

地表面沈下抑制効果に対するサイドパイルの影響要因

京都大学大学院 学生員 ○崔 瑛
 京都大学国際融合創造センター 正会員 木村 亮
 京都大学工学研究科 正会員 岸田 潔
 (独)鉄道・運輸機構 正会員 北川 隆

1. はじめに NATM 工法を用いて、未固結地山に小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ほぼ同程度沈下するととも下がり現象が生じる場合がある¹⁾。筆者らは、その対策工法の一つとして使用されているサイドパイルに関して3次元降下床模型実験および数値解析を通じて、サイドパイルが地表面沈下抑制効果を発揮するメカニズムおよびその長さの決定方法について議論を行ってきた²⁾。

本稿では、サイドパイルの長さ、設置間隔、設置位置が地表面沈下抑制効果に及ぼす影響を検討し、サイドパイルの選定において各パラメータの設計順序について議論を行う。図-1に各パラメータの詳細を示す。

2. 模型実験概要 本実験では、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。実験では、3次元降下床模型実験装置を用い、模型地山底面に設けられた降下床を下降(3mmまで)させることでとも下がり現象を模擬する。覆工模型は、実際のトンネル覆工の脚部・側壁をモデル化し、図-2に示すようにL字型の断面形状にした²⁾。実験装置、実験方法など実験の詳細は参考文献2)に示す。

実験の結果より、Terzaghiの理論³⁾により、降下床の下降につれて、地山に図-3に示す線ABのようなすべり線が発生すると仮定する。さらに、サイドパイルが効果を発揮する長さはすべり線の位置に関連すると考え、覆工の右端からすべり線までの距離Qを用いて各寸法を無次元化する。

表-1に実験ケースを示す。本実験では、長さ2.5Q、設置間隔0.625Q、設置位置1.125Qのケースを基本ケースとし、長さおよび設置間隔をパラメータとして計8ケースの実験を実施し、サイドパイルの長さおよび設置間隔が地表面沈下抑制効果に及ぼす影響について検討を行った。

3. 数値解析概要 本解析では、3次元弾塑性有限要素法を用いて数値解析を実施した。解析では、模型実験を対象とし、奥行きは地盤および実験条件に対象性を見出せることから解析領域を模型実験の半分にして数値解析を行った。本解析では各寸法を実物の1000倍にし、重力加速度を1/1000gとして計算を行った。図-4に本解析で用いた解析メッシュと境界条件を示す。解析で降下床の下降は、図に示すように、降下床直上の節点に鉛直下方への強制変位を与えることで模擬する。模型実験では、降下床を3mmまで下降させたことに対して、数値解析では有限要素法の微小変形条件を考慮して降下床を0.5mmまで下降させる場合を模擬し、500mmの強制変位を与えた。数値解析でも、模型実験と同様に覆工模型の右端から仮想すべり線までの距離Q'を用いて各寸法を無次元化する。表-2に地盤と覆工の材料定数を示す。各パラメータの決め方および他数値解析の詳細については、参考文献2)に示す。

本解析では、サイドパイルの長さ2.5Q'、設置間隔0.625Q'、設置位置1.125Q'のケースを基本ケースとして、長さ、設置間隔および設置位置に対してパラメトリックスタディを行い、各パラメータがサイドパイルの地表面沈下抑制キーワード サイドパイル、トンネル、有限要素法

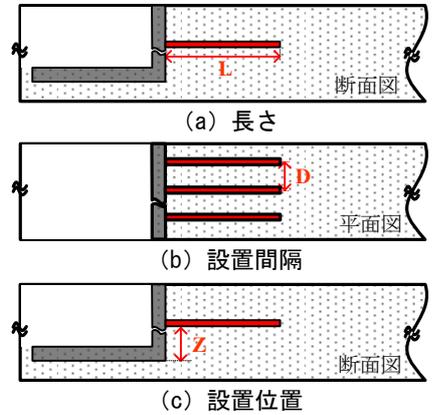


図-1 パラメータ

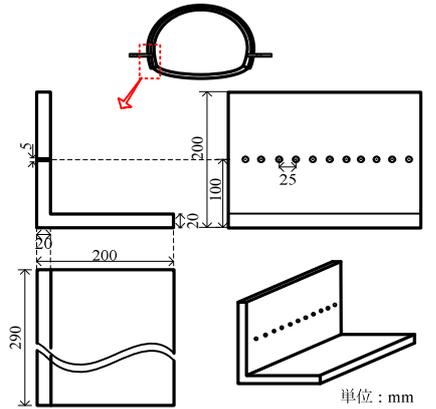


図-2 覆工模型

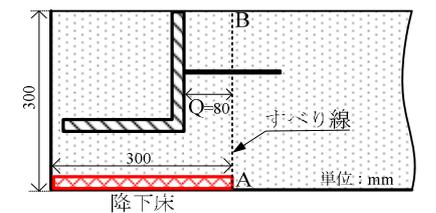


図-3 すべり線の位置

表-1 実験ケース

長さ (mm)	間隔 (mm)	25	50	75
0			○	
100			○	
150			○	
200	○	●	○	
250			○	
300			○	

注：●は基本ケースを示し、長さ0はサイドパイルを設置しない場合を示す。

制効果に及ぼす影響を検討する。本稿では、最大地表面沈下量の減少率のみで地表面沈下抑制効果を議論する。

4. 実験結果 図-5に、実験でのサイドパイルの長さおよび設置間隔が最大地表面沈下量に及ぼす影響を示す。図から、サイドパイルが長くなるほど地表面沈下抑制効果が高くなり、3.125 Q になるとその効果は頭打ちになる現象が見られる。さらに、サイドパイルの設置間隔を小さくするほど地表面沈下抑制効果が顕著になる。

図-5中に表示した点線は、基本ケースのサイドパイルを設置した場合の地表面沈下抑制効果を示す。実線は、基本ケースから材料の量を2倍にした場合、すなわち、長さは2倍の5Q、設置間隔は半分の0.31Qの地表面沈下抑制効果を示す。長さ5Qの実験は実施していないため、サイドパイルは長さが3.125Q以上になると頭打ちになることに着目して、長さ3.125Q時の実験結果でその結果を代用した。図から、材料の量のみ考慮すると、設置間隔を小さくする方が、長さを長くするより大きい地表面沈下抑制効果が得られることが分かる。

5. 解析結果 図-6に、サイドパイルの長さ、設置間隔および設置位置が地表面沈下量に及ぼす影響の解析結果を示す。図から、解析値は実験値よりかなり小さい値を示すことが見られるが、その理由として参考文献2)を参考されたい。ただし、両方とも同じほぼ同じ傾向を示すことから、サイドパイルの各パラメータが地表面沈下抑制効果に及ぼす影響を定性的に評価するには十分であると考えられる。

図から、サイドパイルの長さが1.5Qと4.25Qの間である場合は、長くなるほど地表面沈下抑制効果が大きくなるが、4.25Qより長くなるとその効果は頭打ちになる。さらに、設置間隔が小さく、設置位置が低くなるほど地表面抑制効果が大きくなる。模型実験と同様に、各パラメータが地表面沈下抑制効果に対する影響度を比較すると、設置間隔を小さくする方が、長さを長くするよりもより大きな地表面沈下抑制効果が得られる。さらに、設置位置に着目すると、サイドパイルの材料の量は増加せずに、設置位置を低くするだけで、長さや設置間隔いづれを変化させるよりも大きい地表面沈下抑制効果が得られる。

6. まとめ 本稿では、模型実験および模型実験に対する数値解析で、サイドパイルの各パラメータが地表面沈下抑制効果に及ぼす影響について議論した。いずれも、サイドパイルの設置間隔を小さくする方が、長さを長くするより大きい地表面沈下抑制効果が得られる結果を示す。さらに、数値解析では、設置位置を低くするだけで、大きい地表面沈下抑制効果が得られることが確認された。

以上から、サイドパイルを選定する際、材料の量のみ考慮すると、設置位置、設置間隔、長さの順に設計するのが合理的であると考えられる。

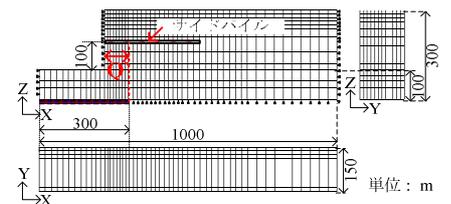


図-4 要素分割および境界条件

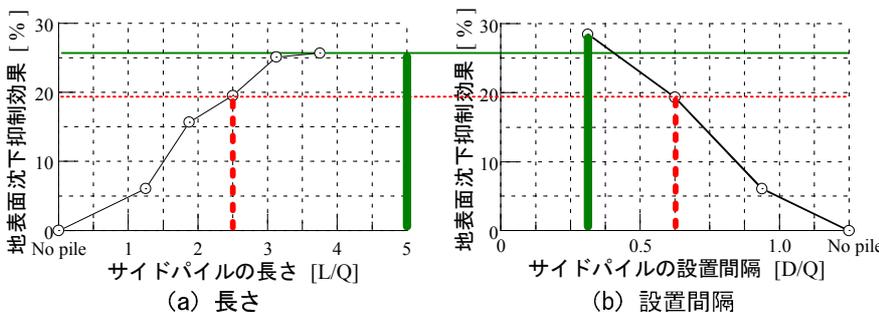


図-5 各パラメータの影響 (実験値)

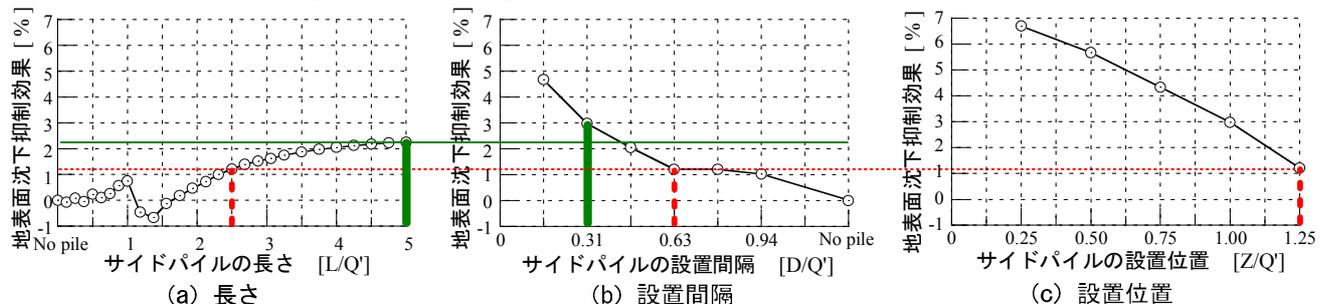


図-6 各パラメータの影響 (解析値)

表-2 地盤と覆工の材料定数

	地盤	サイドパイル
ヤング率 (kPa)	① 3000 ② 4000 ③ 2000	14.2×10 ⁶
密度 (kg/m ³)	1.55	0.68
ポアソン比	0.33	0.4
間隙比	0.627	—
静止土圧係数	0.5	—
内部摩擦角 (°)	37	—
粘着力 (kPa)	0	—

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，トンネル工学報告集，第15巻，pp.203-210, 2005.12.
 2) 崔ら：未固結地山トンネルにおけるサイドパイルの長さの決定について，第42回地盤工学研究発表会，2007（投稿中）.
 3) Terzaghi, K. : Theoretical Soil Mechanics, John Wiley & Sons, New York, pp.66-75, 1943.