

断熱材の空気圧送充填による外壁の断熱強化工法

Insulation Enhancement of Building Outer Walls by Pressure Feeding

Insulating Material

茂木正史* 中村裕介*

要旨

既存建物の躯体や内装材をできる限り生かしながら外壁の断熱性能を向上させる工法を開発した。本工法は、外壁躯体(コンクリート)と内装材(ボード等)の隙間に発泡ビーズ(ビーズ法ポリスチレンフォームの原料)やPET(ポリエチレンテレフタレート)繊維などの断熱材小片を空気圧送して隙間を充填することにより、壁の断熱性能を向上できる。断熱材を空気圧送するので内装材の損傷を抑えて施工できる。さらに、関東や関西地域では、条件によって既存住戸の断熱性能を「住宅性能評価基準の温熱等級」で1ランク程度向上できる。PET 繊維を使用する場合は遮音性能も向上し、ペットボトルのリサイクルにも寄与できる。

キーワード：外壁断熱性、断熱材空気圧送、発泡ビーズ、PET 繊維

1. まえがき

近年、環境への配慮から建物の省エネルギー化が求められ、循環型社会への移行をめざして既存建物の有効活用が進められている。省エネルギーの観点から建物の外壁の断熱仕様について見ると、「エネルギーの使用の合理化に関する法律」(昭和 55 年)を発端に、「住宅の省エネルギー基準と指針」(昭和 55 年)が制定された後、平成 4 年には「住宅の新省エネルギー基準と指針」¹⁾の制定、さらに平成 11 年には「住宅の次世代省エネルギー基準と指針」²⁾が制定されるなど、省エネルギー規

準の改正強化が進められてきた。その中で、外壁の断熱性能の基準もより性能の高いものへと改定されてきている。一方、既存建物の有効活用の面においては、これまで行われてきた小規模・大規模改修において、仕上や構造を主目的として改修を求めている声が、近年、新築と同等もしくは新築以上に安全、快適にしたいという、より高度な要求へと移行する傾向にある。このような状況にあつて、図-1に示すように建物ストックは増加傾向にあり、その中にはリニューアルの際に壁の断熱性能の向上を必要とする建物が相当数あると推測される。そこで、外壁躯体(コンクリート)と内装材(ボード等)の隙間

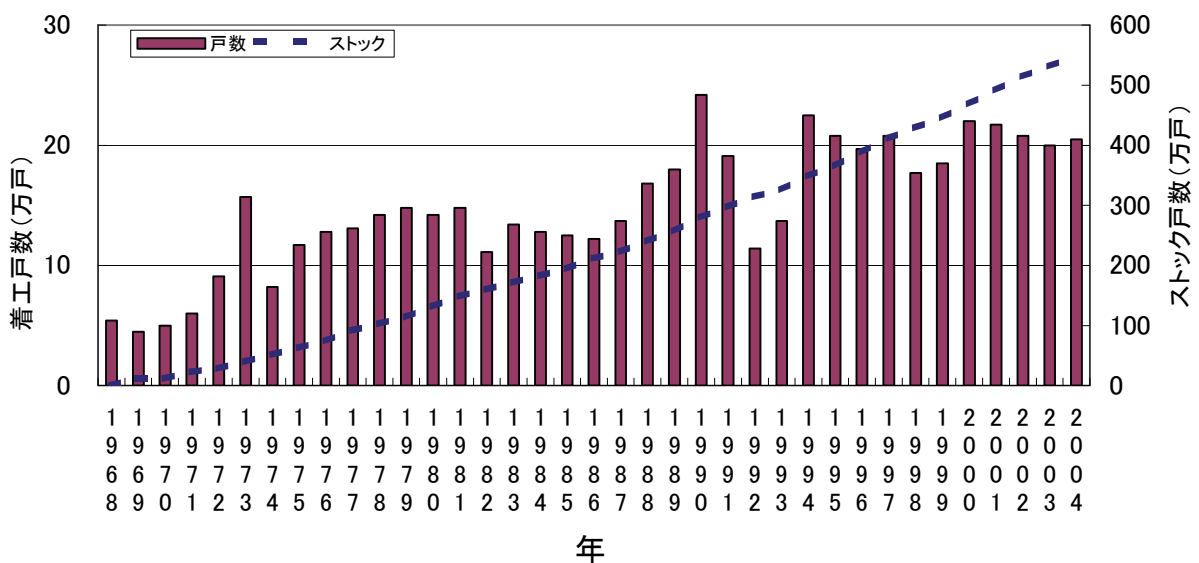


図-1 集合住宅の着工戸数とストック数の推移

*技術研究所

に発泡ビーズ（ビーズ法ポリスチレンフォームの原料）や PET（ポリエチレンテレフタレート）繊維などの断熱材小片を空気圧送して隙間を充填することにより、壁の断熱性能を向上させる工法を開発した。本報告では、開発工法の概要や材料の選定、空気圧送方法、ならびに断熱性能や遮音性能の向上についての実験や解析による検討結果を述べる。

2. 工法の概要（従来式との比較）

過去に建設された建物の外壁には、断熱材を貼ったり吹き付けた外壁躯体に、木製や金属性の下地を組み、その上に内装ボードを貼る方法や、団子状の接着材を一定の間隔で塗りつけ、壁とある程度の間隔を取って内装ボードを圧着する GL 工法と略称される工法が一般的に使用されている。いずれの工法においても、外壁躯体とボードの間に隙間があるので、この隙間に断熱材を充填することにより壁の断熱性能が向上する。このような観点から、従来は隙間に断熱材であるウレタンを注入する工法が行われてきた。しかし、この工法は、内装ボードに 30cm 程度のピッチで孔を空け、その孔よりウレタンを注入するため、充填状況を確認しながらの作業に時間を要し、また、仕上げ時にはそれらの孔をすべて補修する作業が必要となる。これらの課題を解決する方法として、**図-2**に示すように内装ボードの上下に材料供給用と排気用の孔を空け、発泡ビーズなどの断熱材小片を躯体と内装ボードの隙間に空気圧送する工法を開発した。この工法を適用することにより、ウレタン注入よりも作業時間が短縮でき、内装ボードの補修箇所も格段に少なくできる。

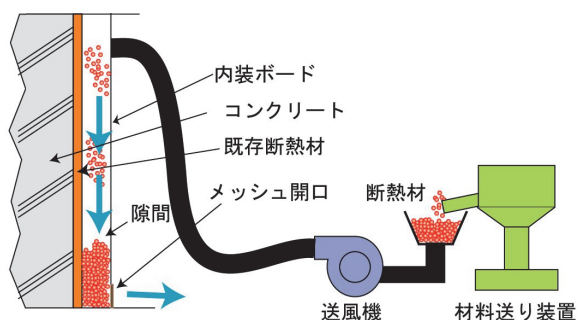


図-2 断熱材吹き込み工法の概要

3. 断熱材料の選定

断熱材料に求められる性能は断熱性能、充填性能（空気圧送性）であり、コストも考慮しながら適用する材料を選んだ。まず、既製品の中から候補となる断熱材料を抽出した。抽出したのは、ビーズ法ポリスチレンフォームの原料である発泡ビーズ（EPS）、解体現場から回収さ

れたウレタン破砕品、ペットボトルから再生される PET 繊維、さらに医療用に加工された加工製品の綿糸である。以上の材料について断熱性能と充填性能を試験し、適用可能な材料を選定した。

3.1 断熱性能

断熱性能は、JIS A 1412-2「熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法-第 2 部：熱流計法」に準拠した断熱性能の計測を行って、壁に充填された状態での材料の熱伝導率 λ (W/m・K) を求めた。試験体の寸法は、300mm×300mm×50mm（厚さ）である。発泡ビーズは粒径の違いで 2 種類、ウレタン破砕品は形状 2 種類、PET 繊維については、形状および密度をパラメータとして 4 種類とした。直張り用接着剤（通称 GL ボンド）についても、同様の試験体を製作して断熱性能を測定した。試験体の外観を**写真-1**に示す。No3、No4、No5、No6、No8 など粒径が大きい場合、形状が不揃いの場合には、断熱材間の隙間が目立っている。粒径が小さい場合にも隙間は存在しており、断熱性能は断熱材部分と空気部分を合成した値として評価される。**表-1**、**図-3**に断熱性能測定用の試験体の仕様と測定結果を示す。密実な状態と小片を充填した場合の断熱性能を比較すると、ウレタン破砕品は密実な発泡ウレタンより 30%程度断熱性能が下がるが、EPS ではほとんど変わらない。また、PET 繊維は、その密度や形状によって断熱性能が異なっている。その傾向は、隙間（空気部分）が目立つもののほど断熱性能が低くなっている。また、**表-1**には各断熱材の性能が「住宅の次世代省エネルギー基準と指針」²⁾に示されている断熱材の性能別グループのいずれに属するかも示す。この範囲内に含まれない材料は、断熱性能的に適用不可と判断した

3.2 充填性能

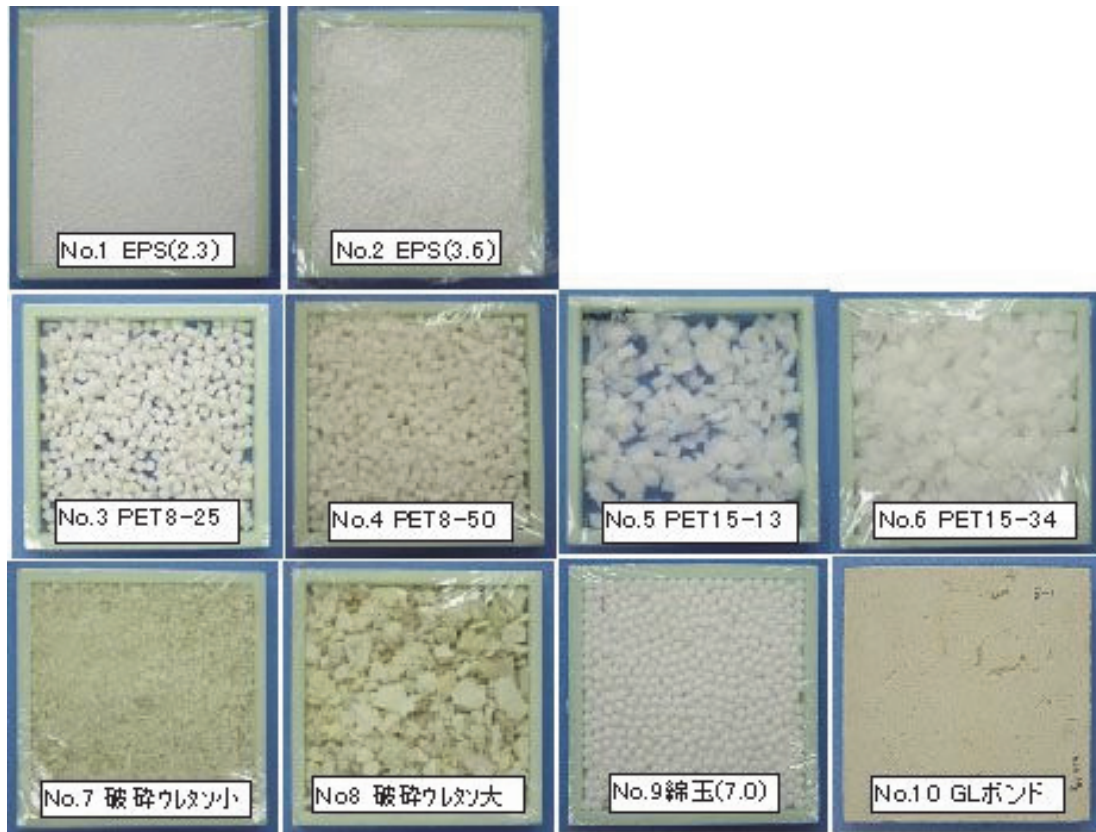
断熱強化を行う外壁の内装壁下地は、一般的に直張り工法（GL 工法）と軸組工法（軽鉄、木軸）の 2 タイプの組立方法に大別される。そこで、各タイプの試験壁を作成して充填性能確認のための要素実験を行った。使用した断熱材は断熱性能の測定で合格した材料である。次に、充填性の要素試験に合格した材料について、実大の壁を製作して実証試験を行った。

a. 充填試験

(a) 吹き込み装置の仕様

充填試験における試験壁は裏側を石膏ボードとし、表面は壁内の充填状況を確認できるようにアクリル板仕上げとした。各下地の組み立ては「建築工事標準仕様書 JASS26（内装工事）」に準拠した。各下地の仕様を**表-2**に示す。

写真-2に木下地における充填試験状況を示す。PET 繊維、EPS、破砕ウレタンのいずれの断熱材も問題なく充填されている。軽鉄下地についても同様な結果であった。これらの下地は**表-2**に示すように断熱材を充填す

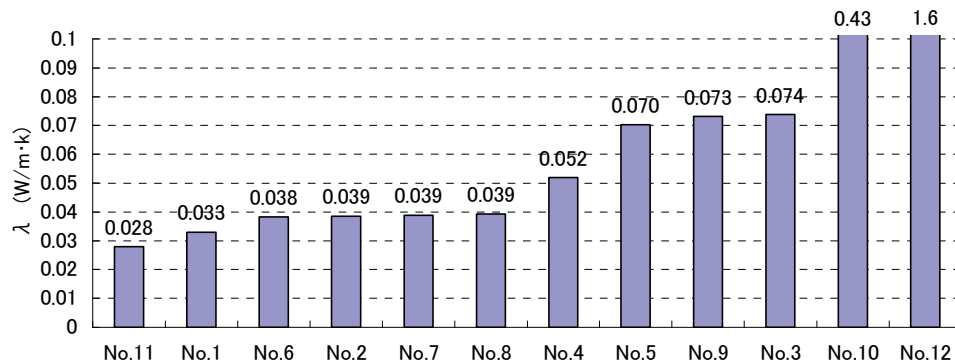


写真－1 断熱性能測定試験体 (GLボンド、発泡ウレタン、コンクリートは省略)

表－1 断熱性能測定試験体の仕様と測定結果

No.	試験体	熱伝導率 λ (W/m·K)	断熱材のグループ分類*
No.1	EPS(2.3): 粒径2.3mm	0.033	D: λ (0.034-0.029)
No.2	EPS(3.6): 粒径3.6mm	0.039	C: λ (0.040-0.035)
No.3	PET8(25): 繊維長8mm、密度25kg/m ³	0.074	不適
No.4	PET8(50): 繊維長8mm、密度50kg/m ³	0.052	A1: λ (0.052-0.051)
No.5	PET15(13): 繊維長15mm、密度13kg/m ³	0.070	不適
No.6	PET15(34): 繊維長15mm、密度34kg/m ³	0.038	C: λ (0.040-0.035)
No.7	破碎ウレタン(小): 6mmアンダー	0.039	C: λ (0.040-0.035)
No.8	破碎ウレタン(大): 6mmオーバー(～50mm程度)	0.039	C: λ (0.040-0.035)
No.9	綿球(7.0): 粒径7mm	0.073	不適
No.10	GLボンド: 密実状態	0.43	B: λ (0.045-0.041)
No.11	現場発泡ウレタン	0.028	E: λ (0.028以下)
No.12	コンクリート	1.6	-

*住宅の次世代省エネルギー基準と指針²⁾



図－3 断熱性能測定試験体の仕様と測定結果

る壁の厚さが 35~50mm で、断熱材の粒径に比べて十分大きいことからスムーズな充填ができた。

表-2 下地の仕様

下地の種類	壁厚(mm)	ピッチ(mm)
GL下地	10	250(水平、垂直)
木下地	35	200(水平)
軽鉄下地	50	300(水平)

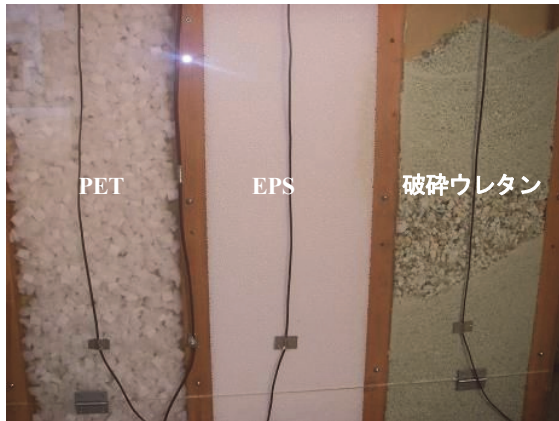


写真-2 木下地における充填試験状況

ハンディータイプのブローを使った断熱材の吹き込み装置には、GL 下地工法に適用した場合、写真-3に示すように充填不足の部位が残った。このことから、吹き込み装置について、以下の課題があることが判明した。

- i. 送風機の本体で詰まる
- ii. 材料供給口で詰まる
- iii. 壁内で詰まる
- iv. 静電気によりホースの材料が付着する

木下地や軽鉄下地は GL 下地に比べて良好な断熱材充填ができるので、GL 下地を対象に工法の検討を進めることとした。GL 下地における充填は 1.8m (H) × 0.9m (W) の石膏ボードに対して、材料の供給口 1 箇所でのボード部の壁内を充填することを目指した。上述の課題については、以下のように対策した。

- i. 送風機の本体で詰まる現象の対策
送風機の本体で詰まる現象は断熱材を痛めない羽根形状を有し、粉体の空気輸送での利用例があるプレートファンを使用することで解決した。
- ii、iii. 材料供給口や壁内で詰まる現象の対策
材料供給口や壁内で詰まる現象は材料の種類、材料の形状（寸法）と材料の供給量に関連する。材料の供給量は風量で調整できると考え、供給口で詰まらない程度まで風量を落とすと、壁内部での風量が不足して充填できない部分が発生した。そこで、空気量と材量の供給量は別々に調整することにして、供給量可変の材料送り装置と、インバータによる送風量可変の送風機を組み合わせた



写真-3 GL工法における充填不足

実験を行った。この方法により、上述したような材料が詰まる現象が解消できた。

- iv. 静電気でもホースに材料が付着する現象の対策
静電気でもホースに材料が付着する現象は、帯電防止型のホースを使用することで解決した。

このようにして選定した送風機の仕様（例）を表-3に、吹き込みホースの仕様（例）を表-4に、材料送り装置の仕様（例）を表-5に示す。材料送り装置は、振動を与えて定量を送り出す仕組みとなっている。また、吹き込み装置と試験状況を写真-4に示す。写真はEPSの充填試験であるが GL ボンド周りもほぼ 100%充填されている。

表-3 送風機の仕様（例）

羽根車の種類	出力(kW)	最大風量 (m ³ /min)	最大静圧 (kPa)	質量 (kg)
ターボ	0.4	12	2.01	22

表-4 吹き込みホースの仕様（例）

用途	口径	仕様
粉体輸送用	50A または 90A	軟質樹脂製 帯電防止

表-5 材料送り装置の仕様（例）

ホッパー体積 (L)	供給量 (L/min)	寸法 (mm)	質量 (kg)
20	*0~53	300 × 300 × 636(H)	30

*: EPS(3.6)の場合

(b) 各材料の充填性

充填性試験から得られた各材料の充填性を表-6に示す。EPSは、寸法によらず充填性に優れている。破碎ウレタンは、小片であれば充填可能であるが、粉体が含まれるため扱いにくい。PETで15mmの長繊維はGL工法には充填できなかった。しかし、PET繊維は球体になれば充填できるので、加工工程で改良を加えている。



写真-4 吹き込み装置と試験状況

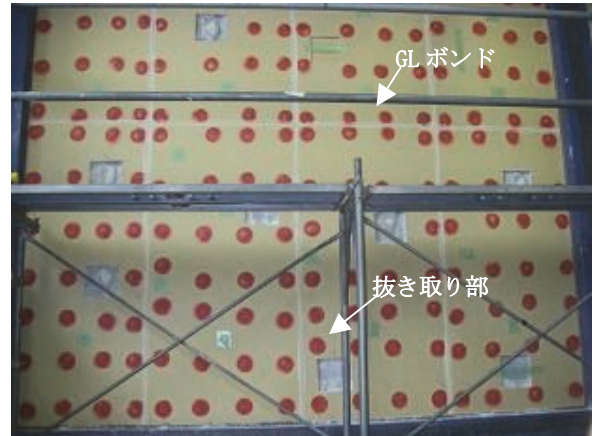


写真-5 実大壁試験体の試験状況

b. 適用材料の決定

候補とした各材料の熱伝導率および充填性、ハンドリング、コストの観点から、本工法に使用する材料を EPS と PET 繊維（密度 100kg/m³ の改良品）に絞った。EPS は流動性に優れ、球状のため粒径の違いによる充填率変化はないため、隙間からの漏れのないよう、粒径の大きいものを使用することとした。

3.3 実大壁試験

W3.5m×H2.8m の実大壁を製作して PET 繊維と EPS の充填試験を行った。壁構成は、RC150 mm+直貼り工法（中空層 t15 mm程度）+PB12.5 mmである。写真-5に実大壁試験の状況を示す。断熱材充填後に壁からの抜き取り検査によって充填率を確認した。写真-5には300mm×300mm の抜き取り部も示している。抜き取りは GL ボンドを含む部分と含まない部分について行った。充填率は、抜き取り部の材料の体積をその部分の中空層の体積で除して求めた。充填率を表-7に示す。また、準備などを含まない充填速度を表-8に示す。

表-7 充填率

材料	GLボンド周り (%)	ボンド無し部 (%)	平均 (%)
EPS	98.2	99.3	98.8
PET	92.1	94.2	93.2

表-8 充填速度

材料	壁面積 (m ²)	充填時間 (min)	充填速度 (m ² /min)
EPS	9.8	13	0.75
PET	9.8	17	0.58

作業者:2名

4. 遮音性能の評価

直貼り工法は施工性とコストに優れた工法だが、遮音性能が低下するため、現在では集合住宅の界壁に用いることは少ない。ただし、改修対象となるストック建物では頻りに使用されていた工法であった。そこで、このような壁には断熱材を充填することにより、遮音性能の向上が期待できるため、JIS A 1416「実験室における建築部材の空気音遮断性の測定方法」に準拠して、充填完了前後の音響透過損失の計測を行った。計測結果を図-4に示す。RC150 壁に GL 工法を施すと遮音性能が1ラン

表-6 各材料の充填性

試験体	充填性(流動性)	圧送性	ハンドリング、周囲への影響	その他
EPSビーズ	◎問題なし	◎問題なし	○飛散しやすいが扱いは良い 帯電しやすいため加湿必要	—
破碎ウレタン(大)	△形状にばらつきが多く 充填率が安定しない	△圧送途中で 詰まることもある	△粉体も含まれるため 飛散多く周囲が汚れる ×隙間から漏れて飛散し 周囲が汚れる	—
破碎ウレタン(小)	○良い	○良い	△短繊維の飛散が懸念 バインダー増量で適用可か	—
PET繊維	△長繊維は直貼り工法不可 小型化により適用可か	○良い	○良い	×高コスト
綿球	○良い	○良い	○良い	×高コスト

ク下がるが、空隙に PET 繊維を充填すると RC150 と同等のランクに改善された。しかし、その隙間に EPS を充填しても変化がなかった。

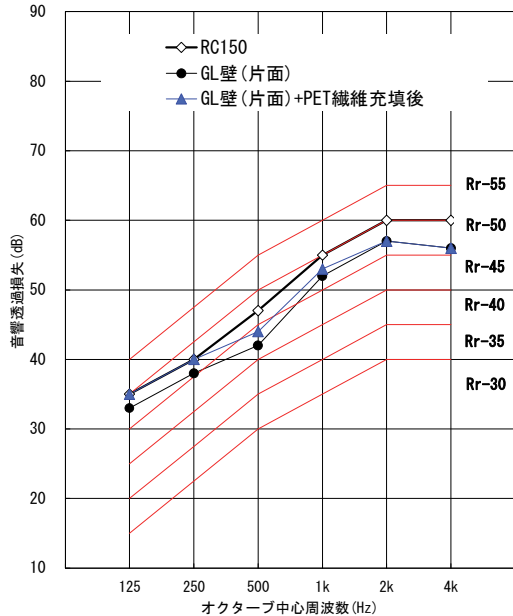


図-4 音響透過損失の比較

5. 集合住宅における適用効果

既存の集合住宅に本工法を適用した場合の効果を解析で検討した。対象住戸のプランを図-5に示す。対象住戸は地域区分IVに立地する集合住宅の住戸で、中間階妻側に位置し、面積は 80m²、住宅性能表示制度の温熱等級は3である。壁の構成を表-9に示す。既設壁の中空層に EPS を充填する。効果は熱損失係数で評価する。表-10 に断熱補強の効果を示す。侵入熱量は EPS を充填することにより約 10%減少し、等級は3から4相当に向上する。

6. まとめ

外壁のコンクリート躯体と内装ボードの間の隙間に断熱材を空気圧送して断熱強化する工法を確立した。

検討結果を以下に示す。

- i. 充填できる断熱材は既製品の EPS (発泡ビーズ) および既製品に改良を加えた PET(ポリエチレンテレフタレート)繊維である
- ii. 材料供給装置は、送風量と材料の送り量を別々に制御できるシステムを組み立てることによって圧送途中での材料の閉塞を回避できる
- iii. PET 繊維を充填した場合には、壁の遮音性能の向上にも寄与できる

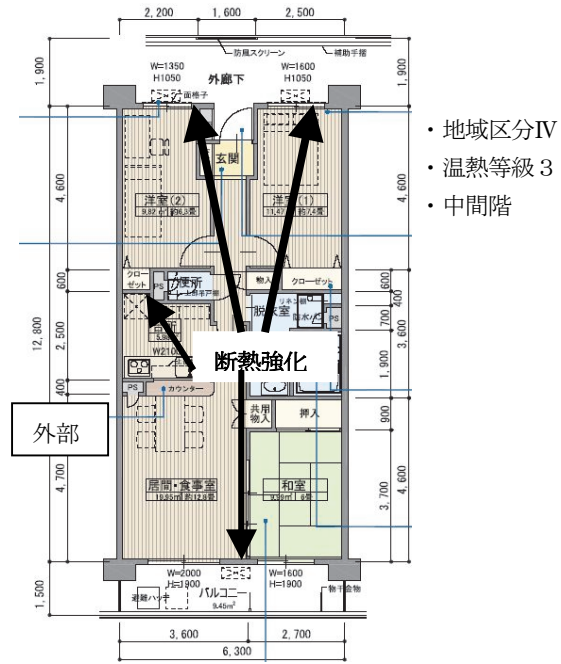


図-5 評価対象住戸

表-9 評価建物の壁の構成

外壁の構成材料	熱伝導率 (W/mK)	厚さ (mm)
コンクリート	1.6	180
吹付硬質ウレタンフォーム(現場発泡品)	0.026	25
既設(中空層)⇒EPS断熱強化	0.039*	15
石膏ボード	0.22	9.5

*EPSの熱伝導率はGLボンド分を割り増し

表-10 断熱補強の効果

ケース	熱損失係数	温熱等級	侵入熱量
	W/(m ² ・K)	等級	%
既存	2.971	3	100
EPS充填	2.698	4相当	91

iv. 集合住宅の中間階妻側の住居に適用した場合の試算で、侵入熱量を約10%低減できる。

最近の建設関連の助成金が新築工事から改修工事にシフトしているなど、既存建物の有効活用がさらに求められる状況にある。このような流れの中で、今後本工法を積極的に適用していきたい。

【参考文献】

- 1) 財団法人住宅・建築 省エネルギー機構、「住宅の新省エネルギー基準と指針」、1992.3
- 2) 財団法人建築環境・省エネルギー機構、「住宅の次世代省エネルギー基準と指針」、1999.11