切羽形状が山岳ﾄﾝﾈﾙの力学的安定性に及ぼす影響

中日本高速道路㈱南アルプス工事事務所　正会員　○中須　誠
中日本高速道路㈱南アルプス工事事務所　正会員　佐藤　淳
清水建設㈱地下空間統括部　正会員　楠本　太

1. はじめに

地山強度比が 0.5 を下まわる押出し性地山では，ｸﾞﾗﾝﾄﾞｱｰﾁ形成による自立安定は困難である．このような地山のﾄﾝﾈﾙ施工では，押出し性土圧が保持可能な高耐力支保構造体を設計し，補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面工法の早期閉合で，力学的安定を確保している[1)]．しかしながら，このような脆弱地山の直切羽は，頻繁に崩壊し，不安定であるので，掘削補助工が併用される場合が多いが，切羽形状の違いや掘削補助工の有無が早期閉合ﾄﾝﾈﾙの切羽やﾄﾝﾈﾙ構造体の力学的安定に及ぼす影響は不明であるので，数値解析的手法を用いて調べた．

2. ﾄﾝﾈﾙ構造概要

地山強度比は 0.2 とし，土かぶり高は h=150m である．ﾄﾝﾈﾙ構造半径比は(r3/r1)=1.5 とする．ﾄﾝﾈﾙ構造(Ec)概要は，図-1 に示す．解析に用いる地山物性値は，Ko=1.0 とし，表-1 に示す．ﾄﾝﾈﾙ支保構造と早期閉合構造の断面性能値は，表-2 に示す．吹付けｺﾝｸﾘｰﾄの圧縮強度は 36N/mm^2，鋼ｱｰﾁ支保工は SS400 の従来鋼である．

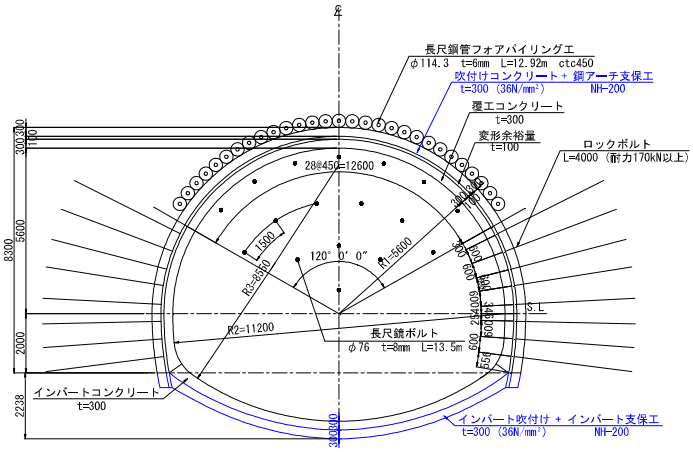


図-1 ﾄﾝﾈﾙ構造概要(Ec, r3/r1=1.5)

表-1 入力地山物性値

地山等級区分	E
地山強度比(-)	0.2
単位体積重量 γ (kN/m^3)	20
変形係数 E(N/mm^2)	60
ﾎﾟｱﾝｿﾝ比 ν (-)	0.40
粘着力 C(N/mm^2)	0.2
内部摩擦角 φ (deg)	20

表-2 ﾄﾝﾈﾙ断面性能(支保と早期閉合部材)

吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ	厚さ t(cm)	30
	f'ck(N/mm^2)	36
	弾性係数 Ec(N/mm^2)	6000
鋼ｱｰﾁ支保工	規格･ｻｲｽﾞ	NH-200
	ﾔﾝｸﾞ率 Es(N/mm^2)	2.1×10^5
	断面積 As(cm^2)	63.53
	断面 2 次ﾓｰﾒﾝ I(cm^4)	4,720

3. 解析ﾓﾃﾞﾙ概要

3 次元 Finite Difference Method(FLAC3D-ver.3.0)によるﾄﾝﾈﾙ掘削解析とする．

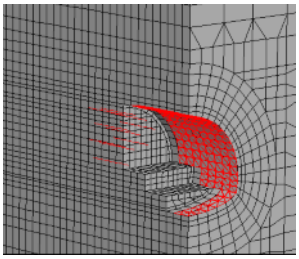
地山は，Mohr-Coulomb の降伏規準にしたがう完全弾塑性体とする．ﾄﾝﾈﾙ支保構造と早期閉合構造部材の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄは弾性体の薄肉ｼｪﾙ要素，鋼ｱｰﾁ支保工とｲﾝﾊﾞｰﾄ支保工は弾性体のはり要素でﾓﾃﾞﾙ化する．ﾛｯｸﾎﾞﾙﾄは，力学ﾓﾃﾞﾙに考慮しない．掘削補助工の長尺先受け工は，地山の改良体として等価剛性で考慮する．長尺鏡ﾎﾞﾙﾄは，軸方向の付着特性を考慮したｹｰﾌﾞﾙ要素でﾓﾃﾞﾙ化する．

表-3 解析ｹｰｽ(掘削ﾊﾟﾀｰﾝ)

掘削ﾊﾟﾀｰﾝ	ﾍﾞﾝﾁ長(m) 上半	ﾍﾞﾝﾁ長(m) 下半	閉合距離	切羽形状	鏡ﾎﾞﾙﾄ
補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面	3	3	9	直	―
全断面	6		9	直	―
鏡ﾎﾞﾙﾄ併用全断面	6		9	直	あり

解析ｹｰｽは 3 掘削ﾊﾟﾀｰﾝである(表-3)．早期閉合距離は Lf=9m，早期閉合施工単位は Lc=3m とする．解析ｽﾃｯﾌﾟは，表-4 に示すように、上･下半を 1m 単位に 2m 施工する．支保部材は，掘削の 1m 後方で考慮する．早期閉合は，上半切羽から 6m 後方で 3m を掘削，早期閉合部材で断面閉合するが，上･下半 3m 時と同時施工する．補助工は，上･下半 9m 進行毎に 12m でﾓﾃﾞﾙ化する．

表-4 解析ｽﾃｯﾌﾟ (Lf=9m, Lc=3m)

概要図	掘削と支保の関係
	(S1)上･下半を 1m 単位に 2m 施工 (S2)上･下半 3m 時に早期閉合 3m を同時施工 ･9～8m(上半掘削) ･8～7m(上半支保ﾓﾃﾞﾙ化) ･6～5m(下半掘削) ･5～4m(下半支保ﾓﾃﾞﾙ化) ･3～0m(ｲﾝﾊﾞｰﾄ掘削) ･2～0m(ｲﾝﾊﾞｰﾄ支保ﾓﾃﾞﾙ化)

ｷｰﾜｰﾄﾞ：押出し性地山，FDM 解析，切羽形状，早期閉合，力学安定性
連絡先：〒400-0405 山梨県南アルプス市下宮地 445-5，Tel.055-283-8888，Fax.055-283-5700

4. 支保構造の安定性

切羽から 1,3,6,9m,1D,2D,5D 位置の天端と SL, ｲﾝﾊﾞｰﾄ中心の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力は，図-2 に示す．補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面に対する全断面掘削の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力比は図-3 に示し，安定時に対する早期閉合直後の応力比は図-4 に示す．天端に対する SL およびｲﾝﾊﾞｰﾄ中心の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力比は，図-5 に示す．

これらから，以下のことが分かる．

・吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力は，設計強度の 36N/mm² 以下であり，SL に高い圧縮応力が発生する．

・天端とｲﾝﾊﾞｰﾄ中心の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力は，切羽形状の違いによる有意な差はみられない．

・SL の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力は，下半掘削以前は，補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面の方が高く発生する．下半掘削後は逆転し，全断面の方が 1.1 倍高くなる．

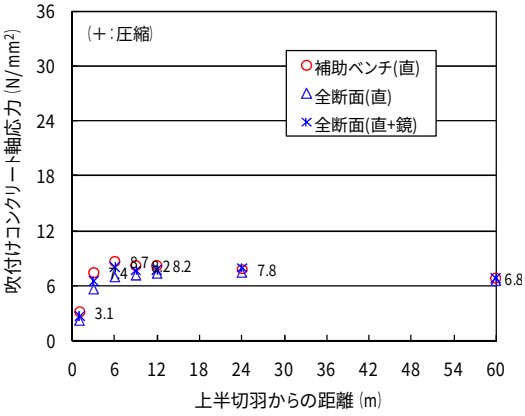


図-2(1) 吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力(天端)

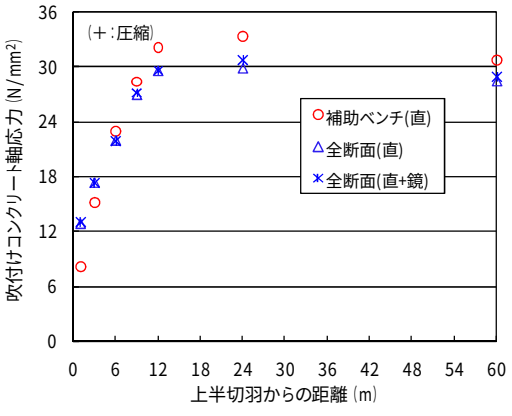


図-2(2) 吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力(SL)

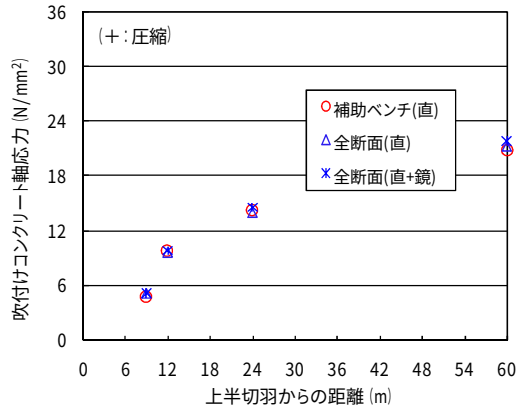


図-2(3) 吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力(ｲﾝﾊﾞｰﾄ中心)

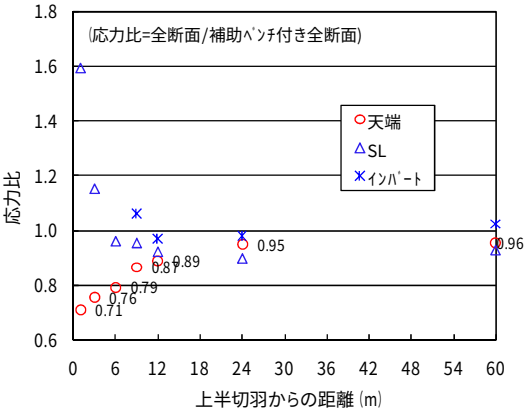


図-3 吹付け応力比(全断面/補助ﾍﾞﾝﾁ)

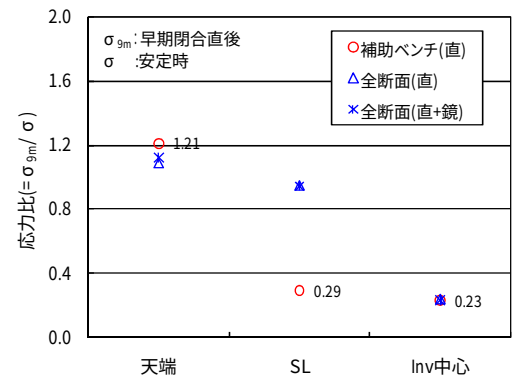


図-4 吹付け応力比(早期閉合直後/安定時)

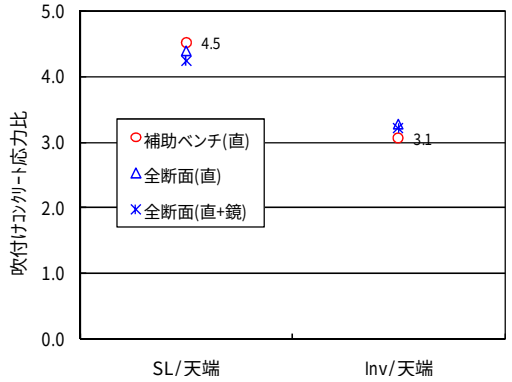


図-5 吹付け応力比(SL/天端, Inv/天端)

・鏡ﾎﾞﾙﾄで補強した全断面の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力は，全断面と同等ﾚﾍﾞﾙが発生し，有意な差はみられない．

・補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面に対する全断面の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ応力比は，天端部では，切羽進行とともに増加し，切羽が 2D の 24m 進むと 0.95 となり，同等ﾚﾍﾞﾙになる．上半掘削直後の SL では，全断面の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力は，補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面の 1.6 倍と高くなり，全断面掘削の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄは有効に機能する．

・安定時に対する早期閉合直後の応力比は，天端とｲﾝﾊﾞｰﾄ中心では，切羽形状の違いによる有意な差はみられない．補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面の SL では，ｲﾝﾊﾞｰﾄ中心と同等ﾚﾍﾞﾙの 0.29 となり，ｱｰﾁ構造体の形成が遅れる．

・天端に対する SL とｲﾝﾊﾞｰﾄ中心の吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ軸応力比は，4.5 と 3.1 である．補助ﾍﾞﾝﾁ付き全断面の応力比は，全断面に比べて，SL では高いが Inv 中心は低くなる．切羽形状の違いによる有意な差は小さい．

5. おわりに

今後は，試験施工をとおして，切羽形状の違いや掘削補助工の有無が早期閉合ﾄﾝﾈﾙの切羽やﾄﾝﾈﾙ構造体の力学的安定性に及ぼす影響を明らかにする予定である．

参考文献 1)中野清人ほか:早期閉合ﾄﾝﾈﾙの現状と挙動特性,ﾄﾝﾈﾙ工学報告集，pp.151-162，2010．