ねじり剛性低下を考慮した RC アーチ橋の非線形動的解析

九州大学工学部	学生会員	○末次 正樹	九州大学大学院	フェロー	大塚 久哲
九州大学工学府	学生会員	秦逸平	九州大学大学院	正会員	崔 準祜

1. はじめに

コンクリート構造物においてねじりの影響は 2 次的なものとしてあまり重要視されていない.例えば,橋梁に 対し動的解析を行う場合,一般的にねじり剛性を初期剛性の1/10~1/20程度と小さい値に設定して解析しており, 今後, RC 部材のねじり剛性低下をより適切に考慮した,厳密な耐震設計を行うことが必要である.本稿では,軸 力,曲げおよびねじりの複合荷重を受ける RC 部材の実験結果¹⁾に基づき,軸力とコンクリート圧縮強度の比, 帯鉄筋比,曲げとねじりの載荷比率をパラメータとして剛性低下率を定式化した.また,それを適用した RC アー チ橋の非線形動的解析の解析結果を示す.

2. ねじり剛性低下を適切に評価した橋梁の非線形動的解析の手法

2.1. ねじり剛性低下率

初期剛性 GJ₀,降伏ねじり角を θ_y ,降伏後の任意の点におけるねじり剛性を GJ,ねじり角を θ として式(1)で任意の θ に対するGJが与えられると仮定した.

$$\left(\frac{GJ}{GJ_0}\right) = \alpha \left(\frac{\theta}{\theta_y}\right)^\beta \tag{1}$$

 $\alpha = [25.8N_0^2 + 0.02N_0 + 0.8] \times [0.335\phi^2 - 0.087\phi + 0.26]$ $\beta = 15.9\rho_s - 1.17$

ここに、実験係数である α 、 β として次式を得た. 使用した 3 つのパラ メータを以下に示す.

(1)軸応力比 N₀(軸力とコンクリート圧縮強度の比)

$$N_{0} = \frac{\binom{N}{ab}}{f'_{c}}$$

$$\begin{cases}
N_{0}: 軸応力比, N: 初期軸力(N) \\
a,b: 断面の辺長(a=b=400mm) \\
f'c: コンクリート圧縮強度(N/mm2)
\end{cases}$$

(2)帯鉄筋比ρ。帯鉄筋のコンクリートに対する体積比.

(3)ねじりと曲げの載荷比率
$$\phi$$

 $\phi = \tan^{-1}(\frac{M_{iy}}{M_{by}})(\frac{M_{by0}}{M_{iy0}})$

φ:載荷比率(rad)
 M_{ty0}:純ねじり時の降伏耐力(kNm)
 M_{by0}:純曲げ時の降伏耐力(kNm)
 M_{ty}:複合載荷時の降伏ねじり耐力(kNm)
 M_{by}:複合載荷時の降伏曲げ耐力(kNm)

2.2. 非線形動的解析手法

全断面有効剛性解析時にねじりモーメントの応答値 M_{tmax} が,この M_{ty0}を超 えたときに、ねじりモーメントが非線形領域に達したとする.ねじり弾性理論 ²⁾と著者らのこれまでの実験結果によれば、ねじり降伏モーメント M_{ty0} は次式 で算定できる.

 $\boldsymbol{\theta}_{\max}$

GJ

非線形へのイメージ図

$$M_{tc} = GJ_0 \cdot \phi_{tc} \qquad \begin{cases} \tau_{tc} = \beta_{nt} \cdot f_t \\ \beta_{nt} = K_t \cdot \tau_{tc} \end{cases} \qquad \begin{cases} \tau_{tc} = \beta_{nt} \cdot f_t \\ \beta_{nt} = \sqrt{1 + \sigma_n / f_t} \end{cases}$$
$$M_{ty0} = 1.15 \cdot M_{tc}$$

 M_{tc} :部材断面に作用するねじりひび割れモーメント K_t :ねじりモーメントによるせん断応力度に関する係数 σ_n :軸方向による作用平均圧縮応力度 f_t :コンクリートの設計引張強度





- ねじり剛性比(n)

ねじり剛性比(n+1)

非線形に入った要素は図-3のエネルギーー定則の考え方を用いて θ max を算 出し、式(1)で示したねじり剛性低下率を用いて等価ねじり剛性を求め、再度解 析を行なう.

この過程を、次に示す式(2)のように、ねじり剛性比が収束するまで繰返し 計算を行い、最終的に収束したねじり剛性比より得た結果を解析結果とする.

$$\left(\frac{GJ}{GJ_0}\right)_n \approx \left(\frac{GJ}{GJ_0}\right)_{n+1} \tag{2}$$

3.1. 解析対象橋梁

解析例

3.

解析対象橋梁は橋長 270m, アーチ支間長 180m, アーチ高 27.5m のRCアーチ橋で,解析モデルは3次元骨組みモデルである.各部 材は非線形はり要素でモデル化した. 解析手法は直接積分法

(Newmark β 法 β =0.25) にて動的時刻歴応答解析を行なった. 入力地震動は,道路橋示方書の地震波形の1つである Type II-I-I を使用し、アーチ部分にねじりモーメントを発生させるため橋軸

直角方向に加震し、ねじりモーメントが非線形領域に達するよう波形の振幅を 2 倍とした. 減衰定数は Rayleigh 減衰を採用した。ねじりに関する解析検討ケースは①全断面有効剛性解析、②従来の解析手法であるねじり剛性 を初期剛性の1/20とした解析、③ねじり剛性低下を評価した本手法の3ケースとした.

3.2. 収束ねじり剛性の考察

ねじり剛性低下を考慮すると、ねじり剛性は部材により異なり初期剛性の約1/10~1/4程度に収束し、従来の初 期剛性の 1/20 という設定値よりも比較的大きな値を得た.



ねじり剛性低下を考慮することで得られる等価ねじり剛性は、従来の動的解析で便宜的に使用されるねじり剛 性より大きな値をとることがわかった.また、ねじり剛性の差が橋梁全体系の動的応答に及ぼす影響を明らかに できた.

参考文献

1)浦川,大塚,竹下:軸力,曲げおよびねじりを同時にうける RC 部材の非線形挙動に関する実験的研究,構造工学論文集 Vol.51A, pp.885~892, 2005.3.

2)(社)土木学会:コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 2002(社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説, I~V, 3. 2004.



1

0.8

0.6



図−5 解析モデル図