

鉄道車輛騒音とその防止について

松井信夫

目次

1 —はじめに

2 —車輛の騒音発生源

3 —車外騒音に関する基礎的調査

4 —車外騒音の軽減対策とその効果

5 —まとめ

6 —文 献

1 —はじめに

最近、新幹線による列車の騒音振動の問題が各地で社会問題化しているが、一般の鉄道においても同じような公害が世人の注目をひいている。これまでは、乗り心地のよさに関連して車内騒音の軽減の研究に主力が注がれてきたが、車外の騒音及び防音について系統的な研究業績は乏しいのが実情である。

車外騒音については、四圍の環境条件、気象条件などが大きく影響するので、その防止効果を不偏的、定量的に把握することは困難である。本文では、車外騒音について筆者の知り得た数少ないデータをもとに考察を行いたい。

2 —車輛の騒音発生源

車輛の補助機器類の発生する騒音は、走行中には、走行騒音にマスクされて、測定してみても騒音レベルとしては現れないことが多い。ただ、ディーゼル動車については、停車中においても、そのエンジンは、アイドル状態となり、騒音レベルもかなり高いから、その軽減を図ることが必要となる。また、警笛も車外騒音のひとつとして重視すべきものである。

一般には、車輛の発生する騒音を音源別に分けるとつぎのようである。

a・車輪がレール上を回転するさいの摩擦音と衝撃音

b・レール継ぎ目などの不連続面によって生ずる打撃音

c・いわゆる「ブレーキ鳴き」と称する車輪と制輪子との間の摩擦音

d・台車の振動に起因する音

e・車体の振動によって生ずる、共鳴音や窓、扉などの振動音など車体構造に関する音

f・車輛連絡部に生ずる衝撃音

g・パンタグラフの接触摩擦音

h・主電動機、減速歯車の回転音

i・圧縮機、送風機などの付属機器の運転音

j・ディーゼル機関およびその付属機器の運転音

k・パンタグラフ絶縁碍子の異常鳴音などの空気力学的に発生する音

l・橋梁、高架橋など地上構造物の列車通過時の振動音

車外騒音にもっとも大きく影響するのは、上記のうち a, b, c, d, l であり、問題は車輛の下部に集中する。ディーゼル動車では j が、新幹線では k が無視できない。

3 —車外騒音に関する基礎的調査

車外騒音の基本的な性質を知っておくことは、減音対策を考えるうえで大切なことなので、実験的に得られたいくつかの知見を紹介してみたい。

3—1 騒音の分布

1956年のドイツにおける報告では、11輛連結の客車を波状摩耗レール上を時速80キロメートルで走らせた場合、車体下部の騒音は、123～124ホン〈A〉であるが、車体側壁では約4ホン〈A〉、車窓では約7ホン〈A〉、車

体屋根では約11ホン<A>の減音がみられた。

《註》ホン<A>：ホンとは、指示騒音計で測定したときの指示値であり、騒音のレベルを現わす。騒音計には<A>、、<C>の三種の聴感補正回路がくみこまれており、それぞれの応答があるようになっている。ホン<A>とはA特性で測ったときの指示値で、人の聴覚に近い値を示すので騒音の程度は通常ホン<A>で示す。》

同じ客車を同じ速度で、滑らかなレール上を走らせた場合の車体下の騒音は、106~109ホンであるが、車体側壁、車窓でもその騒音には大差なく、車体下部と車体屋根における音の大きさの差は2ホンしかなかった。

東海道新幹線で、騒音の影響のもっとも大きい無道床鉄桁高架橋を列車が通過する場合の測定結果によれば、レール・レベル軌道中央の側方5m付近では106ホン<A>、レール・レベル軌道中央から下方1m、上方2mで側方へ7mぐらゐの周囲では100ホン<A>、レール・レベル<軌道中央>から下方2m、上方4mで、側方へ10m内外のところには96~98ホン<A>、レール・レベル<軌道中央>から下方6m、上方6m、側方へ12mのところでは88~96ホン<A>ていどの騒音が分布している。これは車輪がレール上を走行することによって発する音と列車走行に伴う構造物の振動によって発する音が空中に伝播して行くために起ってくる。

3—2 走行速度の影響

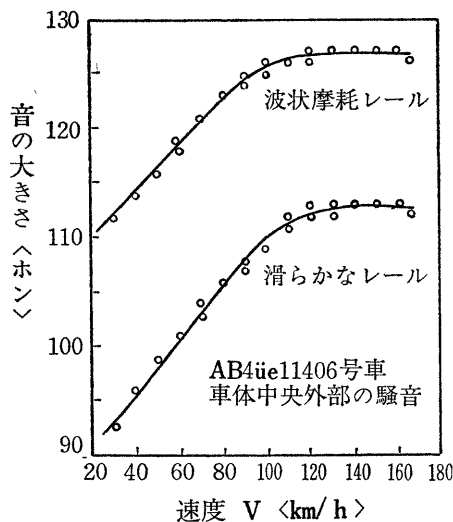
走行中の車輛の騒音レベルは、一般に速度とともに上昇する。ドイツ国鉄における測定結果の例<4>をみると、<図一1>騒音レベルと速度との関係は、波状摩耗レール上でも、滑らかなレール上でも、それぞれの発する騒音には20ホンていどの差はあるものの、傾向としては時速30~90キロメートルの速度範囲では、騒音レベルは速度に対して比例的に上昇するが、時速90~120キロメートルの範囲では水平にもどり時速120~160キロメートルの範囲ではほぼ一定となっている。

時速80キロメートルにおける騒音レベルL80を基準として、速度Vにおけるレベルを求める実験式はつぎのとおりである。

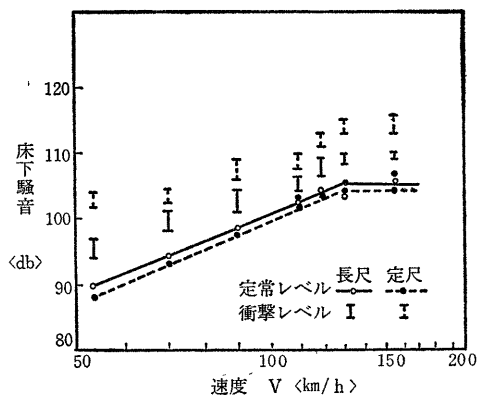
$$L_v = L_{80} + n(V - 80)$$

Lはホン、Vは時速キロメートル、 $n = 0.2 \sim 0.1$ ホン/

図一1 走行騒音と速度の関係<ドイツ国鉄>

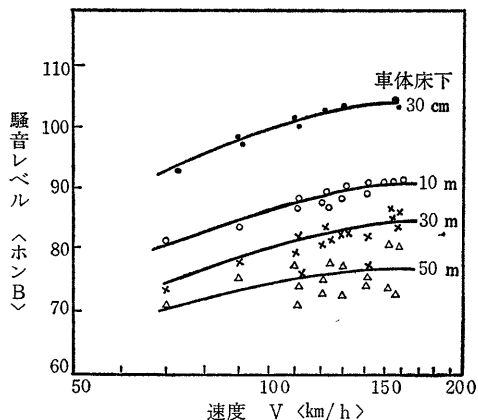


図一2 床下騒音と速度の関係<日本国鉄、電車>



図一3 車外騒音と速度の関係

<日本国鉄、6両編成電車・列車の場合>



キロメートル/時間である。この式は、どの軌道区間でも成り立つと考えられる。比例常数としては時速30~90キロメートルの領域で $n=0.2$ ホン/キロメートル/時間、時速90~120キロメートルの領域で $n=1$ ホン/キロメートル/時間とすればよいが、時速120キロメートル以上の領域には、この式は適用できない。〈この式の精度は±1ホンである。〉

わが国の国鉄の在来線における測定結果によれば、時速120~130キロメートルを境として160キロメートルぐらまでのところまでは、ほぼ一定の騒音レベルとなることが分っている。この傾向は、車輻の床下で測定して確かめたものであるが、側方10~50m離れた地上で測っても同じ傾向が認められる。〈図-2・図-3〉

しかし、一方、新幹線についての測定では、時速100~250キロメートルの範囲では騒音レベルは速度の2乗比の対数に比例するという結果が得られている。すなわち、列車速度 V_2 、 V_1 に対するそれぞれの騒音をホン〈A〉とした場合の補正值 ΔL は次式で現わされる。

$$\Delta L = 20 \log (V_1 / V_2)$$

したがって、時速200キロメートルを100キロメートルに落すと、騒音は約6ホン〈A〉だけ低くなる。

3—3 騒音の距離減衰

わが国の国鉄の行なった車外騒音の距離減衰については、つぎのような結論が得られている。

〈a〉盛土区間や高架線では、減衰は比較的ゆるやかで、距離が倍になると大体3ホン〈A〉ていど減衰する。

〈b〉防音壁のない高架橋でレールから近い地上付近では、車輪、レールの音が、高架構造物によって遮断され、地上では防音壁のある高架橋より低くなる。しかし、高架橋から側方へ20m以上離れたときには、防音壁があった方が5~10ホン〈A〉ていど騒音は低い。

〈図-4〉

〈c〉無道床鉄桁の騒音は新幹線の場合、100~110ホン〈A〉と高いが、距離による減衰は大きい。〈図-5〉たとえば、側方へ25メートル離れたら90~100ホン〈A〉、50メートル離れたら85~90ホン〈A〉、90メートル離れたら75~78ホン〈A〉である。

一方、外国における研究では、エンジンからの騒音は、距離の2乗について6デシ・ベルの減少をもって四方に

図-4 高架橋における距離減衰例

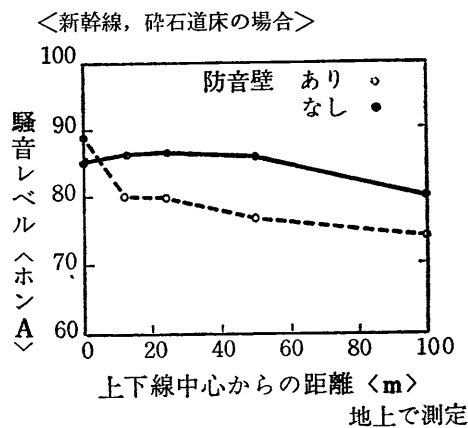
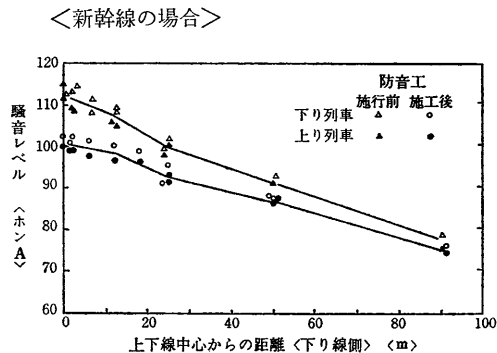


図-5 無道床鉄桁における距離減衰例



伝播するが、鉄道騒音は、線音源から放射されて、距離の2乗について3デシ・ベル〈A〉だけ減少するとのことである。〈7〉

4—車外騒音の軽減対策とその効果

「騒音源そのもののレベルの低下」と「発生騒音の伝播の抑制」のふたつが基本的な軽減策であるが、とくに、重要な騒音源は、車輻の下部——車輪とレールの接点付近——に集中しているため、その軽減はかなり困難なので、車輻側、地上側の両面において総合的に対策を考えなければならない。

4—1 車輪の走行騒音

車輪の踏面にフラットのある場合、レールに波状摩耗のある場合には高いレベルの騒音が発生することになる。レールの継ぎ目部においては、車輪とレールの衝突がはげしく起り、騒音レベルが高くなる。

さらに、車輻が曲線部を通過する場合には、一般に車輪

はレールに対し、滑りを生ずるが、この滑り現象によって、車輪の振動が誘起され、いわゆる「曲線鳴き」と称する高周波の騒音が生ずる。

<a>波状摩耗による騒音は、滑めらかなレールにくらべ5ホンから20ホンの騒音増大をひきおこすといわれている。小さな波状摩耗は、研摩機を用いて手仕事で処理するが、ストックホルムの地下鉄では4年ごとに特別な研摩列車を走らせて、全線にわたってレール頭部を再形成している。車輪フラットの騒音もレールの波状摩耗と同じことがいえるので、車輪形状を定期的に復元するとともに、大きなフラットが発生したときには、そのつど研摩すべきである。

継ぎ目のあるレールのうえを在来の車輛が走る場合と溶接レール上を新型電気列車が走る場合では、前者では周波数500ヘルツの騒音が90ホンにも達するが、後者では60ホン<A>内外にとどまることがアメリカの調査で判明している。レール継ぎ目の騒音は、連続溶接レールの導入によって除去できる。しかし、継ぎ目の溶接部において約5ホンの衝撃レベルが残るという報告もある。それにしても、溶接レールの採用によって、10~15ホンの効果は期待できよう。

<c>曲線鳴きについては、半径275mの曲線で測定された列車の时速50キロメートルにおける曲線鳴きの周波数解析の一例が、ストックホルムの地下鉄から報告されている。これには、2,500~5,000ヘルツの周波数のピークは曲線鳴きに由来するものとみられるが、そのほかに、走行騒音によって生じた広い周波数のスペクトルが含まれている。この例では、列車騒音は、87ホンであり、曲線鳴きによる付加騒音は7ホンとされており、合計の騒音レベルは94ホンとなる。鳴きの持続時間は非常に短い、それは明らかに非常に不快感を与える。

曲線鳴きは、一般に、車輪とレールのすべりの大きい急曲線<半径がおよそ300m以下>で問題となることが多いので、これを除く根本対策は曲線半径を大きくすることである。一般の鉄道では、曲線半径を曲線鳴きが起らない程度に大きく<少くとも400m以上に>することは、それほど困難ではないが、地下鉄や市街鉄道では急曲線を必要とすることが多い。

曲線鳴きは、また、気象条件によって大きく左右され、湿度の高い場合には、ほとんど起らない。この性質を利用して内軌側のレールに散水して減音を図ることも考え

られているが、これはレールの損傷を早めるという意見もある。また、多くの曲線部においては、外軌側レールのゲージ面に塗油することによって、その摩耗を防止しているが、このことは曲線鳴きに対しては効果がない。曲線鳴きは、主として内軌側車輪のレールに対するすべり作用から発生するからである。

曲線鳴きとレール頭部およびタイヤ形状との間には、相関関係のあることが見出だされている。曲線部のレールの摩耗は、外軌側では、ゲージ面の摩耗、内軌側では走行面の平坦化として現われる。このような摩耗が進むと、曲線鳴きの防止は実際上不可能である。

従って、曲線鳴きを防止するもっとも効果的かつ実際的な方法は、レールおよび車輪の形状をできるだけ正規の状態に維持することである。

<d>その他について述べると、車輪フランジがレールに衝突することによる衝撃音がある。この衝突は、車輪軸にはげしい蛇行動が発生したとき、および軌道に局部的な通り狂いのある箇所を車輛が高速で通過する場合などに起る。

しかし、車輪軸の蛇行動は、一般に乗客の振動に対する乗り心地の面から、また、軌道の局部的な通り狂いは、脱線に対する安全性の見地から、それぞれ厳しく規制されているので、騒音の面で問題となることはまれである。

4—2 ブレーキ鳴き

ブレーキ鳴きは、ブレーキ・ブロックの摩擦を介して車輪のディスクに発生する振動によって引き起される。

最近の車輛のほとんどは、ダイナミックブレーキと摩擦ブレーキとを備えており、摩擦ブレーキは低速における最終的な減速と非常用のブレーキに対して用いられる。従って、ブレーキ鳴きは、通常、列車が完全に停止する前の数秒間だけ誘起され、かつ間欠的に現われる現象であるが、これを克服することは非常に困難である。

ディスクブレーキと組合わせたダイナミックブレーキの採用は、ブレーキ鳴きを除く最良の方法である。

スウェーデン地下鉄の実験的研究によれば、湿度の高い天候のときは、ほとんどブレーキ鳴きは起らないとのことである。

4—3 車両における騒音軽減対策とその効果

車輛側におけるこれまでの騒音軽減対策は、乗客と乗務員に対する居住性の改善に関連して車内騒音に重点が置かれてきた。車外騒音に対する配慮は、特別な場合を除いてほとんどなされていないのが現状である。つぎに述べる対策は、たとえ効果が大きくても、現時点では一般的に採用できないもの〈例えば弾性車輪〉もあり、また、その効果が定性的には認められていても、定量的に把握されていないもの〈例えば、ばね下重量の軽減など〉も多いことに注意を要する。

〈a〉弾性車輪

車輪とレールとの相互作用によって放射される騒音は、ゴム・タイヤの車輪が使われているパリとモントリオール地下鉄においては、取り除かれている。〈10〉〈11〉騒音防止の見地からは弾性車輪は非常に魅力的であるが、空気タイヤによる回転抵抗の増加は、出力消費の10～25%の増加をもたらし、その消費エネルギーのほとんどは熱に変換される。

消費出力の大きな増加を伴わないで、騒音を減少させるために広く行なわれている方法としては、輪心との間に高いヒステレシスをもつゴムをはさんだ鋼製のタイヤを用いることである。その最良の事例は、スエーデンで作られ、ヨーロッパの到るところで採用されているSAB弾性車輪である。

この弾性車輪は、垂直方向と軸方向とに弾力性があるので、レール継ぎ目と曲線における衝撃とを吸収して走行が円滑となり、同時に、高周波の振動をゴムで吸収して走行が円滑となり、減音するものである。アメリカの実験例〈12〉をみると、弾性車輪は、旧来の車輪に比し、約10ホンていどの防音効果があるという。ストックホルム地下鉄の車輛についての試験結果では、①弾性車輪に発生した振動は速やかに減衰され、②弾性車輪のときの鳴きは100～500ヘルツであるのに、旧来の車輪の鳴きは1,000～5,000ヘルツである。〈1,000～5,000ヘルツの周波数の場合、人の耳への感受性は高いが、100～500ヘルツならばその感受性はかなり低くなる。〉

この弾性車輪は在来の車輪よりも高価であり、より大きい動力消費を必要とするほか、保守管理の費用を上昇させるという。しかし、スイスにおける使用実績〈12〉によれば、①弾性車輪の路面摩耗は、在来車輪の $\frac{1}{4}$ ～ $\frac{1}{5}$ で

あるから、タイヤ削正の周期は3倍に伸びる。②旧形台車の修繕は、6ヶ月ごとに行われているが、弾性車輪を持つ新型台車では、18ヶ月ごとでよい。③タイヤの摩耗が減ったことは、レールの摩耗も減ったとみてよい——などの理由をあげて、弾性車輪をもった車輪の保守費は割安につくとも述べている。

わが国においても、同種の弾性車輪は、市街電車用としては、すでにかなり使用されており、それらについての実験も行なわれて、①弾性車輪を使用することによって車外騒音は5～10ホン減少する。②弾性車輪は700ヘルツ以上の高音部の低減に有効である。——などと報告されている。〈13〉〈14〉

〈b〉防音カバー〈車体スカート〉

騒音をその発生源で防ぐために防音カバーが考えられている。これは、ディーゼル動車のエンジン騒音軽減に利用されて効果をあげているが、台車用の防音カバーの研究も行なわれている。〈4〉

実験用として台車がすっぽり入る枠を作り、これに厚さ5cmのガラス繊維フェルトを張って、そのなかに入れたスピーカーによって騒音を発生させ、枠の下縁とレール面との間隔をいろいろ変化させて騒音を測ることが行なわれた。表—1は、その実験の結果である。

表—1 防音カバー付台車の騒音測定〈定置試験〉

レール面上の間隔〈cm〉	カバー上5mの騒音〈ホン〉	カバー内騒音のレベル〈ホン〉
0	103	115
5	105	115
10	108	115

これによると、約7ホンの減音が期待できるが、ばく大な費用を要するので、この方法は実用性に乏しい。これに代るものとして、新幹線車輛では、車体のスカートをできるだけ下方に延伸することの効果を試験したが、若干の騒音低下が認められたにすぎなかった。〈5〉この方法に加えて、なるべく車輛に接近した地上の防音壁を設けることによって防音効果の向上を図ることが検討されている。

〈c〉ゴムばねと空気ばねの利用

台車のばね装置としてゴムばね〈シェブロン型軸ばね〉と空気ばねを利用することは、車輛の静かな走行に対して効果があると考えられている。アメリカのSOAC

<State-of-the-artcar> について行なわれた騒音試験<15>によると、上述のばね構成の台車は車内騒音の軽減に著効のあることは分っているが、この台車が車外騒音をどれだけ低減するかは明らかではない。

<d> オイル・ダンパの使用

放射騒音を最小とするために、主コイルばねに並列にオイル・ダンパを使うことの重要性が、外国の研究者によって報告された。<7>

その報告によれば、コイルばねだけの旧車に比し、コイルバネとオイル・ダンパを用いる新型車の騒音スペクトルの比較では、軌道中心から100フィートの地点での測定によって旧車は70~90ホン<A>、新型車は55~75ホン<A>と減音がみられたという。この相違のうちのいくつかは他の要因によるかも知れないが、オイル・ダンパ使用の有効性は無視できない。

<e> 台車ばね下重量の軽減

ばね下重量を軽減することの防音上の効果は、定性的には認められているが、定量的な確証はない。

4—4 地上における騒音軽減対策とその効果

新幹線の騒音を主な線路構造別に測定した結果を述べるとつぎのようである。<5>

▽盛土、高架橋では、列車が測定点側を通過する場合に、上下線中心から離れた地上<同一条件で測定>で、騒音の最大値は80~90ホン<A>である。

▽高架橋の種類別にみると、PC桁、鉄筋コンクリート桁、合成桁の順に騒音は大きくなる。

▽無道床鉄桁では90~100ホン<A>で、騒音がもっとも大きい。

▽切取構造では、線路から離れるのと同時に騒音は急激に小さくなる。

▽軌道構造についていえば、高架橋上で碎石道床を用いた場合にくらべて、スラブ構造の場合には騒音が2~4ホン<A>高い。

以上のように、車外騒音がもっとも問題になるのは高架土上および盛土区間であって、防止対策ももっぱらこれらの区間に集中されている。

同様の測定がストックホルムの地下鉄でも実施され、つぎの結果が提示されている。<8>

▽碎石バラストをもつコンクリート橋上の騒音レベル

は、碎石バラストの一般軌道上のものと同程度であるが、コンクリート道床を持つ橋りょう上の騒音レベルは、石のバラストをもつコンクリート橋上の場合より、約4ホン<A>高い。

▽鉄製の橋りょうは、地上の軌道上でもっとも大きい騒音源であって、一つの鋼製高架橋から30メートル離れた地点で測定された騒音は、列車時速50キロメートルのとき、90~93ホン<A>であった。

このため、新線では鋼製橋りょうは建設されていない。

<a> 防音壁

防音壁は、車外騒音対策の本命として各国で注目されており、それに関する研究調査もさかんである。

OREは、大量の実地測定を実施して、防音壁の効果等の理論的な予測から得られた結果との比較考察をしている。

パリ地下鉄では、音響吸収柵が225mの地下駅の全長にわたって軌道と軌道との間に設置された。<10> この防音柵は、長さ1.45メートル、高さ1.2メートル、厚さ60ミリメートル重量22キログラムのものであったが、予備テストの結果によれば、列車が駅を通過するさいに、およそ7.5デシベル<A>の減音がみられた。

新幹線では防音壁によってつぎのような効果が得られている。

①有道床の高架橋で約2メートルの高さの防音壁を設けると、5~7ホン<A>の減音がみられる。

②同じ防音壁に防音材をとりつけると、さらに1~2ホン<A>の減音がみられる。

③有道床の高架橋では、車輪の走行騒音に対して防音壁に吸音材を設けることと、構造物からの振動騒音に対して後述するバラストマットを敷くことを併用すると、約10ホン<A>の減音が可能となる。

④盛土区間に対しては、車輪の走行騒音が主体であるから防音壁と吸音材とを用いることで約10ホン<A>低減できる。

⑤無道床鉄桁に対しては鉄桁の振動による騒音が大きいので、鉄桁の主部を下面から被う特別の遮音工を施すとともに、車輪の走行騒音に対して防音壁を設けることにより、約10ホン<A>減音できる。さらに効果的な方法としては、桁防音工を研究中である。

 ゴムパットによる軌きょう支持

ストックホルム地下鉄では、特別の高架橋に対する減音の目的で、枕木と鋼構造物との間にリブ付き8ミリメートル厚さの積層ゴムパットが挿入された。測定してみると全音響レベルで5デシベル<A>だけ減音していた。さらに、橋桁を吸音材料で隔離する試験も計画されているという。

新幹線についての測定によると、高架橋の道床下のコンクリート床面に再生ゴムのバラストマット<厚さ25ミリメートル>を敷くことによって各部の振動が大幅に減少し、構造物の振動騒音は、その直下で約8ホン<A>低減した。フランスでは、Isolif と呼ぶ特殊な断面形状のゴムパットを組み合わせた消音カーペットが開発され、これを枕木の下に敷いた場合の試験が行なわれたが、その結果によれば、①上部を列車が通っている敷石の直下では14ホン<A>だけ改良された。②敷石そのものの振動が $\frac{1}{10}$ に減った。③軌道に接近している個所の騒音は3~4ホン<A>減少した。

<c>スラブ軌道の防音

高架橋上で砕石道床を用いた場合に比べてスラブ軌道の場合には、騒音が2~4ホン<A>ていど高いことは、すでに、新幹線やストックホルム地下鉄などで確認されている。したがって、橋りょうやトンネル内の軌道から枕木と砂利の道床を取り除き、軌道保守の合理化を図るためには、騒音の軽減対策を講じなければならな

い。このため、オランダ国鉄では、レールがタイププレートから、タイププレートが固い道床からゴム張りのコルクパッドによって弾性的に分離されるようなレール締結装置<弾性締結装置>を用いて比較試験を行なった。その結果在来の軌道にくらべ騒音がいくらか減ったという。つまり、レールの締結システムにおける二つの固い表面間のハンマ効果を除くことが重要なのである。たとえば、もしレールとパットの分離を許すように押えばねがはずれていたならば、騒音が増すのである。新幹線においては、車輪の走行騒音をできるだけ効果的に遮断吸収する構造のものを試験した結果、約3ホン<A>の騒音低下の結果を得た——という。

5 ————— まとめ

鉄道車輛の車外騒音発生の原因及び減音対策等について、目にふれる限りの文献を検討してみたが、この方面の研究実績は甚だ貧弱で、決め手となるような対策は見出せなかった。

ここで付記するならば、1968年当時、横浜国立大学の佐藤鑑教授が横浜市に提示した東海道新貨物線計画に関する報告書<8>において、列車速度の低減と軌道両側に緩衝地帯をとることを求めている点に注目して筆を置

表一 列車騒音<N>又は振動<V>の影響を必ずうける地域

	列車速度70km/h のとき	列車速度40km/h のとき
軌道構造	線路中心からの距離<m>	線路中心からの距離<m>
平地	50<N>	22<N>
土手<高さ3m>	40<N>	15<N>
高架<高さ6m>	32<N>	5<V>
" < " 9m>	25<N>	
" < " 12m>	5<V>	
" < " 18m>	5<V>	
隧道<線路に直角方向>		<線路に直角方向>
土かぶり<2m>	9<V>	9<V>
" < 4m>	4<V>	4<V>
土かぶり厚さ	4<V>以内	4<V>

く。〈佐藤教授らの報告の結論とみるべきものを表—2
で示す。〉

6 ————— 文 献

〈1〉松田俊彰：鉄道車両の騒音とその防止，日本機械
学会誌 Vol.64 No.505, 1961-2, P.307-314

〈2〉荒井昌昭，井川敬之助：騒音，鉄道技術研究所監
修，高速車両の研究，1967-3, P.402-405

〈3〉Cockrell, M.J & Waller, R.A. : Noise from the
urban railway Railway Gazette International,
1972-7, P.249-254

〈4〉Zboralski, D. : Das Fahrgerausch der Eisen-
bahn reisezugwagen. seine meßtechnische Erfassung
und Bekämpfung, Glasers Annalen, 80 jg ht. 5,
1956-5, S. 135-154

〈5〉宮本俊光：新幹線騒音，JREA Vol No. 4,
1973-4, P.9294-9298

〈6〉松田俊彰，荒井昌昭：列車の騒音および高周波振
動，鉄道技術研究所，東海道新幹線に関する研究
〈第2冊〉，1961-3, P.407-410

〈7〉Embleton, T.F.W. & Thiessem, G.J. : Train
noises and use of adjacent land, National Res earch
Council of Ottawa, Canada

〈8〉Berglund, H. : Stockhorm Tackles The noise
Problen. Railway Gazette International, 1972-7,
P.250-259

〈9〉Handbook of Noise and Vibration Control,
Tratde & Technical Press Publication, Ist ed

〈10〉Giorgi, G. : Installations on a new underground
railway line to reduce the noise, 7th International
Congress on Acoustics, Budapest, 1971 Ref. 21 N5

〈11〉Montreal Bureau Du Metro : The Montreal
Underground after one year in Operation, 1968-1

〈12〉Rubber-cushioned resilient wheels for main
line railways, Railway Gazette, 1959-2-6,
P.155-158

〈13〉小田尚輝：ゴム入車輛の防音効果について，住友
金属 Vol. 9, No. 3, 1957, P.158

〈14-1〉青木喜六ほか3名：踏面電車用KL-26防
振台車の走行試験に就いて，日立評論特集号 Vol, 33
No. 5, 1951-6, P. 403-422

〈14-2〉山田一男：日立踏面電車用カルダン台車につ
いて，日立評論，Vol.36 No.8, 1954-8, P.1245,-1256

〈14-3〉桑江和夫，佐川健：電管用台車の振動騒音試
験について，日立評論Vol.37 No.6, 1955-6, P.927-935

〈15〉State-of-the-art transit cars go the rounds,
Railway Gazette International, Vol.129 No.4, 1973-4,
P.140-142

〈16〉ORE : Noise abatement—Propagation of noise
by railway traffic, Utrecht, 1969-4, Rep. No.E82/
RP3/E

〈17〉Reduction of noise and vibrations wich affect
building structurcs caused bg the passage of railroad
rolling stock, Monthly Bulletin of fhe International
Railway Congress Association. 196-12 P.717-760

〈17〉佐藤鑑，後藤滋，末永保美，山本次郎，田村明弘
：東海道新貨物線計画による騒音振動調査の解析に関す
る報告書 1968，横浜市公害資料 No. 16

〈東急車輛製造株式会社技術研究室長〉