

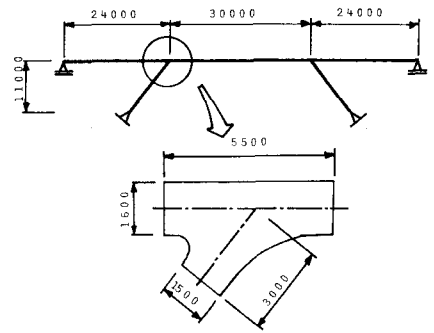
1. まえがき

ラーメン橋隅角部の応力集中に対しては局部的なフランジ断面の増加、あるいは適当な補剛材の配置や腹板厚の増加などにより補強を行っているが、フランジ板、あるいはこれと平行に配置された補剛材については、その補強の位置によってかえって集中応力が高まるということがある。⁽¹⁾ 腹板の集中応力に対する各種、各位置における補剛材の断面積をパラメータとした感度分析の結果から応力の集中度を最小にする、あるいは、応力の分散を最もよくすることを目的とした非線形計画問題を定式化した。最適設計問題は、フランジ断面積のみを設計変数とする問題、半径方向の補剛材断面のみを設計変数とする問題など、いくつかの限定された問題を解き、各々の部材がもつ特性を調べた。さらに、現実の設計に則するように設計変数に連結条件を加えた問題を解き、最適補剛材設計を求めた。なお、数値計算に用いたラーメン橋は図-1に示すものである。

2. 非線形計画問題の定式化

応力集中部分を含む腹板のある範囲を定めその平均応力 $\bar{\sigma}$ を設定する。その範囲の有限個の点における応力 σ_i と $\bar{\sigma}$ との差の2乗和を目的関数とする。すなわち、この範囲に最もよく応力を分散させるような補剛材の配置を求めようとするものである。フランジ、および補剛材の断面積の変化量を設計変数 x_j とし、 i 番目の腹板応力の j 番目設計変数に対する感度係数を v_{ij} とする。最適化問題は、

$$\begin{aligned} \text{minimize} \quad & F(x) = \sum_i (\bar{\sigma} - \sigma_i - v_{ij} x_j)^2 \\ \text{subject to} \quad & \sigma_i + v_{ij} x_j \leq \sigma_a \\ & x_j^l \leq x_j \leq x_j^u \end{aligned}$$

図-1 π ラーメン橋

制約条件は許容応力(σ_a)条件と設計変数の上下限である。応力の感度係数を用いて設計変更後の応力を推定しているため、その線形近似が用いられる範囲で変数の上下限が付される。またここでいう応力とは腹板(平面応力状態)の相当応力を意味する。以上は、応力と設計変数はすべて応力解析に用いた有限要素単位で数えているが、実設計ではほとんどの設計変数が有限要素単位ではあり得ない。そのため設計変数 x_j に対して任意の線形結合式で表わされる連結条件を付けるものとする。例えば、補剛材 i と j を同一断面とする場合は、 $x_i - x_j = 0$ の等号制約条件を加える。

3. 数値解法

非線形問題を解くに用いた解法は“射影可変計量法”⁽²⁾である。この方法はDavidon Fletcher Powellの可変計量法の探索の方向を制約条件のなす超平面の上へ射影して用いる方法で今回のように制約条件がすべて線形である場合は厳密な理論によるアルゴリズムが用いられるため極めて有効である。

4. 変数連結条件を用いない理想設計

以下の設計例における初期設計の鋭角側隅角部における応力集中の様子を図-2に濃淡図で示す。腹板 $12^{(mm)}$ 、フランジ $500 \times 32^{(mm)}$ 、補剛材 $400 \times 16^{(mm)}$ 。設計変数の上下限はすべてその変数値の $\pm 50\%$ とした。

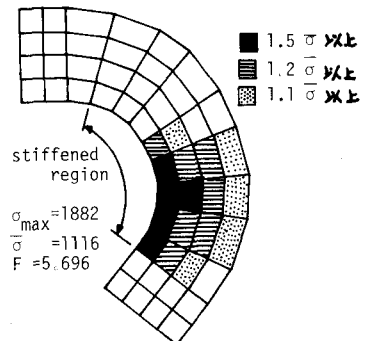
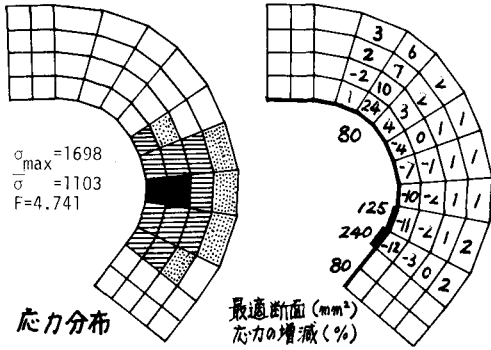
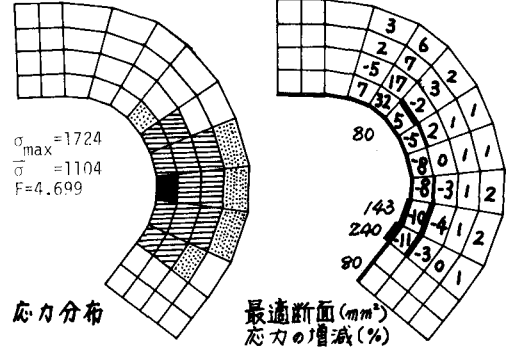


図-2 隅角部の応力分布

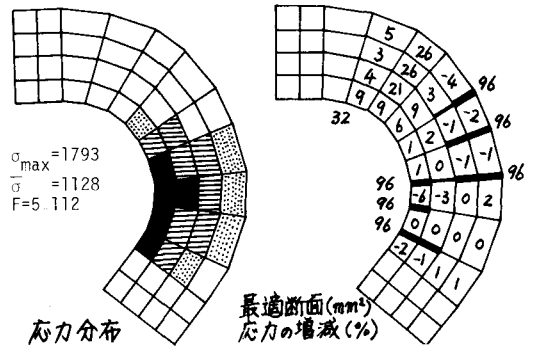
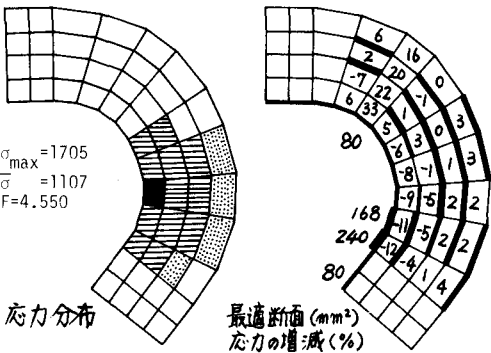
(1) フランジ板のみを設計変数とした場合



(2) フランジと1層目周方向材を設計変数とした場合



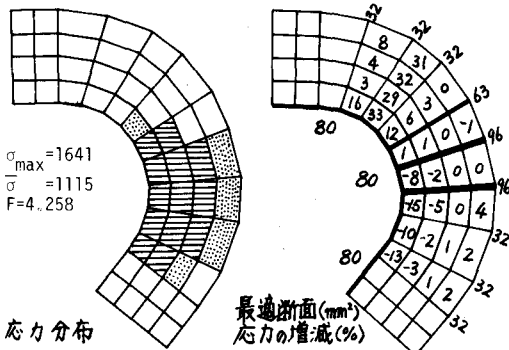
(3) フランジ、1,2,3,4層目周方向材を変数とした場合 (4) 半歪方向補剛材のみ設計変数とした場合



5. 変数連結条件を用いた設計例

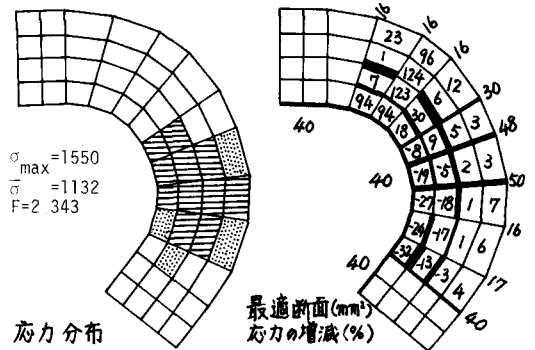
フランジ板および半歪方向補剛材は、ある程度の長さ、または一部材につき同一断面とするために変数連結条件を付けた場合の設計例を求めた。フランジ板は曲線部分と両端の3つの部分に分け各々の部分同一断面とし、半歪方向補剛材は各部分それぞれ一定断面とした。

(1) フランジ板と半歪方向補剛材の場合



(2) フランジ板、周方向、半歪方向補剛材の場合

($\pm 50\%$ を限度とする最適化を2段階まで行った例)



6. あとがき

フランジ板、各補剛材の最適設計は初期設計における腹板の応力分布に大きく影響されていることが判然とし、その特性については感度分析の域を出ないが半歪方向補剛材が単独ではあまり有効な部材とはみえないがフランジと組合せた場合の効果が非常に大きいことが分る。

文献 (1) 吉田, "ラーメン構造隅角部の構造感度分析" 土木学会第36回講演概要集

(2) 最適化手法の構造設計・解析への応用, 培風館.