

1. はじめに

鋼門形ラーメン橋脚では、地震時に水平地動を受けると、はり部材にせん断力が生じ、柱に軸力変動として伝達される。非弾性応答を呈する一、二層ラーメンの場合、はり・柱部材内の塑性変形のパターンによっては、大きな軸力変動が起こる場合がある¹⁾。本研究では、ラーメン柱の軸力変動に着目し、繰返し曲げを受けるはり-柱の弾塑性有限変位解析を行うものである。変動軸力の有無や柱の変位応答の対称性を考慮して、柱基部付近の塑性変形や局部座屈性状について考察する。

2. はり-柱の解析モデルと解析方法

本文で対象とするはり-柱の解析モデルと寸法諸元を図 1 に示す。はり部材の剛性が高い一層門形ラーメンの柱の下半分を想定している。定鉛直荷重 P の作用下で、柱頭部に水平力（強制変位 δ_H ）と変動軸力 ΔP が作用するものとした。柱は補剛された薄肉正方形の等断面とし、局部座屈が発生すると考えられる柱基部は薄肉シェル要素、柱上部は骨組要素でモデル化した。縦補剛材は道路橋示方書²⁾による必要剛比 γ_{req} の 5 倍の剛比を持つように設計している。

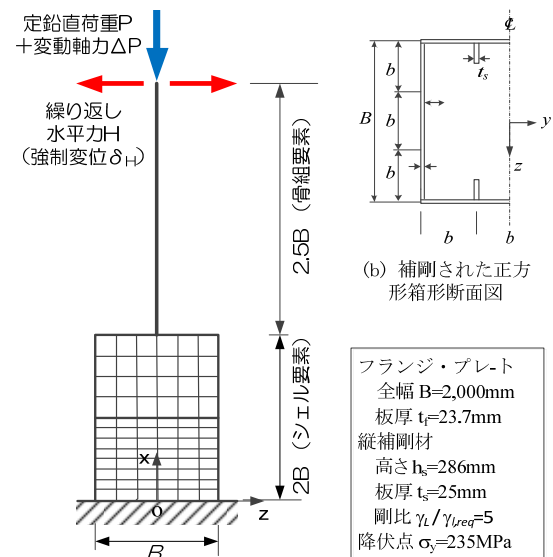
数値解析には汎用 FEM 解析ソルバー-MARC³⁾を用いた。水平強制変位 δ_H は、門形ラーメンの非弾性地震応答性状を踏まえて¹⁾、図 2(a)に示すように、正負定変位振幅 Case 1 と一方向に偏りのある非対称変位振幅の Case 2, 3 の 3 パターンを仮定した。 δ_H の振幅は降伏変位 δ_y の 3 倍としている。また、変動軸力 ΔP は、一、二層ラーメンを想定して、柱の水平変位 δ の関数として、次式で与えている。

$$\Delta P = -0.06 N_y \cdot \delta / \delta_y \quad (1)$$

ここに、 N_y ：柱断面の圧壊荷重（＝降伏点 σ_y × 断面積 A ）、 δ_y ：降伏水平変位である。漸増載荷の水平力 H －変位 δ 曲線と上式の関係を示すと同図(b)のとおりでである。数値解析の範囲で柱の最大軸力は圧縮 $0.5N_y$ 、引張 $0.03N_y$ となる。

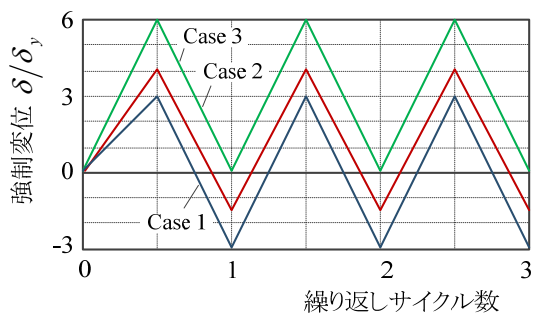
3. 解析結果と考察

まず、柱の水平荷重 H －水平変位 δ 曲線を図 3 に示す。同図(a)からわかるように、変動軸力 ΔP が圧縮となる変位の正側で水平耐力 H の低下が見られる。 ΔP が引張となる変位の負側では耐力 H が上昇している。また、同図(b)から、変

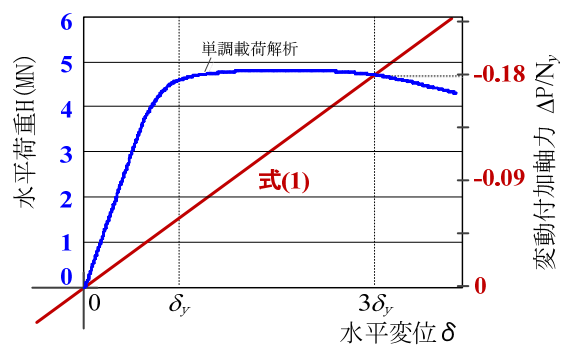


(a) 繰返し曲げを受けるはり-柱

図 1 変動軸力下で繰返し曲げを受けるはり-柱



(a) 水平強制変位の与え方



(b) 付加変動軸力と水平変位の関係

図 2 水平強制変位のパターンと付加変動軸力

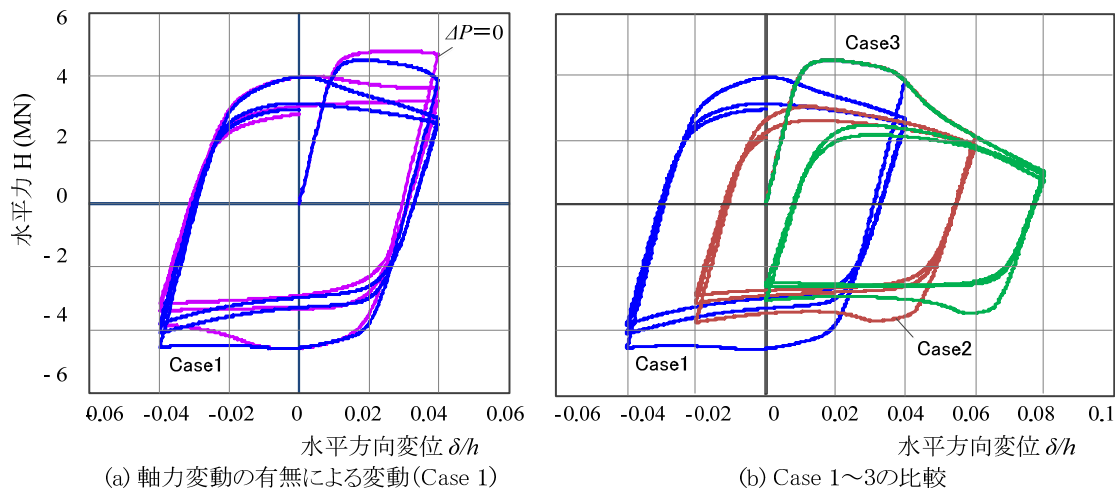


図3 水平荷重 H — 変位 δ 関係

位が正側に偏るにつれて、変位反転点付近での耐力低下が著しくなっていることがわかる。

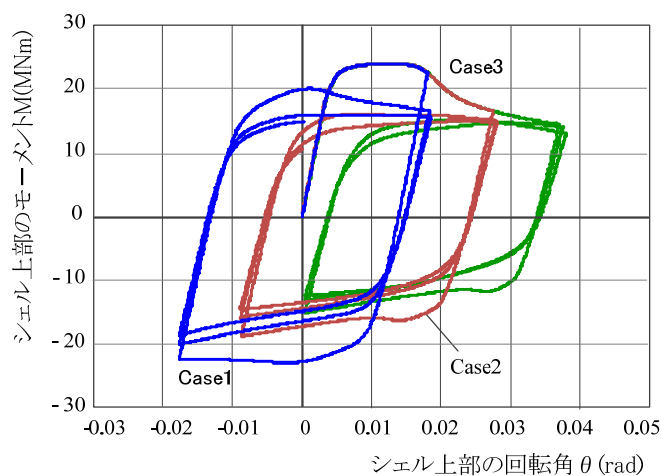
解析結果から、シェル要素上部のモーメント M —回転角 θ 関係、柱基部 $2B$ の区間の軸力—軸ひずみ ϵ_0 関係、および、繰り返しサイクル数による軸ひずみ ϵ_0 の変動を図4にまとめる。

まず、同図(a)よりわかるように、回転角 θ が正側に偏ることにより軸力変動が大きくなるため、モーメント耐力の低下が顕著である。Case 3 の θ の正側反転点では、約 $0.5N_y$ の軸圧縮力が作用している（同図(b)参照），その分だけ終局モーメントが小さくなったと考えられる。この点は、局部座屈による耐力低下も含めて検討の余地がある。また、同図(b), (c)より、変動軸力 ΔP が正負に交番する Case 1 では、圧縮軸ひずみ ϵ_0 は最大で降伏ひずみ ϵ_y の 7 倍程度であるが、 ΔP が圧縮側に大きくなる Case 2, 3 の ϵ_0 はそれぞれ $11\epsilon_y$, $16\epsilon_y$ にまで増大していることがわかる。

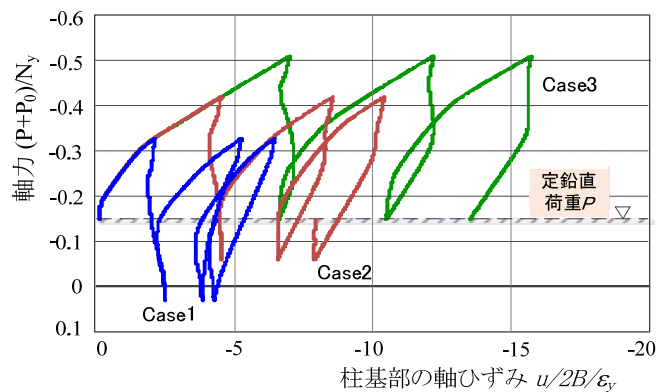
4. まとめ

地震動を受ける鋼門形ラーメン柱の軸力変動を想定して弾塑性有限変位解析を行った。柱基部の軸ひずみ進展等、変動軸力による損傷については、今後さらに検討する必要がある。本研究の実施には、平成 24～26 年度の科学研究費補助金・基盤研究 C（課題番号：24560592）の補助を受けたことを付記し、謝意を表します。

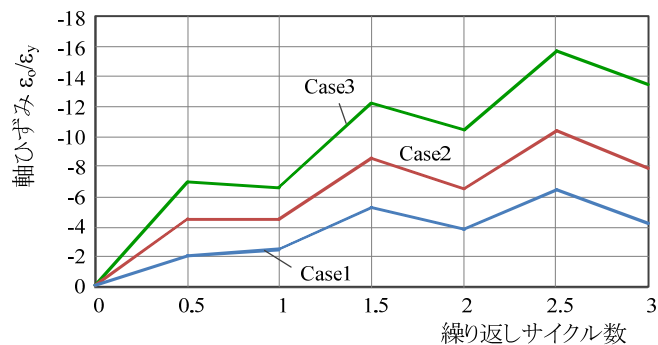
参考文献 1) 酒造敏廣，水澤富作，山田 幸，戸田智規：汎用 FEM コードを利用した鋼一層門形ラーメンの地震応答解析，土木学会論文集 A1, Vol.68, No.2, pp.440～452, 2012 年 7 月。 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，丸善，平成 14 年 3 月。 3) MSC Software：MSC MARC2003，ユーザーマニュアル，2003 年。



(a) モーメント M — 回転角 θ 関係



(b) 柱基部の軸力 N —軸ひずみ ϵ_0 関係



(c) 繰り返しによる柱基部の軸ひずみ ϵ_0 の変動

図4 軸力変動下での柱基部の弾塑性性状