

2025年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	100032
參展科別	工程學
作品名稱	深度學習預測仿生複合材料的斷裂行為

就讀學校	臺北市立第一女子高級中學
指導教師	簡麗賢 陳志鴻
作者姓名	黃筱晴

關鍵詞	<u>仿生複合材料、AI預測、斷裂紋模擬</u>
-----	--------------------------

作者簡介



我是黃筱晴，就讀北一女中數資班二年級，從小便對科學、工程領域有著濃厚的興趣。國中時，就參與科展創作，在高一時，對於物理及工程實驗領域的熱情，踏入了此次專題的研究。一路上非常感謝簡麗賢老師、陳志鴻教授以及實驗室學長們的指導與提點。也很幸運能在高中階段，能夠有機會深入探討自己喜歡的議題。

研究報告封面

2025 年臺灣國際科學展覽

研究報告

區別： 北區

科別：工程學科

作品名稱：深度學習預測仿生複合材料的斷裂行為

關鍵詞：仿生複合材料、AI 預測、斷裂紋模擬

編號：

(編號由國立臺灣科學教館統一填列)

深度學習預測仿生複合材料的斷裂行為

摘要

本實驗主要透過程式模擬及數據分析，探討受力材料之裂紋走向。透過模擬，我們找出會影響裂紋發展的因素，如原斷裂紋的長寬比。由於不同的材料會影響裂紋走向，我們將材料設置為單一材料與兩種材料組成的複合材料進行探討，並將結果進行分類。此實驗有助於我們去理解不同初始裂紋對於材料後續的裂紋關係，目前也正在嘗試利用 cGan 系統預測複合材料與裂紋的關係，希望能預測出準確的結果。

This experiment primarily explores the crack propagation in stressed materials through program simulations and data analysis. By using simulations, we identify factors that affect crack development, such as the aspect ratio of the initial crack. Since different materials influence crack propagation, we examine both single materials and composite materials made of two types of materials, and classify the results accordingly. This experiment helps us understand the relationship between initial cracks and subsequent crack behavior in materials. Currently, we are also attempting to use the cGan system to predict the relationship between composite materials and cracks, with the goal of achieving accurate predictions.

壹、研究動機

曾經與網路上看到有關材料的文獻，便開始對這方面感到好奇。在材料學中，裂紋行為一直是一個重要課題，它不僅會影響材料的性能和可靠性，亦會對使用的壽命與安全性造成深遠的影響，因此我決定開始研究。透過先進的程式模

擬技術與數據分析方式，我發現不同的裂痕會有不同的斷裂面，於是想嘗試進行模擬不同材料受力後發生的變化，而單一材料結構較為簡單，能更加清晰的了解裂紋與材料大小的關係，並透過大量的模擬數據來推測單一材料可能出現的斷裂結果，歸納出不同的初始裂紋對材料後續的發展影響，以及可以承受的最大淨力。同時進一步探討複合型材料。而相較於單一材料，複合型材料具有更複雜結構與多樣的性質，也更符合現實，希望能透過不斷的模擬分析提出更有效的材料控制策略與材料設計方案，增強材料的強度與耐久性。

貳、研究目的及研究問題

- 一、 探討不同大小單一模型的受力情況
- 二、 探討不同裂紋單一模型的受力情況
- 三、 探討不同裂紋複合模型的受力情況
- 四、 機器學習預測不同裂紋複合模型的受力情況

參、研究設計

- 一、 單一材料與複合材料的模擬方式
 - (一) 將預先設定的數值放入程式進行模擬。(圖 1-1)(圖 1-2)
 - (二) 將模擬後的模型放入軟體 MATLAB 生成裂紋示意圖及壓力受力圖及應力變化圖。(圖 2)
 - (三) 將得到數據進行分析與整理。

```
void standard_parameters( parameters *p ){  
    p->nx = 320;      p->ny = p->nx;      p->dx = 0.2;  
    p->ka = 0.2;      p->e_c = 0.1;  
    p->lan = 1.;      p->nu = 1.;  
    p->y_tip = 0.2;    p->x_tip = 0.45;  
    p->G_ratio = 1.;  p->E_ratio = 10.;    p->CudaDevice = 0;  
    p->dt = 0.002;    p->chi = 1.;      p->rho = 1.;  
    p->xi = sqrt( p->ka * 0.5 / p->e_c ); p->sh = 0;  
}
```

圖 1:設計參數(圖片:作者程式碼截圖)

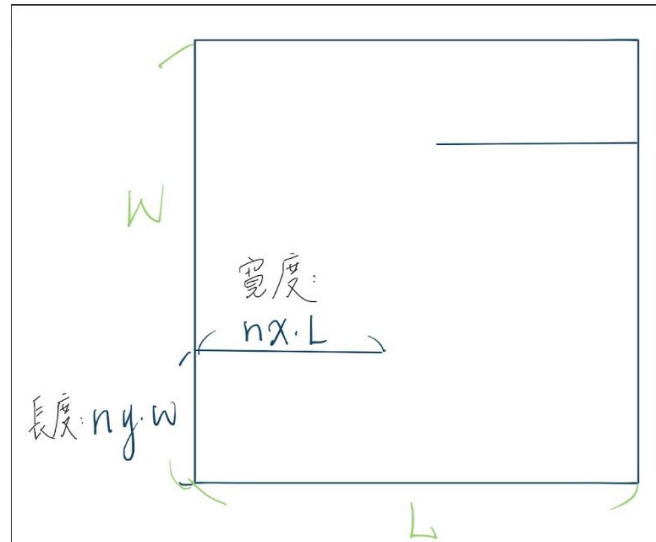


圖 1-2:nx ny 定義(此圖為作者繪製)

```

1 clear; close; clc; tic
2 path = './';
3 params_file = [path,'params.txt'];
4 png_path = [path,'Stress/'];
5 cmd = ['mkdir -p ', png_path];
6 system(cmd);
7 mkdir(png_path);
8 path = [path,'Final/'];
9
10 ReadFromParameters2d;
11 nx = nx+4;
12 x = dx.*(0:nx-1);
13 y = dx.*(0:ny-1);
14 ix = dx.*(1:nx-2);
15 iy = dx.*(1:ny-2);
16
17 epsilon = 0; j = 0;
18 for i = 0:15
19     f = fopen([path, 'Syy_',num2str(i), '_final.dat']); p_s = fread(f,nx*ny,'double'); fclose(
20         p_s = reshape(p_s,nx,ny); p_s = p_s'; p_s(isnan(p_s))=0;
21         p_sm = p_s(2:ny-1,2:nx-1);
22         p_s98 = p_s(ny-1,2:nx-1);
23         Syy = mean(p_s98);
24         Syy_top(j+1) = Syy;
25
26         contourf(x,y,p_s,'edgecolor','none'); colormap jet; colorbar;
27         axis equal
28         xlim([x(3) x(end-2)]); ylim([y(1) y(end)]);
29

```

圖 2:輸入 Matlab(此圖為作者程式碼擷取)

二、AI 模擬預測結果方式

- (一) 先將數據以四比一方式分為 train data 和 test data(圖 3)
- (二) 以 C-Gan 程式訓練 generation 和 discrimination(圖 4)
- (三) 將 Test data 放入 generation 和 discrimination，記錄其 lost 值(圖 5)

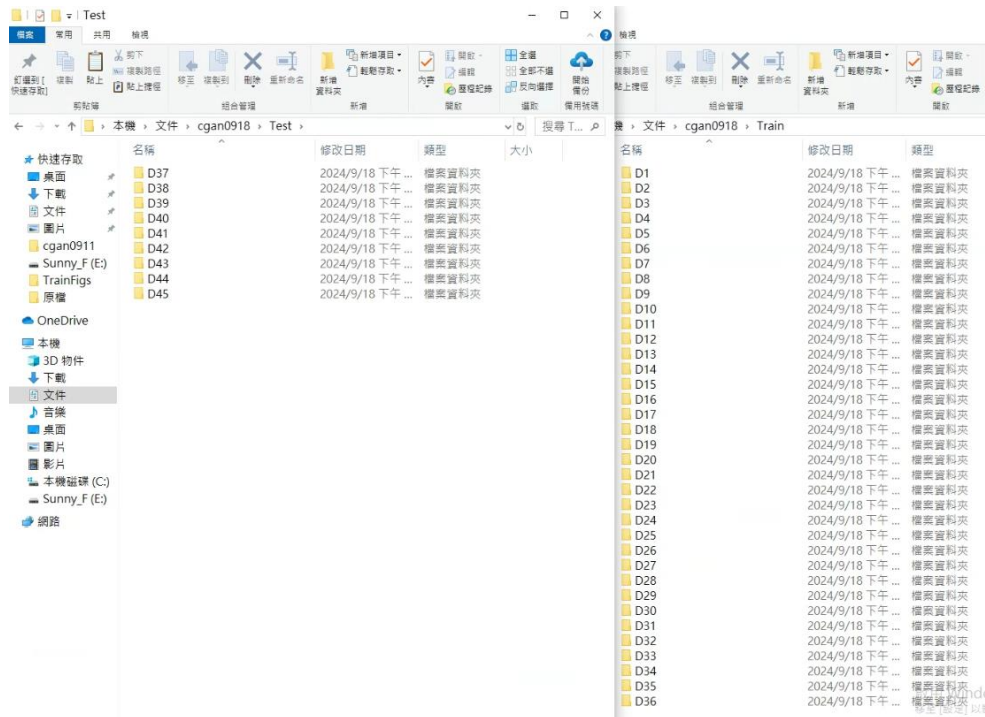


圖 3: 數據以四比一方式分為 train data 和 test data(此圖為作者資料分類擷取)

Conditional Generative Adversarial Networks

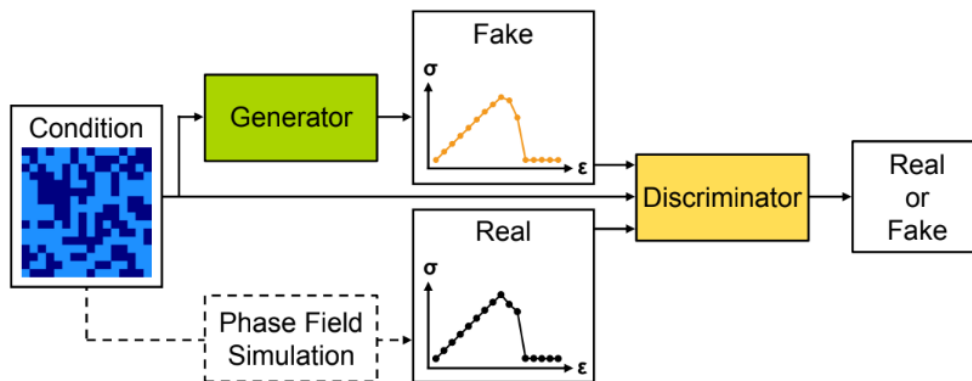


圖 4: C-Gan 程式訓練 generation 和 discrimination
(引用圖片來源[5])

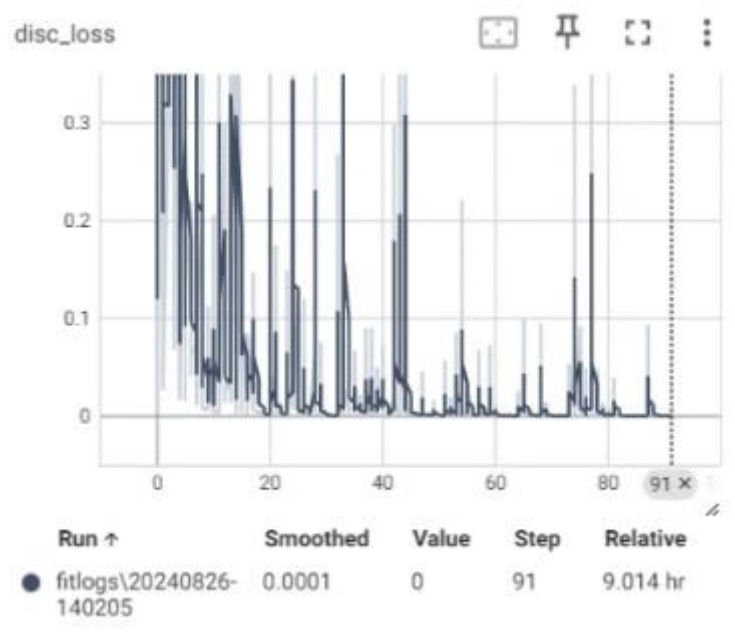
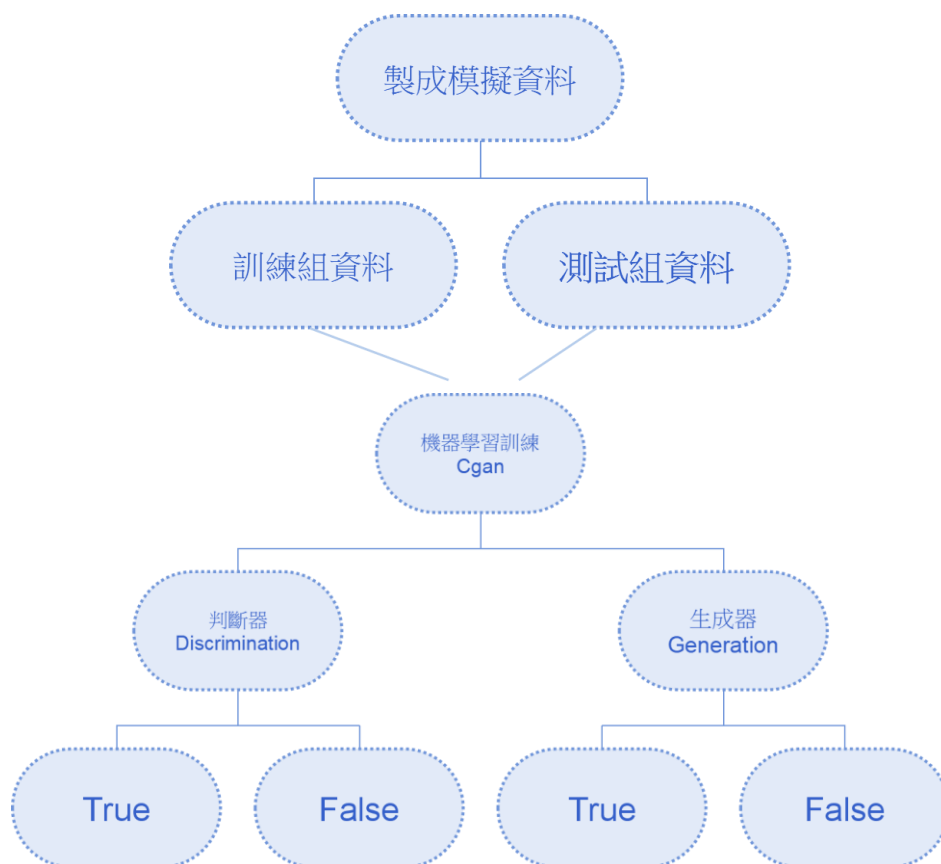


圖 5: lost 值(作者繪製)

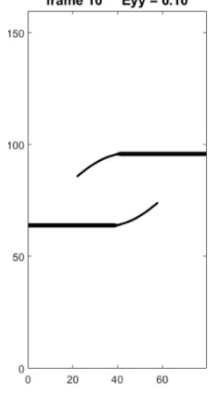
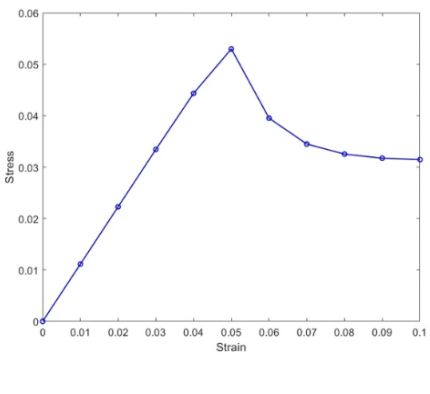
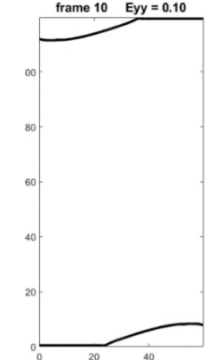
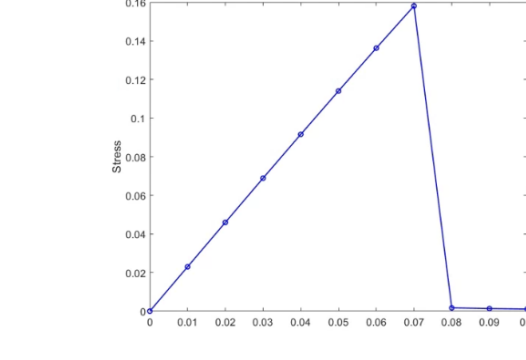
三、深度學習流程圖(作者繪製)

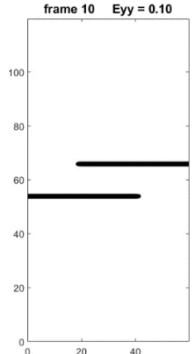
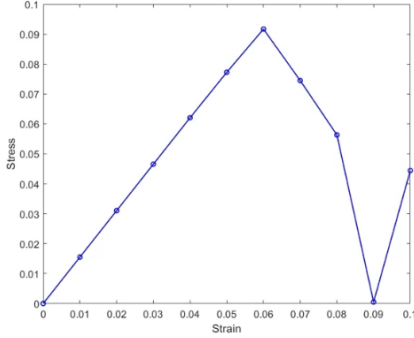
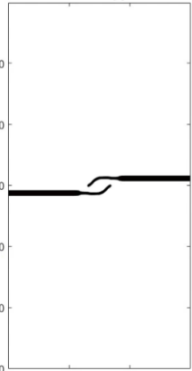
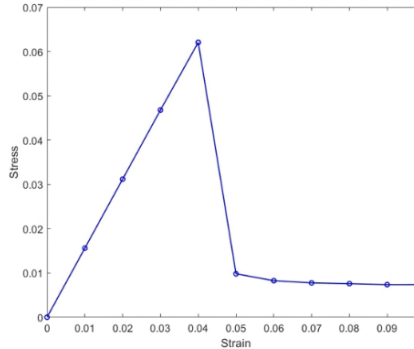


肆、研究結果

一、 模擬出的裂紋種類(單一材料)

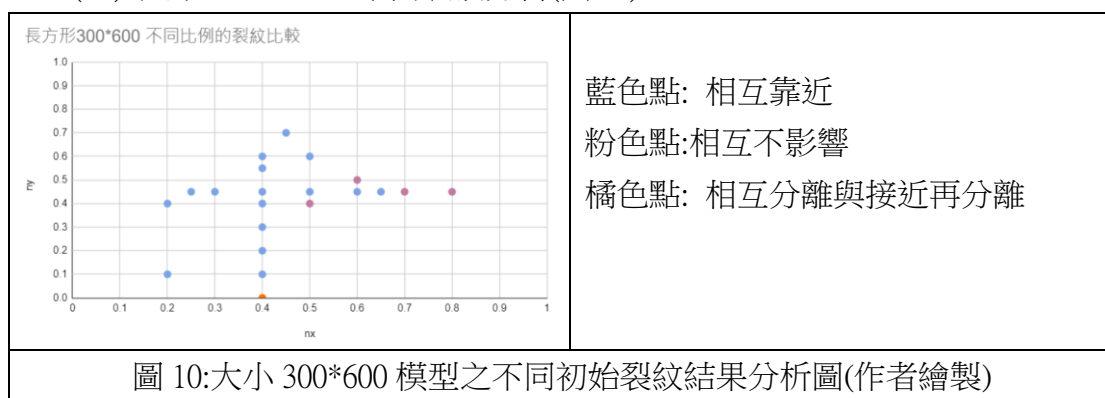
- (一) 相互靠近(圖 6)
- (二) 先接近再分離(圖 7)
- (三) 相互不影響(圖 8)
- (四) 相互分離再靠近(圖 9)

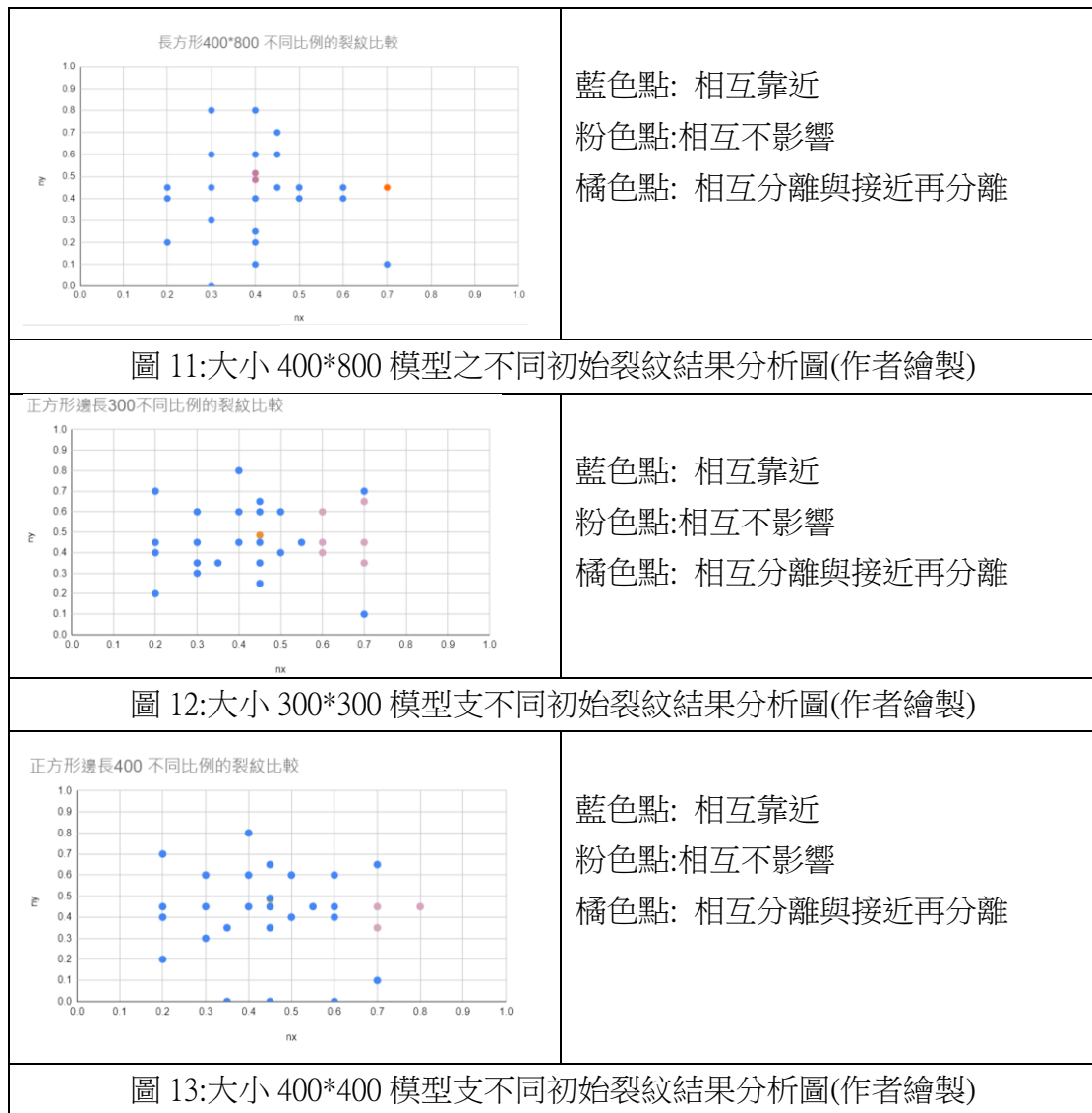
	
圖 6:模型大小 400*800 (作者繪製)	應力應變圖 (作者繪製)
	
圖 7:模型大小 300*600 (作者繪製)	應力應變圖 (作者繪製)

	
圖 8:模型大小 300*600 (作者繪製)	應力應變圖 (作者繪製)
	
圖 9:模型大小 300*600 (作者繪製)	應力應變圖 (作者繪製)

二、不同大小(單一材料)

- (一) 大小 300*600 之不同裂紋分析(圖 10)
- (二) 大小 400*800 之不同裂紋分析(圖 11)
- (三) 大小 300*300 之不同裂紋分析(圖 12)
- (四) 大小 400*400 之不同裂紋分析(圖 13)





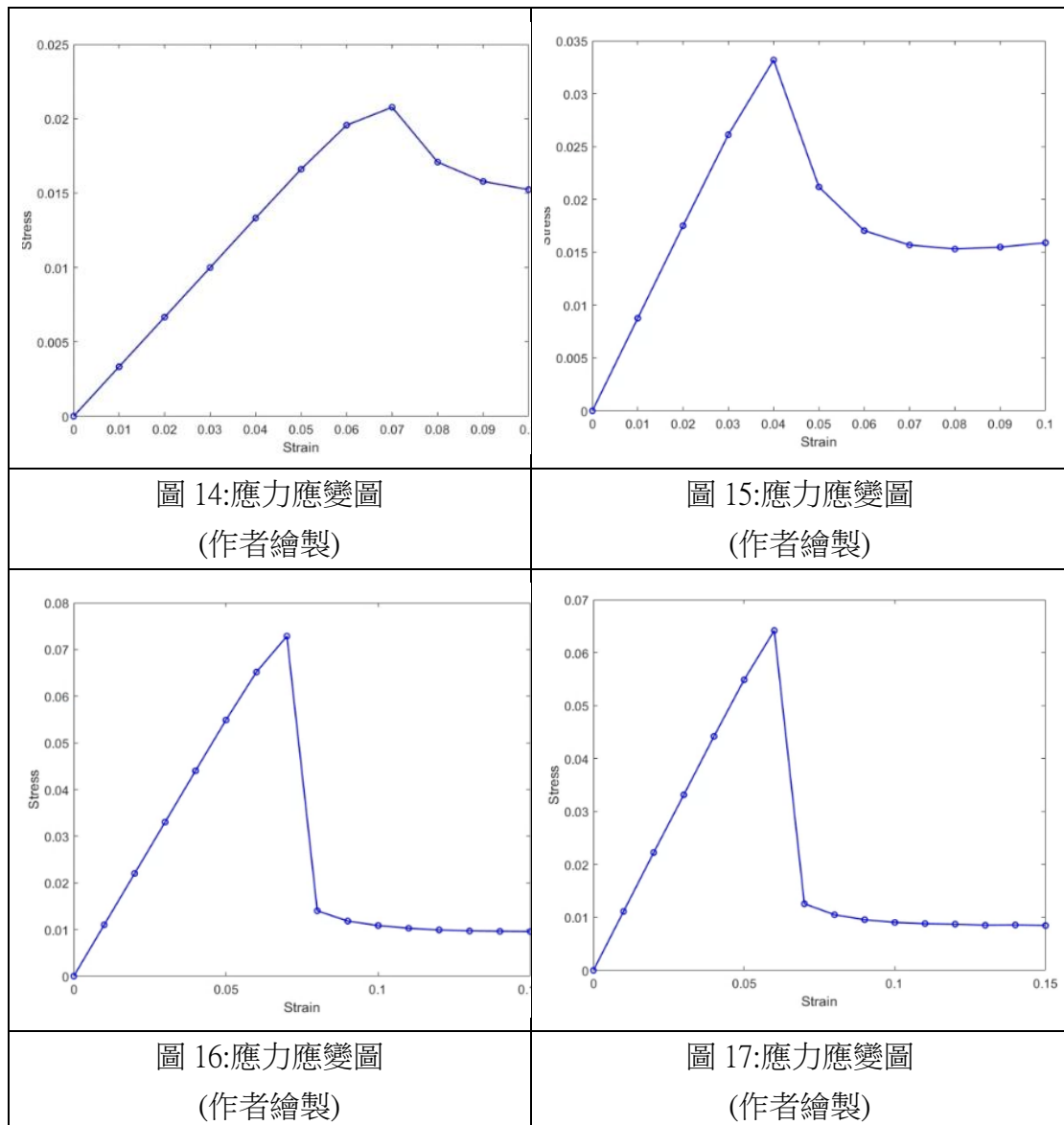
三、不同材料大小的應力圖(單一材料)

(一) 大小 300*600 之同初始裂紋應力圖(圖 14)

(二) 大小 400*800 之同初始裂紋應力圖(圖 15)

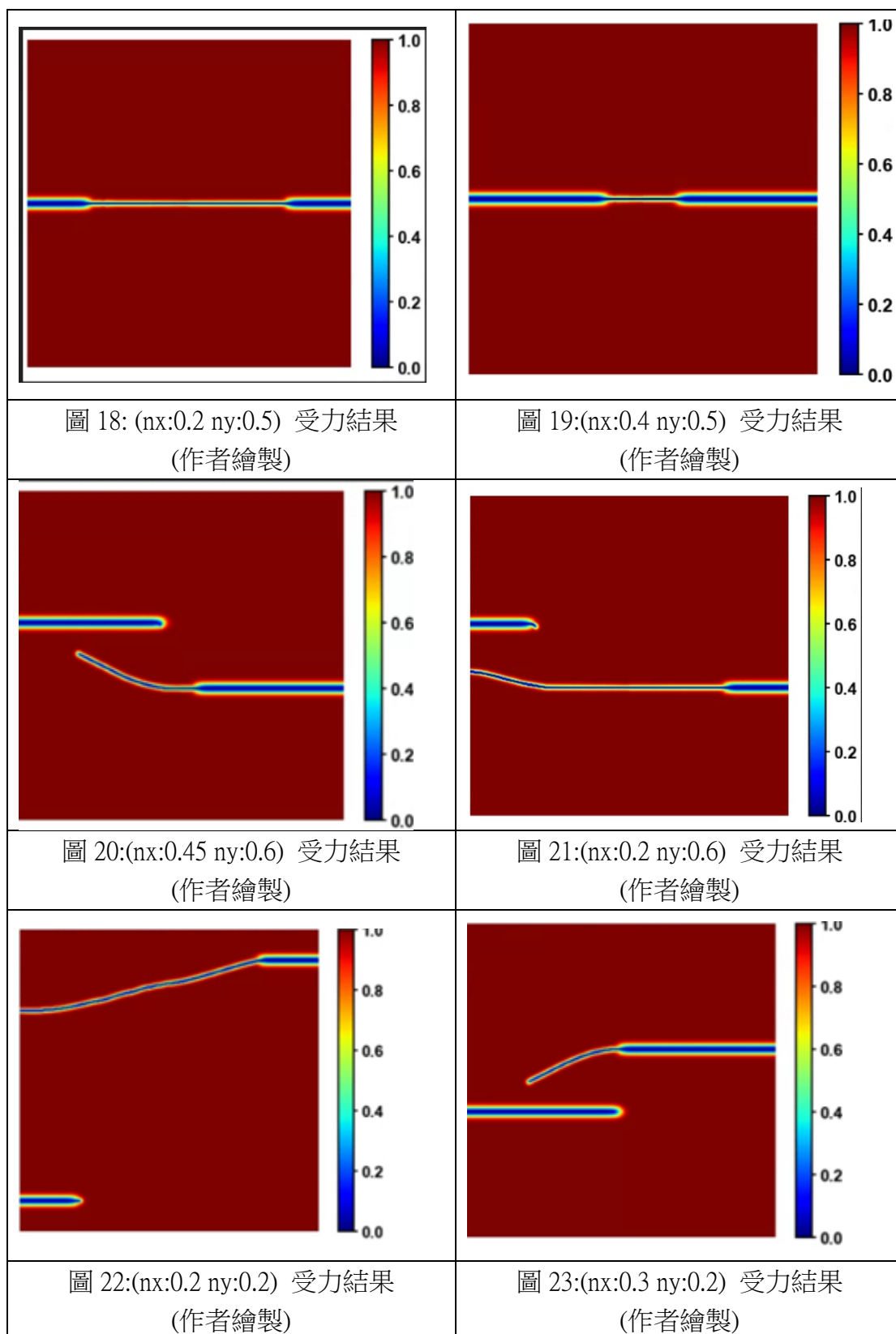
(三) 大小 300*300 之同初始裂紋應力圖(圖 16)

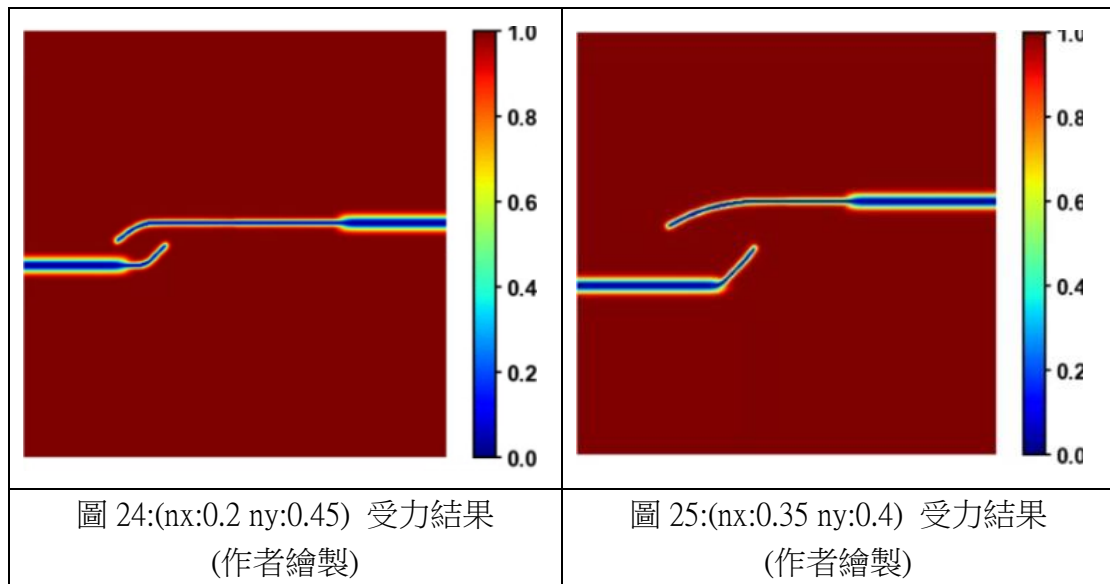
(四) 大小 400*400 之同初始裂紋應力圖(圖 17)



四、複合材料模擬結果(模型大小 320*320)

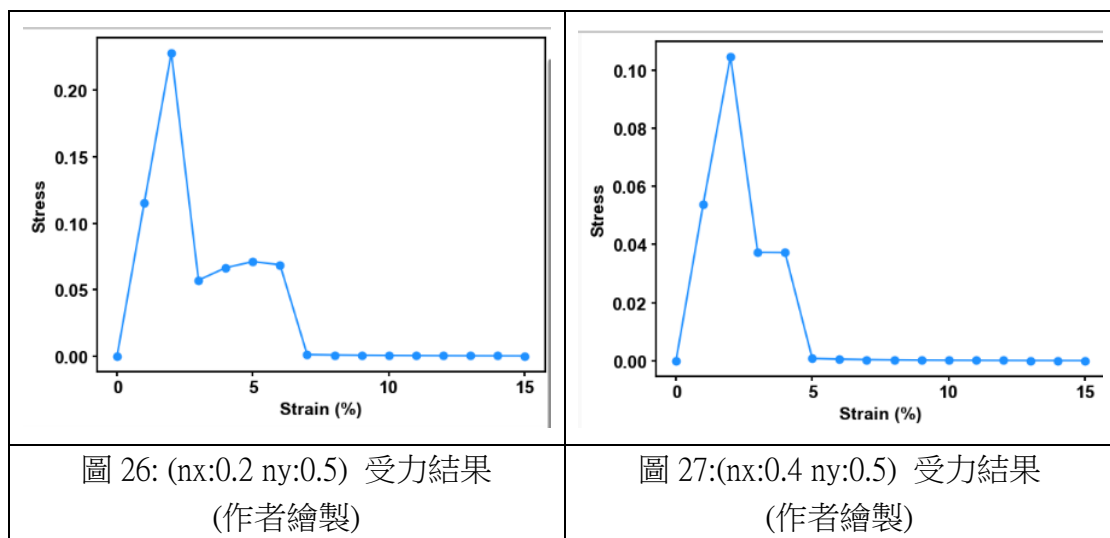
- (一) 斷裂紋走向平行(圖 18) (圖 19)
- (二) 斷裂紋走向向上(圖 20) (圖 21)
- (三) 斷裂紋走向向下(圖 22) (圖 23)
- (四) 斷裂紋走向雙向(圖 24) (圖 25)

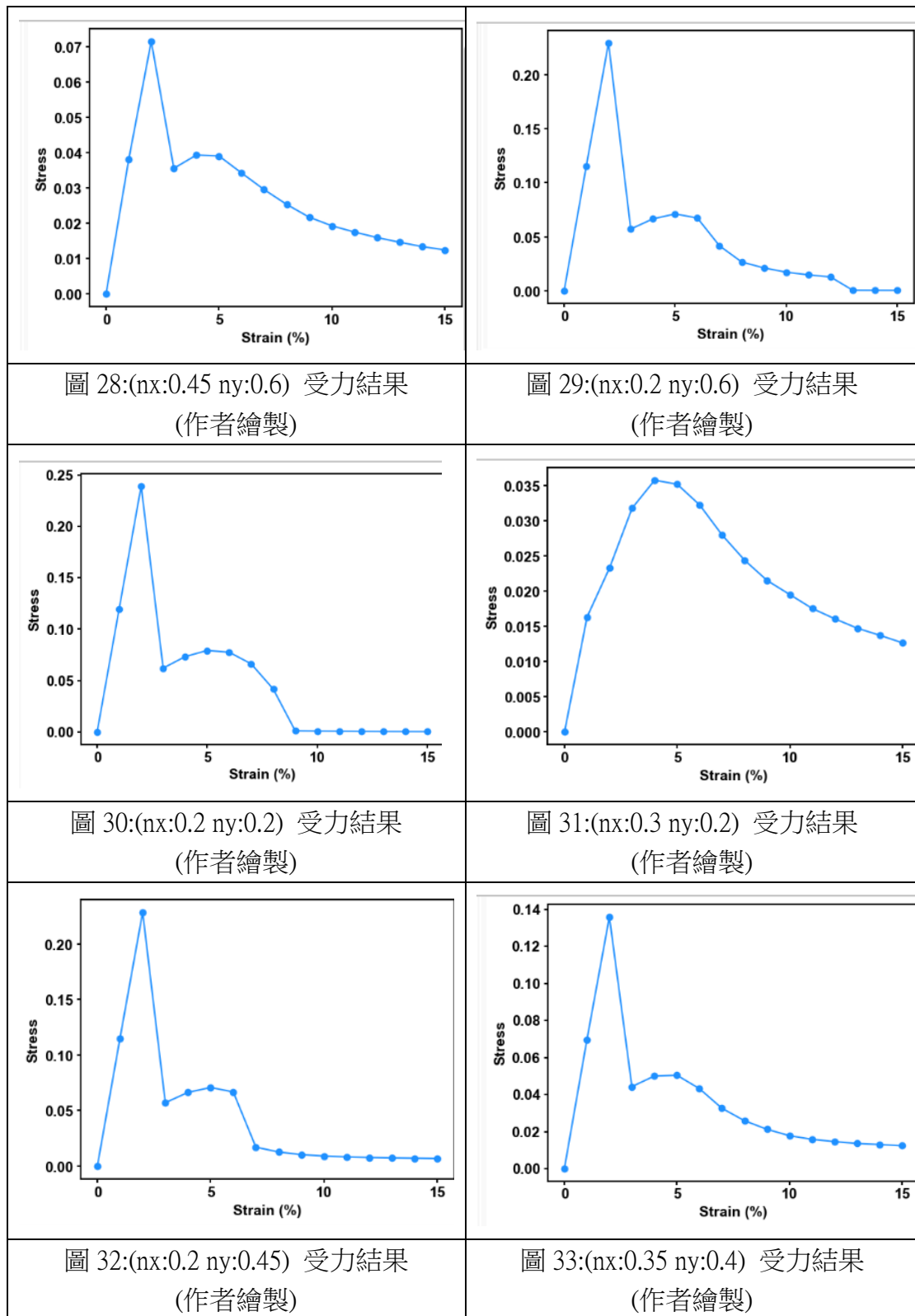




五、複合材料應力應變圖(模型大小 320*320)

- (一) 斷裂紋走向平行(圖 26) (圖 27)
- (二) 斷裂紋走向向上(圖 28) (圖 29)
- (三) 斷裂紋走向向下(圖 30) (圖 31)
- (四) 斷裂紋走向雙向(圖 32) (圖 33)

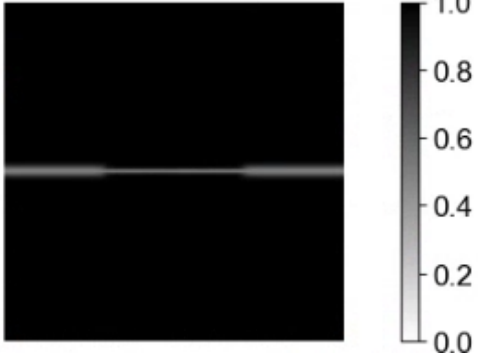
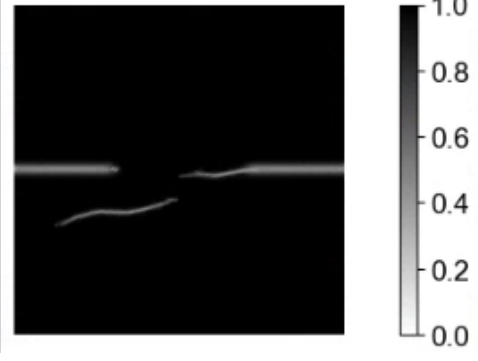
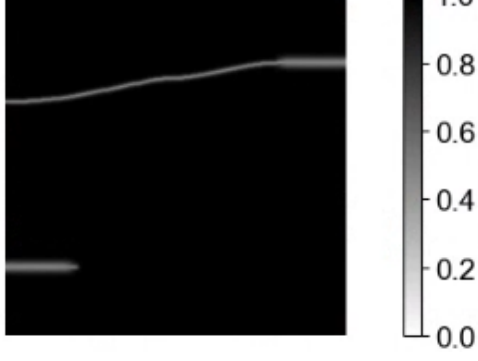
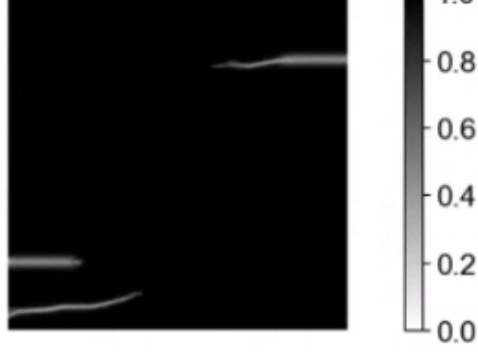
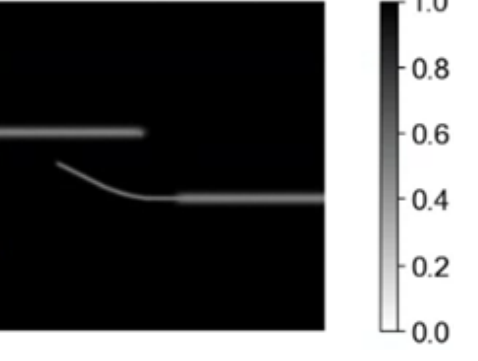
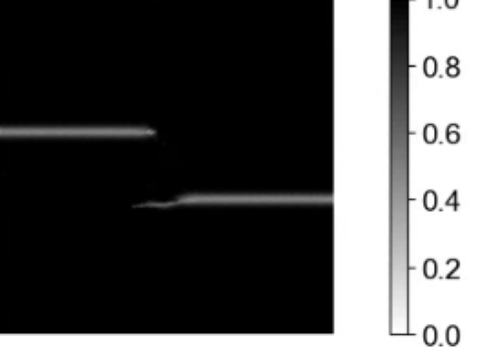


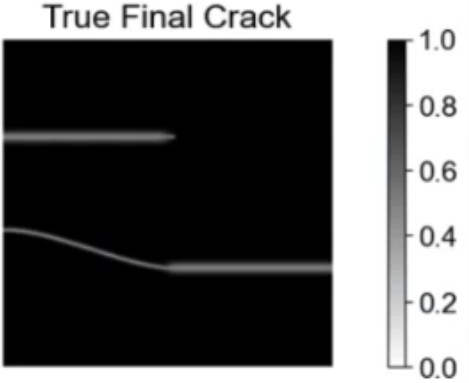
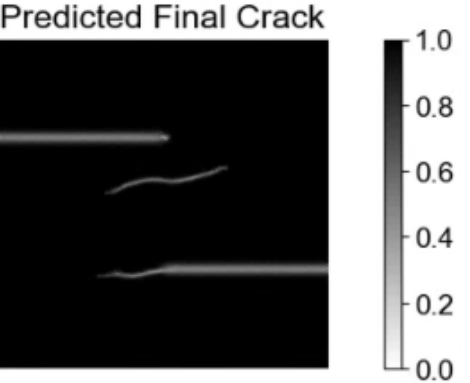
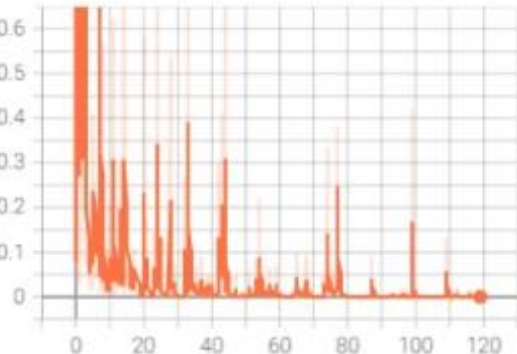
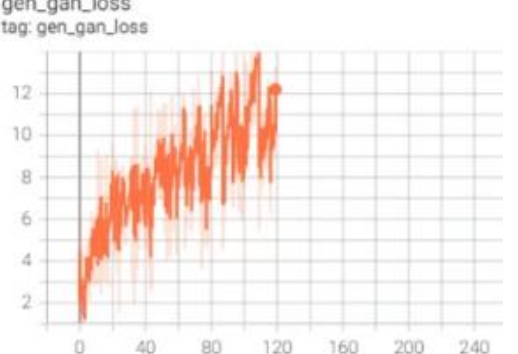
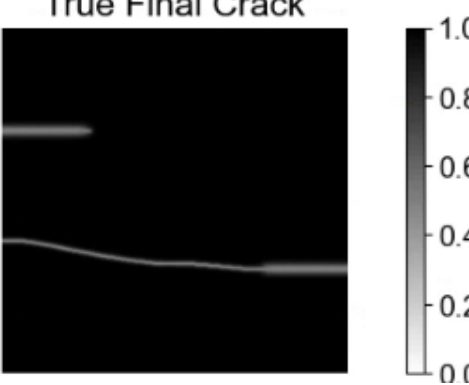
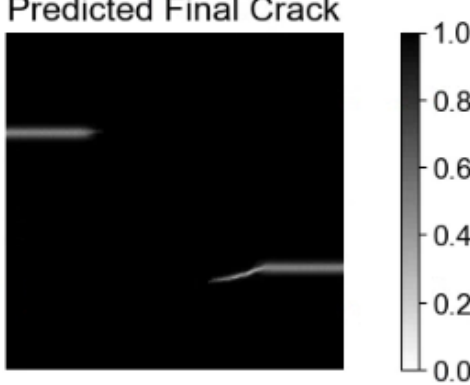


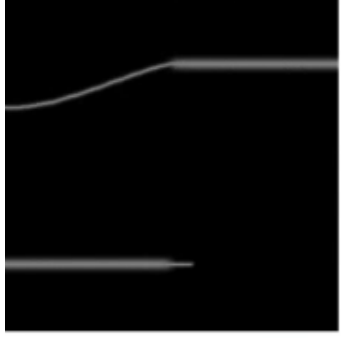
六、cGan 模擬結果

(一)訓練組:24 組 測試組:6 組 模擬結果(圖 34)~ (圖 43)

(二)訓練組:72 組 測試組:18 組 模擬結果(圖 44)~ (圖 51)

	
圖 34:訓練組 實際結果 (作者繪製)	圖 35:訓練組 模擬結果 (作者繪製)
	
圖 36:訓練組 實際結果 (作者繪製)	圖 37:訓練組 模擬結果 (作者繪製)
	
圖 38:測試組 實際結果 (作者繪製)	圖 39:測試組 模擬結果 (作者繪製)

	
圖 40:測試組 實際結果 (作者繪製)	圖 41:測試組 實際結果 (作者繪製)
	
圖 42:Discrimination loss (作者繪製)	圖 43:generation loss (作者繪製)
	
圖 44:訓練組 實際結果 (作者繪製)	圖 45:訓練組 模擬結果 (作者繪製)

 True Final Crack 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0	 Predicted Final Crack 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0
圖 46:訓練組 實際結果 (作者繪製)	圖 47:訓練組 模擬結果 (作者繪製)
 True Final Crack 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0	 Predicted Final Crack 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0
圖 48:測試組 實際結果 (作者繪製)	圖 49:測試組 模擬結果 (作者繪製)
 True Final Crack 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0	 Predicted Final Crack 1.0 0.8 0.6 0.4 0.2 0.0
圖 50:測試組 實際結果 (作者繪製)	圖 51:測試組 模擬結果 (作者繪製)

伍、討論

一、發現受力圖可分為四種情形。

(一)相互接近的斷裂紋的出現推測與初始裂紋出現於邊緣有關。

(二)先分離再接近的裂紋的出現推測與初始裂紋較接近進而相互影響。

(三)相互不影響的斷裂紋的出現推測與初始斷裂文橫向較長，因此不影響。

二、當材料完全破壞時，應力圖斜率為零。

三、材料大小與斷裂面無正比關係，而在實驗中將模型設定大，以減少材料邊界的影響。

四、複合材料的設定為一邊半材質一半硬材質，而實驗結果發現，硬材質的部分相較於軟材質的部分容易被破壞。

五、希望模擬更多數據以進行探討與整理，用來確認先前數據的正確性，並透過不同大小的材料驗證結果。

六、將材料的韌性進行調整觀察不同結果，了解韌性對材料的影響。

七、由於目前 cGan 程式模擬結果 Loss 值有點大，AI 模擬結果不如預期，不過以實驗數據組數而言，此結論尚可做為參考結果，未來可調高學習次數與增加模擬數據，看 Loss 值是否下降，如若否，再探討是否有更好的模擬系統。

陸、結論

一、單一材料的初始裂紋會影響斷裂紋的走向

(一)初始裂紋於邊緣，斷裂紋將相互靠近

(二)初始裂紋於接近，斷裂紋將先遠離後接近

(三)初始裂紋橫向較長，斷裂紋不適影響

二、單一材料與斷裂紋的關係

(一)不同大小的材料在相同的初始裂紋下，斷裂紋結果差異不大

(二)斷裂紋基本上呈現對稱的關係

三、複合材料與斷裂紋關係

- (一) 硬材質的部分相較於軟材質的部分容易被破壞
- (二) 硬材質的裂紋走向大部分往軟材料裂紋延伸
- (三) 軟材質的裂紋基本與初始裂紋相同

四、cGan 系統預測裂紋走向

- (一) 目前預測結果 Loss 值並未因模擬步數變多而下降
- (二) 初始裂紋左右對稱較容易預測，Loss 值較小

柒、未來展望

未來，深度學習可以幫助我們更好地預測仿生複合材料的斷裂行為，這不僅會讓材料科學和工程技術更進步，還能讓材料更符合我們生活中的各種需求。

以下是幾個可能的發展方向：

一、模仿大自然的材料設計

深度學習能幫助我們模擬自然界中材料的結構和行為，比如貝殼和骨頭，讓科學家能製造出更耐用的仿生材料。這樣的材料可能會更強韌、不容易斷裂，並且可以用在建築、交通工具等很多地方，帶來更多選擇和便利。

二、複合材料的優化設計

通過深度學習技術，我們可以設計出不同結構的複合材料，讓它們在特定條件下更結實或更輕便。這對於航空、汽車、建築等需要用到高性能材料的行業特別有用，因為可以根據不同情況來做最適合的選擇，提升安全性和耐用性。

三、經濟效益的提升

利用深度學習來預測材料的斷裂行為，還可以幫助企業減少測試和開發的成本，縮短產品上市的時間。這樣不僅節省了費用，還可以讓材料的選擇和應用更有效率，也會讓產品更實惠。

四、促進跨領域合作

深度學習和材料科學的結合，還會讓更多學科互相交流，比如材料、機械、化學工程與數據科學等。這不僅能應用在像醫療植入物、能源儲存等多種新領域，還會培養出同時懂 AI 和材料科學的專業人才。

未來隨著深度學習和材料技術的進步，仿生複合材料會變得更先進、更適合我們的日常需求，也讓工程學發展得更快、更方便，這將為社會帶來更多好處和選擇。

捌、參考資料

1. Loey, M., Manogaran, G., & Khalifa, N. E. M. (2020). A deep transfer learning model with classical data augmentation and CGAN to detect COVID-19 from chest CT radiography digital images. *Neural Computing and Applications*, 1-13.
2. Sadd, M. H. (2009). *Elasticity: theory, applications, and numerics*. Academic Press.
3. Tsai, M. L. (2022). 深度神經網路應用於短纖維複合材及仿生階層複合結構的應力應變曲線預測. *國立臺灣大學土木工程學系學位論文*, 2022, 1-104.
4. Simbruner, G., Mittal, R. A., Rohlmann, F., Muche, R., & Neo. nEURO. network Trial Participants. (2010). Systemic hypothermia after neonatal encephalopathy: outcomes of neo. nEURO. network RCT. *Pediatrics*, 126(4), e771-e778.
5. Chen, C. H., Chen, K. Y., & Shu, Y. C. (2024). Data-driven bio-mimetic composite design: Direct prediction of stress – strain curves from structures using cGANs. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 193, 105857

【評語】100032

1. 本作品探討仿生複合材料的斷裂行為，主要在於導入深度學習方法，期望可以預測複合材料與裂紋的關係。程序上是以 AI 方法估測先單一材料後雙材料複合材料的斷裂行為。內容與標題「仿生」的關連性似乎不太明顯。
2. 目前報告並不太容易讀，內容快速的進入 AI 模型架構和訓練，但未清楚說明材料的結構和模型（包含參數）以及破壞的機制，整體 modeling 的程序不太完整，不太容易評估方法的可行性和效能。
3. 若所謂的真實值可以由 Matlab 帶入破壞公式得出，那學習的範疇則無法跳出解析的框架。若複合材料無解析解，那訓練資料從何而來？
4. 在以破壞公式建立模擬之外，建議應進行實驗來量測真實世界中材料的斷裂行為，進行比對，以確認 AI 模型可以進行適宜的預測。後續，在材料組成和結構等有改變時，方可適當的估測新材料的斷裂行為。