

(株)熊谷組技術研究所 正員 大塚孝夫
同 同 上野正高

1. はじめに

塑性体地山のトンネル周辺の変形を考察する場合に、定量化することは非常に困難である。この報文では、塑性流動及び塑性ひずみの取扱い、あるいは考え方について考察したものである。

2. トンネル周辺の塑性領域

地山にトンネルを掘削すると施工条件あるいは地山の物性値及び応力状態、さらには暫時的地山の欠陥により、 σ_c と云ふ硬い地山であっても影響をうけてしまう。Table-1は突破による亀裂の入ってしまう領域を示す文献である。

これ等の影響をうけてトンネル周辺の地山は、もはや連続体の力学で取扱うことは困難である。個々の物体は、応力的には降伏していないが、ばらばらになった集合体であるものを、擬似塑性体と呼ぶことにする。したがって、物性自体がいふところ応力的に降伏している場合の塑性体と異なり、 σ_c 挙動を示す。擬似塑性体は突破の影響により生ずる場合とか、地山の暫時的な欠陥及び異方性等によって生ずる場合が考えられる。これ等を総称して、スプリット現象と呼ぶことにする。

3. 地山の降伏条件と変形

Fig-1は、岩石の三軸試験結果を示すものである。側圧力を増加させることにより、変形勾配が増加し、降伏値も増加していることを示している。主応力 σ_1 、 σ_3 を応力円で表示すると、Fig-2がえられる。モールの応力円Fig-2において、主応力を次第に大きくしていくと、主応力の比 σ_1/σ_3 が一定値に収束していくことがわかる。この値を λ とすると、 λ は、

$$\lambda = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

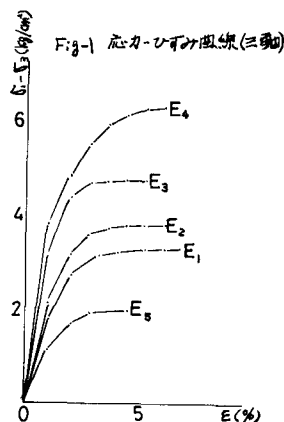
として示される値である。この結果は、塑性化する地山では、主応力の比とは内部摩擦角の関係が降伏条件式と考えることができる。この状態は、砂とか碎石、玉石とかの集合体を意味し、粘着力及び単軸試験の圧縮力は存在しないで主応力の比、つまり内部摩擦角で地山を支持することになる。塑性流動は、Fig-2で示す包絡曲線に接した場合とか、あるいは主応力比が一定値に達した場合に生ずることがわかる。

4. 擬似塑性領域

Fig-3は、円形トンネルの各内部摩擦角に対する擬似塑性領域で、 $P_h/P_v = 0.6$ の場合が示してある。Fig-4は無背割ヒトンネル支保を変えた場合のトンネル周辺の変形の経時変化を示したものである。Fig-4の結果をFig-5のように書き改めると、異常変曲角がそれぞれ生ずる。

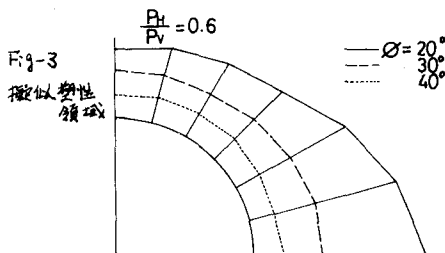
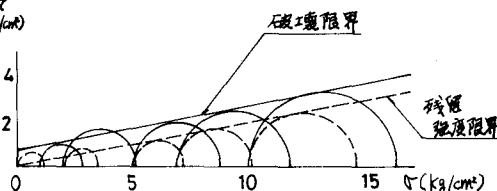
Table-1 (after R. Gustafsson)

単位強度量	粘着強度 (kg/cm ²)	スプリット領域 (mm)
11mm Gurit	0.17	0.24
17mm Gurit	0.16	0.42
22mm Nabit	0.36	1.50
全掘削 40mm	1.60	2.00
51mm	2.60	2.80
75mm	5.60	4.60



試験No	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
側圧力 σ_3	2.0	5.0	7.0	10.0	1.0
最大主応力 σ_1	5.283	8.807	11.769	16.300	2.769
σ_1/σ_3	2.642	1.761	1.667	1.630	2.769
ϵ (%)	7.2	6.0	5.2	6.0	4.4
E_{50}	164.2	211.6	340.6	393.8	123.1

Fig-2 モールの応力円



この変曲点の境界が、擬似塑性領域と見なすことができる。擬似塑性領域は、地山がすだ弾性体と見なされる初期状態から、トンネル周囲の変位を測定することにより見い出すことができるので、ロックボルトの設計に重要な手がかりと考えることができる。Fig-6

は、擬似塑性領域の変曲点の、経時変化にそれほど依存していないことを示すものである。(after W.H. Ward)

しかしながら、変位の絶対量は経時変化に依存している。この場合、塑性領域は3mで、ロックボルト長も3mで施工している。初期状態としては、トンネル壁面より3m間隔が非常に大きな変形であるのに対して、経過日数がかなりたつと、トンネル壁面より離れた箇所の変形が次第に大きくなっていくことから、地山はトンネル壁面に向かって圧縮帯を形成していることが推察される。Fig-7は、ロックボルトを施工した場合のロックボルトの長さに対する施工効果を示している。このFig-7の結果から、ロックボルトの適性長は、4.0mであることがわかる。

4. 結論

1). 地山の降伏条件をスプリット現象による擬似塑性を考慮した。擬似塑性領域の判別は、トンネル周囲の変位測定により、変位の変曲点を見い出して、容易にでき、わずらわしい計算を伴わず、簡便である。

2). 理論的に擬似塑性領域を考察する場合は、トンネル周囲応力の主応力比と内部摩擦角により求めることが可能で、弾性論を主体にできる利点はあるが、変位の経時変化については、今後の課題である。

3). 擬似塑性領域とロックボルトの施工効果としては、密着は関連があり、ロックボルトの設計に今後非常に役立つものと考えらる。

参考文献

1). R. Gustafsson ; Smooth blasting , Tunneling '76 London, 1-5 March 1976.

2). W.H. Ward, D.J. Coats, P. Tedd ; Performance of Tunnel support systems in the Four Fathom Mudstone, Tunneling '76 London, 1-5 March 1976.

3). H.H. Einstein ; Dimensionnement des Tunnels en Rock Gonflante , Tunnels et Ouvrages Souterrains No.15 Mai/Juin 1976

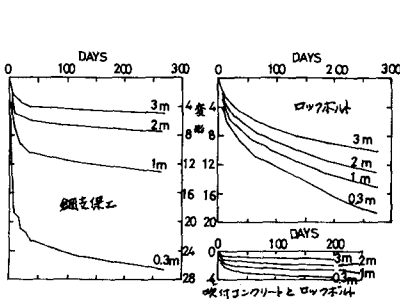


Fig-4 トンネル周囲の変位
(絶対変位)
(after W.H. Ward)

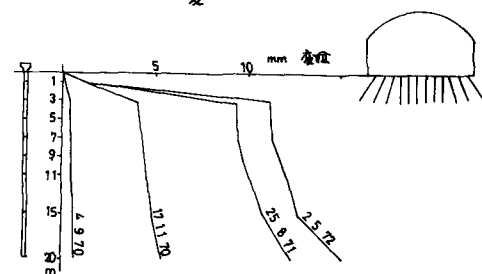
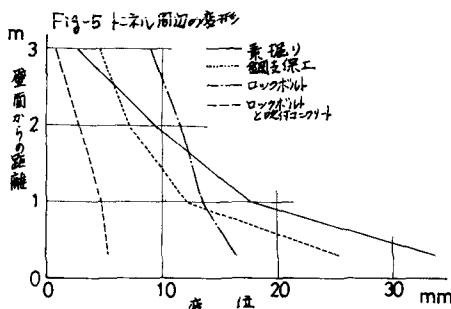
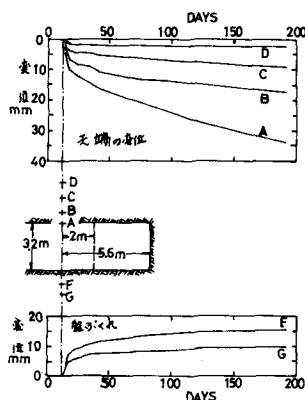


Fig-6 地中の変位
(after H.H. Einstein)

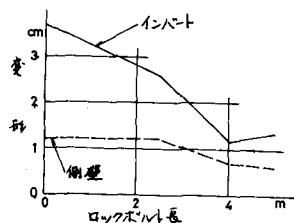


Fig-7 変形とロックボルトの長さ
(after H.H. Einstein)