双設トンネルの掘削工法に関する一考察

大成建設　正会員　○西谷　友幸　正会員　岡嶋　和義
大成建設　正会員　廣末　龍文　正会員　小原　伸高

1．はじめに

近年，都市部において土地利用の制約条件が厳しくなり，トンネル掘削面間の離隔を極力小さくした双設トンネルの施工実績が増加している．そこで本研究では，トンネル間の離隔とトンネル周辺の応力について解析し，双設トンネル（主に無導坑近接トンネル）の施工実績と比較して，双設トンネルの掘削工法について考察する．また、三次元解析にて掘削工法の比較シミュレーションを実施する．

2．双設トンネル周辺の応力状態の分析

双設トンネルの周辺応力状態把握のため，双設トンネルの素掘り解析を行う．解析モデルを**図-1** に示す．地山を弾完全塑性でモデル化し二次元解析を実施する．解析ケースは，トンネル中心離隔を 1.2D，1.5D，2.0D，3.0D（D=10m：トンネル掘削径）の 4 ケース，地山強度比 3 ケース，内部摩擦角 3 ケースの組合せで合計 36 ケース実施し，双設トンネル掘削の影響を分析する．本検討に用いた解析物性値を**表-1** に示す．

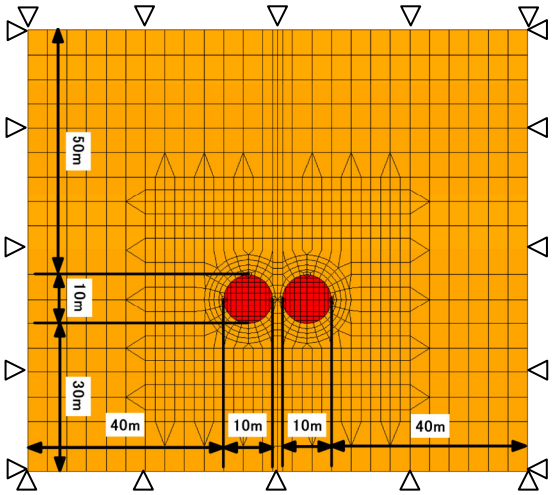


図-1　解析モデル図（中心離隔 1.2D モデル）

表-1　解析物性値

変形係数E	100MPa
単位体積重量 γ	20kN/m^3
側圧係数K_0	1.0
地山強度比	0.5、1.0、1.5
内部摩擦角 ϕ	15°、25°、35°

図-2 にトンネルの離隔 β とトンネル周方向応力 σ_θ を初期地圧 p_0 で除した値の関係を示す．周方向応力はピラー部側の点 P での値を示している．また，弾性理論解 [1]および地山強度比を 0.5，1.0，1.5（ϕ=25°）に変化させた場合の σ_θ/p_0～β の関係をプロットしている．

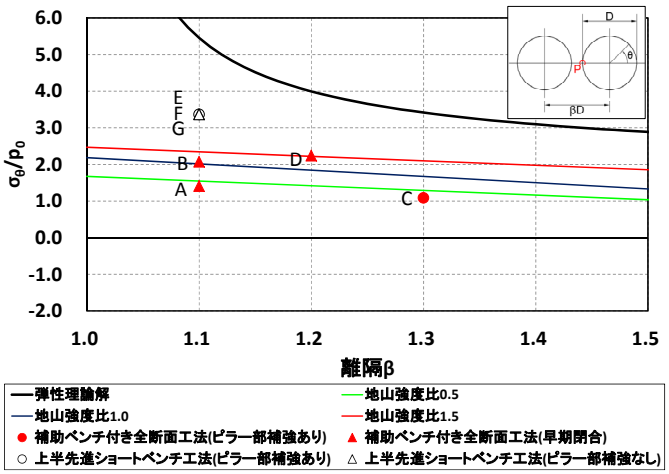
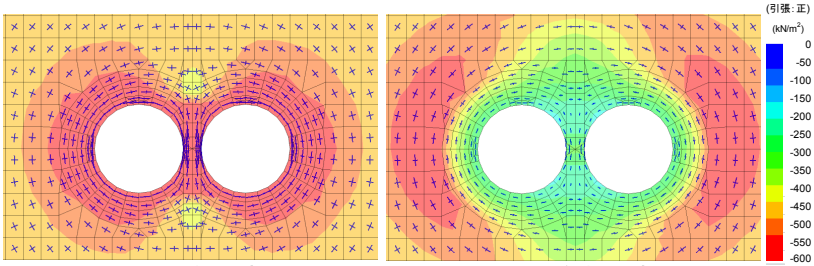


図-2　双設トンネルのピラー部の応力

図-2 より，地山強度比が小さい場合，σ_θ/p_0 の値が β によらず一定値になっている．これは，**図-3** に示すように，弾性状態ではピラー部に応力が集中するものの 2 つの独立したトンネルの応力状態になっているが，ピラー部が塑性化すると，あたかも双設トンネル全体で 1 つのトンネル断面として掘削したような状態に応力が再配分されるためと推定される．

3．施工実績による掘削工法の分析

図-2 に，**表-2** に示す既施工トンネルの施工実績に基づき σ_θ/p_0～β の関係をプロットする．これより，地山強度比が 2 以下の小さい双設トンネルには早期閉合の補助ベンチ付き全断面掘削工法を適用される傾向があり，地山強度比が比較的大きいものは上半先進ショートベンチ工法で



(1) 弾性解析　　(2) 弾塑性解析

図-3　最小主応力コンター図

キーワード　双設トンネル，離隔，全断面掘削工法，上半先進掘削工法
連絡先　〒163-0606　東京都新宿区西新宿 1-25-1（新宿センタービル）　大成建設㈱土木設計部　TEL 03-5381-5296

表-2　既施工トンネル諸元

トンネル名	Aトンネル	Bトンネル	Cトンネル	Dトンネル	Eトンネル	Fトンネル	Gトンネル
トンネル中心離隔	1.1D	1.1D	1.3D	1.2D	1.1D	1.1D	1.1D
土被りH	50m	36.7m	13m	28m	13.3m	28m	16m
単位体積重量γ	20kN/m^3	20kN/m^3	21.7kN/m^3	22kN/m^3	23kN/m^3	25.5kN/m^3	22.2kN/m^3
変形係数E	200MPa	400MPa	100MPa	101MPa	210MPa	600MPa	259MPa
粘着力c	190kN/m^2	500kN/m^2	40kN/m^2	200kN/m^2	500kN/m^2	550kN/m^2	294kN/m^2
内部摩擦角φ	22°	10°	15°	34°	40°	45°	40°
一軸圧縮強度qu	563kN/m^2	1192kN/m^2	104kN/m^2	752kN/m^2	2145kN/m^2	2656kN/m^2	1261kN/m^2
地山強度比qu/σ_0	0.6	1.6	0.4	1.2	7	3.7	3.6
掘削工法	補助ベンチ付き全断面工法（早期閉合）	補助ベンチ付き全断面工法（早期閉合）	補助ベンチ付き全断面工法	補助ベンチ付き全断面工法（早期閉合）	上半先進ショートベンチ工法	上半先進ショートベンチ工法	上半先進ショートベンチ工法
補助工法	パイプルーフ 注入式長尺鋼管先受け工 長尺鏡補強工	注入式長尺先受け工	仮インバート PC鋼棒(ピラー部) モルタル杭(ピラー部)	-	置換コンクリート(ピラー部)	注入式長尺鋼管先受け工 脚部地盤改良パイル 高強度鋼繊維補強吹付けコンクリート	注入式長尺鋼管先受け工

掘削される傾向にある．

4．三次元掘削解析によるシミュレーション

施工方法によるトンネル周辺地山の緩み度合いや変形をシミュレーションするために，**図-4** に示す三次元解析モデルを用いて掘削解析を実行した．解析条件を**表-3** に示す．掘削完了時のトンネル周辺の最大せん断ひずみ分布図および天端沈下経距変化図をそれぞれ**図-5**，**図-6** に示す．この図より，掘削工法を全断面掘削工法にすることで，トンネル周辺のせん断ひずみを抑制できることが分かる．また，変位量においても天端沈下量の最終沈下量を 530 ㎜から 60 ㎜程度まで約 90%抑制できることが分かる．

表-3　解析条件

トンネル中心離隔	1.3D
土被りH	13m
単位体積重量γ	21.7kN/m^3
変形係数E	100MPa
粘着力c	40kPa
内部摩擦角φ	15°
解析ケース	①上半先進掘削工法 （上半～下半切羽離れ30m） ②全断面掘削工法 （上半～下半切羽離れ4m）

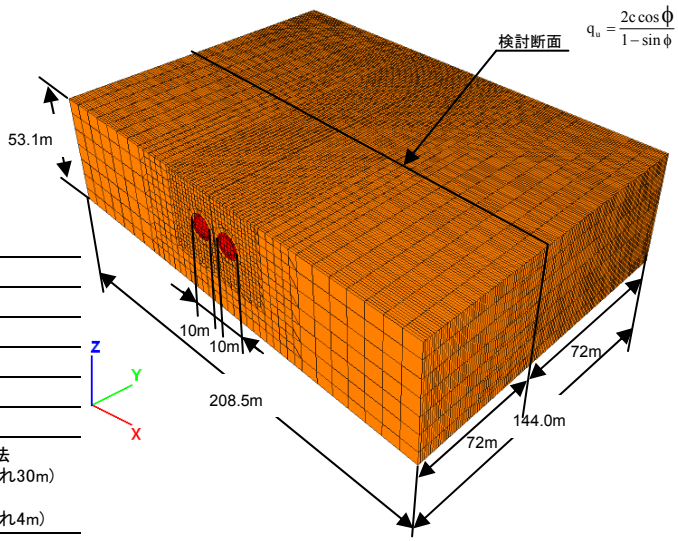
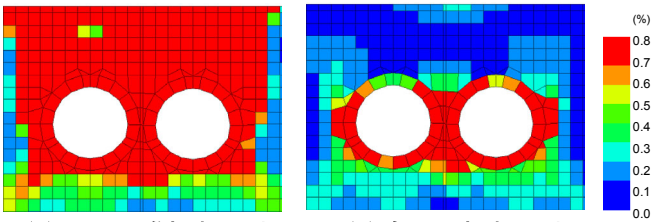


図-4　三次元掘削解析モデル



(1) 上半先進掘削工法　(2) 全断面掘削工法

図-5　最大せん断ひずみ分布図

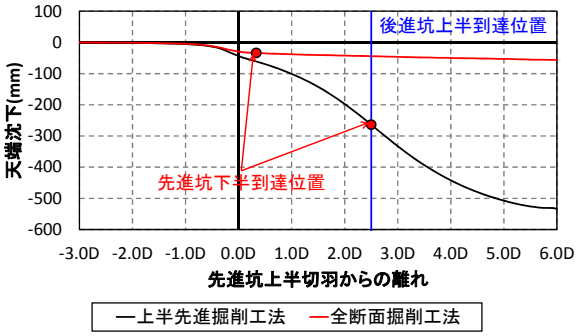


図-6　天端沈下経距変化図

5．まとめ

以上をまとめると，次のことを確認できた．

・　二次元弾塑性解析より，双設トンネルピラー部側の地山の応力が地山強度比低下とともに低下し、周辺地山に再配分される．

・　施工実績より，地山強度比の小さいトンネルでは全断面掘削工法あるいはピラー部を補強して掘削することが有効である．

・　三次元弾塑性掘削解析より，掘削工法を上半先進ショートベンチ工法から補助ベンチ付き全断面掘削工法にすることで，周辺地山の緩み・天端沈下を抑制することができ，地山強度比の小さな双設トンネルでは早期閉合による全断面掘削工法が有効である．

参考文献

1) Chin-Bing Ling “On the Stress in a Plate Containing Two Circular Holes” Journal of Applied Physics, Vol. 19, Jan, 1948.