淡江大學104學年度教學創新成果報告

以「做中學」為導向之「柱挫屈」專題實作
邁向頂石課程之路

課程設計者：姚忠達 老師
（淡江大學 建築系／土木系）
整理：教師教學發展組

目錄

CONTENTS

01 背景與動機

02 課程目標、設計與規劃

03 學生學習成效

04 創新教學成果自評

01 背景與動機

一、理念與目標

二、IEET頂石(Capstone)整合性課程

三、Capstone整合性專業課程之目標與實施

四、透過Keystone核心專業課程之實施與目標

五、Keystone核心專業課程之實施與目標

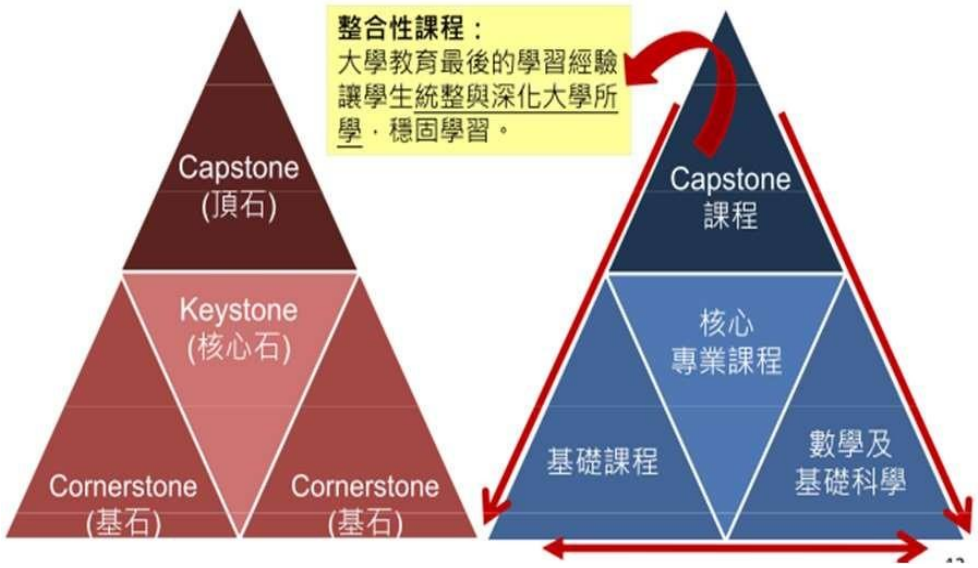
一、理念與目標

- 理念：結合問題導向學習（Problem-based learning, PBL）的專題實作學習
- 目標：利用已學習的專業知識、技能，透過自行設計的實作，完成交付專題，達到「做中學（Learning by Doing）的學習目標」

二、IEET頂石(Capstone)整合性課程（1/3）

- 中華工程教育學會(Institute of Engineering Education Taiwan，簡稱「IEET」)推動的教育認證主旨為「**以學生學習成果為導向(Outcomes-based)，確保系所的教育品質，亦即其培育學生的成果。**」，並透過認證機制維繫教育品質並追求持續改善。

- • IEET將大學課程學習，分成三個階段：**基礎性學科(Cornerstone)、核心專業課程(Keystone)、頂石整合性課程(Capstone)** 。



二、IEET頂石(Capstone)整合性課程（2/3）

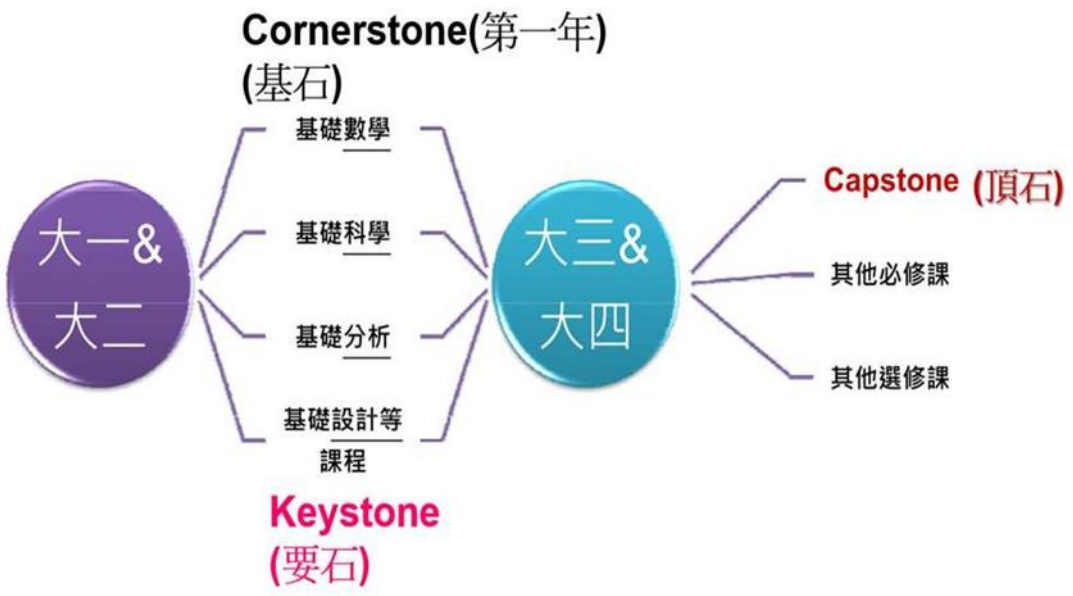
- 培養學生(EAC)將所學應用在工 程實務的能力，課程組成中必須包括『**整合工程設計能力的 專題實作**』，藉此讓學生運用 過去所學的知識及技術，嘗試 解決複雜且整合性問題。

- 利用已學習的專業知識、技能，透過自行設計及實作方式 ，完成交付專題。

EAC：工程教育規範

二、IEET頂石(Capstone)整合性課程（3/3）

大學工程教育最後一哩—Capstone課程



摘自中華工程教育學會網頁資料

- Cornerstone課程是在大一新生進入專業領域所應學習的基礎課程
- Keystone課程是在大二、三時，學生所應修習的核心專業課程。
- 檢視Capstone課程成果：專業知識、專業技能、專業態度與從 業特質的佐證參考。

三、Capstone整合性專業課程之目標與實施

➢目標：

- **團隊合作**：透過分組方式，各組組員各司其職，達成專題製作。
- **動手做**：以專題實作為學習導向，拋開傳統依照手冊的標準實驗程序模式，依照專題特性設計實驗流程。
- **整合所學**：利用已學的專業知識、技能來完成交付之專題，達到做中學的學習目標。

四、透過Keystone核心專業課程之實施

➢課程實施：

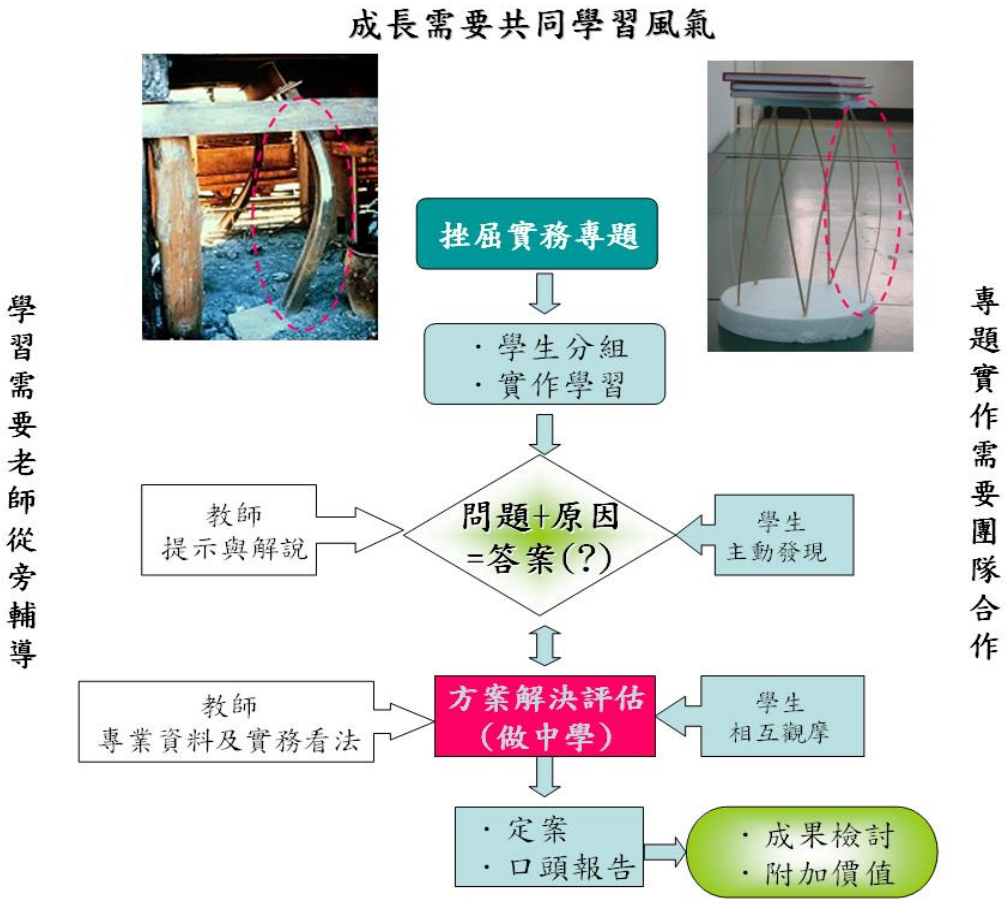
- 土木系開設之「土木系材料力學（二）」
- 為與傳統的計算與考試做區隔，採筆試及實作進行。
  - 筆試目的：讓學生了解工程師如何對工程安全作量化工作
  - 實作目的：讓學生實際感受課堂所學理論之應用及構物的實際行為。

五、Keystone核心專業課程目標

➢課程目標：

為了讓學生在實作過程中有學習方向感，結合問題導向學習(Problem-based learning)的學習操作模式， 以達成下列目標：

- 問題是學習的源頭
- 透過學生我產出來衡量其學習表現
- 以學生為學習中心
- 教師扮演著促進學習的角色



02 課程設計與規劃

一、開課基本資料

二、教學設計與規劃

三、授課內容

四、單元教學目標

五、教學方法

六、專題實作的執行

七、單元解說範例

一、開課基本資料

授課教師	姚忠達 老師
開課系級	土木系二年級下學期
課程名稱	材料力學(二)
開課學年度	104學年度第2學期

二、教學設計與規劃

項目	內容
課程內容	除了傳統筆試(配合未來研究所、技師考試)，所需的講授，引進「動手做」的設計專題實作模式。
方法與策略	引進PBL及實作併行模式。
設計與實施	透過專題實作的「設計中學習」模式，引導學生「自行設計、做中學」，了解受壓柱的挫屈現象。
評量方式	互評、老師講評，以奠定學生在「聽說讀寫」、批判、思辨的基礎能力

三、課程單元

- **第一單元：柱之挫屈**
- 第二單元：薄壁斷面的剪力中心
- 第三單元：薄壁樑的側潰分析與實驗

＊限於篇幅，分享的實施重點將聚焦在**第一單元的「柱之挫屈」**；除了傳統所需的課堂講授、解題之外，另配合專題實作及口頭報告，以充實學生的力學知識及實作體驗。

四、單元教學目標–以柱之挫屈為例

➢過程皆以學習者為中心(learner-centered)

- 透過實作模型的承載，由學生主動觀察受壓柱出現挫曲現象即提出挫曲機制，來建構受壓柱出現挫曲時的相關知識
- 透過學生對支撐架的承壓能力與側撐造型表現，來衡量其學習成效之產出；過程中老師只提供專業知識及必要協商。
- 以學生在專題製作過程中的支撐架模型之「承載能力、購才選擇、造型設計」來進行整體評量。

五、教學方法（1/4）

➢ **以柱之挫屈為例**

- 課前預習–透過動動腦了解想法與事實間的差距
- 課堂講授–以問題導向引導學生逐步了解柱挫屈相關原理
- 專題實作–透過做中學縮小學用間的差距

五、教學方法（2/4）

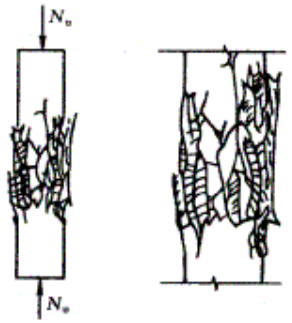
➢ 以柱之挫屈為例

教學方法	教學內容	學習議題
課前預習	• 想法vs. 事實：了解高架水塔裝滿水後，塔柱如何承載負荷。	• 透過不同具/不具的側支撐架系統，了解側撐柱有效長度對於塔柱抗挫曲效能之影響

橫撐及斜撐密佈的高架水塔

五、教學方法（3/4）

教學方法	教學內容	學習議題
課堂講授	• 讓學生了解柱的受力行為及認識受壓柱的破壞現象 • 使學生對建物支撐柱的結構安全有更深層的認識	• 受壓柱行為 • 受壓RC柱鋼筋為何挫曲 • 細長柱有效長度 • 如何防止受壓柱挫曲



短柱的破坏

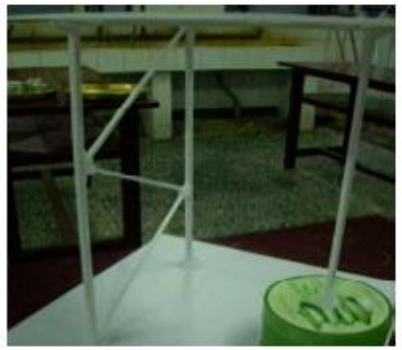
側撐可降低有效長度

$$EIv'' + Pv = 0 \quad v(0) = v(L) = 0 \rightarrow v = \delta_0 \sin(n\pi / L) \quad P_{cr} = EI(\frac{n\pi}{L})^2 \rightarrow P_E = EI(\frac{\pi}{L})^2$$

五、教學方法（4/4）

➢ 以柱之挫屈為例

教學方法	教學內容	學習議題
專題實作	• 支撐架的製作與加載 • 支撐柱採空心管實驗	• 坡地建築之支撐架承載 • 不同長度支撐平台承載 • 支撐架承載實施與設計 • 材料輕量設計



支撐架與加載模式

不同造型的支撐架設計

六、專題實作的執行（1/5）

➢ **小組分工及同儕互評的執行**

- 任務分組及目標確認
- 任務分工執行內容
- 上台報告及同儕互評

（評量過程又分為「組員自評、同儕互評、教師講評」三階段）

六、專題實作的執行（2/5）

土木材力二達人秀　—誰與爭鋒—

(評審：　　組號：　　)

	口頭報告 (10%)	工作表現 (10%)	答辯 (10%)	評語	分數
優(9-10)					
普(7-8)					
可(6-)					

表 3.1　實作評量尺規(Rubrics)

- 「工作表現」係由各組自行當導演及演員所拍攝的紀錄片來評分
- 評量過程又分為「組員自評、同儕互評、教師講評」三階段

六、專題實作的執行（3/5）

➢ **任務分組及目標確認**

a. 分組執行討論：每組4-5人，各設一位討論小組長

b. 確認目標：

- 認識受壓柱的挫曲現象
- 防止柱挫曲的改善措施
- 情境設計模擬

六、專題實作的執行（4/5）

a. 影片拍攝
b. 實驗工作分配
c. 選材及造型發想
d. 支撐架模型製作
e. 側撐的支配
f. 側撐造型設計
g. 材料輕量設計
h. 承載力比較

六、專題實作的執行（5/5）

- 各組針對上台報告內容提出問題，然後給予評分

影片+報告

問與答

組員解說

七、單元解說範例（1/2）

- 工程事故
- 「影片中吊車的吊臂桁構破壞之原因。」

•說明：因為高壓軸力造成挫屈，此時大部分吊臂桁構材料仍在可用範圍。

•教師補充：材料未能完整充分發揮其強度即損壞，就是浪費。

➔為理論增添工程技術實用性

七、單元解說範例（2/5）

➢一柱的挫屈vs. 竹子

「細長的竹子，茂盛的枝葉，竹子依然高聳地庭立著。」

- 說明：細長的竹子，斷面是空心的，但可以高高地往上生長並承載頂部茂盛的枝葉，即是一例。
- 教師補充：鄭板橋畫竹特點：修長挺拔之中帶著幾分的瀟灑與傲氣。在他的畫風總可察覺到「借物詠志、狀物抒懷」的文人心情。

➔為技術增添一些人文氣息

03 學生學習成效

一、評量方式與目的

二、實作評量目標

三、實作評量方式

四、學生學習產出與表現

五、學生回饋整理與分析

一、評量方式

- **筆試（50%）：**

目的在於考核學生對於課程理論內容的吸收程度，同時也為了未來參加研究所、技師資格考做準備。

- **實作（50%）：**

目的在於訓練土木系學生動手做即面對工程問題所需具備的設計與問題解決能力。

二、實作評量目標

- 搭配 PBL學習模式，透過專題實作，帶給學生「有感的材料力學」學習環境
- 力學基礎佳、數理能力強的學生可以發揮其長，而不足者可透過「動手實作」來深化力學之理解，並期待由此，
- 縮短專業課程的「學用落差」現象

三、實作評量項目

- **核心能力考核(20%)：**

由任課老師評定各小組的書面報告；書面報告評分的重點在於上台報告後，同儕互評及老師重點提問的內容彙整。

- **同儕互評(30%)：**

以現場報告方式進行；由各組推出一位評分代表，依照實作課程評量尺規(Rubrics)進行評量。

四、學生學習產出與表現（1/5）

➢ **透過本課程學習，學生的產出分成兩種：**

- 一般學習成效：了解臨界載種之理論與量測差異、得知柱抗挫曲的關鍵要素—接頭開裂。
- 付價增值的產出表現：
  - a. 學生額外了解「扭轉挫曲」及「構架側移而非柱挫曲」，這兩種現象已經超出一般材料力學的課程內容。
  - b. 微電影拍攝

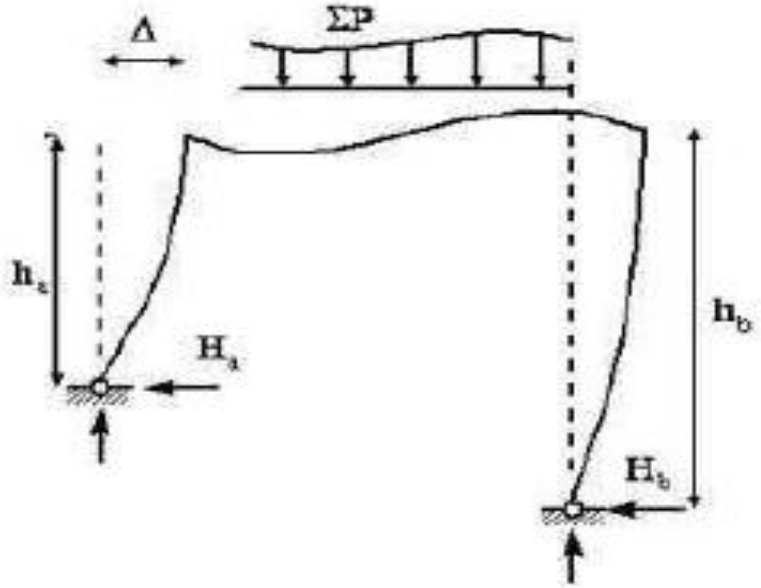
四、學生學習產出與表現(2/5)

➢ 一般學習成效

實施：	學生反應：	學習成效檢討
1. 營造學生喜愛的「邊動手、邊學習」環境。 2. 配合「操作學習」，作為學生解決問題的核心導向。	1. 臨界載重之理論與量測差異解釋 2. 柱抗挫曲的關鍵要素—接頭開裂，	1. 單一受壓構件與建物構架系統之差異—了解側撐配置如何影響柱發生挫曲。 2. 讓學生透過模型承載實作，了解傳統課堂理論講解與實務之間的差異性。 3. 構架接頭是執行實務設計及施工處理較為複雜的一環。透過模型實作有助學生對工程實務凡了解。

四、學生學習產出與表現（3/5）

➢ 附加價值的產出表現—額外的收穫

老師提問：是柱側移變形，還是受壓柱挫曲？	說明：長短柱之構架側移現象解說
	

四、學生學習產出與表現（4/5）

➢ 附加價值的產出表現—額外的收穫

學生提問：為什麼我們的支撐架挫屈形狀與別組不同?	老師說明：發生扭轉挫屈
	扭轉挫屈的發生是支撐柱在材料選用過軟的熱融膠條所致；若以單根柱而言，他已出現側移式(side sway)的柱挫屈現象。但是，因為支撐平台是為圓形，限制了柱挫屈的側移方式。故在施加軸壓力時，各支撐柱同時發生沿切線方向的側移式柱挫屈，致出現支撐架扭轉，而產生扭轉挫屈。透過動手實作，學生仍可了解扭轉挫屈的基本行為，無須引進太多的深奧的力學理論及數學公式，學生仍可從中學習。

四、學生學習產出與表現（5/5）

- **附加價值的產出表現—微電影拍攝**

由於評量尺規中的「工作表現」會引進實作過程的影片拍攝，因此學生無不全力以赴，部分學生甚至會以微電影的方式呈現，搭配自選主題曲，強調該組的獨特性，也表達非技術性的人文氣息。

五、學生回饋整理與分析（1/2）

➢ **學生回饋綜合整理：**

- 實作題目提早宣布，以準備材料
- 可驗證課堂理論與實際之差異，有助於學習
- 學生互評，相互觀摩學習，彼此打分數公平
- 實作有助於相互激盪思考，集思廣益
- 影片呈現有助於團退的凝聚
- 學生喜歡動手做的參與感

五、學生回饋整理與分析（2/2）

➢ **學生回饋結果分析：**

- 普遍學生可接受專題實作的學習模式
- 但仍有一部分學生偏向傳統式的課堂講述及筆試評量（通常為數理能力較佳者，約3-5%）
- 不少學生因基礎學科能力不佳(微積分、工程力學、材料力學一)，導致在本課程學習落後(約20-30%)

04 創新教學成果自評

一、教學結果省思

二、理念與目標的達成

三、實務上的應用及推廣

四、在學術上的價值

五、總結

一、教學結果省思

- **面對不同屬性的同學，不以單一筆試來做為衡量學生表現的唯一指標，須有配套的適性教學方法**
- 面對程度較佳同學，搭配課後與老師討論來協助強化其欲達成的數理計算能力。
- 而面對基礎數理、工程力學能力差的同學，則鼓勵他們以實作方式來呈現；讓他們知道，除了理論計算外，尚有步靠計算方式也能達到問題解決的經驗工學法。

二、理念與目標的達成

- **搭配PBL學習模式，透過專題實作，帶給學生有感的材料力學概念**

本課程嘗試引進「做中學(Learning by Doing)」的專題實作，搭配PBL的模式來引導學生，期望以此提升學生的學習興趣，並加深對於力學的相關概念

三、實務上的應用及推廣

- **縮短專業課程的「學用落差」現象**

比起工程力學、材料力學(一)所需的力學理論及數學公式更多也更複雜，往往導致數理能力不足的同學遇到瓶頸而放棄。因此本課程鼓勵學生透過動手做及設計實驗的過程來吸收與學習，並所短「學」與「用」之間的距離。

四、在學術上的價值

- **專題實作模式論文、研討會發表**

本課程以學生為中心的專題實作模式，將以此為論文整理，選擇於工程教育研討會中發表。

五、總結

- 「學習需要益友良師，成長需要共同學習」

整個專題實作過程中，老師只給題目，即由各組自行設計與製作，過程中能讓學生發揮潛在設計才華，有時也會遇到不可預測的實驗結果。老師的協助、學生本身的求知慾加上創意思考，造就出本課程的額外附加價值—問題解決、團隊合作、創意展現，這是本課程最佳的產出。