



教室の熱環境改善に関する研究 : 耐震改修によるダブルスキン構造の活用

松本, 卓也
森山, 正和
竹林, 英樹
石動, 嘉信

(Citation)

神戸大学都市安全研究センター研究報告, 9:301-307

(Issue Date)

2005-03

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.24546/00422544>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/00422544>



教室の熱環境改善に関する研究 —耐震改修によるダブルスキン構造の活用—

A Study of Indoor Environmental Improvement

—With Double Skin Space Formed from Seismic Retrofit—

松本 卓也¹⁾

Takuya Matsumoto

森山 正和²⁾

Masakazu Moriyama

竹林 英樹³⁾

Hideki Takebayashi

石動 嘉信⁴⁾

Yoshinobu Isurugi

概要：本論文は、建物の耐震改修の一つである建物の外側に鉄骨フレームを組む補強に着目し、それによって出来る空間をダブルスキンとして活用することにより、教室内の熱環境改善を図るものである。一般的に不十分な断熱、庇長さの不足などの理由から教室内熱環境は悪いと言われている。本研究では、実態把握のために一般的な小学校を対象として実測を行い、ダブルスキンを導入した場合の熱環境改善効果について、教室内の室温に注目して考察を行った。またダブルスキン導入と併せて、他の外皮改修（庇など）を導入した場合の室温を計算し、比較考察を行った。

キーワード：耐震改修, ダブルスキン, 教室, 熱環境

1. 研究目的

学校建物の耐震改修としてよく用いられる手法として、建物外側に鉄骨のフレームを組んで補強するものがある。本研究では、図1のように耐震補強鉄骨フレームを組むことによって出来る空間を利用し、ダブルスキン空間を作り、耐震改修のみでなく学校教室内の熱環境も同時に改善する外皮の提案を目的とする。

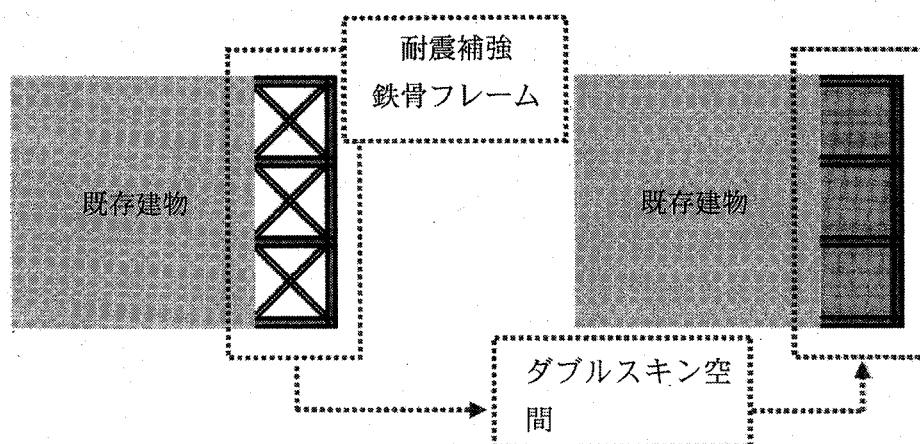


図1 耐震改修鉄骨フレームによるダブルスキン空間

2. 学校における熱環境の実測

(1) 実測概要

小学校の教室における熱環境の実態を把握するため、尼崎市立成徳小学校を対象として、土日を挟んだ9月8日～14日に実測を行った。校舎はRC造3階建てで、1棟は一文字型に配置され、規模は比較的小さい。校舎のタイプは北側に廊下のある片廊下型である。教室は9m×7m（縦×横）の標準的な大きさで、北側に幅3mの廊下を持つ。

(2) 実測項目および実測方法

- 1) 表面温度 (C1～C11)
- 2) 温湿度、グローブ温度 (TH1, TH2, G1, G2)
- 3) 屋内風速・風向 (SF, SR)
- 4) 外部風速 (屋上)
- 5) 熱画像 (黒板付近から3方向)
- 6) 温熱感のアンケート調査

温湿度、グローブ温度の測定は、窓際と廊下側の2点で行い、測定高さは小学生の座高より0.6mに設定した。室内風速・風向のSFは固定測定で、全期間南側（グラウンド側）の窓近傍で測定し、SRは9月9、10、13日には室内の風向分布を調べるための移動測定用として用い、それ以外の期間は北側（廊下側）の窓近傍に固定して測定した。熱画像は9月8、10日の10時～16時に1時間ごとに撮影した。温熱感に関するアンケート調査は、9月8、9日の毎授業の終了時に6年1、2組において、座席と授業中暑かったかという主旨のアンケートを行った。

(3) 気象状況

表1に実測期間の天気概況、図3に神戸大学自然科学研究棟3号館における気温、相対湿度の測定結果、図4に神戸大学自然科学研究棟3号館における短波、長波長放射の測定結果を示す。

(4) 実測結果

(イ) 室温、グローブ温度の測定結果

図5に室温、グローブ温度の測定結果を示す。日中は十分な長さの庇が無いいため、直達日射を遮蔽できず、かなり高温になっている。これはグローブ温度においても同様で、北側のグローブ温度は室温とほぼ変わらないが、南側のグローブ温度は40℃近くまで達している。また夜間における室温の低下が小さく、昼間の建物躯体への蓄熱が抜けにくい事が主な原因であると考えられる。

(ロ) 表面温度の測定結果

図6に壁面と床面の表面温度の測定結果を示す。日中は日射の有無で約2℃の温度差があり、日射が無くても最大で33℃程度まで上昇している。夜間にも、温度が下がらず蓄熱の影響で30℃近くに保たれている。

(ハ) 温熱感のアンケート結果

表2に6-2の2時間目終了時におけるアンケート結果を示す。ここで○は快適、△はやや暑かった、×は非常に暑かった、を示す。室温は同程度であるにも関わらず8日の方が9日より○の占める比率が高い。風速の差の現れであると考えられる。また、9日ではむしろ窓側の方が快適と感じる率が高かった。

(二) SET*による教室内温熱快適性の評価

図7にSET*の計算結果を示す。人体側の要素である着衣量と代謝量は実測期間の小学生の服装、椅座位(0.5clo, 1met)で、空気温度、湿度、気流速度、MRTは実測値を用いている。表3に示したSET*と温冷感の関係と比較してみると、小学生の滞在時間帯の大部分が不快、やや不快という結果で、最も室温が下がる朝方でも、やや暖かく不快である日もあった。

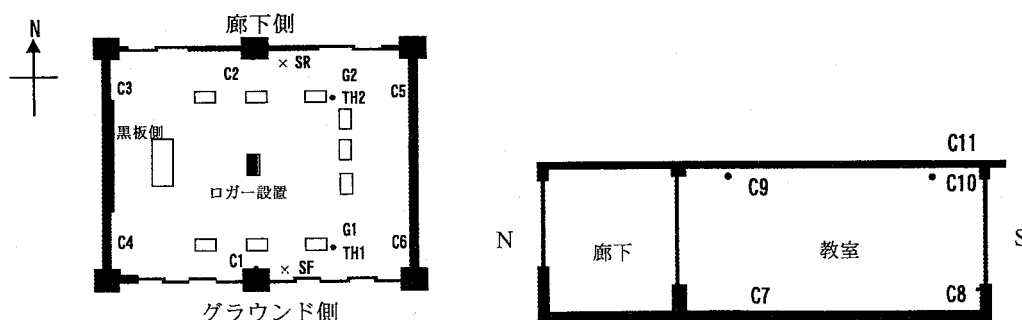


図2 測定点の模式図

表 1 実測期間の天気概況

	昼間 (6 時～18 時)	夜間 (18 時～6 時)
9 月 8 日	晴れ	快晴
9 月 9 日	曇時々晴れ	曇
9 月 10 日	曇時々雨	曇一時雨
9 月 11 日	晴れ後時々曇	晴れ
9 月 12 日	曇時々晴れ	晴れ
9 月 13 日	晴れ	曇

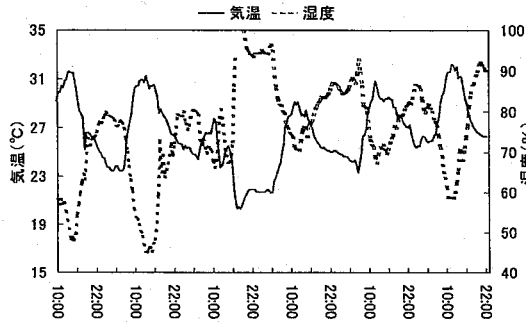


図 3 神戸大学における気温、湿度 (2004/9/8-13)

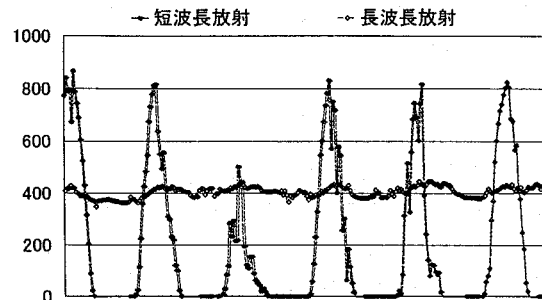


図 4 神戸大学における放射量 (W/m^2) (2004/9/8-13)

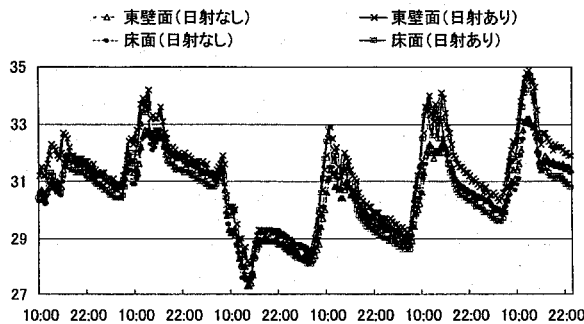


図 5 室温、グローブ温度の測定結果 ($^{\circ}C$) (9/8-13)

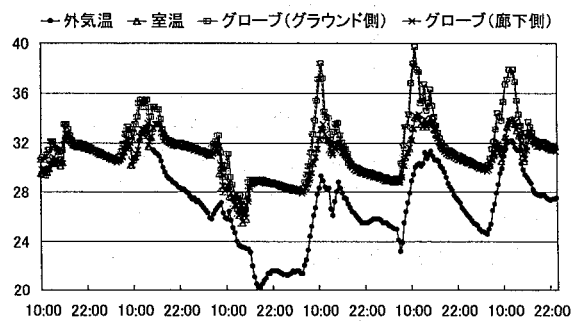


図 6 壁面と床の表面温度の測定結果 ($^{\circ}C$) (9/8-13)

表 2 6 年 2 組の 2 時間目終了時におけるアンケート結果 (人)

	8 日		9 日	
評価	窓	廊下	窓	廊下
○	5	5	3	0
△	5	6	4	8
×	0	0	3	3
計	10	11	10	11
室温, 風速	29.5 $^{\circ}C$, 0.74m/s		30.6 $^{\circ}C$, 0.10m/s	

○: 快適 △: やや暑い ×: 非常に暑い

表 3 SET* ($^{\circ}C$) と温冷感の関係

SET*	温冷感
37.5～	非常に暑い, 非常に不快
34.5～37.5	暑い, 許容できない
30.0～34.5	暖かい, 不快
25.6～30.0	やや暖かい, やや不快
22.2～25.6	快適, 許容できる

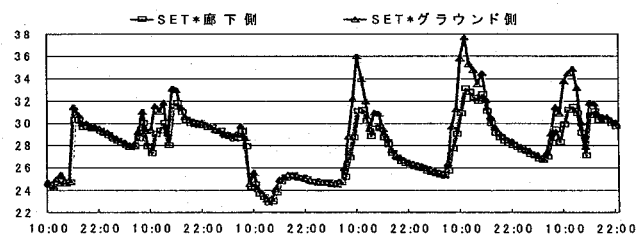


図 7 SET* ($^{\circ}C$) の計算結果 (2004/9/8-13)

3. シミュレーションによる考察

(1) 計算方法

1章で想定した外皮を導入した場合の自然室温を計算するため、熱・換気回路網計算プログラム NETS を使用した。熱・換気回路網の計算方法¹⁾を図8に示す。式(1)のベクトル・マトリックスの常微分方程式を後退差分法で解くことにより節点温度(式(1)中の x)が計算される。各節点間は熱伝導、対流、放射などの熱移動形態を合成した一般化熱コンダクタンスにより繋がっているとされ、換気量も導出後この一般化熱コンダクタンスに変換され組み込まれる。 $C_0 \cdot x_0$ は外気温等の既知の成分、 $R \cdot g$ は発熱源の成分をそれぞれ表す。

教室の壁体仕様を表4にまとめる。隣室関係は断熱仮定とした。室内側の熱伝達率は $8 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$ 、外気側は $20 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$ とした。日射反射率は屋根面で0.9、壁面で0.7とし(コンクリートの物性値を参照)、長波長放射の影響は、仮想的な天空温度(実測値から逆算したもの)との放射伝達の形で考慮に入れた。解析には計算助走期間を9月8~10日とし、9月11~13日の結果を考察に用いた。

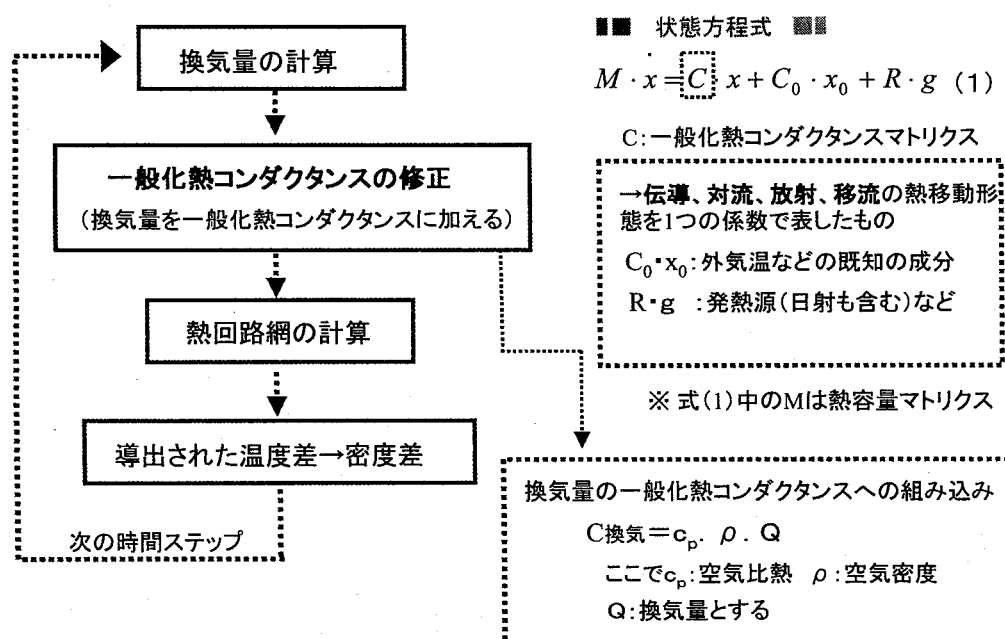


図8 熱・換気回路網の計算フロー

表4 壁体仕様

部位	部位仕様モデル	番号	材料	材厚 (m)
外壁		1	外気側熱伝達抵抗	—
		2	普通コンクリート	0.15
		3	室内側熱伝達抵抗	—
屋根		1	外気側熱伝達抵抗	—
		2	軽量コンクリート	0.08
		3	アスファルト防水層	0.005
		4	普通コンクリート	0.15
		5	非密閉中空層	—
		6	石膏ボード	0.0095
		7	室内側熱伝達抵抗	—
床		1	外気側熱伝達抵抗	—
		2	木材(中量)	0.015
		3	非密閉中空層	—
		4	普通コンクリート	0.15
		5	非密閉中空層	—
		6	石膏ボード	0.0095
		7	室内側熱伝達抵抗	—

(2) 計算結果

(イ) 実測結果と計算結果の比較

図9に室温の実測結果と計算結果の比較を示す。床面の計算点をペリメータゾーンとインテリアゾーンの2点にした場合と、日照面積の単純化のため、床面を1点にした場合の計算結果を示す。室温のピークに多少のずれが見られるが、計算結果は概ね実測結果と同じ挙動をしていると言える。変動する床面の日照面積を一定としている点、計算で使用した躯体の熱容量が実際のものと多少異なる点、実際の教室には机、教卓、棚などの付属物があるが計算ではそれらを単純化している点、などが誤差の原因であると考えられる。

(ロ) 想定する建物外皮のパターン

図10に本研究で想定した環境共生型の改修手法(案)を示す。図の矢印の左側は成徳小学校の現状を示し、右側に改修後を示している。本研究では、夜間換気、高反射塗料、屋根の外断熱、庇の4つの解決法を採用し、屋上表面反射率、断熱材の厚さ、庇長さをパラメータとして計算した(表5参照)。ここで、表中の解決策5以降は組み合わせを示す。(例：解決策7は夜間換気+庇)。

(ハ) 夜間換気(解決策1)の計算結果

図11に夜間換気(解決策1)の計算結果を示す。昼間で2~3℃の室温低下が確認された。夜間に冷却されるため、早朝から午前中は比較的低い気温となる。しかし、昼間の室温のピーク時には0.2℃程度の微小な低下に留まり、夜間に窓を開けることにより壁や床が冷やされることで、昼間のピークの温度を緩和する効果はあまり見られない。

(ニ) 高反射塗料(解決策2)の計算結果

図12に高反射塗料(解決策2)の計算結果を示す。現状の屋上表面仕上げは深緑色の防水シートでアルベドは約0.1である。その屋上表面を白色塗料(アルベド約0.9)、灰色塗料(アルベド約0.36)で仕上げた場合を検討する。白色で約1~2℃、灰色で約0.5℃の室温の低下が見られる。夜間は、日中の蓄熱をある程度防止しているため約2℃程度低下している。

(ホ) 屋根の外断熱(解決策3)の計算結果

図13に屋根の外断熱(解決策3)の計算結果を示す。断熱材の厚さは0(現状)、20、35、50mmに変化させた。昼間においては室温で約1℃、天井表面温で2℃以上の温度低下をもたらしている。夜間の温度低下はあまり見られない。また、断熱材の厚さについては、厚さを大きくしても0.1~0.2℃程度の温度変化しか見られなかった。

(ヘ) 庇(解決策4)の計算結果

図14に庇(解決策4)の計算結果を示す。庇を0.4m、0.8m、1.2m、2.0mと変化させた。現状と比較して室温でそれぞれ最大0.3℃、0.7℃、1.4℃、2℃の低下が見られた。夜間にも多少の温度低下が見られるが、これは昼間の直達日射を遮ったことにより壁や床への蓄熱が小さくなったことが原因であると考えられる。

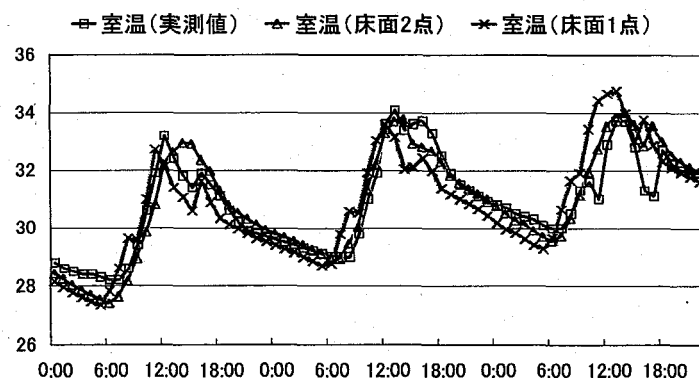


図9 室温(℃)の実測結果と計算結果の比較(2004/9/11-13)

表5 想定する建物外皮による解決策

パターン	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
夜間換気	○				○	○	○			○	○
高反射性塗料		○			○			○		○	
屋根の外断熱			○			○			○		○
庇				○			○	○	○	○	○

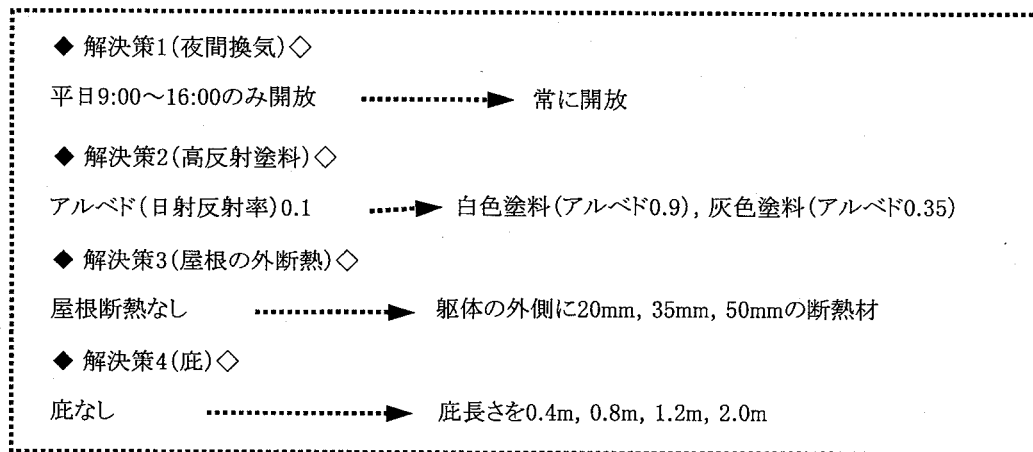


図 10 環境共生型改修手法(案)

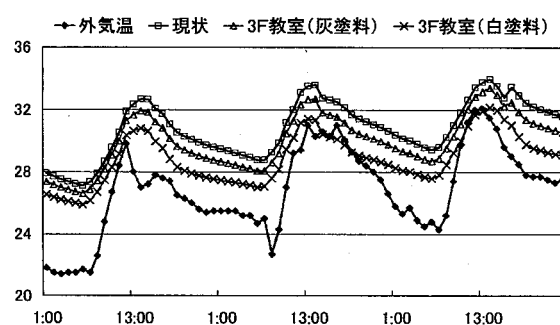
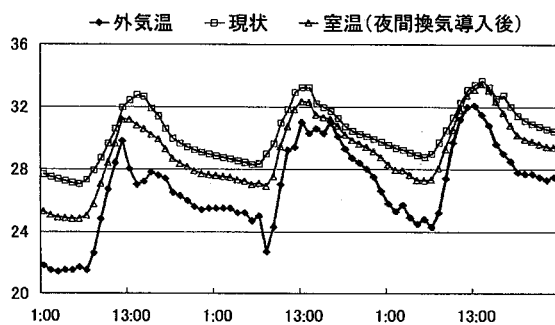


図 11 夜間換気(解決策 1)の計算結果(°C) (9/11-13) 図 12 高反射塗料(解決策 2)の計算結果(°C) (9/11-13)

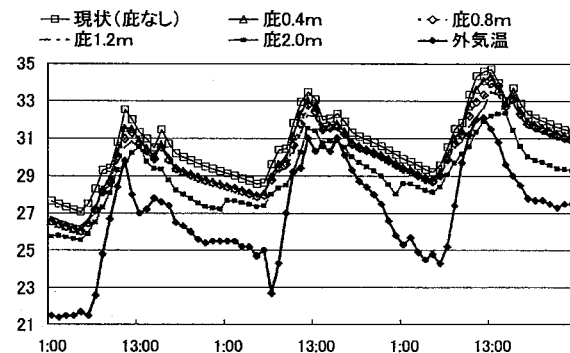
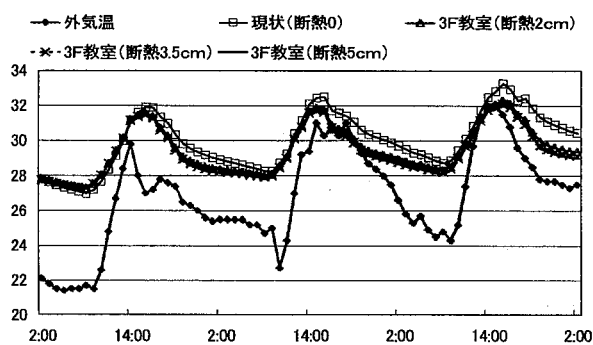


図 13 屋根の外断熱(解決策 3)の計算結果(°C) (9/11-13) 図 14 庇(解決策 4)の計算結果(°C) (9/11-13)

(3) ダブルスキンの導入

内外ガラスを密閉し日射を煙突効果で解消するパターン 12-0, 内ガラスを開け通風を期待した 12-1, 12-1 に高反射塗料(白), 屋根外断熱(50mm)を導入した 12-2, 12-3 の 4 パターンを解析対象とした。

(イ) ダブルスキン導入の根拠

ダブルスキン導入の主な根拠としては以下の 2 項目が挙げられる。

- (i) 学校建物耐震改修の際, 耐震補強鉄骨フレームを組むことによって出来る空間の有効利用
- (ii) 夜間換気導入の可能性(夜間は外ガラスを閉じた状態で換気ができるため防犯, 雨仕舞にも対応する)

(ロ) ダブルスキントイプの計算結果

図 15 にパターン 12-0, 12-1 の計算結果を示す。12-0 は現状より日中, 夜間で約 2°C 高くなるのに対し, 12-1 は現状より日中, 夜間で約 2°C 低くなる。日中は外気温と同程度の温度になり, 夜間は煙突効果により夜間換気と同等の換気量が確保されることが確かめられた。図 16 に 9 月 11 日における教室の換気回数を示す。夜間換気の場合と比較しても十分換気が出来ていると言える。

表 6 想定するダブルスキンのパターン

12-0	12-1	12-2	12-3
内外ガラスを 閉じた場合	内ガラスを 開放した場合	12-1+ 高反射塗料	12-1+ 屋根外断熱

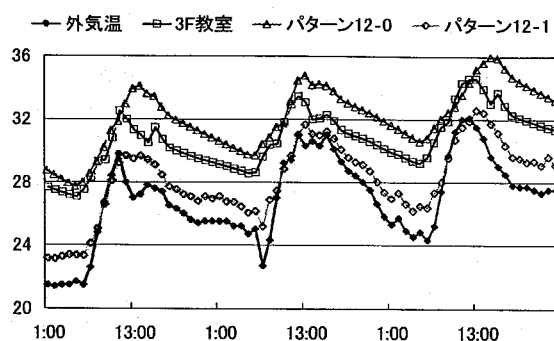


図 15 パターン 12-0, 12-1 の計算結果 (°C) (9/11-13)

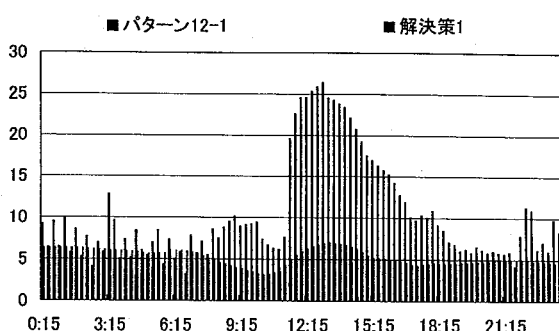


図 16 9 月 11 日における教室の換気回数 (回/h)

4. 結論

(1) 小学校での実測結果およびその結果より算出した SET*から、夏季の教室の熱環境の悪さを確認した。室温が日中 33℃にも及んだ。夜間には窓を閉じるため、室温の低下が見られず、日射遮蔽と夜間換気が重要であると考えられる。

(2) 外皮の改修により、日中では解決策 8, 10, パターン 12-2 が、夜間では解決策 5, 10, パターン 12-2 が最も室温の低下が大きくなった。どれも日射遮蔽が関わっており、昼間に日射を遮り蓄熱を小さくすることが重要であると考えられる。

(3) ダブルスキンは、昼夜とも密閉した場合には現状よりも室温が高くなったが、内ガラスのみを開けた場合には現状より 3℃室温が低下し、夜間も夜間換気と同等の効果がある事が示された。ダブルスキンは夏季にも対応できる外皮であるといえる。

表 7 外皮改修による自然室温の変化 (°C)

解決策	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	パターン	12-0	12-1	12-2	12-3
日中	-0.1	-2	-1	-1.4	-2	-1.5	-2	-3	-2	-3	-2.5	日中	+2	-2.5	-3	-2.7
夜間	-2	-2	-0.5	-0.5	-3.5	-2.5	-2.5	-2	-1	-3.5	-2.5	夜間	+1.5	-3	-3.5	-3

謝辞：本研究は平成 14～16 年度科学研究費補助金基盤研究 (B)「学校環境ストックを評価し環境共生的で創発的な教育空間をつくるリノベーション方法」(代表重村力教授)の一環として行われた。本研究の遂行にあたり様々な助言を頂いた清水建設(株)技術研究所の奥山博康博士に謝意を表します。

参考文献

1) 木村建一編, 建築環境学 I, 丸善株式会社, p 201-231 (1992)

筆者：1) 松本卓也, (株) 技研エンジニアネットワーク (神戸大学大学院自然科学研究科博士前期課程)

2) 森山正和, 神戸大学工学部建設学科, 教授

3) 竹林英樹, 神戸大学工学部建設学科, 助手

4) 石動嘉信, 神戸大学大学院自然科学研究科博士前期課程

A Study of Indoor Environmental Improvement

— With Double Skin Space Formed from Seismic Retrofit —

Takuya Matsumoto¹⁾
Masakazu Moriyama²⁾
Hideki Takebayashi³⁾
Yoshinobu Isurugi⁴⁾

Abstract

We thought a improvement of indoor thermal environment with double skin space formed by steel frame for seismic retrofit. It is said that insufficiency of insulation stratum and eaves length causes uncomfortable indoor thermal environment, so we grasped the present condition from field measurements on a normal elementary school and studied thermal environmental improvement by the introduction of double skin from a viewpoint of a drop in temperature. At the same time, we calculated a drop in temperature by introduction of other retrofits of envelope (eaves etc) , and compared.