

早稲田大学 理工学部
同大学院正会員 森 麟
学生員 ○川村 哲也

1. はじめに

トンネル切羽の進行等によって、ライニングに作用する荷重が増加する場合、ライニングに変形が起るならば、その変形による地山中の応力再配分によって変形しなかつた場合よりもライニングに作用する荷重の増加量は、小いものとなる。このように変形とライニングに作用する荷重の間には密接な関係がある。本研究では、モデル実験より載荷圧を増加させた時の変形量と作用荷重の関係を求め、ライニングの荷重支持メカニズムと破壊条件とを調査した。

2. 実験概要

本研究では、降下床実験における変形と降下床反力の関係を利用するため Fig. 1 に示すような降下床とライニング模型実験を行ない、載荷圧を増加させた時の変形量と反力の変化を求めた。地山は乾燥した豊浦砂を締固めて作り、ライニングは粘土・石粉・固結剤・水の混合物を 30×20 の薄板状に伸ばし、半円筒形型枠に載せて一日養生したものをを用いている。尚、載荷速度は 30 秒で 0.1 kg/cm^2 とした。

降下床実験では、力計とロードセルを用いて反力を測定している。力計の場合、力計の下端を固定し、載荷圧を増加した時、力計の変形だけを計した。このようにして、剛性の異なる 5 種の力計について行なった。ロードセルの場合、載荷と同時に、一定量の変形をジャッキで与え、その時の反力を測定した。

ライニング実験では、最初型枠にライニングを支持させ、砂詰め後、その型枠を降下することによって、ライニングを自立させた。その後、一定速度で載荷して、 0.1 kg/cm^2 の増加ごとに、天端鉛直変位 δ_L 及び鉛直ライニング反力 Q_L を測定した。

3. 実験結果

降下床実験結果の一例を Fig. 2, 3 に示す。これらの図では載荷圧増加 $\Delta S = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ ごとに 1 つプロットしている。図の直線性より、 $\Delta S = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ が作用した時、変位増分 $\Delta \delta$ が決まると、反力増分 ΔQ が決まることが判る。Fig. 4 はこの $\Delta \delta - \Delta Q$ 関係を表わしている。Fig. 4 は、 $\Delta \delta$ が小さいと ΔQ が大きく、 $\Delta \delta$ が大きいと ΔQ が小さい傾向を示している。この図では、2 曲線に挟まれる範囲に実験結果が入っているが、これは砂の詰り方のバラツキのためと考えられ、一般に、 $\Delta \delta - \Delta Q$ 関係は、一定地山では一曲线で表われていると思われる。さらに Fig. 4 は、 ΔS に応じて、比例移動することにより、他の ΔS (0.1 kg/cm^2 以外) についても用いることができる。

次にトンネル模型実験結果の一例を Fig. 5 に示す。これは一定速度で載荷圧を増加させた時の $\delta_L - Q_L$ 関係を示し、 $\Delta S = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ 増加ごとに 1 つプロットしている。このようにライニングは載荷圧増加に伴い、破壊直前まで降下床実験と同様にほぼ直線的な $\delta_L - Q_L$ 関係を示し、 $\Delta S = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ 作用時の $\Delta \delta_L, \Delta Q_L$ はこの区間でほぼ一定である。このときの直線勾配（即ちライニング剛性）は、厚いライニング程大きく、 $\Delta \delta$ が小さいと ΔQ は大きくなっていく。 $\delta_L - Q_L$ 関係が直線的である部分で、平均 $\Delta \delta_L, \Delta Q_L$ を求め、各ライニングごとにプロットすると Fig. 6 となる。Fig. 6 では、ライ

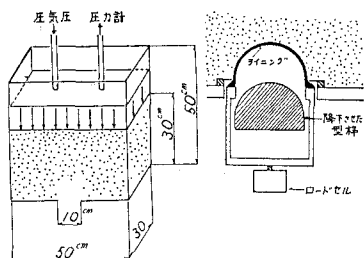


Fig. 1 実験装置概要

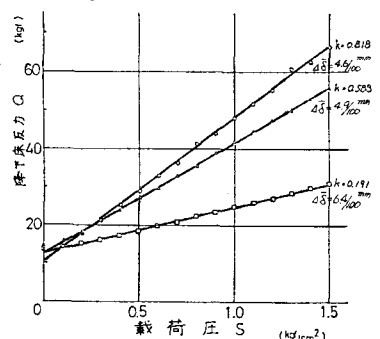


Fig. 2 カ計降下床 載荷圧-降下床反力の関係

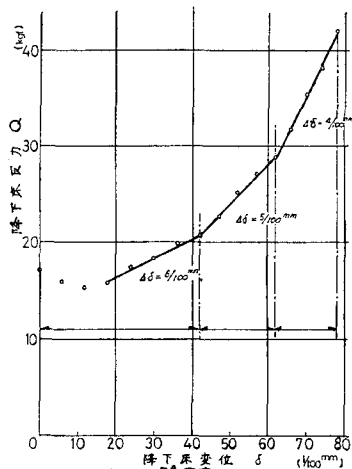


Fig. 3 ロードセル降下床 降下床変位-降下床反力の関係

ニン厚さで、3種のグループに分け、厚い順に○、△、□とした。この図から分かるように、厚いラインは ΔQ が大きい。薄いラインは、その逆である。また、降下床実験より得た範囲内にほとんどのプロットがあり、降下床実験とよく一致している。つまり、 ΔS 作用時のライン反力 Q_L の増加は、降下床と同様のメカニズムに支配されていることが確認できる。

Fig 7 に3種のライン厚グループそれぞれの平均 $\Delta \delta_L$, ΔQ_L をプロットしたのが B_1' , B_2' , B_3' である。Fig 7 を用いてラインの支保メカニズムを説明すると以下になる。 $\Delta S = 0.1 \text{ kg/cm}^2$ 作用時の $\Delta \delta_L$, ΔQ_L は B 点 ($i=1, 2, 3$) で示される。つまり図中の曲線 ABC は、地山自身の变形と作用荷重の増加を示し、あるラインに発生する $\Delta \delta_L$, ΔQ_L はこの曲線上の一点となる。またラインは弾性挙動を示している間、その剛性で、原点 O から E_i ($i=1, 2, 3$) に向かう直線上に、その变形と反力の増加は限定される。この場合、ラインの剛性により OE_i の勾配は決まる。従って、この2つの条件を満たす点 B_i ($i=1, 2, 3$) が ΔS による発生する $\Delta \delta_L$, ΔQ_L を示す点となる。Fig 7 で、地山自身の $\Delta \delta$ - ΔQ 関係を示す曲線 ABC は、降下床実験で得た範囲の中心線とした。

ラインの破壊をその反力 Q_L のピーク時とし、この反力をラインの円周方向断面の応力に直して求めた破壊圧縮応力 σ_c とライン厚 t の関係を Fig 8 に示す。ライン材の軸圧縮強度は 1.55 kg/mm^2 、破壊ひずみは 1% 程度である。Fig 8 は、厚いラインほど、圧縮強度に近い値で破壊しており、薄いラインでもこの強度に近い値で破壊しているものもあることを示している。さらに変位 1 mm 程度でラインの多くは破壊しており、この時の圧縮ひずみを、半円形断面に仮定して計算すると 1% 程度になるとおり、半円形ラインの場合、破壊は、円周方向に圧縮されたことによる圧縮破壊と考えられる。もし薄いラインの平均破壊応力が圧縮強度より低い理由としては、発生すると考えられる小さな曲げモメントに対する抵抗力が小さいためと考えられる。また、本実験で用いた $\rho = 2\%$ 前後の薄肉ラインが大きな載荷圧に耐えることができるのは、その大部分を地山が支持し、ラインには曲げモメントがはたかぶるような荷重状態であると推定される。

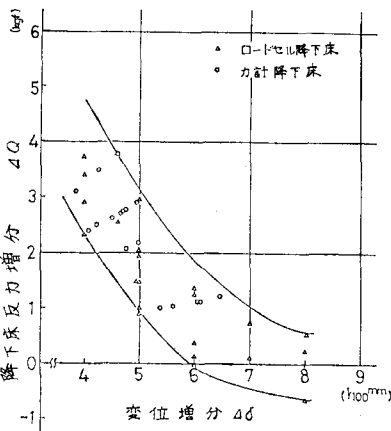


Fig 4 降下床 変位増分-降下床反力増分の関係

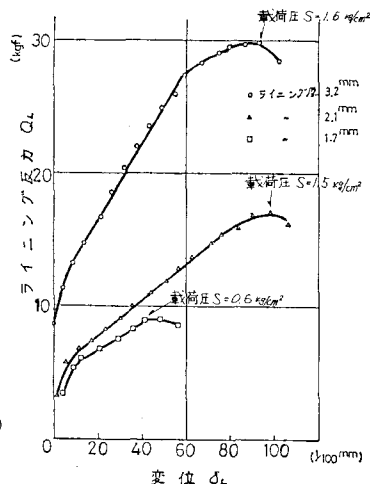


Fig 5 シェンク変位-反力の関係

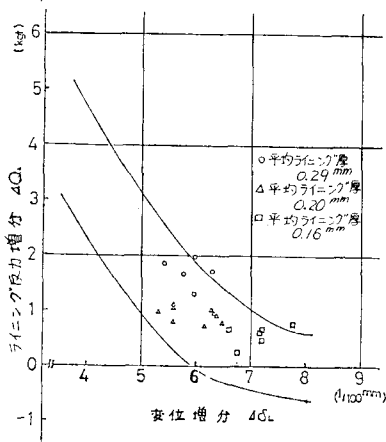


Fig 6 ライン 変位増分-ライン反力増分の関係

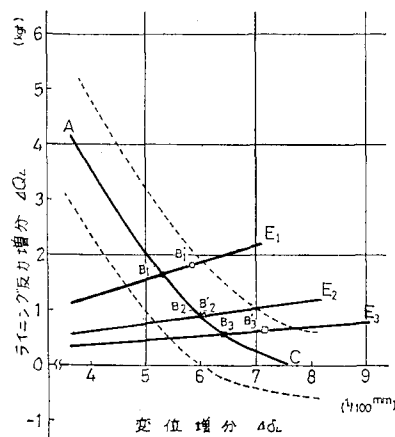


Fig 7 支保機構説明図

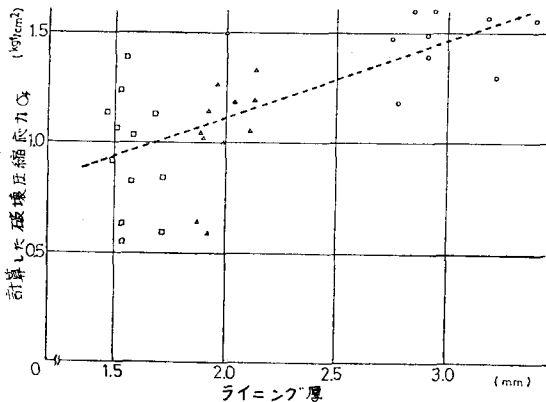


Fig 8 ライン厚-破壊圧縮応力の関係