

## 石北線における空転対策の取組み



たかだみちのり  
高田倫義

### 1. はじめに

石北線は旭川から北見を経て網走までを結ぶ路線であり、途中北海道最大の山系である大雪山系を横断しており、急峻で狭い地形を最急こう配1,000分の25、曲線半径300mで蛇行するように敷設されている。

そのため、列車走行が容易とはいえない線形であり、空転・滑走により列車遅延や運休を発生させることがある。また、空転・滑走は列車運行だけではなくレールの空転傷や車輪のフラット化等の設備や車両への悪影響も及ぼしている。

従来、車両側の対策として砂撒き等を実施してきたが、解消に至っていない現状があった。そこで、空転及び滑走の原因を検討し、車両側の対策に加えて地上側の対策を行った結果、運休等の輸送障害を減少させることができたので、その取組みについて紹介する。

### 2. 空転、滑走発生状況

石北線の空転発生箇所・要因について、過去3か年の列車乗務員の申告を基に分析を行った。空転発生箇所はすべて山間部のこう配の大きい区間であった(表-1)。特に半数以上が20%以上の急こう配区間で発生している。

表-1 空転発生箇所におけるこう配の割合

こう配(%)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25
割合(%)	0	0	0	44	56

発生要因の申告は3つあり、レールの湿潤、落葉、雨の順で多かった(図-1)。また、発生時の時間帯にも一定の傾向が見られ、早朝と日暮れでの発生が多く、いずれも気温変化の著しい時間帯の発生が全体の約8割に及んでいた(図-2)。

以上のことから、落葉、湿潤及びこう配に焦点を当てて、空転の発生原因を特定し、その対策を講じることとした。

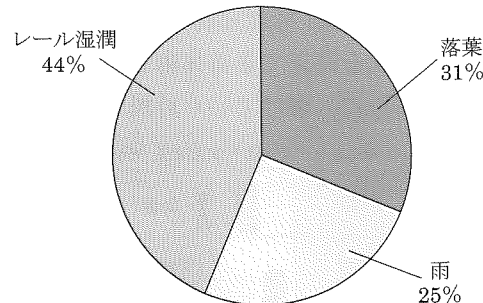


図-1 空転発生要因

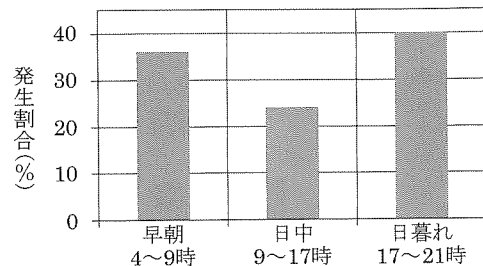


図-2 空転発生時間帯

### 3. 空転現象の発生メカニズム

空転は、レールと車輪の粘着特性によって発生することが知られている。以下に鉄道総研の研究<sup>1)</sup>による空転現象のメカニズムを示す(図-3)。

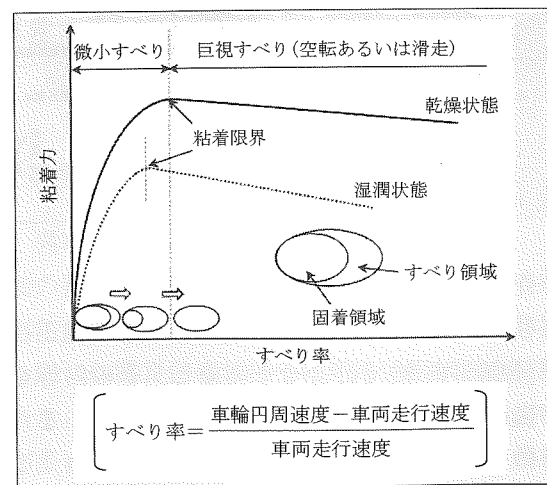


図-3 車輪とレール接触面内の力の伝達状況<sup>1)</sup>

- 車輪踏面とレール頭頂面が接触する場合、接触面は楕円に近い形となる。
- レール上を転がる車輪に加速もしくは減速させる

負荷トルク(駆動力もしくはブレーキ力)を加えると、図-3のように、すべり領域と固着領域が現れる。

- すべり領域は負荷トルクの増加に伴って占める面積の割合が大きくなり、ある負荷トルクの条件下で接触面内の固着領域が消えて完全なすべり領域になる。
- すべり領域と固着領域が共存している状態から完全なすべり領域の状態に転換する瞬間に粘着限界に達し、これを超える負荷トルクを与えると空転現象が発生する。

また、図-4は原動機により車輪踏面のレール方向に引張力が働き、その反力が車両を加速させる力(加速力)となることを示している。車輪とレール間で伝達される力を軸重で除した値がトラクション係数と呼ばれる。すべり始めるとトラクション係数は小さくなる傾向にあり、最大値を粘着係数としており、空転や滑走の発生状況を評価する値として扱われている<sup>2)</sup>。

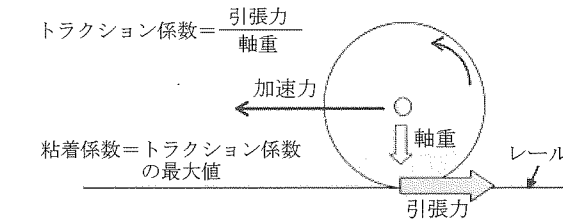


図-4 加速・減速と引張力<sup>2)</sup>

この粘着係数を低下させる最大の要因は車輪とレール表面の状態及び車輪とレール間の介在物とされている。このことから、車輪とレール間で粘着係数を低下させる要因となっているものを確認するために、空転の発生が申告される箇所において現地調査を行った。

### 4. 空転現象の発生メカニズムに基づく現地調査結果

前項に示した空転現象の発生メカニズムを踏まえて現地調査を実施した。その結果、図-5のように、レール頭頂面に落葉痕が頻発していたことから、車輪とレール間に落葉が挟まり、粘着係数を低下させる要因となっていることが予想された。また、図-6のように、レール表面全体が黒い皮膜(黒色皮膜)のようなもので覆われている箇所も散見された。

この黒色皮膜の形成過程は、以下のとおりである<sup>3)</sup>。  
○ 線路内に落ちた枯葉(落葉)が列車通過時に巻き上げられて車輪とレール間に挟まれ踏み潰されることで落葉がレール面に付着する。

- この付着物が昼夜の温度差による結露や霜等の水分を吸収し、葉に含まれるタンニンがレールの成分である鉄と反応、黒色のタンニン鉄を含む黒色皮膜として形成される。
- さらに時間の経過とともに車輪に踏み潰される落葉の量が増加し、黒色皮膜も厚くなる。この黒色皮膜は雨天時等の湿潤条件下では柔らかいペースト状となる。以上により形成された黒色皮膜が粘着係数を低下させることで、空転・滑走が発生していると考えられる。



図-5 落葉痕

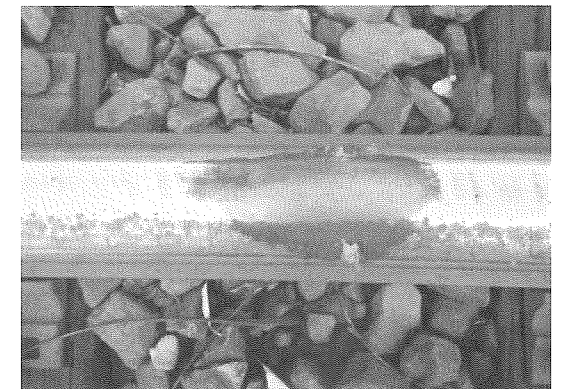


図-6 落葉痕(黒色皮膜)

### 5. 対策の検討・実施

前項の空転発生原因の推定に基づいて、直接的に空転・滑走に影響のある黒色皮膜の除去と、さらに落葉の発生原因となる沿線樹木の伐採を行うこととした。

#### (1) レール研磨装置によるレール頭頂面清掃

落葉痕や黒色皮膜の除去を目的として、自走式レール研磨装置でレール頭頂面研磨を行った(図-7)。使用した研磨機は本来レール頭頂面の錆除去を目的とした機械であり、研磨量は10 $\mu$ m程度である。図-8のように、研磨後は黒色皮膜が除去されていることがわかる。

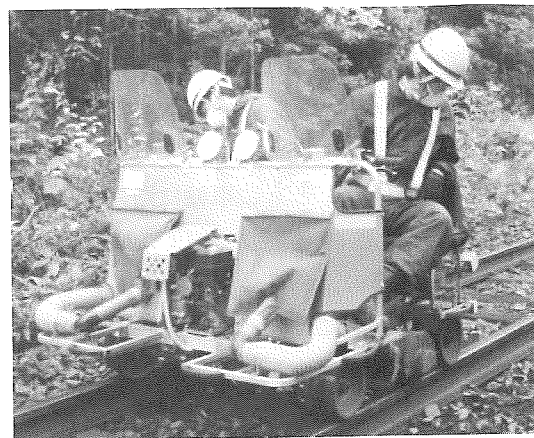


図-7 自走式レール研磨装置



図-8 レール研磨前後日比較

自走式であることから施工性能が非常に高く、1時間当たり2,500m程度の研磨が可能であるため、1回の施工で数千mにわたり落葉痕や黒色皮膜の除去を行うことができる。

落葉痕や黒色皮膜除去のためのレール頭頂面清掃を、空転発生件数の多い急こう配(20~25%)区間を中心に、9月中旬から11月中旬にかけて実施した。

清掃周期は、装置の運用や落葉の発生状況等を鑑みて1回/2週とした。

## (2) レール削正による黒色皮膜の除去

黒色皮膜の厚さは数 $\mu\text{m}$ ~20 $\mu\text{m}$ とされており、研磨により大部分は取り除くことができたが、黒色皮膜が厚い箇所では除去しきれなかったことがあった。さらに、レール頭頂面に微小なくぼみ傷がある区間においては、研磨のみではくぼみ傷内の黒色皮膜を除去しきれない箇所も散見された。そのため、一頭式レール削正機(図-9)を用いて削正を実施した。

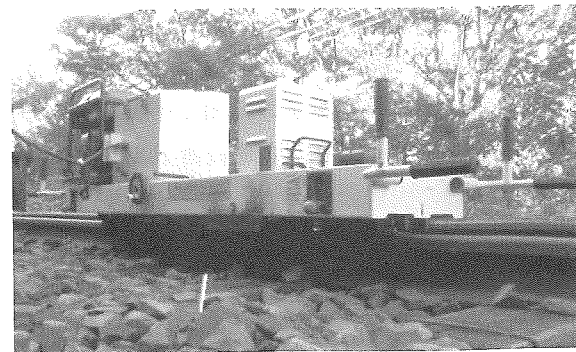


図-9 一頭式レール削正機

この削正機の最小削正量は0.1mmであり、1か所の施工で10分程度の施工時間を要する。自走機能はなく重量も大きいため、機動性は高くない。しかしながら、研磨機よりも深く切削できるので黒色皮膜とくぼみ傷を完全に除去することができる。

また、黒色皮膜の除去のみならず、くぼみ傷をなくすことでレールの平滑化の効果もあり、くぼみ傷により減少していたレールと車輪の接触面を増加させることで固着領域を拡大させ、粘着係数の増加が見込める(図-10)。

さらに、車両の砂撒きの効果をより一層高めることができることも考えられる。

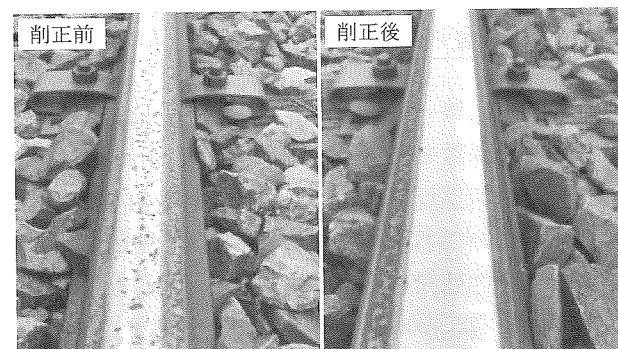


図-10 一頭式レール削正機による削正の前後

## (3) 沿線樹木伐採による落葉の抑制

黒色皮膜生成の原因である落葉の発生と軌道内の堆積を抑制するために、乗務員の申告で落葉に起因して空転が発生したとされる区間に対して沿線樹木の伐採を行った。

伐採前は軌道中心から3m程度まで枝が伸びている状態であったが(図-11)、当社用地内のすべての樹木を伐採したことで軌道中心から7~8mの範囲に樹木はなくなった(図-12)。

落葉散布パターンモデルでは、約90%が供給源から15m以内に落下し、約60%が10m以内に落下するという知見が得られており、林床植生の被度が大きい場合は落葉の林床上の再移動はほとんど発生

しないと推定されることから<sup>4)</sup>、今回の伐採により沿線樹木から発生する落葉の軌道内への堆積を十分に抑制することができると判断した。



図-11 沿線樹木伐採前



図-12 沿線樹木伐採後

## 6. 対策の効果

レール削正による黒色皮膜の除去と沿線樹木伐採を行った結果、図-13のように、対策前は年間30件程度の空転が発生していたが、対策後はおおよそ1/10程度と格段に減少した。また、2017年度以降は削正と伐採の施工範囲を拡大して行っているため、発生件数のさらなる減少が見られる。

この結果から、既往の研究結果に基づき推定した発生原因とそれに対応する対策を行ったことが、空転の発生件数の減少に繋がったと考えている。

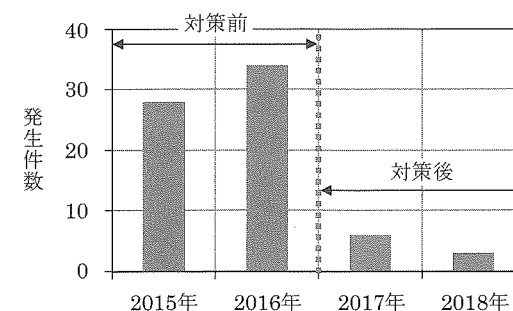


図-13 空転発生件数の推移

さらに、空転の影響による運休及び輸送障害(30分以上の遅延)の発生件数を図-14に示す。運休に関しては対策を行ってから右肩下がりに減少し、2015年の10件に対して2018年は1件と、1割まで減少した。輸送障害についても2016年の9件に対し2017年は1件

と、おおよそ1/10となり、非常に大きな効果が現れている。

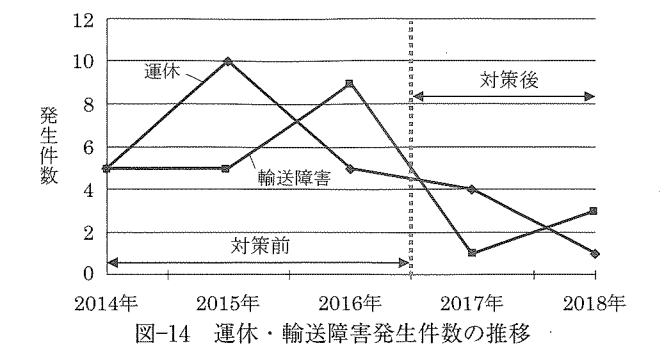


図-14 運休・輸送障害発生件数の推移

しかしながら、空転による運休や輸送障害は少ないながらも発生しており、また、2018年に発生している運休及び輸送障害はすべて183系車両であることから、引き続き車両側とも協力のうえ、今後さらなる取組みを講じていきたい。

## 7. おわりに

今回の対策により、空転の発生を抑制することができた。車両としてできる対策に加え、線路設備としてもできる対策を講じ、運休や輸送障害をより減少させるため、システムを超えて一致協力して引き続き安全・安定輸送の維持・向上に取り組んでいく。

### 《参考文献》

- 1) 陳樺：走る基本—粘着とは何か—, RRR, Vol.65, No.7, pp.2-5, 2008
- 2) 山下道寛：空転再粘着制御, RRR, Vol.71, No.8, pp.28-31, 2014
- 3) 陳樺ほか：粘着力に対する落ち葉の影響, 鉄道総研報告, Vol.31, No.4, pp.29-34, 2017
- 4) 阿部俊夫ほか：モデルによる河畔域の落葉散布パターンの評価, 応用生態工学8(2), pp.147-156, 2006

(JR北海道 北見保線所 施設技術係)

