

九州大学 工学部 学生員・大田原宣治  
九州大学 工学部 正員 樗木 武

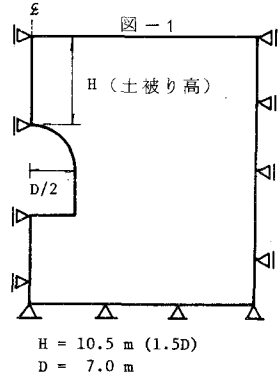
1. まえがき

トンネル地山は、一般に非引張性を示すものであり、また、圧縮部においては弾塑性的挙動を示す。従って、より厳密には、これら両非線形的性質を同時に考慮して地山の力学的特性を論ぜねばならないことは言うまでもない。本研究は、馬蹄形トンネルを全断面掘削する場合を対象に、非引張・弾塑性解析を行なう、トンネル孔縁応力、地山内応力、地表面沈下などの力学的性質を明らかにすることを目的とするものである。

2. 解析概要

解析に当たっては、地山は引張に抵抗できないものと考え、また、圧縮に肉しては、Mohr-Coulombの降伏条件にしたがう弾塑性と仮定した。また、平面いずみ問題として解析するさいに、面内の2主応力が最大、最小主応力を与え、面外方向応力が中主応力になる状態に限定した。計算は、演算努力の上で有利な初期応力法にもとづくものである。

トンネル断面は、馬蹄形の場合その使用目的等に応じて種々の設計がなされているが、ここではそれらを単純化して図-1に示すごとき断面を考察するものとする。また、無限に連続する地山に肉して、適当な範囲に限定した解析領域を定めねばならないが、これまでの弾性論的立場からの種々の検討を踏えて、水平方向に土盛り高さ+トンネル径の3倍に定めた。また、地山の応力分布を向題にする場合には、トンネル底より差程深くない位置に近似下部固定境界を定めても向題はないが、変位に肉しては、固定境界の位置により大きな影響を受ける。しかし、変位の絶対量でなく、地表面やトンネル孔縁の相対的変位を向題にする場合には、応力分布と同様の近似下部固定境界の導入で十分であり、従って、本研究ではトンネル底よりトンネル径の2倍の位置に固定境界を挿入した。



H = 10.5 m (1.5D)  
D = 7.0 m

表-1

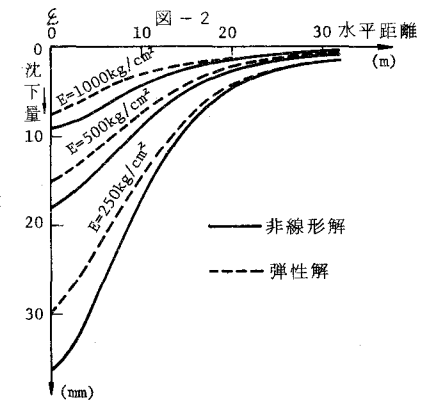
Case	E (kg/cm <sup>2</sup> )	γ (kg/m <sup>3</sup> )	ν	φ' (°)	C' (kg/m <sup>2</sup> )
0	500	1700	0.3	30	5100
1	250	1700	0.3	30	5100
	1000				
2	500	2000	0.3	30	5100
		2500			
3	500	1700	0.2	30	5100
			0.4		
4	500	1700	0.3	20	5100
				40	
5	500	1700	0.3	30	2000
					3400
					6800

E; 弾性係数  
γ; 単位体積重量  
ν; ポアソン比  
φ'; 粘着力  
C'; 内部摩擦角

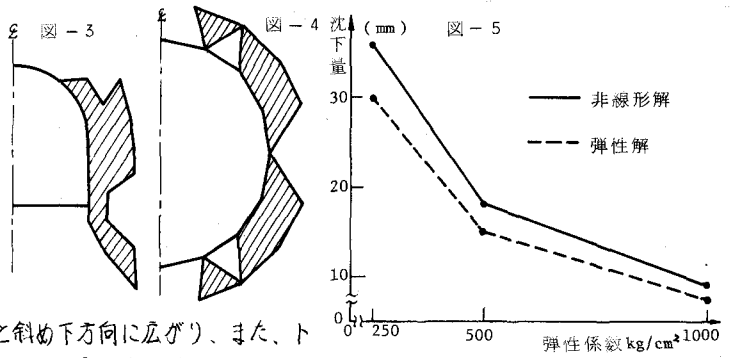
3. 諸物性値の及ぼす影響

諸物性値を表-1のように分けてそれぞれの及ぼす影響について検討する。

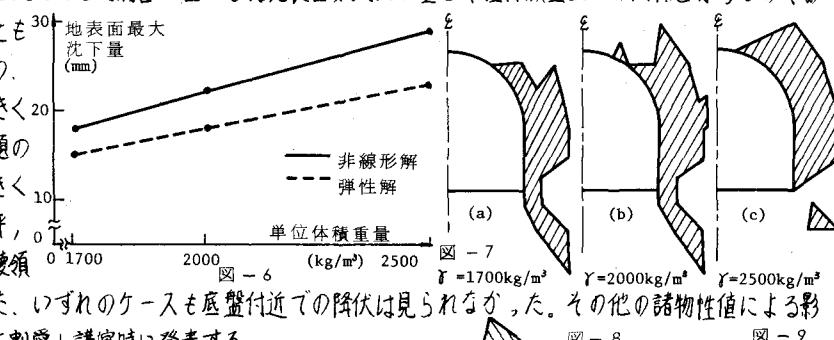
(1)弾性係数を変化させる場合：図-2に地表面沈下曲線を示す。弾性解と、非線形解とを比較した場合、地表面変化の生じる領域については、あまり変化のないことが分かる。トンネル直上ではE=500kg/cm<sup>2</sup>の時、弾性解では15.05mm、非線形解では18.02mmであり、後者の前者に対する割合は119.8%となっている。またEが大きくなるにつれて沈下量に対する弾性解と非線形解との差が、小さくなる、てくるのが分かる。また図-5は、トンネル直上の



地表面最大沈下量とこの関係を示すものである。弾性解も非線形解も両関係はほぼ同じパターンでえられるが、非線形解の方が変動がやや大きいといえる。図-3は破壊領域を示すもので、円形トンネルの場合のそれ(図-4)と比較すれば、円形トンネルでは斜め上下に破壊領域が生じているのに対し、馬蹄形では側壁部と斜め下方向に広がり、また、トンネル底盤までまわりこんでいないことが理解できるであろう。

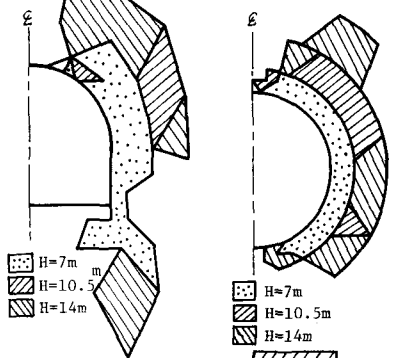


(2) 地山の単位体積重量を変化させた場合：図-6は地表面最大沈下量と単位体積重量との関係を示すものであるが、弾性解、非線形解とも $\gamma$ に比例しているもの。後者の方が傾きがやや大きくなっている。図-7に本題の破壊領域を示す。 $\gamma$ が大きくなるにつれてトンネル土平、側壁から斜め上方への破壊領域の拡大がみられる。また、いずれのケースも底盤付近での降伏は見られなかつた。その他の諸物性値による影響については紙面の都合上割愛し講演時に発表する。

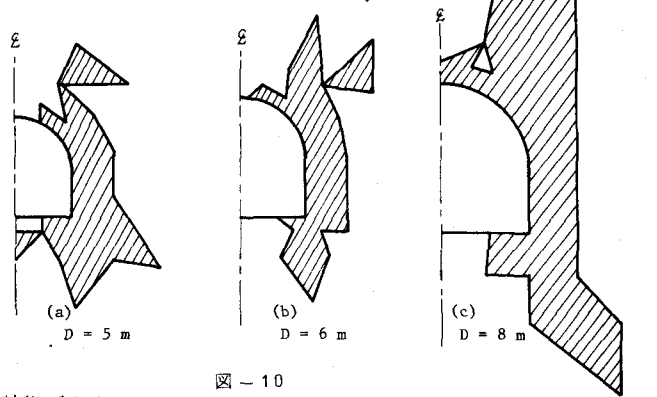


4. 土盛り高さ、トンネル径、トンネル形状の及ぼす影響

(1) 土盛り高さ：図-8に土盛り高さの変化による破壊領域の変化を示すものである。土盛り高が大きくなると、破壊領域はトンネル孔周縁だけでなくトンネル斜め上方向及び下隅部へと拡大していくのが分かる。



(2) トンネル径：トンネル径の変化に対する破壊領域の変化を図-10に示す。トンネル径の増加によっても破壊領域は拡大する。特にトンネル斜め上方向、土平及び下隅部での応力集中が目立ち、この部分に大きく破壊が進行している。なお $D=5\text{m}$ では底盤部の一部に破壊領域がみられる。(1)、(2)の両方の傾向として、土盛り高さ、トンネル径が増大するに従い破壊領域は、まず斜め上方に広がり、つづいて、側壁部の方向に進展するとともに斜め下方に発達するといえる。



(3) トンネル形状：図-9に円形トンネルの土盛り高さの変化による破壊領域の変化が示されているが、図-8と比べると円形トンネルでは差程、斜め下方への破壊領域の広がりは見られず、土平以下の部分における破壊領域の進展状況が両者で特に異なる特徴である。

図-10 参考文献 ① 榎木武：トンネル工学 共立出版 1977