

鉄道線路の話

まえがき

鉄道の一番の基本となるのは線路である。鉄道の質は車輛や運転面でかなり向上出来るものであるが、根底にある、線路の質が大きな枠ばめとなり、これが大きく支配する。

世の中には、車輛の雑誌、文献等は数々ありますが、線路に関するものは、まれで、しかも、ごく一部しか紹介されてない、詳しく調べるには、鉄道事業者の土木・保線屋さんが使用するプロの内部資料に頼るしかない。

そこで、今回、プロ向け資料との中間どころを狙った、線路に関心を持つ鉄道マニア向け資料を作成しました、雑学を交えた為、少し、雑然としたものになりましたが、より多くの方に、読んでいただければ幸いです。

線路とは

- ・列車又は車輛を走らせるためにある通路、軌道とこれを支持するために必要な路盤、構造物を包含している地帯（日本工業規格）
- ・施工基面上の道床及び軌きょう（レール、枕木を組み立てたもの）と直接これに付帯する施設、

1、軌間

762mm（軽便鉄道に端を発したもの 例 近鉄伊勢線・内部線・八王子線）

1067mm（JR、民鉄）

1372mm（軌道法によったものに端を発したもので、京王帝都電鉄等がある）

1435mm（関西の大手民鉄が採用している、新幹線）

2、曲線半径（軌間 1067mmの場合） 曲線長・略称CCL

最小曲線半径を規定しているが、現在では、その鉄道の置かれた立場にふさわしい設計最高速度に対応した、最小曲線半径を決定することとしている。（新設の路線）

尚設計速度は、免許申請時において付せられる上位計画である事業基本計画において示されるもので、重要な位置付けとなる。その値は表1・1のとおりである。

表1・1

設計最高速度	最小曲線半径
110km/hを超える速度	600m
90km/hを超え110km/h以下の速度	400m
70km/hを超え90km/h以下の速度	250m
70km/h以下の速度	160m

但し、地形上やむ得ない場合の緩和措置がある。

またプラットフォームに沿う本線に急曲線を認めると車両とプラットフォーム縁端とが離れて乗降に危険であるため、400mを最小曲線半径としている。

尚、S字カーブの場合、車輛の動揺を収める為に、（速度に依存する）その間に20m以上の直線を挿入しなければならない。新幹線は100m以上としている。

3、緩和曲線（軌間 1067mmの場合） 緩和曲線長・略称 T C L

曲線につけたカントは曲線外では逡減させるが、この場合はカントの減少に伴って円滑に曲線半径を増大させる必要がある。この逡減区間では、車両に働く曲線の遠心力をカントと釣り合わせ、これを緩和曲線と言う。

緩和曲線の長さは、2軸貨車などの浮き上がり脱線防止や乗り心地などから、通過速度に応じて、カントの400～1000倍としている。カントが大きくなると緩和曲線が長くなる。

具体的には次の3つの観点から設けた条件の最大値をもって施工される。

（車両の3点支持による脱線避ける安全限度）

$$L_1 = 0.4C_m \quad (\text{カントの単位をmmのままとし、答えを単位mとしている})$$

表4-3 JRの L_1 に関する規定

1級線	$1.0C_m$
2級線	$0.8C_m$
3・4級線	$0.6C_m$
4級線で最高速度75km/h以下	$0.4C_m$

閑話休題

カントの400～1000倍とするとおきながら、 $\times 1.0 \sim 0.4$ としカントの単位をmmとしたまま、答えをmに求めるのは数学的におかしい話ですが、保線屋さんが普段使い慣れている単位mmをそのまま採用する為、便宜上そのようにしているのだと推察します。

（車両の走行に伴うカントの時間的な変化の割合に対する乗り心地限度）

表4-4 JRの L_2 に関する規定

1級線	$0.010C_m V$
2級線	$0.008C_m V$
3・4級線	$0.007C_m V$
4級線で最高速度75km/h以下	$0.006C_m V$

（超過遠心力の時間的な変化に対する乗り心地限度）

$$L_3 = 0.009C_d V$$

凡例 C_m （カント設定量、単位mm） C_d （許容カント不足量、単位mm）

V （曲線通過速度、単位km/h）

（許容カント不足量、一般列車50mm、電車・気動車60mm、高性能電車70mm、振り子車両110mm）

4. カント（軌間 1067mmの場合）

曲線には、列車通過の遠心力により外側レールに過大な荷重がかかり、車両が外方に転倒しようとする。これを防ぐため外側レールを内側レールより高く敷設して（その高低差をカントと言う）遠心力と重力の均衡を図っている。

普通鉄道構造規則が定めているカントCの基準は次の通り。

$$C = \frac{GV^2}{0.127R}$$

凡例 G：軌間m（実際には車輪とレールの接触部の距離で決めているので軌間+65mm）

V：当該曲線を走行する列車の平均速度km/h R：曲線半径 m

またカントは安全性から、列車がその曲線で停止した場合でも、車両が強風によって曲線の内側に転倒する恐れがあってはならない。そこで最大カントは次の値に制限されている。

新幹線 180mm（東海道新幹線200mm）、在来線 105mm

5 スラック

曲線部では軌間を若干広げて車輪を円滑に走行させている。この軌間の拡幅をスラックと言い、曲線半径が小さくなるほど大きくなる。

スラックSは曲線半径Rに対して

$S = 6000 \div R$ で計算され、最大のスラック量は30mmとしている。

6. 曲線通過速度（軌間 1067mmの場合）

（1）本則

JRの運転取扱心得に定められている曲線半径別制限速度は次により定められている。

$$V = \sqrt{\frac{127RG}{2Ha}}$$

G（レール頭部中心間距離）1067mm+65mm、重心 H=1650mm

一般列車の安全率 $a = 3.5$ として

$$V = 3.5\sqrt{R}$$

これらを基に曲線半径ごとに制限速度を5km/h刻みで規定している。

（2）曲線通過中の外側転覆に対する安全速度

曲線通過速度の向上はカント向上、緩和曲線の延伸等線形の変更が伴う。

本則は実カントをゼロと仮定しているのが不合理で、実カントを考慮すれば、本則よりかなりの速度向上が出来る。

曲線通過速度の向上は、レールに対する横圧が増加するので、レールの軌間拡大を防ぐための軌道強化やレール締結装置の改良等により、横圧限度（設計横圧60kN）を強化する必要がある。

曲線通過速度は次の計算式によって制限される。(軌道間隔 1 0 6 7 mmの場合)

$$V = \sqrt{\frac{R(C_m + C_d)}{8.4}} [km/h]$$

凡例 R : 曲線半径m C_m : カント設定量 mm

C_d : 許容カント不足量 mm

(一般列車 5 0 mm、 電車・気動車 6 0 mm、高性能電車 7 0 mm、
振り子車両 1 1 0 mm)

例、カントを最大 (1 0 5 mm) に設定した場合の曲線通過速度 km / h

曲線半径	本則	一般列車	高性能電車	振り子車両
1 0 0 0 m以上	1 1 0	1 3 0	1 3 0	1 3 0
8 0 0 m以上 1 0 0 0 m未満	1 0 0	1 2 5	1 2 5	1 3 0
7 0 0 m以上 8 0 0 m未満	9 0	1 1 5	1 2 0	1 3 0
6 0 0 m以上 7 0 0 m未満	8 5	1 0 5	1 1 0	1 2 0
5 0 0 m以上 6 0 0 m未満	8 0	9 5	1 0 0	1 1 0
4 5 0 m以上 5 0 0 m未満	7 5	9 0	9 5	1 0 5
4 0 0 m以上 4 5 0 m未満	7 0	8 5	9 0	1 0 0
3 5 0 m以上 4 0 0 m未満	6 5	8 0	8 5	9 0
3 0 0 m以上 3 5 0 m未満	6 0	7 5	7 5	8 5
2 5 0 m以上 3 0 0 m未満	5 5	7 0	7 0	7 5

例、カントを中間値 (5 2 mm) に設定した場合の曲線通過速度 km / h

曲線半径	本則	一般列車	高性能電車	振り子車両
1 0 0 0 m以上	1 1 0	1 1 5	1 2 0	1 3 0
8 0 0 m以上 1 0 0 0 m未満	1 0 0	1 0 0	1 0 5	1 2 0
7 0 0 m以上 8 0 0 m未満	9 0	9 5	1 0 0	1 1 5
6 0 0 m以上 7 0 0 m未満	8 5	8 5	9 0	1 0 5
5 0 0 m以上 6 0 0 m未満	8 0	8 0	8 5	9 5
4 5 0 m以上 5 0 0 m未満	7 5	7 5	8 0	9 0
4 0 0 m以上 4 5 0 m未満	7 0	7 0	7 5	8 5
3 5 0 m以上 4 0 0 m未満	6 5	6 5	7 0	8 0
3 0 0 m以上 3 5 0 m未満	6 0	6 0	6 5	7 5
2 5 0 m以上 3 0 0 m未満	5 5	5 5	6 0	6 5

但し、一般的に線路保守量の関係から一般列車は上記数値より低く、特に機関車列車は軸重が大きく軌道破壊量の関係から制限する傾向にある。

本則はカント設定量をゼロとし、一般列車の速度である。

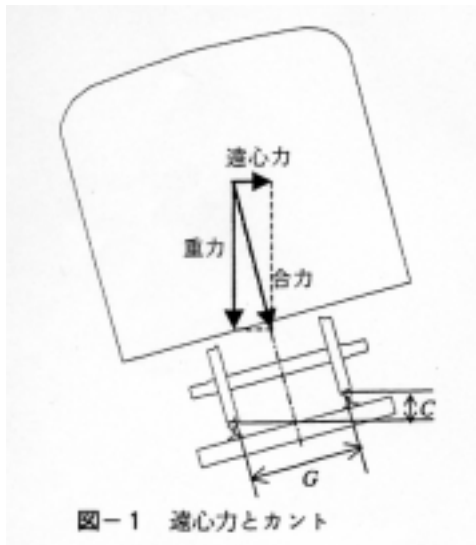


図-1 遠心力とカント

尚、カントは、その線区の走行列車の2乗平均の速度を均衡速度として設定されており、従来の遅い貨物列車が多数存在していた時代のままになっている場合が多々見受けられる。又、普通列車においても、駅直後は速度があまり出ていないと仮定され、カントも少なく設定されています。

閑話休題

最近では駅のホームに掛かる所でも、大きなカントを設定されていて車体が傾いています。東北線赤羽駅ホームでは上野寄りがカント85mmに設定してあり車体がホーム側に大きく傾くものですから乗客が乗り切れなくて、遅れの原因になっています。(特に上野駅で乗り換えに便利な地平頭端式ホームに到着する列車は先頭

車両が混雑する)

現在の様に高速列車主体になってくると、カント設定量が不足しており、高速化のネックになっている。

例 東北線東鷲宮～栗橋 R600の制限速度は

カント設定量85mmであり カント許容不足量60mm(電車)とすると

$$V = \sqrt{\frac{R(C_m + C_d)}{8.4}} [km/h] = 100 km/h$$

実際には211系では95km/h程度で走行している。

(3) 分岐付帯曲線の制限速度

分岐付帯曲線は、

- ・カントがゼロか又は不十分である
- ・緩和曲線がないか又は不十分である
- ・構造上、列車走行に対する欠陥がある

このように悪条件である為、厳しく制限されている。

JRの運転取扱心得では

$$V = 2.75 \sqrt{R}$$

一般的に分岐器は分岐寸法と直線部との比(分岐角度)で番数を表現されているが、曲率半径を加えて表現すると、下記のようなになる。

両開き分岐器の速度 (km / h)

番数	分岐角度てっさ	曲率半径 (* 1)	曲率半径 (* 2)	速度 (* 1)	速度 (* 2)
8	7 度 9 分	2 3 7	3 4 6	4 0	5 0
1 0	5 度 4 3 分	3 7 1	5 3 9	5 0	6 5
1 2	4 度 4 6 分	5 3 9	7 7 3	6 0	7 5
1 6	3 度 3 5 分	9 5 5	1 3 6 9	7 5 / 8 0	1 0 0

片開き分岐器の分岐側制限速度 (km / h)

番数	分岐角度てっさ	曲率半径 (* 1)	曲率半径 (* 2)	速度 (* 1)	速度 (* 2)
8	7 度 9 分	1 0 7		2 5	
1 0	5 度 4 3 分	1 6 3		3 5	
1 2	4 度 4 6 分	2 4 3		4 5	
1 6	3 度 3 5 分	5 2 7		6 0	

注、 * 1 は従来のリード部のみ曲線にしているもの。

* 2 は曲線クロッシングでリード部のみならず、クロッシング部分まで曲線とし

同じ分岐角度でも、曲率半径を大きくした物、これによって、制限速度を向上できる。

(7) 軌道構造と直線路の最高速度 (高性能車輛) の例 通過トン数 (万 / 年)

レール (kg/m)	枕木の種類。本数	道床厚さ (mm)	2000 を超過	2000 ~ 1000	1000 ~ 500	500 未満
6 0	PC 4 4	2 5 0	1 3 0	1 3 0	1 3 0	1 3 0
5 0 N	PC 3 9	2 5 0	1 2 5	1 3 0	1 3 0	1 3 0
5 0 N	PC 3 9	2 0 0	1 0 0	1 1 0	1 3 0	1 3 0
4 0 N	W 4 1	2 0 0	9 5	9 5	1 3 0	1 3 0
4 0 N	W 3 9	1 5 0	9 5	9 5	1 2 0	1 2 0
4 0 N	W 3 7	1 5 0	8 5	9 5	1 1 5	1 1 5

閑話休題

軌道構造と最高速度は密接な関係にあります、絶対的なものではなくて、線路の保守とのせめぎ合いで決まり、保守を掛ければ、最高速度も向上できます。又年間の通過トン数を精査し、見直しすれば最高速度の向上も可能と考えられます。

参考文献

鉄道線路の話	西野保行	成山堂書店
鉄道工学ハンドブック	久保田博	(株)グランプリ出版
三セク新線高速化の軌跡	日本建設公団	交通新聞社
日本鉄道施設協会誌	2001 - 2	(財)日本鉄道施設協会
日本鉄道施設協会誌	1997 - 1	(財)日本鉄道施設協会
電気鉄道概論	安藤信三	成山堂書店