

京都大学大学院 正会員 田村 武

京都大学大学院 学生員○岡部哲也

1. はじめに

トンネル建設において、過去の実績が重要視されてきた。しかし、今後は社会ニーズの多様化にともない、トンネルの建設条件は一段と厳しくなることが予想され、計算機を用いた解析的手法の活躍が期待されている。本研究では簡単なモデルと数値解析を通して、NATMの力学的原理や特性の把握を試みることにする。

2. 解析方法

本研究ではできる限り簡単にNATMの支保機構を表現するために、解析モデルとして図1のような「剛棒-バネモデル」を採用した。実際には20本の剛体棒部材と回転バネをアーチ状に連結することで吹付けコンクリートに見立てるとともに、各節点に地盤バネを取り付けて地山の地盤反力と作用土圧を表している。なお、回転バネのバネ定数は吹付け厚さに依存しており、また、地盤バネ定数、節点荷重はそれぞれ地盤反力係数、被り高さ、側方土圧係数を組み合わせて表せる。ここでは吹付けコンクリートの変形はトンネル径に比べ十分に小さいと仮定したうえで、節点の変位と剛体棒の軸力を未知数として節点におけるつり合い式と剛体棒の剛体条件式を立て連立方程式を解いた。

3. 解析結果と考察

図2の実線は被り高さ10m、地盤反力係数5.0 N/cm^3 、側方土圧係数0.5、トンネル径10m、トンネル形状半円形、吹付け厚さ10cmの場合にトンネル中心において水平方向となす角を θ としたときの吹付けコンクリート断面に発生している最大、最小応力 $\sigma_{max}, \sigma_{min}$ の分布である。ただし圧縮を正とするとき最大、最小応力 $\sigma_{max}, \sigma_{min}$ の値は軸力 N 、曲げモーメント M 、吹付け厚さ t を用いて

$$\begin{aligned}\sigma_{max} &= \frac{N}{A} + \frac{|M|}{W} \\ \sigma_{min} &= \frac{N}{A} - \frac{|M|}{W} \quad (A=t, W=t^2/6)\end{aligned} \quad (1)$$

と表せる。吹付け厚さが5cmと20cmの場合についても同様に破線と太線で表した。吹付け厚さが増えるにつれて吹付けコンクリートに発生する応力は全体的に小さく、しかも分布の幅が広がっているが、これは式(1)において吹付け厚さが厚いと軸応力($=N/A$)が小さく、曲げ応力($=|M|/W$)が大きくなることによるものである。

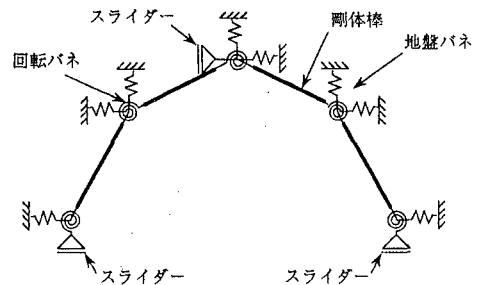


図1 剛棒-バネモデル図

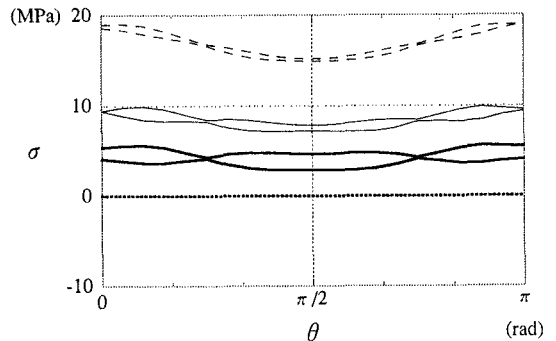


図2 吹付け厚さを変化させたときの応力図

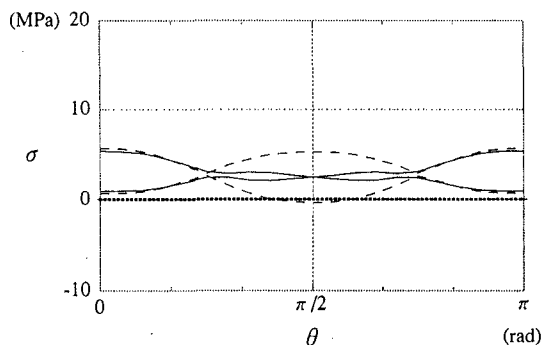


図3 曲げ破壊を考慮したときの応力図

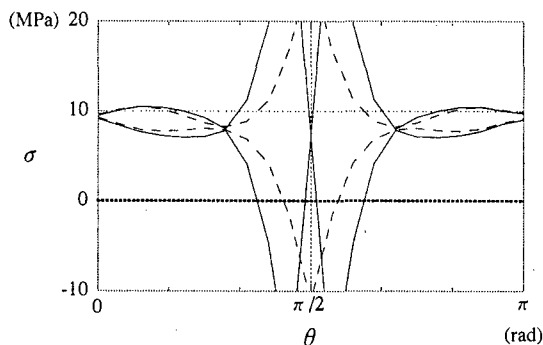


図4 覆工背面に空洞があるときの応力図

さて、コンクリートは一般的に圧縮に強いが引張強度はほとんどない。そこで吹付けコンクリートの一部に引張応力が発生した場合に曲げ破壊が起こると仮定してみる。被り高さ10m、地盤反力係数5.0 N/cm³、側方土圧係数0.5、トンネル径10m、トンネル形状半円形、吹付け厚さ30cmのとき、図3の破線のように天端付近で引張応力が発生している。ここで最大引張応力が発生している位置の回転バネのバネ定数をゼロにしてみると、実線のように吹付けコンクリートに引張応力が発生しなくなった。これは天端付近の曲げモーメントが解消したためであろう。

もし天端付近の吹付けコンクリートの背面に空洞のようなものがあったらどのような結果になるであろうか。被り高さ10m、地盤反力係数5.0 N/cm³、側方土圧係数0.5、トンネル径10m、トンネル形状半円形、吹付け厚さ10cmのとき、モデルの該当する地盤バネを除去し節点荷重を両側の節点に分け与えた。このとき、図4の破線のように天端で引張応力が発生している。そこで曲げ破壊が起こると想定し数値計算をおこなった。すると実線のように天端の両端で局所的に引張応力が生じる。さらにこの2カ所でも曲げ破壊が発生するとしたが、結局吹付けコンクリートの引張応力は解消されなかった。

4. まとめ

本研究では剛棒-バネモデルを用い吹付けコンクリートや地盤との相互作用について検討した。その結果明らかになったことを以下に示す。

- 1) 吹付けコンクリートの吹付け厚さが薄すぎても厚すぎても吹付けコンクリートに有害な応力が発生しやすくなる。
- 2) たとえ吹付けコンクリートに曲げ破壊が起きたとしても、トンネルの安定に悪影響を与えるとは限らない。
- 3) 吹付けコンクリートの背面の一部に空洞のようなものがあり地盤反力が得られない場合、応力が局所的に集中し、次々に吹付けコンクリートの破壊が進行してトンネルの安定が得られにくい。

これらの結論は大胆な仮定に基づいたモデルと解析方法によって得られたものであり、実際のトンネルにそのまま適用できるとは限らない。しかしながらNATMの支保機構の原理の一端をとらえていると考えられる。

〈参考文献〉

- 1) 梅田昌彦他：薄肉柔支保工の力学挙動に関する基礎的研究，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第3部(B)，pp.142-143，1996．
- 2) 谷本親伯：NATM-1，森北出版株式会社，1984．
- 3) 土質工学会：NATM工法の調査・設計から施工まで，1993．