

篇名：

養護溫度對混凝土強度發展之探討

作者：

顏芝瑩。國立台南大學附中。高二 3 班
吳宗翰。國立台南大學附中。高二 3 班
葉蔚霆。國立台南大學附中。高二 3 班

指導老師：

葉祥春

壹●前言：

混凝土材料普通應用於土木建築各項工程中，而其強度之高低嚴重影響結構物的安全，不良的養護也會對結構物產生裂縫，影響日後結構物之維護與壽命。當今土木建築業在混凝土澆置後的養護仍有諸多缺失，甚或造假。本文擬就混凝土養護溫度對強度發展做探討，期能提供業界參考。

貳●正文：

一、何謂混凝土

『混凝土為水、水泥、粗細骨材混合後之產物，為近代營建工程最重要的材料之一，常使用在各式大小建築物、橋樑、道路、機場、港灣、水壩、堤防等工程。』（註一）

混凝土具有可塑性大、成本低廉、抗壓强度高、耐久性佳、耐火性佳、材料取得容易等優點，惟其抗拉強度甚低，受拉部位須以鋼筋或其他抗拉材料加以補強，形成「鋼筋混凝土」。

二、混凝土的成分

混凝土為水、水泥、粗細骨材經適當混合後之產物，為目前工程上之主要結構材料之一。其中水質需符合『**CNS 3090** 及 **CNS 13961**』（註三）「混凝土拌和用水應無色無臭不含有害之油、鹽類、鹼性物、有機物及他種有害物質」之規定。水泥需符合『**CNS 61 R2001**』（註三）卜特蘭水泥之規定，粗、細骨材需符合『**CNS 1240**』（註三）混凝土粒料之相關規定。本研究之採用環球牌水泥，混凝土未添加任何摻料，水質使用自來水。

三、影響混凝土強度之因素

- 1、材料之品質(水泥、骨材、水及摻料等)。
- 2、配比(水灰比、骨材粒徑、水泥與骨材配合比)。
- 3、施工方法(拌合、輸送、澆置、搗實及養護)。
- 4、混凝土之材齡。

5、試驗條件(試體之形狀、大小及試驗之方法)。

四、混凝土之性質

1、工作性：

混凝土之工作性，係指新拌混凝土施工之難易（指澆置與搗實）及抵抗材料分離之程度。優良的工作度可以增進混凝土之品質，但可能會因此犧牲品質，或者增加費用。混凝土之稠度或流動性可代表混凝土的工作度，目前工地最常用的稠度試驗方法為「坍度試驗」。依『CNS 1176 A 304』（註三）坍度試驗為將新拌混凝土分 3 次等量分 3 層澆置於頂徑 10cm、底徑 20cm 及高 30cm 之截角平底圓錐體，底部置於水密性平板上，並以搗棒將每層加以 25 次搗實，然後保持垂直之方向將圓錐提起，混凝土隨而下塌，混凝土的稠度以試體下陷後之垂直高度謂之「坍度」，坍度值一般以 cm 計，本研究所用混凝土之坍度值為 13 cm。

2、水灰比：

水灰比為混凝土拌合水量與水泥的重量比，以 W/C 表示。混凝土強度之各種影響因素中，以水灰比對混凝土之強度影響最為大者。混凝土經過充分之攪拌後，使骨材之空隙減少至最小值（理論上的完美混凝土其組合材料間之空隙應該趨近於零）而形成混凝土成品。因此混凝土強度大小之決定，係依骨材空隙間之水泥漿硬化後，其強度之大小而決定。換言之，混凝土的直接強度取決於水泥漿體成份的濃度高低。亦即施工時水與水泥的比例控制了混凝土等強度，由此可知混凝土拌合時，採用等量水泥之情況下，混凝土之強度恰與所使用之水成反比。本研究所用混凝土的水灰比為 0.58。

五、研究與分析

1、目的

通常澆置混凝土後，混凝土早期應保持在有充分的水份供應，促使混凝土中的水泥能完全水化。水泥之水化作用是否圓滿，關係混凝土之品質甚巨。混凝土欲達到預期強度，於養護期間應保持混凝土中之水份勿使蒸發，以及維持養護水的適宜溫度，以助長水化作用，當溫度低於常溫時水化作用進行緩慢，冰點或以下時水化作用幾近停止。依『CNS 1230』（註三）混凝土試體在實驗室模製及養護法規定，混凝土之養護水溫應為 $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ 。本研究基於上述理論，擬將養護水溫提高至 55°C ，以探討在高溫養護下對混凝土強度之影響。

在足以達到要求強度水平的期間內，防止水分損失並控制混凝土的溫度，如果要

發揮混凝土的最佳性能，必須好好地進行養護，必需充分補充水分以保持混凝土水化作用能持續進行，使水化作用所產生之鈣矽水化物足以把孔隙率降低，以達到預期的混凝土強度和耐久性。

2、養護方法

『養護方法大致有濕治養護(Moist Curing)、護膜養護(Membrane Curing)、蒸汽養護(Steam Curing)三類。本研究用濕治養護來保持試體水份外，更提高水溫至 55℃，加速混凝土試體之水化作用，以了解養護溫度對混凝土強度之影響。』(註二)

3、研究方法

本研究所用之混凝土係依 ACI 211.1 混凝土配比設計法先行設計混凝土所需水重、水泥重、細骨材重、粗骨材重。試體目標抗壓強度定為 241.5 kg/cm^2 ，經先行試拌無虞後，再依『CNS 1231』(註三)工地混凝土試體之製作及養護法製作成直徑 10 cm、高度 20 cm之試體 12 個。礙於試驗設備限制，將其中 6 個試體置於飽和石灰水中在常溫下養護，並記錄每天最高與最低水溫。另外 6 個試體置於 $55 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 的恆溫水箱中養護。再依『CNS1232』(註三)混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法進行試體 7 天抗壓強度試驗，並以此等數據做為比對。

4、試驗器材

本研究用的試驗器材如下：

- A、 $\phi 10\text{cm} \times H 20\text{cm}$ 混凝土圓柱試體模 12 具
- B、 $\phi 16\text{mm}$ 搗棒
- C、橡皮錘
- D、坍度試驗模
- E、日本製 AND 13000224 磅秤
- F、木槌
- G、混凝土拌和機

H、英國製 ELE ADR1500 型抗壓試驗機

I、義大利製 ZL190 拌合機

J、洋鎗、桶、直尺、小鎗、捲尺等

5、材料數據

A、水泥：環球牌卜特蘭第 I 型水泥

B、拌合水：自來水

C、粗骨材：

a、最大粒徑 19 mm

b、面乾內飽和鬆比重 2.65

c、吸水率 0.93%

d、乾搗實單位重 1723.6 kg/m^3

D、細骨材

a、細度模數 2.5

b、面乾內飽和鬆比重 2.44

c、吸水率 3.27%

E、目標強度 241.5 kg/cm^2

F、混凝土坍度 13 cm

G、水灰比 0.59

H、經試拌後選定混凝土試體配比如表一

表一、混凝土試體配比

| | 水重 | 水泥重 | 細骨材重 | 粗骨材重 |
|----------------------------|--------|------|--------|---------|
| 1m ³ 所需重量 kg | 209.41 | 361 | 543.32 | 1127.77 |
| 1/40m ³ 所需重量 kg | 5.24 | 9.03 | 13.59 | 28.19 |

6、試驗步驟

A、混凝土拌合： $\frac{8}{10}$ 將拌合水、粗骨材、細骨材依次投入拌合鼓中先拌合 15 秒投入水泥後再拌合 45 秒。

B、取出混凝土做坍度試驗。

C、製作 $\phi 10cm \times H 20cm$ 混凝土圓柱試體 12 個，再置於塑膠袋中防止水份蒸發。

D、第 2 天拆模後，將其中 6 個混凝土試體置入飽和石灰水中在常溫下養護，另 6 個混凝土試體置於 $55 \pm 1.5^{\circ}C$ 的恆溫水箱中養護。

E、每天定時讀取常溫正水箱之最高溫度及最低溫度，以及每天 12:30 的氣溫。

F、第 7 天取出常溫下水箱中養護 3 個，恆溫水箱中的試體 6 個，以 $420 kg/cm^2$ 的高強度石膏蓋平。

G、先取常溫水箱養護的 3 個試體，及恆溫水箱中養護的 3 個試體（在高溫膨脹狀態下）該行抗壓試驗。

H、恆溫水箱中養護的另 3 個試體，俟降至常溫時再進行抗壓試驗。

I、另 3 個於常溫飽和石灰水中養護之混凝土試體，擬進行 28 天抗壓強度試驗，現仍在養護中。

7、試驗數據

A、常溫下飽和石灰水內的溫度變化情形如表二

表二、常溫養護之水溫變化

| 日期 | 當日最高水溫 ($^{\circ}C$) | 當日最低水溫 ($^{\circ}C$) | 當日 12:30 氣溫 ($^{\circ}C$) | 與 CNS 1231 比較 ($^{\circ}C$) |
|----|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|----|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|

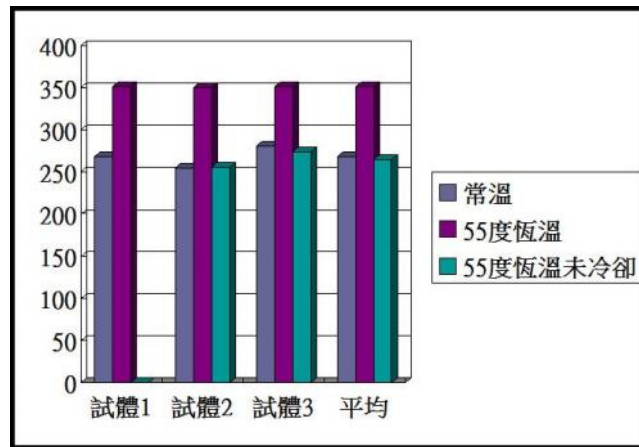
養護溫度對混凝土強度發展之探討

| | | | | |
|------|--------|--------|------|----------|
| 3/11 | 24°C | 21.5°C | 21°C | 合乎規定 |
| 3/12 | 23°C | 22°C | 22°C | 合乎規定 |
| 3/13 | 23°C | 22.5°C | 22°C | 合乎規定 |
| 3/14 | 23°C | 20°C | 20°C | 最低溫為-1.3 |
| 3/15 | 21.5°C | 20°C | 20°C | 最低溫為-1.3 |
| 3/16 | 21°C | 20°C | 20°C | 最低溫為-1.3 |
| 3/17 | 21°C | 19°C | 20°C | 最低溫為-2.3 |

B、常溫狀態、55°C 高溫養護冷卻後、55°C 高溫養護未冷卻三種狀態下混凝土試體之抗壓強度如表三，比較直條圖如圖一。

表三、混凝土抗壓強度(kg/cm²)

| | 試體 1 | 試體 2 | 試體 3 | 平均值 | 比較 |
|----------------------|----------|---------|---------|-------|------|
| 常溫養護試體抗壓強度 | 268.165 | 255.210 | 281.273 | 268.2 | 100% |
| 55°C 恆溫養護試體抗壓強度(未冷卻) | 操作錯誤, 失敗 | 256.331 | 274.356 | 265.3 | 99% |
| 55°C 恆溫養護試體抗壓強度(冷卻後) | 350.993 | 349.828 | 351.541 | 350.8 | 131% |



圖一、不同養護狀態正混凝土試體強度比較

8. 試驗結果

由表三混凝土抗壓強度試驗結果得知，以 55°C 恆溫養護之混凝土試體，在未冷卻的情況下，與做為基準的常溫養護試體之抗壓強度比較並無差異。惟經 55°C 恆溫養護之混凝土試體，冷卻後之抗壓強度可達常溫養護試體的 1.3 倍。

9. 試驗照片

| | |
|--|---|
|  |  |
| <p>試體在常溫飽和石灰水中養護</p> | <p>恆溫水槽</p> |
|  |  |
| <p>試體在 55°C 水中養護</p> | <p>ELE ADR1500 型抗壓試驗機</p> |
|  |  |
| <p>試體蓋平後抗壓破壞前</p> | <p>試體抗壓破壞後</p> |

參●結論

本研究礙於時間及設備限制，僅做小規模的試驗加以探討。日後應可進一步建立各種不同養護溫度下，3 天、7 天、28 天混凝土試體之抗壓強度比較，提供業界參考。

根據實驗結果，經高溫養護之試體，在未冷卻的情況下，因骨材與膠結材料均處於膨脹狀態之下，逕自進行抗壓試驗，對混凝土抗壓強度並無助益。而經 55°C 恆溫養護再冷卻後的試體，較室溫下養護之試體，其 7 天抗壓強度，約提高 30%，養護溫度對混凝土強度委實有密切的關係。目前土建工程均以工地現地採樣製作混凝土試體，在進行 7 天或 28 天抗壓強度試驗來驗證混凝土的品質，因此，若有監造單位不察，而土木建築工程之不肖業者，意圖於施工時利用高溫養護試

體，讓混凝土試體輕易達到設計強度，蒙混過關，而在工地現場則另外使用價格較廉、強度較低之混凝土權充，應可獲得可觀的不法利益。反之，利用高溫養護混凝土亦可使混凝土之強度提高，在使用適當的混凝土配合設計之下，亦應可節省巨額之混凝土成本。

肆●引註資料

註一、陳春木（2007）。工程材料 I。臺北縣：台科大圖書股份有限公司。

註二、中國土木水利工程學會（1997）。混凝土工程施工須知（增訂版）。臺北縣：科技圖書。

註三、經濟部中央標準局（1984）。中國國家標準（CNS）。台北市：經濟部中央標準局。