

4. 挙動の感度係数を用いない最適設計法の定式化

通常最適設計問題における各部材の最大応力度および各可動節点変位に関する制約条件式群に加えて、式(9)および(10)で表される解析上満足すべき必要条件をも制約条件式群として考慮し、 B, X, λ を独立変数として取り扱うことにより、剛節骨組構造物の全重量または全製作費 W を最小化する最適設計問題を次のように定式化することができる。

find B, X, λ , which

$$\text{minimize } W(B) = \sum_{i=1}^n \rho_i B_i h_i l_i \quad (11-1)$$

$$\text{subject to } g_i(B, X, \lambda) = B \cdot \left(\frac{1}{B^0} \cdot \nabla U_C \right) + H_C(X - X^0) + \sum_{j=1}^m \lambda_j C_{ji} = 0 \quad (i=1, \dots, 3n) \quad (11-2)$$

$$g_j(X) = \sum_{i=1}^{3n} C_{ji} X_i - P_j = 0 \quad (j=1, \dots, m) \quad (11-3)$$

$$g_{sk}(B, X) = \sigma_k(B, X) - \sigma_{sk} \leq 0 \quad (k=1, \dots, n) \quad (11-4)$$

$$g_{li}(B, \lambda) = \lambda_i(B) - \lambda_{li} \leq 0 \quad (l=1, \dots, m) \quad (11-5)$$

ここに、 ρ_i, h_i, l_i は、それぞれ部材 i の単位体積当りの重量あるいは製作費、断面高さおよび部材長である。また g_{sk}, g_{li} は、それぞれ部材 k の最大応力度および可動節点変位成分 l の変位に関する制約条件、 $\sigma_{sk}, \lambda_{li}$ は、それぞれ部材 k の許容応力度および可動節点変位成分 l の許容変位量である。

5. 最適設計問題の解法

本研究では、式(11-1)～(11-5)の非線形最適設計問題を解くため、まず式(11)の線形近似最適設計問題を導入し、その近似最適設計問題を勾配射影法の手法を用いて解き B, X, λ の改良値 $\Delta B, \Delta X, \Delta \lambda$ を決定した。このようにして求めた ΔB を用いて剛節骨組構造物の各部材の断面幅 B を改良し、 W および B が一定値に収束するまで改良を繰り返すことにより、最適解 W_{opt} および B_{opt} を決定することができる。

6. 最適設計例

上で述べた方法により、図-1に示す応力度-ひずみ関係を有する材料よりなる図-2の3部材ラーメンの最適設計を行った結果を表-1に示す。

$\lambda_a = 50.0\text{cm}$ とした場合には、応力度に関する制限のみが支配的な制約条件となっており、各部材の最大応力度は σ_a と等しくなっている。また、 $\lambda_a = 10.0\text{cm}$ とした場合には変位の制約条件のみが支配的な制約条件となっている。また、最適解における各部材の最大応力度は2007～2027kgf/cm²となっており、全て材料の応力度-ひずみ関係の非線形領域の応力度となっている。 λ_a をさらに厳しく制限し $\lambda_a = 5.0\text{cm}$ とした場合には、最適解における部材の最大応力度は1067～1207kgf/cm²となっており、材料の応力度-ひずみ関係における線形領域の値をとっている。

7. 結論

本研究により、通常最適設計問題に最小コンプレメンタリーエネルギーの原理に基づく剛節骨組構造物の非線形解析問題において満足すべき必要条件を等号制約条件として付加し、さらに挙動変数を独立変数として取扱い、最適化を行うことにより、挙動に関する感度係数を用いることなく非線形剛節骨組構造物の最適解を決定することができることが明らかとなった。

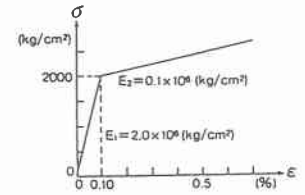


図-1 応力度-ひずみ関係

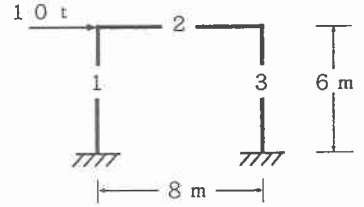


図-2 3部材ラーメン

表-1 3部材ラーメンの最適解

応力制限	$\sigma_a = 3000 \text{ kgf/cm}^2$					
	$\lambda_a = 50.0 \text{ cm}$		$\lambda_a = 10.0 \text{ cm}$		$\lambda_a = 5.0 \text{ cm}$	
変位制限						
部材番号	B (cm)	σ_{max} (kgf/cm ²)	B (cm)	σ_{max} (kgf/cm ²)	B (cm)	σ_{max} (kgf/cm ²)
1	7.13	3001	11.96	2026	23.49	1204
2	4.34	2995	8.15	2007	16.30	1065
3	7.10	3002	11.57	2027	23.06	1208
W (kgf)	1885.9		3239.1		6432.5	
λ_{max} (cm)	42.1		10.0		5.0	
ACTIVE な制約条件	応力		変位		変位	

* 初期断面幅 $B^0 = 50.0\text{cm}$ 、断面高 $H = 20.0\text{cm}$ 、単位体積重量 $\rho = 7.85\text{gf/cm}^3$