

反射音を考慮した2層道路構造の騒音対策 における最適化設定に関する考察

酒井 利忠¹

¹正会員 日本道路公団 東京建設局 建設二課 (〒105-0014 東京都港区芝3-39-9)

本論文では、モンテカルロシミュレーションによる騒音簡易計算法により、一般部が平面、盛土構造となっている2層道路構造の騒音レベルを計算し、その騒音特性について、一般部遮音壁位置、高さ等をパラメータとして体系的に明らかにした。また、反射音対策として、中央分離帯遮音壁、裏面吸音板について解析をおこない、その減音特性を考察した。さらに、この結果をもとに反射音を考慮した2層道路構造における合理的な騒音対策の最適化設定方法の例を示し、2層道路構造計画の騒音対策の方向性及び各種道路構造における効率的(経済的)騒音対策工法の明確化を行った。

Key Words : road traffic noise, elevated tracks, noise control, optimization method, reflective noise, highway planning.

1. まえがき

都市圏において自動車専用道路(以下「専用部」という)と一般国道等(以下「一般部」という)が並行する区間では、道路用地の有効利用等から2路線を立体構造とする2層道路構造が多く採用されている。遮音壁による騒音対策の計画、設計は、現在のところ、環境アセスメント時にいわゆる音響学会式(ASJ Model 1975)による推定、予測計算によって行われるのが一般的である¹⁾。しかし、ASJ Model 1975では、このような2層道路構造に対する計算方法が具体的に示されていない。このため、通常は一般的な平面、盛土、切土、高架道路の計算値を重ね合わせることで計算が行われていることが多い。ところが、高架下裏面反射の影響により上述の音響学会式のみによる予測値に比べ実測値は遙かに高いレベルになることが問題となっている²⁾。これは、一般部に高い遮音壁を有する2層道路構造の反射音は回折音に比べて遙かに高く、騒音レベルは反射音により支配されることが起因している²⁾。

一方、国道43号判決にも見られるように、騒音環境に対する配慮は非常に重要になってきており、2層道路構造においても道路計画段階での対応が重要である。このような2層道路構造の環境対策において、設計段階で騒音対策方法を計画するには有効な予測手法が必要となる。2層道路構造の反射音の解析法としては、回折式によるもの³⁾、ランベルのコサイン則の応用⁴⁾などが知られているが、多

重反射を考慮した方法としてモンテカルロシミュレーションによる方法が実測上の値と整合性が多くのケースで得られており、その誤差は ± 2 [dB]程度である²⁾。この方法によれば、高架橋、遮音壁、路面の位置関係、桁形状、周囲の地形、吸音材の配置位置等について包括した反射モデル形成による評価が容易に可能であり、2層道路構造の最適化騒音対策設定を考察する上での騒音計算法として有効であると考えられる²⁾。

本論文では、モンテカルロシミュレーションによる騒音簡易計算法により、一般部が平面、盛土構造となっている2層道路構造の騒音レベルを計算し、その騒音特性について、一般部遮音壁位置、高さ等をパラメータとして体系的に明らかにした。また、反射音対策として、中央分離帯遮音壁、裏面吸音板について解析を行い、その減音特性を考察した。さらに、この結果をもとに2層道路構造における合理的な騒音対策の最適化設定方法の例を示し、2層道路構造計画の騒音対策の方向性及び各種道路構造における効率的(経済的)騒音対策工法の明確化を行った。

2. 回折音対策のみを考慮した騒音対策の問題点

現在、都市内高速道路で用いられる2層道路構造を大別すると、専用部は高架形式、一般部は平面形式、盛土形式等に分けられる。図-1はこれらのうち平面構造と盛土構造の標準断面例を示したものである。それぞれの断面の繪

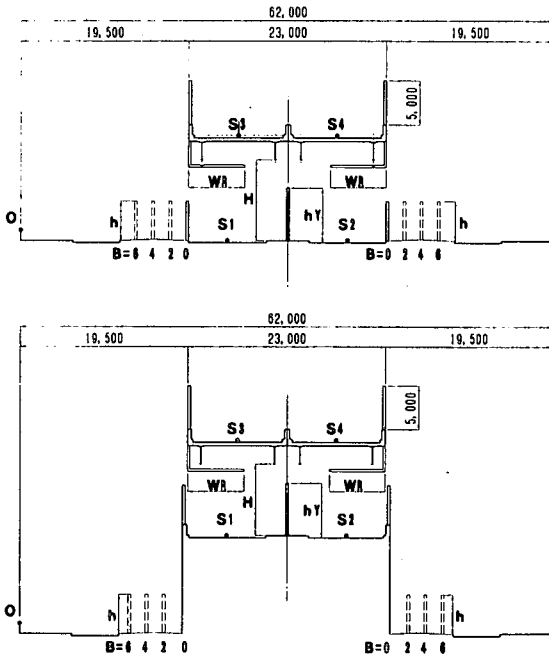


図-1 解析モデル

道路幅員は $W=62.0[m]$ に設定している。一般部が平面形式では本線の他に両側に $8.0[m]$ の環境施設帯、 $5.5[m]$ のサービス道路、 $6.0[m]$ の歩道を有している。一方、盛土形式は本線が盛土天端の高い位置にあるが、基本的な幅員構成は平面構造と同様である。また、各々の道路構造に対して専用部は2主桁の鈹桁構造を設定する。なお、基本断面における平面、盛土の一般部路面から専用部桁下フランジの高さをそれぞれ $H=9.0, 8.0[m]$ に設定する。解析モデルとして、ある都市内道路の実際の交通条件を引用し、一般部音源 S_1, S_2 の1時間あたりの車両通過台数 $N_c=557[台]$ 、走行速度 $V=60[km/h]$ 、大型車混入率 $a_2=54.3[\%]$ を設定する。同様に、専用部音源 S_3, S_4 として1時間あたりの車両通過台数 $N_c=651[台]$ 、走行速度 $V=80[km/h]$ 、大型車混入率 $a_2=54.3[\%]$ を設定する。また、環境目標値の時間帯は夜とし、その値を $50[dB]$ に設定する。専用部遮音壁高さを $5.0[m]$ に固定し、一般部遮音壁高さを $h[m]$ に設定した。一般部遮音壁位置については専用部遮音壁位置直下を $B=0[m]$ に、民地側への水平距離を $B[m]$ に設定し、

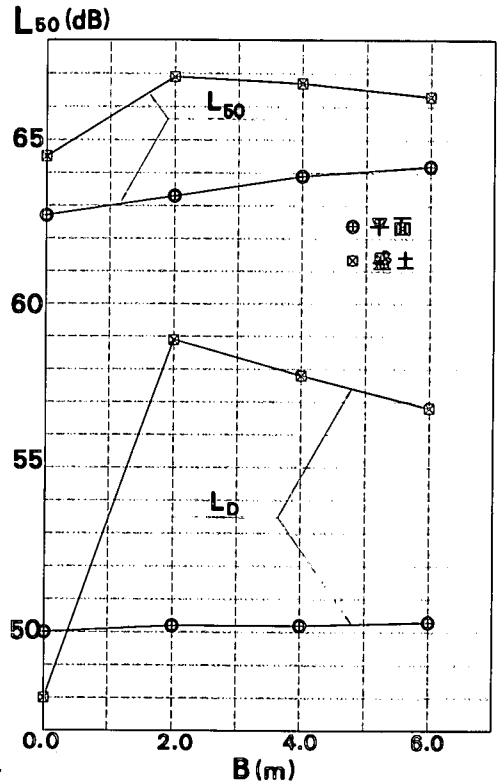


図-2 遮音壁位置に対する騒音レベル($h=5.0[m]$)

計算結果を評価する。また、各々の桁と路面の境界条件 Q_R の反射係数は、構造部材の高反射材料で良く用いられる $Q=0.98$ 、遮音壁 Q_A は、残響室法吸音率の規格である $Q=0.2$ に設定した⁷⁾。また、公民境界位置に検出境界 Q_D を設定した。

図-2には一般部の道路構造ごとに、予測点Oである公民境界高さ $1.2m$ 地点での一般部及び専用部からの回折音 $L_D[dB]$ 、反射音 $L_R[dB]$ 及びそれらの合成騒音 $L_{SD}[dB]$ の簡易計算法による計算値を縦軸に、遮音壁位置 $B[m]$ を横軸にとりプロットしたものである。解析モデルの範囲は使用したモンテカルロシミュレーションによる方法が幾何音響的な解析方法を用いているので、この方法が有効となる桁下裏面が受音点側から見通せる $B=0\sim6[m]$ の範囲で行った。また、この範囲は同時に緑地帯としての機能を維持しつつ、遮音壁を設置できる範囲の限界である。 $B=0[m]$ に $h=5.0[m]$ の遮音壁を設置する対策により、回折音 $L_D[dB]$ は環境基準である $50[dB]$ を満足している。しかしなが

ら、反射音 L_R [dB]のレベルが回折音に比べて15~20[dB]程度高くなっており、その合成騒音 L_{50} [dB]は遙かに高いレベルにあるので、環境基準を全く満足できていない結果となっている。この解析結果は、回折音と反射音を分離した測定方法であるインパルス応答計測の測定結果、2層道路構造の模型実験の結果と適合している²⁾。このように2層道路構造においては回折音よりむしろ反射音が支配的であり、反射音の考慮が必須条件となると考えられる。

3. 反射音対策を考慮した効率的な遮音壁の設定

一方、この高架下裏面反射の騒音特性は、一般部遮音壁位置、高さなどに影響を受けることは測定結果より明らかである²⁾が、各道路構造に対する定量的な検討はなされていない。ここでは、前節で示した各道路構造について、一般部遮音壁の位置、高さより反射対策に与える影響について体系的に考察し、反射音対策を考慮した一般部遮音壁の効率的な対策について検討する。

(1) 一般部の遮音壁位置及び高さの影響

騒音レベルは専用部桁位置、一般部遮音壁位置、受音点の相対位置関係に影響を受ける。図-3は各道路断面の一般部の遮音壁高さ $h=8.0[m]$ の場合の、遮音壁位置に対する予測点位置での騒音レベルをプロットしたものである。

図-2に見られるように、遮音壁高さが $h=5.0[m]$ では平面構造は、遮音壁位置の後退に従い、遮音レベルはやや増加してゆく傾向にあり、盛土構造は、徐々に騒音レベルは減少して行くが、効果としては僅かである。一方、図-3に見られるように遮音壁高さ $h=8.0[m]$ の場合は、遮音壁の後退に従い、各道路構造とも、騒音レベルは減少する傾向にあるが、緑地帯の供用から考慮すると設置可能な範囲は $B=6.0[m]$ 程度が限界である。

盛土構造については、平面とは全く異なる特性を示す。一般的に予測点より、音源、桁下裏面とも相対的に高い位置にあるため、遮音壁が $h=8.0[m]$ であっても遮音壁の桁下裏面反射音に対する効果は他構造に比べ相対的に薄く騒音レベルは高いレベルにあり、 $B=6.0[m]$ で騒音レベルが $B=0.0[m]$ よりも減少している。盛土構造については遮音壁位置の調整による騒音低減効果は薄く、回折音及び道路構造を考慮すると遮音壁の設置位置としては $B=0.0[m]$ 地点に設定することが現実的であると考えられる。図-4は図-2、3による検討結果から得られた各道路断面構造の遮音壁位置 $B=0.0, 6.0[m]$ における、一般部遮音壁高

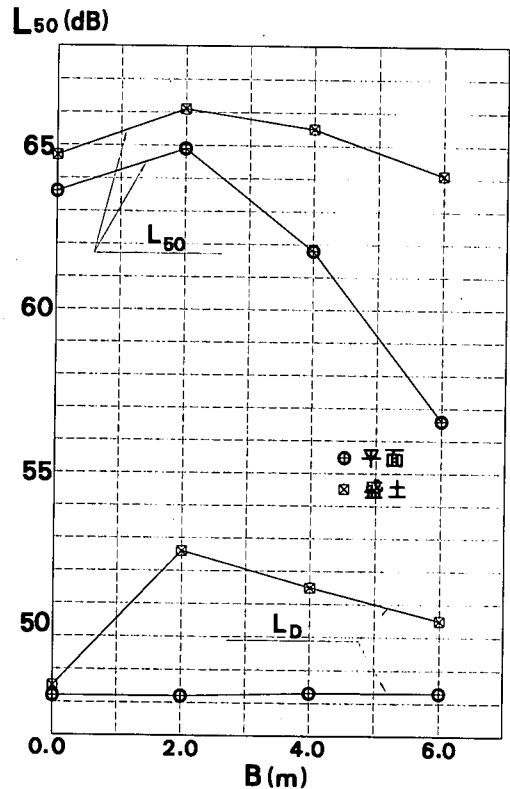


図-3 遮音壁位置に対する騒音レベル($h=8.0[m]$)

さの変化による反射音を考慮した騒音レベルを示したものである。遮音壁の高さが高くなるにつれ、平面、盛土構造とも同様に騒音レベルは減少して行くことがわかる。特に平面構造については $B=0.0[m]$ で、遮音壁高さが $h=5.0[m]$ 以上ではあまり改善効果が增加しないが、遮音壁設置位置が後退している $B=6.0[m]$ 地点では改善効果が効率よく増加していることがわかる。

一般部遮音壁位置による騒音レベルの減少は、実際の2層道路構造の測定値からも確認されている。図-5は、ある2層道路構造沿道の公民境界1.2[m]における平面構造の騒音測定値を遮音壁位置に対して、プロットしたものである²⁾。遮音壁の位置 $B[m]$ の増加に従い騒音レベルの減少が見られ、その傾向はシミュレーションによる計算値とよく一致していることがわかる。

4. 反射音対策手法

前節までの検討で、2層道路構造における一般部遮音壁

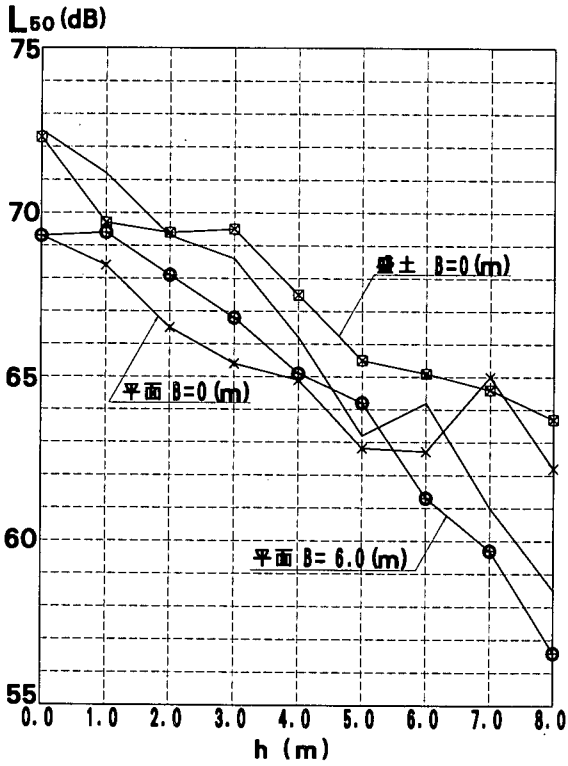


図-4 一般部遮音壁高さに対する騒音レベル

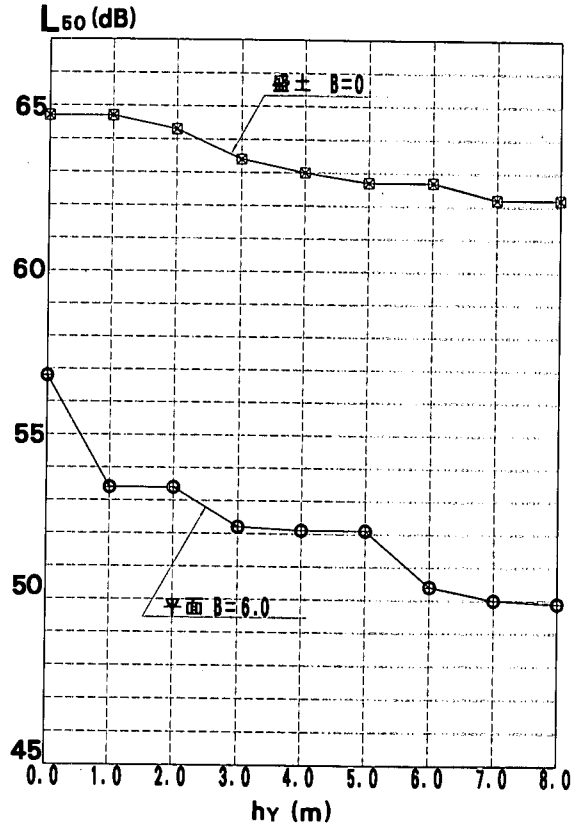


図-6 中央分離帯遮音壁高さによる騒音レベル

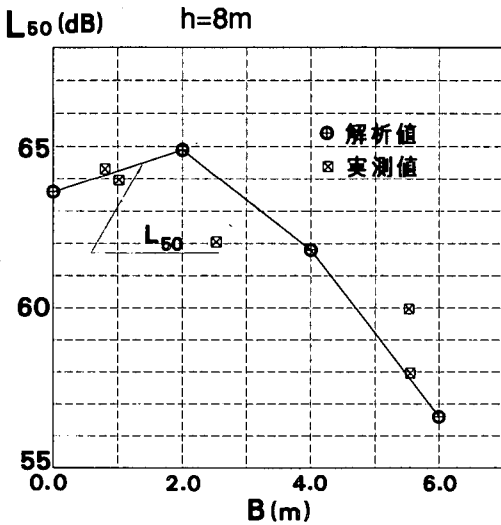


図-5 遮音壁位置に対する騒音実測レベル (平面構造)

位置など道路断面の変化に対する反射音の特性について検討が行われた。その結果、2層道路構造の交通騒音は、音源からの直接音が遮音壁による回折減衰効果により低減され、相対的に高架橋桁下反射音が全体の騒音レベルを支配していることがわかった。また、この検討結果から、一般部遮音壁位置、高さなどの、対応により騒音レベルを効果的に低減することが可能であることがわかった。しかし、同時にこれらの方法による改善効果の限界も明らかとなった。ここでは、より高い反射音の低減効果を期待するべく、中央分離帯遮音壁対策、裏面吸音板対策の騒音低減特性について考察する。

(1) 中央分離帯遮音壁の騒音低減特性

中央分離帯遮音壁対策による騒音低減特性を見るために、図-1に示す断面例を設定した。解析モデルは、一般部遮音壁吸音板反射係数 Q_H 及び中央分離帯遮音壁吸音板反射係数 Q_Y を $Q_H=Q_Y=0.2$ とし、高架橋幅を $W=23.0[m]$ 、一般部遮音壁はそれぞれ、本論文で設定した平面、

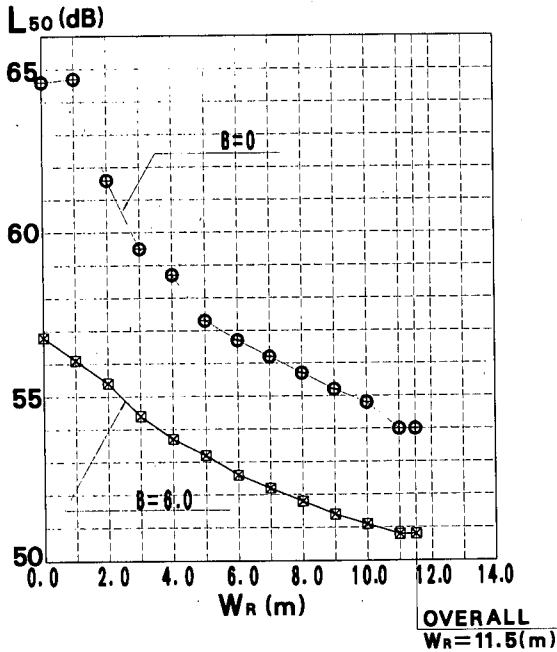


図-7 裏面吸音板による騒音レベル

盛土構造モデルでの合理的な位置である $B=6.0, 0.0[m]$ にその高さを $h=8.0[m]$ に設定した。図-6は横軸に中央分離帯に設置する遮音壁の高さ $h_1[m]$ 、縦軸に簡易計算法による騒音レベルの解析値をプロットし示したものである。何れの道路断面構造についても、中央分離帯遮音壁の高さの増加に従い騒音レベルは減少していき、盛土では、最大 $3[dB]$ 、平面では最大 $7[dB]$ 程度の改善効果が得られている。

(2) 裏面吸音板による騒音低減特性

裏面吸音板対策による騒音低減特性を見るために、図-1に示す解析モデルを設定した。解析モデルは、中央分離帯遮音壁の評価で設定した条件と同様であり、裏面吸音板の反射係数を $Q_R=0.1$ に設定した。図-7は横軸に裏面吸音板を設置する範囲 $W_R[m]$ 、縦軸に解析値をプロットしたものである。何れの道路断面構造についても、 $W_R[m]$ の増加に従い騒音レベルは減少して行き、盛土では最大 $11[dB]$ 、平面では最大 $6[dB]$ 程度の改善効果が得られている。

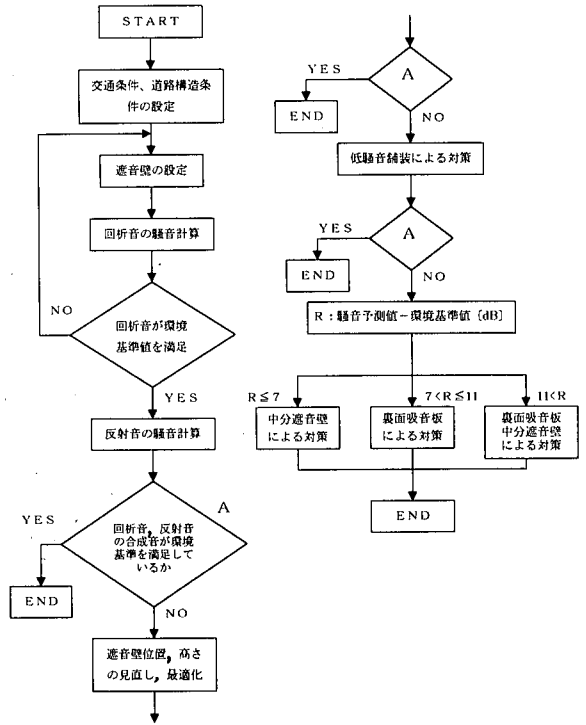


図-8 2層道路構造の騒音対策の最適化設定手順

5. 反射音を考慮した2層道路構造の騒音対策設定例

上記の結果をもとに、各2層道路構造に対する環境基準対応の効率的な対策例を検討する。本論文では、対策設定にあたり、図-8に示すような手順を考える。

(1) 一般部遮音壁による最適化

最適化設定手法としては、通常の騒音環境影響評価と同様に *ASJ Model 1975* により回折音の評価を行い、環境目標値を満足するような、遮音壁高さ、位置を設定する。次に、シミュレーションによる反射音を考慮した計算により、反射、回折音の合成騒音が目標値を満足するか否か検討を行う。2層道路構造の場合、反射音が回折音を遙かに上回るので²⁾、ほとんどの場合回折騒音対策では、環境目標値を満足することはできない。騒音対策の考え方としては、効率的・経済的な対策工とすることから、一般部遮音壁を効率的に設置し、反射音・回折音を極力減少させ、不足分の対策として裏面吸音板等による反射音対策を行うものとする。

平面構造については環境施設帯利用の観点から、

h=8.0(m)

項	目	単位	平面構造	盛土構造		
回折音対策時	回折騒音レベル h=5m	(dB)	50.0	48.0		
	合成騒音レベル h=5m (回折音+反射音)	(dB)	62.8	65.5	①	
	合成騒音レベル h=8m (回折音+反射音)	(dB)	63.6	63.7	②	
一般部遮音壁騒音の 最適化後の騒音レベル	合成騒音レベル	(dB)	56.7	63.7	③	
	遮音壁位置 B	(m)	6.0	0.0		
	遮音壁高さ h	(m)	8.0	8.0		
	低減効果	(dB)	6.1	1.8	④	=①-③
	低減効果	(dB)	6.9	0.0	⑤	=②-③
	低騒音舗装の騒音レベル低減効果	(dB)	3.0	3.0	⑥	
	低騒音舗装後の合成騒音レベル	(dB)	53.7	60.7	⑦	=③-⑥
反射音対策の騒音 レベル低減効果	中分遮音壁	(dB)	4.0	—	⑧	
	裏面吸音板	(dB)	—	10.7	⑨	
	反射音対策後の合成騒音レベル	(dB)	49.7	50.0	⑩	=⑦-⑧, ⑦-⑨
	環境目標値(環境基準)	(dB)	50.0	50.0		

(図-1の断面を対象とした.)

B=6.0[m]の位置にh=8.0[m]の直立の遮音壁を設置することが合理的であると考えられる。この調整により、平面構造においては最大7[dB]程度の騒音レベルの減少が見込まれる。

盛土構造においては、断面構造を見て明らかのように、一般部本線が高い位置にあるため、回折音及び道路構造を考慮すると遮音壁位置はB=0[m]に設置せざるおえないことがわかる。したがって、盛土構造においては、遮音壁位置の調整による騒音レベルの減少改善は見込むことは困難であると考えられる。

(2) 反射音対策設定

一般部遮音壁位置、高さによる対策のみでは、環境目標値を満足することは困難である場合がある。したがって、遮音壁位置の調整により目標値を満足できない場合には、桁下反射音に対する専用の対策が必要となる。現在のところ桁下反射音対策としては、低騒音舗装、中央分離帯遮音壁、裏面吸音板などが考えられる。これらの騒音低減効果の最大値及び設定した道路幅員での単位長さ当たりの工費の目安はそれぞれ、

①低騒音舗装 3[dB], 20(万円/m)

$$(A=18[m^2/m])$$

②中央分離帯遮音壁 7[dB], 70(万円/m)

$$(h_y=8.0[m])$$

③裏面吸音板 11[dB], 200(万円/m)

$$(W_R=11.5[m])$$

である。各々の対策の工費は、建設物価版・積算資料・建設省積算基準を参考に試算した値である。また、対策効果量は①の低騒音舗装は実際の2層道路構造における実測結果より²⁾、②、③の反射対策は本論文で計算した解析結果より与えられる。したがって、必要改善値により使い分けが必要となる。①の低騒音舗装は他の対策に比べて遙かに安価であり、比較的改善効果量も高いので、図-8に示す手順では、最初に低騒音舗装により騒音レベルの低減を図る。しかしながら、多くの場合、低騒音舗装のみの対策では環境目標値を満足することができないので、さらなる対応が必要である。

前節までの検討結果により、平面構造においてはh=8.0[m]の一般部遮音壁位置の効果により6[dB]程度の効果が得られるため、本論文で設定した条件では、残

り7[dB]以下の改善が得られれば、目標値を満足することができる。したがって、低騒音舗装3[dB]と $h=3.0[m]$ の高さの中央分離帯遮音壁4[dB]により、必要十分な対応が完了する。盛土構造においては、遮音壁位置の調整による効果が得られないため、本論文で設定した条件では、同様に14[dB]程度の改善が得られれば、目標値を満足することができる。しかしながら、低騒音舗装と中央分離帯遮音壁では環境目標値を達成することができない。このため、低騒音舗装3[dB]と裏面吸音板11[dB]の組み合わせによる対応が必要となり、この対応により必要十分な対応が完了する。表-1には平面、堀割、盛土における対策設定例をまとめる。なお、表-1の平面構造において、回折音対策時の合成騒音レベルが $h=5[m]$ よりも $h=8[m]$ で高くなっている。 $h=8[m]$ の場合、この障壁の上端と桁下の開口が小さくなって閉空間に近くなるため、単純には騒音レベルは減少するようと思われるが、閉空間の内部残響や開口部に集中する音の拡散性などの影響により、この断面例では逆に僅かに増加する計算結果となっている。

6. まとめ

本論文では、モンテカルロシミュレーションによる騒音簡易計算法により、一般部が平面、盛土構造となっている2層道路構造の騒音レベルを計算し、その騒音特性を検討した。また、この結果をもとに反射音を考慮した2層道路構造における合理的な騒音対策の最適化設定方法の例を示し、2層道路構造計画の方向性及び各種道路構造における効率的（経済的）対策工の考察を行った。その結果、以下のような内容が得られた。

- ①本論文で設定したモデルにおいては、反射音のレベルが回折音に比べて15~20[dB]程度高くなっている。2層道路構造においては回折音よりむしろ反射音が支配的であり、反射音の考慮が必須条件となると考えられる。
- ②反射音を考慮した効率的な一般部遮音壁位置は、回折音のみの対応と異り、平面構造構造においては民地側に移動させる方が遙かに効果的である。
- ③中央分離帯に遮音壁を設置する対策は、その設置高さが高くなるにつれて効果が増大し、解析上最大7[dB]程度の改善効果が期待できる。
- ④裏面吸音板対策は、その設置範囲の増加とともに効果が増大し、解析上最大11[dB]程度の改善効果が期待できる。

⑤検討結果をもとに、各2層道路構造ごとに環境基準対応の効率的な騒音対策工法を示した。

騒音対策において回折音対策は、一定の効果を上げ進められてきたが、2層道路構造においては、回折音よりも反射音が卓越し回折音対策のみでは不十分な状況にある。2層道路構造における反射音対策は、国道43号判決以降注目を集め各地で各種対策が取られているが、確立された対策工はなく対策工種・材料等について新たな開発がなされている状況にある。本検討においては、施工実績があり一般的技術レベルで考えられる工種の組み合わせによる騒音対策の最適化を図るものとした。今後は2層道路構造の反射音対策において多くの計測・検証を行うとともに新工種・新材料の活用も図り、効率的・経済的な対策工についてさらなる検討を行っていく必要があると考えられる。また、境界要素法などの応用により、基本式である波動方程式に従った計算による評価法の確立、等価騒音レベルによるASJ Model 1993に対する適用検討など解析評価法の改善も重要であると考えられる。

参考文献

- 1) (社)日本音響学会：道路交通騒音の予測計算方法に関する研究報告書，1975.2，1976.3，1977.2，1978.3。
- 2)西山 均，西山 文男：モンテカルロシミュレーションによる多次反射を伴う道路2層構造の簡易計算法と騒音特性，土木学会論文集，No.588/VI-38，pp.103-111，1998.3
- 3)Anderson G. : Noise studies for the San Antonio "Y" project, Transportation Research Record 983, pp.1-8, 1984.
- 4)Fukushima, A., Itiki, T. and Konishi, K. : On traffic noise calculation methods about double decks road, Inter-Noise 94, Proceedings, pp.307-310, 1994.
- 5)村坂 宗信，西山 均，西山 文男：道路2層構造における桁下多次反射の騒音対策と基本特性（その1），第20回土木計画学研究発表会講演集，pp.163-166，1997。
- 6)小川 哲也，西山 均，西山 文男：道路2層構造における桁下多次反射の騒音対策と基本特性（その2），第20回土木計画学研究発表会講演集，pp.167-170，1997。
- 7)藤田 隆之，餘多分総央，青野 正二，高木 興一：トンネル坑口周辺における音圧レベルの予測方法について，平成10年度春期研究発表会，日本音響学会講演論文集，pp.731-732，1998。

(1997.10.30 受付)

AN OPTIMIZATION METHOD FOR NOISE CONTROL OF ELEVATED TRACKS WITH MULTI REFLECTIVE NOISE

Toshitada SAKAI

In this paper, I calculated reflective noise levels from elevated tracks, the under of which has the structure of the plain or the embankment, with the Monte Carlo Simulation and made the noise particularity clear, using as parameters the position and height of barriers against noise along the under track, the designed height of the upper track and so on. Furthermore, I analyzed noise barriers built at the median strip of the under track and reduction boards against reflecting noise, which are equipped on based of the upper track. Based on these results, I researched an optimum method for noise control from elevated tracks and found effective countermeasures to noise generated by the structure of elevated tracks.