

III-692 地盤とトンネルの相互作用に関する一考察

（財）鉄道総合技術研究所 正 員 小山 幸則 岡野 法之
 （株）熊 谷 組 正 員 井原 俊一 ○大原 英史

1. はじめに

筆者らは、シールドトンネルの合理的な設計法を検討するための資料を得る目的で、これに作用する土圧の分布形状について、実験・解析を行っている。本報は、筆者の一部が行った土圧分布形状を把握する実験¹⁾を踏まえ、いくつかの解析を行ったので、これらを比較検討した結果を述べるものである。

2. 解析モデル

解析モデルは、実験土槽、地盤およびトンネル模型を二次元平面歪問題としてモデル化した。構成要素は実験土槽・トンネル模型を梁要素とし、実験地盤については、Duncan-Changモデルとして非線形解析を行った。地盤とトンネル模型の相互作用については、地盤の剛性を一定にしてトンネル模型部材の剛性を変えることにより、地盤とトンネルの相対剛性を変化させて、トンネル周辺の土圧分布形状を把握した。ここで用いている相対剛性 κ は、トンネル管の土中でなたわみ性の度合いを表すたわみ性指数²⁾で、

$$\kappa = E/(S_r/a^3) = 12(1-\nu_p^2)E/E_p \cdot (a/t)^3$$

として表される。ここで、 E :土の弾性係数、 E_p :トンネル部材の弾性係数、 ν_p :トンネル管のポアソン比、 a :トンネル管の直径、 t :部材厚、 $S_r = E_p \cdot t^3/12(1-\nu_p^2)$ であり、 $\kappa=0$ はトンネル管が剛体の場合に相当し、 κ が大きいほどトンネル管のたわみ性が増す。

モデルは単円形・3円形の2種類とし、別途行った実験の模型の物性を基準にした。解析に用いた物性値を表-1に示す。

表-1 解析に用いた条件

土 槽	部材要素	諸設定値	
		底面	側面
トンネル模型 単円形	梁	$A=19.7\text{ cm}^2, I=637.3\text{ cm}^4$	
		$A=15.7\text{ cm}^2, I=324.6\text{ cm}^4$	
		$A=1.0\text{ cm}^2, I=0.0833\text{ cm}^4$	
トンネル模型 3円形	梁	$\kappa=10^{-9}, 1, 3, 10, 30, 100, 300, 1000$	
		$A=0.9\text{ cm}^2, I=0.0600\text{ cm}^4$	
		$\kappa=10^{-9}, 1, 3, 10, 30, 100, 300$	
実験地盤	平面歪要素	柱 $A=2.919\text{ cm}^2, I=5.970\text{ cm}^4$	
		$\gamma_t=1.773\text{ gf/cm}^3$	
		Duncan-Chang パラメーター $R_f=0.99, K=1066, n=0.591$ $c=0.1, \phi=32.2^\circ$	

3. 解析結果

3.1 鉛直・水平土圧分布

単円形・3円形モデルに作用する鉛直土圧 p_v 、水平土圧 p_h の分布を、載荷した応力で除して正規化して図-1, 2を得た。

図-1(単円形)について以下に述べる。

鉛直土圧では、 $\kappa=10^{-9}$ (非常に硬い管)の場合は、ほとんど等分布状態を示すが、 κ が大きくなるにつれて、中央部分が凹型になり、両端部分は隆起する形状となる。水平土圧については、 $\kappa=10^{-9}$ の場合は、スプリングライン部がやや盛り上がっているがほぼ等分布の形状を示し、その値は0.7~0.8程度である。 κ が大きくなるにつれて、スプリングライン部よりもやや上の部分が大きく盛り上がり、はじめ等分布に近かった形状は、次第に緩い半円状へ変化していき、クラウン・インパート部は0に近づく。

図-2(3円形)について以下に述べる。

鉛直土圧を見ると、 $\kappa=10^{-9}$ の場合は、中央円クラウン部で最大値を呈し、接合部でややくびれるが、側円クラウン部から端部にかけて次第に低下している。 κ の値が10~30位まで大きくなると、中央円クラウン

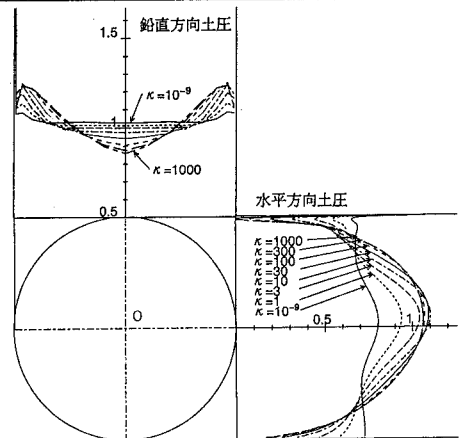


図-1 鉛直・水平土圧分布(単円形)

部および接合部は減少していくが、側円クラウン部はほとんど同じ値を維持し、端部の値が増加していく。さらに κ が大きくなっていくと、 $\kappa=30$ を越えた付近から、中央円クラウン部・接合部が凹部となり、端部が隆起する傾向が見られる。水平土圧については、 $\kappa=10^{-9}$ の場合は、等分布に近い形状を示しており、 κ が大きくなるにつれて、スプリングラインよりもやや上の部分が大きくなっていく現象は、単円の場合とよく似ている。

3.2 鉛直・水平 増減土圧分布

$\kappa=10^{-9}$ の土圧分布を各ケースの土圧分布から減ずることにより、土圧の増減分布を得ることができるが、 $\kappa=3$ および100のケースについて、単円形・3円形それぞれの増減分布を図-3, 4に示し、以下にその内容を示す。鉛直増減土圧では、単円形はクラウン部およびインバート部付近が大きく凹型を示すが、3円形は κ の値により土圧変化の様子が異なる。 $\kappa=3$ まではインバート部も下方へ変形し土圧が増加しているが、 $\kappa=100$ では土圧が減少していることがわかる。水平増減土圧については、単円形・3円形ともにスプリングライン部よりもやや上付近で大きく土圧が増加している。

3.3 柱とスプリングライン部の荷重分担比率

3円形のケースについて、トンネル管の円形部のスプリングラインおよび柱部の軸力とそれらの合力を、載荷した荷重の断面幅にわたる総量で除した値を図-5に示す。図-5から以下のことがわかる。模型に加わる力は、柱とスプリングライン部で代表できるが、 κ の値に応じて柱部は減少傾向に、スプリングライン部は増加傾向にある。これらの和については、 κ が大きくなると1.00をやや下まわるので、載荷した力よりもやや小さい力を受けていることになる。

4. まとめ

解析を通し、単円形および3円形の土圧分布形状について、スプリングライン部よりもやや上方に水平土圧の最大値が現れることや、トンネル管が柔らかくなるにつれて地山の荷重分担比率が増加することなどを確認することができた。今回は κ をパラメータとして解析を行ったが、今後は実験結果も含めて解析を進め、より合理的な設計法について検討・考察していきたい。

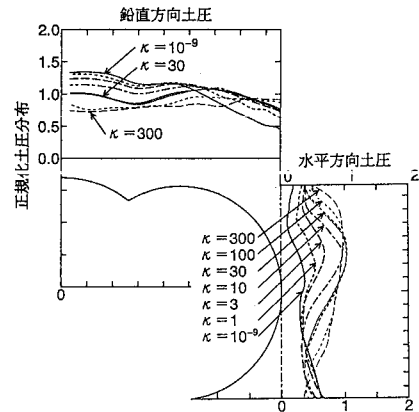


図-2 鉛直・水平土圧分布（3円形）

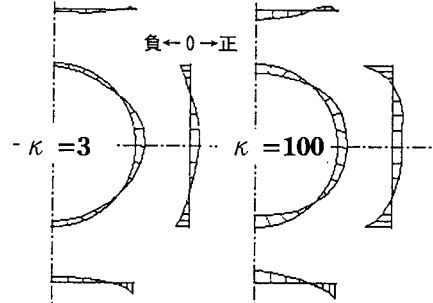


図-3 鉛直・水平 増減土圧分布（単円形）

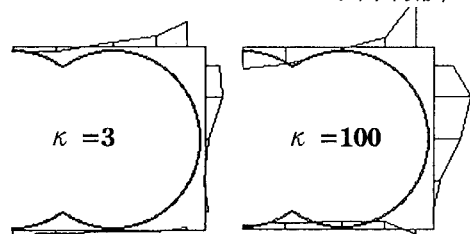


図-4 鉛直・水平 増減土圧分布（3円形）

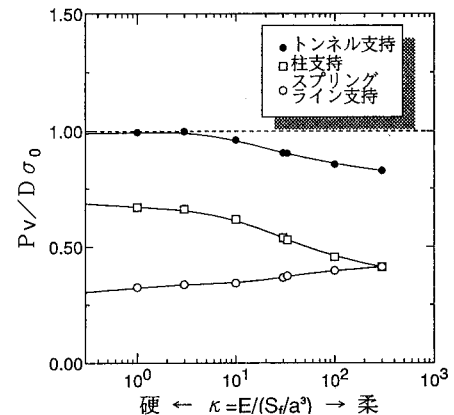


図-5 κ と柱・スプリングラインの荷重分担比率

- 参考文献 1) 小山 他：トンネルに作用する土圧に関する研究(1)、土木学会第48回年次学術講演会、pp156～157、1993年9月
2) 東田 他：弾性論による埋設管の土圧の検討、土木学会論文集 第376号/Ⅲ-6、pp180～190、1986年12月