

大深度シールドトンネルへの建物荷重の影響検証

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○杉江 茂彦 正会員 高橋 真一 正会員 鈴木 和明

1. はじめに

大深度地下施設の計画では、近くに建物が建設されても施設の健全性が保たれるように、一般の地下施設の設計荷重に加えて、建物の基礎形式に応じたいくつかの荷重条件が想定されている。例えば、国土交通省の大深度地下利用の技術指針<sup>1)</sup>では、大深度地下施設の上方に直接基礎の建物が設けられる場合について、図-1に示される荷重の増加を見込むことが原則とされている。本研究では同図の荷重条件を遠心模型実験と数値解析で再現し、建物建設による荷重増加がシールドトンネルに与える影響について調べたので報告する。

2. 遠心力模型実験の概要

トンネルと建物基礎を模擬した土槽を写真-1に示す。地盤材料には標準砂(乾燥)を用いた。基礎部は石膏で模擬し地表まで設けた。ここで、基礎部の単位体積重量は地盤材料と等しくなるように調整し、建物が無い場合の土被りのみによる荷重条件を再現できるようにした。建物による荷重増加分 $300\text{kN/m}^2$ については、石膏による建物基礎部の上面に鉛板を積むことにより表現した。トンネルのセグメントは鋼管(外径 $85\text{mm}$ 、厚さ $4.5\text{mm}$ )で模擬し、内部を空洞とした。鋼管の外周面には小型の土圧計を、内・外面にはひずみゲージを、8測点 $45^\circ$ の間隔で配置して土圧と部材力を測定した。また基礎部の直下に土圧計を5点設置して所定の荷重が架かっていることを確認した。

トンネル部への建物による荷重増加の影響を調べるために以下の2ケースの荷重条件を設けた。両ケースについて遠心加速度を架けて実規模サイズの荷重での応答値を得た。

- ケース 建物荷重が無い場合：地盤深さ $40\text{m}$ の土被り相当の荷重
- ケース 建物荷重が有る場合：建物荷重( の荷重 + 増加分 $300\text{kN/m}^2$ )

3. FEM解析による遠心力模型実験のシミュレーション

解析に用いたFEMメッシュと荷重条件を図-2に示す。ここでは図-1の想定イメージを実規模でモデル化したものであり、遠心力模型実験の2

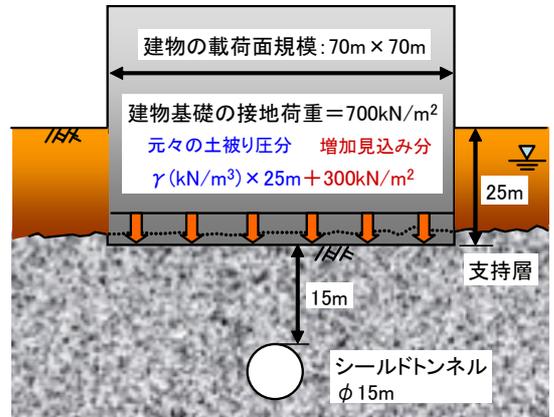


図-1 建物荷重の想定イメージ<sup>1)</sup>  
「大深度地下利用技術指針・同解説、国土交通省」

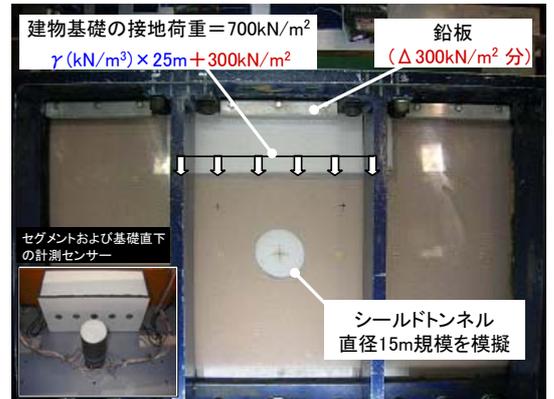


写真-1 シールドトンネルと建物基礎を模擬した実験土槽(遠心力模型実験)

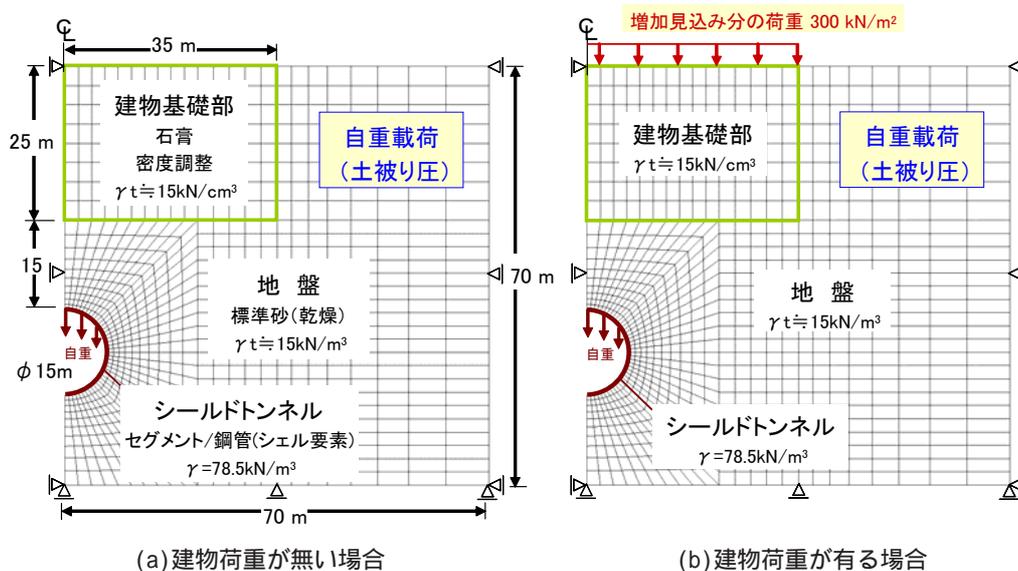


図-2 FEM解析のモデルメッシュと荷重条件

表-1 材料定数値

地盤：標準砂(乾燥)	
変形係数	$37,000\text{ kN/m}^2$
ポアソン比	0.3
単位体積重量	$15\text{ kN/m}^3$
静止土圧係数	0.43
建物基礎部：石膏	
変形係数	$1.4 \times 10^6\text{ kN/m}^2$
ポアソン比	0.2
単位体積重量	$15\text{ kN/m}^3$
セグメント：鋼管	
変形係数	$2.1 \times 10^8\text{ kN/m}^2$
ポアソン比	0.3

キーワード：大深度、シールドトンネル、建物荷重、セグメント、遠心力模型実験、有限要素法解析  
連絡先：東京都清瀬市下清戸4-640 TEL：042-495-1097 FAX：042-495-0909

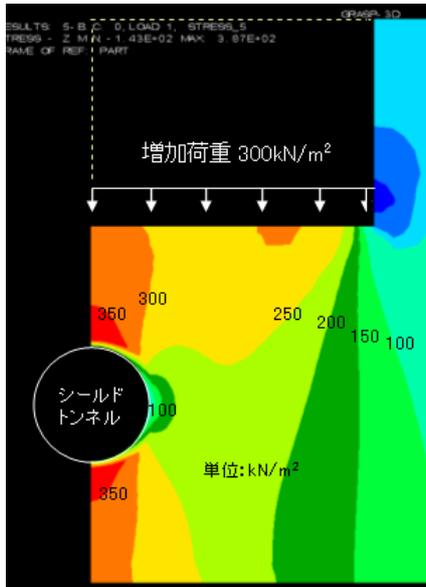


図-3 建物による荷重増加分( 300kN/m<sup>2</sup>)での地盤鉛直応力の増分値 ( F E M )

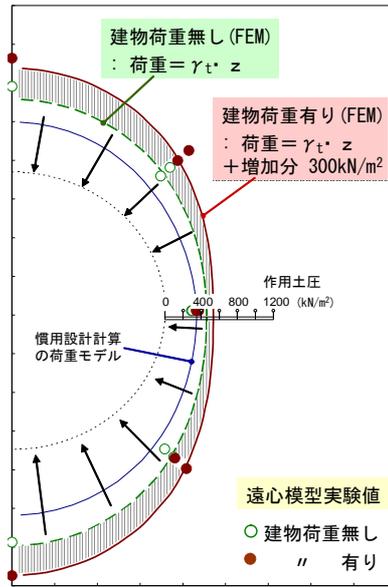


図-4 セグメントの作用土圧 (外周面に法線方向に働く成分)

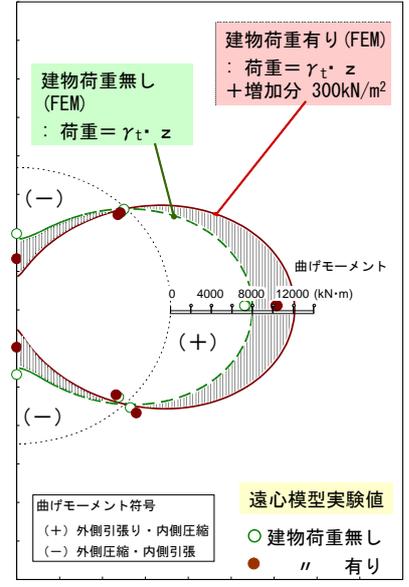


図-5 セグメントの曲げモーメント

ケースの载荷条件について、トンネルの作用土圧と発生部材力を弾性で計算した。地盤の標準砂と基礎部の石膏、およびセグメント部の鋼管の材料定数値を表-1に示す。ここで標準砂と石膏の変形係数値については、それぞれ三軸・一軸圧縮試験のE50により設定した。解析コードにはGRASP3D<sup>2)</sup>を用いた。

4. トンネル周辺の地盤応力と作用土圧

(1) 周辺地盤の応力

トンネル周辺地盤の応力コンター ( F E M解析値 ) を図-3に示す。建物による荷重増加分 300kN/m<sup>2</sup>で生じた地盤鉛直応力の増分コンターである。トンネルの天端と下端の地盤では建物による荷重増加分を上回る 350kN/m<sup>2</sup>以上の応力が生じている。トンネルの荷重評価においては、対象地盤と使用セグメントの剛性の違いに応じて生じる応力集中の現象に留意する必要がある。

(2) トンネルの作用土圧

トンネルの作用土圧は、セグメントの外周面に法線方向に働く成分と周面方向に働く成分とに分けられる(例えば<sup>3)</sup>)。ここでは計測が可能な法線方向の成分について図-4に示す。実験値と解析値は比較的良く整合している。建物による荷重増加で生じる作用土圧の増分(図-4中の斜線部)は、トンネルの天端部と下端部では大きく、側部では小さく生じており、偏圧の度合いが増している。

5. セグメントの発生部材力

図-5にセグメントの曲げモーメントを示す。実験値と解析値は比較的良く整合しており、建物による荷重増加で作用土圧の偏圧の度合いが増すことにより曲げモーメントが増加している。

慣用の設計計算式で<sup>4)</sup>算定した曲げモーメント値を図-6に破線で示す。本検討の建物が無い場合について、土被り圧と反力およびセグメントの自重を代入して得られた結果である。これに先のFEM解析で得られた、建物による荷重増分で生じた曲げモーメントの増分値(図-5の斜線部)を足した値を実線で加えている。地盤とトンネルのセグメントを、それぞれ標準砂と鋼管で模擬した、両者の剛性の差が大きいモデルによるものであるが、建物の影響を考慮した曲げモーメント値は、元の慣用設計計算値の2倍程度となっている。

6. おわりに

大深度のシールドトンネルへの建物荷重の影響について、遠心力模型実験とFEM解析で検証した。その結果、トンネル部への応力集中ならびに作用土圧の偏りが増すことによる曲げモーメントの増加が得られた。応力集中は地盤とセグメントの剛性差に応じて生じるため、大深度の地盤の剛性との調和も視野に入れたセグメント仕様の設定が重要であると考えられる。

「参考文献」

- 1)国土交通省 都市・地域整備局大都市圏整備課大深度地下利用企画室：大深度地下利用技術指針・同解説,2001
- 2)Ohta,H.,Iizuka,A.,Omote,Y.,Sugie,S.:3-D analysis of soil/water coupling problems using elastoviscoplastic constitutive relationships,Proc.7th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics, Vol.2,1991
- 3)杉江・高橋・鈴木：シールドセグメントの土水圧に関する解析的検証,第44回地盤工学研究発表会,2009
- 4)トンネル標準示方書 シールド工法・同解説,土木学会,2006

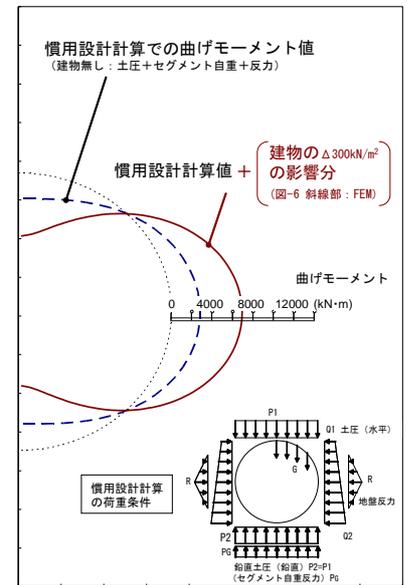


図-6 慣用設計計算による曲げモーメント算定値