

都市部住宅密集地に構築する道路トンネル施工における周辺地山の挙動把握

長崎大学工学部 正会員 棚橋由彦 長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静
飛鳥建設（株） 正会員 佐々木郁夫 長崎大学大学院 学生員 今長谷秀亮

1. 本研究の背景と目的

近年、多様な補助工法を効果的に採用することにより、土被りの薄い地山中の都市部トンネルや、離隔をさほど取らない眼鏡型のトンネル近接施工など特殊立地条件下での施工事例が増加している。

そこで、本研究は土被りの薄い都市部住宅密集地という特殊立地条件下において施工されている都市部道路トンネルを対象に、掘削による地表沈下など住居環境への影響を的確に把握するために、三次元数値解析手法による事前評価に基づきトンネルの合理的設計施工を実現することを目的とする。

2. 長尺先受け工の地表沈下抑制効果の評価

先受け工の沈下抑制効果を評価するために、先受け鋼管の打設パターンおよび地山強度比を変化させた場合の三次元掘削解析を行う。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パイリング方式を考慮した。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 D I クラス程度(ヤング率 $E=278\text{MPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.35$ 、粘着力 $c=0.5\text{MPa}$ 、内部摩擦角 $\phi=25^\circ$ 、ダイレタンシー角 $\psi=20^\circ$)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 $c'=0.25\text{MPa}$ 、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、ラップ長 4m、打設範囲はスプリングラインより 120° とする。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 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。また、先受け鋼管は 10 ステップ掘削毎に打設する。

長尺鋼管先受け工は、切羽前方地山に鋼管を打設すると同時に、セメントミルクや薬液等の圧入により梁効果およびシェル効果を期待するものである。しかし、トンネル縦断方向に打設した鋼管の剛性により地山の安定性向上を図ることが主目的で、プレライニングの効果(シェル効果)は補助的であり、鋼管の打設間隔や鋼管周辺地山の改良の程度によりその効果は異なるものと考えられる。したがって、本研究ではシェル効果を見捨てる。梁効果のみを考慮する。支保モデルを図-1 に示す。また、図-2 に打設パターンを変化させた解析結果を、図-3 に地山強度比を変化させた解析結果を示すが、横軸は土被り、縦軸は先受け工の有無による沈下抑制効果の割合である。

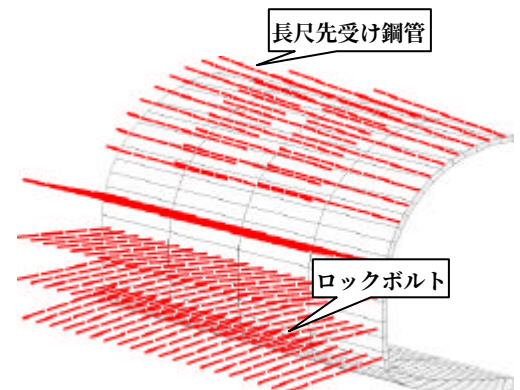


図-1 支保モデル

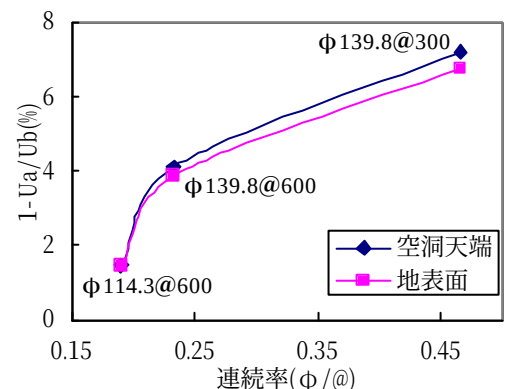


図-2 各打設パターン毎の沈下抑制効果

(U_a :先受け工が有る場合の最終変位,
 U_b :先受け工が無い場合の最終変位)

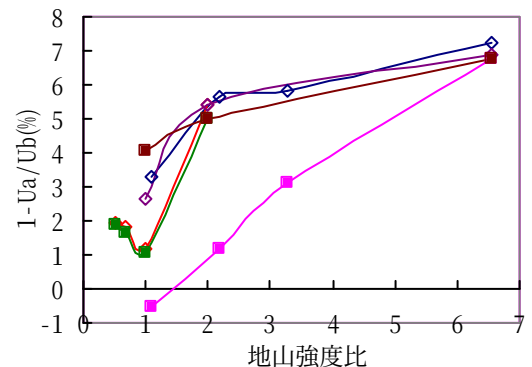


図-3 各地山強度比毎の沈下抑制効果

キーワード：都市部トンネル、長尺鋼管先受け工、地表沈下、環境影響評価

連絡先：〒852-8521 長崎市文教町 1-14 長崎大学工学部社会開発工学科 TEL：095-843-7229

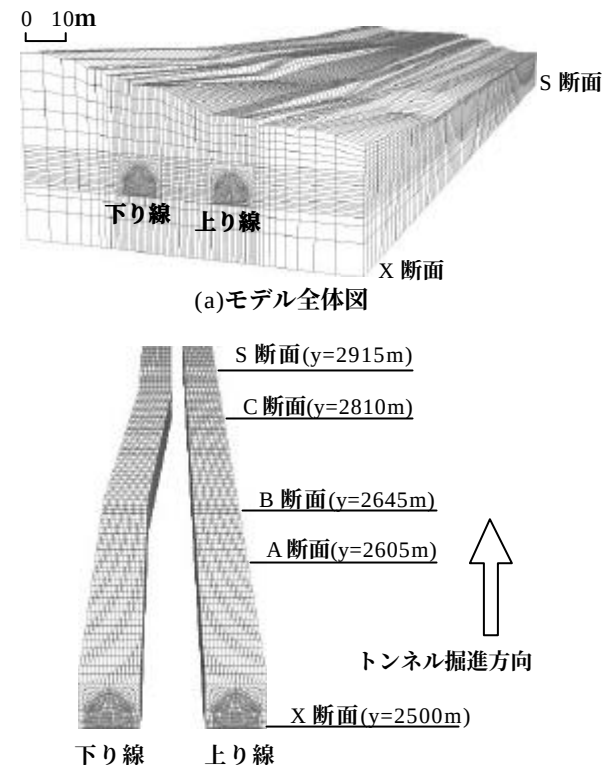
図-2 において、打設パターンは長尺先受け鋼管の鋼管径(ϕ)および円周方向打設ピッチ(@)を変化させることとした。比較検討するために $\phi 114.3@600$ 、 $\phi 139.8@600$ 、 $\phi 139.8@300$ (単位:mm)と設定した。図-5 から $\phi 139.8@300$ の場合で最も沈下抑制効果があり、鋼管が密に打設された状態であれば沈下抑制効果が增加することがわかる。また、沈下抑制効果は連続率に比例していないため、円周方向打設ピッチを狭くするよりも鋼管径を大きくした方が効果の増加が期待される。また、図-3 において本研究では土被りおよび一軸圧縮強度を変化させて各地山強度比毎の長尺鋼管先受け工の効果を評価した。図-3 から地山強度比が大きいほど沈下抑制効果が增加しているため、低土被りなほど、また地山が安定しているほど効果があるということがわかる。また、地山強度比が2以下になると効果が急激に減少する傾向が見られ、地山強度比が2以下の不良地山に対しては長尺鋼管先受け工の効果はほとんど期待できないと考えられる。しかしながら、打設しない場合に比べ最も効果のある場合でも10%未満の効果しかないため、長尺鋼管先受け工の梁効果はあまり期待できないことが明らかになった。

3. 実例への適用

現場への適用として、現在長崎市に施工中のオランダ坂トンネルをモデル化し、掘削解析を行った。モデル全体図および上下線トンネルの位置関係を図-4 に併せて示す。オランダ坂トンネルは、住宅密集地下に存在し最低土被りは坑口部で約7mであり、さらに地形的制約によりB断面からC断面において上下線両トンネルの中心間距離は約3D(D:トンネル径)から2Dへと漸近するため特殊立地条件下での施工を余儀なくされている。また、長尺鋼管先受け工を補助工法として、下り線が上り線より90~100m先行して施工が行われているが、不浸透性の地山のため梁効果しか期待できない。既掘削域における地表面沈下量の解析結果と計測結果との比較を図-5 に示す。図-5 から解析結果と計測結果は大差が無く、実地盤の挙動を適切に表現できたといえる。図-5 から切羽後方50m程度で変位の収束が見られるため、後行する上り線の切羽位置を基準とし、切羽の進行とともに50m後方の点も移動させ、その点における地表面沈下量を予測した。予測地表面沈下量を図-6 に示す。図-6 から上り線切羽位置が2830m付近で現場での管理基準値を超えているため、施工法の再検討が行われている。

4. おわりに

本解析により、長尺鋼管先受け工の沈下抑制効果を確認することができた。今後は様々な地山条件における沈下抑制効果を評価し、地表環境への影響を最小限にした効果的対策工法を検討していく。



(b) 上下線トンネル位置関係(y: 坑口からの距離(m))

図-4 オランダ坂トンネルモデル

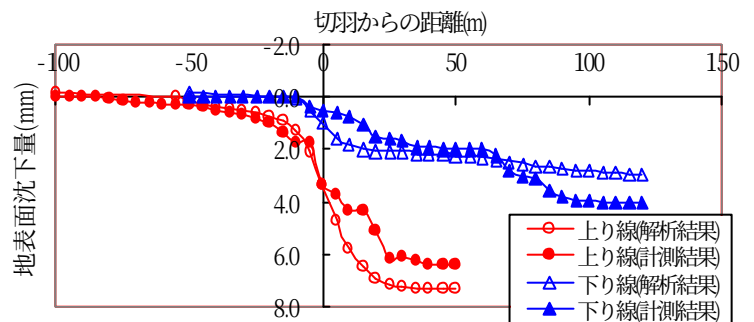


図-5 解析結果と計測結果の比較(地表面沈下量)

(切羽位置: 上り線 y=2735m, 下り線 y=2815m)

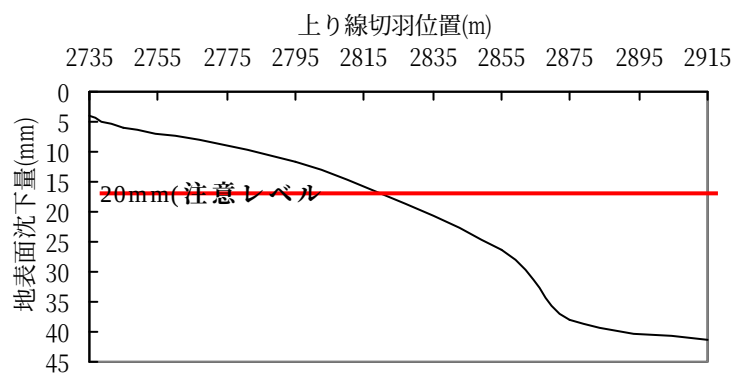


図-6 切羽の進行に伴うセンターピラー部地表面沈下量の推移

50m程度で変位の収束が見られるため、後行する上り線の切羽位置を基準とし、切羽の進行とともに50m後方の点も移動させ、その点における地表面沈下量を予測した。予測地表面沈下量を図-6 に示す。図-6 から上り線切羽位置が2830m付近で現場での管理基準値を超えているため、施工法の再検討が行われている。