

対話型による鋼製砂防えん堤の最適設計に関する研究

防衛大学校 学生会員 ○坊原 尚記 防衛大学校 正会員 香月 智
 防衛大学校 学生会員 白石 博文 砂防鋼構造物研究会 正会員 中野 博志
 九州大大学院 正会員 梶田 幸秀 砂防鋼構造物研究会 正会員 肥後野孝倫

1. 緒言

斜面崩壊源頭部に近い上流部における土石流を減勢するため、上流域狭窄部における鋼製砂防えん堤の建設が検討されている。この際、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ものである。

2. 対話型最適設計と設計問題

2.1. 対話型最適設計

図-1 に本研究で述べる対話型最適設計の手順を示す。ここで、対話型とは人間系には感性的な「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て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、

- (1) まず、人間系で適当な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。
- (2) 得られた出力を人間系によって判断し、コンピュータ(GA)に逆解析させる。
- (3) コンピュータは、与えられた検索条件内で最も要求に答える設計（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。
- (4) 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(2)からを繰り返す。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のようにになる。

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

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

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

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

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

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

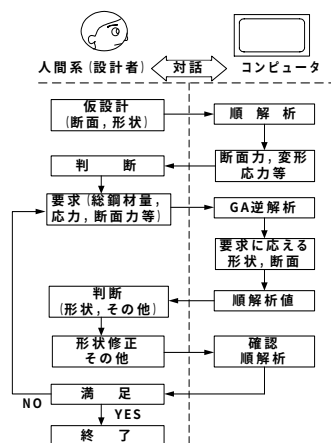


図-1 対話型最適設計の手順

表-1 設計条件

項目	数値
側面勾配	54°
溪床勾配	14°
平均溪床幅	4.0m
堤体高	12.5m
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	19kN/m³
土圧係数	0.3
堆積土砂単位体積重量	15.3kN/m³
最大礫径	1.4m

表-2 基本モデルの結果

各項目	数値
鋼管径(mm)	500
肉厚(mm)	9
体積(m³)	6.8
最大引抜き力(kN)	横材 385 縦材 15
最大複合応力(N/mm²)	圧縮 -49 引張 71

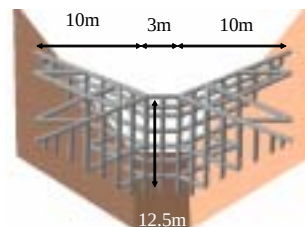


図-2 基本モデル(初期形状)

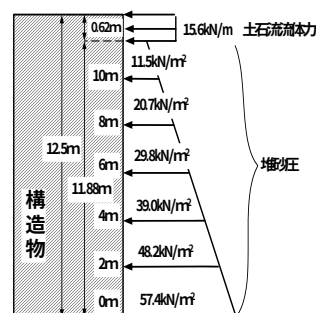


図-3 荷重分布図

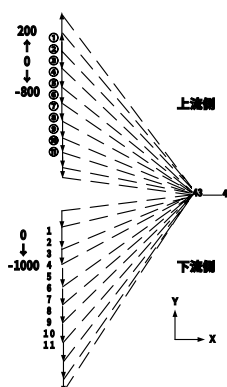


図-4 節点候補位置(Y軸)

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、 $g_{\text{other}}, g_{\text{other-a}}$: 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。

キーワード：対話型最適設計法、遺伝的アルゴリズム、狭窄部、砂防ダム、最小重量設計

連絡先：神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810 FAX 046-844-5913

3. 設計計算例

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,表-1の設計条件から図-3に示す荷重を与えた構造解析結果を表-2に示す.なお,最大複合応力は許容応力以下となり,6段目に最大引抜き力385kNが発生している.

3.2. 最適化プロセス

(1) まず最適形状をGAにより探索した.設計変数については,42種類の断面候補および上・下流側ともに11種類の節点位置候補とした.図-4に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.

GAが選択したモデル形状を図-6に示す.図より河川流れ方向は上流側の部材が8m下流側に移動したが,下流側部材については移動しなかった.また鉛直方向においても各段共に移動しなかった.

(2) 次に,GAの選択した形状を基に,人間系により形状修正を行う.具体的には,斜材の部材長は3m以上,節点間距離の小さい2節点は1節点,部材間隔の小さい煩雑な部材は1本にまとめた.再設計後の形状を図-7に示す.

(3) この形状を検索初期値として,GAにより再度最適化を実施し,GAが選択したモデルの形状を図-8に示す.

(4) 次に,設計者は図より上流側と下流側の節点が非常に近い形状となったため,2部材を一元化しそのモデル形状を図-9に示す.

(5) 引き続き,設計者は垂直方向の形状を直線として固定していたことを,曲面的な形状が探索できるよう形状候補に改めて探索を実施した.その結果,図-10に示す形状が得られたが,形状にやや凹凸があり形状の滑らかさに欠けているため,図-11のように修正した.

表-3に最終形状の解析値を示す.なお,地山に接する5,6段目の部材については,許容応力を満足する直近上位の鋼管径に変更している.表より,横材に発生する引抜き力は圧縮となり,垂直材に発生する引抜き力は10kNまで低減できている.

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,GA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により組み合わせ数 2×10^{27} 通りという膨大な候補の中から,約15時間で設計者の要求を満足する形状を見つけ出すことを示した.すなわち,人間系だけの設計と比較し,体積については56%,部材に発生する引抜き力については最大10kNまで低減できる設計が可能であることを示した.

参考文献

- 長屋秀和, 黒木勇人, 香月智: 対話型トラス構造物の対話型最適設計法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.
- 吉田均, 杉本博之: 遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用, 森北出版, 1997.9.

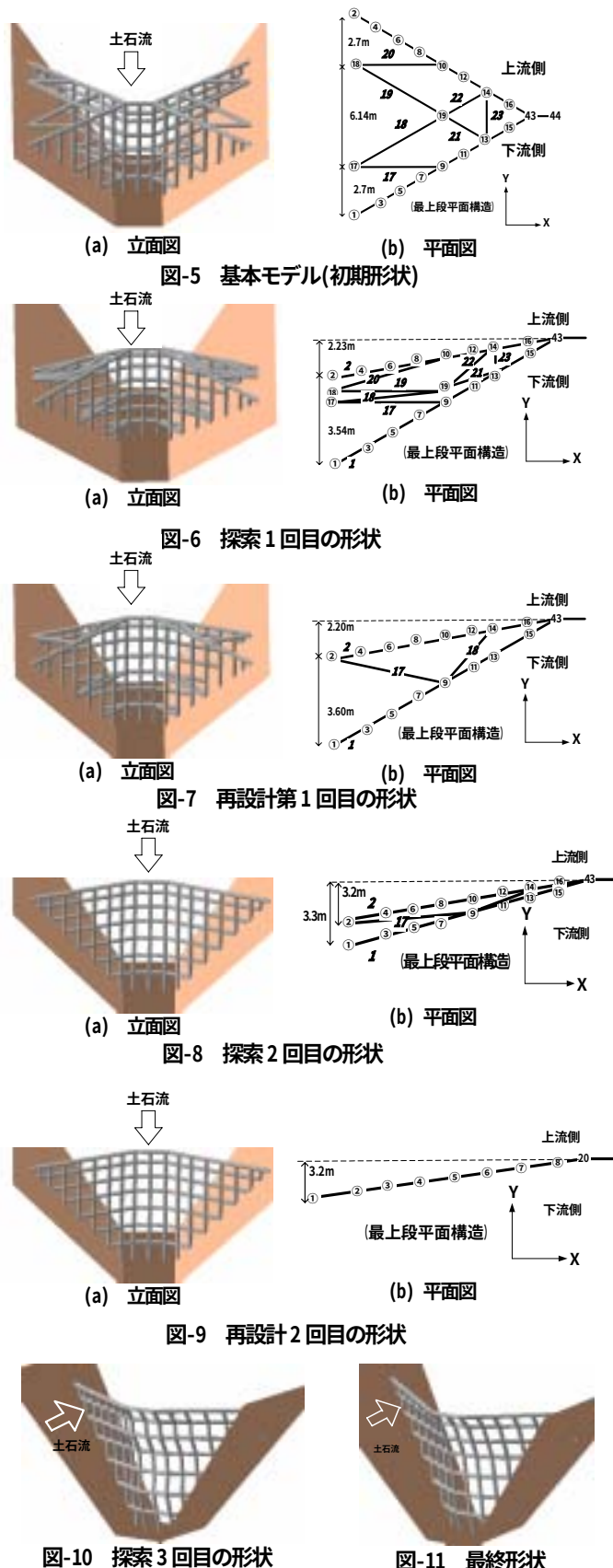


表-3 解析値(最終形状)

各項目	数値		
	その他	5段目	6段目
鋼管径(mm)	406.4		457.2
肉厚(mm)	7.9	9.5	9
体積(m ³)	3.0		
最大引抜き力(kN)	横材	-189	
	縦材	10	
最大複合応力(N/mm ²)	圧縮	-182	
	引張	106	
上流側のスリット間隔(m)	2.1		