S1-3-2.　効用図を利用した鉄道車両用台車の最適設計

［機］　○城取岳夫（鉄道総研）　　下村隆行（鉄道総研）

Railway Vehicle Bogie Design by Using Utility Diagram

Takeo SHIROTORI, Takayuki SHIMOMURA,
Member (Railway Technical Research Institute)

In designing a railway vehicle bogie, designers used to calculate the riding comfort and hunting speed limit for assumed parameter values, and iterate calculation after changing parameter values, in case satisfactory results were not obtained. Since it was possible to calculate these values only for a few parameter values by this conventional method, however, it depended on the skill of designers whether the best parameter values were determined. Therefore, we developed a system to select appropriate parameter values from a number of cases and by showing the results with a utility diagram. In application, better parameter values were able to search.

キーワード：効用図，最適化，鉄道車両用台車，並列計算
Key Word ：Utility Diagram, Optimization, Railway Vehicle Bogie, Parallel Computing

1　はじめに

従来、鉄道車両用台車の設計過程では、設計者が諸元案の蛇行動限界速度や横圧を計算し、満足な結果が得られるまで諸元案を修正し計算を繰り返していた。この方法は手間がかかる、良好な諸元が得られるか否かは設計者のスキルに依るといった問題があった。そこで、筆者らは鉄道車両用台車の設計問題を多目的最適化問題として定式化し、計算機支援により台車諸元を決定する方法を提案してきた。

筆者らが提案してきた方法を含め一般の最適解法は、候補すべてを計算することが時間的に現実的でないことを前提に、1つの解を仮定しそれを改善することを繰返し、最適解に至る方法を採る。しかし、他の諸元候補がどのような評価値になるかわかれば、他の諸元候補と最適解の差もはっきりし、かつ選択された諸元値に近い常用品を使う等の最適解の修正も容易になる。

そこで本報では、諸元候補を実現性により絞ることと、並列計算により諸元候補をすべて計算し、その結果を効用図と呼ぶ評価値(例えば、横圧と蛇行動限界速度)を縦、横軸にとった図に示すことで簡易に候補の比較ができる方法を検討した。

2　諸元候補の選定方法

在来線用車両をモデル車両とし、安全性と乗心地を改善する問題について述べる。ここでは、台車中心間距離、車体重心位置といった形状変更を伴う諸元は変更しないこととした。

〈2.1〉　上下系諸元

上下系諸元を決定する際には、急曲線低速走行時の脱線に対する安全性と上下振動乗心地を評価する必要がある。これらに影響する軸箱上下支持剛性及び減衰係数、空気ばね上下支持剛性及び減衰係数の4諸元を最適化する。このうち、軸箱上下支持剛性は、急曲線低速走行時の推定脱線係数と駆動装置の継手の許容値などにより決まる。

また、乗心地の点から軸箱上下減衰係数は減衰比0.3、空気ばね上下支持剛性は車体傾斜係数が1.2となるよう決める。つまり、空気ばね上下減衰係数以外は、最適化手法を適用せずに決めることができる。

〈2.2〉　左右系諸元

左右系諸元を決定する際は、蛇行動限界速度、横圧、左右振動乗心地を評価する。軸箱前後支持剛性、軸箱左右支持剛性、空気ばねの横剛性、ヨーダンパ減衰係数、左右動ダンパ減衰係数、空気ばね上下減衰係数、左右動ストッパ特性の7諸元を最適化する。

一例を挙げると軸箱左右支持剛性は、乗心地の観点から柔らかい方が有利である。しかし左右振動加速度による慣性力が作用した場合、輪軸部品が台車部品に干渉する恐れがある。そこで、250％定員乗車時の軸箱上下荷重に2.9m/s^2(0.3g)を乗じ、軸箱に作用する左右力を見積り、台車枠－輪軸左右相対変位が5㎜を超える軸箱左右支持剛性を候補から除外した。その結果、最小値はモデル車両の軸箱左右支持剛性の60%となった。

同様に制約を考慮し、他の候補を検討すると、表1のようになる。

3　最適諸元決定の方法

前節で選定した諸元候補から最適な1組を選ぶために、数値計算により表2に示す項目を評価する。予め左右動ストッパ特性を除いた諸元候補6種類を対象とすることにより、組合せ数が膨大になる問題点を回避する。

また、曲線通過時の横圧の数値計算は、非線形時系列計算のために時間を要する。そこで本研究では、諸元候補を

表1　諸元値の組合せ

諸　元　名　称	最小値(%)	最大値(%)	刻み幅(%)
空気ばね上下減衰係数	20	200	20
軸箱前後支持剛性	60	200	20
軸箱左右支持剛性	60	100	20
空気ばね横支持剛性	60	140	20
左右動ダンパ減衰係数	60	160	20
ヨーダンパ減衰係数	100	150	50
左右動ストッパ隙間	50	150	25
左右動ストッパ剛性3次項係数	50	200	50
左右動ストッパ剛性1次項係数	50	200	50

表2　評価項目と候補数、計算時間

評価項目	候　補　数	計　算　時　間
上下乗心地	20	17秒
蛇行動限界速度	1440	20分
横圧	962	2時間
左右最大変位	7	50秒
左右乗心地	4	2分

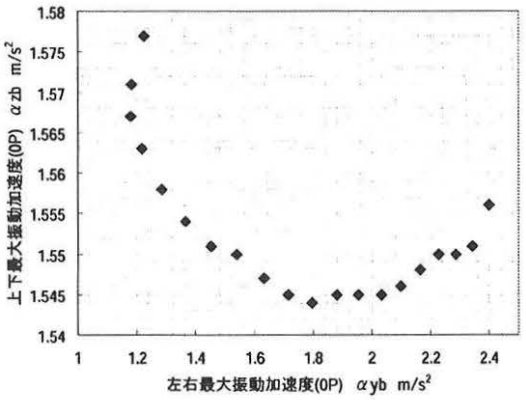

図1　空気ばね上下減衰係数を変えた際の
左右振動加速度最大値と上下振動加速度最大値の関係

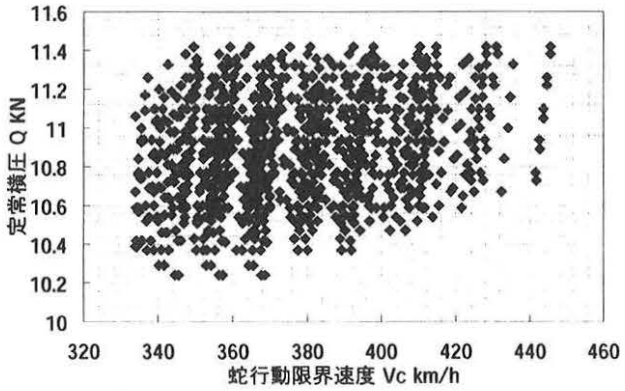

図2　蛇行動限界速度と定常横圧の関係

3分割し、複数CPUにより並列計算を行い、計算時間を1/3に短縮した。次にそれぞれの諸元の組合せについて、蛇行動限界速度を横軸に、横圧を縦軸にプロットする。この効用図を使い、蛇行動限界速度を向上した際の横圧の増加割合や、蛇行動限界速度と横圧の可変域を参照し、設計者がトレードオフを行い諸元候補をさらに絞り込む。

表3　モデル車両諸元と最終諸元案

項　　目	モデル車両諸元	最終諸元案	単　位
軸箱上下支持剛性	3.35	3.35	MN/m/axle
軸箱上下減衰係数	23.10	23.10	kN/(m/s)/axle
空気ばね上下剛性	833.56	1237.04	kN/m
空気ばね上下減衰係数	101.73	71.21	kN/(m/s)
軸箱前後支持剛性	12.75	12.75	MN/m/axle
軸箱左右支持剛性	10.19	10.19	MN/m/axle
空気ばね横剛性	86.33	51.80	kN/m
左右動ダンパ減衰係数	58.86	94.18	kN/(m/s)
ヨーダンパ減衰係数	441.45	662.18	kN/(m/s)
左右動ストッパ隙間	20.00	20.00	10^{-3} m
左右動ストッパ剛性3次項係数	4.16	2.08	GN/m³
左右動ストッパ剛性1次項係数	785.00	392.50	kN/m
蛇行動限界速度	334.10	368.60	Km/h
定常横圧	1.06	1.02	Ton
車体上下振動加速度（最大値0P）	2.57	1.77	m/s²
車体左右振動加速度（最大値0P）	1.41	1.36	m/s²

4　計算例

各評価項目の候補数と日本SGI株式会社製計算機ORIGIN2800を使用した際の計算時間を表2に示す。

図1に空気ばね上下減衰係数を決定するための上下、左右の車体振動加速度最大値の効用図を示す。上下、左右のどちらかが最悪値になる状態を避け、左右最大振動加速度が1.2m/s²と1.8m/s²の中間値程になる諸元候補を選択した。

図2に蛇行動限界速度と横圧の効用図を示す。今回は、横圧が最も低い中で蛇行動限界速度が最も高い候補を選択した。最後に、左右動ストッパ諸元を左右乗心地が最良になるよう探索した。

このようにして得られた最終諸元案を表3に示す。定常横圧が増加せずに蛇行動限界速度と車体上下、左右振動加速度を向上する諸元探索に成功している。

5　おわりに

本論文では、諸元候補を実現性により絞ることと、並列計算により諸元候補をすべて計算し、その結果を効用図に示す方法を検討した。その結果、実用に耐えうる時間内で、モデル車両の性能を向上する諸元を探索することができた。今後は、形状変更を伴う諸元について検討する。