

遺伝的アルゴリズムを用いた山留めの最適設計

東電設計（株） 正会員 ○鈴木 修一

東電設計（株） 正会員 吉田 郁政

東京電力（株） 正会員 福本 幸成

1. はじめに

地中埋設構造物あるいはビル地下部等の構築では山留めを用いた掘削工事が行われるが、山留め工事費が本体工事費よりも高くなることがある。このような建設工事のコスト縮減では適切な仮設計が重要となる。そこで、安全性およびコストに関する2目的最適化手法を適用した山留めの最適設計について検討した。最適化手法には、土木施設の維持管理計画等で良く用いられる遺伝的アルゴリズム（以後、GAと呼ぶ）を用いた。

2. 慣用法による山留め設計

掘削深さ 10m程度までの中規模な土留め設計では慣用法が主に使用されている。慣用法では、壁体、腹起しおよび切梁等の断面計算を単純梁モデルにより算定するため計算が容易である。設計者は、掘削段数および掘削レベルを設定し、釣合い長さの計算、掘削底面の安定検討を実施して根入れ長を設定する。そして山留め本体、腹起しおよび切梁等の仕様を、山留め背面地盤等による断面力と部材耐力の関係より決定する。慣用法に関して記述された代表的な設計指針には、道路土工仮設構造物工指針¹⁾、首都高速道路仮設構造物設計基準²⁾がある。いずれの指針においても、腹起し、切梁等に用いる鋼材は 300×300 以上を推奨し、土留め杭の中心間隔は 1.0～2.0m 程度、腹起しの鉛直間隔は 3m程度、土留め杭頭から 1m程度以内に第1段目の腹起しを設置するように規定している。

慣用法はこのような拘束条件があるものの、それでも無数の設計案が考えられる。本検討では、山留め設計で実施する全照査項目を自動的に算定するプログラムを作成し、GAを用いた安全性とコストの2目的最適化設計を試みた。

3. 適合度の評価

本検討で扱う安全性とコストの2つの目的関数はトレードオフの関係にあり、このような問題での合理的な解（最適解）はパレート最適解と呼ばれている。パレート最適解は一般に複数存在するため、最適化問題としてはこれらの解の集合を探索することになる。ここでは、パレート解集合を探索する方法としてパレートランキングによる方法を用いた。具体的には、図-1(1)に示すように、原点と解を中心とする4角形の中の解の数により適合度のランク付けを行い、これにより解の選択を行う。4角形の中に解が存在しない場合は、その解はパレート解であり最も適合度が高いと評価し、4角形の中の解が多くなるほど適合度が低いと評価した³⁾⁴⁾。また、得られたパレート解集合を評価する指標として、図-1(2)に示すような目的関数空間における面積比を導入した⁴⁾。

4. 山留めの試設計

4.1 検討条件

表-1 に示す地層条件の地点で深さ 8.0m、幅 3.2m、奥行き 10.0mの掘削を行う場合の山留め設計を行う。山留め形式は親杭・横矢板形式とし、道路土工に準拠して設計する。その際に考慮した設計変数とその説明範囲は表-2 に示すとおりである。掘削レベルはあらかじめ掘削深さを 0.25m間隔で分割しておき、その中から掘削段数の数だけ任意に選択できるようにした。安全性は道路土工の全検討項目に対する照査結果の最大値とする。コストは親杭、腹起し、切梁および横矢板の施工費の合計とする。GAによるパレート解探索は人口を 100 とし、パレート解に変化が生じなくなる世代まで実施する。

キーワード 遺伝的アルゴリズム、最適化、山留め設計

連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計（株） TEL 03-4464-5527

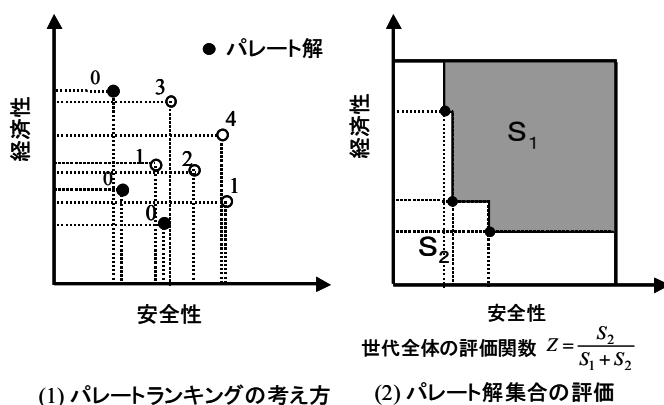


図-1 適合度の評価方法

表-1 地層構成およびその物性値

地層名称	地層厚さ t(m)	湿潤単位 体積重量 γ t(KN/m ³)	粘着力 c (KN/m ²)	内部 摩擦角 Φ (°)	N値	土圧 係数
埋戻土	7.23	18.00	—	30.0	8	0.5
砂岩層	2.60	18.40	0.0	40.0	50	0.5
泥岩層	—	17.10	150.0	34.0	50	0.5

表-2 設計変数と説明範囲

設計変数	数	対 案
掘削段数	3	3段, 4段, 5段
掘削レベル	33	地表面から0.25m間隔
親杭仕様	3	ϕ 500(H-300×300), ϕ 550(H-350×350), ϕ 600(H-400×400)
親杭間隔	5	1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00 (m)
腹起し仕様	3	H-300×300, H-350×350, H-400×400
切梁仕様	3	H-300×300, H-350×350, H-400×400
切梁間隔	7	2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 (m)
横矢板仕様	6	雑木t=3.0, 雑木t=6.0, 雑木t=9.0, 松等t=3.0, 松等t=6.0, 松等t=9.0 (cm)

4.2 算定結果

図-2 および図-3 に GA によるパレート解探索結果を示す。図-2 には世代数と評価値の推移状況を示した。世代が進むにつれて評価値が徐々に改善される傾向が見られるが、400 世代以降になると全く変化しなくなった。図-3 は最終世代における各設計案の安全性とコストの関係である。図中の●はパレート解である。これらのパレート解（山留め案）の一例として照査値 1.0 以下で最もコストの安い設計案 A を図-4 に示す。3 段目の腹起し設置レベル、親杭性能と親杭間隔のバランスは通常の設計では試行錯誤が必要となる設計案である。

5. おわりに

最適化手法として GA を用いて、安全性と経済性に関する山留め設計の適用事例を示した。本事例ではパレート解が収束するのに約 400 世代を必要とした。しかし、人口 100、世代数 500 に要する計算時間は約 60sec. であった。設計者が安全性のみでなくコストも考慮して試行錯誤するより効率的であり、十分に実務に役立つと考える。さらに、本事例のような設計案の提示は、設計案の妥当性および設計メニューも示すことになり、非常に合理的であるとする。

参考文献

1) 日本道路協会：道路土工 仮設構造物指針，平成 11 年 3 月 2) 首都高速道路厚生会：首都高速道路 仮設構造物基準，平成 2 年 10 月 3) 三宮信夫，喜多一，玉置久，岩本貴司：遺伝的アルゴリズムと最適化，システム制御情報ライブラリー-17，朝倉出版，1998. 4) 吉田郁政，原田光男，福本幸成，鈴木修一，安中正：LCC に基づく地中 RC 構造物の耐震設計に関する研究，構造工学論文集，Vol.47A，2001.3

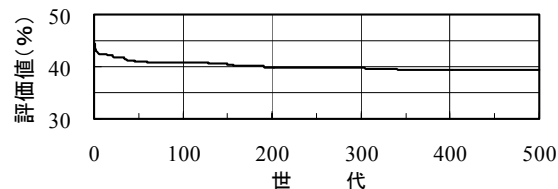


図-2 評価値の収束過程

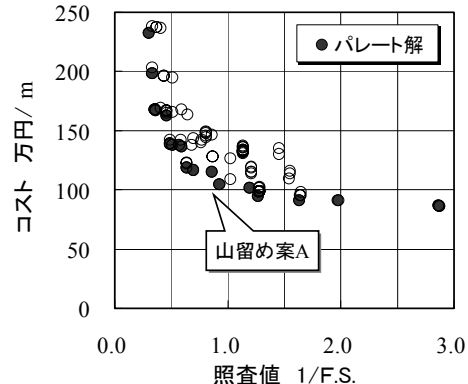


図-3 照査値とコストの関係

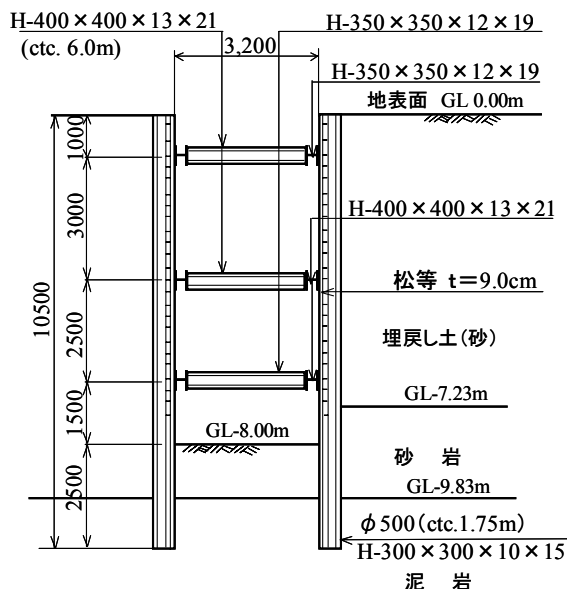


図-4 山留め案 A，断面図