

トンネルと地盤の剛性を考慮した上載荷重の評価方法の研究

清水建設 正会員 ○杉山 博一, 奥野 哲夫

清水建設 正会員 関 伸司, 鹿島 竜之介

首都大学東京 正会員 西村 和夫

1. はじめに

大深度地下施設の設計では、建築物による荷重（以後、上載荷重と記す）を考慮して設計することが規定されている^{1),2)}。上載荷重による影響を検討した事例^{3),4)}ではトンネルと地盤の剛性の違いによってトンネルに発生する断面力が異なることが指摘されている。本研究では、大深度トンネルにおける上載荷重の合理的評価方法の構築を目的とし、地盤やトンネルの剛性を考慮した荷重分担のメカニズムを検討した。

2. 基礎実験

地盤の剛性の違いによる上載荷重の作用機構を確認するため、簡易な基礎実験を行った。図-1の実験概要図を示すように、幅80cm、高さ75cm、奥行き30cmの土槽の中央に、直径20cm、厚さ5mmの鋼製トンネル模型を設置し、20kNジャッキで載荷板を押すことにより上載荷重を模擬した。トンネル模型にはひずみゲージと変位計を設置して計測した。地盤は豊浦砂と珪砂3号の2種類であり、相対密度が90%程度となるように空中落下法にて作成した。

図-2にジャッキ荷重が20kN（作用応力81.8kN/m²）の時にトンネル模型に発生したひずみを示す。また併せて弾性FEMによって実験条件を再現した結果を示した。なお、解析で用いた地盤の弾性係数は、豊浦砂が5MN/m²、珪砂3号が7MN/m²としたが、これは実験結果とフィッティングするようにして求めたものである。2種類の地盤の剛性の違いはわずかではあったが、既往の研究成果と同様に、剛性が高い珪砂3号のほうが断面力や内空変位は小さい結果となった。

3. 解析的試算

実規模レベルでの上載荷重の影響を評価するため、2次元弾塑性有限要素法によるパラメータスタディを行った。検討断面を図-3に、解析条件を表-1に示す。基本ケースに加え、極端なケースではあるが、支持層地盤の剛性Egを1/10や10倍したケースや、トンネルの断面2次モーメントIを1/10や10倍に変えた5種類の試算を行った。解析ステップは、①初期応力状態、②トンネル掘削（応力解放率30%）、③トンネ

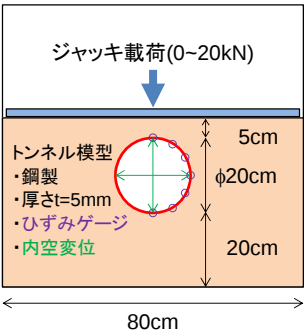


図-1 基礎実験の概要図

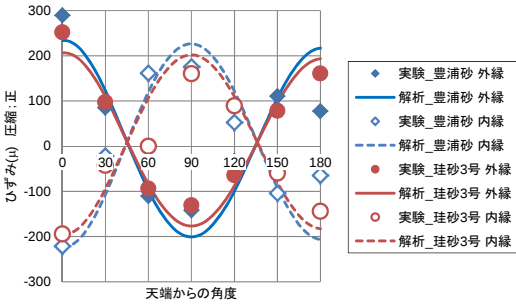


図-2 ジャッキ荷重20kN時のひずみの比較

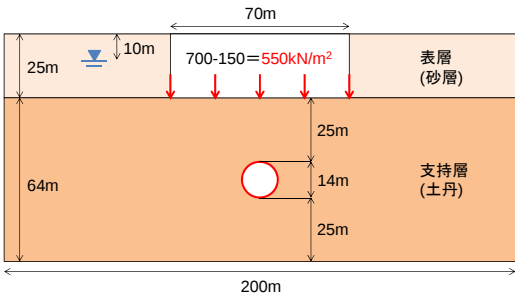


図-3 解析断面

表-1 解析条件

	区分		表層	支持層	
	湿潤重量	(kN/m ³)	16	19	
地盤	弾性係数	ケース名	全ケース	Eg/10	基本
		(MN/m ²)	5	30	300
	ポアソン比		0.40	0.35	
	粘着力	(kN/m ²)	0	800	
	内部摩擦角	度	30	22	
トンネル (剛性一様 リング)	覆工厚	ケース名	I/10	基本	I*10
		(m)	0.23	0.5	1.01
	密度	(kN/m ³)	26		
	弾性係数	(kN/m ²)	4.5E+07		
		ポアソン比	0.17		

キーワード 大深度地下、シールドトンネル、建築物荷重、上載荷重、耐力

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設(株)技術研究所 TEL:03-3820-6978

ル構築、④山留め掘削、⑤上載荷重の載荷、とした。

図-4 に上載荷重作用後（ステップ⑤）における軸力、図-5 に曲げモーメントを示す。図からわかるとおり、地盤の剛性が高い場合($Eg*10$)やトンネル剛性が小さい場合($I/10$)には断面力が小さくなっている。逆に、トンネル剛性が高い場合や、地盤剛性が低い場合はトンネルに上載荷重が集中し、断面力が大きくなる結果となった。

4. 作用荷重の評価と考察

骨組構造解析における上載荷重として評価することを目的として、トンネルのはり要素に作用している節点力から外荷重として評価することを試みた。具体的には図-6 に示すように、まずトンネル要素に作用する節点力を出力する。次に、それぞれの節点で和を求めると節点に作用する外力となる。ステップ③と⑤での差が上載荷重による外力の変化分と考え、それを隣接する節点の中間点までが節点力が作用する長さとして、その長さで除すことによって荷重増分として求めた。

図-7 はトンネル上半での鉛直方向の荷重増分、図-8 はトンネル右半での水平方向の荷重増分である。参考のために、文献¹⁾に示されている方法で算定した荷重を併せて示した。求めた荷重増分は等分布荷重ではなく、鉛直方向の荷重は天端部で小さく、側壁部で大きく評価されている。一方、水平方向の荷重は、スプリングラインで地盤反力による影響を受けて増加し、天端やインバートでは負の荷重として評価されている。この荷重分布には地盤反力による影響が含まれていることに注意しなければならないが、このような荷重形態を採用したほうが合理的な評価につながる可能性もある。

5. まとめ

トンネル上載荷重の合理的な評価方法を構築することを目的として、基礎実験と解析的な試算を行った。解析における節点力から評価された外荷重は、地盤とトンネルの剛性によって異なり、不等分布な形態であった。今後は、地盤とトンネルの剛性を考慮した形での上載荷重の評価モデルの構築を行うとともに、実規模の応力レベルで検討できる遠心模型実験等によってモデル検証を行う予定である。

参考文献：1)国土交通省都市・地域整備局企画課大深度地下利用企画室：大深度地下使用技術指針・同解説、2001 年 2)細川雅則、佐藤寿延、横田穰二、岡嶋正樹：大深度地下使用制度における地下施設の設計方法について、地下空間シンポジウム論文・報告集、第6巻、pp.169-176、2001 年 3)小山幸則、小西真治、新井泰、岡野法之：上載荷重の地下構造物に対する影響とその評価、鉄道総研報告、Vol.11、No.7、pp.25-30、1997 年 4)東田淳、三笠正人：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、pp.181-190、1986 年

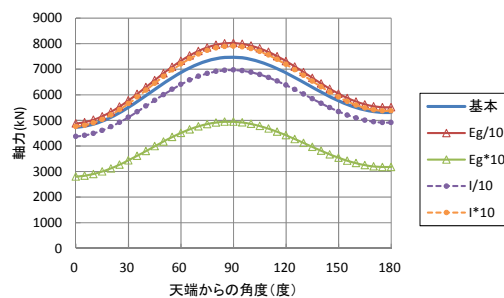


図-4 軸力の比較

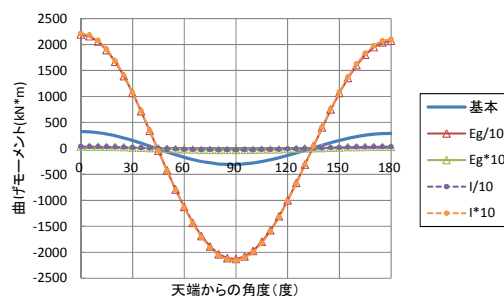


図-5 曲げモーメントの比較

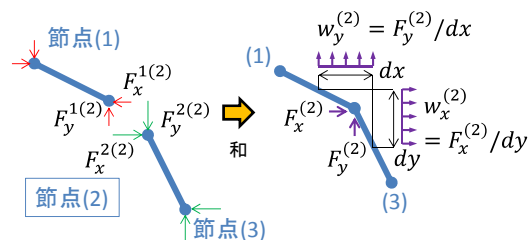


図-6 節点力から作用荷重を評価する方法

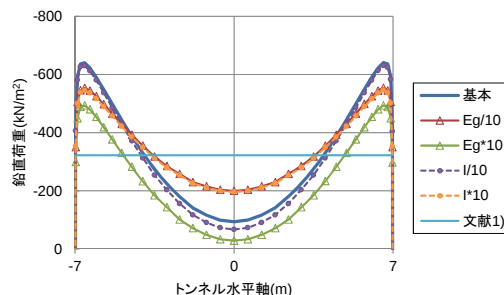


図-7 節点力から評価した鉛直方向の荷重増分
(トンネル中心方向が負)

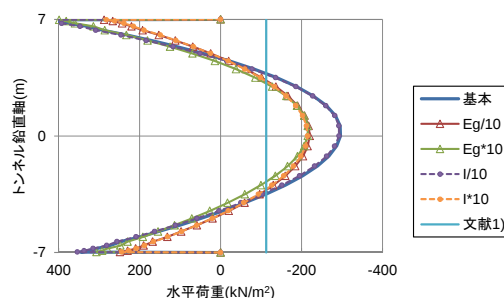


図-8 節点力から評価した水平方向の荷重増分
(トンネル中心方向が負)