

トンネル坑口部付近における 騒音予測に関する研究

松井利仁 京都大学大学院工学研究科

福島昭則 ニューズ環境設計

一木智之 ニューズ環境設計

大嶋勝彦 奈良国道事務所(現:栗東市)

水本雅章 奈良県道路建設課(現:郡山土木事務所)

道路交通騒音に関する研究背景

- n 道路交通騒音の影響について
- n EUにおける環境騒音の予測手法
- n ASJ RTN-Modelの課題

道路交通騒音による様々な影響

心理的影響

- ・ うるさい, 不快感, アノイアンス
- ・ 会話妨害, テレビ聴取妨害

生理的影響

- ・ 睡眠妨害による健康影響(虚血性心疾患などの増加)
- ・ 心理的ストレスによる健康影響

その他の影響

- ・ 不動産価値の低下
- ・ 地域社会の崩壊(移転, 住民運動)

道路交通騒音による 虚血性心疾患の死亡リスクの試算

		死亡者数 (/年)	生涯リスク
相対リスク	1.1	191	1.11×10^{-4}
	1.2	381	2.21×10^{-4}

n

欧州WHOの提案方法による我が国での試算結果

- 1 欧州WHOは相対リスクを1.2としている。

n

道路交通騒音による死亡者数は約400人／年

n

生涯死亡リスクは 2.21×10^{-4}

- 1 5,000人に1人が道路交通騒音で死亡
- 1 交通事故によるリスクの16分の1に相当

環境騒音予測手法の比較

HARMONOISE プロジェクト

- ・ EU全域の騒音マップを作成するための予測手法の開発プロジェクト (<http://www.imagine-project.org/>)
- ・ 道路交通騒音と鉄道騒音を対象
- ・ 周波数別に騒音レベルを予測

ASJ Model

- ・ 日本音響学会が提案する予測手法
- ・ 道路交通騒音, 建設騒音など, 音源ごとに予測手法が異なる。
- ・ A特性騒音レベルを直接予測

ASJ Modelの課題

(周波数別の騒音予測の必要性)

任意の音源特性でも適用可能

- ・ 現ASJ Modelは、音源の特性ごとに予測式が異なる。
- ・ 周波数別の騒音予測により、任意の音源に適用可能となる。

吸音素材の特性の適切な評価が可能

- ・ 現ASJ Modelは、音源の周波数特性を仮定し、1回反射という条件での吸音率を求めている。
- ・ 多重反射が生じる場合、大きな予測誤差が生じる。

計算機性能の向上

- ・ ASJ Model開発当初のパソコンと比較して、近年のパソコン性能では、周波数別の予測が可能。

トンネル坑口部周辺における 騒音予測の重要性とASJ Modelの課題

トンネル坑口からの騒音の特性

- ・ トンネル内では騒音が減衰しないため、トンネル長および壁面の吸音特性によっては、**長時間、坑口から高レベルの騒音が放射される。**

現ASJ Model(トンネル坑口部)の課題

- ・ トンネル内は多重反射が生じるが、周波数別に騒音予測をしていないため、**壁面の吸音特性を適切に評価できない。**
- ・ トンネル坑口からの放射音はトンネル内の吸音特性によって**周波数構成が変化**しているが、考慮されていない。
- ・ 実験値との整合性を確保するために、トンネル内での音源位置を実際の位置からずらしており、**理論的な不整合**がある。

道路交通騒音予測モデルの改良

- n 現ASJ Modelの問題点の考察
- n ASJ Modelの改良
- n 境界要素法(BEM)による坑口放射音の推定

ASJ Model(トンネル坑口部)の問題点

周波数別の予測を行っていない

- ・ トンネル壁面による吸音特性を適切に評価できない
- ・ より効果的な吸音対策が可能なはず

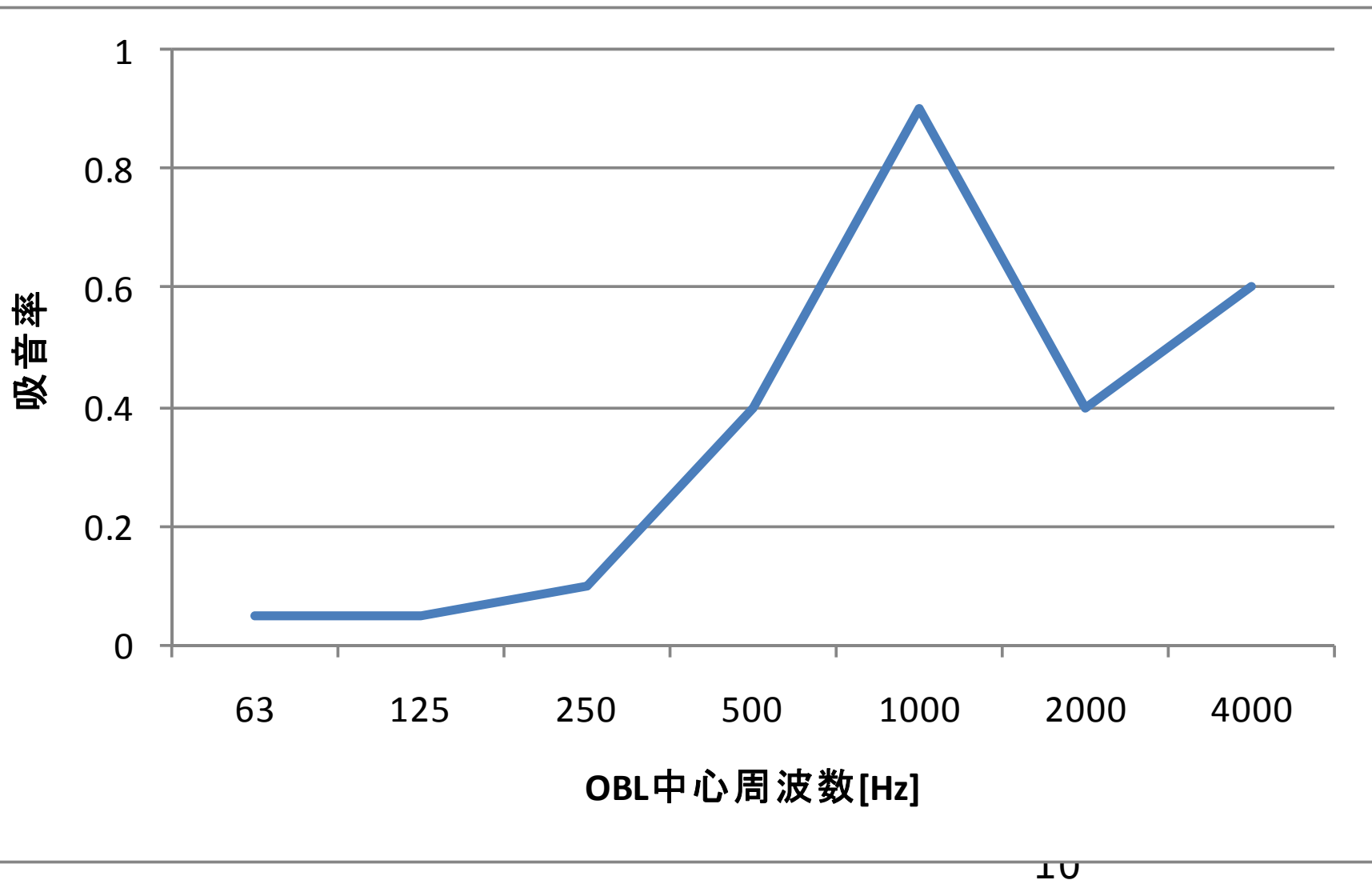
直達音のトンネル坑口による回折減衰の評価

- ・ 半無限障壁による減衰量を求めており, 減衰量を過小評価
- ・ トンネル坑口に障壁を設置した場合の予測が困難

音源位置をトンネル坑口方向にずらす

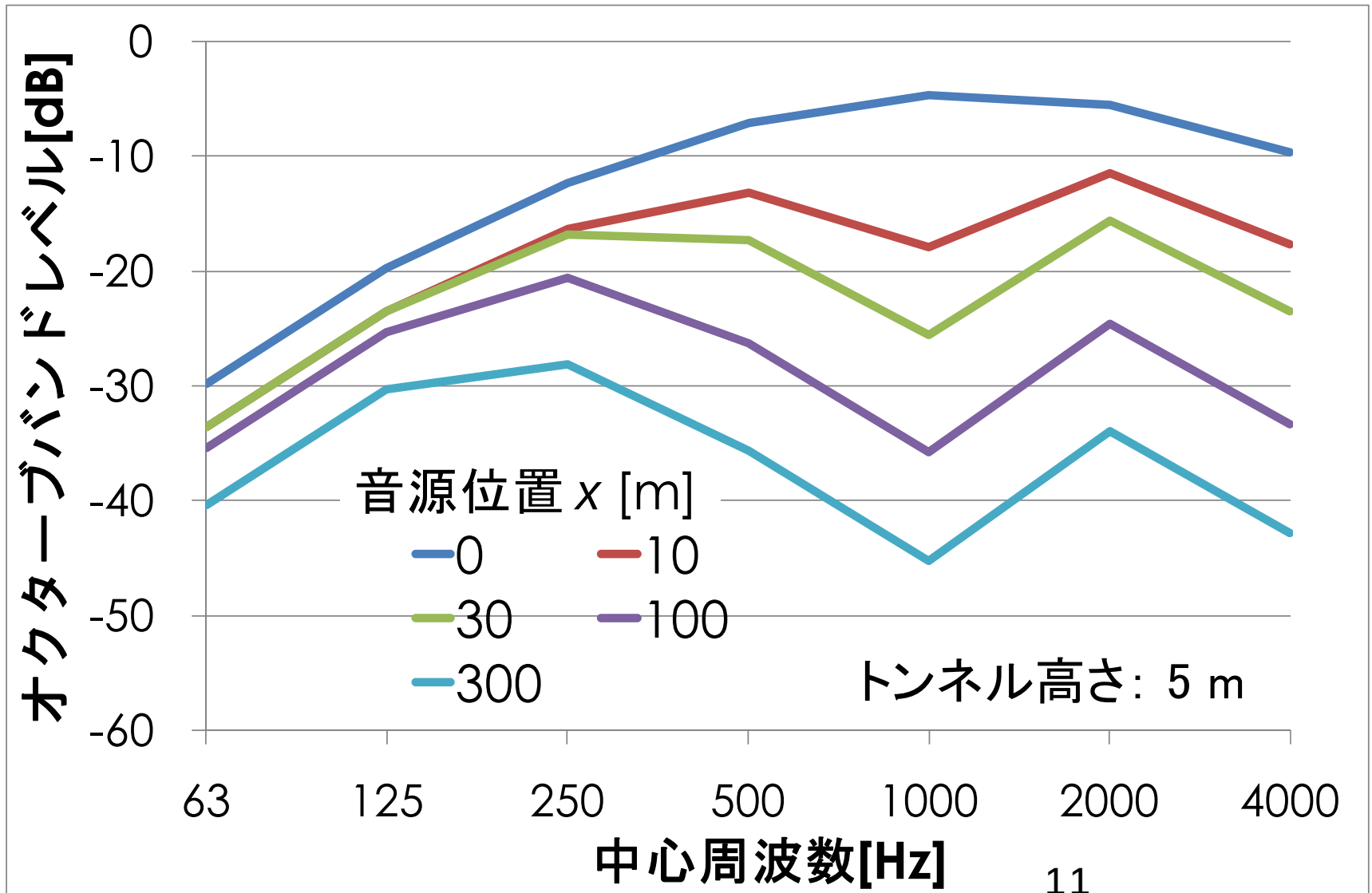
- ・ 反射性壁面では, 坑口から100mにある音源を4mに配置
- ・ 実験値に基づくが, 科学的根拠に乏しい

吸音パネルの周波数別吸音率の例



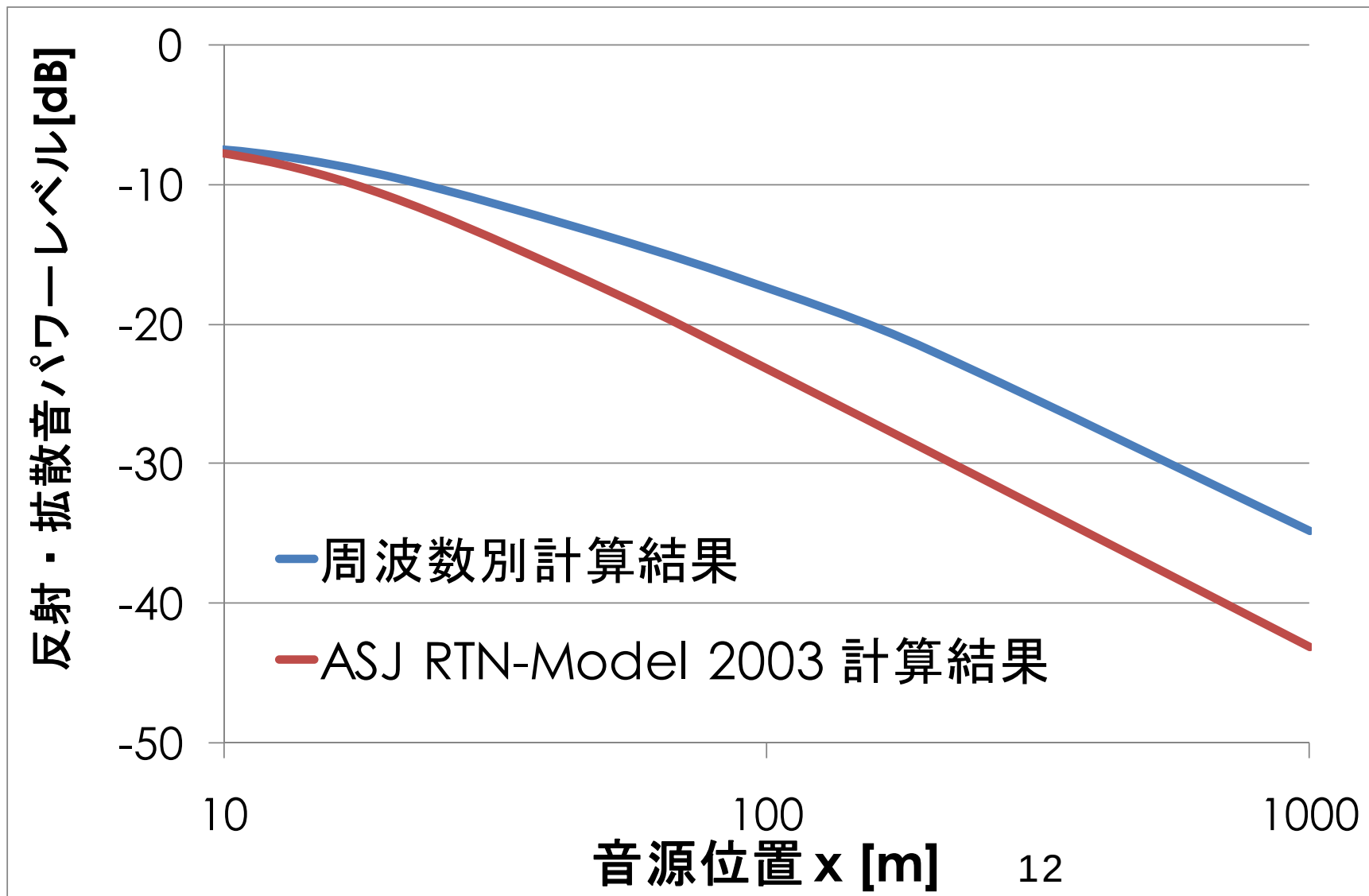
ASJ Modelの問題点(1)

—トンネル壁面による吸音減衰量の評価—



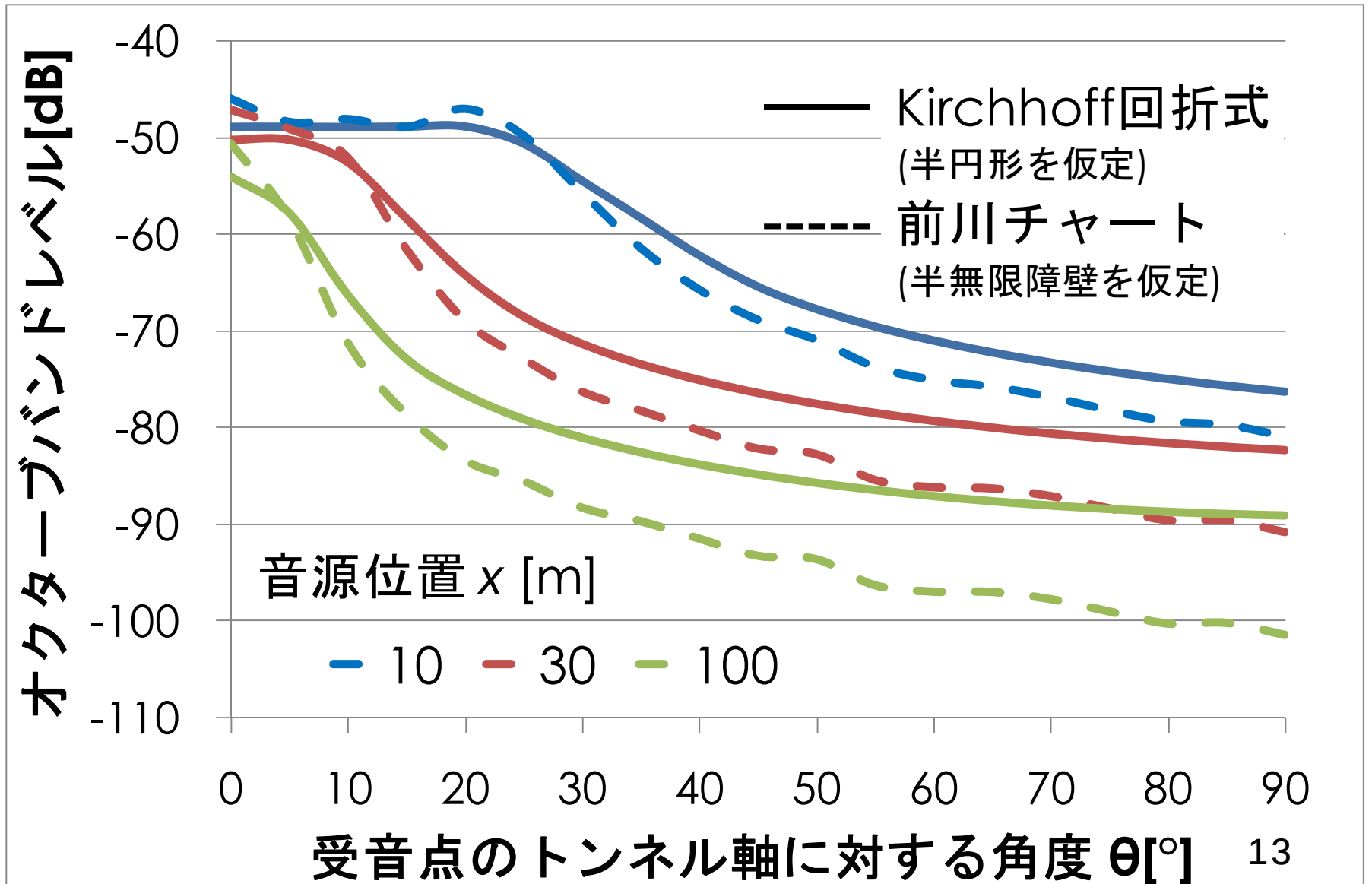
ASJ RTN-Modelの問題点(1)

—トンネル壁面による吸音減衰量の評価—



ASJ RTN-Model の問題点(2)

—トンネル坑口による回折減衰量の評価—



ASJ Modelの改良

周波数別の騒音予測に改良

- ・ トンネル内の吸音特性を適切に評価できる
- ・ トンネル坑口への遮音壁の設置効果を適切に評価できる

トンネル内からの直達音の評価

- ・ 仮想の指向性面音源を坑口に配置
- ・ Kirchhoffの回折解に基づいた近似式の導出

トンネル内からの反射・拡散音の評価

- ・ 仮想の無指向性面音源を坑口に配置
- ・ ASJモデルを周波数別に修正して流用

改良モデルでの直達音の評価

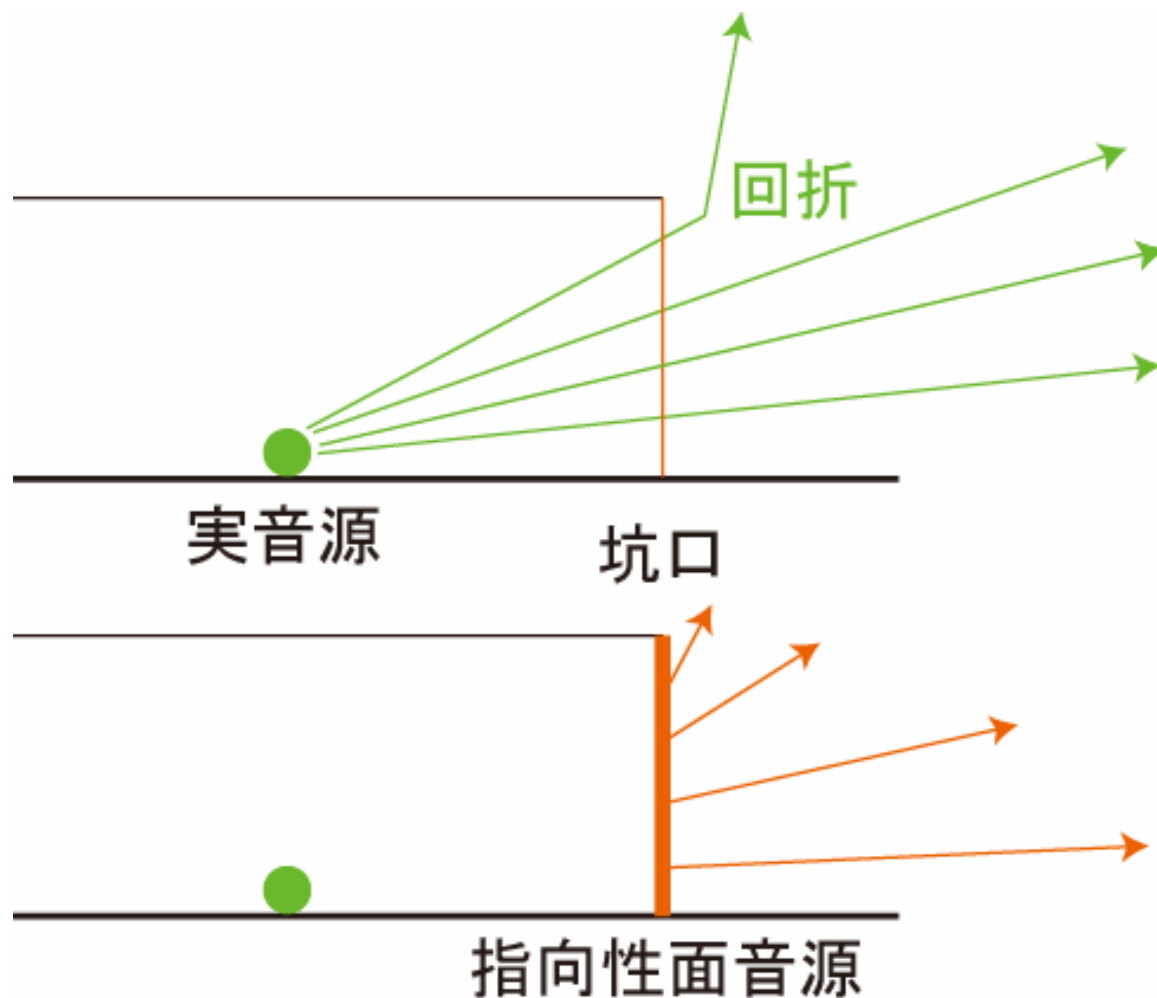
直達音を仮想の
面音源で近似



坑口での回折を
考えなくてよい



遮音壁の効果をも
より簡便・正確に
評価できる



数値計算結果に基づくASJ改良モデルの検証

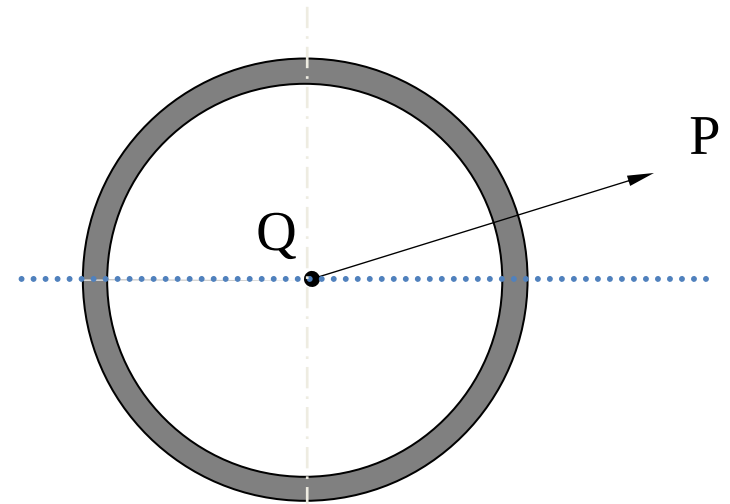
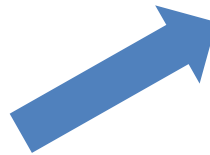
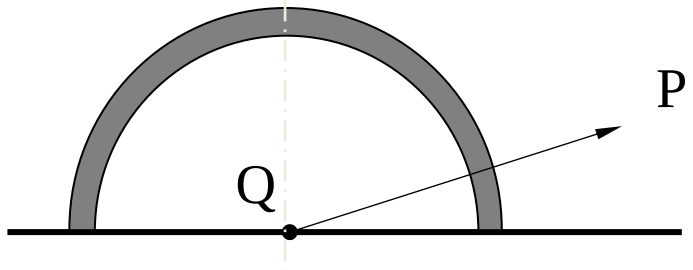
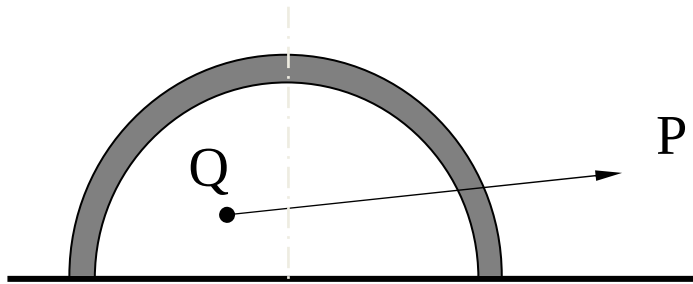
境界要素法による3次元音場の解析

- ・ 波長よりも小さな要素に境界を分割する必要がある。
- ・ 3次元の境界要素法(BEM)は、要素数が膨大となり、数値計算が困難。
- ・ 2次元BEMで代用されることが多い。(高架, 半地下)

トンネル坑口部でのBEMによる解析

- ・ 半円形のトンネルを仮定
- ・ 音源位置を円の中心に配置
- ・ 軸対象の境界条件となり、要素数を大幅に削減可能

半円形トンネルでのBEMの適用方法

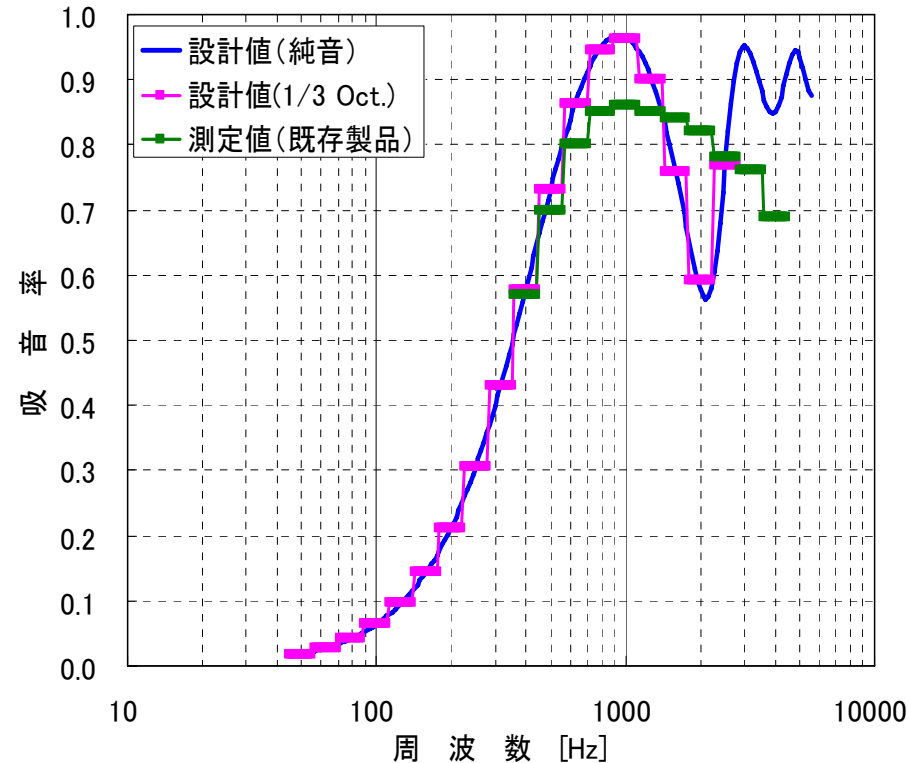


路面の反射を無視できる

トンネル壁面の境界値
が等しくなる

数値解析【計算条件】

項 目	設 定 内 容
トンネル	半径=6.5m, 延長=100m
音原位置	トンネル軸上
予測点	トンネル軸から距離1.2mの平面 (地上1.2mを想定)
周波数	63~2kHz (1/1 Oct., 計算は1/9 Oct.幅)
境界要素	計算周波数の波長の1/6以下
境界面の音響特性	(a).剛 (b).GW : (32kg/m ³ 相当) 厚さ30mm, 背後空気層60mm (c).2%吸音面:実数部のみ
吸音対策	(a).反射性 (b).坑口から25mをGW吸音 (c).トンネル内側全体をGW吸音



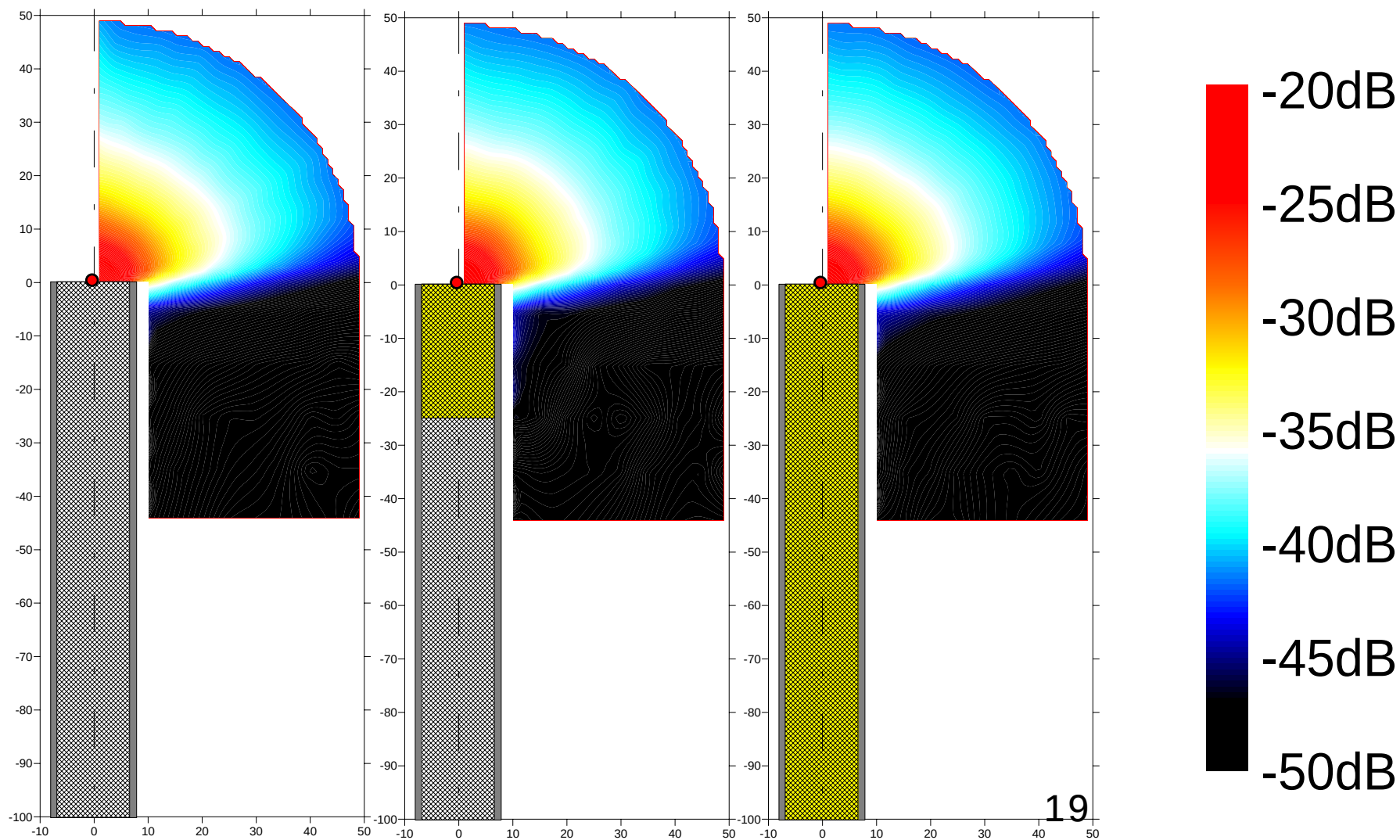
■ 要素の1辺を2cmとすると
 軸対象を仮定: 約10,000要素
 非軸対象 1: 約10,000,000要素

BEMによる騒音分布【音源：坑口内0m】

反あ射

25m吸音

吸音

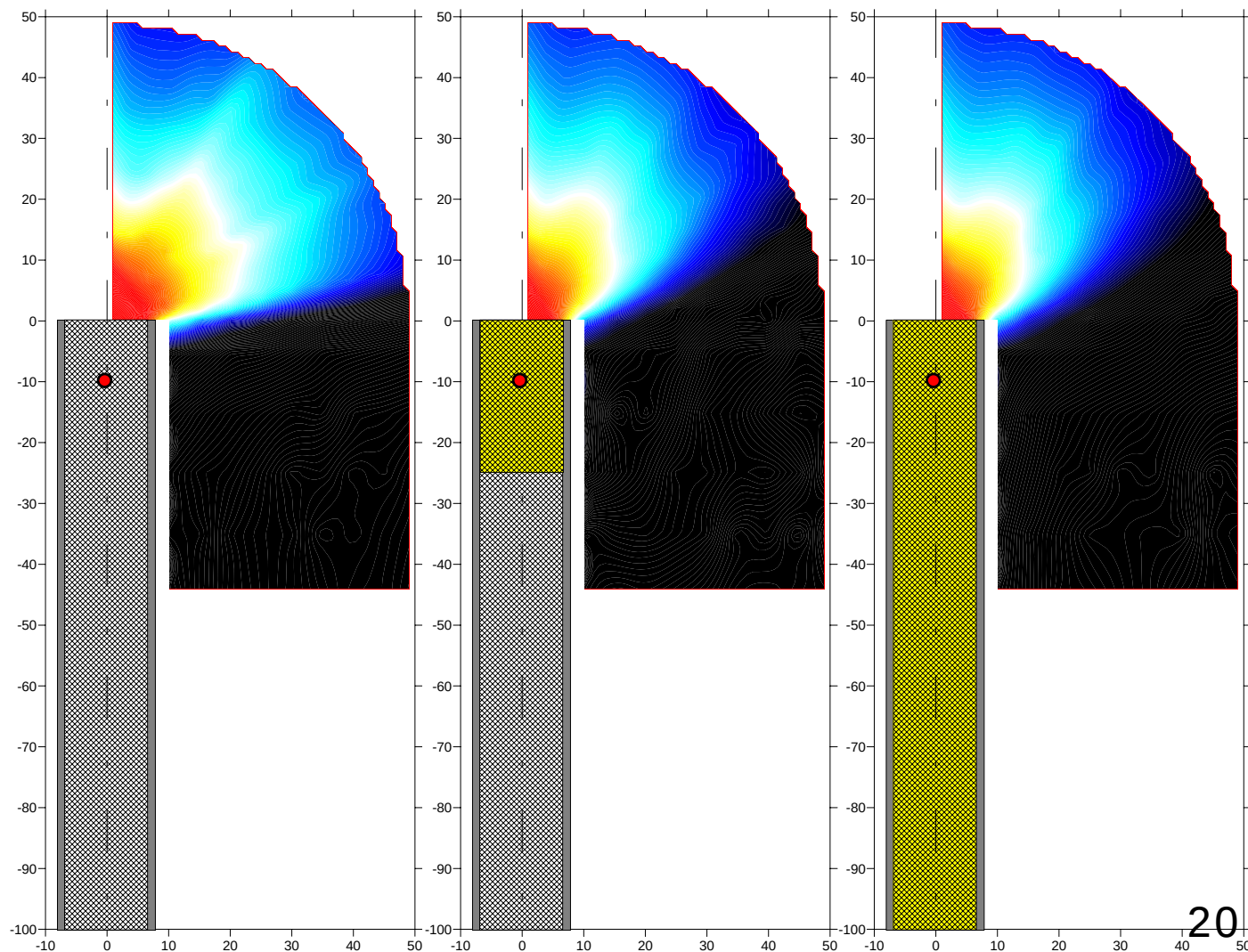


BEMによる騒音分布【音源：坑口内10m】

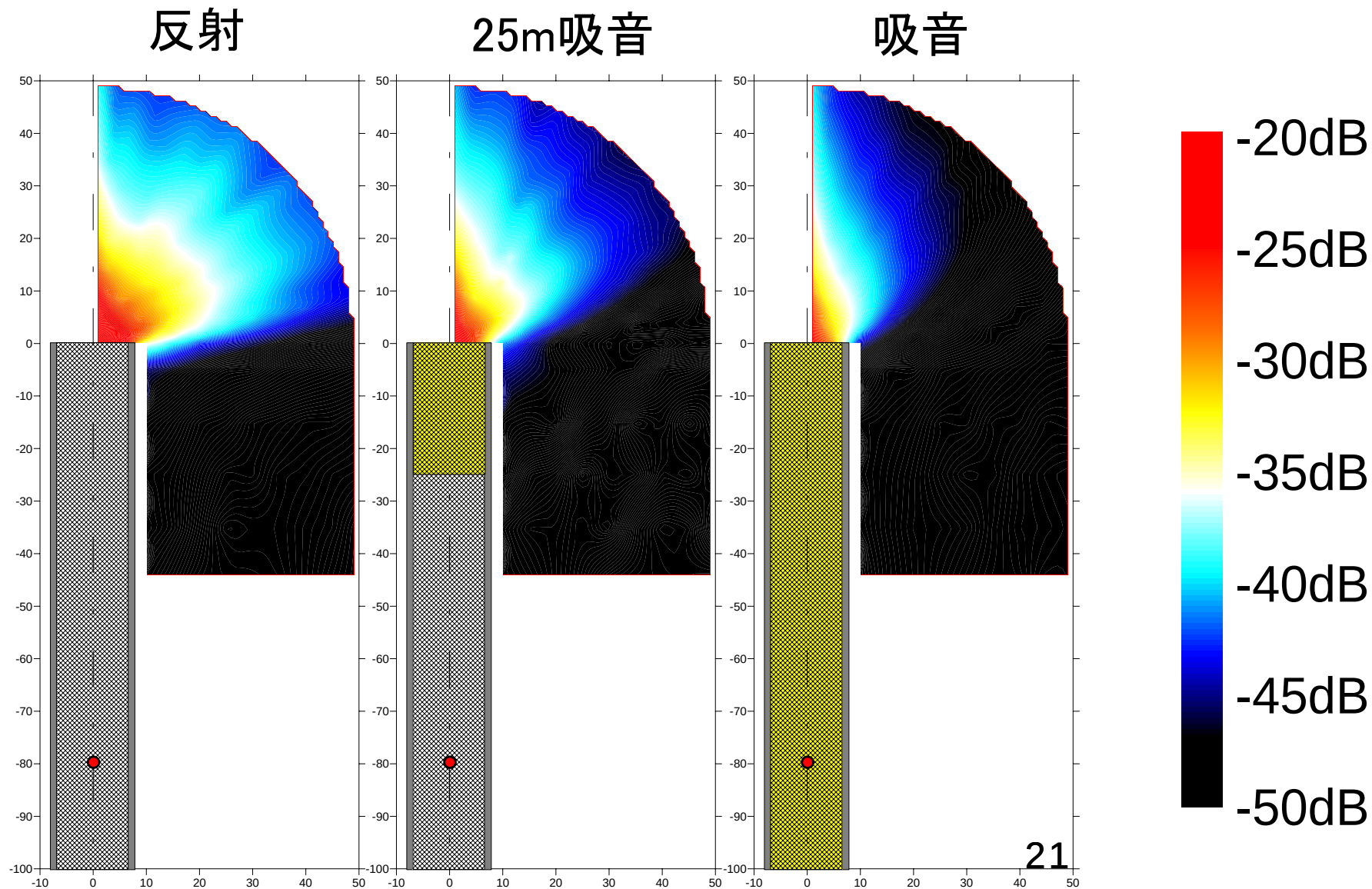
反射

25m吸音

吸音

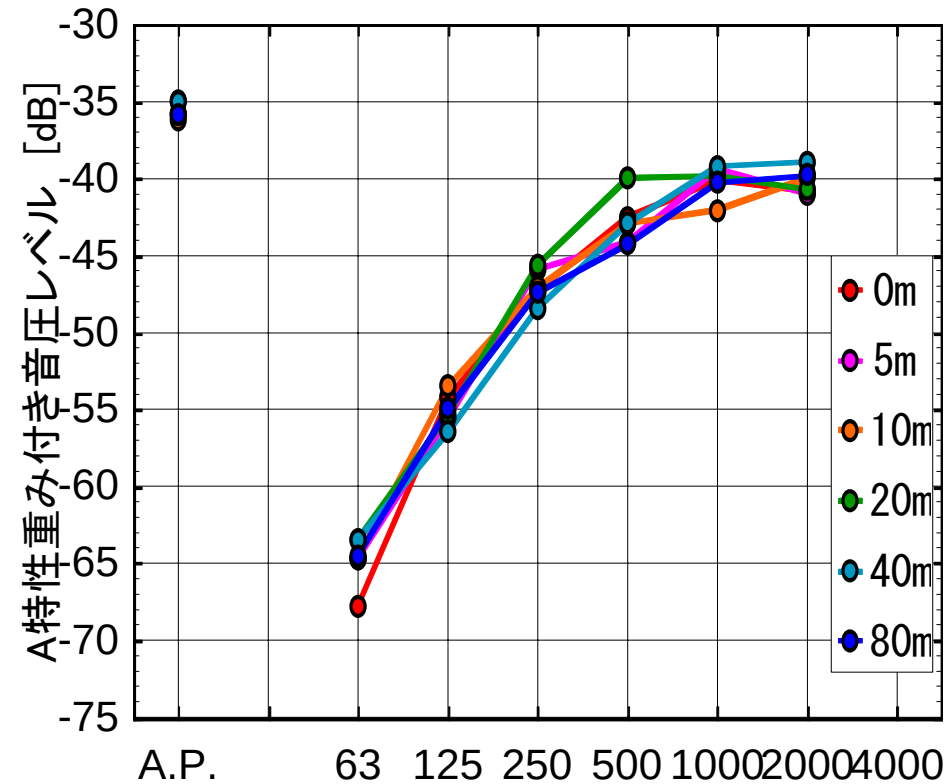


BEMによる騒音分布【音源：坑口内80m】

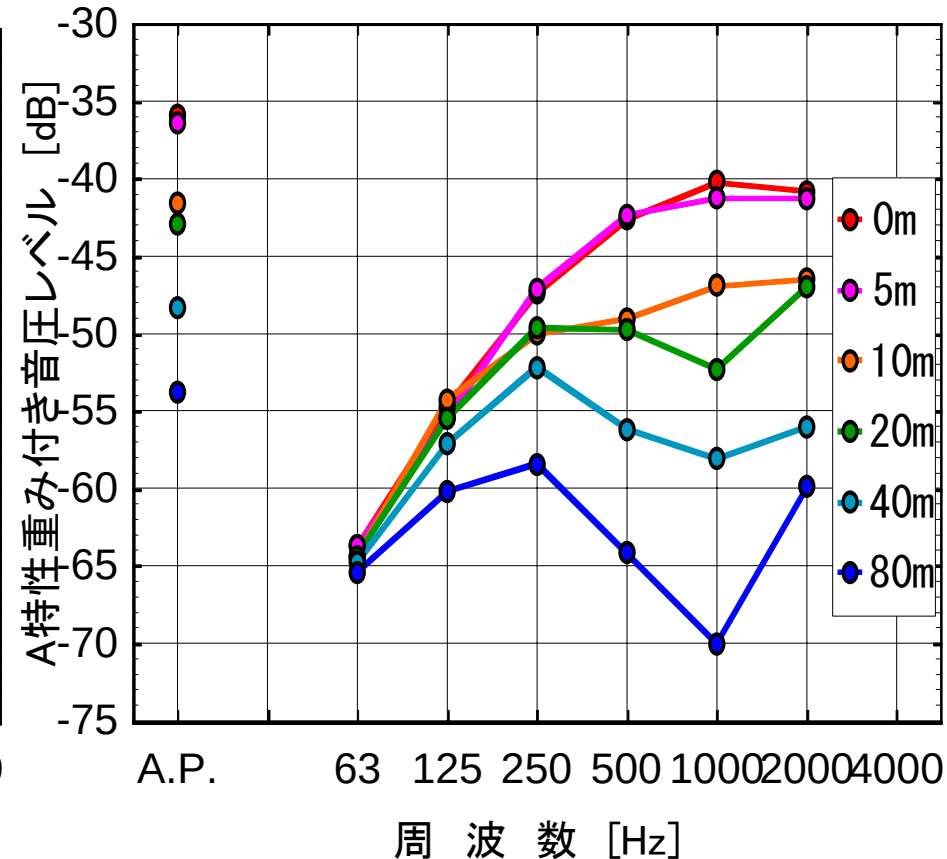


音源位置による周波数特性の違い (BEMによる坑口周辺での計算例)

反射性壁面



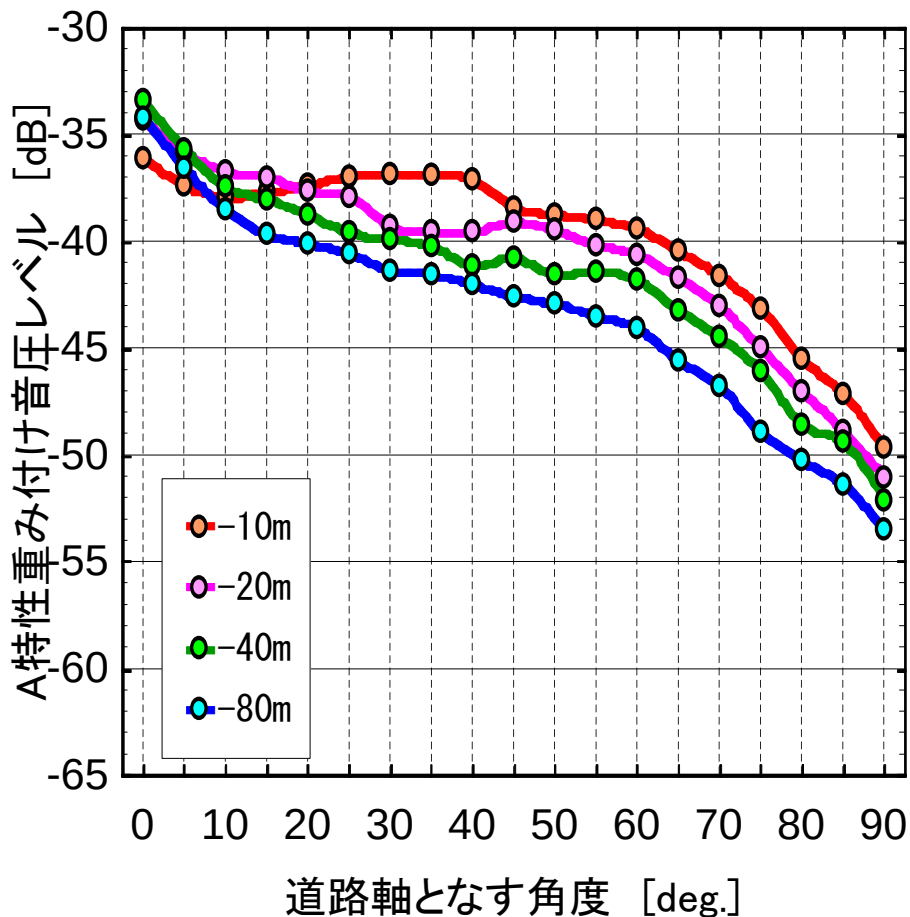
吸音性壁面



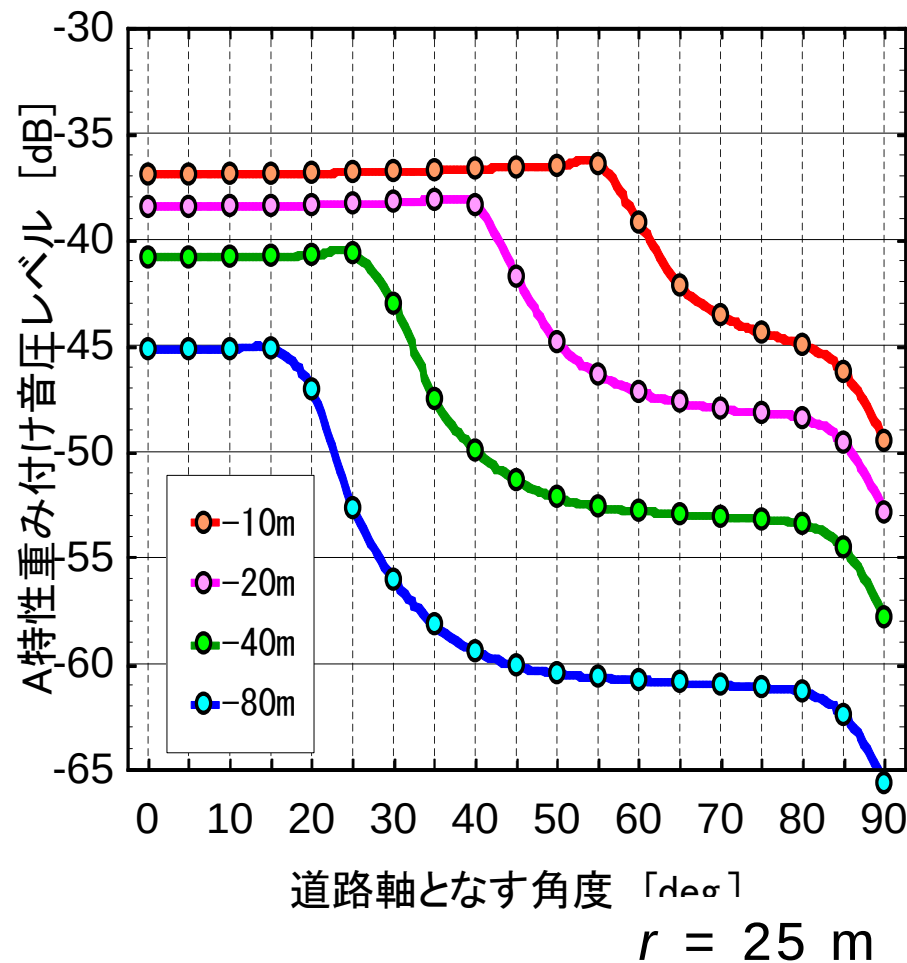
BEM計算結果と ASJ Model の比較

(吸音性トンネルでの例)

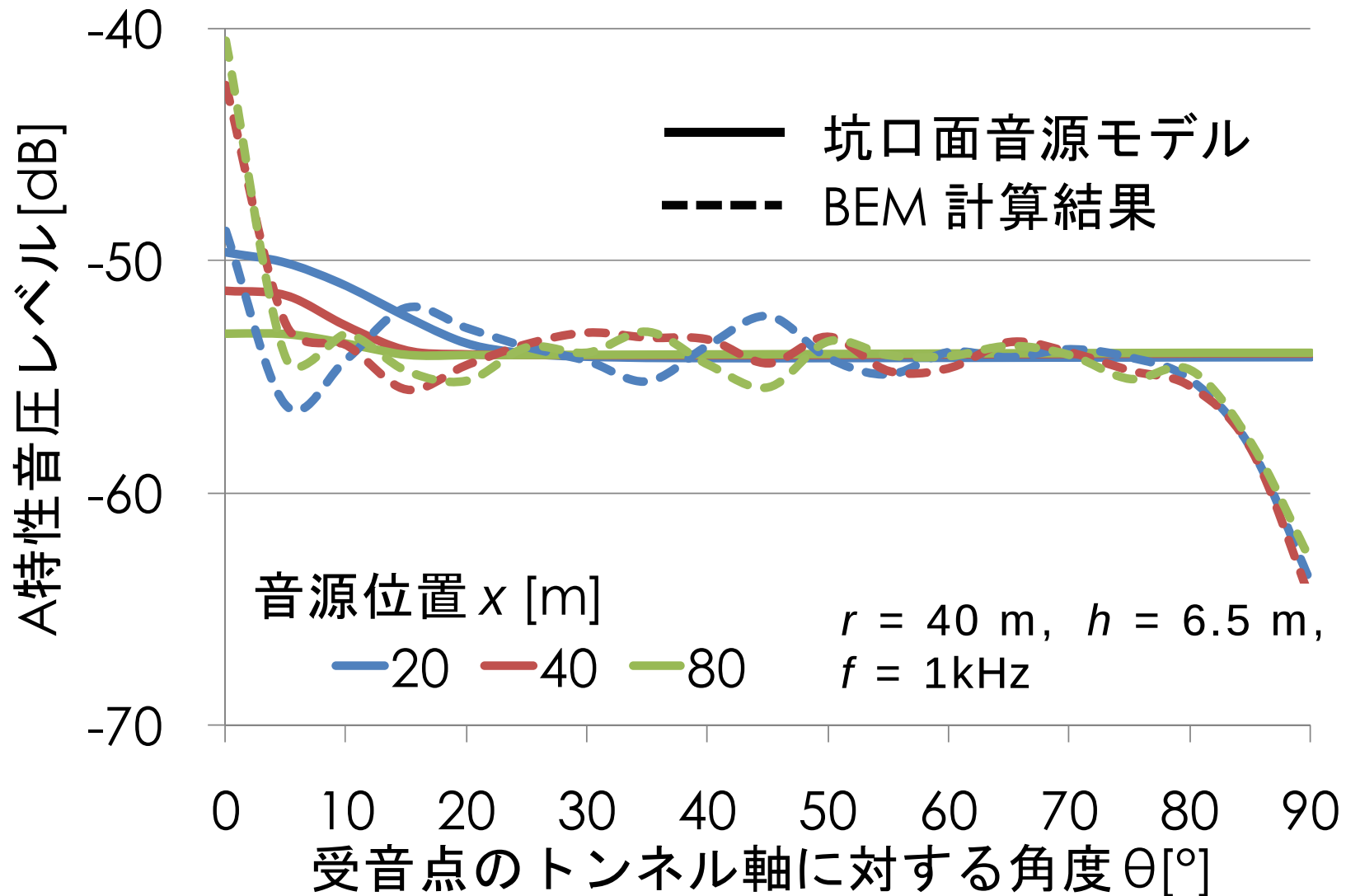
BEMによる計算結果



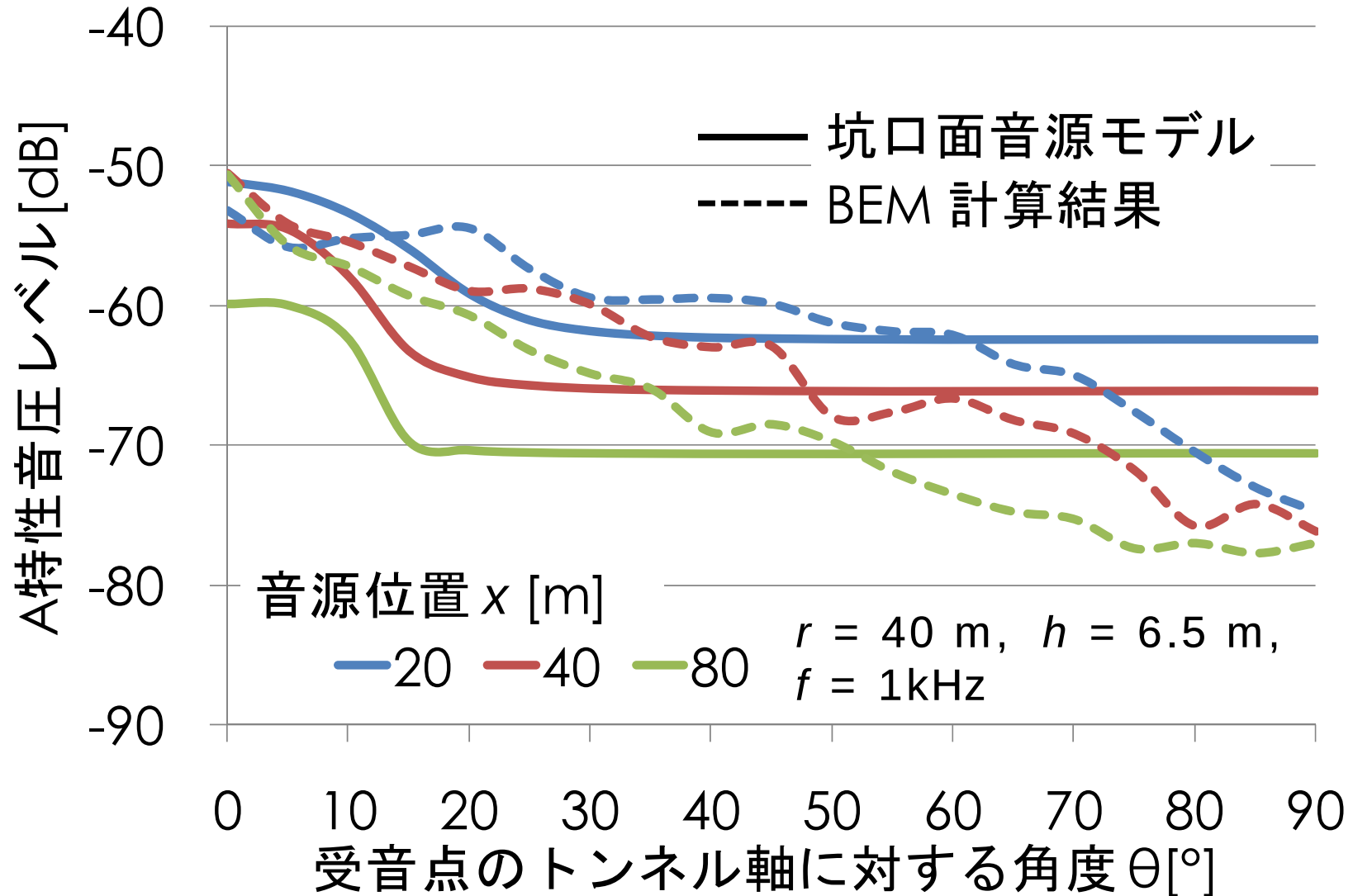
ASJ Modelによる計算結果



BEM 計算結果とASJ改良モデルの比較 (反射性壁面での例)



BEM 計算結果とASJ改良モデルの比較 (吸音性壁面での例)



ASJ Modelと改良モデルの比較

ASJ Model

- ・トンネル壁面の吸音効果を過大評価する。
- ・トンネル壁面の効率的な吸音対策を評価できない。
- ・坑口放射音に対する遮音壁の効果を過大評価する。
- ・反射性壁面では、予測値が高くなる傾向がある。

改良モデル

- ・ ASJ Modelよりも予測精度は改善される。
- ・ 吸音性壁面では、指向特性に無視できない誤差が生じる。

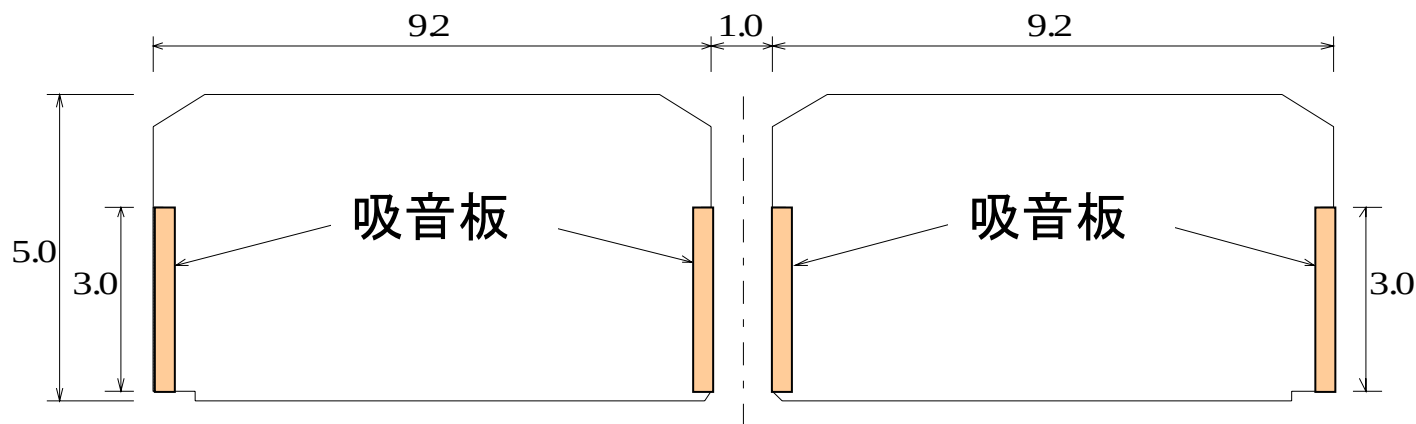
実測値による検討

- n トンネル内と明かり部の周波数特性の比較
- n 実測値とASJ Modelとの対応

実測調査地点（矩形トンネル）

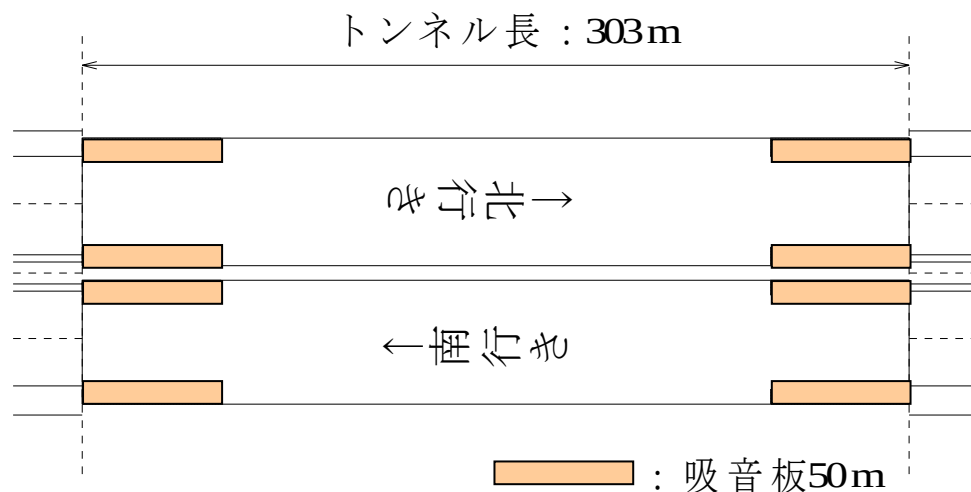


トンネル断面および吸音板設置区間

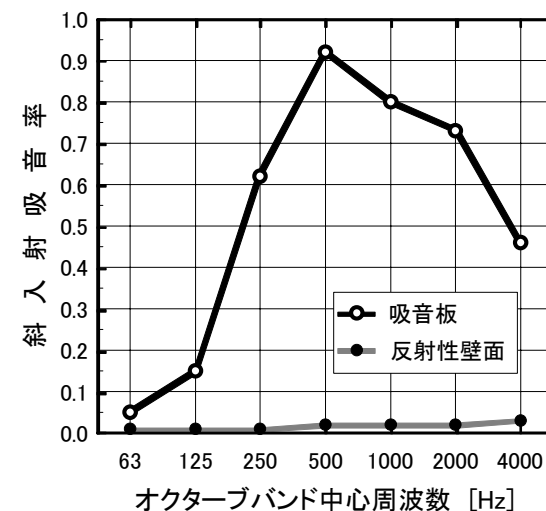


トンネル断面

単位：m

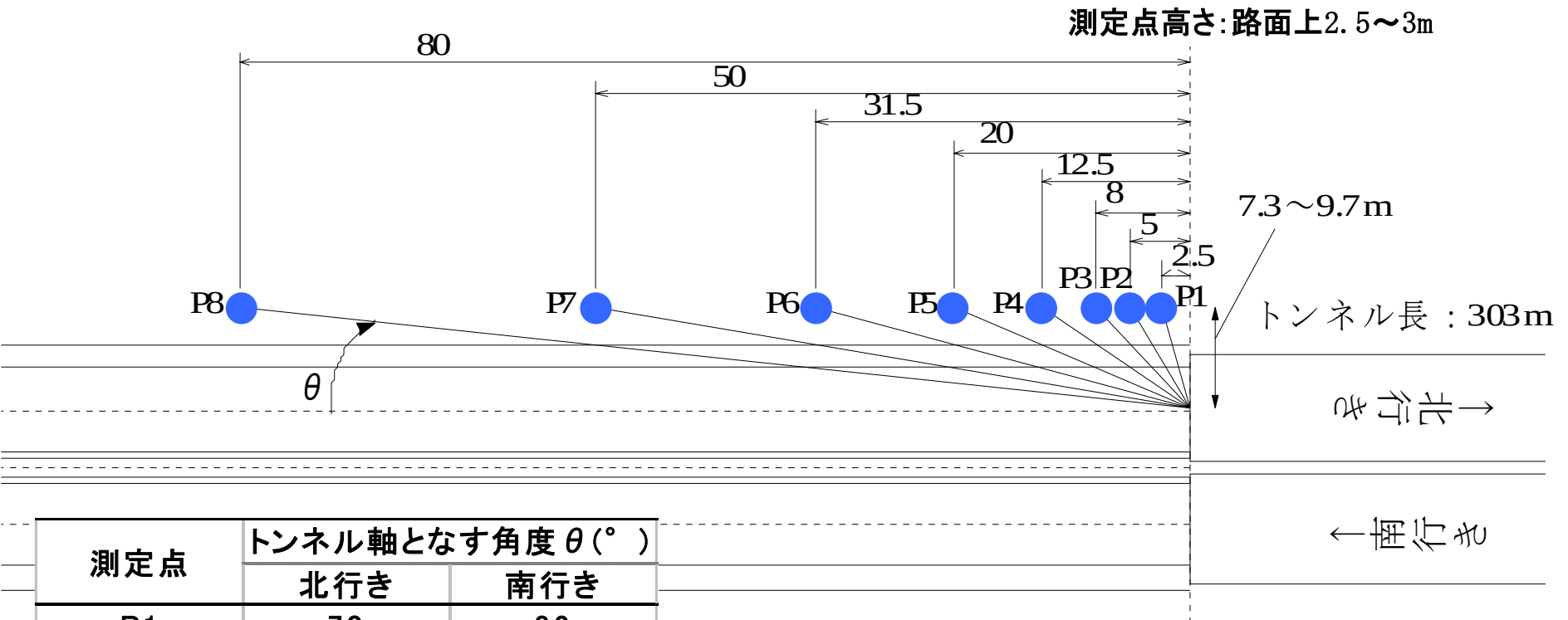


吸音板の設置区間



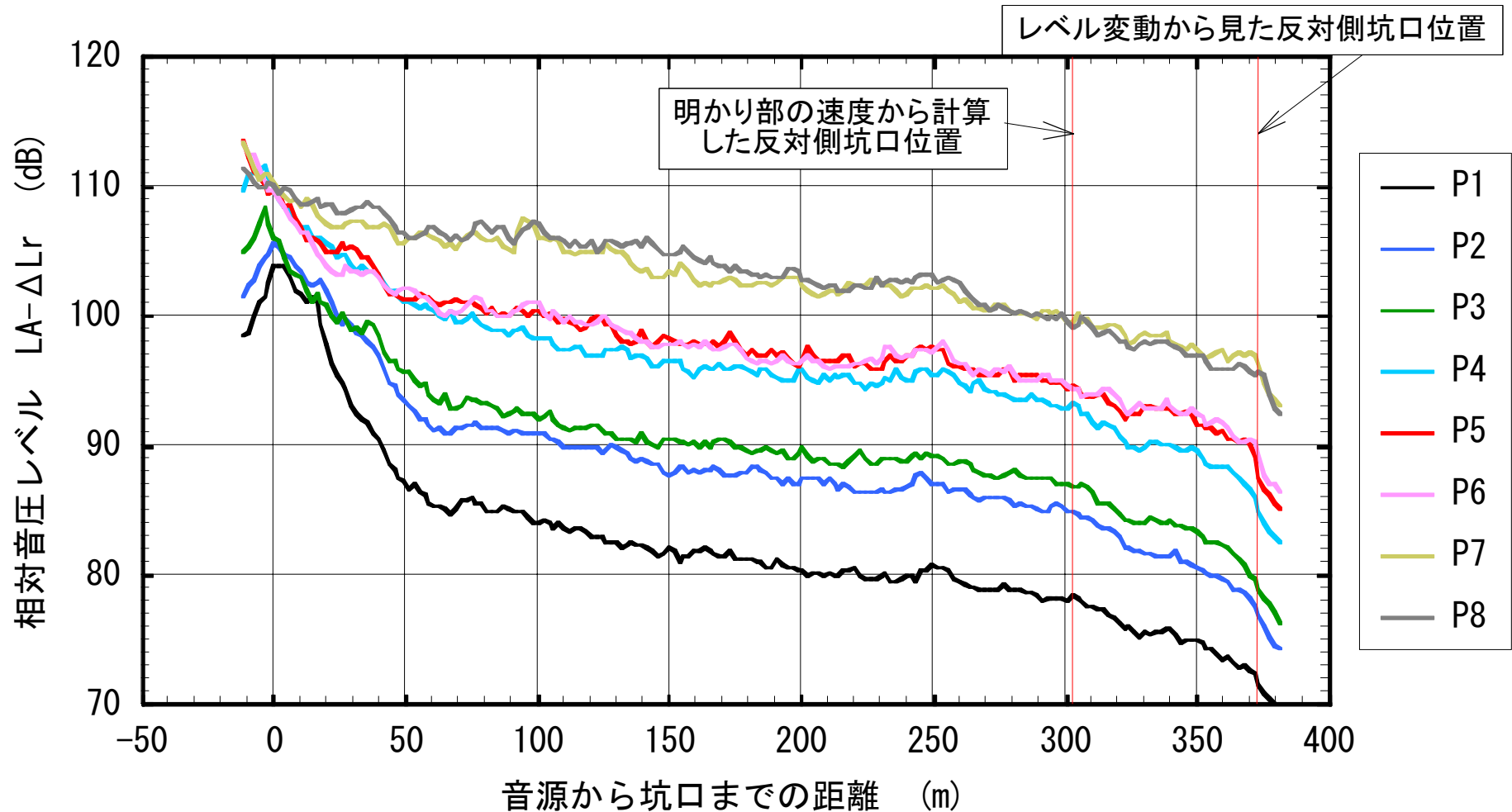
吸音板の斜入射吸音率

騒音測定点の配置

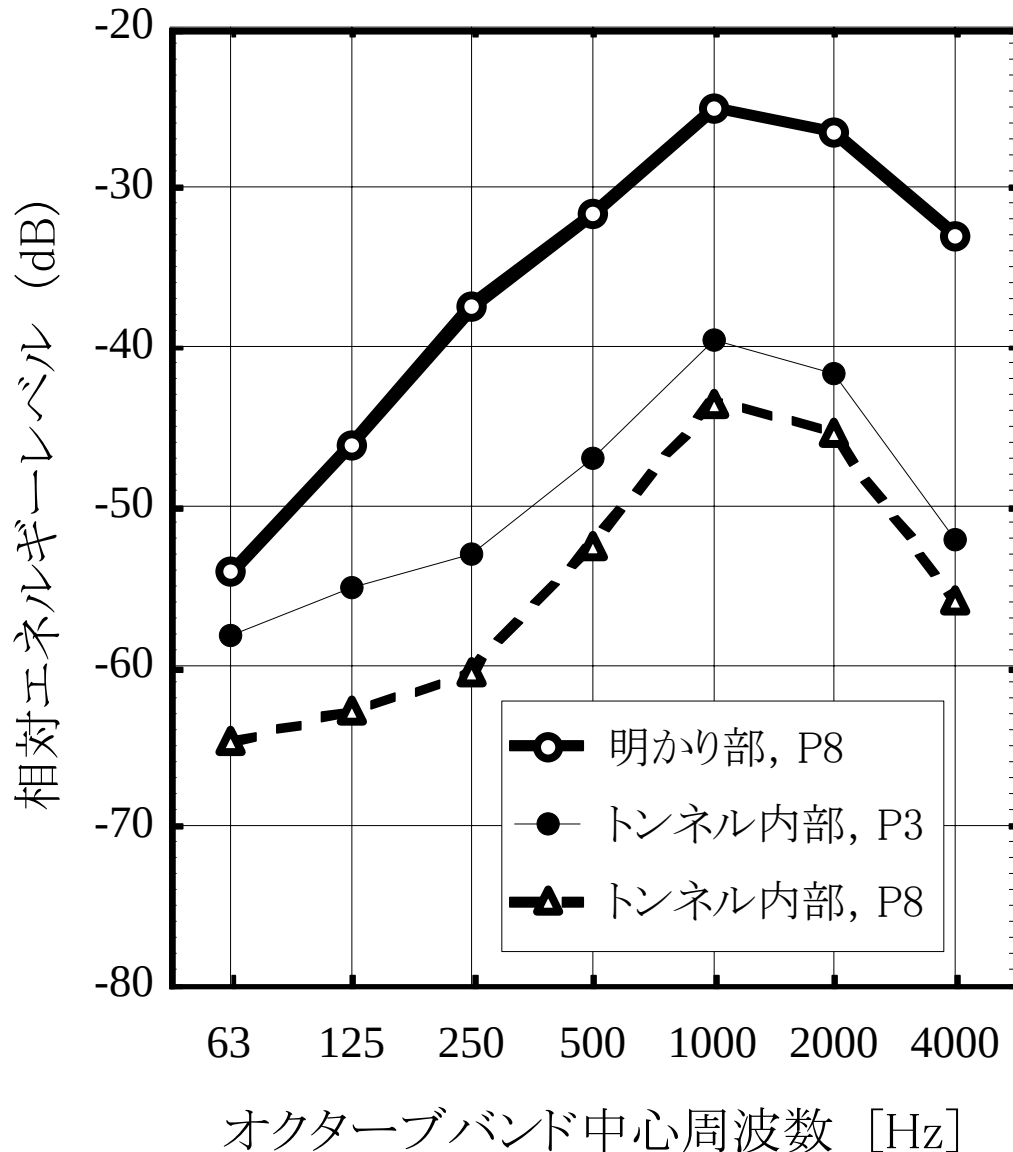


測定点	トンネル軸となす角度 θ (°)	
	北行き	南行き
P1	70	82
P2	54	74
P3	44	66
P4	34	56
P5	23	43
P6	15	31
P7	10	21
P8	7	14

トンネル内でのユニットパターン (測定点による違い)



トンネル内と明かり部での周波数特性の違い



n

トンネル内からの騒音は高周波帯域のエネルギーが低下

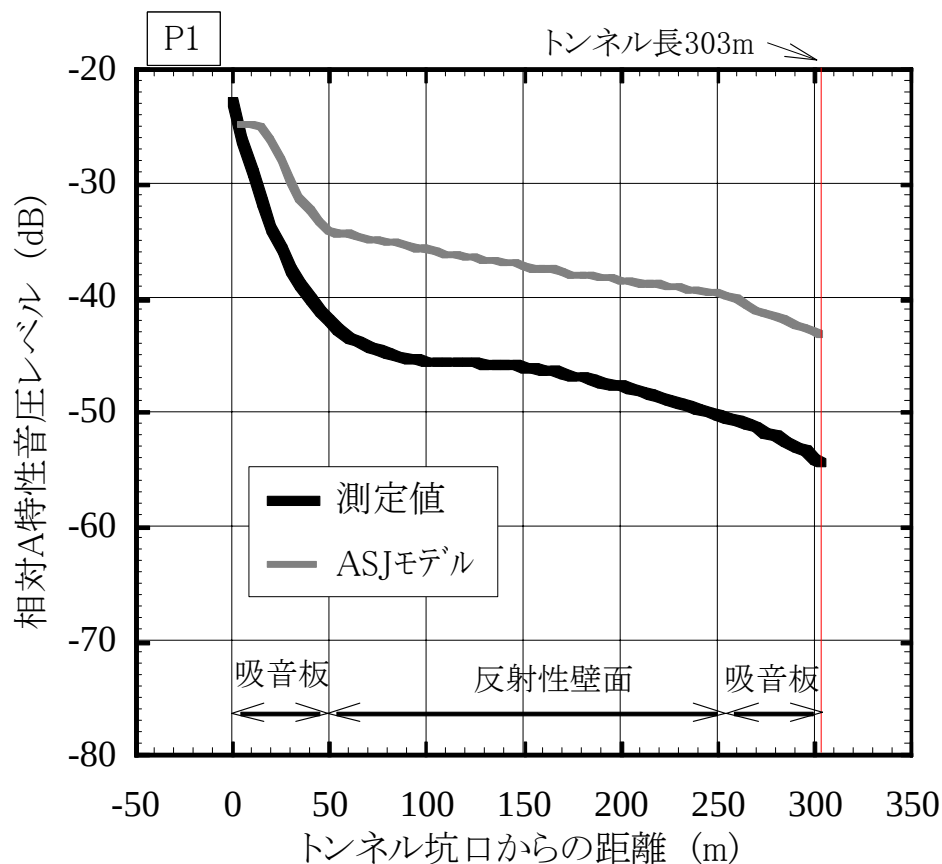
n

トンネル軸との角度が大きいほど高周波帯域が低下

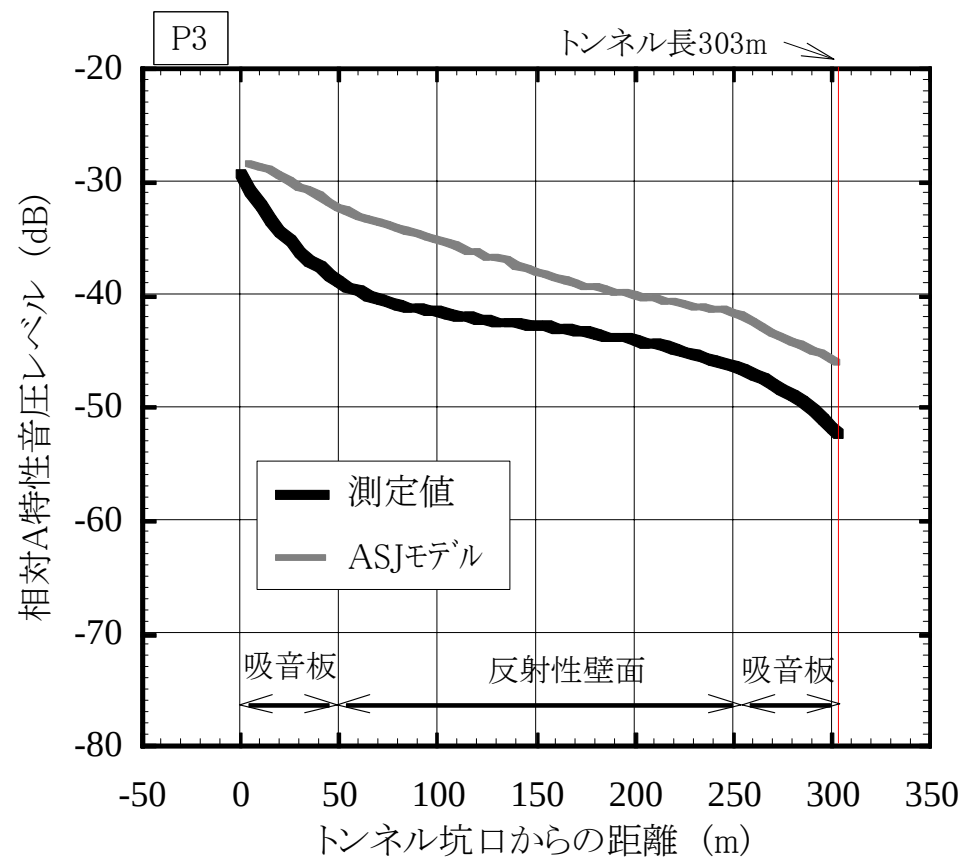
n

トンネル坑口に遮音壁を設置しても効果は小さくなる。

ASJ Modelと実測値の対応 (ユニットパターンの比較)

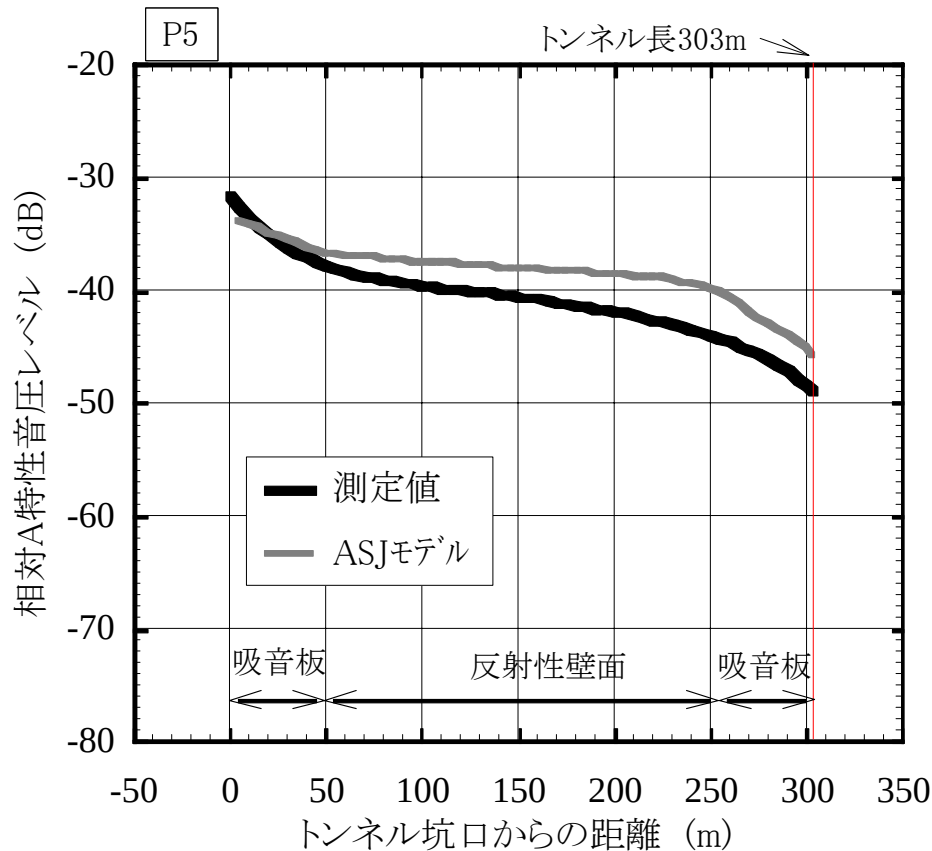


トンネル軸から70度

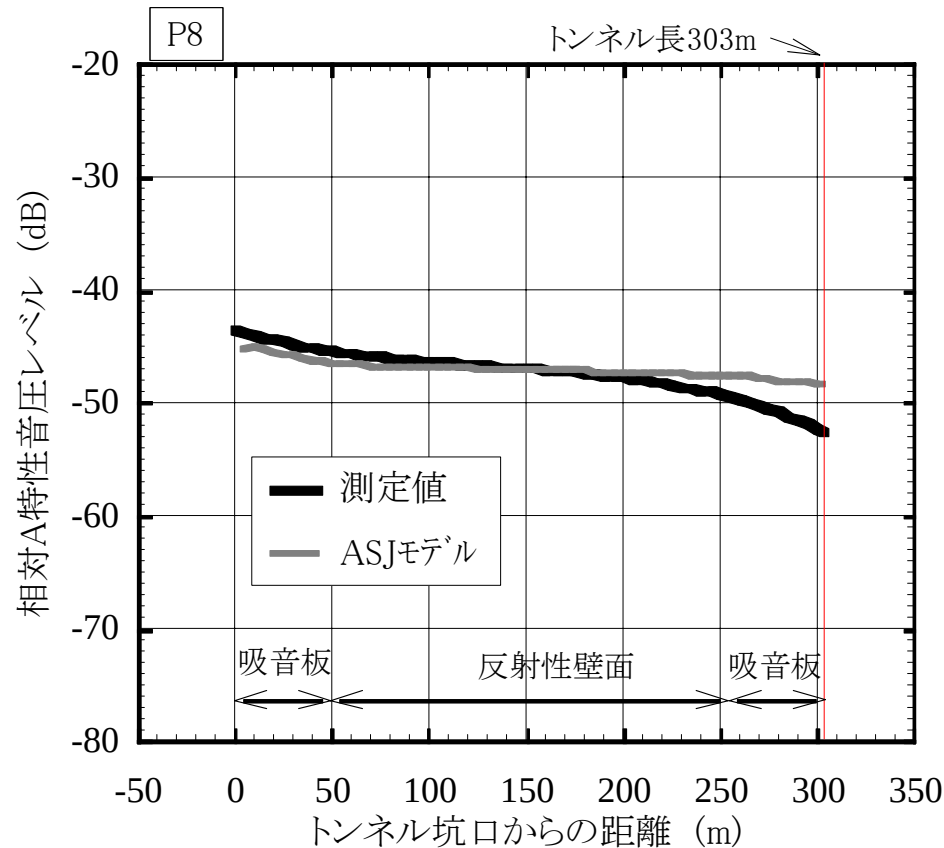


トンネル軸から44度

ASJ Modelと実測値の対応 (ユニットパターンの比較)



トンネル軸から23度



トンネル軸から7度

BEMおよび実測値による考察

周波数別予測の必要性

- ・トンネル壁面の吸音特性によって、坑口からの放射音の周波数特性・指向特性は大きく変化する。
- ・効率的な騒音対策には、周波数別の騒音予測が必要。

トンネル内の吸音対策の必要性

- ・吸音対策を行わない場合、トンネル内走行中の坑口放射音はほとんど減衰しない。
- ・坑口近傍の吸音対策は特に有効だが、効果はトンネル軸との角度が深い地点に限られる。
- ・多重反射が生じるため、周波数別の吸音性能を考慮した吸音対策がより有効。

トンネル坑口部の予測モデルに関する課題

改良モデルの長所・短所

- ・ 周波数別の予測が可能 ⇒ 効率的な対策が可能
- ・ 理論的な問題点を解消 ⇒ 予測精度の向上
- ・ トンネル坑口部への遮音壁の設置効果を予測可能
- ・ ただし、トンネル内での反射・拡散音については無視できない誤差が残る

予測手法の根本的な改良と検証

- ・ トンネル内での反射・拡散音の評価方法の変更
- ・ トンネル坑口部以外も含めた予測手法の改良