

(68) トンネル掘削による軟岩地山の不連続な変形挙動

神戸大学工学部 土木局 防災部 桜井 春輔
神戸市土木局 防災部 菅野 利之
神戸市土木局 防災部 重野 彰
神戸市土木局 防災部 末野 清
応用地質株式会社 〇 杉田 幸彦
応用地質株式会社

1. まえがき

トンネル掘削に伴う周辺地山の挙動は有限要素法で解析する場合、一般的には連続体で解析されることが多い。しかし、実際の地山の変形挙動は、割れ目や地層境界に沿った不連続な挙動がしばしば発生する。そのような不連続な変形挙動を把握することは、トンネル周辺地山の安定性を判断する上で重要である。しかし、一般的に行なわれている坑内からの計測では、不連続な地山挙動を把握することは難しく、トンネル周辺地山の不連続な変位を明瞭に把握した例は少ない。

筆者らは、新第三紀堆積岩および花崗岩破砕帯の軟岩中に掘削されたトンネルにおいて、坑外からの計測（孔内傾斜計、スライディングマイクロメーター、孔内水平傾斜計）によって、明瞭な地山の不連続挙動を把握することが出来た。本文では、それらの計測結果を紹介するとともに、トンネル周辺に発生した不連続挙動の特徴について考察する。

2. 地質状況および地山の物性値

本トンネルの地質は図-1に示すようにトンネルのはぼ中央を境として南側に花崗岩類、北側に神戸層群が分布し、両者は横尾山断層で接している。本文で紹介する計測例の対象区間は、堆積岩の分布する北側坑口より200mの区間（最大土盛り高さ48m）および横尾山断層付近の花崗岩破砕帯（土盛り高さ48m）および横尾山断層付近の花崗岩破砕帯（土盛り高さ約80m）である。

○ 北側坑口付近（図-2）

トンネル断面に分布する地質は、坑口付近では上半断面が泥岩、下半断面が礫岩であるが、地層がわずかに傾斜していることにより切羽近行にしたがって礫岩が除々に上ってゆき、本計測断面ではトンネル断面全面に泥岩が分布し、その上位および下位には比較的硬質な礫岩および砂岩が分布している。

○ 断層破砕帯（図-7）

断層破砕帯は南側の花崗岩側から掘削された。トンネル断面付近では断層が南に傾斜しているため、切羽に対して流れ盤となっている。

トンネル施工面付近に分布する岩の物性値は表-1に示すとおりである。表-1からわかるように、強度に大きな差のある地層が積み重なっていることが、本文で紹介する計測地点における地質状況の特徴といえる。

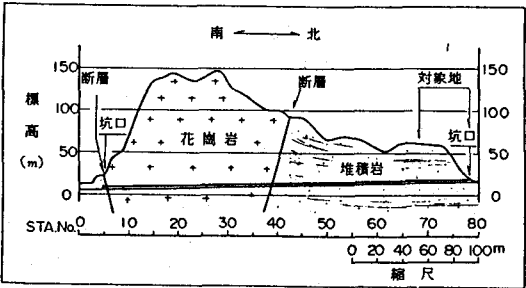
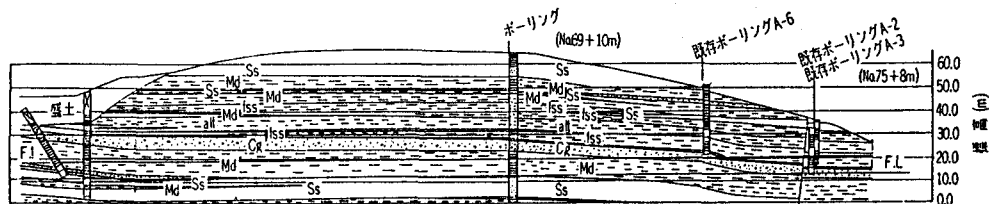


図-1 地質概要図

表-1 地山物性値一覧表

岩石名	単位体積重量 γ_t (g/cm ³)	一軸圧縮強度 q_u (kgf/cm ²)	地山弾性係数 E^* (kgf/cm ²)
礫 岩	2.27~2.44 平均 2.34	186~470 平均 340	3340~15000 平均 7450
泥 岩	1.96~2.09 平均 2.04	2.25~35.0 平均 2.94	1700~4700 平均 2880
砂 岩	2.05~2.30 平均 2.19	117~433 平均 224	1600~8400 平均 5020
花 崗 岩	-	-	750~940 平均 870
花 崗 岩 強風化帯	-	-	1840
断層粘土	2.00	1.00	520

(地山弾性係数 E^* は、孔内載荷試験結果)



地質区分記号 記号

礫岩	[Cg]	≠20mm以下の円礫を多く含む。基質は粗砂。ラミナがみられ、部分的に砂質となる。固結が良い。硬質。
砂岩	[Ss]	粗砂～中砂を主体とする。固結は比較的良く部分的に硬質。
砂質泥岩	[all]	細砂岩および泥岩の互層。ラミナが発達する。軟質。
細砂岩	[all]	細砂岩あるいは砂質泥岩。ラミナがみられる。軟質。
砂質泥岩互層	[ss]	

泥岩	[Md]	層状あるいはラミナのみられる泥岩。部分的に細砂岩をばさむ。軟質。
亜炭層	[Pl]	植物片を多く含む茶褐色の亜炭層。層厚は50cm～100cm。軟質。
凝灰岩	[II]	灰色～茶灰色の凝灰岩。固結はあまり良くない。

図-2 地質縦断面図

3. 神戸層群における水平変位の不連続挙動

3.1 計測器配置および測定方法

神戸層群地域においては、トンネルの安全管理の他に、トンネル掘削に伴う地表の住宅地への影響を監視するため、地山の変形挙動を3次元的に把握することが重要であった。そのため、孔内水平傾斜計によって水平2方向の変位を、スライディングマイクロメーターによって鉛直方向の相対変位を計測することとし、計測器の配置を図-3のように設定した。

3.2 計測結果

孔内傾斜計による地山の水平変位の計測結果を図-4に、スライディングマイクロメーターによる地山の垂直変位の計測結果を図-5に示す。

孔内傾斜による地山の水平変位の特徴をまとめると次の様になる。

- 1) 地山の変位は、トンネルの位置する泥岩に集中しており、上位の礫岩および下位の砂岩には、ほとんど変位が認められない。
- 2) 砂岩および礫岩と泥岩の地層境界に当る位置に、大きな変位差が認められ、ひずみが顕著に発生しており、地層境界に明瞭な不連続変位が生じている。
- 3) 変位の形状は、左右若干の非対象が認められるが、地層境界での不連続変位はほぼ同様である。
- 4) 図-6の立体図に示すように、水平2方向の変位とも地層境界での不連続変位が認められ、トンネル縦断方向の変位は、トンネル進行方向に対して逆の方向に変位が累積している。

一方、スライディングマイクロメーターによる鉛直方向の変位は、次の様な特徴を有している。

- 1) トンネル周辺地山の鉛直方向変位は、トンネルの下位からトンネル天端にかけて、圧縮の変位が認められ、トンネル天端より上方には、若干の引張りの変位が生じている。しかし、地表に至ってもトンネル周辺に発生した圧縮方向の変位が大部分残っており、地表の沈下変位が生じている。

- 2) 水平方向変位にみられるような、地層境界部での不連続変位は認められず、鉛直方向の変位は、きわめて連続的な変位を生じていると考えられる。

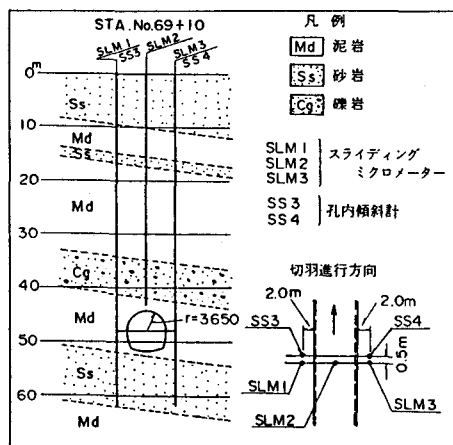


図-3 坑外計測器配置図

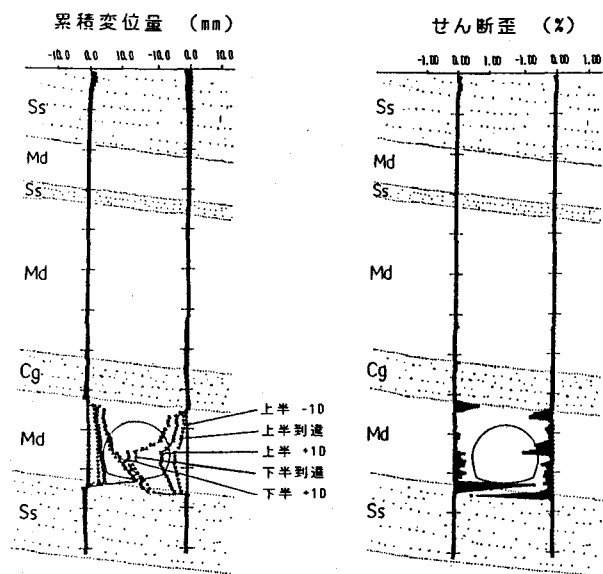


図-4 孔内傾斜計計測結果

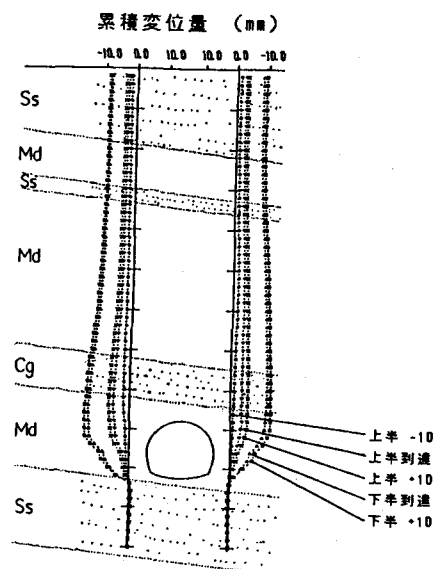


図-5 スライディングマイクロメータ計測結果

この様に、水平方向変位の大きな不連続変位は、地層境界がほぼ水平に近いトンネル掘削面と地層境界の位置関係が、非常に不連続の発生しやすい位置関係にあったものと判断される。同時に、鉛直方向変位には、まったく不連続変位が認められないことは、初期応力における側圧比が不明なため明確ではないが、水平方向の不連続変位が地層境界部における異方性変位と考えることができる。

4. 花崗破碎帯における不連続挙動

花崗破碎帯部分については、トンネル切羽の自立性が問題であったため、図-7に示した様に、水平傾斜計によってトンネル天端近傍の地山の鉛直方向の変位を切羽前方から後方まで連続して計測したものである。

4.1 計測器の配置と地質状況

水平傾斜計の配置は、図-7に示したように、坑内から、斜め 6° とほぼ水平に近い形で設置し、孔底の 60^{m} 深度の測点を不動点として計測した。

トンネル周辺の地山は、主に花崗岩が破碎され、マサ化した軟岩で構成されるが、一部に、未風化の硬質の花崗岩が、斜 36° の流れ盤の形状で分布している。

孔内水平傾斜計の孔底付近は、巾 2.0^{m} 程度の断層粘土を境界として神戸層群の砂岩・泥岩の互層があり著しい褶曲を受けている状況である。

破碎され、強風化した花崗岩と未風化の花崗岩は、原位置における孔内载荷試験の結果で、強風化花崗岩

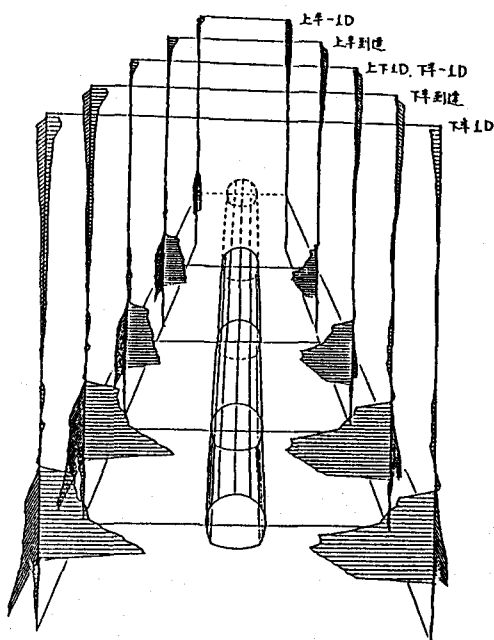


図-6 立体図

が、平均870kgf/cm²、未風化の花崗岩は、1870kgf/cm²であった。したがって物性値のちがいは、2～3倍程度未風化花崗岩の方が大きいと判断される。

4.1 計測結果

水平傾斜計の計測は、切羽前方の鉛直変形挙動が連続的に把握出来る点で有利である。

図-7に示した実測変位は、各々の切羽位置(↓印)で計測された鉛直方向の変位である。

図-7によると、水平傾斜計深度10m(坑口からの距離650m)付近に、他の地点と比較して大きな変位が認められ、著しい変位曲線勾配が認められる。

この地点は、まさしく強風化花崗岩とやや硬質な花崗岩の境界に位置しており、不連続変位と考えてよいものと考えられる。

一方、花崗岩と断層粘土の間にある強風化花崗岩部分は、前述の強風化岩と同様な状況にあるにもかかわらず、大きな変位曲線勾配は認められない。

以上の変位挙動の特徴から、次の様な点が注目される。

- 1) 地盤物性が大きく相違する場合、その境界付近に、大きな不連続挙動が生じやすい。
- 2) 同時に、すべての物性値の相違する地層境界に不連続な挙動が発生するものではなく、軟岩な部分から硬質な部分へ移行する場合とその逆の場合には、その変位形態に大きな違いが生じている。

5. あとがき

以上、本文においては、計測された地山の変位挙動にもとづき、主に、地層境界における不連続な変形挙動の特徴について述べてきた。不連続挙動が発生する主な要因は、地山の物性値に大きな相違がある場合に発生しやすい。しかし、トンネル掘削に伴って不連続な変形挙動が発生するか否かは、1) トンネル掘削断面の大きさと不連面の間隔 2) 掘削の方向と不連続面となり得る地質構造との位置関係に大きく左右されるものであることが判明した。特に、神戸層群における不連続挙動では、鉛直方向と水平方向に大きな異方性が認められた点において、今後、このような不連続挙動を予測および解析する上で重要なポイントになるものと考えられる。

また、この様な不連続挙動は、トンネルのみならず切土法面等の掘削においてもより顕著に表われるものと考えられ、今後ともトンネルに限らず法面掘削での実測例や種々の地質状況や地質構造の実測例を計測し不連続挙動を解明して行きたい。

参 考 文 献

菅野利之，船坂勝利，重野 彰，末永清冬：NATMで市街地下に放水路トンネルを施工，トンネルと地

下 1986年5月号 P47～58

桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文報告集 317号 PP93～100

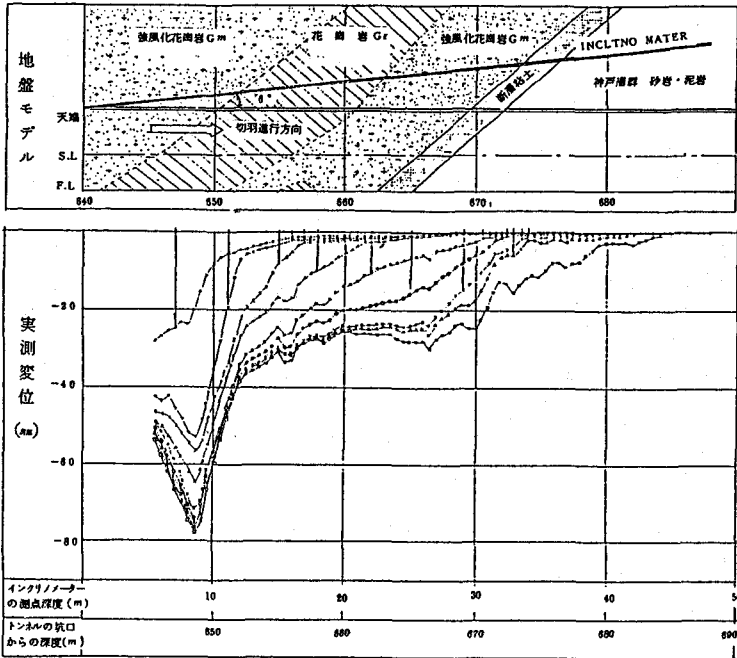


図-7 Bトンネルにおける水平傾斜計の計測結果

(68) Discontinuous Deformation Behaviors of Soft Rocks due to Tunnel Excavation

Kobe University	Shunsuke SAKURAI
Kobe City Hall	Toshiyuki SUGANO
Kobe City Hall	Akira SHIGENO
Kobe City Hall	Kiyofuyu SUENAGA
OYO Corporation	Yukihiko OKABE
OYO Corporation	Osamu SUGITA

Discontinlous deformation behaviours of the grounds around the tunnel often occure, but the actual measurement results of such grounds behaviours are rarely reported.

The authors carried out the measurements of ground behaviours around the tunnel which was excavated in miocene sedimentary rocks (Kobe Group) and fracture zone of granite, by inclinometer, slidingmicrometer, and horizontal inclinometer, and as a result of it, distinct discontinuous displacements were measured. The features of these discontinuous deformation behaviors are following.

- 1) The discontinuous deformation behavior may occure alone the boundary of rocks which have different deformation feature.
- 2) Tunnel size and the relative positions between the tunnel and geological structure which can act by discontinuous boundary are factores related with discontinuous displacement occurence.
- 3) There are anisotoropy of displacement propagation depend on the difference of the direction toward discontinuous displacement boundary.