

軍用裝備通行公路橋樑可行性評估之研究- 以 M60A3 戰車通行里嶺大橋為例

作者／陳俊宏少校

提要

- 一、在現代化戰爭型態改變下，軍事裝備重量亦是不斷增加中；然平、戰時部隊機動時，運輸及機動之安全性甚為重要；而公路橋樑承載能力係直接關鍵於軍車通行安全性，其重要性與必要性不言可喻。
- 二、公路橋樑設計規範係依據美國（AASHTO）而設計公路橋樑載重等級分類；而國內軍用重型裝備多採用軍用載重等級（MLC）實施分類。然現行公路橋樑設計規範均未納入軍用載重等級；而橋樑管理資料庫亦未納入軍用載重等級；致使部隊通行無所依據，肇生選擇機動路線困擾。
- 三、當重型軍用裝備預通行該公路橋樑時，則必須有完整對於橋樑承載能力之分析與評估，使可知通行該公路橋樑之可行性。本次藉由「SAP2000 數值分析軟體」以 M60A3 戰車通過里嶺大橋之實例分析評估；探討重型軍用裝備如何評估安全有效通過公路橋樑；以利於部隊機動路線的選擇。

關鍵詞：公路橋樑設計規範、軍用載重等級、SAP2000 數值分析軟體

前言

隨著社會日益進步與發展，國內公路橋樑除平日基本運輸外，然超大型或超重型裝備（如電廠組件、高鐵組件）之運輸也亦日趨頻繁；而在現代化戰爭型態改變下，軍事裝備重量亦是不斷增加中；然平、戰時部隊機動時，運輸及機動之安全性甚為重要，而運輸路線選擇的可行性，除了考量道路等級、坡度、曲率、交通流量、限高與限寬等多重影響外，而通過橋樑時，橋樑載重能力亦是影響裝備載具的通行可行性¹。

鑒於軍方演訓或部隊移防時，經常會遭遇軍用車輛（特別是戰車及重型車輛）是否能安全通過公路橋樑問題，其主要原因為國內橋樑管理單位缺少橋樑軍用載重等級等相關資料；致使部隊通行無相關依據；肇生機動路線選擇困難度及危險性。

¹黃建霖，《序列重型軍事載具通過橋樑之衝擊係數探討》（桃園：國防大學理工學院環境資訊及工程學系），2010年，頁1。

然相較於國外，如歐美先進國家早已針對其境內各橋樑定出載重標準與規範，如北大西洋公約組織所訂定之軍用載重等級（MLC）。其價值，在經濟用途上，重物運輸可以快速判定何種等級橋樑足以承載超載重並進一步確定運輸路線；其次在軍事用途上，戰備時期，軍用坦克重車欲通過橋樑時可以即時判定該橋樑軍用載重等級，確定通行橋樑之安全性，加強戰備能力²。由上述可知，橋樑承載能力評估係直接關鍵於軍車通行載重等級，其重要性與必要性不言可喻。

公路橋樑載重等級與承載能力

一、公路橋樑設計規範³

現行國內公路橋樑設計係依據交通部九十年頒布公路橋樑設計及美國州公路及運輸官員協會所訂定公路橋樑設計規範（AASHTO，2002 版）為藍本實施修訂；其設計規範主要適用於跨徑 150 公尺以下之一般性鋼筋混凝土結構、預力混凝土結構及鋼結構等新建公路橋樑。特殊性橋樑如吊橋、斜張橋、桁架橋、活動橋或臨時便橋等及跨徑超過 150 公尺者，除本規範可適用者外，應就其特殊性另作考量。

二、公路橋樑載重等級分類

公路橋樑載重等級分類係採用通過橋樑之活載重實施設計；而活載重包括所有在橋上行駛之車輛及行人重量⁴。目前國內採用設計活載重沿用美國 AASHTO 設計規範「標準貨車」設計（如表一）；載重種類有二即為 H（M）載重及 HS（MS）載重；HS（MS）載重較相當級之 H（M）載重為大⁵。

（一）H（M）載重：此種載重為兩軸之貨車或其相當之車道載重。H（M）載重以 H（M）表示之，M 後之數字即為標準貨車之總重⁶（如圖一）。

（二）HS（MS）載重：為一曳引車後附掛一輛拖車或相當之車道載重。HS（MS）載重以 HS（MS）表示之，MS 後之數字為曳引車總重之噸數⁷（如圖二）。

（三）載重等級分類：區分為 H15、H20、HS15、HS20 等四種；國內公路橋樑載重等級主要以 H15、H20、HS15、HS20 實施設計；又基於近年台灣地震頻繁、人口稠密且運輸量等安全因素考量，均以設計強化 20%~30% 承載力；故目前國

²林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》（桃園：中央大學碩士論文），2002 年，頁 1-2。

³交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年，頁 1。

⁴交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年，頁 18。

⁵同註 4

⁶交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年，頁 19。

⁷同註 6

內公路橋樑載重等級 H15、HS15 實屬不多；現主要將橋樑區分「H20」、「HS20」、「H20+20%」、「HS20+20%」、「H20+30%」及「HS20+30%」等 6 類。明定通行限制條件，進而保護橋樑不受破壞。

表一 AASHTO「標準貨車」種類

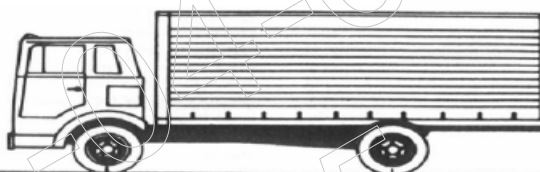
	AASHTO 貨車載重種類		
	設計用車	總重	
H 貨車	H15	300001b	13608kg
	H20	400001b	18144kg
HS 半拖車	HS15	540001b	24494kg
	HS20	720001b	32659kg

資料來源：作者自行歸納整理

圖一 H (M) 載重貨車

H20-44(M18)

H15-44(M13.5)



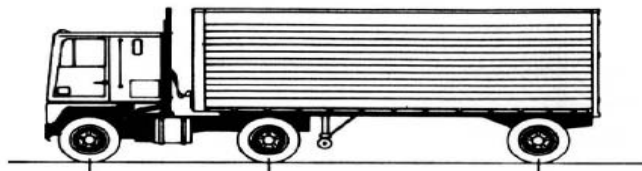
H20-44(M18)	3,650kgf (36kN)	14,600kgf (144kN)*
H15-44(M13.5)	2,750kgf (27kN)	11,000kgf (108kN)

資料來源：交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年，頁 20。

圖二 HS (MS) 載重貨車

HS20-44(MS18)

HS15-44(MS13.5)



HS20-44(MS18)	3,650kgf (36kN)	14,600kgf (144kN)*	14,600kgf (144kN)*
HS15-44(MS13.5)	2,750kgf (27kN)	11,000kgf (108kN)	11,000kgf (108kN)

資料來源：交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年，頁 21。

三、公路橋樑承載能力評估

影響橋樑承載力的因素很多，主要有原來的設計荷載等級、施工方法與品質、橋樑結構完好狀況與結構材料性能之好壞等方面。由於影響橋樑承載力的還有其他許多直接的或間接的因素。因此，要進行定量的分析，用精確的方法計算橋樑的承載力則更加困難⁸。目前國內公路部門尚無統一的方法，對於橋樑承載能力有統一檢測標準與評定；對於老舊橋樑之承載能力有顧慮均多已委託民間學術單位進行評估，主要方法計有 AASHTO 承載能力評估法及 Moving Load 分析法（透過 SAP2000 數值分析）進行橋樑承載能力評估。國外許多技術先進的國家也正在進行廣泛的研究。

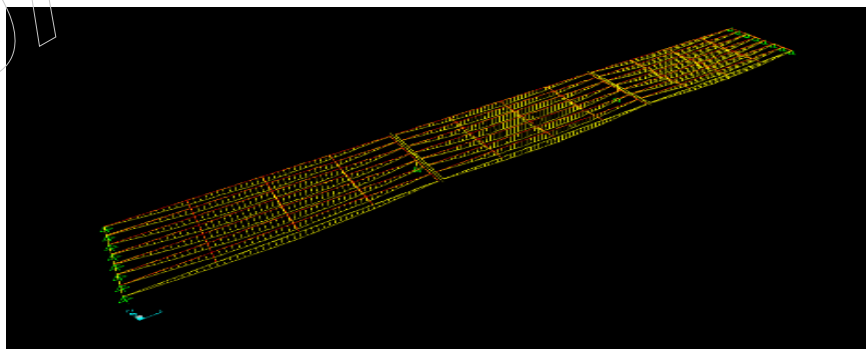
（一）AASHTO 承載能力評估法⁹：採用強度折減和載重加成的觀念，來評估橋樑在極限狀態下的承載力。以載重評估係數 R.F. 當作橋樑載重能力的指標。

$$R.F. \text{ 定義為：} R.F. = \phi R_n - r_D D / r_L L (1+I)$$

（ R_n 橋樑實際標稱強度、 ϕ 強度折減係數、 L 活載重、 I 衝擊係數、 D 靜載重、 r_D 靜載重係數、 r_L 活載重係數）當 $R.F. \geq 1.0$ 表示橋樑能夠承受評估等級中所用之活載重；當 $R.F. < 1.0$ 表示該橋樑之承載能力不足，可將耐荷評估係數 R.F. 乘上評估所用之活載重，求得橋樑所能承受之容許活載重，並且針對造成橋樑承載能力不足的因素，考慮對橋樑採取限重、限速或封閉橋樑等措施，或是進行維修補強，以提高橋樑之承載能力。

（二）Moving Load 分析法¹⁰：透過 SAP2000 數值分析軟體進行移動式載荷分析(Moving Load)來求得橋樑各構件之最大反應，包含彎矩、軸力、剪力與變形。移動式載荷分析就是當橋樑結構受到一組重力方向之外力作用下，每一構件所反映之影響線移；利用影響線分析方法來求取橋樑各構件最大反應的方法（如圖三）。

圖三 SAP2000 數值分析軟體-新濱海橋建模



⁸林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 4-5。

⁹林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 5-6。

¹⁰林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 12-18。

四、小結

綜合上述，國內公路橋樑設計大部分都是以標準載重車 HS20、H20 等模型實施設計公路及橋樑，而目前特殊重車種類運輸相當繁多，如發電廠內的發電機組（300 噸）運輸、國軍飛彈坦克或其他重型裝備機具運送等，其共同特性均為超重之車輛；也因此，針對這一類型超重車輛通過公路橋樑承載能力及結構安全影響與評估；均必須透過相關計算與分析建立合理評估作業流程，方能獲得橋樑承載能力是否可承受特殊重車種類運輸。

軍用載重等級說明與評估

一、軍用載重等級定義¹¹（MLC）

MLC 為一種標準系統，用一個數字來訂出路線、橋樑、浮橋之承載能力等級；車輛亦用數字訂出重量等級，當低於路線、橋樑、浮橋之承載能力等級時，可允許通過。

二、軍用載重等級分類標準

軍用載重等級分類標準係以北大西洋公約組織採用十六種標準輪、履帶型車輛模型（MLC 4~150）¹²實施載重設計標準；然這十六種假設車輛典型實際為國家中常使用的軍用輪、履帶型車輛（如表一）。因此若非為這 16 種同類型之輪、履帶軍用裝備，則無法藉由軍用載重等級分類表得知軍用裝備載重等級；國內目前軍用裝備僅少數可藉由軍用載重等級分類表得知裝備軍用載重等級。

¹¹ 美國國防部準則會電子資料庫軍語辭典，<http://www.dtic.mil/doctrine/jel/doddict/data/m/03283.html>。

¹² FM3-34.343 (FM5-446) Military Nonstandard Fixed Bridging, 2002, Washington。

表二 軍用載重等級分類標準模型

1	2	3	4
Class	Tracked Vehicles	Wheeled Vehicles	
		Axle Loads and Spacing	Maximum Single-Axle Load (in Short Tons)
4			
8			
12			
16			
20			
24			
30			
40			

資料來源：FM3-34.343 (FM5-446) Military Nonstandard Fixed Bridging, 2002, Washington。

三、軍用裝備載重等級評估

國內軍用制式橋樑如 M2 框桁橋及 M48 履帶機動橋向美國籌獲、M3 兩棲機動浮門橋向德國籌獲、MGB 中框橋向英國籌獲，其中美、德、英皆為北大西洋公約組織（NATO）會員國，故其裝備重量均採用軍用載重等級實施表示；然目前國內軍用裝備重量卻多數採用公噸或美噸表示，若裝備獲得非為北大西洋公約組織國家；則無法藉由軍用載重等級分類表透過查表得知裝備軍用載重等級。因此軍用裝備載重等級評估，可透過下列幾種方式實施評估裝備載重等級，如下所列

（一）MLC 載重程式分析法¹³

將軍用裝備相關性能諸元（重量、軸距、軸載、長、寬），輸入於 MLC 載重程式分析，可精確得知軍用裝備 MLC 值，MLC 載重程式分析案例，如表三。

¹³RDECOM, STANAG 2021 ENGR (EDITION 6) Annex E page1-7, 2009

表三 MLC 載重程式分析案例

Tracked vehicle : German LEOPARD 2 A5	Data Mass : 59.83 t Track length : 4.93 m Width : 3.42 m Calculation Uncorrected MLC = 65.654 Determined by unit bending moment For the span of 55 m Corrected MLC = 65.971 Rounded to 66 <u>MLC = 66</u>
	

資料來源：RDECOM，STANAG 2021 ENGR (EDITION 6) Annex E page1-7，2009。

(二) 安全係數法

透過 STANAG2021 載具載重等級分析軟體¹⁴(如圖四)，此分析軟體為對照 287 以上之軍用裝備實施 MLC 載重等級分析，而藉由不同軍用裝備類型(輪型、履帶型)以不同重量(公噸、美噸)乘以不同之安全係數；使獲得初估 MLC 載重等級(計算表詳如表四、計算案例如表五)。

圖四 STANAG2021 載具載重等級分析軟體



資料來源：www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA502888

¹⁴Brian K. Hornbeck，Deputy AD, Force Projection Technology，23 JUN 2009

表四 STANAG2021 安全係數計算表

Expedient and temporary classification on campaign of military or civilian vehicles according to STANAG 2021	
Mass of vehicle or combination In metric tons (look at manufacturer's plate or technical manual)	Wheeled vehicle temporary MLC = MASS X 1.25
	Tracked vehicle temporary MLC = MASS X 1.20
Mass of vehicle or combination In short tons (look at manufacturer's plate or technical manual)	Wheeled vehicle temporary MLC = MASS X 1.15
	Tracked vehicle temporary MLC = MASS X 1.10
Note : refer to STANAG 2021 for calculation of the permanent MLC of the vehicle	

資料來源：RDECOM，STANAG 2021 ENGR (EDITION 6) Annex G page1-3，2009

表五 STANAG2021 安全係數計算案例

NATO UNCLASSIFIED	
Example: wheeled vehicle in metric tons	
Vehicle	<u>Combined VLT whit trailer</u>
Weight:	Truck VTL laden = 27 tonnes Trailer VTL laden = 18 tonnes Total weight = 45 tonnes
Temporary MLC	MLC p = 45 * 1.25 =56.2
So	<u>MLCp VTLR =56</u>

資料來源：RDECOM，STANAG 2021 ENGR (EDITION 6) Annex G page1-3，2009

三、小結

綜合上述得知，目前國內公路橋樑設計以交通部頒布「公路橋樑設計規範」為依據，唯在設計上未結合軍用車輛載重等級、在結構上未納入軍用輪履車實重計算、在交通管制上未周延軍車通行標準、在公路橋樑管理上未納管戰時軍用車輛通行等級及公路橋樑通行管制上未核算軍車容許通過重量等級，因而增加部隊車輛是否能安全通過公路橋樑之不確定性。

實例分析探討-以 M60A3 戰車通行里嶺大橋評估

國內公路橋樑設計於民國八十年後多採用 H20、HS20 以上等級實施設計(如表六)，因此當重型軍用裝備預通行該橋樑時，則必須有完整對於橋樑承載能力之分析，使可知通行該橋樑之可行性。

本次以 M60A3 戰車通過里嶺大橋之實例評估方式，採用「SAP2000 數值分析軟體」分析(明正營造有限公司提供)，評估 M60A3 戰車通過里嶺大橋之可行性；所獲得數據較為精準，可信度較高。另有鑑於「SAP2000 數值分析軟體」多用於工程顧問公司使用，各部隊均無此分析軟體；為有利於部隊獲取橋樑通行臨時參據；另採用力學單一評估分項之「靜載重分析法」評估 M60A3 戰車通過里嶺大橋之可行性；此方式為粗估橋樑承載能力；僅可作為低速臨時通行之參考數據；所以必須在限定條件下(如沿橋面中進行、低速或均速通行橋樑、橋樑結構良好等)，始可用此粗估方式；以致獲得軍用裝備通行公路橋樑可行性。以 M60A3 戰車通行里嶺大橋評估分述如下：

表六 公路橋樑載重等級設計表

橋樑等級	H20	HS20	H20+25%	HS20+25%	H20+30%	HS20+30%
集中載重	8.2 噸	8.2 噸	10.25 噸	10.25 噸	10.66 噸	10.66 噸
均佈載重	9.4KN/M	9.4KN/M	11.75 KN/M	11.75 KN/M	12.22 KN/M	12.22 KN/M
車道載重	省市重要道路即有重行貨車行駛並經橋樑主管機關認定之橋樑，其載重不得小於 HS20 之 1.25 倍(41 噸)。					

資料來源：交通部，2009，公路橋樑設計規範，P20~22。

一、里嶺大橋結構設計說明

(一) 履帶型裝備通行評估案例

里嶺大橋¹⁵為跨越高屏溪連絡高雄市及屏東北地區主要橋樑，地理位置西臨高雄市大樹區及旗山區嶺口。一代橋於民國 78 年 10 月初次興建竣工，全橋總長 2520 公尺；然因交通流量日以劇增，原橋無法負荷行車服務，故於原橋上游側拓建一新橋(二代橋)，該二代橋於民國 83 年 11 月擴建竣工。不論一、二

¹⁵王慶雄、戴宗鴻、許阿明，〈台 22 線里嶺大橋改建工程之設計與施工〉，《臺灣公路工程》，第 34 卷 第 7 期，97 年 7 月，頁 2-5。

代橋，距離橋梁壽命五十年還相差甚遠，然高屏溪從高美橋、里港橋、里嶺橋到高屏橋之間河床，因河川砂石濫採嚴重及近十年來異常天災（颱風、豪大雨等），造成水流改道及河床下降、刷深等情事，致使橋基嚴重裸露。民國 89 年 10 月 2 日「研商公路局、鐵路局、高公局橋梁檢測結果之後續處理方式會議」結論辦理轄管 34 座受損橋梁重建及改善，另於 96 年 7 月 20 日完成改建作業，開放全線通車（圖六 里嶺大橋位置圖、圖七 里嶺大橋現況圖）。

圖六 里嶺大橋位置圖



資料來源：王慶雄、戴宗鴻、許阿明，〈台 22 線里嶺大橋改建工程之設計與施工〉，《臺灣公路工程》，第 34 卷 第 7 期 民國 97 年 7 月，頁 3。

圖七 里嶺大橋現況圖



資料來源：王慶雄、戴宗鴻、許阿明，〈台 22 線里嶺大橋改建工程之設計與施工〉，《臺灣公路工程》，第 34 卷 第 7 期 民國 97 年 7 月，頁 4。

(一) 橋樑型式及結構¹⁶：鋼箱型梁及預力混凝土梁橋

1. 橋樑主體下部結構工程：採用沉箱基礎設計；沉箱、墩柱、帽梁共計 44 座。

(1) 沉箱基礎：圓型直徑 8m、壁體厚 1m、深度 20m，共計 44 座。

(2) 墩柱結構：長圓型 3m*4m，高度 13.64m 及 14.34m 二種型式，共計 44 座。

(3) 帽梁結構：梯型上長 11m、下長 5.6m、高 2m、寬 3m 之型式，共計 44 座。

2. 橋樑主體上部結構工程¹⁷：含橋面板懸臂端模板製作及裝拆、護欄、中央隔欄、燈柱基座鋼模製作及裝拆、預力梁鋼模及底模製作及裝拆、鋼料運輸、鋼箱梁鋼料製作加工及吊裝、預力梁製作及吊裝、橋樑欄（標準型欄杆 2.2m、魚型欄杆 2.2m）等。

(1) 預力梁 2@17.5m 共 35m 共 20 支。

(2) 鋼構箱型連續梁 40-60-40m 3 跨上、下游各 7 單位共 14 單元計 980m。

(3) RC 橋面板厚度 22cm。

(4) 路面使用再生瀝青混凝土鋪設 5cm，共計使用 3,206T。

(5) 全橋改建景觀式護欄及欄杆設施

(二) 設計載重¹⁸

1. 設計車輛載重：HS20+30%；且三車道以上均不折減。

2. 設計地震力依據交通部 84.1.9 公佈之「公路橋梁耐震設計規範」及交通部 89.4.7 交技 89 字第 3577 號函修正「公路橋梁耐震設計規範」相關規定及解說。

3. 設計溫度變化範圍：0~50℃（鋼結構），5-45℃（混凝土結構）

4. 設計基本風速：45m/sec

5. 設計速率：60 公里/小時

(三) 設計理念¹⁹：

工程橋梁以鋼箱梁橋為主，前後以預力梁橋順接，跨徑分別為 17.5m+(40m+60m+40m)*7 跨+17.5m=1,015m，設計使用年限為 70 年以上。

¹⁶王慶雄、戴宗鴻、許阿明，〈台 22 線里嶺大橋改建工程之設計與施工〉，《臺灣公路工程》，第 34 卷 第 7 期，97 年 7 月，頁 7-8。

¹⁷王慶雄、戴宗鴻、許阿明，〈台 22 線里嶺大橋改建工程之設計與施工〉，《臺灣公路工程》，第 34 卷 第 7 期，97 年 7 月，頁 8-9。

¹⁸同註 16

¹⁹同註 16

1. 鋼橋防蝕採用環氧樹脂系統油漆
2. 鋼橋支承採用鑄鋼支承，須符合日本道路協會「道路橋支承便覽」相關規定，使用年限可達 50 年。
3. 伸縮縫採用齒型伸縮縫
4. RC 橋面板底模採鋼浪板，唯鋼浪板僅作模板使用不提供結構應力。
5. 橋墩防撞鋼板僅作為防撞及施工時墩柱外模之用。

二、SAP2000 數值分析軟體通行評估

SAP2000 移動式載荷分析步驟²⁰如下：

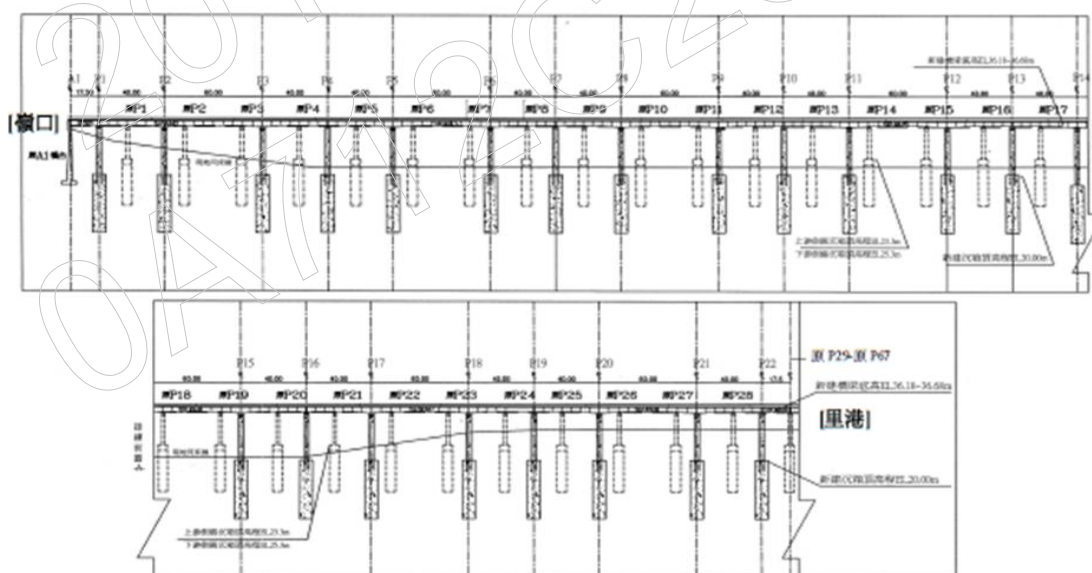
(一) 建立數值模型：（里嶺大橋）

所有可能參予力學行為構件皆要完整模擬，包括橋面板、大樑、伸縮縫、隔樑、支承墊、帽樑、橋柱與隔減震元件等，使用橋梁各構件之原始資料建立分析模型，（若無原始資料之橋梁，參照橋梁工程標準圖或依該興建年度之相關規範進行概估），其原始資料含：

1. 整體結構幾何配置
2. 各構件之斷面尺寸與配筋圖
3. 各斷面所使用的混凝土、鋼筋、箍筋、加固補強構材強度等材料性質。

本次所建立數值模型為里嶺大橋（由富台顧問公司；邱浩然博士所提供建立），橋樑立面圖如圖八（示意圖）所示，相關橋樑結構設計如上所述

圖八 里嶺大橋立面圖



資料來源：王慶雄、戴宗鴻、許阿明，〈台 22 線里嶺大橋改建工程之設計與施工〉，《臺灣公路工程》，第 34 卷 第 7 期 民國 97 年 7 月，頁 7。

²⁰同註 10

(二) 定義車道：(里嶺大橋；三車道以上且不折減) 車道為載荷移動之軌跡，亦即重車行經加載之主樑，若非直接加載於主樑中心則以偏心距定義之。

(三) 定義車輛：(M60A3 戰車；如圖九) 本次車輛為採用 M60A3 戰車；車輛參數²¹如下所列

1. 車輛重量：56.6 噸
2. 尺寸：全長：9.4 公尺 (含砲管)
全寬：3.63 公尺
高度：3.28 公尺
3. 履帶數量：左、右各 80 塊履帶所組成
4. 履帶觸地數量：約 50 塊
5. 履帶接地壓力：0.83 公斤/平方公分
6. 地輪組數：6 組 (12 個)

圖九 M60A3 戰車



資料來源：作者自行蒐整

(四) 定義橫向分配組合：依據橫向分擔係數描述加載反應於主樑橫向之可能分配比例。

(五) 橋樑承载力評估：(以 M60A3 戰車通行里嶺大橋為例)

依 SAP2000 移動式載荷分析步驟，輸入各模擬項參數後，經由程式計算後，對於每一構件可獲得原始設計強度為 D ，標稱強度為 N 與構件需求力為 R (以 SAP2000 模擬分析所得)，比較三者之間關聯性²²；可得知下列狀況，如下所列：

1. 當構件需求力 R 小於構件原始設計強度 D 時，則表示橋梁具備足夠之承

²¹國防部陸軍司令部，M60A3 戰車操作手冊，98 年 9 月，頁 5-6

²²林育賢，《現有橋樑重車通行承载力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 17。

載能力，可安全行駛通過。

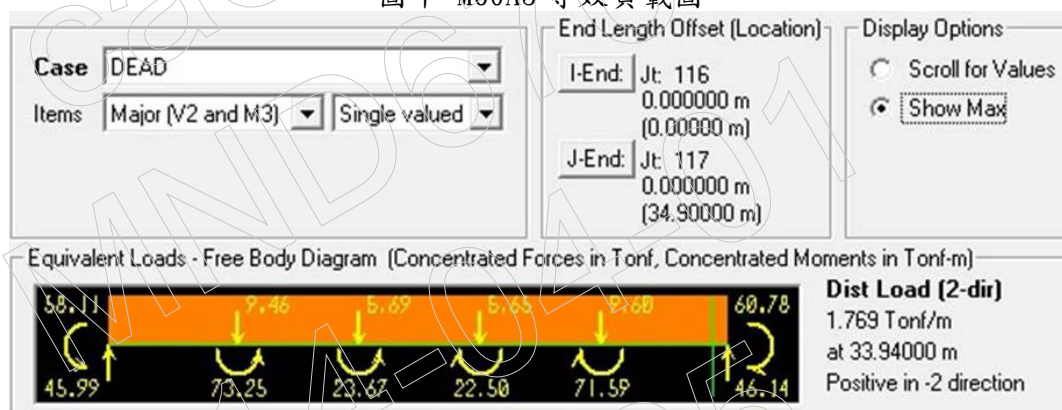
2. 當構件需求力 R 大於構件原始設計強度但小於構件標稱強度 N 時，無法立即判定橋梁是否安全，需進一步進行載重試驗等，若能通過載重試驗，即表示可安全行駛；反之，則需進行加固補強工作。

3. 當構件需求力 R 大於構件現有標稱強度 N 時，表示橋梁無法承擔載荷需進行加固補強再分析。

透過上述各項數據及分析流程，採用 SAP2000 數值分析軟體計算；本次以 M60A3 戰車通行里嶺大橋相關圖示如下所述：

- (1) 等效負載圖：(如圖十所示) 採用 M60A3 戰車車體自由圖體模式；以最大載重輸入；獲得各軸距所負載重量。

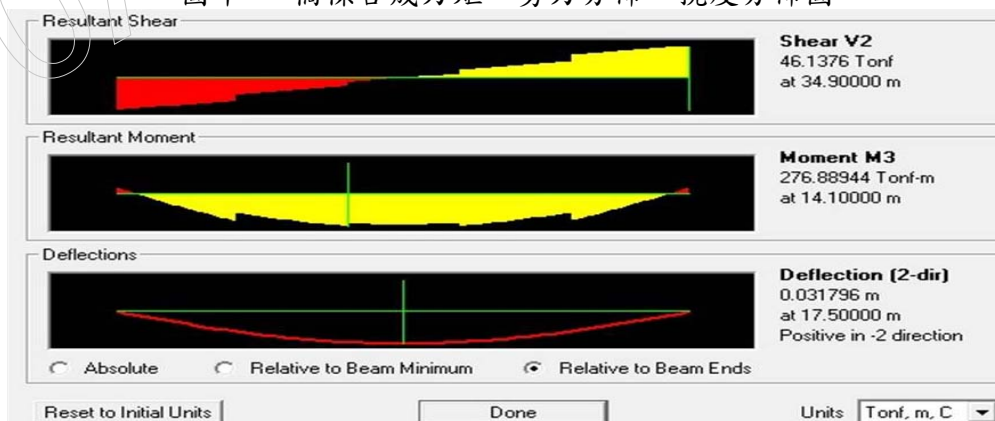
圖十 M60A3 等效負載圖



- (2) 橋樑合成力矩、剪力分佈、撓度分佈圖：

透過 M60A3 等效負載各項數據，輸入所建構里嶺大橋整體結構幾何配置之數值模型；獲得 M60A3 戰車於里嶺大橋上所產生之合成力矩、剪力分佈及撓度等圖形（如圖十一所示）。

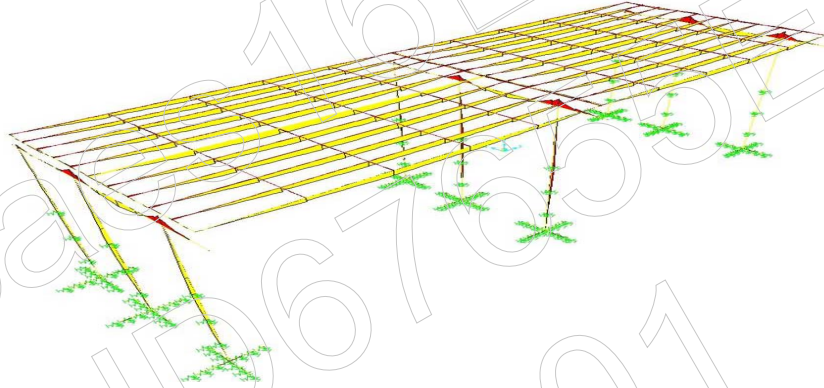
圖十一 橋樑合成力矩、剪力分佈、撓度分佈圖



(3) 橋樑結構分析模型之彎矩分佈圖

上述所獲得之參據，由 SAP2000 數值分析軟體計算後；最後獲得橋樑結構分析模型上之彎矩分佈圖。由此圖示（如圖十二所示）經由專業人士判定橋樑之承載能力是否足夠；本次採用模擬 M60A3 戰車通過里嶺大橋之參據，經由明正營造有限公司邱浩然博士判定為可安全無慮通過該橋樑。

圖十二 橋樑結構分析模型之彎矩分佈圖



資料來源：明正營造有限公司 邱浩然博士提供

三、靜載重分析法

採用單一力學評估分項，必須在橋樑限定條件之下實施，所獲得之參據僅可做為臨時通行評估之參考。

(一) 橋樑限定條件狀況：（以里嶺大橋為例）

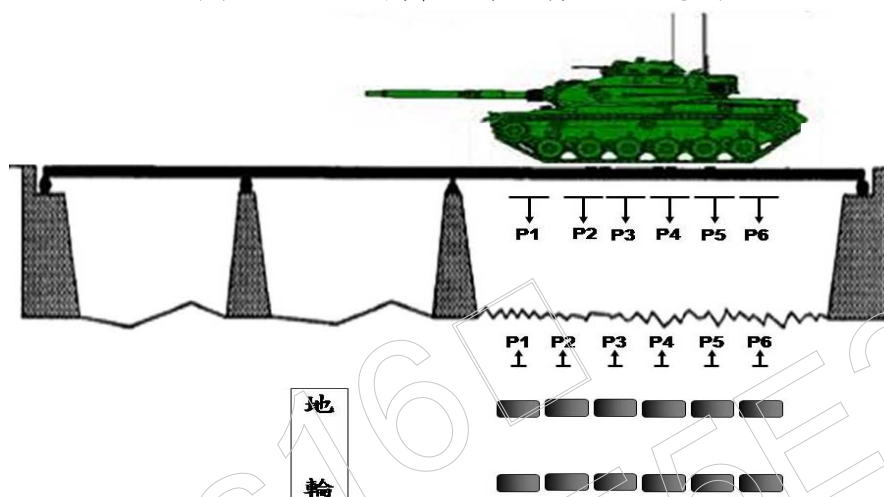
1. 載重等級：HS20 級以上之 RC 結構橋樑
2. 橋樑整體結構良好；屬新建之橋樑
3. 車輛通行採用均速通行；沿橋面中心行駛
4. 橋樑車道數：三車道以上

(二) 車輛通行基本資料：（以 M60A3 戰車）

1. 長 9.4 公尺，寬 3.63 公尺
2. 車輛重量（含砲彈）：約 60 噸
3. 履帶型式為膠塊，有 12 個地輪

(三) 通行評估說明：（限定條件狀況下）以 M60A3 戰車，沿橋面中心行駛，通行結構良好，載重等級 HS20 以上三車道之新建里嶺大橋，沿途採用低速通行（限速 10KM/h），且通行時禁止加速與緊急煞車，評估計算如下所述：（M60A3 戰車通行里嶺大橋示意圖如圖十三）

圖十三 M60A3 戰車通行里嶺大橋示意圖



資料來源：作者自行繪製

1. M60A3 戰車沿橋面中心行駛，由橋樑結構特性得知為最有利之橫向位置；通行橋樑時，採均速通行，此時靜載重＝活載重。
2. M60A3 戰車通行里嶺大橋為三車道以上之結構良好之橋樑，須依據公路橋樑設計規範中載重折減（註一），換算 M60A3 戰車活載重；然因該橋原設計為三車道以上活載重不折減。

註一「公路橋樑設計規範—載重折減」²³：構材之最大應力產生於「數車道同時載重時」，因各車道所產生之最大應力甚少同時發生，故對於算得之活載重應力之和，得乘以下列之百分率。

單車道或雙車道	100%
三道道	90%
四車道及上	75%

3. 戰車通行於橋樑採低速並嚴禁加速，可減少戰車對橋樑衝擊力、離心力與震動作用，降低橋樑受力。
4. 通行計算（依據上述條件）

（1）由圖十三知 M60A3 戰車有 6 對地輪組。

（2）M60A3 戰車活載重＝靜載重約為 60 噸，所以每對地輪組受力為 $60/6=10$ 噸。

（3）橋樑受力為 P1、P2、P3、P4、P5、P6（參考圖十三 M60A3 戰車通行里嶺大橋示意圖）；計算每個地輪組（含有 2 個地輪）所受力量，故每個地輪受力為 $10 \text{ 噸}/2=5$ 噸。

²³交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年，頁 27。

(4) 查表六（公路橋樑載重等級設計表²⁴）得知 HS20 等級之橋樑集中載重為 8.2 噸。

(5) M60A3 戰車通行橋樑受力為 5 噸 < HS20 載重等級之橋樑集中載重 8.2 噸。

5. 綜合上述：M60A3 戰車通行里嶺大橋初步評估為不考量結構受損及橋樑鋪面損壞狀況下；可以安全通行 HS20 載重等級以上之橋樑。

四、小結：

公路橋樑不論採取何種設計規範，其結構本身均會設定安全係數存在，因此當重量超過設計容許值（載重）時，並不會於第一時間造成橋樑產生目視之損壞（如橋樑斷裂），有可能易造成路面破壞、結構受損，進而降低使用壽命。所以當採「力學」靜載重方式計算得知軍用重型裝備通過可行性，僅可作為急迫或臨時性通行之參據，通行過後對於該公路橋樑無法精確估算結構基礎是否破壞或公路橋樑鋪面是否受損；惟有透過數值分析軟體（如 SAP2000）透過程式計算後與專業人士判定後，始可獲得正確之參據，得知軍用重型裝備通過可行性與安全。

民間拖運重裝通行公路橋樑例證-以豐德電廠運輸為例

公路橋樑對於重型車輛運輸通行公路橋樑，於道路規範中均有明確之限制；尤其對於載重量大之超重型車輛如欲通過相關之公路橋樑均必須經過公路有關主管機關同意後；始可實施運輸作業，本次實物例證採用陸海交通運輸公司所提供之豐德電廠重件運輸²⁵案例，說明如下：

一、超重車輛基本資料²⁶：

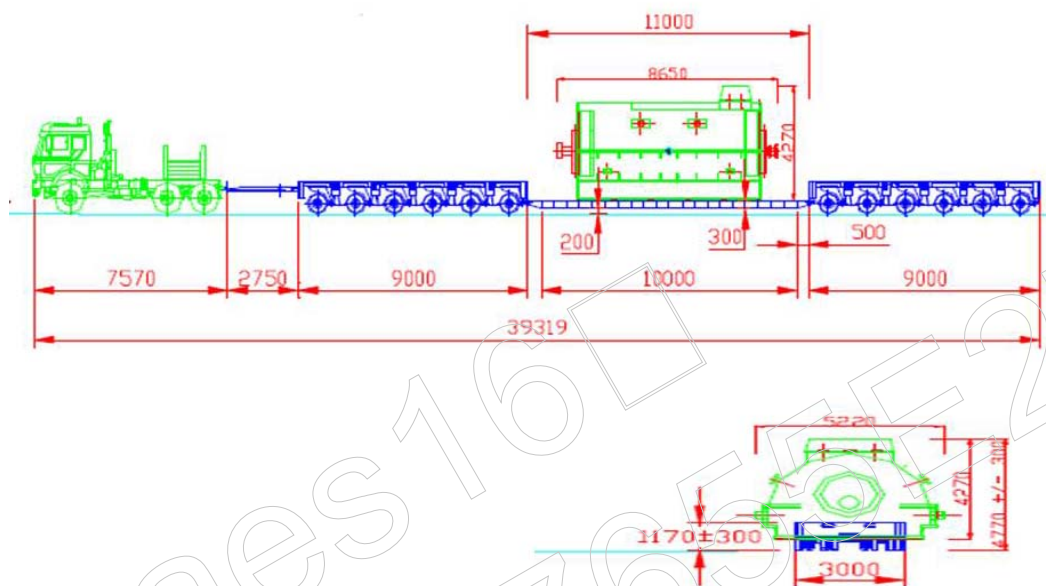
車輛基本參考圖如圖十四所示；橋樑結構分析相關資料取其較重者為分析及設計標準，車輛基本如下所述：

²⁴交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年，頁 20-22。

²⁵林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》（桃園：中央大學碩士論文），2002 年，頁 55。

²⁶林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》（桃園：中央大學碩士論文），2002 年，頁 55-56。

圖十四 豐德電廠運輸車輛與重件型式



資料來源：林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 118。

(一) 曳引車與拖車為分離的，曳引車重 12.6 噸，包含三個輪軸，輪距分別為 3.8 公尺、1.46 公尺。

(二) 拖車輪距總長 31.5 公尺(最前與最後之輪距，包含中央支承版長 16.5 公尺)。

(三) 拖車之總重 308.6 噸(包含發電機組 246 噸、中央支承版與拖車本身重 62.6 噸)。

(四) 拖車共有 12 排輪軸，每排有 8 個輪子，總共有 96 個輪子，拖車每個輪子間距離為等距長 1.5 公尺；拖車每個輪軸承載 25.7 噸(=308.6t/12)，每個輪子承載 3.21 噸。

(五) 拖車與所載發電機組之平均載重相當於 5.71t/m^2 。

二、通行橋樑基本資料²⁷：

發電機組重車行經路線為從安平港上岸經台南市區於大同路右轉台 1 號省道，沿台 1 號省道至小東路右轉台 20 省道，並沿台 20 號省道至山上鄉豐德電廠。由交通部公路局全國橋梁資料庫系統，可以查得沿線重車行經橋梁資料。

三、通行評估

(一) 行經路線表²⁸：

²⁷林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 56。

²⁸林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 82。

表七 豐德電廠重車行徑路線沿線橋樑列表

編號	橋樑名稱	所在道路	上部結構	橋樑長度	橋樑淨寬	跨數	跨距	車道數	設計活載重
1	金湯橋	國民路	RC 箱涵	21.2m	28.8m	3	5	4	HS20
2	開運橋	台 20	PCI	225m	18m	9	25	4	HS20
3	奉口橋	台 20	RC 版	12m	24m	2	6	4	HS20
4	水圳橋	台 20	RCT	6m	16m	1	6	4	HS20
5	穗方橋	台 20	RCT	45m	16m	3	15	4	HS20
6	深坑一號橋	台 20	RCT	11m	16m	1	11	4	HS20
7	深坑二號橋	台 20	PCI	35m	16m	1	35	4	HS20
8	春雨橋	台 20	RCT	16m	16m	1	16	4	HS20
9	千島橋	台 20	PCI	150m	16m	5	30	4	HS20

資料來源：林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 82。

(二) 行經路線橋樑結構分析：

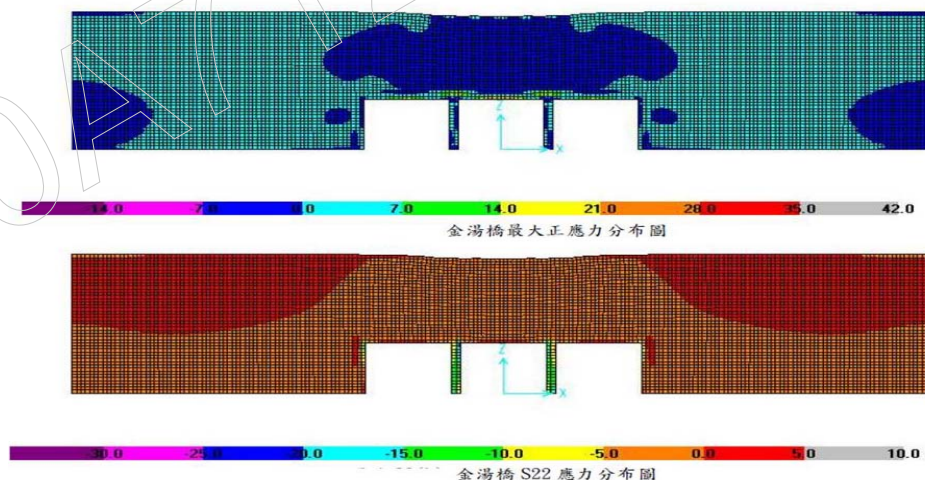
重件運輸路線，所經過橋樑均須經過 SAP2000 之數值模擬分析該橋樑之承載能力，針對不足承載能力予以補強方式；本案例僅以金湯橋與開運橋結構計算與補強實施說明，餘各橋樑同上分析之方式，說明如下：

1. 金湯橋結構計算與補強²⁹

(1) 金湯橋結構計算說明：

金湯橋為鋼筋混凝土箱涵結構，其覆土深度約 7m，經由實際數值模擬結果（如圖十五），可知，由於其覆土深度很深，因此重車經過時載重會被橋涵周圍及上方的覆土分攤，對箱涵結構並不會造成任何危害。

圖十五 金湯橋數值模擬分析圖



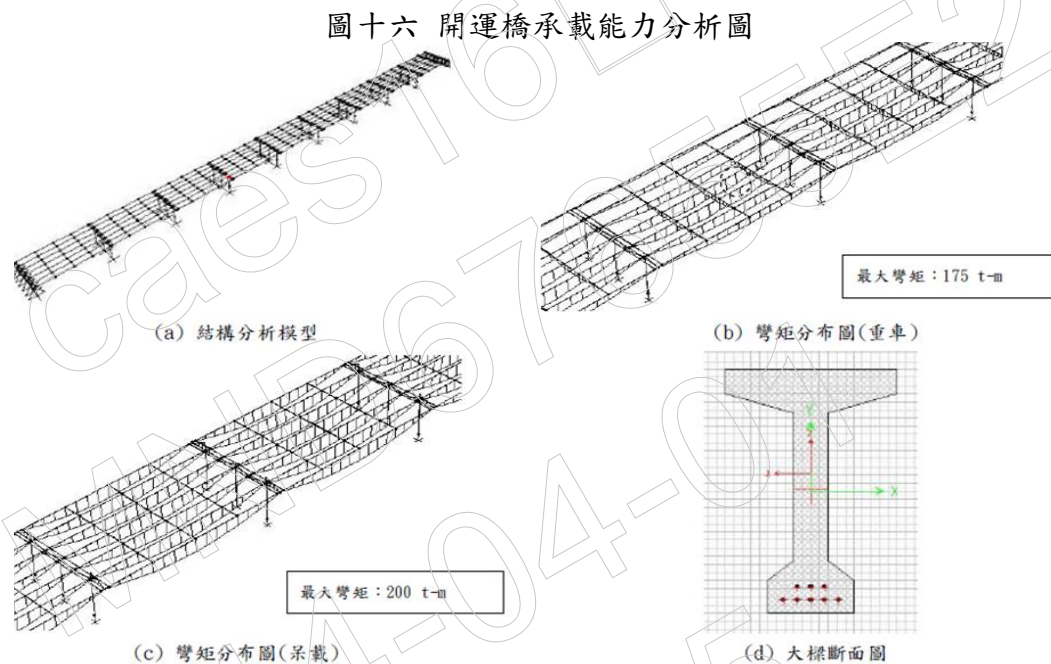
資料來源：林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 120。

²⁹林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 56。

(2) 補強建議：無須補強。

2. 開運橋結構計算與補強³⁰

(1) 開運結構計算說明：開運橋之結構形式為 9 跨的 PCI 預力橋，橋面版厚 15cm，跨距 25m，經 SAP2000 中之數值分析可得重車造成縱樑最大彎矩 175 t-m，而呆載造成之最大彎矩為 200 t-m；分析計算結果圖（如圖十六）。



資料來源：林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 121。

(2) 補強建議：由應力檢核可知，重車過橋載重可以通過之規範要求；為了滿足三根縱樑承擔重車過橋載重之要求，必須沿橋面中央鋪設寬度 6m（可由兩片 3m 寬之鋼板合併而成）且厚度至少 2cm 鋼板車道。

(三) 豐德電廠行經路線橋樑補強方式

透過數值分析軟體計算及專業結構技師分析後，始可得重車實施運輸作業時，當橋樑承載能力不足所必須採取補強方式，以利重車運輸之安全性；本實例豐德電廠重車運輸經過各橋樑補強方式³¹如表八所列：

³⁰林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 57-59。

³¹林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》(桃園：中央大學碩士論文)，2002 年，頁 56-71。

表八 豐德電廠重車行經路線橋樑補強方式表

編號	橋樑名稱	評估結果	補強方式
1	金湯橋	無須補強	
2	開運橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道
3	奉口橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道
4	水圳橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道
5	穗芳橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道
6	深坑一號橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道
7	深坑二號橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道
8	春雨橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道
9	千鳥橋	需補強	橋面鋪設鋼板車道

資料來源：作者自行整理

四、小結：

國內拖運重型裝備運輸公司於規劃運輸行經路線中所經過公路橋樑均會蒐集相關完整之公路橋樑資料，藉由數值分析軟體，輸入資料庫完成程式分析及計算與透過結構技師判定，對於通行橋樑承載能力不足實施補強；也因此，針對這一類型超載重車輛通過公路橋樑承載能力及結構安全影響與評估；均必須透過相關計算與分析建立合理評估作業流程，獲得橋樑承載能力是否可承受特殊重車種類運輸；以維護重型車輛運輸安全。

結論與建議

一、結論

本次透過 SAP2000 數值分析軟體計算以 M60A3 戰車通過里嶺大橋分析所得；可知此系列重型軍用裝備於通行 HS20 以上之載重等級公路橋樑應當均屬安全值之範圍內；惟此分析獲得僅針對 HS20 以上之載重等級之公路橋樑，並無法得知 HS20 以下之載重等級（如 H15、HS15）是否可安全無虞通過，也易肇生部隊於機動路線選擇之困擾。

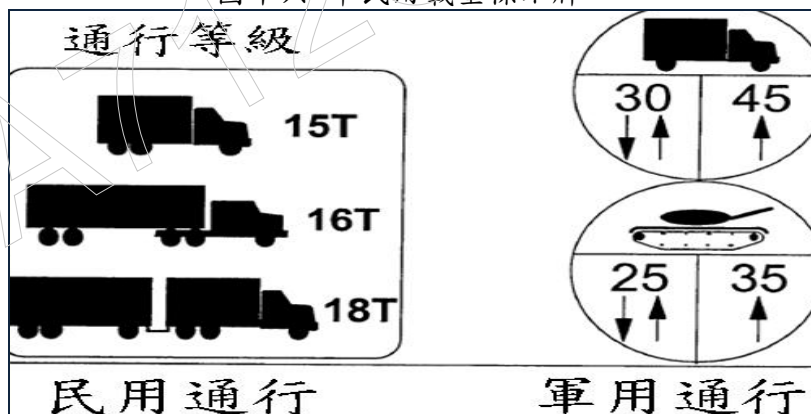
鑒於近年來國內重型載具運輸經驗已趨成熟；且現行商用拖車頭與低平板台其性能、規格，運載能力、安全性均能滿足載運軍用重型裝備。若採委商實施板運機動，其所通行路線亦必須經過主管公路橋樑機關核准及安全把關，始可實施運輸作業通行公路橋樑。所以軍用裝備委商運輸就運輸能量言及通行安全性均可滿足部隊實需。

二、建議

（一）結合民間資源建立公路橋樑載重等級分類

國內公路橋樑均未採用軍事載重等級實施分類；鑒於先進國家（如德國）公路橋樑皆標示軍用載重等級標示牌，真正落實平戰結合要求。未來應妥善整合政府業管部門、民間學術研究、工程設計機構（如交通部運輸研究所、中央大學橋樑工程研究中心、中華顧問工程公司…等）透過橋樑檢測儀器及結構分析軟體實施軍事載重等級分類，並建立軍民用載重標示牌（如圖十六所示）於公路橋樑中，以利平戰時機動與反機動。

圖十六 軍民用載重標示牌



資料來源：作者自行整理

（二）建立軍用裝備載重等級係數表

國內軍用裝備重量多以公噸或美噸實施表示，建議可採 MLC 載重程式分析或 STANG2021 安全係數法，盡速建立國內軍用裝備載重等級係數表，並結合國

內公路橋樑管理系統，以利戰時指揮者，作出正確決策，可迅速通行公路橋樑，掌握作戰先機³²。

（三）結合反擊路線規劃建立公路橋樑載重參數

反擊即是決戰，部隊裝備是否能適時機動至戰術位置即時發揚火力，實為作戰成敗關鍵之一。部隊現行所規劃反擊路線大多通過公路橋樑，因此就反擊路線上所必經公路橋樑應優先實施分析檢測，核算出可通行各類型軍用裝備載重等級；建立公路橋樑載重參數，俾利未來各項演訓或作戰時供各級部隊指揮官運用之參酌，以利任務遂行。

作者簡介

陳俊宏少校，現為陸軍指參學院學員。學歷：中正理工正六十一期、工校 98-2 期。經歷：排長、連長、教官。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所，《縣市政府所轄老舊橋樑改善可行性評估》，2008 年
2. 徐耀賜，《公路橋樑之養護與維修》，1995 年。
3. 張志豪，《軍用載具對橋樑承載力之分析》（桃園：國防大學理工學院碩士論文），2009 年。
4. 帥化民、徐瑾，《陸軍籌購M1A2 艾步蘭戰車案之研析》，國家政策研究基金會。
5. 黃建霖，《序列重型載具通過橋樑之衝擊夕數探討》（桃園：國防大學理工學院碩士論文），2010 年。
6. 林育賢，《現有橋樑重車通行承載力評估與補強設計》（桃園：中央大學碩士論文），2002 年。
7. 賴明皇，《台灣地區公路橋樑特性統計分析之研究》（桃園：中央大學碩士論文），2002 年。
8. 帥化民、徐瑾，《陸軍籌購M1A2 艾步蘭戰車案之研析》，國家政策研究基金會。
9. 陳永銘、許阿明，〈台灣與美國之橋樑檢測系統與制度〉《臺灣公路工程》，第 34 卷第 10 期，2008 年。
10. 王慶雄、戴宗鴻、許阿明，〈台 22 線里嶺大橋改建工程之設計與施工〉《臺

³² 余志柏、陳俊宏，《本島公路橋樑與軍用載重等級之探討》（陸軍工兵半年刊 142 期），2013 年，頁 15

灣公路工程》，第 34 卷第 7 期，2008 年。

11. Load Rating of Permanent Bridges on US Army

Installations, 2008, US Army Corps of Engineers。

12. Field Testing and Load Rating Report, Bridge S-4360,

Camp Hovey, South Korea, 2008, US Army Corps of Engineers

13. FM3-34.343 (FM5-446) Military Nonstandard Fixed

Bridging, 2002, Washington

14. Load Rating of Permanent Bridges on US Army

Installations, 2009, US Army Corps of Engineers

15. 交通部，《公路橋樑設計規範》，2009 年。

16. 交通部，《公路鋼結構橋梁之檢測及補強規範》，2004 年。

17. 國立中央大學橋樑工程研究中心，《2006 年度研發成果報告》，2008。

18. 林沂賢，《HDM-4 於台灣地區柔性路面養護工程應用之研究》（桃園：中央大學碩士論文），2002 年。

19. 鄭家瑋，《鋼床板鋪面有限元素破壞分析及較適載重位置探討》（桃園：中央大學碩士論文），2012 年。