

2.公共空間における音環境

2.5 地下鉄「みなとみらい線」の音響設計

Acoustic Design of Minato-Mirai Line

唐澤 誠 (Makoto Karasawa)

(株)唐澤誠建築音響設計事務所

(Karasawa Architectural & Acoustic Design Co.,Ltd.)

みなとみらい線は、みなとみらい21地区の開発と海側における交通網のインフラを目的に、東急東横線からの乗り入れにより「横浜駅/元町・中華街駅間の地下鉄」として2004年2月開通したものである。

音響設計は、特殊性の高い空間に着目し、対象として「みなとみらい駅」「馬車道駅」「元町・中華街駅」3駅を、鉄道運輸機構の指示のもとに実施を求められた。

以下に、音響設計の概要およびその音響特性について報告する。

1. 音環境整備の意義

人が集まり利用する昨今の公共空間においては、単なる空間に留まらず良質な音環境を有した空間を提供する傾向があることは言うまでもない。このことは、劇場やコンサートホールのような芸術性や鑑賞が求められる空間を越えて、都市機能全般においても音環境整備が急務とされ、この一環として「地下鉄公共空間」にも着目することが求められる。

今回、音環境整備が求められた3駅は、地下空間としては大型であり、特にコンコースの形状においては「ドーム天井」や「ヴォールト天井」のような特殊性を有し、残響過多やフラッターエコーなどの音響障害が懸念され、音環境整備の重要性が求められた。

また、非常放送や一般アナウンス放送における明瞭度向上や、地下空間特有の低音域残響過多に対応した音環境改善、大風量換気下における騒音制御、利用者間の会話の向上など、音環境整備が求められた。

2. 音環境整備の音響留意点

地下鉄駅空間における響きを総合的に評価するにあたっては、空間の吸音の目安となる「平均吸音率」、
「存在する室内騒音の程度(多くは換気騒音、鉄道走行騒音、雑踏騒音などが主)」、ならびに「話し手と聞き手の位置関係」などを考慮する必要がある。

例えば、3 m離れた話し手と聞き手の会話が正しく成立する大型空間の音環境は、話し手の指向係数 $Q = 1$ 、臨界距離 $r_c = 3$ mとした場合、平均吸音率「約0.15」以上の吸音内装を施した空間が不可欠となる。あわせて、話し手の騒音レベルを平均65dBA/mとすると、3 m離れた聞き手においては約10dBA減衰することから、聴取レベルは約55dBAとなり、空間の許容騒音レベルは約50dBA(約NC-40)以下であることが目安となる。また、低音域の響きと騒音に着目すると、両者による音圧上昇は約12dB(500Hzに対する125Hzの値)が許容される。このことは、NC曲線や聴感A補正などからも理解できる。

非常放送やプラットホームのアナウンスに着目した場合についても同様の考え方が成立する。

音響設計段階においては、現場土木躯体下状態で収録したインパルス応答データから内装処理されたときの応答を推定するとともに、他駅で収録したスピーカ放送の直接音による楽音を畳み込むことにより、音環境をシミュレーションした。続いてこの音環境CDを、施主および設計担当者を被験者とし「響きと騒音と楽音における音環境の是非」についてヘッドホン試聴による検証を試みた。

これらの結果から、地下鉄大型コンコースおよびプラットホームにおける目標音響性能を次の値とした。

1) 室内音響目標値

平均吸音率 $\bar{\alpha} \geq 0.15$ (許容値), ≥ 0.20 (最低推奨値)

室内許容騒音 NC-40以下, 50dBA以下(許容値)

NC-35以下, 45dBA以下(最低推奨値)

2) 拡声設備目標値

消防法「非常用警報器具・設備」による規程内、あわせて「臨界距離の約2倍内」に「指向係数2 kHz $Q \geq 18$, 500Hz $Q \geq 4$ 」のスピーカを配置

3. みなとみらい駅の音響設計

1) 設計概要

みなとみらい駅は、数々の商業施設が立ち並ぶ「みなとみらい21」中央地区中心に位置し、地下3階には「船」をモチーフにしたコンコースがある。

コンコースは、直径18m、円中心FL-0.5mの大型ヴォールト天井、長さ65mの規模を有している(図1, 図2, 図4参照)。

基本設計段階では、土木躯体下において「壁天井⇄床⇄壁天井」にフラッターエコーが確認されており、

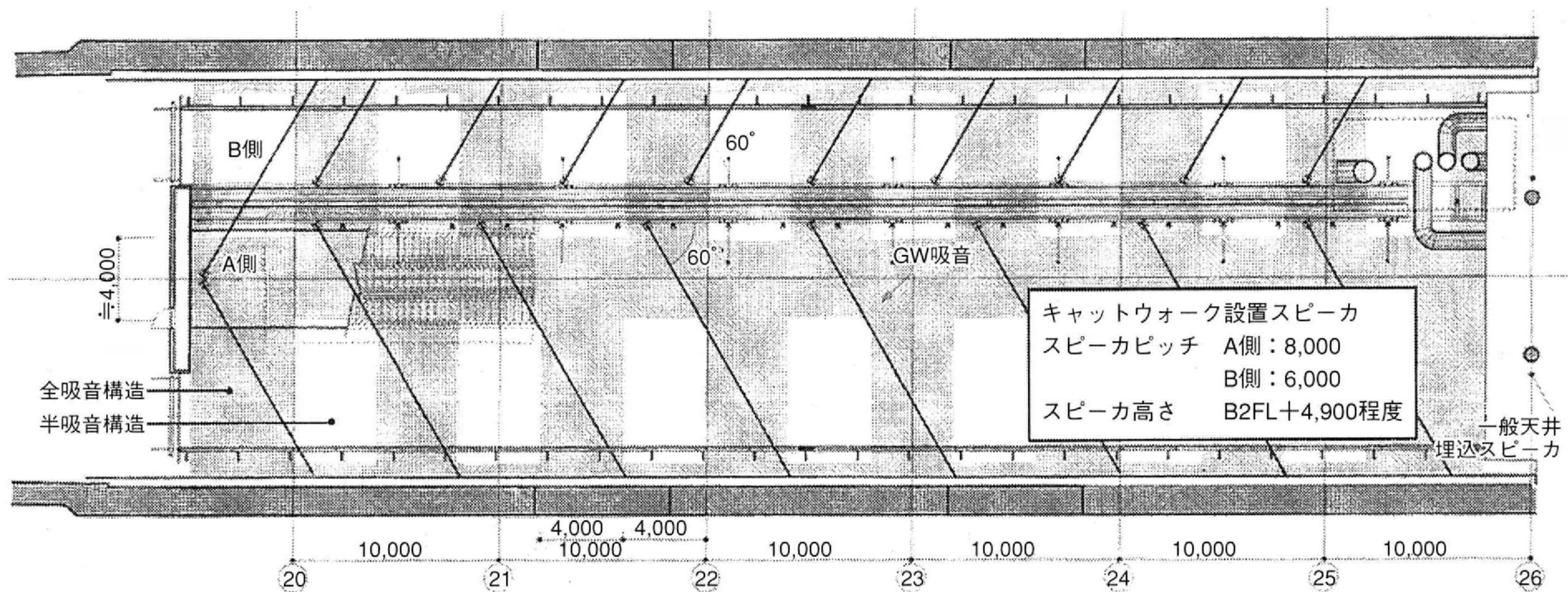


図1 グラスウール吸音配置・天井伏図(みなとみらい駅コンコース ヴォールト空間)

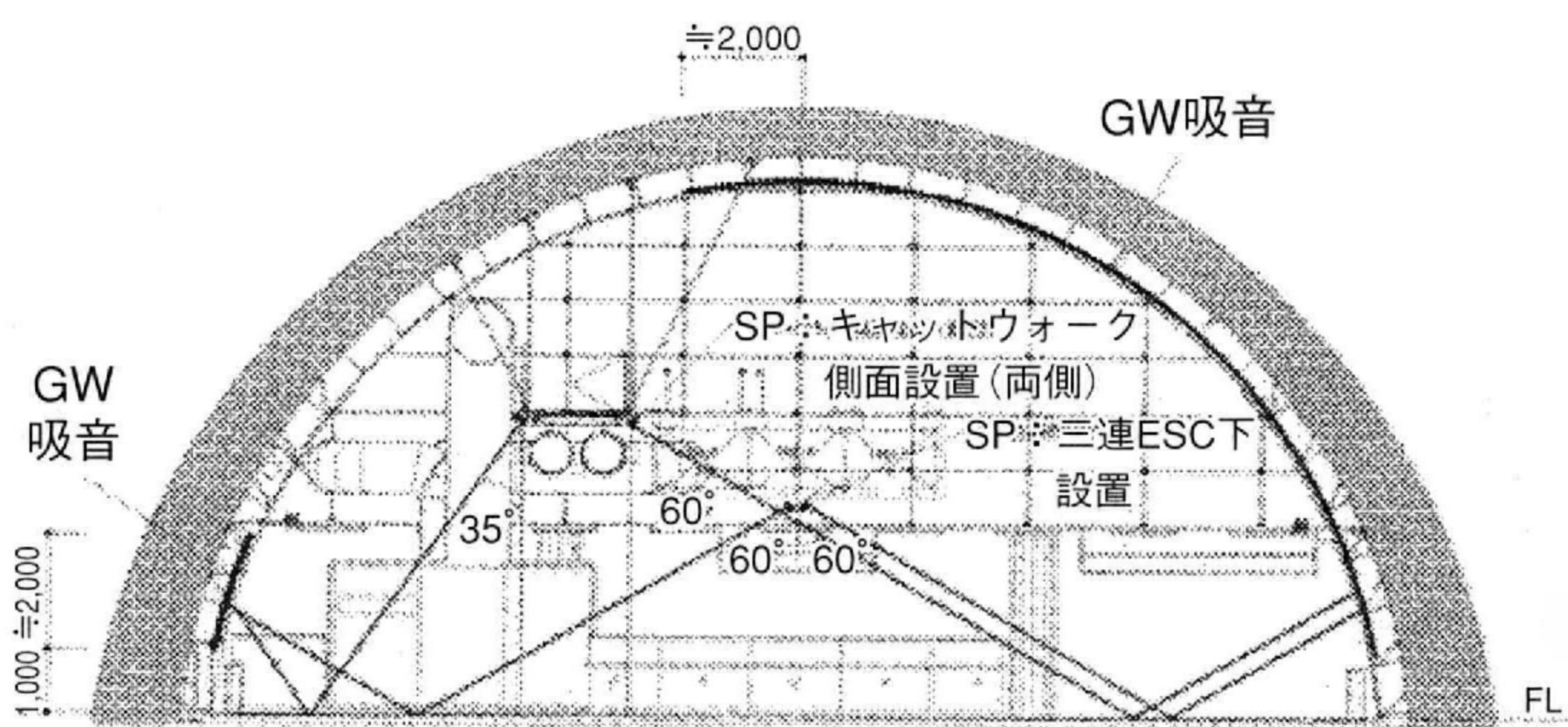


図2 グラスウール吸音配置・断面図
(みなとみらい駅コンコース ヴォールト空間)

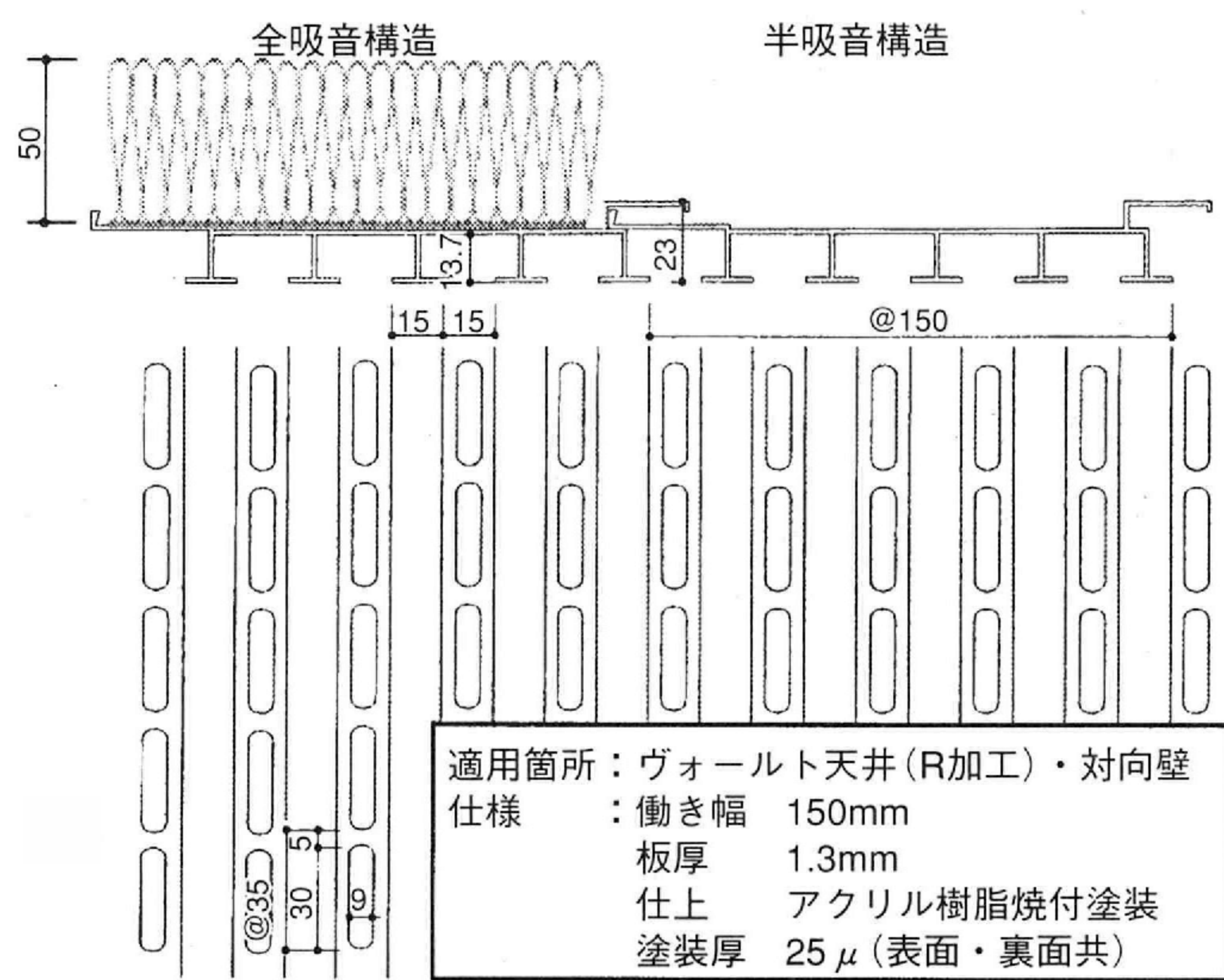


図3 アルミ有孔スパンドレルの吸音構造

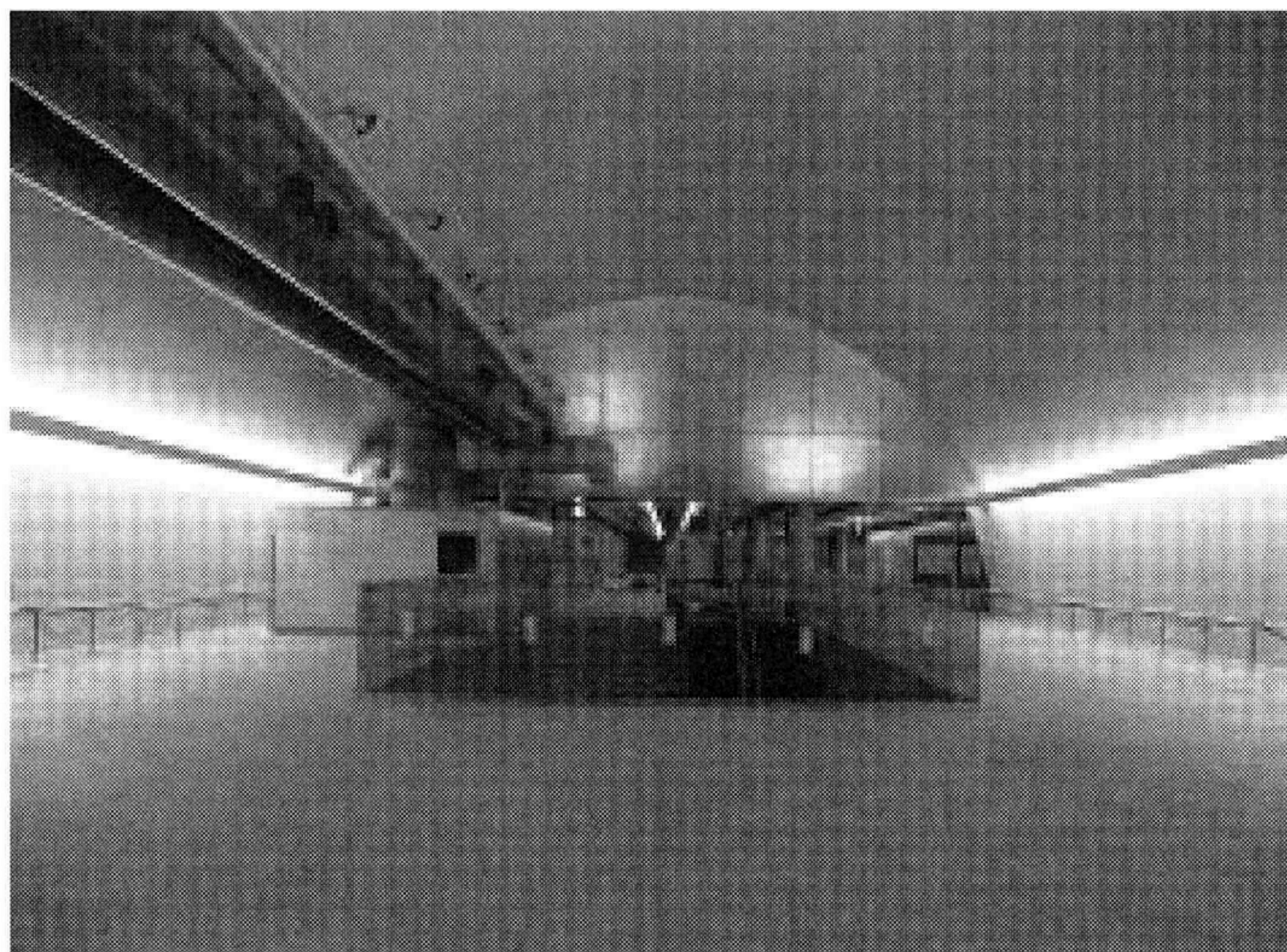


図4 写真:みなとみらい駅コンコース ヴォールト空間

音環境整備が求められた。

実施時には、「壁天井」部位を全吸音と半吸音を組み合わせ、あわせて吸音面積調整を行った。

各部位の内装は次のとおりである。

- ・床 : 石貼り
- ・壁天井: (図1～3参照)

全吸音構造 アルミスパンドレル(開口率25%)
+ GW(GC付32k 50 t) + AS大...壁天井全面積の2/3

半吸音構造 アルミスパンドレル(開口率25%)
+ AS大...壁天井全面積の1/3

2) 音響特性

空間代表点における500Hz平均残響時間は約1.1秒(図5参照), 平均吸音率は0.3であり, とともに全周波数において平坦特性が得られた。また空間代表点における空調設備運転騒音はNC-46, 50.9dBAであった。

空室時 実測値	凡例	オクターブ中心周波数 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT平均値	●	1.02	1.02	1.43	1.11	0.89	0.93	1.10	0.98

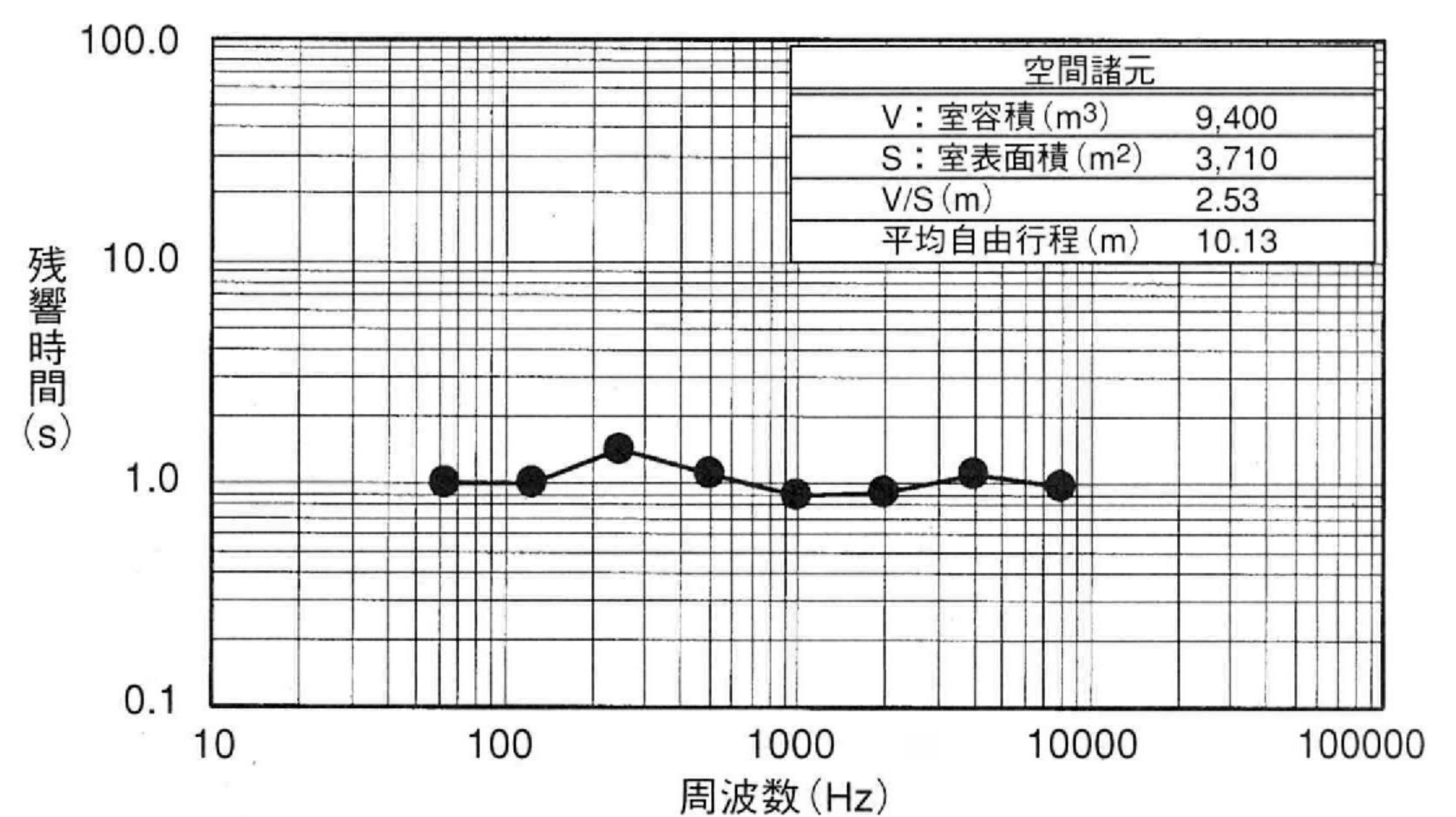


図5 竣工時の残響時間周波数特性測定結果
(みなとみらい駅コンコース ヴォールト空間)

2.5 地下鉄「みなとみらい線」の音響設計

4. 馬車道駅の音響設計

1) 設計概要

馬車道駅は、再開発みなとみらい地区と県庁舎や赤レンガ倉庫の中間に位置し、「過去と未来の対比と融合」がテーマとなっている。そのため、駅内装デザインはレンガを基調とし、ドーム天井コンコースをはじめ、横浜銀行旧本店のレリーフが展示されたコンコースも併設利用する方針とされた。

なかでも、ドーム天井を有した空間では、土木躯体時に調査した残響時間は約30秒(500Hz)近くあり、距離間1mの会話も成り立たない音環境下にあった。この土木躯体とは、地上から混入する雨水や湧水を挿鉢逆配置したGRCパネルの周囲で集水するためのもので、概念的にはRC凹面に類似したものである。

ドーム天井の空間において反射音経路の多くは、ドーム天井面とその投影床面の相互間で反射が繰り返される。そのため、この反射が繰り返される面に着目して平均吸音率の概算が可能となる。内装設計にあたっては、現場躯体時に収録したインパルス応答とこの概算値から空間をシミュレーションし、楽音を畳み込むことにより可聴化して音環境の検証を行い、この結果から次の内装を立案した。

- ・床 : 石器質タイル
- ・壁 : ドーム周囲 レンガ
- ・天井 : ドーム部(図6~9参照)
 焼結アルミニウム吸音材 3 t
 + 有孔捨貼り13.4φ24P9.5 t
 + GW(GC付32k40 t) 充填
 ドーム周囲下がり天井部
 アルミカットパネル 3 t
 一般高天井部
 有孔アルミスパンドレル 5 φ20 p0.8 t
 (開口率22%) + GW(GC付32k25 t) + AS大

2) 音響特性

ドーム空間の平均残響時間は、1.82秒(図10参照)、平均吸音率は0.23と推定される。なお、低音域125Hzの残響時間は4.51秒、平均吸音率は0.28と推定され、500Hzに対し約1.2倍にあった。現場における会話の聴取実験においては、中心に近づくほど低音域で多少のフラッターエコーに近い響きが感じられたが、実用上は全く障害にはならない音環境が得られた。

ドーム空間の空調設備運転騒音はNC-41, 46dBAであり、許容内にあることを確認した。

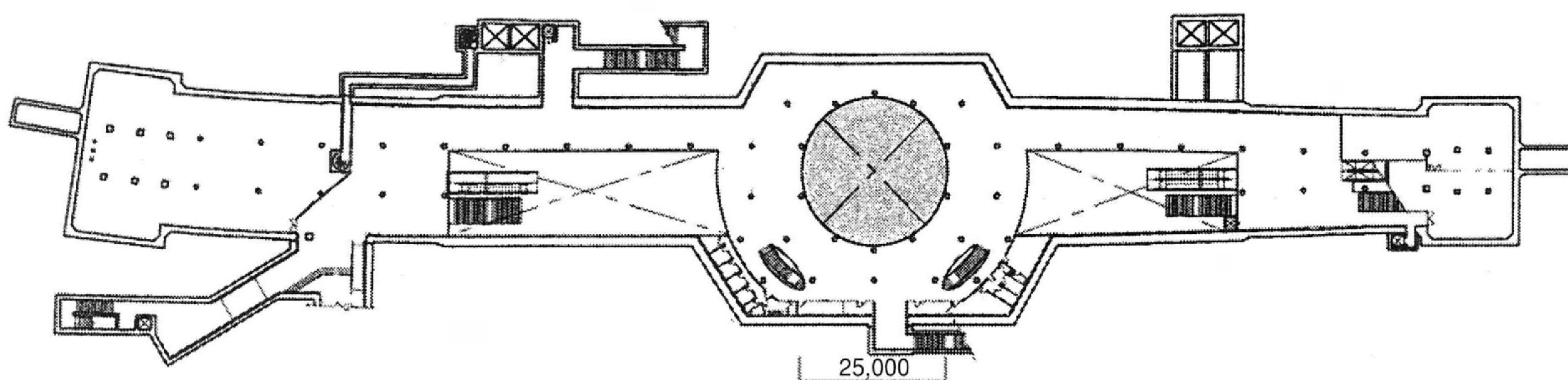


図6 吸音配置・平面図(馬車道駅コンコース ドーム天井)

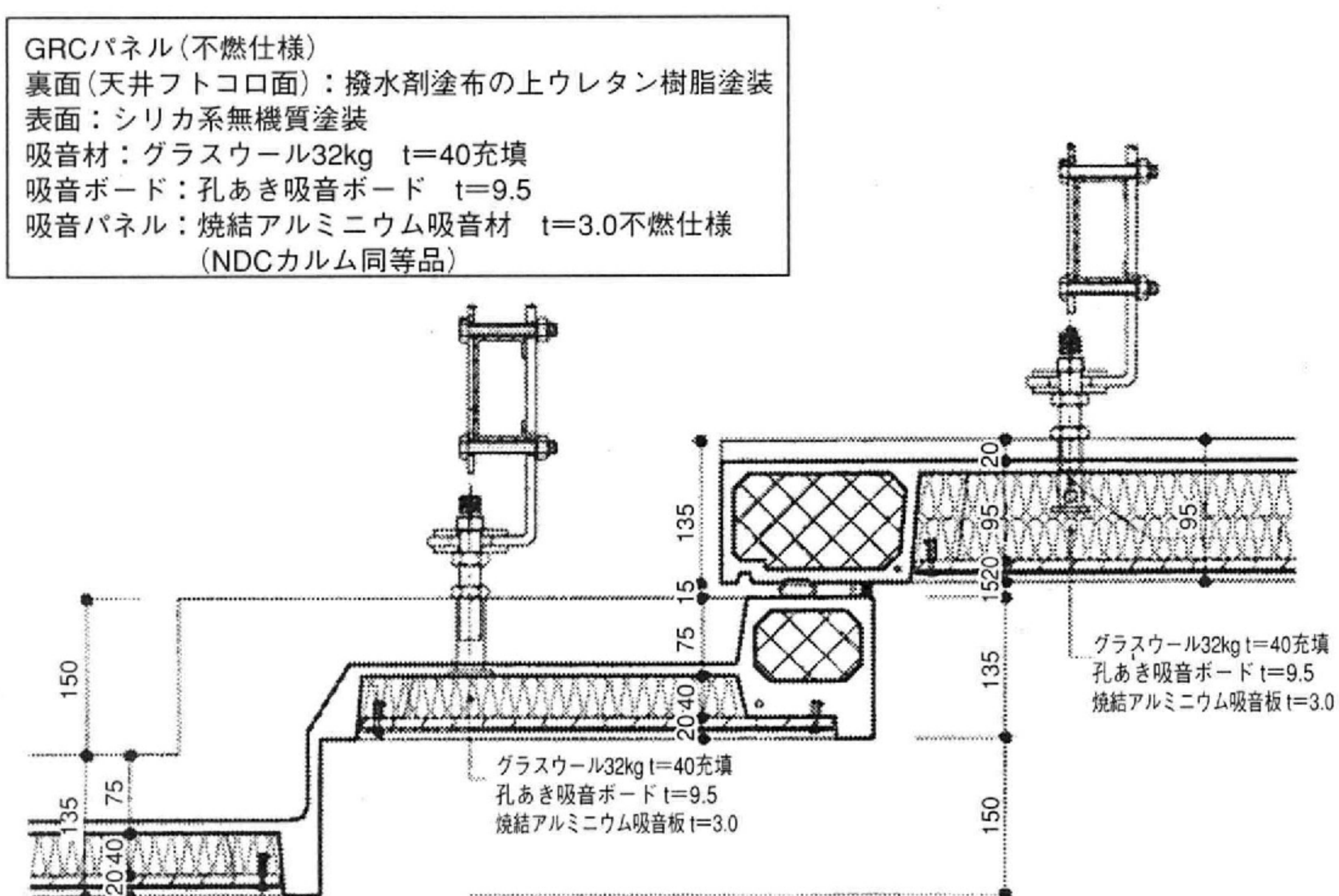


図7 吸音配置・断面方向ジョイント部
(馬車道駅コンコース ドーム天井)

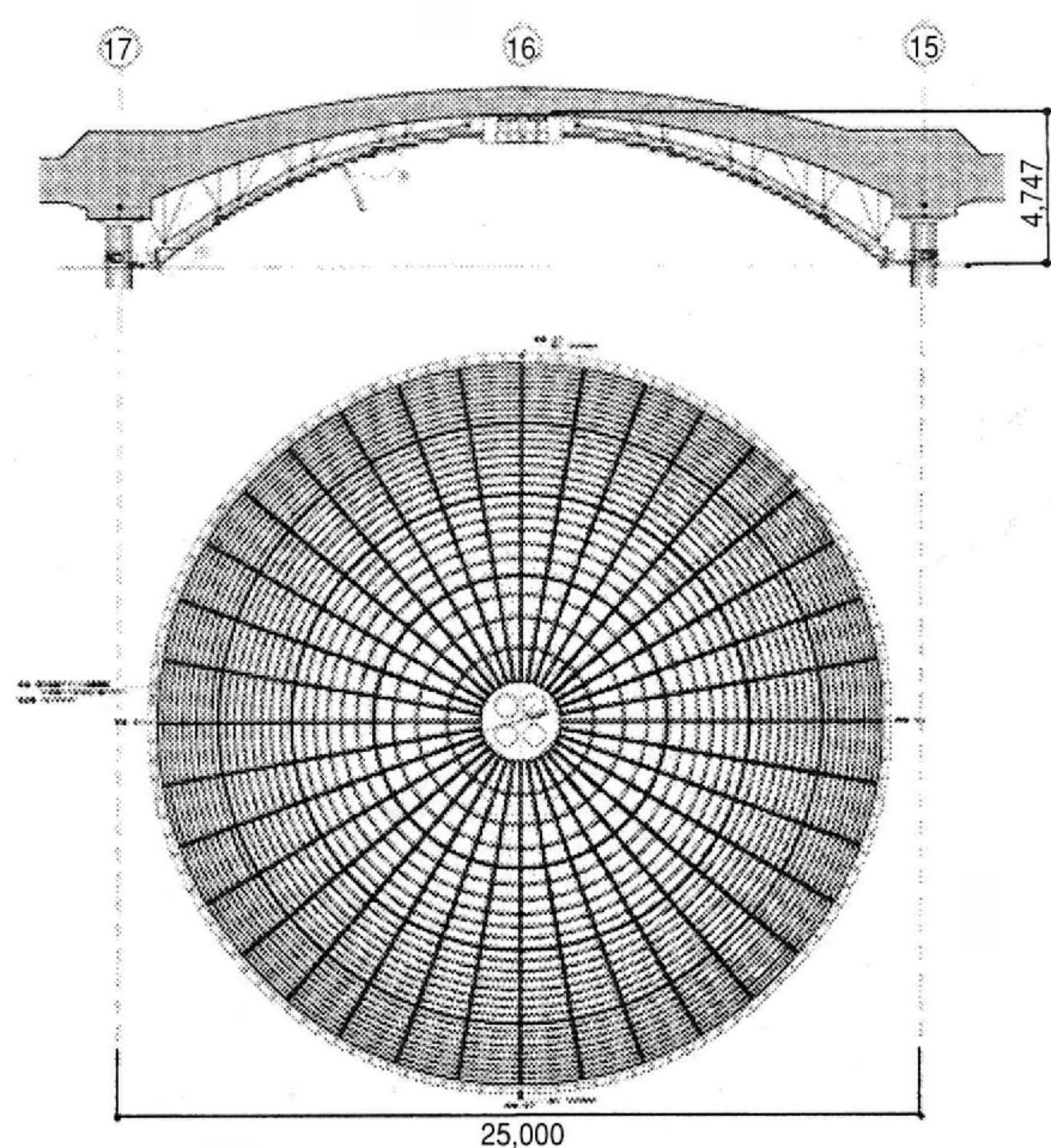


図8 吸音配置・断面図と天井伏図
(馬車道駅コンコース ドーム天井)

2.5 地下鉄「みなとみらい線」の音響設計



図9 写真：馬車道駅コンコース ドーム天井

空室時 実測値	凡例	オクターブ中心周波数 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT平均値	●	5.41	4.51	2.36	1.82	2.19	2.13	1.73	1.02

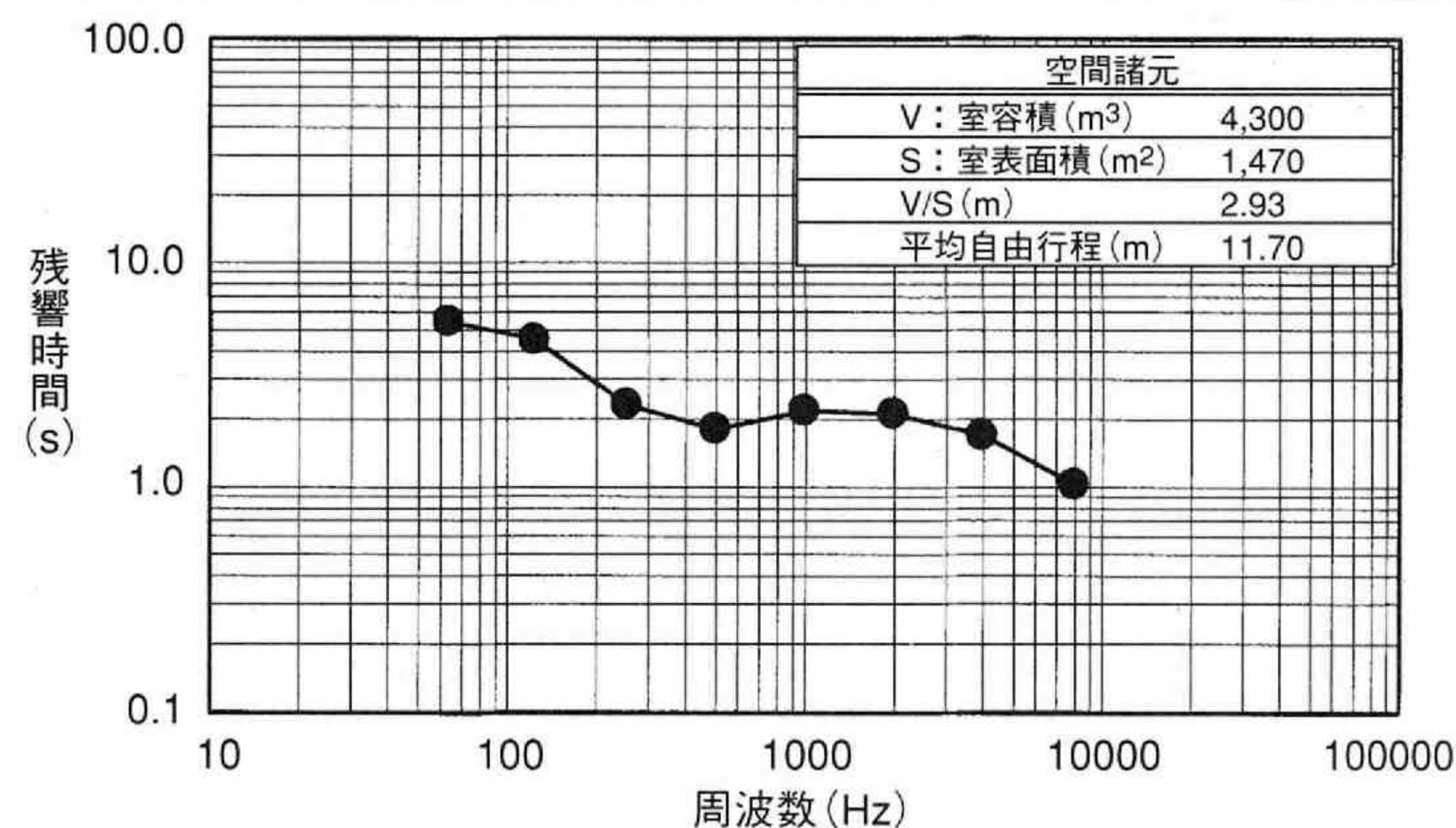


図10 竣工時の残響時間周波数特性測定結果
(馬車道駅コンコース ドーム天井)

5. 元町・中華街駅の音響設計

1) 設計概要

本線の終点駅である元町・中華街駅は、横浜の歴史や文化的資料194点を、最大1m角の陶版画3,500枚に焼付け、コンコースやプラットフォームの壁面に配置し意匠化したのが特徴であり、博物館がイメージされる。

プラットフォームのヴォールト天井の中心は、床より比較的高い位置にあり、かつ前述の陶版画が目線の高さにあることから、ヴォールト妻壁と中央天井、およ

びヴォールト部からつながる低天井プラットホーム天井を全音域吸音処理した。

内装概要は次のとおりである(図11~14, 図16参照)。

・床：石器質タイル

・壁：桁側：陶版内装

妻側：Sus.パンチング(4φ7p2t 開口率26%) + GW(GC付32k50tピン止め) + AS大

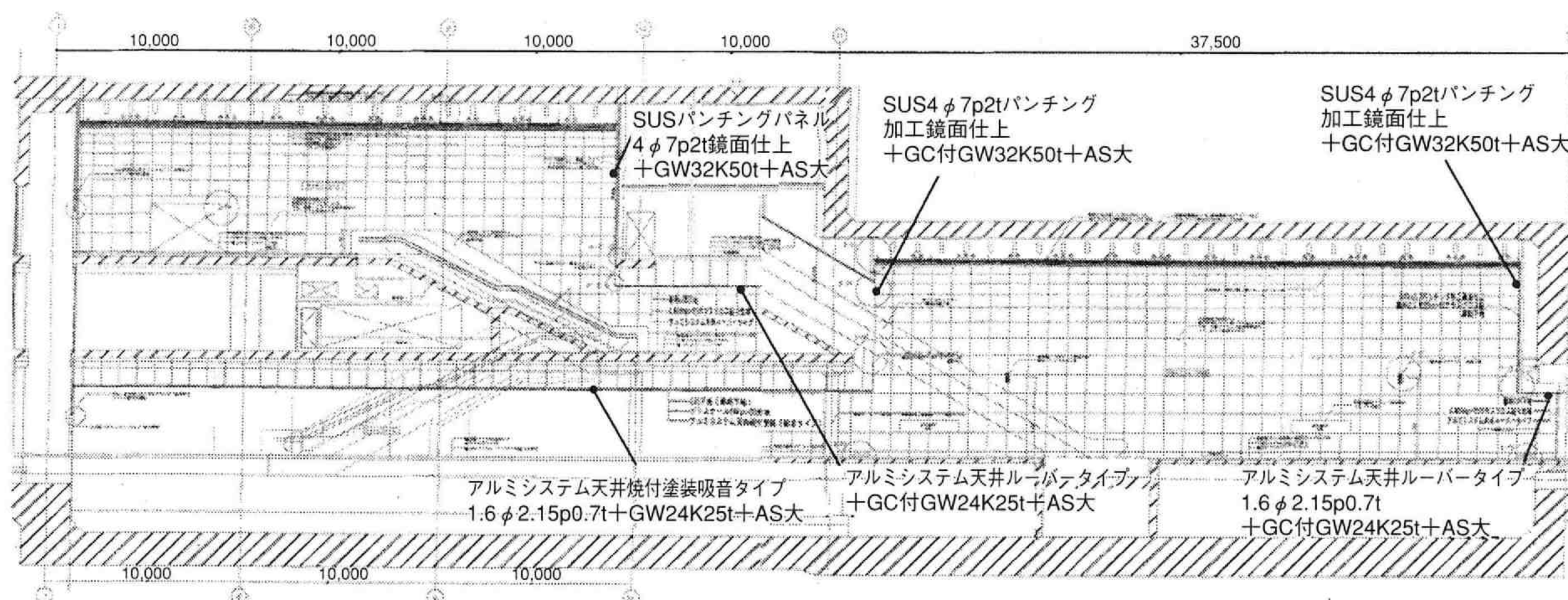


図11 吸音配置・断面図1(元町・中華街駅コンコース, プラットホーム)

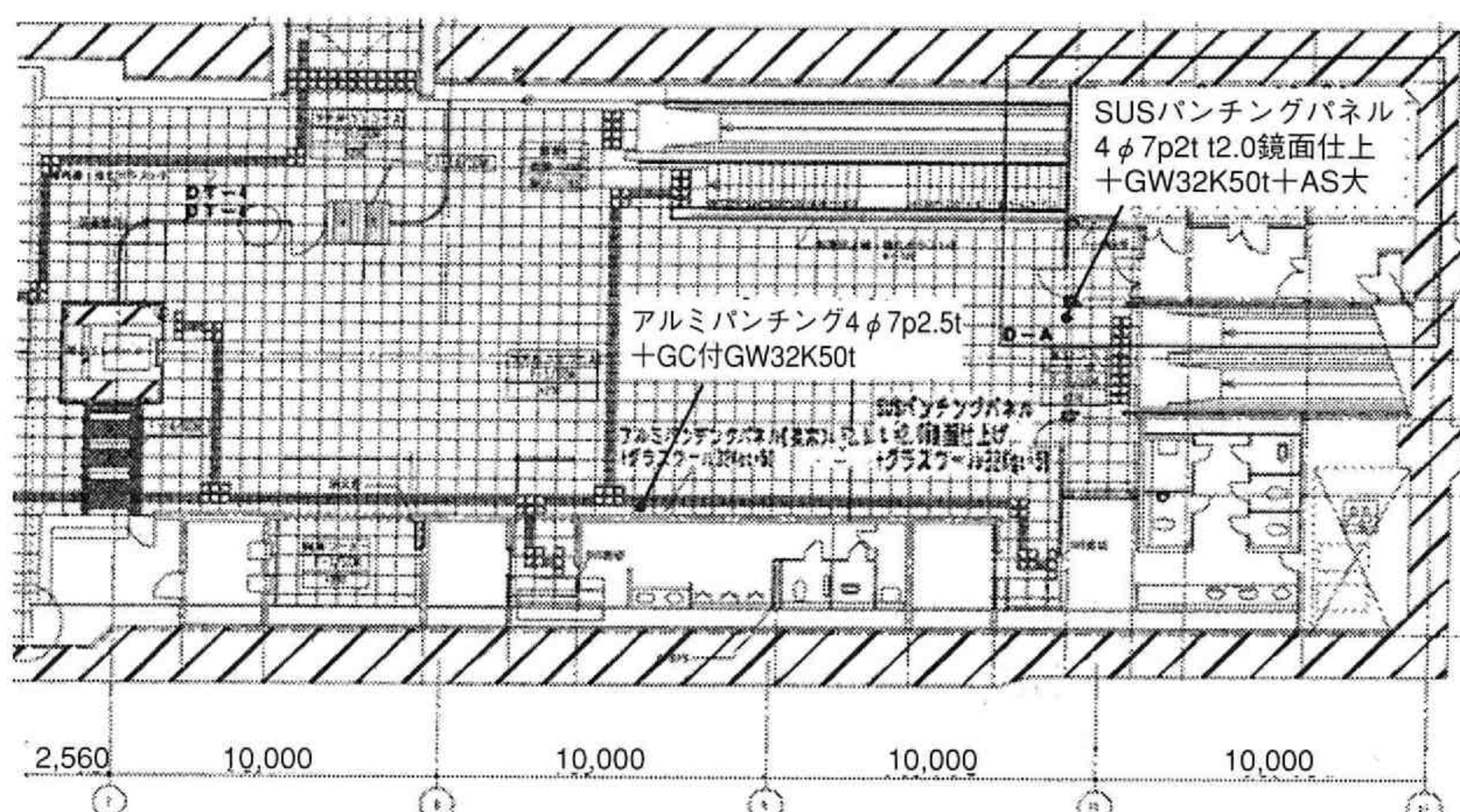


図12 吸音配置・平面図(元町・中華街駅コンコース)

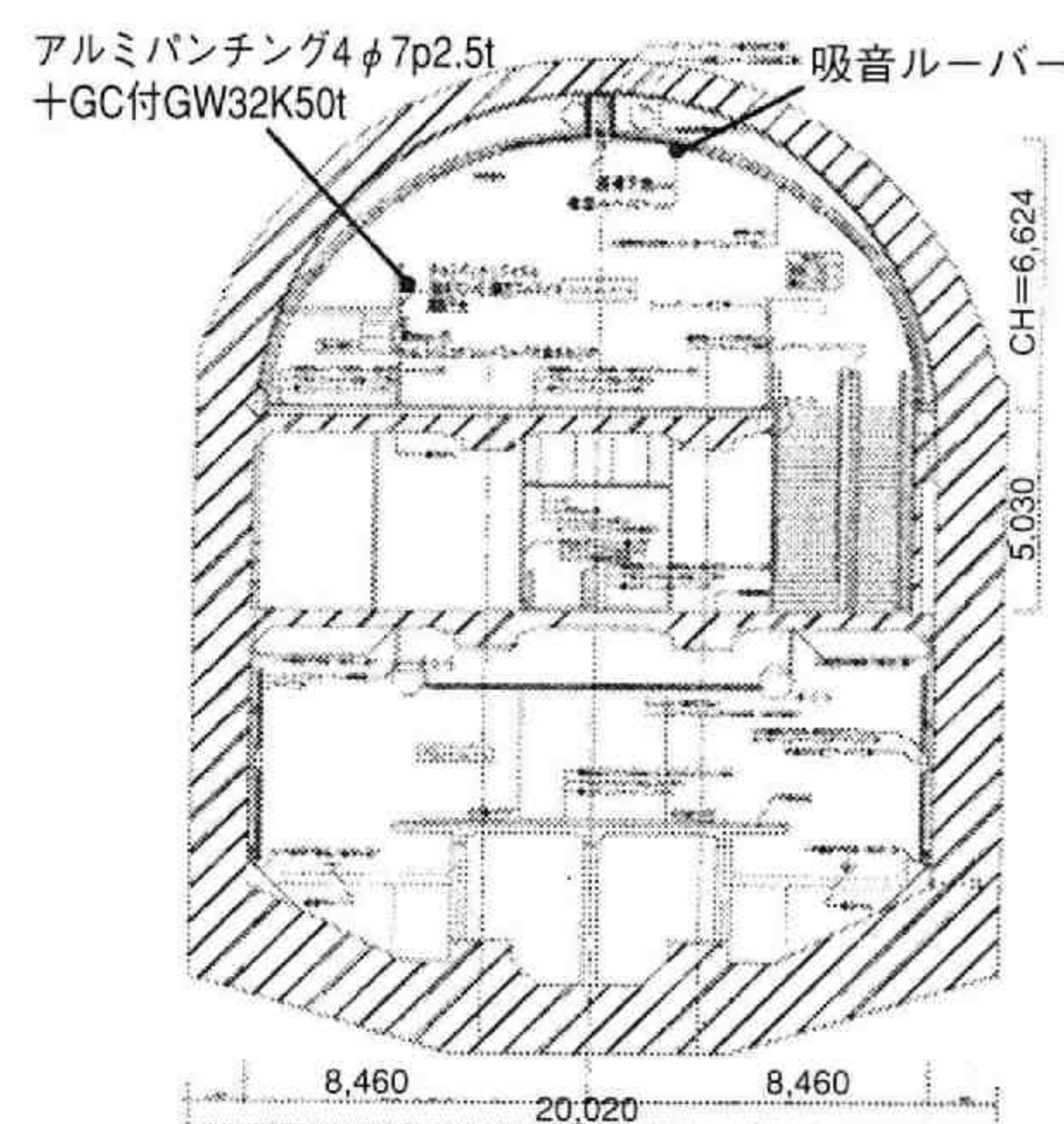


図13 吸音配置・断面図2

2.5 地下鉄「みなとみらい線」の音響設計

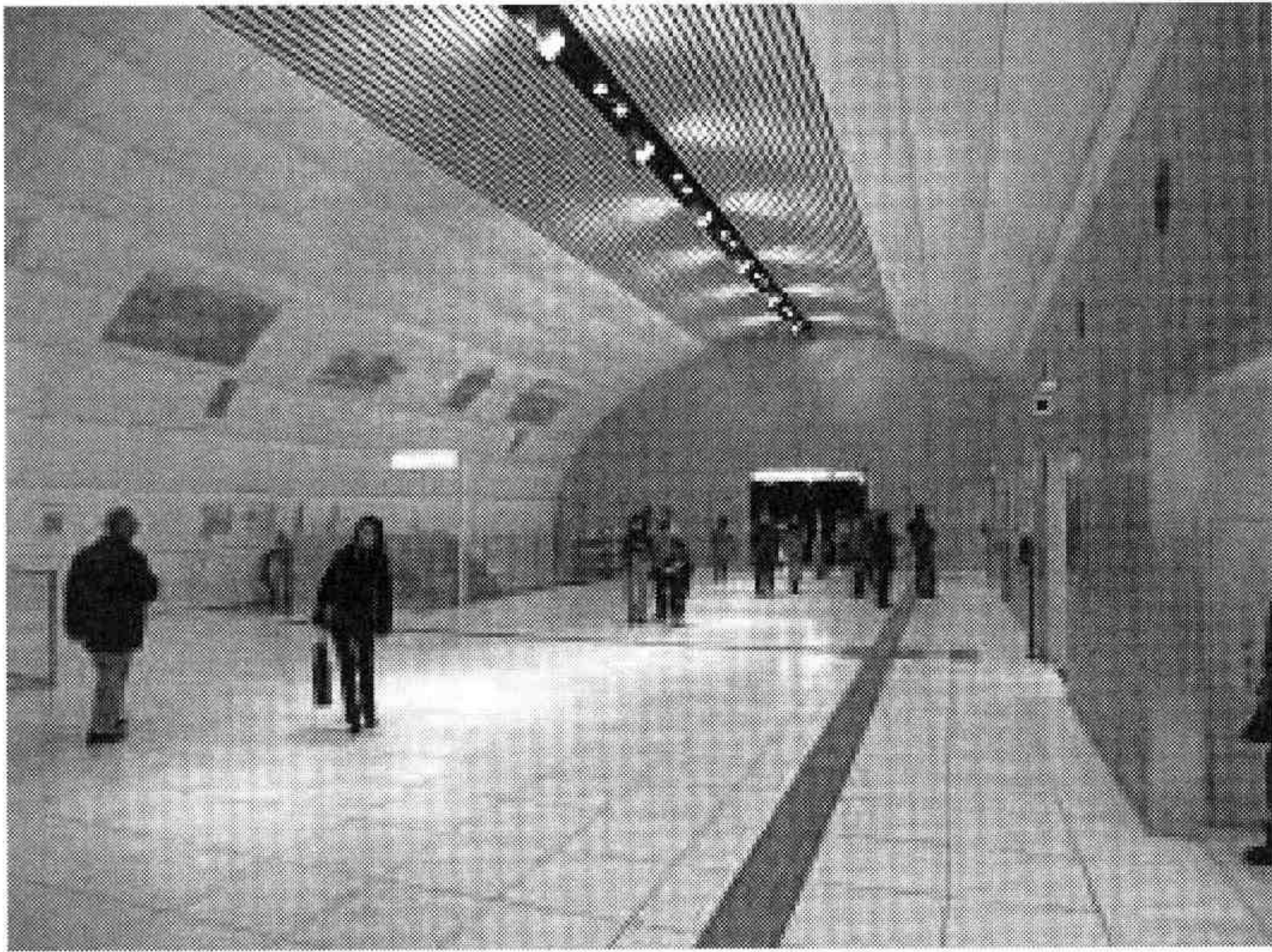


図14 写真：元町・中華街駅コンコース ヴォールト空間



図16 写真：元町・中華街駅プラットフォーム

空室時 実測値	凡例	オクターブ中心周波数 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
RT平均値	●	1.44	1.14	0.93	0.89	1.73	1.52	1.14	0.72

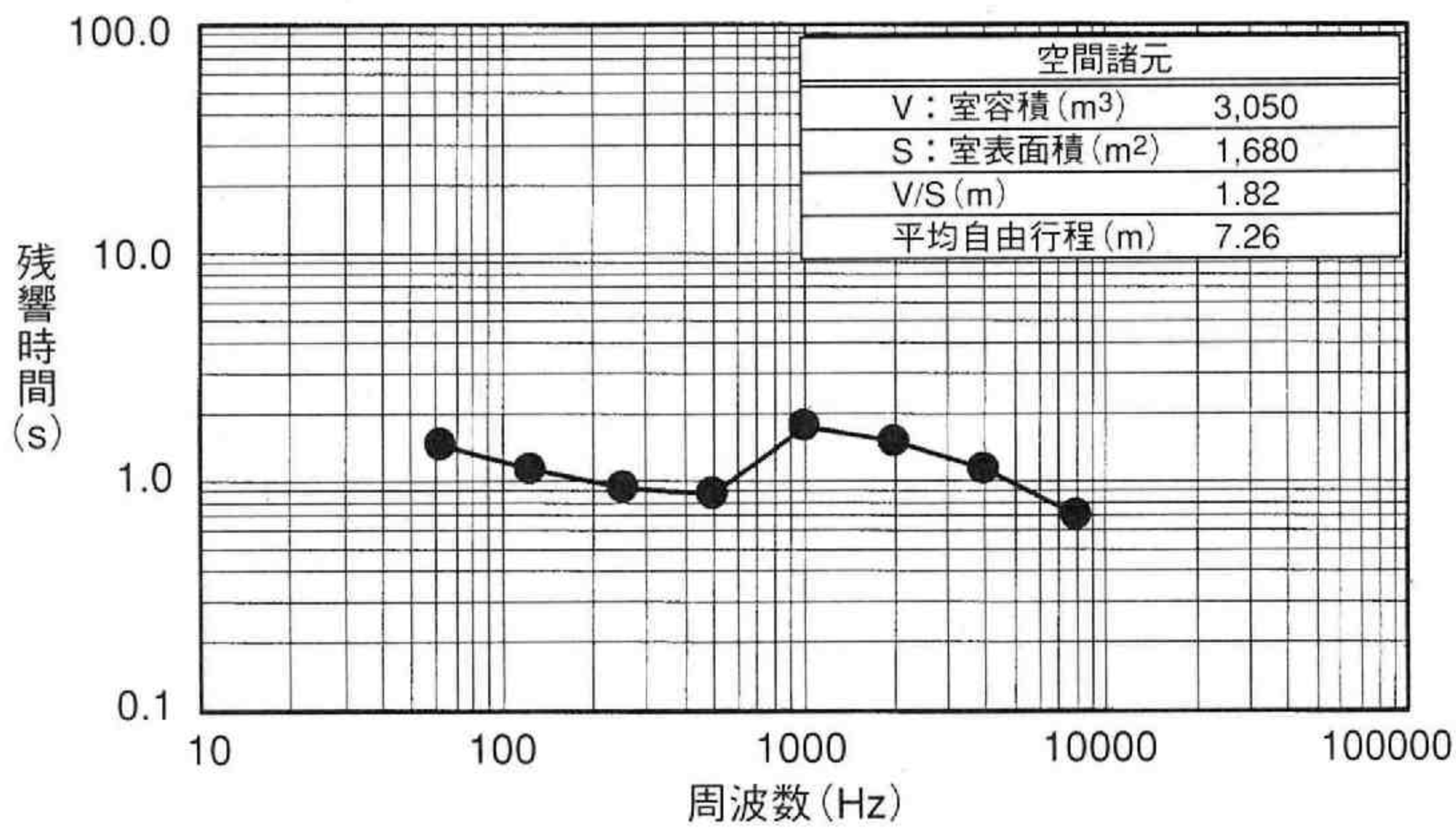


図15 竣工時の残響時間周波数特性測定結果
(元町・中華街駅コンコース ヴォールト空間)

空室時 実測値	凡例	オクターブ中心周波数 (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
エスカレーター 位置	●	2.45	2.15	1.63	1.59	2.05	1.94	1.69	0.93

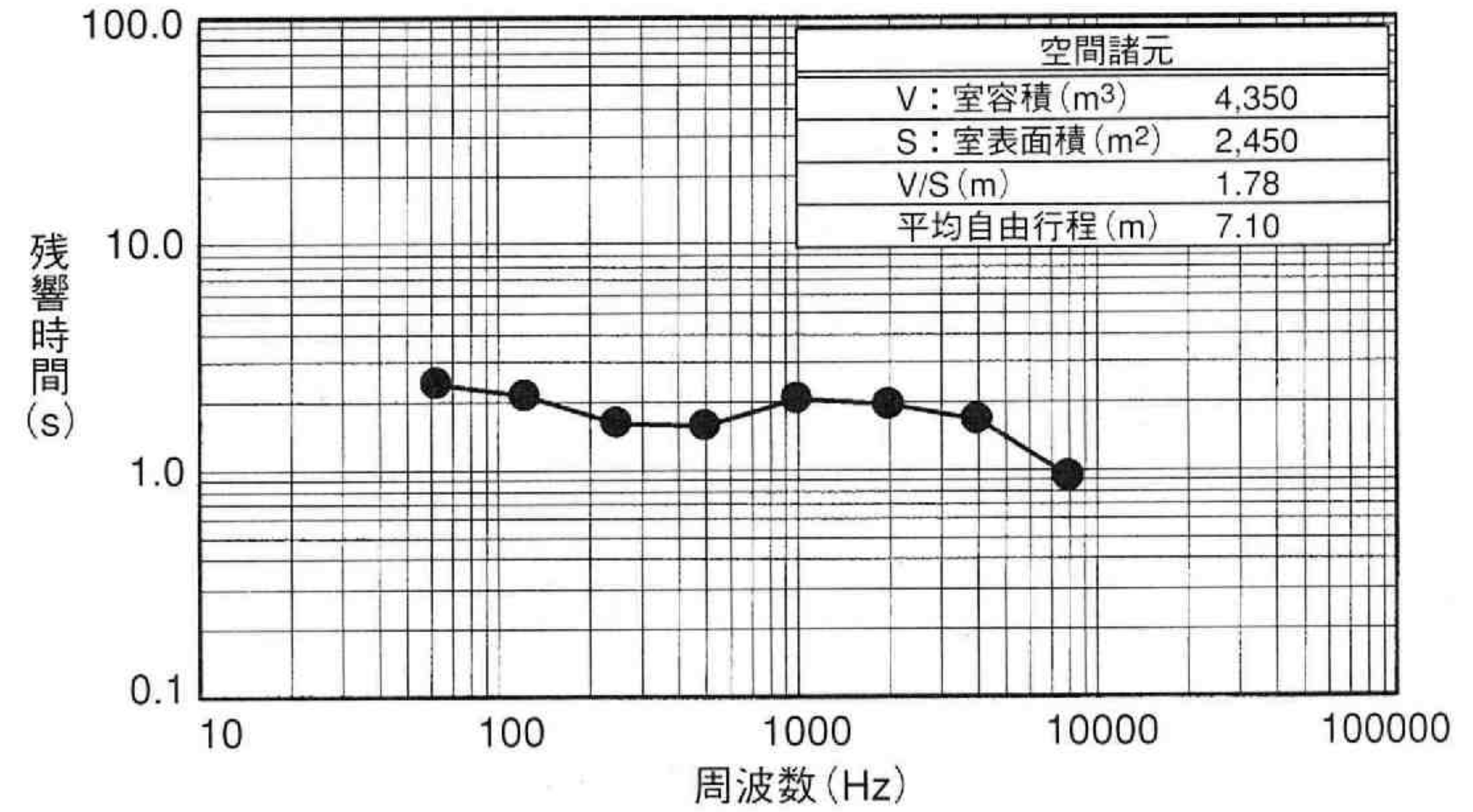


図17 竣工時の残響時間周波数特性測定結果
(元町・中華街駅プラットフォーム)

- ・天井：ヴォールト中央(吸音ルーバー)
吸音アルミPLルーバー2.5 t (開口率30%)
+GW (GC付32 k 50 t) + AS大
プラットフォーム低天井
アルミシステム天井
(1.6φ 2.15 p 0.7 t ちどり配置, 開口率
22%) + GW (24 k 25 t) + AS大

2) 音響特性

コンコースの残響時間は0.89秒(図15参照), 平均吸音率は0.28, 空調設備運転騒音はNC-46, 50.2dBAであった。また, プラットホームの残響時間は1.59秒(図17参照), 平均吸音率は0.16, 空調設備運転騒音はNC-40, 45.5dBAであり, ほぼ許容内にあることを確認した。

6. おわりに

地下鉄コンコースおよびプラットフォームの音環境整備についての文献は少なく, また統計学的に判断でき

るデータが少ない。したがって, 今回の設計にあたっては, 利用者が3 m内で音響障害がなく会話可能な最低条件として音環境整備を試みた。その結果, 利用者から特に大きな障害を指摘されることなく良好に使用されている。

なお, 今回の対象空間は地下鉄の用途から生じたものではなく, 意匠による特殊性を有しているために生じた業務であったことから, 一般地下鉄の詳細について述べられなかったことをお許し願いたい。

また, 設計段階における空間諸元算出にあたっては, コンコース, プラットホーム, トンネルなど対象空間が完全に閉じていないため, その区画を状況に応じて推定を試みたわけであるが, 拡散音場理論上の考察にあたっては困難な場合もありうる。さらに, 大空間音場内の会話に対し, 拡散音場理論を基に考察することが適切か否かという問題点も考えられる。今後これらテーマの検討が望まれる。