アルミニウム合金形材防護柵の形状最適化に関する研究

名古屋大学大学院　学生会員　○勝田　裕仁
名古屋大学大学院/岐阜工業高等専門学校　フェロー会員　伊藤　義人
名古屋大学大学院　正会員　廣畑　幹人
JFE スチール株式会社　佐藤　遼一

１．緒言

本研究では，道路景観に影響を及ぼす防護柵に対し，周囲の景観にも配慮した構造設計について検討を行った．本研究の対象となる橋梁用ビーム型防護柵の支柱には押出加工のしやすさからアルミニウム合金が多く用いられるが，製造コストが高いといった課題がある．そこで，防護柵の透過性や経済性，性能の指標となる諸量を目的関数とし，遺伝的アルゴリズムを用いて形状最適化を行った．また，最適化に用いるパラメータを変更することによって，各パラメータが最適化に及ぼす影響を考察した．

２．防護柵支柱のモデル化と GA 解析

本研究で最適化の対象となる防護柵の支柱モデルを図-1 に示す．この防護柵の支柱は，ダイスを用いた押出加工により成形されるが，国内の最大級のプレス機を用いても支柱を一括で押し出すことが困難なため，支柱を上部と下部に分けて押出成形し，嵌合構造を用いて二部材を接合している．これにより，支柱上部が受けた荷重を，衝撃を吸収する支柱下部に確実に伝達する仕組みとなっている．

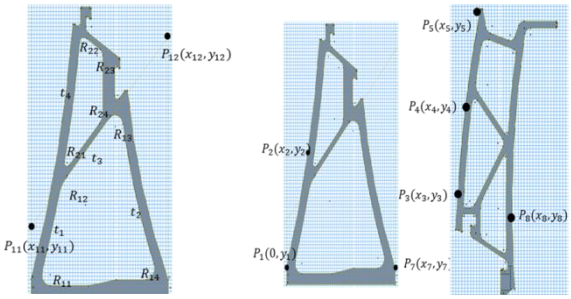
図-1 支柱モデル

本研究では，本研究室で最適化アルゴリズムとして用いられている，遺伝的アルゴリズムの一種である NSGA-Ⅱを使用した．今回の最適化では，規定された要求性能を満たしつつ，支柱断面を削減することを目的とするため，式（1.1）のように目的関数を設定した．

$$\text{minimize} f(x) = \begin{cases} f_1 = -W(x) + C \\ f_2 = A(x) \end{cases} \quad (1.1)$$

ここで，xは設計変数のベクトル，Aは支柱の断面積（mm^2），Wは荷重-変位曲線の面積（kJ），Cはスケーリングのための定数である．また，3 次元モデルの GA 解析には膨大な時間を要するため，図-2 のように簡易化された 2 次元モデルで解析を行うこととした．解析モデルの作成には，汎用有限要素プログラム abaqusVer.6.12 を用いた．また，本研究で最適化の対象となる支柱の断面形状は，すべて直線と円弧によって描かれていることから，これらのパラメータの値を最適化することを目的とした．これまでの研究で最適化に用いられたパラメータおよび今回用いたパラメータを図-3 に示す．支柱内部の曲率半径や板厚，斜材の傾きの他に，支柱の外形の影響を考慮するため，新たに支柱の輪郭部分に節点としての設計変数を追加した．また，初期世代の個体数を 50 から 200 へ変更し，最適化に及ぼす影響を考察した．

図-2 2 次元モデル



(a) これまでの設計変数　(b) 追加した設計変数
図-3　最適化に用いたパラメータ

(c)　各パラメータ

	変更前	変更後
設計変数	14	27
個体数	50	200
世代数	20	10
突然変異率	0.1	0.1

キーワード　防護柵，アルミニウム，GA，構造最適化
連絡先　〒464-8603 名古屋市千種区不老町　名古屋大学大学院　社会基盤工学専攻　TEL 052-789-3733

3．解析結果

設計変数変更前および変更後の GA 解析結果を図-4 に示す．設計変数変更前に比べてパレート曲面が左下に推移しており，より最適化が進んだことがわかる．また，各パラメータを変更する前はパレート解の収束に約 20 世代を要したのに対し，変更後は約 10 世代で解が収束した．これは，GA に用いる個体数を増やしたことにより，より効率的に最適解を探索することができたためであると考えられる．最適化を行う前の現行の支柱モデルと同等の極限支持力を有する設計候補 No.1 について，GA 解析で得られた設計変数を基に 3 次元モデルを作成し性能評価を行った．

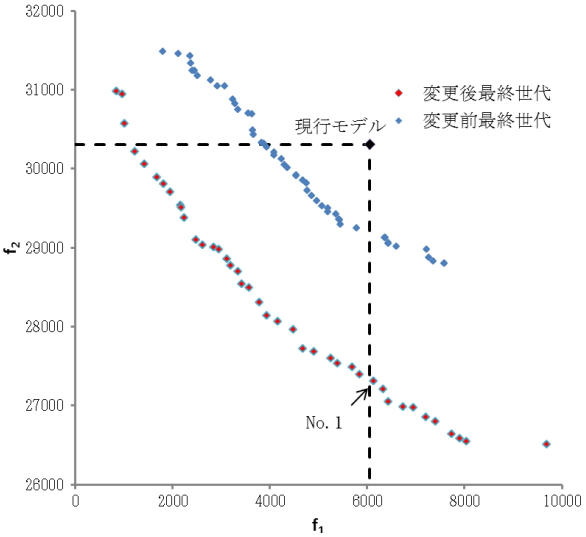
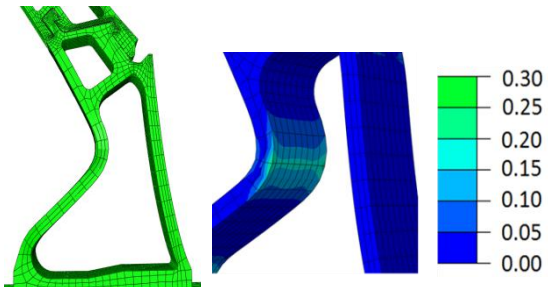


図-4　パレート曲面

300mm 変位時の支柱下部の変形図を図-5（a）に示す．最適化によって得られた支柱は，現行モデルに比べて，支柱下部の斜材の傾きがベースプレートと平行に近くなっていたほか，圧縮フランジの板厚に比べ引張フランジの板厚が大幅に小さくなっていた．これは圧縮フランジの変形により支柱への主な衝撃を吸収しているためであると考えられ，最適化により不要な部材が適切に除去されたと言える．



（a）変形図　　（b）ひずみコンター図

図-5　解析結果（設計候補 No.1）

次に，クラックの発生の有無を確認するため，引張ひずみによる検討を行った．最も引張ひずみの大きかった支柱下部の圧縮フランジの拡大図を図-5（b）に示す．設計候補 No.1 では圧縮フランジの端部で最大主ひずみが約 0.28 であった．現行モデルでの同様の解析では，斜材の一部に約 0.3 の引張ひずみが発生していたことから，最適化によって得られたモデルでは現行モデルよりもよりも引張ひずみが抑制されたと言える．しかし，既往の研究で行われた静荷重試験において，今回対象としている防護柵支柱の斜材のひずみが約 0.2 に達した際に部材の一部でクラックの発生が確認された(伊藤ら，2015)．したがって，今回の最適化によって得られた防護柵支柱にもクラックの発生や部材の破断が生じる可能性があるため，ひずみ制限を加えた GA で同様の検討を行う必要があると考えられる．

表-1　支柱性能

モデル	支柱断面積（mm^2）	極限支持力（kN）
現行	30310	32.7
No.1	27300	32.6

4．結論

（1）　遺伝的アルゴリズムを用いたアルミニウム合金形材防護柵支柱の形状最適化では，最適化に用いる設計変数や個体数を増加させることによって，より効率的に最適解を探索する手法を提案した．

（2）　遺伝的アルゴリズムを用いて最適化を行う際に，3 次元モデルを簡易な 2 次元モデルに置き換えることでより効率よく解を探索する手法を提案した．

（3）　今回の最適化では，主に支柱下部の圧縮フランジでエネルギーを吸収する仮定を設けることにより，効率よく最適形状を求めることができた．また，現行の支柱が有する性能を保ちつつ，9.9%軽量化された支柱を提案した．

参考文献

1）　日本道路協会，防護柵の設置基準・同解説（2008）．

2）　伊藤義人・吉野彰宏・酒見真志・佐藤遼一(2015)：アルミニウム合金押出形材を用いた橋梁用ビーム型防護柵の動的挙動に関する研究，土木学会論文集，Vol.71，No.3，pp.352-366．