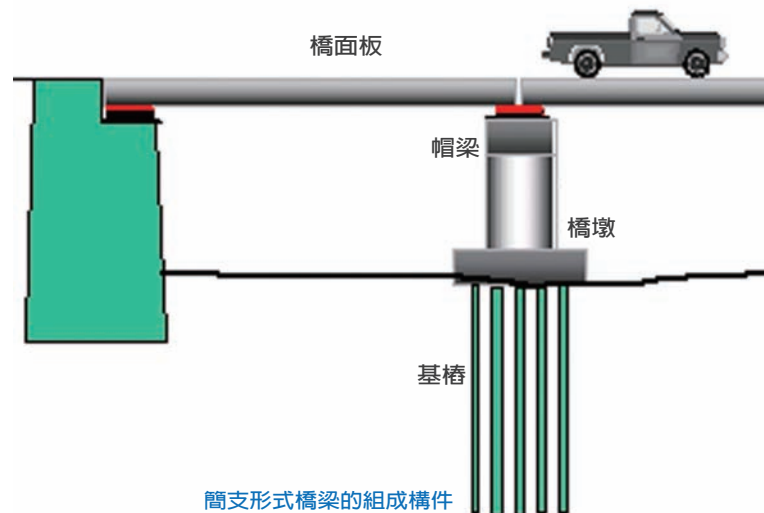


橋梁的健康診斷

■ 王仲宇

橋梁是交通網絡的咽喉，
必須定期檢測其健康狀態。

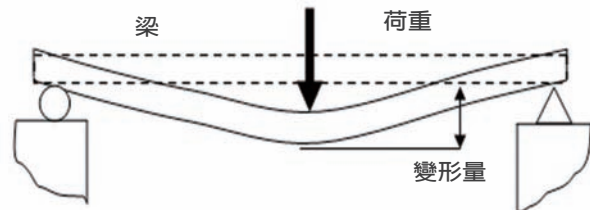
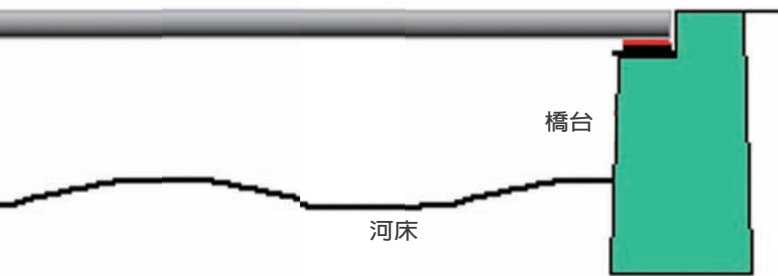
土木工程師已研發各種非破壞性檢測方法，
以診斷橋梁的損傷形式及功能性降低的情況，
做為維修補強的依據。



橋梁是人類根據生存與經濟活動的需要，利用工藝技術與材料，在科學規律和美學法則的考量下，精心設計而創造出的人工構築，是人文科學、工程技術與藝術合一的產物。優美的橋梁建築不僅象徵了社會的發展，體現出人類智慧與卓越的創造力，也往往成為時代與工程科技演化的紀錄。要讓一座橋梁在服務年限內充分發揮實用性與經濟效益，定期的健康診斷就成為養護工作的重點。

橋梁的健康診斷和人類的健康診斷有著巧妙的對應。土木工程師常被要求在不影響正常營運條件下，對一些老舊、出生年代不詳、缺乏病歷資料且不會說話的橋梁結構做出診斷，並且預估其體能狀況及壽命。這項工作跳脫了一般人認為土木工程是一種「低層次」技術的認知，而這種對老舊結構物的診斷與延壽工作，已逐漸成為有國際性需求的技術。

要建立結構物的健康診斷體系，除了要掌握既有的工程技術與理論外，跨領域的科技整合也是必然的趨勢。這將帶動日後



橋梁的基本功能就是可讓荷重由支承的一邊移送到另一邊，而且變形量在安全及服務要求的限度內。由這一最簡單的形式逐漸演變出各式各樣的橋梁。

土木工程教育內容的改革，也表示了課程中將培養出一些專精土木結構的醫生與算命師，去維護與評估橋梁的正常使用。

橋梁的發展與形式

在人為製作橋梁之前，自然界由於地殼運動或自然現象的作用，形成了許多天然的橋梁，如石拱橋及河邊因樹幹自然倒下而形成的獨木橋，或兩岸藤蘿糾結而構成的「吊橋」等。人類在生存發展中從自然習得許多啟示，也仿效自然用一「梁」過河以利通行，這或許就是橋梁一詞中「梁」的由來。隨著社會經濟發展的需求，橋梁的形式、材料、工法不斷地演化，逐漸建造出各式各樣的跨空間傑作。

橋梁的基本特徵就是用一片或數片板子跨過一道河谷或深淵；而當板子長度有限時，又設法在河中落個橋墩以做續接；隨後想要讓橋墩穩定，又發明了基樁的使用，使

之像牙根般穩穩地扎在大地上。工程師又發現如需跨越而不想落墩時，可利用繩索具有長距離傳遞拉力的特質以資解決，而有了現在常見的大跨度吊橋或斜張橋的形式。

簡單而言，橋梁設計的基本法則，就是利用各種構件，以最經濟、安全、穩定的形式，使外加荷載力量在結構系統中分配傳遞。

結構工程師永遠在做「荷載力」與結構本身所具有「抵抗力」（承載能力）的計算，只有「抵抗力」足夠了，結構才可滿足設計及服務性的要求，並且在突然出現的較大荷載作用下仍可安然無恙。因此，橋梁健康診斷的目的就是要用各種手段，探求結構組成構件哪兒不對勁了，然後再評估它現有的「抵抗力」是否可以承擔其應受的負荷。

橋梁的劣化與損傷

橋梁在生命週期中會受到各類外力的作

要讓一座橋梁在服務年限內充分發揮實用性與經濟效益，定期的健康診斷就成為養護工作的重點。



跨越河川或深谷的橋梁，橋面板正下方區域的檢測維修可使用特殊的橋梁檢測車伸入工作。



橋墩在不同時期的鋼筋腐蝕膨脹而造成混凝土保護層剝落，鋼筋腐蝕後其有效承受力量的斷面積會減少。



一些橋梁檢測車無法便利使用的橋梁，檢測人員必須使用特殊攀爬設備接觸到構件做目視或儀器檢測。

用，如地震、洪水、土石流、撞擊、火害、超載、物質腐蝕等。此外，結構在施工時若品質控管不良或維護工作不確實，都會造成橋梁的劣化。先天不良又後天失調的結構，其「抵抗力」必然不足，無法提供良好服務功能或不具安全性，通常在補強費用過高時，就會面臨拆除重建的命運。

橋梁常見的劣化損傷有：混凝土強度不足、裂縫、預力鬆弛、蜂窩狀孔洞、基礎沖刷掏空、鋼筋腐蝕、焊道開裂、螺栓鬆動、積水、基樁斷裂、傾斜、沉陷、大梁變形過大等。

檢測方法

橋梁健康診斷就是用各種方法檢測結構是否有損傷存在，以及損傷的位置與嚴重程度，然後再對其現有「抵抗力」做出評估。目前橋梁結構的診斷可分為目視檢測與使

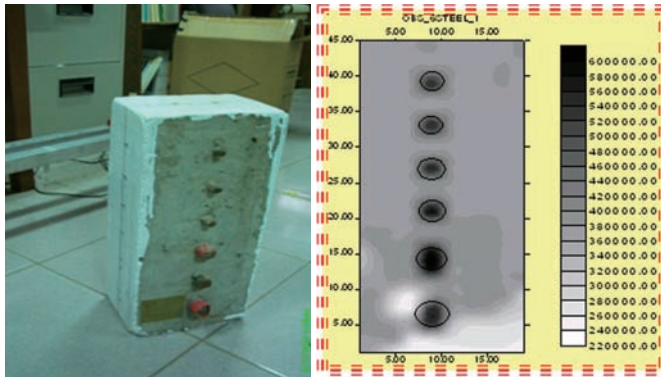
用儀器設備的非破壞檢測二大類。

目視檢測 目視檢測類似中醫看診法的「望、聞、問、切」中的望，也就是用眼睛看看橋梁的氣色如何，再依據經驗判斷是否須做進一步的儀器檢測。一般橋梁目視檢測時會使用標準的評分表格，就橋梁構件及橋址附近對橋梁安全有影響的各類因子評分。台灣已建立了2萬7千座6公尺以上橋梁的基本檢測資料庫與管理系統，當資料愈來愈完整後，台灣就會有世界級的橋梁健康維護



在一些用應力波檢測理論方法不易研判構件內部組成的情況下，可使用放射線照相法，讓內部組成如孔洞、鋼筋尺寸、混凝土保護層厚度一目了然。

橋梁健康診斷就是用各種方法檢測結構是否有損傷存在，以及損傷的位置與嚴重程度，然後再對其現有「抵抗力」做出評估。



應力波斷層掃描法只要在柱的外圍，做敲擊接收波傳播時間的量測，就可由電腦程序反算出斷面內的組成物波速分布圖。對鋼筋混凝土構件而言，就可研判保護層厚度、鋼筋分布情形及尺寸。

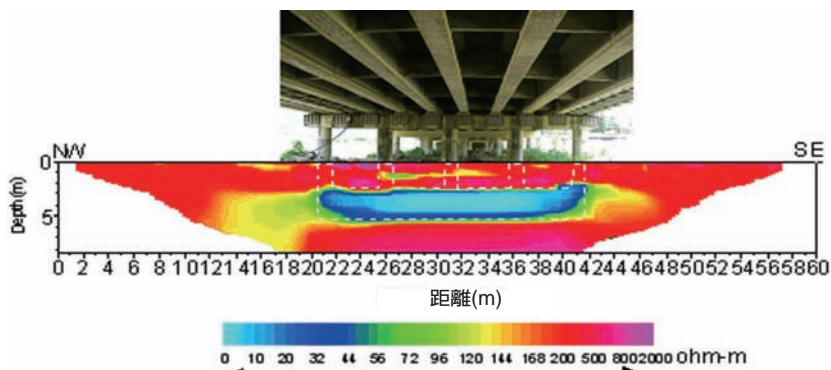


使用透地雷達在河面上掃描而過，可測得河床斷面深度，並研判基礎附近冲刷情形。

醫療體系。

在進行目視檢測時，常要搭配一些攀爬設備或特殊工作車，才可對橋梁做完整的近距離檢視。近期有些國家發展出具有攝影及定位功能的遙控直升機，對無法使用橋檢車的高大橋梁構件進行檢測工作。

非破壞檢測 所謂非破壞檢測就是在不破壞被檢測物的情況下，運用聲、光、電、熱、磁等感測方式所做的檢測。以人體為例，就像西醫聽診、中醫把脈、X光照像、量溫度、心電圖、超音波、斷層掃描、驗血、驗尿等。



因為土壤與混凝土的電阻值不同，可使用地電阻影法檢測橋墩基礎的形式與尺寸。

橋梁的非破壞檢測方法，又分為局部特性的檢測與橋梁整體的行為量測兩種。

對橋梁局部特性的非破壞檢測方法，已有許多廣泛使用的技術，諸如以應力波檢測裂縫深度、混凝土保護層厚度；以化學藥劑檢查混凝土中氯離子含量、中性化程度；用放射線檢測鋼筋混凝土構件內部組成；以3D雷射空間掃描儀量測結構體的數位化幾何坐標；用雷達波掃描河床斷面；用中子密度儀探測預力套管內的含水量；用應力波斷層掃描技術看墩柱內的鋼筋尺寸及配

置；用地電阻的分布檢視地面下橋墩基礎的尺寸等。

針對橋梁整體的行為量測，最常採用的方法是振動與變形量測，諸如環境微振動量測、強迫振動、載重試驗等。

環境微振動量測：在無特殊外力干擾的情況下，量測橋梁因環境效應作用下的微動態特性。

強迫振動：有已知外力干擾，例如以大鐵鎚敲擊橋梁，再以強迫振動儀（可控制頻率、振幅）檢測。但是因為橋梁結構的尺寸常較大，常需要特殊設備來輸入較大的能量。

載重試驗：載重實驗是最直接診斷橋梁現況的方式，用已知載重施加在結構上，然後量測結構的各類反應，做為系統現況特徵的評定。這種



使用光纖式測彎計量測橋梁在載重實驗時的動、靜態變形。

檢測方式有些類似常人的體適能測驗或心肺功能檢查。

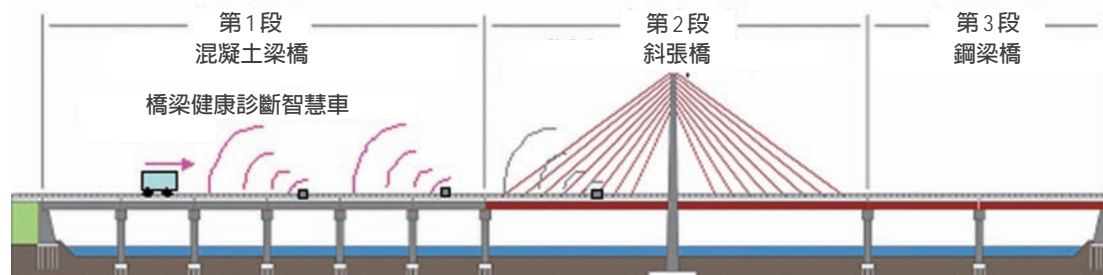
目視與非破壞檢測的主要目的，就是要建立一反映結構現況的分析模型。有了這個模型，就可做極限狀態下的結構行為分析或常態荷載作用下的壽命評估。

另外一種值得一提的診斷方式，就是在橋梁上布設各類感測器做即時的檢測及診斷，工程界稱為健康監測。根據訂定的各類安全預警值，監測系統可二十四小時監看結構的行為，並在結構物達安全預警的臨界狀態時，向主管單位發出警訊。但因為建置與維護一座橋梁健康監測系統的費用不便宜，通常是重要性等級較高或是有安全疑慮的橋梁才會布設這類即時監測系統。

快速診斷

每一座橋梁在施作非破壞檢測時都會耗費相當的人力與時間，但是全國需檢測橋梁的數量龐大，加上政府的經費與人力有限，因此迫切需要尋找快捷且便宜的方法，迅速篩選出有損傷疑慮的橋梁，然後再用局部區域的非破壞檢測方法進行詳細的診斷。

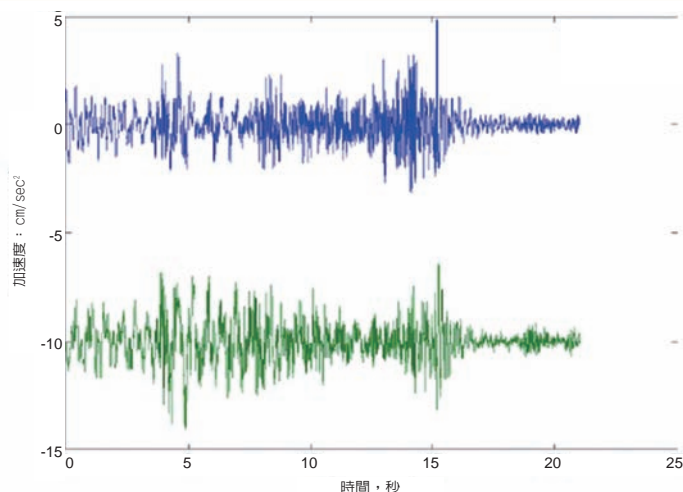
在眾多的檢測方法中，運用應力波在結構中傳播，依結構系統的體質所形成的振動特質來判斷其健全性，是一種便捷且經濟的方法。以醫學的角度來比擬，就類似中醫的把脈與西醫的心電圖判讀。這種運用振動的信號來診斷結構是否有損傷、損傷的位置、損傷的嚴重程度、結構的殘餘壽命等，是近



發展中的橋梁健康狀態快速診斷智慧車，結合無線感測器及數位光學量測設備，可減省布置感測器的成本與時間，以標準載重車迅速通過時，就可量得所需的信號做診斷評估。



橋梁常成為都市的地標與國家工程科技實力的指標。上圖是葡萄牙波耳多市多羅河上於1877年所建造跨度是160公尺的Maria Pia 桁架鐵拱橋，這座橋是艾菲爾（G. Eiffel）先生的團隊在設計巴黎鐵塔前的成名作，背後則是現代化的大跨度鋼箱型梁橋。



車輛駛過具有基礎沖刷掏空損傷橋墩與基礎完好橋墩所量得的時域振動訊號，必須再使用信號分析的方法，才可區別這二個信號的差異性。這有些類似中醫把脈看診，由脈象診斷身體哪一部位有了病變。

年來全世界工程科技發展的一個重點。

使用振動訊號做損傷識別時，對輕度至中度損傷情況的橋梁，傳統的訊號分析方法難以有效析離出指標性的訊號成分，也就不易對橋梁的健全性做出可靠的評估。因此先進的訊號分析技術與損傷識別理論的應用及研發，是日後橋梁健康診斷技術發展的核心。

近代土木工程科技的發展，似乎也在呼應地球永續發展的理念，並積極倡導所謂「跨領域且多元化整合式生命週期工程」

的概念。因此世界各國針對工程系統衰減劣化趨勢的檢測監測能力，所應具備的規劃、設計、養護、管理、評鑑、預警的能力，以及延續系統使用年限所需的補強復建技術、減少資源浪費和環境污染的「綠工程（green engineering）」技術及法規等，已積極投注大量的研究發展人力及資源。

這一「永續發展」所需及其目的所在的「人類生存基本

設施的健全性維護、防災工作」的推動，將可帶動人文、社會及科技的發展，這些都是未來世代生存及永續發展所需，且勢必定位

為各國競爭力高低的指標和永續發展的基石。台灣地區土木工程界相關的產官學研單位，為面對未來生活環境的變遷與自然災害的威脅，必須開始規劃相關的教育訓練體系與內容，以培育下一世代的工程人員，建造一安全、舒適、永續的智慧生活空間。 □

王仲宇

中央大學土木工程系