

RC ラーメン高架橋柱部材のねじり耐力に関する解析的検討

北武コンサルタント (株) 正会員 ○阿部 淳一 北武コンサルタント (株) 正会員 渡邊 忠朋
 (株)コムスエンジニアリング 正会員 土屋 智史

1. 目的

駅部に構築されるような鉄道 RC ラーメン高架橋は、建築限界による構造の非対称化や支持桁の反力差などにより、地震時に構造物がねじれるような挙動を示す場合がある。鉄道構造物の RC 部材のねじりの照査は、発生する曲げモーメントやせん断力によって、ねじり耐力が変化する式を用いている。¹⁾この耐力式を用いた場合、筆者らのこれまでのいくつかの設計事例では、ねじりの照査により配筋が変更になるなど、比較的厳しい照査結果となることがあった。これらの観点のもと、本論文は柱部材のねじり耐力を、非線形 FEM と耐力式から解析的に比較検討を試みたものである。

2. 検討概要

検討モデルは、一般的な鉄道 RC ラーメン高架橋の柱部材とし、図-1 のような断面を設定した。部材長は 5250mm である。材料はコンクリートの設計基準強度 $f_{ck}=27N/mm^2$ 、鉄筋は SD345 とした。解析モデルを図-2 に示す。部材長は 5250mm で、ラーメン柱部材であるため両端固定とし、柱上下にスタブを配置した。解析モデルは、鉄筋配置に合わせた要素分割を行っている。柱部材は、非線形性を考慮するものとし、分散ひび割れモデルに基づく前川らのモデル^{2),3)}を用いた。なお、スタブは弾性としている。

本検討では、ねじり耐力に関する解析的検討を試みるものである。前述のようにねじり耐力は、発生する曲げモーメントおよびせん断力と関連付けられた照査式となっている。本検討ではこの照査式に着目し、その中でせん断力との相関性を考慮した検討を試みるものである。そのため、同様な形状でせん断補強鉄筋の配筋が異なる 4 つのケースで検討を行った。検討ケースを表-1 に示す。各検討ケースは比較のため、ねじりモーメントのみを載荷する場合と、せん断とねじりを載荷する場合との 2 つの方法でそれぞれ解析を行い、解析ケースは全 8 ケースとなる。なお、せん断力との相関性を考慮した検討を行うため、柱部材が曲げ破壊先行とならないように、軸方向鉄筋の降伏強度を高く設定している。表-1 には骨組み解析の照査に用いるせん断耐力、およびねじり耐力をそれぞれ示す。算定方法の詳細は文献¹⁾に詳しい。

荷重はスタブを介して、せん断力との相関が無い場合はねじりモーメント 1200kN・m、相関がある場合にはねじりモーメント 1000kN・m およびせん断力 1000kN を、荷重制御により 100 分割して図-2 のように作用させた。

3. 解析結果

各解析ケースのねじりモーメント-ねじり角関係を図-3 に示す。図中の実線がせん断とねじりを同時に考慮した場合で、破線がねじりのみを考慮した解析結果である。図中の●は、解析中に不平衡力が増大し始めたステップを示し、本検討ではこのステップでのねじりモーメントを最大耐力とした。

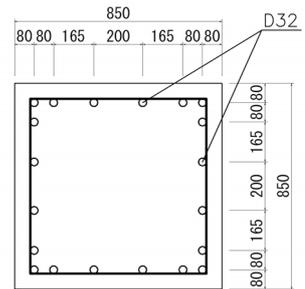


図-1 断面図

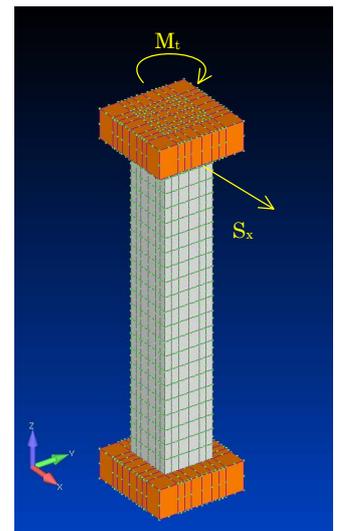


図-2 解析モデル図

表-1 検討ケース

解析ケース名	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
径	19	16	13	13
せん断補強鉄筋	組数(組)	1	1	1
	配置間隔(mm)	125	125	125
	鉄筋比(%)	0.5393	0.3738	0.2385
せん断耐力 $V_d(kN)$	1436.0	1111.2	845.4	611.3
ねじり耐力(相関なし) $M_{td}(kN\cdot m)$	626.2	448.9	286.4	143.2
ねじり耐力(相関あり) $M_{td}(kN\cdot m)$	385.3	253.8	149.4	70.5

キーワード ねじり, RC ラーメン高架橋, 非線形 FEM

連絡先 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通 7 丁目北武第 2 ビル TEL011-851-3181

表-2にFEMおよび耐力式のねじり耐力の比較結果を示す。解析結果は、いずれも耐力式よりねじり耐力が大きく算定され、特にせん断補強鉄筋量が少ない場合には、ねじり耐力が6倍程度も異なっている。これは、耐力式のせん断補強鉄筋量の感度が、解析結果よりも大きかったことが要因と考えられる。

一方、ねじりのみを考慮した場合に比べ、ねじりとせん断を考慮した場合には、ねじり耐力が大きく下回ることがわかる。これらの結果は、現行のねじり耐力式が、ねじりと同時に作用するせん断力によって、耐力が低下することを解析的に表現できた結果であると考えられる。

図-4にはねじり剛性に差が現れ始めた、ねじりモーメント300kN・mにおける変形およびせん断補強鉄筋の応力コンター図を示す。変形は10倍としている。図のように、各解析ケースではせん断補強鉄筋の応力が大きく異なり、より鉄筋量が少ないケースほど、広範囲に応力が高い場所が発生している。また、CASE4には2方向のコンター図を示しているが、ねじりによるせん断補強鉄筋の応力分担は、柱4面のうち、片側の隣接する2面に集中していることが確認できる。比較として、図-5にはねじりモーメントのみを载荷した場合のケース4の応力コンターを示す。ねじりのみを考慮した場合には、4面が同様な応力状態となっている。ねじりモーメントのみが作用する場合に比べ、せん断力を同時に作用させた場合の耐力が小さくなる要因は、同時に作用するせん断力の影響のみならず、せん断力により応力状態が不均衡となり、片側に応力が集中して破壊が局所化していくことも大きな要因と考えられる。

4. まとめ

本検討では柱部材のねじり耐力について、FEMと耐力式の比較を試みた。耐力式に比べ、FEMのねじり耐力が大きく算定され、せん断補強鉄筋量が少ないほどその傾向は顕著となった。これは、耐力式のせん断補強鉄筋の感度が高いことが要因と考えられるが、今後、さらに検討を行いたいと考える。一方、せん断力との相関を考慮した場合、ねじり耐力が大きく減少する要因としては、同時に作用するせん断力の影響のみならず、部材内の応力が不均衡化し、片側に応力集中することが要因の1つとして考えられた。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物, 丸善株式会社, 2004.
- 2) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.
- 3) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear mechanics of reinforced concrete, Spon Press, London, 2003.

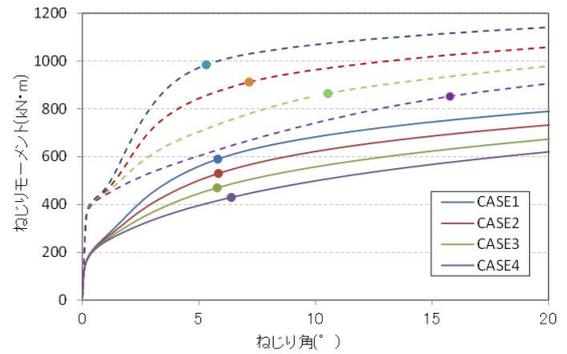


図-3 ねじりモーメントー回転角関係

表-2 解析結果と耐力式の比較

解析ケース名	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	
ねじり耐力 (相関なし)	FEM	984.0	912.0	864.0	852.0
	耐力式	626.2	448.9	286.4	143.2
	FEM/耐力式	1.57	2.03	3.02	5.95
ねじり耐力 (相関あり)	FEM	590	530	470	430
	耐力式	385.3	253.8	149.4	70.5
	FEM/耐力式	1.53	2.09	3.15	6.10

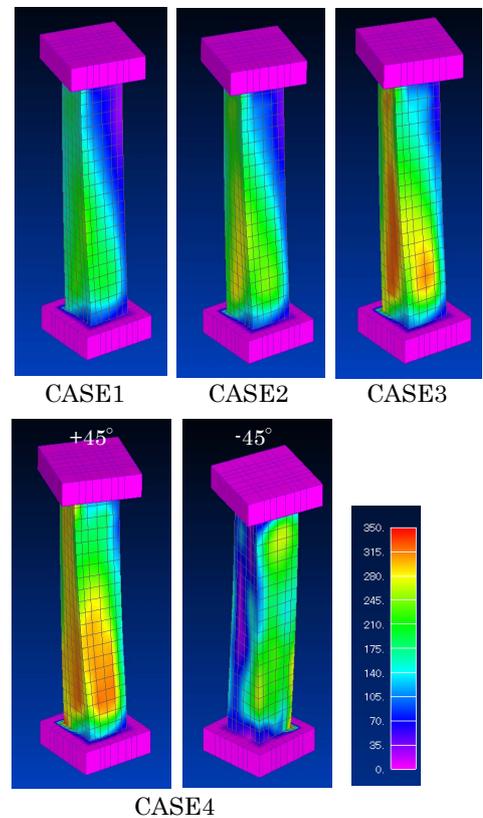
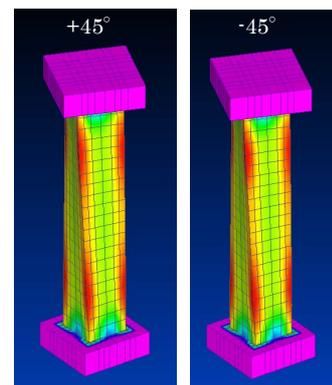


図-4 変形およびせん断補強鉄筋コンター図



CASE4 相関なし
図-5 変形およびせん断補強鉄筋コンター図