併設トンネル施工が地山および支保工に及ぼす力学的影響について

福島工業高等専門学校　学生会員　○松本　優花
山口大学大学院　正会員　林　久資
福島工業高等専門学校　正会員　金澤　伸一
福島工業高等専門学校　学生会員　西内　瑞生

1．はじめに

我が国の高速道路の整備状況は全体の 36%が暫定二車線区間である．暫定二車線区間での死亡事故率は四車線以上の区間の約 2 倍，死亡事故のうち対向車線への飛び出し事故が約 7 割であることから，高速道路の四車線化は急務の課題である．四車線化していない山岳部の道路は橋梁・トンネル区間に多く，さらにトンネル坑口近傍は未固結小土かぶり地山であることから，本研究では都市部の未固結小土かぶり地山に，片側二車線のトンネルを 2 本併設する場合に着目し研究を進めていく．

従来，地耐力不足が懸念される不良地山では導坑方式での併設トンネル掘削が採用されてきたが，導坑数を増やすことは全体の工期・工費に大きく影響する．近年，補助工法の進歩によりトンネル断面を早期閉合する無導坑方式での併設トンネル施工が増加している．しかし，併設トンネルを無導坑方式で掘削した際のトンネル周辺地山および支保部材に生じる力学的影響を調べた研究事例はあまりみられていないのが現状である．また，土かぶりや地山条件に応じた適切な閉合時期・支保工規模を選定することが難しい．

そこで本研究では，有限差分法三次元数値解析コード FLAC3D を用い，土かぶりの小さい未固結な地山に無導坑方式併設トンネルを掘削した際のトンネルおよび周辺地山に及ぶ影響を解明し，無導坑方式併設トンネルの設計手法発展の一助になることを目的とする．

2．解析手法および入力定数

本研究では，上述したとおり有限差分法三次元数値解析によって併設トンネルの掘削を模擬する．まず，地山モデルを**図-1** に示す．不足する土かぶり圧は，モデル上部に上載荷重を与えた．このモデル内に二車線道路トンネルが側壁間離隔 1m で 2 本掘削されるものとした．地山の入力定数は**表-1** に示すように，未固結地山を模擬するために一軸圧縮強さ 0.1MPa の地山に対応する弾性係数を設定した．ポアソン比，粘着力，内部摩擦角は文献を参考に設定した．支保工は，吹付けコンクリートと鋼製支保工が設置されるものとし，吹付けコンクリートはソリッド要素でモデル化，吹付け厚さ 25cm，吹付けコンクリートの材齢を考慮した入力値を設定する．鋼製支保工はビーム要素でモデル化し，H-200 を想定した入力値を設定した（**表-1**）[1)]．

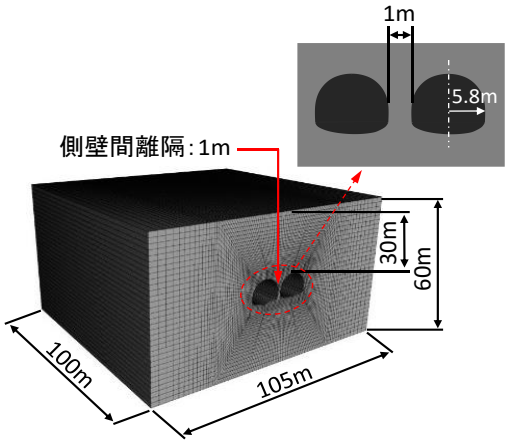

図-1　解析モデル

表-1　解析入力値

地山		吹付けコンクリート		鋼製支保工	
弾性係数 (MPa)	105	弾性係数 (MPa)	3400	断面積 (mm^2)	6530
ポアソン比	0.2	ポアソン比	0.2	ポアソン比	0.3
粘着力 (MPa)	0.1	厚さ (cm)	25	断面二次モーメント (mm^4)	4.72×10^7
内部摩擦角 (°)	15			弾性係数 (MPa)	2.10×10^5

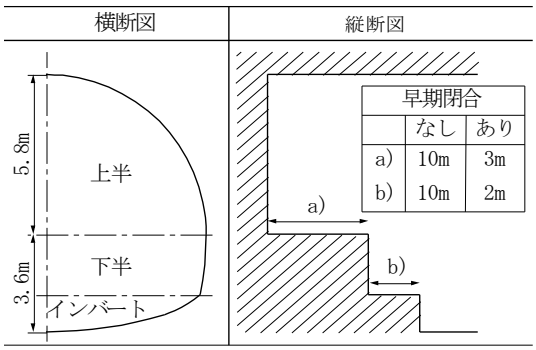

図-2　掘削手順

キーワード　トンネル，近接施工，数値解析
連絡先　〒970-8034　福島県いわき市平上荒川字長尾 30　福島工業高等専門学校　ＴＥＬ0246-46-0821

本研究では，早期閉合の掘削手順を想定していない場合と想定した場合の 2 モデルの解析（図-2）を行う．早期閉合の掘削手順を想定していないケースは，上半切羽が 10m 先進した後，下半切羽を 1m ずつ併進させ，さらに 10m 上下半切羽が進行するとインバート部分の掘削を行った．吹付けコンクリートおよび鋼製支保工は，切羽より 1 間遅れで打設するものとした．早期閉合の掘削手順を想定したケースでは，上半切羽が 3m 先進した後，下半切羽を併進させ，さらに 2m 上下半切羽が進行した後，インバート掘削を行った．こちらも，吹付けコンクリートおよび鋼製支保工は，切羽より 1 間遅れで施工されるものとしたが，早期閉合を行うモデルに関しては，インバートストラットも設置した．

３．解析結果および考察

まず，未固結小土かぶり地山に側壁間離隔 1m の併設トンネルを早期閉合あり，早期閉合なしそれぞれの場合で掘削した際の先行トンネルの断面変形率を比較するため，図-3 を示す．この図は，坑口より 10m 地点の切羽進行に伴う断面変形率の挙動を示したものである．断面変形率とは，内空変位量をトンネル径で割り，百分率で表したものである．早期閉合を行うと，早期閉合を行わなかった場合より断面変形率が約 0.4%抑制されることが確認できた．

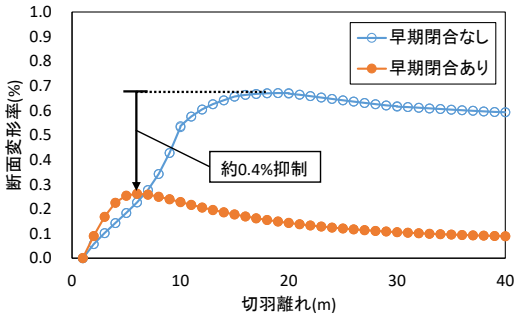

図-3　先行トンネルの断面変形率

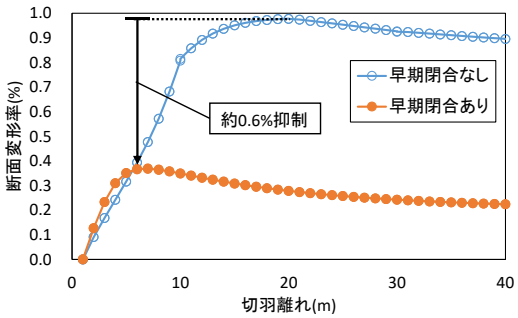

図-4　後行トンネルの断面変形率

上記と同じ条件で掘削した際の後行トンネルの断面変形率を図-4 に示す．こちらも早期閉合を行うと，早期閉合を行わなかった場合より断面変形率が約 0.6%抑制されることが確認できた．

次に，先行トンネルの支保内圧と断面変形率の関係を図-5 に示す．トンネルを掘削する前の初期地圧（P_0）と支保内圧（P_i）の関係（P_i/P_0）を比べてみると，トンネルの早期閉合を行うことで，図-3 で示した通り，断面変形率が約 0.4%抑制されるが，P_i/P_0 は 0.06MPa の微増となった．

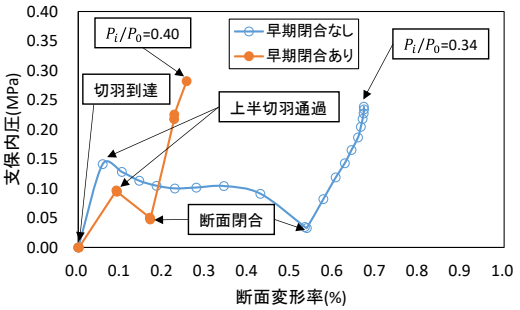

図-5　支保内圧と断面変形率の関係（先行トンネル）

最後に後行トンネルの支保内圧と断面変形率の関係を図-6 に示す．こちらも早期閉合ありと早期閉合なしの場合の P_i/P_0 を比べてみると断面変形率が約 0.6%抑制される一方で P_i/P_0 は 0.11MPa の僅かな差となった．これらより，先行トンネルと後行トンネルともにトンネル掘削により生じた地山のゆるみ荷重を支保工で受けもつことで変位が抑制された訳ではなく，トンネル周辺の地山そのものによる支保効果（グランドアーチ効果）が発揮されたと予想した．ただし，グランドアーチが形成されたか否かは不明確であるため，グランドアーチ形成の有無を確認し，今後は，土かぶり・地山定数・閉合時期・支保工規模などを変化させて，各地山条件に応じた妥当な支保工規模を選定できるように研究を進めていく予定である．

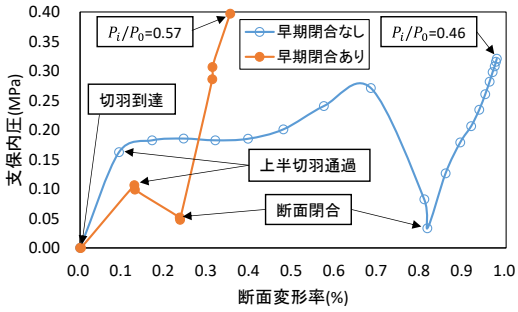

図-6　支保内圧と断面変形率の関係（後行トンネル）

参考文献

1)　西内瑞生，林久資，中村明彦，鯨井巧：閉合時期の違いが併設トンネルにおよぼす力学的影響について，第 32 回日本道路会議，6P02，2017.