

都市部トンネルにおける周辺地山挙動把握に関する研究

長崎大学工学部 正会員 棚橋 由彦
長崎大学大学院 学生員 大隈 周史

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
長崎大学工学部 学生員 〇平松 靖浩

1. はじめに

都市部など土被りが小さい場所では地山の固結度が低いことや、地下水の影響もあり切羽の自立性や地山の強度不足によって、トンネルの施工が困難な場合がある。さらに地表の建物や地下埋設物に悪影響を与えないよう、地表沈下を抑制しなければならないこともある。こうした厳しい制約条件に対して、最近では補助工法を活用して解決している施工事例が多くなっている。各種補助工法のうち、土被りの小さい都市部等でのトンネル掘削に採用されている長尺先受け工は、地山の先行変位の抑止、地山のゆるみ防止、施工の安全性確保などで多用されているが、補助工法としての評価は高いものの効果のメカニズムは未だ解明されていない。

本研究は土被りが小さい未固結地山における都市部トンネルの掘削に伴う周辺地山の力学的挙動および環境影響を的確に把握・評価するために三次元掘削解析モデリングを行い、様々なケーススタディにより長尺先受け工の変位抑制効果を解明することを目的とする。

2. 三次元掘削モデルの概要及び解析ケース

先受け工の沈下抑制効果を評価するために先受け工の有無および土被り、地山強度比、弾性係数を変化させた場合の三次元掘削解析(大変形差分解析法)を行う。本研究では多数ある補助工法の中でも今日頻繁に採用されている長尺鋼管フォアバイリング方式を採用した。

モデル全体図を図-1に示す。掘削工法は全断面掘削とし、断面形状は標準断面(掘削外径約10m)で行う。地山の特性値は、日本道路公団の地山分類のDⅠクラス程度(ポアソン比 $\nu=0.35$, 粘着力 $c=0.5\text{MPa}$, 内部摩擦角 $\phi=25^\circ$, ダイレクタンシー角 $\psi=20^\circ$)¹⁾を想定し、支保工打設もそれに準じた支保パターンを用いることとする。また軟岩地山は破壊後、ひずみ軟化挙動(粘着力 $c=c/2$, 内部摩擦角 $\phi=20^\circ$)を呈することとする。長尺先受け鋼管は鋼管長14m、円周方向打設ピッチ300mm、外径139.8mmで解析を行うこととする。支保モデルを図-2に示す。解析では逐次掘削過程を表現するために、標準的な施工手順に基づき掘削は1掘削ステップ長(1.0m)毎に行い、支保工は1掘削ステップ分遅らせて鋼製支保工を含めた吹付けコンクリートとロックボルトの打設を行う。解析ケースは、地山の弾性係数50MPa, 150MPa, 250MPaの3ケース¹⁾、地山強度比(S_{rp})1, 2, 6.54の3ケース、土被り(H)10m, 20mの2ケース、これらの計18ケースの解析と考察を行い長尺先受け工の沈下抑制効果を検証する。

3. 解析結果と考察

図-3に土被り10mの地山を対象とした解析結果を示す。縦軸に沈下抑制率を、横軸に弾性係数を表しているただし、(沈下抑制率)とは、 $((1-(\text{先受け工がある場合での最終沈下量}/\text{先受け工がない場合での最終沈下量})) \times 100$ とする。トンネルの切羽から離れて沈下が落ち着いた時点の値を最終沈下量とする。

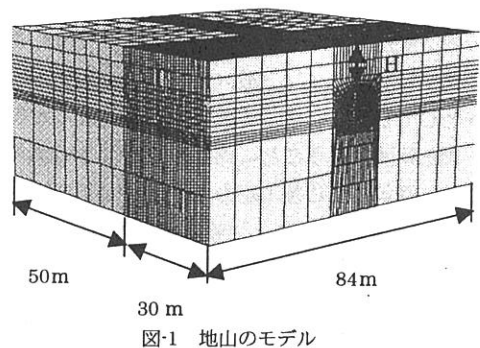


図-1 地山のモデル

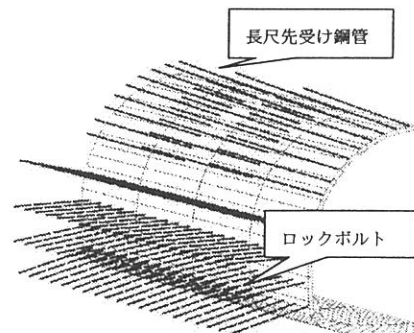


図-2 支保モデル

まず、弾性係数の変化による沈下抑制率に着目すると、大半のケースが弾性係数が大きくなるにつれ沈下抑制率が小さくなる傾向がみられる。地山の弾性係数、250MPa 以上では先受け工の沈下抑制率は、地山強度比に関係なく4%程度しか期待できないことが分かる。

次に地山強度比に着目すると、同じ地山弾性係数に対して地山強度比が2のときに沈下抑制率が一番大きいことが分かる。この一因として、地山強度比が1の場合、地山そのものが弱いため、ラップ部分で塑性破壊を起こし、沈下するため先受け工の効果が低くなることが考えられる。地山強度比が2以上となると、地山そのものが弾性状態にあり、地山自身で支えるため先受け工の効果が低かったことが考えられる。

次に地表面とトンネル天端での違いについて比較してみると、地山強度比に関わらず地表面よりトンネル天端のほうが沈下抑制率が大きいことが分かる。また、地山の弾性係数が150MPa以上となると、4%程度に留まることが分かる。

最も沈下抑制率が大きかった地山強度比が2の場合の土被りによる変化を図-4に示す。土被り20mの場合、弾性係数が大きくなるにつれ、沈下抑制率は小さくなる傾向、トンネル天端と地表面を比較すると、トンネル天端のほうが沈下抑制率が大きくなっているなど、土被り10mとほぼ同じ傾向が見られた。しかし、土被り20mのトンネル天端で沈下抑制率は最大で約10%、土被りが10mのトンネル天端で約13%と土被り20mでの沈下抑制率が土被り10mに比べ小さいことが分かる。

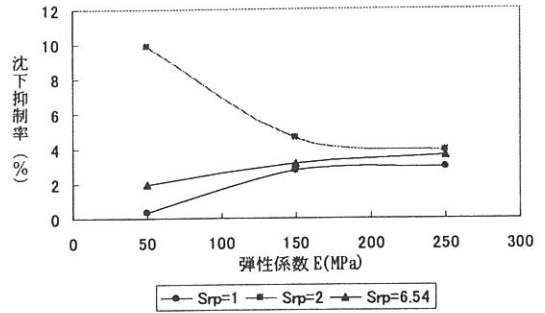
3. おわりに

本解析により得られた知見は次の通りである。先受け工の沈下抑制率は一番効果がある所で約13%程度、地表面に比べ、トンネル天端において沈下抑制効果は大きくなる。また、土被りが高くなるほど沈下抑制効果は低くなる傾向にある。

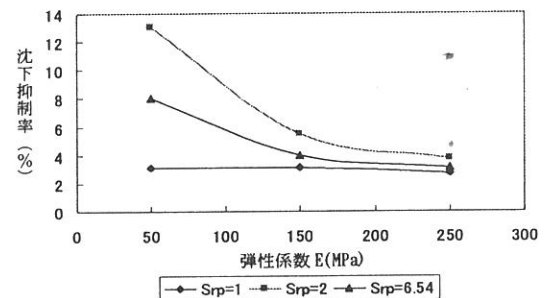
今後の課題として、弾性係数、土被りの影響に加えて長尺先受鋼管のラップ長による沈下抑制効果を明らかにすることにより、補助工法の適用条件を提案する。

【参考文献】

- 1) 土木学会編：トンネル標準設計方書・同解説，1996。
- 2) 日本材料学会：岩の力学(基礎から応用まで)，丸善株式会社，1993。

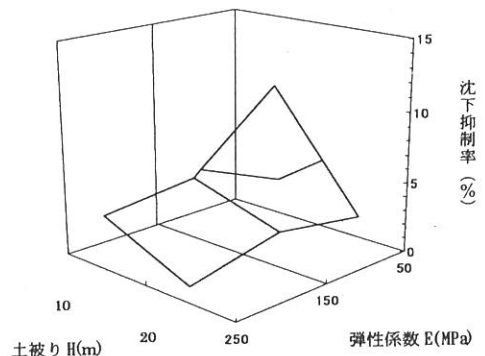


(a) 地表面

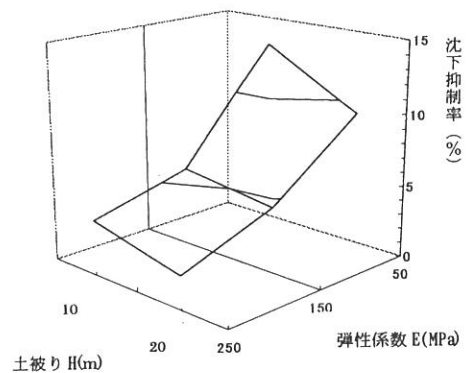


(b) トンネル天端

図-3 沈下抑制効果の比較 (H=10m)



(a) 地表面



(b) トンネル天端

図-4 沈下抑制効果の比較 (Srp=2)