

RC ラーメン高架橋柱部材のねじり耐力に関する一考察

A study on evaluation for torsional strength of column members of RC rigid frame viaduct

北武コンサルタント (株) ○正 員 阿部淳一 (Junichi Abe)
 北武コンサルタント (株) 正 員 渡邊忠朋 (Tadatomo Watanabei)
 (株)コムスエンジニアリング 正 員 土屋智史 (Satoshi Tuchiya)

1. はじめに

都市部に建設される鉄道構造物は、既設構造物による建築空間の制約などにより、時として複雑な形状として設計される場合がある。特に駅部に構築されるラーメン高架橋では複雑な形状となるものが多く、さらに支持する桁反力の差や、建築設備などにより、複雑な荷重状態となる場合がある。

このような駅部のラーメン高架橋が地震時水平力を受ける場合、構造物がねじれるような挙動を示す場合がある。この場合、耐震性能の照査には静的な解析によるものでは検討が不十分となり、時刻歴応答解析を求められる場合が多い。

ねじれるような挙動を示す構造物には、当然部材の照査にねじりの照査を行う必要がある。鉄道構造物の RC 部材のねじりの照査は、詳細は省略するが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、本論文では部材のねじり耐力の確認として、非線形 FEM を用いることを最終的な目的とし、そのための基礎的な検討として、荷重の作用方法に着目したねじりの解析的検討を試みる。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

本解析が対象とするのは、鉄道 RC ラーメン高架橋の柱部材である。断面は 1600mm×1600mm で、部材長は 2870mm となる。RC ラーメン高架橋の柱部材であるため、両端固定の部材として解析を行う。対象断面を図-1に示す。

解析モデルの詳細を以下に示す。

解析ツール：COM3

材料特性：

- ・コンクリート $f'_c=38.5$ [N/mm²], $f_t=2.40$ [N/mm²],
 $E_c=33.0$ [kN/mm²], ポアソン比 0.2, $G_{max}=25$ [mm]
- ・鉄筋 $E_s=200.0$ [kN/mm²], $f_y=490.0$ [N/mm²]

モデル化の概念図を図-2 に示す。モデル化は、図のように 20 節点アイソパラメトリック要素としてモデル化し、鉄筋配置に応じた要素分割を行っている。図の緑で着色した箇所はスタブを想定した弾性要素、灰色で着色した箇所は RC/無筋要素である。RC/無筋要素は、Ten

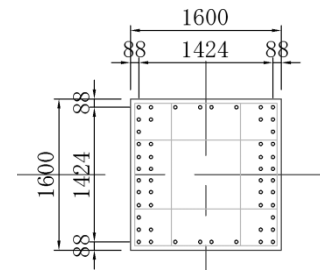
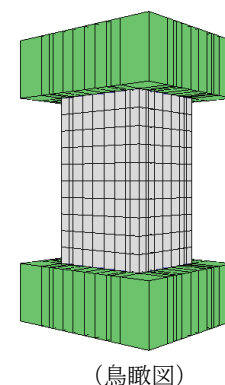
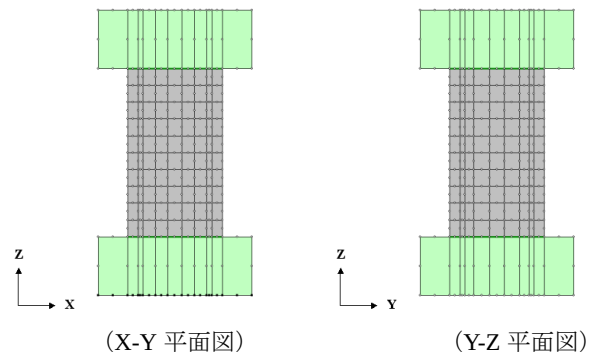


図-1 対象断面



(鳥瞰図)

図-2 解析モデルの概念図

sion Stiffening/Softening を考慮し、柱の両端部では局所変形を考慮するため、接合要素を定義している。また、コンクリートの圧縮軟化特製を要素寸法に応じて定義することにより、主鉄筋の座屈を考慮している^{2), 3)}。なお、詳細は参考文献 2), 3)に詳しい。

2.2 解析方法

本解析では、軸力、曲げとせん断、およびねじりモーメントが作用する柱部材のねじり耐力の検討を試みるも

のである。そのため、以下の2通りの方法で解析を行い、得られる結果の比較を試みる。

タイプ①：曲げモーメント、せん断力を線路方向、直角方向で両方再現した後、ねじりモーメントを漸増载荷する。

タイプ②：曲げモーメント、せん断力、ねじりモーメントを同時に漸増载荷する。

なお、作用させる荷重は、別途行った骨組み解析により得られた応答値を参考とし、表-1の値で载荷する。表-1に示した荷重は、対象部材がラーメン柱部材であるため、モーメントが逆対称であると仮定し、柱頂部（スタブとの接合部）に水平力を与え、スタブの回転を固定することにより、逆対称の曲げモーメントとせん断力の発生を再現している。荷重载荷の概念図を図-3に示す。

上述の各条件は、詳細には以下の手順で解析を行った。

タイプ①

STEP=1~2： 初期軸力を载荷。

STEP=3~13： 2方向水平力を载荷。

STEP=14~： ねじりモーメントを漸増载荷。（ねじりモーメントを100分割し、破壊あるいはねじりモーメントの5倍まで）

タイプ②

STEP=1~2： 初期軸力を载荷。

STEP=3~： 2方向水平力とねじりモーメントを漸増载荷。（各荷重の最大値を100分割し、破壊あるいは各荷重最大値の5倍まで）

なお、タイプ①およびタイプ②におけるSTEP1~2の初期軸力の载荷においては、床面スタブのみを完全固定とする。STEP3以降は、上スタブが回転しないように拘束して荷重を载荷した。

3. 解析結果

上述した2通りの荷重の载荷方法で解析を行った結果を以下に示す。

図-4にはタイプ①およびタイプ②のねじりモーメントーねじり角関係を示す。図中の青線がタイプ①、紫線がタイプ②である。また赤線は表-1の骨組み計算より得られた最大荷重を100%载荷した時点（ねじりモーメント=1173.0kN・m）を表している。

解析結果を比較すると、100%荷重载荷時までは、タイプ①に比べ、タイプ②は初期の剛性が高いことがわかる。これは、タイプ①が水平力をX,Y方向に対して初期に100%载荷しているため、初期の回転変形が生じていることが要因と考えられる。100%载荷時までは、タイプ①とタイプ②でステップ毎の剛性が異なるものの、100%载荷時には同程度のねじり角となった。これは、対象とする部材が100%载荷時程度の荷重では、鉄筋が降伏するような要素の非線形化が大きく進行していないことが要因と考えられる。

一方、タイプ②では100%荷重载荷直後から剛性が低下し始め、ねじりモーメントが2700kN・m近傍で急激に剛性が低下している。タイプ②では、水平力とねじりモーメントを全て漸増载荷させているため、タイプ①と

表-1 载荷荷重

項目	単位	値
水平力(kN)	X方向	kN
	Y方向	kN
軸力*(kN)	kN	2000.0
ねじりモーメント	kN・m	-1173.0

* +：圧縮 -：引張

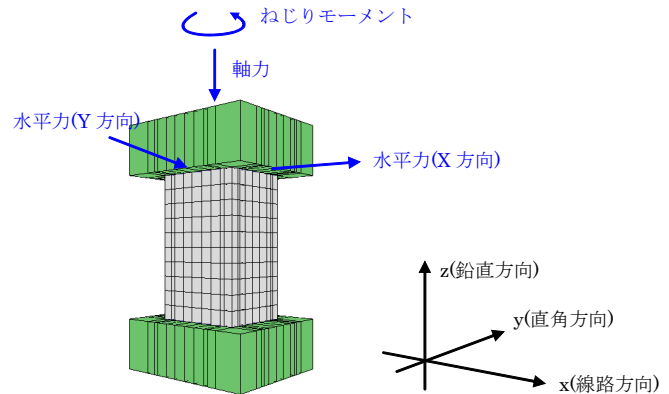


図-3 荷重载荷の概念図

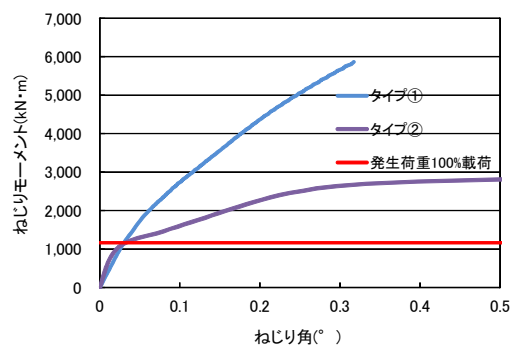


図-4 ねじりモーメントーねじり角関係

比べ、タイプ②では水平力の増加分が解析結果に大きく影響したと考えられる。

解析で得られた変形図、およびコンター図を図-5に示す。各図はそれぞれ、タイプ①とタイプ②において100%荷重载荷時と最大ねじりモーメント発生時近傍のものである。100%载荷時には、ねじりモーメントーねじり角関係ではタイプ①とタイプ②では同様のねじり角となっていたが、最大主ひずみではタイプ①の方が高いことが確認できる。また、最大荷重時のタイプ①では、部材の各面で対角状に最大主ひずみが発生しているのに対し、タイプ②ではスタブとの接合部付近で大きなひずみが発生していることが確認できる。

一方、図-6にはタイプ②のせん断補強鉄筋の応力コンター図を示す。図のように最大荷重時近傍のせん断補強鉄筋は、ある一面で大きな応力が発生していることが確認される。

これらの検討より、対象部材では、ねじりのみを増加させた場合には部材として十分に耐力があるが、同時に曲げモーメントやせん断力も大きく作用すると、ねじり耐力は急激に低下することが確認された。また、その要

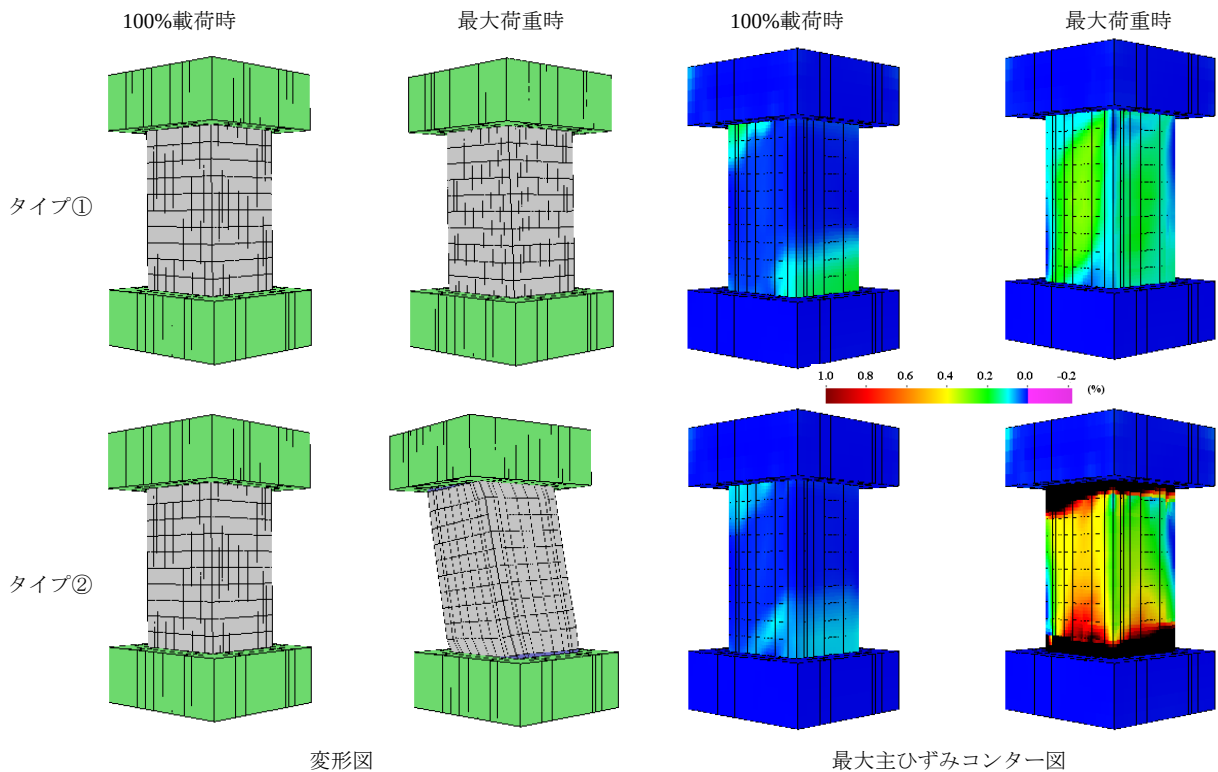


図-5 変形図および最大主ひずみコンター図

因としては、曲げモーメントやせん断力の作用による補強鉄筋の降伏が考えられる。さらにこれらの補強鉄筋が受け持つ応力は、片面に大きく偏ることが確認された。なお、参考文献 1) では、曲げモーメントと照査値 M_d/M_{ud} あるいはせん断力の照査値 V_d/V_{yd} との相関関係でねじり耐力 M_{tud} が定まる式となっており、照査値が 1 に近づくほど、 M_{tud} が小さくなる。この式は、本解析結果において、ねじりモーメント M_d のみの変化では十分な耐力を有するが、同時に水平力を増加させると最大耐力が大きく減少した解析結果と同様な傾向であることがわかる。

4. まとめ

本論文では、部材のねじり耐力の確認として非線形 FEM を用いることを最終的な目的とし、そのための基礎的な検討として、本論文では荷重の作用方法に着目したねじり耐力の解析的検討を試みた。

荷重する荷重は、あらかじめ実施した骨組み解析の応答結果を基に設定し、荷重方法を 2 種類設定した。

結果、ねじりモーメントのみを漸増荷重した場合には、骨組み計算により得られたねじりモーメントに対して十分な耐力が確保されていた。一方、タイプ②ではタイプ①に比べねじり耐力が大きく減少した。これは、水平力も漸増荷重していることが要因と考えられた。またこの結果は、鉄道標準の曲げモーメントあるいはせん断力の照査値と関連付けられる、ねじり耐力の設計式と同様な傾向であることが示された。

本解析では、実構造物の設計時において、部材のねじり耐力を非線形 FEM により確認することを念頭に行ったものである。今後は、ねじり耐力に対する基礎的な検

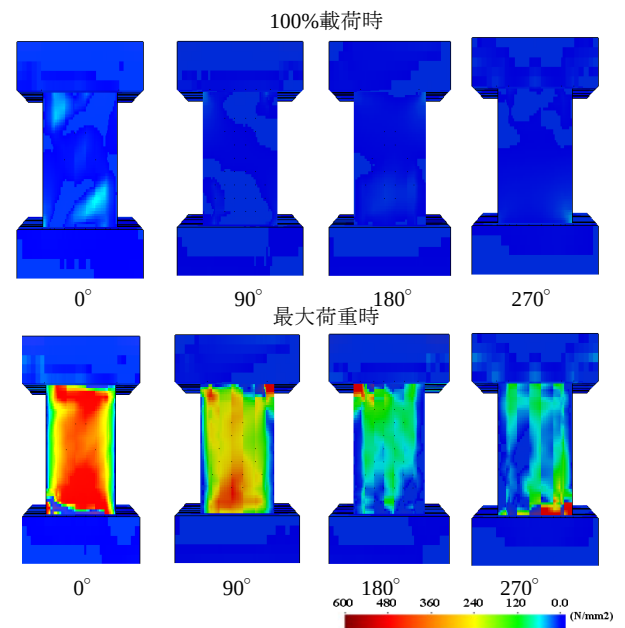


図-6 せん断補強鉄筋の応力コンター図

討を、種々の要因に対してパラメトリックに解析して行いたいと考える。

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.