

補助工法を含めた掘削工法の違いによる変位特性曲線について

(株)ケー・エフ・シー 正会員 ○森本真吾

(株)ケー・エフ・シー 正会員 岡部 正

(株)ケー・エフ・シー 正会員 松尾 勉

NPO 法人臨床トンネル工学研究所 フェロー会員 中川浩二

1. はじめに

トンネル掘削時の変位挙動などを数値解析で解く際、線状構造物という特性から、2次元の平面ひずみ問題として取り扱われてきた。近年、3次元数値解析を用いた検討が増加しつつあるが、解析に要する費用や時間の関係から、2次元数値解析で検討されることが多い¹⁾。2次元数値解析はトンネル切羽前方の先行変位挙動を考慮するため、応力解放率という概念により、掘削後の切羽後方の変位等を表現している。

しかし、2次元解析では切羽近傍の挙動を把握することは難しく、掘削工法が異なる場合や補助工法（先受け工法等のトンネル軸方向の対策工）の評価も十分であるとは言いがたく、類似施工の事例を参考にした技術者の経験、または、定性的な判断にゆだねられているのが現状である。

そこで、3次元数値解析を用いて、天端沈下と内空変位の変位特性曲線を描き、掘削工法の違いによる変位特性曲線の特徴について考察した。

2. 3次元数値解析による検証

2.1 解析条件

解析モデルを図-1、図-2に示す。モデルはMohr-Coulombの破壊基準に基づく等方弾塑性解析とした。トンネルは、2車線道路トンネルの標準断面とし、土被りは上載荷重を加えた20Dを想定した。解析で用いた地山物性値を表-1に示す。地山は地山等級DIIの物性値²⁾を基準とし、支保部材は鋼製支保工と吹付けコンクリートを合成部材としてシェル要素でモデル化した。

掘削手順は、自重解析の後、境界の影響を避けるため20m間を一括掘削し、その後80m間を切羽1m後方に支保部材を設置しながら逐次掘削した。

解析ケースは図-3に示す上半先進工法(caseAとする)と、近年軟弱地山等での施工が増加している全断面早期閉合法(caseBとする)、caseBに鏡補強工(22本/1断面)を併用する工法(図-2参照, caseCとする)の3ケースとした。

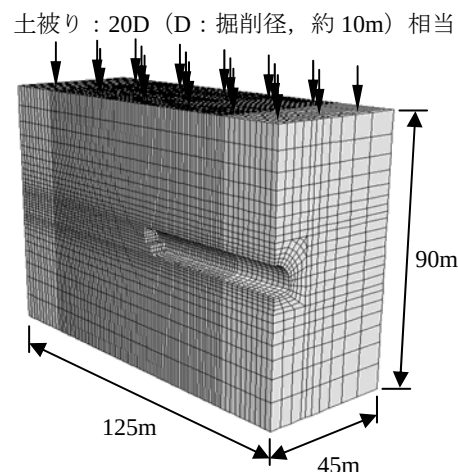


図-1 解析モデル図

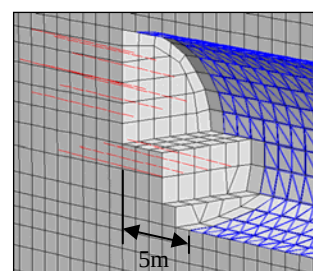


図-2 全断面早期閉合法（鏡補強工併用）のモデル

表-1 地山物性値

単位体積重量: γ (kg/m^3)	2000
変形係数: E (MPa) [kgf/cm^2]	70 [700]
ポアソン比: ν	0.35
粘着力: c (MPa) [kgf/cm^2]	0.2 [2]
内部摩擦角: ϕ ($^\circ$)	30
側圧係数	1.0
地山等級	DII相当

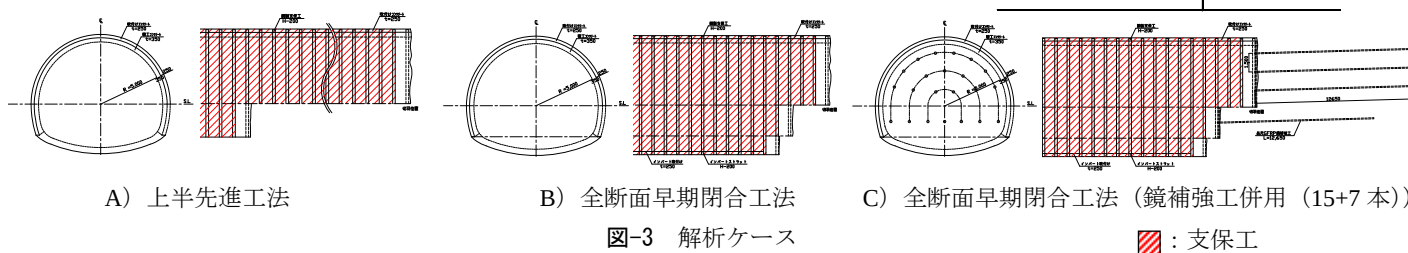


図-3 解析ケース

■: 支保工

キーワード 山岳トンネル, 変位特性曲線, 先行変位率, 早期閉合, 三次元数値解析

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝2丁目5番10号 (株)ケー・エフ・シー トンネル技術室 TEL: 03-3798-8585

2.2 解析結果

天端沈下および内空変位の変位特性曲線を図-4、図-5に示す。総変位量、先行変位量、切羽通過後の変位量、および各変位量の総変位量に対する比率を表-2に示す。また、図-6は先行変位量および先行変位率をグラフにしたものである。図-4、図-5より天端沈下、内空変位ともに、総変位量はcaseA>B>Cの順に小さくなっている。また、caseA、Bは天端沈下の先行変位の特性曲線の形状が同じで、caseB、Cは切羽通過後の特性曲線の形状が同じと言える。caseCの変位量が最も小さい理由としては、早期閉合による切羽通過後の変位量だけでなく、鏡補強工を併用することで切羽前方の地山を拘束し、総変位量すなわち地山の変位を極力小さくしているためであると考えられる。

一方、表-2に示すように内空変位の先行変位量は、caseB (329mm)の方がcaseA (282mm)に比べて大きい。これは、caseAでは上半断面の形状により側壁が内空側へ変位しにくくなっているためと考えられる。

先行変位率に着目すると、図-6に示すように、caseB>A>Cの順に小さくなっている。caseAでは天端沈下(62%)と内空変位(46%)の差がcaseB、Cに比べて大きくなっている。これはcaseAとcaseB、Cの掘削断面の形状の違いによるものと考えられる。また、caseBの先行変位率が3ケース中最も大きい値を示しているが、これは切羽通過後の変位量が早期閉合により小さく抑えられ、相対的に先行変位率が大きくなっていると考えられる。caseCは、鏡補強工により切羽前方地山の変位を拘束するとともに、早期閉合により切羽通過後の変位を抑制している。そのため、総変位量を最も小さく抑えるとともに、先行変位率も天端沈下、内空変位共に最小であり、かつ、両者の差も小さい。

3. おわりに

本報告は特定の条件(土被り、地山特性、支保特性)のもとで解析を行い、掘削工法の違いによる変位特性曲線について考察した。今後、地山物性の違いや他の補助工法も含めさらに研究を継続したい。

参考文献

- 1) 山岳トンネルにおける三次元解析の現状と課題 ジェオフロンテ研究会 pp1-134, 2006.12.
- 2) トンネル数値解析マニュアル 日本道路公団試験研究所 1998.10.

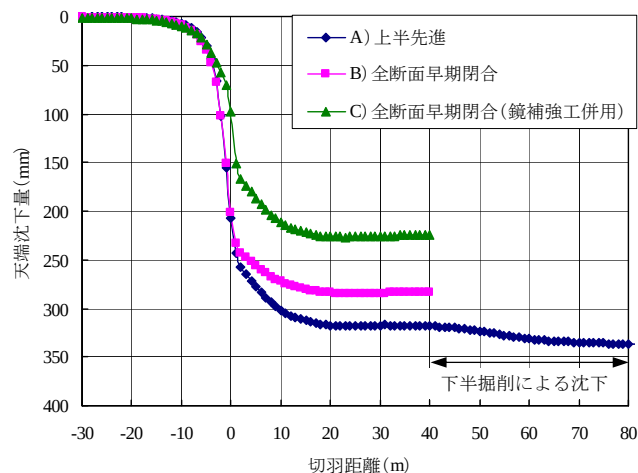


図-4 天端沈下の特性曲線

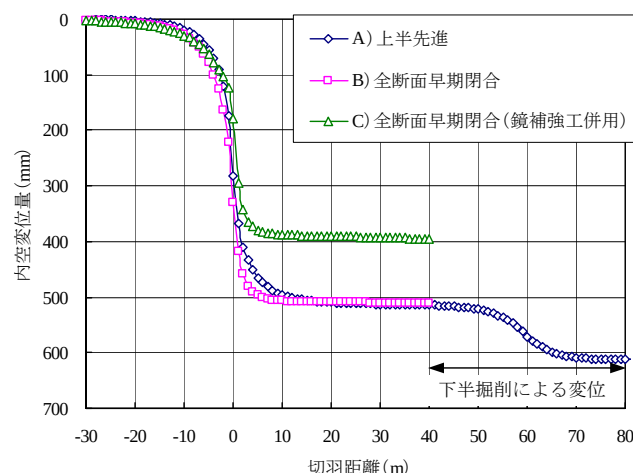


図-5 内空変位の特性曲線

表-2 各ケースの変位量と変位率

		総変位量	先行変位量	切羽通過後変位量
		mm [%]	mm [%]	mm [%]
A) 上半先進工法	天端沈下	336 [100]	208 [62]	128 [38]
	内空変位	613 [100]	282 [46]	331 [54]
B) 全断面早期閉合	天端沈下	283 [100]	201 [71]	82 [29]
	内空変位	512 [100]	329 [64]	182 [36]
C) 全断面早期閉合(鏡補強併用)	天端沈下	224 [100]	98 [44]	126 [56]
	内空変位	395 [100]	180 [46]	215 [54]

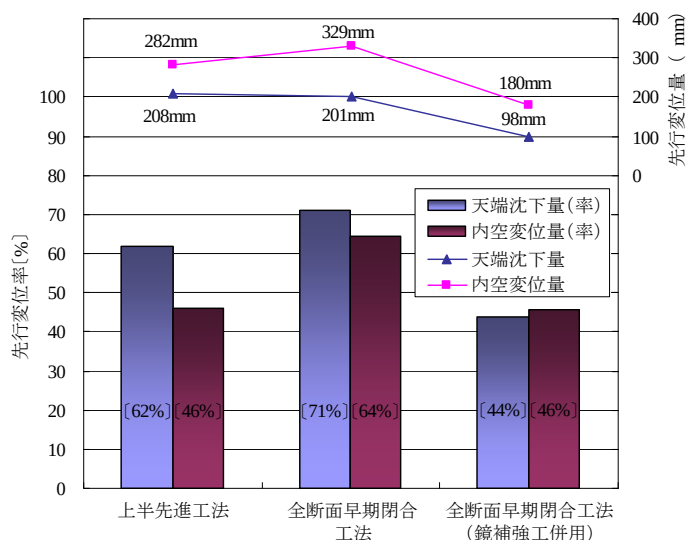


図-6 各ケースにおける内空変位の先行変位量と先行変位率