

## 1. まえがき

最近、土木構造物の設計において、数学的手法を取り入れた最適設計の研究が数多くなされている。構造物の最適設計に用いられる設計変数には種々様々なものがあるが、これらの設計変数は、数学的に見ると、連続型(実数型)と離散型(整数型)とに分類される。離散型の変数を含む最適問題を解く方法には、ランドとドイヒの分岐限定法、ゴモオリーの切除平面法、動的計画法などがある。ここでは、非線形計画法によく用いられるSLP法と、ランドとドイヒの分岐限定法とを組み合わせた整数計画法を半合成桁橋の鋼桁断面の最適設計に適用した例について述べるものである。ここで用いた目的関数は、鋼桁の重量である。なお、クリープおよび乾燥収縮による影響は考慮しなかった。

## 2. ランドとドイヒの分岐限定法

ランドとドイヒの分岐限定法とは、「ある制約条件式のもとで得られた最適解に対応する目的関数の値は、さらにあらゆる制約条件式を追加して得られるすべての問題の最適解に対応する目的関数の1つの上界(又は下界)となる」という関係を利用して、整数条件を満足するような解を求めようとするものである。

この方法の概略は、次のとおりである。

まず、変数の整数条件を考慮せず解を求める。次に、整数条件を満たさない変数が整数になるように追加条件式を考え、分岐を行ない、それぞれの解を求める。いま、すべての整数条件を満足する解が得られたならば、この分岐はやめ、上の関係より目的関数を比較して、最適解かどうか判定する。最適解ならば計算は終了し、まだ分岐が必要ならば、新しい追加条件式を考え、次の分岐を行ない、それぞれの解を求める。この分岐をすべての整数条件が満足するまで行なう。ここで、同じ変数に対応する追加条件式が必要となる場合は、新しい追加条件式のみを用いて計算を続行する。すなわち、追加条件式の数は、整数変数の数と同じかそれより少ない。この方法の具体例として、次のような整数

線形問題を考える。

{例}

$f = X_1 + 2X_2$  を最大にせよ。

ただし

$$4X_1 + 5X_2 \leq 20, \quad X_2 \leq 2$$

$X_1, X_2$  は整数

である。

この例題の計算手順を分岐限定ネットワークを用いて示すと、図-1のとおりである。図-1において、□内の式は、変数が整数条件を満たすように考えられた追加条件式である。

## 3. 半合成桁橋への適用

半合成桁橋の主桁断面は、図-2に示すとおりである。設計変数は、床版厚、腹板およびフランジの寸法および変断面の位置などが考えられる。こ

こでは、各断面のフランジ寸法のみを設計変数とし、腹板については、高さを適当な範囲で1cmづつ変化させ、

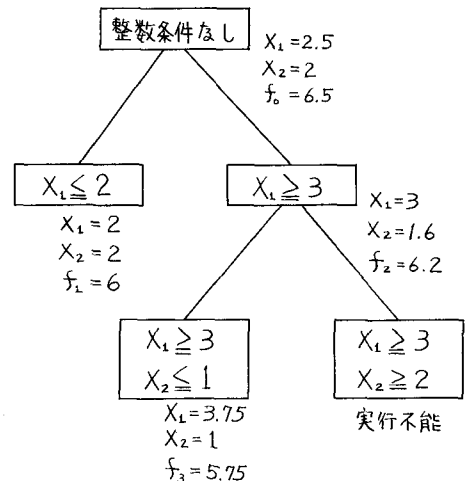


図-1 分岐限定ネットワーク

その高さに応じて厚さを整数値で決定する。断面変化は1ヶ所とし、その位置は、抵抗モーメント図の面積が最小になるような値を用いた。垂直補剛材については、間隔は腹板高さと同じにとるものと仮定して、その寸法を整数値で決定する。水平補剛材については、なるべく腹板厚さを薄くするように、寸法および本数を整数値で決定する。どの変数を整数変数とするかは必要に応じてデータで与えることにした。

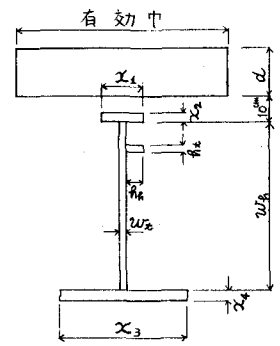


図-2 主桁断面

① 制約条件

各断面について、次のような応力制限に関する制約条件を考えた。

合成前の応力制限より

$$\frac{M_d}{I_s} y_{sc} \leq \sigma_{ca1} \quad (1), \quad \frac{M_d}{I_s} y_{st} \leq \sigma_{sa1} \quad (2)$$

合成後の応力制限より

$$\frac{M_d}{I_s} y_{sc} + \frac{M_e}{I_v} y_{vc} \leq \sigma_{ca} \quad (3), \quad \frac{M_d}{I_s} y_{st} + \frac{M_e}{I_v} y_{vt} \leq \sigma_{sa} \quad (4)$$

である。ここで、 $M_d$ は死荷重による曲げモーメント、 $M_e$ は活荷重および合成後死荷重による曲げモーメント、 $I_s$ は鋼桁断面の断面2次モーメント、 $I_v$ は合成断面の断面2次モーメントである。 $M_d$ は変数の変化による影響を考慮した。他の制約条件として、板厚と板中との関係、最小板厚および最小板中を考えた。ただし、合成後のコンクリートの応力制限は考慮しなかった。たわみについては、たわみ量を計算し十分であるかどうかを検討するにとどめた。

② 目的関数

目的関数には、鋼桁の製作費または鋼桁の重量などが考えられるが、ここでは鋼桁の重量を目的関数として用いた。すなわち、目的関数は半合成桁橋の全鋼材重量を考えた。なお、横桁および対傾構などの重量は鋼桁断面重量の $\frac{1}{4}$ と仮定した。

③ 計算例

以上の考えに従って、プログラムを作成し、巾員7m、主桁本数3本について数値計算を行なった。計算結果は表-1に示すとおりである。Case 1は実数解、Case 2は板厚のみ整数解、Case 3は全て整数解である。

表-1 計算結果(桁算SM50Y)

| 設計変数<br>(mm) | 支 間 20m |         |         | 支 間 30m |         |         | 支 間 40m |         |         |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|              | Case 1  | Case 2  | Case 3  | Case 1  | Case 2  | Case 3  | Case 1  | Case 2  | Case 3  |
| $w_f$        | 1100    | 1100    | 1100    | 1870    | 1870    | 1870    | 2570    | 2570    | 2570    |
| $w_w$        | 9       | 9       | 9       | 9       | 9       | 9       | 9       | 9       | 9       |
| $x_1$        | 209.41  | 209.38  | 210     | 234.36  | 228.60  | 229     | 255.01  | 248.73  | 249     |
| $x_2$        | 10      | 10      | 10      | 10.24   | 11      | 11      | 11.18   | 12      | 12      |
| $x_3$        | 309.79  | 291.56  | 291     | 301.67  | 270.71  | 270     | 327.70  | 326.02  | 326     |
| $x_4$        | 9.40    | 10      | 10      | 9.15    | 10      | 10      | 9.96    | 10      | 10      |
| $x_5$        | 264.96  | 261.07  | 261     | 288.18  | 285.05  | 285     | 318.13  | 318.12  | 318     |
| $x_6$        | 11.63   | 12      | 12      | 12.69   | 13      | 13      | 14.05   | 14      | 14      |
| $x_7$        | 500.62  | 480.28  | 480     | 534.97  | 516.79  | 516     | 596.16  | 576.05  | 576     |
| $x_8$        | 15.36   | 16      | 16      | 16.44   | 17      | 17      | 18.35   | 19      | 19      |
| 目的関数(kg)     | 10533.7 | 10550.1 | 10551.4 | 23272.7 | 23320.5 | 23324.6 | 41873.7 | 41914.3 | 41916.2 |

参考文献

- 1) マクミラン：数理計画入門1、数理計画入門2、前田功雄他訳、東京図書
- 2) 大久保徳二、飯田隆司：桁断面の最適設計法に関する研究、第24回中四国土木学会講演要集