度比 $\pi_7=qu/\gamma H$ を考える。 $\pi_7=qu/\gamma H$ については、模型実験(2)(3)あるいは新複トンネルで見られるように、 π_7 が大きくなるとトンネル土圧 π_6 が小さくなるという負の相関傾向が見られており有効な指標と言える。しかし、詳細に見ると例えば恵那山トンネルと鍋立山トンネルとの比較では π_6 と π_7 は程度は小さいが正の相関になっている。こうした $\pi_7=qu/\gamma H$ が π_4 又は π_6 に与える影響が詳細なレベルで不明確であるのは、先に述べた全土被り荷重 γH が初期土圧を正確には表現し得ていない場合がある事が一つの原因と推測される。

内部摩擦角パイナナンバー π_3 については一般的に模型実験より現場計測での値が大きく、特に恵那山トンネルの π_3 が他と比較して高い。恵那山トンネルと実験(1)を比較すると、地山強度比 π_7 、トンネル土圧 $T/\gamma D$ 、地山変位 d/D は概ね近い値であるから、逆に内部摩擦角 π_3 も大きく違わない値となることが期待される。しかるに現場計測では $\phi=35^\circ$ 、実験では $\phi=3.1^\circ$ と大きく異なっている。この異なっている原因について、模型実験では地山特性を求めるための3軸試験としてUU条件を、現場ではCU条件を採用していることが1つの原因と考えられる。さらに恵那山トンネルでは3軸圧縮試験で ϕ を求める際残留強度を用いていないことも、 ϕ が他の現場計測事例と比較しても大きいことの原因の一つと考えられる。また、模型実験の内部摩擦角は、現場計測では岩盤自体の内部摩擦角に相当し、一般に用いられる岩石コアの内部摩擦角とは対応しない。こうしたことを考慮すれば、現場計測での π_3 はいずれも岩石としては極めて低い内部摩擦角と言え、 π_3 は膨張性土圧の指標として意義のあるものと考えられる。

トンネル土圧についてまとめると模型実験の結果によると、 $qu/\gamma H=0.27 \sim 0.29$ 、 $\tan \phi=0.02 \sim 0.05$ 、 $d/D=0.09$ という条件でのトンネル土圧は $T/\gamma D=5.3 \sim 6.9$ であった。恵那山トンネルと鍋立山トンネルの現場計測値では、 $qu/\gamma H=0.25 \sim 0.70$ 、 $\tan \phi=0.12 \sim 0.7$ 、 $d/D=0.03 \sim 0.04$ という条件でのトンネル土圧が $T/\gamma D=3.22 \sim 5.9$ であった。

地山の変位量パイナナンバー π_4 (d/D) とトンネル土圧 π_6 ($T/\gamma D$) を対比する。一般に言われているように、大きい変位を許せばトンネル土圧は小さくなることがわかる。すなわち、今回研究の対象とし

ているような非常に大きい膨張性土圧が作用するケースでは、 d/D が0.05程度であればかなり大きいトンネル土圧 ($T/\gamma D=3\sim 6$) が作用するが、 d/D が0.2程度になることを許容すればトンネル土圧は通常の地山で想定している程度の土圧の範囲にはいる(ここでは $T/\gamma D=0.58$) ことがわかる。

新覆トンネルに見られるように大きい地山変位を経過した後ではトンネル土圧は小さい値しか観測されなかった。このためトンネル土圧と地山変位相方を考慮できるトンネル土圧・変位パイナナンバー ($T/\gamma D \times d/D$) を考えることにすると超膨張性地山の場合でも、トンネル土圧・変位パイナナンバー ($T/\gamma D \times d/D$) は0.1~0.3であることがわかる。

3. おわりに

地山強度などのトンネルの力学的な諸数値を基に無次元量を算定し、実験と現場計測でそれらと比較することによりトンネルの膨張性土圧を明らかにすることを試みた。今後とも現場計測結果の収策等により残された課題に対処していきたい。

参考文献

- 1) 磯谷勇輔他、膨圧部のトンネル挙動、トンネルと地下、Vol.12, No.11, 1981
- 2) 佐々木 隆男 他、超膨張性地山区間と湧水区間におけるNATM 国道351号新覆トンネル、トンネルと地下、 Vol.13.No.5, 1982, および工事資料
- 3) 大塚正幸 他、膨張性地山での苦闘、Vol.11, No1, 1980
- 4) 猪熊 明他、トンネル周辺地盤の挙動とトンネル地圧に関する模型実験報告書、土木研究所資料 No, 1870
- 5) 猪熊 明他、トンネルの力学に関する3次元的模型実験、土木学会論文報告集、No. 322, 1982.

表-1 模型実験と現場計測との比較

		恵那山 トンネル	新覆 トンネル	鍋立山 トンネル	実験(1)	実験(2)	実験(3)
π_1	H/D	72	4.2	15.5	8.4	5.4	5.0
π_2	C/ γ H	0.04	0.37	0.33	0.13	0.74	1.8
	C/ γ D	3.22	1.5	5.2	1.12	4.0	9.1
π_3	$\tan \phi$	0.7	0.17	0.12	0.05	0.04	0.06
π_4	d/D	0.04	0.21	0.03	0.09	0.003	0.003
π_5	l/D	0.1	0.09	0.11	0.2	0.33	0.33
π_6	T/ γ H	0.04	0.14	0.38	0.64	0.16	0.17
	T/ γ D	3.22	0.60	5.9	5.35	0.87	0.84
π_7	q_u/γ H	0.25	3.5	0.70	0.27	1.4	2.6
ϕ	o	35	9.6	6.7	3.1	2.48	3.52
C	tf/m ²	50	33	71	1.05	2.28	5.36
γ	t/m ³	2.5	2.0	1.8	1.87	1.92	1.97
q u	tf/m ²	280	315	148	2.12	4.24	7.72
d	m	0.25	2.3	0.2	0.0045	0.001	0.0015
l	m	1	1	0.8	0.1	0.1	0.1
H	m	450	45	118	4.2	1.61	1.5
D	m	6.2	10.7	7.6	0.5	0.3	0.3
T	tf/m ²	54	12.8	81	5.0	0.5	0.5

注) 記号については本文参照