



Ⓐ

竹材力學與結構

竹材力學性質

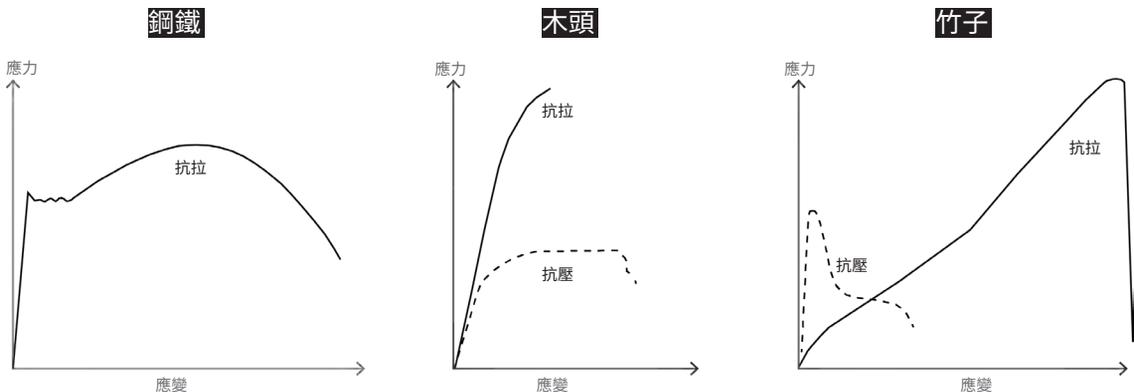
1. 試驗數據：

竹種	文獻	彈性模數 (kg/cm ²)	抗彎強度 (kg/cm ²)	縱向抗壓強度 (kg/cm ²)	橫向抗壓強度 (kg/cm ²)	縱向抗拉強度 (kg/cm ²)	橫向抗剪強度 (kg/cm ²)
刺竹	馬子斌	-	132.9	502.6	66.4	1,671.2	83.7
桂竹	馬子斌	-	311.4	638.7	216.9	1,283.5	77.6
	林家荷	59,857	-	811.1	-	-	-
孟宗竹	馬子斌	-	120.7	648.2	167.7	1,647.0	125.1
	游家誠	133,175	-	655	-	-	-
	杜怡萱	-	-	-	-	1,635.7	-
麻竹	馬子斌	-	66.1	390.2	51.8	1,096.6	64.7

** 數據擷取自下列四篇試驗研究：

- (1) 馬子斌，臺灣主要竹材之物理性質及力學性質，臺灣省林業試驗所報告第 106 號，1964
- (2) 游家誠，「古蹟歷史建築修復施作過程竹材保護棚架系統之研擬與應用」，國立成功大學碩士論文，2009
- (3) 林家荷，「竹材應用於薄膜式完全張力體之研究」，國立成功大學碩士論文，2015
- (4) 杜怡萱，竹構接頭設計委託試驗，行政院農業委員會林業試驗所，2018

2. 比較鋼材、木材、竹材的應力應變圖：



3. 結論：

- (1) 桂竹、孟宗竹具有較好的力學表現。
- (2) 竹子縱向抗張强度高，約為 1200-2200kg/cm²，比木頭 (500-800kg/cm²) 高，略遜於鋼鐵 (2800-4200kg/cm²)。
- (3) 其次為縱壓強度，約為 600kg/cm²
- (4) 抗彎、橫向抗壓與抗剪能力不佳。
- (5) 挫屈強度試驗值較尤拉公式估算之理論值高，推論竹節對抵抗挫屈有幫助。

竹構設計的結構

陳冠帆結構技師撰文／吳鈺嫻繪編

1. 竹構概要
2. 建築師與結構師的分工說明
3. 竹結構計算流程
4. 設計載重
5. 桿件檢核
6. 變形檢討

1. 竹構概要

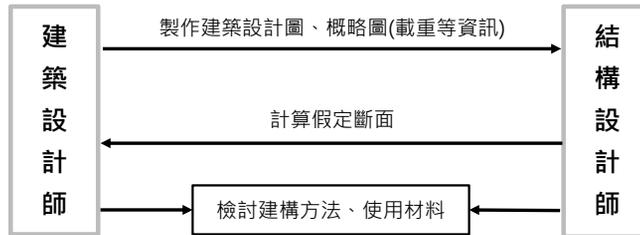
竹材中空有節，是個輕巧又具備韌性的材料，加上生長快速與易加工的特性，竹材早已是台灣常民製作家具的慣用材料。然而，現行建築法規並無清楚規範竹結構該如何被設計，所以對於建築結構設計而言，竹材仍然是陌生的材料。不過，從結構中的構架系統到力流傳遞，以及針對桿件受力的基本思考是有跡可循的，其方法類似同樣是自然素材的木構造，用容許應力法 (ASD 法) 來設計即可，因此從結構系統設計、載重確認、到邊界條件的設定來決定桿件斷面，按部就班逐項檢核亦可完成竹構設計。而這當中須仰賴建築師與結構師的通力合作，才可達到既美觀又合理的竹構建築。

竹材、木材、鋼材和混凝土的特性				
	竹材	木材	鋼材	混凝土
	 	 	 	 
單位重量(比重)	470~900 [kgf/m ³]	800 [kgf/m ³]	7850 [kgf/m ³]	2300 [kgf/m ³]
楊氏係數	5870~13060 [N/mm ²]	8000~14000 [N/mm ²]	205000 [N/mm ²]	21000 [N/mm ²]
蒲松氏比	0.37 to 0.46	0.4~0.62	0.3	0.2
線膨脹係數	-	0.5×10^{-5}	1.2×10^{-5}	1.0×10^{-5}
長期容許應力度	抗壓 130~270 [kgf/cm ²]	抗壓 66~101 [kgf/cm ²]	抗壓 581~2212 [kgf/cm ²]	抗壓 140~280 [kgf/cm ²]
	抗拉 365~557 [kgf/cm ²]	抗拉 51~91 [kgf/cm ²]	抗拉 581~2212 [kgf/cm ²]	抗拉 14~28 [kgf/cm ²]
	抗彎 21~104 [kgf/cm ²]	抗彎 81~142 [kgf/cm ²]	抗彎 581~2212 [kgf/cm ²]	
	抗剪 21~41 [kgf/cm ²]			

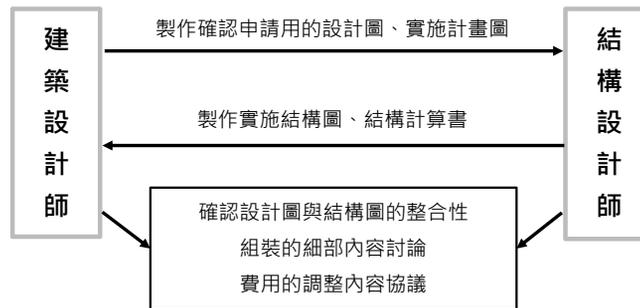
2. 建築師與結構師的分工說明

一般流程建築設計師與結構設計師從基本設計階段開始，便以分擔各種不同的角色，彼此相互合作推進工作進度。因為設計階段的不同，各有分工，以下列出各階段之任務。

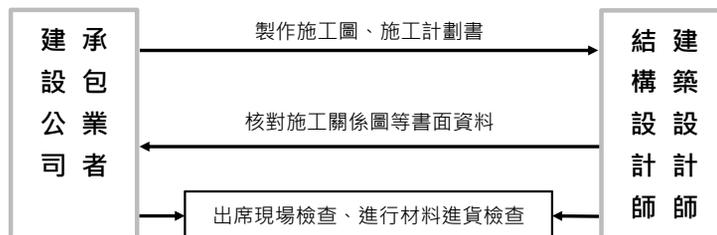
基本設計階段



實施設計階段

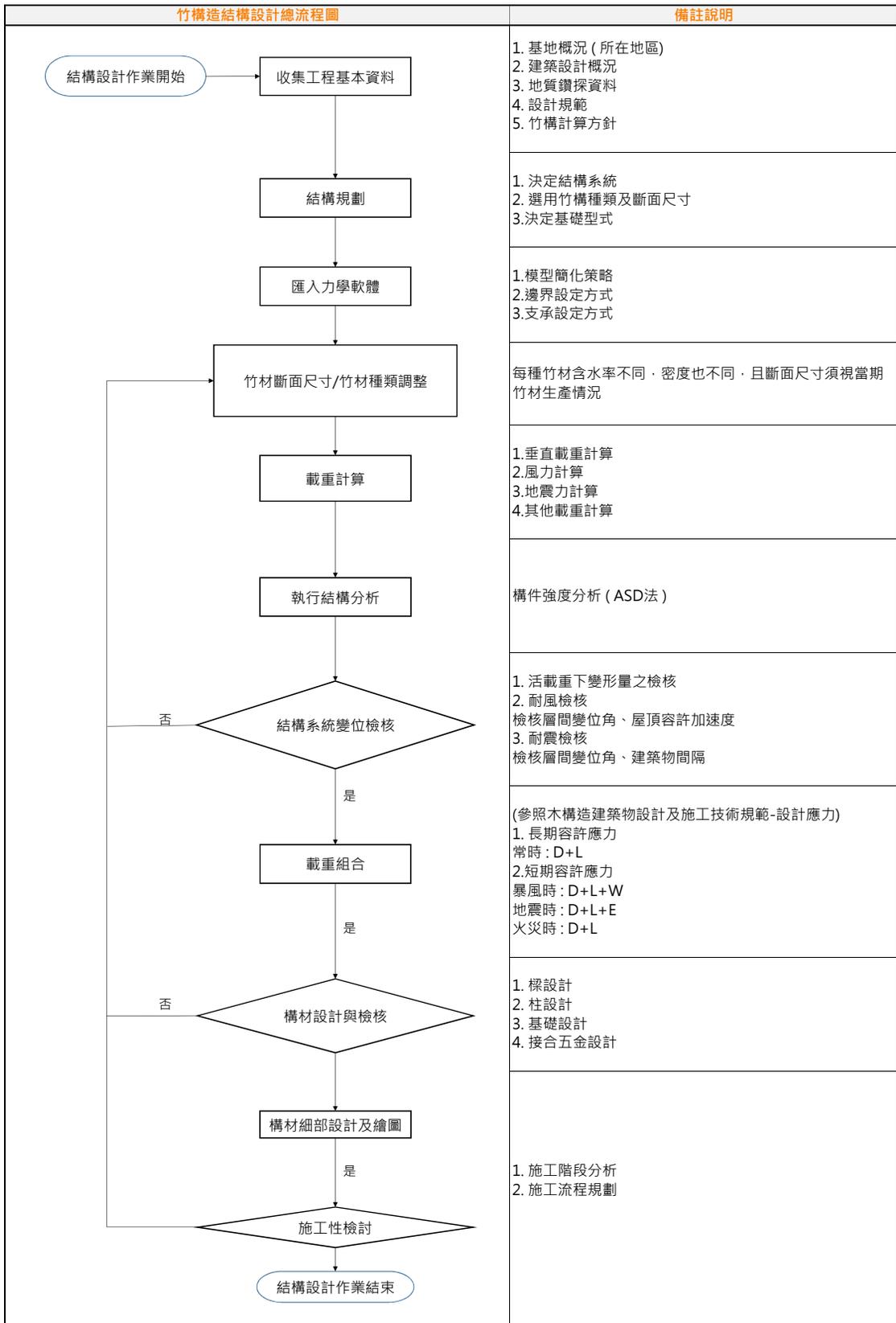


實施設計階段

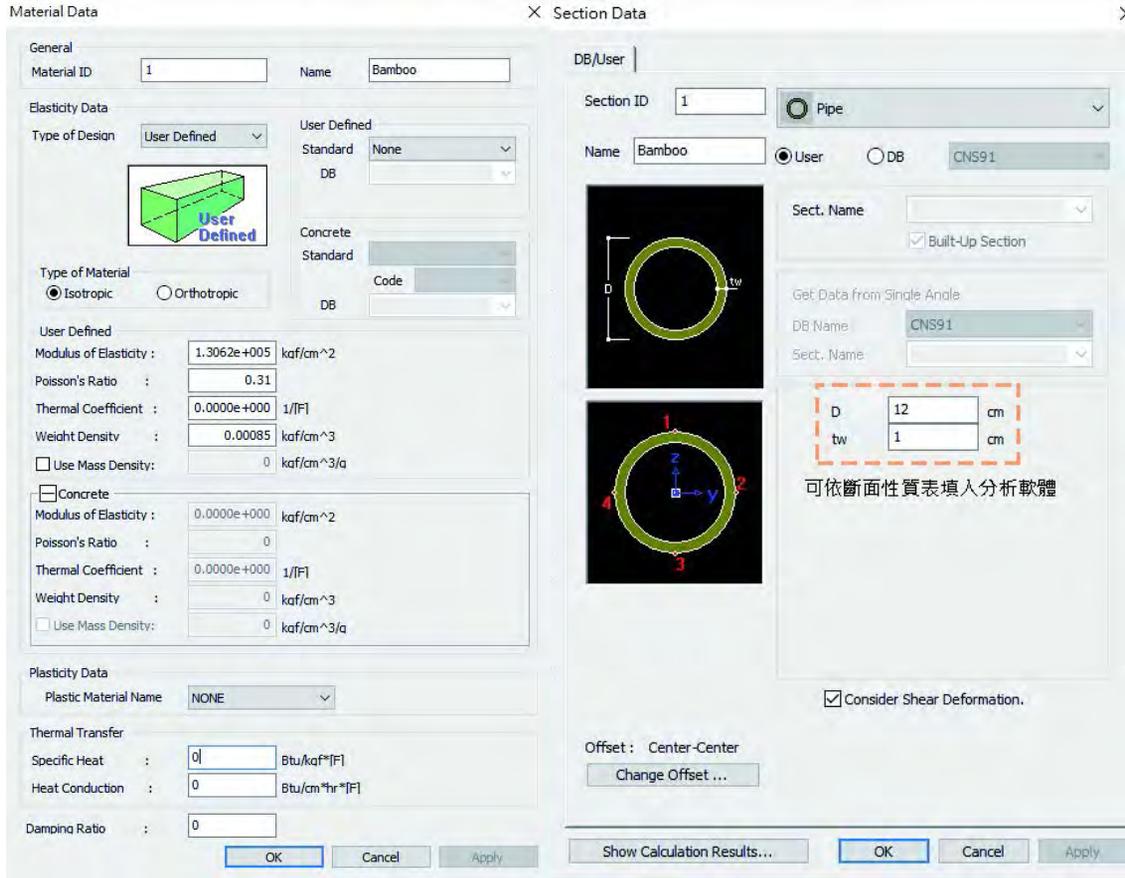


3. 竹結構計算流程

實務計算上，常須用流程畫圖表解釋工作方法，利用以下關於設計資料的掌握，我們可以用有條理的步驟把竹結構給設計出來。



關於桿件斷面設定，透過輸入構架模型，我們須要初步給定各桿件斷面性質與尺寸，而竹材的斷面性質與常用斷面尺寸的相關數值可參考本手冊所附的材料強度表與斷面性質表。



斷面性質						
外徑	內徑	管厚	面積	外端距	慣性矩	斷面模數
D	d	t	A	y	I	Z
cm	cm	cm	cm ²	cm	cm ⁴	cm ³
5	4.2	0.4	5.8	2.5	15.4	6.2
5.5	4.7	0.4	6.4	2.8	21.0	7.6
6	5	0.5	8.6	3.0	32.9	11.0
6.5	5.3	0.6	11.1	3.3	48.9	15.0
9	7.2	0.9	22.9	4.5	190.0	42.2
10	9	1	14.9	5.0	168.7	33.7
11	10	1	16.5	5.5	227.7	41.4
12	9.6	1.2	40.7	6.0	600.6	100.1

4. 設計荷重

完成斷面性質設定之後，我們須要加載荷重。荷重種類可分為：靜載重、活載重、風力、地震力，由於台灣氣候關係暫不考慮雪荷重。

- 靜載重

靜載重為建築物本身各部份之重量及固定於建築物構造上各物之重量，如牆壁、隔牆、樑柱、樓版及屋頂等，可移動隔牆不作為靜載重。竹構的重量可參照下表竹材密度來計算：

竹管體積 x 竹材密度 = 竹材質量

種類	桂竹	孟宗竹	麻竹	長枝竹	綠竹	刺竹
密度(kgf/m ³)	900	810	720	700	510	470

- 活載重

載重包括建築物室內人員、傢俱、設備、貯藏物品、活動隔間等。工廠建築應包括機器設備及堆置材料等。倉庫建築應包括貯藏物品、搬運車輛及吊裝設備等。而最低活載重因樓地板之用途而不同，不得小於建築技術規則構造篇第十七條所列之規定。此外，竹構屋頂活載重亦請參考建築技術規則構造篇第二十六條所列之規定。

- 風載重

耐風設計基本原理為：風力係數 x 基本風速，風力係數多寡取決於下列因素：

- 建物資料：地形，座落縣市 / 區位，結構物類型，地況
- 建築幾何參數：屋頂平均高度，建築物長寬 / 造型
- 建築結構參數：封閉式建築 / 部分封閉式建築物，用途係數

詳細耐風計算請參照建築物耐風設計規範與解說或是線上建築物設計風力專家系統計算風力載重。

- 地震力

地震力計算基本原理為計算最小設計水平總橫力 (V)：建築物全部靜載重 (m) x 加速度 (a)，這裡的加速度多寡取決於下列因素：

- 工址：縣市 / 區位 / 是否鄰近斷層或臺北盆地
- 分析條件：用途係數，韌性容量，起始降伏地震力放大倍數，建物有效阻尼比，結構基本振動週期

詳細耐風計算請參照建築物耐震設計規範與解說。

5. 桿件檢核

透過不管是分析軟體或是手計算，我們可得到每一根構件的內力，根據材料力學的方式，我們可對其進行壓力、拉力、彎矩與剪力的複合檢討，以其達到在外力來臨時，構件的斷面性能是足以承擔的。

純拉力桿件可用下表拉應力公式，純壓力桿件可用下表柱受軸壓應力公式，純彎曲桿件可用下表彎曲應力公式。但一般桿件都會是拉力、壓力加上彎矩的複合外力即可用複合應力檢討之。

彎曲應力							
M: 最大彎曲應力 (kgf · cm) Z: 斷面模數 (cm ³) fb: 容許彎曲應力 (kgf/cm ²)	$\sigma_b = \frac{M}{Z} \leq f_b$						
剪應力							
α: 剪力係數 (圓管α=2) Q: 最大剪應力 (kgf · cm) A: 有效斷面積 fs: 容許剪應力 (kgf/cm ²)	$\tau = \alpha \cdot \frac{Q}{A} \leq f_s$						
拉應力							
T: 張應力(kgf) A: 有效斷面積 (cm ²) ft: 容許拉應力(kgf/cm ²)	$\sigma = \frac{T}{A} \leq f_t$						
柱受軸壓應力							
N: 軸壓力 (kgf) A: 受壓面積 (cm ²) fc: 容許壓應力 (kgf/cm ²) η: 挫曲折減係數	$\sigma = \frac{N}{A} \leq f_c \cdot \eta$						
<p style="text-align: center;">η挫曲折減係數求法:</p> <p>挫曲折減係數η 與夠才細長比λ有關· 依以下式計算</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 5px;">λ ≤ 30</td> <td style="padding: 5px;">η = 1</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">30 < λ ≤ 100</td> <td style="padding: 5px;">η = 1.3 - 0.01λ</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">100 < λ</td> <td style="padding: 5px;">η = 3000/λ²</td> </tr> </table> <p>受壓桿件之細長比λ一下式計算· 但λ在150以下·</p> $i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \frac{D}{4}$ <p>λ: 受壓構材之細長比 lk: 挫曲長度 (cm) i: 挫曲方向之迴轉半徑 (cm) I: 挫曲方向對總斷面積之斷面慣性矩 (cm⁴) A: 總斷面積 (cm²) D: 圓形斷面支直徑 (cm)</p>		λ ≤ 30	η = 1	30 < λ ≤ 100	η = 1.3 - 0.01λ	100 < λ	η = 3000/λ ²
λ ≤ 30	η = 1						
30 < λ ≤ 100	η = 1.3 - 0.01λ						
100 < λ	η = 3000/λ ²						
複合應力							
承受彎曲與軸壓的桿件							
M: 最大彎曲應力 (kgf · cm) Z: 斷面模數 (cm ³) fb: 容許彎曲應力 (kgf/cm ²) N: 軸壓力 (kgf) A: 受壓面積 (cm ²) fc: 容許壓應力 (kgf/cm ²) η: 挫曲折減係數	$\frac{M}{Z \cdot f_b} + \frac{N}{A \cdot f_c \cdot \eta} \leq 1$						
承受彎曲與軸拉的桿件							
M: 最大彎曲應力 (kgf · cm) Z: 斷面模數 (cm ³) fb: 容許彎曲應力 (kgf/cm ²) N: 軸壓力 (kgf) A: 受壓面積 (cm ²) ft: 容許拉應力 (kgf/cm ²)	$\frac{M}{Z \cdot f_b} + \frac{N}{A \cdot f_t} \leq 1$						

6. 變形檢討

檢討完應力比之後，最後再檢核變形量，檢討變形量的原因是在於變形量過大的話，會影響到建築物的安全與使用上的舒適度。由於現行法規並無規範竹構造，因此可參造木結構設計規範規定結構物各木構材及結合部，檢討其變形。

應力與撓度的確認方法

針對竹樑的撓度在建築物的使用上早成的問題，可根據：

$$\frac{2\delta}{L} \leq \frac{1}{250}$$

應力確認

在確認目前計算的斷面是否安全時，必須按前一節所述，將樑桿件上的最大應力與容許應力做比較，若小於容許應力就沒有安全疑慮。

$$\text{最大應力度} \leq \text{容許應力度}$$

撓度確認

竹造樑會因為潛變使得變形逐漸增大，必須用下列公式確認其為1/250以下。
(彈性撓度是經由計算求得的撓度。將潛變納入考慮的話會變成2倍。)

$$\frac{2 \cdot \text{彈性變形度}}{\text{跨距長度}} \leq \frac{1}{250}$$





從竹子到竹房子：給所有人的竹構築指南 | 線上專業版

發行人：社團法人臺灣竹會理事長甘銘源

出版：社團法人臺灣竹會

企劃撰稿：陳鈺雯

內容協力：陳冠帆、吳鈺嫻、杜怡萱、鄭少耘

專案管理：林雋雅

圖文資料：大藏聯合建築師事務所提供

地址：雲林縣斗六市太平路 99 號

電話：05-5379-755

信箱：bamboostw@gmail.com

網站：www.taiwan-bamboo.org

編輯企劃統籌：雨禾國際有限公司 | Green Media 綠媒體

主編：林美慧、藍雅萍

www.greenmedia.today/

線上版上線日期：中華民國 109 年 10 月

線上版修正：中華民國 109 年 12 月