

遠心模型実験によるかぶりの小さい
土砂トンネルの力学挙動に関する研究

京都大学工学部 正会員 足立 紀尚、木村 亮
京都大学大学院 学生員 ○荒巻 智

1.はじめに

交通渋滞、環境悪化などの問題を抱える大都市では、近年、地下空間の有効利用が注目されている。しかし、施工コスト、地下水の処理、非常時における安全性、アクセスなどの観点から考慮する場合、できるだけかぶりを小さくする方が有利である。従来、筆者らはかぶりの小さい土砂トンネルの力学挙動に関するさまざまな研究を1g下で行ってきた¹⁾。本研究では砂質地山を対象とし、重力場と遠心力場の両方でトンネル掘削シミュレーション実験を実施し、2つの実験結果を比較しながら、トンネル周辺地山の変位挙動について検討を行なった。

2.実験概要

本実験の地山材料には従来どおり、長さ5cm、直径1.6mmおよび3mmのアルミ棒を重量比3:2で混合したアルミ棒積層体($\gamma=2.1\text{gf/cm}^3, \phi=30^\circ, c=0\text{kgf/cm}^2$)を用いた。実験装置を図-1に示す。遠心力载荷実験は、京都大学防災研究所の、有効回転半径2.5mの遠心载荷力装置を用いて実施した。トンネル直径Dは6.5cmで、トンネル直径を1mmずつ収縮させ、各段階で写真撮影を行った。最大収縮量は5mmとし、地山に埋め込んだ標点から地山の変位を読み取った。実験は、土かぶり、遠心加速度を変化させて、表-1のように合計9種類行った。

3.実験結果および考察

以下の実験結果はすべてトンネル直径収縮量が5mmの時の結果である。

(1) 重力場と遠心力場における実験結果の比較

図-2は、縦軸に地表面沈下量 δ をトンネル天端沈下量 δ_0 。(トンネル天端直上2mmの標点の変位)で規準化した値、横軸にトンネル中心軸からの水平距離Hをトンネル直径Dで規準化した値をプロットしたもので、図中の曲線は地表面沈下形状を示している。1g下、30g下のいずれもかぶりが大きくなるに従い、天端直上における δ/δ_0 の値は小さくなり沈下形状は緩やかとなった。これはかぶりが大きくなると、グラウンドアーチが形成されるためと考えられる。次に土かぶりZが1.0Dの場合、遠心加速度が大きくなるに従って、天端直上の δ/δ_0 の値は小さくなり沈下形状は緩やかになる。

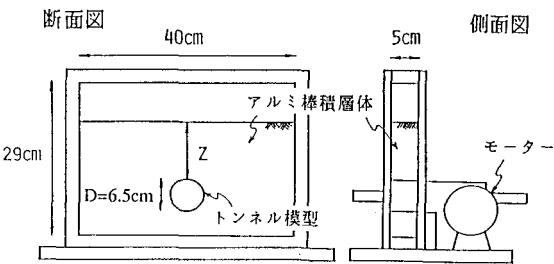


図-1 実験装置

表-1 実験の種類

	土かぶり			
	0.5D	1.0D	1.5D	2.0D
遠心力				
重力場 (1g)	○	○	○	○
30g	○	○		○
50g		○		
60g		○		

(2) 天端直上の地表面沈下量と土かぶりの関係

Atkinson & Potts²⁾は、土かぶりの小さいトンネルの模型実験を行い、天端直上の地表面沈下量 δ を天端沈下量 δ_c で規準化した値と、土かぶり Z をトンネル直径 D で規準化した値の関係を次式で与えている。

$$\frac{\delta}{\delta_c} = 1.0 - \frac{\alpha Z}{D} \quad (1)$$

図-3は、縦軸に δ/δ_c 、横軸に Z/D をとって、実験結果をプロットしたもので、図中の直線は式(1)を表している。式(1)の変数 α は、図中の直線の傾きを示している。Atkinson & Pottsによると α は地山材料の特性に依存しており、ダイレイタンシーと関連がある。本実験の結果と彼らが提案した式(1)の適用性を検討すると、1g下の結果はデータのばらつきが大きく、うまく表現できていないが、遠心場での結果はよく合っている。また、重力場と遠心力場での実験結果を比較すると、遠心力場の方がアーチ効果が大きく現われていることがわかる。ここで実験からの観察結果として、1g下および遠心場での間隙比 e は、それぞれ0.20, 0.18であった。従って、1g下ではアルミ棒がゆるく詰まった状態のためにトンネル天端の沈下の影響が地表面の沈下に直接及んだのに対して、遠心力場ではアルミ棒が密な状態になったために1g下の結果に比べて、アーチ効果を発揮したと考えられる。

4. おわりに

本研究において遠心実験でのデータにかなりのばらつきが見られた。よって、今後は遠心力場における実験結果を集積し、さらに詳細な比較検討を行うことが必要である。なお、実験に関してご協力いただいた京都大学工学部、北勝利氏に感謝の意を表する。

***参考文献** 1) 足立ら：土木学会論文集、第358号、1985、pp.129-136 2) Atkinson, J.H. and Potts, D.M. : Proc. ASCE, GT4, 1977, pp.307-325

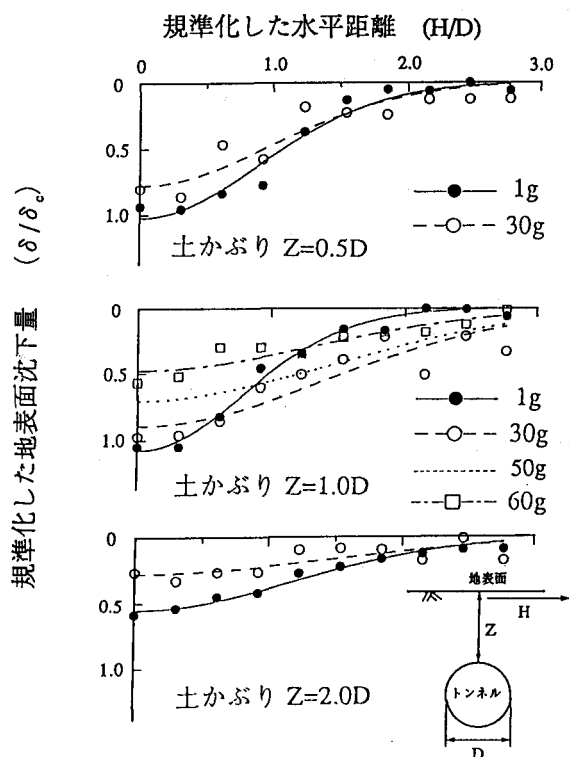


図-2 横断方向の地表面沈下形状

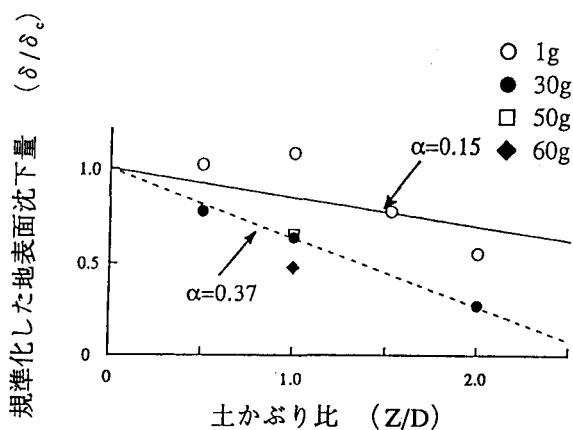


図-3 天端直上の地表面沈下量と土かぶりの関係