

早強混凝土力學模式之研究

胡又仁^{1*}、黃志勛¹、吳漢婷¹、侯富綦¹

¹陸軍軍官學校土木工程學系 學生 mm0913019802@gmail.com

摘要

因應特定具時間急迫性之工程，早強混凝土的發展越發重要，工程驗收上，抗壓試驗較抗彎試驗準確且方便，因此本研究設計一般混凝土及添加早強劑之混凝土，製作圓柱及樑試體，於不同齡期進行抗壓及抗彎試驗，求出兩種混凝土，抗壓強度及抗彎強度隨齡期的發展趨勢，並針對抗彎及抗壓之間關係提出回歸公式，能更精確掌握齡期、抗壓及抗彎強度的關係，對於工程上進度及設計強度之控管有所幫助，亦能提供日後早強混凝土之設計、研究參考依據。

關鍵字： 早強劑、抗壓強度、抗彎強度、回歸公式

1. 前言

道路搶修一直以來都是台灣的重要工程，早期修建橋梁、機場跑道中所運用的混凝土，是由水泥經水化反應來發展強度，但此過程需要大量的時間來完成，因此短時間內無法達到規範強度，造成工程時間拉長，使交通無法快速恢復運作，所以我們採用早強混凝土解決這項問題。CNS1232的結構混凝土最低強度規範為 210kgf/cm^2 (21MPa)[1]，將早強劑加入混凝土中，可以使混凝土的水化反應時間縮短，讓混凝土的強度可以提早發展出來，減少搶修工程的時間[1]。

目前美國的ACI318[3]、ACI330R-2001及2008[4]、印度的IS456[5]等規範，僅是針對一般混凝土所制定的規範及回歸公式，而早強混凝土日益普及的狀況下

，卻尚未建立完整的一套回歸公式。在實際施工時於現場進行抗壓、抗彎強度試體試驗，能提升品質的控管，但抗彎強度試體的取樣不易、且試驗過程時間較長，加

上人員對於操作流程可能較不熟悉，將導致安全疑慮，使抗彎試驗成為現場施工驗收的難題，因此工程上大多以鑽心取樣抗壓試體取代切鋸抗彎試體，一是為了避免對結構產生破壞，二是操作抗壓試體的製作較為簡單，流程亦較快速方便，且試體製作及試驗程序之誤差對圓柱試體試驗結果之差異相對樑試體之影響小[6]，故使用圓柱試體進行抗壓試驗可得較正確之試驗結果，求得實際抗壓強度後，再以先前文獻中建立之經驗關係公式，推估試體之抗彎強度。

本研究針對一般混凝土及早強混凝土之抗壓強度及抗彎強度進行試驗，將實驗所得出的數據進行統整後，可以發現早強混凝土在初期強度發展上比一般混凝土更加快速，且在加入早強劑後，混凝土後期28天強度發展與一般混凝土28天發展的強度相似，可以證明早強劑在實務上是能夠確保完工後的品質和一般混凝土差異不大，因此本研究利用混凝土抗壓、抗彎強度的試驗結果，我們參考對於不同混凝土之抗壓強度與齡期之歸納方式[7]，透過自

然對數進行回歸分析，以此找出抗壓強度與抗彎強度兩者之間的關聯性，並藉由此觀察結果整理出混凝土抗壓、抗彎的公式，使現場工程驗收實際抗壓強度的同時能推估實際抗彎強度，使設計上更加安全，最後與文獻中的參考公式進行對比，證實此研究之可行性，並將此研究結果傳承給後人進行參考。

2. 實驗設計

2.1 實驗流程

本研究為無需熱養護之早強混凝土材料，為符合早強之要求，本研究從材料方面管控強度發展。除了使用均勻級配的粒料，並且以添加摻料及藥劑等方式提升早強之效果。主要材料有東南水泥、兩種大小不同粒徑之天然礫石、天然砂、矽灰 10%、早強劑(sikarapid c100)5%(55%固量)與高效減水劑1%(55%固量)，實驗材料配比如表1所示。

表1：材料配比

材料	早強混凝土	一般混凝土
東南水泥	1	1
矽灰	0.11	0.11
細粒料	1.17	1.21
粗粒料	2.17	2.26
水	0.26	0.3
減水劑	0.01	0.01
早強劑	0.1	0

針對混凝土添加早強劑，進行物理及力學性質試驗，包括硬固混凝土之抗壓強度、抗彎強度等試驗。將此種混凝土與一般混凝土進行觀察與比較，研究兩者間之差異及實驗過程中的變化，探討此種混凝土於工程運用之效益。

本研究中圓柱試體依 4 小時(hr)、8 小

時(hr)、1 天(D)、3 天(D)、7 天(D)、28 天(D)分別進行抗壓試驗，樑試體依 3 天(D)、7 天(D)、28 天(D)分別進行抗彎試驗。

材料組成包含東南水泥、礫石、天然砂、矽灰、早強劑與高效減水劑。上述所使用的材料性質如下：

(1) 水泥(cement)：採用東南水泥 550/m³，性質符合 ASTM C150 或 CNS61 之水泥規格。(圖 2-1)

(2) 矽灰(silica fume)：矽灰會和水泥的水化物氫氧化鈣產生卜作嵐反應，其可以移去水泥水化所生成的有害鹼性物質，並生成 C-S-H 膠體使混凝土的強度有進一步的成長[8]。(圖 2-2)

(3) 細粒料(Fine aggregate)：作用是調節比例，使配合比最優，這樣才能在少用水泥的情況下更好的發揮各種材料的作用。(圖 2-3)

(4) 粗粒料(Coarse aggregates)：研究中採用粒徑 1cm 之河川礫石作為添加，均於前一天做洗選和曬乾，讓材料部會因雜質影響強度，粗骨材使總面積和集密空隙減少。細骨材可吸附大量水分，形成黏性的漿體。(圖 2-4)

(5) 減水劑(sika)：能減少拌合用水量、提高混凝土強度。添加 1%(55%固含量)減水劑以減少用水量，減水劑中的羧酸類高分子具有長側鏈，在拌和初期產生互斥使水泥顆粒分散，同時側鏈在水泥粒子間造成立體組閣的效果，使其穩定且有效的分散及隔開水泥粒子。減水劑有助於低水灰比（一般介於 0.3-0.45）混凝土的施工，產生流動性佳的混凝土錯誤！找不到參照來源。。

(6) 早強劑(sikarapid c100)(55%固含量):作用為加強混凝土早期強度及提高水泥水化度**錯誤! 找不到參照來源。**，本研究採用 5%添加量。

本研究設計兩種材料進行比較，分別為早強混凝土與一般混凝土，第一種為乾鍋乾拌砂與水泥碎石，加減水劑與水泥和液再加早強劑，第二種為不加早強劑。並根據實驗結果的數據在後續的過程中調整配比及拌合過程，使設計強度養護一天抗壓強度達21MPa，實驗流程圖如圖3。



圖 2-1：水泥



圖 2-2：砂灰



圖 2-3：細粒料



圖 2-4：粗粒料

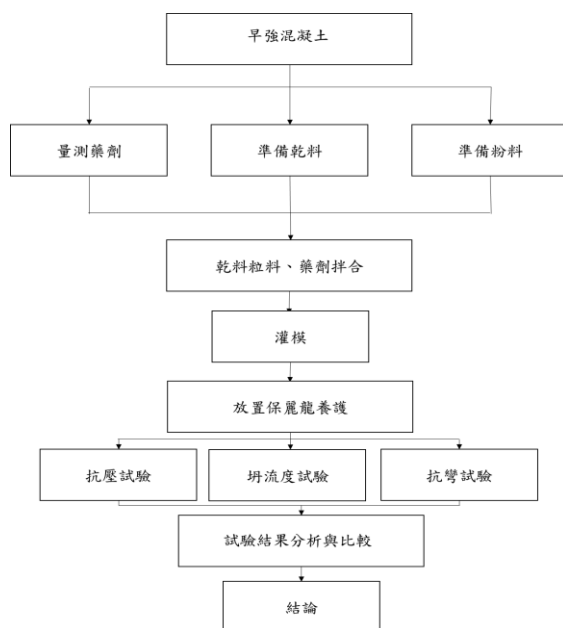


圖3：實驗流程圖

2.2 實驗設備

本實驗所使用的實驗設備如下：

- (1) 7.5cm*7.5cm*30cm 樑試體模具 (圖 4-1)
- (2) 7.5cm*15cm 圓柱試體模具(圖 4-2)
- (3) 攪拌機:為提高實驗效率，使用可容納實驗材料之機具。(圖 4-3)
- (4) 抗壓機:測量材料能抵抗以同一軸線施加的壓力，計算試體最高極限抗壓強度。(圖 4-4)
- (5) 研磨機:為避免試體表面粗糙進而影響抗壓強度。使用本機具，將表面磨製光滑。操作時，務必用水管放置試體磨損面與葉片交界處，使水流帶走粉塵。(圖 4-5)
- (6) MTS 油壓試驗機:測量材料單位面積承受彎矩時的極限折斷彎力。求得應力應變，並繪製應力應變曲線。(圖 4-6)
- (7) 位移感測器 LVDT (Linear Variable Differential Transformer) : LVDT 可以用來測量物體的伸長度、震動頻率、振幅、膨脹度等精確數據。(圖 4-7)



圖 4-1：樑模具 圖 4-2：圓柱模具



圖 4-3：攪拌機



圖 4-4：抗壓機



圖 4-5：研磨機



圖 4-6：MTS 油壓試驗機



圖 4-7：位移感測器 LVDT

2.3 試體準備與養護條件

本實驗使用到 7.5cm*7.5cm*30cm 樑試體和 7.5cm*15cm 圓柱試體，依序將天然砂、矽灰及東南水泥倒入攪拌機中，先低速攪拌 1 分鐘使粉料均勻混和，接著加入粗細粒料攪拌 2 分鐘，再倒入事先與水混合的強塑劑拌合 5 分鐘混和使漿體呈現糊狀，過程中，漿體會經歷顆粒狀-塊狀-糊狀，此時再加入早強劑拌合 5 分鐘，因過早加入早強劑會使混凝土工作性不佳，作用為加強混凝土早期強度及提高水泥水化速度。

完成後澆置至試體模具中，使用搗棒將試體模具內的混凝土漿體搗實，左右搖晃試體模具使混凝土漿體內之氣體排出，避免影響試體強度。(圖 5-1、5-2)



圖 5-1：樑試體 圖 5-2：圓柱試體

澆鑄完後迅速放置保麗龍箱存放，避免表面水分迅速蒸發，導致表面出現皺褶與乾縮現象，透過保麗龍箱的內部環境使試體自體發熱，並模擬現地狀況，將保麗龍箱用水泥密封使試體不受外界因素影響。待混凝土水化作用後拆除模具，使用混凝土試體研磨機對圓柱試體進行研磨，將試體上下兩面研磨平整，以避免不規則平面造成抗壓試驗結果誤差。

3. 實驗方法

3.1 抗壓試驗

混凝土之材料特性，主要用於各種承壓應力之土木建築結構，因此抗壓強度是混凝土中最重要的性質之一，也是決定混凝土的品質好壞最重要的依據，利用抗壓試驗針對不同齡期之混凝土來評估強度是否能於規定時間內達到設計需求，據以判定混凝土工程施工品質，並將數據整理後，畫出混凝土強度發展曲線[11]。

本研究試驗參考 CNS1232 (2002) 混凝土圓柱試體抗壓強度試驗法[12]，試驗步驟如下：

- (1) 取混凝土圓柱試體，進行試體端面之磨平工作，磨平後確認試體之垂直度 (≤ 0.5 度) 與端面平整度 (≤ 0.05 mm)。

- (2) 將上、下部承載面及試體擦拭乾淨，並將試體置於下部承載面上，小心對準使試體軸線與圓座上部承載面中心重合。
- (3) 於抗壓機之控制電腦上，針對試體尺寸、資料與測試條件調整設定，油壓加壓速度設定 $0.6 \pm 0.2 \text{ N/mm}^2/\text{s}$ 之加載速率。
- (4) 進行加壓測試，直到試體破壞為止，並記錄最大荷重值，抗壓強度計算公式 (3-1)如下。

$$f_c = \frac{P}{(\pi/4)d^2} \quad (3-1)$$

P = 破壞載重(N)

d = 圓柱試體直徑(cm)

3.2 抗彎試驗

抗彎強度係當由單一物體 (如混凝土樑)受壓力荷重而形成的結構彎曲時，一側受壓應力而另一側受拉應力的狀況。因混凝土抗拉能力比抗壓弱，試體會隨著靠近最大彎矩斷面而破壞，在彎曲的外側結構，應力將處於其最大拉伸值。在混凝土樑破壞之前可以承受的最大拉應力值即是其抗彎強度，本次試驗利用三分點載重法，檢測不同齡期試體抵抗彎矩作用之能力[11]。(圖6-1)



圖6-1：抗彎試驗架設

本研究試驗參考 CNS1233 (1984) 混凝土抗彎強度試驗法 (三分點載重法)[12]，試驗步驟如下：

一、取混凝土抗彎樣品試體，將試體橫放於工作台上，量測抗彎試體尺寸之長、寬、高，並於試體上標記抗彎座支撐位置。

二、調整抗彎座後，將樣品試體置放於抗彎座與萬能試驗機台上，使載重系統的中心與外力對齊。

三、開動萬能試驗機，使施力塊在兩支承間與試體接觸，施加载重於試體樑中央上，施加载重速率為 0.06 mm/min 進行等速加載，至試體斷裂。

四、三分點載重法使得試體樑中央 1/3 處，為相同撓曲彎矩作用，因此於此區域中任一斷面產生破裂，皆可獲得相同之抗彎強度。若抗彎試體樑之破壞面，正好位於樑中間1/3 跨徑範圍內，其抗彎強度可由下列公式(3-2)如下：

$$f_p = \frac{PL}{bd^2} \quad (3-2)$$

f_p = 混凝土之抗彎強度，亦稱為破裂模數 (Modulus of Rupture, MOR)

P = 試體之破壞荷重(N)

L = 跨徑長度(m)

b = 試體寬度(m)

d = 試體高度(m)

五、若試體樑之破壞面位於中央 1/3 跨徑之外，但不超出跨距之5%時，則可使用公式 (3-3) 式計算其抗彎強度，其公式(3-3)如下：

$$f_p = \frac{3Pa}{bd^2} \quad (3-3)$$

f_p = 試體之破壞荷重(N)

b = 試體寬度(m)

d = 試體高度(m)

a = 破壞線和最近支承的平均距離，在樑的拉力側量測

4. 實驗結果與討論

4.1 抗壓試驗結果

針對早強混凝土及一般混凝土的抗壓強度試驗結果，分別由圖7-1所示，可觀察到早強混凝土因早強劑的作用下，四到八小時便產生抗壓強度，而一般混凝土在四到八小時尚在初凝狀態，還沒硬化，因此無法實施抗壓試驗。

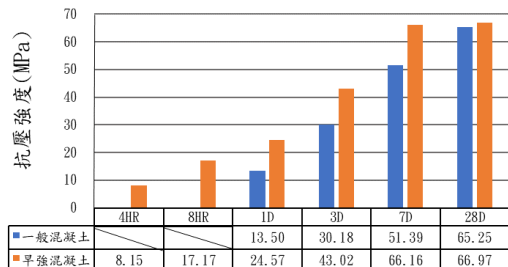


圖7-1：抗壓試驗結果

早強混凝土分別在第一、三、七、二十八天時，相對於一般混凝土，強度分別增加45.0%、42.5%、28.7%、2.6%，由此可看出，早強劑在四小時及八小時時能使混凝土快速作用達到硬化，在一天及三天時

，早強劑對於加速強度發展有很大的功效，強度皆高於一般混凝土強度的四成以上，而到了第七天時提升強度效益則趨緩，但早強混凝土抗壓強度在第七天，就能達到一般混凝土二十八天的強度，因為早強劑在混凝土中，能夠加快水泥發生水化

的速率，促進早期強度發展，因此在本研究中早強混凝土能較早提高試體的抗壓強度。最後早強混凝土在七到二十八天時，強度發展則減緩許多，從二十八天時之抗壓強度可發現，儘管兩者強度相差不大，但有添加早強劑之混凝土強度略高於一般混凝土，由此可知此配比下，早強劑並沒有使混凝土試體因強度的過早發展，而使之在二十八天時的強度減少。並且由抗壓數據可得知，早強劑對於混凝土之強度影響會隨著齡期的增加而減少，為了更進一步了解混凝土試體的抗壓強度發展趨勢，將試體抗壓強度及齡期分別做散佈圖如圖7-2所示。

從圖7-2中，我們將混凝土試體的抗壓數據進行整理，參考Metwally[7]對於不同混凝土之抗壓強度與齡期之歸納方式，使用自然對數的方程式來表達混凝土抗壓強度與齡期之關係，如公式(4-1)所示，其中 f_c (單位：MPa)為抗壓強度， t 為齡期(單位：天)， A 、 B 為常數，式中可得知抗壓強度為時間的函數。並且與Suryawan等[13]對於一般混凝土之抗壓強度與齡期整理曲線，比較各曲線之差異。

$$f_c = A \ln(t) + B \quad (4-1)$$

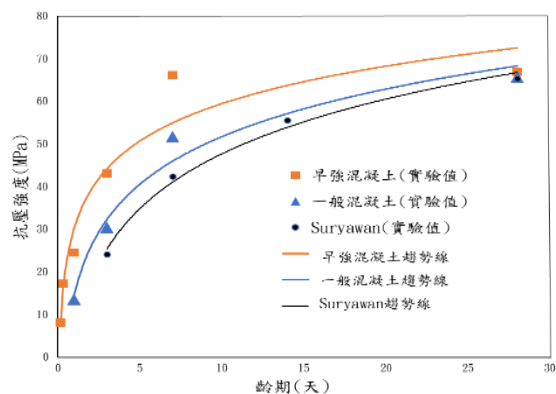


圖7-2：抗壓強度發展趨勢

一般混凝土抗壓發展公式(4-2)如下：

$$f_c = 16.113 \ln(t) + 14.64 \quad (R^2 = 0.9717)$$

早強混凝土抗壓發展公式(4-3)如下：

$$f_c = 12.752 \ln(t) + 30.49 \quad (R^2 = 0.9394)$$

由圖7-2顯示試驗數據之曲線與文獻趨勢差異不大，可做為其他混凝土抗壓與齡期關係實驗的參考依據，且可以更清楚的看到，早強混凝土相對於一般混凝土在早期時抗壓強度更迅速的發展，但隨著齡期的增加可以發現兩趨勢線逐漸接近，即代表兩者強度逐漸接近，而從兩者之趨勢線，可以得到對應之回歸公式，我們可以透過公式預測一般混凝土、早強混凝土在不同工作目標，所需發展出的抗壓強度，大約要花上多少時間才能達到，有助於工程在作業過程中，能隨時掌握工程進度，亦能對工程所需混凝土強度要求有更精確的掌握，能夠提升施工品質。

4.2 抗彎試驗結果

由圖8-1、圖8-2中，可以明顯看出早強混凝土在齡期三天及七天時，抗彎強度以及撓度上都優於一般混凝土，可以承受更大彎曲量，也可以從圖中發現，抗彎強度及撓度的曲線斜率相近，由此可知兩不同混凝土雖然強度發展上有所落差，但兩者的剛度相近。圖8-3中，雖然可看出抗壓強度及撓度差異不大，但兩者曲線有所落差，早強混凝土的斜率較高，可以得知在28天時早強混凝土對比一般混凝土較偏向剛性材料，有著較大剛度。將兩混凝土各

齡期抗彎實驗數據整理如表2，可得知在齡期為二十八天時，兩者抗彎強度及撓度則無明顯差異，但七天之早強混凝土已經達到，甚至能略高於二十八天一般混凝土之抗彎強度，對於工程之縮短能有很大的助益。

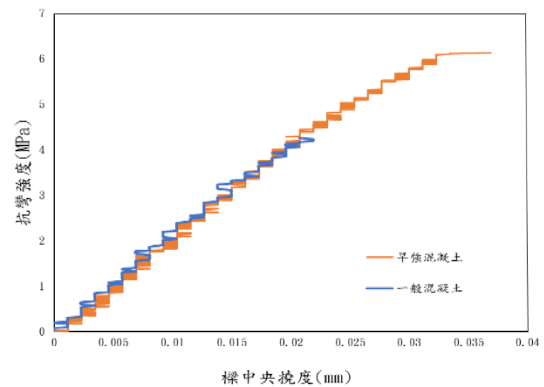


圖8-1：三天混凝土抗彎-撓度試驗結果

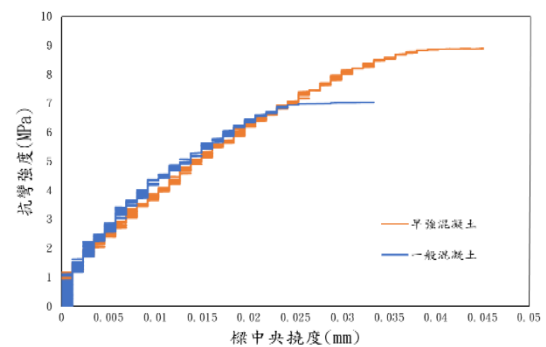


圖8-2：七天混凝土抗彎-撓度試驗結果

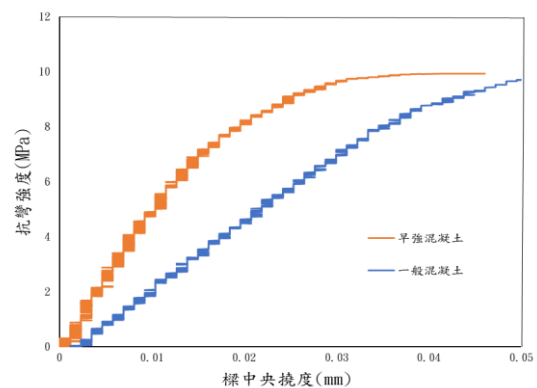


圖8-3：二十八天混凝土抗彎-撓度試驗結果

	一般混凝土		早強混凝土	
齡期	f_p (MPa)	δ_p (mm)	f_p (MPa)	δ_p (mm)
3天	4.24	0.024	6.16	0.037
7天	7.26	0.032	8.92	0.0456

表 2：不同齡期之抗彎強度與撓曲

針對早強混凝土及一般混凝土之抗彎強度試驗結果如圖 8-4 所示。可發現早強混凝土之抗彎強度於各齡期之中，皆優於一般混凝土，在齡期三天、七天及二十八天時，早強混凝土分別高出一般混凝土 45.3%、22.9%及 2.5%，可以看出早強混凝土在初期發展抗彎強度上，是比一般混凝土來的快速，但時間越長，兩者的強度將會越接近，因此可以看出早強劑對於混凝土初期的強度發展有很大的效益，然而對後期強度較無顯著影響。

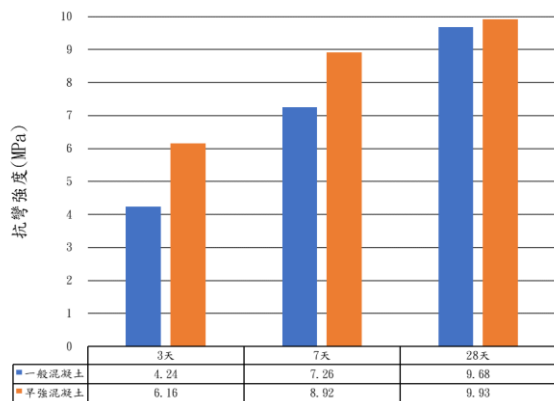


圖 8-4：抗彎試驗結果

將三天、七天及二十八天的早強混凝土抗彎試驗之載重-撓度曲線整理如圖 8-5 所示，在 3 天、7 天、28 天一般混凝土與早強混凝土的抗彎強度-撓度比較可以明顯看出抗彎強度和撓度、齡期有正相關的關係，並且隨著齡期增加及強度的發展，早強混凝土的剛性則越發明顯。

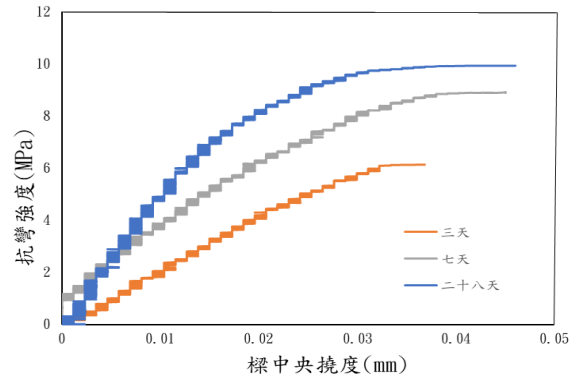
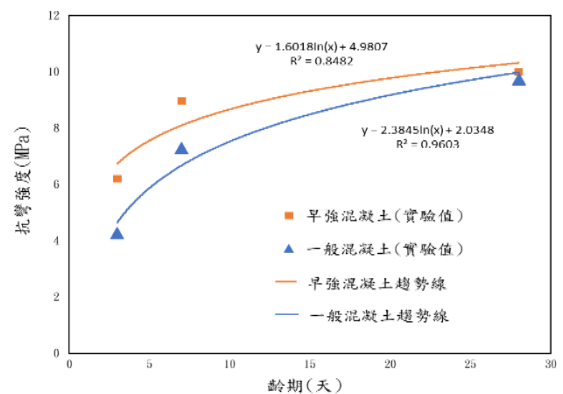


圖 8-5：早強混凝土抗彎-撓度試驗結果比較

綜合以上可得知早強劑對於混凝土之早期抗壓強度與撓度發展有顯著效果，但隨著發展越後期，早強劑對於混凝土之抗彎強度及撓度影響則越來越小，並且在二十八天時早強混凝土強度皆高於一般混凝土。

將一般混凝土、早強混凝土的抗彎數據統整後(圖 8-6)，同樣利用自然對數可以畫出其發展趨勢，其公式如下。

圖 8-6：抗彎強度發展趨勢
一般混凝土抗彎發展公式(4-4)如下：

$$f_p = 24.168 \ln(t) + 20.62 (R^2 0.9603)$$

早強混凝土抗彎發展公式(4-5)如下：

$$f_p = 16.235 \ln(t) + 50.48 (R^2 0.8482)$$

藉由數據的統計及發展公式的推導，可以運用於計算混凝土在工程中達到所需強度之工期，有助進度的掌控，亦能給做相關領域研究做為參考依據，在其基礎上更廣泛統整數據，以導出更為精確之公式。

4.3以混凝土抗壓強度推估抗彎強度

混凝土應用於各項工程中，只有在剛性鋪面時必須使用抗彎強度機制作為設計以及品管為主，僅日本準則允許使用抗壓強度為輔[13]，其他結構體則都以抗壓強度值作為依據，不同的設計機制，以及土木、建築或水利工程結構體，已具備充分的水泥混凝土設計準則，可供參考使用，像是美國的ACI318-2005[3]及ACI330R-6-2008[4]、印度的IS456-2000[5]及歐洲的CEB-FIP0，如表3所示。

表3：抗壓強度和抗彎強度之間的關係
(單位：MPa)

規範	f_p
ACI318-2005	$0.517\sqrt{f_c}$
CEB-FIP	$0.81\sqrt{f_c}$
IS456-2000	$0.626\sqrt{f_c}$
ACI330R-6-2008	$0.8\sqrt{f_c}$

將混凝土以抗壓強度推估抗彎強度是試驗中常使用的概估方式，然而對於日益普遍使用之早強混凝土，尚未建立一套完整的回歸公式，本研究參考一般混凝土之分析模式，推導出的一般混凝土及早強混凝土之回歸公式如下所示：

一般混凝土抗壓抗彎回歸公式(4-6)如下：

$$f_p = 1.0824\sqrt{f_c} \quad R^2 = 0.6686 \quad (4-6)$$

早強混凝土抗壓抗彎回歸公式(4-7)如下：

$$f_p = 1.1026\sqrt{f_c} \quad R^2 = 0.7409 \quad (4-7)$$

由上述兩式可以觀察到，在相同抗壓強度下，相對於一般混凝土，早強混凝土會具有更高的抗彎強度，藉由回歸公式，對於工程所需強度設計上，可做更為精確的調整，以達到目標強度。混凝土抗彎強度，其大小視混凝土配比約為抗壓強度之8%至15%[6]，而在本次試驗中，試體抗彎強度約為抗壓強度之13%至15%區間，屬正常範圍內。

將公式(4-6)及公式(4-7)與表中規範公式相比較可以得到圖9-1、圖9-2。圖9-1由於一般混凝土齡期三天時，水化反應尚未完全，故只採用七天及二十八天數據進行回歸，由圖9-1及圖9-2可以發現，兩種混凝土對比於規範發展趨勢相似，但其抗彎發展更為明顯。混凝土加入矽灰及減水劑後，矽灰及水泥進行水化反應，產生大量C-S-H膠體，使混凝土的握裹力及緻密性提高，減水劑能使拌合中的砂漿能均勻的包裹住粒料表層，進而讓混凝土內部能平均發展強度，使其在相同抗壓強度下，抗彎強度比規範公式中的發展還來得更強。

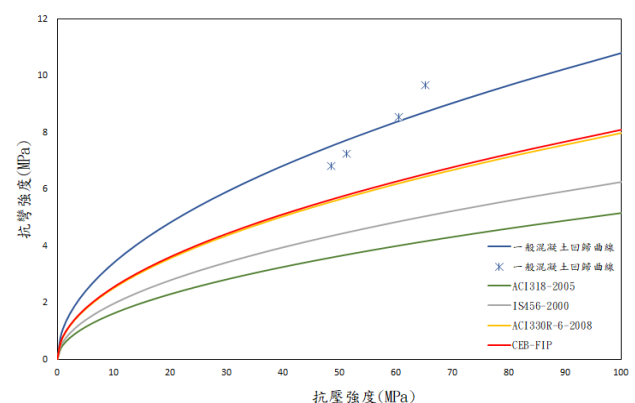


圖9-1：一般混凝土與規範公式之比較

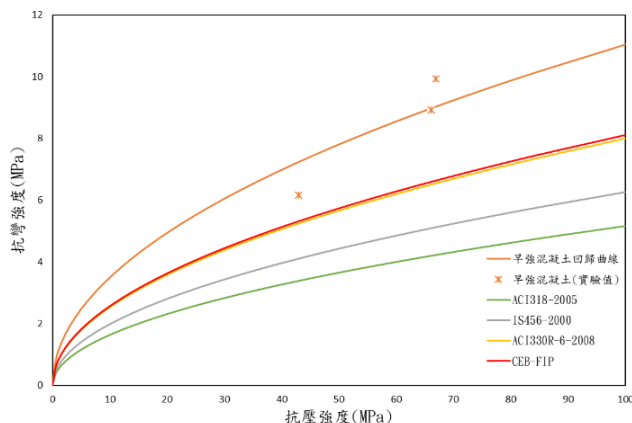


圖9-2：早強混凝土與規範公式之比較

5. 結論與建議

5.1 結論

本研究針對加入早強劑對於混凝土之抗彎及抗壓性質之影響進行試驗，根據試驗結果得到以下結論：

- (1) 早強混凝土於抗壓試驗中可在1天達到 24.57MPa的抗壓強度，達到設計規範(21MPa)。在7天時便能達到28天之98.8%抗壓強度。
- (2) 早強混凝土於抗彎試驗中可在3天達到6.16MPa的抗彎強度，達到設計規範(4.5MPa)。在7天時便能達到28天之89.8%抗彎強度。
- (3) 藉由試驗數據，分析出混凝土強度隨齡期發展之公式，早強劑對於混凝土早期強度發展，有顯著效益。
- (4) 藉由規範及實驗數據，統整出混凝土抗壓、抗彎強度之關係式，可利用回歸公式推估混凝土強度，並提供相關設計、研究之參考依據。

5.2 建議

- (1) 本次研究中，對於配比、拌合時間、藥劑加入時間點與灌模到養護之所有流程，皆需要有精確的掌握，使早期

強度能發展出來。早強混凝土反應時間較短，其工作性較一般混凝土低，澆置間隔時間不宜過長，否則會影響試體強度整體不均，造成實驗數據誤差。

- (2) 由於本次研究中，數據數目較為不足，因此後續研究能以此作為參照依據，更廣泛蒐集實驗數據，以利公式準確度的提升，並能應用於實際工程上。

6. 參考文獻

- [1] 經濟部標準檢驗局，「中華民國國家標準」，2002。
- [2] 王韡蓓、李育決、方水連、陳添宇、劉昌舉，環境溫度對預拌型早強混凝土之強度發展影響及相應策略研究，2021。
- [3] Aci Committee Staff, Building Code Requirements for Structural Concrete Aci 318-95, And Commentary Aci 318R-95, 1996.
- [4] Albright, R O GUIDE FOR DESIGN AND CONSTRUCTION OF CONCRETE PARKING LOTS, 1987-2012.
- [5] Bureau of Indian Standards IS 456: Plain and Reinforced Concrete - Code of Practice, 2000.
- [6] 楊定良、黃隆茂，混凝土的抗彎強度及抗壓強度於剛性鋪面工程之使用要點。

- [7] Metwally abd allah Abd Elaty. Compressive strength prediction of Portland cement concrete with age using a new model,2013.
- [8] 陳俊村、陳駟佑，矽灰混凝土配比簡化模式建構與其相應工程性質之研究，博士論文，台灣科技大學營建工程系，台北，2011。
- [9] Aitcin, P. C., The Use of Superplasticizers in High Performance Concrete, . Y. Malier Ed,High Performance Concrete From Material to Structure, E & FN Spon,p.14-33,1992.
- [10] Jiang, Yu & Deng, Lei & Chen, Wenhong & Li, Jianmei. Study on the Preparation and Performance of An Early Strength Agent for Liquid Alkali-Free Accelerator, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 647. 012065. 10.1088/1755-1315/647/1/012065,2021.
- [11] 姜馨雅，水泥混凝土抗彎強度影響因素之研究，高苑科技大學土木工程研究所，2020。
- [12] Civil engineering materials,2nd ed. (Somayaj, 2005). 土木材料（湯兆緯、陳冠宏、張朝順譯；二版）。高立。（原著出版於2002），p.229-237。
- [13] Suryawan Murtiadi, Akmaluddin Akmaluddin, Buan Anshari ,Suparjo Suparjo,Experimental study of accelerating early age concrete strength under elevated temperature, steaming, and chemical admixture addition of normal and high strength concrete,2018.
- [14] 房性中，台灣現階段鋪面工程實務概論，2016。
- [15]Comite Euro-International Du Beton, CEB-FIP MODEL CODE 1990: DESIGN CODE,1993.

Research on Mechanical Model of Early Strength Concrete

Yu-Jen Hu^{1*}、Zhi-Xun Huang¹、Han-Ting Wu¹、Fu-Chi Hou¹

¹Department of Civil Engineering, ROC Military Academy, Taiwan students

ABSTRACT

In response to specific time-critical projects, the development of early-strength concrete is more and more important. In project acceptance, the compressive test is more accurate and convenient than the flexural test. Therefore, in this study, general concrete and early-strength concrete are designed to make cylinder and beam specimens. Carry out compressive and flexural tests at different ages to find out the development trend of compressive strength and flexural strength of two types of concrete with age, and propose a regression formula for the relationship between flexural and compressive, which can more accurately grasp the age. The conditions of the period, compressive and flexural strength are helpful for the control of the progress and design strength of the project, and can also provide a reference for future research on early-strength concrete.

Keywords: Early Strength Agent、compressive strength、flexural strength、regression formula