

S2-2-1 局所的超過遠心加速度を使用した曲線線形管理に関する一考察

[土] ○石上 寛 [土] 古川 敦 ((財) 鉄道総合技術研究所)

Evaluation of track geometry on curves based on local unbalanced Acceleration

Hiroshi ISHIGAMAI, Member of JSCE Atsushi FURUKAWA, Member of JSCE (RTRI)

In case of the train speed increases, extension of transition curve is necessary from a viewpoint of safety and riding quality. In this study, several methods to extend the transition curve, curve without circular curve, S-curve and same direction curve are discussed in term of acceleration of the rolling stock lateral vibration at frequency of 0.3Hz by local unbalanced Acceleration that is considered to cause motion sickness in the passengers.

キーワード：緩和曲線延伸、速度向上、局所的超過遠心加速度、乗り物酔い

Keyword: extension of transition curve, speed increases, local unbalanced Acceleration and motion sickness

1. はじめに

我が国の在来線には急曲線が多いため、都市間到達時間の短縮には曲線通過速度の向上が不可欠となる。これに対し車両側では車体傾斜車両の投入などが行われ、軌道でもカントこう上などの曲線改良が行われる。一方、走行安全性や乗り心地の観点からカント逓減倍率には下限値があるため、カントこう上を行う場合、合わせて緩和曲線長の延伸¹⁾が必要となることがある。緩和曲線延伸には7種類の方法があるが、これらの中にはBTC手前に反向曲線を挿入するもの、BCC前後に複心曲線を挿入するもの、またカント逓減と曲率逓減の位置が不一致のものなどがある。これらの施策は、本来乗り心地の改善を目的としたものであるにも関わらず、反向曲線走行時の車両の過渡応答や線形管理そのものの難しさなどから、かえって乗り心地を悪化させる要因ともなっている。

一方、筆者らは主として振り車両の乗り心地評価を目的として、主として乗り物酔いに影響の大きい0.3Hz付近の左右動に着目した曲線線形評価法を提案している²⁾。本報告では、この曲線線形評価法を用いて上記の緩和曲線延伸法を評価するとともに、緩和曲線延伸にともなう最小円曲線長や曲線間直線長が0mになる場合の乗り心地を評価し、曲線通過速度向上時の望ましい曲線改良方法について考察する。

2. 緩和曲線の延伸法

緩和曲線の長さ(=カント逓減区間長)は、①台車3点支持に対する走行安全性(L_1)、②カントの時間変化量に対する乗り心地(L_2)、③カント不足量の時間変化に対する乗り心地(L_3)、の3つを考慮して考える。 $L_1 \sim L_3$ のいずれも緩和曲線長はカントに比例して定まるため、曲線通過速度向上のためにカントこう上を行う

と、緩和曲線長の延伸が必要となる。これには、図1に示す7種類の方法がある¹⁾。各々の方法の特徴を以下に述べる。なお、図1のいずれもカント逓減は図中のTCLの区間で直線的に行われるものとする。

A法：曲線半径は変わらない。円曲線を全長にわたって平行移動するため、移動量が大きく移動延長も長くなる(図1)。

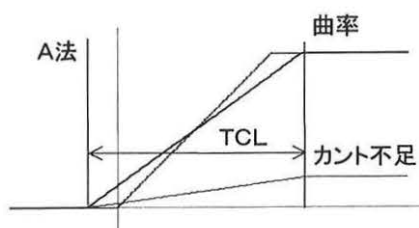


図1 A法の曲率とカント不足量

B法：円曲線の半径を基本条件よりも小さくする。曲線全長にわたって軌道を移動するが、移動量はA法よりも少ない。曲線通過速度は制限される(図2)。

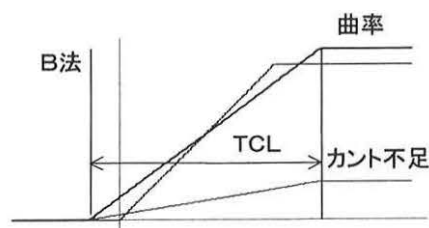


図2 B法の曲率とカント不足量

C法：円曲線の一部を複心曲線とする。移動量は比較的小さい。緩和曲線終端付近でカント不足量に変動が生じる(図3)。

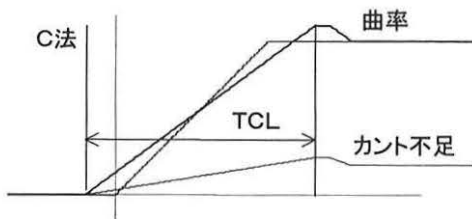


図3 C法の曲率とカント不足量

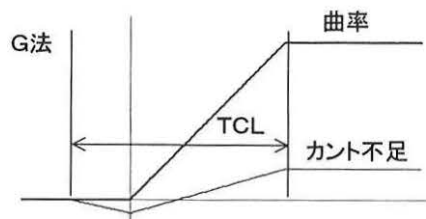


図7 G法の曲率とカント不足量

D法：緩和曲線の手前に大半半径の反向曲線を挿入する。移動量は比較的小さい。緩和曲線始端付近でカント不足量に変動が生じる（図4）。

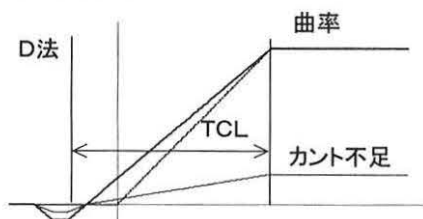


図4 D法の曲率とカント不足量

E法：曲率をサイン半波長で逓減する。移動量は比較的小さい。緩和曲線の両端でカント不足量に変動が生じる（図5）。

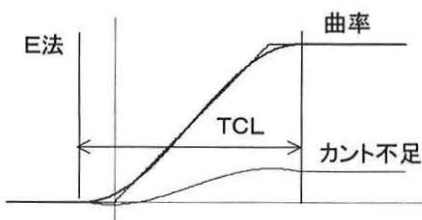


図5 E法の曲率とカント不足量

F法：緩和曲線の手前に大半半径の反向曲線を挿入し、また円曲線の一部を複心曲線とする。移動量は比較的小さい。緩和曲線の両端でカント不足量に変動が生じる（図6）。

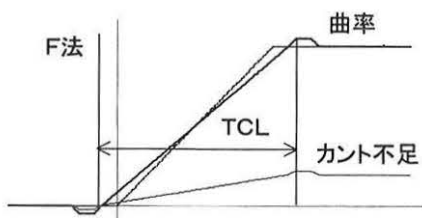


図6 F法の曲率とカント不足量

G法：曲率の逓減長は変化させず。カント逓減区間を直線側に延長する。平面曲線の移動は無い。緩和曲線始端でカント不足量に変動が生じる（図7）。

以上のように、C法～G法はA、B法と比較して軌道の移動量は小さいものの、カント不足量の変動が生ずる。筆者らの知見ではカント不足量の変動は低周波左右動の原因となるため、このような変動は好ましくない。本研究の目的は、各緩和曲線延長法を乗り心地の観点から再評価することである。

3. 曲線線形の評価法

本報告で用いる曲線線形評価法は、式(1)に軌道検測データを代入して得られる、地点毎の局所的超過遠心加速度（以下、「局所的超過遠心加速度」という。）を指標とするものである。

$$\hat{\alpha}_y(n-k) = \frac{v^2}{R(n-k)} - \frac{g}{G} C(n-k) = v^2 \frac{t(n-k)}{12500} - \frac{g}{G} C(n-k) \quad (1)$$

ここで、 $R(n-k)$ ：地点 $n-k$ の実曲線半径[m]、
 $\hat{\alpha}_y(n)$ ：軌道変位を考慮した、地点 n の局所的超過遠心加速度[m/s²]
 v ：速度[m/s]、 g ：重力加速度[m/s²]
 $t(n-k)$ ：地点 $n-k$ の10m弦正矢通り[mm]
 $C(n-k)$ ：地点 $n-k$ の実カント[mm]
 G ：軌間[mm]

また、急曲線が連続する場合、乗り物酔いに影響が大きいのは0.3Hz付近の左右振動加速度であることがわかっていて、実際の曲線線形評価では、式(1)で得られる波形に、0.3Hz付近のみを抽出するフィルタ処理を行い、得られた波形の振幅を評価指標とする。

4. 緩和曲線延伸法の評価

緩和曲線延伸法の評価は、2章で述べた緩和曲線延伸法について3章で述べた局所的超過遠心加速度を算出で行う。その際、各延伸法、当該曲線の半径、曲線通過速度などと局所的超過遠心加速度との関係性を求め、今後の速度向上に対応した曲線線形改良法について考察する。

4. 1 検討条件

曲線 R500 の軌道を 75Km/h 及び+10Km/h の 85Km/h

で走行するとし、国鉄時代の軌道整備心得の定める2級線を想定して緩和曲線長、カントを表1のように設定した(振子列車の走行を前提としているため L_1 のみ考慮)。

表1 検討条件

曲線半径 R (m)	500	
速度 V_m (km/h)	75	85
均衡カント	95	121
0.7 V_m 均衡カント	46	59
設定カント C (mm)	50	60
$L_1=0.8C$	40	48
緩和長 L (m)	40	50

B法の設定条件として新曲線の半径は旧曲線に対して-10mのR490mとした。

C法・F法で設定する小曲線半径は現曲線に対し10m弦で-1mmとなるようにR480mとした。

D法・F法で設定する反向曲線半径は10m弦で+1mmとなるようにR12500とした。

E法で緩和曲線を片側で行う場合には、新緩和曲線長は幾何学的に旧緩和曲線長に対して1.3265倍となる。

一例として図8にA法における緩和曲線延伸前後の10m弦正矢と水準、局所的超過遠心加速度、局所的超過遠心加速度の0.3Hz付近のみを抽出するフィルタ処理後の波形を示す。

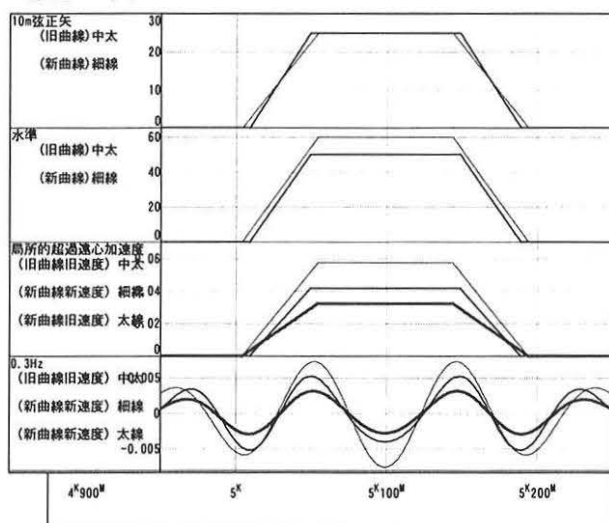


図8 A法における各種波形の比較

4. 2 各延伸工法の評価

旧曲線において75Km/hで走行した時の局所的超過遠心加速度の0.3Hz付近のみを抽出するフィルタ処理後の全振幅のピーク値(以下、「0.3Hzピーク値」という)と、各延伸工法実施後に75Km/h、+10Km/hの85Km/hで走行した時の0.3Hzピーク値の最大値をプロットしたものを図9に示す。

A法・B法が他の工法と比較して0.3Hzピーク値が小さくなり、乗り心地上有利になるとみられる。曲線中す

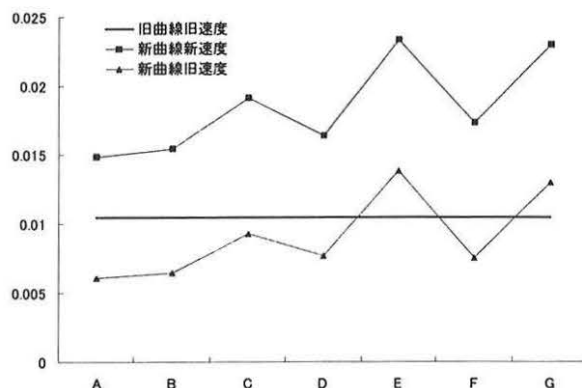


図9 緩和曲線延伸時の0.3Hzピーク値の最大値

べての箇所において曲率の変化とカントの逓減が一致していること、A法ではさらに曲線半径を維持したままで緩和曲線長を長くすることがA法のもっとも優れている理由だと思われる。

E法・G法については速度向上をしなくても0.3Hzピーク値が増加する傾向がみられる。これは、緩和曲線部において曲率の変化とカントの逓減が構造的にずれていることから起こる現象であると思われる。

C法のように円曲線内に複心曲線のような小曲線を持つ緩和曲線延伸工法を行った曲線については、速度向上をしない場合でも、0.3Hzピーク値がそれほど良化せず、乗り心地に若干不利になるとみられる。

D法のように緩和曲線入り口側に大半径の反向曲線をもつような緩和曲線延伸工法を行った曲線については、0.3Hzピーク値が比較的小さくなり、乗り心地上有利になるとみられる。

F法についてはC法のように円曲線内に複心曲線のような小曲線を持たせた場合でも、D法のように緩和曲線入り口側に大半径の反向曲線を持たせることによって、0.3Hzピーク値が比較的小さくなり、乗り心地上有利になるとみられる。

また、これらA～G法の大小関係は速度向上前後で変わっていない。

以上から、A法が乗り心地上有り最も有利な工法とみられるが、移動量が非常に大きく延長も長くなるため、工事は大規模なものになる、また新たに必要となる用地が広がる。したがって、工事費に制約がある場合は、D法ないしF法を用いるのがよい。この場合、緩和曲線延伸後は反向曲線、複心曲線の管理に留意する必要がある。

5. A法による緩和曲線長の延伸

4章でA法による緩和曲線延伸が乗り物酔いにもっとも有利なことがわかった。ここでは、緩和曲線延伸によって、円曲線が0mになる全緩和曲線と曲線間直線長が

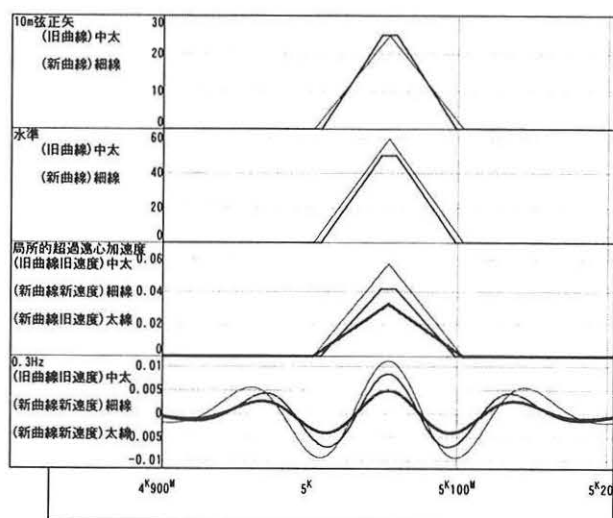


図 10 全緩和曲線化の各種波形の比較

0 m になる反向曲線、同方向曲線について検討した。

全緩和曲線についての波形を図 10 に示す。

緩和曲線延伸後に速度向上した場合は、速度増加に伴い 0.3Hz ピーク値の増加が見られた。速度向上しない場合は緩和曲線長延伸の効果がそのまま現れており、0.3Hz ピーク値が減少している。このことから最小円曲線長が 0 であっても乗り心地に不利になることは無い。

反向曲線についての波形を図 11 に示す。

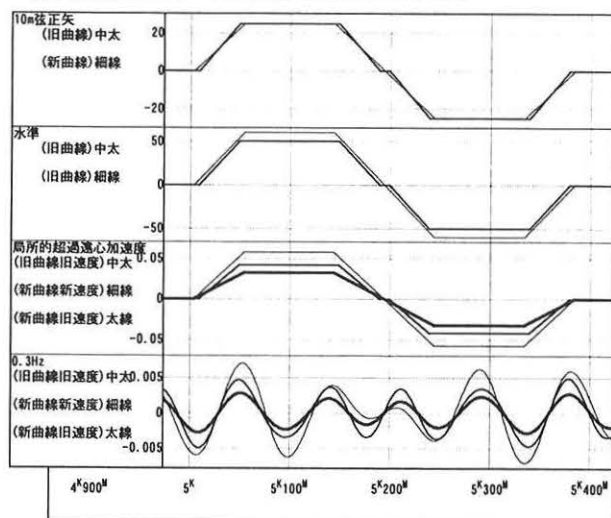


図 11 反向曲線化の各種波形の比較

曲線間直線長を 0 m にした場合は、速度向上の有無にかかわらず、中間緩和曲線部においては 0.3Hz ピーク値が同等かそれ以下小さくなっていることがわかる。

同方向曲線についての波形を図 12 に示す。

緩和曲線延伸後に速度向上した場合は、速度増加に伴い 0.3Hz ピーク値の増加が見られた。速度向上しない場合は緩和曲線長延伸の効果がそのまま現れており、0.3Hz ピーク値が減少していることがわかる。

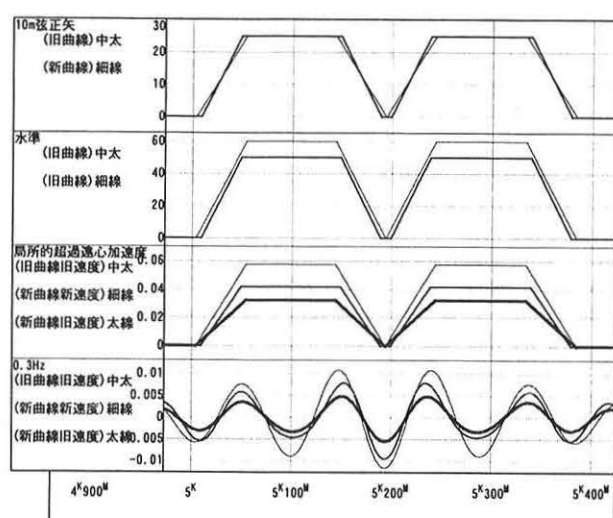


図 12 同方向曲線化の各種波形の比較

図 11・12 の波形から緩和曲線延伸時に曲線間直線長についてもあえて設定する必然性は小さく、むしろ前章の結果を合わせれば、曲線間直線長を設定するために前後の緩和曲線長を短くするよりも、緩和曲線長自体を長くしたほうが乗り心地に望ましいといえる。

6. まとめ

緩和曲線延伸に関する評価を行うために、局所的超過過心加速度の 0.3Hz 付近のみを抽出するフィルタ処理後の全振幅のピーク値を比較検討した。

- (1) 緩和曲線長を延伸する工法には緩和曲線・円曲線を全線に渡って移動する工法と緩和曲線片側で取り付ける工法、カント逓減区間のみ直線側に延長する工法とがあるが、A 法がもっとも乗り心地に有利な工法であるとみられる。
- (2) 緩和曲線部において曲率の変化とカントの逓減が構造的にずれる E 法・G 法は他の工法と比較して乗り心地に不利な工法であるとみられる。
- (3) 曲線の全緩和曲線化により、円曲線長が 0 m でも、緩和曲線長が延伸されることで乗り心地に不利になることはない。
- (4) 反向曲線や同方向曲線においては曲線間直線長が 0 m でも緩和曲線長が延伸されることで乗り心地に不利になることはない。

参考文献

- 1) 橋本渉一：緩和曲線の線形と車両動揺の関係解析，鉄道総研報告 vol.3, No.2, 1989.2.
- 2) 石上寛、古川敦：乗り物酔いを考慮した曲線線形管理に関する一考察，土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集 4-074, 2005. 9