

第六章 鋼結構橋梁結構安全評估

6.1 一般說明

鋼結構橋梁進行定期檢測或特別檢測後，應依據檢測目的與結果，視需要進行必要之結構安全評估，作為是否需進行維修補強之依據。鋼結構橋梁結構安全評估包括承载力評估、疲勞安全評估、耐震能力評估及耐洪能力評估等。

解說：

1. 經橋梁檢測發現劣化現象與原因之後，應進一步了解這些劣化現象對橋梁整體的影響，將橋梁材料特性的檢測結果配合現場檢測，依循規範的精神，對橋梁的現況加以評估。
2. 一般橋梁之結構安全評估包含針對上部結構之承载力評估，以及針對下部結構之耐震能力評估與耐洪能力評估，至於鋼結構橋梁則須另考慮與反覆荷載相關之疲勞安全評估。

6.2 橋梁承载力評估

鋼結構橋梁承载力評估之目的係為確定現有之橋梁承载能力，並評估橋梁承载能力是否符合載重需求。

承载力評估方法分為分析計算評估法及載重試驗評估法。載重試驗評估法一般又可分為靜載重試驗及動載重試驗兩種。

解說：

1. 影響橋梁承载力的因素很多，如橋梁設計活載重、施工方法、材料性能與橋梁使用狀況等，其中橋梁原設計活載重與施工情形可查閱相關設計資料，但材料老化程度和強度降低之判定則有賴於事先正確的檢測結果。另外在進行承载力評估前，對於橋梁所在位置目前之車流量、重車比例、限制措施等資料，亦應儘量蒐集完整，以期得到正確之評估結果。評估結果除可評估橋梁承载能力是否符合載重需求外，亦可作為橋梁管理機構限重之依據，或在目標活載重下，橋梁各部份維修補強之參考。
2. 以分析計算評估法進行承载力評估時需採用最新之橋梁檢測結果，作為計算結構斷面、材料強度及邊界條件之依據。因此建議於每一次檢測後，進行承载力評估之檢討與更新，以了解橋梁現有承载力、所受之實際外力及橋梁在外力作用下的行為。
3. 若對橋梁結構進行一般檢測後，認為有必要進行進一步詳細檢查時，可先依據最新之檢測結果進行分析計算方式之橋梁承载力評估。若分析評估方法尚不足以鑑定橋梁承载能力時，如一些老舊的橋梁，其設計資料不可考以致於無法知

道其材料性質時，可採用橋梁現地載重試驗，對橋梁結構施加载重或振動，直接測定橋梁承載能力、強度、變形、應力或動力特性等。另一方面，對於補強後之既有橋梁，若其新舊構件間之交互影響與力量分配不易正確估計，或是對於已明顯劣化之橋梁，其力量傳遞與承載能力無法藉由分析計算方式估計時，亦可考慮進行載重試驗評估。

4. 臺灣地區目前並無標準之評估車輛，據以實施承載力評估。評估時若無此項資料，可利用 HS-20 乘以 1.25~1.75 之放大係數或採用與 HS-25 總重相同而調整軸距之方式作為檢核之活載重，或者參考國外之規範暫時採用之。
5. 現場載重試驗通常都具潛在危險，橋梁管理機關及評估人員應對可能之危險狀況有所認知，事先針對公共安全、人身安全提出保護措施，對可能之結構損傷、交通中斷進行評估。一般在以下幾種情況下不適合進行載重試驗：
 - (1) 實施載重試驗之支出高過橋梁補強之支出。
 - (2) 根據分析計算可以確定橋梁已不堪使用。
 - (3) 橋梁有可能發生無預警之脆性破壞。
 - (4) 載重試驗因橋梁接近困難或工址之特殊交通狀況以致於在實際上並不可行。

6.2.1 分析計算評估法

分析計算評估法之判定依據為橋梁或構件承載力評估係數 RF，其通式如下：

$$RF = \frac{\text{現存活載重能力}}{\text{活載重需求}} \quad (6.2.1)$$

其中現存活載重能力為現存承載能力扣除係數化靜載重後之值，橋梁之現存承載能力須考慮材料老化、強度降低及材料強度變異性等造成之折減，各構件之活載重需求亦須考慮載重之變異性及活載衝擊係數。

依據承載力評估係數 RF，橋梁承載力評估之判定標準如下：

$RF \geq 1$ ；橋梁容許活載重能力符合需求

$RF < 1$ ；須對橋梁採取限重、補強、改建措施或者進一步檢測

解說：

1. 一般進行分析計算評估法時為先計算各控制構件或可能控制構件之構件承載能力評估係數 RF，再將各構件之 RF 值乘以評估時所採用之評估活載重，即可推估各構件所能承受之容許活載重，至於整體橋梁允許通過之活載重則由橋梁構件容許活載重之最小值控制。依此資料可針對造成橋梁承載力不足之因素，考慮對橋梁採取限重、限速、封閉橋梁、維修補強等措施，或是進行實地載重試驗。
2. 承載力評估之分析計算評估法可參考現行美國聯邦公路總署 AASHTO 於 1989

年所頒布之橋梁耐荷(載重)評估準則(Guide Specifications for Strength Evaluation of Existing Steel and Concrete Bridges)或 2000 年所頒布之橋梁狀況評估手冊(Manual for Condition Evaluation of Bridges)，或 2003 年配合 LRFD 設計規範所制定之 LRFR 評估法(Manual for Condition Evaluation and LRFR of Highway bridges)，或 2004 年交通部台灣區國道高速公路局研究報告「橋梁功能評估及方法建立(承載能力分析評估及耐震能力評估)」來評估橋梁承載力，以確保橋梁之安全性。其中「橋梁功能評估及方法建立」所建立之橋梁承載力評估法主要亦是參考 2003 年 AASHTO 所制定之 LRFR 評估法，然其配合國內現況略作修正，並將 D.E.R.U.評估系統所得之檢測結果納入承載力評估計算公式中。

3. AASHTO 所制定之三套載重評估方式，分別概述如下：

(a) AASHTO Manual for Condition Evaluation of Bridges (2000)之橋梁承載力評估公式如下：

$$RF = \frac{C - A_1 D}{A_2 L(1 + I)} \quad (C6.2.1)$$

其中

C：橋梁各構件之容許承載力

D：各構件之靜載重效應

L：各構件之活載重效應

I：衝擊係數

A₁：與靜載重相關之係數

A₂：與活載重相關之係數

本法將承載力評估分兩個等級，登錄評估等級(Inventory Rating level)與實用評估等級(Operating Rating Level)。登錄評估等級係採用設計時所估計之外力，但考慮現有橋梁因損傷劣化造成之斷面損失；使用評估等級則考慮橋梁可能碰到之最大活載重。評估方式亦分兩種方式，一為容許應力法(Allowable Stress Method)，另一為載重係數法(Load Factor Method)。各種情況下採用之靜載重及活載重相關係數A₁、A₂如表C6.2.1 所示。容許承載力C值亦隨著評估等級而不同，使用評估等級採用較大之C值。

(b) AASHTO Guide Specifications for Strength Evaluation of Existing Steel and Concrete Bridges (1989)制定之橋梁承載力評估公式如下：

$$RF = \frac{\phi R_n - \gamma_D D}{\gamma_L L(1 + I)} \quad (C6.2.2)$$

其中

RF：承載力評估係數

φ：強度折減係數

R_n ：表示橋梁或各構件之容許承载力

D ：靜載重效應

L ：活載重效應

I ：衝擊係數

γ_D ：靜載重加成係數

γ_L ：活載重加成係數

相關係數見表 C6.2.2 ~C6.2.5。

- (c) AASHTO Manual for Condition Evaluation and LRFR of Highway bridges(2003) 訂定之 LRFR 評估法係依循與 LRFD 設計規範相同之方法論所訂定之承载力評估法，其公式如下：

$$R.F. = \frac{C - \gamma_{DC} DC - \gamma_{DW} DW \pm \gamma_P P}{\gamma_L LL(1 + IM)} \quad (C6.2.3)$$

於強度極限狀態：

$$C = \phi_c \phi_s \phi R_n \text{ 且 } \phi_c \phi_s \geq 0.85 \quad (C6.2.4)$$

於服務極限狀態：

$$C = f_R \quad (C6.2.5)$$

其中

$R.F.$ ：耐荷評估係數

C ：承载能力

DC ：由結構構件及附件造成之靜載重效應

DW ：由磨耗層及設備造成之靜載重效應

P ：靜載重之外的永久載重

LL ：活載重效應

IM ：動態載重的預留(Dynamic load allowance)

γ_{DC} ：結構構件及附件之 LRFR 載重係數

γ_{DW} ：磨耗層及設備之 LRFR 載重係數

γ_P ：靜載重之外的永久載重之 LRFR 載重係數 = 1.0

γ_L ：評估用之活載重係數

ϕ_c ：情況係數

ϕ_s ：系統係數

ϕ ：LRFD 之抵抗係數

R_n ：標稱構件抵抗力

f_R ：LRFD 設計規範中規定的容許應力

本法將承載能力評估分成三級，第一級為設計載重評估；第二級為合法載重評估；第三級為允許載重評估。其中設計載重評估又分為登錄等級評估與實用等級評估；考慮之極限狀態含強度極限(strength limit)與服務極限(serviceability limit)，其相關之鋼橋載重係數見表 C6.2.6，至於考慮結構系統贅餘性相關之系統係數 ϕ_s ，與既有橋梁材料強度劣化與斷面損失等現象之情況係數 ϕ_c 則可參考交通部研究報告「橋梁功能評估及方法建立」，其中系統係數 ϕ_s 之定義見表 C6.2.7，情況係數 ϕ_c 則以檢測總表中主構件之 D 值與 E 值為判定之依據，其計算公式如下：

$$\phi_c = f(IC) = 0.85 + \frac{IC}{100} \times 0.15 \quad (C6.2.6)$$

$$IC = 100 - 100 \times \frac{D^2 \times E}{64} \quad (C6.2.7)$$

三種方法中之“載重效應”係指外力對於構件造成之效應，可為軸力、垂直剪力、彎矩、軸應力、剪應力或彎矩應力等。

4. 進行承載力評估時，最重要的是決定與靜載重及活載重相關之係數與強度之折減，如AASHTO 2000 年之 A_1 、 A_2 及容許承載力 C ；AASHTO 1989 年之靜載重加成係數 γ_D 、活載重加成係數 γ_L 及容許承載力 R_n ；AASHTO 2003 年之承載能力 C ，載重係數 γ_{DC} 、 γ_{DW} 、 γ_P 及 γ_L 等。AASHTO規範決定這些係數時，是依據多年來實測橋梁之統計結果訂定。台灣地區在未制定本土化之係數前，可先採用AASHTO規定之係數進行評估。

6.2.2 靜載重試驗

靜載重試驗是將靜載重作用在指定之橋梁結構位置，測試結構的應力分布、結構變形以及其他試驗項目，進而推斷橋梁在荷載作用下的受力行為和承載能力。橋梁結構靜載重試驗之載重可分為車輛加載和重物直接加載兩種形式。實施橋梁靜載重試驗時，試驗載重形式之選擇，加載及記錄之方式應依結構試驗目的、現場條件而定。

靜載重試驗之判定標準如下：

$$RF = \frac{\text{靜載重試驗評估之活載重能力}}{\text{活載重需求}} \quad (6.2.2)$$

當

$RF \geq 1$ ；橋梁容許活載重能力符合需求

$RF < 1$ ；需對橋梁採用限重、補強、改建措施或者進一步檢測。

解說：

1. 公式(6.2.2)所提供者為靜載重試驗評估之一般化公式，較詳細之公式可參考交通部研究報告「橋梁功能評估及方法建立」。
2. 橋梁結構靜載重試驗中載重可分為車輛加載和重物直接加載兩種形式，車輛加載具有便於調整載重，加、卸載迅速之優點；重物直接加載具有加載位置固定、容易控制之優點，但試驗週期長、必須完全控制交通。
3. 靜載重試驗時無論採用何種方式，加載時之加載物都應顧及均衡性。試驗過程中亦應蒐集各項紀錄，包括觀測數據、文字記載、圖片、照片等，以作為分析撓度及應力之用。
4. 經由靜載重試驗，除了可以了解橋梁結構之受力行為，藉以判斷橋梁現有之承載力外，並可檢驗橋梁結構設計與施工的品質、驗證橋梁結構設計理論和計算方法，進而將所得之結果回饋於日後之設計與施工中。
5. 在橋梁靜載重試驗時，試驗載重形式的撰擇，除了依結構試驗目的之要求而決定外，也受現場條件或試驗室設備的影響。因此選擇試驗荷載的形式時，通常須與加載方法一起考慮。
6. 選擇試驗載重及加載方法時，應滿足下列幾項：
 - (1) 選用的試驗加載方法所產生的應力應儘可能與結構設計計算時的應力形式相同。
 - (2) 載重傳力方式及作用點要明確，使得產生的荷載數值穩定。當採用液壓加載時，載重數值會隨時間和結構變形而變化，因此須注意保持液壓的穩定。
 - (3) 為滿足量測精度之要求，必須選擇適當噸位的設備。加載設備中的最大加載能力須比試驗要求的最大荷載選大。
 - (4) 加載設備應操作方便，便於加載與卸載，且須能控制加載速度，又能滿足同加載或先後加載的不同要求。
 - (5) 加載設備不僅要滿足強度要求，且因為要按照變形條件來控制加載設備的設計，所以必須保證加載設備的剛度，使荷載加大到一定程度時，不致發生變形過大或不穩定的現象。
7. 由於結構的承載能力和變形的行為與所加載重的時間特性有關，因此必須審慎選擇加載程序，以便正確了解結構的承載能力及其變形行為。在試驗進行期間加載與時間的關係如加載速度的快慢、間歇的長短、荷載的大小、加載、卸載的次數等都屬於加載程序。
8. 對於一般的短期試驗，選擇加載程序時必須注意以下之原則：
 - (1) 加載和卸載必須分級遞加和遞減，不宜一次完成。

- (2) 每級荷載間必須有足夠的級間間歇時間。
- (3) 在標準荷載作用時，必須有足夠長的滿載間歇時間。
9. 試驗的成果中，最重要的是各項原始記錄，包括觀測數據、文字記載、圖片、照片等，為了集中整理試驗數據，在試驗中可依據試驗目的、檢驗項目的不同分別編制各種試用的表格。
10. 在試驗結果分析時，必須計算下列各項：
- (1) 結構系統的撓度
由靜載重試驗測得的撓度值要考慮支座沈陷、結構自重、預拱及荷載模擬等因素的影響，將實測值修正，才能得到結構受載重後的真正撓度。
- (2) 測點應力的計算
各測點實際應力可依據虎克定律由實測應變值計算得知。
- (3) 斷面應力的計算
結構桿件斷面應力的計算，可由軸向應力、撓曲應力及扭轉應力組合而成，測定這些應力所須的測點數目和測點位置，依桿件斷面形狀程試驗目的而定。

6.2.3 動載重試驗

動載重試驗係藉由對橋梁施加移動載重或隨時間變化之載重，使橋梁處於振動狀態下，再利用各種測振儀器量測橋梁之振態、頻率、衝擊係數等基本動力特性，或求取疲勞評估所需之載重歷時與應力差值。常用之動載重試驗如下：(1)動態地磅試驗；(2)動態反應試驗；(3)振動試驗。

解說：

1. 動態地磅試驗(Weigh-In Motion Test)可求得橋梁現地之實際貨車重量與流量，其係藉由輪軸感測器與其他儀器，使橋梁成為磅秤，量測貨車軸重、輪軸配置、車速與精準之現地活載重模型，其結果可應用於疲勞安全評估。
2. 動態反應試驗(Dynamic Response Test)係在正常車流或已知控制車流下，利用測試車求取承载力評估所需之動態衝擊係數和疲勞安全評估所需之活載應力差值。動態衝擊係數可藉由當測試車通過同一車道時，於橋梁上所量得之最大動態應變與最大靜態應變換算求得。實際量測時，須盡量多採用不同型式車輛、速度、重量和位置做試驗，再輔以統計分析，以適當估計動態衝擊係數。
3. 振動試驗(Vibration Test)係為求取橋梁基本動力特性，如振動頻率、振態和阻尼等。振動試驗結果亦可用以評估損傷與劣化，因為損傷或劣化可能會改變橋梁基本動力特性。橋梁結構之動力特性只與結構本身之性質如結構系統、勁度、材料等有關，而與載重無關，故可藉由簡單之動載重試驗了解橋梁結構系統之基本動力特性。
4. 振動試驗之震源可採用以下之方法，選用時可根據橋梁的類型和結構物之勁度

來選擇適當之方法：

(1) 自然振動法

自然振動法係藉由使橋梁產生有阻尼之自由振動(Damped free vibration)得該橋之振動衰減曲線。一般可由突然加載（即衝擊法）和突然卸載（即位移激振法）兩種方法使橋梁產生自由振動。

(2) 共振法

共振法又稱為強迫振動法，乃是利用特別的起振裝置，對結構施加上起振力強迫結構體產生振動。藉由調整起振力之頻率使結構產生共振現象，進而確定結構的動力特性。

(3) 脈動法

所謂脈動係指由結構物附近之車輛、機器等振動或附近地殼的微小破裂傳來的脈波所引起之波動。對於大跨度之吊橋、斜張橋、拱橋等，可利用脈動法來確定結構之動力特性。

5. 橋梁動載重試驗的基本任務為：

(1) 測定動荷載之動力特性：即引起結構產生振動之作用力的大小、方向、頻率和規律性等。

(2) 測定結構物的動力特性：如結構或構件之自然振動頻率，阻尼特性及振態等。

(3) 測定結構在強迫振動時的反應：如振幅、衝擊係數及疲勞特性等。

6. 目前各類試驗尚無標準值可參考，進行試驗後需依學理、經驗及各橋梁結構物之特性，判斷所測得之試驗數據對結構物之影響。

6.3 疲勞安全評估

鋼橋之使用狀況如交通量、重車比例、構造細節或其他劣化因素等而與設計條件有顯著不同時，應進行疲勞安全評估。鋼橋之疲勞安全評估係藉由疲勞年限之計算，評估鋼橋發生疲勞破壞之可能性，以採取必要之對策。

解說：

所謂疲勞係指桿件在反覆應力作用下其初始裂縫形成、發展至桿件發生脆性破壞的現象。鋼結構之疲勞破壞為瞬間發生之脆性破壞，無法提供足夠之預警，故應在其使用年限內儘量避免發生疲勞破壞。鋼橋之疲勞安全評估即藉由計算鋼橋之疲勞剩餘年限，評估鋼橋於使用年限內產生疲勞破壞之可能性，以作為橋梁主管單位是否執行橋梁交通管制或修復之參考。

6.3.1 適用範圍

已發生疲勞裂縫之鋼構件其疲勞強度可視為零，必須採取補強措施；發生嚴

重腐蝕或損傷及因疲勞裂縫而補強之鋼構件需藉由進一步破壞力學分析評估其疲勞安全。

未產生裂縫之鋼構件得依照本規範規定進行疲勞安全評估。

解說：

本規範僅適用於承受主應力之未破壞鋼構件。對於已產生疲勞裂縫之鋼構件，需藉由更複雜之破壞力學分析法才可評估其疲勞安全，此並不在本規範範圍內。一般而言，若藉由目視已可發現鋼構件之疲勞裂縫，則其疲勞生命已大部分被用盡而必須採取補強措施。

6.3.2 評估方法

疲勞安全評估須檢討構件受車輛載重下之應力差值，再依兩階段進行評估，第一階段為無限疲勞年限檢核，若未通過第一階段檢核，再進行第二階段評估，計算其疲勞年限。

不同構件須個別進行評估。

解說：

1. 鋼橋之疲勞安全評估方法可參考 AASHTO Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridges 1990 年版與其 1993 年、1995 年之中間修訂版，或 AASHTO Manual for Condition Evaluation and Load and Resistance Factor Rating (LRFR) of Highway Bridges (2003) 中制定之鋼橋疲勞評估法。
2. 進行鋼橋之疲勞安全評估時，最重要的參數為應力差值和據以評估之貨車活載重，但在計算應力差值與估計貨車載重之過程中，仍隱藏很多不確定性，因此宜以機率之方式表現橋梁之剩餘年限。AASHTO Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridges 即依此概念將疲勞年限區分為平均疲勞年限(mean life)與安全疲勞年限(safe fatigue life)。其中真正剩餘年限超越平均疲勞年限之機率為 50%，故剩餘平均疲勞年限為真正剩餘年限之最佳估計值；而真正剩餘年限超越剩餘安全疲勞年限之機率為 97.7%（贅餘構件）或 99.9%（非贅餘構件），故剩餘安全疲勞年限具有較高之安全度。AASHTO 於 2003 年新訂之疲勞年限評估方法則結合 AASHTO 現有之鋼橋疲勞安全評估規範與 LRFD 橋梁設計規範，將 LRFD 規範中使用之可靠度原則延伸至疲勞年限評估，並將有限疲勞年限依下列三個等級進行評估：(1)最小疲勞年限(相當於保守之設計疲勞年限)；(2)評估疲勞年限(相當於保守之評估疲勞年限)；(3)平均疲勞年限(相當於最可能之疲勞年限)。
3. 鋼橋之疲勞安全評估包含兩個階段，第一階段為無限疲勞年限檢核，第二階段為計算有限疲勞年限。初始之無限疲勞年限檢核可採用最簡單、粗略但保

守之模式估計應力差值，一旦依此方式推估之疲勞年限為無限大，則無需再進一步進行疲勞安全檢查。

(1) 依據 AASHTO Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridges，疲勞剩餘年限為無限大之條件如下：

$$(a) 2R_s S_t < S_c \text{ 或} \\ (b) R_s S_r < S_{FL} \quad (C6.3.1)$$

其中

S_r = 應力差值

S_t = 應力差值（design stress range）之拉應力部分

S_c = 靜載重引致之壓應力

S_{FL} = 極限應力差值（limiting stress range）（見表 C6.3.1）

R_s = 與應力差值相關之可靠因子

上式中，式(a)係考慮若靜載重引致之壓應力足夠大，使得構件在正常車流之作用下不會產生拉應力，則疲勞年限可視為無限大。此種情況發生在當車流中之最重貨車引致之應力差值拉應力部份大於靜載重引致之壓應力時，在此依據AASHTO之LRFD設計規範(1998)，最大應力差值取為有效應力差值之兩倍。式(b)係考慮若一構件經歷之應力差值均小於常數疲勞極限值（Constant amplitude fatigue limit），則疲勞年限亦可視為無限大。很多研究顯示若計算應力差值小於 0.367 倍之常數疲勞極限值，則在一可接受之可靠度下，其等同於所有應力差值均小於常數疲勞極限值。其中常數疲勞極限值約略等於AASHTO 2002 橋梁標準設計規範中對於贅餘構件規定之容許應力差值（2,000,000 次以上），故表C6.3.2 所定義之極限應力差值 S_{FL} （limiting stress range）約略等於AASHTO 2002 橋梁標準設計規範中贅餘構件反覆次數為 2,000,000 次以上者之容許應力差值再乘上 0.367。

(2) 依據 AASHTO (2003) LRFR 評估法，僅有受到拉應力之構件，才有發生疲勞破壞之可能，此種構件稱為疲勞傾向構件（Fatigue-Prone Details），也僅有疲勞傾向構件須進行疲勞安全評估。疲勞傾向構件之條件如下

$$2R_s (\Delta f)_{tension} > f_{dead-load\ compression} \quad (C6.3.2)$$

其中

R_s = 與應力差值相關之載重係數，其值為 0.85~1.0 之間（見表 C6.3.2）

$(\Delta f)_{tension}$ = 應力差值（design stress range）之拉應力部分

$f_{dead-load\ compression}$ = 靜載重引致之壓應力

對於疲勞傾向構件，疲勞剩餘年限為無限大之條件如下：

$$(\Delta f)_{max} < (\Delta F)_{TH} \quad (C6.3.3)$$

其中

$(\Delta f)_{max}$ = 最大應力差值，可取為有效應力差值之兩倍

$(\Delta F)_{TH}$ = 疲勞應力差值門檻（constant-amplitude fatigue threshold），約略為 AASHTO 2002 橋梁標準設計規範中，贅餘構件受 200 萬次反覆載重之有效應力差值。

7. 可靠因子 R_s 係用以提供應力差值不同之分析程序所對應之可靠度：

(1) AASHTO Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridges 之計算方式如下：

(i) 剩餘安全年限

$$R_s = R_{s0}(F_{s1})(F_{s2})(F_{s3})$$

其中

R_{s0} = 基本可靠因子。對於非贅餘構件 $R_{s0} = 1.75$ ；贅餘構件 $R_{s0} = 1.35$

F_{sn} != 不同分析程序對應之係數；若未特別說明，則 $F_{sn} = 1.0$

F_{s1} 代表應力差值計算方式之可靠度

F_{s2} 代表據以評估之疲勞貨車的可靠度

F_{s3} 代表載重側向分佈計算方式之可靠度

(ii) 剩餘平均年限

$$R_s = 1.0$$

因為真正剩餘年限超越平均疲勞年限之機率為 50%，真正剩餘年限超越剩餘安全疲勞年限之機率為 97.7%（贅餘構件）或 99.9%（非贅餘構件），剩餘安全疲勞年限有較高之安全度，故剩餘安全年限採用之可靠因子 R_s 大於剩餘平均年限之可靠因子。

(2) AASHTO 2003 LRFR 評估法定義之 R_s 如下：

$$R_s = R_{sa}R_{sr}$$

其中參數 R_{sa} 係考慮分析方式之不確定性，參數 R_{sr} 係考慮用以評估之貨車載重的不確定性。各值之定義見表 C6.3.2。

8. 鋼橋若未通過無限疲勞年限之檢核，則須進一步計算有限疲勞年限：

(1) 依據 AASHTO Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridges，疲勞年限之計算公式如下：

$$Y = \frac{fK \times 10^{10}}{T_a C (R_s S_r)^3} \quad (C6.3.4)$$

其中

Y = 疲勞年限

K = 構造細節常數（見表 C6.3.1）

- T_a = 外車道平均每日貨車流量
 C = 每一貨車通過時引致之應力迴圈數
 $f = 1.0$ (疲勞安全年限)
 $= 2.0$ (平均疲勞年限)

(2) 依據 AASHTO (2003) LRFR 評估法，有限疲勞年限之計算公式如下：

$$Y = \frac{R_R A}{365n(ADTT)_{SL} \left((\Delta f)_{eff} \right)^3} \quad (C6.3.5)$$

其中

- Y = 總有限疲勞生命(年)
 R_R = 評估中規定之抵抗係數（見表C6.3.3）
 A = LRFD 構造細節相關之常數（見表 C6.3.4）
 n = 每一貨車通過時引致之應力迴圈數
 $(ADTT)_{SL}$ = 疲勞年限內單一車道平均每日貨車流量
 $(\Delta f)_{eff}$ = 有效應力差值

9. 每一貨車通過時引致之應力迴圈數 C 或 n 可依現場量測結果、依影響線計算、AASHTO LRFD 設計規範規定或依下述準則訂定(AASHTO 1990)：

(1) 縱向構材

- (a) 跨徑 > 12m 之簡支梁， $C=1.0$ ；跨徑 < 12m 之簡支梁， $C=1.8$ 。
 (b) 位於距中間支承 0.1 倍跨徑內之連續梁：
 跨徑 > 24m 時， $C=1+(跨徑-24)/120$
 24m > 跨徑 > 12m 時， $C=1.0$
 跨徑 < 12m 時， $C=1.5$
 (c) 連續梁除(b)外之其他位置
 跨徑 > 12m 時， $C=1.0$
 跨徑 < 12m 時， $C=1.5$
 (d) 懸臂梁， $C=2.0$
 (e) 桁架構件， $C=1.0$

(2) 橫向構材

- (a) 間距 > 6m， $C=1.0$
 (b) 間距 < 6m， $C=2.0$

10. 計算出疲勞年限後，再由橋梁主管機關判斷疲勞年限是否足夠，若不足夠則可據以執行橋梁交通管制、橋梁檢測或修復。

6.3.3 應力差值

檢討應力差值時，可在一般車流情況下，依據現場量測求取其應力差值；或假設一疲勞貨車，在其作用下計算其應力差值。計算應力差值時應考慮因特殊橋況造成之載重加成效應及衝擊效應。

解說：

1. 疲勞評估之首要步驟為計算應力差值，應力差值之計算可依據分析計算方式，計算疲勞貨車作用下，橋梁所受之應力差值，或直接由現場動載重試驗方式求得。藉由現場量測繪得之應力差值直方圖，依下式可計算其應力差值：

$$S_r = \left(\sum f_i S_{ri}^3 \right)^{1/3} \quad (C6.3.6)$$

有效應力差值為計算之應力差值再乘上 R_s ：

$$(\Delta f)_{\text{eff}} = R_s S_r \quad (C6.3.7)$$

其中

f_i = 第*i*組應力差值之次數百分比

S_{ri} = 第*i*組應力差值之組中點值

2. 疲勞貨車(Fatigue truck)係用以代表真實車流中不同種類與型式之貨車，如圖 C6.3.1 所示為 AASHTO Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridge 所定義之疲勞貨車，其為一曳引車後附掛一輛拖車，總重與 HS15-44 相當，為 240KN，但曳引車與拖車間之軸距為固定值 9.15 公尺，而非如「公路橋梁設計規範」中之 HS15-44 為 4.25 公尺與 9.15 公尺間之變動值。AASHTO 2003 LRFR 所採用之疲勞貨車總重則同於設計貨車 HS20-44 為 320KN，但同時亦規定採用此疲勞貨車計算應力差值時須再乘上 0.75 之載重係數，所以本質上 AASHTO Guide Specification for Fatigue Evaluation of Existing Steel Bridge 和 AASHTO LRFR 所定義之疲勞貨車並無不同。疲勞貨車之總重，除依據上述規定外，亦可根據可靠資料或現場實測估計適當之總重，輪重分配與軸距除可根據圖 C6.3.1 外，亦可根據現場實際資料決定適當之值。
3. 疲勞貨車總重之決定除可依據上述規定外，亦可藉於現場附近適當位置進行之重量觀測或於現場進行之移動重量觀測，取得貨車總重直方圖，再依下式計算疲勞貨車總重：

$$W = \left(\sum f_i W_i^3 \right)^{1/3} \quad (C6.3.8)$$

其中

f_i ：第*i*組總重之次數百分比

W_i ：第*i*組總重之組中點值

4. 若依定義之疲勞貨車，計算橋梁之應力差值，在計算橋梁之應力差值時，須考慮載重加成效應、衝擊效應與側向分佈，再據以計算疲勞貨車行經橋梁產

生之彎矩差值（對桁架構件而言則為軸力差值），彎矩差值除以斷面模數，或將軸力差值除以斷面積（桁架構件），即可得 S_r 。

- (1) 載重加成效應：在一般情況下，僅需考慮一輛疲勞貨車之載重效應，但若因特殊橋況使貨車易發生彈跳，則疲勞貨車之總重應增加 15%。這些情況包括(a)在橋梁上或接近橋梁處有交通號誌；(b)雙線道公路之橋梁上有陡坡。
- (2) 衝擊效應：考慮橋梁之衝擊效應，應將疲勞貨車之總重提高 10%。對橋梁而言，不同貨車會有不同之衝擊係數，實際影響疲勞評估者應為平均之衝擊係數，而非最大可能之衝擊係數。並且疲勞評估之衝擊係數是針對應力差值而非最大應力，故取疲勞評估之衝擊係數約為 10%，但若伸縮縫或摩擦層狀況不佳，則應取較大之衝擊係數值，但最大亦不必超過 30%。
- (3) 側向分佈：對於直線縱向大梁或縱梁，其採用之彎矩差值為在一疲勞貨車作用下計算所得之種彎矩差值再乘上側向分佈係數 DF。DF 值可藉由嚴謹之方法，例如有限元素法直接計算其影響，或依下述方式計算：

(a) 內梁

(i) I 型桿件

若橋面版由兩支縱向桿件支撐，則可假設橋面版對橫向而言其作用為一簡支梁，在其外車道中心置放一貨車，進而計算側向分佈係數 DF 值。若橋面版由兩支以上之縱向桿件支撐，則如下述計算 DF：

$$DF = DF_i = \frac{S}{D} \leq \frac{S-0.91}{S} \quad (C6.3.9)$$

其中

S = 大梁之間距(m)

D = 見表 C6.3.5。其中連續跨橋之跨長可視為靜載重作用下變形反曲點間相對應之長度。未列於表 C6.3.5 之跨長 DF 值可依內插求得。

(ii) 箱型桿件

對於箱型梁可保守地將其分成兩個 I 型梁，再依 I 型桿件之作法計算 DF 值。

(b) 外梁

若緣石內面至外梁中心線距離小於 30cm 或外車道路肩寬度大於 1.2m，則 $DF = DF_e = DF_i$ 。否則

若 $P > 0.5$ ， $DF_e = 0.7 - 0.4P \geq DF_i$

若 $P < 0.5$ ， $DF_e = 0.9 - 0.8P \geq DF_i$

其中 P = 外梁至最近外車道之中心線距離除以大梁間距；若外車道中心

線在外梁外，則 P 為負值。

(4) 構件斷面

(i) 彎曲構件

將彎矩差值除以斷面模數可得應力差值。

對於複合式混凝土橋面版，以增加複合斷面模數之 15% 計算正彎矩部份之應力差值；以增加含縱向鋼筋鋼斷面模數之 15% 計算負彎矩部份之應力差值。

對於非複合式混凝土橋面版，若藉由目視無法看出橋面版與鋼斷面有分離現象，則採用全複合性斷面模數或以增加鋼斷面模數之 30% 計算正彎矩部份之應力差值；若藉由目視可看出橋面版與鋼斷面間有分離現象，則僅考慮鋼斷面模數計算其應力差值。

(ii) 桁架構件

將軸力差值除以斷面積可得應力差值。

6.4 耐震能力評估

橋梁耐震能力評估應依據部頒「公路橋梁耐震設計規範」之規定，配合橋梁管理機構之功能需求，並參考耐震能力評估相關研究報告，選用可靠之分析方法進行評估。

解說：

各橋梁管理機構於依據本規範所建立之檢測制度進行檢測後，可參考相關規範或報告，如交通部所擬定之「公路橋梁耐震設計規範」與「橋梁耐震能力評估準則」等之詳細規定，進行耐震能力評估。

6.5 耐洪能力評估

橋梁耐洪能力評估應配合橋梁管理機構之功能需求，並參考河川橋梁耐洪相關研究成果，選用可靠之分析方法進行評估。

解說：

各橋梁管理機構於依據本規範所建立之檢測制度進行檢測後，可參考相關規範或報告，如交通部所擬定之「河川橋梁之橋墩(台)沖刷保護工法」之詳細規定，進行耐洪能力評估。

表 C6.2.1 靜載重及活載重相關之係數

評估方法 \ 評估等級	登錄評估(Inventory Level)		使用評估(Operating Level)	
	A ₁	A ₂	A ₁	A ₂
容許應力法(AS)	1.0	1.0	1.0	1.0
載重係數法(LF)	1.3	2.17	1.3	1.3

表C6.2.2 靜載重加成係數 γ_D 及活載重加成係數 γ_L

項次	交通狀況	活載重加成係數 γ_L	靜載重加成係數 γ_D
1	低交通量(ADTT<1000) 執行超載限制	1.30	1.2
2	高交通量(ADTT \geq 1000) 執行超載限制	1.45	
3	低交通量(ADTT<1000) 無執行超載限制	1.65	
4	高交通量(ADTT \geq 1000) 無執行超載限制	1.80	

註：ADTT 為平均每日貨車流量

表 C6.2.3 衝擊係數 I

摩擦層狀況	說明	建議採用之衝擊係數
良好	完全無維修之必要	0.1
尚可	橋面磨耗層稍有磨損，但仍符合設計需求	0.1
不佳	橋面磨耗層破損甚為明顯，行車舒適性不佳，有局部維修之必要	0.2
惡劣	橋面磨耗層已完全不符合當初之設計需求	0.3

表 C6.2.4 活載重之折減係數

車道數	活載重之折減係數
單或雙車道	1.0
三車道	0.8
四車道	0.7

表 C6.2.5 鋼橋強度折減係數 ϕ

上部結構之狀況	結構型式		檢查		維修		ϕ
	非簡支	簡支	仔細	簡約	嚴格執行	間歇執行	
良好	×		×		×		0.95
	×		×			×	0.90
	×			×	×		0.95
	×			×		×	0.90
		×	×		×		0.85
		×	×			×	0.75
		×		×	×		0.85
		×		×	×	×	0.75
劣化	×		×		×		0.95
	×		×			×	0.85
	×			×	×		0.90
	×			×		×	0.80
		×	×		×		0.80
		×	×			×	0.70
		×		×	×		0.75
		×		×		×	0.65
嚴重劣化	×		×		×		0.85
	×		×			×	0.75
	×			×	×		0.80
	×			×		×	0.70
		×	×		×		0.70
		×	×			×	0.60
		×		×	×		0.65
		×		×		×	0.55

表 C6.2.6 鋼橋載重評估之極限狀態及載重係數

橋梁型式	極限狀態	靜載重 DC	靜載重 DW	設計載重	
				登錄等級	實用等級
				LL	LL
鋼橋	強度 I	1.25	1.50	1.75	1.35
	強度 II	1.25	1.50	-	-
	服務 II	1.00	1.00	1.30	1.00
	疲勞	0.00	0.00	0.75	-

表 C6.2.7 系統係數 ϕ_s

上部結構型式	系統係數 ϕ_s
具二支大梁／桁架／拱橋為焊接接合	0.85
具二支大梁／桁架／拱橋為鉚釘接合	0.90
多眼桿構件之桁架橋	0.90
具三支大梁之橋，且大梁間距 ≤ 1.83 m (6ft)	0.85
具四支大梁之橋，且大梁間距 ≤ 1.22 m (4ft)	0.95
所有其他梁式橋(Girder Bridges)及版橋(Slab Bridges)	1.00
橫梁(Floorbeams)間距 > 3.66 m (12ft)及縱梁(Stringers)不連續	0.85
橫梁結構中具有超靜定縱梁子系統	1.00

表 C6.3.1 構造細節常數與極限應力差值 (AASHTO 1990)

應力分類	構造細節常數	極限應力差值(kgf/cm ²)
A	2330	616
B	1130	413
B'	580	308
C	410	259
D	205	182
E	100	112
E'	38	63
F	100	203
註：應力分類見「公路橋梁設計規範」之表 8.1.3A2		

表 C6.3.2 與應力差值相關之載重係數 (AASHTO LRFR 2003)

疲勞年限 評估方法	與分析法相關之 載重係數 R_{sa}	與貨車載重相關 之載重係數 R_{st}	與應力差值相關 之載重係數 R_s
最小可預期疲勞年限與評估之疲勞年限			
依簡化方式計算應力 差值；疲勞貨車載重 依 AASHTO LRFD 設 計規範計算	1.0	1.0	1.0
依簡化方式計算應力 差值；疲勞貨車載重 依現場量測結果計算	1.0	0.95	0.95
依較精確方式計算應 力差值；疲勞貨車載 重依 AASHTO LRFD 設計規範計算	0.95	1.0	0.95
依較精確方式計算應 力差值；疲勞貨車載 重依現場量測結果計 算	0.95	0.95	0.90
採現場載重試驗所得 之應力差值	NA	NA	0.85
平均疲勞年限			
所有方法	NA	NA	1.00

表 C6.3.3 疲勞年限之抵抗係數， R_R (AASHTO LRFR 2003)

應力分類	R_R		
	評估疲勞年限	最小疲勞年限	平均疲勞年限
A	1.7	1.0	2.8
B	1.4	1.0	2.0
B'	1.5	1.0	2.4
C	1.2	1.0	1.3
C'	1.2	1.0	1.3
D	1.3	1.0	1.6
E	1.3	1.0	1.6
E'	1.6	1.0	2.5

表 C6.3.4 LRFD 構造細節常數 (AASHTO 2002)

應力分類	常數 $A \times 10^{14} \text{ (kgf/cm}^2)^3$
A	87.1
B	41.8
B'	21.2
C	15.3
C'	15.3
D	7.7
E	3.8
E'	1.3

表 C6.3.5 計算側向分佈係數之係數 D (AASHTO 1990)

跨徑 (m)	D
9 以下	5.0
12	5.5
18	6.0
27	6.5
36	7.0

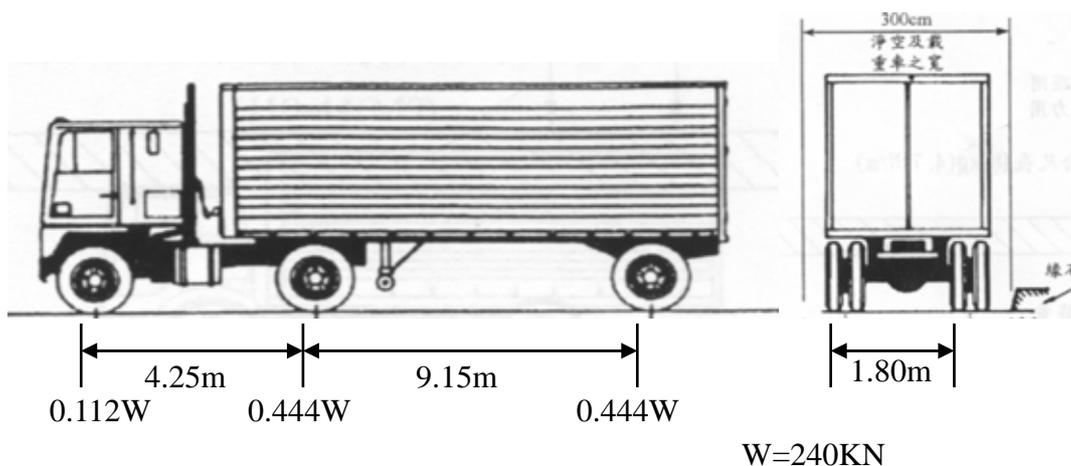


圖 C6.3.1 疲勞貨車示意圖