

今月は 12 月号に引きつぎ論文集第 78 号登載論文として、次の 2 論文を紹介します。

路線の勾配選定に関する研究

桑原 彌 寿 雄

1. 路線勾配選定の重要性

鉄道の特性である大量、安価、迅速、安全な輸送の諸性能を発揮するために具備すべき本質的諸条件は次のとおりである。

- (1) 距離の短いこと
  - (2) 到達時間の短いこと (速度の大きいこと)
  - (3) 単位重量当りの設備および消費馬力の小さいこと
- 以上の諸条件は互いに 相関連しているが、距離をのぞけば、いずれも路線の勾配の量または強度が影響する。

2. 路線選定上線路の価値比較に関する在来の諸方法

2.1 線路換算延長による方法 これは列車抵抗による仕事量の大小で線路延長を換算し、比較する方法である。

2.1.1 仮定:

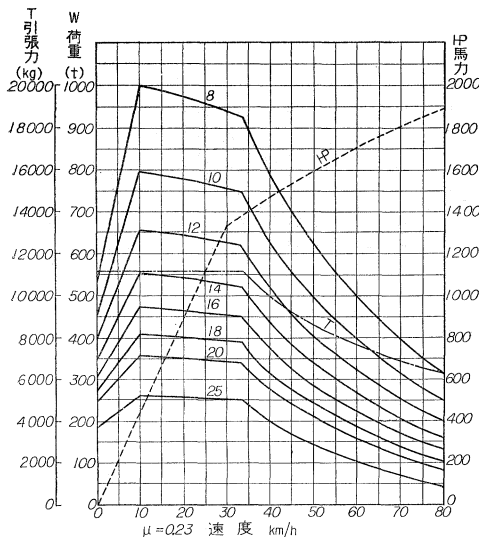
- ① 機関車形式と列車編成
- ② 定加、減速度、等速 (標準速度) 運転
- ③ 列車抵抗の内容・Ⓐ 出発抵抗, Ⓑ 走行抵抗, Ⓒ 加速抵抗
- ④ 勾配抵抗, Ⓓ 曲線抵抗
- ④ ほかに仕事上の仮定

2.1.2 本方法の欠点: Ⓓ 上下方向の勾配を平均していること, Ⓒ 勾配強度が表面にでてこない, Ⓒ 計算に非常な手数を要する。

2.2 荷重曲線およびスピードカーブによる方法

2.2.1 荷重曲線: これは図-1のごとく、機関車形式別に勾配をパラメーターに取り、けん引重量と均衡速度との関係を示したものであって、各線路の制限勾配とけん引定数の査定に

図-1 蒸気機関車荷重曲線



利用される。

2.2.2 スピードカーブおよびその他の運転線図: 動力車の出力から、列車の走行抵抗を引いたものを加速力とし、この加速力を媒介に、速度と距離の関係を算出し、勾配別に画いたものが図-2の勾配別速度距離曲線である (柳曲線)。

図-2 勾配別速度距離曲線  
D 51 (単機) 貨車 1200 t けん引  
力 行

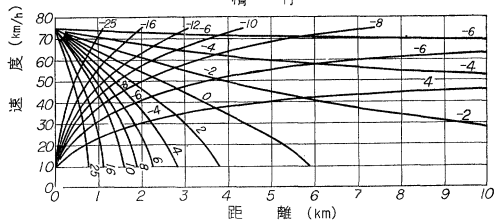
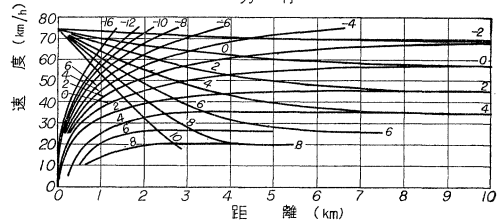
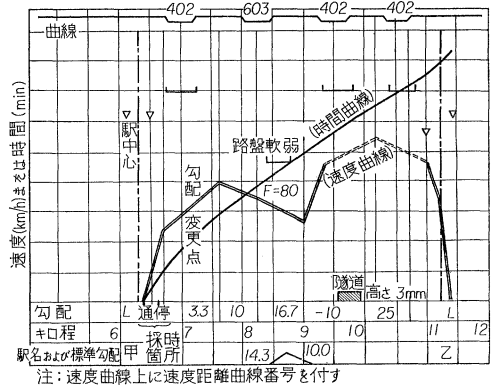


図-3



いわゆるスピードカーブ (実際線路の速度、距離曲線) は、線路の勾配に応じて各部分ごとにこの勾配別速度距離曲線を写し取って作ったものである (図-3)。スピードカーブにより時間曲線や動力量消費曲線も画ける。

2.2.3 路線選定上、本方法の欠点: このスピードカーブは理論的にも正しく列車の運転状況を正確に把握することができるが、直観的に大数の総合的判断を必要とする路線選定の際には次の欠点がある。

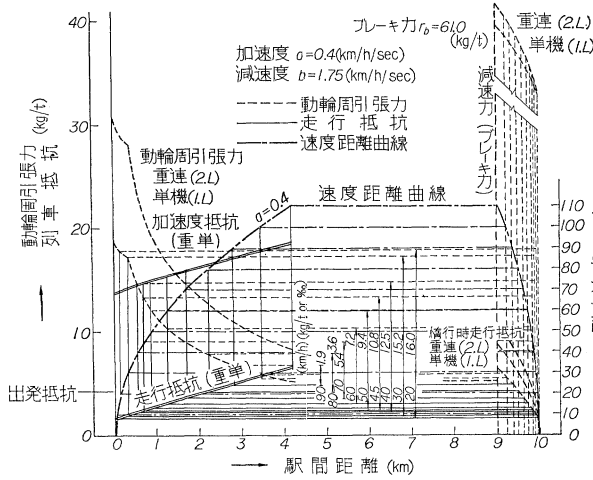
Ⓓ 精細ではあるが、やや繁雑の感があり、Ⓒ 結果に片寄り、各部分の条件との関連が不分明であり (異なる原因で同じ結果となる), Ⓒ 一般に路線選定に当る高級技術者は面倒なこの作業をする技術者とは別途途中の経過になじみがうすくなる。

3. 線路運転抵抗図の提案

3.1 考案の趣旨、内容とその特徴 そこで著者は列車抵抗を車両や運転方法に起因する運転抵抗 (出発、加速、走行) と、これにかかわらない線路抵抗 (勾配および曲線) とをわけて考えた。

線路運転抵抗図というのは、標準列車の水平、直線の線路上

図-4 線路運転抵抗図 (C 62, 客車 500 t けん引)



の定加, 減速度, 標準定速度による速度距離曲線をパラメータとし, 横軸に距離を取り, 荷重トン当りの列車抵抗距離曲線, 同じく動輪周引張力-距離曲線を一図にまとめたものが, その基本図である (図-4)。

本図の特徴は, 概略の数値を即時必要とする 路線選定作業において, 所要の関係がすべて一図に図式化されており, ⑩ 直観的, 総合的判断と, ⑪ 条件, 結果の関連性の把握に好都合であり, ⑫ 本図の利用により, 線路換算延長, 動力消費量, 運転時分の概算などが簡単に計算できることのほか, 種々の事項がわかる。

3.2 線路運転抵抗図の作成および利用と仮定 作図, 計算に当たっての仮定は, ほぼ線路換算延長計算の場合と同一であるが勾配抵抗は上下方向べつべつに算出すること, また計算がきわめて簡単であるから 駅間距離を平均せず, 実際の運転状況に応じて行なうのである。

図-4 は蒸気機関車 C 62, 客車 500 t けん引の場合を示したものであるが, ほかに 22 種の代表的動力車についても計算, 作図してある。

3.3 線路運転抵抗図の利用 本図の利用により次のごとき計算がきわめて簡単迅速にできる。

- ① 線路換算延長キロの算出
- ② 動力消費量の計算
- ③ けん引定数, 制限勾配の査定
- ④ 惰力勾配の選定
- ⑤ 到達時分の略算出

また本図をそばに置いて線路縦断面図などの選定を行なえば, 運転状況の概略が推定し得て良好な路線選定ができる。

#### 4. 線路運転抵抗図の応用と勾配選定に関する研究

##### 4.1 路線選定上, 線路運転抵抗図より読み取られる種々な事項

- (1) (運転抵抗) トン当り走行抵抗は比較的大きくなく 加速度抵抗や勾配の強度が大きいくけん力などに影響する。
- (2) (線路抵抗) 勾配の分布についてサシットステーションとか, 加速線勾配区間とか種々のことがわかる。また曲線抵抗は微小であるが, 速度制限の影響が大きい。
- (3) 引張力曲線と, 走向抵抗曲線との間の縦距がその速度における加速力の余裕であり 加速度, 勾配, 曲線などの抵抗にあて得るものであって, 線路の勾配によりその地点の均衡速度がある程度推定される。

##### 4.2 路線勾配選定に関する基本的考察

- (1) 始終点間に高低差ある場合にとり得る最もゆるい勾配はその間の平均勾配一本の場合であり, 途中で勾配の変化があれば必ず一つ以上のこれより急な勾配強度がある。
- (2) 最高点の高さだけが仕事量を決定するものではなく, 例え途中の最高点が低くとも 凹凸が多く, 上り勾配の高低差の合計の大きいものが仕事量, 従って換算延長が大きい。など種々な基本的事項が見出される。
- (3) なお実際問題として, 著者は現実の日本の地形と路線勾配の型について分類を試みた。

##### 4.3 勾配改良における応用

勾配改良に当たっては,

- (1) 上り, 下りになるべく少なくする。
- (2) 最高点を下げる。
- (3) 勾配強度をゆるくする。

表-1 東北諸幹線経路比較総括対照表 (現在線および主要区間勾配改良後)

線名	距離	仕事量 (kg-m)		換算延長 (km)			運行時分				記事
		下り	上り	下レ	上レ	平均	速度一定 (45 km/h)		査定速度		
							下り	上り	下り	上り	
東北	現在線 737.053 km	3 689.000	3 481.000	1 475.6	1 392.4	1 434.0	時間 16° 48'	時間 *	時間 11° 43'	時間 11° 34'	
	改良線 741.193	3 388.246	3 323.169	1 355.3	1 329.2	1 342.3	16° 54'	*	11° 39'	11° 26'	福島一岩沼 } 改良 沼宮内一戸ノ良
常磐	現在線 751.193	3 512.000	3 405.000	1 404.8	1 362.0	1 383.4	17° 04'	*	10° 55'	10° 55'	
	改良線 752.933	3 373.229	3 353.821	1 349.3	1 341.5	1 345.0	17° 07'	*	11° 03'	11° 07'	沼宮内一戸ノ 改良
奥羽	現在線 754.474	3 810.000	3 886.000	1 524.0	1 554.0	1 539.0	17° 07'	*	13° 16'	12° 50'	
	改良線 764.410	3 496.903	3 478.441	1 398.8	1 391.0	1 394.9	17° 20'	*	13° 19'	12° 41'	福島一米沢 } 改良 大釈迦一 鶴ヶ瀬
上越, 羽越 線経由	現在線 772.938	3 437.000	3 360.000	1 374.8	1 344.0	1 359.4	17° 29'	*	11° 53'	11° 23'	
	改良線 767.834	3 161.151	3 059.316	1 265.3	1 223.7	1 244.5	17° 23'	*	11° 32'	11° 20'	水上一石打 } 改良 大釈迦一 鶴ヶ瀬

- (4) 加速区間の勾配はなるべくゆるくする。
- (5) 距離をなるべく短かくする。
- (6) 既設駅をなるべく動かさない。

よう心掛けるべきである。なお著者の原案より国鉄で実施された、駒ヶ岳、松島、関ヶ原などにおける勾配改良の例につき解説を試みた。

4.4 幹線経路の比較（東北諸幹線の例） 本法により東北諸幹線の上野～青森間の次の4経路について換算延長を算出して見たが、その結果は表-1上欄のごとく、現在線は、

- (1) 上越、羽越経由の裏幹線が最も短かく
- (2) 常磐線経由がこれに次ぎ、
- (3) 東北本線は常磐線より相当悪く
- (4) 東北奥羽本線経由は最も悪く、差が大きい。

4.5 平均上り勾配の提案 著者は、運転時分または燃料消費量の概算を実用的に算出するための標準速度を求めるために、平均上り勾配なるものを考えたがこれを用いて計算した結果は、表-1のごとく、ほぼ現行の急行列車程度の時間となった（通過運転）。

4.6 全国幹線勾配改良の具体的研究と、東北諸幹線の改良後の変貌 著者の研究した幹線勾配改良（全国一覧表あり）のうち、東北本線（奥中山峠および丸森線新設）、奥羽本線（板谷峠外2カ所）、上越線（清水峠）の勾配改良後の換算延長その他を計算したものが表-1の下欄である。

その結果4.4の場合の順位が、東北本線と常磐線とが逆転し、また奥羽本線は順位は変わらないが現在の東北本線経由と大差なくなり、将来東北の輸送幹線の一経路となり得ることを示している。 【筆者：正員 三井鉱山KK施設部】

## 平板の初期降伏ヒンジ周辺の曲げモーメントについて

能町純雄

平板の曲げの極限状態については板内のどの点かで降伏モーメントが生じ始めたという下限値と、これ以上荷重強度を増加すれば崩壊が無制限に進行するという運動学的許容値を上限として与えられるだけで、骨組構造物のように崩壊過程を追跡することができない。また崩壊関節の設定なども全くの仮定にもとづいている。降伏条件についても最大主曲げモーメントが降伏モーメントを超過しないという考えと、最大せん断ひずみエネルギーが一定値に達して降伏するという Huber, Hencky などの仮定が時に応じて用いられるが、ここでは最大主曲げモーメント破壊説にしたがう。

### 1. 仮定

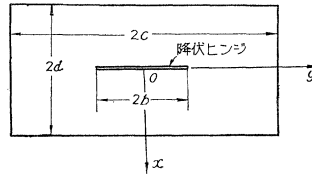
降伏条件は前述のように最大主曲げモーメントが降伏モーメント以上の大きになれないという条件である。

$$\frac{M_x + M_y}{2} \pm \frac{\sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2}}{2} \leq M_p$$

ただし  $M_x, M_y$  は平板の座標を図-1のようにとった場合の  $x, y$  方向の曲げモーメントであり、 $M_{xy}$  はねじりモーメント、 $M_p$  は板の降伏モーメントである。荷重は  $x, y$  軸に関する対称分布で、原点で最大主曲げモーメントが生じ、そのモーメントが  $M_x$  と一致するように作用していると仮定する。

さてこの荷重強度が次第に増加して最大主曲げモーメントが

図-1



$M_p$  を超過しついに  $y$  軸に沿って図のように  $2b$  なる線分状の降伏ヒンジが生じたと考える。この場合初期の段階ではヒンジ長  $2b$  は板の辺長  $2c, 2d$  にくらべて小さく、その影

響は周辺に到達しないと仮定する、この仮定は数値的にその正確さを確かめることができる。

### 2. 基本微分方程式と境界条件

板のたわみを  $w$

$$w = w^{(1)} + w^{(2)}$$

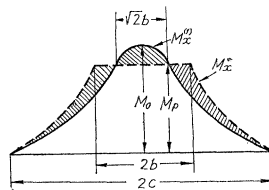
において考える。 $w^{(1)}$  は降伏ヒンジがないときの板のたわみで、与えられた荷重と境界条件を満足する。 $w^{(2)}$  は降伏ヒンジの影響による付加たわみである。すなわち微分方程式は

$$N \Delta^2 w^{(1)} = q \cdot f(xy) \dots \dots \dots (1)$$

$$N \Delta^2 w^{(2)} = 0 \dots \dots \dots (2)$$

$w^{(2)}$  は  $x=0$  で  $2b$  なる降伏ヒンジを有する無限大板の解を用いる。初期降伏ヒンジのときは実際に  $w^{(2)}$  の影響は板の境界条件を乱さない程度のものであるが、荷重の状態によっては  $c > d$  の場合  $2b$  が  $c/2$  くらいでも境界条件を乱さない。(1)式から荷重による  $M_x^{(1)}$  が求まるが、題意により  $x=0$  におけるこの値は主曲げモーメントと一致し  $x=0, y=0$  で主最大曲げモーメントとなる。荷重強度が増加すれば主最大曲げモーメントは  $M_p$  となり、図-1のように降伏ヒンジが  $y$  軸にそって  $2b$  だけ発生し、図-2の実線の部分  $M_x^{(1)}$  は点線の図形のようになる。したがってハッチした部分が  $w^{(2)}$  から求まる  $M_x^{(2)}$  となる。合成モーメント  $M_x$  は図中点線で連続であるかのように

図-2



描かれてあるが  $|y| \geq b$  で  $M_x$  はどのような分布をしても差し支えなく、このところでは荷重の対称性から  $x$  方向の板の Slope が 0 であればよい。結局  $w^{(2)}$  に対して  $x=0$  で

$$\frac{\partial w^{(2)}}{\partial x} = 0 \quad |y| \geq b \dots (3)$$

$$M_x^{(2)} = -N \left( \frac{\partial^2 w^{(2)}}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w^{(2)}}{\partial y^2} \right) = M_x^{(1)} - M_p \quad |y| \leq b \dots (4)$$

という境界条件が与えられる。また  $b \ll c$  であれば上式中右辺の  $M_x^{(1)}$  は  $|y| \leq b$  でテララー展開して放物線とみなすことができるから  $M_x^{(1)}$  の最大値を  $M_0$  として  $a_0 = M_0 - M_p$  とおき条件式 (4) を

$$M_x^{(2)} = a_0 - a_1 \left( \frac{y}{b} \right)^2, \quad |y| \leq b \dots \dots \dots (5)$$

とかくことができる。次に  $x=0$  で荷重と周辺条件の対称性から  $x$  方向せん断力が消えるのもう一つの境界条件、 $x=0$  で

$$\frac{\partial^2 w^{(2)}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w^{(2)}}{\partial x \partial y^2} = 0 \dots \dots \dots (6)$$

が成立する。

### 3. $w^{(2)}$ の解式と安定降伏ヒンジ長さ

微分方程式 (2) の一般解は

$$w^{(2)} = \int_0^\infty (A + Bx \lambda) e^{-\lambda x} \cos \lambda y d \lambda$$

境界条件 (6) から  $B=0$  となり未知数  $A$  は (3), (5) の条件式から Dual の積分方程式の解として与えられ次のようになる。

$$N(1-\nu)\lambda^2 A = (a_0 - a_1/2)J_1(b\lambda) + a_1(b\lambda)^{-1}J_3(b\lambda)$$

これによって  $x=0$  に沿う  $M_x^{(2)}$  の値を求めれば

$$M_x^{(2)}|_{x=0} = \begin{cases} a_0 - a_1 \left(\frac{y}{b}\right)^2, & |y| \leq b \\ \left(a_0 - \frac{a_1}{2}\right) \left(\frac{-y}{\sqrt{y^2 - b^2}} + 1\right) - a_1 \frac{(\sqrt{y^2 - b^2} - y)^2}{2b^2}, & |y| \geq b \end{cases}$$

$x=0$  における  $M_x$  の分布は降伏ヒンジ発生後も連続であると仮定すれば、 $y = \pm b$  で無限大でその上、不連続となる項は消えるはずである。したがって上式中

$$a_0 = \frac{a_1}{2} = (M_0 - M_p)$$

合成曲げモーメントの  $x=0$  の分布は

$$M_x|_{x=0} = \begin{cases} M_p, & |y| \leq b \\ M_p - (M_0 - M_p) \left(\frac{\sqrt{y^2 - b^2} - y}{b}\right)^2, & |y| \geq b \end{cases}$$

上式から次のことがいえる。最大主曲げモーメントの近傍でその分布が放物線とみなせる場合、線状の降伏ヒンジが平板内に生ずれば、弾性計算による最大主曲げモーメントが降伏モーメントを超過する巾が  $\sqrt{2}b$  になったときに降伏ヒンジの長さが  $2b$  であれば応力の状態は安定である。降伏ヒンジが  $2b$  より小さい場合はヒンジ両端に正の無限大の曲げモーメントが生じ、降伏ヒンジが  $2b$  より大きくなるとヒンジ両端に負の無限大の曲げモーメントが生じ不安定な応力分布となる。

【筆者：正員 工博 室蘭工大教授 土木工学科】

## 海岸工学講演会講演集頒布について

下記の図書を御希望の方は、代金に送料を添えて直接土木学会までお申込み下さい。

海岸工学講演会講演集(1957年版)(平版)	B5判 254頁 定価 300円	(送料 90円)
第5回 海岸工学講演会講演集(1958年版)	B5判 204頁 " 400円	( " 70円)
第6回 海岸工学講演会講演集(1959年版)	B5判 160頁 " 400円	( " 60円)
第7回 海岸工学講演会講演集(1960年版)	B5判 303頁 " 600円	( " 110円)
第8回 海岸工学講演会講演集(1961年版)	B5判 218頁 " 1000円 会員特価 800円	( " 100円)

新刊!

(御一報次第図書目録進呈)

コンクリートパンフレット翻訳 2

**くい基礎およびくい打ち構造物** 大同コンクリート工業K.K.工博 綾 亀一氏訳  
A・5判 72頁 1部 60円 10円

米国土木学会 "Pile Foundations and Pile Structures" の翻訳

1. 序
2. くいの種類および一般の特質
3. 目的
4. くい上にかゝる荷重の性質
5. 打ち込み
6. 効果
7. 耐久性
8. 周囲の土への応力の分布
9. くい打ち公式および載荷試験
10. 現場の特質
11. くい基礎の設計
12. 施工の監督および指導

**コンクリート辞典** B・6判 254頁 価 150円 10円

広島市における

**コンクリート講習会テキスト** B・5判 155頁 価 150円 10円

(昭和36年8月開催のもの)

日本工業規格 **JISセメント** {1959  
1960} B・7判 81頁 価 30円 10円

月刊 **セメント・コンクリート** B・5判 40頁 1部 50円 10円  
予約1年 600円 半年 300円 (10円共)

東京都港区赤坂台町1番地 **日本セメント技術協会** 振替東京196803・電(481)8541 (代表)