

## コンクリートを充填した鋼製橋脚の最適耐震設計について

北海学園大学工学部 正員 杉本 博之, 学生員 ○佐々木利健  
 北武コンサルタント(株) 正員 渡邊 忠朋, 山口大学工学部 正員 古川 浩平

**1. まえがき** 筆者らは、今までコンクリートを充填していない鋼製橋脚を対象として最適化手法 GA を応用した最適耐震設計システム<sup>1)</sup>を研究してきた。しかし、現在架設されている鋼製橋脚は、そのほとんどが車両等の衝突による橋脚の損傷の防止および、耐震性の向上のために、コンクリートが充填されている。そこで本報告では、コンクリートを充填した鋼製橋脚を対象に、最適耐震設計システムを用いて設計をし、有効充填高さなどについて検討を行った。また、1次設計における耐震性の照査法としては、道路橋のための非線形応答スペクトル<sup>2)</sup>を計算し、それによる非線形スペクトル法を用いた。

**2. 部材の非線形特性** 現行の道路橋示方書<sup>3)</sup>では、大きな強度を持つ地震動には、構造物が塑性化した後の性能も評価して設計を行うとされている。本研究では、コンクリートを充填しない鋼製橋脚と充填した鋼製橋脚を対象として、それぞれ曲げモーメント  $M$  と曲率  $\phi$  の関係の骨格曲線を部材に与え設計を行っている。前者の骨格曲線を図-1、後者の骨格曲線を図-2に示す。図-1のYC点は、圧縮フランジの板厚中心が降伏ひずみ  $\epsilon_y$  に達した点で、その時の曲げモーメントは  $M_{yc}$ 、曲率は  $\phi_{yc}$  である。YT点は、引張りフランジの板厚中心が降伏ひずみ  $\epsilon_y$  に達した点で、その時の曲げモーメントは  $M_{yt}$ 、曲率は  $\phi_{yt}$  である。図-2のY点は、YC点とYT点のうち小さいほうの点である。それぞれの図中のA点は、圧縮フランジの板厚中心が許容ひずみ  $\epsilon_a$  に達した点で、その時の曲げモーメントは  $M_a$ 、曲率は  $\phi_a$  である。 $\epsilon_a$  はコンクリートを充填していない場合式(1)、コンクリートを充填している場合式(2)により算定される。

$$\epsilon_a / \epsilon_y = 20 - 25R_f \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\epsilon_a / \epsilon_y = 6 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $R_f$  は補剛板の幅厚比パラメータ、 $\epsilon_y$  は鋼材の降伏ひずみ、 $\epsilon_a$  は鋼材の許容ひずみである。

充填されたコンクリートは、軸力による圧縮応力および、曲げによる引張応力を負担しないものとし、曲げによる圧縮応力のみを負担するものとして、骨格曲線を算定した。これにより鋼材とコンクリートの合成構造物として耐震性を考慮している。設計基準強度  $\sigma_{ck}$  は一般的に低強度のコンクリートが良いとされているので  $0.016\text{kN/mm}^2$  とし、応力  $\sigma$  とひずみ  $\epsilon$  の関係は、図-3に示した  $\sigma - \epsilon$  関係に従うものとした。

**3. 最適耐震設計システム** 本研究では、最適耐震設計システムを用いて設計を行っている。このシステムは、静的非線形解析と耐震性の照査法に最適化手法 GA を応用して1次設計を行いその設計に対して、時刻歴応答解析により照査を行うシステムである。耐震性の照査法は、作成した非線形応答スペクトルを用いた非線形スペクトル法を用いた。静的非線形解析は、上記の  $M - \phi$  関係の骨格曲線を部材に与え、プッシュオーバー解析を行った。次に、このシステムで設計を行うために必要となる最適耐震設計問題の定式化について説明する。目的関数は、コンクリートの充填の有無に関わらず、鋼材の総容積  $V$  と補剛材本数  $N$  の総和で式(3)に示すように定式化を行った。

キーワード コンクリート充填鋼製橋脚, 最適耐震設計システム, 非線形応答スペクトル, 最適充填高さ  
 連絡先 〒064-0926 北海道札幌市中央区南26条西11丁目 Tel(011)841-1161 Fax(011)551-2951

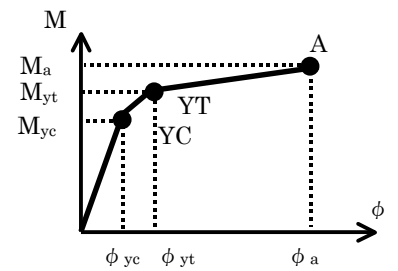


図-1 無充填鋼製橋脚の骨格曲線

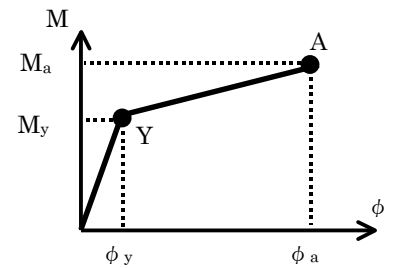


図-2 充填鋼製橋脚の骨格曲線

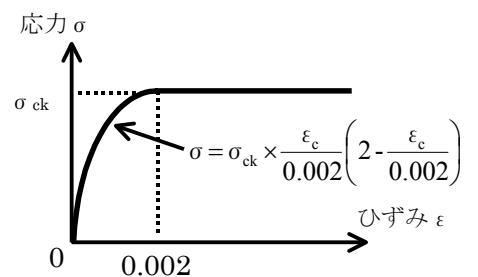


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係

$$OBJ = V/V_0 + \alpha N \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここに、 $V_0$ は、鋼材の総容積  $V$  を無次元化する値、 $\alpha$ は、鋼材の総容積と補剛材の溶接に関わるコストの比として、以下の数値計算例では0.08<sup>4)</sup>として設計を行っている。制約条件は、耐震性に関する条件と、構造細目に関する条件がある。耐震性に関する条件は、非線形スペクトル法を用いている。構造細目に関する制約条件は、局部座屈防止のための幅厚比などの条件を設定している。局部座屈防止のための幅厚比に関する条件は、コンクリートを充填した場合、その効果により局部座屈は発生しないものと仮定し設定していない。また、充填天端位置で、鋼材が降伏し局部座屈が発生する可能性が考えられる。そこで、充填天端位置は、降伏させないように制約している。設計変数は、図-4に示す断面寸法として断面幅  $B$ 、断面高さ  $H$ 、フランジ板厚  $T_f$ 、ウェブ板厚  $T_w$ 、フランジ補剛材本数  $N_f$ 、ウェブ補剛材本数  $N_w$ 、補剛材高さ  $B_s$ 、補剛材厚さ  $T_s$  である。断面幅  $B$  は、断面高さ  $H$  に係数  $k$  を乗じて算定している。

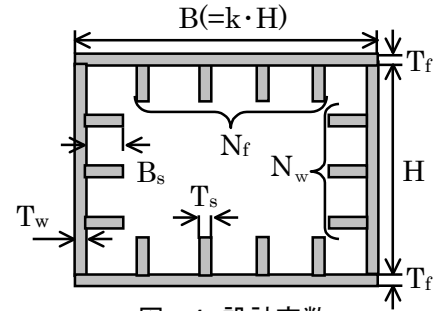


図-4 設計変数

**4. 設計結果** 設計を行った構造は、実構造モデルで、図-5に示すように棒部材にモデル化して設計を行った。図中の右に示したカンティレバーが面外方向、左に示したラーメンが面内方向であり、両方向を同時に考慮して設計を行った。また橋脚高さは、10mと15mの2種類を設定した。本研究では、 $M-\phi$ 関係の骨格曲線を部材に与え静的非線形解析を行っている。そこで、モデル化した棒部材を1mごとの要素に分割して解析を行っている。また、曲率の照査は、分割した各要素の中央で行った。 $k=\sqrt{3}$ として、橋脚高さ10mの場合には、コンクリートの充填高さを[無充填, 5m, 6m, 7m, 8m, 全部充填]で設計を行い、橋脚高さ15mの場合には、[無充填, 7m, 8m, 9m, 10m, 11m, 12m, 13m, 全部充填]で設計を行った。それぞれの、目的関数および、断面積を比較したグラフを図-6, 7に示す。図中の横軸は充填高さを示しており、縦軸は目的関数および、断面積の値を示している。いずれの充填高さでも目的関数、断面積ともに無充填が1番大きな値を示した。また、橋脚高さ10mでは6~8m充填、橋脚高さ15mでは8m~全部充填の範囲では、目的関数、断面積ともにほぼフラットな傾向を示した。このことから、充填することにより鋼重を減らすことができたが、ある程度以上充填高さを上げて、さらに鋼重を減らすことはできないと考えられる。しかし、橋脚高さ10mでは、無→5m充填、8→全部充填で不連続になる傾向があり、今後検討する必要があると考えられる。

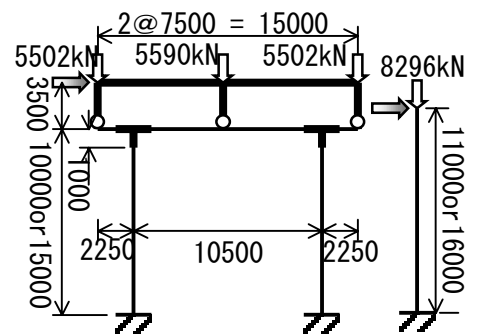


図-5 解析モデル図(mm)

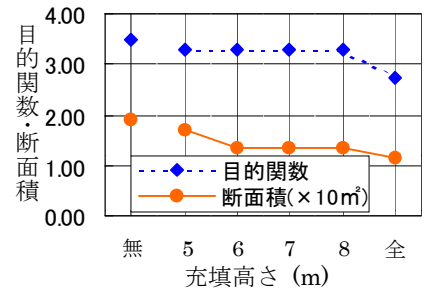


図-6 設計の比較(橋脚高 10m)

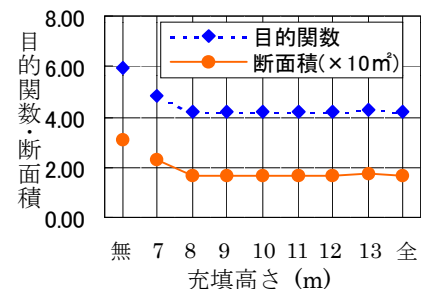


図-7 設計の比較(橋脚高 15m)

**5. まとめ** 1例の計算ではあるが、コンクリートを充填した鋼製橋脚の充填高さを変えて設計を行った。いずれの場合も無充填よりは、鋼重を減らすことができた。今後は、さらにいろいろな構造モデルで設計を行い、その傾向を確認すること。また、時刻歴応答解析により検討を行いたいと考える。さらに、1次設計の際にアクティブになる制約条件や、コンクリート充填部と無充填部について、それぞれの許容ひずみ式を用いる時の補剛板の幅厚比パラメータ  $R_F$  および、板パネルの幅厚比パラメータ  $R_R$  に関する制約条件について、それらが設計を支配する程度などを検討する必要があると考えられる。

参考文献 1)杉本・他 5名：鋼製橋脚の最適耐震設計法について、構造工学論文集，2001. 2)杉本・渡邊・朝日・佐々木・古川・松本：非線形スペクトル法による道路橋下部構造の耐震設計に関する研究，第5回 SDDM 講演論文集，2002. 3)日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編，1996. 4)杉本・他 5名：鋼製橋脚の最適耐震設計法に関する研究，北海学園大学工学部研究報告書，2002.