

# 炎熱環境對混凝土施工與品質影響之探討

李彥民<sup>1</sup>

中國科技大學建築系碩士班研究生

溫上元<sup>3</sup>

中國科技大學建築系碩士班研究生

徐鑫元<sup>2</sup>

中國科技大學建築系碩士班研究生

吳志仁<sup>4</sup>

中國科技大學建築系碩士班研究生

## 摘要

混凝土為台灣地區建築物主要建造建材，其性能表現關係建築是否符合結構安全與設計需求。台灣屬於亞熱帶高溫高濕型氣候區域，高溫環境除會影響混凝土新拌施工性外，並也會影響後續硬固強度之發展，為維持良好澆置品質，需瞭解高溫環境對混凝土的性質影響，並可經研究後此提出相對改善措施，本文彙整高溫對一般混凝土與巨積混凝土之影響外，並針對其相關原料性質、產製過程與施工方法等提出需注意事項，以提升混凝土品質，並供施工管理人員參考。

**關鍵字：**炎熱環境、混凝土、巨積混凝土、新拌溫度、心表溫差

## Discussion on Influence of Hot ambience on Concrete Constructing and Its Quality

### Abstract

Concrete is the main construction material for buildings in Taiwan, and its performance is related to whether the building meets the structural safety and design requirements. Taiwan located on the subtropical climate region with high temperature and high humidity. The high temperature environment will not only affect the workability of fresh concrete, but also affect the subsequent development of setting strength. In order to maintain good pouring quality, it is necessary to understand the impact of high temperature ambience on the properties of concrete. After research, relative improvement measures could be put forward. This paper summarizes the influence of high temperature on general concrete and macro-concrete. It will also propose precautions for its related raw material properties, production process and construction methods, so as to improve the quality of concrete. This could be the reference as well to construction managers.

**Keywords:** hot environment, concrete, mass concrete, the temperature of fresh concrete, the surface and core temperature difference of concrete

## 一、研究緣起與目的

每一次混凝土澆置就像個新生兒的誕生，新生兒成長過成中，良好的生長環境與細心照顧才能讓其平安健康成長茁壯。對照到混凝土，新拌混凝土於工地澆置後，外在環境因素亦可能影響齡期強度發展，尤其台灣位於亞熱帶氣候區，過熱環境將影響混凝土初期工作性與強度發展，未能適時適當處理將留下無可修補的缺陷，因此如何管控環境影響因子降低對混凝土強度發展之影響至關重要，管控不當甚至將影響該結構體的耐久性，導致使用年限不能達到原始設定，浪費資源與徒增成本。因此本文將探討在炎熱環境下，混凝土使用原料之選擇、施工法之配合與後續養護方式等面向，彙整目前相關規範建議、並針對其相關原料性質、產製過程與施工方法等提出需注意事項，以提升混凝土品質，並供施工管理人員參考。

## 二、研究方法

混凝土為主要土木與建築工程使用建材，因工期較長，大部分將經歷外在環境條件完全不同的生產與澆置。工地的天氣條件將影響混凝土施工、配比設計或材料選擇，在不同季節生產的混凝土與原始廠拌設計的最佳混凝土配比條件將大相逕庭，甚至在一日中的早晨、中午及夜間因環境溫度差異也將對混凝土有不同程度影響。

台灣炎熱的天氣條件會加速水泥水化、混凝土的水分蒸發、流失率勢必影響水化程度，從而對混凝土品質產生不良影響，並影響混凝土之工作性與強度發展與工程進度。

因此本文將採用彙整相關文獻資料及實務執行經驗探討等方式，針對一般混凝土於高溫炎熱環境下之混凝土生產與施工提出應行注意事項，與巨積混凝土在高溫環境生產必須之注意事項。

## 三、環境溫度對混凝土之影響

### 3.1 一般混凝土最高新拌溫度規定

為達到高品質新拌混凝土的理想溫度為 $10^{\circ}\text{C}$ 至 $15^{\circ}\text{C}$ [[1]]，但在炎熱的天氣裡通常難以達成。許多規範僅要求混凝土澆置時的溫度應低於 $29^{\circ}\text{C}$ 至 $35^{\circ}\text{C}$ ，其中ASTM C94 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete (AASHTO M 157)[[2]]的預拌混凝土標準規範，僅針對當使用加熱的粒料或熱水時，混凝土的最高溫度在其生產或運輸過程中不得超過 $32^{\circ}\text{C}$ ，否則該規範不強制要求最高混凝土溫度。ACI 301-10 Specifications for Structural Concrete [[3]]則要求運至工地的混凝土溫度不得超過 $35^{\circ}\text{C}$ ，而目前國內的施工綱要規範第03050章 混凝土基本材料及施工一般要求(V12)[[4]]、內政部營建署部頒結構混凝土施工規範[[5]]及土木402-94 混凝土工程施工規範與解說[[6]]則均規定拌合後於澆置前之混凝土溫度不得高於 $32^{\circ}\text{C}$ 。

然而，規範混凝土最高新拌溫度並不能保證混凝土的強度或耐久性。對於大多數工程而言，僅僅限制澆置混凝土的最高溫度並不一定保證混凝土的施工品質，例如，在強烈太陽輻射進行大面積整體粉光作業，即使混凝土低於 $32^{\circ}\text{C}$ ，也不代表整

體粉光能達到預期效果或不產生表面缺失。而在室內進行整體粉光時，因為在阻擋太陽輻射條件下進行的整體粉光作業，亦可能在使用高溫混凝土下成功完成。相對地，若將混凝土暴露在陽光直射和強風吹襲的戶外進行整體粉光作業，則很高機率會產生工程缺失。

### 3.2 巨積混凝土簡介與相關溫度要求

「巨積混凝土」一般泛指體積較大可能產生溫度裂縫外，另外有溫差應力及造成裂縫疑慮時之任何混凝土均屬之。美國混凝土學會在 ACI 116R「Cement and Concrete Terminology」將其定義為：「體積達到需採取控制水化熱及體積變化等龜裂防治措施之混凝土」，而英國混凝土協會在「Concrete Society Digest No.2」同時有類似定義：「尺寸達到需特別考慮混凝土供應、澆置順序、冷縫、塑性沉陷、水化熱及溫度裂縫等因素之混凝土」，在 ACI 301-10 Specifications for Structural Concrete [[3]]則建議：「結構物中混凝土最小澆置尺寸不小於 1.2 m 時應視為巨積混凝土或混凝土配比或混凝土膠結材料用量(cementitious materials)超過 390 kg/m<sup>3</sup>時應視為巨積混凝土，須考慮水化熱問題」。

當混凝土結構尺寸較大時，易於結構體中蓄積熱量，溫度的增幅取決於尺寸大小於混凝土配比，增幅 30°C~60°C 皆有可能發生，當水泥水化反應產生熱量蓄積於結構體內，如同人體發燒樣，體溫過高會發生熱痙攣，甚至產生後遺症；而混凝土箱也相同，例如當內部溫度達 70°C 以上，則因可能產生延遲鈣矾石反應，影響耐久性。

實際上巨積混凝土施工時，因內部蓄積高溫因素，相對於外部環境較低溫度而會造成內外溫差過大而有產生裂縫的風險，意謂各個季節皆產生損傷。因此巨積混凝土另外需注重保溫措施，降低因心表溫差過大而產生裂縫現象，如下圖 1 所示。

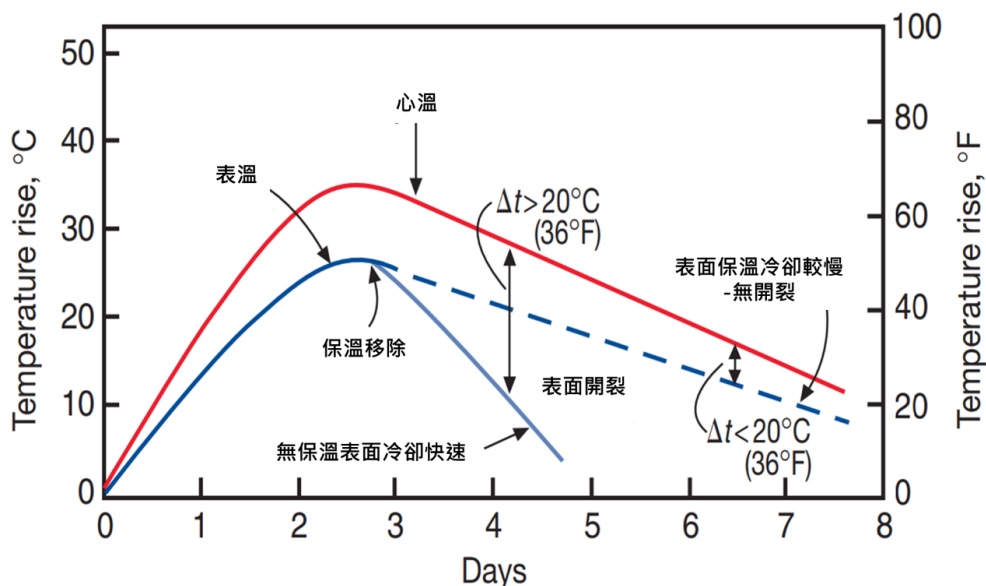


圖 1 巨積混凝土過早移除保溫措施導致心表溫差過大[[7]]

### 3.3 巨積混凝土最大容許心表溫差

心表溫差達到幾度時，混凝土可能產生心表溫差裂縫？多數巨積混凝土技術規範

規定最大允許溫差 20°C (35°F)，該溫差是基於 50 多年前在歐洲無鋼筋巨積混凝土的經驗[[8]]。實際上在許多情況下，將心表溫差限制在 20°C (35°F) 可能是過於保守的；有時即使在較高的溫差下也不會產生裂縫；但也可能發生即使溫差小於 35°F (20°C)，仍發生溫差裂縫的情形。圖 2 即為混凝土心表溫差與裂縫關係[[9]]，評估混凝土開裂與心表溫差關係，可利用式 1 評估該混凝土配比於特該結構的束制條件下，幾度的心表溫差會產生心表溫差裂縫，其中熱膨脹係數是關鍵影響因子。

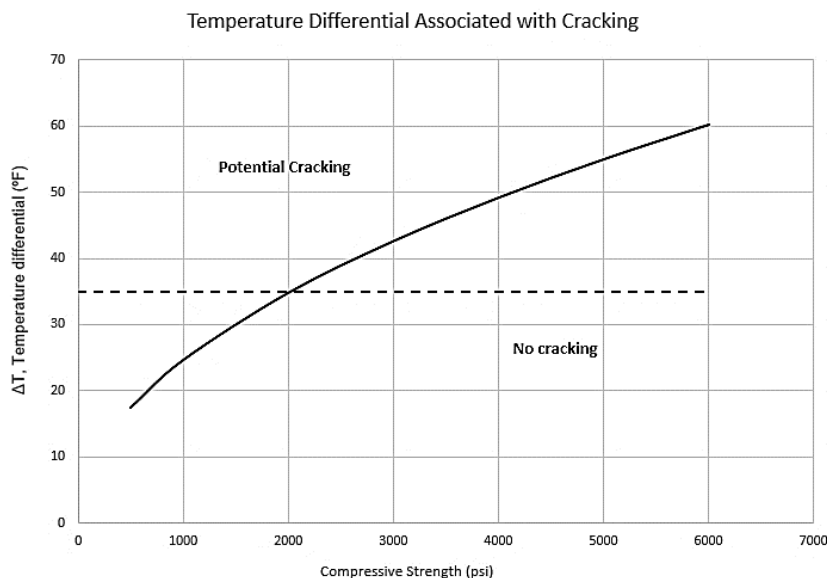


圖 2 混凝土心表溫差與裂縫關係[[9]]

$$\text{最大容許心表溫差 } \Delta T (\text{°F}) = \frac{f'_t}{E \cdot CTE \cdot R \cdot C} \dots \dots \dots (1)$$

最大容許心表溫差計算方式如上式，其中

$f'_t$ ：混凝土最大張力強度，需考量成熟度條件，即為現地混凝土表層之實際張力強度

$E$ ：混凝土彈性模數(需考量成熟度條件)

$CTE$ ：混凝土熱膨脹係數

$R$ ：束制條件，可參考 ACI 207.2R 之說明

$C$ ：混凝土潛變係數，受早期熱應力影響

由前述相關熱環境對混凝土影響文獻資料顯示，過高外在環境溫度及內部水化溫度蓄熱情況，對於混凝土性質影響極大，並可能產生無法修復之損傷，而台灣又屬於炎熱氣候，因此在炎熱天氣下的混凝土產製及施工之安排，與相關溫控措施為重要施工管理要項，下列章節即彙整相關施工注意事項。

#### 四、炎熱環境下一般混凝土生產與施工應注意事項

##### 4.1 環境溫度影響

有害的高溫炎熱天氣包含高環境溫度、高混凝土溫度、相對濕度低、高風速及太陽輻射，這些炎熱的天氣條件可能會對新拌混凝土產生下列的問題，例如：

- 增加拌合用水需求
- 加速坍度損失
- 加速初終凝速率
- 增加塑性收縮開裂機率
- 增加產生冷縫的機率
- 較難控制混凝土空氣含量
- 混凝土新拌溫度升高
- 熱應力開裂的機率增加

高溫天氣下將使混凝土生產衍生諸多困難，包括增加需水量、加速混凝土坍度損失，這也導致工地現場可能發生在預拌車上或泵送車中加水的行為，而在工地的混凝土中加入額外的水，將對硬固混凝土的各種性能和使用年限產生不利影響，一般會導致混凝土產生下列幾種狀況：

- 強度下降
- 耐久性降低
- 滲透性增加
- 混凝土外觀不均質
- 增加乾燥收縮趨勢
- 減少耐磨性

#### 4.2 一般混凝土溫控策略

使用哪些預防措施以及何時使用它們取決於：構件或結構的類型；所用材料的特性；以及澆置和泵送人員在處理現場大氣條件方面的經驗。以下預防措施列表將減少或避免炎熱天氣澆置混凝土的潛在問題。

- 組織一次施工前會議，討論施工項目所需的預防措施
- 使用在炎熱天氣條件下已被證明具有相應性能的混凝土配比與材料（例如較低的水泥含量和緩凝劑）
- 冷卻混凝土或使用的一種或多種材料（圖3）
- 使用具快速澆置和密實的混凝土（高坍落度）
- 盡可能減少運輸、澆置和整平粉光的時間，從而盡量減少等待時間衍生的問題
- 安排混凝土澆置時間以限制暴露於惡劣的大氣條件，可考慮夜間或更有利的天氣條件進行澆置
- 考慮在澆置和整平、粉光過程中限制水分流失的方法，例如遮陽傘、擋風板、噴霧
- 覆蓋臨時保濕膜以控制刮除後和修整混凝土前的蒸發

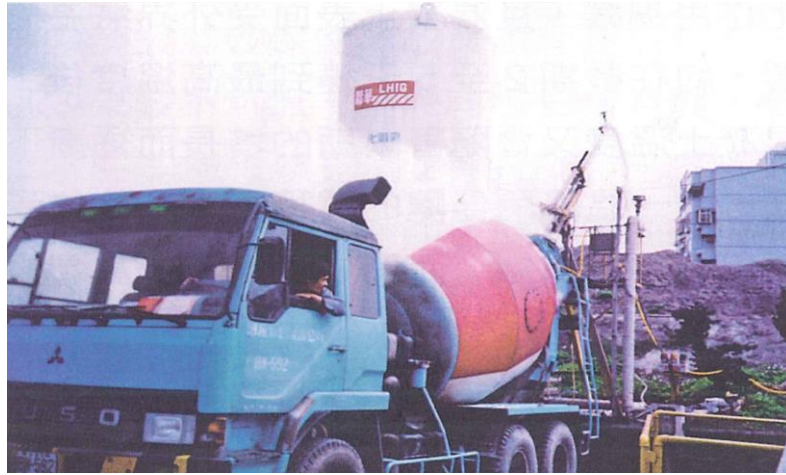


圖3 將液氮直接添加到預拌車中降低混凝土溫度

### 4.3 高溫對混凝土的影響

隨著混凝土溫度升高，伴隨坍度損失增加，一般通過在工地額外於混凝土中加水來補償工作性不足。若要在高溫下保持與低溫時具相同坍度，則需要使用更多拌合水。添加額外的水會導致更高的水灰比，從而降低所有齡期的強度，並對硬化混凝土的其他性能產生不利影響。此外，較高溫的混凝土，即使不額外加水，也會對後期強度產生不利影響。圖4為新拌混凝土溫度從10°C增加到38°C時，若要保持相同的75毫米坍落度，則大約需要增加20 kg/m<sup>3</sup>的拌水[1]。增加20kg/m<sup>3</sup>的拌合水會使強度降低12%到15%，可能導致混凝土強度無法達到設計強度。在較高拌合水量的條件下，為了維持相同w/c，需要使用較高的水泥量，雖可使混凝土到設計強度，但較高的用水量仍會使耐久性變差、抗裂性不佳(體積穩定性不佳)，增加水泥用量亦會使水合熱增加。

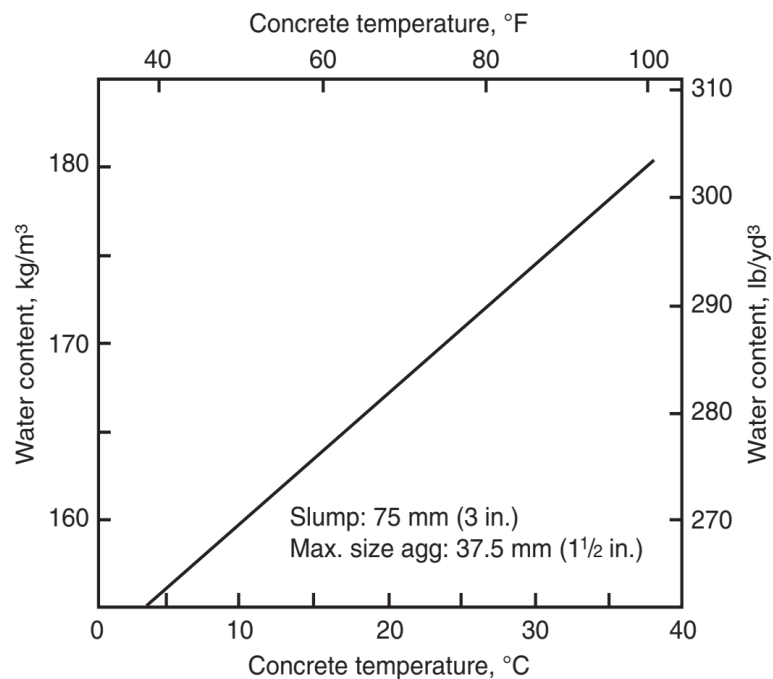


圖4 混凝土拌合需水量隨著混凝土溫度的升高而增加—墾務局(1981)[[1]]。

過高的新拌混凝土溫度會使混凝土加速凝結並縮短運輸、澆置和整平粉光的時間。根據一般經驗，新拌混凝土溫度每變化 $5^{\circ}\text{C}$ ，凝結時間就會改變約33%(不同的水泥表現不同)，如圖5所示[[10]]。代表混凝土溫度每升高 $10^{\circ}\text{C}$ ，凝結時間約減少2小時或更長時間。混凝土應保持足夠長的可塑性，使澆置時每一升層不形成冷接縫。藉由在減水劑中加入適量的緩凝劑有助於降低高溫負面影響。此外，在炎熱的環境溫度，新拌混凝土在硬化過程中更容易因水分快速蒸發而產生塑性收縮裂縫，若新拌混凝土過高，更會加速塑性收縮裂發生。

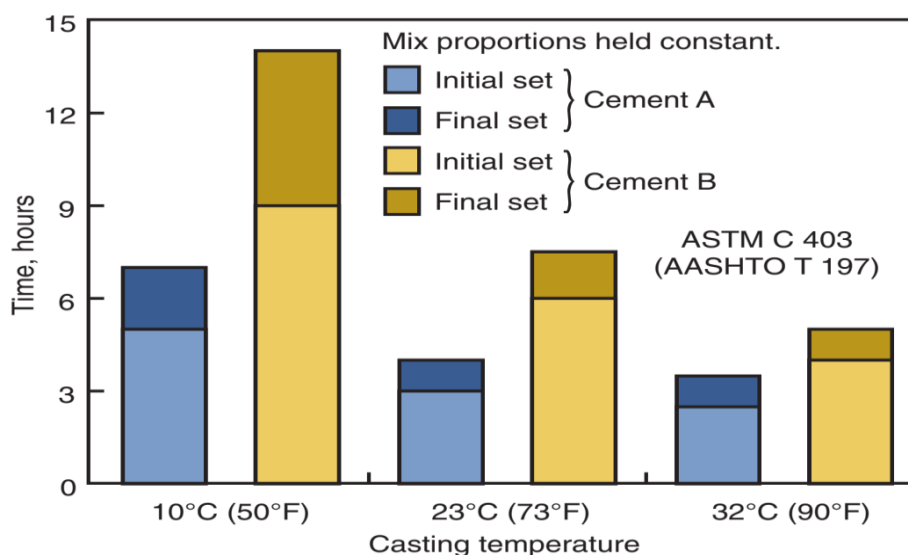


圖5 混凝土溫度對凝結時間的影響(Burg 1996) [[10]]

圖6顯示不同混凝土新拌溫度對抗壓強度的影響[[11]]。拌合、澆置和養護時的混凝土溫度分別為 $23^{\circ}\text{C}$ 、 $32^{\circ}\text{C}$ 、 $41^{\circ}$ 和 $49^{\circ}\text{C}$ 。試體在前28天保護澆置時的溫度，在28天之後以 $23^{\circ}\text{C}$ 進行濕養護直到90天和一年齡期並進行抗壓強度試驗。相同水灰比條件下，試驗結果顯示相對於新拌溫度 $23^{\circ}\text{C}$ 的混凝土，溫度越高有越高的早期強度，但後期強度則越低。若為了維持相同坍度而增加拌合水量(不增加水泥含量)，則抗壓強度降低的幅度將更大。

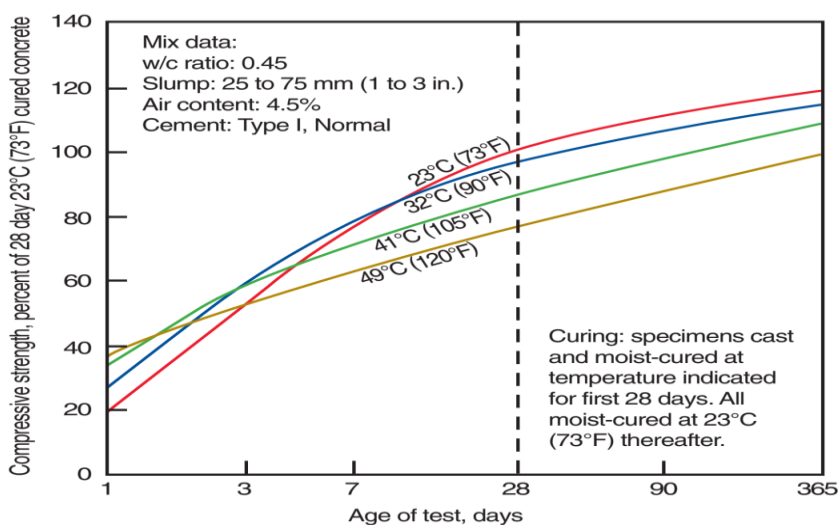


圖6 高混凝土溫度對不同齡期抗壓強度的影響 (Klieger 1958) [[11]]

工地現場製作和養護混凝土試體，依ASTM C31 Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field (AASHTO T23)的流程，如果最初的24小時養護是在38°C，則試樣的28天抗壓強度可能會比在ASTM C31 (AASHTO T23)要求的養護溫度下養護的試體低10%到15% (Gaynor, Meininger, Khan 1985) [[12]]。因此，預拌混凝土廠在炎熱天氣時，在工地製作的試體，若混凝土新拌溫度過高或製作後的試體置於陽光下或過高溫度環境，則其抗壓強度將可能無法達到設計強度(即使在相同水膠比條件)。故對於預拌混凝土廠在生產混凝土時，如何控制新拌溫度至關重要，可以說控制好混凝土新拌溫度也就等於做好一半的品質管理。以下將說明數種控制混凝土新拌溫度的作法。

#### 4.4 冷卻混凝土材料

由於混凝土溫度高的不利影響，在炎熱天氣下若要將混凝土保持在規定的溫度限制以下，可通過冷卻混凝土來實現的。混凝土的降溫常用方法是在拌合前降低混凝土材料的溫度，可以冷卻一種或多種材料。混凝土中每種成分對新拌混凝土溫度的貢獻與每種材料的溫度、比熱和重量有關。粒料和拌合水對拌合後混凝土溫度的影響比其他成分要大。因此，在炎熱天氣條件下，這些材料應盡可能保持低溫。圖7為粒料與拌合水溫度對新拌混凝土溫度的影響，由圖中可知混凝土溫度主要取決於粒料溫度(粒料占混凝土7成以上重量)，但低溫拌合水也可具可行性。

混凝土的近似溫度可以使用以下公式(2)根據其成分的溫度計算得出，表1為混凝土組成材料對新拌溫度之影響(更精確數據仍應依實際使用的材料性能計算)。

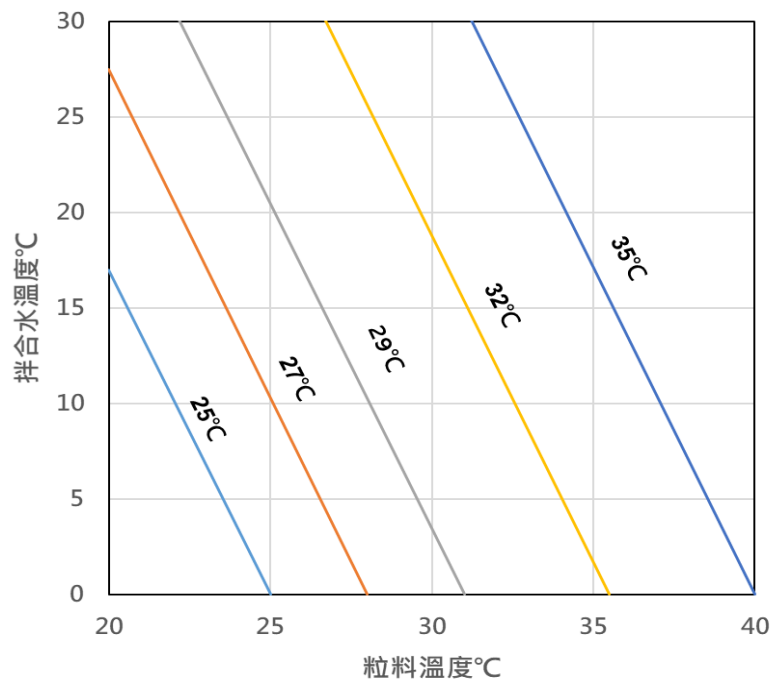


圖7 新拌混凝土的溫度受其成分溫度的影響。(粒料1760kg。表面水61kg，拌合水124kg，60°C的膠結材料400kg)



$$T = \frac{[0.22(T_a M_a + T_s M_s + T_c M_c) + T_w M_w + T_{ws} M_{ws} + T_{wa} M_{wa}]}{[0.22(M_a + M_s + M_c) + M_w + M_{ws} + M_{wa}]} \quad (2)$$

其中

T = 新拌混凝土的攝氏度溫度，°C

T<sub>a</sub>、T<sub>s</sub>、T<sub>c</sub>、T<sub>w</sub>和T<sub>ws</sub>和T<sub>wa</sub>= 粗粒料、細粒料、水泥、添加的拌合水、細粒料上的表面水和粗粒料上的表面水溫度；通常T<sub>s</sub>=T<sub>ws</sub>和T<sub>a</sub>=T<sub>wa</sub>

M<sub>a</sub>、M<sub>s</sub>、M<sub>c</sub>、M<sub>w</sub>、M<sub>ws</sub>和M<sub>wa</sub>=粗粒料、細粒料、水泥、攪拌水、沙子上的自由水分和粗骨料上的自由水分的質量 (kg)

表1 混凝土組成材料對新拌溫度之影響

材料	各材料對混凝土降溫重點
粒料	粗粒料降低0.8-1.1°C，可降低混凝土0.5°C
拌合水	混凝土拌合水用量受細粒料表面水影響，應避免表面水過高，拌合水每降低2度約可降低混凝土0.5°C
冰	每公斤的冰融化熱為335kJ，可有效降低混凝土溫度
液態氮	6升的液態氮約可降低混凝土0.5°C
水泥	每降水泥4°C約可降低混凝土0.5°C
輔助膠凝材料	使用飛灰及爐石粉替代水泥可降低混凝土水合熱
化學摻劑	緩凝劑有利於延遲炎熱天氣混凝土的凝結時間

#### 4.5 混凝土澆置前的準備

炎熱天氣下在澆置混凝土之前，應採取一些預防措施，以保持或降低混凝土溫度。拌合機、輸送帶、料斗、泵管和其他與混凝土生產有關的設備應採遮蔽、塗成白色或灑水降溫，以減少太陽日曬的影響。在工地，模板、鋼筋和PC層(Plain Concrete. 無筋混凝土)應在澆置混凝土前以冷水潤濕，模板未上脫模油或潤濕則可能產生如圖 8 混凝土剝皮狀況。在澆置和整平操作期間，可以在混凝土表面上噴霧。除可冷卻接觸面和周圍的空氣，還可以增加其相對濕度，使澆置後水從混凝土中蒸發的速度減至最小，減少塑性裂縫產生機率。對於地面上的版塊澆置，最好在澆置混凝土前一晚潤濕PC層。澆置混凝土時，模板內或PC層上不應有積水或水坑。此外，在極端炎熱的時期，可以將混凝土澆置限制在清晨、傍晚或夜間以獲得施工品質改善，尤其是在高溫乾燥氣候條件下，這種做法大大減少了樓板產生塑性收縮裂縫。



圖 8 模板未脫模油或未潤濕造成混凝土表面剝板

#### 4.6 運輸、澆置和整平

在炎熱的天氣裡，預拌混凝土運輸和澆置應以最快速度完成，延誤過久將導致坍度損失和混凝土溫度升高的問題。預拌車排派應考量現場泵送能力，施工現場必須有足夠的泵送設備、震動機及操作人員，以便在預拌車到場後立即泵送澆置混凝土。應避免混凝土長時間混合，即使是在預拌車慢速攪拌下，若出現延遲，可暫時停止筒槽然後間歇性攪拌，可以最大限度地減少混合產生熱量。ASTM C94 (AASHTO M 157) 要求在 90 分鐘內或預拌車滾筒完成 300 轉之前完成混凝土的卸料，以先發生者為準。在炎熱的天氣裡，時間限制可能會減少到 60 分鐘甚至 45 分鐘。如果需要對完成混凝土卸料的具體時間限制，則應將其列入技術規範中。由於混凝土在炎熱天氣下凝結得更快，因此必須特別注意澆置規劃以避免產生冷接縫。臨時遮陽篷和防風板有助於減少產生冷縫。另外，適當的震動島實對於混凝土澆置至關重要，但應避免振動器過度振動，內部振動器也會產生大量的熱量，可以在 10 秒的插入過程中使混凝土局部溫度升高 10°C 或更多[[13]]如圖 9 (Burlingame 2004)。

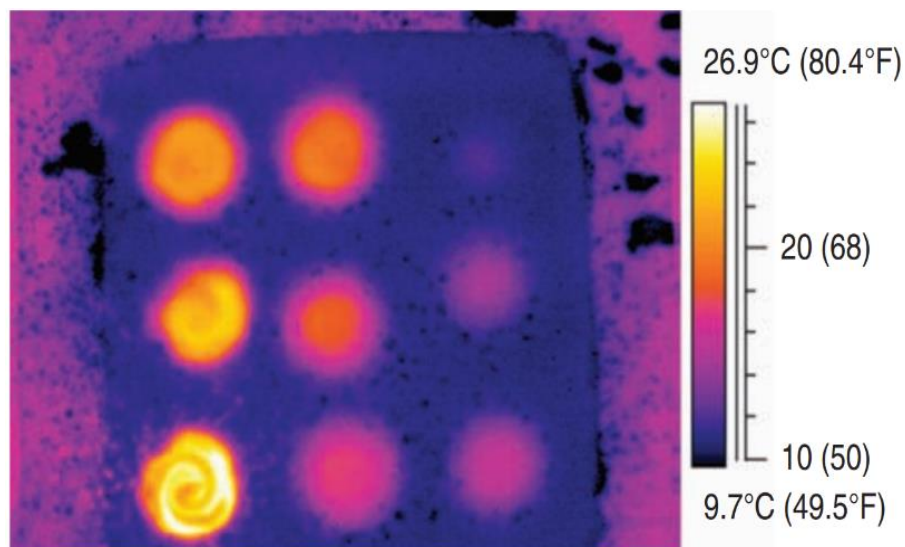


圖 9 施以內部振動後混凝土表面的熱影像 (Burlingame 2004) [[13]]

### 五、巨積混凝土在不同溫度環境下的施工

#### 5.1 巨積混凝土在高溫與低溫天氣施工注意事項

相對於炎熱天氣對混凝土的外部影響，巨積混凝土的水合熱則是對混凝土的內部影響。巨積混凝土在高溫天氣與低溫天氣施工時，皆應注意同時避免心溫高於 70°C，並控制心表溫差小於 20°C，在高溫天氣巨積混凝土施工較常發生心溫高於 70°C 的狀況如圖 10 所示，主要成因係為炎熱天氣混凝土新拌溫度較高，水泥水合速率快且絕熱溫升高，如圖 11 所示，同時與 70°C 的差距空間較小，很容易使心溫高於 70°C。在高溫天氣時，降低混凝土新拌溫度是解決方式，可考量降低粗粒料溫度或使用片冰(如圖 12 所示)替代部分拌合水，可有效降低混凝土新拌溫度。

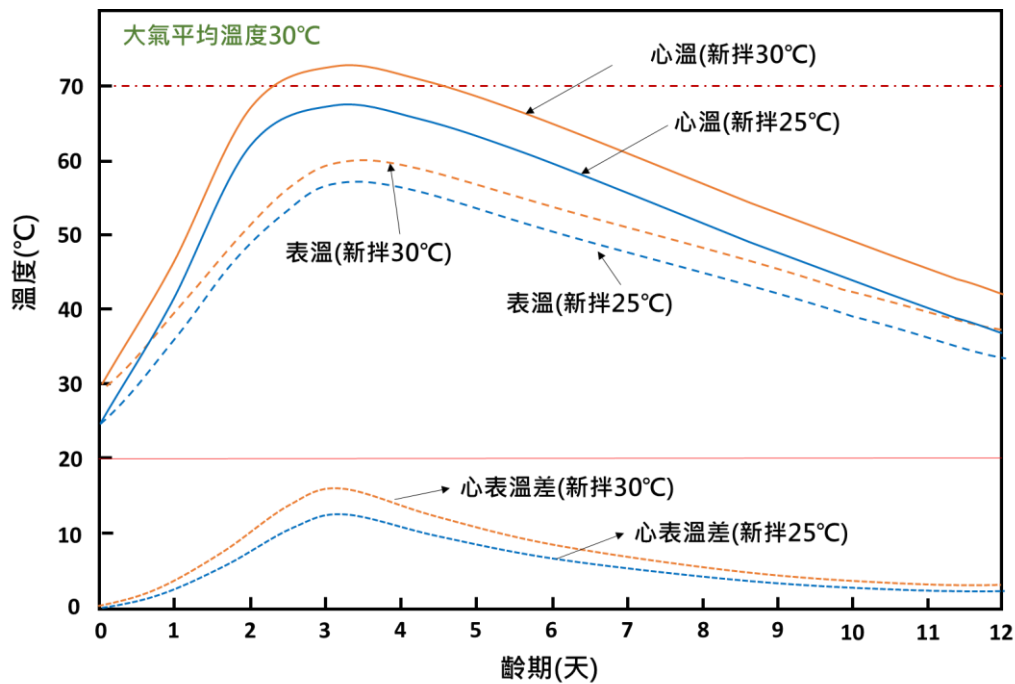


圖 10 巨積混凝土在炎熱天氣注意事項

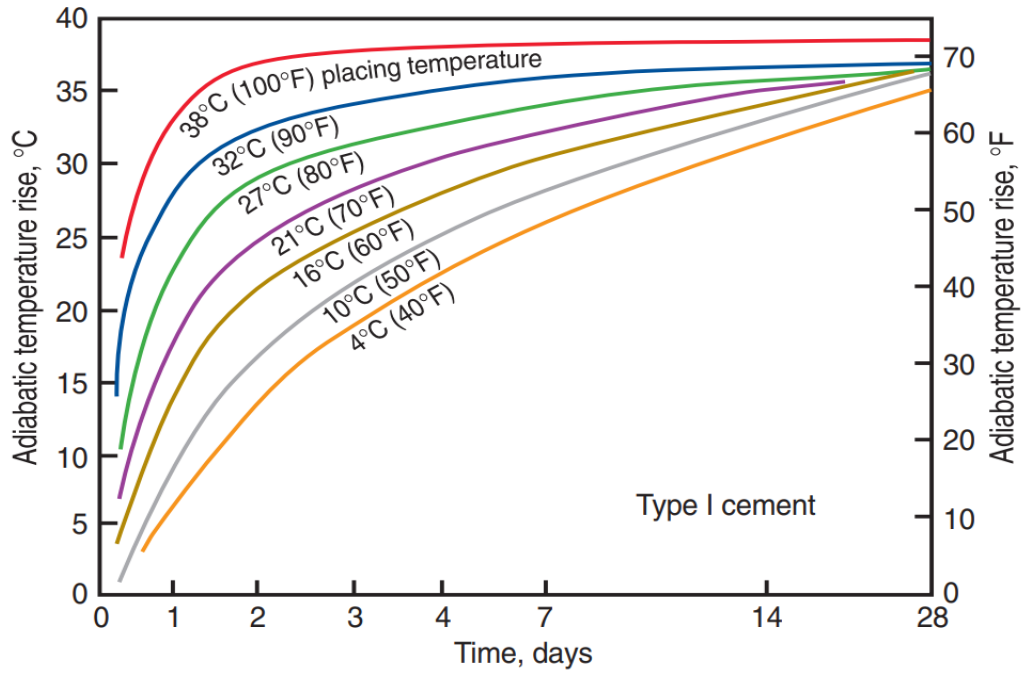


圖 11 不同澆置(新拌)溫度對混凝土絕熱溫升之影響(水泥用量 223kg/m<sup>3</sup>)[ACI 207.2R ][[14]]



圖 12 片冰(片冰較易於混凝土拌合過程中完全融化)

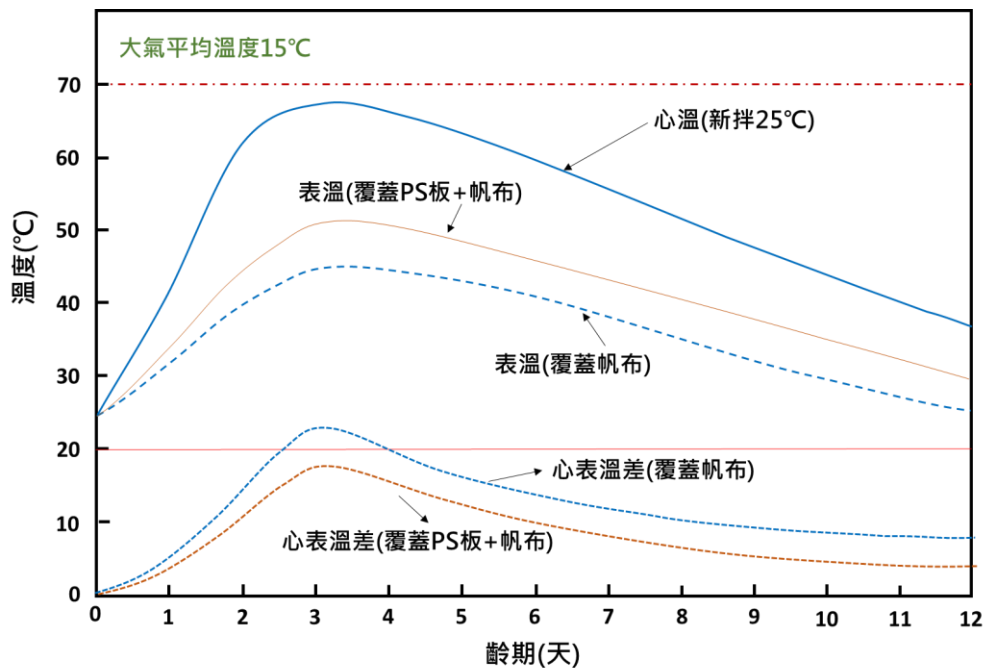


圖 13 巨積混凝土在寒冷天氣注意事項

相對於炎熱天氣，寒冷天氣巨積混凝土新拌溫度較低，心溫高於 70°C 的機率會降低，但若尺寸較厚或配比膠結總量較高時仍會發生。寒冷天氣施工更常發生心表溫度過大的狀況，如圖 13 所示，解決的方案則為採用適合的保溫措施，例如可採用不織布+PS 板再覆蓋防水帆布，通常可有效改善心表溫差過大的情形，但需評估保溫措施的移除時間，避免過早移除導致混凝土因心表溫差過大開裂。可考量在心溫與環境溫度差小於 20°C 時再移除。

## 六、結論

混凝土施工除考量結構型式外，四季氣候、環境因素的不同，都應該搭配適合的材料、配比及施工方式，才能維持工程品質。本文分別就炎熱天氣及巨積混凝土溫度效應等狀況，分別探討其施工應注意事項。一般而言，在夏季炎熱環境降低混凝土溫度可以有很多效益，例如維持工作性使澆置作業更順暢、降低混凝土塑性裂縫發生機率、混凝土後期強度較佳等等。

至於巨積混凝土產製與施工，則應同時考慮降低混凝土新拌溫度、澆置溫度及保溫措施，炎熱天氣時，混凝土降溫一般僅採用冰水是不足的，可適當搭配事前粒料降溫及片冰替代部分拌合水，以增加降溫幅度。總而言之，從混凝土生產控溫搭配正確施工方式，即可降低溫度對混凝土工程性質之影響。本文除針對其相關原料性質、產製過程與施工方法等提出需注意事項，以提升混凝土品質，並可供施工管理人員參考。

## 七、參考文獻

- [1] Steven H. Kosmatka and Michelle L. Wilson, “Design and Control of Concrete Mixtures, The guide to applications, and materials” ,15<sup>th</sup> Editon,, PCA.
- [2] Standard Specification for Ready-Mixed Concrete, ASTM C94, 7 pages.
- [3] “ACI Committee 301, Specifications for Structural Concrete”, ACI 301-10, American Concrete Institute, ,2010, 22 pages.
- [4] 施工綱要規範 第 03050 章 V12.0 混凝土基本材料及施工一般要求，p12.
- [5] 結構混凝土工程施工規範，內政部營建署，2021
- [6] 混凝土工程施工規範與解說，中國土木水利工程學會，財團法人中興工程顧問社出版，p7-10。
- [7] Fintel, Mark, and Ghosh, S.K., “Mass Reinforced Concrete Without Construction Joints,” presented at the Adrian Pauw Symposium on Designing for Creep and Shrinkage, Fall Convention of the American Concrete Institute,Houston, Texas, November 1978.
- [8] John Gajda and Martha Vangeem, “Controlling Temperatures in Mass Concrete”, Concrete international, January 2002.
- [9] SARAH DE CARUFEL, “Increasing the Allowable Temperature Differential in Mass Concrete Elements”, December 7, 2017
- [10] Burg, Ronald G., “The Influence of Casting and Curing Temperature on the Properties of Fresh and Hardened Concrete”, Research and Development Bulletin RD113, Portland Cement Association, 1996, 13 pages.
- [11] Klieger, Paul, “Effect of Mixing and Curing Temperature on Concrete Strength”, Research Department Bulletin RX103, Portland Cement Association, 1958.
- [12] Gaynor, Richard D.; Meininger, Richard C.; and Khan, Tarek S., “Effect of Temperature and Delivery Time on Concrete Proportions”, NRMCA Publication No. 171, National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, June 1985.
- [13] Burlingame, Scott, “Application of Infrared Imaging to Fresh Concrete: Monitoring Internal Vibration”, Master’s Thesis, Cornell University, 2004, 465 pages. [Also PCA SN2806]
- [14] ACI Committee 207, Report on Thermal and Volume Change Effects on Cracking of Mass Concrete, ACI 207.2R-07, ACI Committee 207 Report, American Concrete Institute, 2007, 28 pages.