

臺中捷運烏日文心北屯線
機電系統工程 CJ900 標
電聯車車體結構強度暨轉向架框架強度靜
態強度測試之海外檢測出國報告

服務機關：臺北市府捷運工程局機電系統設計處
臺北市府捷運工程局機電系統設計處
臺北市府捷運工程局機電系統工程處

姓名職稱：陳昭延 副工程司
蘇培坤 副工程司
唐文忠 技術員

派赴國家：日本

出國期間：104 年 11 月 23 日至 104 年 12 月 02 日

報告日期：105 年 01 月 20 日

出國報告(出國類別：其他)

臺中捷運烏日文心北屯線 CJ900 標
電聯車車體結構強度測試
之海外檢測出國報告

服務機關：臺北市府捷運工程局機電系統設計處
臺北市府捷運工程局機電系統工程處

姓名職稱：陳昭延 副工程司
唐文忠 技術員

派赴國家：日本

出國期間：104 年 11 月 23 日至 104 年 12 月 02 日

報告日期：105 年 01 月 20 日

出國報告名稱：「臺中捷運烏日文心北屯線機電系統工程 CJ900 標電聯車車體結構強度暨轉向架
框架強度靜態強度測試」出國報告

含附件：■是 □否

出國計畫主辦機關：臺北市政府捷運工程局機電系統工程處

聯絡人：唐文忠

電話：(02)2570-0002 轉 356

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

陳昭延 / 臺北市政府捷運工程局機電系統設計處 /副工程司/ (02)2521-5550 轉 8307

唐文忠 / 臺北市政府捷運工程局機電系統工程處 /技術員 / (02)2570-0002 轉 356

出國類別：其他1 出席國際會議2 表演3 比賽4 競技5 洽展6 海外檢測

出國期間：

104 年 11 月 23 日至 104 年 12 月 2 日

報告日期：

105 年 01 月 20 日

出國地區：

日本

內容摘要：(300 至 500 字)

本項檢測作業屬臺中都會區捷運系統工程烏日文心北屯線之機電系統工程 CJ900/CJ907 標專案工程，本工程專案於 100 年 4 月 1 日簽訂合約，同年 4 月 21 日開工，得標廠商為川崎重工業株式會社/法商阿爾斯通運輸股份有限公司/中鼎工程股份有限公司(KAWASAKI HEAVY INDUSTRIES,LTD. / Alstom Transport S.A. / CTCI CORPORATION - KAC)共同承攬商。工程範圍包括車輛、行車監控、供電、通訊及機場設備等五大子系統的設計、界面、製造、廠測、交運、安裝、現場測試、整合測試與人員訓練等各項工作，其中車輛部份係由川崎重工(KHI)負責生產，共生產 18 列電聯車，每列電聯車由 2 節車廂組成，總計全車隊共有 36 節車廂。

本次電聯車車體結構強度海外檢測係依據合約規定，先由廠商提出車體結構細部設計及車體結構強度測試計畫程序書，經本局核准後予以進行電聯車車體結構強度測試。本測試係於電聯車車體結構設計完成後，藉由對首輛製造完成之原型車車體結構，實施強度負荷測試(包括車體垂直向下負荷、垂直向上頂升負荷、水平壓縮負荷及水平拉伸負荷等)，以驗證測試結果是否符合設計要求及契約規定，俾確保車體結構之設計品質及安全性。

目 錄

壹、前言	2
貳、契約規定	2
參、測試日期及地點	2
肆、檢測人員及行程紀要	2
伍、測試樣品	3
陸、測試項目	9
柒、測試設備	11
捌、測試步驟	16
玖、測試標準	19
壹拾、測試過程及結果	20
壹拾壹、心得及建議	24
附件一 測試照片	25
附件二 測試工廠認證資料	39
附件三 啟始及總結會議紀錄	42
附件四 測試結果相關數據資料	49

壹、前言

臺中捷運 CJ900 標烏日文心北屯線機電系統工程採購案於 100 年 3 月 9 日決標，100 年 4 月 21 日開工，由「日商川崎重工業株式會社(KHI)」、「法商阿爾斯通運輸股份有限公司(Alstom Transport)」以及「中鼎工程股份有限公司(CTCI)」等 3 家公司(簡稱 KAC 公司)共同承攬本工程，工程範圍涵蓋車輛、號誌、通訊、供電及機廠等設備，其中車輛部份係由川崎重工(KHI)負責生產，共生產 18 列電聯車，每列電聯車由 2 節車廂組成，總計全車隊共有 36 節車廂。

電聯車於生產前需完成契約所規定之相關元件/子系統設計合格測試，本次海外檢測所執行之車體結構強度測試，即屬電聯車元件設計合格測試項目之一，為車輛最重要且關鍵之測試項目。本測試係於車體結構設計完成後，藉由對首輛製造完成之原型車車體結構，實施強度負荷測試(包括車體垂直向下負荷、垂直向上頂升負荷、水平壓縮負荷及水平拉伸負荷等)，以驗證測試結果是否符合設計要求及契約規定，俾確保車體結構之設計品質及安全性。

本次海外檢測係依本局核定之測試計劃，於 104 年 11 月 23 日派員前往日本執行測試，並於 104 年 12 月 02 日順利完成測試任務後返國。

貳、契約規定

依契約規定，電聯車需執行「車體結構強度測試」，且需符合特別技術規範 PTS 2.1.5.(2)所訂：「車體結構之設計應能承受 AW3 旅客載重(不含空車皮重 AW0)之 1.25 倍而仍保有向上之拱勢。當 AW3 旅客載重(不含空車皮重 AW0)再乘以負荷係數 2.0 時，車體任何結構件之最大應力不得超過材料之降伏強度。廠商應提送車體結構分析資料予工程司審核並加以測試驗證其強度。」之要求。本次車體結構強度測試係依本局核定之臺中捷運烏日文心北屯線電聯車「車體結構強度測試程序書(文件編號：PD-G-EMU-TT-02-0001)」執行測試，以確認測試結果可符合測試程序及契約規範要求。

參、測試日期及地點

- 一、 測試日期：104 年 11 月 23 日至 104 年 12 月 02 日(共 10 天)。
- 二、 測試地點：川崎重工兵庫工廠。

川崎重工兵庫工廠位於日本神戶市兵庫區，該工廠係經 ISO 9001 及 ISO 14001 認證合格(詳附件二)，擁有豐富之軌道車輛設計製造經驗及專業測試設備，能執行捷運電聯車相關檢測作業。該工廠以往亦曾執行本局高運量電聯車(如新莊/蘆洲線、信義/松山線等)及交通部高鐵局桃園國際機場捷運線電聯車之車體結構強度測試。本次車體結構強度測試地點係於位在該工廠內之車輛測試專用廠房執行測試。

肆、檢測人員及行程紀要

- 一、 檢測人員：

1. 陳昭延：本局機電系統設計處副工程司，負責車體測試查核及相關技術評估事宜。
2. 唐文忠：本局機電系統工程處中運量工務所技術員，負責綜理測試、查核及技術行政事宜。

二、測試行程：

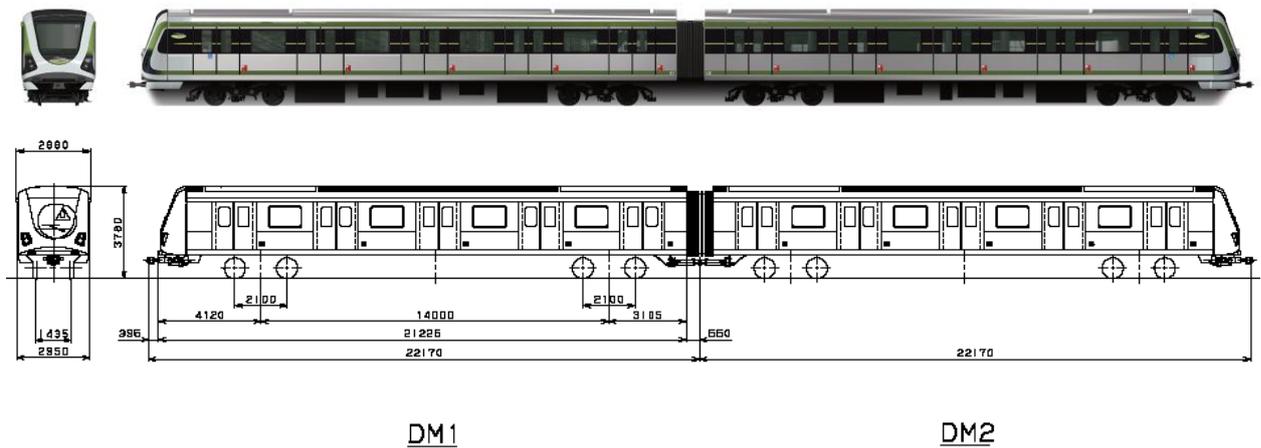
天數	日期	行程紀要
第 1 天	104 年 11 月 23 日(星期一)	自台北出發前往日本神戶。
第 2 天	104 年 11 月 24 日(星期二)	1. 召開測試前之「起始會議」。 2. 檢視車體樣品及測試儀器設備配置。
第 3 天	104 年 11 月 25 日(星期三)	1. 執行「垂直負荷測試」。 2. 討論測試數據資料。
第 4 天	104 年 11 月 26 日(星期四)	1. 執行「聯結器拉伸負荷測試」。 2. 討論測試數據資料。
第 5 天	104 年 11 月 27 日(星期五)	1. 執行「聯結器壓縮負荷測試」。 2. 討論測試數據資料。
第 6 天	104 年 11 月 28 日(星期六)	例假日。
第 7 天	104 年 11 月 29 日(星期日)	例假日。
第 8 天	104 年 11 月 30 日(星期一)	1. 執行「三點維修頂升負荷測試」。 2. 討論測試數據資料。
第 9 天	104 年 12 月 01 日(星期二)	1. 召開測試後之「總結會議」。 2. 討論測試結果。
第 10 天	104 年 12 月 02 日(星期三)	自日本神戶返回台北。

伍、測試樣品

一、車輛尺寸：

臺中捷運為鋼輪鋼軌之中運量捷運系統，每列車由 DM1 車(設有手動駕駛區之 1 號車)及 DM2 車(設有手動駕駛區之 2 號車)兩節車廂所組成，車體採用不銹鋼材質，車廂間設有車間走道連通，每車皆為動力車。各節車廂尺寸完全相同，其車長為 22.17m、車寬為 2.98m、車高為 3.78m，列車總長度為 44.34m(詳圖 1)。





DM1 DM2

圖 1：臺中捷運電聯車外觀及尺寸圖

二、測試車體樣品：

臺中捷運電聯車之 DM1 車及 DM2 車之車體結構設計完全相同，故測試樣品將使用首輛製造完成(即原型車)之 DM1 車車體結構(詳圖 2)。該樣品僅含車體結構(車殼)，不含車窗、車門、座椅、燈具、隔熱材及車廂內裝等設施，且車底架結構亦不包含地板支撐及地板面板等元件，因為這些設施或元件皆不屬於車體結構元件。



圖 2：測試 DM1 車車體結構之 3D 電腦模擬圖

三、車體結構組成：

1. 本標電聯車車體結構(詳圖 3)為半單體構造，係由「車底架結構(Underframe Structure)」、「左右側牆結構(Left/Right Side Shell Structure)」、「車頂結構(Roof Shell Structure)」、「No.1 車頭端結構(No.1 Front End Structure)」、「No.2 車尾端結構(No.2 Rear End Structure)」等 5 大次組件所組成。車體結構組成說明如下：

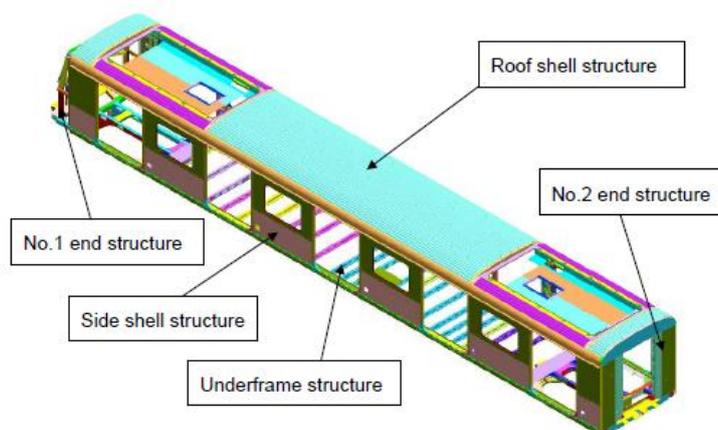


圖 3：電聯車車體結構組成

(1). 車底架結構(Underframe Structure)：

車底架結構(詳圖 4)為車體受力最大之次組件，需支撐車體、乘客、車頂設備及車底設備重量，並承受車輛加減速及縱向拉伸與壓縮力。車底架結構係由「車底側樑(Side Sill)」、「車底橫樑(Cross Beam)」、「車端底架(End Underframe)」及具有防止車底設備電磁波之「厚板(Thick Plate)」等元件所組成。車底橫樑沿車身縱向佈設，可確保車體垂直剛性。No.1 車頭端之車端底架設有防爬器及吸能裝置，可確保車輛抗撞性能。車底側樑可抵抗車端之壓縮及拉伸負荷。車底架結構具有約 13-18mm 之內建拱勢值，可使車輛滿載時車體保持向上拱勢。

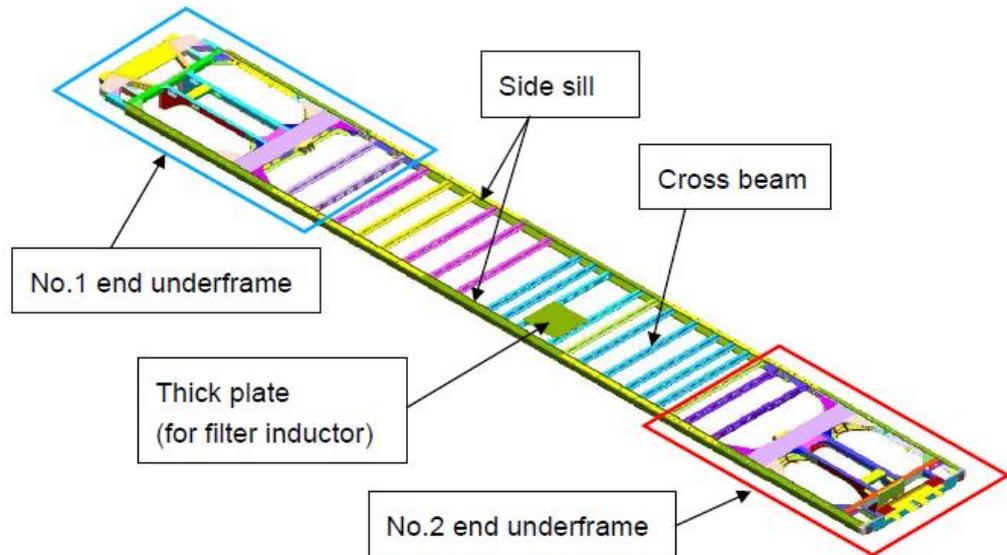


圖 4：車底架結構

其中，車端底架(詳圖 5,6)則由「承樑(Bolster)」、「中心樑(Center Sill)」、「側樑加強件(Side Sill Stiffener)」、「端樑(End Beam)」及「橫樑(Cross Beam)」所組成。

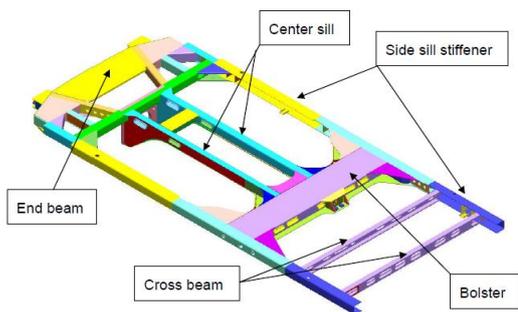


圖 5：No.1 端車端底架

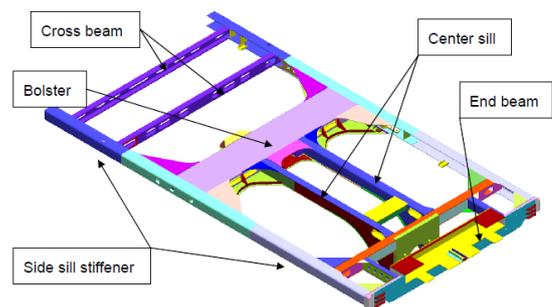


圖 6：No.2 端車端底架

另外，車底架結構上安裝有「頂升塊(Jacking Pad，詳圖 7)」，可區分為「維修用頂升塊」及「緊急用頂升塊」兩種型式。維修用頂升塊每車共有 4 片，安裝於側樑鄰近承樑附近位置，用於車輛維修時頂升車體之用。緊急用頂升塊每車共有 8 片，安裝於側樑端部及聯結器安裝板等處，用於列車脫軌時頂升車體復軌之用。全車共計有 12 片頂升塊。

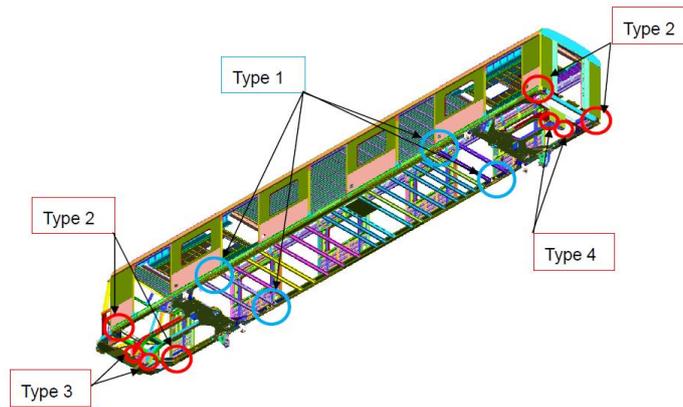


圖 7：頂升塊安裝位置圖

(Type 1 為維修用頂升塊，Type 2~4 為緊急用頂升塊)

(2). 左右側牆結構(Left/Right Side Shell Structure)：

左右側牆結構(詳圖 8)為兩側對稱之結構，每側由「側牆框架(Side Frame)」、「側牆板(Side Sheet)」、「車門罩(Door Mask)」、「車頂側樑(Cantrail)」和「外滑式車門導軌(Track for Side Sliding Door)」等元件所組成。以車體強度來看，側牆結構可將乘客及設備重量產生之剪力傳導至承樑。車頂側樑為車體上半部之主要縱向構件，用以連結側牆結構及車頂結構。

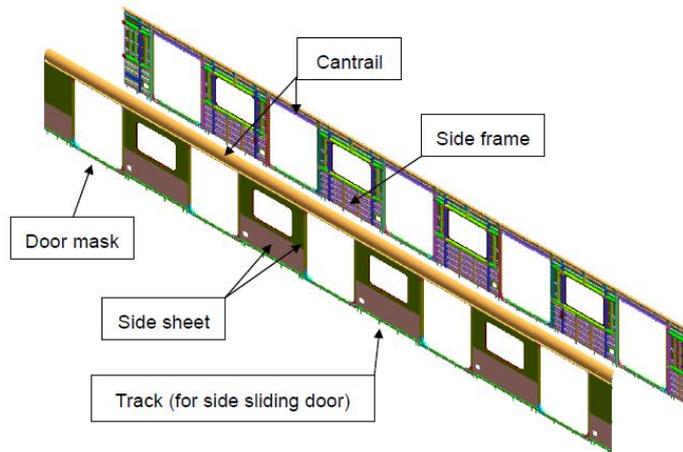


圖 8：左右側牆結構

其中，側牆框架(詳圖 9)則由「門柱(Door Post)」、「側柱(Side Post)」、「中間柱(Intermediate Post)」和「水平加強件(Horizontal Stiffener)」所組成。側牆框架可防止側牆板之彎曲變形。

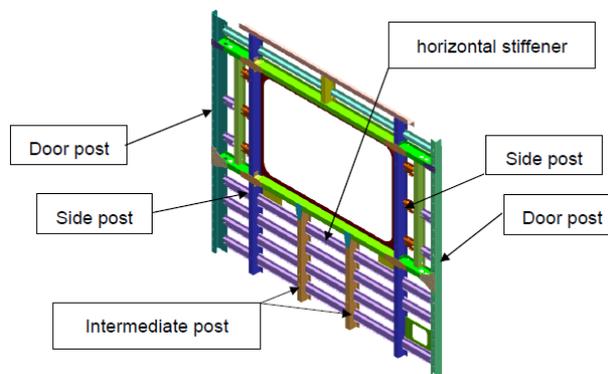


圖 9：側牆框架

(3). 車頂結構(Roof Shell Structure)：

車頂結構(詳圖 10)為半單體構造，可避免雨水流入車內。車頂結構由「高車頂結構(High Roof Structure)」及「空調車頂結構(VAC Roof Structure)」組成。本標車輛採用頂置式空調，故其空調設備係安裝於空調車頂結構上方。

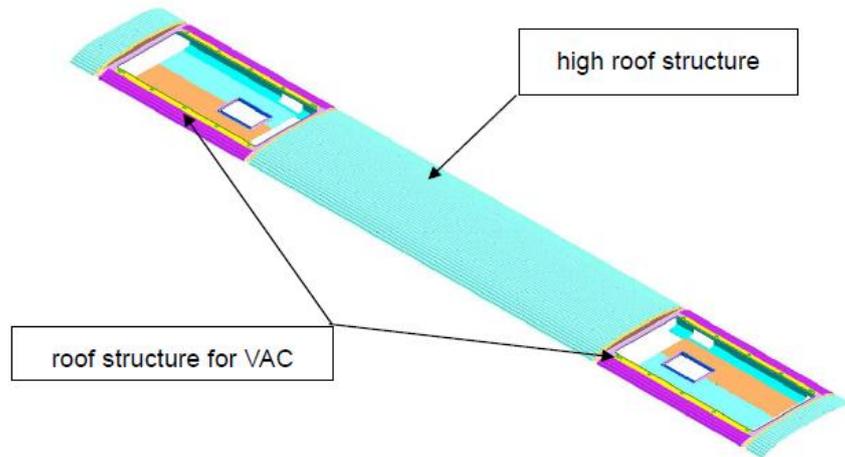


圖 10：車頂結構

其中，高車頂結構(詳圖 11)由「滾軋車頂浪板(Roll-formed Corrugated Plate)」及「車頂骨架(Carline)」所組成；空調車頂結構(詳圖 12)則由「車頂板(Roof Sheet)」、「車頂骨架(Carline)」及「平行桁條(Purline)」所組成，車頂骨架為橫向框架，平行桁條為縱向框架，為支撐車頂浪板之框架。

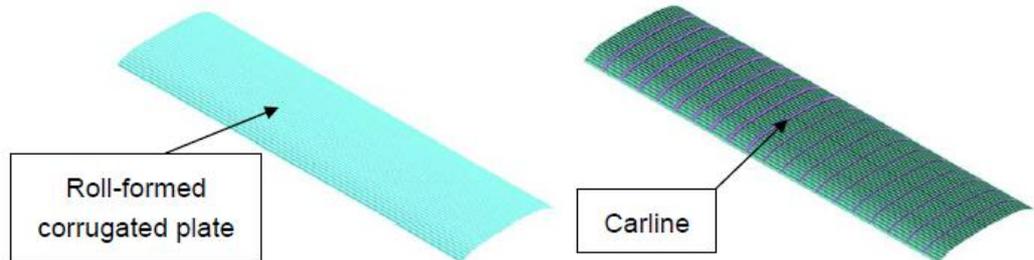


圖 11：高車頂結構

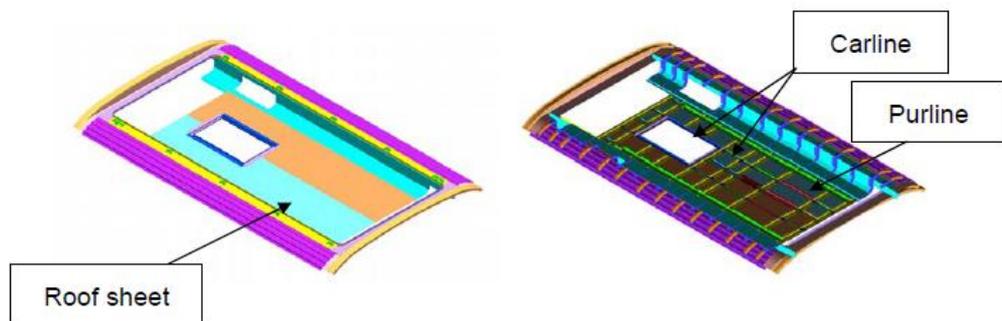


圖 12：空調車頂結構

(4). No.1 車頭端結構(No.1 Front End Structure)：

No.1 車頭端結構(詳圖 13)由「角柱(Corner Post)」及「車窗框架 (Window Frame)」所組成。車頭玻璃纖維強化塑膠面罩(FRP End Bonnet，詳圖 14)以螺栓固定於本結構之外部。

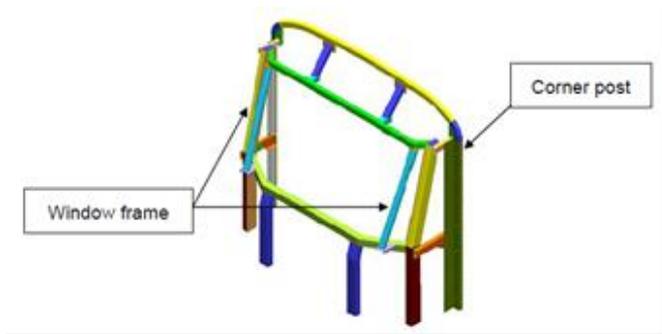


圖 13：No.1 車頭端結構



圖 14：車頭 FRP 面罩

(5). No.2 車尾端結構(No.2 Rear End Structure)：

No.2 車尾端結構(詳圖 15)由「開口柱(Entrance Post)」、「角柱(Corner Post)」及「端板(End Sheet)」所組成。此結構具有半單體構造之功能，車間走道係安裝於本車尾端結構上。

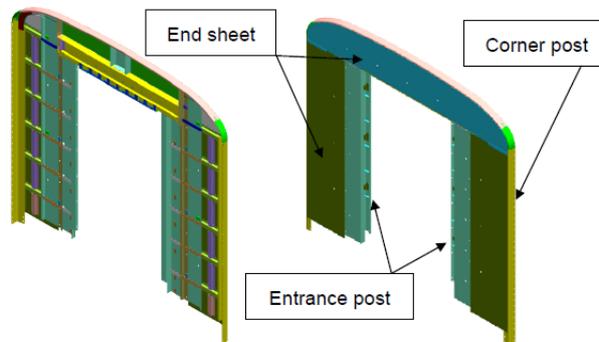


圖 15：No.2 車尾端結構

2. 本標車體結構材料主要是使用 SUS301L 不銹鋼，使用於車底側樑、車底橫樑、側牆板、端牆板、車頂板等大部份之結構件。少部份非結構件(如加強件等)則使用 SUS304 不銹鋼。低合金高張力鋼板(LAHT)，諸如 SMA570PQ 及 SPA-H，則使用於車端底架、承樑、頂升塊、防爬器及端牆等位置。
3. 車體零件，諸如車底架結構、側牆結構、端牆結構、車頂結構等，係經由裁剪、沖壓及彎曲等方式加工製造成形後，再經由點焊(Spot Welding)、弧焊(Arc Welding)、縫焊(Seam Welding)等不同焊接方式完成車體之組裝作業。車體組裝過程中，係先將車底架結構、側牆結構及端牆結構置於夾具內，並以點焊及弧焊相互接合，以形成車殼核心，之後，再將車頂結構置於該核心之上，並與側牆結構之車頂橫樑及端牆結構之拱樑以弧焊焊接，以確保水密性能。最後，當全部車體結構焊接組裝完成後，將自夾具內移出，並實施尺寸量測及校正作業。

四、 測試車重：

本測試所使用之電聯車相關設備重量，以及電聯車於不同乘客載重條件下之車重值，請參閱表 1。

表 1：車重及設備重量定義

項次	參數	定義	重量[N](kg)
1	AW0	空車重量(含裕度)	434,337(44,290)
2	AW0'	不含轉向架之空車重量(含裕度)	273,017(27,840)
3	AWsh	車體結構(車殼)重量	80,415(8,200)
4	TWsh	含測試設備之車體結構(車殼)重量	111,050(11,324)
5	PW3	每車座位坐滿+立位密度 6 人/m ² 之乘客總重	157,691(16,080)
6	PW4	[每車座位坐滿+立位密度 6 人/m ² 之乘客總重] X 1.25	197,114(20,100)
7	PW5	[每車座位坐滿+立位密度 6 人/m ² 之乘客總重] X 2	315,382(32,160)
8	AW3	每車座位坐滿+立位密度 6 人/m ² 之車輛總重 =AW0+PW3	592,028(60,370)
9	AW4	[每車座位坐滿+立位密度 6 人/m ² 之車輛總重] X 1.25 =AW0+PW4	631,451(64,390)
10	AW5	[每車座位坐滿+立位密度 6 人/m ² 之車輛總重] X 2 =AW0+PW5	749,719(76,450)
11	AWc1	No.1 端聯結器(No.1 End Coupler)重量	4,413(450)
12	AWc2	No.2 端聯結器(No.2 End Coupler)重量	2,942(300)
13	AWuq1	煞車電阻器(Brake Resistor)重量	2,108(215)
14	AWuq2	電池箱(Battery Box)重量	5,099(520)
15	AWuq3	空氣供應單元(Air Supply Unit)重量	2,010(205)
16	AWuq4	推進換流器設備箱(Propulsion Inverter Box)重量	11,621(1,185)
17	AWuq5	輔助電力設備箱(Auxiliary Power Supply Box)重量	11,523(1,175)
18	AWg	半截車間走道(Half Gangway)重量	2,942(300)
19	AWre1	No.1 端空調設備(No.1 End A/C Unit)重量	6,865(700)
20	AWre2	No.2 端空調設備(No.2 End A/C Unit)重量	6,865(700)
21	AWb1	No.1 端轉向架(No.1 End Bogie)重量	81,395(8,300)
22	AWb2	No.2 端轉向架(No.2 End Bogie)重量	79,924(8,150)
23	TW0	=AW0' - TWsh	161,967(16,516)
24	AW3'	=AW0' + PW3	430,708(43,920)
25	AW4'	=AW0' + PW4	470,131(47,940)
26	AW5'	=AW0' + PW5	588,399(60,000)
27	TW3	=AW3' - TWsh	319,658(32,596)
28	TW4	=AW4' - TWsh	359,081(36,616)
29	TW5	=AW5' - TWsh	477,349(48,676)

陸、測試項目

一、車體結構強度有限元素分析案例：

1. 在車體結構設計階段，廠商依契約 PTS 2.1.5 及 JIS E 7106(日本國家標準-軌道

車輛之客車車體結構一般要求)之規定,以 FEA 有限元素方法分析車體結構靜態強度案例(詳見本標「細部設計-車體結構分析資料(含疲勞強度)」設計文件),依測試程序中 (Case 1 至 Case 10, 詳表 2)進行測試驗證。

表 2：車體結構強度有限元素分析案例

案例	內容	目的	標準
Case 1	聯結器壓縮負荷 1180kN(約 120 噸)+垂直負荷 AW0	評估車體於 AW0 空重下發生碰撞時之壓縮負荷強度	不可超過車體結構材料之降伏強度
Case 2	聯結器拉伸負荷 345kN(約 35 噸)+垂直負荷 AW0	評估車體於 AW0 空重下正常運轉時之拉伸負荷強度	不可超過車體結構材料之降伏強度
Case 3	垂直負荷 AWsh	計算車體拱勢值	13~18mm
Case 4	垂直負荷 AW0	評估門柱和門扇間之間隙	門柱和門扇間之間隙不超過±5mm
Case 5	垂直負荷 AW4	計算車體拱勢值	車體需維持正拱勢
Case 6	垂直負荷 AW5	評估垂直負荷 AW5 時之車體強度	不可超過車體結構材料之降伏強度
Case 7	垂直負荷 AW0 時,維修頂升三點支撐負荷(No.1 端偏移)	評估維修千斤頂在操作不同步(No.1 端下降 25mm)情況下之車體強度	不可超過車體結構材料之降伏強度
Case 8	垂直負荷 AW0 時,維修頂升三點支撐負荷(No.2 端偏移)	評估維修千斤頂在操作不同步(No.2 端下降 25mm)情況下之車體強度	不可超過車體結構材料之降伏強度
Case 9	聯結器壓縮負荷 1180kN(約 120 噸)+垂直負荷 AW5	評估車體於 AW5 載重下發生碰撞時之壓縮負荷強度	不可超過車體結構材料之降伏強度
Case 10	聯結器拉伸負荷 345kN(約 35 噸)+垂直負荷 AW5	評估車體於 AW5 載重下正常運轉時之拉伸負荷強度	不可超過車體結構材料之降伏強度

- 在聯結器壓縮及拉伸測試案例(Case 1,2,9,10)中,廠商依慣例係使用可視為剛體之替代聯結器(Dummy Coupler)來進行測試,且車體結構分析時亦以是剛體作為聯結器之分析模型,所以施加於聯結器之負載與作用在車體結構之負載相同,故聯結器壓縮負荷等同於車體壓縮負荷,聯結器拉伸負荷等同於車體拉伸負荷,此作法與廠商以往其他專案之作法相同。
- 以上 10 種分析案例,如以測試型態來區分,則可歸納為以下 4 種不同之測試類型(詳表 3)：

表 3：車體結構靜態強度測試類型

類型	負荷狀況	FEA 有限元素分析案例
1	垂直負荷測試	Case 3(AWsh), Case 4(AW0), Case 5(AW4), Case 6(AW5)
2	三點維修頂升負荷測試	Case 7(AW0), Case 8(AW0)
3	聯結器壓縮負荷測試	Case 1(AW0), Case 9(AW5)
4	聯結器拉伸負荷測試	Case 2(AW0), Case 10(AW5)

二、車體結構強度有限元素分析結果：

依據車體有限元素分析結果顯示，車體結構具有足夠之設計強度，說明如下：

1. 應力(Stress)：

設計標準規定車體結構材料之分析應力不可超過其容許應力，容許應力由材料機械特性決定。表 4 顯示，車體結構經有限元素分析後，Case 1 至 Case 10 之車體材料最大分析應力(Von Mises 應力)皆小於其容許應力(即材料之降伏強度)，符合設計標準規定。

表 4：Case 1 至 Case 10 之分析應力值皆小於其容許應力值

No.	Load case	Maximum top Von Mises stress(MPa)	EID	Material	Allowable stress(Mpa)			Criteria ⁽⁷⁾	Maximum bottom Von Mises stress(MPa)	EID	Material	Allowable stress(Mpa)			Criteria ⁽⁷⁾
					σ_y	518	ok					σ_y	460	ok	
1	Case 1	429.8	710990	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	423.5	54558	SMA570PQ	σ_y	460	ok		
2	Case 2	243.2	464056	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	235.7	527989	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
3	Case 3	42.0	23014	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	43.7	124110	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
4	Case 4	243.4	464056	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	235.5	527989	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
5	Case 5	243.5	464056	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	253.8	124110	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
6	Case 6	282.3	124110	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	318.1	124110	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
7	Case 7	243.7	708765	SUS301L-ST	σ_y	414	ok	235.3	464056	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
8	Case 8	244.0	527989	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	237.0	527989	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
9	Case 9	443.9	710990	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	430.5	106495	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		
10	Case 10	284.9	586371	SUS301L-MT	σ_y	518	ok	319.9	131504	SUS301L-MT	σ_y	518	ok		

2. 安全裕度(Margin of Safety, M.S.)：

廠商依設計慣例，以安全裕度(M.S.值)來評估車體強度，並據以決定應變計之安裝位置。安全裕度係指容許應力與分析應力間之裕度，其公式如下： $M.S.=(容許應力/分析應力)-1$ (而 $M.S.=0$ 與安全係數=1 相同)。設計標準規定安全裕度應大於 0。表 5 顯示，車體結構經有限元素分析後，Case 1 至 Case 10 中各元素之最小安全裕度值皆大於 0，符合設計標準規定。廠商依本分析結果作為車體強度測試之應變計安裝位置依據。

表 5：Case 1 至 Case 10 之安全裕度值皆大於 0

No.	Load case	Minimum value of Margin of Safety(Top)	EID	Material	M.S.>0	Minimum value of Margin of Safety(Bottom)	EID	Material	M.S.>0
2	Case 2	1.13	464056	SUS301L-MT	ok	1.198	527989	SUS301L-MT	ok
3	Case 3	11.34	23014	SUS301L-MT	ok	10.37	514752	SUS301L-ST	ok
4	Case 4	1.129	464056	SUS301L-MT	ok	1.199	527989	SUS301L-MT	ok
5	Case 5	1.127	464056	SUS301L-MT	ok	0.954	233583	SUS301L-ST	ok
6	Case 6	0.708	234243	SUS301L-ST	ok	0.561	233583	SUS301L-ST	ok
7	Case 7	1.126	708765	SUS301L-ST	ok	1.201	464056	SUS301L-ST	ok
8	Case 8	1.123	527989	SUS301L-MT	ok	1.179	159354	SUS301L-MT	ok
9	Case 9	0.0637	545159	SMA570PQ	ok	0.0704	54558	SMA570PQ	ok
10	Case 10	0.616	234243	SUS301L-ST	ok	0.458	233583	SUS301L-ST	ok

柒、測試設備

本測試所使用之相關儀器設備說明如下：

一、應變計(Strain Gauge)：

應變計係用以量測車體結構於承受不同負載後之應變量，並經公式換算可得出其

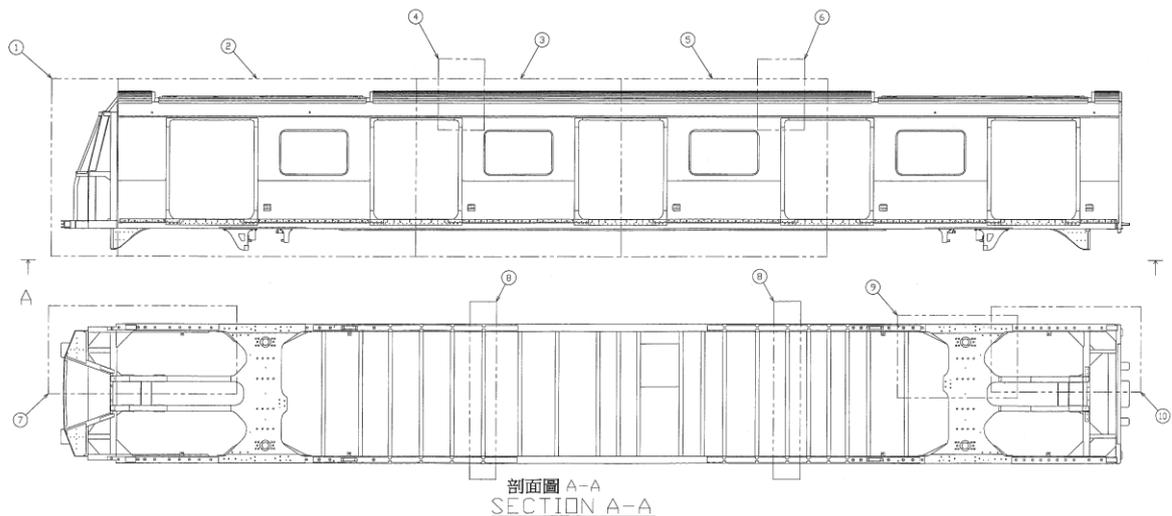
相對之應力值(應力=楊氏模數 X 應變)。各應變計皆有特定編號以標示其安裝位置，其安裝位置主要是依據廠商之設計經驗及有限元素分析結果而定。本測試之應變計安裝位置(詳圖 16)，亦是依據車體結構強度有限元素分析結果之應力值較大區域，即安全裕度較小(介於 0~1 間)之元素位置而定。本測試共使用以下兩種類型之應變計，為通用金屬薄膜型式，具有三條導線及自我溫度補償功能，適用於 LAHT 鋼或不銹鋼：

1. 「單軸應變計(Uni-axis Strain Gauge)」：

此應變計係使用於當主要應變方向假定為單軸方向之位置。本測試共使用 285 個單軸應變計，其型號為 FLA-5-11(適用於 LAHT 鋼)及 FLA-5-17(適用於不銹鋼)，主要安裝於車頂板、車頂側樑、車門罩、側牆板、側柱、角柱、窗框、車頂骨架、承樑、車底橫樑、車底端樑、中心樑及各式車體加強件等位置。

2. 「羅氏(三軸)應變計 Rosette(Three-axis) Strain Gauge)」：

此應變計係使用於當主要應變方向假定為兩個方向之位置，通常用於大範圍區域(如側板等)。本測試共使用 12 個羅氏應變計，其型號為 FRA-5-17(適用於不銹鋼)，全部安裝於側牆板。



NO.	DRAWING TITLE 圖名	DRAWING NO. 圖號	應變計編號(包含羅氏應變計)
			(STRAIN GAUGE NO. (INCLUDING ROSETTE))
①	NO.1 END SHELL 1號端端牆	CJ900-TP-02-01-003 1/1	001 thru 012
②	SIDE SHELL,ROOF 側牆,車頂	CJ900-TP-02-01-002 1/5	021 thru 083
③	SIDE SHELL,ROOF 側牆,車頂	CJ900-TP-02-01-002 2/5	101 thru 172
		CJ900-TP-02-01-002 3/5	
		CJ900-TP-02-01-002 5/5	
④	SIDE SHELL,ROOF 側牆,車頂	CJ900-TP-02-01-002 5/5	181 thru 187
⑤	SIDE SHELL,ROOF 側牆,車頂	CJ900-TP-02-01-002 4/5	201 thru 223
⑥	SIDE SHELL,ROOF 側牆,車頂	CJ900-TP-02-01-002 5/5	241 thru 247
⑦	UNDERFRAME 車底框架	CJ900-TP-02-01-001 2/4	301 thru 343
⑧	UNDERFRAME 車底框架	CJ900-TP-02-01-001 4/4	401 thru 432
⑨	UNDERFRAME 車底框架	CJ900-TP-02-01-001 1/4	451 thru 477
⑩	UNDERFRAME 車底框架	CJ900-TP-02-01-001 3/4	501 thru 535

圖 16：車體結構應變計位置配置圖

二、 位移計(Displacement Gauge)：

位移計係用以量測車體承受各式負載時之位移量。本測試共使用 58 個位移計(詳圖 17)，其型式為線性式位移計。位移計主要安裝於車底架左右兩邊之車底側樑、車底端樑、車窗、車門、車間走道等位置，用以量測車底架垂直方向之位移量，以及車窗、車門等開口處之變形量。

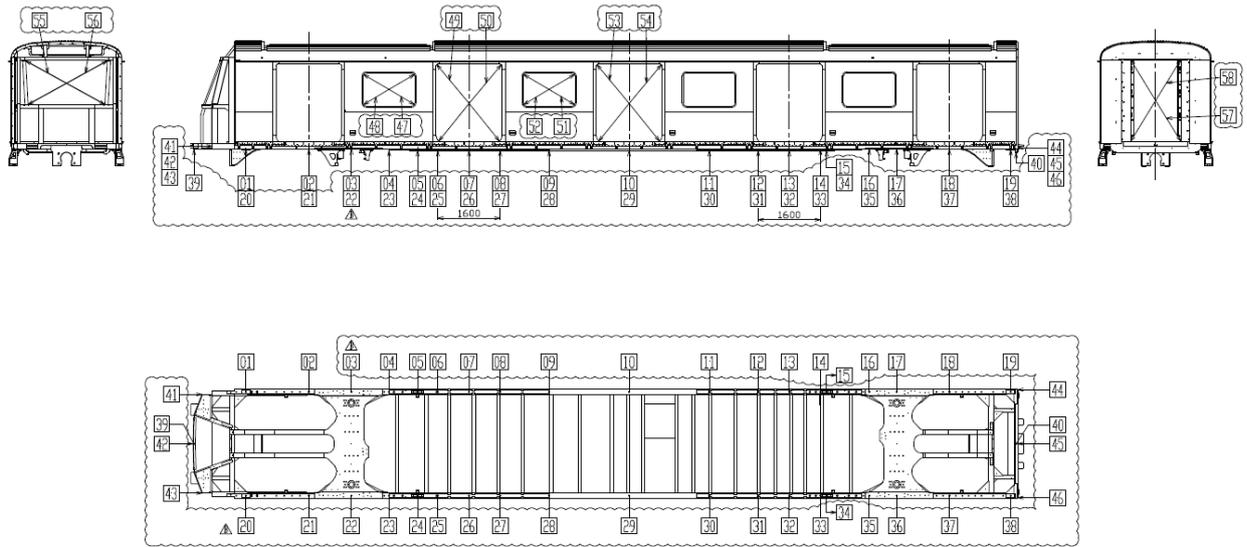


圖 17：車體結構位移計位置配置圖

三、荷重計(Load Cell)：

荷重計係用以量測設備重量或控制液壓千斤頂之施力。本測試共使用 53 個荷重計 (詳圖 18)，其型式為應變式荷重計。荷重計主要安裝於車體左右兩側地板、車輛前後兩端、車底各式電氣設備箱(如煞車電阻器/電池箱/推進換流器/輔助電力設備箱等)、轉向架、聯結器、車間走道等位置，以控制液壓千斤頂施加各式模擬設備或負載之重量。測試紀錄表單中將紀錄各項測試之荷重計讀數，以確認所施加負荷力之正確性。

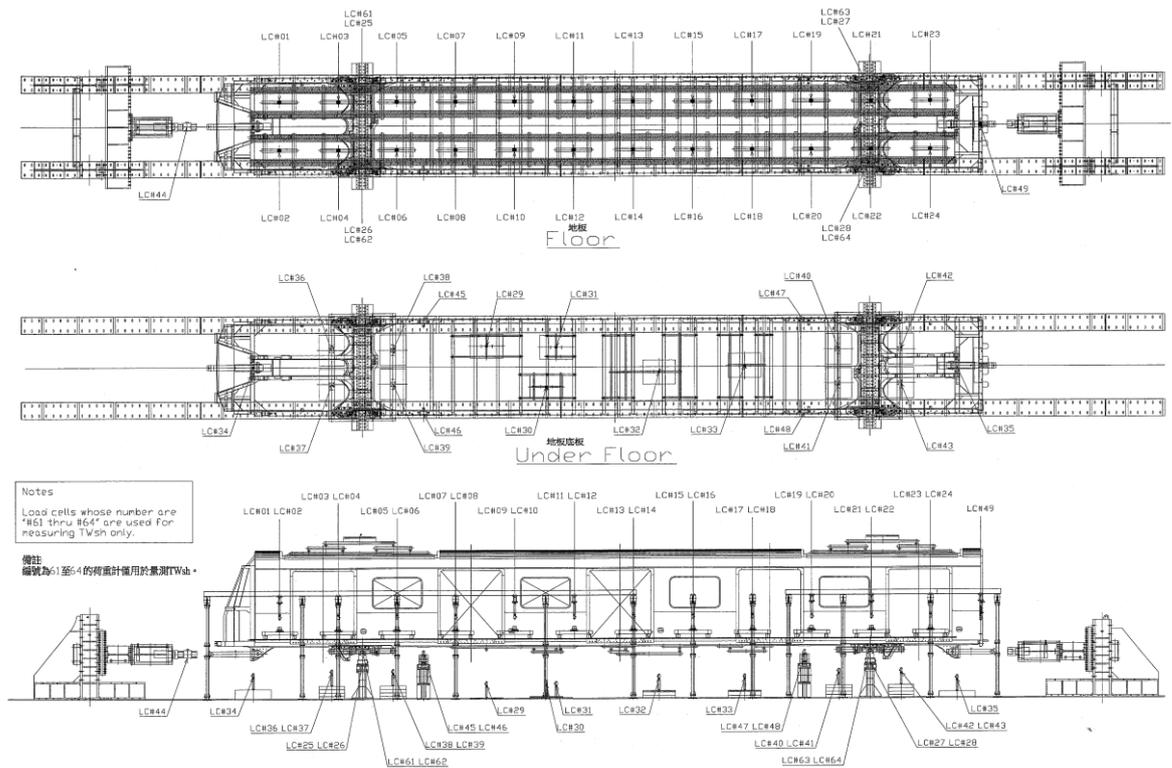


圖 18：車體結構荷重計位置配置圖

四、液壓系統(Hydraulic System)：

液壓系統係由液壓千斤頂、總管、液壓軟管及液壓幫浦等設備所組成。液壓幫浦經由總管和軟管與液壓千斤頂連接，以控制千斤頂之作動及施力。

五、數據收集系統(Data Acquisition System)

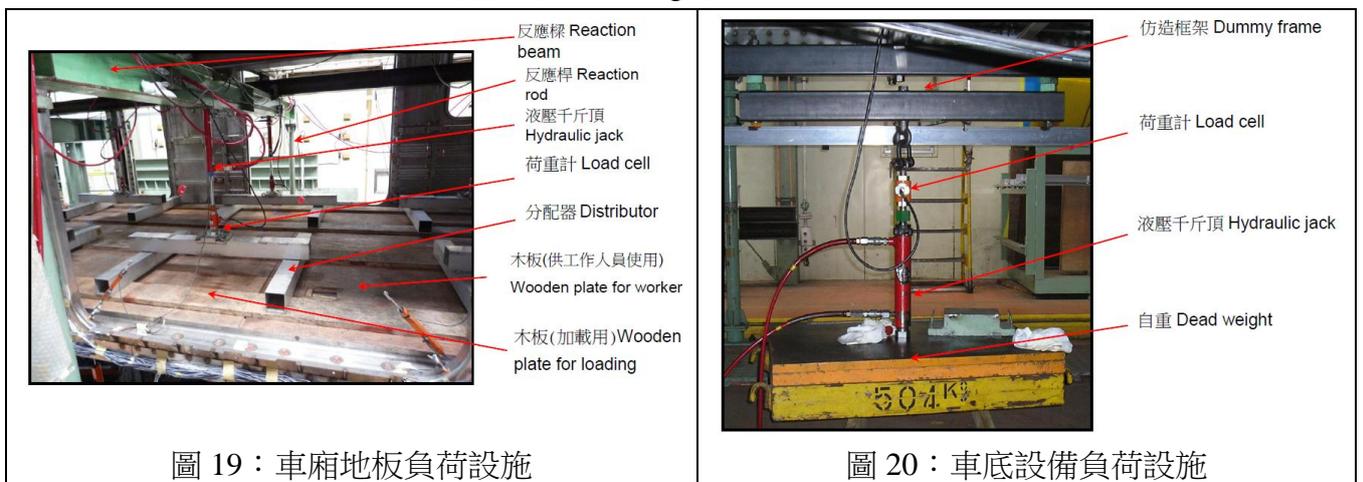
所有應變計、位移計及荷重計之數據，將經由 1 個 1000 頻道之數據收集系統進行記錄，該系統之組成設備包括「自動開關盒(Automatic Switch Box)」、「數位應變顯示器(Digital Strain Indicator)」及電腦。數位應變顯示器係作為測試之資料紀錄器(Data Logger)。所有量測計將以導線連線至數據收集系統以記錄相關數據，其測得之數據將被記錄在電腦內。本測試共使用 16 組自動開關盒及 1 組數位應變顯示器。

六、車體支撐設施(Carbody Support Facility)：

測試車體將由荷重計、鋼製滾輪及固定底座支撐於承樑上之 4 個空氣彈簧位置，以容許車輛因承受垂直或縱向負荷所造成之縱向運動，這些支撐夾具設備將被用來代替空氣彈簧，並連接到車體承樑。

七、車廂地板及車底測試設施(Floor and Underfloor Test Facility)：

1. 地板部份(詳圖 19)，於最底層鋪設「供工作人員使用之木板(厚約 20mm)」，再將「加載用之木板」放置在該木板上以利施加均佈負載，接著將「荷重分配器(Load Distributor)」放置在加載用之木板上，然後將「反應桿(Reaction Rod)」固定於「錨座樑(Anchor Beam)」，再將「反應樑(Reaction Beam)」穿過所有車窗與車門開口並裝在反應桿上，之後將液壓千斤頂和荷重計安裝於反應樑下方(每個反應樑下方安裝 2 個千斤頂)，最後將液壓總管與軟管與液壓幫浦與千斤頂連接。
2. 車底部份(詳圖 20)，先安裝「車底設備替代框架(Dummy Undercar Equipment Frame)」至車底支撐點，再將千斤頂及荷重計與該框架連接，最後於千斤頂底部吊掛車底設備模擬配重塊(Dead Weight)。



八、垂直負荷設施(Vertical Load Facility, 圖 21)：

1. 垂直負荷設施將由包括穿過所有車門與車窗開口之反應桿及反應樑組成。

- 將反應桿固定於測試工廠地板上之錨座樑以支撐反應樑和液壓千斤頂，液壓千斤頂將安裝於反應樑下方。
- 液壓千斤頂依靠反應樑之支撐，透過連接到地板上之荷重分配器和木板，施加垂直均佈負荷於地板上。
- 車底設備重量(包括煞車電阻器/電池箱/推進換流器/輔助電力設備箱/轉向架/聯結器等)將以吊掛配重塊模擬。吊掛於車底之模擬配重設施，包括車底設備替代框架、液壓千斤頂、荷重計和模擬配重塊。替代框架將安裝於車底支撐點，然後與液壓千斤頂、荷重計及模擬配重塊連接。
- 車頂設備(空調系統)重量亦將以配重塊模擬，其設施包括車頂設備替代框架和模擬配重塊。替代框架將安裝於車頂支撐點，然後將模擬配重塊以吊車吊放至替代框架上。
- 液壓千斤頂之壓力可透過電腦螢幕及壓力調壓器以手動方式進行調節，各千斤頂之施力值可通過安裝在其末端之荷重計進行檢查，所有荷重計讀數將由電腦螢幕進行監控。

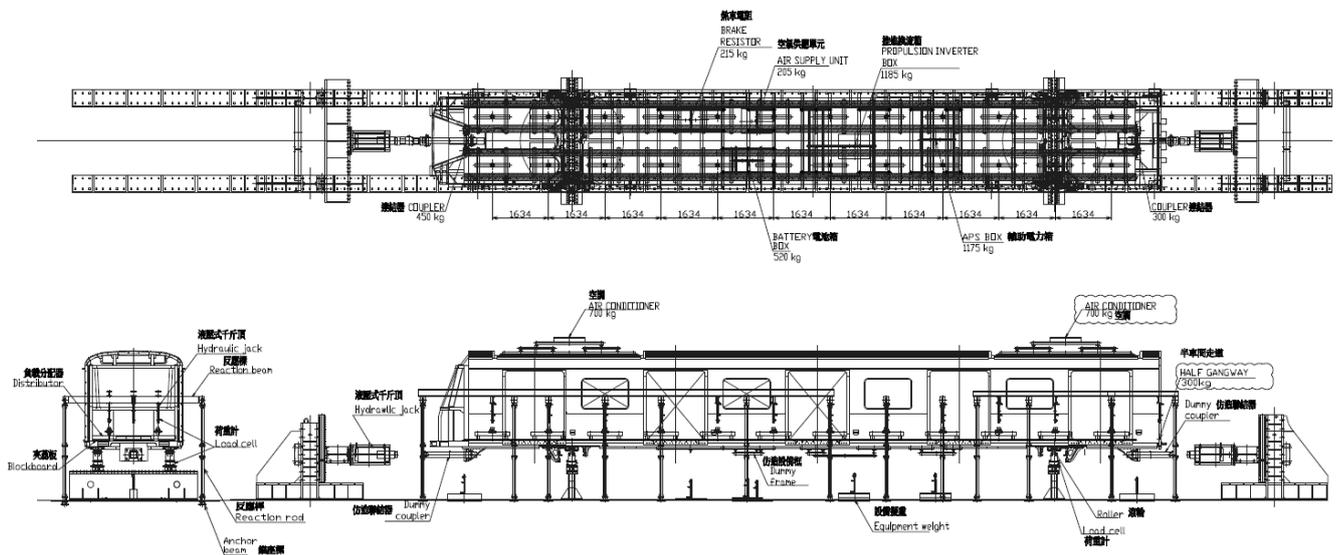


圖 21：車體垂直負荷測試之測試設施

九、 聯結器壓縮/拉伸負荷設施(Coupler Compressive/Tensile Load Facility，圖 22)：

- 聯結器壓縮/拉伸負荷設施係由反應柱(垂直立柱)、反應樑(水平橫樑)、1 個 500 噸液壓千斤頂、1 個 150 噸荷重計，以及液壓幫浦等設備所組成。反應柱將固定在測試工廠地板之錨座樑上，並支撐反應樑和液壓千斤頂。千斤頂前端以水平方式連接至反應樑，千斤頂後端則安裝荷重計並透過替代聯結器(Dummy Coupler)連接至車體上。液壓力大小可經由液壓幫浦上之調壓器手動調整。
- 本測試之車體結構兩端皆與測試設備連接固定，但液壓千斤頂僅由車體前端(No.1 端)施力，車體尾端(No.2 端)雖固定但承受反作用力。亦即聯結器之壓縮/拉伸力係施加於 No.1 端替代聯結器上，No.2 端替代聯結器則固定不動。
- 為利控制水平方向之施力，聯結器壓縮/拉伸負荷測試使用獨立之液壓系統，與前述之車體垂直負荷測試係各自使用不同之液壓系統。

記錄所有量測計讀數。

6. 以千斤頂施加 TW0(161.9kN)垂直負荷於地板上(Case 4)，記錄所有量測計讀數。
7. 以千斤頂施加 TW3(319.6kN)垂直負荷於地板上，記錄所有量測計讀數。
8. 以千斤頂施加 TW4(359kN)垂直負荷於地板上(Case 5)，記錄所有量測計讀數。
9. 以千斤頂施加 TW5(477.3kN)垂直負荷於地板上(Case 6)，記錄所有量測計讀數。
- 10.將所有負載釋放，記錄所有量測計讀數。

表 6：垂直負荷測試步驟

負荷增量 Loading Increment		步驟 1 Step 1	步驟 2 Step 2	步驟 3 Step 3	步驟 4 Step 4	步驟 5 Step 5	步驟 6 Step 6	步驟 7 Step 7	步驟 8 Step 8	步驟 9 Step 9	步驟 10 Step 10	Unit: N (kg)
負荷狀態 Loading Condition		讀數歸零 Zero Reading	AWsh	TWsh	釋放負荷，讀數歸零 Load Release and Zero Reading	設備 Equip.	TW0	TW3	TW4	TW5	釋放負荷 Load Release	
垂直負荷 Vertical Load	設備負荷 Equipment Load											
	聯結器(No.1 端) Coupler (No.1 End)	0	0	0	0	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	0	
	聯結器(No.2 端) Coupler (No.2 End)	0	0	0	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0	
	煞車電阻器 Brake Resistor	0	0	0	0	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	0	
	推進換流器箱 Propulsion Inverter Box	0	0	0	0	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	0	
	供氧單元 Air Supply Unit	0	0	0	0	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	0	
	電池箱 Battery Box	0	0	0	0	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	0	
	補助電力設備箱 Aps Box	0	0	0	0	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	0	
	半截車間走道 Half Gangway	0	0	0	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0	
	No.1 空調 No.1 air conditioner	0	0	0	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0	
	No.2 空調 No.2 air conditioner	0	0	0	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0	
	小計 Sub Total	0	0	0	0	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	0	
	地板均勻負荷 Uniform Load on Floor	0	80415 (8200)	111050 (11324)	0	0	105579 (10766)	263270 (26846)	302693 (30866)	420961 (42926)	0	
	總垂直負荷 Total Vertical Load	0	80415 (8200)	111050 (11324)	0	56388 (5750)	161967 (16516)	319658 (32596)	359081 (36616)	477349 (48676)	0	

二、 聯結器拉伸負荷測試(Case 2 及 Case 10，詳表 7)：

1. 將所有量測計(應變計、位移計和荷重計)歸零。
2. 施加設備負荷(如車底設備、車頂設備、聯結器及半個車間走道等負荷)，然後記錄所有量測計讀數。
3. 以千斤頂施加 TW5(477.3kN)垂直負荷於地板上，記錄所有量測計讀數。
4. 維持前步驟之垂直負荷，並將所有應變計和位移計歸零。
5. 以千斤頂施加 115kN(33%)拉伸負荷至替代聯結器，記錄所有量測計讀數。
6. 以千斤頂施加 230kN(66%)拉伸負荷至替代聯結器，記錄所有量測計讀數。
7. 以千斤頂施加 345kN(100%)拉伸負荷至替代聯結器，記錄所有量測計讀數。
8. 釋放拉伸負荷，記錄所有量測計讀數。
9. 將所有負載釋放。

表 7：聯結器拉伸負荷測試步驟

負荷增量 Loading Increment		步驟 1 Step 1	步驟 2 Step 2	步驟 3 Step 3	步驟 4 Step 4	步驟 5 Step 5	步驟 6 Step 6	步驟 7 Step 7	步驟 8 Step 8	步驟 9 Step 9	Unit: N (kg)
負荷狀態 Loading Condition		讀數歸零 Zero Reading	設備 Equip.	TW5	維持負荷， 讀數歸零 Load Remained and Zero Reading	TW5 + 拉伸 Tensile	TW5 + 拉伸 Tensile	TW5 + 拉伸 Tensile	TW5	釋放負荷 Load Release	
垂直負荷 Equipment Load	聯結器(No.1 端) Coupler (No.1 End)	0	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	0
	聯結器(No.2 端) Coupler (No.2 End)	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0
	煞車電阻器 Brake Resistor	0	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	0
	推進換流器箱 Propulsion Inverter Box	0	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	0
	供氣系統 Air Supply Unit	0	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	0
	電池箱 Battery Box	0	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	0
	補助電力設備箱 Aps Box	0	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	0
	半截車間走道 Half Gangway	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0
	No.1 空調 No.1 air conditioner	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0
	No.2 空調 No.2 air conditioner	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0
	小計 Sub Total	0	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	0
	地板均勻負荷 Uniform Load on Floor	0	0	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	0
	總垂直負荷 Total of Vertical Load	0	56388 (5750)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	0
	拉伸負荷 Tensile Load	0	0	0	0	115000 (11727)	230000 (23453)	345000 (35180)	0	0	0

三、 聯結器壓縮負荷測試(Case 1 及 Case 9，詳表 8)：

1. 將所有量測計(應變計、位移計和荷重計)歸零。
2. 施加設備負荷(如車底設備、車頂設備、聯結器及半個車間走道等負荷)，記錄所有量測計讀數。
3. 以千斤頂施加 TW5(477.3kN)垂直負荷於地板上，記錄所有量測計讀數。
4. 維持前步驟之垂直負荷，並將所有應變計和位移計歸零。
5. 以千斤頂施加 295kN(25%)壓縮負荷至替代聯結器，記錄所有量測計讀數。
6. 以千斤頂施加 590kN(50%)壓縮負荷至替代聯結器，記錄所有量測計讀數。
7. 以千斤頂施加 885kN(75%)壓縮負荷至替代聯結器，記錄所有量測計讀數。
8. 以千斤頂施加 1180kN(100%)壓縮負荷至替代聯結器，記錄所有量測計讀數。
9. 釋放壓縮負荷，記錄所有量測計讀數。
- 10.將所有負載釋放。

表 8：聯結器壓縮負荷測試步驟

負荷增量 Loading Increment		步驟 1 Step 1	步驟 2 Step 2	步驟 3 Step 3	步驟 4 Step 4	步驟 5 Step 5	步驟 6 Step 6	步驟 7 Step 7	步驟 8 Step 8	步驟 9 Step 9	步驟 10 Step 10	Unit: N (kg)
負荷狀態 Loading Condition		讀數歸零 Zero Reading	設備 Equip.	TW5	維持負荷， 讀數歸零 Load Remained and Zero Reading	TW5 + 壓縮 Comp.	TW5 + 壓縮 Comp.	TW5 + 壓縮 Comp.	TW5 + 壓縮 Comp.	TW5	釋放負荷 Load Release	
垂直負荷 Equipment Load	聯結器(No.1 端) Coupler (No.1 End)	0	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	0
	聯結器(No.2 端) Coupler (No.2 End)	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0
	煞車電阻器 Brake Resistor	0	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	0
	推進換流器箱 Propulsion Inverter Box	0	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	0
	供氣設備 Air Supply Unit	0	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	0
	電池箱 Battery Box	0	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	0
	補助電力設備箱 Aps Box	0	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	0
	半截車間走道 Half Gangway	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0
	No.1 空調 No.1 air conditioner	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0
	No.2 空調 No.2 air conditioner	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0
	小計 Sub Total	0	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	0
	地板均勻負荷 Uniform Load on Floor	0	0	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	420961 (42926)	0
	總垂直負荷 Total Vertical Load	0	56388 (5750)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	477349 (48676)	0
	壓縮負荷 Compressive Load	0	0	0	0	295000 (30082)	590000 (60163)	885000 (90245)	1180000 (120327)	0	0	0

四、三點維修頂升負荷測試(Case 7 及 Case 8，詳表 9)：

1. 於頂升塊處升起千斤頂直到承樑支撐點被頂起，然後取出支撐夾具並回復千斤頂至原來的位置。
2. 將所有量測計(應變計、位移計和荷重計)歸零。
3. 以千斤頂施加 AWsh(80.4kN)垂直負荷於地板上，記錄所有量測計讀數。各別千斤頂之壓力透過電腦顯示器監控並以手動調整，液壓幫浦之壓力調節器可調整千斤頂之壓力。
4. 以千斤頂施加 TWsh(111kN)垂直負荷於地板上，記錄所有量測計讀數。
5. 釋放所有負載，並將所有量測計歸零。
6. 施加設備負荷(如車底設備、車頂設備、聯結器及半個車間走道等負荷)，記錄所有量測計讀數。
7. 以千斤頂施加 TW0(161.9kN)垂直負荷於地板上，記錄所有量測計讀數。
8. 施加 No.1 端及 No.2 端轉向架負荷，記錄所有量測計讀數。
9. 維持前步驟之垂直負荷，並將所有應變計和位移計歸零。
10. 千斤頂之一降低 25 mm(Case 7 及 Case 8)，記錄所有量測計讀數。
11. 回復千斤頂至原來位置，記錄所有量測計讀數。
12. 將所有負載釋放。

表 9：三點維修頂升負荷測試步驟

		Unit: N (kg)													
負荷增量 Loading Increment		步驟 1 Step 1	步驟 2 Step 2	步驟 3 Step 3	步驟 4 Step 4	步驟 5 Step 5	步驟 6 Step 6	步驟 7 Step 7	步驟 8 Step 8	步驟 9 Step 9	步驟 10 Step 10	步驟 11 Step 11	步驟 12 Step 12		
負荷條件 Loading Condition		頂升 Jacking	讀數歸零 Zero Reading	AWsh	TWsh	釋放負荷，讀數歸零 Load Release and Zero Reading	設備 Equip.	TW0	TW0+ 轉向架 Bogie	維持負荷 ，讀數歸零 Load Remained and Zero Reading	TW0 + 轉向架 Bogie + 頂升(降低 25mm) Jacking(25mm lowered)	TW0 + 轉向架 Bogie + 頂升 (回原位) Jacking(Return)	釋放負荷 Load Release		
垂直負荷 Vertical Load	設備負荷 Equipment Load	聯結器 (No.1 端) Coupler (No.1 End)	0	0	0	0	0	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	4413 (450)	0	
		聯結器 (No.2 端) Coupler (No.2 End)	0	0	0	0	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0	
		煞車電阻器 Brake Resistor	0	0	0	0	0	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	2108 (215)	0
		推進換流器箱 Propulsion Inverter Box	0	0	0	0	0	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	11621 (1185)	0
		供氧系統 Air Supply Unit	0	0	0	0	0	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	2010 (205)	0
		電池箱 Battery Box	0	0	0	0	0	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	5099 (520)	0
		補助電力設備箱 Aps Box	0	0	0	0	0	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	11523 (1175)	0
		半截車間走道 Half Gangway	0	0	0	0	0	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	2942 (300)	0
		No.1 空調 No.1 air conditioner	0	0	0	0	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0
		No.2 空調 No.2 air conditioner	0	0	0	0	0	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	6865 (700)	0
		小計 Sub Total	0	0	0	0	0	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	56388 (5750)	0
		地板均與負荷 Uniform Load on Floor	0	0	80415 (8200)	111050 (11324)	0	0	105579 (10766)	105579 (10766)	105579 (10766)	105579 (10766)	105579 (10766)	105579 (10766)	0
		轉向架負荷 Bogie Load	0	0	0	0	0	0	0	161319 (16450)	161319 (16450)	161319 (16450)	161319 (16450)	161319 (16450)	0
		總垂直負荷 Total Vertical Load	0	0	80415 (8200)	111050 (11324)	0	56388 (5750)	161967 (16516)	323286 (32966)	323286 (32966)	323286 (32966)	323286 (32966)	323286 (32966)	0

玖、測試標準

依契約規定，車體結構設計強度應能承受 1.25 倍之 AW3 乘客載重而仍保持向上拱勢，以及承受 2 倍之 AW3 乘客載重而不產生永久變形。因此，測試標準主要分為應力及位移兩部份，說明如下：

一、應力(Stress)：

依材料機械特性，各項測試中應變計所測得之應力值，不得超過表 10 所示之標準。該標準已詳列於各測試之應力值測試紀錄表單中，可供判斷該測試是否合格。

表 10：車體結構材料應力值之測試標準

項次	材料	合格/失敗標準 (=材料之降伏強度)
1	SPA-H	355 MPa
2	SMA570PQ $t \leq 16\text{mm}$	460 MPa
	$16\text{mm} < t \leq 40\text{mm}$	450 MPa
3	SUS304	205 MPa
4	SUS301L-ST	414 MPa
5	SUS301L-MT	518 MPa
6	SUS301L-HT	686 MPa

二、垂直位移(Vertical Displacement)：

經計算分析結果顯示，車體於 AW0 空重時需有 13-18mm 之拱勢值，才能符合契約所述於 1.25 倍之 AW3 乘客載重時仍保持車體正拱勢(拱勢值大於零)之要求。而本次測試之 DM1 車車體樣品，其實際拱勢值經測定為 15.5mm，符合預估 13-18mm 範圍值之規定。因此，垂直負荷項測試(Case 5)之車體垂直向下位移量需小於車體拱勢值 15.5mm，方可維持車體拱勢值大於零之要求，且位移值測試紀錄表單中已列出測試標準，可供判斷該測試是否合格。

壹拾、測試過程及結果

一、104 年 11 月 24 日，召開測試前「啟始會議」：

1. 本日上午前往 KHI 兵庫工廠(詳附件一照片 1)，與負責本次測試之 KHI 設計部門工程師高垣先生、佐佐木先生、福田先生等人召開測試前之啟始會議(詳附件一照片 2)，討論測試程序相關事宜，並作成啟始會議會議紀錄(詳附件三)。
2. 廠商於啟始會議中特別說明，該公司於本次正式測試前已事先進行內部預測作業，並於預測後發現部份窗框(第 1,4 個窗框)開孔角落處之側強結構強度不足需補強，故已預先增設加強板補強，廠商表示將於測試報告中說明補強原因，並修訂車體結構相關設計圖說，後續生產之車體結構亦將比照此方式補強。
3. 本日下午前往兵庫工廠內之車輛測試場所，檢視本次測試之車體結構樣品及測試設備(詳附件一照片 3,4)。本次測試共使用 285 個單軸應變計(詳附件一照片 5)、12 個羅式(三軸)應變計(詳附件一照片 6)、58 個位移計(詳附件一照片 7,8)及 53 個荷重計(詳附件一照片 9,10)。現場設有液壓設備控制台、資料紀錄器、顯示器及電腦等設備，可控制千斤頂作動並紀錄測試數據(詳附件一照片 11)。
4. 依測試程序，車體模擬配重包含車頂前後兩端之空調設備重量每組 700kg，No.1 端替代聯結器重量 450kg，No.2 端替代聯結器重量 300kg，No.2 端半截車間走道重量 300kg，以及車底模擬煞車電阻器重量 215kg、空氣供應單元重量 205kg、

- 推進換流箱重量 1185kg、電池箱重量 520kg、輔助電力設備箱重量 1175kg 等。此相關重量值將於各測試時由荷重計測試紀錄表單中確認其施力值之正確性。
5. 有關車頂模擬配重部份，係以頂置式起重機吊掛配重塊放置於車頂上以模擬空調設備重量，經現場量測，以起重機吊起稱重後測得之空調模擬重量為 6.95kN(約 709kg, 詳附件一照片 12), 符合測試程序所訂空調重量 700kg 之要求。
 6. 有關車內模擬配重部份，係透過液壓千斤頂及荷重分配器(詳附件一照片 13)施加垂直均佈力於車廂地板上，以模擬乘客載重及不同之車重值；車間走道部份，於 No.2 端以千斤頂施加垂直力以模擬半截車間走道之重量(詳附件一照片 14)。
 7. 有關車底模擬配重部份，於車底安裝替代框架吊掛不同配重塊並以千斤頂施力頂起該配重塊，以模擬各式設備箱之重量(詳附件一照片 15,16)；車端部份，則於 No.1 及 No.2 端吊掛配重塊並以千斤頂頂起該配重塊，以模擬聯結器重量(詳附件一照片 17)。
 8. 經現場檢視，車體樣品及測試設備已安裝妥當，測試前置作業已準備就緒，且廠商經自主檢查確認車體樣品尺寸以及測試儀器設備(如應變計、位移計、荷重計等)之安裝位置與數量皆依測試程序規定辦理，並將提供測試儀器設備之校正資料。依工廠安全規則，人員於測試現場需配帶安全帽及安全鞋。現場安裝攝影機於測試過程中進行錄影(詳附件一照片 18)。
 9. 依測試程序規定，實際測試時，AWsh 之拱勢值以及 TWsh 之車重值將以實測值取代原預估值。AWsh 與 TWsh 兩者之差別在於 TWsh 係包含測試設備之重量(如車底支撐夾具，車廂地板鋪設之臨時木板、荷重分配器及車底替代框架等)，這些額外附加之測試設備將於測試結束後拆除。AWsh 之預估拱勢值為 13~18mm，實際拱勢值經測定為 15.5mm，故取代原預估值，另 TWsh 原預估值為 100kN(約 10.2 噸)，實際重量值經測定為 111kN(約 11.3 噸)，亦取代原預估值。

二、104 年 11 月 25 日，執行「垂直負荷測試(Case 3 至 Case 6)」：

1. 本日依照測試程序進行垂直負荷測試(詳第捌節第一項)。
2. 本日上午前往兵庫工廠內之車輛測試場所「荷重試驗場」(詳附件一照片 19)，進行垂直負荷測試(詳附件一照片 20,21)，該測試場所位於工廠北端一棟專用廠房，專門執行包含車體結構強度在內之軌道車輛相關測試作業，測試人員隸屬於試驗課部門，測試過程中約有 6~7 位工作人員協助。本測試時車體只承受垂直向下負荷，測試開始後，依測試步驟於車體上陸續施加模擬荷重，車頂上方利用起重機吊放空調模擬配重(詳附件一照片 22,23)，車內地板以千斤頂施加不同垂直荷重(詳附件一照片 24)，車底兩端以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬聯結器重量(詳附件一照片 25,26)，車底下方以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬車底設備重量(詳附件一照片 27)。測試過程中工作人員依測試程序步驟執行測試(詳附件一照片 28)，本局人員檢視測試之進行(詳附件一照片 29)。
3. 有關契約所要求之驗證車體結構強度需能承受 1.25 倍之 AW3 乘客載重而仍保有向上拱勢部份(Case 5)，依測試結果顯示，安裝於車底側樑(Side Sill)位移計 No.1~38 所測得之拱勢值皆大於零(詳附件四頁次 55)，其中車體中央部位因變形量最大，故其拱勢值最小，經查車底中央處之左右側樑仍有 3.25mm(編號 10 之

位移計)及 3.48mm(編號 29 之位移計)之拱勢值，符合測試標準及契約規定。

4. 有關契約所要求之驗證車體結構需能承受 2 倍之 AW3 乘客載重而車體任何結構件之最大應力不得超過其降伏強度部份(Case 6)，依測試結果顯示，車體結構未產生永久變形。
5. 本日下午討論測試結果(詳附件一照片 30)，經檢視測試數據資料，本測試所有應變計所測得之車體材料應力值皆小於其容許應力值(詳附件四頁次 50~54)，符合測試標準之規定。

三、104 年 11 月 26 日，執行「聯結器拉伸負荷測試(Case 2 及 Case 10)」：

1. 本日依照測試程序進行聯結器拉伸負荷測試(詳第捌節第二項)。
2. 因測試用之替代聯結器係使用剛性結構，因此施加於聯結器之負荷與作用在車體結構之負荷相同，故聯結器拉伸測試等同於車體拉伸測試。
3. 本日上午前往車輛測試場進行聯結器拉伸負荷測試(詳附件一照片 31)。本測試時車體需同時承受垂直向下負荷及水平拉伸負荷，測試開始後，依測試步驟於車體上陸續施加模擬荷重，水平負荷部份，車前端(No.1 端)以夾具及千斤頂連接至替代聯結器並施加拉伸力(詳附件一照片 32,33)，車尾端(No.2 端)亦以夾具連結至替代聯結器但固定不動；垂直負荷部份，車頂上方利用起重機吊放空調模擬配重，車內地板以千斤頂施加不同垂直荷重(詳附件一照片 34)，車底兩端以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬聯結器重量，車底下方以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬車底設備重量(詳附件一照片 35)。測試過程中工作人員依測試程序步驟執行測試(詳附件一照片 36)，本測試之拉伸力係分三階段(33%-67%-100%)施加於替代聯結器並達到最大值 347kN(詳附件一照片 37)，符合測試程序最大值 345kN 之要求，以漸進方式施力之目的在於確認施力位置能一直正確地保持在車體中心位置而不產生偏移，本局人員檢視測試之進行(詳附件一照片 38,39)。
4. 本日下午討論測試結果(詳附件一照片 40)，經檢視測試數據資料，本測試所有應變計所測得之車體材料應力值皆小於其容許應力值(詳附件四頁次 56~60)，符合測試標準之規定。

四、104 年 11 月 27 日，執行「聯結器壓縮負荷測試(Case 1 及 Case 9)」：

1. 本日依照測試程序進行聯結器壓縮負荷測試(詳第捌節第三項)。
2. 因測試用之替代聯結器係使用剛性結構，因此施加於聯結器之負荷與作用在車體結構之負荷相同，故聯結器壓縮測試等同於車體壓縮測試。
3. 本日上午前往車輛測試場進行聯結器壓縮負荷測試(詳附件一照片 41)。本測試時車體需同時承受垂直向下負荷及水平壓縮負荷，測試開始後，依測試步驟於車體上陸續施加模擬荷重，水平負荷部份，車前端(No.1 端)以夾具及千斤頂連接至替代聯結器並施加壓縮力(詳附件一照片 42,43)，車尾端(No.2 端)亦以夾具連結至替代聯結器但固定不動(詳附件一照片 44)；垂直負荷部份，車頂上方利用起重機吊放空調模擬配重(詳附件一照片 45)，車底兩端以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬聯結器重量(詳附件一照片 46,47)，車內地板以千斤頂施加不同垂

直荷重(詳附件一照片 48)，車底下方以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬車底設備重量(詳附件一照片 49,50)。測試過程中工作人員依測試程序步驟執行測試(詳附件一照片 51)，本測試之壓縮力分四階段(25%-50%-75%-100%)施加於替代聯結器並達到最大值 1181kN(詳附件一照片 52)，符合測試程序最大值 1180kN 之要求，以漸進方式施力之目的在於確認施力位置能一直正確地保持在車體中心位置而不產生偏移，本局人員檢視測試之進行(詳附件一照片 53,54)。

4. 測試完成後，本局檢測人員於測試車體上簽名(詳附件一照片 55)。
5. 本日下午討論測試結果(詳附件一照片 56)，經檢視測試數據資料，本測試所有應變計所測得之車體材料應力值皆小於其容許應力值(詳附件四頁次 61~65)，符合測試標準之規定。

五、104 年 11 月 30 日，執行「三點維修頂升負荷測試(Case 7 及 Case 8)」：

1. 本日依照測試程序進行三點維修頂升負荷測試(詳第捌節第四項)。
2. 本測試分為兩項，即車體經 4 點頂升後於前端(No.1 端)1 個頂升點降低 25mm(Case 7)之測試，以及車體經 4 點頂升後於後端(No.2 端)1 個頂升點降低 25mm(Case 8)之測試，以模擬頂升機故障或不同步時，車體承受 3 點支撐時之受力狀況。
3. 本日上午前往車輛測試場進行三點維修頂升負荷測試(詳附件一照片 57,58)。本測試之車體僅承受垂直向上頂升力，水平方向不受力，故車體前後兩端皆未與測試設備連接(詳附件一照片 59,60)，且測試時車體不由轉向架承樑點支撐(詳附件一照片 61)，而改由車底側樑下方之 4 個維修用頂升塊支撐(詳附件一照片 62)，並以千斤頂控制車體向上頂升(詳附件一照片 63,64)。
4. 測試開始後，依測試步驟於車體上陸續施加模擬荷重，車頂前後兩端上方利用起重機吊放空調模擬配重(詳附件一照片 65,66)，車內地板以千斤頂施加垂直荷重(詳附件一照片 67)，車後端(No.2 端)以千斤頂施加垂直荷重以模擬車間走道重量(詳附件一照片 68)，車底兩端以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬聯結器重量(詳附件一照片 69)，車底下方以千斤頂頂起吊掛之配重塊以模擬車底設備重量(詳附件一照片 70)及轉向架重量(詳附件一照片 71)。車體於 4 個頂升塊支撐點以千斤頂頂升後，分別將前端(No.1 端)及後端(No.2 端)之 1 個頂升塊支撐點降低 25mm(詳附件一照片 72,73)。測試過程中工作人員依測試程序步驟執行測試(詳附件一照片 74)，本局人員檢視測試之進行(詳附件一照片 75)。
5. 本日下午討論測試結果(詳附件一照片 76)，經檢視測試數據資料，本測試所有應變計所測得之車體材料應力值皆小於其容許應力值(詳附件四頁次 66~75)，符合測試標準之規定。

六、104 年 12 月 01 日，召開測試後「總結會議」並討論測試結果：

1. 因已完成所有測試項目，本日乃召開測試後「總結會議」(詳附件一照片 77,78)。
2. 依測試結果顯示，前述各項荷重測試中，應變計所測得之車體結構材料應力值均在符合測試程序書所要求之合格標準範圍內，亦即車體各材料之應力值皆低於其降伏強度值，故測試車體沒有產生任何變形，符合測試標準之規定。

3. 其中，有關契約規定之兩個測試項目(Case 5 及 Case 6)部份，依垂直負荷測試結果顯示，車體結構於承受 1.25 倍之 AW3 乘客載重(Case 5)後可保持正拱勢(即各位移計所測得之垂直位移量皆小於其內建拱勢值)，且於承受 2 倍之 AW3 乘客載重(Case 6)後未產生永久變形(即車體各材料之應力值皆小於其降伏強度值)，符合契約之規定。
4. 另於測試期間，經目視檢查後，測試車體結構未發現有任何永久變形、斷裂、裂痕或是分離等情況。
5. 經檢視測試結果相關數據資料無誤後，由本局人員及廠商共同簽署測試紀錄表單資料(詳附件四)，並作成總結會議會議紀錄(詳附件三)，確認本次車體結構強度測試結果為合格，順利完成測試任務。

壹拾壹、 心得及建議

- 一、 車體結構強度測試之目的在於驗證車體結構是否符合設計要求。由於車體為車輛最重要之平台，電聯車所有相關設備(如車門/車窗/空調/推進/煞車/電氣設備/聯結器/車間走道/內裝等)皆安裝於此平台上，其結構強度攸關車輛安全，因此，車體經由有限元素分析法完成設計後，尚需藉由實測驗證方能確認其設計之正確性及安全性，故對任何標案而言，車體結構強度測試皆屬必要且不可或缺之測試項目，而經由本次測試結果，證明本標車體強度可符合測試程序及契約規範要求，確認了車體結構設計之安全性。
- 二、 臺中捷運電聯車雖屬中運量系統，但其車體結構之壓縮強度(抗撞能力)係比照高運量系統設計，採用與臺北捷運高運量電聯車及交通部高鐵局桃園國際機場捷運線電聯車相同之設計標準(1180kN)，較諸歐規 EN 12663-1 標準(800kN)或日規 JIS E7106 標準(490kN)等國際標準皆更嚴格，同時，本次車體結構測試之測試項目亦較契約規定之項目內容更多，係由車體結構有限元素分析中 10 個案例共計 4 種類型進行測試驗證(包含垂直載重、向上頂升、水平壓縮、水平拉伸等負荷測試)，可模擬及驗證車輛於各種不同負載狀況下之性能及強度，有助確保車輛營運安全。
- 三、 另為慎重起見，廠商於本次正式測試前業已事先進行內部預測作業，且於預測後發現車體側牆部份窗框開孔處強度不足而先加以補強，經正式測試後已順利通過相關測試。因此，廠商如能於正式測試前事先進行預測作業，將較能掌握測試結果並避免測試失敗之風險，對於測試之順利執行及完成具有正面之助益。
- 四、 本次測試結束後，本局將請廠儘速提出測試報告，分析其測試結果與有限元素分析結果之差異，且針對預測時於部份窗框開孔處補強之原因提出說明並更新其車體結構設計圖說，以確保電聯車車體結構之設計品質。