

京都大学工学部 正 員 足 立 紀 尚
 神戸市道路公社 正 員 大 野 公 男
 京都大学工学部 正 員 〇 田 村 武

1. はじめに

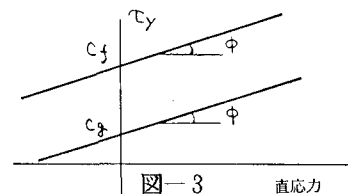
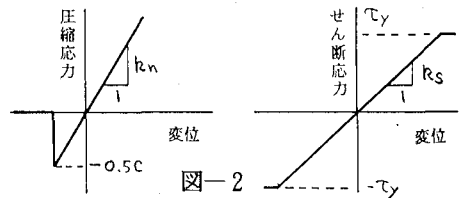
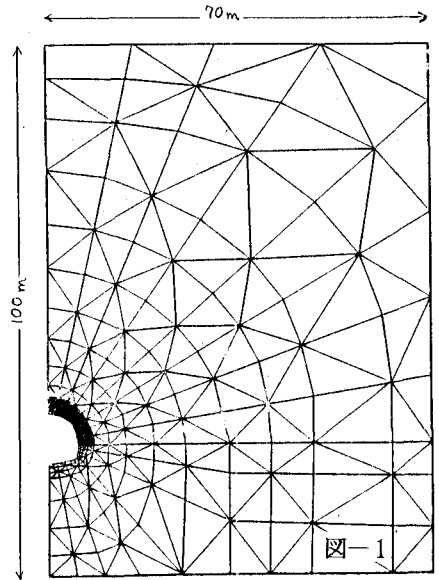
既設の新幹線トンネルに沈下の影響を与えてはならないという制約のもとに、その直下にそれと交差するトンネルの掘削が試みられた。沈下を抑制するために、岩盤地山にアーチ状の凍結域を予め設け、その下部にトンネルを掘削し、コンクリートライニングを建て込んだあと、融解するという、いわゆる凍結岩ルーフ工法が採用された。ここでは、それに対する数値シミュレーションを行ったので、その手法と結果について報告する。むろん、自然地山の状態から始まる施工の全工程を忠実に再現していくのが望ましいが、熱量、あるいは間引き水との時間的な相互作用は考慮せず、単に力学的定数の変化に伴うつりあい状態の変動という側面に着目して解析を実行した。地山の母岩自体の弾性定数のほかに、とくに岩盤内の割れ目に対する凍結の効果をジョイント要素の粘着力の増加で表現するような有限要素解析を用い、凍結岩ルーフ工法の利点をトンネルクラウン上部の沈下性状により検討した。

2. 解析上の仮定と解析手順

図-1に示す、定ひずみ三角形要素による有限要素分割を考える。個々の要素間にはすべて4節点ジョイント要素が設けられている。これらのジョイント要素は図-2のような応力-変位関係を持つ。すなわち、圧縮には k_n という定数により弾性変形をするが、粘着力 c の大きさの半分以上の引張りには、もはや抵抗しない。また、せん断についても降伏値 τ_y までは k_s という定数により弾性変形するが、それ以上にたいしては、すべりを生じるだけである。ただし、ここでいうせん断降伏値 τ_y はMohr-Coulomb型のものであるが、図-3に示すように、粘着力 c は地山で c_g 、凍結域 c_f ($> c_g$)をとる。

解析手順は以下のとおりである。

- (1) 図-1の斜線部は凍結域を示すが、その領域のYoung率 E_f は地山の値 E_g の α 倍とする。また、上述のように凍結域の粘着力は c_f である。なお、Poisson比 ν は全領域で一定とする。
- (2) 地山の初期応力や変位には、凍結による影響はない。
- (3) [掘削] 地山の単位体積重量 γ 、土被り H 、静止土圧係数 K_0 より定まる初期応力を節点力に換算し、5段階に分けて、トンネル壁に引張り力として作用させる。
- (4) トンネル壁に隣接する要素に、コンクリートライニングに相当する剛性を付加する。
- (5) [融解] 凍結域のYoung率 E_f と粘着力 c_f を5段階に分けて、それぞれの地山の値、 E_g 、 c_g へと減少させる。



このとき、三角形要素については弾性定数行列の減少 ΔD に伴う超過応力 $\Delta \sigma = \Delta D \cdot \epsilon$ が生じるので、 $\int B^T \Delta \sigma dS$ なる節点力を作用させて、これを解放する。ここに、 ϵ はその時点でのひずみ、 B は変位-ひずみ変換行列である。

$$r = 2.5 \text{ tf/m}^3, H = 70 \text{ m}, K_0 = 1.0$$

$$E_g = 2 \times 10^5 \text{ tf/m}^2, \nu = 0.25,$$

$$k_s = 2 \cdot 10 \text{ tf/m}, k_n = 4 \cdot 10 \text{ tf/m}, \phi = 5^\circ, c_g = 0 \text{ tf/m}^2$$

3. 結果と考察

表一に、用いた定数と解析した種類を示す。

図一4には各場合について、トンネルクラウンを通る中心軸に沿う最終沈下量の分布形状が示されている。すべてにおいて、凍結域の融解による新幹線交差部での沈下量は無視しうる程度のものであった。いずれの場合も、素掘り比べて顕著な沈下の抑制効果が見られる。

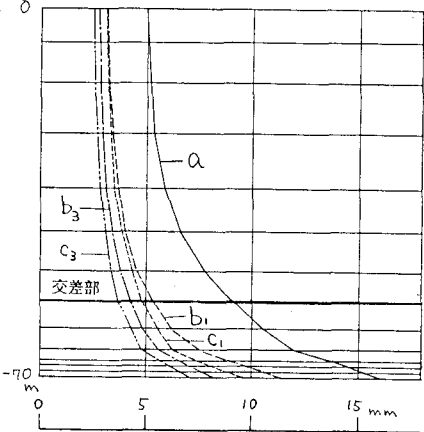
図一5には、トンネルクラウン部および新幹線交差部の位置における沈下量が、 c_f (凍結域の粘着力) あるいは α (同域における Young 率の増加度) によりどのような影響を受けかを示している。破線は掘削の直後、実線は解凍後 (最終量) にそれぞれ対応する。また、 $\alpha = 1$ での上端は素掘りを、下端は c_f のみの影響を考慮したものを表している。各場合とも α が大きいものほど、よく沈下を抑制するが、 α による影響よりも c_f による効果のほうが顕著である。とくに新幹線交差部においては、抑制された沈下量の大半が c_f によるものであるといえる。また、この位置における融解時の沈下量は極めて小さい。これらの結果は現場で実測された沈下性状を定性的に説明している。むろん、この段階で断定することは性急であるが、凍結岩ルーフ工法の一つの大きな特長を次のように推測することができる。

すなわち、トンネルアーチ部に接するように凍結域を設けたあと掘削すると、そのとき解放されるトンネル断面周辺の力の一部が、半径の大きな凍結域の外側にまで伝達される。そして、このより大きな領域に掘削力を分散させながら、割れ目に沿ってより小さなすべりを生じて新しいつりあい状態を作り出す。また、そのあと凍結域を融解しても、解放される力は掘削時に比べて十分小さく、しかもその時に生じる変形は凍結域周辺に限られ、新幹線交差部ではほとんど沈下を発生しないことになる。凍結の効果をも母岩の弾性係数の増加よりも、上述のすべり域の分散に期待するのであれば、掘削後に建て込まれるライニングコンクリート作用する土圧も小さいものと予想される。

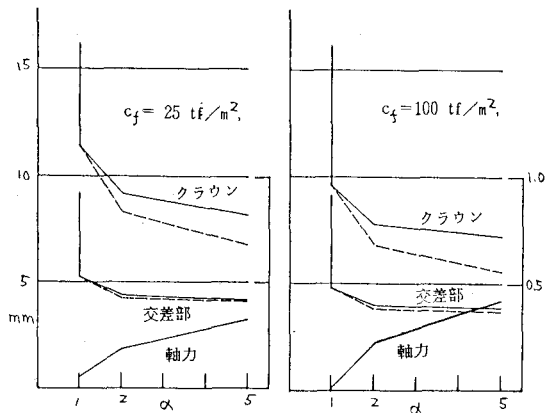
つまり、凍結により弾性変形を拘束したのならば、融解によって、それに見合う土圧が新たに作用するが、塑性変形を分散したのなら、融解時にはトンネル周辺の塑性変形を拘束するライニングの支持力のみで十分であろう。実際、図一5にはライニングクラウン部に作用する軸力を、全初期土圧を支持する場合の比として併記している。これらのことより、ある条件のもとで、凍結岩ルーフ工法は沈下の抑制やライニングに作用する力の軽減に大きな効果があるものと考えられる。

$c_f = 0 \text{ tf/m}^2$	$a : \alpha = 1$ (素掘り)
$c_f = 25 \text{ tf/m}^2$	$b_1 : \alpha = 1, b_2 : \alpha = 2, b_3 : \alpha = 5$
$c_f = 100 \text{ tf/m}^2$	$c_1 : \alpha = 1, c_2 : \alpha = 2, c_3 : \alpha = 5$

表一



図一4



図一5