

第三篇 音 環 境

■ 圖目錄

■ 表目錄

第一章 建築音響學之歷史與展望

參考文獻	2
------------	---

第二章 聲音之基礎知識

2-1 聲音的性質	5
2-1-1 音波與粒子運動	5
2-1-2 聲音之頻率、波長、速度	6
2-1-3 聲音之反射、透過、吸收、屈折、回折	8
2-1-4 聲音之大小	10
2-1-5 聽覺機構與聲音之知覺	14
2-2 聲音的重疊及合成計算	17
2-2-1 音波的重疊	17
2-2-2 聲音之合成與分解	18
2-3 聲音之傳播	19
2-3-1 空氣傳音與固體傳音	19
2-3-2 無反射面空間聲音之傳播	20
2-3-3 面音源之音之傳播	21
2-3-4 室內聲音之傳播	22
2-3-5 室間聲音之傳播	23
2-3-6 外牆面之透音	24

2-4	室內音場之性質	24
2-4-1	平面波音場與擴散音場	25
2-4-2	擴散音場之音之強度	25
2-4-3	平均自由行程與餘響時間	26
2-4-4	短音脈沖響應波形	27
2-4-5	第一波面法則	28
2-4-6	室之基準振動	29
	參考文獻	32

第三章 建築音響材料

3-1	吸音材料及吸音構造	33
3-1-1	吸音的基礎事項	33
3-1-2	吸音材料之種類及吸音特性	34
3-1-3	吸音構造選定之要點	40
3-1-4	吸音構造之施工	41
3-1-5	吸音構造的實例	42
3-2	隔音材料及隔音構造	43
3-2-1	隔音性能的表示方法	43
3-2-2	單層堵	44
3-2-3	雙層堵	50
3-2-4	整體隔音值	51
3-2-5	側路傳播	52
3-2-6	內損因素	52
3-2-7	隔音計劃	53
3-3	防振材料及防振構造	56
3-3-1	防振效果之表示方法	57
3-3-2	防振材料	58
3-3-3	防振構造	59
	參考文獻	59

第四章 室內音響計畫及設計

4-1	音響設計之目標	61
4-2	餘響計畫	63
4-2-1	最佳餘響時間	63
4-2-2	室容積之決定	66
4-2-3	吸音計畫	68
4-3	室形之設計	68
4-3-1	平面形之設計	68
4-3-2	剖面形之設計	70
4-4	室內音響評估	71
4-4-1	良好音響效果之條件	71
4-4-2	音響障害之檢討	71
4-4-3	室內背景噪音	73
4-5	內裝設計	74
4-5-1	內裝設計之程序	74
4-5-2	內裝材料之配置	75
4-5-3	階梯式樓版之決定	75
	參考文獻	76

第五章 建築音響性能評估指標及測定方法

5-1	音響性能評估指標	77
5-1-1	主觀性能評估	77
5-1-2	客觀性能評估	79

5 - 2	音響測定之基礎事項	84
5-2-1	音壓級、噪音級之測定	84
5-2-2	頻率分析	85
5-2-3	背景噪音影響之修正	86
5-2-4	時間特性之測定	87
5 - 3	室內音響特性之測定	87
5-3-1	餘響時間之測定	87
5-3-2	穩定音壓分布之測定	88
5-3-3	短音應答之測定	88
5 - 4	材料音響性能之測定	90
5-4-1	音響功率級之測定法	91
5-4-2	餘響室法吸音率之測定法	93
5-4-3	音響透過損失之測定法	94
5 - 5	建築物隔音性能之現場測定法	95
5-5-1	室間平均音壓級差之測定	95
5-5-2	特定場所間音壓級差之測定	95
5-5-3	窗隔音性能之測定	96
5-5-4	樓版衝擊音級之測定法	96
	參考文獻	97

第六章 噪音及振動防止計畫

6 - 1	建築音響性能基準	99
6-1-1	隔音等級	99
6-1-2	室內噪音容許值	102
6-1-3	噪音評估	105

6 - 2	噪音源及防止計畫	107
6-2-1	噪音源之種類	107
6-2-2	噪音防止計畫	108
6-2-3	噪音防止構造	112
6 - 3	振動基礎事項	115
6-3-1	各種振動之範圍	115
6-3-2	振動之評估基準	116
6 - 4	振動源及防止計畫	118
6-4-1	振動源之種類	118
6-4-2	振動防止計畫	118
6-4-3	防振設計應用	122
	參考文獻	124

第七章 電氣音響設備

7 - 1	電氣音響設備之種類及目的	127
7-1-1	電氣音響設備之種類	127
7-1-2	音響設備之使用目的	129
7 - 2	電氣音響設備之構成	129
7-2-1	電氣音響設備之構成	130
7-2-2	附屬空間	131
7-2-3	擴音裝置之基本構成	133
7-2-4	監控迴路	135

7 - 3	電氣音響設備的必要性能	135
7-3-1	再生音壓級	135
7-3-2	安全擴音利得	136
7-3-3	頻率特性	136
7-3-4	噪音控制	137
7-3-5	防止嗶鳴的對策	138
7 - 4	電氣音響設備計畫	138
7-4-1	音響設備相關計畫	138
7-4-2	設備必要空間	140
7-4-3	麥克風及喇叭之設置計畫	141
	參考文獻	144

■ 圖目録

圖 2.1	音波與粒子運動	5
圖 2.2	聲音頻率範圍	6
圖 2.3	聲音的反射、吸收、透過	9
圖 2.4	建築材料之隔音及吸音特性	9
圖 2.5	聲音之屈折	9
圖 2.6	音之回折	10
圖 2.7	凹凸面之反射	10
圖 2.8	等響度曲線	12
圖 2.9	加權曲線	12
圖 2.10	各種環境噪音級及吵雜的程度	13
圖 2.11	耳之構造	14
圖 2.12	蝸牛之感應	14
圖 2.13	純音之頻率與 mel 尺度	15
圖 2.14	等吵度曲線	15
圖 2.15	純音之遮蔽效果	16
圖 2.16	白色噪音之遮蔽效果	17
圖 2.17	聲音的重疊	17
圖 2.18	音之合成之 D 值	19
圖 2.19	音之分解之 F 值	19
圖 2.20	聲音之傳播路徑	19
圖 2.21	屋外點音源衰減特性	21
圖 2.22	從面音源之距離衰減	21
圖 2.23	室內音源之距離衰減	23
圖 2.24	室內點音源之距離衰減特性	23
圖 2.25	室間聲音之傳播	23
圖 2.26	室內音場之特色	25
圖 2.27	平面波音場及擴散音場	25
圖 2.28	壁吸收之音衰減	25

圖 2.29 室內音壓級之衰減狀況	27
圖 2.30 空氣吸音之衰減率 m	27
圖 2.31 脈沖響應圖	28
圖 2.32 第一波面法則	29
圖 2.33 利用第一波面法則之 PA 裝置	29
圖 2.34 駐波	30
圖 2.35 平行壁間之簡正振動方式	30
圖 2.36 矩形房間	31
圖 2.37 矩形房間之音壓分布	31
圖 2.38 簡正方式之固有振動頻率分布	31
圖 2.39 矩形房間 ($7.7M \times 4.8M \times 2.8M$) 之傳播特性	31
圖 3.1 吸音率的定義	33
圖 3.2 玻璃棉之吸音特性	34
圖 3.3 玻璃棉等多孔質材料的表面處理方法	36
圖 3.4 利用板振動吸音構造之吸音特性	36
圖 3.5 用有孔板之共鳴吸音構造	38
圖 3.6 吸音特性型式及代表的吸音構造	39
圖 3.7 平均吸音率及吸音構造的厚度	41
圖 3.8 玻璃棉之施工方式	42
圖 3.9 有孔無孔之張貼布法	42
圖 3.10 反捲張貼布法	42
圖 3.11 機械室的吸音處理	43
圖 3.12 廊下天花板的吸音構造實例	43
圖 3.13 事務所的吸音處理例子	43
圖 3.14 吸音風管之構造	43
圖 3.15 音能在建築物間之傳播	44
圖 3.16 無彈性實牆之音波傳播	45
圖 3.17 重合效果	47
圖 3.18 重合頻率	48

圖 3.19	避開重合頻率之隔音效果	48
圖 3.20	理想化的隔音指數曲線	49
圖 3.21	雙層牆之隔音效果	51
圖 3.22	整體隔音值之計算實例	52
圖 3.23	內損係數	52
圖 3.24	隔音前室例(國家音樂廳地下一層平面)	54
圖 3.25	雙層壁及其特性	55
圖 3.26	輕量衝擊槌	57
圖 3.27	重量衝擊源	57
圖 3.28	振動的傳達率	57
圖 3.29	防振橡膠之種類	58
圖 3.30	機械防振支持之詳圖	58
圖 3.31	完全浮式構造	59
圖 3.32	集合住宅之樓版、天花板構造及樓版衝擊音級	59
圖 4.1	音響設計步驟	62
圖 4.2	餘響時間之定義	63
圖 4.3	非線性的音能衰變	64
圖 4.4	500Hz的最適餘響時間及室容積	66
圖 4.5	音樂廳的最適餘響時間頻率特性	66
圖 4.6	國內音樂廳及世界上有名音樂廳之餘響時間	67
圖 4.7	回音發生位置之作圖法	72
圖 4.8	回音時間差之實例	72
圖 4.9	防止顫動回音之室形設計	72
圖 4.10	音焦點之處理	73
圖 4.11	內裝設計的步驟	74
圖 4.12	內裝材配置實例	75
圖 4.13	階梯樓板之設計	76
圖 5.1	音之刺蝟圖(音源頻率: 2KHz)	81
圖 5.2	2 點間之音壓相關理論值與測定值	81

圖 5.3	台南文化中心演藝廳擴音系統傳播特性	82
圖 5.4	側牆形狀對 L E 之影響	83
圖 5.5	普通級噪音計之頻率補正回路特性	84
圖 5.6	1/1及 1/3 八度音頻帶域濾波器之特性實例	86
圖 5.7	餘響時間及穩定音壓分布之測定法	88
圖 5.8	利用記錄器之餘響記錄例	88
圖 5.9	短音應答之測定法	89
圖 5.10	餘響時間圖實例	89
圖 5.11	餘響室法吸音率之測定法	93
圖 5.12	音響透過損失之測定法	94
圖 5.13	室間平均音壓級差之測定法	95
圖 5.14	特定場所音壓級差之測定對象實例	95
圖 5.15	窗隔音性能之測定法	96
圖 5.16	樓板衝擊音級之測定法	96
圖 6.1	室間平均音壓級差之隔音等級	99
圖 6.2	樓版衝擊音級之隔音等級	99
圖 6.3	N C 曲線 (Beranek)	102
圖 6.4	N R 曲線 (ISO R 1996-1971)	102
圖 6.5	防振天花板	112
圖 6.6	防振支持工法	113
圖 6.7	浮式樓板工法	113
圖 6.8	窗之隔音工法	114
圖 6.9	防音門詳圖	114
圖 6.10	二重門及浮式樓板工法	114
圖 6.11	門及浮式樓板工法	114
圖 6.12	各種振動範圍及人之振動知覺	115
圖 6.13	振動曝露基準 (ISO 2631)	116
圖 6.14	屋內振動評價基準案 (ISO TC/108 SC/4)	116
圖 6.15	針對各種振動源之振動防止計畫進行方法	119

圖 6.16 防振基礎要領	123
圖 6.17 防振基礎詳圖	123
圖 6.18 配管之防振方法實例	124
圖 6.19 風管配管之防振方法實例	124
圖 7.1 電氣音響設備的基本構成	130
圖 7.2 調整室	131
圖 7.3 喇叭的配置方式	133
圖 7.4 擴音裝置之基本系統圖及音壓級說明圖	134
圖 7.5 標準擴音・再生設備的系統圖及音壓級說明圖	134
圖 7.6 安全擴聲利得測定系統	136
圖 7.7 傳送頻率特性推薦值	137
圖 7.8 連續噪音的最小可聽值及遮蔽界限特性	137
圖 7.9 電氣音響設備設計與其他部門之關連	139
圖 7.10 舞台上方擴聲器的擋板設計	143
圖 7.11 舞台上方擴聲器排列之例子	144
圖 7.12 擴聲器擋板面及天花板面不一致時的處理方式	144

目 錄

表 2.1	1 / 1 八度音及 1 / 3 八度音之頻率區分	7
表 2.2	各種材料之音速與特徵阻抗	8
表 2.3	音之各種物理量與單位	11
表 2.4	dB 之尺度	11
表 2.5	音之合成與分解	18
表 2.6	各種噪音振動源及其傳播路徑	20
表 3.1	吸音材料之使用及特性	35
表 3.2	常見開孔板材料及開孔之形式	37
表 3.3	吸音材料使用場所及其必要性能	40
表 3.4	C N S 之吸音材料規範	41
表 3.5	建築材料的面密度及透過損失	56
表 4.1	室內音響設計的著眼點	61
表 4.2	室的使用目的及平均吸音率	65
表 4.3	聽眾 1 人相當室容積之最適值	66
表 4.4	平面形設計	69
表 4.5	剖面形設計	70
表 4.6	良好音響效果之條件	71
表 5.1	Beranek 所提音樂廳的各種音響評估指標	78
表 5.2	噪音計使用之要點	85
表 5.3	頻率分析法之種類	86
表 5.4	背景噪音影響之修正	86
表 5.5	音壓記錄器之種類	87
表 5.6	初期音衰減指標	89
表 5.7	建築材料音響性能表示量及試驗方法之規定	90
表 5.8	音響功率級之測定法	91
表 5.9	餘響室法吸音率之測定法	93
表 5.10	音響透過損失之測定法	94

表 6.1	C N S 之隔音等級	100
表 6.2	適用之隔音等級	101
表 6.3	各種房間之 N C 推薦值	103
表 6.4	室內 N R 值之推薦值	103
表 6.5	室內噪音容許值	104
表 6.6	室內噪音適用等級	105
表 6.7	對測定噪音級 dB(A) 求評價噪音級 L _r 之修正值	106
表 6.8	基於居住前提都市地區之修正值	106
表 6.9	基於一日時間之修正	106
表 6.10	噪音之社會反應評價	107
表 6.11	以一般基準值修正求得屋內噪音值	107
表 6.12	噪音防止計畫整體進行方法	109
表 6.13	噪音防止計畫之檢核表	110
表 6.14	噪音防制技術之概要及效果之極限	111
表 6.15	地域之區分	117
表 6.16	建設作業振動改善基準	117
表 6.17	振動規範申請標準	117
表 6.18	振動防止計畫之檢核表	121
表 7.1	各種建築物所使用之電氣音響設備	128
表 7.2	電氣音響設備之使用目的及基本機器	129
表 7.3	再生音壓級的基準	135
表 7.4	安全擴聲利得之評價	136
表 7.5	各設備及必要空間	140
表 7.6	麥克風之種類及性能上之特色	141
表 7.7	喇叭之種類	142
表 7.8	擴音箱的容積	143

第一章 建築音響學之歷史與展望

建築音響學(Architectural Acoustics)，即有關於建築之音響學問及音響技術，包括室內音響學(Room Acoustics)，建築物之防音(含隔音、吸音)防振及電氣音響設備三大部門。有時，狹義的建築音響學(Building Acoustics)專指建築物之防音、防振技術。

人類對噪音控制的觀念，早在BC 800年左右，希臘Cibaris就有將陶器、板金工人的工場移出城外的記錄，BC 300年，羅馬禁止戰車、馬車進入公眾廣場的交通噪音管制。近世紀對噪音的管制條例則始自1850年美國波士頓市發佈噪音管制條例，1929年美國紐約市設立“噪音防止委員會”，1937年日本公佈高音管制法，1968年日本制定噪音管制法，1976年日本制定振動管制法，1983年中華民國環保署公佈噪音管制法。

音響學的發展，也可溯自BC 300年左右希臘Euclid利用幾何學寫出音響學的書，BC 30希臘Vitruvius所著建築書10冊內已包括野外劇場之音響學。一直到17、18世紀才真正測得聲音的速度，1877年瑞雷氏(Lord Rayleigh)始著音響理論(Theory of Sound)，完成音響學理論的體系，1900年美沙賓氏(W.C.Sabine)首提建築音響學理論，提出餘響時間與室容積成正比，與室內吸音力成反比的實驗公式，室內音響學由此而誕生。餘響時間理論，雖然是從建築圖面，就能簡單地預估室內音響性能，在使用上受到種種限制，但仍然是音樂廳等重視音響性能之建築物的代表評估指標。

從1900~1950年代，各國之音響學會，陸續成立，鼓動了音響學的發展，在建築音響學方面，乃多偏重在幾何音響學(geometrical acoustics)及實證方面，其後，由於電腦的迅速發展，逐漸地發展電腦模擬，以及有關波動理論方面之研究發展。

1950年代以後，由於Hass首先發現第一波面效果，促進了反射音的音響效果研究，從單耳的 Clarity、RR、Deutlichkeit到雙耳效果的LE、IACC等指標相繼提出研究報告，希望能完全解開音響設計之謎

。在室內音場模擬方面，繼縮尺模型模擬後，電腦模擬技術，在1985年以後，進展極其迅速，由二元進入三元，由大型電腦進入個人電腦，電腦模擬實用化已是指日可待。

戰後，歐、美、日各國公共文化建設蓬勃，歐美的經濟能力高，恢復力快，日本則在1960年代，經濟起飛，各縣市民會館陸續建設，到1980年代開始建設專用的音樂廳、劇場。台灣地區則遲至1980年代才陸續興建多目的的文化中心(1988)。

在公共文化建設初期，音響設計主要的課題為防止噪音，由於都市高密度化，道路噪音、鐵路噪音、飛機噪音，甚至地下鐵之振動，均為重要噪音源，實施建設時，均須十分注意其防音計畫，另一方面，室內空調、電氣等機械設備的噪音與振動，亦為建築音響設計之一大課題。國內多目的文化中心的主要缺失即在空調設備噪音未加以控制。

多目的演藝廳的另一音響設計課題為電氣音響設備，如何加強擴音設備之品質，表現能力，以及如何不與自然音響設計衝突，均是重要目標。

建築音響學術領域，技術發展以及社會之相關反應大事如表 1.1 所示。(※1-1)(※1-2)

參 考 文 獻

1-1 :大熊恒靖:音響學及び関連技術年表,日本建築學會誌42卷4號(1986)

1-2 :永田 穗:建築音響,p.4,コロナ社,(1988)

表 1.1 建築音響學之發展記事

時 代	建築音響學之發展重要大事	社會之相關反應大事
希臘時期 羅馬時期 中世紀 文藝復興時期	• BC 300左右，希臘Euclid利用幾何學寫出“音響學”的書。 • BC 30左右，希臘Vitruvius著建築書10冊，其中有關於戶外劇場之音響學、樂器之論述(De locis consonantibus ad theata eligendis) • 希臘劇場牆壁使用酒壺等之共鳴器。 • 中世紀教會之牆壁使用酒壺等之共鳴器。	• BC 800左右，希臘制定Noise zoning 條例，將陶器、板金工場移出城外 • BC 300左右，羅馬制定交通噪音管制禁止戰車、馬車進入公眾廣場 • 希臘戶外劇場 • 羅馬戶外劇場 • 日本能樂堂(14世紀) • 米蘭 Scala座(義)(1775) • 萊比錫 Gewandhaus(德)(1781)
1800~1899年 聲音科學之探求	• H.Helmholtz(德)：發明Helmholtz共鳴器著聽覺論(1862) • L.Rayleigh(英)：著“音響理論”(1877)	• 維也納 Grosser Musikvereinsaal (奧)(1870) • 拜各伊德 Festspielhaus(德)(1876) • 阿姆斯特丹 Concertgebouw(荷)(1888) • 紐約 Carnegie Hall (1891)
1900~1923年 餘響理論之確立 與展開	• W.C.Sabine(美)餘響理論之發表(1895) • V.O.Knudsen(美)吸音率之定義與餘響時間設計體系化(1920~1930)	• 波士頓 Symphony Hall(美)(1900) • 美國音響學會成立(1929)
1930~1949年 室內音場之研究 音響測定之開發	• P.M.Morse(美)波動理論之導入(1944) • E.Meyer(西德)模擬音場之擴散性 • L.L.BeraneK(美)提案會話妨礙噪音級SIL(1947)	• 音響測定用level recorder 開發Wente, Bedell, Swartrel (1935) • 日本音響學會成立(1936) • 高速度level recorder開發(丹麥B&K)(1949)
1950~1959 反射音效果之 研究 噪音之評估指標	• H.Hass(德)：哈斯效果之發現(1951) • R.Thiele(德)：模擬音場反射音效果相關研究開始(1953) • R.Thiele(德)：明瞭度Deutlichkeit 之評估指標(1953) • L.L.BeraneK(美)：NC曲線之提案(1953) • 守田榮(日)：噪音級中央值之評估指標(1953) • K.D.Kryter：知覺噪音級PNL之提案(1959)	• 倫敦Royal Festival Hall(1951) • 舉辦第1回國際音響學會ICA(1953) • 慕尼黑Herkulesaal(德)(1953) • 神奈川縣立音樂堂(日)(1954) • 史徒加 Lieder halle(德)(1956) • 波昂Beethoven halle(德)(1959) • 武藏野音樂大學Beethoven Hall (日)(1960)

(續)

1960~1969 室內音響評估量 之提案	• L.L.BeraneK (美): 著"音樂、音響與建築" (1962) • L.Cremer (德): 著"生理音響" (1967) • F.Spandock (德) } 音響模型實驗法之 石井聖光, 平野興彦 } 實用化 (1965) • M.R.Schroeder (德): 餘響時間脈衝積分法 測定之提案 (1965) • P.H.Parkin (英): 付加餘響法 (1965) • P.Damaske (德): 側向反射音效果之確認 (1966) • P.Damaske (德): 聲音寬廣感之實驗 (1967) • A.Krokstad (挪威): 電腦模擬手法之開發 (1968)	• 東京文化會館 (日) (1961) • 紐約 philharmonic hall (美) (1962) • 柏林 Berliner philharmonic (德) (1963) • 東京國立劇場 (日) (1966) • 鹿特丹 De doelen (荷) (1966)
1970~1980 室內音響評估量 之追求與整理	• L.L.BeraneK (美): 著"噪音與振動控制" (1971) • H.Kuttruff (德): 著"室內音響學" (1973) • 日本建築學會 (日): 編"建築物之遮音性能 基準與設計指針" (1979) • T.Houtgast: 應用MTF測定明瞭度 (1973)	• 日本市民會館、縣民會館建設開始 • 台北國父紀念館 (中) 1972/1984改/1990再改 • 東京NHK Hall (日) (1973) • 雪梨 Opera House (澳) (1973) • 台中中興堂 (中) (1972)
1980~ 室內音響評估量 之整理 音強測定之實用 化 電腦模擬之實用 化	• V.L.Jordan: 著"音樂廳與劇院之音響 設計" (1980) • G.Rasmussen (丹麥): 音強法量測技術之開 發 (1983) • W.Reichardt 提出 Clarity, Room, Response 指標 • 安藤 (日) IACC之評估指標 (1985) • H.Kuttruff (德) 側向反射音之電腦模擬 (1985) • 山崎 (日): 近接點法之反射音測定 (1986)	• 萊比錫 新Gewandhaus (德) (1981) • 慕尼黑 Gasteik (德) (1985) • 紐約 Carnegie Hall 改修 (美) (1986) • 第1屆西太平洋地區音響學會召開 (新加坡) (1982) • 大阪 The Symphony Hall (日) (1982) • 東京 Suntory Hall (日) (1986) • 日本陸續建設專用劇場、音樂廳 • 台灣各縣市文化中心多目的演藝廳陸續建設 (高雄1981, 台南1984, 台東1986, 台中縣1984, 基隆市1984, 台北社教館1984, 台南縣1987) • 中華民國環保署公布噪音管制法 (1983) • 台大造船系音響實驗室成立 (1984) • 中華民國音響學會成立 (1987) • 台北國家音樂廳、國家劇院 (中) (1988) • 成大建築系音響實驗室成立 (1990)

第二章 聲音之基礎知識

2-1 聲音的性質

2-1-1 音波與粒子運動

某彈性物質（如空氣）中，傳播能量時產生之壓力變動，其變動之頻率在人耳可查覺者，稱為聲音。如圖 2.1 “o” 等間隔分布表示平衡狀態（大氣壓）空氣粒子。自接受活塞運動，左邊粒子在 x 方向內受力，此粒子做連續之慣性運動而觸及鄰粒子，每個粒子都以自身之平衡點前後做連續的往復運動。圖 2.1 中表示從 $t_1 \sim t_{18}$ 中 $x_1 \sim x_{20}$ 各粒子之位置，以 “ $\cdot$ ” 表示，在 t_{18} 軸上，可清楚看出各粒子疏密之配列，下圖可反應其壓力變化，即音壓 p [pa]、粒子速度 v [m/s]、粒子加速度 a [m/s²] 以及傳播速度即音速 c [m/s]。

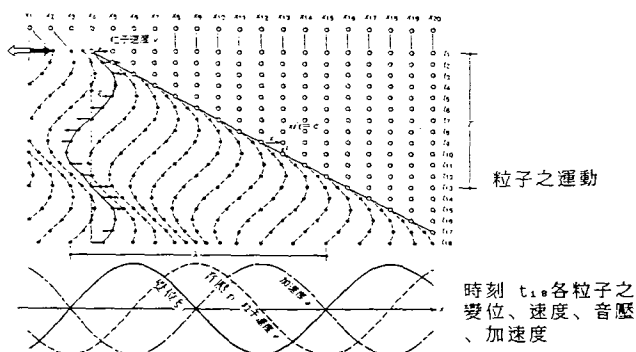


圖 2.1 音波與粒子運動 (2-1)

2-1-2 聲音之頻率、波長、速度

上述粒子運動之解析圖中，在同向變位中，最大變位之相鄰粒子間之最小距離稱為波長 λ [m]。 c / λ 即表音波在 1 秒間疏密反復之次數，稱為頻率 f [Hz]， $1 / f$ 則稱為週期 T [s]。在圓周運動中， $2 \pi f$ 稱為角頻率 ω [rad/s]， $\omega / c = 2 \pi / \lambda$ 稱為波長常數 k [rad/m]。

人耳可聽之頻率範圍為 20Hz~20KHz，建築音響設計，通常以 125Hz~4KHz 為探討範圍，特殊場合再延伸一個八度 (Octave) 即由 63Hz~8KHz。如圖 2.2。

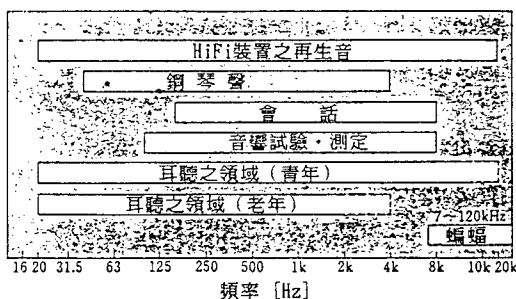


圖 2.2 聲音頻率範圍 (*2-2)

由於人耳對於聲音高低之感覺，即音高 (pitch)，係與頻率之對數成正比，因此在研究建築音響學時，將人耳所能聽到的頻率範圍中，依對數關係分為 10 個階段，每個階段稱為一個八度音，以其中心頻率表示。每一八度音的上下頻率界限各為中心頻率之 $1 / \sqrt{2}$ 及 $\sqrt{2}$ 倍，稱之為隔斷頻率。有時，為更精細之研究需要，再細分為 $1 / 3$ 八度或 $1 / 12$ 八度 (如表 2.1)。

表 2.1 1/1八度音及1/3八度音之頻率區分
(#2-3)

八度音頻率 [Hz]		1/3八度音頻率 [Hz]	
中心頻率	隔斷頻率	中心頻率	隔斷頻率
31.5	22.4	25	22.4
		31.5	28
		40	35.5
63	45	50	45
		63	56
		80	71
125	90	100	90
		125	112
		160	140
250	180	200	180
		250	224
		315	280
500	355	400	355
		500	450
		630	560
1000	710	800	710
		1000	900
		1250	1120
2000	1400	1500	1400
		2000	1800
		2500	2240
4000	2800	3150	2800
		4000	3550
		5000	4500
8000	5600	6300	5600
		8000	7100
		10000	9000
16000	11200	12500	11200
		16000	14000
		20000	18000
	22400	25000	22400

聲音的傳播速度與媒体之體積彈性率 k [pa]，密度 ρ [Kg/m³] 有關，即

$$c = (k / \rho)^{1/2} \dots \dots \dots \text{式 2.1}$$

空氣中之音速與溫度有關，其略算式如下：

$$c = 331.5(1 + t / 273)^{1/2} \approx 331.5 + 0.61t \text{ [m/s]} \dots \dots \text{式 2.2}$$

常溫 (20℃) 下之音速 c 為 343[m/s]。

平面進行波中，音壓 p 與粒子速度 v 及媒質密度 ρ 有下列關係

$$p / v = \rho c = Z \dots \dots \dots \text{式 2.3}$$

式中 ρc 稱為媒質之特徵阻抗 (character impedance)，各種材料之音速與特徵阻抗如表 2.2 所示。

表 2.2 各種材料之音速與特徵阻抗 (*2-4)

材 料	音 速 c (m/sec)	密 度 ρ (kg/m ³)	特徵阻抗 ρc (kg/m ² ·sec)
空氣 (1氣壓28℃)	343.5	1.205	415
水	1,460	1,000	146×10^4
橡膠	35~230	1,010~1,250	$3.5 \sim 28 \times 10^4$
軟木	480	240	12×10^4
木材 (松·檜)	3,300	400~700	$1.3 \sim 2.3 \times 10^6$
鐵	5,000	7,800	39.0×10^6
混凝土	3,500~5,000	2,000~2,600	$7 \sim 13 \times 10^6$
玻璃	4,000~5,000	2,500~5,000	$10 \sim 25 \times 10^6$
大 理 石	3,800	2,600	9.9×10^6
砂	1,400~2,600	1,600	$2.3 \sim 4.2 \times 10^6$

2-1-3 聲音之反射、透過、吸收、屈折、回折

A. 聲音之反射、透過、吸收

圖 2.3 表示聲音傳播遇到一障壁時的行為，一部份反射 R，一部份透過 T，另一部份為吸收 A，則依能量不減定律：

$$I = R + A + T \quad \dots\dots\dots \text{式 2.4}$$

建築材料中，對入射音能具有較大吸收能力者，稱為吸音材料，反射能力較大者則稱為反射材料，傳透能量小者，稱為隔音材料。組件的吸音能力以吸音率 α (sound absorption coefficient) 表示，其定義為

$$\begin{aligned} \alpha &= (\text{入射音能} - \text{反射音能}) / \text{入射音能} = (I - R) / I \\ &= 1 / I (A + T) \quad \dots\dots\dots \text{式 2.5} \end{aligned}$$

至於聲音的透過率指透過音能對入射音能之比，即 T / I ，透過率之倒數，稱為透過損失 (Transmission Loss, TL)，通常以 dB 單位表示，即

$$TL = 10 \log_{10} (1/\tau) = 10 \log_{10} (I / T) \quad \dots\dots\dots \text{式 2.6}$$

常用建築材料之隔音與吸音特性如圖 2.4。

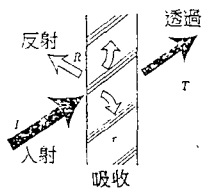


圖 2.3 聲音的反射、吸收、透過

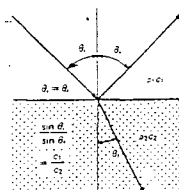
隔音性能	吸音特性	構造
大	小	混凝土磚重構造
小	大	玻璃棉 石棉
中	中	合板板類
大	大	混凝土 玻璃棉
小	小	苯乙烯板

圖 2.4 建築材料之隔音及吸音特性

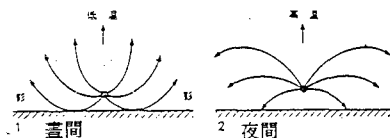
(註2-5)

B. 聲音之屈折

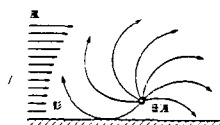
平面波入射於不同媒質之境界面，如同光學一樣，會產生折射，如圖 2.5。晴天時，白天近地表面之溫度比上空高，空氣密度較稀，致聲音之傳播往上屈折，夜間則相反。有風時，逆風側，聲音向上屈折，順風側，聲音向下屈折。



A. 音境界面之反射屈折



B. 溫度分布對音之屈折



C. 風對音之屈折

圖 2.5 聲音之屈折

C. 聲音之回折

圖 2.6 所示，聲音傳播經牆壁之小洞，在小洞的另一側產生二次波面。但只限於波長大於孔徑尺寸者，若波長遠小於孔徑尺寸者，則無此現象。牆邊之狀況，在牆之背側亦產生音波的回折現象。

D. 聲音之反射原則

聲音之反射可如光線，入射角等於反射角，而以圖解法得知受音點之受音狀況。但若反射面呈凹凸不平行，則視凹凸尺寸與波長之關係而定，波長遠大於凹凸尺寸者，不受凹凸之影響，否則其反射路徑則變成十分複雜。（圖 2.7）

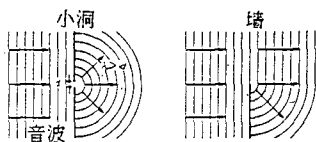


圖 2.6 音之回折

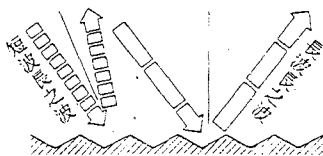


圖 2.7 凹凸面之反射

2-1-4 聲音的大小

A. 音功率、音強、音能密度、音壓

音波在媒質中單位時間放射出的能量，稱為音功率 $W [w]$ 。平面進行波中，垂直於音波的進行方向中，單位斷面積，單位時間通過的能量稱為平面波之音強 $I [w/m^2]$ ，其與音壓之均方根之關係如下：

$$I = p^2 / \rho c = \rho c v^2 \dots\dots\dots \text{式 2.7}$$

音能密度則為音強 I 與音速 c 之比值，即

$$E = I / c [J/M^3] \dots\dots\dots \text{式 2.8}$$

音能在大氣壓上產生之壓力變化稱為音壓。

上述各聲音之物理量與單位整理如表 2.3。

表2.3 音之各種物理量與單位 (*2-6)

音之表示	記號	單 位	定 義
音 壓	P	P_a	音在大氣壓上之壓力變化
音的強度	I	W/m^2	單位面積內單位時間所通過音能
音能密度	E	J/m^3	單位體積內所含之音能
音 功 率	W	W	音源在單位時間所發生之音能

SI 單位系: $1P_a = 1N/m^2$ $1N = 1kg \cdot m/s^2$ $1J = 1N \cdot m$
 $1W = 1J/s$ $1Hz = 1s^{-1}$

表2.4 dB尺度 (*2-7)

各 種 音 級 (dB)	基 準 值
音強的等級	$L_I = 10 \log_{10} I / I_0$ $I_0 = 10^{-12} (W/m^2)$
音壓等級	$L_P = 20 \log_{10} P / P_0$ $P_0 = 2 \times 10^{-5} (Pa)$
音能量密度等級	$L_E = 10 \log_{10} E / E_0$ $E_0 = I_0 / C$
音功率等級	$L_W = 10 \log_{10} W / W_0$ $W_0 = 10^{-12} (W)$

B. dB 尺度——音強級、音壓級、音能密度級、音功率級

聲音大小量的感知，依頻率、振幅、及個人之人耳機能、體質而有差異。若外界聲音刺激強度增加時，音量的感覺與刺激強度之對數成正比，此關係如同觸覺、味覺、視覺等，稱為韋伯—費科納定律 (Weber-Fechner Law)。另一方面，因為音壓、音強所用之物理單位，從非常小到非常大之數值，使用上十分不便，故採用各量基準值之對數比後 10 倍為“級”值，單位為分貝 (deci-bel)，如表 2.4 音強級之國際基準值 $I_0 = 10^{-12} [W/m^2]$ ，音壓的平方與音強成正比，所以

$SPL = 10 \log_{10} P^2 / P_0^2 = 20 \log_{10} P / P_0$ 式 2.9
 基準值 $P_0 = 2 \times 10^{-5} [pa]$, 此值乃以人類在無噪音狀況下對1000Hz
 的最小可聽值。

C. 響度與響度級

聲音之響度 (Loudness) 或稱聲音音量感覺之大小, 因頻率不同而異。某音之大小感覺與1000Hz之純音音壓級 (dB) 等大小之值稱為響度級 (Loudness level), 單位以phon表示, 如圖 2.8表示純音之頻率, 音壓級及響度級之關係稱為等響度曲線。從圖中可知人耳在3K~4K Hz間最敏感, 在300Hz 以下較為遲鈍。

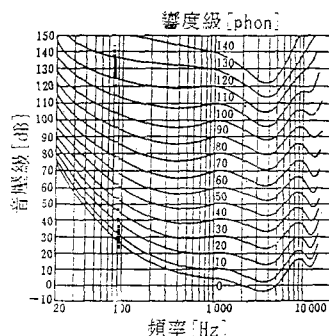


圖 2.8 等響度曲線 (註2-8)

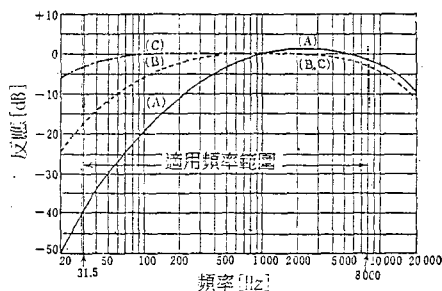


圖 2.9 加權曲線 (註2-9)

D. 噪音級

凡給予吾人不快之感覺之音響均屬噪音。道路之噪音、工廠之噪音等均以噪音級分貝dB(A)表示。由於人耳對於噪音之等響度感覺與頻率及音壓級值有關, 在噪音之量測上, 為便於標準化, 設計一等響度之加權 (weighting) 曲線, 將各頻率所測得之音壓值, 經此加權, 計算出加權後之音壓級, 加權曲線如圖 2.9 所示, 有 A、B、C 三種, 目前已國際標準化, 僅採用 A 加權, 以 dB(A) 表示。圖 2.10表各種環境噪音級及吵雜的程度。

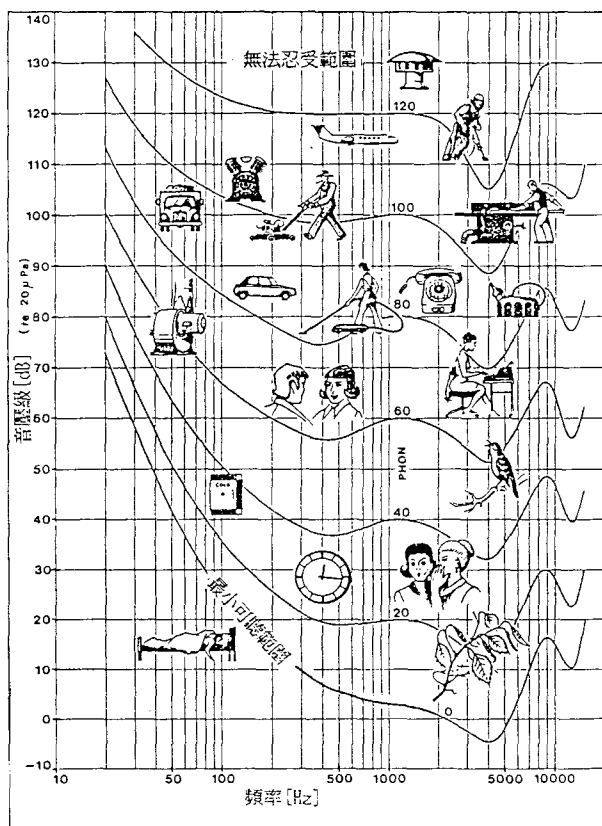


圖 2.10 各種環境噪音級及吵雜的程度 ($\pm 2-10$)

2-1-5 聽覺機構與聲音之知覺

A. 耳朵與聽覺

如圖2.11所示，人耳分成外耳、中耳、內耳三個主要部份，外耳包括耳朵、外耳道及鼓膜，外耳直徑約7mm，長20~30mm。中耳之鼓室約1~2cc之空間，其中包括槌骨、砧骨、鐮骨三塊骨頭相連接。槌骨與骨膜相接、鐮骨與內耳之蝸牛之前庭窗相連，將鼓膜之振動傳到內耳。內耳為三半規管、前庭、蝸牛等構成，蝸牛約30mm長，約三回螺旋卷成，內部充滿淋巴液，為基底膜分隔為二。鐮骨傳來之振動通過淋巴液，傳達到基底膜，此時因振動數之振幅之最大位置不同，低頻者感受位置較深，高頻者則在近於入口處感受。

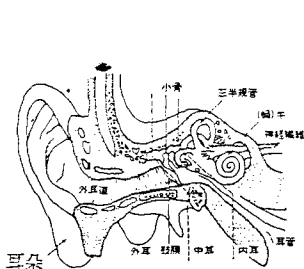


圖 2.11 耳之構造 (#2-11)

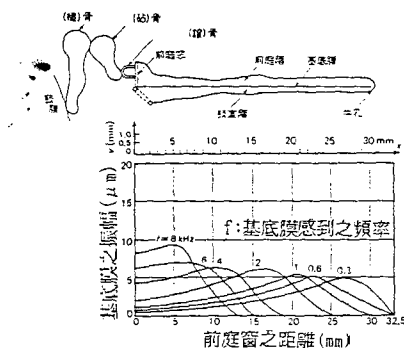


圖 2.12 蝸牛之感應 (#2-12)

B. 聲音的心理屬性

聲音的基本心理屬性為音高(pitch)，響度(loudness)，音色(tonal)音高主要由頻率決定之，圖2.13為純音之頻率[Hz]與音高[mel]之關係，其間係以1000Hz 40dB之純音音高為1000mel為基準訂定之。響度為音壓之大小與頻率特性之關係。音色依頻率分布而定。

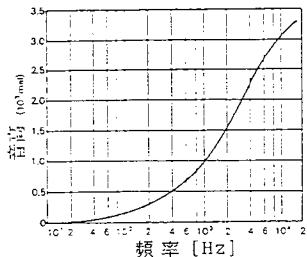


圖 2.13 純音之頻率與mel尺度
(#2-13)

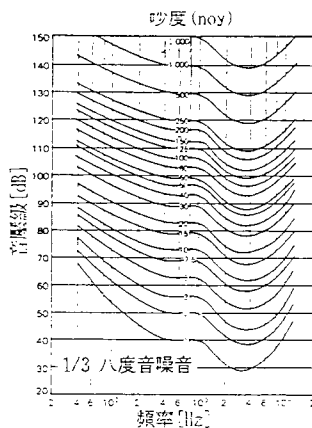


圖 2.14 等吵度曲線 (#2-14)

c. 吵度、煩度

噪音之心理影響雖可用響度 (loudness) 表示，但通常多以吵度 (noisiness) 及煩度 (annoyance) 來表示對噪音之不快感。吵度多指因音之物理特性產生不快感煩度則包含噪音以外之心理因素。圖 2.14 為 ISO 所採用之等吵度曲線，與圖 2.8 比較，ISO R-226 著重在各頻率之間之等響度感覺，ISO R-507 除了各頻率之間之等感覺外，更著重音量大小間之等感覺 (noy)。

D. 聲音之遮蔽

聽某音時，因噪音同時存在，聽起來非常不清楚，此時噪音遮蔽某音，稱為遮蔽效果 (masking)，遮蔽效果可藉由音源 A 發出某音量，測得 B 音的最小可聽值得知。圖 2.15 為純音之遮蔽效果之一例，圖 2.16 為白色噪音之遮蔽效果。

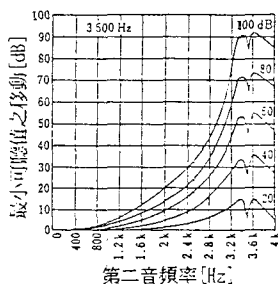
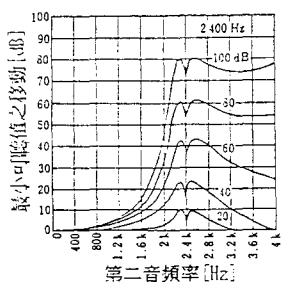
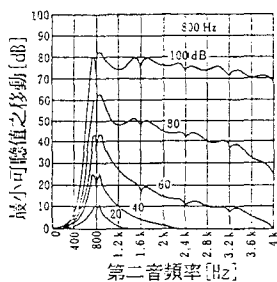
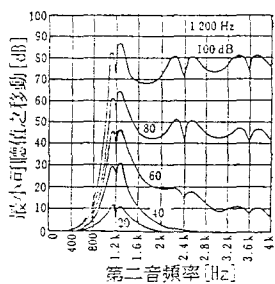
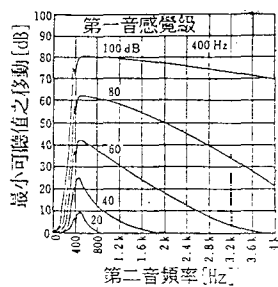
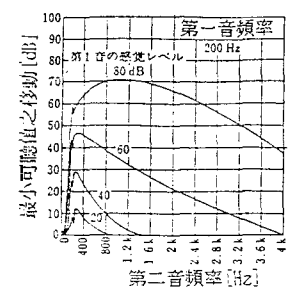


圖 2.15 純音之遮蔽效果 (*2-15)

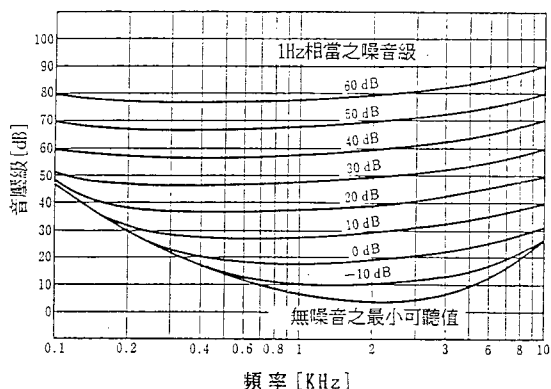


圖 2.16 白色噪音之遮蔽效果 (*2-16)

2 - 2 聲音的重疊及合成計算

2 - 2 - 1 音波的重疊

自然界的聲音，通常是由很多不同頻率的純音所組成的，兩個以上的純音可以疊成另一種聲音，而改變其音量、音色、音調等。如圖 2.17 所示，音波之重疊，同相位時，聲音變大，逆相位時，兩聲音互相抵消。相反地，一個複合的聲音也可解析出其各種基音；而近年來的主動噪音控制法 (active noise control)，就是利用逆相位的原理來消除穩定噪音。

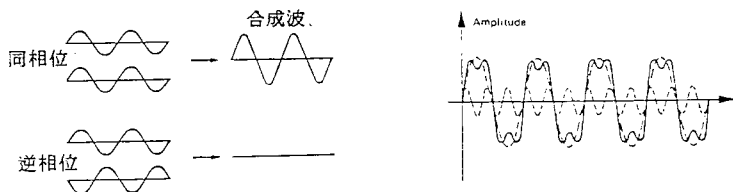


圖 2.17 聲音的重疊

2-2-2 聲音之合成與分解

兩個音源同時發聲，其音量之合成係依能量相加的方式，由於dB單位，並非能量的原始單位，所以不能直接相加，必須將dB換回原始的物理能量。一般為便於運算，製成下表(表2.5)其用法說明如下：

A. 兩音合成時， L_1 ， L_2 ，且 $L_1 > L_2$

$$\text{則 } L_3 = L_1 + L_2 = L_1 + D \quad \dots\dots\dots \text{式 2.10}$$

$$D = 10 \log_{10} (1 + 10^{-(L_1-L_2)/10}) \quad \dots\dots\dots \text{式 2.11}$$

D 值參見圖 2.18。

B. 兩音源分解時(如在背景噪音(L_2)下量得音源之音量為 L_3 求真正的噪音源音量(L_1))

$$\text{即 } L_1 = L_3 - L_2 = L_3 + F \quad \dots\dots\dots \text{式 2.12}$$

$$F = 10 \log_{10} (1 - 10^{-(L_3-L_2)/10}) \quad \dots\dots\dots \text{式 2.13}$$

F 值參見圖 2.19。(為負值)

表2.5 音之合成與分解

項 目	計 算 式	應 用 域
音之合成 $L_1(\text{dB}), L_2(\text{dB}) \rightarrow L_3(\text{dB})$	$L_3 = L_1 + D$ (圖2.18) $= L_1 + 10 \log(1 + 10^{-(L_1-L_2)/10})$	2 個噪音級之 合成
$L_1, L_2, \dots\dots\dots, L_n \rightarrow L_3$	$L_3 = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_i} \right)$	數音之合成
音之分解 $L_3(\text{dB}) \rightarrow L_1(\text{dB}), L_2(\text{dB})$	$L_1 = L_3 + F$ (圖2.19) $= L_3 + 10 \log(1 - 10^{-(L_3-L_2)/10})$	實測噪音與背 景噪音分離

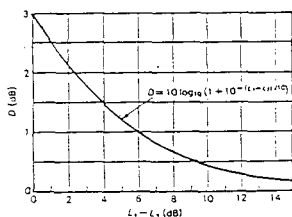


圖 2.18 音之合成之D值 (#2-17)

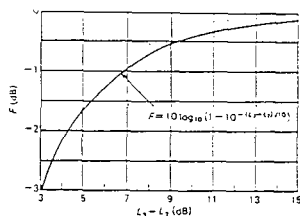


圖 2.19 音之分解之F值 (#2-18)

2-3 聲音之傳播

2-3-1 空氣傳音與固體傳音

圖2.20為顯示都市大樓內之侵入噪音，及入侵模式。飛機噪音、汽車噪音等從牆壁、門、窗之隙縫侵入。相對地，地下鐵噪音、設備機械運轉音等是直接振動建築物構造而放射於室內。前者由空氣傳播，略稱為空氣音，後者由固體傳播，簡稱為固體音。表2.6所示為空氣音、固體音實例。區別空氣音與固體音是必要的，因兩者傳播性質不同，且隔斷之方法完全不同。

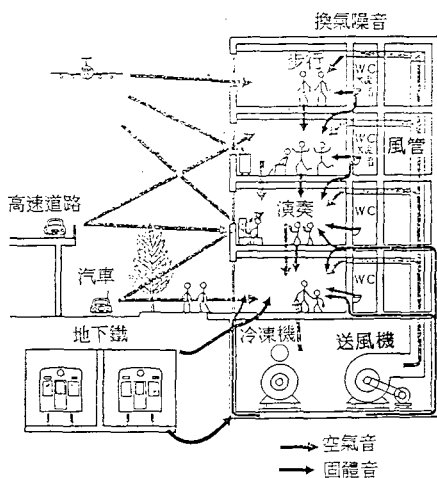


圖 2.20 聲音之傳播路徑

表 2.6 各種噪音振動源及其傳播路徑(*2-19)

噪音・振動源	空氣傳播音	固體傳播音	噪音・振動源	空氣傳播音	固體傳播音
飛機	○		樂器演奏	○	
鐵道車	○		Hi-Fi 裝置	○	
地下鐵		○	收音機・電視機	○	
大型卡車	○		事務機械	○	
工程用車	○	○	空調・換氣設備	○	○
自動車	○		會話・電話	○	
自摩托車	○		孩子遊戲	○	○
建造工程	○	○	孩門之開關		○
工役	○	○	散步		○
幼稚園	○		小學	○	

2-3-2 無反射面空間聲音之傳播

由音源之音傳播計算點音源之大小，大部分以無指向性處理音的放射狀況，此理想化之音源稱為無指向性點音源。此音源在無反射面空間（自由空間），與光之情況相同，音強與自音源的距離平方成反比例，關係式為

$$I = W / 4\pi r^2 \quad [w / m^2] \dots\dots\dots \text{式 2.14}$$

式中，音功率以 W 表示，I 是 r [m] 點處音強。若式 2.14 以 dB 形式表示，則

$$I L = P W L - 20 \lg r - 11 \text{ [dB]} \dots\dots\dots \text{式 2.15}$$

式中，I L 是音強級 [dB]，P W L 是功率級 [dB]，距離加倍時，音強級衰減 6dB。這種點音源及無反射空間在現實環境上不多，一般以近似狀況處理之，例如大樓屋頂上之冷卻水塔或寬廣室內的音源，於音源近範圍內，可引用 2.15 式關係式。音源在地面上時，聲音放射於空間時以 2π 代替 4π 計算，此時使 2.15 式中 11 改為 8，以 2.15 式中之右邊第二項以後為 K，K 值可由圖 2.21 所示得知，計算式改為

$$I L = P W L - 20 \lg r - 8$$

$$\text{或 } I L = P W L - K \dots\dots\dots \text{式 2.16}$$

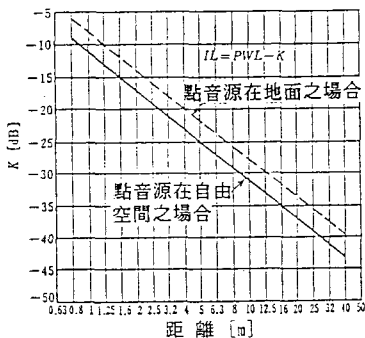


圖 2.21 屋外點音源衰减特性
(*2-20)

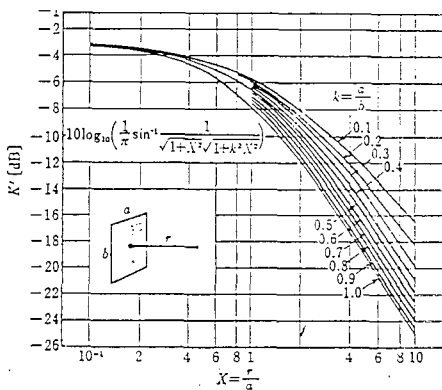


圖 2.22 從面音源之距離衰减
(*2-21)

2-3-3 面音源之音之傳播

從門扇與大開口部傳來之音特性不能以 2.15 式所示簡單關係式表示，而以下式代替

$$I L = I L_0 + K' \text{ [dB]} \dots\dots\dots \text{式 2.17}$$

式中， K' 如圖 2.22 表示，但是 $I L_0$ 是面音源單位面積之功率級，在同圖中 X 是實際距離 r 以音源面的短邊長度 a 所除而得，參數 k 是短邊、長邊之比。音源在近距離範圍短邊 / 3 內幾乎不衰减，從這點至長邊 / 3 以外之範圍，距離加倍，則衰减 3dB。長邊 / 3 以外之範圍，距離加倍，則衰减 6dB。

2-3-4 室內聲音之傳播

考慮無指向性點音源在室內之場合，圖2.23 所示音源直接音因距離同時衰減，在一定距離以上音壓級之衰減平穩而達到一定程度，由室周壁反射之音，保持室內音強級，針對直接音稱此反射音為餘響音或擴散音。設 I_1 為直接音， I_2 為餘響音，則從室內音源 r [m] 點之音強 I [W/m^2]

$$I = I_1 + I_2 \quad [W/m^2] \dots\dots\dots \text{式 2.18}$$

$$I_1 = Q P / 4 \pi r^2 \dots\dots\dots \text{式 2.19}$$

Q : 音源位置之指向性

$Q = 1$: 在室內中央時

$Q = 2$: 在壁面時

$Q = 4$: 在邊隅時

$Q = 8$: 在室隅時

$$I_2 = 4 P / R$$

R : 室常數

$$R = \bar{\alpha} S / (1 - \bar{\alpha}) \dots\dots\dots \text{式 2.20}$$

S : 室表面積 (m^2)

$\bar{\alpha}$: 平均吸音率

表示式 2.18 為 dB 形式如下式：

$$I L = P W L + 10 \log_{10} (Q / 4 \pi r^2 + 4 / R) \quad \text{式 2.21}$$

式 2.21 的右邊第二項如圖 2.24。利用此圖可知音源功率，由室之吸音狀態計算室內之音壓級，例如求換氣口噪音之傳播，或擴聲裝置喇叭之室內音壓級等，此式可知室內之吸音程度，從音源遠離之地點，顯示室內音壓級降低之情況，式 2.21 為音響設計上常用之基本關係式。

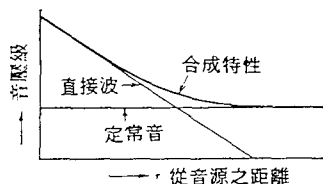


圖 2.23 室內音源之距離衰減

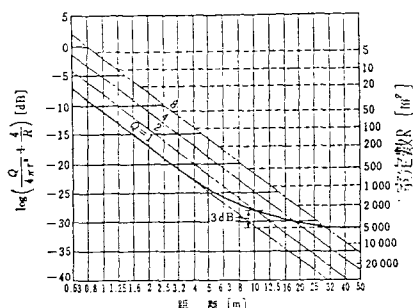


圖 2.24 室內點音源之距離衰減特性
(實線 $Q=1, R=5000$) (*2-22)

2-3-5 室間聲音之傳播

圖 2.25 兩室間以一牆壁相隔時，聲音之傳播路徑，如同圖所示各種路徑，除直接傳播以外之路徑稱之為側路傳播。音源室之平均音壓級 L_1 與受音室平均音壓級 L_2 之差為室間平均音壓級差或稱為室間隔音度，以 D 表示即是

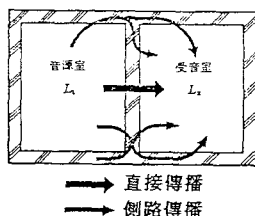


圖 2.25 室間聲音之傳播

$$D = L_1 - L_2 \text{ [dB]} \dots\dots\dots \text{式 2.22}$$

此室間平均音壓級差與境界壁之透過損失之間，在無側路傳播時之關係式如下：

$$D = TL + 10 \log_{10} \bar{\alpha} S / s \dots\dots\dots \text{式 2.23}$$

式中， TL 是壁之透過損失 ($= 10 \log_{10} (\text{入射音能} / \text{透過音能})$)， $\bar{\alpha}$ 是受音室之平均吸音率， S 是受音室之總表面積， s 是境界壁之面積。

增加二室間之隔音，於境界壁用隔音能力大之材料，同時增大受音室的吸音力是必要的。增大音源室之吸音，由2.21式可知音源室的平均音壓級降低，受音室的音壓級也降低，於2.22式及2.23式中，音源室之音壓級 $\overline{L_1}$ ，受音室之透過音容許值 $\overline{L_2}$ ，由2.23式可求出界壁必要之透過損失值，此即牆壁隔音設計之基本式。

2-3-6 外牆面之透音

室內壁與外牆壁面，聲音之入射條件不同。在室內，聲音從各種角度對牆壁入射，於室外，聲音則從特定方向入射，此種情況之外部音壓級 $\overline{L_1}'$ ，室內平均音壓級 $\overline{L_2}$ ，及壁之透過損失TL，其間之關係式如下：

$$D = \overline{L_1}' - \overline{L_2} = TL + 10 \log_{10} A/S - 6 \quad \dots \text{式2.24}$$

考慮室內聲音透過外壁外漏之場合，檢討室內微弱音，靠近境界線究竟聽起來為多少之情況，此種情況，從壁放射音的功率級PWL由下式求出

$$PWL = \overline{L_1} - TL - 6 \quad [dB] \quad \dots \text{式2.25}$$

式中， $\overline{L_1}$ 是室內之平均音壓級，TL是壁之透過損失，由外壁r[m]點處之音壓級 L_2' 是由2.17式中PWL透過音之強度I，即 $PWL - 10 \log_{10} s$ 求出，代入2.17式求得，式中s是壁之面積。

2-4 室內音場之性質

室內發生之音如圖2.26所示，室內聽音時，同時聽到從音源之直接音與從牆壁、天花板等之反射音，反射音到達時間比直接音慢，強度、方向也各式各樣。如此考慮反射音與室內音之流動極為複雜，設計時則單純化處理。

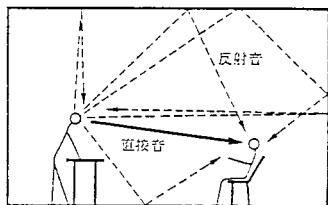


圖 2.26 室內音場之特色

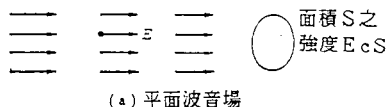


圖 2.27 平面波音場及擴散音場

2-4-1 平面波音場與擴散音場

平面波音場如圖 2.27(a)所示，同一相位波往同一方向進行。同圖(b)之擴散音場，聲音完全混合之狀態，擴散音場之性質如下述：

- (1) 室內音的強度各處相等。
- (2) 在室內所有點，音從各方向到達。

因此室內擴散音場理想化的時候，音場之選擇非常簡單，均假設室內音場為擴散音場以探討音源功率，室內音壓級及餘響理論。

2-4-2 擴散音場之音之強度

在平面波音場， E [W/M^2] 為單位體積平均能量，即是 1 秒間音速 c 向某方向進行距離，因而進行方向垂直面之音的強度如圖 2.27(a)表示為 $E c$ ，對音入射同一平面之音強度，擴散音場比平面音場小，就統計計算是平面波入射時候的 $1/4$ ，即是 $E c/4$ ，因此面積 S 之牆壁之音強度為 $E c S/4$ ，此為擴散音之一特色。

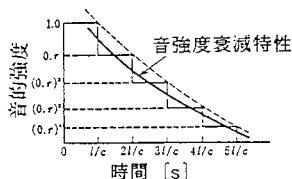
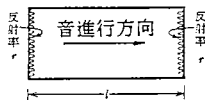


圖 2.28 壁吸收之音衰減

2-4-3 平均自由行程與餘響時間

圖2.28長方體室產生一定方向之固定音時候，反射面間之距離為 L ，音遇到牆壁的時間為 L/c (c ：音速)，若牆壁是吸音材其吸音率為 α ，圖2.28 所示音若每遇到 $\alpha = 0.2$ 之牆壁，反射音為0.8倍入射音，如此可計算室內音能量衰減狀態。時間的衰減曲線以下式表示

$$I = I_0 \cdot e^{-k\tau} \dots\dots\dots \text{式 2.26}$$

I_0 ：正常狀態下之音強度

$$k = -c \lg e (1 - \bar{\alpha}) / L \dots\dots\dots \text{式 2.27}$$

在擴散音場，某方向放射音，從某牆壁到另一個牆壁之距離各式各樣，以一個值收斂，此距離稱為平均自由行程 (mean free path)，以 P 表示， P 為室容積 V 與室表面積 S 之比的4倍，即

$$P = 4V / S \dots\dots\dots \text{式 2.28}$$

同材料之室，平均自由行程小者，單位時間內碰壁之次數多，相對地意味在一定時間內能量消耗大，2.27 式中以平均自由行程 P 代入，則為擴散音場音之衰減曲線，即

$$k = -c \lg e (1 - \bar{\alpha}) / P \dots\dots\dots \text{式 2.29}$$

由圖2.29 室內音壓級的衰減特性可知音隨時間而直線衰減。在室內發生音達到穩定狀態以後，迅速停止音源後，其殘留之響聲稱為餘響，餘響所持續的時間稱為餘響時間，為統一定義，規定當音源停止後，室內音強衰減為百萬分之一，或衰減60dB所需時間謂之。從2.26式及2.29式， $I/I_0 = 10^{-6}$ 求出餘響時間 T ，即

$$T = 0.161 V / -\lg e (1 - \bar{\alpha}) \text{ s} \dots\dots\dots \text{式 2.30}$$

此餘響時間式，稱之為艾潤 (Eyring) 式，為室內音響設計主要計算式。又餘響式可以下列二式表示

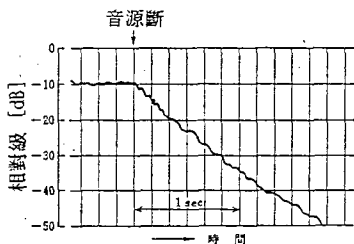


圖 2.29 室內音壓級之衰減狀況 (*2-23)
(教堂 1600Hz, T=2.8s)

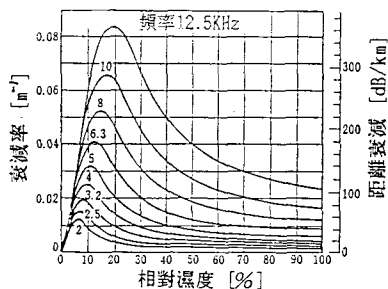


圖 2.30 空氣吸音之衰減率 m (*2-24)

$$T = 0.161 V / S \bar{\alpha} \dots\dots\dots \text{式 2.31}$$

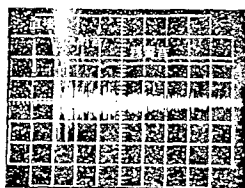
$$T = 0.161 V / -S \log_e (1 - \bar{\alpha}) + 4 m v \dots\dots \text{式 2.32}$$

$$T = 0.161 V / \Sigma (-S \log_e (1 - \alpha_i)) \dots\dots \text{式 2.33}$$

2.31式沙賓式為餘響理論的基本式，但在 $\alpha=1$ 完全吸音狀態下，餘響時間不等於0有所矛盾，但在 α 為0.10以下 α 與 $-\log_e (1 - \alpha)$ 之差在10% 以下，可忽略其矛盾性。即在低吸音的室內環境下可使用沙賓式。2.32式稱為Eyring-Kundsen式，使用於大廳等室容積大地方，考慮空氣之吸音力。2.32式中 m 值是音波前進1m之衰減率，因相對濕度及頻率而不同， m 值如圖2.30所示，僅在1KHz以上的大空間內較顯著影響。2.33式與艾潤式略同，但若室內吸音材料分布不均時應用此式計算餘響時間，更接近實際之值。

2-4-4 短音脈沖響應波形

室內發生短促之脈沖音，如槍聲，在某點觀測音壓，得圖2.31之波形，這種波形稱為短音脈沖響應波形 (impulse response) 或回響時間圖 (echo-pattern)，此圖形顯示反射音隨直射音連續到達之狀態，由此可知它與音響效果有很大關係。詳細觀察短音脈沖響應波形



(a) 3150Hz, 50ms/div.



(b) 100Hz, 100ms/div.

圖 2.31 脈沖響應圖

，直接音先到後一個個獨立反射音到達，隨時間增加反射音之密度更密，如圖2.31所示，稱之為餘響音，相對於直接音、反射音，另外從直接音到50ms內之反射音，聽感上有增大直接音之作用，故50ms以內之反射音總稱為直接音，50ms以後之反射音則稱為擴散音。直接音·擴散音比，即直接音與擴散音的強度比，以此量表示聲響之大小程度。包括有D值（definition）及C值（clarity）其定義如下式

$$D = \int_{0}^{50\text{ms}} p_i^2 dt / \int_{\infty} p_i^2 dt$$

$$C = 10 \log (\int_{0}^{50\text{ms}} p_i^2 dt / \int_{50\text{ms}} p_i^2 dt)$$

2-4-5 第一波面法則——哈斯效應

圖2.32 所示考慮同時聽A、B二個相同音源，從A、B二音源到受音點之距離相等時，音像位於A、B二音之正中央，然而若延遲B音源，音像則定位於A，這種現象稱為第一波面法則，或哈斯（Hass）效應，此效應對於擴聲裝置之設計非常重要，如圖2.33 離音源較遠之位置，因延遲喇叭所發之音，可使所聽到之喇叭聲仍然定位於音源位置，並且增大聽音大小，若沒有延遲時間，則定位於喇叭位置，產生不自然之方向感。

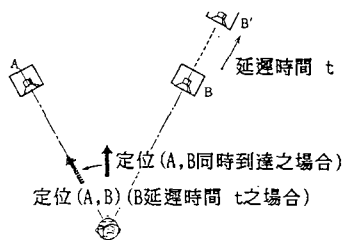


圖 2.32 第一波面法則

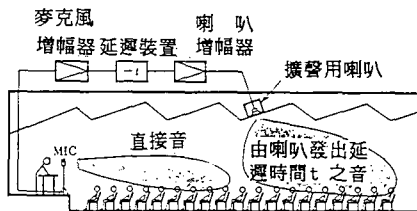


圖 2.33 利用第一波面法則之 P A 裝置

2-4-6 室之基準振動

A. 干涉、駐波

在角頻率 ω 之平面進行波的場所，時刻 t 之音壓 $p(x, t)$ 為

$$p(x, t) = p \sin \omega(t - x/c) \quad \dots\dots\dots \text{式 2.34}$$

式中音壓之相位由 p 到 $-p$ 之間變動，若兩波同時到達一點，能產生加強（相位相同）或減弱（相位相反）的現象稱為干涉。

平面波碰到剛平面，粒子速度剛好等於 0 時，立刻產生反射波，其音壓粒子速度在空間上之分佈與原波動完全相同，看不出波動的進行，此稱為駐波，如圖 2.34 所示。間隔 l 之兩平行剛壁，兩壁面之粒子速度均為 0 時， l 恰為半波長的倍數時，則稱此頻率為固有振動頻率，即

$$f_n = nc / 2l \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad \dots\dots\dots \text{式 2.35}$$

此時之振動方式，稱為簡正方式 (normal mode) (圖 2.35)

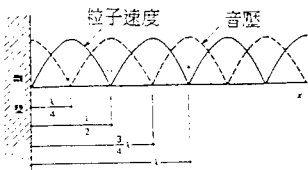


圖 2.34 駐波

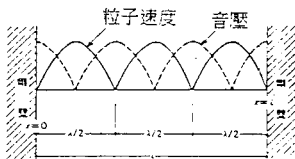


圖 2.35 平行壁間之簡正振動方式

B. 矩形房間之固有振動頻率

矩形房間(圖 2.36)內產生之簡正方式，依波動理論可得

$$f_r = c / 2 \sqrt{(n_x / l_x)^2 + (n_y / l_y)^2 + (n_z / l_z)^2} \dots \text{式 2.36}$$

n_x, n_y, n_z 各為 0, 1, 2, 之整數, l_x, l_y, l_z

分別為矩形房間之長度，若僅在一個軸向產生簡正方式，稱為軸向簡正方式(axial modes) 若在其中須兩方向產生簡正方式，稱為切線簡正方式(Trangential modes) 若必須三方向連續反射才產生簡正方式，稱為斜側簡正方式(oblique modes) 圖 2.37 顯示切線簡正方式，可得知室內音壓分布。不管軸向、切線或斜側，總是牆角音壓最大，其次為牆邊，再次為室中央。若矩形房間之固有振動頻率分布得均勻，也可該室的頻率響應特性均為平均，如圖 2.38，正立方形的固有振動頻率集中，使得其頻率響應特性較下圖者為差。圖 2.39 為實際測得之一矩形房間之頻率傳播特性。

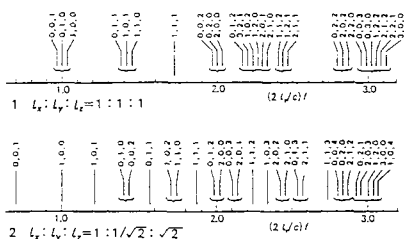
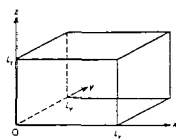
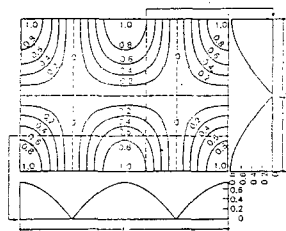


圖 2.36 矩形房間

圖 2.38 簡正方式之固有振動頻率分布



$(n_x=2, n_y=1, n_z=0)$

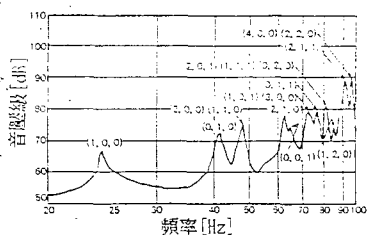


圖 2.37 矩形房間之音壓分布

圖 2.39 矩形房間 $(7.7 \times 4.8 \times 2.8 \text{ m})$ 之傳播特性 (#2-25)

参 考 文 献

- 2-1 :日本建築學會:建築設計資料集成 1 環境,丸善株式會社,(1978).
- 2-2 :永田 穂:建築の音響設計,p.8,オーム社,(1974).
- 2-3 :I.S.O.:266-1975(E),Acoustics-Preferred for measurements.
- 2-4 :前川純一:建築音響,p.3,共立出版株式會社,(1978).
- 2-5 :同 2-2,p.10.
- 2-6 :同 2-1,p.2.
- 2-7 :同 2-1,p.2.
- 2-8 :I.S.O.:Recommendation R 226,(1961).
- 2-9 :JIS:C 1502-1966.
- 2-10:Brüel & Kjer:Acoustic noise measurements,p.32,(1938).
- 2-11:同 2-10,p.41.
- 2-12:同 2-10,p.42.
- 2-13:Stevens,Volkmann:Am.J.Psychol.,53,(1940).
- 2-14:K.D.Kryter:I.S.O. Recommendation R 507,(1970).
- 2-15:H.Fletcher:Speech and hearing in communication,p.153,D.Van
Nostrand Co.,New York,(1953).
- 2-16:J.E.Hawkins and S.S.Stevens:The masking of pure tones and of
speech by white noise,J.Acoust.Soc.Am.,22,6,(1950).
- 2-17:同 2-1,p.2.
- 2-18:同 2-1,p.2.
- 2-19:同 2-2,p.15.
- 2-20:同 2-2,p.16.
- 2-21:同 2-2,p.17.
- 2-22:同 2-2,p.18.
- 2-23:同 2-2,p.23.
- 2-24:C.M.Harris:Absorption of sound in air in the audio frequency
range,J.Acoust.Soc.Am.,35,11,(1963).
- 2-25:同 2-1,p.3.

第三章 建築音響材料

建築音響材料，一般依音響性質區分為吸音材料、隔音材料與防振材料，其中吸音材料之吸音性能大，而隔音材料之隔音性能高。進行室音響設計時，認知建築材料的音響性質最重要。

3-1 吸音材料及吸音構造

吸音材料之使用目的大致分為室內音響的調整及噪音防止二種，對集會廳及錄音室等室內音響要求非常嚴格之空間，於內裝設計上必須特定之吸音性能。一般室之設計，需要瞭解各種建築材料、家俱等吸音特性之概要。目前噪音防止對策使用各式各樣之吸音材料，以及使用隔音材料組合成為噪音源的遮蔽或屏風。

3-1-1 吸音的基礎事項

吸音性能之表示方法，用吸音率表示；在圖 3.1 中入射音能 I 及反射音能 R 之比 R/I ，稱之為反射率，以 r 表示；吸音率則為 $1-r$ ，即 $1-R/I$ ；一般以 α 表示， α 值在 0 至 1 之間，若 $\alpha=0$ 為完全反射，若 $\alpha=1$ 則為完全吸音之狀態。

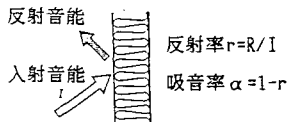
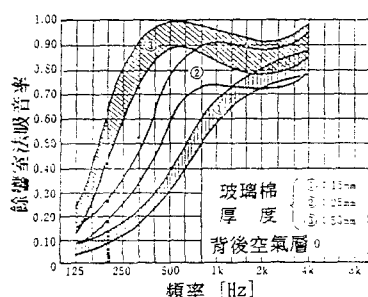
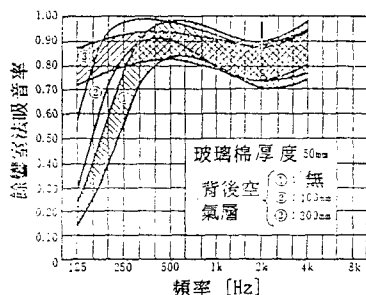


圖3.1 吸音率的定義

材料的吸音性能，雖相同材料，亦因入射音之狀態而不同，入射音條件大致區分為垂直入射、斜入射、擴散入射三種。平常吸音材料大多使用於室內環境，入射條件為不規則的，因此材料的吸音性能，如圖 3.2(b) 所示擴散音場之入射條件。在餘響室內由擴散音場之入射條件求得之吸音率稱為餘響室法吸音率，此測定法在 CNS、ISO、JIS 等均有規定其餘響室之尺寸及測定方法。圖 3.2 所示為玻璃棉之吸音特性。



(a) 因厚度而吸音特性的變化



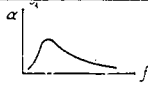
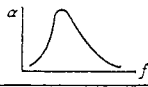
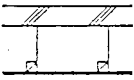
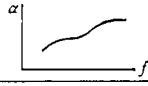
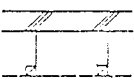
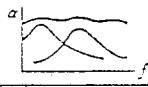
(b) 因背後空氣層而吸音特性的變化

圖 3.2 玻璃棉之吸音特性 (※3-1)

3-1-2 吸音材料之種類及吸音特性

一般建築材料具有隔音性能，同時也具吸音性能，入射音能因材料內空氣之粘性及材料因子之振動轉變為熱能而消失，這種改變方式因材料之種類及裝置之構造等不同，其結果顯示各式各樣之吸音特性，如表 3.1 所示為各材料基本的吸音特性。

表 3.1 吸音材料之使用及特性 (*3-2)

	製品例	使用例	代表的吸音特性
多孔質材料	玻璃棉 岩棉 海綿	表面材(布) 	
板狀材料	合板 石膏板 水泥板	空氣層 	
膜狀材料	塑膠薄膜 帆布	空氣層 	
多孔質成形板	岩棉 玻璃棉板 軟質纖維板		
有孔板	有孔石膏板 吸音水泥板 有孔鋁板		

(a) 多孔質材料 因材料中之細孔、細縫使空氣運動摩擦而吸音，一般以玻璃棉、岩棉等吸音材料為其代表性。多孔質材料的吸音特性，對中、高音域之音吸音效果大；而其特性受厚度、背後空氣層、表面處理三個條件之影響。以玻璃棉為例說明多孔質材料之特性：

厚度：如圖 3.2(a) 所示玻璃棉之厚度愈厚，低音域之吸音率增加。

背後空氣層：圖 3.2(b) 所示背後空氣層增加，低音域吸音率亦增加。

表面處理：一般表面處理如圖 3.3 所示之四種方法，但須注意不影響多孔質材料之吸音特性。

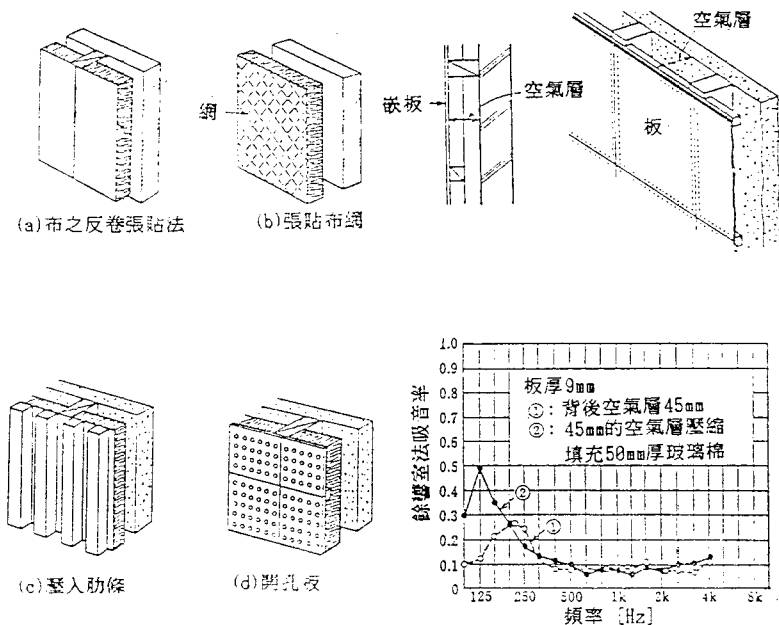


圖3.3 玻璃棉等多孔質材料的表面處理方法

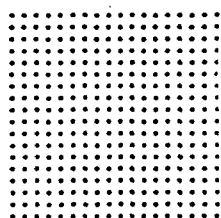
圖3.4 利用板振動吸音構造之吸音特性

(※3-3)

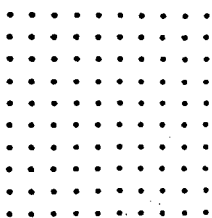
(b) 板狀材料 板狀材料如圖 3.4所示裝置鑲合板、石棉瓦板等板狀材料，藉板之振動而吸音，另外如甘蔗板、耐火板、鑽泥板等材料乃為板振動與空氣運動之組合而吸音者。此板狀材料具有反射中、高音域之音，而吸收低音域音之特性，若與多孔質材料組合即可吸收中、高音域，常用於室內音響之調整。又板振動之吸音以共振頻率附近為最大，與板之安裝條件有密切之關係，如圖 3.4所示板之材質及空氣層之裝置。

表 3.2 常見開孔板材料及開孔之形式 (*3-4)

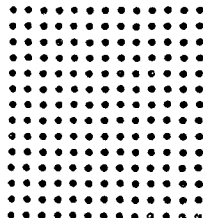
	板厚 t [mm]	孔直徑 d [mm]	孔距 D [mm]	開口率 P
吸音用孔狀石膏板 (JIS A 6301)	7 9	6	22	0.055
吸音用開孔石綿板 (JIS A 6302)	3	8 5	25 15	0.06~0.09 0.06~0.09
柔 性 板 (F)	4	8 5	20 12	0.10~0.13 0.11~0.14
軟 質 板 (N)	4	8	16	0.18~0.21
		8	25	0.06~0.09
		5	15	0.06~0.09
		8	20	0.10~0.13
		5	12	0.11~0.14
開 孔 矽 酸 鈣 板	6 8 10 12	6 5 9	20 15 15	0.07 0.09 0.28
	3.5 5.0 6.5	4	15	0.056
		6	15	0.13
		9	15	0.28
9		45	0.044	
開 孔 合 板	4	5	25	0.031
	6		30	0.022
			50	0.008
	9	9	15	0.283
			30	0.071
開 孔 鋁 板 (JIS A 6350)	0.5	0.8	1.5 (平孔)	0.22
	0.6	5.0	11.5 (平孔)	0.14
	0.7	5.0	14.5 (平孔)	0.09
	0.8			
	1.0	6.0	11.6 (絞孔)	—



5φ-11.5



6φ-22



9φ-15

(c) 開孔板 錄放音室及集會廳之內裝，常使用各式各樣之開孔板，由於孔之狀態及背後條件而有很大差異性，選定施工時須十分注意。開孔板之使用目的有二種，一為表面材特性，另一為共鳴吸收特性，表面材如圖3.3為意匠上及保護上之目的而設置之材料，表3.2為常見開孔板材料及開孔之形式。開孔板之吸收聲音之原理依開口部分空氣之振動摩擦而吸收，類似共鳴吸音器，如圖3.5所示，其共鳴頻率 f_0 如下式

$$f_0 = c / 2\pi \sqrt{p / (t + 0.8d) L} \quad [\text{Hz}] \quad \dots\dots\dots \text{式 3.1}$$

c : 音速 [m/s]

t : 板厚 [m]

d : 孔徑 [m]

p : 開口率

L : 背後空氣層 [m]

實際應用三種材料之特性，可達成理想之吸音目的，對於高頻率音可使用多孔性材料；若混合頻率中某頻率甚為突出時，則使用開孔板材料；而頻率特別低之聲音應使用板振動吸音材料。

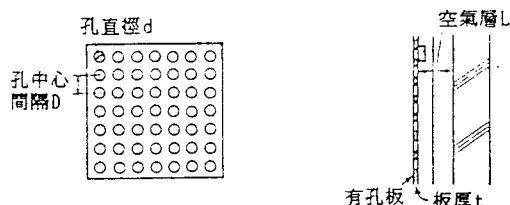
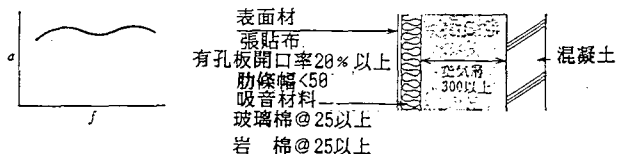
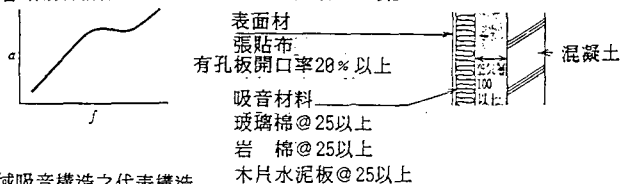


圖3.5 用有孔板之共鳴吸音構造

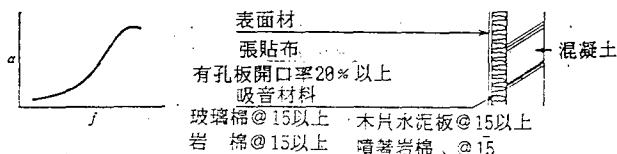
(a) 全音域吸音構造之代表構造



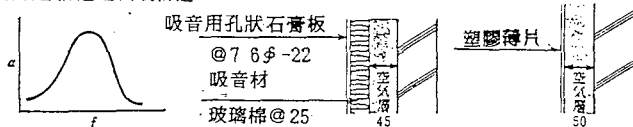
(b) 中高音域吸音構造之代表構造



(c) 高音域吸音構造之代表構造



(d) 中音域吸音構造之代表構造



(e) 低音域吸音構造之代表構造

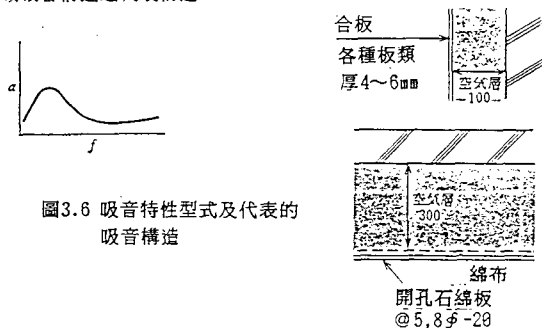


圖3.6 吸音特性型式及代表的吸音構造

3-1-3 吸音構造選定之要點

吸音材料不同於隔音構造，表面必須露出使用，因此需考慮其吸音特性、使用場所之各種條件、意匠及強度等問題。

(a) 瞭解必要之吸音特性 選定吸音材料時必需充分瞭解其吸音特性，為室內音響設計作業或噪音防止設計之基礎。

一般吸音材料依吸音特性分類，如圖 3.6 所示分為低音域吸收型、中音域吸收型、中高音域吸收型、高音域吸收型、全音域吸收型五種，室內餘響控制的目的時，全音域是必要考慮的；噪音防止的目的，雖然也用全音域吸收型，但希望採用具較高之吸音率者。為使低音域之吸音率較高，則吸音材之背後空氣層必須加厚，如圖 3.7(a) 所示，內裝厚平均 50cm，其室內平均吸音率可達 50%。

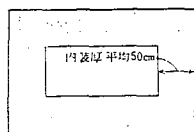
(b) 對於使用場所各條件之考慮 吸音構造在室內裝場合使用須滿足意匠上之設計，若使用於室外場合，必須具備對風雨之耐候性。對於各種使用場所吸音材料必要之性能，如表 3.3 所示。

表 3.3 吸音材料使用場所及其必要性能

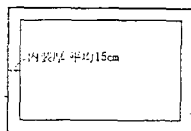
使用場所	必 要 性 能						
	意 匠	耐火性	強 度	不飛散	耐水性	耐候性	價 格
一般的牆壁	○	○	○	○			
一般天花板	○	○					
機械室		○		○			○
外部(牆壁)			○	○	○	○	
吸音風管		○		○		○	
工廠		○		○			○

表 3.4 C N S 之吸音材料規範 (*3-5)

吸音板	CNS 2777-A2038
開孔石膏板	CNS 4965-A2070
玻璃棉吸音材料	CNS 9057-A2140
岩棉吸音材料	CNS 9659-A2143



(a) 平均吸音率 $\alpha \approx 50\%$



(b) 平均吸音率 $\alpha \approx 30\%$

圖 3.7 平均吸音率及吸音構造的厚度

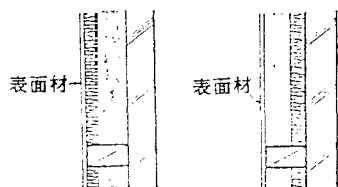
3-1-4 吸音構造之施工

(a) 使用指定之吸音材料 代表的吸音材料如表 3.4 所列 C N S 之規格吸音材料。

(b) 確保指定之空氣層厚度 使用多孔質材料 (如玻璃棉等) 或開孔板時, 背後的空氣層影響吸音特性, 其施工方法如圖 3.8。

(c) 表面處理 玻璃棉及岩棉等吸音材料其原樣在意匠上及保護上均不好, 必須加以處理, 但須不影響其吸音特性。表面處理之方法有張貼布法、張貼開孔板法, 以及金屬網、金屬板等工法。如圖 3.9 及圖 3.10。

(d) 防止表面污染 開孔板因孔部分與板部分之熱傳導度不同, 局部的空氣對流, 長時間下表面污染出現, 其防止方法可在面布背後貼聚乙烯薄片 (0.03mm), 但會降低高音域之吸音。



(a)良好實例

(b)不好實例

圖3.3 玻璃棉之施工方式

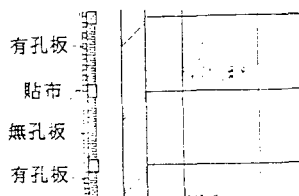


圖3.9 有孔無孔之張貼布法

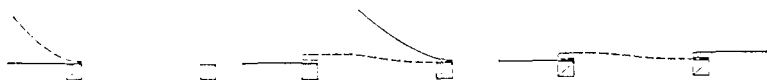


圖3.10 反捲張貼布法

3-2-5 吸音構造的實例

吸音構造大致分為噪音防止及室內音響調整二種使用目的，其使用場所各式各樣，如風管內之張貼、機房室之內裝、錄音室及集會廳等之內裝，所要求之吸音性能亦多樣。

(a) 機械室 主要目的為減低室內噪音，其耐火性、耐熱性相當重要，目前風管、水管等吊物及吸音構造接合為施工上麻煩之問題；於施工點大多用木片水泥板、木毛水泥板或噴上木纖維等吸音材料。如圖3.11所示。

(b) 走廊下 走廊下噪音的傳播路徑很多，一般於走廊下天花板採用吸音構造如圖3.12所示。

(c) 辦公室及一般房間 辦公室及一般房間天花板之吸音構造大多採用岩綿成形板及開孔板二種。至於牆壁構造之吸音性能使用對中、高音域適當反射之吸音構造，一般與板材組合構成。如圖3.13所示。

(d) 風管 使用低音域吸收率大之吸音構造，一般以玻璃綿或發泡橡膠內襯風管。如圖3.14所示。

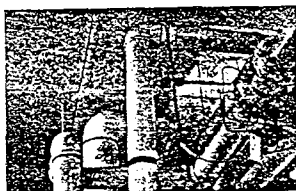


圖3.11 機械室的吸音處理

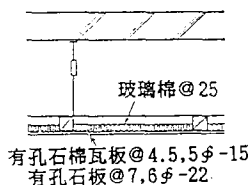


圖3.12 廊下天花板的吸音構造實例

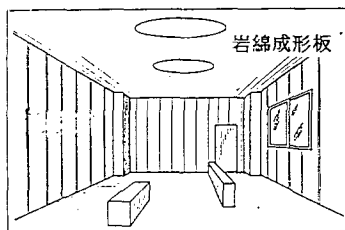


圖3.13 辦公室的吸音處理例子

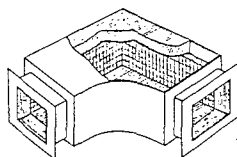


圖3.14 吸音風管之構造

3 - 2 隔音材料與隔音構造

3 - 2 - 1 隔音性能的代表方法

建築構造之隔音性能依聲音在建築物中的傳播依下列三項而定，如圖3.15所示：

1. 直接傳播 (direct transmission)：聲音由兩室間之隔牆直接傳入者。
2. 側路傳播 (flanking transmission)：聲音由隔牆以外之路徑傳入者。
3. 構造體之內損因素 (internal loss factor n)：聲音在構造體中之能量損失。

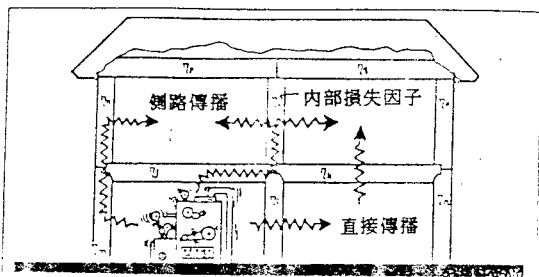


圖3.15 音能在建築物間之傳播

建築物之牆壁及樓板構件的隔音性能則以透過損失 (Transmission Loss) 來表示，單位為 dB。透過損失之定義如下：

$$TL = 10 \log_{10} \tau^{-1} = 10 \log_{10} (I / T) \dots \dots \dots \text{式 3.2}$$

I : 入射音能

T : 透過音能

τ 為透過率即透過音能與入射音能之比值，透過率每降低 10 倍，則透過損失提高 10 分貝。

3-2-2 單層牆

(A) 質量法則與頻率法則

若考慮一平面波入射於一均質的、有質量的、非彈性的牆壁上，在音波壓力的影響下，該牆壁會產生位移變形，像圖 3.16 所示，也因此在此在牆的另一邊產生音壓，應用牛頓的運動定律在本系統時，可得本牆壁的聲音衰減值 R，為該牆壁的單位質量 M，頻率 f 及音波入射角 θ 的函數（註一），即

$$R_a = L_1 - L_2 = 20 \log_{10} (\pi M f \cos \theta / \rho_0 c) \dots \dots \dots \text{式 3.3}$$

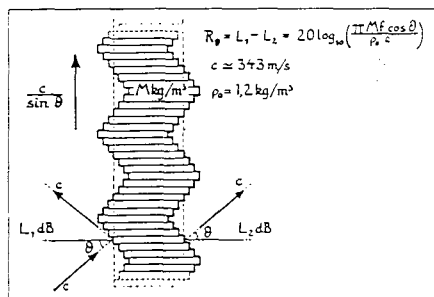


圖3.16 無彈性實牆之音波傳播

M : 牆的單位質量 $[\text{Kg/m}^2]$

f : 頻率

ρ_0 : 空氣的密度 [約 1.2 kg/m^3]

c : 空氣中的音速 [約 343 m/s]

上式中，可將常數項提出簡化為：

$$R_e = 20 \log_{10}(M f) + 20 \log_{10}(\pi \cos \theta / \rho_0 c)$$

$$R_{ek} = 20 \log_{10}(M f) + K \quad \dots \dots \dots \text{式 3.4}$$

此即為隔音的質量法則與頻率法則，意即構件的面質量每提高一倍，其隔音量增 6 分貝或頻率數提高一倍，其隔音量增 6 分貝。此質頻法則十分實用。聲音的傳播入射，實際上並不限在某個入射角，在擴散音場中，幾乎每個入射角都有其可能性，理論上是每提高一個八度音，隔音量增 6 分貝，而在實際經驗上都告訴我們其隔音量將增 5 ~ 10 分貝之間。

(B) 彈性的影響

上節的牆壁假設為無彈性，實際上的建築構件都有其彈性。一個具有質量及彈性的牆壁將因其共振 (resonance) 而影響其隔音量，特別是在低頻時，影響較大。某單層牆壁之共振頻率可依 (3.5式) (註二) 求得：

$$f_{res} = 0.45 h \sqrt{E/\rho [(n/x)^2 + (m/y)^2]} \dots\dots\dots \text{式 3.5}$$

f_{res} : n, m 層正方式之共振頻率 [Hz]

E : 構件的楊氏係數 [N/m^2]

ρ : 構件材料的密度 [Kg/m^3]

h : 構件的厚度 [m]

x, y : 構件的長、寬尺寸 [m]

當 $n=1, m=1$ ，時即為最低共振頻率，對於厚重的磚石，混凝土牆，該共振頻率很低，對隔音的實質影響很少，但對於木板牆，玻璃牆等轻质牆，該共振頻率可能落在十分重要的頻率帶裡，嚴重地破壞了質量法則所達到的隔音量。

(C) 重合效果 (coincidence effect)

牆壁受聲音入射而共振時，其音能之損失很小，它受牆內之阻尼 (damping) 作用及支撐條件所影響，倘若在該板的最低共振頻率時加倍其厚度，因此其單位面積之質量增加而受質量法則所左右，一直到所謂之臨界頻率 (critical frequency) 為止。在臨界頻率時，即空氣中之波長恰等於固體中的彎曲波波長。

聲音在空氣中係以縱波方式進行，各頻率之音速皆相同，可是聲音一旦進入固體構造物中，音波則可能以縱波、橫波以及彎曲波等方式進行。其中在建築音響學中最重要的為彎曲波，這種波產生材料粒子極大的位移，使得在材料的另一面立即在其周圍產生與入射波相同的音波。

不同頻率的彎曲波會有不同的速度；頻率越高，速度越快，此意即在超過某臨界頻率的每個頻率，當其所產生之彎曲波波長等於某角度入射波之波長時，這種現象稱為重合效果，其條件為：（圖3.17）

$$\sin \theta = \lambda / \lambda_b \dots\dots\dots \text{式 3.6}$$

λ ：空氣中的波長

λ_b ：牆壁中彎曲波之波長

單層牆產生重合效果之頻率稱為臨界頻率 f_c ，可以下式概算

$$f_c \approx c^2 / 2\pi h \sqrt{12\rho/E} \approx c^2 / 1.8 c_s \dots\dots\dots \text{式 3.7}$$

c ：空氣中音速

c_s ：材料中音速

h ：材料厚度

ρ ：材料密度

E ：材料的楊氏係數

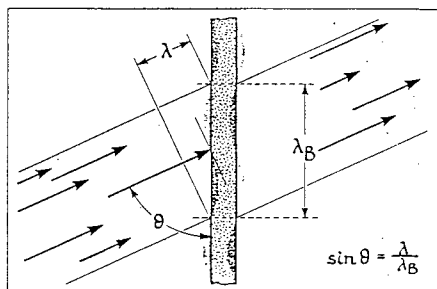


圖3.17 重合效果

對於單層隔牆材料的選擇，應使其重合頻率避開人耳易感受的頻率域即 100Hz到3150Hz。重合頻率乃材料厚度之函數，可從圖3.18查得其重合頻率，希望不要落在圖中的非陰影區內。換句話說，倘若該材料產生重合效果時，在該頻率域無法期待其隔音效果。

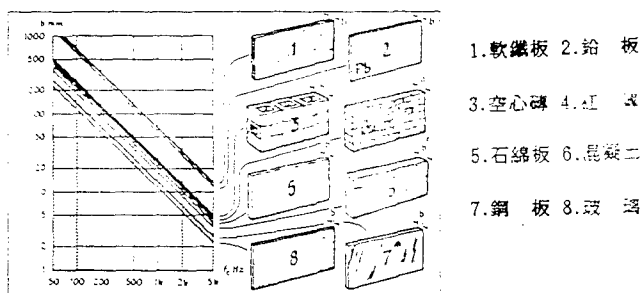


圖3.18 重合頻率

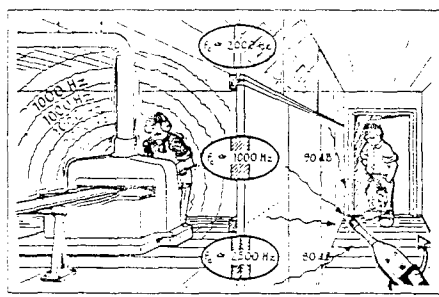


圖3.19 避開重合頻率之隔音效果

〔實例〕如圖3.19，某一工廠為加強隔音以25mm的纖維板隔出一走道，但發現隔音效果欠佳。詳細檢討得知其重合頻率剛好與室內機械噪音之主要頻率相同為1000Hz，改成二層9mm之石膏板牆後，其隔音效果增10分貝，因為雙層石膏板之重合頻率為2500Hz。

(D) 理想化的隔音指數曲線

考慮某隔牆的隔音度時，必須含蓋所有的頻率，單一數值的隔音性能通常不包括共振或重合時之效果，如圖3.20所示，控制單層牆隔音性能的四段區域，即

1. 彈性控制段
2. 共振控制段
3. 質量控制段（此段可應用質頻法則）
4. 重合控制段

若額外加上某些阻尼的材料，將會減低共振或重合效果，藉而可提高隔音度。

在擴散音場中，牆壁之隔音量綜合上述之質量法則、重合效果以及內部損失因子，可以下式表示之：

$$R = L_1 - L_2$$

$$= 20 \log_{10} (\pi M f / \rho c) + 10 \log_{10} (f / f_c) + 10 \log_{10} n$$

$$- 2 \text{ dB} \quad \dots \dots \dots \text{式 3.8}$$

即當 $f > f_c$ 時，單層牆之隔音效果更好，每加倍質量或頻率，則將提高 9 分貝之隔音量。

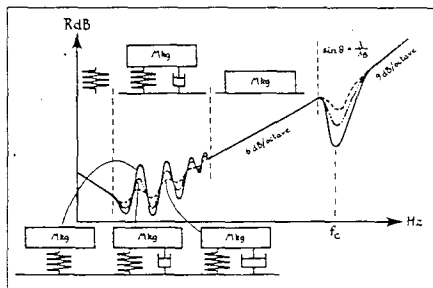


圖3.20 理想化的隔音指數曲線

3-2-3 雙層牆

基本上，雙層牆可視為兩單層牆被彈性材料或空氣層所隔開，因此其隔音效果視為（1）單層牆之個別效果

（2）雙層牆之組合效果

（3）彈性材料之吸音力

雙層牆系統之基頻(fundamental resonance frequency f_0)務須控制在75Hz以下，其計算如下式

$$f_0 = c / 2\pi \sqrt{\rho / d (1/M_1 + 1/M_2)}$$
$$\approx 60 \sqrt{1 / d (1/M_1 + 1/M_2)} \quad \dots\dots\dots \text{式 3.9}$$

式中， c ：音速(m/sec)

ρ ：中空層密度(Kg/m³)

d ：中空層厚度(m)

M_1, M_2 ：各為雙層牆之面重量(Kg/m²)

超越基頻後，雙層牆之理論隔音值，可達到每加倍八度音而提高18分貝之值，但在實際狀況下，100Hz~3150Hz間之平均隔音效果則為

$$R = 20 \log_{10}(M d) + 34 \text{dB} \quad \dots\dots\dots \text{式 3.10}$$

式中， M ：面重量(kg/m²)

d ：中空厚(m)

若中空層之厚度恰等於半波長或半波長的整數倍（即 $n\lambda/2$ ），則在中空層共振，會降低雙層牆之隔音效果，使其隔音值減為12dB/octave，但比單層牆之6dB/octave猶佳。若在中空層中填入一些吸音材料，則可改善其隔音值，如圖3.21之例

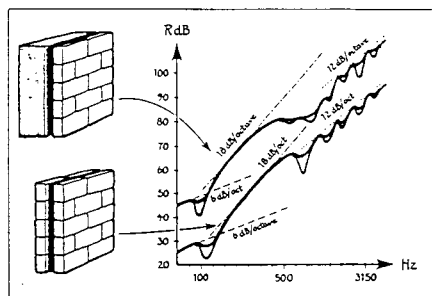


圖3.21 雙層牆之隔音效果

- (1) 兩等厚之雙層牆，中空（下實線）。
- (2) 兩等厚之雙層牆，中間填入吸音材（下虛線）。
- (3) 兩不等厚之雙層牆（上實線），注意其中有兩個不同之重合頻率。
- (4) 兩不等厚之雙層牆，中間填入吸音材（上虛線）

3-2-4 整體隔音值

假設投射到某一牆面之音強一致，則整牆之隔音值 R 可由各部位之聲音透過率 τ_i 計算而得，即

$$R = 10 \log_{10} (1/\bar{\tau}) = \sum s_i / \sum \tau_i s_i \dots \dots \dots \text{式 3.11}$$

s_i : 為各部位之面積

τ_i : 為各部位之聲音透過率 ($\tau_i = 10^{-0.1 R_i}$)

$\bar{\tau}$: 平均聲音透過率

R_i : 各部位之隔音值

R : 整體隔音值

〔實例〕如圖3.22，某一牆壁(4m×8.375m)之隔音值為50dB，但其上有門(3.0m²，隔音值25dB)、窗(2.0m²，隔音值14dB)、空調風口(0.5m²，隔音值7dB)。則整體牆壁之隔音值依3.11式計算僅能有22.5dB之效果。

一個隔音值達50分貝的牆壁，若開口面積為整個牆壁之1%，則其隔音值依3.11式計算結果，只達20分貝，由此可見隔音構造之氣密性十分重要。

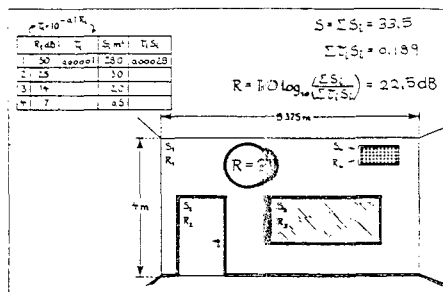


圖3.22 整體隔音值之計算實例

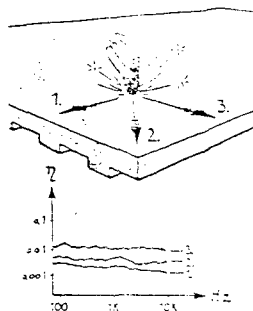


圖3.23 內損係數

3-2-5 側路傳播 (flanking transmission)

兩室間聲音的傳播，並不是全由其間之隔間牆穿透，也有相當部份藉由其他構造體的固體傳音而傳入，這種非直接傳播者，稱為側路傳播。一般而言，兩室間之隔牆之隔音值越高者，其側路傳播之比率可能越大。

為防止側路傳播，最好的方法為將兩室之構造斷開，或另築一浮式構造，將地板、牆、天花板全部以彈性體與原構造相接。

3-2-6 內損因素 (internal loss factor)

內部損失係數 n 是一能量比單位，實地應用在描述建築材料的

內部阻尼作用，即音能在材料內部振動而消失之能量。材料的內損因數越高，則其因振動而消失之能量越高，在建築的音響與振動環境上是個非常基礎的要素，其定義之表示式如下：

$$\eta = 1/Q = (f_2 - f_1) / f_n \dots\dots\dots \text{式 3.12}$$

$$\text{或 } \eta = 2.2 / f T \dots\dots\dots \text{式 3.13}$$

式中 $(f_2 - f_1) / f_n$ ：半功率頻寬除以自然頻率

Q ：共振尖峰銳度

T ：構造體在頻率 f 的餘響時間

倘若在日常的建築材料中增加其內損因素則

- (1) 空氣音的隔音值增加。
- (2) 聲音的距離衰減量增加。
- (3) 建築的餘響時間減少。

若欲增加混凝土的內損因素，則可在其表面附著些高阻尼材料，如橡膠、柏油等。內損係數增倍，則其隔音量可增 3 分貝。

量測構造的內損係數，不太容易，受振動傳達方向與構造形式變化而定。如圖 3.23 延著小梁方向，內損係數較小，但橫越小梁方向，則內損係數增大，原因為小梁增加了版振動的阻尼作用。

3-2-7 隔音計劃

為確保室內必要的安靜，隔音計劃在建築的設計過程中，十分重要。大體上歸納出下列幾點注意事項：

(A) 區位選定

在建築平面計劃階段，儘可能將所需空間，依音響需求畫分數個等級，將對安靜需求高的房間與噪音源遠離，利用區位之選定，自然隔絕了噪音。例如將音樂廳的空調機房與大廳遠離配置

，或將學校之教室與交通幹道遠離配置等手法，均屬此法，可以最經濟的手段達到隔音之目的。

(B) 設置隔音前室 (sound lock)

對於安靜度需求高的房間或是噪音音源室，設置隔音前室，也能很有效地阻絕噪音之傳播，如圖3.24，在隔音前室內全敷以吸音材料，設置隔音門能更有效的提高隔音度。

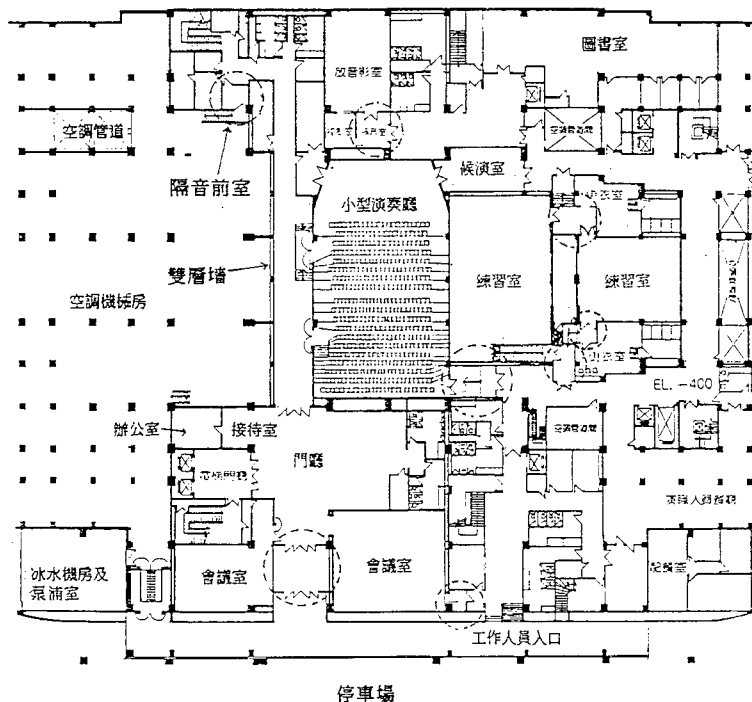


圖3.24 隔音前室例(國家音樂廳地下一層平面)

(C) 選擇適當隔音構造

構造體需求的隔音量依室外噪音級與容許室內噪音級相減而得，選擇適度的隔音構造，才是在隔音計劃上之最佳對策，然而對隔音構造之設計與施工上，仍有下列應注意事項：

(1) 使用重質材料：依質量法則，面重量大者，隔音值亦高。如（表3.5）

(2) 使用氣密式構造：慎重檢討構造之氣密性，利用填塞材料，減少隔音漏洞。

(3) 使用阻尼材料：利用橡膠、鉛板等附著在板構造上，增加薄板構造之阻尼作用，減少共振。

(4) 使用雙層構造，儘量減少音橋現象（圖3.25）。

(5) 使用浮式（floating）構造，包括浮式牆壁、浮式地板、及浮式天花（詳3.3節）。

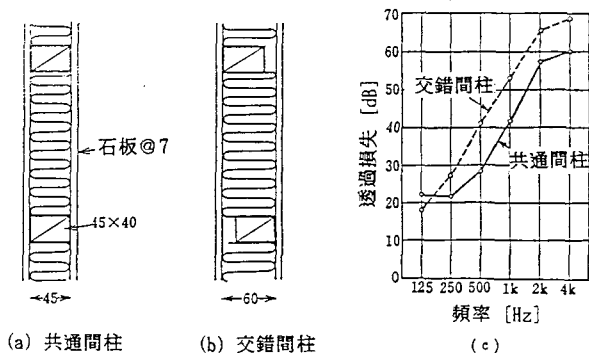


圖3.25 雙層壁及其特性

表 3.5 建築材料的面密度及透過損失

材料名稱	厚度 [mm]	面密度 [kg/m ²]	透過損失 [dB]		
			125 Hz	500 Hz	2 000 Hz
合 板	3.5	1.7	9	15	23
	6	3.0	11	16	25
	12	7.8	19	25	20
玻 璃	3	7.5	20	27	32
	6	15.0	21	31	26
	12	30.0	29	33	33
石 膏 板	6	5.4	18	22	31
	7	6.3	11	23	32
	9	8.1	20	25	34
硬質木片 水 泥 板	12	17	22	29	29
	18	23	23	31	31
	25	29	25	31	33
石棉水泥板	6	10.8	15	25	36
	12	21.6	22	34	38
A L C 板 (輕量水泥板)	80	52	29	30	45
	100	65	31	29	49
重質混凝土空心磚 (兩面灰漿粉刷10mm)	150	180.0	32	45	57

3-3 防振材料及防振構造

建築物內機械的運轉，或人們穿著靴子在樓板上走動將引起樓板之振動，而產生固體傳播音(solid born sound)。固體傳播音的隔斷必須以防振構造方式，即在振動機械下加彈性體吸振的方式。

3-3-1 防振效果之表示方法

防振效果之表示方法有二，其一為對腳步聲等聲音減輕效果，稱為樓板衝擊音級，使用輕量衝擊槌（如圖3.26）或重量衝擊槌（如圖3.27）敲擊地板，量測音源及受音室之音大小，決定地板對振動音之隔斷性能；另一方法稱為振動傳達率，以振幅或振動之大小程度表示。樓版衝擊音級主要用於表示建築物上下層間樓版之隔斷性能。而振動傳達率則用於機械的防振設計，如圖3.28所示外力之頻率(f)、振動之共振頻率(f_0)及振動傳達率間之關係。

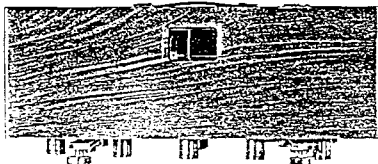


圖3.26 輕量衝擊槌

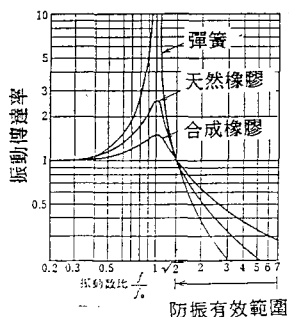


圖3.28 振動的傳達率



圖3.27 重量衝擊源

3-3-2 防振材料

防振材料大部分使用金屬彈簧及防振橡膠等材料，其用途廣泛如機械防振用、風管及水管之懸吊用、錄音室及體育館等地板用、天花板用等各式各樣，材料種類如圖3.29所示，建築物內之機械設備如冷凍機、送風機、馬達、水管等之防振如圖3.30所示。

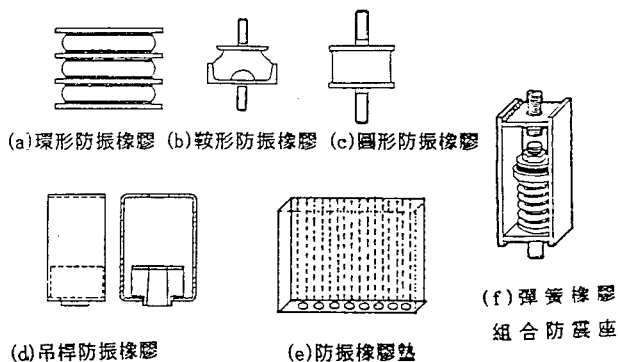


圖3.29 防振橡膠之種類

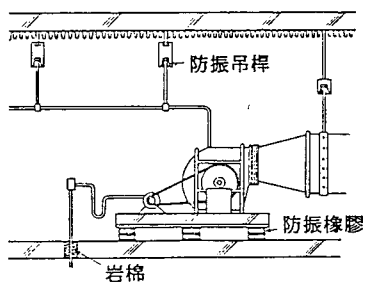


圖3.30 機械防振支持之詳圖

3-3-3 防振構造

一般要求高隔音性能之空間如錄音室，採用浮構造設計或完全浮構造如圖3.31。至於圖3.32則為一般建築物樓版及天花板構造之樓版衝擊音級，以浮式地板之樓板衝擊音為最低，可以充分防止上層樓之振動噪音。

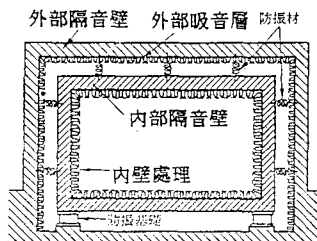


圖3.31 完全浮式構造

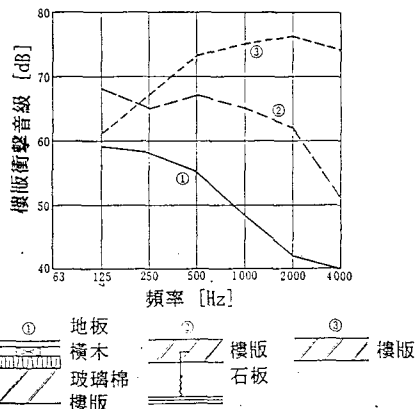


圖3.32 集合住宅之樓版、天花板構造及樓版衝擊音級

參考文獻

- 3-1：永田 穗：建築の音響設計，p.51，オーム社，(1974)。
- 3-2：同3-1，p.52。
- 3-3：同3-1，p.53。
- 3-4：同3-1，p.55。
- 3-5：中國國家標準 (CNS)

第四章 室內音響計畫及設計

4-1 音響設計之目標

音響計畫、設計之流程如圖 4.1，音響設計，在於尋求最適合房間使用目的之音響環境的設計作業，包括防止噪音設計、室內音響設計以及電氣音響設計。防止噪音設計為音響設計的前提條件，電氣音響設計則為補足原音之不足或增強音效之設計，室內音響設計才是音響設計之主體。對重視室內音響效果的房間，如音樂廳、歌劇院、多目的廳等，首要考慮是室形狀、室容積、最佳餘響時間等影響因素，其次為考慮天花板、牆板等擴散效果。同時，因室容積大，必須特別注意不產生回音、顫動回音或音壓分布不均之缺陷，如表 4.1 為室內音響設計的著眼點。

表 4.1 室內音響設計的著眼點

著眼點	室之大小	室之形狀	最餘響時間之抑制確性保	音一直初場接期間之音反音感壓之射衰散分強音減布度的指強標度檢討	回龍聲之防防止	電氣音響設備
室種類	樓天室版花容面板積高	尺寸形狀				
音樂廳	○	○	○○	○○○○○	○	
歌劇院	○	○	○○	○○○○○	○	△
劇場	○	○	○○	○○○○○	○	○
講堂	○	○	○○	○○○	○	○
多目的廳	○	○	○○	○○○○○	○	○
小播音室	△	○○	○○ ○	○	△	○
試聽室	△	○△	○○ ○	○		
學校教室		○	△	○○○		○
會議室		○	△			△
事務所			△			○
俱樂部			△			○
體育館		△	○	△ ○	○○	○

著眼點必要之程度 ○：非常 ○：普通 △：稍稍

4-2 餘響計畫

4-2-1 最佳餘響時間

當室內音源之聲音停止後，仍然可聽到相當的餘音，直到聽不到為止。此種現象，我們稱之為“餘響（reverberation）”，而它所繼續的時間稱為“餘響時間（reverberation time）”，可是各室背景噪音之條件不同，發出聲音之音量也不同，為了能夠客觀的比較各室的餘響時間，國際間規定為“音源停止後，室內音能衰減 100 萬倍（或音能級衰減 60 分貝）所持續的時間，稱為“餘響時間”。

實際上可聽到的餘響時間（或感覺餘響時間），受背景噪音及發出聲音之音量所影響，譬如，圖 4.2(A) 發出聲音達 100 分貝，室內背景噪音為 20 分貝，其室內聲音之動態範圍高達 80 分貝，感覺餘響時間要比餘響時間為長，又如圖 4.2(B)，其室內音能之衰變特性與 (A) 完全相同，根據國際規定，其餘響時間值亦與 (A) 完全相同，但實際上之感覺餘響時間卻僅為 (A) 之半，且比國際規定之定義值來得短。

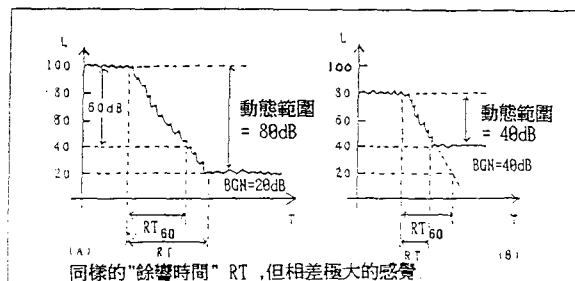


圖 4.2 餘響時間之定義

上述之餘響特性比較，必須假設兩室之擴散性十分良好的狀況下，方能正確的比較。倘若因室內吸音材與反射材之分布極為不平均時（例如，室內有一面為吸音牆，而其他五面均為反射牆時），其室內音能衰變特性成為非線性，則估計室內餘響時間極為困難，如圖 4.3 所示。

餘響時間，是音樂廳音響性能上極為重要的一項評估指標，在本世紀初，音響學家沙賓（Sabine）已證實：室內餘響時間與室容積成正比，與該室之吸音力成反比，換句話說，建築師在決定該廳的大小及內裝材料時，就已經決定了該廳的餘響時間了。

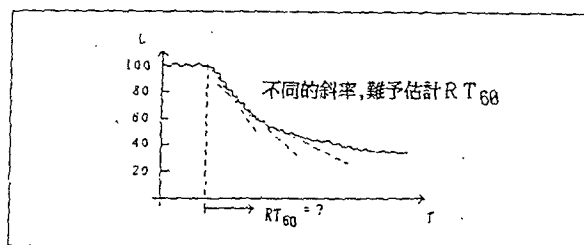


圖 4.3 非線性的音能衰變

對小型廣播室和試聽室等室容積較小的房間，設計時，首重房間的尺寸比，不致引起自然共振頻率過份集中，而致房間之頻率傳播特性欠佳的狀況。

室形和內裝材配置。

一般室內良好音響環境的設計目標有：

1. 保有適合使用目的的音壓級及音質。
2. 適當的音量及清晰可聞的語音。
3. 避免回音和顫動回音（龍鳴）等音響缺陷。
4. 無噪音干擾。
5. 全室的音場分布均勻。

平均吸音率是表示房間響度的感覺之籠統尺度，故以平均吸音率建立設計目標的方法頗佳，一般房間的響度不令人感到不舒服，其平均吸音率約在0.25~0.35之範圍內，表4.2為室的使用目的與平均吸音率。

表 4.2 室的使用目的及平均吸音率(*4-2)

	室的使用目的	平均吸音率
音樂廳	音樂廳	0.20~0.23
	歌劇院	0.25
	劇場	0.30
	講堂	0.30
	多目的廳	0.25~0.28
廣播室	廣播用播音室	0.25
	廣播用一般室	0.25~0.35
	廣播用報導	0.35
	電視用播音室	0.40
	錄音室	0.35
其他	音樂鑑賞試驗室	0.25
	居室兼試驗室	0.30
	學校教室	0.25~0.30
	會議室	0.25~0.30
	事務所	0.30
他	文會場、集會場	0.35
	體育館	0.30

各種不同用途之室內，根據其室內音響效果，清晰度等可制定出其最佳餘響時間，如圖4.4為中頻500Hz的最佳餘響時間，一般而言，音樂廳之餘響時間要比劇場長，劇場又要比會議、演講堂長，演講堂又要比廣播室長等。就音樂廳而言，一般在中音域滿席時約1.7~2.0秒，其頻率特性為低音域之餘響時間較中音域稍長，通常希望125Hz對500Hz的餘響時間比值，能維持在1.2~1.5。(如圖4.5)

對多用途室考慮使用擴音裝置時，室內餘響時間可採用較上述推薦值低10~20%。圖4.6為國內音樂廳及世界上有名音樂廳之餘響時間。

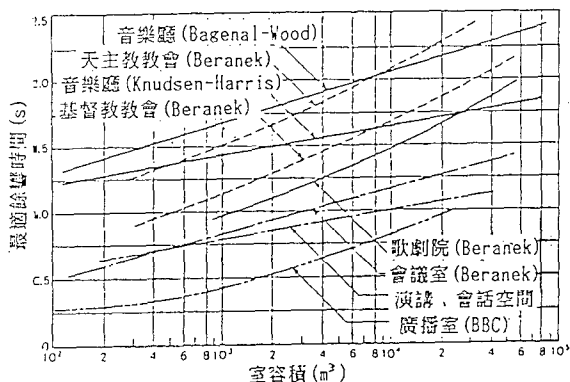


圖 4.4 500Hz的最適餘響時間及室容積

(±4-3)

4-2-2 室容積之決定

根據Sabine的公式，餘響時間是和室容積成正比，而和吸音力成反比。因聽眾具有很大大吸音力，故每人所佔有的室容積必須適當，以確保適當的餘響時間，表4.3是推薦值。音樂廳所需的最佳餘響時間較長，故須要求最大容積；電影院因以電氣音響設備為主，其餘響時間可較短，故室容積亦可較小，以求經濟。

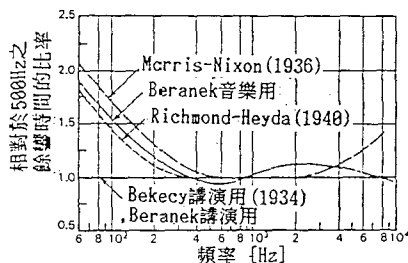


圖 4.5 音樂廳的最適餘響時間頻率特性

(±4-4)

表 4.3 聽眾1人相當室容積之最適值

音樂演奏廳	6~10M ³
劇場、集會堂	5~6M ³
電影院	4M ³ 以下

4 - 2 - 3 吸音計畫

考慮室內的吸音計畫，可依下述重點進行：

(1) 必要吸音力之決定

基本上可由餘響時間 T 和室容積 V ，依餘響公式求出必要的吸音力，扣除聽眾的吸音力，其他須仰賴牆壁和天花板等裝修來調整室內的吸音力。

(2) 聽眾多寡之影響

因聽眾的吸音力，佔全部吸音力的大部份，在滿席時與空席時其吸音力的差異不小，故分開計算。

(3) 吸音力的配置

其實際的問題及設計應注意重點如下：

- (a) 為防止回音，龍鳴等，決定必須吸音處理部位的吸音率。
- (b) 在音源（舞台）側配置反射性構造，其受音側（觀眾席）的背後，配置吸音性構造。
- (c) 使用麥克風擴音裝置時，周圍須能吸音。
- (d) 吸音材料的配置方式，與其是集中大面積配置，不如切成約波長大小的尺寸，做不規則配置，期使室內音場擴散。

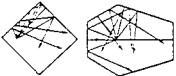
4 - 3 室形之設計

4 - 3 - 1 平面形之設計

從音響上設計室形，首要在餘響理論的假設條件下，及室內音場能完全擴散的條件，才去考慮室形的優劣。其次有關室形之大小，若室形小時，以波動音響學的觀點考慮；若室形大者，則以幾何音響學考慮。

表 4.4 是幾種常見的基本平面形，及其音響計畫上的特點：

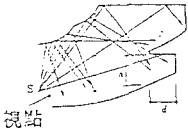
表 4.4 平面形設計

平面形狀	音響特點
 反射音少	○重視視距離的平面形，可獲得從側壁的初期反射音，利用天花板的斷面形狀，補強觀眾席的中央部分。 ○牆壁相對的距離近，且面積大，可採用吸音材分散配置和擴散處理併用，以調整餘響時間，後牆反射音可適度利用。
 反射音少	○室寬與進深尺寸相同的多角形，及近似圓形的平面形，聲音沿壁面回繞，容易產生音響障害，可在側牆、後牆設置擴散體或橫座等，以使聲音充分擴散。 ○觀眾席前方中央部初期反射音不足，可檢討舞台開口部周圍的天花反射板和牆壁的形狀，使反射音能返回觀眾席。
	○窄而深的平面形，有視距離過長的缺點，音響上容易從側方的初期反射音，獲得良好音場。 ○因後壁時間的延緩，容易產生反射音過強等音響障礙，可以平行的側牆做擴散處理，並應防止龍鳴產生。
	○音源靠近中央時，各側壁距離遠可利用天花板中央部的剖面，使初期反射音確實回到音源側的觀眾席。 ○因用途不同及音源位置，受音點位置大幅變化時，室內全體須做擴散性的處理。

4-3-2 剖面形之設計

表 4.5 是三種常見的基本剖面及其音響計畫上的特點：

表 4.5 剖面形設計

剖面形狀	音響特點
	一般禮堂的音源固定在觀眾席的一端之形式 ◎為確保視線無礙,並能聽取確實的直接音,採階梯式樓版,後列的視線須較前列座者的頭部高,以看見舞台。 ◎依據直接音和50ms內到達之第一次反射音一樣的音等級來決定天花板的剖面形狀。 ◎樓廳的出挑儘量最少從那些可看到一半的天花板。 ◎考慮反射面的方向性以使初期反射音能到達音樂廳中部和樓廳底下。
	觀眾席周圍固定音源的形式 ◎音樂廳等以多數人為對象,較不需要方向性之用途。 ◎在音源位置的上部設反射面和擴散面使初期反射音往返於音源側和觀眾席間,為使直接音與反射音的時間差不致過長,設有浮雲構造。 ◎大型空間時,可利用牆壁做側向反射。
	音源位置不定的多目的音樂廳 ◎對地板平坦供多用途的室形,因音源位置和受音點的位置常變動,室內全無反射音和方向性較佳。 ◎因樓版平坦易生顫動回音,天花板須做成大範圍的擴散性剖面。 ◎側牆部分和天花板構成一體化時,亦必須具適度的擴散性。

4-4 室內音響評估

4-4-1 良好音響效果之條件

良好音響效果之條件，如下表 4.6

親密感、臨場感	初期反射音的遲緩時間在20ms內，且餘響音不弱於直接音。
餘響感	滿席時，中高音域的餘響須長。
溫暖感	低音域的餘響時間為中音域的1.2倍。
直接音之大小	舞台與觀眾的距離不可過大。
餘響音之大小	餘響時間與室容積的比例要適切。
分離性、明瞭度	直接音與稍延遲的初期反射音，均具有充分音壓級。
擴散性	室內表面積須非常不規則性。
均衡、融洽、調和	舞台音響反射板的寬度、進深、高度、內側表面形狀適切，在舞台上要有反射音。
均一性	不可有出挑過深的樓座，室寬度要寬，聲音無走調，音響上無障礙。

4-4-2 音響障害之檢討

1. 回音(Echo)

回音通常是由相對於直接音的延緩時間50ms以上，或是音的距離在17M以上的反射音所產生。因此，對音源與壁面距離在8.5M以上的房間，可採用圖4.7的作圖法，檢討回音發生的位置。

一般回音其時間差 ΔT ，反射音音壓級R很大，當反射音前後的擴散音不多時，較容易產生回音，如圖4.8是受時間差和擴散音的影響。雖然反射音的音壓級及擴散音的擴散程度兩者大略相等，但因右側的時間差較大，故有回音產生。在擴散音的擴散上之影響，雖然反射音的音壓級和時間差兩者大致相等，但右側的初期音與反射音間的擴散音不多，因而有回音。

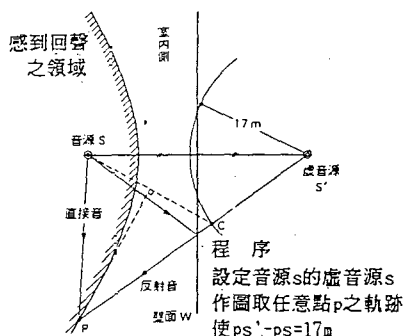
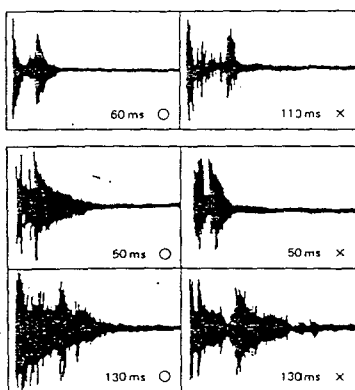


圖 4.7 回音發生位置之作圖法
($\pm 4-6$)



○: 無回音
×: 有回音

圖 4.8 回音時間差之實例

2. 顫動回音 (Flutter echo)

顫動回音又稱龍鳴，和室形狀及吸音材料的配置有密切的關係，在特殊的牆壁間產生規則性的多射。採用如圖 4.9 的室形和內裝材配置，就不容易產生龍鳴。

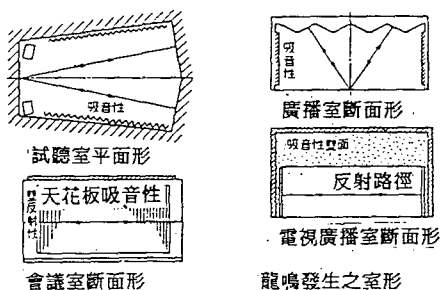


圖 4.9 防止顫動回音之室形設計

3. 隆隆聲 (Booming)

室容積小的空間，可聽到低頻音不自然的特別音色之現象，過份強調低音而使講話的明瞭度降低。此種狀況常因小室的固有振動頻率孤立突出使然，因此以調整室之長寬比或裝設低音域的吸音材料。

4. 音焦點

在圓穹狀凹曲面的房間，常會產生音焦點的音響障害，圖4.10中室內音壓分布均等，可避免音焦點，除此之外，最好避免使用大型凹曲面和折面。

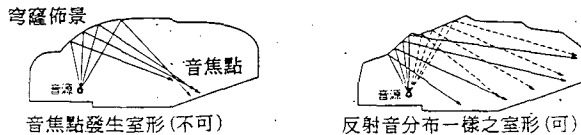


圖 4.10 音焦點之處理

4-4-3 室內背景噪音

對侵入室內具有穩定持久的噪音，稱之為室內背景噪音，例如經由外殼侵入的環境噪音及室內空調、照明設備所產生噪音等。

評估室內背景噪音，最常用的評估方式是利用NC曲線來評估，音樂廳室內背景噪音之設計基準，根據 Beranek之推薦，必須達NC-15~20之水準；劇場或多目的禮堂必須要求到NC-20~25的水準。

4-5 內裝設計

4-5-1 內裝設計之程序

室形檢討的最後階段，算出室容積 V 和室表面積 S 後，從設計當初所設定的餘響時間目標值，求取所需的吸音力、裝修材料和吸音構造的選定配置，整個內裝設計步驟，如圖 4.11 所示。

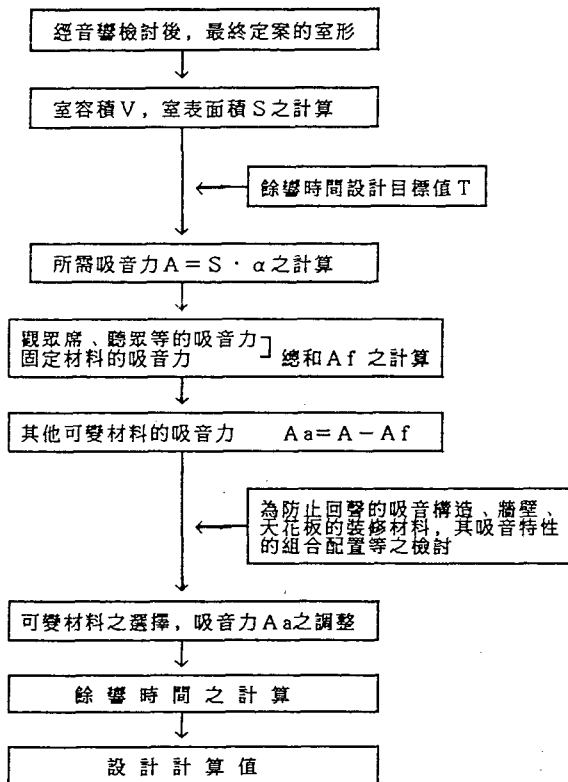


圖 4.11 內裝設計的步驟

4-5-2 內裝材料之配置

進行內裝設計時，所使用的材料須考慮吸音特性、施工方法等，組合各種材料，調整出所必需的吸音力。材料數量不多時，因各材料的特性，強烈表現，故很難獲取各頻率領域所必要的吸音力。

有關材料配置的方式，可參考圖4.12的配置實例。一般音樂廳常採反射性的側牆及天花板(Live end)，而後牆採吸音性(Dead end)的方式。這時反射性的側壁面和吸音性的後壁面，須做成擴散的形狀。對室容積不大的房間，可採大小約 $0.6 \sim 1.8\text{m}^2$ 交互吸音及反射處理的分散配置方式。

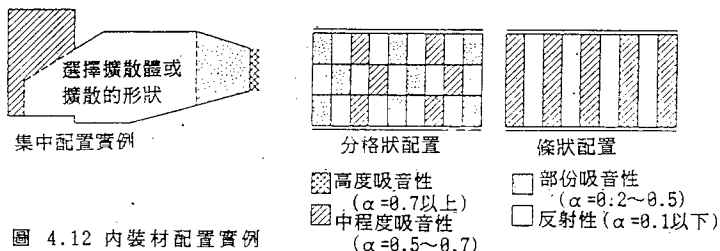


圖 4.12 內裝材配置實例

4-5-3 階梯式樓版之決定

對視覺與聽覺良好的席位，必須超越前排觀眾的頭部，其視角約 7° ，超越前兩排觀眾的頭部之視角在 3.5° 以上較佳。從音響的觀點，視野角的最低限以超越前列 9° 左右為目標，在法規許可的範圍內，增加角度較佳。其設計的步驟：圖 4.13

1. 設定舞台上前面部分視焦點的位置。
2. 在階梯式樓版的起點，設定眼睛的高度 H ，頭部的高度 $H + D$ 。

3.從視焦點通過 $H + D$ 連成直線，配合觀眾席間隔距離 W ，決定下一個人眼睛的位置。

4.在眼睛下方低 H 處，作圖決定出樓版面。

5.依上述步驟決定出整個階梯式樓版。

設有樓座時，樓座下最後一排看到舞台時，不受樓座前緣的阻擋，特別是左右後方之座席，不可受樓座前緣之阻擋。

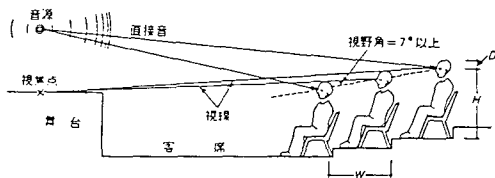


圖 4.13 階梯樓板之設計 (參4-7)

參 考 文 獻

4-1 :日本建築學會:建築設計資料集成 1 環境, p.35, 丸善株式會社, (1978).

4-2 :同4-1, p.35.

4-3 :① H.Bagenal and A.Wood: Planning for good acoustics, E.P.Dutton and Co., Inc., New York, (1931).

② L.L.Beraneek: Development in studio design, Proc.IRE, 38, 470, (1950).

③ V.O.Knudsen and C.M.Harris: Acoustical designing in architecture, John Wiley & Sons., New York, (1949).

4-4 :同4-1, p.36.

4-5 :賴榮平: 音樂廳音響性能之評估研究--台灣地區音樂廳之音響性能現況檢討, 文山書局 (1987).

4-6 :同4-1, p.38.

4-7 :同4-1, p.39.

第五章 建築音響性能評估指標及測定方法

5-1 音響性能評估指標

5-1-1 主觀性能評估

音樂廳或錄音室之室內音響效果評估，除了物理量外還須有心理上的主觀評估，為使主觀評估量化統計，一般按語意差（SD）法，經過問卷調查統計，可獲得心理評估指標。

主觀評估的方法，依對象與音場別有下列三類：（a）在音樂廳內直接聽取音響效果，填寫聽後感，同時實施室內音響特性及建築條件之調查，求取其間之對應值。（b）利用假人頭在現場錄音後，於實驗室重播評估，間接的做心理、物理、建築條件之相關檢討。（c）利用多頻道重播裝置模擬室內音場，實驗反射音之時間與空間構造之變化，求取其對應值。

Beranek^[10]調查世界著名之音樂廳與歌劇院，依其主觀的音響效果與相對應的物理條件提出一套主觀評估的方法，並與客觀資料獲得一主觀效果的定量化尺度，如表 5.1 所示，包括親密感或臨場感、生動感、渾厚感、分離・明瞭度、擴散性、平衡與融合、默契性等 17 項目之音響效果，後來 Hawkes^[11]再利用因子分析因子化將 Beranek 的評估指標簡化為平衡與融合、餘響感、親密感、亮麗感、遠近感、明瞭度等。Edwards^[12]也同樣以歐洲 8 個音樂廳提出 7 個因子的主觀尺度。成功大學建築研究所^[13]也曾就國內六大多目的音樂廳做過聽眾之主觀問卷調查，包括親密性、迴響性、渾厚性、融合與平衡性、擴散性、清晰性、整體性等 7 個因子。台北的中正文化中心完成時，亦提出親密性、生動性、醇厚性、直接音之響度、餘音之響度、擴散性、平衡與融合性、演出者之默契性、噪音程度、回音、音調失真等 11 因子。

表 5.1 Beranek所提音樂廳的各種音響評估指標
(表中箭頭表示紐約Avery Fisher Hall之設計值)

屬 性	音響條件, 其他	評 估 尺 度																					
親密感或臨場感 intimacy or presence	初期反射音之時間 時間滯	評分 t_1: 遲滯時間 [ms]																					
生 動 性 liveness	滿席時中音域之 餘響時間	評分 浪漫派音樂 —1.41.51.61.71.81.92.02.12.22.32.42.52.62.7 典型管弦樂 —1.11.21.31.41.51.61.71.81.92.02.12.22.32.4 古典音樂 —0.91.01.12.13.14.151.61.71.81.92.02.12.2 巴洛克音樂 —0.70.80.91.01.11.21.31.41.51.61.71.81.92.0 T: 滿席時500~1000Hz之餘響時間 [S]																					
渾 厚 性 warmth	125Hz及250Hz之餘 響時間平均值與中 音域餘響時間之比	評分 $(T_{125}+T_{250})/2T_{500-1000}$: 低音域與中音域之餘響時間之比																					
直接音之響度	樓座處參考 下表A	評分 首席與聽眾之距離 [m]																					
餘響音之響度	T: 500~1KHz [S] V: 室容積 [f³]	評分 $L = (T/V) \times 1000000$																					
擴 散	壁面及天花板面 之規則性	評分 無 若干 適當																					
平衡與融和 balance and blend	樂團之樂器間之 平衡	評分 劣 不惡 良好																					
默契性 ensemble	演奏間各樂器音 之聽取良好	評分 困難 容易																					
其 他	回音、噪音	<table><tr><th colspan="2">回音、噪音失真修正: 表A 樓座對直接音響度之修正</th><th></th></tr><tr><th>缺陷量</th><th>修正值</th><th>對應於效果良好的35MS以內反射音</th></tr><tr><td>無</td><td>0</td><td>由兩個樓座面反射</td></tr><tr><td>若干</td><td>-5</td><td>由兩個側牆反射</td></tr><tr><td>相當</td><td>-10</td><td>由天花板較強的反射</td></tr><tr><td>相當顯著</td><td>-15~-50</td><td>最大評分</td></tr><tr><td></td><td></td><td>增加直接音響度之最大評分</td></tr></table>	回音、噪音失真修正: 表A 樓座對直接音響度之修正			缺陷量	修正值	對應於效果良好的35MS以內反射音	無	0	由兩個樓座面反射	若干	-5	由兩個側牆反射	相當	-10	由天花板較強的反射	相當顯著	-15~-50	最大評分			增加直接音響度之最大評分
回音、噪音失真修正: 表A 樓座對直接音響度之修正																							
缺陷量	修正值	對應於效果良好的35MS以內反射音																					
無	0	由兩個樓座面反射																					
若干	-5	由兩個側牆反射																					
相當	-10	由天花板較強的反射																					
相當顯著	-15~-50	最大評分																					
		增加直接音響度之最大評分																					

主觀調查，無論是調查方法或問卷語彙內容均有其不確定性，尤其是對同一語彙之瞭解，各人之感受，均是相當主觀，因此，事前對語彙所代表的意義的溝通十分重要。

5-1-2 客觀性能評估

客觀音響性能，意指可用儀器測定出該廳音響性能的一些物理量，這些物理量代表著某種程度的音響效果，優劣喜惡的效果，仍然依據音樂家、樂評家等長期使用後而獲得共同的相對應的物理值，誠如表 5.1 主觀性能中，Beranek 所推定的客觀性能評估尺度。

音樂廳性能評估中常用的客觀性能指標說明如下：

(1) 餘響時間：餘響時間為房間室內音響特性之代表（4.2 節），為空間平均巨觀之一種指標，但同一餘響時間的室內，不同的位置上，其音響的效果仍然有些不同，因此有種種對於初期音衰減狀態表現不同的指標被提出來。

(2) 直接音成分對全能量之比值：室內某點接受直接音後 50ms 以內的音能，對直接音有加強效果，因此定義為明瞭度 (Deutlichkeit) 。

$$D = \frac{\int_0^{50\text{ms}} p_i^2 dt}{\int_0^\infty p_i^2 dt} \quad \dots\dots\dots \text{式 5.1}$$

類似此指標尚有直接音成分對擴散音能量之級差比值，即 R 值與 C 值 (Clarity·清晰度)

$$R = 10 \log \left[\frac{\int_0^{50\text{ms}} p_i^2 dt}{\int_{50\text{ms}}^\infty p_i^2 dt} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式 5.2}$$

$$C = 10 \log \left[\frac{\int_0^{50\text{ms}} p_i^2 dt}{\int_{50\text{ms}}^\infty p_i^2 dt} \right] \quad \dots\dots\dots \text{式 5.3}$$

音樂廳 C 值的容許界限，根據 Jordan 對 11 所音樂廳比較檢討⁵⁻⁸，推薦在 $\pm 2\text{dB}$ 以內。

(3) 時間重心⁵⁻⁹：時間重心與 D 值類似，為室內初期反射音之衰減指標，若為短音音源時，餘響持續時間為 t ，瞬時音壓為 p ，則：

$$t_s = \frac{\int_0^\infty t \cdot p_i^2 dt}{\int_0^\infty p_i^2 dt} \quad \dots\dots\dots \text{式 5.4}$$

(4) 初期餘響時間 (EDT)：音源停止後，室內音能密度由穩定狀態衰減 10dB 之初期衰減時間換算成之餘響時間，此指標與餘響感有十分密切之關係⁵⁻¹⁰。

(5) 指向擴散度⁵⁻¹¹：指向擴散度為表示室內音能指向性分佈特徵之一指標，將指向性分佈數值化，完全擴散音場為 1，自由音場為 0，一般狀況則以 0~1 之範圍表示室內音場之指向性，其定義如下：

$$d = 1 - \frac{m}{m_0}, \quad m = \frac{\Delta M}{M}, \quad M = \frac{\sum E_i}{n}, \quad \Delta M = \frac{\sum |M - E_i|}{n} \quad \dots\dots\dots \text{式 5.5}$$

式中 E_i 為狹指向性麥克風所測定 i 方向之能量， M 為等立體角各測定方向數 n 之平均能量， ΔM 為對 M 偏差之平均值， m_0 為自由空間之 m 值，一般多目的音樂廳，指向性擴散度 d 約 0.4~0.6，倘若室容積增加則 d 增大，吸音力增加則 d 減少。

(6) 音之刺蝟圖⁵⁻¹²：以圖示方式直接表示音之指向性分布如圖 5.1，線條之長度代表能量之大小。

(7) 兩點間之音壓相關值⁵⁻¹³：三次元的完全擴散音場（如餘響室），兩點間之音壓相互相關係數 c ，與兩點間之距離 r ，波長常數 $k_r = 2\pi/\lambda$ 之關係如下式：

$$c = \frac{\sin k_r}{k_r} \quad \text{式 5.6}$$

圖 5.2 為圖 5.1 講堂內 C、D、E 之測定結果

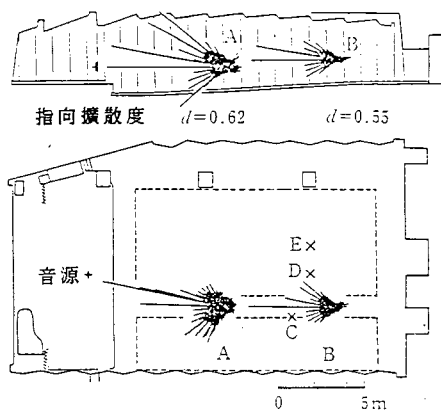


圖 5.1 音之刺蝟圖 (音源頻率: 2KHz)

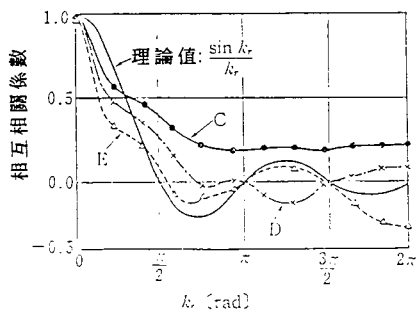


圖 5.2 2 點間之音壓相關理論值與測定值
測定位置，頻率參照圖 5.1

(8) 穩定狀態傳播特性：室內某一點對穩定音源各頻率之傳播特性，若為純音音源，因房間之形狀尺寸，會有各種不同的簡正方式，如圖 2.39，因房間之固有振動頻率呈現聲音傳播之山谷現象。若為帶域噪音之音源，則受音點仍以帶域受音，量測各音程之音壓級值，可得室內各點間的頻率傳播特性。此指標對於電氣音響中之擴音設備之評估更顯重要，如圖 5.3^[8-14]。

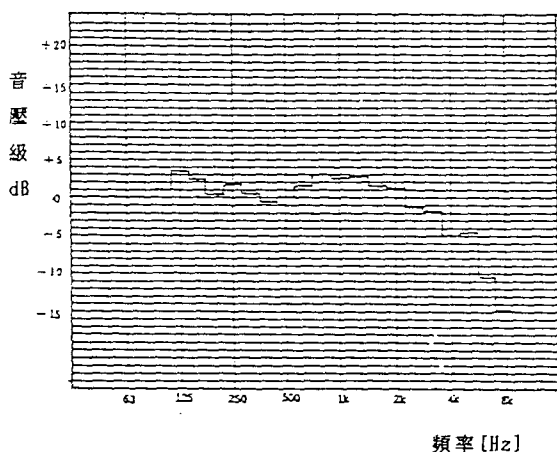


圖 5.3 台南文化中心演藝廳擴音系統傳播特性

(9) 側向反射音 (LE)^[8-10]：音場寬廣感覺的空間印象指標其定義為

$$LE = \frac{\int_{0.001s}^{0.01s} P_{Li}^2 dt}{\int_{0.001s}^{0.01s} P_{0i}^2 dt} \quad \text{..... 式 5.7}$$

P_{Li} ：側方反射音之音壓

P_{0i} ：全方向到達之音壓

可用雙指向性麥克風來量測側向反射音能，若 θ 為兩耳連線與聲音入射方向之夾角，則 LE 可改寫為：

$$LE = \frac{\int_{2.5ms}^{80ms} \cos^2 \theta \cdot P_{01}^2 dt}{\int_0^{80ms} P_{01}^2 dt} \quad \text{式 5.8}$$

圖 5.4 為日本 松市勤學會館多目的廳之實驗結果⁵⁻¹⁶，若將側牆內傾，則大為提高 LE 值。音樂廳的 LE 值，一般希望達到 0.2 ~ 0.3 以上。

與 LE 相同的雙耳評估指標尚有室響應 Room Response RR ⁵⁻¹⁷ 及內耳聽覺相干性 Inter Aural Coherence Coefficient $IACC$ ⁵⁻¹⁸，其定義分別如下：

$$RR = 10 \log \left[\frac{\int_{2.5ms}^{80ms} P_{L1}^2 dt + \int_{80ms}^{160ms} P_{01}^2 dt}{\int_0^{80ms} P_{01}^2 dt} \right] \quad \text{式 5.9}$$

$$IACC = \frac{\int_0^{100ms} h_r(t) \cdot h_e(t+\tau) \cdot dt}{[\int_0^{100ms} h_r(t) dt \cdot \int_0^{100ms} h_e(t) dt]^{1/2}} \quad \text{式 5.10}$$

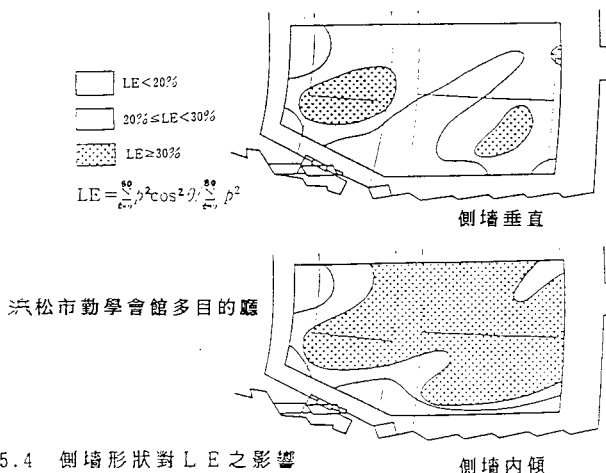


圖 5.4 側牆形狀對 LE 之影響

5-2 音響測定之基礎事項

5-2-1 音壓級、噪音級之測定

音壓級、噪音級之測定乃利用裝有無指向性之麥克風之噪音計，噪音計有普通級 (CNS：總號 2127 類號 C7141, JIS：c1502) 及精密級 (CNS：總號 7129 類號 C7143, JIS c1505)，須透過計量法之基礎檢定。噪音計以 A 特性測定之噪音級，其單位為 dB (A)，以 C 特性或平坦特性 (精密級) 測定之音壓級，其單位為 dB。圖 5.5 為普通級噪音計頻率補正回路之特性，而表 5.2 為噪音計使用上之要點。

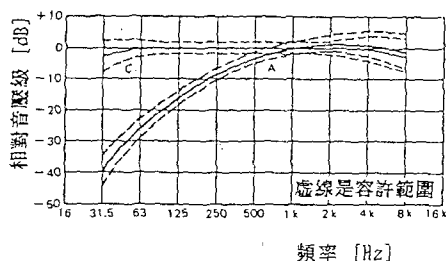


圖 5.5 普通級噪音計之頻率補正回路特性
(#5-19)

表 5.2 噪音計使用之要點

項 目	內 容				
感度校正	內藏CAL信號做電氣上之校正 音壓校正				
頻率校正 回路之選擇	<table border="0"> <tr> <td>A 特性</td><td rowspan="3">} 切換</td></tr> <tr> <td>C 特性</td></tr> <tr> <td>平坦特性(精密級)</td></tr> </table>	A 特性	} 切換	C 特性	平坦特性(精密級)
A 特性	} 切換				
C 特性					
平坦特性(精密級)					
測定範圍	對應於測定音大小做切換				
儀表之 反應特性	<table border="0"> <tr> <td>F(fast)</td><td rowspan="2">} 切換</td></tr> <tr> <td>S(slow)</td></tr> </table>	F(fast)	} 切換	S(slow)	
F(fast)	} 切換				
S(slow)					
外部輸出	輸出端子連接頻率分析器及記錄器時，必須因其阻抗做音壓級之調整				
測定條件	額定溫度 <table border="0"> <tr> <td>普通級</td><td>5~35℃</td></tr> <tr> <td>精密級</td><td>-10~50℃</td></tr> </table> 風大時麥克風必須護以風罩	普通級	5~35℃	精密級	-10~50℃
普通級	5~35℃				
精密級	-10~50℃				

5-2-2 頻率分析

頻率分析之方法如表 5.3 所示之各種方法，依使用目的不同而分類，其中建築音響之噪音測定，一般按照 1 / 1 及 1 / 3 八度音頻率分析法。濾波器與噪音計相連做頻率分析時，噪音計之頻率校正回路原則上使用 C 特性或平坦特性（精密級）（雖亦有用 A 特性者，但必須特別註明其用意）。圖 5.6 為 1 / 1 及 1 / 3 八度音頻率濾波器之特性。

表 5.3 頻率分析法之種類

分析頻幅	方 式	備 考
定比帶域幅	多級濾波器形	1/1, 1/3八度音頻帶 [頻帶切換形 實時形]
	選擇增幅器形	狹帶域, 中心頻率數掃描
狹帶域 定帶域幅	外差法振盪器形	[追蹤濾波器 時間壓縮・實時形]
	數位化演算形	[自相關・Fourier變換方式 FFT(高速Fourier變換)方式]

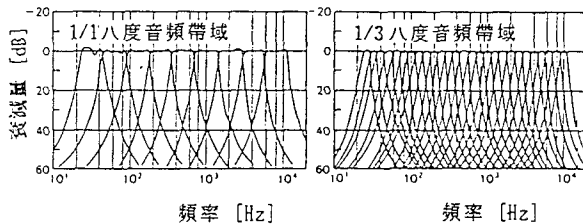


圖 5.6 1/1及1/3八度音頻帶域濾波器之特性實例

5-2-3 背景噪音影響之修正

音壓級、噪音級或八度音程級之測定時，測定值與背景噪音值之差在 10 dB 以下時，須如表 5.4 之修正。

表 5.4 因背景噪音影響之修正

測定值與背景噪音值差(dB)	3	4,5	6~9	10以上
修 正 值(dB)	-3	-2	-1	0

5-2-4 時間特性之測定

測定餘響衰減或變動噪音時，調整音壓級或噪音級之時間變動，使用音壓記錄器，以對數直線化記錄音壓之實際值，表 5.5 為音壓記錄器之種類。衝擊音或室之短音應答的測定用顯像管同步示波器觀測波形。對變動噪音之長時間實際值，衝擊訊號之全能量測定時，使用平方積分演算器求出音壓或訊號之平方積分值。

表 5.5 音壓記錄器之種類

	形 式	特 徵	餘響測定
等速度形 (筆速度一定，與輸出訊號大小有關)	補助電動機形	輕量，筆之速度低，一般適用於現場測定	否
	可動線圈形	重量大，筆之速度由慢到快可予調整 測定餘響最適合	適
指數變速形 (筆之速度隨輸入信號成指數函數變化)	補助電動機形	筆之應答與噪音計儀表相似用於一般噪音測定	否
	電流計形	筆之應答與噪音計儀表相似，且筆之速度大	適

5-3 室內音響特性之測定

5-3-1 餘響時間之測定

餘響時間為室內音響特性之最重要者，其測定法如圖 5.7，一般使用 1 / 1 或 1 / 3 八度音頻率，由 125~4000Hz 範圍測定，餘響時間使用高速度音壓記錄器記錄音壓級衰減，由其傾斜率求取餘響時間

，如圖 5.8 所示，由室內均等分布之多數受音點測定結果平均之，求得房間之餘響時間。

5-3-2 穩定音壓分布之測定

於室內代表點（舞台中央點）放置無指向性音源，穩定輸出音源後測定室內各點音壓，如圖 5.7。

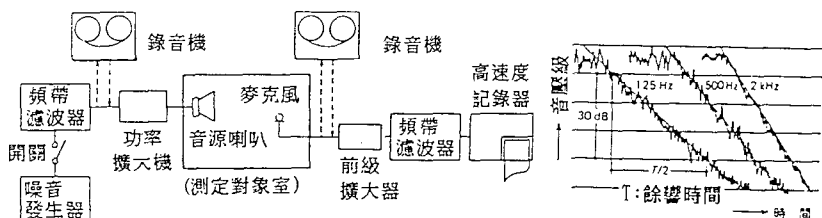


圖 5.7 餘響時間及穩定音壓分布之測定法

圖 5.8 利用記錄器之餘響記錄例

5-3-3 短音應答之測定

短音應答之測定法如圖 5.9，在室內一點發出短音時，其他點利用顯像管描繪音壓衰減波形稱之為餘響時間圖(Echo Time Pattern)，如圖 5.10，由此波形得知直接音、初期反射音、餘響音等之時間分配。由短音應答求得聽感的物理量 D 值、初期衰減時間、時間重心等之提案如表 5.6（詳見 5-1 節），此外，亦有以短音應答之平方積分法求得餘響時間者。

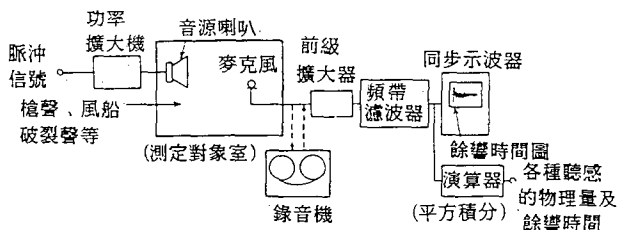


圖 5.9 短音應答之測定法

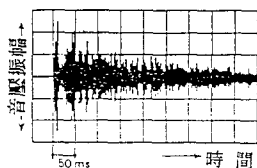


圖 5.10 餘響時間圖實例

表 5.6 初期音衰減指標

初期音對全音能之比：D 值	$D = \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$
初期衰減時間：EDT (early decay time)	$\int_0^{\infty} p^2(t) dt = \frac{1}{10} \int_0^{\infty} p^2(t) dt$
時間重心：t _s	$t_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$

5-4 材料音響性能之測定

建築材料音響性能表示及試驗方法之規定，如表 5.7。

表 5.7 建築材料音響性能表示量及試驗方法之規定

材 料	性能表示量	意 義	CNS	JIS	ISO
吸音材料	垂直入射吸音率	音垂直入射於材料表面之吸音率 多孔質材等吸音特性之基本檢討 製品檢查目的之測定		A1405	
	餘響室法吸音率	音隨意入射至材料表面之吸音率 餘響時間之計算等 一般音響設計使用此種吸音率	9056 A3165	A1409	R354
	單位面積流抵抗	對應於空氣流動材料之抵抗 用在多孔質材料性能規定 品質管理之目的等測定		A6306	
隔音材料	透過損失	音通過擴散音場隨意入射材料面 透過材料之隔音性能 (餘響室～餘響室法)	8466 A3143	A1416	R140
地板表面材	地板衝擊音之改善度	對於標準地板之地板表面材料 有或無時之地板衝擊音級之差	8464 A3142		R140

5-4-1 音響功率級之測定法

音響功率級之測定法：如表 5.8

表 5.8 音響功率級之測定法

方 法	1. 自由音場	2. 擴散音場
測定音場	十分開放之戶外或無響室	十分擴散之餘響室
測定方法	以噪音源為中心，半徑 r （噪音源尺寸 2 倍以上）之球面上或半球面上（設置面為反射面時），按等立體角分布之多數點測定，求其平均值 $\bar{L}$ 。	在餘響室中央附近設置音源，離壁 1M 以上之多數點測定，求其室平內平均 $\bar{L}$ ，又欲知餘響室內之吸音力，可依餘響室法測定餘響時間計算求得
計算音功率級	噪音之音功率級由下式計算： 完全自由音場時（地面，樓板無反射時） $L_w = \bar{L} + 20 \log_{10} r + 11 \text{ (dB)}$ 在反射地面或樓板上時 $L_w = \bar{L} + 20 \log_{10} r + 8 \text{ (dB)}$	$L_w = \bar{L} - 10 \log T + 10 \log V - 14 \text{ (dB)}$ T：餘響時間 (S) V：室容積 (M^3)
特 徵	a. 噪音功率之測定亦可直接使用 A 特性求之 b. 可測定指向性	a. 與 1 不同，不可以 A 特性直接測定 b. 不能測定指向性 c. 亦可以 3 之置換音源法

(續)

方 法	3. 半擴散音場 (置換音源法)
測定音場	無法獲得 1. 2. 之一般室
測定方法	已知音功率級之基準音源與噪音音源靠近設置, 各自單獨發出聲音, 求室內平均音壓 (十分離開音源, 牆壁之多數點測定求之) 比較之
計算音功率級	$L_w = L_{w0} - (\bar{L}_0 - \bar{L}) \text{ (dB)}$ L_{w0}: 基準音源之音功率級 (dB) $\bar{L}_0$: 基準音源之室內平均音壓級 (dB) $\bar{L}$: 噪音源之室內平均音壓級 (dB)
特 徵	a. 係在 1. 2. 之方法不可得之方法精度差 b. 不能測定指向性

5-4-2 餘響室法吸音率之測定法

餘響室法吸音率之測定法：如表 5.9

表 5.9 餘響室法吸音率之測定法

餘響室	室容積：150 M ³ 以上，形狀：6~8 面体 擴散條件：面積 0.8~3 M ² 之擴散板，合計面積約為餘響室地板面積之 80%，自由地配置（用回轉翼亦可）
試料	面積：8.5~12 M ² （長短邊尺寸比：1.3~1.5） 設置：在餘響室之中央集中配置
音源	1 / 3 八度音頻率噪音或震音
測定頻率	1 / 3 八度音中心頻率 125~4KHz
受音點	未靠近音源、試料、壁面、擴散板等之室內三點以上
餘響時間測定次數	125~200Hz:25次以上，250~800Hz:15次以上， 1K~4KHz:9次以上
吸音率之計算	由空室時及試料設置時各頻率音程之餘響時間之測定結果 按下式計算出餘響法之吸音率 $\alpha = \frac{55.3 V}{C \times S} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$ α：餘響室法吸音率 V：餘響室容積 (M³) C：空氣中之音速 (M/S) S：試料面積 (M²) T：設置試料時之餘響時間 (S) T₀：空室時餘響時間 (S)

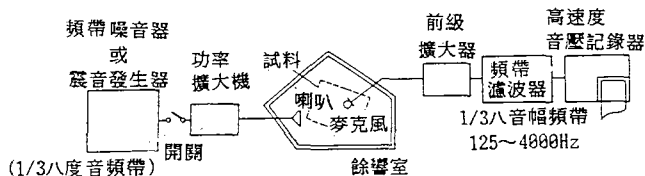


圖 5.11 餘響室法吸音率之測定法

5-4-3 音響透過損失之測定法

音響透過損失之測定法：如表 5.10

表 5.10 音響透過損失之測定法

餘響室	室容積：音源側、受音側餘響室均在 100 M ³ 以上 試料安裝開口：10m ² （邊長 2.5M 以上 4M 以下之長方形） 兩餘響室均十分擴散之音場，防止試料以外聲音之傳播
試料	試料原則上以實際使用狀態之開口，完全施工之（試料尺寸小時，其他部分以透過損失較大之材料填塞之）
受音點	離開音源喇叭、試料面、壁面 1M 以上，於空間內 10 點以上為受音點
平均音壓級測定	保持音源功率一定，測定各受音點之音壓級，由其結果依各頻率計算餘響室內之平均音壓級 $\bar{L} = 10 \log_{10} \{ (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10}) / N \}$ $\bar{L}$ ：平均音壓級 $L_1, L_2, \dots, L_n$ ：N 個受音點之音壓級
受音側餘響室之吸音力測定	測定受音側餘響室之餘響時間，由其結果求其吸音力 $A = (55.3/C) (V/T)$ A ：受音側餘響室吸音力 (M ²) T ：餘響時間 (S) V ：受音側餘響室容積 (M ³) C ：空氣中音速 (M/S)
音響透過損失之計算	$TL = (\bar{L}_1 - \bar{L}_2) + 10 \log_{10} (S/A)$ TL ：音響透過損失 (dB) S ：試料面積 (M ²) $\bar{L}_1$ ：音源側餘響室內平均音壓 (dB) $\bar{L}_2$ ：受音側餘響室內平均音壓 (dB)

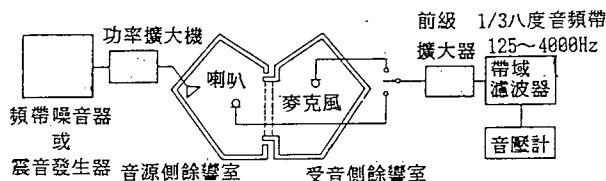


圖 5.12 音響透過損失之測定法

5-5 建築物隔音性能之現場測定法

5-5-1 室間平均音壓級差之測定

集合住宅之鄰戶間，旅館室間等居室程度之大小之二室間的隔音性能調查時，使用室間平均音壓級差之測定法，如圖 5.13。

5-5-2 特定場所間音壓級差之測定

大辦公室之鄰室間一方或兩方均無法獲得均一之音壓分布時，或走廊之一部分與室內之間之特定位置間的隔音性能調查時，用特定場所間音壓級差之測定法，如圖 5.14。

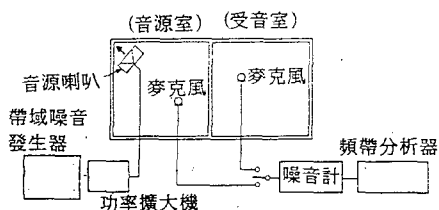


圖 5.13 室間平均音壓級差之測定法

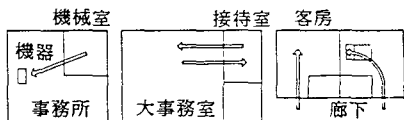


圖 5.14 特定場所音壓級差之測定對象實例

5-5-3 窗隔音性能之測定

各室間之窗的隔音性能，現場測定方法如圖 5.15 所示之方法。

5-5-4 地板衝擊音級之測定

步行、飛跳、家俱之移動等之地板衝擊音，對下一層產生噪音之調查方法，有使用輕量衝擊源（通常稱之為 tapping machine）或重量衝擊源（通常為使用汽車輪胎）之地板衝擊音級之測定法，輕量衝擊源為考慮穿靴之步行，重量衝擊源為考慮小孩子等之飛跳，其測定之方法如圖 5.16 所示。

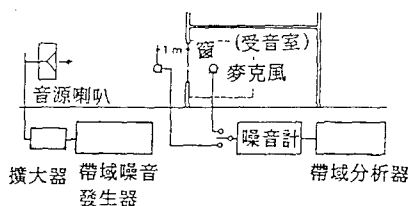


圖 5.15 窗隔音性能之測定法

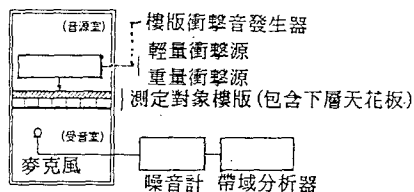


圖 5.16 樓板衝擊音級之測定法

參 考 文 獻

- 5-1 :L.L.Beranek:Music,acoustics & architecture,John Wiley & Sons
 ,New York(1962).
- 5-2 :R.J.Hawks and H.Douglas: Subjective acoustic experience in
 concert auditoria,Acustica 24,235(1971).
- 5-3 :R.M.Edwards:A subjective assessment of concert hall acoustic
 ,Acustica,30,183(1974).
- 5-4 :賴榮平:音樂廳音響性能之評估研究--台灣地區音樂廳之音響性能現
 況檢討,文山書局(1987).
- 5-5 :R.Thiele: Richtungsverteilung und Zeitfluge der Schallrucku-
 urfe in Raubern,Acustica 3,291(1953).
- 5-6 :山本照二,永田穗:音樂の收音に好ましいスタジオの音響特性,日
 本音響學會誌, 27, 119(1971).
- 5-7 :W.Reichardt: Gute Akustik aber wie ? VEB Verlag Technik,Ber-
 lin(1979).
- 5-8 :V.L.Jordan: Acoustical design of concert halls and theaters,
 Applied Science pubs.,London(1980).
- 5-9 :R.Kurer: Disseration,Technische Universitat Berlin(1972).
- 5-10:M.R.Schroeder: Computers in Acoustics,Reports of the 6th IC-
 AGP-6-1 (1968).
- 5-11:同5-5.
- 5-12:永田 穗:建築音響, p.61, コロナ社(1988).
- 5-13:同5-12,p.62.
- 5-14:同5-4.
- 5-15:同5-8.
- 5-16:古屋浩等:兵松市勤學會館ホールの音響設計,日本音響學會講演
 文集 1-4-22(1984).
- 5-17:同5-7.
- 5-18:H.Kuttruff: Room Acoustics,Applied Science pub.,p.191(1979).
- 5-19:中國國家標準:總號2127,類號C7141.

第六章 噪音及振動防止計畫

6-1 建築音響性能基準

6-1-1 隔音等級

為能適切地評估建築物隔音性能，必須先訂定建築物隔音等級。

於 CNS 中有關隔音等級之求法，有下列兩種：

A、隔音等級之基準頻率特性與其標稱方法：如圖 6.1 及圖 6.2

B、隔音等級之求法：

- a. 有關室間平均音壓級差之隔音等級：將中心頻率數 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 及 4000Hz 之 1 個八音度帶域之室間平均音壓級差測定值或設計值轉記於圖 6.1，其值係對所有之頻率帶域，

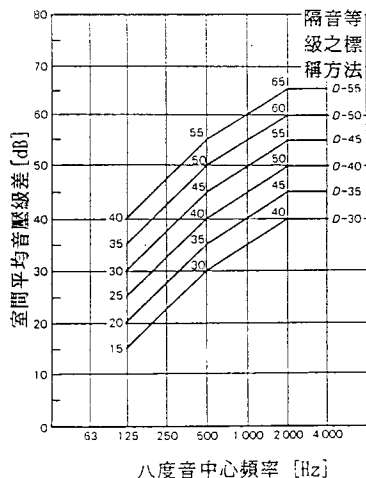


圖 6.1 室間平均音壓級差之隔音等級
(#6-1)

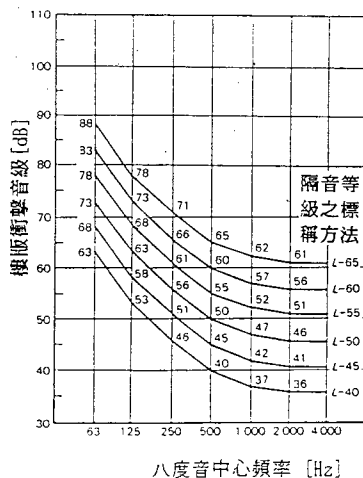


圖 6.2 樓版衝擊音級之隔音等級
(#6-2)

有基準曲線向上彎曲時，以其基準曲線之標稱方法，表示隔音等級，但對各頻率帶域之測定值或設計值，得分別各減2dB。

- b. 有既樓版衝擊音級之隔音等級：按衝擊源別將中心頻率數125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz及4000Hz之1個八音度帶域之樓版衝擊音級測定值或設計值轉記於圖 6.2，其值係對所有之頻率帶域，有基準曲線向下彎曲時，以其基準曲線之標稱方法，表示隔音等級，但對各頻率帶域之測定值或設計值，得分別各減2dB。

C、隔音等級之種類：如表 6.1，表 6.2

表 6.1 CNS之隔音等級

(1) 室間平均音壓級差隔音等級之級別

隔音等級	D-55	D-50	D-45	D-40	D-35	D-30
級 別	1號	2號	3號	4號	5號	6號

(2) 樓版衝擊音級隔音等級之級別

隔音等級	L-40	L-45	L-50	L-55	L-60	L-65
級 別	1號	2號	3號	4號	5號	6號

表 6.2 適用之隔音等級 (*6-3)

建築物	室平均音壓級差相關之適用等級				樓版衝擊音級相關適用等級		
	室 用 途	部 位	隔音等級及適用等級 1 級 2 級 3 級		室用途	部 位	隔音等級及適用等級 1 級 2 級 3 級
集合住宅	居 室	鄰戶間牆壁或樓版	D-50	D-45 D-40	居 室	鄰戶間樓版	L-45 L-50, 55 L-60
旅 館	客 室	客室隔間牆或樓版	D-45	D-40 D-35	客 室	客室間樓版	L-45 L-50 L-55
學 校	一般教室	教室間隔間牆	D-40	D-35 D-30	教 室	教室間樓版	L-55 L-60 L-65
	特別教室	教室間隔間牆	D-45	D-40 D-35			
事務所	一般會議室及 事務室	會議室、事務室間 之隔間牆	D-40	D-35 D-30			
	業務上保密必 要之室間	會議室、事務室間 之隔間牆	D-45	D-40 D-35			

6-1-2 室內噪音容許值

室內噪音之容許值標準，即應用簡單，而且與實際情況有良好對應的噪音級，而設計之目標值須能適合八度音各頻率之噪音級，可使用 NC (Noise Criteria) 值或 NR (Noise Rating) 數。建築設備則完全以 NC 值作為設計之目標值。

一般而言，NC 值 + 10，大概與 dB(A) 之值相同。而 NR 數 + 5 大致與 dB(A) 之值相同。NR 曲線為 ISO 之提案，可作為室內外噪音之基準曲線，如圖 6.3 及圖 6.4。表 6.3、表 6.4 為室內噪音之推薦值，表 6.5 為容許值，表 6.6 為適用等級。

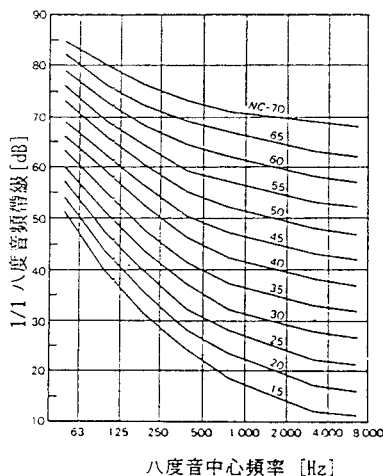


圖 6.3 NC 曲線 (Beranek) (#6-4)

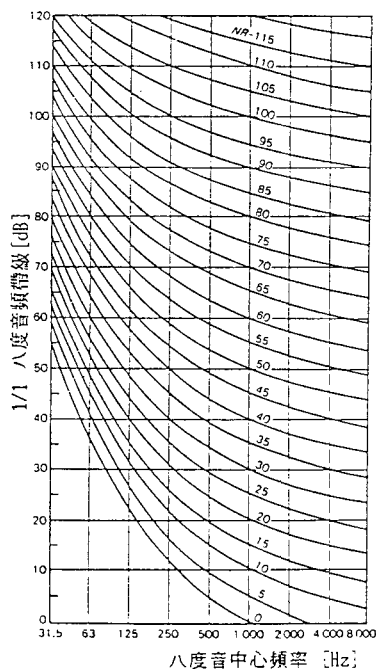


圖 6.4 NR 曲線 (ISO R 1996-1971) (#6-5)

表 6.3 各種房間之NC推薦值 (*6-6)

房間之種類	NC值	dB(A) *
播音室	NC 15~20	27~31
音樂廳	NC 15~20	27~31
劇場 (500席, 無擴音設備)	NC 20~25	31~35
音樂室	NC 25	35
教室 (無擴音設備)	NC 25	35
播放室	NC 25	35
會議廳 (有擴音設備)	NC 25~30	35~40
住宅 (臥室)	NC 25~30	35~40
電影院	NC 30	40
醫院	NC 30	40
教會	NC 30	40
法院	NC 30	40
圖書館	NC 30	40
飯店	NC 45	53
運動競技場 (有擴音設備)	NC 50	58

(L.L.Beranek 文獻26) * 為筆者依NC值換算

表 6.4 室內NR值之推薦值 (*6-7)

NR 值	室之種類
20~30	臥室、病房、播放室、居室、劇場、教會、電影院、音樂廳、小辦公室、讀書室、會議室、教室
30~40	大辦公室、商店、百貨公司、會客室、安靜餐廳
40~50	大餐廳、有打字機之秘書室
50~60	大打字室
60~70	工廠

表 6.5 室內聲音容許值 (*0-8)

dB(A)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
NC~NR	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35	35~40	40~45	45~50	50~55
影響程度	無音感——非常靜——應該注意——感到噪音——無法忽視噪音								
談話・電話之影響	距離5M略聽——距離10M可會議——普通談話(3M以內)——大聲談話(3M)——電話有困難到聲音——尚可打電話——電話有困難								
播音室	無擾室	報導廣	電台播	電視區	主調整室	一般事務室			
集會廳		播室	音室	影棚	務室				
醫院		音樂廳	劇場(中)	舞台劇場	電影院	集會廳門廳			
		聽力試	特別病房	手術室	診療室	檢查室	接待室		
		驗室		病房					
旅館・住宅				書房	臥室客廳	宴會場	門廳		
一般事務所				董事室	接待室	小會議室	一般事務室		打字室
				大會議室					計算機室
公共建築物				公共會堂	美術館・	圖書館閱覽	公共會堂	室內運動設施	
				音樂教室	博物館・	室	兼禮堂		
學校・教會				音樂教室	講堂・禮	研究室	普通教室	廊下	
					拜堂				
					音樂廳茶	書店	一般商店		
					寶石店・美術品店	銀行・餐	餐館		
商業建築									

表 6.6 室內噪音適用等級 (#6-9)

建築物	室用途	噪音等級			噪音級 dB(A)		
		特級	1 級	2 級	特級	1 級	2 級
演奏廳	歌劇院	N-20	N-25	N-30	25	30	35
錄音室	播音室	N-20	N-25	N-30	25	30	35
電視	播放室	N-25	N-30	N-35	30	35	40
劇場	多目的禮堂	N-25	N-30	N-35	30	35	40
獨立住宅	臥室	N-25	N-30	N-35	30	35	40
集合住宅	居室	N-25	N-30	N-35	30	35	40
旅館	客房	N-30	N-35	N-40	30	40	45
醫院	病房	N-30	N-35	N-40	35	40	45
學校	普通教室	N-30	N-35	N-40	35	40	45
辦公室	會議、會客室	N-30	N-35	N-40	35	40	45
辦公室	一般辦公室	N-35	N-40	N-45	40	45	50

6-1-3 噪音評估

關於噪音之評估法，ISO 有如下幾個提案：

- A. 評價噪音級 L_r ：在某地區，例如附近之工場噪音為 L_a (dB(A)) 時，依噪音之性質，以表 6.7 加以修正，其結果稱之為 L_r 。若此噪音為變動噪音時，則先求其等價噪音 L_{eq} ，再同樣以表 6.7 修正，求出 L_r 。
- B. 社會反應之評估：良好的住宅生活環境，其室內容許噪音級，在 35~45dB(A) 左右。住宅之噪音級因地區特性及時刻之不同，以表 6.8 及表 6.9 之一般基準加以修正。（此處之時刻及地區修正之參考，乃日本現行之環境基準・規制基準）以求得之 L_r 與一般基準值比較，由表 6.10 所表示噪音之社會反應預測評估。
- C. 室內之評估噪音級：室內噪音級為考慮窗之狀態對一般基準值作表 6.11 之修正後的預測值。

表 6.7 對測定噪音級dB(A)求評價噪音級L_r之修正值

噪 音 的 性 質		修正值dB(A)
尖峰因素	衝擊性(如打擊聲)	+5
噪音頻譜之性質	聽取純音部份 (例如狗叫聲)	+5
有問題噪音級的 持續時間比例(%)	100~56	+0
	56~18	-5
	18~6	-10
	6~1.8	-15
	1.8~0.6	-20
	0.6~0.2	-25
	0.2以下	-30

表 6.8 基於居住前提都市地區之修正值 (#6-11)

地 域	相對於基準值之 修正值dB(A)
田園住宅・醫院・休養地區	0
郊外住宅地・道路交通不大地區	+5
都市住宅地	+10
一些工場・商店或主要道路 之都市住宅地	+15
市街道(商業・貿易・官廳街)	+20
主要產業地域	+25

表 6.9 基於一日時間之修正 (#6-12)

時 刻	相對於基準值之修正值dB(A)
晝 間	0
傍 晚	-5
夜 間	-10~-15

表 6.10 噪音之社會反應評價 (*6-13)

評價噪音級L _r 超出基準值之 量	預期社會的反應	
	範 圍	
0	無	無反應
5	很少	部份抱怨
10	中等	廣範圍抱怨
15	強大	有社會活動之虞慮
20	非常強大	活躍之社會活動

表 6.11 以一般基準值修正求得屋內噪音值 (*6-14)

窗之狀態	修正值dB (A)
窗 (開)	-10
一重窗 (閉)	-15
二重窗 (閉)或固定窗	-20

6-2 噪音源及防止計畫

6-2-1 噪音源之種類

- A. 外部噪音：發生於外部之噪音，可分為如下幾種：
- a. 飛機、鐵路、汽車等交通工具之交通噪音。
 - b. 工廠中各種設備之運轉噪音。
 - c. 營建工程之施工噪音。
 - d. 鄰接建築物、住宅之設備運轉、歡呼聲、商店廣告等之噪音。
- B. 內部噪音：發生於建築物內部較大而突出之噪音。
- a. 設備噪音：冷暖房機器及瓦斯、給排水設備等機器設備噪音。
 - b. 生活噪音：說話聲、小孩遊戲聲、樂器聲等之生活噪音。

6-2-2 噪音防止計畫

一般而言，關於噪音防止之實務，以受害之後，再來尋求噪音防止對策之例子較多，在此，以噪音防止計畫為重心，做事前之預測防制。

A. 噪音防止計畫之流程：

表 6.12 為噪音防止計畫之流程。基本計畫過程為基本條件之設定及進行方法；實施設計之過程則對所提議之對策，進行計算及設計；施工及維護過程則是實施之控制階段。由各個過程適切地檢討，才能有效防止噪音。此外，僅以噪音防止為目的，所進行之計畫極少，需同時考慮相關連項目之調整。即是聲音以外之各種計畫條件之調整，這些計畫之調整非常重要，直接影響噪音防止計畫之成敗。

B. 噪音防止計畫之檢核表，如表 6.13。

C. 噪音防制進行步驟：

- (1) 測試噪音的種類，如頻率、大小等。
- (2) 預測噪音值。
- (3) 決定防止噪音的目標值。
- (4) 選定防止噪音的材料、技術等。
- (5) 設計並製作防止噪音的設備。
- (6) 實施防噪音工程。
- (7) 確認對策的結果。

D. 噪音防制技術之概要及效果之極限：如表 6.14。

表 6.12 噪音防止計畫整體進行方法

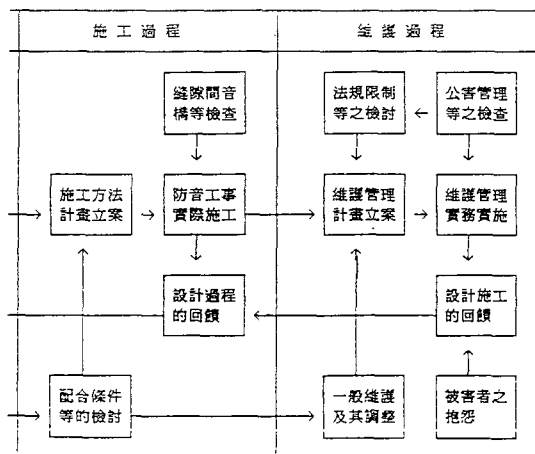
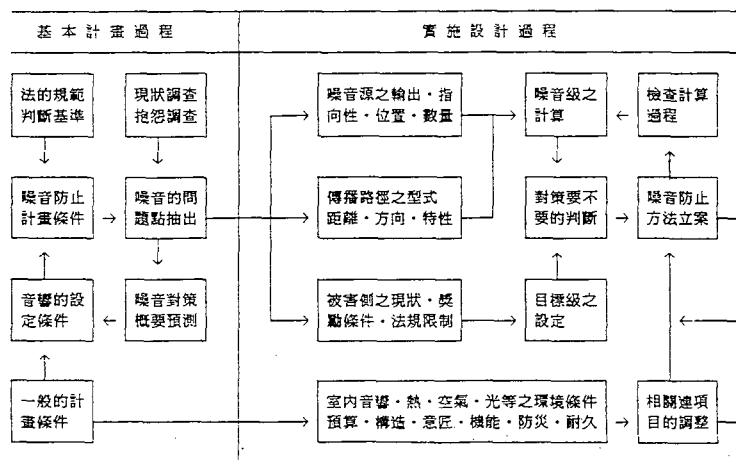


表 6.13 噪音防止計畫之檢核表

[illegible]

○：特別考慮 ○：需考慮 △：次要考慮 ×：不可能 空欄：無關係

表 6.14 噪音防制技術之概要及效果之極限

防制技術原理		概要及效果的極限
音源對策	(1) 減少聲音的產生	減少因衝擊、摩擦、共鳴、吸・排氣、旋轉等所產生的聲音。
	(2) 設置消音器	從吸音屏行、共鳴形（吸收）、膨脹形（反射）、干擾形等消音器形式中，選擇出最適用於發生噪音之頻率特性，加以設計並設置之，以減少噪音之發生。
	(3) 隔音罩	- 調查必要之減音量，利用壁體等結構將音源隔離。 - 依據噪音之頻率，進行內部之吸音處理（吸音處理適用於空氣音之吸收，遮音處理適用於二次固體音之反射）
	(4) 防振 { 振動絕緣 阻尼處理	- 設置防振橡膠減少共振頻率之振動傳遞 - 噪音反射方面以阻尼材料進行阻尼處理（阻尼處理適用於一次固體音以吸收振動能，振動絕緣適用於一次固體音）
防止傳播	(1) 隔開距離 （音能量擴散）	- 拉開音源與受音點之距離。 - 點音源、噪音會以 6 d B / 倍距離衰減 - 考慮音源之大小、形狀而決定衰減量
	(2) 改變音源之聲波方向 （聲波有方向性）	聲源有方向性時有效，對高頻率聲源可減少。
	(3) 設置防音屏	利用防音屏減低聲音之直接傳播。（注意繞射）
	(4) 大氣吸收、風、 氣溫、樹木之影響	近距離時，無衰減效果。

6-2-3 噪音防止構造

- A. 防振天花板：若只在天花板附加隔音層，如圖 6.5(1)，對空氣音的隔音性能可提高10dB以上，但對腳步聲之隔音性能在3dB以下。整體之內裝修若能採浮式裝修，如圖 6.5(2)，則隔音性能會更加良好。防振材料一般都採用貫通型，如圖 6.6(1)(2)。
- B. 浮式地板工法：採用浮式地板工法時如圖 6.7，必須檢討因集中載重所產生之彎曲或裂痕。直立緩衝材固定不完全，施工容易發生問題。採用防振橡膠，一般使用非貫通型，如圖 6.6(3)(4)。
- C. 防音窗：如圖 6.8多層玻璃窗時，各層之玻璃厚度應不同，並且最好能互相傾斜。
- D. 防音門：圖 6.9 ~ 圖 6.11所示，浮式地板工法與一般工法交接處設門時，以門安裝在浮式地板側為原則。防音門之隔音性能，大多由門扇接縫部位之氣密性來決定。

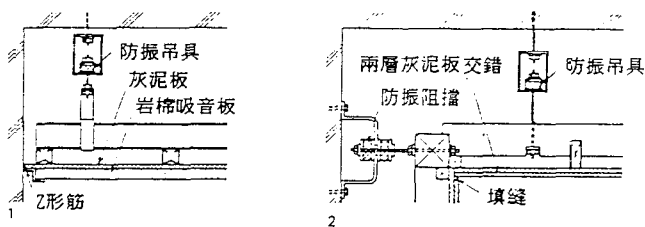


圖 6.5 防振天花板

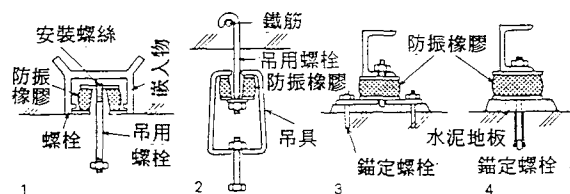


圖 6.6 防振支持工法

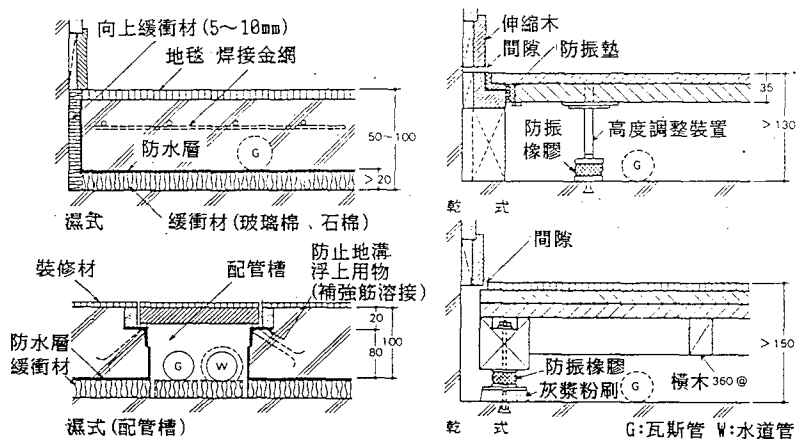


圖 6.7 浮式樓板工法

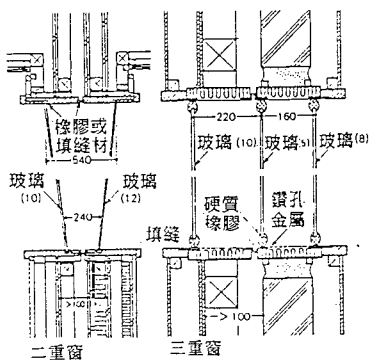


圖 6.8 窗之隔音工法

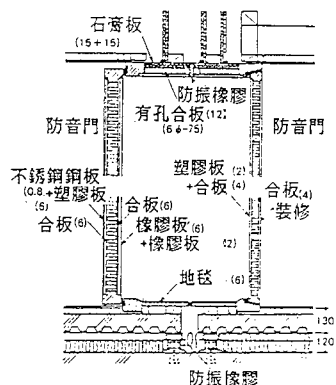


圖 6.10 二重門及浮式樓板工法

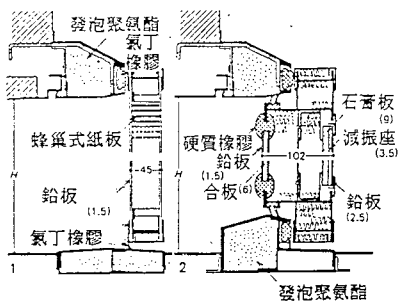


圖 6.9 防音門詳圖

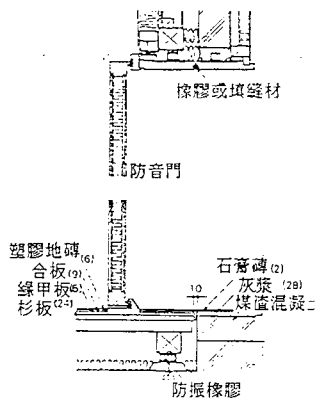


圖 6.11 門及浮式樓板工法

6-3 振動基礎事項

6-3-1 各種振動之範圍

人類日常生活經驗中，各種振動之中心頻率與最大加速度之範圍及其關係，如圖6.12，以環境刺激而言，最基本的事項是振動規模之大小與人知覺程度的關係。就居住性之觀點來看，應該考慮振動對快適性、健康性、作業性、行動性以及安全性等之影響。

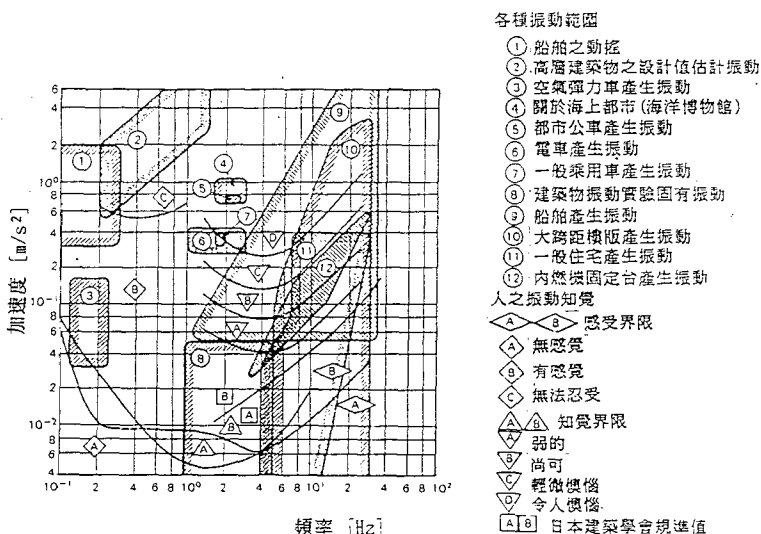


圖 6.12 各種振動範圍及人之振動知覺 (±6-15)

6-3-2 振動之評估基準

A. 全身振動之曝露基準：

圖6.13為振動對人居間及作業效率之影響評估基準，除站立與坐下之外，也適用於躺臥及倚靠。在1～80Hz的頻率範圍內，周期性的、任意的及非周期之振動皆適用，同時亦適用於連續之衝擊。每除以3.15就相差10dB。

B. 室內振動之評估：

圖6.14為ISO於1975年關於室內居住者對振動與衝擊之容許值的提案。此基準是依據ISO 2631之水平、垂直振動合成而得。1977年對居住不產生抱怨的最大值之提案，白：曲線2，夜：曲線1.41。8 Hz以上之振動，其振動級為57dB者定義為1.41。

C. 公害振動之限制：如表6.15、表6.16、表6.17。

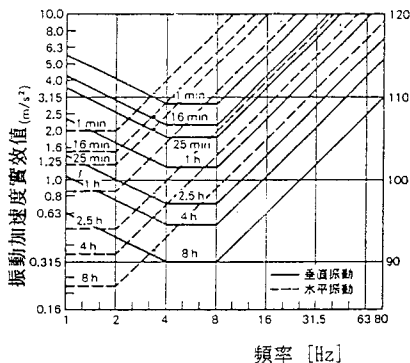


圖 6.13-振動曝露基準(ISO 2631)
(#6-16)

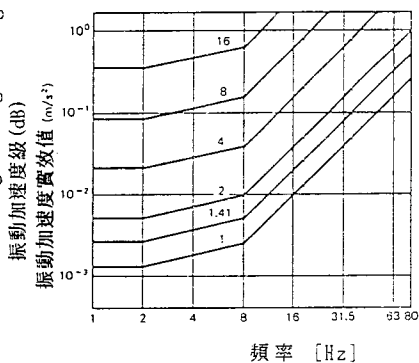


圖 6.14 屋內振動評價基準案(ISO
TC/108 SC/4) (#6-17)

表 6.15 區域之區分

工場 道路	第 1 種 區 域	保障良好居住環境，必需保持特別寧靜區域， 及特別供住宅用之地區。
	第 2 種 區 域	住宅用並供商業、工業使用之區域，為保障生 活環境，必需防止振動發生之區域，以及主要 供工業用之區域，為防止環境惡化，必需防止 振動發生之地區。
建設	第 1 號 區 域	供住宅用必需寧靜之地區，供住居、商業、工 業用集合住宅必需防止振動之地區，從學校、 醫院、圖書館、老人之家等 80 公尺以內之地區
	第 2 號 區 域	第 1 號區域以外之防止振動，保障住民生活環 境之地區。

表 6.16 建設作業振動改善基準

	1號區域	2號區域
無法作業之時間	19-7時	22-6時
每日的作業時間	10小時	14小時
同一場所的作業時間	連續6日	連續6日
週日、休假日之作業	禁止	禁止

振動級不超過75dB

表 6.17 振動規範申請標準 (*6-18)

標 準	區 域	標準振動級	
工場振動 規範標準	第 1 種	白天 60-65	晚上 55-60
	第 2 種	白天 65-70	晚上 60-65
道路交通振 動申請標準	第 1 種	白天 65	晚上 60
	第 2 種	白天 70	晚上 65

白天：5~8時及19~22時之間

晚間：19~22時及5~8時之間

6-4 振動源及防止計畫

6-4-1 振動源之種類

A. 外部振動：發生於建築物外部之振動源，包括：

- a. 道路、高架道路、鐵路、地下鐵等道路交通振動。
- b. 工程施工及機械操作振動。
- c. 風、地震等自然振動。
- d. 工場運轉之振動。

B. 內部振動：發生於建築物內部之振動源，包括：

- a. 工作、設備等機械振動。
- b. 配管系統之振動。
- c. 人體走動之振動。

6-4-2 振動防止計畫

A. 振動防止計畫之流程：

如圖 6.15，整體防振計畫對策之順序，與噪音防止計畫相同，可分為基本計畫、實施設計、施工以及維護等過程。但是各個過程之考慮事項，仍有若干些微之差異。噪音問題是以最後進入人耳之音波為對像；而振動的問題，不僅涉及身體之平衡感及皮膚之感覺，也影響聽覺及行走時之視覺。在振動容許值方面，人與機械之差異很大，人對振動之檢知能力較遲鈍，而像電子顯微鏡以及記錄剪輯器等儀器之振動容許值，就低了很多。此外，建築物各部位對各頻率振動之反應，各有不同，不能採單一的處理手法。

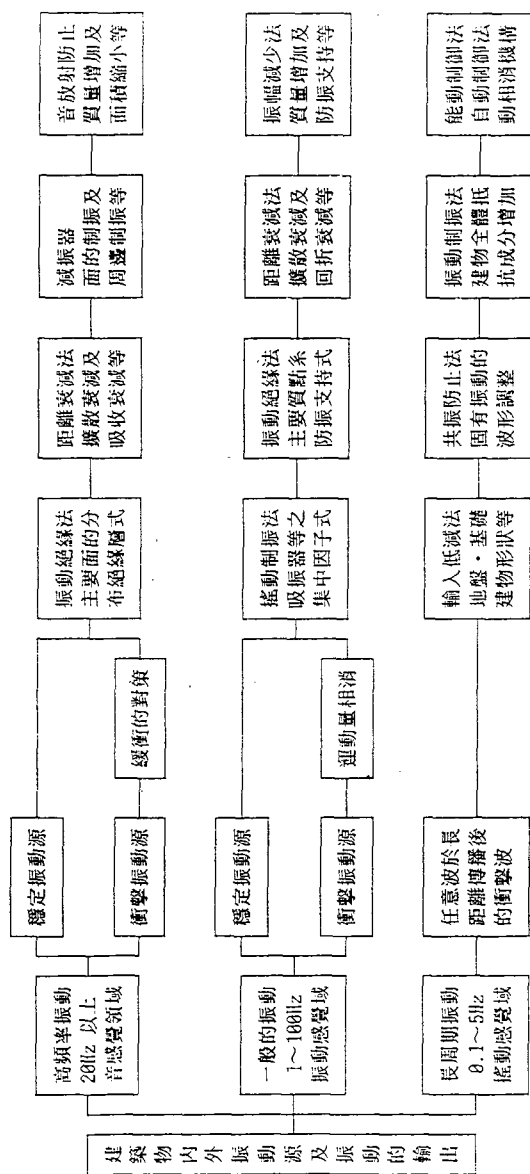


圖 6.15 針對各種振動源之振動防止計畫進行方法

基於上述之理由，基本計畫階段，最重要之工作是決定振動源之種類及其頻率特性之分析。一般的音波，大都由數十Hz以上之頻率所組成，而所謂固體音，其振動之感覺，則多由數Hz之頻率組成。防振計畫，應按不同之振動頻率範圍加以處理。

- a. 固體音(200Hz以上)：針對衝擊源方面，緩衝材可增長衝擊時間，及有助於高音域部份之減少。因此在傳播路徑中，主要是使用軟質材料來隔絕振動。輕量型牆壁及樓板，以振幅減衰之材料來抑制裝修板材之振動。此外，增加材料質量，也是降低振動力之振幅常用的方法。
 - b. 一般振動(1~100Hz)：採點支持系統較為有效。要抵消衝擊力之動量，除了吸收各種振動源之固定振動外，亦可使用彈性材料，做為防振之浮式台座。所謂防振支持構造，不僅用於振動源側，同時也常用於受害側。降低實際的固有振動頻率，需注意彈性材料之分割，以及側路傳播，比較容易得到預期的振動減低值。
 - c. 長周期振動：(0.1~5Hz)，輕微的地震及風力作用，會使建築物壁體產生常周期之振動。在軀體構造計畫之範圍內，環境工程之重點，乃以如何減少不快振動為觀點，來作防振處理。
- B. 振動防止計畫之檢核表：如表6.18。

表 6.18 振動防止計畫之檢核表

問題對策 點方法 振動物等 建築				振源		受害者	建築物	
				外部振源 道路、 鐵路、 地下鐵 、高速道路	內部振源 自然（風地震） 工程、作業 工作機械等	受害者 錄音機、 光學儀器 等 人體、 一般居室	建築物 體育館、 工場建築 旅館、辦公大樓 集合住宅 播音室、音樂廳 試驗室、實驗室	
振動 特性	頻率域	長一高 週期振動 的振動音	動動 振振 的的	○△○ ○△○ △○	△○ ○ ○	○ ○ ○	△△ ○ ○	△○ ○ ○
	波形特性	正正衝 弦擊 的振動	動動 振振 的振動	○ ○ ○	△△ △△ △○	○ ○ ○	△△ △△ △○	△△ ○ ○
發生源側	種類	必要 的振動	動動 振振	○ ○ ○	△ ○ ○		○ ○ ○	○ ○ ○
	對策方法	功波運 率形轉 等方	量等 實法 等	○ ○ ○	△ ○ ○	○ ○ ○	△ △ △	△ ○ △
振動傳播系	外部對策	距離不 域連續 計畫層 畫層等	等 等 等	○ ○ ○	△ △ △	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	建物對策	配平構 置面造 計畫畫	畫畫 計畫 計畫	○ ○ ○	△ △ △	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	部分對策	發受質阻 生害量尼 源附	振振 加加 防防	△ △ △	○ ○ ○	△ △ △	○ ○ ○	○ ○ ○
受振動側	受害狀況	不機信物 快能破 感的破 害的破	限害比 界障音環	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○
	對策	容破 許害	增償 值補	△ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	△ △ △
其他	影響條件	隱視操守 的的管	認識求等 諮詢受理	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○	○ ○ ○

◎：特別考慮 ○：需考慮 △：次要考慮 ×：不可能 空欄：無關係

6 - 4 - 3 防振設計應用

A . 防振設計之檢查項目：圖6.16、圖6.17

- (1) 機械之振動力與頻率特性之調查。
- (2) 機械之頻率對容許振拂之調查。
- (3) 機械、架台等之質量，以及操作載重與重心位置之決定。
- (4) 樓板振動容許值之設定。
- (5) 考慮使用之環境，適當地選定防振裝置。
- (6) 樓板強度、驅動點阻抗之推定，以及機器之安裝。
- (7) 耐震材料之設計與安裝。
- (8) 考慮電線管、水管、風管等防振之施工。

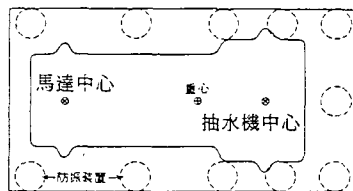
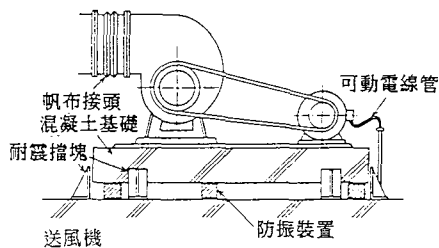
B . 精密儀器之防振設計：

除上述之查核項目外，另須考慮：

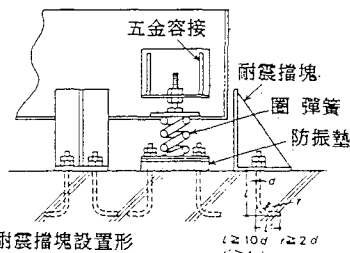
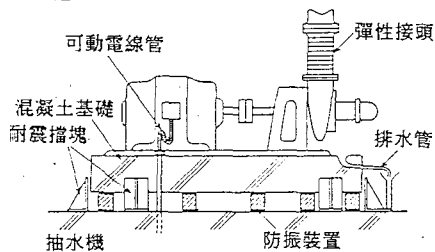
- (1) 預定設置樓板之振動性質（頻率對振幅或加速度、速度、振幅等之關係）。
- (2) 精密儀器之容許振動特性（頻率對振幅等之關係）。

C . 水管、風管類之防振：圖6.18、圖6.19

- (1) 與機械之接續部，為了隔絕振動，使用撓性接頭密接。
- (2) 調查機械之軸轉數、葉片等資料。
- (3) 計算吊架之載重，並選定適當的防振五金材料。
- (4) 考慮防振吊架因水管、風管等之振動增大時，所附加載重。
- (5) 設置防振吊架處，推定樓板強度與驅動點阻抗。
- (6) 少數配管急曲折處，適當流量之設計考慮。



防振裝置配置圖



耐震擋塊設置形

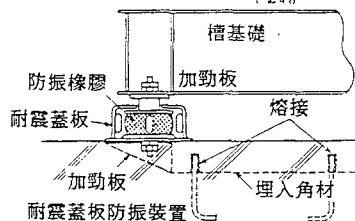
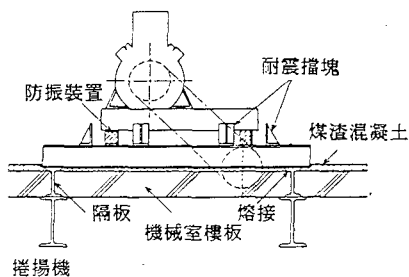


圖 6.17 防振基礎詳圖

圖 6.16 防振基礎要領

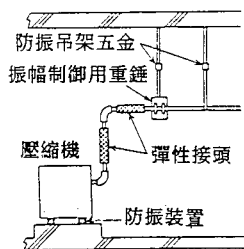


圖 6.18 配管之防振方法實例

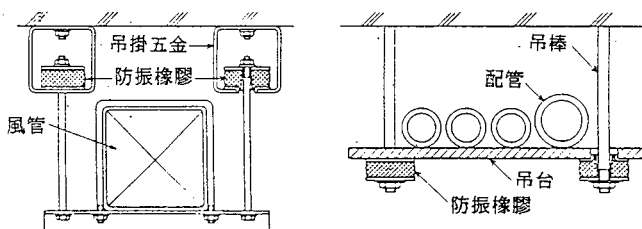


圖 6.19 風管配管之防振方法實例

參 考 文 獻

6-1 : 中國國家標準: 總號 8465, 類號 A1031, 建築物隔音等級。

6-2 : 同 5-1。

6-3 : 日本建築學會: 建築物の遮音性能基準と設計指針, p.7, 技報堂會社 (1979)。

- 6-4 :Beranek,L.L.:Revised criteria for noise in buildings,Noise Control,Vol.3,Mo.1,p.19~27,(1957)
- 6-5 :I.S.O./TC 43(Helsinki)22:Noise rating numbers with respect to annoyance,(1959).
- 6-6 :同6-4.
- 6-7 :同6-5.
- 6-8 :日本建築學會:建築設計資料集成 1 環境,丸善株式會社,(1978).
- 6-9 :同6-3.
- 6-10:① I.S.O./R-1996: Assessment of noise with respect to community response,(1971).
- ② 西宮元:環境騒音評價法に関する國際動向ー ISO/R-1996の見直しについて,音響學會誌,Vol.34,p.94,(1978).
- 6-11:同6-10.
- 6-12:同6-10.
- 6-13:北村音一:社會的反應に関する騒音の評価,音響學會誌, Vol.29,p.259,(1973).
- 6-14:同6-3,p.13.
- 6-15:同6-8,p.42.
- 6-16:I.S.O.2631: Guide for the evaluation of human exposure to wholebody vibration.
- 6-17:I.S.O TC/108 SC/4.
- 6-18:同6-8,p.44.

第七章 電氣音響設備

7-1 電氣音響設備之種類及目的

7-1-1 電氣音響設備之種類

從一般家庭的收音機、電視機、立體音響等裝置，以及內部對講機、電話通信裝置、大講堂擴音裝置，一直到辦公室、工場等環境音樂裝置，均顯示電氣音響設備具有廣泛的用途。表 7.1 為各種建築物使用的電氣音響設備。其分類如下說明：

- (1) 通信設備：廣義是指音響通信設備，分為電話與其應用設備，及警報裝置設備兩大類。不要求頻率帶域較窄的高忠實度。
- (2) 擴音設備：利用麥克風接受音樂或聲音，再以同樣的振幅，由室內的喇叭放出擴大聲音所需的設備，稱為擴音設備，其主要問題是嗥鳴現象（Howling）。所謂嗥鳴，是指由喇叭發出的聲音進入麥克風，其振幅經過加強後，由喇叭發出又返回麥克風，如此反覆進行而形成振動狀態，產生嗡嗡聲音的現象。如何控制是設備計劃上的一大重點。
- (3) 再生設備：利用麥克風接收錄音帶或唱片之聲音或音樂，然後在其他房間重新播放的設備，稱之。收音機、立體音響等均屬於再生設備，但因為不必擔心產生嗥鳴，故想獲得符合使用目的之音質或音量，在設計上較容易達到。
- (4) 附屬設備：附屬於擴音或再生設備，用以製造特殊效果，所以不單獨發生作用。

7-1-2 音響設備之使用目的

前面所提為一般之設備，而電氣音響設備的使用目的及基本機器如表 7.2 所示。

表 7.2 電氣音響設備之使用目的及基本機器

使用目的	麥克風	無線麥克風信號受置	混合擴大器	電力擴大器	座席用喇叭	跳回喇叭	效果喇叭	附加餘響裝置	時間延遲裝置	錄音機	電唱機	鐘琴	收(發)音機(新機間)	F M 調諧器	圖形平衡裝置	減低雜音系統	監控回路	背景音樂再生機
1. 擴音	○	○	○	○	○	○			△				○				○	
2. 一般廣播	○		○	○	○					△	△	○	○				○	
3. 音樂再生	○		○	○	○					○	△			○			△	
4. 音樂演奏	○		○	○	○	○		△		△	△				△	△		
5. 錄音	○	○	○	○			○	△		○							○	○
6. 效果音再生				○	○		○	○		○	○						○	○

○：必要機器 △：依場合需要的機器

7-2 電氣音響設備之構成

僅有音響設備機械並不夠，還必須就操作、維護檢修、管理、安全，以及房間之設計容納條件等各方面檢討。在建築上必須有調整的作業空間、擴音器安裝用的空間等，且麥克風架、麥克風昇降器等附屬裝置也是必須的。就各別機器之性能，此類附帶設備必須做充分的檢討。

7-2-1 電氣音響設備之構成

電氣音響設備的一般構成如圖 7.1所示，此為音響性能要求最多之多目的音樂廳實例。

- (1) 輸入系統：麥克風及錄音機、錄音帶等設備系統（又稱為線式輸入系統）。
- (2) 調整系統：係以調整桌或控制擴大器為中心的系統，有時也包含輸入、輸出的選擇，音壓級調整，音色加工，餘響附加等設備。
- (3) 輸出系統：是指以擴音器、電力擴大器為中心的系統。
- (4) 附屬品：是指麥克風、喇叭電纜線、保險絲等預備品或工具。

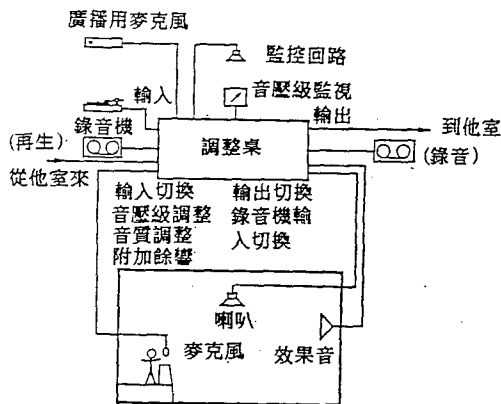


圖 7.1 電氣音響設備的基本構成

7-2-2 附屬空間

(1) 調整室：如圖 7.2

又稱混合室，為了完全發揮播音室、音樂廳、會議場等電氣音響設備的機械，在房間內必須設置調整室，藉專門技術人員做輸入切換、音壓級調整等工作。調整室推薦條件如下：

- a. 可以通視會場內部，在音樂廳內則必須可以看到舞台全部表演區及至少一半觀眾席。
- b. 面積大小按規模而定，但至少要有可以容納一張辦公桌及兩張椅子的空間，約 5 平方公尺，在音樂廳、會議場等空間中，最好有 10 平方公尺以上的地板面積。
- c. 室內裝修材方面，天花板及牆面必須使用全帶域吸音構造。
- d. 入口處採用隔音門，雖然本空間與所處理的房間之間必須用隔音窗，但是在錄音室以外的開放場地最好可聽見聲音為原則。

(2) 倉庫、收藏庫

為收藏麥克風、播音室隔音屏風等設施之空間，若能與使用房間相連則更加理想。

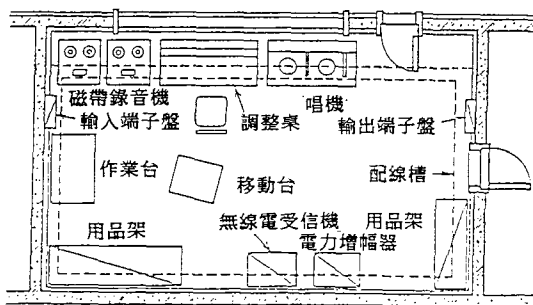


圖 7.2 調整室

(3) 麥克風設置空間

- a. 萬能插頭、電纜線：由使用房間到調整室，或是由調整室到附屬房間，必須用電纜線，須考慮配線之空間。
- b. 麥克風昇降裝置：在音樂廳等使用空間中，由舞台底部操作麥克風昇降之裝置，分為油壓式及電動式兩種，一般由調整室操作。較高級的產品可以任意設定在所要的高度（附有預先設定之裝置）。因為此裝置必須安置在地板下的空間內，所以要特別留意。就地板下的空間來考慮時，以電動式較有利，但若考慮雜音及高度調整的精確性，則以油壓式較出色。
- c. 麥克風三點吊裝裝置：在音樂廳等空間內對管弦樂團、合聲團作單點錄音時，指揮者後上方最好有麥克風。此麥克風是從天花板上用三根纜線懸吊下來，此即為麥克風三點吊裝裝置。吊裝裝置分為電動式及手動式兩種，在廣播工作室等房間中由調整室作遠距離操作，現已有可任意設定位置之產品。在錄音專用的音樂廳多為電動式，而一般音樂廳因使用次數少，用手動即足夠。

(4) 回音室、餘響附加裝置及收藏空間

音樂廳及錄音室必須有餘響附加裝置。其種類有回音室、鐵板餘響附加裝置、彈簧式餘響附加裝置、電子式餘響附加裝置等等，但目前以彈簧式為主。

(5) 喇叭容納空間

喇叭正面必須在房間內顯露出來，其設置地點隨音響性能而有相當限制。和照明器具等完全配合室內設計來考慮時，喇叭與建築的諧調感很差，在內部裝修上有許多問題。喇叭的配置方

式有圖 7.3 所示的幾種形式，大略可分為集中、分散以及併用型三種。一般空間使用的最多的為埋入天花的分散配置系統。目前在設計大空間音響反射板時，已漸漸有將音響反射面與喇叭安裝面分開設計之趨勢。關於擴音系統，在機能上還有充分的開發餘地，在設計意匠上也有待發展。唯獨，在設置場地或安裝方法上，應能與建築設計部門充分協商。

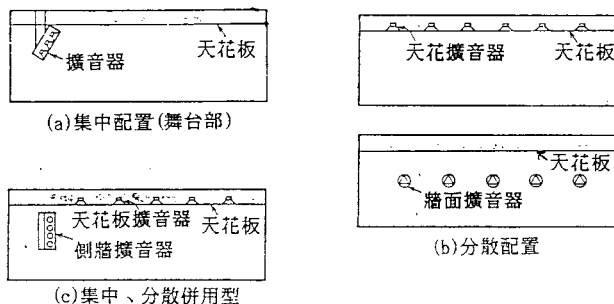


圖 7.3 喇叭的配置方式

7-2-3 擴音裝置之基本構成

按劇場、公眾集會廳、學校及其他各種用途的性能要求，在此僅就共通基本構成略加說明。

考慮最單純的情形，藉聲音或音樂等一次音源用 1 支麥克風把聲音轉變成電氣信號並加以擴大，再從擴音器（二次音源）放出此聲音，其系統圖如圖 7.4 所示，先用前置擴大器 (Preamplifier 或 Head Amp, H.A, 也叫麥克風擴大器) 把麥克風的輸出訊號作一次擴大，不作音量調整 (Volume Control, V.C)，然後用帶有音質調整 (Tone Control, T.C) 迴路的電壓擴大器 (Boost Amp, B.A) 把訊號擴大到輸入電力擴

大器 (Power Amp, P.A.) 所需要的音壓級大小，並藉此音壓信號供給電力以驅動喇叭。

實際上，使用數支麥克風同時把錄音機或收音機的再生信號加以混合的情形也很多。要加入表 7.1 所列的附屬設備，其組成如圖 7.5 之混合迴路 (MIX 或 NET) 但混合回路盡量不要使各迴路相互產生影響。為此，必定會衰減 10~30dB，所以常常附加一個混合擴大器 (Mix Amplifier) 以彌補此缺陷。圖 7.5 中之音壓級說明圖，表示各區段信號的音壓級。

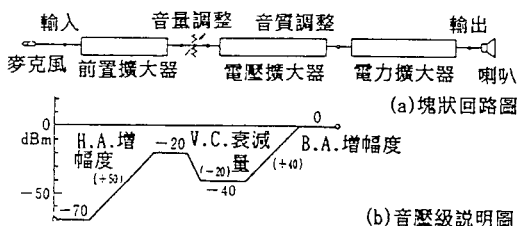


圖 7.4 擴音裝置之基本系統圖及音壓級說明圖 (*7-1)

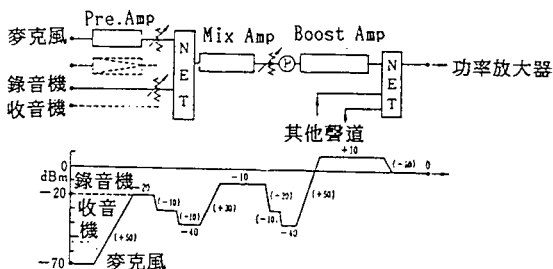


圖 7.5 標準擴音・再生設備的系統圖及音壓級說明圖 (*7-2)

7-2-4 監控迴路

電氣音響設備中麥克風及擴音器一般是設置在所要調整的音場內部適當位置上，而其他機器則全部容納在調整室中進行操作使用。但操作時無法掌握從擴音器傳出的聲音究竟會塑造出什麼樣的音場，因此必須加以正確監聽，這種監聽設施即為(Monitor)監控迴路。

7-3 電氣音響設備的必要性能

電氣音響設備有如 7-1節所述的各種使用目的，其必要性能按設置目的、設置場所等條件多少有差異，以下概述幾個重點。

7-3-1 再生音壓級

使用電氣音響設備之最大目的在獲得充分的再生音壓級。在很安靜的房間內收聽廣播新聞時只需要60dB的再生音壓即足夠，但是收聽錄音帶音樂或在家中聽音樂必須要有80、90的再生音壓。最近搖滾樂演奏會場的音壓級尖峰值常高達110dB，已趨近聽覺極限值。

宴會場等非常吵雜的場所，其語音擴音之再生音壓必須比室內噪音高10dB以上。又在工場等噪音級較高的環境中廣播時，必須加強中高音的再生音壓級。再生音壓級究應如何設定是一大課題，表 7.3為用粉紅色噪音作為輸入信號所獲得的再生音壓級。

表 7.3 再生音壓級的基準 (*7-3)

音 樂 廳	95[dB]
宴會場、集會場	90
大會議室、講堂	85
教 室	80
辦 公 室	80
大 廳	80
車站、中央廣場	85

7-3-2 安全擴音利得

在同一個房間中使用麥克風、擴音器時，從擴音器放出一部份音能會傳到麥克風，該能量若超過一定界限值會產生振動狀態並發出嗡嗡聲，形成防礙擴音的現象，此即嗶鳴。擴音裝置的再生輸出音壓級要根據嗶鳴來決定其大小，用以衡量擴音性能的尺度即稱之為「安全擴音利得」。如表 7.4 所示，而其測定系統如圖 7.6 所示，一般多目的音樂廳的安全擴音利得為 -8dB，其意義是指麥克風前面音壓級為 90dB 時，不怕會產生嗶鳴的最大再生音壓級為 $90-8=82\text{dB}$ 。但安全利得在 -15dB 以下時，已不具有擴音效果。

表 7.4 安全擴音利得之評價 (*7-4)

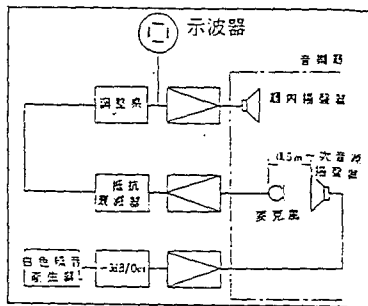
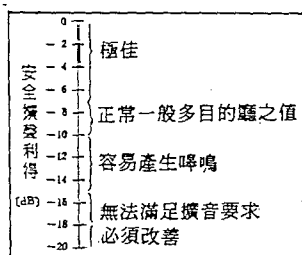


圖 7.6 安全擴音利得測定系統 (*7-5)

7-3-3 頻率特性

擴音器的音響特性是以設在無響室中的擴音器距其中心軸 1 公尺遠的點所具有的音壓級為代表，但此特性與在室內聽取位置的音質並無太大關係。評價良好者，其共通特性是高音部份不會降低，這都是演講及音樂用所共通的性質。關於頻率特性，其推薦基準如圖 7.7 所示。

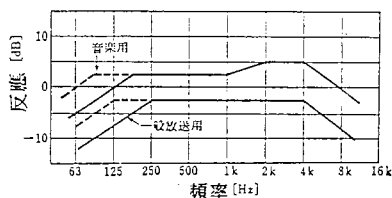
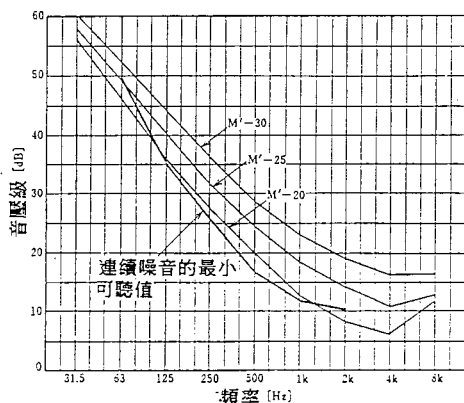


圖 7.7 傳送頻率特性推薦值 (*7-6)

7-3-4 噪音控制

整體設備設定在正常動作狀態時，在沒有信號的場合必須不會感覺到由擴音器而來的雜音及嗡嗡聲。在會議室、宴會場等空間中，因為室內噪音大，由電器音響設備傳來的噪音不太成為問題，但是在試聽室、廣播室、調整室及音樂廳等空間中則必須特別注意。

從擴音器發出的容許雜音在房間背景噪音級下不能感知，連續噪音的最小可聽值特性如圖 7.8 所示，該圖也說明了在 NC-20、25、30 的背景噪音狀態下所聽不見的音壓級（稱為遮蔽界限）。從機器發出的噪音如果在圖 7.8 所顯示之音壓級以下，人耳即無法感知。



連續噪音的最小可聽值及相對於
圖 7.8 NC-20, 25, 30 的遮蔽界限特性 M'
-20, M' -25, M' -30 (*7-7)

7-3-5 防止嗶鳴的對策

嗶鳴現象就是從擴音器傳出的聲音返回麥克風，提高其增加的幅度並藉此循環迴路產生振動的現象。其防止對策如下：

- (1) 麥克風要靠近一次音源(如演講者的嘴等等)。用無線式麥克風更有效。
- (2) a. 用組合式擴音器合成恰當的指向性，使聲音不會指向麥克風。
b. 使用指向性麥克風並對準不會感應擴音器直接音的方向。
c. 把擴音器與麥克風位置分開，設在側壁等障礙物陰面更有效，但是不能損害到聽眾的音方向感。
- (3) a. 減少擴散音縮短室內音響的餘響時間，同時消除定在波。
b. 指向性麥克風面對的牆面要作吸音處理。亦即，舞台牆面最好具吸音性。
- (4) 使用具有平坦頻率特性的個別音響機器。特別是麥克風或擴音器必須選用高級品。

7-4 電氣音響設備計畫

7-4-1 音響設備相關計畫

音響設備經過企畫、計畫、設計、施工、維護等各階段，須業主、建築設計者、施工業者之整體協調。音響設備設計與其他部門之關連性如圖 7.9。

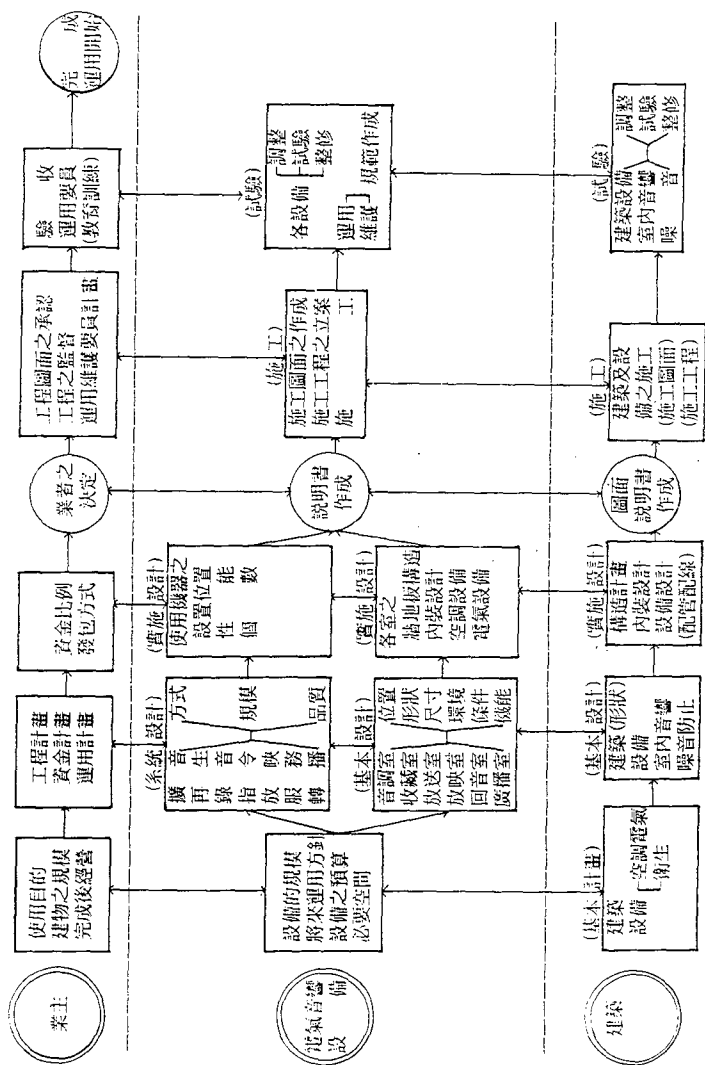


圖 7.0 電氣音響設備設計與其他部門之關係

7-4-2 設備必要空間

音響設備所必需之室，在建築計畫設計之階段即應充分檢討，確保空間之設置位置、形狀、寬度、音響條件及環境條件等。表 7.5 為各設備所必要之室。

表 7.5 各設備及必要空間

	擴音設備	錄音設備	再生設備		服務設備		指令設備	轉播 放送設備
			效果用 鑑賞用	放映用	呼叫通知 BGM	翻譯裝置		
音響調整室	◎	◎	◎	○	○	◎	○	○
電力增幅器室	◎		◎	◎	○	○		
放映室				◎				
轉播放送室								◎
機器收藏室	◎	◎	◎	◎		◎		
廣播室			○		◎			○
回音室	○	◎	○					

◎：特別必要 ○：相關連

7-4-3 麥克風及喇叭之設置計畫

A. 麥克風設置計畫

(1) 麥克風之種類及性能之特色如表 7.6:

表 7.6 麥克風之種類及性能上之特色

麥克風之種類	性能上之特色
電容型麥克風	• 頻率特性良好 • 必需特殊得前置擴大器 • 輸出感度高 • 瞬變特性良好 • 對濕氣比較弱 • 必需電源
帶振型麥克風 (速度型)	• 適用於欲獲得自然音質之聲音 • 輸出感度低 • 近距離效果之影響大 • 限用於風弱之室內
電動型麥克風 (可動線圈型)	• 構造上震盪強耐久性 • 過大之輸入強 • 適合廣範圍之用途
電子電容型 麥克風	• 原理如電容型頻率特性良 • 必需電源電池 • 取得便宜 • 適於一般用

(2) 麥克風之設置應避免下列之影響：

a. 氣流的影響：

無論任一麥克風，碰到氣流都會發生噪音，特別是速度型麥克風，必須在氣流速度小於 1m/sec 的室內才能使用，從天花板吊下之麥克風或監控麥克風，不可太靠近空調風管吹出口。

b. 誘導磁界的影響：

可動線圈型或速度型麥克風，因誘導磁界會發生雜音，故有監控器或變壓器的電氣器具、交流電源、以及通過電流大之照明用配線等不可靠近麥克風或麥克風線，設置位置、配線、配管要事先計畫。

c. 振動的影響：

設備機械的振動，或因腳步聲等其他固體音經由地板而傳入麥克風容易造成雜音，因此機械類要考慮設置防振基礎，防止固體音之傳播。

B. 喇叭設置計畫

(1) 喇叭之種類如表 7.7：

表 7.7喇叭之種類

放射方式之分類	—	圓錐型（直接放射型）喇叭
		喇叭型
		頭戴型喇叭
		格型喇叭
構成方式之分類	—	單一圓錐型喇叭
		複合圓錐型喇叭
		複合喇叭型
		同軸複合喇叭
振動板之分類	—	圓錐型喇叭
		圓頂型喇叭
		帶型喇叭
		平面驅動型喇叭

(2) 喇叭之設置

喇叭埋設在天花板或牆壁內，吊在天花板上或掛在牆上時對於擋板之尺寸、形狀及表面裝修等，必須檢視其音響上的要求與建築匠要求是否一致。

a. 喇叭箱：

喇叭箱之容積為滿足表 7.8 所列的數值特別是埋在牆內的場合，背後必須要留空間。為了方向性，在直線或曲線上安置許多喇叭時，其安裝如圖 7.10 及圖 7.11 所示，若喇叭藏在天花板內，可如圖 7.12 所示之處理。

b. 喇叭外表：

像薩綸聚合物纖維那樣粗薄的編織物，不會影響音響特性，但若用打孔板或肋板裝修則有將喇叭遮蔽之缺點。

c. 維修檢查的考慮：

埋設在天花板上時，要考慮天花板內部之通路，若埋在牆上時，須考慮採用表面容易維修之構造。

表 7.8 擴音箱的容積 (*7-8)

口 徑	最 小 容 積
16	3~5×10 ⁴ cm ³
20	5~8×10 ⁴ cm ³
25	10~12×10 ⁴ cm ³
30	15~20×10 ⁴ cm ³
40	25~40×10 ⁴ cm ³

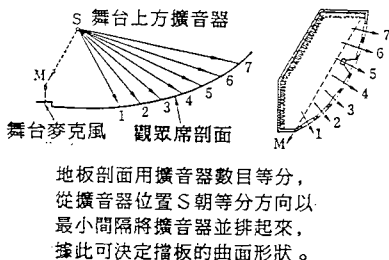


圖 7.10 舞台上擴音器的擋板設計

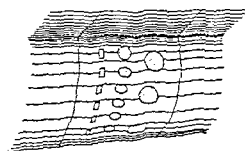


圖 7.11 舞台上方擴音器排列之例子

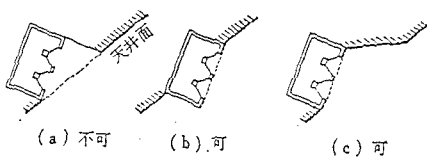


圖 7.12 擴音器擋板面及天花板面不一致時的處理方式

參 考 文 獻

- 7-1 : 前川純一: 建築音響, p.164, 共立出版株式會社, (1978).
- 7-2 : 同 7-1, p.165.
- 7-3 : 永田 穗: 建築の音響設計, p.131, オーム社, (1974).
- 7-4 : 同 7-3, p.132.
- 7-5 : 日本音響材料學會: 電氣音響設備, p.127, 技報堂出版株式會社, (1986).
- 7-6 : 永田 穗, 中村秀夫: 一般放送用スピーカの現場における音質と音響特性について, 建築音響研究委員會資料, AA74-6, (1977).
- 7-7 : 永田 穗: 有意騒音に對する許容音壓レベル, 音響學會研究發表會論文集, 1954, 5.
- 7-8 : 同 7-1, p.173.