

地震力量分散裝置於國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程(第一期)埔鹽系統交流道橋梁之應用

作者：林炳松¹ 王吉衫² 林生發³

1交通部台灣區國道高速公路局組長

2交通部台灣區國道高速公路局科長

3交通部台灣區國道高速公路局工程司

摘要

國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程(第一期)係針對中山高速公路全線橋梁進行評估及補強，為台灣地區首次針對國道橋梁進行大規模之耐震補強，其中埔鹽系統交流道 STA.207K+600 匝環道橋跨越中山高速公路之四座橋梁，其中間橋墩之基礎緊鄰相鄰橋墩基礎，且部份基礎侵入中山高速公路主線，補強空間受到相當大的限制。經考量基礎補強空間限制條件、增加系統靜不定度及分散下構承受地震力等因素，故補強方案採用增設地震力量分散裝置(Shock Transmission Unit)之工法。地震力量分散裝置已廣泛的應於於國、內外之鐵路橋梁及國外之橋梁耐震補強工程，本工程考量橋址之限制條件及地震力量分散裝置之特性而將其應用於高速公路之耐震補強工程。本文旨在以埔鹽系統交流道 STA.207K+600 匝環道橋跨越中山高速公路之四座橋梁為例扼要說明地震力量分散裝置設計、試驗、施工及及檢查維護之相關考量重點，期與工程界分享經驗，亦可作為未來後續橋梁補強工程設計施工之參考。

一、前言

民國八十八年九月二十一日台灣地區發生芮氏地震規模達 7.3(CWB)的大地震，最大地震強度為 6 級，最大地表加速度達 989gal，本次地震的震央位於南投縣集集鎮，由於國道高速公路為台灣地區南北交通的大動脈，對於國家整體經濟發展及民生生活關係甚鉅，值得慶幸的是在這次震災中，國道高速公路並未遭受太大損害。然而為防範未然，國道高速公路局積極研擬完整之橋梁耐震補強計畫對於中山高速公路及第二高速公路等已完工通車路段進行重新檢核及評估國道高速公路新舊橋梁結構物，對不符最新耐震規範之橋梁進行補強設計，期能於日後大地震時達到減少損害、避免傷亡之主要目標並成功擔負起大地震後緊急救災之生命線道路重任。

國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程(第一期)係針對中山高速公路全線橋梁進行評估及補強，為上述計畫首先執行之路段，且為台灣地區首次針對國道橋梁進行大規模之耐震補強，本局特委託林同棧工程顧問股份有限公司進行補強設計，其目的為提升中山高速公路全線之耐震能力以建構縱貫台灣南北之生命線防災道路。

阻尼器(Damper)及地震力量分散裝置(Shock Transmission Unit)等地震設備一般較常使用鐵路工程，如高速鐵路、捷運之橋梁等，而較少使用於公路工程。而於本補強工程為克服橋址現地環境之空間限制，故將其應用於公路橋梁耐震補強工程，其中內壢交流道 STA.56K+980 聯絡道跨越橋採用了液態黏彈性阻尼器，而埔鹽系統交流道 STA.207K+600 匝環道橋則採用了地震力量分散裝置，藉由採用

這些裝置，降低了補強工程造成之國道中山高速公路之交通衝擊，並達成了提升橋梁耐震能力之目的，並可作未來後續橋梁補強工程設計施工之參考。以下針對埔鹽系統交流道 STA.207K+600 匝環道橋採用地震力量分散裝置之設計、試驗、施工及檢查維護進行說明。

二、地震力量分散裝置(SHOCK TRANSMISSION UNIT)

地震力量分散裝置主要包含內部流體(Internal Fluid)及錨碇設施，設置於橋梁上部結構與下部結構之間，其功能為藉由流體阻尼力吸收地震力引致之瞬間作用力，使得上部結構與下部結構間形成剛性連接(Rigid Link)，並產生鎖定效果(Lock-up Effect)。

對於當發生車輛煞車或是地表運動(地震)所引發的動態衝擊時，地震力量分散裝置可提供上、下構(STU 連結之兩端)完全鎖定(Lock-up)之效果以形成剛接(Rigid Link)，使上部結構力量得以傳遞至下部結構。然而地震力量分散裝置所連結之結構物間因溫差或乾縮、潛變等常時狀態所產生之相對緩慢位移發生時，裝置僅提供輕微阻力(\leq 裝置設計荷載 10%)使結構得以自由伸展(圖 1)。

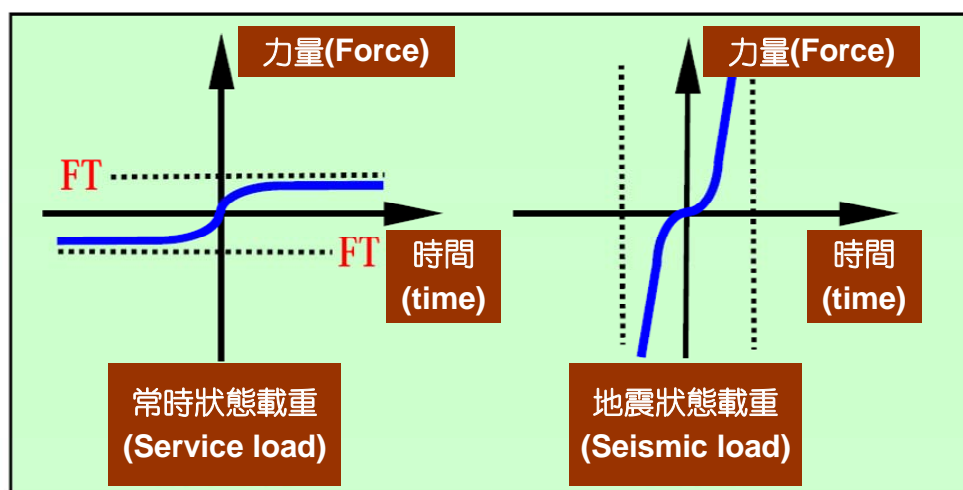


圖 1 地震力量分散裝置於常時、地震時狀態之力量-時間曲線

地震力量分散裝置主要是由兩個腔室以及活塞所組成(圖 2)，而腔室填滿了特殊矽基流體。此特殊矽基流體可經由活塞上的閥門控制於左右兩個腔室間流動，地震力量分散裝置所填充的特殊矽基流體性質相當穩定，其適用的工作溫度範圍從 -40°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ 。

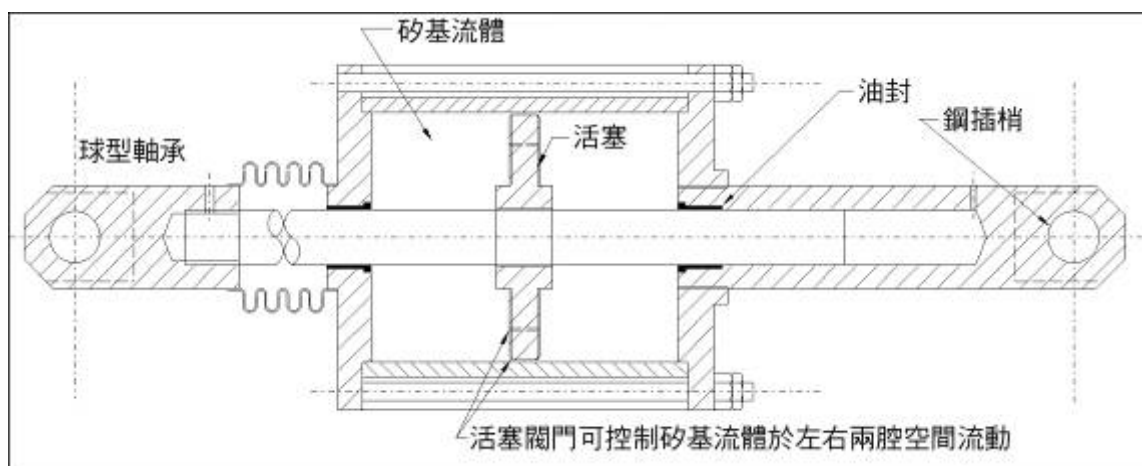


圖 2 地震力量分散裝置示意圖

三、橋梁基本資料及耐震設計

3.1 橋梁基本資料

埔鹽系統交流道匝道 1、匝道 3、環道 1 及環道 2 跨越中山高速公路橋梁單元，共有四座跨徑 75+120+75=270m，橋寬為 8.5m 之預力箱型梁橋(圖 3)，中間兩處橋墩分別為剛接橋墩及活動端橋墩(圖 4~5，圖中 M 代表活動支承，R 代表剛接橋墩)，因此整個振動單元 270 公尺長之縱向地震力幾乎全部由剛接處一個橋墩承受。經評估結果該振動單元基礎抵抗地震力之強度不足，需進行補強。

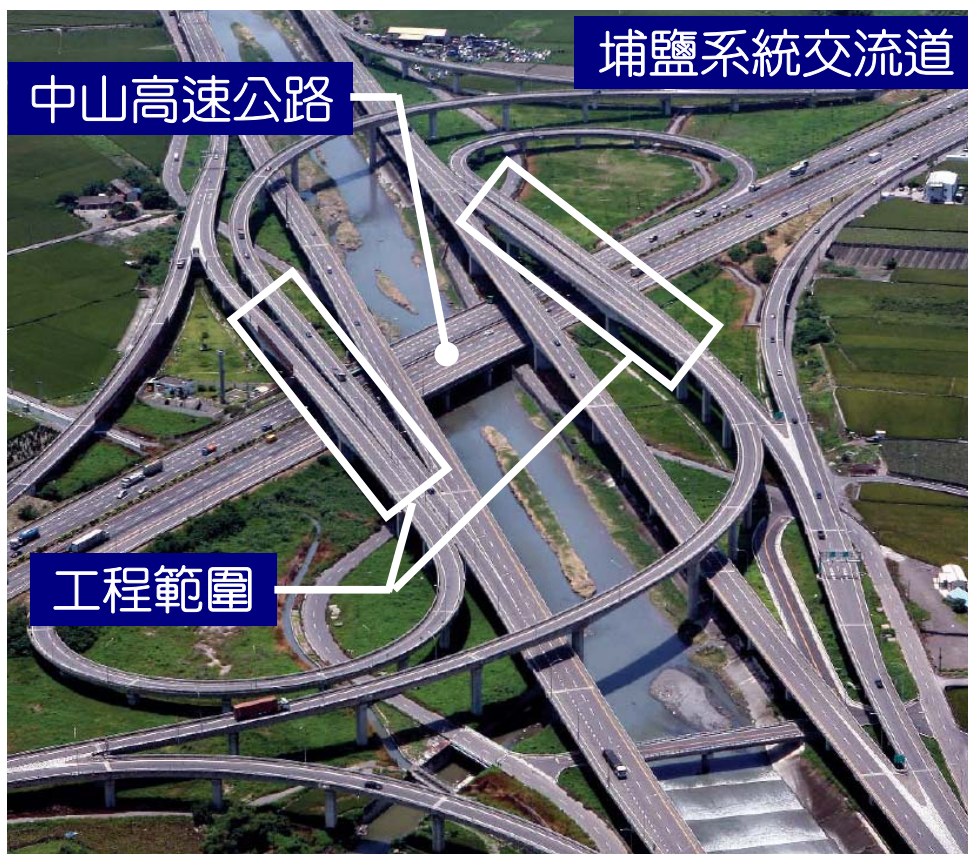


圖 3 工程範圍平面圖

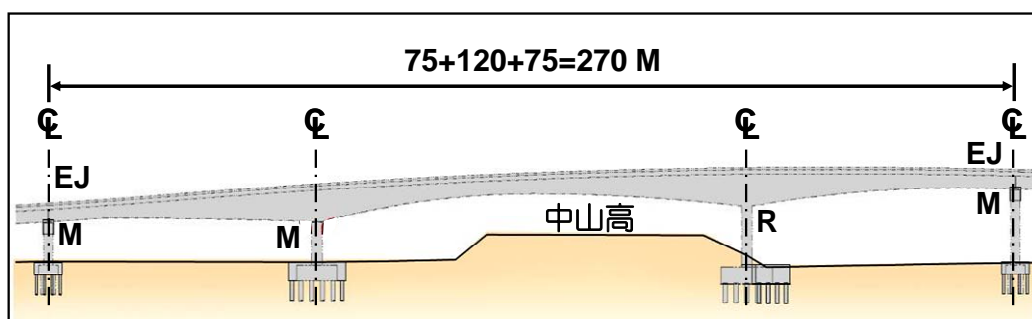


圖 4 橋梁立面圖

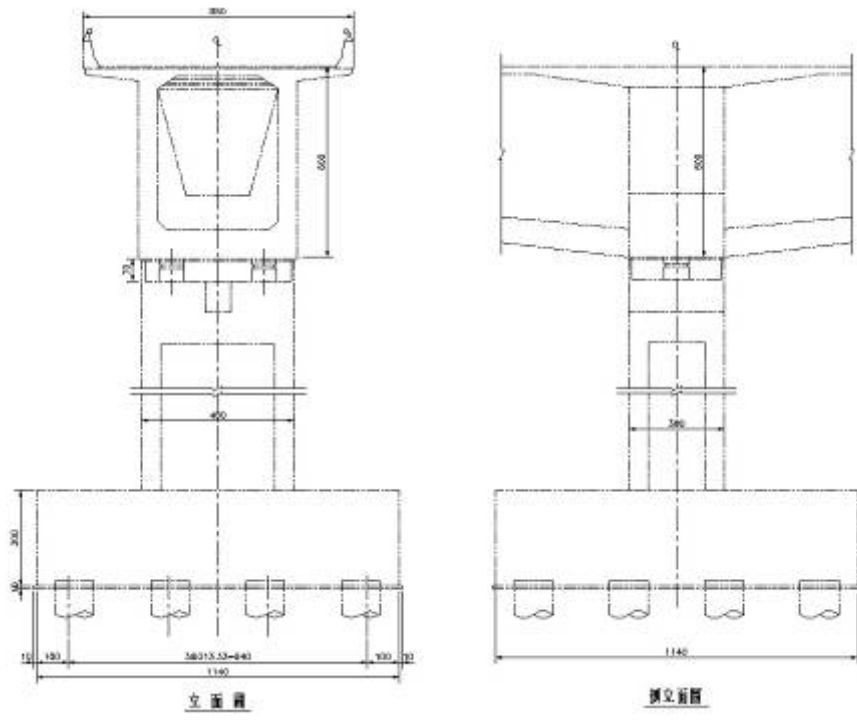


圖 5 中間活動端橋墩立面圖

3.2 耐震補強設計

於補強此四座橋梁時，考量其基礎緊鄰相鄰橋墩基礎，且部份基礎侵入中山高速公路主線，補強空間受到相當大的限制。經考量基礎補強空間限制條件、增加系統靜不定度及分散下構承受地震力等因素，乃於活動端橋墩增設地震力量分散裝置(圖 6~7)，基礎則配合偏心增樁補強。採用地震力量分散裝置之優點為於常時並未改變現有之支承水平束制條件，故此種補強方式對溫度及乾縮潛變載重之影響極小，且於地震時之縱向水平地震力由兩個中間橋墩共同分擔，增加結構系統之靜不定度，降低本橋於地震下之損壞風險。

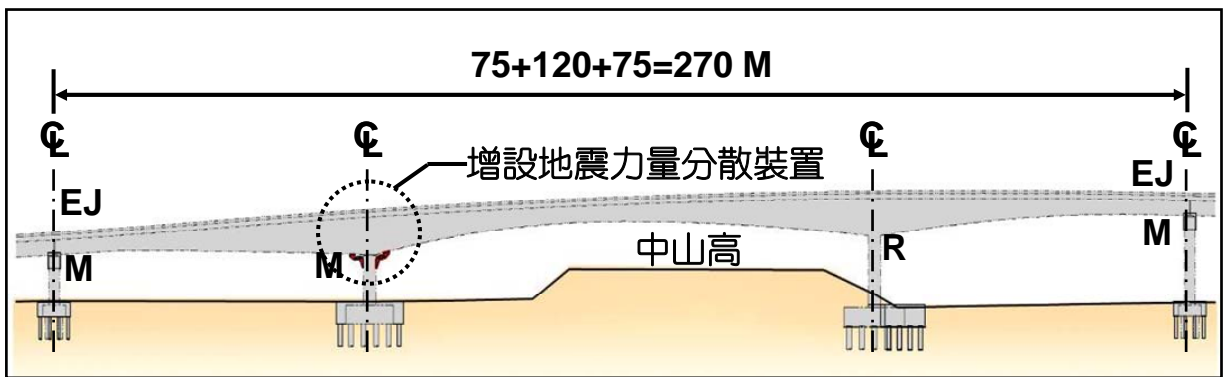


圖 6 橋梁補強立面圖

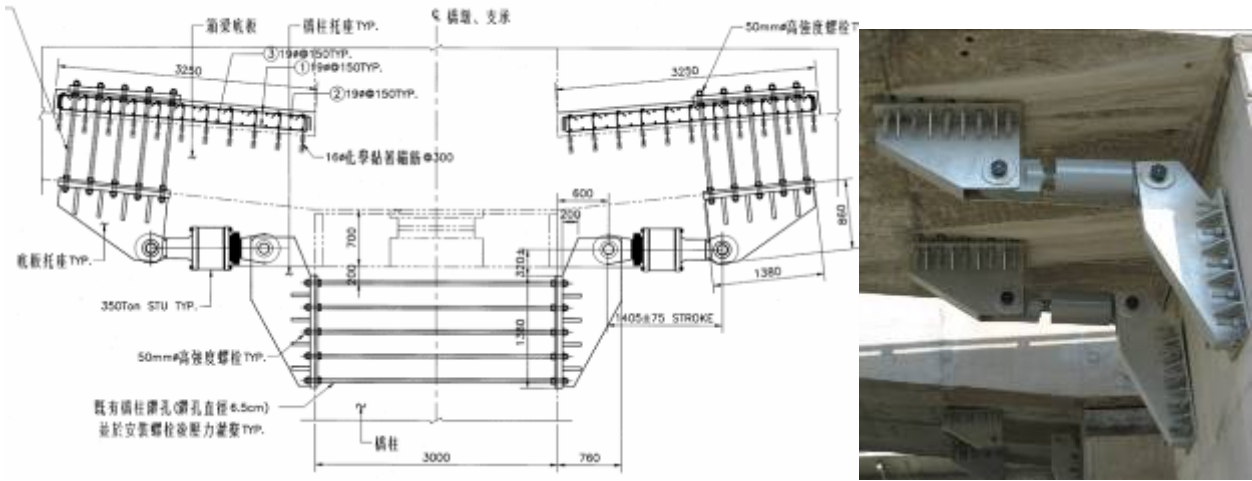


圖 7 中間活動端增設地震力量分散裝置

本工程採用地震力量分散裝置之設計及試驗要求為：

- A. 設計溫度：0~50°C。
- B. 最大拖曳力(Max. Drag Force)：10% 最大設計地震力。
- C. 最大設計地震力(Max. EQ Force)：350 T/組(每處橋墩設置四組)。
- D. 總位移量：±75mm。
- E. 動力荷載最大位移量：±12mm (最大設計地震力)。
- F. 慢速移動試驗中之速度(Slow Movement Velocity)：6.5 mm/hr。
- G. 快速移動試驗中之速度(Fast Travel Rate)：2.0 mm/sec。

四、地震力量分散裝置產品試驗

本工程之地震力量分散裝置各部構造之材料、試驗、施工及維護等相關規範應符合 AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications (2002)第 32 章之規定辦理；試驗項目包含下列各項：

4.1 品保試驗(Prequalification Tests)

本項試驗又稱為系統特性試驗(System Characteristic Tests)，主要目的為測試地震力量分散裝置之基本性質與運作性能，承包商依前述 AASHTO 規範第 32.4.1 節之規定，提出所採之地震力量分散裝置為 ALGASISM STU，該型地震力量分散裝置已實際應用於世界各地，至今仍運作良好，其中 2001 年之台灣高鐵 C295 標及 2005 年之台北內湖捷運等國內重要工程即採用與本案相同之裝置。

4.2 原型試驗(Prototype Tests)

本項試驗之目的為驗證地震力量分散裝置能符合設計圖說中所規定之設計要求，其試驗項目及成果如下所述：

A. 液壓試驗(Hydrostatic Pressure Test)

1. **測試目的：**旨在驗證地震力量分散裝置內部流體於承受高壓情況下，裝置整體及油封系統之可靠度。
2. **測試方式：**將 STU 加載至裝置內部流體最大設計壓力之 150% 至少三分鐘，試驗最初及最終之壓力讀數須記錄。
3. **合格標準：**內部流體無滲漏情形，測試期間壓力下降不超過 5%。
4. **測試成果：**本裝置於最大荷載時，其最大內部壓力為 506 bar，經以 150% 之設計最大內壓力於測試期間仍保密封效果(圖 8)。

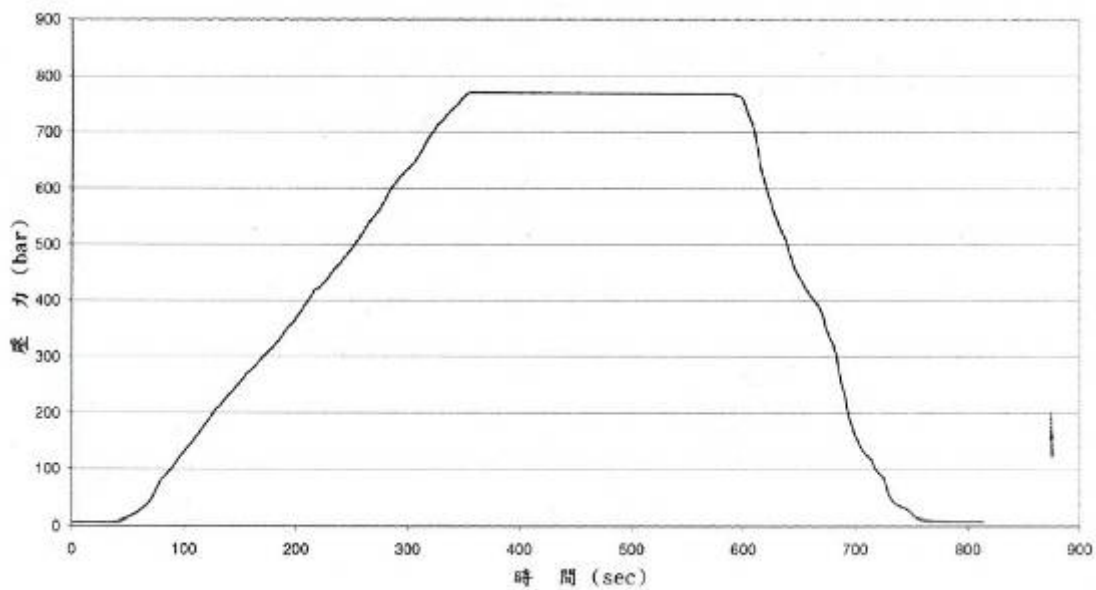


圖 8 液壓實驗壓力歷時圖

B. 慢速移動試驗(Slow Movement Test)

1. **測試目的：**旨在驗證地震力量分散裝置於常時慢速位移情況下，裝置之阻力不致妨礙結構物之伸展。
2. **測試方式：**將 STU 以 0.01mm/sec 之速度往復±75mm)運作連續三個循環，並將負載及變位關係以曲線圖表顯示。
3. **合格標準：**內部流體無滲漏情形，測試期間最大負載讀數不超過設計荷載 10% 且無鎖定(lock-up)情形產生。
4. **測試成果：**於測試時以 0.01mm/sec 移動速率來回完成三個±75mm 位移之慢速循環測試後，其最大正荷載為 68KN，最大負荷載為-39KN，皆小於 350KN，且測試過程裝置無鎖定現象(圖 9~10)。

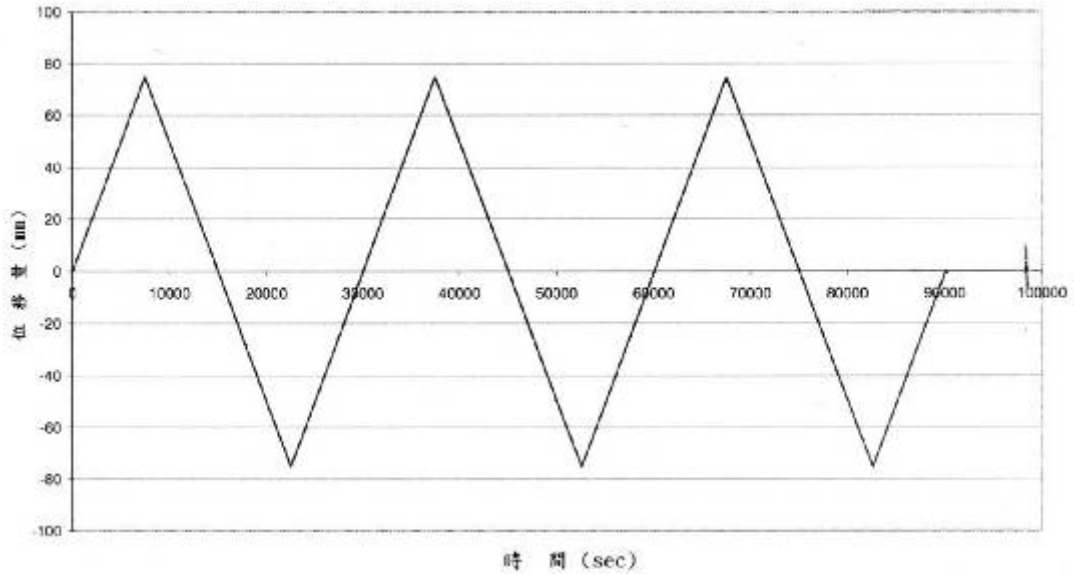


圖 9 慢速移動試驗位移歷時圖

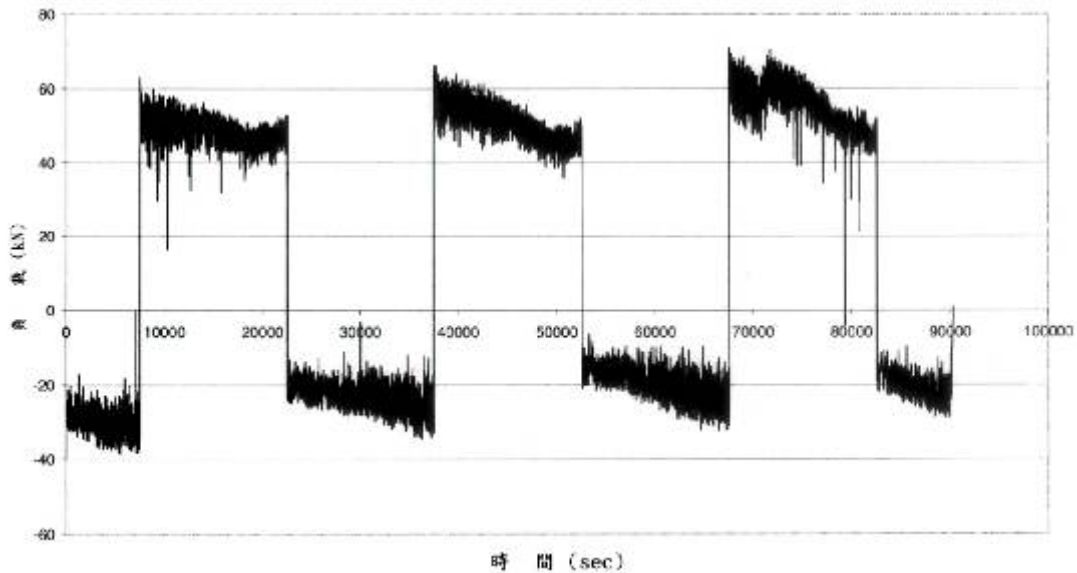


圖 10 慢速移動試驗荷載歷時圖

C. 快速移動試驗(Fast Movement Test)

1. **測試目的：**旨在驗證地震力量分散裝置於快速位移之情況下，裝置得達到鎖定(lock-up)之效果。
2. **測試方式：**將 STU 於最大設計負載情況下快速作動(速率 2mm/sec)，裝置之張拉及壓縮方向須各作動一次但不須循環運作，並將負載及變位關係以曲線圖表顯示。
3. **合格標準：**裝置變位須在 12mm 以內即達成鎖定(lock-up)，內部流體無滲漏情形，測試期間由鎖定至達成最大負載時之勁度差異須在 10% 以內。
4. **測試成果：**於測試時以 2 秒內加載至標稱設計荷重 3500kN，測試時分別依受壓(圖 11~12)及張拉(圖 13~14)兩方向進行，於受壓時鎖定變位為 3.64mm，於張拉時鎖定變位為 3.66mm，皆小於 12mm，且於測試過程皆無漏油或受制之情形。

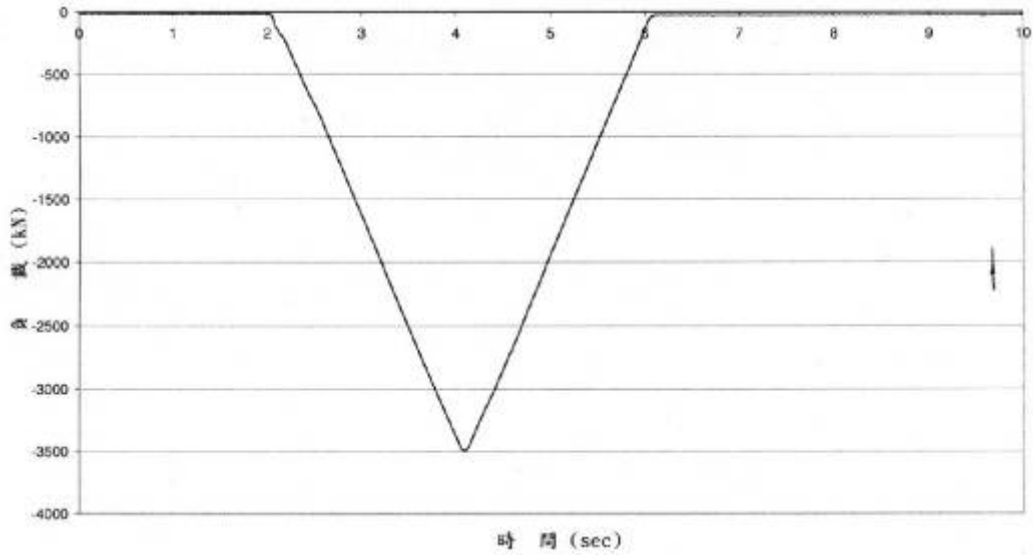


圖 11 快速移動試驗(受壓)荷載歷時圖

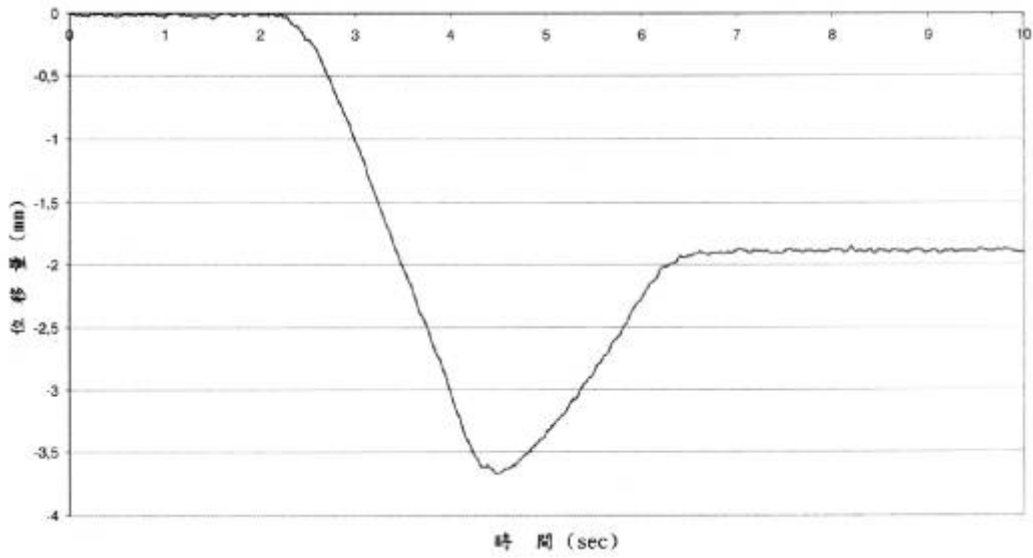


圖 12 快速移動試驗(受壓)位移歷時圖

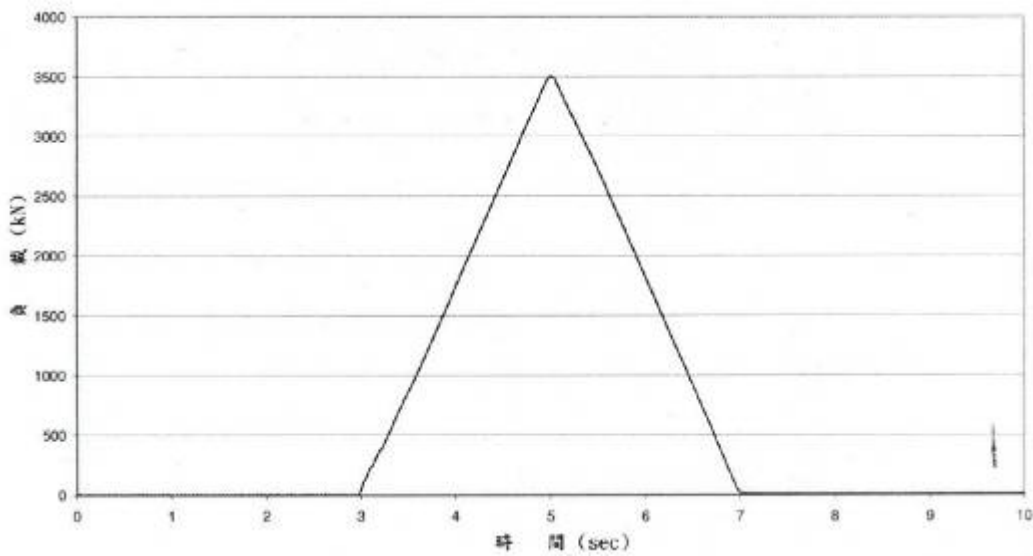


圖 13 快速移動試驗(張拉)荷載歷時圖

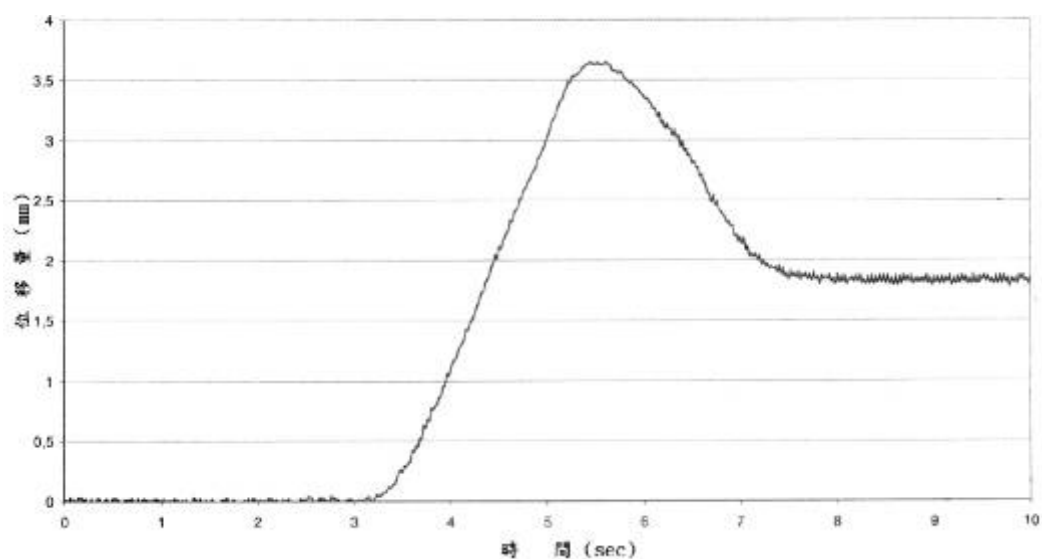


圖 14 快速移動試驗(張拉)位移歷時圖

D. 模擬動態試驗(Simulated Dynamic Test)

1. 測試目的：旨在驗證地震力量分散裝置於模擬動態負載情況下，裝置之鎖定(lock-up)效果。
2. 測試方式：裝置於 0.5 秒內加拉持續 5 秒，完成後於一秒內加壓並持續 5 秒。拉、壓負載應相當且至少是上述快速移動測試所得鎖定力的三倍，但不大於設計最大負載。負載與變位之相對關係以曲線圖顯示。
3. 合格標準：由零負載至達到最大負載期間，裝置變位須在 12mm 以內即達成鎖定(lock-up)，裝置於持壓(拉)期間之鎖定距離亦不超過 12mm。
4. 測試成果：於測試時以 0.5 秒內加載 3500KN 拉力持續 5 秒，完成後於一秒內加載 3500KN 壓力並持續 5 秒(圖 15~16)。於最大張拉負載時變位為 3.26mm，持拉下變位為 5.55mm；於最大壓力負載時變位為 4.22mm，持拉下變位為 6.08mm，皆小於 12mm，且於測試過程皆無漏油或受制之情形。

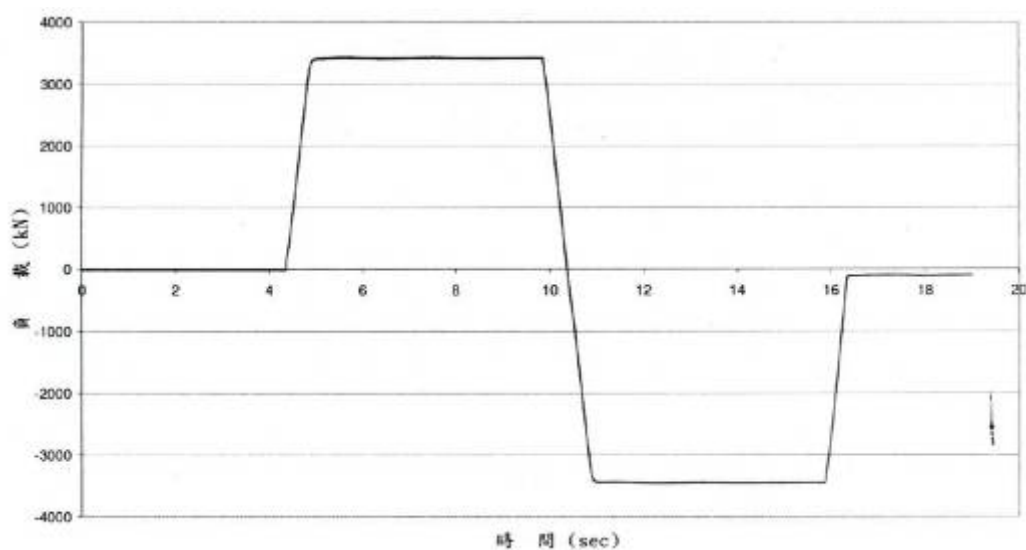


圖 15 模擬動載傳遞試驗負載歷時圖

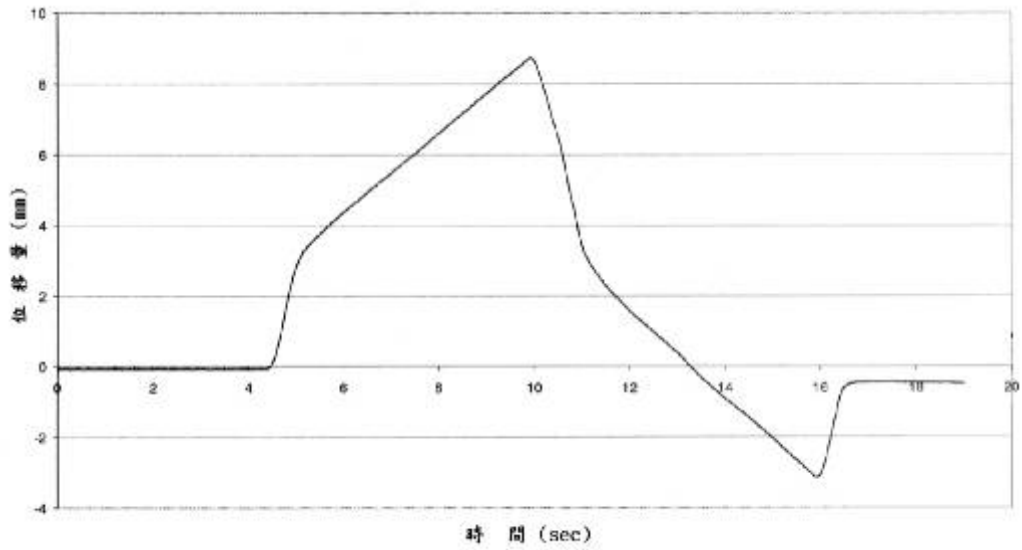


圖 16 模擬動載傳遞試驗位移歷時圖

E. 超載試驗(Overload Test)

1. 測試目的：旨在驗證地震力量分散裝置於超出設計負載情況下，裝置整體之剛性。
2. 測試方式：以足以達成鎖定之速率對裝置加載至設計最大負載之 1.5 倍並持續 30 秒。
3. 合格標準：裝置內部流體不得滲漏或變形。
4. 測試成果：於測試時在一秒加載至 1.5 倍之標稱設計 5250KN 後持續 30 秒(圖 17~18)，於測試過程無漏油或受制之情形。

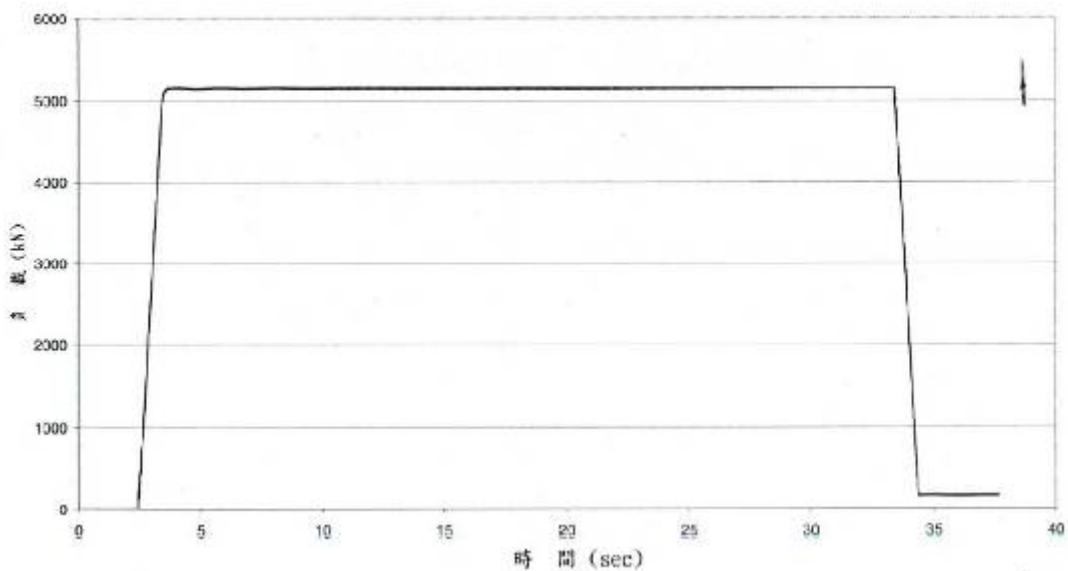


圖 17 超載試驗負載歷時圖

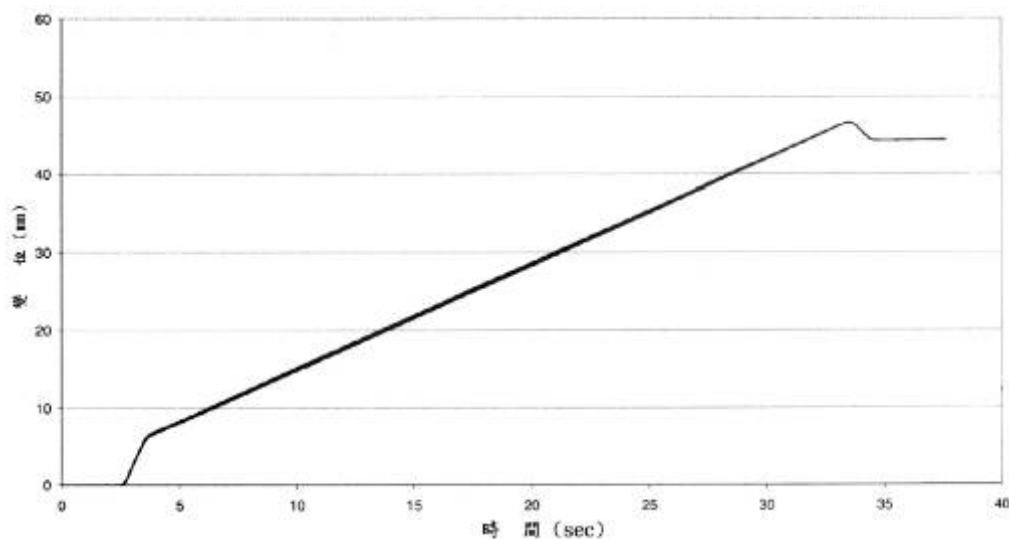


圖 18 超載試驗變位歷時圖

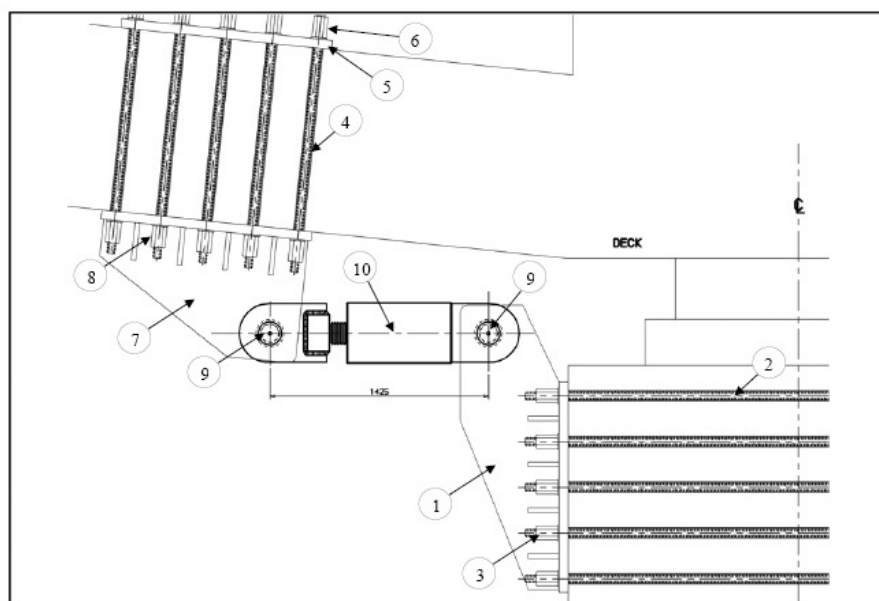
4.3 驗證試驗(Proof Tests)

本項試驗又稱為品管試驗(Quality Control Tests)，其主要目的為驗證使用於本工程中之每一組地震力量分散裝置的可靠性，承包商應依據前述 AASHTO 規範第 32.4.3 節之規定。本項試驗應就使用於本工程中之每一組地震力量分散裝置辦理，其試驗項目包含下列各項：

- A. 液壓試驗(Hydrostatic Pressure Test)
- B. 慢速移動試驗(Slow Movement Test)
- C. 快速移動試驗(Fast Movement Test)

五、地震力量分散裝置安裝施工

於施工時若產品運抵現場時未能立即安裝，承包商須將該批產品存放於適當場所以避免塵土或潮濕之侵害。安裝地震力量分散裝置時之施工步驟(圖 19)說明如下：



1. 參照托架鋼棒錨碇孔位於欲安裝之墩柱位置進行鋼棒鑽孔作業,鑽孔直徑約 60mm。
2. 同上步驟於梁底進行鋼棒鑽孔作業,鑽孔直徑約 100mm 以供裝置安裝定位時調整所需。
3. 鋼棒(位置.2)穿入墩柱已鑽好之孔內,將該處鋼托架(位置.1)置入並稍加螺帽(位置.3)固定但暫勿旋緊。
4. 重複步驟 3 於墩柱另一側安裝鋼托架。
5. 鋼棒(位置.4)穿入梁底已鑽好之孔內,將該處箱梁內錨碇板(位置.5)置入並稍加螺帽(位置.6)固定但暫勿旋緊。
6. 將該處梁底鋼托架(位置.7)置入並稍加螺帽(位置.8)固定但暫勿旋緊。
7. 重複步驟 6 於墩柱另一側梁底安裝鋼托架。
8. 調整上、下鋼托架(位置.1 及位置.7)間之间距並利用一長度 1425mm 之鋼桿件及本裝置之鋼插梢(位置.9)加以固定。
9. 重複步驟 8 於墩柱另一側調整固定鋼托架。
10. 旋緊墩柱及梁底處之鋼托架螺帽(位置 3,6 及 8)。
11. 重複步驟 10 於墩柱另一側錨碇鋼托架。
12. 卸除臨時桿件(步驟 8)。
13. 利用可調整螺桿調整地震力分散裝置(位置.10)至正確長度後導入鋼托架內。
14. 插入鋼插梢於相關孔位(位置.9)以固定裝置本體,完成安裝。



圖 19 地震力量分散裝置安裝施工

六、地震力量分散裝置檢查與保養維護

本工程採用之地震力量分散裝置，其相關液壓迴路組件都完全包覆在本體內,因此本體外部並無任何油路零件可供檢核，該裝置一旦安裝完成後基本上是不需要特別進行相關維護保養，但為保持裝置於最佳之狀態仍建議進行下述的定期檢查維修作業。

6.1 裝置定期之檢查

本裝置於安裝完成後之定期檢查頻率及項目說明如下：

A. 安裝完成後半年檢查，並於裝置安裝完成後一年重複之檢查項目：

1. 螺栓已鎖緊未鬆脫。
2. 插銷已正確置入。
3. 表面刮痕已修補完成。
4. 是否有漏油現象。
5. 防塵護套是否有破損。
6. 鋼棒孔是否灌漿密實。
7. 裝置區域於安裝後是否清理乾淨。
8. 裝置的識別銘牌是否脫落。
9. 檢核記錄活塞桿衝程長度及溫度。

B. 每兩年針對裝置進行一次定期檢測以確保該裝置之功能正常，兩年之例行檢查項目如下：

1. 螺栓已鎖緊未鬆脫。
2. 表面防蝕保護是否已有受損。
3. 是否有漏油現象。
4. 防塵套是否有破損。
5. 裝置及週遭雜物已清除(如. 鳥巢、 鳥糞)。
6. 裝置的識別銘牌是否脫落。
7. 量測各 STU 衝程長度以確保設計位移量之所需。
8. 插銷、球型軸承面、托架及活塞桿有適當之潤滑處理以免生鏽。

6.2 裝置定期之維護

本裝置因所有油路系統均包覆在缸體內因此不需要特別保養的,但仍建議定期檢查產品(托架、螺栓、裝置本體)外觀防蝕保護之狀況並視狀況重新噴漆。而插銷、球式軸承面、托架插銷孔等應檢視其潤滑情形，而沾黏在裝置上的雜物(特別是鳥糞、鹽、酸雨,,)等應利用高壓清水刷洗以降低鏽蝕的速度。

七、結論

地震力量分散裝置已廣泛的應於於國、內外之鐵路橋梁及國外之橋梁耐震補強工程，而較少應用於國內之公路橋梁。而本次國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程(第一期)中之埔鹽系統交流道 STA.207K+600 匝環道橋跨越中山高速公路四座橋梁，因其橋址之空間受限，且為避免補強工程侵入中山高速公路主線，造成主線交通之衝擊，增加社會成本，故補強工法應用地震力量分散裝置於該四座橋梁上，並獲得極佳之成效。本工程地震力量分散裝置之設計、施工成果，除可進一步提昇國內橋梁耐震補強工程技術水平，亦可提供未來類似橋梁耐震補強工程之參考，使國內未來之橋梁耐震補強設計更為合理、經濟及安全。

參考文獻

1. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTION OFFICIALS , “AASHTO LRFD Bridge Construction Specifications” , 2002.
2. Nicos Makris and Jian Zhang “Structural Characterization and Seismic Response Analysis of a Highway Overcrossing Equipped with Elastomeric Bearings and Fluid Dampers : A Case study” , Nov. 2002.
3. M.C.Constantinou , A.S.Whittaker , Y.Kalpakidis , D.M.Fenz and G.P.Warn , “Performance of Seismic Isolation Hardware under Service and Seismic Loading” , Technical Report MCEER-07-0012 , Aug.2007.
4. 阿爾格工程有限公司 , “地震力量分散裝置型號 STU 3500/150 原型試驗測試報告” , Jul.2008
5. 阿爾格工程有限公司 , “地震力量分散裝置型號 STU 3500/150 驗證試驗測試報告” , Sep.2008
6. 大成工程股份有限公司、阿爾格工程有限公司 “國道高速公路橋梁耐震補強工程(第一期)第 M15C 標工程地震力量分散裝置設計計算書、施工製造圖、安裝計畫書、安裝作業技術人員資歷文件” , Mar.2008
7. 阿爾格工程有限公司 , “地震力量分散裝置型號 STU 3500/150 產品維護檢修手冊” , Oct.2008.
8. 交通部國道高速公路局 , “國道高速公路橋梁耐震補強分析評估及補強設計(國道通車路段)可行性研究” , Mar.2004.
9. 交通部國道高速公路局 , “國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程(第一期)工程細部設計報告書” , Oct.2007.