

塑性域に伴う RC 柱部材のねじり剛性低下を考慮した橋の動的解析

九州大学工学府 学生会員○宇山 友理 九州大学工学研究院 フェロー 大塚 久哲
オリエンタル白石 (株) 正会員 浦川 洋介

1. はじめに

コンクリート構造物において、ひび割れ発生以降のねじり剛性の決定方は未確立である。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 $1/10 \sim 1/20$ 程度に設定して解析することが行なわれている。しかし、ねじりに対する耐震補強設計をする場合などにおいては、RC 部材のねじり剛性低下の評価によって結果が左右され、これを適切に考慮したより厳密な応答計算を行うことが望まれている。著者らはこれまで、軸力、曲げおよびねじりの複合荷重を受ける RC 部材の実験結果に基づき、ねじり剛性比の定式化を行った¹⁾。本文では、ねじり剛性比の近似式より最適ねじり剛性比を算出する橋の動的解析法について述べる。

2. ねじり剛性比の提案式と最適ねじり剛性比の算出方法

2.1 ねじり剛性低下率の提案式

既往の研究結果より提案されたねじり剛性比の近似式は式 (1) に示すとおりである¹⁾。なお、実験より得られたねじり剛性比との比較を図-1 に示す。

$$\left(\frac{GK}{GK_0}\right) = \alpha \left(\frac{\theta}{\theta_y}\right)^\beta \quad \text{式 (1)}$$

$$\alpha = \left[(65 - 5100\rho_s) \cdot N_0^2 + 0.85 \right] \times [0.335\phi^2 - 0.087\phi + 0.26]$$

$$\beta = 15.9\rho_s - 1.17$$

ここで、 N_0 はコンクリートの圧縮強度と供試体に作用する軸力の比率、 ρ_s は道路橋示方書に記載される横拘束筋の体積比、 ϕ は曲げとねじりの载荷比率¹⁾である。

2.2 最適ねじり剛性比の算出方法

最適ねじり剛性比は、動的解析を行う際のねじり剛性比を提案式に基づき変化させることで、収束計算により算出する。図-2 にフローを示す。

収束計算の行い方は、まず初めにねじりに対しては全断面有効剛性解析より得られた線形結果を、対象とする RC 柱部材のねじり骨格曲線を用いてエネルギー一定則により、最大ねじりモーメントと最大ねじり角を抽出し、また RC 柱部材に作用する最大軸力と最大曲げモーメントも抽出する。そして、ねじり剛性比の算出に必要な軸力比と帯鉄筋比、载荷比率をそれぞれ算出し、提案式よりねじり剛性比を算出する。

次に、得られたねじり剛性比を入力し、動的解析を実行する。再び、同手順によりねじり剛性比を算出する。この過程を繰返し、入力と出力のねじり剛性比が漸近するまで繰返し計算を行い、最終的に収束した値を最適ねじり剛性比とする。

3. ねじり剛性低下を考慮した橋の動的解析例

3.1 対象橋梁と解析モデル

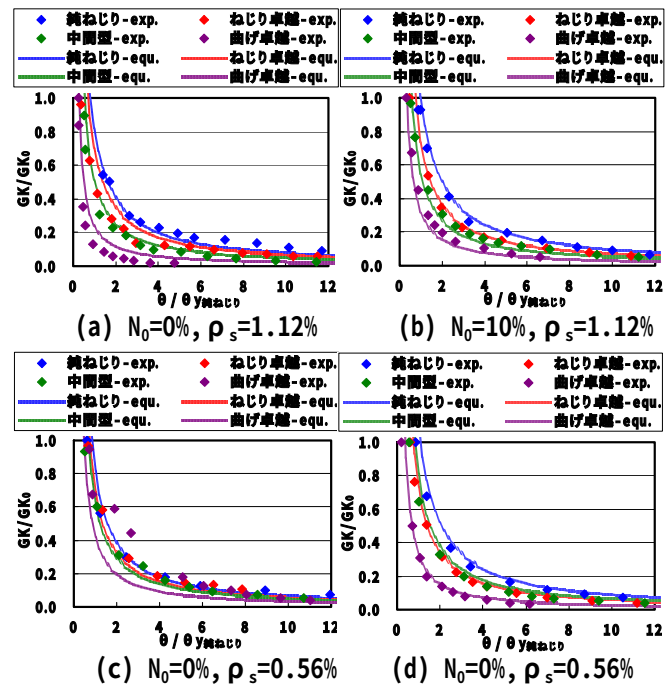


図-1 ねじり剛性比の提案式と実験結果の比較

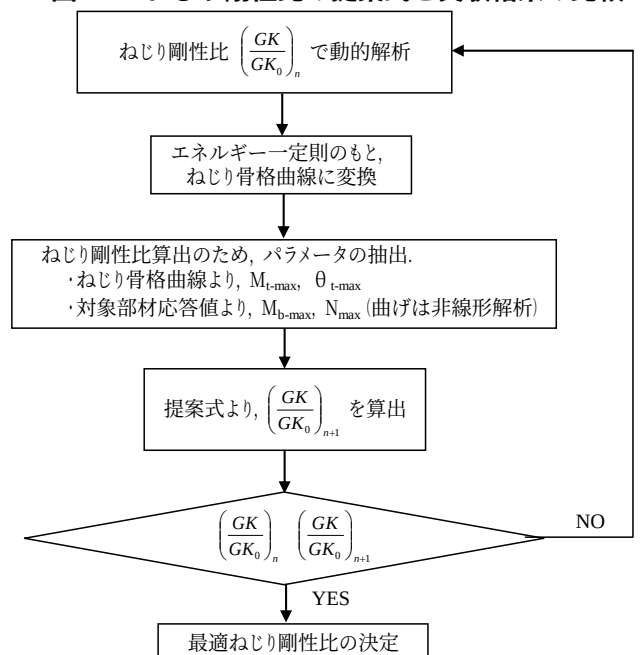


図-2 最適ねじり剛性比算出フロー

本研究において対象とした橋梁は、中央径間 100m、橋脚高 60m の PC 連続ラーメン橋であり、RC 橋脚の帯鉄筋比は 1.8% である²⁾。解析モデルは、図-3 に示す三次元骨組みモデルである。橋脚基礎は固定端とし、支承についてはヒンジとしている。また、橋脚下端は塑性ヒンジを考慮した非線形回転ばね、塑性ヒンジ部以外の橋脚および主桁は、非線形はり要素でモデル化している。

3.2 解析検討ケース

解析検討ケースは、全断面有効剛性解析および従来の手法である初期剛性の 1/20 に設定した解析、最適ねじり剛性解析結果の計 3 ケースである。表-1 に解析検討ケースと設定ねじり剛性比を示す。なお、本解析モデルにおける最適ねじり剛性比は、上記手法より 0.255 となった。

3.2 入力条件

本解析は、直接積分法 (Newmark β 法 $\beta=0.25$) にて動的時刻歴応答解析を行った。入力地震動は、Type II-I-1 を使用し、RC 橋脚にねじりモーメントを発生させるため橋軸直角方向を加震方向とし、さらに、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 倍にした。また、減衰タイプは Rayleigh 減衰を採用した。

3.3 ねじり剛性低下を考慮した動的解析結果

本解析で実施した 3 ケースの結果を主桁と橋脚の最大曲げモーメントおよび橋脚のねじりモーメントの応答値に着目し比較した。

まず、図-4 に主桁の最大曲げモーメントの分布を示す。径間中央部で曲げモーメントと曲率は卓越しており、全断面有効剛性である case1 は他のケースに比べ過大な値をとり終局を大きく越していることがわかる。

次に、図-5 に P1 橋脚の最大曲げモーメントの分布を示す。橋脚の応答値に関しては、基部側でわずかに case1 の応答値が大きくなっている程度で、3 ケースにおいて大きな差は生じていない。

最後に、表-2 に P1 橋脚の最大ねじりモーメントの応答結果を示す。3 ケースにおいて、最大応答ねじり角に大きな差はないが、ねじりモーメントには差が生じ、case2 に比べ case3 はおよそ 5 倍のねじりモーメントが発生している。

4. まとめ

本研究では、既往の研究より得られたねじり剛性比の提案式より、最適ねじり剛性比を求める橋梁の動的解析例を示した。本研究結果より、一般的な PC 連続ラーメン橋の最適ねじり剛性比は、初期剛性の 1/4 程度であることがわかり、また、橋脚のねじり剛性は主桁の応答に影響を大きく与え、ねじりモーメントはねじり剛性比により大きく変動することがわかった。

参考文献

- 1) 宇山ら：軸力、曲げおよびねじりを同時にうける RC 部材の剛性低下率と等価減衰定数の定式化，西部支部研究発表会，2008.3.
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料／PC ラーメン橋・RC アーチ橋・PC 斜張橋・地中連続壁基礎・深礎基礎等の耐震設計計算例，丸善，1998.

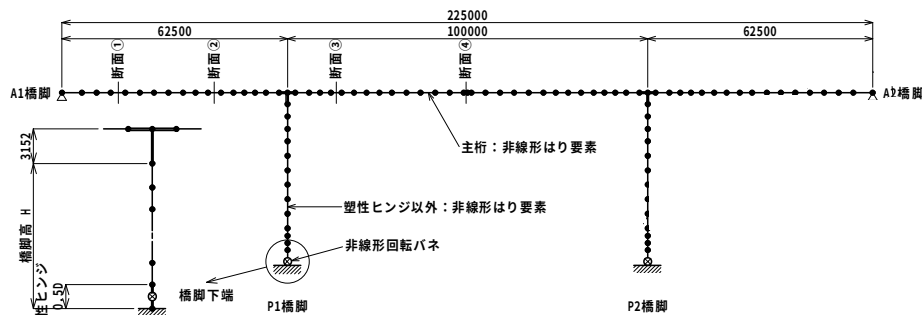


図-3 対象橋梁の三次元骨組みモデル

表-1 解析検討ケース

case.	解析概要	GK/GK ₀	GK(MNm/rad)
case1	全断面有効剛性解析	1.000	1.578×10 ⁴
case2	初期剛性1/20解析	0.050	0.079×10 ⁴
case3	最適ねじり剛性比解析	0.255	0.402×10 ⁴

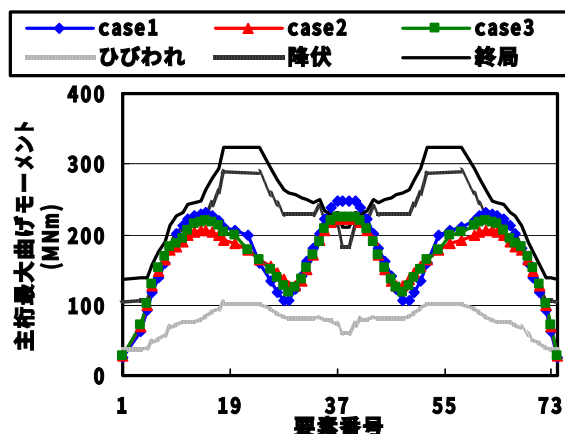


図-4 主桁の最大曲げモーメント

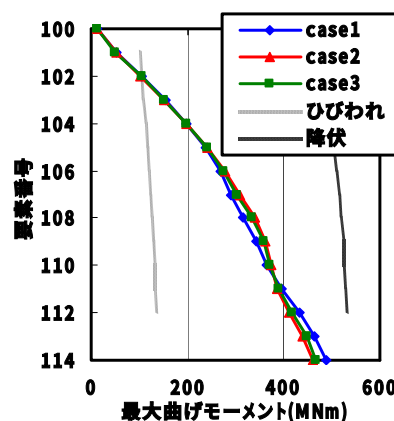


図-5 橋脚の最大曲げモーメント

表-2 橋脚のねじりモーメントとねじり角

	case1	case2	case3
M _t (MNm)	171.1	8.6	43.9
θ(rad)	0.0108	0.0109	0.0109