

Ⅲ-594

トンネル覆工解析に関する一考察（その1）

鉄建建設（株）正会員 松岡 茂
鉄建建設（株）正会員 益田彰久

1、はじめに

土木学会「コンクリート標準示方書」は昭和61年度に許容応力度設計法から限界状態設計法に改訂されており、今後トンネル覆工の設計も限界状態設計法に移行していくものと思われる。トンネル覆工に限界状態設計法を適用するためには、覆工の破壊性状を把握し解析する方法を確立する必要がある。筆者ら¹⁾はコンクリートの破壊力学における大きな特徴の一つである引張軟化曲線を考慮した有限要素法を用いることにより、トンネル覆工のひび割れ発生・進展を追跡することができることを報告している。しかしこのような破壊力学に基づく有限要素法はトンネル覆工のモデル化や計算の収束判定等が比較的煩雑であり、トンネルの設計手法とすることは困難であると思われる。

一方、峯本らによる無筋コンクリートの円環載荷実験²⁾によると、ひび割れ発生時には大きなひずみはひび割れ発生領域付近に集中して生じておりその他の領域はほぼ一定のひずみが分布していると報告されている。このことからひび割れ断面以外の部材は弾性状態を保持していると思われ、よってひび割れ断面を適切な方法で表現をしそれ以外の部材を弾性状態と仮定することにより、現在でも広く設計に用いられている骨組解析によりひび割れを考慮した解析を行うことができると考えられる。

そこで本研究では骨組解析を無筋コンクリートのトンネル覆工に用いる設計手法とすることを目的に、ひび割れ断面をモデル化するための考察を行った。

2、ひび割れ断面における断面力のモデル化

ひび割れ断面における断面力を算定するために以下のような仮定を行った。

- 1) ひび割れ断面以外の部材は健全であることから、ひび割れ断面に作用する断面力は部材の図心に作用するものとする。
- 2) ひび割れ面では応力の伝達はないものとする。
- 3) ひび割れ面以外の部分では平面保持されているものとする。
- 4) コンクリートの圧縮応力-ひずみ曲線は「コンクリート標準示方書」の二次曲線タイプに準拠する。
- 5) コンクリートは引張側では弾性変形するものとし、引張強度に達した時点でひび割れが発生するものとする。

以上の仮定に従うとひび割れ断面における応力およびひずみの分布は図-1のようになり、断面力は式(1)に示すように表すことができる。

$$N = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma(y) b dy \quad (1) \text{ a}$$

$$M = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma(y) y b dy \quad (1) \text{ b}$$

ここに、N：軸方向圧縮力

M：曲げモーメント

f_t ：引張強度

y：図心からの距離

$\sigma(y)$ ：距離 y における応力

α ：部材高さに対するひび割れ深さの割合

h：部材高さ

b：部材幅

である。

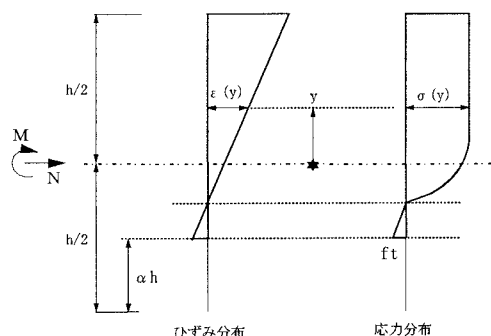


図-1 ひずみ、応力分布

3、ひび割れ断面における変形挙動のモデル化

ひび割れが発生したコンクリート部材のモデル化についてはRivaら³⁾が鉄筋コンクリート部材を対象とした報告を行っており、等価塑性ヒンジ長という概念を導入している。これは図-2に示すように等価塑性ヒンジ長で生じる部材のたわみ角はひび割れ発生によるひび割れ面の回転角と等しいとする考え方であり、この仮定によりひび割れ面における変形挙動のモデル化を行うこととする。本研究では等価塑性ヒンジ長は中立軸における長さとし、等価塑性ヒンジ端では平面保持が成り立つものとする。このような仮定の下に、等価塑性ヒンジ長 L^* とひび割れ深さ α との関係を式(2)のように表すことができる。

$$L^* = \frac{1 - \alpha}{\alpha (\varepsilon_t + \varepsilon_c)} \cdot \omega \quad (2)$$

ε_t は引張強度における引張ひずみ量、 ε_c は圧縮側の縁ひずみ量である。また、ひび割れ深さが大きくなるにつれひび割れ面の挙動は剛体変形に近づくと考えられるため、影響範囲とひび割れ深さとの関係を式(3)のように仮定した。

$$L^* = (1 - \alpha) \cdot h \quad (3)$$

4、解析方法

ひび割れは縁応力が引張強度に達した時点で発生するものと考え、ひび割れ発生断面力は式(1)により算出することができる。よって剛性一様要素を用いた骨組解析により覆工コンクリートの解析を行い、断面力を判定することによりひび割れ発生位置を特定することができる。

つぎに、軸力 N におけるひび割れ深さ αh を仮定すると式(1)により曲げモーメントおよび応力分布・ひずみ分布が決定される。この応力分布・ひずみ分布と仮定したひび割れ深さから式(2)、(3)によりひび割れ開口幅 ω が計算される。このひび割れ開口幅 ω は圧縮側の縁ひずみが圧縮限界ひずみ(3500μ)に達するか、もしくは式(1)の断面力の釣り合いが成立しなくなった時点で限界値をとる。そのためひび割れ断面の変形の限界を決定することができる。なお骨組解析において、ひび割れの発生した位置には曲げモーメントの増加と回転変形(ω/h)の増加の比である回転パネ定数を与えればよい。

5、まとめ

以上のようにひび割れ断面における断面力を算出するためにモデル化を行い、さらにひび割れ部材の挙動に基づいてひび割れ断面を回転パネでモデル化することにより、ひび割れの発生・進展を考慮した骨組解析を行うことができると考えられる。

【参考文献】

- 1) 松岡 茂、益田 彰久、峯本 守、梶原 雄三：トンネル覆工の破壊プロセスに関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 17、1995（投稿中）
- 2) 峯本 守、鬼頭 誠、梶原 雄三、松岡 茂：トンネル覆工の限界状態設計に関する研究、土木学会論文第三部門（投稿中）
- 3) P. Riva and M. Z. Cohn: Rotation capacity of structural concrete members, Magazine of Concrete Research, 46, No. 168, pp. 223-234, 1994. 9

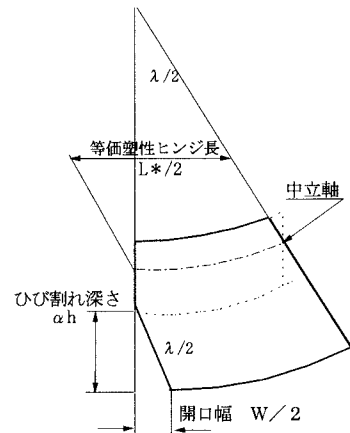


図-2 ひび割れ断面の変形