

講座

UDC 625.1

鉄道建設技術講座 (III)

正員 桑原 彌 寿 雄*

第2章 路線選定方法の概要

1. 機関車の牽引力

鉄道線路の路線選定に当つては、単にその建設工事を自然の地形地質気象に適合させて、安い工費で造ることのみにとらわれがちであるが、これはその使命に鑑みて、十分な輸送能力を有するとともに、その運転・保守に当つても経費が少なくなるようにせねば本当の路線選定とは云えない。すなわち線路の輸送能力は1個列車の大いさと列車数との積りなるものであるが、これを大きくするためには、同一機関車でできるだけ大きい列車が引けて、かつ同一区間内の燃料または動力の消費を少なくすること、駅間の距離ないしは運転時分が最大の列車数が入られるように路線の選定ないしは設計をせねばならないのである。

(1) 動力源と牽引力 まづこの列車単位に關係のある機関車の牽引力について述べるが、元來鐵道は線路構造上の軌条に、車輪を有する車輛が乗つて、車輛の一部に動力車があり、これが、蒸気機関車ならば自体の一部に積載する石炭を焚き、水から蒸気を作つてその発生する圧力をピストンの往復運動から、また内燃動車ならば、積載する油を發火させて発生ガスの圧力を同様に、側輪に伝えて廻転力を与え、電気機関車の場合は動力源が外にあつて、電気を送り、これによつてモーターに廻転力を与えて、これを電車で側輪に伝えてその廻転力となし、これらの廻転力が、その上に載る重量に比例する車輪と軌条との間の摩擦力あるいは粘着力によつて軌条に伝わり、相對的に自車並びに牽引車輛を前進せしめる力を生ずる。この力が機関車の牽引力である。従つて機関車の牽引力は、それ自体の出力(蒸気機関車ならば牽引力)と、動輪と軌条との間の粘着力とのいづれか小さい方によつて制限される。これを指示牽引力と云う。

(2) 粘着力 粘着係数は通常 1/4~1/5 であるが、砂を撒けば 1/3 にも達し、逆に滑り始めると 1/10 くらいに減ずることもある。国鉄では、大体 1/4.5~1/5 とし、勾配線においては 1/5~1/6 を用いている。速度

の低いうちは牽引力が大きいから、この粘着力によつて牽引力が制限を受け、15km 附近以上となると牽引力がだんだん減つて牽引力を支配するようになる。その限界点すなわち臨界速度は大体 17 km/h 前後である。この機関車の牽引力によつて、種々の抵抗に打ち勝つて車輛を引いて列車として走るのであるが、この列車抵抗には次のようなものがある。

(3) 車輛走行抵抗 まづ車輛の走行抵抗には、器械部の摩擦抵抗や、車軸頸部の摩擦抵抗等走る速度に關係ないものと、車輪と軌条の間の摩擦や車輛の動揺のように速度に比例するものと、空氣の抵抗のように速度の自乗に比例するものがある。

$$R = A + BV + CV^2$$

なる形で表わされるが、 A は機関車の場合大きく、その他 B, C とも機関車、客車、貨車とその各の型式によつて異なる。これを合成したものが車輛(走行)抵抗である。

この走行抵抗は、列車の出發に際して、その引出しに対する抵抗は、車輪に油が廻つていないから大きく、7~9 kg/t 程度で、これから走り出すとこの出發抵抗は漸時減じて 10km/h 附近で最低となり、これからは速度の向上にともなつて走行抵抗は増大する。合成した車輛抵抗すなわち走行抵抗の第1項 A は普通 3.0~3.5 (kg/t) となるのでこれが停車場構内の勾配を定める最大の要素である。

(4) 線路走行抵抗 以上の車輛走行抵抗は、直線平坦の場合の抵抗であるが、勾配や曲線等線路状況によつても列車は抵抗を受けるのは當然であつて、この線路抵抗とでも云うべきものは、勾配抵抗は $S\% = S' \text{ kg/t}$ 、曲線抵抗は $\frac{600}{R} \text{ kg/t}$ の大いさで、その勾配、曲線長にわたつて車輛走行抵抗に加算されて列車(走行)抵抗となるのである。

(5) 線路の平均抵抗と換算延長 ある線路の運転上の価値判断の一方法として、線路の平均抵抗を求めて、これと直線平坦線の抵抗と比較して線路の換算延長をだす方法がある。これには、まづその線として、代表的な機関車及び車輛編成によつて、その線区ない

* 元國有鐵道技師、前盛岡工事事務所長

しは駅間の標準速度（停車時間を除いた駅間ないしは区間の運転時分で、その距離を割った平均速度）をだして、その区間の線路状態（勾配、曲線、駅間距離）を加味した列車走行抵抗（これをその区間距離で割ると線路平均抵抗となる）と、その駅間が直線平坦であったと仮定した場合の車輛（走行）抵抗とを算定し、後者で前者を割ったものを換算延長率と云い、その区間距離にこれを乗じたものを線路換算延長と云う*。

(6) スピード、カーブ この計算は相当面倒であるから、最近では後述のある機関車(その線の標準形式)の加速力曲線から、牽引重量を仮定して、各勾配ごとの速度距離曲線及び速度時間曲線を書いておいて、これをその線路状態を示す縦断面図上に応用してスピードカーブを描き、運転時分及び燃料消費量を算出して判断する方法が多く行われている。この両方法の詳細については、紙面の都合上省略するから専門書について参照されたい**。

(7) 機関車の性能 機関車の指示牽引力から機関車自体の車輛抵抗を除いたものが有効な牽引力であつて、これを桿牽引力と云う。その一例としてC-51型の牽引力と速度との関係を示せば表-1のとおりである。通常機関車の牽引力と云う場合はこの桿牽引力のことである。

表-1 速度と機関車の牽引力

C-51型(平坦線)			
速度	指示牽引力	機関車走行抵抗	桿牽引力
km/h	kg	kg	kg
0	9400	780	8600
10	"	570	8800
20	"	640	8700
30	7200	720	6500
40	6000	810	5200
60	4100	1020	3400
80	3300	1280	2000

表-2 勾配における各機関車牽引定数表

型式及び速度類別	動輪軸重	使用線種	%				
			10%	15%	20%	25%	33%
C-12(C-56)	10.7t	簡易線	35	23	17	13	9
蒸 C-11	貨物丙	丙線	48	32	23	18	12
気 9600	13.4	(丙線~)	71	48	35	27	18
機 8620	旅客丙	(丙線~)	33	23	17	13	11
関 C-58	混合甲	(丙線~)	44	30	23	18	13
車 C-51	旅客乙	甲, 乙線	40	27	20	16	—
D-50(~52)	貨物丙	甲, 乙線	96	65	47	36	—

* 参考書(1) 大木利彦：鉄道線路選定及び建設

(2) 小野諒兄：同名

** 参考書 鉄道省：線路選定具申手續

電 EF 56(客)	57km/h	19.0t	甲, 乙線	51	24	24	18	12
機 EF 10(貨)	36	"	甲, 乙線	94	65	48	38	27
関 車 ED 53(客貨)	41	"	丙線~	48	33	24	18	13

各線種別の代表的機関車とその性能をあげれば表-2のとおりである。機関車の牽引量と速度と勾配とは相互に相関関係にあるのであつて、そのうち一つを決めてかかれば、他の2つの関係は割合簡単に示される。

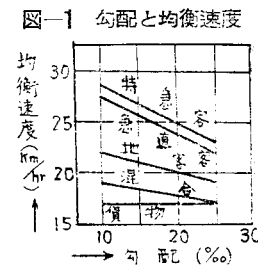
(8) 均衡速度及び制限勾配 勾配 S% なる線路における機関車の牽引量 W_G (kg) は、直線平坦線の桿牽引力を D (kg), 機関車総重量を W_L (kg), 客貨車抵抗を R_G (kg/t) とすれば

$$W_G = \frac{D - S W_L}{R_G + S} \dots\dots (\text{勾配線の牽引力})$$

となる。この勾配 S でこの重量 W を引いて走る時は、機関車の出力と総抵抗とが釣り合うので、速度を増加する余力が無いので、速度が一定となる。この速度をこの勾配に対する 〇t 牽引の均衡速度と云う。

この速度については貨物列車は線路の勾配が 6% より急な場合に、また他の列車は 25% より急な場合には、最低速度を 17 kg/h (これは粘着力と牽引力とのほぼ臨界速度に当り、これ以下の速度で引けるような大きな荷重を引くと空転を起す恐れがある) としている。

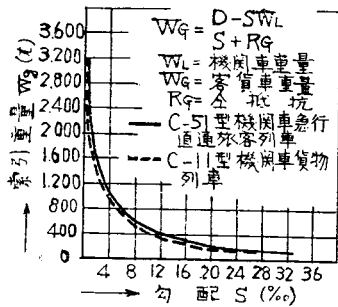
牽引重量をきめた場合の勾配と均衡速度との関係を示せば図-1のとおりであるが、この場合速度は勾配に対して直線的に減少する。ただし図中貨物列車は速度を最低 17 km/h と一定しているので、牽引重量が勾配に対して変化するのである。



最低列車速度を一定にした場合、すなわち、均衡速度を与えた場合の、勾配に対する機関車の牽引重量は図-2のように2次式で変化する。ある線路の区間について、均衡速度(最低速度)と最大牽引荷重とを与えると、ちょうどその機関車の牽引力で一ぱい一ぱいに通過し得るような勾配を制限勾配と云う。一般に制限勾配は、その線路区間の最急勾配の中で、後述の隋力勾配では越せないようなある長さ以上の勾配を指すことになる。

また速度と牽引力との関係は平坦線ならば、表-2に示したとおりであるが、勾配の場合には前述の式のように影響してくるのである。

図-2 均衡速度に対する各勾配牽引重量



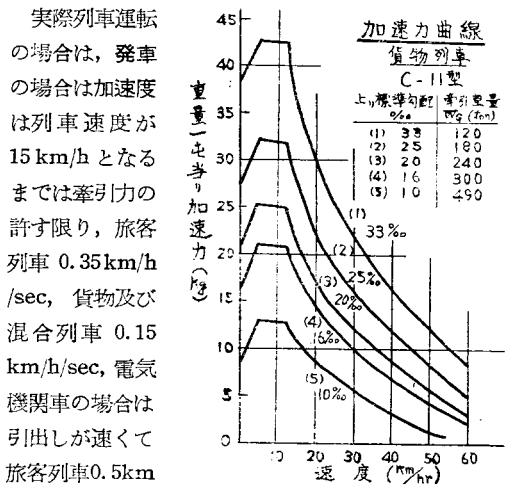
(9) 加速力 列車を牽引して、すべての抵抗に打ち勝ち、なお機関車の余剰の牽引力があれば、それは加速力となる。

$$\text{水平線の加速力} \dots F_0 = \frac{D - R_G W_G}{W_L + W_G}$$

上り(下り)勾配線の加速力 $\dots F_s = F_0 \mp S$

上り勾配の場合 $S > F_0$ ならば F_s は減速力となる。図-3 は各勾配における C-11 型機関車の加速力曲線である。

図-3



実際列車運転の場合は、発車の場合は加速度は列車速度が 15 km/h となるまでは牽引力の許す限り、旅客列車 0.35 km/h/sec, 貨物及び混合列車 0.15 km/h/sec, 電気機関車の場合は引出しが速くて旅客列車 0.5 km/h/sec, 貨物列車 0.3 km/h/sec としている。また制動による減速度は旅客列車 1.0 km/h/sec, 混合及び貨物列車 0.5 km/h/sec としている。

(10) 隋力勾配及び標準勾配 加速力と速度及び距離との関係は、速度 0 なる列車が F なる加速力で V km/h なる速度に達するまでに L m 進行したものとすれば $\bar{F} = ma$, $v = at$, $L = \frac{at}{2} \times t = \frac{v^2}{2a}$ であるから車輪及び車軸の廻転運動に費される力 (6%) を加算して、

$$F' \text{ kg/t} = 4.2 \frac{V^2}{Lm}$$

となる。この列車はその出す力から云えばその加速度抵抗に相当する勾配 (仮定勾配 Virtual grade) を上

ついていると同様に考えてもよいから、これを勾配に換算するためにその速度頭 (Velocity head) h_m で表わしてみると

$$F' \text{ kg/t} = \frac{h_m \times 100}{L} = \frac{4.2 V^2}{L}$$

$$\therefore h_m = \frac{4.2 V^2}{1000}$$

となる。

いま列車が初めに V_0 なる速度で $S\%$ の勾配に差しかかった時に L m 進行して速度が V_1 に落ちたとすると、この勾配の減速力は

$$F'' \text{ kg/t} = \frac{4.2(V_1^2 - V_0^2)}{L} = \frac{(h_1 - h_0) \times 1000}{L}$$

であるから、列車は初めから V_1 なる均衡速度で

$$S' = S - \frac{4.2(V_1^2 - V_0^2)}{L} = S - \frac{(h_1 - h_0) \times 1000}{L} \%$$

の勾配を越えたのと同じことになる。すなわち空間的に S なる勾配は、列車の速度及び速度頭、あるいは隋性の利用によって、運転上は S' なる勾配を越えたことになる。

この場合勾配 S は隋力勾配 (Momentum grade) で S' になると云う。既述のように、制限勾配は必ずしも最急勾配とは限らず、この隋力勾配の利用しきれない長さの最急勾配なのである。

なお、この観念を入れて、国有鉄道では実用上、長さ 1 km の区間をとつて、これを縦断図上で動かしてみ、その最も高低差の大きい部分を取り、この高低差を 1000 m で除したものを標準勾配と云つて運転計画上に利用しているが、これは理論的には正しくないで、時には、例えば駅を出てすぐに 600 m の 25% 勾配があり、これに続いては水平である場合は、標準勾配として 15% が用いられて、最大牽引重量を計画した場合など、事実上運行不可能となることがある。

2. 勾配の選定

(1) 制限勾配の選定 勾配は列車の速度と特に牽引力に、すなわち輸送能力に最も重大な影響を及ぼすものであるから、その選定は十分に慎重でなければならない。線路規格についてはすべてそうであるが、特に制限勾配は全線を通じて一貫した趣旨のもとに選定し、地形と建設費及び運転、保守費を考慮して決めねばならない。すなわち輸送の要請量からして大きく、その線の線種別から最急勾配が建設規定で決められてはいるが、単に何線だからと云つてやたらにその最急勾配を濫用すべきではなく、地形に応じて経済の範囲をいちじるしく逸脱せぬ限り、なるべく緩い勾配を制限勾配として選ぶべきである。すなわち選定の当初

に、その線路の将来の1日の輸送要請量から、1日当りの列車回数(これには輸送量がいくら少なくとも最少回数がある)列車単位及び最低速度を査定して、使用機関車の牽引力から制限勾配を選ばなければならない。

(2) 規格の一貫性 しかしこれは1区間ごとに違つた制限勾配を選ぶべきではなく、できれば全線を通じて定め、場合によつては地形に応じてある特定区間だけある勾配を最急とすべきである。もちろんこの勾配は制限勾配となる。かくすればその線路全体の牽引定数は一定し、やむを得なければある特定区間のみ急勾配を置いて、牽引定数すなわち列車組成の変更をするか(できるだけしたくないが)、または補助機関車を用いて牽引定数を変更しないで運転し、比較的経済的に運営し得るのである。

行き当りばつたり、線路の初めの部分の平坦地域では取れぬことはないとして、無理をして非常に緩い勾配を最急勾配として置いて、山にさしかかつてから地形に押えられて急勾配を用いるなど、一貫せぬやり方は無意味である。また大体緩勾配でこられたのに最後の1区間で急勾配を使いたいような場合にも、よく研究して分水嶺トンネルを多少延すとか、土工や橋梁の高さをおごるとかして、建設費に決定的な大差が(総額において)無いならば、できる限り一貫した最急勾配で頑張るべきである。

(3) 勾配の強さ 制限勾配については、特に蒸気機関車の場合は大体10%を境としていちじるしく勾配の影響を受けるから、一応10%を最急とし、必要により特定区間はこれより急な勾配を用いるとよい。しかし主幹線で1個列車の単位や、速度の増大の特に要望せられる場合には、8%や6%を最急勾配とすることもある。また6%はほぼ引出し抵抗に近いのと、また函館本線の勾配改良の新線で連絡航送船の収容力と列車単位を合わせるために6%を最急勾配とした例もある。

勾配の種類は $L(0), 0.5, 1.0, 2.0, 2.5, (3.5), 4.5, (6), 8, (9), 10, 12.5, 16, (18), 20, (22), 25, (28), (30), (33), (35)\%$ 。等のようにでき得る限り2と5との倍数を用い、やむを得ない時のみ括弧内のようなものを用いたい。と云うのは、国鉄などでは一応の標準はきめられてはいるが、単に分子式を近い千分メートル法にかえただけである。これは2と5との倍数でない、特に勾配の設計変更をした時に設計上数字が割りきれなくて、勾配変化点の位置が半端な数になつて困るからである。

補助勾配を用いるときはその前後の制限勾配のある倍数を用うべきである。例えば10%に対する20%

は同型機関車で工合がよいが16%や25%では補助機の型を変えたり、定数変更をしたり、三重速となつたりして不便、不経済である。

(4) 勾配と建設費及び運営費 建設費を安くするには、地形に順応してその地表面の凹凸に沿つて進めば、最少工事量の線路となるわけで、このためには勾配と曲線が用いられるが、この目的のためには曲線の方がより効果的である。地表の小さな凹凸に対してよりも、谷川に沿うて上る場合には川勾配との関係で最急勾配は谷川の平均勾配よりもやや急とせねばならないが、この場合なるべく谷底に近く通過する時は築堤の法も走らず、橋梁も低く工事量は減る。

しかし先に長い分水嶺のトンネルがあり、できるだけ高さを取つて進みたい場合など、谷底勾配よりも急な線路で山腹をいわゆる「浮いた線路」で進まねばならないこともある。この場合は谷底に沿うて経済的に進み、分水嶺トンネルを延長することと比較になる。時には分水嶺トンネルを短くするためには極端な場合はループ線や迂迴線(通称蟻坊主)などを用いて谷勾配を克服して谷の奥まで登る場合もある。

営業費は急勾配の採用と最高点を高くすることによつて、燃料消費補機等運転費の増加はもちろん、列車単位が小となるための列車回数の増加や組成変更など運輸費の増、急勾配の上り摩擦用砂の撒布や下り軌道の押出しなどの保線費の増、車輛数及び運転の質的損傷等修車費の増加等いちじるしく不経済となるものであるから、一定の収入に対して建設費(投下資本)とその利子の減少と営業費の増加や、手数、便不便を十分に得失を比較して決定せねばならない。

運炭鉄道のような開業鉄道の場合で上下方向の輸送数量のはなはだしく不均衡な場合は、輸送量の多い方向すなわち盈車路に対する上り勾配はでき得る限り緩勾配、例えば10%を採用し、下り勾配すなわち空車路に対する上り勾配は急勾配を採用することによつて、建設費と営業費とをあわせ考へて節約することができる。この場合の制限勾配も一般に空車ばかりの場合でも、下り盈車と同数の空車は33%前後で上り牽引力が一ばい一ばいとなるから、これは極限であつて、なるべく25%を限度とすることが望ましい。

(5) 勾配の長さ 勾配を細かく折つて地面に平行密着させれば、土工その他工事量を減らすことができるが、あまり細かく勾配を変化させることは、列車の速度が常に変化して運転の円滑を欠くのと、勾配の急変も悪影響があるから、ある程度の長さは同一の勾配で進みこれで地形に順応させねばならない。この一勾配の長さについては、縦曲線の部分を除き列車長より

も少し長くすべきであるが、普通最少 300 m 程度以上とする。

制限勾配の連続長さ(事実上の)は、理論上はその牽引定数に対して均衡速度となり、いくら続いても同じはずではあるが、実際に制限勾配が長く続くと蒸気機関車が火夫の手働投炭である限り、ぎりぎり一ぱいの蒸気発生量と消費量とで、蒸気圧の保持のため休む暇が無く疲れて続かなくなり、火勢が衰えて圧力が下つて牽引力が不足してくると、絶えず投炭して炭殻をかき落す暇がなくて、ある程度以上の長さでは通風が悪くなり、これまた火勢が衰えて蒸気が上らなくなる。これに対しては、メカニカル ストーカーとか、重油噴射式とか足踏み灰落し器とか云うものも考えられているが、なかなか困難である。

これ等の点から制限勾配の連続が、分水嶺の前後などで避けられない場合でも普通 3 km (10 分間程度)を限度とし、やむを得ない場合にも 5 km くらいを最大限度として、これ以上勾配の連続がどうしても避けられない場合には、できるだけ長い(少なくともその線の停車場本線有効長よりも長い)緩勾配(それもできる限り 10%以下)を 3~5 km ごとに入れておくべきである。それが不可能で運転上困る場合には後述のスイッチ バック式もしくは加速線付半スイッチバック式信号場を同様の間隔に入れておく。電気機関車の場合には動力源が外にあり機械的に動力を発生するから数 10 km と云うのはなほだしく長い連続勾配(熱くなつて焼ける)でなければ問題は無い。

(6) その他勾配に対する注意

i) 勾配変化点では、その交角の影響を緩和するために縦曲線を入れるが、その交角のあまりに大きいものはそれでも感心しないので、この中間に中間の勾配を入れて分割することができる場合はそうすべきである。ことに国鉄の建設規定では勾配変化が 10%以上の場合に縦曲線を入れることになっているので、上記の中間勾配による交角の分割や、前後の勾配の加減により交角を 10% 以下とすると工合がよい。特に停車場の緩勾配区間の延長に余裕のない場合に、ポイントに縦曲線がかかると困るので、前後の勾配との間にこの方法がよいことがある。

ii) 切取中の勾配は排水を考慮する必要がある。また切取中の落込み勾配や築堤中の拜み勾配は、土工数量的にも不経済であるとともに排水、施行上及び運転上車輛連結器に有害であり、勾配の変化が急な場合に、ことに落込みの場合は車輛の浮上り脱線の恐れがある。

iii) 長大トンネル中の制限勾配は、湿りによる

摩擦力減のために、前後のそれよりも多少緩くする必要がある。施工中の運搬のためにも緩勾配がよいが、排水には困るので、大体これ等を総合して 5% の勾配が比較的良好である。また排煙問題については、緩勾配により煙の排出量が減ることと、通風の点からは片勾配のやや急な方が一般に良好な点などからあわせ考えて、両勾配の拜みのトンネルは高低差があれば、両坑口をほぼ直線で結んで勾配の緩い(できれば 5% 程度の)片勾配またはこれに近くすることが望ましい。

iv) 橋梁上に勾配変りをおくと縦曲線の保守に困難するからできる限りさけるべきであり、ことに落込み勾配変化は絶対に避けなければならない。

(7) 曲線の選定

i) 曲線の欠点 曲線は運行速度を制限し、車輛の固定軸距を制限して大型車輛の使用を抑え、曲線抵抗のため余分の牽引が必要となり、運転費が増大し、かつ軌道及び車輛の損傷が大なるため修費が増大する。なおまた前途の見とおし不良及び脱線の危険があり、車輛の動揺はなほだしく乗心地も悪い。

速度の制限は国鉄では運転取扱心得(昭. 22. 2. 12)に示されているが、曲線の最小半径(甲線) 300 m で 65 km/h、(乙線) 250 m で 60 km/h、(丙線) 200 m で 50 km/h、(簡易線) 160 m で 42 km/h となっている。

固定軸距による車輛の制限は、特別の制限のない普通速度で運転できる標準機関車をあげると、半径 160 m の場合は C-12 または C-11 であり、貨車はトラ、トム、三輪トキは入線禁止である。また半径 200 m の場合は辛うじて 9600 型を通じ、250 m 以上ではじめて D-50 型または C-51 型等大型機関車の使用が可能となる。

ii) 曲線補正 車輪は曲線上を進行する際には、方向を変更しようとして軌条の頭で強制され、内方に滑りまた蛇行動揺し、かつ内輪と外輪の走る距離が違うための前後方向の滑りを起すなどの抵抗を受ける。この曲線抵抗の量は $C = \frac{600}{R} \%$ の勾配に相当する。国鉄の建設規定では 25% より急な勾配の場合に曲線補正(この抵抗に相当する勾配の量を線路の勾配に加算)することになっているが、牽引力の算定上この曲線補正は、少なくとも制限勾配の場合には曲線抵抗を加算すべきである。朝鮮、滿洲等大陸鉄道の主幹線では 10% 以下の勾配でも曲線補正をしていた。

iii) 曲線の使用 曲線には上記のような欠点があるから、線路選定に当っては、でき得る限り 2 つの地点を結ぶ直線最短距離を理想とするが、一般に凹凸のある地形に順応した線路を作るには、曲線及び勾配

を用いることが必要である。線路は地表の凹凸に沿うて土工量 0 の地点を通ることができれば最小工事量の線路となり最も経済的であるが、進路の方向に勾配を用いて地表に密着してゆくのも一法ではあるけれども線路の最急勾配の最大 35% でも地形のそれとは差が激しく、曲線を用いて地表の窪に沿うならば、最小半径 160 m ないしは 100 m (地方鉄道) で割合に地形に近づき得る。一般に曲線半径を小さくすることは、急勾配のみを用うることよりもいちじるしく建設費を減ずることになる。この点はさらに急曲線を用い得る軽便鉄道や道路を見ればよくわかることである。

線路の輸送能力を制限する点よりみるときは、曲線は速度にこそ大きな影響を持つが、曲線の抵抗は勾配に較べて少ないから、機関車の牽引力従つて列車単位ないしは輸送量に及ぼす影響は少ない。一般に貨物を主体とし、輸送能力の大きいことを望まれる場合は勾配はできる限り緩くし、曲線は車輛に制限を受けない範囲で半径を小さくすることが、割合に建設費を減じてしかも輸送能力ないしは営業費への影響を少なくすることである。

iv) その他曲線に関する注意

a) 曲線と直線の間では緩和曲線を入れて、遠心力の急激な作用とカントの溜り付けをやるが、曲線と曲線の間では、この間に最小 10 m の直線を取るべきことが建設規定で定められていて、これは地形によつてはなかなか困難なことがある。同方向の曲線ならばこれを続けて複合曲線とする方法もあるが、反方向曲線(S-カーブ)は運転上最も嫌われるし、処置しにくいものであるからなるべくさけるようにせねばならない。

b) 橋梁は大きなものは前後に曲線を入れて直線で渡るのがよいが、前後の関係上やむを得ず斜に渡る場合には河川管理上嫌われるから、この際は橋脚は川に直角に、しかもできるだけ流水断面が少ないよう細くし、上の台座面のみは鉄筋補強して頸をねじり、橋桁に直角にすることもある。

前後の関係上やむを得ず橋梁自体の一部または全部に曲線がかかる場合は、橋桁自身に半径の制限があることに注意しなければならない。例えば上路鉸桁では直線用と曲線用とがあり、支間 31.5 m の場合ならば最小半径 400 m までしか許されないから注意を要する。さらに曲線にはカントがつくが、その保守が面倒だからなるべく橋梁にはさけた方がよい。

c) トンネルに勾配があつて蒸気機関車が運行する時には、半径の小さい曲線が、特に下手の坑門附近にあると暈風の妨げとなり、また測量、施工に困難

するからなるべくさけなければならない。やむを得ない場合でもトンネルの直線の延長がトンネル断面内で納まるか、または小さい測量導坑ができるようにしておくべきである。長大トンネルでは、曲線が坑口附近(ことに勾配下手の)にあると困るからこれをさけて、やむを得なければ中央附近、片勾配ならば上口の附近に持つてゆくとよい。なお半径は大きいのがよいからと云つても、あまり曲線長の長いのは施工に面倒だから、ちょうど緩和曲線のかかからない程度、1000 m くらいが適当である。

d) 曲線によつて速度制限を受けるが、下り勾配でも同様であるからこの点両者の釣合を考へておく必要がある。例えば半径 200 m と 25% に対し 50 km/h, 250 m と 20% に対し 55 km/h, 300 m と貨車 15% に対し 65 km/h, 400 m と客車 25% に対し 70 km/h, 800 m と客車 10% に対し、95 km/h, 同じく 800 m, 5% 以下で 100 km/h, 最大の場合には 1200 m 以上で指定客車のみ用いれば 110 km/h までよいことになっている。800 m 以上は主幹線の急行線として考えるべきである。

(8) 停車場の選定

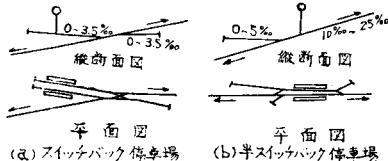
i) 停車場の位置 停車場の位置の良否は運転上並びに運輸収入上甚大な影響があるから、工事、保守上地形、前後の線路の状況、運転などの純技術の面とその地方の経済、交通の状況とをあわせ考へて決定すべきである。停車場の位置はできる限り市街地または交通の中心に近づける必要があり、旅客の乗車回数はその利用範囲内の人口に比例し、駅からの距離のある露敷に反比例して増すものである。駅間距離を小さくし居住地、産地と駅との距離をちぢめることも同様である。列車単位を小さくして回数を増して頻繁サービスを行うこともより効果的で、乗車回数を比例以上に増すが営業費も増す。

ii) 駅間の距離 駅間の距離はその区間を運行する列車の所要時分、従つてその区間運行可能な最大列車回数(線路容量)を制限し、線路の輸送能力を決定する重要な因子の一つである。国有鉄道の駅間距離の平均は約 5 km である。線路容量はその線内で運転時分の最多くかかる駅間で支配されるから、これは一般に最長駅間であるが、時にはそうでなくて急勾配で速度が低くなる区間が支配することがある。

長い連続勾配ではこの意味からも中間に適当な緩勾配を取つて少なくとも信号場が作られ、運転上の火床整理及び蒸気圧の保持とともに行違ひまたは待避ができるようにしておくことが必要である。この緩勾配が停車場の 3.5% または信号場の 10% 以内をどうして

もとれないような連続勾配の場合には、図-4のようなスイッチバック停車場または半スイッチバック停車場（制限勾配の途中に出發加速線を附したもの）を用いることがある。

図-4 勾配中のスイッチバック停車場



平地でもあまり駅間距離が長い時は、中間の適当な位置に将来停車場または信号場を作り得るように線路の形をきめておかねばならない。駅間の短い限度は、一般の場合は 3 km から 3.5 km 以上とする。これは途中で最高定速度で走る暇なく制動にかからねばならなくなり不経済だからである。

以上駅間は大体 5 km 前後を標準とし、これより長い場合は 4 km または 5 km の倍数に近くしておいて、中間に将来の停車場の候補地を設計しておくべきで、将来頻繁を予想される線路では 6 km 前後は最も具合が悪い。

iii) 停車場内外の勾配と本線有効長及び曲線

a) 勾配 停車場構内の勾配は 3.5% 以下と規定されているが、手押しの関係上 2.5% 以下がよい。車輛の解(放連)結をしない場合は 10% まで許されている。前後の線路勾配の関係は、勾配の頂における頂上停車場 (Summit station) が運転上有利であつて、落込み勾配の場合は運転上困難であると同時に危険であり、また排水が悪くて不可である。

停車場構外直後の下り勾配は貨車の入換に困難するので、最末端転轍器の外方 20 m 以上 (規定) でき得る限り緩勾配を長くすべきである。また停車場を出てすぐに上り勾配、ことに制限勾配がある場合は貨車の手押し、入換には困らないが、運転上均衡速度である最低速度に達することが困難であるから、多少の加速用緩勾配区間を有効長のほかに設ける必要がある。

b) 本線有効長 停車場の本線有効長はその線の輸送要請量と制限勾配による牽引定数から、列車数とその最大長が定まれば自然にきまるわけである。この最大列車長に対して停止の過走距離を加えたものを最小限の有効長とし、これに対して配線上必要な転轍器の長さを接触限界外にとり、かつ最末端転轍器のほかに少なくとも 20 m 以上の手押し入換距離と、上り勾配側には必要な加速距離を加えたものに、将来の輸送量増による有効長あるいは配線数の増を見込んで緩勾配区間の長さを決定せねばならない。

建設規定では本線有効長は、簡易線 80 m 以上、丙線 150~250 m、乙線 250~380 m、甲線 380~460 m を標準と定められているが、特甲線あるいは主幹線では現実に 600 m が標準とされつつある。将来の輸送要請量の増を考えると、簡易線の 80 m は少なくとも 120 m を要望されているが丙線でも少なくとも 150 m 以上をとりたい。配線の簡単な場合に、緩勾配区間の延長は、最小 300 m (簡易線、丙線) とし、有効長 250 m で 400 m、460 m で最小 600 m が必要であるが、主幹線では有効長 600 m に備えて最小 800 m の緩勾配区間が必要であるし、多少配線数の多い主要駅では 1 000 m 以上をとつておく必要がある。

c) 曲線 停車場構内の乗降場に沿う部分の曲線は、建設規定で丙線 300 m、乙線 400 m、甲線 500 m 以上と定められているが、運転上及び業務上の見通しと、配線の設計や後の保守に困難するから、なるべく直線または大きな曲線を用いることが必要である。停車場の前後や一部に曲線のあることもあるが、運転上の危険や転轍器の設置保守に困難するから、なるべく直線平坦な停車場とすべきではあるが、時にはかえつて、むしろ大きな半径で一つの曲線停車場とした方がよい場合がある。

(9) 線路の輸送能力

i) 列車の輸送力 ある一つの線路の輸送能力は、1 個列車の大きさに、設定可能な列車数 (線路容量) を乗ずれば得るわけであるが、1 個列車の大きさは、その線種による軌道強度 (設計荷重 K.S.N) から最大機関車、従つてその牽引力がきまり、次にその線路の制限勾配から有効牽引荷重が得るわけである。しかしこれは、車輛の自重と客貨重量とを合わせたものであるから、客車ならば、ボギー車 1 車当り換算 (10 t を 1 とする) 3.5~4.0 に対し、定員 80 とこれに乗車効率 (昔なら 30~40% であつたが、いまなら 60~80%) を乗じ、貨物ならば大体風袋 (フータイ) が荷重の約 1/2 であるから、牽引重量の 2/3 を乗じて 1 個列車の有効輸送量を算出する。

ii) 線路容量 列車数すなわち線路容量は、駅間の平均運転時分を t 分、停車行違い時間の平均を a 分 (普通 4 分程度であるが、スイッチバック駅では 7 分くらいかかることもある) とすると、

$$N = f \cdot \frac{1440}{t + a}$$

となる。この f は線路利用率と云い通常 60~70% である。単線で通票閉塞器使用の場合は、最大駅間を 5 km で連続制限勾配区間とすると、この線路容量 N は 48、すなわち 24 往復くらいとなる。しかし普通

の区間では速度が高いから大体 30~35 往復くらいとなるのである。なお単線の場合は、駅間の距離が等間隔でなかつたり、勾配その他線路状態が同一でないのが普通であるから駅間の運転時分がまちまちで運転計画のダイヤを引いてみると、行き違いに無駄な待合せができ、1つの駅の影響が他の駅にも及び、また列車の速度がちがうため（各駅停車入換の区間貨車列車もあり）追越し待避があると、その2個列車のダイヤが鋭角で交叉するので、相互に干渉する影響が大きかつたりして線路利用率が上らず、線路容量が制限されるのである。

複線の場合は、前途に障害が無いからいくらでも列車数が入られるかと云うと、そうはゆかず、続行運転を許さず、1駅間1個列車の双信閉塞器である限りは、単線の場合よりも一般に急行列車など列車の速度種別が多いだけに、追越し待避のチャンスが多くそれだけにダイヤの干渉が多くて、案外線路容量は増えず、通常単線の場合の2倍よりやや少ない。自動信号を用いれば閉塞区間が短くなるので線路容量は180にも達し、電車区間などでは300回以上にも達する。なお上記でわかるとおり、速度種類を少なくして、一定速度にし、いわゆる平行ダイヤにして急行列車は無停車と云うだけにすると、最も多数の列車を走らせる

ことができ、最も経済的に多量のものが運べることは戦時中経験のとおりである。

iii) 総合輸送能力 実際に線路の輸送可能量を当つて見ると、主幹線以外では深夜の運転をしないのが普通であるから、上記の線路容量は大体その2/3程度が限度である。1例として丙線てC-12型機関車を用い最も少ない輸送能力の場合として制限勾配上下25%とすると、大体5km前後の駅間で、片道 $24 \times \frac{2}{3} = 16$ 回であるからそのうち5往復を混合列車に取つてその半分を貨車とすれば、この線路の貨物輸送能力は、最大

$$130 \text{ t} \times \left(5 \times \frac{1}{2} + 11 \right) \times \frac{2}{3} \times 360 \div 210 \text{ 600 t}$$

である。もしまた下り荷一方の開発線で昼夜運転をし、C-11型機関車を用いると丙線でも、

$$480 \text{ t} \times \left(5 \times \frac{1}{2} + 19 \right) \times \frac{2}{3} \times 360 = 2 \text{ 476 800 t}$$

すなわち約250万tの開発輸送が可能である。

実際の線路について云えば、東北本線のごとき甲種規格の単線では片道最大約500~600万t、東海道本線のような複線では片道最大1000万t以上の貨物輸送を行っているのである。

鉄道建設技術講座 (I)(II) について

38巻4号、5号に登載の鉄道建設技術講座 (I) 及び (II) のうち次のとおり正誤がありましたのでお知らせいたします。

なお本講座は38巻9号で完結する予定であります。講座の内容に関し、御意見、御希望などありましたら何卒御遠慮なく編集部までお知らせ下さい。委員会に計りました上で御期待に沿うよう努力いたします。

正 誤 表

巻 号	ページ	行	誤	正
38巻4号	35	左欄 12	る予定である。 1. 鉄道建設作業の内容	る予定である。 第1章 図上研究及踏査と鉄道線路選定の要領 1. 鉄道建設作業の内容
38巻5号	32	左欄 1	第1章 図上研究及踏査と鉄道線路選定の概念	第1章 図上研究及踏査と鉄道線路選定の要領