

多目的GAを用いた地下鉄防振対策に対する パレート解の探索

新潟大学大学院自然科学研究科 学生員 西宮裕騎
新潟大学工学部建設学科 正会員 阿部和久
東京都交通局 正会員 古田 勝

1. はじめに

過密都市部に建設される地下鉄道は、その周辺に公共施設や住宅が輻湊し、それらの直下を通過せざるを得ない場合も少なくない。このような状況を受け、振動発生源である地下鉄自体に対し様々な防振対策が講じられている。地下鉄の振動特性の把握は重要であり、事前に防振対策の効果を評価することには意義がある。

本研究では主要な防振対策を対象に、費用・レール寿命・防振効果の3つの点に基づきそれら进行评估し、最適な設計条件を求めることを目的とする。なお、防振効果の向上は費用の増大を伴うなど、当該問題には一方の改善が他方の性能低下を招くいわゆるトレードオフの関係が存在する。このような問題では妥協解を求める必要があり、その解の集合はパレート解と呼ばれる。ここでは防振対策におけるパレート最適解を求めるための手法を遺伝的アルゴリズム (GA) に基づき構築する。

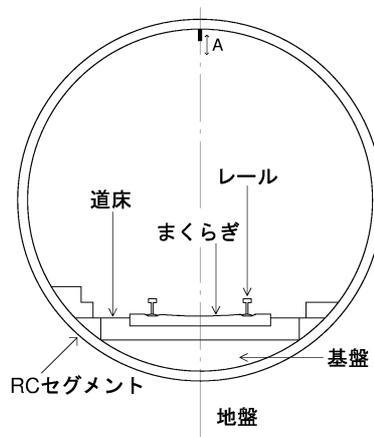


図-1 トンネル断面

2. 対象とした地下鉄道の構造

図-1に示すようなシールドトンネルの断面を考える。一般的なコンクリート直結道床で二次覆工はないものとする。各種物性値は文献¹⁾を参考に設定した。トンネル周囲の地盤は三次元無限波動場でモデル化してある。なお、振動の評価点はトンネル真上のA点とする。

3. 設計変数および目的関数

着目する設計変数は防振対策として効果があるとされている3種類とする。また、目的関数には表-1に示した3項目を考える。なお、まくらぎは重量の増加とともに剛性も増加するように設定した。

寿命の評価は、まずレール絶対最大曲げ応力を解析により求め、レール底面に発生する亀裂の進展解析を行い決定した。費用は実際の建設実績を参考にトンネル1m当たりの単価で評価した。まくらぎ単価は100(円/kg)であり、1kmあたり約1724本敷設されている。したがって、200kgのまくらぎは34,480(円/m)、300kgのものは51,720(円/m)となる。トンネルは建設実績から、断面積の増加比率で価格を設定した。セグメント等の覆工厚さ0.25(m)のもので2,884,900(円/m)、0.35(m)では3,023,960(円/m)となる。なお、レール種別と防振パッドによる費用への影響は、他と比べ微少なので考慮しないものとする。

各目的関数は、基準設定：(防振パッドのバネ定数(40MN/m),まくらぎ重量200(kg),RCセグメント厚0.25(m))の軌道構造からの差分で評価することとする。

4. 多目的GA²⁾

GAは自然界における生物の進化をモデル化したものである。すなわち、環境への適合度が高い個体が次世代に生き残り、交配や突然変異を起こしながら進化していく過程を模した最適化手法である。GAを多目的最適化に適用したものが多目的GAである。多目的GAではパレート最適解を適切に評価する手法が重要である。適合度を評価する手法にはパレートランキング法を用いた。また、個体の局所化を防ぎ解の多様性を維持するため、ニッチングと呼ばれる操作をFitness Sharing法に基づき行う。

多目的GAで最適化を行うには、多数の個体毎に設計変数を変更しながら軌道系連成解析を繰り返し実行し、振動加速度レベルを求める必要がある。しかし、これには多大な時間を必要とするため、振動評価の効率化の目的でニューラルネットワーク(N.N.)を導入する。アルゴリズム全体の流れを図-2に示す。

表-1 設計変数と目的関数

設計変数	
1:	防振パッドバネ定数 k_s (2-40)(MN/m)
2:	まくらぎ質量 m_s (200-300)(kg)
3:	RCセグメント厚 t_{RC} (0.25-0.35)(m)
目的関数	
1:	振動加速度レベル VAL(dB)
2:	費用の増分 Cost(万円/m)
3:	寿命の減少分 Life($\times 10^7$ 通過 ton)

Key words: 多目的遺伝的アルゴリズム, パレート解, 地下鉄防振対策

連絡先: 〒 950-2181 新潟市五十嵐二の町 8050 番地 TEL (025) 262-7028 FAX (025) 262-7021

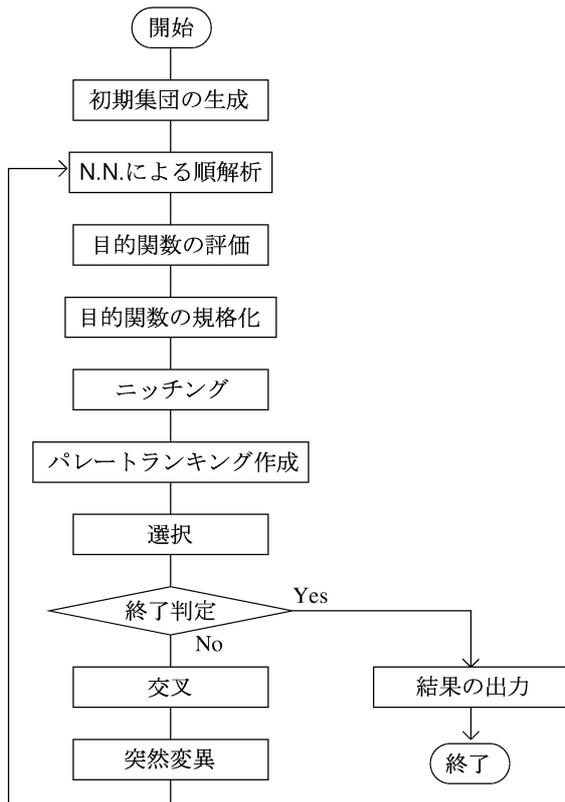


図-2 多目的 GA のフローチャート

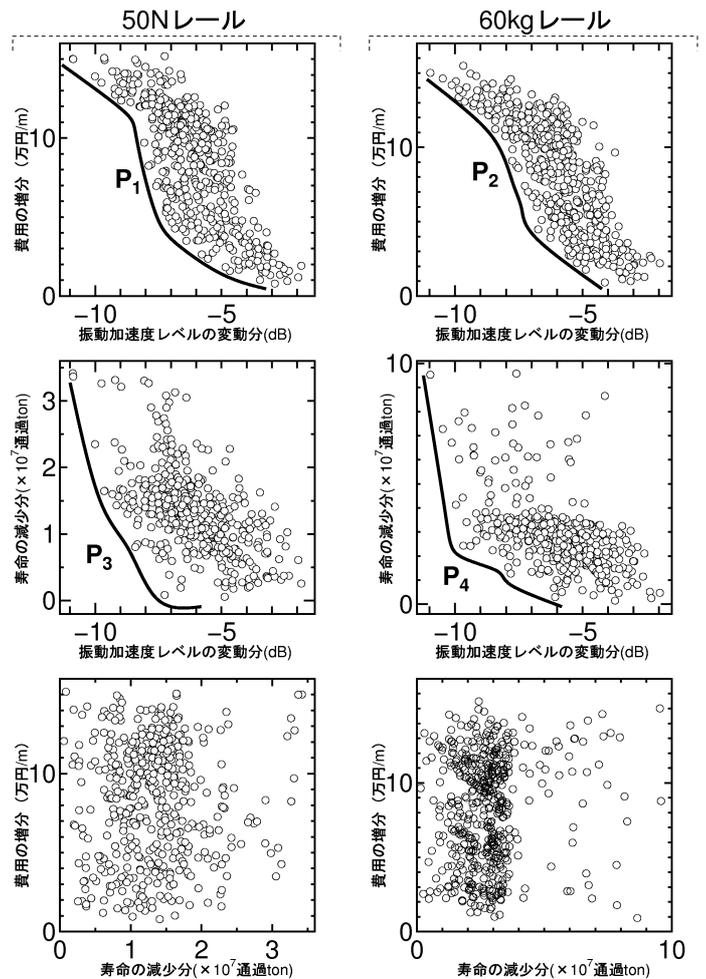


図-3 パレート解を二次元平面に射影したもの

5. パレート解

得られたパレート解は3つの目的関数を持つため、三次元空間中の曲面として与えられる。これを分かりやすく説明するため、二次元平面に射影したものを図-3に示す。振動加速度レベルと費用のトレードオフ面が(P₁),(P₂)に現れ、寿命とのトレードオフ面が(P₃),(P₄)に現れている。

防振効果と費用に大きな影響を与えるのはトンネル厚であり、(VAL < -8)の範囲ではトンネル増厚に伴う費用の増加が顕著に現れている。(VAL < -9)になるとトンネル増厚・まくらぎ重量化だけでは対応できず、防振パッドの低バネ化による寿命の低下がトレードオフ面として現れている(P₃,P₄)。また、寿命は防振パッドで決定されるが、費用の評価に防振パッドが含まれていないため、費用と寿命に関しての相関性は存在しない。

パレート面上で得られた設計変数の中から、3つの例を表-2に示す。Case1はCost 3(万円/m)以内で防振効果を最大(VALを最小)とする設計変数である。Case2はVALが最小となる設計変数、Case3はコスト増分が最小となる設計変数である。

表-2 最適化された設計変数

	Case1	Case2	Case3	
k_s	6.96	2.59	15.82	(MN/m)
m_s	294.2	302.6	244.8	(kg)
t_{RC}	25.7	34.5	25.2	(m)
Rail	50N	50N	50N	
VAL	-5.78	-10.89	-3.47	(dB)
Cost	2.64	15.01	1.01	(万円/m)
Life	2.28	3.42	1.62	($\times 10^7$ 通 ton)

6. おわりに

多目的GAはパレート最適解を求める手法として非常に有効である。これによって、様々な条件下での妥協解を求めることが可能となる。実際の設計時に参考となるデータを作成するためには、目的関数と設計変数の設定が重要となる。今回は寿命や費用に簡易的な指標を用いて問題設定をしたが、これらを具体事例に合わせ適宜設定することで、実際の設計段階で有用な情報の提供が可能となるものと考えられる。

参考文献

- 1) 阿部 和久, 佐藤 大輔, 古田 勝: 地下鉄軌道における各種防振対策の解析的検討, 鉄道力学論文集, No.7, pp.7-12, 2003.
- 2) Fonseca, C.M. and Fleming, P.J.: An overview of evolutionary algorithms in multiobjective optimization, Evol. Comp., 3, 1-16, 1995.