

普通路盤の鉄道線路におけるレールのクリープについて

小 野 一 良*
成 瀬 忠 明**

要 旨 鉄道線路においてレールのクリープとレール温度との関連を測定し、その結果レールはレール温度がいちじるしく変化するとき客車またはボギー貨車通過時にクリープすることを知った。これよりレール クリープの原因としてレール中にふくまれる圧力または張力に勾配があるときボギー車の前台車と後台車との間でこの圧力が平均化されることによって起こることを推論した。

1. 緒 言

著者等はかつて泥炭地においてレールのクリープを測定してその原因を解明したことがある¹⁾。泥炭地においては路盤が軟弱であるため列車の通過にともなってレール面は各車輪の下で大きいたわみ、このたわみが列車とともに移動する。よってたわみを生じたレールの長さともとのレールの長さとの差だけレールが列車進行方向に送られると考えると計算したところクリープの現象をよく説明することができた。しかるに普通路盤の線路においては一般にレールのたわみが少ないので上記の理由だけではレール クリープの原因を説明できない。よってさらに深くクリープの原因を探究し、この防止方法を求めるために本研究を行なった。

2. 測定線路ならびに装置

a) 測定月日 昭和 34 年 8 月 5, 6 日

b) 線路状態 北陸線寺井～美川間、米原起点 165 890 m 付近、単線、直線、平坦線、海岸における砂地にわずかの築堤がなされている (写真-1 参照)。37 kg, 25 m レール、砕石道床、まくら木 39 丁配置。なお測定開始にあたりアンチクリーパーをすべて撤去した。

c) 運転状態 急行旅客列車は主として DD 50 型ディーゼル機関車が牽引し、普通旅客列車は C 57 型機関車が牽引し、貨物列車は D 51 型機関車が牽引している。

d) 測定装置 図-1 に示したようにレールの継目近くにおいてレールにピアノ線の一端を結びつけ、このピアノ線をレールにほぼ平行に引き延ばし、他端をスプリングを用いて緊張した。このピアノ線の末端近くにおいてピアノ線の移動を 4 倍に拡大して記録紙に

記録した (写真-2 参照)。なお車両の通過時刻とクリープとの関係を知るために、レールの路盤に対するたわみも同時に記録紙に記入した。列車通過時に記録紙を移動させることによって列車通過中におけるレール クリープの進行状態を知ることができた。

3. 測定結果

図-2, 3 に旅客列車通過時におけるクリープの進行状態の測定例を示した。これらの図によれば機関車通過時にはほとんどクリープを生じないが、その後の客車通過時に列車進行方向にレールのクリープが進行すること

写真-1 クリープ測定線路

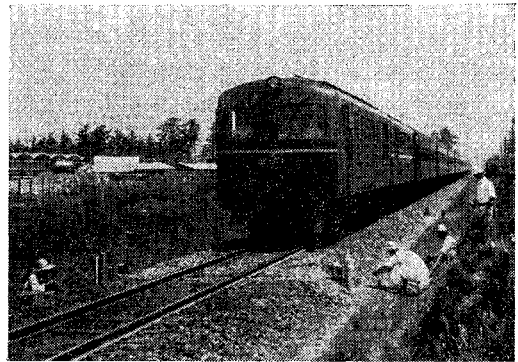


写真-2 クリープ測定装置

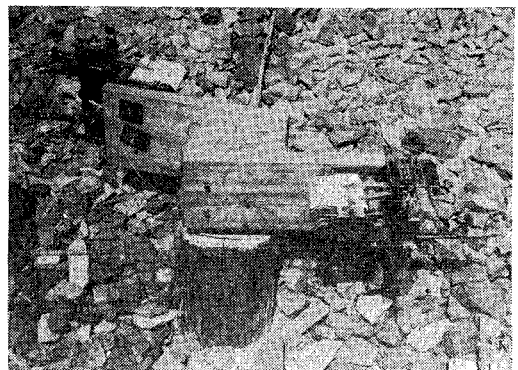
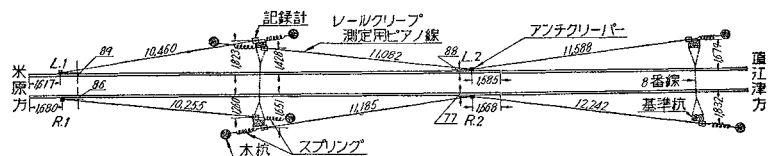


図-1 レール クリープ測定装置配置図



* 正員 工博 金沢大学教授
工学部土木工学教室
** 正員 金沢大学助手
工学部土木工学教室

図-2 レールのクリープ
北陸線寺井～美川間 521レ(下り旅客列車)

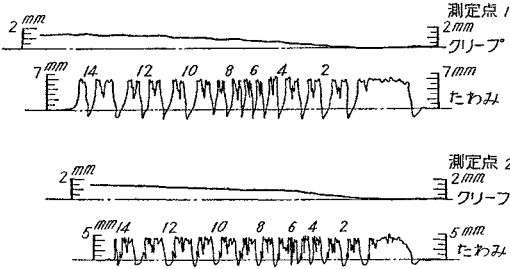


図-3 レールのクリープ
北陸線寺井～美川間 601レ(上り急行旅客列車)

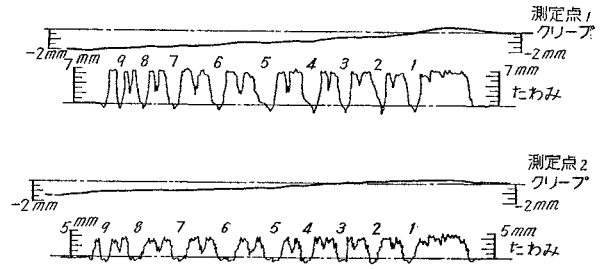
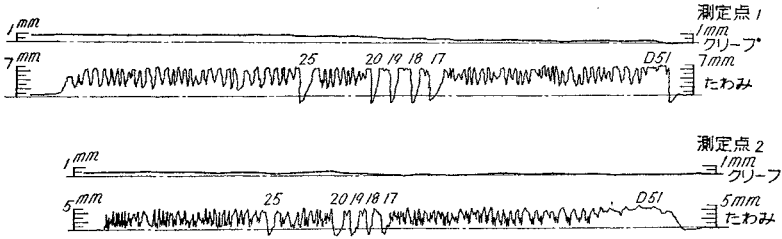


図-4 レールのクリープ 北陸線寺井～美川間 571レ(下り貨物列車) 57km/h



が認められる。クリープの総量は1~2mmに達している。

つぎに貨物列車通過時におけるレールクリープの進行状態を図-4に示した。この図によれば機関車および2軸貨車の通過時にはレールのクリープは進行せず、2軸ボギー貨車(図-4において番号をつけた貨車)通過時にレールクリープが進行することが認められる。クリープの総量は小さく、1mm以下である。このように客車またはボギー貨車通過時に限ってレールがクリープすることは泥炭地における観測結果によく一致しているが、クリープの総量においては泥炭地におけるものよりはるかに少ない。

図-5にレールのクリープを連続して27時間測定し、各列車の通過によって生じたクリープの累計とその時のレール温度との関係を示した。この図によれば一般にレール温度が下降する時に下り列車が通過すればレールは大きくクリープを生ずるが、上り列車が通過するときにはほとんどクリープを生じない。17時50分に通過した上り230列車のごとく列車進行方向と逆に移動した場合もある。レール温度が上昇するときには上り列車が通過すればレールは大きくクリープするが下り列車通過時にはほとんどクリープしない。レール温度の変化が少ないときには上り列車、下り列車ともに列車進行方向にクリープを生ずるが下り列車通過時におけるクリープがいくぶん大きい。その結果レールは徐々に下り方向に移動を生じた。結局連続して27時間測定した間にレールは下り方向に約8mm移動した。

4. クリープの原因に関する考察

泥炭地におけるレールクリープの原因を考察したと

きは図-6に示すごとくレールのたわみ曲線ABCDと直線EFとの長さの差 Δl が各の客車またはボギー貨車によって送られると考えて計算を行なったところクリープの現象をよく説明することができた。普通路盤の線路について同様な考え方

を適用して1車両によって送られるクリープ量 Δl を求めた結果を表-1に示す。ただし車輪荷重を5tとした。

図-6 ボギー車通過時におけるレールのたわみ

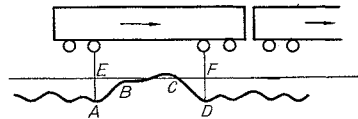


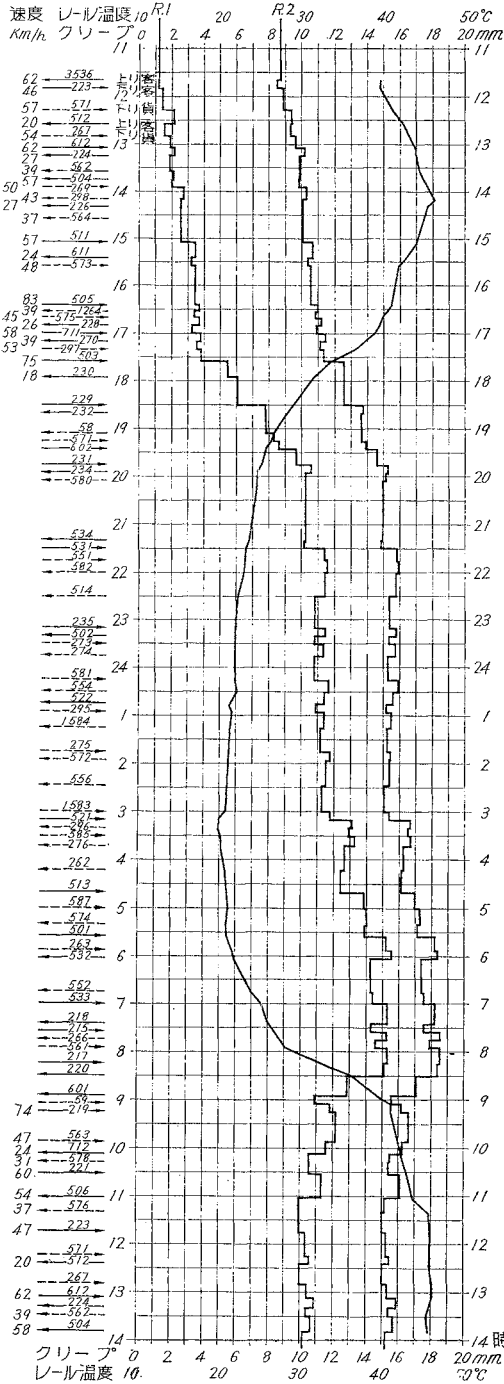
表-1 1車両の通過によって生ずるレールクリープの計算値

基礎係数	D	kg/cm	800	1000	1200	1400	1600
レールのたわみ	y	mm	15.8	13.0	11.0	9.61	7.66
クリープ量	Δl	mm	0.083	0.058	0.044	0.037	0.029

図-2~4に示すごとくレールたわみの測定値は5~7mm程度であるが、これはレールの路盤に対するたわみであり、路盤も車両の荷重によってたわむことを考慮すれば、実際のたわみは10mm以上であったと想像される。表-1によればたわみ11mmに対する基礎係数は $D=1200$ kg/cmとなる。この基礎係数の値は従来直接にDを測定した値の1/10程度であるが、レールとまくら木またはまくら木と道床との間の浮きの影響が大きくふくまれているためと考えられる。上記のDの値を採用するときには客車1両によって送られるクリープ量は0.044mmであり、10両連結の旅客列車では0.44mmのクリープとなる。しかるに前述のごとく1列車の通過によって1~2mmクリープした場合もあり、この原因だけではクリープの説明ができない。さらにレール温度の変化がいちじるしいときにレールのクリープがいちじるしいことを説明するために次のような計算を行なった。

レールは温度変化にともなって伸縮するが、各のレールの中心を不動点として両側に伸縮するのではなく各のレールと継目板との間の摩擦抵抗に差があるため何本

図-5 レール クリープの進行状態



力を生ずる²⁾。このため長く溶接したレールにおいては毎日の温度変化によってその中央部分は伸縮せず、両端に近い部分のみが伸縮するといわれている³⁾。いずれの場合においても伸縮するレールの両端近くにおいてレール中の圧力または張力はその継目における摩擦抵抗に等しく、中央部に至るに従ってレール中にふくまれる圧力または張力が大きくなる。このようにしてレールの中に圧力または張力の勾配を生ずるが、このような線路を列車が走行するときには列車通過にともなって軌道に振動を生じ、また各の客車またはボギー貨車の前台車と後台車との間ではレールに浮き上りを生ずるためレールとまくら木またはまくら木と道床との間の摩擦抵抗力が軽減される。このためこの間のレール中の圧力または張力は平均化されると考えられる。しかし各の車輪の直下においては荷重のためこの摩擦抵抗が増すので車輪の位置を越えてレール中の圧力または張力が平均化されることはない。

図-7 に示す $f_0(x)$ (x)のごとくレール中に圧力がふくまれているとき圧力の低い方から高い方に向かって車両が進行する場合を考察する。このとき車両の通過後にふくまれる圧力を $f_1(x)$ とする。前台車と後台車とに挟まれた軌道延長を l とし、この間においてはレール中の圧力は平均化されると考える。いま車両が Δl だけ進行した場合にはレール中の圧力分布は点線のごとくなる。この前後におけるレールは動かないと考えれば BC' 間においてレール中にふくまれる圧力の累計は一定でなくてはならない。従って面積 ABC'D'DE と面積 ABC'E'A' とは一致することを要する。この条件より次式が成立する。

$$\int_{f_1}'(x) \Delta x = \{f_0(x+l) - f_1(x)\} \Delta x$$

これより、

$$\int_{f_1}'(x) + f_1(x) = f_0(x+l) \dots \dots \dots (1)$$

同様にして 図-8 に示すごとく圧力の高い方から低い方に向かって車両が進む場合にも (1) 式が導かれる。

長く溶接したレールにふくまれる圧力が多数の極大点および極小点を持つ場合としてレール中の圧力分布が

図-7 レールにふくまれる圧力勾配の変化

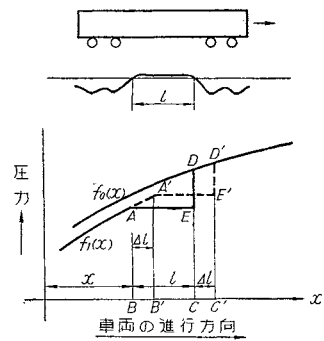
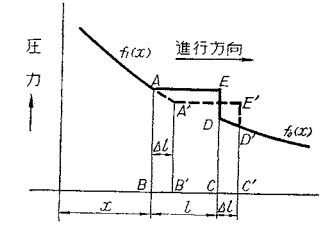


図-8 レールにふくまれる圧力勾配の変化



次式であらわされた場合を考慮する。

$$f_0(x) = a \sin \frac{2\pi x}{L} + P \dots \dots \dots (2)$$

この式を(1)式に代入すれば1個の車両が通ったあとのレール中の圧力分布は次式のごとくなる。

$$f_1(x) = a \cos \frac{2\pi s}{L} \sin \frac{2\pi}{L}(x+l-s) + P \dots \dots (3)$$

ここに

$$\frac{2\pi s}{L} = \tan^{-1} \frac{2\pi l}{L} \dots \dots \dots (4)$$

とおく。n個の車両が通過したあとには、

$$f_n(x) = a \cos^n \frac{2\pi s}{L} \sin \frac{2\pi}{L}\{x+n(l-s)\} + P \dots \dots (5)$$

上式によればレール中の圧力は通過車両の数が増すとともない段々平均化されることが示されている。

次に最も簡単な場合として、

$$f_0(x) = p + rx \dots \dots \dots (6)$$

と仮定する。ここにpおよびrは常数とする。この式を(1)式に代入すれば、

$$f_1(x) = p + rx + C \exp\left(-\frac{x}{l}\right) \dots \dots \dots (7)$$

となる。ここにCは積分常数であって境界条件によって決定される。xが大きくなれば指数関数をふくむ項は急に小さくなるのでf₁(x)はf₀(x)に一致する。(6)式においてrを正とすれば圧力の低い方から高い方に車両が進む場合となり、このときには車両の進行と反対方向に圧力が送られることになる。1車両当りで送られる量は図-9に示す面積Sによって与えられ、

$$S = \frac{rl^2}{2} \dots \dots \dots (8)$$

となる。これをレールの伸びδに換算すれば、

$$\delta = \frac{rl^2}{2EA} \dots \dots \dots (9)$$

となる。ここにAはレールの断面積とする。次に、

$$f_0(x) = p - rx \dots \dots \dots (10)$$

とすれば圧力の高い方から低い方に車両が進む場合となり、このときには車両の進行方向に圧力が送られることになる。その量は(8)または(9)式に一致する。

2両目以下の車両によってもこれと等しい量の伸びが送られ、結局n個の車両によって送られる量は、

図-9 レールにふくまれる圧力勾配の変化

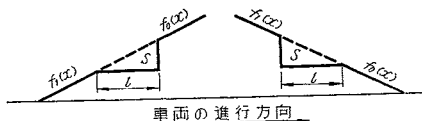
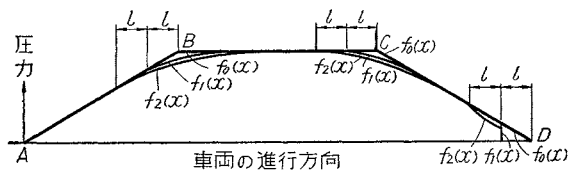


図-10 レールにふくまれる圧力勾配の変化



$$n\delta = \frac{nr l^2}{2EA} \dots \dots \dots (11)$$

となる。

レールの両端におけるレールと継目板との間の摩擦抵抗を無視したときにはレール温度の上昇時にレールの中に、図-10に示すf₀(x)のごとき圧力分布を生ずるといわれている^{3),4)}。このときには上記の計算に示すごとく車両の通過ごとにB点付近における圧力が下げられてA点に送られる。f₀(x)とf₁(x)との間の面積およびf₁(x)とf₂(x)との間の面積は(8)式によるSに一致する。同様にしてC点付近におけるレールの圧力が下げられてD点に送られる。1車両によって送られる量は同様にしてSとなる。ただしここに注意すべきことは車両がD点を通過するときの付近の圧力も下げられることである。この量は最初の1両においてはSとなるが2両目以降においては漸次少なくなる。

次に37kgレールの場合を例にとりて1車当りで送られるレールの長さを計算する。A=47.28cm²とし、lとしてはボギー車の前台車と後台車との間でレールが浮き上りの傾向を有する長さを採り、900cmと仮定する。種々のrに対するδを(9)式によって求めれば表-2のごとくなる。

表-2 レールの中に圧力勾配があるとき1車両の通過によって送られるレールの長さ

r	kg/m	250	300	350	400
δ	mm	0.102	0.122	0.143	0.163

同様にしてレール温度の下降にともなってレールの中に張力が存在するときには車両の進行にともなって張力の小さい方から張力の大きい方にレールが送られる。このときにも1車両の通過によって送られるレールの縮みは(9)式および表-2によって与えられる。

表-2によれば圧力勾配が300kg/mあるときに10両連結の旅客列車が通過すればレールは圧力の高い方から低い方に向って1.2mmの移動を生ずることになり、これにレールのたわみの移動ともなうレールの移動が加わる。列車がレール中の圧力の高い方から低い方へ、または張力の小さい方から大きい方へ進行するときには両者の影響が加わり、反対方向に進行するときには両者の影響が差し引かれる。このように考えることによって図-5に示した各列車の通過によってレールに生ずるクリープの原因をほぼ説明することができる。レールとまくら木またはまくら木と道床との間の滑りに対する摩擦抵抗力を測定した結果によればまくら木1丁に対してレール1本当たり500kg程度となったのでレール温度の変化の激しいときにはレール中にふくまれる圧力勾配として300kg/m程度は当然ふくまれていると考えてよい。

次に問題となるのは24時間内における上り列車の数と下り列車の数とが等しく、レールの中にふくまれる圧力勾配の大きさならびに出現回数と張力勾配の大きさな

らびに出現回数とか等しければなぜ上り方向のクリープと下り方向のクリープとの累計が0とならないかということである。この累計が0となればたとえ各の列車によってレールがクリープしても支障はないはずである。図-5によればレール温度の変化の少ないときにはレールは徐々に下り方向にクリープを生じている。この原因に対してはさらに別の理由を考究する要があり今後の研究によって解決したいと考えている。

終りに本研究に当っては金沢鉄道管理局保線課ならびに金沢保線区の諸氏より多大の御協力を受けたことを述

べ、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 小野一良・成瀬忠明：泥炭地におけるレールのクリープについて，土木学会誌第 43 巻 第 3 号，昭和 33 年 3 月
- 2) 小野一良：軌条の接目遊間に就て，土木学会誌第 25 巻 第 7 号，昭和 14 年 7 月
- 3) 星野陽一：長大レールの温度伸縮，鉄道業務研究資料第 8 巻 第 2 号，昭和 26 年 1 月
- 4) 立松俊彦：ロングレールの温度伸縮，交通技術第 13 巻 第 3 号，昭和 33 年 3 月

(原稿受付：1960.6.25)

豆 知 識

レーダー・スピード・メーター

アンテナからマイクロ波電波を放射すると、自動車などの動いている物体に当たった電波は、ドップラー効果により周波数に変化して反射してくる。この反射波を同じアンテナで受けて、送信波の一部と混合検波すれば、周波数が移動物体の視線速度と正確に比例するドップラー・ビードだけが得られる。これを十分に増巾してから周波数計数回路へ入れて速度目盛の指示計器を働かせたり、自動記録させたりするようになっている。

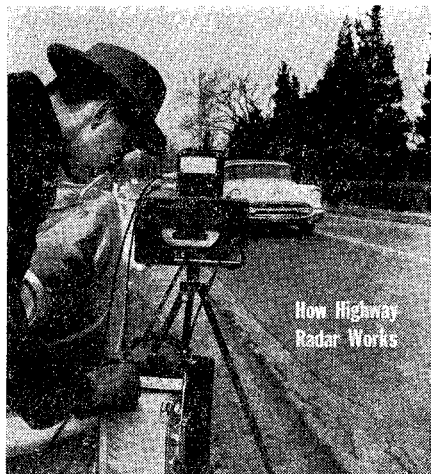
装置全体はアンテナ系、回路本体、電源部の部から成り、小型車のトランクに入れて自由に持ち運ぶことができるようにならされている。

安全車頭間隔や追越しの実験、ガードレール類への衝突実験など交通工学の基礎実験において、速度変化を正確に測定

しうるし、公道における実際の自動車走行速度を観測して制限速度を合理化したり、またスピード取締りとか超過スピード自粛の面に活用することができる。

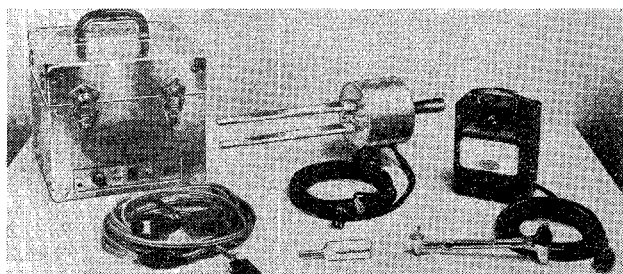
写真はアメリカにおいて、現在製作されているものこの種のものの使用状況を示すもので、周波数 10,525 メガサイクル、精度 60 mile/h + 1%，-0% とされている。わが国においても、すでに研究されているので、実用化の日も近いものと期待される。

レーダー・スピード・メーターの使用状況



【科学警察研究所 袴田・記】

レーダー・スピード・メーター



最近の道路問題と高速道路

本年度の夏期講習会のテーマにとりあげ、現状にマッチした題材として非常に好評を博しました。当日講習会に使用したテキストを御希望の方に頒布いたしますから何卒お早目に御申込み下さい。内容は 15 巻 7 号の会告に発表たとおりであります。

記

体 裁：B 5 判 364 ページ，上質紙使用，上製本 頒価：一般 650 円（〒 60 円）会員特価 500 円（〒 60 円）

申込方法：頒価に送料を添えて土木学会あて御申込み下さい。申込順に発送します。