

I-145 トンネル覆工ひびわれ部の地震時引張剛性

備オリエントタルコンサルタンツ 正会員 大竹省吾
同 正会員 田中 努

1. はじめに

トンネルが地震により縦断方向に引張りや曲げ変形を受けると、覆工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、温度ひびわれや乾燥収縮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、シールドトンネル二次覆工の場合はリング継手の目開きを一ヶ所に集中させる危険性がある。また、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、ひびわれ幅と配筋量に基づくひびわれ部の引張剛性の評価方法と、それを考慮した耐震設計法を明かにする必要がある。筆者らは、RC部材のひびわれ部の鉄筋の抜け出し量と内部の鉄筋のひずみ分布を両引きの載荷実験により確認し、ひびわれ部の剛性の変化傾向を直接求めた。また、鉄筋のひずみ分布から鉄筋とコンクリートのずれ量を解析的に検討し、剛性の算定を行った。

2. 実験方法および結果の概要

H形鋼の支持台の上に供試体と反力梁を置く載荷装置を作成し、一端を固定して他端を手動のセンターホールジャッキにより引張った。載荷は、単調増加で鉄筋の降伏まで行った。載荷荷重 F ・端部での鉄筋の抜け出し量 S_0 ・鉄筋のひずみ分布を計測した。供試体は、図-1のように、断面の中央に鉄筋を一本配置したもので、断面と鉄筋径を変えた表-1の8ケースを対象とした¹⁾。

材料試験の結果は表-2のとおりである。本実験で得られた荷重 F と端部の鉄筋のすべり量 S_0 (=ぬけ出し量)の関係の一例を図-2に、設計に用いる等価剛性として原点からの割線勾配を図-3に示した。また、鉄筋のひずみ分布を図-4に示した。同図中の実線は、後述の解析値である。

3. ひびわれ部の剛性の算定方法

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-5のようになる²⁾。つまり、ひびわれ部の鉄筋の引張力 F が、部材内部で付着によりコンクリートに伝達されていく。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。ひびわれ部の引張剛性 K は、次式で表される。

$$K = F / S_0 \quad (1)$$

付着の基本方程式は式(2)のように表される³⁾。また、付着応力度 τ_x は、鉄筋のひずみ ε_{sx} の変化量から式(3)で表される。したがって、作用荷重 F に対する鉄筋のひずみ分布 ε_{sx} が求まれば、剛性が求まる。

$$d^2 S_x / dx^2 = (1 + n p) / E_s A_s \times u \times \tau_x \quad (2)$$

$$\tau_x = E_s A_s / u \times (d \varepsilon_{sx} / dx) \quad (3)$$

実験結果を基にひずみ分布 ε_{sx} を次式で表し、未知数 L_t を回帰により求め、ひびわれ部の剛性を算定した。

$$\varepsilon_{sx} = (\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{sLt}) \cdot (x / L_t - 1)^4 + \varepsilon_{sLt} \quad (4)$$

測定ひずみとの比較を図-4に、算定した作用荷重 F とすべり量 S_0 の関係を図-2に、ひびわれ部の等価剛性を図-3に示す。

4. おわりに

本実験研究により、ひびわれ部の剛性を直接確かめ、また解析的に比較的近い値を算定することができた。ただし、鉄筋の伸びの計測の精度があまり高くなかったため、改良して再度実施する予定である。

なお、本実験の計画・実施に当って、東京都立大学の国府勝郎助教授に終始ご指導をいただき、また、研究室の助手と学生の諸氏には多くの助力をいただきました。ここに記して、感謝の意を表します。

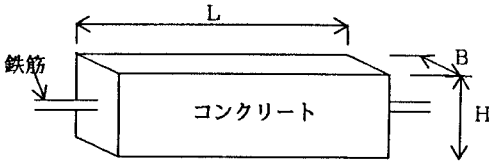


図-1 供試体の形状

表-1 実験ケース

	B×H×L(mm)	D13	D16	D19	D22
A	162×270×1000	○	○		
B	203×270×1600	○	○	○	
C	244×270×1800		○	○	○

表-2 材料試験結果

コンクリート	圧縮強度	277 kgf/cm ²
	引張強度	30.0 kgf/cm ²
	弾性係数	1.71×10 ⁵ kgf/cm ²
鉄筋 (SD295A)	降伏強度	4210 kgf/cm ²
	弾性係数	1.95×10 ⁵ kgf/cm ²

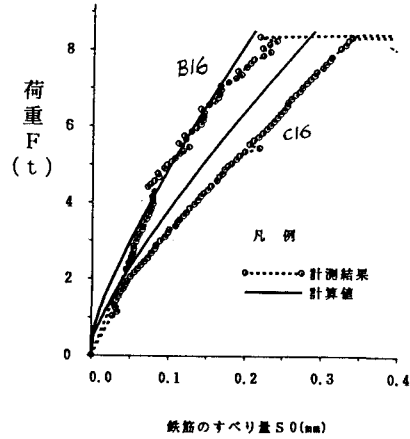


図-2 鉄筋の滑り量と荷重

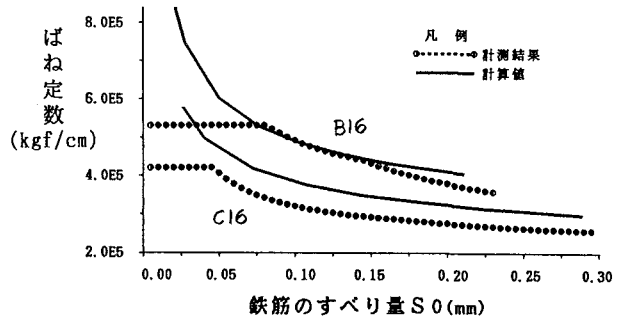


図-3 ひびわれ部の等価剛性

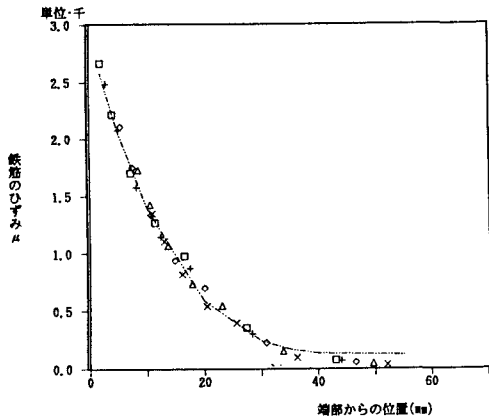


図-4 鉄筋のひずみ分布

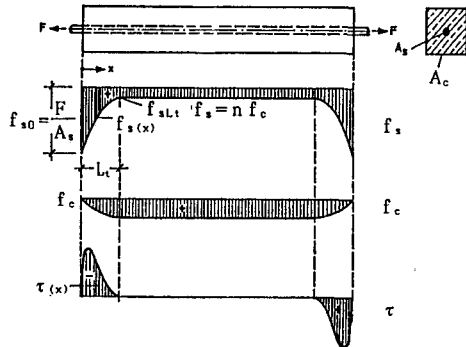


図-5 鉄筋とコンクリートの応力分布と付着応力分布

【記号の説明】 L_t : 付着応力の伝達長 $\diamond E_s A_s$: 鉄筋の剛性 $\diamond n$: 弾性係数比 $\diamond p$: 鉄筋比 $\diamond u$: 鉄筋の周長 $\diamond \epsilon_{s0} = F/E_s A_s$: ひびわれ部の鉄筋のひずみ $\diamond \epsilon_{sL_t} = F/(E_s A_s + E_c A_c)$: 伝達長の位置での鉄筋のひずみ
 【参考文献】 1) 田中・大竹: 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 $\diamond$ 2) F. レオンハルト・E. ヌニツヒ: 鉄筋コンクリートの設計, 鹿島出版会, pp. 95~98, 1986 $\diamond$ 3) 岡田清・伊藤和幸・不破昭・平澤征夫: 鉄筋コンクリート工学, 鹿島出版会, pp. 125~131, 1987