

高層RC集合住宅の遮音性能に関する標準化仕様の開発 —タワーパーキングと住戸間の遮音性能—

藤 橋 克 己 *1

要 旨

当社では、高層RC集合住宅の設計・施工における職員生産性を向上し、品質・工期を確保して逸失利益を防止することを目的として、遮音性能に関する当社独自の設計標準を整備している。

ここでは、タワーパーキングと住戸の界壁に用いられるALCパネルの室内側に独立した乾式壁（以下、ふかし壁）を施工したときに R_t -55～65の空気音遮断性能を確保することを目的として実験的に検証した結果を報告する。

キーワード 空気音遮断性能／ALCパネル／ふかし壁

目 次

- | | |
|-----------|-----------|
| 1. はじめに | 5. 妥当性の検証 |
| 2. 実験概要 | 6. 遮音設計標準 |
| 3. 試験体の仕様 | 7. まとめ |
| 4. 実験結果 | |

DEVELOPMENT OF STANDARD SPECIFICATIONS FOR SOUND INSULATION PERFORMANCE IN HIGH RISE CONDOMINIUMS PART1: SOUND INSULATION PERFORMANCE BETWEEN TOWER PARKING AND RESIDENTIAL UNITS

Katsumi FUJHASHI

Synopsis:

Our company has developed its own standard design documents related to sound insulation performance with the aim of improving employee productivity in the design and construction of high-rise RC condominiums, ensuring quality and construction schedules, and preventing lost profits.

This report presents experimental verification results aimed at ensuring airborne sound insulation performance of R_t -55 to 65 when installing independent drywall on the interior side of ALC panels used for partition walls between tower parking structures and residential units.

* 1 本店 ICI 総合センター 建築環境グループ

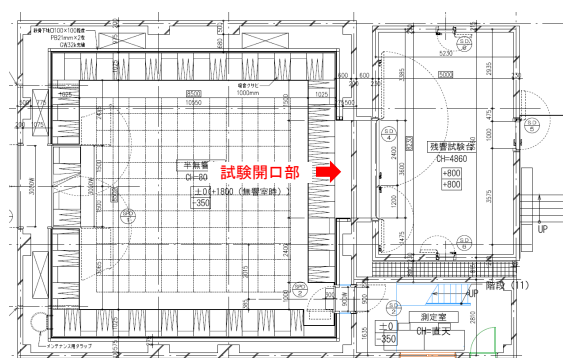
1. はじめに

集合住宅の住棟内で吹き抜けとなる共用部（エレベータ、タワーパーキング、階段室等）と住戸との界壁に要求される空気音遮断性能は $R_{f-55\sim65}$ とされることが多い。この遮音性能を確保する工法として、多くの発注者はRC壁＋ふかし壁または乾式の中空二重壁を規定しているが、タワーパーキングを設ける吹き抜け内は施工中に雨掛かりとなりやすく、施工者としては軽量で耐水性・施工性に優れたALCパネル＋ふかし壁を使いたい。

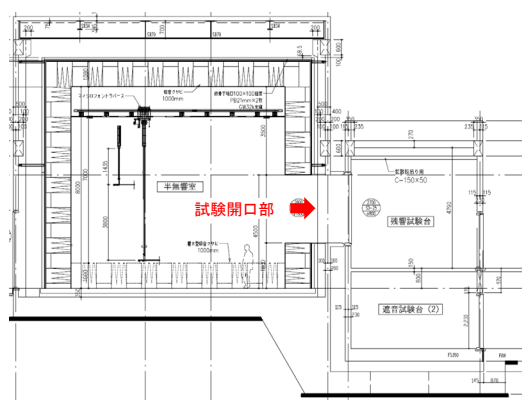
そこで、ALCパネルと石膏ボードのふかし壁で $R_{f-55\sim65}$ の遮音性能を確保できる仕様を確立することを目的として、ALCパネルと様々な仕様のふかし壁の試験体を実験室に施工し、それらの遮音性能として測定したインテンシティ音響透過損失から R_f 数を求めた。

2. 実験概要

インテンシティ音響透過損失の測定は当社のICI総合センターにある箱型の残響室（タイプII）と無響室で実施した。それらの平面図と断面図を図-1に示す。



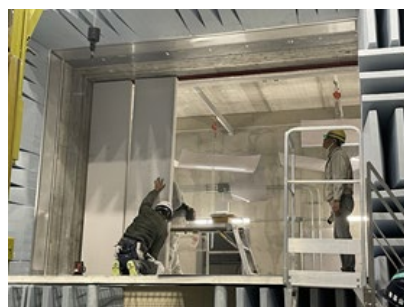
平面図



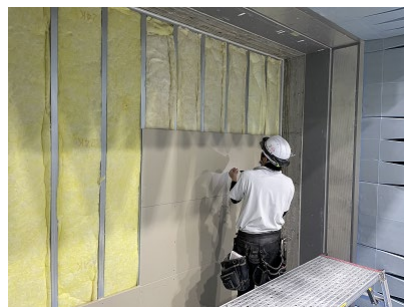
断面図

図-1 実験場所（残響室と無響室）

ALCパネルとふかし壁の試験体は、無響室と残響室の間にある試験開口部に施工した。開口部の寸法は幅3,600mm、高さ2,700mm、開口面積は約10m²で、この開口部に測定対象となる試験体を現場と同じ方法で施工した。試験体の施工状況を図-2に示す。



ALCパネルの建て込み



ふかし壁のボード張り

図-2 試験体の施工状況（無響室側）

インテンシティ音響透過損失の測定方法はJIS A 1441-1:2007に準拠し、残響室でピンクノイズを発生させて平均音圧レベルを測定し、無響室で試験体から放射される音響パワーを100mmごとに計910点測定して下式でインテンシティ音響透過損失 R_f を求めた。測定状況を図-3に示す。

$$R_f = L_{p1} - 6 - \bar{L}_{I_n} \quad [1]$$

L_{p1} : 音源室の平均音圧レベル(dB)

$\bar{L}_{I_n}$: 測定面のノーマル音響インテンシティレベル平均値(dB)



残響室側（固定マイクロホン）



無響室側（トラバース装置）

図-3 インテンシティ音響透過損失の測定状況

3. 試験体の仕様

ALC パネル+ふかし壁の仕様は、当社で施工されている仕様を参考にして汎用品で構成した。厚さ 100mm の ALC パネルに厚さ 40mm の発泡ウレタンを吹き付け、ふかし壁の下地との間に 14mm の隙間 AS を設けた。ふかし壁の下地は軽量鉄骨 LGS の角スタッド 4045 を用いて原則 303mm 間隔で施工した。ボードは石膏ボード GB-R、強化石膏ボード GB-F、硬質普通石膏ボード GB-R-H を用いた。なお、試験体はすべて角スタッドの間に厚さ 50mm、密度 24kg/m³ のグラスウール GW を挿入した。

ALC パネルの納まりはすべて現場同様とした（図-4）。ふかし壁の仕様は空気層の厚さとボードの重さによる遮音性能の違いを把握するために設定し（表-1）、パネマスモデル¹⁾²⁾で共鳴周波数を計算した（表-2）。試験体の施工位置を図-5、ふかし壁を含めた試験体の断面詳細の例を図-6 にそれぞれ示す。なお、ふかし壁の施工方法や納まりは、試験体 A を除いて建材メーカーの標準施工指導書に準拠した³⁾。

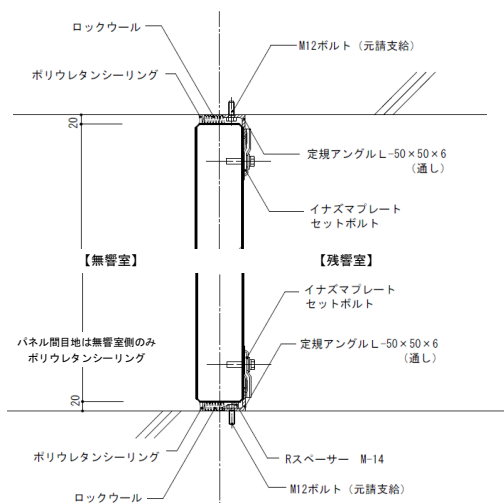


図-4 ALC パネルの納まり（断面図）

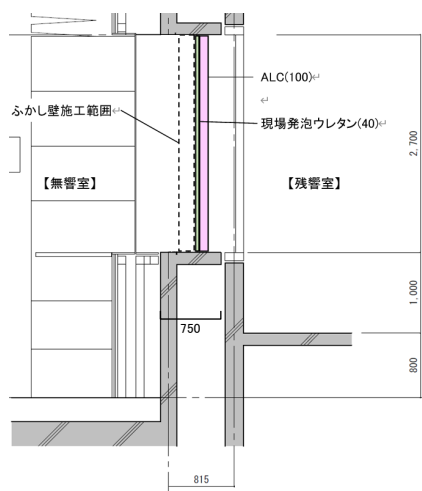


図-5 試験体の施工位置（断面図）

表-1 ふかし壁の仕様

No.	ふかし壁の仕様 (ALCt100+発泡ウレタン t40+)	厚さ (mm)
A	ASt14+LGSt45+GB-Rt12.5+GB-Rt9.5	81
B	ASt14+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5	90
C	ASt14+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5 +ASt14+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5	179
D	ASt14+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5 +ASt70+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5	235
E	ASt70+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5	146
F	ASt70+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5 +ASt70+LGSt45+GB-Ft21+GB-R-Ht9.5	291
G	ASt148+LGSt45+GB-Ft21+GB-Ft21 ※たわみ抑制のため、LGSは227mm間隔	235

※t:厚さ(mm)

表-2 試験体の共鳴周波数の計算値

No.	ふかし壁				共鳴周波数 計算値(Hz)	
	1 層		2 層		1 次	2 次
	l_1 (mm)	m_2 (kg/m²)	l_2 (mm)	m_3 (kg/m²)		
A	59	15	-	-	70	-
B	59	28	-	-	56	-
C	59	28	59	28	39	77
D	59	28	115	28	33	65
E	115	28	-	-	38	-
F	115	28	115	28	28	55
G	193	32	-	-	29	-

・ALC パネルの面密度 $m_1=60\text{kg/m}^2$

・試験体 A,B,E,G は式[2]、C,D,F は式[3]で共鳴周波数を計算

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_1+m_2}{m_1 m_2} \cdot \frac{\rho c^2}{l_1}} \quad [2]$$

$$f_{r,tri,i} = \frac{c}{2\pi} \left[\frac{\rho}{2} \left\{ \left(\frac{1}{l_1 m_1} + \frac{1}{l_1 m_2} + \frac{1}{l_2 m_2} + \frac{1}{l_2 m_3} \right) \mp \sqrt{\left(\frac{1}{l_1 m_1} + \frac{1}{l_1 m_2} - \frac{1}{l_2 m_2} - \frac{1}{l_2 m_3} \right)^2 + 4 \frac{1}{l_1 l_2 m_2^2}} \right\} \right]^{1/2} \quad [3]$$

f_r : ふかし壁 1 層, $f_{r,tri,i}$: ふかし壁 2 層の共鳴周波数(Hz)

m_1, m_2, m_3 : 壁 1, 壁 2, 壁 3 の面密度(kg/m²)

ρ : 空気密度(kg/m³), c : 音速(m/s), l_1, l_2 : 空気層厚さ(m)

ただし、 $i=1$ が「-」を、 $i=2$ が「+」をとる。

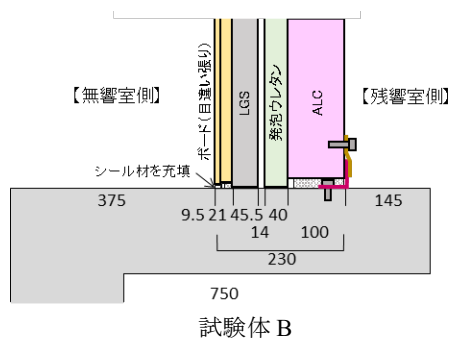


図-6 試験体の断面詳細の例

4. 実験結果

4.1 各試験体の遮音性能

各試験体のインテンシティ音響透過損失 R_I の測定結果を表-3、図-7 に示す。ここでは音響透過損失 $R=R_I$ として R_r 等級曲線から周波数ごとに 1dB 単位で読み取った値の最大値（ここでは R_r 数とする）の傾向を以下にまとめる。

- ・ ALC パネルは R_r -31, 決定周波数は 500Hz 帯域であり, 同帯域ではランダム入射質量則の計算値を 6dB 下回っていた。コインシデンス効果の影響と推察される。
- ・ ALC パネルに発泡ウレタンを吹き付けると R_r -31, 決定周波数は 500Hz 帯域であり, ALC パネルに対して 4000Hz 帯域で 9dB の性能低下を示した。発泡ウレタンの質量とばねによる共鳴の影響と推察される。
- ・ 試験体 A~G は R_r -52~67, 決定周波数はすべて R_r 数の評価対象周波数で最も低い 125Hz 帯域であり, ALC パネルよりも 4~7 ランク高い遮音性能が得られた (1 ランク=5dB)。

表-2 に示した通り, すべてのふかし壁試験体の共鳴周波数の計算値は 63Hz 帯域以下 (89Hz 以下) となっており, ふかし壁の共鳴周波数を 125Hz 帯域よりも低くすることが R_r 数を向上させるのに効果的と考えられる。

4.2 ふかし壁の有無による遮音性能の違い

R_r 数および周波数帯域ごとのインテンシティ音響透過損失の差について, ふかし壁の有無による差を図-8, ふかし壁の層数による差を図-9 にそれぞれ示す。63Hz 帯域と 125Hz 帯域以上で傾向が異なるため, 共鳴周波数の計算値との関係を周波数帯域ごとに図-10 に示す。実験結果から読み取れる周波数帯域ごとの傾向を以下にまとめる。

- ・ R_r 数はふかし壁を 2 層にすることで 1~2 ランク高くなっている。
- ・ 63Hz 帯域では, 1 次の共鳴周波数が 63Hz 帯域よりも低い場合, 共鳴周波数とインテンシティ音響透過損失の差との間に負の相関が認められる。
- ・ ふかし壁が 1 層の場合, 共鳴周波数が 63Hz 帯域に含まれると 63Hz 帯域のインテンシティ音響透過損失の差は負の値を示している。
- ・ ふかし壁が 2 層の場合, 2 次の共鳴周波数が 63Hz 帯域に含まれてもインテンシティ音響透過損失の差は負の値を示さない。
- ・ 125Hz 帯域では, 1 次の共鳴周波数が 63Hz 帯域よりも低い場合, 2 層のインテンシティ音響透過損失の差は 1 層よりも 1~2 ランク大きくになっている。

250Hz 帯域以上の傾向は 125Hz 帯域と同様である。なお, 図-8 の 1000Hz 帯域以上で試験体による差が小さいのは, 試験体端部の隙間処理や RC 躯体からの側路伝搬音の影響と推察される。また, 図-8 の 2000Hz 帯域での落ち込みの原因として, 発泡ウレタンの共鳴周波数が吹付後の時間経過とともに同帯域にシフトした可能性がある。

表-3 インテンシティ音響透過損失 R_I (dB) の測定結果

	R_r	オクターブバンド中心周波数(Hz)						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
ALC パネル	31	27	29	31	31	38	47	53
(計算値)	-	(21)	(26)	(31)	(37)	(42)	(48)	(53)
+ウレタン	31	25	28	29	31	38	49	44
A	52	20	37	49	59	71	77	80
B	58	23	43	54	63	73	78	82
C	64	28	49	62	71	78	81	85
D	67	31	52	63	72	78	81	86
E	58	29	43	54	64	74	78	80
F	67	34	52	64	73	79	82	86
G	59	30	44	55	66	75	80	85

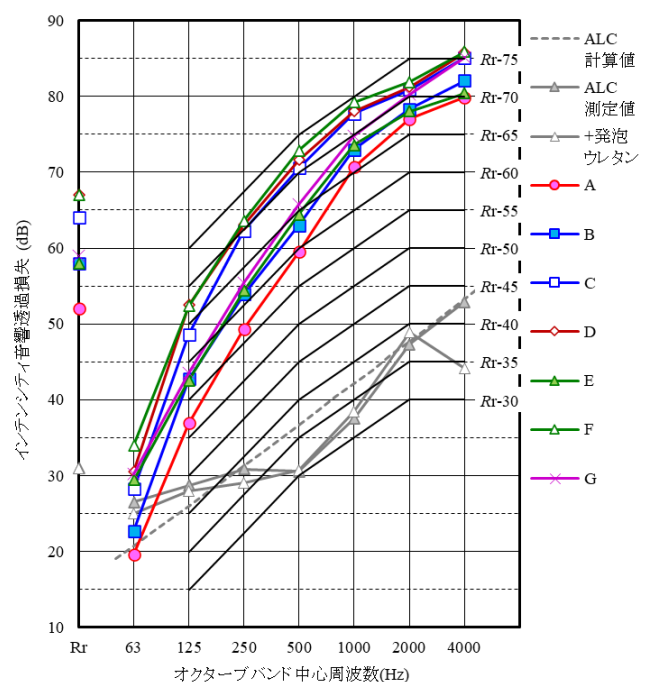


図-7 インテンシティ音響透過損失 R_I の測定結果

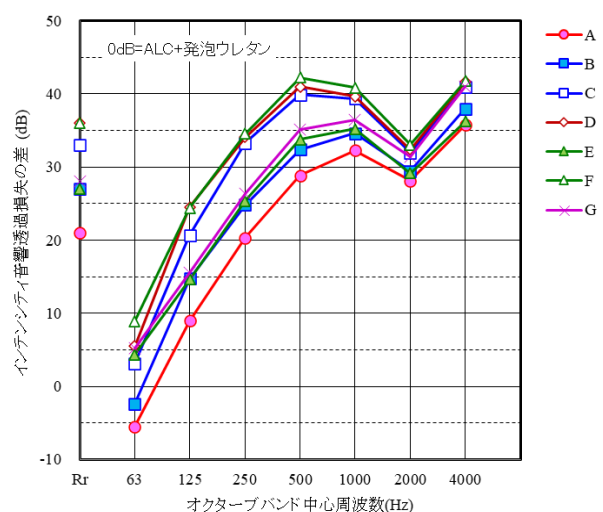


図-8 ふかし壁の有無による R_I の差

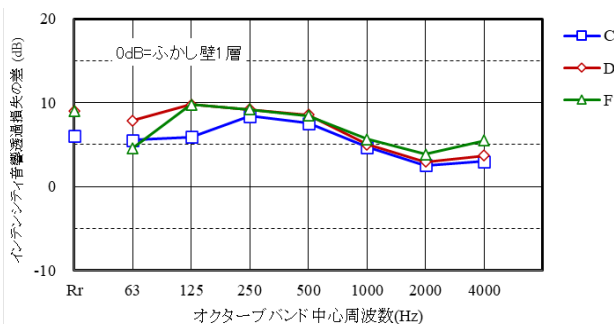


図-9 ふかし壁の層数による R_r の差

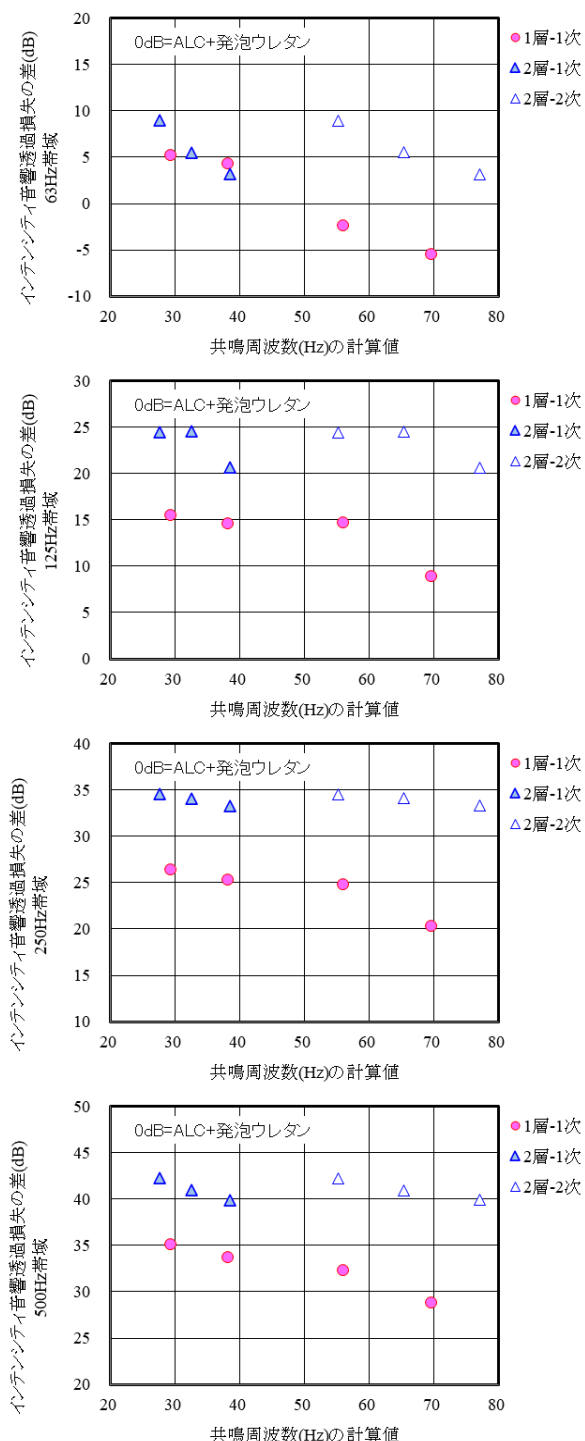


図-10 ふかし壁の効果と共鳴周波数との関係

5. 妥当性の検証

今回の実験結果の妥当性を検証するために、他の試験機関の実験室イ⁴⁾、ロ⁵⁾における音響透過損失との比較を試みた。ここで、今回の実験では JIS A 1441-1:2007 に準拠した音響インテンシティ法を用いており、実験室イ、ロは JIS A 1416:2000 に準拠して音源室、受音室ともに残響室を用いているため、両者を比較するには調整項 K_c を求める必要がある。なお、 K_c は JIS A 1441-1:2007 の附属書 B (参考) に記載されている以下の式で求めた。

表-4 他機関の実験室における調整項 K_c (dB)の計算結果

		オクターブバンド中心周波数(Hz)						
		63	125	250	500	1000	2000	4000
λ (m)		5.4	2.7	1.4	0.7	0.3	0.2	0.1
K_c	イ	2.2	1.3	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0
	ロ	2.1	1.2	0.6	0.3	0.2	0.1	0.0

$$K_c = 10 \log(1 + S_{b2} \lambda / 8 V_2)$$

ここで、 λ : 中心周波数の音の波長(m)、音速は 340m/s とした。

V_2 : 受音室の容積(試験室イ 225m³、ロ 304m³)

S_{b2} : 受音室の表面積(試験室イ 225m²、ロ 276 m²)

(注) イの表面積は室容積を直方体換算して推定

次に実験室イ、ロの公開資料から今回の実験で用いた ALC パネル、試験体 B と同じ仕様の音響透過損失⁶⁾の読み取り、 K_c 調整後の実験結果と比較して図-11 に示す。

ALC パネルの音響透過損失について、調整後の実験結果と他機関イの差は 125~1000Hz 帯域で 1~2dB となっており、周波数特性および R_r 数は同等と見なせる。

試験体 B の音響透過損失について、調整後の実験結果と他機関ロの差は 125~1000Hz 帯域で 1~2dB となっており、周波数特性および R_r 数は同等と見なせる。

なお、2000~4000Hz 帯域ではどちらの試験体も明確な違いが生じており、試験体の端部処理方法、ALC パネルに吹き付けた発泡ウレタンの共鳴の周波数と大きさが異なる可能性がある。

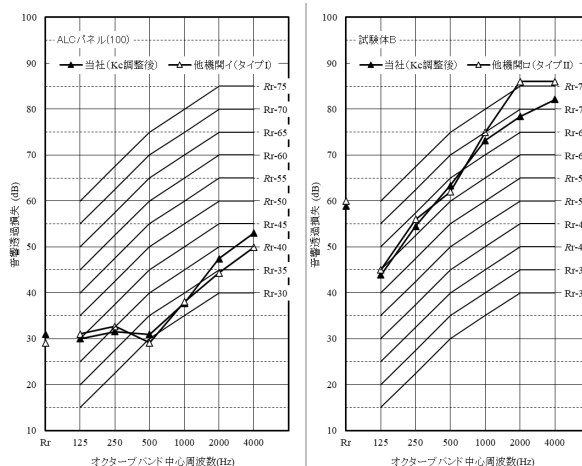


図-11 ふかし壁の効果と共鳴周波数との関係

6. 遮音設計標準

今回の実験結果に表-4の調整項 K_C を加えた音響透過損失等級 R_r とふかし壁の仕様との関係を一覧表にまとめて表-5、図-12に示し、ALCパネル+ふかし壁の遮音設計標準とする。調整項 K_C を加えることで、 R_r 数は表-3よりも1大きくなった。

R_r -60以下の遮音性能はふかし壁1層で実現できるが、 R_r -65以上の遮音性能はふかし壁2層が必要となる。

表-5 ALCパネル+ふかし壁の遮音設計標準

遮音性能 R_r	ふかし壁		総厚 mm	面密度 kg/m ²	備考
	層	仕様			
55	53	1 ASt14+LGSt45@303 +GB-Rt12.5+9.5	221	77	試験体 A
60	59	1 ASt14+LGSt45@303 +GB-Ft1+GB-R-Ht9.5	230	89	試験体 B
	59	1 ASt70+LGSt45@303 +GB-Ft1+GB-R-Ht9.5	286	89	試験体 E 63Hz:B+6dB
65	65	1 ASt14+LGSt45@303 +GB-Ft1+GB-R-Ht9.5	319	117	試験体 C
	65	2 ASt14+LGSt45@303 +GB-Ft1+GB-R-Ht9.5			
70	68	1 ASt14+LGSt45@303 +GB-Ft1+GB-R-Ht9.5	375	117	試験体 D
	68	2 ASt70+LGSt45@303 +GB-Ft1+GB-R-Ht9.5			

※t: 厚さ(mm)

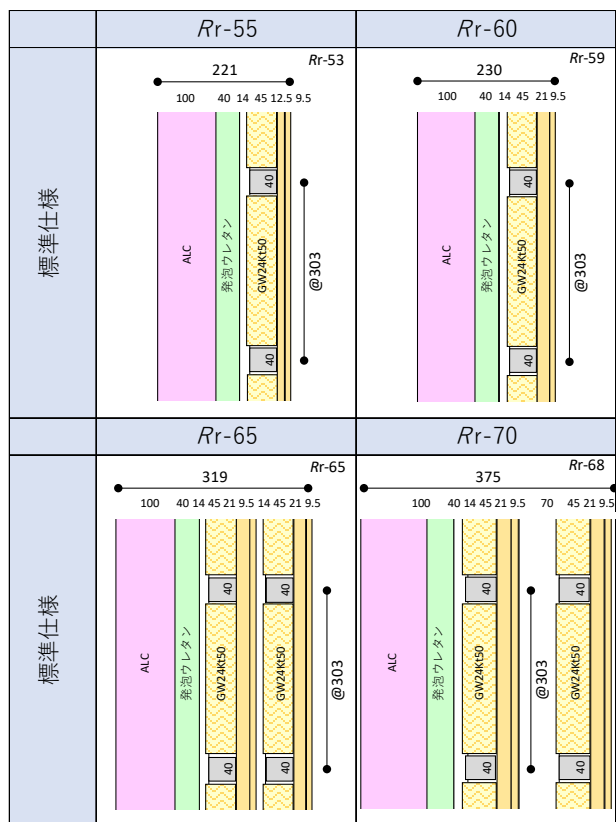


図-12 ALCパネル+ふかし壁の遮音設計標準

7. まとめ

今回の実験によって、ALCと石膏ボードのふかし壁で当初の目標値を上回る R_r -55~70の遮音性能を得られる仕様を設計標準としてまとめることができた。実験結果の要点を以下に示す。

- ・ ふかし壁試験体A~Gの音響透過損失は R_r -53~68、その決定周波数はすべて R_r 数の評価範囲で最も低い125Hz帯域であり、ALCパネルよりも4~7ランク高い遮音性能が得られた。
- ・ ふかし壁の共鳴周波数を125Hz帯域よりも1オクターブ以上低くすることが R_r 数を向上させるのに効果的と考えられる。
- ・ ふかし壁を2層にすることで1層よりも1~2ランク高い遮音性能が得られており、総合的な面密度が同程度であれば、ふかし壁は1層よりも2層の方が R_r 数を向上させるのに効果的と考えられる。
- ・ ふかし壁1層の場合、面密度を重くするか空気層を厚くすると、 R_r 数は同等であっても R_r 数の評価対象外となる63Hz帯域で1ランク高い遮音性能が得られるため、対象となる騒音源が63Hz帯域の成分を多く含む場合には有効となる。

なお、今回の実験で得られた遮音性能は空気伝搬音を対象としており、固体伝搬音についてはエレベータやタワーパーキング側で適切かつ実績のある振動対策を講じる必要がある。

参考文献

- 1) 日本音響学会編、音響工学講座③ 建築音響、コロナ社、1998。
- 2) 杉江聡：多重壁の低域共鳴透過周波数の推定、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、pp.413-414、2022。
- 3) 吉野石膏株式会社：吉野遮音システムA-2000・WI標準施工指導書〔令和5年5月版〕。
- 4) （一財）建材試験センター：界壁の遮音構造試験・評価業務方法書、2019.11.19変更（ろ）。
- 5) 買手正浩、平松友孝、松本敏夫、橘秀樹：吉野石膏総合音響試験室の音響性能 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）、pp.125-126、2001。
- 6) クリオン株式会社：クリオン テクニカル・ハンドブック p.259、2023.9。
- 7) 吉野石膏株式会社技術本部商品開発部：ALC（厚さ100mm）+ウレタン（厚さ40mm）の外壁のふかし壁工法、2016.5.10。