

断熱パネル後貼り工法により断熱補強された界壁の 遮音欠損防止技術の検討

漆戸 幸雄 小谷 朋央貴
鍵谷 勝^{*1} 鈴木 修^{*1}

概 要

内断熱工法の鉄筋コンクリート造建物で、熱橋による断熱性能の低下防止、結露発生の防止のために設けられる、折返し断熱によって界壁の遮音性能が低下することは、建築実務者には意外と知られていない。今回、断熱パネル後貼り工法による折返し断熱を対象として、界壁の片面ごとに、所要の断熱性能を満足する別々の断熱材を裏打ちした断熱パネルを用いることによって、遮音欠損を防ぐことができるか否かを、実際の集合住宅の物件において検討した。

6種類の断熱パネルの組合せを試験的に施工し、遮音性能の比較検討を行い、本施工する断熱パネルの組合せを決定した。建物完成時に全箇所の遮音性能を測定した結果、極端な遮音欠損は生じておらず、施工した40箇所の全てにおいて、日本建築学会が住宅の界壁の遮音性能として「一般的な性能水準」であるとする遮音等級 D-45 を満足している。さらに全体の 87.5%は「建築学会が推奨する性能水準」であるとする遮音等級 D-50 が得られている。

Study on the Prevention Technology of the Sound Insulation Loss of Reinforced Concrete Wall during Thermal Insulation Reinforcement using a Method of Pasting up a Composite Thermal Insulation Panel on a Wall

Abstract

It is not well known among construction engineers that the sound insulation performance of reinforced concrete walls is lowered by the L-shaped thermal insulation reinforcement at intersections between outer and inner walls of residential buildings using inner adiabatic methods. In this paper, sound insulation losses of different types of thermal insulation panels were examined in a residential building. In this examination, different types of insulation panels were used on different concrete walls.

Six combinations of heat insulation panels were attached on both concrete wall sides to examine the difference of the performance on sound insulation in a trial construction phase, and the best combination of the heat insulation panels was determined. After the completion of the construction, the sound insulation performance was measured at all the 40 walls where the adopted panels were attached. As a result, no extreme sound insulation deficit was found at all the walls, and the sound insulation performance of all the walls satisfied the classification of air-borne sound insulation D-45 which the Architectural Institute of Japan defines "the generally allowable performance level" at a wall between the dwelling units of a residence. Furthermore, 87.5% of measurement data showed the sound insulation grade D-50 which the Architectural Institute of Japan defines "the performance level which the Institute strongly recommends".

キーワード: 空気音遮断性能, 界壁, 断熱パネル後貼り工法, EPS, XPS

*1 油化三昌建材

§1. はじめに

内断熱の建物において、外壁とコンクリート壁や床スラブが取り合う部分は、断熱材が連続しないため、ヒートブリッジ（熱橋）となり、断熱・防露上の弱点となる。このような部位の断熱性能を向上させ、結露の発生を防止するために、外壁から室内側に一定の範囲にわたって断熱材を施工する「折返し断熱」といわれる断熱補強が行われる。

一般的な内断熱工法は、ボード類やモルタルなどの内装下地材が、弾性体である断熱材を介してコンクリート壁に支持されたバネマス系を構成しており、共振により特定の周波数範囲でコンクリート壁単体に比べて遮音性能が低下する。共振による遮音欠損としてGL工法（GLボンドによる石こうボード直貼り工法）によるものが知られているが、折返し断熱についても、戸境壁の両面に施された場合、施工範囲が一部であっても、住戸間の遮音性能に大きな欠損を生じる¹⁾。

本稿では、押出法発泡ポリスチレンフォーム保温板裏打ち石こうボードの後貼り工法（以下、S1工法と記す）で戸境壁の折返し断熱が設計されていた集合住宅において、コンクリート壁を挟んで片面ずつ異なる断熱材を用いた断熱パネルを施工し、両面の共振の一致を回避する方法を検討し、遮音欠損の防止低減方法として、物件適用した結果について報告する。

§2. 折返し断熱による遮音欠損

住宅の断熱工事に用いる断熱材には図1のような種類があるが、RC造の集合住宅の内断熱には発泡プラスチック系の断熱材が主として用いられている。折返し断熱の主な工法としては、(1)発泡硬質ウレタンを現場で下地コンクリート面に吹き付ける吹付け工法、(2)発泡プラスチック系保温板や内装下地ボードに発泡プラスチック系保温板が裏打ちされたパネル（以下、断熱パネルと記す）を型枠に取り付け、コンクリートを打設する打込み工法（先付け工法）、(3)断熱パネルを下地コンクリート面に接着する後貼り工法（接着工法）、の3種類があげられる（図2）。

発泡プラスチック系を用いた断熱工法では、内装下地となる石膏ボードや薄塗りモルタルが質量となり、断熱材・接着剤・空気層などがバネとなる、バネ・マス系を構成する。そのため、バネ・マス系の共振周波数付近において、躯体素地よりも遮音性能が低下する現象が起こる。特に、折返し断熱部分では、躯体の両側で共振が発生するため、両面の共振周波数が一致すると大幅な遮音

欠損を生じる場合がある。

集合住宅における折返し断熱のある界壁の遮音性能は、断熱工法、内装下地材、断熱材の違いだけでなく、躯体と断熱材の接着状況の影響も受けるため、同一の断面構成であっても遮音性能のばらつきが大きい。各断熱工法の遮音欠損の一般的な傾向は、次のようなものである。硬質ウレタンフォーム保温板裏打ちケイカル板の断熱パネル打込み工法では、2000～4000Hz 帯域付近で共振の影響を受け、遮音性能はDr-40～45程度であるが、2000Hz帯域で大きな遮音欠損が生じ、遮音等級がDr-35まで低下する事例もみられる¹²⁾。硬質ウレタン保温板を打込み、内装下地をモルタル塗りとする打込み工法では、モルタルの塗り厚さによって遮音性能が大きく変化する。塗り厚が2～3mm程度の薄塗りであれば、4000Hz～8000Hz帯域で共振の影響が現れるが、極端な遮音欠損はおこらずDr-45～50程度の遮音性能が得られる。しかし、不陸調整などで塗り厚が厚くなると共振が低域側にシフトするとともに、遮音欠損も大きくなる。今回、遮音欠損の

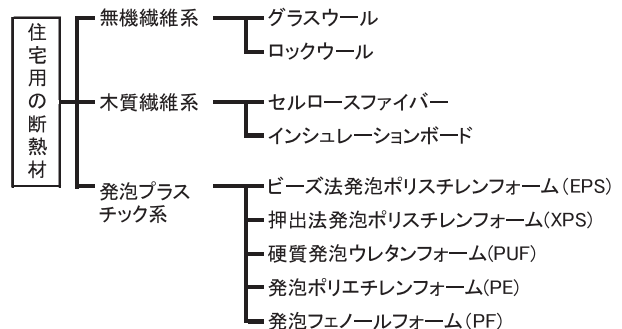


図1 住宅の断熱に用いられる断熱材の分類

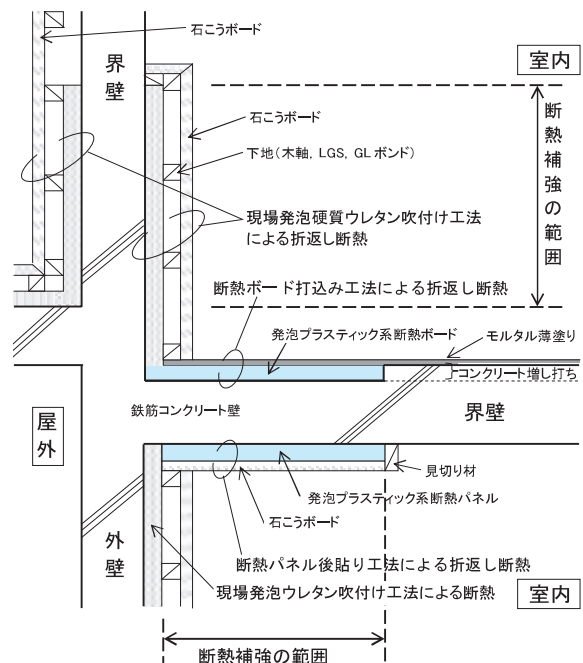


図2 外壁と界壁の取り合い部の断熱仕様の模式図

防止低減方法を検討した断熱パネル後貼り工法は、500Hz～2000Hz 帯域において比較的広帯域で緩やかに遮音性能が低下する傾向がある。躯体と断熱材の接着状態にばらつきが生じやすいため、遮音欠損をおこす周波数帯域と欠損程度がばらつく傾向があるが、Dr-35 程度まで性能低下する事例もみられる²⁾。

§3. 断熱パネル後貼り工法の遮音性能

断熱パネル後貼り工法は、断熱・防露工事と仕上げ下地工事が同時にでき、また仕上げ厚も薄くできるという利点がある。断熱パネルの断熱材に押出法発泡ポリスチレンフォーム保温板を用いたS1工法と、硬質発泡ウレタンフォーム保温板を用いたND工法が代表的なものである。S1工法は、独立行政法人都市再生機構（当時：日本住宅公団）の断熱・防露工法として、昭和42年から採用されている。断熱パネルの躯体への接着方法として、初期接着のための1次用接着剤と硬化後接着のための2次用接着剤を用いている当初からの方法（図3(a)；旧S1工法）と、都市再生機構（当時：都市基盤整備公団）で平成12年10月以降の設計物件から採用されている、作業時の安全性及び環境へ配慮した一液・無溶剤型変成シリコーン樹脂系接着剤を用いる方法（図3(b)；新S1工法）がある。

厚さ200mmのRC壁に新S1工法を施工した試験体の音響透過損失の測定結果を図4(a)に示す。RC壁単体の音響透過損失等級は、500Hz帯域で2dBの緩和規定を適用すればRr-55である。断熱パネルを片面に施工すると、500Hz～2000Hz帯域で遮音性能が1ランク低下して、Dr-50になり、両面に施工するとさらに1ランク低下してDr-45となる。

厚さ220mmのRC戸境壁の居室部分全長に渡って、ND工法により断熱パネルが施工された物件における、室間音圧レベル差の現場測手結果を図4(b)に示す。建物完成時の測定であるため、RC壁単体、片面ND工法、両面ND工法それぞれ異なる断面での結果ではあるがRC

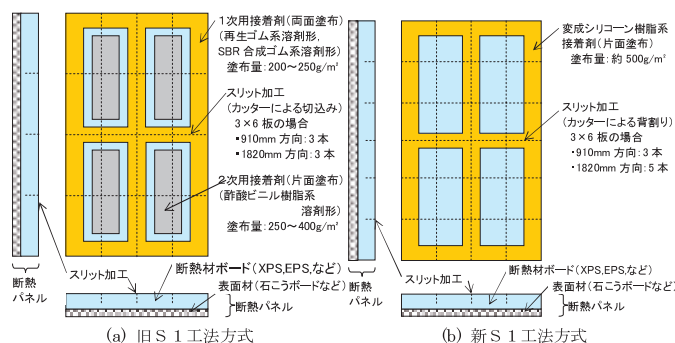
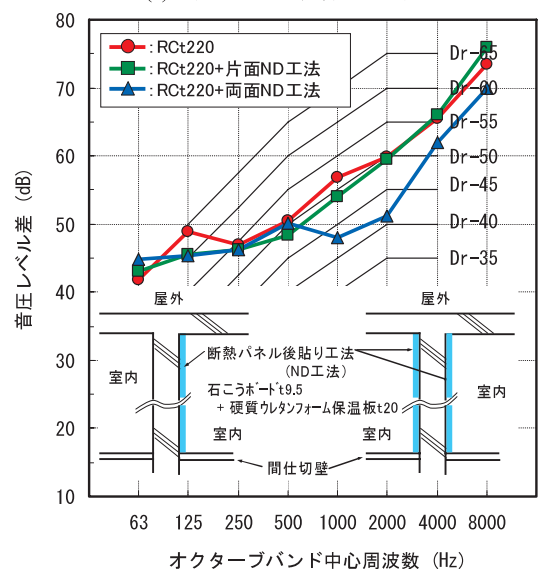
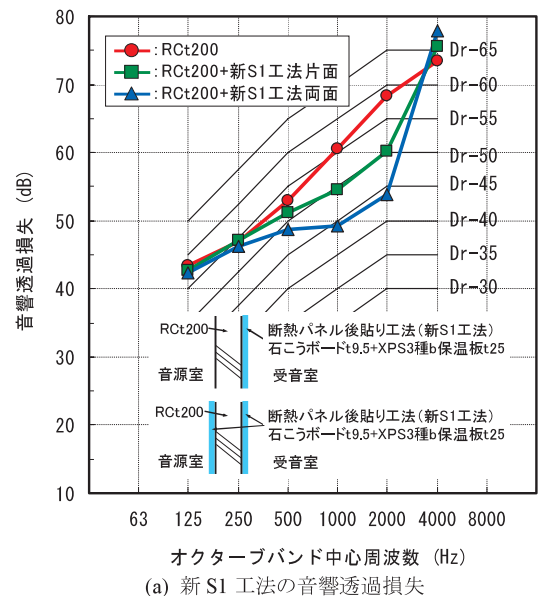


図3 断熱パネル後貼り工法の接着方法の概要

単体の場合の室間音圧レベル差等級はDr-50であるのに対して、両面に断熱パネルを施工した場合は1000Hz帯域以上の遮音性能が低下し、室間音圧レベル差等級はDr-40と2ランク低下している。この物件では、片面施工の断面の遮音性能はRC壁単体と概ね同等であり、2dBの緩和規定を適用すればDr-50が確保されている。

断熱パネルを接着方法が異なる旧S1工法と新S1工法で同じRC壁に施工し、音響透過損失を測定した結果を比較して図5に示す。測定時期が4年ほどずれているため経年変化によりRC壁単体の遮音性能が若干異なっているが、新旧S1工法とも500Hz～2000Hz帯域で遮音性能が低下するという特徴は同じであり、RC壁単体からの低下量も2000Hz帯域以外はほぼ同程度である。2000Hz帯域では旧S1工法のRC壁単体に対する低下



(b) ND工法の現場における室間音圧レベル差

図4 断熱パネル後貼り工法によるRC壁の遮音性能（片面施工と両面施工の比較）

量の方が約 6dB 小さいが、接着方法による差異だけでなく、接着剤の硬化状況など影響も考えられる。

以上の実測結果から、断熱パネルを後貼り工法の遮音性能に関して、遮音性能が低下する周波数範囲が比較的広い、RC 壁の両面に同一のパネルを施工すると遮音性能が著しく低下する、という特徴が把握できた。

§4. 後貼り工法による折返し断熱の実建物における遮音性能の改善方法の検討と適用

今回、検討および適用を行った建物は、表 1 に示す RC 造地上 13 階建の分譲集合住宅である。戸境壁の断熱補強は、補強長さ 600mm の S 1 工法による折返し断熱が計画されていた。そのうちの 44 箇所、戸境壁の両側が居室となっており、S 1 工法による遮音欠損を経験したこ

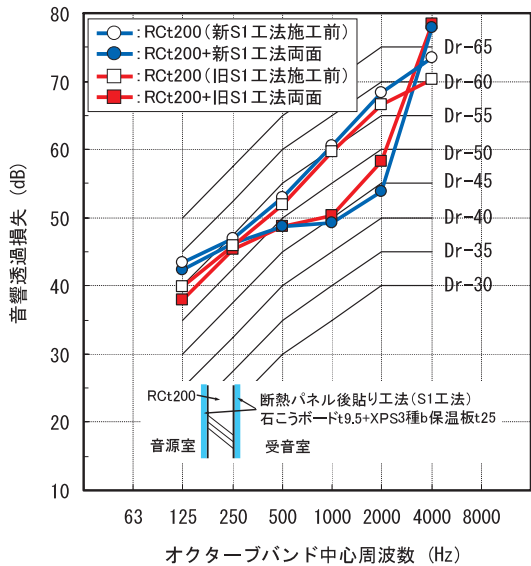


図 5 断熱パネル後貼り工法による RC 壁の音響透過損失（接着方法の違いの比較）

表 1 検討・適用対象建物の概要

所在地	東京都 「次世代省エネルギー基準」地域の区分: IV 地域
構造・規模	鉄筋コンクリート造、地上 13 階建
用途	1 階 : 店舗、エントランス、管理事務室、他 2～13 階 : 住戸
総戸数	55 戸 (住戸 52 戸、店舗 2 戸、管理事務室 1 戸)
間取り	1R: 16 戸 1LDK: 7 戸 2LDK: 8 戸 3LDK: 21 戸

とのある、デベロッパーの担当者から対策方法の提案を求められ、検討したものである。ただし、販売パンフレットやモデルルームに対して意匠上大きな変更は出来ないことから、片面ずつ異なる断熱材を用いた断熱パネルを施工し、両面の共振の一致を回避する方法を検討した。

4.1 試験施工実験による断熱パネルの選定

ワンルームタイプ住戸が 8 戸横に並んだ平面プランである検討対象建物の 2 階、3 階の戸境壁に、断熱パネルを外壁から 600mm 巾で試験施工した。使用した断熱パネルは表 2 に示す 6 種類であり、断熱材の厚さは表 3 に示す次世代省エネルギー基準の断熱材の熱抵抗値の基準値を満足する厚さとした。6 種類の断熱パネルの組合せは両面とも同じ場合を含めて 720 通りにもなるが、今回は、片面の断熱パネルは現設計仕様である S 1 工法で用いられるパネル A とし、パネル A を含む 6 種類との組合せを 6 箇所の戸境壁に旧 S 1 工法の接着方法で施工した。音源室をパネル A の施工側とし、RC 壁素面、音源室パネル施工後、受音室パネル施工後の 3 段階で、音源室、受音室とも折返し断熱の近傍領域に設けた受音点 3 点で測定した特定場所間音圧レベル差と、受音室の等価吸音面積レベルから、部材としての遮音性能である準音響透過損失を求めた。また、音響加振時の受音室側の断熱パネルの面外方向振動加速度を測定した。なお、パネル施工後の測定は、接着剤の硬化のために中 2 日あけて実施している。

準音響透過損失の測定結果を図 6 に、準音響透過損失等級を表 4 に示す。また、折返し断熱施工前後の遮音性能の増減量を図 7 に、受音室側の折返し断熱部分の振動加速度レベルの増減量を図 8 に示す。

今回、工程の関係上、複数の戸境壁で並行して試験施工を実施しており、RC 壁素面の遮音性能に R'r-42 から

表 3 RC 造建物の構造熱橋部分に必要な断熱補強の範囲(断熱補強長さ L)と熱抵抗

断熱材の施工法		地域区分		
		I	II、III	IV、V
内断熱工法	断熱補強の範囲 (mm)	900	600	450
	断熱補強の熱抵抗の基準値 (㎡・K/W)	0.6	0.6	0.6
外断熱工法	断熱補強の範囲 (mm)	450	300	200
	断熱補強の熱抵抗の基準値 (㎡・K/W)	0.6	0.6	0.6

住宅に係るエネルギーの使用の合理化に関する設計、施工及び維持保全の指針 (平成 18 年国土交通省告示第 378 号)

表 2 試験施工実験を行った断熱パネルの諸元

	断熱パネルの構成(表面材+断熱材)	断熱材の諸元				
		密度 kg/m ³	曲げ強度 N/cm ²	圧縮強度 N/cm ²	熱伝導率 W/(m・K)	透湿係数 (厚さ 25mm 当 ng/(m ² ・s・Pa))
パネル A	石膏ボード t9.5 + 押出法発泡ポリスチレンフォーム (XPS) 3 種 b t25	25 以上	25 以上	20 以上	0.028 以下	145 以下
パネル B	石膏ボード t9.5 + ビーズ法発泡ポリスチレンフォーム (緩衝材用特殊品) t40	12	—	2	0.045	—
パネル C	石膏ボード t9.5 + ビーズ法発泡ポリスチレンフォーム (EPS) 4 号 t35	15 以上	15 以上	5 以上	0.043 以下	290 以下
パネル D	石膏ボード t9.5 + ビーズ法発泡ポリスチレンフォーム (EPS) 特号 t25	27 以上	35 以上	14 以上	0.034 以下	185 以下
パネル E	石膏ボード t9.5 + 押出法発泡ポリスチレンフォームリサイクルボード t40	35	24	20	0.04	—
パネル F	石膏ボード t9.5 + ビーズ法発泡ポリプロピレンフォーム t40	30	—	—	0.04	—

R'r-50 のばらつきがある。音源側にパネルAを貼り付けることによる準音響透過損失等級の増減も-3dB～3dB のばらつきがある。受音室側のパネルのRC壁面に対する振動の増減の測定結果(図7)では、パネルの毎に増幅のピークとなる周波数がずれており、躯体両側での共振周波数をずらす効果は得られていると考えられるが、遮音性能の増減の結果(図8)には、反映されていない。

今回の試験施工実験では、両面パネルAのS1工法としても、大きな遮音欠損は観測されず、『パネルAとA』、『パネルAとB』、『パネルAとD』の組み合わせであればRC躯体と同等以上の遮音性能になるとの結果が得られたが、同じ断熱パネルの組み合わせは好ましくないとの既存の知見を考慮して、『AとB』、『AとD』の組み合わせが、遮音性能上は望ましいと思われる。最終的には壁厚が同じで、コスト的にも優位である断熱材にビーズ法発泡ポリスチレン(EPS)保温板特号 t25mm を用いた『パネルD』を『パネルA』と組合せて、本施工に採用することにした。

4.2 竣工時の遮音性能の検証

戸境壁の両側が居室となっている44箇所のうち、コン

表4 準音響透過損失の測定結果一覧

受音側 断熱パネル	準音響透過損失等級Rr(Rr数)			Rr数の増減量		試験室 音源室→受音室
	RC躯体	音源側 パネル貼付 (パネルA)	音源側 受音側 パネル貼付 (パネルA)	音源側 パネル貼付 (パネルA)	音源側 受音側 パネル貼付 (パネルA)	
パネルA	47	47	48	0	1	201→202
パネルB	42	45	43	3	1	204→203
パネルC	49	48	50	-1	1	301→302
パネルD	48	49	50	1	2	304→303
パネルE	49	47	45	-2	-4	306→305
パネルF	47	44	42	-3	-5	308→307

セントボックスの納まりのため片面を吹き付け工法とした4箇所を除く、40箇所に『パネルA』と『パネルD』の組合せによる断熱折返しを600mm巾で施工した。建物完成時の遮音性能(室間音圧レベル差)の測定結果を図9に示す。何れの断面においても、極端な遮音欠損は生じておらず、すべての施工箇所遮音等級D-45、建築学会適用等級:2級(一般的な性能水準)を確保することができている。さらに、施工40箇所のうちの87.5%は、遮音等級D-50、日本建築学会の住宅の戸境壁の遮音性能に対する適用等級:1級(建築学会が推奨する性能水準)の性能が得られている。なお、2級となった箇所は、音源室、受音室とも部屋の窓が腰窓であることから、外壁の断熱仕様である『現場発泡硬質ウレタンフォーム吹き付け+

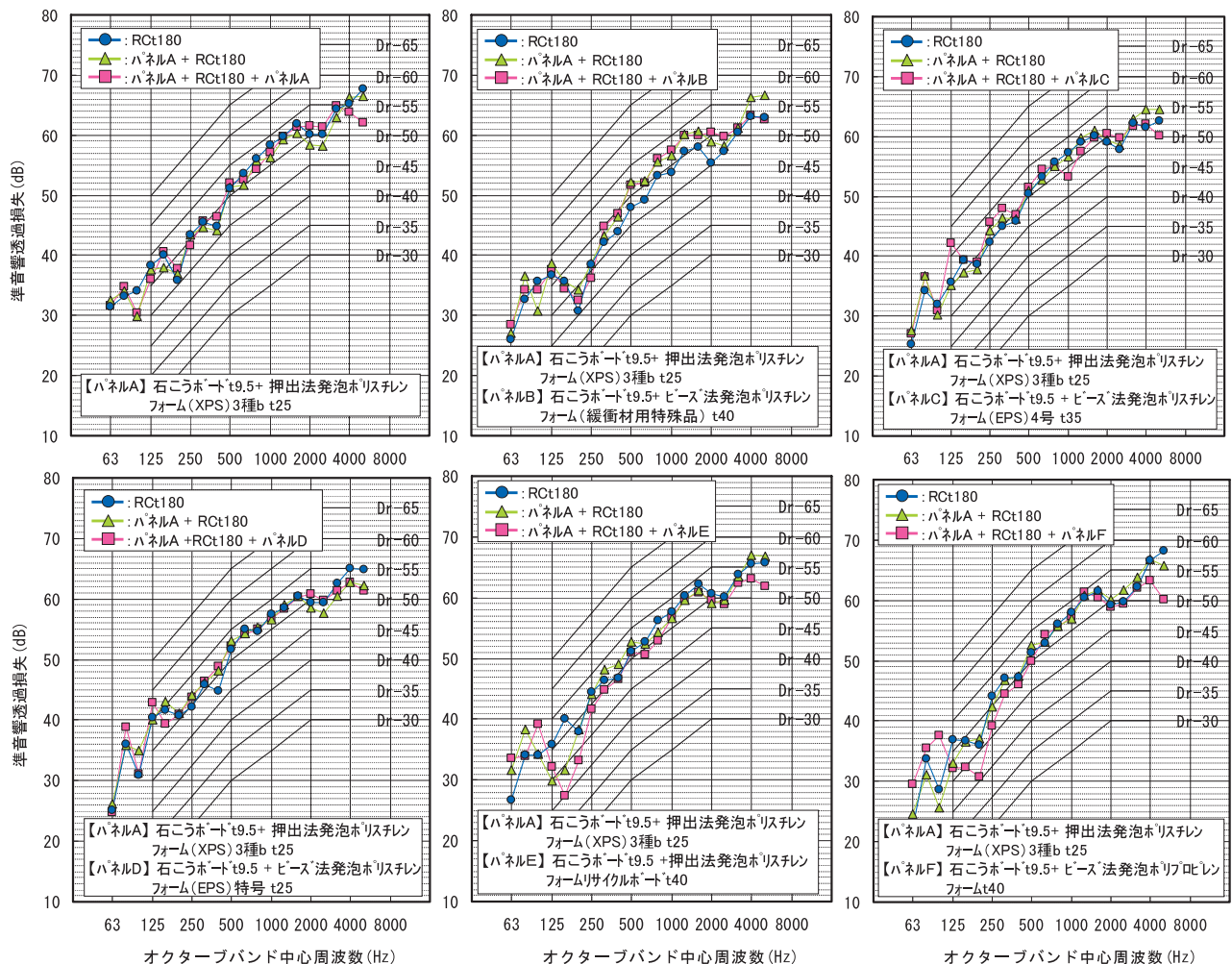


図6 断熱パネル試験施工時の遮音性能測定結果

GL工法』による外壁固体音による側路伝搬が寄与しているものと推察される。

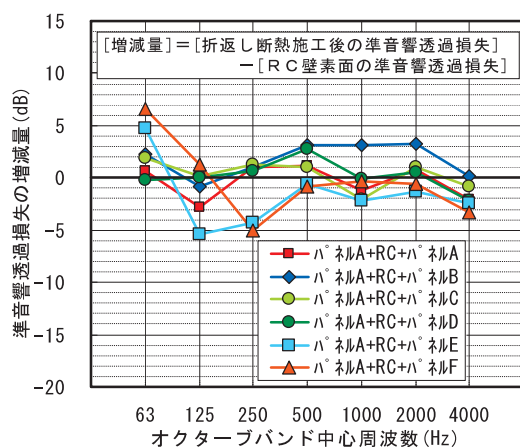


図7 折返し断熱による遮音性能の増減量

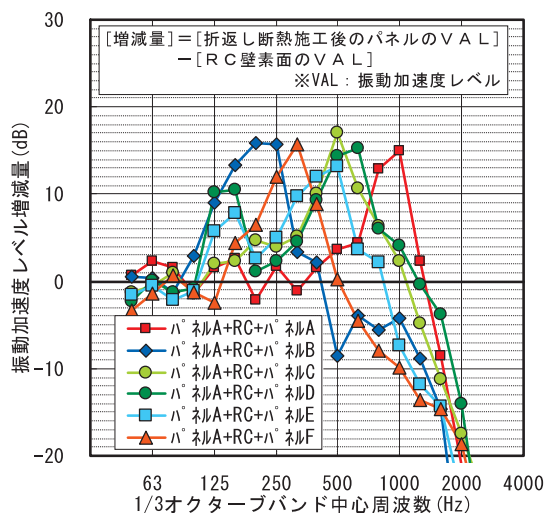


図8 折返し断熱の受音室側パネルの振動増減量

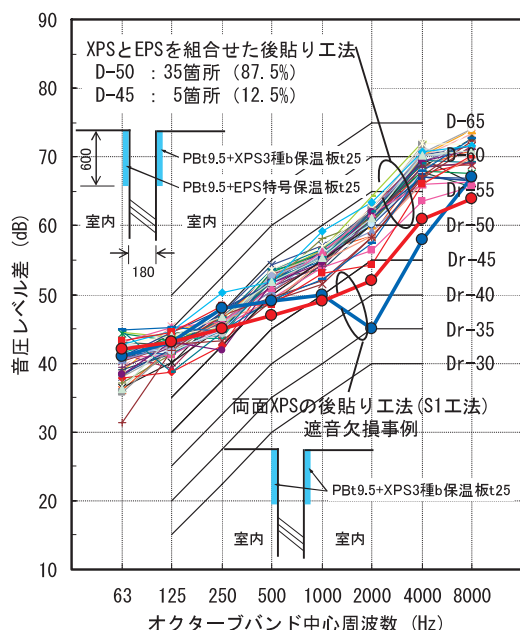


図9 建物完成時の遮音性能測定結果

§5. まとめ

内断熱工法のRC造建物で、熱橋による断熱性能の低下防止、結露発生の防止のために設けられる、折返し断熱によって界壁の遮音性能が低下することは、建築実務者には意外と知られていないようである。

今回、断熱パネル後貼り工法による折返し断熱を対象として、界壁の片面ごとに、所要の断熱性能を満足する別々の断熱材を裏打ちした断熱パネルを用いることによって、遮音欠損を防ぐことができるか否かを、実際の集合住宅の物件において検討した。

施工中の建物で実施した、試験施工と性能確認実験により、厚さ25mmの押出法発泡ポリスチレン(XPS)保温板3種bと、厚さ25mmのビーズ法発泡ポリスチレン(EPS)保温板特号の組合せを選定し、両側が居室になる戸境壁40箇所、補強範囲600mmで施工した。

建物完成時に40箇所の遮音性能(室間音圧レベル差)を測定した結果、極端な遮音欠損は生じておらず、全ての施工箇所で遮音等級D-45、建築学会適用等級:2級を確保することができた。さらに、87.5%は遮音等級D-50、建築学会適用等級:1級を満足していた。

後貼り工法は打込み工法で必要なコンクリートの増し打ちが不要である、断熱・防露工事と内装下地工事が兼用できるなどの長所があるが、断熱補強範囲の終端で壁に段ができるため、デザイン上嫌われている面もある。今後、居室全体に折返しても、遮音欠損が生じない断熱パネル後貼り工法を検討していきたい。

参考文献

- 1) 馬場優・田野正典・峯村敦雄・古賀貴士・矢入幹記:断熱折返しによる遮音性能低下の防止に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2002.8
- 2) 羽染武則・井上諭・瀬戸山春輝:折返し断熱による界壁の遮音欠損と対策事例, 日本音響学会講演論文集, 2004.9
- 3) 住宅・都市整備公団:工事共通仕様書 平成3年版
- 4) 独立行政法人都市機構:公共住宅建設工事共通仕様書 平成16年版

ひとこと

内断熱建物の界壁・界床の断熱補強が、遮音性能を低下させることは意外と知られていないようである。更に断熱性能、遮音性能、納まり、施工性のバランスが取れた工法を検討していきたい。



漆戸 幸雄