

早強鋼纖維混凝土抗壓抗彎性能之研究

劉明維^{1*}、張佳順¹、陳品翰¹、林孟冠¹

¹陸軍軍官學校土木系 a0989481598@gmail.com

摘要

早強混凝土是一種能在 24 小時內抗壓強度達到 210kgf/cm²(3000psi)的混凝土，早期強度提升縮短工期，可應用在道路搶修、機場跑道設計的一種混凝土。本研究設計低水灰比配比及加入早強劑的方式達到早期強度提升的效果，避免道路鋪面工程衍生裂縫及角隅破裂等損壞狀況，藉由添加鋼纖維的方式來增加抗彎強度改善損壞問題。試驗結果發現添加鋼纖維在 1 天內雖然沒有明顯改善試體圍束效果，但在 3 天到 28 天就有明顯增加試體的圍束效果，得出添加鋼纖維有助於提升抗壓強度。而添加鋼纖維也有明顯增加抗彎強度，並且大大提升其韌性強度約 12 至 19 倍。此試驗可提供往後道路鋪面、搶修及機場跑道設計參考。

關鍵詞：早強劑、鋼纖維、三分點抗彎試驗。

一、前言

在這個高科技的時代中，戰爭的型態已從普通的槍炮戰爭轉換成科技化戰爭中，武器不斷的進步，步槍、機槍、火炮、飛彈等等都含有高爆破性及穿甲功能，再加上衛星的定位功能已能精準地鎖定敵人的方位及重要軍事要點，因此軍事方面上要常常考量變換陣地及轉換軍事要點、搶通重要道路，其中搶救重要道路格外的重要，重要道路包含機場跑道、戰備跑道、國道等等，必須以簡易、便利性的方式在短期間內搶通重要道路，從而恢復戰力。其中早強混凝土應用在路面進行快速搶修是較可行的方法，能透過夜間或是砲火間隙來重新修復道路。早強混凝土的應用上層出不窮，如美國聯邦公路管理局提出5種超早強混凝土配比供高速公路橋梁快速修復或更新使用，其可於4-6小時開放通行[1]，因此早強混凝土的研發有一定的必要性，可應用在一般的道路搶修施工，簡短的工時從而改善工業及商業活動、交通車道維修封閉等問題。

早強混凝土定義為幾天內達到設計強度的混凝土，在最近的十年內，時間已經可減少到幾個小時就要達到設計強度，而道路和橋梁在 American Concrete Institute(美國混凝土協會)規範上最低強度須達到3000psi (210kgf/cm²)[2]。提高混凝土早期強度有許多種方法，例如增加水泥細度及增加混凝土配比的水泥用量或添加藥劑。提高水泥的細度可以使混凝土早期強度提高，但是在後期往往會有負面的影響，例如晚期強度並無增加甚至降低、混凝土收縮加劇導致出現更嚴重的早期開裂[3]；增加混凝土配比的水泥用量會提高混凝土的成本，對於經濟上會有更大的支出，因此不常被納入考量，而比較多都是添加藥劑的方式來提升混凝土早期強度，其中一種藥劑如早強劑，用於加快水泥中發生的水化速率，從而加速混凝土的凝固時間和早期強度發展，早強劑可用來加速水化速率，最常見的化學添加劑為氯化鈣，

已被證實可縮短凝固時間並加速早期強度發展，但缺點在於氯化鈣會引發鋼筋腐蝕，因此在使用上應謹慎，對氯化鈣的使用量不應超過水泥重量2%[4]。除了添加早強劑外，也可以利用降低水灰比的方式來減少凝結時間，增加早期強度，添加強塑劑是常見方法。強塑劑是一種介面活性劑(Superplasticizer)，又稱高性能減水劑，能改變水泥與水之界面性質，使水泥顆粒表面產生負電荷相互排斥而分散，將水分釋出增加水泥流動性而增加坍度，大約可以減水15%~30%的用水量，透過減少拌合用水量，控制使水灰比(W/C)降低，可以增加混凝土強度及耐久性[5]。

本研究主要目標是在保持可施工性的同時實現早期強度，由上述文獻可得知，要達到早期強度的提升主要是藉由低水灰比的設計，摻入早強劑及減水劑的方式。根據國際建築規範上道路橋樑須達到210kgf/cm²(3000psi)的抗壓強度[2]，因此本研究混凝土參考上述規範做為目標設計強度。早強混凝土使用於鋪面工程時，除了採用抗壓強度機制設計之外，為了避免衍生裂縫及角隅破裂等損壞狀況，須同時考量抗彎強度[6]，因此另一目標是改善早強混凝土的抗彎及抗張強度，防止裂縫的產生增加結構件耐用性，而在文獻中Bhat和Khan[7]研究發現鋼纖維的添入能改善早強混凝土的抗彎、抗壓、抗拉強度，Ghosh等[8]建議添入少量鋼纖維於超早強自充填混凝土中提升其抗壓強度，所以混凝土添加鋼纖維是可行的，因此本研究在混凝土的設計過程中加入鋼纖維(0.25%)，測試混凝土達到強度。

本研究針對早強混凝土(early-strength concrete，以ESC為簡稱)、早強鋼纖維混凝土(early-strength steel fibers concrete，以FESC為簡稱)做比較，同時我們考量所使用之材料配比、水泥型號、早強劑用量、減水劑使用，並確保澆注與養護條件一致的情況下，針對進行不同齡期的試體抗壓試驗及抗彎試驗，同時探討混凝土不同齡期抗壓強度及抗彎強度，及有無添加鋼纖維對早期強度影響、抗彎強度的載重撓曲曲線，應用在未來軍事工程、機場跑道設計、道路之參考。

二、實驗設計

2.1 材料配比

本研究所使用之材料計有水泥、矽灰、水、天然砂、粗粒料、減水劑及早強劑。其中，水泥為卜特蘭水泥-I 型如圖 1-A，本研究以 940u 等級之矽灰作為摻料圖 1-B，添加矽灰目的具有減少水泥用量、增加孔細緻密，但也因表面積大，所以具有良好的卜作嵐反應特性，不過因表面吸附水量高，會使混凝土黏性過大，所以建議仍須搭配強塑劑使用。細粒料採用天然砂如圖 1-C。粗粒料則以粒徑 1cm 之河川礫石作為添加圖 1-D；為精準控制水量，天然砂以烘乾狀態，礫石以面乾內飽和之情況供拌合使用。藥劑的部分使用水、減水劑、早強劑，其中減水劑為固含量 55%，減水劑作用能夠減少拌和用水量、提高混凝土強度及改善混凝土的工作性；早強劑為 C-100，其中固含量為 55%，早強劑作用為加速混凝土水化速度並且能提高混凝土的早期強度。所使用鋼纖維直徑長度 1.5cm，如圖 1-E 所示，本次試驗添加鋼纖維量占總體積率為 0.25%，鋼纖維作用為增強混凝土之抗彎、抗壓能力，讓混凝土能承受更多的能量。

本研究設計分為兩種，一種為無添加鋼纖維之早強混凝土(ESC)，第二種為添加鋼纖維之早強混凝土(FESC)，依照先期實驗結果修正配比及拌合過程，以達到設計強度目標為養護一天可具抗壓強度達 210kgf/cm^2 以上之早強混凝土。配比表是以重量比求得，如表 1 所示。



圖 1-A(水泥)

圖 1-B(矽灰)



圖 1-C(天然砂)

圖 1-D(粗粒料)



圖 1-E 鋼纖維(steel fiber)

表 1 試體配比表

	水 泥	矽 灰	天 然 砂	粗 粒 料	水	減 水 劑	早 強 劑	鋼 纖 維
早強 混凝土	1	0.11	1.18	2.18	0.26	0.01	0.10	0%
早強 鋼纖維 混凝土	1	0.11	1.17	2.17	0.26	0.01	0.10	0.25%

*試體配比水灰比為 0.275

2.2 試體準備與養護條件

本研究兩種混凝土的拌合程序相似，試體步驟是先將乾料至於攪拌機內等速攪拌，讓乾料能充分混合，再將減水劑與水的充分混合液後，等速倒入至攪拌機，使乾料和添加的藥劑充分混合發揮作用，此時水泥會包裹粗粒料呈現圓球形狀，攪拌一定時間後添加早強劑至攪拌機內，拌合一段時間後，漿體開始呈現工作度，

便可開始灌模作業。FESC加入早強劑後，攪拌一段時間，再持續投放鋼纖維，並予以充足的攪拌使鋼纖維分布均勻，避免結球的狀況發生，造成鋼纖維在試體內分佈不平均，且結球現象會對抗彎、抗壓強度有一定程度的影響。

本研究所使用之試體尺寸如圖2-A、2-B所示。抗壓試驗採用直徑7.5cm、高15cm之圓柱標準試體，抗彎試驗採用長30cm、寬7.5cm、高7.5cm之樑標準試體。本研究採常溫方式養護將試體放置於保麗龍中，利用混凝土水化過程所排放之水化熱進行自體養護龍盒內養護。試體不接觸外面環境，如圖3所示。

實驗前進行材料備料，備料完後依序在混凝土攪拌機加入水泥、砂灰、天然砂、粗細粒料混合，並將水及減水劑混合、早強劑倒入攪拌機攪拌，即可完成混凝土漿體，最後將混凝土漿體倒入圓柱及樑試體模具，流程圖如圖4所示。為了控制早強混凝土的工程品質及耐久性，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。待養護試體具有一定強度後，使用混凝土試體研磨機對圓柱試體進行研磨，將圓柱試體上下兩面研磨平整，最後依養護時間分類進行抗壓、抗彎強度試驗。

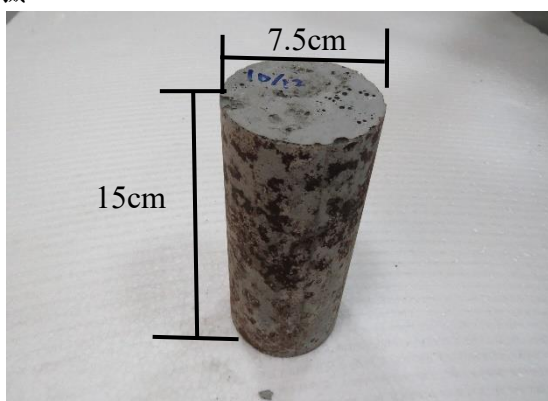


圖2-A 圓柱混凝土試體

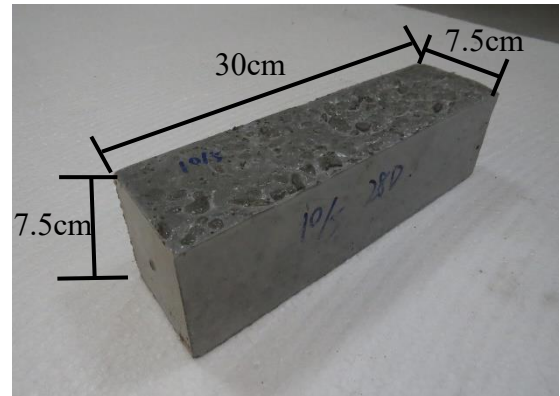


圖2-B 樑混凝土試體



圖3 養護用保麗龍箱

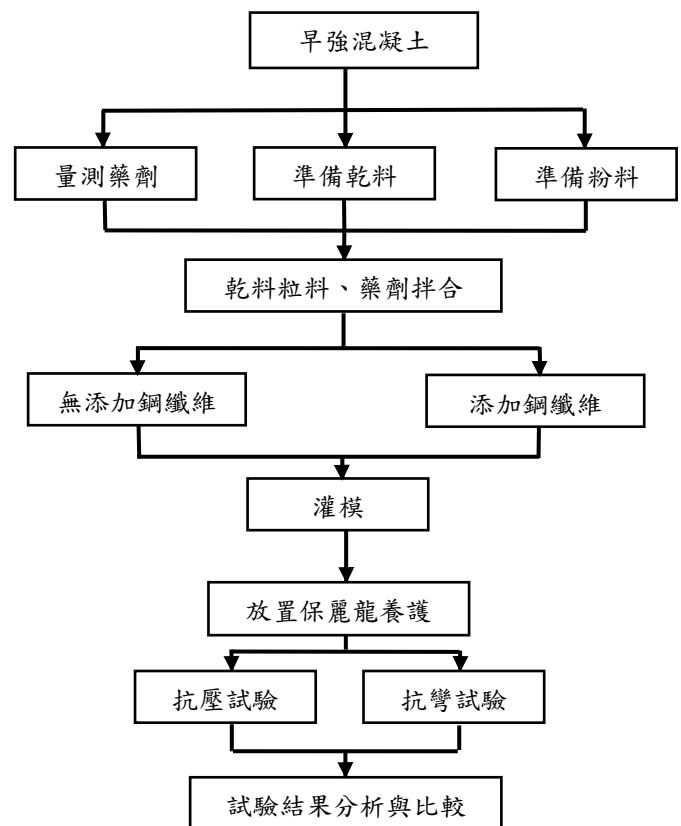


圖4 試驗流程圖

3. 試驗方法

3.1 抗壓試驗

混凝土主要用於各種承受壓應力之土木建築結構，目前業界決定混凝土的品質好壞，主要是以混凝土的抗壓強度試驗數據作為依據，因此本次試驗分別針對不同齡期之早強混凝土進行抗壓試驗，測試 4 小時、8 小時、1 天、3 天、7 天及 28 天圓柱混凝土試體之抗壓強度。參考 CNS 1232 A3045 (2002) 混凝土圓柱試體抗壓強度試驗法，圓柱混凝土試體達到齡期時，將試體進行研磨，使其表面平整，減少試驗時的誤差。放入抗壓試驗機，設定加載速率為 535 kgf/sec 進行等速加載，將壓力施加至其端面，直到試體破壞為止[9]，如圖 5 所示。



圖5 混凝土抗壓試驗機

在其施壓過程中所得到之最大荷重再除以施壓斷面之面積即為其混凝土試體之抗壓強度，其公式如下

$$f_c = \frac{P_c}{A} \quad (1)$$

其中 f_c 為抗壓強度(kgf/cm²)， P_c 為試體所受之最大荷重(kgf)， A 為施壓斷面之面積(cm²)。

3.2 抗彎試驗

抗彎試驗使用 MTS 萬能油壓試驗機，如圖 6-A 所示。進行試驗，並依據 ASTM C1609 所建議，設定加載速率為 0.06mm/min 進行等速加載。加載過程中，以荷重規量測施力大小。而中點之變形量使用線性可變差動變壓器(Linear Variable Differential Transformer，以 LVDT 為簡稱)

進行量測，試驗過程中載重與撓度歷程訊號同步利用資料擷取器回傳至電腦中，如圖 6-B 所示，設定的取樣率為 2Hz[10]。



圖6-A MTS萬能油壓試驗機

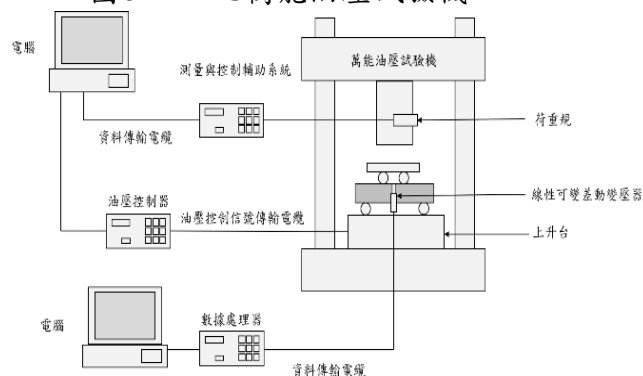


圖6-B 抗彎試驗與資料擷取系統

此次試驗分別針對不同齡期之早強混凝土進行抗彎試驗，測試 3 天、7 天、28 天之樑混凝土試體，試體架設如圖 6-C 所示，跨距等於 3 倍樑深的混凝土樑(樑的長度至少比跨距多 50mm)，利用三分點載重法進行試驗(ASTM C78，混凝土撓曲強度之標準試驗方法)，此時，樑底部承受拉應力而樑頂部承受壓應力。因為混凝土的抗拉強度較抗壓強度弱，試體會隨著最大彎矩斷面的撓曲裂縫而破壞。對一寬度為 b (mm)、深度為 d (mm)的矩形斷面，三分點載重試體的抗彎強度如式(2) [11]

$$f_y = \frac{P_y L}{b d^2} \quad (2)$$

其中 f_y 為混凝土之抗彎強度(kgf/cm²)， P_y 為試體之破壞荷重(kgf)， L 為跨徑長度(mm) 混凝土的韌性和加載時之裂縫成長有關，添加鋼纖維的混凝土需要更多的能量才能使試體破壞，文獻[12]指出混凝土添加鋼纖維後，抗彎強度增加有限，但韌性有很明顯增加，因此本研究

根據載重-撓度曲線積分去計算曲線下的面積，求得試體的韌性，計算方法參考ASTM C1609，其公式如下

$$T_{150}^D = \int_0^{\frac{L}{150}} P\delta(x) dx \quad (3)$$

D 為撓度(mm)， T_{150}^D 為撓度在 $\frac{L}{150}$ 時，抗彎強度-撓度曲線下 0 至 $L/150$ 處之積分面積，即為韌性(J)，L 為跨徑長度(mm)，P 為施加载重(N)， δ 為位移(mm)。

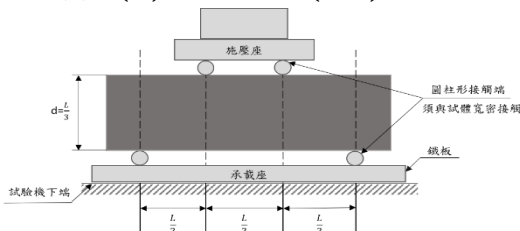


圖6-C 樑混凝土架設示意圖

4. 實驗結果與討論

4.1 抗壓試驗結果

針對ESC和FESC之抗壓強度試驗結果如圖7所示。由圖7可以觀察到養護4小時、8小時和一天的0.25%FESC的抗壓強度略高於ESC大約9%，可以發現鋼纖維在混凝土試體中的握裹力較差，漿體雖然已包裹住鋼纖維，但還無法明顯提升鋼纖維的握裹力；而養護3天以後的FESC的抗壓強度高於ESC大約19%，因為鋼纖維在混凝土中的握裹力會隨著混凝土的養護時間而增強，進而提升了混凝土的圍束效應，增加混凝土的抗壓強度，因此在本研究中早強混凝土在添加鋼纖維養護3天後對於試體抗壓強度有明顯的成長。

比較7天和28天時的抗壓強度，由於早強混凝土通常在7天時，劇烈的水化反應將趨緩，因此到了28天後其抗壓強度會有趨緩或降低的狀況發生，因此可以發現ESC其抗壓強度發展過了7天以後已趨緩，而FESC的抗壓強度則有增強的趨勢，可以觀察到添加鋼纖維的早強混凝土在7天後雖然已無劇烈的水化反應，但漿體包覆鋼纖維，使其握裹力變大，到了28天抗壓強度仍有增強的趨勢。

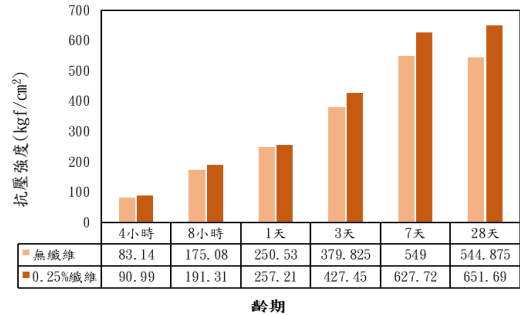


圖7 抗壓試驗

4.2 抗壓試驗試體之破壞模式

ESC和FESC之抗壓試驗試體的破壞模式如圖8-A、8-B所示。土木材料一書中說到，試體承受壓力時，脆性材料會在某個角度或面上產生剪斷破壞，圓柱試體一般沿著對角破壞或形成錐形或金字塔形[11]。由圖8-A可觀察到ESC的破裂是先由試體表面開始破壞，在試體上下兩面沿著對角方向破壞，和文獻吻合。由圖8-B中，可以觀察到因為混凝土中的鋼纖維會對混凝土側向膨脹的破壞產生束制的作用，則沒有沿著對角破壞或形成錐形或金字塔形，但因混凝土添加鋼纖維，始試體產生圍束效應，增加抗壓強度。



圖8-A 早強混凝土柱



圖8-B 早強鋼纖維混凝土柱

4.3 抗彎試驗結果

針對ESC和FESC之抗彎試驗結果如表2所示， δ_0 為試體斷裂時的D， δ 為試體最大抗彎強度時的D， T_c 為試體斷裂時對應的韌性， $T_{0.5}$ 為試體在D=0.5(mm)時所對應的韌性。

由表2會發現在養護3天時的抗彎強度，FESC有顯著的提升，在養護7天及28天時的抗彎強度並無顯著提高，可以證明文獻[12]所指出的混凝土添加鋼纖維後，在抗彎試驗的極限強度增加有限。

將3天、7天和28天ESC的抗彎試驗之載重-撓度曲線整理如圖9-A所示，可以明顯看出抗彎強度和撓度與養護時間有正相關。

將3天、7天和28天FESC的抗彎試驗之載重-撓度曲線整理如圖9-B所示。

由圖9-B可以觀察到FESC在斷裂後，鋼纖維在試體中的拉拔效應，使試體仍能吸收能量；加入鋼纖維的試體在韌性上具有很大的作用，抗彎強度與時間有正相關，韌性也與時間呈正相關。試體達最大抗彎強度開裂後震盪的數據為鋼纖維在混凝土試體中持續拉扯所產生的結果，撓度比較從表2能知道，FESC最大抗彎強度時的撓度大於ESC，養護3天時約1.4倍，7天約3.3倍，28天約10.8倍。而FESC在斷裂時的撓度則大於ESC，養護3天時約21.1倍，7天約24.4倍，28天約40.9倍，也可以從撓度來證明文獻[12]所說的混凝土添加鋼纖維後，在抗彎試驗的極限強度增加有限，但卻在韌性有大的提升。

根據ASTM C1609韌性為抗彎強度-撓度曲線下之面積0至L/150處之面積(本實驗之L=225(mm)，因此積分範圍為撓度等於0至撓度等於1.5(mm))，可是本次實驗中，試體在養護3天和7天做抗彎試驗無法達到規範，但由於加入鋼纖維後，韌性有明顯的增加，所以本研究仍能針對ESC和FESC去做比較，因此本研究統一比較在撓度等於0.5(mm)時，所對應的韌性；而ESC則計算至試體斷裂時的韌性。因此經過積分後得到試體韌性。

由圖10及表2可知FESC韌性相較於ESC提升了大約12倍到19倍，證明了文獻[12]混凝土添加鋼纖維後，韌性有很明顯增加。

表2 抗彎試驗分析表

齡期	3D		7D		28D	
鋼纖維	-	有	-	有	-	有
$f_y(\text{kgf/cm}^2)$	62.82	81.01	90.93	90.05	101.22	102.18
斷裂時撓度 $\delta_0(\text{mm})$	0.037	0.78	0.045	1.10	0.046	1.88
最大抗彎時 撓度 $\delta(\text{mm})$	0.037	0.05	0.045	0.15	0.046	0.495
T_c	1.098	-	2.520	-	3.500	-
$T_{0.5}$	-	22	-	40	-	46
韌性成長倍數	-	19.03	-	14.87	-	12.17

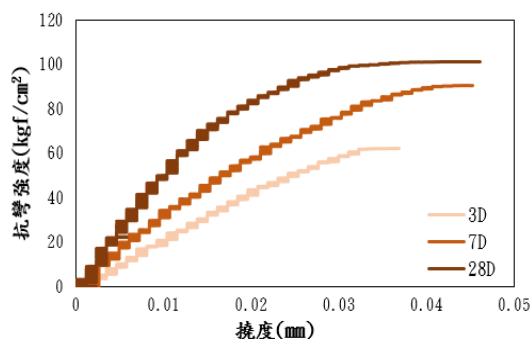


圖9-A 無鋼纖維抗彎強度-撓度曲線比較圖

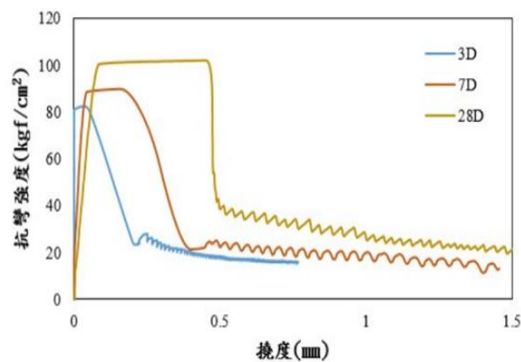


圖9-B 鋼纖維抗彎強度-撓度曲線比較圖

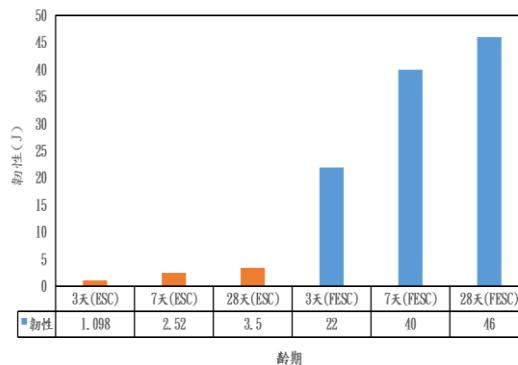


圖10 試體韌性比較圖

4.4 抗彎試驗試體之破壞模式

本研究是採用三分點抗彎試驗，將載重分別作用於樑兩側跨徑 $L/3$ 處，因此最大應力會出現於兩個載重點之間，也就是樑中央 $L/3$ 段之間，所計算的抗彎強度也會相同，由圖11可以觀察到ESC，由於無添加鋼纖維，試體達到最大應力後，試體就會斷裂，能吸收的韌性強度極小；而由圖12則可觀察到FESC在達最大應力開裂後，在鋼纖維的拉拔作用下仍能吸收能量，且會隨著養護時間增加，能吸收的能量越大。

由圖13觀察FESC受拉力面的表面出現了裂紋，因為鋼纖維的拉拔作用所產生，而隨著養護時間增長，鋼纖維在試體中的握裹力增加，所出現的裂紋也越明顯，試體能吸收的能量也越大。從試體的破壞模式中能呼應4.3節試體韌性的比較。



圖11 無鋼纖維混凝土樑側面



圖12 鋼纖維混凝土樑側面

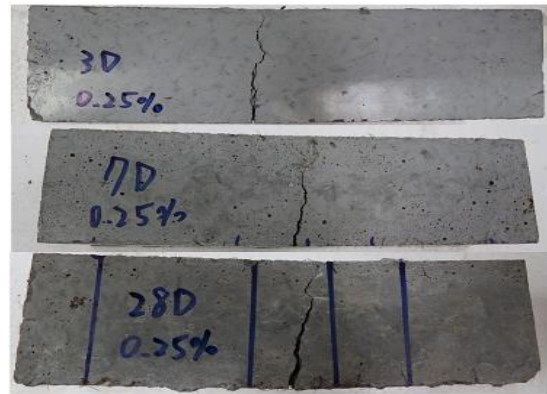


圖13 鋼纖維混凝土樑底面

4.5 試體切割之內部結構分析

將ESC和FESC之樑試體切開，如圖14所示（左為ESC右為FESC）。可以觀察其內部結構，ESC粒料分布較FESC均勻，因為添加鋼纖維會使漿體流動性變低導致粒料分布不均勻的狀況發生，且有添加鋼纖維時，漿體在水化反應時，會包裹住鋼纖維，使鋼纖維在試體中提升握裹力，但會導致孔隙變大。

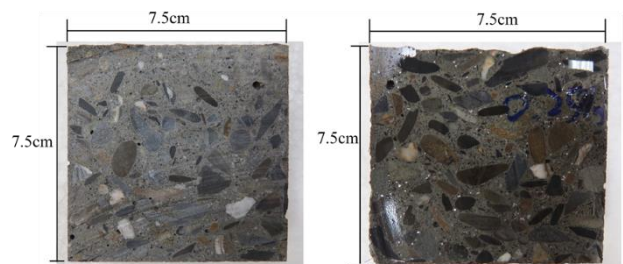


圖14 樑試體切割之內部

5. 結論

本文針對添加0.25%鋼纖維對早強混凝土的抗壓、抗彎性質影響進行了試驗，根據研究的結果可以得到以下結論：

1. 添加鋼纖維能使水化反應完全增加鋼纖維在混凝土的握裹力，相較7天和28天時的抗壓強度，ESC並無太大提升，而FESC仍持續上升。
2. FESC，能運用在搶修道路或機場跑道上，一天後超過設計強度 210kgf/cm^2 達到 257kgf/cm^2 。
3. FESC在抗彎試驗中，對於試體的韌性有明顯的提高，成長約12倍到19倍。
4. 本次研究中在粗細粒料的選用、拌合的時間、藥劑倒入的時間與灌模到養護的所有流程，皆需要精準掌握，早期強度才會有顯著的提升。

6. 致謝

感謝陸軍官校土木系提供專業及良好的儀器和實驗室，以及亞新顧問公司提供所需的材料讓我們能成功完成研究，特別感謝李明輝老師及賴怡君老師，在兩位老師的指導下，我們才能順利完成許多的實驗及完成撰寫本篇論文，最後向兩位老師致上崇高的敬意和誠心的感謝。

7. 參考文獻

- [1] Federal Highway Administration, "PCC Pavement Evaluation and Rehabilitation", Washington DC, 2001.
- [2] ACI Committee 318, "Concrete: Design and Durability Requirements", ACI CODE-318-19, pp. 355, 2019.
- [3] Şahmaran, M., Al-Emam, M., Yıldırım, G., Şimşek, Y. E., Erdem, T. K., & Lachemi, M., "High-early-strength ductile cementitious composites with characteristics of low early-age shrinkage for repair of infrastructures", *Materials and Structures* 48(5), 1389-1403., 2015.
- [4] Kosmatha, S. H., Kerkhoff, B., and Panarese, W. C. "Design and Control of Concrete Mixtures ", *Portland Cement Association*, Vol. 5420, pp. 91-94, 2002.
- [5] 孫若先，"添加卜作嵐材料之高性能混凝土中羧酸強塑劑最佳劑量之研究"，國立屏東科技大學土木工程系所，學術論文，2010
- [6] Packard, Robert G, "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavement Structures. " *Canadian Portland Cement Association (PCA)*, 1984
- [7] Kamran Mohi Ud Din Bhat , Mohd Zeeshan Khan, "Effect of Steel Fibre Reinforcement on Early Strength of Concrete, " *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 2018
- [8] Ghost D., Abs-Elssamd A., Ma Z.J. and Hun D, "Development of High Early Strength Fiber Reinforced Self Compacting Concrete", *Construction and Building Materials*, Volume 266, Part B, 121051, 2021
- [9] 姜馨雅，"水泥混凝土抗彎強度影響因素之研究"，碩士論文，pp. 9，2020
- [10] 賴怡君、李明輝、戴毓修，"鋼纖維型式與含量對超高性能混凝土抗彎性能之影響"，台灣混凝土學會，No.20，pp. 1-11，2021
- [11] 顏聰，*土木材料*，第二版，高立圖書有限公司，2005
- [12] Shah, R.N., Theodorakopoulos, D.D., "Fiber Reinforced Concrete Properties", *Journal of the American Concrete Institute*, Vol.68, No2, pp.126-135, 1971.

Research on compressive and flexural properties of early-strength steel fibers concrete

MING-WEI LIU^{1*}、JIA-SHUN ZHANG¹、PIN-HAN CHEN¹、MENG-GUAN LIN¹

¹R.O.C. Military Academy Department of Civil Engineering student

Abstract

Early-strength concrete is a kind of concrete that can reach compressive strength of 210kgf/cm² (3000psi) within 24 hours. Early strength improvement shortens the construction period. It can be used in road repairs and airport runway design. In this study, the low water-cement ratio and the addition of early strength agent were designed to achieve the effect of early strength improvement avoiding damages such as cracks and corner cracks in road pavement engineering. Through add steel fiber way to increase the flexural strength to improve the damage problem. The test results found that although the addition of steel fibers did not significantly improve the bundling effect of the specimen within 1 day, but it significantly increased the bundling effect of the specimen from 3 days to 28 days. It is concluded that the addition of steel fibers helps to increase the compressive strength. The addition of steel fibers also significantly increases the flexural strength, and greatly improves its toughness strength by about 12 to 19 times. This test can provide reference for future road pavement, emergency repair and airport runway design.

Key word: Early strength agent、Steel fibers、Using Beam With Third-Point Loading