

リニューアル対応外装診断・改修技術の開発 - その2 乾式外装システムの設計と実証実験 -

新田 泰士* 関根 秀弥*
田原 良二* 横山 直樹*

要 旨

前報(その1)¹⁾では、既存建物のリニューアルへの取り組みとして開発を行った乾式外装システムの開発のねらいと工法概要について報告した。本報は、検討タイプとして考案したフレーム工法(以下、本工法と略す)の、実施設計、基本性能実験および既存の建物で行った実証実験結果について報告する。

本工法は、施工性やメンテナンス性および更新対応性などの向上を目的としたノンシールタイプの乾式工法であり、本年度は昨年度作成した工法概念図に基づき具体的な設計および試作を行った。引き続き、それらの結果に基づいた実用化モデルの設計・製作を行い、実大試験体による実証実験へと移行した。

実用化モデルの基本性能試験は、耐風圧性能、水密性能および耐震性能に関してを行い、必要とする性能値を確保していることを確認した。また、本工法と在来工法との断熱性状比較試験により、その遮熱効果が優れていることが判明した。

さらに、本工法の施工性の評価や改修工事に用いた場合の問題点を把握する目的で、実際の建物において試験施工を行い、歩掛かりや工事騒音を把握している。現在は、試験施工した外装パネルの汚れ評価のための観察と遮熱性能評価試験を継続中であり、その概要についても報告する。

1. はじめに

現在、新築・改修を問わずRC外壁に二重壁としてコートする乾式外装工法と呼ばれる工法は、そのほとんどが下地に縦または横方向に胴縁を用いており、この胴縁に表面材を取り付ける方法がとられている。乾式外装工法の下地パターンを図-1に示す。

この工法は、下地となる胴縁の取り付けに時間と労力を要し、これが乾式二重壁工法のコスト高の主な要因となっている。また、表面材同士の接合部にはシール材を用いた工法がほとんどであり、シール材の成分およびシール材に付着した塵埃等により表面材の美観が損なわれる例が多い。さらに、シール材の耐用年数が他の構成部材の耐用年数に比べ極端に短いことから、シール材に関するメンテナンスが建設初期より発生しLCC(Life Cycle Cost)を引き上げる要因となっている。

2. 工法の概要

本工法は、施工性やメンテナンス性および更新対応性などの向上を目的として考案したノンシールタイプの乾式外装工法である。本工法概念図を図-2に示す。

2.1 試設計

工法概念に基づき、本工法の試設計と試作を行った。部材の仕様決定に際しては、特に下地基板となるフレーム、シールレス化を図る雨水処理機構の組み込みおよび取付け・取り外し時の施工性を左右するファスナーに重

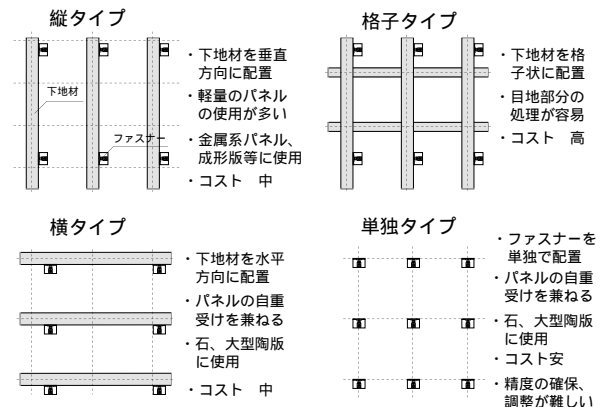


図-1 乾式外装工法の下地パターン

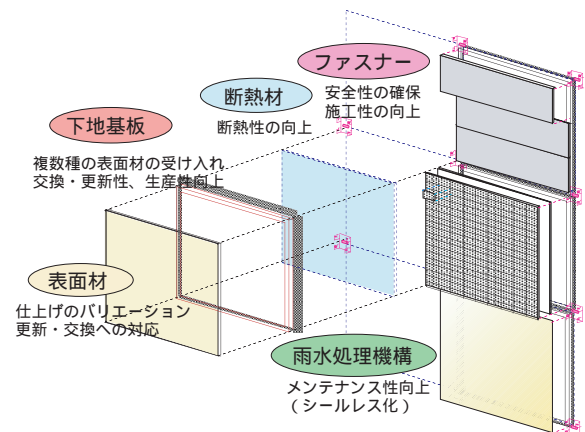


図-2 本工法概念図

* 技術研究所

点において設計を行った。各構成部材の設計主旨および概要を下記に示す。

(1) 表面材

表面材については、そのデザインパターンとしてタイル、塗装、素地の3種類を想定し、下地基板との関わりも含めて、現在市販されている外装材の調査を行い、以下の表面材を対象とした。

- ・ 押出し成形セメント版(タイル、塗装、素地)
- ・ 窯業系サイディング(タイル、塗装)
- ・ 鋼板系パネル(素地、塗装)

(2) 下地基板と雨水処理機構

下地基板の設計に際しては、複数種の市販外装材の取付けが可能な形状・寸法、雨水処理機構の組み込みおよびファスナーへの取付けを考慮し、その形状をチャンネル状の線材を組み合わせた四方枠(フレーム)とした。フレームの寸法については、市販の外装材で最も多く用いられているモジュール(303mm、455mm、910mm)とハンドリング性を考慮し、910×910mmを標準とした。また、目地のシールレス化を図るための雨水処理機構については、パネル(表面材+フレーム)ジョイント部からの雨水浸入防止用にフレーム周囲に水返し材を配し、さらにフレーム内に浸入した雨水の滞留防止のため、フレームの上枠に勾配を設けた。

(3) ファスナー

ファスナーは、パネルの取付け時の施工性およびパネル単体の交換の容易性に配慮して設計を行った。具体的にはファスナーをパネル交差部に1ヶ所づつ配し、パネルの取付け・取外しが他のパネルと干渉しないようパネルの4隅を独立した形で支持できる4点支持方式の機構とした。これにより、ファスナーの設置数は従来の乾式石張り工法に対して2/3に減少させることができる。パネルの取付け方法は、ファスナー

に設けた支持金物(ホルダー)にパネルを差し込み、押さえ込む方式で、取外す場合はパネル間の目地の隙間からホルダーのボルトを緩めることでパネル単体の取り替えが可能となる。

フレーム交差部を図-3に示す。

2.2 試作

押出し成形セメント板、住宅用窯業系サイディング材および金属系の切板材(ステンレス・アルミ)の3タイプの表面材を使用して、計6種類の実大パネルの試作を行った。試作したパネルを写真-1に示す。

2.3 実用化

試設計・製作結果をもとに、工法の実用化を図るべく、外装材として要求される機能の抽出と、性能設定を行った。表-1に要求性能を示す。各要求性能の設定根拠を下記に記す。

(1) 耐風圧性能

外装材に要求される耐風圧性能は、対象建物の高さの区分(31m以下または31mを超える)により設計荷重が異なる(建築基準法施行令第87条)。本システムは、現状の湿式タイル仕上げに代わる集合住宅用の新しい外装システムを開発するということから、システムの適用建物は、集合住宅として最も一般的な、5階~10階程度の中高層集合住宅とした。したがって、目標耐風圧強度は、高さを31m以下の建物に適用される2744Pa(280kgf/m²)に設定した。

表-1 要求性能

| | 性能項目 | 要求性能 |
|----------|----------------|---------------------------------|
| 基本性能 | 耐風圧性能 | 2.75kPa(建物高さ31m以下) |
| | 水密性能 | 躯体外面を最終止水ラインとする |
| | 耐震性能 | 層間変位1/150で破壊・脱落がない |
| | 耐火性能 | 躯体で確保 外装材は不燃材とする |
| | 断熱性能 | 現状の内断熱壁と比べて断熱性能が高い |
| 検討事項 | メンテナンス | クリーニングの頻度が大幅に減る(汚れにくい) |
| | 排水方法 | 雨水はタテ目地部へ導き、パネルを汚さない納まり |
| | 表面材 | アルミパネル、乾式タイル、窯業(金属)系サイディングを基本 |
| | 解体、再取付 | 任意の1パネルのみの取り替えは考えない(面全体の解体・再取付) |
| | 足場控え | 更新時の足場控えをシステム内に組込む |
| コスト(LCC) | 既往の乾式外装工法より小さい | |

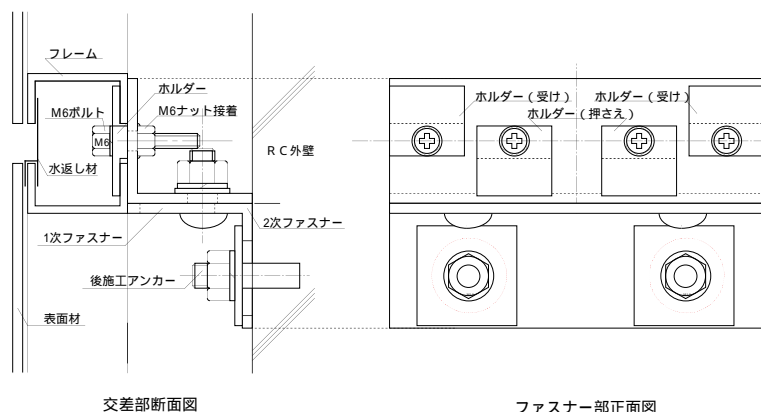


図-3 フレーム交差部



写真-1 試作パネル

(2) 水密性能

本システムは、RC外壁と外装表面材が空気層を挟んで二重壁構造となっている。したがって、外装表面の止水に関しては、その背面にRC外壁の最終止水面があるため、一次的な雨避け程度の機能を持たせれば良く、目地部等の納まりは比較的ラフでも問題ないと判断した。

(3) 耐震性能

鉄筋コンクリート造建築物の層間変位角は、建築基準法施行令第82条の2で1/200以下と定められている。また、同施行令第39条の2項では、高さ31mを超える建築物の屋外に面する帳壁は、その高さ1/150の層間変位に対して脱落しないことと定めている。これらの基準を勘案し、外装2次部材である本外装システムの耐震性能については、1/150の層間変位に対して脱落しないことと定めた。

(4) 耐火性能

本システムの適用建物は、RC（またはSRC）造である。したがって、耐火性能は構造躯体で確保し、外装システムの構成部材は、不燃材とすることとした。

(5) 断熱性能

本システムは建物の躯体を覆う外皮の役割を担っており、躯体壁とその外皮の間は空気層が存在する。したがって、夏期の直射日光に対する遮熱効果があり、現状の内断熱壁に比べ、断熱性能が高いと予想される。断熱性能については、定量的な把握が必要であるため、実験により一般に採用されている内断熱工法との比較を行い、その効果を把握することとした。

(6) メンテナンス性

本システムは、外装パネル相互のジョイント部にシーリングを用いない工法としている。したがって、寿命の短いシーリング材の更新が不要であり、またシーリング材に起因する外装材の汚れの問題が低減できると考えられ、外装材のクリーニングの頻度が大幅に減ることが期待される。

(7) 排水方法

上述の汚れに関連して、本システムでは目地にシーリングを用いないため、横目地に排水溝を設けることで、雨水を縦目地に導き、パネル表面を汚さない納まりを設計に組み込むこととした。

(8) 表面材

外装材には建物外観の意匠性も求められるため、そのバリエーションとしてアルミパネル、乾式タイル、窯業（金属）系サイディングの3種類を基本とし、これらを受け入れる共

通の下地システムを考案することとした。

(9) 解体・再取付

外装パネルのメンテナンスを考えた場合、パネル1枚ごとの交換を考慮する必要がある。しかし、事前検討の結果、施工性（納まりがかなり複雑）、安全性（パネル単体ごとの脱落の危険が伴う）、経済性（コストアップ大）を勘案し、パネルの交換については、パネルの縦列あるいは面全体の解体・再取付けを前提条件とした。

(10) 足場控え

外装リニューアル工事では、パネル解体、取付けのために外部足場が必要で、その足場を保持する足場控え用のアンカーが必要となる。一般にそのアンカーには、後施工アンカーを施工しているが、工事中の振動・騒音の問題がある。したがって、リニューアル工事中の環境改善と施工の省力化のため、システム内に足場控え用のアンカー機能を組み込むこととした。

(11) コスト（LCC）

本システムの施工コストについては、イニシャルコストは既往の乾式外装工法と競合できるものとし、ライフサイクルコストで、既往の工法より低減できるものとする。低減要素としては、パネルの更新（解体）費、シーリング材の更新費、冷房負荷低減費、外装クリーニング費などが考えられる。

本工法の基本断面を図-4に、イメージパースを図-5にそれぞれ示す。構成部材は、表面材、その下地となる上下パネル枠、それを受ける2次ファスナーおよび1次ファスナーである。パネル枠は、複数種の板状の表面材の取付けが可能な形状とし、上枠に排水溝を設け、雨水を縦目地へ導く納まりとしている。

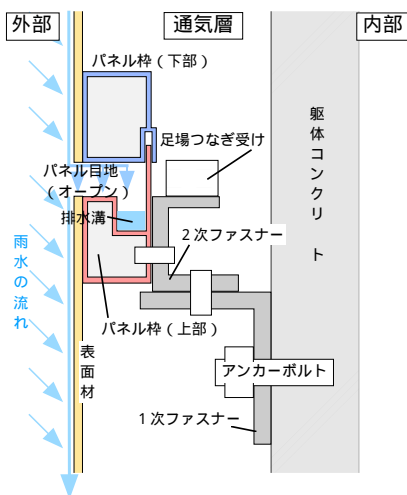


図-4 基本断面

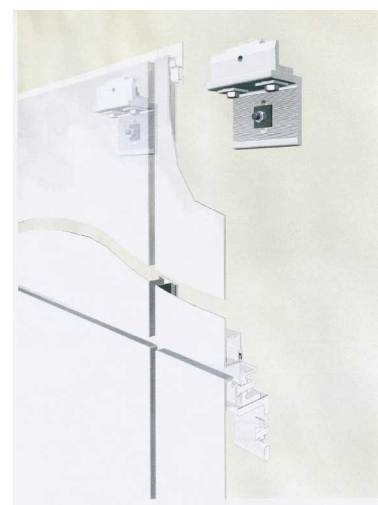


図-5 イメージパース

3. 実大性能試験

3.1 試験概要

本工法の耐風圧性、水密性および耐震性を確認する目的で、実大供試体による性能試験を行った。供試体寸法は幅4,700mm×高さ4,000mm（アルミ[®] 柵3連×4段）で、1枚のパネルの最大寸法は幅2,500mm×高さ910mm（t=2.5mm）である。試験体の組立状況を写真-2に示す。

3.2 試験方法および試験結果

(1) 耐風圧試験（JIS A 1515、JASS 14、JCMA基準）

設計最大風圧力±2.75kPa（280kgf/m²）を4段階に分けて静的に加え、主要部材の変位量、応力を測定した。また動的風圧試験では、供試体の変位状態を目視で確認した。

(2) 水密性試験（JIS A 1414）

最大風圧力±0.98kPa（100kgf/m²）の脈動圧と4¹/₁₀mm²分の散水を同時に連続して10分間加え、漏水およびパネル面の排水状況を確認した。

(3) 層間変位追従性試験（JASS 14、JCMA基準）

供試体に設計最大層間変位量（1/150）を5段階に分けて静的に与え、主要部材の変位量、ファスナー部の変形を測定した。

各試験の主な結果を表-2に示す。

耐風圧試験では、主要構成部材に有害な破損、変形および、残留変形を起こさず安全性が確認できた。

水密性試験では、脈動開始直後縦目地の隙間部より中空層部へ浸入水が見られたが、躯体への到達はなくパネル最下部よりスムーズに排水された。

層間変位追従性試験では、構成部材に異常はなく、各部材の破損および脱落はなかった。

4. 断熱効果把握実験

4.1 実験概要

実験の目的は、乾式外装材2体（目地シールあり・なし）および湿式タイル工法1体の計3体の試験体の室内外の温度を実測・比較することにより、本工法による外壁の夏期、冬期における断熱効果を把握することである。

実験は、各試験体内部空間を小型エアコンにて一定温度に保ち、壁面に起こる夏期、冬期の温度条件を作り、壁体表面（コンクリート表面）の温度差を計測することで、壁体の通過熱流量を求める方法で行った。試験体の設置状況を写真-3に示す。

4.2 実験結果

図-6に3試験体の夏期における通過熱流量を示す。夏期および冬期の最大熱負荷時における壁体の断熱効果を検証している本実験では、乾式外装材を用いた壁体は、タイルを直張りした壁体に対して断熱効果が著しく



写真-2 試験体の組立状況

表-2 各試験の主な結果

| 試験項目 | 主な試験結果 |
|-----------|--|
| 耐風圧試験（静的） | ・最大たわみ量：上枠0.2（1/5250）、下枠0.1（1/10500） （単位mm） アルミ [®] 柵-1.7（1/1429）（ ）内はたわみ率 ・最大応力度：上枠5.98(108)、下枠6.57(108)、アルミ [®] 柵3.14(93.2) （Mpa） フラット1.77(141)、ファスナー-2.26(133)（ ）内は許容応力度 |
| 耐風圧試験（動的） | ・圧力差中央値±2.01kPa（上限値±2744、下限値±1274）の条件下で加圧中および除圧後に各部材の異常認められず ・圧力差中央値±2.01kPa時の外部と中空層の差圧は39Pa |
| 水密性試験 | ・圧力差中央値0.98kPa（上限値1.47、下限値0.49）の条件下で、脈動開始直後、中空層部へ浸入水が見られたが、躯体への水の到達はなく排水はスムーズ ・同中央値0.74Pa（上限値1.11、下限値0.37）および0.98kPa時の外部と中空層の差圧は、それぞれ19.6Paおよび29.4Pa |
| 層間変位追従性試験 | ・最大層間変位1/150（26.7mm）時において、副部材を含める構成部材に異常はなく、各部材の破損および脱落なし |

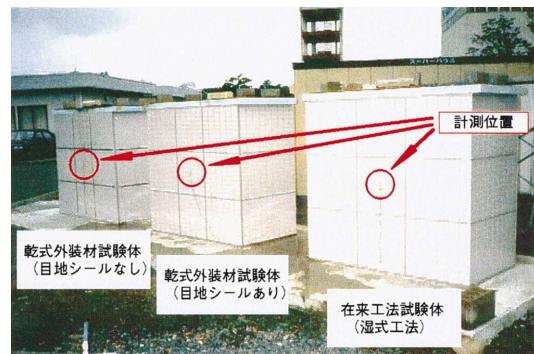


写真-3 試験体の設置状況

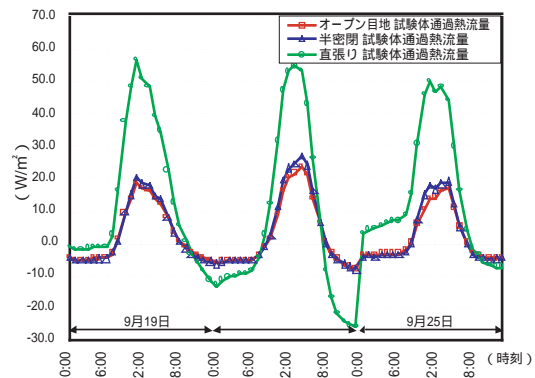


図-6 通過熱流量（夏期）

大きいことが確認できた。また、乾式外装材を用いた2体の試験体（目地シールあり・なし）に明確な相違はなかった。

5. 実建物での試験施工

5.1 試験施工

本工法の施工性を確認するために、築後18年の建物に試験施工を行った。建物はRC5階建て、高さ20mで、施工面積は建物東面の北側半分で約300㎡（開口部を除く）である。施工は足場を利用し、墨出し、ファスナー取付け、パネル取付け（工場製作）および開口部廻り仕上げの手順で行った。写真-4に施工前の建物外観を、写真-5に施工後の合成写真を、写真-6に施工中の建物外観を、写真-7に施工後の建物外観を、図-7に施工記録を示す。

試験施工の結果、ファスナーの取付け・位置調整、パネルの取付けともスムーズに行うことができ、その施工面積当たりの歩掛りは5.2㎡/人・日であった。

表-3に今回測定した歩掛りの内訳と、参考として同規模の建物で施工した在来工法（縦胴縁下地）の内訳を示す。

表-3 歩掛り測定結果

| 作業項目 | 本工法（施工実験） | | | 在来工法（某ビル） | | |
|---------|-----------|----|-----|-----------|----|-----|
| | 数量 | 単位 | 人数 | 数量 | 単位 | 人数 |
| アンカー墨出し | 300 | ㎡ | 7人 | 260 | ㎡ | 8人 |
| アンカー打設 | 300 | ㎡ | 3人 | 260 | ㎡ | 5人 |
| | 500 | 本 | 3人 | 596 | 本 | 5人 |
| ファスナー取付 | 300 | ㎡ | 10人 | 260 | ㎡ | 30人 |
| パネル配置 | 300 | ㎡ | 6人 | 260 | ㎡ | 3人 |
| パネル貼り | 300 | ㎡ | 24人 | 260 | ㎡ | 22人 |
| 笠木取付 | 19.5 | m | 2人 | 22 | m | 3人 |
| 額縁取付 | 182 | m | 6人 | 65 | m | 5人 |
| トータル | 300 | ㎡ | 58人 | 260 | ㎡ | 76人 |

5.2 工事騒音測定

(1) 測定概要

外壁改修工事における、アンカー打設時の穿孔騒音の室内側への影響度を把握するため、ハンマードリル、振動ドリル、回転ドリルの3種類の穿孔工具を用いた騒音測定を行った。

(2) 測定結果

測定は外部壁面で穿孔作業を行い、外部（騒音源）と室内側の各測定点で騒音レベルを同時測定した。測定結果を表-4に示す。

表-4 測定結果

| 測定箇所 | ハンマードリル | 振動ドリル | 回転ドリル |
|-----------|---------|--------|--------|
| 騒音レベル | | | |
| 音源（3階外部） | 94 | 90 | 86 |
| 3階室内壁側 | 93 | 88 | 76 |
| 3階室内中央 | 85 | 81 | 69 |
| 3階別室 | 75 | 70 | 60 |
| 5階室内壁側 | 68 | 62 | 55 |
| 5階室内中央 | 62 | 53 | 46 |
| 1穴の穿孔所要時間 | 15~20秒 | 40~50秒 | 70~80秒 |

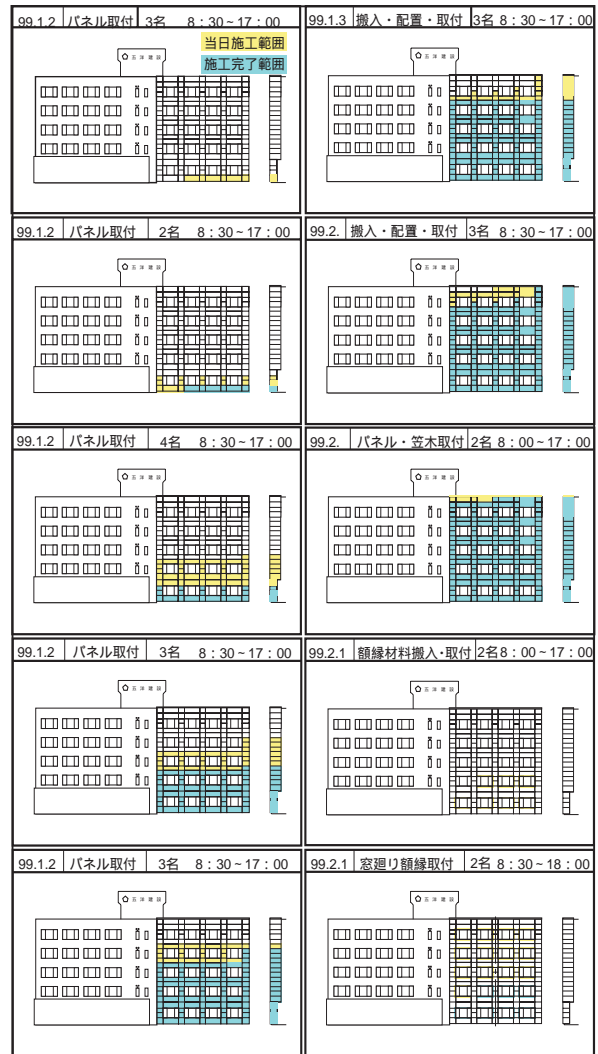


図-7 施工記録



写真-4 施工前外観



写真-5 施工後合成写真



写真-6 施工中外観



写真-7 施工後外観

騒音は回転ドリルが一番小さいが、穿孔所要時間がハンマードリルの約3倍かかり、居ながら施工となった場合、長時間穿孔作業による影響が懸念される。

5.3 今後の継続評価

下記の項目について継続して検証・評価を行う予定である。測定計画図を図-8に示す。

(1) 汚れの評価

決められた場所を定期的に写真撮影し、外装材の汚れを比較し評価を行う。汚れの評価項目を下記に示す。

シールの有無による評価

シーレスの効果の評価するために改修対象壁面のパネルの半分をシール有り、残り半分をシール無しとし汚れを比較する。

開口廻りの水切り形状による評価

開口廻りの水切り形状による評価のために、2タイプの水切りを用い、シールの有無に分割した壁面にそれぞれ施工し、汚れを比較する。

パネル溝の観測

パネルの水平目地部に設けた排水用の溝に、経年等によりどの程度ほこりが溜まるかを確認する。

(2) 断熱性の評価

外壁改修により二重壁になることによる遮熱効果、断熱効果の把握のための測定を改修面、無改修面にて季節毎(春、夏、秋、冬)に行い、熱環境改善の評価検証を行う。

(3) 断熱材性状観察

外壁改修に外断熱を付加するために躯体側に断熱材(グラスウール)を取付け、経年後の断熱材の様子、吸水による重量の変化を観察することにより、パネルの裏側に廻った水が吸水率の高い断熱材に及ぼす影響を調査する。

6.まとめ

乾式外壁仕上げ工法(フレーム工法)の性能確認を目的に実施した実験、試験により以下の知見を得た。

夏期および冬期における屋外断熱性把握実験の結果、パネル間の目地のシール材の有無に関わらず、乾式外装材を用いた壁体は、タイルを直張りした壁体に対して断熱効果が著しく大きいことが確認できた。

耐風圧試験、層間変位追従性試験の結果は良好であり、設計値を十分満足する。また、耐風圧試験および水密性試験において、動風圧時の外部とパネル背面の中空層との圧力差は、ほぼ等しくなることが確認できた。

水密性試験の結果、パネル裏面への水の浸入は見られなかったが、浸入水の排水はスムーズであった。

本工法を実建物に適用した結果、施工はスムーズに行え、施工歩掛りは5.5㎡/人・日であった。

なお、本研究は通商産業省「生活価値創造住宅開発プロジェクト」の「リニューアール対応外装診断・改修技術の開発」平成10年度研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 新田泰士・田原良二・岡田圭司・山浦一郎：リニューアール対応外装診断・改修技術の開発 - その1 開発のねらいとシステムの概要 -、五洋建設技術年報、Vol.28、pp.131~136、1998.
- 2) 田原良二・山浦一郎・新田泰士・岡田圭司：乾式外壁仕上げ工法の開発(その1 開発のねらいとその概要)、日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)、pp.145~146、1998.
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS14 カーテンウォール工事、1997.

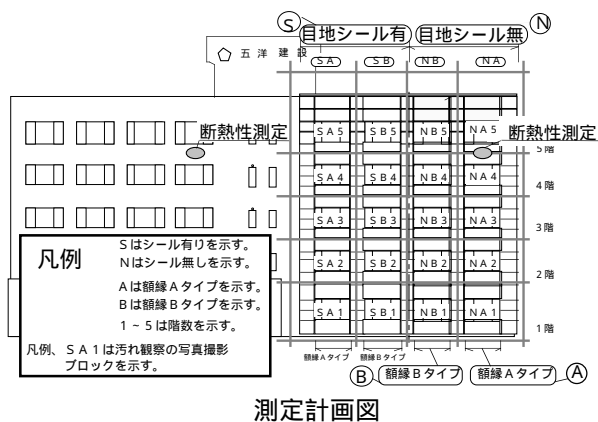


図-8 測定計画図