

철도소음의 전파예측에 관하여 (II)

(고가철도를 대상으로)

주 진수*(東京大学), 橘 秀樹**(東京大学生産技術研究所)

Prediction of train noise propagation (II)

Study for elevated railway

Jin-Soo Joo*(E-mail:joo@cc.iis.u-tokyo.ac.jp), Hideki Tachibana**

1. 머릿말

도시화가 빠른 속도로 진행되고 있는 우리나라에서도 철도에 대한 수용능력의 증대·고속화등의 사회적 요구에 의하여 철도선로의 고가화(高架化)가 충분히 예상된다. 그러나 소음문제를 생각할 경우, 고가선로에 있어서는 다른 선로와 달리 열차주행에 의한 전동음(rolling noise) 과 더불어 주행열차에 의하여 가진(加振)된 고가구조체의 진동소음(이하 고가 구조물음)을 함께 고려하지 않으면 안된다.

따라서 본 논문에서는, 고가철도에서의 소음전파를 예측하기 위하여, 고가구조체로부터의 소음방사를 고려하는 실험적 검토를 하였다. 또한 실험결과를 근거로 하여 고가 구조물음에 대한 음원모델을 설정하고, 전동음을

포함하는 소음전파 예측의 계산모델을 작성하여, 계산결과와 실측결과와의 대응성에 대하여 검토하였다.

2. 인텐시티와 음압의 측정

측정대상의 고가선로는 소음전파에 대한 장애물이 없는 넓은 부지에 가설된 콘크리트 구조(방진슬라브 궤도)의 고가슬라브 선로이며, 측정은 인텐시티와 음압의 동시측정을 실시하였다.

2.1 인텐시티의 측정 및 분석

고가 구조체로부터 방사되는 고가 구조물음의 특성을 조사하기 위하여 고가슬라브 파이프의 바로 아래에 수직 폴을 설치하여 그림 1 과 같이 인텐시티 프로브(ONO SOKKI MI-6410, 마이크간격 50mm)를 설치하였다. 또한 전동음을

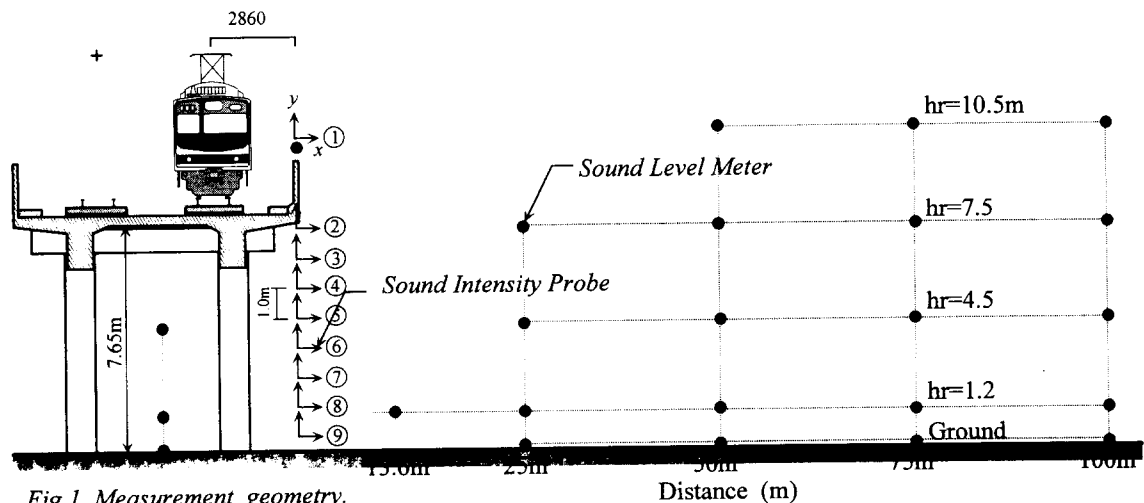


Fig.1 Measurement geometry.

을 관측하기 위하여 방음벽의 상부에도 1 점의 측정점(합계 36ch)을 설치하였다.

인텐시티 프로브는 지면에 대하여 수평방향(X)과 수직방향(Y)으로 조합하여 2 차원의 인텐시티 프로브로 하였다.

인텐시티 프로브로부터 수음된 신호는 고가 선로 내부에 설치한 광전관 신호에 동기시켜 8 채널의 DAT 형의 데이터 레코더 6 대에 나누어서 녹음하였다.

인텐시티의 분석은 녹음신호를 재생하여 AD 변환기(AD 변환: $f_s=12\text{kHz}$)를 통하여 퍼스널 컴퓨터에 입력, 소프트웨어에 의하여 1/3 옥타브 밴드의 시간변화를 구하였다. 분석 주파수 범위는 50Hz~2.5kHz로 하였다.

2.2 음압측정 및 분석

음압측정은 소음전파 특성을 파악하기 위하여 인텐시티측정과 병행하여 실시하였다. 측정계통은 그림 1 과 같이 선로 중심으로부터 거리 13.6m, 25m, 50m, 75m 와 100m 의 위치에 폴을 세우고, 각 폴의 지표면과 높이 1.2m, 4.5m, 7.5m, 10.5m 에 마이크로폰을 설치하여 합계 24ch 로 하였다.

음압신호는 Real Time 주파수 분석기(B&K 2133) 을 이용하여 50Hz~5kHz 의 1/3 옥타브 밴드 마다 분석처리(시정수 1 초)하였다. 소음의 평가량으로서, 소음레벨이 피크레벨-10 dB(A)를 넘는 시간에 대하여 동가소음레벨(L_{Aeq})의 산출 기본량인 단발소음폭로레벨(L_{AE})을 구하였다.

3. 고가슬라브의 소음방사특성

고가 구조물음에 대한 음원검증을 위하여, 주행선로별로 각 측정점에서의 2 차원내의 인텐시티 벡터를 구하였다(그림 2). 이들 벡터는 열차가 측선을 통과하는 동안의 순시(瞬時) 인텐시티를 수직성분(X)과 수평성분(Y)의 각각에 대하여 열차 통과시간에 걸쳐 적분평균하여, 벡터합성한 것이다.

그림 2 에서, 열차의 소음방사특성을 검토하

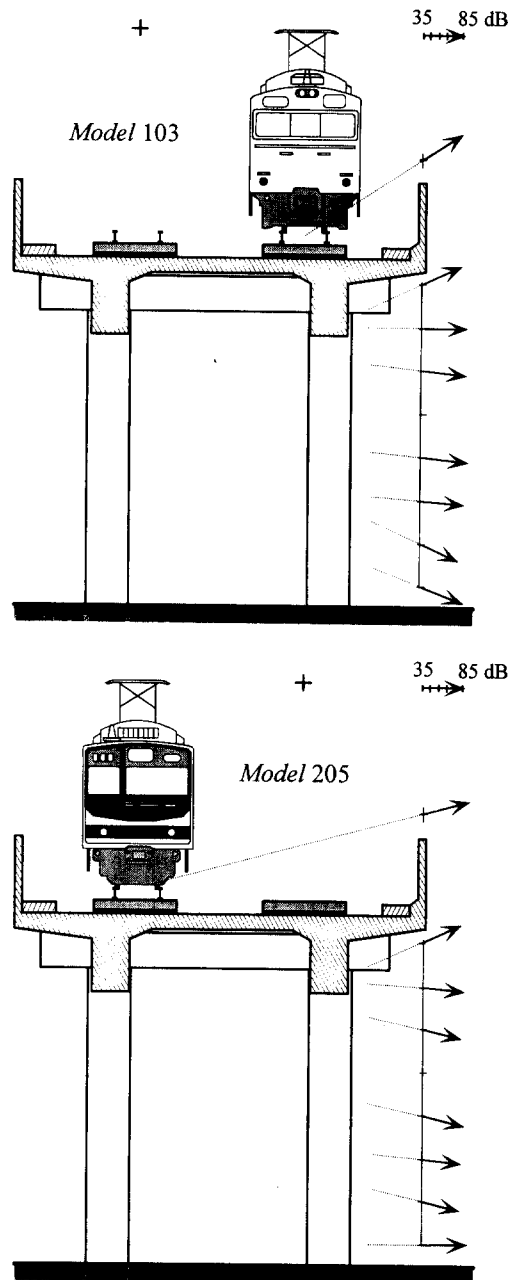


Fig.2 Sound Intensity Vector (A).

기 위하여 설치한 방음벽 위의 인텐시티 벡터의 결과는, 각 선로의 열차 모두 동일하게 벡터 연장선(점선)이 레일부근을 향하는 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 평탄지 선로에서 실시한 열차음원의 검증결과에 일치하는 결과¹⁾이다. 그러나 고가 슬라브 밑의 벡터의

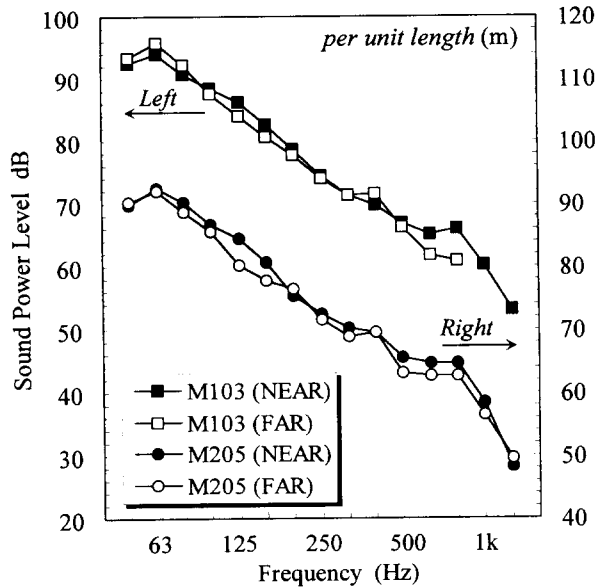


Fig. 3 Sound power level of elevated structure
M103:Model 103 M205:Model 205.

기울기에서는 두방향의 열차 모두 거의 같은 경향을 보이고 있으나, 고가구조물의 어느 한 부분에 수속하는 특성은 나타나지 않았다.

그리고 고가 밑의 측정면에 대하여 법선방향 성분의 인텐시티(열차 통과시의 열차길이에 대한 전체평균)와 각 측정면의 면적을 이용하여 고가 구조물음의 파워레벨을 구하여 그림 3에 나타내었다. 그 결과 고가 구조물음의 파워레벨의 주파수 스펙트럼은 거의 비슷한 특성을 보이며, 열차의 주행선로와 차량종류의 차이에 따른 파워레벨의 현저한 차이는 나타나지 않았다.

이번 측정에서 고가 구조물음의 음원검증은 완전히 이루어지지 않았으나, 위와 같은 검토 결과에 의하여 고가 구조물음원의 위치를 고가슬라브의 중앙으로 설정 하였다.

4. 소음전파의 예측

4.1 전파예측의 계산모델

소음전파의 예측계산을 위해서는 고가철도의 주음원인 전동음과 고가 구조물음에 대한 음원모델이 필요하다. 전동음에 대해서는 문헌 1)에 의하여 점음원(지향특성 $\cos^2 \theta$)이 제

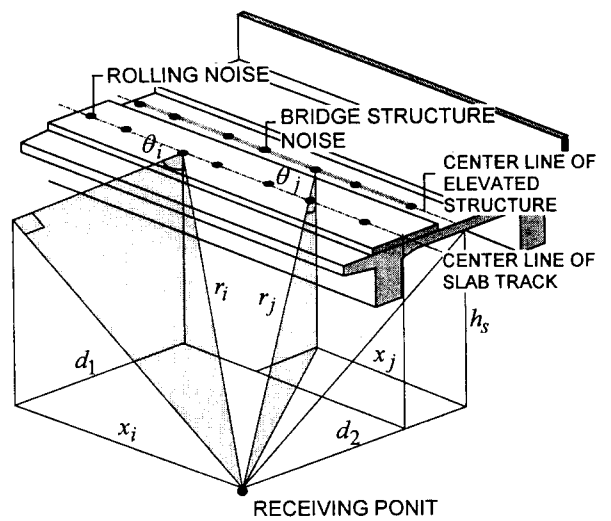


Fig. 4 Calculation geometry.

도 슬라브의 중심선상(높이 10cm)에 위치한다^{1),2)}. 구조물음에 대해서는 지향특성 $\cos \theta$ 의 점음원이 고가슬라브 밑면의 중심선에 위치하는 모델^{3),4)}로 설정하였다(그림 4). 한편 음원 점은 각 차량의 Bogie(臺車) 중심점에 설정하여, 열차의 편성길이에서 일직선으로 위치한다고 가정하였다.

위와 같은 가정에 의하여, 수음점에서의 Unit Pattern은 다음 식과 같이 전동음의 기여에 의한 음압레벨 L_R 와 구조물음의 기여에 의한 음압레벨 L_S 의 합성에 의하여 산출된다.

$$L_{Rf} = 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^N 10^{\frac{L_{W_i,f}}{10}} \frac{1}{4\pi r_i^2} \cos^2 \theta_i \left(\frac{\phi_1}{\phi_0} \right)_i^2 \right\}$$

$$L_{Sf} = 10 \log \left\{ \sum_{j=1}^N 10^{\frac{L_{W_j,f}}{10}} \frac{1}{4\pi r_j^2} \cos \theta_j \left(\frac{\phi_2}{\phi_0} \right)_j^2 \right\}$$

$$L_A = 10 \log \left\{ \sum_f \left(10^{\left(L_{Rf} / 10 \right)} + 10^{\left(L_{Sf} / 10 \right)} \right) \right\}$$

여기서 ϕ_0 는 자유공간중의 점음원으로부터 거리

r 위치에서의 포텐셜 에너지, ϕ_1 은 장벽에 의한 회절(장벽반사 없음)과 지표면 반사의 기여에 의한 포텐셜 에너지^{5),6)}, ϕ_2 는 지표면 반사의 기여에 의한 포텐셜 에너지, L_{W_i} 는 전동음의 파워레벨(방음벽위의 음압으로부터), L_{W_j} 는 구조물음의 파워레벨(고가 밑의 음압으로부터), N 은 음원의 수, f 는 1/3 oct. band의 중심주파수 (50Hz ~ 5kHz), $\theta_j \geq (\pi/2)$ 인 경우 $L_S = 0$ dB

4.2 계산결과와 실측결과와의 대응

위의 계산모델에 의하여 각 측정점에서의 열차소음에 대한 Unit Pattern을 산출하여, 단발소음폭로레벨 L_{AE} 를 구하였다. L_{AE} 는 실측데이터와 동일한 분석범위에 대하여 구하였다. 전체 측정점에 대한 소음레벨의 거리감쇠 특성을 그림 5에 실측결과와 계산결과를 비교하여 나타내었다. 이 결과에서는 계산결과와 실측결과 사이에는 상당히 좋은 대응관계가 있음을 알 수 있다.

또한, 소음레벨에 대한 각 음원별의 기여량을 검토하기 위하여 높이 1.2m의 각 측정점에 대하여 계산에 의한 검토를 하였다. 검토결과를 그림 6에 나타내었다. 예측점의 소음레벨에는 전동음의 영향이 매우 지배적으로 보이며, 선로부근을 제외한 거의 모든 곳에서는 구조물음에 의한 기여는 거의 무시하여도 좋을 정도의 계산결과가 얻어졌다.

한편, 측선상에 가상의 계산단면(높이 15m × 거리 100m)을 설정하고, 단면내를 1m(h) × 2m(d)의 메쉬로 세분하였다. 그리고 각각의 메쉬에 대하여 동일한 계산을 실시하여 단발소음폭로레벨을 산출하였다. 계산결과를 각 음원별의 소음레벨 분포와 두 음원에 의한 소음의 합성결과인 전체 소음레벨의 분포로 나누어서 그림 7에 나타낸다. 이결과에서도 구조물음에 의한

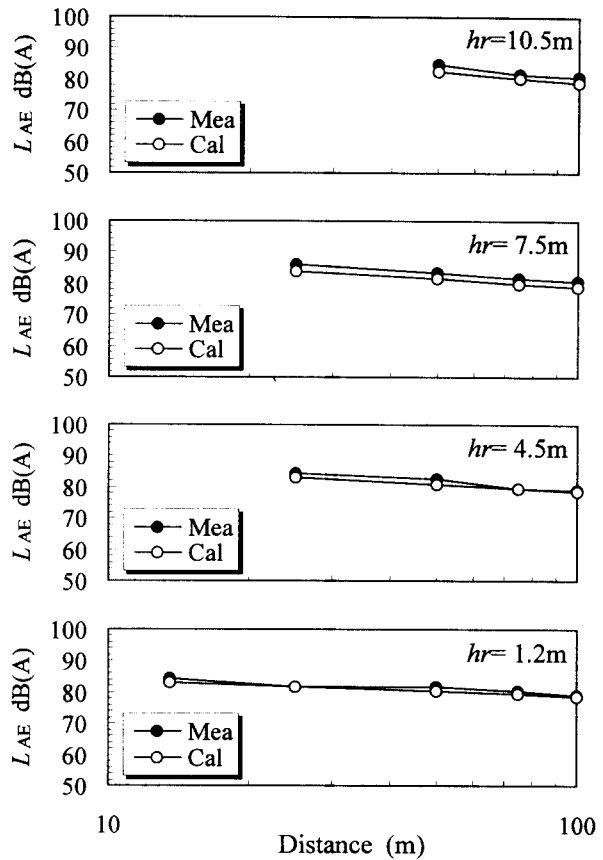


Fig.5 Comparison between measured and calculated results.

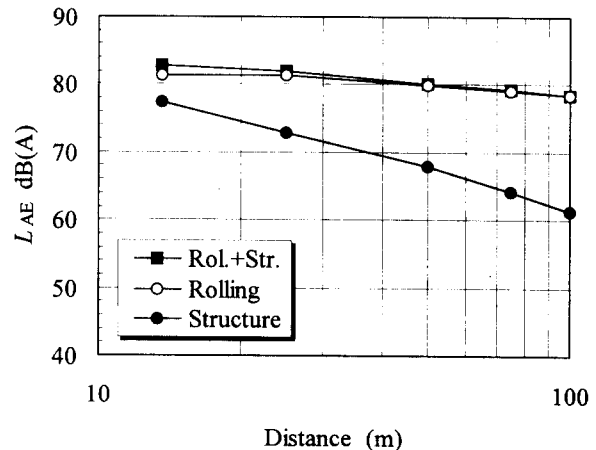


Fig.6 Contribution from sound sources to S.P.L.

기여는 매우 적으며, 계산결과는 측정결과와 아주 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

또한, 방음벽에 의한 차음효과를 검토하기 위하

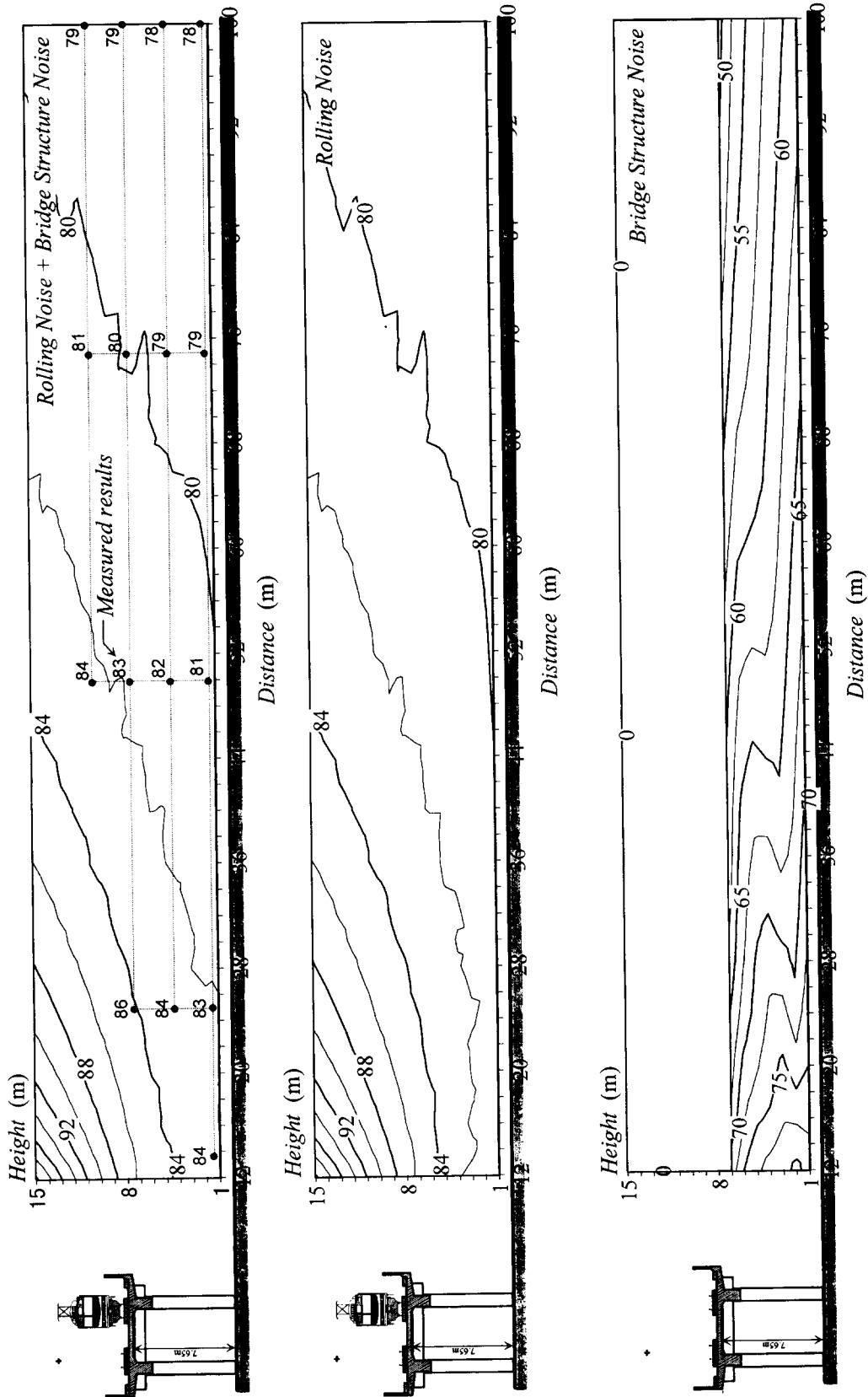


Fig.7 Sound exposure level contour and measured results

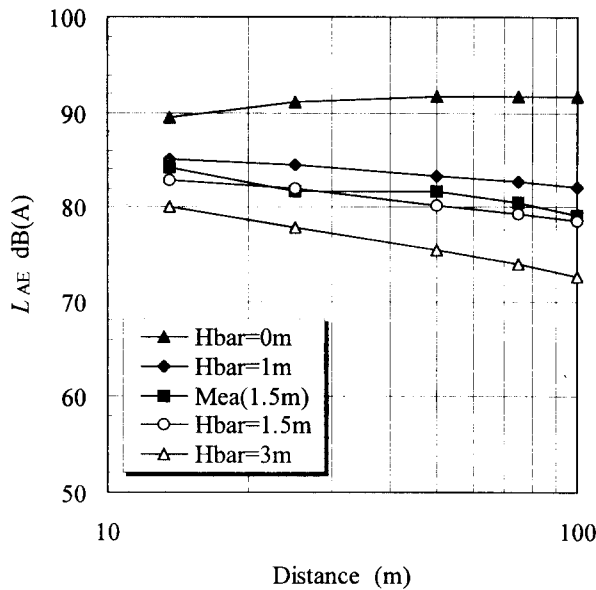


Fig.8 Simulation of sound barrier effect using the height varied of barrier (hr=1.2m).

여, 고가 슬라브의 방음벽 높이변화에 따른 동일 측정점에서의 소음레벨을 시산(試算)하여 결과를 그림 8에 나타낸다. 계산결과를 보면, 방음벽 높이가 0m(레일 레벨로부터의 높이)인 경우 선로에 가까운 거리에서 원거리 측정점보다 소음레벨이 낮게 나타나고 있다. 그리고 방음벽의 높이가 증가함에 따라서 거리에 대한 소음레벨의 감쇠비율이 증가하는 계산 결과를 보이고 있다.

5. 맺음말

이상 고가철도로부터의 발생소음의 전파예측을 위하여 구조물음의 음향방사특성에 대하여 실험에 의한 검토를 실시하였다. 그리고 고가 구조물음을 지향특성 $\cos\theta$ 의 점음원이 고가슬라브 밑면에 위치하는 모델로 설정한 소음전파의 예측계산 모델을 작성하여 예측계산을 실시하였다. 계산결과와 실측결과를 비교한 결과 예측모델에 의한 계산결과는 실측결과와 아주 잘 일치하는 결과를 보였으며, 검토의 고가선로에서는 선로부근을 제외한 측정점에서는 구조물음의 기여가 거의 무시 가능함을 알 수 있었다.

[참고문헌]

- 1) 주진수 외, 철도소음의 전파예측에 관하여, 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, 111-115, 1995
- 2) 朱鎮洙他, 平坦地における在来線鉄道の騒音伝搬予測、音響学会講演論文集(秋) 2-5-7, 1995
- 3) 朱鎮洙他, 在来線高架鉄道の騒音放射特性及び騒音伝搬予測の検討、音響学会講演論文集(春) 1-2-19, 1996
- 4) 石井・子安他, 在来線高架鉄道からの騒音伝搬予測法案について、騒音制御、Vol.4, No.2, 1980
- 5) J. J. Bowman, T. B. A. Senior, and P. L. E. Uslenghi, Electromagnetic and acoustic scattering by simple shapes (North-Holland, Amsterdam, 1969), pp.308-345.
- 6) 川井孝雄, Locally Reacting な境界面上の音の伝搬に関する考察、日本音響学会誌、39 巻、p374-379(1990)