

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

TAICON 早期束制開裂行為與體積穩定性之研究 The Resistance to Restrained Cracking at Early Age and Volumetric Stability of TAICON

計畫編號： NSC 87-2211-E-002-064

計畫期間： 民國 86 年 8 月 1 日至民國 87 年 7 月 31 日

計畫主持人： 詹穎雯 國立台灣大學土木工程研究所

Abstract

This paper presents the test results on autogenous shrinkage of high performance concrete containing various fibers or low shrinkage cement as an attempt to reduce shrinkage induced restrained cracking at early age. Restrained cracking at early age of conventional concrete are mainly due to improper curing or plastic shrinkage and may be avoided by quality workmanship. However, the autogenous shrinkage in high strength concrete or high performance concrete is inevitable even good curing process has been taken after placing. In this investigation, steel fibers and polypropylene fiber were introduced to concrete mix so as to reduce the autogenous shrinkage. Besides, Aluminate-base low shrinkage cement was used to replace part of Portland cement. The main results and findings are summarized based on the tests of autogenous shrinkage measurements.

Keywords: Volumetric Stability,
Autogenous Shrinkage,
Self-compactability,
Pozzolanic Materials

一、緣由與目的

近年來，矽灰混凝土已被證實比普通混凝土有更高的強度與更佳抵抗衝擊及耐磨耗之能力。但是矽灰

混凝土使用波索蘭材料、低水灰比及添加化學摻料等因數，使其比一般普通混凝土有更大體積穩定性問題，其中又以自體收縮對高性能混凝土影響最大。當矽灰混凝土受束制時，由於不均勻溫度分佈導致之內部應力與混凝土自體收縮，將使混凝土容易在澆鑄後不久，即發生開裂，如照片 1-6。為了有效控制裂縫發生則可以從配比下手，爐石與飛灰的使用，除可以取代部份水泥而降低材料成本外，由於爐石與飛灰的膠結能力來自卜作嵐反應（Pozzolanic Reaction），較水泥之水化反應稍晚發，而爐石與飛灰之波索蘭反應可使混凝土晚期強度逐漸成長，故可避免早期水化熱過高而導致張應力之發生，亦可以達到高強度的目標。另外添加鋼纖維亦可提高混凝土抗張能力，但是添加爐石、飛灰與鋼纖維是否會影響混凝土磨耗能力則必須進一步探討研究。因此，增加高強度混凝土之耐磨耗能力，並瞭解其自體收縮之性質，而設法改善其體積穩定性問題為本研究之目的。

三、文獻回顧

高性能混凝土與一般普通混凝土的組成一樣，由膠結料、水與骨材混和而成，主要差別是高性能混凝土含有卜作嵐材料與強塑劑，因此混凝土強度較高、水灰比較低。混凝土的變

形主要生於水泥漿體中，而水泥漿體中的水分會因不同因素被消耗或移除，將使混凝土產生收縮變形。水份的移動是影響混凝土主要收縮因素，而一般混凝土的收縮又可分下列三種：

- (1) 塑性收縮 (Plastic Shrinkage): 當混凝土在澆置完成初期，因養護不當，使毛細孔的水快速被移除，而產生負孔隙壓力，導致混凝土表面收縮，如果收縮過大，可能會發生塑性裂縫。
- (2) 自體收縮 (Autogenous Shrinkage): 自體收縮是因為混凝土與外界環境無水分交換下，內部進行水化作用時，消耗孔隙間的水分，而產生自乾現象所引其的收縮。高性能混凝土因水灰比低，自乾現象更為明顯，因此自體收縮對高性能混凝土收縮行為是十分重要。自乾現象是因為混凝土內部化學作用產生收縮，包括 (a) 水解收縮 (Dehydration Shrinkage) (b) 碳化收縮 (Carbonation Shrinkage) 與 (c) 轉化收縮 (Conversion Shrinkage)。以上三種屬化學收縮。
- (3) 乾燥收縮 (Drying Shrinkage): 乾燥收縮是為混凝土在未受載重下，因環境乾燥使混凝土水分逐漸向外移動而喪失，而產生收縮變形謂之。混凝土在初期因乾燥所排出的水，主要是膠體間的自由水，所產生收縮變形十分

的小。如果環境乾燥持續作用時，使膠體間的吸附水與層間水排出，膠體間相互移動而使混凝土產生變形收縮，由此可知乾燥的環境是影響混凝土乾縮的主要因素。

高性能混凝土為了達到高強度高工作度要求，必須降低水灰比，及添加卜作嵐材料與化學摻料。因此使高性能混凝土的自體收縮與普通混凝土有明顯差別，因為普通混凝土水灰比高，有足夠水分提供水化作用，其自體收縮約 $50 \mu\text{m/m}$ 至 $100 \mu\text{m/m}$ ，佔總體收縮不多，所以可忽略不記。但高性能混凝土的自體收縮佔總體收縮有很大部分，因此必須考慮自體收縮對混凝土的影響。

四、 結與討論

由於爐石與飛灰的膠結能力係來自其卜作嵐反應，較水泥之水化反應稍晚發生，故可避免混凝土早期水化熱過高而導致張應力之發生，但是混凝土添加爐石與飛灰後，是否會影響耐磨能力，則為本實驗研究重點。另外研究顯示當添加鋼纖維時，對混凝土的早期收縮的控制，確實有明顯幫助，但是混凝土添加鋼纖維後，是否會影響磨耗能力，則為本研究另外的重點。

而自體收縮試驗方面，由於以前皆在實驗室研究，其研究顯示添加飛灰或添加鋼纖維等材料，皆對混凝土的自體收縮有明顯的抑制效果。但是為了瞭解大面積混凝土現場澆置後早期收縮行為，本實驗設計了不含鋼纖維的兩種配比，有矽灰混凝土與爐石添加飛灰混凝土來做現場澆置，來探討現場巨積混凝土的收縮行為，如此更能明瞭實際混凝土的早期收縮行為。

水壩現地澆置的配比，有爐石混凝土與矽灰混凝土兩種配比，施工澆置是採用棋盤式施工，混凝土塊有配置溫度鋼筋距離底部 10cm，埋設的應變計與 thermal couple 的位置。當混凝土澆置後 1-2 小時，混凝土內部溫度有下降約 5 左右，混凝土內部溫度下降的原因如下：混凝土澆置的時間是在下午 4 點左右，而在 4 點半時天氣忽然下起大雨，環境的溫度也由 27 下降到 20 左右，所以混凝土在泵送與澆置過程，混凝土溫度受到環境的影響而下降，所以量測到的混凝土溫度都和外界溫度很相近。

澆置後 2 小時後混凝土內部溫度才漸漸上昇，直到混凝土澆置後 12 小時左右，混凝土溫度達到最高，其中埋設於混凝土最底層熱藕計，其量測到的溫度都是最高，最上層的熱藕計，量測到的溫度則最低。

在混凝土澆置 12 小時以後，混凝土內部溫度則呈現下降趨勢，但是下降趨勢很還緩和。由外界溫度曲線可看出環境溫度有兩次上昇階段，而混凝土最上層的溫度在這兩個階段也有上昇的趨勢，但是內部中層、下層的溫度則沒有上昇趨勢，由此可知混凝土的外層受環竟影響較大。

6. 大，所以表面發生裂縫機會最大。
7. 鋁酸鈣質混凝土的自體收縮跟一般高性能混凝土收縮量差不多，因為其膠結量佔總體積 20%，和一般高性能混凝土的膠結料差不多。

六、參考文獻

1. 陳振川,「高性能混凝土推動與營建自動化施工技術探討」,營建管理季刊,第 8-21 頁,民國 84 年 6 月
2. 陳振川,「國科會高性能混凝土群體研發現況」,高性能混凝土研發及推廣研討會,第 1-21 頁,民國 86

五、結論與建議

本實驗的研究目的最後在探討高強度混凝土的磨耗性質與早期收縮之間對材料的關連與差異，並做分析與探討，最後歸納以下幾點結論：

1. 外界環境。其中材料方面有：水泥、骨材含量、水灰比、卜作嵐材料、鋼纖維的含量、骨材的硬度、孔隙率等等，都影響混凝土的耐磨耗性。
2. 由現地量測結果知，混凝土的早期收縮在澆置後 12 小時，混凝土的水化熱達到最高，自體收縮量也達到最大。所以可以推測自體收縮引期裂縫發生時間為澆置後 12 小時。
3. 矽灰混凝土的水化熱比爐石混凝土高。矽灰混凝土收縮量亦比爐石混凝土大。
4. 混凝土越內部水化溫度越高，表層溫度受外界環境的影響最大。因此混凝土在澆置後 24 小時必須做適當的養護工作，避免塑性收縮而引起裂縫。
5. 現地澆置的混凝土的應變量，由量測的結果發現混凝土的收縮與位置有關係，也就是距離溫度鋼筋越遠應變量越大。尤其是混凝土的表面應變量最

年 6 月

3. 陳振川,「飛灰與爐石混凝土性質與其工程應用」,結構工程,第二卷,第四期,第 87-94 頁,民國 76 年 10 月
4. ACI Committee 226, "Silica Fume in Concrete", ACI Materials Journal, Vol.84, No.6, pp158-166, 1987
5. 賴正義,「高飛灰量混凝土性質」,台電工程月刊,第 551 期,民國 83 年 7 月

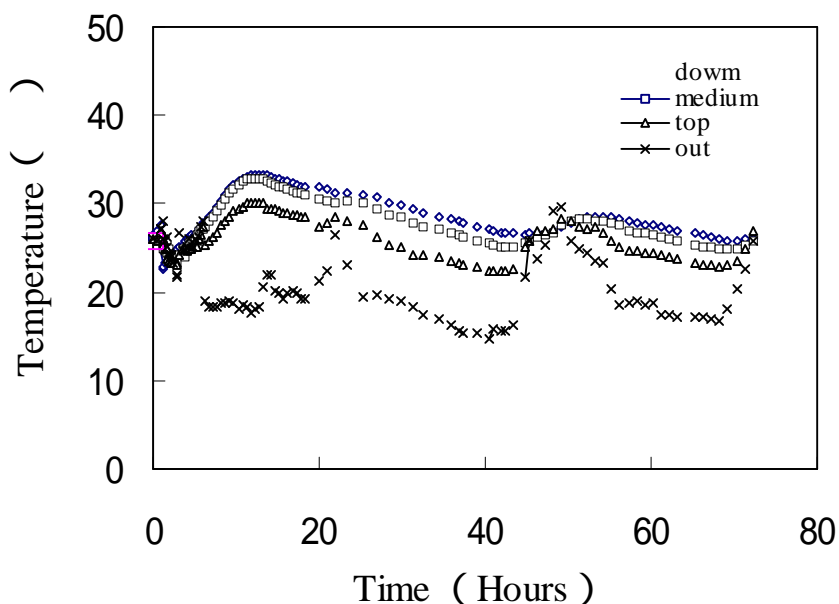


圖 4-32 爐石混凝土水化作用時內部不同位置的溫度與外界溫度關係圖

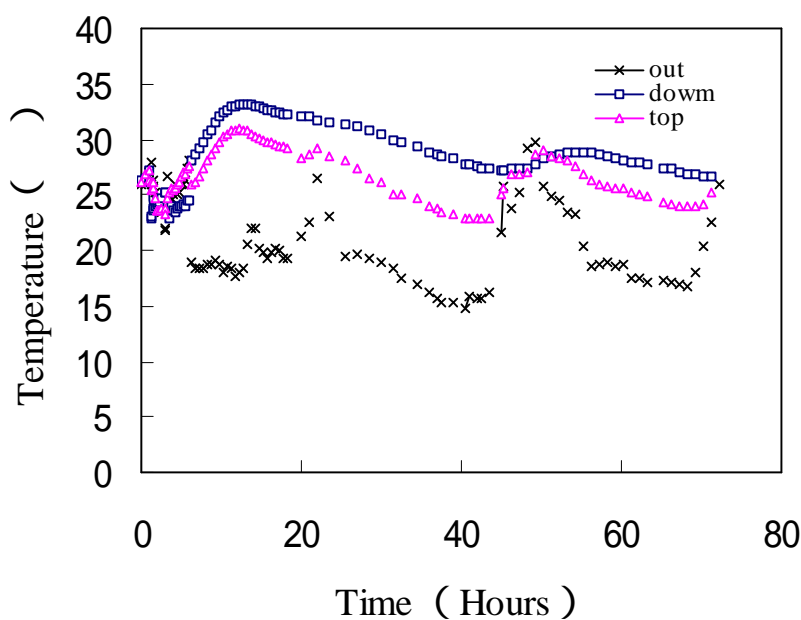


圖 2 爐石混凝土水化作用時內 不同位置的溫度與外界溫度關係圖

石、飛灰與普通卜特蘭水泥混凝土強度之影響與變形之研究」,碩

研究所,民國 77 年 6 月。

