

成層傾斜地盤における双設トンネル掘削を模擬した2次元降下床実験

京都大学 学生員 ○菊本統, 朴時玄
京都大学 フェロー 足立紀尚
京都大学 正会員 木村亮, 岸田潔

1. はじめに 傾斜を有する不連続性地盤に双設トンネルを設計・施工する際には、傾斜角度や既設トンネルに対する新設トンネルの掘削位置によって力学的挙動が異なると考えられる。そこで、本研究では、図-1 に示すようにアルミブロック積層体を用いて成層傾斜地盤を模擬し、双設トンネル掘削を想定した2次元降下床実験を行った。本稿では、傾斜角度が 45° の場合について実験結果を示し、新設トンネル掘削時の力学挙動に関する考察を加える。

2. 実験概要 **2.1 実験装置** 本実験で用いた降下床実験装置¹⁾および地表面計測システム²⁾を図-2 に示す。装置の底面は40個のアルミ製受圧板で構成され、各受圧板底面に取り付けられた荷重計により荷重を分布として捉えることができる。本実験では降下床を2箇所へ設け、各降下床を手動ハンドル付きジャッキによって順次下降させることで双設トンネル掘削時の応力解放を表現した。

2.2 地盤材料 地盤材料には、図-2 に示すようにアルミブロック積層体とアルミ棒積層体を用いた。成層傾斜地盤は正四角柱 ($25 \times 25 \times 50 \text{ mm}$) のブロック (単位体積重量 $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$, すべり摩擦角 $\phi = 20^\circ$, 粘着力 $c = 0 \text{ kN/m}^2$) によって模擬する¹⁾。また、3種類の三角柱と四角柱をアルミブロック積層体の最下部に用い、様々な傾斜角度にて実験を行った。また、実験初期における荷重分布のばらつきの低減および地表面計測のために、アルミブロック積層体の下方および上方にアルミ棒積層体 ($\gamma = 21 \text{ kN/m}^3$, 内部摩擦角 $\phi = 30^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$) を用いた¹⁾。

2.3 実験条件 実験の諸元を表-1 に示す。図-3 に示すように傾斜角度 θ , 降下床間隔 B および先行降下床に対する後続降下床の設置位置を変化させ、計24パターンの実験を行った。実験では、先行降下床 (既設トンネルを模擬) を2 mm まで下降させ、続いて、後続降下床 (新設トンネルを模擬) を10 mm まで下降させた。

3. 実験結果および考察 3.1 地表面沈下

図-4 に各後続降下床設置位置における後続降下床2 mm 下降後の地表面沈下形状を示す。図-4 より、降下床間隔を25 mm 以上設けると地表面沈下形状は明瞭に小さくなる。

つぎに、各パターンを最大沈下量および地表面影響量により評価する。なお、最大沈下

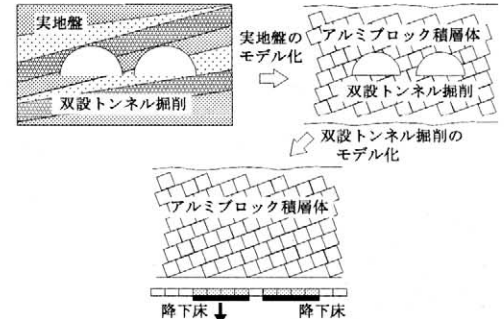


図-1 実地盤およびトンネル掘削のモデル化

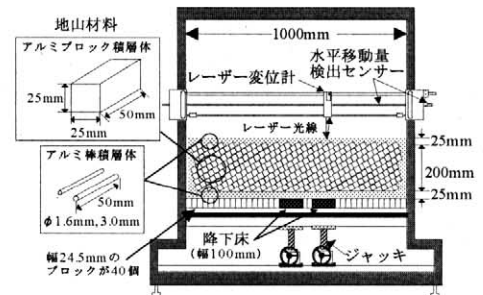


図-2 降下床実験装置および地山材料

表-1 実験の諸元

降下床	先行・後続降下床幅D	100 mm
	降下床間隔B	0 mm, 25 mm, 50 mm
	後続降下床設置位置	先行降下床の左側, 右側
地山	土被りH	200 mm (2D)
	傾斜角度 θ	$0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$
	傾斜方向	右上がり

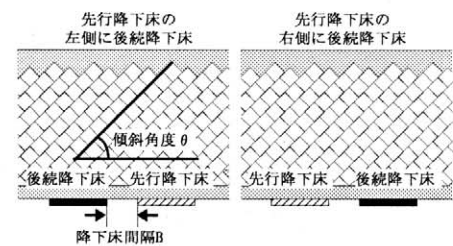


図-3 実験パラメータ

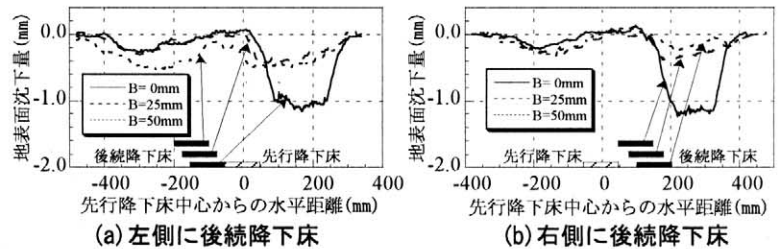


図-4 後続降下床2 mm下降後の地表面沈下形状 ($\theta = 45^\circ$)

キーワード：双設トンネル, 成層傾斜地盤, 降下床, 模型実験

連絡先 : 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 TEL075-753-5106

量は、地表面沈下量の最大値である。また、地表面影響量は、図-5 に示すように、地表面沈下量が 0.2 mm (各降下床下降量の 10%) 以上である範囲内の沈下した面積 ΔS_s を求め、 ΔS_s を降下床の下降による降下床直上部の面積変化量 ΔS_t で規準化することにより求める。図-6 に後続降下床 2 mm 下降後の最大沈下量と降下床間隔の関係を示す。なお、参考までに、同図中に先行降下床 2 mm 下降後の最大沈下量を破線で示す。図-7 に後続降下床 2 mm 下降後の地表面影響量と降下床間隔の関係を示す。これより、以下の知見を得る。

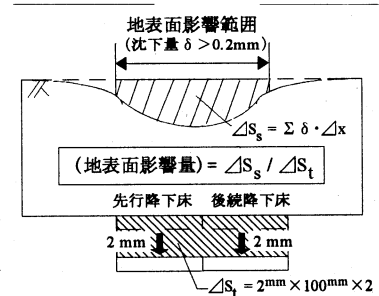


図-5 地表面影響量

- 1) 降下床間隔を 25 mm ($0.25D$) 以上設けると、後続降下床下降後の最大沈下量は小さくなる。
- 2) 降下床間隔が 50 mm ($0.5D$) かつ先行降下床の左側に後続降下床を設置した場合には、地表面影響量は大きな値を示す。これは、降下床間隔を広げることによって沈下量は小さくなる一方、地表面沈下の生じる範囲が広がるためであると考えられる。

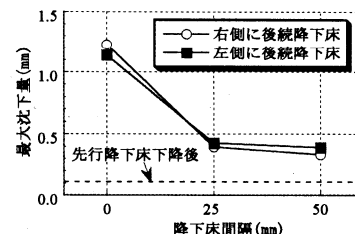


図-6 後続降下床 2 mm 下降後の最大沈下量 ($\theta = 45^\circ$)

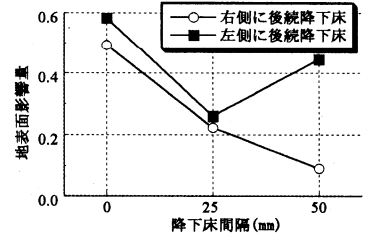


図-7 後続降下床 2 mm 下降後の地表面影響量 ($\theta = 45^\circ$)

3. 2 降下床土圧 図-8 に土圧分布形状の一例を示す。図-9 に先行および後続降下床に作用する土圧と降下床下降量の関係の一例を示す。なお、図中に示す規準化土圧とは、実験で計測した荷重を初期荷重で除して規準化した土圧である。図-8, 9 より、後続降下床下降時には後続降下床土圧は減少し、その減少分の一部を受け持つ形で先行降下床土圧は増加する。また、降下床間に間隔を設けている場合には、降下床間に土圧が集中する。

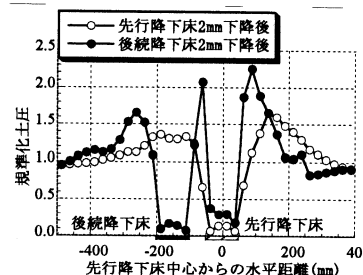


図-8 土圧分布形状
($\theta = 45^\circ$, $B = 50 \text{ mm}$, 左側に後続降下床)

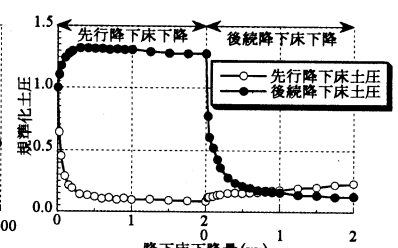
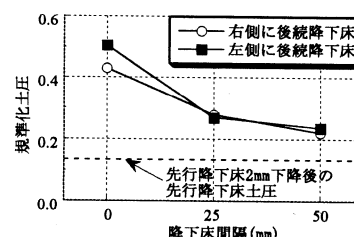
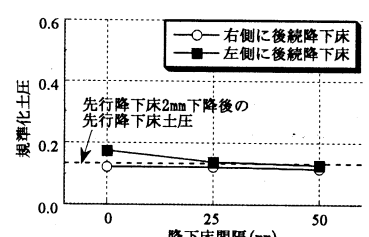


図-9 先行・後続降下床土圧と降下床下降量の関係
($\theta = 45^\circ$, $B = 50 \text{ mm}$, 左側に後続降下床)

傾斜角度が 45° における各後続降下床設置パターンについて比較するため、図-10 に後続降下床 2 mm 下降後の先行・後続降下床土圧と降下床間隔の関係を示す。なお、参考までに、同図中に先行降下床 2 mm 下降後の先行降下床土圧を破線で示す。図-10 より以下の知見を得る。



(a) 先行降下床土圧



(b) 後続降下床土圧

図-10 後続降下床 2 mm 下降後の先行・後続降下床土圧 ($\theta = 45^\circ$)

- 1) 降下床間隔を 25 mm ($0.25D$) 以上設けた場合には先行降下床土圧は明瞭に小さくなる。
- 2) 先行降下床の右側に後続降下床を設けた場合には、左側に後続降下床を設けた場合に比べて、後続降下床土圧は小さくなり、また、降下床間隔によらずほぼ一定の値を示す。

これらのことより、傾斜角度が 45° で降下床間隔が 25 mm ($0.25D$) 以上かつ先行降下床の左側に後続降下床を設けた場合には、先行・後続降下床土圧が低減され、十分なアーチ作用が得られると考える。

4. まとめ 今回の実験により、トンネル間に $0.25D$ 以上の間隔を設けることにより、新設トンネルの掘削が既設トンネルに作用する土圧および地表面沈下量が明瞭に低減されることが分かった。また、傾斜角度が 45° の時には、既設トンネルに対して左側に、トンネルの間隔を $0.5D$ 程度設けて新設トンネルを掘削する場合に、広い範囲にわたって地表面沈下が生じることが分かった。他の傾斜角度についても、層が傾斜を有する場合には、既設トンネルに対する新設トンネルの掘削位置によって異なる力学的挙動が確認された。

参考文献 1) 足立ら：成層傾斜地盤における単一トンネル掘削に関する降下床実験, 第5回地下空間シンポジウム, pp.169-176, 1999.

2) 足立ら：成層傾斜地盤における双設トンネル掘削時の地表面沈下特性, 平成12年度土木学会関西支部年次学術講演会, (投稿中)