

## 論 説 報 告

第十八卷第十二號 昭和七年十二月

## 長 尺 軌 條 に 就 て

會 員 工 學 士 堀 越 一 三

## Study on the Long Rail

By Ichizo Horikoshi, C. E., Member.

## 内 容 梗 概

本文は、第十八卷第十二號に登載せる著者の“軌條標準長に就ての調査”に於て最も適當であるとして決定した長尺軌條(長 25 米及 20 米)を敷設した軌道の安全程度を確め、之が保守費に及ぼす影響を推察し、長尺軌條輸送に關する二三の問題を研究したものである。

## 1. 軸壓力による軌條の彎曲

## (1) 軌條の受ける軸壓力

軌道に敷設された軌條が温度の變化に従て伸縮せんとするとき軌條と繼目鉋の間及軌條と軌條支承體の間に摩擦力が作用し或程度まで自由伸縮を拘制する。軌道の構造が強固になる程此抵抗力は大になり軌條は大なる軸壓力を受けることになる。軌條の長が大でない時には、軌條は最高温度に達するまで自由に延伸し得る様な充分なる繼目遊間が与せられるのが現在迄の實際であつたが、長尺軌條を用ふる場合には此様な過大なる繼目遊間は與へられない。繼目遊間を制限し兩軌條端部の壓力により軌條の延伸を制限せねばならなくなる。繼目遊間は車輛走行に及ぼす不快、軌道の侵蝕、軌條割進等から考へて出来るだけ小にせねばならない。一方亦此爲に過大の軸壓力が起つてはならない。従て構造の強固でない軌道では此爲に軌條長が制限されることがある。

軌道が何程の軸壓力に對するかを實驗的に明にしたものに 1928 年以來 Carlsruhe で行はれた Ammann 及 v. Grünwaldt の實驗がある。<sup>(1)</sup> 此の實驗は、15 米軌條 3 本を繼いだ 45 米の 49 斤軌條を用ひて行つたのであつたが、各軌條 45~60 噸の壓軸力を受けても極めて微小の彎曲を示すに過ぎなかつた。軌條彎曲の反曲點間の距離は此場合約 7.5 米前後であつた。繼目ボルト及螺釘の締付を強固にすれば更に遙に之より大なる軸壓力に耐へた。此試驗軌道には鐵枕木又は普通の木枕木が用ひられ、軌條は全部螺釘で締付けられ、道床には碎石を用ひた。

軌條と繼目鉋の間の摩擦抵抗力  $(R)$ 、又は軌條が其長の方向に動かんとする時軌條支承體から受ける抵抗力  $r$ 、或は軌道上構の輻に移動せんとする時道床から受ける抵抗力  $g$  に關しては相當の實驗研究があるが、實驗に供した軌道の状態により又は許容された移動量の大小によつて其値は色々である。Ammann 及 v. Grünwaldt の實驗によると繼目ボルトがよく締められて居る時

$$(R) = 25 \sim 30 \text{ 噸}$$

一般に

$$r = 1.200 \text{ 斤/米}$$

<sup>(1)</sup> Ammann und v. Grünwaldt: Versuche über die Wirkung von Längskräften im Gleis. (Organ f. d. F. d. E., 1. Aug. 1928, 15. Juli 1929, 15. Nov. 1929).

特に大なる時  $r=1600$  屈/米  
 $g=1000$  屈/米

とすることが出来る。

其他, Wattmann は

$(R)=8\sim32$  屈  $r=3000$  屈/米

Baticle は

$(R)=10$  屈  $r=1000$  屈/米

v. Grünwaldt は

鐵枕木で  $r=1200$  屈/米,  $g=1200$  屈/米

普通の木枕木で  $r=800$  屈/米,  $g=800$  屈/米

を用ひて計算してゐる。我國に於ても之等の値は種々調査研究された。<sup>(1)</sup>

軌條縫目を出來るだけ少くする爲に普通の軌條を銲接した甚しく長い銲接軌條又は普通の長尺軌條の使用が漸次多くなつたから、この場合縫目遊間を比較的小にし軌條を拘制して自由伸縮を許さないことが行はれる様になつて軌條の彎曲移動に對する安定の問題が切實に研究された。Kaysor, Wöhler, Nemesek, Wattmann,<sup>(2)</sup> 其他の計算は古くからよく知られて居る所のものである。

(2) 彎曲移動に對する抵抗を考へざる場合

先づ軌條兩端に軸壓力が作用して軌條が彎曲せんとし、此彎曲移動に對して外部からの何等の抵抗力も作用せず、軸壓力と軌條自體の彎曲に對する反抗によつて安定の條件が決定されるものとする。

第一圖の様に兩端 AB に於る方向を同定された長  $l$  なる軌條が  $h$  なる軸壓力を受け圖の様に彎曲したとする。彎曲振幅を  $h$ 、其最大値を  $f$  とし、



$$y = f \sin^2 \frac{1}{l} \pi x \dots \dots \dots (1)$$

と置き、彎曲の爲に生じた兩端の移動量を  $\lambda$  とすれば

$$\lambda = \frac{1}{4l} f \cdot \pi^2$$

の關係がある。<sup>(3)</sup>

(1) 鐵道省業務研究資料第 10 卷第 21 號 (昭和 0 年 5 月 25 日) 及第 10 卷第 23 號 (昭和 0 年 6 月 10 日)

(2) Kaysor: Beitrag zur Berechnung des stoßlosen Gleises. (Organ f. d. E. d. E., 16. März. 1916)

Wöhler: Schienenschweißung auf der freien Strecke und Knicksicherheit der Eisenbahngleise. (Organ f. d. E. d. E., 15. Okt. 1927)

Nemesek: Die Ausdehnung der Schienen durch Wärme. (Organ f. d. E. d. E., 1. Aug. 1928)

Wattmann: Reibungskräfte im Langschienengleis. (Organ f. d. E. d. E., 15. Apr. 1930)

(3) v. Grünwaldt: Die Knicksicherheit des Rückenbojen Gleises. (Organ f. d. E. d. E., 15. Feb. 1931)

$\lambda$  によつて爲される仕事量は

$$A_a = P_0 \lambda$$

彎曲によつて爲される仕事量は

$$A_b = \frac{1}{2} EI \int_0^l \left( \frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx = \frac{4EI\pi^2 f^2 \pi^2}{l^2} \frac{4EI\pi^2}{4l} = \frac{4EI\pi^2}{l^2} \lambda, \dots \dots \dots (2)$$

但し

$E$ : 軌條鋼の弾性係數

$I$ : 軌條断面物量力率

$\lambda$  を generalised coordinate とし上記の兩計測量から generalised force を求めると

$$\frac{dA_a}{d\lambda} = P_0 \qquad \frac{dA_b}{d\lambda} = \frac{4EI\pi^2}{l^2}$$

従つて

$$\frac{4EI\pi^2}{l^2} \geq P_0$$

$$l \geq 2\pi \sqrt{\frac{EI}{P_0}} \dots \dots \dots (3)$$

てよれば彎曲は生じない。

各種軌條に就て  $l$  を計算すると次の様になる。但し  $P_0 = 30$  噸 とした。

軌 條	第 一 表 $l$ の 値 (米)	
	垂直方向に起る彎曲に對して	水平方向に起る彎曲に對して
50 RE	22.0	10.2
37 "	16.2	7.9
30 "	13.0	6.5

軌條の垂直彎曲又は水平彎曲に伴ふ移動に對して軌條の自重又は軌條支承體が抵抗を與へる場合を考へれば、軌條の彎曲に對する安全度は遙に之より高まる。

(3) 彎曲移動に對する抵抗を考へた場合

軌條の受ける軸壓力は軌條と繼目板の間の摩擦力、軌條と軌條支承體の間の摩擦力又は繼目に於て相接する軌條兩端の接觸壓力によるものである。従て軸壓力は軌條の長に沿ふて變化する。然し川砂利を用ひ犬釘を以て軌條と枕木とを締付けた我國の軌道に於て見られる様に、軌條と軌條支承體の間の摩擦抵抗力  $\mu$  の影響が小であるとすれば軸壓力の變化は無視し、軌條長に沿ふ軸壓力の平均値を以て軌條安定の問題を取扱つても差支へない。

長い軌條の一部の軸壓力の爲に彎曲移動し軌條の孕み出しが起つたとする。精密に考へると彎曲部分は彎曲の爲に最初  $P_0$  であつた軸壓力を減じ、

$$P_0 - \lambda \frac{EF}{L}$$

但し

$F$ : 軌條の斷面積

$L$ : 彎曲の影響により軌條縱移動の及ぶ長

となる。然し前述した様に軌條と軌條支承體の間の摩擦抵抗力  $\mu$  は小で且つ又軌條彎曲を (1) 式の様に

(2) Bloch: Die Stabilität des flüchellosen Gleises. (Organ f. d. E. d. E., 1. Mai. 1932)

$$y = f \sin^2 \frac{\pi x}{l}$$

とすれば

$$\lambda = \frac{f^2 \pi^2}{4l}$$

となり、例へば  $l=15$  米、 $\lambda=2$  秒に対しても  $f=11$  例となる。軌道に於て此様に大きい彎曲移動  $f$  を期待する必要はないから、軸壓力  $P_0$  は彎曲の前後を通じて終始一定であると考え、安全なる計算方法である。

任意の條軌の長  $l$  を取り前項の様に

$$y = f \sin^2 \frac{\pi x}{l}, \quad \lambda = \frac{f^2 \pi^2}{4l}$$

とし彎曲移動に対する抵抗力を  $g$  とすれば、軌條を彎曲する仕事量  $A_b$  は

$$A_b = \frac{1}{2} E_s J \int_0^l \left( \frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx = \frac{4 E_s J \pi^4 f^2 \pi^2}{l^3}$$

$g$  に対する仕事量  $A_h$  は

$$A_h = g \int_0^l y dx = \frac{1}{2} g l f$$

従て軌條を彎曲せしめんとする力の爲す仕事量  $A_0$  は

$$A_0 = P_0 \lambda - A_b = \left( P_0 - \frac{4 E_s J \pi^4}{l^3} \right) \frac{f^2 \pi^2}{4l} \dots \dots \dots (4)$$

彎曲に抵抗する仕事量は  $A_b$  である。

$f$  を generalised co-ordinate とし、 $A_0, A_b$  から generalised force を求める。

$$\frac{dA_0}{df} = \left( P_0 - \frac{4 E_s J \pi^4}{l^3} \right) \frac{f \pi^2}{2l}, \quad \frac{dA_b}{df} = \frac{1}{2} g l$$

従て安定の條件は

$$\frac{dA_0}{df} = \frac{dA_b}{df}$$

$$g = \left( P_0 - \frac{4 E_s J \pi^4}{l^3} \right) \frac{f \pi^2}{l} \dots \dots (5)$$

となる。  $g$  は  $l$  によつて第二圖の様に變化する。

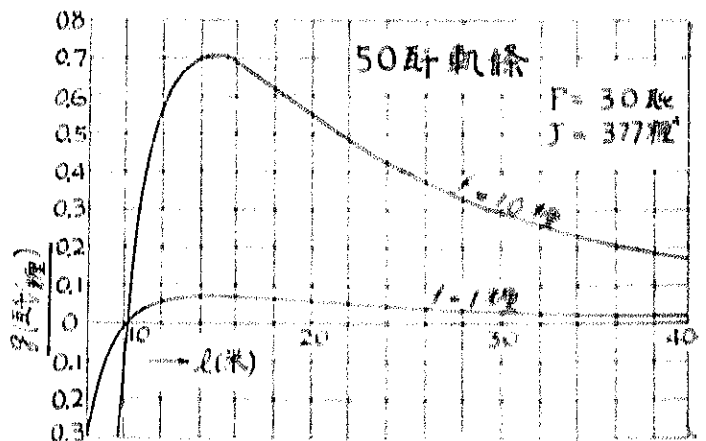
$l$  が如何なる時に  $g$  が最大となるか、換言すれば彎曲の最も生じ易い範圍及彎曲移動に抵抗する  $g$  の所要値を求むる爲

$$\frac{dg}{dl} = 0$$

とすると、

$$l = \sqrt{\frac{8 E_s J \pi^4}{P_0}} \quad |$$

第二圖



$$\left. \begin{aligned}
 \theta &= \frac{P_0^2 f}{10 EJ} \\
 \left(\frac{y}{f}\right) &= \frac{P_0^2}{10 EJ}
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

或は

となる。又此時の  $P_0$  は

$$P_0 = 4 \sqrt{EJ \left(\frac{y}{f}\right)} \dots\dots\dots (7)$$

である。必要なる  $y$  は  $P_0$  の自乗に比例して増加することが解る。

之迄は軌條が直線軌道上に敷設された場合を考へたのであるが、次に半徑  $R$  なる曲線軌道上に敷設された場合を考へる。

軌條彎曲を圓曲線を爲す軌道中心線に對し前の場合の様に

$$y = f \sin^2 \frac{\pi x}{l}$$

とすると

$$\lambda = \frac{1}{4l} \pi^2 f^2 + \frac{1}{2R} fl$$

となる。(6) 然る時は

$$A_h = \frac{1}{2} EJ \int_0^l \left(\frac{d^2 y}{dx^2}\right)^2 dx = \frac{4EJ \pi^2 f^2 \pi^2}{l^3} \frac{f^2}{4l}$$

であるから、(7)

$$A_h = P_0 \left( \frac{\pi^2 f^2}{4l} + \frac{fl}{2R} \right) - \frac{4EJ \pi^2 f^2 \pi^2}{l^3} \frac{f^2}{4l} \dots\dots\dots (8)$$

又

$$A_h = g \int_0^l y dx = \frac{1}{2} g lf$$

従て

$$\frac{dA_h}{df} = \left( P_0 - \frac{4EJ \pi^2}{l^3} \right) \frac{f \pi^2}{2l} + P_0 \frac{l}{2R} \qquad \frac{dA_h}{df} = \frac{1}{2} gl$$

から安定の條件は

$$g = \left( P_0 - \frac{4EJ \pi^2}{l^3} \right) \frac{f \pi^2}{2l} + \frac{P_0}{R} \dots\dots\dots (9)$$

となる。

( $dl/dl$ ) = 0 から最も起り易い彎曲の長  $l$  及彎曲移動に對する抵抗力の所要値  $g$  を求めると

$$l = \sqrt{\frac{8EJ \pi^2}{P_0}}$$

(6) v. Grünwaldt: Angenäherte Berechnung der Knicksicherheit eines gekrümmten lückenlosen Gleises. (Organ f. d. F. d. E., 1. Juli 1931)

(7) 直線の軌條を弾性限度内に於て曲線軌道に敷設した場合には

$$A_h = \frac{1}{2} EJ \int_0^l \left( \frac{2\pi f}{l} \cos \frac{2\pi x}{l} + \frac{1}{R} \right)^2 dx = \frac{1}{2} EJ \left( \frac{2f^2 \pi^4}{l^3} + \frac{l}{R^2} \right)$$

$$g = \frac{P_0 f}{16EJ} + \frac{P_0}{R} \dots\dots\dots (10)$$

或は

$$\left( \frac{g}{f} \right) = \frac{P_0 f}{16EJ} + \frac{P_0}{Rf}$$

となる。又此時の  $P_0$  は

$$P_0 = 8EJ \left\{ \sqrt{\frac{1}{4EJ} \left( \frac{g}{f} \right) + \left( \frac{1}{Rf} \right)^2} - \frac{1}{Rf} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

である。

軌條と軌條支承體の間の摩擦抵抗力  $r$  が甚だ大であれば、軌條長に沿ふ軸力の變化を如實に計算に取らなければならぬ。Batielo は之をフリエーの級数で示し簡単に計算してゐる。(9)

(4) 軌條内抵抗力と  $l$ ,  $(g/f)$ ,  $P_0$  の値

我國の川砂利を敷き大釘を用いた普通の軌道で、軌條と軌條支承體の間の摩擦抵抗力  $r$  は種々であるが、大釘の弛緩した場合には約 100 觔/米、大釘の可成り締つてゐる時も約 250 觔/米であることが實驗された。又軌條と繼目飯の間の摩擦抵抗力 ( $R$ ) は 3~20 觔のものが多いが、30 觔 或は夫以上のものもある。

今  $P_0 = 15$  觔 又は 30 觔、 $R = 300$  米とし、(6) 式、(10) 式を用ひ、50 觔、37 觔、30 觔の各軌條に就て  $l$  及  $(g/f)$  を計算すると次の様になる。

第二表

$P_0 = 15$  觔の場合

彎曲移動 軌條	垂直方向			水平方向			
	50 觔	37 觔	30 觔	50 觔	37 觔	30 觔	
直線	$l$ (米)	43.9	33.4	25.9	20.4	15.8	13.0
	$\left( \frac{g}{f} \right)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0038	0.0070	0.0110	0.0178	0.0295	0.0441
曲線 半徑 300 米	$l$ (米)				20.4	15.8	13.0
	$\left( \frac{g}{f} \right)$ (kg/cm <sup>2</sup> )				$0.0178 + \frac{1}{2f}$	$0.0295 + \frac{1}{2f}$	$0.0441 + \frac{1}{2f}$

$P_0 = 30$  觔の場合

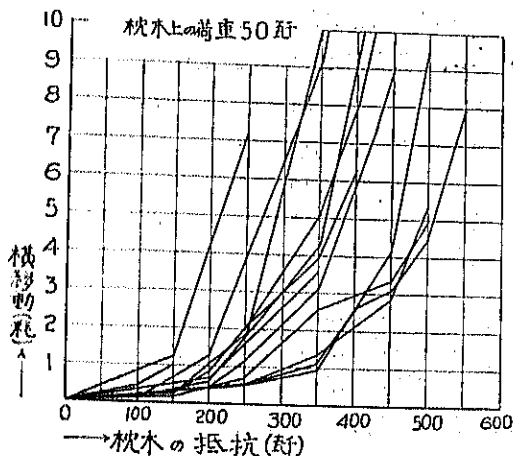
彎曲移動 軌條	垂直方向			水平方向			
	50 觔	37 觔	30 觔	50 觔	37 觔	30 觔	
直線	$l$ (米)	31.0	22.9	18.3	14.4	11.2	9.3
	$\left( \frac{g}{f} \right)$ (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0154	0.0281	0.0441	0.0710	0.1180	0.1763
曲線 半徑 300 米	$l$ (米)				14.4	11.2	9.3
	$\left( \frac{g}{f} \right)$ (kg/cm <sup>2</sup> )				$0.0710 + \frac{1}{f}$	$0.1180 + \frac{1}{f}$	$0.1763 + \frac{1}{f}$

軌道上横移動に對する抵抗  $g$  を求むる爲に各地の線路に於る多數の枕木の横移動とその抵抗力の關係を測定したのが第三圖である。道床は精選砂利に軌道は多くは普通の狀態にあつた。横引力が増すと従て横移動は急激に増加した。大體 10 觔前後の横移動の際最大抵抗力約 600 觔を用し之以上の横引

(9) Batielo: La longueur des rails. (Le Génie Civil, 2. Avr. 1932)

力には抵抗し得ない。

第三圖 横移動に對する枕木の抵抗



依て 50 斤及 37 斤軌條を敷設した軌道で枕木中心間隔を 71.1 個, 30 斤軌條を敷設した軌道で枕木中心間隔を 70.9 個とし各軌條に對する抵抗力 ( $gf$ ) を出すと次の様になる。

第三表

50 斤及 37 斤軌條の場合

$f$ (個)	0.05	0.10	0.25	0.50	1.00	2.00	10.00
$(\frac{g}{f})$ (斤/個 <sup>2</sup> )	15.40	11.07	7.48	4.84	2.05	1.72	0.42

30 斤軌條の場合

$f$ (個)	0.05	0.10	0.25	0.50	1.00	2.00	10.00
$(\frac{g}{f})$ (斤/個 <sup>2</sup> )	14.43	10.89	6.93	4.51	2.70	1.61	0.39

又垂直方向の横移動に對する抵抗力  $g$  は軌條及枕木の自重であるから

50 斤軌條	$g=0.80$ 斤/米
37 斤軌條	$g=0.60$ 斤/米
30 斤軌條	$g=0.57$ 斤/米

である。

上に  $f_0=15$  個又は  $f_0=30$  個として計算したる ( $gf$ ) の値は此測定値より常に小である。逆に

$f=1$  個の横移動に對して

50 斤及 37 斤軌條では	$(gf)=2.95$ 斤/個 <sup>2</sup>
30 斤軌條では	$(gf)=2.70$ 斤/個 <sup>2</sup>

$f=10$  個の横移動に對して

50 疋及 37 疋軌條では  $(gf)=0.42$  疋/噸<sup>2</sup>  
 50 疋軌條では  $(gf)=0.39$  疋/噸<sup>2</sup>

$R=300$  米として (3) 式, (5) 式から  $P_0$  を計算すると次の様になる。

第 四 表 水平彎曲移動に對する  $P_0$ 。(噸)

軌 條	50 疋	37 疋	30 疋	
直 線	$f=1$ 噸	103.3	150.0	118.7
	$f=10$ 噸	72.0	50.0	44.0
曲 線 半徑 300 米	$f=1$ 噸	75.1	60.5	61.0
	$f=10$ 噸	54.8	45.3	30.0

又

$$g = \begin{cases} 0.80 & (50 \text{ 疋軌條}) \\ 0.66 & (37 \text{ 疋軌條}), \quad f=1 \sim 2 \text{ 噸} \\ 0.57 & (30 \text{ 疋軌條}) \end{cases}$$

として垂直方向の彎曲移動に對する  $P_0$  を出すと次の様になる。

第 五 表 垂直彎曲移動に對する  $P_0$ 。(噸)

軌 條	50 疋	37 疋	30 疋
$f=1$ 噸	216.5	145.3	107.8
$f=2$ 噸	153.1	102.7	70.2

此様に、枕木の横移動を測定して定めた  $(gf)$  から計算した  $P_0$  の値は可成り大きい。實際は軌道内の遊隙、軌道面の不陸、軌道の通りの狂ひ、軌條の恒久的彎曲或は道床の崩れ等によつて許容すべき  $P_0$  は之より小となる。直線部の  $P_0$  は曲線部の  $P_0$  より大であつてもよい。

次に軌條繼目部分の斷面を考へるに、垂直中心軸に對する軌條の斷面物量力率及水平中心軸に對する軌條の斷面物量力率を  $J_v$  及  $J_h$  とすれば、2 枚の繼目釘の尖に相當する斷面物量力率は夫々約  $2.3 J_v$  及  $0.3 J_h$  である。従て繼目遊隙の影響を除けば水平方向の彎曲移動に對しては軌條繼目は充分の強度を有し、垂直方向の彎曲移動に對しては前述の  $P_0$  に對して少くとも

$$\sqrt{0.3} P_0 = 0.55 P_0$$

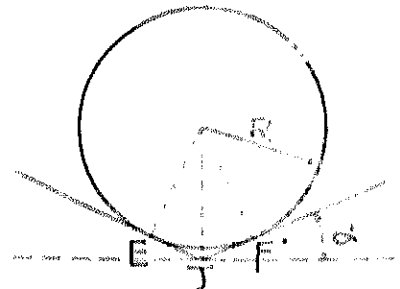
の軸壓力以上の壓力に耐へることを知る。

此繼目部分の缺點と、其他の軌道の不陸及軸壓力の多少の變化（繼目附近で小く軌條長の中央で最大）等を考慮し、我國の軌道にあつては軌條端に加ふる軸壓力を 50 疋軌條で 35 噸、37 疋軌條で 25 噸、30 疋軌條で 20 噸以下に制限すれば充分安全である。

(B) 軌條の伸縮と繼目遊間

從來軌條は温度の變化に應じて自由に伸縮し得るものとし之に對して充分なる繼目遊間を附した。軌條が比較的短い場合には此方法によつても不都合はないが、軌條が長くなると之では過大の繼目遊間を與へることになり車輛の走行に對して好ましくない。事實軌條と繼目釘との間の摩擦抵抗力及軌條と軌條支承體との間の摩擦抵抗力によつて軌條の自由伸縮は可成り拘制されるから、繼目遊間は從來

第 四 圖





のものより小くても足る。

第四圖の様に半径  $R$  なる車輪が繼目上に乗る場合軌條端  $EJ$  又は  $FJ$  の傾斜を  $\alpha$  とする。E 及  $F$  を車輪と軌條との接点とするに、繼目遊間が  $EF$  より小であれば特に繼目遊間の爲の衝撃は生じない。従て温度の變化によつて繼目遊間が擴大した場合でも  $EF$  より小であることを理根とする。之が繼目遊間の標準である。軌條端の傾斜  $\alpha$  は普通 0.004 以下である。而して

$$EF = 2\alpha R$$

であるから客、貨車の様に  $R=430$  耗とすると

$$EF = 3.5 \text{ 耗}$$

貨物列車用機關車の一例として  $R=700$  耗とすると

$$EF = 5.6 \text{ 耗}$$

旅客列車用機關車の一例として  $R=875$  耗とすると

$$EF = 7.0 \text{ 耗}$$

となる。

空氣の温度は1年を通じ約  $60^\circ\text{C}$  に近い變化がある。軌條の温度は日光直射の下で午後1時前後に於て空氣の温度より  $20^\circ\text{C}$  高いから、軌條の温度の變化を  $80^\circ\text{C}$  とし、 $-15^\circ\text{C}$  から  $+65^\circ\text{C}$  に變化するものとする。<sup>(1)</sup>

軌條の最大伸張  $\epsilon$  は、 $l$  を軌條の長、 $t$  を温度の變化、 $\beta$  を線膨脹係數、 $F$  を軌條断面とすれば

$$\epsilon = 2 \int_0^l \left\{ t - \frac{(R) + \left(\frac{1}{2}l - x\right)r}{2\beta F} \right\} \beta dx = \beta lt - \frac{(R)l + \frac{1}{4}rl^2}{EF} \dots\dots\dots(12)$$

である。

第五圖 温度應力

軌條 50 疋 25 米

種々の軌道に敷設された軌條が種々複雑した温度の變化を受ける場合の軌條の伸縮は Wattmann の圖式法によるのが極めて簡明である。<sup>(2)</sup>

長 25 米の 50 疋軌條を敷設した軌道を考へ

$$(R) = 10 \sim 40 \text{ 疋}$$

$$r = 100 \sim 1200 \text{ 疋/米}$$

の色々の場合を考へる。

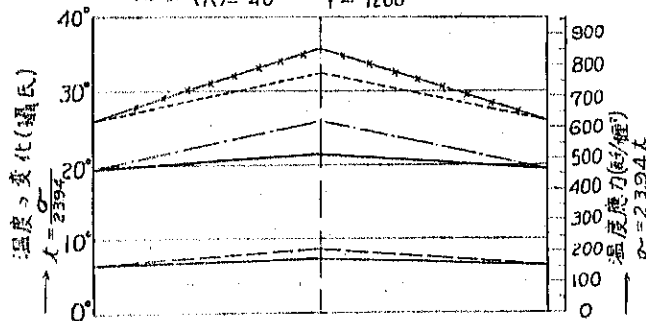
斯る軌條に生ずる最大温度應力  $\sigma_m$

は

$$\sigma_m = \frac{2(R+r)}{2F}$$

であるので  $\beta=0.0000114$  とし、 $\sigma_m$  を

- (R) = 10 疋 Y = 100 疋/米
- (R) = 10 " Y = 250 "
- (R) = 30 " Y = 250 "
- (R) = 30 " Y = 800 "
- (R) = 40 " Y = 800 "
- (R) = 40 " Y = 1200 "



(1) 鐵道省業務研究資料第 10 卷第 33 號 (昭和 8 年 9 月 10 日)

(2) Wattmann: Wittemwirkungon im Langschienenbau. (Organ f. d. F. d. E., 15. Mai 1928)

生ぜしむるに要する温度の變化を  $t_m$  とすれば

$$t_m \cong \frac{2(R) + r l}{47.88 F}$$

である。第五圖は之等の關係を示したものである。

次に此 25 米 50 疋軌條が軌條温度 10°C の時に軌道に敷設され、軌條温度が +15°C から -15°C に變化したとする。其時の軌條伸縮状態を Wattmann の方法によつて求めたのが第六圖である。之によると必要な欄目遊間  $e$  は

(R)=0, r=0 即ち自由に伸縮する時は

$$e = 23 \text{ 疋}$$

(R)=10 疋, r=100 疋/米の時は

$$e = 19 \text{ 疋}$$

(R)=10 疋, r=250 疋/米の時は

$$e = 18 \text{ 疋}$$

(R)=30 疋, r=250 疋/米の時は

$$e = 11 \text{ 疋}$$

(R)=30 疋, r=800 疋/米の時は

$$e = 10 \text{ 疋}$$

(R)=40 疋, r=800 疋/米の時は

$$e = 6 \text{ 疋}$$

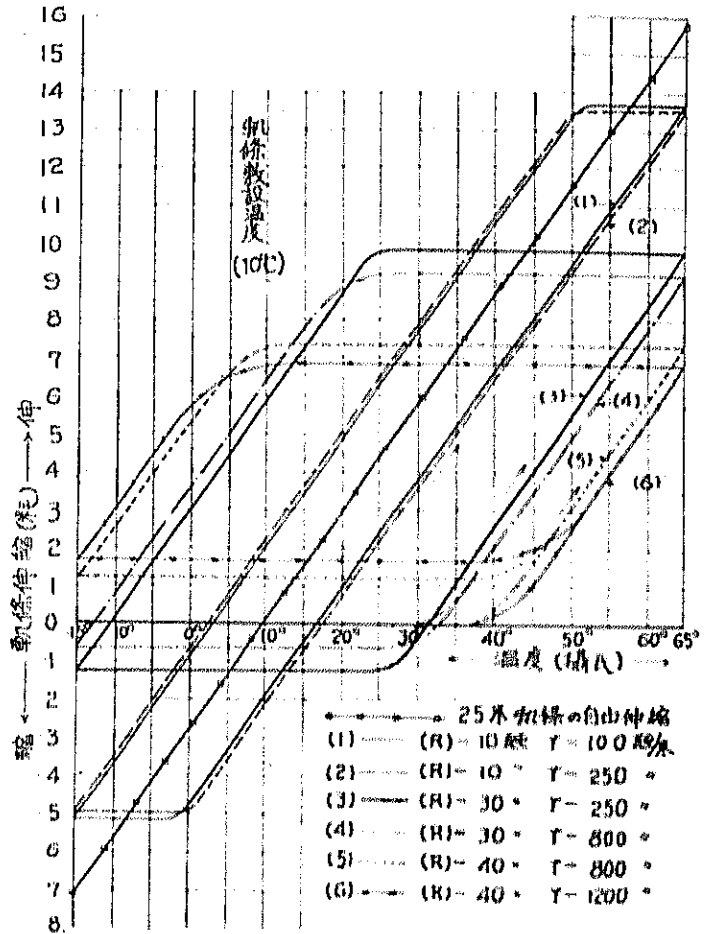
(R)=40 疋, r=1200 疋/米の時は

$$e = 5 \text{ 疋}$$

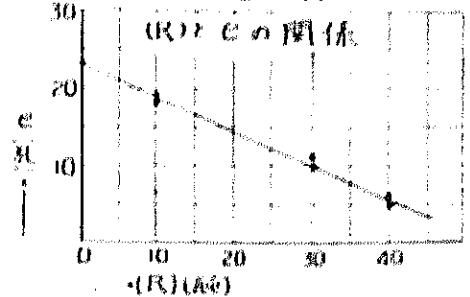
である。此伸縮には  $r$  より (R) の關係することが大である。第七圖は此計算から  $e$  と (R) の關係を示したものである。(R)=40 疋とする時は  $e$  は前述の機關車の車輪と欄目遊間の關係から定めた遊間の最大値  $e_{max}$  の範圍内に入る。然し軌條と欄目鉄の間の摩擦抵抗力のみで (R)=35~40 疋と云ふ様な大なる力を一般的に出すことは困難であるから、實際は相對する軌條端の間の接觸壓力が之に加はつて作用するものと考へてよい。軌道に敷設された欄目には車輪の衝撃が加はるから欄目の (R) は衝撃によつて小となる。Thiele, v. Grunewaldt は之を考慮して常に (R)=10 疋とした。

列車を頻繁に通す我國の軌道に敷設した 37 疋及 50 疋の長 25 米に近い軌條に就て温度の變化による伸びを實測し 25 米軌條の伸びを求めたのが第八圖である。但し欄目遊間が充

第六圖 25 米軌條の伸縮



第七圖



分で軌條兩端が接觸しない場合であつて繼目ボルトは 1000 疋程以下のトルクで締められてあつた。

軌條の溫度  $T$  と大氣の溫度  $t$  の間には、日光直射の下に於ける最高溫度  $T=50^{\circ}\text{C}$  迄測定した結果

$$T-t=1+\frac{R}{10} \dots\dots (13)$$

の関係がある。従て軌條溫度と大氣の溫度との関係を 第八圖の様にし、軌條溫度に對する軌條の伸びを求めることが出来る。之と軌條が自由に延びる場合とを比較し第六圖を参照するに、概略

$$(R)=10 \text{ 疋}$$

内外であることを知る。然し  $(R)$  は静止状態に於ては 30 疋以上に達するものもある。之が爲、與へられた繼目の遊間が大であれば實際の軌條伸縮は一般に第六圖の計算値より大となる。然し  $(R)$  の代りに相對する兩軌條端の間の接觸壓力が作用しても差支へないのであるから、軌條延伸の場合には繼目遊間さへ小とすれば  $(R)$  の大なる場合と同結果が得られる。但し溫度が低下し軌條短縮の場合には此爲に常に第六圖の計算値以上に繼目遊間は 大となる。斯る場合には軌條と枕木の締付け、道床材料又は鋪進止等の改善により抵抗力  $r$  を大にし、多少にても之を防止することが出来る。

何れにしても 50 疋軌條  $(R)=35$  疋を標準にせんとすれば、軌條が自由に伸縮するものと假定した場合より遊間を約 7 疋縮少して 25 米軌條を敷設することが出来る。但し斯る場合には溫度の高低により保線作業の時期を制限されることが多くなる。

又第六圖から明である様に、敷設當時の軌條溫度は  $2\sim 7^{\circ}\text{C}$  の間にある場合が最も都合がよい。

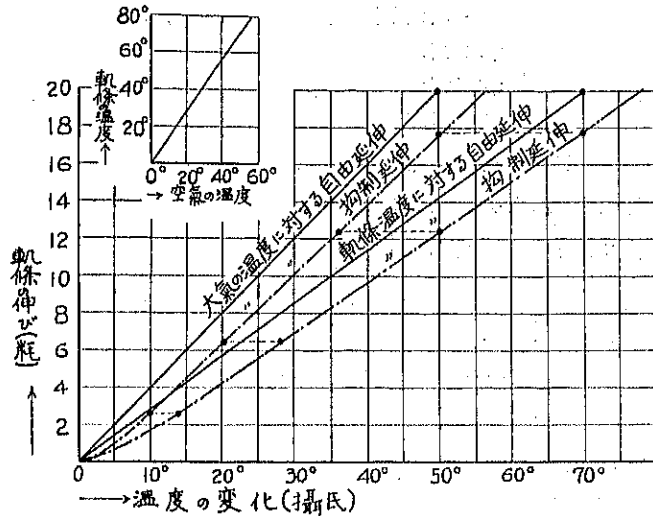
### 2. 軌條の長と軌道保守費

軌道の保守費は之を類別すれば多数となるが其内でも道床の維持は最も多くの保守勞力を要するものである。軌道延長 1 米當の保守費を見ると繼目附近に於けるものは軌條中間部に於けるものより大である。従て長尺軌條を用ひて繼目の數を減ずれば軌道保守費も亦減ずることになる。次に在來の 10 米又は 12 米軌條を敷設した軌道と 20 米又は 25 米の長尺軌條を敷設した軌道との保守費の差を推算して見る。但し計算に用ふる多くの資料は 10 米又は 12 米軌條を敷設した軌道を調査して得られたものであるから、長尺軌條を敷設し、其繼目遊間を適當に制限して車輛の振動を減じ其走行を平滑にすることを得れば或は之以上の保守費の減額を來すかも知れない。

#### (1) 軌道の恒久沈下

軌道は列車荷重を受けて次第に沈下する。特に繼目附近では車輪の衝撃が大である爲に普通部分に比して恒久沈下が大である。京濱列車線に於て通過回數と各枕木の恒久沈下との関係を實測した。繼目枕木から數へて順次

第 八 圖



各枕木の沈下を  $y_1, y_2, y_3, y_4, \dots$  とし、通過軸数を  $x$  とすると

$$\begin{aligned} \text{第一枕木(綴目枕木)} & y_1 = 0.3 + 1.05x \\ \text{第二枕木} & y_2 = 0.0 + 1.10x \\ \text{第三枕木} & y_3 = 0.0 + 0.66x \\ \text{第四枕木以上} & y_4 = 0.0 + 0.53x \end{aligned}$$

但し  $y$  の單位は耗,  $x$  の單位は 1000 000 輛

となつた。 $y_4$  以上は  $y_3$  に等しい。

約 2 箇月の期間を考へ  $x=2$  とすると

$$y_1 = 10.3 \text{ 耗}, \quad y_2 = 8.3 \text{ 耗}, \quad y_3 = 7.3 \text{ 耗}, \quad y_4 = 7.1 \text{ 耗}$$

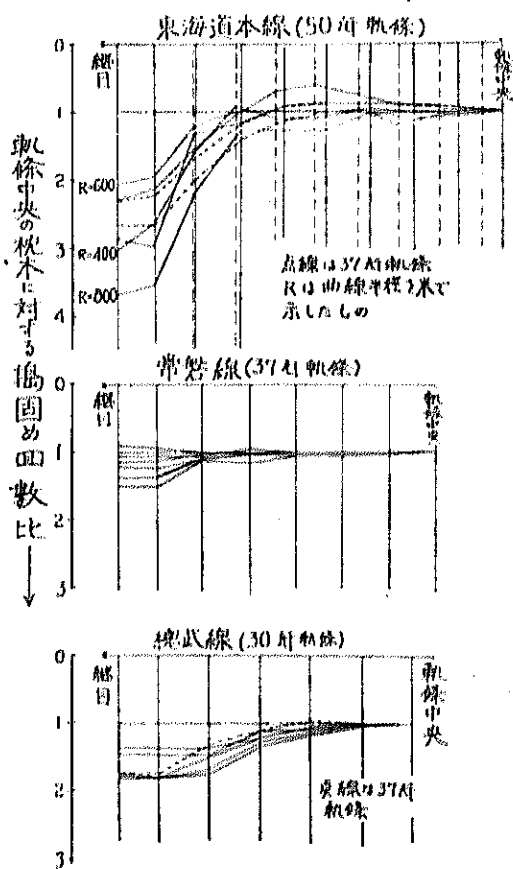
之等の比を取れば

$$y_1/y_4 = 1.44, \quad y_2/y_4 = 1.17, \quad y_3/y_4 = 1.03$$

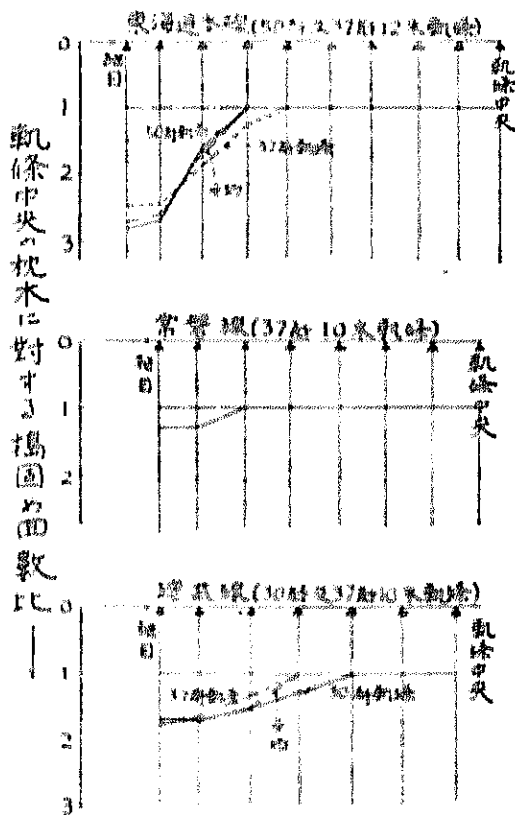
(2) 道床搗固め數

軌道は恒久沈下を受け不陸を生ずるから常時道床を搗固めて之を修正する。綴目附近の中間部分に比して恒久沈下を受けることが大であるから搗固め回数も亦大にしなければならない。此搗固め回数の相違は軌道を保守する

第九圖



第十圖



程度によつて異り、許容する不陸の量を小にする程大となる。軌道成績調査區域の軌道に於て1年間に各枕木に就て行ふ搦固め回数調査の結果第九圖の様になつた。各回の搦固めには大差はない。之によると枕木別搦固め回数は繼目に近い枕木显著しく大であつて、繼目の左右 3~4 挺の枕木に對する搦固め回数は他の枕木に對するものより明に大となつてゐる。

各軌道成績調査區域に於ける實測値の平均を取ると第十圖の様になる。東海道本線と其他の線に於ける測定値の間には著しい差がある。従て前者を A 線とし後者を一括して B 線とし區別して取扱ふことにする。従て各枕木の搦固め回数比は次の様になる。

第六表

枕 木		第一枕木	第二枕木	第三枕木	第四枕木以上
A 線	1年間の搦固め回数	9.4	9.1	5.9	3.5
	同上 比	2.7	2.6	1.7	1.0
B 線	1年間の搦固め回数	9.0	9.6	8.4	5.6
	同上 比	1.7	1.7	1.5	1.0

(3) 長尺軌條を敷設した軌道の保守勞力費

繼目附近及中間部分の枕木 1 挺當の軌道保守勞力費は長尺軌條、普通軌條共に等しく、搦固め數量の分布は前表の如くであるとして、長尺軌條と普通軌條を敷設した軌道の道床搦固めによる保守勞力費の比を出すと次の様になる。但し 50 挺及 37 挺の長尺軌條は長 25 米で之に 30 挺の枕木を配し、30 挺の長尺軌條は長 20 米で之に 27 挺の枕木を配するものとする。

$$\begin{aligned}
 \text{A 線} & \quad \frac{[25 \text{ 米} \cdot 30 \text{ 挺}]}{[12 \text{ 米} \cdot 18 \text{ 挺}]} = 0.81 \\
 \text{B 線} & \quad \frac{[25 \text{ 米} \cdot 30 \text{ 挺}]}{[10 \text{ 米} \cdot 15 \text{ 挺}]} = 0.85 \\
 & \quad \frac{[20 \text{ 米} \cdot 27 \text{ 挺}]}{[10 \text{ 米} \cdot 14 \text{ 挺}]} = 0.87
 \end{aligned}$$

此勞力費は全體の軌道保守勞力費の約 50% で、此他は軌條の長尺、普通の別に拘らず略不變であると考えてもよいから、長尺軌條を敷設した軌道の保守勞力費は普通軌條を敷設した軌道の保守勞力費の

$$\left. \begin{aligned}
 \text{A 線} & \quad 0.81 \times 0.5 + 0.5 = 0.91 \\
 \text{B 線} & \quad 0.85 \times 0.5 + 0.5 = 0.92
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (14)$$

である。

(4) 長尺軌條を敷設した軌道の保守材料費

A. 軌條交換費

軌條交換勞力費及軌條の壽命は普通軌條と同額とし、唯長尺軌條では運賃の増額及繼目用品の減少を考慮すれば軌條交換費の比は

$$\left. \begin{aligned}
 & \quad \frac{[\text{長尺軌條}]}{[\text{普通軌條}]} = 1.04 \\
 \text{但し} & \quad 30 \text{ 挺軌條では } 1.05
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (15)$$

となる。

B. 軌條以外の材料費

(a) 枕木及砂利

枕木毀損及砂利補充量は軌條の恒久沈下に比例するものと見て各枕木に就て

$$\text{第一枕木} : \text{第二枕木} : \text{第三枕木} = 1.5 : 1.2 : 1.0$$

の比を示すものとすれば

$$\left. \begin{array}{l} [25 \text{ 米} \cdot 30 \text{ 挺}] = 0.03 \\ [12 \text{ 米} \cdot 18 \text{ 挺}] \\ [25 \text{ 米} \cdot 30 \text{ 挺}] = 0.01 \\ [10 \text{ 米} \cdot 15 \text{ 挺}] \\ [20 \text{ 米} \cdot 27 \text{ 挺}] = 0.02 \\ [10 \text{ 米} \cdot 14 \text{ 挺}] \end{array} \right\} \text{平均 } 0.02 \dots \dots (16)$$

(b) 繼目用品(繼目釘, ボルト, ナット)

長尺軌條を敷設した軌道では繼目数が普通軌條を敷設した軌道の 0.48~0.50 になるから

$$\left. \begin{array}{l} [\text{長尺軌條}] = 0.48 \sim 0.50 \\ [\text{普通軌條}] \end{array} \right\} \dots \dots (17)$$

(c) 其他

凡て普通軌條の場合と同類とする。

軌道保守材料費各種目の減少する割合は上の如くであるが普通軌條を敷設した軌道に於る各種目の割合は概略

第七表

軌條	50 挺	37 挺	30 挺
繼目用品	4%	4%	4%
枕木	54	56	55
砂利	14	15	18
犬釘	4	4	3
其他	24	21	20
計	100%	100%	100%

第七表の如くであるから、長尺軌條を敷設した軌道に於ては之に (16) 式、(17) 式を入れて第八表の如くなる。

第八表

軌條	50 挺	37 挺	30 挺
繼目用品	$4 \times (0.48 \sim 0.50) = 2\%$	$4 \times (0.48 \sim 0.50) = 2\%$	$4 \times (0.48 \sim 0.50) = 2\%$
枕木	$54 \times 0.02 = 1.08$	$56 \times 0.02 = 1.12$	$55 \times 0.02 = 1.10$
砂利	14	15	18
犬釘	4	4	3
其他	24	21	20
計	93%	92%	92%

即ち

$$\left. \begin{array}{l} [\text{長尺軌條}] = 0.03 (50 \text{ 挺}) \\ [\text{普通軌條}] = 0.02 (37 \text{ 挺}) \\ [\text{普通軌條}] = 0.02 (30 \text{ 挺}) \end{array} \right\} \dots \dots (18)$$

(d) 全材料費

普通軌條を敷設した軌道で軌條交換費と軌條以外の材料費との割合は第九表の如くであるから、之に (16) 式

第九表

軌條	50 庇	37 庇	30 庇
軌條交換費	28%	33%	33%
軌條以外の材料費	72%	67%	62%

(18) 式の結果を入れて長尺軌條を敷設した軌道と普通軌條を敷設した軌道保守材料費の比を出すと第十表となる。

第十表

軌條	50 庇	37 庇	30 庇
軌條交換費	28×104%	33×104%	33×105%
軌條以外の材料費	72×93%	67×92%	62×92%
計	96%	96%	97%

即ち、

$$\begin{cases} \text{〔長尺軌條〕} \\ \text{〔普通軌條〕} \end{cases} = \begin{cases} 0.96 (50 \text{ 庇}) \\ 0.96 (37 \text{ 庇}) \\ 0.97 (30 \text{ 庇}) \end{cases} \dots\dots\dots (19)$$

(B) 軌道保守費

以上の結果を總括すれば長尺軌條を敷設した軌道の軌道保守費は普通軌條を敷設した軌道の軌道保守費に對し

第十一表

	勞力費	材料費	材料費内訳	
			軌條	軌條以外
50庇及37庇軌條の軌道	91%	96%	104%	92~93%
30庇軌條の軌道	92	97	105	92

第十一表の如き割合となる。

第十一表の結果を用ひて長尺軌條を敷設した軌道の保守費を從來の普通軌條を敷設した軌道に於る統計から推算すれば第十二表の様になる。

第十二表 長尺軌條と普通軌條を敷設した軌道の軌道保守費の比較 (本線軌道 1 軒當年額)

軌條重量	保守勞力費		保守材料費		保守費		差額	
	普通軌條	長尺軌條	普通軌條	長尺軌條	普通軌條	長尺軌條	軒當	百分率(%)
50 庇	880	801	650	624	1 530	1 425	105	6.8
37 庇	929	845	782	751	1 711	1 596	115	6.7
30 庇	1 031	945	912	885	1 943	1 834	109	5.6

差額百分率は普通軌條を敷設した軌道に對するもの

3. 長尺軌條の輸送

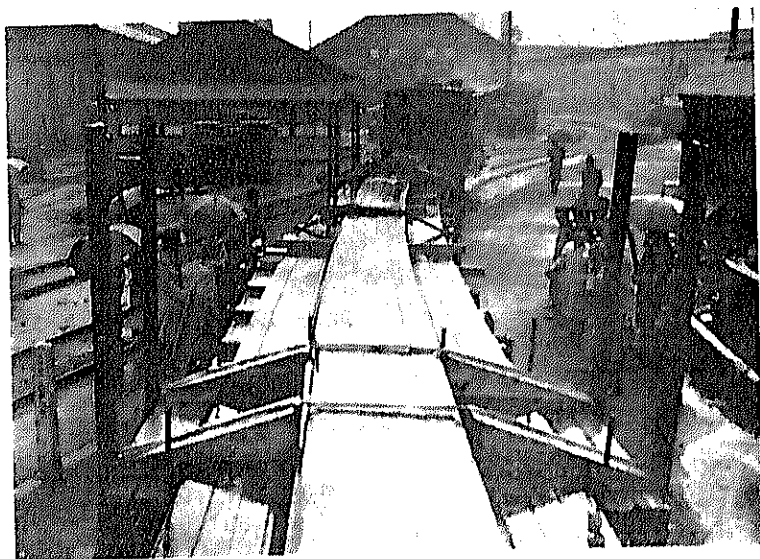
(1) 長尺軌條の輸送

長尺軌條は其輸送が困難なる爲に普及を阻止するゝ事が多かつた。鐵筋コンクリート工の進歩と共に益々長大なる鐵筋を要求するに至り、1920~1927 年頃 20 數米の鐵筋を貨車 2 輛に渡積に少しの危険もなく可成りの高速度を以て輸送したのが長尺材料列車輸送の最初である。軌條を曲線軌道に敷設する際豫め軌條を彎曲して置かなくても容易に之を曲線の曲率通りに敷設することが出来る。此考察の下に長尺軌條に就ても鐵筋と同様に列車輸送が試みられた。1920 年 25 米の橋梁上用長尺軌條を輸送したるを初めとし爾來獨逸に於ては 20 米、25 米、30 米、45 米、60 米を數輛の四輪車又はボギー車に渡積にしての輸送が盛に行はれ、半徑 180 米の分岐曲線上を 45

料/時の速度を以て走つて居る。其他の國に於ても夫々特殊の輸送方法が行はれて居る。(11)

我國の狭軌鐵道に於ても最初に製作せられたる 24 米の 50 斤軌條 41 本を長物車 (チキ) 2 輛に渡積し、各種の曲線を試験運轉した。最小曲線半徑は 100 米で其の運轉速度は 35 料/時であつた。又 360 米曲線では速度 58 料/時に達した。此他 37 斤の長尺軌條に就ても調査は行はれた。第十一圖は 24 米の 37 斤軌條 61 本を長物車 2 輛に渡積にしたものが六滯分岐曲線(曲線半徑 80 米)を低速度で通過して居る状態である。

第十一圖



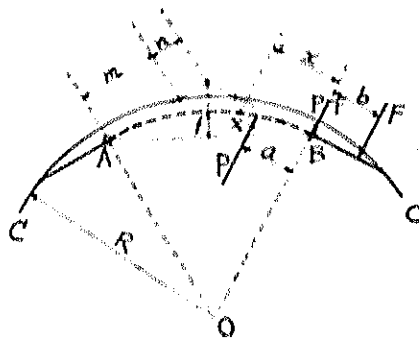
我國に於る軌條は又海上輸送せらるゝものも多い。24~25 米の軌條であれば目下の輸送船に於ても、港荷役の諸設備に於ても殆ど支障ないことが確められた。

(2) 長尺軌條を渡積にした貨車が軌道に及ぼす横推力

A. ポギー臺車の受ける横力

長尺軌條を渡積にした 2 輛の長物車が曲線軌道上に來た時長尺軌條は大曲線半径に彎曲するものとする。第十二圖に於て O を曲線軌道の中心とし、A 及 B を夫々 2 輛の長物車の長の中心とすれば積載軌條はこの 2 點で堅く締め付けられる。A 又は B とポギー中心間の距離を  $m$ 、ポギー中心と連結機の連結中心迄の距離を  $n$ 、曲線半徑を  $R$  とすれば、積載軌條の最大彎曲量  $f$  は

第十二圖



$$f = \frac{(m+n)^2}{2R} \dots\dots\dots (20)$$

である。長物車としてチキ 1000 形を取れば  $m=475$  脚、 $n=205$  脚であるから  $R=100$  米の時

$$f=23 \text{ 脚}$$

である。第十二圖に示した様な力が作用して此彎曲を生ぜしめたとする。然る時は任意の點 X に於る彎曲率  $V$  は

(11) Steinhagen: Zur Frage der Schienenlänge. (Organ f. d. F. d. E. 15. Aug. 1937)  
 Ernst Köhnelt: Neue Verladearten für langes Betonumleisen und lange Schienen. (Organ f. d. F. d. E. 1. Juli 1928)  
 Henry Hills: Long rails on the L. N. E. R. (The Railway Engineer, July 1931)  
 06-Fl rails prove successful on the Lehigh Valley. (Railway Age, 17. May 1930)



$$M = Fb + Pa, \quad (x < a \text{ に対して})$$

$$M = Fb + Pa, \quad (x > a \text{ に対して})$$

である。

$$-EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = M$$

であるから  $x = m + n$  に於る  $y$  即ち  $f$  は次の様になる。

$$y_{x=m+n} = f = \frac{1}{EJ} \left\{ (Fb + Pa) \frac{1}{2} (m+n)^2 - \frac{Pa^2}{b} \right\} \dots \dots \dots (21)$$

$P$  及  $F$  は軌條を受ける貨車上の横枕材が及ぼす横力  $P_1, P_2, \dots, P_n$  或は  $F_1, F_2, \dots, F_n$  の合力である。而して横枕材の間隔はチキ 1000 形では約 120 個である。第十三圖に示す様に  $P_1, P_2, \dots, P_n, F_1, F_2, \dots, F_n$  の各の大きさは  $(P-F)$  の作用點  $B$  からの距離に正比例するとすれば

$$P = 3.18 P_0, \quad F = 2.18 P_0, \quad P - F = 1.46 P_0$$

$$n = 405 \text{ 個}, \quad b = 380 \text{ 個}$$

となる。

37 疋軌條を積載して居るとすると  $J = 227 \text{ 個}^4$  であるから (21) 式によつて

$$f = 0.41 F$$

$f = 21$  個を入れると

$$F = 52.5 \text{ 疋}, \quad P = 76.6 \text{ 疋}$$

$$P - F = 24.1 \text{ 疋}$$

となる。37 疋軌條を 61 本積載したとすれば

$$\sum P = 61 F = 3201 \text{ 疋}, \quad \sum (P - F) = 61 (P - F) = 1469 \text{ 疋}$$

となる。

各長物車の車輪には此  $\sum P, \sum P$  及  $\sum (P - F)$  が作用するから之と釣合ふ爲にボギー中心から受ける力  $(R_1), (R_2)$  は(第十四圖)

$$(R_1) = 3593 \text{ 疋}, \quad (R_2) = -3593 \text{ 疋}$$

となる。但しボギー中心間隔は 1050 個である。従てボギー車に作用する力は

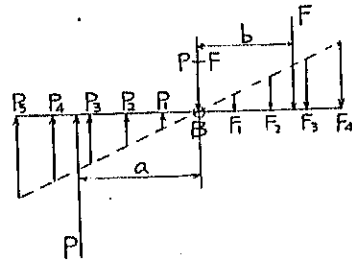
$$(R_1) = -3593 \text{ 疋}, \quad (R_2) = 3593 \text{ 疋}$$

である。

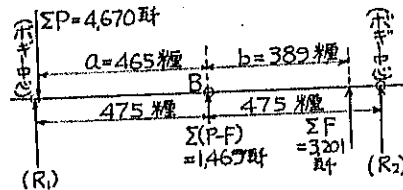
### B. 軌條の受ける水平力

軌條が車輪から受ける水平力を決定するには先ず曲線軌道上をボギー車が行く時曲線に對して取る位置を決定することが必要である。ボギー車の各輪重は一樣であるから  $[M]/(\mu W)$  曲線を引くと第十五圖の様な

第十三圖



第十四圖



但し

$$\frac{[M]}{\mu W} = \frac{\frac{s}{2} \left( \frac{\sigma R}{nr} - s \right)}{\sqrt{(a-x)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\sigma R}{nr} - s \right)^2}} + \frac{-2ax + \frac{s}{2} \left( \frac{\sigma R - a^2 + 2ax}{nr} - s \right)}{\sqrt{x^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\sigma R - a^2 + 2ax}{nr} - s \right)^2}} \dots (22)$$

$R=100$  米,  $a=175$  糎  
 $\sigma=5$  糎,  $s=115$  糎  
 $nr=800$ ,  $W=5348$  庇

である。又一方

$$\frac{[M]}{\mu W} = -\frac{[R]v_1}{\mu W} \dots (23)$$

$$v_1 = \frac{1}{2} a$$

であるから  $[M]$  に前記の  $[R_1]$  及  $[R_2]$  を入れると

$$[R]=[R_1]=-3593 \text{ 庇} \begin{cases} \mu = \frac{1}{4} \text{ ならば } \frac{[M]}{\mu W} = 235.1 \\ \mu = \frac{1}{8} \text{ ならば } \frac{[M]}{\mu W} = 470.3 \end{cases}$$

$$[R]=[R_2]=3593 \text{ 庇} \begin{cases} \mu = \frac{1}{4} \text{ ならば } \frac{[M]}{\mu W} = -235.1 \\ \mu = \frac{1}{8} \text{ ならば } \frac{[M]}{\mu W} = -470.3 \end{cases}$$

之と第十五圖の  $[M]/(\mu W)$  曲線との交りからボギー車の縦中心軸に垂直なる曲線半径と後軸との距離  $x$  が求まりボギー車の位置は決定される。而して  $x$  の最大値及最小値は

$$x_{\max} = \frac{1}{2} a = 87.5 \text{ 糎}, \quad x_{\min} = \frac{1}{2} a - \frac{\sigma R}{a} = -21 \text{ 糎}$$

であるから、

$$[R]=[R_1]=-3593 \text{ 庇} \begin{cases} \mu = \frac{1}{4} \text{ の時は } x = -21 \text{ 糎} \\ \mu = \frac{1}{8} \text{ の時は } x = -21 \text{ 糎} \end{cases}$$

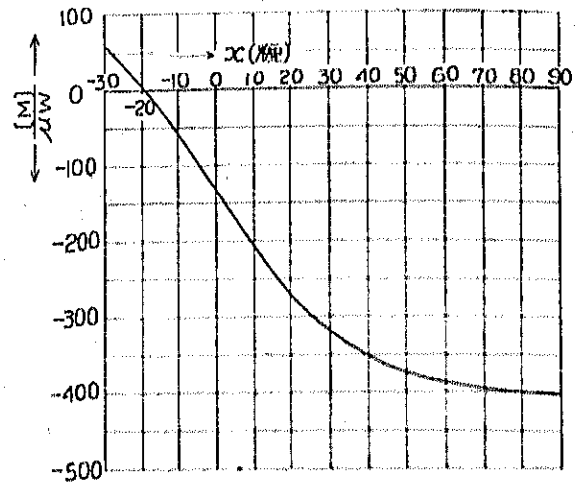
$$[R]=[R_2]=3593 \text{ 庇} \begin{cases} \mu = \frac{1}{4} \text{ の時は } x = 145 \text{ 糎} \\ \mu = \frac{1}{8} \text{ の時は } x = 87.5 \text{ 糎} \end{cases}$$

となる。

車輪と軌條との摩擦係数  $\mu$  は Baumann 等の報告から、(1) 明のある様に (2) 可成り廣範圍に  $\mu$  の變化する。

(1) Die Reibungszahl  $\mu'$  der quergleitender Bewegung reibender Räder von Eisenbahnzügen. (Orgau f. d. F. d. E., 1. Ort, 1931)

第十五圖  $\frac{[M]}{\mu W}$  曲線





によつて與へられる。但し  $\alpha$  は第十七圖の様に輪縁の傾斜である。

$\alpha=60^\circ$  とすると

$$\mu=1/4 \text{ に対しては } H=5\ 580 \text{ 觔}$$

$$\mu=1/8 \text{ に対しては } H=7\ 085 \text{ 觔}$$

然るに  $\mu=1/4$  の時は  $H_1=4\ 000$  觔に達するから 30% の餘裕があるに過ぎない。 $\mu=1/4$  とした時  $H=H_1$  なる爲には  $\alpha=50^\circ\ 14'$  以下でなければならない。 $\mu$  を之より小にし且つ之より半径の大なる曲線を考へれば股線に対しては充分安全である。

次に横推力を受けた軌條の安定を考ふるに、犬釘を抜き上げんとする力  $V$  は

$$V = \frac{1}{b} \left\{ Sh - \left( f + \mu h + \frac{1}{2} b \right) W \right\} \dots\dots\dots (25)$$

$$S = H + \mu W$$

但し  $h$ : 軌條の高,  $b$ : 軌條底の幅

である。(14)

今  $f=1$  觔,  $\mu=1/4$  とするに  $H=4\ 000$  觔,  $W=5\ 348$  觔であるから

$$37 \text{ 觔軌條では } V=940 \text{ 觔}$$

$$30 \text{ 觔軌條では } V=890 \text{ 觔}$$

となる。之は枕木保持力の安全限度内にある。

D. 軌條に生ずる應力

前記長尺軌條を積載した貨車の輪重は 5 348 觔で、横推力の最大値は 100 米曲輪軌道に於て 4 000 觔である。之に依て軌條に生ずる應力を計算して見る。

先づ 30 觔軌條を敷設した軌道を考へ

$$\text{枕木中心間隔} \quad a=70.2 \text{ 觔}$$

$$\text{軌條支承體沈下係數} \quad D=10\ 300 \text{ 觔/觔}$$

$$\text{軌道係數} \quad \gamma=1.57$$

とする。輪重  $H=5\ 348$  觔が枕木間隔の中央に來た時其下に生ずる軌條垂直彎曲力率  $M_0$  は

$$M_0 = \sum F_{11a} a W = 98\ 211 \text{ 觔}$$

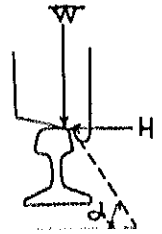
従て應力  $\sigma_r$  は

$$\sigma_r = \begin{cases} +845 \text{ 觔/觔}^2 \text{ (軌條底)} \\ -858 \text{ 觔/觔}^2 \text{ (軌條頭)} \end{cases}$$

横推力  $H_1=4\ 000$  觔による横彎曲力率  $M_1$  は、水平方向に對して  $\gamma=8^\circ$  とすると

$$M_1 = \sum F_{11a} a H_1 = 53\ 150 \text{ 觔}$$

第十七圖



(14) 鐵道省業務研究資料第 10 卷第 33 號 (昭和 6 年 9 月 10 日)

之に對する應力  $\sigma_t$  は

$$\sigma_t = \begin{cases} \pm 1885 \text{ 屈/吋}^2 \text{ (軌條底)} \\ \pm 975 \text{ 屈/吋}^2 \text{ (軌條頭)} \end{cases}$$

となる。

次に垂直荷重  $W$  の偏倚及  $H$  による推力  $2M_t$  の影響を考へて見る。枕木中心間隔の中央に此  $2M_t$  なる推力が作用したとする。第十八圖の様に縱對稱軸  $YY$  に對する頭部の断面物量力率を  $J_1$ 、其の重心を  $O_1$  とし、底部の断面物量力率を  $J_2$ 、其重心を  $O_2$  とすると捩りの中心  $O$  は

$$h_1 = \frac{J_2}{J_1+J_2} h, \quad h_2 = \frac{J_1}{J_1+J_2} h \dots\dots\dots(20)$$

による。決定される。軌條捩りに對する軌條支承體の抵抗が  $2M_t$  の作用點から距離  $c$  に作用し  $\phi$  を捩り角とすれば、軌條捩りを與へる方程式は

$$\left. \begin{aligned} Qh^2 \frac{d^2\phi}{dx^2} - c \frac{d\phi}{dx} - 2M_t &= 0 \\ \frac{d\phi}{dx} &= \frac{M_t}{c} (1 - e^{-x/c}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(27)$$

となる。

但し

$$c = \frac{18G}{40J_p}$$

$F$ : 軌條断面積,  $G$ : 剪力に對する彈性係數  $\left(\frac{m}{m+1} \frac{J_0}{2}\right)$   
 $m$ : トラフン比,  $J_p$ :  $O$  の周りの軌條断面極物量力率

$$r = \sqrt{\frac{c}{Qh^2}} \quad Q = \frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2} E$$

である。從て推力の作用點に於て軌條頭の受ける撓曲力率  $M_h$  は

$$M_h = -EJ_1 h_1 r \frac{M_t}{c} \dots\dots\dots(28)$$

軌條底の受ける撓曲力率  $M_b$  は

$$M_b = -EJ_2 h_2 r \frac{M_t}{c} \dots\dots\dots(29)$$

である。

軌條頭の中心から  $e$  だけ偏倚して  $W$  なる垂直荷重が作用する時には其爲に生ずる推力は

$$2M_t = W e$$

又軌條頭で  $H$  なる横推力が作用する時には其爲に生ずる推力は

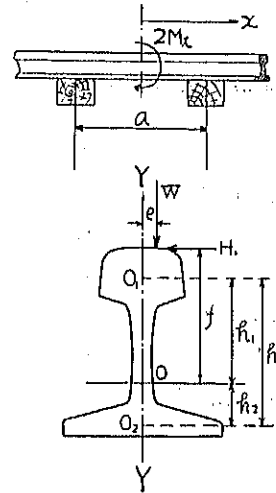
$$2M_t = H f$$

である。

(20) 尾軌條にあつては

(21) Timoshenko and Langer: Stresses in Railroad Track. (Tran. of the Am. Soc. of Mech. Eng., 90, Nov. 1931)

第十八圖



であるから

$$\begin{aligned}
 J_1 &= 44.7 \text{ 靱}^4, & J_2 &= 105.7 \text{ 靱}^4, & h &= 8.78 \text{ 靱} \\
 h_1 &= 0.18 \text{ 靱}, & h_2 &= 2.01 \text{ 靱}, & J_D &= 898.1 \text{ 靱}^4 \\
 I &= 807\,002 \text{ 靱}^2/\text{靱}^2, & e &= 35\,586\,480, & Q &= 00\,031\,133 \\
 r &= 0.0836
 \end{aligned}$$

垂直荷重の偏倚を  $e=1$  靱とすると

$$\frac{1}{2} Wc = 3\,674 \text{ 靱靱}, \quad M_h = -3\,643 \text{ 靱靱}$$

応力  $\sigma_h$  は

$$\sigma_h = \pm 246 \text{ 靱}/\text{靱}^2$$

又

$$M_h = 3\,642 \text{ 靱靱}$$

応力  $\sigma_b$  は

$$\sigma_b = \pm 180 \text{ 靱}/\text{靱}^2$$

次に横推力  $H_1$  による抵抗力を考へるに、 $f=7$  靱とすると

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} Hf &= 14\,210 \text{ 靱靱}, & M_h &= 19\,358 \text{ 靱靱} \\
 \sigma_h &= \pm 1\,305 \text{ 靱}/\text{靱}^2, & M_h &= -19\,354 \text{ 靱靱} \\
 \sigma_b &= \pm 986 \text{ 靱}/\text{靱}^2
 \end{aligned}$$

である。従て垂直荷重  $W=5\,348$  靱のみが作用する場合の軌條應力は第十九圖(1)の様に、垂直荷重  $W$  と横推力  $H_1=4\,000$  靱が作用する場合の軌條應力は第十九圖(2)の様になる。

次に 37 靱軌條を敷設した軌條を考へ

$$\begin{aligned}
 a &= 71.1 \text{ 靱}, & D &= 10\,300 \text{ 靱}/\text{靱}, & \gamma &= 3.24 \\
 W &= 5\,348 \text{ 靱}, & H_1 &= 4\,000 \text{ 靱}
 \end{aligned}$$

とすると

$$M_D = \sum F_{11n} a W = 103\,804 \text{ 靱靱}$$

$$\sigma_D = \begin{cases} +029 \text{ 靱}/\text{靱}^2 & (\text{軌條底}) \\ -000 \text{ 靱}/\text{靱}^2 & (\text{軌條頂}) \end{cases}$$

$$M_1 = \sum F_{11n} a H_1 = 40\,339 \text{ 靱靱}$$

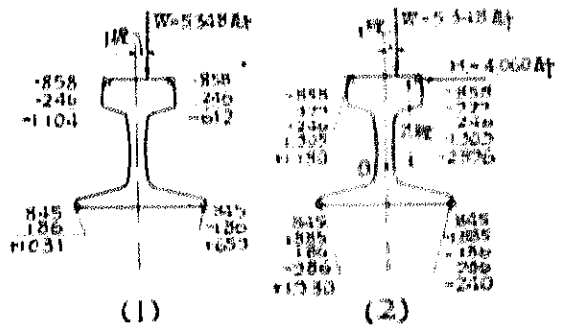
$$\sigma_1 = \begin{cases} \pm 1\,320 \text{ 靱}/\text{靱}^2 & (\text{軌條底}) \\ \pm 620 \text{ 靱}/\text{靱}^2 & (\text{軌條頂}) \end{cases}$$

而して

$$\begin{aligned}
 J_1 &= 60.1 \text{ 靱}^4, & J_2 &= 105.1 \text{ 靱}^4 \\
 h &= 0.60 \text{ 靱}, & h_1 &= 7.09 \text{ 靱} \\
 h_2 &= 2.58 \text{ 靱}, & J_D &= 1\,400.8 \text{ 靱}^4 \\
 I &= 807\,002 \text{ 靱}^2/\text{靱}^2, & e &= 08\,702\,258 \\
 Q &= 02\,527\,840, & r &= 0.0892
 \end{aligned}$$

$e=1$  靱とすると

第十九圖



○: 應力を計算した點  
 - : 應縮力 } 靱/靱<sup>2</sup>  
 + : 應張力 }

$$\frac{1}{2} H_1 c = 2074 \text{ 底裡}$$

$$M_1 = -3101 \text{ 底裡}$$

$$\sigma_1 = 2102 \text{ 底裡}$$

$$M_2 = -3101 \text{ 底裡}$$

$$\sigma_2 = 2115 \text{ 底裡}$$

$f = 8.3$  圓 とすると

$$\frac{1}{2} H_1 f = 10840$$

$$M_3 = 19540 \text{ 底裡}$$

$$\sigma_3 = 2100 \text{ 底裡}$$

$$M_4 = -10540 \text{ 底裡}$$

$$\sigma_4 = 2723 \text{ 底裡}$$

従て  $H$  のみが作用する場合と、 $H$  と  $H_1$  が同

時に作用する場合の軌條應力は第二十圖の如くなる。

計算の結果から考へると 30 尺軌條を敷設した 100 米曲線軌道では大なる軌條應力が生ずるから頻繁に斯る車輛を通すことは出来ない。他の軌道にあつては安全に此車輛を運轉することが出来る。

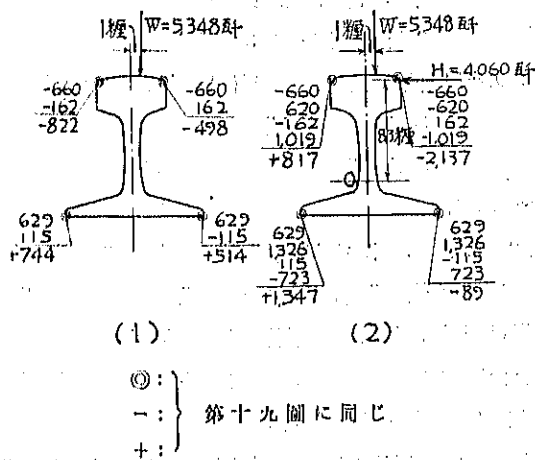
#### 4. 結 論

車輛振動に就ては古くから研究された所が多い。軌條の長と其上を運行する車輛の振動の關係に就ても亦既に數十年前注意せられた。現在遂我國で用ひられてゐる 10 米前後の軌條に對しては實驗上夙に明にされて居る様に、普通客車は 50~70 秒の間にある速度で走行する時に車輛の固有振動周期と軌條繼目による衝撃周期とが一致し、其鳴作用を起し車輛振動は増加する。然し此振動増加はバネの撓みと其摩擦係數又は軌條面高低の大きさによつて極めて小量に止り又は相當の量に達する。10 米前後の長を有する軌條を用ふれば其鳴の際、現在多く用なられて居る貨車は其軸距の關係からピッチング及單純上下動を、客車はボギー中心間隔の關係から單純上下動を増し易い様になつてゐる。車輛の振動を幾分でも軽減せんとすれば、軌條長と車輛軸距又はボギー中心間隔を異にし、繼目衝撃による車輛振動を單純上下動とピッチングとに分割し、夫々の其鳴點の異なる所を利用して激甚なる上下動を或特定の速度の際に生ずるのを防止すべきである。

軌條長は製作工場の設備及輸送方法の改善により漸次増大して來たが、車輛振動の軽減從て旅客貨物の快適と安全及軌道、車輛の疲勞損傷の減少を目的として其標準長を適確に定められたることは無い。我國現下の車輛運輸狀態から考察するに、車輛の種類は種々であり其其鳴點は色々であるから總ての車輛に對して最も良好なる振動狀態即ち反其鳴となる様な標準軌條長を決定する事は困難であり、寧ろ總ての車輛に對して其鳴が起らず而して反其鳴點に近い様な標準軌條長を決定するのが實際的である。

連續的繼目衝撃による車輛振動の内最も大なるものは第一次の其鳴振動であるが、軌條長を 17 米以上にすれば之を避けることが出来る。又車輛振動は減衰が甚しいから第三次以上の其鳴又は反其鳴を考へる必要はなく、從て軌條長を約 10 米以上にすれば繼目衝撃と車輛振動の其鳴反其鳴を考へる必要はなくなる。現在に於ては車輛

第二十圖



振動を最も減少せしめ且つ車輛の軸距、ボギー中心間隔、實際軌條取扱上の便益から考へ

甲線及乙線に使用すべき 50 尺及 37 尺軌條は 25 米、

丙線に使用すべき 30 尺軌條は 20 米

とするのを最も適當とする。更に軌條長を増大せんとすれば

50 尺及 37 尺軌條 40 米

30 尺軌條 35 米

とすべきである。

此 25 米又は 20 米の長尺軌條を軌道に敷設するに、温度の變化による軌條の伸縮量は從來の軌條に比して著しく大となるから繼目遊間が過大になる。従て軌條と繼目鉋及軌條と軌條支承體の間の摩擦抵抗の外に、相對する兩軌條端間の接觸壓力によつて軌條に大なる拘制伸縮を爲さしめ此遊間過大を防ぐべきである。繼目遊間は多數の列車を通過せしめる時期を通じて我國に於ては大凡 0 耗を標準とし可及的之に近くすべきである。軌條端に加はる壓力は 50 尺軌條で約 35 噸、37 尺軌條で約 25 噸、30 尺軌條で約 20 噸迄を限度とすれば充分安全である。之によつて 25 米軌條にあつては自由伸縮の場合に比し繼目遊間を 0-7 耗減少することが出来る。

長尺軌條の使用は車輛の運行を平滑にすると同時に軌道保守費を軽減する。推算するに 25 米軌條を使用すれば從來に比し約 0.8%、20 米軌條を使用すれば從來に比し約 5.0% の軌道保守費を減少せしめる。

25 米又は 20 米の長尺軌條の輸送は汽船又は列車によつて支障なく行はれる。長物車 2 輛に渡積された長尺軌條を列車によつて輸送する際、車輛の脱線又は大釘抜上げの危険は普通の軌道及車輛に於ては豫想されず、軌條に生ずる壓力も 30 尺軌條を敷設した急曲線軌道に於て稍過大となるが、他の軌道に於ては大體許容範圍内にある。(完)