

阪神高速道路公団 正員 石 塚 幹 剛

1. 序

公団においては、神戸市西部の山岳部にトンネルを計画しているものがあるが、この地域の地質は六甲花崗岩層と相当の深部にまで破砕されており地表面ではマサ状風化が進んでいる。断層状の割れ目の他にシア・ジョイントと呼んでいる粘土シームを挟み連続した割れ目が数多くみられる。これらの割れ目はトンネル全域で中心線方向に平行するものが多く、断層目はほとんど直立しているもの、図-1に示す弱面が形成する三角形部分がトンネル掘削に与える影響についてその特性をも含めて数値的に目量となる値を把握すべく有限要素手法を利用して解析したのでその概要を報告するものである。

2. 計算の条件

計算モデルは図-2に示す。要素特性値としての力学的定数は現地の地質調査結果をもとに軟岩部と硬岩部に区分し表-1のとおりとし、図-3のとおり5D(D=トンネル径)区間を要素分割した。(下部：水平鉛直方向固定側面：水平固定、鉛直フリー)

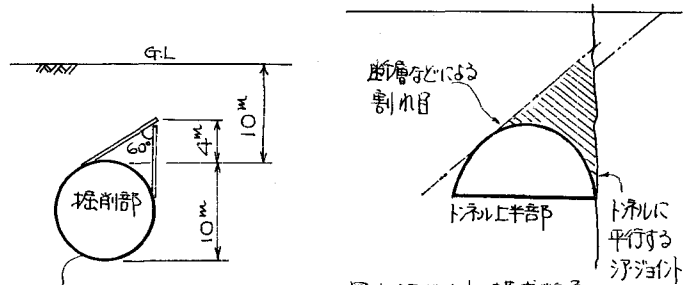


図-1 シア・ジョイントの模式断面
(ハッチの三角形部分が崩落する最良の例)

図-2 計算モデル図
コンクリート置換部
(長さ:0.700m)

(1) トンネル掘削無支保状態

(2) トンネル掘削覆工状態 (3) トンネル掘削無支保状態(落盤の場合) について (1)地表面の沈下 (2)覆工周辺の応力状態およびその方向 (3)覆工周辺の変位 の経時的な変化を算定したものである。

プログラムの処理上経時的なフリップ特性は、粘弾性モデルのスプリング部分を合成して1つのスプリング値を求め、その値を用いて弾性的手法により求めたものである。ジョイント部の力学的特性値は調査時には確実につかみにくい点もあり $E=520 \text{ kg/cm}^2$ の軟質なものとて取扱った。当初、ジョイントは掘削後どの程度の時間放置しうるかを求める方法を検討したが処理上、もっとも危険側としてジョイント系が形づくる三角形部分が掘削により落盤した場合の考察にとりかかっている。なお、落盤に対する安全率の考察も行い、ジョイント周辺のスリッ要素にC、 ϕ を与えて剪断破壊に対して求めたものである。

3. 計算結果

地表沈下は複雑な分布を示し、図-4に硬岩部の場合を示したがトンネル頂上部においてかなりの凸凹がみられる。なおその絶対量は表-2に示すとおり算定され、全体的には、硬岩部の沈下量が大きいという結果になった。覆工の場合の沈下量はきわめて小さく、覆工後はジョイント面に引張力を生じている。この結果から、掘削後落盤の起ることは、ジョイントの存在はほとんど影響をしないものと思われる。

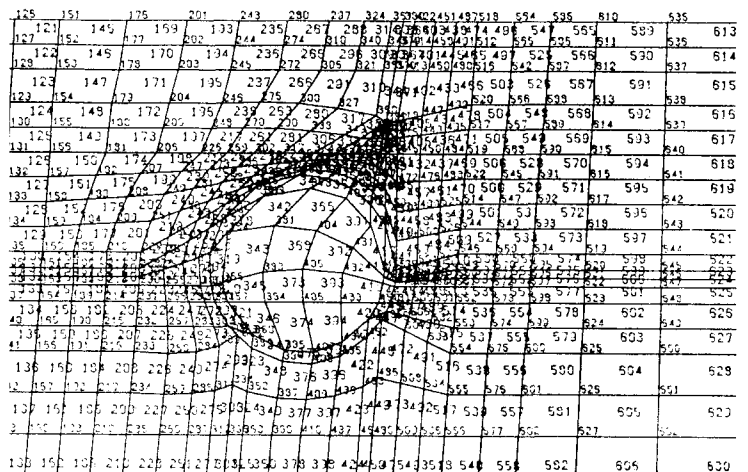


図-3 要素分割図 要素数 578(軟岩部) 708(硬岩部)

硬岩部特性値							軟岩部特性値						
層	$V_p(Km/s)$	$G(\frac{Kg}{cm^2})$	$K(\frac{Kg}{cm^2})$	$E(\frac{Kg}{cm^2})$	$C(\frac{Kg}{cm^2})$	$\phi(^{\circ})$	$V_p(Km/s)$	G	K	E	C	ϕ	平均層厚 (cm)
I	1.6	510	2380	1,430	—	—	0.53	180	1,770	520	—	—	硬岩部 3
II	2.4	840	2520	2,270	100	45	0.8	320	1,470	900	—	—	5 4
III	2.4	960	2,080	2,500	100	45	1.7	420	1,940	1,180	50	45	9 3
IV	2.9	1,190	2,580	3,040	200	50	1.7	460	2,160	1,290	50	45	8 10
V	3.8	1,590	3,450	4,130	—	—	2.8	840	2,520	2,270	100	45	12 6
VI	4.3	1,880	4,080	4,890	—	—	4.2	1,590	3,600	4,130	—	—	33 39
ライコン		87,500	116,700	210,000	—	—	—	87,500	116,700	210,000	—	—	—
浮・ジョイント		180	1,770	520	10	30	—	180	1,770	520	10	30	—

表-1 計算に用いた特性値 (ポアソン比 0.30~0.45 コンクリート 0.20 岩体 0.45)

トンネル坑壁の変形についてみると、両岩部がジョイントに囲まれた三角形部分の側の壁面の変位が小さく、むしろ内側に押込まれる形となる。これは三角形部分を先端方向へ押しやる形で圧縮され変形量はジョイント先端部で落盤時に5~10cmと推定される。

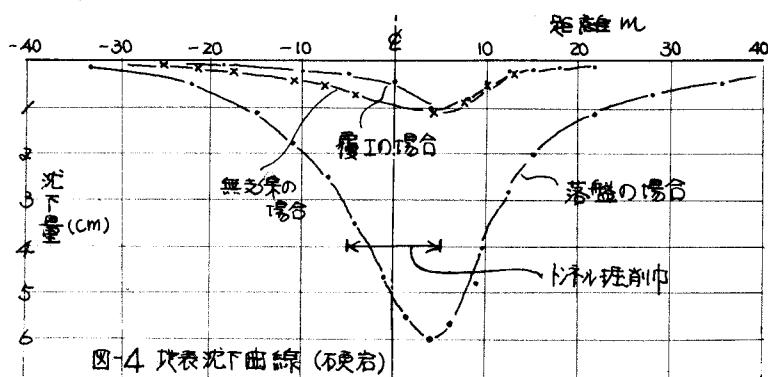


図-4 地表沈下曲線 (右側)

応力状態は坑壁周辺応力分布初期、無支保の場合は値が小さく特別に偏った応力状態はみられない。覆工後のコンクリートには軟岩の場合部分的に大きな力が集中し、とくに垂直方向ジョイントとの接触部では圧縮 45%、引張 25% 程度となり覆工設計上十分な配筋(鉄筋コンクリートの使用)が必要となる。

初期応力の分布からみるとジョイント交差部付近で 10% 程度の応力が主じ部分的には水平方向応力が大きいなど応力分布の乱れが随所に主じ、この特徴は覆工後もあまり変化せず引張応力が多く見られる点は注意が必要である。

ゆきみ領域はジョイントを考慮した場合、トンネル上のかかり応力範囲は狭がるのでこの点も掘削・支保工などの考慮点となることが予想される。

ジョイント内のジョイント方向に沿った滑り破壊について、規定 C, ϕ により安全率を推定すると軟岩部(危険側)を図-5のとおりとなり、おおむね1以上でありこの限りでは自重破壊はないものと思われるが応力集中も考えられるので掘削時にはきわめて慎重な施工が要求されるものと推察される。

以上の結果では、トンネル掘削における浮・ジョイントの影響はきわめて大きく掘削工法・設計上にこの点を配慮し十分に安全なものを採用することはもうろんであるが、掘削段階でのジョイント性状の確認把握 および落盤対策には補助工法をも含めて十分の注意を払う必要があると思われる。

種 別		硬岩部	軟岩部
最大沈下量 (cm)	覆 工	1.0	0.49
	無 支 保	1.0	0.65
	天 端 落 盤	6.0	5.75
最大沈下量の半分 を利範囲 (m)	覆 工	-3~10	-3~8
	天 端 落 盤	-7~12	-7~11
0.2cmの沈下を 不利範囲 (m)	覆 工	-13~15	-5~9
	天 端 落 盤	-35~55	-36~55

表-2 地表面の最大沈下量

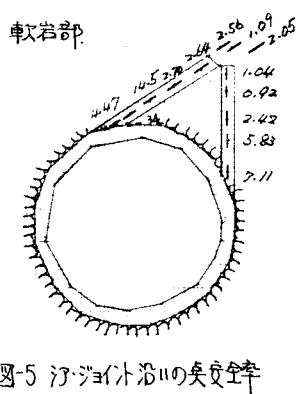


図-5 浮・ジョイント沿いの安全率