

PSO を用いた骨組構造物の対話型最適設計

防衛大学校 ○正会員 香月 智
防衛大学校 学生員 片出 亮 坊原 尚記

1. 緒 言

山地源頭部に近い上流部における土石流の減勢を企図するため、写真-1 に示すような上流域狭窄部における鋼製砂防ダムの建設が検討されている。この際、上流域狭窄部は資材運搬が困難な地域であるため、基礎工の規模を小さくする必要がある。すなわち、地山との接続部における引抜き力が建設コストに影響するため、鋼材量費と同時に引抜き力を低減できる設計が検討されている。そこで本研究は、対話型最適設計支援システム¹⁾を用いて地山との接続部材に発生する引抜き力と鋼材量低減を同時に満足する最適化について検討した。ここで、設計支援システムにおける逆解析ツールとして、生物の群れ行動を模した最適探索手法のひとつであるPSO²⁾を用い、その有用性について検討した。

2. 対話型最適設計と設計問題

2.1. 対話型最適設計

本研究で述べる対話型最適設計の手順を図-1 に示す。ここで、対話型とは、人間系の感性的な「好みや包括的判断力」を期待しつつ、コンピュータには高速な数値検索力を期待し、この二者間において要求、検索および修正を対話的に行い、最終的に人間系によって最も望ましいと考える解を発見するシステムである。具体的には、

まず、人間系で図-2 のように基本モデルとなる形状部材を与えた仮設計を行い、コンピュータで3次元弾性骨組構造解析を行う。

得られた出力を人間系によって判断し、コンピュータ(PSO)に逆解析させる。

コンピュータは、与えられた検索条件内で最も要求に応える設計(形状、部材断面)を検索し、その最適値の順解析結果とともに、人間系に返す。

コンピュータの検索結果を包括的に判断し、人間系によって修正する方が効率的な修正を施したうえで、続けて検索する場合には、からの手順を繰り返す。そうでなければ、微修正結果の順解析を行い、設計基準等でルール化された制約条件を、満足することを確認して設計を終了する。

2.2. 設計問題

本研究で取り扱う設計問題をあえて定式化すると次式ようになる。

$$\text{Objective} \quad V = \sum_{i=1}^m l_i A_i \rightarrow \min \quad (1-a)$$

$$R_N \rightarrow \min \quad (1-b)$$

$$\text{Subject to} \quad \sigma_j \leq \sigma_{ja} \quad j = 1, \dots, n \quad (1-c)$$

$$w_k \leq w_{ka} \quad k = 1, \dots, l \quad (1-d)$$

$$g_{other} \leq g_{other-a} \quad (1-e)$$

ここで、 V : 総鋼材量、 l_i, A_i : i 部材の長さ、断面面積、 m : 部材数、

R_N : 地山に接する部材の引抜き力、 σ_j, σ_{ja} : j 部材応力とその許容

値、 n : 応力制約数、 w_k, w_{ka} : 鋼管の間隔とその許容値、 l : 間隔制約数、 $g_{other}, g_{other-a}$: 数式化が困難な制約とその許容値。

この数式化が困難な制約とは、「部材が重なる」あるいは「接合が不経済」などという類のものでありプログラム化には煩雑であるが、実務設計では無視できないものである。



図-1 対話型最適設計

表-1 荷重条件

項目	数値
土石流の水深	0.62m
土石流の流速	3.6m/s
土石流単位体積重量	15.3kN/m ³
単位面積あたり土石流流体力	24.7kN/m ²
土圧係数	0.3
堆積土砂単位体積重量	15.3kN/m ³
最大掘径	1.4m

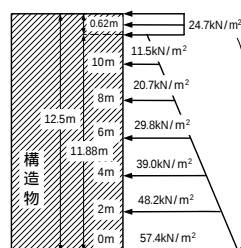


図-3 荷重分布図



写真-1 狭窄部

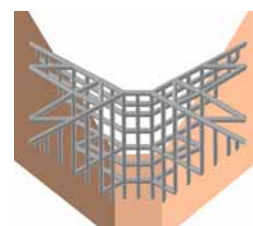


図-2 基本モデル

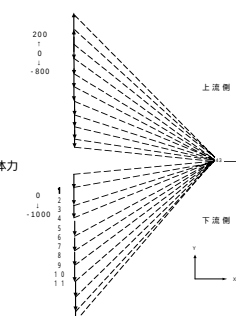


図-4 節点候補位置(Y軸)

表-2 解析値

	基本 モデル	探索1回目		再設計 1回目		探索2回目		再設計 2回目		探索3回目		再設計 3回目	
		要求	結果			要求	結果			要求	結果		
鋼管径(mm)	500		406	406		406	406		406	406	406		406
肉厚(mm)	9		7.9	7.9		7.9	7.9		7.9	7.9	7.9		7.9
体積(m ³)	6.8	SL 3.4	4.7	4.1	SL 3.6	4.2	2.6	SL 3.0	3.0	2.8	2.8		2.8
最大引き抜き力 (kN)	横材 385 縦材 15	LT 0.0	43	69	SL 0.0	-127	-231	SL 0.0	-153	-187	1		1
最大複合応力 (N/mm ²)	圧縮 -49 引張 71	GT -185 LT 185	-166 101	-168 99	GT -185 LT 185	-156 84	182 91	GT -185 LT 185	-104 33	-116 20			
上流側のスリット間隔(m)	2.1	SL 2.1	2.1	2.1	SL 2.1	2.0	2.0	SL 2.1	2.0	2.0			

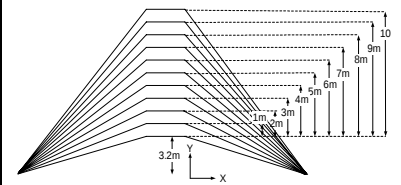


図-5 節点候補位置 (Y 軸)

3. 設計計算結果

3.1. 初期形状に対する構造解析

直径 500mm、肉厚 9mm の鋼管を用いて図-2 に示す形状を基本モデルとして、表-1 の設計条件から図-3 に示す荷重を与えた。表-2 に構造解析した結果を示す。最大複合応力は許容応力以下となり、1 段目に最大引抜き力 385kN が発生している。

3.2. 設計変数

設計変数については、断面候補が 42 種類である。節点位置候補は、Y 軸方向に上・下流側の部材ともに 11 種類とした。図-4 には、地山との接続位置を節点位置候補として示す。また、鉛直方向は最上段を除き上下に 0cm、30cm、60cm 移動させる位置候補を与えた。

3.3. 最適化プロセス

基本モデルの解析値に要求を与え、PSO により最適解を探索する。なお、GT および LT は、それぞれ要求値より“大きく”または“小さく”ならないことを望むことを示し、SL については要求値より小さい値でかつ要求値付近であることを“強く”要求することを示す。図-6 の探索 1 回目の結果では、上流側の部材が下流側に 8m 移動し、内側の斜材に近接していることが分かる。そこで、図-7 のように煩雑な部材を 1 部材にまとめて再設計を行う。なお、この時点で全ての部材において最小断面が選択されている。次に、表-2 のように要求を与え、探索 2 回目を実施した。その結果、図-8 のように上流側と下流側の部材の距離が近接する結果が得られたため、再設計 2 回目では、これらを図-9 のように 1 部材に集約した。引き続き、探索 3 回目では図-5 のように各段で節点位置を決定させた。また、探索 2 回目までは懸念されていなかった根元部材の引抜き力が増大したため、探索 3 回目において縦材の引抜き力にも圧縮になるよう要求を与えた。探索 3 回目で得た結果は、図-10 のように形状にやや凹凸があるので、施工性を考慮し図-11 のように線形に再設計を実施した。

4. 結 言

本研究では、対話型最適設計支援システムを用いることにより、PSO が選定した形状に対し設計者の創造性による修正を加味することで、組み合わせ数 2×10^{27} 通りという膨大な候補の中から、設計者の要求を満足する形状を見つけ出すことが可能であることを示した。この結果、基本モデルに対して体積を 59% 低減でき、さらに引抜き力も失くすことができた。

参考文献

- 1) 長屋秀和, 黒木勇人, 香月智, 佐藤紘志, 松島学: 対話型トラス構造最適設計への遺伝的アルゴリズムの応用, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.433-442, 1999.3.
- 2) James Kennedy and Russell Eberhart: Particle Swarm Optimization, Proc. The 1995 IEEE International Conference On Neural Networks, Vol. , pp.1942-1948, 1995

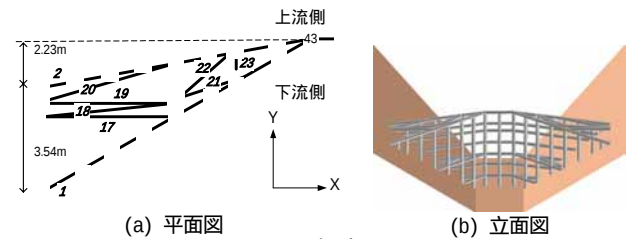


図-6 探索 1 回目

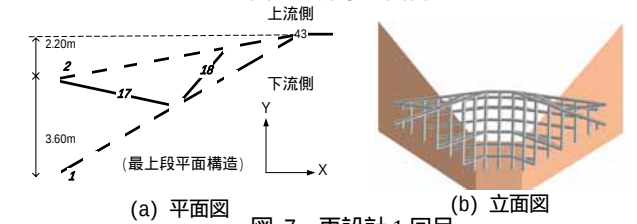


図-7 再設計 1 回目

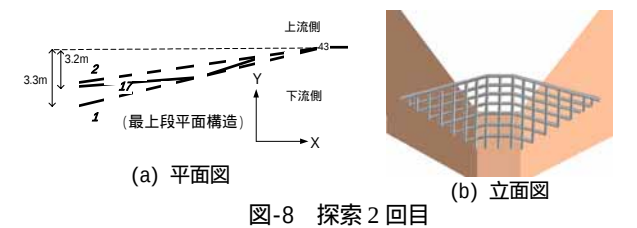


図-8 探索 2 回目

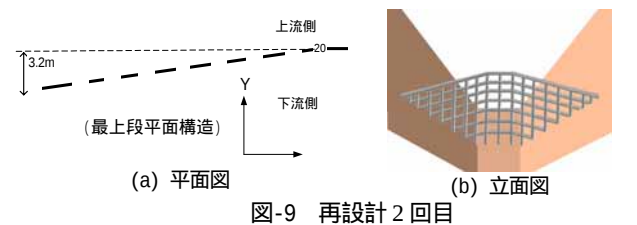


図-9 再設計 2 回目

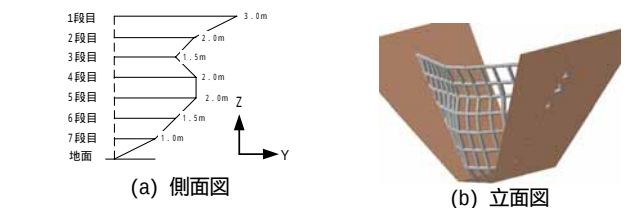


図-10 探索 3 回目

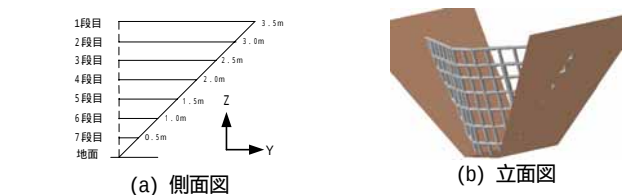


図-11 再設計 3 回目