

# (V-45) RC覆工のひびわれ部の引張剛性と付着特性

(株)オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田中 努  
正会員 大竹省吾

## 1. はじめに

トンネルが地震や地盤沈下により縦断方向に引張りや曲げ変形を受けると、覆工コンクリートにひびわれを生じる可能性がある。このひびわれは、まず、コンクリートの打継ぎ目や断面欠損部に生じるが、施工時の温度差や乾燥収縮によるひびわれが存在する場合は、それが拡大する。その後の挙動は、縦断方向の配筋により異なる。横断方向に生じるひびわれは、トンネルの崩壊に直結しないものの、水底や地下水位の高いトンネルでは、「浸水」に至らなかったとしても、「漏水」により維持管理費の増大や覆工および内部設備の耐久性を低下させる原因となる。

トンネルに発生する断面力は、覆工の剛性によって変化するため、ひびわれ幅のコントロールと適切な配筋量を決定するためには、ひびわれ部の引張剛性を把握する必要がある。

筆者らは、RC部材のひびわれ部の引張剛性と付着応力の関係を、別途行った実験結果と対比しながら解析的に検討し、トンネル覆工の地震時挙動に影響する剛性の算定を行った。

## 2. ひびわれ部の剛性と付着特性の関係

### (1) 付着特性とひびわれ部の引張剛性

十分に長いRC部材の鉄筋を両引きしたときの、鉄筋とコンクリートの応力度分布と付着応力度分布は、図-1 のようになる。つまり、ひびわれ部で鉄筋がFの力で引張られているとき、部材内部では、鉄筋の応力が付着によりコンクリートに伝達されていく。ひびわれ部近傍では鉄筋とコンクリートのひずみ差が大きいため、大きな付着応力度 $\tau_x$ とすべり $S_x$ が生じるが、これらは徐々に内部で小さくなり、鉄筋とコンクリートのひずみが一致すると相互の力の伝達がなくなって、付着応力度はゼロとなる。この位置までの距離を伝達長 $l_t$ と呼ぶ。したがって、ひびわれ部の引張剛性Kは、次式で表される。

$$K = F / S_0 \quad \text{..... (式1)}$$

ここで、F：作用引張力、 $S_0$ ：ひびわれ部での鉄筋とコンクリートのすべり量（＝鉄筋の抜け出し量）

### (2) すべり量の評価式

付着の基本方程式は次のように表される。

$$d^2 S_x / dx^2 = (1 + np) / E_s A_s \times u \times \tau_x \quad \text{..... (式2)}$$

ここで、 $S_x$ ：xの位置での鉄筋とコンクリートのすべり量  $E_s A_s$ ：鉄筋の剛性

n：弾性係数比

u：鉄筋の周長

p：鉄筋比

$\tau_x$ ：xの位置での付着応力度

また、付着応力度 $\tau_x$ は、鉄筋のひずみ $\epsilon_{sx}$ の変化量から、次式で表される。

$$\tau_x = E_s A_s / u \times (d \epsilon_{sx} / dx) \quad \text{..... (式3)}$$

したがって、作用荷重Fに対する鉄筋のひずみ分布 $\epsilon_{sx}$ が求まれば、(式3)より $\tau_x$ が、(式2)より $d^2 S_x / dx^2$ 、つまり $S_x$ が求まる。ひびわれ部( $x = 0$ )でのすべり量 $S_0$ が求まれば、前出の(式1)より、剛性が求まる。

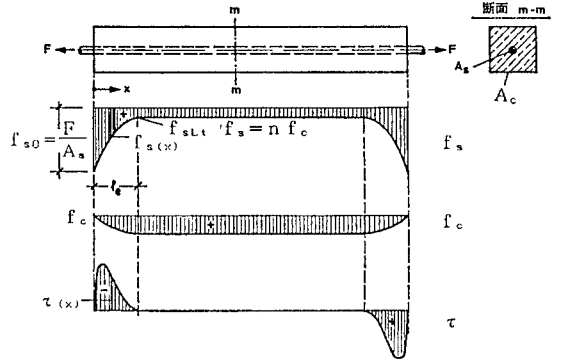


図-1 鉄筋とコンクリートの  
応力分布と付着応力分布

(3)実験結果との比較

筆者らが別途行った実験<sup>1)</sup>結果を基に、ひびわれ部の剛性を算定した。実験結果の一例として、鉄筋のひずみ分布を図-2に示す。引張荷重Fが大きいと、付着力が低下し、鉄筋のひずみ $\epsilon_{sx}$ があまり減少しない区間が生じるが、Fが小さい範囲では、ほぼ同様な単調減少の分布となっている。本稿では、Fが小さい範囲について解析した結果を示す。

図-2に重ねて書いた曲線は、実験値を図-3の考え方で作成した(式4)であり、最小2乗法により回帰した曲線である。

$$\epsilon_{sx} = \epsilon_{s0} (1 - a \cos bx) \dots\dots\dots (式4)$$

ここで、 $\epsilon_{s0} = F / E_s A_s$  : ひびわれ部の鉄筋のひずみ  
 $a = 1 / (1 + np)$  ,  $b = \pi / 2 L_t$  ( $L_t$ は伝達長)

(式4)では伝達長 $L_t$ が未知数であり、回帰により求めた $L_t$ は図-4のようになる。また、これから前述のように求めた作用荷重Fとすべり量 $S_0$ の関係は図-5のようになる。この勾配がひびわれ部の引張剛性であり、線形計算でひび割れ部の剛性を考慮する場合には、割線勾配を用いればよい。

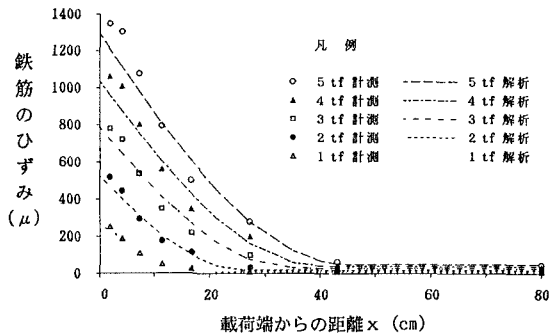


図-2 鉄筋のひずみ分布 (実験結果および回帰式)

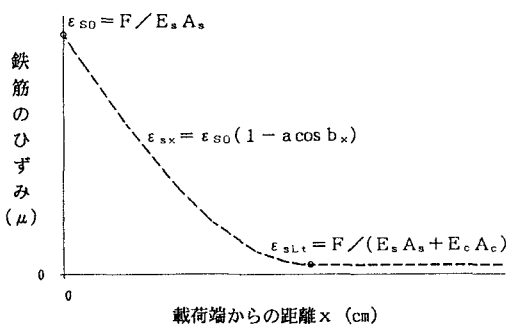


図-3 回帰式の考え方

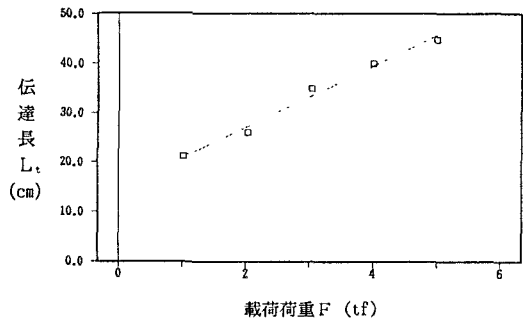


図-4 伝達長 $L_t$ と作用荷重F

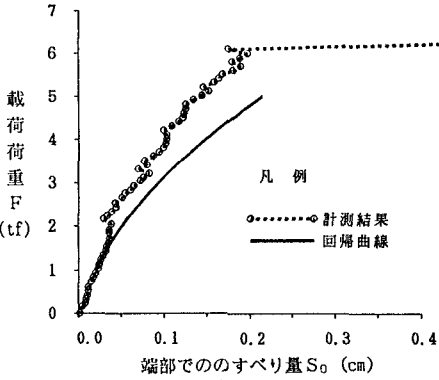


図-5 作用荷重Fと滑り量 $S_0$

3. おわりに

本研究により、ひびわれ部の剛性を作用荷重の大きさにより変化する非線形性を考慮した形で算定することができた。ただし、伝達長がnやpの関数として表すことができないと、一般の設計には適用できない。今後、荷重が大きな範囲を含めて、検討を進めていく予定である。なお末筆ながら、本研究に際し東京都立大学の国府勝郎助教授には終始貴重な助言をいただいたことを記し、感謝の意を表します。

◆参考文献1) 大竹・田中: RC覆工のひびわれ部の引張剛性に関する実験, 第20回関東支部技術研究発表会, 土木学会, 1993.3