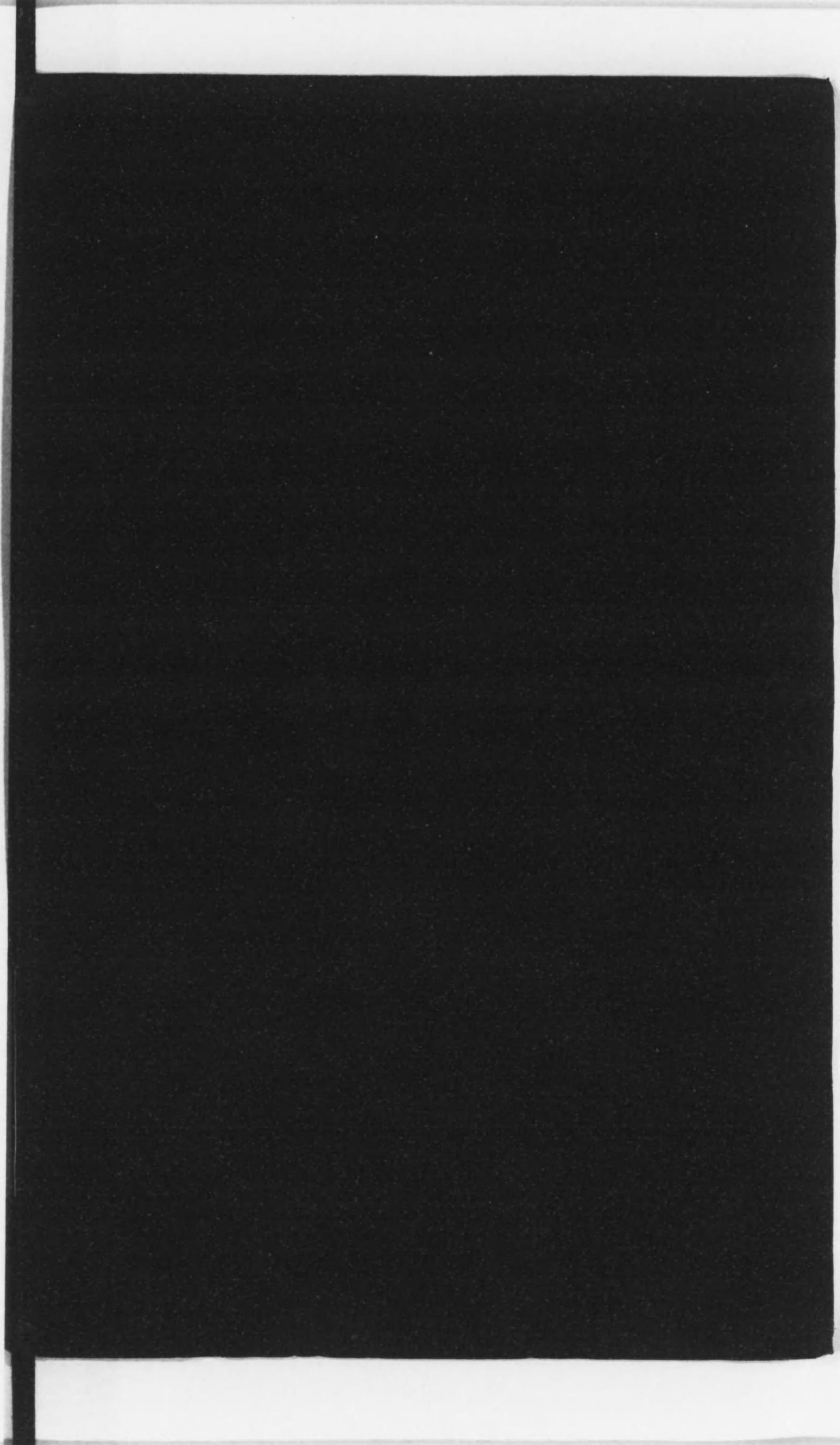
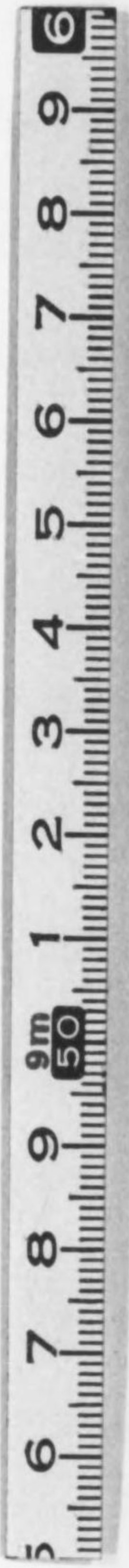




始



403
266



實用運轉理論

機關車工學會著

株式會社 交友社發行



序

これまで運轉理論に関する著書は少ないようであるが、或るものは其の内容が廣汎に亘つてゐるため其の量が非常に多く、これを憶えるのに容易でない所から、只徒らに運轉理論は高級で難しいものであると感じさせるもの、又或るものは平易で、而も其の量は少いが、其の内容を見ると運轉理論の形態から云つて極めて不備な所が多く、その眞髓を知らしめるに適して居ないもの等見受けられるのである。

之等の點に鑑みて著者は、これから運轉理論を學ぼうとする餘暇の少い機關車乗務員にとつて、最も効果的に運轉理論を知らしめるにはどんなものが一番よいかに就て考へた結果、

量が少くて短期間に學習出来ること。

正しい運轉理論を理解せしめること。

これだけは是非知つて置かねばならないものみに止めること。

出来る丈平易であること。

運轉理論を理解せしめる基礎智識が必要であること。

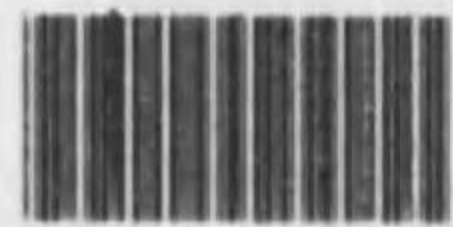
等を主眼としたならば、これに叶ふやうなものが出来上るのではないかと考へ書いて見た。

本書がこれから運轉理論を學ぼうとする所謂初學者にとつて、或は教習所機關士科程度の教科書として、多少とも参考になれば著者の幸甚とする次第である。

昭和十五年六月

機關車工學會

76W10850



實用運轉理論 目 次

| | |
|--------------------------|----|
| 第一章 燃 燒 | |
| 第一節 燃燒に關係する術語 | 1 |
| 第二節 石炭の燃燒 | 2 |
| 第三節 燃燒に必要な空氣量 | 3 |
| 第四節 不完全燃燒に依る損失 | 5 |
| 第五節 燃燒と通風 | 6 |
| 第二章 熱 及 蒸 氣 | |
| 第一節 熱及蒸氣に關する術語 | 7 |
| 第二節 飽和蒸氣 | 10 |
| 1. 飽和蒸氣の性質 | 10 |
| 2. 飽和蒸氣の全熱量 | 11 |
| 第三節 過熱蒸氣 | 12 |
| 1. 過熱蒸氣の性質 | 12 |
| 2. 過熱蒸氣の全熱量 | 14 |
| 3. 過熱蒸氣の利益 | 14 |
| 第三章 牽 引 力 | |
| 第一節 牽引力に關する術語 | 16 |
| 第二節 牽引力の一般式 | 17 |
| 第三節 シリンダ牽引力 | 19 |
| 第四節 櫛牽引力 | 21 |
| 1. 本省運輸局式過熱機關車牽引力算出方法 | 22 |
| 2. 本省運輸局式飽和蒸氣機關車牽引力算出方法 | 32 |
| 第五節 粘 着 力 | 38 |
| 第六節 指示粘着力とシリンダ牽引力との關係 | 41 |
| 第七節 速度と牽引力との關係 | 43 |
| 1. 牽引力が速度に依つて變化する理由 | 43 |
| 2. シリンダ牽引力を發揮して運轉し得る臨界速度 | 44 |
| 3. 計算粘着力を發揮して運轉し得る臨界速度 | 45 |

| | |
|-----------------|----|
| 4. 牽引力を制限する因子 | 46 |
| 5. 機關車の利用し得る牽引力 | 47 |

第四章 列車抵抗

| | |
|--------------|----|
| 第一節 列車抵抗の種類 | 49 |
| 第二節 出發抵抗 | 49 |
| 第三節 走行抵抗 | 50 |
| 1. 走行抵抗を起す原因 | 50 |
| 2. 走行抵抗の一般式 | 53 |
| 3. 機關車の走行抵抗 | 53 |
| 4. 客貨車の走行抵抗 | 55 |
| 第四節 勾配抵抗 | 57 |
| 第五節 曲線抵抗 | 60 |
| 1. 曲線抵抗 | 60 |
| 2. 換算勾配 | 61 |
| 第六節 加速度抵抗 | 62 |
| 1. 速度、加速度及力 | 62 |
| 2. 加速度抵抗 | 64 |

第五章 機關車牽引定數

| | |
|-------------------------|----|
| 第一節 牽引定數の意義 | 68 |
| 第二節 牽引重量 | 69 |
| 1. 引張棒牽引力 | 69 |
| 2. 牽引重量 | 70 |
| 第三節 均衡速度 | 77 |
| 第四節 支配勾配 | 78 |
| 1. 支配勾配 | 78 |
| 2. 假想勾配 | 79 |
| 3. 支配勾配を定める方法 | 84 |
| 第五節 上り勾配に於ける牽引定數 | 87 |
| 1. 運轉區間の分割 | 88 |
| 2. 列車速度種類と支配勾配の均衡速度との關係 | 88 |
| 3. 形式別機關車牽引定數 | 90 |

| | |
|---------------------|-----|
| 第六節 下り勾配に於ける牽引定数 | 90 |
| 第七節 牽引定数査定上考慮すべき事項 | 91 |
| 1. 停車場内に於て牽き出し得る輛數 | 92 |
| 2. 連結器の強さ | 92 |
| 3. 乗降場の長さ | 92 |
| 4. 停車場構内本線又は待避線の有効長 | 93 |
| 5. 地方的氣候状態 | 93 |
| 第八節 牽引定数表示方法の種類 | 93 |
| 1. 現車數に依る方法 | 94 |
| 2. 實際透數法 | 94 |
| 3. 引張棒牽引力に依る方法 | 94 |
| 4. 修正透數法 | 94 |
| 第九節 牽引定数の表示方法 | 95 |
| 第六章 列車運轉時分の計算方法 | |
| 第一節 列車の加速及び減速 | 96 |
| 第二節 列車運轉時分の計算方法 | 99 |
| 1. 直接書法 | 100 |
| 2. 間接書法 | 104 |
| 3. 運轉線圖の書法に對する注意事項 | 117 |
| 第七章 列車制動 | |
| 第一節 ブレーキの概念 | 118 |
| 第二節 ブレーキの種類 | 118 |
| 1. 制輪子ブレーキ | 118 |
| 2. 電氣ブレーキ | 119 |
| 第三節 列車制動に関する術語 | 119 |
| 第四節 制動圧力 | 120 |
| 1. テコの理 | 120 |
| 2. 手ブレーキの制動圧力 | 121 |
| 3. 空氣ブレーキの制動圧力 | 124 |
| 4. 制動率から制動圧力を求める方法 | 129 |
| 5. 軸制動率と全車制動率との關係 | 129 |
| 6. 列車の全車制動率を求むる方法 | 132 |

| | |
|------------------------------|-----|
| 第五節 摩擦係数 | 133 |
| 1. 制輪子と車輪との間の摩擦係数の變化 | 133 |
| 2. 平均摩擦係数 | 136 |
| 第六節 制動力 | 139 |
| 1. 制動力と粘着力との關係 | 139 |
| 2. 下り勾配線に於て等速度運轉をなすために必要な制動力 | 140 |
| 第七節 制動距離 | 141 |
| 1. 空走時間及空走距離 | 141 |
| 2. 實制動距離 | 142 |
| 3. 全制動距離 | 144 |
| 第八章 制限速度 | |
| 第一節 制限速度の種類 | 148 |
| 第二節 曲線に於ける制限速度 | 148 |
| 1. 曲線路に於ける遠心力の作用 | 148 |
| 2. 遠心力 | 149 |
| 3. 曲線に於ける制限速度 | 150 |
| 4. 曲線に於ける制限速度算定の基礎 | 152 |
| 5. 線路の分岐に附帶する曲線半径 | 153 |
| 第三節 下り勾配線に於ける制限速度 | 154 |
| 1. 下り勾配線に於ける制限速度 | 154 |
| 2. 下り勾配線の制限速度を決定するに必要な事項 | 155 |
| 第四節 車輛の構造による制限速度 | 157 |
| 第五節 列車の操縦方法による制限速度 | 158 |
| 第六節 前途の状態其の他による制限速度 | 158 |



實用運轉理論

第一章 燃 燒

第一節 燃燒に関する術語

燃燒に関する慣用術語を解説すると次の通りである。

化合……二種以上の物質が互に結合して、全く性質の相違した新しい物質を生ずるやうな化學變化を云ふもので、石炭が燃燒する際水素が空氣中の酸素と結合して水を作るのは一つの化合である。

分解……化合と反對で、一つの物質が消失して二種以上の新しい物質を生ずるやうな變化を云ふもので、水を酸素と水素とに分けるのは一つの分解である。

元素……如何に分解しようとしても決して自體以外のものに細分することの出来ないものを云ひ、石炭中に含有して居る炭素、水素、酸素、窒素、鐵及硫黃等は皆この元素である。

化合物……元素と元素とが結合して元とは全然異つた物質に變化したものを云ひ、炭化水素の類及燃燒に依つて生ずる二酸化炭素、一酸化炭素、水蒸氣、二酸化硫黃等はこれに屬するものである。

燃燒……燃燒とは、可燃物質主として炭素化合物と空氣中の酸素とが急劇に化合して、熱と光とを發する現象を云ふのである。

完全燃焼……燃焼の後に於て少しも可燃性の物質を残さない場合で、炭素と酸素とが化合して二酸化炭素を生ずるやうな、酸素が十分に供給されるとき燃焼を云ふ。

不完全燃焼……燃焼の後猶燃焼すべき物質を残す場合で、炭素と酸素とが化合して一酸化炭素を生ずるやうな、酸素が十分に供給されない燃焼で、この際残留するものは一酸化炭素、炭化水素等である。

發火點……如何に燃焼し易い物質でも、或る温度に達しなければ決して燃焼しないものである。即ち物質を燃焼すべき状態まで加熱したときの温度を發火點と云ふのである。

過剰空氣……石炭を燃焼する場合に炭素と酸素の化合割合が定まつて居るから、理論上からは或る空氣量で間に合ふ譯であるが、實際は空氣と燃焼ガスとは十分に混合されない爲に、理論上の空氣量よりも遙かに多く要するものである。この理論上必要以上の空氣を稱して過剰空氣と稱し、普通完全燃焼をなすには50~100%位多く要するものである。

燃焼率……機關車の火格子面上で1時間に1平方米當りに燃焼する石炭の量を稱して燃焼率と云ふ。

第二節 石炭の燃焼

火室内に投入せられた石炭は370°C位に達すると先づ揮發分が蒸發を始め、400°C位になると固定炭素が燃焼を始め、空氣中の酸素と化合して、不完全燃焼のときは一酸化炭素となり、完全燃焼のときは二酸化炭素即ち炭酸ガスとなるものである。

揮發分中の炭化水素の化合物は500~650°C程度に達すると、水素と炭素とに分解せられて水素が先づ酸素と化合して水となり、遊離炭素を生じ、この遊離炭素が酸素と化合して固定炭素の場合と同様な燃焼状態に依り一酸化炭素又は二酸化炭素となるのである。

石炭が完全燃焼をするときは固定炭素も、炭化水素も共に2200°C以上に達することが出来るが、實際石炭が火室内で燃焼する場合は不完全燃焼、過剰空氣及輻射等に依り温度も非常に低くなり、最高1500~1600°C、平均1200°C

位になり、煙管に入る時の温度は大體800~900°C前後に低下するものである。

揮發分を完全燃焼せしめる事は實際の場合極めて困難である。それは揮發分中の可燃物と空氣とを完全に混合する事が出来ない事、ガスの火室内に留る時間が極めて短い事及燃焼に必要な温度を燃料の各部に等しく保たせる事が不可能な爲である。即ち揮發分中の可燃物と空氣とが完全に混合しない爲、空氣の供給に過不足を生じ、或部分は過剰空氣を有するに反し、他の部分は不足を來し、不完全燃焼の煙管に入つて仕舞ふ結果となる爲である。夫故揮發分を完全に燃焼せしめる爲には理論上必要以上の空氣を供給し、空氣とガスとが十分に混合するやうにしなければならない。併し一面に於てこの理論上必要以上の空氣即ち過剰空氣を供給するために、火室内の温度をかへつて降下する結果となるのである。而も石炭から發した揮發分が煙管に入るまでの時間は極めて短く、この短時間の間に良く空氣と混合して燃え盡さしめると云ふ事は極めて困難な事で、燃焼率が大きくなるに従つてガスの發生量が増加するから一層困難となる。又各部の温度が不均一であると温度の低い部分が不完全燃焼を起すためにも損失が起る。

揮發分の燃焼は火室の容積と密接な關係があり、之を良く燃焼せしめるには其の容積を大きくし、ガスの火室内に留る時間を長くすると共に空氣との化合を良好ならしめ、火室内の温度を高く保ち火格子より充分なる空氣を供給するのは勿論、尙必要な場合は焚口より適當の空氣を補給し、揮發分の燃焼を助けることが必要である。

第三節 燃焼に必要な空氣量

石炭の燃焼は一種の化合であるから、一定の割合の酸素量があり、従つて其の空氣量にも一定の割合のあることが考へられる。空氣は主として酸素及窒素の混合物で、其の他多少の不純物を含有して居るが、其の重量の100分比は窒素76.0、酸素23.0、其の他1.0位の割合である。

炭素1疋を完全に燃焼するには酸素2.67疋を要するので上記の割合から空氣量は約11.6疋必要となる。又水素1疋を完全に燃焼せしめるには、酸素8疋を要し、空氣量は約34.8疋が必要となる。コークス或は木炭の如き殆んど

純粹に近い炭素を燃焼するには空氣量も略々一定するが、揮發分が40%もある機關車用石炭の如きは、水素に對する空氣所要量の多き理由に依つて益々多量の空氣を必要とするやうになる。

石炭1疋を完全に燃焼せしめるに必要な空氣量は大體次の式に依つて算出することが出来る。

$$W = 12C + 35\left(H - \frac{O}{8}\right) \dots\dots\dots(1)$$

茲に W=石炭1疋を燃焼せしめるに必要な空氣の重量(疋)

C=石炭1疋中に含有せられる炭素の重量(疋)

H=石炭1疋中に含有せられる水素の重量(疋)

O=石炭1疋中に含有せられる酸素の重量(疋)

この方法に依るときは石炭中に含有する元素の量を知る必要がある。普通工業分析に於ては斯様に一々各元素を分析して量を計らないから、單に發熱量を知つて計算出来るやうな實驗式で概算する方が便利である。即ち次の式に依つて居る。

$$W = 0.0014h$$

茲に W=石炭1疋を燃焼せしめるに必要な空氣の重量(疋)

h=石炭1疋の發熱量(カロリー)

これに依れば7500カロリの石炭は空氣の重量約10.5疋となる。

(1)式のやうに石炭を分析して其の元素の量を求め、之に對する空氣量を理論的に計算しても、大體10疋、容積では8立方米位となるが、機關車の火室内の石炭燃焼の實際を見ると、之等の元素が思ふやうに酸素と完全に混合接觸するものでないから、幾分過剰空氣を供給する必要があるのは實際上止むを得ないことで、先づ適當なる燃焼を爲さしむるには過剰空氣を50~100%と見て石炭1疋に對して15~20疋位の空氣が必要なやうである。

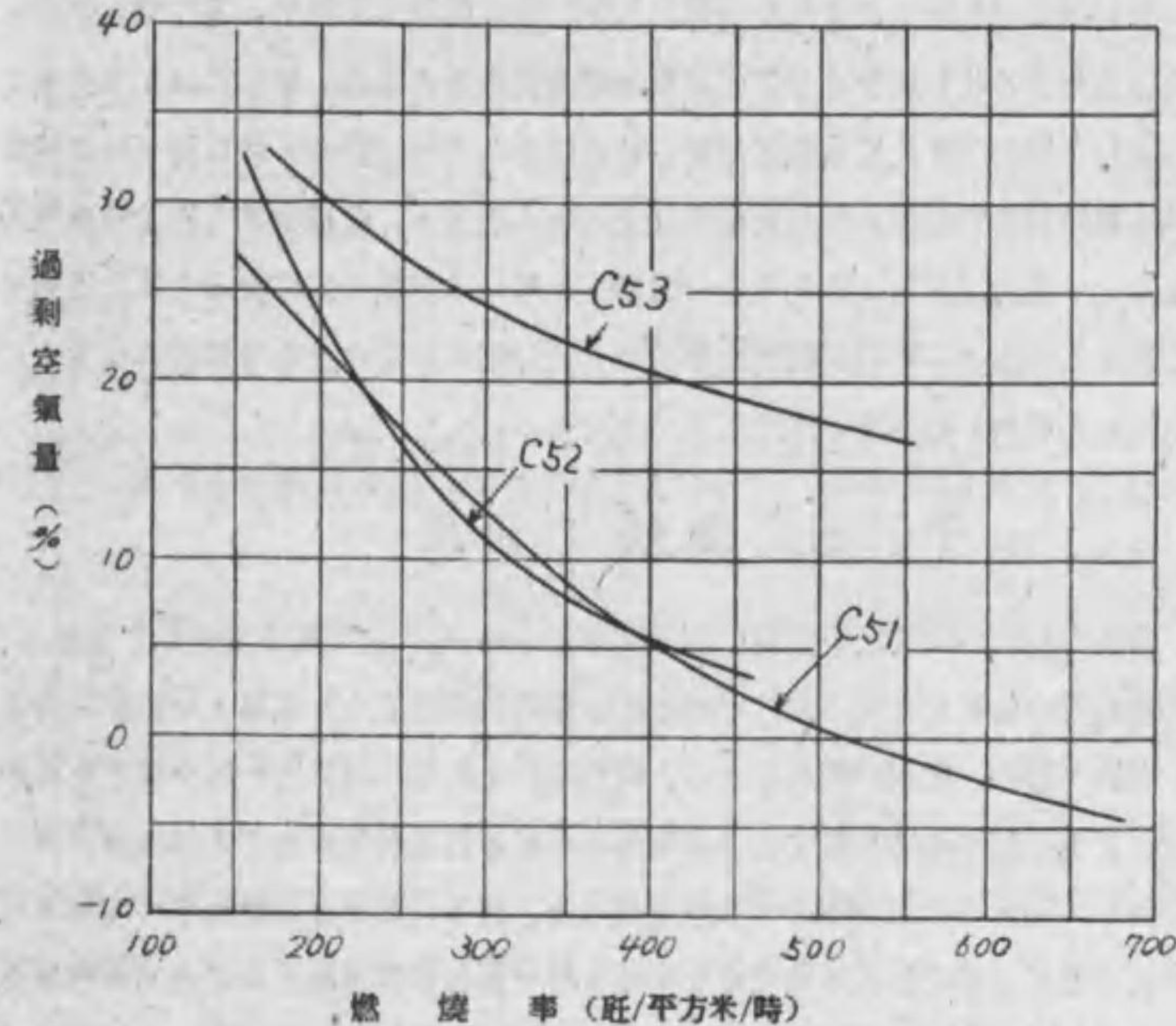
過剰空氣の量は石炭の種類及燃焼率に依つて相違し、揮發分の多い石炭程多量の過剰空氣を必要とする。實驗に依ると燃焼率を高めるに従つて過剰空氣の量は漸次減少するものである。之は強い通風に依り火床が攪亂されるを防止するため火床を厚くし、其の上多量の石炭を燃焼せねばならぬため、空氣の供給

が漸次減少するがためである。之がため燃焼率が大となるに従ひ、供給空氣量に不足を來し、不完全燃焼に依り黒煙の量が増加するばかりでなく、石炭の使用量も亦増加するものであるから、上り勾配等の如く燃焼率の大なる場合には焚口等より相當空氣を補給することが必要である。

第1圖は官房研究所に於て夕張炭を使用して試験した場合の各形式機關車の成績である。

この成績に依れば燃焼率の増加に従ひ、過剰空氣が急激に減少することがわかる。

第 1 圖



第四節 不完全燃焼に依る損失

石炭が不完全燃焼をなす時は著しく其の發熱量を減じて、石炭を浪費するものである。不完全燃焼を起す原因は空氣の供給が不足するとき、又は不注意な

燃焼或は燃焼に不熟練な事等に依るものである。今炭素の燃焼に就て考へると之が完全燃焼をなし、炭酸ガスとなる場合は炭素1瓦につき8100カロリの熱を生ずるが、不完全燃焼に依つて一酸化炭素となる場合は2473カロリで、完全燃焼の場合の1/3位の熱しか生じないのである。火室内に於て石炭を燃焼するには、空氣の大部分は火床を通じて供給せられるものであるが、火床から供給する空氣のみでは不足することがあるから、時に應じて火層の上部にも空氣を送ることが必要で、火層の厚い場合は特に必要である。火層の薄い場合は空氣の供給も充分であるから、炭酸ガスが更に一酸化炭素となるやうな事はないが火層の厚い場合は空氣に不足を來し、其の一部が一酸化炭素に變じ易い。若し空氣の補給がないときは此の一酸化炭素は遂に燃焼しないで、其の儘大氣中に捨て去られることになり非常に石炭の不經濟となるから、更に焚口より空氣を供給して其の一酸化炭素を燃焼せしめねばならない。従つて焚火法を誤り或は不注意の爲供給空氣に不足を來す様なことがあると、前述のやうな燃焼状態となり、一酸化炭素又は炭化水素及遊離炭素等は未燃焼の儘煤煙として、徒らに煙突より排出せられ石炭消費量を増すから、焚火に當つて之等の點に注意して石炭の不經濟を防止するやうにすべきである。

第五節 燃 燒 と 通 風

通風力の大小は風穴の面積に關係があるもので、火室に送る空氣量を加減し、燃焼石炭の量を左右するものであるが、燃焼石炭は罐水を蒸發して、之をシリンドラ内に送り、機關の仕事をなし、吐出された蒸氣は通風力を起す元となるので、之等の間には切り離すことの出来ない或る因果關係があるのである。

而して通風力と燃焼率との關係を見ると、或る程度までは燃焼率の増加に比例して通風力が増加する傾向を有するものである。然るにこの通風力は排氣量及其の圧力に左右されるもので、結局この排氣量を得るには燃焼率を大となし、罐の蒸發量を大にせねばならないのである。従つて通風力と排氣量及燃焼率との間には或る程度までは互に平衡を保つやうな傾向が見出されるのである。

第二章 熱 及 蒸 氣

第一節 熱及蒸氣に関する術語

熱及蒸氣に関する術語を解説すると次の通りである。

熱量の單位……1瓦の水を 1°C だけ昂めるに必要な熱量の單位を瓦カロリと云ふ。尙工業用では之を單にカロリと呼んで居る。

比熱……物體の單位重量を溫度 1°C だけ昂めるに必要な熱量と、之と同量の水を溫度 1°C だけ昂める爲に必要な熱量との比を云ふ。例へば鋼1瓦の溫度を 1°C 昂めるのに0.117カロリの熱を要すとすれば、水1瓦を 1°C だけ昂めるに必要な熱量は1カロリであるから鋼の比熱は0.117と云ふが如きである。氣體の比熱には二種類ある。一つは之を温めるとき壓力を一定に保つ場合でこれを定圧比熱と云ひ、他の一つは容積を一定に保つ場合で、これを定容比熱と云つて居る。

主なる物體の比熱を挙げると次の通りである。

| 固體及液體の比熱 | | ガ ス 體 の 比 熱 | | |
|----------|-------|-------------|---------|---------|
| 物 體 | 比 熱 | 物 體 | 定 圧 比 熱 | 定 容 比 熱 |
| 水 | 1.000 | 空 氣 | 0.241 | 0.172 |
| 銅 | 0.094 | 二酸化炭素 | 0.202 | 0.156 |
| 眞 鍮 | 0.094 | 一酸化炭素 | 0.250 | 0.180 |
| 鋼 | 0.117 | 水 素 | 3.408 | 2.420 |
| 亜 鉛 | 0.097 | 窒 素 | 0.250 | 0.178 |
| 石 油 | 0.434 | 酸 素 | 0.218 | 0.156 |
| アルコール | 0.659 | | | |

絕對溫度……氣體の溫度を漸次降下して行くと、溫度の降下と共に氣體の容積が減少し、遂にはこの氣體の容積が假想的に零となる溫度に達する。この點は攝氏の零度以下 273 度で、この點を基本として測つた溫度を絕對溫度と稱して居る。

傳導……熱が物體の一部から他の部分に傳へられる現象を云ふのである。この場合熱を傳へる遲速は各物體の種類に依つて異なり、金屬のやうに熱の傳導

の速い物體を熱の良導體と云ひ、木の様に熱の傳導の悪いものを熱の不良導體と云つてゐる。

對流……氣體又は液體を熱するとき、熱せられた部分の氣體又は液體は膨脹して軽くなり上方に昇り、上方の冷き部分が其の後へ来る。斯様に熱せられた部分と冷い部分とが交替するために循環作用を起し、氣體又は液體が温められることを對流と云ふ。

輻射……熱が一つの物體から他の物體に空間を隔てて傳はることを云ふ。熱の輻射する割合は物體の温度、面の粗滑、色の濃淡及び距離に關係し、面が粗で色の濃いものは輻射の度が多く、又輻射によつて物を温める力は距離の自乗に逆比例すると云はれて居る。

熱の仕事當量……シリンダ内に入つた蒸氣は、ピストンを押して牽引力を發揮し、又ブレーキは列車の有する運動のエネルギーを制輪子とタイヤとの摩擦によつて熱に變へ、列車を停止せしめる等の場合を考へると、熱が仕事に、又仕事が熱に變化した事が解る。斯様に熱と仕事とは互に變換し得るものであるから、幾何の熱量で幾何の仕事をなし得るかを考へることが出来る。

斯かる場合、熱量の單位と仕事の單位との間には或る關係がある。之を一般に熱の仕事當量と稱し、次のやうに表はされる。

- 1 カロリ = 427 呎米
- 1 B. T. U = 772 呎封度

絶對圧力……完全な真空を基點として測つた圧力を云ふものであつて、大氣の圧力は凡 1 呎/平方呎に等しいから、罐の蒸氣圧力は圧力計に表はれた指度に 1 を加へれば絶對圧力の讀みとなる。

蒸氣の顯熱……0°C の水を飽和蒸氣の温度迄高めるに要する熱量を云ふ。従つて飽和蒸氣の圧力が變化すればこの顯熱も異つて来る。

蒸氣の潜熱……沸騰せる水を其の温度、圧力の下に蒸氣に變化せしめるに要する熱量を、蒸氣の潜熱又は蒸發の潜熱と云ふ。潜熱は蒸氣の圧力に依つて相違し、圧力の上昇と共に減少するものである。

罐効率……蒸氣を發生させる爲には石炭を燃焼せしめ、發生した熱量を罐水に附與することが必要である。而し石炭が燃焼する場合に發生する熱量は、種

々なる損失に依つて理論上の發熱量よりも少くなるのである。この實際の發熱量と石炭の有する理論上の發熱量との比を百分率で表はしたものを罐効率と云ふ。

蒸氣効率……シリンダに供給せられた蒸氣の有する熱は、全部ピストンを動かす仕事に變へられるものでなく、機械の仕事に變へられる量は僅かに其の一部分に過ぎないもので、大部分の熱は排出蒸氣と共に大氣中に放出せられ、熱損失を生ずるものである。此の有効な仕事に化した熱量と、最初蒸氣の有する熱量との割合を蒸氣効率と云ふ。

相當蒸發量……罐の蒸發の良否は石炭 1 呎が蒸發した水量を以て比較するのが普通であるが、蒸氣 1 呎の全熱量は給水温度及び圧力に依つて相違するから直ちに蒸發水量を以て比較することが出来ない。故に之を 100°C の水を大氣圧の下に於て蒸發する量に換算し、其の大小を比較し良否を決定するので、之を相當蒸發量と云つて居る。

相當蒸發量は次の式に依つて表はされる。

$$w = W \times \left(\frac{H-t}{536.7} \right) \dots\dots\dots (2)$$

茲に $w = 100^\circ\text{C}$ に於て蒸發し得る換算水量 = 相當蒸發量 (呎)

$W =$ 或る圧力に於て石炭 1 呎が實際に蒸發した水量 (呎)

$H =$ 飽和蒸氣の全熱量 (カロリ)

$t =$ 給水温度 ($^\circ\text{C}$)

上式中 $\left(\frac{H-t}{536.7} \right)$ を蒸發因子又は蒸發係數と云ふ。

再蒸發……シリンダ内で蒸氣が膨脹して働く時、蒸氣がシリンダの冷壁に接觸しつゝ、ピストンを推進するため一部は凝結して水となる。然るに行程の終りに近付くに従ひ、蒸氣の温度と圧力は共に著しく低下し、行程の當初に凝結した水分が、シリンダ壁の熱に依つて反對に再び蒸發して蒸氣となる。この現象を稱して再蒸發と云つて居る。

第二節 飽和蒸氣

1. 飽和蒸氣の性質

飽和蒸氣はこの蒸氣から少しでも熱を取去れば、蒸氣の一部が凝結して水となる性質を有するもので、水と共に存在する蒸氣である。飽和蒸氣は温度と圧力容積と圧力との間に凡そ次のやうな関係がある。

(1) 温度と圧力との関係

飽和蒸氣は水と共に存在するものであるから、其の温度は水の温度に等しく常に一定の圧力に對し一定の温度を有するものである。夫故温度が低下するときは、蒸氣の一部が凝結して水に變る。之に反し温度が上昇するときは水の一部は蒸發して蒸氣となり、其の圧力も亦高まるものである。

(2) 容積と圧力との関係

飽和蒸氣の容積と圧力との間にはガス體と同じく容積を縮小すれば圧力が高まり、圧力が低下すると容積が擴大する性質を有するものである。

尙飽和蒸氣の性質表を示すと次の通りである。

| 蒸氣の絕對壓力 (kg/cm ²) | 蒸氣の温度 (°C) | 蒸氣1kgの容積 (立方メートル) | 蒸氣1立方 メートルの重量 (kg) | 顯熱 (カロリー/kg) | 潜熱 (カロリー/kg) | 全熱量 (カロリー/kg) |
|----------------------------------|---------------|----------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 8.0 | 169.6 | 0.2454 | 4.075 | 171.5 | 490.9 | 662.3 |
| 8.5 | 172.1 | 0.2317 | 4.316 | 174.0 | 488.8 | 662.9 |
| 9.0 | 174.5 | 0.2195 | 4.556 | 176.6 | 486.8 | 663.4 |
| 9.5 | 176.8 | 0.2085 | 4.797 | 179.0 | 484.9 | 663.9 |
| 10 | 179.0 | 0.1985 | 5.037 | 181.3 | 483.1 | 664.4 |
| 11 | 183.2 | 0.1813 | 5.516 | 185.7 | 479.5 | 665.2 |
| 12 | 187.1 | 0.1668 | 5.996 | 189.8 | 476.1 | 665.9 |
| 13 | 190.7 | 0.1545 | 6.474 | 193.6 | 472.8 | 666.6 |
| 14 | 194.1 | 0.1438 | 6.952 | 197.3 | 469.7 | 667.0 |
| 15 | 197.4 | 0.1346 | 7.431 | 200.7 | 466.7 | 667.4 |
| 16 | 200.4 | 0.1264 | 7.907 | 204.0 | 463.8 | 667.8 |
| 17 | 203.4 | 0.1192 | 8.389 | 207.1 | 460.9 | 668.1 |
| 18 | 206.2 | 0.1128 | 8.868 | 210.1 | 458.2 | 668.3 |
| 19 | 208.8 | 0.1070 | 9.349 | 213.0 | 455.5 | 668.5 |
| 20 | 211.4 | 0.1017 | 9.830 | 215.8 | 452.9 | 668.7 |

2. 飽和蒸氣の全熱量

飽和蒸氣の全熱量とは水1kgを0°Cより沸騰するときの温度に達するまでに要した熱量と、此の沸騰點に達した水1kgを同温度の蒸氣に變へるために要した熱量との和を云ふので、言ひ換へれば蒸氣の全熱量は、0°Cの水1kgを沸騰點まで熱する顯熱と、沸騰點にある水1kgを蒸發するに要する潜熱との和である。従つて蒸氣の全熱量は次の式で表はされる。

今 H = 飽和蒸氣の全熱量 (カロリー/kg)
 L = 蒸氣の潜熱 (カロリー/kg)
 h = 蒸氣の顯熱 (カロリー/kg)
 T = 飽和蒸氣の温度 (°C)

とすれば

$$H = L + h$$

而してこの中蒸氣の潜熱は實驗値であるから、研究せる人に依つて其の値を多少異にして居る。レ-ヨ-氏は蒸氣の潜熱に就て次の式を示して居る。

$$L = 606.5 - 0.7T$$

従つてレ-ヨ-氏の實驗式を用ひて飽和蒸氣の全熱量を求むれば、次の通りである。

$$H = L + h = 606.5 - 0.7T + h$$

然るに顯熱は蒸氣温度に等しいから

$$H = 606.5 - 0.7T + T = 606.5 + 0.3T \dots \dots \dots (3)$$

此の式及飽和蒸氣の性質表より見ても明かな通り、飽和蒸氣の全熱量は蒸氣の温度即ち圧力に比例して増加するものであるが、蒸氣温度1°Cの上昇に對し僅かに0.3カロリの増加に過ぎない。夫故僅かな熱の増加に依り遙かに高圧蒸氣を得ることが判る。云ひ換へると高圧蒸氣の有する熱量は低圧蒸氣に比し、圧力の割合に熱量が小である。この點からも高圧蒸氣の有利なることを窺ひ知る事が出来る。

第三節 過熱蒸氣

1. 過熱蒸氣の性質

飽和蒸氣に熱を加へ、飽和蒸氣の圧力に相當する温度以上に熱せられた蒸氣を過熱蒸氣と云ふ。過熱蒸氣は飽和蒸氣の如く僅かに冷却せられると、其の一部は凝結して水となり、圧力及び温度の低下を來すやうな事はなく、其の圧力に相當する飽和蒸氣の温度まで冷却せられなければ凝結を始めないのである。

過熱蒸氣は其の温度が高くなるに従つて、益々熱の不良導體となる性質を持つて居る。之がためにシリンダ内で放熱に依つて冷却せられ、凝結の現象を生ずることは飽和蒸氣に比較して非常に少いものである。

過熱蒸氣は容積、圧力及び温度との間に一定の關係があつて、蒸氣の温度が同一なるときは、圧力の高くなるに従つて其の容積が小さくなることは飽和蒸氣と全く同じであるが、圧力が同一な場合は略々蒸氣の絕對温度に比例するものである。

又其の比熱は圧力と過熱度に依つて相違するもので、圧力の上昇に伴ひ大となり、又過熱温度の上昇に伴つてある程度までは減少し、それ以上に温度が昇ると更に大きくなる性質を有するものである。従つて或る程度までは過熱温度を高めるに従つて過熱に要する熱量の割合は減少し、比較的小量の熱を以つて高温の過熱蒸氣を得る事となる譯である。一方罐のやうに圧力一定の場合は、蒸氣の容積は大體其の絕對温度に比例して増加するから、過熱温度を高める程有利になるものである。

過熱蒸氣の性質表及比熱表を示すと次表の通りである。

(過熱蒸氣の性質表)

| 絕對圧力 (kg/平方cm) | 飽和蒸氣 の温度 (°C) | 飽和蒸氣 の全熱量 (カロリー/kg) | 過熱蒸氣の全量(カロリー/kg) | | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 200°C | 250°C | 300°C | 350°C | 400°C |
| 5 | 151.1 | 657.3 | 683.2 | 708.4 | 733.0 | 757.2 | 781.2 |
| 6 | 158.1 | 659.3 | 682.0 | 707.6 | 732.4 | 756.8 | 780.9 |
| 7 | 164.2 | 660.9 | 680.7 | 706.7 | 731.8 | 756.3 | 780.5 |
| 8 | 169.6 | 662.3 | 679.4 | 705.9 | 731.1 | 755.8 | 780.2 |
| 9 | 174.5 | 663.4 | 678.1 | 705.0 | 730.5 | 755.4 | 779.8 |
| 10 | 179.0 | 664.4 | 676.8 | 704.1 | 729.9 | 754.9 | 779.5 |
| 12 | 187.1 | 665.9 | 673.9 | 702.4 | 728.7 | 754.0 | 778.8 |
| 14 | 194.1 | 667.0 | 670.8 | 700.5 | 727.4 | 753.1 | 778.0 |
| 16 | 200.4 | 667.8 | — | 698.6 | 726.1 | 752.1 | 777.3 |
| 18 | 206.2 | 668.3 | — | 696.7 | 724.8 | 751.2 | 776.6 |
| 20 | 221.4 | 668.7 | — | 694.6 | 723.5 | 750.2 | 775.9 |

(過熱蒸氣の平均比熱)

| 絕對 圧力 (kg/平方cm) | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.487 | 0.481 | 0.478 | 0.477 | 0.475 | 0.474 | 0.474 | 0.474 | 0.474 | 0.475 | 0.475 |
| 2 | 0.501 | 0.495 | 0.490 | 0.487 | 0.485 | 0.484 | 0.483 | 0.482 | 0.482 | 0.483 | 0.483 |
| 4 | 0.528 | 0.518 | 0.510 | 0.504 | 0.499 | 0.496 | 0.495 | 0.494 | 0.493 | — | — |
| 6 | 0.555 | 0.540 | 0.528 | 0.519 | 0.513 | 0.509 | 0.506 | 0.504 | 0.503 | — | — |
| 8 | 0.584 | 0.563 | 0.547 | 0.535 | 0.527 | 0.521 | 0.517 | 0.514 | 0.512 | — | — |
| 10 | 0.613 | 0.586 | 0.565 | 0.551 | 0.541 | 0.534 | 0.529 | 0.525 | 0.522 | — | — |
| 12 | 0.642 | 0.607 | 0.583 | 0.566 | 0.555 | 0.547 | 0.541 | 0.536 | 0.532 | — | — |
| 14 | 0.671 | 0.629 | 0.601 | 0.583 | 0.569 | 0.559 | 0.552 | 0.547 | — | — | — |
| 16 | 0.699 | 0.651 | 0.620 | 0.598 | 0.583 | 0.573 | 0.564 | 0.557 | — | — | — |
| 18 | 0.729 | 0.673 | 0.639 | 0.614 | 0.597 | 0.584 | 0.575 | 0.567 | — | — | — |
| 20 | 0.760 | 0.697 | 0.657 | 0.631 | 0.612 | 0.598 | 0.587 | 0.578 | — | — | — |

2. 過熱蒸氣の全熱量

過熱蒸氣は飽和蒸氣を過熱したものであるから、其の全熱量は飽和蒸氣に比して過熱に要した熱量だけ大である。

今 T_s = 飽和蒸氣の温度 (°C)

T = 過熱蒸氣の温度 (°C)

H_s = 飽和蒸氣の全熱量 (カロリー/珎)

H = 過熱蒸氣の全熱量 (カロリー/珎)

C_p = 蒸氣の温度を T_s より T まで上昇せしめる間の平均比熱

とすれば、過熱蒸氣の全熱量は次の式によつて表される。

$$H = H_s + C_p(T - T_s) \dots\dots\dots(4)$$

此の式に於て、各蒸氣の性質表及び過熱蒸氣の平均比熱表を用ひることにより全熱量を計算することが出来るが、多くの場合平均比熱表は或る特定の温度と圧力に對してのみ擧げられて居るから、任意の圧力と温度を有する過熱蒸氣の全熱量を求めることが出来ない不便がある。斯様な場合には次の式に依つて計算しなければならない面倒がある。

今 t = 過熱蒸氣の温度 (°C)

P = 過熱蒸氣の絕對圧力 (珎/平方珎)

T = 過熱蒸氣の絕對温度 (°C)

H = 圧力 P 、温度 t なる過熱蒸氣の全熱量 (カロリー/珎)

とすれば、任意の圧力と温度を有する過熱蒸氣の全熱量の式は次のやうに表はされる。

$$H = 0.47t - \frac{202.96}{\left(\frac{T}{100}\right)^{10}} \times P - \frac{2.2248 \times 10^{12}}{\left(\frac{T}{100}\right)^{14}} \times \left(\frac{P}{100}\right)^3 + 595 \dots\dots(5)$$

3. 過熱蒸氣の利益

過熱蒸氣の有利な點を擧げると大凡次のやうである。

(1) 容積が増加する。

過熱蒸氣は過熱するために相當の熱量を要すると共に、蒸氣の膨脹割合が小

なるため同一容積の仕事量は飽和蒸氣に比較して幾分小であるが、容積が増加するために重量一珎當りの仕事は飽和蒸氣に比較して遙かに大きくなる。

(2) 蒸氣の復水を防止し得ること。

蒸氣の復水は單に蒸氣の不經濟となるばかりでなく、シリングを洗ひ、給油を妨げ、行程の終端に於て再蒸發を起し、背圧を高め且つシリングを冷却せしめて次の行程に入つて来る蒸氣の程度を降下せしめて復水を促進せしめることとなるから、之を防止する必要がある。飽和蒸氣は圧力と程度との關係から程度が降下すれば直ちに復水を起すこととなるが、過熱蒸氣は飽和蒸氣に比して高温であるから、膨脹の際飽和蒸氣固有の温度に低下するまでは決して復水を起さぬから蒸氣の使用効率がよい。

(3) 流動性に富み且つ熱の不良導體であること。

過熱蒸氣は飽和蒸氣に比較して遙かに完全氣體に近いから、流動性に富みワイヤードローイングが少い。夫故シリング内に進入した蒸氣の初圧力は飽和蒸氣に比べて大きい。従つて平均有効圧力が高くなり、仕事量が大となり、この爲に牽引力も大きくなる。又過熱蒸氣が熱の不良導體であることは、蒸氣室及シリング内に於ける熱の損失が少くなる利益がある。

第三章 牽 引 力

第一節 牽引力に関する術語

牽引力に関する術語を解説すると次の通りである。

指示牽引力……シリンダ内のピストンに作用した蒸気が少しの損失もなく、全部機関車の牽引力に利用されるものと考へた場合の牽引力を云ふ。

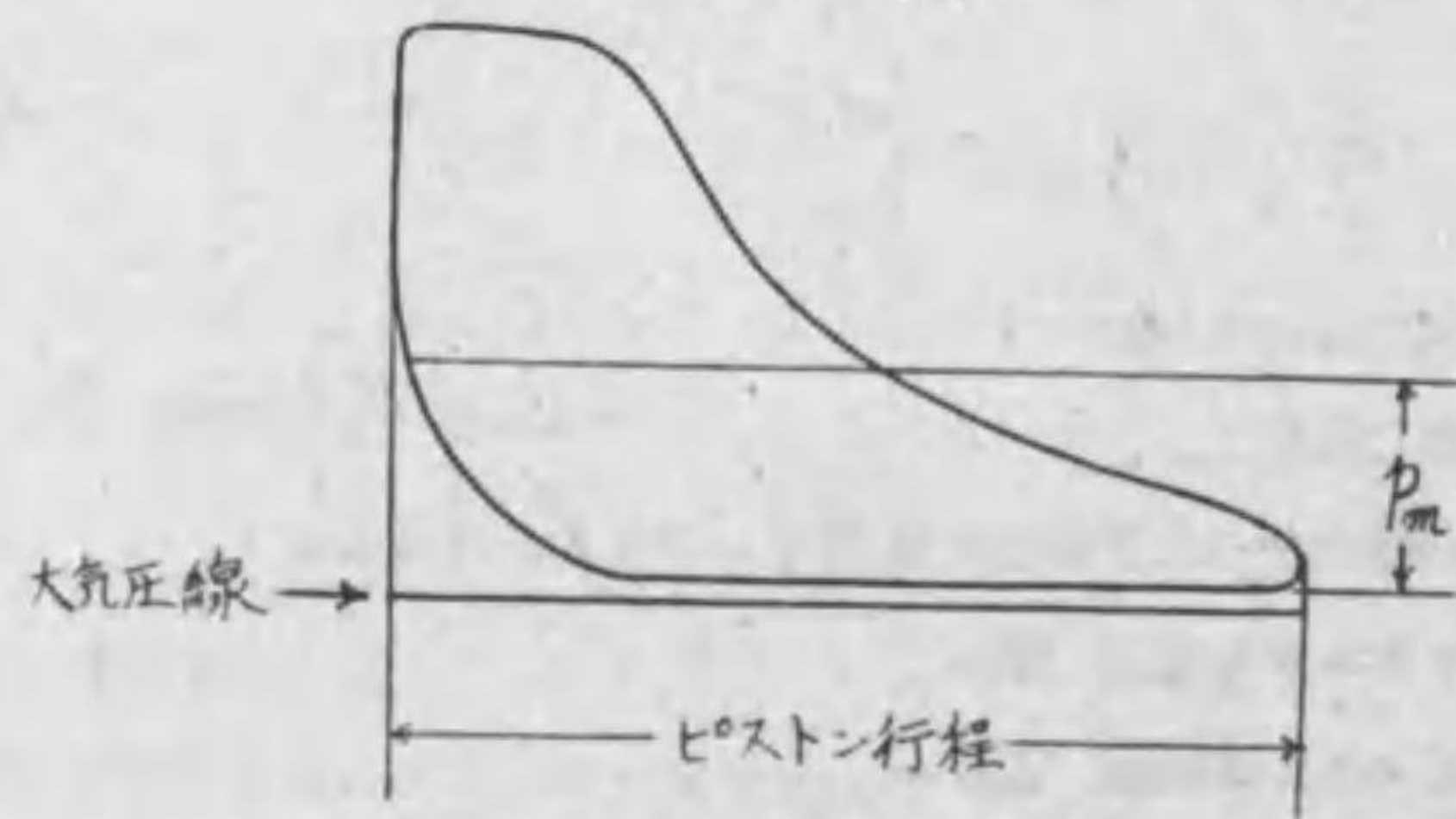
動輪周牽引力……指示牽引力からピストン、クロスヘッド、主連棒、連結棒、弁装置、動輪軸受等の摩擦抵抗即ち機關抵抗を減じた牽引力を云ふ。

引張棒牽引力……指示牽引力から機關抵抗を含んだ機關車走行抵抗を減じたものを引張棒牽引力と云ふ。

機械効率……シリンダから力が動輪に傳へられるまでには、ピストン、クロスヘッド、主連棒及び弁装置等の抵抗、即ち機關抵抗がある爲め動輪周に現はれる牽引力は、指示牽引力に比して小さくなる。此の減少割合即ち指示牽引力に対する動輪周牽引力の割合を機械効率と稱する。

蒸氣の平均有効圧力……シリンダ内に於てピストン面に作用する蒸氣圧力は、縮切、吐出等によつて刻々變化し、一方ピストンの反対側に作用する排氣圧力も圧縮、供給等に依つて變化するものである。平均有効圧力とはピストン両面の圧力の差の平均、即ち第2圖に於てピストン面に作用する蒸氣圧力線と其の反対面に作用する排氣圧力線

第 2 圖



との間に圍まれた面積の平均高さ p_m を云ふのである。

仕事……物體に力が作用してそれに運動を與へたときは、其の力は仕事をしたと稱するので、即ち仕事は力と距離の相乗積で表はされるのである。

今或る物體に F の力が働いて物體が S の距離だけ動いたとすれば、其の時に成した仕事 W は次の式で表はされる。

$$W = F \times S \dots\dots\dots(6)$$

仕事の單位を表はすには主として疋・米が用ひられる。

馬力……馬力は仕事の時間に対する割合であつて、仕事は力と距離の相乗積で表はされるから

$$\text{馬力} = \frac{\text{力} \times \text{距離}}{\text{時間}} = \text{力} \times \text{速度}$$

となる。又一馬力は一秒間に 75 疋・米の仕事量に相當するものである。

今機關車の牽引力を T (疋)、速度を v (米/秒) で表せば馬力 HP は

$$HP = \frac{Tv}{75}$$

速度を V (疋/時) とすれば、 v は $\frac{1000 \times V}{60 \times 60} = \frac{V}{3.6}$ となるから

$$HP = \frac{T \times \frac{V}{3.6}}{75}$$

$$= \frac{TV}{270} \dots\dots\dots(7)$$

で表はされる。

指示馬力……指示牽引力から求めた馬力を稱して指示馬力と云ふ。

第二節 牽引力の一般式

蒸氣機關車は罐内の蒸氣をシリンダ内に供給し、此の蒸氣圧力を利用してピストンを前後に動かし、之をピストン棒、クロスヘッド及主連棒を経て車輪に傳へ、この回轉に依つて牽引力を發揮せしめるものである。

今 d = シリンダの直径 (寸)

l = ピストンの行程 (寸)

p = シリンダ内のピストンに作用する蒸氣の平均有効圧力(疋/平方糎)

D = 動輪の直徑 (糎)

n = シリンダの數

π = 圓周率

T = 牽引力 (疋)

とすれば、ピストンが一行程する間にシリンダ内で爲す仕事は、ピストンの面積に蒸氣の平均有効圧力を乗じた力に、ピストンの行程長さを乗じた

$$\frac{\pi d^2}{4} \times p \times l$$

である。然るに動輪が一回轉する間に、ピストンは一往復即ち二行程をなすから1箇のシリンダが爲す仕事は

$$\frac{\pi d^2}{4} \times p \times 2l$$

となる。夫れ故 n 個のシリンダを有する單式機關車が、動輪一回轉する間に爲す仕事は

$$\frac{\pi d^2}{4} \times p \times 2l \times n$$

となる。

又一方動輪と軌條との間に爲される仕事は、動輪一回轉中に進んだ距離に動輪の周圍に現はれる牽引力を乗じたものであるから

$$\pi D \times T$$

となる。

機關車が牽引力を發揮するのはシリンダ内の蒸氣の圧力に依るものであるから、ピストンの爲した仕事量が動輪の周圍に現はれる牽引力として利用されるものと假定すれば、兩者の仕事量は相等しい筈であるから次のやうになる。

$$\frac{\pi d^2}{4} \times p \times 2l \times n = \pi D \times T$$

$$\therefore T = \frac{pd^2l}{D} \times \frac{n}{2} \dots\dots\dots(8)$$

牽引力は一般に此の式に依つて計算することが出来るが、この場合の牽引力はシリンダ内のピストンに作用した蒸氣の力が少しの損失もなく、全部機關車

の牽引力に利用さるゝものと考へた牽引力であるから、之を特に指示牽引力と稱して居る。然し本式は蒸氣の平均有効圧力 p を除けば他は機關車毎に一定な値であるから、この p の變化によつて牽引力も亦變化することが知られ、従つてこの p を如何に變へるかによつては指示牽引力のみでなく動輪用牽引力をも表はすことが出来るものである。

機關車の牽引力には後に述べるやうに、シリンダの大きさに依るシリンダ牽引力及罐の容量に依る罐牽引力等の種類があるが、この何れもが此の式中の蒸氣の平均有効圧力 p の値を變更することに依つて求め得らるゝのである。只罐の容量に依る牽引力は、罐の蒸發量から各速度に對して適當な p を求むるため、非常に煩雜な式となるが、結局は本式が元となるのである。

【問題】 (1) C58形式機關車が50疋/時の速度で運轉して居るとき、其の平均有効圧力を4疋/平方糎とすれば、此の場合發揮する指示牽引力幾何なるか。但し本機關車は罐使用圧力16疋/平方糎、シリンダ直徑480糎、ピストン行程610糎、動輪直徑1520糎、シリンダ數2箇である。
(2) シリンダの直徑450糎、ピストンの行程660糎、動輪直徑1600糎なる三シリンダ機關車が指示牽引力として11400疋を出すためには、蒸氣の平均有効圧力を幾何となす必要ありや。
(3) 動輪直徑を大とすれば理論上牽引力を減少する理由如何。

第三節 シリンダ牽引力

先に述べたやうに牽引力の一般式は

$$T = \frac{pd^2l}{D} \times \frac{n}{2}$$

の式で求めることが出来るが、此の式の中でシリンダ直徑 d 、ピストン行程シリンダ數 n 、及動輪直徑 D は機關車に依つて定まつた一定値である。然るに蒸氣の平均有効圧力 p は常に一定の値でなく、速度に依つて相當廣い範圍に變化するもので、牽引力に相違を來すのは結局此の p が變化するからであると云ふた通りであるが、シリンダ牽引力とは此の式の p が最大なる場合、即ちシリンダの大きによつて制限される牽引力を稱するものである。

今列車が停車場を出発する際又は低速度 15 軒/時前後で運轉する場合を考へると、此の場合の動輪の回轉數は非常に少く、毎分 60 回前後であるから、單位時間當りに消費される蒸氣量が少いので、シリングに供給せられる蒸氣圧力は、殆んど罐の使用圧力に近い平均有効圧力を發揮することが出来る譯であるが、蒸氣がシリングに入る迄には加減弁、蒸氣管、氣室蒸氣口等を通るためワイヤ・ドロイングの損失があるのと、今一つはシリング内に於てはピストン行程の全部に涉り給氣することが出来ない構造即ち機關車にもよるが、普通 75%位の締切率が最大であるやうな構造となつて居るので、實際には相當低下するものである。従つてシリング牽引力即ち最大指示牽引力は實驗資料其他より次の如き式が適當とされて居る。

即ちこの場合の平均有効圧力 p を罐使用圧力の P の 85% と考へ

$$p = 0.85P$$

と置き、此の値を牽引力の一般式に代入すれば

$$T_c = \frac{0.85Pd^2l}{D} \times \frac{n}{2} \dots\dots\dots(9)$$

茲に T_c = シリング牽引力 (最大指示牽引力) (疋)

P = 罐使用圧力 (疋/平方糎)

d = シリング直徑 (糎)

l = ピストン行程 (糎)

D = 動輪直徑 (糎)

n = シリングの數

即ち本式は機關車の最大の指示牽引力であるが、シリングの大きさに依つて得らるゝものであるから、之を特にシリング牽引力と稱するのである。

代表的機關車のシリング牽引力を示すと次の通りである。

| 機關車形式 | シリング牽引力(疋) | 機關車形式 | シリング牽引力(疋) |
|-------|------------|-------|------------|
| C 56 | 8290 | C 55 | 11680 |
| C 12 | 8290 | C 57 | 12820 |
| C 10 | 9840 | C 58 | 12570 |
| C 11 | 9840 | C 53 | 13630 |
| C 50 | 10020 | D 50 | 16970 |
| 8620 | 9300 | D 51 | 17000 |
| C 51 | 11700 | 9600 | 13920 |
| C 54 | 11680 | | |

【問題】 D51 形式機關車のシリング牽引力を求めよ。
但し本機關車は罐使用圧力 14 疋/平方糎、シリング直徑 550 糎、ピストン行程 660 糎、動輪直徑 1400 糎でシリングは 2 箇である。

第四節 罐 牽 引 力

機關車に於ける罐の蒸發量が速度の高低に不拘、常に充分な蒸氣をシリング内に供給し得るものとすれば、如何なる速度に對しても前述のシリング牽引力の様に一樣な牽引力を發揮することが出来る譯であるが、罐の蒸發量には一定の限度があるので、實際は速度が増加すると共に、動輪の回轉數が増加する爲め、蒸氣の供給が不足となり、勢ひ締切を早めて運轉しなければならないやうになる。其の結果としてシリング内の蒸氣平均有効圧力が低下し、牽引力も亦之に比例して減少するに至るものである。

罐牽引力即ち罐の蒸發量に制限される牽引力を求めることは、結局此の蒸氣の平均有効圧力を、速度に應じ如何に決定するかと云ふことに歸着するのである。此の種の牽引力を算出するため、各國の權威者が發表した算式も多數で、而も其の内容は可成り繁雜な計算を必要とするものである。

罐牽引力を求める方法で主なるものを擧ぐれば

- (a) 本省運輸局の方法
- (b) ストラール氏の方法
- (c) 朝倉氏の方法

(d) キーゼル氏の方法

(e) 速度因子を使用する方法

等であるが、此處では現在國有鐵道で採用して居る本省運輸局の方法に就てのみ説明することゝしよう。

本省運輸局式牽引力算出方法は、之を分けて過熱蒸氣機關車に對するものと、飽和蒸氣機關車に對するものとある。此の中過熱蒸氣機關車に對するものは、我國有鐵道に於ける各種試験の結果を基とし、理論的に且實情に適合するやうに其の算出方法を定めたもので、又飽和蒸氣機關車に對してはストラール氏の牽引力算出方法に依つて居る。

1. 本省運輸局式過熱機關車牽引力算出方法

本算式は次の順序により牽引力を求めらるものである。

- (1) 罐の蒸發量
- (2) 一指示馬力時當り最少蒸氣消費量
- (3) 最大指示馬力
- (4) 最大指示馬力發生の時の指示牽引力
- (5) 最大指示馬力發生の時の速度
- (6) 任意の速度に於ける指示馬力
- (7) 任意の速度に於ける指示牽引力

(1) 罐の蒸發量

蒸氣の發生は火格子上に投入した石炭の燃焼に依つて生じた熱を利用するものであるから、投入した石炭量、其の發熱量、罐の効率及1疋の蒸氣を發生する爲めに必要な熱量等に關係するものである。従つて蒸發量は次の式に依つて求め得られる。

$$Q = \frac{BGW\epsilon}{h} \dots\dots\dots(10)$$

茲に Q=罐の蒸發量 (疋/時)

B=石炭の燃焼率 (疋/平方米/時)

G=火格子面積 (平方米)

W=石炭の發熱量 (カロリー/疋)

ϵ =罐の効率 (小數)

h=1疋の蒸氣を作るに必要な熱量 (カロリー/疋)

今我國有鐵道の機關車に對し、蒸發量を計算するのに當つて、之等各因子につき説明し運輸局にて採用して居る數値を示せば次の通りである。

(イ) 燃 燒 率

火格子1平方米當り毎時間の燃焼石炭量即ち燃焼率は、實際に於ては列車の種類や線路の状態その他によつて相當の變化があるが、計畫上の燃焼率は實驗上からと罐効率の點を考慮して機關車火格子面積の大小に不拘一様に550の値を採用して居る。

機關助士の投炭能力から見ると、當然1時間の標準投炭量が考へられるからこれを火格子面積で除せば燃焼率を求め得られるが、この觀念で行くと投炭量が一定であるから、如何なる大きな機關車、即ち大きな火格子面積を有して居る機關車でも、大きな牽引力を發揮することが出来なく、又機關車自體の抵抗が多いから、却つて小さな機關車よりも牽引し得る車輛の輛數が少くなるやうな結果となる。従つてこの値は火格子面積の大小に不拘一様であることが必要である。斯様にすれば大きな機關車程1時間の投炭量が多くなり、結局牽引力が大となる。

(ロ) 石炭の發熱量

石炭の發熱量は炭種に依つて相當差異があるが、又旅客列車とか貨物列車とに依つて、即ち列車の種類に依つて其の使用を變へて居る。即ち一般的には旅客列車は貨物列車よりも優良な石炭を使用するから、旅客列車用と貨物列車用と區別する必要があるので、實績を基礎として次の値を採用して居る。

旅客列車用 6500 カロリ/疋

貨物列車用 6000 カロリ/疋

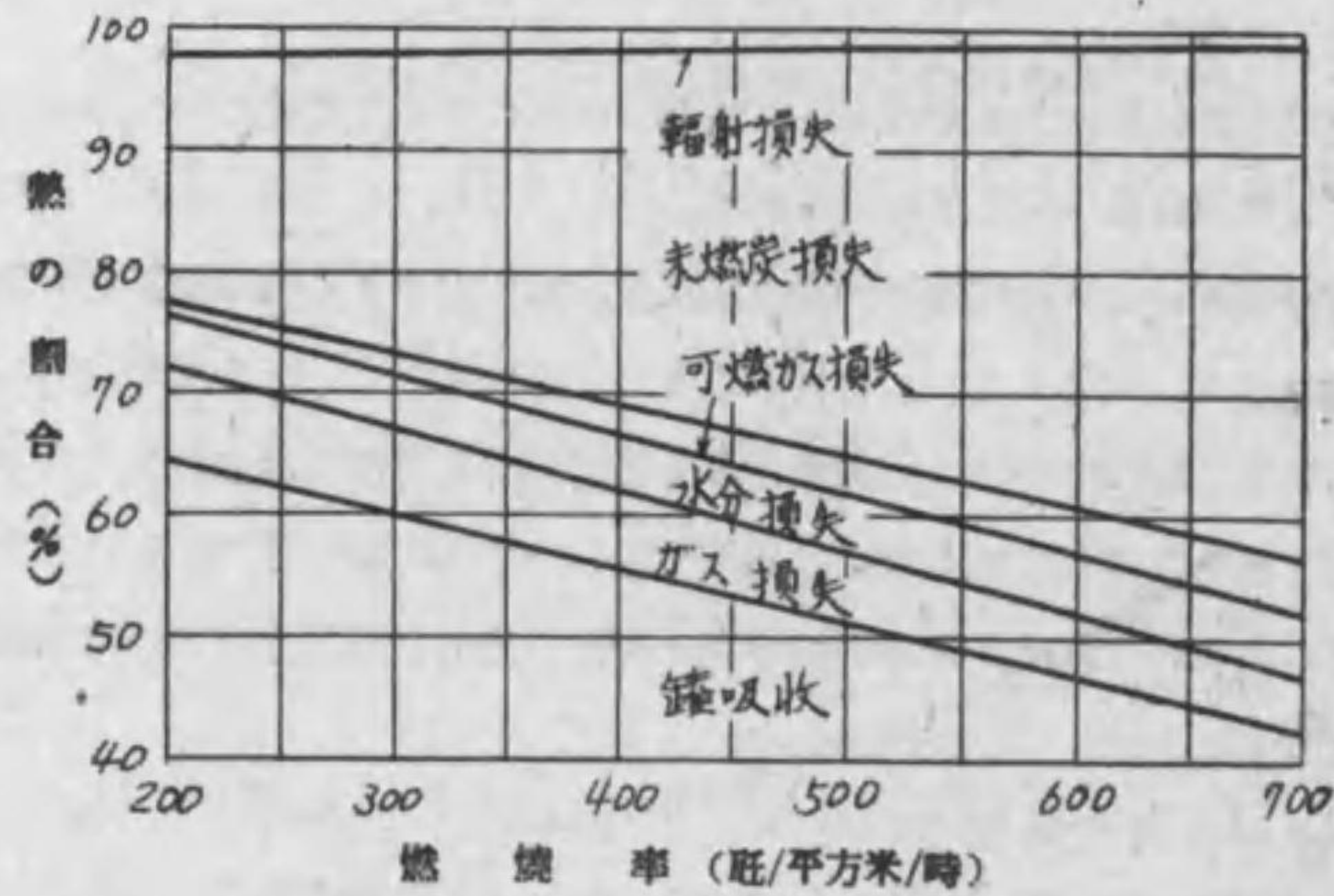
(ハ) 罐 の 効 率

機關車の罐は火格子上で燃した石炭の熱量の全部を罐水に傳へることは出来ないで、種々の理由に依つて損失があり、普通其の總熱量の60%内外が有効に利用せられるのみである。今其の損失を大別すると二つになる。其の一つ

は火格子上に投入した石炭の一部は完全燃焼をしないで、煙突又は灰箱へ排出せられるものと、他の一つは燃焼によつて生じた高温の熱ガスを大氣中へ排出して終ふ損失である。前者の損失即ち不完全燃焼に因るものは、主として燃焼の方法に關するもので、例へば無理に多量の石炭を燃焼せしめやうとすれば、空氣の供給が不十分となることに依つて起るものである。又後者の損失は罐の構造及石炭の焚き方に關する外、實際に避け難い損失である。

第3圖は研究所で實驗した成績であつて、之を熱の釣合圖と稱して居る。此の中の損失に就て説明すれば次の通りである。

第 3 圖



輻射損失……罐の外周は低温の大氣中に曝されて居るので、罐が冷されて熱を奪はれる爲めに起る損失である。石綿等を巻くのはこの損失を少なくする爲めである。

未燃炭損失……損失中の大部分を占めるものであつて、シダ及び火粉となつて飛散するものと、灰の中へ混つて居る未燃炭がこの損失の主體である。

可燃ガス損失……石炭が燃焼するときに發生する燃焼ガスが完全に燃えてしまはないで逃出す爲の損失である。

水分損失……石炭中に混合して居る水を蒸氣にする爲に熱を要するが、この蒸氣は罐の火側を通つて煙突に逃出すので、何等其の熱量を利用し得られない

ので損失となるのである。

ガス損失……煙突から排出されるガスの温度が相當高い爲の損失である。

之等の損失の爲めに實際には罐水に傳へられる熱量は、石炭の有する總熱量の60%内外となるので、其の算式としては次のものが用ひられて居る。

$$e = \frac{1}{1 + B \left\{ 0.0012 + 3300 \left(\frac{G}{H} \right)^4 \right\}} \dots\dots\dots(11)$$

茲に e=罐の効率 (小數)

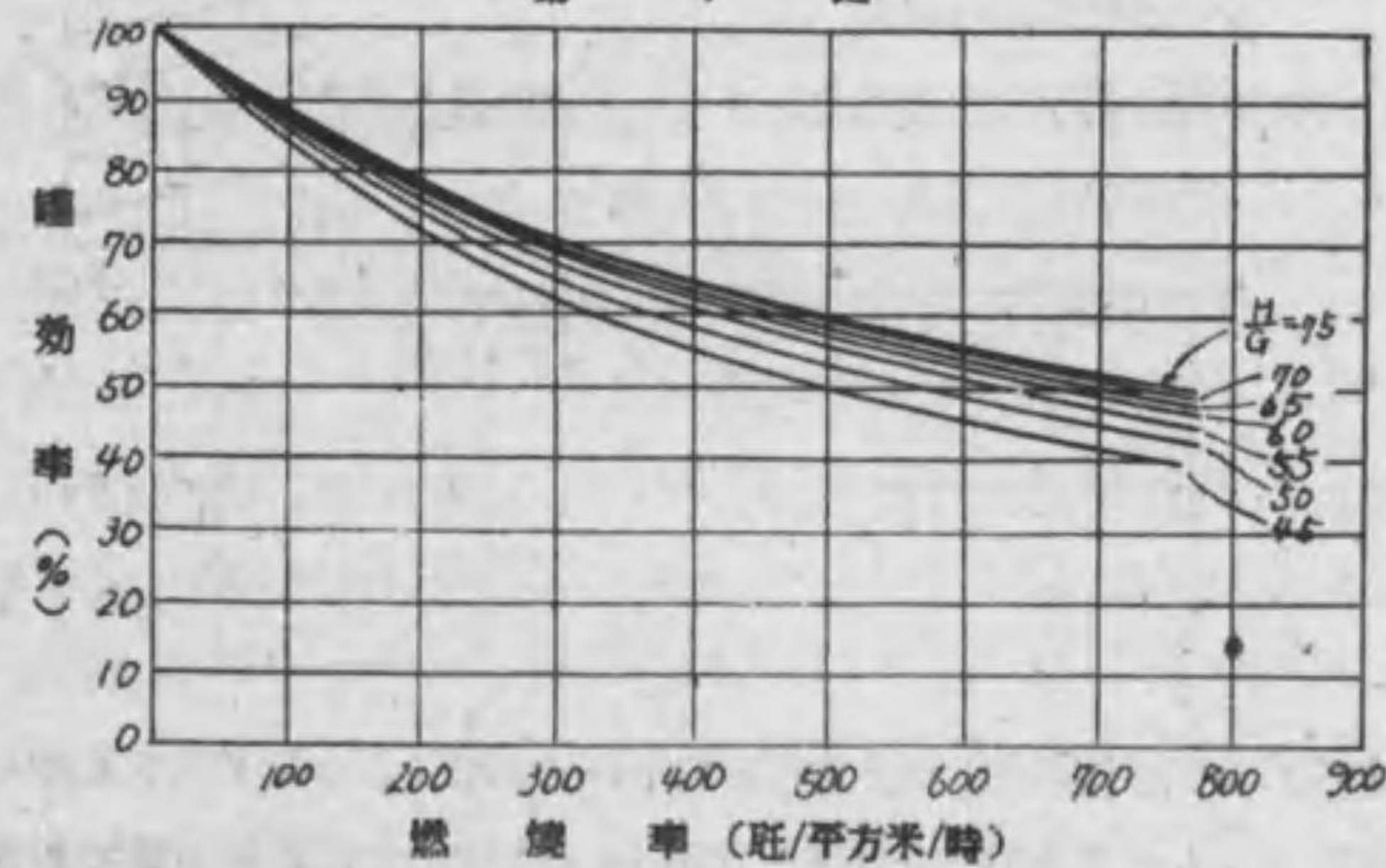
B=燃焼率 (旺/平方米/時)

G=火格子面積 (平方米)

H=傳熱面積 (平方米)

今種々な $\frac{G}{H}$ の値に對し、燃焼率と罐の効率との關係を圖示すると第4圖の通りで、これに依れば燃焼率の少い程、又 $\frac{G}{H}$ の小さい程罐の効率は高くなつて居る。

第 4 圖



【問題】 C58形式機關車とC57形式機關車とが、1時間夫々1000旺の石炭を焚いた場合、其の罐効率は何れが幾何程良好なるや。
但し火格子面積はC58形式 2.15平方米、C57形式は2.53平方米、全傳熱面積はC58形式 137.6平方米、C57形式は168.8平方米である。

(=) 1 疋の蒸気を作るに必要な熱量

蒸気を作るに必要な熱量は、飽和蒸気全熱量と過熱に要する熱量との合計でこれを蒸気の性質表より求めると次の通りである。但し過熱温度は 300°C とした。

| 鍋の使用圧力 (疋/平方圓) ゲージ | 飽和蒸気 温 度 (°C) | 飽和蒸気全 熱量 (カロリー/疋) | 過熱蒸気の 平均比熱 | 加熱に要す る熱量 (カロリー/疋) | 過熱蒸気 の全熱量 (カロリー/疋) |
|--------------------------|---------------------|-------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| 13 | 194.1 | 667.0 | 0.550 | 60.4 | 727.4 |
| 14 | 197.1 | 667.4 | 0.556 | 59.3 | 726.7 |
| 15 | 200.4 | 667.8 | 0.561 | 58.3 | 726.1 |
| 16 | 203.4 | 668.1 | 0.566 | 57.5 | 725.6 |

又レ=ヨ-氏の實驗公式を示すと次の通りである。

$$h = 606.5 + 0.305t + C_p(t_s - t) \dots \dots \dots (12)$$

茲に $h = 1$ 疋の蒸気を作るに必要な熱量 (カロリー/疋)

$t =$ 飽和蒸気の温度 (°C)

$t_s =$ 過熱蒸気の温度 (°C)

$C_p =$ 過熱蒸気の比熱

これに依つて各蒸気圧力の場合を求めると次の通りであつて、前の蒸気の性質表より求めたものと大差ないことが解る。

| 蒸気圧力 (疋/平方圓) ゲージ | 過熱蒸気 の全熱量 (カロリー/疋) |
|---------------------|--------------------------|
| 13 | 724.1 |
| 14 | 724.0 |
| 15 | 723.4 |
| 16 | 723.2 |

以上に依つて過熱蒸気的全熱量は、蒸気圧力が高くなつても大なる差はなく其の値は 725 カロリ 前後であることが解る。従つて之に多少の餘裕を見込み 730 カロリを適當と考へられる。

而して機關車水槽の給水温度を年平均 15°C、給水温メ器による給水温度を 80°C と假定し、次の値を採用して居る。

注水器使用の場合 715 カロリ/疋

給水温メ器使用の場合 650 カロリ/疋

【問題】 D51 形式機關車が 1 時間 1300 疋の石炭を焚いた場合の鍋の蒸發量を求めよ。

但し 火格子面積 3.27 平方圓
全傳熱面積 221.5 ㎡
石炭發熱量 5800 カロリ
水 1 疋を蒸發せしめるに要する熱量 650 カロリ

(2) 一指示馬力時當最少蒸氣消費量

一指示馬力時當蒸氣消費量とは 1 時間に使用する蒸氣消費量を、この場合發揮する馬力で除したもので、此の場合の馬力がシリンダ内のピストンの爲す馬力であるときは指示馬力と云つて居る。一指示馬力時當蒸氣消費量は縮切の程度及蒸気の過熱度に依つて相違するものと云はれて居る。

先づ縮切の程度に就て考へるに、縮切が餘り早いと蒸気の膨脹による利益はあるが、シリンダ内に於ける蒸気の凝結が多くなつて却つて不利益になる傾向がある。又餘り遅い縮切では、蒸気の膨脹を充分に利用することが出来ないの之亦不利益になる。

又過熱度は縮切及動輪回轉數に、従つて燃焼率に關係する。縮切が遅くなる程、動輪回轉數が増加する程高くなる。即ち一般には燃焼率の増加とると共に高くなつて來るものである。

過熱度が増す程シリンダ内にての膨脹及凝結關係は有利になるから、其の結果として蒸氣消費量が少くなる。最近車輛研究會等にて蒸気の過熱度を高めることを研究して居るのも結局斯様な利益があるからである。

實際運轉に就て考へると、動輪の回轉數が増加するに従ひ、縮切を早めなければならないこととなる。従つてこの場合の蒸氣消費量は或る程度以上縮切を早めると、蒸気の凝結が増加して、却つて多くなる。又動輪の回轉數が非常に少いときや、縮切が遅いときは蒸気の膨脹が充分に出来ないこと、過熱が充分に行はれないこと等から蒸氣消費量を増加することとなる。

従つて或る適當な動輪回轉數及び縮切の點で蒸氣消費量の最も少い處があることが考へられる。之が即ち一指示馬力時當り最少蒸氣消費量の點である。一

指示馬力時當最少蒸氣消費量は罐の使用圧力によつて次の様な値を採用して居る。

| 罐使用圧力 (圧/平方匁) | 一指示馬力時當最少蒸氣消費量 (圧) |
|---------------|--------------------|
| 13 | 6.75 |
| 14 | 6.55 |
| 15 | 6.35 |
| 16 | 6.15 |

(3) 最大指示馬力

最大指示馬力を算出するには、罐の蒸發量を一指示馬力時當最少蒸氣消費量で除せば求め得られる。これを式で表せば次の通りである。

$$HP_m = \frac{Q}{S} \dots\dots\dots(13)$$

茲に HP_m = 最大指示馬力

Q = 罐の蒸發量 (圧/時)

S = 一指示馬力時當最少蒸氣消費量 (圧)

【問題】 C56 形式機關車が一時間の蒸發量 3000 圧を發生せるときの最大指示馬力を求めよ。但し罐の使用圧力は 14 圧/平方匁である。

(4) 最大指示馬力發生の時の指示牽引力

牽引力を求める一般式は先に述べたやうに

$$T = \frac{pd^2l}{D} \times \frac{n}{2}$$

で表される。然るに蒸氣の平均有効圧力 p を除いた他のものは機關車毎に定まつた數値であるから、最大指示馬力發生のときの指示牽引力を求めるには、結局 p の値を知ることによつて容易に計算することが出来る。従つてこの場合の指示牽引力は次のやうに表される。

$$T_m = \frac{p_m d^2 l}{D} \times \frac{n}{2} \dots\dots\dots(14)$$

茲に T_m = 最大指示馬力發生の時の指示牽引力 (圧)

p_m = 最大指示馬力發生の時の蒸氣の平均有効圧力 (圧/平方匁)

d = シリンダの直徑 (匁)

l = ピストンの行程 (匁)

D = 動輪直徑 (匁)

n = シリンダの數

p_m の値は 一指示馬力時當最少蒸氣消費量が罐の使用圧力によつて相違すると同じく、矢張り罐の使用圧力によつて變化するものである。即ち罐の使用圧力の高いものは同量の蒸氣を使用しても、其の平均有効圧力が高くなるからである。今其の値を示すと次の通りである。

| 罐の使用圧力 (圧/平方匁) | 最大指示馬力發生の時のシリンダの平均有効圧力 (圧/平方匁) |
|----------------|--------------------------------|
| 13 | 3.71 |
| 14 | 3.82 |
| 15 | 3.93 |
| 16 | 4.04 |

(5) 最大指示馬力發生の時の速度

機關車の馬力、牽引力及速度の關係は先に述べた通り

$$HP = \frac{TV}{270}$$

で表はさるが、最大指示馬力、最大指示馬力發生の時の牽引力及速度に就てもこの關係は適用されるものである。即ち

$$HP_m = \frac{T_m V_m}{270}$$

従つて

$$V_m = \frac{270 HP_m}{T_m} \dots\dots\dots(15)$$

茲に V_m = 最大指示馬力發生の時の速度 (軒/時)

HP_m = 最大指示馬力

T_m = 最大指示馬力發生の時の指示牽引力 (圧)

本式により V_m は HP_m 及 T_m の値が判れば容易に算出することが出来る。

【問題】 C57 形式機関車が罐の蒸發量 7000 疋を發生するときの最大指示馬力、此の場合の指示牽引力 (T_m) 及速度 (V_m) を求めよ。
但しシリンダ直徑 500 耗、ピストン行程 660 耗、動輪直徑 1750 耗、罐の使用圧力 16 疋/平方糎、シリンダ數 2 箇。

(6) 任意の速度に於ける指示馬力

任意の速度に於ける指示馬力は、最大指示馬力を求めると同じ方法で罐の蒸發量と、此の速度に於ける一指示馬力時當りの蒸氣消費量との二つを知れば直ちに求めることが出来る。即ち

$$HP = \frac{Q}{S_1} \dots\dots\dots(16)$$

茲に HP = 任意の速度に於ける指示馬力

Q = 罐の蒸發量 (疋/時)

S_1 = 一指示馬力時當り蒸氣消費量 (疋)

又この指示馬力を次の方法に依つても計算することが出来る。即ち

$$HP_m = \frac{Q}{S}$$

から

$$Q = S \times HP_m$$

これを前の指示馬力の算式に代入すると

$$HP = HP_m \times \frac{S}{S_1}$$

而して $\frac{S}{S_1}$ は一指示馬力時當最少蒸氣消費と、一指示馬力時當蒸氣消費量との比で、これを η とすれば任意の速度に於ける指示馬力は次の様にして求むることが出来る。

$$HP = HP_m \times \eta \dots\dots\dots(17)$$

茲に HP = 任意の速度に於ける指示馬力

HP_m = 最大指示馬力

$$\eta = \frac{S}{S_1} = \frac{\text{一指示馬力時當最少蒸氣消費量}}{\text{一指示馬力時當蒸氣消費量}}$$

η の値は本省運輸局では次の式を採用して居る。

$$\eta = 0.6 \left(2 - \frac{V}{V_m} \right) \frac{V}{V_m} + 0.4 \quad V < V_m \text{ の場合 } \dots\dots\dots(18)$$

$$\eta = 0.5 \left(3 - \frac{V}{V_m} \right) \sqrt{\frac{V}{V_m}} \quad V > V_m \text{ の場合 } \dots\dots\dots(19)$$

茲に V = 任意の速度 (杆/時)

V_m = 最大指示馬力發生の時の速度 (杆/時)

此の値は前述の通り一指示馬力時當りの最少蒸氣消費量と、任意の速度に於ける蒸氣消費量との比であるから、常に 1 以下である。

【問題】 C11 形式機関車が 50 杆/時の速度で走行せるとき、一指示馬力時當蒸氣消費量が 7.2 疋なりと云ふ。一時間の蒸發量 4000 疋とすれば、此の場合の指示馬力幾何なるか。但し機関車の罐使用圧力は 15 疋/平方糎である。

(7) 任意の速度に於ける指示牽引力

任意の速度に於ける指示馬力は、前述の様に最大指示馬力に一指示馬力時當最少蒸氣消費量と、任意の速度に於ける蒸氣消費量との比を乗じたものである。即ち

$$HP = HP_m \times \eta$$

又一般に $HP = \frac{TV}{270}$ 、 $HP_m = \frac{T_m V_m}{270}$ の関係のあることは先に述べた通りであるから、上式に之等の値を代入すると

$$HP = \frac{TV}{270} = \frac{T_m V_m}{270} \times \eta$$

従つて $\frac{TV}{270} = \frac{T_m V_m}{270} \times \eta$

故に $T = T_m \left(\frac{V_m}{V} \times \eta \right) \dots\dots\dots(20)$

又 $\frac{TV}{270} = HP_m \times \eta$

故に $T = \frac{270 HP_m}{V} \times \eta \dots\dots\dots(21)$

茲に T = 任意の速度に於ける指示牽引力 (瓩)

T_m = 最大指示馬力發生の時の指示牽引力 (瓩)

V_m = 最大指示馬力發生の時の速度 (杆/時)

V = 任意の速度 (杆/時)

$$\eta = \frac{\text{一指示馬力時當最少蒸氣消費量}}{\text{一指示馬力時當蒸氣消費量}}$$

HP_m = 最大指示馬力

以上の方法に依つて各速度に於ける指示牽引力を求むることが出来る。次の表は主要形式機關車の指示牽引力を示せるものである。

| 速度 (杆/時) | C 12 | C 11 | 8620 | C 50 | C 58 | C 51 | C 55 | C 57 | C 53 | 9600 | D 50 | D 51 |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 8760 | 11400 | 10920 | 11700 | 16010 | 17120 | 17120 | 18300 | 22240 | 15700 | 22650 | 23100 |
| 15 | 6660 | 8630 | 8250 | 8970 | 11930 | 12720 | 12640 | 13500 | 16360 | 11920 | 16980 | 17260 |
| 20 | 5540 | 7160 | 6860 | 7425 | 9820 | 10470 | 10340 | 11060 | 13350 | 10550 | 14020 | 14200 |
| 30 | 4270 | 5530 | 5300 | 5740 | 7570 | 8060 | 7940 | 8480 | 10200 | 7490 | 10820 | 10950 |
| 40 | 3500 | 4560 | 4360 | 4740 | 6300 | 6710 | 6610 | 7070 | 8500 | 6280 | 9000 | 9120 |
| 50 | 2910 | 3860 | 3680 | 4040 | 5430 | 5790 | 5720 | 6120 | 7370 | 5250 | 7700 | 7840 |
| 60 | 2430 | 3270 | 3110 | 3450 | 4750 | 5070 | 5060 | 5410 | 6530 | 4420 | 6690 | 6860 |
| 70 | 2040 | 2800 | 2640 | 2850 | 4180 | 4480 | 4510 | 4820 | 5850 | 3710 | 5820 | 6040 |
| 80 | 1700 | 2380 | 2240 | 2550 | 3690 | 3960 | 4040 | 4330 | 5280 | | 5070 | 5300 |
| 90 | | 2030 | 1900 | 2180 | 3260 | 3510 | 3630 | 3880 | 4770 | | | |
| 100 | | | | | | 3100 | 3260 | 3480 | 4310 | | | |

註 本表は蒸發量の算式中石炭發熱量を6,500カロリーとして計算したものである。

【問題】 C53形式の最大指示馬力發生のときの指示牽引力4380瓩、速度92杆/時の機關車が速度85杆/時に運轉する場合の指示牽引力並に此の時のシリンダの蒸氣の平均有効圧力を求めよ。但し本機關車はシリンダ直徑450耗、ピストン行程660耗、動輪直徑1750耗、シリンダ数は3箇である。

2. 本省運輸局式飽和蒸氣機關車牽引力算出方法

飽和蒸氣機關車の牽引力算出方法は全くストラール氏の方法と同じである。此の方法は先に説明した過熱蒸氣機關車の牽引力算出方法と類似の點が多い

が、唯異なる點は罐の蒸發量を求めないで、直接に最大指示馬力を求め、これから牽引力を算出するのである。これは何れの場合にも石炭から得る熱量は同一であると考へたもので、燃焼率も相當高くなつてゐる。之は一見不合理の如く見えるが、飽和蒸氣機關車は火格子面積も小さく、燃焼率を大きくしても機關助士の作業から考へて左程困難でないから斯様に定めたものである。

斯様な點から飽和蒸氣機關車は、過熱蒸氣機關車の牽引力算出法と異り、次の順序に依つて之を求めて居る。

- (1) 最大指示馬力
- (2) 最大指示馬力發生の時の指示牽引力
- (3) 最大指示馬力發生の時の速度
- (4) 任意の速度に於ける指示馬力
- (5) 任意の速度に於ける指示牽引力

(1) 最大指示馬力

最大指示馬力は過熱蒸氣機關車と同じく、罐の蒸發量と一指示馬力時當蒸氣消費量の二つに依つて定まるから、一應之等を吟味する必要がある。罐の蒸發量は石炭の燃焼率、火格子面積の大きさ、石炭發熱量、罐の効率(石炭の燃焼率と傳熱面積並に火格子面積に關係する)及び蒸氣1瓩を作るに必要な熱量に支配されるが、飽和蒸氣機關車の場合は燃焼率と石炭の發熱量との乗積、即ち火格子1平方米當り1時間投炭した石炭の熱量は一定であると考へて居る。又罐の効率は燃焼率が一定であると假定したので、其の値は傳熱面積と火格子面積との割合によつてのみ異なるのと考へ方である。

蒸氣1瓩を作るに必要な熱量は罐の使用圧力が多少異つても、其の値には餘り差がないから、總ての場合に一定と考へて差支ない。

以上の理由に依つて罐の蒸發量は結局火格子面積の大小、傳熱面積と火格子面積の割合に依つて變化すると考へられる。

次に一指示馬力時當最少蒸氣消費量は、過熱機關車の場合と同じく、罐の使用圧力に依つて變化する。即ち圧力の高いものは低いものに比較して利益である。

以上の諸因子を吟味した結果最大指示馬力は次の算式に依つて求めて居る。

$$HP_m = \frac{CG}{1 + 7\left(\frac{G}{H}\right)} \dots\dots\dots(22)$$

茲に HP_m = 最大指示馬力

G = 火格子面積 (平方米)

H = 火の側の傳熱面積 (平方米)

C = 罐の使用圧力並に單式又は複式に依つて相違する定數である

C の 値

| 罐の使用圧力(圧/平方匁) (ゲージ) | 10 | 10.5 | 11 | 11.5 | 12 | 12.5 | 13 |
|------------------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 單式 機 關 車 | 348 | 353 | 359 | 364 | 370 | 376 | 381 |

【問題】 次の飽和機關車の最大指示馬力を求めよ。

| 機關車形式 | 火格子面積 (平方米) | 傳熱面積 (平方米) | 罐の使用圧力 (圧/平方匁) |
|-------|----------------|---------------|-------------------|
| 2120 | 1.31 | 84.4 | 12.5 |
| 5500 | 1.33 | 73.0 | 12.0 |
| 8550 | 1.56 | 99.2 | 13.0 |

(2) 最大指示馬力發生の時の指示牽引力

牽引力の一般式は先に述べたやうに

$$T = \frac{pd^2l}{D} \times \frac{n}{2}$$

で表はされる。然るに蒸氣の平均有効圧力 p を除いた他のものは機關車毎に一定の値であるから、最大指示馬力發生の時の指示牽引力を求めるには結局 p の値を知ることによつて容易に計算することが出来る。従つて此の場合の指示牽引力は次の様に表される。

$$T_m = \frac{p_m d^2 l}{D} \times \frac{n}{2} \dots\dots\dots(23)$$

茲に T_m = 最大指示馬力發生の時の牽引力 (匁)

p_m = 最大指示馬力發生の時の蒸氣の平均有効圧力 (圧/平方匁)

d = シリンダ直徑 (匁)

l = ピストン行程 (匁)

D = 動輪直徑 (匁)

n = シリンダ數

p_m は罐の使用圧力に關係するもので、單式機關車では次のやうな値を採用して居る。

| 罐の使用圧力(圧/平方匁) (ゲージ) | 10 | 10.5 | 11 | 11.5 | 12 | 12.5 | 13 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 單式 機 關 車 | 3.38 | 3.44 | 3.49 | 3.55 | 3.60 | 3.65 | 3.71 |

【問題】 次の寸法を有する飽和機關車の最大指示馬力發生時の指示牽引力を求めよ

| 機關車形式 | シリンダ直徑 (匁) | ピストン行程 (匁) | シリンダ數 | 動輪直徑 (匁) | 罐使用圧力 (圧/平方匁) |
|-------|---------------|---------------|-------|-------------|------------------|
| 2120 | 406 | 610 | 2 | 1250 | 12.5 |
| B 10 | 406 | 559 | 2 | 1400 | 11.0 |

(3) 最大指示馬力發生の時の速度

機關車の馬力、牽引力及び速度の關係は先に述べた通り

$$HP = \frac{TV}{270}$$

で表はされるが、最大指示馬力、最大指示馬力發生の時の牽引力及び速度に就てもこの關係は適用されるものである。即ち

$$HP_m = \frac{T_m V_m}{270}$$

$$\text{従つて } V_m = \frac{270 HP_m}{T_m} \dots\dots\dots(24)$$

茲に V_m = 最大指示馬力發生の時の速度 (軒/時)

HP_m = 最大指示馬力

T_m = 最大指示馬力發生の時の牽引力 (匁)

本式に依つて V_m は HP_m 及び T_m の値が解れば容易に算出することが出来る。

(4) 任意の速度に於ける指示馬力

最大指示馬力を知つて、之から任意の速度に於ける指示馬力を求める方法は過熱蒸氣機關車の場合と全く同様で、最大指示馬力に最大指示馬力と任意の速

度に於ける指示馬力との比を乗じて求めることが出来る。即ち

$$HP = HP_m \times \eta \dots\dots\dots(25)$$

茲に HP = 任意の速度に於ける指示馬力

HP_m = 最大指示馬力

η = 最大指示馬力と任意の速度に於ける指示馬力との比 (1 以下の数値)

η の値は過熱機関車の場合と同じく本省運輸局では次の式を採用して居る。

$$\eta = 0.6 \left(2 - \frac{V}{V_m} \right) \frac{V}{V_m} + 0.4 \quad V < V_m \text{ の場合}$$

$$\eta = 0.5 \left(3 - \frac{V}{V_m} \right) \sqrt{\frac{V}{V_m}} \quad V > V_m \text{ の場合}$$

茲に V = 任意の速度 (秆/時)

V_m = 最大指示馬力を發生する時の速度 (秆/時)

(5) 任意の速度に於ける指示牽引力

任意の速度に於ける指示馬力は、前に述べた通り最大指示馬力に最大指示馬力と、任意の速度に於ける指示馬力との比を乗じたものである。即ち

$$HP = HP_m \times \eta$$

又一般に $HP = \frac{TV}{270}$, $HP_m = \frac{T_m V_m}{270}$ の関係にあることは先に述べた通りであるから、上式に之等の値を代入すると

$$HP = \frac{TV}{270} = \frac{T_m V_m}{270} \times \eta$$

従つて $\frac{TV}{270} = \frac{T_m V_m}{270} \times \eta$

$$\therefore T = T_m \left(\frac{V_m}{V} \times \eta \right) \dots\dots\dots(26)$$

又 $\frac{TV}{270} = HP_m \times \eta$

$$\therefore T = \frac{270 HP_m}{V} \times \eta \dots\dots\dots(27)$$

茲に T = 任意の速度に於ける指示牽引力 (瓩)

T_m = 最大指示馬力を發生する時の指示牽引力 (瓩)

V_m = 最大指示馬力を發生する時の速度 (秆/時)

V = 任意の速度 (秆/時)

η = 最大指示馬力と任意の速度の時の指示馬力との比

HP_m = 最大指示馬力

以上の方法によつて各速度に於ける指示牽引力を求めることが出来る。

B 10 形式飽和蒸氣機関車に對する指示牽引力を示せば次の通りである。

| 速 度 (秆/時) | 牽 引 力 (瓩) |
|-----------|-----------|
| 10 | 7300 |
| 20 | 4620 |
| 30 | 3560 |
| 40 | 2900 |
| 50 | 2370 |
| 60 | 1945 |
| 70 | 1610 |
| 80 | 1305 |

【問題】 2120形式機関車の各速度に於ける指示牽引力を求めよ。但し本機関車の主要寸法は次の通りである。

| | |
|----------------|------|
| 火格子面積 (平方米) | 1.31 |
| 全傳熱面積 (平方米) | 84.4 |
| 罐の使用圧力 (瓩/平方瓩) | 12.5 |
| シリンダ直径 (耗) | 406 |
| ピストン行程 (耗) | 610 |
| 動輪直径 (耗) | 1250 |
| シリンダ數 | 2 |

第五節 粘 着 力

粘着力とは動輪と軌條との間に生ずる摩擦力で、シリングにて發生する牽引力又は車輪と制輪子との間に生ずる制動力に對抗して踏張る力である。若し此の粘着力が不充分なときは、動輪は空轉して前進することが出来ないし、又制動の際には車輪は滑走して、制動力を充分に發揮することは出来ないものである。

一般に粘着力は動輪上の重量に軌條と動輪との間の摩擦係數、即ち粘着係數を乗じて求め得るものである。

今 $T_a =$ 粘着力 (疋)

$W_a =$ 動輪上重量 (疋)

$\mu =$ 軌條と動輪との間に於ける粘着係數

とすれば

$$T_a = W_a \times \mu \dots\dots\dots(28)$$

となる。而して此の粘着力は動輪の周圍に作用する牽引力、即ちシリング内の蒸氣圧力によつて生ずる牽引力が増加するに従つて、漸次増加する性質を有して居るものであるが、無限に増加するものではなく、或る大さ、即ち最大粘着力まである。若し最大粘着力に相當するより以上に動輪の周圍に作用する牽引力を増加すれば、機關車は空轉して前進することが出来なくなる。この理由は機關車が空轉しないで前進し得る爲には、粘着力 (T_a) と動輪の周圍に作用する牽引力 (T_s) との間には次の關係があるからである。

$$T_a \geq T_s$$

即ち機關車が空轉しないで運轉し得る爲には、粘着力は動輪の周圍に作用する牽引力よりも大なるか、又はこれと等しくなければならぬことが必要な條件となつて居るからである。

動輪上の重量が變化しないに拘、粘着力が漸次増加することは、結局粘着係數が變化し漸次増加したことになるので、従つて最大粘着力を發揮する場合に於ける粘着係數は最大粘着係數となる譯である。普通吾々が稱して居る粘着係數とは、これを指して云つて居るのである。

粘着係數は軌條面の状態に依つて相違するものと云はれ、大體次のやうな値を示すものと見られて居る。

| 軌 條 の 状 態 | 粘 着 係 數 | |
|------------------------|-----------|-----------|
| | 撒砂せざる時 | 撒砂せる時 |
| 清潔にして乾燥して居るとき | 0.25~0.30 | 0.35~0.40 |
| 濕潤して居るとき | 0.18~0.20 | 0.22~0.25 |
| 霜を帯びて居るとき | 0.15~0.18 | 0.22 |
| 塵に蔽はれて居るとき | 0.15 | 0.20 |
| 油氣を帯びて居るとき又は雪に蔽はれて居るとき | 0.10 | 0.15 |

又粘着力は機關車の運轉速度が高くなるに従ひ漸次減少するものと考へられて居る。その理由は速度が高くなると不釣合重量及動搖のため、機關車の動輪上の重量が一時的に軽くなるためである。又この場合動輪上重量を靜止中の状態に等しいと考へれば、粘着係數が小さくなるものとも考へることが出来る。今まで實驗したものに依ると、動輪上重量の減少を考へることは困難なので、大概粘着係數が減少したものとつて發表して居るものが多いやうである。

普通運轉計畫上の粘着係數の値は、我國では $\frac{1}{4.5}$ を採用して居る。然しこの値は動輪周に現はれる粘着係數なる故、これを其の儘使用するに不便が多いため、次の理由によつて指示粘着係數なるものが使用されて居る。

即ち後に述べるやうに、牽引重量及び其の他のものを算出する基となる引張棒牽引力は、シリング牽引力と粘着力とを比較して、其の何れか小なるものより機關抵抗を含んだ機關車走行抵抗を差引いて求めて居るが、シリング牽引力は指示牽引力であるに拘、この粘着力は動輪周に現はれるものであるから機關車走行抵抗算式が機關抵抗を含んだものを使用する以上は、この粘着力はこれをシリング牽引力と釣合はすために指示粘着力となす必要があり、従つてこの指示粘着力に対する指示粘着係數も當然考へられるのである。

指示粘着係數を求めるとは、シリング牽引力が動輪周牽引力として作用する場合、機關抵抗のために機械効率が 90% 程度となるものと考へられて居ると同じ考へで、動輪周の粘着力は指示粘着力の 90% に相當するものと假定し、逆に指示粘着力を求め、これに対する粘着係數を指示粘着係數とすればよいこ

といなる。

従つて動輪周の粘着力に対する粘着係数を $\frac{1}{4.5}$ とすれば、この數値が指示粘着係数の90%に當るから指示粘着係数は大凡 $\frac{1}{4}$ となる。

即ち現在ではこの $\frac{1}{4}$ の數値を使用して指示粘着力を求めて居る。

代表的機關車の粘着力を指示粘着係数を $\frac{1}{4}$ として計算せる場合のものを示せば次表の通りである。

| 機 關 車 形 式 | 動輪上重量 (噸) | 粘 着 力 (瓩) |
|-----------|-----------|-----------|
| C 56 | 31.76 | 7940 |
| C 12 | 32.02 | 8000 |
| C 10 | 37.81 | 9460 |
| C 11 | 36.69 | 9180 |
| C 50 | 43.35 | 10835 |
| 8620 | 41.46 | 10265 |
| C 51 | 44.58 | 11145 |
| C 53 | 46.27 | 11565 |
| C 54 | 40.26 | 10065 |
| C 55 | 40.72 | 10180 |
| C 57 | 41.32 | 10330 |
| C 58 | 40.50 | 10125 |
| D 50 | 58.79 | 14700 |
| D 51 | 57.65 | 14415 |
| 9600 | 52.73 | 13185 |
| 4110 | 65.27 | 16320 |

【問題】(1) 貨物列車用機關車は設計上動輪直徑小さく、動輪軸数を多くする理由如何。
 (2) 動輪上重量42噸の機關車が指示牽引力を6500瓩及8500瓩發揮して運轉せる場合の粘着係数を求めよ。

第五節 指示粘着力とシリンダ牽引力との關係

機關車が進行する場合、動輪の周圍に作用する牽引力を考へると、之が空轉しないで進行するのはシリンダ牽引力から動輪に關係のある各部摩擦抵抗、即ち機關抵抗を差し引いた動輪周牽引力と、動輪と軌條との間の粘着力が釣合の状態で働いて居るからであるが、動輪周に於ける粘着力を指示粘着力としてシリンダ牽引力と釣合せる場合に於ても、この關係は成立するものである。

粘着力は先に述べた通り、動輪上の重量に粘着係数を乗じたものであるから指示粘着力も亦動輪上重量に指示粘着係数を乗じて得られる筈である。即ち

$$\text{指示粘着力} = W_a \times \mu'$$

茲に $W_a = \text{動輪上重量 (瓩)}$

$\mu' = \text{指示粘着係數}$

又シリンダ牽引車は

$$T_c = \frac{0.85 P d^2 l}{D} \times \frac{n}{2}$$

で表はされるから、シリンダ牽引力即ち最大牽引力を發揮する場合に於ても空轉しないで機關車を前進せしむることが出来るものとすれば、此の兩式より最大の指示粘着係數を計算することが出来る。即ち機關車はシリンダ牽引力に相當する牽引力を發揮せんとすれば、機關車はこの最大の粘着係數を發揮しなければならないことになるのである。

今兩式から最大の指示粘着係數を求めると次のやうになる。

$$T_c = \frac{0.85 P d^2 l}{D} \times \frac{n}{2} = W_a \times \mu'$$

$$\therefore \mu' = \frac{0.85 P d^2 l_n}{2 D W_a} \dots\dots\dots(29)$$

此の値を主要機關車に就て求めて見ると次表の通りである。この中C50及び8620形式を除いては皆相當大なる値であるが、斯様な値を實際運轉に際して機關士に保たしめることは無理であるから、運轉の安全から餘裕を見込み、運轉計畫上の指示粘着係數としては前に述べたやうに $\frac{1}{4}$ を採用して居る譯である。

| 機関車形式 | シリンダ牽引力 (kg) | 動輪上重量 (kg) | 最大指示粘着係数 |
|-------|-----------------|---------------|------------------|
| C 56 | 8290 | 31760 | $\frac{1}{3.84}$ |
| C 12 | 8290 | 32020 | $\frac{1}{3.86}$ |
| C 10 | 9840 | 37810 | $\frac{1}{3.85}$ |
| C 11 | 9840 | 36690 | $\frac{1}{3.74}$ |
| 8620 | 9300 | 41460 | $\frac{1}{4.47}$ |
| C 50 | 10020 | 43350 | $\frac{1}{4.33}$ |
| C 58 | 12570 | 40500 | $\frac{1}{3.23}$ |
| C 51 | 11700 | 44580 | $\frac{1}{3.84}$ |
| C 54 | 11680 | 40260 | $\frac{1}{3.45}$ |
| C 55 | 11680 | 40720 | $\frac{1}{3.48}$ |
| C 57 | 12820 | 41320 | $\frac{1}{3.23}$ |
| C 53 | 12660 | 46270 | $\frac{1}{3.65}$ |
| 9600 | 13925 | 53440 | $\frac{1}{3.84}$ |
| D 50 | 16970 | 58790 | $\frac{1}{3.46}$ |
| D 51 | 17000 | 57650 | $\frac{1}{3.4}$ |

- 【問題】 (1) 設計上より見て如何なる機関車は空轉し易いか。
 (2) 機関車の設計上シリンダ牽引力と粘着力と何れを大ならしむ方が運轉上有利なるや。
 (3) 次の甲乙兩機関車は何れが有利なるか。

| | シリンダ牽引力 (kg) | 指示粘着力 (kg) |
|-------|--------------|------------|
| 甲 機関車 | 10000 | 11000 |
| 乙 機関車 | 11000 | 10000 |

第七節 速度と牽引力との關係

1. 牽引力が速度に依つて變化する理由

機関車の牽引力は速度に依つて變化するものである。即ち低速度の場合には牽引力は大きい、高速度になるに従つて漸次小さくなるのである。此の理由は凡そ次の事が原因するものと考へられる。即ち

- (1) 罐の蒸發量に制限があること。
- (2) 速度が増加するに従つて一定時間内のピストンの行程數が増加するから一行程當りに割當てられた蒸氣量が減少すること。
- (3) 一行程當りの蒸氣消費量が減少する結果、シリンダ内の平均有効圧力が減少すること。
- (4) シリンダ内の平均有効圧力が低下すれば牽引力は其の低下に比例して減少すること。
- (5) 速度が高くなれば機関車の抵抗が増加するから、正味の牽引力は小さくなること。

火床上で石炭を燃焼し發生した熱に依つて、罐水を蒸發せしめるのが蒸氣機関車の罐の特性であるが、無制限に多量の石炭を燃やすことは火格子面積に限りがあり、又燃焼に必要な空氣の補給が間に合はない等の點からも一定の限度があるので、従つて此の熱を傳へて蒸發する蒸氣量にも限度があることが判る譯である。

然るに運轉速度が増加するに従ひ、一定時間内に於けるピストン行程數はこれに比例して増加する。一定時間内の蒸發量には限度があるとすれば、速度が2倍となればピストン一行程當りに供給される蒸氣量は $\frac{1}{2}$ となるから、結局高速度になると締切を早めて運轉しなければならないやうになる。

ピストンの一行程當り蒸氣量が減少することは、機関車牽引力を表す一般式

$$T = \frac{pd^2l}{D} \times \frac{n}{2}$$

中の平均有効圧力 p が減少することであるから、結局牽引力 T も之に比例して低下することとなるのである。

2. シリンダ牽引力を發揮して運轉し得る臨界速度

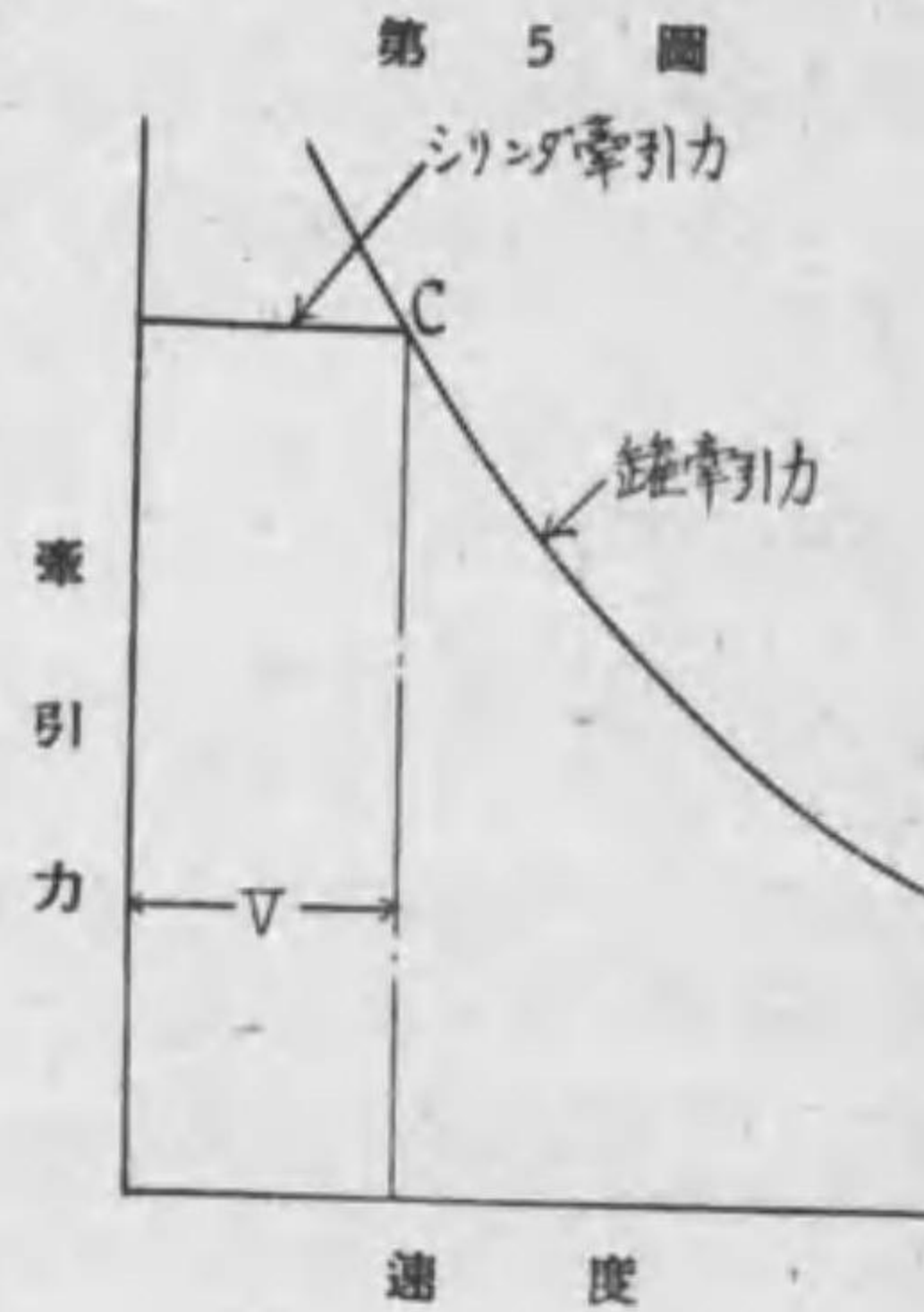
機關車の速度が低いときは、一定時間内のピストン行程数が少いから、遅い縮切で運轉しても蒸氣の供給に不足することはないが、漸次速度が増加するに従つて蒸氣が十分に供給されない爲、其の儘の縮切で運轉することは出来なくなり、縮切を引上げ運轉しなければならないやうになる。

斯様に遅い縮切、即ち最大縮切程度で運轉し得る最大限度の速度を、シリンダ牽引力に依る臨界速度と稱して居る。即ち第5圖に示すシリンダ牽引力と罐牽引力の交點の速度がそれである。つまりこの速度以上ではシリンダ牽引力は罐の蒸發量に制限されることを意味するものである。この臨界速度は機關車の形式に依つて一様でなく、又同一形式機關車でも蒸發量の多少によつて異つて來るもので、大凡次のものに依つて變化するものである。

- (1) 罐の蒸發量の大小
- (2) 機關車設計上の最大縮切
- (3) シリンダの容積
- (4) 動輪の直徑

罐の蒸發量が大きいときは、相當高い速度まで最大縮切で運轉出来るが、蒸發量の少いときは低速度に於て既に限界の速度に達するものである。この點から考へると、臨界速度は蒸發量に正比例するとも考へられる。従つて同一機關車で燃焼率を大ならしめるとか、或は優良な石炭等を使用することによつて蒸發量を大ならしめた場合は、これよりも少い場合に比して臨界速度は高くなる譯である。

設計上の最大縮切に就ては、最大縮切が75%のものとは80%のものとは、罐の蒸發量が同一の場合は最大縮切の早い75%の方が其の臨界速度は高くなる



第 5 圖

こととなる。

シリンダ容積の大きいものは、同一最大縮切でもピストンの一行程に使用する蒸氣量が増加するから、早く蒸氣の不足を來すやうになるので、臨界速度は低くなる。

動輪の直徑もこの臨界速度に影響を及ぼす一因子であつて、ピストンの行程数は同一でも、動輪直徑の大きい機關車は一回轉中に走行する距離が大きいので其の臨界速度は高くなる。

臨界速度を求むるには罐の牽引力を運輸局式を使用する場合は次の式に依つて計算し得られる。

$$V = \frac{\sqrt{\left(\frac{T}{2.7HP_m} - \frac{120}{V_m}\right)^2 + \frac{9600}{V_m^2}} - \left(\frac{T}{2.7HP_m} - \frac{120}{V_m}\right)}{\frac{120}{V_m^2}} \dots\dots (30)$$

茲に V=臨界速度 (軒/時)

HP_m=最大指示馬力

V_m=最大指示馬力發生の時の速度 (軒/時)

T=臨界速度に對するシリンダ牽引力又は粘着力 (磅)

この式に依つて求めた主要形式機關車の臨界速度を示せば次の通りである。

| 機 關 車 形 式 | シリンダ牽引力を發揮し得る臨界速度 (軒/時) | 機 關 車 形 式 | シリンダ牽引力を發揮し得る臨界速度 (軒/時) |
|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|
| C 56 | 11.3 | C 54 | 17.2 |
| C 12 | 11.3 | C 55 | 17.2 |
| C 10 | 11.1 | C 57 | 16.3 |
| C 11 | 11.1 | C 58 | 13.9 |
| C 50 | 12.6 | D 50 | 15.2 |
| 8620 | 12.5 | D 51 | 15.2 |
| C 51 | 16.9 | 9600 | 11.9 |
| C 53 | 18.9 | | |

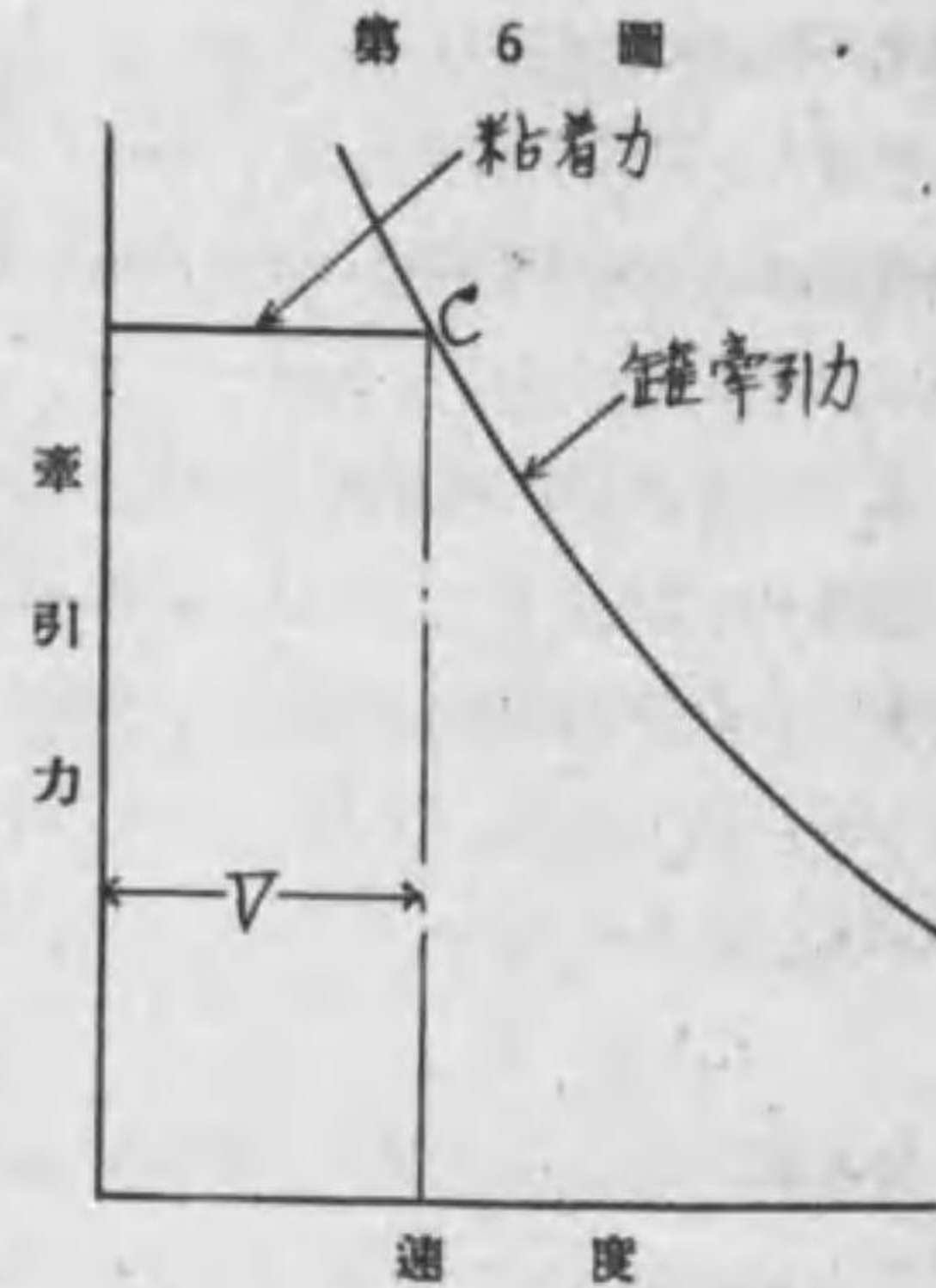
3. 計畫粘着力を發揮して運轉し得る臨界速度

シリンダ牽引力で運轉し得る臨界速度は、この速度以上では蒸氣の供給不良なるため、蒸氣の最大縮切を使用することが出来ない限界であるが、計畫粘着

力で運轉し得る臨界速度とは、計畫の粘着力で運轉し得る最大速度を云ふので、之以上の速度では牽引力は罐の蒸發量に制限せられることを意味するものである。即ち第6圖に示すやうに、最大粘着力と罐牽引力との交點の速度が、粘着力による臨界速度である。

この臨界速度を求めるには、シリンダ牽引力に依る場合の臨界速度を求めると同様な式を用ひることによつて得らるゝものである。

以上の方法に依つて求めた主要形式機關車の計畫粘着力に依る臨界速度を示せば次の通りである。



| 機 關 車 形 式 | 計畫粘着力で運轉し得る臨界速度 (軒/時) | 機 關 車 形 式 | 計畫粘着力で運轉し得る臨界速度 (軒/時) |
|-----------|-----------------------|-----------|-----------------------|
| C 56 | 13.7 | C 54 | 24.3 |
| C 12 | 13.4 | C 55 | 24.0 |
| C 10 | 14.4 | C 57 | 25.9 |
| C 11 | 15.1 | C 58 | 21.9 |
| C 50 | 12.8 | D 50 | 21.2 |
| 8620 | 12.1 | D 51 | 23.2 |
| C 51 | 20.7 | 9600 | 14.7 |
| C 53 | 27.3 | | |

4. 牽引力を制限する因子

牽引力發生の根源はシリンダのピストンに作用する蒸氣の圧力に依るものであるが、次の三つの理由に依つて制限を受けるものである。普通之を牽引力を制限する三因子と稱して居る。

(1) 粘 着 力

機關車が如何に大きな牽引力を發揮しやうとしても、動輪と軌條との間の粘着力が充分でないときは、機關車は空轉して前進することが出来ない。即ち機

關車の動輪の周圍に發揮する牽引力は、常に動輪と軌條との間に發生し得る最大粘着力を超過してはならないので、シリンダでより以上の牽引力を發揮する能力を持つて居ても動輪が空轉するため、其の力を充分に利用することが出来ないから、結局粘着力は機關車の牽引力を制限する一因子となるのである。

(2) シリンダの大きさ

動輪上の重量が重く、砂マキ装置が完全で、粘着力を充分に利用し得る状態にあつても、シリンダで發揮する牽引力が小さいときは、大きな牽引力を發揮することが出来ない。即ちシリンダの大きさも亦機關車の牽引力を制限する一因子となるものである。

(3) 罐 の 大 さ

機關車の罐は如何に多くの石炭を燃焼せしめやうとしても、火室及び傳熱面の構造並に通風の狀態等により、罐の蒸氣發生量には一定の限度がある。従つて蒸氣の發生量も或る量以上に増加することは出来ないから、機關車が高速度運轉をなすに従つて一定時間内に於けるピストンの行程數が増加するので、蒸氣の消費量も多くなり、勢ひ縮切を早くして運轉しないと蒸氣が間に合はなくなるやうになる。縮切を早める結果はピストンに作用する蒸氣の平均有効圧力の減少となるので、勢ひ牽引力が低下する。即ち罐の蒸氣發生量も牽引力を制限する一因子となるものである。

5. 機關車の利用し得る牽引力

前項に於て述べたやうに、機關車の牽引力はシリンダの大きさ、粘着力及び罐の大きさによつて制限されるものであるから、機關車の利用し得る牽引力は之等三つのものを比較して、其の内最も小なるものを採らなければならないのである。次表はC57形式機關車の之等三つの牽引力を掲げ、之より機關車の利用し得る牽引力を求めたものである。

| 速 度 (軒/時) | 指 示 牽 引 力 (kg) | | | |
|--------------|----------------|-------|-------|----------|
| | シリンダ牽引力 | 粘 着 力 | 離牽引力 | 利用し得る牽引力 |
| 0 | 12830 | 10330 | | 10330 |
| 10 | 12830 | 10330 | 18300 | 10330 |
| 20 | 12830 | 10330 | 11060 | 10330 |
| 30 | 12830 | 10330 | 8480 | 8480 |
| 40 | | | 7070 | 7070 |
| 50 | | | 6120 | 6120 |
| 60 | | | 5410 | 5410 |
| 70 | | | 4820 | 4820 |
| 80 | | | 4330 | 4330 |
| 90 | | | 3880 | 3880 |
| 100 | | | 3480 | 3480 |

第四章 列車抵抗

第一節 列車抵抗の種類

列車が線路上を運轉するには相當大きな力を必要とする。これは機關車自身と、之に連結せられる車輛の抵抗力に打勝たなければならないからである。即ち列車を運轉するときには摩擦に因る抵抗や、勾配を上るとき抵抗或は速度を増加せしめる爲の抵抗等種々な抵抗があつて、之等が列車の進行を妨げるものである。普通之等を總稱して列車抵抗と云つて居る。

列車抵抗は其の性質から見て大體次の五種類に分けられる。

- (1) 出發抵抗……列車を發車させる場合に起る抵抗を云ふ。
- (2) 走行抵抗……列車が平坦直線路を運轉する場合に起る抵抗を云ふ。
- (3) 勾配抵抗……列車が勾配線を運轉する場合、重力に抗して勾配を上ることによつて起る抵抗を云ふ。
- (4) 曲線抵抗……列車が曲線路を運轉する場合に起る抵抗を云ふ。
- (5) 加速抵抗……列車を加速せしめる爲に起る抵抗を云ふ。これは前の四種類の抵抗と異り、別に損失となるものではないが、速度を高めるには夫れ丈多く力を要すると云ふ點から一般に抵抗と云つて居る。

第二節 出發抵抗

列車が出發する場合には車輛の抵抗は甚しく大きくなる。之は列車が止つて居るときは、車輛の軸受金と軸頭との間の油の皮膜が欠乏し、直接是等の金屬と金屬とが觸れるため、摩擦抵抗が著しく大なるからである。殊に長時間停留せる車輛では、抵抗の増加は著しいものがある。

出發抵抗は列車の連結器が緊張して居るとき、圧縮の状態にあるときとに依つて相當異つて來る。其の理由は連結器が緊張して居るときは列車全體を一度に牽き出すことになるから非常に大きな力を要するが、反對に連結器が圧縮されて居る場合は、前の車輛から一輛宛順次に牽き出されることとなつて、小さ

な力でも充分間に合ふことゝなるからである。従つて此の抵抗は發車の際の車輛間の連結状態、即ち列車の操縦方法に依つて相當異つた値を採るものであることが解る。

普通出發抵抗の値は客貨車の場合は6~8 疋/軸、機關車の場合は10 疋/軸位とされて居る。而して列車が一旦動き出してからはこの抵抗は次第に減少し、5 疋/時位の速度で最低となるものと云はれ、これ以後は次に述べる走行抵抗に依つて表されることゝなるのである。

第三節 走行抵抗

1. 走行抵抗を起す原因

列車が走行する爲に起る抵抗は、其の原因が複雑してゐるので、之を分けて考へることは中々困難であるが、大體次の五つになる。

- a. 機械部分の摩擦抵抗
- b. 車軸・頸の摩擦抵抗
- c. 車輪の回轉摩擦抵抗
- d. 空氣の抵抗
- e. 動搖に依る抵抗

(1) 機械部分の摩擦抵抗

蒸氣機關車のピストン、ピストン棒、弁装置、クロスヘッド及クランクピン等の機械部分の摩擦と各隙間に生ずる衝撃等の爲めに起る抵抗である。之等は蒸氣機關車特有のものであつて、特にこれを機關抵抗と稱して居る。

(2) 車軸・頸の摩擦抵抗

車輪が回轉するとき、軸頸と軸受金との間に生ずる摩擦抵抗で、其の大きさは車軸の負擔重量、車軸及び車輪の直徑並に軸頸の摩擦係數に依つて相違するもので、次の如く表される。

$$R = W\mu \times \frac{d}{D} \dots\dots\dots(31)$$

茲に R = 軸頸の摩擦抵抗 (疋)

W = 軸頸上の負擔重量 (疋)

μ = 軸受金と車軸間の摩擦係數

d = 軸頸の直徑 (mm)

D = 車輪の直徑 (mm)

この式に依れば摩擦係數が同一の場合、摩擦抵抗は軸頸上の負擔重量が大なるに従ひ増加することゝなる。

然るに摩擦係數は一定のものでなく、車輪の回轉速度と軸受の圧力の如何によつて相違するもので、次の關係があるものと云はれて居る。

$$\mu = K \frac{\sqrt[5]{V}}{\sqrt{P}} \dots\dots\dots(32)$$

茲に μ = 摩擦係數

P = 單位面積當り軸受圧力

V = 軸頸の圓周速度

K = 定數

即ち摩擦係數は回轉速度の5乗根に比例し、軸受圧力の平方根に逆比例するものであるから、回轉速度の増加に對しては大なる影響はないが、軸受の圧力の増加によつて却つて小さくなるものと考へられるから、結局車軸上の重量が増加しても摩擦抵抗は其の割合には大とならない。従つて積車は空車に比して重量1 疋當りの抵抗が小さくなることが考へられる。又冬季に於て列車抵抗の大となるはこの摩擦係數が増加することが一原因である。

(3) 車輪の回轉摩擦抵抗

車輪が軌條上を回轉する爲めに起る抵抗で、車輪と軌條との滑り摩擦やフランジと軌條との間の滑り抵抗等が主なるものであつて、これは軌條の強度と其の織目の如何、或は車軸上重量の程度によつて差異がある。此の抵抗は前述の軸頸の摩擦に比して甚だ小さく、これを單獨で算出することは出來ない程のものである。

(4) 空氣の抵抗

列車を運轉するとき、前方の空氣を押し除けて行くので、空氣抵抗が生ずることゝなる。此の抵抗は列車の速度と同一方向の風力が、恰も反對の方向に吹

付け、或は其の左右側面及上下を摩擦するものと考へられて居る。而して正面から受ける空気抵抗は、機關車の前面で最大で、漸次後部に行くに従つて少くなるものである。

斯様な點から空気抵抗は速度の自乗に比例して増加すると共に、車輛の外形と連結車數の多少に關係し、列車の重量には無關係であると考へられて居る。従つて此の抵抗は普通次の如く表される。

$$R = FA \left(\frac{V}{10} \right)^2 \dots\dots\dots (33)$$

茲に R=空氣抵抗 (斤)

F=車輛前面の形狀による係數

A=車輛の斷面積 (平方米)

V=速度 (軒/時)

これに依れば同一の斷面積を有する機關車が、同一速度で運轉しても機關車前面の形狀によつてFの値は著しく相違するもので、これが完全なる流線型をなして居れば非常に小さくなる。又客車に於ても外形を流線型となすことに依つてこの抵抗を減ぜられる。近時機關車及客車等が自動車其他の車輛に慣ひ流線形して居るのは、このFの値を少なからしめ空氣抵抗を減ぜんとするに外ならないので、この傾向は前式にても解るやうに、高速度となれば抵抗は速度の自乗に比例して増加するからである。

尙空氣抵抗は連結車數の多少に關係し、列車重量には無關係であるから、積車を多く連結せる列車は、これと同一重量だけ空車を連結せる列車よりも軽くなる。これは積車を多く連結する列車は、列車長が短くなり、對風面積が少なくなつて列車重量一適當の抵抗が減少することに因るものである。

【問題】 車輛の空氣抵抗は何に依つて變化するか、又これが車輛1両當りとして表はさるゝ理由を述べよ。

(5) 動搖に依る抵抗

列車の運轉中には前後、左右、上下等に動搖があるもので、之が爲にタイヤと軌條との摩擦抵抗を増加せしむる一因ともなる。之は主として回轉部分及往

復部分の重量の不完全釣合によるもので、此の抵抗は一般に空氣抵抗と同じく速度の自乗に比例するものと云はれて居る。

2. 走行抵抗の一般式

走行抵抗中には速度に無關係のもの、速度に正比例するもの及速度の自乗に正比例するもの、三つがある。

今 R を走行抵抗、V を速度とすれば走行抵抗を示す一般式は次の形となる。

$$R = a + bV + cV^2 \dots\dots\dots (34)$$

車輛の走行抵抗は如何なる種類のものでも、總て斯様な式で表はされるものである。而して此の中の a, b, c は夫々次の如きものである。

a...速度の高低に關係のない一定の抵抗値を有するもので、之に屬する抵抗は

- (1) 機械部分の摩擦抵抗
- (2) 車軸々頸の摩擦抵抗
- (3) 車輪の回轉摩擦抵抗

b...速度の變化に正比例して變る走行抵抗部分で、之に屬する抵抗は

- (1) 衝擊による抵抗

c...速度の自乗に正比例する走行抵抗部分で、之に屬する抵抗は

- (1) 空氣の抵抗
- (2) 動搖による抵抗

3. 機關車の走行抵抗

機關車の走行抵抗中には、機關車が單に車輛としての摩擦抵抗や、空氣抵抗等の外に動力發生の元である機關の機械抵抗をも考へねばならない。夫故之を次の如く分解して考へる必要がある。

- (1) 機關の摩擦抵抗と動輪上の動搖による抵抗
- (2) 先輪、從輪及び炭水車の動搖と其の摩擦抵抗
- (3) 空氣抵抗

現在國有鐵道で採用して居る運輸局式を示すと次の通りである。

$$R_v = [9.3 + 0.047(n-1)V]W_D + (1.8 + 0.015V)W_T + 0.057V^2 \dots\dots\dots(35)$$

茲に R_v = 機關車全走行抵抗 (噸)

n = 動輪軸數

W_D = 動輪上重量 (噸)

W_T = 先從輪及炭水車重量 (噸)

V = 速度 (軒/時)

この式は少し複雑して居るやうであるが、矢張り前に述べた走行抵抗の一般式 $R = a + bV + cV^2$ に合致して居る。即ち速度に關係のない値 (9.3及1.8) 速度の一乗に正比例する $[0.047(n-1)]$ 及 0.015 及速度の自乗に正比例する 0.057 から成立つて居る。

機關車走行抵抗算式には、此の式の外に上式のやうな形で表はしたもの、又は機械部分の摩擦抵抗を機械効率として求め、其の他の部分に對しては單に客貨車のやうな車輛としての抵抗を示したものと等數多のものがあるが、此處では省略することとする。次表は代表的機關車の走行抵抗を示せるものである。

| 速軒 度時 | 機 關 車 形 式 | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | C12 | C11 | 8620 | C50 | C58 | C51 | C55 | C57 | C53 | 9600 | D50 | D51 |
| 10 | 349 | 439 | 512 | 535 | 530 | 571 | 564 | 573 | 648 | 652 | 769 | 737 |
| 20 | 397 | 494 | 574 | 601 | 595 | 638 | 630 | 641 | 721 | 750 | 879 | 843 |
| 30 | 456 | 562 | 648 | 681 | 669 | 716 | 707 | 719 | 761 | 860 | 1001 | 930 |
| 40 | 527 | 637 | 733 | 763 | 756 | 806 | 796 | 809 | 806 | 980 | 1134 | 1036 |
| 50 | 610 | 728 | 830 | 862 | 854 | 907 | 898 | 911 | 902 | 1112 | 1278 | 1230 |
| 60 | 703 | 832 | 938 | 973 | 963 | 1020 | 1009 | 1022 | 1010 | 1253 | 1435 | 1381 |
| 70 | 808 | 944 | 1057 | 1083 | 1083 | 1144 | 1132 | 1146 | 1129 | 1409 | 1602 | 1544 |
| 80 | 917 | 1069 | 1188 | 1238 | 1216 | 1279 | 1267 | 1282 | 1260 | | 1782 | 1718 |
| 90 | | 1206 | 1330 | 1375 | 1359 | 1426 | 1413 | 1429 | 1402 | | | |
| 100 | | | | | | 1587 | 1570 | 1588 | 1555 | | | |

【問題】 機關車の走行抵抗が客貨車の走行抵抗よりも大なる理由を述べよ。

4. 客貨車の走行抵抗

走行抵抗は一般に $R = a + bV + cV^2$ で表はされることは先に述べた通りであるが、客貨車では機關車などに比して機械部分の構造が簡単な爲め、 b 項の値が甚だ小さくなるので、之れを省略しても大した差異がないので $R = a + cV^2$ なる形で表はされることもある。

前にも述べた様に、走行抵抗中の空氣抵抗は、車輛の斷面積、前面の形状及車輛數に關係し、車輛の重量には何等の關係もないから、之れを車輛1噸當りで表はす場合には、連結車輛數の多少に依つて走行抵抗一般式中の第3項 c の値が相當異つて來るので、適當な連結車數を考へ實際に則した c の値を定めなければならぬのである。旅客列車の場合には積空の割合が夫れ程の差がないから大した影響はないが、貨物列車に在つては積空の割合に甚しい相違があるから、同じ列車重量でも空貨車が多く含まれて居る場合は列車長が長くなり、空氣抵抗が増加するから、結局1噸當空氣抵抗は多くなる。従つて標準の走行抵抗算式を決定する上には、列車中の車輛の積空割合を普通に最も多く組成される割合を探る連結車數を考へなければならぬ。

本省運輸局に於ては之等の點を考慮し、実績を基として走行抵抗算式を次の様に定めて居る。

$$R = 1.72 + 0.00061 V^2 \dots\dots\dots \text{ボギー客車} \dots\dots\dots(36)$$

$$R = 2.07 + 0.00066 V^2 \dots\dots\dots \text{貨車} \dots\dots\dots(37)$$

茲に R = 走行抵抗 (噸/時)

V = 速度 (軒/時)

又最近鋼製ボギー客車が多く製作され、將來は全部鋼製化するものと點から試験の結果、次の式を得た。

$$R = 1.24 + 0.0069V + 0.000313V^2 \dots\dots\dots(38)$$

以上の式により客車と貨車との走行抵抗を比較して見ると、客車の方が少いことが解る。其の理由を挙げると客車は貨車に比較して

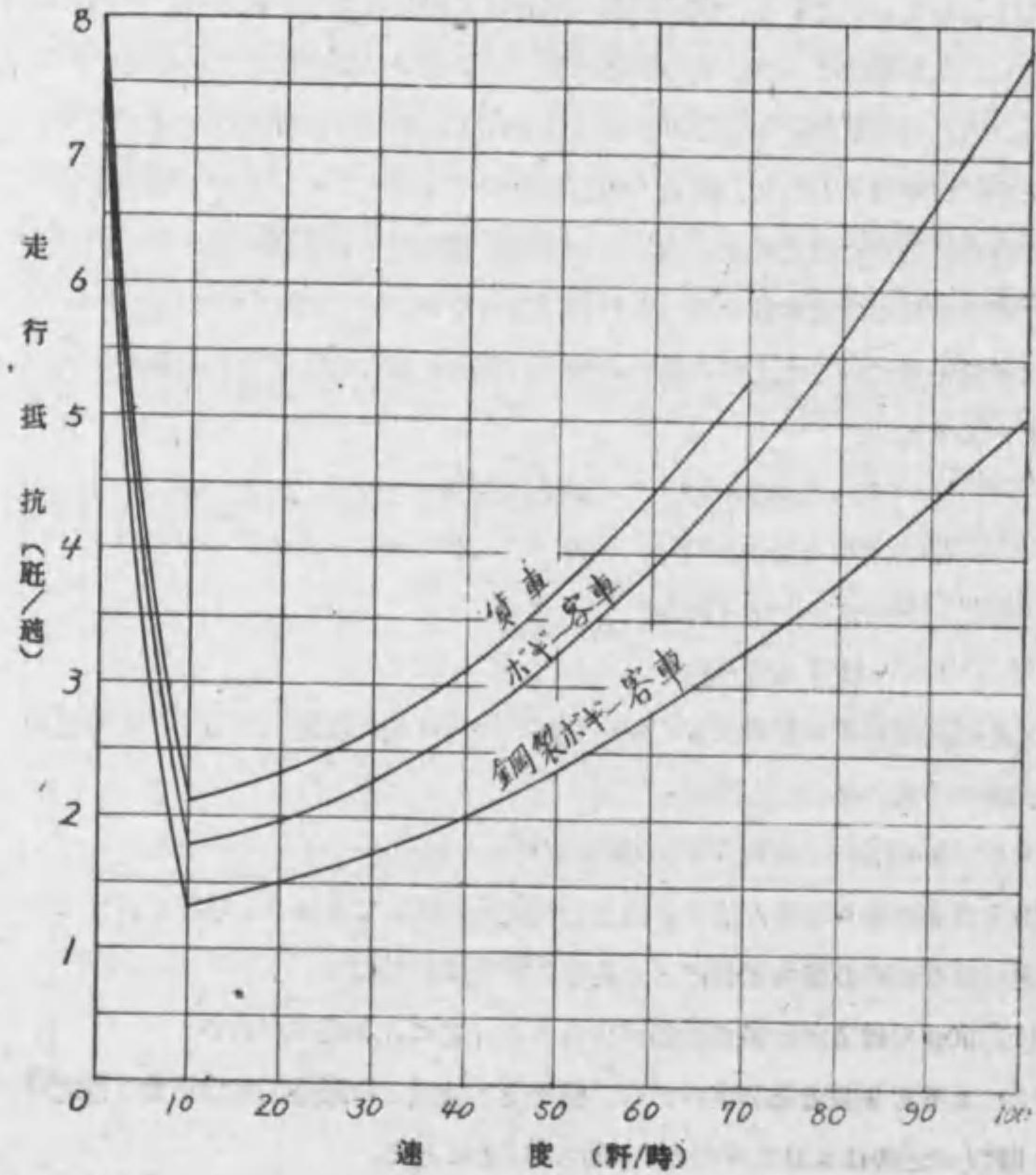
- (1) 車輛の構造が良好で動搖が少いから、之による抵抗が少い。
- (2) 1車當りの重量が重いから、軸受金と軸頭との摩擦抵抗が重量1噸當りにして少い。

(3) 車輛の斷面積に比べて重量が重いので、重量1噸當りの空氣抵抗が減少する。

のやうなことが云ひ得られる。次表は上式による客貨車の走行抵抗(疋/噸)の値を示したもので、之を圖示すれば第7圖の通りである。

| 速度 (軒/時) | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ボギー客車 | 1.78 | 1.86 | 1.96 | 2.27 | 2.70 | 3.25 | 3.92 | 4.70 | 5.62 | 6.66 | 7.82 |
| 貨車 | 2.14 | 2.22 | 2.33 | 2.66 | 3.13 | 3.72 | 4.45 | 5.30 | 6.28 | 7.38 | 8.58 |
| 鋼製ボギー客車 | 1.34 | 1.41 | 1.50 | 1.73 | 2.02 | 2.37 | 2.78 | 3.26 | 3.80 | 4.40 | 5.06 |

第 7 圖



【問題】(1) 空貨車は積貨車に比して重量1噸當りの走行抵抗大なりと云ふ。其の理由如何。

(2) C53形式機關車が鋼製ボギー客車450噸を牽引し1時間85軒/時の速度にて運轉するときの列車1噸當りの平均走行抵抗を求めよ。

但し $R_t = (9.3 + 0.047(n-1)V)W_D + (1.8 + 0.015V)W_t + 0.057V^3$

$R_b = 1.24 + 0.0069V + 0.000313V^3$

R_t = 機關車走行抵抗(疋)

R_b = 鋼製ボギー客車走行抵抗(疋/噸)

n = 動輪軸數

W_D = 動輪上重量 = 46.27 噸

W_t = 先從輪及炭水車重量 = 83.71 噸

V = 速度(軒/時)

第四節 勾配抵抗

列車が勾配線を上るときには、地球の引力即ち重力に打勝つて列車全重量を勾配線の高さまで引上げる爲、前に述べた走行抵抗以外に尙餘分の牽引力が必要である。之を勾配抵抗と稱して居る。

我國の如く急勾配線の多い線路では、此の勾配抵抗の値は非常に大きく、列車の運轉に影響を及ぼすことは甚大である。

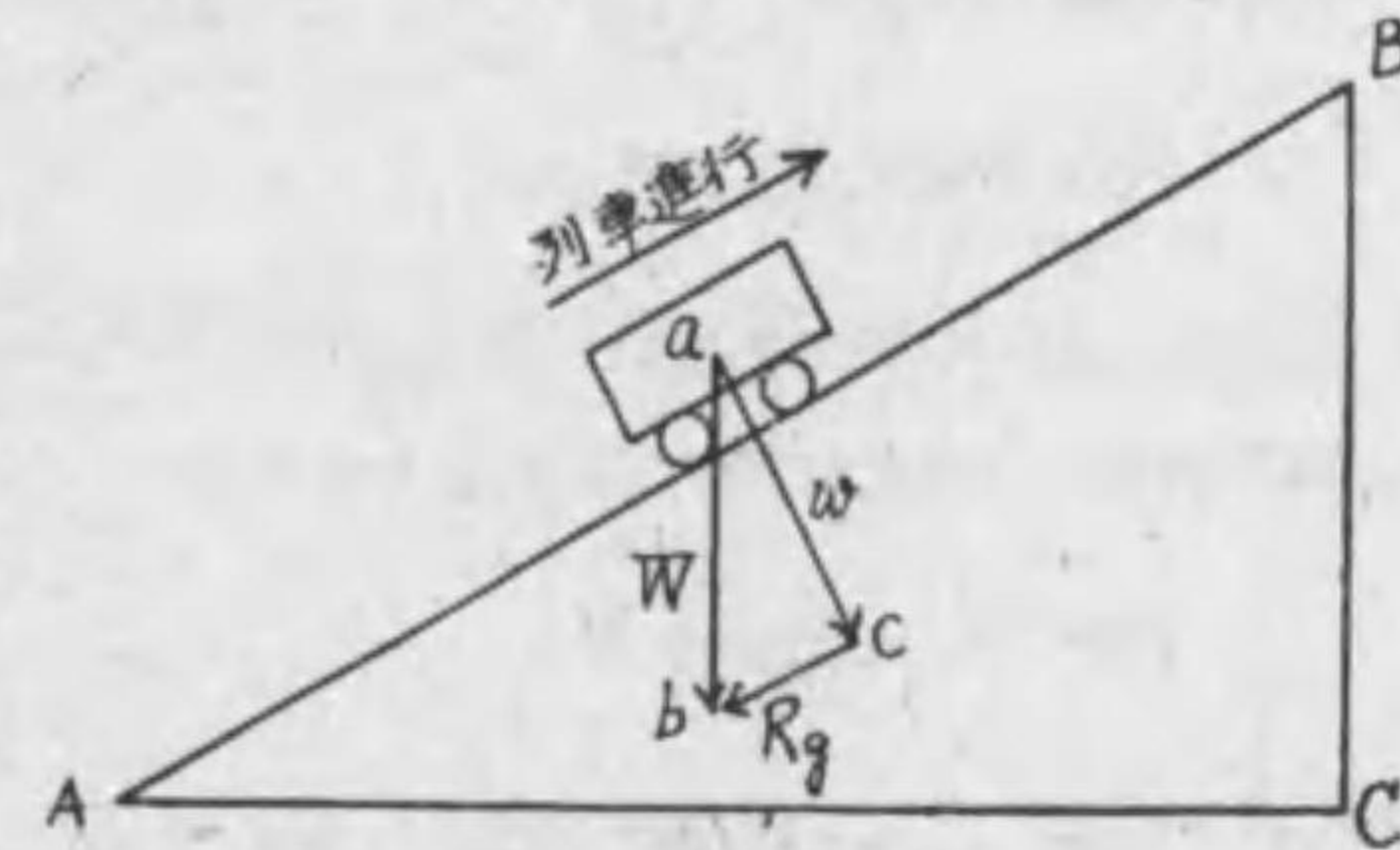
勾配抵抗を求めるには、線路の勾配を千分率で表はした數字が即ち重量1噸當りの勾配抵抗(疋)となるのである。例へば10%上り勾配の抵抗は、列車重量1噸當10疋である。

今之が計算方法を説明すると次のやうである。

今第8圖に於て、勾配線ABを車輛が運轉する場合を考へ、車輛の重量Wを二つの方向に分けると、其の一つはABに垂直なる方向

ao 即ち w と他はABに平行な bo 即ち R_g となる。

第 8 圖



之を言ひ換へると、車輛の重量Wが勾配の軌條面に作用して居ると云ふことは車輛の運轉と反對の方向にRgなる力が作用すると共に、勾配の面に垂直にwなる重量が作用して居ることと同じに考へられるので、此のRgなる力を吾々は勾配抵抗と云つて居る。

今圖に於て二つの三角形A, B, Cと a, b, cとは相似形であるから、相對する邊は互に比例をなす。即ち

$$ab : bc = AB : BC$$

$$\text{従つて } \frac{bc}{ab} = \frac{BC}{AB}$$

となる。然るに $bc=Rg$, $ab=W$ に相等するから $\frac{bc}{ab}$ の代りに之等を入れ換へると次の様になる。

$$\frac{Rg}{W} = \frac{BC}{AB}$$

$$\therefore Rg = W \times \frac{BC}{AB}$$

然るに鐵道線路の勾配程度ではACとABとは殆んど同じ長さに見做して大差がないから、前の式にABの代りにACを代入すると

$$Rg = W \times \frac{BC}{AC}$$

となる。

普通線路の勾配は $\frac{BC}{AC}$ を以つて表はされるから、勾配抵抗は車輛の重量Wに勾配を乗じて求め得らるゝこととなる。

今上り勾配の程度を $\frac{i}{1000}$ とし、之を前式の $\frac{BC}{AC}$ に代入すると

$$Rg = W \times \frac{i}{1000} \text{ (噸)}$$

となるが、之は車輛の全重量に對する抵抗であるから、之を列車重量1噸當につき求むれば、前式をWで除せばよいから

$$Rg = W \times \frac{i}{1000} + W$$

$$= \frac{i}{1000} \text{ (噸/噸)}$$

又勾配抵抗を噸で表はすには上式の分子に1000を乗ずればよいから

$$Rg = \frac{i}{1000} \times 1000$$

$$= i \text{ (噸/噸)} \dots\dots\dots(39)$$

茲に $Rg = \text{勾配抵抗 (噸/噸)}$

$i = \text{千分率で表はした勾配 (\%)}$

即ち勾配抵抗は勾配を千分率で表はした數字が其の儘勾配抵抗として表はさるゝこととなる。

以上は上り勾配の場合で、この場合は全然抵抗となるのであるが、下り勾配の場合は勾配抵抗は加速力となるのである。之は急な下り勾配を運轉する場合列車を制動しないで其の儘放置して居ると、漸次速度が高まつて來ることに依つても容易に首肯されるものである。

之に依つて見ると、勾配抵抗は必ずしも無益なものでなく、下り勾配では却つて利益になることが解る。

普通上り勾配及び下り勾配の抵抗を示すには、其の數字の頭に正負の符號を附し、上り勾配に對しては正、下り勾配に對しては負を採つて區別して居る。例へば10%上り勾配では+10、同じく下り勾配では-10とするが如きである。

- 【問題】 (1) 出發抵抗を8噸とすれば、勾配線上で自動し得る勾配の程度幾何なりや。
- (2) 客車1 輛當りの走行抵抗が $1.5 + 0.0004V^2$ ($V = \text{速度 軒/時}$) で表はさるゝものとし、この客車が8%下り勾配を轉動し初めた場合、全然制動を施さないとすれば速度は如何程迄上昇するか。
- (3) 或る速度に於ける積、空貨車の走行抵抗が夫々25.3 噸/噸なるときの平坦10% 及 25% 上り勾配に於ける總抵抗の割合を比較せよ。
- (4) 全重量350 噸の列車が25% 上り勾配線を1200 馬力を發揮して運轉する場合列車の運轉速度は幾何となるか。但し列車重量1 輛當りの平均走行抵抗は3 噸とす。

第五節 曲線抵抗

1. 曲線抵抗

車輛が曲線路を運轉する場合には總ての條件が全く同じでも、直線路を走行する場合に較べて運轉を妨げやうとする抵抗を増すものであつて、之を曲線抵抗と稱して居る。

曲線抵抗を起す原因を見ると大體次の四つを擧げる事が出来る。

- (1) 曲線の外側にあるフランジと、軌條間に生ずる摩擦抵抗。
- (2) 回轉の中心より前方は曲線の内側へ、後方は曲線の外側へ滑る軌條と車輪踏面間の滑り摩擦抵抗。
- (3) 曲線の外側軌條は内側に比して其の長さが長い爲め、車輪踏面の勾配に依つて緩和するやうになつて居るが、之が適當になつて居ない場合に起る車輪の軌條面を前後に滑る爲めの滑り摩擦抵抗。
- (4) 車輛が垂直軸を中心として回轉する爲めに起る摩擦抵抗。

曲線抵抗を構成する抵抗の中で、主要な値を持つものは(1)の場合のフランジと軌條間の摩擦抵抗で、曲線を通過する場合には必ず後に述べるやうに遠心力を生じ、此の遠心力は速度の二乗に正比例して増加するもので、此の場合遠心力と反對な力が作用して摩擦抵抗が増加するのである。

曲線抵抗は一般に曲線半径のみに關係するものと考へられ、又重量1噸當り抵抗として次の式が適當とされて居る。

$$R_0 = \frac{600}{r} \dots\dots\dots(40)$$

茲に R_0 = 曲線抵抗 (噸/噸)

r = 曲線半径 (米)

曲線抵抗は他の抵抗よりも比較的小さい爲め、特に精確を要する様な場合の外は之を無視しても實用上には大なる差支へは起らないやうであるが、勾配が急で而も半径の小なる曲線がある場合には相當影響すること大であるから、斯かる場合は充分に考慮する必要がある。

2. 換算勾配

列車の運轉に抵抗を與へる點では曲線抵抗も勾配抵抗と同様である。夫故勾配線上に曲線が介在するときは曲線抵抗を求め、之を勾配抵抗に加へた和を換算勾配と呼び、丁度これに相當する勾配のやうに取扱ふ場合がある。例へば10%上り勾配中に半径300米の曲線が介在するときは、列車は走行抵抗の外に勾配抵抗の10と曲線抵抗の2との合計12噸/噸で、丁度12%の上り勾配の直線を運轉する場合の勾配抵抗と等しい事になる。従つて換算勾配は次の式に依つて表はされる。

$$\text{換算勾配} = i + \frac{600}{r} \dots\dots\dots(41)$$

茲に i = 實際勾配 (%)

r = 曲線半径 (米)

然し實際に於ては一つの勾配中に種々の半径と長さの曲線が介在する場合が相當あるから、斯様な場合は次の式に依つて求められる。

$$\text{換算勾配} = i + \frac{600}{L} \left\{ \frac{l_1}{r_1} + \frac{l_2}{r_2} + \frac{l_3}{r_3} + \dots \right\} \dots\dots\dots(42)$$

茲に i = 實際勾配 (%)

L = 勾配の全長 (米)

r_1, r_2, r_3 = 曲線半径 (米)

l_1, l_2, l_3 = r_1, r_2, r_3 米の曲線延長 (米)

【問題】 10%上り勾配線中に、次の曲線半径と長さとを有する曲線が介在するとき、其の換算勾配は幾何となるか。

| 曲線半径 (米) | 曲線長 (米) |
|----------|---------|
| 300 | 300 |
| 450 | 250 |
| 500 | 400 |

第六節 加速度抵抗

列車が出発して或る速度に達する迄には、車輛の抵抗に打勝つて列車を加速する爲めに牽引力を要し、又或る速度で運轉しつゝある列車の速度をより以上に高める爲めにも、尙餘分の牽引力を要することは明らかで、之を稱して加速度抵抗と云つて居る。併し此の抵抗は前に述べたやうに、車輛の走行抵抗、勾配抵抗或は曲線抵抗等のやうな全く損失となるものと異つて、列車を加速せしめる爲めに消費される力であるから、之を抵抗と稱することは餘り妥當ではないが、列車の運轉に當つてより多くの牽引力を要すると云ふ意味に於て、抵抗と云ふ言葉を使用して居る。

加速度抵抗を述べるに當つて、先づ之と密接な關係を有する速度、加速度及び力に就て説明しやう。

1. 速度、加速度及力

速度……速度とは運動する物體の位置の變化する割合、即ち單位時間の間に物體が運動する距離の變化を云ふのである。従つて速度は時間と距離との關係で表はされる。

今 S を距離 (米)、t を時間 (秒) とすれば、t 秒間に運動した距離 S に對する速度 v (米/秒) は次の如く表はされる。

v = S / t(43)

又初めの速度を v1 (米/秒)、終りの速度を v2 (米/秒) とし、この間の平均速度を v (米/秒) とすれば、これは亦次のやうに表はされる。

v = S / t = (v1 + v2) / 2(44)

速度の單位には普通 米/秒、又は 軒/時 が用ひられる。

加速度……加速度とは、單位時間に速度の變化する割合を云ふものである。速度は時間に對する距離の變化割合であるから、加速度は距離に對して時間の割合を二重に含んで居ることゝなる。

加速度を表はすには速度と時間の關係を以つて表はす場合と、速度と距離の

關係を以つて表はす場合とがある。

(1) 加速度を速度と時間とて表はす場合

今初めの速度を v1 (米/秒) とし、單位時間後の速度の増加即ち加速度を a (米/秒/秒) とすれば、t (秒) 時間後には其の速度は a t 丈増加することゝなるから、t (秒) 後の速度を v2 (米/秒) とすれば

v2 = v1 + a t

従つて a = (v2 - v1) / t(45)

(2) 加速度を速度と距離とて表はす場合

今初速度を v1 (米/秒) とし、t (秒) 時間後に其の速度が v2 (米/秒) に變化したとすれば、t (秒) 時間後に於ける 其の間の平均速度 v (米/秒) は次のやうに表はされる。

v = (v1 + v2) / 2

此の速度を以つて距離 S (米) を通過したと假定すると

S = v t = (v1 + v2) / 2 * t

然るに v2 = v1 + a t であるから上式に之を代入すると

S = (v1 + (v1 + a t)) / 2 * t
= v1 t + (a t^2) / 2

この式より t を消去するために v2 = v1 + a t を自乗すれば

v2^2 = (v1 + a t)^2 = v1^2 + 2 v1 a t + a^2 t^2
= v1^2 + 2 a (v1 t + (a t^2) / 2)

然るに v1 t + (a t^2) / 2 = S であるから

v2^2 = v1^2 + 2 a S

従つて a = (v2^2 - v1^2) / 2 S(46)

加速度の單位には普通 米/秒/秒、軒/時/秒 が用ひられる。

力……静止した物体を動かすとか、運動して居る物体を停止するとか、總て物体の運動速度を變化せしめるものを力と云ふのである。大なる力を物体に與へるときは、其の速度の變化が急で、重い物体を動かすにも亦大なる力が必要である。

總て力は其の質量に加速度を乗じたものを以つて表はされる。質量は一つの物体に就ては一定のものであるから、結局力は加速度の大小に正比例することとなる譯である。

今 F を力(砵)、 m を質量(砵)、 w を重量(砵)、 g を重力の加速度(米/秒/秒) v_1 を初めの速度(米/秒)、 v_2 を m なる物体に力が作用して變化した終りの速度(米/秒)、これによつて生じた加速度を a (米/秒/秒) とすれば、これ等の間には次の關係がある。

$$F = \frac{m(v_2 - v_1)}{t} = m \left(\frac{v_2 - v_1}{t} \right)$$

然るに $a = \frac{v_2 - v_1}{t}$ であるから

$$F = ma = \frac{w}{g} a \dots\dots\dots(47)$$

即ち力は質量に加速度を乗じたものに正比例することが解る。
力の単位には普通質量と同じく瓦、砵、噸等が用ひられる。

2. 加速度抵抗

列車が加速するに要する力、即ち牽引力は力學上の場合と同じく次の式に依つて求めることが出来る。

$$f = ma = \frac{w}{g} a$$

- 茲に f = 加速に必要な力 (砵)
 m = 列車の質量 (砵)
 w = 列車の重量 (砵)
 g = 重力による加速度 = 9.8 (米/秒/秒)
 a = 列車の加速度 (米/秒/秒)

今列車の重量を噸にて表はし、これを W とすれば

$$w = 1000W$$

となるから、前式は又次の様になる。

$$f = \frac{w}{g} a = \frac{1000W}{9.8} a$$

$$= 102W a$$

又列車重量 1 噸當りの加速力を F とすれば

$$F = \frac{f}{W} = \frac{102W}{W} a$$

$$= 102a \dots\dots\dots(48)$$

以上の式で求めた加速力 F は、車輪の直進部分を加速するに必要な力であるが、車輛には車輪、車軸のやうな回轉部分があり、之等は速度の増加に正比例して回轉速度が早くなるので、此の回轉を速める爲にも力が必要となる。而して此の力は加速度に正比例するの外、回轉部分の重量及び回轉半径にも關係を持つて居る。即ち廻轉部分の大きいもの程、又回轉半径の大きいもの程、同一加速度に對して大きい力を必要とするのである。斯様に回轉部分の速度を高めるに必要な力を普通直進部分の 6% と見做されて居る。従つてこの回轉部分の影響を考へると次の様になる。

$$F = 102 \times 1.06 a$$

$$= 108 a \dots\dots\dots(49)$$

之れが所謂加速度抵抗である。而して此の式が基本となり、此の中の a の單位の採り方を變へるとか、時間と速度の關係で表はすとか、或は速度と距離とで表すとかに依つて、此の抵抗式が種々の形として表されて居る。以下之を三つの種類に分け加速度抵抗式を示して見やう。

(1) 加速度 a の單位を變へた場合

第 49 式の a は其の單位が (米/秒/秒) で表はされて居るが、日常吾々が用ひる加速度の單位は (軒/時/秒) が便利であるから、此の單位を A とし同式の a にこれを代入すると

$$a = \frac{1000 \times A}{60 \times 60} = \frac{A}{3.6}$$

であるから、第 49 式は

$$F = 108 \times \frac{A}{3.6} \\ = 30A \dots\dots\dots(50)$$

茲に F = 加速度抵抗 (瓩/噸)

A = 加速度 (軒/時/秒)

(2) 加速度 a を速度と時間とにて表はした場合

今加速前の速度を V_1 (軒/時)、加速後の速度を V_2 (軒/時) とし、速度が V_1 から V_2 に加速する間に要する時間を T (分) とすれば

$$v_1 = \frac{1000 \times V_1}{60 \times 60} = \frac{V_1}{3.6} \text{ (米/秒)}$$

$$v_2 = \frac{1000 \times V_2}{60 \times 60} = \frac{V_2}{3.6} \text{ (米/秒)}$$

$$t = 60T \text{ (秒)}$$

従つて第 45 式より

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{\frac{V_2}{3.6} - \frac{V_1}{3.6}}{60T} \\ = \frac{V_2 - V_1}{216T}$$

となるを以つて、之を第 49 式に代入すれば

$$F = 108 \times \frac{V_2 - V_1}{216T} \\ = \frac{V_2 - V_1}{2T} \dots\dots\dots(51)$$

茲に F = 加速度抵抗 (瓩/噸)

V_1 = 加速前の速度 (軒/時)

V_2 = 加速後の速度 (軒/時)

T = 速度が V_1 から V_2 に加速する間に要する時間 (分)

(3) 加速度 a を距離と速度とて表はした場合

今加速前の速度を V_1 (軒/時)、加速後の速度を V_2 (軒/時)、速度が V_1 から

V_2 に加速する間に要する時間を T (分) とすれば、此の間に走行した距離 S (米) は V_1 と V_2 との平均速度で T 時間だけ走つたこととなる。

第 46 式より

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2S}$$

この中 v_1 及び v_2 を V_1 及 V_2 にて表はせば

$$a = \frac{\left(\frac{V_2}{3.6}\right)^2 - \left(\frac{V_1}{3.6}\right)^2}{2S}$$

$$= \frac{V_2^2 - V_1^2}{28 \times (3.6)^2}$$

之を第 49 式に代入すれば

$$F = 108 \times \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{28 \times (3.6)^2} \\ = 4.17 \times \frac{V_2^2 - V_1^2}{S} \dots\dots\dots(52)$$

茲に F = 加速度抵抗 (瓩/噸)

V_1 = 加速前の速度 (軒/時)

V_2 = 加速後の速度 (軒/時)

S = V_1 から V_2 に加速する間に走行した距離 (米)

【問題】 (1) 列車が出発して其の速度が 20 軒/時に達する迄に 1 分間を要したとすれば、此の間の平均加速度幾何なるや。

(2) 機関車を含み重量 800 噸の列車を、距離 2 軒 300 米の間に於て、速度を 25 軒/時より 55 軒/時に増加せんとす加速に要する力を求めよ。

第五章 機關車牽引定數

第一節 牽引定數の意義

機關車の牽引定數とは、各種形式の機關車が列車速度の種別に依り、各區間を定められた運轉時間により運轉するとき、安全に牽引し得る重量の最大輛數を云ふのである。

而して機關車の牽引定數は、同一形式の機關車でも旅客列車の速度に對するものは、貨物列車の速度に對するよりも少なく、又同一形式の機關車で、而も同じ列車速度であつても、運轉區間の勾配の緩急に依つて差違を生ずるものである。輸送方面より見るときは、機關車は或る程度までは相當多くの車輛を牽引せしめる方が經濟的であるが、天候が不良の爲めに列車の抵抗力を増加せる場合、又は重量品を積載した貨車が多數連結せられたる場合等には、定められた運轉速度を以つて列車を操縦することが出来ない爲、區間の定時運轉が困難となり、遂には列車の運行を亂すやうな結果となるので、之等の支障を起さぬやうになすには其の列車速度種別に應じて、安全なる範圍に於て其の最大限度を制定する必要が起るのである。併し乍ら如何なる天候でも、如何に多く重量品積載貨車が連結されても、常に無事に定時運轉をなし得るやうな牽引定數を制定することは、平素の運轉に於ては非常に不經濟であるから、最も妥當な牽引定數を定めることが必要である。

牽引定數を制定するには、機關車が牽引し得る重量を輛數を以つて表す事が合理的であるが、我國に於ては後に述べるやうに、重量 10 噸を以つて換算 1 輛とする、所謂換算輛數法に依つて居る。

牽引定數を制定するには既に述べた機關車牽引力及列車抵抗を基とし、次に述べる牽引重量、均衡速度及支配勾配（査定勾配）の求め方に就て知らねばならない。以下順次之等に就て説明することゝしやう。

第二節 牽引重量

1. 引張棒牽引力

シリング内の蒸氣圧力に依つて發揮される指示牽引力は、これ全部が客貨車を牽引するのに有効に利用されるものでなく、其の一部分は機關車自身の抵抗の爲めに減殺されるものである。従つてこの指示牽引力から機關車自身のために失はれる抵抗を差引いた残りの牽引力、即ち客貨車を牽引するのに役立つ牽引力を特に引張棒牽引力と稱して居る。

普通一般に呼ばれて居る引張棒牽引力とは、機關車の指示牽引力から機關車自身の走行抵抗を差引いた、云はば平坦線に於ける正味の牽引力を云つて居る。然し廣い意味では機關車に對する勾配抵抗を差引いたものが、眞の引張棒牽引力であるから、此處では便宜上後者に對する正味の牽引力を指すものとする。

引張棒牽引力は第三章に述べた三つの指示牽引力より機關車自身の抵抗を差引いた次の式に依つて表される。

$$\left. \begin{aligned} (1) \quad T_M &= T_o - R_f \\ (2) \quad T_A &= T_a - R_f \\ (3) \quad T_B &= T_b - R_f \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (53)$$

茲に T_M = シリングの大きさに依る引張棒牽引力 (瓩)

T_o = シリング牽引力 (瓩)

T_A = 粘着重量に依る引張棒牽引力 (瓩)

T_a = 粘着力 (瓩)

T_B = 罐の容量に依る引張棒牽引力 (瓩)

T_b = 罐牽引力 (瓩)

R_f = 機關車走行抵抗 (瓩)

而して機關車が發揮する最大引張棒牽引力は、之等三つの内の最小のものに依つて制限されるのである。

今代表的機關車の平坦線に於ける引張棒牽引力を示せば、次表の通りである。

| 速度 (km/h) | C 12 | C 11 | 8620 | 9600 | C 58 | C 51 | C 57 | C 53 | D 51 |
|--------------|------|------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| 0 | 7500 | 8522 | 8467 | 12207 | 9120 | 10002 | 9190 | 10260 | 13150 |
| 10 | 7653 | 8741 | 8788 | 12518 | 9590 | 10569 | 9767 | 10912 | 13663 |
| 20 | 5161 | 6666 | 6286 | 9800 | 9225 | 9832 | 9699 | 10839 | 13357 |
| 30 | 3814 | 4968 | 4652 | 6630 | 6901 | 7344 | 7761 | 9439 | 10020 |
| 40 | 2973 | 3923 | 3627 | 5300 | 5544 | 5904 | 6261 | 7244 | 8084 |
| 50 | 2300 | 3132 | 2850 | 4138 | 4576 | 4883 | 5209 | 6468 | 6610 |
| 60 | 1727 | 2438 | 2172 | 3167 | 3787 | 4050 | 4388 | 5520 | 5479 |
| 70 | 1232 | 1856 | 1583 | 2301 | 3097 | 3336 | 3674 | 4721 | 4506 |
| 80 | 783 | 1311 | 1052 | | 2474 | 2681 | 3048 | 4020 | 3582 |
| 90 | | 824 | | | 1901 | 2084 | 2451 | 3368 | |
| 100 | | | | | | 1513 | 1892 | 2755 | |

2. 牽引重量

機関車の引張棒牽引力は全く牽引する車輛に有効に利用されるものであるから、平坦直線を運轉する列車に就て考へるときは、或る速度に於て牽引する車輛の走行抵抗と、機関車の引張棒牽引力とは等しい筈であるから、次の關係が成立つこととなる。

$$T = R \times W$$

従つて $W = \frac{T}{R}$ (54)

茲に $W =$ 牽引重量 (噸)

$T =$ 平坦線に於ける引張棒牽引力 (噸)

$R =$ 牽引車輛の走行抵抗 (噸/噸)

この式は平坦直線に對する牽引重量であるが、勾配又は曲線のある線路なるときは、指示牽引力から機関車自身の走行抵抗と、勾配抵抗(曲線抵抗は換算して勾配抵抗として表はす)との和だけを引いたものが、客貨車を牽引するに有効な牽引力となる。勿論この場合には、牽引車輛も同じく勾配抵抗の影響を考へねばならない。従つて或る速度に於ては機関車の引張棒牽引力と牽引車輛の抵抗とは釣合の状態となるから、第 53 式と同様に牽引重量を求めることが出来る。即ち

$$T - R_p W_i = (R + R_p) W$$

従つて $W = \frac{T - R_p W_i}{R + R_p}$ (55)

茲に $W =$ 牽引重量 (噸)

$T =$ 平坦線に於ける引張棒牽引力 (噸)

$R_p =$ 勾配抵抗 (噸/噸)

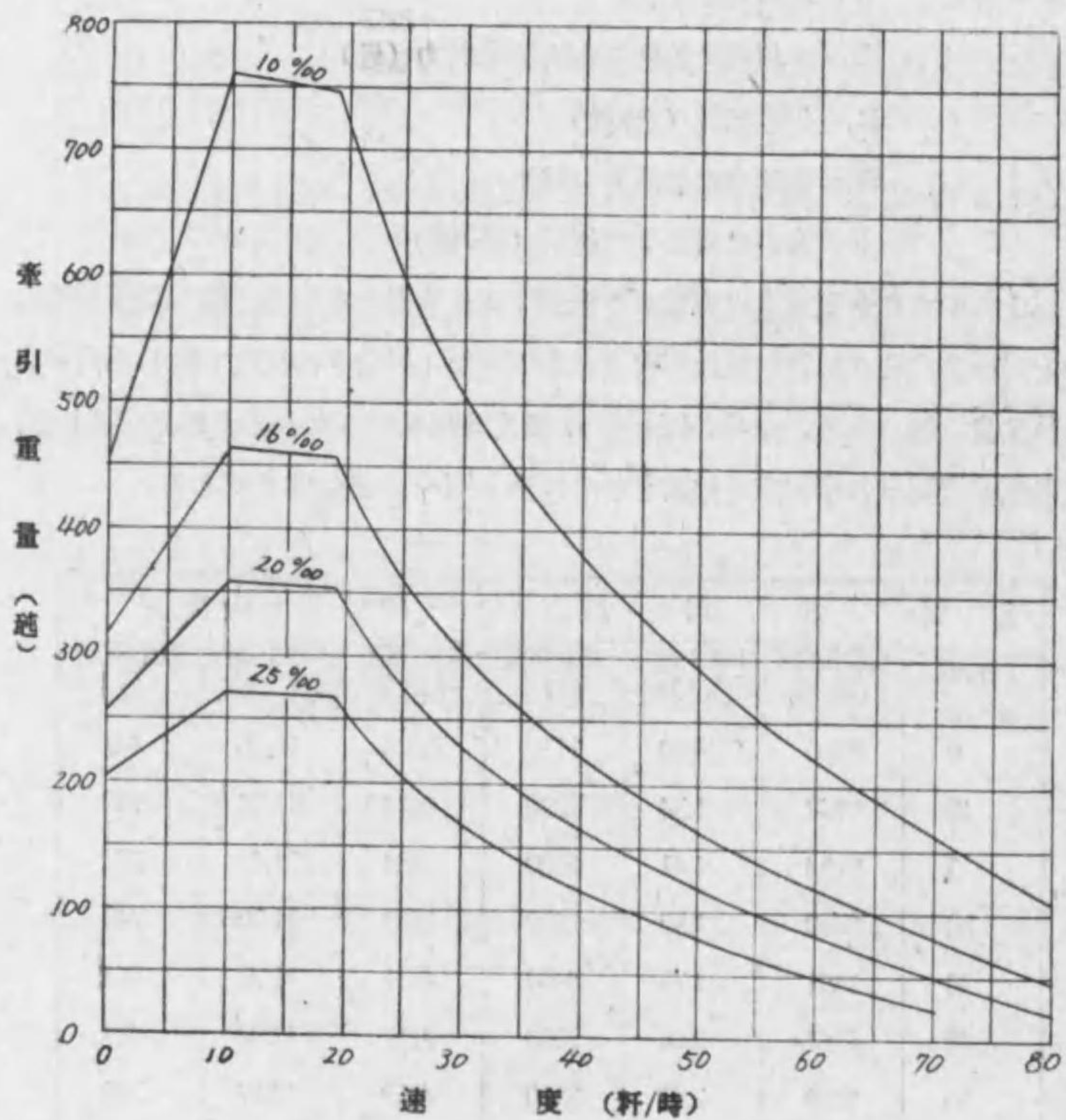
$W_i =$ 機関車の全重量 (噸)

$R =$ 牽引車輛の走行抵抗 (噸/噸)

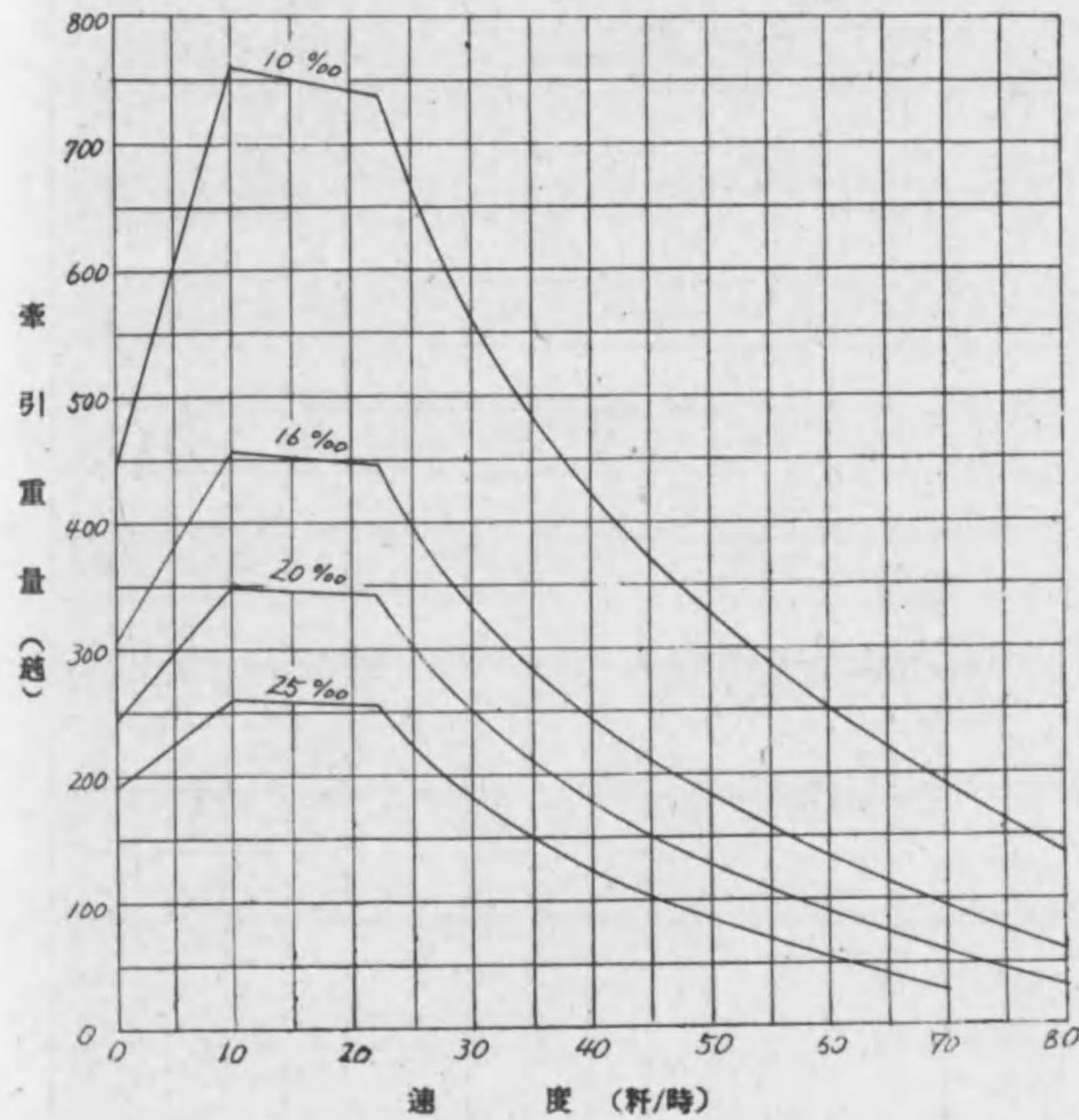
以上のやうに牽引重量は客貨車を牽引するに有効な牽引力、即ち引張棒牽引力を同一速度及び線路状態に相當する牽引車輛 1 噸當りの抵抗で除した商を求めれば良い譯である。今其の例を C 57 形式機関車につき示せば次表の通りで、又各形式機関車の牽引重量線圖を示せば第 9 圖~13 圖の通りである。

| 速度 (km/h) | 平 坦 線 | | | 10% 上り勾配線 | | |
|--------------|---------------|------------------|-------------|---------------|------------------|-------------|
| | 引張棒牽 引力(噸) | 客車 1 噸當 抵抗(噸) | 牽引重量 (噸) | 引張棒牽 引力(噸) | 客車 1 噸當 抵抗(噸) | 牽引重量 (噸) |
| 0 | 9190 | 8.00 | 1150 | 8040 | 18.00 | 447 |
| 10 | 9767 | 1.34 | 7290 | 8617 | 11.34 | 760 |
| 15 | 9734 | 1.41 | 6900 | 8584 | 11.41 | 752 |
| 20 | 9699 | 1.50 | 6470 | 8549 | 11.50 | 743 |
| 30 | 7761 | 1.73 | 4480 | 6611 | 11.73 | 564 |
| 40 | 6261 | 2.02 | 3100 | 5111 | 12.02 | 425 |
| 50 | 5209 | 2.37 | 2200 | 4059 | 12.37 | 328 |
| 60 | 4388 | 2.78 | 1580 | 3238 | 12.78 | 253 |
| 70 | 3674 | 3.26 | 1130 | 2524 | 13.26 | 190 |
| 80 | 3048 | 3.80 | 801 | 1898 | 13.80 | 138 |
| 90 | 2451 | 4.40 | 555 | 1301 | 14.40 | 90 |
| 100 | 1892 | 5.06 | 374 | 742 | 15.06 | 49 |

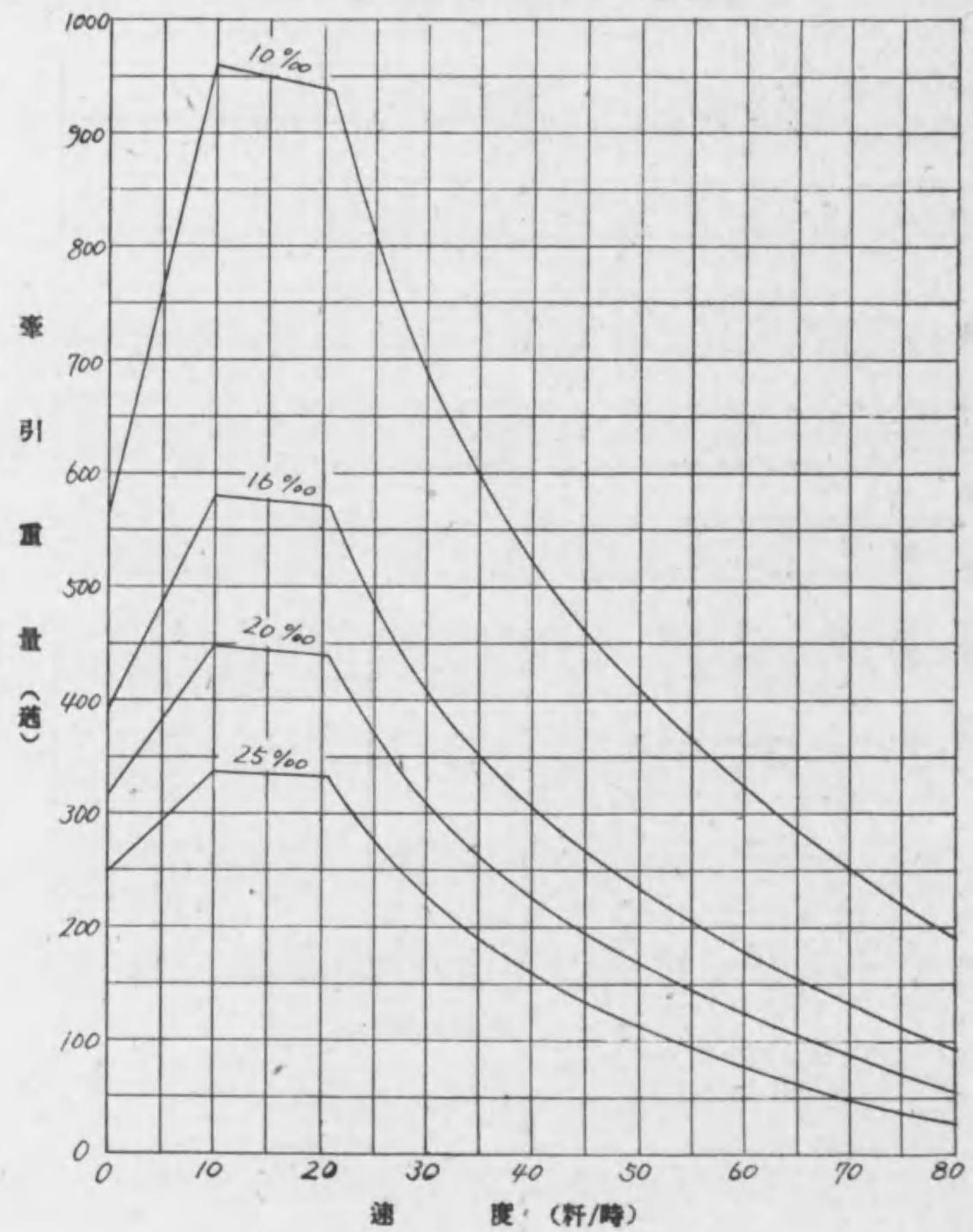
第9圖 C58 形式 (旅客)



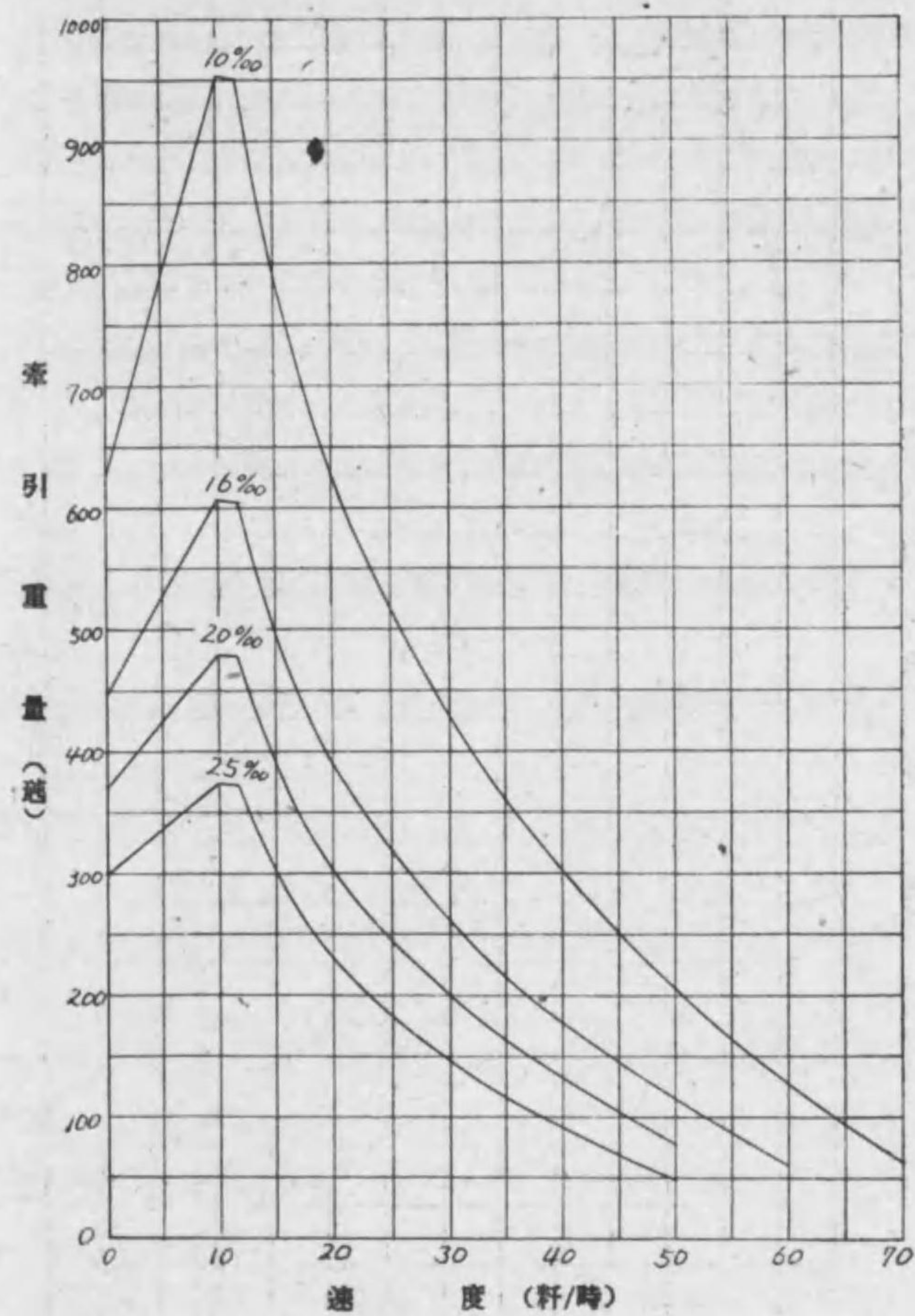
第10圖 C57 形式 (旅客)



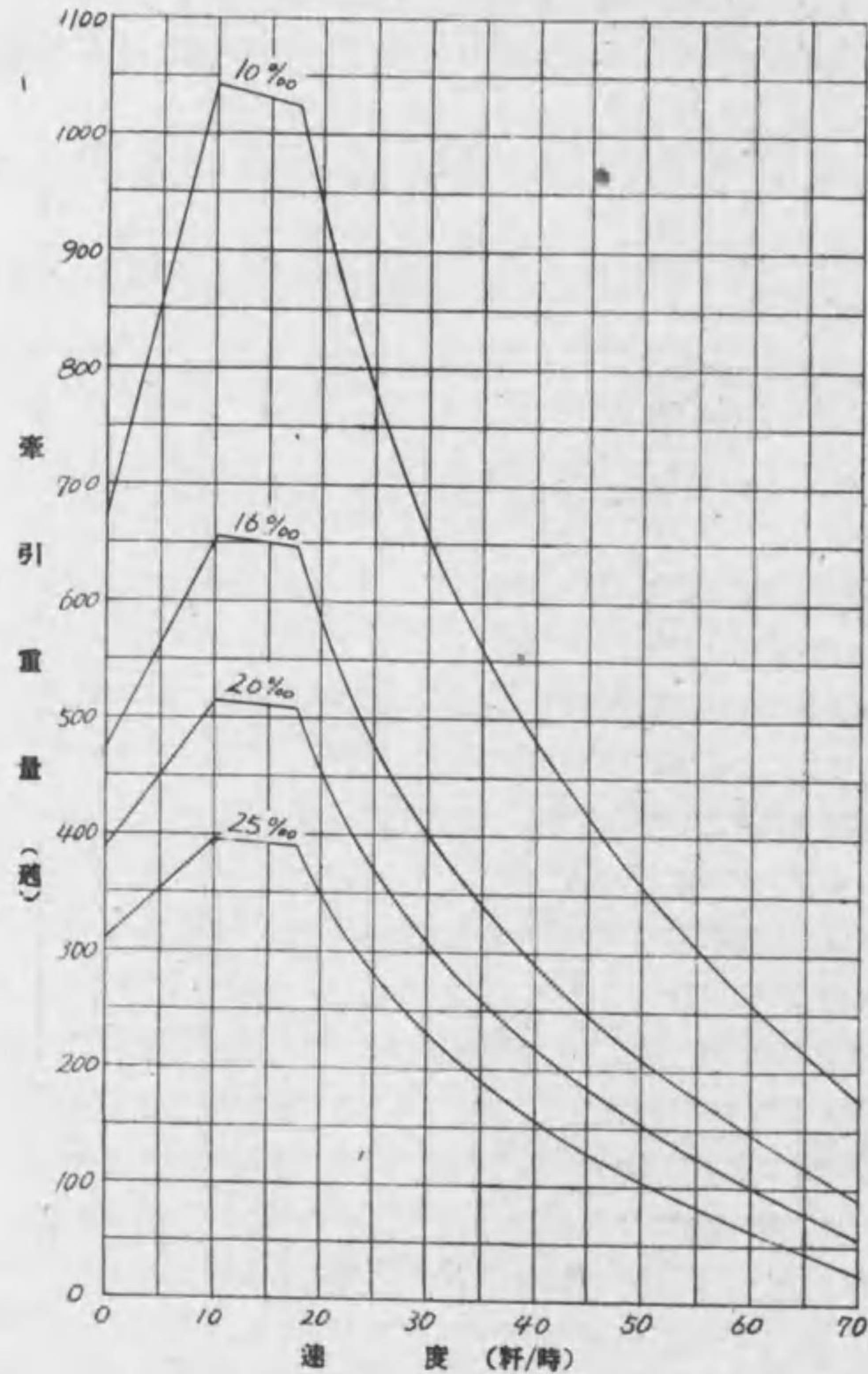
第11圖 C53 形式 (旅客)



第12圖 9600 形式 (貨物)



第13圖 D51形式 (貨物)



第三節 均衡速度

均衡速度とは列車が或る速度を以て運轉する場合、機関車の指示牽引力と列車全体の總抵抗力とが同じくなつた時、言ひ換へると機関車の引張棒牽引力と牽引せる全車輛の總抵抗力とが釣合つた時の速度を謂ふのである。

機関車の牽引力と列車の抵抗力との關係に就て考へると、低速度のときは牽引力は列車抵抗よりも大きいが、臨界速度以上になると、速度の増加に従つて罐の蒸發量の制限を受け、牽引力は漸次減少するものである。

一方列車抵抗は出發の際は車軸、軸頭の摩擦抵抗の増加により相當大なる抵抗となるが、列車が出發すれば漸次抵抗は減少し、速度10軒/時前後に於て最小の値となり、夫れ以後は速度の増加に従ひ牽引力とは反對に漸次増加するものである。

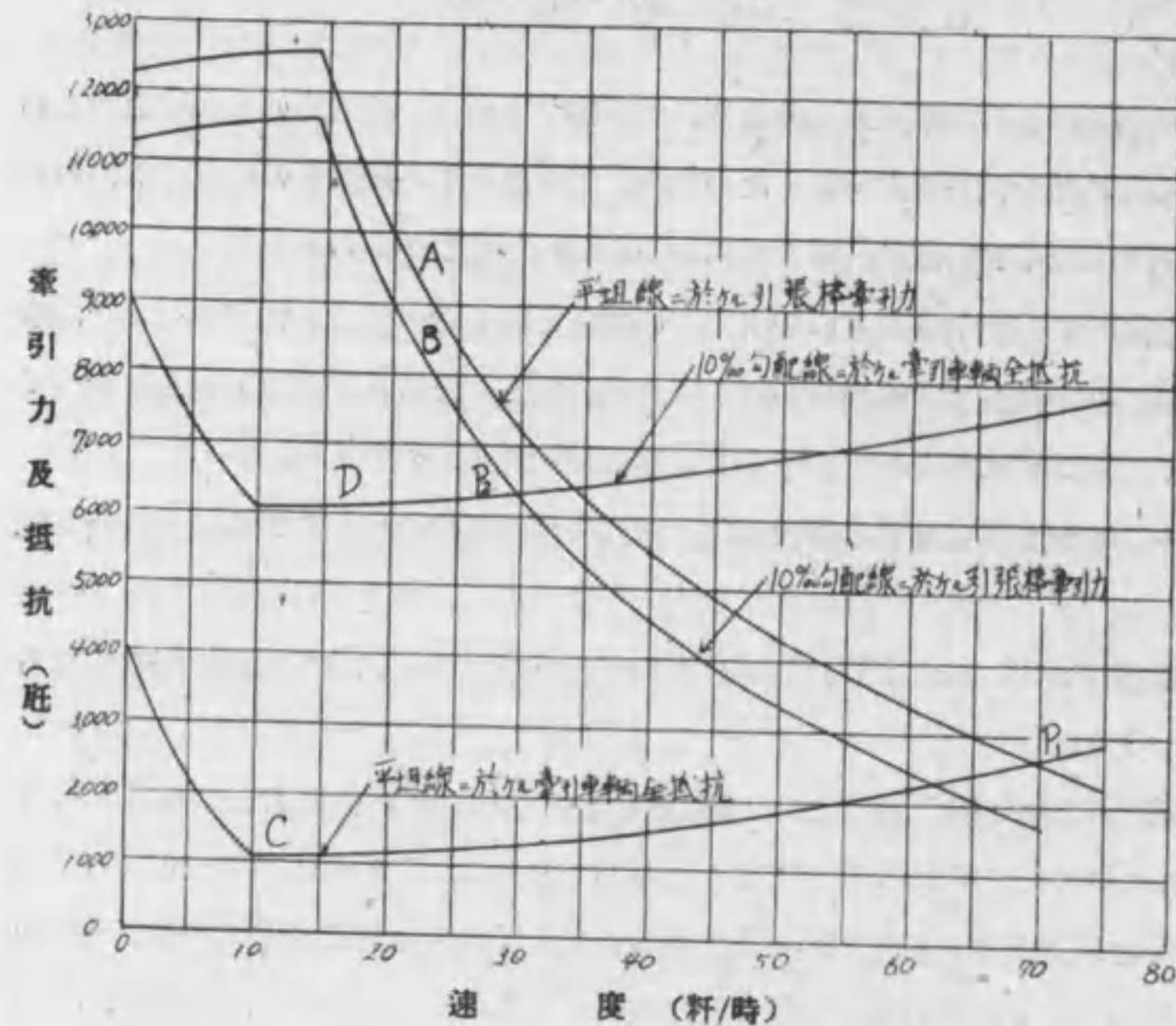
従つて或る速度に於ては、機関車の牽引力と列車の抵抗力とが相等しくなる。即ち両者が均衡状態となることが考へられる。この意味からこの時の速度を特に均衡速度と稱して居る譯である。若しこの均衡速度に達した後、機関車の牽引力にも線路状態にも變化がないものとすれば、列車はこの均衡速度を以つて等速度運轉をすることになる。

以上の觀念を確實にする爲第14圖に於て之を説明すると、AとBは平坦線と10%上り勾配線の引張棒牽引力、CとDは平坦線と10%上り勾配線の牽引車輛の全抵抗力にして、A線とC線との交點 P_1 、B線とD線との交點 P_2 に對する速度が平坦線、10%上り勾配線の各々に對する均衡速度である。

機関車の牽引力が列車の抵抗力に對して猶餘力のあるときは、列車を加速せしめる力があるから之を加速力と云ひ、牽引力が列車の抵抗力よりも小なるときは、列車は漸次減速することとなるので、之を減速力と稱して居る。

例へば第14圖に於て、A線とC線との交點 P_1 の速度よりも低速度の場合を考へると、列車はこの P_1 の速度迄は加速出来るから、結局加速力を有することとなり、又反對に列車が P_1 よりも高い速度であるときは、列車の走行抵抗が牽引力よりも大きいから、漸次減速して P_1 の速度となるので、斯かる場合には列車は減速力の作用を受けることとなる譯である。

第 14 圖



第四節 支配勾配

1. 支配勾配

列車を運轉する區間には種々な勾配や曲線等が様々に配置されて居るから、勾配の緩急、曲線の大小等に依つて列車運轉に抵抗する割合も自ら異つて来る。或る區間に於ける機關車の牽引重量を求めるには、先づ其の區間の線路縦断面圖を見て、何れの部分の勾配が列車の運轉に對して最も大なる抵抗を與へる勾配であるか、云ひ換ると何れの勾配が最も大なる牽引力を必要とする箇所であるかを調べる必要が起つて来る。斯様に其の區間で最大牽引力を必要とする様な抵抗の多い勾配を稱して支配勾配と云つて居る。尙この勾配を牽引定數を査定する勾配であると云ふ意味で一名査定勾配とも稱して居る。

支配勾配は必ずしも其の線路中の最急勾配ではなく、全く牽引重量を制限す

る勾配でなければならない。假令急勾配であつても其の長さが短く、而も勾配の麓の速度が高くて、惰性を利用して勾配を上り得る場合には、其の勾配に相當する牽引重量よりも遙かに多い重量を牽引し得ることとなるからである。然し其の線路の最急勾配の延長が非常に短いにも不拘、停車場を出發して未だ充分に活足の附かないうちに、直ぐその急勾配に差掛る様な場合は、其の麓の速度を高めることが出来なため、全然速度の惰性を利用することの出来ない場合がある。斯様な場合は其の線路中の最も急なる勾配が支配勾配となるので、これによつて列車の牽引重量は制限されることとなるものである。然し斯様な場合は極めて稀であつて、大概は其の區間の標準勾配に支配されることが多い。

以上のやうに支配勾配は其の勾配の長さ及勾配の麓に於ける速度に依つて異なるものであつて、勾配の長さが短く、又勾配の麓の速度が高い場合は其の實際勾配に相當する牽引重量よりも多い重量を牽引することが出来るものである。これは主として次に述べる假想勾配を利用し得るからである。

2. 假想勾配

列車が上り勾配に差掛つた場合、其の勾配の麓に於ける速度が高く、勾配を上る間に其の速度を低下して差支ない場合は、速度低下の爲に放出するエネルギーが機關車の牽引力を助けることになり、勾配を容易に上る事が出来る。例へば實際勾配は12%でも、速度低下のために生じた惰性に依つて2%の勾配に相當する力を補助されたとすれば、列車は10%の上り勾配を一定速度で上つたと同じことになる。斯様に考へた場合の勾配を假想勾配と稱して居るのである。

假想勾配を計算するには、勾配の麓に於ける速度の惰性、即ち速度の存するエネルギーを利用するものであるから、先づエネルギーに就て述べることにしよう。

(1) エネルギー

エネルギー……一般に或る物體が仕事をなし得る状態にあるときは、其の物體はエネルギーを持つと云つて居る。云ひ換へるとエネルギーとは、物體が仕

事を爲し得る能力を云ふのである。従つて此のエネルギーが消費された結果は仕事となつて表はれることとなる。例へば飛行して居る弾丸、石等が他の物體に當れば之を破壊、高い所にある物體が落下すると下にあるものを破壊し、又は穴を穿つ等の仕事なすものである。

エネルギーの種類には運動體の有する運動のエネルギーと、静止せる物體の有する位置のエネルギーとの二つがある。

運動のエネルギー……今 m を物體の質量 (匁)、 v を物體の速度 (米/秒) とし、この運動して居る物體に運動速度 v と逆の方向に F (匁) の力を働かせ、この物體が静止する迄に S (米) の距離を要したとすれば、此の物體は F なる力に反抗して S の距離だけ仕事をしたことになるから、 $F \times S$ の仕事はこの物體が最初持つて居たエネルギーと等しいこととなる。

然るに速度と距離及加速度の関係は前に述べたやうに

$$v_2^2 - v_1^2 = 2aS$$

で、この場合終りの速度 v_2 は零であるから初速度を v で表せば

$$v^2 = 2aS$$

又 $F = ma$ であるから $a = \frac{F}{m}$

$$\text{従つて } v^2 = 2 \frac{F}{m} S$$

$$\therefore \frac{1}{2}mv^2 = FS \dots\dots\dots(56)$$

即ち運動のエネルギーは $\frac{1}{2}mv^2$ で表はされることになる。

位置のエネルギー……今 h を地面上からの高さ (米)、 w を h の高さにある物體の重量 (匁) とすれば、位置のエネルギー E_p は次のやうに表はされる。

$$E_p = wh = mgh \dots\dots\dots(57)$$

即ち位置のエネルギーは物體に働く重力に高さを乗すればよいこととなるのである。

運動のエネルギーと位置のエネルギーとの関係……高所にある物體が地上まで落下すると、位置のエネルギーは全然なくなつて、其の代り運動のエネルギーに変化したものと見ることが出来る。

位置のエネルギー mgh 中 h は高さであるが、これを距離 S と同じく、又 g は重力による加速度であるが、運動の加速度 a と同じと見ると

$$S = v_1t + \frac{1}{2}at^2$$

で $S = h$ 、 $a = g$ とすれば、初速度 v_1 は零であるから

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$\text{従つて } mgh = mg \times \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}m(gt)^2$$

然るに $gt = at = v$ であるから

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots(58)$$

即ち位置のエネルギーは運動のエネルギーに変換されることが判る。

エネルギー不滅の法則……物體が自然に落下して、低くなるに従ひ位置のエネルギーは減り運動のエネルギーは増加するが、エネルギーの總量は變らない。即ち位置のエネルギーも運動のエネルギーも同じエネルギーであるが、只形態が異つて居るのに過ぎないのである。

一般にエネルギーは一物體から他の物體に移り、又其の形態を變へ得るものであるが、其の間に於てエネルギーは創造さるゝ事もなければ消滅することもないのである。即ち之をエネルギー不滅の法則と云つて居る。例へば列車が停車する場合を考えると、列車は制輪子と車輪との間の摩擦によつて停車するので、この場合列車の有する運動のエネルギーは、制輪子と車輪間の摩擦によつて全部熱のエネルギーに変化して大氣中に放散されるが、この列車の有して居た運動のエネルギーは全部熱のエネルギーに変化してしまふのでエネルギーとしては全然消滅しないのである。

(2) 假定勾配の求め方

今勾配の麓に於ける速度を v_1 (米/秒)、頂上に於ける速度を v_2 (米/秒) とすれば、速度低下の爲に放出されるエネルギーは速度 v_1 に對するエネルギーと、速度 v_2 に對するエネルギーとの差であるから次のやうになる。

$$E_k = \frac{m}{2}v_1^2 - \frac{m}{2}v_2^2$$

$$= \frac{m}{2}(v_1^2 - v_2^2) \dots \dots \dots (59)$$

茲に E_k = 運動のエネルギー (珓)

$$m = \text{列車の質量} = \frac{w}{g}$$

w = 列車の重量 (珓)

g = 重力の加速度 = 9.8 米/秒/秒

v_1 = 勾配の麓に於ける速度 (米/秒)

v_2 = 勾配の頂上に於ける速度 (米/秒)

列車には車輪、車軸のやうな回轉部分があり、減速する時は之等の回轉部分も同時に減速するので、之が爲更にエネルギーを放出する。其の程度は一般に直進部分のエネルギーの 6% 位であると考へられて居るから、 E_k の値を 6% 増加し、且質量 m の代りに $\frac{w}{9.8}$ を代入すれば

$$E_k = 1.06 \times \frac{w}{2 \times 9.8} (v_1^2 - v_2^2)$$

となる。

此のエネルギーに依つて列車は全然蒸氣を使用しなくても、速度が v_1 から v_2 に低下する迄には相當の距離を運轉することが出来る。此の場合勾配を上つた高さを h (米) とすれば、列車重量 w (珓) を上げるに要したエネルギーは $w \times h$ (珓・米) であつて、之は速度が低下した爲に出來たエネルギー E_k と等しい筈で、これによつて運動のエネルギーが位置のエネルギーに變化したことが解る。

故に $E_h = w \times h$

$$= 1.06 \times \frac{w}{2 \times 9.8} (v_1^2 - v_2^2)$$

$$\text{従つて } h = 1.06 \times \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2 \times 9.8}$$

之は速度が 米/秒 で實用上からは 杆/時 が便利であるから、 v_1 及び v_2 を V_1, V_2 に單位をかへると

$$v_1 = \frac{1000 \times V_1}{60 \times 60} = \frac{V_1}{3.6}$$

$$v_2 = \frac{1000 \times V_2}{60 \times 60} = \frac{V_2}{3.6}$$

となるから、これを前式に代入して

$$h = 1.06 \times \frac{V_1^2 - V_2^2}{2 \times 9.8 \times 3.6 \times 3.6} = \frac{V_1^2 - V_2^2}{240} \dots \dots \dots (60)$$

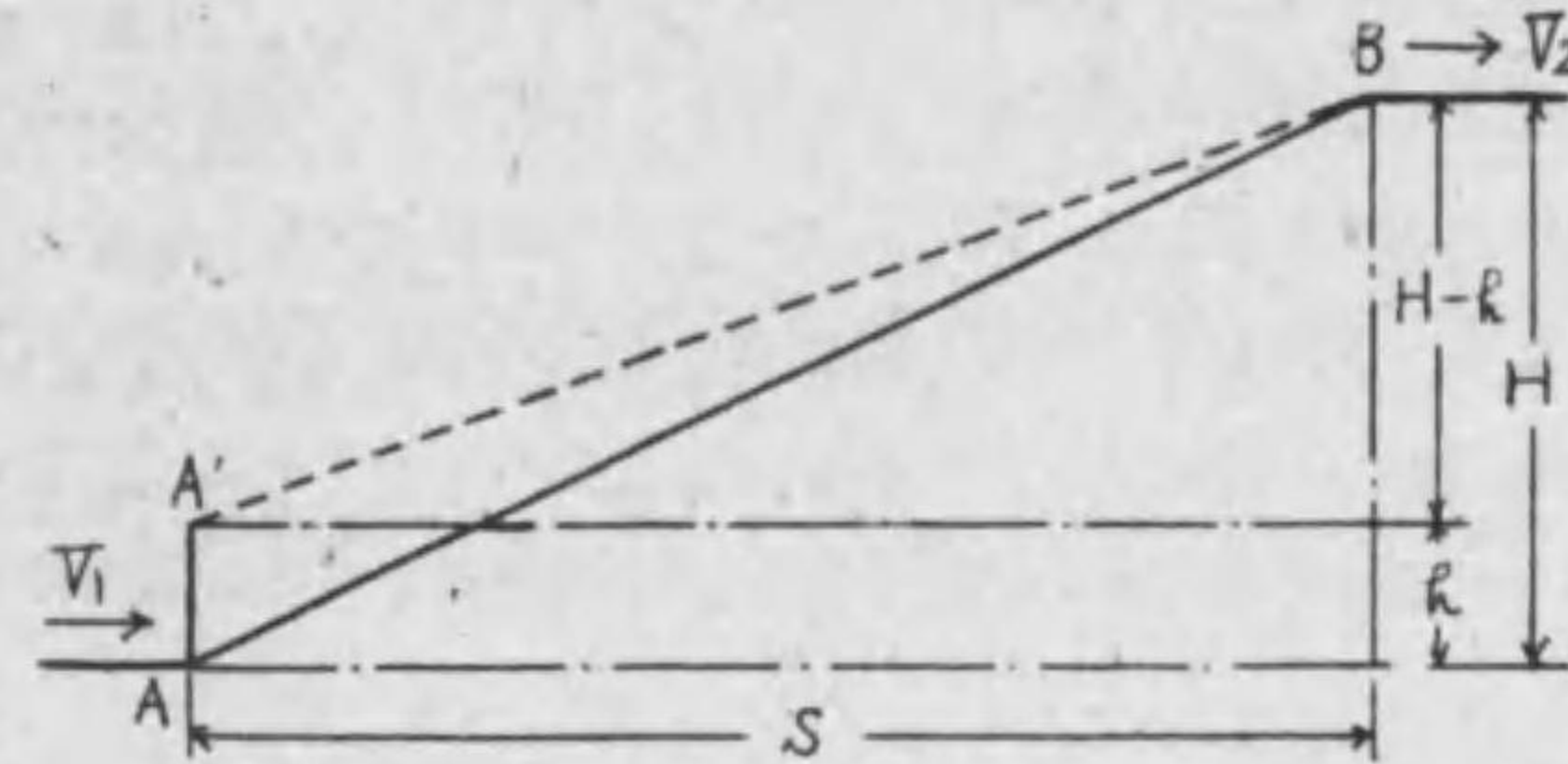
茲に h = 勾配を上つた高さ (米)

V_1 = 勾配の麓に於ける速度 (杆/時)

V_2 = 勾配の頂上に於ける速度 (杆/時)

第 15 圖に於て實際勾配 AB を運轉する場合を考へると、列車は高さ H (米) 丈上らなければならないのであるが、麓の速度の高い場合はこの速度の惰性のため h (米) 即ち AA' だけを助けられることとなるから、結局列車は H と h との差 $H - h$ (米) だけ上げればよいことになり、之は丁度 A'B の勾配を上ると同じ結果となる。此の緩かになつた勾配が即ち假想勾配となるのである。

第 15 圖



今此の假想勾配を千分率で表はし、之を i_0 とすれば圖に依つて知らるゝやうに

$$i_0 = \frac{H-h}{S} \times 1000 = \frac{1000 H}{S} - \frac{1000 h}{S}$$

而して本式の h に第 60 式を代入すれば

$$i_v = \frac{1000 H}{S} - \frac{1000 \times \frac{V_1^2 - V_2^2}{240}}{S}$$

$$= \frac{1000 H}{S} - 4.17 \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{S}$$

此の中 $\frac{1000 H}{S}$ は實際勾配を千分率で示したもので、之を i で表せば假想勾配は次のやうに表はされる。

$$i_v = i - 4.17 \frac{(V_1^2 - V_2^2)}{S} \dots\dots\dots(61)$$

茲に i_v = 假想勾配 (%)

i = 實際勾配 (%)

V_1 = 勾配の麓に於ける速度 (軒/時)

V_2 = 勾配の頂上に於ける速度 (軒/時)

S = 勾配の長さ (米) 水平距離を示す。

若し勾配の麓に於ける速度 V_1 と、頂上に於ける速度 V_2 が等しいときには $V_1^2 - V_2^2 = 0$ となるから、假想勾配は實際勾配と一致することとなり、此の場合は速度の惰性は全然得られない事となるのである。

上式は速度低下の爲めに出来たエネルギーを、勾配を上る間常に平均に利用すると云ふ假定の式であるから、實際運轉に當つては最も優れた技術を發揮しなければ、これと一致することは中々困難である。尙假想勾配は、重量の多い列車の放出する速度のエネルギーは大であるが、このエネルギーを以て勾配を上るにも亦大なる力を要する理由から、列車重量には無關係であると云ひ得られるのである。

【問題】 總重量 1050 噸の貨物列車が、實際勾配 10 ‰、其の延長 1500 米を上る場合に、麓に於ける速度が 45 軒/時のときの假想勾配は何程となるか。

4. 支配勾配を定める方法

或る区間の急勾配の長さが非常に長い場合は、勿論其の勾配に依つて牽引重量を制限されるから、其の勾配が支配勾配となるが、其の勾配の延長が短いと

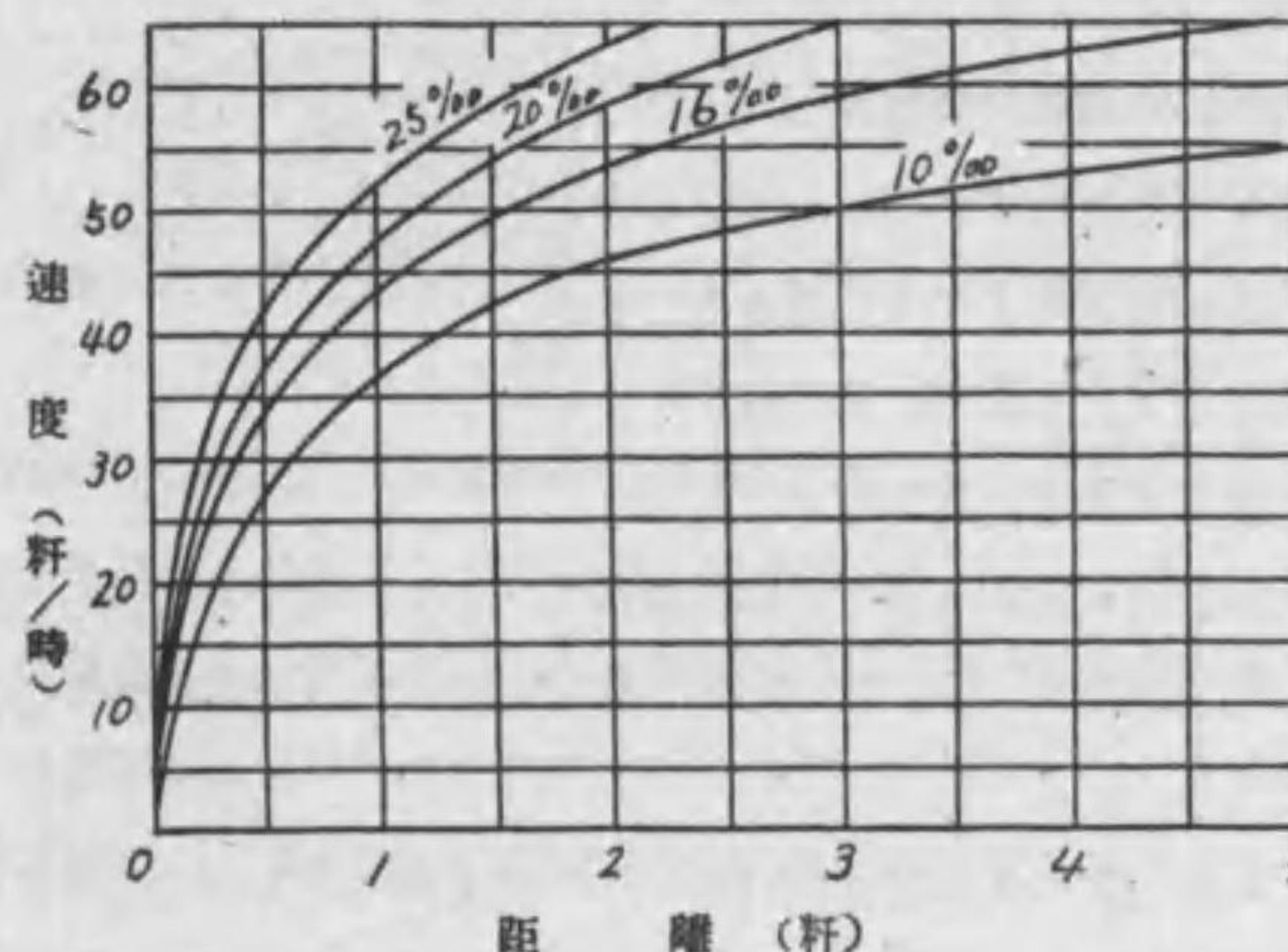
きは勾配の麓に於ける速度の有するエネルギーを利用することに依つて、實際の勾配よりも緩なる勾配、即ち假想勾配にて牽引重量を定めることが出来ることとなる。従つて斯様な場合支配勾配を決定するには、上り勾配線の延長が幾何以上であるとき、實際勾配に相當する牽引重量を適用するかの標準の長さを求める必要が起つて来るのである。

夫故上り勾配線に對する標準長さを求めるに必要な條件としては、勾配の麓に於ける速度、勾配上の取扱最低均衡速度及び上り勾配の程度等を考へなければならぬのである。

(1) 勾配の麓に於ける速度の求め方

先づ最初に第 16 圖の如き速度線圖を書いて置く必要がある。

第 16 圖



この線圖の書き方は、上り勾配の最低均衡速度を決めて、各勾配に相當した牽引重量を求め、この牽引重量で平坦線を運轉する場合の速度を書けば良い。速度の加速状態を考へると、25 ‰の勾配に對する牽引重量は、これよりも緩な勾配に對するものより少いから、この重量で平坦線を運轉すれば他の勾配に對するものよりも速度は高くなること圖によつて明となる。

次に第 17 圖のやうに實際の線路縦断面を修正したものを作る。

圖に於て(A)は實際の線路縦断面圖、Aは修正線路縦断面圖を示すものである。然るときは第17圖Aの線路縦断面圖に對する停車場中心から、勾配の麓までの距離及勾配によつて第16圖から勾配の麓に於ける速度を見出すことが出来る。

例へば第17圖の修正線路縦断面圖に於て、停車場よりb點までの距離が2軒であるとき、b點からの勾配が10%勾配と假定すれば、勾配の麓の速度即ちb點の速度は46軒/時となる。

(2) 勾配上の取扱均衡速度

勾配上に於ける均衡速度が高ければ、麓に於ける速度が相當高くても、間もなく均衡速度まで低下するから、其の標準長は短くなる傾向がある。尙列車が上り勾配に於て均衡速度に達する附近では速度の低下し方が緩であるから、安全のため各勾配の均衡速度より5軒/時高めたものを以つて、此の場合勾配上の均衡速度と假定する。

上り勾配の均衡速度は列車速度種別に依つて異なるから、この場合の取扱均衡速度も亦異つて来るが、貨物列車に就て考へると、貨物列車の最低均衡速度は18軒/時を標準として居るから、此の場合の取扱均衡速度は23軒/時となる。

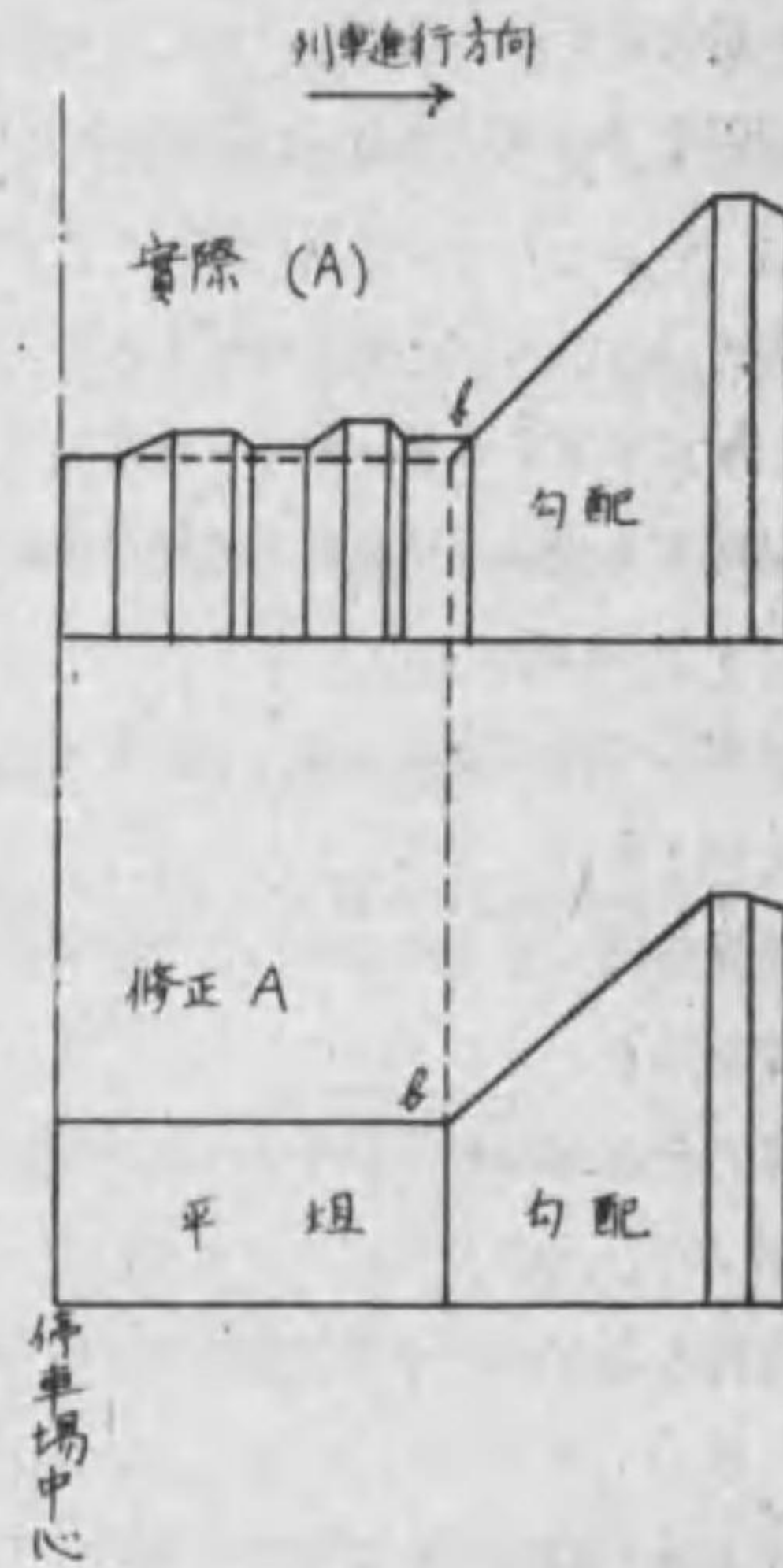
(3) 上り勾配の程度

上り勾配の程度に就ては、勾配の急なる程列車の減速は急に行はれるので、従つて支配勾配となるべき勾配の標準長は短くなる。

今各勾配に相當する牽引定数を牽引して運轉したる場合、取扱均衡速度に達するまでの減速線圖を畫けば第18圖のやうになる。

この圖は列車が任意の速度を以て其の麓に差掛つた場合、其の速度から漸次

第 17 圖



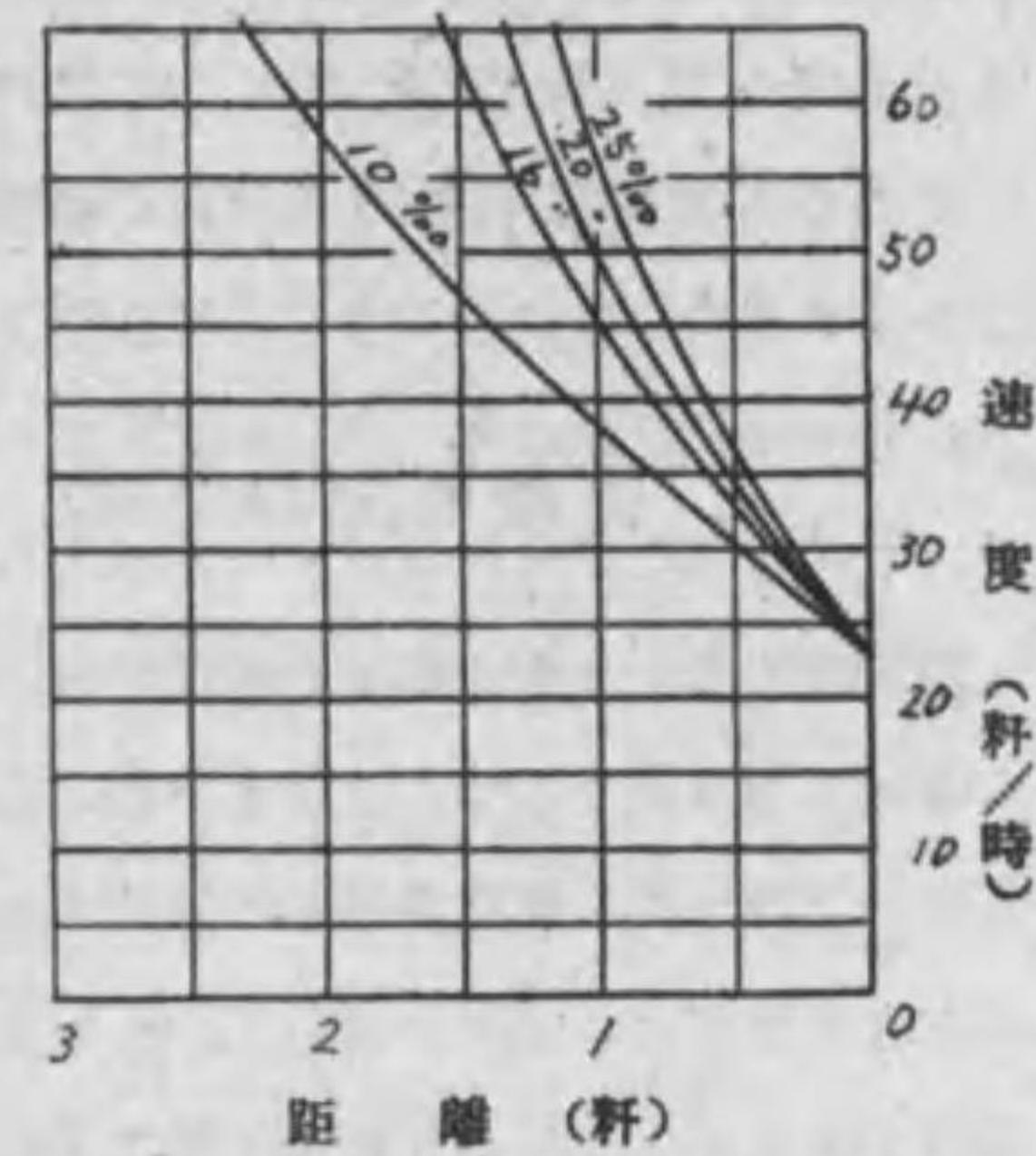
減速して取扱均衡速度に達するまでに幾何の距離を進行し得るやと云ふ關係を示して居る。尙曲線中10……25(%)とあるは、實際勾配が夫々10……25(%)の個所を、其の勾配に相當する牽引定数を牽引して運轉する場合を示したものである。

今第18圖によつて支配勾配となる實際勾配の標準長は幾何であるかを知るには、先づ前に述べたやうに速度線圖により勾配の麓に於ける速度を知り、其の速度にて勾配に掛り取扱均衡速度に達するまでの距離を見出せば、それが即ち標準長となる譯である。

例へば停車場から勾配の麓までの距離が2軒、其の勾配を10%と假定すれば第16圖より勾配の麓の速度を46軒/時を得ることは前に述べた通りである。

依つて第18圖より10%勾配を46軒/時で上り初め、均衡速度23軒/時に達するまでの走行距離を求めると約1.45軒を得る。これが即ち支配勾配查定の標準長となるので、この長を越ゆるときは機関車の牽引定数は10%勾配に相當するものを適用しなければならないが、勾配の延長が1.45軒以下なるときは、其の長さに依つても相違するが、この勾配は假想勾配となるから、機関車は10%勾配よりも緩やかな勾配に相當する牽引定数を適用し得ることとなるのである。

第 18 圖



第五節 上り勾配に於ける牽引定数

機関車の牽引定数とは既に述べたやうに、各種形式の機関車が列車速度種別に依り各區間を定められた運轉時間に依つて運轉するとき、安全に牽引し得る重量の最大輛數を云ふのであつて、原則としては此の重量を超えて牽引することの出来ない制限をなして居るものである。

牽引定数は機関車の形式別、線路別及速度種類別に定められるもので、此の

中機關車の形式と運轉線路が定めれば、結局速度種類に對する速度を決定することに依つて、其の區間の牽引定數は決まることになる。

従つて牽引定數を査定するには、機關車の形式、線路狀態及速度種類別による各々の場合に就て研究する必要がある。

1. 運轉區間の分割

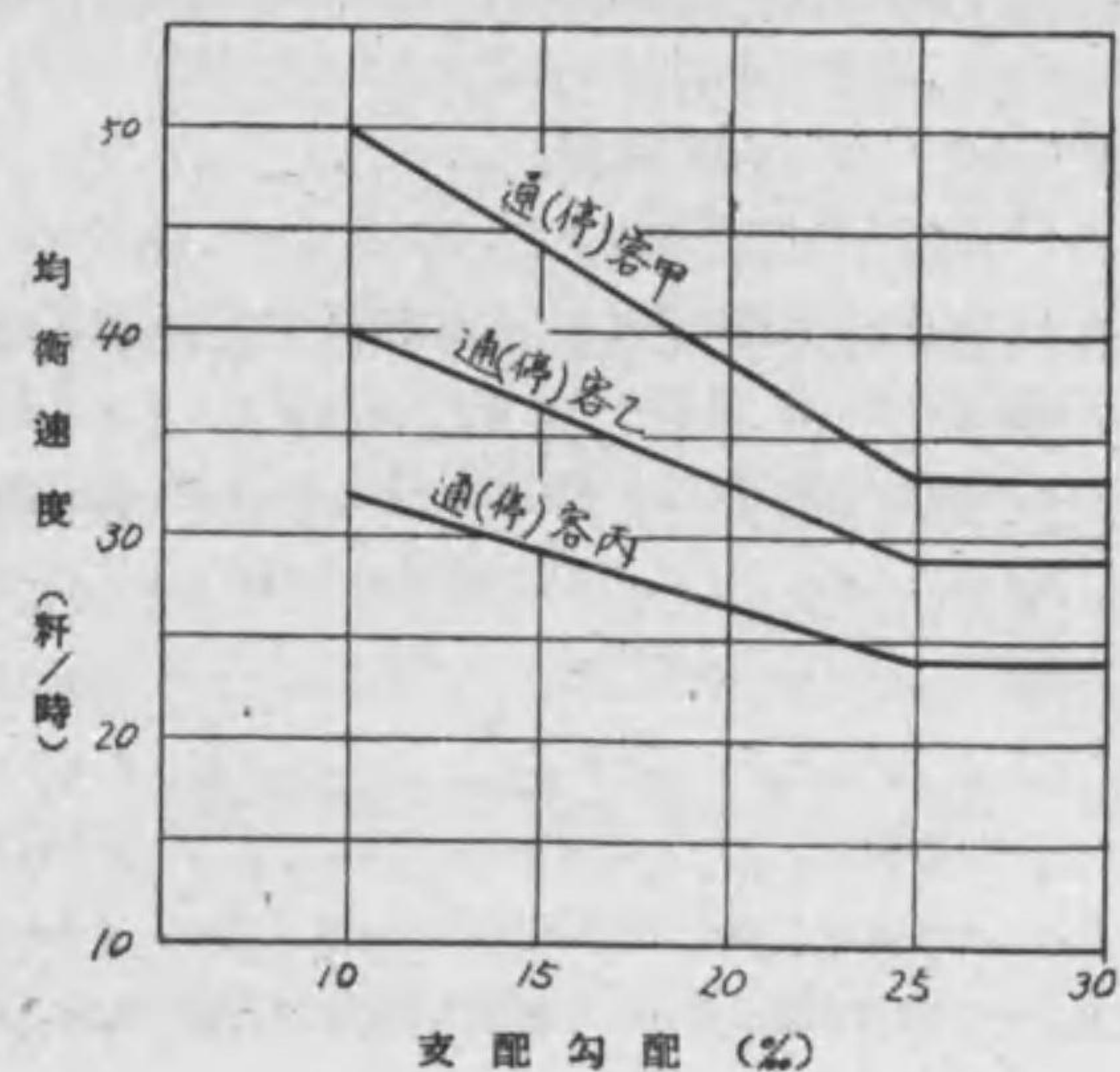
機關車の牽引定數は客貨の輸送と密接な關係があるから、成るべく其の地方の輸送狀態に應ずるやうな牽引定數を制定する必要がある。従つて列車の性質に依つては、其の運轉區間を一區間として牽引定數を制定する場合もあり、又其の運轉區間を適當に分割して、各區間の支配勾配によつて牽引定數を定める場合もある。例へば勾配線等で輸送量が極めて逼迫するやうな場合には、僅か1輛でも多く牽引せしめることのために區間を分割することがあり、又大きな機關車を使用して居る箇所では、僅か換算2,3輛位の差違のときは殊更に區間を獨立せしめる必要がないので、長い區間を一區間として査定する場合もある。結局運轉區間を分割するや否やは列車の性質並に其の地方の輸送狀態等に依つてきめられるものである。

2. 列車速度種類と支配勾配の均衡速度との關係

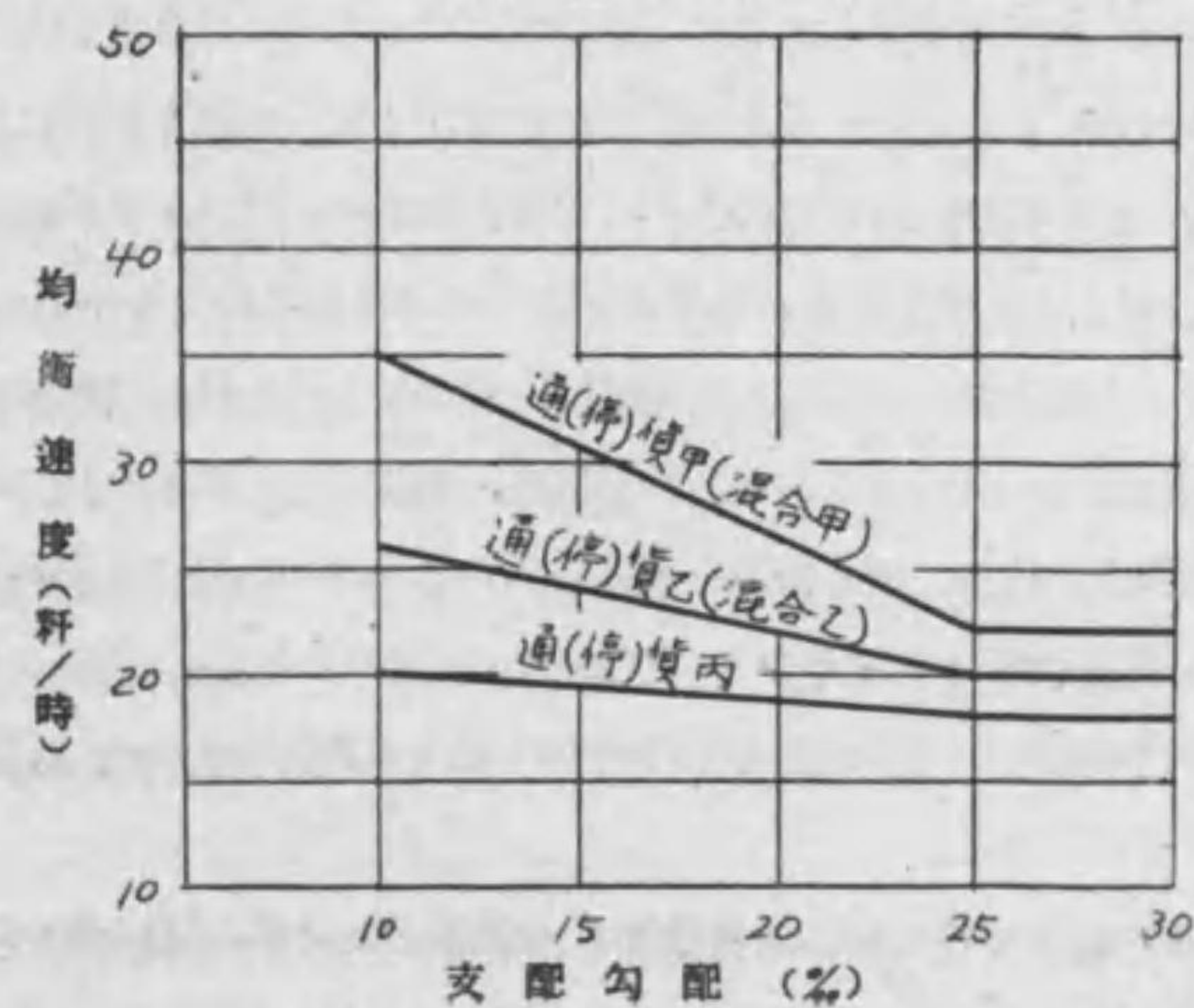
牽引定數の制定は列車速度種類に依つて異なるもので、旅客列車に在つては運轉費の經濟と云ふよりも、雖も旅行時間の短縮を計るため、高速度運轉を必要とする場合が多いが、貨物列車に於ては鮮魚、野菜又は宅扱列車等の如く、特に急送を要する貨物以外は一般に其の運賃を低廉に保つ必要上、運轉費の經濟を考慮する必要があるので、一列車にて最大の輛數を牽引するやうな低速度運轉が必要となるのである。従つて牽引定數を制定する場合には、速度種類による支配勾配の均衡速度を定めて置き、大體之を標準として其の列車の使命に應じて均衡速度を定め、これから逆に支配勾配の牽引定數を制定するのが常である。

今列車速度種別と支配勾配の均衡速度との關係に對する一例を示すと、第19圖の通りである。

第 19 圖
旅 客 列 車



貨 物 列 車



3. 形式別機關車牽引定數

或の運轉區間の形式別機關車牽引定數を定めるには、第二節に於て算出した牽引重量線圖を利用し、支配勾配に對する均衡速度より牽引重量を見出し、各列車の牽引定數を制定すればよい譯である。

以上に依り上り勾配の牽引定數を制定する方法を述べたが、普通の場合は理論的に計算した牽引重量と、運轉時分によつて試運轉を行ひ線路状態及地方的狀況を考慮し、列車運轉に無理のないやうに牽引定數を定めるものである。然し其の區間に種々の形式の機關車がある場合は、最も多く使用される機關車に就てのみ行ひ、其の他のものには支配勾配の均衡速度より之を定めるのが通例となつて居る。

第六節 下り勾配に於ける牽引定數

上り勾配に於ける牽引定數は多くは機關車の牽引力に支配されるものであるが、下り勾配に於ける牽引定數は主として制動力に依つて制限されるものである。

現行の運轉取扱心得では、下り勾配の制限速度を定むるのに、非常制動に依る制動距離が800米以内に納るやうにして居る。従つて定められた制限速度からの制動距離が800米になるやうな制動力に相當する牽引定數を定めればよい譯である。先づ旅客列車に就て考へると、客車の制動率は設計上空車の80%、機關車は50%以上となつて居り、客車が積車である場合に於ても猶70%近くの制動率を持つて居る點から考へ、空走時間を考慮に入れなければ客車は連結輛數の多い程制動力が多くなるから、結局制動距離は空走距離を入れて考へると連結輛數の多少に依つて餘り相違を來さないこととなる。従つて制動力のみには、旅客列車に對する下り勾配の牽引定數には制限がないこととなる。夫故旅客列車の牽引定數は主として次の章に述べる諸項に依つて制限を受けるやうになるのである。

次に貨物列車に就て考へると、貨物列車は旅客列車と其の趣を異にして居る。即ち空車の場合は貨車の制動率も空車と同じく80%であるが、積車の場

合は自重の割合に荷重が大なるため、其の制動率は30%前後となる。然るに機關車は前述のやうに50%以上であるから、結局貨車の連結輛數の増加に伴つて列車の總重量に對する制動圧力の割合が低下し、この結果制動距離を延長することとなるので、此の場合は制動力に依つて勾配の牽引定數が制限されることとなる。

尙現行運轉取扱心得に示せる制限速度は次表の通りである。

| 下り勾配(%) | 下り勾配制限速度(軒/時) | |
|---------|---------------|---------|
| | 旅客列車 | 貨物及混合列車 |
| 2以下 | 95 | 65 |
| 6 | 90 | 60 |
| 10 | 85 | 55 |
| 12 | 80 | 50 |
| 14 | 80 | 50 |
| 16 | 75 | 45 |
| 18 | 75 | 45 |
| 20 | 70 | 40 |
| 22 | 65 | 35 |
| 25 | 65 | 35 |
| 30 | 50 | 30 |
| 35 | 45 | 25 |

第七節 牽引定數查定上考慮すべき事項

機關車の牽引定數は既に述べた通り、平坦線及勾配線では機關車の牽引力に依り、又下り勾配線を運轉する貨物列車及混合列車は制動力によつて制限されることとなるが、尙次に示す事項に就ても考慮しなければならない。

- (a) 停車場内に於て牽き出し得る輛數
- (b) 連結器の強さ
- (c) 乗降場の長さ
- (d) 停車場内本線又は待避線の有効延長
- (e) 地方的氣候の状態

以下之等につき説明しやう。

1. 停車場内に於て牽き出し得る輛數

列車出發の場合は車軸々頭の抵抗が大きいため、出發抵抗として相當大なる抵抗を與へるから、下り勾配のみを考へ之に對する牽引定數を定むるときは停車場に於て牽き出し不能となる。従つて下り勾配の牽引定數を制定する場合には、停車場に牽き出し得る輛數を考へる必要がある。又上り勾配の牽引定數は普通10%以下は10%と同じ牽引定數となし、勾配の緩となるだけ速度を昂上して居るが、貨物列車等に於て勾配の緩なる區間にて特に牽引定數を大ならしめる必要あるときは6~8%に相當する牽引定數を制定することがある。

斯様な場合は6~8%の上り勾配の牽引定數を、停車場に於て牽き出し得るや否やを檢討しなければならない。即ち停車場構内は建設規程に依れば35%の上り勾配あり、且發車抵抗を車輛1輛當8噸とすれば、この場合車輛1輛當りの抵抗は11.5噸となるに反し8%の上り勾配に於ける抵抗は、走行抵抗を含んで1輛當10噸、或は10.5噸程度なるを以つて、この場合は8%上り勾配に相當する牽引定數は、停車場の牽き出しに依つて制限されることとなる譯である。従つて10%以下の勾配に於ける場合は、一應之等につき検討する必要があるのである。

2. 連結器の強さ

自動連結器の強さは、試験の結果は其の破壊引張力が100噸以上であると云はれて居る。今安全係數を5とすれば、其の許容内力は20噸であるから、出發抵抗を車輛1輛當8噸として見ると其の牽引し得る重量は

$$\frac{20 \times 1000}{8} = 2500 \text{ 噸}$$

となり、連結器の限度から考へると現在の最大機關車のD50形式級最大牽引力よりも可成り大きいから、現在の状態に於ては何等支障はないやうである。

3. 乗降場の長さ

乗降場の長さが不充分なときは、其の停車場へ停車の場合客扱をなすこと

が困難であるから、自ら其の輛數は制限されることとなる。現在主要幹線に於ける編成輛數は15輛を限度と考へられて居るので、この點からも牽引定數が定まることとなる。若し牽引能力が大きいにも不拘、乗降場の長さ不足の爲輛數を制限される場合は、小形の機關車と取換へることも考へられる。

4. 停車場構内本線又は待避線の有効長

停車場構内本線又は待避線の有効長は、連結輛數を制限する要素となるもので、最大連結輛數はこの有効長によつて制限されることとなるのである。然し牽引定數査定上から考へると、牽引定數は其の區間の支配勾配及均衡速度に依つて定められるのが本則であるから、特別の場合の外は之等有効長を無視して考へるのが普通である。

5. 地方的氣候状態

氣候状態に就ては地方的に見て、冬季積雪地方等に在りては夏季と同一の牽引定數とすることは無理なる場合があるから、之等に對しては冬季に於ても或る程度の降雪に對抗し得るやう幾分牽引定數を割引して査定することも必要である。

第八節 牽引定數表示方法の種類

機關車の牽引定數を査定するには、機關車の形式、線路の支配勾配及び列車速度種類による均衡速度等によつて之を算出すればよいが、其の要點は機關車の引張棒牽引力が等しいやうな抵抗を持つた客貨車の重量を牽引せしめることに在る譯である。然るに車輛の走行抵抗は前に述べたやうに、車輛の重量に比例するものではなく、空車は積車よりも1輛當走行抵抗多く、又車輛の構造によつても相違がある。牽引定數の表示方法とは、即ち此の抵抗を如何なる形で表すかの方法である。我國有鐵道で採用して居る方法は、實際噸數に類似した方法、即ち自重に荷重の7割を加へ、この重量10噸を以つて換算1輛とする方法である。現在知られて居る牽引定數の表示方法を示すと次の通りである。

(a) 現車數に依る方法

- (b) 實際噸數に依る方法
- (c) 引張棒牽引力に依る方法
- (d) 修正噸數に依る方法

1. 現車數に依る方法

此の方法は甲形式機關車は現車 60 輛、又乙形式機關車は現車 50 輛と云ふやうに牽引定數を定める方法である。従つて車輛の大きさが略ぼ一定して居る場合は極めて簡單で頗る實用的であるが、貨物列車のやうに貨車の大小、又は積空に依る走行抵抗の差が甚しいものに對しては不適當である。

2. 實際噸數法

此の方法は各車輛につき其の重量を實測する方法で、幾分正確ではあるが、車輛抵抗が重量に比例するものでないこと、車輛の重量を一々測定することは日常の業務として非常に面倒であるから、特殊の試験の場合等の外は使用されない。

3. 引張棒牽引力に依る方法

此の方法は、牽引定數を求める根本となる機關車の引張棒牽引力に等しいやうな抵抗を與へる車輛列を求めることで、之を直接求める方法であるから、全く理想的なものであるが、之が爲には試験車に依つて車輛の走行抵抗を測定し置き、列車を組成するに當つて其の區間で其の速度のときの機關車の引張棒牽引力と同一の列車抵抗となるやうにするのである。然し理論としては簡單であるが、之を實用的にするには相當面倒である。

4. 修正噸數法

この方法は前述の引張棒牽引力に依る方法と同一であるが、日常の取扱を多少簡易化する爲に考へられたもので、車輛の抵抗は其の重量のみに比例せず、重量に比例する部分と、重量に無關係な部分とから成立つと云ふ見地から、輕量貨車と重量貨車との 1 輛當りの走行抵抗の割合を求め（勿論この場合輕量貨車と重量貨車の引張棒牽引力を等しくする）列車組成に當つては、この比に依

つて引張棒牽引力と走行抵抗とを等しくするやうに、車輛を組成する方法である。此の方法は平坦線の多い所では良いが、我國のやうな勾配線の多い所では勾配の抵抗に對する影響が大きいから、餘り實用的でない。

第九節 牽引定數の表示方法

以上述べたやうに、機關車の牽引定數は機關車の牽引力と列車の抵抗とを基礎として理論的に算出することが出来るが、實際に當つては線路の状況や機關車の状態に等によつて之を定めることは中々面倒であるので、相當深い考慮が必要である。

機關車牽引定數の表示方法に就ては各國其の表示方法が異つて居るが、我が國有鐵道では既に述べたやうに、本線路に於て牽引し得る車輛列の換算輛數を以つて表はされてゐる。

次表は機關車牽引定數表の例を示したものである。

| 線 區 名 | 最急勾配 | 標準勾配 | 機關車形式 | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|--------------|--------------|-----|-----|-----|----------|----------|----------|-----|----------|------|-----|-----|----------|
| | | | C53 | | | C51 | | | D51 | | | 9600 | | | |
| | | | 通客甲 | 通客乙 | 停客乙 | 通客乙 | 停客乙 | 停客丙 | 通貨乙 | 通貨丙 | 停貨乙 | 混合乙 | 通貨丙 | 停貨乙 | |
| A | 甲—乙 | 10.0 10.0 | 6.0 4.3 | 45 | 55 | 50 | 40 | 40 | 50 | 80 | 110 | 80 | 60 | 65 | 90 |
| | 乙—丙 | 10.0 10.0 | 7.3 6.0 | 45 | 55 | 50 | 40 | 40 | 50 | 80 | 110 | 80 | 60 | 65 | 90 |
| | 丙—丁 | 10.0 10.0 | 10.0 10.0 | 45 | 55 | 50 | 40 | 40 | 50 | 80 | 100 | 80 | 60 | 65 | 75 |
| B | 丁—戊 | 16.7 15.2 | 16.1 2.8 | | | | 30 40 | 30 40 | 35 50 | | 50 | | | | 45 |
| | 戊—己 | 25.0 — | 25.0 — | | | | 20 40 | 20 40 | 22 50 | | 35 50 | | | | 27 45 |

註 最急勾配及標準勾配欄中二段より成る數字中上段は下り列車、下段は上り列車に對するものを示す。一は片勾配を示す。
牽引定數欄中二段より成る數字、上段は下り列車に對するもの、下段は上り列車に對するものを示す。

第六章 列車運轉時分の計算方法

第一節 列車の加速及び減速

機関車が或る重量を牽引して居る場合に、機関車の發揮する牽引力が全列車の抵抗よりも大きいときは、列車は加速して漸次其の速度を増加するが、牽引力に比較して列車抵抗が大きいときは、列車は減速して其の速度が低下する。此の場合列車の加速及び減速の程度は、牽引力と列車抵抗との差を列車の總重量で除した列車重量1 噸當りの加速力又は減速力に比例するもので、如何に牽引力と列車の抵抗との差が大きくても、此の力を以つて加速する列車の重量が大であれば、列車重量1 噸當りの加速力としては左程大きくならないから、結局加速度も高め得ないこととなる。

列車重量1 噸當りの加速力と加速度との關係は前述したやうに次の式を以て表される。

$$A = \frac{f}{30}$$

茲に A = 列車の加速度又は減速度 (軒/時/秒)

f = 列車重量1 噸當りの加速力又は減速力 (軒/噸)

即ち列車重量1 噸當りの加速力を知れば容易に加速度を求めることが出来る譯である。

今 C57 形式機関車が、ボギー客車重量 500 噸を牽引して平坦線を運轉する場合の加速力及加速度を求めると次表の通りである。

この表で求めた結果を見ると、列車が出発してから 93 軒/時近くまでは列車抵抗よりも牽引力が大きいので、列車は加速することが出来るが、95 軒/時に於ては列車抵抗の方が牽引力よりも大きい爲、列車は 95 軒/時に達することが出来ないで、93 軒/時の速度に達して以後此の速度を以て等速運轉をすることとなる。此の時の速度が平坦線に於ける列車の均衡速度である。

| 速 度 (軒/時) | 引張牽引力 (軒) | 客車走行抵抗 (軒) | 總加速力 (軒) | 列車重量 1 噸當加速力 f (軒/噸) | 加速度 A (軒/時) |
|--------------|--------------|---------------|-------------|------------------------------|----------------|
| 0 | 9190 | 4000 | 5190 | 8.44 | 0.282 |
| 10 | 9767 | 670 | 9097 | 14.80 | 0.493 |
| 20 | 9699 | 750 | 8949 | 14.57 | 0.486 |
| 30 | 7761 | 865 | 6896 | 11.20 | 0.373 |
| 40 | 6261 | 1010 | 5251 | 8.54 | 0.285 |
| 50 | 5209 | 1185 | 4024 | 6.55 | 0.218 |
| 60 | 4388 | 1390 | 2998 | 4.88 | 0.163 |
| 70 | 3674 | 1630 | 2044 | 3.33 | 0.111 |
| 80 | 3048 | 1900 | 1148 | 1.87 | 0.062 |
| 90 | 2451 | 2200 | 251 | 0.41 | 0.014 |
| 100 | 1892 | 2530 | -638 | -1.04 | -0.035 |

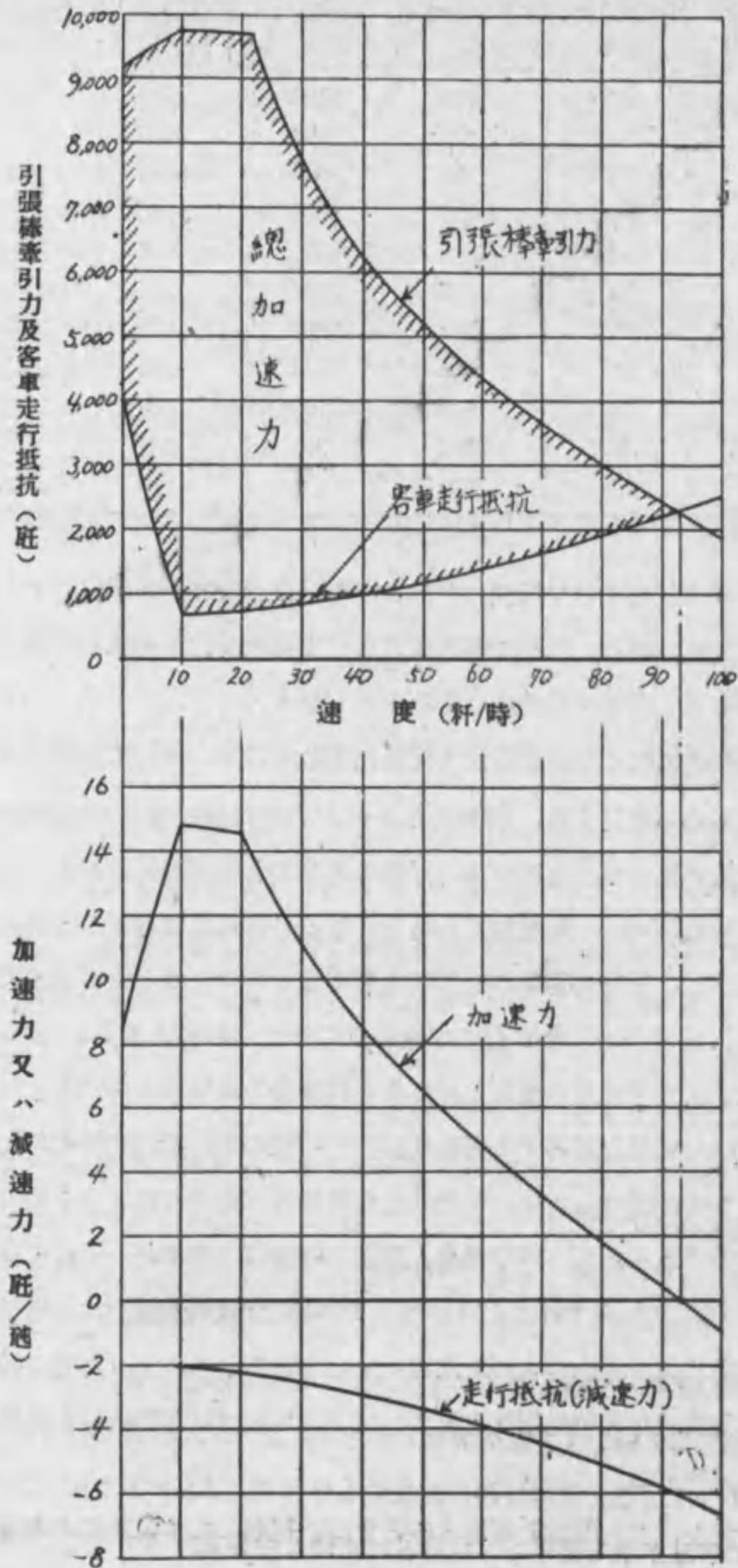
又速度が 95 軒/時位で平坦線に差掛つた場合は、機関車の牽引力よりも列車抵抗の方が大きいから、列車は漸次減速して丁度 93 軒/時に達し牽引力と列車抵抗とが釣合つて列車は等速度で走ることとなる。

牽引力と列車抵抗とは速度に依つて變化するもので、従つて加速力及び加速度も速度に應じて變化する。前表を見ると、列車出發の場合の加速度は 0.282 軒/時/秒に過ぎないが、速度が 10 軒/時に達すると客車の抵抗が減少するので加速度は 0.493 軒/時/秒宛増加する割合となる。其の後は速度の増加につれて牽引力は減少し、反對に客車の抵抗が大きくなるので、其の差の加速力は漸次小さくなり、速度 80 軒/時に於ては僅かに 0.06 軒/時/秒となる。従つて斯かる小さな加速度では速度の増加を計ることは容易でないことが判る。

次に列車が勾配線を運轉する場合には、平坦線の走行抵抗の外に勾配抵抗を考慮に入れなければならない。勾配抵抗は前に述べたやうに、全く列車重量に比例するものであるから、列車重量1 噸當りの加速力を求め、それに重量1 噸當りの勾配抵抗を加減すればよいので、即ち第 20 圖の加速力は列車重量1 噸當りとして平坦線の場合のものを求めたものであるから、上り勾配の場合はこの平坦線の加速力から勾配抵抗を減じ、又下り勾配では勾配抵抗を加算して考へればよい譯である。

又列車が急な下り勾配線を運轉するときは、絶氣しても勾配による加速力の

第 20 圖



ために列車の速度が増加して来る。此の場合の加速力は勾配による加速力と列車抵抗との差引計算で求めなければならない。勾配に依る加速度は速度には全然関係はないが、列車抵抗は速度の増加に伴つて増して来るものである。

次の表は C57 形式機関車が客車 500 両を牽引した場合の走行抵抗を計算せるものである。

| 速度 (km/h) | 機関車走行抵抗 (kg) | 客車走行抵抗 (kg) | 列車走行抵抗 (kg) | 列車重量 1 両當走行抵抗 (kg/両) |
|-----------|--------------|-------------|-------------|----------------------|
| 10 | 573 | 670 | 1243 | 2.02 |
| 20 | 641 | 750 | 1391 | 2.27 |
| 30 | 719 | 865 | 1584 | 2.58 |
| 40 | 809 | 1010 | 1819 | 2.96 |
| 50 | 911 | 1185 | 2096 | 3.41 |
| 60 | 1022 | 1390 | 2412 | 3.93 |
| 70 | 1146 | 1630 | 2776 | 4.50 |
| 80 | 1282 | 1900 | 3182 | 5.18 |
| 90 | 1429 | 2200 | 3629 | 5.88 |
| 100 | 1588 | 2530 | 4118 | 6.70 |

今此の列車が 4.5% の下り勾配線を運轉すると假定すれば、勾配抵抗による加速力は列車重量 1 両當り 4.5 両で、この値は丁度前表の速度 70 km/h の場合の列車抵抗に等しいから、列車が勾配に差掛つた際の速度が之以上の場合には列車は減速し、又 70 km/h よりも低い速度で勾配に達した場合は列車は加速し、最後に 70 km/h となり、以後等速度運轉をなすことになるのである。第 20 圖の走行抵抗はこの関係を圖示せるものである。

列車の運轉時分は此の加速度及び減速度を基として計算するので、次に述べる様な方法に依つて居る。

第二節 列車運轉時分の計算方法

従來列車の運轉時分を定めるには種々の方法を用ひて居たが、現在では専ら理論的運轉線圖を書いて各區間の時分を求め、之に依つて運轉時分の査定をする方法によつて居る。運轉線圖の畫法にも亦種々の方法があるが、此の内ストラル氏の方法が最も簡單で、且容易に正確な時分を計算することが出来るの

で、運輸局では主として之を採用して居る。

尙此の外に、最近は速度時間線圖は書法によらず理論的計算から求めた數値によつて線圖を作製し使用して居る。以下之等につき説明することゝしやう。

1. 直接書法

運轉時分を求めるに當つて、非常に運轉距離の短い場合に用ふる書法であるが、先づ次の三つの準備が必要である。

- (1) 加速力線圖を書くこと。
- (2) 線路縦断面圖を書くこと。
- (3) 加速力線圖、線路縦断面圖及び運轉線圖の縮尺を次の大きさに定めること。

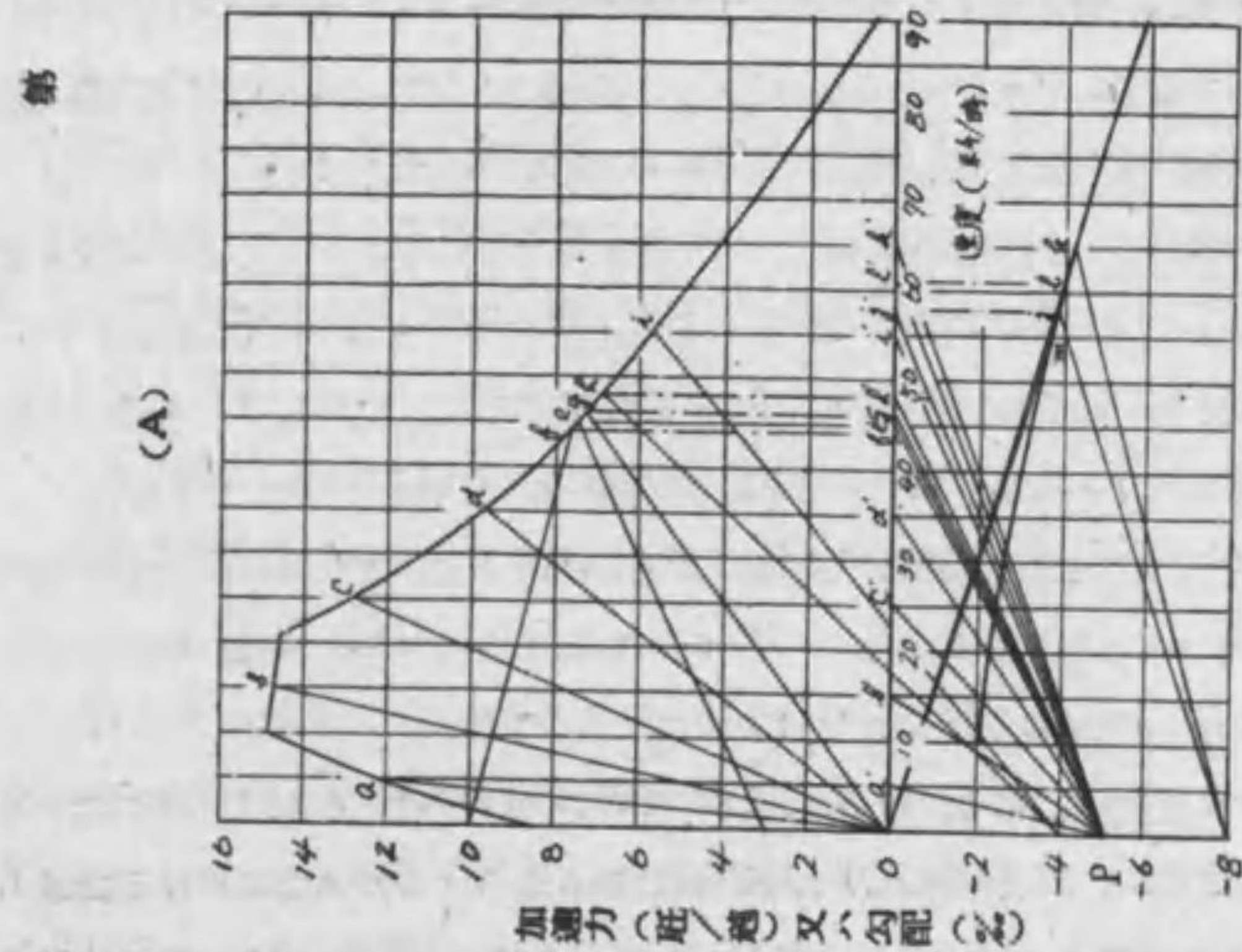
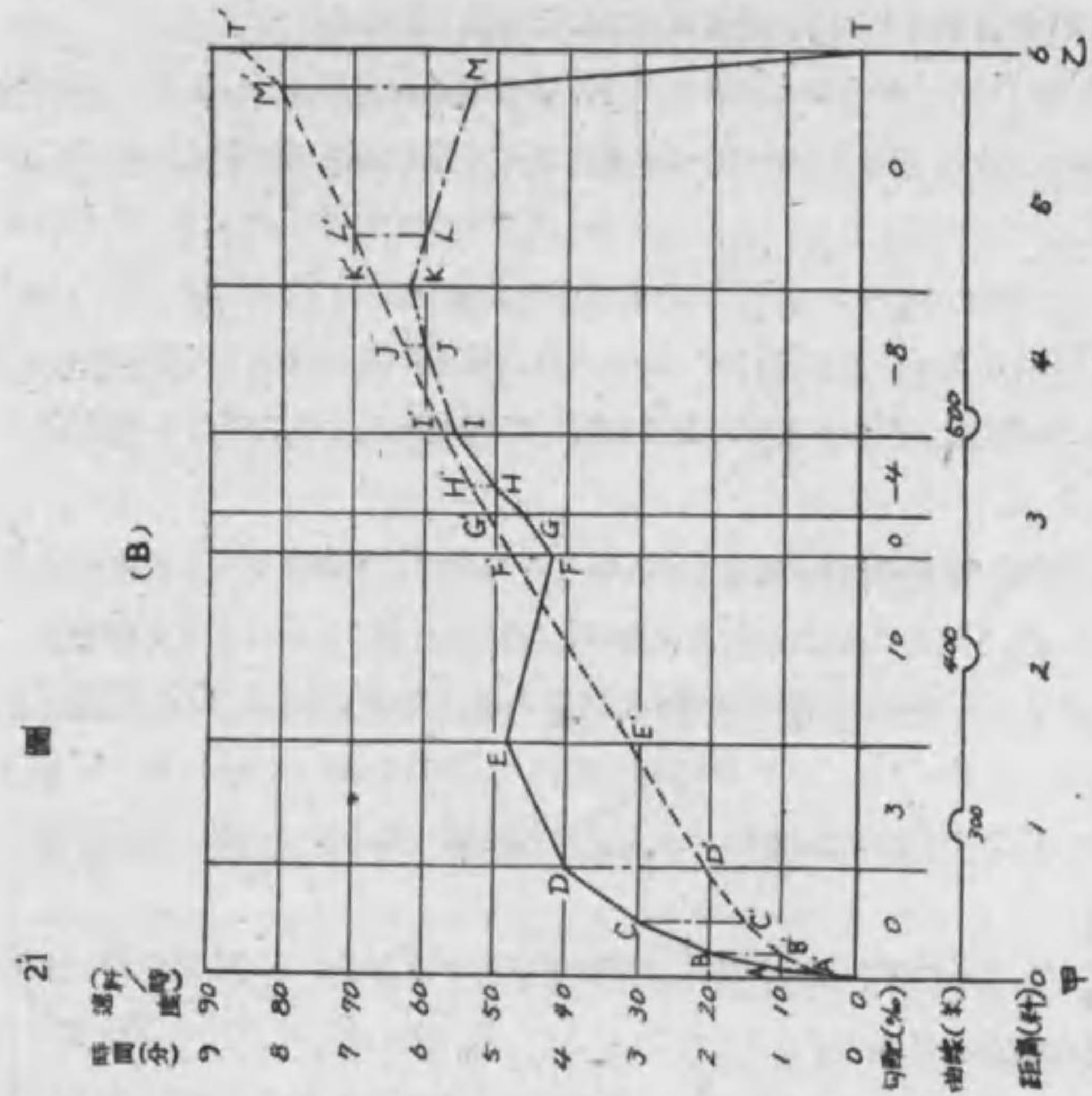
| 加速力線圖 | | | 運轉線圖 | | |
|------------------|-------------------|------|---------------|-----------------|---------------|
| 加速力 i (耗/速) | 速度 V_0 (耗/時) | OP | 距離 l (耗) | 速度 V (耗/時) | 時間 t (分) |
| 1 耗=12 速 | 1 耗/時=2 耗 | 60 耗 | 1 耗=20 耗 | 1 耗/時=1 耗 | 1 分=10 耗 |
| 1 耗=6 耗 | 1 耗/時=1 耗 | 30 耗 | | | |

以上の縮尺關係を以て、或る機關車が車輛を牽引した場合の加速力線圖及或る線路縦断面を第21圖(A)及び(B)の如く書くものとする。

今列車が甲停車場を出發して乙停車場に停車するものとし、之が書法を説明するに先づ發車より10耗/時に達する間を考へると、此の平均速度は5耗/時であるから(A)に於て5耗/時に對する加速力の點 a と原點 O とを結び付ける Oa 線を引き、之と並行に(B)に於て速度曲線(OA)を引くのである。

次に10耗/時から20耗/時に達する間の速度曲線を書くには、其の平均速度15耗/時を取つて Ob と並行に(B)に於て速度曲線 AB を20耗/時の點まで引くのである。

同様な方法で、20耗/時から30耗/時及び30耗/時から40耗/時に達する間の平均速度は、25耗/時及び35耗/時であるから、この速度に於ける加速力の點 c と O 及び d と O とを結んだ O_c 及び O_d 線と並行に(B)に於て速度曲線



BC及CDを引き夫々30軒/時及び40軒/時の點で止める。

斯くしてO點に於ては、列車が40軒/時の初速度を持つて3%の上り勾配を運轉することとなる。3%の上り勾配に於ける均衡速度は、(A)に依つて72軒/時なることが解るから、列車は3%の上り勾配では猶加速することが出来る筈である。40軒/時と50軒/時との間の平均速度は45軒/時であるから(A)に於て3 α 線を引き、之と並行に(B)に速度曲線DE線を引けば列車は50軒/時の速度に達しないうちに3%の上り勾配の終端に来る。この場合の速度は48軒/時となる。

次に列車は48軒/時の初速度で10%上り勾配線を運轉することとなる。然るに10%上り勾配に於ける均衡速度は、(A)より34軒/時なることが知らるゝから、其の後の列車は漸次減速する筈である。48軒/時から40軒/時まで減速する場合を考へると、其の平均速度は44軒/時であるから、(A)の10 β 線と並行に(B)にEF線を引けば、10%上り勾配線の終端で42軒/時の速度となる。

次に列車は平坦線を42軒/時の初速度で進行するが故に42軒/時と50軒/時の平均速度は46軒/時となるから、(A)のO γ 線に並行に(B)にFG線を引けば速度46軒/時に達すると共に、平坦線の終端即ち下り4%勾配の始點に達することとなる。

依つて46軒/時と50軒/時の平均速度は48軒/時であるから、これに対する加速力の點 h と-4とを結んだ-4 h に並行にGH線を引き、50軒/時の點にて止める。猶列車は加速するから、50軒/時と60軒/時の平均速度である55軒/時に對する加速力の點 i と-4とを結ぶ-4 i に並行にHI線を畫けば、56軒/時に下り4%の勾配の終端、即ち8%下り勾配の始點に差覓ることとなる。夫故I點に於て加減弁を閉塞すれば列車はこの8%下り勾配を加速しながら走行することとなる。

下り8%勾配線の始點の速度は56軒/時であるから、これから60軒/時までの間の平均速度は58軒/時となる故-8 j 線と並行に(B)にIJ線を引く。次に60軒/時と70軒/時の平均速度である65軒/時に相當する-8 k 線と並行に(B)にJK線を畫けば、列車は8%下り勾配線の終端に来て62軒/時とな

る。然るに列車は平坦線に差覓るから、其の後は減速することとなる。依つて62軒/時と60軒/時の平均速度61軒/時を以て(A)のO l に並行に(B)にKL線を畫く。次に60軒/時と50軒/時との平均速度55軒/時を以つてO m に並行に(B)にLM線を畫く。斯くして力行及惰行の場合の速度曲線を得らるゝこととなる。

一方制動曲線を求めるには、後に述べる様な一定な減速度で制動するものとし、乙停車場(T)を原點として畫く。これが惰行の速度曲線Mと交はる時の速度即ちブレーキ使用當時に於ける速度は54軒/時となる。

以上は速度曲線の畫法であるが、この速度曲線に對する運轉時分を求むるには、(A)の原點より下方に採れるP點を基として、前に畫いた速度曲線に在るOA, AB, BC……JK, KL, LM線等の各區間に於ける平均速度を以て、これ等に相當する所要時分を求むればよいこととなる。

夫故前に求めた發車から10軒/時までの最初の速度曲線がOAであるから、其の平均速度である5軒/時の點 a' と結ぶ直線P a' に並行にO A' 線を引き、Aより下せる垂線との交點A'點で止むれば、O A' の高さは發車より10軒/時迄に加速せらるゝ間に要する時間で、OAの水平距離は其の間に走行する距離である。

次に速度10軒/時から20軒/時に達する速度曲線ABに對する時間曲線を、Pと15軒/時の點 b' とを結ぶ直線P b' に並行にA'B'線を引き、Bより下した垂線との交はる點B'で止めれば、B'の高さは發車後20軒/時に達するに要する時間で、B點の水平距離は其の走行距離となる。

同様な方法で20軒/時から30軒/時に至る速度曲線BCに對する時間曲線を求めるには、Pと25軒/時の點 c' とを結ぶ直線P c' に並行にB'C'線を引き、Cから下した垂線との交點C'で止むれば、C'の高さは發車後30軒/時に達する間に要する時間で、C點の水平距離は其の間に走行せる距離となる。

又30軒/時から40軒/時に至る速度曲線CDに對する時間曲線も、前と同様な方法でPと35軒/時の點 d' とを結ぶ直線P d' に並行にC'D'線を引き、Dから下した垂線との交點D'で止めれば、所要の時間をも求め得られる。

次にDEなる速度曲線は40軒/時から48軒/時となつて居るから、其の平均

速度である44軒/時の点とP点とを結ぶ直線P'と並行にD'E'線を引き、Eから下した垂線との交点E'で止めれば、E'の高さは発車後48軒/時に達する迄に要する時間で、E点の水平距離は其の間に走行せる距離である。

以上の如く、既に書かれた速度曲線の一定量宛の變化の軌跡に對し、其の平均速度に對する点とP点とを結び付けて、夫等の各速度曲線に對する時間曲線を書けば良い譯で、結局OA', B'.....K', L', M'なる時間曲線を得られ、これが速度曲線OAB.....KLMに對應するものであつて、其の水平距離は即ち走行距離となる譯である。

以上の方法に依つて運轉時分を求め得る譯であるが、この場合に力行運轉から惰行運轉に移る場所、即ち絶氣地點や制動開始の地點が異つたり、或は制動方法が異つたりすると運轉時分が異つてくるし、又發車の際の加速の程度によつても異つてくる。従つて之等は列車の種類、線路勾配の程度、停車場の配線状態、地方的天候、其の他の條件を考慮して適當に定めなければならないのである。實際に區間の運轉時分を査定する場合には、理論的計算によつて求めた時分により試験を行ひ、實際に適應せる時分を定めるものである。

2. 間接書法

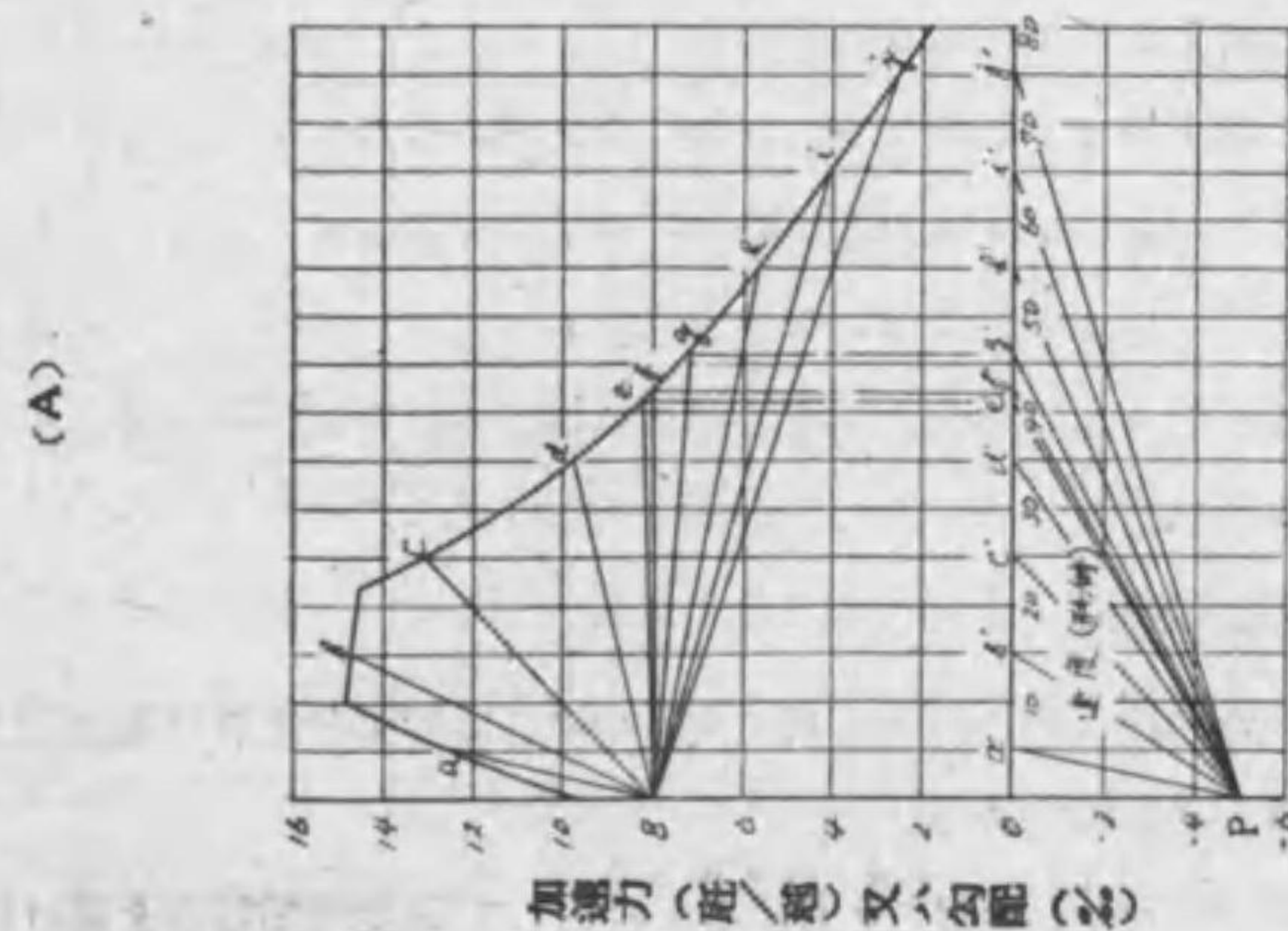
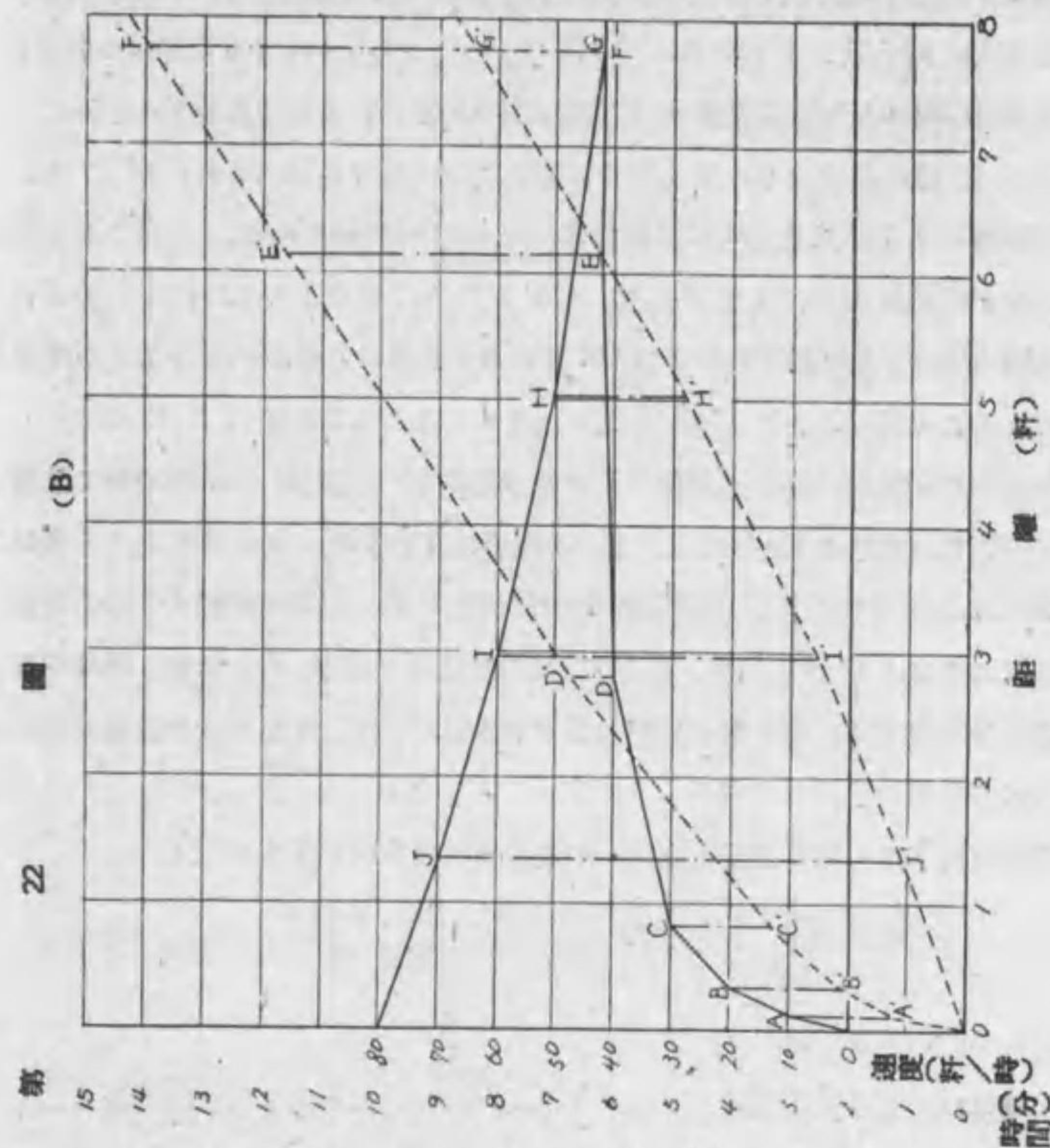
(1) 準備書法

運轉時間を求むるのに、距離が非常に短い場合は直接書法の處で述べたやうに、勾配及曲線等を記入した線路縦断面圖に依つて直接速度及び時間曲線を書いて求めるのが便利であるが、距離が非常に長いときは前述のやうな直接に求むる方法では頗る手数がかるから、豫め第25乃至28圖の様な速度時間線圖を書いて置いて、其の線圖から寫し取るやうにする方が便利である。尙速度時間線圖を書くに當つては、其の縮尺關係は前述の直接書法と同じ關係によらねばならない。

(A) 力行線圖の書法

力行運轉の場合の速度時間線圖を書くためには、直接書法に於ける加速力線圖を其の儘使用するものである。

今第22圖(A)に示せる加速力を有するものとして速度時間線圖を書けば、



假りに8%上り勾配を發車して、10軒/時の速度に達する迄を考へるに、其の平均速度は5軒/時であるから、(A)圖の8%上り勾配を示す8と速度5軒/時の加速力の點 a とを結ぶ直線 $8a$ に並行に第22圖(B)に於て直線OAを引き、速度10軒/時の點で止め、之に對する時間は(A)圖の横軸上5軒/時の點 a' と時間原點Pとを結ぶ直線 Pa' に並行に(B)圖に OA' 線を引き、A點より下した垂線との交點A'に止むるときは、 OA' の高さは發車より10軒/時に加速せらる爲めに要する時間であつて、OA間の水平距離は其の間に走行する距離となる。次に10軒/時より20軒/時迄に加速する爲の平均速度15軒/時に該當する加速力の b 點(A)圖と、勾配8とを結ぶ直線 $8b$ と並行に(B)圖に於て直線ABを引き、速度20軒/時に止めてその運轉速度を求め、夫れに對應する運轉時間は、(A)圖のP點と15軒/時に相當する b' 點とを結ぶ直線 Pb' に並行に(B)圖に於て $A'B'$ 線を引き、Bより下した垂線との交點B'で止める時はB'の高さは發車後20軒/時に達する間に要する時間にして、B點の水平距離は其の走行距離である。

斯様に以下全く同じ方法を繰返して之を行へば良い、即ち

8 c に並行にBCを且つP c' に並行にB'C'を引き
 8 d " CD " P d' " C'D' "
 8 e " DE " P e' " D'E' "

等に書けば、茲に速度曲線としてOABCDE及び之に對應する時間曲線としてOA'B'C'D'E'を書くことが出来るのである。

斯様にしてEに達すると、列車は42軒/時の均衡速度になるから、速度曲線EFは水平線となり、従つて其の時間曲線E'F'は直線となる。

次に列車が均衡速度以上の速度を以て上り勾配に差蒐るときは、其の加速力は列車抵抗よりも小さくなるから、列車の速度は進行と共に漸次減少して遂に當該勾配に對する均衡速度に依つて一定速度を持続することとなる。従つて斯様な場合の速度時間線圖は上記のものと同様の順序を以て同様な方法で繰返し行へば良いことになるのである。例へば本列車が80軒/時より70軒/時に減速する場合を見ると其の平均速度は75軒/時であるから、(A)圖の8 f に並行に(B)圖に於て80 J を引き、70軒/時の點で止めて其の速度曲線を書き、之

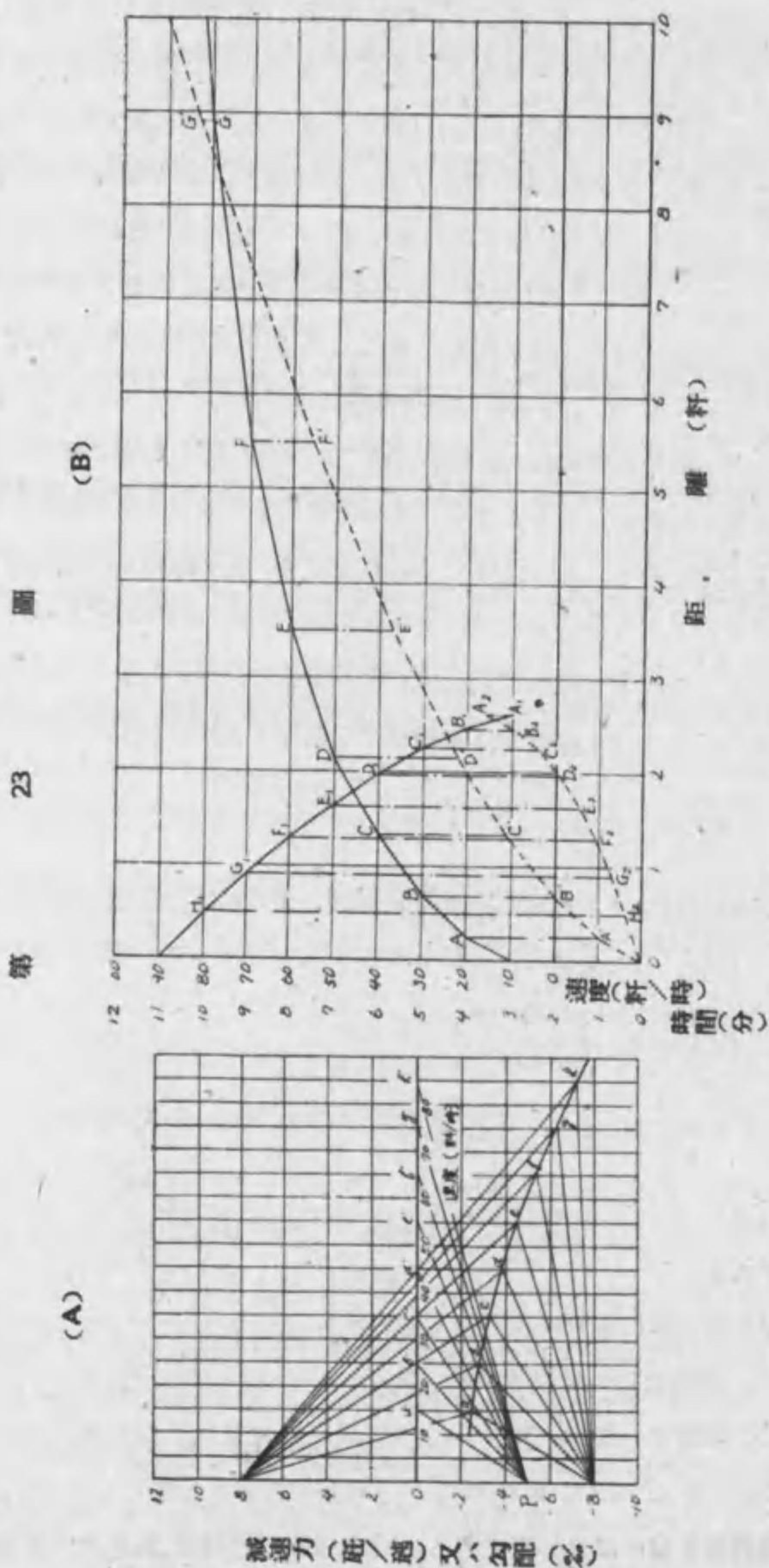
に對應する時間曲線は、(A)圖のP j' 線に並行に(B)圖に於ける原點OよりO J' 線を引き、J點より下した垂線との交點J'を求める。次に70軒/時より60軒/時に減速する間の平均速度は65軒/時であるから、(A)圖の8 i 線に並行に(B)圖へJI線を60軒/時速度の點迄引くことに依り、其の場合の速度曲線を得られる。之に對する時間曲線を求めるには、(A)圖のP i 線に並行に(B)圖のJ'I'線を引き、I點より下した垂線との交點I'で止めるのである。以下全く同様な方法を繰返せば良い譯である。而してH點に至れば列車は均衡速度の55軒/時となるから、こゝで前記の速度曲線に合致することとなる。

斯様にして一種の勾配に對し二組の速度、時間曲線即ち加速の場合と減速の場合との曲線が得らるゝことになる。其の他の勾配に對しても同様な方法によつて得らるゝ譯である。此の様に求めた速度、時間曲線は直線の連続であるから、之を滑らかな曲線となせば良い譯である。此の爲には平均速度は上記の如く粗くなく相當細く採れば、速度、時間曲線を曲線となすにも非常に便利である。殊に均衡速度に接近するに従つて一層細くすれば理想的なものが出來上るものである。

(B) 惰行線圖の書法

列車が惰行運轉をする場合の速度時間線圖を書くには、加速力線圖に示した走行抵抗の曲線、即ち減速力の曲線を使用するのであつて、第23圖の(A)及(B)圖は其の書法を示せるものである。

今上り勾配8%に於ける走行抵抗、即ち減速力は8%上り勾配に對する値よりも甚しく下方に在るから、惰行運轉の場合は列車は急激に減速する筈である。列車速度が90軒/時から80軒/時に減速するときは、此の平均速度は85軒/時であるから、(A)圖に於て其の場合の減速力曲線の點 h と上り勾配8%に對する點を結んだ8 h 直線に並行に(B)圖の速度90軒/時を示す點より90 H_1 を引き、80軒/時の位置に止めれば其の場合の速度曲線となり、之に對應する時間は力行運轉の場合と同様な方法を以つて、(A)圖の時間原點Pと速度85軒/時の點 g と結んだ直線と並行に(B)圖に於てOH $_2$ 線を引き、H $_1$ から下した垂線とH $_2$ で交はらしめればOH $_2$ は該運轉速度に對應する時間曲線となる。以下順次同様な方法を繰返して行へば、速度曲線として90H $_1$ G $_1$ ……B $_1$ A $_1$ 及



第 23 圖

び夫れに對應する時間曲線 OH_2G_2, \dots, B_2A_2 を書き得られる。

次に下り勾配 8% に於ては (A) 圖を見ることに依つて知られるやうに、其の減速力曲線は 8% 下り勾配に對する値より凡て上位にあるから、列車は漸次加速する譯である。今列車速度が 10 軒/時より 20 軒/時に加速する場合を見ると、其の平均速度が 15 軒/時であるから、(A) 圖の下り勾配 8% に對する點と走行抵抗曲線、即ち減速力曲線の點 a とを結んだ $-8a$ に並行に (B) 圖の 10 軒/時の速度を示す點から直線 $10A$ を引き、20 軒/時の位置で止めて其の速度曲線を書くのである。而して夫れに對應する時間曲線は (A) 圖の Pa' に並行に (B) 圖に於て OA' を引き、速度曲線の A 點より下した垂線との交點である A' の點で止めることによつて之を求め得らるゝ譯である。従つて以下同じ方法を繰返せば、速度曲線として $10AB, \dots, FG$ を、又之に對應する時間曲線は $OA'B', \dots, F'G'$ を書き得らるゝのである。

斯様にして一種の勾配に對しての速度、時間曲線が作り得らるゝこととなり、又他の勾配に對しても之と同様な方法で曲線を書くことが出来る。

(C) 制動線圖の書法

制動線圖の書法は列車が其の制動中に一樣な減速度を持つものとして、次の理論から減速力を求めて、この減速力曲線から書くのである。

今 F = 減速力 (疋/隨)

A = 減速度 (軒/時/秒)

とすれば、第 50 式より

$$F = 30 A$$

となし得るから、之を既に述べた直接書法の場合の縮尺によつて書くことが出来る譯である。

例へば旅客列車の制動に依る減速度が 1 軒/時/秒なるものと假定すれば、前記の速度、時間曲線の書法に於ける縮尺として之を表はす爲に、第 24 圖 (A) に於て OQ の値を $30 A = 30 \times 1 = 30$ 疋/隨 の減速力、即ち 30% の勾配として QP の値を第 22 圖又は第 23 圖の (A) に於ける長さと同しく取つて、其の速度、時間曲線を書けば良い筈である。夫れ故今 1 疋/隨の減速力 (又は 1% の勾配) を前に述べた力行及惰行曲線の書法で示した例を以てすれば、其の大き

は6耗であるから $6 \times 30 = 180$ 耗 の大きさを \overline{OQ} の長さとし、且つ \overline{QP} の大きさは既に述べた様に30耗に取つて加速力に対する速度、時間曲線と反對の畫法を以て之を求め得らるゝのである。

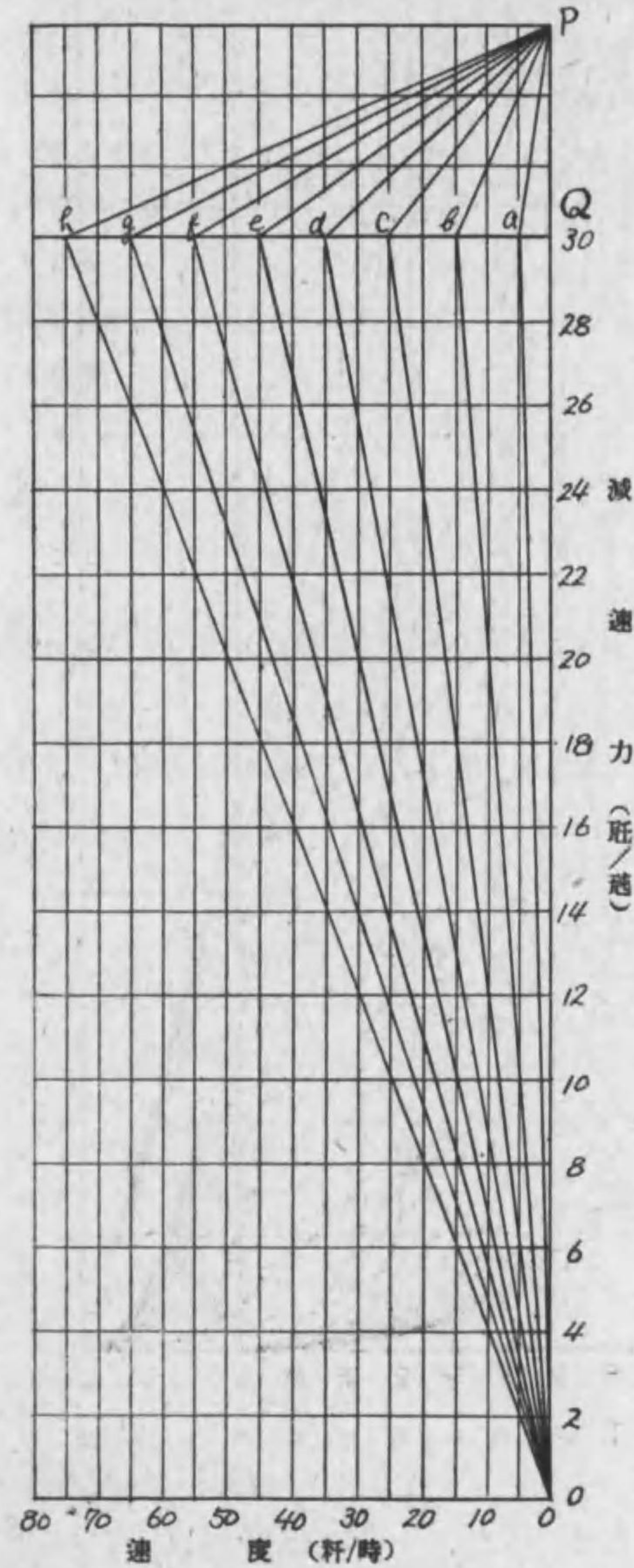
先づ速度が10耗/時より停車する迄に於ける平均速度は5耗/時であるから第24圖(A)に於ける Oa 線と並行に第24圖(B)に OA 線を引き、10耗/時の速度の點に於て止め(A)圖の Pa に並行に(B)圖へ OA' 線を引き、Aより上げた垂直線との交點 A' 點を求むれば、前者は其の制動曲線にして後者は夫れに対する時間曲線を示すこととなり、其の水平距離は其の場合の走行距離となる。同様にして

- Oa に並行に AB を且つ Pb に並行に $A'B'$ を引き
- Oc " BC " Pc " $B'C'$ "
- Od " CD " Pd " $C'D'$ "

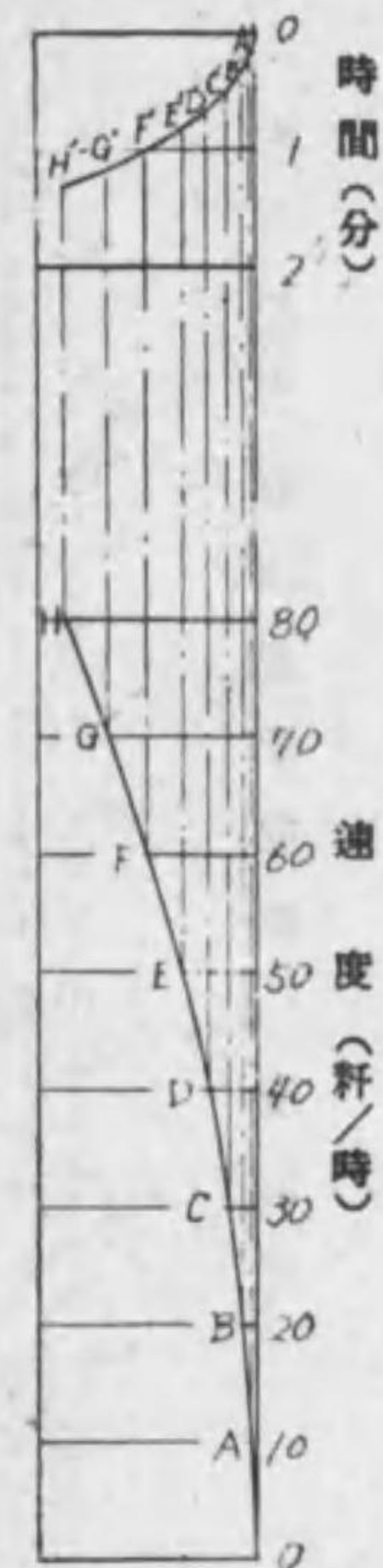
等を繰返して畫くときは、茲に制動線圖として $OAB \dots GH$ と、夫れに對應する所要の時間曲線として $OA'B' \dots G'H'$ を得られる。

斯様にして(B)圖の如き制動による速度曲線と時間曲線とを畫き、滑な曲線で結ぶときは(B)圖の如き制動線圖を得られる。

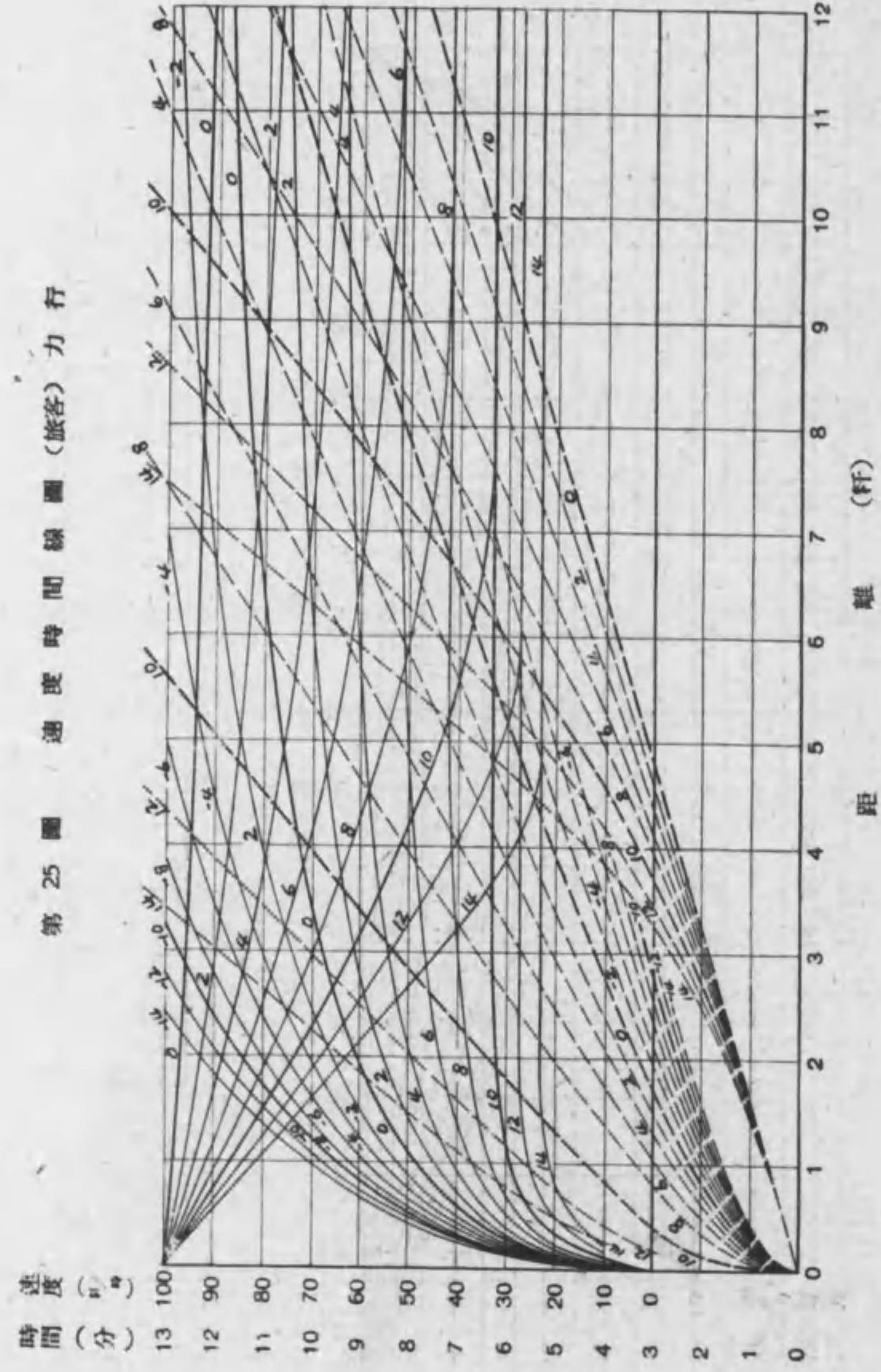
第 24 圖 (A)



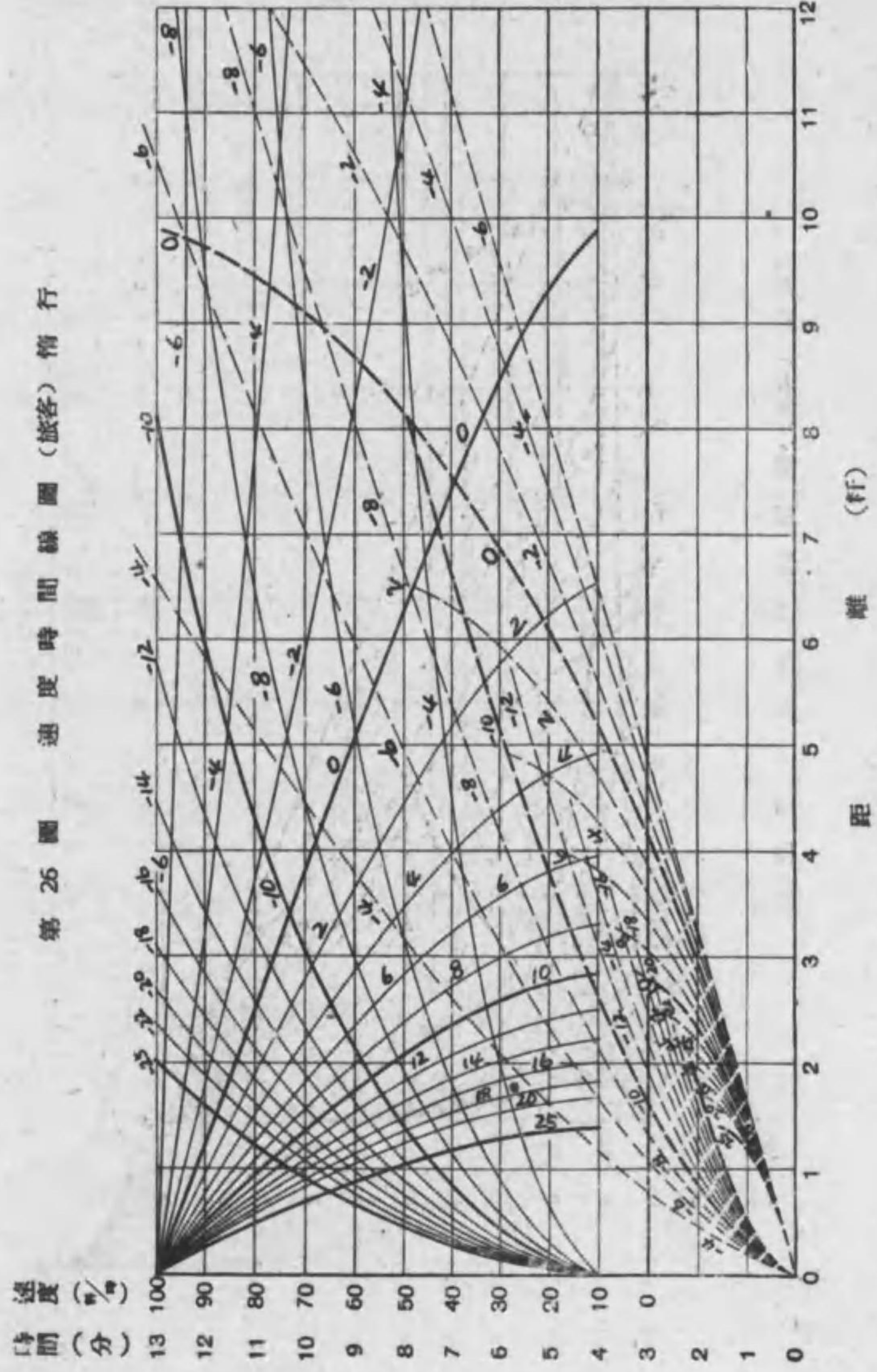
(B)

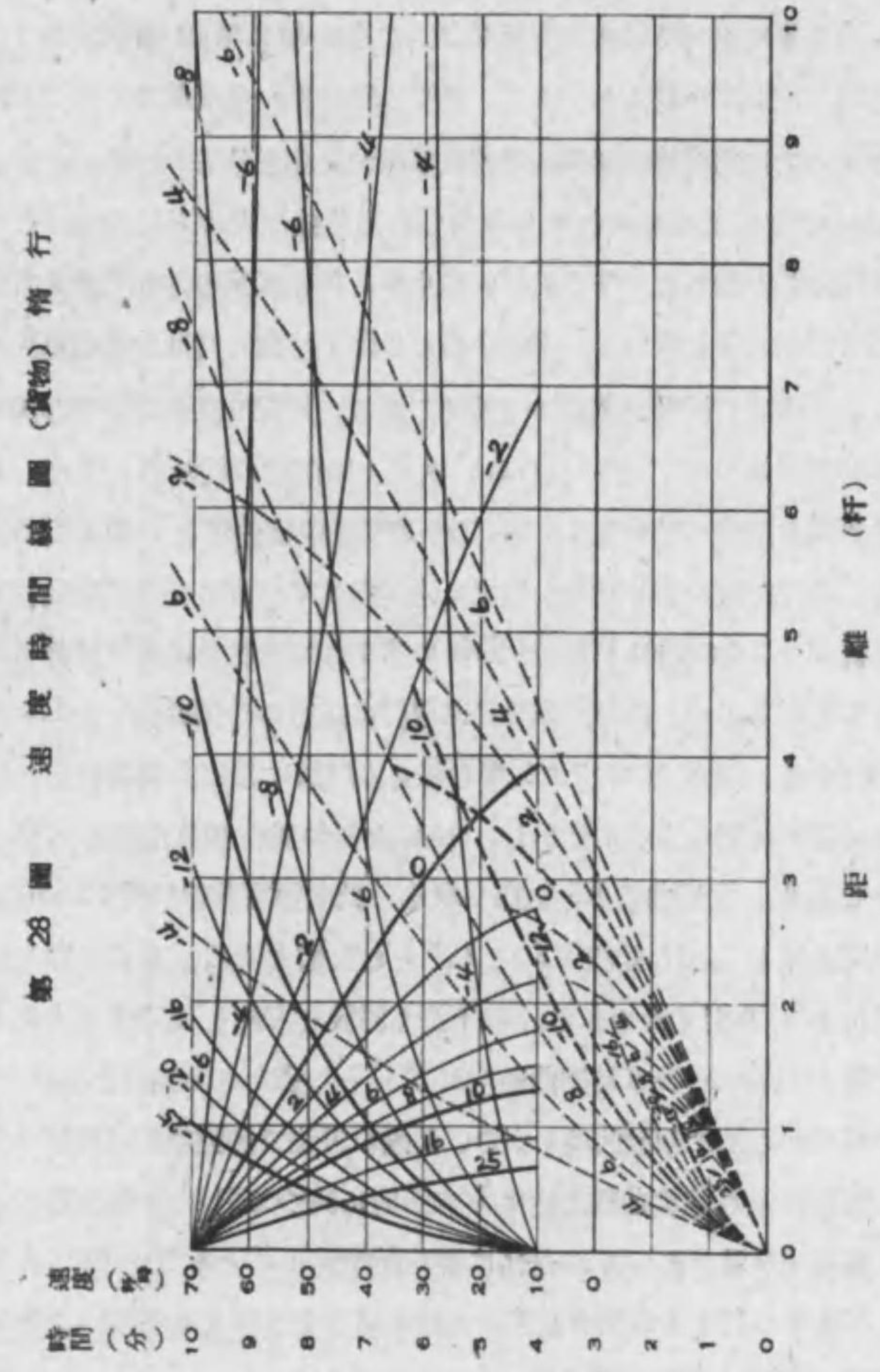
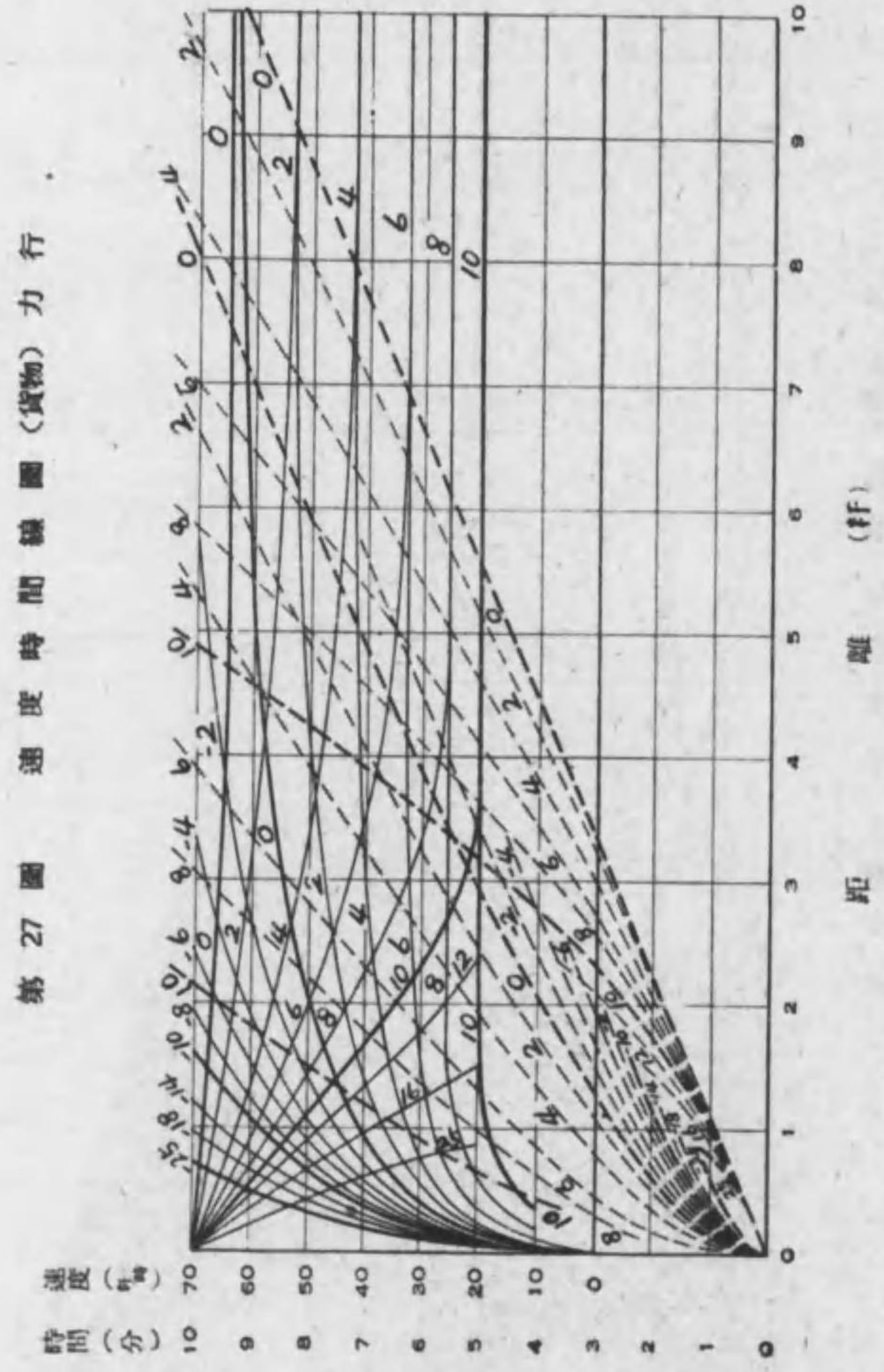


第25圖 速度時間線圖(旅客)力行



第26圖 速度時間線圖(旅客)惰行





(2) 實際畫法

(1)に依つて求めた第25乃至28圖の如き速度時間線圖を準備して置き、別に之を寫し取る事の出来る様な方眼紙又は其の他の紙に第21圖(B)のやうに停車場の位置勾配及び曲線等を記入し、之等の區分點から垂線を立てた線路縱断面圖を作り、之に速度時間線圖の速度及び時間を寫し取るのである。

今第21圖の線路縱断面圖に依り速度及び時間曲線の求め方を説明すれば、先づ速度時間線圖を動かないやうにピンで止めるか、又其の他の方法を探り、其の上に線路縱断面圖を置いて、甲停車場のO點を速度、時間曲線の原點に合致せしめ、上下兩圖の横軸を精確に一致せしめる。此處で初めて平坦の速度曲線OD及び時間曲線のOD'を寫し取る。次に上下兩圖の横軸を一致せしめた儘線路縱断面圖を左右に動かして、3%上り勾配の速度曲線とD點と一致する點を見出し、速度曲線のDEを寫し取り、之に對する時間は其の速度曲線に對する時間曲線が、二つの垂線DD₁及EE₁に挟まれたる部分の高さに等しいから二垂線との交點を求め、此の交點を結ぶ直線に並行に時間曲線D₁E₁を寫し得ることが出来る。次に10%上り勾配の場合も同様にして、兩横軸を一致せしめつゝ線路縱断面圖を左右に動かし、10%上り勾配の速度曲線とE點とが一致する點で止め、速度曲線EFを寫し取り、此の速度曲線に對する10%上り勾配の時間曲線と二つの垂線EE'及FF'との交點を求め、此の交點を結ぶ直線に並行にE'F'を引くのである。以下全く同様な方法を繰返すことによつて、速度曲線OABC……及び時間曲線OA'B'U'……畫かれる譯である。

最後に停車場から逆に制動曲線を引き、前述の方法で制動速度の點Mで止めてこの點から惰行線圖の速度曲線を逆にLの方向に向つて引きIで止める。夫れ故このI點は絶氣點であつて、是迄に要した時間はI'となる。依つてIJ, JK, KL及LM等に對する時間は前述の方法と同じやうにして求め、之等を加算すればTT'は所要の運轉時間(分)となるのである。

併し乍ら實際に於ては、運轉線圖の畫法に對して相當熟練すれば、自ら絶氣點は見當が付くのであるから、前述の絶氣點Iを適當に定め、この點に惰行線圖の速度曲線を合せ制動曲線と交はる點まで畫き、時間曲線は先張り前と同じ方法に依つて求める方が妥當な方法である。

3. 運轉線圖の畫法に對する注意事項

運轉線圖の畫法に對しては既に述べた通りであるが、畫法をなすに當つて次の事項を考慮しなければならない。

(1) 發車の際の加速度

發車の際に於ける加速度は、機關車の性能の許す範囲内に於て發揮せしめることは空轉或は衝動を起し易いから、最大を次の程度におさめることが必要である。但しこの値は發車後1分時までである。

| | |
|---------|-----------|
| 旅客列車 | 0.6 軒/時/秒 |
| 混合及貨物列車 | 0.3 軒/時/秒 |

(2) 制動開始速度

停車場に進入する場合の速度は、餘り高いと惰力を利用することが少くて燃料の不經濟となるから、次の標準に依ることが妥當と考へられる。但し制動開始速度は線路の狀況其の他によつて變化することは勿論である。

| | |
|---------|--------|
| 旅客列車 | 65 軒/時 |
| 混合及貨物列車 | 45 軒/時 |

(3) 停車の際の減速度

停車の際の減速度は制動の場合に起る衝動を考慮して、次の値を適當と認める。

| | |
|---------|-----------|
| 旅客列車 | 2.0 軒/時/秒 |
| 混合及貨物列車 | 1.0 軒/時/秒 |

(4) 停車場通過速度

停車場通過速度は運轉取扱心得に依る轉轍器、曲線其の他のために制限を受けるの外は單線に於て通票受授の爲に55軒/時の速度とし、複線區間は制限なしとすることが妥當である。

(5) 制限速度の低下程度

轉轍器、曲線、下り勾配及車輛の種類による制限速度は之を嚴守するに容易でないから、安全の爲に所定制限速度よりも5軒/時低下せるものを以つてすることが妥當である。但し上り勾配線等に介在する曲線の制限等に對しては、速度を超過する機會が少いから2~3軒/時減程度でも良いと考へられる。

第七章 列車制動

第一節 ブレーキの概念

列車を運轉するに當つては、牽引力と相俟つて之を停止せしむる力が必要である。即ち定められた時間で運轉する場合に、目的の停車場に停車することが必要なばかりでなく、何時如何なる場合に際しても、自由に、確實に、迅速に停止せしめることが出来、或は又運轉の途中に於て定められてある種々の制限速度を超過しないやうに速度の調節を自由自在になし得る力が必要である。

前章に於て述べた列車抵抗等は皆列車の進行を阻み、遂には之を停止せしめる作用を有し、又ヘムシュー、砂盛線、車止に附随する勾配線等も車輛の停止を目的とするものではあるが、之等のものは停止地點を任意に定めることが出来なばかりでなく、速度の調節も自由になし得ない。従つて之等の目的を完全に遂行せしめる爲にはブレーキを列車自身に装置する必要が起つてくる。

ブレーキの主命が何れに在るかは、前述の通りであるが、之を最も効果的ならしめるには、其の機構を充分に知り、機能の許す範囲内に於て任意の地點で而も任意に其の速度を調節して最も安全に制動する方法を講ずることが必要である。

第二節 ブレーキの種類

現今鐵道車輛に使用せられて居るブレーキには種々なるものがあるが、系統的に分類して見ると次の通りである。

1. 制輪子ブレーキ

車輪に制輪子を押し、其の摩擦により制動する装置であつて、制輪子を压する動力の種類によつて手ブレーキ、車側ブレーキ、蒸氣ブレーキ、真空ブレーキ、空氣ブレーキ等に分けられる。又制動帯を車輪の周圍に取付其の摩擦によつて制動する帯ブレーキは制輪子ブレーキではないが、摩擦力を利用する點に

就ては變りはないから、之に屬するものと見てよい。

2. 電氣ブレーキ

電氣鐵道に於て制御器の取扱により電動機を逆に發電機として作用せしめ、其の發生電流により電動子を制御して車輪を制動する装置である。其の他反圧ブレーキと稱し、蒸氣鐵道に於て列車の制動を行ふため、シリンダ内に運轉状態と逆方向の蒸氣を作用せしめて制動の目的を達する装置のものもあり、逆轉機反轉制動もこの一種と見做すことが出来る。

以上の如くブレーキには種々なるものがあるが、本章に於ては専ら制輪子ブレーキに就て述べることにしやう。

第三節 列車制動に関する術語

制動圧力……制輪子が車輪の踏面を其の中心に向つて压する力を制動圧力又は制輪子圧力と云ふ。

制動率……制動率には軸制動率と全車制動率とに區別され、軸制動率とは制動圧力が制動軸上の重量に對す割合を云ひ、これを普通單に制動率と稱されてゐる。全車制動率とは制動圧力の全車輛重量に對する割合を云ふ。従つて制動圧力を見出す場合には、軸制動率又は全車制動率に制動軸上の重量或は全車輛重量を乗すればよい譯である。

制動力……制輪子と車輪との間に生ずる摩擦力を制動力と稱し、制動圧力に摩擦係数を乗じて得られる。

摩擦係數……制輪子と車輪間の摩擦係數とは、制動力が制動圧力に對する割合を云ひ、この値は制動圧力、速度及制動繼續時間により變化する。制動距離算出の場合使用する平均摩擦係數は制動開始より停止する迄の摩擦係數の平均である。

制動倍率……制動筒に發生した圧力若くは手ブレーキの場合の手力と、之等の圧力が制動機構を経て制輪子に加へられる制動圧力との割合を制動倍率と稱する。制動倍率の範圍は空氣ブレーキに在つては、機關車は6~9、客貨車

は5~9、電車は8~12であるが、手ブレーキでは一重バネの場合は制動軸の軸重(タンク機関車及び炭水車にあつては運轉整備のとき)を以て表した数の15倍以上とし其の値を1200以下に制限し、又二重ネチを使用した場合は一重ネチの75%とする。

基礎制動装置の傳導効率……制動装置には多くのピン、リンク等を使用して居るから之等の摩擦抵抗のために計算上の制動圧力と、實際の制動圧力との間には可なりの相違がある。この實際の制動圧力と計算上の制動圧力との比を制動装置の傳導効率と云ふ。傳導効率は車輛の停止中と進行中とでは其の値が異り、停止中は各摩擦部が靜止摩擦のため抵抗が多くなり60~85%であるが、運轉中は運動摩擦のために抵抗が減少し90%となる。又手ブレーキではネチ部の摩擦が非常に大きく、其の効率は大體25%位である。

空走時間、空走距離……制動弁のハンドルを制動位置に移してから、全列車のブレーキが安全に作用するまでの時間を空走時間、この間に走行した距離を空走距離と云ふ。

第四節 制動圧力

1. テコの理

制動圧力を計算するには、制動原動力が制動機構によつて制動圧力として制輪子に現はれるまでに何倍かになるかを知らねばならない。これはテコの作用によつてなされるものであるから、先づ之に就て説明しやう。

今第29圖甲乙の如くOを支點とし、其の距離が夫々 l_1 及 l_2 なるA及B點に各々力 F_1 及 F_2 が矢の方向に働くものと假定すれば、Oの周りに回轉しやうとする能率(支點から力點までの距離に力を乗じたもの)は夫々 $(F_1 \times l_1)$ 及び $(F_2 \times l_2)$ で、其の方向が互に反對で物體が回轉しない爲には

$$F_1 \times l_1 = F_2 \times l_2$$

でなければならない。若し孰れか一方が少しでも大きいときは、物體は其の方向に回轉することとなる。

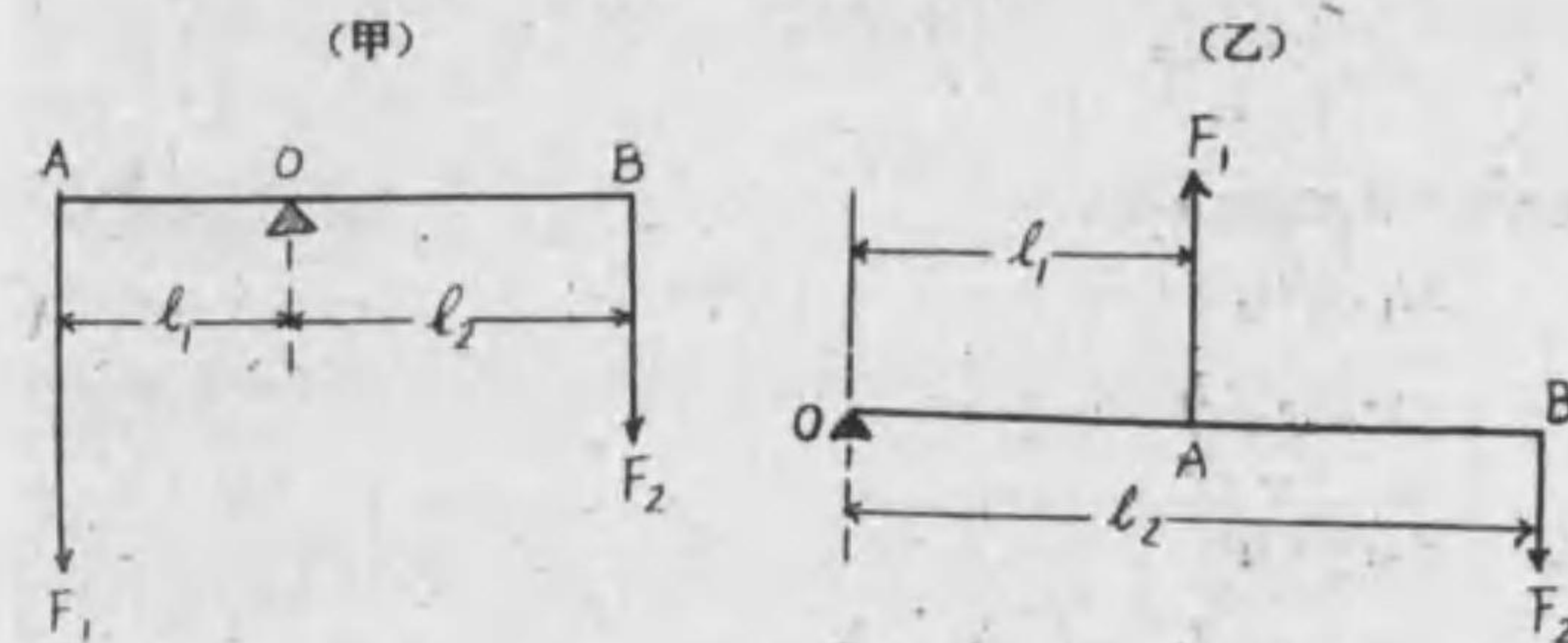
今A點に重量ある物體を吊り下げたと假定し、其の重力を F_2 とすれば、こ

れを支へるに必要な力は次の如く計算することが出来る。

$$F_1 \times l_1 = F_2 \times l_2$$

$$\therefore F_2 = F_1 \times \frac{l_1}{l_2} \dots\dots\dots(62)$$

第 29 圖



此の式に依つて見ると、僅かな力を以て重い物體を支へ、又は動かさんとすれば其の腕 l_2 を長くし、 l_1 を短かくしなければならないことがわかる。

2. 手ブレーキの制動圧力

手ブレーキの原動力はハンドルに加へた手力が、ハンドルを廻轉することによりネチをナツト内に押込み、テコ的一端を扛上する力であつて、之がテコの作用によつて其の制動圧力は増加するものである。

- 今 p = 手動力 (匁)
- r = ハンドルの半径 (匁)
- F = ガチオンGの上昇力 (匁)
- m = ネチの刻み (匁)
- η = ネチ及齒車等の合成傳導効率 (小數にて)
- l_1 = 制動腕(長腕)の長さ (匁)
- l_2 = 制動腕(短腕)の長さ (匁)
- l_3 = 制輪子釣の長さ (匁)
- l_4 = 制輪子釣受ピンと制輪子間の距離 (匁)
- P = 制動圧力 (匁)

とすれば、ハンドルを一回轉することに依つて爲される仕事量は $2\pi r \times p$ 疋廻で、之はブレーキのガチオン G が F なる力でネジの刻み m だけ動いた仕事量 $F \cdot m$ 疋廻に等しい筈であるから

$$F \cdot m = 2\pi r \times p$$

$$\therefore F = \frac{2\pi r \times p}{m}$$

然るにテコの理によつて

$$F l_1 = F' l_2$$

$$\therefore F' = F \times \frac{l_1}{l_2}$$

又 $F' l_3 = P l_4$

$$\therefore P = F' \times \frac{l_3}{l_4} = F \times \frac{l_1}{l_2} \times \frac{l_3}{l_4}$$

$$\text{従つて } P = \frac{2\pi r \times p}{m} \times \frac{l_1}{l_2} \times \frac{l_3}{l_4}$$

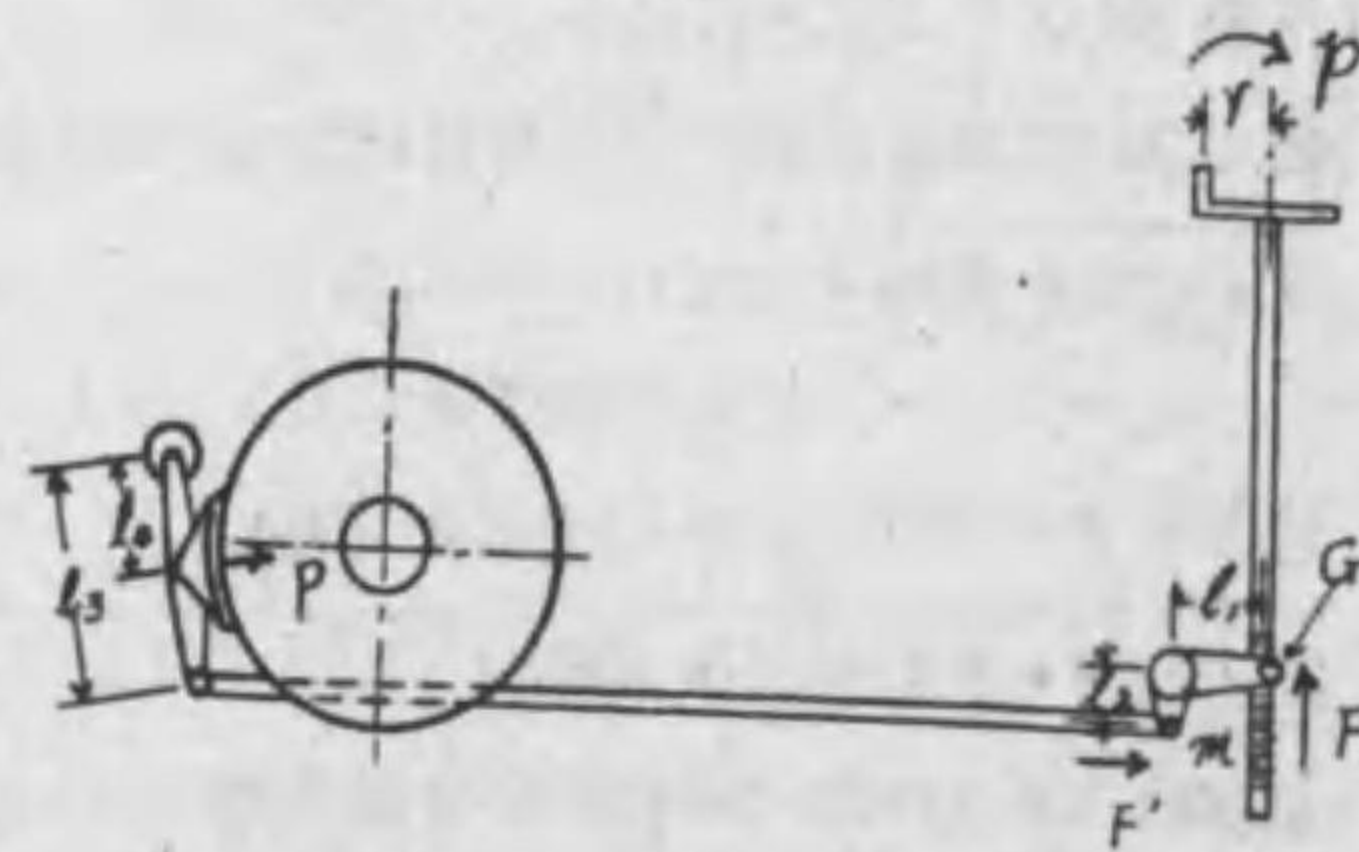
これにネジ、齒車等の合成傳導効率を考慮に入れると

$$P = \frac{2\pi r \times p}{m} \times \frac{l_1}{l_2} \times \frac{l_3}{l_4} \times \eta \dots \dots \dots (63)$$

となる。

第 30 圖

手ブレーキに於てはネジに依つて力を傳へるため、其の摩擦によつて奪はれる力は非常に大きく、普通其の効率は 50% 以下に下り、之をハンドルの鈎の摩擦、齒車の摩擦、装置各部のピン等の摩擦を考へるときは、其の合成傳導効率は約 25% 程度に低下するものである。



尙上式の P は手力であるから、人に依つて差があるばかりでなく、ハンドルの位置による體の姿勢等に依つても支配せられて一律には云へないが、普通 30 疋と見るのが妥當である。

次表は C10 形式機關車及各種炭水車の制動圧力其の他を求めたものである。

| 形 式 | C 10 | 12-17 炭水車 | 6-13 炭水車 | 20立方 炭水車 | 17立方 炭水車 | 450立方 炭水車 | |
|------------------------------|----------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------|
| 制 動 軸 數 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | |
| 全 軸 數 | 6 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | |
| 空車重量 (疋) | 制動軸 | 34150 | 20000 | 15900 | 21040 | 19200 | 15500 |
| | 全 軸 | 55510 | | | | | |
| 通轉整備の時の制 動軸上重量 W (疋) | 37.81 | 49.00 | 34.90 | 49.45 | 44.20 | 34.50 | |
| ハンドルの端に加 へる力 (疋) | 50 30 | 75 30 | 75 30 | 75 30 | 75 30 | 75 30 | |
| 合成傳導効率 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | |
| 制 動 倍 率 | 877 | 1018 | 1018 | 1018 | 1695 | 948 | |
| 15 W | 567 | 734 | 523 | 741 | 662 | 517 | |
| 制 動 圧 力 (疋) | 10960 | 19100 | 19100 | 19100 | 31800 | 17780 | |
| | 6570 | 7640 | 7640 | 7640 | 12700 | 7110 | |
| 制 動 率 (%) | 軸 | 32.1 | 95.5 | 120.0 | 90.8 | 165.6 | 114.7 |
| | 全 車 | 19.3 | | | | | |
| | | 19.8 | 38.2 | 48.0 | 36.3 | 66.2 | 45.9 |
| | | 11.9 | | | | | |

注 本表の重量は形式圖記入の數値を採り、制動率は空車の状態に於て算出し、總てネジ式ブレーキで一重ネジである。

制動力及制動率の算出はハンドル端に加へる手力を普通の使用状態を考慮し、30疋とする場合と、部分品の内力計算に便ずる爲其の最大力を求めたるものである。

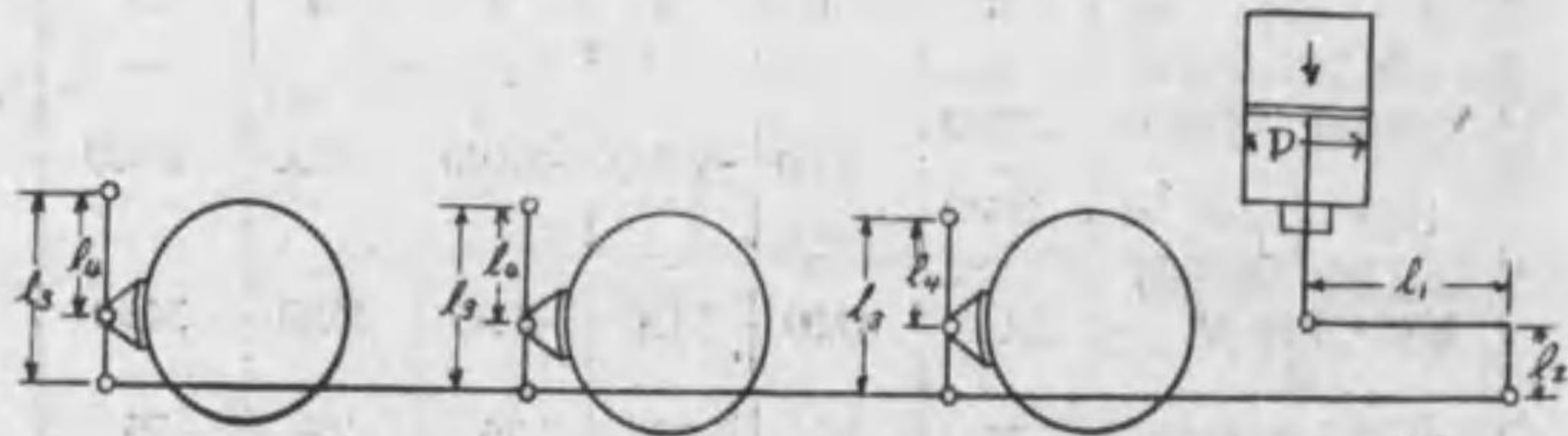
【問題】 12-17 炭水車の制動圧力を求めよ。

但し手動力 $p=20$ 疋、ハンドルの半徑 $r=235$ 疋、ネジの刻み $m=9.5$ 疋、
合成傳導効率 $\eta=0.25$ 、 $l_1=570$ 疋、 $l_2=260$ 疋、 $l_3=515$ 疋、 $l_4=235$ 疋
制動軸 4 軸で此の外に 100 疋 : 295 疋の鈎合梁を使用して居る。

3. 空気ブレーキの制動圧力

空気ブレーキはピストン面に加はる空気圧力がピストン押棒に傳はり、之が原動力となつて、順次テコの作用により制輪子を圧するもので、其の制動圧力

第 31 圖



の計算は制動装置の差異により幾分異なるが、原動力が異なるだけであるから大體は前項手ブレーキに於て説明せるものと同様である。

- 今 p = 制動筒ピストン面に働く有効圧力 (㏩/平方㏩)
- F = 全ピストン圧力 (㏩)
- D = 制動筒の直径 (㏩)
- η = 傳導効率 (小數にて)
- l_1 = 制動腕 (長腕) の長さ (㏩)
- l_2 = 制動腕 (短腕) の長さ (㏩)
- l_3 = 制輪子釣の長さ (㏩)
- l_4 = 制輪子釣受ピンと制輪間の距離 (㏩)
- P = 制動圧力 (㏩)

とすれば、全ピストン圧力 F はピストンの全面積に p を掛ければよいから

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 \times p$$

又制動倍率を手ブレーキの場合と同様なものとすれば、制動圧力 P は次の如くなる。

$$P = \frac{\pi}{4} D^2 \times p \times \frac{l_1}{l_2} \times \frac{l_3}{l_4}$$

之に手ブレーキと同様傳導効率を考慮に入れると

$$P = \frac{\pi}{4} D^2 \times p \times \frac{l_1}{l_2} \times \frac{l_3}{l_4} \times \eta \dots\dots\dots(64)$$

となる。

次に上式の制動圧力 P は何によつて變化するかを研究する必要がある。手ブレーキの場合に於ては手力であるが、空気ブレーキの場合は圧縮空気によるものである。而して空気による場合は制動管の減圧量、従つて制動筒圧力によつて非常に變化するものである。以下之等制動筒圧力並に制動圧力を求める方法に就て説明することゝしやう。

(1) 制動管の減圧量から制動筒圧力を求める方法

(A) 機關車の場合

自動制動弁を用ひて制動管の減圧を行ふと、分配弁の釣合ピストンは制動位置を採つて圧力室内の空気を作用室及び作用筒へ送る。圧力室の容積は作用室及び作用筒の容積の 2.5 倍に設計されてあるから、圧力室の減圧量の 2.5 倍の圧力が作用室及び作用筒に出来ることになり、之と同圧力の制動筒圧力が作用ピストン及び作用弁の作用によつて生ずるから、結局制動管減圧量の 2.5 倍の制動筒圧力が出来ることゝなる。従つて之等の關係は次の如く表はされる。

$$p = 2.5 r \dots\dots\dots(65)$$

茲に p = 制動筒圧力 (㏩/平方㏩) ゲージ圧力

r = 制動管減圧量 (㏩/平方㏩)

此の式に依れば制動管の減圧量を増加すれば、制動筒圧力は夫れに比例して増加することを示して居るが、之は無制限に大きくなるものではなく、其の限度は圧力空気室、作用室及び作用筒の圧力が等しくなつた場合であつて、今其の最大減圧量を r_0 とすれば制動管所定圧力は 5 ㏩/平方㏩であるから

$$\text{減圧後の圧力空気室の圧力} = \text{制動管所定圧力} - r_0 = 5 - r_0$$

$$\text{作用室及び作用筒内に生じた圧力(即ち制動筒圧力)} = 2.5 r_0$$

圧力室及び作用部の圧力が釣合ふ爲には、此の両者が相等しい筈であるから

$$5 - r_0 = 2.5 r_0$$

$$\therefore r_0 = \frac{5}{3.5} = 1.43 \text{ (㏩/平方㏩)}$$

即ち約 1.4 ㏩/平方㏩の制動管減圧量が常用制動のときの最高制動筒圧力と

なるので、之以上に減圧をなしても無駄に制動管内の圧力空気を捨てるのみで、制動圧力を増すには何等の効果もないのである。

非常制動に就ては圧力空気室の空気は作用室へ進入せず作用筒へのみ膨脹するから、其の釣合圧力は4.5 疋/平方糎となり、之に等しい制動筒圧力が出来ることとなる。

【問題】 制動管圧力を4.6疋/平方糎迄低下せしめた場合の制動筒圧力を求めよ。

(B) 客貨車の場合

制動管の減圧を行ふと三動弁又は動作弁の作用により補助空気溜の空気を制動筒へ送る。此の場合制動筒へ流れ込む空気量は補助空気溜を制動管と等しい圧力迄低下する量で、此の減圧量をr 疋/平方糎、補助空気溜の容積をA 立とすれば A×r(立) の大気圧の空気量に等しいこととなる。

而してこの補助空気溜から制動筒に流れ込んだ空気が、制動筒の容積C 立をP 疋/平方糎の圧力で満すものとすれば次の式が成立つ筈である。

容積×絶対圧力 容積×絶対圧力
(r×A)×1 = C × P

∴ P = (A/C) × r

P は絶対圧力であるが、実際にはゲージ圧力を用ふるから、これより1疋/平方糎を引き、これをP1 とすれば

P1 = (A/C) × r - 1

而して A/C は補助空気溜と制動筒との容積の比で、これは設計上3.25と考へられるから、前式にこの値を代入すれば

P1 = 3.25r - 1(66)

茲に P1 = 制動筒圧力 (疋/平方糎) ゲージ圧力にて

r = 制動管減圧量 (疋/平方糎)

此の式も亦客貨車の制動筒圧力が略制動管減圧量に比例して増加することを示して居るが、減圧量が或る程度になると補助空気溜の圧力と制動筒圧力とが

釣合つて、それ以上制動筒圧力を高め得ないことは機関車の場合と同様である。制動管の所定圧力が5 疋/平方糎の場合に於ける制動筒の最高圧力は、設計上約3.6 疋/平方糎となるやうになつてゐる。

従つて最大制動筒圧力を得るために有効な最大制動管減圧量 r0 は第66式から

3.6 = 3.25r0 - 1

∴ r0 = (3.6 + 1) / 3.25 = 1.4 (疋/平方糎)

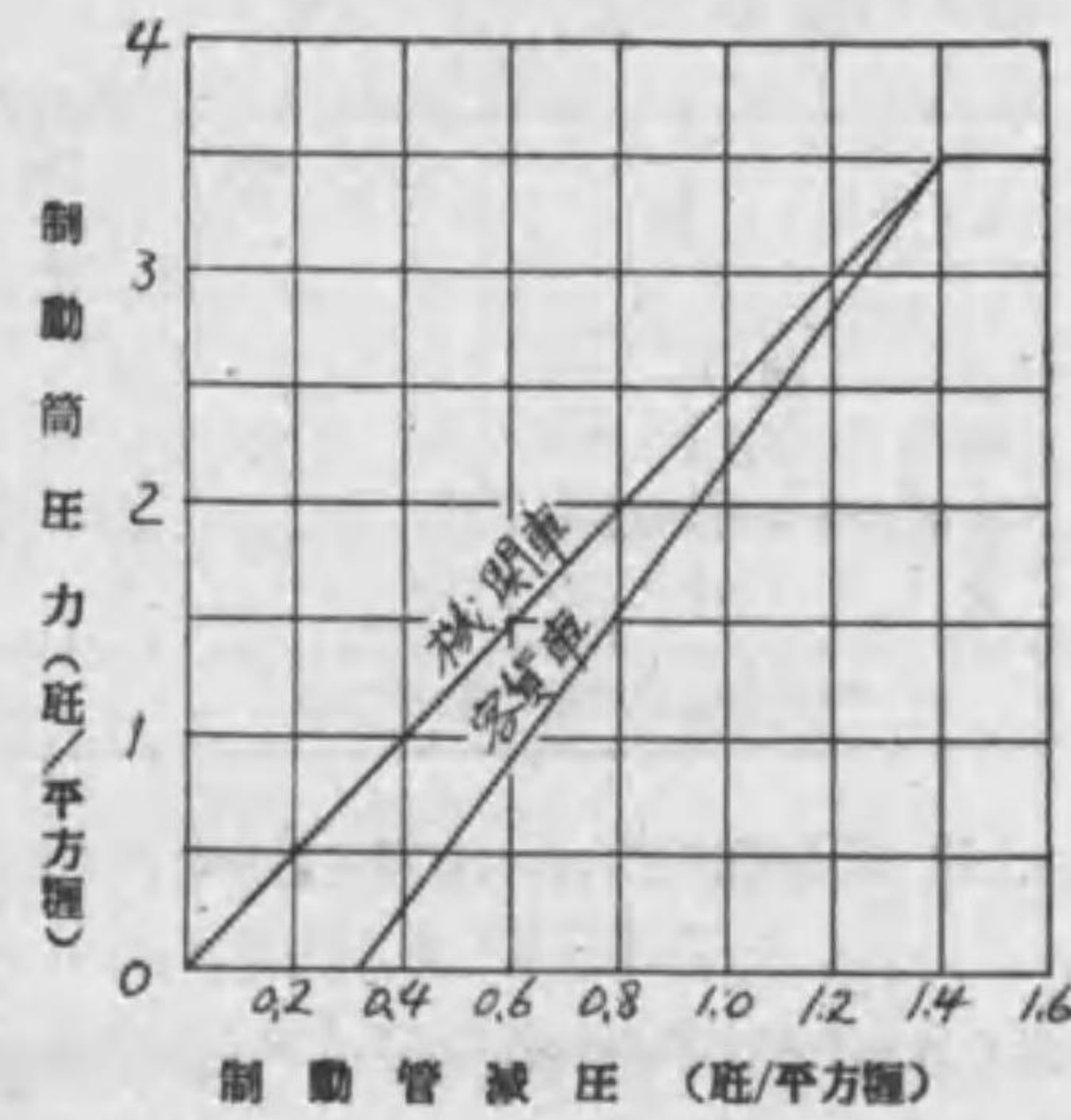
となるから、客貨車の場合でも機関車と同様に最高制動筒圧力を得るための減圧量は1.4 疋/平方糎であることがわかる。

非常制動の場合にはΔV 制動装置を有するものは、附加空気溜の圧力空気も制動筒へ進入するから、其の圧力は4.5 疋/平方糎に昂る。其の他PF形、PM形、又はK形に在つては補助空気溜から進入することは常用制動の場合と同様であるが、其の外に急動作用に依つて制動管の圧力空気が一部制動筒に進入するため、其の圧力は常用制動より幾分高くなる。

第32圖は第65式及第66

式によつて、制動管減圧に對する制動筒圧力を求めて圖示せるものであるが、この圖に依つても明な如く、同一減圧を行つても機関車よりも客貨車の方が制動筒圧力が低い。之は機関車の分配弁の作用室では制動前に大気圧の空気が充満して居るが、客貨車の制動筒ピストンは弛めの位置に在つて、空気が全然這入つて居ないことに因るのである。

第 32 圖



【問題】(1) 客貨車に於て制動管減圧 0.4, 0.8 及 1.2 疋/平方疋の場合に於ける制動筒圧力を求めよ。
 (2) 客貨車に於ける制動管の最少減圧を求めよ。

(2) 制動筒圧力から制動圧力を求める方法

制動管減圧量と制動筒圧力との關係は既に述べた通りであるが、この制動筒圧力より制動圧力を求めるには次の順序によればよい。

- (1) 制動筒圧力から戻しバネの抵抗を差引いて正味の制動筒圧力を求める。
- (2) 正味制動筒圧力にピストン面積を乗じてピストンの總圧力を求める。
- (3) ピストンの總圧力に制動倍率を乗じ、これに制動装置の傳導効率を乗じて正味の制動圧力を求める。若し二箇以上の制動筒を使用する場合には各制動筒別に求めたものを合計する。

制動筒戻しバネの抵抗は、普通 1 平方疋に付 0.35 疋であるから、正味の制動筒圧力は制動筒圧力から 0.35 疋/平方疋差引けばよい譯である。

機關車で單獨制動を行つた場合は、其の制動筒圧力を用ひ、之より戻しバネの抵抗を差引けばよい。この場合の最高制動筒圧力は 3 疋/平方疋であるから、制動筒正味圧力は 2.65 疋/平方疋となる。

機關車及客貨車の制動筒正味圧力を示せば次表の通りである。

| 車 輛 | 制 動 方 法 | |
|------------------|----------------|---------------------|
| | 常 用 制 動 | 非 常 制 動 |
| 機 關 車 | $2.5r - 0.35$ | $4.5 - 0.35 = 4.15$ |
| 客 車 (AV 形) | $3.25r - 1.35$ | $4.5 - 0.35 = 4.15$ |
| 客 車 (PF 又は PM 形) | $3.25r - 1.35$ | $3.6 - 0.35 = 3.25$ |
| 貨 車 (K 形) | | |

註 r = 制動管減圧量 (疋/平方疋)

以上述べた制動筒圧力から制動圧力を求める方法を一括すると次の如くである。

$$\text{制動圧力} = \text{制動筒正味圧力} \times \text{ピストン面積} \times \text{制動筒數} \\ \times \text{制動倍率} \times \text{基礎制動装置の傳導効率}$$

4. 制動率から制動圧力を求める方法

制動率は或る制動筒圧力の下に於て制動筒戻しバネの抵抗並に基礎制動装置の摩擦損失がないものとして求めた制動圧力と車輪上重量との比である。

今 K_a = 軸制動率 (%)
 P = 制動圧力 (疋/平方疋)
 W_1 = 制動軸上の重量 (噸)

とすれば一般に

$$K_a = \frac{P}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots(67)$$

従つて $P = \frac{K_a \times W_1}{100} \dots\dots\dots(68)$

67 式で求めた制動圧力は、或る制動筒圧力に對する値であるから、之から任意の制動筒圧力の場合に於ける制動圧力を求めるには、制動圧力は制動筒圧力並に基礎制動装置の傳導効率に比例する點から、次のやうに計算することが出来る。即ち

$$P = \frac{K_a \times W_1}{100} \times \frac{p \times \gamma}{p_0}$$

茲に p = 制動圧力を求めんとする場合の正味制動筒圧力 (疋/平方疋)

p_0 = 制動率を求めた制動筒圧力 (疋/平方疋)

γ = 基礎制動装置の傳導効率 (%)

【問題】 制動筒圧力 3.5 疋/平方疋、制動軸の車輪上重量 40 噸の場合に制動率が 60% の機關車が 1.2 疋/平方疋の制動管減圧を行つた場合の制動圧力を求めよ。但し制動筒弛メバネの抵抗を 0.35 疋/平方疋、基礎制動装置の効率を 90% とする。

5. 軸制動率と全車制動率との關係

軸制動率及全車制動率とは如何なるものであるかは前に述べた通りであるが、これ等の間には次の關係がある。

今 K_a = 軸制動率 (%)

K_a = 全車制動率 (%)

P = 總制動圧力 (噸)

W_1 = 制動軸上重量 (噸)

W_2 = 制動軸以外の軸上重量 (噸)

$W = W_1 + W_2$ = 車輛全體の重量 (噸)

とすれば、軸制動率は前に述べたやうに制動圧力と制動軸上の重量との割合であるから

$$K_a = \frac{P}{W_1} \times 100$$

となる。

又全車制動率は制動圧力と車輪全體の重量との割合であるから

$$K_a = \frac{P}{W_1 + W_2} \times 100 \dots\dots\dots (69)$$

となる。

而して軸制率の式を全車制動率の式に代入すれば

$$K_a = \frac{\frac{K_a \times W_1}{100}}{W_1 + W_2} \times 100$$

$$= K_a \times \frac{W_1}{W_1 + W_2}$$

然るに $W_1 + W_2 = W$ なるを以つて

$$K_a = K_a \times \frac{W_1}{W} \dots\dots\dots (70)$$

従つて全車制動率は軸制動率に制動軸上の重量と車輛全體の重量の比を乗じ得らるゝことになる。

主要機關車及炭水車制動率其の他を示せば次表の通りである。

| 形式 | 制動軸數 | 制動筒圧力(噸) | | 制動倍率 | 總制動圧力(噸) | | 重量(噸) | | 制動率(%) | | | |
|-------------|------|----------|--------|------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|
| | | 常用 | 非常 | | 常用 | 非常 | 制動軸 | 全軸 | 常用 | 非常 | 常用 | 非常 |
| 2120 | 3 4 | 1773×2 | 2280×2 | 6.48 | 22980 | 29550 | 36150 | 41420 | 63.6 | 81.7 | 55.5 | 71.3 |
| C 12 | 5 | 2557×1 | 3287×1 | 7.32 | 18720 | 24060 | 28420 | 43050 | 65.9 | 84.6 | 43.5 | 55.9 |
| C 56 | 4 | 〃 | 〃 | 7.34 | 18760 | 24120 | 31760 | 37630 | 59.1 | 76.0 | 49.9 | 64.1 |
| C 10 | 6 | 1773×2 | 2280×2 | 8.18 | 29000 | 37300 | 36890 | 59480 | 78.6 | 101.1 | 48.8 | 62.7 |
| C 11 | 〃 | 〃 | 〃 | 7.86 | 27880 | 35830 | 35540 | 56050 | 78.4 | 100.8 | 49.7 | 63.9 |
| 8620 | 4 | 〃 | 〃 | 6.75 | 23930 | 30800 | 41460 | 48830 | 57.7 | 74.3 | 49.0 | 63.2 |
| C 50 | 〃 | 〃 | 〃 | 7.07 | 25080 | 32240 | 43350 | 52800 | 57.9 | 74.4 | 47.4 | 61.0 |
| C 58 | 5 | 〃 | 〃 | 6.81 | 24150 | 31050 | 40520 | 58700 | 59.6 | 76.6 | 41.1 | 52.9 |
| C 51 | 6 | 〃 | 〃 | 7.14 | 25310 | 32550 | 44580 | 69600 | 56.8 | 73.0 | 36.4 | 46.8 |
| C 54 | 〃 | 〃 | 〃 | 6.87 | 24350 | 31320 | 40260 | 65300 | 60.5 | 77.8 | 37.3 | 48.0 |
| C 55 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 40720 | 66040 | 59.8 | 76.9 | 36.9 | 47.4 |
| C55流 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 41690 | 68000 | 58.4 | 75.1 | 35.8 | 46.1 |
| C 57 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 41320 | 67500 | 58.9 | 75.8 | 36.1 | 46.4 |
| C 53 | 〃 | 4530×1 | 5825×1 | 8.00 | 36230 | 46600 | 46270 | 80980 | 78.3 | 100.8 | 44.8 | 57.6 |
| 9600 | 4 5 | 2557×2 | 3287×2 | 6.16 | 31500 | 40500 | 53440 | 61740 | 58.9 | 75.8 | 51.0 | 65.2 |
| D 50 | 3 6 | 〃 | 〃 | 7.12 | 36500 | 46800 | 58790 | 78140 | 62.1 | 79.6 | 46.7 | 59.9 |
| D 51 | 4 | 〃 | 〃 | 7.62 | 38950 | 50100 | 57650 | 77700 | 67.6 | 86.9 | 50.1 | 64.5 |
| 5-10 炭水車 | 3 3 | 1773×1 | 2280×1 | 6.26 | 11100 | 14280 | 12900 | | | | 86.0 | 110.7 |
| 400立方 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 7.53 | 13350 | 17170 | 15500 | | | | 86.1 | 110.7 |
| 6-13 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 7.33 | 13000 | 16715 | 15900 | | | | 81.8 | 105.1 |
| 17立方 〃 | 4 4 | 〃 | 〃 | 9.00 | 15960 | 20520 | 19200 | | | | 83.1 | 107.0 |
| 12-17 〃 | 〃 | 1773×2 | 2280×2 | 5.33 | 18900 | 24300 | 20000 | | | | 94.5 | 121.5 |
| 20立方 〃 | 〃 | 〃 | 〃 | 5.32 | 18850 | 24250 | 21040 | | | | 89.6 | 115.3 |
| 8-20 〃 | 〃 | 1773×1 | 2280×1 | 9.03 | 16010 | 20588 | 18200 | | | | 88.0 | 113.1 |

註 軸重はテンダ機關車は運轉整備の場合、炭水車は空車の場合に於て形式圖記入數値を探り制動率は此の状態に於ける重量より算出す。

但しタンク機關車は炭水半減の場合を探る可きなれども、その數値詳ならざるため特に形式圖記入の炭水空なる場合を探る。制動力とは制動筒圧力に制動倍率を掛けたる値、即ち効率を考へないものである。

6. 列車の全車制動率を求むる方法

列車の場合は機関車と客貨車とを考へなければならぬ。又之等の車輛は夫々制動率が異なるから、この場合は次の方法に依つて求める。

今 K_0 = 列車全体の制動圧力と列車總重量との割合
= 列車の全車制動率 (%)

P_d = 動輪上の重量に対する制動圧力 (噸)

P_t = 炭水車の重量に対する制動圧力 (噸)

P_r = 客貨車の全制動圧力 (噸)

W_d = 運轉整備の場合に於ける動輪上の重量 (噸)

但しタンク機関車に在りては炭水半減の場合

W_t = 空車の場合に於ける炭水車の重量 (噸)

W_r = 客貨車の中制動筒付車輛が空車自重の場合に於ける重量 (噸)

K_1 = 機関車の軸制動率 (%)

K_2 = 炭水車の軸制動率 (%)

K_3 = 客貨車の軸制動率 (%)

W_i = 運轉整備の場合に於ける機関車 (炭水車を含む) 全體の重量 (噸)

W = 牽引車輛の全重量 (噸)

とすれば其の全車制動率は

$$K_0 = \frac{P_d + P_t + P_r}{W_i + W} \times 100 \quad \dots\dots\dots(71)$$

$$\text{又は} \quad = \frac{W_d \times K_1 + W_t \times K_2 + W_r \times K_3}{W_i + W} \quad \dots\dots\dots(72)$$

となる。

第五節 摩擦係數

1. 制輪子と車輪との間の摩擦係數の變化

制動力を求めるには、制動圧力に制輪子と車輪との間の摩擦係數を乗すればよいことは前に述べた通りであるが、この摩擦係數の値は制輪子の材質及硬度、制輪子の温度、摩擦面の粗滑、乾濕等の状態、制動圧力の強さ、制輪子面の廣さと形状、制輪子の摩擦速度等に依つて可なりの相違を來すのである。今これを説明すれば次の通りである。

(1) 制輪子の材質及硬度

實驗の結果によれば車輪と制輪子を共に鐵の場合は摩擦係數が最も大きく、鋼と鋼の場合之に次ぎ、鋼と鐵の場合最小である。現在の制輪子は經濟的の見地から鑄鐵を用ひてゐるが、最近は鑄鐵の代用品として鑄鋼制輪子が研究されてゐる。

(2) 制輪子の温度

制輪子が制動の働きをなすのは、車輪が持つて居るエネルギーを熱として奪ひ取つてしまふからであるから、成るべく熱を吸収し易い状態にあることが必要なのである。斯様な意味に於て温度の低い方が摩擦係數が大きく、温度の増加につれて次第に減少してくることになり、従つて夏季よりも冬季の方が制動がよくきくと云ひ得らるゝのである。

又制動中に於てブレーキの使用開始當時は、制輪子が冷却して居るから摩擦係數は大きい。制動が長くなる程制輪子が熱を帯びて來るため、摩擦係數が減少して來る。従つて長い下り勾配線等で連続制動をなす場合、加熱によるタイヤ弛緩を防ぐためと、制輪子の帶熱を防ぎ摩擦係數を増すために、タイヤ水マキ装置を使用することは制動効果を大ならしめるものである。

(3) 摩擦面の状態

制輪子の摩擦面が細かい凹凸をなして居るものは摩擦係數が小さいし、之に局部的の突起があると、其の一部分で制動作用をなすから忽ち高熱せられて制動の効果を減することになる。取替へたばかりの新しい制輪子が制動力の少

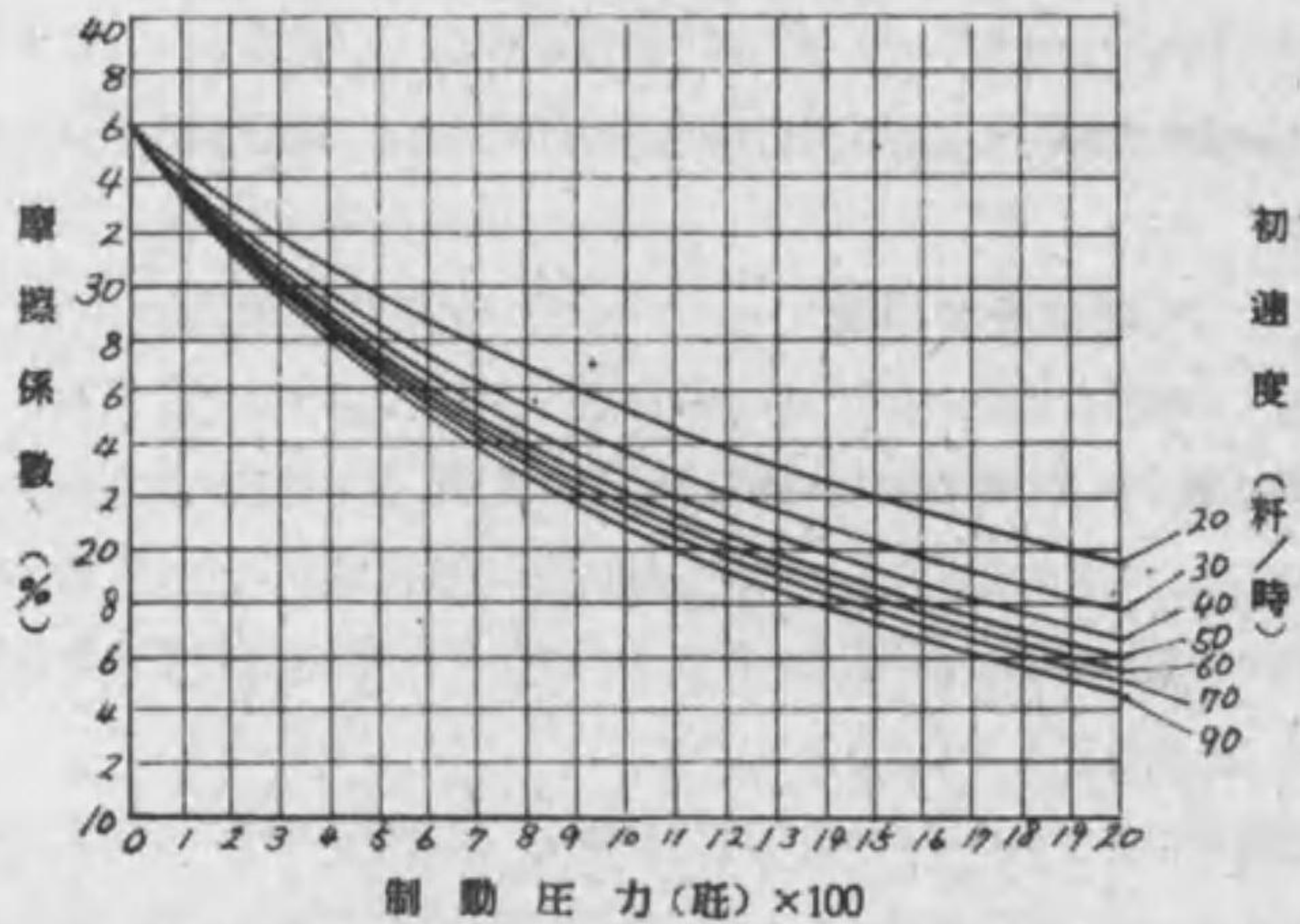
いは之がためである。

又摩擦面が油等の流動體で汚されて居るときは、タイヤとの摺動はこの流動體の皮膜を介して行はれるから、摩擦係数は非常に減少することゝなるが、これと反對に制輪子面に砂粒が介在するときは、摩擦係数を増すことゝなる。非常制動で撒砂することは相當効果がある。

(4) 制動圧力の強さ

制動圧力が變化すれば摩擦係数も亦變化する。その理由は制輪子が熱を吸収又は放散する量の大小に依るので、圧力が大きい程摩擦係数は小さくなる。第33圖はこれ等の關係を示せる研究所發表の成績である。

第 33 圖



(5) 制輪子の面の廣さと形状

制輪子は前に述べた様に、熱を吸収し易き状態にあることを必要とするのであるから、制輪子が大きければ温度の上昇も遅く、冷却面も大きいから、摩擦係数が大きいことゝなる。従つて小さい制輪子は温度の上昇が早いから、ブレーキの効果が大きい制輪子に比べて劣ることゝなる。

又制輪子の形状も摩擦係数の値に影響があるから、制輪子の有する熱を成るべく大氣中に放散し易き形状をなすことが良い。かゝる意味からフランジを覆

ふ鋤形の制輪子が採用せられて居る譯である。

(6) 制輪子の摩擦速度

摩擦係数は列車の速度が大となるに従つて減少し、小となる程減少するもので、停車間際に於ては急激に増大して平均値の1.5~2倍となる。列車の停車間際に時として衝動又は滑走を伴ふことのあるのはこれが爲である。

第68式は運輸局で發表した摩擦係数の算式で、常磐線に於ける試験の結果から導いた天候及び速度の影響による變化を示したもので、この場合の制動圧力は全制動を行つたものとして、其の平均を採つて居る。

$$f = C \frac{1 + 0.01V}{1 + 0.05V} \dots\dots\dots(73)$$

茲に f = タイヤと制輪子間の摩擦係数

V = 列車の速度 (km/h)

C = 天候による常数

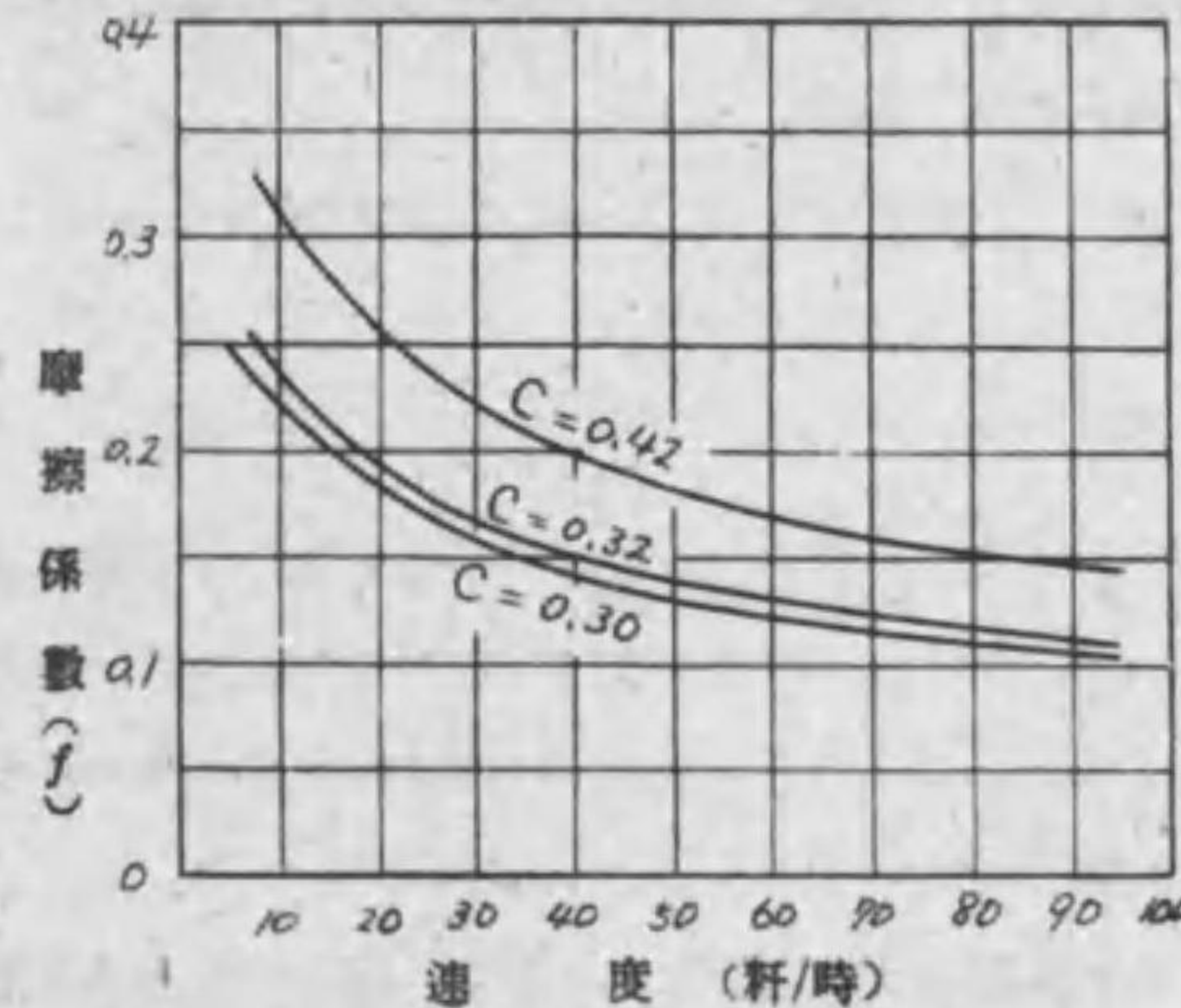
= 0.42 (晴天の場合)

= 0.30 (雨天の場合)

= 0.32 (通常採用する場合)

第34圖は第73式の關係を表せるものである。

第 34 圖



2. 平均摩擦係數

以上述べたやうに、タイヤと制輪子との間の摩擦係數は摩擦面の關係速度、即ち車輪の走行速度によつて刻々變化するばかりでなく、制動圧力の大小及びブレーキの使用時間等に依つても大いに變化するから、制動距離若くは制動時間は刻々變化する摩擦係數に支配せらるゝものであるが、之等の計算をなす場合に刻々に變化する係數を考慮することは非常に煩はしいので、豫め制動開始當時の速度から停車迄の間の平均摩擦係數を求めて置くのが便利である。

第74式は第73式から導いた平均摩擦係數の算式で、全制動の場合のものである。

$$f_m = \frac{0.5 CV^2}{2.5V^2 - 400V + 40000 \log e (1 + 0.01V)} \dots\dots\dots(74)$$

茲に f_m = 平均摩擦係數

V = 制動開始速度 (軒/時)

C = 天候による常數 (前掲)

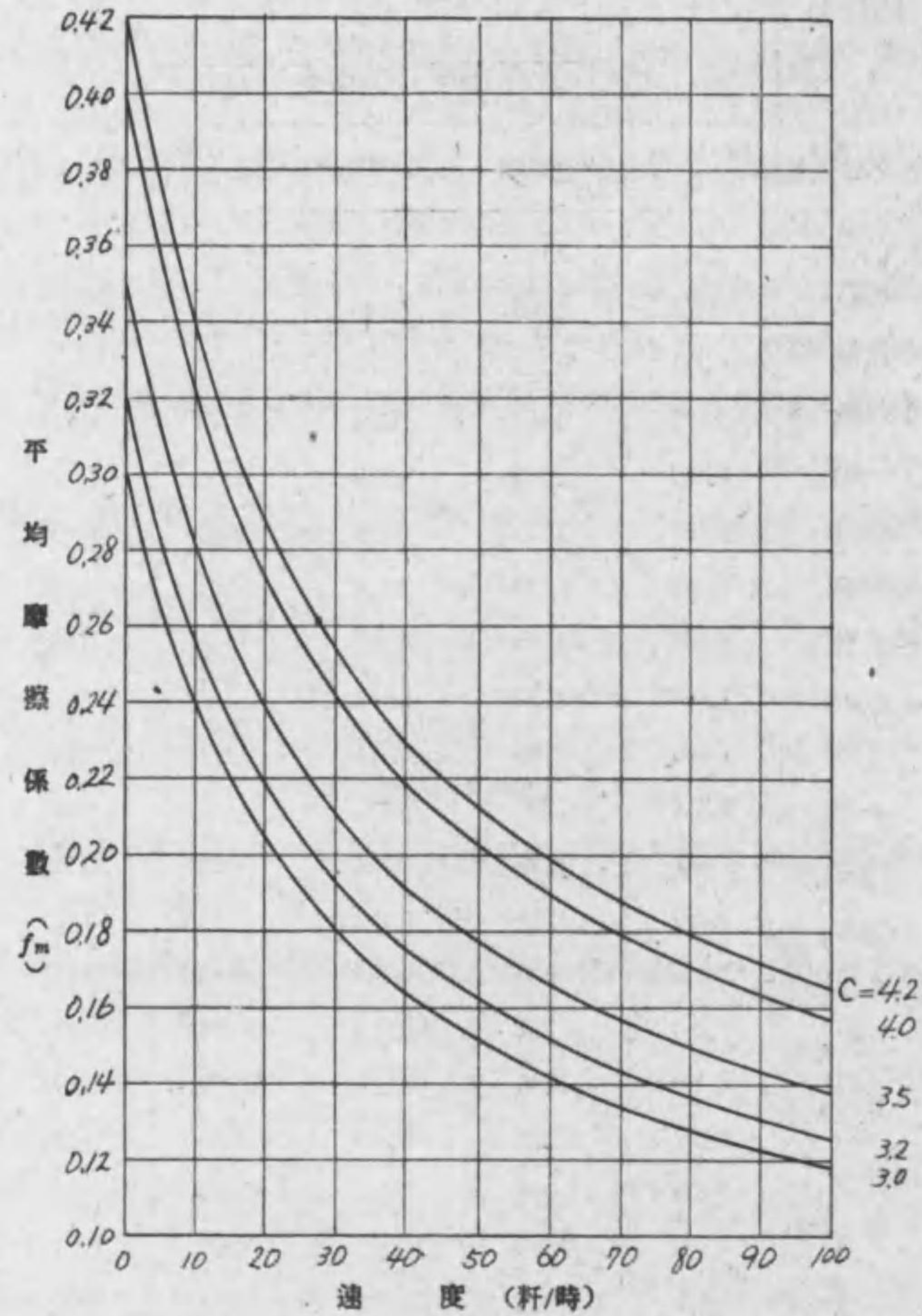
$\log e$ = 自然對數の略號で對數表によつて求める。

次表は任意速度に於ける種々な天候の場合の平均摩擦係數を求めたもので、これを圖示すれば第35圖の如くなる。

普通制動距離計算の場合には其の都度平均摩擦係數を計算することなく、次表のものを採用するのが常である。

| 制動開始 速度 V (軒/時) | 平均摩擦係數 | | | | |
|--------------------------|---|--------|--------|--------------|--------------|
| | $f_m = \frac{0.5 CV^2}{2.5V^2 - 400V + 40000 \log e (1 + 0.01V)}$ | | | | |
| | 晴天 C=0.42 | C=0.40 | C=0.35 | 平常 C=0.32 | 雨天 C=0.30 |
| 100 | 0.165 | 0.157 | 0.138 | 0.126 | 0.118 |
| 95 | 0.168 | 0.160 | 0.140 | 0.128 | 0.120 |
| 90 | 0.171 | 0.163 | 0.143 | 0.131 | 0.122 |
| 85 | 0.175 | 0.167 | 0.146 | 0.133 | 0.125 |
| 80 | 0.179 | 0.170 | 0.149 | 0.136 | 0.128 |
| 75 | 0.183 | 0.175 | 0.153 | 0.140 | 0.131 |
| 70 | 0.188 | 0.179 | 0.157 | 0.143 | 0.134 |
| 65 | 0.193 | 0.184 | 0.161 | 0.147 | 0.138 |
| 60 | 0.199 | 0.190 | 0.166 | 0.152 | 0.142 |
| 55 | 0.206 | 0.196 | 0.171 | 0.157 | 0.147 |
| 50 | 0.213 | 0.203 | 0.177 | 0.162 | 0.151 |
| 45 | 0.221 | 0.210 | 0.184 | 0.168 | 0.158 |
| 40 | 0.230 | 0.219 | 0.192 | 0.176 | 0.165 |
| 35 | 0.241 | 0.230 | 0.201 | 0.184 | 0.172 |
| 30 | 0.254 | 0.241 | 0.211 | 0.193 | 0.181 |
| 25 | 0.269 | 0.256 | 0.224 | 0.205 | 0.192 |
| 20 | 0.287 | 0.273 | 0.239 | 0.219 | 0.205 |
| 15 | 0.309 | 0.294 | 0.257 | 0.235 | 0.220 |
| 10 | 0.336 | 0.320 | 0.280 | 0.255 | 0.240 |
| 5 | 0.371 | 0.353 | 0.309 | 0.282 | 0.265 |
| 0 | 0.420 | 0.400 | 0.350 | 0.320 | 0.300 |

第 35 圖



第六節 制動力

1. 制動力と粘着力との関係

制動力とは制動の場合、列車を停止せしむるか、或は速度を調節するに必要な力で、制動圧力に摩擦係数を乗じたものである。即ち

$$\text{制動力} = \text{制動圧力} \times \text{摩擦係数}$$

この場合摩擦係数として或る速度に於ける値を代入すると、制動力は其の速度のときの値となり、又制動開始より停車迄の平均摩擦係数を代入すれば、制動中の平均制動力となるものである。

併し制動力は無制限に大きくすることは出来ないのである。若し制動力が車輪と軌條間の粘着力より少しでも大きくなると、車輪は回轉することなく軌條上を滑走することゝなるから、制動力は粘着力よりも小さいか、又はこれと等しいことが必要條件である。従つてこれ等の關係に就て述べると次のやうになる。

- 今 P = 制動圧力 (噸)
- f = 制輪子と車輪との間の摩擦係数
- B = 制動力 (噸)
- W = 制動軸上の重量 (噸)
- μ = 車輪と軌條との間の摩擦係数 = 粘着係数
- K = 制動率

とすれば

$$B \leq W\mu$$

又 $Pf \leq W\mu$

従つて $\frac{P}{W} \leq \frac{\mu}{f}$

然るに $\frac{P}{W} = K$ であるから

$$K \leq \frac{\mu}{f} \dots\dots\dots(75)$$

でなければならない。

この関係から制動率は最大どの位までなし得るかを見るに、粘着係数を普通0.25~0.23位に採り、摩擦係数は速度、制動圧力、制動継続時間、晴雨等により相当広い範囲に変化するが、これを0.2位に採ると

$$K \leq \frac{0.25 \sim 0.23}{0.2} = 1.25 \sim 1.15$$

となり、結局最大制動率は125~115%以上とする事が出来ないことになる。

【問題】 撒砂をすれば制動力を増し得るは何故なりや。

2. 下り勾配線に於て等速度運轉をなすために必要な制動力

下り勾配線に於ては、勾配の加速力のために列車の速度は漸次高まるものであるから、等速度運轉をなすためには此の加速力に對抗するだけの制動力が必要である。

今此の制動力をB、勾配の加速力をi、列車の走行抵抗をRとし、何れも斤/吨にて表はせば

$$i = B + R$$

従つて $B = i - R$

制動力は制動圧力Pと摩擦係数fの相乗積であるから

$$B = Pf$$

の関係を代入して

$$Pf = i - R$$

$$\therefore P = \frac{i - R}{f} \dots\dots\dots(76)$$

茲に P=列車1吨當り制動圧力で全車制動率の千分率に等しい。

i=下り勾配(%)

R=列車重量1吨當り走行抵抗(斤/吨)

f=車輪と制輪子間の摩擦係数

【問題】 10%下り勾配に於て列車を或る均衡速度で運轉せしめんには、列車重量1吨當り幾何の制動力を要するか。但し均衡速度に於ける列車走行抵抗は、列車重量1吨當り3.5斤、車輪と制輪子の平均摩擦係数は0.145とす。

第七節 制動距離

列車が或る速度を以て走行してゐるとき、其の速度を減殺し又は之を停止するためには、必ず列車の進む方向に反對して作用する抵抗力が必要である。即ち列車の運動のエネルギーを制動力と列車抵抗とに依つて吸収して仕舞はなければならない。

従つて制動距離を計算するには、列車の運動のエネルギーを阻止せんとして働く總抵抗、即ち制動力と列車抵抗とを知らねばならない。

然し實際の場合に於ては、制動手配を行つても直ちに制動の効果が現はれるものでなく、其の間に多少の時間を要するものであるから、制動距離を算出するに當つては、制動手配後制動効果が充分に行き互つてから停車するまでのものと二つに分けて考へなければならない。即ち

- (a) 制動手配後全列車のブレーキが充分に作用するまでの空走距離
- (b) 制動が充分に作用した後停車するまでの距離

1. 空走時間及空走距離

空気ブレーキに於て制動弁のハンドルを制動位置に移しても、制動の効果を發揮するまでに、多少の時間を要する理由は、全列車のブレーキが完全に作用するまでには相當の時間が掛るからで、試験の結果に依れば圖に示すやうに、列車の制動筒圧力が其の最大値の60~70%の圧力に高まらなければ、制動効果を發揮しないからである。従つてこの程度に圧力が高まるまでの時間が空走時間、この間に走行した距離が空走距離に相當するものである。

空走時間は制動装置の種類、制動方法、列車の種類及列車の連結輛数の多寡に依つて相違するが、我國に於ては試験の結果から見て大體次の數値が妥當とされてゐる。

(1) 旅客列車の場合

非常制動 2~3 秒

常用制動 6~7 秒

(2) 貨物列車の場合

非常制動 7 秒

常用制動 13 秒

手ブレーキの空走時間は其の取扱方に依つて非常に相違するから、一律に決めることは困難であるが、非常制動の場合に於ても10秒程度を要するものである。

次に空走距離であるが、制動開始の速度を V 軒/時とすれば 1 秒間に走行する距離は $\frac{V}{3.6}$ (米) であるから、之に

空走時間を乗すれば空走距離を得られる。即ち

$$\text{空走距離} = \frac{V}{3.6} \times t \text{ (米)} \dots\dots\dots(77)$$

茲に V = 制動開始の時に於ける速度 (軒/時)

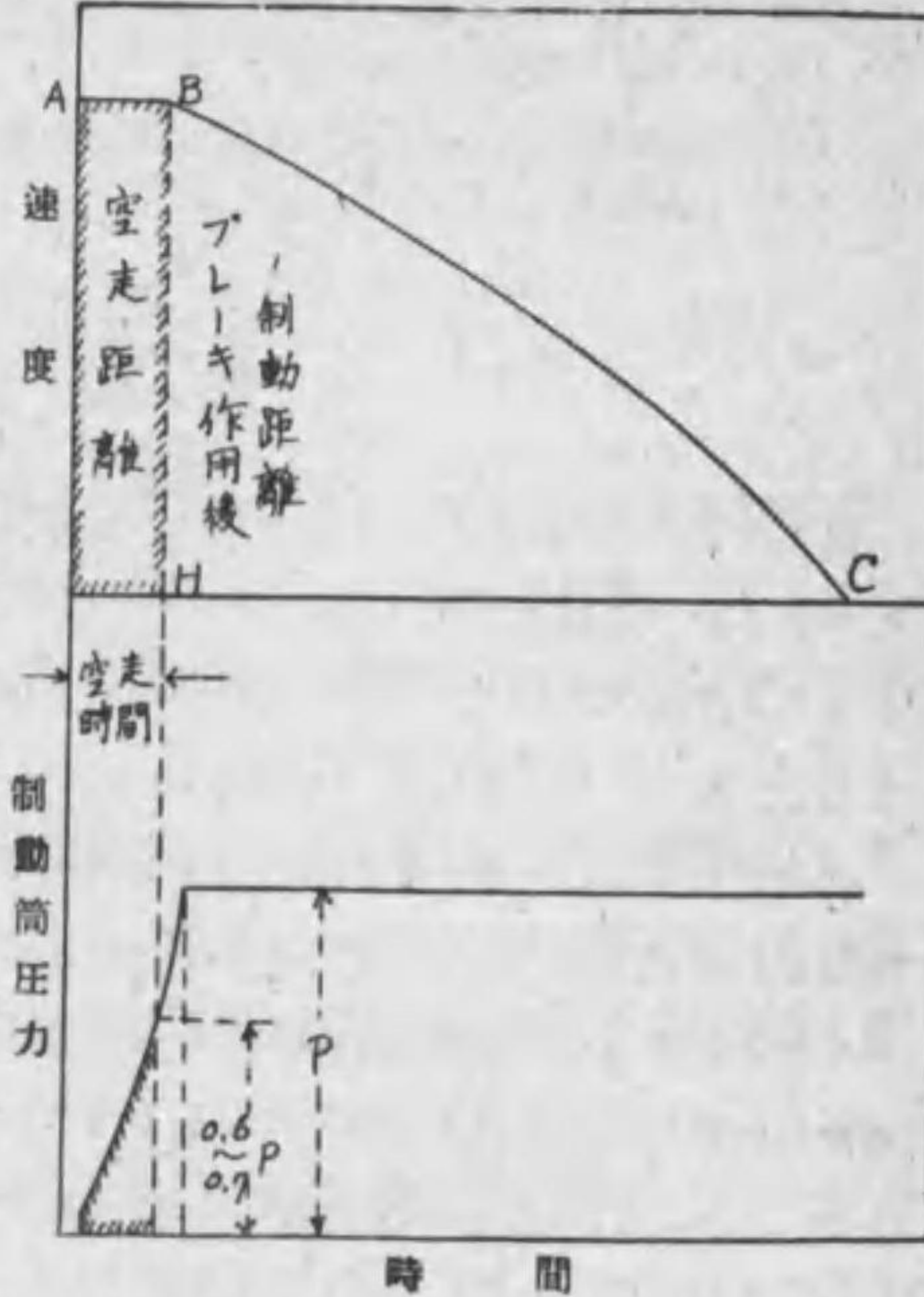
t = 空走時間 (秒)

以上の計算は空走時間中に速度の變化がないものと假定したものであるが、急な下り勾配線等では空走時間中に相當加速するから速度の變化を考へなければならぬ場合がある。

2. 實制動距離

進行しつつある列車は、其の速度に相當する運動のエネルギーを有してゐるから、運轉中の列車を停止せしめんとするには、この運動のエネルギーを制動力に依つて吸収してしまふことである。運動のエネルギーは第五章に於て述べた通り、次の式に依つて表される。

第 36 圖



$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \text{ (珇・米)}$$

茲に E_k = 運動のエネルギー (珇・米)

$$m = \frac{w}{g} = \text{物體の質量 (珇)}$$

w = 物體の重量 (珇)

g = 重力による加速度 = 9.8 (米/秒/秒)

v = 速度 (米/秒)

以上は力學上の運動のエネルギーで、列車進行方向に直進する部分に有するものであるが、車輛には車輪、車軸の様な回轉部分があるため、これ等に費されるエネルギーも考へねばならない。普通この影響は直進部分の6%位と見做されてゐる。従つて全運動のエネルギーは $1.06 \times \frac{m v^2}{2}$ (珇・米) となる。

次に此の運動のエネルギーを取去るために費した制動力を F (珇) とし、制動距離を S_1 (米) とすれば、ブレーキのなした仕事量は $F \times S_1$ (珇・米) で、エネルギーと仕事とは相互變換し得るものであるから、運動のエネルギーと之を取去るために費した仕事量とは全く相等しい筈である。従つて次の式が成立する。

$$F S_1 = 1.06 \times \frac{m v^2}{2}$$

$$\therefore S_1 = 1.06 \times \frac{m v^2}{2 F}$$

上式の單位は珇及米であるが、實用上は速度を V (軒/時)、列車重量を W (噸) で表すことが便利であるから、v 及 m を次の如く書き換へると

$$v = \frac{V}{3.6}, \quad m = \frac{w}{g} = \frac{1000 W}{9.8}$$

これを前式に代入すれば次の如くなる。

$$S_1 = 1.06 \times \frac{1000 W}{9.8} \times \left(\frac{V}{3.6} \right)^2$$

$$= 4.17 \times \frac{W V^2}{F} \dots\dots\dots(78)$$

この式でも知られるやうに、制動距離は列車重量に正比例し、制動開始の時の速度の自乗に正比例し、制動力に反比例することがわかる。従つてこの關係から若し列車重量のみ2倍になれば制動距離は2倍になり、又制動開始時の速度のみが2倍になれば制動距離は4倍になり、制動力のみが2倍になれば制動

距離は s となることを知らねばならない。

次に第78式中の制動力 F を分解して見ると次の様になる。

$$F = 1000 P f_m + (R_o \pm R_g + R_c) W \dots\dots\dots(79)$$

茲に P = 制動圧力 (噸)

f_m = 平均摩擦係數

R_o = 全列車 1 噸當平均走行抵抗 (噸/噸)

R_g = 勾配抵抗 (噸/噸) 上り勾配 +、下り勾配 - を採る。

R_c = 曲線抵抗 (噸/噸)

上記の關係を第78式に代入すれば

$$S_1 = 4.17 \times \frac{W V^2}{1000 P f_m + (R_o \pm R_g + R_c) W}$$

$$= 4.17 \times \frac{V^2}{1000 \times \frac{P}{W} f_m + R_o \pm R_g + R_c}$$

$\frac{P}{W} = B$ = 制動率 (小數) とすれば

$$S_1 = 4.17 \times \frac{V^2}{1000 B f_m + R_o \pm R_g + R_c} \dots\dots\dots(80)$$

3. 全制動距離

第80式の制動距離はブレーキが充分作用してから停車するまでの所謂實制動距離であるから、之に空走距離を加へたものが全制動距離である。従つて次の如く表される。

$$S = 4.17 \times \frac{V^2}{1000 B f_m + R_o \pm R_g + R_c} + \frac{V}{3.6} \times t \dots\dots\dots(81)$$

茲に S = 全制動距離 (米)

V = 制動開始の時の速度 (軒/時)

B = 列車の全車制動率 (小數)

f_m = 平均摩擦係數

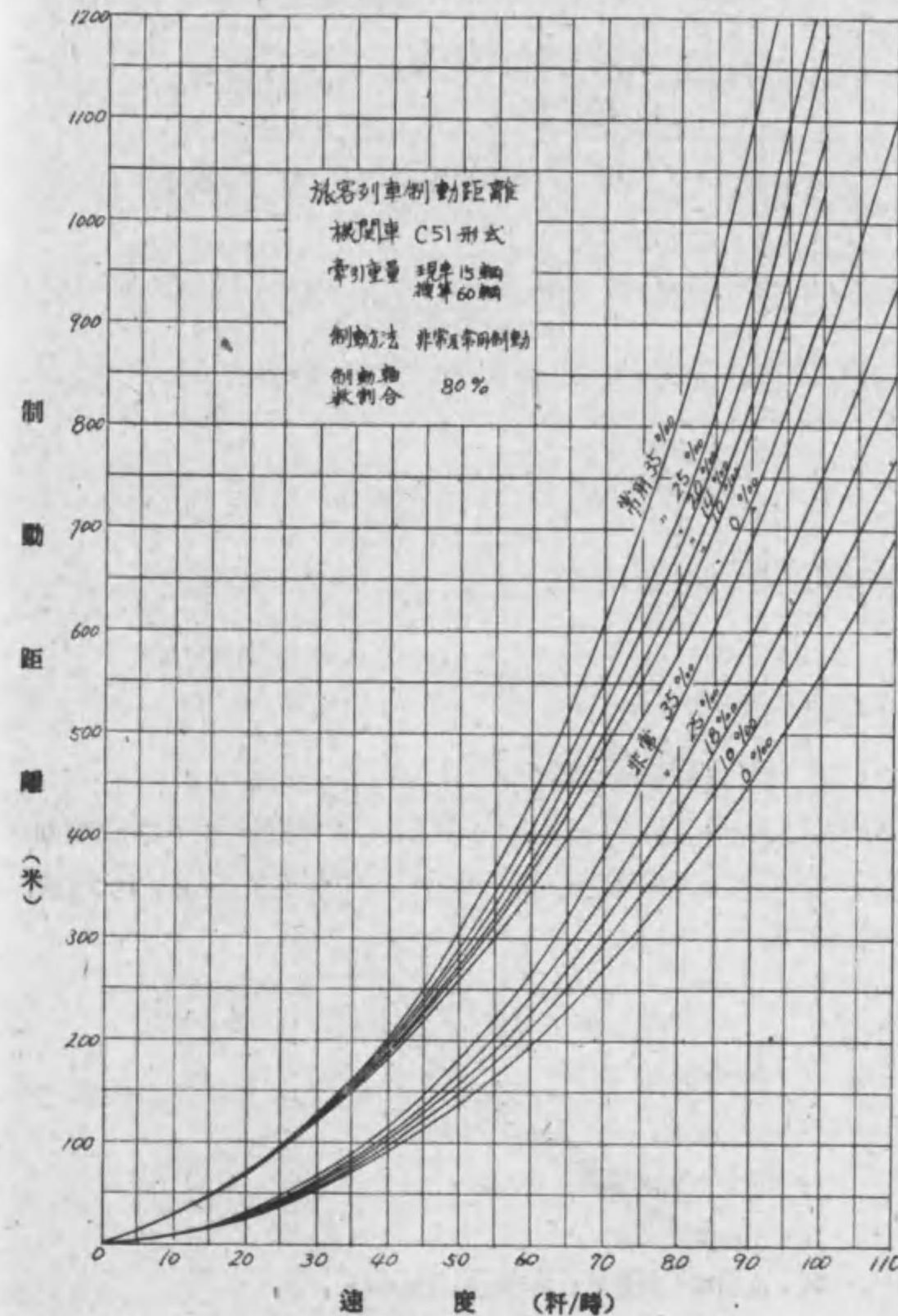
R_o = 全列車 1 噸當平均走行抵抗 (噸/噸)

R_g = 勾配抵抗 (噸/噸) 上り勾配 +、下り勾配 - を採る。

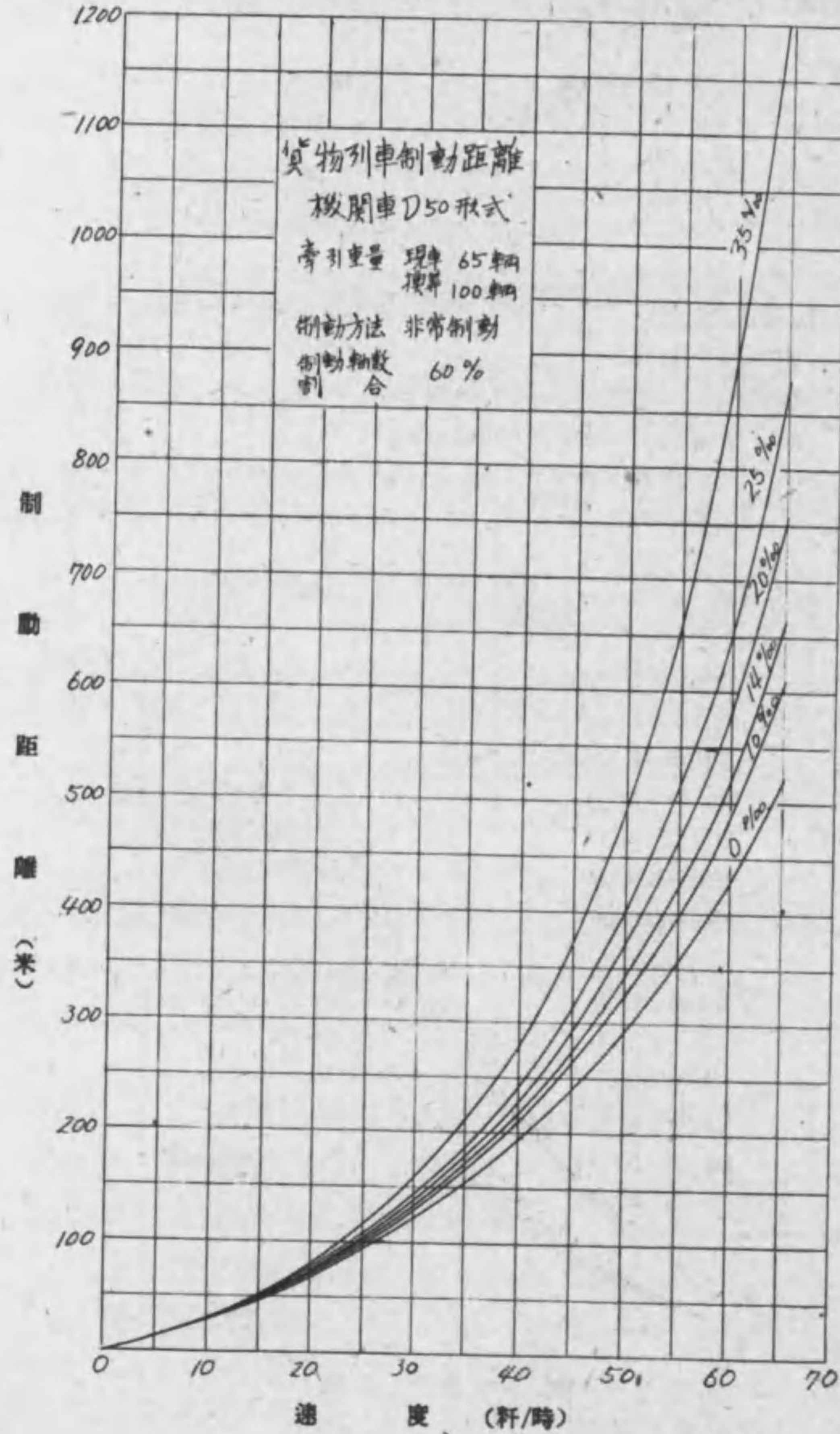
R_c = 曲線抵抗 (噸/噸)

t = 空走時間 (秒)

第 37 圖



第 38 圖



【問題】(1) 10%下り勾配線を50軒/時の速度で進行する貨物列車が、非常制動を行つた場合には幾何の距離にて停車し得るか。

但し

| | |
|-----------------------|----------|
| 列車全体の制動軸上の重量 全列車重量 | 0.24 |
| 制動率 | 60% |
| 平均摩擦係數 | 0.16 |
| 全列車の平均走行抵抗 | 3.62 疋/疋 |
| 空走時間 | 7秒 |

(2) 重量100疋の機關車が、現車50輛(内制動筒付車輛30輛)重量900疋の貨物列車を牽引して、下り10%勾配直線を時速40軒で運轉しつゝあるとき非常制動をとれば幾何の距離に停車するか。

但し

| | |
|---------------|-------|
| 列車重量1疋當平均走行抵抗 | 2.5 疋 |
| 平均摩擦係數 | 0.18 |
| 機關車制動率 | 60% |
| 貨車制動率 | 50% |
| 空走時間 | 10秒 |

(3) 次の條件を有する旅客列車の制動距離を求めよ。

| | |
|--------------|---------------|
| 機關車動輪上重量 | 39.75 疋 |
| 炭水車重量(空車) | 14.51 疋 |
| 機關車總重量(含炭水車) | 81.25 疋 |
| 牽引車數 | 現車12輛(重量360疋) |
| 制動筒付車輛數 | 10輛(空車重量260疋) |
| 制動管減圧量 | 1.0 疋/平方釐 |
| 機關車軸制動率 | 42.8% |
| 炭水車軸制動率 | 64.3% |
| 客車軸制動率 | 51.4% |
| ブレーキ使用開始の速度 | 60 軒/時 |
| 平均摩擦係數 | 0.152 |
| 全列車平均走行抵抗 | 3.2 疋/疋 |
| 線路狀態 | 10%下り相當勾配 |
| 空走時間 | 6秒 |

第八章 制限速度

第一節 制限速度の種類

列車の運轉上には種々なる速度制限がある。運轉に従事する者にとつて最も大切なことは、之等の制限が如何なる理由に依つて定められて居るか云ふこと、此の速度に關聯した他の必要な事柄を十分に心得て置く事である。

制限速度を設ける主なる理由は、列車の運轉を安全に遂行せんとするに外ならないので、列車運轉の危険は高速度となるに従ひ増加するのであるから、安全なる運轉を保證するには、制限速度は必ず最大速度を規定して置く必要がある。

現行運轉取扱心得に於て規定して居る制限速度は、大別して次の五種類である。

- (1) 曲線に於ける制限速度
- (2) 下り勾配に於ける制限速度
- (3) 車輛の構造による制限速度
- (4) 列車の操縦方法による制限速度
- (5) 前途の状況其他による制限速度

第二節 曲線に於ける制限速度

1. 曲線路に於ける遠心力の作用

曲線路を運轉する場合に速度を制限する理由は、車輛が曲線を通過する際遠心力の作用によつて曲線の外方へ顛覆せんとする傾向と、内側車輪上重量の減少のために起り易い脱線防止のためである。

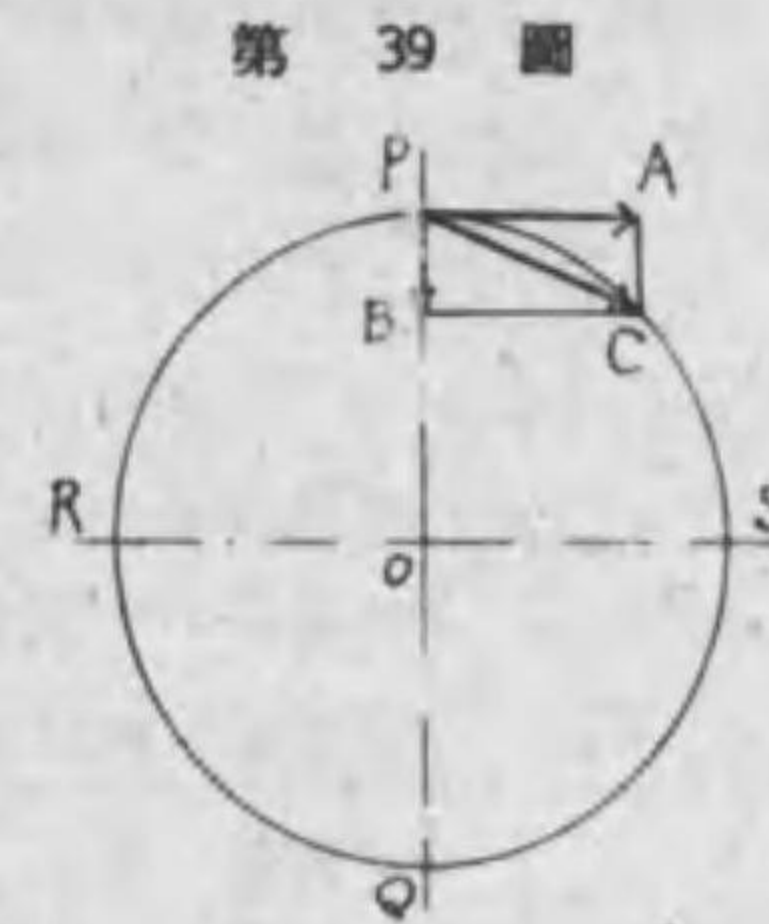
而して曲線通過の際に生ずる遠心力の大小は、曲線半径、運轉速度及車輪上重量に關係するものであるが、普通この遠心力の作用を打消すために、曲線の外方へ顛覆せんとする作用に對しては、外側軌條を内側軌條より幾分高める所謂カントを設け、又軌間を押し擴げんとする作用に對しては、其の曲線半径に

應じて適當な寸法だけ軌間を擴ぐる所謂スラックを附して居る。

2. 遠心力

曲線路を車輛が運轉する場合に作用する遠心力を力學的に説明するに、第39

圖に於て等速度回轉をなして居る質量 m の物體があるとすると、圓周上の一 P に於ては其の慣性によつて接線 PA の方向に進む筈であるが、之に働く求心力（遠心力に對するもので中心に引付ける力）の爲に極めて短い時間 t 秒間に C に進んだと假定する。而して v を圓周に沿ふて生ずる線速度とすると、 t 秒間に進行する距離は vt で、之が PA に相當するものである。又求心力によつて起る加速度を a とすると、其の力の方向に於ける B 點での速度は at で、其の間の平均速度は $\frac{1}{2}at$ であるから、これに相當する進行距離は速度 $\frac{1}{2}at$ に t



を乗じた $\frac{1}{2}at^2$ で、之が PB の長さに相當するものである。

$$\therefore \left. \begin{aligned} PA &= vt \\ PB &= \frac{1}{2}at^2 \end{aligned} \right\} \text{が成立する。}$$

然るに幾何學上から

$$PB \times BQ = BC^2$$

であるから

$$PB = \frac{BC^2}{BQ} = \frac{PA^2}{BQ}$$

之を上式に代入すると

$$\frac{1}{2}at^2 = \frac{(vt)^2}{BQ}$$

而して時間 t の値を小さく採る程 B 點は P に近付きて、益々事實に合致し、 r を半径とすれば其の局限に於ては

$$BQ = PQ = 2r$$

即ち $\frac{1}{2}at^2 = \frac{v^2 t^2}{2r}$

$\therefore a = \frac{v^2}{r}$

而して此の力は質量に加速度を乗じたもので、之をFとすれば

$$F = ma$$

$$= m \frac{v^2}{r}$$

$$= \frac{w}{g} \cdot \frac{v^2}{r} \dots\dots\dots(82)$$

茲に F=求心力=遠心力(旺)

m=質量(旺)

w=重量(旺)

v=速度(米/秒)

g=重力の加速度=9.8(米/秒/秒)

r=曲線半径(米)

この式を見て明なる如く、求心力或は其の反作用である遠心力は質量に正比例し、且つ速度の自乗に正比例して増加し、其の半径に逆比例するものであつて、車輛が曲線を通過するときは曲線が急なる程即ち曲線半径に逆比例して、又速度の自乗に正比例して曲線の外方に倒さうとする遠心力の増加することがわかる。

3. 曲線に於ける制限速度

線路の分岐に附帯せざる曲線には、此の遠心力と釣合はす手段として前に述べたやうに、外側軌條を内側軌條よりも或る程度高め(最大115耗迄)所謂カントを附して居る。然し輛車に作用する遠心力は外側車輪上の重量を増加し内側車輪上の重量を減少せしむる働をするに反し、カントは之と反對に内側車輪上重量を増加し、外側車輪上重量を減少せしめんとする作用を持つて居るから、車輛の運轉速度に適當するカントを附けて置けば、遠心力とカントとの作用が丁度釣合つて内外車輪上重量を等しくなし、安全なる運轉をなすことが出

来る譯であるが、實際問題としては同一軌道を各種の速度を持つた列車が運轉するので、其のカントも各種列車の平均速度に相當するものを附して居るから其の運轉速度を制限しなければ運轉の安全を計ることは不可能なのである。

線路の分岐に附帯する曲線に於ては、遠心力と釣合はすべきカントを附することは軌道の構造並に保守上に困難があるので、特殊の場合を除いては其の設けがない。従つて此の種の曲線路に於ては其の速度に一層の制限を附する必要がある。

現行運轉取扱心得に於ける曲線路の制限速度は次表の通りで、これによれば線路の分岐に附帯する場合は他の曲線に比して5~20軒位制限速度が低くなつてゐる。

| 曲線半径(米) | 制限速度(軒/時) | |
|---------|---------------|--------------|
| | 線路の分岐に附帯せざる場合 | 線路の分岐に附帯する場合 |
| 600 | 85 | 65 |
| 500 | 80 | 60 |
| 450 | 75 | 55 |
| 400 | 70 | 55 |
| 350 | 65 | 50 |
| 300 | 60 | 50 |
| 250 | 55 | 45 |
| 200 | 50 | 45 |
| 175 | 45 | 40 |
| 150 | 40 | 35 |
| 125 | 35 | 30 |
| 100以下 | 30 | 25 |

備考 (1) 曲線半径が本表に掲ぐるものゝ中間にある場合に於ては、速度は半径の小さなものによる。

(2) 線路の分岐に附帯する曲線はリード軌條の半径である。

以上は甲、乙及丙線に適用される制限速度であるが、簡易線に於ては線路の保守其の他の點より次表の様規定されてゐる。

| 曲線半径(米) | 制限速度(軒/時) | |
|---------|---------------|--------------|
| | 線路の分岐に附帯せざる場合 | 線路の分岐に附帯する場合 |
| 600 | 60 | 45 |
| 500 | 55 | 40 |
| 400 | 50 | 35 |
| 300 | 45 | 30 |
| 200 | 35 | 25 |
| 100 | 20 | 15 |

備考 曲線半径が本表に掲ぐるものゝ中間に在る場合の速度は挿入法による。

4. 曲線に於ける制限速度算定の基礎

曲線路に於ける制限速度は前述の様に遠心力に釣合すべき充分なるカントを附し得ないこと、又は軌道の構造並に保守上の點から全然カントを附し得ないこと等から上表のやうに定められてあるが、これが算出の基礎は我國有鐵道と同一軌間である南阿鐵道其の他を参考として定められた次式によるものである。

$$V = 3.5\sqrt{R} \quad \text{線路の分岐に附帯せざる曲線の場合} \dots\dots(83)$$

$$V = 2.75\sqrt{R} \quad \text{線路の分岐に附帯する曲線の場合} \dots\dots(84)$$

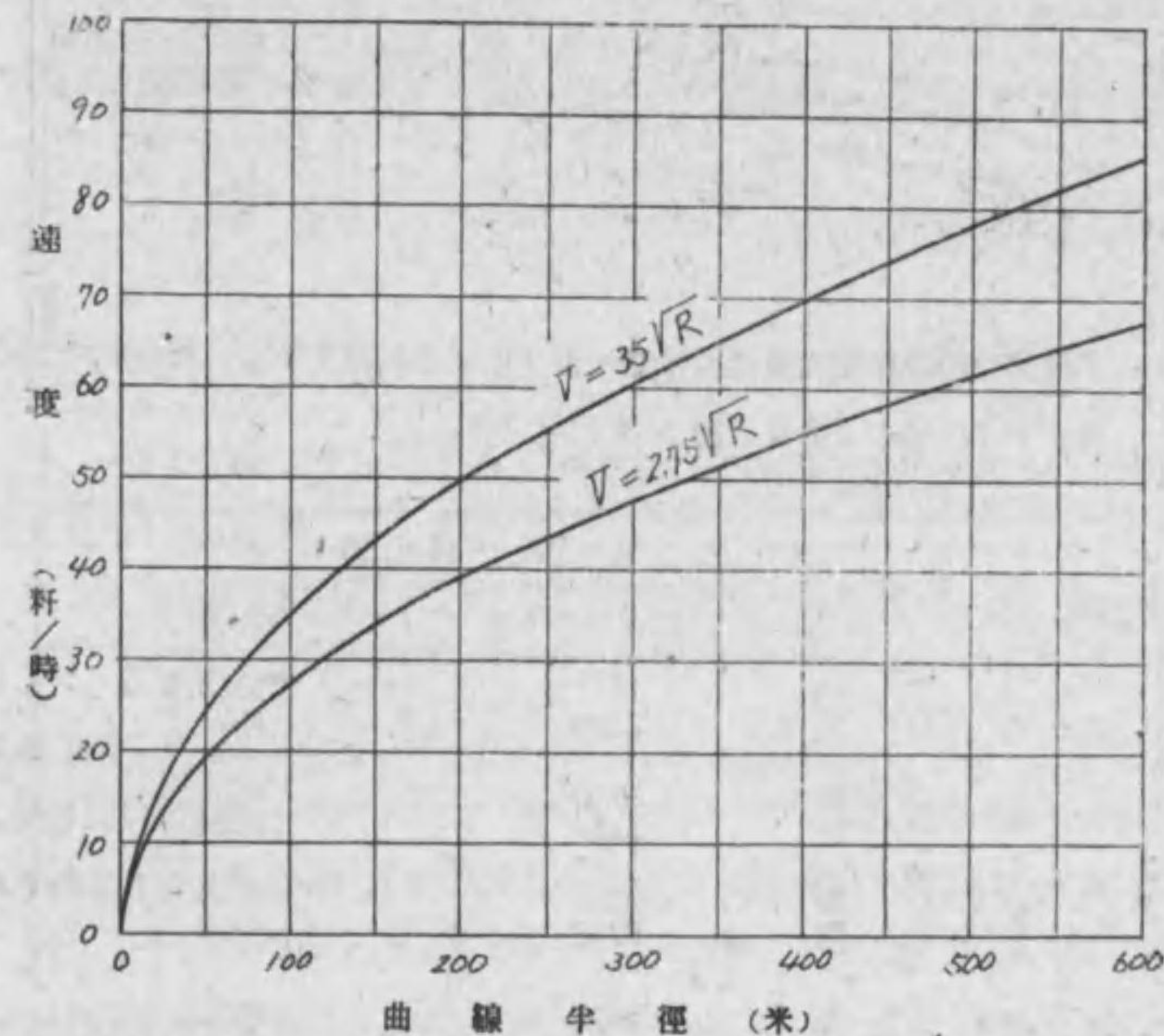
茲に V = 制限速度(軒/時)

R = 曲線半径(米)

註 本式は主として甲、乙及丙線の制限速度算出に對するものである。

尙この式より求めた制限速度を圖示すれば第40圖の通りである。

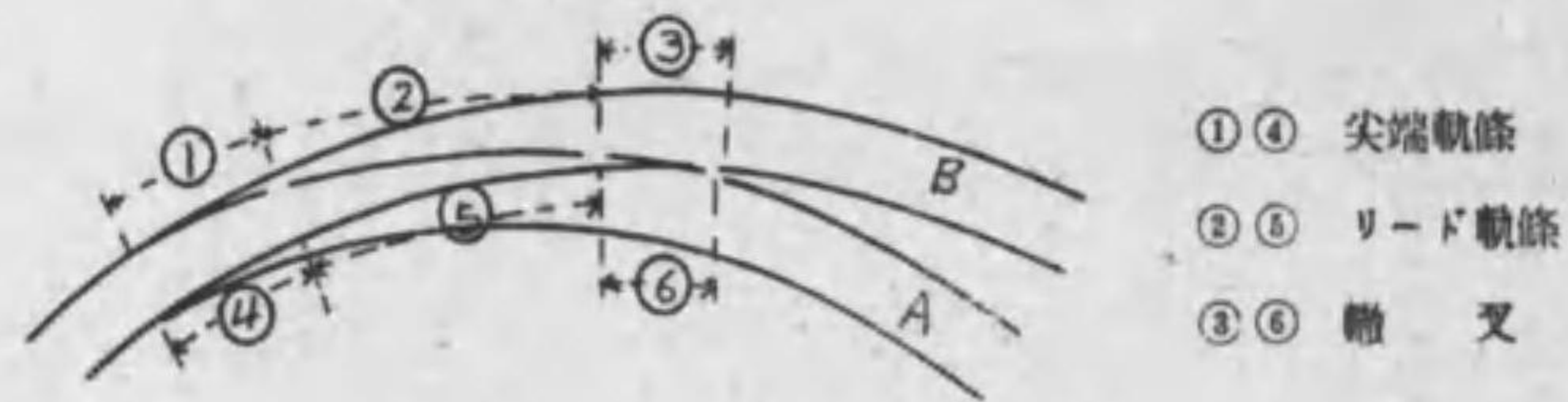
第 40 圖



5. 線路の分岐に附帯する曲線半径

線路の分岐に附帯する曲線に於ては、如何なる部分が最も急であるかを知る必要がある。線路の分岐に於ては必ず尖端軌條、リード軌條及轍又とがあり、圖に示すやうにA線に對しては(1)が尖端軌條、(2)がリード軌條、(3)が轍又で、又B線に對しては(4)が尖端軌條、(5)がリード軌條、(6)が轍又である。一般に尖端軌條と轍又は直線であるから、其の間に挟まれたリード軌條は其の曲度が強くなるのは當然な事、運轉取扱心得に於て規定せる速度は此の部分の半径に相當するものである。

第 41 圖



リード軌條の半径は轡叉番號及軌條の重さにより相違すること次表に示す通りで、尙リード軌條の長さは大體 10 米程度である。

| 轡叉番號 | | 軌條重量 (疋/米) | |
|------|----|------------------|------------------|
| | | 30 及 37 疋 | 50 疋 |
| 8 番 | 片開 | 107.2 米 220.8 | 104.2 米 214.1 |
| 10 番 | 片開 | 162.6 335.4 | 160.1 329.4 |
| 12 番 | 片開 | 243.2 501.9 | 223.5 460.0 |
| 16 番 | 片開 | 526.6 | 532.2 |

第三節 下り勾配線に於ける制限速度

1. 下り勾配線に於ける制限速度

下り勾配線に於て勾配の加速力に委せ餘りに高い速度で運轉をなすときは、非常停車の場合其の制動距離を延長し、延ては支障箇所を冒す場合を生じ運轉上甚だ危険である。夫故下り勾配線に於ては其の列車の有する制動力に應じて運轉速度を制限する必要がある。

現行運轉取扱心得では上述の理由から制動軸數割合及び制限速度の兩方面を規定して居り、旅客列車に在りては列車連結軸數の 100 に對し 80 以上の割合の制動軸を有して居るので、其の制限速度も貨物列車に比し高くなし得る譯である。次表は旅客列車及び貨物列車の制限速度を比較せるものである。

| 下り勾配 (%) | 制限速度 (軒/時) | |
|----------|------------|---------|
| | 旅客列車 | 貨物及混合列車 |
| 2 | 95 | 65 |
| 6 | 90 | 60 |
| 10 | 85 | 55 |
| 14 | 80 | 50 |
| 18 | 75 | 45 |
| 20 | 70 | 40 |
| 25 | 65 | 35 |
| 30 | 50 | 30 |
| 35 | 45 | 25 |

註 (1) 停車場間の標準下り勾配より急なる下り勾配に於ける最大速度は、當該標準下り勾配と同一なる下り勾配に對する最大速度迄増加することを得。
(2) 勾配が本表に掲ぐる中間にあるときは急なる勾配の速度に據る。

現行運轉取扱心得第 5 條に規定せる貨物列車の制動軸數割合は、手ブレーキを使用することを本則として定めたもので、其の當時列車の制動力を増加するためには列車中に多數の緩急車を組込む必要を生じ、貨物輸送上甚だ不經濟であつたので充分の制動力を持つことが困難であつたが、現在の如く殆んど全部の貨物列車に空氣ブレーキを使用する状態に於ては、同條に規定しある制動軸數割合を有することは非常に容易で、最近に於ける制動筒は貨車輛數割合を見るに、省有貨車に就ては總輛數の 94%、私有貨車を含みたる場合に就ては 93% の割合を示して居る状態であるから、實際に於ては組成貨車の 70% 以上に制動筒を有するものと見做して充分である。従つて現在の制動速度が如何なる安全度を有するか、竝に將來此の制限速度を幾何迄高め得べき餘地あるかを研究する必要がある。

2. 下り勾配線の制限速度を決定するに必要な事項

下り勾配線に於ける制限速度を決定するには、次の諸事項につき考慮しなければならない。

- (1) 制動軸數割合及制動力
- (2) 列車重量

(3) 列車に組込まれる積空割合

(4) 列車の防護距離

制動軸數割合は現在各列車共空氣ブレーキを使用し、旅客列車は所定の80%以上の制動軸數を有してゐる。又貨物列車は現在貨車總數の94%程度に制動筒を備へて居るので、大部分の貨物列車は貨車組成の最も悪い場合に於ても70%以上と見做されるから、50%以下の場合には殆んど稀であると考へてよい。

制動力に就ては既に述べたやうに、制動装置の種類に應じて非常制動の場合の制動圧力を求め、この圧力に車輪と制輪子間の摩擦係數を乗じて得るブレーキによる制動力に車輛の走行抵抗及び勾配の抵抗を加算して求め得られる。

次に列車重量であるが、重量別に制限速度を定めることは非常に煩雜であるし、又其れ程の必要もないから制動距離の影響と輸送の實狀から定めることが必要である。制動率の點から考へると、機關車は客車よりも小さく、貨車よりも大であるから、列車重量の程度によつて制動距離に及ぼす影響は、旅客列車と貨物列車とでは反對の傾向を生ずる。即ち旅客列車では牽引客車輛數の増加に伴ひ、制動距離を短縮することゝなる。夫れ故安全上の見地から旅客列車は牽引車數の最も少い場合、又貨物列車では牽引車數の最も多い場合を考慮する必要がある。従つて旅客列車に於ては成可く小なる牽引定數の場合、例へば速度種別の通客甲程度、貨物列車に於ては輸送の實情、線路狀況より考へ最も大なる牽引定數の場合、例へば通貨丙程度に就て考へる必要がある。

列車に組込まれる積空割合に就て考へるに、此の積空の割合の大小によつて制動距離に非常な相違を生じ、積車みみの場合は制動距離最も長く、空車みみの場合は制動距離が最も短くなる譯である。従つて運轉の安全から見ると積車みみの場合に就て考へることが良いが、大體省有車の積車割合は78%程度であるから、これに餘裕を見込み90%位にすることが妥當と思はれる。

最後に列車の防護距離であるが、現在の制限速度は旅客列車及び貨物列車共大體800米を基準として定められたものゝやうである。而してこの防護距離としての制動距離を求むるに當つては、ブレーキの制動方法は非常制動に依らしむるか、全制動に依らしめるかであるが、貨物列車の如く列車長の大なるものは前部の車輛と後部の車輛とでは制動のかゝる時間に相當差があるので、非常

制動を行ふと却つて危険を生ずる場合があるから、これに對しては全制動に依ることが妥當の如く考へられる。但しこの防護距離としての制動距離とは、實制動距離と制動手配を採つてからブレーキのかゝる迄の時間、即ち空走時間内に走る空走距離との和であることは勿論である。

以上述べた各條件は現在の列車運轉状態と大體一致して居り、この程度に於ては運轉上の現行運轉取扱心得に定められた制限速度を10軒/時程度高めるも運轉上の何等危険を伴はないやうである。従つて次の運轉取扱心得改正の曉にはこの程度に昂上せられるものと考へられる。

第四節 車輛の構造による制限速度

車輛は餘り高速度で運轉すると、其の動搖が甚しくなつて脱線の危険を生ずる。其の危険の程度は車輛の構造に依つて自ら決るもので、ボギー客車と一般貨車とを比較すると客車は貨車に比してバネが二重に使用してあること、一車當りの重量が相當重い點から動搖が少い等の如くである。従つて構造上より各車輛の種類に應じて制限速度を附することの必要が起つてくる。

現行運轉取扱心得に於ては組成車輛に應じて次の如き制限速度を規定してゐる。

- | | |
|--|--------|
| (1) ボギー客車又は特に指定する貨車を以つて組成する 列車及びボギー客車と特に指定する貨車とを以つて 組成する列車 | 95 軒/時 |
| (2) 四輪客車又は四輪客車とボギー客車とを以つて組成 する列車 | 75 軒/時 |
| (3) 前號の列車に特に指定する貨車を連結するとき | 75 軒/時 |
| (4) 貨車又は貨車と客車とを以つて組成せる列車 但しこの貨車中には特に指定する貨車みみの場合を 含まざるものとする | 65 軒/時 |

第五節 列車の操縦方法による制限速度

列車を推進するとき、テンダ機関車を逆向して運転するとき、又は退行運転の場合は普通の状態と事情が異なるから、運転の安全を期するためには速度を制限しなければならない。

現行運転取扱心得に於ては之等に対する制限速度を次の如く規定して居る。

- (1) 列車推進の場合 25 軒/時
- (2) 線路又は列車に故障ありて列車退行の場合 15 軒/時
- (3) テンダ機関車を逆向して列車の前部に連結したるとき 45 軒/時

列車の推進とは動力車を列車前頭に連結せずして運転する場合で、列車の操縦が意の如くならないのと脱線し易き傾向にあるため、速度の制限を要するものである。

線路又は列車に故障があつて不時の退行をする場合は他の退行の場合と状態が相違し、踏切、橋梁又は停車場の従事員は全然豫期しないものであるから、危険を防止する意味に於て速度を低下する必要がある。

テンダ機関車を逆向運転するとき速度制限をなすのは、前途の見透困難なるばかりでなく、構造上から逆向は危険で脱線の傾向が多いと云ふ事になる。

第六節 前途の状態其の他による制限速度

常置信號機と聯動装置又は鎖錠なき對向轉轍器を通過するときは、尖端軌條の密着を確保することが出来ないから、安全のため其の速度を 30 軒/時以下に低下する必要がある。停止信號現示中の自動閉塞信號機を超えて運転するときは、前區間に列車が居るか、又は線路に故障があるか、或は装置に故障があるか等何れにしても警戒を要する事情があるから、其の速度を 15 軒/時以下に低下しなければならない。

入換の場合には轉轍器及び曲線の多いことと、見透しの悪いこと等の理由により、其の速度を 25 軒/時以下に低下する必要がある。併し動力車のみ運転する場合は操縦が容易で、且急停車をすることが出来るから、其の速度を制限する必要がないのである。

蒸氣機關車機能表

| 形式 | 230 | 870 | 900 | 1000 | 1070 | 1150 | B10 | 1720 |
|-------------------------|-------|-------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 主要部分 | | | | | | | | |
| シリンダ { 直徑(耗) | 356 | 368 | 356 | 406 | 406 | 406 | 406 | 340 |
| 行程(ク) | 508 | 508 | 559 | 610 | 610 | 610 | 559 | 400 |
| 使用壓力(蒸/欄) | 10.0 | 10.0 | 12.0 | 11.0 又 ハ 15.0 | 11.0 又 ハ 15.0 | 11.0 又 ハ 15.0 | 11.0 又 ハ 15.0 | 11.0 又 ハ 15.0 |
| 火格子面積 (米 ²) | 1.11 | 1.21 | 1.67 | 1.33 | 1.32 | 1.33 | 1.33 | 0.88 |
| 全傳熱面積 (ク) | 61.1 | 67.3 | 70.7 | 73.9 | 73.9 | 73.9 | 73.0 | 48.3 |
| 過熱面積 (ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 全蒸發傳熱面積(ク) | 61.1 | 67.3 | 70.7 | 73.9 | 73.9 | 73.9 | 73.9 | 48.3 |
| 煙管傳熱面積 (ク) | 54.6 | 63.6 | 64.4 | 66.1 | 66.1 | 66.1 | 65.7 | 44.1 |
| 火室傳熱面積 (ク) | 6.5 | 3.7 | 6.3 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 7.3 | 4.2 |
| アーク管傳熱面積(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 運轉整(機)車(速) | 38.22 | 39.71 | 45.77 | 47.90 | 48.00 | 48.30 | 48.43 | 24.71 |
| 備重量 炭水車(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 動輪上重量 (ク) | 21.47 | 23.05 | 27.71 | 25.83 | 23.70 | 26.23 | 25.76 | 24.71 |
| 機車(機)車(ク) | 30.17 | 31.64 | 35.86 | 36.01 | 36.00 | 36.81 | 36.63 | 19.20 |
| 重量 炭水車(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 噸水容量 (米 ³) | 2.3 | 2.6 | 2.5 | 2.6 | 3.3 | 2.6 | 3.0 | 1.7 |
| 水槽容量 (ク) | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 6.5 | 6.2 | 6.5 | 6.5 | 2.7 |
| 積載燃料重量 (噸) | 1.14 | 0.84 | 1.83 | 2.70 | 2.50 | 2.20 | 3.00 | 1.13 |
| 最大長(耗) | 9699 | 9820 | 9380 | 11371 | 11381 | 11667 | 11378 | 6506 |
| 先輪直徑(ク) | 940 | 970 | 838 | 760 | 760 | 760 | 730 | — |
| 動輪直徑(ク) | 1250 | 1400 | 1400 | 1520 | 1520 | 1520 | 1400 | 940 |
| 從輪直徑(ク) | 940 | 970 | 838 | 940 | 940 | 940 | 940 | — |
| 炭水車輪直徑(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 固定輪軸距(ク) | 2286 | 2286 | 1676 | 2540 | 2540 | 2540 | 2540 | 2300 |
| 動輪軸距(ク) | 2286 | 2286 | 1676 | 2540 | 2540 | 2540 | 2540 | 2300 |
| 機車軸距(ク) | 5893 | 5944 | 6400 | 8978 | 8978 | 9029 | 8978 | 2300 |
| 炭水車軸距(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 全軸距(ク) | 5893 | 5944 | 6400 | 8978 | 8978 | 9029 | 8978 | 2300 |
| 大煙管 { 直徑(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 長(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 數 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 小煙管 { 直徑(耗) | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| 長(ク) | 2959 | 3050 | 3223 | 3229 | 3229 | 3229 | 3229 | 2652 |
| 數 | 147 | 166 | 159 | 163 | 163 | 163 | 162 | 132 |

| 形式 | 1740 | 1750 | 1760 | 2120 | 2400 | 2500 | 2700 | 2800 |
|------------------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|
| 主要部分 | | | | | | | | |
| シリンダ {直徑(耗) | 356 | 356 | 340 | 406 | 406 | 406 | 406 | 381 |
| 行程(寸) | 400 | 508 | 508 | 610 | 610 | 610 | 610 | 559 |
| 使用壓力(磅/平方) | 12.5 | 12.5 | 13.0 | 11.0 又 13.5 | 11.0 又 13.5 | 11.0 又 13.5 | 11.0 又 13.5 | 10.0 |
| 火格子面積(米 ²) | 1.02 | 1.02 | 1.0 | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.31 | 1.11 |
| 全傳熱面積(ク) | 60.7 | 60.7 | 58.3 | 84.4 | 84.4 | 84.4 | 84.4 | 65.0 |
| 過熱面積(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 全蒸發傳熱面積(ク) | 60.7 | 60.7 | 58.3 | 84.4 | 84.4 | 84.4 | 84.4 | 65.0 |
| 煙管傳熱面積(ク) | 54.6 | 54.6 | 53.7 | 75.7 | 75.7 | 75.7 | 75.7 | 58.1 |
| 火室傳熱面積(ク) | 6.1 | 6.1 | 4.6 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 8.7 | 6.7 |
| アーチ管傳熱面積(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 運轉整機(機關車)重量(噸) | 32.47 | 32.67 | 30.54 | 51.24 | 50.10 | 49.97 | 55.57 | 38.43 |
| 備重量(炭水車)重量(噸) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 動輪上重量(ク) | 32.47 | 32.67 | 30.54 | 41.78 | 42.13 | 41.35 | 40.25 | 32.70 |
| 機車(機關車)重量(噸) | 26.20 | 25.30 | 23.28 | 38.19 | 37.00 | 36.93 | 41.47 | 30.85 |
| 備重量(炭水車)重量(噸) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 罐水容量(米 ³) | 2.1 | 2.1 | 1.9 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.2 |
| 水槽容量(ク) | 3.6 | 4.0 | 3.8 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 8.6 | 4.0 |
| 積載燃料重量(噸) | 1.00 | 1.20 | 1.55 | 1.90 | 1.90 | 1.90 | 2.03 | 1.20 |
| 最大長(耗) | 8315 | 8315 | 7997 | 10371 | 10371 | 10346 | 11299 | 8963 |
| 先輪直徑(ク) | — | — | — | — | — | — | — | 730 |
| 動輪直徑(ク) | 1067 | 1118 | 1067 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 |
| 從輪直徑(ク) | — | — | — | 970 | 970 | 470 | 760 | — |
| 炭水車輪直徑(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 固定輪軸距(ク) | 3353 | 3353 | 2970 | 3810 | 3810 | 3810 | 3810 | 3600 |
| 動輪軸距(ク) | 3353 | 3353 | 2970 | 3810 | 3810 | 3810 | 3810 | 3600 |
| 機車軸距(ク) | 3353 | 3353 | 2970 | 6020 | 6020 | 6020 | 7468 | 5651 |
| 炭水車軸距(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 全軸距(ク) | 3353 | 3353 | 2970 | 6020 | 6020 | 6020 | 7468 | 5651 |
| 大煙管 {直徑(耗) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 長(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 數 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 小煙管 {直徑(耗) | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| 長(ク) | 2823 | 2823 | 3050 | 3140 | 3140 | 3140 | 3140 | 3277 |
| 數 | 154 | 154 | 140 | 192 | 192 | 192 | 192 | 141 |

| 3070 | 3040 | 3100 | 3170 | 3200 | 3400 | C12 | C10 | C11 | 4110 | 5500 |
|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| 381 | 380 | 432 | 406 | 406 | 381 | 400 | 450 | 450 | 533 | 406 |
| 559 | 560 | 559 | 610 | 610 | 559 | 610 | 610 | 610 | 610 | 559 |
| 11.0 | 13.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 10.0 又 11.0 | 14.0 | 15.0 | 15.0 | 12.0 | 11.0 又 13.0 |
| 1.49 | 1.50 | 1.64 | 1.91 | 1.89 | 1.32 | 1.30 | 1.60 | 1.60 | 2.23 | 1.33 |
| 68.1 | 8.60 | 101.1 | 74.1 | 73.9 | 69.5 | 74.2 | 102.5 | 104.0 | 140.5 | 73.0 |
| — | — | — | — | — | — | 19.8 | 27.4 | 29.8 | 32.8 | — |
| 68.1 | 86.0 | 101.1 | 74.1 | 73.9 | 69.5 | 54.4 | 75.1 | 74.3 | 107.7 | 73.0 |
| 60.4 | 77.6 | 90.9 | 66.9 | 66.9 | 62.5 | 46.1 | 64.0 | 63.2 | 98.8 | 65.7 |
| 7.7 | 8.4 | 10.2 | 7.02 | 7.0 | 7.0 | 7.4 | 10.0 | 10.0 | 8.9 | 7.3 |
| — | — | — | — | — | — | 0.9 | 1.1 | 1.1 | — | — |
| 44.10 | 46.00 | 64.13 | 55.69 | 56.87 | 44.66 | 50.05 | 69.70 | 65.85 | 65.27 | 31.65 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 24.20 |
| 27.60 | 30.00 | 42.53 | 42.11 | 39.41 | 34.82 | 32.02 | 37.81 | 36.69 | 65.27 | 20.61 |
| 35.23 | 33.50 | 50.46 | 43.23 | 44.31 | 36.56 | 39.54 | 55.51 | 51.69 | 52.22 | 29.22 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2.9 | — | 4.3 | 3.14 | 2.8 | 2.7 | 2.9 | 3.9 | 3.8 | 4.6 | 2.3 |
| 4.5 | 5.9 | 7.3 | 7.28 | 7.3 | 4.1 | 5.5 | 7.0 | 6.8 | 6.5 | 9.1 |
| 1.14 | 2.08 | 1.50 | 1.78 | 1.78 | 1.25 | 1.50 | 3.00 | 3.00 | 1.78 | 3.46 |
| 9623 | 10550 | 11413 | 11537 | 11083 | 10159 | 11350 | 12650 | 12650 | 11438 | 13910 |
| 760 | 700 | 730 | 730 | 730 | 660 | 860 | 860 | 860 | — | 730 |
| 1220 | 1100 | 1220 | 1520 | 1250 | 1350 | 1400 | 1520 | 1520 | 1250 | 1400 |
| 760 | 700 | 730 | 940 | 940 | 660 | 860 | 860 | 860 | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 940 |
| 2947 | 3100 | 4114 | 4191 | 4191 | 3200 | 3800 | 4200 | 4100 | 2896 | 2540 |
| 2947 | 3100 | 4118 | 4191 | 4191 | 3200 | 3800 | 4200 | 4100 | 5792 | 2540 |
| 6744 | 7500 | 8839 | 8382 | 8306 | 7213 | 8700 | 9950 | 10000 | 5792 | 6578 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6744 | 7550 | 8839 | 8382 | 8306 | 7213 | 8700 | 9950 | 10000 | 5792 | 11582 |
| — | — | — | — | — | — | 127 | 127 | 127 | 127 | — |
| — | — | — | — | — | — | 3200 | 3200 | 3200 | 3962 | — |
| — | — | — | — | — | — | 16 | 22 | 24 | 21 | — |
| 45 | 45 | 51 | 51 | 51 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| 2896 | 4115 | 3788 | 3353 | 3353 | 2946 | 3200 | 3200 | 3200 | 2962 | 3229 |
| 166 | 150 | 166 | 138 | 138 | 169 | 68 | 95 | 87 | 136 | 162 |

| 形式 | 6000 | 6250 | 6700 | 1350 | 6750 | 6760 | 750 | 8100 |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| ● 主要部分 | | | | | | | | |
| シリンダ (直徑(耗) 行程(ク)) | 381 559 | 381 610 | 406 610 | 430 610 | 470 610 | 470 610 | 406 508 | 432 610 |
| 使用壓力(圧/㎠) | 11.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 13.0 | 13.0 | 11.0 | 11.0 |
| 火格子面積(米 ²) | 1.39 | 1.32 | 1.58 | 1.58 | 1.63 | 1.63 | 1.4 | 1.67 |
| 全傳熱面積(ク) | 85.0 | 58.1 | 96.2 | 106.3 | 100.2 | 110.4 | 82.7 | 96.3 |
| 過熱面積(ク) | — | 14.9 | — | 28.8 | 19.2 | 28.8 | — | — |
| 全蒸發傳熱面積(ク) | 85.0 | 43.2 | 96.2 | 77.5 | 81.0 | 81.6 | 82.7 | 96.3 |
| 煙管傳熱面積(ク) | 76.5 | 35.3 | 85.9 | 67.2 | 71.2 | 71.5 | 73.4 | 87.5 |
| 火室傳熱面積(ク) | 8.5 | 7.9 | 10.3 | 10.3 | 9.8 | 10.1 | 9.3 | 8.8 |
| アーク管傳熱面積(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 運轉整機(噸) | 36.96 | 34.13 | 44.00 | 43.60 | 43.77 | 46.78 | 40.16 | 41.50 |
| 備重量(炭水車(ク)) | 21.16 | 24.41 | 29.12 | 30.90 | 29.27 | 30.52 | 22.76 | 24.89 |
| 動輪上重量(ク) | 24.77 | 21.25 | 27.92 | 27.60 | 27.26 | 28.54 | 34.42 | 35.64 |
| 空車(機關車(ク)) | 33.30 | 31.34 | 39.66 | 40.10 | 40.44 | 43.04 | 36.31 | 36.81 |
| 重量(炭水車(ク)) | 11.85 | 11.96 | 14.44 | 15.65 | 14.47 | 14.39 | 11.68 | 12.06 |
| 罐水容量(米 ³) | 3.3 | 2.5 | 4.0 | 3.6 | 3.6 | 3.8 | 3.4 | 4.0 |
| 水槽容量(ク) | 8.2 | 8.8 | 11.8 | 12.2 | 11.8 | 12.9 | 9.0 | 9.8 |
| 積載燃料重量(噸) | 1.20 | 3.50 | 3.0 | 3.05 | 3.00 | 3.23 | 2.08 | 3.05 |
| 最大長(耗) | 14183 | 14057 | 15701 | 15826 | 15764 | 16088 | 14070 | 14945 |
| 先輪直徑(ク) | 730 | 760 | 840 | 840 | 840 | 840 | 760 | 760 |
| 動輪直徑(ク) | 1520 | 1520 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1220 | 1220 |
| 從輪直徑(ク) | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 炭水車輪直徑(ク) | 860 | 940 | 940 | 940 | 940 | 910 | 840 | 840 |
| 固定輪軸距(ク) | 1981 | 2541 | 2591 | 2591 | 2693 | 5693 | 3429 | 3658 |
| 動輪軸距(ク) | 1981 | 2541 | 2591 | 2591 | 2693 | 2693 | 3429 | 3658 |
| 機關車軸距(ク) | 5944 | 6579 | 7010 | 7010 | 7112 | 7112 | 5639 | 5893 |
| 炭水車軸距(ク) | 2895 | 2972 | 3658 | 3658 | 3353 | 3658 | 2845 | 2997 |
| 全軸距(ク) | 11845 | 11729 | 13309 | 13309 | 13309 | 13836 | 11405 | 12255 |
| 大煙管 直徑(ク) | — | 127 | — | 127 | 140 | 127 | — | — |
| 大煙管 長(ク) | — | 3226 | — | 3962 | 3962 | 3962 | — | — |
| 大煙管 數 | — | 12 | — | 18 | 12 | 18 | — | — |
| 小煙管 直徑(耗) | 45 | 45 | 51 | 45 | 51 | 45 | 51 | 45 |
| 小煙管 長(ク) | 2896 | 3926 | 3962 | 3962 | 3962 | 3962 | 3175 | 3166 |
| 小煙管 數 | 210 | 87 | 150 | 82 | 83 | 91 | 160 | 220 |

| 8500 | 8550 | 8620 | 8700 | 8800 | 8850 | C50 | C51 | C52 | C53 | C53油 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 432 | 432 | 470 | 470 | 470 | 470 | 470 | 530 | 450×3 | 450×3 | 450×3 |
| 610 | 610 | 610 | 610 | 610 | 610 | 610 | 660 | 660 | 660 | 660 |
| 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 13.0 | 14.0 | 13.0 | 13.0 | 14.0 | 14.0 |
| 1.56 | 1.56 | 1.63 | 1.86 | 1.86 | 1.81 | 1.61 | 2.53 | 3.27 | 3.25 | 3.25 |
| 110.0 | 99.2 | 110.9 | 129.5 | 130.3 | 130.3 | 111.0 | 168.8 | 233.5 | 220.5 | 220.5 |
| 27.5 | — | 28.8 | 35.2 | 35.7 | 35.7 | 28.8 | 41.4 | 52.9 | 64.4 | 64.4 |
| 82.5 | 99.2 | 82.1 | 94.3 | 94.6 | 94.6 | 82.2 | 127.4 | 175.7 | 156.1 | 156.1 |
| 75.1 | 91.8 | 72.0 | 82.5 | 82.9 | 82.9 | 72.7 | 115.0 | 160.5 | 140.9 | 140.9 |
| 7.4 | 7.4 | 10.1 | 11.8 | 11.7 | 11.7 | 9.5 | 11.4 | 13.0 | 13.5 | 13.5 |
| — | — | — | — | — | — | — | 1.0 | 2.2 | 1.7 | 1.7 |
| 44.58 | 43.84 | 48.83 | 51.42 | 53.88 | 57.54 | 52.80 | 69.60 | 82.47 | 80.98 | 81.74 |
| 26.89 | 26.89 | 34.50 | 29.12 | 31.36 | 30.48 | 34.90 | 44.20 | 49.45 | 49.00 | 51.30 |
| 37.58 | 37.68 | 41.46 | 37.89 | 40.16 | 40.38 | 43.35 | 44.58 | 47.70 | 46.27 | 46.50 |
| 39.59 | 39.28 | 44.54 | 46.99 | 48.44 | 52.39 | 48.50 | 63.17 | 74.91 | 72.88 | 73.64 |
| 12.51 | 12.51 | 15.50 | 14.44 | 16.21 | 14.52 | 15.90 | 19.20 | 21.04 | 20.00 | 22.89 |
| 4.2 | 4.8 | 4.2 | 4.7 | 4.9 | 5.4 | 4.2 | 5.8 | 7.4 | 8.24 | 8.24 |
| 11.0 | 11.0 | 13.0 | 11.8 | 12.1 | 12.6 | 13.0 | 17.0 | 20.00 | 17.00 | 20.00 |
| 3.38 | 3.38 | 6.00 | 3.00 | 3.05 | 3.36 | 6.00 | 8.00 | 8.41 | 12.00 | 8.41 |
| 14679 | 14679 | 16765 | 16606 | 17009 | 17079 | 16680 | 19994 | — | 20.625 | 20.975 |
| 730 | 730 | 940 | 840 | 840 | 840 | 860 | 940 | 940 | 860 | 860 |
| 1370 | 1370 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1750 | 1600 | 1750 | 1750 |
| — | — | — | — | — | — | — | 940 | 940 | 860 | 860 |
| 760 | 760 | 940 | 940 | 940 | 940 | 860 | 940 | 9400 | 860 | 860 |
| 3632 | 3632 | 4191 | 4115 | 4191 | 3658 | 4190 | 3800 | 3682 | 3980 | 3980 |
| 3632 | 3632 | 4191 | 4115 | 4191 | 3658 | 4190 | 3800 | 3682 | 3980 | 3980 |
| 5918 | 5918 | 7010 | 7468 | 7772 | 7925 | 7150 | 10000 | 9931 | 10000 | 10000 |
| 3048 | 3048 | 3658 | 3658 | 5658 | 3353 | 3660 | 4800 | 4950 | 4950 | 4950 |
| 12179 | 12179 | 14310 | 14062 | 14465 | 14510 | 14260 | 17487 | 17472 | 17650 | 18000 |
| 127 | — | 127 | 133 | 133 | 133 | 127 | 140 | 140 | 140 | 140 |
| 3260 | — | 3962 | 4115 | 4572 | 4572 | 3970 | 5500 | 5500 | 5500 | 5500 |
| 22 | — | 18 | 22 | 19 | 19 | 18 | 18 | 26 | 28 | 28 |
| 45 | 51 | 45 | 51 | 57 | 57 | 45 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 3260 | 3343 | 3962 | 4115 | 4572 | 4572 | 3970 | 5500 | 5500 | 5500 | 5500 |
| 118 | 190 | 91 | 79 | 66 | 66 | 93 | 84 | 97 | 88 | 88 |

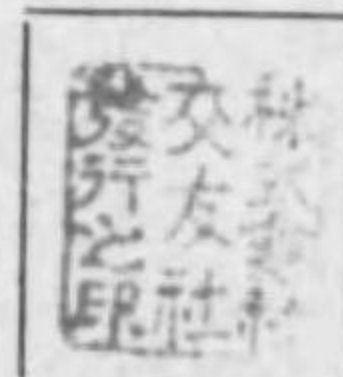
| 形式 主要部分 | C54 | C55 | C55流 | C56 | C57 | C58 | 9040 | 9200 | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| シリンダ | 直徑(耗) | 510 | 510 | 510 | 400 | 500 | 480 | 406 | 457 |
| | 行程(ク) | 660 | 660 | 660 | 610 | 660 | 610 | 508 | 559 |
| 使用壓力(圧/平方) | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 14.0 | 16.0 | 16.0 | 10.0 | 12.0 | |
| 火格子面積(米) | 2.53 | 2.53 | 2.53 | 1.30 | 2.53 | 2.15 | 1.55 | 1.92 | |
| 全傳熱面積(ク) | 168.8 | 168.8 | 168.8 | 74.2 | 168.8 | 137.6 | 93.8 | 116.6 | |
| 過熱面積(ク) | 41.4 | 41.4 | 41.4 | 19.8 | 41.4 | 40.7 | — | — | |
| 全蒸發傳熱面積(ク) | 127.4 | 127.4 | 127.4 | 54.4 | 127.4 | 96.9 | 93.8 | 116.6 | |
| 煙管傳熱面積(ク) | 115.0 | 115.0 | 115.0 | 46.1 | 115.0 | 86.0 | 73.3 | 106.0 | |
| 火室傳熱面積(ク) | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 7.4 | 11.4 | 10.0 | 20.5 | 10.6 | |
| アー+管傳熱面積(ク) | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | — | — | |
| 運轉整 | 機關車(總) | 65.30 | 66.04 | 68.00 | 37.63 | 67.50 | 57.00 | 39.98 | 48.72 |
| 備重量 | | 炭水車(ク) | 49.00 | 47.18 | 48.92 | 27.90 | 48.00 | 40.00 | 18.82 |
| 動輪上重量(ク) | | 40.26 | 40.72 | 41.69 | 31.76 | 41.32 | 40.50 | 36.71 | 43.16 |
| 機車 | 機關車(ク) | 59.30 | 59.42 | 61.69 | 34.27 | 60.70 | 51.50 | 36.35 | 42.80 |
| 重量 | | 炭水車(ク) | 20.00 | 18.18 | 19.92 | 12.90 | 19.00 | 17.00 | 10.11 |
| 罐水容量(米 ³) | | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 2.9 | 6.00 | 4.85 | 3.5 | 4.90 |
| 水槽容量(ク) | | 17.00 | 17.00 | 17.00 | 10.00 | 17.00 | 17.00 | 6.7 | 11.00 |
| 積載燃料重量(總) | | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 5.00 | 12.00 | 6.00 | 2.01 | 2.70 |
| 最大長(耗) | | 20.375 | 20.380 | 20.280 | 14.325 | 20.280 | 18.275 | 14.520 | 17.148 |
| 先輪直徑(ク) | | 860 | 860 | 860 | 860 | 860 | 860 | 760 | 760 |
| 動輪直徑(ク) | | 1750 | 1750 | 1750 | 1400 | 1750 | 1520 | 1070 | 1120 |
| 從輪直徑(ク) | | 860 | 860 | 860 | — | 860 | 860 | — | — |
| 炭水車輪直徑(ク) | | 860 | 860 | 860 | 860 | 860 | 860 | 760 | 970 |
| 固定輪軸距(ク) | | 3800 | 3800 | 3800 | 3800 | 3800 | 3470 | 3734 | 4267 |
| 動輪軸距(ク) | | 3800 | 3800 | 3800 | 3800 | 3800 | 3470 | 3734 | 4267 |
| 機關車軸距(ク) | | 10000 | 10000 | 10000 | 6250 | 10000 | 8440 | 5766 | 6502 |
| 炭水車軸距(ク) | | 4950 | 5440 | 5300 | 3000 | 5300 | 4900 | 2527 | 4445 |
| 全軸距(ク) | | 17775 | 18025 | 17785 | 12000 | 17785 | 15900 | 11798 | 14655 |
| 大煙管 | 直徑(ク) | 140 | 140 | 140 | 127 | 140 | 133 | — | — |
| | 長(ク) | 5500 | 5500 | 5500 | 3200 | 5500 | 4580 | — | — |
| 小煙管 | 直徑(耗) | 57 | 57 | 57 | 45 | 57 | 51 | 51 | 45 |
| | 長(ク) | 5500 | 5500 | 5500 | 3200 | 5500 | 4580 | 3499 | 3926 |
| | 數 | 84 | 84 | 84 | 68 | 84 | 71 | 145 | 215 |

| 9580 | 9600 | D50 | D51 | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|--|--|
| 483 | 508 | 570 | 550 | | | | | | |
| 610 | 610 | 660 | 660 | | | | | | |
| 13.0 | 13.0 | 13.0 | 14.0 | | | | | | |
| 1.86 | 2.32 | 3.25 | 3.27 | | | | | | |
| 113.9 | 154.5 | 222.3 | 221.5 | | | | | | |
| 33.6 | 35.2 | 64.4 | 64.4 | | | | | | |
| 80.3 | 119.3 | 157.9 | 157.1 | | | | | | |
| 67.7 | 108.4 | 142.7 | 142.7 | | | | | | |
| 12.6 | 10.0 | 13.5 | 12.7 | | | | | | |
| — | 0.9 | 1.7 | 1.7 | | | | | | |
| 60.71 | 60.35 | 78.14 | 77.70 | | | | | | |
| 28.70 | 34.50 | 49.00 | 47.40 | | | | | | |
| 54.28 | 52.73 | 58.79 | 57.65 | | | | | | |
| 54.28 | 54.83 | 70.36 | 69.40 | | | | | | |
| 13.55 | 15.50 | 20.00 | 19.40 | | | | | | |
| 5.40 | 5.20 | 7.40 | 7.40 | | | | | | |
| 12.10 | 13.00 | 17.00 | 20.00 | | | | | | |
| 3.05 | 6.00 | 12.00 | 8.00 | | | | | | |
| 16831 | 16563 | 20003 | 19730 | | | | | | |
| 840 | 840 | 940 | 860 | | | | | | |
| 1250 | 1250 | 1400 | 1400 | | | | | | |
| — | — | 940 | 860 | | | | | | |
| 940 | 940 | 860 | 860 | | | | | | |
| 4572 | 3048 | 3140 | 3100 | | | | | | |
| 4572 | 4572 | 4710 | 4650 | | | | | | |
| 7010 | 7010 | 9600 | 9450 | | | | | | |
| 3658 | 3658 | 4950 | 5200 | | | | | | |
| 14262 | 14159 | 17248 | 17360 | | | | | | |
| 133 | 133 | 140 | 140 | | | | | | |
| 4039 | 4039 | 5500 | 5500 | | | | | | |
| 21 | 22 | 28 | 28 | | | | | | |
| 51 | 51 | 57 | 57 | | | | | | |
| 4039 | 4039 | 5500 | 5500 | | | | | | |
| 116 | 126 | 90 | 90 | | | | | | |

昭和十五年六月十五日印刷

昭和十五年六月十八日發行

著作權所有



不許複製

[實用運轉理論 奧附]

定價金1圓65錢 送料 (内地 25錢 諸埠 (海外 45錢

著者 機關車工學會

名古屋市東區鍋屋町二丁目

發行兼印刷者 山田慶太郎

印刷所 株式會社 交友社印刷部

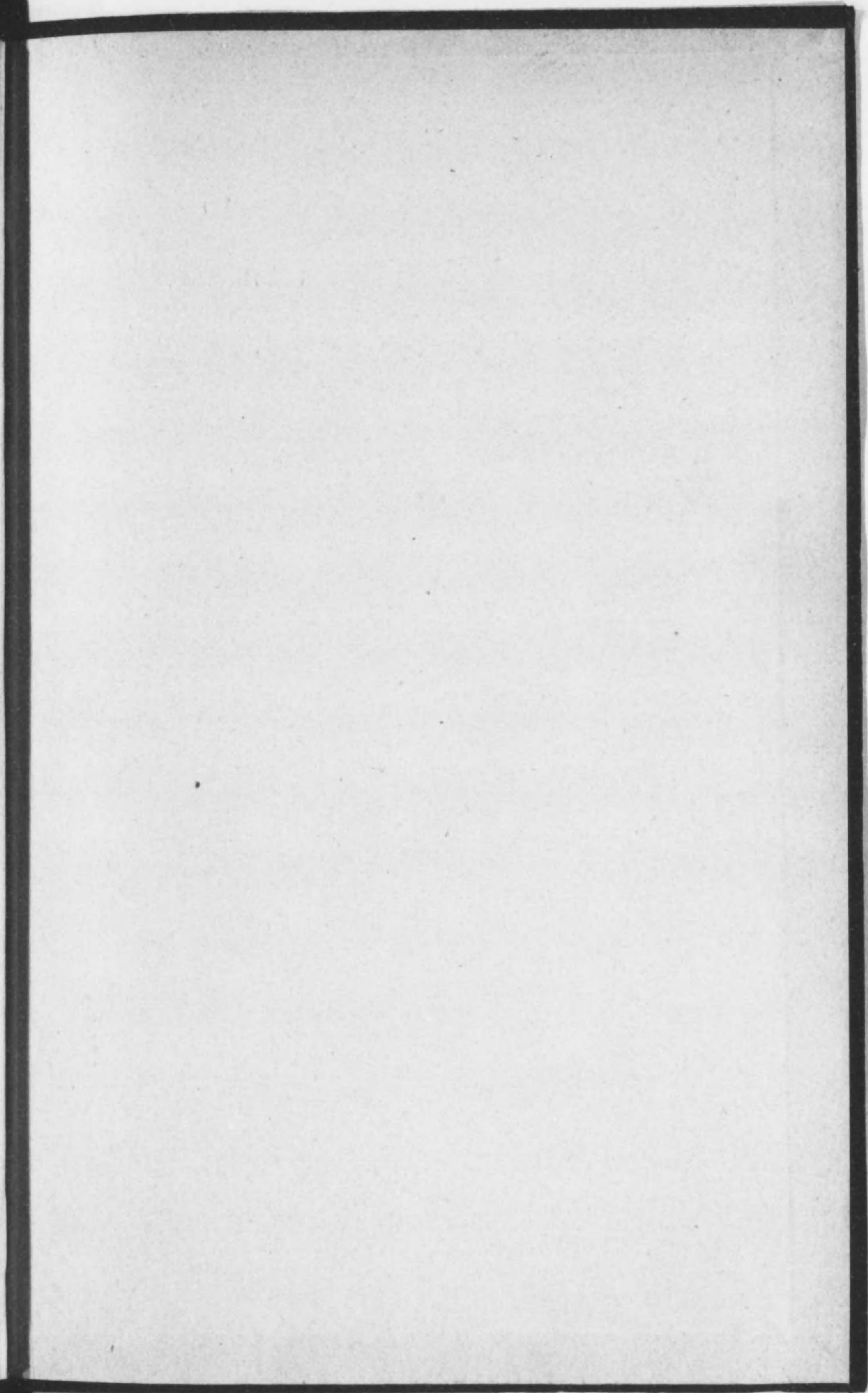
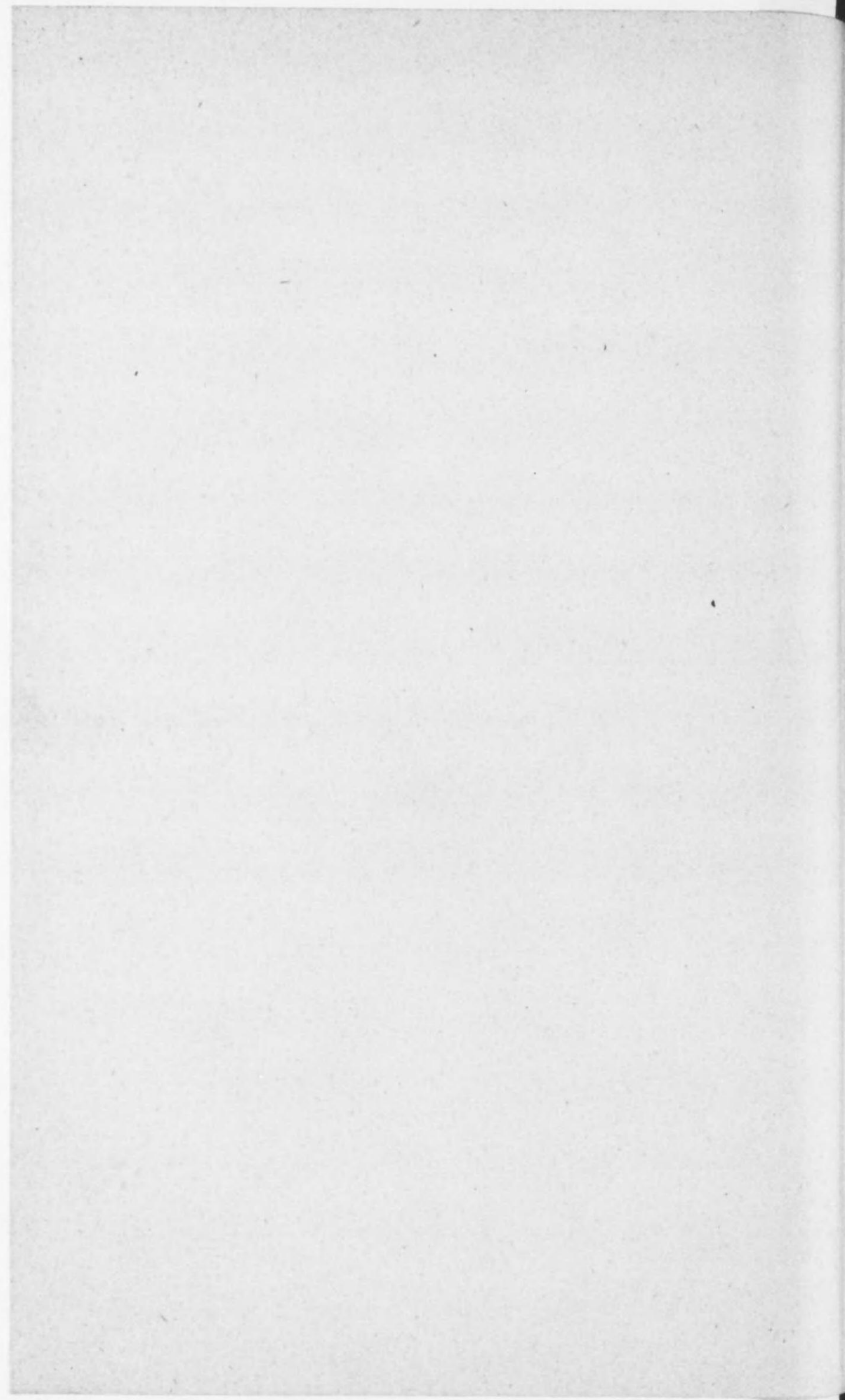
發行所

郵便私書函名古屋第三十七號

名古屋市東區鍋屋町二丁目

鐵道專門圖書雜誌 出版 株式會社 交友社

振替名古屋13963番 電話東(4) $\left\{ \begin{array}{l} 285番 \\ 7555番 \end{array} \right.$



特277
910

特277-910
*76W10850 *

終