既存外断熱建築物における外断熱の有効性を確認するための各種調査

報　告　書

平成２９年３月

（一社）北海道建築技術協会
外断熱耐久性調査委員会

外断熱耐久性調査委員会委員

委員長	足立　裕介	北海学園大学
幹　事	平川　秀樹	ダウ化工株式会社
	福山　智子	北海道大学大学院
	松田　未紘	パラマウント硝子工業株式会社
委　員	大橋　周二	有限会社大橋建築設計室
	河合　伸哉	パラマウント硝子工業株式会社
	鬼頭　弘一	一般社団法人北海道建築技術協会
	小浦　孝次	株式会社 JSP
	駒木根洋一	一般社団法人北海道建築技術協会
	佐藤　潤平	株式会社アイテック
	重永　真孝	日本データーサービス株式会社
	舘脇　英	岩倉化学工業株式会社
	谷口　円	地方独立行政法人北海道立総合研究機構 建築研究本部　北方建築総合研究所
	野桑　聡	ゼオン化成株式会社
	堀江　勉	G システム工業
	松井　為人	株式会社サンキット・エーイー
	森　秀樹	
	山崎　正弘	MY 建築設計支援室
	山田　英和	株式会社テスク
	吉野　利幸	一般社団法人北海道建築技術協会
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	野田　克良	一般社団法人北海道建築技術協会
	村田　茂樹	株式会社サンクビット

目　　次

§1　業務概要

1.1　業務名称 ---------- 1
1.2　業務目的 ---------- 1
1.3　調査対象建物概要 ---------- 2

§2　調査内容

2.1　調査項目および数量・範囲 ---------- 7
2.2　各調査の概要 ---------- 8
2.2.1　非破壊調査 ---------- 8
(1)　設計図書の調査 ---------- 8
(2)　内部調査 ---------- 8
1)　目視調査 ---------- 8
2)　結露・漏水痕調査 ---------- 8
3)　温熱環境調査 ---------- 9
(3)　外部調査 ---------- 10
1)　目視調査 ---------- 10
2.2.2　破壊調査 ---------- 10
(1)　内部調査 ---------- 10
1)　断熱状況調査 ---------- 10
(2)　外部調査 ---------- 10
1)　コンクリート躯体調査 ---------- 10
a.　コンクリートコア採取 ---------- 10
b.　中性化試験(コア法) ---------- 18
c.　圧縮強度試験 ---------- 18
d.　鉄筋腐食程度確認 ---------- 19
2)　外断熱パネル調査 ---------- 19
a.　外断熱パネル撤去 ---------- 19
b.　留付け状況調査 ---------- 23
2.2.3　断熱材の性能試験 ---------- 23
(1)　グラスウール ---------- 23
(2)　押出発泡ポリスチレン板 ---------- 23
(3)　炭酸カルシウム系発泡板 ---------- 23
(4)　吹付け硬質ウレタンフォーム ---------- 23

§3　調査結果

3.1　非破壊調査 ---------- 24
3.1.1　設計図書の調査 ---------- 24
3.1.2　内部調査 ---------- 24
(1)　目視調査 ---------- 24
(2)　結露・漏水痕調査 ---------- 25
(3)　温熱環境調査 ---------- 27
3.1.3　外部調査 ---------- 34
(1)　目視調査 ---------- 34
3.2　破壊調査 ---------- 39
3.2.1　内部調査 ---------- 39
(1)　断熱状況調査 ---------- 39
3.2.2　外部調査 ---------- 41
(1)　コンクリート躯体調査 ---------- 41
1)　中性化試験(コア法) ---------- 41
a.　外部 ---------- 41
b.　内部 ---------- 44
c.　外断熱によるコンクリートの中性化抑制効果について ---------- 45
2)　圧縮強度試験 ---------- 48
3)　鉄筋腐食程度確認 ---------- 49
(2)　外断熱パネル調査 ---------- 51
1)　撤去した外断熱パネルおよびその背面の状況 ---------- 51
2)　留付け状況調査 ---------- 58
a.　主アンカーの状況及び引張強度試験結果 ---------- 58
b.　引張強度試験結果の安全性についての検討 ---------- 59
3.2.3　断熱材の性能試験 ---------- 61
(1)　グラスウール ---------- 61
(2)　押出発泡ポリスチレン板 ---------- 62
(3)　炭酸カルシウム系発泡板 ---------- 62
(4)　吹付け硬質ウレタンフォーム ---------- 63

§4　まとめ ---------- 64

【　資　料　編　】

■　内部調査状況写真
■　外部目視調査状況写真
■　コンクリートコア採取状況写真
■　中性化試験状況写真
■　圧縮強度試験状況写真
■　外断熱パネル調査状況写真
■　主アンカーの引張試験状況写真
■　鉄筋腐食程度確認状況写真
■　グラスウール調査結果報告書
■　吹付け硬質ウレタンフォーム調査結果報告書

§1　業務概要

1.1　業務名称

既存外断熱建築物における外断熱の有効性を確認するための各種調査

1.2　業務目的

本業務は、平成 28 年 10 月に解体が予定されていた上川総合振興局管内の公営住宅建物に対していくつかの調査を実施し、既存外断熱建築物における外断熱の有効性を確認することを目的とする。主な確認事項は以下の通りである。

- 各部位に施工されていた断熱材の長期経年後の熱伝導率等について確認する。
- 建築物の長期経年後の劣化状況について確認する。
- 外断熱による中性化および鉄筋腐食の抑制効果を確認する。
- 外断熱パネルを解体し、その長期経年後の状況について確認する。
- 断熱性能の向上による室内温度上昇効果を確認するため、居住者のいない状況における自然室温を測定し、今後同様の測定を行ったデータとの比較により、断熱性能と自然室温との関係を明らかにするための基礎データを取得する。

1.3　対象建物概要

所　在　地　：　上川総合振興局管内
構　　造　：　壁式鉄筋コンクリート造（当時の北海道標準設計）
規　　模　：　地上 4 階建
住　戸　数　：　24 戸(基準階住戸数：6 戸)
専有部床面積　：　約 1300m^2
竣　工　年　：　昭和 48 年（43 年経過）
外断熱施工年　：　昭和 59 年（32 年経過）
　　南面を除く外壁 3 面に施工
外断熱工法名　：　東洋ＦＲＣ断熱パネル外断熱工法（既存外壁面に接着材とビスの併用で、ＦＲＣ断熱パネル（t=58）を張り付け）
解　体　年　：　平成 28 年(43 年経過)

主な断熱仕様等	外断熱施工前	屋根：内断熱 XPS1 種 75 ㎜打込 外壁：内断熱 GW10ｋ50 ㎜（防湿フィルムは躯体側にあり） 床　：畳部分は断熱無し、板張り部分は不明（恐らく無し） （1 階は床下換気あり） 窓　：引違いアルミサッシ　単板ガラス　＋　ガラス障子 断熱補強：スラブ下 XPS1 種 25 ㎜、スラブ上は不明（恐らく無し） 暖房：灯油による戸別 FF 暖房 換気：自然換気 熱損失係数：2.31 W/m^{2}K（換気回数 0.5 回/h として）
	外断熱施工後	屋根：既存のまま 外壁：外断熱改修 外断熱複合板（ロックセルボード 60 ㎜＋セメント板 9 ㎜）を北東、南西、南東の 3 面に施工。 断熱材は XPS1 種仕様と考えられたが、施工当時、外断熱工法の防火規制対応のため、XPS による認定取得までの間、ロックセルボード（不燃認定取得）を暫定的に使用していたことによる。この暫定措置は、道の指導によるとのこと。 その他 住戸によっては、北側壁、妻壁に、吹き付けウレタン 50 ㎜程度が施工されていた。おそらく、寒さや結露の対策として、空き住戸となった段階で、既存の GW を取り除いて施工されたものと考えられる。 床　：既存のまま 窓　：　〃 暖房：　〃 換気：　〃 熱損失係数：1.78 W/m^{2}K（換気回数 0.5 回/h として）

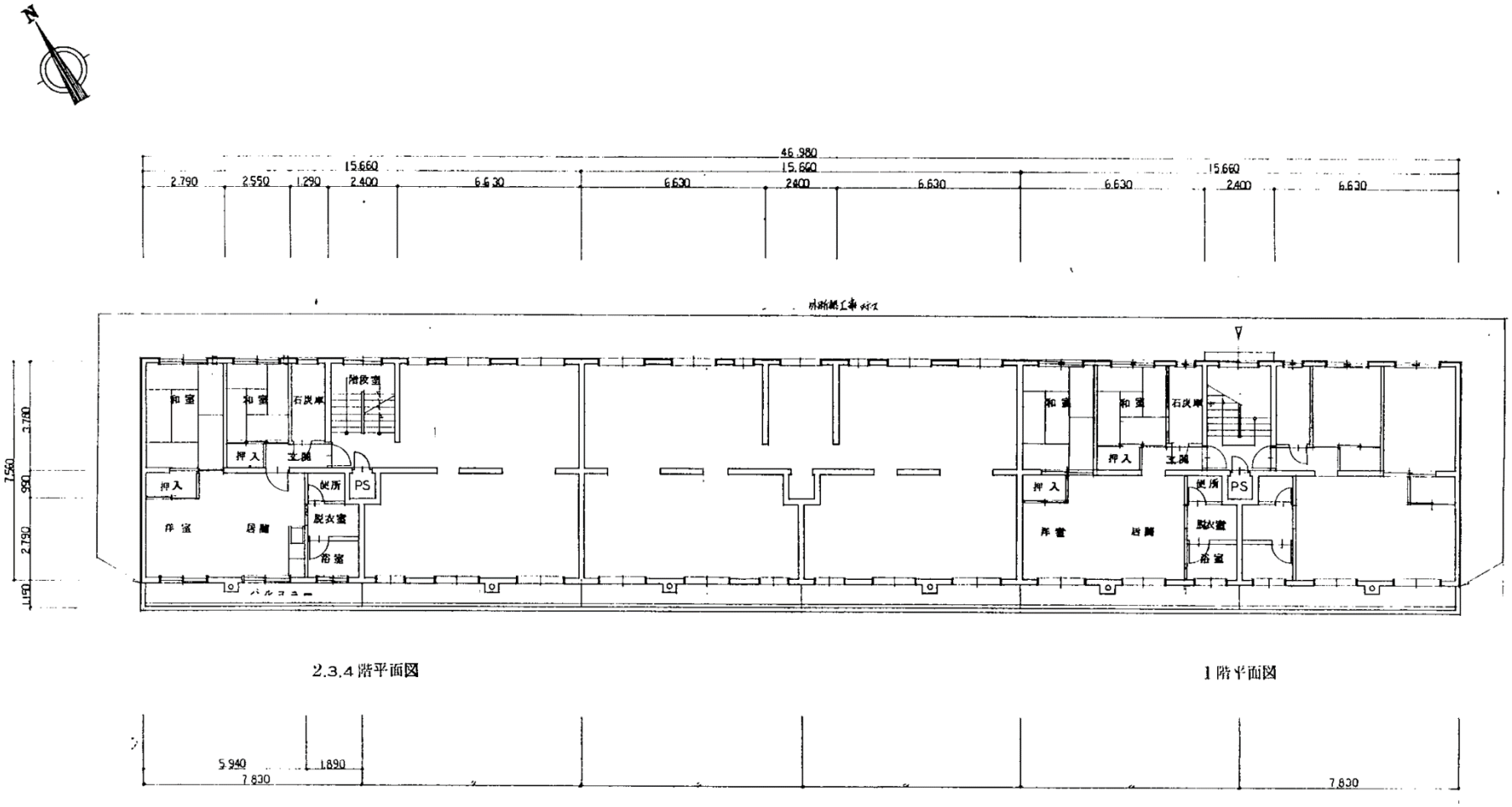
対象建物全景

写真 1.1　東面全景

写真 1.2　南面全景

写真 1.3　西面全景

写真 1.4　北面全景

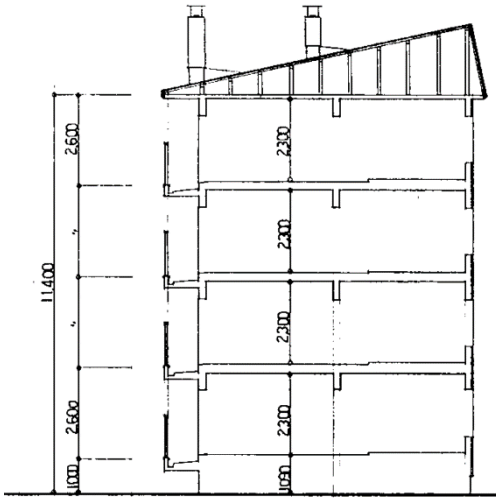


2.3.4 階平面図

1 階平面図

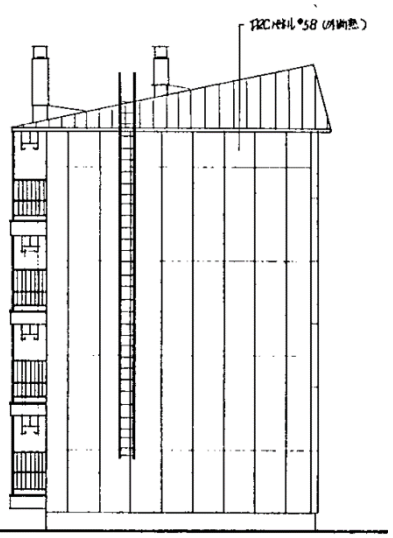
図 1.1　基準階平面図

図 1.2　北東立面図



断　面　図

図 1.3　断面図



側面立　面　図

図 1.4　南東立面図

§2　調査内容

2.1　調査項目および数量・範囲

表 2.1 に調査項目および数量・範囲を示す。

表 2.1　調査項目および数量・範囲

<table>
<tr><th colspan="4">調　査　項　目</th><th>数量および範囲</th></tr>
<tr><td rowspan="5">非破壊
調査</td><td colspan="3">設計図書の調査</td><td>現存の設計図書に対して</td></tr>
<tr><td rowspan="3">内部調査</td><td colspan="2">目視調査</td><td>鍵のない住戸を除いた全住戸</td></tr>
<tr><td colspan="2">結露・漏水痕調査</td><td>鍵のない住戸を除いた全住戸</td></tr>
<tr><td colspan="2">温熱環境調査</td><td>2 住戸</td></tr>
<tr><td>外部調査</td><td colspan="2">目視調査</td><td>全面</td></tr>
<tr><td rowspan="7">破壊
調査</td><td>内部調査</td><td colspan="2">断熱状況調査</td><td>各住戸床・天井・外壁面毎
各 1 箇所</td></tr>
<tr><td rowspan="6">外部調査</td><td rowspan="4">コンクリート
躯体調査</td><td>コンクリート
コア採取</td><td>34 本</td></tr>
<tr><td>中性化試験
(コア法)</td><td>32 本</td></tr>
<tr><td>圧縮強度試験</td><td>6 本</td></tr>
<tr><td>鉄筋腐食
程度確認</td><td>23 箇所</td></tr>
<tr><td rowspan="2">外断熱パネル
調査</td><td>外断熱パネル
撤去</td><td>3 箇所</td></tr>
<tr><td>留付け
主アンカー
の引張強度試験</td><td>6 箇所</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">断熱材の性能試験</td><td colspan="2">グラスウール</td><td>2 試料</td></tr>
<tr><td colspan="2">押出発泡ポリスチレン板</td><td>1 試料</td></tr>
<tr><td colspan="2">炭酸カルシウム系発泡板</td><td>6 試料</td></tr>
</table>

2.2　各調査の概要

2.2.1　非破壊調査

(1)　設計図書の調査

確認可能な設計図書を読み込み、関連する情報を把握した。今回確認した設計図書は、外断熱改修時の設計図書と、調査対象建物と同時期に同仕様で建設されたと考えられる建物の仕様書である。

(2)　内部調査

1)　目視調査

建物内部において目視にて異状を確認し、確認されたものについて写真撮影を行った。

2)　結露・漏水痕調査

主に外断熱施工の効果を確認することを目的として、室内の結露や漏水痕、カビといった痕跡の有無、程度を目視にて確認した。確認された痕跡は写真撮影を行った後、図面にその位置を記録した。調査は鍵が開かない 403 号室を除いた全ての部屋に対して実施した。

3)　温熱環境調査

101 号室および 401 号室（南東側住戸）において自動記録温度計（おんどとり）を設置し、室内温度（自然室温）の測定を行った。

図 2.1　調査対象住戸（北面立面図）

自動記録温度計は各住戸に 4 台設置し、1 時間毎に温度（中央については温度と湿度）の記録を行うよう設定した。温度計の設置箇所を図 2.2 に示す。測定期間は、2016 年 8 月 31 日～9 月 27 日の約 1 ヶ月間である。

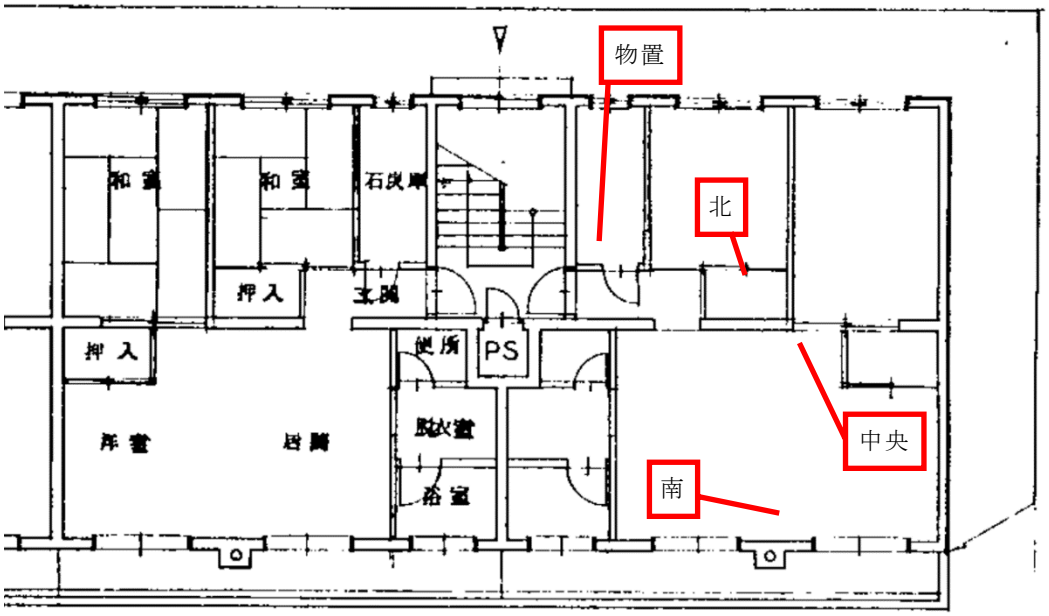


図 2.2　温度計の設置箇所（基準階平面図）

(3)　外部調査

1)　目視調査

外壁の劣化状況を目視にて確認した。確認された劣化を図面に記録し、代表的なものについては写真撮影を行った。

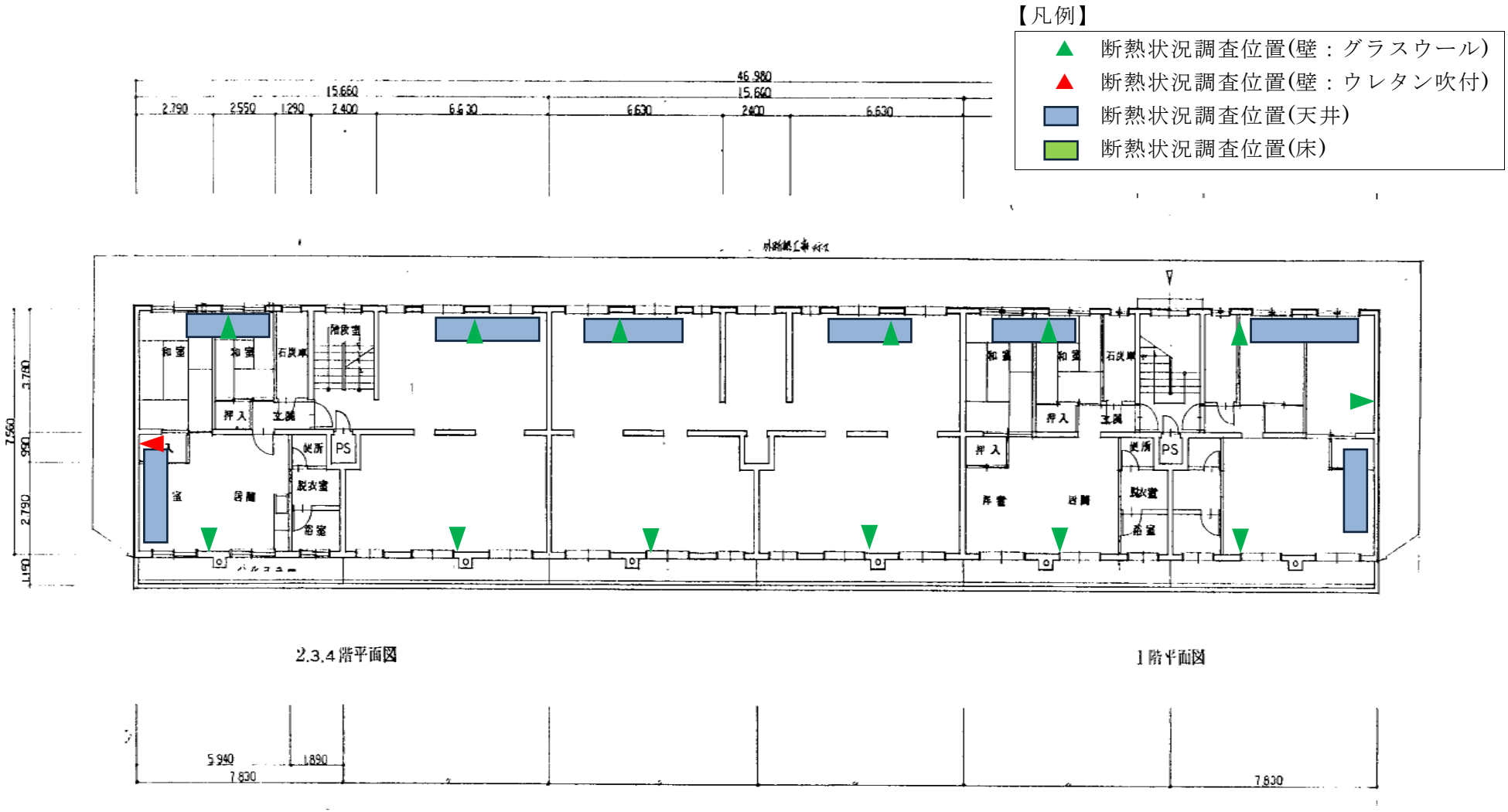
2.2.2　破壊調査

(1)　内部調査

1)　断熱状況調査

建物内の断熱材施工状況を把握するために、バールや金槌で内壁、床、天井等を撤去し、断熱材の状況を確認した。**図 2.3～2.6** に調査位置を示す。基本的に天井、床については､各部屋 1 箇所ずつ､壁については外壁となる各面で 1 箇所ずつ調査した。

調査は目視にて行い、代表的な箇所において写真撮影を行った。



2.3.4階平面図

1階平面図

図 2.3　断熱状況調査位置図(1 階)

図 2.4　断熱状況調査位置図(2 階)

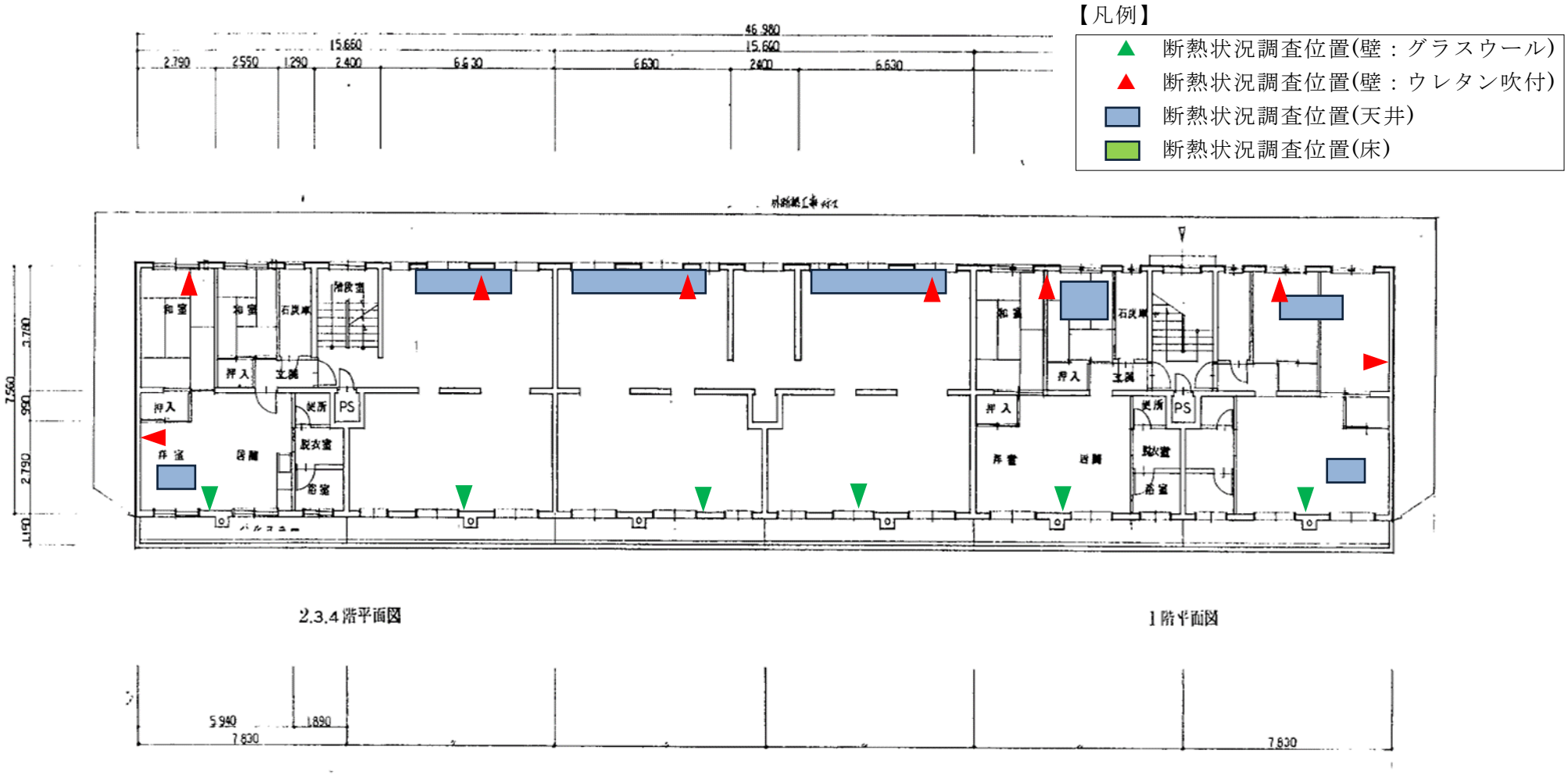


図 2.5　断熱状況調査位置図(3 階)

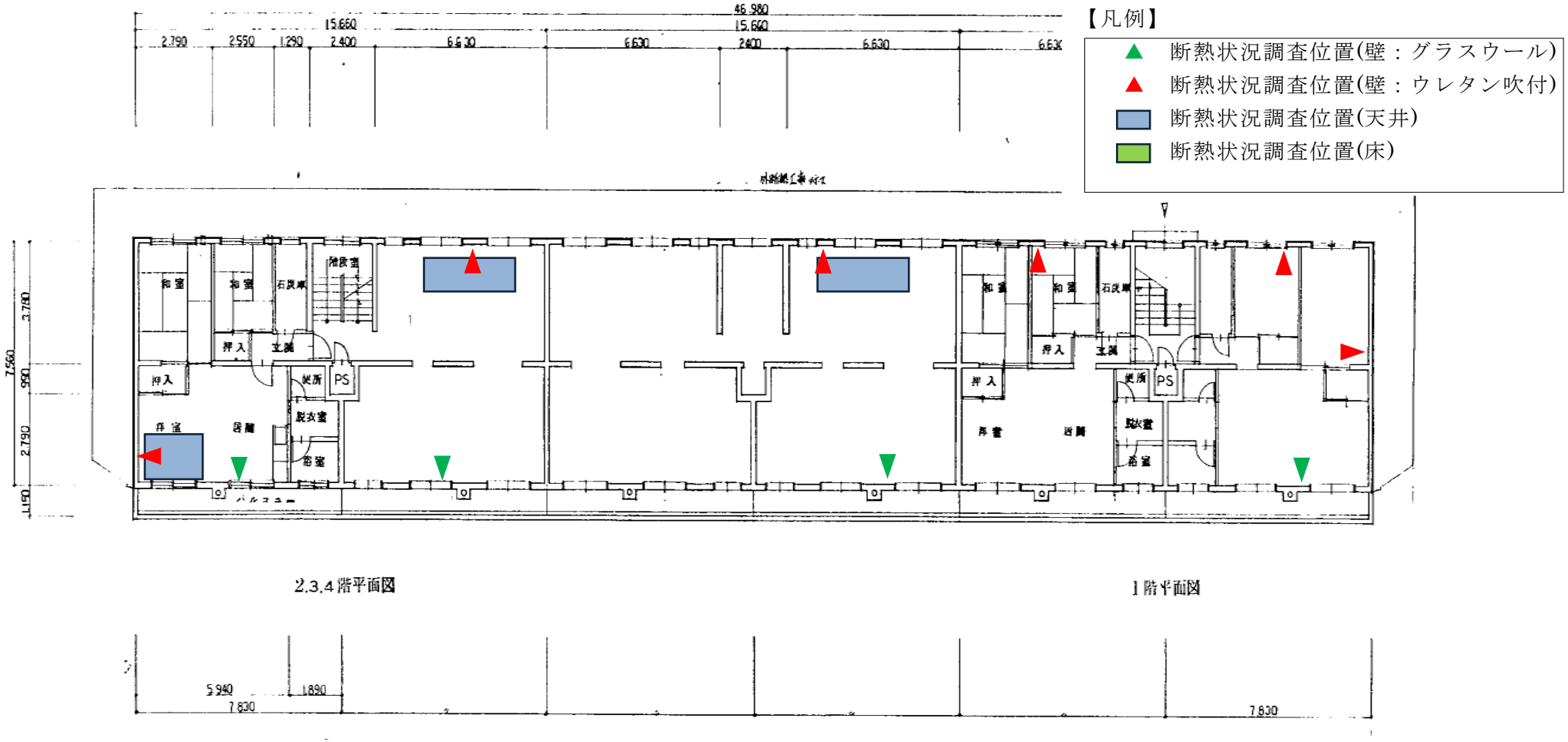


図 2.6　断熱状況調査位置図(4 階)

(2)　外部調査

1)　コンクリート躯体調査

a. コンクリートコア採取

対象建築物より JIS 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に従い、コンクリートコア供試体を採取した。コア採取位置を**図 2.7**、**図 2.8** に示す。コア採取位置においては、あらかじめ電磁波レーダー方式鉄筋探査機を用いてコンクリートコア採取位置の配筋状況を確認し、コア中に鉄筋が含まれるように位置を決定した。その後コアボーリングマシンにより、鉄筋を含むコアを採取した。

写真 2.1　コンクリートコア採取状況

写真 2.2　採取したコンクリートコア

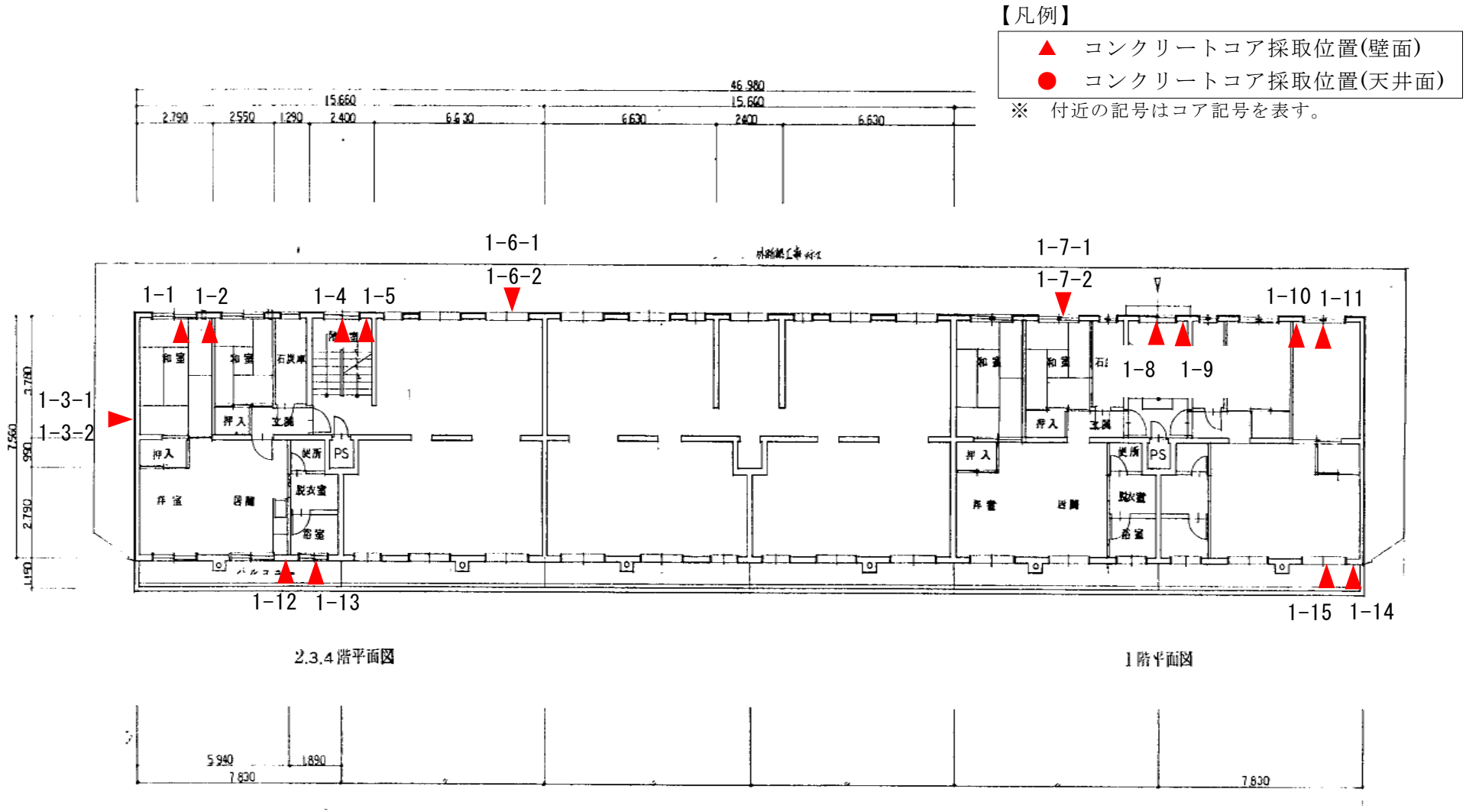


図 2.7　コンクリートコア採取位置図(1 階)

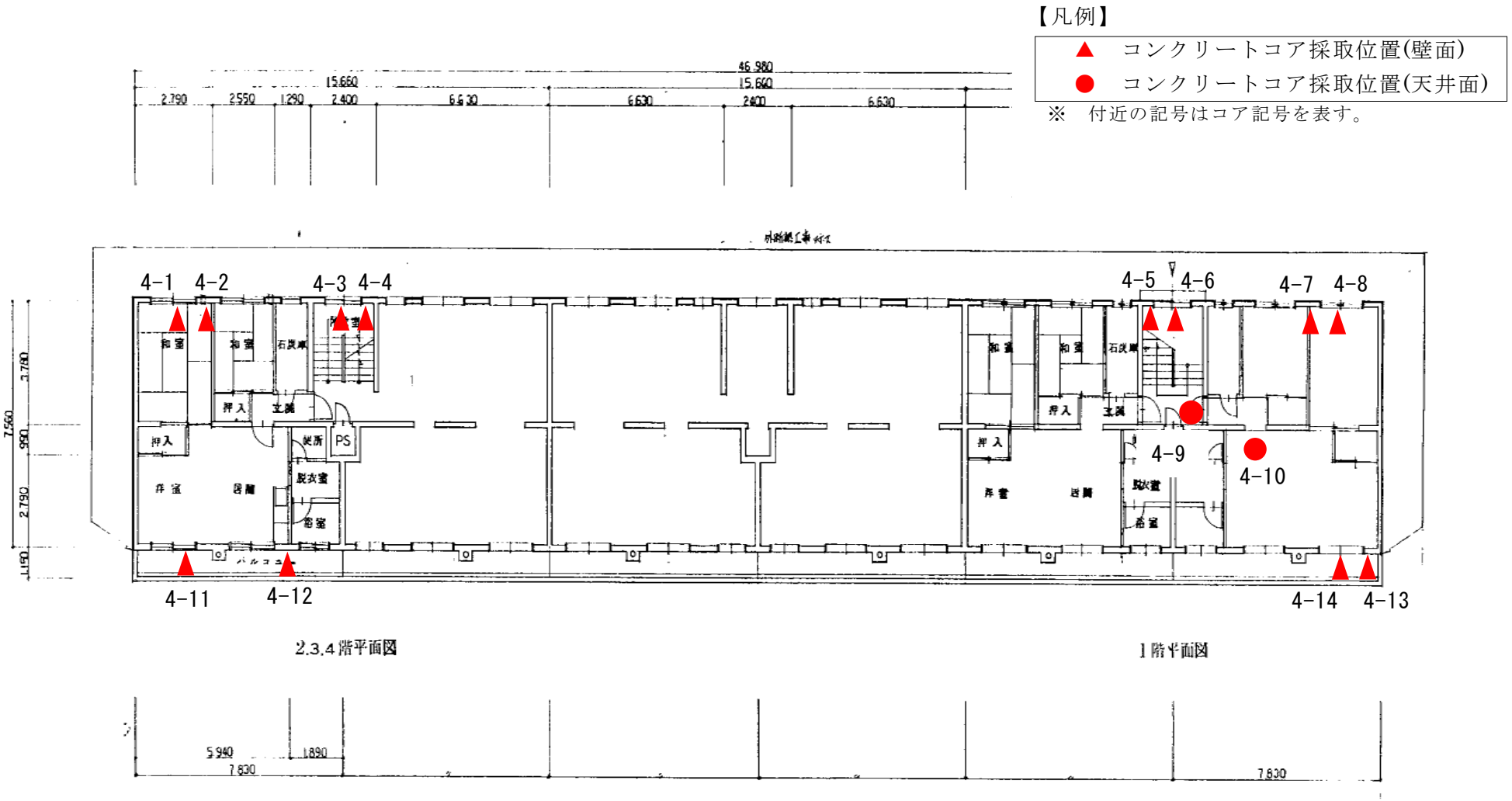


図 2.8　コンクリートコア採取位置図(4 階)

b. 中性化試験（コア法）

試験は採取した供試体を用いて JIS A 1152「コンクリートの中性化深さの測定方法」に従い実施した。抜き取ったコア供試体を清水にて洗浄後、コア側面にフェノールフタレイン 1%溶液を噴霧し、コンクリート表面から赤着色部分までの距離をノギス・スケール等により測定した。測定点数は、直径に対し 6 点とした。

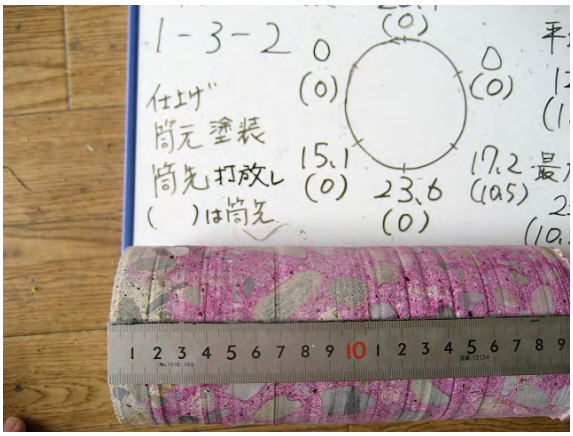


写真 2.3　中性化深さ測定状況

c. 圧縮強度試験

採取したコンクリートコア供試体を用いて圧縮強度試験を行った。試験は JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」に準拠し、北海学園大学にて実施した。

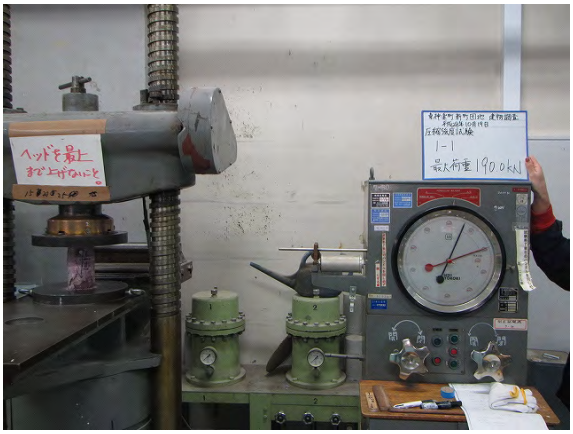


写真 2.4　圧縮強度試験状況

d. **鉄筋腐食程度確認**

コンクリートコアに含まれた鉄筋の腐食程度を確認した。腐食程度は目視にて確認し、建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書<第二編>における評価(**表 2.2**)に準拠して鉄筋腐食グレードを決定した。

表 2.2　鉄筋腐食度評価基準

グレード	評価基準
Ⅰ	腐食がなく、黒皮の状態
Ⅱ	鉄筋表面にわずかな点さびが生じている状態
Ⅲ	鉄筋表面に薄い浮きさびが広がって生じており、コンクリートにさびが付着している状態
Ⅳ	やや厚みのある膨張性のさびが生じているが、断面欠損は、比較的少ない状態
Ⅴ	鉄筋全体にわたって著しい膨張性のさびが生じており、断面欠損がある状態

【出典】建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」報告書<第二編>

2)　**外断熱パネル調査**

a. **外断熱パネル撤去**

図 2.9 に示す位置にて、外断熱パネルを撤去した。撤去する大きさを決定後、電動カッターで外断熱パネルを切り抜いた。その後、留付け主アンカー等をバールにより抜き取り、外断熱材を剥がした。調査は外断熱パネルを施工している 3 面に対し妻面各 1 箇所、北面 2 箇所の計 4 箇所で実施した。外断熱パネルの試験体は、最も水分が蓄積しやすい最下層のパネルから、開口部水切り下や分電盤下などを中心に採取した。試験体の採取状況を**写真 2.5**～**写真 2.11** に示す。

写真 2.5　外断熱パネル撤去状況

写真 2.6　外断熱パネル目地のシールの除去

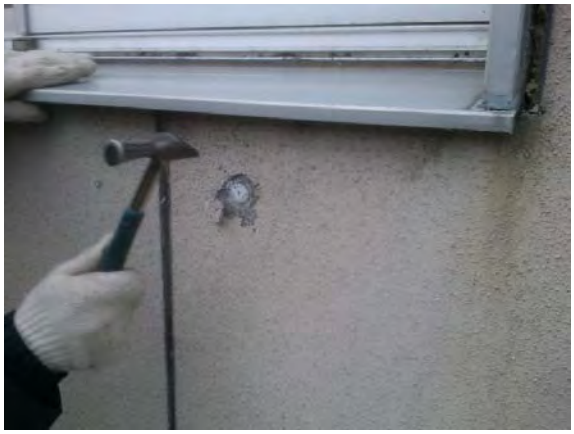


写真 2.7　外断熱パネル固定主アンカー
頭部分の面材の破壊

写真 2.8　北東面①採取後の状況
開口部隅角部下の躯対面に水痕あり

写真 2.9　北東面①採取後の状況

写真 2.10　南東面採取後の状況

写真 2.11　北西面採取後の状況

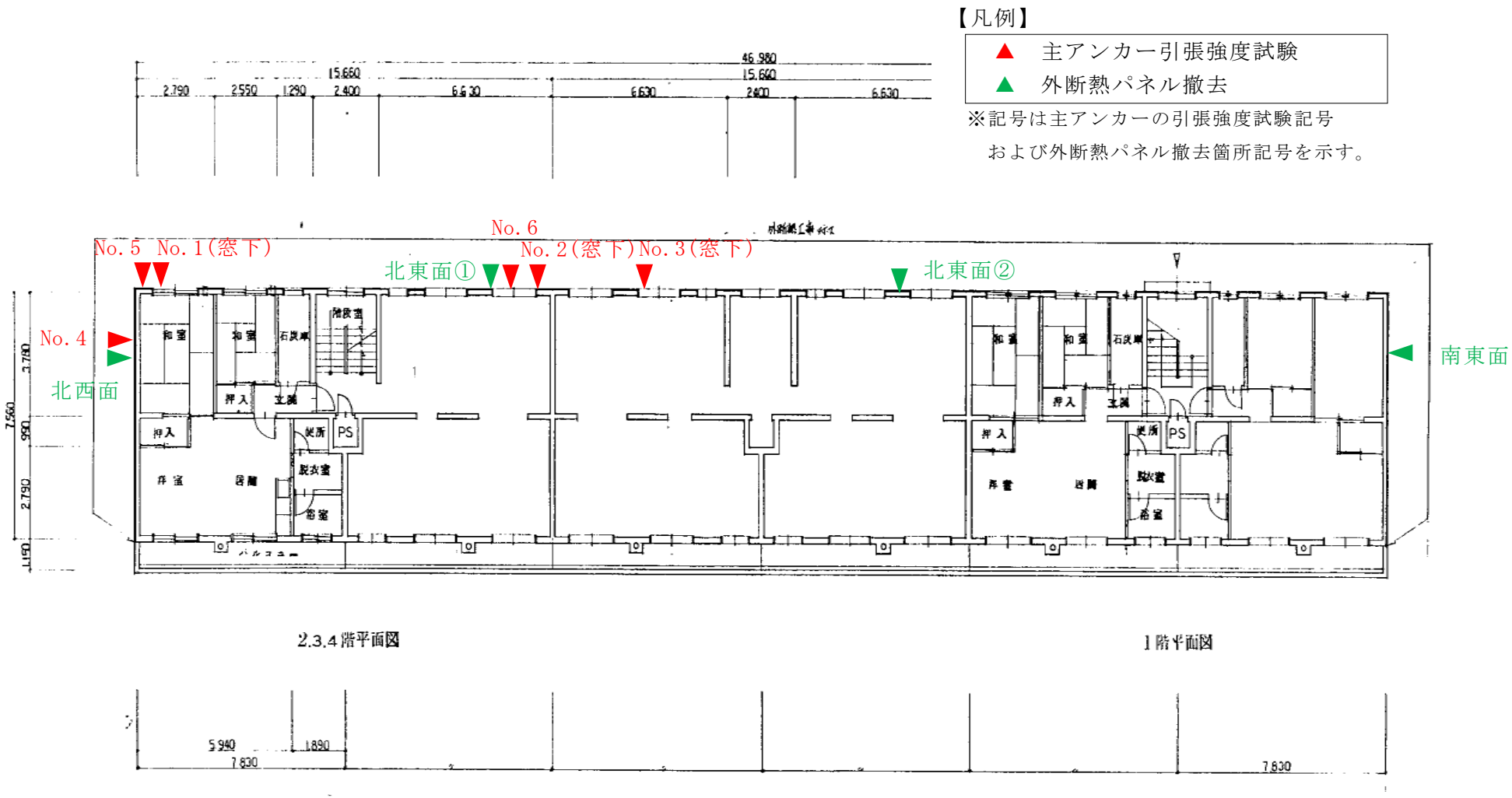


図 2.9　調査位置図(主アンカー引張強度試験、外断熱パネル撤去)(1 階平面図)

b. 留付け状況調査

撤去した外断熱パネルの背面や露出した躯体面を観察し、その留め付け状況や留付け主アンカーの腐食状況を確認した。

また、建研式引張試験器を用いて外断熱パネルを支持する主アンカーの引張強度を測定した。主アンカー周辺の外断熱パネルを撤去し、主アンカーを露出させた後、試験器をセットし試験を行った。調査位置を**図 2.9** に示す。

2.2.3 断熱材の性能試験

(1) グラスウール

調査建築物から採取したグラスウール試料の熱伝導率、繊維径、密度、バインダー付着率等を確認した。試験は JIS A 9521「住宅用人造鉱物繊維断熱材」に準拠し、パラマウント硝子工業株式会社にて実施した。

(2) 押出発泡ポリスチレン板

採取した試験体について、含水率と、乾燥前および乾燥後の熱伝導率の測定を行った。試験体（厚 75 ㎜）は、厚さ 25 ㎜にスライスして、表層側（室内側）と芯層側に分けてそれぞれ求めた。

含水率は、乾燥前後の試験体重量差から含水量を測定し、その試験体の体積比（単位：vol%）によって表す。

熱伝導率は、JIS A 9511「発泡プラスチック断熱材」に規定される熱伝導率の測定方法に基づいて測定した。

(3) 炭酸カルシウム系発泡板

測定項目および方法は押出法ポリスチレンフォーム断熱材と同様である。ただし、試験体（厚 60 ㎜）は、厚さ 16～26 ㎜程度にスライスして、表層側（外断熱パネル面材側）と芯層側に分けてそれぞれ求めた。

(4) 吹付け硬質ウレタンフォーム

採取した試験体について、発泡剤の分析および物性試験を行った。試験はアキレス株式会社にて実施した。

*住戸によっては、北側壁、妻壁に、吹き付けウレタン 50 ㎜程度が施工されていた。その試験体を採取したが、熱伝導率が測定可能な程度の試験体を採取できなかったので、発泡ガスに関する調査のみを行った。その結果、発泡ガスは特定フロンであることが確認された。

§3　調査結果

3.1　非破壊調査

3.1.1　設計図書の調査

外断熱改修時の設計図書を確認した結果、使用した FRC パネルの厚さが 58mm(断熱材 50mm、繊維系セメント板 8mm)であること、開口廻りの納まり、目地廻りでは、厚さ 3mm のフレキシブルボードを繊維系セメント板の直下に埋込み、その上に目地コーキングを施工していることがわかった。

調査対象建物と同時期に同仕様で建設されたと考えられる建物の仕様書では、設計基準強度は 135kg/cm^2 であった。

3.1.2　内部調査

(1)　目視調査

写真 3.1.1 および**写真 3.1.2** に和室のふすまの状況を示す。上部に行くほど隙間が広くなっていることがわかる。これは上階スラブがクリープ現象によりたわんだためと推察された。

写真 3.1.1　隙間がある襖

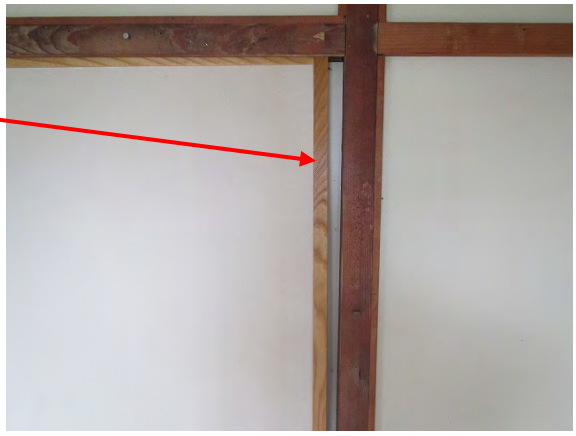


写真 3.1.2　同接写

(2)　結露・漏水痕調査

室内のカビや水痕等を目視にて調査した。

窓の木製枠には殆どの住戸でカビまたは水跡が確認された。

天井や床でカビや水跡が確認された住戸の数は 24 住戸中 10 戸であった。カビの発生状況等を見ると、特定の住戸に集中して発生しており、住まい方との関連が高いものと推察され、外断熱との明確な関連性は確認できなかった。

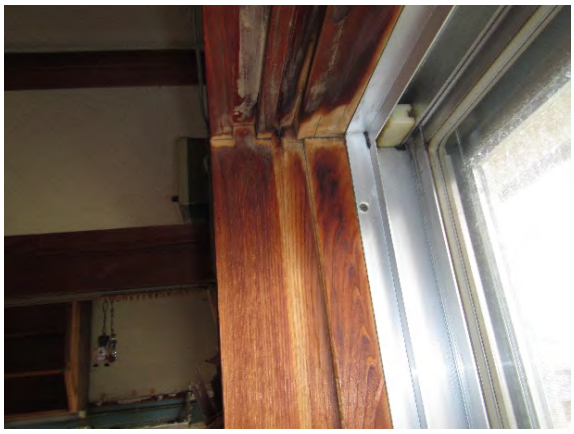


写真 3.1.3　木製枠にある水痕

写真 3.1.4　木製枠にあるカビ

写真 3.1.5　天井にあるカビ

写真 3.1.6　畳のカビ

その他確認された現象を以下にまとめる。

写真 3.1.7 に屋根スラブ吊りボルト回りの状況を示す。結露水によるものと考えられる染み痕（結露痕）が確認された。

写真 3.1.8 に押入れ内壁面のスノコの状況を示す。この部分での結露痕は確認されなかった。スノコは竣工時から設けられていたのか、結露障害後の修繕時に設けられたものなのかは不明である。

写真 3.1.9 に押入れ内屋根スラブと外壁取合い部の状況を示す。結露痕が確認された。

写真 3.1.7　屋根スラブ吊ボルト回りの状況

写真 3.1.8　押入れ内壁面のスノコ

写真 3.1.9　押入れ内屋根スラブと外壁取合い部の状況

(3)　温熱環境調査

毎時の各測定点温度および外気温度の推移について、101 号室を**図 3.1.1** に、401 号室を**図 3.1.2** に示す。

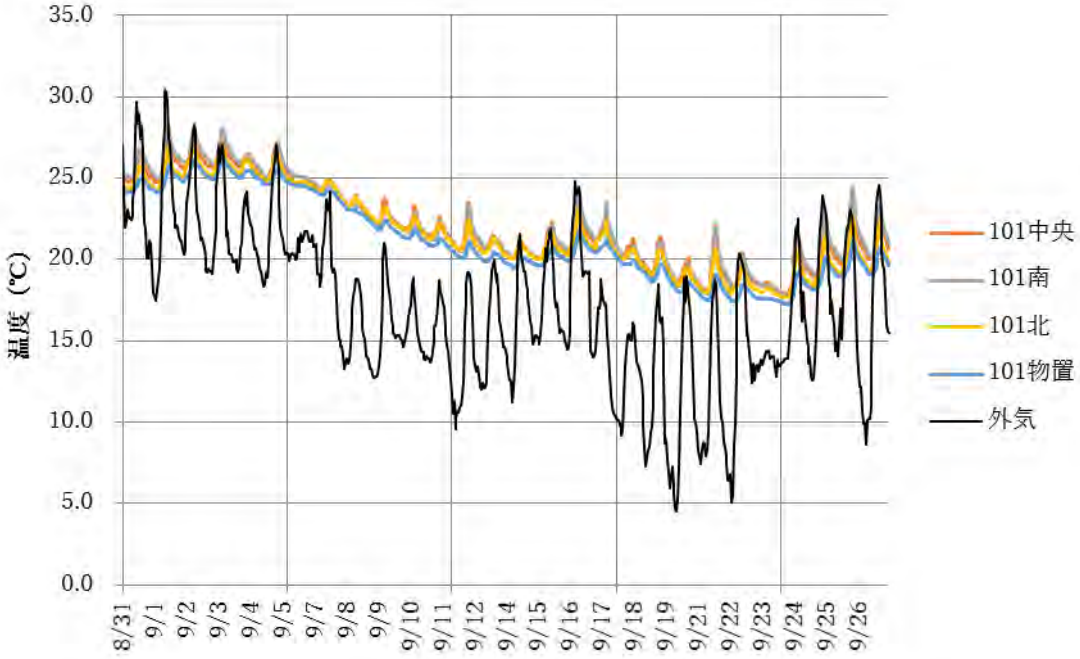


図 3.1.1　毎時の各測定点温度および外気温度の推移(101 号室)

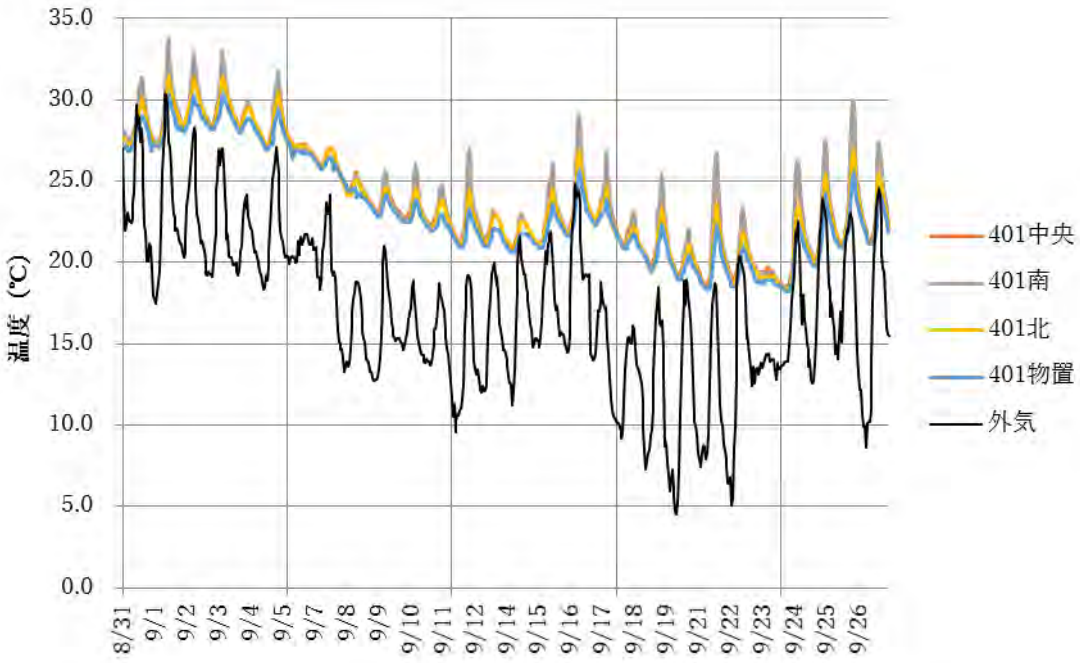


図 3.1.2　毎時の各測定点温度および外気温度の推移(401 号室)

図 3.1.1 および図 3.1.2 から、日平均温度を示したものを、図 3.1.3 および図 3.1.4 に示す。101 号室、401 号室ともに、住戸内での温度差は小さいといえる。

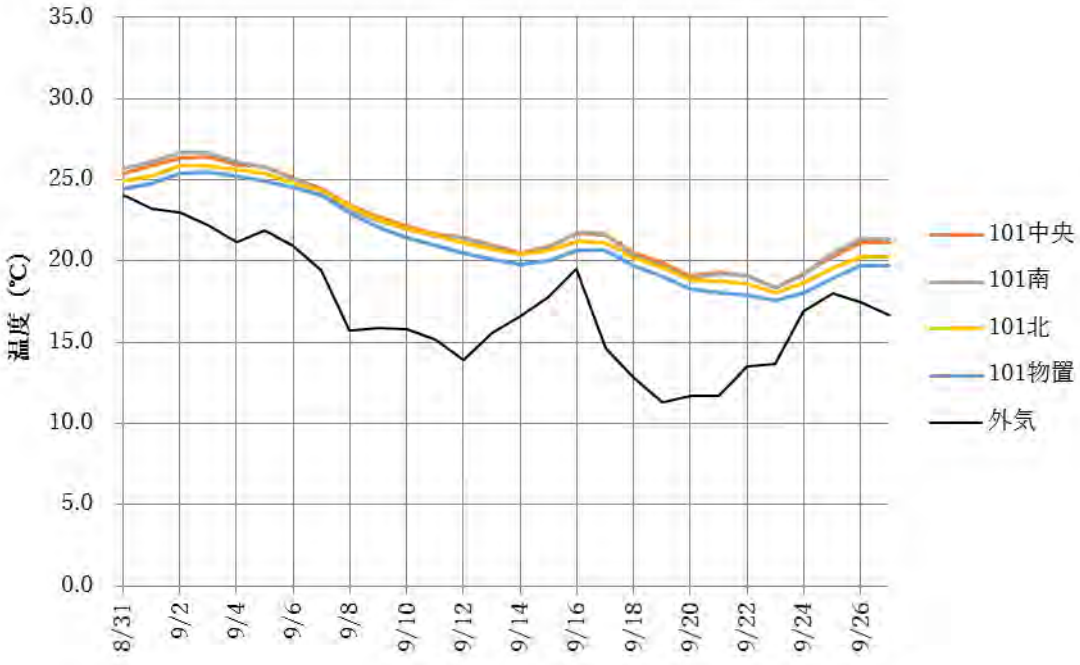


図 3.1.3　各測定点温度および外気温度の日平均温度(101 号室)

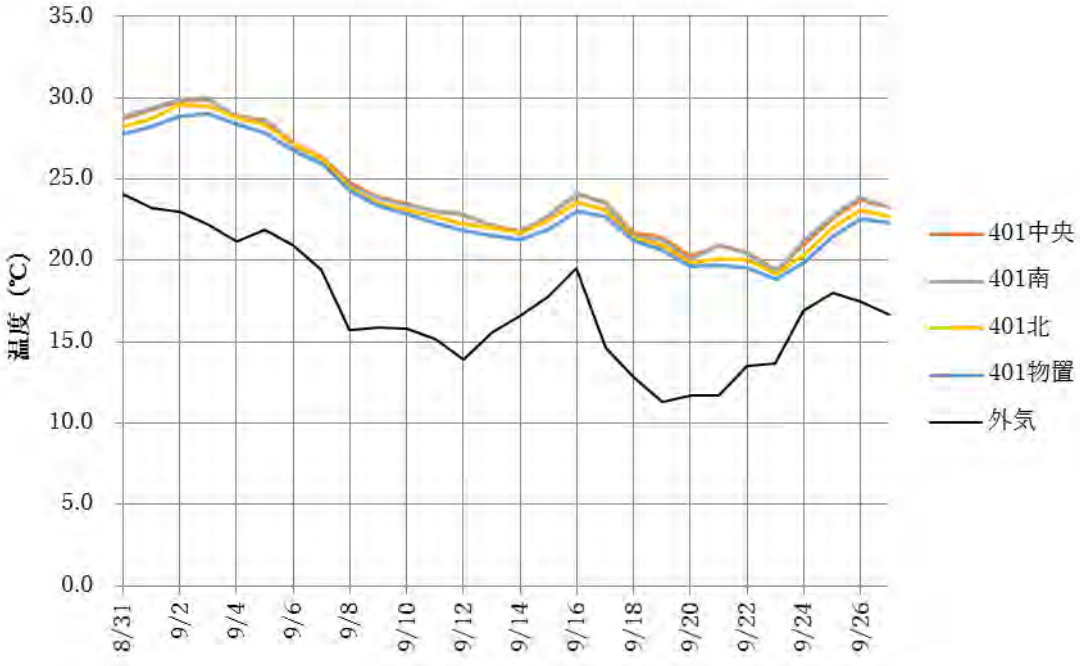


図 3.1.4　各測定点温度および外気温度の日平均温度(401 号室)

図 3.1.3 および**図 3.1.4** から住戸内平均温度を求め、比較したものを、**図 3.1.5** に示す。住戸内温度は、101 号室（平均 21.8℃）よりも、401 号室（平均 23.8℃）のほうが、平均で 2.0℃高かった。これは、401 号室は最上階であることから屋根への日射の影響といえる。なお、当該住棟の屋根は置き屋根方式で、屋根スラブ上に木組の屋根が置かれた仕様であった。

住戸内温度の変動は、外気温度の変動と概ね連動しているが、それよりも小さい。101 号室と 401 号室の比較では、101 号室の変動の方が小さい。図中には、全天日射量も示したが、住戸内温度との相関は外気温度との方が高いといえる。なお、全天日射量は旭川地方気象台の観測値である。（外気温度は東神楽のアメダス観測値）

測定期間中の平均外気温度は 17.2℃であり、101 号室の自然温度差は平均で 4.6℃、401 号室は 6.6℃であった。

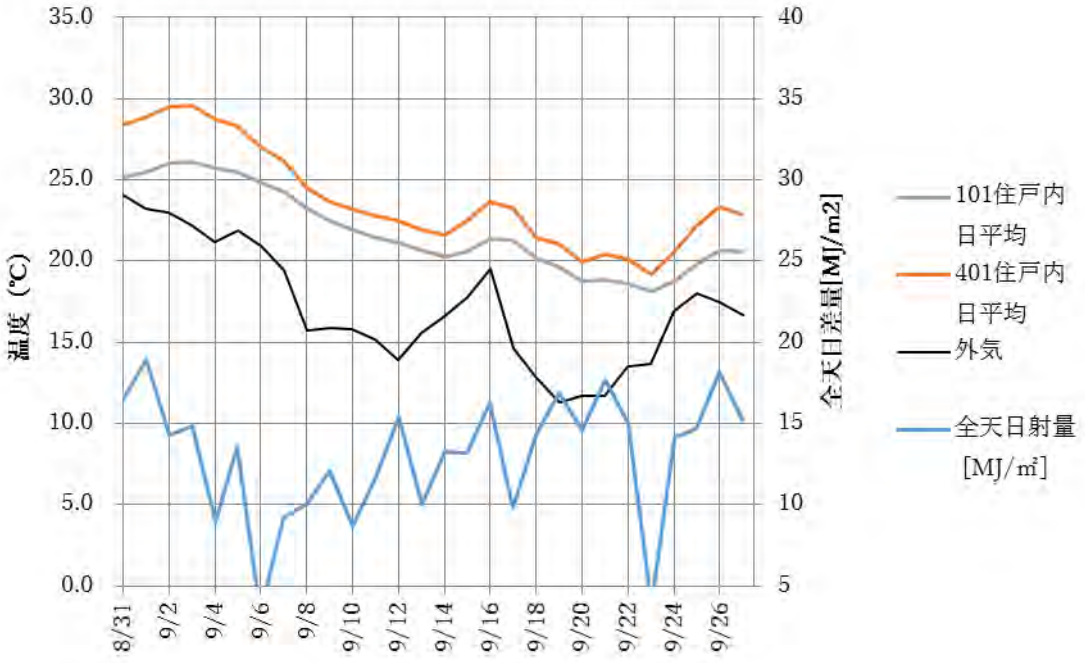


図 3.1.5　101 号室と 401 号室の住戸内温度比較

毎時の住戸内温度（各測定点の平均）と湿度および外気温度の推移について、101 号室を**図 3.1.6** に、401 号室を**図 3.1.7** に示す。

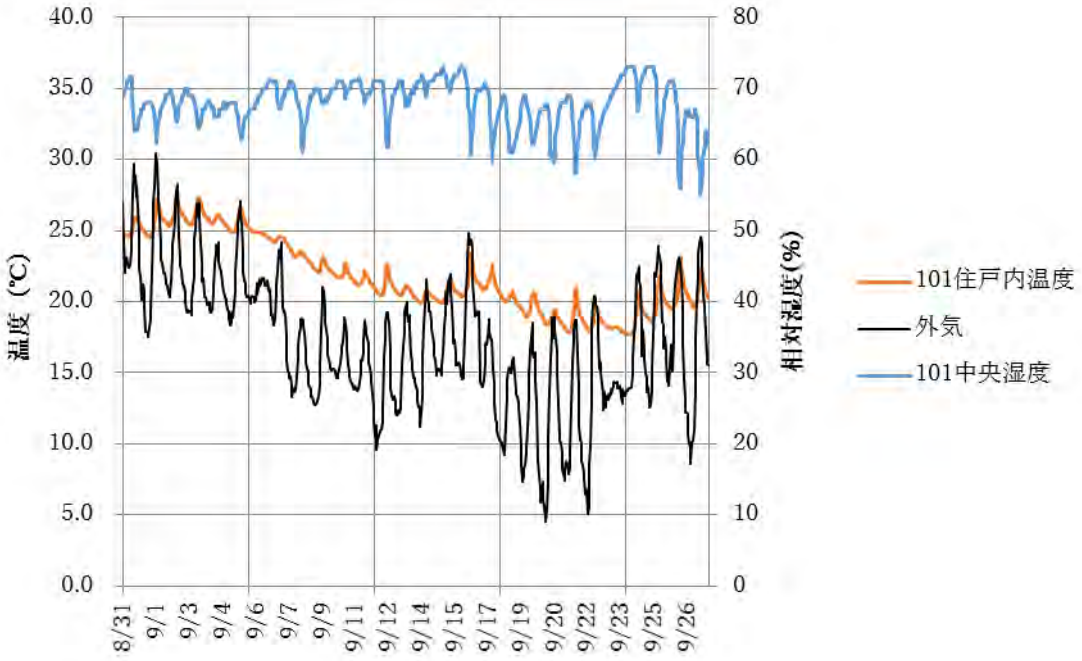


図 3.1.6　毎時の住戸内温度と湿度および外気温度の推移(101 号室)

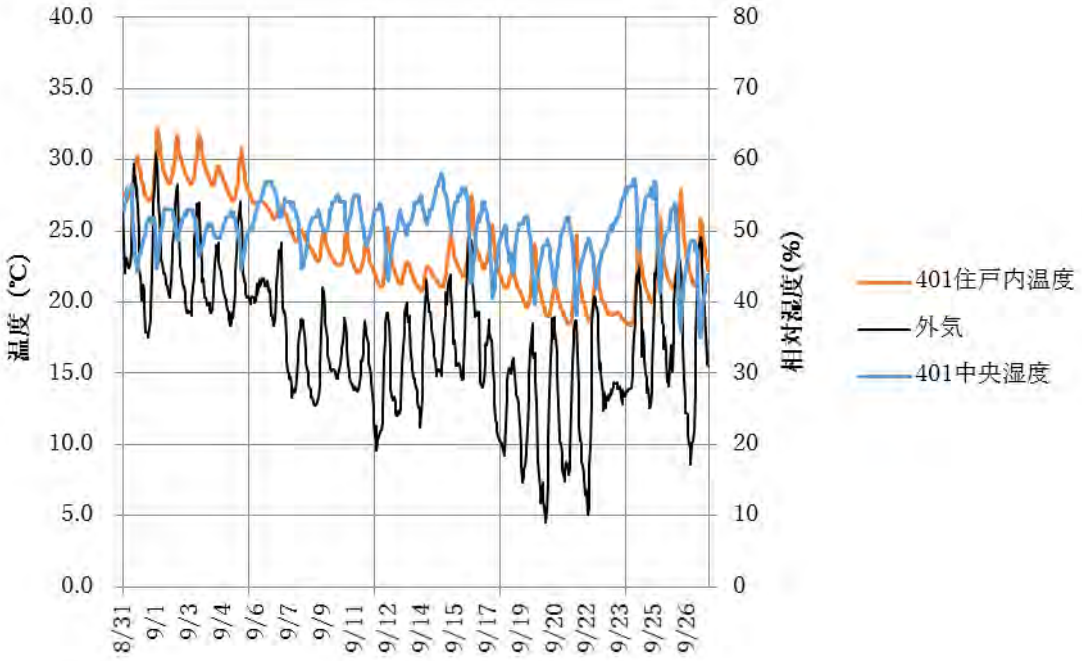


図 3.1.7　毎時の住戸内温度と湿度および外気温度の推移(401 号室)

図 3.1.6 および図 3.1.7 から、それぞれの日平均値を示したものを、図 3.1.8 および図 3.1.9 に示す。住戸内湿度は、101 号室（平均 68%）のほうが、401 号室（平均 50%）よりも高かった。これは、101 号室が地上階で、木組の床構造であったこと、床下地盤の防湿が無かったこと、などの影響と考えられる。図中には、外気湿度（旭川地方気象台観測値）も示したが、住戸内湿度は、外気湿度に比べて変動が少なく、概ね安定していたことから、開口部の気密性が比較的高く、風圧力による換気量は少なかったと考えられる。

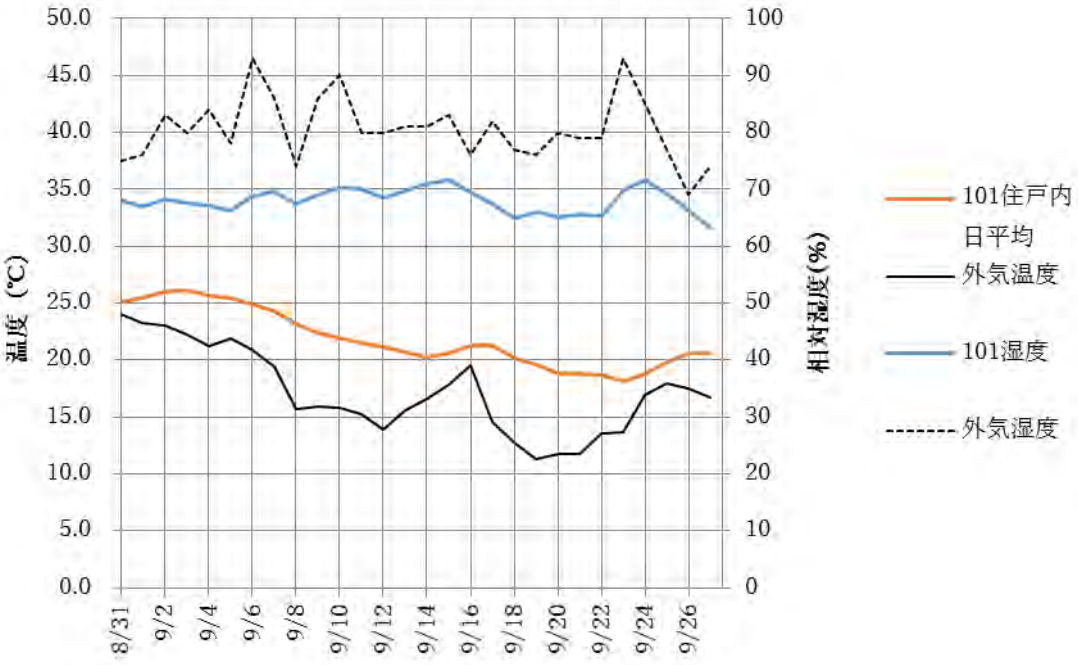


図 3.1.8　日平均住戸内温湿度(101 号室)

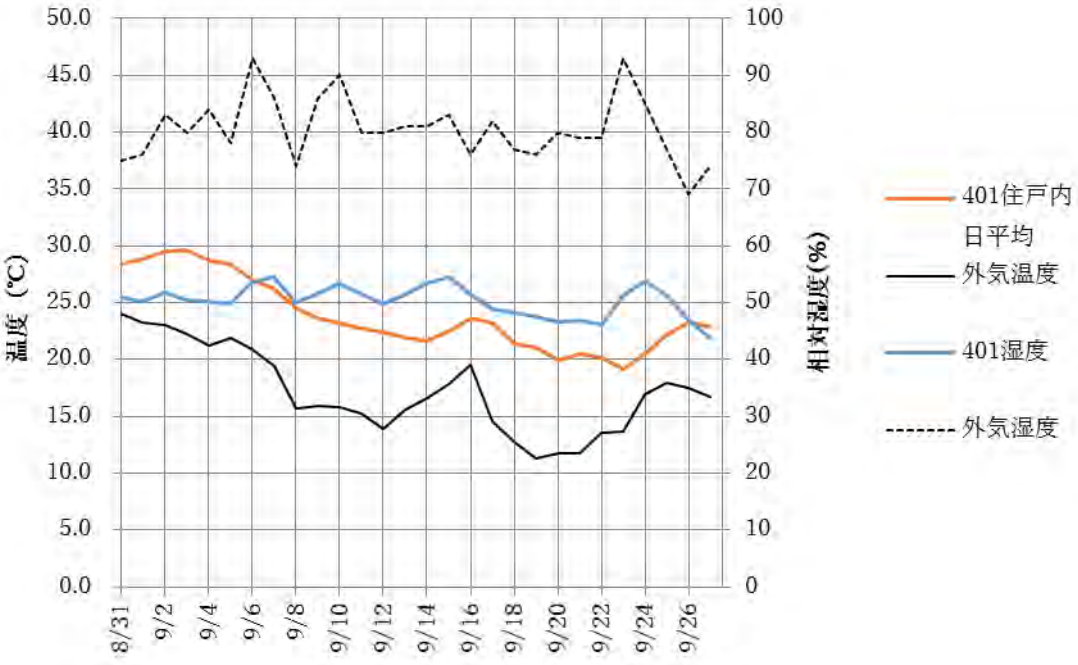


図 3.1.9　日平均住戸内温湿度(401 号室)

図 3.1.10 および**図 3.1.11** に、101 号室および 401 号室それぞれの、住戸内温度の実測値と計算値の比較を示す。住戸の単位床面積当たり熱容量は、住戸内温度計算値 A においては 194W/m²K（外壁を除いた間仕切り壁等と床スラブのコンクリート約 19m³ の熱容量を単位床面積当たりに換算した値。熱容量既定値とする。）とし、熱損失係数は、日平均風速を考慮して、日ごとに変動させた値を用いた。各日の熱損失係数と日平均風速を**図 3.1.12** に示す。住戸内温度計算値 B は、住戸内温度実測値と概ね一致するように、住戸の単位床面積当たり熱容量を 174W/m²K（熱容量既定値の約 90%）とし、さらに、熱損失係数を調整して求めた値である。なお、コンクリートの容積当たり熱容量は 2000kJ/m³K とした。

図 3.1.10 をみると、計算値 A は、実測値を大きく下回る傾向であることが分かる。これは、熱損失係数が、**図 3.1.12** に示した値よりも小さいことが要因と考えられる。そこで、熱損失係数を 1.44W/m²K（一定）、熱容量を既定値の約 90%として計算値（計算値 B）を求めたところ、概ね実測値と一致することがわかった。このことから、図面上から求めた熱損失よりも、実際の建物における熱損失の方が、かなり小さくなる可能性が示唆される。

図 3.1.11 をみても、**図 3.1.10** と同様のことがいえる。計算値 B の熱損失係数は 1.32W/m²K（一定）としたが、図 3.1.10 の熱損失係数を 1.44W/m²K と比較的近い値といえ、このことからも、実際の建物における熱損失は、図面上の熱損失よりもかなり小さくなることが考えられる。

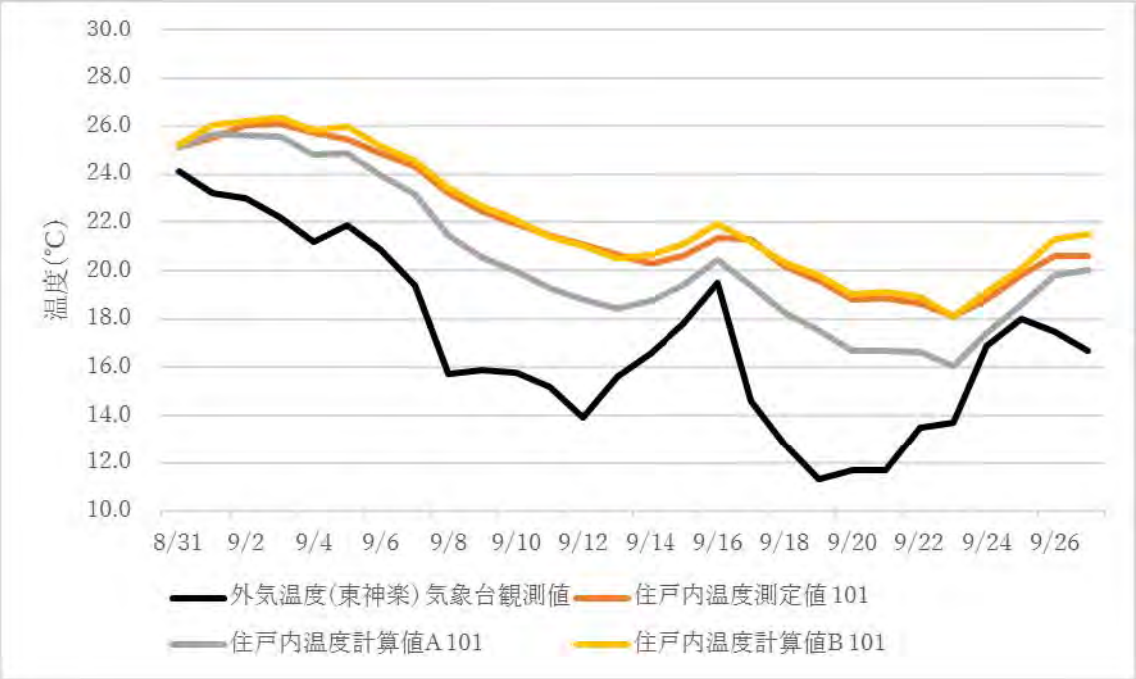


図 3.1.10　住戸内温度の実測値と計算値の比較（101 号室）

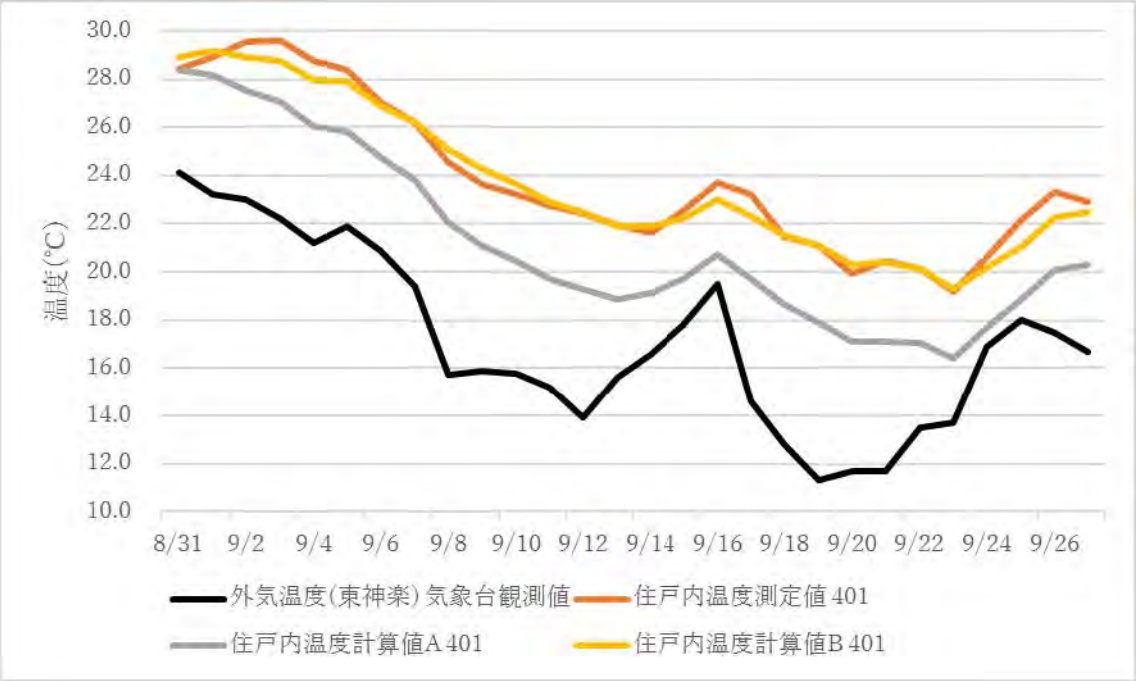


図 3.1.11　住戸内温度の実測値と計算値の比較（401 号室）

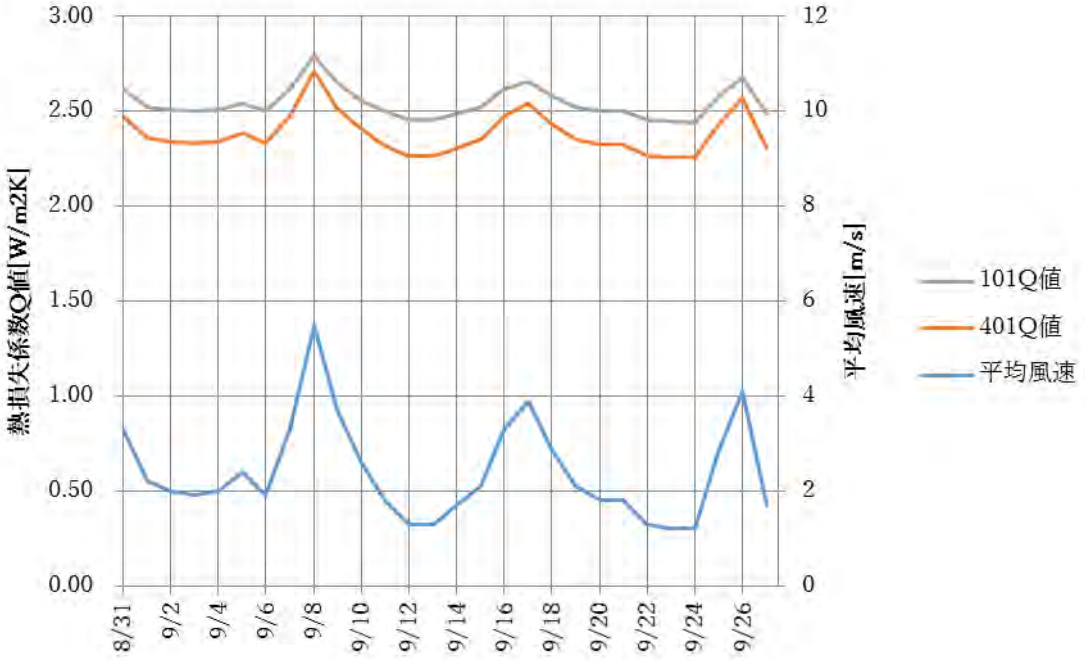


図 3.1.12　各日の熱損失係数と日平均風速

3.1.3　外部調査

(1)　目視調査

【南面バルコニー】**写真 3.1.10** に示すように、バルコニー鼻先においてかぶり厚さが十分に確保されていなかったため、鉄筋露出が多く見られた。また、凍害によって塗装の剥がれも多く見られた。さらに、バルコニー笠木の背面に侵入した水の影響により、コンクリートとモルタル界面の肌別れが確認された。また、**写真 3.1.11** に示すように、バルコニー下面の乾燥収縮ひび割れ、エフロレッセンスが確認できた。

バルコニー上面のモルタル防水層は**写真 3.1.12** のように砂利化していた。苔が繁茂しており、排水不良を起こしていると推察された。そのため凍害を引き起こし、モルタルが砂利化したものと考えられる。

写真 3.1.10　かぶり厚のない鉄筋の露出

写真 3.1.11　塗装の剥がれ

写真 3.1.12　コンクリートとモルタル界面の肌別れ

写真 3.1.13　モルタル防水層の砂利化

【バルコニー手すり】日射や雨水の影響により、全体的に錆が確認された。特に手すり支柱の根元にはシーリング等の防水がなく、水が内部に入りやすい状態である。そのため、前述の通り、笠木の背面においてコンクリートとモルタル界面の肌別れが発生したと考えられる。

写真 3.1.14　バルコニー手すりの錆

写真 3.1.15　手すり根元の状況。シーリングがないため、水が浸入しやすい。

【南面外壁】煙突コンクリートの爆裂が確認された。一般壁については塗装の剥がれが見られる程度であり、バルコニー鼻先のような凍害による劣化は見られない。また、窓サッシまわりのシールが完全に硬化していた。

写真 3.1.16　煙突の爆裂

写真 3.1.17　窓下の塗装剥がれ

写真 3.1.18　窓サッシまわりのシールの硬化

【北面階段室外壁】一部でかぶり厚の少ない鉄筋の露出やかぶりコンクリートの浮き、塗装剥がれが確認されたが、南面のバルコニー鼻先と比較して劣化の程度は小さい。

外断熱パネルを剥がした位置において、同様の劣化現象は確認されなかった。

写真 3.1.19　鉄筋の露出

写真 3.1.20　かぶりコンクリートの浮きと剥落

写真 3.1.21　外断熱パネルを剥がした外壁

【外断熱パネル面】外断熱パネルを留め付ける主アンカーの頭に錆が確認された（**写真 3.1.22**）。パネル間のシーリングは、東面、西面において被着面からの剥離が多く発生している（**写真 3.1.23**）。
西面においては、調査中の短期間の降雨により雨水がパネル背面に侵入した状況も確認された（**写真 3.1.24**）。

写真 3.1.22　主アンカー頭の錆　写真 3.1.23　シーリングの被着面からの剥離

写真 3.1.24　剥離部からの雨水の侵入

3.2　破壊調査

3.2.1　内部調査

(1)　断熱状況調査

【壁】壁の内断熱材は、設計図書より竣工時グラスウールであったと考えられるが、多くの住戸の北面及び妻面で、ウレタン吹付けが確認されたことから、断熱改修が実施されたものと推測される。**表 3.2.1** に各戸の内断熱状況調査結果を示す。1 階および 2 階の一部を除いて、ウレタン吹付けに改修されていることがわかる。グラスウールは、**写真 3.2.3** に示すように、外壁側に防湿層（ビニルシート）を有した構造となっており、内部側のボードによる防湿もあわせて、良好な状態が維持されていた。一部、黒ずみが見られるが換気口周辺の隙間からの空気移動に伴うものであり、カビではない。

写真 3.2.1　北面の内断熱の状況（グラスウール）
換気口周辺が黒ずんでいる

写真 3.2.2　北面の内断熱の状況
（ウレタン吹付け）

表 3.2.1　各戸の内断熱状況調査結果

部屋番号	101	102	103	104	105	106
北面	GW	GW	GW	GW	GW	GW
妻面	PUF	－	－	－	－	GW

部屋番号	201	202	203	204	205	206
北面	－	PUF	PUF	PUF	PUF	PUF
妻面	GW	－	－	－	－	PUF

部屋番号	301	302	303	304	305	306
北面	PUF	PUF	PUF	PUF	PUF	PUF
妻面	PUF	－	－	－	－	PUF

部屋番号	401	402	403	404	405	406
北面	PUF	PUF	調査不可	PUF	PUF	PUF
妻面	PUF	－	－	－	－	PUF

※　南面はいずれもグラスウール　【凡例】　GW：グラスウール　PUF ：ウレタン吹付け

写真 3.2.3　防湿層（ビニルシート）とグラスウール

【屋根スラブ】屋根スラブの断熱は、仕様書にはスラブ上面にグラスウール施工と記載されている。しかし、調査の結果スラブ下面に押出法ポリスチレンフォーム板(XPS1種75mm)がコンクリートと共に打ち込まれていることがわかった。2、3 階のスラブ下面は外壁に沿って押出法ポリスチレンフォーム板(XPS1種 25mm)による断熱補強が施されていた。天井の仕上げは XPS 表面に直接塗装されることにより行われていた。なお、現行の建築基準法においては、内装制限の関係から、直接塗装仕上げとすることはできない。

写真 3.2.4　屋根スラブの断熱材

写真 3.2.5　断熱補強の状況

【床下】2, 3, 4 階の床スラブは RC 造であり、畳と RC スラブの間には押出法ポリスチレンフォーム板が敷かれていたが、断熱目的ではなく床レベルの調整に用いられていたものである。1 階床は RC スラブではなく、調査した住戸では木造床組で、バラ板の上に新聞紙、ビニルシートを敷き、その上に畳が敷いてあった。1 階床の断熱は、畳部分は無かった。板張り部分は確認できなかったが、恐らく無いものと考えられる。なお、基礎には床下換気口が設けられており、地盤の防湿は無かった。畳下地のバラ板上に敷かれていた新聞紙は、すき間風防止のために居住者が敷き込んだものと考えられる。1 階の住民は相当寒かったことが予想される。

写真 3.2.6　1 階住戸の畳下の状況

写真 3.2.7　4 階住戸の畳下の状況

3.2.2　外部調査

(1)　コンクリート躯体調査

1)　中性化試験(コア法)

次ページの**表 3.2.2** にコア側面で測定した中性化試験結果を示す。以下、コア採取位置における内部と外部について、仕上げ、断熱種別、方位等によりそれらの結果を分類し、各平均値について比較検討を行う。

a.　外部

図 3.2.1 にリシン吹付け仕上げ外壁の外断熱有無による中性化深さの違いを示す。外断熱のない部分で比較した場合、南面バルコニー鼻先、北面外壁、南面外壁の順に中性化が大きい。外断熱有無で比較した場合、北面において、コンクリートの中性化深さは外断熱施工によって中性化が 4.9ｍｍ抑制されていることがわかる。

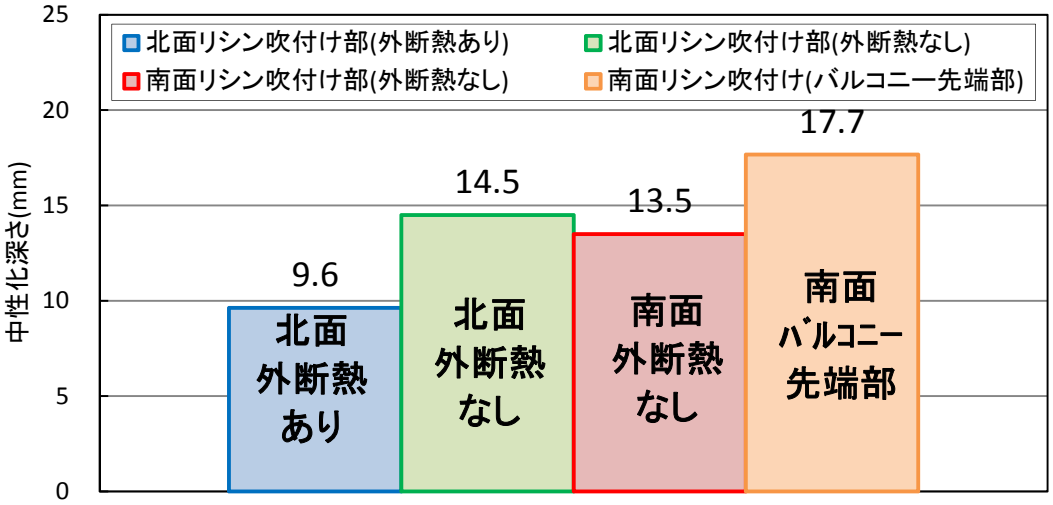


図 3.2.1　リシン吹付け仕上げ外壁の外断熱有無による中性化深さの違い

また、図 3.2.2 に窓下、窓横の外断熱有無による中性化深さの違いを示す。

まず、外断熱が施工されていない部分で比較すると、窓下の中性化深さが窓横よりも大きくなっていることがわかる。これは、窓下が雨水や結露水の影響を受けやすいため、仕上材やコンクリートの劣化が進行しやすいためと考えられる。

次に、外断熱施工の有無で比較すると、北面窓下において外断熱施工有りの場合、外断熱施工なしと比較して中性化深さが 9.3mm 小さくなっていることがわかる。一方で北面窓横では外断熱施工の有無に関わらずほぼ同じであり、これは外断熱施工により中性化深さが大きく変わらないと考えることができる。

また、外断熱施工なしの場合、窓横、窓下とも北面と南面の中性化深さがほぼ同じであり、試験体を採取した外壁面の方位の影響よりも同一面における採取位置の影響の方が大きい結果となった。中性化深さを変化させる要因として、コンクリートの含水率、仕上材およびコンクリートの劣化程度などが考えられる。北面と南面ではそれらの程度が異なるものの、複合的に作用した結果、ほぼ同程度の中性化深さになったものと考えられる。

以上より、外断熱施工には、RC 躯体や仕上材の劣化および二酸化炭素との接触を抑制し、結果として中性化の進行を抑制する効果があると考えられる。

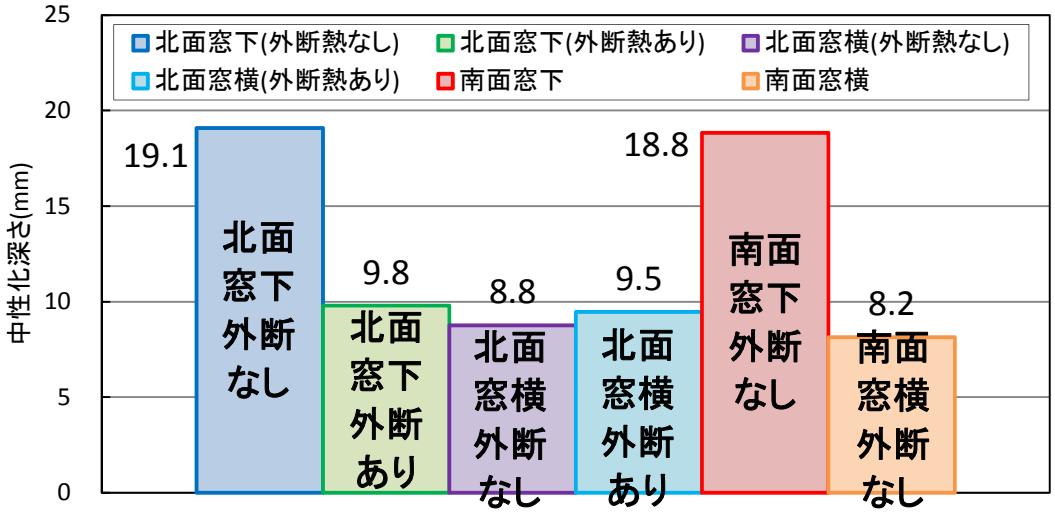


図 3.2.2　窓下、窓横の外断熱有無による中性化深さの違い

b. 内部

図 3.2.3 に断熱材種別や仕上げの違いによる内部中性化深さの変化を示す。最も大きくなっている部位は基礎内部の打放し部であり、中性化深さは 10mm となっている。これは前述の北面外壁の外断熱施工部とほぼ同じ数値である。基礎内部であるため、人の呼気による二酸化炭素濃度の増加が少なかったためと推察される。

部屋内部において断熱材種別毎に比較すると、グラスウール部は 8.1mm、XPS 部は 0mm、ウレタン吹付け部は 1.9mm と断熱材の通気性が小さい程中性化進行が少なくなっていることがわかる。

グラスウール部では、図 3.2.4 に示すように外壁側に防湿層が、内壁にはプリント合板が使用されていたため、コンクリートに二酸化炭素が到達しにくく、中性化が小さくなったものと考えられた。

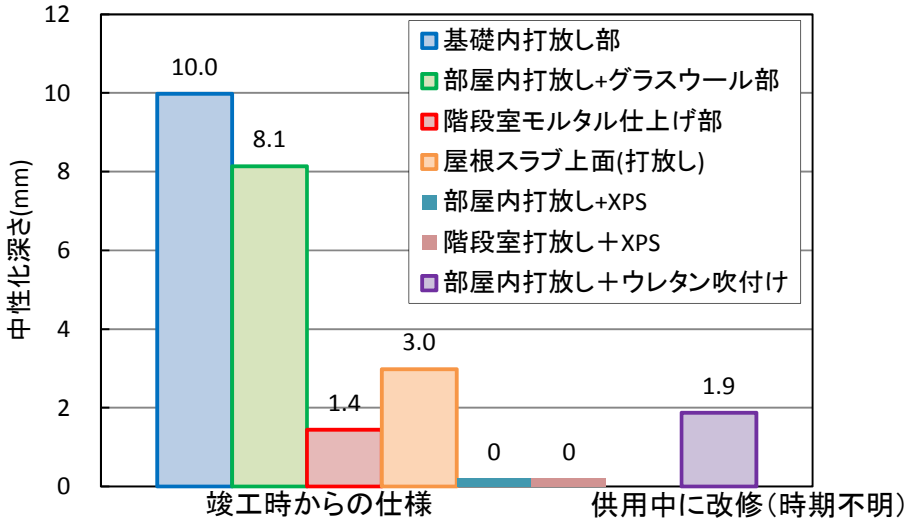


図 3.2.3　断熱材種別や仕上げの違いによる内部中性化深さの変化

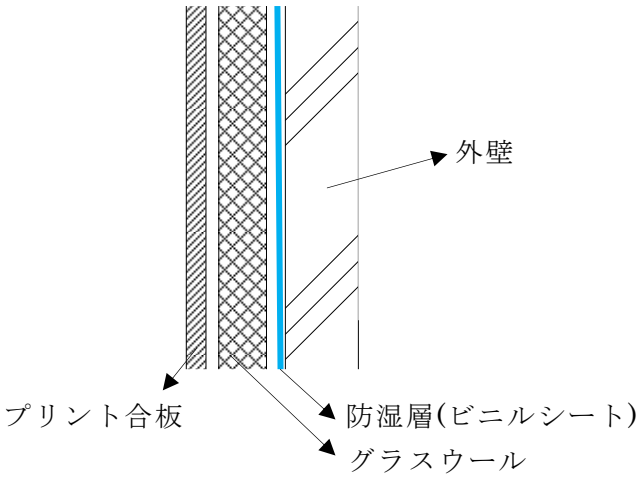


図 3.2.4　グラスウール部の断面構造

c. 外断熱によるコンクリートの中性化抑制効果について

調査建物は、改修により外断熱を施工しているため、外断熱施工以前にコンクリートの中性化は進行している。外断熱施工時からの中性化進行程度を把握するために、以下の条件で、中性化進行を予測した。

条件 1:昭和 48 年竣工、昭和 59 年外断熱施工のため、竣工から現在まで 43 年経過、竣工から 11 年後に外断熱施工を行ったものと仮定する。

条件 2：進行予測には、コアにて測定した同条件データの平均値を用いる。

条件 3：中性化進行予測には√t 則と呼ばれる下式を用いる。

$$C = A\sqrt{t}$$

ここに、　C：中性化深さ（mm）

A：中性化速度係数

t：経過年数（年）

① 北面階段室（外断熱なし）の中性化進行予測

表 3.2.3 に調査により得られた外断熱がない北面の中性化データを示す。ここには、前述の条件により中性化速度係数を求めた結果も含まれている。併せて、図 3.2.5 には√t 則に準じて中性化が進行していたと仮定した場合の中性化進行予測曲線を示す。

この図より、外断熱を施工していなかった竣工から 11 年までの中性化深さを予測することが可能となる。

表 3.2.3 北面階段室（外断熱なし）の中性化データ（mm）

<table>
<tr><th rowspan="2">記号
（位置）</th><th colspan="3">中性化深さ（mm）</th><th colspan="2" rowspan="2">中性化速度係数</th></tr>
<tr><th>測定値</th><th colspan="2">平均値</th></tr>
<tr><td>1-1（窓下）</td><td>18.1</td><td rowspan="5">19.1</td><td rowspan="9">14.5</td><td rowspan="5">2.91</td><td rowspan="9">2.21</td></tr>
<tr><td>1-8（窓下）</td><td>29.4</td></tr>
<tr><td>4-3（窓下）</td><td>15.1</td></tr>
<tr><td>4-3×（窓下）</td><td>14.3</td></tr>
<tr><td>4-5（窓下）</td><td>18.4</td></tr>
<tr><td>4-6（窓横）</td><td>6.4</td><td rowspan="4">8.8</td><td rowspan="4">1.34</td></tr>
<tr><td>1-5（窓横）</td><td>11.2</td></tr>
<tr><td>1-9（窓横）</td><td>7.8</td></tr>
<tr><td>4-4（窓横）</td><td>9.7</td></tr>
</table>

※経過年数　　43 年

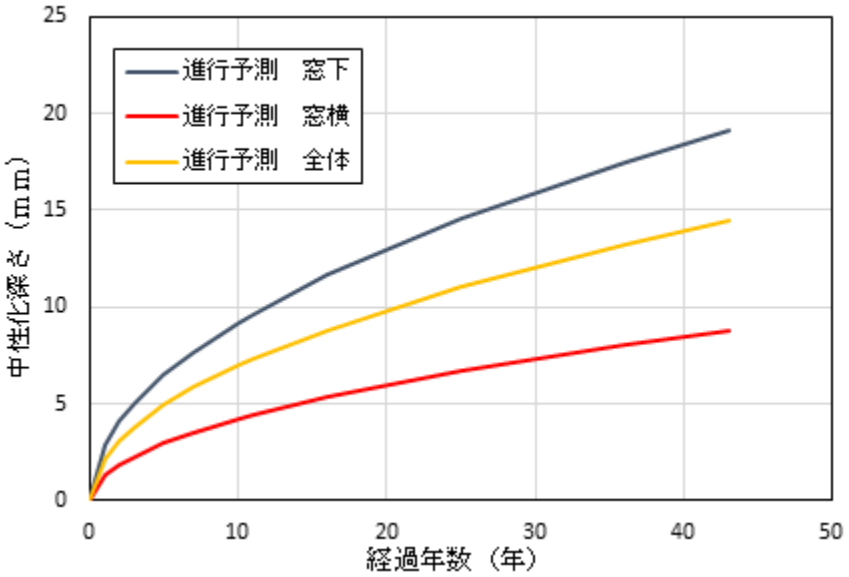


図 3.2.5 √t 則に準じて中性化が進行していたと仮定した場合の中性化進行予測曲線

（2）北面外断熱部分の中性化進行予測

表 3.2.4 に調査により得られた北面外断熱部分の中性化データおよび前ページの検討により得られた、外断熱施工前までの中性化深さ、それらを用いて算出した外断熱施工後の中性化速度係数を示す。併せて、**図 3.2.6** には√t 則に準じて中性化が進行していたと仮定した場合の中性化進行予測曲線を示す。

これより、全データの平均値で比較すると、外断熱施工前までに、中性化は 7.3mm 進行しており、施工後に 2.3mm 進行したことがわかる。中性化速度係数は、外断熱施工前には 2.21 であったのに対し、施工後には 0.72 と 1/3 程度まで減少しており、外断熱による中性化抑制効果を確認できる結果となった。主な効果は、二酸化炭素と躯体の接触確率の低下、既存塗膜の劣化抑制と推察される。

表 3.2.4　北面外断熱部分の中性化データ

記号(位置)	中性化深さ(mm) 測定値	平均値		①外断熱施工前迄の中性化進行(mm)		②外断熱施工後の中性化進行(mm)	
1-1(窓下)	7.9	9.8	9.6	9.6	7.3	0.2	2.3
1-11(窓下)	19.9						
4-1(窓下)	4.9						
4-8(窓下)	6.5						
1-2(窓横)	14.6	9.5		4.4		5.1	
1-10(窓横)	6.4						
4-2(窓横)	12.2						
4-7(窓横)	4.7						

③北面階段室の中性化深さ		④　③-①		④　②/④		外断熱施工後の中性化速度係数	
19.1	14.5	9.5	7.2	0.02	0.33	0.06	0.72
8.8		4.4		1.16		1.55	

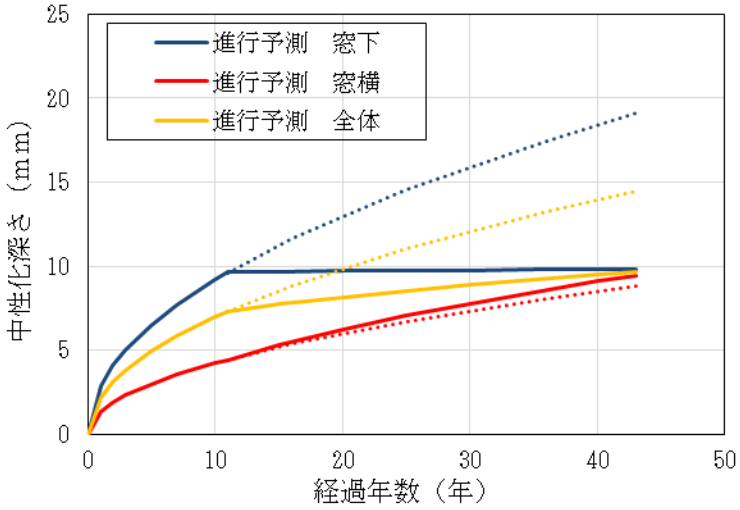


図 3.2.6　外断熱施工による中性化抑制効果

3)　圧縮強度試験

表 3.2.5 に圧縮強度試験結果を示す。圧縮強度は平均値で 1 階 30.0N/mm^2、4 階 41.1N/mm^2 と仕様書の設計基準強度である 135kg/cm^2 を大きく上回っている。

表 3.2.5　圧縮強度試験結果

試料番号	直径 d (mm)	高さ h (mm)	断面積 (mm^2)	h / d	補正係数	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm^2) 補正後	圧縮強度 (N/mm^2) 平均値
1-1	83.05	153.20	5417.13	1.84	0.98757	190.0	34.6	30.0
1-10	82.90	92.50	5397.58	1.12	0.89779	179.0	29.8	
1-14	83.05	76.00	5417.13	0.92	0.84963	164.0	25.7	
4-1	83.05	152.00	5417.13	1.83	0.98642	195.0	35.5	41.1
4-7	82.80	154.70	5384.56	1.87	0.98947	229.0	42.1	
4-13	82.90	153.70	5397.58	1.85	0.98832	249.0	45.6	

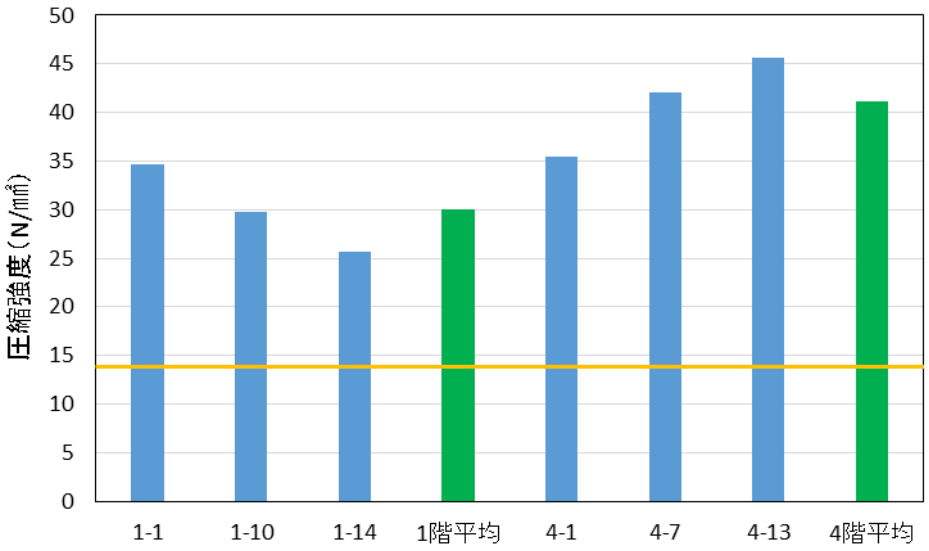


図 3.2.7　圧縮強度試験結果

4)　鉄筋腐食程度確認

次ページの**表 3.2.6** に採取コアにおける鉄筋のかぶり厚さ、中性化深さおよび鉄筋腐食グレードの関係の一覧を、**図 3.2.8** に内外部および外断熱有無による中性化残りと鉄筋腐食グレードの関係を示す。なお、この図における中性化残りとは、鉄筋のかぶり厚さからその位置における中性化深さの最大値を引いた値を示している。従って、中性化残りがマイナスとなっている場合に、鉄筋位置まで中性化が進行していることを意味する。

下図より、今回の調査範囲において、内部ではいずれも中性化が鉄筋位置まで到達しておらず、鉄筋腐食グレードは 3 以下となっている。

一方、外部の外断熱が施工されていない部位においては、主にかぶり厚さが浅いことに起因して、中性化が鉄筋位置まで到達している箇所が確認され、そこでの鉄筋腐食グレードは 3～4 となっている。

また、外部の外断熱が施工されている部位においては、1 箇所で中性化残りがマイナスとなり、その腐食グレードは 3 となった。この部位のかぶり厚さは 13mm と小さいため、外断熱施工がなければ、鉄筋はさらに腐食していた可能性も考えられる。

ただし、データ数が少なく明確な傾向は確認できないため、今後のデータ蓄積が望まれる。

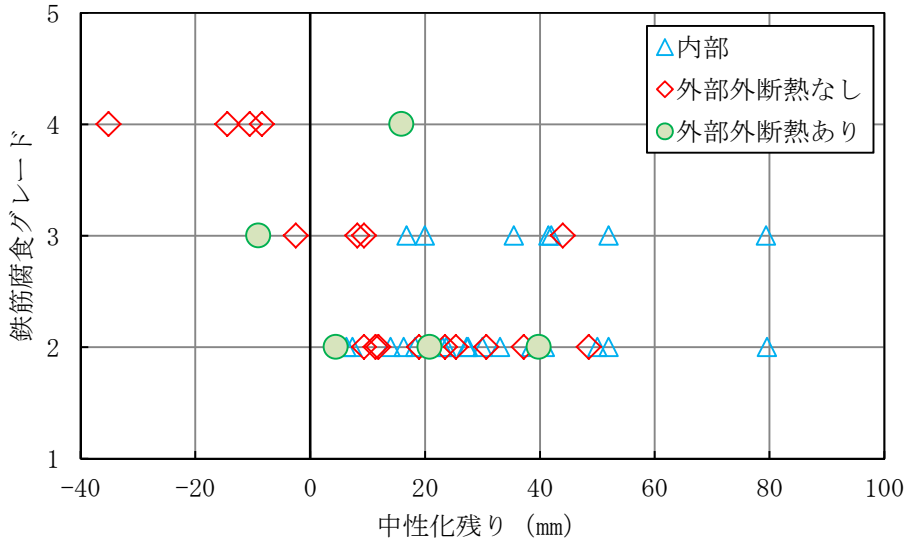


図 3.2.8　内外部および外断熱有無による中性化残りと鉄筋腐食グレードの関係

(2)　外断熱パネル調査

1)　撤去した外断熱パネルおよびその背面の状況

外断熱パネルは、接着剤+主アンカーを用いて施工されていたが、躯体面の既存塗装は除去されておらず、その上に外断熱パネルが施工されていた。主アンカーの留付は3×6 板に対して 6 箇所（4 角＋中間、@900）であった。

写真 3.2.8　北東面①試験体採取箇所の状況

写真 3.2.9 に外断熱パネル表面の状況を示す。開口部下隅角部に水痕が見られたが、施工後 30 年以上経過していることを考えると外装は良好な状態といえる。

写真 3.2.9　外断熱パネルの表面

写真 3.2.10 に外断熱パネル取り外し後の躯体面を示す。外断熱パネル表面に水痕が見られた部分の裏面に水痕が見られた。既存塗装の剥離部分は、接着が有効であった部分といえるが、取り外した部分の面積（およそ 0.9m×0.9m）に対して被着面積は極僅かであった。

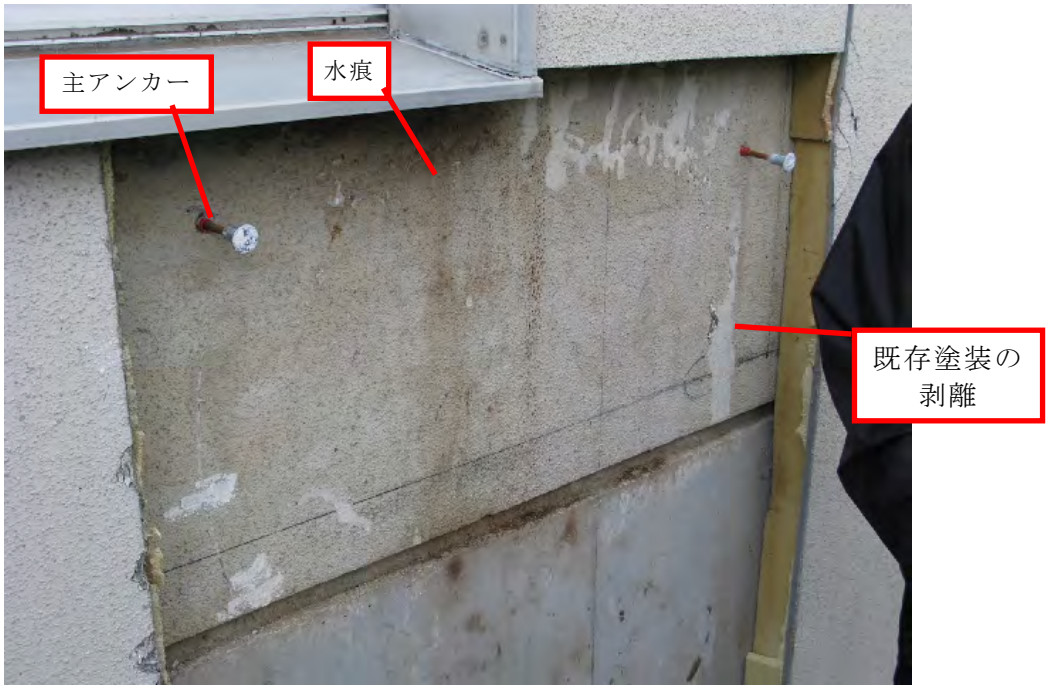


写真 3.2.10　外断熱パネル取り外し後の躯体面

写真 3.2.11 には取り外した外断熱パネルの接着面を示す。接着剤は、外断熱パネル側に塗りつけてから躯体面に施工されており、周辺部を除いた前面に塗りつけられていたが、接着が有効であった部分は、既存塗装が剥離した部分のみで、極僅かといえる。被着部の剥離は、既存塗膜とコンクリートの界面であった。接着面積が少なかった原因として、接着剤の塗り厚が少なかったこと、あるいは粘度が低く適切な塗り厚を確保するには不適当であったこと、躯体の不陸が想定よりも大きかったこと、などが考えられる。そのため接着力はほとんど期待できず、主アンカーのみによって外断熱パネルが支持されていたものといえる。なお、外断熱パネルの垂れ下がりや緩みは確認されなかったことから、主アンカーのみで、必要な支持力は確保されていたものと考えられる。また、他の外断熱パネル試験体採取箇所についても同様の状況であった。

写真 3.2.11　取り外した外断熱パネルの接着面

主アンカー頭にサビの発生はなく、外装の汚損も見られなかった(**写真 3.2.12**)。ただし、補助アンカーはサビの発生があり、外装の汚損が見られた。

写真 3.2.12　外断熱パネル主アンカー留付部の状況
（ハンマーにて主アンカー頭周辺の外断熱パネル外装を破壊した後の状況）

写真 3.2.13 に取り外した主アンカーの状況を示す。主アンカーはフィッシャー製（ドイツ）であった。胴部においては、その表面のほぼ全面にサビが発生していたが、極度の断面欠損は見られなかった。主アンカー頭キャップにサビは観察されなかったが、アルミダイキャスト製であることによる。なお、主アンカーは比較的容易に取り外すことができる箇所も存在した。

写真 3.2.13　取り外した主アンカーの状況

写真 3.2.14 に補助アンカー留付部の状況を示す。写真は出隅において、他方面との面合わせのために、補助アンカーが多数留め付けられた部分である。補助アンカーにおいては、主アンカーのようなキャップが用いられていないため、サビの発生により外装の汚損が見られた。

写真 3.2.14　補助アンカー留付部の状況

写真 3.2.15 に外断熱パネル目地シールの撤去状況を示す。シーリングはポリファルサイド系と考えられる。北東面および南東面に関しては比較的良好な状態で、外断熱パネル面材との付着も確認されたが、北西面に関しては劣化している感触であり、シール切れも確認された。

写真 3.2.15　外断熱パネル目地のシール

写真 3.2.16 に北西面外断熱パネル目地の濡れ状況を示す。北西面の外断熱パネル取り外し前に、比較的強い降雨（5 ㎜/時程度）が 15 分ほどあった。特に、パネル目地に雨水の滞留が観察された。北西面のパネル目地間シールは劣化が進んでおり、ほとんどがシール切れの状態と考えられたことから、そのシール切れ部分に雨水が滞留しやすかったものと推察される。

写真 3.2.17 にパネル撤去後の状況を示す。降雨の 1 時間ほど後に、外断熱パネルを取り外したところ、パネル裏面への雨水の浸入が確認された。他の面は、降雨後においても、躯体面の濡れは観察されなかったことから、北西面については、シール切れ部分から雨水が浸入し、短時間の内に、外断熱パネル裏面全体に拡散したと考えられる。つまり、シール切れなどの僅かな隙間からも、降雨のほぼ直後には、外断熱パネル裏面まで雨水が浸入し、短時間の内に拡散する恐れがあるので、外断熱の防水線は躯体面として認識する必要があるといえる。

写真 3.2.16　北西面の外断熱パネルの目地（雨水による濡れ）

写真 3.2.17　北西面パネル撤去後の状況

写真 3.2.18 に南東面のパネル撤去前状況を示す。分電盤下に水痕が見られたため、この部分から外断熱パネル試験体を採取したところ、断熱材と躯体の間に、クロアリによる蟻道が確認された。分電盤と外断熱パネルの目地シール部分から滲入した雨水等の水道を辿って、地盤から上がってきたものと考えられる。なお、断熱材内には、蟻道や食害痕は観察されなかった。

写真 3.2.18　南東面の状況。
分電盤下に水痕が見られた。

写真 3.2.19　パネル撤去後の状況

2)　留付け状況調査

a.　主アンカーの状況および引張強度試験結果

表 3.2.7 に主アンカーの状況および引張強度試験結果を示す。いずれの主アンカーも程度の違いはあるものの、腐食が生じている状態であった。測定値は 0.71～3.70kN に分布し、平均値は 1.81kN となった。また、アンカーの破壊状況はいずれも引き抜けであり、コンクリートのコーン破壊は生じなかった。

表 3.2.7　留付け主アンカーの状況および引張強度試験結果

記号	位置	外断熱撤去後の腐食状況	引張強度 (kN)	破壊状況	平均値 (kN)
No.1	北面窓下	全面浮き錆	1.82	引き抜け	1.81
No.2	北面窓下	全面錆	2.73	引き抜け	
No.3	北面窓下	一部点錆	1.12	引き抜け	
No.4	東面一般部	全面浮き錆	0.71	引き抜け	
No.5	北面一般部	一部浮き錆	0.79	引き抜け	
No.6	北面一般部	全面錆	3.70	引き抜け	

写真 3.2.20　NO.1，全面浮き錆

写真 3.2.21　NO.2　全面錆

写真 3.2.22　NO.3，一部点錆

写真 3.2.23　NO.4，一部浮き錆

b. 引張強度試験結果の安全性についての検討

① 現地における主アンカーの引張強度試験結果

表3.2.8に現地におけるアンカー引張強度試験結果を示す。測定値は0.71～3.70kNに分布し、平均値は1.81kNとなった。この引張強度を有するアンカーの耐風圧性能を計算する。

表3.2.8　現地におけるアンカー引張強度試験結果

記号	位置	腐食状況	引張強度(kN)	
			測定値	平均値
No.1	北面窓下	全面浮き錆	1.82	1.81
No.2	北面窓下	全面錆	2.73	
No.3	北面窓下	一部点錆	1.12	
No.4	東面一般部	全面浮き錆	0.71	
No.5	北面一般部	一部浮き錆	0.79	
No.6	北面一般部	全面錆	3.70	

写真3.2.24　外断熱パネルの断面

② 外断熱パネルについて

名称：東洋ＦＲＣ断熱パネル外断熱工法
構成：繊維補強セメント板（厚さ約8mm）
　　の上にリシン吹付
　　ロックセルボード（厚さ約50mm）(**写真**3.2.24)
パネル寸法：900mm×1800mm
アンカー位置：900×900mmにつき4本(**写真**3.2.25)

写真3.2.25　アンカー位置の概要

③ 主アンカーについて

種別：プラスチック製拡張アンカー
　　(拡張ボルト締付け方式、HILTI社製)
軸径：6.5mm(先端30mmがネジ形状)(**写真**3.2.26)

④ 建物概要

所在地：北海道上川地方
軒の高さ：　14 m(断熱改修設計図より)
建物の高さ：　16.52 m(断熱改修設計図より)
地表面粗度区分：Ⅲ(海岸線からの距離500m以上)
基準風速：　30 (m/s)
地表面粗度区分に応じたZ_b, Z_G, αの値:

Z_b:　5
Z_G:　450
α:　0.2

写真3.2.26　アンカーの構成

⑤　計算

建築基準法告示1458号に準じ、(1)式により風圧力を算出する。

$W = \bar{q}\hat{C}f$　　(1)式

ここで、　W ：風圧力(N/m^2)

$\bar{q}$ ：平均速度圧(N/m^2)

$\hat{C}f$ ：ピーク風力係数(瞬間最大値)

また、平均速度圧は(2)式により算出する。

$\bar{q} = 0.6{E_r}^2{V_0}^2$　　(2)式

ここで、　E_r ：平均風速の鉛直分布を表す係数

Ⅰ:HがZ_b以下の場合、Er=1.7$(Z_b/Z_G)^{\alpha}$

Ⅱ:HがZ_bを超える場合、Er=1.7$(H/Z_G)^{\alpha}$

H:建築物の高さと軒の高さとの平均高さ(m)

Z_b, Z_G, α ：地表面粗度区分のⅠ～Ⅳによる。但し、Ⅳの場合は、Ⅲの場合の数値を用いる。

V_0:基準風速(m/s)

本建築物では、Zb=5＜H=(16.520+14)/2＝15.26　なので、前述のⅡに該当する。

Er=1.7$(H/Z_G)^{\alpha}$　　＝　0.864

$\bar{q} = 0.6{E_r}^2{V_0}^2$　　＝　403.1　(N/mm^2)

次に、ピーク風力係数$\hat{C}f$　を求める。

$\hat{C}f = C_{pe} \cdot G_{pe} - C_{pi} \cdot G_{pi}$

ここで、　C_{pe}:ピーク外圧係数であり、地表面粗度区分により決まる。

G_{pe}:ピーク外圧ガスト影響係数であり、地表面粗度区分により決まる。

C_{pi}:ピーク内圧係数であり、地表面粗度区分により決まる。

G_{pi}:ピーク内圧ガスト影響係数であり、地表面粗度区分により決まる。

本建物で危惧されるのは、負圧による脱落であるため、負圧に対するピーク風力係数を求める。負圧の場合のピーク風力係数は表3.2.9のとおりであるから、

$\hat{C}f$　＝　-1.8　(一般部)

-2.2　(隅角部)

表3.2.9　ピーク風力係数(負圧の場合)

部位	ピーク外圧係数Cpe・Gpe			ピーク内圧係数 Cpi・Gpi※
	H≦45	45＜H＜60	60≦H	
一般部	-1.8	この間は直線補間とする	-2.4	0
隅角部	-2.2		-3.0	

※　ピーク内圧係数は、閉鎖型建築物の時の値を示す。

以上より、安全側の隅角部の数値を用いて計算を行うと、

$W = \bar{q}\hat{C}f$　＝　403.1　×　(　-2.2　)　＝　-886.9　(N/m^2)

部材は寸法0.9m×1.8mであるので、そこにかかる風圧力W1は

W1=0.9*1.8W　＝　-1436.7　(N)　となる。

Ｗ１の風圧力を６本のアンカーで支持するので、一本のアンカーに必要な引張耐力Ｐは、

P=W1/6=　-239.5　(N)　＝　-0.24　(kN)　となる。

今回の調査の結果はいずれも上記数値をクリアしており、アンカーは十分な耐力を保持していると考えられる。

2.2.3　断熱材の性能試験

(1)　グラスウール

図 3.2.9 にグラスウールの熱伝導率および密度試験結果を示す。調査の結果、密度が 2 試料の平均値が 9.1kg/m^3 であることから 8K50mm 品若しくは 10K50mm 品であると推察された。熱伝導率は 0.050～0.055W/m･K と 10K50mm 品に相当する結果であった。

繊維径については現在流通しているものよりもショットが非常に多く、ジャリジャリした印象であった。また、場所により繊維の細い部分と太い部分の偏りが見られた。バインダー付着率は平均 12.9wt％であり、現在流通しているものの 96K 超のレベルである。

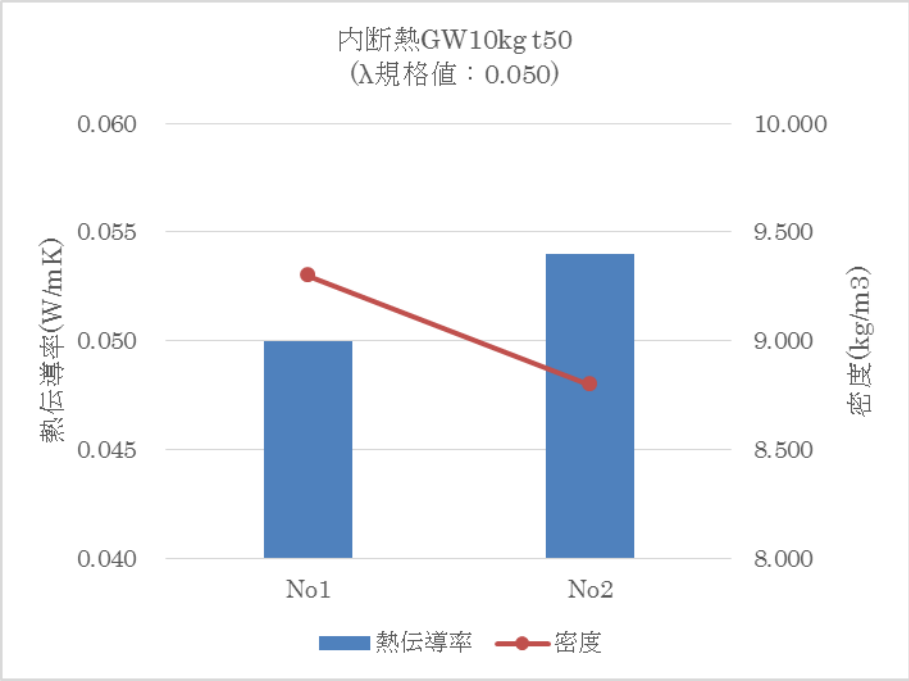


図 3.2.9　グラスウールの熱伝導率および密度試験結果

(2)　押出発泡ポリスチレン板

図 3.2.10 に屋根スラブ断熱材の熱伝導率と体積含水率を示す。断熱性能の低下は小さく、長期経年を経ても実用的な性能は確保されていた。

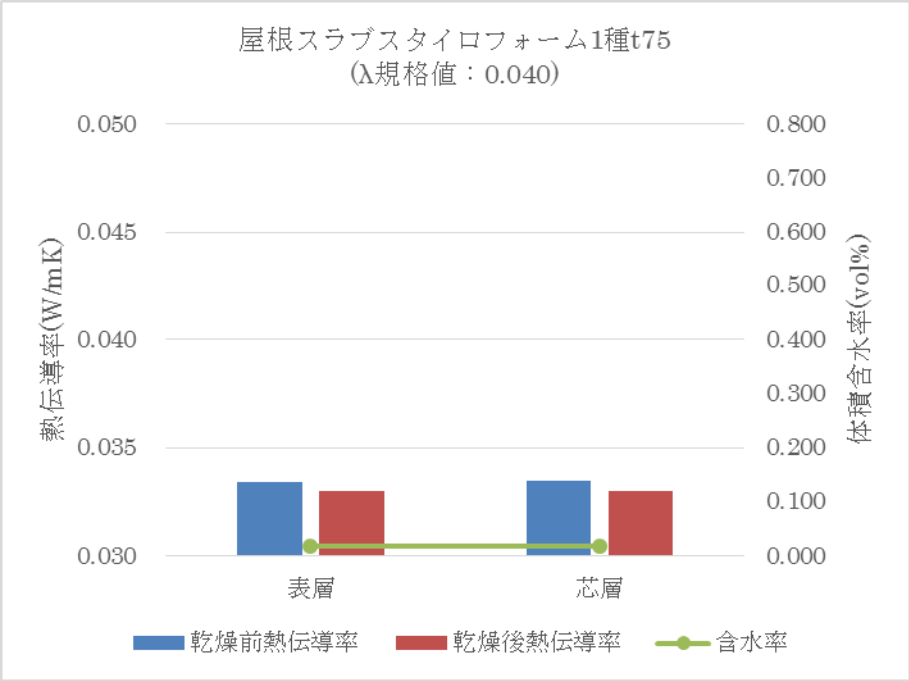


図 3.2.10　屋根スラブ断熱材の熱伝導率と体積含水率

(3)　炭酸カルシウム系発泡板

図 3.2.11 に外断熱ロックセルボードの熱伝導率と体積含水率を示す。断熱性能の低下は小さく、長期経年を経ても実用的な性能は確保されていた。

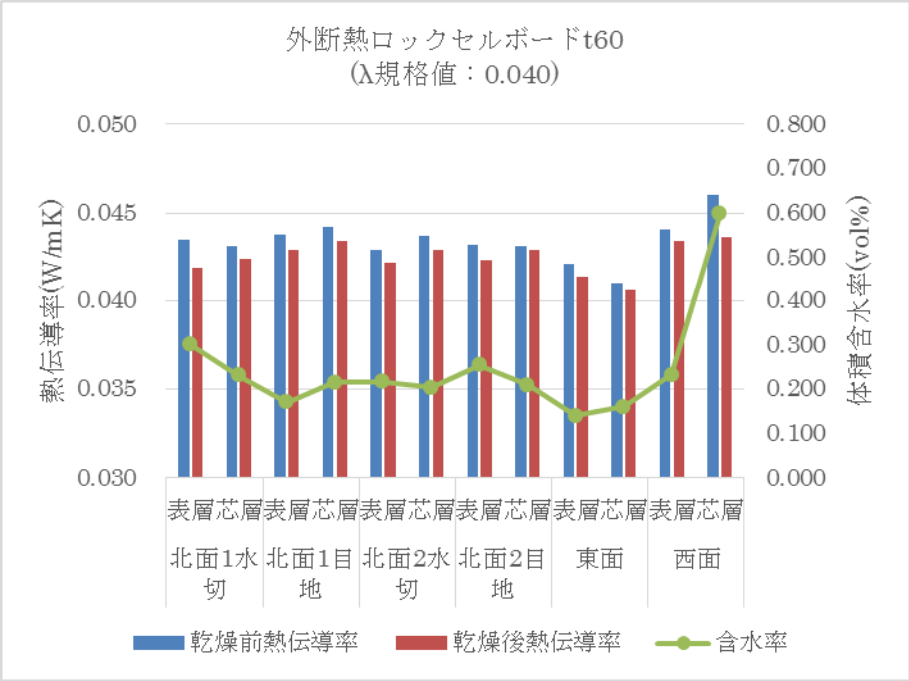


図 3.2.11　外断熱ロックセルボードの熱伝導率と体積含水率

(4) 吹付け硬質ウレタンフォーム

表 3.2.10 に採取した試験体の調査結果を示す。発泡剤分析の結果、発泡剤は CFC11 であることがわかった。熱伝導率は測定に必要な寸法を確保できなかったため、不明であるが、発泡剤に比較的断熱性能が高く、残存率の高い CFC21 が含まれていたため、ある程度の断熱性能は有していたものと推察される。

表 3.2.10　採取した試験体の調査結果

項　　目		調査結果	備　　考
発泡剤分析結果		CFC11	
密度(kg/m^3)		33.8	3 層品
独泡率(%)		89	3 層品
圧縮強さ(N/cm^2)		22.5	3 層品(30×50×50mm)
体積変化率(vol%)	-20℃×24h	-0.4	2 層品(10×50×50mm)
	70℃×24h	0.0	2 層品(〃)
	50℃,70%Rh×24h	0.5	2 層品(〃)

§4　まとめ

本業務では、外断熱施工後 32 年が経過した建築物に対し、外断熱の現況及びその有効性を確認するための各種調査を実施した。そこで明らかになったことを以下にまとめる。

(1)　建築物の劣化状況について

本建築物は、昭和 48 年に竣工し、その 11 年後に南面を除く 3 面に外断熱を施工している。現在までに竣工から 43 年、外断熱を施工してから 32 年が経過している。

外断熱を施工していない南面のバルコニー先端部および階段室の外壁には、主にかぶり厚さ不足に起因する鉄筋腐食、かぶりコンクリートの浮き、剥落が生じている。特に南面のバルコニー先端部ではそれらに加えて凍害が複合的に作用しており、劣化を促進させている状況である。原因はかぶり厚さ不足に加え、笠木とバルコニー手摺り支柱の取り合い部分に防水対策がなされていないことであると考えられる。

内断熱の竣工時の仕様はグラスウールであったが、寒さ対策のため、一部の住戸でウレタン吹付けに改修されていた。グラスウール自体は断熱性能の低下もなく、良好な状態を維持していた。原因として、防湿層が外壁側に施工され、内壁にプリント合板が使用されていたことが考えられる。

(2)　外断熱の現況について

外断熱施工された 3 面においては、塗装の剥がれや補助アンカーの頭部分の露出が局所的に確認された。これらは日射の影響が大きい西面に多く確認された。パネル表面の凍害は確認されなかった。また、西面においてはパネル間シーリングの破断が確認され、雨水がパネル背面に廻っている状況も確認された。さらに、破壊調査を行った留付け主アンカーはいずれも腐食を生じていた。

一方、外断熱に使用されているロックセルボードの断熱性能は長期経年を経ても低下しておらず、施工当初の性能が確保されていた。

また、外断熱パネルを剥がした結果、接着剤は殆ど既存外壁面に接着していないことがわかった。施工時の仕様等は不明であるが、パネルは留付け主アンカーにより支持されていることがわかった。

留付け主アンカーの引張強度は 0.71～3.70kN に分布し、平均値は 1.81kN となった。いずれも引き抜け破断した。この強度は現行基準において計算した風圧力に対し十分な耐力であることを計算により確認した。

以上より、外断熱施工から 32 年が経過した現在において外断熱パネルの落下等は確認されず、パネル表面にも著しい劣化現象は確認されないが、パネル間シーリングの破断やそこからの雨水の浸入、さらには主アンカーの腐食も確認されていることから、今後腐食に伴う鋼材耐力の低下が懸念される状況であるため、定期的な調査やシーリングの打替え等を実施することが必要であると考える。

(3)　外断熱によるコンクリートの中性化および鉄筋腐食抑制効果について

コンクリートの中性化進行は同仕上げ部において外断熱有無で比較すると、外断熱施工により抑制されたことがわかった。また$\sqrt{t}$ 則を用いた予測結果から、該当データの平均値で比較すると、外断熱施工前までに、中性化は 7.3mm 進行しており、施工後に 2.3mm 進行したことがわかった。中性化速度係数は、外断熱施工前には 2.21 であったのに対し、施工後には 0.72 と 1/3 程度まで減少しており、外断熱による中性化抑制効果を確認できる結果となった。鉄筋腐食程度については、一箇所で外断熱の効果により腐食程度が小さくなった可能性が考えられた。しかし、データ数が少ないため、今後のデータ蓄積が望まれる。