

サイドパイル補強工の施工状態と沈下抑止効果に関する検討

京都大学大学院
京都大学
(独)鉄道・運輸機構

学生会員 ○崔 瑛
正会員 木村 亮, 岸田 潔
正会員 北川 隆

1. はじめに

NATM 工法を用いて、未固結地山に低土被りトンネルを掘削する時、地表面とトンネル天端及び脚部が同程度沈下するとともに下がり現象が見られるケースがある。その対策として、様々な補助工法が適用され、機能を発揮しているが、そのほとんどのメカニズムが不確定であり、確たる設計基準が示されておらず、各施工段階において経験的に施工されることが多い。

筆者らは、その補助工法の一つであるサイドパイルに関して、3次元降下床模型実験を通じ、サイドパイルの長さ、本数、材料剛性、設置方法、固定条件などが地表面沈下に及ぼす影響について検討を行い、より効果的なサイドパイルの適用性について議論を行ってきた^{1), 2)}。本稿では、サイドパイルの長さや固定条件が地表面沈下に及ぼす影響、及び効果を発揮するメカニズムに関して議論を行う。

2. 模型実験概要

図-1 に本実験で用いた 3 次元降下床実験装置³⁾の概観を示す。本実験では、とも下がり現象の地表面、トンネル天端及び脚部での沈下量がほぼ等しくなるという特徴に着目し、脚部に強制変位を与えることでとも下がり現象をモデル化する。脚部への強制変位は、模型地山底面に設けられた降下床を下降させることで与える。

図-2 に、本実験で用いた覆工模型を示す。同模型は実際のトンネルの上半脚部をモデル化したものであり、逆 T 字の断面形状をしている。模型地盤は乾燥した豊浦硅砂を用いて気中落下法により作成し、実験時の相対密度は 90% 程度である。

表-1¹⁾と表-2²⁾に、2 組の実験ケースを示す。固定条件が Fix と Free の場合において、長さの差異が地表面沈下に及ぼす影響を比較する。Fix はサイドパイルがトンネルに剛結された場合を、Free はサイドパイルが自由に回転できる場合をイメージする。実際の施工では、完全に剛結することは難しく、Fix と Free の間であると考えられる。本実験での計測項目は地表面沈下量、模型の変位、降下床に作用する鉛直荷重である。

3. 実験結果と考察

(1) 地表面沈下量の推移 図-3

に降下床を 0.5, 1, 2, 3 mm 沈下させた時の地表面沈下形状(長さ 200 mm 時)を示す。図より、地表面沈下量は降下床の下降に伴って大き

表-1 実験ケース1 (Fix)

	長さ (mm)	本数	固定 条件	設置 方法	材料
1					
2	100	5	Fix	Pre- installed	Aluminum
3	150				
4	200				
5	250				

表-2 実験ケース2 (Free)

	長さ (mm)	本数	固定 条件	設置 方法	材料
1					
2	75	5	Free	Pre- installed	Aluminum
3	150				
4	200				
5	300				

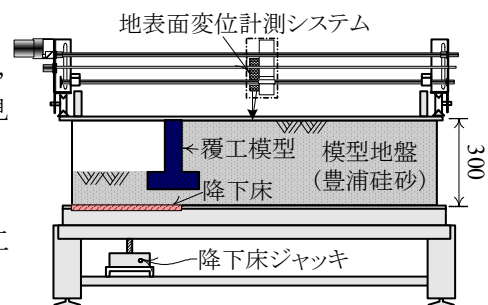


図-1 実験装置 (断面図)

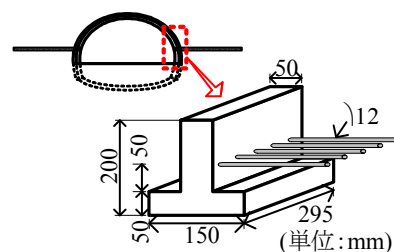


図-2 覆工模型

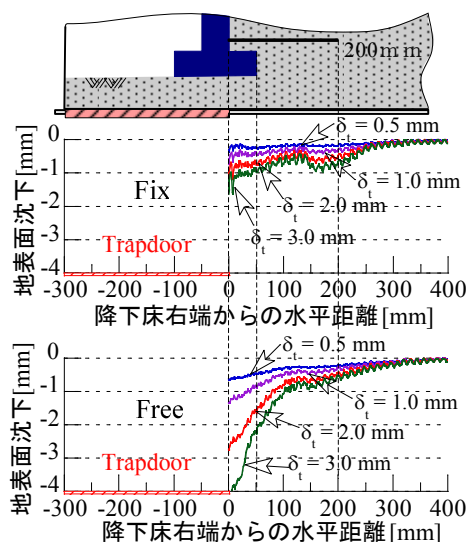


図-3 降下床の下降に伴う
地表面沈下形状の推移 (200mm)

キーワード とも下がり現象, サイドパイル, トンネル, 降下床実験

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科 都市社会工学専攻 TEL 075-753-5106

くなり、固定条件が Fix の方が Free に比べて地表面沈下量が明らかに抑制されている。Fix の場合、降下床の下降量が大きくなるとサイドパイルの先端付近で不連続な沈下形状が見られ、Free の場合は、覆工付近で大きい沈下が発生した。Fix の場合、覆工とサイドパイルが一体となって回転し、一定の角度(図-3 では 2mm 沈下時)になると地盤がサイドパイルによって持ち上げられ、不連続領域(図-4)が生じたと考えられる。これは、本実験でサイドパイルと地盤の相対剛性が実現場より大きいため生じた本実験特有の問題と考えられる。Free の場合、図-4 に示したように、覆工の回転に伴って覆工とサイドパイルの間に空隙が生じ、砂が落ち込んだため、覆工付近で大きい沈下が生じたと考えられる。

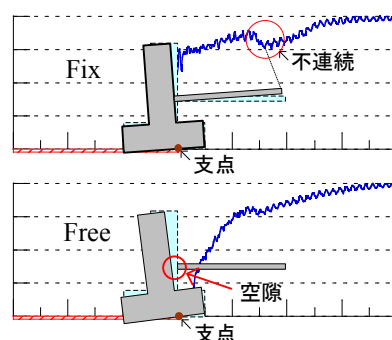


図-4 覆工とサイドパイルの挙動

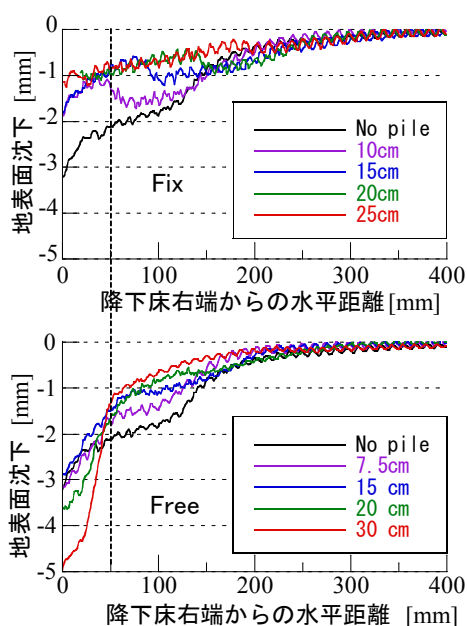


図-5 長さの差異が地表面沈下に及ぼす影響

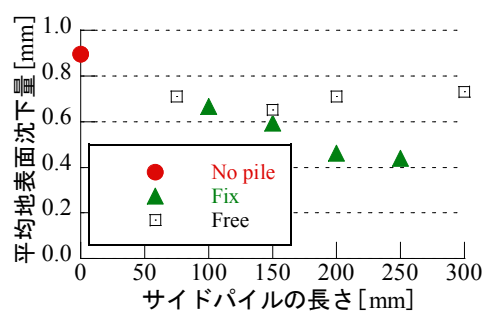


図-6 長さの差異が平均地表面沈下量に及ぼす影響

(2)地表面沈下量の推移 図-5 に固定条件が Fix 及び Free 時、長さの差異が地表面沈下に及ぼす影響を示す。Fix の場合、長いほど地表面沈下量が少なくなり、不連続領域は降下床より遠ざかり、25cm のケースでは地盤が持ち上がる現象が見られない。これは、サイドパイルが長くなるほど、回転抑制モーメント($0.5 \times$ サイドパイルの上に寄せられた地盤の重さ $\times$ サイドパイルの長さ)が大きくなり、25cm のケースでは、回転によるサイドパイルの地盤の持ち上げ効果が解消されたからだと考えられる。Free の場合、点線の左側(覆工付近)では、長いほど沈下量が大きい、右側では長いほど沈下量が少なくなることが分かる。これは、覆工の回転によって生じる空隙(図-4)に関係すると考えられる。さらに、図-6 に地表面沈下曲線の面積を計測長さ(本稿では 400mm)で割った平均地表面沈下量を示す。Fix の場合、サイドパイルが長いほど平均地表面沈下量が明らかに小さくなるに対し、Free の場合は、長さによる差異が少ない。さらに、同図から、Fix の方が Free に比べて平均地表面沈下量が少ない。すなわち、本実験では、模型の回転や図-4 のような問題はあるが、固定条件がいずれであれ、サイドパイルによる沈下抑制効果が明らかとなった。

4. まとめ

降下床模型実験により、局部的であるがとも下がり現象を表現できた。さらに、サイドパイルを導入することで、本模型実験において沈下抑制を行うことが可能となった。本稿で示した 2 組の実験ケースに対するサイドパイルの地表面沈下抑制効果を以下にまとめる。

- ①固定条件が Fix の場合、サイドパイルが長いほど地表面沈下抑制効果が良い。Free の場合、覆工の右足から離れた部分(図-5 点線の右側)では長いほど地盤抑制効果があるが、右足の上(図-5 点線の左側)では長いほど沈下量が大きくなる。
- ②本実験固有の問題であるが、固定条件が Fix の場合、サイドパイルと覆工は一体となり、覆工の回転に対して引張力を発揮し、覆工の回転を抑制する。また、背面の地山(地盤)に対してせん断補強の機能を果たす。すなわち、Fix の場合、サイドパイルは、引張力とせん断補強を通じて、地表面沈下を抑制する。
- ③固定条件が Free の場合、サイドパイルは、引張り力を発生しないため、覆工の回転に対しては抑制しない。しかし、覆工が回転することによる地盤の破壊に対して、せん断補強の機能を果たす。すなわち、Free の場合、サイドパイルはせん断補強のみを通じて、地表面沈下を抑制する。

参考文献 1) 北川ら：低土被り土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析，トンネル工学報告，15 巻，pp.203-210,2005.12. 2) 崔ら：サイドパイルの地表面沈下抑制効果に関する模型実験，第 41 回地盤工学研究発表会，2006（投稿中）。3) 足立ら：降下床実験によるトンネル掘削過程を考慮したトンネル及び周辺地盤の力学挙動の解明，土木学会論文集，No.694/Ⅲ，pp.227-296，2001.12.