

山岳トンネルにおける先進導坑の効果に関する数値解析

山口大学大学院 学 ○村田 洋一 住友建設(株) 正 高橋 浩
日本技術開発(株) 正 河原 幸弘 山口大学 正 中川 浩二

1. はじめに

押出し性地山におけるトンネル施工では、剛な支保構造による早期閉合が変位抑制に効果的であり¹⁾、切り詰め切羽の安定効果やいなし効果を期待して、導坑先進工法を採用し早期閉合を達成した事例がある。ここでいなし効果とは、先進導坑の掘削による切り詰め支保工への作用土圧の先行解放を意味する²⁾。しかし、押出し性地山において、導坑先進工法は他の工法と比較するとその効果は大きいと考えられているが、工期・工費的に規模が大きいために採用例は少ない現状にある。またその効果も漠然としたまま定説化されておらず、いなし効果についての定性的・定量的な評価もほとんどなされていない。

また、導坑先進工法は過去の実績より経験的に計画されることが多く、解析的なアプローチを基に採用を決定した事例はほとんどみられない。そこで本研究では、いなし効果に着目し、実計測データと数値解析結果より先進導坑の効果について検討を試みた。

2. 実計測データによる導坑の効果について

本研究では、トンネルの実計測データをもとに、異なる施工方法による（表-1参照）先進導坑の効果について検討した。図-1に天端沈下量および内空変位量を示すとともに、図-2に吹付け応力および鋼製支保工軸力の実計測データを示す。なおこれらの結果は計測位置から本坑切羽が5D進んだときの値である。

これらの実計測データから以下のことが得られた。(1) 全断面掘削と導坑導入ケースを比較すると、導坑による変位量の抑制効果がある。(2) 導坑の形状や先進距離、導坑支保剛性の違いによる差異はほとんどみられない。(3) 部材発生応力の減小効果は少ない。

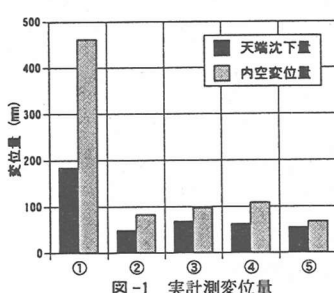


図-1 実計測変位量

表-1 施工方法

施工ケース	掘削方法	導坑形状	導坑先進距離	導坑吹付け厚(mm)
①	全断面	-	-	-
②	導坑	円形	ロク	350
③	導坑	馬蹄形	ロク	350
④	導坑	馬蹄形	ジョ	350
⑤	導坑	馬蹄形	ジョ	250

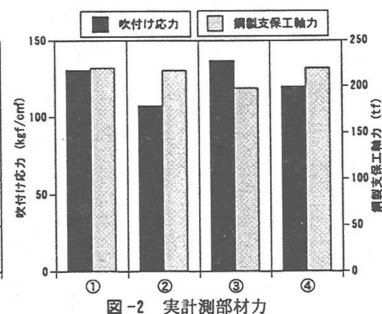


図-2 実計測部材力

3. FLAC3Dを用いた導坑の効果に関する数値解析

本研究では、実計測データから得られた結果が実施されたトンネル固有のものではなく、一般論として展開できることを証明したい。すなわち、施工結果で得た知見と同様のことが解析からもいえるように、3次元有限差分コードFLAC3Dを用いて数値解析を行った。

3.1. 解析条件

図-3に解析領域図を示す。解析領域は55m×70m×120mであり、側圧係数を0.67（地山ポアソン比 $\nu=0.4$ ）として、土被り100mに相当する上載荷重を与えた。また、図-4にトンネル断面形状を示す。なお切り詰め断面はD=10m、導坑断面はD=3mである。解析物性値は表-2の値を用い、地山はMohr-Coulombの破壊基準に従う弾塑性体と仮定するとともに、塑性後は体積ひずみを伴わないモデルとした。

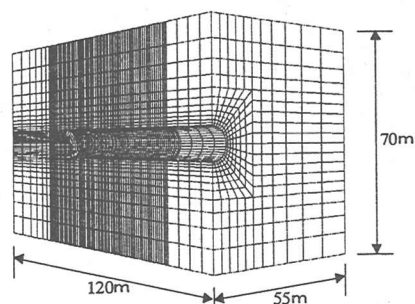


図-3 解析領域図

表-2 解析物性値

要素	弾性係数 (Pa)	単位体積重量 (kg/m³)	ポアソン比	粘着力 (Pa)	内部摩擦角 (度)	備考
地山	solid 1.37E+08	2200	0.40	2.45E+05	22	-
吹付けコンクリート	shell 1.96E+09	2200	0.17	-	-	(吹付け厚) 35cm
吹付けコンクリート (case5)	shell 1.96E+09	2200	0.17	-	-	(導坑吹付け厚) 25cm
鋼製支保工	beam 2.05E+11	3150	0.30	-	-	H-150(導坑)
	2.05E+11	6440	0.30	-	-	H-250(本坑)

3.2 解析ケース

解析ケースを表-3に示す。最小ベンチ長を3m、最小導坑先進距離5mとし、実施工されたトンネルの施工順序に従って解析を行った。



図-4 トンネル断面形状

表-3 解析ケース

case	解析ケース
case1	全断面掘削 50m掘削
case2	円形導坑先進 30m先進させて25m掘削 これを繰り返して50m掘削
case3	馬蹄形導坑ロクス先進 case2と同様に50m掘削
case4	馬蹄形導坑ジョス先進 7m先進させて2m掘削。これを繰り返して50m掘削
case5	馬蹄形導坑ジョス先進 case4と同様に導坑吹付け厚をt=250とする

3.3. 解析結果

図-5、図-6に計測位置からの切羽距離による変位量を示す。図-7、図-8に計測位置に切羽が到達した時の変位を0とした解析結果を示す。図-5に示される天端沈下量は、全断面掘削が導坑導入ケースより全体変位量が若干大きな値となったが、図-7では実計測データのように全断面掘削が導坑導入ケースより大きな値とはならなかった。図-6の結果では、内空変位量はほとんど変化がみられず、図-8では実計測データと同様全断面掘削が導坑導入ケースより少し大きくなった。また、導坑の形状や導坑先進距離、導坑の支保剛性の違いによる差異はほとんどみられなかった。

そこで次に、本坑掘削時における発生変位量の比較を行った。最終変位量から導坑掘削時に生じた変位量を引いた変位量の割合を図-9に示す。この図は全断面掘削で生じた最終変位量を100%とした。導坑導入ケースは、本坑切り上げの際に天端沈下量では約20%，内空変位量では約5%の変位量が低減したことが分かる。すなわち、本坑切り上げ時の変位量減少効果があると考えられる。

また、各部材力は、図-10より導坑導入ケースの方が全断面掘削に比べて少し大きくなったものの、その差は極めて小さいものと言える。

4. 先進距離の違いによる効果に関する数値解析

導坑先進距離の違いによる効果を検証するため、全断面掘削と、導坑先進距離7m、10m、15m、30m、55mの計6ケースで解析を行った。なお導坑の形状は馬蹄形導坑とし、先の解析条件と同じ条件下で解析を行った。

4.1 解析結果

図-11に図-9と同様に最終変位量から導坑掘削時に生じた変位量を引いた変位量の割合を示す。この結果より、わずかではあるが導坑先進距離が長くなるほど、本坑切り上げの際に変位量が大きくなることから、先進距離を長くしても変位量減少効果に差は生じないことから、先進距離が短い方が施工性や経済性で有利であると考えられる。

5. 結論

本研究により実計測データと類似した解析結果が得られた。本研究の範囲内で得られた結論を以下に要約する。

- ①導坑を設置することにより、本坑切り上げ時の変位量が減少した。
- ②導坑の形状・導坑先進距離・導坑の支保剛性の違いによる変位量の差異はほとんどみられない。
- ③各部材力（吹付け応力、鋼製支保工軸力）の減少効果は得られなかった。

以上より、いなし効果とは、導坑による切り上げ支保工の部材応力減少効果ではなく、変位量減少効果といえる。また、導坑先進距離が短い方が施工性や経済性で有利であると考えられる。

参考文献

- 1) 北川, 梶川: 膨張性地山でのNATM支保部材の役割とその有効活用, トンネル工学研究論文報告集第10巻 pp.155~160 2000.11
- 2) 鷹嘴, 下田, 高橋他: 押出し性地山のトンネルの設計・施工, 土木学会第54回年次学術講演会VI pp.414~415 1999.9

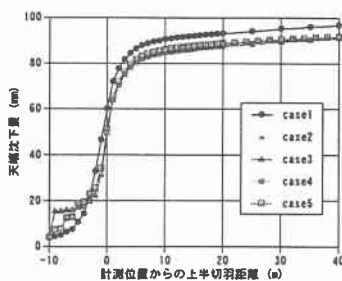


図-5 各ケースの天端沈下量の比較

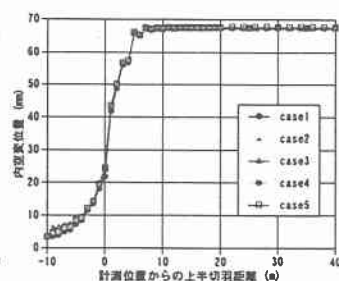


図-6 各ケースの内空変位量の比較

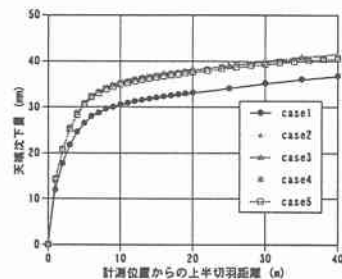


図-7 各ケースの天端沈下量の比較
(計測点=0)

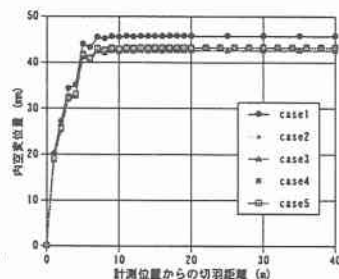


図-8 各ケースの内空変位量の比較
(計測点=0)

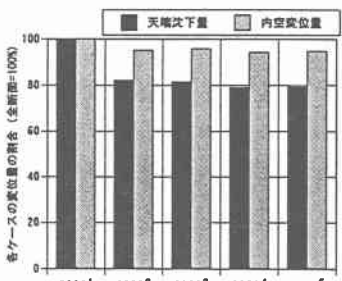


図-9 導坑による変位量減少効果の割合

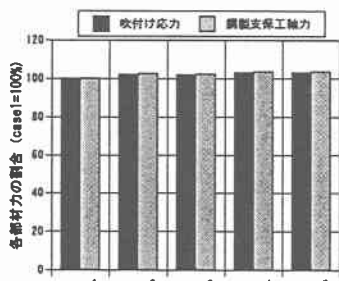


図-10 各部材力の割合

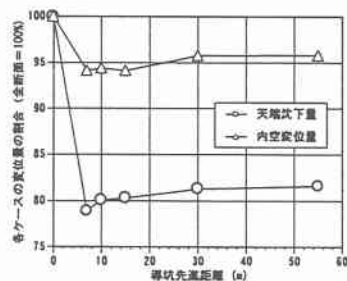


図-11 導坑による変位量減少効果の割合
(全断面掘削=導坑先進距離0m)