

VI-94

鋼管長尺先受工法の鋼管断面の簡易設計法に関する研究

(株)横河ブリッジ 正会員 松重宗徳
 山口大学 正会員 中川浩二
 五洋建設(株) 正会員 武内秀木
 同上 河上清和

1. はじめに AGF工法は、鋼管と注入材を用いた注入式長尺先受工法の一種であり、トンネル掘削時の補助工法として坑口部や坑内において、トンネル施工用ジャンボで簡便に鋼管による長尺先受工法が可能になるように開発された。AGF工法は、掘削前のトンネル外周部に鋼管挿入と地山注入を行い、早期に安定したグラウンドアーチを形成し、地山の緩みを防止するトンネル補助工法である(図-1)。すなわち、図-2に示すような鋼管と注入により形成されたアーチ状の改良ゾーンによりトンネルの縦断、横断の2方向で支持し、トンネルの安定を図るものである。AGF工法の施工効果は認識されているものの、その効果のメカニズムは解明されておらず、設計方法も十分に確立されていない。そこで本研究では、鋼管断面の簡易的な設計法について検討を行うことを目的とする。その発展としてAGF鋼管のたわみ測定値から鋼管に生じている応力を計算し、地山荷重を推定する方法も示す。

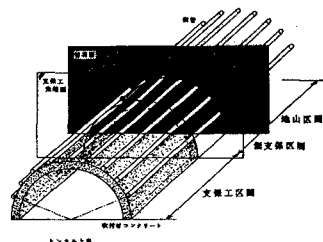


図-1 AGF工法

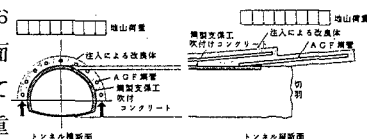


図-2 支保効果の概念

2. パイプルーフ工法における鋼管断面算定方法 現在、AGF鋼管の断面設計の多くは、パイプルーフ工法のパイプ断面算定に用いられている「一端固定梁モデル」を代用している。パイプルーフ工法は、鋼管を施工区間に一括挿入するため1鋼管長が長く、AGF工法のような鋼管の重なりがないことから、鋼管端部の影響がほとんど出ないものと考えられる。一端固定梁モデルは、近似的な方法として切羽最寄りの既設支保工を支点とし、他方は前方地中に生ずる仮想固定点に支持される一端固定梁として計算している。

3. 弾性支承上梁モデルによる鋼管断面算定方法 弾性支承上梁モデルはAGF工法の鋼管設計などに試用されており、本解析ではトンネル縦断方向からAGF鋼管を見て、図-3のようなモデルを考えた。解析ケースは、切羽を1~2mずつ進行させた8ケースとした。支保工区間は、別途トンネル上半の地盤バネ付きアーチによって天端の沈下量と荷重の関係から疑似的バネ値を算出し、それを支保工バネとして入力した。ここでは、地盤反力係数をパラメータとして各計算を行った。疑似的バネ値の計算結果を図-4に示す。地山区間は、地盤反力係数と各バネの分担幅の積で表され、それを地山バネとして入力した。解析結果の一例として、ケース4の曲げモーメント図(地盤反力係数 $k=10\text{kg/cm}^3$ 図-5)を示す。最大曲げモーメントは図-6のようになり、この値から鋼管に生じている応力を算定することができる。この図では鋼管の端部の影響により最大曲げモーメントの値がほとんど一致していることがわかった。

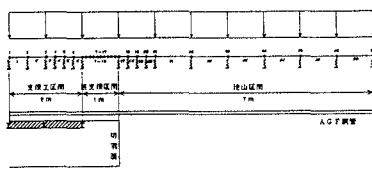


図-3 弾性支承上梁モデル(ケース4)

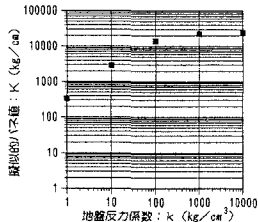


図-4 疑似的バネ値の計算結果

よって、鋼管のオーバーラップが適正(=鋼管端部の影響を無視できる)である限り、切羽の進行が最大曲げモーメントにはほとんど影響を与えていないことがわかる。そこで、切羽が鋼管中間部にあるケース4の曲げモーメントの正負の最大値を基準として、切羽が

鋼管端部に近づいた際、この値に変化があった点からオーバーラップが必要と判断する方法が考えられる。ここで、曲げモーメントは正負の最大曲げモーメントの5%以下の値になった点($|M_{\max}| \times 0.05 \geq |M|$)で収束したものと仮定すると、各地盤反力係数に対する必要オーバーラップ長は表-1のようになった。よって、オーバーラップ長が3m以上であれば、ほとんどのケースにおいて端部の影響が出ないものと思われる。

表-1 必要オーバーラップ長

k (kg/cm ³)	1	10	100	1000	10000
ラップ長(m)	2.88	2.55	1.16	0.43	0.03

4. 簡易設計法の検討 弾性支承上梁モデルによる計算では、トンネルや地山条件が変わるごとに計算をする必要があり、計算自体も煩雑であるという欠点がある。そこで、弾性支承上梁

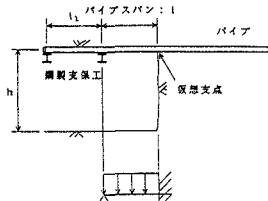


図-7 スパン換算モデル

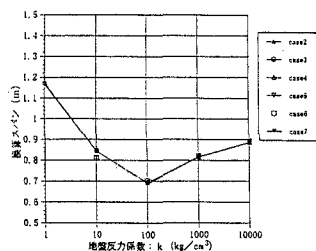


図-8 換算スパン

5. 地山荷重の逆算 弾性支承上梁モデルによって算出された最大曲げモーメントの値と鋼管のたわみ測定値から求められた応力を比較することにより、トンネルに作用している地山荷重を推定した。逆算例とし

て「志積トンネル」を示す。梁断面 x のたわみ角 $\theta = \theta(x)$ は、 $-\frac{M}{EI} = \frac{d\theta}{dx}$ であり、微分を差分で近似すれば、 $-\frac{M}{EI} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_{i-1}}{2x}$ と表せる。この式から、鋼管に作用している曲げモーメントを算出

する。推定最大地山荷重は土荷重高さ 1.50m に相当していることがわかった。

6. まとめ 結論として、3m以上オーバーラップさせていれば、AGF工法が採用される程度のトンネル断面で一端固定梁モデルを用いても問題はなく、簡易的な鋼管断面算定法として有効であるといえる。また、弾性支承上梁モデルを用いた地山荷重の逆算結果を蓄積することにより、将来的には荷重低減係数（実荷重が理論値に占める割合）を提案することが可能であると考えられる。



図-5 曲げモーメント図(ケース4)

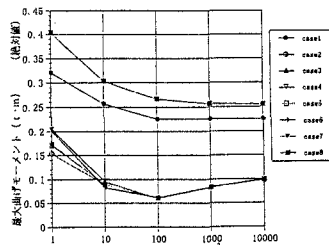


図-6 最大曲げモーメント

モデルによる応力の算定結果をもとに、弾性支承上梁モデルを一端固定梁モデルに置き換えることによって、簡易設計法の検討を行った。一端固定梁モデルへのスパン換算は、図-7のようなモデルを用いた。弾性支承上梁モデルによって求められた最大曲げモーメントからスパンを逆算

($M_{\max} = \frac{w l^2}{8}$ より $l = \sqrt{\frac{8 M_{\max}}{w}}$) すると図-8のような結果とな

った。ただし、ここでは鋼管端部の影響が出ていないケースについてのみ換算を行った。実際にAGF工法を施工する地山のほとんどが $k=5 \sim 5000$ (kg/cm²) であり、一端固定梁モデルによる計算の方が若干安全側の設計をとっていることになる。しかし、地盤反力係数の算出方法やN値などの誤差を含めると、換算スパンはほぼ1m以下程度であるとしてよいものと思われる。結論として、一端固定梁モデルは弾性支承上梁モデルとほぼ同様の計算結果を示しており、適正なオーバーラップ長が確保され鋼管端部の影響が無視できる範囲では簡易設計法として十分妥当であると考えられる。