

最適化手法を用いる鋼製橋脚の耐震設計について

北海学園大学 正員 杉本博之, 学員 ○朝日啓太, 学員 佐々木利健
 山口大学 正員 古川浩平, 東光 C. F 高久達将, 北武 C. 正員 渡辺忠朋

1. まえがき 現在の耐震設計示方書類¹⁾²⁾では, 兵庫県南部地震に相当する大きな地震動を想定する場合, 部材の非線形性を考慮して, 耐震性の照査を行うとしている. 特にコンクリートを充填しない鋼製橋脚を対象とする場合, 実挙動を精度よく解析できることから, 時刻歴応答解析による照査を行うとしている. しかし, 時刻歴応答解析による照査では, 試行錯誤的な設計を行うことになり, 設計コスト, 設計時間の関係からも有効な一次設計が望ましいと思われる. そこで本研究では, 静的非線形解析に最適化手法 GA を応用して一次設計を求め, これを時刻歴応答解析により二次照査する最適耐震設計システムの検討を行ってきた³⁾⁴⁾. 本報告では, 基本的に道示¹⁾に従う骨格曲線および地震時保有水平耐力法による耐震性の照査を行い, 一次設計を行った. 次に, 時刻歴応答解析による二次照査, さらに一次設計の微小修正を行い, 最適耐震設計システムの検討を行っている.

2. 最適耐震設計システム 本研究で提案する最適耐震設計システム³⁾⁴⁾を図-1に示す. 大別すると, 最適化手法 GA と静的非線形解析による一次設計と, 得られた一次設計を時刻歴応答解析による二次照査に分けられる. 一次設計では, 保耐法を用い, 耐震性の照査を行う. そして得られた一次設計を時刻歴応答解析によって二次照査し, これが制約規準を満足すれば最適設計の終了となり, 制約規準を満足しない場合, その度合いが大きければ最適化問題を改良し再度一次設計から行い, また度合いが小さければ一次設計の微小修正を行い時刻歴応答解析による二次照査を再度行う. これらを一連の流れとするコンクリートを充填しない鋼製橋脚の最適耐震設計システムを提案する.

3. 骨格曲線 兵庫県南部地震に相当する大きな強度の地震動を想定する場合, 線形域のみでなく非線形域を考慮すると設計示方書類¹⁾²⁾に示されている. 鋼製橋脚についても例外ではなく部材の非線形性を考慮するとしている. 本研究では提案されている許容ひずみ ε_a ⁵⁾を用いて非線形性を考慮している. この許容ひずみ式を次式に示す.

$$\varepsilon_a / \varepsilon_y = 20 - 25R_F \quad (1)$$

ここで, ε_y : 降伏ひずみ, R_F : 補剛板全体の幅厚比パラメータである. この許容ひずみを用いて, フランジ板厚中心を照査位置として, 曲げモーメント M と曲率 ϕ の関係, および M と部材角 θ の関係の骨格曲線を算定した. この骨格曲線を図-2に示した. 図中の YC 点は圧縮側が降伏ひずみに達した点, YT 点は引張側が降伏ひずみに達した点, A 点は圧縮側が許容ひずみ式(1)に達した点である.

4. 最適設計問題の定式化 最適耐震設計システムによる設計を行うために,

ここでは最適設計問題の定式化について説明する. 目的関数は, 式(2)で表されるように, 無次元化された鋼材総容積 V と補剛材本数 N の線形和最小化としている.

$$OBJ = V/V_0 + \alpha N \quad (2)$$

ここで, V_0 は V を無次元化する一定値, α は無次元化された鋼材総容積と補剛材 1 本とのコスト比で, 以下の数値計算では 0.01 とした. 制約条件は, 耐震性の照査と断面の照査に分けられる. 耐震性の照査は保耐法¹⁾³⁾によるキーワード 最適耐震設計システム, 静的解析, 時刻歴応答解析

〒064-0666 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

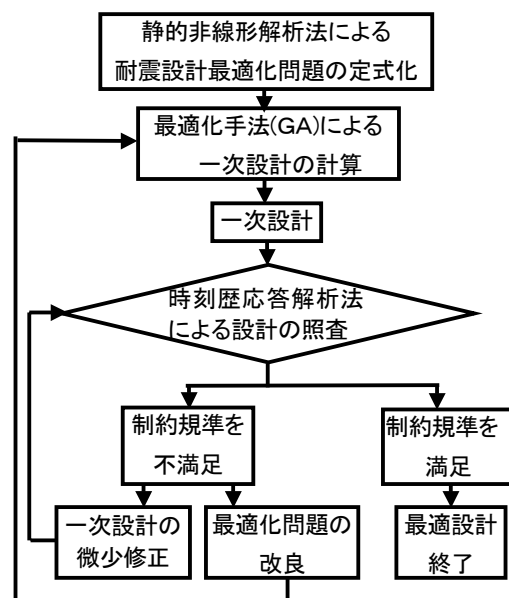


図-1 鋼製橋脚最適設計システム

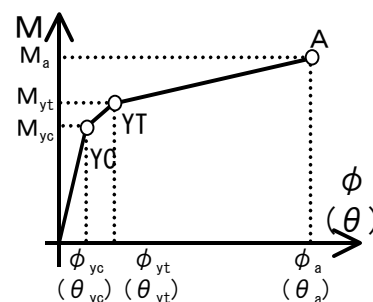
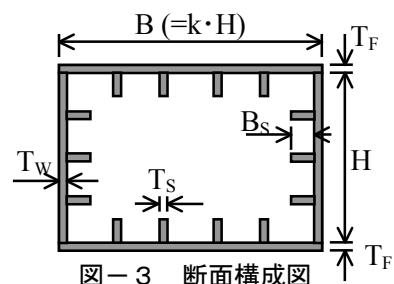


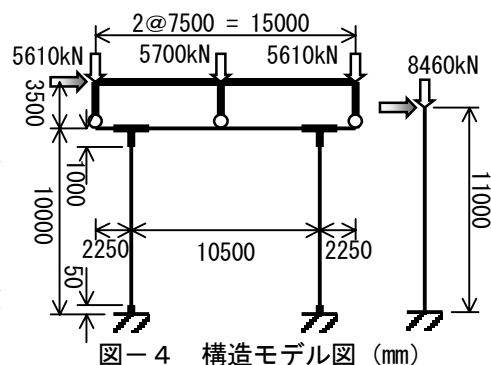
図-2 骨格曲線

って行っている．断面寸法に関わる必要な条件⁶⁾も考慮する．さらに，提案される許容ひずみ式（１）には座屈パラメータ等に適用範囲があるため，それらも制約条件に加えている．設計変数は，図－３に示す断面高さ H ，板厚 T_F と T_W ，補剛材高さ B_S ，補剛材厚さ T_S ，そして補剛材本数 N_F と N_W である． B と H の比はパラメータ k で与えた．



５．計算結果 本研究で対象とする鋼製橋脚の構造モデルは，２方向を同時考慮するため，面内，面外として２つの構造モデルを設定している．

これらを図－４に示している．左に面内，右に面外の構造モデルを示している．使用鋼材は SM490Y，ダイヤフラム間隔は 1900mm，地盤種別は I 種地盤である．パラメータ k には 1.2, $\sqrt{2}$, $\sqrt{3}$ および 2 を与えた．これを表－１に示した．表中の OBJ は目的関数値， A_r は断面積を示している．次に得られた一次設計を時刻歴応答解析によって二次照査を行った．これらの結果を表－２に示した．内は面内の照査結果を意味し，左右の柱の上下端で照査し応答値の大きい方をとって示してある．外は面外の照査結果を意味し，柱部材の基部で照査を行った．照査は，



最大応答曲率 $\phi_{\max}$ を降伏曲率 ϕ_{yc} と限界曲率 ϕ_a で除した比率，残留変位 δ_R ，および水平変位（最大応答値 $\delta_{h\max}$ ）で行った． δ_R の許容値は橋脚高さの 100 分の 1，水平変位の許容値 δ_{ha} は静的解析の最大変位とした．表に示すように，これらの応答値は総て許容値を下回る結果となった．その意味では，制約規準を満足していることにな

表－１ 一次設計結果

k	OBJ	$N_F \cdot N_W$	$B \cdot T_F$ [mm]	$H \cdot T_W$ [mm]	$B_S \cdot T_S$ [mm]	A_r [m ²]
1.2	2.060	3*3	2200*25	1850*22	200*34	0.273
1.2*	2.029	3*3	2150*25	1800*22	200*34	0.268
$\sqrt{2}$	2.031	6*5	2700*19	1900*16	180*19	0.239
$\sqrt{3}$	2.071	6*4	2750*19	1600*16	190*25	0.251
2	2.037	5*3	2800*22	1400*16	200*28	0.258

るが，制約基準には，耐震性，安全性の他に，その設計を受け入れられるかどうかの受容性あるいは最適性も含まれるのが一般である．この場合，例えば $k=1.2$ に対応する設計は，安全性の規準を満足はしているが，余裕がありすぎるように判断される．そこで，表－１に 1.2* と示してあるように，一次設計を若干変更して再度時刻歴応答解析を行い照査を試みた．その結果，表－２に 1.2* の欄に示した．やはり，安全性の制約規準は満足しているが，1 次設計よりはクリティカルな状態に近い設計が得られた．どの程度を目標とするかは設計者の判断であるが，比較的少ない設計コストと時間で，有効な設計が得られることが示されたと考える．

６．まとめ 本報告で対象としているような鋼製橋脚の柱断面は，タイプⅠあるいはタイプⅡに対する耐震設計が支配的になると考えられる．基本的には時刻歴応答解析により解析され，安全性が照査されるものであるが，設計過程におけるコスト，時間を考えると，時刻歴応答解析による照査に入る前に，有効な一次設計の存在は意味があると考えられる．そこで，簡易的な耐震性の照査法として少なからぬ実績がある保耐法を用いる最適設計法の利用を提案した．

1 例の計算であるが，少ない労力で合理的な許容設計が得られることが示された．

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) 鉄道総研：鉄道構造物等設計標準耐震設計，1999． 3) 杉本・村部・朝日・古川・高久・渡辺：鋼製橋脚の最適耐震設計法に関する一試み，第 4 回保耐法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演文集，2000． 4) 杉本・村部・朝日・古川・高久・渡辺：鋼製橋脚の最適耐震設計法について，構造工学論文集 Vol.47A，2001． 5) 西川・村越・小野・高橋：実験結果に基づく鋼製橋脚の非線形動的解析モデルの設定法，土木技術資料 41-10，1999． 6) 日本道路協会：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編，1996．

表－２ 時刻歴応答解析による照査

k	位置		$\phi_{\max}$	$\phi_{\max}$	δ_R	$\delta_{h\max}$	δ_{ha}
			ϕ_{yc}	ϕ_a			
1.2	内	上	0.970	0.090	4	66	238
		下	5.006	0.465			
	外	6.875	0.590	39	149	290	
1.2*	内	上	1.064	0.099	4	71	241
		下	5.696	0.524			
	外	7.442	0.633	43	165	293	
$\sqrt{2}$	内	上	1.137	0.130	4	67	216
		下	5.689	0.653			
	外	7.304	0.705	10	134	214	
$\sqrt{3}$	内	上	1.328	0.131	11	85	292
		下	6.891	0.681			
	外	6.868	0.592	12	132	212	
2	内	上	2.178	0.212	20	101	327
		下	7.863	0.766			
	外	7.313	0.581	12	133	210	