

III-24 楕円形トンネルの作用土圧に関する遠心力载荷実験

建設省土木研究所 正会員 ○ 石村 利明
同 正会員 猪熊 明

1. はじめに

近年、3車線規模の大断面の偏平な道路トンネル建設の需要が増加しつつある。加えて、地下空間の有効利用の観点等から種々の断面形状のトンネルが検討されてきている。安全かつ経済的なトンネルの設計を行うには、断面形状に応じた作用土圧を明かにし、これらに対応した適切な支保構造部材とすることが重要である。ここでは、遠心力载荷実験により主に数種の楕円形のトンネルの断面形状についてトンネルの作用土圧の検討を行った。

2. 実験方法

実験は、建設省土木研究所にある遠心力载荷装置を使用して行った。遠心力载荷装置の性能は有効半径2 m、最大加速度200 Gである。また、遠心力場で使用する土槽は、幅50 cm、高さ40 cm、奥行き10 cmであり、土槽中にロードセルを内装したトンネル模型が設置できるようにになっている。対象とした

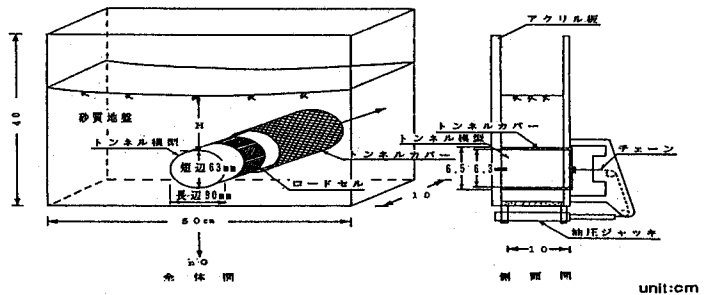


図-1 実験装置概要図(トンネル縦横比=0.7の場合)

表-1 実験地山材料

		砂質土		粘性土	
		気乾砂	飽和砂	粘性土I	粘性土II
物理特性	土粒子の比重 G_s	2.64	2.64	2.92	3.04
	含水比 w (%)	0.1	26.1	103~108	88~92
土性	液限 w_L (%)	—	—	—	—
	塑性指数 PI (%)	1.52	1.91	1.41	1.43
力特性	一軸圧縮強度 σ_c (kg/cm ²)	—	—	0.5~1.1	2.9~4.1
	せん断力 c (kg/cm ²)	0	0	0.2	1.3
土性	内部摩擦角 ϕ (度)	38.5	—	0.5	0.4

(※力特性は、砂質土は三軸圧縮試験、粘性土は三軸圧縮試験による。)

断面形状は、円形断面のほか、2心円で近似される疑似楕円断面のトンネル縦横比(トンネル高さ/トンネル横幅)が0.5、0.7、1.4、2.0の5種類とした。トンネル模型の大きさは、円形断面の場合は直径 $D=91$ mm、47 mmの2種類、楕円断面の場合は、長径90 mmを一定として短径63 mm(トンネル縦横比で0.7、1.4に相当)、短径45 mm(トンネル縦横比で0.5、2.0に相当)である。

実験方法は、図-1に示すように土槽内に予めトンネルカバーで覆われたトンネル模型を設置し、所定の遠心加速度の状態で油圧ジャッキによりトンネルカバーを強制的に引き抜き、トンネルカバーの厚みに相当する量のゆるみを与えて内装したロードセルで土圧を測定するものである。なお、ゆるみ量はトンネル外径の1~2%とした。なお、実験に用いた試料は砂質土および粘性土とした。砂質土は豊浦産の標準砂を用いた気乾砂、飽和砂の2種類を、粘性土はカオリン、石膏、水を所定の配合で混合・攪拌し約20時間養生した2種類の強度とした。表-1に実験地山材料の特性を示す。なお、実験時の遠心加速度は40 G、60 G、80 G、116 Gで実施しており、実物に換算すると円形断面の模型トンネル91 mmの場合の80 Gの状態では直径3.6~7.3 mに相当する。

3. 実験結果

1) 砂質土におけるトンネル天端の作用土圧

図-2に砂質土におけるトンネル天端の作用土圧について土被り比 H/D と緩み高さ比 h_0/D との関係を示す。楕円断面のトンネル直径 D はトンネル横幅として整理している。飽和砂はトンネル模型に設置した間

隙水圧計結果からトンネル周面の各点に理論静水圧が作用すると判断されたことから有効土圧で整理した値を示した。また、砂質土については一般にテルツァーギの緩み土圧式が適用できることから、実験地山の土質試験結果をもとに円形断面について緩み土圧を算出した値も示した。これより、円形断面は、土被り比が約2以上と大きくなった場合でもトンネル天端には全土被り土圧は作用せず、緩み高さ比で約1.5程度が作用する結果となっている。また、飽和砂の場合においても気乾砂と同様な結果である。これらは、図中に示したテルツァーギの緩み土圧式の値と同様な傾向を示しているものの、実験値が緩み土圧式の値に比べて若干高い結果となっている。この原因については2つ考えられる。一つは、実験手法の問題としてトンネル模型を土槽の両端で固定していることによる測定土圧への影響である。もう一つは、緩み土圧式へ適用する内部摩擦角の影響である。これは内部摩擦角が緩み土圧に与える影響が大きいことから土質定数の設定が如何に重要であるかが伺える。

砂質土における楕円断面の場合は、円形断面と同様に土被り比が大きくなっても、ある土被り比から緩み高さ比はほとんど変化しない傾向となっている。横楕円断面の場合の緩み高さ比は、円形断面と比較した場合やや小さい値となっている。縦楕円断面の場合の緩み高さ比は、同程度かやや大きめとなっている。特に、トンネル縦横比が2.0の場合はその傾向が顕著である。したがって、トンネル縦横比が2程度と、かなり縦に長い楕円断面の場合は、トンネル直径を横幅で代表させるには問題があると考えられる。

3) 粘性土におけるトンネル天端の作用土圧

図-3に粘性土における楕円断面のトンネル天端の作用土水圧の実験結果について土被り比 H/D と緩み高さ比 h_g/D との関係を示す。なお、粘性土は土水一体の考え方で、トンネル直径 D はトンネル横幅として整理している。これより、地山強度の小さい粘性土の場合の楕円断面の作用土圧は、円形断面で一般にいわれている全土被り土圧が作用することが分かった。また、地山強度が比較的大きい粘性土の場合の楕円断面の作用土圧は、砂質土と同様な傾向を示し、全土被り土圧が作用しないことが分かった。なお、本実験結果では、地山強度比($q_u/\gamma H$)が1前後を境として、小さい場合は全土被り土圧が作用し、大きい場合は全土被り土圧が作用しない結果であった。また、今回の実験結果からは、粘性土における断面形状による作用土圧の明確な差異は認められなかった。

4. 今後の課題

今後の課題として、実験手法上の問題点から考えられる作用土圧への影響について明かにするとともに、緩み土圧式へ適用する場合、内部摩擦角の影響が緩み土圧に与える影響が大きいことから土質定数の設定等について詳細に検討する必要がある。

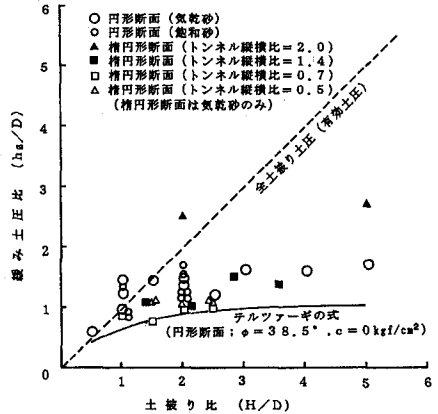


図-2 砂質土における土被り比 H/D と緩み高さ比 h_g/D との関係

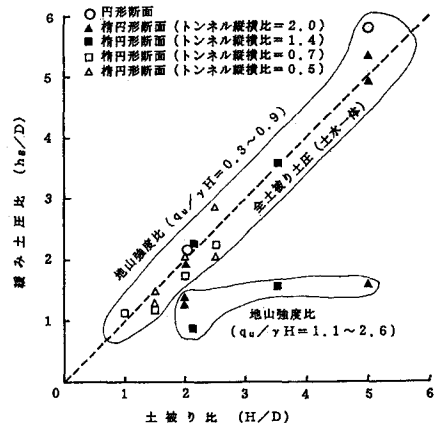


図-3 粘性土における土被り比 H/D と緩み高さ比 h_g/D との関係