

鉄道騒音の防止技術

広井生馬*

1. はじめに

東海道新幹線の建設に際しては、保安上の面からあらゆる検討がつけられたことはいまでもないが、沿線に対する騒音防止についても、軌道面ではロングレールの採用、レール二重弾性締結の採用、車両面では空気ばねの台車構造、車体側スカートを取付けを行ない、さらに人家密集地帯に線路防音壁の設置を行なうなど、騒音防止についても、かなりの配慮をはらった。

東海道新幹線開業後引き続き建設に着手した新大阪—岡山間の山陽新幹線についても、東海道新幹線における経験と教訓を生かした結果、

- ① 無道床鉄桁を採用せず、鉄筋コンクリート桁・P C桁・合成桁などの有道床桁としたこと、
 - ② 高架の柱部を太く、スラブ部を厚く、マッシブな構造としたこと、
 - ③ 付近に人家のある地域の高架・盛土区間には、高さ約 2 m の防音壁を設置したこと、
 - ④ レール重量を 53 kg/m から 60 kg/m としたこと、
- など、東海道新幹線当初よりさらに騒音防止についての配慮をめぐらせた設計を採用し、建設・施工をした。

しかしながら、新幹線騒音については、その後も引き続き沿線からかなりの苦情が出されているのが実情であり、環境庁でもこの問題を取り上げ、中央公害対策審議会において審議した結果、昭和 47 年 12 月、環境庁長官から国鉄総裁あて「新幹線騒音について緊急に措置すべき指針値」80 ホン(A) が示された。国鉄は、この指示に基づきただちに対策を進める一方、今後さらに騒音を軽減すべく研究をすすめているが、以下、新幹線騒音の特徴と実状、ならびに今後の対策・研究について述べていきたい。

2. 新幹線騒音の音源

列車が走行する際に発する騒音が、どこから出ている

*正会員 日本国有鉄道技術開発室 計画主幹

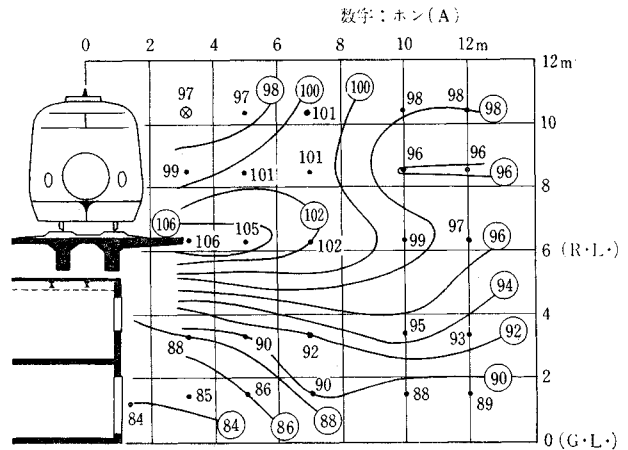


図-1 高架付近の騒音レベル分布

か、その音源は複雑である。

図-1 は、新幹線の最も代表的な構造であるコンクリート高架橋において、列車走行時に測定した騒音レベルの分布である。

図-1 でみるとおり、騒音レベルの最大値は、車輪とレールの接触部付近にあり、したがって主音源がその付近にあることがわかる。しかし、車体の床下には、駆動のための主電動機をはじめ、冷却機、圧縮機などの補助機器類が搭載されているため、これらが大きな音源となっていることも想定される。そこで、駆動装置を取りはずした台車と、通常の駆動装置をつけたままの台車とを走行させ比較測定したところ、結果において、騒音レベルの差は認められなかった。次に、車両の床下にマイクを取り付け、走行中の騒音レベルと、列車が停止して補助機器のみが作動している場合の騒音レベルとを比較測定したが、後者の騒音レベルは小さく、問題にならないことが確かめられた。また、車体屋根付近から異常鳴音の出ることが検出されたが、パンタグラフのがい子形状を改良することにより、この鳴音は解消した。

上記のことから、騒音の主源は、車輪とレールの接触部から発生しているものと推察されるが、その騒音発生メカニズムとしては、

- ① レールと車輪フランジの横衝撃による音
- ② レール、車輪相互のきわめて小さな不整形のために生ずる微細衝突による音

- ③ 車輪が前進するための駆動衝撃による音
- ④ レール・車輪間のすべり音(いわゆる“きしみ音”)
- ⑤ 接触部付近における振動により発する音

の各項のいずれか、または、その複合によるものと考えられる。

この騒音は、車輪のタイヤフラット、レールの波状磨耗のある場合大きくなるのが確かめられている。その影響の度合は次の程度と推定される。

④ 一台車で 30 mm 以下のタイヤフラットが 1 か所の場合、その影響はほとんどない。

⑤ 同一台車に 20~30 mm のタイヤフラットが 2 か所の場合は、平均レールに対して 1~3 ホン(A) 大きくなる。

⑥ フラットの大きさが 40~50 mm になると、平均レールに対して 2~4 ホン(A) 大きくなる。

⑦ 波長数 cm で波状磨耗で波高が 0.1 mm 程度の場合、平均レールに対して 2~3 ホン(A) 大きくなる。

⑧ 波高 0.15 mm 程度の場合、平均レールに対して 5~7 ホン(A) 大きくなる。なお、高速運転時における車輪・レール間騒音を周波数分析した結果では、1000~2000 Hz 付近のレベルがピークとなっており、これは次に述べる構造物の場合の騒音スペクトルと比べて対照的である。

次に、問題として考えなければならないのが構造物である。列車の走行によって発生する振動は、レール、まくらぎ等の、いわゆる軌道を通じて下の構造物に伝えられ、構造物の振動を起こす。このために、構造物が二次的な音源となるわけであるが、この傾向は無道床鉄桁において最も著しく、車輪・レール接触部付近から出る音よりも大きな騒音を発生している。コンクリート構造物においては、図-1 にみられるように、車輪・レール間の音よりも小さいが、線路に接近している区域で、上からの音に対しては構造物の“かけ”に入っている箇所においては今度は構造物が主音源となることが多い。したがって、コンクリート構造物についても、音源となる問題をすべて無視するわけにはいかない。

構造物、とくにコンクリート構造物から発する音は、低周波領域のレベルが大きく、A特性補正值においてはおおむね 500 Hz のレベルがピークとなっている。

3. 列車騒音の特性

(1) 距離減衰

列車騒音の場合、列車全延長が音源とみなされるため通常の点音源の場合と、無限長線音源の場合とのちょうど中間的な傾向となる。したがって、線路から遠く離れた場所においては、点音源に近くなり、線路の近くにお

いては、無限長線音源の場合に近似する。理論値としては、有限長線音源の計算が必要である。この場合、音源を線路に直角方向の指向性を持った二重音源の連続した線音源として考える場合と、指向性のない点音源の連続した線音源として考える場合の 2 式が成り立つ。結果を示すと

① 指向性線音源とした場合：

$$p^2 = \frac{A}{y} \left\{ \frac{ly}{l^2 + y^2} + \tan^{-1} \frac{l}{y} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 p ：音圧(実効値)

A ：音源の強さを表わす定数

l ：列車長の 1/2

y ：線路からの距離

② 無指向性の連続点音源とした場合：

$$p^2 = \frac{2A}{y} \tan^{-1} \frac{l}{y} \dots \dots \dots (2)$$

いずれの式も、 y が l に比べて小さいときは p^2 は y に一次逆比例、 y が l に比べて大きいときは p^2 は y に二次逆比例となる。新幹線の列車長を 400 m (16 両編成) とした場合、 $y=100$ m 程度までは p^2 は y に一次逆比例、 $y=400$ m 程度以上は p^2 は y に二次逆比例に近似する。

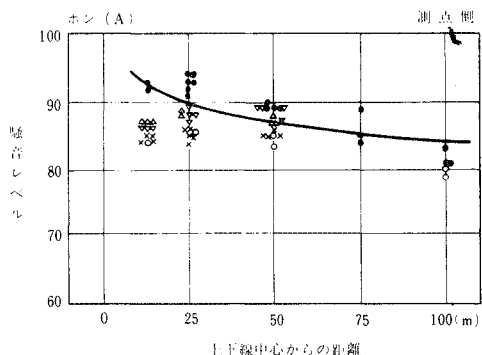


図-2 盛土区間における騒音の距離減衰

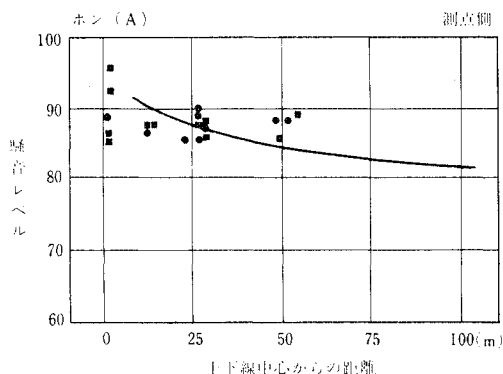


図-3 高架(有道床、側壁なし)区間における騒音の距離減衰

距離減衰の理論値を実測値と比較したものが、図-2、3であるが、人家密集地帯では、建物の遮蔽効果のために、理論よりさらに距離減衰が大きくなる。また、線路に近接した区域では、盛土・高架のためにいわゆる“音のかけ”となり、騒音レベルは遠方のものよりかえって小さい。

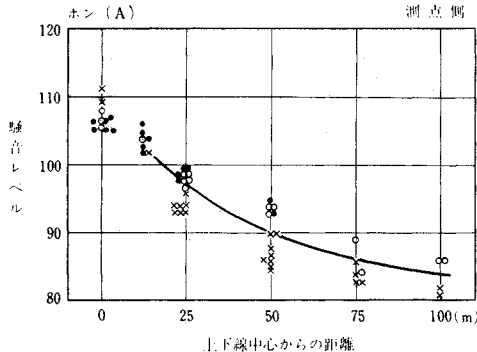


図-4 無道床橋梁における距離減衰

無道床鉄桁の場合には鉄桁区間が最大の音源となるため、線路からの離れが径間と同程度以上の距離においては、点音源（距離の二次逆比例）の場合に近くなる（図-4 参照）。

(2) 騒音と列車速度

列車速度が低い場合には、騒音の強さは速度の3乗に比例する。すなわち、

$$\Delta L = 30 \log_{10}(V_2/V_1) \dots\dots\dots(4)$$

ただし、 ΔL ：列車速度が V_1 と V_2 のときの騒音レベルの差

とされているが、新幹線の場合について測定した結果は、100~250 km/h 速度の領域においては、むしろ速度の2乗に近似している。したがって、式に表わすと

$$\Delta L = 20 \log_{10}(V_2/V_1) \dots\dots\dots(5)$$

の関係になる。

(3) 騒音の継続時間

列車騒音の場合には、同じ交通機関でも自動車騒音の場

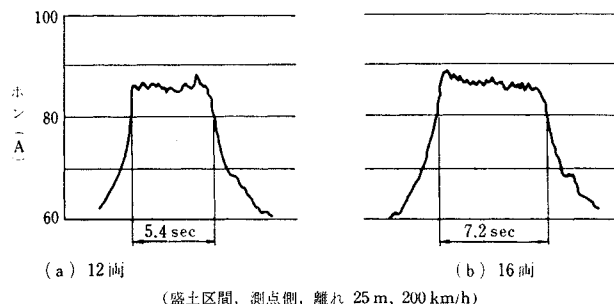


図-5 12両編成と16両編成の場合の騒音継続時間の比較
(盛土区間、測点側、離れ25m、200km/h)

合と異なり、騒音が間欠的である。また、その音は、線路の直角方向にかなりの指向性を持っているため、騒音の継続時間は列車の通過時間にほぼ等しい。したがって、列車速度を200 km/h とすると、12両編成（列車長300m）の場合は約5秒、16両編成（列車長400m）の場合は約7秒である。ただし、この場合、編成長が変わっても継続時間が変化するだけで、騒音レベルの差は見受けられない（図-5 参照）。

(4) 立上り速度

新幹線の場合、速度が高く、また音に指向性があるため、その騒音レベルの立上りについて検討を加えておく必要がある。3.(1)の場合と同様に理論値を求めると、列車速度 $V=200$ km/h において

① 指向性音源とした場合：

$$L' \cong \frac{450}{y} \dots\dots\dots(6)$$

ここに、 L' ：立上り速度 (dB(A)/sec)

y ：音源からの線路直角距離 (m)

② 無指向性音源とした場合：

$$L' \cong \frac{176}{y} \dots\dots\dots(7)$$

実測の結果は上記2式の間におさまっているが、線路中心から25mの距離において、騒音レベルの立上りは20 dB(A)/sec 以下であり、問題となる程度の数値でないことが確かめられた（図-6 参照）。

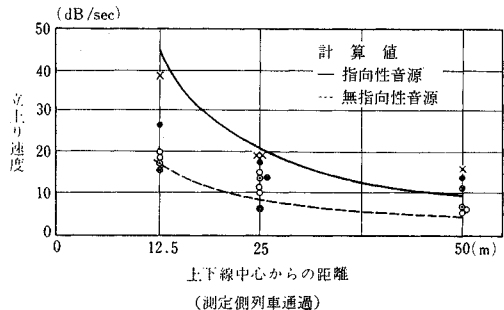
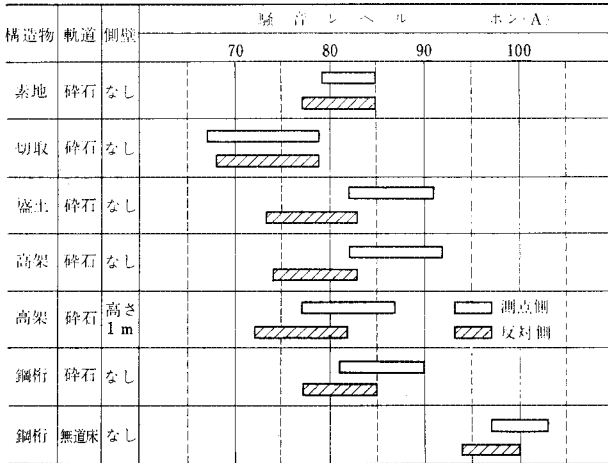


図-6 新幹線騒音の立上り速度
(測定側列車通過)

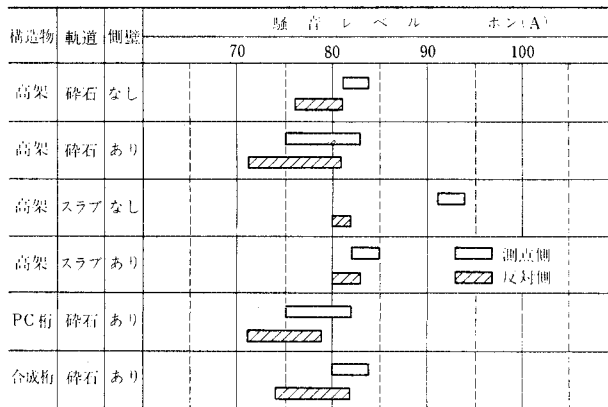
4. 新幹線騒音の実状

線路構造を大別すると、盛土、切り取り、高架、橋梁（コンクリート桁・合成桁・鉄桁）、トンネルなどに分けられる。東海道新幹線における線路構造別の列車騒音レベルの実測値を示すと表-1のとおりである。測定位置は、いずれも上下線中心から25m、地上1.2mの高さの屋外で、測点側とは、列車の上下線のうち測定位置に近い線路を通過したとき、反対側とは、遠い線路を通過した

表一 東海道新幹線の騒音レベル



図一 山陽新幹線の騒音レベル



ときの測定値を示す。速度は 160 km/h 以上である。

同様に、山陽新幹線について示したものが表一である。山陽新幹線においては、無道床鉄桁がないこと、当初から 2m 防音壁が高架区間の約 90% に設置されたこと、スラブ軌道が敷設されたことが特徴的である。

この結果をまとめると、次のとおりである。

① 盛土・高架（高さ約 6~7m 程度、側壁なし）区間で、測点側通過車の場合、騒音レベルは、80~90ホン(A)である。

② 反対側列車では、盛土・高架の“かげ”のため、上記より 5~10 ホン(A)小さい。

③ 高架に高さ 1m の側壁のある場合は約 5 ホン(A)、2m の側壁の場合は約 7 ホン(A)小さくなる。ただし、反対側列車については、側壁があってもほとんど効果は現われない。

④ スラブ軌道区間では、高架・側壁なしの場合 90 ホン(A)を越えている。2m の側壁を設けた場合、82~85 ホン(A)となるが、バラスト道床の高架区間(2m 側壁)に比べると、なお 3~5 ホン(A)大きい。

⑤ 切取区間(切取高 5m 以上)では、70~80 ホン(A)であるが、反対側列車のほうが切取りの遮蔽効果が薄らぐため、かえって大きい傾向にある。

⑥ 素地においては、測点側・反対側列車の差は 1~2 ホン(A)にすぎない。

⑦ 無道床鉄桁においてはおおむね 100 ホン(A)前後であり、測点側・反対側の差はそれほど大きくない。

なお、上下列車が同時に通過する場合の騒音レベルは、測点側列車通過の場合とほぼ変りない。これは、反対側列車は、測点側列車に比べ 5~10 ホン(A)騒音レベルに差があるうえ、測点側列車の遮蔽によって、さらにレベルが低下するためと考えられる。

5. 当面の対策と効果

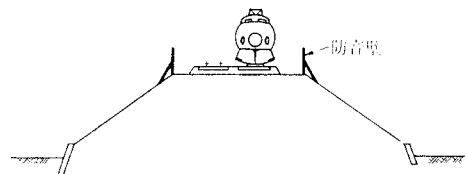
表一 新幹線線路構造別延長

区 分	東海道新幹線 (km)	山陽新幹線 (km)
盛 土	231	9
切 取	46	3
高架橋(コンクリート桁) 合成桁を含む	149	91
鉄 桁 (有道床)	3	0
鉄 桁 (無道床)	19	0
ト ン ネ ル	68	58
計	516	161

以上述べたように、列車騒音の主音源と目されるものは、車輪・レール間の騒音ならびに構造物(とくに鉄桁)の振動による騒音と考えられるが、以下、構造物別にその対策を述べる。なお、参考までに、東海道新幹線・山陽新幹線の構造別延長を示すと表一のとおりである。

(1) 盛土・高架区間

盛土・高架区間のうち、東海道新幹線については、全体の 17% に高さ約 1m の防音壁を、山陽新幹線については全体の 84% に高さ約 2m の防音壁を、それぞれ建設当初から設けていたが、東海道新幹線の 1m の防音壁は 2m にかさ上げするとともに、残余の区間についても、付近に人家のある箇所については、2m の防



図一 盛土区間における防音壁

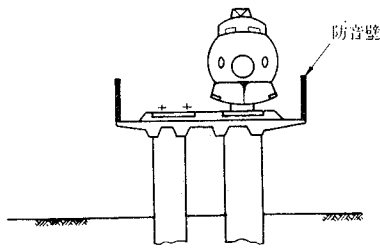


図-8 高架区間における防音壁

音壁を設置する(図-7,8 参照)。

(2) 有道床鉄桁

構造物から発生する騒音を軽減する方法としては、

① 軌道から伝えられる振動を、弾性材または緩衝材等によって絶縁する、

② 構造物自体の振動を緊制する、

③ 構造物から発する音を遮蔽する、

の方策が挙げられる。

有道床鉄桁の場合は、無道床鉄桁と異なり、軌道からの振動伝播に対して、バラストが緩衝材としてある程度の絶縁効果を持つことと、バラストの重量によって、振動の減衰効果が図られることによって、無道床鉄桁より騒音レベルは小さいが、盛土・高架区間に比べるとやや大きい。

この対策として、

④ 軌道から伝えられる振動を絶縁するため、道床バラストと鉄桁との間に、ゴム製のバラストマットを挿入する、

⑤ 橋桁自体の振動を抑制するため、桁の主要部材にゴムアスファルト類、その他の制振材を貼り付ける、

⑥ 騒音を遮蔽するため、線路両側に防音壁、桁下に遮音板を設ける。

以上のいずれか、またはその組合せを各橋梁について実施する(図-9 参照)。

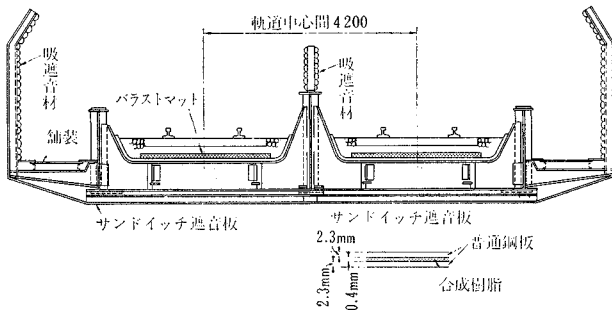


図-9 有道床鉄桁防音工の例

(3) 無道床鉄桁

無道床鉄桁の場合は、まくらぎと鉄桁が直結しているため、列車走行に伴う軌道からの振動が直接鉄桁に伝わる。このため、騒音レベルは大きく、騒音対策上最も問題の多い構造物である。この場合も、無道床鉄桁と同じように、軌道からの絶縁策、桁自体の制振策、音の遮蔽策を講ずるが、在来が90~100ホン(A)であるため、これを80ホン(A)以下に軽減することは非常に困難である。以下、その実施例と結果を 図-10 に示す。

以上述べてきた対策の全体数量は表-4に示すとおりであるが、これらの方法を実施しても、特殊な箇所でも85ホン(A)を超える箇所については別途障害防止工を行なうことが、環境庁長官の勧告に示されている。

表-4 音源対策を要する構造物延長

線名別	構造物別	全延長 (km)	騒音対策を要する延長 (km)	対策工
東海道新幹線	鉄桁(無道床)	19.2(101)	11.6(94)	防音工, 防音おい, 有道床化
	鉄桁(有道床)	2.5(110)	2.5(110)	防音工, バラストマット
	コンクリート桁	41.5		
	高架橋	107.0	123.5	防音壁
	盛土	230.4	118.0	防音壁
山陽新幹線	切取り	46.2	—	
	トンネル	68.6	—	
	計	515.4	255.6	
	橋梁(有道床)	16	0.2	防音壁
山陽新幹線	高架橋	75	13.8	防音壁
	盛土	8	0.7	防音壁
	切取り	4	—	
	トンネル	58	—	
計	161	14.7		

注: カッコ内の数字は、箇所数を示す。

6. 今後の技術開発

前節に述べた当面の対策以外に、さらに騒音を軽減する方策について、研究は行なわれてきている。まず、車輪・レール間の騒音について、音源を直接軽減する策として、弾性車輪・防振車輪の研究、防振レールの研究などが行なわれてきたがこの面からの騒音軽減はなかなか困難の模様である。騒音増加の原因となるタイヤフラット、波状磨耗レールについては従来からも厳しい管理が行なわれてきたが、その騒音との関係についての定量的把握と、検知・削成の精度向上施策について研究を続けている。遮蔽については、通路脇に設ける防音壁のほかに、建築限界いっぱいには設ける近接遮音壁、車両側スカートへの延伸、各種吸音材の試験等を実施——目下のところ明確な効果が得られていないが——加

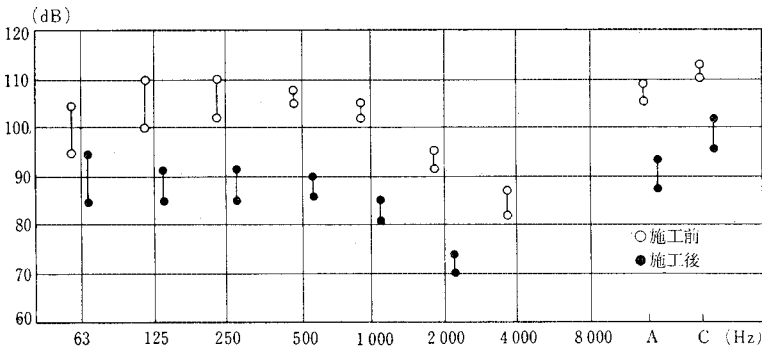
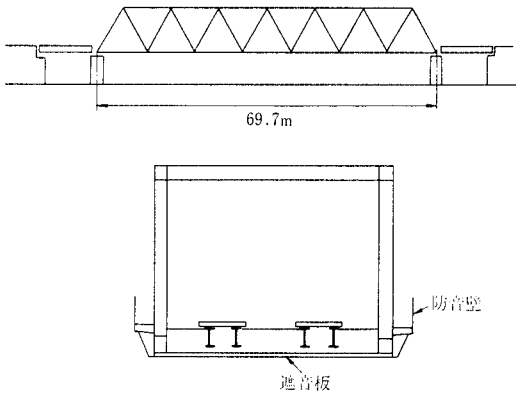


図-10 無道床鉄路における防音工施工例と防音効果

えて防音壁の形状・寸法についてさらに検討し、試験をすすめる予定である。構造物の対策としては、まず、軌道からの振動絶縁策としてのバラストマットについての検討をさらに掘り下げるほか、スラブ軌道区間における

スラブマット、無道床鉄路区間におけるまくらぎ下パットについて研究をすすめる。また、構造物の遮音工についての検討を続けていくとともに、遮音工の防振支持方法、制振材・吸音材の検討もあわせすすめる。

さらに、基礎的研究として、列車騒音の発生メカニズムならびに音源寄与度についてのしらみつぶしの検討についても、上記の具体的手法の研究と併行して、さらにすすめていかなければならない。

7. む す び

新幹線騒音の技術分野の面については、かなり確かめられた面もあるが、未知の部分も依然として残っている。この面について、今後さらに検討をきわめ騒音緩和に資したいと願っているものである。

なお、上記各項については、鉄道技術研究所物理研究室長荒井昌昭氏ほかの研究によるところ大であることを付記する。

引用文献

- 1) 荒井・井川・塚本・智野：鉄道車両の走行による車外騒音の軽減の研究（第1報）（第2報），鉄道技術研究報告。

土木技術者のための法律講座 ●増補改訂版完成・発売中●

● B 5 判・126 ページ 8 ポ二段組並製 1100 円 会員特価 1000 円 (〒 100 円) ●

●総論●財政・会計制度●建設業法●標準契約約款●公害対策基本法●騒音規制法●水質汚濁防止法●大気汚染防止法●労働基準法および関係法令●市街地土木工事公衆災害防止対策要項および火薬類取締法●道路交通関係法令●河川・砂防・海岸・公有水面行政法規●港湾関係法令●都市計画法●水道法●下水道法●建築基準法●宅地造成等規制法●土地収用法●

EARTHQUAKE RESISTANT DESIGN FOR CIVIL ENGINEERING STRUCTURES, EARTH STRUCTURES AND FOUNDATIONS IN JAPAN, 1973

● B 5 判・150 ページ (口絵・付図つき上製) 定価 1600 円 (〒 140・海外価格 8 ドル) ●

1973 年 6 月 25 日～29 日までローマで開かれた第 5 回世界地震工学会議を記念して全面改訂された各分野の耐震規定を収録したものである。土質基礎、ダム、港湾構造物、上水道、橋梁に分け、土質工学会、日本大ダム会議、運輸省港湾技術研究所、日本水道協会、土木学会橋梁構造委員会が責任編集にあたった貴重な指針。