

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 鋼絲網加勁活性粉混凝土衝擊力學行為研究(2/3) 期中進度報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-413-  
執行期間：95年08月01日至96年07月31日  
執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：陳振川

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 12 月 10 日

# 鋼絲網加勁活性粉混凝土衝擊力學行為研究 (II)

## 期中報告

計劃編號：NSC 94-2211-E-002-054

執行期限：民國 94 年 08 月 01 日起至民國 96 年 07 月 31 日

主持人：陳振川 國立台灣大學土木系教授

一、摘要：(關鍵詞：活性粉混凝土、衝擊試驗、光纖、裂縫傳播、複合構件)

活性粉混凝土(Reactive Powder Concrete, 簡稱 RPC)本身為一種軍事用途的特殊材料，而在最近幾年研究內容相當豐富，包括他的抗壓強度、抗彎強度、反覆加載之下的力學行為與消能行為等等，至今已經有相當好的研究結果。

當結構物本身遭受到高速衝擊加載時，它的行為會根據撞擊物的質量、形狀、速度或是結構物本身的材料性質等等所影響。當撞擊物與目標物接觸時，瞬間會有相當大能量的應力波產生，並且因為區域間張力的變化會反映在接觸面上；當目標物上因為動態張應力產生張力應變時，張力破壞會產生。而當此種狀況發生在混凝土這類相當易碎的材料上時，不但內部會有裂縫發生，在背面也可找到裂縫痕跡。這項結果說明了動態張力強度是一項控制混凝土動態衝擊的一項重要參數。

光纖的主要特性在於其質輕、傳輸頻帶寬、不受電磁波干擾、可繞性高、耐高溫與輻射、抗蝕性好，光纖感測器(Fiber Optical Sensors, FO)也因為光纖本身的優點，埋入結構體中，量測出各種物理量具有相當良好的表現，比如結構物使用過程中之應變、溫度、振動等等，相當適合用於土木

結構物的監測，用於結構監測時，與傳統電阻式應變計一樣，黏貼於結構體內的鋼筋或是鋼骨上，並加上封貼保護，其所量測出來的數值以鋼筋或鋼骨的應變為準。對於在量測衝擊時，試體內部的應變變化上會取得與傳統方法相比之下，更精確的數據。

本研究主要為利用改良式 Charpy Impact Test 配合 DEMINSYS 光纖量測系統，建立起標準 RPC 衝擊試驗的架構，並探討運用 RPC 以達到最佳衝擊消能效果之探討。

## 二、前言：

光纖感測器體積小、重量輕，不受電磁波干擾、傳輸損耗低、靈敏度高、安全性高、以及特有的多工性質可以組合成監測網路，加上他可以輕易地和現有的廣大通訊市場之儀器及元件整合，因此近年來被廣泛的運用在許多地方，如工業、軍事、生物、電子等等。

所謂的光纖感測器是將物理上的變化，包括溫度、應變、加速度、位移、壓力電流、磁場、瓦斯濃度、放射場之變化，轉變在光纖內傳輸訊號的改變。除了溫度外，其他大部分的物理變化皆可由應變的變化經過轉換來獲得。應變來說，傳統量測應變是以黏貼應變計(resistive strain gauge, RSG)為主，其理論是將應變直接轉換成電阻變化。通常光纖感測器的分類是以感測器元件及解調方式為主。

感測元件分為本質式(Intrinsic)與非本質式(Extrinsic)，兩者之差別在於光纖本身是否有扮演感測器的角色，如果有則稱之為本質式。

而依解調方式分類，也就是信號的轉變方式，則有光強度調變、相位調變與波長調變。

光強度調變是指運用光的吸收、放射損失及發光特性。經過精密的設計後，光強度調變之感測器可以得到絕對的量測值。但由於需要外接光源，光強度可能會有擾動，其靈敏度會受限制。

相位調變是運用光傳輸路徑長度上的改變來解調。同調的兩道光重合時，光波長的相位分布會影響其干涉現象，由調變光波間的相對性相位差，將可做干涉式的量測。

波長調變是運用光波長的飄移來解調。處理過後的光纖感測器暴露在感測環境之下，可以由光譜之改變來獲得物理量變化。波長調變之感測器不僅有相位調變感測器之優點，加上儀器只要一啟動，光波就可以直接被讀取，因此可做到直接量測。

光纖光柵感測器乃本質式、波長調變之光纖感測器，可以輕易達到多工技術及直接量測。

當光柵部位受應變時，波長飄移可由下式表示。

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = (1 - P_e) \times \varepsilon = K_\varepsilon \times \varepsilon$$

布拉格波長飄移無論對於拉應變或壓應變都有極佳之線性關係，其 R-square 值幾乎都在 0.99 以上但是在極大之拉應力下，由光譜分析儀可看出反射波長之強度會有下降之趨勢，尖峰的邊緣也會有分裂的情形發生，

會使得中心反射波長對應變會有些許非線性的情形發生。圖(1)所示為測試應變與波長飄移關係之實驗方式，一開始慢慢旋轉旋鈕來伸長光纖，以伸長量除以跨距長度來得到應變，由光譜分析儀上讀取反射波長峰值，來得到波長飄移與應變之間的關係，如圖(2)所示。根據文獻指出，大約為 0.74，即 1 $\mu$  的拉應變會使布拉格波長往長波長方向飄移約 0.00115nm~0.0012nm。

### 三、試驗架構：

本研究主要是將光纖埋設在活性粉混凝土中，運用光纖的高敏感性配合 DEMINSYS System 的高速動態擷取速度，對衝擊試驗過程中，觀察活性粉混凝土應變的變化以及其外加衝擊載重能量的情形，進而可分析活性粉混凝土與鋼絲網、鋼纖維之間的加勁行為與互制行為。活性粉混凝土是以點悍鋼絲網加勁，透過複合構件的方式，達到具有抗撞擊外力的能力。

由於過去並未有光纖埋設在混凝土中測量動態之研究，所以在做動態試驗之前，必須先做靜態行為，以確認光纖本身的正確性。試體為一厚度為 1.7cm 的版，所以將應變計黏貼在試體之上，藉由對試體反覆施加壓力，試體會產生應變具有伸長量，而應變計便可與光纖兩者之間的伸長量做比對，以確認光纖量測的正確性。間接的提供在動態衝擊試驗時，光纖收取資料的正確性。

本實驗為了光纖的正確性，提供應變計作為對照組，而光纖再去與之作比對，由於光纖光柵是埋設在活性粉混凝土距離頂端 0.5cm 的位置見圖(1)，所以應變計我們採取黏貼在光柵的正上方與正下方各一，最後再經由

線性關係去求得光柵位置的伸長量。

實驗方式我們使用 MTS 試驗機架設三分點形式見圖(2)，設定一反覆歷程見圖(3)：先使用 20 秒的時間，將試體下壓 1mm，接著在施加週期為 40 秒，振幅為 1mm 的反覆歷程，時間取 4 分鐘，六個全形波。

而試驗是以活性粉混凝土添加 1% 之鋼纖維與 2 層單層鋼絲網為主，因為根據過去的資料顯示，添加 1% 的鋼纖維之後，試體可以將吸收能量的增加值達到最大，接下來多增加鋼絲網的含量，對於能量吸收上的增加，並未有顯著的增長，而鋼絲網與活性粉混凝土再吸收能量上的關係主要是線性疊加，沒有複合構件的現象產生，所以我們採取添加 1% 之鋼纖維與 2 層單層鋼絲網。

應變計是採取一秒一個點的讀取方式，而光纖我們則使用國家地震中心提供之 SI425，其本身速率為 125Hz，而我們將其調整為一秒 4 個點，也就是 4Hz，最後將兩者對照。

#### 四、試驗結果與討論

實驗本身是在探討光纖量測的正確性，所以要做靜態方面的試驗上的對照，對於將來動態上的擷取數據方面，可以作為另外一種參考。

##### (1) 電阻式位移計(LVDT)與應變計

初次試驗是先以探討應變計本身架構上是否可行，於是我們將 LVDT 是為對照組，希望藉由兩者之間擷取資料上的變化來探討應變計的可行性。先黏貼上層的應變計，而在多加設 LVDT，結果如圖(5)所示。由(a)與(b)圖我們可知，當試體本身處於加載時，觀察 LVDT 與應變計的擷取數值上均有歷程產生，並且在後期不斷反

覆時，應變計之值也呈現穩定上升與下降的趨勢，且前後數值上的差異性不大，對此我們可推斷應變計本身的資料擷取上是可信的，並可作為光纖的對照組。

##### (2) 應變計與光纖

由於上一個實驗確定了應變計的正確性，所以在對照光纖上也是具有合理性的。在本次試驗也是採取相同的歷程與架構方式，並且應變計增加為兩個，可用線性關係對照光纖本身的數值。

由圖(6)之應變計的原始數值上下層一為拉伸現象，另一個則為壓縮現象，兩者之間由圖(3)可知光纖與應變計所處的位置，便可求得兩者之間的關係式為

$$\text{Fiber's Strain} = \frac{\text{Top Gage} - \text{Bottom Gage}}{1.7} \times 1.2 + \text{Bottom Gage}$$

由上述之關係式我們可將應變計的數值轉換成圖(7)之形式，而光纖的伸長量也可從前述之公式得到圖(8)的形式，而根據應變計求得之伸長量與光纖本身有所差距，兩者一為純壓縮之量，另一則為純拉伸之量，因此我們可推得光纖與伸長量的位置並不符合，於是修正之前的假設，將光纖之位置改為位於頂端 2mm 之位置，公式也可修正為

$$\text{Fiber's Strain} = \frac{\text{Top Gage} - \text{Bottom Gage}}{1.7} \times 1.5 + \text{Bottom Gage}$$

修正之後的應變計數值則為圖(9)，我們發現其數值與光纖不僅同為壓縮，且兩者之峰值也所差無幾，所以我們判斷光纖可能在製作試體時，位置跑至距離頂端 2mm 之位置，但是由圖可

知，光纖的運用在此量測上是可行的。

將來在製作光纖試體時，要盡量注意到光纖位置上的問題，稍有誤差可能就會讓數值上的差距過大，對於將來做動態量測時，會降低其數據擷取可靠度。

衝擊儀器概況：

衝擊試驗機

見照片(2)，本試驗機是依 CNS 10425 B7255、CNS 8768 B6068、CNS 9284 K6724 之規範製造，為擺垂單次擺動打斷試片時，試片由擺垂所吸收的能量表示。本機械適用於塑膠類及電絕緣材料。此為一經過改良過後的擺錘機，可以進行 Charpy Test 和 IZOD 兩種不同類型的試驗。

規格：

試驗容量：50 (kg-cm)

衝擊上揚角度：60 度

衝擊中心至迴轉中心距離：1322 mm

衝擊速度：3.599 m/s

機台尺寸：約 60\*170\*220 cm

DEMINSYS System

見照片(3)，由於儀器送回荷蘭維修，所以有委託荷蘭方面做相關測試包含了長時間數據擷取與變動頻率數據擷取，測試結果顯示均可收取到數據，照片(4)為使用 52Hz 的速度收取數據，光纖採取規律的變動，其收取情形。

五、後續研究

等儀器維修回台之後，進行 SEMINSYS System 的三分點測試與動態衝擊測試，經由測試結果探討光纖感測器配置上的問題，建立 RPC 內部二維應變場水平及垂直方向之變化。藉此了解衝擊試驗中，鋼絲網與鋼纖

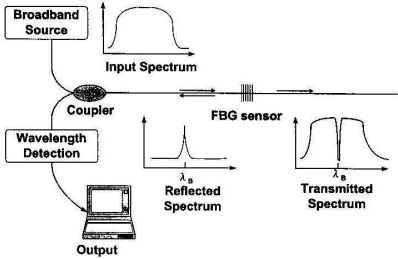
維兩者在衝擊加載與卸載中的相互關係。

六、參考文獻

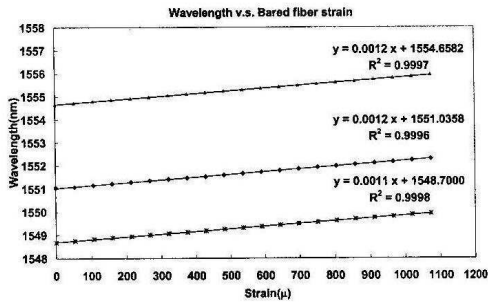
- [1] Ser T. Q. and Jing Z., "Behavior of Hybrid-Fiber Engineered Cementitious Composites Subjected to Dynamic Tensile Loading and Project Impact", Journal of Material in Civil Engineering, ASCE/March/April, pp.143-152, 2005.
- [2] Cheyrezy, M., V. Maret, and L. Frouin, "Microstructure Analysis of UHPC(Reactive Powder Concrete)", Cement and Concrete Research, Vol. 25, No. 7, pp.1491-1500, 1995.
- [3] Bangash, M. Y. H., "Impact and Explosion: Analysis and Design", Oxford, Cambridge, 1993.
- [4] Williams, M. S., "Modeling of Local Impact Effects on Plain and Reinforced Concrete," ACI Structural Journal, Vol. 91, No. 2 ,Mar.-Apr., pp. 178-187, 1994.
- [5] G. Ramakrishna , T. Sundararajan, "Impact Strength of A Few Natural Fiber Reinforced Cement Mortar Slabs: A Comparative Study", Cement & Concrete Composites ,, 2005.
- [6] 呂智傑，"加勁活性粉混凝土板衝擊力學行為研究"，國立台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 94 年。
- [7] 光纖傳感器原理 W. A. Gamnling 張志鵬 pp.3 中國計量出版社
- [8] 林詠彬 "光纖量測技術於土木結

構應用之研究” 國立台灣大學土  
木工程研究所碩士論文, 2000.

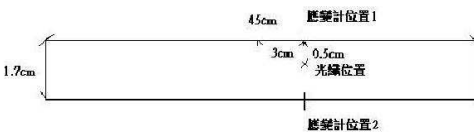
[9] Eric Udd “Fiber Optic Smart  
Structure” (New York: Wiley)



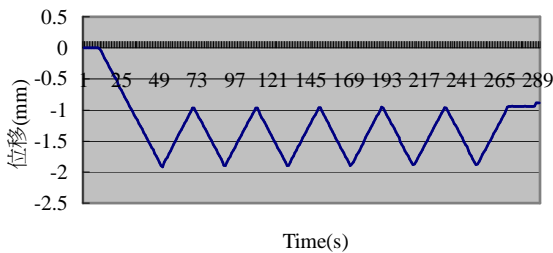
圖(1)光通過FBG之反射頻譜與穿透頻譜



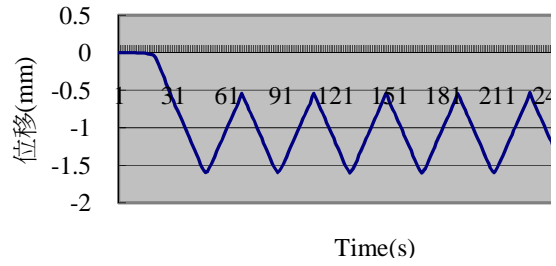
圖(2)波長飄移與拉應變之關係圖



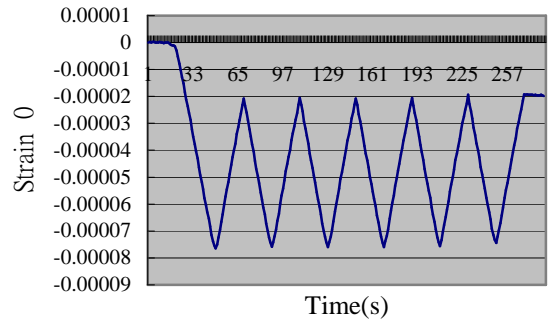
圖(3)光纖光柵與應變計配置



圖(4)試體反覆加載歷程

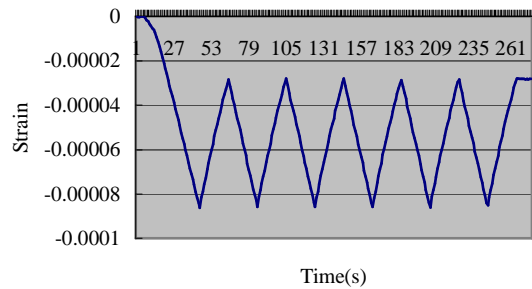


(a)LVDT

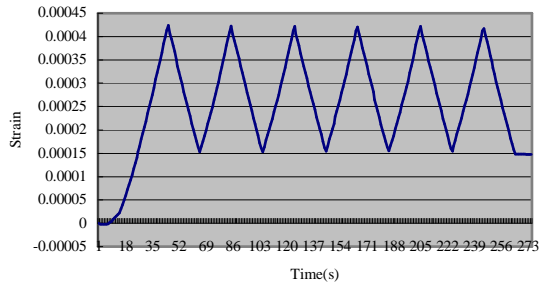


(b)應變計

圖(5)LVDT 與應變計之試驗數值

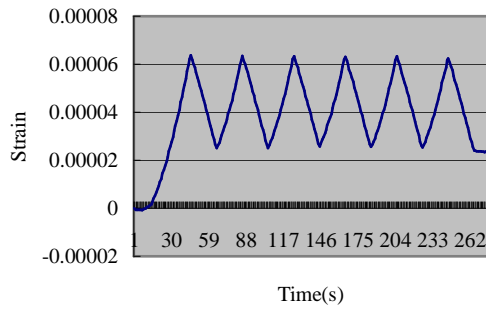


(a)上層應變計

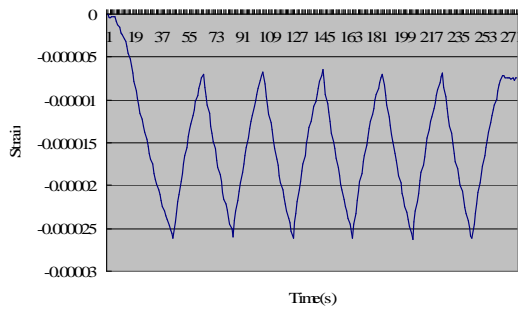


(b)下層應變計

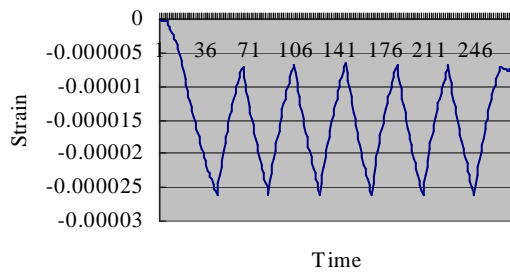
圖(6)應變計之試驗數值



圖(7)轉換後之應變計數值



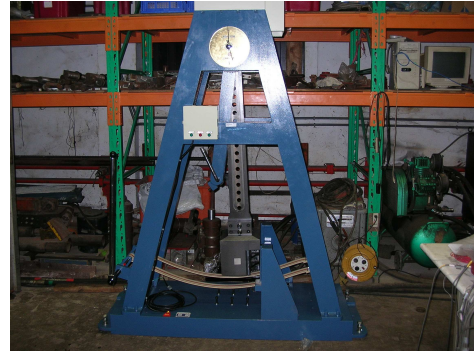
圖(8)光纖之試驗數值



圖(9)修正假設之後的應變計數值



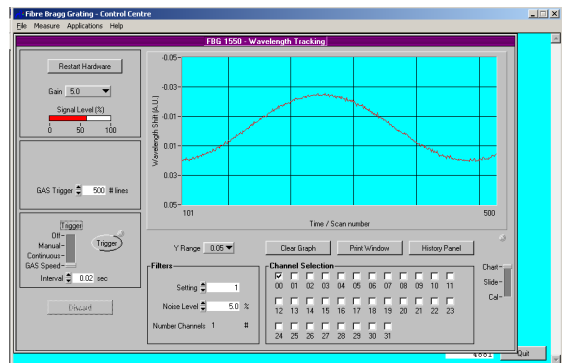
照片(1) MTS 三分點試驗配置



照片(2)改良式 Charpy Impact Test



照片(3)DEMINSYS System



照片(4)資料收取測試畫面

## 出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 95-2221-E-002-413
計畫名稱	鋼絲網加勁活性粉混凝土衝擊力學行為研究 (2/3)
出國人員姓名 服務機關及職稱	陳振川 國立台灣大學特聘教授(土木系)
會議時間地點	Nov. 18-23, 2007 印尼 Bali 島
會議名稱	第二屆亞洲混凝土聯盟國際會議
發表論文題目	Study of Energy Dissipation Capacity of Reactive Powder Concrete Plate

### 一、 參加會議經過

第二屆亞洲混凝土聯盟國際會議(2<sup>nd</sup> ACF International Conference)係由亞洲混凝土聯盟(Asian Concrete Federation,ACF)所主辦，並由印尼土木及結構工程師學會(HAKI)所籌辦，於 Nov. 18-23, 2007 在風光明媚之 Bali 島舉行。亞洲混凝土聯盟 ACF 係經過三年籌備，終於由 13 個國家與地區之混凝土相關代表學會及一個「國際混凝土規範委員會」之國際組織所共同於 2004 年成立。我國代表曾於 2002 年於泰國清邁參加籌設工作，並於成立後，由台灣混凝土學會(TCI)代表我國加入為代表學會。ACF 成立之目的在透過國際交流與合作，提升亞洲及鄰近地區混凝土結構之科技及其服務功能。

本次會同前往參加此項會議者，共計有本人與台大土木系詹穎雯教授及黃世建教授三人。本人為本項大會國際指導委員會委員，詹穎雯教授為國際科技委員會委員，黃教授則同時代表台灣混凝土學會參加於 18-19 日兩日舉行之混凝土規範國際委員會(ICCMC)之規範討論會。本次大會之主題為「混凝土技術與結構新近發展」，探討課題包括混凝土材料科技、結構設計與施工技術、耐震結構、規範與標準、預力與預鑄結構、維修、耐久性、高強度及高性能混凝土、營建管理及工程等，合計共有 130 餘篇文章發表。

本人及代表團出席此項國際會議有多重目的，包括：(1)發表「Study of Energy Dissipation Capacity of Reactive Powder Concrete Plate」論文一篇。(2)台灣混凝土學會 TCI 與韓國混凝土學會 KCI 簽署合作備忘錄，(3)參加 ICCMC 委員委員會及討論會，使我國更積極參加國際規範制定。(4)參加亞洲混凝土聯盟(ACF)之第二次委員會。(5)和世界各國混凝土組織與專家學者交流。



在 22 日參加亞洲混凝土聯盟第二次執委會，本人經推選榮任 ACF 副會長，現任會長 Prof. Uomoto 連任，以期藉由他及日本混凝土學會 JCI 之力量為 ACI 建立更堅固之磐石，惟執委會也確定以後會長之任期均為一任。本代表團並於會議中發表報告，爭取各項主辦活動權利。經熱絡討論，我國順利爭取到於台北市舉行 2010 年第四屆亞洲混凝土聯盟國際會議之權利，越南則優先爭取到於 2007 年舉辦第三屆 ACF 國際會議主辦權。我國亦爭取到第三次執委會及第十一次 ICCMC 會議之活動，此兩項活動均將於 2007 年 6 月下旬配合亞洲土木工程國際會議(CECAR)之舉行，此行可謂成果豐碩。

## 二、 與會心得

1. 台灣混凝土學會(ACI)之成立，加強了我國混凝土產官學界和國際交流之管道與力量，未來更應擔任我國與 ACF 及國際混凝土界交流之窗口。
2. 我國參加亞洲混凝土國際組織與國際規範之活動應再加強，在過去五年，我國在亞洲混凝土規範制定上幾乎缺席，而在此大會 130 餘篇發表論文中，台灣代表僅有一篇，和日本、韓國各有幾十篇比較起來，混凝土學術及產業能力不錯的我國應該更積極參與。
3. 混凝土材料與科技仍為亞洲地區結構領域所最重視之項目，關係營建與材料之發展，而其為快速發展亞洲之最主要建設材料。其品質、技術和民生息息相關。
4. 亞洲已成為水泥及混凝土使用最多之地區，中國所生產水泥佔世界總產達 46.69%(2004)，每年年度水泥增加量為台灣全年使用量之 3.4 倍，然其使用水泥低標準水泥高佔 70%，因此水泥及混凝土工程品質提升及減量、再生利用之空間相當大，配合眾多基礎建設推動，混凝土永續發展科技也成為中國科技研發最重要項目。國際混凝土界也感受到中國水泥與混凝土產量快速成長對亞洲及世界可能造成之衝擊。