

清水建設(株). 研究所. 正員 大塚義之
清水建設(株) 土木技術部. 正員 竹林重夫

1. はじめに.

膨張性地山にトンネル掘削を行なう場合、しばしば強大地圧に遭遇して構造物の変状が生じているが、地圧の発生原因については、これまで周辺地盤の吸水膨張、潜在応力の解放、あるいは塑性流動、等の諸説が提唱されてきた。前二者の説によると、トンネル施工法は掘削面の変位を許すようにトンネル背後に空隙部またはクッション材が必要となるに反して、後者の説によると、掘削面の変位を許さぬように地山に密着して剛性の大きい構造物を早期に構築する必要があるとなる。しかるが、実際の原因とは異なり理論の下に施工法を決定した場合に、かえって強大地圧を誘発することになる。そのため膨張性地山にトンネルを施工する場合に、強大地圧の発生原因を明らかにすることが基礎条件となる。本文は我が国における典型的な膨張性地質である粘土質蛇紋岩と粘土化した頁岩が全延長(725m)の約9割を占める口道128号線嶺岡トンネル工事において、坑内および地表面より各種の現場計測を実施し、施工管理を行なった。その結果に基づき強大地圧の発生原因に関する考察を加え、昨号¹⁾について報告するにたいである。

2. 土質特性. (I) 土の物理的性質.

本トンネルは全區間にわたり地質構造帯に位置し、岩質は粘土化している。この粘土の生成は地殻隆起より固體状態の蛇紋岩およびその母岩であるカンラン岩が、ある地層の泥岩内に貫入し、双方とも強い破砕作用をうけて変質し、粘土化したと考えられる。粘土質蛇紋岩および粘土化した頁岩とも、土の物理的性質は類似しており、粒度分布は粘土分が20~60%、シルト分が25~50%、砂分が15~40%とかなりばらつき、土の生成過程を示唆している。他の物理的特性はつぎのとおりである。

- 1) 土はかなり締っている。 γ_s は2.10 t/cm³前後で、間げき比は0.4前後である。
- 2) 自然含水比は塑性限界以下のため液性限界は0以下となり、過圧状態土の特性を有している。
- 3) 塑性図では中〜低塑性の無機質粘土に属している。

3. 土質特性 (II) 土の力学的性質.

土の一軸圧縮強度は粘土化した頁岩が平均4 kg/cm²、粘土質蛇紋岩が平均8 kg/cm²であった。なお試料採取はトンネル延長方向に約20m毎に行なった。つぎに粘土化した頁岩区間で2本のボーリング($l_1=25m$, $l_2=34m$)により採取した試料を圧縮試験を行った結果、圧縮指数は $C_c \approx 0.005$ (W_L-50)と極めて低い値であり、過圧状態比は1.0前後であった。このような土質工学的特性と前述の地質特性より、この土は地質構造運動に伴う強大な圧力状態の下で生成されたが、その時の潜在応力は、すでに解放されていると考えられる。

4. トンネル施工時の地圧現象.

トンネル施工法は全區間にわたり側壁導流先進上半方式であった。導坑施工時には、2本の導坑が並列すると掘削トンネルの相互干渉により強大地圧が作用し、支保工(H-125×125 1.0, 0.7mピッチ)の圧屈破壊が著しく、上半施工時には強大地圧により、アーチ支保工の基礎である側壁の沈下現象等が発生した。トンネル施工^{2), 3)}時に坑内、地表に設置した各種の計測の測定結果より地圧、変位挙動の特徴を挙げると以下のとおりである。

- 1) 支保工に作用する地圧は、掘削直後より増大し、約20日後には落ち着くが、支保工が圧屈した場合に

変状していない隣接支保工の地圧が増大し、圧壊破壊に至り掘削断面が縮小する。

- 2) トンネル周辺地盤の変位は、掘削直後より増大し、約20日後に落ち着くが、支保工が圧入した場合には再び増大する。トンネル周辺地盤の等変位曲線は、楕円形に近い形であった。
- 3) かぶり厚さ20m以下の地質での地表沈下は、切羽の前方10~15m地質から始まり、切羽通過前後より急激に増大し、落ち着く時又は、坑内の地圧、変位の落ち着きと一致している。
- 4) 2本の導坑が並列した場合の地圧は、単設導坑時の約2倍に達し、土かぶり厚20m程度のところでは、最大値が上載荷重の約1/2であった。
- 5) アーチ支保工に作用する地圧は、かぶり厚が20m程度の区間では、最大値が上載荷重にほぼ等しく、かぶり厚が50~60m地質では上載荷重の1/3~1/4程度であった。

5. 膨張性地圧の原因に関する考察

膨張性地圧の原因に関する研究は、古くから行われ、つぎのような諸説が考えられている。⁴⁾

- 1) 吸水による物理的膨張。(吸水膨張説)
- 2) 化学変化の結果としての膨張。(粘土化膨張説)
- 3) 上載荷重による地山の塑性変形、あるいは破壊とその結果としての応力解放。(塑性流動説)
- 4) 地殻運動(造山運動)のときに封じ込められた潜在エネルギーあるいは岩石堆積時における先行荷重の解放によるもの。(潜在応力の解放説)

それぞれの説に対して本トンネルの地圧現象を検討すると、

5-1. 吸水膨張説

本トンネルの粘土質地盤は、モンモリロナイト、アレクザライト等の膨潤性粘土鉱物を主成分としているため、吸水膨張説について検討を加える必要があった。検討方法は、モンモリロナイトを主要鉱物とする粘土化した頁岩区間で、33日間停止していた導坑切羽の掘削再開の機会を利用して地山の含水比分布の試験を行った。(図-1参照)。また、掘削面の含水比の経時変化は図-2のとおりである。これらの調査結果より、つぎのような考察を行った。

- 1) 図-1より掘削面から40cmの区間は含水比が高いが、40~80cm区間では脱水した状況がみられ、それ以後では含水比の変化は少ないようである。これより、周辺地盤の吸水膨張は考えられにくい。
- 2) 掘削面の含水比の経時変化は図-2のようにほとんど変化していない。
- 3) もし、トンネル周辺地盤が吸水膨張をすれば、かぶりの浅い箇所では、地表面の隆起現象がみられるはずであるが、地表沈下量の計測結果(約140点)はいずれも沈下のみで隆起はみられなかった。

以上のことから、本トンネルにおいて強大地圧の原因が吸水膨張説であると考える根拠はほとんど無く、図-1にみられる掘削面付近の含水比変化は地山の塑性領域形成によるゆるみの結果であろうと考えられる。

5-2. 粘土化膨張説

この説の意味は、トンネル掘削の影響により周辺地盤の造岩鉱物が粘土鉱物に変化する際に生ずる膨張圧力と考えることができるが、本トンネルの場合にはつぎのようである。

- 1) 岩石の物性変化に伴い、周辺地盤の含水比、および温度変化が生ずると考えられるが、計測結果では、

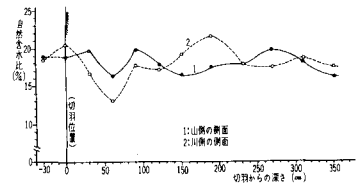


図-1. 切羽内部における含水比分布

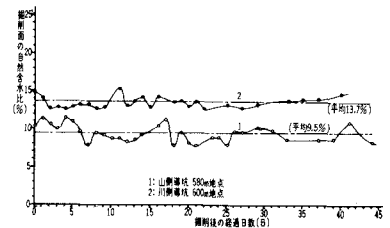


図-2. 掘削面の自然含水比の経時変化

顕著なものはない。

- 2) 前項と同様に地表面の隆起現象は認められない。

以上のことより、本トンネルの場合、地圧の原因とは考えられない。この説は前項と同様に、地圧の原因ではなく、トンネル掘削の影響による周辺地盤の塑性変形および破壊の結果、岩石の細粒化が生ずると考えられる。

5-3. 塑性流動説。

本トンネルでは掘削の影響による周辺地盤移動を多面的に観測するシステムをとっているが、その観測資料のほとんど全てが、塑性流動説を裏付けている。その論拠を列記すると、

- 1) 上の圧縮強度が弱い。トンネル掘削により周辺地盤に塑性領域が形成されたい条件は、上り軸圧縮強度 (σ_u) は $2 \sim 3 \cdot 8 H$ (H は上載荷重) 以上が必要であるのに対して、本トンネルの σ_u は $0.7 \sim 1.0 \cdot 8 H$ 以下が大部分であり、その箇所では強大な地圧が発生し、矢張の破壊、支保工の圧入が著しかった。(図-3 参照)

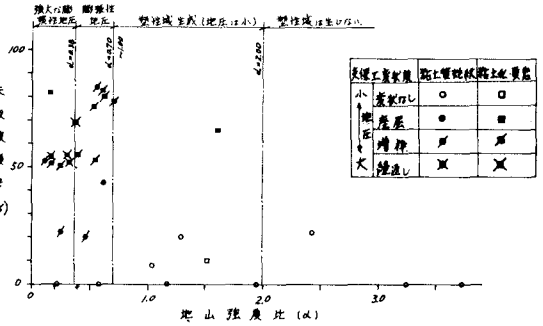


図-3. 坑内地圧状況と地山強度比 (α) の関係

$$\alpha = \frac{\sigma_u}{\gamma H}$$

- 2) トンネル周辺地盤に広い範囲で塑性領域が形成されている。また、カぶり厚さが 20cm 以下の区間では地表沈下現象が顕著であった。
- 3) 坑内地圧と周辺地盤の変位量の経時変化が一致している。すなわちトンネル掘削の影響により周辺地盤の応力分布が変化し、トンネル構造物と地盤の力学的関連のもとで新たな応力状態の釣合がとられるときに、地圧と変位量の経時変化は落ち合っている。

以上のことより本トンネルの場合、地圧の原因は周辺地盤の塑性変形あるいは破壊によるものと考えられる。

5-4. 潜在応力の解放説。

本トンネルの地質は、全周囲にわたって地質構造運動により相当な圧力状態の下で、生成した粘土地盤であるため、地質工学的に、潜在応力の解放説は否定できない。しかし土質工学的に、前述の圧入試験結果では、現在の地盤は既に潜在応力の解放が終了していると考えられる。かつ、現場計測より判断した、地圧と変位量の関連からも潜在応力の解放は考えられなかった。

6. おわりに。

導坑施工の初期段階で、計測資料を模範とし、地圧の原因は塑性流動説であると考えるため、それに基いてトンネル施工法を決めた。すなわち、トンネル掘削時には、周辺地盤をゆるめないように、メッセル工法、リングカット方式、早期掘削方式、支保工の短縮等の各種方法を併用したが、本文のような地圧現象が生じている。この点を踏まえて、今後、施工技術の研究を進めていきたい。

参考文献

- (1) 大塚義之, 竹林聖夫: 膨張性土圧の原因に関する2,3の考察: 土木学会第28回年次学術講演会 1973.
- (2) 大塚義之, 竹林聖夫: 膨張性土山における双設トンネルの相互歩みについて: 第8回土質工学研究発表会 1973
- (3) 大塚義之, 竹林聖夫: トンネル掘削による地表沈下現象について: 第9回土質工学研究発表会 1972
- (4) 高橋彦治: 湧水と地圧: 土木ライブラリー(21): 山海堂. 1963.