対話型最適設計法を用いた鋼製砂防ダムの設計に関する研究

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
防衛大学校　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,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,地山との連接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)]を用いて地山との連接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.

写真-1　狭窄部

2. 解析手法

2.1. 解析モデル

図-1 に解析の基本モデルを示す.基本モデルで使用した鋼管は直径500㎜,肉厚 9㎜ であり,各段の袖部材と地山との角度を 60 度とした.本解析では構造物の対称性を利用し,**図-1** に示すモデルの左半分のみを要素分割した（節点数 75,部材数 120）.また,荷重については**表-1** の条件より分布荷重を**図-2** に示すとおり上流側部材にのみ与えた.

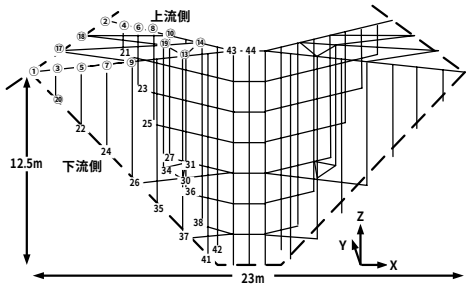


図-1　基本モデル(初期形状)

次に,部材断面に発する最大応力は次式により求めた.

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \pm \sqrt{\left(\frac{M_1}{I_1} l_y\right)^2 + \left(\frac{M_2}{I_2} l_x\right)^2} \qquad (1)$$

ここで,$\sigma_{\max}$ ：最大応力,N ：軸力,A ：部材断面積,M_1 ,M_2 ：第 1 軸,第 2 軸周りの曲げモーメント,I_1 ,I_2 ：第 1 軸,第 2 軸周りの断面 2 次モーメント,l_x ,l_y ：遠端距離.

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/m³
単位面積あたり土石流荷本力	24.7kN/m²
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

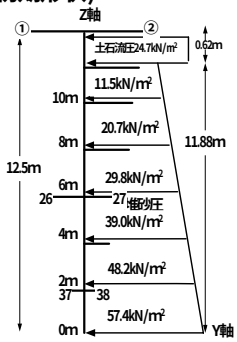


図-2　荷重分布図

2.2. 最適化手法

本研究の目的関数を,式(2)に示すものとし,遺伝的アルゴリズムを用い,最適形状および部材断面を探索する.

$$Z = \frac{1}{\left|\sum_{i=1}^{k} l_i s_i - V\right| C_i} + \frac{1}{\sum_{i=1}^{l} |F_i - F| C_i} \to \max \qquad (2)$$

ここで, V ：所望する砂防ダムの体積,C_i ：ペナルティ係数,l_i ：部材 i の部材長,s_i ：部材 i の断面積,k ：部材総数,F :所望する袖部材の引抜き力,F_i ：地山に接する袖部材の軸力,l ：地山に接する袖部材数.

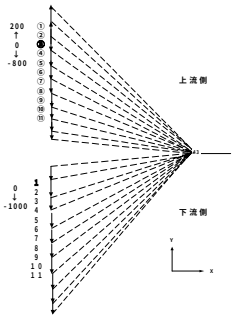


図-3　節点候補位置（Y軸）

表-2 基本モデルの結果

項目		結果
鋼管径		500mm
肉厚		9mm
体積		3.417m³
最大複合応力	引張	70.8N/mm²
	圧縮	-48.6N/mm²
許容応力 (圧縮・引張)		±185N/mm²
最大引抜き力		421kN (6段目)

制約条件である式(3)～(5)について,罰金法の考えに基づいて,目的関数に加算した.

$$L_i / D_{\max} \le 1.5 \qquad (3) \qquad \sigma_i - \sigma_{ac} > 0 \qquad (4) \qquad \sigma_i - \sigma_{at} < 0 \qquad (5)$$

ここで,σ_{ac} ：部材の圧縮許容応力（-185N/㎟）,σ_{at} ：部材の引張許容応力（185N/㎟）σ_i ：部材 i の複合応力.式(3)は各スリット間の間隔は巨礫の最大粒径の 1.5 倍以下 [2)]であることを表し,式(4)(5)は各部材の複合応力は許容応力以内であることを表す.なお,許容応力度σ_{ac} の算定において座屈強度に対する変更は逐次に人間系によって計算して与えた.

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-3** に地山との連接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 0㎝,30㎝,60㎝ 移動させる位置候補を与え

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

た.

3. 設計計算結果

3.1. 初期形状に対する構造解析

直径500㎜,肉厚9㎜の鋼管を用いて図-1に示す形状を基本モデルとして,構造解析した結果を**表-2** に示す.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421kNが発生している.

3.2. 最適化プロセス

まず最適形状をGAにより探索した.**表-3** に要求値を与える.なおGT,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.GAが選択したモデルの応答値を**表-4**,形状を**図-4** に示す.表より体積,引抜き力については基本モデルと比較し,それぞれ31.5%,84.5%減少している.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.

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.人間系による再設計後の形状を**図-5** に,構造解析結果を**表-5** に示す.表より体積については部材数を減らしたため再設計前より0.29m³減少したが引抜き力については再設計前より約 4kN 増加している.

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た.**表-6** に与えた要求,**表-7** にGAが選択したモデルの応答値を示す.**表-7** より引抜き力が再設計時より約 25kN 増加している.このため引抜き力の要求をSL:0kN に変更し,引き続き最適化を実施した.**表-8** にGAが選択したモデルの応答値,**図-6** に形状を示す.表より体積については構造解析と比較し40%減少し,引抜き力については全て圧縮力となった.

4. 結 言

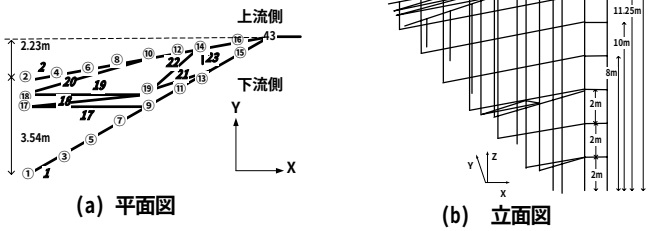
本研究では,対話型最適設計支援システムを用いることにより,GA が選定した形状に対し,設計者の創造性による修正を加味することにより組み合わせ数 2×10^{27} 通りという膨大な候補の中から,約 15 時間で設計者の要求を満足する形状を見つけ出すことを示した.この結果,人間系だけの設計と比較し体積については最大40%,引抜き力についてはすべて圧縮力に変える設計となっている.

表-3 要求値(1回目)

体積
SL 1.7m³
上流側のスリット間隔
SL 2.1m
引抜き力 (地山に接する全ての袖部材)
LT 0kN
最大複合応力
圧縮側 GT -185N/mm² 引張側 LT 185N/mm²

表-4 応答値(1回目)

各項目		数値
選択した鋼管径(mm)		406.4
肉厚(mm)		7.9
体積(m³)		2.34
最大引抜き力(kN)		65.4
最大複合応力 (N/mm²)	圧縮	-174
	引張	108
上流側のスリット間隔(m)		2.1m未満

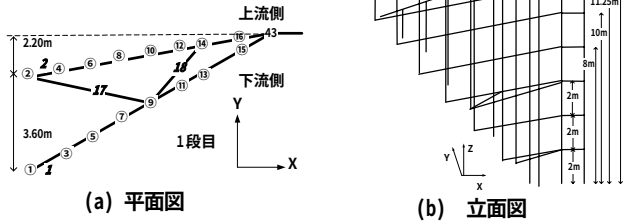


(a) 平面図　(b) 立面図

図-4 1回目の形状

表-5 解析値(再設計)

各項目		数値
鋼管径(mm)		406.4
肉厚(mm)		7.9
体積(m³)		2.05
最大引抜き力(kN)		69
最大複合応力 (N/mm²)	圧縮	-168
	引張	99
上流側のスリット間隔(m)		2.1m未満



(a) 平面図　(b) 立面図

図-5 再設計形状

表-6 要求値(2回目)

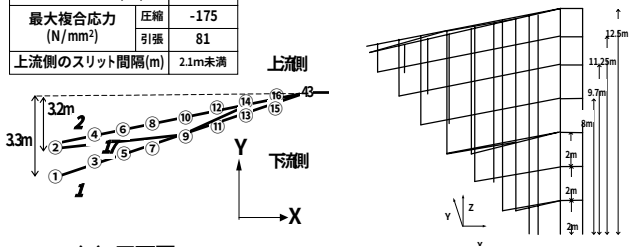
体積
SL 1.8m³
上流側のスリット間隔
SL 2.1m
引抜き力 (地山に接する全ての袖部材)
LT 0kN
最大複合応力
圧縮側 GT -185N/mm² 引張側 LT 185N/mm²

表-7 応答値(2回目)

各項目		数値
選択した鋼管径(mm)		406.4
肉厚(mm)		7.9
体積(m³)		2.035
最大引抜き力(kN)		94.4
最大複合応力 (N/mm²)	圧縮	-174
	引張	84
上流側のスリット間隔(m)		2.1m未満

表-8 応答値(3回目)

各項目		数値
選択した鋼管径(mm)		406.4
肉厚(mm)		7.9
体積(m³)		2.03
最大引抜き力(kN)		-89
最大複合応力 (N/mm²)	圧縮	-175
	引張	81
上流側のスリット間隔(m)		2.1m未満



(a) 平面図　(b) 立面図

図-6 3回目の形状

参考文献

1) 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.

2) 深和岳人, 香月智, 石川信隆, 山田正：3次元個別要素法によるオープン型鋼製砂防堰堤の土石流捕捉効果解析, 土木学会論文集, No.738/I-64, pp.97-112, 2003.7.