

建築物非結構構材- 大面積暗架天花板耐震性能檢討

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 104 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

建築物非結構構材- 大面積暗架天花板耐震性能檢討

研究主持人：陳建忠

協同主持人：姚昭智

研 究 員：陳威中

研究助理：楊明皓

研究助理：林聖宗

研 究 員：李台光

研 究 員：劉建宏

研 究 員：楊智凱

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 104 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次	I
表次	III
圖次	IV
摘要	XI
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究步驟及實驗流程	4
第二章 暗架天花板構造型式及破壞案例	13
第一節 國內常見暗架天花板型式	13
第二節 國內外暗架天花板破壞案例	18
第三節 國內外暗架天花板規範	27
第三章 試驗規範與實驗結果	33
第一節 細部元件強度試驗	33
第二節 細部元件撓度試驗	38
第三節 全尺寸試驗	46
第四節 全尺寸往復載重試驗	67
第四章 結論與建議	73
第一節 結論	73
第二節 建議	76
參考書目	79
附錄一 第一次專家座談會議	81
附錄二 第二次專家座談會議	87
附錄三 期初審查會議記錄及意見回覆表	91

建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

附錄四 期中審查會議記錄及意見回覆表97

附錄五 期末審查會議記錄及意見回覆表10

表次

表 1	暗架天花板構件尺寸之規定	29
表 2	暗架天花板性能之規定	29
表 3	卡夾式暗架天花板系統構件尺寸之規定	30
表 4	接點 1 試驗結果	35
表 5	接點 2 試驗結果	37
表 6	支撐架向下載重之試驗結果	39
表 7	支撐架向下載重之試驗結果	41
表 8	主架向下載重之試驗結果	42
表 9	卡麗板向下載重之試驗結果	43
表 10	向上載重之試驗結果	45
表 11	向上載重之試驗結果	46
表 12	水平向靜力載重實驗試體比較表	64
表 13	往復載重實驗試體比較表	71

建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

圖次

圖 1	明架式輕鋼架天花板	2
圖 2	暗架式輕鋼架天花板	2
圖 3	釧路機場天花板	3
圖 4	東京川崎音樂廳天花板	3
圖 5	美術館天花板掉落情形	3
圖 6	瑞豐國中天花板掉落情形	3
圖 7	本案研究步驟流程圖	5
圖 8	卡夾式暗架天花板系統	6
圖 9	某中化心天花板構造	6
圖 10	現地調查及量測實驗	7
圖 11	暗架天花板破壞情形	7
圖 12	暗架天花板崩塌狀況	7
圖 13	葫蘆孔破壞狀況	7
圖 14	構件改良	8
圖 15	板材挫屈	8
圖 16	吊鉤和四齒夾破壞狀況	8
圖 17	暗架天花板足尺試驗	10
圖 18	構件細部試驗	10
圖 19	暗架天花板試體破壞狀況	10
圖 20	細部元件撓度試驗	12
圖 21	細部元件強度試驗	12
圖 22	全尺寸試驗	12
圖 23	傳統暗架天花板構造圖	14

圖 24	傳統式暗架天花板構造圖	16
圖 25	卡夾式暗架天花板構造圖	16
圖 26	金屬條狀式暗架天花板構造圖	17
圖 27	金屬面板式暗架天花板構造圖	17
圖 28	機場天花板掉落情形	19
圖 29	塔台天花板掉落情形	19
圖 30	塔台天花板掉落情形	19
圖 31	高低差天花板及斜撐	19
圖 32	天花板掉落狀況	20
圖 33	天花板配置示意圖	20
圖 34	骨架撞擊結構體痕跡	20
圖 35	繫件鬆脫掉落	20
圖 36	天花板掉落狀況	21
圖 37	斜撐及保持適當間距	22
圖 38	高低差採不連續處理	22
圖 39	走廊天花板掉落狀況	23
圖 40	樓梯間天花板掉落狀況	23
圖 41	支撐架掛鈎變形	23
圖 42	天花板吊筋	25
圖 43	螺帽鎖附於吊筋	25
圖 44	支撐架形式	25
圖 45	吊筋與支撐架並無鎖固	26
圖 46	吊筋與支撐架並無鎖固	26
圖 47	以鍍鋅鋼線懸吊天花板	26

圖 48	天花板破壞情形	26
圖 49	CNS11984 暗架天花板組成及各部名稱	28
圖 50	CNS11984 暗架天花板之構件圖示	28
圖 51	卡夾式暗架天花板系統之圖示	30
圖 52	卡夾式暗架天花板系統之構造圖	33
圖 53	實驗裝置	34
圖 54	實驗試體與千斤頂固定	34
圖 55	圓孔	34
圖 56	葫蘆孔與槽孔	34
圖 57	支撐架形式與尺寸	37
圖 58	支撐架向下載重試驗	38
圖 59	支撐架向下載重試驗	39
圖 60	支撐架向下載重試驗	39
圖 61	支撐架向下載重試驗	40
圖 62	支撐架向下載重試驗	40
圖 63	主架向下載重試驗	42
圖 64	主架向下載重試驗	42
圖 65	主架向下載重試驗	42
圖 66	卡麗板向下載重試驗	43
圖 67	卡麗板向下載重試驗	43
圖 68	向上載重試驗	44
圖 69	向上載重試驗	44
圖 70	向上載重試驗	44
圖 71	向上載重試驗	45

圖 72	向上載重試驗	45
圖 73	實驗框架	47
圖 74	施力側千斤頂及分力鋼梁	47
圖 75	反力端構造	48
圖 76	混凝土塊	48
圖 77	實驗裝置示意圖	48
圖 78	T1 沿板材方向施加载重	49
圖 79	T2 沿支撐架方向施加载重	49
圖 80	T1 卡麗板挫屈變形	50
圖 81	T1 支撐架掛鈎變形	50
圖 82	T1 試體力量-位移曲線	50
圖 83	T2 支撐架挫屈變形	51
圖 84	T2 支撐架挫屈破壞	51
圖 85	T2 試體力量-位移曲線	51
圖 86	T3 沿板材方向施加载重	52
圖 87	T4 沿支撐架方向施加载重	52
圖 88	T3 大七字收邊架變形	53
圖 89	T3 吊筋挫屈變形	53
圖 90	T3 試體力量-位移曲線	53
圖 91	T4 大七字收邊架變形脫落	54
圖 92	T4 支撐架穿破大七字收邊架	54
圖 93	T4 試體力量-位移曲線	55
圖 94	T5 搭接處無錯位	56
圖 95	T6 搭接處有錯位	56

圖 96	T5 支撐架挫屈破壞	56
圖 97	T5 支撐架掛勾變形	56
圖 98	T5 試體力量-位移曲線	57
圖 99	T6 支撐架掛勾變形	58
圖 100	T6 支撐架挫屈破壞	58
圖 101	T6 試體力量-位移曲線	58
圖 102	搭接處支撐架距離示意圖	59
圖 103	T7 搭接處無錯位且支撐架間距 15cm	59
圖 104	T7 卡麗板扭轉變形	60
圖 105	T7 支撐架掛勾變形	60
圖 106	T7 試體力量-位移曲線	60
圖 107	T8 中間支撐架搭接但無鎖固	61
圖 108	T9 中間支撐架搭接且有鎖固	61
圖 109	T8 支撐架挫屈破壞	62
圖 110	T8 卡麗板遭支撐架掛鈎刺穿	62
圖 111	T8 試體力量-位移曲線	62
圖 112	T9 支撐架挫屈破壞	63
圖 113	T9 卡麗板變形鬆脫	63
圖 114	T9 試體力量-位移曲線	63
圖 115	支撐架傳力機制示意圖	65
圖 116	力量傳遞示意圖	66
圖 117	支撐架鎖固變形示意圖	66
圖 118	往復載重試驗之位移歷程	67
圖 119	T10 沿支撐架方向施加载重	68

圖 120	T11 搭接處無錯位	68
圖 121	T12 搭接處有錯位	68
圖 122	T13 搭接處無錯位且支撐架間距 15cm	69
圖 123	T10 支撐架挫屈變形	69
圖 124	T10 支撐架挫屈破壞	69
圖 125	T11 卡麗板鬆脫	70
圖 126	T11 卡麗板掉落	70
圖 127	T12 卡麗板被刺穿	70
圖 128	T12 支撐架前端挫屈變形	70
圖 129	T13 卡麗板鬆脫	71
圖 130	T13 卡麗板掉落	71

摘要

關鍵詞：懸吊式輕鋼架天花板、暗架式天花板、卡夾式天花板、金屬條狀式天花板

一、研究緣起

暗架天花板因為系統剛度較大較不易變形之緣故，以往對其耐震性能較有信心。然而從 2003 年開始，日本各地陸續發生大面積暗架天花板在地震中崩落之案例，導致建築空間機能無法在災後立即使用。2011 年的東日本大地震更造成多起暗架天花板掉落之災情，其中令人感到震撼的是有新建之音樂廳距離震央數百公里之遙，卻也發生暗架天花板大面積崩落的災害。為了因應及預防事故再次發生，日本當局除了開始著手調查各地暗架天花板之使用情況以提出補強補助計畫，同時也針對暗架天花板進行相關之實驗研究及分析。國內在 1999 年 921 地震中就已觀察到台中美術館發生大量暗架天花板掉落之情形，但國內後續並沒有特別針對暗架天花板持續追蹤及研究。然而在 2013 年 6 月南投仁愛地震中，又發現南投瑞峰國中的走廊及樓梯間有暗架天花板崩落的狀況，嚴重妨礙人員之逃生路線，由於學校校舍亦震災緊急避難之場所，因此又重新喚起對暗架天花板耐震性之重視。

二、研究方法及過程

本研究透過實驗以瞭解國內常用暗架天花板工法之強度及耐震弱點，因此在實驗規劃中將暗架天花板實驗分為細部元件試驗與全尺寸靜力側推試驗兩階段。由於目前國內相當缺乏關於暗架式輕鋼架天花板之實驗研究資料，故在第一階段元件試驗中，本研究參考國家標準 CNS11984 之內容規定，針對目前市面上常見之暗架天花板系統進行垂直載重試驗。此外，根據日本研究顯示暗架天花板之破壞容易發生在構件連結處，因此本研究同時針對暗架天花板系統在地震中容易發生破壞的部分進行強度試驗。實驗第二階段為暗架式天花板之全尺寸實驗，此部分以南投瑞峰國中之天花板型式作為研究案例對象，實驗試體模擬實際現場施工狀況，利用油壓千斤頂進行靜力側推實驗用以觀察暗架天花板系統在地震中所發生之破壞情形，並針對破壞之原因提出補強的方法以及建議。

三、重要發現

實驗結果顯示吊筋與支撐架相接處為天花板系統中較容易受到破壞之構造，確實有需要提升其強度。本研究也發現到只要在支撐架連結螺桿處的下方加入一墊片即可有效提升接點強度，因此建議應將墊片的使用加入暗架天花板吊筋的標準工法中，確保在地震力作用下天花板接點不會受到破壞。

此外，根據實驗結果可以發現目前國內市售的金屬條狀式天花板系統尚可以滿足 CNS11984 對於暗架天花板之性能要求；然而卡夾式天花板系統為國內使用上最為普遍的型式卻無法滿足規範 CNS11984 之性能規定。因此建議國內 CNS 規範應針對不同型式暗架天花板系統儘快制定材料尺寸之最低標準，避免材料製造商因市場價格競爭而偷工減料，影響暗架天花板之耐震性。

在全尺寸試體之單向靜力側推實驗中，當天花板支撐架有搭接時，搭接處的支撐架會發生錯動，造成卡麗板變形或被支撐架掛鈎刺穿而有鬆脫的狀況；若支撐架搭接處沒有錯位其試體極限強度較小且破壞較嚴重，甚至當搭接的支撐架間距離 15cm 以上就會發生卡麗板掉落的情形。相較於單向靜力載重試驗，在往復載重試驗中搭接處的卡麗板被支撐架掛鈎刺穿及變形鬆脫之狀況更為明顯。實驗結果顯示支撐架搭接無錯位的試體皆較容易發生卡麗板掉落的狀況；而在天花板支撐架無搭接的狀況以及將支撐架搭接處的位置全都錯開的情況下，可以發現即使到了實驗最後階段卡麗板也沒有發生掉落的現象。

四、主要建議事項

本研究針對暗架天花板進行試驗並提出下列建議事項，以下分別從立即可行建議及中長期建議加以列舉。

建議一

暗架天花板規範之增修：立即可行建議。

主辦機關：經濟部標準檢驗局。

協辦機關：內政部建築研究所。

國內目前對於暗架天花板並沒有標準的施工規範，CNS11984 中對於天花

板構件的尺寸規定也僅適用於傳統式暗架天花板。有鑑於中國大陸及日本都已經重新頒布暗架天花板之相關規範，本研究認為國內也必須儘快針對既有規範進行增修以符合國內天花板業界的習慣。建議未來可配合天花板材料製造商共同進行研究，確實制定出不同型式暗架天花板系統之尺寸規定。

建議二

暗架天花板之動力試驗：中期性可行建議。

主辦機關：國家地震工程研究中心。

協辦機關：大專院校（建築、營建及土木科系）。

本研究為靜力實驗，主要目的在於發現天花板的耐震弱點以及記錄破壞模式，並沒有考慮到天花板的質量影響以及系統頻率在地震下有可能產生的共振反應。故本研究建議後續研究可請國家地震工程研究中心，利用振動台進行全尺寸天花板的動力試驗，測試在不同加速度下暗架天花板之耐震性能並建立更完整的暗架天花板耐震工法。最終可將研究成果增加修正至耐震規範中。

建議三

針對國內大型集會場所暗架天花板進行耐震能力評估：長期性可行建議。

主辦機關：內政部營建署。

協辦機關：中央及各地方政府機構。

日本當局在2013年頒布暗架天花板耐震規範後針對所有公共場所之暗架天花板進行耐震評估，對於天花板耐震性較差之場所實際提供補助進行補強或是拆除重新施作。台灣與日本皆處於環太平洋地震帶上，為地震發生頻繁之地區，本研究建議台灣應效法日本儘快針對國內大型集會場所之暗架天花板進行耐震能力評估，否則當災害發生造成人員傷亡已是亡羊補牢。

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

一、研究緣起

臺灣地區位處於環太平洋地震帶上，建築物是否具備足夠耐震能力，一直是民眾關注的焦點。在地震發生後必須繼續維持使用機能之重要建築物，除了要有足夠之結構強度外，同時也必須注意建築物中功能性設備物之耐震力，否則該建築仍將無法在震後發揮預期之使用機能。然而依據歷年國內外之地震勘災紀錄可以發現，在主結構系統尚未發生嚴重破壞之情況下，非結構物遭受嚴重破壞的例子其實不計其數，而在各項非結構物之中又以懸吊式輕鋼架天花板系統之破壞最為常見。

現代建築物室內之天花板大抵為輕鋼架構造，其工法採懸吊方式支承於上方建築結構樓板，懸吊式輕鋼架天花板依其組構方式大致可分為明架與暗架兩種，其差別在於明架天花板之支撐骨架顯露於外；而暗架天花板之骨架則是隱藏於板材後方。故當人員視線朝上方天花板望去時，可以看到天花板骨架者稱為「明架天花板」；若僅能看到一大片板材而無骨架者則稱為「暗架天花板」。明架與暗架系統兩者在構法上最大之差異在於明架天花板的板材係放置於骨架之上因此容易取下置回，俾便處理天花板上方的管線；而暗架天花板之板材大多都係直接與骨架鎖固，故整體系統之剛度較大。明架天花板一般多用於住家或辦公空間（圖 1），因其施工快速且又可以滿足用戶維修管線之方便性，故頗受歡迎。而暗架天花板一般則多設置於需要考慮美觀以及天花板載重較大之處，如音樂廳或大面積集會場所，近年來國內許多公共建築因考慮使用機能及空間美觀普遍使用暗架天花板系統（圖 2）。一般而言在施工上不論採用何種天花板系統普遍都是

建築師根據使用機能或空間美觀的角度考慮，但卻鮮少考慮天花板在地震下之安全性，因此發生較大地震時，就可能導致天花板損壞甚至崩塌。而暗架天花板的懸吊處一般都較高，再加上天花板本身重量較大，因此儘管只有局部構件落下時對於人身安全也頗具威脅性；若發生大面積天花板之崩落，不僅對於人員生命安全造成嚴重危害，甚至會導致空間機能無法在災後立即使用。

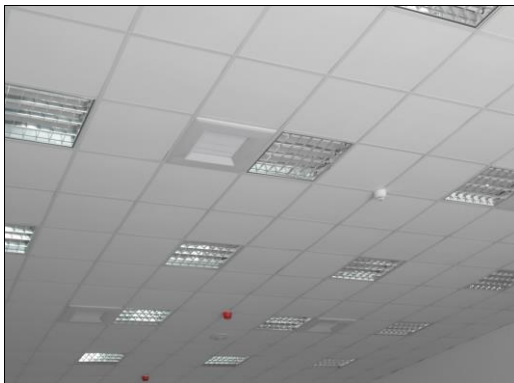


圖 1. 明架式輕鋼架天花板

(圖片來源：姚昭智)



圖 2. 暗架式輕鋼架天花板

(圖片來源：右丞實業有限公司)

暗架天花板因為系統剛度較大較不易變形之緣故，以往對其耐震性能較有信心。然而從 2003 年開始，日本各地陸續發生大面積暗架天花板在地震中崩落之案例，導致建築空間機能無法在災後立即使用（圖 3）。2011 年的東日本大地震更造成多起暗架天花板掉落之災情，其中令人感到震撼的是有新建之音樂廳距離震央數百公里之遙，卻也發生暗架天花板大面積崩落的災害（圖 4）。為了因應及預防事故再次發生，日本當局除了開始著手調查各地暗架天花板之使用情況以提出補強補助計畫，同時也針對暗架天花板進行相關之實驗研究及分析。

國內在 1999 年 921 地震中就已觀察到台中美術館發生大量暗架天花板掉落之情形如圖 5 所示，但國內後續並沒有特別針對暗架天花板持續追蹤及研究。然而在 2013 年 6 月南投仁愛地震中，又發現南投瑞峰國中的走廊及樓梯間有暗架天花板崩落的狀況（圖 6），嚴重

妨礙人員之逃生路線，由於學校校舍亦震災緊急避難之場所，因此又重新喚起對暗架天花板耐震性之重視。



圖 3. 釧路機場天花板[5]



圖 4. 東京川崎音樂廳天花板[7]



圖 5. 美術館天花板掉落情形

(圖片來源：姚昭智)



圖 6. 瑞豐國中天花板掉落情形

(圖片來源：姚昭智)

國內對於明架式天花板的耐震性能研究已累積了五年以上之時間，並於 2011 年 7 月內政部之最新版建築物耐震設計規範中[1]，將明架式的耐震天花板工法納入附錄 B 中，公告施行。相反的，目前在國內所有規範中，卻僅有在國家標準 CNS11984「建築用暗架式牆壁及平頂輕鋼架」[2] 中敘述暗架式天花板之相關資訊。但內容所定義之暗架天花板，卻已經是國內鮮少在使用的形式，另外對於暗架式天花板的耐震性能可說是完全沒有任何相關之規定。因此本研究將針對暗架式天花板常用型式之耐震性能進行初步研究，意欲瞭解此天花板系統之載重能力以及在地震時可能發生之破壞情形與原因，並針對破

壞之原因提出補強的方法以及建議。

二、研究目的

有鑒於目前國內對於暗架式天花板之耐震性能所知有限以及規範內容不合時宜，本研究將針對暗架式天花板系統進行載重強度及耐震能力研究，透過全尺寸暗架天花板系統之耐震實驗，瞭解暗架天花板系統在地震中可能發生之破壞模式，並針對破壞之原因提出補強的方法以及建議，冀望能將研究的成果增加修正至規範中俾便使用者參考及遵守。因觀察天花板震災之損害多發生於骨架搭接處之細部設計，故本研究所稱大面積為天花板面積較大需要搭接骨架者。

三、本研究計畫之重要性

由於目前國內之暗架天花板系統並沒有統一的標準作法，同時對於天花板之耐震性亦無特別要求，以致天花板之耐震品質參差不齊。因此藉由本研究計畫提出大面積暗架天花板系統之構法，將可提升現場實做之暗架天花板耐震品質。

第二節 研究步驟及實驗流程

一、研究步驟及流程

本案之研究步驟如圖 7 所示，其中工地參訪、地震勘災、國內外震損案例資料收集以及召開專家座談會議皆屬於實驗前之準備工作，並作為後續暗架天花板實驗之依據。本研究實驗分為細部元件試驗和全尺寸試驗兩部份，其中元件試驗又分為強度試驗以及撓度試驗兩階段，強度試驗將針對天花板系統在地震中容易發生破壞的節點及構件進行測試，掌握天花板系統中強度最弱之部分並提出改善辦法；而撓度試驗則是測試天花板系統在外力作用下之性能表現。本研究全

尺寸試驗將利用成大建築系結構實驗室現有之大型絲瓜棚鋼架進行靜力側推實驗，本研究得以透過全尺寸實驗徹底瞭解暗架天花板系統在地震中因位移過大而可能發生之破壞情形。

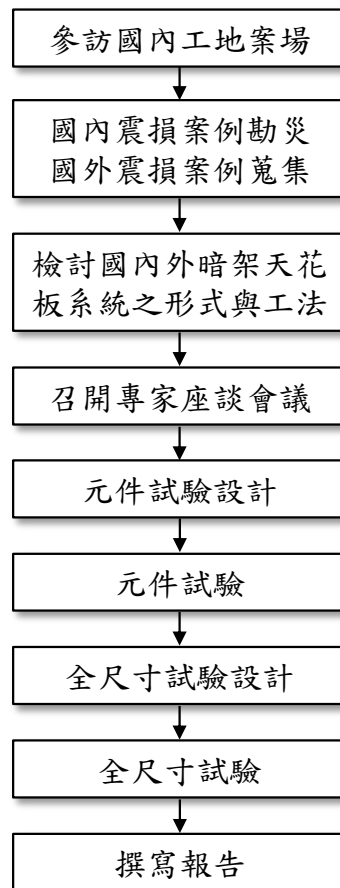


圖 7. 本案研究步驟流程圖 (圖片來源：本研究)

二、工地案場參訪

本研究實際走訪一般住商空間之暗架天花板工地案場(圖 8)以及南部的兩個文化中心和高雄市衛武營藝術文化中心，現地勘查國內暗架天花板之施工狀況及大型音樂廳之天花板的懸吊工法。本研究發現目前國內一般住商空間所採用的暗架天花板系統，多數均為俗稱「蜈蚣尺」的卡夾式暗架天花板系統，如圖 8 所示。由於衛武營藝術

文化中心屬於國際級音樂廳，為要求音效品質其暗架天花板板材相當沉重，整體天花板系統係由輕鋼構架所構成，較不屬於本次研究範疇。至於南部的兩個文化中心則屬於懸吊式暗架天花板系統，本研究實地勘察發現由於國內之營建體系在天花板的設計大抵由非結構專業人員參與，設計施工大都為承包商配合音響設施而設計，因此所採用的暗架天花板之結構耐震性能可能會有嚴重的問題。圖 9 說明某文化中心天花板之細部構造，圖中吊鈎因沒有任何補強措施相當容易在地震中受力變形，最為嚴重之狀況會導致支撐架的掉落而造成整體天花板崩塌。



圖 8. 卡夾式暗架天花板系統

(圖片來源：姚昭智)



圖 9. 某中化心天花板構造

(圖片來源：姚昭智)

三、國內暗架天花板震損案例勘災

自 2013 年南投仁愛地震中瑞峰國中發生暗架天花板掉落的案例後，本研究多次前往瑞峰國中進行調查及實驗（圖 10），主要發現到天花板的破壞發生於骨架搭接處（圖 11 虛線處），其他相關破壞情形及原因將於第二章做詳細介紹。另外一個暗架天花板的破壞案例發生在嘉義市政府的會議廳（圖 12），實地調查的結果發現現場吊筋與支撐架的鎖固並未使用墊片，再加上所使用的螺帽尺寸與支撐架上葫蘆孔徑相差不大，因此只要葫蘆孔產生些微變形（擴孔、隆起或凹陷等現象）螺帽則極有可能穿透支撐架導致吊筋失去效用（圖 13）。而部分失去效用的吊筋又會導致周圍的吊筋分擔更大的載重而產生連

鎖式的破壞，最終則發生大面積的天花板崩塌情形，詳細說明請見第二章。



圖 10. 現地調查及量測實驗

(圖片來源：姚昭智)



圖 11. 暗架天花板破壞情形

(圖片來源：姚昭智)

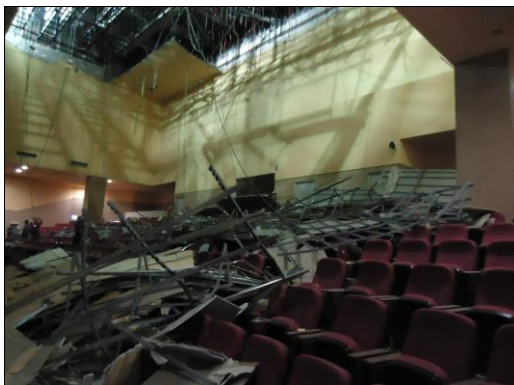


圖 12. 暗架天花板崩塌狀況

(圖片來源：施忠賢結構技師事務所)



圖 13. 葫蘆孔破壞狀況

(圖片來源：施忠賢結構技師事務所)

四、國外暗架天花板震損案例資料

自 2011 年東日本大地震造成多起暗架天花板掉落之災情以來，日本當局積極針對暗架天花板系統之構法重新進行檢討。故本研究以日本文獻作為參考資料，彙整暗架式天花板主要之破壞狀況及原因如下：

1. 2012 年，日本公益社團法人全國公立文化設施協會[3]出刊『公立文化施設のリスクマネジメント ハンドブック』，針對東

日本大地震後，岩手、宮城、福島等地市立文化中心的破壞情形並進行相關的調查，其中有發現為數不少的大型場館都有天花板損壞的情形發生。

- 2012年，日本建築學會[4]發表『天井落下・崩落の要因分析』，文中介紹傳統式暗架式天花板系統中之繫件如吊鈎和四齒夾等常見構件之破壞情形，並提出可以改善此情形之改良構件（圖 14）。同時也提到板材本身也可能會因挫屈變形而導致掉落（圖 15）。



圖2 一般的なクリップ（左）と耐震性を考慮したクリップ^[4]

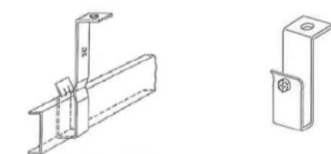
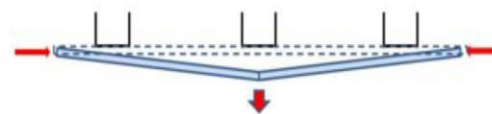


圖3 一般的なハンガー（左）と開止め付クリップ^[4]

圖 14. 構件改良[4]

圖 15. 板材挫屈 （圖片來源：姚昭智）

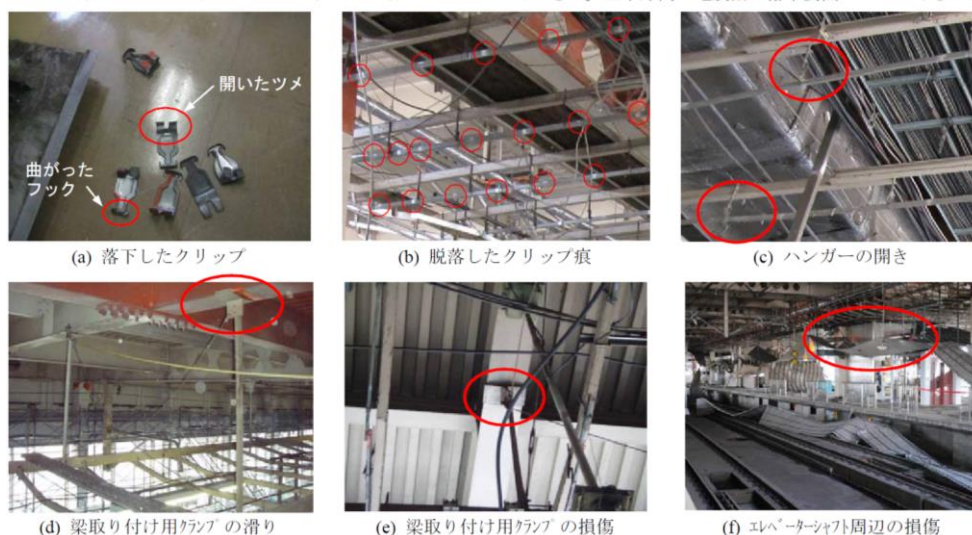


圖 16. 吊鈎和四齒夾破壞狀況[5]

3. 2012 年，日本建築學會[5]發表『仙台駅新幹線ホームの天井材落下に関する研究』，介紹新幹線仙台站於 2011 年 311 地震的天花板破壞掉落狀況如圖 16 所示，並模擬現場部分區域進行實驗測試。
4. 2013, S. Motoyui and Y. Sato, “The Behavior of Ceiling with Steel Furring During Earthquakes”[6]，探討日本傳統暗架式天花板破壞狀況，發現 2001、2003、2005 在日本發生的地震中暗架式天花板系統都有損毀的情形發生，且破壞並非係由不良施工所造成。主要原因為（1）板材自身擠壓挫屈造成（2）連結構件脫開主要構件造成掉落。
5. 2013, Takayuki Hidaka, “Earthquake and Concert Hall”[7]，關於日本音樂廳天花板於 311 東日本大地震發生破壞之調查報告；文中指出時常當作避難場所的音樂廳等大型場館，有時會因為場地音響的特殊需求而裝置厚重的板材以及複雜的天花板面，導致暗架天花板的結構系統混亂且構件增加而造成天花板載重變大。因此在地震作用時，複雜的骨架、不連續的板面以及不同長度的吊筋會造成多處天花板發生運動行為不一致的情況，導致不連續的暗架天花板互相碰撞或天花板撞擊結構體的情形發生。

此外，日本當局也進行一系列暗架天花板之研究試驗如下：

1. 2011, Y.Sato, S.Motoyui, G.A.MacRae and R.P.Dhakal, “Ceiling Fragility of Japanese Ceiling Systems”[8]，經由實驗測試發現日本傳統暗架式天花板之破壞主要為構件間之連結片(四齒夾、吊鉤)的變形鬆脫，並針對此一連結部分進行反覆載重之試驗。
2. 2013, S. Motoyui and Y. Sato, “The Behavior of Ceiling with Steel Furring During Earthquakes”[6]，內容中提到暗架天花板足尺試驗之規劃（圖 17），並將試體和施力端及反力端間不

留空間作極限載重試驗的測試，結果認為暗架天花板與結構體間的距離越小越好。

3. 2012年，日本建築學會[9]發表『鋼製天井下地材の強度、剛性に関する研究』，針對新幹線仙台站暗架天花板掉落之狀況進行不同連結部分之載重試驗（圖 18）。同時針對天花板構件進行強度之測試以及提出改善辦法。
4. 2012年，日本建築學會[5]發表『仙台駅新幹線ホームの天井材落下に関する研究』，以足尺試驗模擬現場狀況，結果顯示暗架天花板系統在地震中容易於構件連結處發生破壞（圖 19）。



圖 17. 暗架天花板足尺試驗[6]

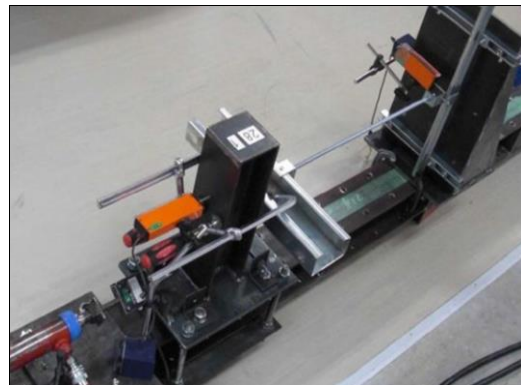
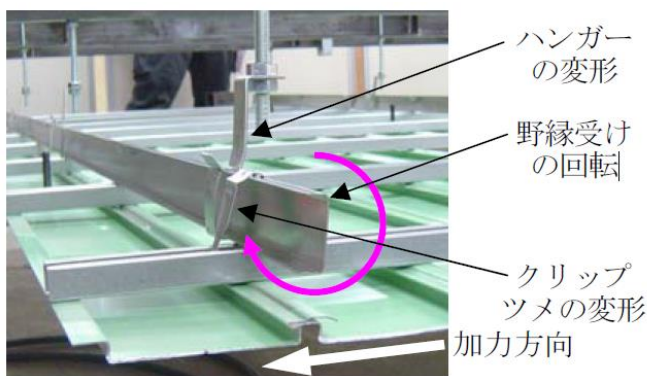
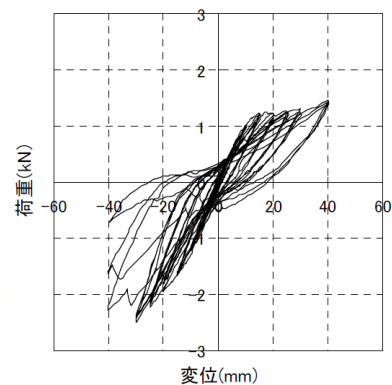


圖 18. 構件細部試驗[9]



野縁受けの回転状況(20mm時)



吊りボルト層の荷重-変位関係

圖 19. 暗架天花板試體破壞狀況[5]

五、專家座談會議

為瞭解國內暗架天花板系統的構造及施工習性，本研究除了工地觀摩參訪外也同時舉行專家會議與相關業者進行會談，以便瞭解實際之施工況狀以及提供建議及資料。本研究於民國 104 年 5 月 8 日上午 9 時 00 分於成功大學建築系召開第一次專家座談會議，與輕鋼架天花板之製造商（青鋼金屬建材股份有限公司、伊勢達企業股份有限公司）以及工地營造包商（右承實業有限公司）共同討論暗架天花板的各項事宜，內容主要著重在瞭解國內常用暗架天花板之種類、實際施工況狀及問題。會議內容請參考附錄一。

此外本研究於民國 104 年 9 月 11 日上午 10 時 00 分於成功大學建築系召開第二次專家座談會議，本次與會人員包含國立成功大學鍾育霖教授、國立高雄第一科技大學郭耕杖教授以及潤弘精密工程黃文駿博士，針對本研究理論分析及實驗結果部分提供專業之建議。會議內容請參考附錄二。

六、研究規劃

本研究將透過實驗以瞭解國內常用暗架天花板工法之強度及耐震弱點，因此在實驗規劃中將暗架天花板實驗分為細部元件試驗與全尺寸靜力側推試驗兩階段。由於目前國內相當缺乏關於暗架式輕鋼架天花板之實驗研究資料，故在第一階段元件試驗中，本研究將參考國家標準 CNS11984 之內容規定，針對目前市面上常見之暗架天花板系統進行垂直載重試驗（圖 20）。此外，根據日本研究顯示暗架天花板之破壞容易發生在構件連結處，因此本研究同時針對暗架天花板系統在地震中容易發生破壞的部分進行強度試驗（圖 21）。

實驗第二階段為暗架式天花板之全尺寸實驗（圖 22），此部分以南投瑞峰國中之天花板型式作為研究案例對象，實驗試體模擬實際現場施工狀況，利用油壓千斤頂進行靜力側推實驗用以觀察暗架天花板系統在地震中所發生之破壞情形，並針對破壞之原因提出補強的方法以及建議。



圖 20. 細部元件撓度試驗

(圖片來源：本研究)

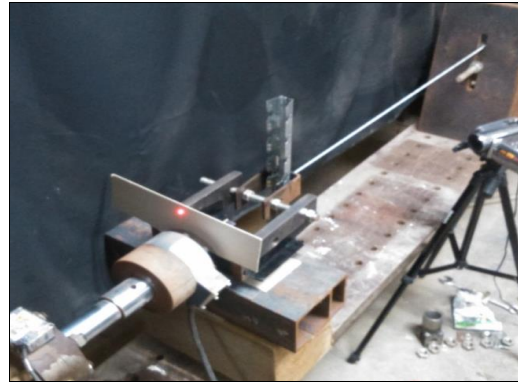


圖 21. 細部元件強度試驗

(圖片來源：本研究)

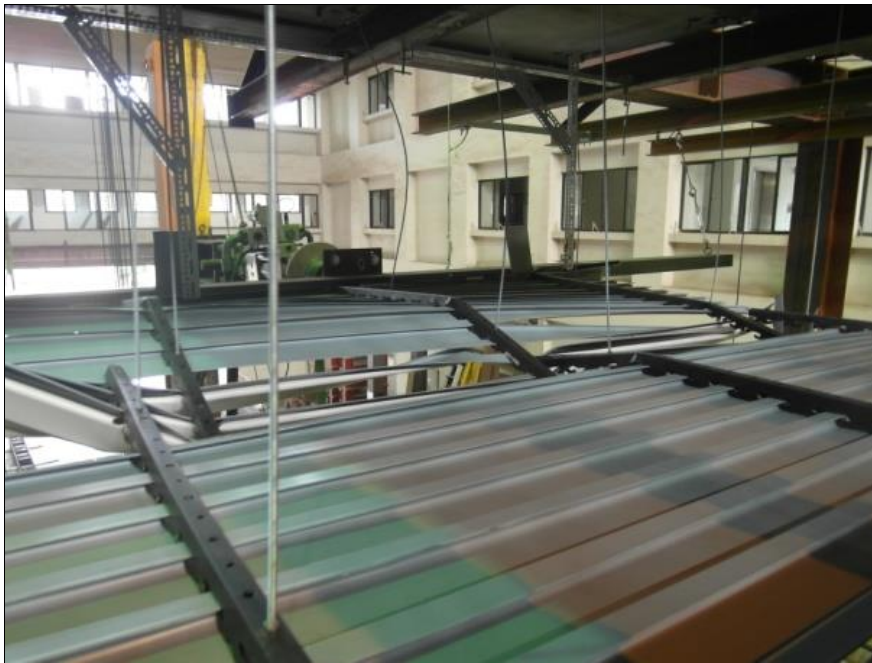


圖 22. 全尺寸試驗 (圖片來源：本研究)

第二章 暗架天花板構造型式及破壞案例

第一節 國內常見暗架天花板型式

暗架天花板為國內極為常見之懸吊式天花板系統之一，其構造型式為骨架直接與面材固接，並將骨架隱藏於面材後方，當人員視線朝上方天花板望去時僅看到一大片板材而看不到骨架，故稱為「暗架」天花板。最早的暗架天花板為木製天花板系統，後來因為輕鋼架系統容易組裝加上承載能力較好，可用來支撐較重的吸音板材及設置大型燈具，因而逐漸普及到住商空間甚至大面積的集會場所如音樂廳、體育場館等。

國內的輕鋼構暗架天花板系統早期為承襲日本之習用工法，後來則自行研發或從國外引進其它工法，以至於目前國內暗架天花板之構造形式相當繁多，且沒有統一的標準作法。甚至隨著個人技術的改良和不同師傅的口耳相傳，即使相同型式之暗架天花板系統在工法上都略有差異。

一般而言暗架天花板系統之主體構造可分為四個部分：1. 格柵（主架） 2. 格柵承架（支撐架） 3. 吊筋組 4. 板材。「格柵」與「格柵承架」係根據國家標準 CNS11984 中之骨架構件名稱，分別代表暗架天花板系統中不同用途之骨架構件；然而國內業界並不使用此名稱而是以「主架」與「支撐架」作為主要之用語，本研究考慮國內暗架天花板業界使用上之習慣，同時也希望研究成果能方便使用者知悉及參考，因此後續文章中將以「主架」與「支撐架」描述暗架天花板之骨架構件。

傳統暗架天花板之骨架系統係由主架與支撐架所構成，主架位於支撐架下方且與支撐架呈 90 度交錯並透過接合繫件連接或以嵌合的方式將兩者固定。吊筋組以吊鉤或螺帽和支撐架連結鎖固，並在上方以擊釘片與火藥擊釘將吊筋和結構體固定，最後把板材鎖固於主架

上。圖 23 說明傳統暗架天花板之構造系統，而不同形式之暗架天花板系統依據其構造則會有不同的連結繫件和組裝方法。

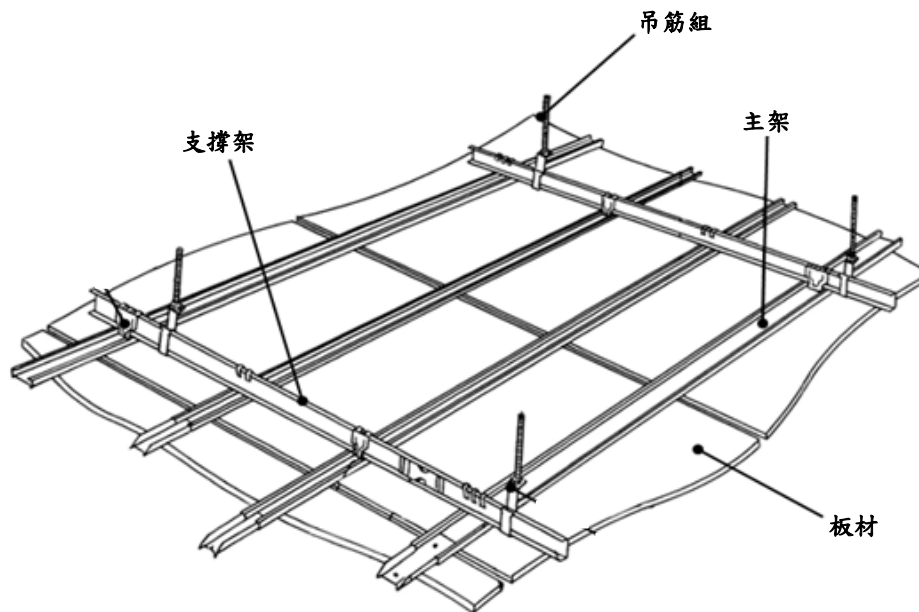


圖 23. 傳統暗架天花板構造圖 (圖片來源：本研究)

本研究調查目前國內常見暗架天花板之型式並將其彙整分為四種類型：

1. 傳統式暗架天花板
2. 卡夾式暗架天花板
3. 金屬條狀式暗架天花板
4. 金屬面板式暗架天花板

除了金屬條狀式天花板之外，其餘三種型式之骨架系統均包含主架與支撐架；而金屬條狀式天花板因主架與板材結合成相同構件因此天花板骨架僅靠支撐架維持。在構件之接合上傳統式和金屬面板式之吊筋組包含擊釘片、吊筋螺桿以及吊鉤，且利用吊鉤懸吊支撐架。而卡夾式和金屬條狀式的吊筋組並沒有吊鉤繫件而係以螺帽鎖固的方式和支撐架連接。

一、傳統式暗架天花板

圖 24 說明傳統式暗架天花板之構造系統，此系統之支撐架為 U 形槽鐵，普遍而言相鄰兩支撐架之間距為 90cm。而主架（俗稱百葉或大百葉）則沿著支撐架以 30cm 至 40cm 之間距排列，並透過四齒夾（或為二齒夾及三齒夾）和支撐架固定。吊筋組（包括擊釘片、螺桿、吊鈎）以 90cm 為間距利用吊鈎固定支撐架，並以擊釘片與天花板上方之結構體相接，常見的螺桿尺寸一般為 2 分或 3 分螺桿。最後以 1.5m 鑽尾螺絲將板材（石膏板、矽酸鈣板）鎖固於主架上。

二、卡夾式暗架天花板

圖 25 說明卡夾式暗架天花板之構造系統，此系統為目前國內最為常見之天花板類型，包涵室內空間的裝修天花板以及公共場合中的造型天花板。系統中支撐架為俗稱「蜈蚣尺」之構件，間距為 90cm。主架（俗稱百葉或大百葉）沿著支撐架同樣以 30cm 至 40cm 為間距排列，利用蜈蚣尺之形狀特性可直接與主架嵌合固定，而無需靠四齒夾。吊筋螺桿以 90cm 為間距與蜈蚣尺間係以螺帽鎖固，最後以 1.5cm 鑽尾螺絲把板材固定於主架上。相較於傳統式暗架天花板此系統減少了繫材構件（吊鈎、齒夾）的使用。

三、金屬條狀式暗架天花板

圖 26 說明金屬條狀式暗架天花板之構造系統，此系統因應不同之需求發展出不同形狀之面板（俗稱卡麗板），一般常用於迴廊、騎樓等半戶外空間。金屬條狀式暗架系統之支撐架類似於蜈蚣尺，而不同的卡麗板面寬亦會搭配不同掛鈎形狀之支撐架。此系統最大特點在於卡麗板同時結合了主架與板材的概念並直接與支撐架相接，因此整體系統僅剩下支撐架與金屬板材，相較於上述其他系統重量為輕。此系統其餘構件均與卡夾式暗架天花板類似。

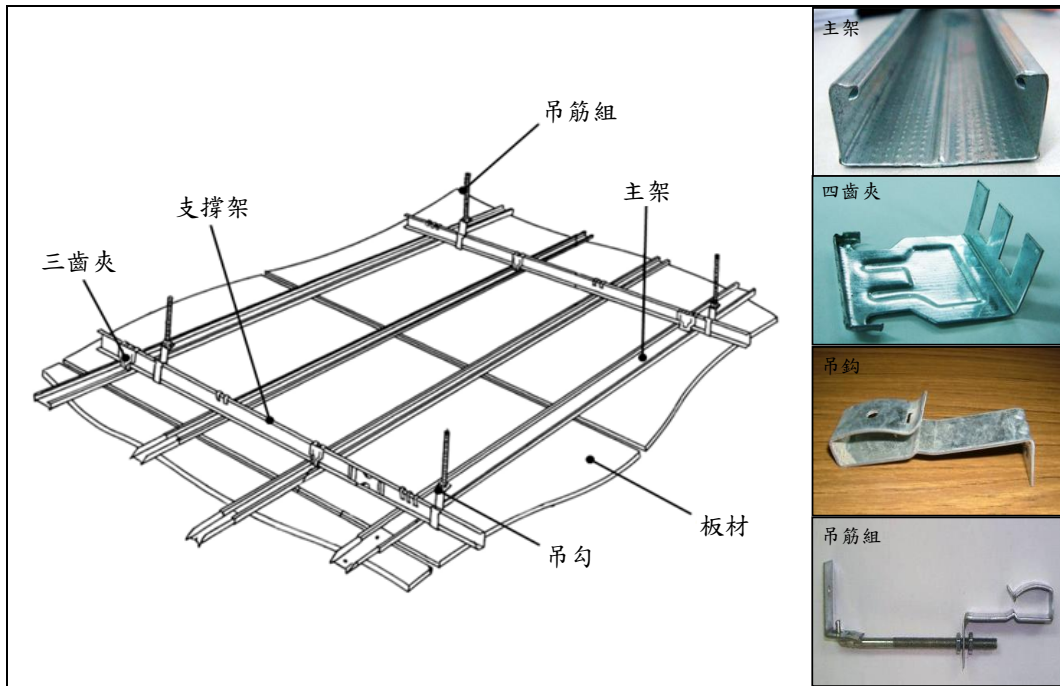


圖 24. 傳統式暗架天花板構造圖 (圖片來源：本研究)

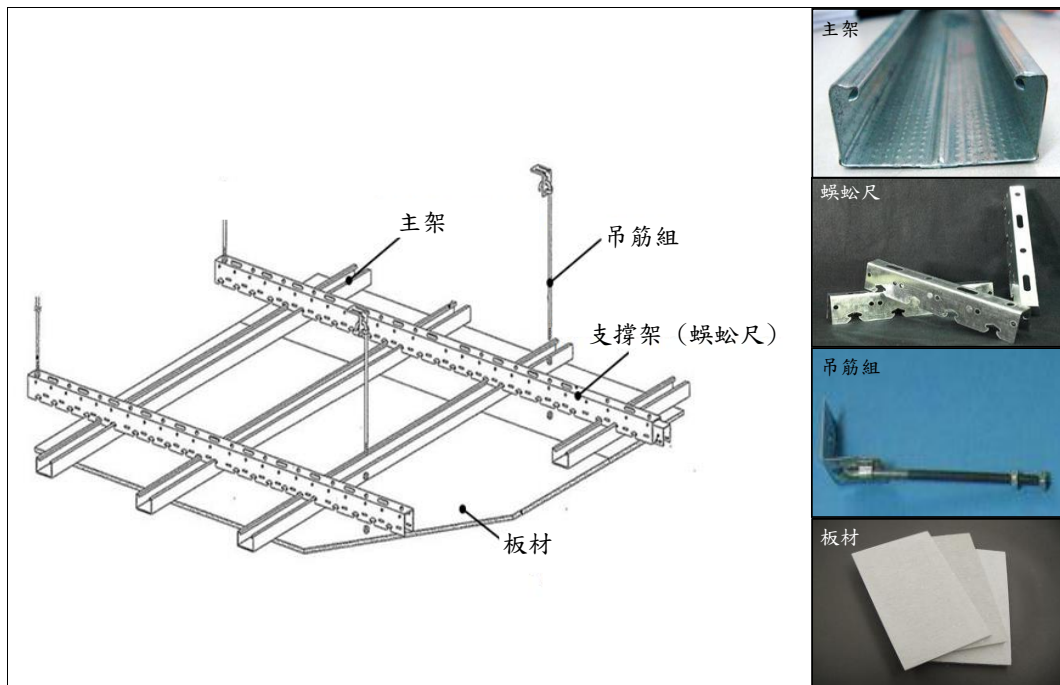


圖 25. 卡夾式暗架天花板構造圖 (圖片來源：本研究)

第二章 暗架天花板構造型式及破壞案例

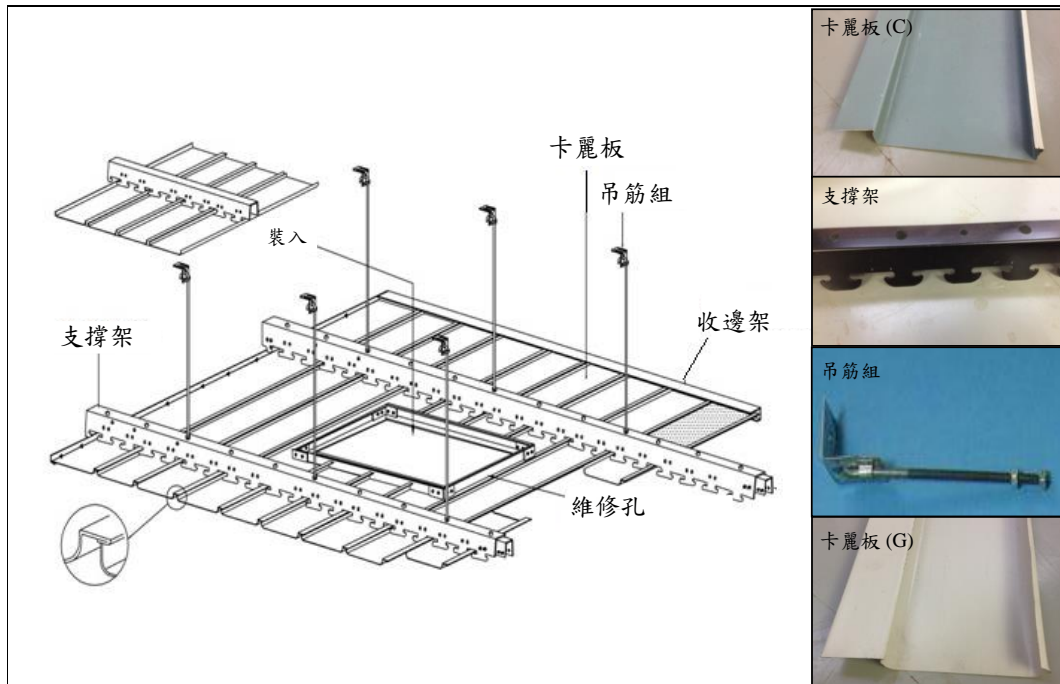


圖 26. 金屬條狀式暗架天花板構造圖 (圖片來源：本研究)

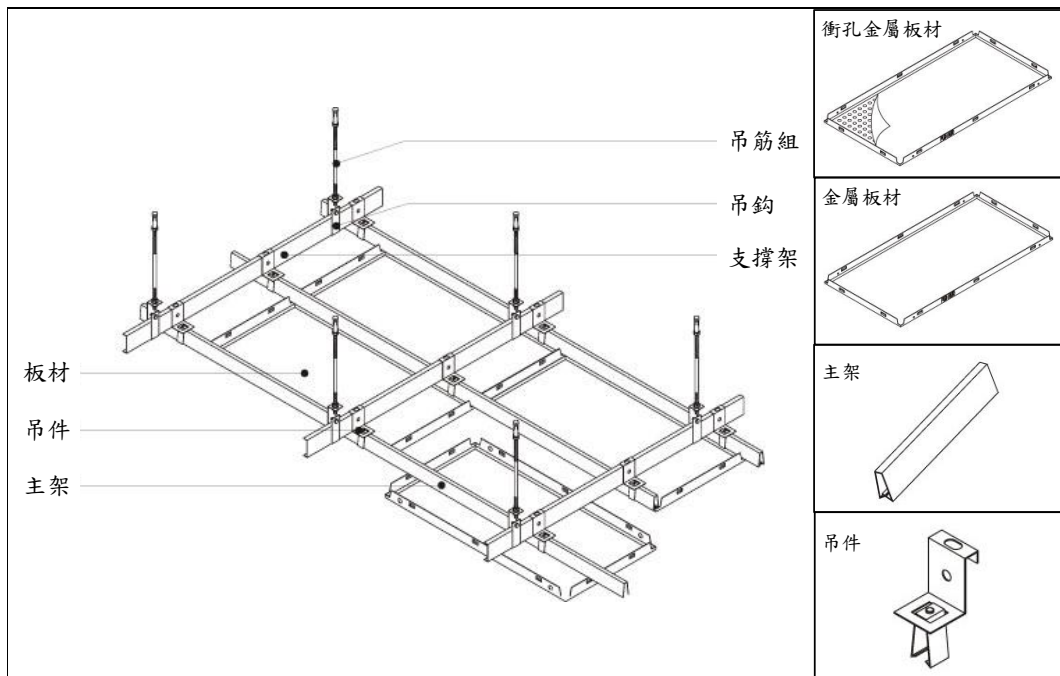


圖 27. 金屬面板式暗架天花板構造圖 (圖片來源：本研究)

四、金屬面板式暗架天花板

圖 27 說明金屬面板式暗架天花板之構造系統，由於傳統板材如矽酸鈣板或石膏板重量較重且不耐濕氣因而發展出此系統。此系統的板材種類很多，除了一般的平板金屬面板外有些甚至在平板金屬天花上面沖了許多細小的圓形孔可增加吸音的效果，美觀及功能兼備。此系統在構造上與傳統式暗架天花板系統相似，吊筋係利用吊鈎與支撐架連結，而支撐架與主架彼此間則是利用特殊繫件固定。不同之處在於板材並非以螺絲鎖固於主架上，而是直接與主架嵌合固定。

本研究根據國內常見之暗架天花板種類將之分為四種形式，但在系統構造上金屬面板式暗架天花板與傳統式暗架天花板非常相似，因此在後續實驗分析上僅以前三類作為研究對象。

第二節 國內外暗架天花板破壞案例

一、日本暗架天花板破壞案例

2003 年 9 月 26 日，日本十勝沖地震（芮氏規模 8.0）造成北海道釧路機場大廳中，高度 10m 之暗架天花板有將近一半的天花板面積約為 300m² 發生掉落之情形（圖 28），而機場塔台同樣也有天花板掉落之情況發生（圖 29、30），導致機場機能喪失而停止運作。此次天花板破壞主要係發生在骨架下方的板材掉落，掉落物之總重量甚至達到 4 至 5 噸。此外，在機場西側有一段高低差天花板發生大規模的掉落情形，此部分之暗架天花板原設有斜撐補強（圖 31），但根據調查結果發現暗架天花板掉落之原因，主要係因為設有斜撐之骨架會造成暗架天花板系統之自振週期縮短，其值剛好接近建築物所量測到的自振週期為 0.6 秒，致使天花板和建築物發生共振。再者，根據地震反應譜顯示，在東、西方向上於自振週期為 0.6 秒時建築物反應加速度相當大，也間接導致天花板搖晃非常劇烈。



圖 28. 機場天花板掉落情形[10]



圖 29. 塔台天花板掉落情形[10]



圖 30. 塔台天花板掉落情形[10]

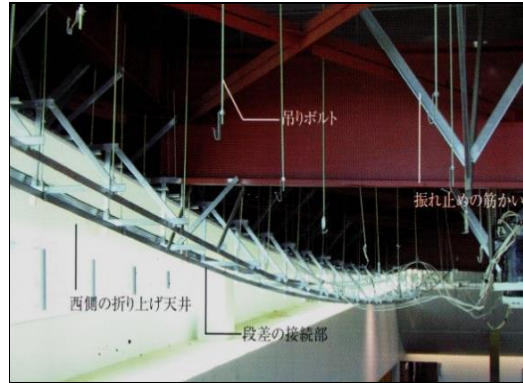


圖 31. 高低差天花板及斜撐[10]

除了天花板的自振週期所造成之共振因素外，高低差暗架天花板之構造在此案例中同樣為造成天花板破壞的主要原因，天花板高度較高的部分因懸吊螺桿較短因而剛度較高，同時又配置了許多斜撐，造成高低差暗架天花板高低兩側之系統剛度強弱懸殊致使在地震中因振動量差異過大而導致連接處破壞。

2005 年 8 月 16 日，宮城地震（芮氏規模 7.2）造成仙台市松森運動中心發生暗架天花板掉落的事例（圖 32），圖中可以觀察到暗架天花板全數掉落僅剩骨架部分殘留。圖 33 為松森運動中心之暗架天花板的配置示意圖，圖中黑粗線為支撐架組裝方向，而 A、B 兩區域間有 30cm 之高低落差。為配合此運動中心不規則形狀之造型天花板，大部分的天花板骨架均設計為獨立存在而無彼此相接，致使各部分天

天花板在地震中會各自獨立運動，再加上此天花板系統並無任何斜撐來抑制水平振動量，故導致在大地震作用時，各部分天花板因振動量過大且又不同步而發生彼此撞擊之情況。



圖 32. 天花板掉落狀況[11]

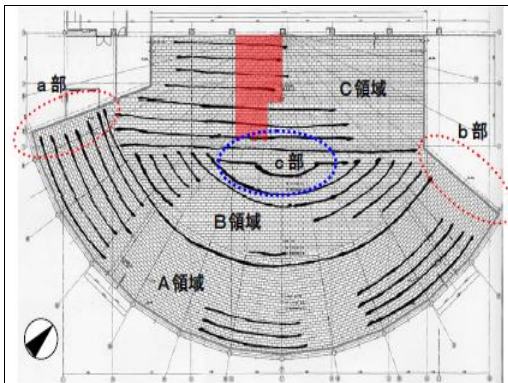


圖 33. 天花板配置示意圖[11]



圖 34. 骨架撞擊結構體痕跡[11]



圖 35. 繫件鬆脫掉落[11]

另外一項造成天花板板材掉落之主要原因為暗架天花板骨架（圖 33 中 a、b 兩區域）在地震中因撞擊建築結構體（圖 34）而造成繫件受力變形產生構件鬆脫之情況（圖 35），進而導致板材掉落。而掉落之板材又再牽動周遭暗架天花板之構件受力發生變形致使連續性的天花板崩塌破壞。

2011 年 3 月 11 日東日本大地震（芮氏規模 9.0）造成東京市的川崎音樂廳，每平方米就重達 100 公斤之暗架天花板幾乎全數掉落，所幸發生當時並沒有表演進行否則後果不堪設想（圖 36）。此案例震驚

日本當局，因為東京距離震央已有數百公里之遙，在地表振動量極小的情況下卻也發生暗架天花板大面積崩落的災害，突顯出暗架天花板之耐震性嚴重不足。



圖 36. 天花板掉落狀況[7]

調查事故原因後發現，音樂廳為滿足音響上之需求，暗架天花板板面通常會有曲度之設計或板材厚度之要求，才能同時達到吸音及反射音的音響效果，而為了達此目的一般音樂廳天花板系統之構造組成相當複雜同時整體載重也大幅提升。此破壞案例中天花板掉落之主要原因在於音樂廳的暗架天花板所使用之吊筋長度不一，因此各部分天花板在地震中會各自獨立運動，與上述松森運動中心產生相同之狀況。再加上天花板板材可觀之重量，導致各部天花板在碰撞後致使繫件受到極大之荷載而變形破壞，當繫件破壞天花板便失去懸吊力因而崩塌掉落，甚至周遭之天花板也受到影響形成連鎖性的破壞，造成大規模的天花板發生掉落之情形。

針對前述發生的案例，日本的國土交通局也提出了對應的設計建

議[10]如下：

1. 在暗架天花板與結構物間或是不連續的暗架天花板間必須保持適當之淨間距（圖 37）。
2. 對於有高低差存在之暗架天花板系統，在高低差或剛性不同之部分採用不連接的設計，避免應力集中及運動不同步的情形發生（圖 38）。
3. 採用斜撐補強時，在同一方向上最好要平均且對稱的配置。
4. 暗架天花板繫件的補強。使繫件不容易變形而撐開。
5. 採用輕質的板材封板。用較輕的面材取代較重的石膏板材。

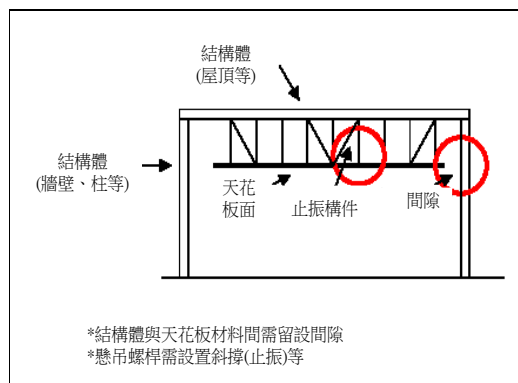


圖 37. 斜撐及保持適當間距[10]

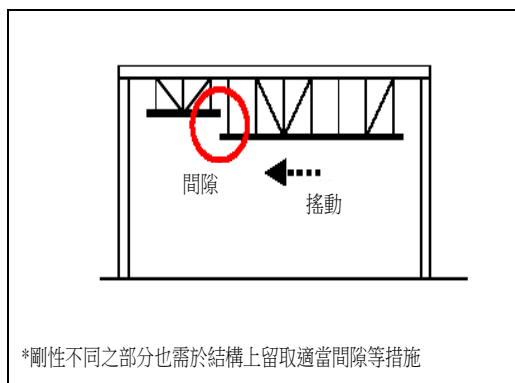


圖 38. 高低差採不連續處理[10]

二、台灣暗架天花板破壞案例

1999 年 9 月 21 日集集地震時，台中市美術館入口大廳發生金屬條狀式暗架天花板大面積掉落之情形，此案例為國內最早發現暗架天花板破壞的狀況，但因為當時國內對於非結構物之耐震性不夠重視，因此沒有持續研究及追蹤。

2013 年 6 月 2 日南投地震造成南投瑞峰國中金屬條狀式暗架天花板大面積掉落的情形，掉落的天花板主要發生在走廊（圖 39）以及樓梯間（圖 40），本研究實地勘查發現受到破壞之暗架天花板類型屬於金屬條狀式暗架天花板。根據中央氣象局所提供之地震資料得知南投

地震之芮氏規模為 6.5，而距離震央 32.5 公里處的瑞峰國中其地表最大加速度為 213gal。



圖 39. 走廊天花板掉落狀況

(圖片來源：姚昭智)



圖 40. 樓梯間天花板掉落狀況

(圖片來源：姚昭智)

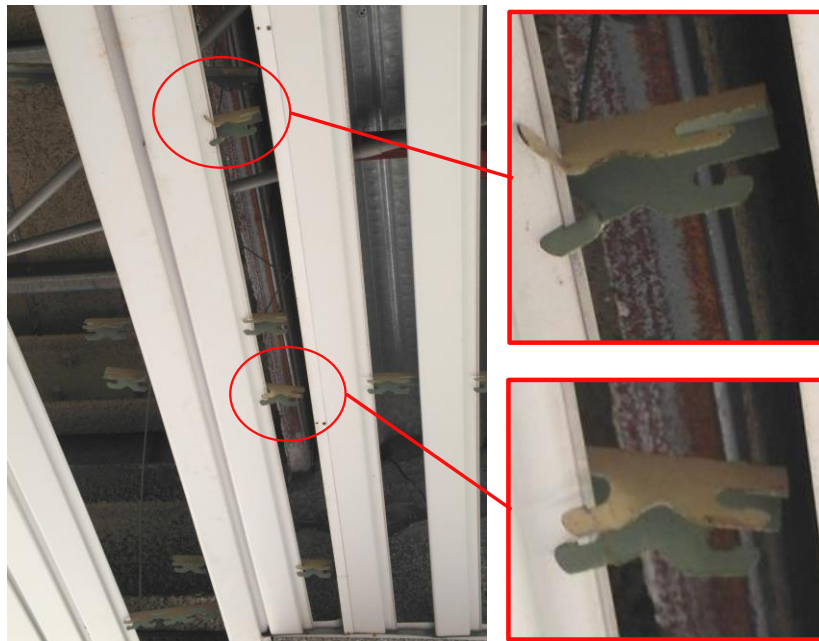


圖 41. 支撐架掛鈎變形 (圖片來源：姚昭智)

本研究實地現場勘查及測繪，發現走廊暗架天花板掉落的部分主要發生在支撐架搭接處，而在此案例中各支撐架的搭接處大致位於同一位置而未採交錯搭接。從現場殘留的支撐架可以發現支撐架掛鈎呈

現嚴重變形的狀況（圖 41），此外搭接處之各支撐架並非緊靠並排而是相隔約有 15cm 的距離。另外也發現到在結構物伸縮縫周圍的暗架天花板同樣有受破壞掉落的情形。根據上述之觀察，可以分析走廊位置暗架天花板掉落之原因如下：

1. 支撐架搭接位置在同一位置上。大面積的天花板其骨架勢必需要搭接，在地震中力量的傳遞則必須透過搭接處來傳導，因此搭接處之掛鈎本身相當容易變形破壞。當所有支撐架均搭接在同一位置時則容易在搭接處形成弱面，導致板材因掛鈎變形而掉落。
2. 伸縮縫之影響。當伸縮縫兩側之結構物在地震中振動不一致時，會造成暗架天花板之骨架因相互擠壓而導致板材破壞掉落。

除走廊有天花板掉落之狀況外，樓梯間的暗架天花板包括燈具也幾乎全數掉落，根據現場調查之結果發現天花板掉落之原因如下：

1. 吊筋與結構體連結之方式。一般而言天花板吊筋會以火藥擊釘與結構體相接，但在此案例中天花板之吊筋係以掛鈎之方式勾住天花板上方之結構型鋼，導致在地震發生時容易因為上下振動而脫鈎掉落。
2. 懸吊長度過長。天花板之懸吊長度會影響暗架天花板在地震中擺盪的程度以及吊筋抵抗垂直向載重之能力。

2013 年南投地震同時也造成嘉義市政府南棟大樓九樓之大禮堂發生卡夾式暗架天花板崩塌的情況。從圖 12 中可以發現天花板的主架與支撐架仍係相互固定且無明顯損壞之現象，破碎的板材應係天花板墜落時撞擊所產生。此外崩塌的天花板構件中並不包含吊筋，吊筋依然完整固定於上方之結構體（圖 42），因此可以研判天花板崩塌之原因發生在吊筋與支撐架的接合處。



圖 42. 天花板吊筋

(圖片來源：施忠賢結構技師事務所)

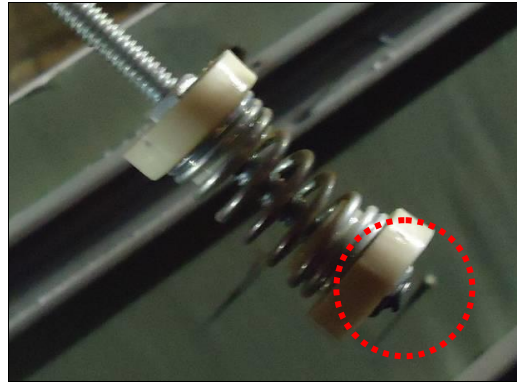


圖 43. 螺帽鎖附於吊筋

(圖片來源：施忠賢結構技師事務所)

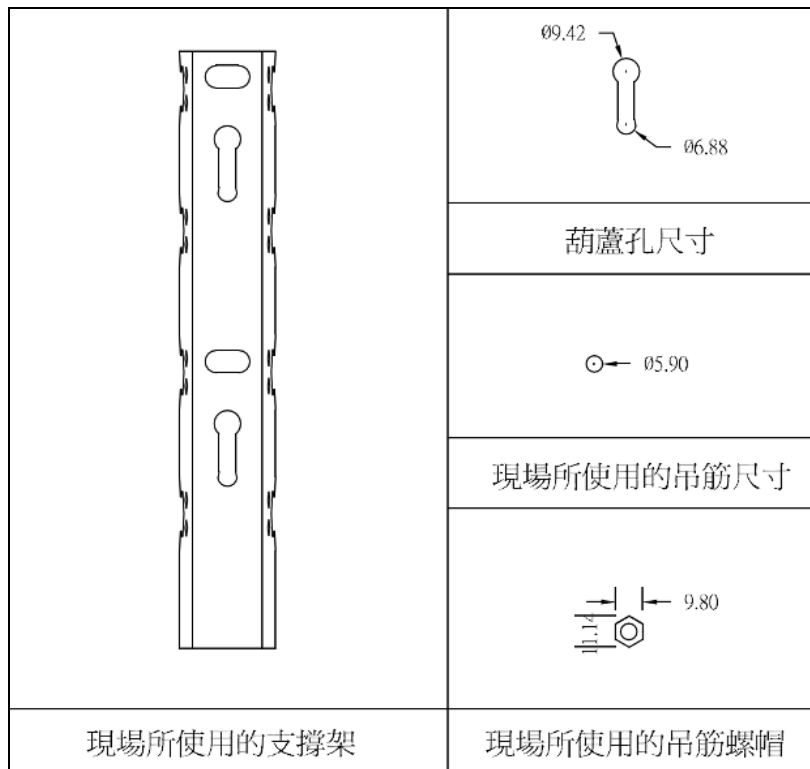


圖 44. 支撐架形式 (圖片來源：施忠賢結構技師事務所)

本案例現場所使用的支撐架上與吊筋固定的孔洞為葫蘆孔(圖 44)，較大的孔徑直徑為 9.42mm，較小孔徑直徑為 6.88mm，其餘部分寬度為 5.92mm。吊筋為直徑 5.9mm 之螺桿，吊筋穿過葫蘆孔後於孔洞下方鎖一螺帽抵抗載重但未使用墊片。螺帽尺寸為對角邊長

11.14mm 而平行邊長 9.8mm，因無墊片分攤作用力導致螺帽與葫蘆孔周圍接觸面積較小容易產生應力集中現象，造成葫蘆孔較易受力變形而螺帽則穿透孔洞致使吊筋失去效用（圖 13）。圖 43 顯示葫蘆孔下方的螺帽仍鎖附於吊筋上，說明螺帽係直接穿透支撐架上之葫蘆孔，亦造成多數的吊筋喪失懸吊天花板之機能。

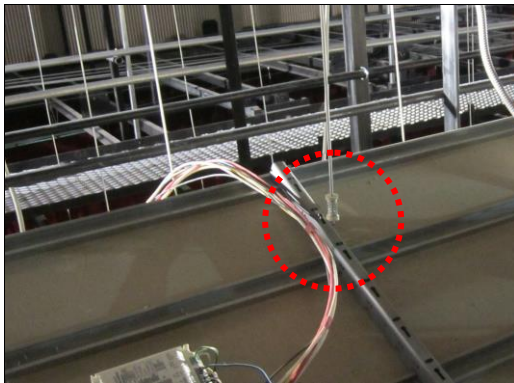


圖 45. 吊筋與支撐架並無鎖固

（圖片來源：施忠賢結構技師事務所）

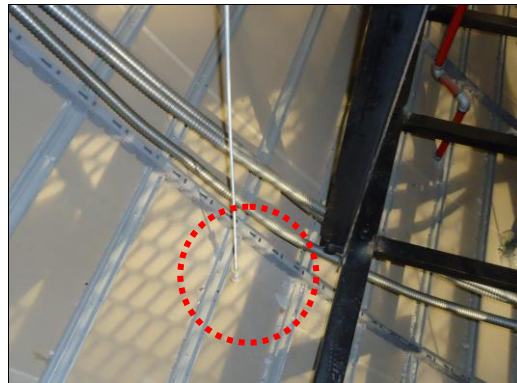


圖 46. 吊筋與支撐架並無鎖固

（圖片來源：施忠賢結構技師事務所）

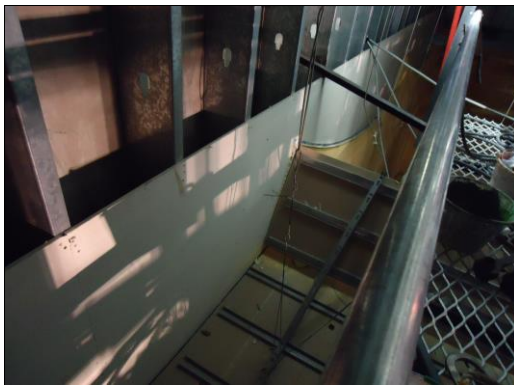


圖 47. 以鍍鋅鋼線懸吊天花板

（圖片來源：施忠賢結構技師事務所）

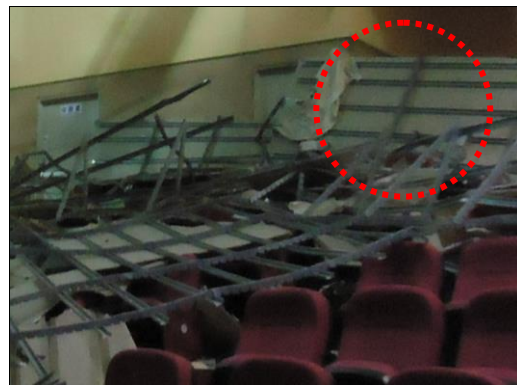


圖 48. 天花板破壞情形

（圖片來源：施忠賢結構技師事務所）

此外，根據現場天花板仍未崩塌之部分可以發現到此案例中天花板的施作其實相當草率，圖 45 說明吊筋因現場長度不足則無鎖固於支撐架上，圖 46 顯示現場吊筋因無法對齊支撐架故同樣未鎖固於支撐架上。圖 47 說明現場之吊筋有些並非使用螺桿而是僅用鍍鋅鋼線

拉撐天花板，強度明顯不足。

此案例中可以發現天花板是一整片的掉落（圖 48），從圖 48 中可以發現大部分掉落之板材仍鎖固於骨架上且並無損壞，因此合理推測崩塌的原因並非發生在支撐架與主架的接合處，即便支撐架因天花板造型的關係被彎曲呈弧形狀。另外破壞原因也不會是板材與主架的接合方式。圖 42 顯示崩塌天花板處的吊筋仍完整固定於上方結構體並無掉落的情形，因此吊筋與結構體的固定方式也不是造成天花板崩塌之原因，故本案例中天花板崩塌之主要原因便是發生在吊筋與支撐架的接合處。因為現場吊筋與支撐架的鎖固並無使用墊片，再加上所使用的螺帽尺寸與支撐架上葫蘆孔徑相差不大，只要葫蘆孔產生些微變形擴孔，螺帽便極有可能穿透支撐架導致吊筋失去效用，造成支撐架連同天花板板材一起掉落。

第三節 國內外暗架天花規範

一、台灣規範

在本研究召開之專家座談會議中，與會專家一致同意且特別提出一個日漸嚴重的問題，目前國內暗架天花板工程大多數均屬於卡夾式暗架天花板系統，然而目前國內 CNS 規範中對此類型暗架系統卻沒有任何相關規定，因此導致材料製造商在生產天花板骨架時為求市場生存而被迫將骨架愈做愈小，骨架翼板高度由原先 27mm 縮減為目前 19mm 以壓低競爭價位，嚴重影響天花板系統之整體剛度與強度。

由於國內的暗架天花板系統早期為承襲自日本之習用工法，因此本研究先行比較國內規範 CNS11984「建築用暗架式牆壁及平頂輕鋼架」與日本規範 JIS A6517「建築用鋼製下地材（壁、天井）」，瞭解國內規範大抵上為參考日本規範所制定，所有試驗項目及規定均與日本規範完全相同。兩規範所討論之對象均係針對於傳統式暗架天花

板系統（圖 49），圖中構件名稱如本章第一節所述，「擱柵」即為暗架天花板之「主架」，俗稱百葉或大百葉；而「擱柵承架」則代表暗架天花板之「支撐架」。

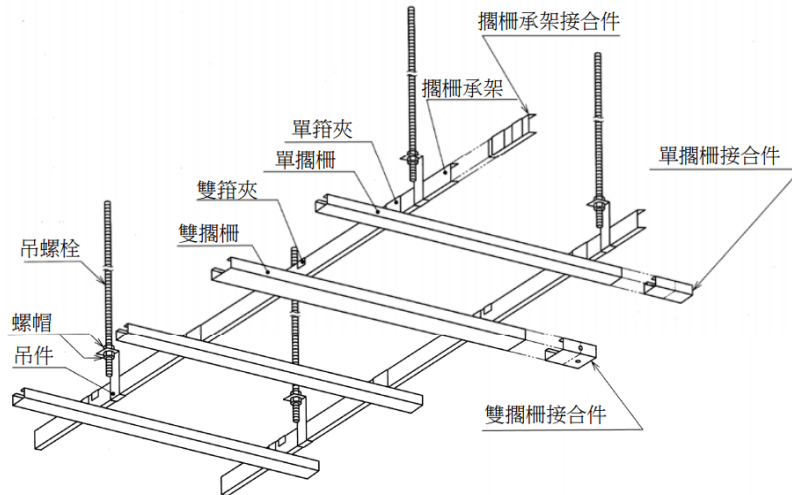


圖 49. CNS11984 暗架天花板組成及各部名稱[2]

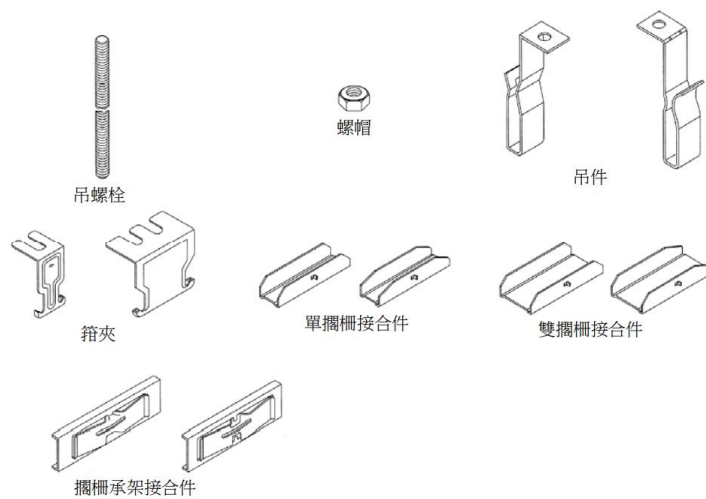


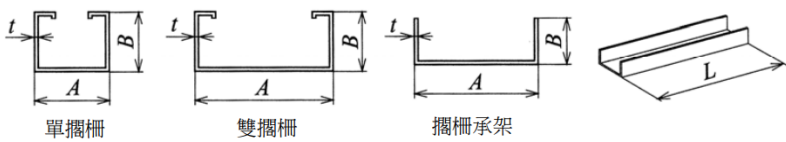
圖 50. CNS11984 暗架天花板之構件圖示[2]

圖 50 為規範中天花板各部構件之圖示，所有構件均屬於傳統式暗架天花板系統，而卡夾式暗架天花板系統或是其他暗架天花板系統在規範中則無任何說明。國內規範對於傳統式天花板系統中之構件尺

第二章 暗架天花板構造型式及破壞案例

寸有其明確之規定（表 1），以支撐架為例其腹板最小寬度不可小於 38mm 而翼板最小高度不可低於 12mm。此外，除了構件尺寸之規定，規範對於天花板系統之性能也有要求，如表 2 所示。

表 1. 暗架天花板構件尺寸之規定[2]



單位：mm

組件	符號	寬度(A)		高度(B)		板厚(t) ^(b)		長度(L) ^(a)	
		基準尺度	許可差	基準尺度	許可差	基準尺度	基準尺度	許可差	
單擱柵	CS-19	25	±1.5	19	±0.5	0.5	4,000	+40	0
	CS-25			25					
雙擱柵	CW-19	50		19					
	CW-25			25					
擱柵承架	CC-19	38	±0.5	12	±1.5	1.2	5,000		
	CC-25					1.6			

註^(a) 長度(L)，得在各個符號長度之上限內，依買賣雙方之協議訂定。
 註^(b) 板厚(t)之許可差，依 CNS 1244 或 CNS 15237 之規定。

表 2. 暗架天花板性能之規定[2]

單位：mm

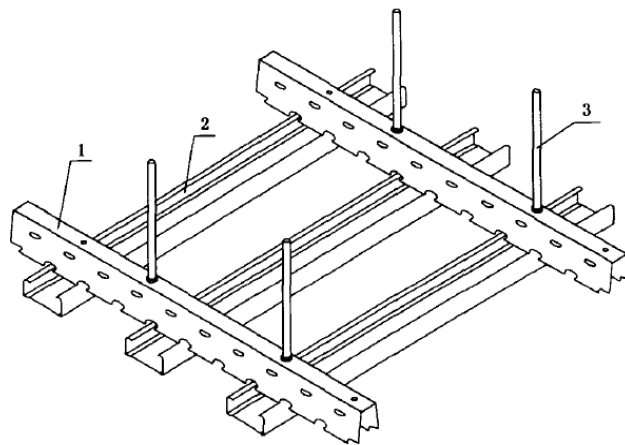
性能項目				性能	試驗節次
組件之形狀安定性		橫向彎曲 ^(a)		2//1,000 以下 ^(a)	9.3.1
		翹曲 ^(b)		2//1,000 以下 ^(b)	9.3.2
載重強度	向下載重	擱柵	最大撓度	10 以下	9.5.1 ^(a)
			殘留撓度	1 以下	
	向上載重	擱柵承架	最大撓度	5 以下	9.5.1 ^(b)
			殘留撓度	1 以下	
	向上載重	擱柵	最大撓度	5 以下	9.5.2

註^(a) 橫向彎曲之測定位置(A)及 l，依圖 7 之規定。
 註^(b) 翹曲之測定位置(B)及 l，依圖 8 之規定。

二、中國規範

根據第一次專家座談會議中與會專家的經驗表示，中國在 2008

年四川汶川地震過後重新頒布暗架天花板之相關規範，因此本研究同時也參考了中華人民共和國國家標準 GB/T11981-2008「建筑用轻钢龙骨」。本研究發現在現今的中國規範中並不像 CNS 僅有傳統式天花板系統之介紹，其他系統如卡夾式暗架天花板系統也有其圖說（圖 51）和與其對應之構件尺寸的相關規定（表 3）。



- 1— 承载龙骨;
- 2— 覆面龙骨;
- 3— 吊件。

圖 51. 卡夾式暗架天花板系統之圖示（圖片來源：GB/T11981-2008）

表 3. 卡夾式暗架天花板系統構件尺寸之規定（表格來源：GB/T11981-2008）

V 型 龍 骨	承载龙骨		$A \times B \times t$ $20 \times 37 \times 0.8$	造型用龙骨 规格为 $20 \times 20 \times 1.0$
	覆面龙骨		$A \times B \times t$ $49 \times 19 \times 0.5$	

相較於大陸 GB 國家標準，台灣 CNS 規範則因缺乏國內最常用之卡夾式暗架天花板規範而顯得不合時宜。目前在日本雖然 90% 以上的

暗架天花板形式仍屬於傳統式天花板系統，但此系統在台灣卻早已式微，如今在國內的室內空間中都以卡夾式暗架天花板系統為主要選擇，半戶外場合若需要裝設天花板則會採用金屬條狀式天花板；然而此兩種系統在國內規範中卻沒有任何相關說明與規定。在本研究所召開的第一次專家會議中，與會之材料製造商坦承因國內並沒有除傳統式天花板之外其他類型的規定，造成國內天花板材料製造商因市場價位競爭激烈，為求生存而導致生產的天花板骨架尺寸越來越小。以天花板主架為例，骨架之側翼高度由原先 27mm 變為現今市場上常見的 19mm。

由於骨架之尺寸直接影響天花板之耐震性，因此本研究認為國內 CNS 規範勢必要增加其他不同種類暗架天花板系統之規定，避免材料製造商因無規範嚴格要求，導致在材料品質上偷工減料而嚴重影響公共安全。

二、日本規範

日本在發生東日本大地震以前，關於暗架天花板之規定除了在建築基準法施行令中提到室內裝修材在地震中不可掉落之外（第 39 條第 1 項），也僅有 JIS A6517「建築用鋼製下地材（壁、天井）」定義了暗架天花板之性能標準。東日本地震造成許多場合之天花板掉落，這些場合包含了體育館、音樂廳、商場以及工廠等大空間的場所，甚至包括新建的建築物。因此自 2011 年以來，日本當局積極針對暗架天花板之構法重新進行檢討並且實際操作天花板之耐震實驗，直到 2013 年頒布暗架天花板耐震規範「特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件」(建築基準法施行令第 39 條第 3 項)，隔年 2014 年 4 月 1 日公告施行。

規範中定義天花板高度超過 6m、天花板面積超過 200m² 以及天花板重量超過 2kgf/m² 之公眾使用空間的暗架天花板為「特定天井」。

所有新建建築物內之特定天井都需要遵守天花板規範，設計者可以直接遵照規範所提供的耐震工法施作或是自行提出天花板的耐震結構計算。本研究參考日本規範中天花板之耐震工法並彙整成下列幾點：

1. 天花板之單位面積重量必須在 20kgf/m^2 以下。
2. 吊筋與天花板支撐架相接處之吊鈎必須以螺絲進行補強（圖 14）。
3. 天花板骨架及吊筋必須遵守 JIS A6517「建築用鋼製下地材（壁、天井）」之尺寸規定。
4. 天花板與上部結構物須確實接合。
5. 吊筋的數量每平方公尺一根以上並且均勻配置。
6. 高低差天花板採不連續設計（圖 38）。
7. 吊筋長度不可超過 3m。
8. V 字型斜撐的數量必須根據規範所計算。
9. 天花板四周與結構體間必須保持 6cm 以上的間隙（圖 37）。

台灣與日本皆處於環太平洋地震帶上，為地震發生頻繁之地區，東日本大地震提供寶貴的地震經驗呼籲日本當局重視暗架天花板之耐震性，本研究認為台灣應效法日本儘快修訂暗架天花板的耐震規範，否則當災害發生造成人員傷亡後已是亡羊補牢。

第三章 試驗規劃與實驗結果

第一節 細部元件強度試驗

一、實驗目的

根據日本暗架天花板破壞案例與國內嘉義市政府暗架天花板破壞情形，可以知道暗架天花板的破壞最有可能發生在構架相接處。由於目前國內最為普遍之暗架天花板形式以卡夾式系統為主，因此本研究挑選卡夾式暗架天花板作為接點強度試驗對象。

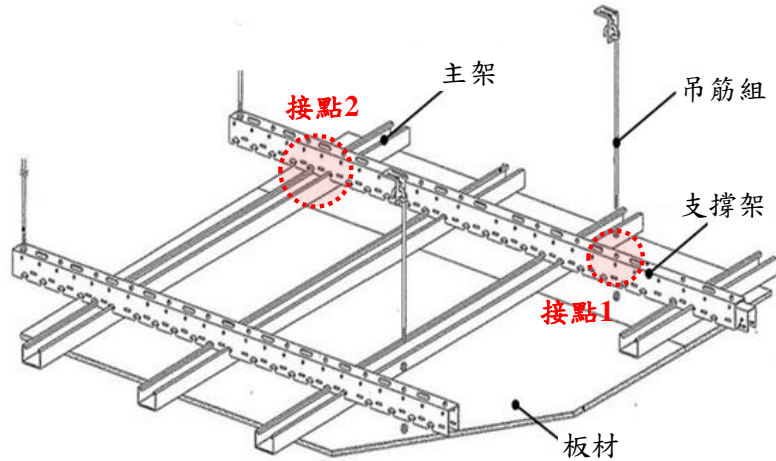


圖 52. 卡夾式暗架天花板系統之構造圖 (圖片來源：本研究)

相較於傳統式暗架天花板系統，卡夾式天花板系統並沒有繫材構件如吊鈎或齒夾。扣除吊筋與結構體之接點，天花板系統在自身構造上之接點分別有吊筋與支撐架相接處（接點 1）以及支撐架與主架相接處（接點 2），如圖 52 所示。本研究分別針對這兩類接點進行強度試驗，目的在於量化兩接點之強度大小，瞭解何者強度較差容易率先在地震中遭受破壞，俾便提出耐震對策。

實驗裝置如圖 53 所示，試驗架左側為油壓千斤頂，右側三角鋼板作為反力端並與試體固定。實驗試體裝設於千斤頂與三角鋼板之

間，試體一端除與三角鋼板固定外，另一端則利用夾具將試體與油壓千斤頂固定（圖 54）。

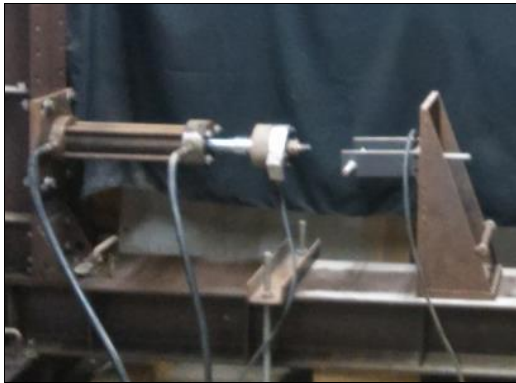


圖 53. 實驗裝置

（圖片來源：本研究）

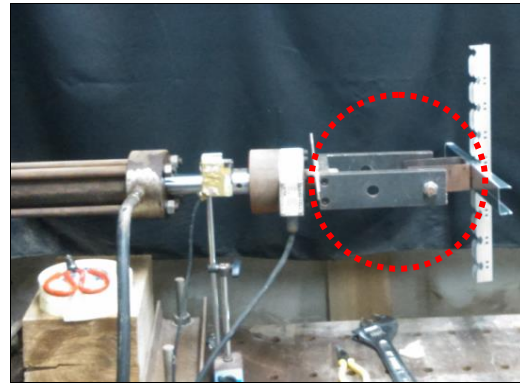


圖 54. 實驗試體與千斤頂固定

（圖片來源：本研究）

二、接點 1 試驗

本研究首先調查市面上支撐架之形式，發現大部分支撐架上都有著不同形狀之孔洞。孔洞形式大致可分為三種，分別為圓孔（圖 55）、葫蘆孔以及槽孔（圖 56）。



圖 55. 圓孔

（圖片來源：本研究）



圖 56. 葫蘆孔與槽孔

（圖片來源：本研究）

圓孔為標準 2 分螺桿鎖固用之孔洞，然而有時因為天花板懸吊長度過長或是天花板重量過重致使吊筋必須使用三分螺桿，此時便要利

用葫蘆孔上較大之孔洞進行鎖固。再者在施工上很難要求每根螺桿都能達到鉛直而無任何偏移，因此當吊筋有些許偏移時則必須靠槽孔提供餘裕空間進行接合。此外本研究也請教多家施工廠商及現場師傅，確實掌握目前國內卡夾式暗架天花板的現地工法，發現就如同前述嘉義市政府之暗架天花板構造一般，吊筋穿過支撐架孔洞後僅靠螺帽鎖固並無使用墊片。因此本研究根據支撐架上孔洞的形狀，再分別考慮有無使用墊片之情況，共計進行 11 個項目 33 組實驗試體。將各項目中三個試體之實驗結果取平均值後彙整如表 4 所示。

表 4. 接點 1 試驗結果 (表格來源：本研究)

試體編號	孔型	上方墊片數	下方墊片數	極限載重
試體 1	圓孔	0	0	25.3 kgf
試體 2	圓孔	0	1	74.7 kgf
試體 3	圓孔	1	0	25.2 kgf
試體 4	圓孔	1	1	75.3 kgf
試體 5	圓孔	0	2	94.1 kgf
試體 6	葫蘆大孔	0	0	9.3 kgf
試體 7	葫蘆大孔	0	1	44.3 kgf
試體 8	葫蘆小孔	0	0	20.8 kgf
試體 9	葫蘆小孔	0	1	53.3 kgf
試體 10	槽孔	0	0	9.5 kgf
試體 11	槽孔	0	1	49.1 kgf

根據實驗之結果，在不同孔形且無墊片之情況下（試體 1、6、8、10）以圓孔的極限載重最大，可達 25 公斤重。而葫蘆大孔和槽孔之極限強度相去不多，皆不到 10 公斤重即遭受破壞。表 4 中試體 1 至試體 5 均為圓孔之情況但改變墊片位置與數量，當在支撐架下方加入一墊片時，試體 2 之強度明顯增加至 75 公斤重。但在支撐架上方加入一墊片時，試體 3 之強度則無太大改變。此外，當支撐架上下均加

入墊片時，試體 4 之強度也明顯增加至 75 公斤重，當在支撐架下方增加二墊片時，試體 5 之強度甚至可達到 94 公斤重。從以上試驗結果可以發現在支撐架下方增加一個墊片可以使接點強度大幅提升；而雖然在支撐架上方之墊片對於強度並無任何影響，但地震在垂直向的振動也並非只局限於向下振動，當向上振動作用於天花板系統時，在支撐架上方使用墊片同理可提升接點之強度。根據增加下方墊片可以提升接點強度之推論，本試驗在其他孔形下方同樣加了一片墊片後證實接點強度皆大幅提升，葫蘆大孔由原先 9 公斤重增加至 45 公斤重，而葫蘆小孔與槽孔也分別增加至 53 公斤重及 49 公斤重。

對於一般無特殊用途自重最輕之暗架天花板系統，其天花板重量約為 10kgf/m^2 （支撐架重量 0.68kgf/m^2 、主架重量 1.13kgf/m^2 ，12mm 石膏板重量 8.4kgf/m^2 ），若按照慣習工法以 90cm 為間距排列吊筋，其每根吊筋受力約為 8kgf。根據表 4 實驗結果可以發現不論吊筋與支撐架上何種孔形鎖固，其極限載重均大於 8kgf，代表在沒有地震僅考慮天花板自重時並不會有任何破壞。但當地震作用下產生垂直向作用力於支撐架時，破壞就會發生在葫蘆孔或槽孔上，就如同本文中嘉義市政府之暗架天花板破壞案例。

因此本研究建議未來在施工時，若吊筋無法直接與支撐架之圓孔鎖固，則必須加入一墊片於支撐架下方用以提升接點強度，或甚至將墊片的使用加入暗架天花板工法中，確保在垂直向地震力作用下接點不會受到破壞。

三、接點 2 試驗

此階段實驗目的在於模擬不同種類之暗支撐架對於接點 2 強度的影響，並觀察接點之破壞行為和量測其極限強度。本試驗選擇市面上較為常見之三種支撐架形式，試體 1 寬度 25mm 而高度為 38mm，試體 2 寬度較小為 20mm 高度為 36.5mm，試體 3 寬度 23mm 高度較小

為 32mm，如圖 57 所示。本試驗中與支撐架嵌合之主架尺寸取為固定，寬度為 45mm 而高度與厚度分別為 19mm 及 0.6mm，此尺寸為目前國內使用上最為普遍之主架。主架透過連結片與油壓千斤頂固定，支撐架則與三角鋼板鎖固並與主架相互嵌合，千斤頂以拉力方式作用讓破壞發生於主架與支撐架接點處。表 5 紀錄接點 2 之試驗數據，根據試驗結果可發現不同試體之接點強度差異不大，對於不同高度或寬度的支撐架其接點 2 之強度均約為 25kgf。主要原因在於雖然支撐架尺寸不同，但與主架嵌合處之卡榫構造卻又極其相似，因此導致各試體之實驗結果並無太大差異。

	寬度	高度	厚度
試體 1	25	38	0.8
試體 2	20	36.5	0.8
試體 3	23	32	0.8



(單位：mm)

試體 1 試體 2 試體 3

圖 57. 支撐架形式與尺寸 (圖片來源：本研究)

表 5. 接點 2 試驗結果 (表格來源：本研究)

試體編號	長度(mm)	寬度(mm)	高度(mm)	厚度(mm)	極限強度
試體 1	450	25	38	0.8	24.9 kgf
試體 2	450	20	36.5	0.8	25.1 kgf
試體 3	450	23	32	0.8	23.1 kgf

根據上述接點 1 (試體 1，圓孔無墊片) 與接點 2 之試驗結果，兩者極限載重均為 25kgf。但一般而言在一天花板平面中接點 1 與接點 2 數量之比例約為 1：2 至 1：3，因此當每個接點 2 受到 10kgf 之載重時，傳遞到接點 1 之總載重實為 20~30kgf，足以讓接點 1 產生破壞，也代表在卡夾式暗架天花板系統中，吊筋與支撐架相接處為較容易受到破壞之構造，確實有需要提升其強度。

第二節 細部元件撓度試驗

一、實驗目的

由於目前國內規範除傳統式暗架天花板之外並無任何關於其他型式暗架天花板系統之規定，因此本研究依據 CNS11984 中對於傳統式天花板系統之性能要求，測試國內目前市售卡夾式以及金屬條狀式系統是否能同樣符合規範。

二、支撐架向下載重試驗

本實驗依據 CNS11984 向下載重試驗之規定（圖 58），以油壓千斤頂施加 740N 載重持續 5 分鐘於 400mm×1200mm 之合板上（合板厚度為 24mm），並以位移計分別量測兩支撐架中央處之撓度，取較大值作為試體之「最大撓度」。待力量卸載後同樣以位移計量測支撐架中央處之殘留變形量，取較大值作為試體之「殘留撓度」。本實驗中卡夾式天花板因支撐架卡榫間距為 50mm，故主架之排列並無法遵照圖 58 取 360mm 而是取目前常見施工間距為 300mm，圖 59 及圖 60 為卡夾式天花板支撐架向下載重之試驗情形。

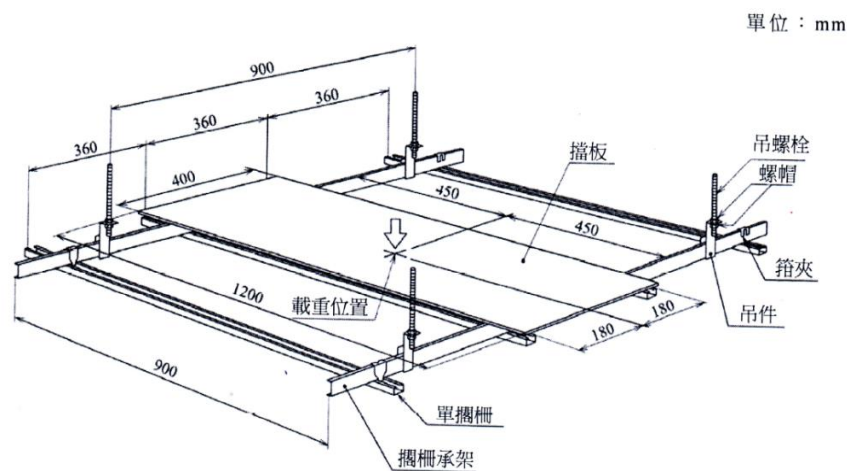


圖 58. 支撐架向下載重試驗[2]

卡夾式暗架天花板試體同樣選擇市面上較為常見之三種支撐架

形式(圖 57)作為試驗對象，支撐架試體 1 寬度 25mm 而高度為 38mm，試體 2 寬度較小為 20mm 高度為 36.5mm，此試體尺寸相近於 GB 國家標準中對於支撐架尺寸之規定。支撐架試體 3 寬度 23mm 高度較小為 32mm。試驗結果如表 6 所示，根據支撐架最大撓度之實驗結果說明試體 1 和試體 2 之差距不大，最大撓度約為 7mm，而試體 3 之最大撓度則為 12mm。由殘留撓度的實驗結果顯示試體 1 和試體 2 之殘留撓度相當小僅 0.5~0.7mm，而試體 3 之殘留撓度則為 2.4mm。



圖 59. 支撐架向下載重試驗

(圖片來源：本研究)



圖 60. 支撐架向下載重試驗

(圖片來源：本研究)

表 6. 支撐架向下載重之試驗結果 (表格來源：本研究)

試體 編號	試體支撐架 1		試體支撐架 2		最大撓度 (mm)	殘留撓度 (mm)
	最大撓度	殘留撓度	最大撓度	殘留撓度		
試體 1	5.3	0.3	7.3	0.4	7.3	0.7
	6.1	0.5	6.5	0.7		
試體 2	7.0	0.4	7.5	0.4	7.5	0.5
	6.4	0.4	6.4	0.5		
試體 3	11.8	1.7	10.8	1.4	12.4	2.4
	12.4	2.4	12.4	2.3		

支撐架之高度直接影響其剛度大小，試驗中試體 1 高度為 38mm 而試體 2 高度為 36.5mm，兩者之最大撓度並無明顯差異；而試體 3

支撐架之高度僅有 32mm，故骨架剛度較小，其最大撓度與殘留撓度也相對較大。

CNS11984 中對於支撐架向下載重之規定，其最大撓度應小於 5mm，而殘留撓度應小於 1mm。相較於本次試驗可以發現目前國內市售之卡夾式支撐架（蜈蚣尺），不論尺寸大小均無法完全滿足規範之要求，尤其是支撐架的最大撓度均超過規範之限制。此結果顯示目前國內卡夾式暗架天花板本身就不具備足夠之剛度，若再無規範嚴格要求支撐架的尺寸而任憑製造商繼續偷工減料，則暗架天花板之安全性確實堪慮。

本研究同時也針對金屬條狀式天花板進行支撐架向下載重試驗，由於在金屬條狀式天花板系統中並無主架之構件，因此實驗試體係由支撐架與卡麗板所組成，圖 61 及圖 62 為金屬條狀式天花板支撐架向下載重之試驗情形。

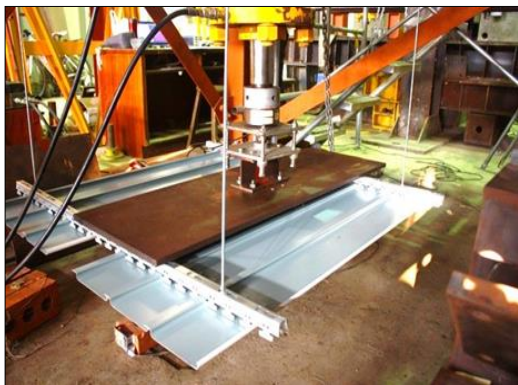


圖 61. 支撐架向下載重試驗

（圖片來源：本研究）



圖 62. 支撐架向下載重試驗

（圖片來源：本研究）

金屬條狀式天花板試體採用目前國內市面上常見之 G 型卡麗板系統，支撐架尺寸與卡夾式天花板試驗中之試體 1 相似，骨架之寬度與側翼高度分別為 25mm 以及 38.5mm，厚度為 0.8mm，主要之差別在於支撐架卡榫的構造上卡夾式與百葉（主架）嵌合而金屬條狀式則是與卡麗板嵌合。試驗結果如表 7 所示，支撐架之最大撓度為 1.8mm

而殘留撓度則僅有 0.3mm。CNS11984 中對於支撐架向下載重之規定，其最大撓度應小於 5mm 同時殘留撓度應小於 1mm，試驗的結果顯示本研究所用之金屬條狀式天花板試體似可滿足國內規範之性能要求。

相較於表 6 中卡夾式天花板試體 1 之實驗最大撓度為 7.3mm，金屬條狀式天花板之最大撓度僅 1.8mm，然而兩者支撐架之尺寸並無太大差異，推測係因為在金屬條狀式天花板之試體中，卡麗板與支撐架下緣全面嵌合，致使支撐架在受到向下載重時其構件張力側獲得很大的束制力而減少變形撓度。

表 7. 支撐架向下載重之試驗結果 (表格來源：本研究)

試體 編號	試體支撐架 1		試體支撐架 2		最大撓度 (mm)	殘留撓度 (mm)
	最大撓度	殘留撓度	最大撓度	殘留撓度		
試體 1	1.3	0.2	1.5	0.2	1.8	0.3
試體 2	1.6	0.1	1.8	0.2		
試體 3	1.5	0.2	1.7	0.3		

三、主架向下載重試驗

本實驗依據 CNS11984 向下載重試驗之規定 (圖 63)，以油壓千斤頂施加 300N 載重持續 5 分鐘於 450mm×450mm 之合板上 (合板厚度為 15mm)，並以位移計分別量測各主架中央處之撓度，取較大值作為試體之「最大撓度」。同樣待力量卸載後量測主架中央處之殘留變形量，取較大值作為試體之「殘留撓度」。

圖 64 及圖 65 為卡夾式天花板主架向下載重之試驗照片。在本研究的調查中，目前國內卡夾式天花板系統的施作上，大多採用寬度 45mm、側翼高度 19mm 之主架，因此本試驗直接採用此形式之主架進行測試，而支撐架則選用尺寸為寬度 25mm、高度 38mm 的形式。此外，本試驗另外挑選不同厚度之主架，探討不同厚度的主架其性能

之差異，試驗結果如表 8 所示。

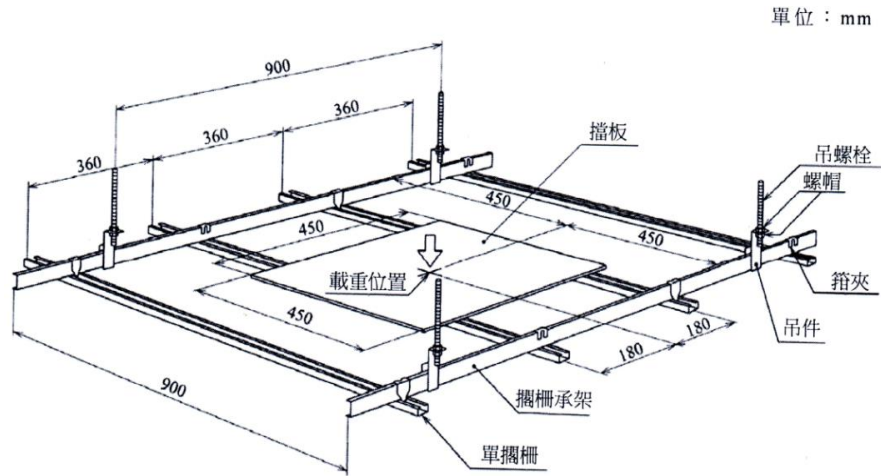


圖 63. 主架向下載重試驗[2]



圖 64. 主架向下載重試驗

(圖片來源：本研究)

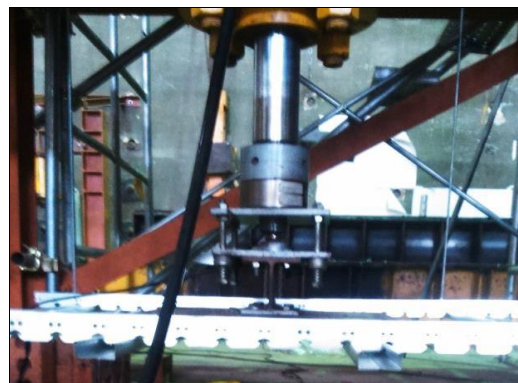


圖 65. 主架向下載重試驗

(圖片來源：本研究)

表 8. 主架向下載重之試驗結果 (表格來源：本研究)

試體 編號	厚度 (mm)	試體主架 1		試體主架 2		最大撓度 (mm)	殘留撓度 (mm)
		最大撓度	殘留撓度	最大撓度	殘留撓度		
試體 1	0.6	6.3	0.2	5.4	0.2	6.5	0.2
		6.4	0.2	6.5	0.2		
試體 2	0.4	7.5	0.3	6.5	0.2	7.5	0.3
		7.1	0.2	7.3	0.3		

CNS11984 中對於主架向下載重之規定，其最大撓度應小於 10mm，而殘留撓度應小於 1mm。相較於試驗結果，目前市售卡夾式天花板系統其主架似可滿足規範之要求。

在金屬條狀式天花板系統中由於卡麗板同時結合了主架與板材的功能，因此在金屬條狀式天花板之主架向下載重試驗中，本研究讓千斤頂施力直接作用在卡麗板上（圖 66），並以兩支位移計分別量測試體中央處卡麗板之撓度（圖 67）。



圖 66. 卡麗板向下載重試驗

（圖片來源：本研究）



圖 67. 卡麗板向下載重試驗

（圖片來源：本研究）

表 9. 卡麗板向下載重之試驗結果（表格來源：本研究）

試體 編號	試體卡麗板 1		試體卡麗板 2		最大撓度 (mm)	殘留撓度 (mm)
	最大撓度	殘留撓度	最大撓度	殘留撓度		
試體 1	1.5	0.2	1.6	0.2	2.2	0.3
試體 2	2.2	0.3	1.7	0.2		
試體 3	1.6	0.2	1.3	0.2		

表 9 為卡麗板向下載重之試驗結果，其中卡麗板之最大撓度以及殘留撓度分別為 2.2mm 和 0.3mm，而 CNS11984 中對於主架向下載重之規定，其最大撓度應小於 10mm 且殘留撓度應小於 1mm。相較於試驗結果，目前市售金屬條狀式天花板系統其卡麗板似可滿足規範之要求。

四、向上載重試驗

本實驗依據 CNS11984 向下載重試驗之規定 (圖 68)，以油壓千斤頂施加 300N 向上載重持續 5 分鐘於 450mm×450mm 之合板上 (合板厚度為 15mm)，並以位移計分別量測各主架中央處之撓度，取較大值作為試體之「最大撓度」。

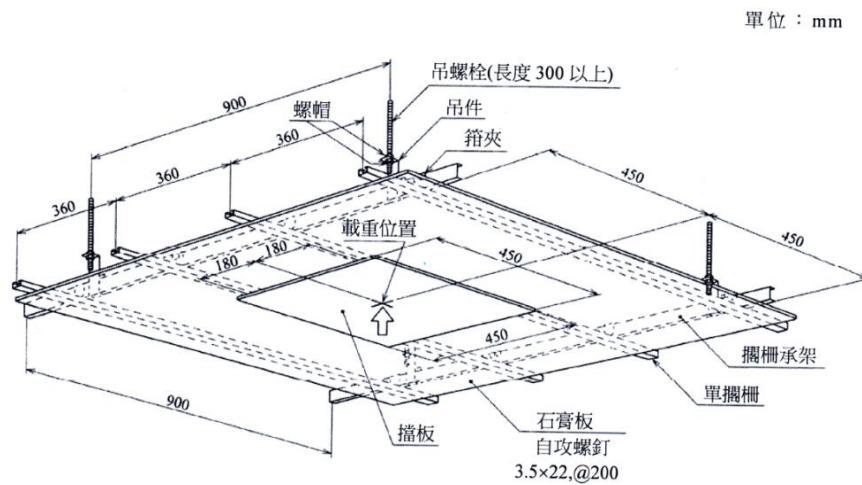


圖 68. 向上載重試驗[2]



圖 69. 向上載重試驗

(圖片來源：本研究)

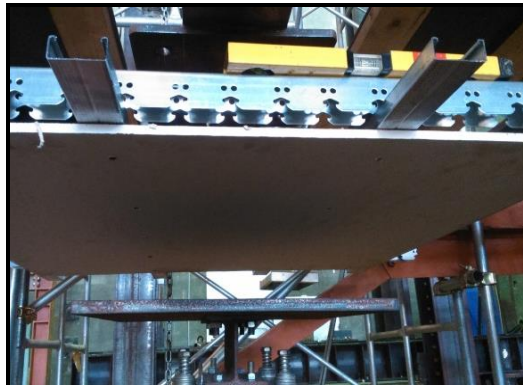


圖 70. 向上載重試驗

(圖片來源：本研究)

圖 69 及圖 70 為卡夾式天花板向上載重之試驗照片。實驗試體的形式與主架向下載重試驗相同，支撐架尺寸寬度 25mm、高度 38mm

而主架尺寸寬度 45mm、側翼高度 19mm 且厚度有 0.6mm 與 0.4mm 兩種型式。

表 10. 向上載重之試驗結果 (表格來源：本研究)

試體 編號	厚度 (mm)	試體主架 1	試體主架 2	最大撓度 (mm)
		最大撓度	最大撓度	
試體 1	0.6	5.2	8.4	8.9
		7.1	8.9	
試體 2	0.4	6.7	9.5	9.5
		7.1	9.1	

表 10 為卡夾式天花板向上載重之試驗結果，主架厚度 0.6mm 的系統型式其最大撓度為 8.9mm，而主架厚度 0.4mm 的系統型式其最大撓度則為 9.5mm。在 CNS11984 中對於向上載重之規定，其最大撓度應小於 5mm，相較於本次試驗可以發現目前國內市售之卡夾式天花板系統並無法完全滿足規範之要求，

本研究同時也針對金屬條狀式天花板進行向上載重試驗，圖 71 及圖 72 為金屬條狀式天花板向上載重之試驗照片。



圖 71. 向上載重試驗

(圖片來源：本研究)



圖 72. 向上載重試驗

(圖片來源：本研究)

表 11 為金屬條狀式天花板向下載重之試驗結果，其中卡麗板之最大撓度為 3.9mm，而 CNS11984 中對於主架向下載重之規定，其最

大撓度應小於 5mm。相較於試驗結果，目前市售金屬條狀式天花板系統可滿足規範之要求。

表 11. 向上載重之試驗結果 (表格來源：本研究)

試體 編號	試體卡麗板 1	試體卡麗板 2	最大撓度 (mm)
	最大撓度	最大撓度	
試體 1	2.8	3.9	3.9
試體 2	2.5	2.9	
試體 3	2.6	3.2	

根據上述細部元件撓度實驗結果，可以發現目前國內市售的金屬條狀式天花板系統似可滿足標準規範 CNS11984 對於暗架天花板之性能要求；然而卡夾式天花板系統為國內使用上最為普遍的型式卻無法滿足標準規範 CNS11984 之規定，也因此國內規範應針對不同型式暗架天花板系統制定材料尺寸之最低標準，避免材料製造商繼續偷工減料影響公共安全。

第三節 全尺寸試驗

一、研究目的

現今國內除卡夾式暗架天花板使用較為普遍外，許多戶外騎樓或是學校走廊大多採用金屬條狀式暗架天花板系統，然而此系統在 921 地震以及 2013 年仁愛地震中卻都發現到天花板掉落之狀況。尤其在 2013 年南投瑞峰國中的案例中，走廊及樓梯間均發生大範圍天花板崩落的情形，嚴重妨礙人員之逃生路線，因此本研究擬以瑞峰國中的天花板形式作為案例研究對象，實際操作全尺寸天花板試驗以瞭解此天花板系統在地震中可能發生之破壞情形及原因。

懸吊式天花板在地震作用下常會因為搖晃而撞擊相鄰牆體，或是因為在天花板邊界之隔間牆彼此產生相對位移而造成天花板受到擠

壓，在這些情況下天花板系統均會受到很大的面內壓力致使骨架變形破壞。因此本研究以靜力單向側推以及靜力往復載重兩種方式測試金屬條狀式暗架天花板系統，並記錄天花板試體之破壞狀況及承載能力。

二、實驗規劃

實驗構架主要為鋼構絲瓜棚框架和三角形反力架（圖 73），在三角形反力架上裝設 20T 之油壓千斤頂，並且在千斤頂前方安裝一長 512cm，尺寸為 15cm×7.5cm×0.8cm 的箱型鋼作為分力鋼梁（圖 74），分力鋼梁為實驗中重要的構件之一，目的係讓千斤頂之出力由單點集中載重轉換成線均佈載重作用於天花板試體上。



圖 73. 實驗框架

（圖片來源：本研究）



圖 74. 施力側千斤頂及分力鋼梁

（圖片來源：本研究）

在鋼構絲瓜棚框架遠離千斤頂端的大梁底下鎖上四支長度 150cm，斷面尺寸為 19.5cm×13cm×0.7cm 的箱型鋼梁，並在鋼梁上焊上兩支 12.5cm×6.3cm×0.6cm、長 117.3cm 的 C 型鋼作為反力端（圖 75）。此外，在絲瓜棚架上置入四塊尺寸為 105cm×115cm×15cm 的混凝土塊用以模擬建築物之混凝土樓板（圖 76）。天花板試體之平面尺寸為 235cm×235cm，其中包含 3 支支撐架、24 片 G 形卡麗板板材以及 9 組長度為 90cm 之吊筋組（擊釘片、二分螺桿吊筋）。實驗步

驟先以火藥擊釘將吊筋組固定於上方混凝土塊，吊筋下方和天花板支撐架相接處則以螺帽鎖固，待吊筋與支撐架全數固定後再調整支撐架之水平高度並安裝卡麗板板材。天花板試體一側會固定於分力鋼梁上的七字收邊，而另一側則頂住反力端，最後以連接分力鋼梁之千斤頂施加载重於天花板試體直至試體破壞。實驗裝置如圖 77 所示，其中支撐架以及吊筋之間距均為 90cm，此為國內慣習工法。



圖 75. 反力端構造

(圖片來源：本研究)



圖 76. 混凝土塊

(圖片來源：本研究)

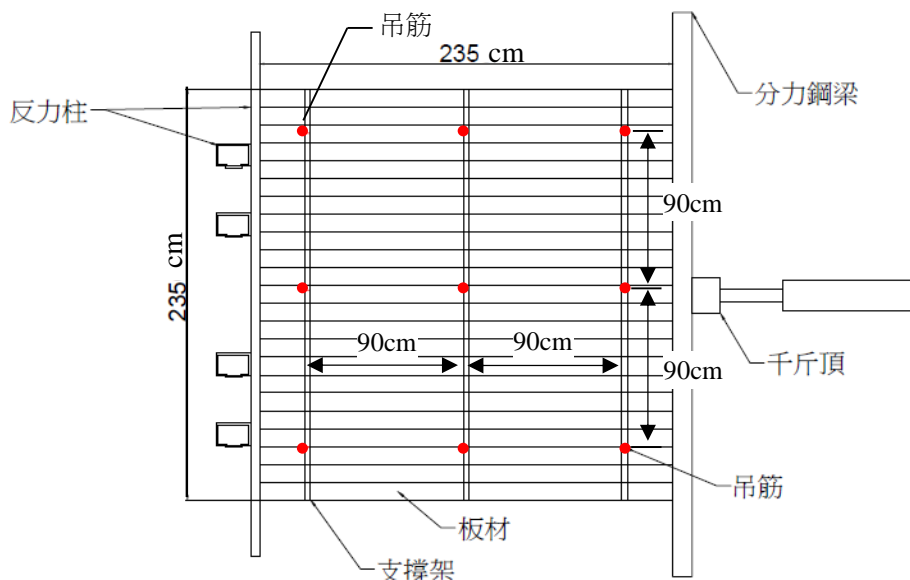


圖 77. 實驗裝置示意圖 (圖片來源：本研究)

在南投瑞峰國中之現地調查中，發現支撐架的搭接應為影響天花

板耐震性之主要原因，因此本研究將實驗試體分為 1.支撐架沒有搭接
2.全部支撐架均搭接 3.僅中間支撐架搭接三種方式進行試驗與分析。

三、支撐架沒有搭接

由於市面上販售的天花板支撐架長度普遍為 9 呎、10 呎或 12 呎，因此在大面積之天花板場合下支撐架勢必需要搭接。天花板支撐架沒有搭接的情形為模擬在大面積天花板中靠近邊界的一小區域。在 T1 與 T2 天花板試體中的支撐架皆沒有做搭接之處理，實驗時則沿著不同方向施加载重，T1 試體為沿板材方向施加载重（圖 78）；而 T2 試體則為沿支撐架方向施加载重（圖 79）。

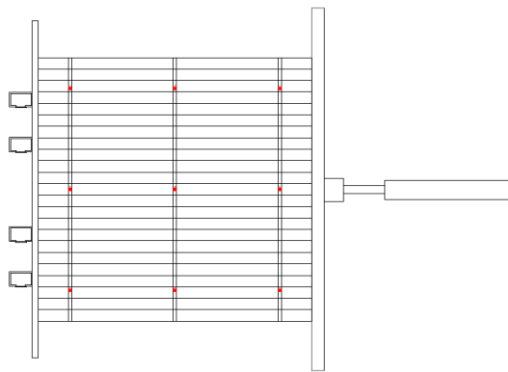


圖 78. T1 沿板材方向施加载重（圖片來源：本研究）

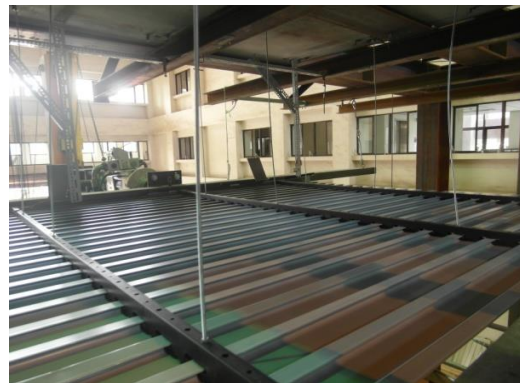
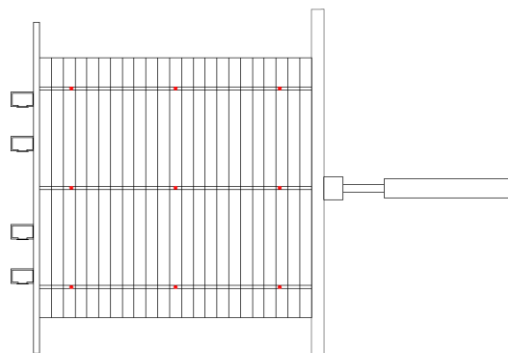


圖 79. T2 沿支撐架方向施加载重（圖片來源：本研究）

T1 天花板試體在加載後卡麗板開始受壓變形，持續加大載重造

成卡麗板挫屈破壞（圖 80），此時部分卡麗板會因為變形而脫離支撐架掛鈎，而支撐架掛鈎也會因為脫離的卡麗板拉扯產生變形的狀況（圖 81），但實驗過程中卡麗板並沒有發生掉落的情形，直至力量曲線無法再提升視為實驗終止。



圖 80. T1 卡麗板挫屈變形

（圖片來源：本研究）



圖 81. T1 支撐架掛鈎變形

（圖片來源：本研究）

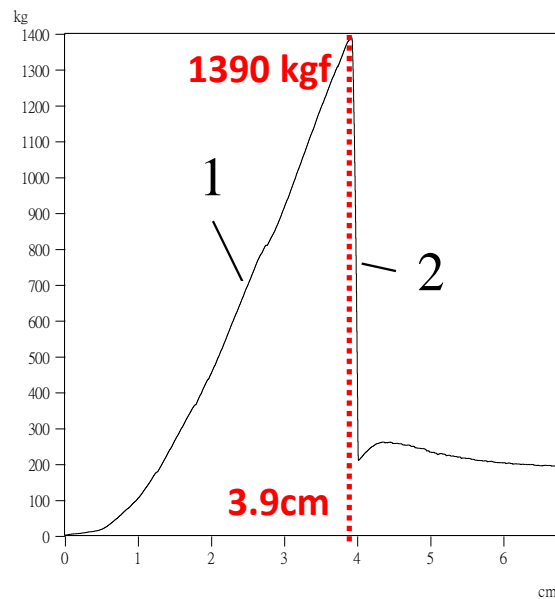


圖 82. T1 試體力量-位移曲線（圖片來源：本研究）

圖 82 說明 T1 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中天花板試體受外力作用強度

逐漸提升，而第二階段在過了極限載重後因卡麗板發生挫屈變形導致試體強度急遽下降。T1 試體極限載重為 1390kgf，而極限載重下的位移為 3.9 cm。

T2 天花板試體在實驗加載後鄰近分力鋼梁的支撐架開始受壓變形（圖 83），持續加大載重造成支撐架挫屈破壞（圖 84），此時在支撐架發生挫屈部分的卡麗板會跟著支撐架移動而有些微變形之狀況，直至力量曲線無法再提升視為實驗終止。



圖 83. T2 支撐架挫屈變形

（圖片來源：本研究）



圖 84. T2 支撐架挫屈破壞

（圖片來源：本研究）

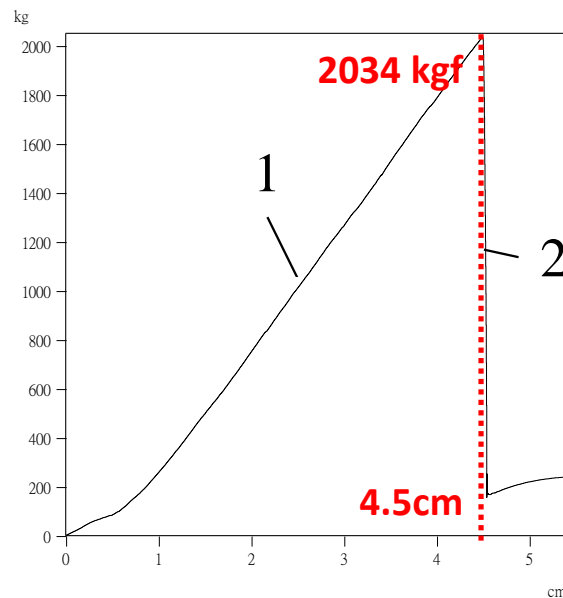


圖 85. T2 試體力量-位移曲線 （圖片來源：本研究）

圖 85 說明 T2 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中天花板試體受外力作用強度逐漸提升，而第二階段在過了極限載重後因支撐架發生嚴重挫屈破壞導致試體強度急遽下降。T1 試體極限載重為 2034kgf，而極限載重下的位移為 4.5cm。

許多場合之天花板講究美觀而營造天花板的層次，也因此高低差天花板之形式成為國內極為普遍的做法。實驗試體由原有平面尺寸為 235cm×235cm 的天花板從中間分為上下兩層，而上下層天花板板材底部相距 15cm 並以大七字收邊連接。T3 試體為高低差天花板沿板材方向施加载重（圖 86）；而 T4 試體為高低差天花板沿支撐架方向施加载重（圖 87）。

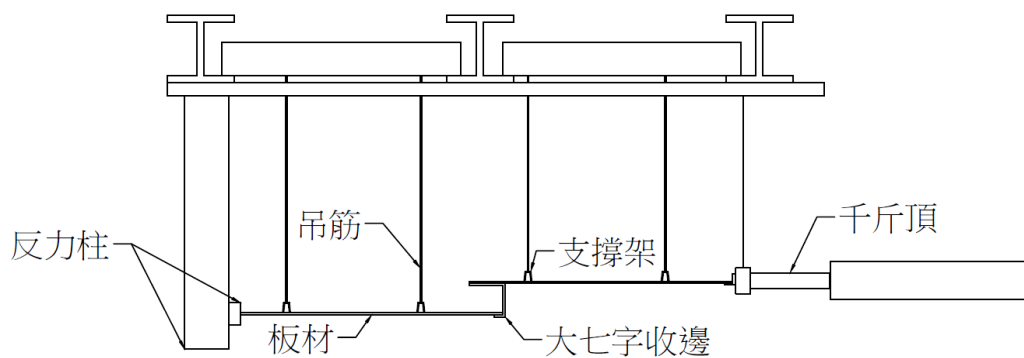


圖 86. T3 沿板材方向施加载重（圖片來源：本研究）

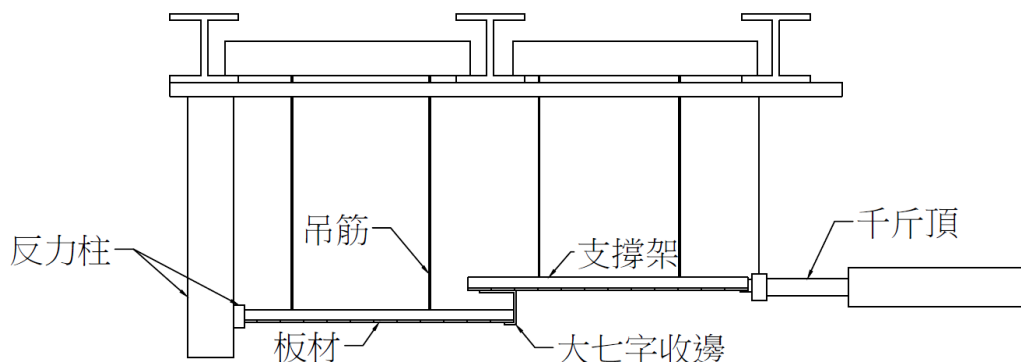


圖 87. T4 沿支撐架方向施加载重（圖片來源：本研究）

T3 天花板試體在實驗加載後，圖 86 中右側較高之天花板會沿著施力方向移動，造成連接高低差天花板之大七字收邊架被上方天花板所拉動，而左側較低之天花板則沒有明顯的受到力量作用。當載重加大時大七字收邊架會出現嚴重變形（圖 88），並且在大七字收邊架與上下天花板連接處的自攻螺絲會有鬆脫之狀況。此外在上層天花板的吊筋也因為天花板支撐架變形而發生挫屈的情形（圖 89），直至力量曲線無法再提升視為實驗終止。



圖 88. T3 大七字收邊架變形

（圖片來源：本研究）



圖 89. T3 吊筋挫屈變形

（圖片來源：本研究）

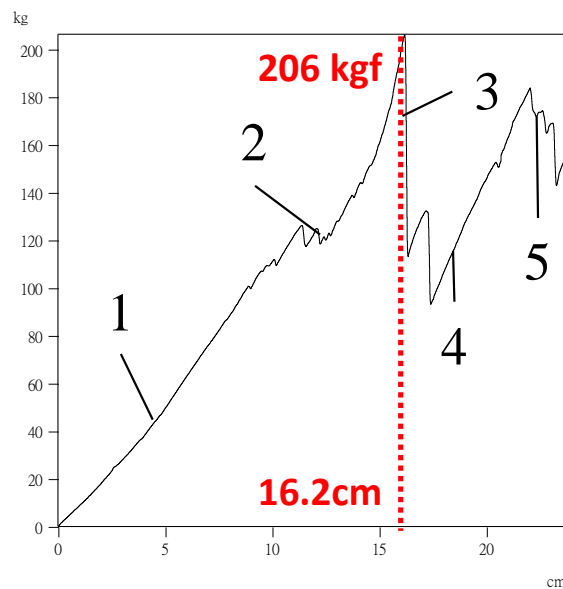


圖 90. T3 試體力量-位移曲線（圖片來源：本研究）

圖 90 說明 T3 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中卡麗板受外力作用拉動連接材大七字收邊架，試體強度開始提升。第二階段，上層天花板和大七字收邊架相接處之自攻螺絲出現鬆脫的狀況，試體強度輕微下降。第三階段，自攻螺絲遭拔出造成部分大七字收邊架脫離上層天花板，導致試體強度大幅下降，並且上層天花板之吊筋也因為天花板支撐架變形而發生挫屈的狀況。第四階段，未脫落的自攻螺絲繼續帶動大七字收邊架變形，試體強度繼續提升。第五階段，下層天花板和大七字收邊架相接處之自攻螺絲鬆脫，試體強度下降。T3 試體極限載重為 206kgf，而極限載重下的位移為 16.2cm。

T4 天花板試體在實驗加載後其受力狀況與 T3 試體相似，圖 87 中右側較高之天花板會沿著施力方向移動，造成連接高低差天花板之大七字收邊架被上方天花板所拉動，而左側較低的天花板則同樣沒有明顯的受到力量作用。當載重逐漸加大時大七字收邊架開始出現嚴重變形，此時與上下層天花板連接處的自攻螺絲會出現鬆脫的狀況，最後大七字收邊架與上層天花板相接處會先行脫落（圖 91），同時其側邊也發生被下層天花板支撐架穿破之情形（圖 92），直至力量曲線無法再提升視為實驗終止。

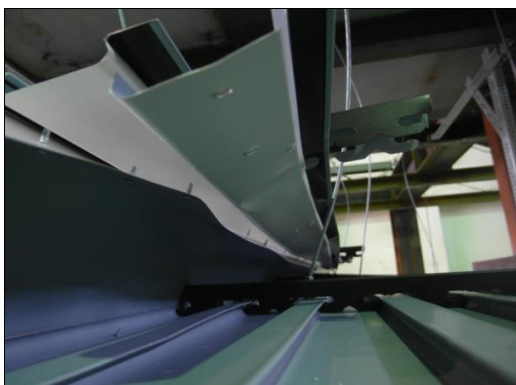


圖 91. T4 大七字收邊架變形脫落



圖 92. T4 支撐架穿破大七字收邊架

（圖片來源：本研究）

（圖片來源：本研究）

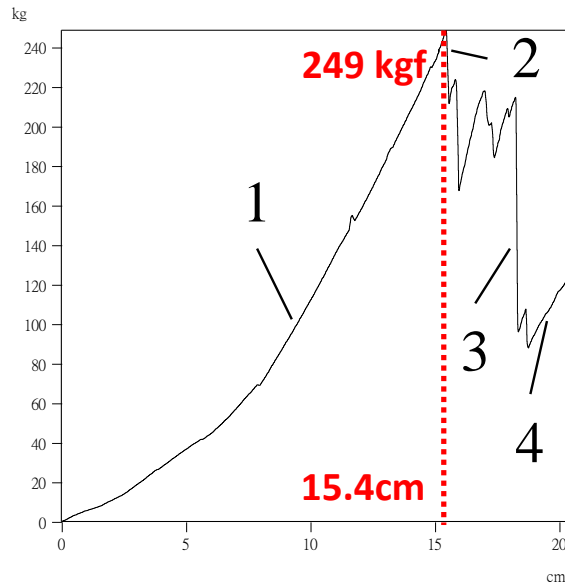


圖 93. T4 試體力量-位移曲線 (圖片來源：本研究)

圖 93 說明 T4 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中支撐架受外力作用拉動連接材大七字收邊架，試體強度開始提升。第二階段，上層天花板板面和大七字收邊架相接處之自攻螺絲開始出現鬆脫的情形，試體強度下降。第三階段，相接處自攻螺絲遭拔出造成部分大七字收邊架脫離上層天花板，導致試體強度大幅下降。第四階段，未脫落的自攻螺絲繼續帶動大七字收邊架變形，試體強度繼續提升。T4 試體極限載重為 249kgf，而極限載重下的位移為 15.4cm。

四、支撐架全搭接

一般而言在施作大面積之天花板時，勢必會有支撐架需要搭接的情形，因此本實驗嘗試探討支撐架搭接情形的改變對於天花板之耐震性有何影響。此階段實驗試體支撐架皆有做搭接處理，並藉由改變支撐架搭接處錯位狀況以及支撐架搭接間隔距離進行討論，實驗時皆沿著支撐架方向施加载重。T5 試體為搭接處沒錯位 (圖 94)；而 T6 試體為搭接處有錯位 (圖 95)。

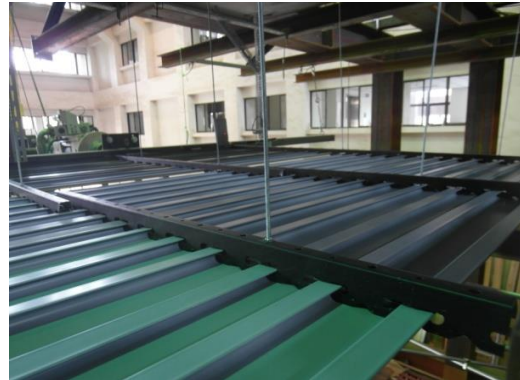
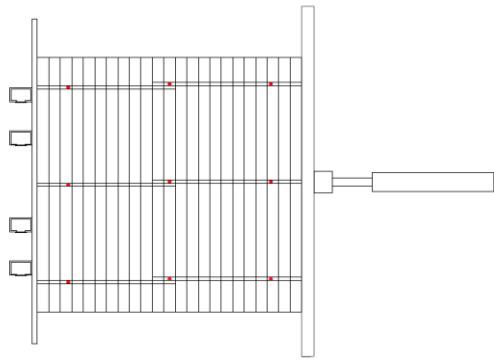


圖 94. T5 搭接處無錯位 (圖片來源：本研究)

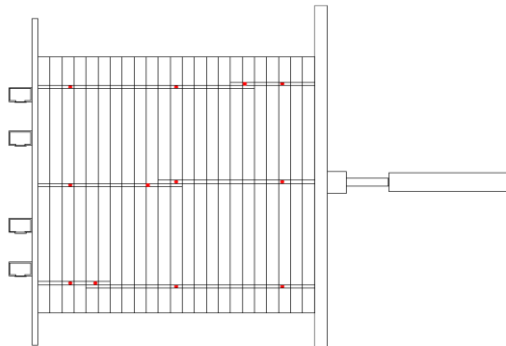


圖 95. T6 搭接處有錯位 (圖片來源：本研究)



圖 96. T5 支撐架挫屈破壞

(圖片來源：本研究)



圖 97. T5 支撐架掛勾變形

(圖片來源：本研究)

T5 天花板試體在實驗加載後支撐架開始受壓變形，搭接處的支撐架有錯動的情形發生，當載重持續加大時支撐架明顯受到挫屈破壞 (圖 96)，而在搭接處的卡麗板則被支撐架掛鈎刺穿。支撐架掛鈎在

實驗過程中因擠壓卡麗板而變形(圖 97)同時造成卡麗板從支撐架掛鈎上鬆脫的情形發生。直至力量曲線無法再提升視為實驗終止，此時搭接處的支撐架受到嚴重挫屈破壞。

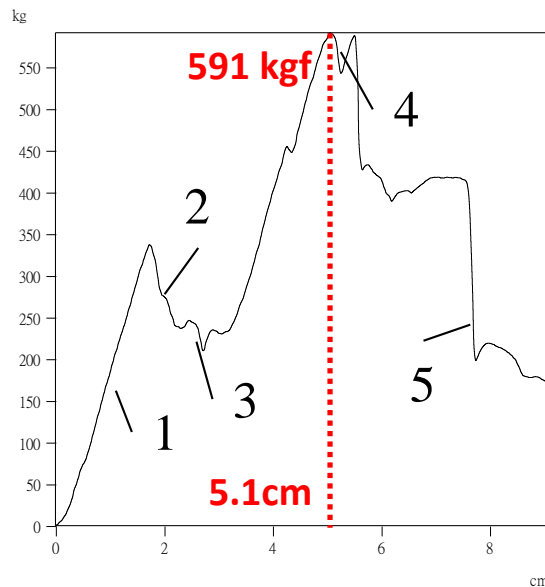


圖 98. T5 試體力量-位移曲線 (圖片來源：本研究)

圖 98 說明 T5 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中天花板試體受外力作用強度逐漸提升。第二階段，靠近分鋼梁的支撐架前端發生局部挫屈破壞，試體強度下降。第三階段，搭接處之卡麗板變形造成卡麗板從支撐架掛鈎上鬆脫，試體強度微幅下降。第四階段，第一支支撐架發生挫屈破壞，試體強度下降，而在第五階段中，第二支支撐架發生挫屈破壞，試體強度大幅下降。T5 試體極限載重為 591kgf，而極限載重下的位移為 5.1cm。

T6 天花板試體在實驗加載後支撐架同樣開始受壓變形，當載重持續加大時，三個搭接處之卡麗板在不同時間發生被支撐架掛鈎刺穿之情形，並且由於支撐架掛鈎變形(圖 99)導致卡麗板從支撐架掛鈎上鬆脫。直至力量曲線無法再提升視為實驗終止，此時搭接處的支撐

架發生挫屈破壞（圖 100）。



圖 99. T6 支撐架掛勾變形

（圖片來源：本研究）

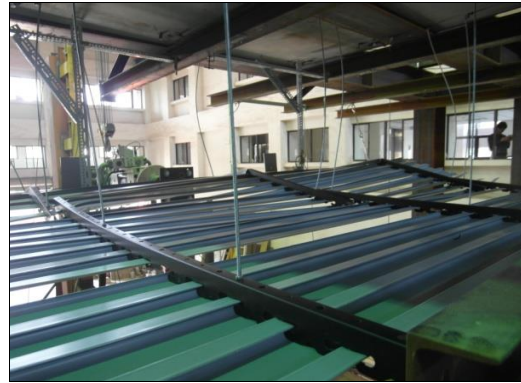


圖 100. T6 支撐架挫屈破壞

（圖片來源：本研究）

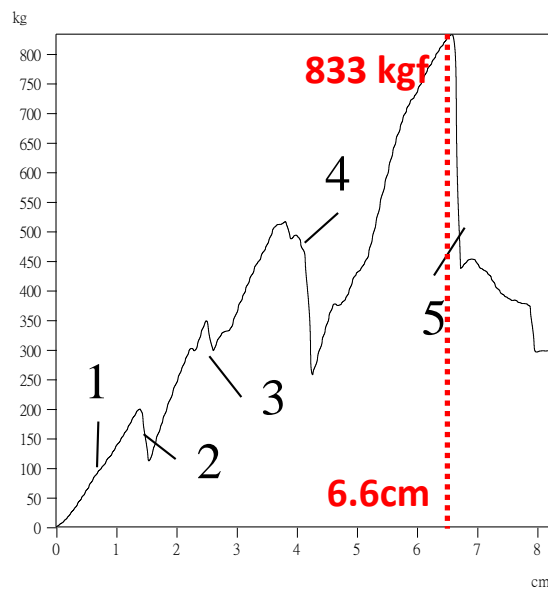


圖 101. T6 試體力量-位移曲線（圖片來源：本研究）

圖 101 說明 T6 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中天花板試體受外力作用強度逐漸提升。第二階段，靠近分鋼梁的支撐架前端發生局部挫屈破壞，試體強度下降。第三階段，搭接處之卡麗板變形造成卡麗板從支撐架掛鉤上鬆脫，試體強度微幅下降。第四階段，第一支支撐架發生挫屈

破壞，試體強度下降。第五階段，第二支支撐架發生挫屈破壞，試體強度大幅下降。T6 試體極限載重為 833kgf，而極限載重下的位移為 6.6cm。

一般而言搭接處的支撐架在施作時會盡量靠在一起（圖 102a）；然而在瑞峰國中現場發現搭接處支撐架間約有 15cm 的距離（圖 102b），因此本研究針對此搭接狀況同樣進行測試。T7 試體支撐架的搭接處並沒有錯位，但搭接處支撐架間保留 15cm 之間距（圖 103）。



圖 102. 搭接處支撐架距離示意圖（圖片來源：本研究）

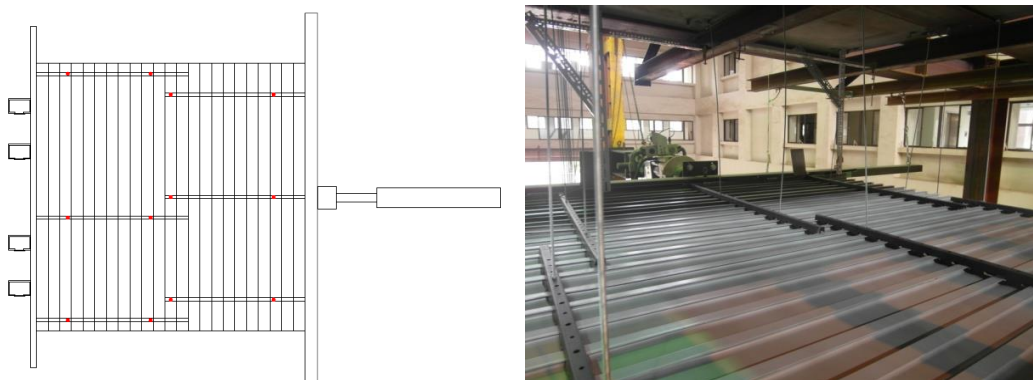


圖 103. T7 搭接處無錯位且支撐架間距 15cm（圖片來源：本研究）

T7 天花板試體在實驗加載後，搭接處之卡麗板會有會變形且發出聲響的情況。當載重加大時在搭接處的卡麗板會嚴重扭轉變形（圖 104），此外支撐架掛鈎會變形且刺穿卡麗板（圖 105）。與 T5 及 T6

天花板試體較大差異在於 T7 試體有發生板材掉落之狀況。加載至最後搭接處的支撐架發生挫屈破壞，直至力量曲線無法再提升視為實驗終止。



圖 104. T7 卡麗板扭轉變形

(圖片來源：本研究)



圖 105. T7 支撐架掛勾變形

(圖片來源：本研究)

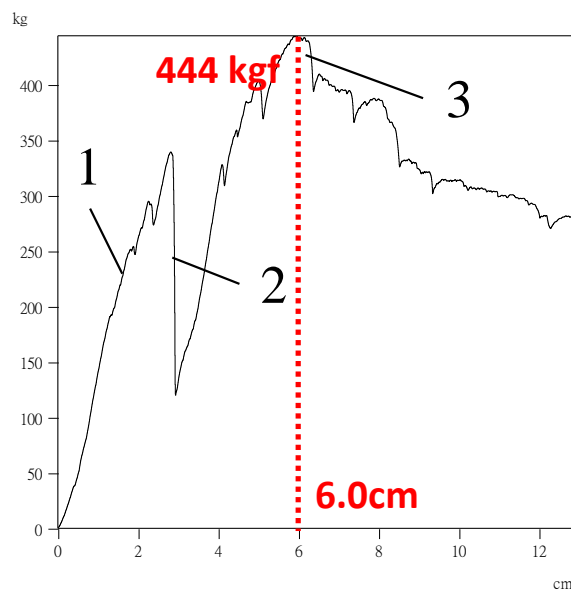


圖 106. T7 試體力量-位移曲線 (圖片來源：本研究)

圖 106 說明 T7 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中天花板試體受外力作用強度逐漸提升。第二階段，搭接處的卡麗板嚴重扭轉變形並且掉落，試體

強度大幅下降。第三階段，搭接處支撐架挫屈破壞，試體強度下降。T7 試體極限載重為 444kgf，而極限載重下的位移為 5.1cm。

五、中間支撐架有搭接

此階段試驗主要為探討在天花板試體中骨架有無搭接所造成的影響，天花板試體僅中間支撐架有搭接其餘兩側支撐架並無作搭接處理。目前國內在骨架搭接處的施工上並不會刻意費工將兩支撐架鎖固，本研究嘗試用兩支自攻螺絲從骨架側邊將支撐架進行鎖固以便瞭解能否提升天花板之耐震性。T8 試體為中間支撐架搭接但無鎖固（圖 107）；而 T9 試體則為中間支撐架搭接且有鎖固（圖 108）。

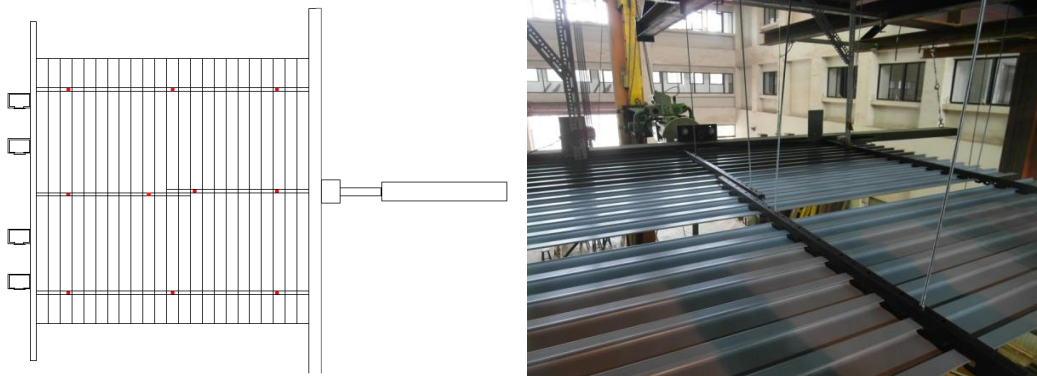


圖 107. T8 中間支撐架搭接但無鎖固（圖片來源：本研究）

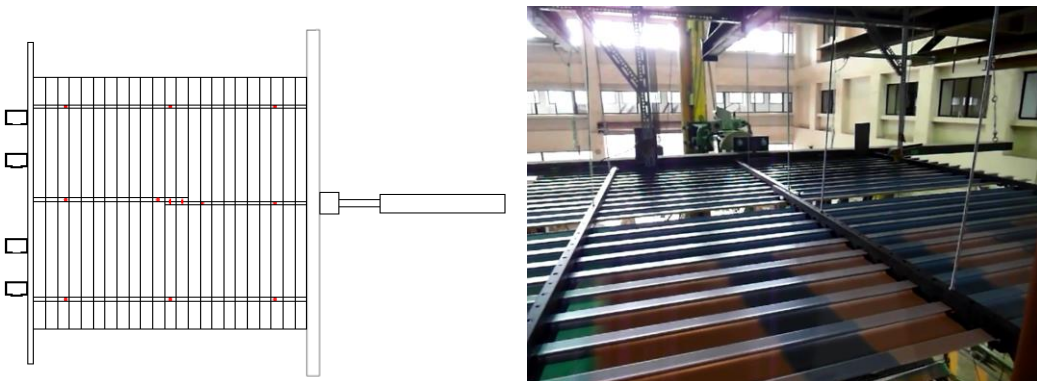


圖 108. T9 中間支撐架搭接且有鎖固（圖片來源：本研究）

T8 天花板試體在實驗加載後中間支撐架率先出現錯動的情形，當載重持續加大時中間支撐架也較兩側支撐架先發生挫屈的狀況（圖 109），此外搭接處上支撐架之掛鈎變形且刺穿卡麗板（圖 110），直至力量曲線無法再提升視為實驗終止。



圖 109. T8 支撐架挫屈破壞

（圖片來源：本研究）



圖 110. T8 卡麗板遭支撐架掛鈎刺穿

（圖片來源：本研究）

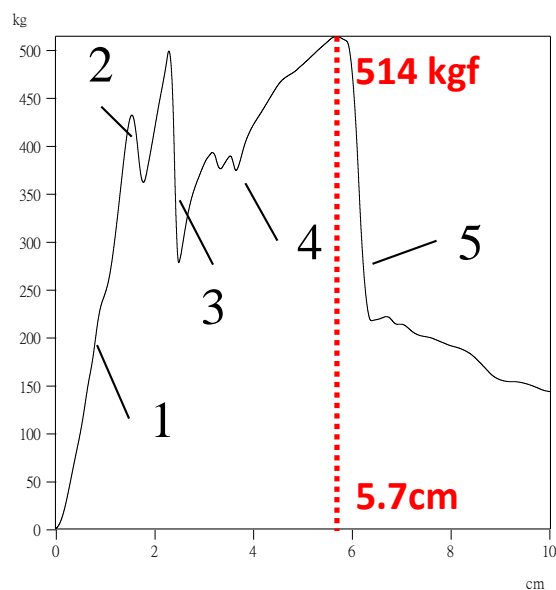


圖 111. T8 試體力量-位移曲線 （圖片來源：本研究）

圖 111 說明 T8 天花板試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中天花板試體受外力作用強度逐漸

提升。第二階段，搭接處的支撐架發生錯動的情形，試體強度微幅下降。第三階段，支撐架前端挫屈變形，試體強度下降。第四階段，中間支撐架在搭接處挫屈破壞造成卡麗板變形鬆脫，試體強度下降。第五階段，兩側支撐架挫屈變形，試體強度大幅下降。T8 試體極限載重為 514kgf，而極限載重下的位移為 5.7cm。



圖 112. T9 支撐架挫屈破壞

(圖片來源：本研究)



圖 113. T9 卡麗板變形鬆脫

(圖片來源：本研究)

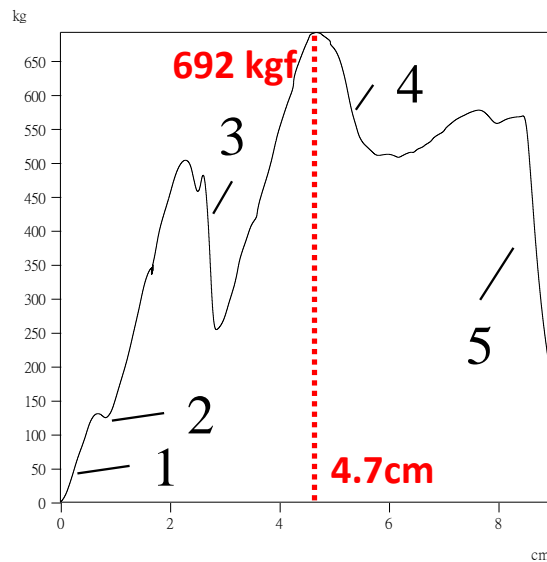


圖 114. T9 試體力量-位移曲線 (圖片來源：本研究)

T9 天花板試體在實驗加載後其受力情形與 T8 試體相似，同樣也是中間支撐架先發生挫屈的狀況，不同之處在於鎖固處有扭轉的狀況

發生（圖 112）。搭接處支撐架的掛鉤在載重持續加大時變形造成卡麗板從支撐架掛鉤上鬆脫（圖 113），直至力量曲線無法再提升視為實驗終止。

圖 114 說明 T9 天花板試體試體之力量-位移曲線，圖中數字代表力量曲線發生變化之階段。在第一階段中天花板試體受外力作用強度逐漸提升。第二階段，搭接處的支撐架發生錯動的情形，試體強度微幅下降。第三階段，支撐架前端挫屈變形，試體強度下降。第四階段，中間支撐架在搭接處挫屈且扭轉變形造成卡麗板變形鬆脫，試體強度下降。第五階段，兩側支撐架挫屈變形，試體強度下降。T9 試體極限載重為 692kgf，而極限載重下的位移為 4.7cm。

六、靜力單向側推試驗比較

表 12 彙整靜力單向側推試驗中各試體之極限載重和極限位移（此為極限載重下之位移量）。將實驗所觀察到試體的破壞狀況進行分析和比較，可以整理成下列內容。

表 12. 水平向靜力載重實驗試體比較表（表格來源：本研究）

種類	編號	試體樣式	極限載重 (kgf)	極限位移 (cm)
沒有 搭 接	T1	沿著卡麗板方向	1390	3.9
	T2	沿著支撐架方向	2034	4.5
	T3	高低差天花板(沿卡麗板方向)	206	16.2
	T4	高低差天花板(沿支撐架方向)	249	15.4
全 搭 接	T5	搭接處無錯位	591	5.1
	T6	搭接處錯位	833	6.0
	T7	搭接處沒錯位且支撐架間距 15cm	444	6.6

僅中間處 搭接	T8	中間支撐架搭接	514	5.7
	T9	中間支撐架搭接，有鎖固	692	4.7

在試體支撐架無搭接的情形下，T2 試體之極限載重較 T1 試體大，顯示金屬條狀式天花板在沿支撐架方向上強度較高。T3 及 T4 試體為高低差天花板，其極限承載能力是所有試體中最小但所能承受的位移量相當大。

在試體支撐架全搭接的情形下，T5 為一般工地施作方法而 T7 則是仿照南投瑞峰國中破壞情形所作的模擬試體。T7 是實驗中唯一發生卡麗板掉落的試體，其他試體皆無卡麗板掉落之情形。在 T7 試體中於搭接處的支撐架間留有 15cm 的距離，實驗後與其他試體卡麗板變形相比，損壞情形嚴重許多。無搭接的支撐架在受到地震力作用時其力量的傳遞直接發生在支撐架內部（圖 115(a)），然而當支撐架有搭接的情形時，受力的路徑就會由一支撐架透過卡麗板再傳遞至另外一支撐架（圖 115(b)）；然而當搭接處支撐架間的距離增加時，地震力的傳遞造成卡麗板承受極大的扭矩（圖 115(c)），容易導致卡麗板變形，此外由於距離增加的影響，卡麗板在受力作用時會嚴重變形，因此容易脫開而掉落。

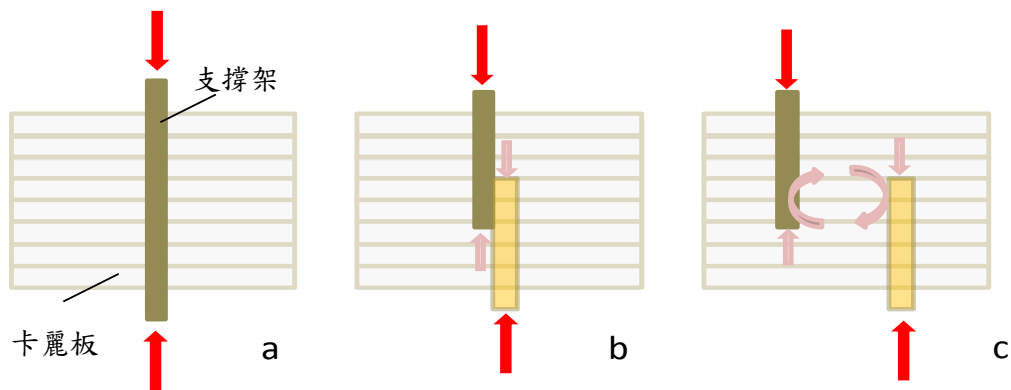


圖 115. 支撐架傳力機制示意圖（圖片來源：本研究）

從實驗結果發現 T6 的極限載重高於 T5 及 T7 試體。如上述提到搭接處的傳力機制是靠卡麗板來傳遞力量，T5 和 T7 在實驗中搭接處之卡麗板會因剪力破壞造成卡麗板脫開支撐架的情形，由於支撐架並無錯位，因此當搭接處的卡麗板都脫開時，力的傳遞就會中斷（圖 116(a)，圖 116 中藍色實心的箭頭代表力量的傳遞，紅色空心的箭頭為力量中斷無法傳遞）。T6 試體在實驗時，當其中一組搭接處（圖 116(b)虛線圈選處）的卡麗板因變形從支撐架掛鈎鬆脫後，力量的傳遞仍可以藉著其餘支撐架所嵌合的卡麗板所傳遞。

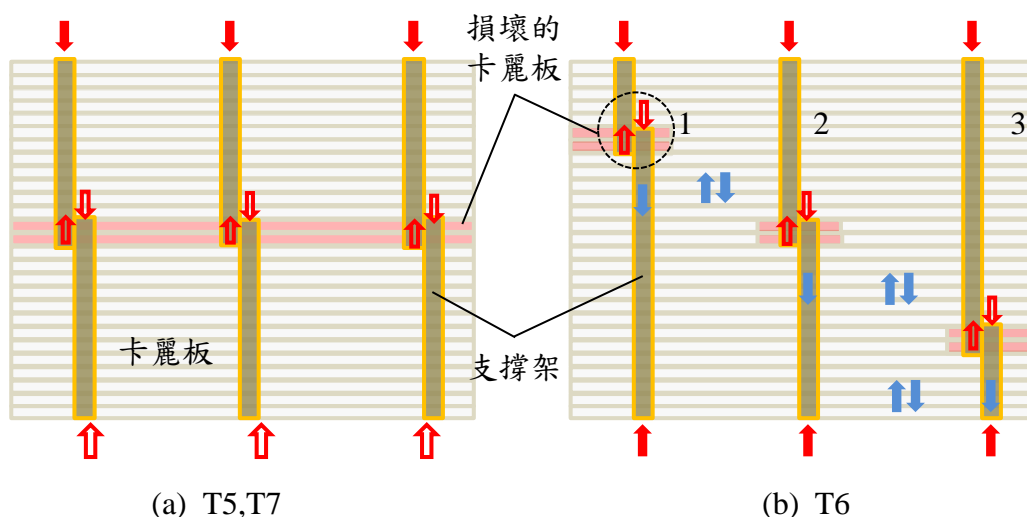


圖 116. 力量傳遞示意圖（圖片來源：本研究）

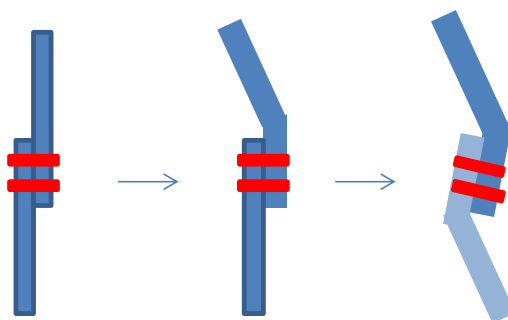


圖 117. 支撐架鎖固變形示意圖（圖片來源：本研究）

T8 和 T9 試體為中間支撐架搭接的形式，實驗結果顯示中間有搭

接的支撐架較兩側支撐架會先發生挫屈或變形的狀況。T9 試體在搭接處將支撐架以螺絲鎖固，相較於 T8 試體在搭接處發生挫屈破壞，T9 在搭接處的破壞較類似於扭轉變形（圖 117），此外有鎖固的試體其強度較高。

第四節 全尺寸往復載重試驗

一、實驗規劃

天花板之往復載重試驗採位移控制，本研究參考 FEMA-461[12] 靜態往復位移加載控制建議，共進行十個階段並在實驗不同階段之位移增量為前次階段之 40%，第一階段測試進行六個迴圈，其餘每個階段測試各進行兩個迴圈。圖 118 為實驗位移歷程。

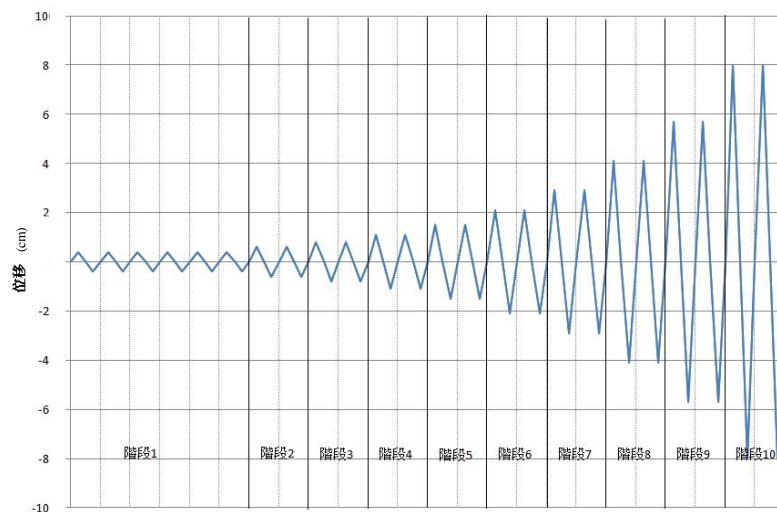


圖 118. 往復載重試驗之位移歷程（圖片來源：本研究）

根據上節靜力單向側推實驗結果顯示，支撐架搭接的天花板試體在地震力作用下可能會有卡麗板掉落的情況發生，因此在本節往復載重試驗中主要為比較支撐架有無搭接的影響。T10 為支撐架無搭接且施力沿支撐架方向（圖 119），T11 試體為支撐架全搭接且搭接處沒

錯位(圖 120);而 T12 試體為支撐架全搭接且搭接處有錯位(圖 121)。
T13 試體支撐架的搭接處並沒有錯位，但搭接處支撐架間保留 15cm 之間距(圖 122)。

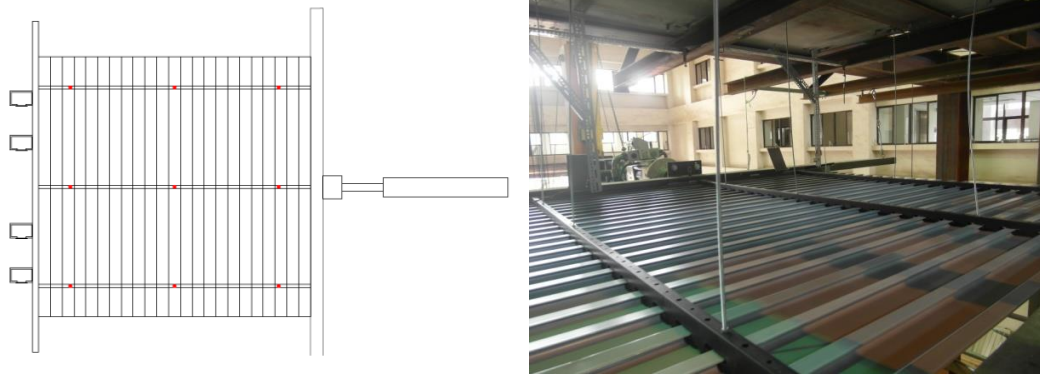


圖 119. T10 沿支撐架方向施加载重 (圖片來源：本研究)

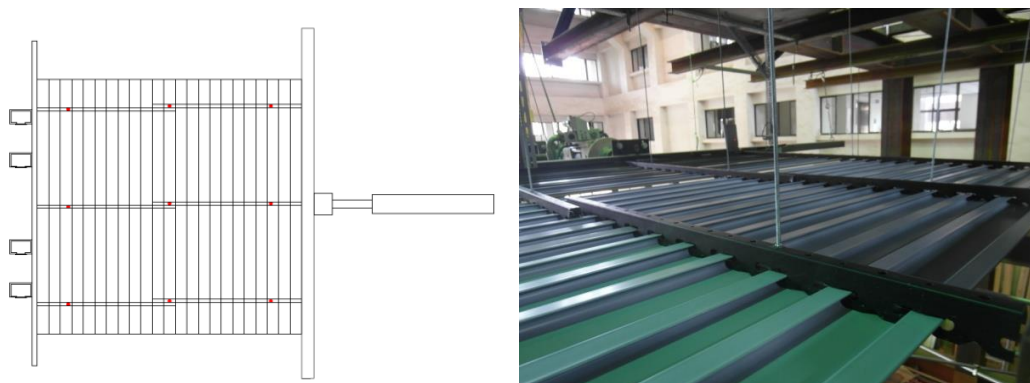


圖 120. T11 搭接處無錯位 (圖片來源：本研究)

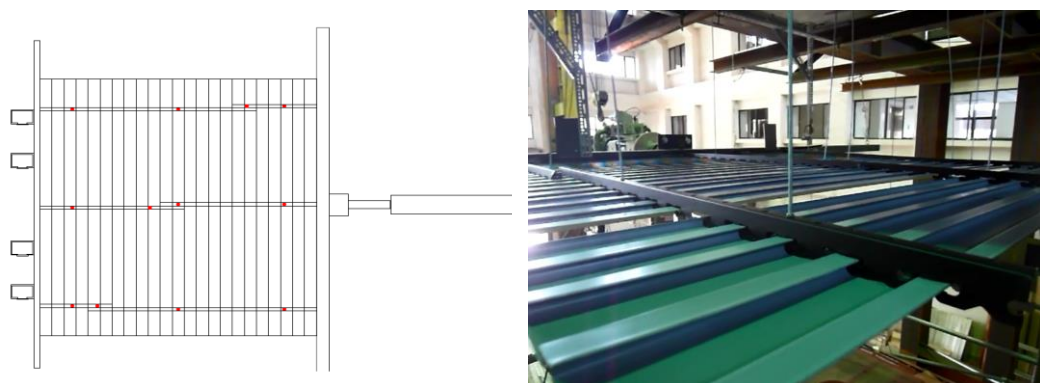


圖 121. T12 搭接處有錯位 (圖片來源：本研究)

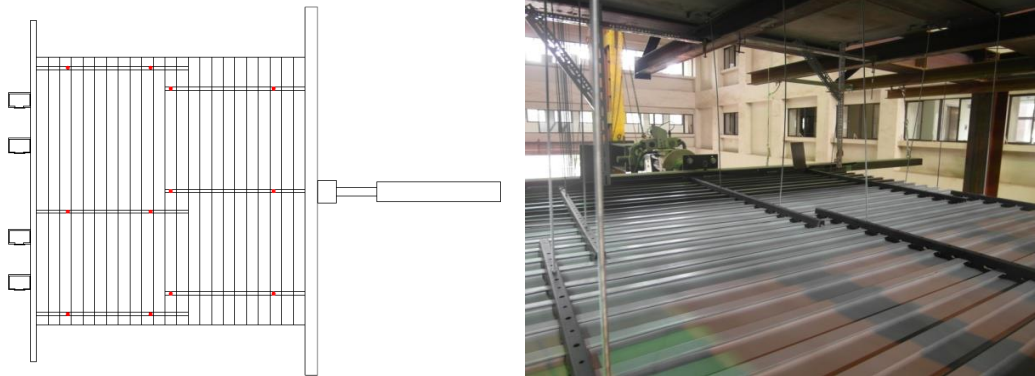


圖 122. T13 搭接處無錯位且支撐架間距 15cm (圖片來源：本研究)

T10 試體在 1 至 7 階段中皆無明顯破壞狀況，直至第 8 階段（最大位移 4.1cm）支撐架前端發生局部挫屈變形（圖 123），在第 9 階段（最大位移 5.7cm）天花板支撐架發生挫屈破壞（圖 124）。實驗過程中卡麗板並沒有發生掉落的情形，但固定端之收邊架有發生脫離結構體的狀況。

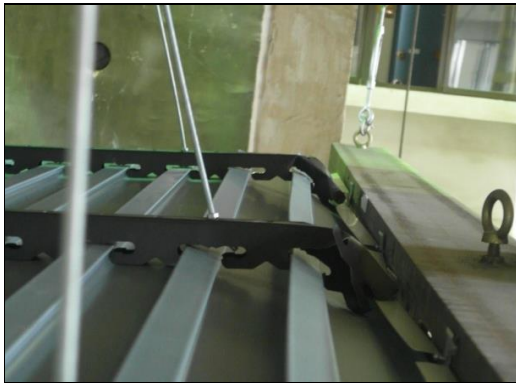


圖 123. T10 支撐架挫屈變形

(圖片來源：本研究)



圖 124. T10 支撐架挫屈破壞

(圖片來源：本研究)

T11 試體在 1 至 4 階段中皆無破壞狀況，直至第 5 階段（最大位移 1.5cm）在搭接處的支撐架有錯動之情形並發出聲響。第 8 階段（最大位移 4.1cm），搭接處的支撐架掛鉤變形造成卡麗板開始發生鬆脫（圖 125）。第 9 階段（最大位移 5.7 cm），卡麗板發生掉落的狀況

(圖 126)。



圖 125. T11 卡麗板鬆脫

(圖片來源：本研究)

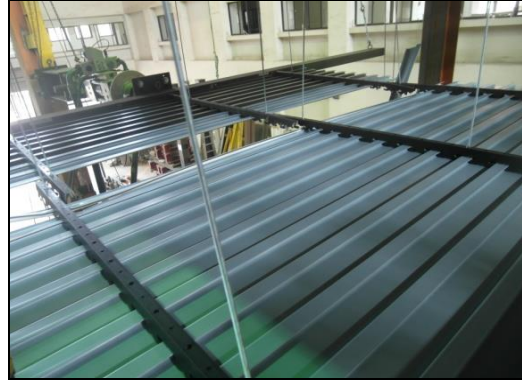


圖 126. T11 卡麗板掉落

(圖片來源：本研究)

T12 試體在 1 至 4 階段中皆無破壞狀況，直至第 5 階段（最大位移 1.5cm）在搭接處的支撐架有錯動之情形並發出聲響。搭接處的卡麗板有變形以及被支撐架掛鈎刺穿的狀況（圖 127）。第 8 階段（最大位移 4.1cm），搭接處的支撐架掛鈎變形造成卡麗板開始發生鬆脫。第 9 階段（最大位移 5.7 cm），支撐架前端發生挫屈的狀況（圖 128）。實驗中卡麗板沒有掉落的情形發生。



圖 127. T12 卡麗板被刺穿

(圖片來源：本研究)



圖 128. T12 支撐架前端挫屈變形

(圖片來源：本研究)

T13 試體在 1 至 3 階段中皆無破壞狀況，直至第 4 階段（最大位移 1.1cm）在搭接處的支撐架有錯動之情形並發出聲響。搭接處的卡

麗板有變形以及被支撐架掛鈎刺穿的狀況出現。第 7 階段（最大位移 2.9cm），因搭接處的支撐架掛鈎變形造成卡麗板開始發生鬆脫的情形（圖 129）。第 8 階段（最大位移 4.1cm），卡麗板發生掉落的狀況（圖 130）。



圖 129. T13 卡麗板鬆脫

（圖片來源：本研究）



圖 130. T13 卡麗板掉落

（圖片來源：本研究）

由實驗結果可以發現支撐架搭接無錯位的情況（T11、T13）較容易發生卡麗板掉落的狀況。T13 試體由於搭接處支撐架間保留 15cm 之間距，因此在力量傳遞上的不連續性更較 T11 明顯，造成卡麗板嚴重變形且掉落情況最為嚴重。在天花板支撐架無搭接的狀況（T10）以及將支撐架搭接處的位置全都錯開的情況下（T12），可以發現即使到了實驗最後階段卡麗板也沒有發生掉落的狀況。表 13 為往復載重實驗試體比較表。

表 13. 往復載重實驗試體比較表（表格來源：本研究）

階段	位移量 (cm)	T10	T11	T12	T13
1	0.4				
2	0.6				
3	0.8				

建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

4	1.1				卡麗板變形
5	1.5		卡麗板變形	卡麗板變形	
6	2.1				
7	2.9				卡麗板鬆脫
8	4.1		卡麗板鬆脫	卡麗板鬆脫	卡麗板掉落
9	5.7	支撐架挫屈	卡麗板掉落	支撐架挫屈	
10	8.0				

註：

往復載重試驗 T10 試體與單向靜力測推試驗 T2 試體型式相同。
 往復載重試驗 T11 試體與單向靜力測推試驗 T5 試體型式相同。
 往復載重試驗 T12 試體與單向靜力測推試驗 T6 試體型式相同。
 往復載重試驗 T13 試體與單向靜力測推試驗 T7 試體型式相同。
 破壞模式中「卡麗板鬆脫」表示卡麗板脫離支撐架掛鈎但並無完全掉落。

第四章 結論與建議

第一節 結論

一、結論

暗架天花板一般多用於大面積之公共場所如音樂廳、機場及學校，在地震中若發生天花板崩落之情形，不僅會導致空間機能無法在災後立即使用，對於人員生命安全甚至會造成嚴重危害。目前國內在暗架天花板的施作上並沒有標準的施工方法，對於不同型式之暗架天花板的構件尺寸也沒有規定，易造成天花板耐震性的不足。近幾年的震災調查中發現當發生較大地震時，就可能導致天花板損壞甚至崩塌。

本研究透過實驗以瞭解國內常用暗架天花板工法之強度及耐震弱點，傳統式暗架天花板由於在使用上已經式微，並且在耐震補強上日本已有許多研究可供參考，因此在本研究中不加以探討。本研究主要針對卡夾式暗架天花板以及金屬條狀式暗架天花板兩種型式進行研究分析。

暗架天花板實驗分為細部元件試驗與全尺寸試驗兩階段。由於目前國內相當缺乏關於暗架式輕鋼架天花板之實驗研究資料，故在第一階段元件試驗中，參考國家標準 CNS11984 之內容規定，針對卡夾式和金屬條狀式暗架天花板系統進行垂直載重試驗。此外，根據日本研究顯示暗架天花板之破壞容易發生在構件連結處，因此本研究同時針對暗架天花板系統在地震中容易發生破壞的部分進行強度試驗。實驗結果顯示吊筋與支撐架相接處為天花板系統中較容易受到破壞之構造，確實有需要提升其強度。本研究也發現到只要在支撐架連結螺桿處的下方加入一墊片即可有效提升接點強度，因此本研究建議應將墊片的使用加入暗架天花板吊筋的標準工法中，確保在地震力作用下天

花板接點不會受到破壞。

在細部元件撓度實驗的結果中，可以發現目前國內市售的金屬條狀式天花板系統尚可以滿足 CNS11984 對於暗架天花板之性能要求；然而卡夾式天花板系統為國內使用上最為普遍的型式卻無法滿足標準規範 CNS11984 之規定。因此建議國內規範應針對不同型式暗架天花板系統儘快制定材料尺寸之最低標準，避免材料製造商因市場價格競爭而偷工減料，影響暗架天花板之耐震性。

實驗第二階段為暗架式天花板之全尺寸實驗，此部分以南投瑞峰國中的金屬條狀式天花板作為研究案例對象，實驗試體模擬實際現場施工狀況，利用油壓千斤頂進行靜力側推實驗用以觀察暗架天花板系統在地震中所發生之破壞模式。在單向靜力側推實驗中，當天花板支撐架有搭接時，搭接處的支撐架會發生錯動，造成卡麗板變形或被支撐架掛鈎刺穿而有鬆脫的狀況；若支撐架搭接處沒有錯位其試體極限強度較小且破壞較嚴重，甚至當搭接的支撐架間距離 15cm 以上就會發生卡麗板掉落的情形。

相較於單向靜力載重試驗，在往復載重試驗中搭接處的卡麗板被支撐架掛鈎刺穿及變形鬆脫之狀況更為明顯。實驗結果顯示支撐架搭接無錯位的試體皆較容易發生卡麗板掉落的狀況；而在天花板支撐架無搭接的狀況以及將支撐架搭接處的位置全都錯開的情況下，可以發現即使到了實驗最後階段卡麗板也沒有發生掉落的狀況。

綜合實驗結果，本研究歸納以下幾點：

1. 高低差天花板在地震力作用下，連接材（大七字收邊架）為主要破壞的位置，應針對連接處作補強或是將高低差天花板採不連續設計。
2. 從全尺寸試驗可以發現相較於支撐架搭接處有錯位之試體，搭接處無錯位的試體其極限強度較小且破壞較為嚴重，易有卡麗板掉落的情形發生。

3. 吊筋與支撐架之接點為天花板系統中較容易受到破壞之處，確實有需要提升其強度。
4. 國內卡夾式天花板系統並無法滿足標準規範 CNS11984 之性能規定。

中國大陸在 2008 年四川汶川地震後頒布了新的暗架天花板之相關規範，日本則是在 2011 年東日本大地震後重新檢討暗架天花板之工法並將天花板的耐震要求納入建築規範中，此兩規範均較台灣的天花板規範進步許多。國內在暗架天花板的耐震研究上至今尚未開始進行，甚至在 CNS 規範中也缺乏國內較常使用的暗架天花板型式而顯得不合時宜。因此本研究認為台灣應效法日本儘快修訂暗架天花板的耐震規範，避免下回大地震來臨造成嚴重的損失。

根據本研究之實驗結果可提出目前現行暗架天花板之改善工法，此部分適用於天花板支撐架為蜈蚣尺之型式（卡夾式系統與金屬條狀式系統）。

1. 天花板重量不宜超過 20kgf/m^2 。
若是在支撐架連結吊筋螺桿處的下方使用一墊片補強，暗架天花板之重量不宜超過 20kgf/m 。
2. 吊筋間距為 90 公分、支撐架之間距為 90 公分。
此為國內目前之慣習工法，當天花板重量在 20kgf/m^2 之內可直接使用，而當天花板重量超過 20kgf/m^2 則支撐架與吊筋的間距均必須縮短。
3. 懸吊長度不宜超過 3m。
當天花板之懸吊長度小於 1m 時，吊筋可採用兩分螺桿；而當懸吊長度為 1m~3m 時，吊筋建議採三分螺桿。當懸吊長度超過 3m 時，吊筋建議以輕型鋼之立柱取代或加設鋼桁架等構件來進行施作。
4. 支撐架的搭接處必須錯位。
支撐架搭接處較容易受到破壞以及為板材最易掉落之位置，因此

支撐架之搭接處必須錯位。

5. 搭接處之兩支撐架應緊靠，不宜有間距。

若兩支撐架有間距，則當支撐架受力時會對板材產生額外的扭矩，更容易造成破壞或導致板材掉落。

6. 高低差天花板應採不連續設計。

因高低天花板兩者各自有不同的自振頻率，故應拿掉連接高低天花板間之大七字收邊，採不連續設計以避免相互影響。

有鑒於目前國內對於暗架式天花板之耐震性能所知有限以及規範內容不合時宜，本研究針對暗架式天花板系統進行載重強度及耐震能力研究，並透過全尺寸暗架天花板系統之耐震實驗，瞭解暗架天花板系統在地震中可能發生之破壞模式。此外，本研究經由實驗發現，國內某些卡夾式暗架天花板的載重性能會低於 CNS11984 中 9.3 及 9.5 節的載重性能要求，建議建築師需注意此一問題的嚴重性，以免因基本載重能力不足，造成爾後地震時的損壞。本研究也建議可將目前所提出天花板改善工法增列至公共工程委員會之天花板施工綱要中俾便使用者參考及遵守。

第二節 建議

一、建議一

暗架天花板規範之增修：立即可行建議。

主辦機關：經濟部標準檢驗局。

協辦機關：內政部建築研究所。

國內目前對於暗架天花板並沒有標準的施工規範，CNS11984 中對於天花板構件的尺寸規定也僅適用於傳統式暗架天花板。有鑑於中國大陸及日本都已經重新頒布暗架天花板之相關規範，本研究認為國

內也必須儘快針對既有規範進行增修以符合國內天花板業界的習慣。建議未來可配合天花板材料製造商共同進行研究，確實制定出不同型式暗架天花板系統之尺寸規定。

二、建議二

暗架天花板之動力試驗：中期性可行建議。

主辦機關：國家地震工程研究中心。

協辦機關：大專院校（建築、營建及土木科系）。

本研究為靜力實驗，主要目的在於發現天花板的耐震弱點以及記錄破壞模式，並沒有考慮到天花板的質量影響以及系統頻率在地震下有可能產生的共振反應。故本研究建議後續研究可請國家地震工程研究中心，利用振動台進行全尺寸天花板的動力試驗，測試在不同加速度下暗架天花板之耐震性能並建立更完整的暗架天花板耐震工法。最終可將研究成果增加修正至耐震規範中。

三、建議三

針對國內大型集會場所暗架天花板進行耐震能力評估：長期性可行建議。

主辦機關：內政部建築研究所。

協辦機關：中央及各地方政府機構。

日本當局在 2013 年頒布暗架天花板耐震規範後針對所有公共場所之暗架天花板進行耐震評估，對於天花板耐震性較差之場所實際提供補助進行補強或是拆除重新施作。台灣與日本皆處於環太平洋地震帶上，為地震發生頻繁之地區，本研究建議台灣應效法日本儘快針對國內大型集會場所之暗架天花板進行耐震能力評估，否則當災害發生造成人員傷亡已是亡羊補牢。

建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

參考書目

1. 內政部營建署，2011，《建築物耐震設計規範及解說》，台北。
2. 經濟部標準檢驗局，2012，《中華民國國家標準》，經濟部，台北。
3. 社団法人 全国公立文化施設協会，2012，《公立文化施設のリスクマネジメント ハンドブック》，社団法人 全国公立文化施設協会，日本。
4. 佐々木晴夫、高井 賢、松本 譽明，2012，《天井落下・崩落の要因分析》，日本建築學會，頁 1283-1284。
5. 富樫 秀行、有山 伸司、大迫 勝彦、原口 圭、大庭 章、山中 祐一、阿部 照芳，2012，《仙台駅新幹線ホームの天井材落下に関する研究》，日本建築學會，頁 861-864、867-870。
6. Motoyui, S. and Sato Y., 2013, “The Behavior of Ceiling with Steel Furring During Earthquakes”, 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, March 1-2, Japan.
7. Hidaka, Takayuki, 2013, “Earthquake and Concert Hall”, International Symposium on Room Acoustics, June 9-11, Japan.
8. Sato, Y., Motoyui S., MacRae G.A. and Dhakal R.P., 2011 April 14-16 , “Ceiling Fragility of Japanese Ceiling Systems”, Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering
9. 荒井 智一、藤井 孝晏、安酸 將城、相原 正史，2012，《鋼製天井下地材の強度、剛性に関する研究》，日本建築學會，頁 1289-1290。
10. 小谷洪志，2012，《天井大全》，日經 BP 社。
11. 日本建築學會，2005，《スポパーク松森における天井落下事故

調查報告》，日本。

12. FEMA 461, 2007, "Interim Testing Protocols for Determining the Seismic Performance Characteristic of Structural and Nonstructural Components", Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

附錄一 第一次專家座談會議

- 一、時間：104年5月8日(星期五)上午9時00分。
- 二、地點：成功大學建築系(建築科技大樓2樓會議室E701)。
- 三、主持人：姚昭智教授。
- 四、出席人員：伊勢達企業股份有限公司 李賡堯董事長
青鋼金屬建材股份有限公司 陳博明協理
右丞實業有限公司 余進村總經理
- 五、紀錄整理：陳威中。
- 六、出席專家學者意見：(依發言順序)。

<p>內政部建築研究所 104 年度 建築技術多元創新與推廣應用精進計畫協同研究計畫(一) 第 2 案「建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討」 第一次專家座談會議之專家意見回覆表</p>		
一、青鋼金屬建材股份有限公司 陳博明協理		
標號	專 家 意 見	意 見 說 明
1.	目前市面上案場以卡夾式系統使用最為普遍，再者為金屬暗架天花板，因為重量最輕，一般使用 0.5mm 鋼板或是 0.6mm 鋁板。	謝謝專家之說明。
2.	國內天花板工法其支撐架間距基本上都是 90cm，當承	謝謝專家之說明。

	載小於 30kgf/m ² 時可符合 ASTM C635 規範中極限撓度小於 1/360 跨距之要求。	
3.	國內天花板材料製造商因市場價位競爭激烈而為求生存，造成生產的天花板骨架尺寸越來越小，以主架為例，骨架側翼高由原先 27mm 變為現今市場上常見的 19mm，國家應該有個材料尺寸之最低標準，避免材料製造商繼續偷工減料影響公共安全。	謝謝專家之建議，本研究將朝此方向做深入研究。
4.	中國在汶川地震後實施天花板相關規範，且因為天花板骨架相接處在地震中受損嚴重已陸續開發骨架之續接片，但國內施工習慣較不容易接受續接片，建議本研究可比較骨架搭接與續接之優劣。 國內規範並沒有卡夾式系統之規定，反倒是中國國家標準有卡夾式系統的相關規定。	謝謝專家之建議，將於實驗中規劃探討。
5.	金屬條狀暗架天花板系統普遍使用於戶外，一般對於	謝謝專家之說明。

	風壓的考慮更甚地震力。	
二、右丞實業有限公司 余進村總經理		
標號	專家意見	意見說明
1.	音樂廳天花板的板材至少需要3cm厚才能達到吸音及反射的音響效果，音質才會漂亮，但卻因重量太重容易掉落，建議可在研究中考慮吊點之耐震性。	謝謝專家之說明。
2.	「暗架」天花板的定義在目前業界係指傳統式與卡夾式天花板，建議可利用這次研究將暗架天花板系統名稱彙整。	謝謝專家之說明。
3.	傳統式天花板系統在台灣不普遍主要係因為國內自行生產的板材無法配合使用，國內與國外的板材其規格尺寸不同，造成在施工時必須跟國外廠商購買板材，價格較貴，而國內的板材適合卡夾式系統，也因此目前國內以卡夾式系統最多。	謝謝專家之說明。
4.	天花板骨架在搭接時其骨架搭接處必須錯開，並且搭	謝謝專家之建議，將於實驗中

	接長度要夠長。	規劃探討骨架搭接的影響。
5.	<p>目前國內天花板施工水準差異很大，以矽酸鈣板板材為例，尖頭螺絲鎖暗架天花板，而平頭螺絲鎖隔間牆，但目前許多施工單位並不注重施工細節。</p> <p>國內暗架天花板並沒有標準做法，許多廠商偷工減料減少成本而不考慮其耐震性，沒有法令要求難以推動標準作法的實施。</p>	謝謝專家之說明。
6.	<p>因為國內規範僅有傳統式天花板之規定，目前市售之卡麗板板材其弧度也愈來愈小致使板材更容易掉落。國家應制定標準從材料生產廠商嚴格要求骨架尺寸。</p>	謝謝專家之建議，本研究將朝此方向做深入研究。
三、伊勢達企業股份有限公司 李承堯總經理		
標號	專家意見	意見說明
1.	<p>國內目前正在進行以及未來即將進行有 90% 以上案場都是卡夾式天花板系統，本研究應符合台灣現今市場潮流，對業界公共安全才會</p>	謝謝專家之建議，將於實驗中規劃探討。

	<p>有所幫助。</p> <p>建議本研究可針對室內情況以卡夾式天花板為主，室外情況則以金屬條狀天花板系統為主，符合市場性。</p>	
2.	<p>在國外 90% 以上的天花板案場都是傳統式天花板系統，但此系統 20 年前在台灣就幾乎已經不存在，然而在 CNS 規範中之圖說仍為傳統式系統，應該要改與產業同步。</p>	<p>謝謝專家之建議，本研究將朝此方向深入研究。</p>
3.	<p>金屬條狀式天花板系統多用於室外走廊迴廊，室內較少。而金屬面板式天花板在室內及室外都有，尤其在室內大廳使用越來越多，因其金屬質感相較於石膏板或矽酸鈣板較為美觀。</p>	<p>謝謝專家之說明。</p>
4.	<p>天花板之破壞容易發生在懸吊固定位置，造成天花板整片崩塌。另外在骨架接合處也是破壞容易發生的部分，建議本研究可考慮探討骨架接合之耐震性，目前國內既有的續接片其強度並不足夠。</p>	<p>謝謝專家之建議，將於實驗中規劃探討。</p>

5.	另外天花板之破壞也會因板材措屈而導致掉落，可能局部性掉落也可能連鎖造成大規模崩塌，建議本研究可分別考慮骨架接合與板材之耐震性。	謝謝專家之建議，將於實驗中規劃探討。
----	---	--------------------

附錄二 第二次專家座談會議

- 一、時間：104 年 9 月 11 日(星期五)上午 10 時 00 分。
- 二、地點：成功大學建築系(建築科技大樓 3 樓會議室)。
- 三、主持人：姚昭智教授。
- 四、出席人員：國立成功大學 鍾育霖教授
國立高雄第一科技大學 郭耕杖教授
潤弘精密工程 黃文駿博士
- 五、紀錄整理：陳威中。
- 六、出席專家學者意見：(依發言順序)。

<p>內政部建築研究所 104 年度 建築技術多元創新與推廣應用精進計畫協同研究計畫(一) 第 2 案「建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討」 第二次專家座談會議之專家意見回覆表</p>		
<p>一、國立成功大學 鍾育霖教授</p>		
標號	專 家 意 見	意 見 說 明
1.	<p>國內特有暗架天花板在地震中破壞的案例為何?</p>	<p>1999 年 921 地震有觀察到台中美術館發生大量暗架天花板掉落之情形，另外在 2013 年南投仁愛地震中，也發現在南投瑞峰國中的走廊及樓梯間有暗架天花板崩落的狀況，以上兩個案例均為金屬條狀式天花板。此外，在 2013</p>

		年南投仁愛地震中，嘉義市政府會議廳有暗架天花板崩塌的案例，此為卡夾式暗架天花板。
2.	日本在暗架天花板耐震性能的研究上已做過許多實驗，建議本研究可參考日本的做法。	謝謝專家之建議。日本暗架天花板普遍為傳統式暗架天花板，與國內暗架天花板的使用習慣上有所不同，雖然天花板型式在構造上並不相同，但日本對於暗架天花板的研究仍可提供本研究參考。
3.	一般在討論非結構物的耐震性上會以層間位移量或是加速度大小作為標準，在本研究全尺寸試驗中，實驗結果記錄極限載重以及所對應的位移值，建議轉化為層間位移量或是加速度俾便使用者參考。	謝謝專家之建議。
二、國立高雄第一科技大學 郭耕杖教授		
標號	專家意見	意見說明
1.	天花板板材掉落對於地震中人員的生命安全是很大的威脅，尤其暗架天花板板材重量又較重，因此研究懸吊式天花板的耐震性應特	謝謝專家之建議，將於實驗中規劃探討。

	別注意板材掉落的破壞機制。	
2.	本研究對於天花板試體之強度已透過實驗分析，然而天花板構件或板材的撓度及韌性也會是影響天花板破壞的原因，建議後續可針對天花板的撓度繼續研究。	謝謝專家之建議，將於實驗中規劃探討。
三、潤弘精密工程 黃文駿博士		
標號	專家意見	意見說明
1..	儘管是相同型式的暗架天花板，若骨架有搭接的情形，力量傳遞的狀況就會有所不同，對於系統的破壞也會有所影響，建議本研究可朝天花板系統內力量傳遞的機制繼續研究。	謝謝專家之建議，本研究將朝此方向深入研究。
2.	明架天花板的耐震工法在國內外已有耐震指南或ASTM可供參考，其中係以斜撐作為抵抗水平地震力的主要機制，然而目前CNS規範中並沒有提到暗架天花板的耐震要求，建議本研究可透過實驗提供實驗結果供國內參考。	謝謝專家之建議，本研究現階段針對天花板構件的性能表現進行實驗研究，同時以全尺寸實驗瞭解暗架天花板在地震中的破壞行為及模式，對於暗架天花板的耐震工法因為時間關係在本研究中可能無法做深入研究，為後續建議的研究方向。

3.	天花板破壞主要係由地震所造成的慣性力造成，因此暗架天花板應該為加速度敏感的非結構物，本研究目前進行靜力實驗能否確實模擬實際情形？	謝謝專家之建議，本研究為靜力實驗，主要目的在於發現天花板的耐震弱點以及記錄破壞模式，並沒有考慮到天花板的質量影響以及系統頻率在地震下有可能產生的共振反應。後續若有機會繼續研究應該會進行振動台進行全尺試驗，測試在不同加速度下暗架天花板之耐震性能。
----	--	--

附錄三 期初審查會議記錄及意見回覆表

會議記錄及意見回覆表：

內政部建築研究所

104 年度建築技術多元創新與推廣應用精進計畫協同研究計畫(一)

第 1 案：磁磚水泥質黏著劑性能相關國家標準研究

第 2 案：建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

等 2 案採購評選會議紀錄

一、時 間：104 年 2 月 13 日（星期五）上午 9 時 30 分整

二、地 點：討論室(一)(新北市新店區北新路三段 200 號 13 樓)

三、主 席：陳召集人建忠

記錄：鄒思宇

四、出席及請假評選小組委員：（如簽到單）

出席：陳召集人建忠、林委員谷陶、宋委員厚民、李委員宗德、曹委員登皓、王委員大衡

請假：陶委員其駿

五、列席人員：秘書室（請假）

六、主持人報告：

（一）本案共聘委員 7 人，目前會場中出席之外聘專家學者委員 4 人及本所委員 2 人，合計 6 人，超過委員總額 2 分之 1，外聘之專家學者委員人數亦超過出席委員人數之 3 分之 1，宣布會議正式開始。

（二）依「採購評選委員會審議規則」第 14 條，本案評選委員無與受評廠商有僱傭、委任等利益關係，無需迴避。

七、主辦單位報告：

（一）本採購案自 104 年 1 月 27 日公告招標訊息，並於 104 年 2 月 4 日下午 5 時截止投標收件，計有 2 家廠商投標；經 104 年 2 月 5 日資格審查，資格合於規定之投標廠商

共計 2 家，為黃然及姚昭智。

- (二) 本採購案業於 2 月 10 日上午 10 時，召開工作小組初審會議，經審查投標廠商所送之服務建議書規格，均符合招標及投標規定。

八、受評廠商簡報：略。

九、評選委員發言重點與受評廠商回應：

- (一) 第 1 案：磁磚水泥質黏著劑性能相關國家標準研究

- (二) 第 2 案：建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

委員	審查委員意見	廠商回應
陳召集 人建忠	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請併考量在震後可供避難、指揮醫療、消防、強就等效能之場所，以兼保護財產、生命安全保障。 2. 協辦案需按月核銷，依分配數執行控管，執行本研究宜覓妥適研究助理，依進度核銷，以免計畫執行績效不佳，結案時，經費閒置或剩餘，沒妥善應用。 3. 行政院應用科技方案，本所應可扮演更重要、更有亮點，但目前計畫內課題有限，且接軌性不佳。附帶期許本案可協助規劃建築耐震的未來課題，分年實施。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，會在研究中考量。 2. 謝謝指教，會在研究中考量。 3. 謝謝指教，會在研究中考量。

<p>林委員 谷陶</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 天花卡麗版視為 CNS 標準名詞，如果不是，則有流於為廠商背書嫌疑，建議修正 2. 全尺寸實驗可做幾次才會有統計意義，應予說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，會在研究中考量。 2. 大型實驗的成本高，一般以一次為原則。全尺寸實驗目的在於瞭解破壞機制，不在於做統計迴歸，此一論點會在報告中說明。
<p>宋委員 厚民</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫投標團隊之協同主持人曾主持國科會之「輕鋼架天花板耐震能力研究」計畫，請說明其與本所「大面積暗架天花板耐震性能檢討」計畫之內容差異如何？ 2. 絲瓜棚鋼架：支撐（受壓力）vs 懸吊（受拉力）？模式相同？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 國科會的計畫主要是明架天花板的耐震性能，本計畫為暗架天花板，故研究對象與其行為很不相同。 2. 絲瓜棚鋼架主要用於懸吊試體，係以剛性夠大的絲瓜棚鋼架模擬建築物的 RC 樓版。
<p>李委員 宗德</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請問研究步驟中有”參訪國內工地案例場”，其中震損案例是否有存在？若不存在則勘災之執行如何規劃？ 2. 專家會議邀請參與的專家（業者）有何構想？是指哪些專家？會議型式的構想預定如何？討論哪些議題？ 3. “全尺寸”實驗難度高，但相對可信度亦高，貴團隊 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 南投瑞峰國中的受損天花板還保留原狀，所以是本研究擬研究的勘災對象。 2. 專家會議主要想邀請兩類業界專家：暗架製造商及現場組裝師傅。討論目前國內的使用狀況、施工習慣及現場限制。 3. 本團隊在過去四年執行過三個利用絲瓜棚鋼架

	<p>擬利用絲瓜棚鋼架配合油壓千斤頂制動進行本案全尺寸實驗，請問過去是否有做過類似本案之實驗？請再具體扼要說明該套試驗儀器對全尺寸實驗的適當性？</p> <p>4. 大部份暗架天花板的破壞都會發生在「調筋組下方連接暗主架的鈎鈎、齒夾或其他繫材」，此情況是否顯示那些鈎鈎、齒夾、繫材強度不足或連接方式不佳？是否有針對那些繫材或連接元件個別或組合元件進行強度實驗，以尋求更佳之元件材料或連接方式？</p>	<p>的全尺寸試體研究。絲瓜棚鋼架主要模擬建築物的樓版，用以懸吊測試的試體，另外有鋼構架提供千斤頂支撐，由千斤頂模擬地震時的側向位移，檢討不同側向位移時的試體反應。</p> <p>4. 鈎鈎、齒夾或其他繫材的元件強度是本研究擬進行的實驗項目。謝謝建議。</p>
<p>曹委員 登皓</p>	<p>1. 以 2013 年南投仁愛鄉瑞峰國中之破壞案例為基準之原因為何？是否會缺乏代表性？</p> <p>2. 靜力側推試驗如何驗證可代表地震的效果？是否有考慮震動台實驗以驗證靜力側推之效果？</p> <p>3. 日本是否有規範？未提及。</p> <p>4. 是否有共振問題？</p> <p>5. 如何考慮扭轉造成的影</p>	<p>1. 目前國內可查到的暗架天花板損壞案例有 2，其中之一為瑞峰國中，另一為 921 地震時的台中國美館。921 地震時的損壞狀況，有部份資料的紀錄，顯示跟瑞峰國中的損壞類似，故進行此一研究。</p> <p>2. 靜力側推可以了解試體的側向變形時之破壞機制，可據以瞭解剛度的變</p>

	響？	<p>化，但無法反應慣性力的影響。震動台實驗可以了解後者，但無法得知前者。建議明年可以進行震動台實驗。</p> <p>3. 日本尚無金屬條狀天花板的規範</p> <p>4. 是否有共振問題，尚待現場踏勘研究進行量測。</p> <p>5. 實驗室不易檢討扭轉現象，但可以在電腦模型中嘗試模擬。謝謝建議。</p>
王委員 大衡	建議可考量研討加設彈簧、斜撐或阻尼器，對增進耐震性能影響。	謝謝建議，會納入考量。

十、討論事項與臨時動議：無。

十一、會議結論：

(一) 本採購案受評廠商 2 家，評選結果如次：

各協同研究計畫名稱	廠商	平均得分	名次加總後 序位
第 1 案：磁磚水泥質黏著劑性能相關國家標準研究	黃然	84 分	1
第 2 案：建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討	姚昭智	83.5 分	1

第 1 案黃然君為優勝順序第 1 位；第 2 案姚昭智君為優勝順序第 1 位。評選結果經核，符合評選須知第 4 點第 1 款之規定。

建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

(二) 請主辦單位將評選結果簽報機關首長或其授權人核定。

十二、出席委員確認會議記錄：本會議記錄經出席委員確認，無異議通過。

十三、散 會：上午 12 時 15 分。

附錄四 期中審查會議記錄及意見回覆表

委員	審查委員意見	廠商回應
陳召集人建忠	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究過程中所發現國家標準有不妥的條文或敘述，宜具體提出文字建議。 2. 場所宜重視收容避難之功能。 3. 不合國家標準的天花板是否要經內政部新材料新工法審核認可方可施工使用，抑或要完成結構分析或其它檢算。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>遵照辦理，會在期末報告中以文字陳述建議。</u> 2. 謝謝指教，會在文章中加入對避難場所之重視。本研究試驗對象之卡夾式系統為國內使用最為普遍之暗架形式，因此若避難場所之天花板為暗架式系統必定多採用卡夾式系統。 3. 本研究希望能針對不同類型之天花板系統提出構件尺寸規定及標準做法，因此未來應用上除了有特殊用途或載種較大之天花板需經過結構分析外，其餘一般空間之天花板可直接參考規範之做法。
趙委員永悌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議研究中將天花板破壞形式分為僅板材掉落以及整體構架掉落兩類型研究討論，供參考。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，會納入研究中考量。
羅委員遠智	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依初步實驗結果，於撓度之規定已可見部分試體無法滿足。研究成果是否可訂出合理之構 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 修正現有規範為本研究主要之研究項目之一，本研究首先將針對不同系統天花

	<p>件尺寸及厚度供業界參考，後續並訂定相關規範以確保業者均有確實施作。</p>	<p>板之構件尺寸提出相關規定，謝謝建議。</p>
<p>王委員 亭復</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要名詞仍請依照 CNS11984 為準，該標準未有之配件再另取適合名稱。 2. 卡夾天花板之擱柵承架及擱柵尺寸仍應依 CNS11984 為宜，其附屬金屬配件可因形狀、功能不同而變化，但應經模擬分析或試驗予驗證。 3. 全尺寸試驗前應先以模型分析計算預測其結果再經實驗予以驗核比較。 4. 表 4 之實驗應增加破壞情形一欄。 5. 擱柵承架試驗結果不合 CNS 規定，應建議厚度比照 CNS 之規定。 6. 擱柵承架之骨架搭接於大地震時會產生弱軸方向扭力，宜予禁止，建議接合應採用 CNS 規定之「接合件」。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，會納入研究中考量。 2. 謝謝指教，會納入研究中考量。 3. 謝謝指教，會納入研究中考量。 4. 謝謝指教，會修正至期末報告中。 5. 謝謝指教，會納入研究中考量。 6. 謝謝指教，會納入研究中考量，惟目前國內施工單位並無使用接合件之習慣且材料製造商所生產之接合件亦未經過強度試驗，推廣接合件的使用尚需很長時間。
<p>陳委員 遠鴻</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由報告書看出一般暗架天花板之破壞易發生於槽孔處，其骨料之剛性是否可列入考量。 2. 是否亦可改變接合點位置及方 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝指教，會納入研究中考量。 2. 謝謝指教，會納入研究中考量。

	<p>式，以減低地震等外力作用所造成之破壞。</p> <p>3. 天花板與結構體間吊桿之高度易影響實驗數據。另室外的破壞形式與室內的破壞形式應有所不同，如風力所造成之影響。</p>	<p>3. 謝謝指教，會納入研究中考量。</p>
宋委員 裕祺	<p>1. 本計畫符合國內建築耐震現況之所需。</p> <p>2. 建議對於本計畫所得成果未來如何反映到工程施工實務或耐震分析上，於期末報告再多所著墨。</p> <p>3. 暗架天花板零件與構造數量不少，未來如何提出簡化模擬方式，請再考量。</p>	<p>1. 謝謝肯定。</p> <p>2. 謝謝指教，會納入研究中考量。</p> <p>3. 謝謝指教，<u>若有機會進行震動台實驗，才容易進行簡化模擬，但今年並未規劃此類實驗，但會將委員意見納入研究中考量。</u></p>
邱委員 昌平	<p>1. 本計畫為延續性之研究案，且以「大面積」暗架天花板為探討之重點。</p> <p>2. 期中報告中對暗架天花板構造之型式，破壞案例，相關之試驗研究重點等有些介紹，另外將本研究之要項放在細部元件試驗及全尺寸試驗，目前已有的一些試驗成果。</p> <p>3. 建議各章節的架構及內容重新整理，如第一章內之第三及第四節安置於第二章中，且將傳</p>	<p>1. 謝謝指教。</p> <p>2. 謝謝指教。</p> <p>3. 謝謝指教，會修正至期末報告中。</p> <p>4. 遵照辦理。</p> <p>5. 謝謝指教，會納入研究中考量。</p> <p>6. 謝謝指教，會納入研究中考量。</p>

	<p>統及小型（小面積）之案例與大面積暗架天花板或其它構造系統分開介紹探討。文內宜綜合整理後，做一些定義與說明。</p> <p>4. 實驗裝置示意圖（圖 64）及圖 65、圖 66 等之示意圖皆太簡略，宜有大尺寸之細部設計圖（平面及立面）。</p> <p>5. 必要之結構設計及分析應如何進行亦請探討，如 P21 中日本作法已有一個方向。</p> <p>6. 在騎樓等易風害之處，建築設計細部也需考量，如 RC 梁下之垂壁，外飾面如「欄柵」等減風設計。</p>	
<p>陳委員</p>	<p>1. 從破壞案例中有出現固定架大範圍掉落之情形，顯示固定及連結方式之安全性不足，建議除吊筋與支撐架間之接點加強外，應對吊筋與樓坂之強度之施工方式及出具體建議。</p> <p>2. 側向位移之控制方式未說明。</p>	<p>1. 謝謝指教，<u>此一議題雖非本計畫原規劃內容（因並未在國內看到類似損壞），但會在報告中提醒使用者。</u></p> <p>2. 謝謝指教，會修正至期末報告中。</p>

附錄五 期末審查會議記錄及意見回覆表

委員	審查委員意見	廠商回應
陳召集人建忠	<ol style="list-style-type: none"> 關於暗架天花板是否適用 CNS 11984，及是否要新訂、名稱為何？ 建議三、所提後續研究，請補完陳述、要做過哪些種類天花、要做的研究是哪些？要選擇的是哪些耐震性能？ 	<ol style="list-style-type: none"> CNS 11984 僅包含常用暗架天花板種類之一部分，建議應新訂其他常用暗架天花板之相關規定。 建議三將調整為針對國內大型集會場所之暗架天花板進行耐震能力評估。
李委員英傑	<ol style="list-style-type: none"> 有關大面積吊架之接合型式，既不屬於剛接亦不屬於鉸接，故於地震反覆應力作用時接點較易折損，而單擺吊架系統，亦容易造成大位移，故希望能建議吊架接頭所能承擔的力量。 同樣對於 CNS 11984 之輕鋼架系統，希望亦能提供其所能承載的應力。 	<ol style="list-style-type: none"> 天花板接合形式與結構體之接合相較，天花板系統更為複雜，所以一般不會建議由技師進行結構分析才做成耐震設計。本研究已針對易破壞之接頭做出相關實驗數據可供參考。 謝謝專家之建議，但因研究時間及經費限制無法在此案中進行。
陳委員遠鴻	<ol style="list-style-type: none"> 附圖 77~79 實驗體之圖說是否可正確標示試體尺寸（如吊筋間距及支撐架間距）。 由圖 86、87 之支撐架方向施加載重圖來看，其吊筋使用高低是否也會影響天花板於地震力 	<ol style="list-style-type: none"> 謝謝專家之建議，將會於成果報告中標示試體尺寸。 懸吊高度會直接影響天花板之自振頻率，若有共振效應則更易發生破壞。

	<p>作用而較易發生破壞。</p> <p>3. 暗架天花板之耐震設計規範之研擬，亦應邀請業界而相關專業執行團體來參與，列入制訂規範之參考。</p>	<p>3. 謝謝專家之建議。</p>
中華民國土木技師公會	<p>1. 請增加既有地震規範之相關條款及說明(附屬結構)。</p> <p>2. 天花板之骨架及接頭設計，與輕量型鋼設計規範之相關規定有何不同，請說明。</p>	<p>1. 謝謝專家之指教，爾後將朝此方向發展。</p> <p>2. 暗架天花板與明架天花板之骨架及接頭為不同之系統，故骨架與接頭完全不一樣。</p>
陳委員煥煒	<p>1. 根據研究成果卡夾式天花板系統無法滿足 CNS 的性能規定，建議後續應制訂國內之 CNS 標準。</p> <p>2. 針對暗架天花在地震時易造成破壞的原因，應盡快制訂相關設計及施工規範。</p>	<p>1. 謝謝專家之建議。</p> <p>2. 謝謝專家之建議。</p>
羅委員遠智	<p>1. 可於結論中明確將建議作法進行說明，例如：</p> <p>1. 不可於同一位置搭接。</p> <p>2. 不可採錯位搭接。</p> <p>3. 接點應加墊片等。</p>	<p>1. 謝謝專家之建議。會於成果報告中進行修正。</p>
甘委員錫澄	<p>1. 本研究案有它正面之研究價值，因為常有建築物震後結構未受損，但非結構之設備(天花</p>	<p>1. 謝謝專家之指教。</p> <p>2. 採不連續設計之意思為拿掉連接高低天花板間之大</p>

	<p>板/大型傢俱) 之崩塌。也常造成人員之傷亡，故應讓專家學者之正視。</p> <p>2. 最後結論第四點，有高低差天花板為何採不連續設計，反而較連續設計更好？似乎不合乎常理之判斷，可否說明。</p>	<p>七字收邊，將不同高層之天花板獨立以避免相互影響。</p>
<p>邱委員 昌平</p>	<p>1. 本計畫名稱有兩點須修正或定義清楚些，一為天花板系統並不是「非結構構材」，另一為「大面積」與「一般面積」(此為建築技術規範或日本「建築基準法」所規定的)，超過一般面積或正常吊筋高度者，應為「特殊」天花板，應有進一步之規定。天花板系統似為「附屬構造物」結構系統。</p> <p>2. 建築物主體結構之耐震分析結果，宜用於「大面積」天花板結構系統之配置(如遇伸縮縫即不可跨越)及其結構分析之用。</p> <p>3. 天花板至 RC 樓板 (或 RC 梁) 間之距離多少會影響吊筋長度與間距之選擇，若距離很大時，是否需要加鋼桁架或懸臂式格子梁等來轉換 (如吊筋長 > 3m 時)</p> <p>4. p.48 實驗裝置示意圖只有支撐架 (未見主架)</p>	<p>1. 謝謝專家之指教，會在文內說明。本研究所指之大面積係指稱骨架需要搭接者，因觀察震災之損害多發生於骨架搭接處之細部設計，故本研究所稱大面積為面積較大需要搭接骨架者。在建築物耐震設計規範及解說第四章中附屬構造物為外牆、女兒牆、內部承重牆或非承重牆以及非屬結構構架之塔屋等。本研究暗架天花板應屬非結構構材第五項之吊頂天花。詳細內容請參考建築物耐震設計規範及解說 4.1 適用範圍。</p> <p>2. 謝謝專家之指教。</p> <p>3. 國內習慣作法為當懸吊長度小於 1m 時，吊筋一般會採用兩分螺桿；當懸吊長度為 1m~3m 時，吊筋則採三</p>

	<p>5. 文字修正建議：</p> <p>1. p.8 中，圖 14 クリップ即 clip，中文為夾具或四齒夾（不是螺絲，如 p.32 中之 2），hanger 為吊鉤、吊件(CNS 之名稱)或掛鈎請擇一。</p> <p>2. p.22 第七行，文字似宜為：採用斜撐補強時，在同一方向上最好要平均且對稱的配置。</p>	<p>分螺桿；而當懸吊長度超過 3m 時，吊筋會以輕型鋼之立柱取代。若距離很大時，加設鋼桁架或懸臂式格子梁等來轉換也是可行之作法。</p> <p>4. 圖 77 為金屬條狀式天花板之實驗裝置圖，此系統並無主架之構件。</p> <p>5. 文字修正部分謝謝專家之建議，會在成果報告中進行修改。</p>
<p>陳委員 正平</p>	<p>1. 試驗構架及鋼構架為一般混凝土樓板，而混凝土樓板之強度如何確認。</p> <p>2. 試驗機制不論是靜態或動態，均與實際地震晃動不完全一致，期間之差異宜有調整係數。</p>	<p>1. 謝謝專家之說明，本案假設混凝土樓板不會破壞。</p> <p>2. 謝謝專家之指教。動態實驗需在振動台上進行，本研究案未使用振動台，可在未來研究中進行振動台測試。</p>
<p>王委員 大衡</p>	<p>1. 目前破壞主要由吊筋接頭破壞發生，而吊筋接頭之所以破壞係因結構物側向位移的關係，至於結構物之側向位移僅設計者知曉，故建議天花板不能僅用標準廠商提供之型錄，應經專業技師設計或檢核。</p>	<p>1. 謝謝專家之建議。</p>

建築物非結構構材-大面積暗架天花板耐震性能檢討

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：陳建忠，姚昭智，陳威中，楊明皓，
林聖宗，李台光，劉建宏，楊智凱

出版年月：104年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-04-7138-0

建築物非結構構材—大面積暗架天花板耐震性能檢討

內政部建築研究所協同研究報告

104年度