

III-291 トンネル覆工コンクリート耐力の一考察

鉄建建設(株) 正員 益田 彰久  
鉄建建設(株) 正員 松岡 茂

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートには外力により圧縮力（軸力）と曲げモーメントが生じるが、他のコンクリート構造物と比べて圧縮力は大きな値をとる傾向にある。このような大きな圧縮力を受ける部材では曲げモーメントによるひび割れが生じて、曲げモーメントだけを受ける部材のように急激にひび割れが進行し耐力が低下することはなく、構造体の破壊に至ることはない。

本検討では局所的なひび割れを許容する設計の第一歩として破壊過程を考慮した破壊耐力、さらにひび割れ発生により生じる剛性低下を求めた。

2. 部材の耐力

圧縮応力と歪の関係は一般に線形で考えるが、本検討のような高応力下ではその関係は非線形性を示すことが一軸圧縮試験で確認されている。そこで圧縮応力-歪線図を図-1のように仮定する。また引張においては、ファイバーコンクリートなどではひび割れ発生後においてもある程度応力の分担があることから引張応力-歪線図を図-2のように仮定した。

以上の関係をもとに無筋・ファイバーコンクリートが圧縮力（軸力）と曲げモーメントを受けた場合の破壊までの応力分布状態を図-3に示す。ファイバーコンクリートでは前述のようにひび割れ発生後も応力の評価をできるので、図の引張側において無筋とファイバーコンクリートとは応力の分布に差がある。

ひび割れが生じることにより中立軸が徐々に偏心し圧縮応力が增大していることがわかる。部材に作用している軸力が大きい場合には図に示すように圧縮応力が大きくなり圧縮破壊をおこす。また軸力が小さい場合にはひび割れが急激に進行して破壊に至る。

部材耐力を求めるために以上のような性質を考慮する他、以下のような仮定をした。

- ひび割れが発生した後も曲げ歪は中立軸からの距離に比例する、すなわち平面保持の仮定が成立する
- 圧縮・引張応力が破壊応力以上となる場合または応力の釣合条件が満足されなくなる場合の軸力・曲げモーメントを部材の耐力とする。

以下に部材の耐力の計算方法を示す。Mを曲げモーメント、Nを軸力、 $\epsilon_x$ を図心からxの地点の歪、eを偏心距離とする。圧縮応力 $\sigma_c$ 、引張応力 $\sigma_t$ とも歪 $\epsilon_x$ の関数であり

$$\sigma_c = f(\epsilon_x)$$

$$\sigma_t = g(\epsilon_x)$$

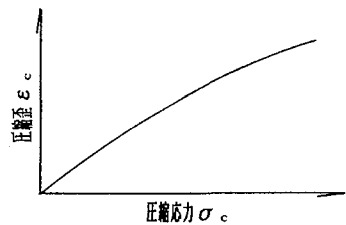


図-1 圧縮応力-歪線図

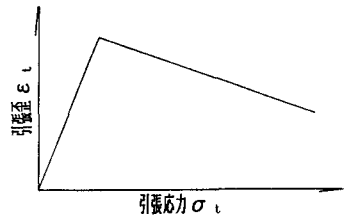


図-2 引張応力-歪線図

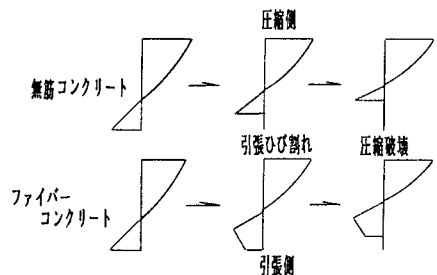


図-3 応力分布図

と表せる。外力との釣合条件より

$$N = \int_0^{h+e} \sigma_c dx + \int_{-(h-e)}^0 \sigma_t dx = \int_0^{h+e} f(\epsilon_x) dx + \int_{-(h-e)}^0 g(\epsilon_x) dx$$

$$M = \int_0^{h+e} \sigma_c \cdot X dx + \int_{-(h-e)}^0 \sigma_t \cdot X dx$$

$$= \int_0^{h+e} f(\epsilon_x) \cdot X dx + \int_{-(h-e)}^0 g(\epsilon_x) \cdot X dx$$

平面保持の条件から

$$\frac{\epsilon_c}{h+e} = \frac{\epsilon_t}{h-e}$$

以上の3つの式を解くことにより部材の耐力を計算した結果を図-4に示す。軸力が大きく（土被りが深く）なると無筋とファイバーコンクリートの耐力の差はなくなる。これは断面全体が圧縮状態になっているためである。従ってファイバーコンクリートは軸力の小さい（土被りが比較的浅い）状態で有効と考えられる。

図-5に軸力がある一定値にした場合におけるファイバーコンクリートの曲げモーメントと曲率との関係を示す。曲率は歪分布より次式で求められる。

$$\phi = \epsilon_c / (h+e)$$

一方、弾性曲げについては次の関係式がある。

$$M = EI \cdot \phi$$

M : 曲げモーメント

E I : 曲げ剛性

$\phi$  : 曲げによる変形状の曲率

図-5より曲げモーメントと曲率の関係に非線形性が認められる。上式によりこの非線形性は曲げ剛性EIの変化に起因していると思われる。つまり応力の増加によるひび割れの発生と応力-歪の非線形性により剛性が低下していると考えられる。

### 3. まとめ

覆工のような円形断面に大きな軸力が作用する状態では無筋コンクリートとファイバーコンクリートとの耐力の差は少なく、耐力はコンクリートの圧縮応力で決まることが多い。またひび割れが生じることにより剛性が低下し、そのため部材は塑性ヒンジのような状態になり、構造物に生じている曲げモーメントの分布が平均化すると考えられる。

今後の課題として、部材の設計を行う過程において設計の耐力をどのように設定したらよいか決定する必要がある。また今回の検討ではコンクリートの応力-歪の関係を仮定して計算を行ったが、今後実際に設計にとりいれていく際にはこの関係を実験などにより十分把握しておかねばならず、さらにこのような剛性の低下を考慮できる構造計算の開発が必要であると考えられる。

【参考文献】 川本眺万：応用弾性学、共立出版

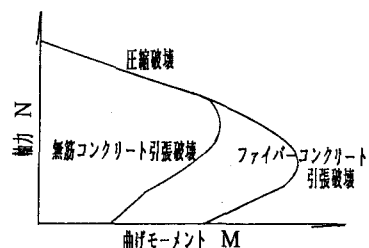


図-4 破壊状態におけるM-N線図

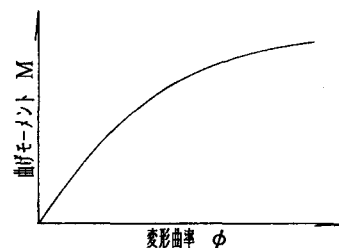


図-5 M-phi線図