ねじりモーメントを受ける鉄筋コンクリート橋脚柱のねじり剛性低下に関する解析的検討

鹿島建設(株) 正会員 ○山﨑啓治 矢野一正 中日本高速道路(株) 正会員 萩原直樹 小谷内祐弥

1. はじめに

高速道路の橋梁計画にあたって,構造上安定であることを念頭におき,橋長,支間長,橋台・橋脚の位置, 方向,桁下高および基礎の根入れを決定する1)ことはもちろんであるが,昨今では路線選定および線形設計 の結果から、連続ラーメン構造において不等橋脚高、さらにアンバランスな支間長となる位置に橋脚を設けざ るを得ない場合がある.耐震設計において,橋軸直角方向地震動に対する照査を行うが,橋脚柱は「ねじりモ ーメント」の作用を受け、道路橋の設計実務において動的解析を行う場合、一般的に、ねじりひび割れ発生後 にねじり剛性が低下することを考慮し、また曲げおよびせん断に対して安全側の設計を行うという理由から、 ねじり剛性を初期剛性の 1/10~1/20 程度に設定し解析されている²⁾.

本報文では、設定したモデル鉄筋コンクリート橋脚柱(以下、モデル橋脚柱)に作用するねじりモーメント およびねじり率の関係,さらにねじり剛性低下の様子を,3次元非線形FEM解析を適用し直接評価した結果 を報告する.

2. 検討に用いたモデル橋脚柱の概要

試設計にもとづく橋梁の橋脚から、比較検討のため2タイプのモデル橋脚柱を設定した(表-1).

表-1 モデル橋脚柱の構造諸元

断	面	橋脚高	断面幅	断面高	断面積	コンクリート 強度σck	作用軸圧縮 応力度 <i>σ</i> 'nd	軸圧縮 応力比	軸圧縮 軸方向 応力比 鉄筋配置		せん断補強 鉄筋配置	横拘束鉄筋 の拘束比	
		(m)	(m)	(m)	(m ²)	(N/mm²)	(N/mm^2)	$\sigma{}^{\prime}\text{nd}/\sigma\text{ck}$	(SD490)	(%)	(SD345)	ρs	
充	実	16.500	0 000	8.000	70.400	40	3.6	0.09	D51ctc150-2.5段	0. 38	D29ctc150	0. 018	
中	空	36.000	8.800		51.150		5.3	0.13	D51ctc150-2x2段	0.64	D29ctc150		

表 — 2

圧縮側

引張側

付 着

圧縮破壊エネルゴ

引張破壊エネルギ ひび割れ面でのせん断伝達

ひび割れ後のポアソン比

ひび割れ後の圧縮強度低減

鉄筋 ____ 応力~ひずみ

3.3次元非線形FEM解析の概要

解析には汎用FEM解析プログラム「DIANA10.1」を用いた. コンクリートおよび鉄筋のモデル化を**表-2**に、拘束条件および 荷重載荷方法を図-1に示す.橋梁上部工が橋脚に作用する軸 方向力をまず柱天端に作用させ死荷重時を再現した後(柱自重 は単位体積重量により考慮),ねじりモーメントを漸増載荷し (以下、「圧縮ねじり」)、イベントの変化を整理する.

4. 3次元非線形FEM解析によるねじりモーメントおよびねじり率関係

4.1 充実断面

死荷重時の橋脚柱軸方向力を載荷した状態で,ねじりモーメントを漸増させ得られ るねじりモーメント〜ねじり率を、参考のため軸方向力を載荷しない「純ねじり」の ものと合わせて図-2に示す. 3次元非線形FEM解析によるねじり耐力結果をコンク リート標準示方書「設計編」(以下,コン示)にて算出する「純ねじり耐力」、「ねじり 耐力」および「斜め圧縮破壊耐力」と比較し、計算上のねじり耐力への影響因子を合 <用語の定義>本文でのねじりモーメントMtの基本式を以下のように定義する.

 $M t = G J \theta = G J (d \phi / d z).$

エデル 座る 図-1 拘束条件および荷重載荷方法

全筋占を拘束

コンクリートおよび鉄筋のモデル化

中村らの式:G_{fc}=8.77√σck

指数関数軟化モデル

Al-Mahadiモデル

完全弾塑性

 $G_{ft} = 10 d_{max}^{1/3} \cdot \sigma ck^{1/3}$

ポアソン比の減少を考慮

レクリート標準示方書のま

埋込み鉄筋要素(非線形部材)

鉄筋とコンクリートは完全付着を仮定

剛梁中心の節点に死荷重を載荷

▶ 剛梁中心の節点に強制回転を漸増

3次元ソリッド要素(非線形部材)

圧縮破壊エネルギーG_{fc}を考慮した放物線モデル

引張破壊エネルギーG_{ft}・要素寸法を考慮した

ここに、G:せん断弾性係数、J:ねじり定数、 θ :ねじり率(=d ϕ /dz)、 ϕ :ねじり断面回転角、z:部材軸長さ

キーワード 橋梁計画,橋脚柱,ねじりモーメント,ねじり剛性低下,3次元非線形FEM解析 連絡先 〒231-0011 神奈川県横浜市中区太田町 4-51 鹿島建設(株)横浜支店土木部 TEL045-641-8882



図-2 ねじりモーメント~ねじり率関係(充実断面)

図-3 ねじりモーメント~ねじり率関係(中空断面)

表-3 3次元非線形FEM解析結果およびコン示式によるねじり耐力の比較(充実断面)

	ねじりモーメント	計算上のねじり耐力への影響因子							
		Mt (KN•m)	断面 諸元	コンクリート 強度	軸方向力	軸方向鉄筋 量・強度	横方向鉄筋 量・強度		
ねじりひび割れ	3次元非線形 F E M 解析による値	490, 452							
発生耐力	1)設計純ねじり耐力Mtcd ※	351, 259	•	•	•				
	3次元非線形 F E M 解析による値	1, 278, 970							
ねじり耐力	2)設計ねじり耐力Mtyd ※	697, 770	•	•		•	•		
	3)設計斜め圧縮破壊耐力Mtcud ※	824, 491	•	•					
※設計上の部材係数γbを1.0として算出									

わせて表-3に示す.解析にてねじりモーメントを漸増させると、①斜めひび割れ発生、②中間帯鉄筋降伏、 ③帯鉄筋が降伏し、④ねじりモーメント最大の後、⑤急激な圧縮破壊が発生するというイベントを上手く再現 できている. 「純ねじり」のものも同様なイベントを経るが、軸方向力が作用していない分、耐力としては小 さい. コン示の「ねじり耐力」および「斜め圧縮破壊耐力」算出式は, 安全側にあるよう軸方向力を考慮して おらず,解析によるものとの差は大きい(図-2中の③と2),④と3)の比較に相当).軸方向力が作用する 部材のねじり耐力, ねじりモーメントおよびねじり率関係を直接評価する必要がある場合には, 実験または本 解析のような3次元非線形FEM解析の実施が必要である.

4.2 中空断面

中空断面のねじりモーメント〜ねじり率を図-3に示す. 充実断面と同様に、イベントを上手く再現できて いる.

5. ねじり剛性低下

表-4 モデル橋脚柱のねじりひび割れ

発生後のねじり剛性低下率

表-4 に示す.割線剛性は図-2 および図-3 中の原点と③また			断面	充実	中空	
は④を結んだ傾きにて、二次勾配は①および④を結んだ傾きにて		帯鉄筋降伏	3	1⁄5.9	1⁄4.6	
評価した. 設定したモデル橋脚柱は耐震設計上, 軸方向鉄筋およ	割線剛性	荷重最大時	4	1⁄6.5	1⁄5.7	
びせん断補強鉄筋とも比較的配筋量が多く、割線剛性にて1/5~	接線剛性	(二次勾配)	1~4	1⁄9.9	1⁄9.7	

※初期剛性に対する低下率

6. おわりに

モデル橋脚柱を題材に、3次元非線形FEM解析を適用し、ねじりモーメントを受ける鉄筋コンクリート橋 脚柱のねじりモーメントおよびねじり率の関係,ねじり剛性低下の様子を直接評価したものを報告した.今後, 耐震設計の実務にて実施する非線形動的解析にこれら結果を直接適用した手法について報告する予定である.

参考文献

1) 中日本高速道路:設計要領第二集,橋梁建設編(平成28年8月),1章 計画,2016.8.

2) 大塚久哲: RC橋梁のねじり耐震照査と補強, 2011.9.

モデル橋脚柱のねじりひび割れ発生後のねじり剛性低下率を

1/7 程度,ひび割れ後の二次勾配として 1/10 程度であった.