

講 演

第 20 卷 第 12 號 昭和 9 年 12 月

國有鐵道の速度昂上と保線の對策

(昭和 9 年 10 月 28 日土木學會 20 周年記念講演會に於て)

會員工學士 井 上 隆 根\*

Speed-up on the Japanese Government Railways, and Measures taken by  
Maintenance-of-Way Department in this Connection

By Takane Inouye, C. E., Member.

内 容 梗 概

軌近自動車、飛行機の普及發達に伴ひスピードに對する社會の要望翕然として起り、鐵道も亦一般社會の情勢に鑑みスピード・アップの必要を認め、昭和 5 年 10 月東海道線の燕號新設を初めとし速度昂上の計畫相次いで起るに至つた。本文は國有鐵道の速度昂上實施に對し保線に於て採りたる對策を昭和 5 年以降の實績に基き軌道負擔力、線路改良方針、線路保守方針等に分類し説述せしものである。尙軌道負擔力の決定上國有鐵道が大正 13 年以來實驗調査を重ね制定したる軌道應力計算法をも併せ記述してある。

目 次

	頁
1. 緒 言	1693
2. 軌道應力の計算法	1695
3. 國有鐵道の速度昂上	1696
4. 山陽線河内驛の事故	1699
5. 速度昂上と保線對策	1700
6. 速度昂上と所要經費	1702
7. 結 語	1704
附録 軌道應力計算法	1705

1. 緒 言

1. 速度昂上の沿革概要

國有鐵道は御承知の如く明治 5 年 10 月 14 日 明治大帝御親臨の下に品川・横濱間 18 哩の開通式を舉行したのが鐵道營業の嚆矢であつて、爾來 60 有餘年の星霜を経て今日では本線軌道延長 18 000 km、側線軌道延長 7 000 km を算するまでの發達を見るに至つた。この間營業組織、車輛構造、線路施設等各方面に涉り著しき進歩を來したのは言ふまでもないが、列車の運轉速度も亦異狀なる昂上の跡を示して居る。

運轉速度の昂上は過去に於ける各時代を通じて絶えず實行せられて來たものであるが、最近特にこれが重要視せらるゝに至つた所以は自動車、飛行機等の交通機關の發達に伴ふ必然の對策として高率の昂上を必要とするに至つたからである。

國有鐵道の速度昂上の變遷を知るため例を東海道線東京・神戸間に採つて見るに第 1 表に示す如く明治 26 年に所要時分 20 時間 15 分を要したものが、約 8 回の速度昂上を経て 9 時間に短縮されて來た。本年末には更に

\* 鐵道技師 鐵道省工務局保線課長

これを 20 分短縮する筈になつて居る。而して本表によつて知る如く昭和 5 年の速度昂上は指數に於て一躍 43 を増加したのは注目に値する。

第 1 表 東京・神戸間並に東京・下關間所要時分調

年 度	東京・神戸間(料程 601.2 km)			東京・下關間(料程 1130.5 km)	
	所要時分 時 分	平均速度 km/h	指 數	所要時分	速 度 km/h
明治 26 年	20-15	29.7	100	—	—
31	16-27	36.7	123	—	—
36	15-00	40.2	135	—	—
41	13-20	45.2	152	時 分 28-55	33.9
大正 2	12-45	47.5	159	25-08	45.1
7	12-45	47.5	159	25-08	45.1
12	11-30	52.3	176	24-00	47.1
15	11-07	54.1	182	22-15	50.2
昭和 5	9-00	66.8	225	19-50	57.0

参 考 東京・神戸間並に東京・下關間軌道延長調

年 度	軌 道 延 長 (km)	
	東京・神戸	東京・下關
明治 26 年	642.4	868.1
31	716.4	1190.4
36	958.3	1516.1
41	1102.3	1665.4
大正 2	1112.1	1695.1
7	1112.1	1718.9
12	1190.2	1985.5
15	1203.2	2142.5
昭和 5	1203.2	2237.2

## 2. 運轉速度に對する保線運轉従事員の觀念

運轉速度に對する鐵道従事員の觀念は立場によつて必ずしも同一でないが、併し鐵道本來の使命に鑑み運轉速度の昂上は線路の負擔力の範圍でなければならぬ事は當然である。負擔力の解釋にも亦幾多の議論があるであらうが私の謂ふ負擔力とは力學的に見た軌道の強度が安全限界内にあり、且つその強度を常に標準程度以上に保持する保線能力を總稱したものである。力學的に見た軌道の強度とは軌道の構造が荷重(速度も加味して)によつて破損されない。又車輛が逸脱しない強さを謂ひ、標準の強度以上に保持する保線能力とは軌道が常に標準の強度を發揮し得る様に手當を施し維持する保線技術及び經濟力を意味するものである。若し保線能力が充分でなかつたならば構造上に於て一時充分の強度を持つ筈であつてもその強度は直に標準以下に低落するものである。茲に軌道構造とは一般に謂ふ built up した構造とその觀念を異にし組合せたる構造であるから使用によつて容易に變状する脆弱なる構造である。

元來鐵道創設の當時には軌道の強度は荷重よりも大であるのが常である。例へば國有鐵道に最初敷設された軌條は 30 kg で機關車の最大軸重は 8.65 ton であつて軌道の強度に相當大なる餘裕があつた、従て少し軸重が増

加しても亦少し位速度が昂上しても軌道強度を脅かす事も、保線能力に影響を感ずる事もなかつた。國有鐵道の實狀から見ればかかる時代が明治 5 年から 31~32 年頃迄續いて居る。明治 34~35 年頃に至つて軌道強度が荷重の負擔に耐えなくなつた事が保線従事員に實感されて軌道強度の増加の一手段として明治 39 年に 37 kg 軌條の使用が開始せられたのである。斯の如く明治 5 年から 34~35 年まで約 30 年の永きに涉つて荷重の増加が殆んど保線に無關係であるかの如くに取扱はれて來た事が恰も鐵道業務の習得時代にあつた。本邦鐵道従事員に車輛重量の増大、速度の昂上は運轉當事者側の都合によつてのみ判斷されて差支ないものだと言ふ觀念を植付け保線従事員も亦これに深き關心を拂はない習慣を作つた原因だと思ふ。

その後國有鐵道は日露戰爭後の輸送増進、大正 7~8 年の財界好況を迎へて機關車は増大し列車回数は増加し速度は順次昂上するに從て保線従事員は軌條折損の頻發に惱み軌道の破壊は働けども追付かぬ事實に直面して切實に rolling stock と軌道構造の不適合即ち top heavy の苦痛を嘗めさせらるゝに至つた。その結果は軌條毀損の研究となり、軌道應力計算法の制定となり線路保守勢力算定法の考案となり、遂に明治 33 年に定められた從來の建設規程に大改正を加へて rolling stock と線路負擔力の適合を主眼とした現行の建設規程が昭和 4 年に出來上つたのである。然るに恰も世はスピード時代に入り昭和 5 年の全國的速度昂上の氣運が醸成されたのであるが、この副期的速度昂上時代に於て保線従事員は新建設規程の主旨を體して速度昂上の程度を線路負擔力の範圍内に抑制せんとし、運轉當事者は過去永きに互る慣行によつて運轉側獨自の見解に基いて速度昂上の實現を期せんとする等兩者の間に相當意見の相違を生じ、これが調和を隔る爲兩者に於て眞剣なる努力が拂はれ、遂に昭和 5 年から 8 年に至る速度昂上時代を乗り切つたのである。而して現在にては列車増發、運轉速度の昂上等のサービス改善案は運轉側に於て原案を作製して保線側と協議し、保線側の對策成るを俟つて或はその儘、或は一部を修正して實行に移す事になるまでに従事員の訓練が出來上つた事は誠に喜ばしき限りである。

## 2. 軌道應力の計算法

Rolling stock と軌道強度の適合を圖るために先づ必要なことは軌道應力計算法の設定である。標準状態に保持されたる軌道の強度を知つて rolling stock の影響をその強度内にあらしむる様に考ふる事は橋桁の強度を Cooper の E で計つて夫れ以上の影響を與へる機關車の運行を制限するのと同様な觀念に基くものである。只橋桁の場合に於ては速度による衝擊率の變化を考慮しない事になつて居るから、設計荷重以上の機關車の運行は速度の如何に拘らず安全率の低下を來す事になるのであるが、軌道の場合に於ては荷重の靜的應力に速度に依る衝擊の影響を加算したものを荷重の與ふる全應力となすが故に速度の調節によつて軸重、軸距の異つた相當範圍の各種の機關車をも運行し得る様に考へて差支ない。

抑々軌道應力の計算法は 1870 年頃から歐洲の學者によつて研究せられ且實驗せられて多數の公式が發表せられたのであるが、その内で最も合理的であり且實用的であるとして今日までその權威を認められて居るものは Zimmermann が Berechnung des Eisenbahn Oberbaues に發表した方法である。この發表は 3 部門に區分されて居る。

第 1 は縦枕木の解法、第 2 は横枕木の解法、第 3 は横枕木を有する軌道の解法である。この中横枕木を有する軌道の解法は理論的ではあるが實用的でなく、同時に一般的でない嫌がある。Zimmermann は數多の荷重が枕木 7 挺によつて支持された場合の軌道の彎曲力率の一般解法を求めたが、その結果は頗る複雑で機關車の如き車輛群に對しては到底實用的に利用することが出來ない故に當時の他の學者と等しく軌條の最大彎曲力率の實用的計算法としては單軸の車重が枕木 4 挺に支へらるゝ場合のみを取扱つて居る様な譯である。

米國に於ては 1900 年に現在の American Railway Engineering Association の前身 American Railway Engineering and Maintenance of Way Association が設立されて以來軌道應力の研究に志しイリノイス大學の Prof. Talbot を委員長とした軌道應力調査特別委員會に於て熱心に實驗研究を繼續し 1918 年以來その報告を發表して居る。A. R. E. A. の實驗に於ては Stremmatograph と稱する一種の自記 strain gauge を軌條底に取付けて機關車の如き車軸群に對する實驗を繰返した結果、軌條の彎曲應力に對しても亦軌條面の沈下に對しても車重の關係の外軌距と言ふものが相當大なる働きをなすものなるを發見したのである。即ち機關車の如き車軸群に對しては他の車軸の車重が影響して軌條の應力は單軸の場合に比し減少し、軌條面の沈下は増加すると言ふ事實である。かくの如き現象を考慮に入れて軌道應力の計算法を定むるには Zimmermann の横枕木を有する軌道の理論では複雑に過ぎて到底實用に適しないので、A. R. E. A. は Zimmermann の縦枕木の理論から出發した且つ Influence line を應用した簡單なる解法を採用するに至つた。

この解法によつて軌道上の軌條は單車重によつてその直下に正彎曲力率を受け、その點より一定の距離を隔つれば負彎曲力率を受けるから隣接車重によつて彎曲力率は減少するを常とし、沈下の方は軌條の各部分が全體正位に沈下するから隣接車重によつて沈下量を増加する事を至極容易に觀察することが出来る様になつた。この相殺累加の作用は從來一般の鐵道技術者にも閑却されて居つた點で普通軌道の負擔力は働輪 1 軸の重量によつて定めらるゝものと單純に考へられて居つた。かくの如く軌道の負擔力は働輪 1 軸の重量によつて定めらるゝと言ふ考へを興へた原因は歐洲の學者が軌道應力の計算に總て單重の場合のみを取扱つたことと A. R. E. A. の發表が比較的新しく廣く紹介されるまでに至つて居ない關係によるものと信ずる。要するに軌道の應力は決して働輪重のみで決するものでなく軌距の關係も同時に重大なる影響を及ぼすものである事は看過すべからざる事實である。

國有鐵道に於ける軌道應力計算法は大正 13 年以來研究と實驗が繰返された結果得た方法であつて Zimmermann の横枕木の理論を緯とし A. R. E. A. の influence line の解法を経としたものである。この方法に依て軌條に生ずる應力及び壓力並に各枕木の沈下量が明になり更にその結果から枕木下面に沿ふて起る反力が算出され、從て枕木の受ける應力も判明するのである。更に枕木下面に起る反力が明になれば道床の厚さによつて路盤上に傳播する壓力も計算することが出来、この壓力が路盤の有する耐壓力以下であれば理論上路盤内に砂利が沈降する事はない譯である。

次に機關車擊衝率に就いて一言せんに機關車はこれを高速度で運轉する場合に甚だ大なる衝撃を生ずるもので研究の結果によれば概括的に働輪の擊衝率は速度 1 km/h の増加について軌條の應力に對しては靜止の場合の 1%、軌條の沈下に對しては 0.6% 位となるのである。軌道應力計算法の設定を見るに及んで軌道の構造と機關車の種類、運行速度との關係を合理的に定むる事が出来る様になつた。即ち各線に對して軌條の重量、枕木の挺數、枕木下面よりの道床の厚さが判明して居るから、その線にはどの型式の機關車ならば最高速度を何 km まで許容してよいかと言ふ事を算出し得るのである。この方法が即ち軌道應力から見た機關車及び速度の制限を律するものである。今參考のため國有鐵道に於て使用して居る軌道應力計算法を示せば本講演附録の如くである。

### 3. 國有鐵道の速度昂上

#### a. 昭和5年度以降の速度昂上概要

列車の速度昂上は過去に於ても屢々實施せられた事であるが最近に於ける速度昂上時代の先驅をなし、又社會より最も大なる歡迎を受けたものは昭和 5 年度に新設された東海道線の燕號及びこれに關聯する一般旅客列車並に貨物列車の速度昂上であり、次いで東京と新潟とを短縮する上越線の全通に伴ふ速度昂上であつた。この 2 つの速

度向上は社会的スピード時代を醸成した動機をなしたものであつたと共に保線技術者を刺激し、保線の運轉速度対策を確定せしむるに偉大なる効果を與へたものであつて、國有鐵道の保線業務に對しても一新紀元を劃した出來事であつたから、この兩速度向上が實現するまでの内容を紹介して見たいと思ふ。

先づ昭和 5 年度以降の速度向上の概要を述ぶるに貨物列車だけで向上區間 8 300 km, 平均向上率 24%, 旅客列車の方は向上區間 14 100 km, 向上率 16%, 速度向上に伴ふ列車料の増加は旅客列車のみで 39 300 km である。

#### b. 超特急燕號の新設

超特急燕號は當時の東海道線の最快速列車特別急行列車の平均速度 57 km/h を一躍 69 km/h, 即ち 20% を向上せんとする計畫であつて、東京-大阪間 560 km の當時の到着時分 10 時間を 8 時間に短縮せんとする企であつた。これが計畫の熟したのは昭和 4 年の 10 月であつて昭和 4 年 12 月 5 日より 7 日に亘つて第 1 回の試運轉を行ひ、その試運轉の成績に鑑み研究調査を遂げ、第 2 回目の試運轉を昭和 5 年 7 月 3 日、4 日に施行し更にその試運轉の成績を基礎として實施に對する各般の準備を行ひ昭和 5 年 10 月 1 日より實際運轉を見るに至つたのである。何分にもその當時國有鐵道第一の快速列車であつた特別急行列車を更に 20% 向上せんとするものであつた爲、保線關係の執つた態度も從來に類例を見ないまで慎重なものであつた。

第 1 回試運轉の計畫運轉速度は總て運轉規程に許容せられた範圍内のものであるのは勿論であるが、速度の向上は主としてより勾配區間に於ける運轉時分の短縮によつてなす方針であつたが、保線側としては運轉規程の制限だけで現在の線路状態を以て試運轉計畫速度を許容し得るや否やに關し一應研究の要を認め

- (1) 反向曲線間に挿入せられた直線部分の延長短少なるために速度を規定以下に制限すべき區間
- (2) 特別急行列車が構内に於て分岐曲線を通過する場合又は列車の進行する曲線中に於て轉轍器取付等のため軌條高度不十分にして高速度の通過は危険なりと認むる箇所
- (3) 路盤軟弱、軌條磨耗及び橋臺、橋脚脆弱等軌道橋梁の不足その他に基づく理由により危険と認むる區間及び列車の動搖特に著しき區間

の調査を行ひ、同時にこれを本計畫速度の運行に支障なき程度に改良するに要する概算費をも取調べて見た。その結果東京-大阪間上下線を通じ運轉取扱心得關係以外に 131 箇所に對して制限速度(第 2 表参照)を設け試運轉の際その制限を遵守する事として兎も角第 1 回目の試運轉を舉行したのである。この試運轉に對して工務局保線課長が鐵道大臣に提出したる報告書の結論は次の如くであつて、實施前に相當の線路改良を行ひ且つ本試運轉の際に於けるが如き優秀なる機關手が制限速度を忠實に遵守するに於ては大體計畫の速度でこれを實現する事は必ずしも不可能でないとの結論に達した。

#### 超特急第 1 回試運轉成績に關する保線課長報告の結論

以上を要するに本回の試運轉が好成绩を以て終始せしは試運轉列車が保線關係者の提示せる速度制限に順應して走行したる結果線路の強度と列車速度が大體に於てよく適合せるによるものと認めらる。斯くの如き運轉方法が常に實施せられ且つ前記各項の條件が具備せらるゝに於ては同一速度を有する旅客列車を運轉すること保線關係より見るも必ずしも困難ならざるのみならず尙將來益々反向曲線の緩和を徹底せしめ轉轍器轍叉を改良し且つ分岐を 16 番以下に交換し軌條も 50 kg に全部タイ・プレート、スクリュー・スパイクを添用する事とせば一層高速度の列車を安んじて運轉するも差支なかるべしと信ず。

茲に於て運轉課は實施の場合の時刻の設定に着手し、保線課としては線路改良の實地調査を進むる事になつて、これ等の準備一段落を告げる頃を見計つて第 2 回目の試運轉をなす事に方針を決定した。

超特急列車運轉實施に伴ひ施行を要すべき線路改良工事費額に關しては第 1 回試運轉施行後その實績に依り調

第 2 表 運轉取扱心得抜萃

第 66 條 半徑 600 m 以下の曲線に於ては列車又は車輛は左の速度を超えて運轉することを得ず

曲線半徑 (m)	速度(1時間につき km)	
	線路の分岐に附帶せ ざる曲線の場合	線路の分岐に附帶 する曲線の場合
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： 曲線半徑が本表に掲げるものゝ中間にある場合に於ては速度は半徑の小なるものに依る

査の結果總計 1 000 000 圓と決定された。

第 2 回目の試運轉は東京・神戸間に於て實施の場合のスケジュールによる事とし、昭和 5 年 7 月 3 日、4 日の兩日に互つて行つた。調査事項その他は第 1 回目と大同小異であつて前回の經驗に鑑みて速度制限箇所を尙明瞭に機關手に認識し易からしむるため速度制限箇所的前方約 100 m の地點に制限速度記入の標識を建てしむる事とした。これが今日國有鐵道の各所に建てある制限速度標の起原である。第 2 回目の試運轉の成績を保線課長から大臣に提出した報告書の結論は次の如くである。

#### 超特急第 2 回試運轉成績に関する保線課長報告の結論

超特急列車は愈々來る 10 月 1 日より運行實施せらるゝと同時に現行特急列車を超特急速度となし、尙第 9 及び 10 列車を特急速度に昂上する計畫も亦決定せり。茲に於て東海道本線には 3 箇の超特急列車と 1 箇の特急級列車日々運行するのみならず東京、名古屋及び京阪神各都市を中心とする地方特急列車も既に一部増發せられ、又順次營業を開始せられんとしつゝあり。

凡そ保線業務の要諦は列車の運行及び大自然の作用により減耗する軌道の強度を次に運行する列車に必要なにして充分なる程度に補充修復するにあり。然るに斯くの如き急激なる列車回数の増加と速度の昂上は軌道の破壊を從來に比し俄かに増進すべきは言を俟たず。而してこの種の營業列車に對し今回の試運轉列車の如き好成绩を挙げんには少くとも今日の軌道保守状態を常時持續するを要す、即ち從來より増加する軌道の破壊、軌道強度の減耗量を次に運行すべき高速度列車間に供給せざるべからず。若しこの補給整備の量が破壊減耗量に打勝つを得ざらんか軌道は漸次廢頓の傾向をとり到底營業列車に對し今回の如き良好なる乗心地を與ふる事を得ざるのみならず不測なる事故を惹起するの因をなすことなきを保し難し。これ今後保線業務に對し益々周到なる用意を以て臨むと同時に一層合理的なる作業方法の研究を必要と認むる所以なり。

超特急列車の運行に伴ひ考慮すべき問題は

- イ. 線路工手の定員と作業方法
- ロ. 軌道構造の補強と線路改良
- ハ. 運轉速度の統制

なり。線路工手定員は從來地方的條件を考慮し最も合理的に配置せられたるものなるを以て負擔激增に伴ひ

當然これを増加するか、又はこれに代る方法を講ぜざるべからず、即ち機械力の利用によりこれが缺陷を補足するか或は軌道構造を補強することなり。就中軌道構造の補強は保守費を輕減し車輛の運行を円滑ならしむる捷徑なるを以て重軌條更換、路盤改良、枕木増設、タイ・プレート敷設を促進すべきなり。又列車の安全率を増す意味に於て速度制限箇所は漸次線路改良を施しその全廢を計るべきなり。

尙運轉速度統制の適否が車輛の動搖に如何に大なる影響を與ふるかは前後2回の試運轉を通じ痛感せる所にして且つ軌道の破壊に對しても密接の關係を有するは推測に難からざるを以て將來超特急級列車の運行に當つては技能優秀なる機關車乗務員を選ぶは勿論常に指定せられたる制限速度を遵守し軌道の強度に應じ巧妙に運轉速度を調節し得る様訓練し制限速度及び規定運轉速度を超過して回復運轉をなきざるを必要とす。

以上の理由により高速度列車を牽引する各機關車に自記速度計を裝置し實際運轉速度を記録し置くことは運轉速度統制上必要なりと認む。

かくの如き保線従事員滿1箇年に亘る渾身の努力と注意力によつて昭和5年10月1日に遂に超特急燕は實施の運びに至り線路保安上にも些の支障もなく社會の人氣を集めて使命を果して居るのである。

### c. 上越線の全通に伴ふ速度昂上

その後昭和6年9月1日に全通する事となつて居つた信越線高崎と裏日本信越線長岡を結ぶ上越線の完成によつて列車系統を變更せねばならぬ事情を生じた機會に大阪・青森間の裏日本海岸線、東京・青森間の表日本の東北線、常磐線及び奥羽線の速度を一齊に昂上し更に東京・樺太間の到着時分を短縮する目的を以て函館・稚内間の速度昂上と言ふその規模に於てもその昂上率に於ても極めて大膽なる速度昂上案が昭和5年の11月に計畫された。その計畫の一端を示せば速度昂上區間延長約3600km、上野・札幌間の到着時分短縮9時間と謂つた程度のものであつて兎も角計畫區間の全部に涉つて昭和5年11月より6年1月にかけて試運轉を實施した。その試運轉に當つて調査した事項は

- (1) 速度及び運轉時分に對する運轉課の計畫と實施との對照(スピード・カーブ利用)
- (2) 保線側に於て附したる制限速度と實際運轉速度との對照
- (3) 試運轉に際し速度制限を附したる理由
- (4) 試運轉の結果速度制限箇所を追加削除を要するものゝ有無とその理由
- (5) 特に著大なる列車動搖を與へたる箇所及びその原因

であつて試運轉實施の結果に對する保線課長の意見を要約すれば次の如くであつて、結局上述の大規模の計畫は早晚その必要を認むるけれどもこの際としては單に上越線經由上野・秋田間の列車に速度の整理を加ふる程度とし諸般の準備成るを俟つて本計畫の全部を實施する事に決定した。

その後その當時の決議に基き諸般の準備を進めた結果本年12月にはその一部を實施し得るに至つた。

### 上越線の全通に伴ふ旅客列車試運轉成績報告結論

試運轉の結果を見るに速度調節に對する機關手の努力大なるに拘らず速度制限の遵守状態に極めて遺憾の點多し。然るに線路には運轉取扱心得の命ずる制限箇所隨所に點在し、その間一朝速度の節制を誤らんか重大なる脱線事故を招來し易き35km/h以下の制限すら707箇所を算する有様にて現状のままにて本計畫を實行に移すは鐵道本來の責務上慎重考慮の餘地あるものゝ如し。一方これ等の制限を緩和せんとするも改良費不足にしてその餘裕に乏しく他面これが實施に伴ふ保線費の増加も本年度の最大緊縮豫算を以てしては到底支辨の目途なし。

以上各般の事情を考慮するに本計畫はこの際一先づこれを放棄するを適當と認む。

## 4. 山陽線河内驛の事故

以上昭和4年より6年にかけての國有鐵道の速度昂上の氣運及びその實施に當つての保線側の苦心について

その大體を紹介した積りであるが、前述上越線の全通に伴ふ大規模の速度昂上計畫の中途、即ち昭和6年1月12日午前3時57分山陽線河内驛に於て旅客列車が速度の制限を過つて脱線顛覆し死者7名、重軽傷者109名を出した大事故が発生した。この事故は恰も東海道線の超特急新設の成功に陶醉して速度昂上熱に餘りに有頂天になつて居つた當時の國有鐵道の幹部に天の降せる警鐘の感があつて、その後の速度昂上の計畫に對し保線、運轉當事者をして一層慎重なる態度を執るに至らしめた絶好の教訓であつた。當に計畫の府にあるものゝ輕率を戒めたのみならず運轉側現場従事員の速度制限に對する戒心を深め、保線側現場従事員の制限緩和を熱望する氣風を喚起するに多大の貢獻をなした。

實に本事故を契機として國有鐵道の速度昂上計畫は大地を踏んだ安全性に富んだものとなつたのである。この意味に於て本事故は東海道線の超特急の新設と共に國有鐵道の運轉速度昂上の歴史に顯然たる役割を演じたものである。河内驛は山陽線の險難、所謂瀨野・八本松の勾配線中に幸ふじて設けられた小驛であつて、勾配の summit から 10/1 000 の勾配を釣瓶落しに約 24 km 下つた處に位置して居る。従てその構内配線の如きも稍々變則の状態であつて本線が半徑 600 m の曲線に 10 番内開き分岐で取付けてあると云ふ有様でその分岐曲線半徑が 158 m 制限速度 35 km/h と云ふ事になつて居つた。事故はその分岐を機關車が 80 km/h 内外の速度で通過したために炭水車と共に顛覆したのであつて、横頭のみ 100 m 餘滑走し棕梨川と云ふ、18 m 2 連の橋梁上に至つて停止し客車は前部より 5 輛は棕梨川に墜落し第 6 輛目、第 7 輛目は全軸脱線、第 8 輛目は 2 軸脱線、殘餘の 5 輛は無事であつた。本事故に鑑み保線側の教へられたことは

- (1) 主要幹線の本線に半徑小なる急曲線、又は分岐曲線を存置せしめ運轉速度に制限を加ふるが如きは好ましからざる故に改良の必要があること
- (2) 主要幹線に於て高速度の通過列車を取扱ふ本線に於ける轉轍器附近の曲線に對して實際運轉速度に適應するカントを附すること、已むを得ず適當なるカントを附し難き場合は速度制限をなすこと
- (3) 速度制限區間に對しては關係者に於て慎重調査を遂げ制限速度を機關車乗務員に具體的に指示するため線路に速度制限標を建つこと
- (4) 將來分岐器の構造に改良を加ふる事
- (5) 停車場改良の際は特に構内配線に關し運轉状態に適應する様考慮する事
- (6) 制限速度の嚴守を勵行すること
- (7) 速度制限に關する規定の實質的研究をなすこと

等であつてその後驛構内の分岐器に附帶する曲線の半徑は可及的これを大にし制限速度を緩和せねばならぬと云ふ空氣が省幹部以下一般従事員にまで極めて濃厚となつた。

## 5. 速度昂上と保線対策

同じく速度昂上と云ふ中にも 2 様の場合がある。最も速度の高い列車を更に高めんとする場合と、最も高い速度の列車以外の列車の速度を前者の速度まで或はその範圍内に昂上せんとする場合である。第 1 の場合が一般に速度昂上と認められて居るものであるが、保線の立場から言へば第 2 の場合も亦輕視されないのである。

普通第 1 の場合の速度昂上には列車時刻の設定上第 2 の場合の速度昂上が隨伴し同時に或程度の列車料の増加も亦免れないのである。故に保線の速度昂上対策としては

- (1) 最高速度以上に昂上する列車料とその速度
- (2) 最高速度以下に於て昂上する列車料とその速度
- (3) 増加する列車料とその速度

を區分して吟味する必要がある。



次に運轉に際して運轉速度を制限する条件には

- (1) 運轉取扱心得の制限
- (2) 軌道負擔力より見たる制限
- (3) その他線路状態不良による制限

の3つがある。運轉取扱心得の定むるものは車輛の構造、制動能力、曲線通過の際に於ける遠心力の作用等を考慮した制限である。軌道負擔力より見たものは軌道の構造、即ち軌道強度と機關車の與ふる荷重の適合を主眼としたものである。軌道の負擔力は軌道の構造によつて定つて居るから、若しその負擔力以上の影響を與ふる機關車を走行せしめる様なことがあれば軌條折損、枕木折損或ひは道床路盤沈下等の事故を惹起する。故に機關車自體の重量とその速度の合成した影響を軌道の負擔力の範圍に止むるために速度をある程度に制御せねばならぬことが起る。これが即ち軌道負擔力より見たる制限である。

次に線路状態不良による制限であるが元來線路は大自然に曝露して敷設されて居る。若し如何なる大自然の暴威にも破壊しない線路を築造して置けば線路状態不良による制限なぞと云ふ問題は起らないのであるが、斯くの如く強堅なる線路を築造して置くことは鐵道の經濟的存在を無意味ならしむるものであるから、線路は大凡經濟的採算の範圍内の強度を以て構築されて居る。従て線路は時々風雨雪によつて所定強度以下に弱めらるゝことがある。或ひは工事施行の際一時人為的に弱めらるゝこともある。かゝる場合には列車の速度をその場限り臨時に低下して運行の安全を計ることがある。又極端なる場合は一時輕機關車を用ふることもある、更に運轉を休止する場合すらある。斯くの如き場合に行ふ制限が線路状態不良による制限である。

速度昂上を行ふには先づ前3項の制限範圍内で速度圖表が作製され、更に試運轉によつて机上で作製した速度圖表の修正を行ふて實施の速度圖表が出来上る譯である。扱て愈々これを實施に移すに際しては第2の難關を突破せねばならぬ。即ち速度昂上に伴ふ經費の調達である。速度昂上には經費の増加を避くる事が出来ない。經費には

- (1) 經常的のもの
- (2) 設備に關する一時的のもの

とがある。

#### (1) 經常的の經費

速度昂上は軌道の破損を増加するが故に軌道保守費の増加を招來する。又速度昂上には必然的に列車料の増加が隨伴する。甲乙2地點の便益を計るためにその中間に位する地方の利便を犠牲にすることは出来ないからである。列車料の増加は直ちに運轉、運輸費の増加を來すと同時に軌道の使用が増加するだけ軌道保守費も増加するのは當然である。元來軌道の強度は第1章に於て述べた如く力學的に見た強度と、この強度を標準以下に低下せぬ様に保持する保線能力を總轄して考ふべきものである。力學的に充分なる強度である事は勿論第一要件であるが、力學的の強度はこれを適當に保持しなければ直ちに低下する。而てこれを適當に保持するためには保守費を要する。この保守費は力學的強度が荷重に比し極めて大であれば、軌道の使用の増加による保守費の影響甚しく大でないけれども、餘裕が少なければ使用の増加による保守費の影響は頗る鋭敏であること恰も身體の健否と勞働力との關係に實によく似て居る。強健なる身體であれば多少勞働量が増加しても直ちに疲勞を感ずることはないのであるが、脆弱なる肉體であれば、充分の營養を補給しなければ直ちに疲勞して永續しないのみならず、遂に再び起つ能はざるに至るものである。これ即ち速度昂上、列車料の増加は當然保守費の増加を招來する所以である。若し軌道の力

學的強度が不足であつたならば軌條更換、枕木増設、道床増加、路盤改良等の強健法を施さねばならない。

## (2) 一時的の經費

一時的の經費を次の 3 種に區分することが出来る。

- a. カント變更費
- b. 補強費
- c. 制限緩和費

a. **カント變更費** 曲線のカントは列車の速度が基本になつて算出され取設けられて居る。故に速度が變更すればカントは變更されねばならぬ譯である。カントの變更には道床の増加と變更に對する勞力費と變更したカントの安定するまでに要する手當、即ち第 2 次の勞力費を要するのである。

かくの如く速度の變更はカントの改變を伴ふから屢々速度をいぢられる事は保線の立場としては迷惑である。兎も角速度の改變によつてカントの附替をなす事は是非必要である。

b. **補強費** 本費は前述した軌道に強健法を施すための經費である。即ち重軌條に更換するとか、道床の少い所に道床を増すとか、枕木を増加するとか、路盤不良箇所を改良するとか、タイプレート、アンチクリーパーを取付けるとか、現在の軌道構造では強度が弱く、保守困難であつて常に保守勞力を多量に要するのみならず油斷をすれば列車運轉事故を惹起しないとも限らない、かゝる場合を補強しやうと言ふ經費である。

c. **制限緩和費** 次に主要幹線中には古い時代に建設された線路が少くない。その時代には恐らく今日の輸送量、今日の列車速度は夢想だもせず建設せられて居るため、今日の運轉に對しては幾多速度の制限を要する箇所が残存して居る。更に建設當時には曲線部を有しなかつた停車場も數次の有效長延伸によつて曲線部を包含するに至り、而もこれ等の曲線部に生憎分岐が集中する結果、停車場構内には速度の制限を受くる分岐が甚だ多い。

併しながらこれ等驛と驛との間又は驛構内に存在する速度制限箇所には制限速度を遵守し易い所と、如何に遵守しようとも努力しても遵守し難い所とがある。昭和 6 年 1 月に發生した山陽線河内驛の事故の如きは遵守し難い箇所についた適例である。

斯くの如き制限箇所は現在に於てすら速度の調節が困難であるから、更に速度を昂上したならばその困難度が一層深くなることは當然であるから、かゝる制限箇所に對しては制限緩和の方法を講ずることは絶対必要である。

然らば前述の速度昂上の分類と上記の対策の關係如何と云ふに

- (1) 最高速度以上に昂上する列車に對しては補強と制限緩和、カント變更と速度の増加に對する經費とが必要である。
- (2) 最高速度以下に於て昂上する列車に對しては特に現在の線路狀況で危険率を増加する理由はないのであるから制限緩和費は必要がない、又補強もやるに越したことはないが速度の増加に對して保線費が補給されるれば必ずしも施行の要はない。但しカント變更は必要である。
- (3) 増加する列車種に對してはそれだけ軌道の使用量が増加するのであるから、その速度を考慮に入れた保線費の支出を増加するだけでその他は必要はない。但しカント變更は必要とする場合が多い。

## 6. 速度昂上と所要經費

速度昂上に對して幾何の經費を要するかは速度昂上をなさんとする線路の性質、列車荷重、rolling stock の構造、物價勞銀等に支配されることが大であるから素より一概に決定し難い。又或る線路の實例が直ちに他の線路に適用出来るものでもないから、單に參考として國有鐵道の最近の實例を述ぶる事に止めたいと思ふ。

### (1) 制限緩和費及び補強費

線路には列車運轉に對し種々の原因から速度に制限を加ふる箇所が存在して居る。而して速度制限箇所中には自ら地形その他の關係上容易に所定の制限速度を遵守し得る箇所と然らざる箇所とがある。遵守困難なる箇所に於てはこの上速度が昂上さるれば制限速度を超過する可能性が増大する。即ち危険の度を増加することになるから、かゝる箇所に對しては制限緩和の方法を講じなければならない。國有鐵道に於ては平素速度制限箇所に對して當時の列車運轉が制限速度を遵守し得るや否や、又遵守困難なればどの位超過するかを調査して居つて、速度昂上の機會には上述の意味から制限速度遵守困難なる箇所に對する制限緩和工事を施行する事にして居る。若し財政の關係上制限緩和をなし得ない場合には尠くともその區間だけは速度昂上をなさない様に取り計つて居る。制限緩和、補強に對する經費は國有鐵道では改良費の支辨とし主として次の如き工事をやつて居る。

- |                |                |
|----------------|----------------|
| (1) 線路變更       | (2) 急曲線改良      |
| (3) 反向曲線改良     | (4) 緩和曲線改良     |
| (5) 路盤改築       | (6) 枕木増加       |
| (7) 道床改良       | (8) タイ・プレート敷設  |
| (9) アンチクリーパー取付 | (10) 分岐器附近曲線改良 |
| (11) 轉轍器改良     | (12) 縱曲線改良     |
| (13) 軌條更換      | (14) その他       |

の如くである。右の内如何なる種類の工事が最も緊急施行を要するかと云ふに、先づ第1に軌條更換である。これは軌條應力に依る制限緩和及び保守費の軽減に直接役立つものであつて、速度昂上の可能性は先づ敷設軌條の重量によつて定まると云つても過言でない程重要な事項である。

次は分岐器の改良である。高速列車の著しい動搖は驛構内通過の際に於ける分岐器附近に最も多く生ずるし、又國有鐵道の運轉規程では分岐附帶曲線の速度はその他の曲線の速度よりも嚴重に制限されて居るから、速度昂上に當つて分岐器の交叉角を小にし、或ひは分岐に附帶する曲線の半径を緩にすることは極めて有效である。

その他驛と驛との中間に於て勾配その他の關係から快速度を出すに都合よき箇所にある急曲線、曲線間直線長極めて短小なる反向曲線の如きは常に列車動搖の原因をなし速度制限を餘儀なくせしめらるゝものであるから屢々改良の必要に迫らるゝものである。尤も制限緩和の改良工事費額は既に現行の速度が線路の速度制限に關する條件の限度一杯に計畫されたものであるか、それ以下のものであるかによつて非常に異なる譯であつて限度一杯でないものを昂上するには取て大なる費額も要しないが、限度一杯のものを更に昂上せんとするときは相當巨費を要するものである。例へば國有鐵道の東海道線沼津・大阪間 430 km に於て燕號を 10 分短縮、即ち速度に於て 3% 昂上するためには 250 000 圓(1 km 1% 當り 190 圓)を要し、大阪・下關間 563 km の富士、櫻を 50 分短縮即ち速度に於て 9% 昂上するためには 640 000 圓(1 km 1% 126 圓)を要するのみである。これ東海道線に於ける燕號は現在平均速度 72 km/h で既に輕易の制限緩和工事はやれるだけ施行して居つて、現在の速度制限箇所は巨費を要する所が残つて居るに對し、山陽線は現行平均速度が 56 km/h であるから、東海道線に比し輕易なる制限緩和工事にて事足りる事情によるものである。

## (2) カント變更費

軌道の曲線部のカントは列車の速度が基本となつて算出されて取設けられて居る。故に速度が昂上さるればカントは變更されねばならぬ譯である。カントを大にすれば道床の増加を伴ふから、これが補給を要するがこの量は普通極めて少であるから特に計上しないとしてもカント變更には相當の勞力を要する。又變更したカントを安定せしむるためには少くとも 2~3 回の道床搗固めが必要である。國有鐵道では實地研究の結果、カントの變更には

1. 軌道料に對して 100 名の線路工手を要すると考へられて居る。線路工手の平均日給 1.75 圓として 175 圓である。故に速度を昂上する場合には昂上區間のカントを附する必要ある曲線軌道料を拾つてこれに 175 圓を乗じたものをカント變更費として支出すべきである。

### (3) 速度昂上及び列車軒増加に對する保守費の増加

速度制限緩和の改良費、補強の改良費、カント變更費等は設備に對する手當であるから、これに要する費額は個々の設備について改變の程度を定めて計畫すればこれを算出する事は出来るが、1つの列車が 1 km/h だけ速度を昂上すれば幾何の保線費を増加するかと云ふ問題、又列車を 1 本増加すれば保線費をどれだけ増さねばならぬかを算出する事は極めて困難である。幸に國有鐵道に於ては不完全ながらも軌道、保守勞力及び軌道保守材料費を算出する算式を設定してあるから、この算式に現在の速度、現在の通過重量を入れた場合と昂上せる速度と増加せる通過重量を入れた場合との數値の差によつて計算する事にして居るが、この算式は國有鐵道の過去の統計を基礎としたものであつて線路保守状態を既往の程度に維持する目安の下に保守勞力、保守材料費に影響力を有する各般の條件、相互の關係を求めたものであるから、國有鐵道以外の鐵道に直ちに利用されない事は當然である。然し極めて概括的の數字を云へば國有鐵道の全線を平均して軌條重量は 34.7 kg、枕木は 10 m 軌條に對し 13.6 挺、道床厚さは枕木下面より 165 mm、列車回数 29、速度 35 km/h、1 列車重量 394 ton、機關車重量 83 ton である。この條件の下に列車 1 本の速度を 1 km/h 昂上された場合 1 軌道料に對し保守勞力費と保守材料費の増加額合計は年 12 錢となる。又 1 列車軒を増加すれば年額 20 圓を要すると概算さる。この數字を用ふるときは昭和 5 年度以降昭和 8 年度までの間に約 500 000 列車軒に對し約 20% の速度昂上を施して居るから速度昂上に對する保守費の増約 420 000 圓となり、列車軒は 39 000 列車軒を増加して居るから列車軒の増加に對して 780 000 圓の保守費を増大した事になつて居る。而て 500 000 列車軒と云ふのは凡そ國有鐵道 1 日の列車軒になるから國有鐵道の列車は昭和 5 年度から昭和 8 年度までに全部 20% だけ速度を昂上したと稱する事が出来るのである。

## 7. 結 語

以上國有鐵道の速度昂上の実績について述べたが、これを要するに速度昂上に當つては運轉側の作製せる速度昂上の新スピード・ダイヤの交附を受け、そのスピード・ダイヤが線路の許容性情内に計畫されたものであるかどうか、又スピード・ダイヤは制限の範圍内であつても過去の常時運轉の実績が制限を遵守し難き箇所に對して新スピード・ダイヤは果して改善されて居るか否やを調査し、若し許容性情を超過しそうな點があつたならばこれ等の區間に對して修正を求め萬一運轉計畫上修正が出来ない場合にはその許容性情の緩和、即ち制限緩和の工事費を見積らねばならない。而してこれ等の制限には運轉規程の命ずるものと軌道の力學的強度から來るものとがあるからこの兩者について調査せねばならぬ事は素よりである。

かくして速度昂上のスピード・ダイヤが決定したならば曲線カントの變更費を算出し、續いて速度を昂上する列車軒と昂上量、速度昂上に隨伴して増加する列車とその速度を運轉側から知らして貰つて、これ等に對する軌道保守費の増加額を算出せねばならぬ。かくして工務關係の速度昂上に對する一時的經費及び經常費の増加額を知り得る譯である。この工務關係の費額と運轉關係、運輸關係、或は車輛關係の同一目的に對する經費との合計が即ち速度昂上に對する全費額となるのであつて、この費額が財源を握つて居る經理當局の同意を得れば始めて茲に速度昂上は實現する事になるのである。故に速度昂上計畫は單に運轉當事者のみで出来る事でもなく、鐵道各機關の協力、特に保線當事者の誠實なる協力なくては絶対に安全なる實行は期し得ないのである。この意味に於て列車運轉、特に速度昂上の如きは保線と運轉とは同一の利害に立つものと考へられる。即ち線路が改善され保線の能

力が充實すれば運轉の如何なる計畫も實行するに困難ではない。從來運轉側が保線の實狀を無視し設備に公認されたる條件を反犯して運轉計畫を建て保線側又運轉側の運轉計畫の動機その内容に通ぜざるがため屢々意見の齟齬を來した事例があるが、元來列車の運轉は線路に従つてなされるものである以上は保線は運轉業務の一部であると解釋するのが正しき見解で保線は運轉のため存在し、運轉は保線あつて可能なりと觀ずるとき保線と運轉は立場を異にするべきものでなく一身同體であると思ふ。運轉と保線の當事者にかゝる諒解が出來た時に運轉計畫は線路の改善保線の充實と共に着々として進歩するものと思ふ。

附 録

I. 軌道應力計算式

A. 軌條壓力及び軌條彎曲力率

(i) 單一荷重が枕木間隔中心に在る場合

枕木は彈性を有する道床路盤に支持せらるゝを以て荷重を加ふれば沈下すれども、これを除去するときは舊に復す。其の彈性の限界内に於ては枕木の沈下は其の上に加へられたる軌條壓力に正比例するものとなすことを得。

即ち第 1 圖に示す如く

$P$  = 軌條壓力

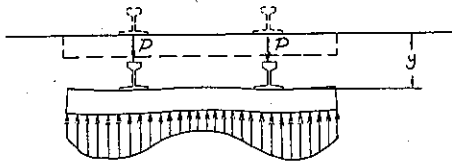
$y$  = 軌條底位置に於ける枕木の沈下

$D$  = 軌條底位置に於て枕木を單位沈下せしむるに要する軌條壓力

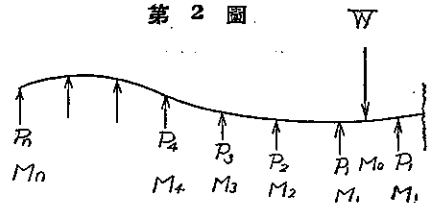
とすれば

$$P = Dy \dots\dots\dots (1)$$

第 1 圖



第 2 圖

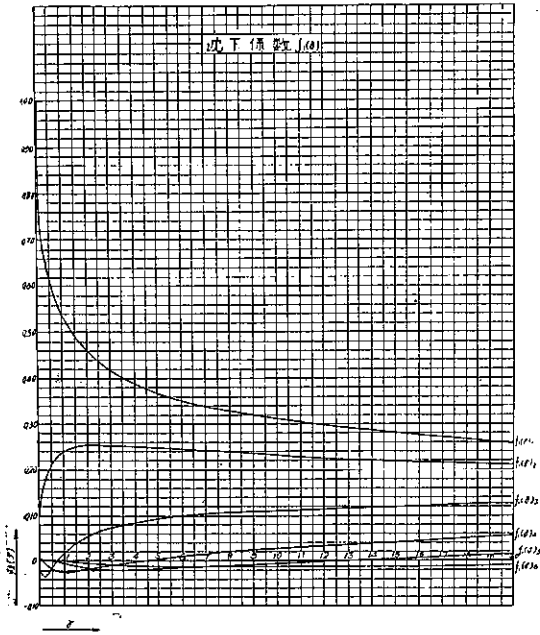


第 2 圖の如く接目なき長き軌條が一定の間隔を以て枕木に支持せられ單一荷重  $W$  が枕木間隔中心に在る場合各枕木の位置に於ける軌條壓力及び軌條彎曲力率は (1) 式及び 3 連力率定理の應用に依つて計算することを得。即ち荷重の位置に於ける軌條彎曲力率を  $M_0$ 、荷重に隣接する枕木の位置に於ける軌條壓力及び軌條彎曲力率を  $P_1, M_1$  とし以下順次に  $P_2, M_2; P_3, M_3 \dots P_n, M_n$  とすれば

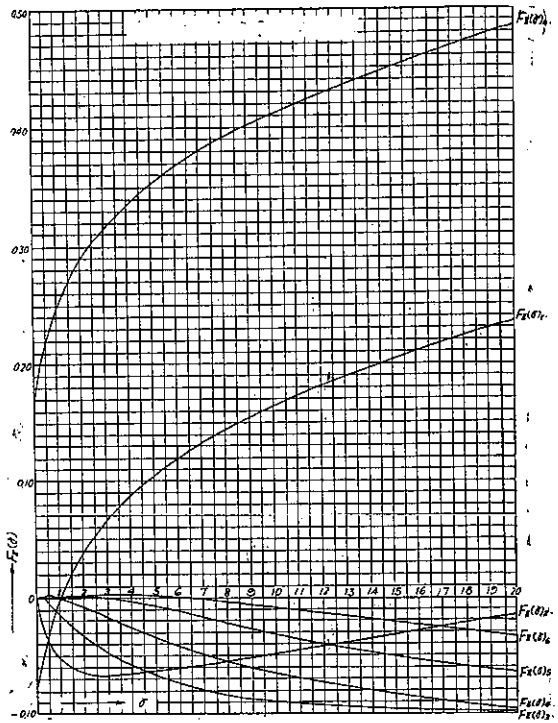
$$\left. \begin{aligned} P &= F_I(\gamma)_1 W \\ P_2 &= F(\gamma)_2 W \\ \dots\dots\dots \\ P_n &= F_I(\gamma)_n W \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} M_0 + F_{II}(\gamma)_0 a W \\ M_1 &= F_{II}(\gamma)_1 a W \\ M_2 &= F_{II}(\gamma)_2 a W \\ \dots\dots\dots \\ M_n &= F_{II}(\gamma)_n a W \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

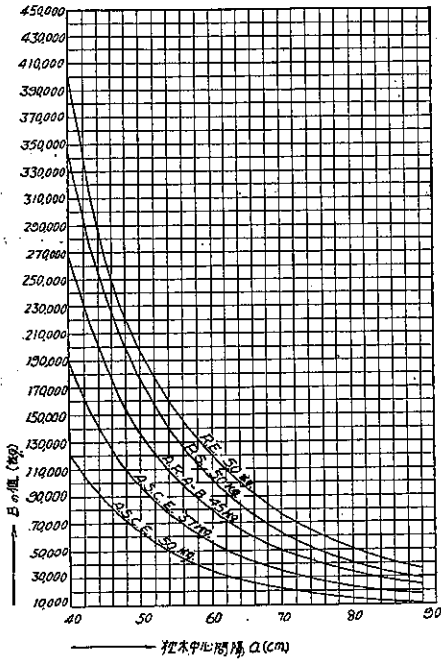
第 3 圖



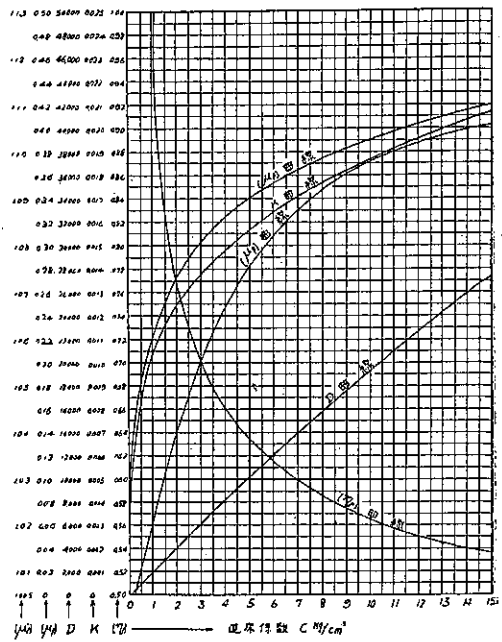
第 4 圖 彎曲力率係數  $F_{II}(\gamma)$



第 5 圖



第 6 圖



$F_I(\gamma)_n$  を軌條支承體沈下係數と稱し  $F_{II}(\gamma)_n$  を軌條彎曲力率係數と稱す何れも  $\gamma$  の函數なり。但し  $\gamma$  は次の値を代表す。

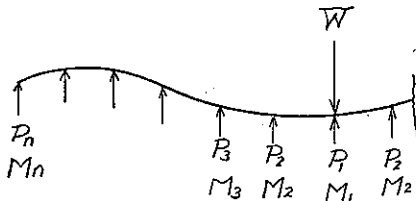
$$\left. \begin{aligned} \gamma &= \frac{B}{D} \\ B &= \frac{6E_0J_0}{a^3} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$E_0$  = 軌條鋼の彈性係數  
 $J_0$  = 軌條斷面の物量力率  
 $a$  = 枕木中心間隔

$F_I(\gamma)_n$  の値は第 3 圖に、 $F_{II}(\gamma)_n$  の値は第 4 圖にこれを示す。各種軌條に對する  $B$  の値は第 5 圖、 $D$  の値は第 6 圖に、 $\gamma$  の値は第 7 圖にこれを圖示す。

(ii) 單一荷重が枕木直上にある場合

第 8 圖



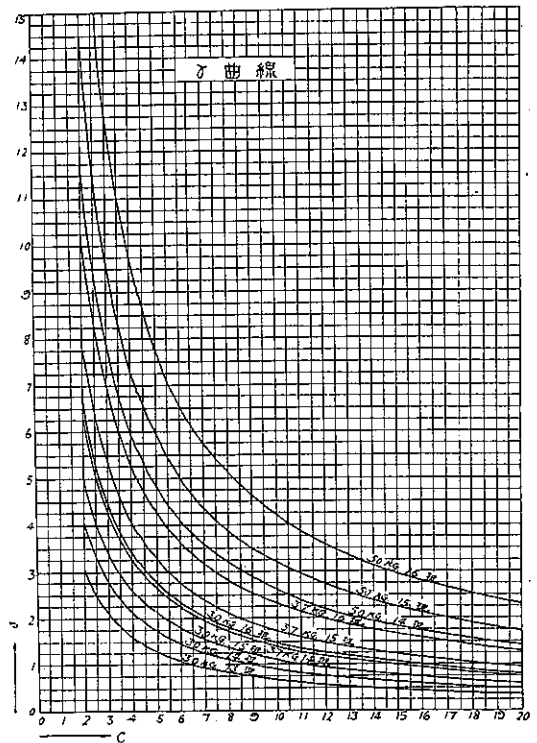
單一荷重  $W$  が 1 枕木直上に在る場合軌條壓力及び軌條彎曲力率を與ふる軌條支承體沈下係數及び軌條彎曲力率係數を  $f_I(\gamma)_n, f_{II}(\gamma)_n$  を以て表せば

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= f_I(\gamma)_1 W \\ P_2 &= f_I(\gamma)_2 W \\ \dots & \dots \dots \dots \\ P_n &= f_I(\gamma)_n W \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= f_{II}(\gamma)_1 a W \\ M_2 &= f_{II}(\gamma)_2 a W \\ \dots & \dots \dots \dots \\ M_n &= f_{II}(\gamma)_n a W \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

$f_I(\gamma)_n$  の値は第 9 圖、 $f_{II}(\gamma)_n$  の値は第 10 圖にこれを圖示す。

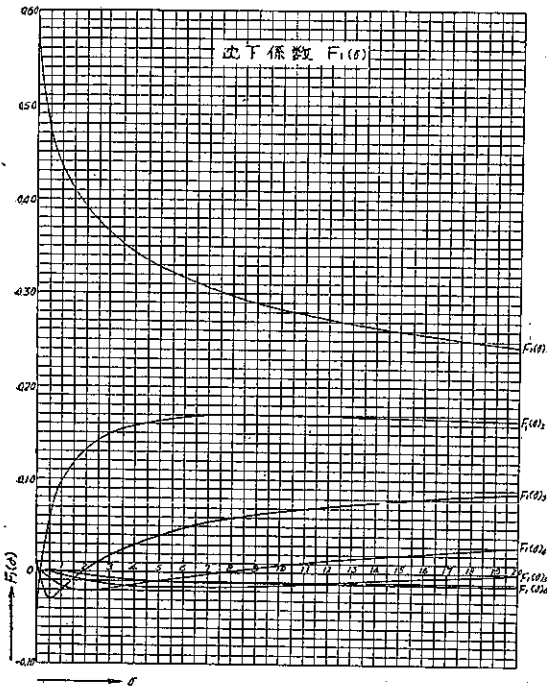
第 7 圖



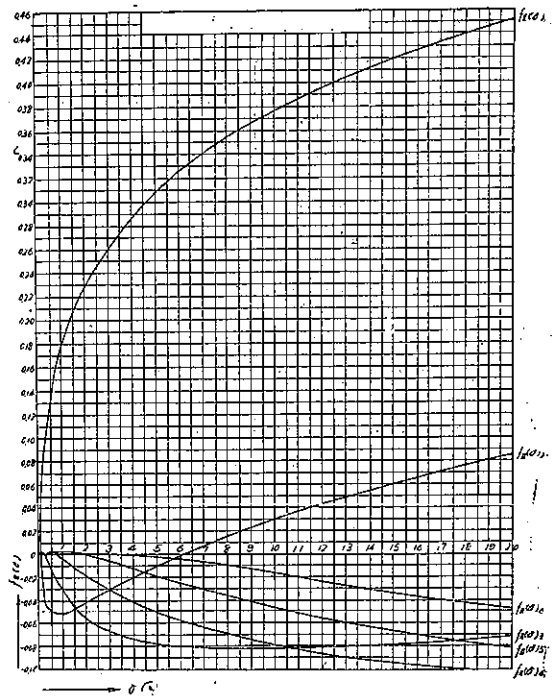
(iii) 單一荷重が枕木より  $\alpha a$  の距離にある場合 單一荷重が枕木間隔中心より枕木直上に動く間に任意の枕木の位置に於ける軌條支承體沈下係數及び軌條彎曲力率係數は  $F_I(\gamma)_n, F_{II}(\gamma)_n$  より  $f_I(\gamma)_n, f_{II}(\gamma)_n$  に變化するものにして其の中間の位置に於ては係數は直線的に變化するものとして比例に依り求む。第 11 圖に示す如くこの場合の係數を一般に  $\phi_I(\gamma)_n, \phi_{II}(\gamma)_n$  とすれば

$$\alpha < \frac{1}{2} \text{ の場合}$$

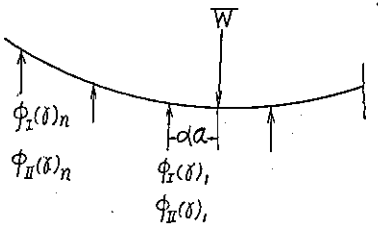
第 9 圖



第 10 圖 彎曲力率係數  $f_{II}(\gamma)$



第 11 圖

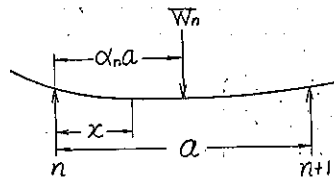


$$\left. \begin{aligned} \phi_I(\gamma)_n &= f_I(\gamma)_n - 2\alpha \{ f_I(\gamma)_n - F_I(\gamma)_n \} \\ \phi_{II}(\gamma)_n &= f_{II}(\gamma)_n - 2\alpha \{ f_{II}(\gamma)_n - F_{II}(\gamma)_n \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

$\alpha > \frac{1}{2}$  の場合

$$\left. \begin{aligned} \phi_I(\gamma)_n &= f_I(\gamma)_{n+1} + 2(1-\alpha) \{ F_I(\gamma)_n - f_I(\gamma)_{n+1} \} \\ \phi_{II}(\gamma)_n &= f_{II}(\gamma)_{n+1} + 2(1-\alpha) \{ F_{II}(\gamma)_n - f_{II}(\gamma)_{n+1} \} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

第 12 圖



(iv) 任意の断面に於ける軌條彎曲力率

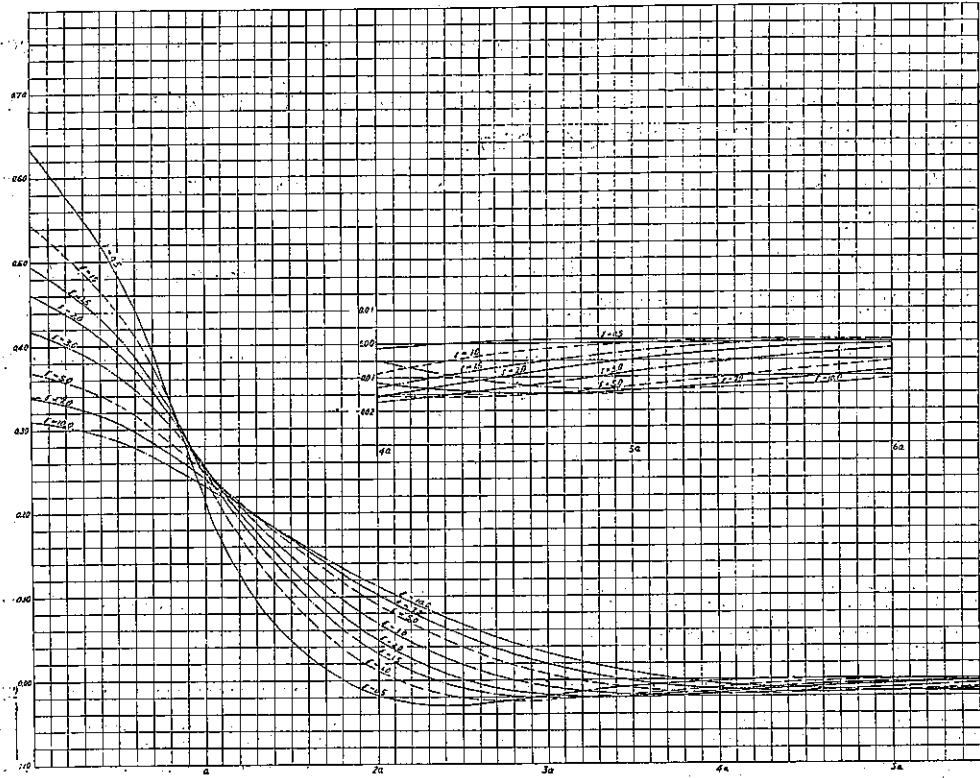
第 12 圖に示す如く  $n$  枕木より  $\alpha na$  なる位置に  $W_n$  なる 1 荷重あり。 $n$  枕木及び  $n+1$  枕木の位置に於ける軌條彎曲力率を  $M_n, M_{n+1}$  とすれば  $n$  枕木より  $x$  の距離に於ける彎曲力率は次の如し。

$x < \alpha na$  の場合

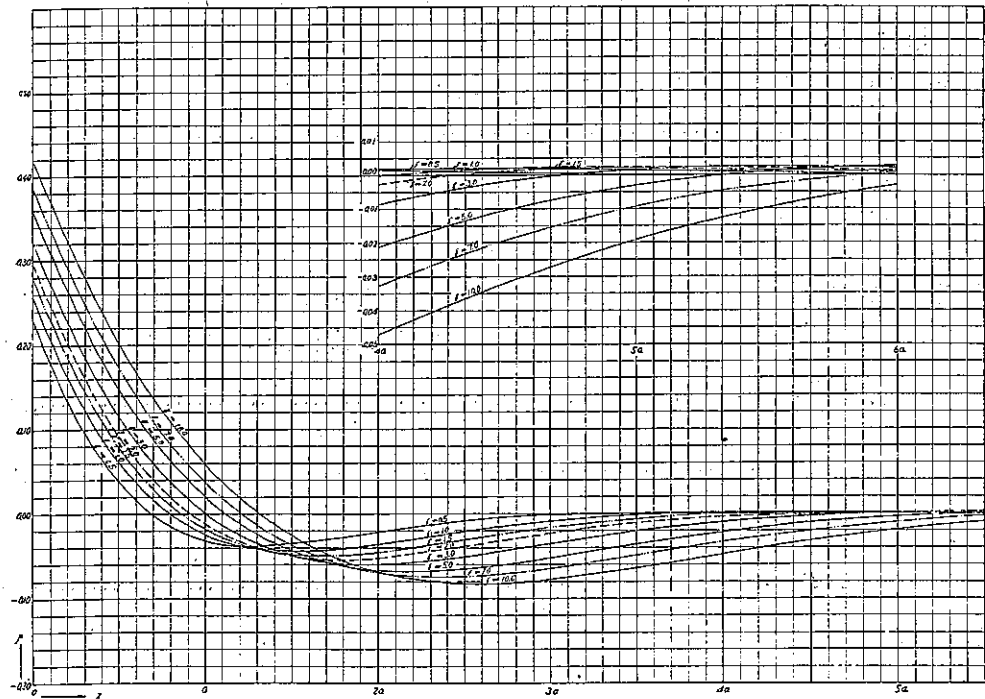
$$M_x = M_n + (M_{n+1} - M_n) \frac{x}{a} + W_n x (1 - \alpha n) \dots\dots\dots (9)$$



第 13 圖 軌條壓力影響線



第 14 圖 軌條彎曲力率影響線



$x > \alpha na$  の場合

$$M_x = M_n + (M_{n+1} - M_n) \frac{x}{a} + Wn\alpha n'(a-x) \dots\dots\dots(10)$$

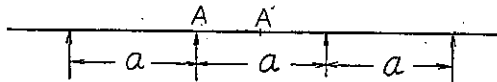
(v) 軌道應力影響曲線 多數の荷重が同時に並列して存する場合の軌道應力は上記諸公式を利用して箇々の荷重の影響を計算し、これを代數的に合計して求むるものとす。

各種車輛の與ふる最大軌條壓力及び最大軌條彎曲力率は第 13 圖及び第 14 圖に示したる影響曲線を利用して容易に計算することを得。

第 13 圖は枕木 A に対する軌條壓力影響曲線にして任意の位置にある荷重 W の下の曲線縦距が  $\eta_x$  なる場合 W が A 枕木に及ぼす軌條壓力を P とすれば

$$P = \eta_x W \dots\dots\dots(11)$$

第 15 圖



なり。

第 14 圖は枕木間隔中央の 1 點 A' に対する軌條彎曲力率影響曲線にして任意の荷重 W の下の曲線縦距が  $\mu_x$  ならば A' 點に及ぼす彎曲力率は次の式に依りて計算せらる。

$$M = \mu_x a W \dots\dots\dots(12)$$

普通の車輛構造に在りては軌條彎曲力率は 1 荷重が枕木間隔中央に在る場合其の荷重下に於て最大にして、又最大軌條壓力は 1 荷重が枕木直上に在る時この荷重の下に生ずるが故に上記の影響曲線に於て或る荷重を座標原點に置いて最大軌道應力を計算し得るなり。但し横距は何れも枕木中心間隔 a を單位とす。

**B. 枕木應力**

道床に加へらるゝ壓力がある限度を超過せざる間は道床は殆ど彈性的に作用し

$$p = cy \dots\dots\dots(13)$$

但し p = 道床表面單位面積上の壓力

y = 其の沈下

c = 道床表面を單位沈下せしむるに要する壓力強度

c は通常道床係數と稱せられ路盤不良なる場合 5 kg/cm<sup>2</sup>, 良好なる場合 9 kg/cm<sup>2</sup>, 特に良好なる場合 13 kg/cm<sup>2</sup> に達するものなり。枕木幅を b とし其の斷面の物量力率を J, 木材の彈性係數を E とすれば彈性方程式は

$$EJ \frac{d^4 y}{dx^4} = -bp = -bcy \dots\dots\dots(14)$$

$$K = \sqrt[4]{\frac{cb}{4EJ}} \dots\dots\dots(15)$$

と置けば (14) 式は

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + 4K^4 y = 0 \dots\dots\dots(16)$$

(16) 式を積分すれば

$$y = (A_1 e^{\varphi} + A_2 e^{-\varphi}) \cos \varphi + (B_1 e^{\varphi} + B_2 e^{-\varphi}) \sin \varphi \dots\dots(17)$$

但し  $\varphi = Kx$

(17) 式中の  $A_1, A_2, B_1, B_2$  は積分定数にして道床係数, 枕木の形状, 軌條中心間隔等が與へらるゝ時定まるものなり。 $y$  が與へらるれば道床壓力強度  $p$ , 枕木彎曲力率  $M$ , 剪力  $Q$  は次式に依りて求むることを得。

$$\left. \begin{aligned} p &= cy \\ M &= -EJ \frac{d^2 y}{dx^2} \\ Q &= -EJ \frac{d^3 y}{dx^3} \end{aligned} \right\} \dots\dots(18)$$

横枕木の場合の如くに荷重が枕木中心に對して對稱的に在る場合は上式は簡單となる。普通の軌道状態に於て並枕木を使用する場合  $P, M, Q$  の最大値は軌條位置に生じこれを  $p_r, M_r, Q_r$  とすれば(第 17 圖参照)。

$$\left. \begin{aligned} p_r &= c \frac{P}{D} = \frac{KP}{b} [\gamma_p] \\ M_r &= \frac{P}{2K} [\mu_p] \\ Q_r &= \frac{P}{2} [\mu'_p] \end{aligned} \right\} \dots\dots(19)$$

$\gamma_p, [\mu_p], [\mu'_p]$  は  $c, K, l$  (枕木長さの半分),  $r$  (軌條中心間隔の半分) の函數にして

並枕木  $\left\{ \begin{array}{l} 8 \text{ in} \times 5\frac{1}{2} \text{ in} \times 7\text{ft}-0 \text{ in} \\ 20.32 \text{ cm} \times 13.97 \text{ cm} \times 213.36 \text{ cm} \end{array} \right\}$  を使用し, 軌間 1.067 m なる場合これ等の値は第 6 圖に圖示す。但し枕木の弾性係数  $E$  は 100 000  $\text{kg/cm}^2$  とす。

(18), (19) 式より

$$y_r = \frac{pr}{c} = \frac{KP}{bc} [\gamma_p]$$

$y_r = 1$  なる時  $P = D$  とすれば

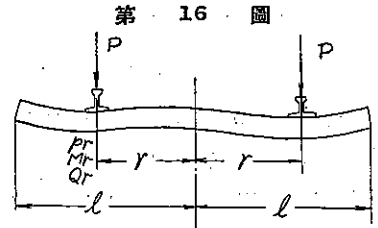
$$D = \frac{cb}{K[\gamma_p]} \dots\dots(20)$$

$D$  は既に軌道應力公式誘導に用ひられたる數値にして, 第 6 圖に示したるは我國有鐵道の並枕木に對する値なり。軌道負擔力を取扱ふ場合普通状態の軌道に於ては  $D$  は 10 000 kg, 軌道状態稍良好なる場合は 15 000 kg の特に良好なる場合に在りては 25 000 kg を標準となすことを得, 軌條壓力を  $P$  とすれば枕木上面の平均支壓力  $\sigma_b$  は

$$\sigma_b = \frac{P}{bL} \dots\dots(21)$$

但し  $\begin{cases} b = \text{枕木幅} \\ L = \text{軌條底幅} \end{cases}$  又タイ・プレートを使用する場合  $\begin{cases} b = \text{タイ・プレート幅} \\ L = \text{タイ・プレート長} \end{cases}$

軌條は横方推力を受くるため實際上支壓力は平等に分布せられずして, 最大支壓力は平均支壓力を遙に超過するものなり。



C. 路盤壓力

路盤壓力は枕木上の荷重により道床を通じて路盤表面に加へらるゝ垂直壓力なり。これは道床厚さ、道床係數、枕木の形狀等によりて値を異にす。

今枕木の任意の斷面 O の直下 A に於ける路盤壓力を求めんとす (第 8 圖參照)。

- $h$  = 道床厚 (cm)
- $2l$  = 枕木の長 (cm)
- $a$  = 枕木端より O 迄の距離 (cm)
- $b$  = 枕木の幅 (cm)
- $p_x = 0$  より  $x$  の距離に於て道床面に作用する壓力 (枕木單位長に對し, kg/cm)
- $p_0 = A$  に於ける路盤壓力 (kg/cm<sup>2</sup>)

とすれば

$$p_0 = \frac{bh^2}{\pi} \int_{-a}^{2l-a} p_x e^{-k^2 x^2} dx \dots \dots \dots (22)$$

なり。

$h$  は  $h$  の大なる時には

$$\frac{1}{h} = K = 0.7h + 2.3$$

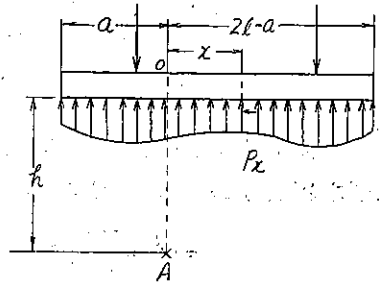
の關係あり。 $h$  の小なる場合には稍複雑なる値をとり其の値は第 18 圖に示す如し。最大壓力強度は道床厚さの小なる場合には軌條位置に生ずれども道床厚さの増すに従ひ次第に内方に移動し道床厚さの大なる場合には軌間中央に於ける路盤壓力強度は軌條位置に於ける壓力強度を凌駕するに至る。道床厚さと路盤壓力との關係は道床係數  $c$  の値に依つて異なるものにして  $c = 5 \text{ kg/cm}^2$  とし並枕木を使用する場合に於て路盤に加へらるゝ壓力強度の最大値を (22) 式より計算し第 18 圖にこれを示す。同圖は軌條壓力が 1 ton の場合の最大路盤壓力  $p_0$  の値を示すものにして軌條壓力が  $P \text{ ton}$  なれば最大路盤壓力  $p$  は

$$p = p_0 P \dots \dots \dots (23)$$

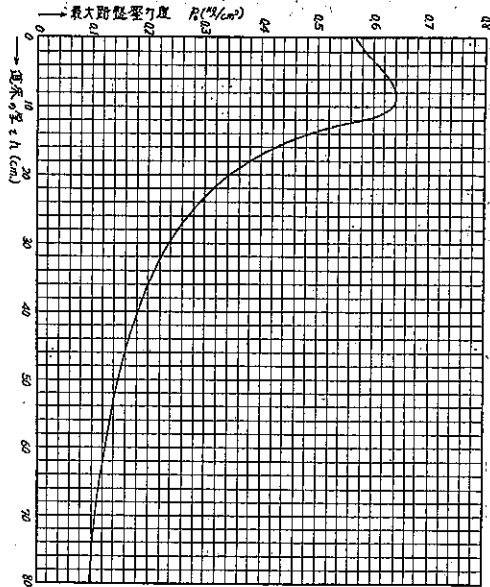
II. 擊衝率

走行荷重の場合には靜荷重壓力に對し擊衝率による増加量を加算する必要あり。擊衝の主なる原因は車輪廻轉部分の不均衡、機關車連桿の傾斜運動による垂直壓力、軌道の不齊其の他に基く車輛の上下運動及び車輪の扁平磨耗等にして各軸重の増加率同一ならざるため軌條彎曲應力に對する擊衝率は軌條支承體に與ふる壓力の擊衝率と必ずしも一致せず通常彎曲應力に對するものは支承體に對するものより大なり。又擊衝率は機關車の構造によりて大に差あり。例へば蒸氣機關車に於ては垂直彎曲應力に對する擊衝率大なるに反し一般の電氣機關車に在りて

第 17 圖



第 18 圖



は横彎曲應力の撃衝率甚だ大なるが如し。各種機關車を通じて側輪に對する應力の撃衝率は次の値を以て標準とする

$$\text{軌條彎曲應力に對する撃衝率 } i = \frac{1.0}{100} V \dots\dots\dots (24a)$$

$$\text{軌條彎曲應力に對する撃衝率 } i = \frac{0.6}{100} V \dots\dots\dots (24b)$$

但し  $V =$  運轉速度 km/h

### III. 許容應力及び許容壓力

a) 軌條 軌條は交番應力を受くるを以て應力は其の耐久限界を超過せざることを要す。軌道負擔力の算定に當りては軌條底の横彎曲應力、軌條の磨耗、温度の變化による應力等を考慮し垂直彎曲應力に對しては最高 2000 kg/cm<sup>2</sup> まで許容し得るものとす。

b) 枕木

彎曲應力	100~120 kg/cm <sup>2</sup>
枕木上面平均支壓力	20~25 "
道床壓力	3.0~4.5 "
路盤壓力	2.2~2.5 "

道床係數  $c$  を 5 kg/cm<sup>2</sup> として計算せる場合採用すべき標準路盤耐力 2.2 kg/cm<sup>2</sup>

### IV. 許容速度

前掲諸公式によりて計算せる應力の値が軌道の負擔力を超過せざる様、車輛の運轉速度は適當に制限するを要す。速度による撃衝率は前記の如く

$$\left. \begin{array}{l} \text{軌條彎曲應力に對し } i = \frac{1.0}{100} V \\ \text{軌條支承體に對し } i = \frac{0.6}{100} V \end{array} \right\} (V = \text{運轉速度 km/h})$$

なりとす。

今靜荷重に對する軌條底垂直應力を  $\sigma_{r_0}$  とすれば、軌條負擔力に制限せらるゝ許容速度は次式に依りて求むることを得。

$$V = \left( \frac{2000}{\sigma_{r_0}} - 1 \right) \times 100 \dots\dots\dots (25a)$$

又靜荷重による枕木の彎曲應力を  $\sigma_{t_0}$  とし、其の許容限度を 100 kg/cm<sup>2</sup> とすれば許容速度は次式によりて計算せらる。

$$V = \left( \frac{100}{\sigma_{t_0}} - 1 \right) \times \frac{100}{0.6} \dots\dots\dots (25b)$$

其他道床壓力、路盤壓力等に對しても (25b) 式に準じて許容速度を定むることを得。

### V. 道床係數

軌道應力の計算に際し豫め道床係數  $c$  の値を適當に定むるを要す。 $c$  は通常 5~13 kg/cm<sup>2</sup> の範圍にあり然して運轉區間中には種々の線路状態あるを普通とするを以て、最も大なる軌條彎曲力率と最も大なる軌條壓力を與

ふる區間を豫想するを要す。路盤軟弱にして道床係數の小なる場合に最大軌條應力を與へ且路盤の耐力最も薄弱なるを以て軌條及び路盤の負擔力を計算するためには  $c=5$  とし、路盤比較的良好にして道床係數大なる時軌條壓力大にして枕木の彎曲應力も亦この場合の方大なるを普通とするが故に枕木の負擔力及び道床壓力を計算する場合は  $c=13$  を採用するものとす。枕木彎曲應力は  $c=5$  のとき大なる場合あるを以て兩者を計算比較するを要す。

### VI 計算例

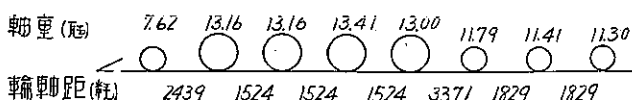
9600 形機關車が 60 km/h の速度を以て運轉するときの軌道應力を計算せんとす。

但し敷設軌條は 30 kg 軌條、枕木は並枕木にして 10 m 軌條に對し 14 挺を用ひ、道床砂利の厚さは枕木下面より 150 mm とす。

#### A. $c=5 \text{ kg/cm}^2$ の場合

運轉整備の状態に於ける 9600 形機關車の軸重及び輪軸距を示せば第 19 圖の如し。

第 19 圖



枕木の大き  $20.32 \times 13.97 \times 213.36 \text{ cm}$ ,  $b=20.32 \text{ cm}$

枕木中心間隔  $a=76.2 \text{ cm}$

$\gamma$  の値  $\gamma = \frac{B}{D}$

但し  $B = \frac{bE_0J_0}{a^3}$ ,  $D = \frac{cb}{K[\gamma_p]}$

$E_0$  = 軌條鋼の彈性係數 = 2 100 000 kg/cm<sup>2</sup>

$J_0$  = 軌條斷面の物量力率 = 60.7 cm<sup>4</sup>

又第 6 圖に於て  $c=5$  とすれば

$K=0.0157$ ,  $[\gamma_p]=0.635$

なるを以て

$$B = \frac{b \times 2\,100\,000 \times 60.7}{(76.2)^3} = 17\,300 \text{ kg}$$

$$D = \frac{5 \times 20.32}{0.0157 \times 0.635} = 10\,200 \text{ kg}$$

$$\gamma = \frac{17\,300}{10\,200} = 1.7$$

1) 軌條彎曲應力 最大軌條彎曲力率が何れの車輪の下に生ずるかを定むるには計算に依る外なしと雖も、概して最前部又は最後部の側輪の下に起る。この場合試算に依りて最大彎曲力率は第 1 側輪が枕木間隔中央に位するとき其の下に起ることを知る。従つて第 14 圖軌條彎曲力率影響線に於て第 1 側輪を座標原點に置きこの點に對する彎曲力率を求めんとす。

先づ他の車輪に就て  $a$  を單位としたる第 1 側輪よりの距離を計算するの必要あり。第 1 側輪より導輪、第 2 側輪、

第 3 働輪, 第 4 働輪に到る距離を夫々  $x_1, x_2, x_3, x_4$  とすれば

$$x_1 = 243.9 \text{ cm} = 3.2\alpha$$

$$x_2 = 152.4 \text{ " } = 2.0\alpha$$

$$x_3 = 304.8 \text{ " } = 4.0\alpha$$

$$x_4 = 457.2 \text{ " } = 6.0\alpha$$

なり。第 14 圖に於て

$$x = 3.2\alpha, \quad \gamma = 1.7 \quad \text{とすれば}$$

$$\mu = -0.013$$

即ち導輪が第 1 働輪の下に及ぼす影響は (12) 式より

$$\mu a W = -0.013 \times 76.2 \times \frac{7.62}{2}$$

なり。

第 1 働輪自身に依る彎曲力率は第 14 圖に於て  $x=0, \gamma=1.7$  としても求め得れども, 第 4 圖より求むる方正確なる數字を得るを以てこれを使用す。即ち第 4 圖に於て  $\gamma=1.7$  とすれば

$$F_{II}(\gamma)_0 = 0.282$$

従つて第 1 働輪の下の彎曲力率は (3) 式に依り

$$F_{II}(\gamma)_0 a W = 0.282 \times 76.2 \times \frac{13.16}{2}$$

次に第 2 働輪が第 1 働輪の下に及ぼす影響は導輪に於けると同様にして第 14 圖より求むるものにして

$$x = 2\alpha, \quad \gamma = 1.7 \quad \text{の時} \quad \mu = -0.047 \quad \text{なり。}$$

故に

$$\mu a W = -0.047 \times 76.2 \times \frac{13.16}{2}$$

以下同様にしてこれ等を合算すれば最大彎曲力率  $M_0$  を得。

即ち	$M_0 = -0.013 \times 76.2 \times \frac{7.62}{2}$	導 輪
	$+ 0.282 \times 76.2 \times \frac{13.16}{2}$	第 1 働輪
	$- 0.047 \times 76.2 \times \frac{13.16}{2}$	第 2 働輪
	$- 0.001 \times 76.2 \times \frac{13.41}{2}$	第 3 働輪
	$+ 0.0011 \times 76.2 \times \frac{13.00}{2}$	第 4 働輪
	$= 114.088 \text{ kg/cm}$	

軌條底に對する斷面係数は  $116 \text{ cm}^3$  なるを以て軌條底應力は

$$\sigma_{\gamma_0} = \frac{114.088}{116} = 985 \text{ kg/cm}^2$$

これ即ち靜荷重に對する軌條底垂直彎曲應力なり。

速度 60 km/h の場合撃衝率は (24 a) 式を用ひ

$$i = \frac{1}{100} V = \frac{60}{100}$$

従つて運轉時に於ける軌條底垂直彎曲應力は

$$\sigma_r = \sigma_{r_0}(1+i) = 985 \left(1 + \frac{60}{100}\right) = 1575 \text{ kg/cm}^2$$

2) 軌條壓力 最大軌條壓力の起る位置も亦計算に依りて定むるを要す。この場合第 3 働輪が 1 枕木直上に來れる時、この枕木上に生ずるを以て第 13 圖に示す軌條壓力影響線に於て第 3 働輪を座標原點に置き各車輪が第 3 働輪の下の枕木に及ぼす影響を圖上より求め合計すること彎曲力率の場合と全く同様の方法によるものとす。第 3 働輪の影響は第 9 圖の沈下係數より求むるを可とす。上記兩圖表及び (5), (11) 式を利用し最大軌條壓力  $P_0$  を計算するに

$$\begin{aligned} P_0 &= +0.0006 \times \frac{7.62}{2} && \text{導 輪} \\ &-0.0146 \times \frac{13.16}{2} && \text{第 1 働輪} \\ &+0.0395 \times \frac{13.16}{2} && \text{第 2 働輪} \\ &+0.482 \times \frac{13.41}{2} && \text{第 3 働輪} \\ &+0.0395 \times \frac{13.00}{2} && \text{第 4 働輪} \\ &+0.0009 \times \frac{11.79}{2} && \text{第 1 炭水車輪} \\ &= 3.66 \text{ ton} \end{aligned}$$

速度 60 km/h の場合 (24 b) 式により撃衝率は

$$i = \frac{0.6 \times 60}{100} = \frac{36}{100}$$

従つて  $P = P_0(1+i) = 3.66 \times \left(1 + \frac{36}{100}\right) = 4.98 \text{ ton}$

3) 路盤壓力 軌條壓力を知れば第 13 圖に依りて最大路盤壓力  $p$  を計算し得るなり。同圖に於て道床厚さを 15 cm とすれば

$$P_0 = 0.455 \text{ kg/cm}^2$$

(23) 式に依り

$$p = 0.455 P \text{ kg/cm}^2, \quad P = \text{軌條壓力 (ton)}$$

静止の場合

$$P = 3.66 \text{ ton}, \quad p = 0.455 \times 3.66 = 1.66 \text{ kg/cm}^2$$

速度 60 km/h の場合

$$P = 4.98 \text{ ton}, \quad p = 0.455 \times 4.98 = 2.26 \text{ kg/cm}^2$$

B.  $c = 13 \text{ kg/cm}^2$  の場合

B の値は前例と同一なり。第 6 圖の曲線に於て  $c = 13$  とすれば



$$K=0.0199, \quad [\gamma_p]=0.545$$

なるを以て

$$D = \frac{13 \times 20.32}{0.0199 \times 0.545} = 24\,400 \text{ kg}, \quad \gamma = \frac{17\,300}{24\,400} = 0.71$$

1) 最大軌條壓力 最大軌條壓力は第 3 働輪が枕木直上にあるときこの枕木に生ず。前例と全く同様にして最大軌條壓力  $P_0$  を計算すれば

$$\begin{aligned} P_0 &= -0.0042 \times \frac{13.16}{2} && \text{第 1 働 輪} \\ &- 0.005 \times \frac{13.16}{2} && \text{第 2 働 輪} \\ &+ 0.58 \times \frac{13.41}{2} && \text{第 3 働 輪} \\ &- 0.005 \times \frac{13.00}{2} && \text{第 4 働 輪} \\ &+ 0.003 \times \frac{11.79}{2} && \text{第 1 炭水働輪} \\ &= 3.77 \text{ ton.} \end{aligned}$$

速度 60 km/h の場合

$$P = 3.77 \left( 1 + \frac{36}{100} \right) = 5.14 \text{ ton}$$

2) 枕木上面平均支壓力 タイ・プレートを使用せざる場合の枕木上面の平均支壓力は (21) 式により

$$\text{静止の場合} \quad \sigma_{b_0} = \frac{P_0}{bL} = \frac{3\,770}{20.32 \times 10.8} = 17.2 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{速度 60 km/h の場合} \quad \sigma_b = \frac{5\,140}{20.32 \times 10.8} = 23.4 \text{ kg/cm}^2$$

3) 枕木彎曲應力 枕木の最大彎曲力率は (19) 式に示す如く

$$\text{静止の場合} \quad M_{r_0} = \frac{P_0}{2K} [\mu_p] = \frac{3.77}{2 \times 0.0199} \times 0.41 = 38.8 \text{ ton} \cdot \text{cm}$$

$$\text{速度 60 km/h の場合} \quad M_r = \frac{P}{2K} [\mu_p] = \frac{5.14}{2 \times 0.0199} \times 0.41 = 53.0 \text{ ton} \cdot \text{cm}$$

枕木の斷面係数を  $S_t$  とすれば

$$S_t = \frac{20.32 \times 13.97^2}{6} = 662 \text{ cm}^3$$

故に彎曲應力は

$$\text{静止の場合} \quad \sigma_{t_0} = \frac{M_{r_0}}{S_t} = \frac{38\,800}{662} = 58.5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{速度 60 km/h の場合} \quad \sigma_t = \frac{M_r}{S_t} = \frac{53\,000}{662} = 80.0 \text{ kg/cm}^2$$

而して  $c=5$  の場合の枕木彎曲力率と比較するに

$$\begin{aligned} c=5 \text{ のときは} \quad & P_0 = 3.66 \text{ ton}, \quad P = 4.98 \text{ ton} \\ & K = 0.0157, \quad [\mu_p] = 0.34 \end{aligned}$$

故に彎曲力率は

$$\text{静止の場合} \quad M_{r0} = \frac{3660}{2 \times 0.0157} \times 0.34 = 39.7 \text{ ton. cm}$$

$$\text{速度 60 km/h の場合} \quad M_r = \frac{4980}{2 \times 0.0157} \times 0.34 = 54.0 \text{ ton. cm}$$

従つて彎曲應力は

$$\text{静止の場合} \quad \sigma_{t0} = \frac{39700}{662} = 60 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{速度 60 km/h の場合} \quad \sigma_t = \frac{54000}{662} = 81.5 \text{ kg/cm}^2$$

即ちこの場合は  $c=5$  の時枕木彎曲應力大なり。

4) 道床壓力 (19) 式に依り最大道床壓力は

$$\text{静止の場合} \quad p_{r0} = c \frac{P_0}{D} = 13 \times \frac{3770}{24400} = 2.0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{速度 60 km/h の場合} \quad p_r = C \frac{P}{D} = 13 \times \frac{5140}{24400} = 2.7 \text{ kg/cm}^2$$

### C. 許容速度

以上の計算の結果を一括すれば次の如し。

	$V=0 \text{ km/h}$	$V=60 \text{ km/h}$	許容限度
軌條底垂直彎曲應力	985	1575	2000
枕木上面平均支壓力	17.2	23.4	20~25
枕木彎曲應力	60	81.5	100~120
道床壓力	2.0	2.7	3.0~4.5
路盤壓力	1.66	2.26	2.2~2.5

(單位  $\text{kg/cm}^2$ )

今應力の許容限度を

枕木上面平均支壓力	25 $\text{kg/cm}^2$
枕木彎曲應力	120 //
道床壓力	3.0 //
路盤壓力	2.3 //

とし (25a) 及び (25b) 式に依りて機關車の許容速度を計算するに路盤壓力に依る制限速度最小なり。即ち許容速度を  $V$  とすれば

$$V = \left( \frac{2.2}{1.66} - 1 \right) \times \frac{100}{0.6} = 54 \text{ (km/h)}$$