

鋼製橋脚の最適耐震設計と2方向照査について

北海学園大学 学生員 朝日啓太、正員 杉本博之、学生員 村部剛史
山口大学 正員 古川浩平、日本電子計算(株) 正員 松田宏

1. まえがき 構造物あるいは何らかのシステムは、最適設計法を用いて、所定の照査基準を満足しながら設計者が希望する工学的価値基準を最良にする設計を得ることができる。最適設計法を使えない、あるいは使うことが困難になる場合はほとんどないが、わずかに解析および照査システムが複雑で計算時間がかかる場合か、実用に耐えうる解析プログラムが高度のためソースの形で手に入らない場合である。このような場合は、何らかの近似モデルを作成し、厳密な解析を近似モデルの解析に置き換えることが行われる。

現在の構造物の耐震設計基準は、文献1) 2) に定められているが、鋼構造物(コンクリートを充填しない)に関しては、前者は構造物の非弾性領域を考慮した動的解析により耐震性を判定するようになっており、後者は、所要降伏震度スペクトルを用いるが基本的には構造物の非線形性を考慮した動的解析により応答値の算定をするように定められている。いずれも照査法として位置付けられている。これらの解析・照査システムはまさに前記の最適設計法を使いづらした場合に相当し、何らかの近似モデルの作成が必要になる。

本研究では、地震時保有水平耐力法による耐震性の評価、曲げモーメントと部材角の関係²⁾を用いる弾塑性解析、により動的解析・照査に代わる近似モデルを作成し、それを最適化の対象として断面決定を行うことを試みた。得られた設計は1次設計と位置付けられ、上記の耐震性の評価^{1) 2)}が行われて設計に採用されるものである。³⁾ また、数値計算例として鋼製門型ラーメン橋脚の設計に適用を試み、橋軸方向と橋軸直角方向の2方向の構造系に対する最適設計の相互照査を試みている。最適設計手法としてはGAを用いている。

2. 耐震設計のための近似モデル 本研究は鋼製門型ラーメン橋脚を対象としているが、動的解析に置き換わるモデルとして地震時保有水平耐力法を応用することにする。また、静的弾塑性解析に用いる部材の非線形性は、図-1に示す曲げモーメントと部材角の関係で与える。²⁾ 図で、Y点は降伏点、M点は最大耐力を維持できる最大変形点、N点は最大曲げ耐力の95%を維持できる最大変形点となっている。従って弾塑性構造解析は、水平荷重の増加に伴い部材端部に塑性ヒンジが構成され最終的に機構形成により崩壊に至るという考え方に基づいている。公表されている実験結果⁴⁾と、本研究の弾塑性解析の結果の比較を図-2に示した。他の計算例でも同様の結果が得られているが、

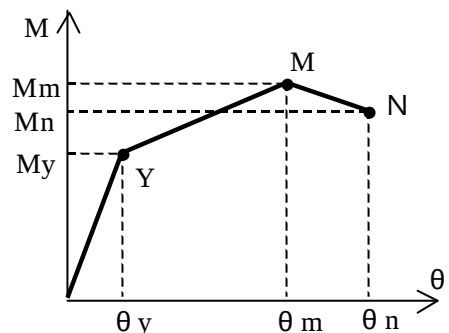


図-1 骨格曲線図(M-θ)

本研究の目的には十分な精度が得られていると思われる。耐震性の評価においては、弾塑性挙動のエネルギーは正確に面積計算をして算出しており、また本報告では安全率の概念は入っていない。

3. 最適問題の定式化 鋼製橋脚の耐震性の評価を上記の物理的な近似モデルに置き換え、その断面決定に最適化手法(GA)を応用した。

最適化問題の定式化は以下のようになる。

$$\text{目的関数} : OBJ = V / V^0 + \alpha N \quad (1)$$

ここで、Vは鋼材総容積、V⁰はVを無次元化するための一定値、αはウェイト、Nは補剛材本数を示している。目的関数は、鋼材総容積のみでなく、経済性を考慮して補剛材本数を加えた。αの値が大きくなれば補剛材本数に、小さくなれば重量にウェイトがおかれることになる。

・制約条件 : まず、耐震性の評価に関する制約条件は、

$$G(1) = K_{hc} W \sqrt{(\delta_y / 2 P_y E_N) - 1} \leq 0 \quad (2)$$

キーワード 鋼製橋脚、耐震設計、物理的近似モデル、遺伝的アルゴリズム

〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目1番1号 TEL(011)841-1161 FAX(011)551-2951

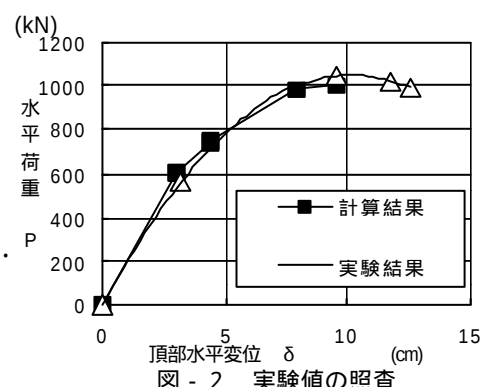


図-2 実験値の照査

となる．ここで、 K_{hc} は設計水平震度（本報告では2）． W は上部構造物の総重量、 P_y は降伏水平荷重、 E_n は弾塑性挙動のエネルギー（後記の幅厚比パラメータは、この値の計算に関係する）、 δ_y は降伏時の頂部水平変位である．この他に、圧縮力を受ける無補剛板および補剛板の幅厚比の関係を制約条件として考慮している．

・設計変数：各部材ごとに、図-3に示す4つの断面寸法、 $B(=H)$ 、 $Tf(=Tw)$ 、 $Bfs(=Bws)$ 、 $Tfs(=Tws)$ 、および補剛材本数 $Nf(=Nw)$ を設計変数としている．これらの値はすべて離散量として扱っている．

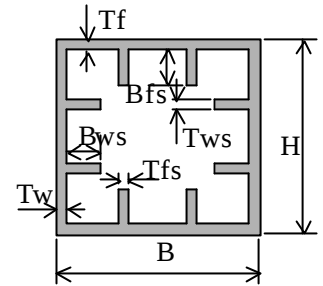


図-3 鋼製橋脚断面図

4. 計算結果及び考察 右図に示す門型ラーメン橋脚において、橋軸方向と橋軸直角方向の2方向からそれぞれ水平荷重を受けた場合のそれぞれの最適解を表-1、2に示した． V は鋼材総容積(cm^3)、 R_R は幅厚比パラメータである． α の値が小さくなるに従って薄肉断面になりかつ補剛材の本数が増えてきている．これらの断面はそれぞれの方向において上記の制約条件を満足している設計であるが、実際には、一つの断面であり、両方向において制約条件を満足しなければならない．それで、それぞれの方向の設計を逆の方向の断面に与えて再度制約条件の値を

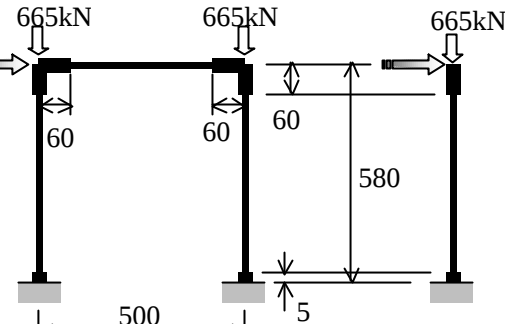


図-4 橋軸直角と橋軸方向の構造図(cm)

表-1 橋軸直角方向での最適断面図

α	-	0.1	0.02
V	cm^3	2.907×10^5	2.444×10^5
R_R	-	0.9906	0.9906
最適断面図	cm		
α	-	0.007	0.005, 0.001, 0.0005
V	cm^3	2.358×10^5	2.247×10^5
R_R	-	0.6604	0.4953
最適断面図	cm		

表-2 橋軸方向での最適断面図

α	-	0.1	0.04
V	cm^3	0.3798×10^6	0.3421×10^6
R_R	-	0.9906	1.10067
最適断面図	cm		
α	-	0.01, 0.005, 0	0.001
V	cm^3	0.3347×10^6	0.3347×10^6
R_R	-	0.8255	0.6604
最適断面図	cm		

計算し可能性を検討した（表-3、4）．その結果、橋軸方向の最適断面は橋軸直角方向の制約条件も満足した（表-4）が、橋軸直角方向の最適断面は、表-3に示すように耐震性の評価に関わる橋軸方向の制約条件を満足しなかった．図-4の構造は実験模型のため規模は小さい．

5. あとがき 鋼製橋脚の1次設計を求めるための設計法の提案と、2方向照査の結果について説明した．今後、所要降伏震度スペクトルの利用、最適形状は長方形と思われるので、長方形断面の2方向を同時に考慮すること、及び動的解析との関係などを検討していく予定である．

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書 V 耐震設計編、1996．2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準 耐震設計、1999．3) 斎藤他3名：弾塑性挙動を考慮する構造物の耐震補強・設計最適化支援システムについて、第54回年講概要集1-A、1999．4) 西川他5名：鋼製ラーメン橋脚の耐力と変形性能に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol. 45A、1999．

表-3 橋軸直角方向最適断面の適用度

α	橋軸直角方向 G(1)	橋軸方向 G(1)
0.1	-0.012	1.112
0.02	-0.012	1.149
0.007	-0.005	1.406
0.005	-0.014	1.385

表-4 橋軸方向最適断面の適用度

α	橋軸直角方向 G(1)	橋軸方向 G(1)
0.1	-0.511	-0.037
0.04	-0.468	-0.017
0.01	-0.491	-0.023
0.001	-0.493	-0.015