

骨組構造物の最適補強設計に関する研究

東洋大学 学生会員* 諸持実敬
東洋大学 正会員* 新延泰生
SK エンジニアリング 正会員** 坪井陽代

1. はじめに

筆者等は土木構造物の基本である骨組構造物のトラス構造を対象として、常時死荷重作用のもとでの活荷重に対する有効な補修補強方法について数値解析を行っている。本研究では複数の劣化部材を想定して解析を行っている。部材の劣化問題として断面減少が一様であるとし、補修補強材料の最適配分について検討する。最適値は感度係数特性に基づく線形計画法を用いた最小重量設計と最大剛性設計により決定する。また解析における仮定として、部材の補修補強は部材断面積の一様な増加として表現し、補修補強による自重増加分に関しては考慮しない。

2. 感度係数特性を用いた最適化問題の定式化

2.1 最小重量設計（初期設計）

任意のモデルにおいて、指定荷重のもと応答値の制約を満足し、かつ目的関数であるモデル全体の重量を最小とする各部材断面積 A_i を求める設計を行う。

<最小重量設計定式化>

$$\begin{aligned} w &= \sum_{i=1}^n \rho \ell_i A_i^k \rightarrow \min \\ \text{subject to} \quad & \sigma_a - 2\sigma_i^k - \sum_{i=1}^n \frac{\partial \sigma_i^k}{\partial A_i} A_i^{k+1} \geq 0 \quad i=1, \dots, m \\ & r_a - 2r_j^k - \sum_{i=1}^n \frac{\partial r_j^k}{\partial A_i} A_i^{k+1} \geq 0 \quad i=1, \dots, n \quad j=1, \dots, m \end{aligned}$$

2.2 最大剛性設計

任意のモデルにおいて、与えられた使用材料の量のもとで応答値の制約を満足し、かつ剛性最大になる各部材断面積 A_i を求める設計を行う。

<最大剛性設計>

$$\begin{aligned} \bar{w} &= \sum_{j=1}^m \frac{P_j}{2} \left(\sum_{i=1}^n \frac{\partial r_j^k}{\partial A_i} A_i^k \right) \rightarrow \min \\ \text{subject to} \quad & \sigma_a - 2\sigma_i^k - \sum_{i=1}^n \frac{\partial \sigma_i^k}{\partial A_i} A_i^{k+1} \geq 0 \quad i=1, \dots, m \\ & r_a - 2r_j^k - \sum_{i=1}^n \frac{\partial r_j^k}{\partial A_i} A_i^{k+1} \geq 0 \quad i=1, \dots, n \quad j=1, \dots, m \end{aligned}$$

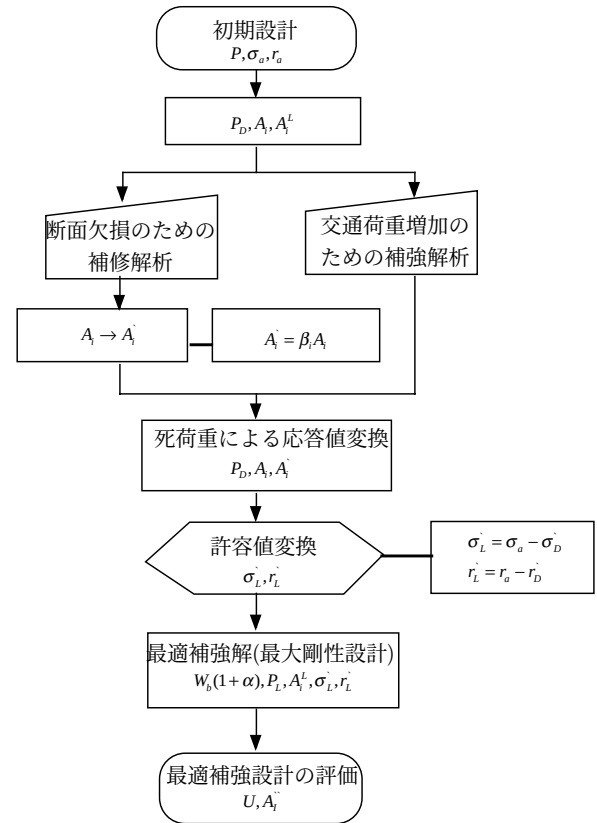
$$\sum_{i=1}^n \rho \ell_i A_i = \text{const}$$

以上の定式化によってLPに対応可能となる。LPにおいて収束値が求まるまで繰り返し計算を行う。

3. 解析の流れ

解析の流れを Fig-1 に示す。初期設計はモデルをなるべく許容応答値に対して限界状態とするため最小重量設計を使用する。次に死荷重による応答値を求め、全荷重の許容値から差し引き、活荷重のみに対する許容値を算定する。（許容値変換）

その後、(1) 最低限必要な補強量の算定、(2) 任意補強量による断面分配等のグラフ化を行う。



P : 荷重 σ_a : 許容応力 r_a : 許容変位 A_i : 部材断面積
 A_i' : 欠損後断面積 A_i^L : 部材断面積の下限値 P_D : 死荷重
 P_L : 活荷重 α : 補強材補強率 σ_D' : 断面欠損後死荷重による応力
 r_D' : 断面欠損後死荷重による変位 σ_L' : 断面欠損後活荷重による応力
 r_L' : 断面欠損後活荷重による変位 W_0 : 部材欠損後のモデル重量
 U : ひずみエネルギー A_i'' : 補強後部材断面積

Fig-1 解析の流れ

4. 数値解析例

4.1 解析モデルおよび設計条件

Fig-2 に示す不静定 10 部材トラスについて、制約条件が応力だけの場合 (case-1) と、変位制約 1.0cm を加えた場合 (case-2) の 2 ケースに対して初期設計 (最小重量設計) および補強設計 (最大剛性設計) を行う。補強設計では 2 ケースともに第①④⑨部材をそれぞれ 20%, 10%, 10% と複数部材欠損を仮定し、欠損は一様であるとする。

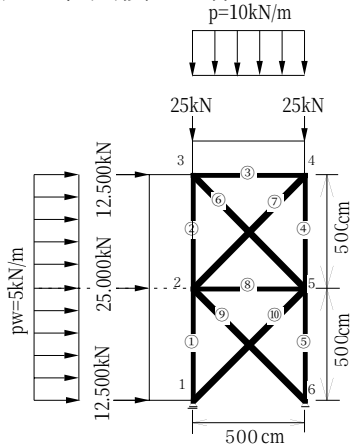


Fig-2 解析モデル

<設計条件>

$E = 2.058 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$ $\rho = 0.077028 \text{ N/cm}^3$
許容応力: SM490 を使用すると仮定

$$\sigma_{ta} = 18620 \text{ N/cm}^2 (= 1900 \text{ kgf/cm}^2)$$

細長比 $\ell/r = 80$ とすると

$$\sigma_{ca} = 1900 - 13(\ell/r - 15) = 1055 \text{ kgf/cm}^2$$

$$= 10339 \text{ N/cm}^2$$

Case-1 変位制約なし Case-2 $r_a = \pm 1.0 \text{ cm}$

4.2 初期設計(最小重量設計)

Table-1 に初期設計のデータを記載する。

Table-1 基準モデルの設計

	Case-1		Case-2	
	断面積 (cm ²)	応力 (N/cm ²)	断面積 (cm ²)	応力 (N/cm ²)
部材 1	2.01396	18620.00	7.39188	5073.13
部材 2	1.67943	-10339.00	1.15735	-10339.00
部材 3	1.00000	-4863.62	1.00000	534.14
部材 4	2.88844	-10339.00	2.48883	-9830.26
部材 5	2.41803	-10339.00	3.68260	-6788.68
部材 6	1.04454	-10339.00	3.28249	-5615.57
部材 7	1.00000	6878.19	1.00000	-755.38
部材 8	1.08144	18620.00	3.70424	6893.22
部材 9	6.83922	-10339.00	8.89131	-7952.78
部材 10	1.70980	-10339.00	1.76101	-10038.40
重量(N)	1003.785009		1561.58567	

4.3 補強設計(最大剛性設計)

Fig-3(a),(b)は補強量を補強可能最低値より100%

まで変化させた時の部材断面積のデータである。

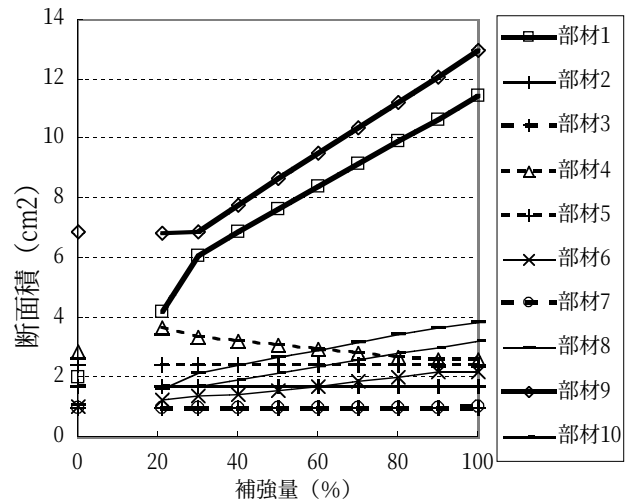


Fig-3(a) 補強量と部材断面積(case-1)

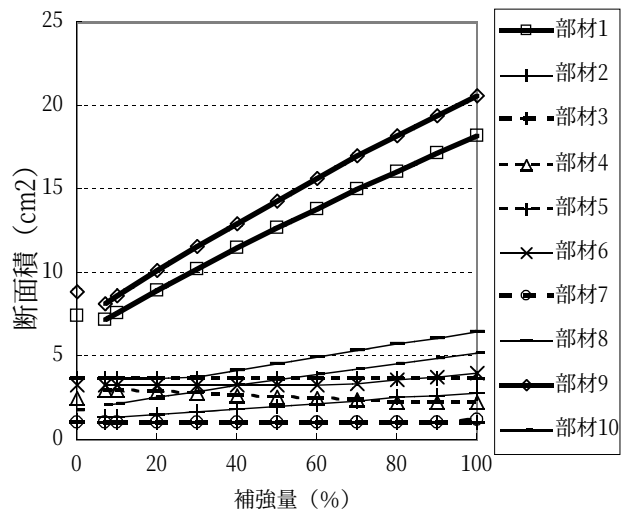


Fig-3(b) 補強量と部材断面積(case-2)

5. おわりに

今回設計を行ったモデルの補強による断面積の推移は2ケースとも似た傾向にあった。補強可能最低値において2ケースとも補強量は欠損した部材以外にも配分され、欠損した部材のみ補強するよりも断面積、変位、応力ともに減少した。

<case-1 と case-2 の比較>

case-2において(1)大部分で断面積が増加したが②,④部材の断面積が減少した、(2)節点3,4の変位が減少した。以上のことから、case-2について効果的な補強設計である結果が得られた。

最適な補強方法は各種の条件により異なり、設計者の経験に頼る判断では設計できない部分があることから、今回提案する方法は有効であると考えられる。

<キーワード>reinforcement, optimum design, sensitivity analysis, framed structures

* 東洋大学工学部環境建設学科 〒350-0815 埼玉県川越市鯨井 2100 Tel 0492-39-1391

** (有)SK エンジニアリング 〒350-0066 埼玉県川越市連雀町 30-4 ライオンズマンション 402 号

参考文献 岡村有希子「骨組構造物の最適補強設計に関する研究」東洋大学学士論文 1999 年

坪井陽代「骨組構造物の最適補強設計に関する研究」東洋大学修士論文 1998 年