

軌條の接目遊間に就て

(昭和13年7月16日土木学会第2回年次学術講演會に就て)

准員 小野 一 良*

要旨 一般に軌條敷設に當つては軌條接目部に於て温度の変化に伴ふ軌條の伸縮を許す爲に多少の遊間を置くのを例として居る。本文は温度と遊間との關係及軌條匄進等の原因に依り、接目遊間に狂ひを生じた場合に遊間整理を行ふべき狂ひの許容限度を求める爲に種々の調査をなして結論を導いた経過を述べる。

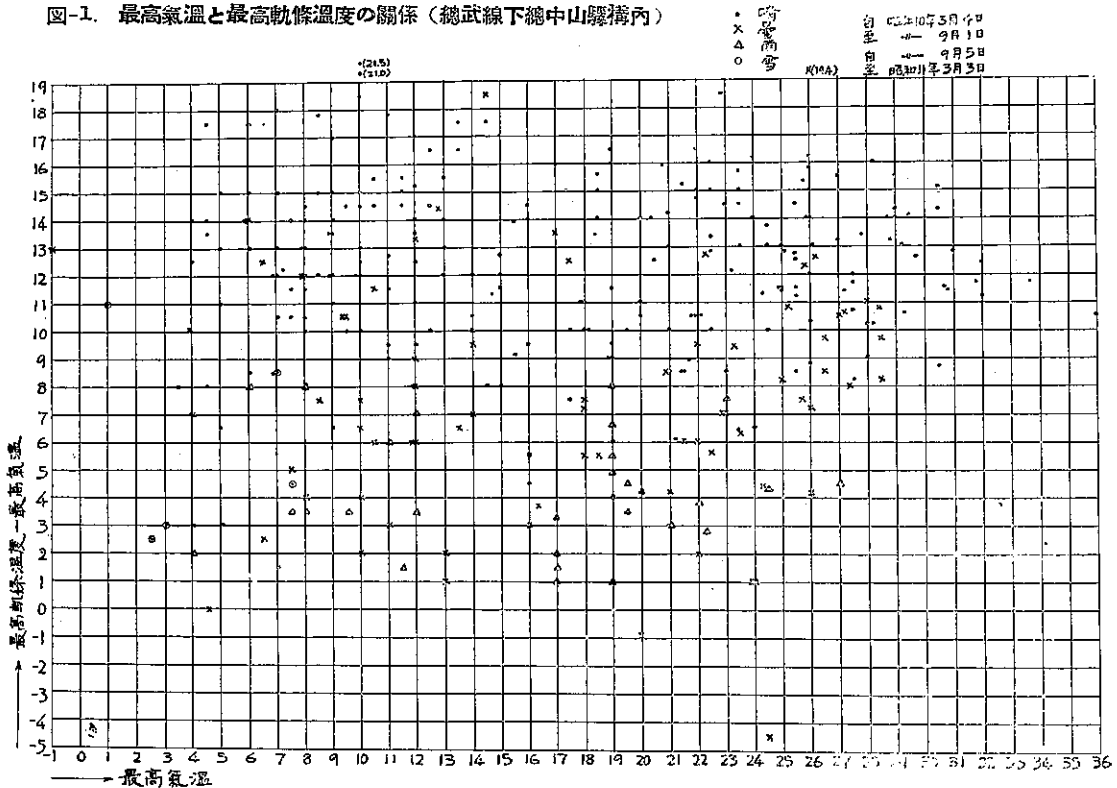
目 次

- 1. 軌條の最高及最低温度
- 2. 軌條の伸縮に對する抵抗力
- 3. 軌條の挫屈
- 4. 軌條接目部の構造上及軌道の保守上より見たる遊間の最大限度
- 5. 遊間の敷設規定及遊間の狂ひの許容限度

1. 軌條の最高及最低温度

軌條の接目遊間の問題を取扱ふに當り先づ軌條は如何なる最高及最低温度に達するかを知る必要があり、これを直接測定した記録が少い爲、測候所に於ける最高及最低温度を調査し、又軌條温度と気温との關係を測定し、これより推定することとした。

図-1. 最高気温と最高軌條温度の關係(總武線下總中山驛溝内)



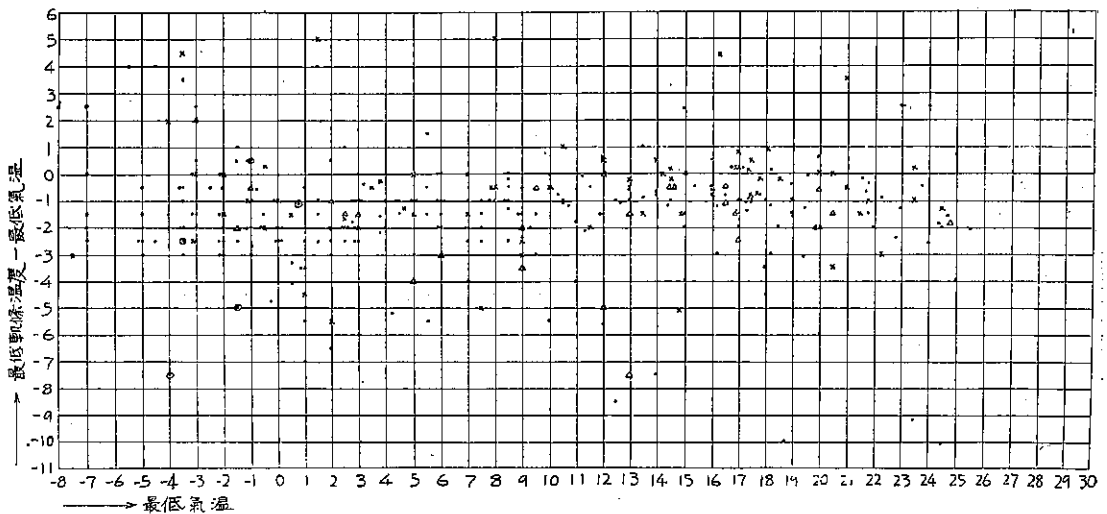
* 鐵道局技師 工學士 廣島鐵道局工務部保線課勤務

全國各測候所に於ける開設以來の毎年の最高温度の平均を求めれば内地に於ては略一定して 35°C となし、北海道に於ては 30°C とすることが出来る。然し最低温度には非常な差があり、毎年の最低温度平均は九州で -5°C であるのに對し旭川では -30°C 以下に達する。これ等の地方全部に對し遊間の大きさを一律にきめようとする時には温度の変化の少い地方に對しては遊間の狂いを許すべき限度が必要以上に狭くなる。故に温度の変化の範圍を表-1 の如く 5 通り設け、必要に応じ地方別に遊間の大きさを定めることとする。

次に軌條温度と気温との關係を調査する爲、軌道試験區に於て百葉箱の中に最高最低寒暖計を吊して気温の最高最低を記録し、又兩端を熱に對して絶縁した一目切軌條を道床砂利上に置き、軌條頭に孔を穿けて水銀を充し、この中に棒状寒暖計を挿入して軌條温度の最高最低を測定した。以上の調査を約 1 箇年に亙り行ひ、その結果を図-1, 2 に示す。図-1 に於て横軸は気温の最高を示し、縦軸は軌條の最高温度と気温の最高との差を示す。最低温度についても同様である。

図-2. 最低気温と最低軌條温度との關係 (總武線下總中山驛構内)

● 晴 自昭和10年3月4日
 × 曇 至 8月29日
 △ 雨 自 9月5日
 ○ 雪 至昭和11年3月3日



これ等の図より見られる如く一般に日中に於て軌條温度は気温より高温となり、日光の直射を受ける時にはこの差は甚だしくなり、各々の最高の差は 8~16°C に達す。夜間に於ては軌條温度は略々気温と一致するが気温より僅か低くなることがあり、各々の最低の差は -2~0°C となる。

斯くの如く日中に於ては気温と軌條温度との間に相當なる差がある爲に気温を標準としては適切なる遊間の敷設標準を定めることが出来ず、適當なる測定方法に依り軌條温度を測定し、これを標準として遊間の敷設標準を定めることにしたいと考へる。

表-1. 最高最低気温及最高最低軌條温度

地 方	氣 温		軌 條 温 度	
	最 高	最 低	最 高	最 低
(イ)	35°C	-5°C	51°C	-7°C
(ロ)	35 "	-10 "	51 "	-12 "
(ハ)	35 "	-15 "	51 "	-17 "
(ニ)	30 "	-20 "	46 "	-22 "
(ホ)	30 "	-30 "	46 "	-32 "

軌條温度の最高と気温の最高との差を 16°C とし、各々の最低温度の差を -2°C とし、前記の各地方に於ける

軌條温度の達し得る最高及最低を求むれば表-1の如くなる。

2. 軌條の伸縮に對する抵抗力

軌條が温度の変化に依り伸縮しようとする時には軌條はその兩端に於て軌條と接目鋸との間の摩擦抵抗力を受け、又軌條の長さに沿ふて軌條と枕木間又は枕木と道床間の摩擦抵抗力を受ける。

先づ軌條と接目鋸との間の摩擦抵抗力を知る爲に2つの軌條片を接目鋸で結び、試験機を用ひてこれ等の軌條片を引張り又は押してその摩擦抵抗力を測定した。軌條は50, 37, 30 kgの各種を用ひ、ボルト緊締計を用ひ接目鋸のボルト緊締度を種々變へて圧力及引張試験を行つたが摩擦抵抗力は略、ボルトの緊締度に比例することが認められた。實驗の結果を圖-3, 4, 5に示す。

摩擦抵抗力をkgであらはし、ボルト緊締度をkg cmであらせばこれ等の比は圧力試験、引張試験共に50 kg軌條に於ては 3.03 cm^{-1} となり、37及30 kg軌條に於ては 4.28 cm^{-1} となつて居る。

軌道に敷設されてある軌條接目のボルト緊締度を調査した結果に依れば50 kg軌條に於ける接目ボルトの緊締度は2000~4000 kg cmのものが多く、平均3200 kg cmとなり、37 kg軌條に於ける接目ボルト緊締度は2000~3500 kg cmのものが多く、平均2700 kg cmとなり、30 kg軌條に於ける接目ボルト緊締度は1000~2500 kg cmのものが多く、平均1900 kg cmとなつて居る。軌條と接目鋸との間の摩擦抵抗力試験

圖-3. 50 kg 軌條と接目鋸との間の摩擦抵抗力試験

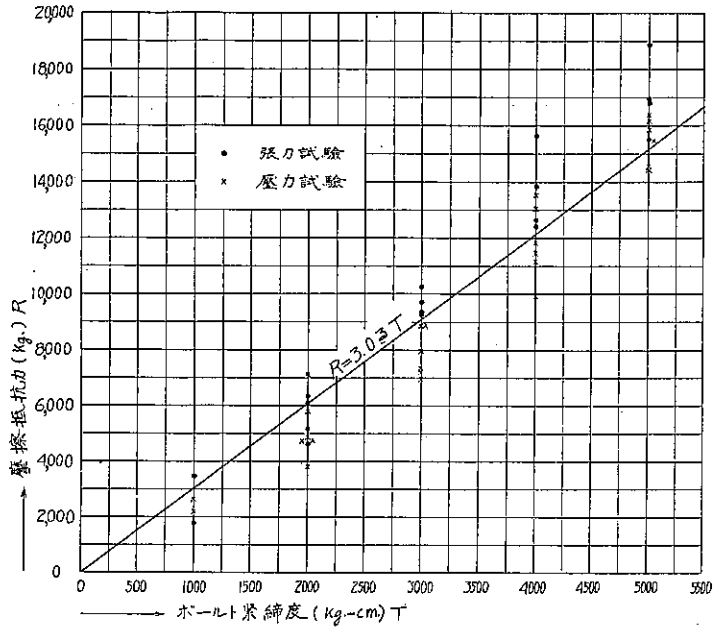
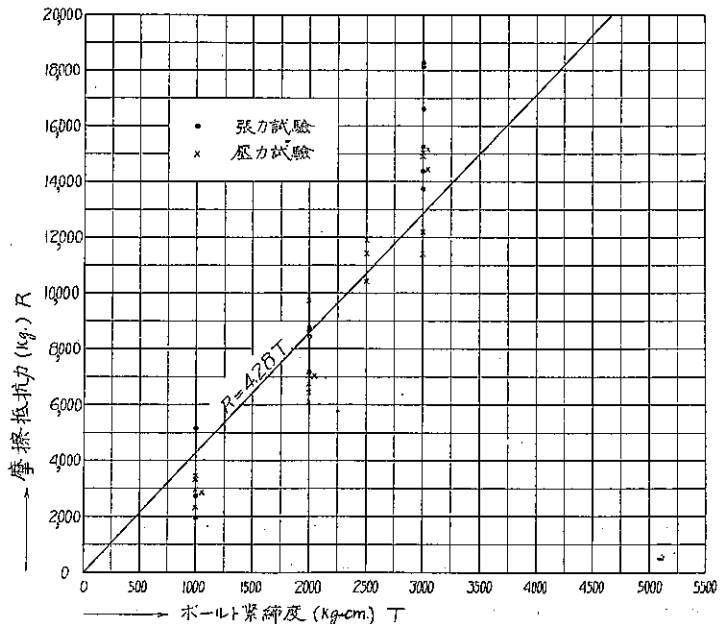


圖-4. 軌條と接目鋸との間の摩擦抵抗力試験



の結果を用ひてこれ等の平均のボルト緊縮度に對して摩擦抵抗力を計算すれば 8~12 ton となる。

以上の試験の外に温度の変化に伴ひ、軌條は如何なる抵抗力を受けながら伸縮するかを直接に知る爲に敷設軌條の端及中間の數箇所にて軌條の長さ、方向の移動状態をダイヤルゲージを用ひて精密に測定した。この移動状態を一例につき示すと圖-6のようになつて居る。これは軌條の略、中央を中心として左右に伸縮した場合であるが、この外軌條全長が同方向のみに移動しながら伸縮して居る場合もある。

圖-5. 30 kg 軌條と接目釘との間の摩擦抵抗力試験

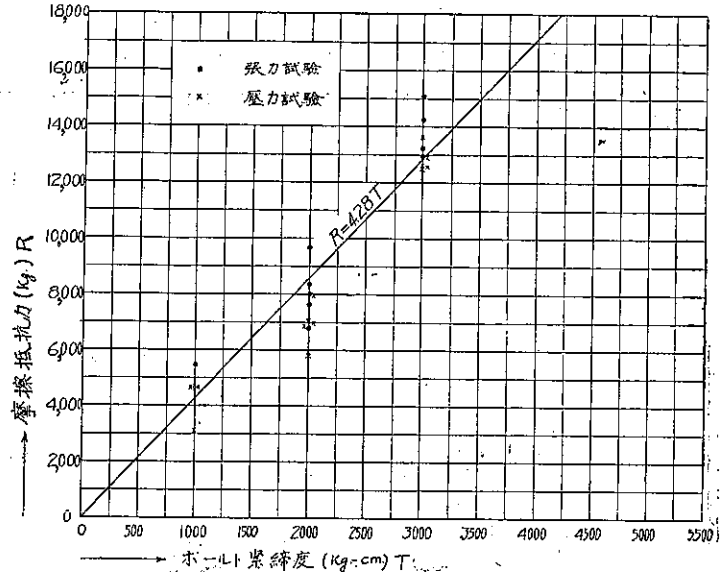


圖-6. 温度変化に伴ふ軌條各點移動状態

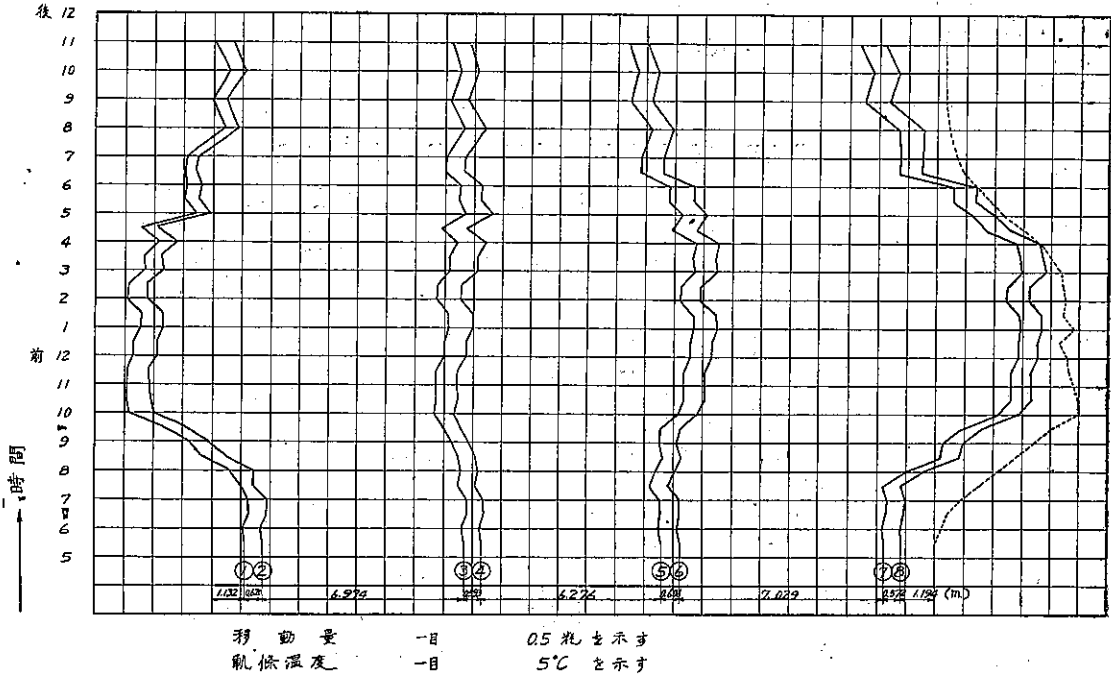


圖-6 に於て實線は測定點の移動状態を示し、測定點 1 と 3, 2 と 4, 3 と 5 等の移動量の差よりこの間の軌條の伸縮量が計算せられる。右端の點線は軌條温度と時間との關係を示して居る。

この敷設軌條と比較對照する爲にこの側に他の軌條を數箇所ローラーで支へて置き、その兩端にダイヤルゲージを當て、その伸縮量を測定した。

これ等總べてのダイヤルゲージの読みを晝間は30分毎に、夜間は1時間毎に同時に數日間続けて読み、敷設軌條と自由軌條の伸縮量の比較を行つた。自由軌條の測定開始時に對する長さの変化を横軸に採り、同時刻に於ける敷設軌條の測定開始時に對する長さの変化を縦軸に採つてその關係を畫けば 圖-7, 8, 9 の如くなる。但しこゝ

圖-7. 自由軌條の伸縮量(軌條温度)と敷設軌條の伸縮量との關係
(昭和10年8月19~22日東海道本線三島驛構内下り側線 50 kg. 25 m 軌條標點間距離 14.573 (10mに換算))

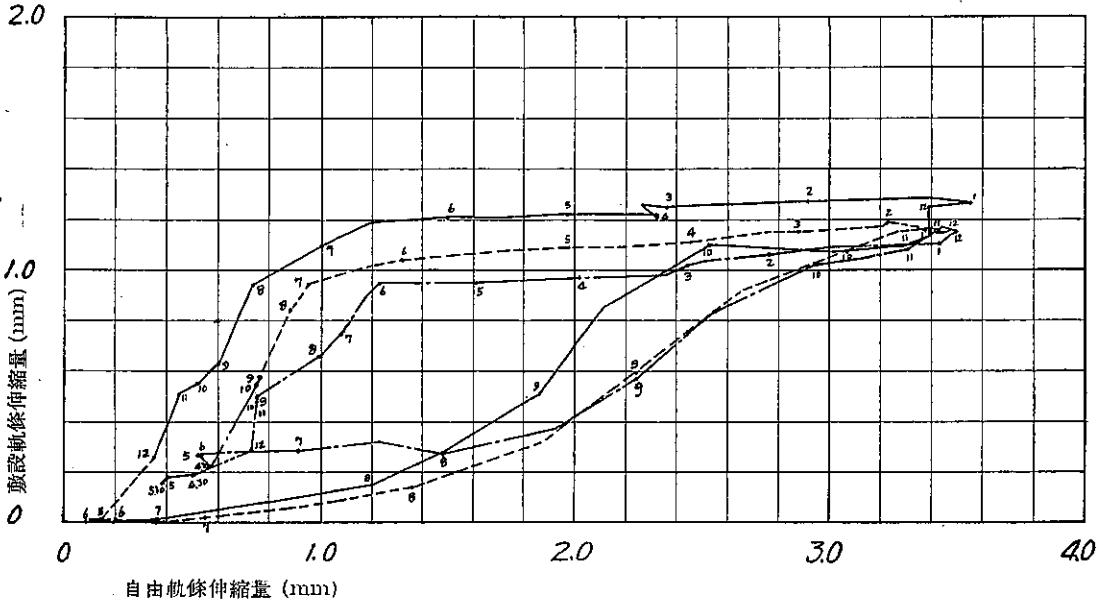


圖-8. 自由軌條の伸縮量(軌條温度と敷設)軌條の伸縮量との關係

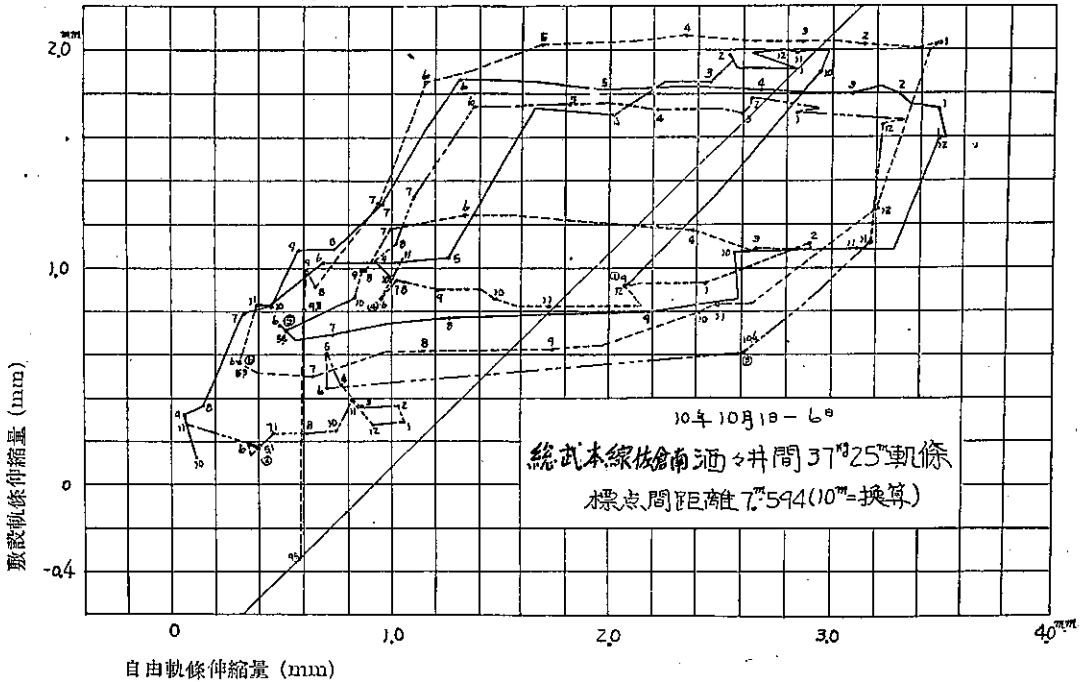
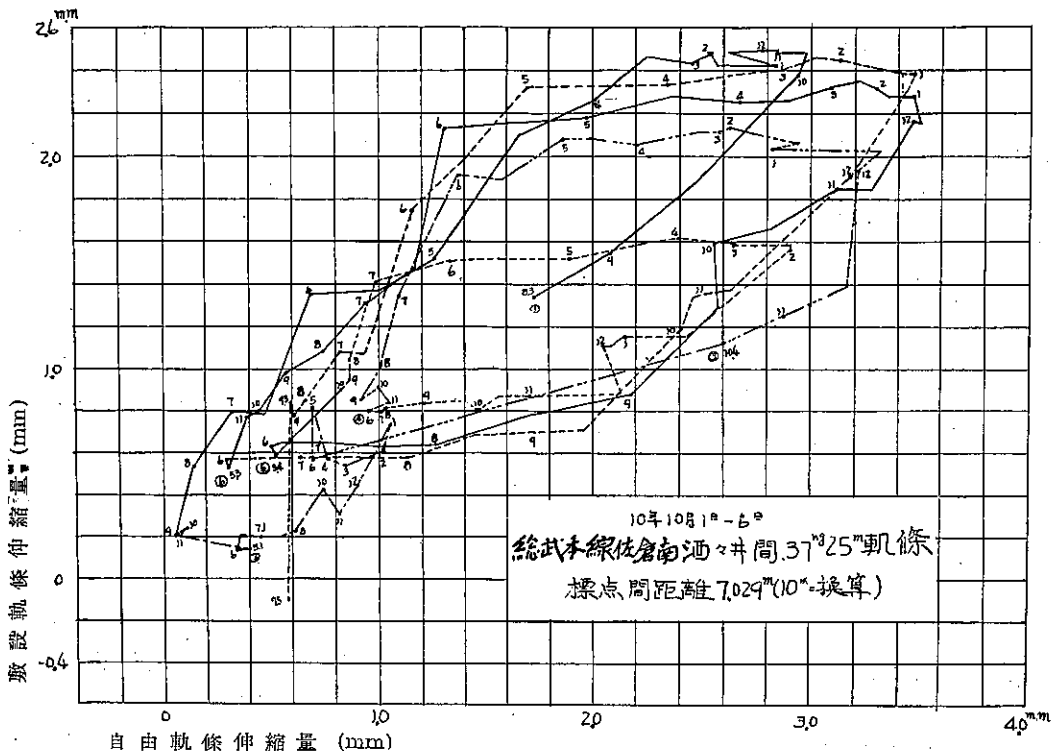


図-9.

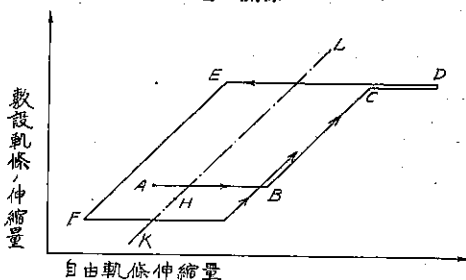


に軌條の伸縮量は 10m 長さの軌條の伸縮量に換算した値である。

図-7, 8, 9 より自由軌條の伸縮量と敷設軌條の伸縮量との関係を知ることが出来るがこの関係を形式的に畫けば図-10の如くなる。

図-10 に於て横軸は自由軌條伸縮量となつて居るが、これは軌條温度に比例するので横軸を軌條温度と考へてもよい。A 點を早朝温度の上昇の始まる前に測定を開始した點とす。温度の上昇が或る大きさに達するまでは温度の上昇に伴ふ軌條の伸びは圧縮歪として軌條の内部に貯へられ外に現はれない。次に B 點に至りこの圧応力が軌條の伸縮に對する抵抗力以上になると始めて軌條は伸び始める。軌條の伸縮は主として列車通過の振動に依り軌道の抵抗力が瞬間的に小さくなつた時、又は軌條応力が部分的に大きくなつた場合に生ずるが、この伸縮状態を數時間続いて見る時には 図-10 に示す如く敷設軌條が伸縮を始めてからの敷設軌條の伸縮量と自由軌條の伸縮量とは略々等しく、この關係を示す線は横軸に對し略々 45 度の傾きをなす。C 點に至り遊間が全部 0 となる時は軌條はこれ以上伸びることが出来ず、従つて自由軌條と敷設軌條の關係は C-D なる水平線を示す。温度が降る場合にも同様にして DEF なる線を示し、斯くの如きことを毎日繰り返す。

図-10. 自由軌條の伸縮量と敷設軌條の伸縮量との關係



軌條の伸びる場合に生ずる摩擦抵抗力と縮まる場合に生ずる摩擦抵抗力の大きさを等しいと假定すれば BC 線

と EF 線との中央に引いた KL 線が軌條内の応力が 0 となる位置を表はし、これより BC 線又は EF 線までの距離は種々なる摩擦抵抗力に依り軌條の伸縮の妨げられた量を示し、これより軌條の受けた最大摩擦抵抗力の大きさを計算し得る。

以上の調査を 50 及 37 kg 軌條又 25, 10 及 12 m 軌條について行つたが、その結果軌條が温度の変化を受けて伸縮する場合に軌條の中央部が受ける抵抗力は軌條両端部が受ける抵抗力に略、等しく、又寧ろ僅かに小さい場合が認められた。

若し軌條が伸縮する場合に軌條の長さに沿ふて働く抵抗力、即ち軌條と枕木間又は枕木と道床間の摩擦抵抗力が働くと考えれば一般に軌條の中央部は両端部より大なる抵抗力を受け、25 m 軌條は 12 m 又は 10 m 軌條より大なる抵抗力を受けて伸縮する筈であるが上記の實驗結果は軌條の長さに沿ふての抵抗力が作用せず、軌條と接目鉋との間の摩擦抵抗力のみを受けることが分る。

以上述べた實驗より軌條が伸縮する場合に受ける摩擦抵抗力の大きさを求むれば 50 kg 軌條では 11.3 ton となり、37 kg 軌條では 12.2 ton となる。これは前記のボルト緊締度より推定した結果に略、一致して居る。

上述の如く一般に軌條の両端部の受ける抵抗力と中央部の抵抗力とは略、一致して居るが稀には軌條中央部の受ける抵抗力が軌條両端部の受ける抵抗力より幾分小さい場合が認められ、これは軌條の長さに沿ふて働く抵抗力が軌條中央部に於ける抵抗力を両端部に於ける抵抗力より小さくする方向に働いた結果である。これは豫想に全然反した事柄であるが、この程度の抵抗力の変化は軌條の長さに沿ふて存在し得ることを示す。この抵抗力の差を軌條の單位長さ當りに換算すれば 0.4 ton/m となる。この抵抗力は軌條の中央部に於ける抵抗力を両端部に於けるものより大きくする方向にも働き得る譯であり、軌條と接目鉋との間の摩擦抵抗力を R ton とし、軌條の長さに沿ふて働く抵抗力の大きさを r ton/m とすれば、長さ l m の軌條の中央に生じ得る最大抵抗力は

$$R + \frac{1}{2}rl$$

となる。

3. 軌條の挫屈

温度の上昇に伴ふ軌條の伸びを制限する時には制限せられた伸びに相當する圧力が軌條内に生じ、この圧力が大きくなると遂に軌條に挫屈を生ずる。軌條が挫屈する圧力は主として軌條重量及軌道の抵抗力に依り定まり、軌條重量の大なる程、又軌道の抵抗力が大なる程大なる圧力に耐え得る。

軌道の横方向の抵抗力は枕木の引き抜きに對する道床の抵抗に依り生じ、この大きさを知る爲に各所で枕木を引き抜いてその抵抗力を測定した。その結果に依れば枕木は引張力の 2~3 乘に比例して移動を生じ、5~10 mm の移動を生じた場合に最大抵抗力に達し、これより先は小なる引張力で抜け出す。篩砂利道床に於ける最大抵抗力は 350~400 kg であり、碎石砂利道床に於ける値は 600 kg となつて居た。

枕木を軌道方向に押した場合の抵抗力も軌條の挫屈圧力に關係し、この抵抗力が大なる程挫屈に對する抵抗力が大きくなる。枕木両端をオイルジャッキで軌道方向に押し移動量とオイルジャッキに加へた圧力との關係とその最大抵抗力を測定した。この場合にも移動量は圧力の 2~3 乘に比例し、移動量が 5~10 mm に達した時に最大抵抗力に達す。この最大抵抗力は枕木の引抜き抵抗力の約 2 倍に相當して居る。

以上の試験結果を用ひて曲線軌道に於ける軌條の挫屈圧力を計算すれば表-2 の如くなる。

軌條の挫屈に對する安全率を 2 又 1.5 とした場合の軌條の許容圧力も併せて表-2 に示す。

表-2. 軌條の挫屈圧力及許容圧力

道 床	軌條重量 (kg)	曲線半径 (m)	枕木間隔 (cm)	挫屈圧力 (ton)	許 容 圧 力	
					安全率: 2 (ton)	安全率: 1.5 (ton)
篩 砂 利	50	400	59	60.4	30.2	40.3
	37	250	66	44.6	22.3	29.7
	30	200	71	36.2	18.1	24.1
碎 石 砂 利	50	400	59	52.4	41.2	
	37	250	63	61.6	30.8	
	30	200	71	50.4	25.2	

在來長さの軌條に對しては軌條の許容圧力として篩砂利道床に於て安全率を2とした場合を採用し、定尺軌條に對しては將來に於ける碎石砂利道床の普及を考慮し、碎石砂利道床に於て安全率を2とした場合を採用する。これは篩砂利道床に於て安全率を1.5とした場合の値に略々一致して居る。

4. 軌條接目部の構造上及軌道の保守上より見たる遊間の最大限度

軌條接目部の構造上より定まる遊間の最大限度は50 kg 12 m 軌條に於て10.2 mm となり、50 kg 25 m 軌條に於ては15.2 mm となり、37 及 30 kg 軌條に於ては14.4 mm となる。

軌條接目部に於て車輪が軌道に與へる衝撃の大きさは遊間の大きさに關係を持ち、遊間が大きくなる程保守勞力及軌道材料の損傷を増し、又車輛の振動が大きくなると考へられる。第20回保線講話會に於ては各鐵道局に於てこの關係に就き廣く研究がなされたが、その結果に依れば遊間の大きさが14 mm 以下の場合には軌道の各種の狂ひ量及軌道材料の毀損量は遊間の大きさに殆ど關係しないが、遊間の大きさが14 mm を超える時は幾分増加の傾向を示すことが認められた。又遊間の大きさが車輛の振動に及ぼす影響も一般に判然とあらはれなかつた。

以上より遊間の最大限度は軌條接目部の構造上許し得る大きさまでとし、これ以内に制限する必要はないと考へられる。

5. 遊間の敷設規定及遊間の狂ひの許容限度

以上各章の調査を基としてこゝに軌條溫度に依る遊間の敷設規程を設け、又遊間の狂ひの許容限度を定めることとする。

先づ軌條溫度と遊間の最大限度及最小限度との關係を求めるに當り次の事項を考慮せねばならぬ。即ち敷設してある軌條につきその遊間を整理すべきか否かを判断するには軌條に全然張力も圧力も生じて居ない場合に行ふのが理想であるが實際には圖-7, 8, 9 に示すように晝間に於ては0~12 ton の圧力を受けて居る状態にある。然し日中に軌條が張力を受けて居ることは殆どない。従つて遊間の狭い方の限度に對しては現在軌條が摩擦抵抗力に依る最高の圧力を受けて居る状態にあると考へ、廣い方の限度に對しては現在軌條には全然圧力が働いて居ないと考へるのが安全である。然し軌條に張力が働いて居る場合まで考慮する必要はないと考へられる。

今軌條が最高の圧力を受けて居る状態にあるとした場合には、これより溫度が上昇する時には自由軌條に等しく伸びて行くことになる。従つて遊間を整理すべきか否かを判断するにはこれより自由軌條と同様に伸びながら最高溫度に達しても猶軌條内の圧力が3に示された許容圧力以下であることが必要である。

又今こゝに 1 個の過小なる遊間があるとしてもその前後に過大なる遊間がある場合には直ちに遊間整理を行ふ必要がない。故に遊間整理を行ふべきや否やを判断するには連続せる數個の遊間の平均を以てすればよい。

この平均の個數を定めるに當り多きに過ぎれば遊間の狂ひの許容限度内に於て多くの盲遊間が連続する場合が生じて挫屈の危険が起り、又少きに過ぎれば遊間整理の回數が多くなる。

假に連続せる n 個の遊間の平均を以て遊間の大きさを判断することゝすれば連続せる $n-1$ 個の盲遊間がある場合にもその前後に過大なる遊間がある場合にはこれ等 n 個の遊間の平均は遊間の狂ひの許容範囲内に有り得る。

軌條の長さを l とし軌條の單位長さ當りに働く抵抗力を r とすれば 2 に示した式と同様に軌條内に生じ得る最大圧力 P_R は

$$P_R = R + \frac{n}{2} r l$$

となる。今 $R=12$ ton, $r=0.4$ ton/m とし、定尺軌條に於て $n=2$ とし、在來長さの軌條に對し $n=3$ とすれば P_R の値は表-3 の如くなる。

表-3. 摩擦抵抗に依り軌條内に生ずる最大圧力

	軌條重量 (kg)	軌條の長さ (m)	n	P_R (ton)
定尺軌條	50	25	2	22
	37			
	30	20	2	20
在來長さの軌條	50	12	3	19.2
	37	10	3	18
	30			

こゝに示した圧力は遊間の最小限度を規定するに必要であり、外見上は軌條内にいくらの圧力が生じて居るか判断することは不可能なる爲、軌條の許容圧力よりこの P_R の値を引いたものが最高軌條温度に於て軌條の伸びを制限して軌條内の圧力に変へ得る大きさを示す。表-4 にこの大きさを示し、これを軌條の温度差に換算した値をその右に掲げる。

表-4 に示す如く 50kg 定尺軌條に於ては最高軌

表-4.

	軌條重量 (kg)	許容圧力 P_A (ton)	摩擦抵抗に依り生ずる圧力 P_R (ton)	$P_A - P_R$ (ton)	温度差 (°C)
定尺軌條	50	41.2	22	19.2	12.5
	37	30.8	22	8.8	7.8
	30	25.2	20	5.2	5.7
在來長さの軌條	50	30.2	19.2	11.0	7.1
	37	22.3	18	4.3	3.8
	30	18.1	18	0.1	0.1

條温度より 12.5°C 低い温度に於て遊間が 0 に達する如く遊間の最小限度を設け、37 kg 定尺軌條に於ては 7.8°C 低い温度に於て遊間が 0 に達するようにせねばならぬ。

斯くの如く 50kg 軌條と 37 kg 軌條とは遊間を 0 とすべき温度が 4.7°C 異なるが、これは遊間の大きさに換算して 1.3 mm である。遊間の大きさが 1.3 mm 異なるだけの爲に 50 kg 軌條に對する遊間の敷設規定と 37 kg 軌條に對する遊間の敷設規程を變へることは煩雜に過ぎるから 50 及 37 kg 軌條に對しては最高軌條温度より 8°C 低い温度に達した時に遊間が 0 となるように遊間の敷設規定を設けることとする。

表-5 には斯くの如くして遊間を 0 とすべき軌條温度を計算し、これより最低温度に於ける遊間を計算した結果を示す。

表-5. 最低温度に於ける遊間 (50, 37 kg 軌條)

地方	遊間を0とすべき温度 (°C)	最低軌條温度 (°C)	軌條の伸縮差する温度 (°C)	最低温度に於ける遊間 (mm)
(イ)	43	-7	50	14.3
(ロ)	43	-12	55	15.7
(ハ)	43	-17	60	17.1
(ニ)	38	-22	60	17.1
(ホ)	38	-32	70	20.0

表-5 に依り軌條温度と遊間の最小限度との關係を畫けば 図-11 の如くなる。

表-5 に示した如く最低温度に於て必要なる遊間は軌條接目部の構造より定まる遊間の最大限度より大なる場合もあるがこの場合には軌條接目部に多少の無理が生ずることを豫想せねばならない。

晝間に遊間の大きさを測定する場合には軌條と接目鉸との間の摩擦抵抗力に相當するだけの圧力が軌條内に生じて居る場合が多くこれを温度の差及軌條の伸びに換算すれば表-6 の如くなる。

表-6. 12 ton の軌條圧力に相當する温度差及軌條の伸び

軌條重量 (kg)	温度差 (°C)	軌條の伸び (mm)
50	7.8	2.2
37	10.6	3.0
30	13.1	3.0

即ち接目遊間は晝間に於ては見掛上 2~3mm 大きくなつて居る。故

に軌條敷設後接目遊間に狂ひを生じ規定より 2~3mm 小さくも晝間には軌條に圧力が生じて居る爲、見掛上は規定通りの遊間を示すこととなる。従つて遊間の敷設規程を遊間の最小限度を示す線と共通にしても 2~3mmの狂ひを許すこととなり、斯くの如くして 図-11 に於ける設定遊間の線を定めたのである。

又規定通りの遊間であつても外見上晝間は 2~3mm 過大なる遊間の如く見られるから、遊間の狂ひの最大限度としては規定遊間より少くも 3mm 大きくなることを許さねばならぬ。故に 図-11 に遊間の狂ひの最大限度として規定遊間より 3mm 大きな線を引くこととする。

温度が降る場合に於ては軌條内に軌條と接目鉸との間の摩擦抵抗力に相當した張力即ち約 12 t n の張力が働く

図-11. 50, 37 kg 25 m 軌條

