

砂質地山トンネルの力学挙動に関する実験的研究

徳島大学工学部 正会員 小嶋啓介
京都大学工学部 正会員 足立紀尚
徳島大学工学部 正会員 澤田健吉
徳島大学大学院 学生員 ○森 琢真

1. まえがき

近年の破壊的な地価の高騰にともない、ジオフロントという言葉が注目され、都市部を中心として地下空間の有効活用の必要性が増加している。しかしながら、都市部における地下掘削に際しては、軟弱粘土、未固結砂層などで形成される劣悪な地盤条件の中で、掘削の影響が既存構造物など都市機能に及ぼす影響を最小限に抑えた施工を行う必要がある。したがって、トンネル掘削時に切羽および周辺地山の挙動を的確に予測し、最適な施工を進めることが要求される。ここでは、未固結地山をアルミ棒積層体によってモデル化したトンネル掘削の模型実験を行い、トンネル掘削時の周辺地山ならびに地表面の力学挙動を検討した結果を報告する。

2. トンネル掘削の模型実験の概要

本研究で用いた実験装置の概要を図-1に示す。未固結地山を想定したモデル地盤は、長さが50.0mmで直径が1.6mmと3.0mmのアルミ棒を重量比で3:2で混合し、所定の高さまで積み重ねることによってモデル化したもので、図に示す位置にあらかじめ設置した2種類のトンネル模型によってトンネル掘削をシミュレートした。第1の方法は、図-2(a)に示すように、ハンドルを回転させることにより、直径を初期値の8.0cmから逐次減少することによりシミュレートするもので、以後変位制御と呼ぶ。第2の方法は、同図(b)に示すようにゴム膜でモデル化したトンネル部分に、拘束圧に相当する空気圧を作用させ、掘削にともなう応力の解放を空気圧の減少によってシミュレートするもので、応力制御と呼ぶこととする。トンネル掘削の模型実験は、初期状態の写真を撮影後、変位制御ではトンネル模型の直径を2,4,7,10mm縮小ごと、また応力制御では初期内圧の20%減圧ごとに写真を撮影し、大き

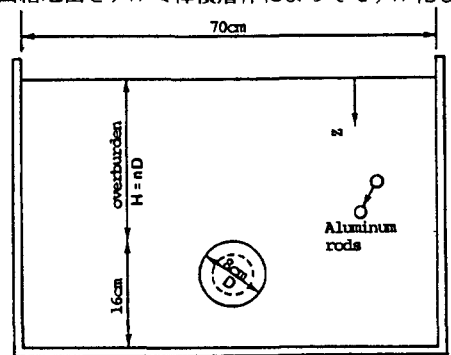


図-1 実験装置の概要

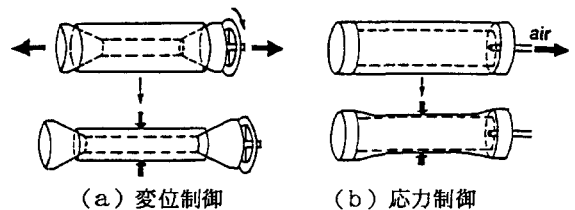
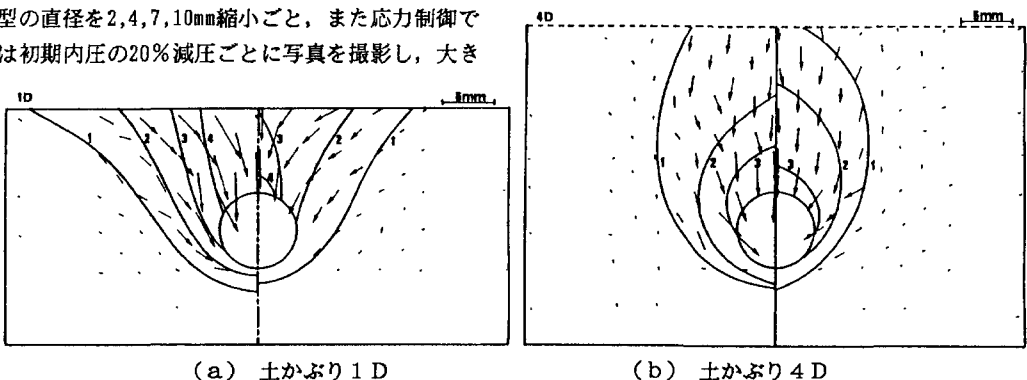


図-2 トンネル模型



(a) 土かぶり1D

(b) 土かぶり4D

図-3 変位ベクトルと等変位線 (左側: 変位制御, 右側: 応力制御)

く引き延ばした写真から、モデル地盤内の標点の位置をデジタイザーによって入力し、地山内の変形挙動を解析した。模型実験は応力制御と変位制御の場合において、種々の土かぶり条件で3回づつ行い、信頼性の確認を行っている。なお以下では、土かぶりHはトンネル直径Dの倍数で、 $H = nD$ のように表している。

3. 実験結果と考察

図-3は、土かぶり1Dと4Dの変位ベクトルと等変位線を示しており、左側は変位制御によってトンネル直径を10mm縮小させた段階、右側は応力制御において内圧を100%除去した段階に対応している。これらの図より、土かぶりが浅い場合には、トンネル周辺で発生する大きな変形を示す領域が地表面にまで達しているのに対し、かぶりが深い場合にはトンネル上方の領域に限られていることがわかる。さらに、応力制御ではトンネルクラウン部の変形量がスプリングライン付近に比較して大きいのに対し、変位制御では変形量がほぼ等しいといえる。変位制御による実験は、いわゆる落し戸の実験から発達したものであり、地盤内に生じた変形がどの様に伝達されるかを観察することを目的としているが、トンネル掘削をより現実近くシミュレートできるのは応力制御であると考えられる。次に、図-4に示すような、トンネル上端よりトンネル直径だけ上方に位置する標点に注目し、応力の解放率と変形量の関係を検討する。図-5は応力制御による実験において、応力の解放率ごとの変形量Vを完全に解放した時の変形量 $V_{100\%}$ で無次元化した変形率と応力解放率との関係である。土かぶり1Dでは応力解放率が40~60%において全変形量の50%程度に達しているのに対し、4Dでは解放率80%においても変形量は40%程度と小さく100%解放時には急激な変形が認められる。図-6は変形率の速度である $V/V_{100\%}$ を解放率で微分した値を解放率に対して示したものである。土かぶりが浅い場合には初期から比較的大きな値を保ちつつ推移し、連続的な挙動が認められるのに対し、深い場合には、初期の小さな変形速度から減少傾向を示し、最小値を示した後に急激に増大しトンネルが崩壊することが認められる。これらの事実より、変形速度は管理基準の一指標として適していることが裏付けられたと考えられ、実際のトンネルにおいても内空変位などの計測データに利用できるものと思われる。

4. あとがき

今後は、地下水の影響を考慮し、支保工をモデル化した実験を行うとともに、実際のトンネル施工時の観測データを蓄積し、実験結果および観測結果を評価できる解析法を検討していく方針である。

参考文献

- 1) 足立, 田村, 八島(1985): 「砂質地山トンネルの挙動と解析に関する研究」, 土木学会論文報告集, 第358号, III-3, pp.129-136.

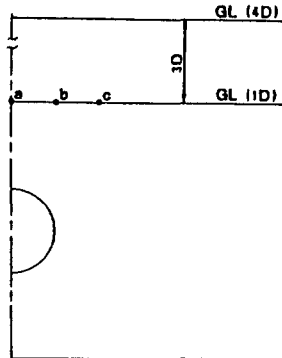


図-4 対象標点の位置

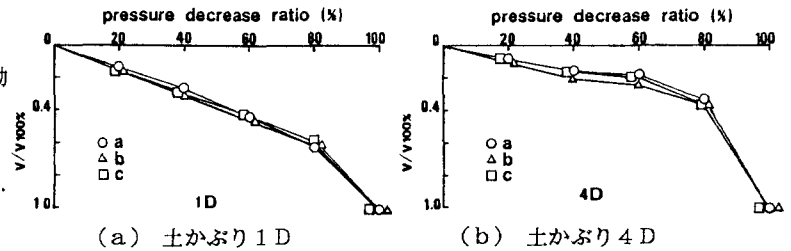


図-5 応力解放率と変形率との関係

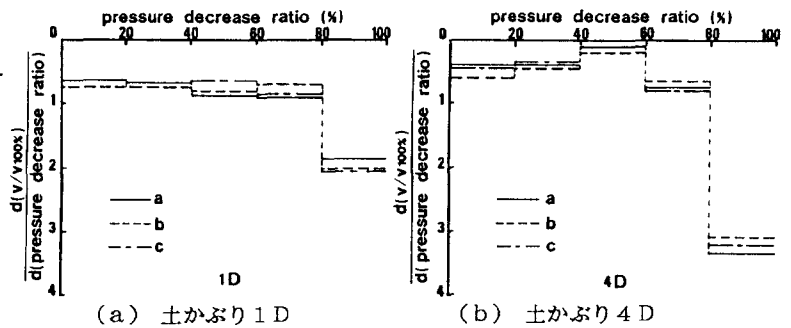


図-6 応力解放率と変形速度の関係