軟弱岩の吸水膨張について(I)

星 野 寔 *

吉 田 保 *

A Note on the Swelling of Rocks (I)

by Makoto Hoshino
Tamotsu Yoshida

abstract

The Rebun tunnel passes through a thick section of Pliocene agglomerate with a layer of altered tuff breccia and the Obira tunnel passes through a zone of Miocene decomposed mudstone. In these rocks the altered tuff breccia and the decomposed mudstone were so swelling that the support or the lining of these tunnels were squeezed.

The authors measured the rate of swelling and the swelling force of these rocks and analysed clay minerals in these rocks by X-ray diffraction method. The relation between the clay mineral and the swelling, and the amount of water absorption, the rate of swelling and swelling force are discussed.

* 北海道開発局土木試験所地質研究室

1965年11月5日受理

はじめに

現在北海道開発局が実施している国道工事に於いて、20本前後のトンネルが施工されている。北海道は軟弱岩（例えば、変質凝灰質岩、プロピライト、新第3系の固結度のひくい泥質岩、および蛇紋岩等）の分布が広いためか、これら20本前後のトンネルのうち数本は程度の差はあるが膨張性地圧の現象を伴っている。

膨張性地圧には、①岩石の吸水によるもの、②鉱物の化学変化によるもの、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によるもの、④潜在応力の解放によるもの等があるとされている。地山に於いては、これらは単独よりもむしろ2種以上が複雑にからみ合つて地圧を形成するのが一般であるが、ここでは①の岩石の吸水膨張のみについてとり扱っている。この問題については旧丹那トンネルおよび大野トンネル等で既に実験されており、筆者らの実験も、その考え方においても、また試験方法においても、前二者を踏襲するもので基礎的実験にすぎなく、また、実験継続中であるが一応の成果を得たのでここに中間的に報告するものである。

1. 試験方法および試料

1) 試験方法

試験方法は、①岩石の吸水による膨張量を計測する方法（吸水膨張量測定）、②岩石の吸水による膨張圧の強度と同時に膨張量を測定する方法（膨張圧測定）を用いた。試料は自然状態をくずさないようにナイフその他によつて容器に丁度入るように整形して試験を実施した。試験前後には含水比を計つた。膨張量および膨張圧の測定は原則として毎日1時間おき、または、数時間おきに数回行なうこととした。膨張量の表現は、膨張比、すなわち、原体積（実際は原試料高さ： L と膨張体積（実際は膨張高さ）： l との比、 $\frac{l}{L} \times 100\%$ を用いている。

(1) 膨張量測定

試験容器は、内径5.0cm高さ2.0cmの真鍮製の皿の底に $\frac{1}{2}$ mmの小孔を30ヶあけたもので、この中に試料を自然状態のまま充填する。この皿を1.5cm深さに水（水道水）を入れた他の容器に入れて吸水させ、ダイヤルゲージで膨張量を計つた。（写真-1）

写真-1 吸水膨張量測定

(2) 膨張圧測定

手動式単純圧縮試験装置を用いて、吸水膨張による圧力および歪を計測した。(図-1)
又一定の荷重をかけて膨張量を計る方法も用いた。

図-1 吸水膨張，圧力測定装置見取図

2) 試料

(1) 試料採取ヶ所および岩質

試料は、現在施工中の膨張性地圧を伴う一般国道37号礼文華トンネルおよび一般国道231号小平トンネルの坑内から採取した。

礼文華トンネルは内浦湾の北岸礼文華峠を貫く延長1,120mのトンネルである。地質は第三紀鮮新世の朱太川集塊岩層から成っている。本層は安山岩質集塊岩を主体とし、なかに安山岩および角礫凝灰岩を夾在している。この角礫凝灰岩はトンネルの中央部に200～300mの延長で分布しており、部分的に鉍化変質されて粘土化、あるいは、軟弱化している。試料はトンネル内から実施したボーリングコアから採取した。

小平トンネルは、日本海沿岸の留萌市北方小平村にあるもので、延長300m弱のものである。地質は新第三紀中新世の泥岩およびノルト岩から成っている。試料は導坑内から採取した。

実験は、吸水膨張量測定を礼文華トンネルの試料5ヶ、小平トンネルのもの6ヶ、膨張圧測定各3ヶと2ヶで合計16ヶである。なお、礼文華トンネルの試料について粘土鉍物の同定を行なった。

図-2 X線回折図 測定条件 $\text{CuK}\alpha$ 15MA 30kV

(2) 粘土鉱物の同定

粘土鉱物の同定は礼文華トンネルの4試料について行ない、他は試験継続中である。方法
はX線分析を用いた。試料は「水ひ」によつて採取した。エチレングリコール処理は上記の粉末に
エチレングリコールを加えてペーストを造り、30分〜1時間後にX線解析を行なつた。試料は礼文華
トンネルのNo.2-2, 3-1, 3-2, 4-3の4ヶである。4試料とも $15.5\text{\AA}$ および $7.2\text{\AA}$ 付近に
明瞭な反射がみられ、ことに $15.5\text{\AA}$ のピークは大きい。試料2-2, 3-1についてはエチレングリ
コール処理を行なつてX線を照射したが、両試料とも $15.5\text{\AA}$ の反射が $18\text{\AA}$ に移動しており、モンモリ
ロナイトの存在を明らかに示している。(図-2) 又 $7.2\text{\AA}$ の反射はカオリン鉱物と同定した。

図-3 吸水膨張量測定結果図例

図-4 吸水膨張圧力変化回線図例

表 - 1 吸水膨張量測定結果

地区名	試料No	試料採取ヶ所	吸水時間	膨張比(%)	試験前含水比(%)	試験後含水比(%)	試験前後の含水比の差
礼文第1 トンネル	1	BNo1~9	3.8~3.9m	150	18.36	絶 乾	37.34
	2	BNo4~6-1	5.8~5.9m	120	11.00	24.69	38.23
	3	BNo4~6-2	5.8~5.9m	120	7.75	26.38	37.82
	4	BNo8~7-1	4.6~4.7m	118	8.00	21.69	36.16
	5	BNo8~7-1	4.6~4.7m	118	14.00	18.11	31.49
小 平 トンネル	1	1~2	9.58	2.20	10.34	11.49	1.15
	2	1~3	9.10	6.16	11.80	19.55	8.06
	3	1~4	8.63	7.96	絶 乾	16.10	16.10
	4	1~5	8.47	21.44	"	24.53	24.53
	5	8~1	1.352	25.05	8.61	37.73	29.12
	6	8~2	1.133	58.64	10.23	58.77	48.54

表 - 2 吸水膨張圧力強度測定結果

地区名	試料No	試料採取ヶ所	吸水時間	当り荷重 (kg/cm ²)	膨張比 (%)	試験前含水 比 (%)	試験後含水 比 (%)	試験前後の 含水比の差(%)	試験高 (cm)	備 考
礼文第1 トンネル	A1	BNo1~9	3.77~4.87m	1.95	1.09	14.57	19.25	4.68	9.0	110℃で24時間乾 燥一定荷重による
	A2	"	"	1.394	2.80	絶 乾	12.49	12.49	8.6	
	A3	BNo7~5	4.70~4.80m	6.94	4.58	13.97	30.34	26.34	9.0	
小 平 トンネル	B1	8~4	5.98	0.968	1.54	3.90	試験中		6.4	一定荷重による
	B2	1~1	5.02	0.521	0.36	14.64	17.28	2.64	9.0	

2. 試験結果

試験結果は表 1 および 表 2 のとおりである。またその一例を図-3, 図-4 に示す。吸水膨張量試験についてみると礼文華トンネルの方は測定後含水比(全吸水量)が3.15%~3.78%で、概ね一定の吸水量を示している。膨張比の最大のもは1.836%(絶乾試料)であつた。また、試験前後の含水比の差、すなわち吸水量と、それが原因である膨張との間には必ずしも相関的な関係は認められなく、むしろ、全く無関係といつてよいような結果を示している。小平トンネルの泥岩では全吸水量は1.15%~5.88%と非常に変化に富んでおり、それにしたがつて膨張量もまた極めて変化に富んでいる。これは泥質岩の粒度組成の違い、および含有粘土鉱物の違いによるものと考えられる。また試験前後の含水比の差と膨張比との間には何らかの関係があるように考えられる。吸水時間と膨張について礼文華と小平の試料を比較すると、礼文華トンネルの粘土化凝灰質岩の場合は、小平の泥質岩に比して短時間に吸水膨張する傾向を示しており、また、その吸水の中止、すなわち、膨張を中止する時間もほぼ一定である。これに反し小平の泥質岩では吸水時間が著しく長く、すなわち、より徐々に吸水膨張するように見られる。

次に吸水膨張圧測定について考えてみよう。

礼文トンネルの吸水膨張圧測定は3試料について実施した。すなわち、試験①は自然状態のものを吸水させたもの、試験②は乾燥試料について行ない、試験③は一定荷重をかけて実験したものである。試験①の試料の試験前含水比は1.457%であり、地山において既に相当膨張しているものと考えられる。この試験結果をみると、8日間の吸水で約 0.5 Kg/cm^2 の膨張圧が生じ、そのときの膨張比は約1.1%で、そのときの含水比の増分は4.7%である。すなわち、膨張比約1%につき 0.465 Kg/cm^2 の圧力が作用したことになる。試験②は、試験①と同一試料を110℃で24時間乾燥せしめたものについて吸水膨張圧測定を実施したものである。これによれば、最大圧力 1.35 Kg/cm^2 に達したのが57日間吸水後であつて、そのときの膨張比は2.8%であり、単位体積重量は 2.2 g/cm^3 であつた。その後、圧力はやや減少の傾向を示したので試験は中止し、無荷重で吸水させた。この場合の膨張比と圧力とを比較すると膨張比1%に対して膨張圧は 0.474 Kg/cm^2 となり、試験①の結果と類似した傾向を示している。ただしこのときの吸水状態を観察すると下部で吸水量が多く、上部ではかなり吸水量が少ない。すなわち含水比は上部では6.76%、下部では19.62%で全体としてみると12.49%である。この現象は、ある程度の強い圧力を受けると、ある部分では吸水し得なくなるのではないかということが想像されるか、また他面、地山のような少なくともこの実験よりも吸水し易い状態におかれている場合には、試験試料の下部と同程度に全体が吸水膨張し、したがつてその圧力も強くなるだろうと考えられ、地山においては試験②で得られた膨張圧(約 1.4 t/m^2)の数倍の地圧が推定される。試験③では、上載荷重 0.259 Kg/cm^2 に対しては難なく持ち上げてしまつたので700時間吸水後荷重を除去したが、再び同じような傾向で膨張をくりかえし、最大膨張比は7.60%となつた。試験前含水比は約1.4%、試験後は約3.0%であり、

そのときの単位体積重量は 1.97 g/cm^3 であった。この試料について膨張後単純圧縮試験をしたが、それによれば一軸圧縮強さ 0.45 Kg/cm^2 ，変形係数 $E' = 53.3 \text{ Kg/cm}^2$ であった。これらの量から，完全に吸水した場合に膨張による圧力強度を下式から計算すると， 6.75 Kg/cm^2 が得られる。

$$P = B \epsilon \dots\dots\dots(1)$$

P = 圧力強度

B = 積弾係数

$$\epsilon = \text{変形率} \frac{V - V_0}{V_0} \quad V_0 \text{ 厚容積, } V \text{ 膨張容積 } 7.6 \%$$

また小平トンネルの泥岩の試料 8-4 の結果によれば，最終膨張圧は 0.97 Kg/cm^2 である。この試料は吸水膨張量測定 8-1 および 8-2 と同一岩塊から採取したものである。これらの吸水膨張量は 2.5 % および 5.8 % でともに非常に大きい。このことと上記礼文華の試験結果を勘案するとき，次のようなことが考えられる。すなわち，無拘束の状態では非常に膨張し得る能力をもつ岩質のものでも拘束状態では膨張し得ない。すなわち膨張圧が比較的小さいものもあり，吸水膨張量のみからその膨張圧を推定し得ないということがいえる。

あ と が き

以上吸水膨張量および膨張圧についての基礎的実験の 2, 3 についてふれたが，つぎのようなことが考えられる。すなわち，吸水膨張はその岩種，鉱物組成および化学的性質によつて種々の形式があり，一概に断ずることはできなく，現段階では現場の地質および岩質条件を考慮して実験することによつて地圧推定の一つの手がかりを得ることができる。また吸水膨張量からただちに膨張圧を推定することも大きな誤りをおこす原因にもなるようである。

この度の報告は中間的なもので現在なおこの種類の実験を継続中であり，更に粘土鉱物学的検討，その他，物理化学的検討を加えていくとともに吸水膨張試験法についても検討していくことにしている。

参 考 文 献

- (1) Boozer, G. D., Hiller, K. H. and Serdengecti, S., 1962, Effect of pore fluid on the deformation behaviour of rock subject to triaxial compression, Proceeding of the Fifth Symposium on Rock Mechanics
- (2) Gassmann, F., 1951, Elastic wave through a packing spheres, Geophysics, Vol. 16, No. 4
- (3) Koefoe, O., Oosterveld, M. M. and Alons, I. J. G., 1963, A laboratory investigation into the elastic properties of limestones, Geophy. Prosp., Vol. 11, No. 3
- (4) Mann, R. L. and Fatt, I., 1960, Effect of pore fluid on the elastic properties of sandstone, Geophysics, Vol. 25, No. 2
- (5) Usher, M. J., 1962, Elastic behaviour of rocks at low frequencies, Geophy. Prosp., Vol. 10, No. 2
- (6) Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R. and Gardner, L. W., 1956, Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, Geophysics, Vol. 21, No. 1
- (7) Wyllie, M. R. J., Gregory, A. R. and Gardner, G. H. F., 1958, An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media, Geophysics, Vol. 23, No. 3