III-233 付加荷重を受ける場合の落し戸反力とトンネル土圧に関する基礎実験

早稲田大学 正員 森 麟

早稲田大学大学院(現鹿島建設) 正員 ○酒井 学

1. まえがき

切羽が前進する時や段階掘削でトンネルを切り広げていく時，あるいは直上に盛土などの構造物が施工される場合，トンネルライニングは付加的な荷重を受けると考えられる。筆者らは塑性地山を対象に付加的な荷重を受けるトンネルの土圧の特性を調べるために、付加載荷を受ける落し戸実験とトンネルの模型実験を行なったのでその結果について報告する。

2. 実験概要

—付加荷重を受ける落し戸実験—

図1のような実験装置を用い、付加荷重ΔPが加わる場合の降下量Δhと土圧（=降昇板反力）Qの関係を調べた。

—付加荷重を受けるトンネルの模型実験—

図1のような実験装置を用いた。半円形の降昇板の上に厚さ1.2mmのベントナイトライニングを設置し砂を詰める。所定の初期土圧にセットしたあと降昇板を除去し、ライニングだけで地山を支持させたのちに付加載荷を始め、崩壊まで付加荷重ΔPとクラウン降下量δの関係を調べた。（δの測定には読み取り顕微鏡を用いた。）

○地山材料…相馬砂 $\gamma_d=1.55\sim1.65\,g/cm^3$，$\phi=41°$，粒径 0.42～2.00mm

○ライニング材料…ベントナイト 試料A: $q_u \fallingdotseq 0.39\,kg/cm^2$, B: $q_u \fallingdotseq 0.26\,kg/cm^2$, C: $q_u \fallingdotseq 0.13\,kg/cm^2$

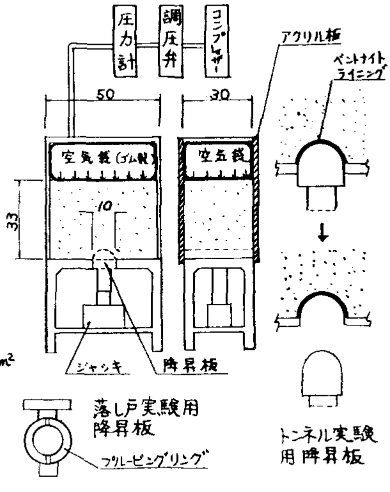

図1 実験装置 [単位 cm]

3. 付加荷重を受ける落し戸実験の結果と考察

図2の①は30kgの初期土圧を受けている降昇板を1mm降下させた後に，降昇板を固定して降昇板面積当り30kgのΔPを載荷し、次にΔhを0.5mm与え、これを繰り返した結果である。1mmの降下で2.0kgとなっていたQは30kgのΔPによって22kgまで増加する。しかし次の0.5mmのΔhによってQは再び2.0kgまで減少しQの増加分ΔQは消滅する。その後の載荷と変位に対してもQは同様の挙動を繰り返し、その値は2.0kgから22kgの範囲を保つ。一方②は30kgのΔPに対してΔhを0.1mmとしたものだが，1mmの降下で2.0kgとなっていたQはΔPによって増加し20kgとなるが、次の0.1mmのΔhではΔQは完全に消失せず、Qは5kgまでしか減少しない。次のΔPによってQは25kgまで増加し，Δhによって8kgになる。このように②の場合では載荷と変位を繰り返すことによりQのとる範囲はしだいに高い値となる。即ち、土圧Qが変位によって減少した後でも、付加荷重が加わればQは増加するが、ΔQは再び変位をすることによって減少しある変位量（Δh_cとする）で全く消滅する。ΔhがΔh_cより大きければQの値は累積的な載荷重に無関係に一定の値になる。ΔhがΔh_cより小さければ、ΔQの未消滅分ΔQ'が残留し、Qの値は累積的な載荷重の増加とともに大きくなってゆく。

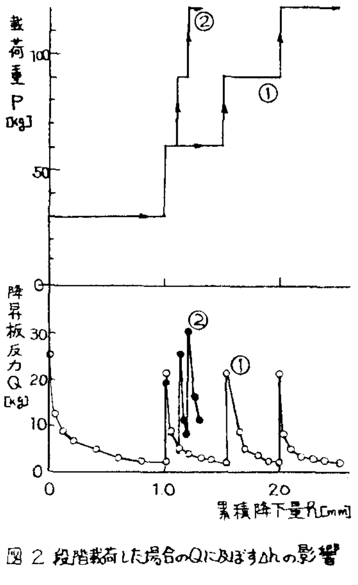

図2 段階載荷した場合のQに及ぼすΔhの影響

図3は、45kgの初期土圧を受けている降昇板を1mm降下させてQを最少値にしておいてから所定の速度で連続的に載荷と変位を同時に行った結果である。ΔPに対する変位量hの比が大きいほどQの増加する割合は少さく、③はほとんどQの増加は見られない。この現象は図2の段階的な載荷実験の結果で説明されよう。すなわち図3の実験の途中の1分割で、ΔPに対するΔhがΔh_cより大きければQは増加せず、ΔhがΔh_cより小さい場合は、Δhが大きいほど残留するΔQが小さくなり、Qの増加する割合も小さくなると考えられる。これらの傾向は初め落し戸の降下量を小さくしてQが最少値になる前のところをスタートとした場合も同様である。

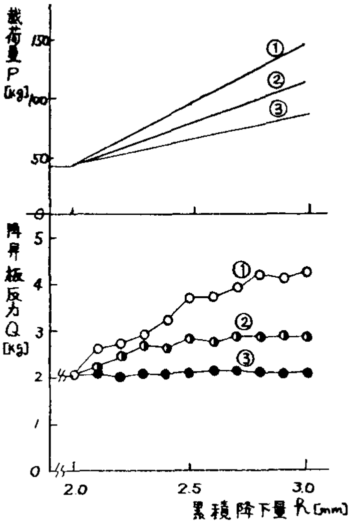

図3 h−Qの関係に及ぼす$\Delta h/\Delta p$の影響

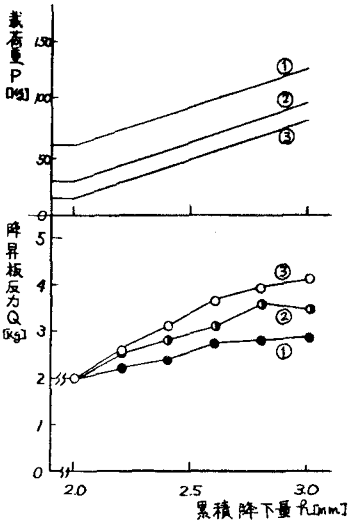

図4 h−Qの関係に及ぼすP_0の影響

図4は$\Delta h/\Delta p$を一定にし、初期土圧P_0を変化させた連続載荷実験の結果である。同じ付加載荷条件であっても、初期土圧が大きいものほど土圧増加の割合が小さいことがわかる。

4. 付加荷重を受けるトンネルの模型実験の結果と考察

図5は連続的な付加載荷を行なった場合の初期土圧 P_0 と破壊荷重 P_c の関係である。累積された載荷が一定の値になると破壊がおこるのではなく、同じライニングでも初期土圧が高いほど大きな付加載荷に耐えている。図6は連続的な付加載荷を行なった場合の初期土圧 P_0 と、付加載荷ΔPに対するクラウンの変位Δδの比 $\Delta\delta/\Delta p$をプロットしたものである。初期土圧が高いほど$\Delta\delta/\Delta p$が小さくなっているが、これは初期土圧が高いほど$\Delta Q/\Delta p$が小さいことを示している。すなわち、初期土圧が高いほど大きな付加載荷にライニングが耐えられるのは、図4の結果予想されたように、初期土圧が高いほどライニングに作用する土圧の増加の割合が低いためであると考えられる。

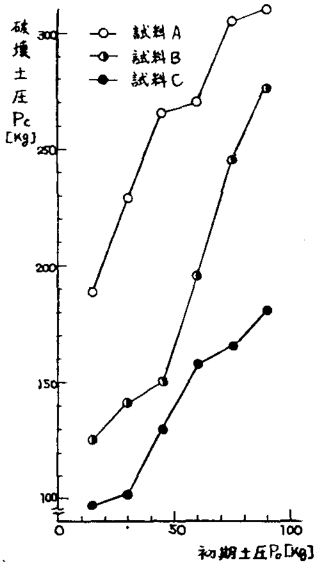

図5 P_0とP_cの関係

この実験で使用したベントナイトライニングの耐荷力は、直接載荷すると最も強い試料Aで約6kgであった。図5に示したように試料Aのライニングは200kg前後の付加載荷に耐えているが、実際にベントナイトライニングに作用した土圧は、6kg以下であったこととなる。すなわち図3で考えたように付加載荷が行なわれる時点でライニングが変形することができれば、付加載荷による土圧の増加は小さくすることができると考えられる。

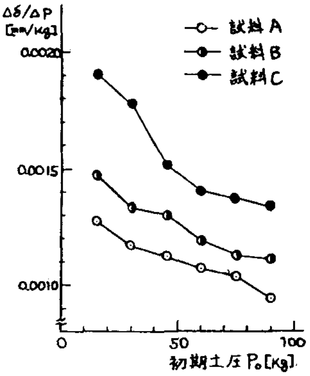

図6 P_0と$\Delta\delta/\Delta p$の関係