

20 滑るように列車を運転するため 線路・車両に注ぐ技術者の愛情



厳冬のまつだい駅を通過する683系特急「はくたか」

(1) ほくほく線の乗り心地

北越急行ほくほく線ではご承知のように特急「はくたか」は狭軌日本最高速度の時速160km/hで、普通列車も110km/hで運転しておりますが、お客様からは「乗り心地がいいですね。」ということを頻繁に言われます。なかには「滑るように走りますね。」という、ややオーバーな言い方で表現される方もいます。

ほくほく線だって揺れもありますし、なかなか「滑るように」とはいかないので過分なおほめの言葉には赤面する気持ちですが、唯一つ会社として言えることは特急・ローカルを問わず少しでも乗り心地の良い列車を提供することに大きな価値観をもって臨んでいることは断言できます。

当社は歴史の浅い会社ですし、他の先輩鉄道会社に比較すれば社員の経験年数も浅く技術的なノウハウもJRからの出向者や経験者の指導によって少しずつ蓄積してきました。しかし、より良い商品(列車)を送り出すための社員一丸となった情熱は他社に負けないものがあると思います。

その一つが列車の乗り心地です。列車の乗り心地を決めるものは軌道(線路設備)と車両の両面ですが、ここに注がれる技術者の情熱と愛情が冒頭の社会的評価につながっているものと思います。ほくほく博士今回は列車の快適な乗り心地を確保・維持するための取り組みを紹介することにしました。このなかには他の鉄道会社ではあまり見かけないものもあると思います。鉄道会社はお客様から見えないところでこんな努力もしているのだということを示すだけでもご理解いただければ、深夜、氷点下のなかで頑張っている社員も張り合いがでてくることになるでしょう。

(2) ほくほく線の線路設備とその維持管理



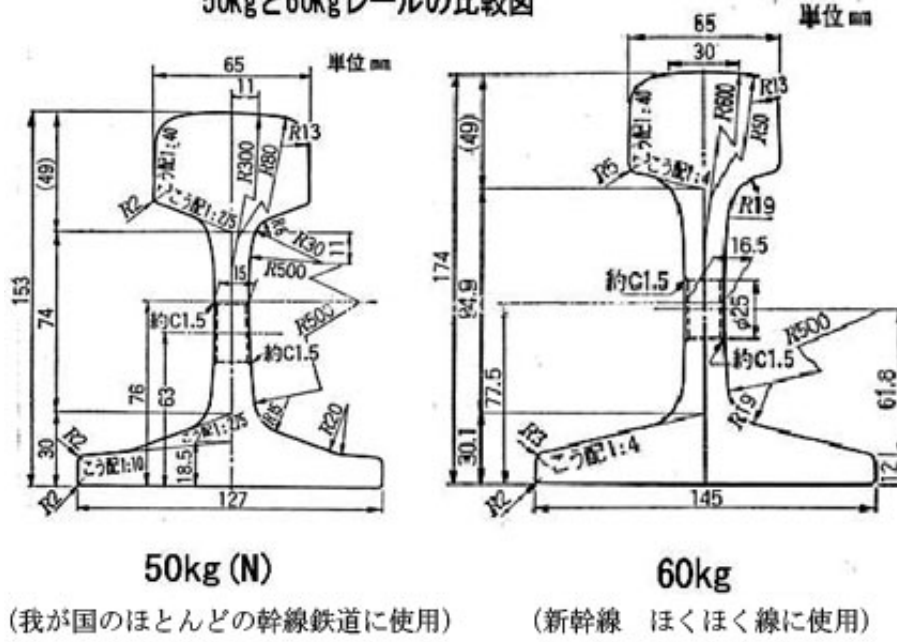
歪みのない線路の確保が滑らかな列車の運転には絶対条件となる 虫川大杉駅構内

列車の乗り心地を左右するものは大きく分けて軌道と車両にあることは論を待ちません。

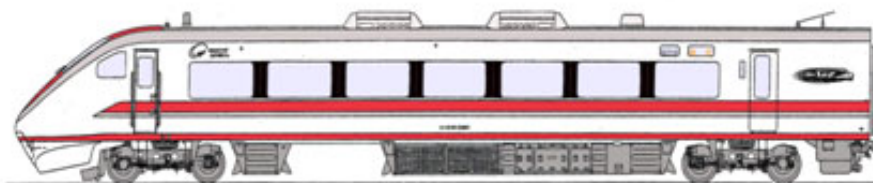
線路が歪みなく上下左右に偏っていなければ乗り心地が良くなるのは当然です。もちろん最初に線路を敷設するときにはミリ単位で歪みがないようにするのですが、列車の繰り返しの通過により次第に狂い(軌道変位)を生ずることは避けられません。なにしろ数十トンもある車両が何両も連結して高速で走れば、ここから受ける衝撃力のみでも大変なものになることは容易に想像できるでしょう。したがって、線路設備も適切な管理と保守を行い常に歪みのない状態にしておくことが求められます。もともとほくほく線の線路は160Km/h運転の実施を前提に狭軌ではあってもしっかりとした構造につくられています。つまり高規格な軌道構造になっています。このことについては、ほくほく博士(5)「ほくほく線の高速運転を支える設備」も参考にしてください。

その主な要素は新幹線なみの60Kg(1m当たりの重量)ロングレールの使用と、これを支える枕木もスラブというコンクリート路盤にしっかりと固定されている区間が多いですし、バラスト(碎石)区間においてもコンクリート枕木の本数を増やして高速運転の衝撃にも耐えられるようにしています。ちなみに60Kgと50Kgレールの比較をすると下図のとおりです。

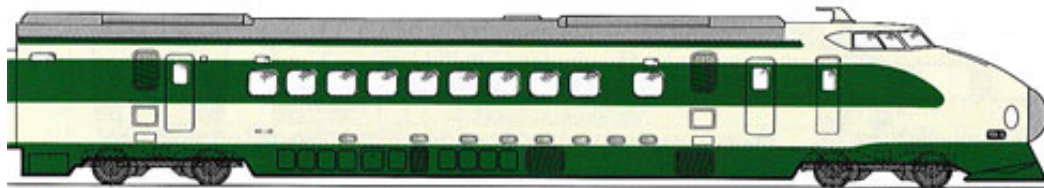
50kgと60kgレールの比較図



歪みのない軌道を確保することが重要な要素 まつだい駅構内バラスト軌道区間



ほくほく線1軸当たりの重量制限12トン



新幹線1軸当たりの重量制限16トン

(3) 軌道の管理技術について

大型のバスやトラックが走る道路と同じように、鉄道における軌道は重い車両の重量を支えるとともに、車両の走行の案内路としての役割を担う重要な構造物なのです。鉄道の開業時には滑らかに敷設された軌道も、列車の繰り返しの通過により次第に軌道の狂いを生ずることが避けられません。この結果、レールの凹凸などが発生・増大し乗り心地の悪化や騒音・振動の増大など様々な問題を引き起こします。

他の在来線と比較すれば車両も大型で重量も重い新幹線と同様な線路を敷設してある「ほくほく線」を実際に走るのは軽量の車両であるからそんなに線路は痛まないのではないかと思う方もおられると思いますが、「新幹線と同じ規格の線路」といっても全く同じということではありませんし、当社線でも年間の通過トン数は410万トンにも達し、列車の高速運転もあって軌道に狂いが生ずることは避けられないのです。

このため列車の乗り心地を保ちつつ高速走行を可能とするためには、軌道の「基礎体力」を監視し効率的に軌道の「体調」を整えてやる必要があります。ここに線路を見守る技術者の愛情が注がれることとなります。鉄道会社における軌道の管理の実際はどのように行われているのかを、北越急行の場合について解説します。

(1) 軌道の状態監視

軌道の状態がどのようになっているのかを確実に知る最も簡便な方法は担当技術者が実際に列車に乗って線路状態を確認することでしょう。当社では3日毎に係員が普通列車の運転台に乗って目視と体感によって、動揺が無いかなど軌道状態をチェックしています。普通列車は最高速度が110km/hですが、これより高速で運転される特急列車の場合には高速なるが故の異常があってはならないので、一定間隔で「はくたか」の運転台での監視も行っています。この添乗検査によって線路のかなりのことが把握でき、若干でも異常が感知されれば、その場所を特定して補修作業を計画することになります。しかしながらミリ単位の管理を行うにあたっては人間の感覚のみでは限界があり軌道状態を正確に効率よく測定することがどうしても必要になります。

当社の場合、JR東日本保有の在来線電気・軌道総合試験車(East i-E=イーストアイ・ダッシュ・イー 形式E491系)を借用し年間4回全線の精密な測定を実施しています。



ほくほく線の電気・軌道の測定に向かうE491系(六日町構内)



イーストアイのロゴマーク

ほくほく線十日町駅に停車中のE491系

(2) 軌道管理はどのくらいのシビアさで管理されているのか

軌道がどのくらい狂いを生じたら手をいれるのかという値を軌道管理の整備目標値として会社独自に設定しています。ここで間違っはいけないのは、整備目標値というのは、あくまでも列車が滑らかに走るための許容上限値であって安全上の値ではありません。つまり簡単に言えばお客様にとっての乗り心地を損なわないための整備目標値であって安全上の限界までにはかなりのかい離があるということです。逆にいえば安全を脅かすようなレールの変位があればお客様にとっては耐えがたい乗り心地になるということが言えます。したがって、そのような大きなレールの変状が起きるより、はるか手前の時点で手を入れてやり微小なものでも正しい形に戻してやる必要があります。このための整備目標値であると言えます。まさに技術者がレールの状態を常に見守り、整備目標値に達する前に愛情をもって常に滑らかな線路を列車が走れるようにしているのです。線路は鋼鉄製の無骨なものですが、この管理はまさにミリ単位で行われており、その具体的な整備の目標値は以下に述べるとおりです。

当社線が開業するまでは狭軌(軌間1,067mm)における160Km/hの高速走行に対応した管理目標値の事例が我が国の鉄道にはなかったのは当然でした。そこで開業前に鉄道総合技術研究所に委託して種々の試験を行いそこから得られたデータに基づいて、ほくほく線における次のような軌道整備の目標値を定めました。この値前後になると列車に動揺が出てくるなどの現象が現れるため手を入れることとなります。これらの目標値は各鉄道会社が線区のさまざまな条件を考慮して決めているはずですが、当社の場合の

値は他の在来幹線鉄道のものよりかなり厳しくなっています

項目	単位	整備目標値
高低（上下の歪み）	軌道 10m 当たり（mm）	8
通り（左右の歪み）	軌道 10m 当たり（mm）	4
列車動揺（上下動）	g	0.25
列車動揺（左右動）	g	0.20

では線路に手を入れてどの程度まで整正するのでしょうか。その仕上がり基準値をほくほく線の場合次のとおりとしています。

	一般（バラスト道床）区間	コンクリート道床区間
軌間（レールの幅）	± 2（mm）	± 1（mm）
高低（上下の歪み）	± 4（mm）	± 3（mm）
通り（左右の歪み）	± 3（mm）	± 2（mm）

当社の場合レールのほとんどは継ぎ目のないロングレールとなっていますが、バラスト（砂利）道床区間においても、どこの10mを取り出しても高低差は上下4mm以内に抑えるという、まさにミリとの戦いがなされているのです。さらに当線の多くが使用しているスラブ軌道（コンクリート道床）においては更に厳しく管理されていることがご理解いただけるものと思います。このような保守を行うためには、全線の線路状態をきめ細かく把握する必要がありますが、これには人手のみでは到底対応出来ないことから、前記した検測車の出番となるのです。

（3）検測車の運転とデータの採取

JR東日本保有の電気軌道総合検測車East I-Eは、交流直流区間を走ることの可能な交直流電車で形式はE491系といいます。最高速度は130Km/hで当線の特急の運転速度160Km/hでは運転出来ないのですが、設備の検測には支障がないことから年間4回これをお借りして、ほくほく線全線の検査をしています。平成23年のケースで言えば当初予定は4月11日、7月30日、10月21日、24年1月23日の4回を計画していましたが、東北大震災と新潟・福島豪雨の影響で8月8日が第一回となりました。その後は予定通り運転されています。

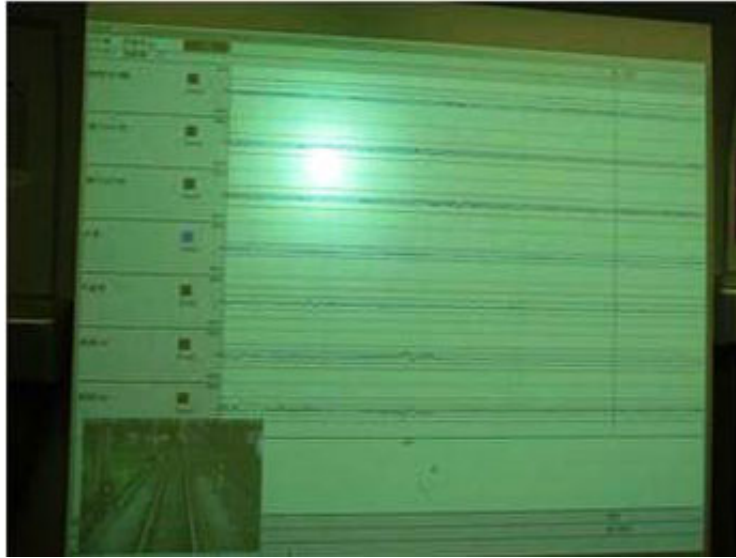
試運転の行路は毎回同じで次のような計画で運転されます。なおこの電車の運転は北越急行の運転士が担当します。

電気軌道総合試験車運用

運用番号	直江津	六日町	編成・形式
臨試A 4947	10:15 ○	11:30 △	E491系 (2MT)
	13:32 △ 以下略	12:02 ○	ATS=P EB付
試9893M直江津運輸区、パンタグラフ上昇は出区60分前 直江津運輸区長手配			

E491系は高度な測定装置によって、高速で走行しながら架線や軌道の状態を連続的に検測し、これを車上に搭載されたコンピューターで瞬時に解析してチャート（メモリ記録

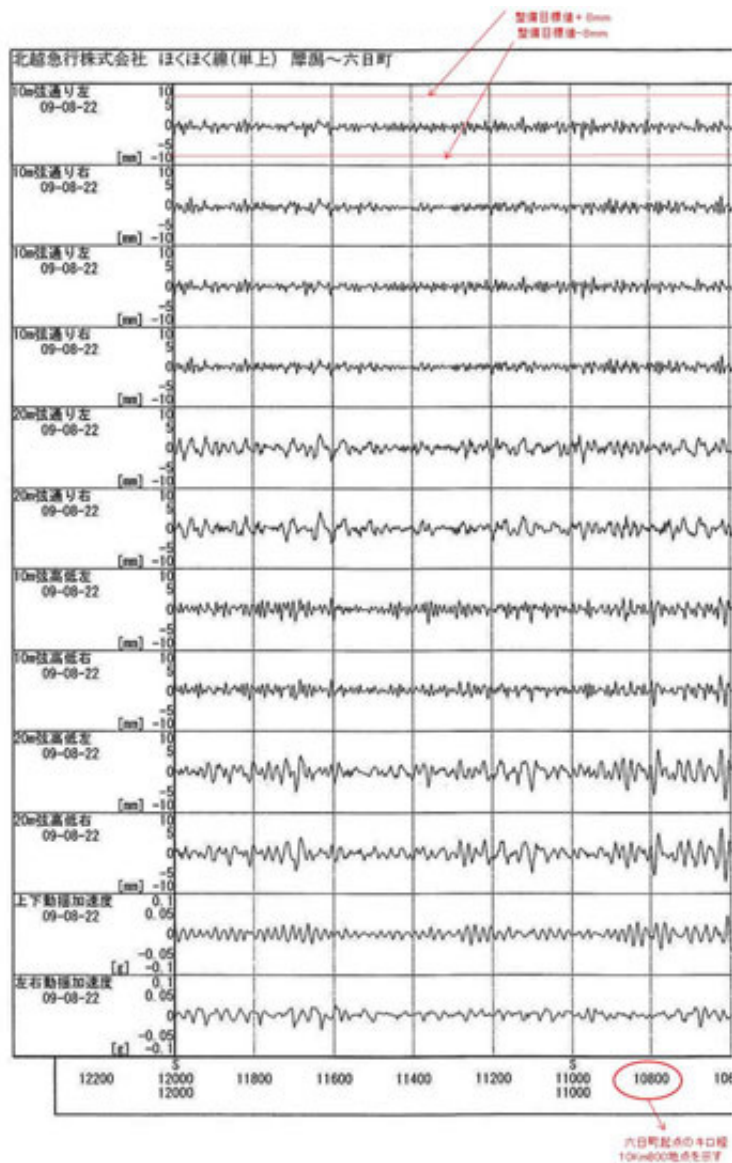
装置)に記録していきます。



検測されたさまざまなデータがオンラインで車上のプロジェクターチャートに表示されるとともに、全線のデータが長いチャート紙に連続的に記録されていく。

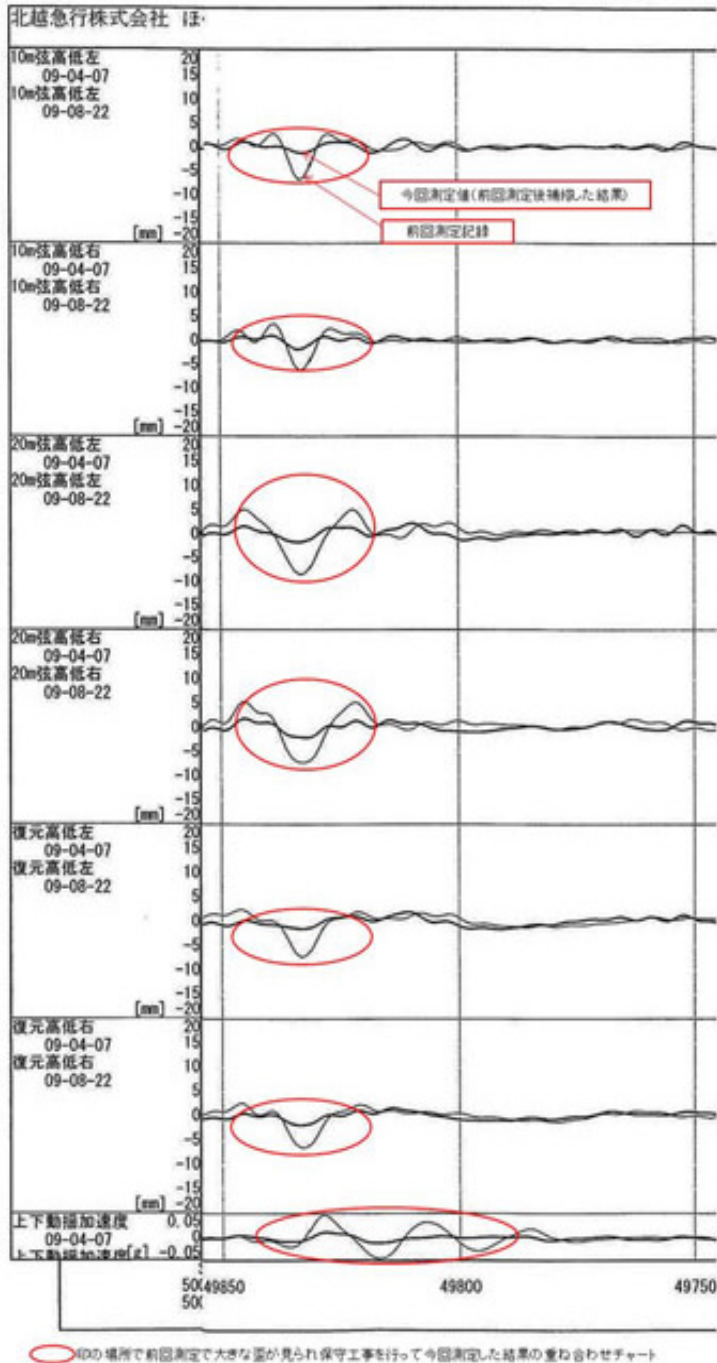
チャート用紙は全線を連続的にデータ記録するため、長い巻物になるのですが、実際のものを一部区間(約1Km500m相当分)切り取ってとってお見せすると下図となります。図に記入したように最下段は測定地点をキロ程であらわしており、軌道の上下左右の歪みをmm単位で記録しています。測定項目のうち10m弦とあるものが「10m毎の歪み」という必要データですが、当社の場合には列車の乗り心地に大きく影響すると言われる波長の長い軌道狂いについても管理することとし、20m弦についてもデータを得て軌道狂いの管理に使用しています。このため10m弦通り(上下)を進行方向左右別に、記録されています。なおチャートに赤字(線)で記入してあるものは皆さんのご理解のために加筆したのですが、これからみてもほくほく線の線路の歪みは整備が必要となる値に比較すればかなり小さなものであることがわかります。つまりなめらかな線路であることを証明するものです。

E491系による検測データ(ラボックスチャート)
10Km600~12Km000地点



さらにEast-iの機能を十分に使って効率的な保守を行うために「重ね合わせラボックスチャート」という記録も取り入れています。これは、前回の測定での記録と今回のものを重ね合わせてチャートに記録するもので、実際のものの一例を下図に示します。この例でいえば前回の測定走行は2009年4月7日に行われ、その時の記録と今回(2009年8月22日)の記録を重ね合わせてチャート紙に表してあり、前回の歪みの大きかったところがメンテナンスにより小さくなっていることが確認できることと思います。

ほくほく線軌道検測 重ね合わせラボックスチャートの例



(4) 線路の保守

このようにして得られた全線の線路の詳細なデータをもとに、線路技術者がきめ細かく手を入れ、歪んだ線路をもとの滑らかなものに修復していきます。昔はつるはしによって砂利の突き固めなどを行っていた時代もありますが、現在ではほとんど機械化されています。その代表的なものはマルチプルタイタンパーという大型なもので、その一例は下の写真のようなものです。この機械はかなり大型のもので、ムカデのように多数の腕を砂利に挿入して、大きな振動を与えて砂利の突き固めを行うものです。多くの在来線の軌道については、この形のマルチプルタイタンパーを使用していると聞いております。実は開業時には当社においてもJRが使用していたやや古い形のものを購入して使ったこともあります。しかしながら、機械自体の保守に相当の手間と経費がかかることから廃棄した経緯があります。というのは、ほくほく線はバラスト(砂利)軌道区間が少なく大型のマルチプルタイタンパーを自社保有するより、もう少し機動性の良い機械を必要の都度、線路工事を請け負う外注会社に委託借用したほうが効率的であると判断したためです。



大型マルチプルタイタンパー（JR上越線にて）

現在、ほくほく線で砂利の突き固めに使用しているのは四頭式タイタンパーというもので、その写真は下のようなものです。この機械はキャタビラーと鉄道車輪を備えていて、大型トラックで移動して必要なところで線路に入線して工事を行えるのでかなり機動的に使用できます。ただ、大型マルチプルタイタンパーの場合には、検測データを入力してやれば自動的に地点と突き固め量を検知して工事できる利点がありますが、四頭式ではそこまでの機能はありません。そこでチャートで示された地点を確認して砂利の突き固めを行い、線路技術者が長い計測器で上下左右の歪みが残っていないかを確認する必要があります。つまり、機械まかせではなく、係員がじかにレールと対話しながら納得いくまで歪みの修正を行うのです。



ほくほく線で使用されている四頭式タイタンパー

ところでほくほく線の場合には砂利道床の区間はむしろ少なく、強固なコンクリートのスラブ道床が多いのですが、基本的にはこの場合には大きな歪みは起きないことが期待されているのです。それでも微細な狂いを生ずるところも出てくることはあります。通常は線路とコンクリートスラブの間に高さ調整のための樹脂を挿入することによって滑らかな軌道に戻すことが可能です。しかしながら、当線においてはスラブ路盤自体が沈下するという現象が現れました。これは他のスラブ軌道区間ではあまり聞いたことのない現象で、まずその沈下を止めることが必要になりました。そこで専門の会社と協力して、コンクリート製のスラブ基盤に穴をあけ内視鏡によって状態を確認した結果、トンネル内の排水溝に流れる水がなんらかの原因で軌道中央部に入り込み基盤底部に空洞を作った結果であることが判明しました。そこで、スラブ本体に複数の穴をあけて特殊な樹脂を流し込み、発生した隙間を埋めて沈下を止めると同時に、レールの下に調整用パットに加えて通常より厚みのある鋼板を挿入して凹凸のないように補修するという特殊な工法によって解決してきました。



スラブ軌道の沈下対策工事（樹脂の注入作業）

ほくほく線は基本的にロングレールが敷設されていますが、これを敢えて切断して一部を新品のレールと交換して再度接合部分を溶接してもとのロングレールにするということが必要になることがあります。レールは硬度の高い鋼材で作られたものですが、稀にその内部にキズを発生させることがあります。しかし、このキズはもちろん外観的には見えないものですが、それが原因となってレールの折損という事態に発展することもあります。そのため、数年に一度はレール探傷車(RFDと呼ばれる)で全線のチェックを行います。これでレールの内部にキズが入っていることが確認されれば、ロングレール全体を取り換えることはせず、その部分のみ切り取って取り換えることとなります。これは再溶接などに極めて高度の技術を要する修繕ですが、最近では普遍的になってきました。



ロングレールの部分的取替作業

このように、ほくほく線の線路はその歪みを少しでもなくすために保守されているのです。もちろん線路を滑らかに保つためには、日常の徒歩による巡回なども行われており、ちょっとした異常が発見されれば直ちに修復していることは当然のことです。まさに線路技術者たちの愛情が線路の基礎体力の維持と体調管理に向けられていることによって、列車の走行安全性と乗り心地向上の確保がなされていることになるのです。

この他ノーズ可動式クロッシングなど他の線にはあまり見られない特殊な装置も必要に応じて分解検査を行うなど、完全な線路の確保に向け線路技術者の行うべき仕事は極めて多いのです。加えて、ほくほく線では列車の運転時間中は160Km/h運転の特急が行きかうことから、保守作業を行うことはほとんど不可能ですので、徒歩巡回や作業は深夜になることが避けられません。こうした努力によって「滑らかに走る列車」に少しでも近づける不断の努力が続けられているのです。



高速用分岐器(ノーズ可動クロッシング)の解体精密検査

(5) レールの研削(スペノの導入)

ほくほく線の線路保守で特筆すべきはスペノ(レール削正車)の導入です。レールは長い間使用していると高速で通過する列車の重さなどで、その頭面や側面に微細な傷が見られるようになります。これはレールの体調が崩れた証とも言えるもので、放置するとレール表面に穴があいたり、ひどい場合は剥離が起きることさえあります。具体的には下の写真のような状態が見られるようになってくる場合があります。



レール表面に発生する微細な傷

このような現象は当然、列車の乗り心地にも悪い影響を与えることは自明ですしレール自体にとっても体調変化のきざしともいえるのです。このため、レール表面があまりひどくならないうちに表面をうすく削り取り、新品の姿に戻してやるのが好ましいのです。またこうすることが、レールの寿命を保つことには極めて重要なことなのです。

つまり、レール表面をきちんと新品の断面形状に保っていればレールが長持ちすることになるのです。この方法は新幹線では一般的に行われていますが、在来線での実施はあまり多くないのです。

ほくほく線は高速運転であることと、レールの滑らかさによる乗り心地の向上と騒音の防止、三セクであることから可能な限りレールを長持ちさせるという価値観から全線を一定区間ずつ削正することとしており、作業は日本スペノ社という専門の会社に委託しています。スペノは外国の専門会社の名前ですが、日本ではスペノといえはこの削正車のことをいうのです。削正車は極めて大仕掛けで3両のデバイスを連結して作業にあたります。実際の姿は下の写真のとおりです。



スペノ(レール削正車16頭式)全景(長さ約32m)



左右に各8個の砥石をもち毎分3,600回転で削正する



スペノの本線でのレール削正作業の状況(摩擦熱による激しい火花)



削正の終わったレール（新品同様の表面になる。）

このようにして、北越急行社員と委託請負業者の線路技術者が協力して愛情を注いで整備した線路の上をほくほく線の電車が今日も快適な乗り心地で走っているのです。

(4) ほくほく線電車の車両管理 (乗り心地の観点からの車輪管理)



滑らかな列車の走りのためには車輪の管理も重要な要素である。

線路がいくら整備されても、そこを走る車両に欠陥があれば列車の乗り心地を高いレベルで確保することは出来ません。この項では滑らかな走行を確保するために当社が取り組んでいる車両管理のうち最も乗り心地に密接な相関関係にある車輪の管理についてご紹介いたしましょう。当社の場合特急電車の車両管理はJR西日本に委託しておりますが、160Km/hでの高速運転に供することから、かなり精緻な車輪管理をしていただいています。ただし、これは世に言う「まる投げ」ではなく、法的にもその整備には当社が責任を

もつことになるのでJR西日本と密接な情報交換をしながら、頻繁に当社の車両担当者が金沢に向いて立会いなどを行うほか規定にそった処理がなされているかを確認しているのです。

本文では、当社で直接管理している普通電車に使用されるHK100形電車について紹介することとします。車輪のもつさまざまな問題点は速度や運転距離なども相関関係にあります。ブレーキ回数が最も直接的に種々の問題を発生させます。その意味においてローカル電車の車輪管理が乗り心地の観点からしても極めて重要なことなのです。車輪の管理については、あまり表面にでない地味な事柄ですが、実は多くの問題があり、この解決に各鉄道会社は大きな力を注いでいるはずなのです。また、車輪のトラブルにもさまざまなものがありますが、ここでは本稿の目的でもある「滑るように列車を運転するために。」という観点から車輪のフラットと凹摩耗について解説することにいたします。特に雪国の電車は滑走によるフラットの発生と耐雪ブレーキによる凹摩耗に深刻な問題を抱えてきました。この現象はいずれも乗り心地に直結するものなのです。

(1) 車輪のフラット

もとより鉄道車両は鉄のレールと鉄の車輪という固いものが接触した形で運転されるわけですから、基本的には柔らかい乗り心地を確保することは容易ではありません。歴史的にみれば最初の鉄道ではトロッコのような直接的に振動が乗客に伝わるようなものであったはず。しかし、その後「バネ」を介在するように工夫され、板バネ、コイルバネと進化して、最近ではほとんどの旅客用車両では空気バネが全盛になっています。もちろん、車輪をはめこむ台車についても極力振動を吸収するような設計がなされ、お客様にとっての乗り心地は大幅に改善されてきました。

最後に残る問題はレールに接することになる車輪そのものです。車輪は車両の重量をすべて受け止めてレールと常に接触しながら高速で回転するものですから、当然すり減ることになります。車輪はかなり正確な円形に作られているものですが、すり減るといことは車輪の直径が僅かずつ小さくなっていくことになります。しかし摩耗が均一に進み完全な円形のまま直径が小さくなっていくのなら、それほど問題はないのです。

ところが何らかの原因で強いブレーキをかけた場合、レールの状態、例えば雨で濡れているような場合には滑走がおきることがあります。これが雪であればもっと深刻になります。つまり車輪の回転が止まった状態でレールの上でスケートをするようなものです。こうなりますと、車輪の一点のみがレールとこすりあうことになり、その部分だけが極端に言えば平面になってしまうことになり、このような状態を鉄道部内では「車輪のフラット」といいます。フラットを持った車輪は、その大きさにもよりますが、そのままの状態ですると、レールをたたく連続したドンドンという音を発します。この音はかなり大きいので騒音の点からも好ましいものではありません。おそらく一般の方も列車が通過するときにフラットをもった車両が大きな連続音を出しているのを聞いたことがあるのではないのでしょうか。もちろんフラットをもった車両は乗り心地にも影響し、小刻みな振動がお客様にも伝わることになります。

加えてフラットは放置しておくともレールとの単なる摩擦ではなく、極端に言えば車輪とレールがたたき合うことになり、車輪表面の剥離というような現象に至ることになります。

また、大きなフラットをもったまま、高速運転を続けると微小な振動が車輪の軸をはめこんだ部分(軸受)にダメージを与え、最悪の場合軸焼けという車軸と軸受の固着焼き付け(軸が回らなくなる。)という事態に発展することも稀にあります。

ここで大切なことはフラットが起きたからといって、直ちに安全上の問題があるわけではありません。それでも、フラットの大きさがあまり大きくならいうちに、手当をして車輪を元の真円に戻してやるのが一般的で、どの鉄道会社もフラットの形状と大きさについて一定の基準を定めて手当をしているのです。

ではフラットの手当てとは、どのようなことを行うのでしょうか。この答えは簡単で車輪全体を真円になるように削りなおすのです。問題はどの時点で削るのかということです。北越急行ではフラット撲滅にかなりの力を注ぎ滑らかに整備された線路を可能な限り真円に近い車輪をもった電車を走らせるために、頻繁に車輪を削っています。

一般的に電車の車輪の直径は860mmのものが使用されています。(例外的に異なるものもあります。データでみますと例えばJRの103系電車は電動車の車輪直径は910mmとなっていますし、第三セクター鉄道の軽快気動車ではかなり小さなものもあります。)車輪は走っていることにより少しずつすり減ってくることは間違いありませんが、それよりも車輪削正による直径の減少のほうがはるかに大きいことになります。通常の場合、新品の車輪は直径860mmで使用開始して、直径が774mmまで小さくなると使用限度としています。(実際には当社の場合780mmを車輪取替の目安としています。)それはタイヤの厚さが薄くなると車輪の割損などにいたることも稀にはあるので過去の経験値からこのよう