

## Investigation for insertion loss of noise barrier for sound source moving at high speed

緒方, 正剛

<https://doi.org/10.15017/458565>

---

出版情報 : Kyushu Institute of Design, 2003, 博士 (工学) , 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

## 第3章 移動音源に対する防音壁の挿入損失の簡易な算出手法の提案

第2章で行った境界要素法を用いて数値解析により求める手法は、音源が移動する場合の防音壁の挿入損失を厳密に求めることができる反面、膨大な計算量が必要となる。そこで、交通騒音に対する騒音予測手法の中で一般的に用いられている前川の実験結果を用いた簡易手法により、音源が移動する場合の挿入損失の算出について考えることにした。

### 3.1. 音源のドップラー効果による周波数変調を考慮した場合

一般的に鉄道などの騒音を予測する際の防音壁の回折減衰量の評価には、第1章でも述べたように、前川の実験式を用いる方法が用いられている。前川の実験式では、防音壁の挿入損失はフレネル数  $N$  ( $=2\delta/\lambda$ ,  $\delta$ : 音源と受音点の行路差 (m)、 $\lambda$ : 波長 (m)) から求めるため、音源の周波数に依存する量である。騒音予測手法の中では、音源は静止していると仮定しているため、音源が移動することによる周波数変調は無視している。しかし、音源が高速で移動する場合には、Fig.2.3で示すようにドップラー効果により、周波数は大きく変調する。従って、周波数の変調により、防音壁の挿入損失に影響があるものと考えられる。

そこで、第1章で述べた前川の実験式のフレネル数を求める際に、Fig.2.3で示す各音源の位置に対応した音源の変調周波数の波長を代入することで、音源の周波数を考慮した回折減衰量を算出し、受音点での音圧レベルを求めた。音源、受音点及び防音壁の配置はFig.2.2の通りとし、音源の移動速度は、300、500、700km/hとした。その結果をFig.3.1(a)~(c)に示す。

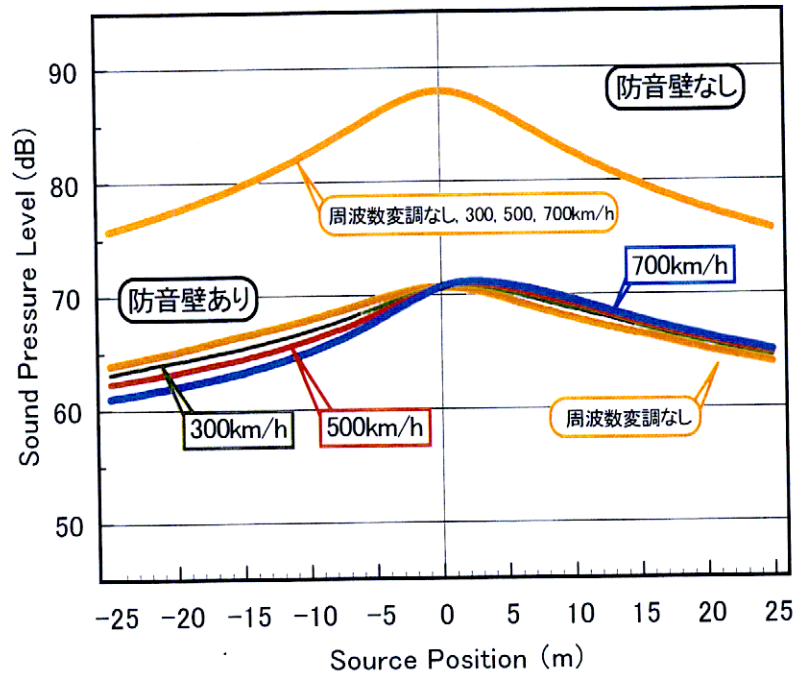


Fig.3.1(a) 前川の実験式に周波数変調を考慮した場合の音圧レベルの変化  
回折角度30度 (受音点1)

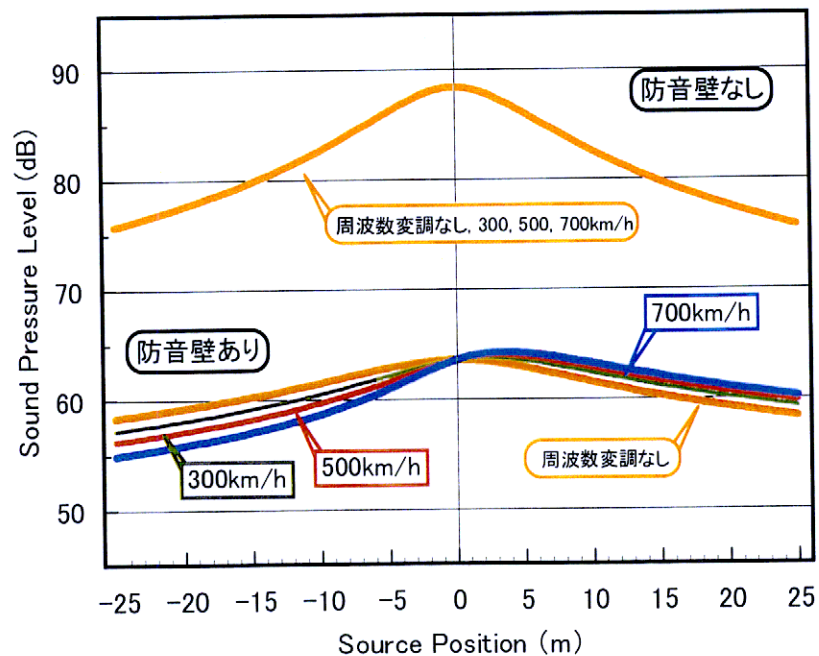


Fig.3.1(b) 前川の実験式に周波数変調を考慮した場合の音圧レベルの変化  
回折角度67.4度 (受音点2)

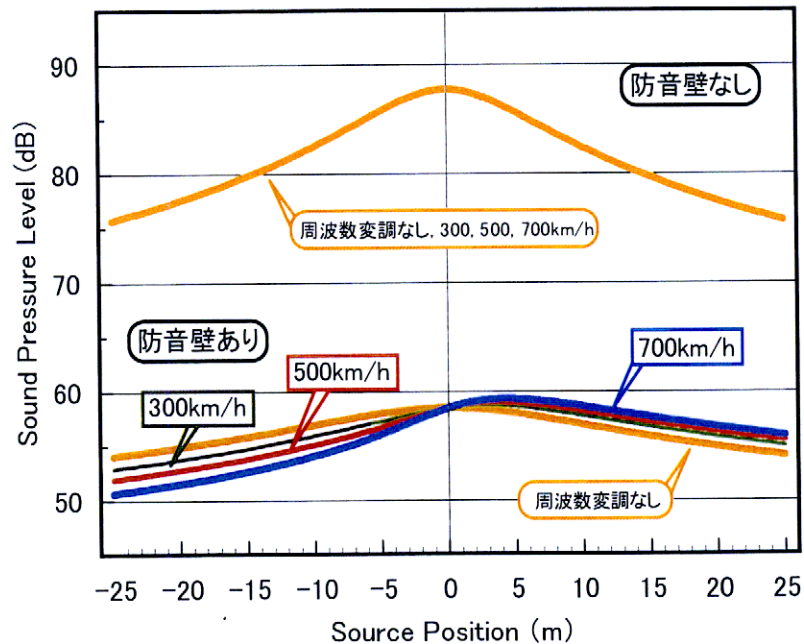


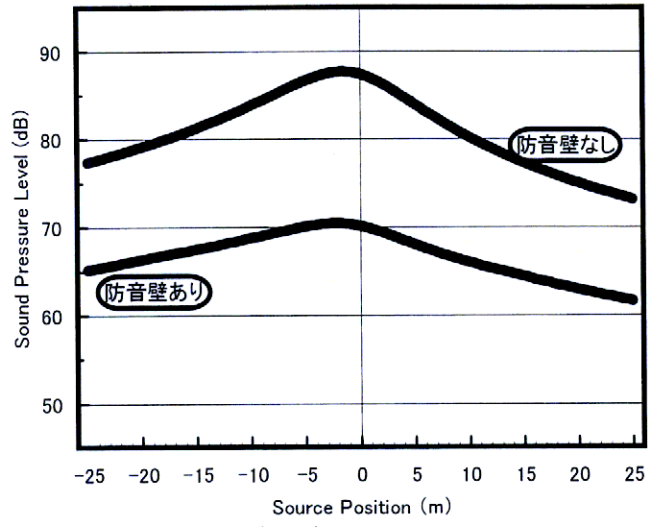
Fig.3.1(c) 前川の実験式に周波数変調を考慮した場合の音圧レベルの変化  
回折角度90度 (受音点3)

Fig.3.1(a)~(c)より、ドップラー効果による周波数変調を考慮した場合の受音点の音圧レベルの最大値の位置は、いずれの回折角度においても防音壁がある条件では受音点の正面より後方側に移動し、その距離は速度が速くなるに従い後方になる傾向がある。この理由は、以下のように考えられる。すなわち、Fig.2.2で示したように周波数変調により、音源の各位置での周波数は受音点の正面より手前では高く、後方は低い。防音壁の挿入損失は音源の各位置における周波数に依存し、正面より後方の位置では周波数が低くなるために挿入損失が小さくなることで後方の音圧レベルが上昇している。また、速度が速くなると受音点前後の周波数の変調の割合が大きくなり、それに応じて、フレネル数  $N$  が変わることで挿入損失の差が大きくなるため、受音点の最大値の位置は、速度に応じて後方に移動するものと考えられる。

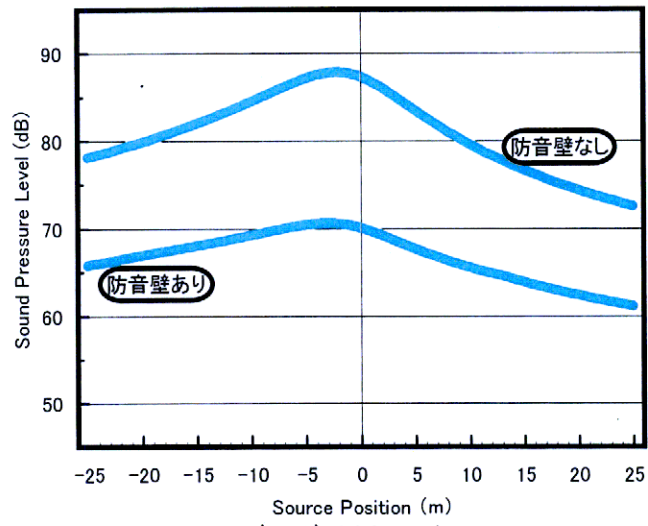
### 3.2. 音源の周波数変調と指向性の変化を考慮した場合

次に、周波数変調による挿入損失の違いに加えて、2.6章で述べた音源が移動する際に進行方向に強くなる音源の指向性の変化を考慮した場合の音圧レベルを用いて計算を試みることにした。計算に用いた音源の音圧レベルは、音源の移動速度に応じてFig.2.7～Fig.2.9に示した高速移動音源指向特性において、音源から受音点に向かう方向に対応する値を用いた。防音壁がある条件における防音壁の挿入損失は、3.1.章で示した前川の実験式のフレネル数に音源の周波数変調に応じた波長を代入することにより、音源の周波数の変調を考慮して求めた。

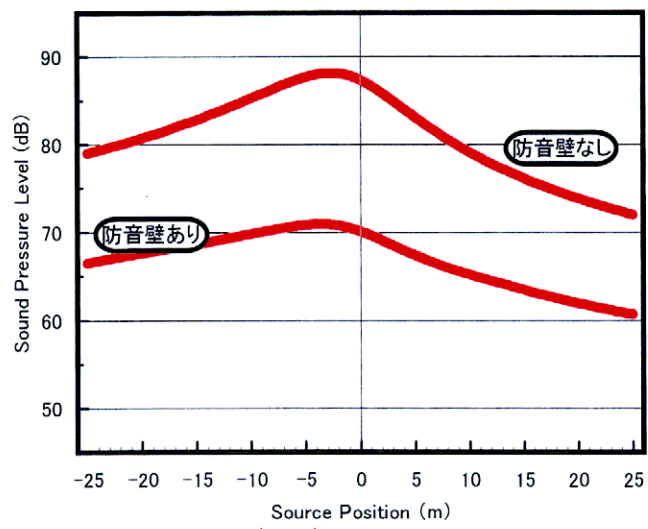
その結果をFig.3.2(a)～(c)に示し、音圧レベルが最大となる時の音源位置及び最大値をTable 3.1に示す。また防音壁の挿入損失をFig.3.3(a)～(c)に示し、挿入損失が最大となる位置をTable 3.2に示す。



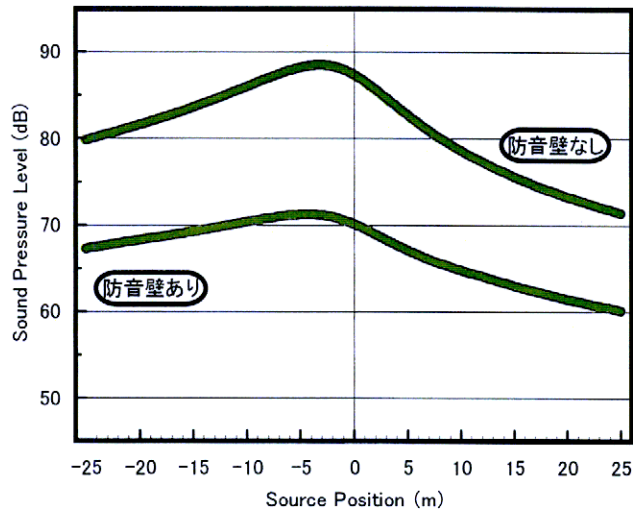
(a-1) 150km/h



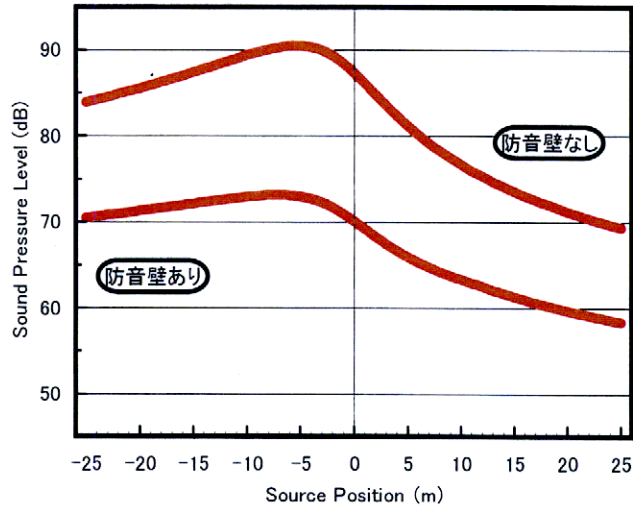
(a-2) 200km/h



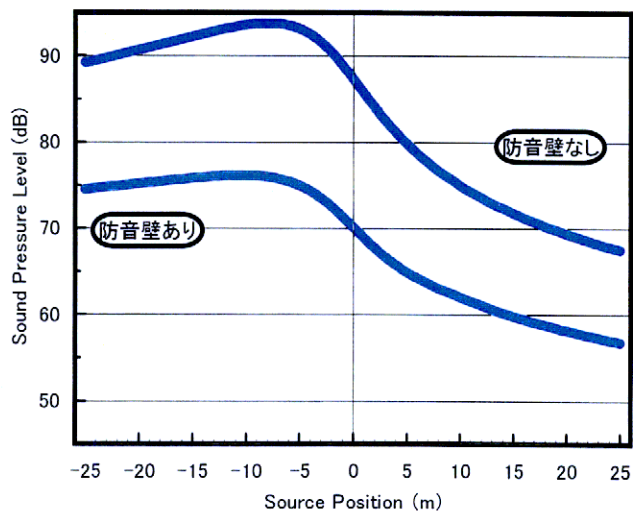
(a-3) 250km/h



(a-4) 300km/h

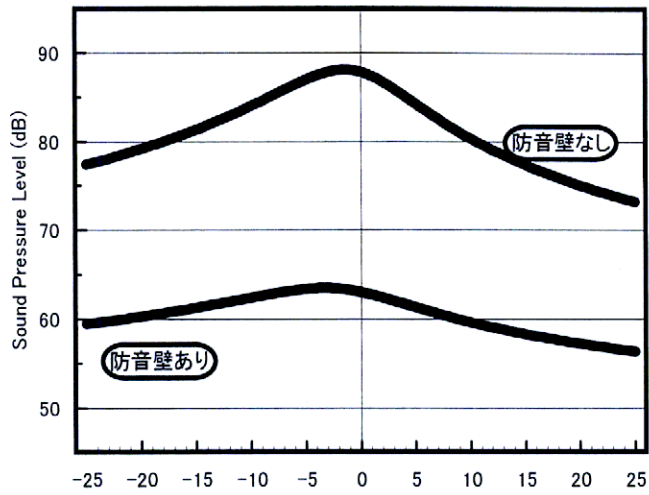


(a-5) 500km/h

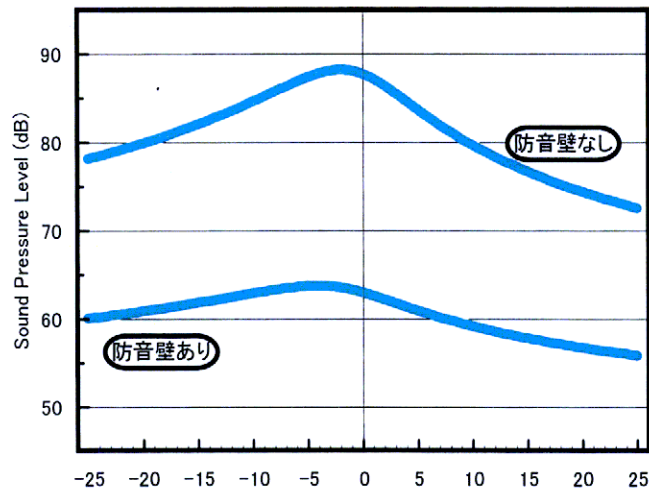


(a-6) 700km/h

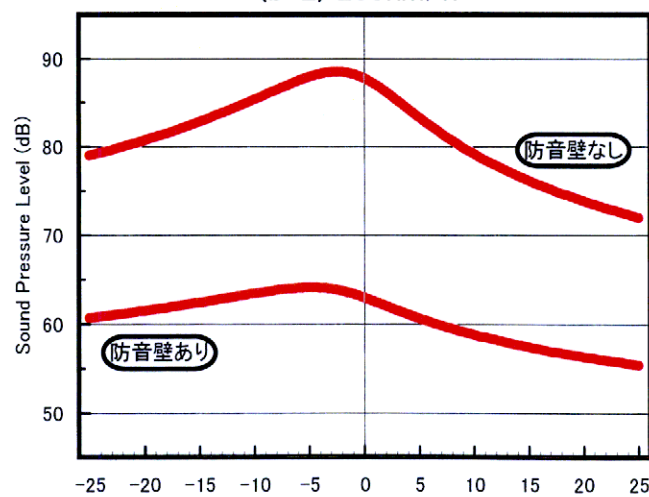
Fig.3.2(a) 音源の指向性を考慮した場合の音圧レベルの変化  
回折角度30度 (受音点1)



(b-1) 150km/h



(b-2) 200km/h



(b-3) 250km/h



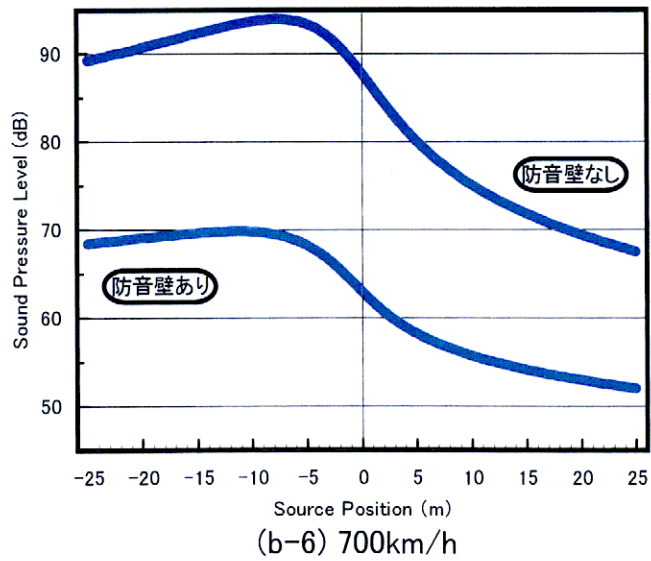
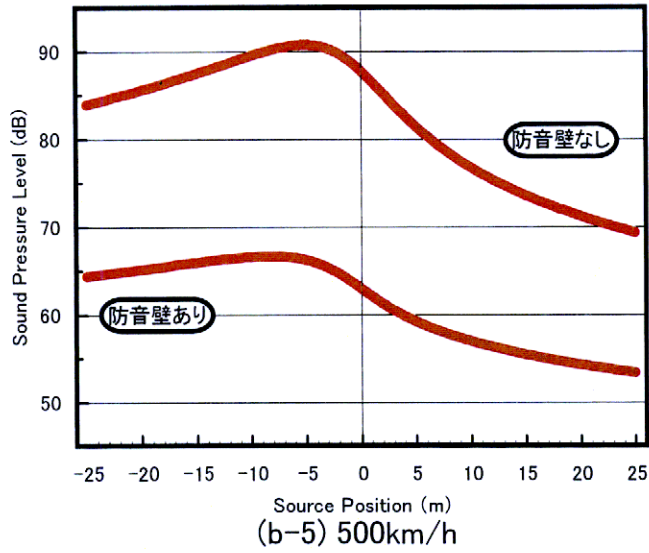
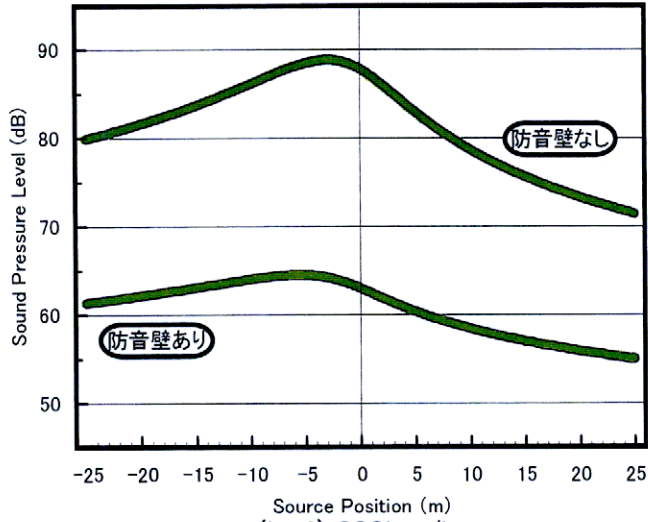
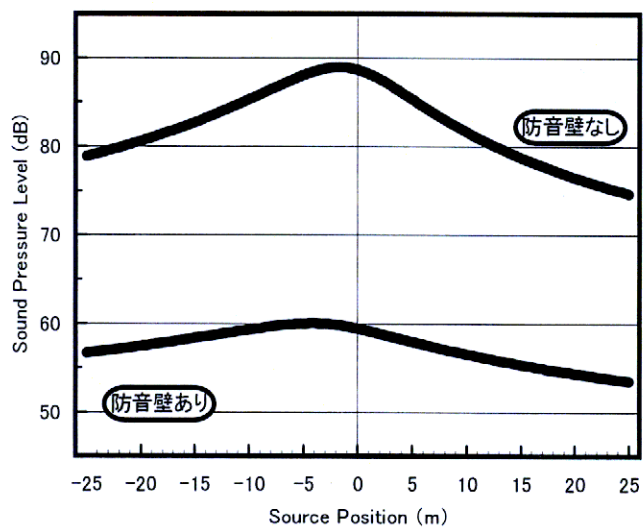
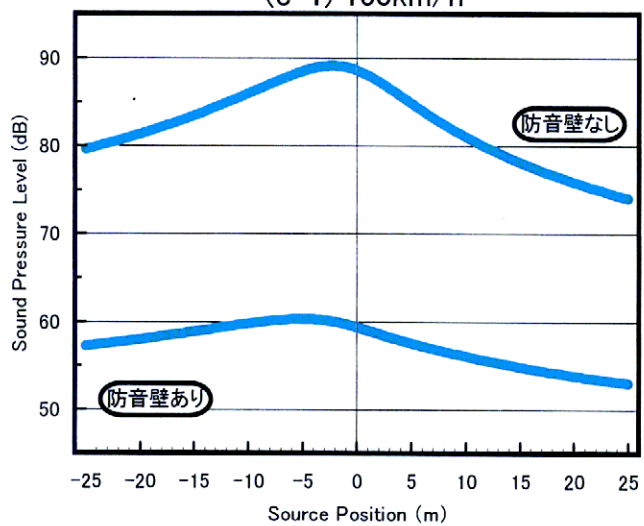


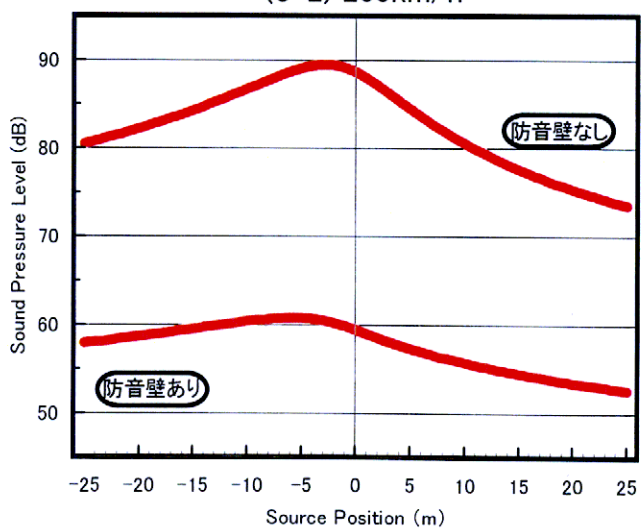
Fig.3.2(b) 音源の指向性を考慮した場合の音圧レベルの変化  
回折角度67.4度 (受信点2)



(c-1) 150km/h



(c-2) 200km/h



(c-3) 250km/h

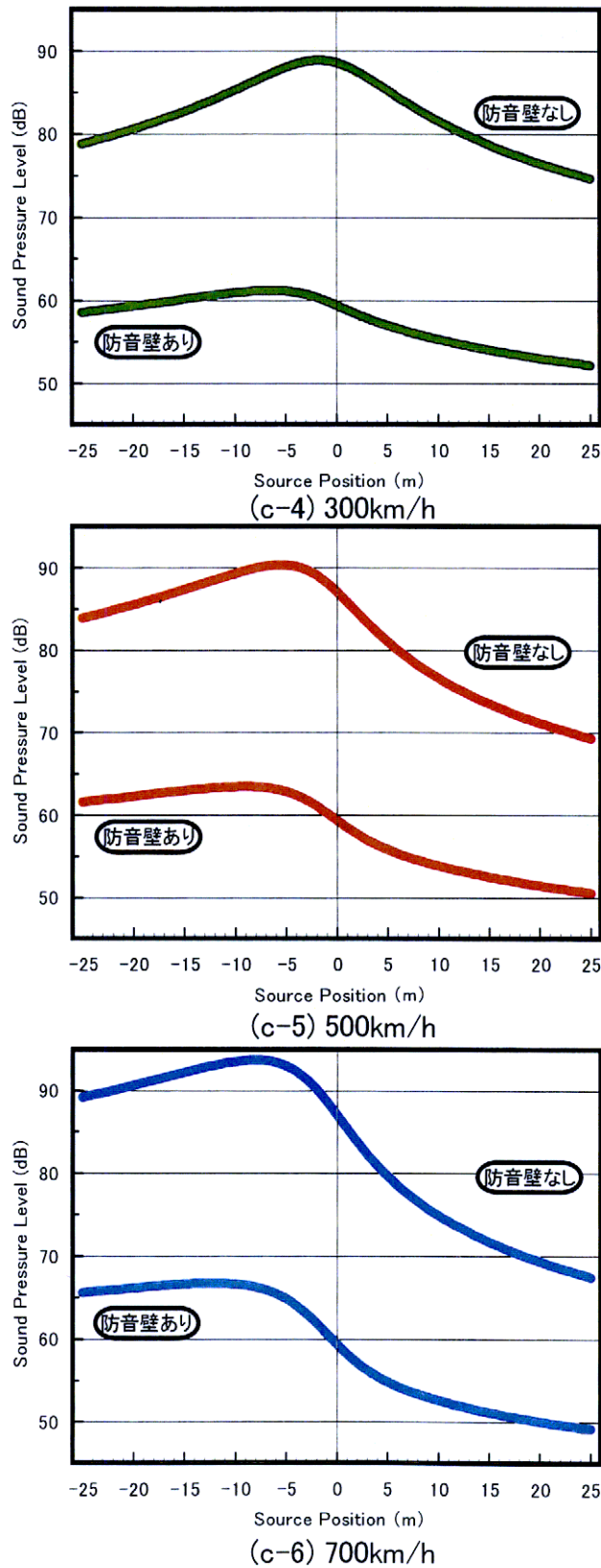
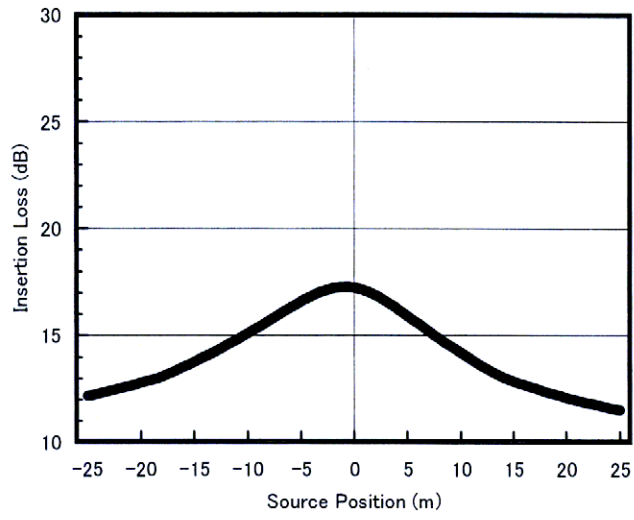


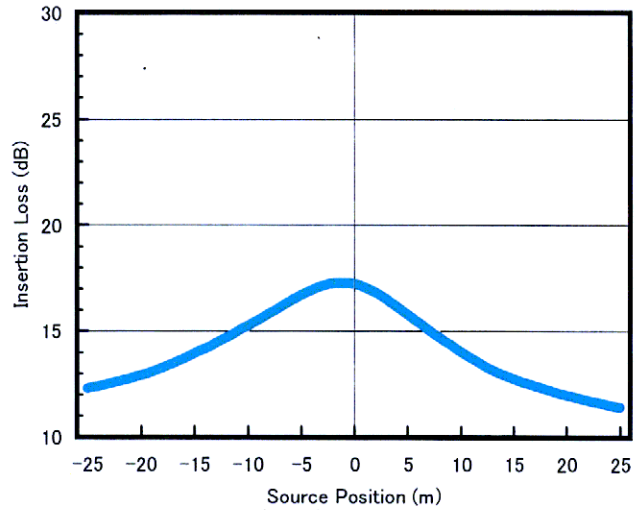
Fig.3.2(c) 音源の指向性を考慮した場合の音圧レベルの変化  
回折角度90度 (受音点3)

Table 3.1 音圧レベルが最大となる位置及び最大値

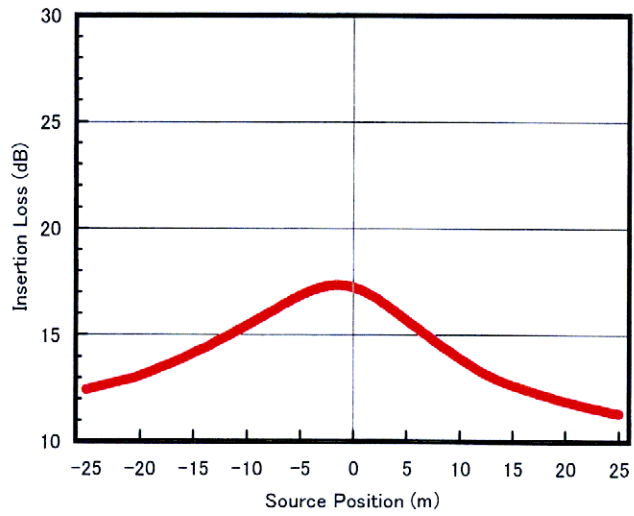
		防音壁なし		防音壁あり	
		位置 (m)	最大値 (dB)	位置 (m)	最大値 (dB)
受信点1 (回折角度30度)	150km/h	-1.7	87.7	-2.3	70.4
	200km/h	-2.2	87.9	-3.0	70.7
	250km/h	-2.7	88.2	-3.7	71.0
	300km/h	-3.2	88.5	-4.3	71.3
	500km/h	-5.4	90.5	-6.8	73.2
	700km/h	-8.2	93.8	-10.3	76.2
受信点2 (回折角度67.4度)	150km/h	-1.5	88.1	-3.3	63.5
	200km/h	-2.0	88.3	-4.1	63.8
	250km/h	-2.5	88.6	-4.8	64.2
	300km/h	-3.0	88.9	-5.5	64.6
	500km/h	-5.1	90.8	-8.4	66.7
	700km/h	-7.9	94.0	-11.8	69.8
受信点3 (回折角度90度)	150km/h	-1.7	88.9	-4.2	60.0
	200km/h	-2.3	89.2	-5.0	60.4
	250km/h	-2.8	89.5	-5.7	60.8
	300km/h	-3.4	88.3	-5.9	61.2
	500km/h	-5.5	90.4	-9.3	63.5
	700km/h	-8.0	93.7	-13.3	66.8



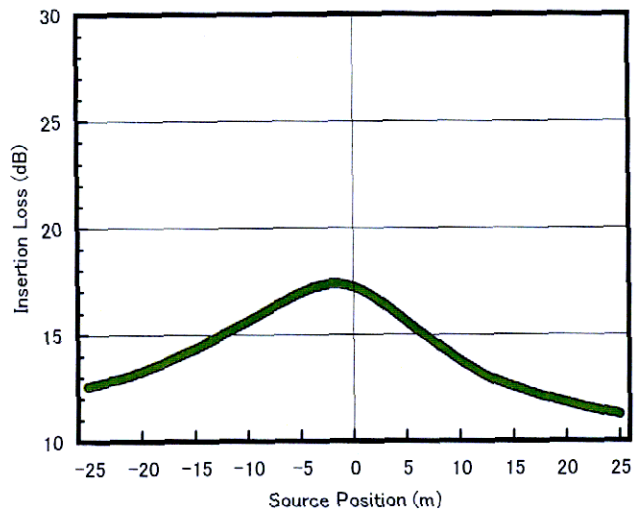
(a-1) 150km/h



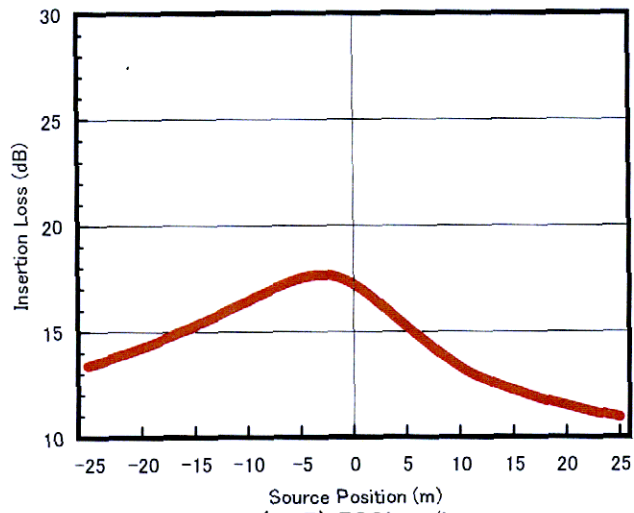
(a-2) 200km/h



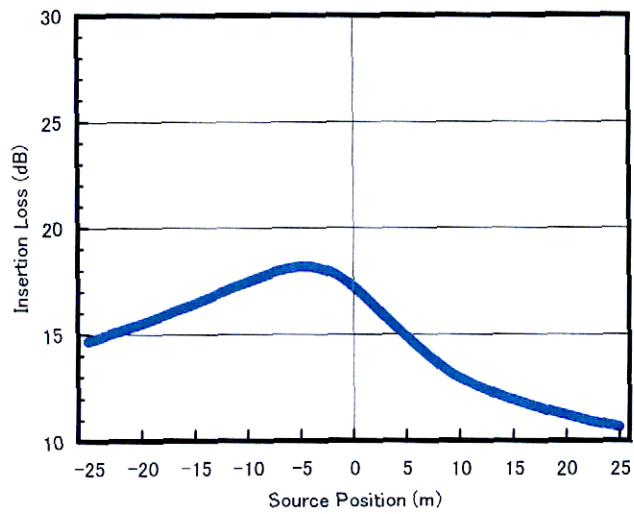
(a-3) 250km/h



(a-4) 300km/h

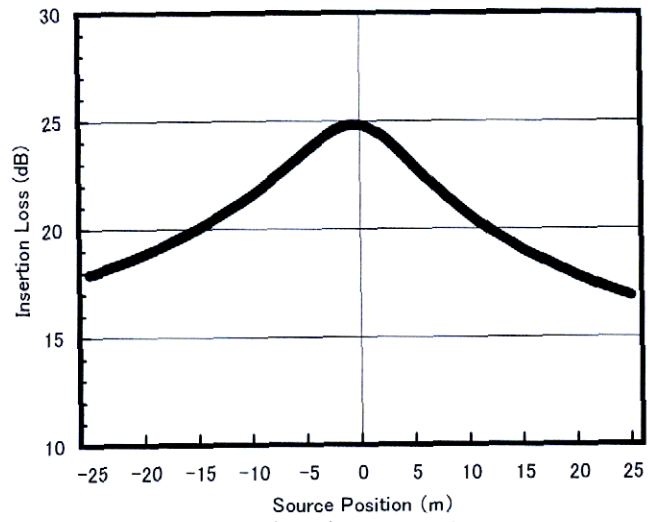


(a-5) 500km/h

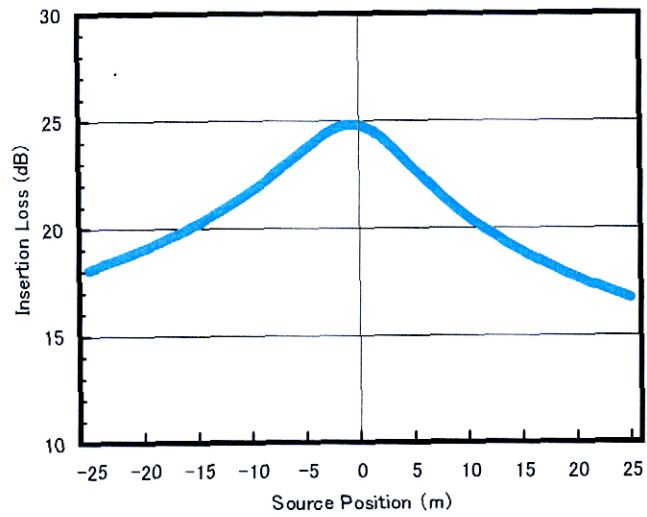


(a-6) 700km/h

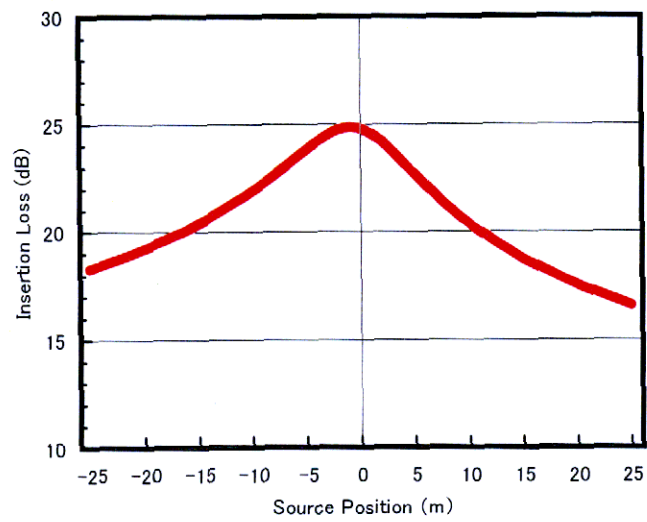
Fig.3.3(a) 音源の指向性を考慮した場合の挿入損失  
回折角度30度 (受信点1)



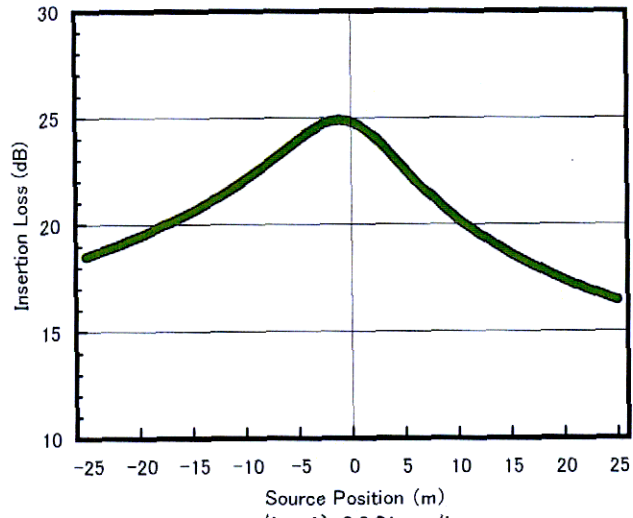
(b-1) 150km/h



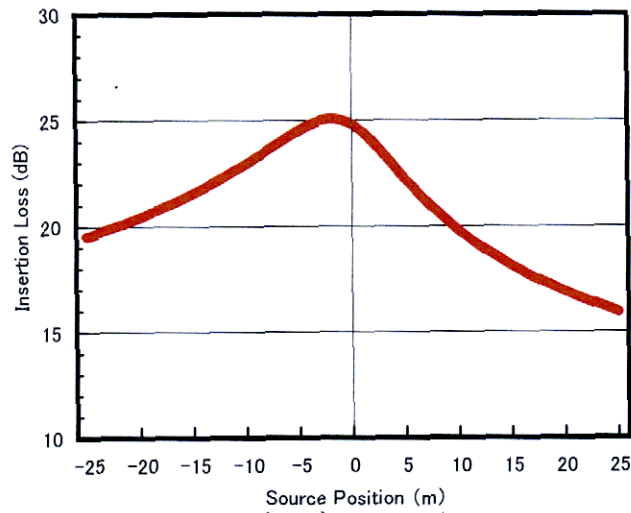
(b-2) 200km/h



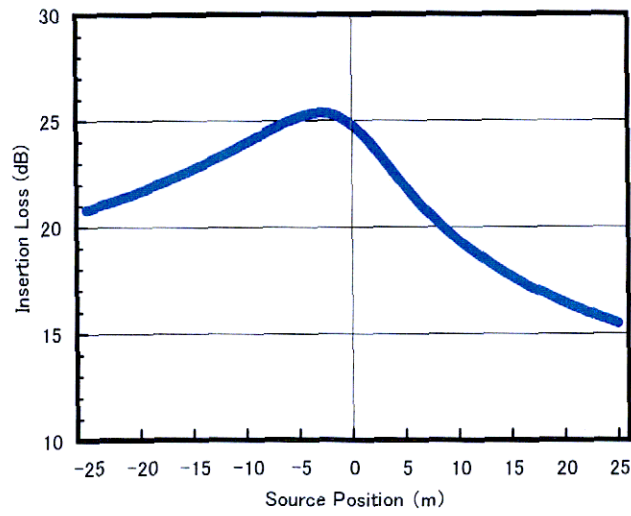
(b-3) 250km/h



(b-4) 300km/h



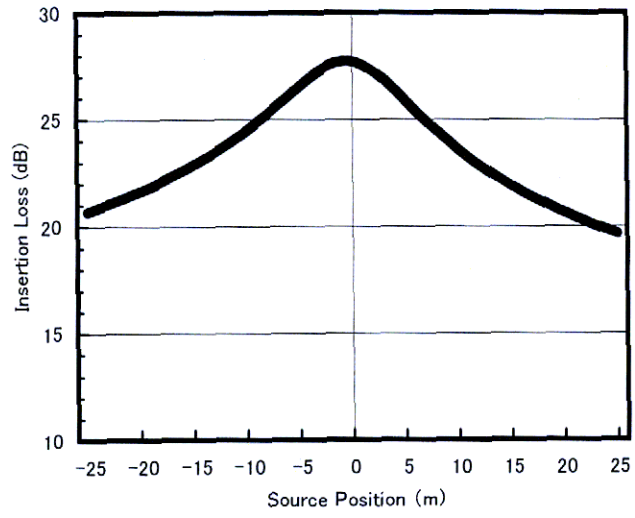
(b-5) 500km/h



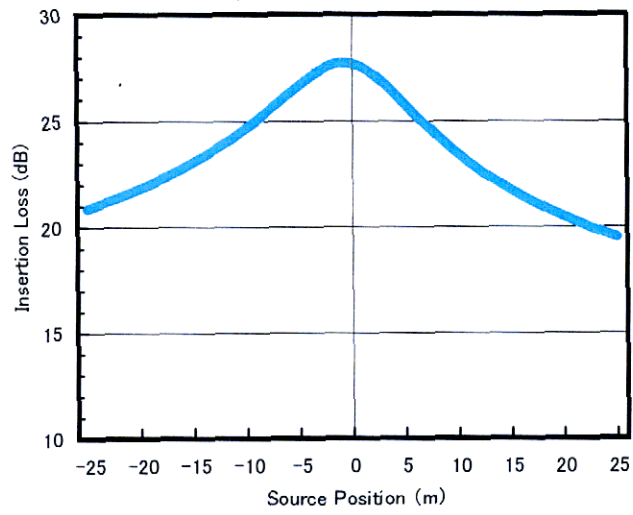
(b-6) 700km/h

Fig.3.3(b) 音源の指向性を考慮した場合の挿入損失  
回折角度67.4度 (受信点2)

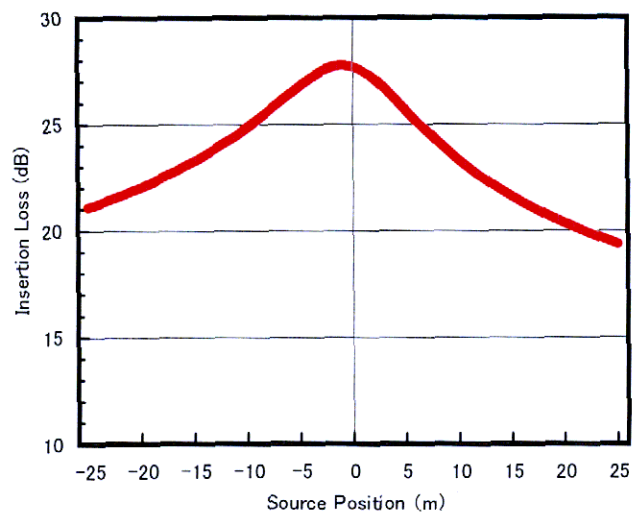




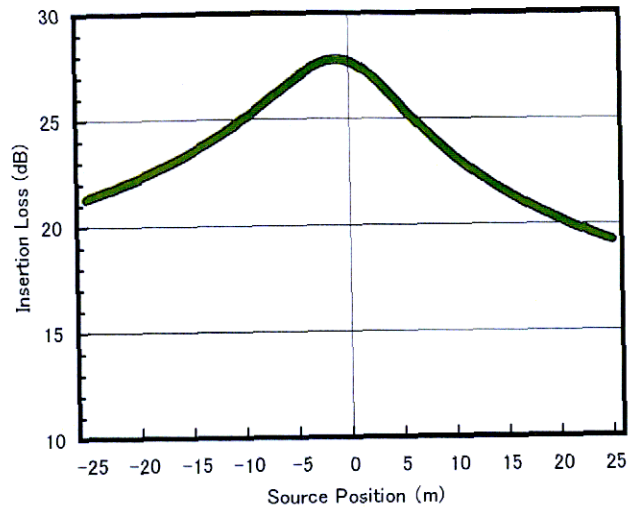
(c-1) 150km/h



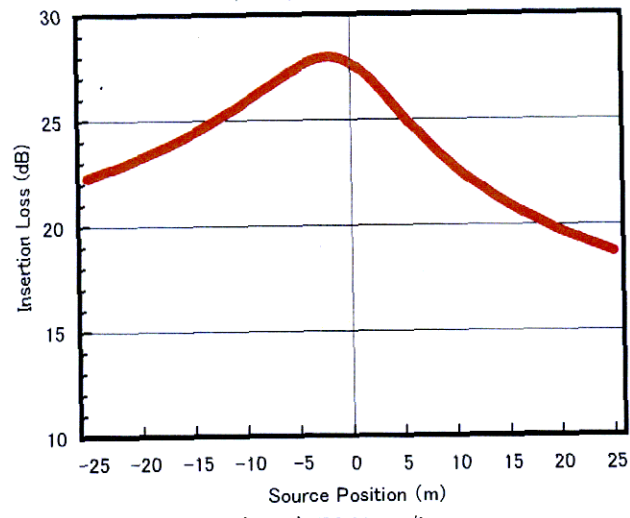
(c-2) 200km/h



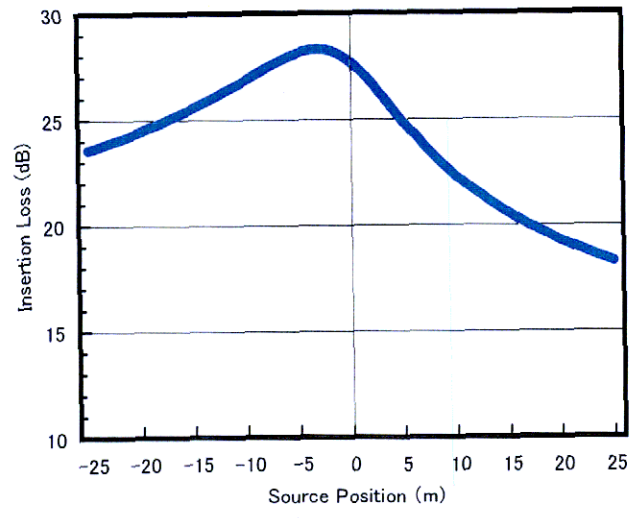
(c-3) 250km/h



(c-4) 300km/h



(c-5) 500km/h



(c-6) 700km/h

Fig.3.3(c) 音源の指向性を考慮した場合の挿入損失  
回折角度90度 (受信点3)

Table 3.2 挿入損失が最大となる位置及び最大値

		位置 (m)	最大値 (dB)
受音点1 (回折角度30度)	150km/h	-0.9	17.3
	200km/h	-1.2	17.3
	250km/h	-1.5	17.4
	300km/h	-1.8	17.7
	500km/h	-3.0	17.8
	700km/h	-4.6	18.2
受音点2 (回折角度67.4度)	150km/h	-0.5	24.8
	200km/h	-0.7	24.8
	250km/h	-0.9	24.9
	300km/h	-1.1	24.9
	500km/h	-1.9	25.1
	700km/h	-2.9	25.4
受音点3 (回折角度90度)	150km/h	-0.6	27.7
	200km/h	-0.7	27.8
	250km/h	-1.0	27.8
	300km/h	-1.2	27.8
	500km/h	-2.0	28.0
	700km/h	-3.1	28.3

Fig.3.2(a)~(c)及びTable 3.1より、音源が移動することによる周波数変調に伴う挿入損失の違いと音源の指向性の変化を考慮に入れて受音点での音圧レベルの変化を算出した結果は、いずれの受音点においても、速度が速くなるに従い音圧レベルの最大値は大きくなり、音圧レベルが最大となる位置は中心より手前に移る傾向がある。特に、Fig.3.2(c)の受音点3における700km/hでは、防音壁がある場合に音圧レベルが最大となる位置は、13.3m手前に移動することが分かる。

Fig.3.1(a)~(c)で示した周波数の変調のみを計算に取り込んだ場合には、最大

値の位置は後方であるが、音源の指向性の変化を計算に盛り込むと最大値は手前になる。従って、周波数の変調による挿入損失の影響よりも指向性の影響が強いため、最大値は手前に移動するものと考えられる。ここで計算を試みた周波数の変調と指向性を考慮した場合の音圧レベルの変動の傾向は、防音壁がある場合もない場合も共に境界要素法を用いて求めたFig.2.10(a)~(c)の結果と0.5dB以内の精度で一致している。

また、Fig.3.3(a)~(c)及びTable 3.2より、音源が移動することによる周波数変調に伴う挿入損失の違いと音源の指向性の変化を考慮に入れて挿入損失を算出した結果は、いずれの回折角度においても防音壁の挿入損失が最大となる位置は正面より手前であり、その距離は速度に応じて手前になる傾向がある。挿入損失が最大となる位置が最も手前になるのは、Fig.3.3(a)の受信点1における700km/hの場合で、最大となる位置は、4.6m手前になっている。各回折角度における音源の移動速度と挿入損失が最大となる時の位置と受信点正面とのずれ距離の関係をFig.3.4に示す。また、各回折角度における音源の移動速度と挿入損失の最大値の関係をFig.3.5に示す。Fig.3.4より、音源の速度が速くなるに従い、挿入損失が最大となる点は手前側になっている。Fig.3.5より、どの回折角度においても挿入損失の最大値は、速度が早くなるに従い、大きくなる傾向があり、速度が300km/hと700km/hの場合を比べると700km/hの方が0.5dB大きくなっている。これらの傾向は、Fig.2.10(a)~(c)で示した境界要素法で求めた場合と同様の傾向である。

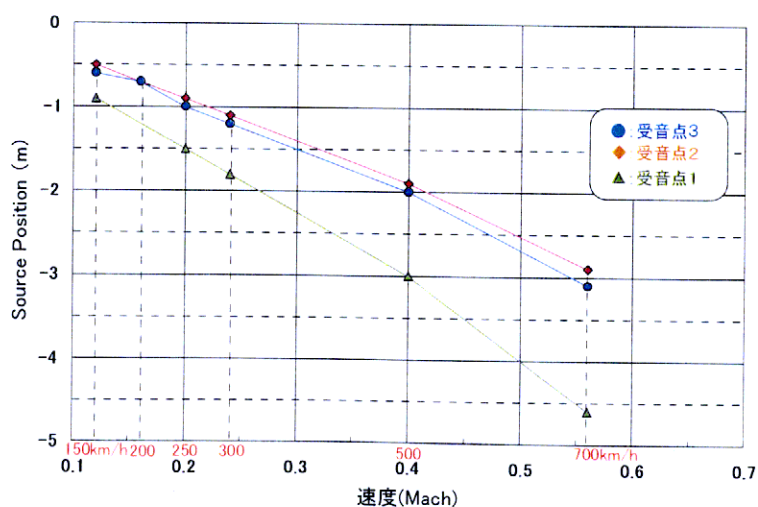


Fig.3.4 音源の移動速度と挿入損失が最大となる時の位置との関係

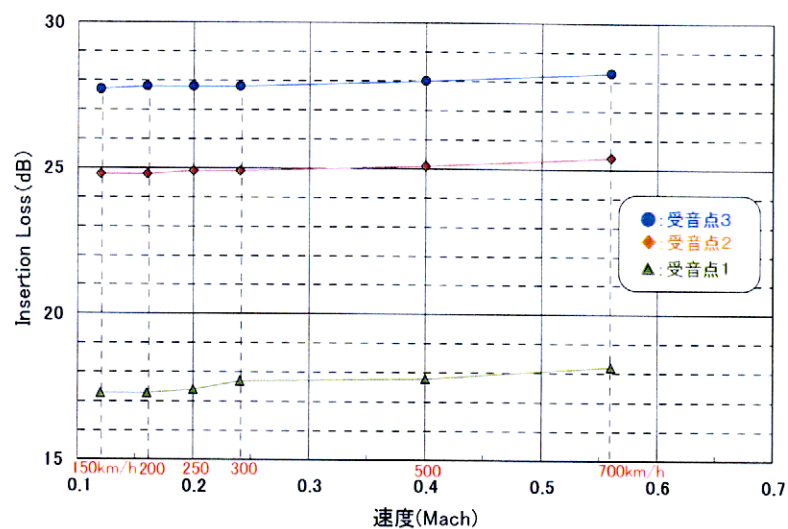


Fig.3.5 音源の移動速度と挿入損失の最大値との関係

従って、これら防音壁の挿入損失を簡易的に求める手法は、境界要素法で計算した結果と概ね良好に一致していることから、音源が高速で移動する際の防音壁の挿入損失を前川の実験式を用いて算出する際にドップラー効果による周波数変調と音源の指向性の変化を考慮すれば、ほぼ正確に挿入損失が算出できることが分かった。

### 3.3. まとめ

音源が高速で移動する際の防音壁の挿入損失を簡易的に求める手法として前川の実験式を用いて算出する際にドップラー効果による周波数変調と音源の指向性の変化を考慮する手法を提案した。この手法を境界要素法による数値計算結果と比較検討することにより、この手法を用いてほぼ正確な防音壁の挿入損失の算出が可能であると考えられる。

本報告では、音源が移動する場合の防音壁の挿入損失を求める際に、これまでは音源が静止しているものとして扱っていたが、音源の移動に伴うドップラー効果など音源の特性の変化を考慮することが必要であることを提示した。