

神戸大学工学部 正会員 芥川 真一

神戸大学大学院 学生員 吉田 千

神戸大学工学部 学生員 ○得能 達生

1. はじめに

著者らはエアバッグを用いた応力制御型実験に注目し、アルミ棒積層体を地盤材料としたトンネル掘削シミュレーション実験を行ってきたが、エアバッグを 1 個だけ用いて行う実験¹⁾においては、トンネル周辺地盤の初期応力状態を的確にモデル化できないという難点があった。そこで、今回は複数のエアバッグを用いて初期応力状態を現実のものに近くし、掘削シミュレーション実験を行い、これまでに得られているエアバッグ 1 個だけの実験結果と比較した。

2. 実験の概要

変位制御型の実験²⁾に対して、より実際に近い応力境界を有するとされる従来のエアバックを用いた実験では、トンネル内の圧力は均一であった。そのため実際の地山においてはトンネル天端と下部における地圧に差異がありながら、それらは考慮されずにいた。そこで今回は、空気圧を実際の状態に近づけるために図-1 のようにトンネル内を 6 つに分割した上でそれぞれの部屋にエアバックを設置し、4 つの空気圧制御システムよりその土被り圧に応じた圧力を送り、調整を行った。

はじめに、実験方法を説明する。まず、実験は、内寸幅 90cm、高さ 65cm、奥行き 5cm の鋼および木材によって作製された十分な剛性を持つ枠内で行う。その枠内には 2 次元横断面トンネルモデルを設置し、その中にエアバックを設けた。なお、トンネル径は $D=15\text{cm}$ であり、その内部を 6 つの部屋に分割し、それぞれにエアバックが設置されるようにした。また、実験領域はトンネルモデルより左右 2.5D、下 0.5D 確保した。地山作成の以前は、エアバックに、形状保持のためのアルミ板で作った円形型枠を設置する。本実験の地山材料には、アルミ棒積層体を用いる。そのアルミ棒積層体をトンネルモデルの外側に、図-2 に示すような圧力制御装置でエアバック内の圧力をそれぞれの土被り圧に等しくなるように調整しながら、所定の土被り高さ $H(=1D)$ まで積み上げ、地山を作成し、最後にトンネル形状保持のための円形型枠を静かに取り外す。なお、圧力制御装置の概要は以下の通りである。まず、圧力はコンプレッサーで圧力約 0.75MPa に調整され、次にその圧力は最初のレギュレーターにより約 0.1MPa に減圧される。そして、さらに他の 4 つのレギュレーターによってそれぞれ異なる微小な圧力に再び減圧され、個々のエアバックに作用させた。(図中の系統番号 1-4 はエアバック番号 1-4 に対応。) また、エアバック内の圧力は、分岐した空気を径の大きい水槽に導き、そこで置換された水柱の高さとして測定できるようにした。そして、掘削をシミュレートするために、エアバックの圧力を 1D の土被り圧から徐々に減圧し、地山の崩壊までの挙動を観察する。なお、圧力は土被り圧より減圧ピッチ 0.98KPa (水頭で 10mm に相当)、各減圧ステップにおいては変形が収束したとみなされるまで圧力を保持しながら、徐々に減圧した。また地山の変形測定は、トンネル地表面と天端部の変位の計測と地山全体のひずみ分布の観察を行った。

3. 実験結果

地表面においての沈下曲線を図-3 に示す。結果を比べてみると、両方のケースともまず減圧の初期段階においては、沈下は比較的広い範囲で発生するが、減圧が進むと特にトンネル直上近傍での沈下が卓越しているということがわかる。このことは、減圧の初期段階においては地山は弾性的に沈下しているが、その後は弾塑性的な沈下となんらかの局部沈下が発生していることを示している。次に、天端においては図-4 の沈下曲線を見ると、どちらのケースも勾配の急な直線的な部分から始まっている。そして、次第にカーブを描き始め、減圧に対する変位増加も増えていくことがわかる。このことは変形の進行に伴う地山材料特性の変化が生じている事をよく示している。また、従来の実験では天端部のエアバック圧力が 12.25KPa で崩壊しているのに対し、今回の実験での崩壊時における天端部のエアバック圧は 5.88KPa と今までのものより大幅小さくなっている。これは今まで考慮されていなかったトンネル側部、下部の空気圧が影響を与えたものであり、これまでの実験で行われていた結果は天端部において見れば、今回の 2 倍以上の値と非常に大きな差があったことが伺われる。

さらに、崩壊時の圧力を示す最小支保圧力の数値を表-1 に示す．ここで従来までは圧力均一で 11.27KPa だったのが、6 分割トンネルに上段から 3 段階の圧力を送った 3 系統の場合、9.73KPa と減少した．さらにトンネル下部の影響をみるために側部と下部の圧力を等しくした 2 系統においては 10.19KPa と値は上昇した．これより最小支保圧に関してトンネル側部から下部にかけての影響が強く反映されることがわかる．最後に、崩壊時の地山全体のひずみ分布を写真-1 に示す．これらを比較すると、双方の場合において同様にトンネル肩部より回り込みながら地表面に至るせん断帯が発生していることがわかる．これらからトンネルの崩壊時には、トンネル内圧力に影響されず、発生する崩壊領域はほぼ同じであることがわかる．

4. 結論

この実験を従来までのものと比較すると、圧力を 4 系統にし実際の地山応力状態に近づけることで、これまで行われてきた 1 系統のエアバック実験よりも地山の安定が増すという現象が見られた．これは、これまで考慮されてこなかったトンネル側部、下部周辺の応力状態による影響が大きいことを示していると考えられ、今後さらに検討する必要があると思われる．

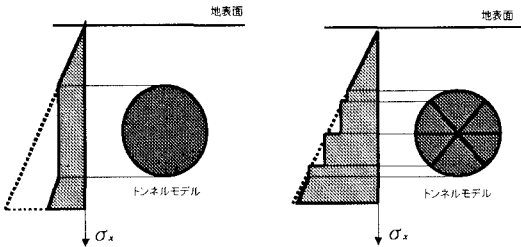


図-1. 従来までの実験との水平応力分布の比較

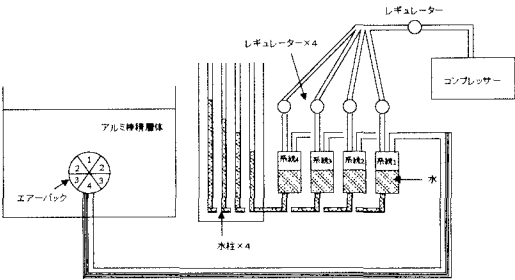


図-2. 圧力 4 系統制御型実験装置

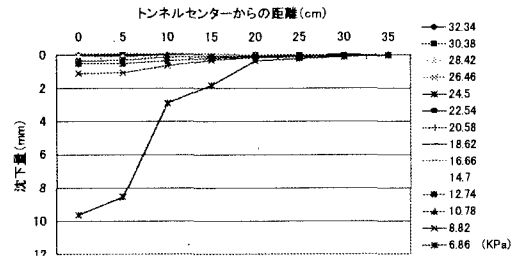


図-3. 今回の実験における地表面沈下曲線

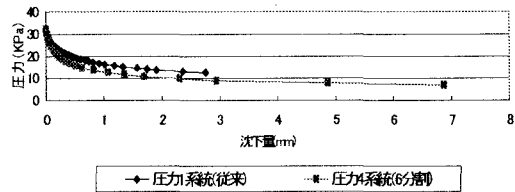


図-4. 天端沈下曲線の比較

表-1. 応力分布の変化に伴う最小支保圧の比較

従来	3 系統	2 系統
11.27	(天端) 5.08	(天端)8.82
	(側部) 8.72	(側部)10.88
	(下部)14.60	(下部)10.88
	(平均) 9.73	(平均)10.19

(単位: KPa)

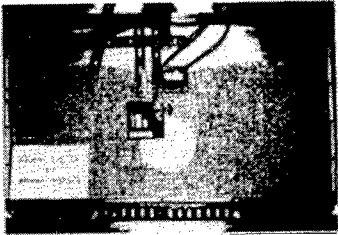
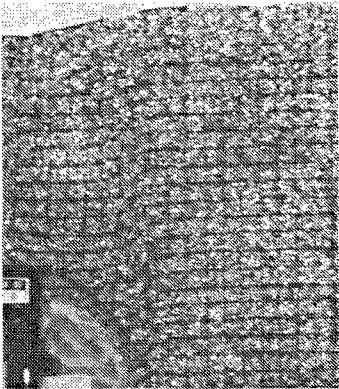


写真-1 崩壊時の様子 (左:4 系統, 右:従来)

参考文献

- 1) 桜井春輔, 川嶋幾夫, 川端康規, 西崎幸雄: 土被りの浅いトンネルの力学的挙動に関するモデル実験. 土木学会論文集, No.487, pp271-274,1994.
- 2) 足立紀尚, 田村武, 八幡厚, 上野裕洋: 砂質地山トンネルの挙動と解析に関する研究. 土木学会論文集, No.358,pp129-136,1985.