

扁平トンネル施工時の挙動特性

CHARACTERISTICS OF BEHAVIOR DURING EXCAVATION OF FLAT CROSS SECTION TUNNEL

置山和彦^{*}・吉海賢輔^{**}・奥 利明^{*}

Kazuhiko OKIYAMA, Kensuke YOSHIKAI and Toshiaki OKU

Recently, flat cross section tunnels have often been adopted on NATM. This tunnel is also a flat cross section tunnel. And Standard combinations of tunnel supports are adopted. It seems, however, that behavior of flat cross section tunnel is different from that of circle cross section tunnel.

Therefore using the results of measurement A(routine observations and measurements) and measurement B(measurements to be supplemented according to the ground condition), the authors grasped the characteristics of behavior of flat cross section tunnel.

Keywords : NATM, flat cross section tunnel, measurement

1. まえがき

最近道路トンネルでは、3車線トンネル、歩道や付加車線の付いたトンネルが増加してきており、大断面化とともに扁平断面化してきている。従来の2車線トンネルでは、真円に近い断面で扁平率(=トンネル高さ/トンネル幅)が0.7~0.8であるが、扁平トンネルでは0.6前後まで小さくなっている。

扁平トンネルは、幅に比べて高さが低いだけでなく、天端アーチの曲率が小さく逆に側壁部の曲率が大きいという特徴があり、それにともない以下の問題点が指摘されている。

- ① 土被りが小さい(側圧係数が小さい)場合、側壁部に応力が集中し塑性領域が生じやすく、逆に天端部は応力集中度合いが低く、潜在的な亀裂等が開口し、ゆるみが発生しやすい。
- ② 土被りが大きい(側圧係数が大きい)場合、天端部の応力集中も大きくなり、塑性領域幅は側壁部より広くなる。
- ③ 吹き付けコンクリートの内圧効果が、天端部であまり期待できない。また、側壁部の鋼製支保工に大きな曲げモーメントが発生するなど支保構造物の耐荷力が小さくなる。

そこで、今回、奄美大島で施工中の扁平断面トンネルにおいて、計測および解析を行い、その挙動特性を把握するとともに、各支保部材の働きを調べた。その結果、①および②については、ある程度の確認ができた。

2. 毛陣トンネルの概要

毛陣トンネルは、奄美大島の標高200m前後の峰が連なる山地をほぼ東西に貫く延長1,212mの対面2車線トンネルである。本トンネルは、断面積70~80m²、扁平率0.56という扁平な断面を有している。

^{*} 不動産建設(株) 技術開発本部土木技術開発部

^{**} 不動産建設(株) 九州支店 土木部 工事部

トンネル通過部の地質は、「中生代」に生成された「四万十層群」と呼ばれる複雑な互層の「堆積岩（主に粘板岩と砂岩）」で構成されている。このうち主体となるのは泥質岩層(Mr)と砂岩レンズ・シートを含む泥質岩層(Smr)で、ともに新鮮部の q_0 は100～300kgf/cm²となっているが、層理面の影響により異方性がある。また、層理面に剥離しやすく、特にMr層は構造運動を受けて層理が鏡肌を呈する箇所が多い。

地層は、起点側から終点側に向かって50～60°程度傾斜しており、本2工区側からの掘削に対して、流れ目となっている。断層・破碎帯は、本工区においては4条確認または推定されており、一部では、多量の湧水があった。土被りは坑口部より徐々に大きくなり、トンネル中央部では最大150～160m程度となっている。

3. 計測概要

本トンネルでの計測は、扁平トンネルの挙動特性を把握するために、日常の施工管理のための計測Aの他に、より詳細な計測Bを追加した。

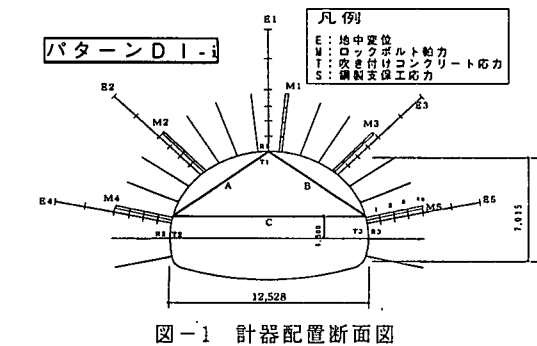


表-1計測項目一覧表

計測項目		測定断面
計測 A	① 坑内観察調査	
	② 内空変位測定	10～30m間隔
	③ 天端沈下測定	
	④ 地表面変位(沈下)測定	坑口付近
計測 B	① 地中変位測定	DIII a 1断面
	② ロックボルト軸力測定	D I 1断面
	③ 吹付けコンクリート応力測定	C II 1断面
	④ 鋼製支保工応力測定	D I - i 1断面
	⑤ 地山試料試験	

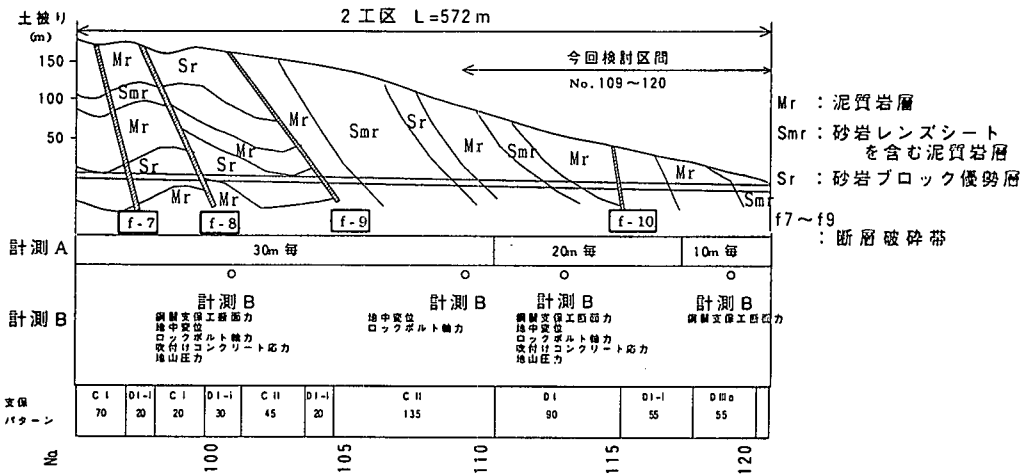


図-2 縦断方向計測位置図

4. 計測および解析結果

4.1 計測 A (No.109～No.121断面)

現時点での施工区間No.109～No.121における内空変位および天端沈下の計測値の縦断分布を、図-3に示す。また、図-4にNo.117+0.0断面における、計測Aによる天端沈下および内空変位の経時変化図を示す。

図-3より、土被りの浅い区間では天端沈下が卓越しており、また、一部内空変位が拡大している断面が

あることがわかる。このことは、土被りの浅い地山条件下における扁平断面トンネルの特徴を示している。また、図-4の経時変化図より、上半掘削段階では天端沈下が急激に沈下し、逆に内空変位が拡大しているが、下半掘削後には、天端沈下が収束し、内空変位は収縮傾向となっていることがわかる。このような傾向があらわれたのは、上半掘削時には扁平度が特に大きい（扁平率が小さい）ためと考えられる。

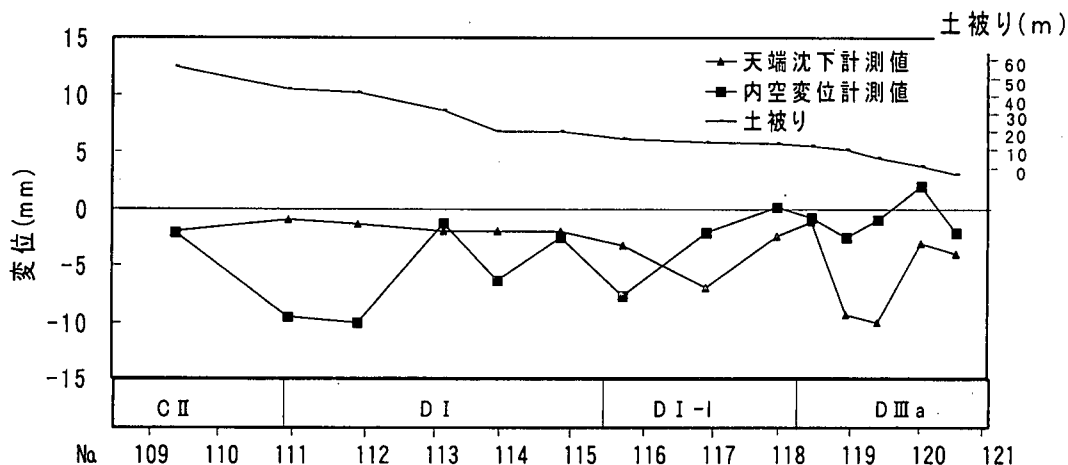


図-3 天端沈下・内空変位縦断方向分布図

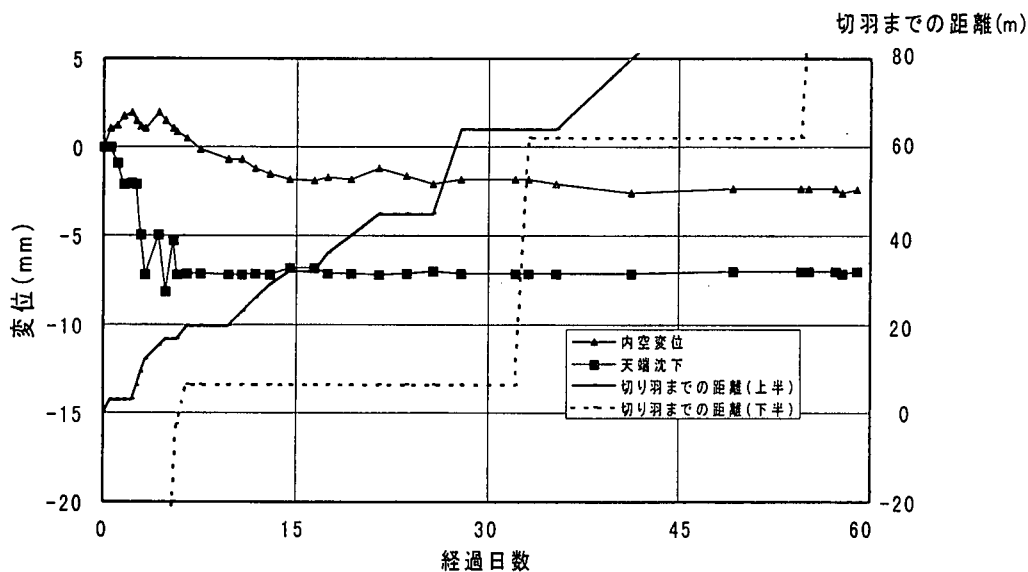


図-4 天端沈下・内空変位経時変化図 (No.117+0.0)

4.2 計測Bおよび解析結果 (No.113+4.0断面)

次に、計測Bを実施したNo.113+4.0地点での計測結果とFEM解析結果をもとに扁平断面トンネルの挙動特性の把握を行った。図-7に、本断面での地中変位、ロックボルト軸力、鋼製支保工の断面力、地山圧力、吹付けコンクリート応力の計測値とFEM解析値を示す。なお、FEM解析は弾性解析で行い、入力定数は、地質調査データや過去の実績等を参考に表-2の値を用いた。図-5にFEM解析のモデル図を示す。また、図-6には、施工ステップごとの天端沈下・内空変位の計測値と解析値を示す。なお、No.113+4断面は、支保パターンがD Iであり、切羽の観察結果より、所々に大きな亀裂がみられたものの、全体的に硬く安定し

ていた。

表-2 地山の入力定数一覧

弾性係数	5,000kgf/cm ²
単位体積重量	2.3tf/m ³
ポアソン比	0.35
側圧係数	0.6

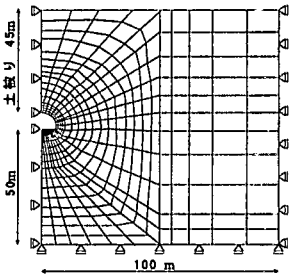


図-5 解析モデル図

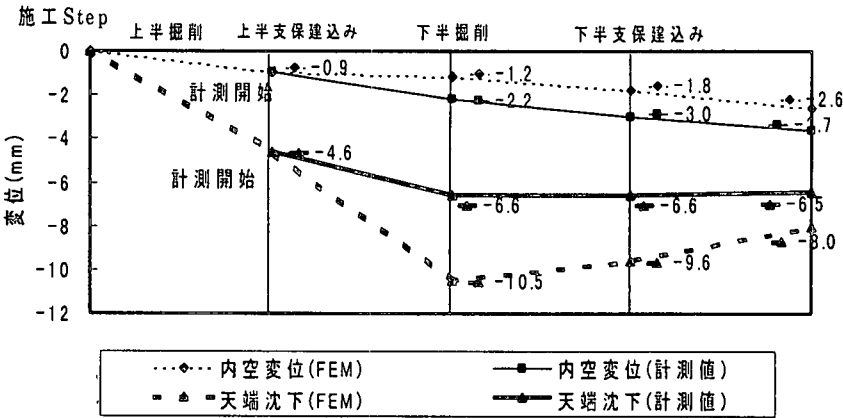
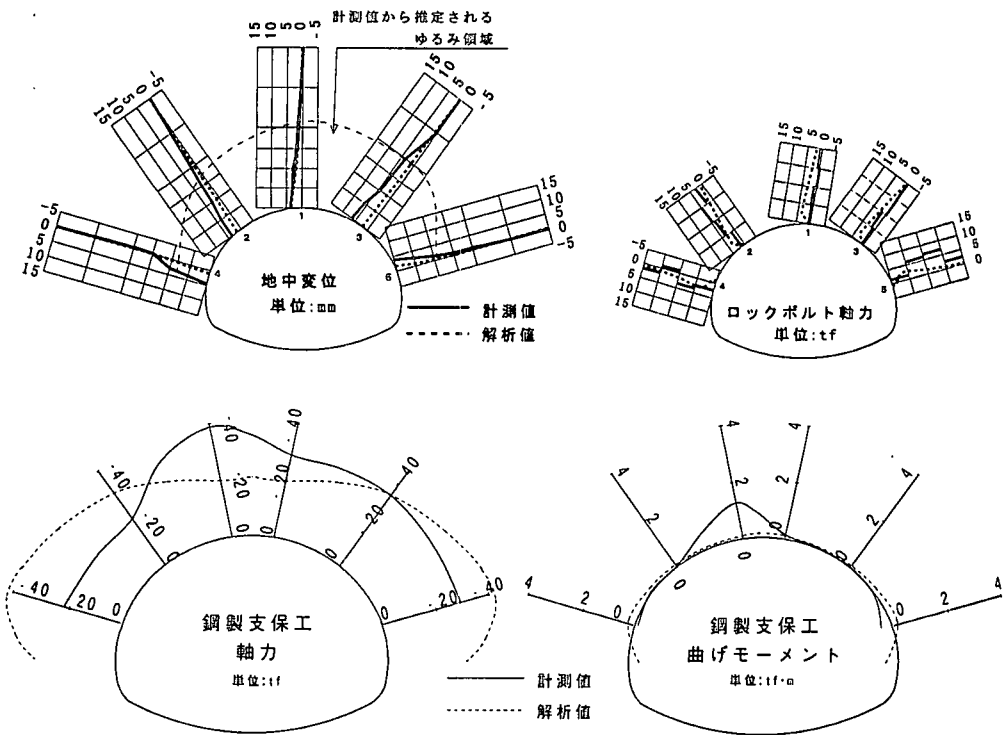
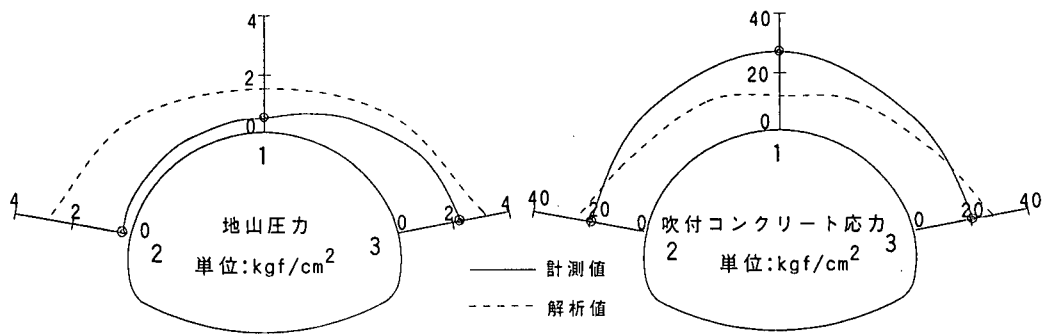


図-6 FEM解析値と計測値の変位比較図





図－7 計測 B の結果図 (No. 113+4.0断面)

図－7 より

(a) 地中変位について

計測値の地中変位分布は、肩から天端にかけての変位分布勾配がなだらかでより深部まで影響が及んでいる。一方、両側壁部は、壁面近くの変位勾配が急で、影響の及ぶ範囲は浅い。

このことは、壁面半径の大きい天端周辺は応力集中度合いは小さいもののその範囲は広く、逆に半径の小さい側壁部は応力集中度合いは大きいものの、影響の及ぶ範囲は狭いという、扁平断面特有の挙動特性を示している。

変位勾配等から推定できるゆるみ領域は明確でないが、肩から天端にかけては2～4 m、側壁が2～3 mと推定でき、変位量が小さいこと、極端な不連続挙動がみられないことなどから、不連続面の開きや押し出しにつながるような極端なゆるみの発生はない。

解析結果は、弾性解析であるために、トンネル壁面から地中にかけて、変位勾配はなだらかである。また、計測結果と同様に、変位は側壁よりも天端部では影響の及ぶ範囲は深い。

(b) ロックボルト軸力

ロックボルト軸力の計測値は、側壁と左肩部で最大約6 tf 発生している。最大軸力発生深度は1～3 mであり、地中変位勾配が大きい区間とほぼ合っている。

一方、天端から右肩部の軸力は、2 tf 以下と小さく、地中変位分布と照らし合わせると、ロックボルトが十分な効果を発揮できていないことが考えられる。

解析では、ロックボルトの軸力分布は、天端付近では、地山の奥深くまで軸力が発生しているが、側壁付近では地山の奥深くまでは、軸力の発生がない。

(c) 鋼製支保工

鋼製支保工の軸力の計測値をみると、天端左側を除いて20～30tf のほぼ均一な軸力が発生している。応力値は最大2,000kgf/cm² 程度であったが、許容応力を下回っており、有効に働いていることが分かる。

また、曲げモーメントの計測値は、両脚部が内空側に凸、天端が地山側に凸の分布になっているが、最大1.2tf・m以下と小さくほぼ軸力部材とみなすことができる。なお、天端左側の地山側に局部的に大きく出ているのは、右からの偏圧と天端左側の局所的な地山のゆるみによるためと考えられる。

一方、解析では、軸力については、側壁部が大きく、天端部が小さいという扁平断面特有の挙動特性を示している。また、曲げモーメントについては、側壁部で地山側に凸、天端部では、ほぼ一定のわずかな曲げモーメントが生じている。全体として曲げモーメントは0.2tf・m 以下と小さく、解析結果でもほぼ軸力部材とみなすことができる。

(d) 吹付けコンクリート応力、地山圧力

吹付けコンクリート応力の計測値は、天端が約30kgf/cm²、両側壁が約20kgf/cm² であり、また、地山圧力

の計測値は、天端、左側壁が約 0.5kgf/cm^2 、右側壁が約 2.3kgf/cm^2 と右からの側圧が大きい。

一方、吹付けコンクリートの解析値は、側壁部で計測値より大きい値となり、鋼製支保工の軸力分布と同様の傾向となった。この理由としては、解析時に設定した側圧係数 0.6 が、実際の地山のものより小さかったためと考えられる。このことは、図-6に示される変位量の解析値でも、天端沈下が大きく内空変位が小さくなったことから領ける。

以上、計測結果を全体的にみると、天端部では、掘削の影響が地山の奥深くに及び、ロックボルトの支保効果が十分に発揮されていないものもみうけられたが、鋼製支保工は軸力部材として機能し、許容応力以内に収まっていることから、鋼製支保工が有効的に働いたものと考えられる。また、

① 土被りが浅い場合に天端沈下が卓越する。

② 天端では掘削の影響範囲は拡大する。

等、当初想定したような扁平断面特有の挙動特性が認められた。

一方、今回の解析値を計測値と比較すると、鋼製支保工の軸力分布など傾向の異なるものがあるものの、値そのものは比較的よくあっている。

5. あとがき

本報告での対象区間は、土被りが比較的小さく地山条件のよい区間であったが、工区後半は、土被りも深く大きな断層破碎帯等もあるなど地山条件の悪化が予想されている。したがって、今後、土被りが増し側圧係数が大きくなった場合の天端の安定性、初期地圧の大きい断層部における側壁の安定性など問題は多いことから、引き続き計測、解析を行い、データを施工にフィードバックするとともに、扁平トンネル断面のより合理的な設計施工方法をめざし挙動特性を把握していきたい。