

III-B71 薄肉柔支保工の力学挙動に関する基礎的研究

大阪市 正会員 梅田昌彦
 京都大学工学部 正会員 土岐憲三
 京都大学工学部 正会員 田村 武

1. はじめに

都市部でよくみられるような被りが浅い土砂トンネルを建設する際、以前では開削工法・シールド工法が主な工法であった。しかし、地質の変化への適用性がよく、経済性に優れたNATM工法が、補助工法などの開発により適用されるようになってきている。NATMの主たる支保部材は薄肉で柔な構造の吹付けコンクリートであるが、現在では現場計測の結果から様々な理論に基づいてその作用効果を論じているだけであり、設計方法に関しても合理的な設計を目指している段階であると考えられる。そこで、吹付けコンクリートの力学挙動に注目し、形態解析手法¹⁾により吹付けコンクリートの作用効果について検討し、さらには吹付けコンクリートの設計方法に対して一提案を行うことを試みる。

2. 解析手法

本研究では、吹付けコンクリートと周辺地山との複雑な相互作用をモデル化するにあたって、両者を分けて考えることにより簡略にモデル化を行った。吹付けコンクリートによるトンネル覆工アーチは剛体棒を回転バネで連結した半円剛体トラスを用いてモデル化した（図1）。ただし、図1では部材数は6であるが、実際の計算には18つの同じ大きさをもつ部材を用いている。一方、周辺地山は地盤反力と作用土圧でモデル化した。つまり、図1のような覆工アーチの各節点に地盤反力による地盤バネを取り付け、さらに被り土圧を作用させる。被り土圧を作用させると覆工アーチモデルは不安定な状態となり変形するが、各節点の変位に比例して地盤から反力が作用するので安定状態（力学的な釣り合い状態）に至る。このようにして、周辺地山を支持する吹付けコンクリートの支保機構を模擬している。

また、安定状態において覆工アーチに生じる軸力 N と曲げモーメント M により求められる最大（最小）縁応力 σ_y （ $=\pm M/W+N/A$ ）が2つの基準を満たす場合に吹付けコンクリートが設計可能であるとし、ある地山条件の下で吹付けコンクリートが設計可能であることを検証した。覆工アーチ内において最大（最小）縁応力が満たさなければならない2つの基準とは次に示す通りである。

- 1) 曲げと軸力による引張り応力は発生しない（ $\sigma_{\min} \geq 0$ ）。
- 2) コンクリートの圧縮強度 180 kgf/cm^2 以上の圧縮応力は発生しない（ $\sigma_{\max} \leq 180$ ）。

本研究で用いた形態解析法は不安定な剛体トラス構造物が安定状態に達するまでを扱う大変形解析手法である。図2は形態解析を用いた不安定剛体トラスの解析例である。この解析方法を回転バネを有する剛体トラスに適用した。

3. 解析結果

簡単な数値実験の結果、回転バネ定数と曲げ剛性（すなわち吹付け厚さ）が比例関係にあることが分かった。そこで、作用土圧（被り高さ H 、側方土圧係数 λ ）、地盤反力（地盤反力係数 k （ kg/cm^3 ））および吹付け厚さを変化させて解析を行った。その一例を図3に示す。

また設計可能領域を容易に把握できるよう、パラメトリックに表示した。図4および図5は横軸に地盤反力係数 k を、縦軸に側方土圧係数 λ をとり、最大（最小）縁応力をプロットして等応力線で結んだものである。基準（1）および基準（2）を太線で記した。最大・最小応力がともに上述した基準を満たす領域、つまり図6に示した領域（地山条件）では設計可能となる。図6の実線は基準（1）、破線は基準（2）との境界を表している。図7に描いた12個の設計可能領域図は、上段から被り高さ H/D が2.0、1.0、0.5のものを表し、左列から吹付け厚さが5 cm、10 cm、20 cm、30 cmとして配置した。また図7には、「緩い砂質土」の場合の地盤反力係数と側方土圧係数のとりうる範囲（トンネル示方書シールド編によ

る）を記している。

4. まとめ

本研究では、吹付けコンクリートと地山の相互作用について検討するとともに、吹付けコンクリートの設計に向けての1つの情報を提供し、その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 円形アーチには大きな曲げモーメントが発生せず、作用荷重もほぼ等方的となる。
- (2) 吹付けコンクリートは厚すぎると曲げ破壊が生じる危険性がある。
- (3) 被りが大きくなると、圧縮破壊により設計可能領域が支配される。

今後の課題として、より現実的なモデルに近づけること、室内実験などにより本研究の妥当性を検討すること、などが挙げられる。

参考文献 1) 半谷裕彦, 川口健一: 計算力学とCAE
シリーズ5, 形態解析, 培風館, 1991.

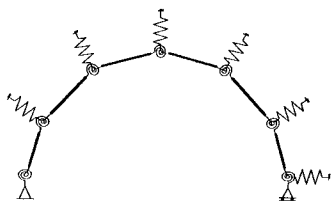


図1 解析モデル

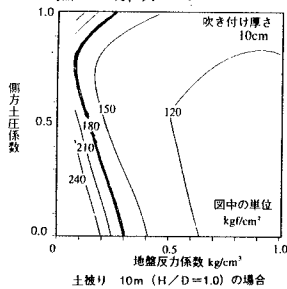


図4 最小縁応力の等応力線図

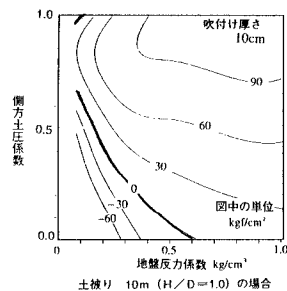


図5 最大縁応力の等応力線図

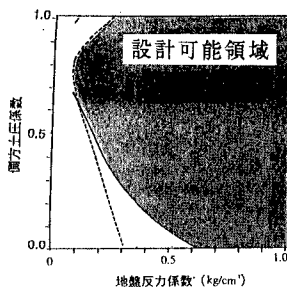


図6 設計可能領域

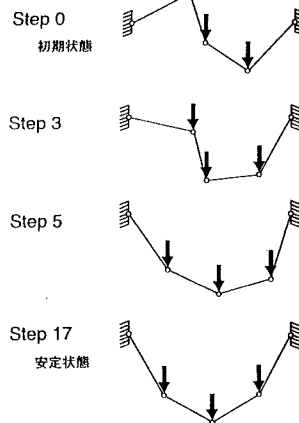


図2 形態解析手法

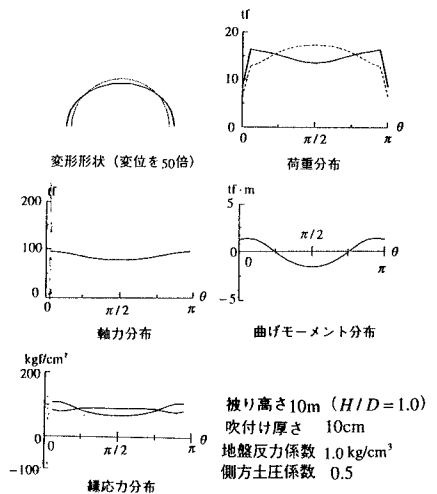


図3 解析の一例

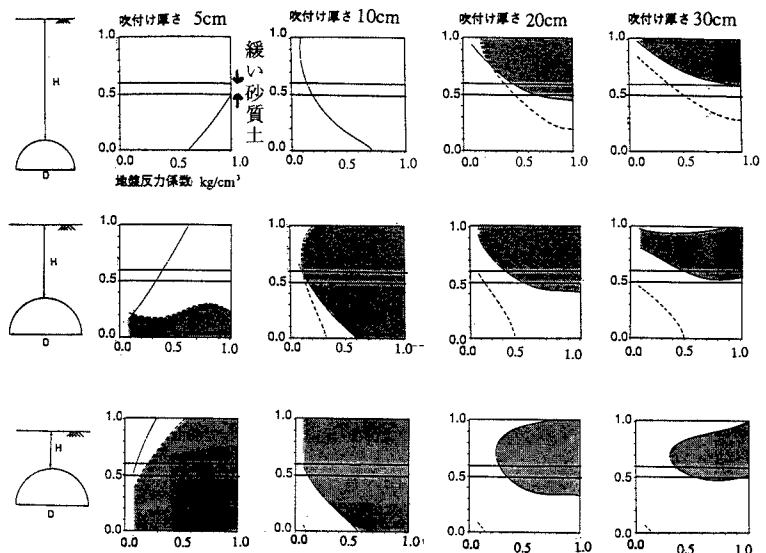


図7 被り土圧を作用させたときの設計可能領域