

## 泥炭地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** 泥炭地に敷設された鉄道線路においてはレールのクリープが、いちじるしく線路保守上に大きな支障を与えている。著者等は列車通過中にレールのクリープを連続的に測定し、もつて車両種別および車両の位置とクリープとの関連を明らかにした。これによつてレールクリープ発生機構を知り、クリープ防止の対策について論じた。

### 1. 緒 言

鉄道線路に敷設されたレールは一般に列車の進行方向にわずかづつ移動し、これをレールのクリープと称している。レールクリープの量は場所によつて異なり、また列車の進行方向によつても異なる。よつて複線区間のみならず単線区間においてもレールの終目遊間が乱れてくるので、ときどきこれを元に戻してやらなければならない。レールクリープを軽減するにはレールがマクラ木上を滑ることをアンチクリーパーによつて防止しているが、このようにするとマクラ木もレールとともに移動するので完全に防止することは困難である。レールクリープは各地の鉄道線路で観測されるが、とくに北海道の泥炭地においてはなほだしく、線路保守上に大きな支障を与えている。泥炭地においては1カ月に2回の遊間整理を行つてもその間のレールクリープが100~200mmに達し、1年間のクリープ累計が1700mmに達する所もあるということである。

レールクリープの進行量、各種の防止方法ならびにその効果に関しては従来多数の調査が行われ、その結果が発表されている<sup>1)</sup>。またクリープの発生原因についても多数の説が行われてきたが<sup>2)</sup>、その概要を述べれば、

(a) 車輪がレール終目部を通過するときに前方のレール端を打撃するため。

(b) 温度変化によるレールの伸びは主として列車通過時に起るため、これにともなつてレールがクリープする。

(c) 車輪がレールに長さ方向の力を加えるとき、すなわち機関車力行時に動輪によつてレールは後方にクリープし、また制動時にはレールが前方にクリープする。

(d) マクラ木を支点としてこの間のレールがたわみ、このタワミによりレールの底部が伸びるので、この伸

びの量だけ車輪前方のマクラ木上をレールが移動する。

(e) 荷重の進行前方においてレールが浮き上りの傾向にあり、この浮き上がりが車輪によつて前方に送られるので、これがレールクリープの原因となる。

(f) 左右車輪の直径が異なるときおよび曲線通過時には、車輪はレール面上を滑るためレールの長さ方向に力を加え、これにともなつてクリープを生ずる。ただしこのときには左右レールのクリープの方向は逆となる。

しかしながら、これらの説にはまだ具体的な証明がつけられていない。ここにおいて著者はレールのクリープを詳細に測定し、その原因を探究するとともに、その防止方法についても一つの参考資料を作る目的をもつて本研究に着手した。測定場所に泥炭地を選んだ理由は前述のごとくレールクリープは泥炭地において最も多く、また線路保守に最も多くの困難を与えているためである。泥炭地におけるレールクリープとその他の路盤における線路のレールクリープとは、本質的に同様な原因によるものであるか否かについては疑問があるが、これは今後の課題として残すこととする。

従来レールクリープを測定するには、線路の両側に打つた基準杭の間に糸を張つて、一定の期間ごとにレールの位置を測定して、この間におけるクリープの量を知り、あるいは列車通過前と通過後におけるレール位置の差より1コ列車によるレールの移動量を求めることを例とした。また線路の側方から列車通過前と、機関車動輪通過中と列車通過後の3回、レールの位置を撮影して比較したこともある<sup>3)</sup>。列車通過中にレールからマクラ木の側面にレール方向に加わる力をワイヤー ストレインゲージを用いて測定した報告<sup>4)</sup>も見受けられる。

今回著者等が行つた測定方法は列車通過中におけるレールの長さ方向の移動を連続的に記録し、レールクリープの発生する過程を詳細に分析することにつとめた。なお従来普通路盤の線路でレールのクリープを測定した数値の中には、レール温度の変化にともなうレールの伸縮が多分に含まれており、この分離が困難であつたが、今回の測定においては、レールクリープの量がレールの伸縮にくらべてはるかに大きいと想像されるので、レール伸縮の影響を無視することができたと考えられる。

### 2. 線路状態

(1) 昭和31年7月23, 24日測定, 宗谷本線 上幌

\* 正員 工博 金沢大学教授, 工学部土木工学教室

\*\* 准員 金沢大学助手, 工学部土木工学教室

延～幌延間，旭川起点 198 240 m 付近，単線，直線，平坦線，30 kg 10 m レール敷設，マクラ木間隔 65 cm，ふるい砂利道床，測定の際はアンチ クリーパーをすべて取りはずした。

(2) 昭和 31 年 7 月 25 日測定，宗谷本線 歌内～間寒別間，旭川起点 175 320 m 付近，単線，曲線半径 400 m，カント 24 mm，平坦線，30 kg 10 m レール敷設，マクラ木間隔 65 cm，ふるい砂利道床，クリープ防止のためマクラ木 7 丁置きにマクラ木の両端近くに古マクラ木杭を打込み，さらに併設レールを取りつけてこれらの効果を試験中であった。今回の測定に当つては併設レールおよびアンチ クリーパーをすべて取りはずした。

### 3. 測定装置

測定は次の 3 段階に分けて行つた。

- (a) レールのクリープとレールの伸縮との関連
- (b) レールのクリープと車両位置との関連
- (c) レールのクリープとレールのタワミとの関連

これらの各項目はすべて機械的の測定装置で記録をとつた。記録装置を写真-1 に示す。この原理は図-1 に示すごとくピアノ線的一端をレールに結び，他端を記録装置付属のクランク AHB の腕 A に結び，さらにバネ AC を用いてピアノ線を一定の力 (約 5 kg) で緊張した。ピアノ線をレールに結ぶには，マクラ木間隔の中央においてレールに取りつけたアンチ クリーパーを使用した。ピアノ線はなるべく水平に張るようにつとめた。クランクの他端 B に記録ペンをつければ記録紙の上にレールの長さ方向の移動が記録される。記録装置 1 台には

写真-1 レール クリープの記録装置

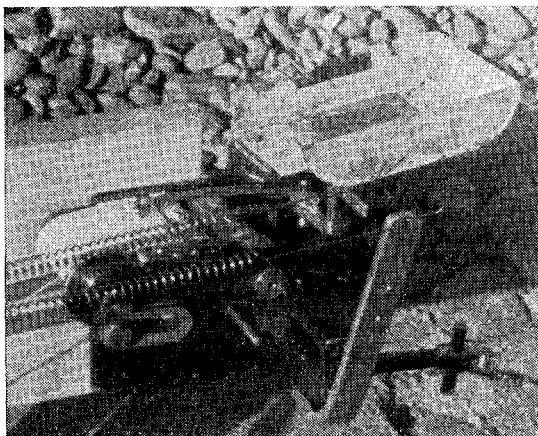


図-1 レールクリープの測定装置

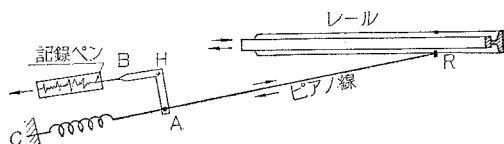


図-2 車輪通過時測定用スイッチ

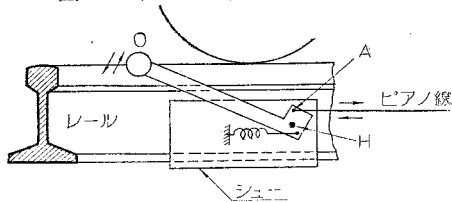
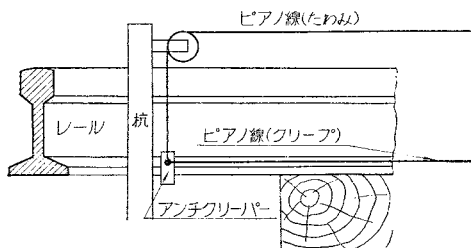


図-3 レールタワミの測定



このような機構を 2 コ設けて，同時に 2 点のクリープその他を測定できるようにした。

レールのクリープと車両位置との関連を知るためにクリープ測定点に近接してレールに速度測定器用のシューを取りつけスイッチの役割をはたさせた (図-2 参照)。車輪通過にともなつてシューの頭部 O は上下に運動し，この運動をピアノ線によつて記録装置に伝達した。

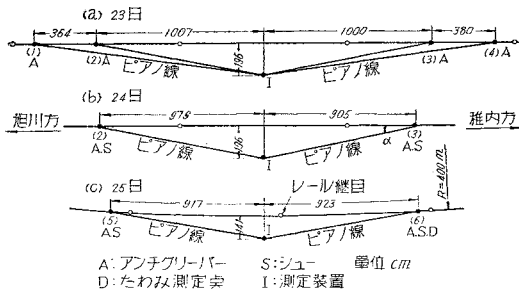
タワミの測定に当つては図-3 に示すごとくピアノ線をレール底部に結び，滑車を使つてピアノ線の方向を 90° 変え，これを記録装置に導いた。このさい滑車は道床に約 50 cm 打込んだ杭に取りつけたため，杭も路盤とともに上下動をなし，したがつてレールのタワミの一部を取り出したにすぎない。

記録装置は不動の基礎に固定する必要があるが，今回の測定においては，施工基面の法肩付近に打込んだ長さ 2 m の松丸太杭を基準として記録装置を取りつけた。泥炭地は軟弱であるために基準杭は列車通過時に多少の移動を生じ，このため記録にいくらかの誤差を導入したものである。しかし本測定はクリープの発生原因の探究という比較的定性的な目的であるため，不満足ながら所期の目的を達することができたと思われる。

記録装置，アンチ クリーパー およびシューの配置を図-4 に示した。つぎにレールの各方向の移動と，これによつて生ずるピアノ線の移動との関連について考察する。記録装置を取りつけた基準杭が移動すれば，当然これともなう誤差が記録に導入されるが，一応この影響を無視する。ピアノ線とレールとのなす角を  $\alpha$  とし，7 月 24 日における測定装置の配置に示すごとく  $\tan \alpha = 0.216$  としてレールのクリープ，横移動およびタワミがピアノ線に与える影響を計算する。

レールのクリープを  $c$  とすれば，ピアノ線の移動は， $c \cos \alpha = 0.98 c$  となり，ピアノ線はほぼ正確にレールの

図-4 測定装置の配置

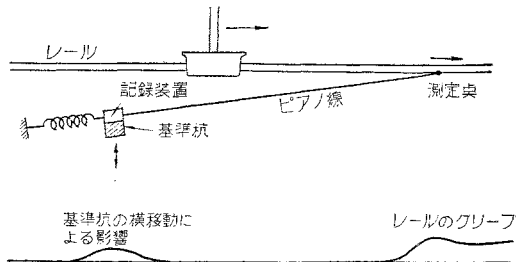


クリープを伝えることになる。レールの横移動を  $x$  とすればピアノ線の移動は  $x \sin \alpha = 0.21x$  となり、横移動の最大を  $1 \text{ mm}$  とすれば  $0.2 \text{ mm}$  が記録に導入されるおそれがある。

ピアノ線の長さを  $l$  とし、最初ピアノ線が水平に張られていたと仮定すれば、レールが  $\alpha$  だけたわんだ場合にピアノ線の移動は  $z^2 / (2l)$  となる。タワミの最大を  $60 \text{ mm}$  とすればピアノ線の移動は  $0.2 \text{ mm}$  となる。一般にレールのタワミと横移動とは同時に生ずるが、両者のピアノ線に与える影響は相反する符号をとるので、誤差の最大は  $0.2 \text{ mm}$  と考えることができる。

つぎに記録装置を取りつけた基準杭の移動によつて記録に導入される誤差について考察する。レールの移動がなく、基準杭だけが軌道方向に移動するときには、移動量そのものが誤差として記録に導入される。杭がレールと直角方向に移動したときには、さきの計算と同様にして移動量の  $0.21$  倍が誤差として導入される。ここに注意すべきことは、基準杭の移動は車両が基準杭の位置にきたときに最大となるので、他の記録とは時間的の差があることである。簡単のため  $1 \text{ コ}$  の荷重が進行する場合に基準杭はレールと直角方向に移動し、これに続いてレールがその長さ方向に移動する場合を考えれば図-5に示す記録が得られる。この図によれば両者の影響は分離されて記録されるが、多数の車輪が続いて通過するときには、基準杭の横移動による誤差を分離することは困難である。

図-5 基準杭の横移動による影響



以上記録に導入される各種の誤差の原因をあげたが、これらは列車通過後に元に戻るものが多い。よつて通過後に最終的に残されたクリープには他の影響は含まれて

いないと考えられる。また列車通過中であつてもほぼ同一の軸重と見なされる車両が連続するときには、各車両の通過時における誤差も同一と見なされるので、クリープの進行状態を知るにはさしつかえない。

#### 4. 測定記録の検討

23日には図-4(a)に示す4点(1),(2),(3),(4)にアンチクリーパーを取りつけ、これら4点におけるレールのクリープを測定した。24,25日には図-4(b),(c)における(2),(3)点または(5),(6)点にアンチクリーパーおよびシューを取りつけてレールクリープと車両位置とを関連させて測定した。25日における一部の記録では測定点(6)のクリープとタワミとを同時に記録した。測定記録の数例を図-6~14に示す。測定記録につけた番号は測定点を示し、それぞれの記録の始めには測定装置の倍率に応じて目盛をつけた。この目盛は列車進行方向とは無関係に下り稚内方面に移動するクリープを正とし、上り旭川方面に移動するクリープを負とした。

(1) ディーゼル動車によるクリープ 図-6.7にディーゼル動車による測定記録の一例を示した。図-7において測定点(6)のタワミおよびクリープの記録を比較すると列車が測定点に到達する前にわずかのタワミおよびクリープを生ずるように見られるが、これは基準杭の移動による誤差が導入されたものであり、これだけさし引いて観察する必要がある。その他の記録にも基準杭の

図-6 ディーゼル動車によるクリープ

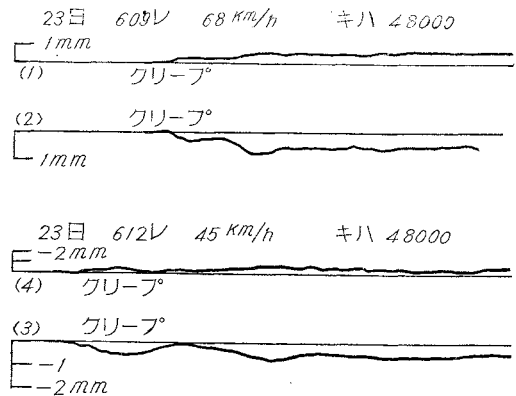
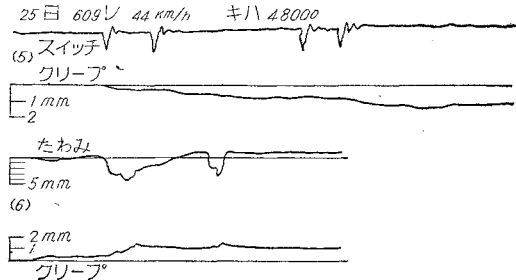


図-7 同上



移動の影響が含まれているので、クリープの正確な進行状態は不明であるが、ディーゼル動車の前台車と後台車の通過時に階段状にクリープの進行する場合もあり前台車によって生じたクリープがいつたん0に戻つたのちに後台車によって再びクリープする場合もあり、また前台車によってクリープした後に後台車によるクリープがほとんど認められない場合もある。そして列車通過後に残されたクリープがこれらの列車によるクリープとなる。

図-6における測定点(1)と(2)または(3)と(4)とは、それぞれ同一のレールの端および中央近くに位置する測定点であるが、そのクリープの量が一致しない。これは列車通過にともなつてレール中に含まれていた引張り、または圧縮ヒズミが解放されてレールが伸縮したものと考えられる。これらの伸縮の量から列車通過前にレール中に含まれていた圧力または張力と、これに相当した温度変化を換算することができる。23日の記録の中でレールの伸びまたは縮みが、明らかに表われた例について計算した結果を表-1に示した。

表-1 レールクリープと伸びとの関係

列車番号	測定点	クリープ mm	レールの伸び mm	測定点間距離 mm	圧力 kg	温度変化 °C
23日 609	(1)	0.5	-0.1	3640	-2000	-2
	(2)	0.4				
	(3)	0.6				
	(4)	0.5				
23日 612	(1)	-0.7	0.2	3640	4000	5
	(2)	-0.5				
	(3)	-0.6				
	(4)	-0.3				

表-1によれば23日612列車通過前にはレール内に約5tの圧力が含まれていたことになる。その他の記録においてはレール伸縮の量は非常に少なく、いずれも測定誤差の範囲内であつた。よつて泥炭地におけるレールクリープの測定においては温度変化によるレールの伸縮を無視してもさしつかえがないと考えられ、24、25日の測定においてはすべてレール中央点におけるクリープのみを測定することにした。

(2) 9600型機関車によるクリープ

24日5~6時に9600型機関車1両を試験列車として、反覆往復させ、レールのクリープを測定した。図-8に測定記録を例示する。図中列車番号は便宜的につけたもので奇数番号は下り(機関車正向)、偶数番号は上り(機関車逆向)を示す。

15列車の測定点(2)および16列車の測定点(3)の記録では最初の車輪すなわちL(先輪)またはT<sub>1</sub>

(炭水車第3車輪)通過後もレールはクリープせず、D<sub>1</sub>(第4動輪)またはT<sub>1</sub>の付近でようやくクリープを始め、15列車の測定点(3)および16列車の測定点(2)の記録では列車進入前にすでにクリープを始めているようにみられる。しかしこれはさきに説明したように基準杭の移動の影響があらわれているのであつて、レールは機関車の先頭およびD<sub>1</sub>またはT<sub>1</sub>通過時の2段にクリープしているとみなされる。

毎回のクリープを表-2に示した。一般に下り列車によるクリープが上り列車によるクリープより、いくぶん大きいため7往復の運転を行つた結果、レールは稚内方に1.4~2.1mmの移動をした。なお測定回数が少ないため明らかではないが、列車速度が大きいほどクリープも大きいものようである。

表-2 機関車によるクリープ

列車番号	速度 km/h	測定点 (2)mm	測定点 (3)mm	列車番号	速度 km/h	測定点 (2)mm	測定点 (3)mm
10	36	-0.4	-0.4	11	35	0.6	0.8
12	35	-0.2	-0.6	13	35	0.8	1.0
14	35	-0.6	-0.8	15	35	0.7	0.9
16	35	-0.6	-0.6	17	35	0.8	1.3
18	35	-0.5	-0.9	19	35	0.7	0.9
20	35	-0.6	-0.7	21	45	0.7	0.9
22	51	-0.7	-1.0	23	45	0.7	1.3
計		-3.6	-5.0	計		5.0	7.1

測定点(2): 5.0-3.6=1.4mm  
測定点(3): 7.1-5.0=2.1mm

(3) 貨物列車によるクリープ

図-8 機関車によるクリープ

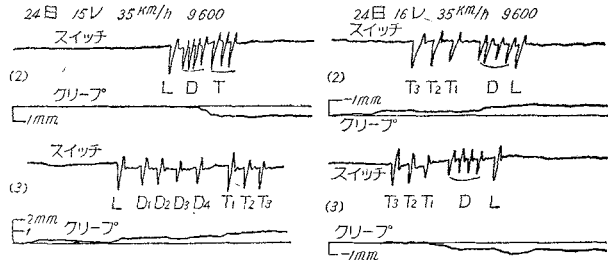


図-9 貨物列車によるクリープ



図-10 同上

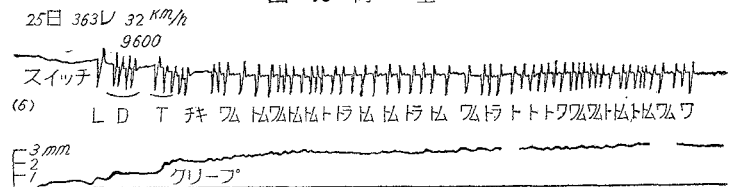


図-11 貨物列車によるクリープ



けるクリープ測定記録の数例を図-9~12に示した。図-9によれば機関車通過時にいくぶんのクリープを生じ、その後続く二軸貨車によつては多少の起伏をとまなうがほとんどクリープを生じていない。しかるに列車最後尾のトキによつて旭川方面へいちじるしくクリープを生じている。図-10によれば機関車およびこれに続くチキによつて大きくクリープを生じ、その後の貨車によつてわずかではあるが、徐々にクリープを生じている。図-11によれば列車の後半にある2両のチキによつて大きくクリープを生ずるが、二軸ボギー貨車のセキによるクリープは認められない。

図-12には測定点(6)のタワミとクリープの記録を示したが、機関車通過時にタワミとクリープとがいちじるしく進行し、その後は各車輪の通過にともなつてタワミの小さな変化はあるが、クリープはほとんど進行しない。しかるに最後尾にある2両の二軸ボギー貨車レキにより レール タワミは大きく変動し、これにともなつてクリープの進行も認められる。列車の中央部にある3両の二軸ボギー貨車セキによるタワミの変動は少なく、またクリープの進行も認められない。

以上の測定結果よりつぎのことが判明する。貨物列車によるクリープの大部分は機関車およびトキ、チキ、レキ等の二軸ボギー貨車によつて生ずる。二軸ボギー貨車であつてもセキのごとく台車間の距離の小さな貨車によつてはクリープを生じない。二軸貨車によるクリープはほとんど認められない。換言すればレールのタワミが0から急に増加し、あるいはレールのタワミがいつたん0の付近まで戻つて、それから急に増加するときにレールのクリープを生ずるといふことができる。

(4) 旅客列車によるクリープ

旅客列車によるクリープの数例を図-13, 14に示す。旅客列車は大部分の車両が台車間の距離の大きいボギー車よりなることから予想されるように貨物列車にくらべて一般に大きなクリープを生じている。図-13, 14によればボギー客車の各車両ごとにきわめて明らかにクリープを生じている。また図-14測定点(6)によれば機関車の進入と同時にレールは大きくたわみ、後に続く客車スハフの前台車通過後にタワミはいつたん0に戻り、また後台車の進入と同時に大きくたわむ。この後に続く多数の客車によつても同様の運動をくり返す。このタワミの変化にとも

図-12 同上

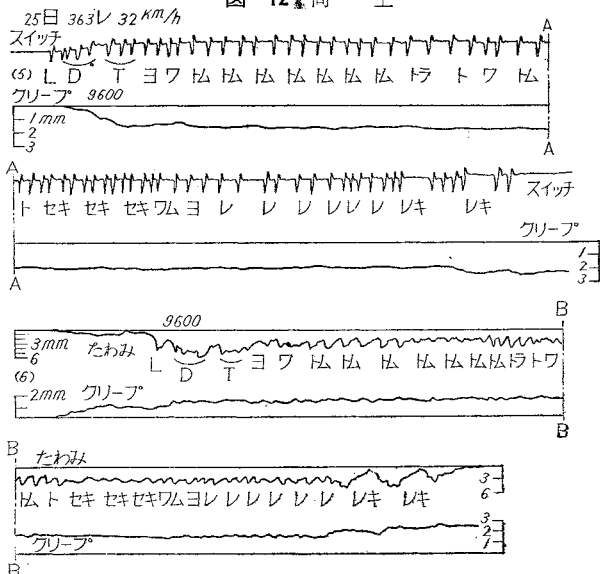


図-13 旅客列車によるクリープ

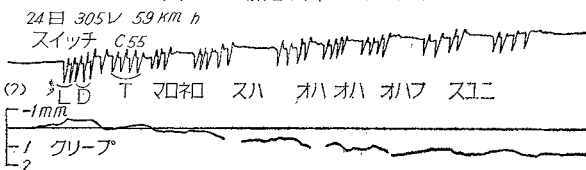
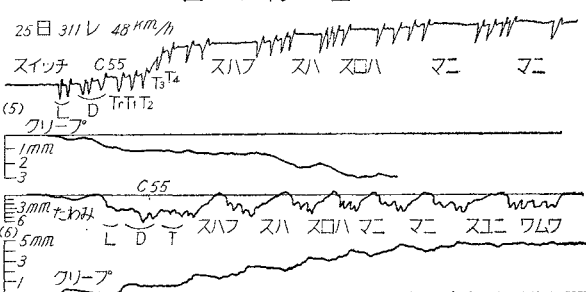


図-14 同上



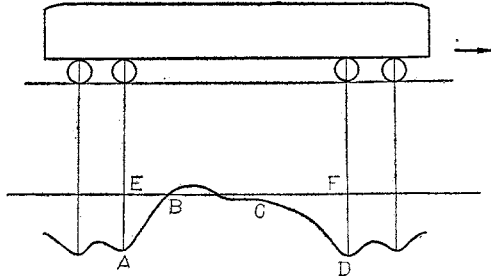
なつてレールのクリープも階段状に進行することが認められる。しかし一車両によるタワミの変化およびクリープはともに回数を重ねるとともに順次減少している。列車の最後尾に2両の二軸貨車が連結されているが、この車両によるタワミの変化は少なく、またクリープも生じていない。

5. レール クリープの原因に関する考察

前章で述べた測定結果によれば車両の通過によつてタワミのいちじるしい変化のあるときに レール クリープ

が進行する。しかし貨物列車において二軸貨車が多数連続して通過するときには、レール タワミ の変化が少なく、従つてクリープの進行はほとんど認められない。これは従来となえられていた多くの説によつては解明できないところであり、ここに別の考え方が必要となる。

図-15 レールのタワミ曲線



いま客車1両を例にとり、レールのタワミを画けば図-15に示す曲線 ABCD のごとくなり、このタワミ曲線が車両とともに前方に進んで行くことになる。よつて客車1両の進行にともなつて曲線 ABCD の長さと同直線 EF の長さとの差だけレールは前方に送られることになる。この移動に対してレールとマクラ木との間の摩擦抵抗または道床の抵抗が作用するが、図-15の BC 間においてはレールが浮き上りの傾向にあるためこれらの抵抗力が軽減されると考えられる。道床係数を  $0.3 \text{ kg/cm}^2$  とし<sup>5)</sup>、道床面沈下の影響<sup>6)</sup>を隣りのマクラ木の位置において 50% と仮定して曲線 ABCD と直線 EF との差  $\Delta l$  を計算すれば表-3に示すようになる。

表-3 1車両の通過によつて生ずるレールクリープの計算値

車輪荷重 kg	レールの最大タワミ mm	$\Delta l$ mm
5 000	37	0.41
6 000	44	0.59
7 000	52	0.80

表-3に示した  $\Delta l$  の値は測定で得られた1車両によるクリープ量にほぼ近い値となつている。この表に示すごとく  $\Delta l$  の値はレールの最大タワミの2乗に比例するのでレールのタワミが大きい線路においてレールクリープが特にいちじるしいことが説明される。

以上の考察によつて1コ列車または2車両の進行にともなつて生ずるレールクリープの説明はできるが、つぎになぜクリープに方向性があるかを解決する必要がある。すなわち実際には上り列車によるクリープの量と下り列車によるクリープの量とが異なるためこれらの列車回数は同一でもクリープの累計は0とならず、レールは一方方向に移動を生ずることになる。この理由を解明するには泥炭の性状についても調べる必要があり、さらに継続して研究を進めたいと考えている。

## 5. 結論

泥炭地に敷設された鉄道線路において、列車通過時に各種の車両によつて生ずるレールクリープを測定した結果次の事項が明らかになされた。

(1) レールのクリープは主として機関車および台車間距離の大きなボギー車通過時に生じ、台車間距離の小さなボギー車および二軸貨車によつてはほとんど生じない。

(2) レールが急に大きくたわみ、またはタワミがいつたん0に戻つたのち再び大きくたわむときにクリープを生ずる。

(3) 列車速度が大きいときにレールのクリープもいくぶん増加する。

以上の測定結果よりレールクリープの原因を考察すれば車両の進行にともなつてレールのタワミが前進し、タワミにともなうレールの長さの伸びだけレールが前方に送られて、クリープを生ずると考えられる。

レールクリープの防止対策としては従来各種の方法が実施されてきた。すなわち(a)アンチクリーパーの取り付け、(b)併設レールの取り付け、(c)路盤入換え、(d)サンドパイル工法、(e)レールの重量化等である。このうちで(a)は最も普通に行われる方法であるが、泥炭地ではマクラ木もレールとともに移動するのでアンチクリーパーだけでは十分の効果はあがらないと考えられる。さきに述べたごとくレールのクリープを最も大きく支配する要素がレールのタワミ変化であることよりレールのタワミを少なくする方法がクリープ防止上最も有効と考えられる。上記の(c)、(d)は路盤改良工法であるため最も優れており、クリープ防止のみならず、その他の線路保守上にも、効果が大きいと考えられる。(e)レールの重量化は最も施工容易であつてクリープ防止上有効であると考えられる。30 kgレールを50 kgレールに交換すれば計算上レールのタワミは1/1.3となるが、レールクリープは1/2.2となる予定である。

終りに本測定は国鉄旭川鉄道管理局施設部保線課 広田、篠原両氏および幌延保線区の諸氏と協力して行つたものであることを述べ、ここに厚く謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 鉄道省工務局：第22回保線講話会記録、軌条匍止方法の研究、昭和11年3月  
旭川鉄道管理局業務資料：泥炭地線路の調査、昭和31年4月
- 2) 上記の保線講話会記録および  
前橋俊一：軌条匍進に就て、土木学会誌第22巻第4号、昭和11年4月
- 3) 上記の旭川鉄道管理局業務資料 115ページ参照
- 4) J.P. Hiltz, Jr.: "Measurement Under Traffic of the Dynamic Rail Creepage Forces Exerted on Ties by Rail Anchors and the Static Load Required to Move Ties in the Ballast, Near Kansville, Wis., on the Milwaukee Road." A.R.E.A. Bulletin, vol. 56, p. 283.
- 5) 上記の旭川鉄道管理局業務資料 97, 98ページ参照
- 6) 小野一良：軌条に生ずる応力及変形の計算法、土木学会誌第25巻第10号、昭和14年10月、1206ページ参照