

熊谷組 正会員 坂内 孝雄
同上 正会員 上野 正高

1. はじめに

トンネルの解析問題として、初期応力、初期ひずみ状態の取扱いが危念である。そのため現在行われている解析手法として、掘削相当外力の取扱いが一層問題点となっていると思われる。そして、この手法では、地山の自重が全て支保に作用する考えのため、一般的にいうNATMでの地山自体の支保力を十分に利用する結果にはなっていない。

従来から概念的には、地山内に耐荷能力を有するアーチ状の構造体、いわゆるグランドアーチが存在し、その作用によって支保には、地山の自重が全て作用しているといわれている。しかし現在の方法では、これらが十分に説明できず、現実的ではない。つまり掘削相当外力をトンネル境界面に作用することは、背面の地山相互作用によってのみ荷重が軽減されることになるが、本来のグランドアーチ作用とは、かけ離れたものになっている。

我々は、これらの問題を解明するために、モデル計算によってグランドアーチの形成によつて支保に対するトンネル荷重の軽減状態に対する考察をしたものである。

2. 解析手法

現在の数値解析では、掘削相当外力をトンネル境界面に作用させている。この考えの問題点としては、施工法の良否あるいは、グランドアーチの作用による支保負担の軽減が完全に説明されていない。

特に吹付けコンクリート、及び巖工コンクリートは剛性が高いので変位を拘束するには最適であるが、反面あまりにもコンクリートと地山の弾性係数の比が、かけ離れているためコンクリートに高応力が発生し、数値計算ではすぐに破壊に達して現実とは一致しない。そのため地山の弾性係数を低下させて対応しているが、本当にそれでよいのかといえは問題である。

ここでは、これらのトンネル荷重の軽減特性を検討するために、掘削相当外力をトンネル壁面に作用させないで、地山自体の負担の様子を、

わかるようにモデル化した。

ケース(I)：一樣な地山状態の場合。

ケース(II)：一樣な地山に吹付けコンクリートが施工された場合。

ケース(III)：吹付けコンクリートと地山間に地山の物性が低下した領域がある場合。

ケース(IV)：ケース(III)の低下領域の外側に、地山物性値の増加領域が形成された場合。

等の応力と変位特性を弾性解析によって求め、グランドアーチの形成効果を調べた。Fig-1は、FEMの要素分割モデルで、外周の半径長に100分の外力を半径方向に作用させた。またTable-1は各ケースにおける、名々の特性値を示している。(尚今回の計算では、ロックボルトの作用効果は考慮していない。)

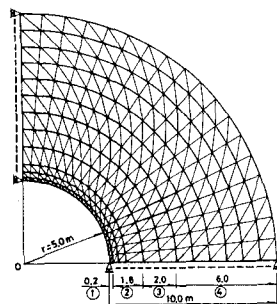


Fig.1 要素分割

Table.1

ケース	区分	物性値	
		弾性係数	ポアソン比
I	① ~ ④	$E = 2000$	0.3
	①	140000	0.2
II	③ ~ ④	2000	0.3
	①	140000	0.2
III	②	200	0.35
	③ ~ ④	2000	0.3
	①	140000	0.2
IV	②	200	0.35
	③	3000	0.3
	④	2000	0.3
	①	140000	0.2

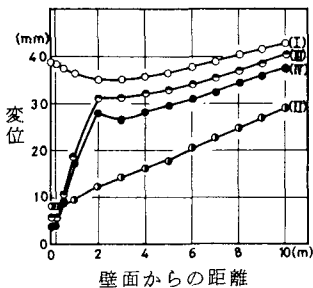


Fig 2 変位分布図

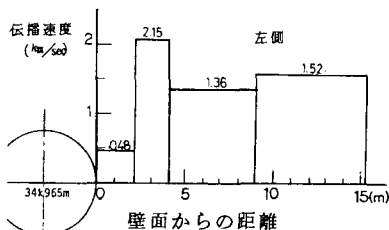


Fig5 弾性波速度分布図

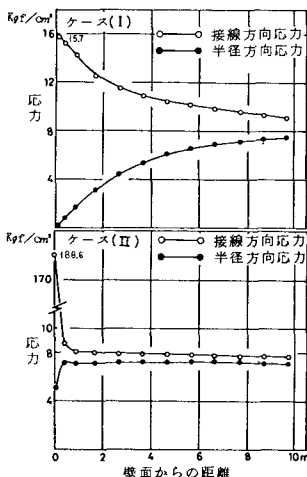


Fig 3 応力分布図

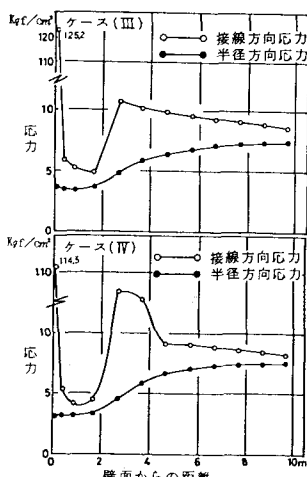


Fig 4 応力分布図

3. 結果および考察

Fig 2は、45°付近の肩部における各ケース毎の変位分布図を示している。その結果、無着床(ケースI)におけるトンネル壁面の変形は、吹付けコンクリート(厚20cm)を施すことによって拘束され、変形が顕著に減少している。これらは、トンネル掘削終了時の壁面の変形が、吹付けコンクリートの剛性によっていかに変化するかを示している。

また地山内の応力分布については、Fig3、Fig4に示す如く、その結果、ケース(I)、(II)からはトンネル掘削直後の吹付けコンクリートは変位を拘束するには最適であるが、反面吹付けコンクリートには大きな応力が発生している。Fig4は、吹付けコンクリートの背面に劣化ゾーンが存在する場合(ケースIII)および劣化ゾーンの背面に母岩よりも弾性係数の高い領域が存在する場合(IV)の計算結果を示す。その結果、吹付けコンクリートの背面の劣化ゾーンは一種の緩衝領域となり、この間には応力も変形も小さくなる。一方ケースIVの弾性係数の高い領域ではケースIIIに比べ、接線方向応力が30%程度高く、荷重の負担率も大きく、その分だけ壁面の応力は9%程度低くなる。つまり地山内に、耐荷リング的は「グラントアーチ」が形成され、空洞周辺には直に掘削相当外力が作用せず応力も変形も小さくなる傾向がみられる。このような現象は、Fig5の弾性波探査の結果からも推定できる。Fig5は、花崗の膨圧トンネルで実施したボアホールピックによる結果であるが、地山の母岩は $\sigma_p=1.5\%$ の速度値をもっているがその内側ではかなりの凹凸がみられる。トンネル壁面では大きな応力が発生するため、その周辺地山は破壊され、微亀裂が発達し、低速帯がで、その背後には σ_p が大きい圧縮された高速帯が形成される。これは、膨圧地山特有の現象かもしれないが、我々は膨圧トンネルの経返しは最初の掘削に比し、容易であるのは、周壁奥にグラントアーチが形成され、内側の部内は荷重の負担率が低いからであろうと考える。

4. あとがき

本書では、グラントアーチの存在を弾性波探査によって確かめ、その結果をもとに適当な物性値を挿入し、FEMにて地山内部の挙動の定性的傾向をみたが、その施工段階および形状による形成過程についてはまだまだ研究の余地がある。これらグラントアーチの解明が出来れば、NATMの真髄ともいえる「地山のもっている特性を生かす」ということで非常に有効な手段となり、より合理的なトンネル設計が可能と思われる。