

室蘭工業大学正員 杉本 博之

まえがき 構造物の設計法は、現在の許容応力度設計法から荷重係数設計法、あるいは限界状態設計法に漸次移るであろうことはすでに指摘されている。また、そのような設計法に基づいた最適設計に関する研究も少なからず発表されている。

線形計画法の完成により、上界定理による塑性設計法(仮想変形法等)が発達し、多くの問題に適用して成り立っている。しかしながら、対象とする構造物の大型で複雑になるほど、考慮すべき破壊機構の数が多くなり、下界定理による塑性設計法によるぞるを得なくなる。本論文は、桁状円形ラーメン橋(図-1)を例題として、下界定理による最適設計法を適用し、得られた断面よりなる構造物の全耐力傾向の程度を求め、最適設計における最適性とともに発表し、より大型な構造物の最適塑性設計のための基礎としようとするものである。断面の設計において、軸力の全塑性モーメントに及ぼす影響は考慮している。鋼材は、SM41であり、鋼構造物塑性設計基準案(昭和42年8月、以下塑規とする。)を一部参考としている。

桁状円形ラーメン橋 設計の対象としている構造物は、図-1に示す変間 14m の桁状円形ラーメン橋である。図の x_1 , x_2 , f を変化させ、断面は、上部構造で7部材、橋脚は、右図の場合3部材をえ(左右対称としている。)、さらに、1・ス・7部材は等断面である等の条件をつけて、断面を数個(≦部材総数)のグループに分けそのグループを適当に変えて数値計算を行っている。

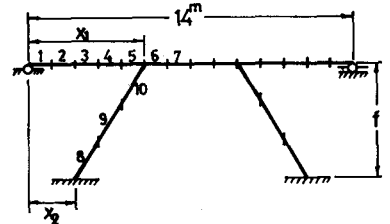


図-1

橋脚は、曲げモーメントと同時に、大きな軸方向圧縮力を受けることと予想されるが、座屈は起らないと仮定している。

断面設計 断面形状は、図-2に示すH形断面とする。腹板高 h_0 は、上部構造、橋脚においてそれぞれ一定とし、あらかじめ与えられるものとする。板厚 t_f , t_w は塑規を参考にして次式で計算されるものとする。単位は cm である。

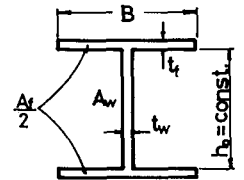


図-2

$$\left. \begin{aligned} t_f &= \max[B/17, 0.8] \\ t_w &= \max[(h_0 + 2t_f)/43, 0.8] \end{aligned} \right\} \Rightarrow h_0/43 \quad (1)$$

ただし、 $h_0 \geq 34.4$ cm。この結果、設計変数はフランジ幅 B のみとなる。

このような断面において、軸力を考慮した全塑性モーメントは、近似的に次式で与えられる。

$$i) \frac{P}{P_y} \leq \frac{A_w}{A} ; \quad M_{pc} = \left\{ 1 - \frac{(1 + A_f/A_w)^2}{1 + 2A_f/A_w} \left(\frac{P}{P_y} \right)^2 \right\} \cdot M_p \quad (2)$$

$$ii) \frac{P}{P_y} > \frac{A_w}{A} ; \quad M_{pc} = \frac{2(1 + A_f/A_w)}{1 + 2A_f/A_w} \cdot \left(1 - \frac{P}{P_y} \right) \cdot M_p \quad (3)$$

ここで、 P_y : 降伏軸方向力 ($= \sigma_y A$, kg), σ_y : 降伏応力度 ($= 2400$ kg/cm^2), A : 総断面積 (cm^2), A_f : フランジ断面積 (cm^2), A_w : 腹板断面積 (cm^2), M_{pc} : 軸方向力を考慮した全塑性モーメント ($kg \cdot cm$), M_p : 全塑性モーメント ($kg \cdot cm$)

$$M_p = 0.5 \sigma_y \{ A_f + (h_0 + t_f) + 0.5 A_w h_0 \} \quad (4)$$

作用軸力 P 及び作用モーメント M のもとで、式(2)あるいは式(3)をクリティカルに満足する B は式(1), (4)を式(2), (3)に代入することにより、数値の高次方程式として得られることである。

数値計算 荷重は、節点死荷重として、上部構造節点に8本、橋脚節点に2本、線活荷重として上部構造節

点に 80^t 載荷している。ラーメン橋は3種類考え、タイプ A は、 $x_1 = 4^m$, $x_2 = 0^m$, $f = 4^m$, 部材数 11 (左半分), タイプ B は、 $x_1 = f = 5^m$, $x_2 = 2^m$, 部材数 10 (左半分) である。 h_0 はすべて 50^m とした。

最適化設計の考え方は、まず、すでに得られている高次方程式を用いて、全(塑性)応力設計を行なう。収束の判定条件は、前回と今日の部材断面積の差が、前回の断面積の 0.1% 以内としている。次に、この設計に対して、個々のグループの断面積を 10^m ずつ 80^m まで増加させ、他のグループは、その条件下で全(塑性)応力設計を行ない、総体積の増減の傾向より最適化を判断した。

初値を3種類変えて、全(塑性)応力設計の収束の過程を示したのが図-3 (表の6)であり、最適化の検討の結果を示したのが、図-4. a (表の2), 図-4. b (表の7) である。横軸は増分の回数である。図-4. aのように、曲線が顕著なものと、図-4. bのように、ほとんど直線的

に増加するものがあり、後者の方が多い。全部材の断面積を同時に減らして実行可能解の得られることのできないとすると、得られた結果が全応力設計(変数であれば、拘束曲線の交点)であることを考慮し、図-4. bのような傾向を示すものは、全応力設計の結果の最適になると思われる。

余剰耐荷力の計算は、以上のようにして得られた構造の設計に用いた荷重よりさらにどれだけの耐荷力を有するの、単純塑性理論により求めたものである。荷重は、設計に用いた荷重群と同じ比で与えている。それと

これらの部材は、ある荷重条件下では、クリティカルに決定されているので、塑性解析は、どこかに塑性関節の存在した状態から始めることになる。右表のそれらの計算結果を示したものである。余剰耐荷力は、線荷重の大きさで示している。タイプ A では、 1.404^t (設計荷重の 1.8%) 以下 (1を除く)、タイプ B では、 5.331^t (同じく、 6.7%) 以下であり、設計荷重と比較して、ほとんど余剰耐荷力を持たない。

このように、本論文で扱った構造系 (特にタイプ A あるいはグループ数の多い場合) の下界定理による最適化設計の結果は、変形機構条件はほとんど満足していると思われる。

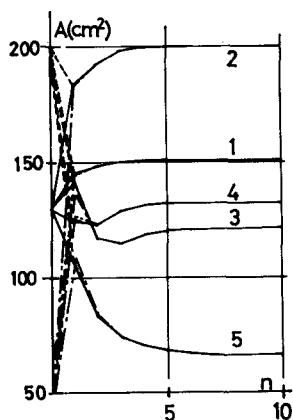


図-3

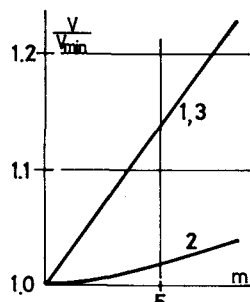


図-4. a

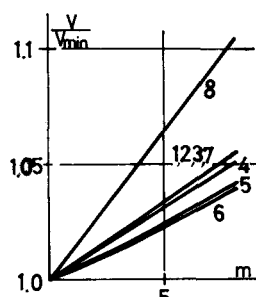


図-4. b

	タイプ	グループ	総体積 (m^3)	余剰耐荷 力 (t)	崩壊機構
1	A	(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), (8, 9, 10, 11)	0.3773	17.367	
2	A	(1, 2, 3, 6, 7), (4, 5), (8, 9, 10, 11)	0.3634	1.279	
3	A	(1, 2, 3), (4, 5), (6, 7), (8, 9, 10, 11)	0.3277	1.404	
4	A	(1, 2, 3), (4, 5), (6), (7), (8, 9, 10, 11)	0.3230	1.300	
5	A	(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11)	0.3110	1.229	
6	B	(1), (2, 3, 4), (5, 6), (7), (8, 9, 10)	0.3028	5.331	
7	B	(1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10)	0.2960	0.407	

表