

長崎大学工学部 正員 小西保則
 長崎大学工学部 正員 高橋和雄
 長崎大学工学部 学生員 新井伸博

1. 緒言

近年、わが国においては、地形的な制約から構造物は次第に大規模になり、かつ複雑なものになってきている。とりわけ、橋梁構造物においては、新しい形式、つまりは高橋脚とピンで連結された連続トラス形式の構造物が各地で架設されている。そのため、このような構造形式に関する研究が、ここ数年来、数多くなされている。その中で、特に研究の対象となっているのが、橋脚の耐震性の問題である。これは、地震時において剛性の強い上部のトラス構造物より、ピンで連結された高橋脚の方がより不安定になり易いからである。そのため橋脚の橋軸と直角方向の動的な特性の研究が今後の重要なテーマの1つと考えられる。そこで本研究においては、Fig. 4に示す高橋脚とピンで連結された連続トラス構造物に最適設計を適用した。しかし、橋脚とトラスを一体として解析すると対象とする構造物の設計変数が増加し、また、動的な解析も複雑になりすぎるため、最適化において、収束が不可能になることが予想される。そのため、連続トラスと高橋脚を切り放して考え、トラス構造物は、全応力設計により静的に解析して断面を決定して、高橋脚に及ぼす剛性と質量を求めた。これにより上部構の影響を考慮した高橋脚に耐震最適設計を適用し、耐震に対する安全性を十分満足する、経済的な断面の設計を試みた。動的な応力解析には、固有振動数と固有モードを用いて、Modal Analysisにより応答を求め、地震時における任意点の応力を確率的に取扱った場合と同等な平均応答スペクトルを利用して、Root Mean Square法により求めた。また、静的な応力解析は、示方書の規定を満足するように、全体座屈、局部座屈、および部材寸法に対する制約を考慮した。最適化の手法には、Davidon-Fletcher-Powellの提案したSUMT法を適用した。これらは変数の多い場合不利とされるが、動的な応力の制約が簡単に線形に出来ないことと、変数をできるだけ減らすために、橋脚のみに着目して、断面変化2箇所の内径と厚さのみを変数に取ることによって十分適用が可能である。

2. 動的応答解析 Fig. 4に示す連続トラスを全応力設計で解析した結果、バネ定数 $K=0.9284 \times 10^5 (\text{kg})$ 、支点反力 $P=0.9693 \times 10^5 (\text{ton})$ であった。そこでこの値を用いて動的な解析を行った。解析においては、微分方程式に軸力 P による影響を考慮した微分方程式をたて、各断面の境界条件を満足するように解いて、固有振動数および基準座標の固有振動モードを求め、それにバネ定数、質量、軸力によるLagrangeの運動方程式を立て、Modal Analysisにより応答を求めた。また任意点の応力を平均応答スペクトルを利用してRoot Mean Square法により求めた。平均応答スペクトルの適用に当たっては、耐震設計指針を用い、減衰が5%のときの硬い岩盤の場合について各断面の固有周期における応答倍率を求めた。

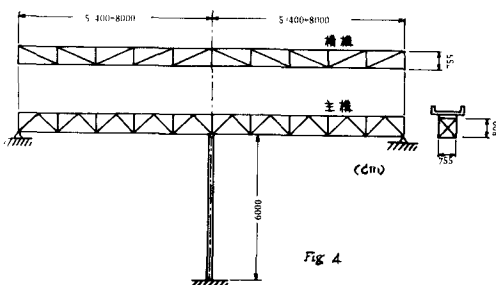


Fig. 4

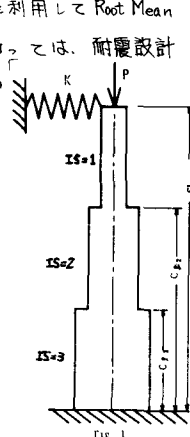


Fig. 1

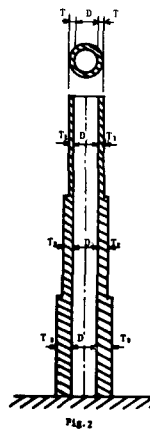


Fig. 2

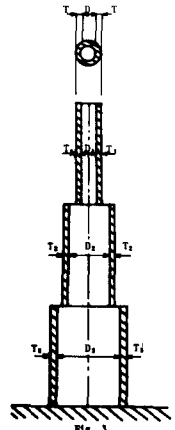


Fig. 3

3. 最適設計例 本研究の手法による最適設計例として、Fig.2、Fig.3に示す。橋脚の高さ60mの片持ばりについて耐震最適設計を行った。Fig.2においては、内径を断面に通して一定とし、Fig.3においては各断面で内径を変化させた。設計変数として各断面までの変化距離 C_{d1}, C_{d2} 、内径 D および板厚 T を考慮した。制約条件として応力の制約。これは各断面変化点での圧縮、曲げ、せん断応力であり、合成応力の制約として全体座屈、局部座屈において1.0より小さくなるようにし、内径 D と板厚 T の部材寸法の制約を考慮した。またたわみの制約は、示方書には規定されていないので規準的な許容値を与えて、それを満たすようにした。目的関数としては重量のみを考え、内径 D によって補剛材の重量も考慮した。また全ての断面に鋼種としてS550を使用各断面をIS=1,2,3と区別した。

4. 最適設計結果と考察 高さ60mの高橋脚に動的な荷重が加った場合の最適設計を行った結果の変数、目的関数、応力の値を初期値および最終値のみをTable1、Table2に示した。Table1はFig.2を対象とした場合で、Table2はFig.3を対象とした場合である。ここで C_d は断面変化距離、 D は内径、 T は板厚、 y は頂点ごのたわみ、 z は目的関数の値を示しており、単位は全てton,mである。また σ_c は各断面の圧縮応力、 σ_m, τ_m は軸力および質量の α, β 倍かかったときの曲げ応力、せん断応力であり、 σ_v, τ_v は動的な曲げ応力、せん断応力で σ_a は座屈許容応力、 τ_a は許容応力、 τ_m はせん断許容応力の値であり、単位は kg/cm^2 とする。結果の考察としては Table1、Table2より 1) 内径が各断面で変化したが目的関数 z の値は小さくなっている。2) どちらの場合もバネ定数 $K=0.9284 \times 10^5 (\text{kg}/\text{m})$ 、 $P=0.9693 \times 10^6 (\text{kg})$ では、動的な応力はあまり影響なく曲げ応力 σ_m あるいは合成応力の制約で決まっている。3) Table2において、断面IS=1において内径 $D=2020\text{mm}$ と小さくなっているため、座屈より板厚 $T=0.040987\text{m}$ と他の断面に比して大きくなっている。また全体的に内径は減少し、それにつれて断面変化距離が応力の制約を満足するように変化している。4) Table1において、内径 D が一定であるため、各変数の変化は少なく、内径 D が4.2mから3.144mに減少している。

5. 結論 トラス構造物に全応力設計を適用して断面を決定しバネ定数および質量を求め、本手法により上部構の影響を考慮した高橋脚の耐震最適設計を行った結果、本研究で対象とした構造物では、動的な応力の影響は少なく、動的にはほとんど安全であると思われる。しかし、この結果により求めた断面は全応力ではなく、少し余裕のある設計となっている。これは

Table 1 Convergence of results for L=60.0m

	C_{d1}	C_{d2}	D	T_1	T_2	T_3	y	z
INITIAL	19.800	43.400	4.200	0.0140	0.0270	0.0280	0.164	19.010
FINAL	19.501	42.541	3.144	0.0142	0.0263	0.0276	0.167	14.077

Table 2

	C_{d1}	C_{d2}	D_1	D_2	D_3	T_1	T_2	T_3	y	z
INITIAL	16.0000	38.0000	5.5000	5.7000	6.0000	0.0098	0.0113	0.0172	0.1623	13.7787
FINAL	20.0683	44.4527	2.0207	2.8966	4.0987	0.0426	0.0209	0.0145	0.1738	12.8060

	σ_{c1}	σ_{ca}	σ_{m1}	σ_{v1}	σ_a	τ_{c1}	τ_{v1}	τ_a
INITIAL	602	1294	517	509	1900	91	33	178
FINAL	333	376	513	857	1900	41	40	600

	σ_{c2}	σ_{ca}	σ_{m2}	σ_{v2}	σ_a	τ_{c2}	τ_{v2}	τ_a
INITIAL	525	1322	880	723	1900	70	52	207
FINAL	556	647	1597	896	1900	68	36	880

	σ_{c3}	σ_{ca}	σ_{m3}	σ_{v3}	σ_a	τ_{c3}	τ_{v3}	τ_a
INITIAL	482	1361	991	911	1900	55	70	213
FINAL	580	1016	1805	1060	1900	69	21	437

動的な応力に比べて、静的な合成応力の制約がきいているためと思われる。そこで本手法のような解析によれば、高橋脚とピンで連結された連続トラス構造物において、上部構の構造形式が変化し、バネ定数、質量の影響が小さくなるにつれ、動的にどのような挙動を示すかは今後の研究の課題である。