

学校教室の音環境の実態と
模型実験による教室間遮音の検討

福山 忠雄 土屋 祐造
（戸田建設）
井上 勝夫 山崎 芳男
（日大理工）（早稲田大学）

2001年12月4日

主催 日本音響学会建築音響研究委員会

Acoustic Conditions of School Classrooms and Scale Model Experiment on Sound Insulation between Classrooms

福山 忠雄、土屋 祐造

Tadao FUKUYAMA, Yuzo TSUCHIYA

戸田建設技術研究所

Technical Research Institute, Toda Corp.

井上 勝夫

Katsuo INOUE

日本大学理工学部

College of Science and Technology, Nihon University

山崎芳男

Yoshio YAMASAKI

早稲田大学国際情報通信研究センター

Global Information and Telecommunication Institute Waseda University

内容概要：オープン型教室を主対象に、音環境の実態調査、並びに、模型実験による教室間遮音の検討を行い、教室の音環境に関して以下のような知見を得た。

- 1) 今回対象とした教室の残響時間は、在来の片廊下型およびオープン型教室共、概ね0.5～1.0秒の間が多かった。なお、オープン型ではオープンスペースを含む空間全体の影響を受けるが、提案値等を大きく上回る例はなかった。
- 2) 騒音を制御した状態における教室空席時のSTI測定値は0.6前後を示した。
- 3) オープン型教室の教室間遮音性能はD - 15前後を示し、片廊下型の通常のパフォーマンスD - 35程度に比べてかなり低い結果を示した。
- 4) オープン型教室の音圧レベル減衰性状からみると、遮音に関わる要因として、教室空間の吸音、教室の配置、袖壁、開口部可動収納棚等が挙げられる。
- 5) 教室間遮音の模型実験からは、オープン型でD - 30程度を確保するには、吸音力の大幅な増大、教室の適切な配置が重要であり、平面計画の自由度などはかなり狭まる。

1. はじめに 学校建物の音響計画に関しては既に設計指針などもあり、これまでも教室の残響時間の適正化や教室間の適音などに関して配慮がなされてきた。

一方、近年の教室計画では、授業形態の変化や開放的な空間創りなどへの対応もあり、従来の片廊下型教室などの画一的なものから、个性的で多様な形態の教室が多くみられる。従って、教室の音環境に関しても、その実態を継続的に把握していくと共に、新しい学校に相応しい音響条件を明確にしていく必要が考えられる。

このような観点から筆者等は、オープンプラン型の教室を主対象として、室内音響特性や教室間の適音などに関する調査を行っている。

周知の如く、オープン型教室は、廊下側に壁を設けず、教室とオープンスペースとを空間的に連結させた形態の教室であり、公立の小中学校を中心に近年多く採用されているが、必然的に教室間の遮音が問題となりやすい。そこで、この調査では、オープン型教室の遮音を主とした音響特性の実態を把握することにした。

次に、この調査結果を踏まえて、教室の1/10縮尺模型実験により、オープン型を前提とした教室間遮音性能について、改善の可能性などに関する検討を行った。

本報では、この調査で把握された教室の音環境の実態、並びに、遮音模型実験からの知見などに関して、学校音響の一資料として示す。

2. 教室の音環境調査

2.1 調査概要

音環境の調査は、オープン型小学校3校5パターンを対象に、残響時間、STI、音圧レベル減衰性状などの測定を行った。

図1に測定対象校の教室配置を、表1に各教室の内仕様をそれぞれ示した。

なお、以下に比較して示す在来型教室のデータは筆者らが過去に実施した測定による。

2.2 教室の残響時間

図2に教室の残響時間測定結果を、片廊下形式の在来型教室（以下、在来型と記す）と比較して示す。これをみると、在来型-1で天井が全面反射性の教室の特異なケースを除き、残響時間は、オープン型と在来型とで大差なく、概ね、0.5～1.0秒の間を示している。

表1 オープン型教室の内装仕様

A小学校 低学年教室	床	カーペット敷き
	壁	ヒバ縁甲板オイル拭
	天井	リブ吸音構造
A小学校 中学年教室	床	フローリング張り
	壁	ヒバ縁甲板オイル拭
	天井	リブ吸音構造
B小学校 高学年教室	床	タイルカーペット敷き
	壁	ボード壁
	天井	岩綿吸音板
C小学校 低中学年教室	床	タイルカーペット敷き
	壁	木平板張り
	天井	木平板張り
C小学校 高学年教室	床	タイルカーペット敷き
	壁	木平板張り
	天井	木平板張り

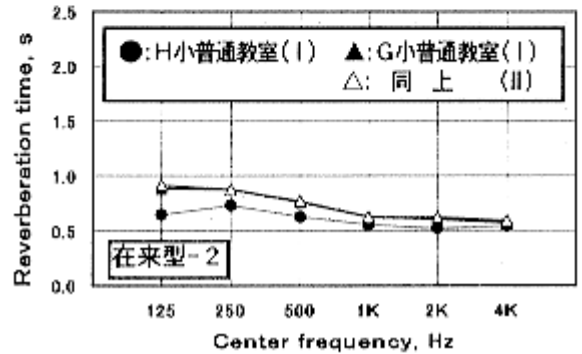
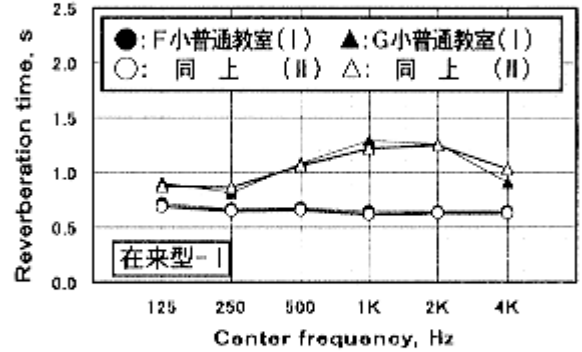
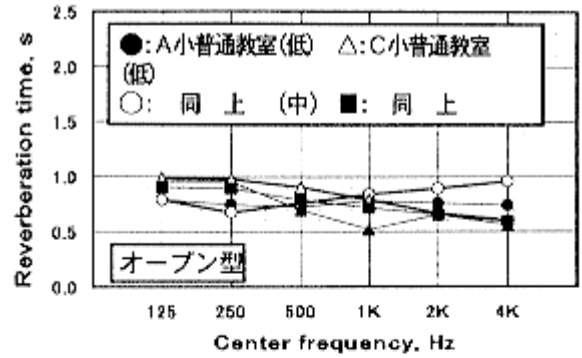


図2 教室の残響時間の比較

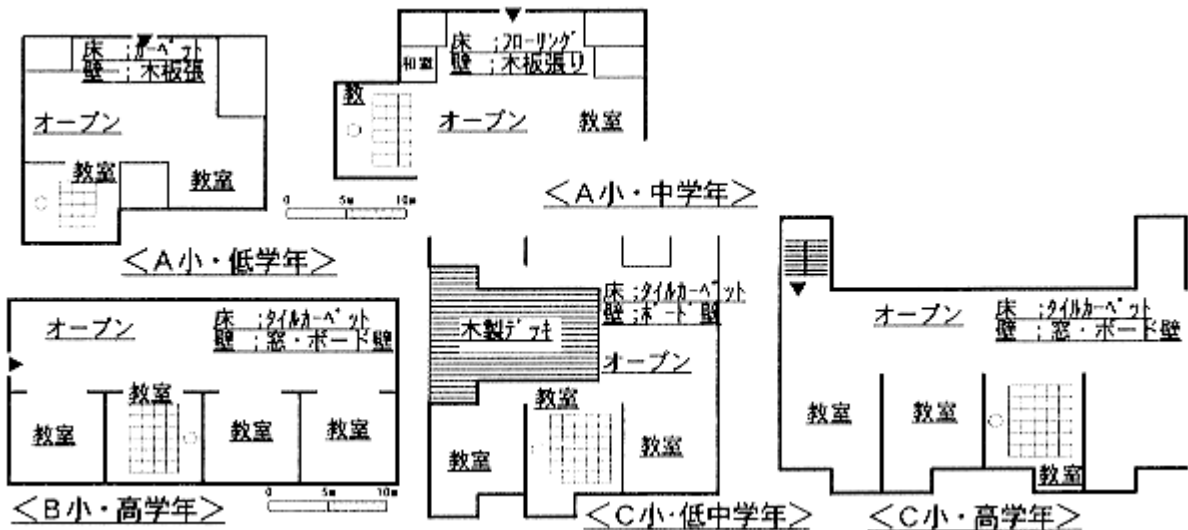


図1 オープン型教室の配置パターン

図3には各校の教室とオープンスペースとの残響時間を比較して示したが、教室の残響時間はオープンスペースの寄与をかなり受けている。なお、空間的に独立性の高いC校教室(1)では教室とオープンスペースの残響時間に差異が生じている。

2.3 STI・RASTIの測定結果

室内が静かな条件で、オープン型教室におけるSTIおよびRASTIの測定結果の散布図を、在来型教室の測定事例と比較して図4に示した。これを見ると、オープン型教室のSTIは全体として0.65～0.75を示し、RASTI値も概ね同様の結果となっている。また、室内での偏差も小振幅に収まっている。

参考として、同図b)に在来型普通教室L、Mのデータも掲載した。壁からの反射がやや多いためか、前者よりやや小さめの値である。なお、在来型の視聴覚室Nは高度吸音仕様を採っていることから、0.75とやや大きめの値を示している。

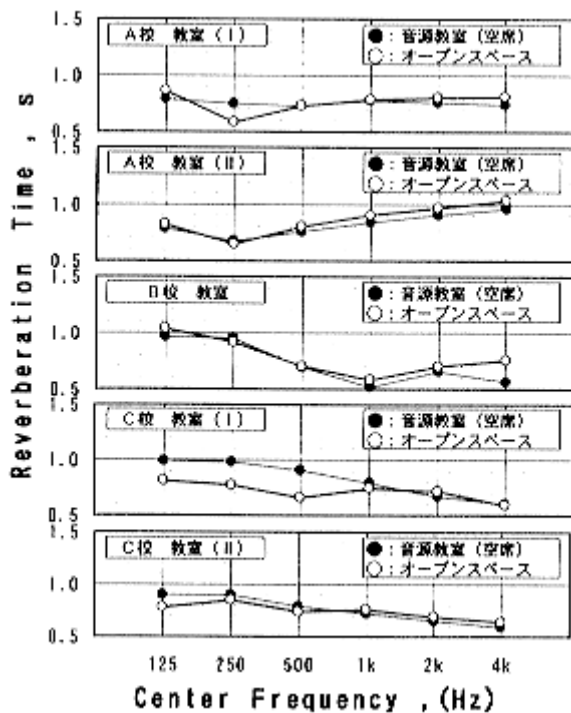
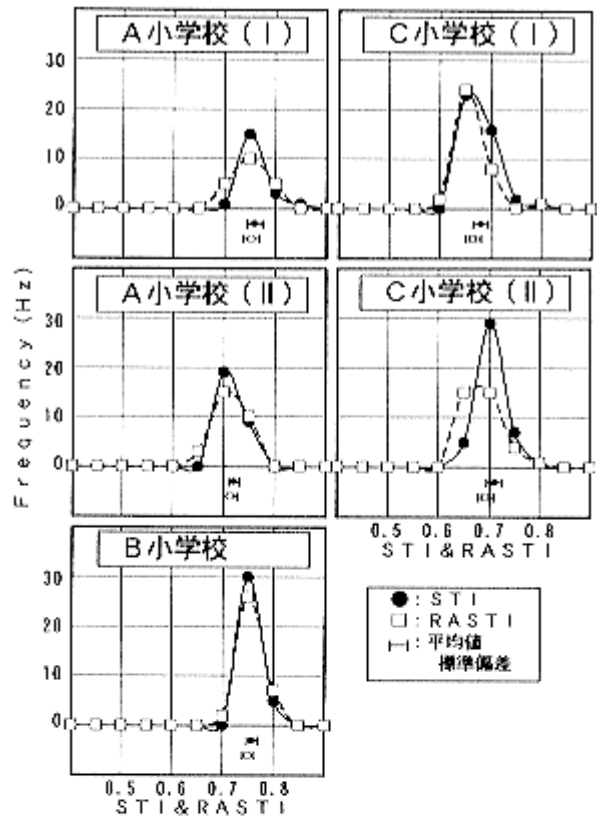
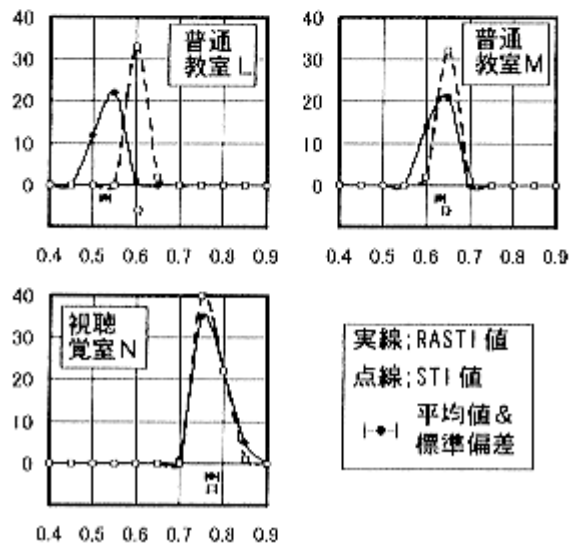


図3 教室とオープンスペースの残響時間比較



a) オープン型5教室



b) 在来型3校分

図4 教室におけるSTI・RASTIの測定結果

2.4 教室間の遮音性能

図5に、オープン型教室と在来型教室についての室間平均音圧レベル差の測定結果を比較して示した。在来型教室は、-1、-2、-3の順に建設時期が新しく、筆者等の数少ない事例からではあるが、在来型-3ではD-35程度の性能であり（扉経路が支配的）教室間遮音性能の向上が図られてきた経緯が窺える。

一方、オープン型の教室間遮音性能は、すべての学校でD-20未満の性能となっている。

また、ここでは掲載しなかったが、隣接教室同士で最も近い座席間の特定場所間音圧レベル差は、当然これより小さくなっていく。更に、最近の授業形態として、クラスルーム単位でオープンスペースを併用した授業もみられたが、この場合、隣接教室への遮音は殆ど期待できない状況となる（次項の音圧レベル減衰性状参照）。

オープン型教室のなかで遮音性能を比較すると、教室間に袖壁を有し、かつ、吸音もある程度考慮されたB小の性能がD-20弱と比較的大きく、一方、教室がオープンスペースを挟んで対面し、かつ、吸音の少ないA小学校中学年教室の結果はD-15未満の性能となっている。

図6には参考として、従来型教室における廊下・教室間（扉前後間）の遮音性能を掲げたが、全体にD-15前後の性能を示しており、前記のオープン型教室間の遮音性能と同等な性能となっている。

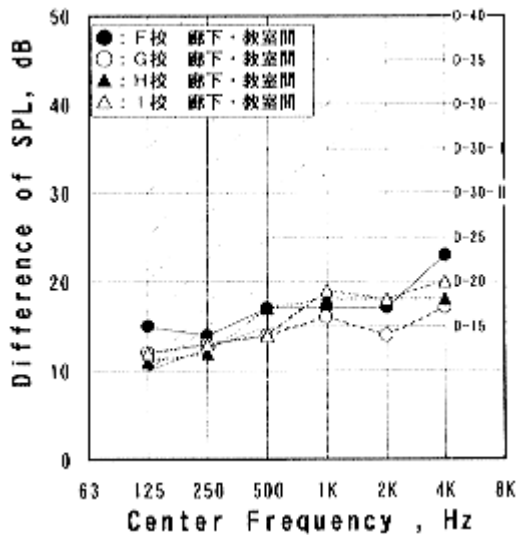


図6 在来型の教室・廊下間の遮音性能

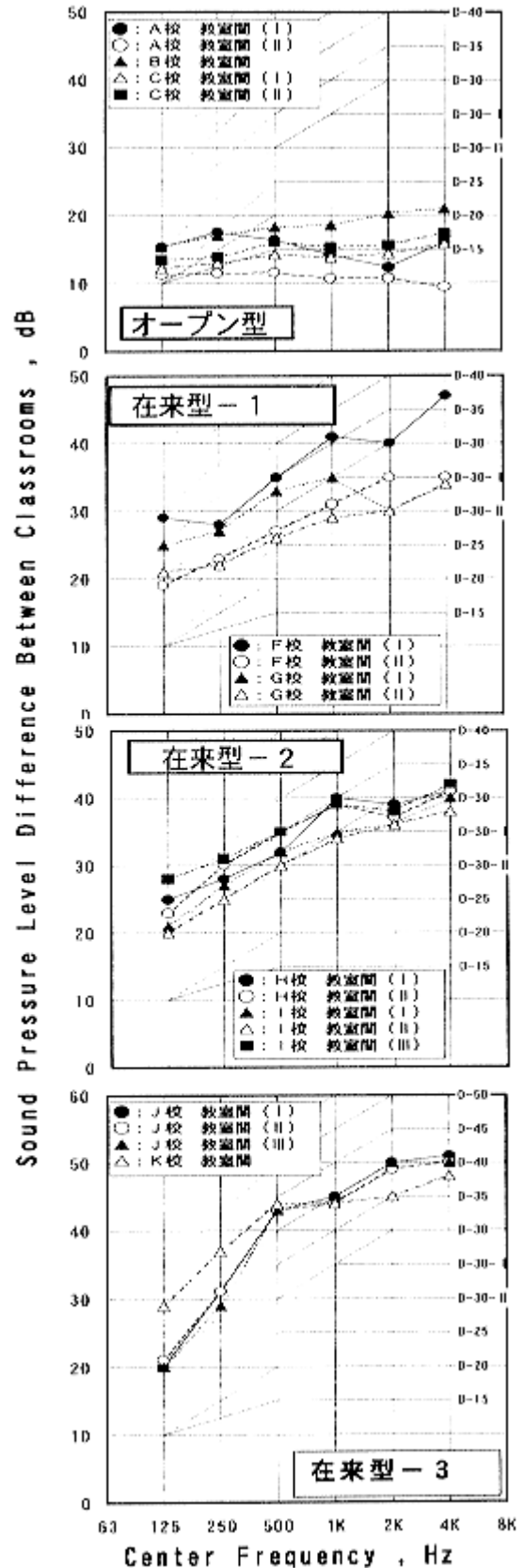


図5 教室間の遮音性能比較

2.5 • @ I • [f v f \mathbb{E}^{\wedge} \times 3 \circ , \mathbb{E} \circ 1^{\wedge} 3 f \mathbb{E} f x f \mathbb{E} , \bullet \mathbb{S} \bullet \ll \bullet \circ

図7および図8に、オープン型小学校A、B、Cの5パターンの教室配置について、スピーカーを音源として測定した、500Hzと2kHzの1/1オクターブバンド音圧レベルの減衰性状を示した。なお、各教室の音源付近の最大値で基準化した相対音圧レベル差の2dBピッチのコンタマップで表示してある。

音源教室中央を基準に隣接教室でその減衰をみると、500Hzでは、A小学校の教室(Ⅰ)は22～24dBとなっているが、直列配置の教室(Ⅱ)の場合、直接音の伝搬がかなり寄与し、減衰量は14～16dBと比較的小さくなっている。また、並列配置のB小学校の教室では22～24dBの減衰レベルで、C小学校は教室(Ⅰ)および教室(Ⅱ)とも18～20dBの減衰量がみ

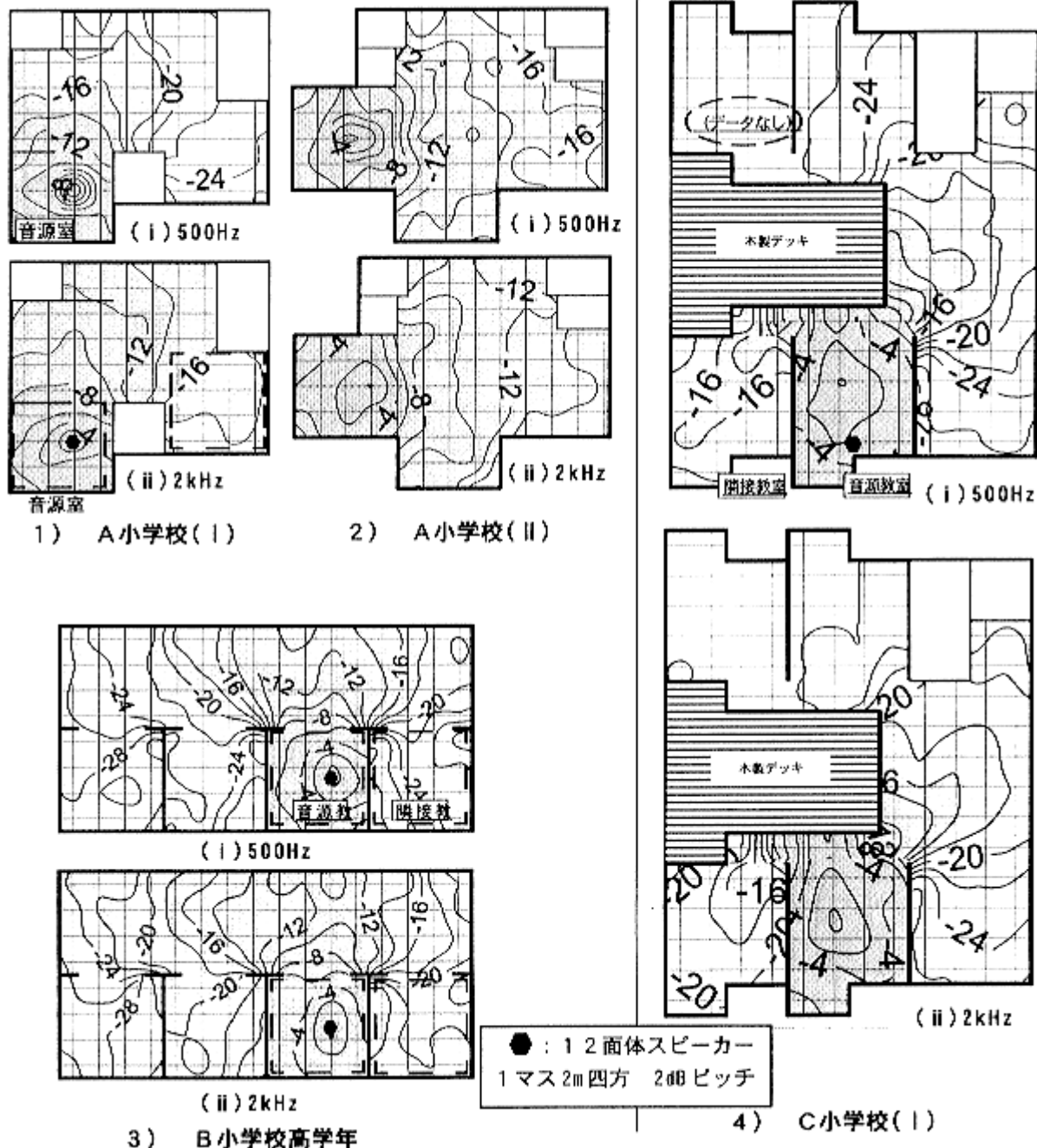


図7 オープン教室における音圧レベルの減衰性状 - 1

られる。また、2kHzの減衰性状をみると、特にA小学校教室(Ⅰ)では500Hzと比べて6dB程度減衰量が小さくなっている。

一方、音源教室のオープンスペース側端部付近を基準にして減衰量をみると、500Hz、2kHz共に、直列配置のA小学校教室(Ⅱ)で6~8dB、並列配置の他の教室形態では8~14dB程度とかなり小さい値となっている。

ここで、特に類似した教室配置のB小学校教室とC小学校教室(Ⅱ)に着目して比較すると、500Hzでみた場合、教室内・オープンスペース共に天井に岩綿吸音板が使用されているB小学校では、距離に対して比較的均一に減衰しており、音源教室内で6dB程度、音源教室のオープンスペース側から隣接教室の境界までは14dB程度の減衰性状を示している。一方、C小学校教室(Ⅰ)の場合、オープンスペースには有孔吸音板が使用されているが、教室内の天井は反射性の木仕上げとなっており、音源教

室内の減衰量は4dB程度と小さく、また、教室の境界間では12~16dB程度の減衰量となっている。また、2kHzについての隣接教室の境界間減衰量は、B小学校では16~18dBで、500Hzに比べて減衰が大きく、一方、C小学校では10~14dBと、500Hzの方が減衰が大きくなっている。これはB小の教室間には袖壁があること、教室天井材のに吸音の有・無などが寄与しているものと推察される。

なお、C小学校(Ⅱ)では、オープンスペースのなかに小部屋が教室側へ張り出しているが、この壁からの反射の影響のためか、2kHzのコンターをみると、-16dBの等音線が隣接教室の奥深くまで入り込んでいる。

以上のように、通常の教室配置や天井主体の吸音という条件では、オープン型教室間の遮音性能はかなり低いレベル止まらざるを得ない。

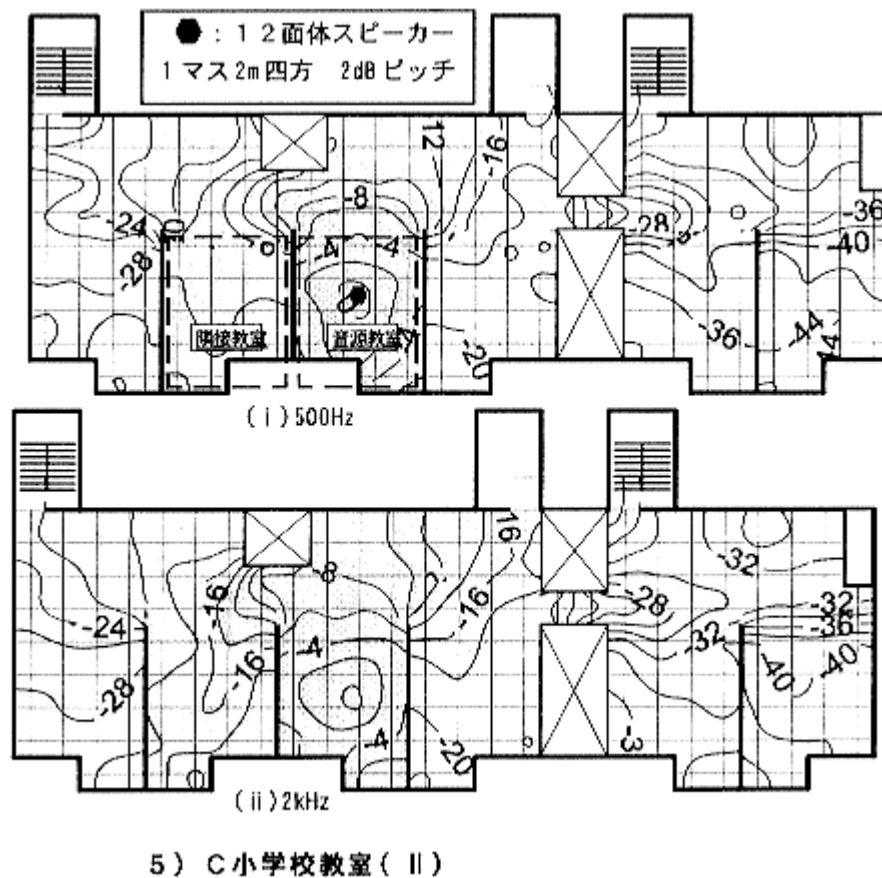


図8 オープン教室における音圧レベル減衰性状 - 2

2.6 教室における授業発生音 実際に授業が行われている状態の、先生の発生音と生徒の発生音の音圧レベル分布を図9に示した。なお、各発生音とも比較的大きく、かつ他の騒音の影響が少ない部分を抽出した。先生の発生音に着目すると、B小の先生(男性)では、第1点から第6点までの教室境界間減衰量が500Hzで14.5dB、C小の先生(女性)では、11dBとなっており、前載のスピーカ音源の性状と近似している。

おり、前載のスピーカ音源の性状と近似している。

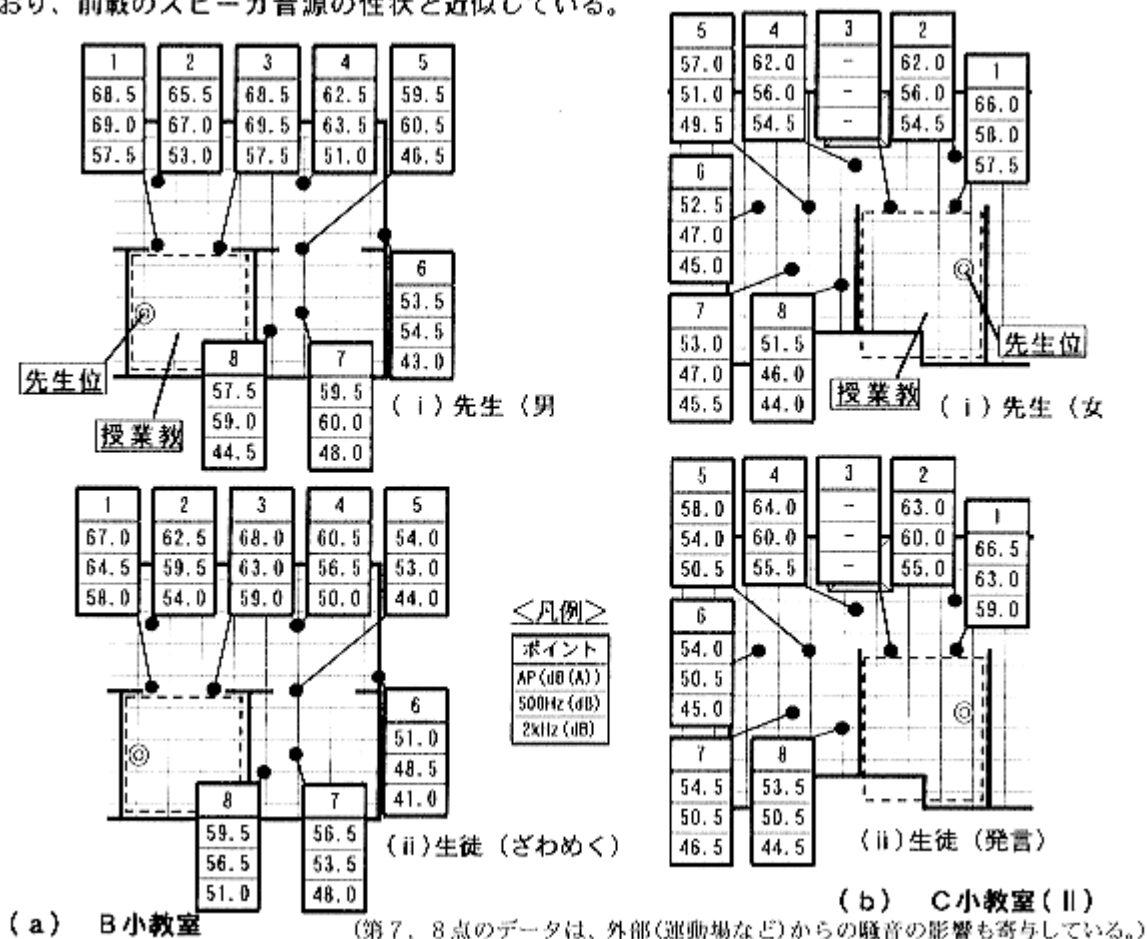


図9 実際の授業での音圧レベル分布

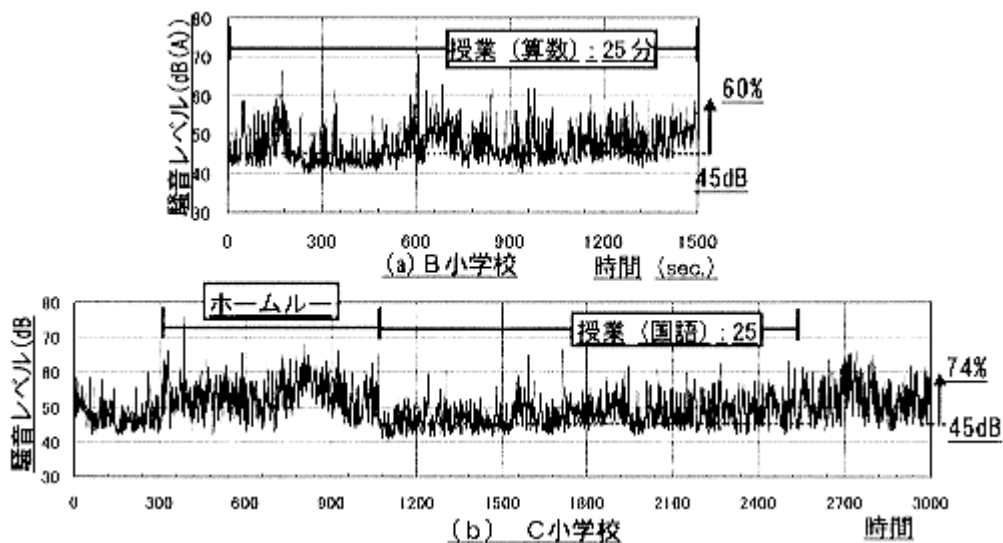


図10 授業中の発生音の時間変動例

各小学校での単位授業発生源の隣接教室への伝擬音の時間変動を図10に、同じくその授業発生源の累積度数曲線を図11に示した。測定位置は、生徒の席で他の教室からの発生源の影響を最も受けやすいと考えられた第5点とした。図10から、45dB(A)を越える時間率がB小学校で60%、C小学校で74%であることが分かる。また、図11をみると、第5点における L_5 値は、B・C小学校共に56dB(A)を示しており、教室内が静かになる時間が少ないことが分かる。

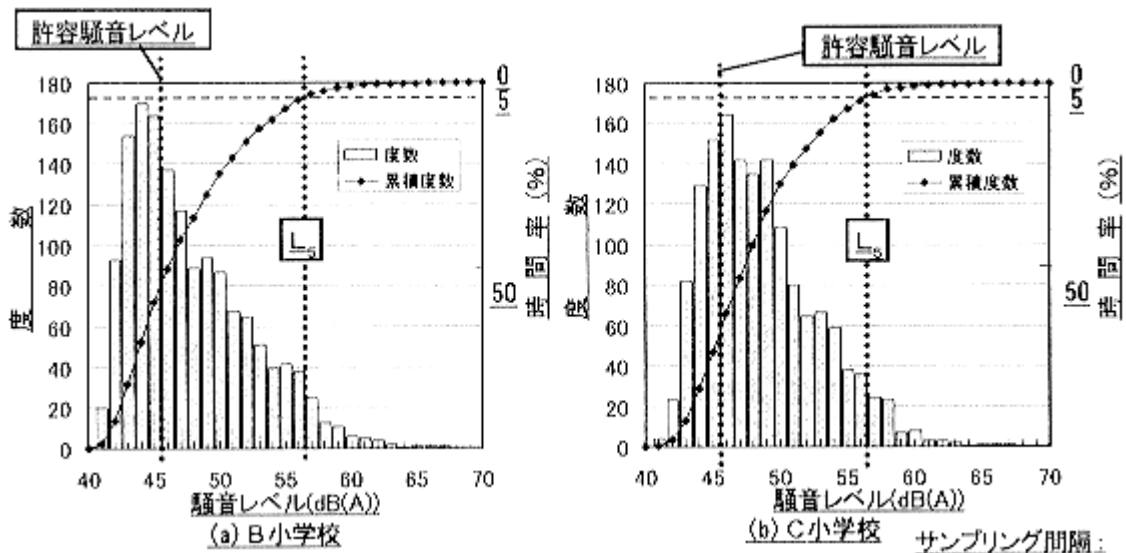


図11 授業発生源の累積度数曲線

3. 模型実験による教室間遮音の検討

3.1 実験概要

オープン型教室の教室間遮音改善の可能性を探る目的で、教室配置の違いや室内吸音処理等の要因に着目し、一般的な教室サイズの1/10縮尺模型により遮音実験を行った。実験その1では、5種類の教室配置に着目した遮音比較を行った。その2では、並列配置について、吸音の程度を変化させて遮音性能の比較を行った。その3では、完全スライド配置タイプの教室について、その2と同様な実験を実施した。模型の基本材料としては、外壁・内壁・上階床に「硬質塩化ビニル板 t10mm」、床に「合板 t12mm ウレタン塗装」を用いた。

3.2 実験方法

音源には2種のツイータで構成した2ウェイスピーカを用い、これを各音源教室の中央に、床面から約100mm離して下向きに設置し、ホワイトノイズを放射し、各受音点で1/3オクターブバンドの実時間分析を行った。測定位置は200mmピッチの格子点上で、床上約120mmとした。なお、測定系のリニアリティは約40dBであり、模型内は通常空気の条件で実験した。

3.3 実験その1；教室配置による比較

図12に教室配置の種類を、図13に各残響時間を示した。図14は教室間平均音圧レベル差であるが、スライド配置が最も有利で直列配置が最も不利な結果が得られた。また、L字配置は受音



表4 模型天井材料の吸音率

中心周波数(Hz)	125	250	500	1k	2k	4k
残響室法吸音率	0.23	0.24	0.37	0.47	0.63	0.72

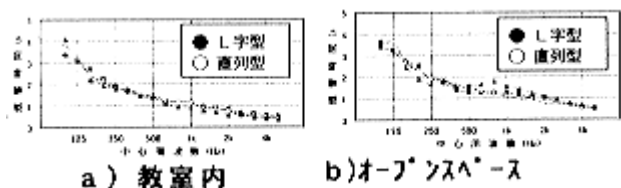


図13 模型教室の残響時間(実物換算)

室開口に反射壁が近接しているため、並列配置より性能が下回っている。なお、スライド配置でも、教室発生音⁶⁾などからみると、当然不十分な性能である。図15に音源・受音対象教室とオープンスペースとの各境界線上の中央点を特定場所とした教室間音圧レベル差を示したが、各パターン共、図14の平均室間音圧レベル差と比べて性能はさらに低下している。

図16と図17には、実物換算500Hzと2kHzにおける教室空間全体についての音圧レベル減衰性状をコンターマップで示した。500Hzの結果を見ると、スライド配置が最も減衰量が大きく、直列配置が最も小さくなっている。また、2kHzも、配置による減衰の傾向は500Hzと同様の結果を示しているが減衰量は500Hzと比べて大きくなっている。これは天井の吸音力が比較的大きいことや回折減衰効果の増加によるためと考えられる。

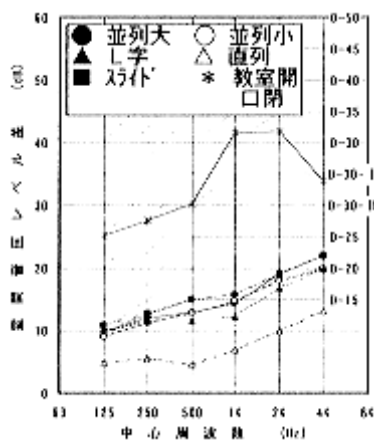


図14 教室間平均音圧レベル差

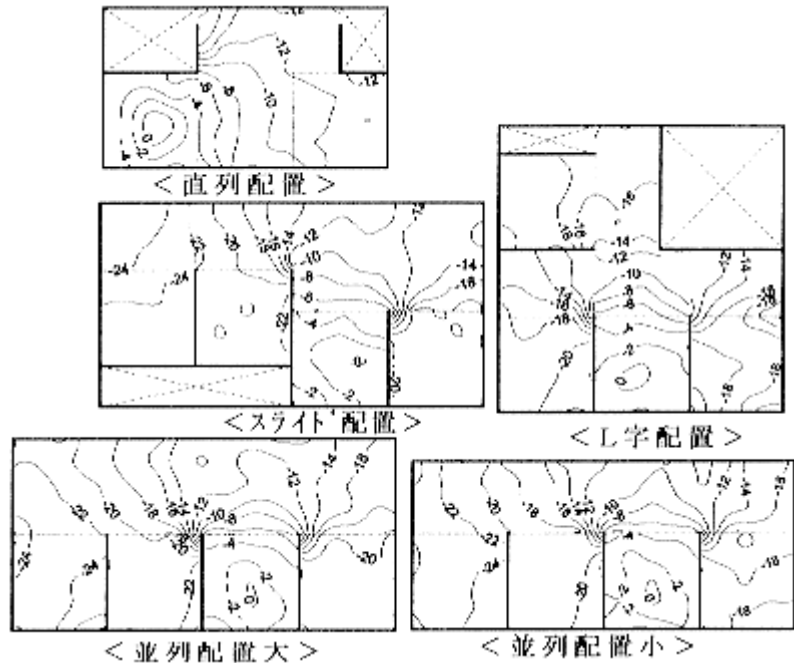


図16 音圧レベル減衰性状コンター(500Hz)

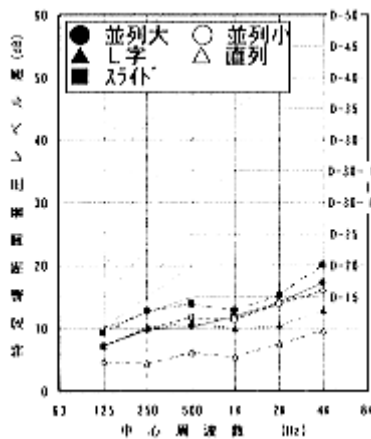


図15 特定場所間音圧レベル差

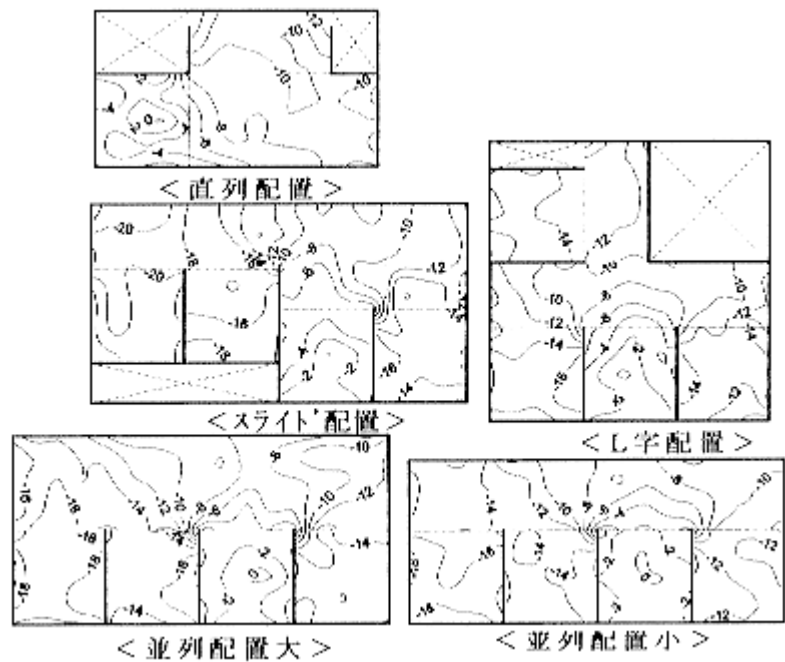
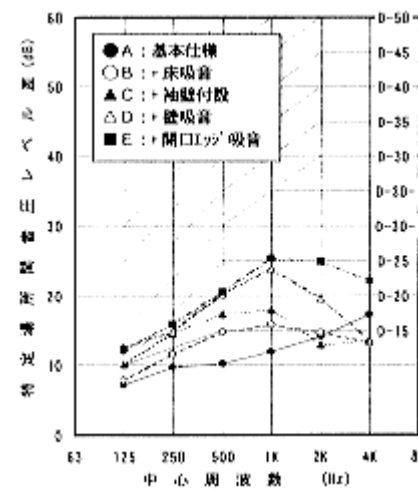
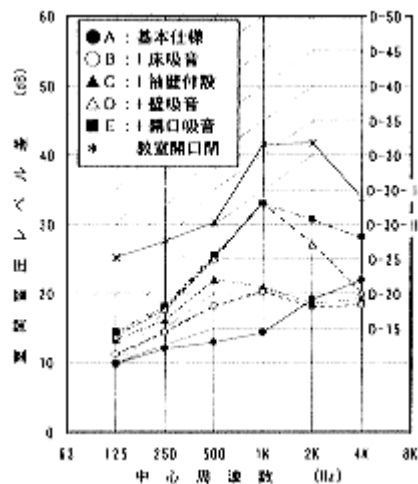
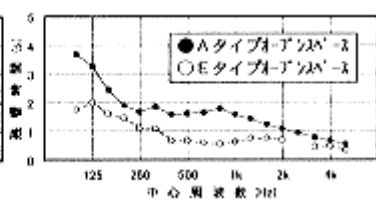
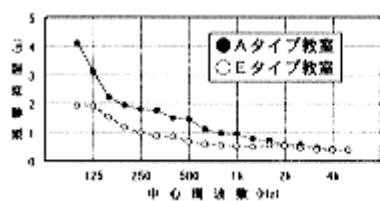
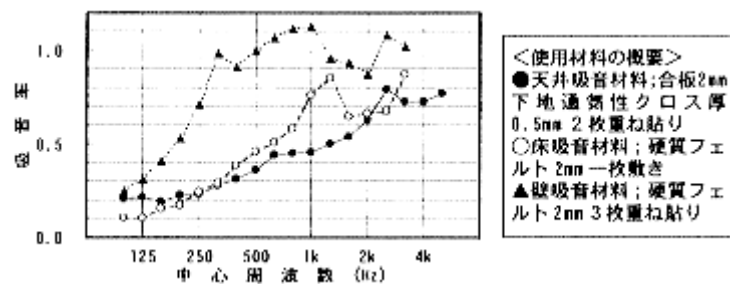
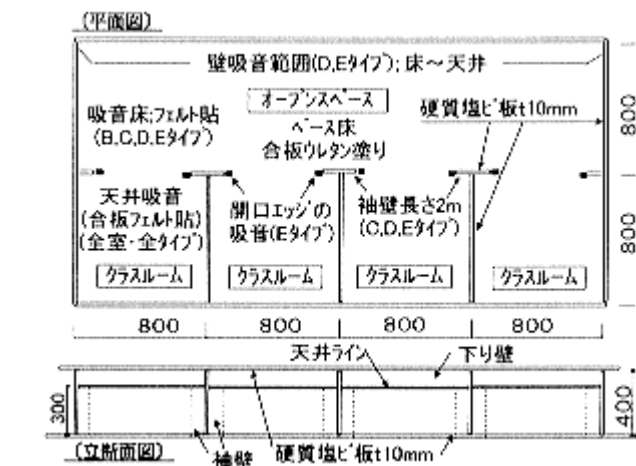


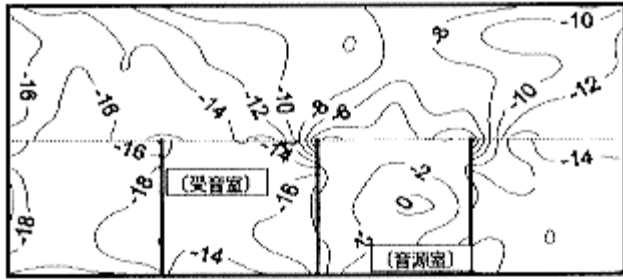
図17 音圧レベル減衰性状コンター(2kHz)

3.4. ● ④ ⑤ ±, », ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

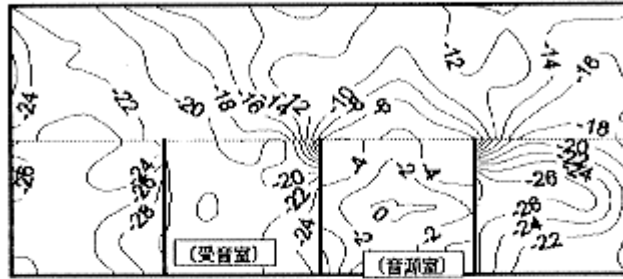
本実験では図18に示すような並列配置教室を対象に遮音の比較検討を行った。模型教室の仕様はこの吸音天井付き仕様を基本に（以後Aタイプ）、Aタイプで床全面を吸音した仕様（以後Bタイプ）、Bタイプの教室間に袖壁を付けた仕様（以後Cタイプ）、Cタイプでオープンスペースの長辺壁全面を吸音した仕様（以後Dタイプ）並びに、Dタイプの各教室の開口周囲（3辺）に吸音エッジを付けた仕様（以後Eタイプ）の5種類である。なお、実験で、収納ロッカー等は配置せず、机・椅子類もない空室状態で実験した。模型材料の吸音率を図19に、AとEタイプの教室およびそのオープンスペースの残響時間を図20、図21にそれぞれ示した。

図22に5タイプ教室の室間平均音圧レベル差を示したが、いずれも「建物の遮音性能基準と設計指針」で推奨される教室間の遮音性能D-30を下回っている。このうち、DとEタイプではD-25等級程度が得られているが、その他の条件ではD-20以下であり、オープンスペース空間の吸音の寄与が比較的大きいことが分かる。詳細にみると、基本状態から床を吸音した場合（A-B）では、500Hzで5dB程度向上している。オープンスペースの壁を吸音した場合（C-D）では、特に1kHzで12dBの減衰効果が表れている。吸音エッジをつけた場合（D-E）では、高音域で5dB程度の減衰効果となっている。図23には、教室とオープンスペースとの境界線上における中央点を特定場所とした、隣接教室間の音圧レベル差を示した。

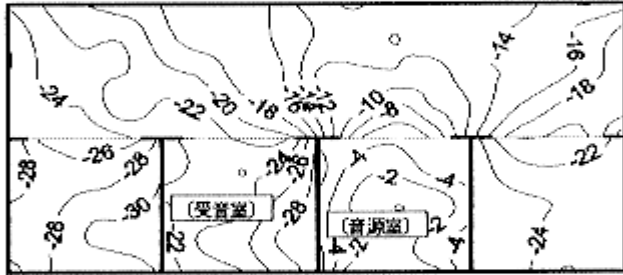




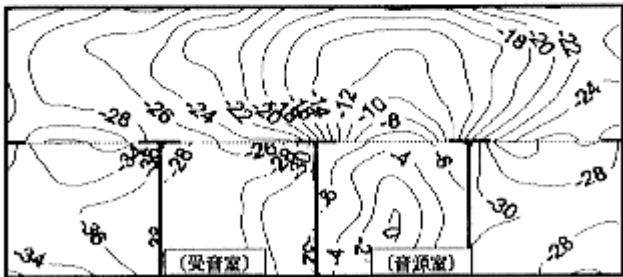
<Aタイプ;基本仕様(天井吸音)>



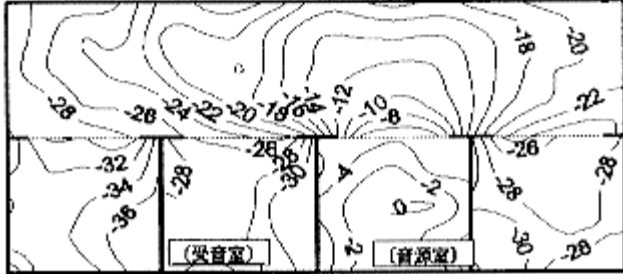
<Bタイプ;天井・床吸音>



<Cタイプ;天井・床吸音、袖壁付設>



<Dタイプ;天井・床・壁吸音、袖壁付設>



<Eタイプ;天井・床・壁吸音、袖壁付設、開口エッジ吸音>

図24 各タイプ教室の音圧レベル減衰性状

図24に5タイプ教室の500Hzの音圧レベル減衰性状をコンタマップで示した。A Bでは、オープンスペースの減衰が大きくなっており、中音域では床吸音の効果が表れている。B Cでは、音源教室からオープンスペースに出た間近での減衰量が大きくなっていて、袖壁の効果が認められた。C Dでは、オープンスペースの減衰が大きく表われており、オープンスペース壁を吸音したことにより、壁からの反射音の低減効果が得られている。なお、D Eでの吸音エッジの効果は、500Hzのコンタマップでは明瞭には表れていない。

3.5 実験その3;完全スライド型教室の適音検討

ここでは模型教室の配置として、完全なスライド型を基本に、教室空間の吸音の程度による遮音性能の比較検討を行った。この完全スライド型の模型教室の概要を図25に示したが、吸音条件などは“実験その2”と同様、同図中に示す5条件である。実験は前項までの模型実験と同様である。

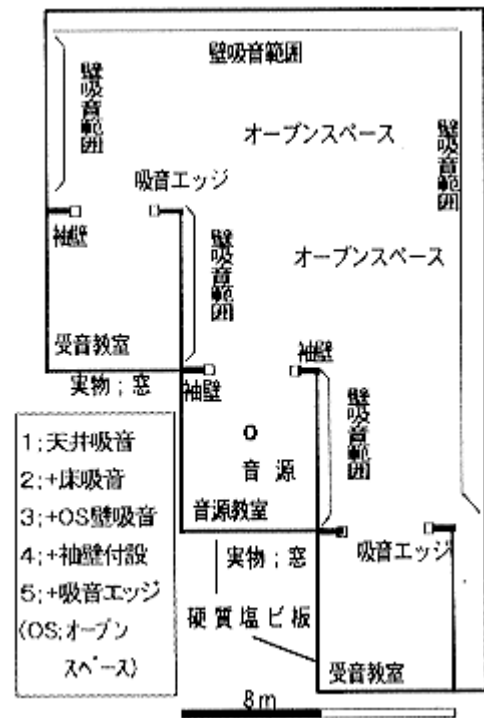


図25 完全スライド型模型オープン教室の概要

図26に教室開口部を完全に閉じた条件、およびオープン状態で天井のみを吸音した条件の隣接室間平均音圧レベル差を、本スライド型配置と“実験その2”の並列型配置とで比較して示したが、回折効果が大きく見込まれる分、本スライド型配置の方が大きい値となっている。また、図27は、本スライド型について、室内吸音条件等を

変えた場合の室間平均音圧レベル差の比較であるが、吸音等の条件によってはD - 30 ~ 35の性能が得られている。

図28には、今回のスライド型教室で、天井のみの吸音と最も吸音を施した条件とを、500Hz帯域の音圧レベル減衰性状で比較したものである。これを見ると、特にスライド型では、空間全体の吸音力が隣接教室間の遮音性能に寄与していることが窺える。

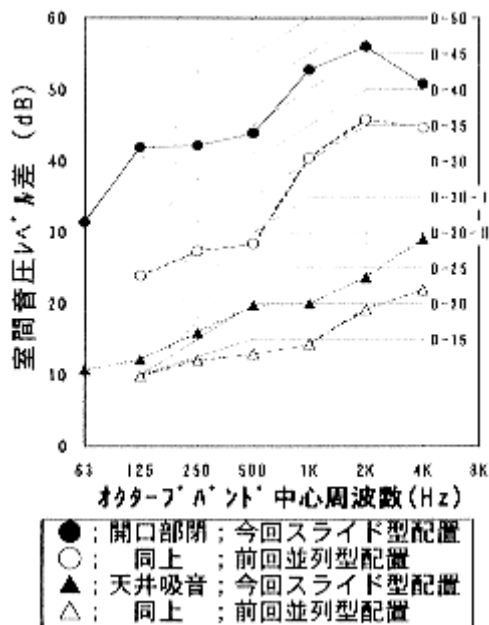


図26 スライド教室間の音圧レベル差 - 1

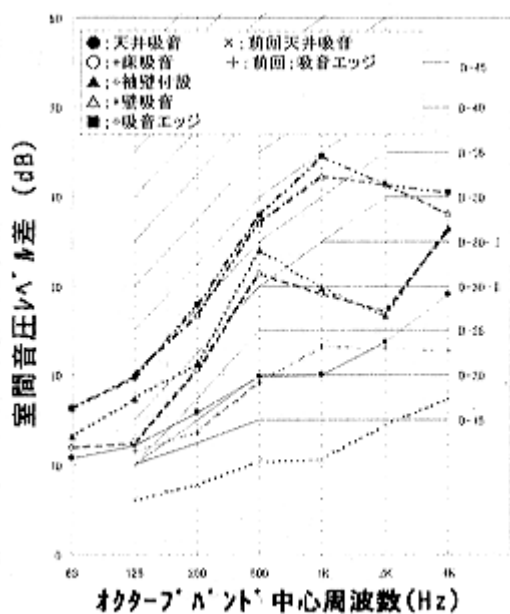


図27 スライド教室間の音圧レベル差 - 2

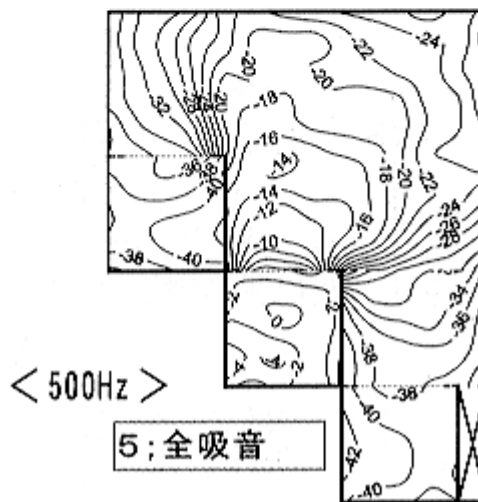


図28 スライド教室の音圧レベル減衰性状の一例

4.まとめ

オープン型教室を主対象とした音環境の実態調査、および、模型実験による教室間遮音の検討などから、以下のような知見が得られた。

- 1) 今回対象とした教室の残響時間は、在来の片廊下型と大幅に変わることなく、概ね0.5～1.0秒の間を示した。なお、オープン型では、オープンスペースを含む空間全体で残響時間が支配される傾向がある。
- 2) 騒音を制御した状態における教室空席時のSTI測定値は0.65前後を示した。
- 3) オープン型教室の教室間遮音性能は、全体的に見て、D - 15前後の値であり、通常の片廊下型の性能D - 35程度に比べてかなり低い結果を示した。
- 4) オープン型教室の音圧レベル減衰性状からみると、遮音に関わる要因として、教室やオープンスペースの吸音が比較的大きく、教室の配置、袖壁などもある程度は寄与している。
- 5) 授業中における隣接教室などからの発生音はLeqAで50dB以上となることもあり、授業への妨げなどが危惧される。

6) オープン型の教室では、特定の時間・場所教室での静けさを求めることが比較的難しい状況にあり、児童の生活空間という面からも評価していく必要が考えられる。

7) 教室間遮音の模型実験から、オープン型でD - 30程度を確保するには、吸音力の大幅な増大、教室の思い切った配置などが求められ、建築計画の自由度がかなり狭まる。

今後、学校に関わるニーズがますます変化していくことを予想すれば、音環境面からも継続的、かつ、組織的な調査・研究が望まれる。

< 参考文献（全般） >

- 1) 武田他 「オープン型小学校における音環境の実態」
日本建築学会大会梗概集 2000年9月40036
- 2) 福山他 「小学校オープン型教室の室内音響特性」
日本建築学会大会梗概集 2000年9月40037
- 3) 土屋他 「小学校オープン型教室の音圧レベル減衰性状」
日本建築学会大会梗概集 2000年9月40038
- 4) 土屋他 「オープン型教室の音圧レベル減衰性状と授業発生音」
日本音響学会講演論文集 2000年9月1-3 - 5
- 5) 武田他 「オープン型小学校を対象とした音環境の実態と評価」
日本建築学会大会梗概集 2001年9月40039
- 6) 福山他 「模型実験によるオープン型教室の音圧レベル減衰性状の検討 - 1」
日本建築学会大会講演論文集 2001年9月40037
- 7) 土屋他 模型実験によるオープン型教室の音圧レベル減衰性状の検討 - 2
日本建築学会大会講演論文集 2001年9月40038
- 8) 福山他 「模型実験によるオープン型教室の遮音向上に関する検討」
日本音響学会講演論文集 2001年秋季1-4 - 4