

內政部建築研究所專題研究計畫成果報告

研究案：建築耐震設計規範研究

研究案編號：MOIS 881010-2

計畫名稱：建築設備耐震規範之研訂（1） 管線設備耐震規範之評估

執行期間：87年8月1日至88年6月30日

建築設備耐震規範之研訂（1） 管線設備耐震規範之評估

計畫主持人：洪李陵

共同主持人：林其璋

主辦單位：內政部建築研究所

執行單位：中華民國結構工程學會

中華民國八十八年六月

建築設備耐震規範之研訂(1)——管線設備耐震規範之評估

統一編號

002244880161

摘 要

基於過去數十年之研究與經驗，建築物主體結構的耐震分析和設計已有相當大的進展；惟對於附著在主體結構的設備和管線之耐震分析和設計則相對闕如。建築設備若因耐震能力不足而損壞，除造成龐大的財物損失外，更可能引致二次災害。管線設備因功能需求、支承形式、柔性構體和三維分佈等特性迥異於一般設備，需另行評估其耐震安全性。

本文內容包括：（1）國內外管線設備耐震規範之初步評估；（2）管線依內充物和用途給予不同的重要性係數，以訂定不同等級的耐震標準；（3）管線穿越梁、柱時，予以適當的規範，以確保主體結構的耐震能力；（4）管線進出建築物或機器設備之接點及管線轉彎或分歧處，應予以適當的規範，以防止管線受震脫落；和（5）應用樓版反應譜法，制定管線在不同震區、不同地盤、和不同樓層的自重支承間距折減係數，以確保管身的耐震能力。

誌 謝

本計畫承內政部建築研究所補助研究經費，期初、期中和期末簡報時，承邱昌平、王亭復、王劍虹、洪思閩、甘錫滢、林鴻志、蔡瑞河、和詹添全等諸位專家先進提供寶貴意見，使本文研究內容更臻完善，在此謹致上由衷敬意及謝忱。

目 錄

摘要	I
誌謝	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VII
第一章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的.....	1
1.2 研究內容.....	1
第二章 國內管線設計現況.....	3
2.1 概述.....	3
2.2 國內現況.....	3
第三章 管線分類和材質特性分析.....	7
3.1 管線分類.....	7
3.2 國內常用配管的材質和特性分析.....	8
第四章 管線設備耐震規範評估.....	17
4.1 概述.....	17
4.2 建築設備的地震力設計規範.....	18
4.3 管線的自重支承間距.....	19
第五章 管線耐震設計之支承間距.....	26
5.1 管線之振動分析.....	26
5.2 支承間距折減係數公式.....	28
5.3 支承間距折減係數建議表.....	29

第六章 結論與建議.....	49
6.1 結論.....	49
6.2 建議.....	49
6.3 「建築物管線設備耐震設計規範」草案大綱.....	51
參考文獻.....	54

表目錄

表2.1	鍍鋅鋼管的立管支承間距表.....	6
表3.1	鍍鋅鋼管管徑規格和質量表.....	12
表3.2	壓力鍍鋅鋼管管徑規格和質量表.....	12
表3.3	電線用鍍鋅鋼管管徑規格和質量表.....	13
表3.4	鑄鐵管的主要化學成份.....	13
表3.5	建築配管用銅管標準規格.....	14
表3.6	SUS 304台灣壓著不銹鋼管管徑規格和質量表.....	15
表3.7	導電線用PVC管管徑規格和質量表.....	15
表3.8	自來水用PVC管管徑規格和質量表.....	16
表3.9	欣南瓦斯公司室內管管徑規格和質量表.....	16
表4.1	「建築技術規則」所規定的供氣管路支承間距表.....	23
表4.2	ATC 29-1所建議的靜載重管線支承間距表.....	23
表4.3	固定架安裝處.....	23
表4.4	吊管架及支架間距.....	24
表4.5	「欣南瓦斯公司」的支架間距表.....	24
表4.6	銅管吊架最大間距表.....	25
表4.7	ABS塑鋼管配管跨距表（液體）.....	25
表5.1	RC建築物水平向的基本振動周期.....	32
表5.2	RC建築物各樓層水平向的有效參與係數.....	32
表5.3	第一類地盤地震一甲區的自重支承間距折減係數.....	33
表5.4	第一類地盤地震一乙區的自重支承間距折減係數.....	33
表5.5	第一類地盤地震第二區的自重支承間距折減係數.....	34

表5.6	第一類地盤地震第三區的自重支承間距折減係數.....	34
表5.7	第二類地盤地震一甲區的自重支承間距折減係數.....	35
表5.8	第二類地盤地震一乙區的自重支承間距折減係數.....	35
表5.9	第二類地盤地震第二區的自重支承間距折減係數.....	36
表5.10	第二類地盤地震第三區的自重支承間距折減係數.....	36
表5.11	第三類地盤地震一甲區的自重支承間距折減係數.....	37
表5.12	第三類地盤地震一乙區的自重支承間距折減係數.....	37
表5.13	第三類地盤地震第二區的自重支承間距折減係數.....	38
表5.14	第三類地盤地震第三區的自重支承間距折減係數.....	38
表5.15	台北盆地的自重支承間距折減係數.....	39
表5.16	垂直地震力作用下的自重支承間距折減係數.....	39

圖目錄

圖5.1	法規的各類地盤水平向正規化加速度反應譜.....	40
圖5.2	人造地震之強度包絡函數.....	40
圖5.3	各類地盤的地表加速度歷時.....	41
圖5.4	15層樓RC建築物的樓版反應譜.....	43
圖5.5	10層樓RC建築物的樓版反應譜.....	46
圖5.6	5層樓RC建築物的樓版反應譜.....	48

第一章 緒 論

1.1 研究動機與目的

一般而言，建築物內部的配管設計以功能需求為主，鮮少考慮其耐震安全性，頂多考量因自重造成的變形和應力，在適當間隔處，予以支承。台灣位處環太平洋地震帶，地震頻繁，不乏發生大地震的可能。即令建築物主體結構的設計和施工完全滿足耐震規範的要求，一旦強震來襲，管線因而損壞，不但造成財務損失，亦可能因二次災害，喪失救災功能，增加使用者性命安全的潛在威脅。

建築師和結構技師負責建築物主體結構的規劃和設計，電機技師和其他相關技師負責管線的配置和設計，兩者通常分頭進行，且往往結構設計比配管設計先完成。因此，進行主體結構的分析和設計時，並未考慮配管的大小和確實位置。另一方面，管線為圖現場施工方便，任意埋置和穿越主體結構的現象到處可見，進而影響主體結構的耐震安全性。

本研究的目的有二：(一)明確規範管線埋置和穿越主體結構的方式和範圍，以確保主體結構的耐震能力，和(二)制定管線在不同震區、不同地盤、和不同樓層的支承間距，以及管線之間和機械設備的銜接方式，以確保管線設備的耐震安全性。

1.2 研究內容

本文研究內容含：(一)以主體結構耐震設計的觀點，探討和條列管線埋置和穿越主體結構的注意事項，以不影響主體結構的耐震能力為原則；(二)探討和條列管線銜接處的支承方式，以防止管線的脫落；以及(三)採用同一安全標準時，探討管線在自重和地震力作用下的支承間距比例，明訂由自重支承間距轉至耐震支承間距的修正係數，以保障管身的耐震能力。

本文共分為六章：第一章為緒論；第二章介紹國內管線設計的現況，尤其針

對管線的不當施工影響主體結構的耐震安全性加以詳述；第三章則是管線的分類和常用管線的材質特性分析；第四章為管線設備耐震規範的初步評估；第五章則提出管線耐震設計所需支承間距的計算公式和自重支承間距的折減係數建議表；第六章為結論與建議。

第二章 國內管線設計現況

2.1 概述

雖然同樣是管線結構，就耐震安全性而言，錨定於建築物內部的管線設備和佈置於戶外的維生管線仍存有若干差異：

- (一) 維生管線的管徑通常比室內管線大。
- (二) 維生管線一般為二維佈置，而室內管線多為三維分佈。
- (三) 維生管線埋設或錨定於土層，容易遭受自然環境或人為破壞，其耐震設計依據地表振動。室內管線一方面受建築物保護，另一方面卻因結構系統的放大作用，有可能承受較大的地震力，其耐震設計以樓板振動為準，與地表振動和結構系統的動態特性有關。
- (四) 由於室內管線與使用者共居一堂，若因強震而損壞，立即對使用者的生命安全或逃生通道造成潛在的威脅。

本研究探討和評估室內管線的耐震規範和分析，因需加入結構系統的動態特性，比一般的維生管線更加複雜。首先針對國內配管現況作一番檢視。

2.2 國內現況

目前國內對建築物內部的管線耐震設計並無統一且詳細的規範可供遵循，管線設計的相關要求或規定散見於各主管單位的設計規則或監造單位的施工說明書，其考慮因素通常為功能需求性和使用安全性，而非耐震安全性。

國內的電機技師和相關技師負責電氣、通訊、給排水和消防管線的配管設計，而自來瓦斯管線則由當地的自來瓦斯公司負責設計和施工。事實上，施工圖樣上常常只是標明管材、管徑和坡度，並未確切標示管線的實際位置和支承間距，僅註明依施工說明書辦理，逕由承包廠商視現場狀況而施工。

至於管材的選擇，主要依據業主的成本來考量。此外，內充物的物理、化學性質和工作壓力亦需一併考量。管徑的選擇除了內充物的容量之外，電氣管線尚有散熱的考量。

管線的裝設有暗管和明管兩種，暗管完全埋置於主體結構內，明管則有可能部份穿越主體結構。管線亦可分為垂直管和水平管（亦稱立管和橫管）兩種，一般而言，垂直管線的管徑大於水平管。垂直管線以裝設於管道間為宜。水平管線亦以明管為佳，方便於檢視、維修和更換。事實上，國內仍常見垂直管線以暗管形式埋置於柱內，更有甚者，管線總橫斷面積佔了柱橫斷面積相當大的比例。無論垂直或水平暗管，都有承包廠商為圖施工方便，將管線放置於鋼筋保護層之內，尤以小管徑的電氣或通訊管線最為常見。為確保結構主體的耐震性能，任何暗管均不得置於鋼筋保護層之內，且總橫斷面積僅能佔結構構材橫斷面積的一小部份，除非經由結構技師的審核許可。垂直暗管需埋置於柱、牆的中心線，而水平暗管應儘可能埋置於梁、版的壓力側，否則亦以埋設於中心線為宜。

垂直明管應不得穿越梁，而水平明管應不得穿越柱。垂直明管穿越版和水平明管穿越梁時，應避開結構構材的剪力區域，否則需經結構技師核算後，增列補強鋼筋。水平明管穿越梁時，應經過壓力側，且保持適當間距。

一般而言，因強風或強震造成管線變位，其損壞大部份在管線進、出屋內或管線與運轉、使用設備的連接處，其次為管線轉彎或分歧處。國內的水、電和瓦斯管線在上述銜接處，一般都會設計彈性伸縮接頭或防震軟管，以防止管線的脫落，降低損害程度。惟在管線轉彎或分歧處，並未強調使用伸縮接頭，僅以增加額外支承裝置取代之。

管線支承大約可分為管支座和吊管架兩種裝置，前者以垂直明管最為常見，後者則普及於水平明管。每一種裝置又有固定式和可動式兩種不同的型式，差異之處在於管身軸向是否已束制在支承上。國內的管線支承以固定式最為常見，惟穿越結構元件時，穿越處若視為支承，則明顯屬於可動式。可動式吊管架尚可加

上彈簧吊鉤，不但可以避震，也可以減少機械設備操作運轉聲音的傳導。

某些管線因管材和內充物相當輕盈，如鋁箔風管等，國內常因省工省時而未加錨定或吊管，逕置於輕鋼架天花板之上，一旦天花板受震脫落，風管亦岌岌可危。

一般要求在建築物各樓層至少應有一個垂直配管的支承裝置，以防止振動。鉛管的立管支承間距約為1.5公尺，鋼管約為2公尺，而鍍鋅鋼管則可加大支承間距，如表2.1所示。

決定水平管線的支承間距時，通常將管線視為兩端束制於支承的樑，然後檢討因管身和內充物的自重所造成的彎曲應力或撓度，或管身受熱應力而可能挫屈的各種情況後，依管徑的大小分別訂定之。換言之，支承間距的考量並未顧及地震力。管材的質料日新月異，而支承間距的大小又與管材的軸向彈性係數息息相關，一般的管線施工說明書僅列出傳統常用管材的支承間距表，特殊管材或特殊用途的管線支承間距建議值則由供應廠商個別提供。一般而言，管線的支承間距隨管徑增大而加長。

表2.1 鍍鋅鋼管的立管支承間距表

標稱管徑(mm)	25	50	80	100	150	200	250	300
支持間隔(M)	5	6	7	8	9	10	11	12

第三章 管線分類和材質特性分析

3.1 管線分類

管線可依材質、內充物或重要性給予不同的分類。

(一) 依管材分類

大致可分為金屬管、金屬複合管和非金屬管三類。常見的金屬管有鍍鋅鋼管、鑄鐵管、銅管、鋁管、鉛管和不銹鋼管等，因選用金屬的不同，其施工、維護、防火、耐壓、耐震、耐酸鹼和耐蝕的特性亦各異。通常為改善某些金屬管上述物理、化學特性的缺點，內襯或被覆其它材質，形成金屬複合管，如不銹鋼被覆管、被覆鋼管、PVC內襯鋼管和PE內襯鋼管等。一般而言，金屬管和金屬複合管較重，搬運、裝卸和安裝的困難度亦較高，因而有聚乙烯等非金屬管的運用。常見的非金屬管有PVC管、PE管和ABS管等三種，其中PE管和ABS管的耐用年限可達五十年，正常情況下幾乎不必維修。

(二) 依內充物分類

一般可分為電氣管線、通訊管線、供水管線、供氣管線和特殊管線等。電氣管線尚有高壓和低壓之分。通訊管線即弱電管線，室內的通訊管線管徑都很小。供水管線含給水、排水和消防管線等三種，就防災觀點而言，自然以消防管線最為重要，且其管徑亦最大。供氣管線常是自來瓦斯管線，其耐震重要性無庸置疑。質量較輕的通風管線和工廠、農場的化工原料、藥劑等輸送管線歸屬於特殊管線。

(三) 依重要性分類

在美國應用科技委員會（Applied Technology Council, ATC）的會議論文集ATC 29-1裡，Stevenson[1]提及管線的分類為一般（normal）、危

險 (hazardous) 和必要 (essential) 等三種。若業主認為管線內充物為危險性物質，或操作溫度高於650℃，則管線可歸類為危險管線。若業主認為地震時和地震後的管線功能和必要的安全需求息息相關，則該管線可歸類為必要管線。

就管線耐震安全性的觀點而言，以重要性來分類較為恰當，可給予不同程度的設計地震力。因此，自來瓦斯管線和有毒物質的輸送管線可屬於危險管線；而消防管線可歸為必要管線。

3.2 國內常用配管的材質和特性分析

(一) 鍍鋅鋼管 (白鐵管、GIP)

一般給水、冰水、熱水、消防、蒸氣和瓦斯等配管，常用壓力在10 kg/cm²以下，都使用鍍鋅管 (白鐵管) B級(GIP B class)，其管徑規格和質量如表3.1所示。白鐵管的優點在於施工容易，耐衝擊，但易受酸性腐蝕。另外一種白鐵管A級的產品，其管壁比B級薄一點，適用於不承受壓力及腐蝕較少的場合。

配管所用的鋼管，當然不只是白鐵管B級和A級而已，其它種類的鋼管都用在特殊情況，如高壓、高溫、耐酸或耐蝕等，依鋼中滲碳和其它元素的比例不同，其材質也就不同，用途也各異，部份特殊用途鍍鋅鋼管的管徑規格和質量如表3.2和表3.3所示。

(二) 鑄鐵管(CIP)

鑄鐵管俗稱生管，鑄鐵管的含碳量在1.7~4.5%之間，缺乏延展性，但可耐高壓及抗酸鹼的腐蝕，一般污水和排水管、埋入地下之自來水給水管、電信地下電纜用管、和紡織、化學工業用管常配用之，其主要化學成份如表3.4所示。鑄鐵管為世界公認最安全、耐久、實用和安靜之污水管路系統，其優點為噪音最低、防火效果佳、無毒、堅固耐用、抗腐蝕性、

使用壽命極長且施工方便。

(三) 非鐵金屬管

銅管、鋁管和鉛管為非鐵金屬管。銅管有良好的耐蝕性及熱傳導，一般都用於加熱管和冷凍機用管。鋁管也有良好熱傳導，而且重量比銅管輕，一般用於冷凍盤管。鉛管耐蝕性極強，一般都用於化學纖維工業管路。表3.5為建築配管用銅管標準規格。

(四) 不銹鋼管

使用年限長，特點是內部光滑，雖耐溫和保溫效果差，且成本高，但維護容易，施工方式有壓接及銲接，極為方便。表3.6為台灣壓著不銹鋼管管徑規格和質量表。

(五) 不銹鋼被覆管

解決了不銹鋼管的缺點，且保溫性、防噪音效果、耐候性和耐化性良好，故近年來建築物也在廣泛使用。

(六) PVC內襯鋼管

解決了鍍鋅鋼管的缺點，且赤水和白水現象消失。使用年限延長，如同不銹鋼管，但成本節省2~3倍左右，且又兼耐酸鹼、耐蝕、耐震、耐壓及易施工等優點，故近年來被廣泛使用於給水、排水、消防及空調管線。

(七) PE內襯鋼管

其鋼管材料為 C_2H_4 之碳氫聚合物，屬於無毒性，在流體中無滲出有毒物質之虞，衛生等級高，可適用於傳輸純水和飲用水等高品質流體。PE材料本身具有優良的耐蝕性，熔覆面平滑，可增加流體流動性，不易附著雜質。因具多種特性，更符合整體經濟性，故適用於給水、污水、排水、消防和空調等配管。

(八) 被覆銅管

具有保溫性、絕熱性、耐腐蝕性、防噪音、耐震和卓越的施工性等優點。於長時間使用下，不致生鏽或產生水垢，也不會造成流速減小或流量減少。價格比不銹鋼管便宜。

(九) PVC管

為常用的聚氯乙烯管，材質很輕，搬運、裝卸和施工都很方便，而且具有優異的耐酸、耐鹼和耐腐蝕性。PVC管的壁面光滑，對流體的阻力較小，並且具有優越的絕緣性，適合各種工程的配管。施工迅速、容易，工程費甚低，唯一的缺點為易受重力撞擊破壞，因此保用年限過低。PVC管可用於排水管和給水管，因有耐藥性，故可用於化學工廠、食品工廠、果樹園和農場等藥劑輸送管、工業用海水輸送管、排氣管和瓦斯管等。表3.7和表3.8分別為導電線用和自來水用PVC管管徑規格和質量表。

(十) PE管

俗稱聚乙烯管，耐腐蝕性及耐電蝕性優，質輕，安裝搬運簡易，可熔接，耐用年限50年，正常情況下不需維護。

(十一) ABS管

俗稱塑鋼管，為新一代管材，比重約為1.06，具有耐腐蝕性及耐電蝕性，並且質堅、韌性強、耐衝擊和耐強震。耐用年限約50年，施工費用與PVC活套管相同，故常使用於空調、給水和排水等配管。

(十二) 混凝土管

混凝土管主要用於埋入地下的水道管、瓦斯管、排水管和地下電纜管線。

(十三) 欣南瓦斯公司用管

欣南瓦斯公司室內管的管徑規格和質量如表3.9所示。

表3.1 鍍鋅鋼管管徑規格和質量表(JIS G3452, CNS6445 G3127)

標稱管徑		外徑	厚度	不含接頭質量	標稱管徑		外徑	厚度	不含接頭質量
mm	inch	mm	mm	Kg/M	mm	inch	mm	mm	Kg/M
15	1/2	21.7	2.8	1.31	100	4	114.3	4.5	12.2
20	3/4	27.2	2.8	1.68	125	5	139.8	4.5	15.0
25	1	34.0	3.2	2.43	150	6	165.2	5.0	19.8
32	1 1/4	42.7	3.5	3.38	200	8	216.3	5.8	30.1
40	1 1/2	48.6	3.5	3.89	250	10	267.4	6.6	42.4
50	2	60.5	3.8	5.31	300	12	318.5	6.9	53.0
65	2 1/2	76.3	4.2	7.47	350	14	355.6	7.9	67.7
80	3	89.1	4.2	8.79					

表3.2 壓力鍍鋅鋼管管徑規格和質量表(JIS G3454, CNS4626 G3111)

標稱管徑		外徑 mm	Sch 20		Sch 40	
mm	inch		厚度 mm	質量 Kg/M	厚度 mm	質量 Kg/M
15	1/2	21.7	-	-	2.8	1.31
20	3/4	27.2	-	-	2.9	1.74
25	1	34.0	-	-	3.4	2.57
32	1 1/4	42.7	-	-	3.6	3.47
40	1 1/2	48.6	-	-	3.7	4.10
50	2	60.5	3.2	4.52	3.9	5.44
65	2 1/2	76.3	4.5	7.97	5.2	9.12
80	3	89.1	4.5	9.39	5.5	11.3
100	4	114.3	4.9	13.2	6.0	16.0
125	5	139.8	5.1	16.9	6.6	21.7
150	6	165.2	5.5	21.7	7.1	27.7
200	8	216.3	6.4	33.1	8.2	42.1

表3.3 電線用鍍鋅鋼管管徑規格和質量表(JIS C8305, CNS2606 C4060)

標稱管徑 mm	外徑 mm	厚度 mm	質量 Kg/M
16	21.0	2.3	1.06
22	26.5	2.3	1.37
28	33.3	2.5	1.90
36	41.9	2.5	2.43
42	47.8	2.5	2.79
54	59.6	2.8	3.92
70	75.2	2.8	5.00
82	87.9	2.8	5.88
92	100.7	3.5	8.39
104	113.4	3.5	9.48

表3.4 鑄鐵管的主要化學成份

名 稱	化 學 成 分 %					附 註
	C	Si	Mn	P	S	
輕級鑄鐵管	3.75 上下	3.3 上下	0.60 上下	0.80 上下	0.06 上下	抗拉強度均在 18,000psi以上
中級鑄鐵管	3.50	2.00	0.80	0.70 以下	0.08 以下	抗拉強度均在 21,000psi以上
重級鑄鐵管	3.40	1.40	0.50	0.60 以下	0.08 以下	抗拉強度均在 24,000psi以上

表3.5 建築配管用銅管標準規格(ASTM B88, CNS5127 H3081)

類型	標稱管徑		平均外徑 mm	平均厚度 mm	參考質量 Kg/M	用途
	mm	inch				
K	8	1/4	9.52	0.89	0.216	上水道引水管 醫療配管 其它的一般配管
	10	3/8	12.70	1.24	0.399	
	15	1/2	15.88	1.24	0.510	
	-	5/8	19.05	1.24	0.620	
	20	3/4	22.22	1.65	0.953	
	
L	8	1/4	9.52	0.76	0.187	醫療配管 冷熱水配管 空調冷溫水配管 其它的一般配管
	10	3/8	12.70	0.89	0.295	
	15	1/2	15.88	1.02	0.426	
	-	5/8	19.05	1.07	0.540	
	20	3/4	22.22	1.14	0.675	
	
M	10	3/8	12.7	0.64	0.217	冷熱水配管 空調冷溫水配管 其它的一般配管
	15	1/2	15.88	0.71	0.302	
	20	3/4	22.22	0.81	0.487	
	25	1	28.58	0.89	0.692	
	32	1 1/4	34.92	1.07	1.02	
	
N	8	1/4	9.52	0.46	0.117	排水管 通風管
	10	3/8	12.70	0.46	0.158	
	15	1/2	15.88	0.51	0.220	
	20	3/4	22.22	0.56	0.341	
	25	1	28.58	0.61	0.479	
	
DWV	32	1 1/4	34.92	1.02	0.971	排水管 通風管
	40	1 1/2	41.28	1.02	1.15	
	50	2	53.98	1.07	1.59	
	80	3	79.38	1.14	2.51	
	100	4	104.78	1.47	4.27	
	125	5	130.18	1.83	6.60	
	150	6	155.58	2.11	9.10	

表3.6 SUS 304台灣壓著不銹鋼管管徑規格和質量表

標稱管徑		外徑 mm	厚度 mm	質量 Kg/M
mm	inch			
13	1/2	15.88	0.8	0.301
20	3/4	22.22	1.0	0.529
25	1	28.58	1.0	0.687
30	1 1/4	34.00	1.2	0.980
40	1 1/2	42.70	1.2	1.240
50	2	48.60	1.2	1.420
60	2 1/2	60.50	1.5	2.200

表3.7 導電線用PVC管管徑規格和質量表

標稱管徑		平均外徑 mm	平均厚度 mm	參考質量 Kg/M
mm	inch			
13	3/8	18	2.0	0.144
16	1/2	22	2.0	0.180
20	3/4	26	2.0	0.216
28	1	34	3.0	0.420
35	1 1/4	42	3.5	0.608
41	1 1/2	48	3.5	0.702
52	2	60	4.0	1.010
65	2 1/2	76	4.5	1.450
80	3	89	5.5	2.070
100	4	114	7.1	3.420
125	5	140	7.5	4.490
150	6	165	9.2	6.460
200	8	216	11.2	10.340

表3.8 自來水用PVC管管徑規格和質量表

標稱管徑		平均外徑 mm	平均厚度 mm	參考質量 Kg/M
mm	inch			
13	3/8	18	2.5	0.175
16	1/2	22	3.0	0.257
20	3/4	26	3.0	0.312
25	1	34	3.5	0.450
40	1 1/2	48	4.0	0.795
50	2	60	4.5	1.130
65	2 1/2	76	4.5	1.450
80	3	89	5.5	2.070
100	4	114	7.1	3.380
125	5	140	8.1	4.820
150	6	165	9.2	6.460
200	8	216	11.2	10.340
250	10	267	13.9	15.860
300	12	318	16.6	22.560
350	14	370	19.3	30.520

表3.9 欣南瓦斯公司室內管管徑規格和質量表

BSB (俗稱白鐵管)			
標稱管徑 inch	最大外徑 mm	壁厚 mm	單位質量 Kg/M
1/2	21.8	2.6	1.314
3/4	27.3	2.9	1.866
1	34.2	3.2	2.690
1 1/4	42.9	3.6	3.742
1 1/2	48.8	4.1	4.759
2	60.8	4.1	6.053
2 1/2	76.6	4.5	8.480
3	89.5	4.5	10.028
4	115.0	4.5	13.038

第四章 管線設備耐震規範評估

4.1 概述

無論國內或國外，設備物的相關耐震設計規範不若建築物的耐震設計規範來得完善和周延，原因不外乎：早先設備物震害的損失不比建築物的損失來得明顯和受重視、設備物的種類和規格不一而足、設備物的設計地震力比建築物的設計地震力來得複雜、結構物的強震紀錄遠少於自由場、以及設備物的耐震設計往往涉及結構、電機和機械等領域的整合。

一般的建築物設備設計規範僅論及各種設備物的功能需求性和正常使用的安全性，如「建築技術規則」[2]的建築設備編各章節規定了各種設備物的安裝數量、功能需求和安裝方法；或僅提供簡化的設計地震力公式，如「建築物耐震設計規範及解說」[3]第四章的最小設計總橫力 F_p ，僅適用於剛性設備，且未考慮設備物的重要性等級；或僅列出耐震安全性的原則性解說，如日本「官廳施設之總合耐震計畫基準及同解說」[4]第4.4節中，要求建築設備需確保震後的人身安全，並防止二次災害外，甲類建築物的建築設備另需維持運轉至相當期間或考慮某種替代方案；或僅敘述管線耐震設計的基本原則和對象，如ATC29-1[1]提及管線的耐震設計方法分為法規設計(design by rule)和分析設計(design by analysis)兩種，而ASME的B31[5]指出位於強震區的危險或必要大管徑管線需進行分析設計，弱震區的危險或必要小管徑管線和強震區的一般大管徑管線則需進行法規設計，其餘一般管線不需特殊的耐震設計，僅依正常的操作載重去設計即可。

功能設計規範 (performance-based design code) 強調在不同大小的地震力作用下，建築物應有不同程度的使用功能或損害狀況，此種耐震設計的思考模式漸趨盛行，不僅適用於主體結構，亦可運用於建築設備。FEMA 273[6]將建築物結構體和非結構體的耐震性能分級和分段，並列出耐震性能級別和設計地震力大小

的對應關係，以建議基本安全需求，或供使用者選擇更高的耐震標準。

管線設備不同於一般的剛性設備，其設計地震力的因素考量較為複雜。管線系統因震害而喪失功能，大致可分為發生於不連續處和連續處兩類。前者意指管線進、出端（與戶外管線和室內使用端或機器設備的連接點）、轉彎處、和分歧處的脫落；後者乃指管身因變位或應力過大，造成破損或失去應有的功能。雖然管線的震害以不連續處的脫落最為常見，但若在規範中強制以彈性伸縮接頭或加強固定支承來防止，則反而是管身的破壞需要進一步的耐震分析和設計。管身的破壞與支承間距息息相關，而支承間距的長短不但直接影響最大彎曲應力和最大撓度的大小，不同的支承間距導致管線有不同的基本振動周期，因而有不同的設計地震力。

4.2 建築設備的地震力設計規範

完整的建築設備設計地震力需包含地表的振動效應、主體結構（含樓版）的放大效應和設備物本身的放大效應。易言之，主體結構的設計地震力為地盤振動的反應譜，而諸如管線等柔性設備則需樓版振動的反應譜。我國「建築物耐震設計規範及解說」[3]第四章中，明定設備之最小設計總橫力為

$$F_p = ZIC_p W_p \quad (4.1)$$

式中 Z 為建築物的震區水平加速度係數； I 為用途係數，乃依建築物而非設備物的用途和重要性而定，有1.0、1.25和1.5三值； C_p 為局部震力係數，管線設備取0.75， W_p 為管身加內充物的總重量。基本上，上式較適用剛性設備的靜力分析和設計，並未將樓版或樓高的放大效應和設備的動態放大效應詳實考慮。

中國大陸的設計規範[7]為

$$F_p = ARIW \quad (4.2)$$

其中 A 和 R 分別考慮了樓版和設備的放大效應。日本官廳的設計規範[4]為

$$F_p = ZIK_1K_2K_0W \quad (4.3)$$

其中 K_0 、 K_1 和 K_2 分別考慮了正規化設計反應譜、樓高放大效應和設備放大效應，且用途係數 I 亦計及設備之重要性。

美國UBC-97[8]的管線設計地震力為

$$F_p = 0.56C_aI_pW_p \quad (4.4)$$

其中 C_a 為震力係數，與震區位置和地盤性質有關，範圍為0.06至0.36， I_p 為管線的重要性係數，危險或必要管線取1.25。IBC-97[9]的管線設計地震力公式較為複雜，考慮了樓高放大效應、設備共振效應和能量折減效應，其範圍為

$$0.3S_{DS}I_pW_p \leq F_p \leq 1.6S_{DS}I_pW_p \quad (4.5)$$

其中 S_{DS} 為加速度設計反應譜係數，由0.2g至1.25g，亦與震區和地盤有關， I_p 為管線的重要性係數，危險或必要管線取1.5。

對管線設備而言，支承間距決定管身的基本振動周期，管身不必然與主體結構共振，然為保守計，設計地震力若考慮了管身的動態放大效應，通常取其最大值，即共振時的放大係數。

4.3 管線的自重支承間距

管線未經耐震設計時，通常以自重考量來建議所需的支承間距。若將管身視為兩端固定於支承的樑，則支承間距可能取決於最大彎曲應力或最大撓度，如果管線輸送高溫物質，支承間距也有可能受制於熱應力所產生的挫屈軸力。茲分述於下：

(一) 最大彎曲應力控制

對兩端均固定的管樑而言，

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \frac{d_2}{2}}{I} = \frac{wl^2 \frac{d_2}{2}}{12 \frac{\pi}{64}(d_2^4 - d_1^4)} \Rightarrow l^2 = \frac{3\pi\sigma_{\max} \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}}{8w} \approx \frac{3\pi\sigma_{\max} t}{2w}(d_2^2 + d_1^2) \quad (4.6)$$

式中， σ_{\max} = 最大彎曲應力；

M_{\max} = 最大彎曲力矩；

I = 管斷面的慣性矩；

d_2 = 外徑；

d_1 = 內徑；

w = 管身加內充物的單位長度自重；

l = 自重作用所需的支承間距；

t = 管壁厚度。

(二) 最大撓度控制

對兩端均固定的管樑而言，

$$v_{\max} = \frac{wl^4}{384EI} \Rightarrow l^4 = \frac{384EIv_{\max}}{w} = \frac{6\pi Ev_{\max}}{w}(d_2^4 - d_1^4) \quad (4.7)$$

式中， v_{\max} = 最大撓度；

w = 管身加內充物的單位長度自重；

l = 自重作用所需的支承間距；

E = 管材的軸向彈性係數；

I = 管斷面的慣性矩；

d_2 = 外徑；

d_1 = 內徑。

(三) 挫屈應力控制

對兩端均固定的管樑而言，

$$P = \frac{4\pi^2 EI}{l^2} = E\alpha\Delta t A_p \Rightarrow l^2 = \frac{4\pi^2 I}{\alpha\Delta t A_p} = \frac{\pi^2}{4\alpha\Delta t} (d_2^2 + d_1^2) \quad (4.8)$$

式中， P = 臨界挫屈軸力；

E = 管材的軸向彈性係數；

I = 管斷面的慣性矩；

l = 支承間距；

α = 熱膨脹係數；

Δt = 樑兩支承端的溫差；

A_p = 管壁的斷面積；

d_2 = 外徑；

d_1 = 內徑。

由上述公式可知，無論最大彎曲應力、最大撓度或挫屈應力何者控制，管徑愈大，支承間距愈大。

表4.1為「建築技術規則」[2]的建築設備編所規定的供氣管路支承間距表。表4.2為ATC 29-1[1]所建議的支承間距表，該表最大工作溫度為400，容許最大撓度為2.5 mm，最大彎曲應力為2.3 ksi，約佔一般管材容許應力的10%至15%。在「高雄市政府教育局公有建築水電工程施工說明書」[10]的給排水設備工程施工說明第八條配管安裝施工及吊架的第（五）項：「所有外露之管線，其吊管架及支架須能適應管之伸縮，防止搖動，並能調整高低保持管線之坡度，承包人應參照建築結構圖，選擇各處管架支架及固定架等之型式，繪製施工圖送請設計技師或監造人員核定。除特別註明外，其支持間距應如表4.3及表4.4」。欣南瓦斯公司規定：「瓦斯內管露出部分，應儘量利用建築物之樓版、樑下、柱、及壁等部位，以適當方法固定之，其間距如表4.5」。表4.6為廠商所提供的銅管吊架最大間距表，表4.7則為廠商所提供的輸送液體ABS塑鋼管配管跨距表。

常見的自重支承間距表以橫管為主，表2.1、表4.1、表4.3和表4.4亦規定部份立管的支承間距或固定架安裝處。一般而言，每層樓版應至少有一處立管的支承架；在立管轉彎處或分歧處，應額外加裝固定架。我國「建築技術規則」[2]的「建築設計施工編」中，第十二章「高層建築物」的第四節「建築設備」的第二四五條規定：「高層建築物之配管立管應考慮層間變位，一般配管之容許層間變位為二百分之一，消防、瓦斯等配管為百分之一」，說明消防、瓦斯等管線為必要或危險管線，其設計地震力應予以提高。

表4.1 「建築技術規則」所規定的供氣管路支承間距表

支承物之最大間距 (公尺)	1.8	2.4	3.0	每層樓板面
管 徑 (公厘)	13	19-25	水平	垂直
			32以上	

表4.2 ATC 29-1所建議的靜載重管線支承間距表

標稱管徑(NPS)	建議最大跨度			
	水		蒸汽、瓦斯、空氣	
	ft	m	ft	m
1	7	2.1	9	2.7
2	10	3.0	13	4.0
3	12	3.7	15	4.6
4	14	4.3	17	5.2
6	17	5.2	21	6.4
8	19	5.8	24	7.3
12	23	7.0	30	9.1
16	27	8.2	35	10.7
20	30	9.1	39	11.9
24	32	9.8	42	12.8

表4.3 固定架安裝處 (50公厘以下管除指定處外免裝)

系統別	項 別	固定架安裝處所
給水系統	65公厘以上橫管	分歧處及水平彎管處，特別指定處
	65公厘以上立管	彎管處及分歧處
排水系統	65公厘以上橫管	分歧處及水平彎管處
	65公厘以上立管	彎管處及分歧處

表4.4 吊管架及支架間距

配管系統別	管 種	項 別		吊管架及支架間距
		直 管		
立 管	鑄鐵管	直 管		每一支一處
		零件連接	二件 三件	任何一件一處 中央一件一處
	鍍鋅鋼管			每層一處以上
	塑膠管			每1.2公尺以內一處
橫 管	鍍鋅鋼管	管徑20公厘以下		每1.8公尺以內一處
		管徑25-40公厘		每2.0公尺以內一處
		管徑50-80公厘		每3.0公尺以內一處
		管徑90-150公厘		每4.0公尺以內一處
	管徑200公厘以上		每5.0公尺以內一處	
	塑膠管	管徑15公厘以下		每0.75公尺以內一處
管徑20-40公厘			每1.00公尺以內一處	
管	鑄鐵管	管徑50公厘		每1.20公尺以內一處
		管徑65-125公厘		每1.50公尺以內一處
	管徑150公厘以上		每2.00公尺以內一處	
	直 管		每一支一處	
零 件		每一件一處		

表4.5 「欣南瓦斯公司」的支架間距表

管徑(mm)	15 ~ 25	32 ~ 40	50 以上
間距(M)	2	2	3

表4.6 銅管吊架最大間距表

標稱管徑	inch	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4
	mm	15	20	25	32	40	50	65	80	100
吊架最大間距(M)		1.5	1.8	1.8	2	2.7	3	3	3.4	3.7

表4.7 ABS塑鋼管配管跨距表 (液體)

標稱管徑 inch	平均外徑 mm	跨距 (M)		
		20 ° C	50 ° C	70 ° C
3/8	16	0.8	0.5	0.4
1/2	20	0.9	0.5	0.4
3/4	25	1.0	0.7	0.6
1	32	1.1	0.7	0.7
1 1/4	40	1.1	0.7	0.7
1 1/2	50	1.2	0.8	0.7
2	63	1.4	0.9	0.7
2 1/2	75	1.6	0.9	0.8
3	90	1.7	1.0	0.9
4	110	1.9	1.2	1.0
5	125	1.9	1.2	1.0
6	160	2.1	1.3	1.1
8	200	2.5	1.5	1.2

第五章 管線耐震設計之支承間距

5.1 管線之振動分析

無阻尼均質管樑之自由振動方程式為

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} = 0 \quad (5.1)$$

式中， m 為管樑單位長度的質量， EI 為彎曲剛度， $u(x,t)$ 為管樑橫向或垂直向變位。以分離變數法解之，即

$$u(x,t) = \phi(x)q(t) \quad (5.2)$$

其中，形狀函數為

$$\phi(x) = A \sin \beta_n x + B \cos \beta_n x + C \sinh \beta_n x + D \cosh \beta_n x \quad (5.3)$$

當兩端為固定支承時，其邊界條件為

$$u(0,t) = u(L,t) = u'(0,t) = u'(L,t) = 0 \quad (5.4)$$

式中， L 為管身動態反應所需的支承間距。

利用邊界條件解得管線振動系統的特徵方程式為

$$\cos(\beta_n L) \times \cosh(\beta_n L) - 1 = 0 \quad (5.5)$$

其振態頻率為

$$\omega_n = (\beta_n L)^2 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} = C_n \sqrt{\frac{EI}{mL^4}} \quad (5.6)$$

所對應的形狀函數和其二次導函數分別為

$$\phi_n(x) = \cosh(\beta_n x) - \cos(\beta_n x) - \sigma_n [\sinh(\beta_n x) - \sin(\beta_n x)] \quad (5.7)$$

$$\phi_n''(x) = \beta_n^2 \cosh(\beta_n x) + \beta_n^2 \cos(\beta_n x) - \sigma_n [\beta_n^2 \sinh(\beta_n x) + \beta_n^2 \sin(\beta_n x)] \quad (5.8)$$

式中

$$\sigma_n = \frac{\cos \beta_n L - \cosh \beta_n L}{\sin \beta_n L - \sinh \beta_n L} \quad (5.9)$$

若僅取基本振態($n=1$)，則

$$C_1 = (\beta_1 L)^2 = 22.3733 \quad (5.10)$$

$$\beta_1 = 4.73 / L \quad (5.11)$$

$$\sigma_1 = 0.982502 \quad (5.12)$$

若第 k 層樓版振動歷時所得的虛擬絕對加速度反應譜為 F_k ，單位為 g ，則該樓層管身受震時的最大撓度為

$$u_{\max} = \phi_1(L/2) P_1 \frac{g F_k}{\omega_1^2} = \phi_1(L/2) P_1 \frac{w L^4}{C_1^2 EI} F_k \quad (5.13)$$

式(5.13)僅考慮管樑振動的基本振態，而 $\phi_1(L/2) = 1.588146$ ，

$$P_1 = \int_0^L \phi_1(x) dx = 0.83089 \quad (5.14)$$

代入式(5.13)得

$$u_{\max} = \frac{w L^4}{379.3 EI} F_k \quad (5.15)$$

因此，若給定允許最大撓度 u_{\max} 、管身單位重 w 、彎曲剛度 EI 和樓版反應譜 F_k ，則可依式(5.15)計算地震力作用時，管身所需的支承間距 L 。

若為最大彎曲應力控制，則反應譜分析得最大彎矩為

$$M_{\max} = EI \phi_1''(0) P_1 \frac{g F_k}{\omega_1^2} = \phi_1''(0) P_1 \frac{w L^4}{C_1^2} F_k \quad (5.16)$$

式中， $\phi_1''(0) = 44.7458 / L^2$ ，代入式(5.16)得

$$M_{\max} = \frac{w L^2}{13.46} F_k = \frac{\sigma_{\max} I}{d_2 / 2} \quad (5.17)$$

因此，若給定允許最大彎曲應力 σ_{\max} 、管身單位重 w 、管斷面慣性矩 I 、外徑 d_2 和樓版反應譜 F_k ，則式(5.17)可計算地震力作用下的支承間距 L 。

5.2 支承間距折減係數公式

如依前一節之公式計算地震力作用下的管身支承間距，不僅需知樓版反應譜，亦需知曉管身斷面尺寸和單位重、管材彈性係數、以及容許最大撓度和最大彎曲應力。管材和管徑種類繁多，不一而足，且一般管線供應商業已提供了管線自重所需的支承間距 l ，若假設地震力作用時的容許最大撓度和最大彎曲應力與自重狀況所要求者一致，據以計算 $r_l = L/l$ ，即自重支承間距 l 轉至耐震支承間距 L 所需的折減係數，則比較方便於相關技師之管線耐震設計。

若依容許最大撓度來控制支承間距，則

$$u_{\max} = \frac{wL^4}{379.3EI} F_k = v_{\max} = \frac{wl^4}{384EI} \quad (5.18)$$

因此

$$r_l^4 = \frac{L^4}{l^4} = \frac{0.9878}{F_k} \quad (5.19)$$

若依容許最大彎曲應力來控制支承間距 則

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{13.46} F_k = \frac{wl^2}{12} \quad (5.20)$$

因此

$$r_l^2 = \frac{L^2}{l^2} = \frac{1.122}{F_k} \quad (5.21)$$

故若知各樓層的樓版反應譜和管身的預估基本振動周期，可依式(5.19)或式(5.21)來計算支承間距折減係數 r_l ，再乘上自重所需的支承間距 l ，即得耐震所需的支承間距 L 。

5.3 支承間距折減係數建議表

通常結構技師不涉及配管設計，而負責管線設計的電機或其他技師也不懂樓版反應譜。若能依法規的地盤反應譜推求樓版反應譜，並考慮管線共振的臨界狀

況，即樓版反應譜取最大值，據此建議自重支承間距的折減係數，則更方便相關技師之取用。

法規通常給定正規化或標準化的地盤反應譜，而管線亦可依重要性選擇耐震設計的加權係數，因此支承間距折減係數的計算公式可化為

$$r_l^4 = \frac{0.9878}{Z I_p F_k} \quad (5.22)$$

或

$$r_l^2 = \frac{1.122}{Z I_p F_k} \quad (5.23)$$

其中 Z 為震區係數，我國規範[3]有0.18、0.23、0.28和0.33等四值； I_p 為重要性係數，一般管線取1.0，危險或必要管線可取1.5。

我國規範[3]有第一類地盤、第二類地盤、第三類地盤和台北盆地等四種正規化水平加速度反應譜，如圖5.1所示。以”SIMQKE”程式可製作相容於法規四種地盤反應譜的地表加速度歷時，其強度包絡函數 $a(t)$ 如圖5.2所示。其中， T_a 為7秒， T_b 為15秒， T_d 為50秒，OA曲線為

$$a(t) = \frac{t^2}{T_a^2} \quad (5.24)$$

BD曲線為

$$a(t) = e^{-k(t-T_b)} \quad (5.25)$$

且

$$k = \frac{-\ln 0.05}{T_d - T_b} \quad (5.26)$$

所得四種地盤的水平地表加速度歷時示於圖5.3。

對特定的建築物，結構技師可依圖5.3之地表加速度歷時，建立各樓層的樓版反應譜。至於一般的RC建築物，可參考盧志清的碩士論文[11]以總樓層數來決

定RC建築物的基本振動周期和各樓層的有效參與係數，藉此建立各樓層的樓版反應譜。本文各以15、10和5層樓的RC建築物為例，建立在各類地盤下的樓版反應譜。表5.1列出這三棟不同樓層RC建築物的基本振動周期，表5.2則是這三棟RC建築物各樓層的有效參與係數，圖5.4至圖5.6分別為這三棟RC建築物各樓層的樓版反應譜。

取樓版反應譜的最大值 F_k ，可分別依式(5.22)和式(5.23)求得各樓層在最大撓度和最大彎曲應力控制下的自重支承間距折減係數 r_l 。不同地盤、不同震區、以及不同樓層的自重支承間距折減係數分別示於表5.3至表5.15。若RC建築物的樓層不恰為上述三種，其自重支承間距折減係數可依表5.3至表5.15適度內插之。

表5.3至表5.15為一般管線的支承間距折減係數，若為危險或必要管線，需視撓度或彎曲應力何者控制，再除以 $\sqrt[4]{15}$ 或 $\sqrt{15}$ 。基本上，水平最大撓度不若垂直最大撓度要求之嚴格，故表5.3至表5.15之支承間距折減係數 r_l 應以彎曲應力控制者為準，撓度控制之 r_l 僅作參考。由表5.3至表5.15可知，樓層愈高，因受水平地震力影響愈大，支承間距折減係數 r_l 愈小。低樓層的水平地震力較小，最大撓度和最大彎曲應力有可能小於垂直自重所得者，故 r_l 有可能大於1，此時應取 $r_l = 1$ 。

就垂直地震力而言，法規[3]雖明定震區係數 Z_v 和正規化加速度反應譜係數 C_v ，但因建築物各樓層垂直量測紀錄不多[11]，無法識別和推估各樓版垂直振動的有效參與係數，故嘗試以靜力分析方法決定 r_l 。若為最大撓度控制，則

$$r_l^4 = \frac{0.9878}{Z_v I_p C_v + 1} = \frac{0.9878}{\frac{2}{3} Z I_p C_v + 1} \quad (5.27)$$

若為最大彎曲應力控制，則

$$r_l^2 = \frac{1.122}{Z_v I_p C_v + 1} = \frac{1.122}{\frac{2}{3} Z I_p C_v + 1} \quad (5.28)$$

盧志清[11]所得RC建築物的平均基本振動周期為0.113秒，以台北盆地為例， $Z = 0.28$ ， $C_v = 2.5$ ，故就一般管線而言，最大撓度控制之 $r_l = 0.91$ ，最大彎曲應

力控制之 $r_f = 0.87$ 。為保守計，應取0.87或表5.3至表5.15之 r_f 的最小值為各樓層一般管線支承間距的折減係數。其餘各震區的RC建築物在垂直地震力作用下的自重支承間距折減係數列於表5.16。

表5.3至表5.16的自重支承間距折減係數表可能過於保守，原因有三：（一）不考慮管線真正的基本振動周期，逕取樓版反應譜的尖峰值為 F_k ，進行計算；（二）不考慮RC建築物的韌性容量，事實上，RC建築物在法規的設計地震力作用下，已進入非彈性反應；和（三）如ATC 29-1[1]所述，自重支承間距所對應的最大彎曲應力僅佔管材容許應力的10%至15%，若此種現象普及於廠商所提供的各類管材自重支承間距表，則在地震力作用下，尚可容許最大彎曲應力之提昇，因而支承間距可加長，折減係數可再加大。

表5.1 RC建築物水平向的基本振動周期

	15層樓RC建築物	10層樓RC建築物	5層樓RC建築物
基本振動周期	0.711秒	0.513秒	0.294秒

表5.2 RC建築物各樓層水平向的有效參與係數

15層樓RC建築物		10層樓RC建築物		5層樓RC建築物	
樓層	有效參與係數	樓層	有效參與係數	樓層	有效參與係數
1	2.69E-02	1	4.94E-02	1	1.48E-01
2	7.75E-02	2	1.48E-01	2	4.49E-01
3	1.48E-01	3	2.85E-01	3	8.09E-01
4	2.36E-01	4	4.49E-01	4	1.14E+00
5	3.38E-01	5	6.28E-01	5	1.34E+00
6	4.49E-01	6	8.09E-01		
7	5.67E-01	7	9.83E-01		
8	6.88E-01	8	1.14E+00		
9	8.09E-01	9	1.26E+00		
10	9.27E-01	10	1.34E+00		
11	1.04E+00				
12	1.14E+00				
13	1.22E+00				
14	1.29E+00				
15	1.34E+00				

表5.3 第一類地盤地震一甲區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.02	1.10	1	1.01	1.09	1	0.98	1.01
2	1.04	1.15	2	1.03	1.13	2	0.77	0.64
3	1.07	1.21	3	0.94	0.94	3	0.67	0.48
4	1.03	1.14	4	0.86	0.79	4	0.61	0.40
5	0.97	1.01	5	0.80	0.68	5	0.59	0.37
6	0.91	0.88	6	0.76	0.61			
7	0.86	0.79	7	0.72	0.56			
8	0.82	0.72	8	0.70	0.52			
9	0.79	0.66	9	0.68	0.50			
10	0.76	0.62	10	0.67	0.48			
11	0.74	0.58						
12	0.72	0.55						
13	0.71	0.53						
14	0.70	0.52						
15	0.69	0.51						

表5.4 第一類地盤地震一乙區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.06	1.20	1	1.05	1.18	1	1.02	1.10
2	1.08	1.24	2	1.07	1.23	2	0.81	0.69
3	1.11	1.32	3	0.98	1.02	3	0.70	0.52
4	1.08	1.24	4	0.90	0.85	4	0.64	0.44
5	1.01	1.09	5	0.83	0.74	5	0.61	0.40
6	0.95	0.96	6	0.79	0.66			
7	0.90	0.86	7	0.76	0.61			
8	0.86	0.78	8	0.73	0.57			
9	0.82	0.72	9	0.71	0.54			
10	0.79	0.67	10	0.70	0.53			
11	0.77	0.63						
12	0.75	0.60						
13	0.74	0.58						
14	0.72	0.56						
15	0.72	0.55						

表5.5 第一類地盤地震第二區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.11	1.32	1	1.11	1.30	1	1.07	1.21
2	1.14	1.37	2	1.13	1.36	2	0.85	0.76
3	1.17	1.45	3	1.03	1.13	3	0.73	0.57
4	1.13	1.36	4	0.94	0.94	4	0.67	0.48
5	1.06	1.21	5	0.88	0.82	5	0.64	0.44
6	1.00	1.06	6	0.83	0.73			
7	0.94	0.95	7	0.79	0.67			
8	0.90	0.86	8	0.77	0.63			
9	0.86	0.79	9	0.75	0.60			
10	0.83	0.74	10	0.74	0.58			
11	0.81	0.70						
12	0.79	0.66						
13	0.77	0.64						
14	0.76	0.62						
15	0.75	0.61						

表5.6 第一類地盤地震第三區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.18	1.50	1	1.18	1.48	1	1.13	1.37
2	1.21	1.55	2	1.20	1.53	2	0.90	0.86
3	1.24	1.64	3	1.09	1.27	3	0.78	0.64
4	1.20	1.54	4	1.00	1.07	4	0.71	0.54
5	1.13	1.36	5	0.93	0.93	5	0.69	0.50
6	1.06	1.19	6	0.88	0.83			
7	1.00	1.07	7	0.84	0.76			
8	0.96	0.97	8	0.82	0.71			
9	0.92	0.90	9	0.80	0.68			
10	0.89	0.84	10	0.78	0.66			
11	0.86	0.79						
12	0.84	0.75						
13	0.82	0.72						
14	0.81	0.70						
15	0.80	0.69						

表5.7 第二類地盤地震一甲區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.02	1.11	1	1.02	1.10	1	0.97	1.01
2	1.04	1.15	2	0.97	1.00	2	0.78	0.64
3	1.03	1.12	3	0.88	0.82	3	0.67	0.48
4	0.98	1.03	4	0.80	0.69	4	0.62	0.41
5	0.91	0.89	5	0.75	0.60	5	0.59	0.37
6	0.85	0.78	6	0.71	0.53			
7	0.81	0.70	7	0.68	0.49			
8	0.77	0.63	8	0.65	0.45			
9	0.74	0.58	9	0.64	0.43			
10	0.71	0.54	10	0.63	0.42			
11	0.69	0.51						
12	0.68	0.49						
13	0.66	0.47						
14	0.65	0.45						
15	0.65	0.44						

表5.8 第二類地盤地震一乙區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.06	1.21	1	1.06	1.19	1	1.02	1.10
2	1.08	1.25	2	1.01	1.08	2	0.81	0.70
3	1.07	1.22	3	0.91	0.89	3	0.70	0.52
4	1.02	1.11	4	0.84	0.74	4	0.64	0.44
5	0.95	0.96	5	0.78	0.65	5	0.62	0.41
6	0.89	0.84	6	0.74	0.58			
7	0.84	0.76	7	0.70	0.53			
8	0.80	0.69	8	0.68	0.49			
9	0.77	0.63	9	0.66	0.47			
10	0.74	0.59	10	0.65	0.46			
11	0.72	0.55						
12	0.70	0.53						
13	0.69	0.51						
14	0.68	0.49						
15	0.67	0.48						

表5.9 第二類地盤地震第二區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.12	1.33	1	1.11	1.32	1	1.07	1.21
2	1.14	1.38	2	1.06	1.19	2	0.85	0.77
3	1.12	1.35	3	0.96	0.98	3	0.73	0.57
4	1.07	1.23	4	0.88	0.82	4	0.67	0.49
5	1.00	1.06	5	0.82	0.71	5	0.65	0.45
6	0.93	0.93	6	0.77	0.64			
7	0.88	0.83	7	0.74	0.58			
8	0.84	0.76	8	0.71	0.54			
9	0.81	0.70	9	0.70	0.52			
10	0.78	0.65	10	0.69	0.50			
11	0.76	0.61						
12	0.74	0.58						
13	0.72	0.56						
14	0.71	0.54						
15	0.71	0.53						

表5.10 第二類地盤地震第三區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.19	1.50	1	1.18	1.49	1	1.13	1.37
2	1.21	1.56	2	1.12	1.35	2	0.90	0.87
3	1.20	1.52	3	1.02	1.11	3	0.78	0.65
4	1.14	1.39	4	0.93	0.93	4	0.72	0.55
5	1.06	1.20	5	0.87	0.81	5	0.69	0.51
6	0.99	1.05	6	0.82	0.72			
7	0.94	0.94	7	0.79	0.66			
8	0.90	0.86	8	0.76	0.61			
9	0.86	0.79	9	0.74	0.58			
10	0.83	0.73	10	0.73	0.57			
11	0.81	0.69						
12	0.79	0.66						
13	0.77	0.63						
14	0.76	0.61						
15	0.75	0.60						

表5.11 第三類地盤地震一甲區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.03	1.13	1	1.01	1.08	1	0.99	1.04
2	1.02	1.11	2	0.95	0.97	2	0.79	0.66
3	0.99	1.04	3	0.89	0.84	3	0.68	0.49
4	0.94	0.93	4	0.82	0.71	4	0.62	0.42
5	0.88	0.82	5	0.76	0.62	5	0.60	0.38
6	0.82	0.71	6	0.72	0.55			
7	0.77	0.64	7	0.69	0.50			
8	0.73	0.58	8	0.66	0.47			
9	0.70	0.53	9	0.65	0.45			
10	0.68	0.49	10	0.64	0.43			
11	0.66	0.46						
12	0.64	0.44						
13	0.63	0.42						
14	0.62	0.41						
15	0.61	0.40						

表5.12 第三類地盤地震一乙區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.07	1.23	1	1.05	1.17	1	1.03	1.13
2	1.06	1.20	2	0.99	1.05	2	0.82	0.71
3	1.03	1.12	3	0.92	0.91	3	0.71	0.53
4	0.97	1.01	4	0.85	0.77	4	0.65	0.45
5	0.91	0.89	5	0.79	0.67	5	0.62	0.42
6	0.85	0.77	6	0.75	0.60			
7	0.80	0.69	7	0.72	0.55			
8	0.77	0.62	8	0.69	0.51			
9	0.73	0.57	9	0.68	0.49			
10	0.71	0.53	10	0.67	0.47			
11	0.68	0.50						
12	0.67	0.47						
13	0.65	0.46						
14	0.64	0.44						
15	0.64	0.43						

表5.13 第三類地盤地震第二區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.13	1.36	1	1.10	1.29	1	1.08	1.24
2	1.11	1.32	2	1.04	1.16	2	0.86	0.79
3	1.08	1.24	3	0.97	1.00	3	0.74	0.59
4	1.02	1.12	4	0.89	0.85	4	0.68	0.50
5	0.96	0.98	5	0.83	0.74	5	0.66	0.46
6	0.89	0.85	6	0.79	0.66			
7	0.84	0.76	7	0.75	0.60			
8	0.80	0.69	8	0.73	0.56			
9	0.77	0.63	9	0.71	0.54			
10	0.74	0.59	10	0.70	0.52			
11	0.72	0.55						
12	0.70	0.52						
13	0.69	0.50						
14	0.68	0.49						
15	0.67	0.48						

表5.14 第三類地盤地震第三區的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.20	1.53	1	1.17	1.46	1	1.15	1.40
2	1.19	1.50	2	1.11	1.31	2	0.91	0.89
3	1.15	1.40	3	1.03	1.13	3	0.79	0.67
4	1.09	1.26	4	0.95	0.96	4	0.73	0.56
5	1.02	1.11	5	0.89	0.84	5	0.70	0.52
6	0.95	0.96	6	0.84	0.75			
7	0.90	0.86	7	0.80	0.68			
8	0.86	0.78	8	0.77	0.64			
9	0.82	0.71	9	0.75	0.61			
10	0.79	0.66	10	0.74	0.59			
11	0.76	0.62						
12	0.75	0.59						
13	0.73	0.57						
14	0.72	0.55						
15	0.71	0.54						

表5.15 台北盆地的自重支承間距折減係數

15層樓RC建築物			10層樓RC建築物			5層樓RC建築物		
樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制	樓層	撓度控制	彎矩控制
1	1.12	1.34	1	1.12	1.33	1	1.05	1.18
2	1.09	1.27	2	1.06	1.20	2	0.87	0.81
3	1.05	1.17	3	0.99	1.05	3	0.76	0.61
4	0.99	1.04	4	0.92	0.90	4	0.70	0.52
5	0.93	0.93	5	0.86	0.78	5	0.67	0.48
6	0.89	0.84	6	0.81	0.70			
7	0.85	0.76	7	0.78	0.64			
8	0.81	0.70	8	0.75	0.60			
9	0.78	0.65	9	0.73	0.57			
10	0.76	0.61	10	0.72	0.56			
11	0.74	0.58						
12	0.72	0.55						
13	0.71	0.53						
14	0.70	0.52						
15	0.69	0.51						

表5.16 垂直地震力作用下的自重支承間距折減係數

震區	撓度控制	彎矩控制
一甲區	0.89	0.84
一乙區	0.90	0.86
第二區	0.91	0.89
第三區	0.93	0.92
台北盆地	0.91	0.87

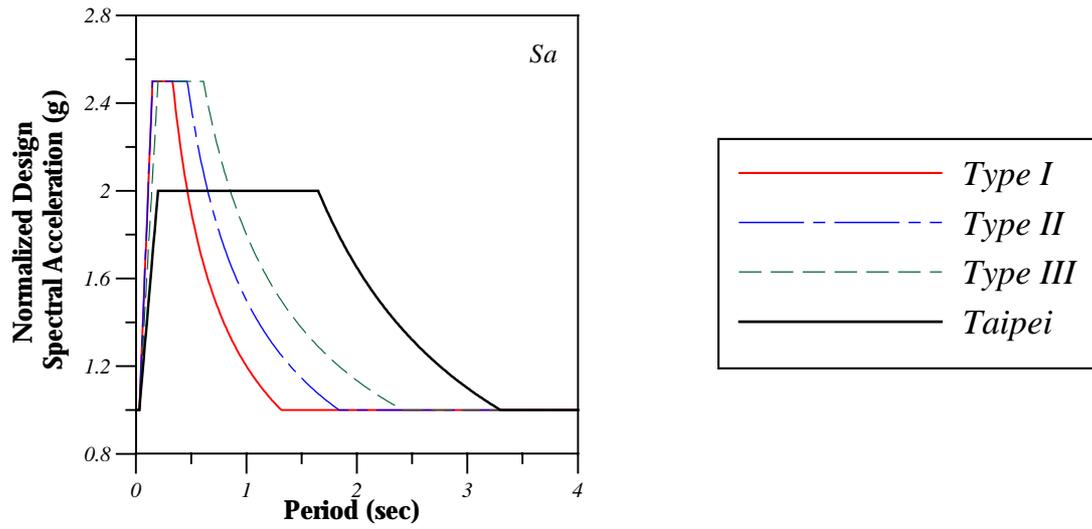


圖5.1 法規的各類地盤水平向正規化加速度反應譜

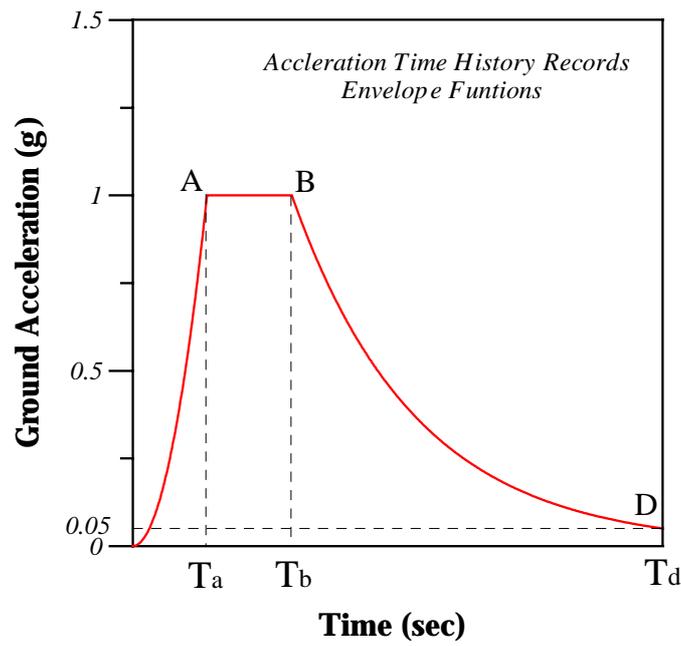
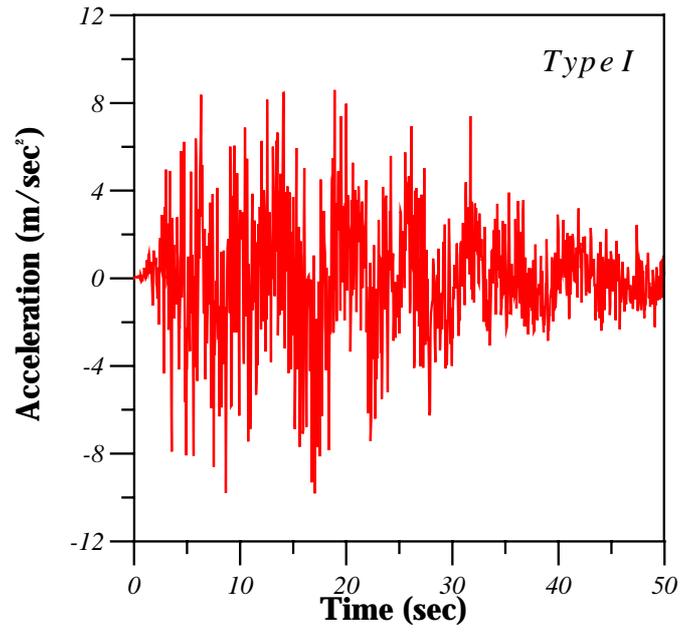
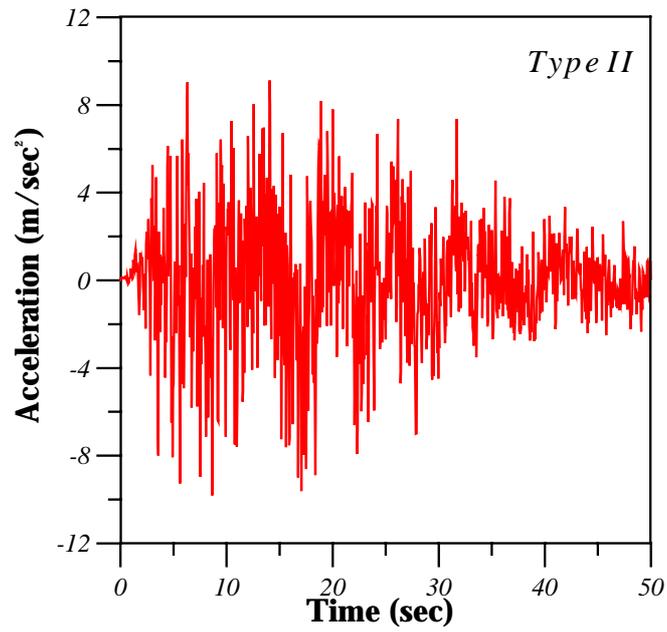


圖5.2 人造地震之強度包絡函數

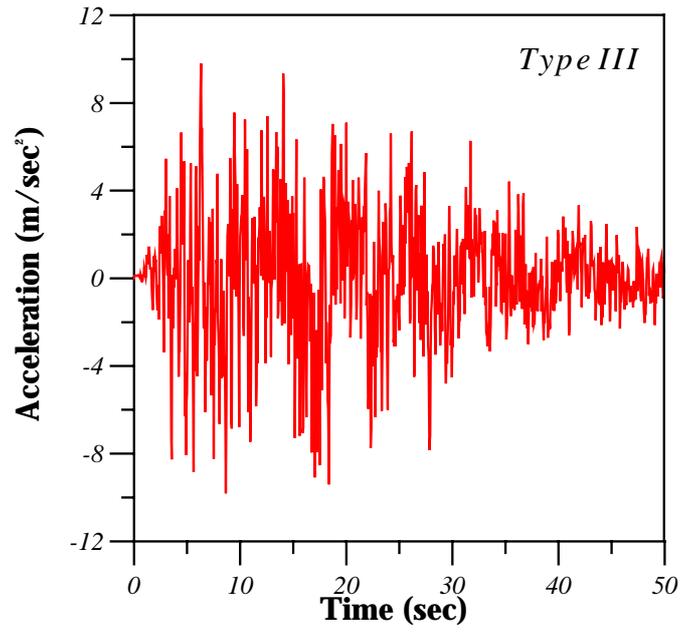


(a) 第一類地盤

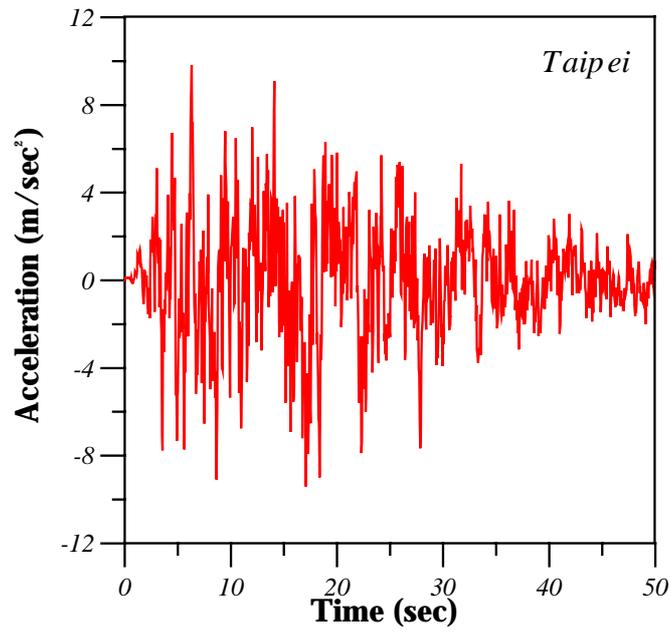


(b) 第二類地盤

圖5.3 各類地盤的地表加速度歷時



(c) 第三類地盤



(d) 台北盆地

圖5.3 (續)

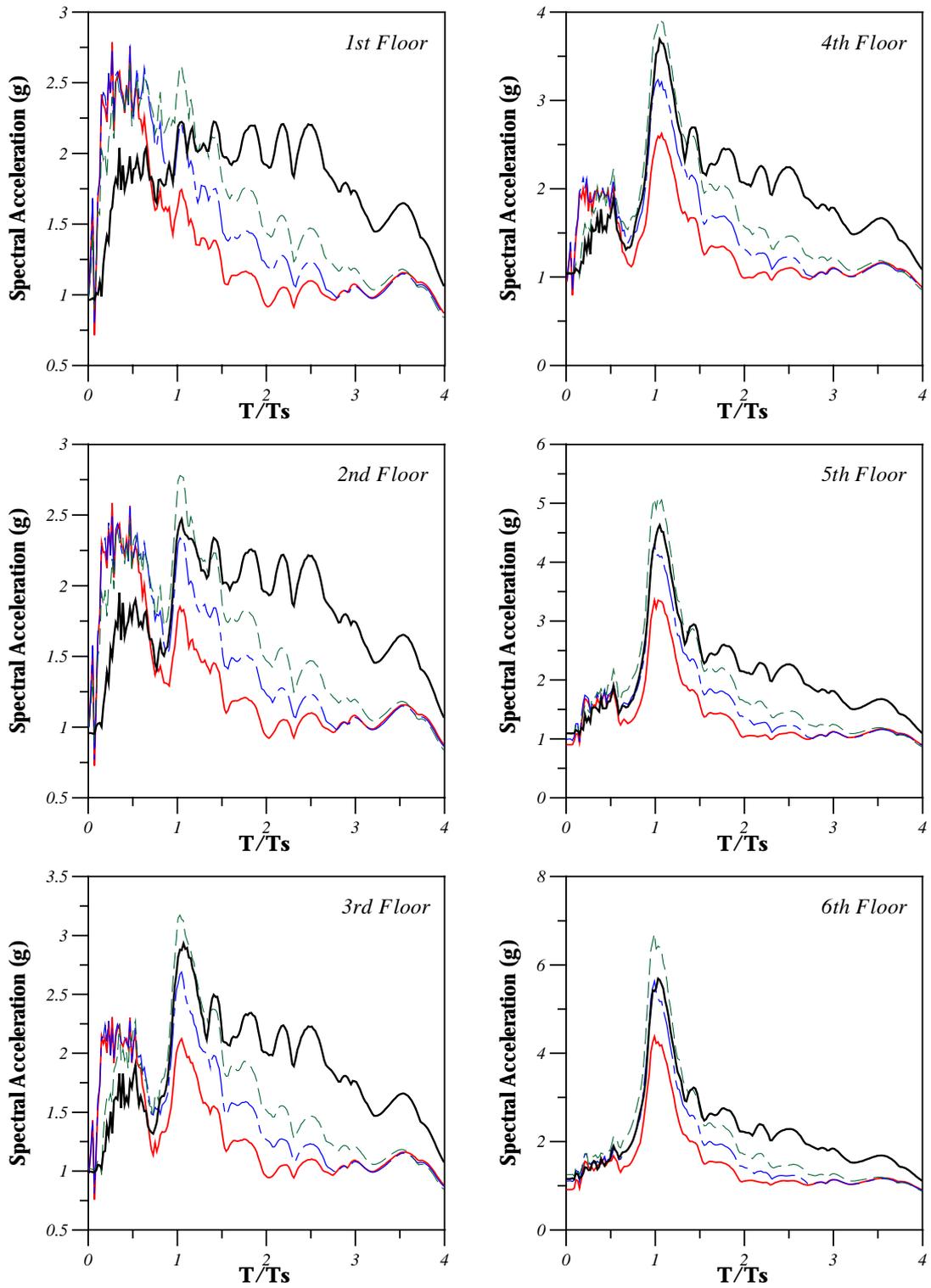


圖5.4 15層樓RC建築物的樓版反應譜

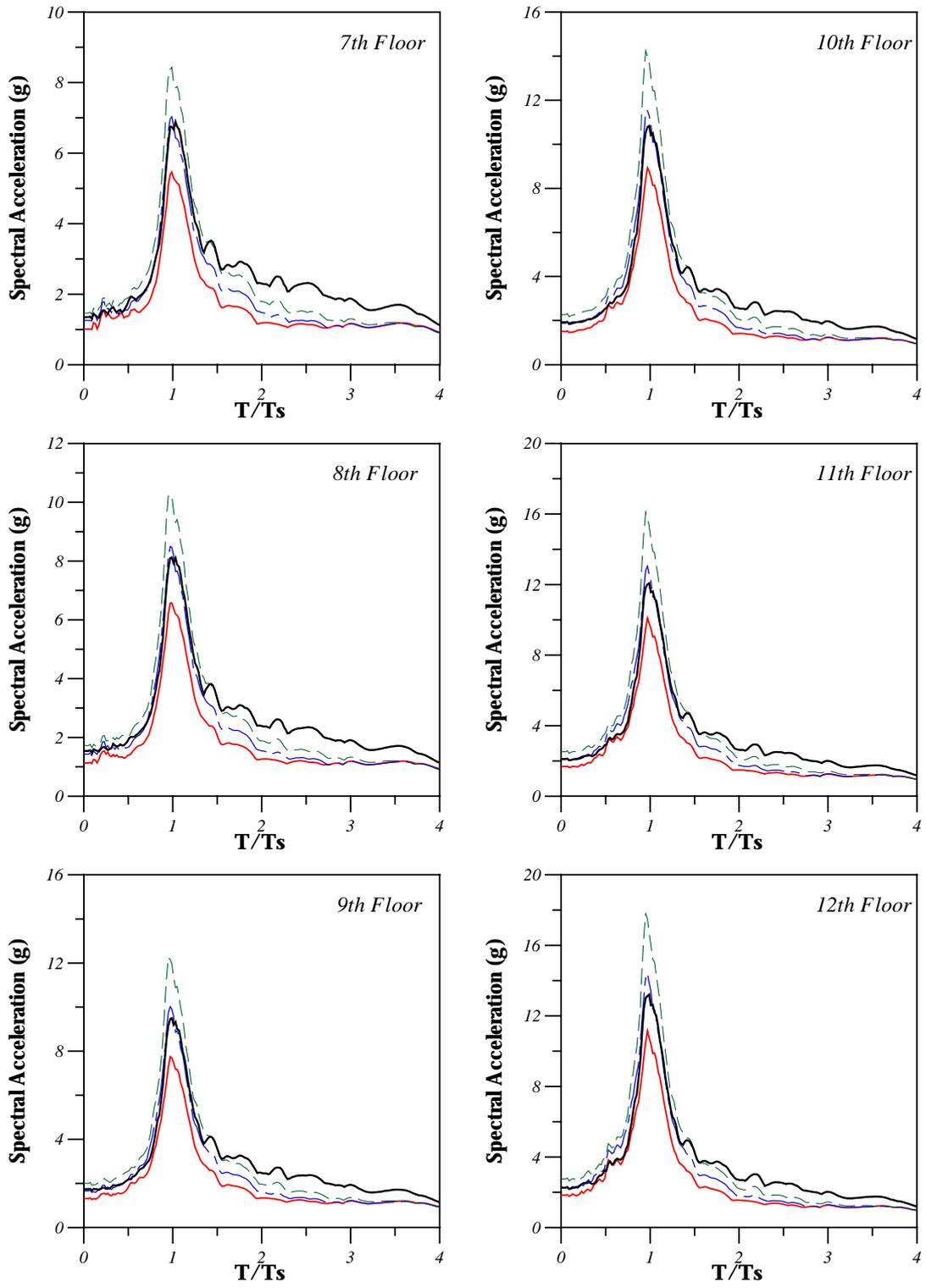


圖5.4 (續)

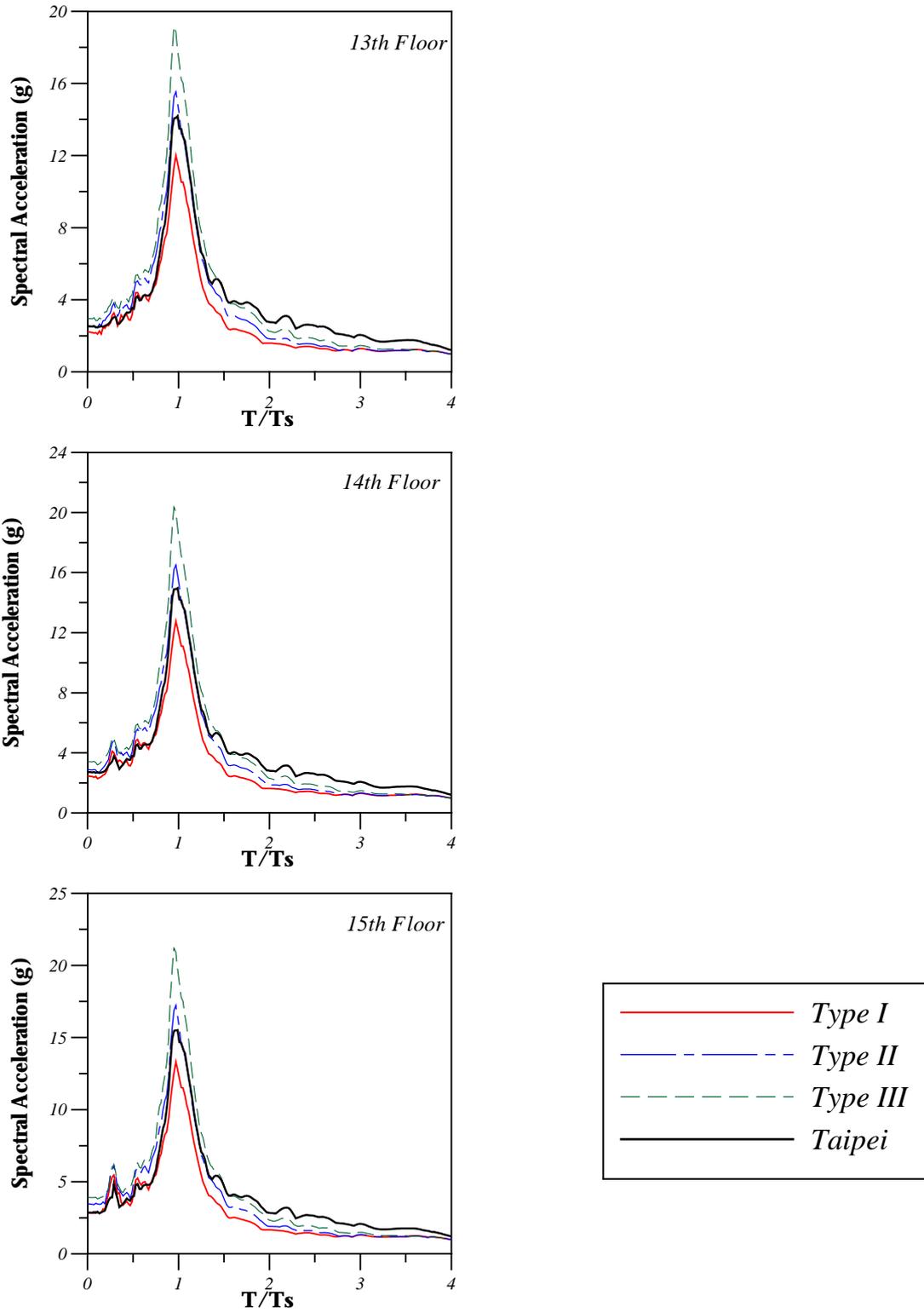


圖5.4 (續)

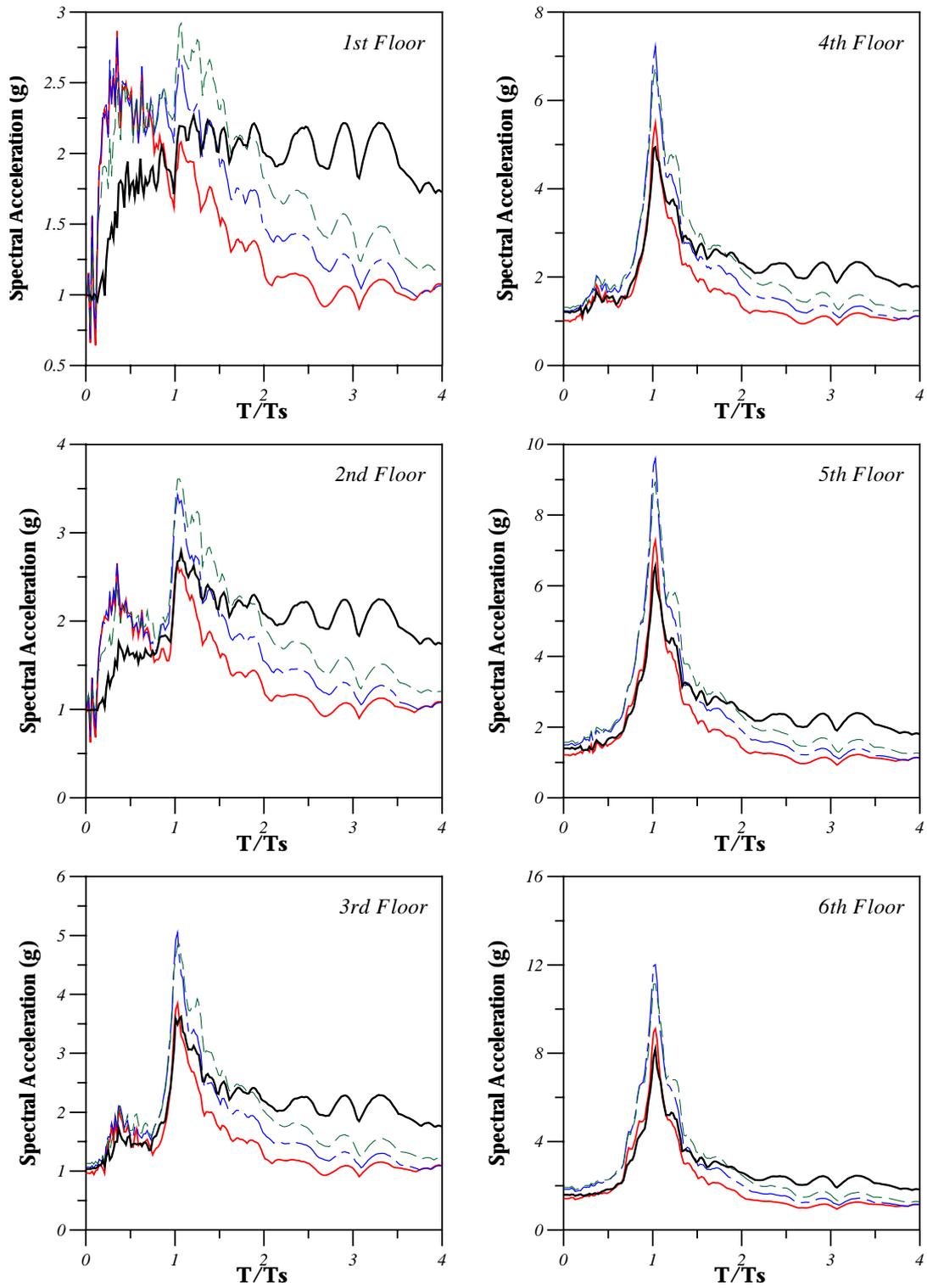


圖5.5 10層樓RC建築物的樓版反應譜

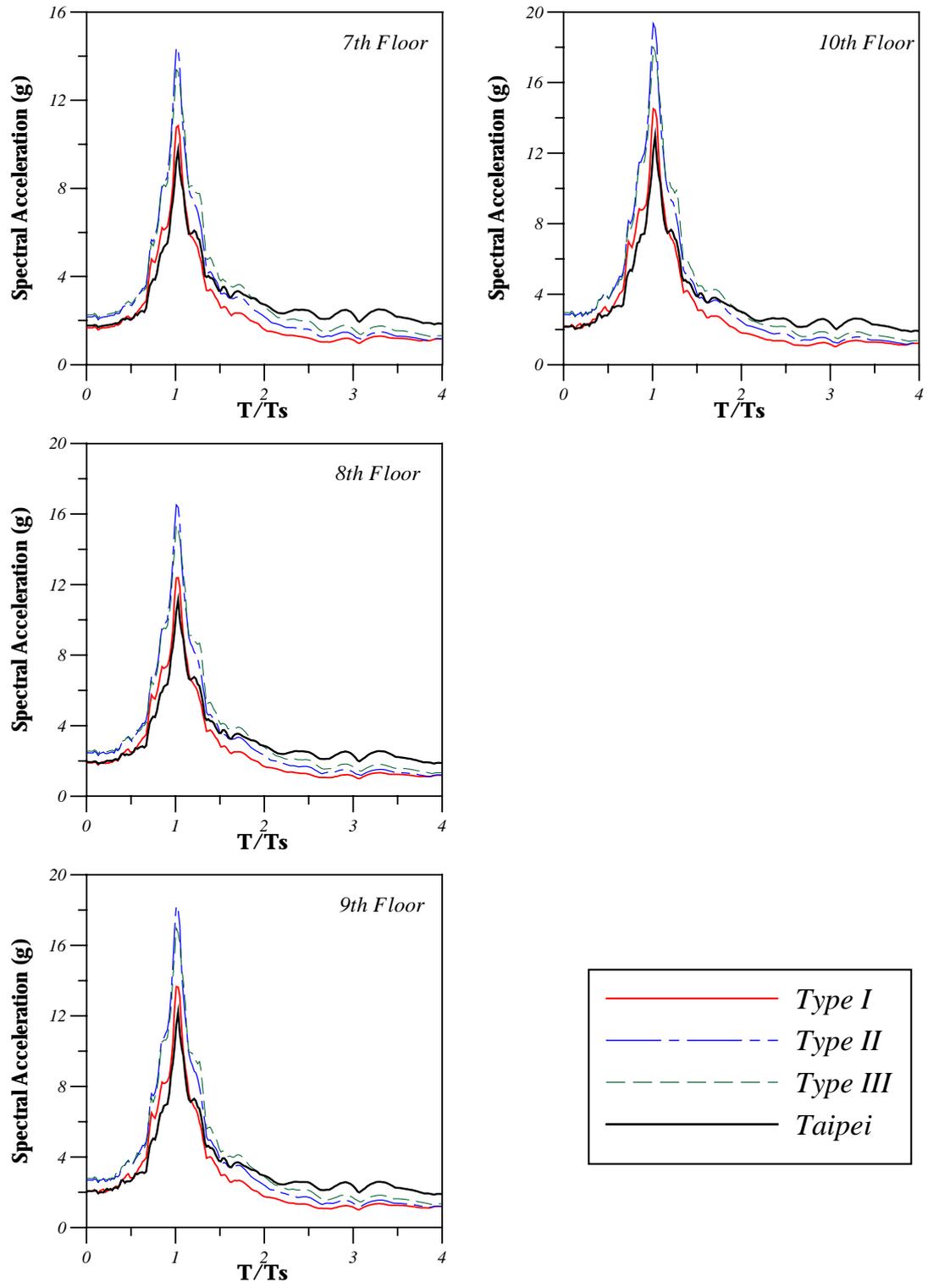


圖5.5 (續)

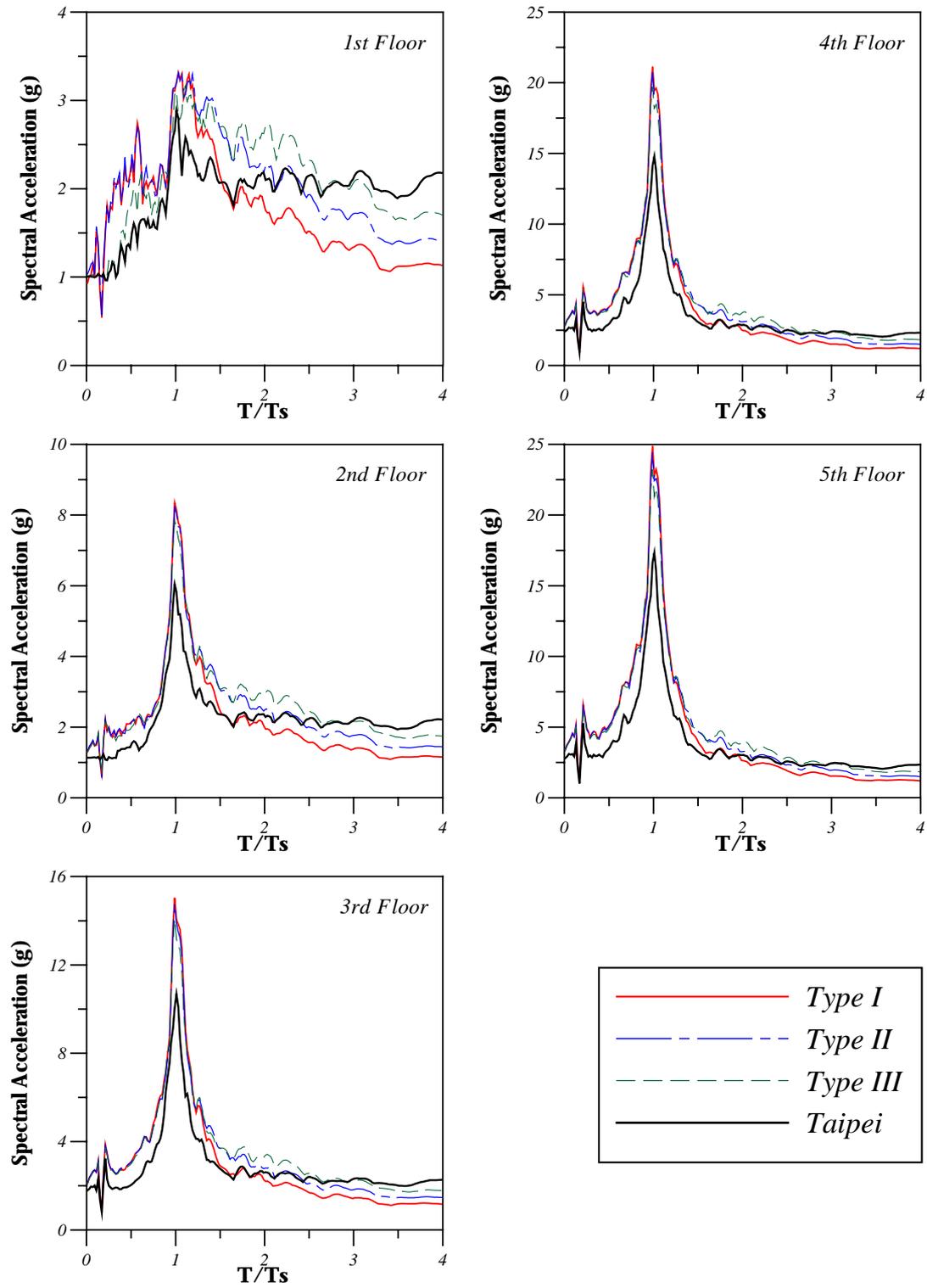


圖5.6 5層樓RC建築物的樓版反應譜

第六章 結論與建議

6.1 結論

- (一) 建築設備之設計地震力應考慮設備之用途或重要性，制定用途或重要性係數，以提昇特殊設備之設計地震力。就管線設備而言，一般管線的重要性係數可取為1，如瓦斯或消防管線等危險或必要管線的重要性係數可取為1.5。
- (二) 管線設備因質量小，不用考慮與主體結構之互制，即其振動並不影響主體結構之耐震能力，但管線設備穿越或埋置於主體構材之不當施工，足以降低主體結構之耐震安全性。
- (三) 室內管線與戶外管線或機器設備之接點應設計彈性接頭或套管，以防止管線受震脫落。管線轉彎或分歧處，應設計固定支承。
- (四) 管線支承可依本文所建議的公式或折減係數表，設計可耐震的支承間距。

6.2 建議

- (一) 為確保主體結構的耐震性能，法規需明定任何暗管均不得置於鋼筋保護層之內。
- (二) 為確保主體結構的耐震性能，法規需明定任何暗管的總橫斷面積僅能佔結構構材橫斷面積的一小部份，如10%，除非經由結構技師的審核准許，惟亦不得高於20%。
- (三) 為確保主體結構的耐震性能，法規需明定垂直暗管需埋置於柱、牆的中心線，而水平暗管應儘可能埋置於樑、版的壓力側，否則亦以埋設於中心線為宜。

- (四) 為確保主體結構的耐震性能，法規需明定垂直明管應不得穿越樑，而水平明管應不得穿越柱。
- (五) 為確保主體結構的耐震性能，法規需明定垂直明管穿越版和水平明管穿越樑時，應避開結構構材的剪力區域，否則需經結構技師核算後，增列補強鋼筋。
- (六) 為確保主體結構的耐震性能，法規需明定水平明管穿越樑時，應經過壓力側，且保持適當間距。
- (七) 為防止管線因受震而脫落，法規需明定任何管線不得逕置於主體結構構材或其它設備（如輕鋼架天花板）之上，需在適當距離處予以支承。
- (八) 為防止管線因受震而脫落，法規需明定任何管線進出屋內或運轉、使用設備的銜接處，應設計彈性伸縮接頭或防震軟管。
- (九) 為防止管線因受震而脫落，法規需明定任何管路的轉彎處或分歧處，應增加額外的支承裝置。
- (十) 為防止管身因受震而損壞或過度變形，法規需明定橫管和立管的支承間距計算公式或提供自重支承間距的折減係數表。
- (十一) 管線設備的重要性係數除考慮設備本身之用途或重要性外，建築物的用途或重要性也有必要加以考慮，尤其是地震時和地震後需提供救災指揮功能或具備醫療避難用途的建築物。
- (十二) 橫管的橫向設計地震力需考慮建築物的韌性容量，有待進一步研究，以提供合理的耐震支承間距計算公式或自重支承間距的折減係數表。
- (十三) 橫管的垂直向設計地震力有待進一步研究，以提供合理的耐震支承間距計算公式或自重支承間距的折減係數表。

- (十四) 本研究以橫管的耐震支承間距為主，立管的耐震支承間距受橫向設計地震力的影響較大，亦有待進一步研究。或許更精準的模式和理論分析可驗證或更新本文的建議公式和折減係數。
- (十五) 在更精準的模式和理論分析後，由數值結果或許可提供保守但簡便的樓版反應譜和支承間距折減係數的設計法則或公式。
- (十六) 應鼓勵共同管道間的設計，以方便管線的檢視、維修和更換。
- (十七) 樓梯間、電梯間、天井和共同管道間的設計，若研究時程許可，宜加以適當的規範。
- (十八) 管線支承的細部設計和施工，宜加以適當的規範。
- (十九) 業主、建築師、結構設計者、管線設計者、管線供應和施工廠商的權責分擔、作業程序、時程配合和介面協調，如何加以適當的界定，亦可進一步探討。

6.3 「建築物管線設備耐震設計規範」草案大綱

第一章 通則

- 1.1 適用範圍
- 1.2 耐震設計基本原則
- 1.3 設計者之界面
- 1.4 替代方案
- 1.5 分析方法之選擇
- 1.6 符號說明

第二章 建築規劃和管線設計相關要求

- 2.1 通則

2.2 建築規劃要求

2.2.1 建築平面規劃

2.2.2 建築立面規劃

2.2.3 共同管道間

2.3 暗管設計要求

2.3.1 暗管位置

2.3.2 暗管面積

2.3.3 暗管間距

2.4 明管設計要求

2.4.1 明管穿越結構構材之限制

2.4.2 明管穿越結構構材之位置

2.4.3 明管之間距

2.4.4 明管之支承

2.4.5 支承之設計

第三章 管線不連續處之耐震設計

3.1 適用範圍

3.2 管線進出端

3.3 管線轉彎或分歧處

第四章 管身之耐震設計

4.1 適用範圍

4.2 設計地震力

- 4.3 樓版反應譜
- 4.4 重要性係數
- 4.5 耐震支承間距
- 4.6 自重支承間距折減係數

參考文獻

1. Stevenson J. D., "A Suggested Seismic Design Procedure for Piping Systems Defined as Hazardous or Essential by U.S. Building Codes", *Proc. Seminar on Seismic Design, Retrofit, and Performance of Nonstructural Components, San Francisco, California*, pp. 79-92, 1998.
2. 內政部, 「建築技術規則」, 1997。
3. 內政部, 「建築物耐震設計規則及解說」, 1997。
4. 日本建設大臣官房官廳營繕部, 「官廳施設之總合耐震計畫基準及同解說」, 1996。
5. American Society of Mechanical Engineers, "Draft Appendix III of MDG Document-Earthquake Design of Piping System", *Non-Mandatory Appendix-Provisions for the Seismic Design of Pressure Piping*, B31 Mechanical Design Technical Committee, ASME, 1997.
6. Federal Emergency Management Agency, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, 1997.
7. 韓精忠, 「設備抗震鑑定與加固」, 1996。
8. International Conference of Building Officials, *Uniform Building Code, 1997, Structural Engineering Design Provisions*, 1997.
9. International Code Council, *Working Draft, International Building Code*, 1997.
10. 高雄市政府教育局, 「高雄市政府教育局公有建築水電工程施工說明書」。
11. 盧志清, 「鋼筋混凝土建築物模態參數之不確定分析」, 國立成功大學土木工程研究所碩士論文, 1998。