

### 3-P-27 南越前町立今庄小学校改築における音環境の検討例\*

佐原 伸一,岸永 伸二(ヤマハ ST 開発センター),榎戸 正浩,澤田 耕治(石本建築事務所)

#### 1 はじめに

ここ数年、学校施設を対象とした音環境の調査や設計指針の検討が注目されている<sup>[1]</sup>。

今回、旧今庄町の中心部にある校舎の老朽化及び耐震性能や屋外教育環境改善などから移転改築が必要となり、公募型の設計プロポーザルが実施された。建設へのプロセスや音環境への配慮が評価され、本報告の石本案が採用された<sup>[2]</sup>。ここでは、施工段階において音響設計の立場から設計仕様の検証や具体的な提案が求められたことを受けて、音環境に着目した設計の実施例として報告する。なお、新校舎は2007年8月末に竣工し、9月に開校した。

#### 2 施設概要

校舎棟は、吹抜けの今庄ホールを中心として1階はセキュリティを考慮した管理ゾーンと図書コーナーや共有施設の特別教室ゾーンが、2階部分にはワークスペース(W.S)を有した低・中・高学年のオープンプラン教室(2クラス1ユニット)が配置されている。

更に、八角形の音楽堂や切妻の屋内運動場とそら豆の平面形を持つランチルーム棟などは、校舎棟から離れた位置に配置され、教室などとの遮音が確保されている。改築工事概要を表1に全体配置を図1に示す。

表1 今庄小学校改築工事概要

施主：福井県南越前町
所在地：福井県南条郡南越前町今庄 28-10-1
設計：(株)石本建築事務所名古屋支所 設計協力：松宮設計事務所・宮田建築設計室
監理：南越前町・ (株)石本建築事務所名古屋支所
工事期間：平成17年8月～平成19年12月
施工：校舎棟/五洋建設(株)・木原建設(株)・大和建设(株)JV、屋内体育館/坂川建設(株)・キョエイビルドJV、他
音響指導・測定：ヤマハ(株)ST開発センター

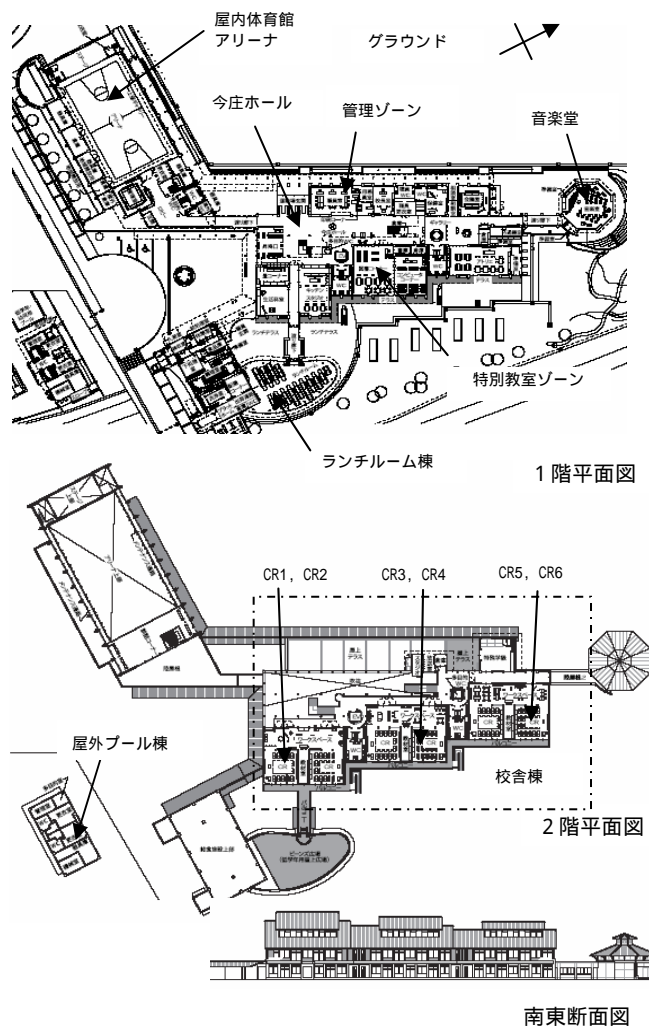


図1 今庄小学校の全体配置図

#### 3 設計コンセプトと目標性能

設計目標として、教師と児童とのコミュニケーションが支障なく、且つ快適に行える環境を実現するため、教室と屋内運動場は「教師の話し声の明瞭性や児童間のコミュニケーションを阻害しない」こと。また、音楽堂は「楽器などの音が聞き取り易く、演奏し易い空間とする」ことなどが挙げられている。更に、これらを実現するため、室内騒音レベルは教室並びに屋内体育館は45dB(A)、音楽堂は35dB(A)とし、室内の響きに対する評価量は平均吸音率(̄)が用いられ、教室と屋内体育館は0.20程度、音楽堂は0.20~0.25が目標値とされていた。この数値は専門家のアドバイスによるものである。

\* A study of acoustical environment in the reconstruction project of the Minami-echizen elementary school. By Shinichi Sawara, Shinji Kishinaga (YAMAHA Center for Ad. Sound Tec.) and Masahiro Enokido, Koji Sawada (ISHIMOTO ARCHITECTURAL & ENGINEERING FIRM, INC)

#### 4 旧校舎の音環境調査

音響検討あたり、旧校舎の教室、音楽室、体育館における使用状態の調査・測定を行った。この目的は 残響時間(RT60)の結果から平均吸音率(̄)を算出し、目標値の妥当性を検証すること、教室内の明瞭度(D50)と授業中の音量及び 教室間の遮音性能の把握である。

この結果、教室は RT60=0.61 秒、̄=0.22 だが低音域で残響が長い。また、音楽室は RT60=0.60 秒、̄=0.25 で平坦な特性である。屋内体育館は RT60=1.3 秒、̄=0.26 と特性も平坦で響きが抑えられ、各施設とも問題のない音環境といえる。旧小学校の施設諸元を表 2 に、残響時間の測定結果を図 2 に示す。

表 2 旧小学校の施設諸元

施設名	室寸法	主な内装仕様
2 年生教室 Vo=210 m <sup>3</sup> S0=229 m <sup>2</sup>	W:7.0m D:8.5m H:3.5m	床 :珪-リソグ 壁 :石膏ボード & 窓 天井:木毛セメント板
音楽室 Vo=364 m <sup>3</sup> S0=357 m <sup>2</sup>	W:10.0m D:10.5m H:3.5m	床 :NPカーペット 壁 :PB & 窓 天井:木毛セメント板
体育館 Vo=4920 m <sup>3</sup> S0=1961 m <sup>2</sup> (舞台除)	W:18.0m D:24.5m H:8.0m	床 :珪-リソグ 壁 :PB & 窓 天井:吸音材+ 木毛セメント板

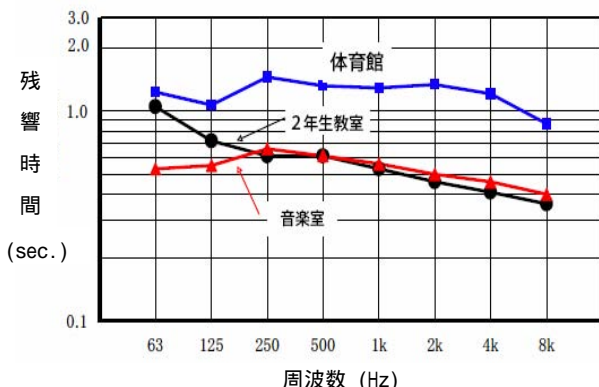


図 2 旧小学校の残響特性

の D50 は教壇中央の音源に対する空間 5 点の平均値で 74%(500Hz, 1/1oct)が得られているが、生徒位置毎では教壇近傍の D50 は 79%、中央壁側では 67%と受聴位置による偏差が大きい。の音量については教室の前方と後方に騒音計を設置し、授業中の音量を測定すると図 3 に示すように後方では前方に比べ広帯域で 3dB 前後の音圧低減が認められた。

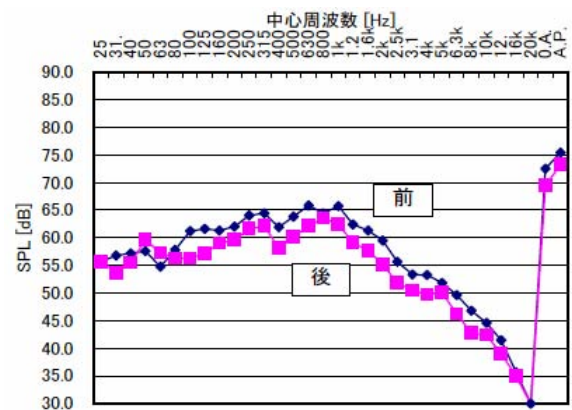


図 3 教室前後の音圧レベル差(パワー平均)

の教室間の遮音性能は、建具や廊下側窓の隙間による影響が大きく D-30 程度である。

室内騒音レベルは冬場の電気ストーブ(弱~強運転時)によるもので 45~50dB(A)であった。

#### 5 音環境設計の概要

##### 5-1 音響上の課題

より良い音環境の実現に向けて、設計仕様や調査結果から教室における課題や設計のポイントを以下にまとめる。

騒音制御の点からは、

- 1) オープンプラン教室による遮音性能の向上
- 2) 直下階に対する床衝撃音の対策
- 3) 空調機器や換気扇などの設備騒音対策
- 4) 各種什器による騒音対策(椅子や机の音)

室内音響の点からは、

- a) 残響時間などの予測と特性の最適化
- b) 教室内の音量確保と偏差の最小化
- c) 明瞭度向上と偏差の最小化

以上の音響課題に対する建築設計との融合性を配慮した対応が重要となる。

また、屋内体育館は講堂機能を考慮して明瞭度の確保から天井全面が吸音材で構成されていた。しかし、音量や初期反射音不足から授業時の疲労感の解消や旧体育館の音響性能から大きく掛け離れないことが望まれた。

拡声設備はデジタルミキサーやラインアレイスピーカが採用され、これらの使い易さや機種選定とスピーカ設置などの検討も必要であった。一方、音楽堂は室形状に起因した音響障害の回避や天井目透し板による低音域の吸音過多と中高音域での吸音不足の解消や換気扇及び空調騒音の低減などがある。更に、音楽再生機器の音質確保の為の機種選定や最適音響調整など多様な内容へ対応する必要もある。

## 5-2 音響改善への対応

教室(2室)は、図4に示すようにW.S側に天井が高く傾斜しこの空間を共有して構成されている。教室間は中央2ヶ所の壁面で仕切られ、1ヶ所は天井梁まであるが、もう一方は床から3m高で仕切られた構造となっている。

1) 2室間の遮音確保のため教室後方に壁(FL+3m, L=2.7m)を図5に示すように設置した。この効果を波動解析で検討すると5dB(250Hz)前後の遮音改善が確認された。

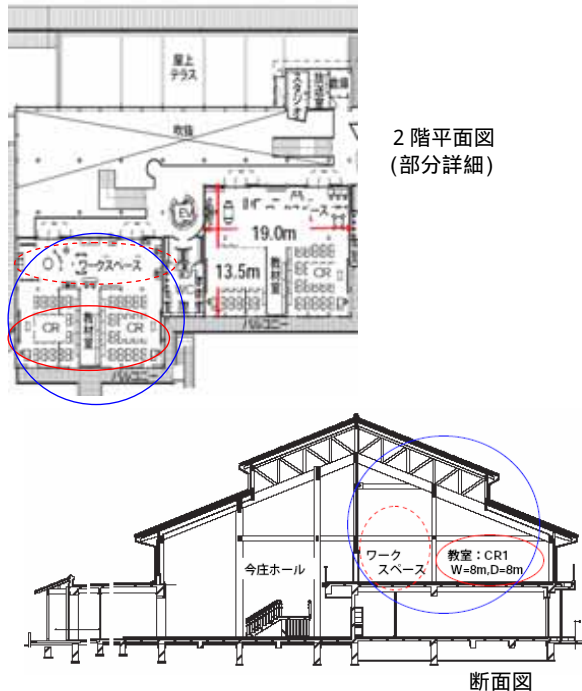


図4 教室の断面図(CR1&CR2)

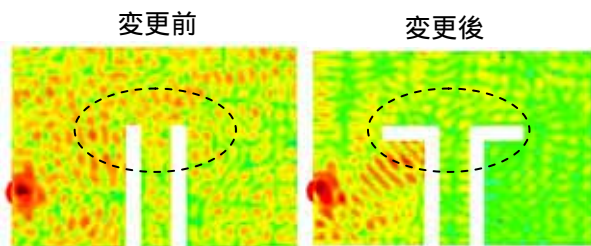


図-5 遮音性能の検討(250Hz/平面)

2) 床衝撃音は、床下地の束柱部分を防振ゴムへ変更して低減した。3) 今庄ホールに空調機が露出して設置されており、この遮音区画やダクトへの消音器追加などの対応を行った。

a) 残響特性は、設計仕様に基づく $\bar{\alpha}$ を算出した結果、教室では低音域の吸音力不足が予想された。このため天井の岩綿吸音板の下地材面積の低減により周波数特性の平坦化を図ると共に $\bar{\alpha}$ を0.22, RT60=0.9秒に設定した。

屋内体育館では、 $\bar{\alpha}$ =0.35と吸音過多が予測

され、 $\bar{\alpha}$ =0.25となるように天井低層部の一部を反射材料に変更した。これにより初期反射音の確保と周波数特性の平坦化を意図した。各施設の諸元を表3に示す。

表3 改築後の施設諸元

施設名	室寸法	主な内装仕様
CR 1&CR2 Vo=1654 m <sup>3</sup> S0=1069 m <sup>2</sup> (WS 含)	W&D:8.1m H:3.5~8.5m (HはWS 含)	床 :70-リソグ 壁 :石膏ボード / 吸音パネル・有孔板/窓 天井:岩綿吸音板
音楽室 Vo=770 m <sup>3</sup> S0=576 m <sup>2</sup>	W:12.0m D:12.0m H:5.6~8.5m	床 :70-リソグ 壁 :PB & 窓 天井:木スリット
体育館 Vo=5437 m <sup>3</sup> S0=2624 m <sup>2</sup> (舞台除)	W:19.5m D:32~40m H:6.5~12m	床:70-リソグ 壁:格子吸音材+有孔板 窓(カーテン) 天井:PB+岩綿吸音板 舞台内は、幕設備有

音量と明瞭度に関する b), c) は、旧教室と今回の教室(CR1&CR2(W.S 含))を比較すると室形状や室容積の違いから音量や明瞭度確保の面で不利になる。このため、教壇中央からの肉声が生徒に対し明瞭度良くかつ音量の減少も少なく伝達できるように幾何音響シミュレーションにより検討した。

ここで、旧教室を想定した一般教室(D&W=8m, H=2.8m)と本教室の前方と後方に天井反射板を設置する条件を設定し、室内30点の相対音圧と明瞭度の平均値や標準偏差( $\sigma$ )を求めた(図7参照)。一般教室の初期音圧(E50)の平均が81.4dB( $\sigma$ =0.7)、明瞭度(D50)が70.2%( $\sigma$ =4.0)に対し、本教室の天井反射板無しのE50は78.7dB( $\sigma$ =1.15)、D50は68%( $\sigma$ =1.49)と音圧及び明瞭度が小さくなっている。

一方、天井反射板を前後2箇所に設置すると、E50は79.9dB( $\sigma$ =0.61)、D50は68%( $\sigma$ =0.70)と反射板無しに対して、E50は約1dBの増加認められる。また、E50とD50の標準偏差がより小さくなる事が確認できた。

## 5-3 音響特性

空調騒音レベル：教室は換気扇併用の状態で45dB(A)と目標値を満足している。音楽室は弱運転で40dB(A)、換気扇併用で45dB(A)となるため運用上の配慮が望ましい。

遮音性能：ユニット内の教室間でD-15と他事例のオープン教室<sup>[3]</sup>と同程度となっている。

また、ユニット間の教室と1階特別教室ゾーンに対する遮音性能はD-55、床衝撃音はLH-55が確保されている。

室内音響特性：各教室の $\bar{\tau}$ は、備品設置前で0.23、設置後は0.28と変化幅が大きい。なお、いずれも平坦な特性が確保されている。

音楽室の $\bar{\tau}$ は0.20と旧校舎よりライブで高音域の響きが長く低音域では短い。合唱や器楽演奏を考慮すると豊かな響きの音場といえる。屋内体育館の $\bar{\tau}$ は舞台幕設置前で0.20、幕及び備品設置後は0.25と所期目標を達成できた。

各施設における備品等の設置後における残響時間測定結果を図6に示す。

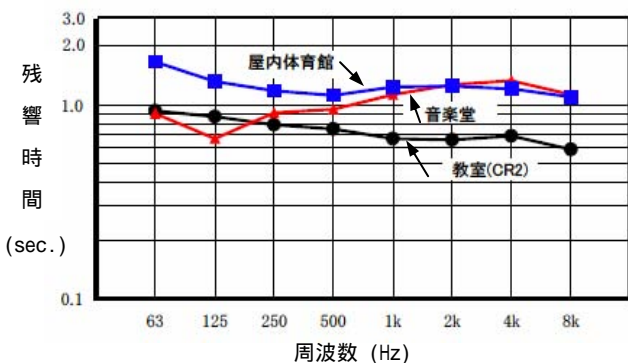


図 6 改築後の残響時間測定結果

次に、教室に設置した天井反射板の効果を検証するため、教壇に無指向性音源(H=1.45m)を設置し、備品が無い状態で受音点20点(H=0.9m)の測定を行った。図7に測定位置などを示す。

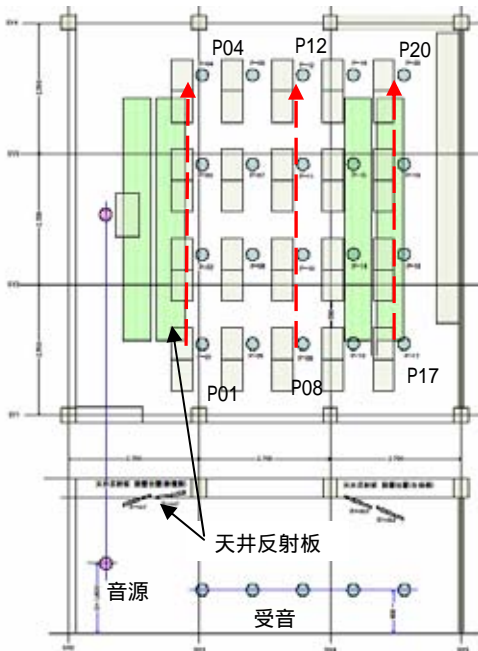


図 7 天井反射板位置と測定点

図8に示す結果からは、初期音圧(E50)の差は中央列から後方への生徒席で大きく、後方列では約1.0dBの音圧上昇が認められた。また、明瞭度(D50)は2~5%の改善が得られており、この平均値は室容積が小さい旧教室と同程度の75%となり、音場の均一性も図られている。

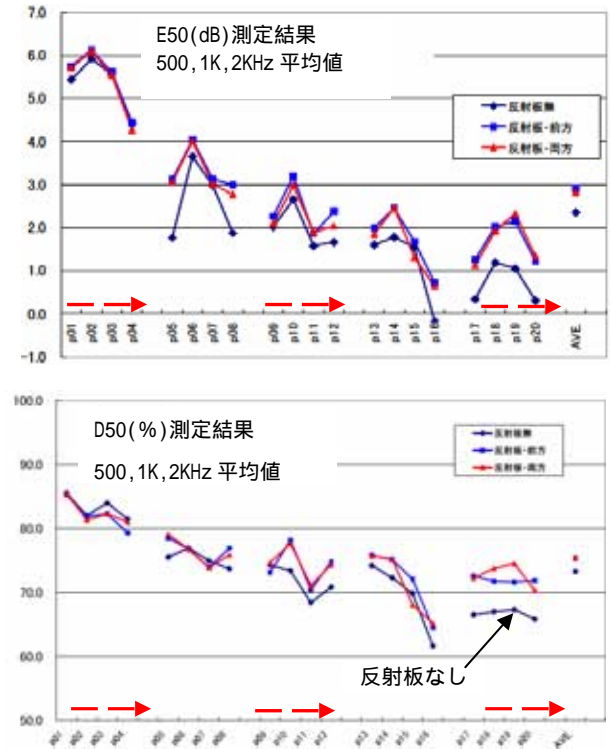


図 8 反射板有無の効果(E50&D50)

## 6 おわりに

学校施設の音環境保全規準(案)での推奨値や旧小学校の調査結果を参考として、授業における相互コミュニケーション確保を図る音響検討を実施した。ここでは、音量と明瞭度の確保と同時に音場の均一性や周波数特性の平坦化などに着目した。今後、使用者側の評価が定まることを期待して建築設計者等に向けた設計指針が十分かどうかを検証していく参考事例となれば幸いである。

最後に南越前町を始めとし関係各位にご協力を頂き深謝いたします。

## 参考文献

- [1] 学校施設の音環境保全規準，建築学会音環境運営委員会研究会資料，2004年12月。
- [2] 高橋，澤田他，“学び心を育み木造校舎，南越前町今庄小学校”School Amenity,21-28 2007年12月。
- [3] 中島，上野他，音講論，749-745，2006年9月。