鉄道線路と土質工学

伊 能 忠 敏*

10年ほど前のことである。

国連エカツフェ委員会（今の ESCAP）派遣の技術コンサルタントという資格で、タイとインドネシアの鉄道線路保守の技術指導に当たっていた私に、両国鉄の技師達が異口同音に言ったのは、次のようなことだった。

「ミスター・イノウ、我々は今まで、ヨーロッパの鉄道技師からいろいろ教わって、レールを重量化したり、まくら木をコンクリートに変えたりして来たが、どうも線路保守状態は良くならないのです。基盤である土が弱いものだから、すぐに沈下してしまって、橋台のところではレール面に凸凹が出来るし、大雨が降ると線路の道床砂利までどろどろになってしまう。それなのに、ヨーロッパの技師達は土の改良ということは教えてくれないんですよ。」

私は言った。「ヨーロッパは地盤の硬いところが多いし、雨も少ないですからね。しかし、日本の線路は、あなた方と同じような条件の下にあり、やはり土で苦しんでいて、私もいろいろな方策を採った経験があるから、それを伝授してあげましょう。」

「それは有難い」と、両国の技師達は大変に喜んだ。

私は、両側に押さえ盛土をすることによって線路の盛土沈下を防ぐ方法や、路盤土の取り替えによって噴泥を防ぐ対策などを教えた。

帰国してから、私はヨーロッパの鉄道線路と、アジア諸国の鉄道線路を比べて、いろいろと考えてみた。20年ほど前に、フランス政府給費の技術留学生としてフランス国鉄の技術を勉強していた時のことが、思い出されてきた。

軌道更新作業を見学した時のことである。レールとまくら木を撤去したあと、まくら木の底になっていた部分の道床砂利を見ると、軌間中央の道床の凹んだところにくもの巣が張っていた。表面の豆砕石は、手でさつとかき分けられるほどで、泥は全く付着した様子がない。

日本の線路であつたら、更新現場の道床など、泥でかたまっかちんかちんになっているか、水を含んでどろどろになっているか、どっちかである。やはりヨーロッパは雨が少ないんだなあ。そして、土は砂質土が多く水はけがいいんだなあ、と感ぜざるを得なかった。そういうヨーロッパから来た鉄道技術者は、線路状態をよくするために土を直す、ということをおしななかつたのであろう。

だいたい、お米のよく採れるようなところは、線路の土に苦勞するようである。

いろいろ考えているうちに、もし鉄道の発祥が日本であつたならば、鉄道線路構造の考え方は、今のようではなかつたかもしれない、と思うようになった。

それはこういうことである。鉄道の発祥は、よく知られているようにイギリスである。次いでフランスを中心としてヨーロッパ大陸へ、また北アメリカへ発達して行った。

列車走行の抵抗を少なくするために、レールは鉄でつくられた。そして、ゲージを正確に保つためと荷重を分散するために、まくら木が使用された。次いで、レール面を平滑に整正するために、地盤とまくら木の間に砂利を入れたのである。

列車のスピードが上がり、車両も重くなって来ると、レールを大きくしたり、まくら木を増やしたり、砂利の厚さを厚くして、荷重と衝撃の分散をはかった。しかし、その下の地盤の強さは一定であると考えられていたため、場所によって土の性質を改良するということを行われなかつた。

ヨーロッパの教えを受けた日本の線路構造も、この考え方を受けて決められて来た。

列車速度、1日の列車本数など、その線区の荷重条件によって、レールの重量、まくら木本数、道床厚さの基準を変化させた。しかしそれは、あくまで道床砂利から上の部分のみのことで、その下の基盤が、コンクリートで出来ている高架橋であろうと、軟らかい沖積層の土であろうと、おかまいなし、という基準だったのである。ただ、優秀で豊富な労働力による保守作業が、長い間その欠点をカバーして来たのだが、世界に類例のないような高速運転が行われるに至って、ついに弱点が表面化するに至った。

すなわち、東海道新幹線は開業当初、雨に弱い新幹線といわれて、雨が降ると盛土部分で徐行運転をせざるを得なくなり、排水の改良のために多額の費用をつぎ込むことになった。また、関東平野の沖積層地域や粘土地層の上を走る東北線や高崎線では、狭軌としては世界最高の120 km/h運転が始まって数年たつと、道床砕石の中に泥土が噴き上げる噴泥現象が多発して、線路保守状態を悪化させ、列車の揺れがひどくなって来た。

そこで、線路構造の中で路盤の土質を根本的に見直す、という考え方が初めて日本の鉄道で採用されるに至つたの

*日本国有鉄道 常務理事（首都圏本部長）

論 説

である。もし日本で最初に鉄道が発達したならば、私は、盛土の土の種類を吟味するとか、せめて地盤の強さによって道床碎石の厚さや、まくら木の本数を変える、という発想が生まれたかもしれない、と思うのである。

コンクリートの高架橋上や、ばんばんに硬い岩盤のような地質の上でも、粘土質で雨が降れば直ぐに軟らかくなってしまふ土の上でも、同じ荷重を受けねばならない、という線路構造の考え方は、どう見ても日本や東南アジアの線路には向かないからである。

国鉄では、山陽新幹線の建設以来、盛土上層部の土の種類を厳しく吟味し、道床碎石と接する路盤面には、常に一定以上の強度が保たれるように施工することになった。また、狭軌の在来線でも、路盤構築基準を新しく定めて、複線化等の改良工事においては、強い路盤をつくることとした。

しかしこれらよりもっと問題が複雑で、広範な悪影響を与えているものに、現に列車が走行している線路における噴泥の問題がある。

噴泥のうち特に重要なのは路盤噴泥と呼ばれるもので、粘土質の路盤土表面に水がたまり、これが列車荷重によって振動する道床碎石によってこねまわされると、泥土となって道床中を上昇し、まくら木下面から線路表面まで噴き上げるものである。この噴泥が起きると、路盤土の支圧力が著しく低下して路盤が沈下すると共に、道床碎石間の摩擦力も著しく低下するため、碎石がくずれてまくら木浮きが生じ、レール面が動的に大きく上下して、ひどい列車動揺を引き起こすのである。

従来の軌道力学では、線路のまくら木は一定の弾性を持った弾性床土のはりとして計算される。しかるに、線路のある部分に噴泥が生じ、その道床碎石と路盤の支圧力が著しく低下すると、弾性が一様でなくなるわけだから、レールに想定しなかった応力が加わり、永久ひずみを起こすことにもなり、軌道力学の計算は全くあてにならないものになってしまう。また保守労力という面から見ても、噴泥区間は一度レール面を整形してもすぐに破壊されてしまうので、非常に不経済な労働力の投入が行われることになる。

このようなことから、高速運転区間の噴泥現象の絶滅ということが、国鉄の線路保守業務にとって緊急、かつ重大なテーマとなったのである。

これ以前に噴泥についての研究が全くなかったというわけではない。昭和30年代に国鉄技術研究所の西亀技師らによって、噴泥しやすい土質と、噴泥しにくい土質の分類がなされている。この研究の成果をよく利用していれば、東海道新幹線やその後に複線化された線路で噴泥に悩むことはなかったであろうが、長い間国鉄の建設技術者に土質に関する知識の薄かったことが、災いを引き起こすものにな

った。

しかし、現に列車が走行している線路では、路盤土を置きかえて噴泥しにくい土質にする、ということは大変なことである。そこで、噴泥を防止する経済的で適確な方策を見出すために、噴泥発生の物理的機構と、発展の条件を研究する必要が生じたのである。

昭和50年に、国鉄施設局では東北本線全線にわたって噴泥の発生状況を調査し、発生箇所の列車荷重条件、土質の種類、排水条件、軌道構造を細かく分類した。またちょうどそのころに死線となっていた東海道貨物線で、噴泥発生箇所の線路断面を掘削して調べ、噴泥の初期、中期、末期における路盤面の沈下状況、泥土の上昇状況を観察したのである。次いで、技術研究所において模型実験によって、噴泥発生の条件と発展の過程を確かめることにした。

これらの調査や実験結果の分析から、噴泥現象の実態が次第に明らかになって来た。たとえ土質が悪くても、常に道床厚さを十分にとり、レール面の整形を厳密にすることによって列車衝撃を減ずれば、噴泥の発生はかなり防げることもわかって来た。

以上の結果、最近になって各線区のそれぞれの場所ごとに最適な噴泥防止対策が行われるようになったのである。

現在でも噴泥現象は見られるが、しかしその数は、昭和50年ごろに比べると激減したと言ってよい。また列車動揺にしても、上下動に関する限りかなり改善されて来たように思われる。今後はレールの横方向の通り狂いを是正して、左右動を減少させることによって、乗心地を向上させたいと考えている。

10年近くかかって、ようやく日本の鉄道線路にふさわしい構造と保守のあり方が確立されつつある、ということになるが、よく考えてみると、約100年間、ヨーロッパから教わったままの考え方を踏襲して来たということは、恥ずかしいことである。

雨の多い日本、そして軟らかい土質の多い日本で、鉄道の土木技術者が早くから路盤の土質を吟味したり、土質条件によって軌道構造を変えるという発想を持っていれば、東海道新幹線も、東北線や高崎線も、もっと乗心地のよい列車を走らせることが出来たはずである。

土木構造物というものは常に自然にさらされているから、その場所場所の自然条件に合わせたものをつくらなければならないことになるが、その構造物と自然との接点に位置するのが土質工学ということになるのではなからうか。

自然条件の変化が激しく、しかもやっかいな性質の土を多く保有する日本では、土質工学の発展と、土質工学を理解する技術者の増加が特に必要ではないかと、感じる次第である。

(原稿受理 1982.11.1)