

自充填混凝土在近期橋梁工程之應用

王炤烈／台灣世曦工程顧問股份有限公司總工程師

張英發／台灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部副理

蔡益成／華光工程工程顧問股份有限公司工務部副理

彭知行／台灣世曦工程顧問股份有限公司第一結構部計畫經理

游文慧／台灣世曦工程顧問股份有限公司第二結構部正工程師

工程的美觀與混凝土施工相關

混凝土是最傳統之工程材料，幾乎各種工程都需使用混凝土，但混凝土須經產製、運送、泵送、現場澆置、養護等多項作業，造成品質不易控制與易有不穩定情形。例如會因施工作業中之稍許不同，即使各項材料均符合規定，但品質仍會有明顯差別，尤其國內為方便施工作業，常有偷加水惡習，更使混凝土品質普遍受各界注意。另外，混凝土強度因須於澆置後 28 天，始能知道是否符合規定，無法於施工當時即明確判定，故混凝土施工及其品質常為一般工程最關切項目之一。

尤其，對於內部鋼筋量多、高度較高之結構體，本來就較不易澆置與搗實，其混凝土施工品質更為品管重點。而近年國內橋梁，多朝高橋墩與長跨度發展，加上耐震需求，使得橋梁結構之鋼筋量普遍增加，造成橋梁工程之混凝土澆置困難性提高。此外，橋梁美觀愈為工程關注重點，包括混凝土表面須要平整，無蜂窩與無缺損情況，因此，國內橋梁工程已有不少採用較容易澆置之自充填混凝土 Self-Compacting Concrete (SCC) 案例，尤其是橋梁中之橋墩結構。

自充填混凝土依其材料特性，在澆置過程中，可不須振動與搗實，就能藉由自身之充填能力，填充至鋼筋間隙及模板各角落，是為高流動性、可抗析離之材料。自充填混凝土不僅可改善工作度，並提昇品質外，且因其強度、耐久性、彈性模數與水密性普遍較

一般混凝土佳，對結構體之安全性與耐久性亦有相當助益。

但自充填混凝土因組成材料與產製程序較複雜、變異性大，甚至拌合時之材料添加順序都會影響混凝土性質，如再加上橋墩多變的外型，及工期緊迫等因素，混凝土施工更須特別注意。因此自充填混凝土在應用時，宜先對可能發生之問題，做有效考慮與預防，始能確保自充填混凝土達到使用目的。本文將介紹幾件近期採用自充填混凝土施工之橋梁工程，包括中山高五楊高架工程（照片 1 與 2）、台北市社子大橋（照片 3）、台中鐵路高架橋工程（照片 4）及高雄港聯外高架道路工程等案例，其中除尚未完工之高雄港聯外高架工程外，已完成之三項工程於近兩年共獲得四項工程會品質「金質獎」。文中將說明自充填混凝土之使用情形，並探討採用自充填混凝土之考量、預拌廠的產製技術、施工作業與配套措施等問題，並對相關查驗事項提供建議，以為爾後相關工程之參考。

自充填混凝土的結構特性與標準

自充填混凝土主要是利用控制其粒料粒徑、配比與化學摻料等方式，來降低粒料間流動之摩擦力與提高黏稠度，使材料容易通過鋼筋間隙，流至各角落，提昇混凝土之流動性與抗析離性。且因混凝土能充填密實，使其強度與耐久性能較高。一般採用自充填混凝土之案例，除考慮其具有良好充填能力外，常亦是



照片 1 五楊高架工程 (一)



照片 2 五楊高架工程 (二)



照片 3 社子大橋



照片 4 台中鐵路高架橋工程

以改良混凝土性質為手段，來達到確保構造物品質與可靠度之目的，並亦藉由良好與確實的充填，提高鋼筋混凝土構造物之整體品質及耐久性。

當然，為使自充填混凝土具有理想之自充填能力，在相關施工規範中會規定自充填混凝土之試驗標準，其試驗項目包括自充填能力、流動性、黏稠性，其合格標準一般是依鋼筋最小間距來分級，常分為三等級，例如鋼筋間距最小之兩等級標準如表 1 所示。

表 1 自充填混凝土相關試驗規定

| 混凝土自充填性能之等級 | | 第 1 級 | 第 2 級 |
|-------------|------------------------|----------------|----------------|
| 鋼筋最小間距 (mm) | | 35~60 | 60~200 |
| 自充填能力 | 箱形試驗之充填高度 (mm) | 300 以上 (R1 障礙) | 300 以上 (R2 障礙) |
| | 流動性 | 坍流度 (mm) | 650~750 |
| 黏稠性 | V 型漏斗流下時間 (sec) | 10~25 | 7~20 |
| | 到達 500 mm 坍流度之時間 (sec) | 5~20 | 3~15 |

其中，自充填混凝土需有足夠黏稠度之考慮，係為避免材料產生析離現象，並使材料之均勻性能優於傳統混凝土。其中，自充填混凝土以減少粗粒料用量（約為傳統混凝土之 80%）、限制粒料最大尺寸與增加化學摻料用量至臨界狀況，均可避免因高流動性而造成材料析離；另自充填混凝土普遍使用較大量再生材料，如飛灰、爐石粉、矽灰等礦物摻料，亦可增加漿體之比重及稠度，使具有足夠懸浮力量，讓粒料能均勻懸浮於漿體中、不下沉，以達到材料不析離之目的。

本文所探討之橋梁工程

本文所介紹與探討之工程有下列四案例：

- (1) 中山高五股楊梅拓建工程：本工程為接續汐止五股拓建工程，沿中山高兩側設置高架道路，以提高中山高之交通容量，本工程自五股至楊梅共約 40 公里，於 102 年已完工通車。本文所考量之五楊高架工程為其中之北段與中段，包括其中之 C901 標

至 C909 標，南北共長約 28 公里，其中 C904A 標與 C909 標分別獲得 101 年與 102 年品質「金質獎」之特優獎，完成後之橋墩結構如照片 5 (C903 標)、照片 6 (C905 標)。

- (2) 台北市社子大橋：本工程位於社子與北投間，跨越基隆河，採斜塔柱二跨連續不對稱跨度斜張橋，採塔梁固接自錨式系統，主跨 180 m，是國內第一座此類型結構型式之斜張橋。本工程因橋址位在河畔休閒活動、景觀生態區，台北市都市設計審議委員會對其橋墩造型有相關要求，本工程於 102 年 10 月已完工通車，主橋段工程並於前年獲得公共工程品質「金質獎」，本橋橋墩完成後之情形如照片 7。
- (3) 台中鐵路高架橋工程：本工程位於台中市，計畫內容為將自豐原車站以北約 2 公里處至大慶車站以南，共約 20 公里長之台鐵路線改建為高架鐵路，包含高架橋工程與改建、新建 10 個高架車站。本工程全線預定於民國 106 年中完成，其中有部分高架橋段工程已完工，其中 CCL331 標於 102 年獲得品質「金質獎」，其施工完成情形如照片 8。
- (4) 高雄港聯外高架道路工程：本工程係為改善高雄港區周邊道路容量不足及解決客貨車衝突問題，自中山高速公路末端起，沿高雄市漁港路與新生路南、

北段設置高架道路，包含中山高延伸段與商港區銜接路段共約 5 公里。本工程之橋墩與上部預力梁全採預鑄節塊，現正施工中，其中部分已完成之結構如照片 9。



照片 5 五楊高架 (C903 標)



照片 6 五楊高架 (C905 標) →



照片 7 社子大橋



照片 8 台中鐵路高架工程



照片 9 高雄港聯外高架工程

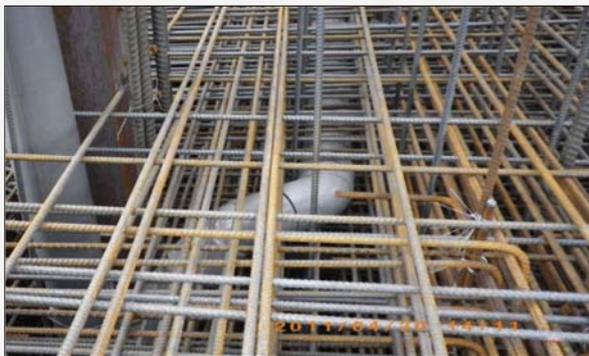
使用自充填混凝土的考量

本文所介紹之案例，不論上部結構為鋼梁或預力混凝土梁，使用自充填混凝土之位置都為橋墩柱，主要考量橋墩結構內之鋼筋量普遍較高，且高度高、斷面小，使混凝土之澆置作業困難，如照片 10 ~ 13，使混凝土之澆置作業困難，故乃藉由採用自充填混凝土，期能克服澆置困難與提昇工程品質。此外，在各案例中之工期普遍均較為緊迫，而自充填混凝土由於流動性高，施工可較快速，能縮短工期、減少勞力。

另外，各案例亦配合採用自充填混凝土而提高混凝土設計強度，以縮小斷面尺寸。各案例之混凝土設計強度均

在 350 kgf/cm^2 以上，甚至五楊高架工程、高雄港聯外高架工程中尚有部分橋墩是使用更高設計強度之 420 kgf/cm^2 。

至於上部結構中之預力混凝土梁，未使用自充填混凝土之主要原因，包括：1. 上部結構普遍有較大坡度，而自充填混凝土因流動性高，具自平性，對有坡度之結構體不易澆置；2. 考量自充填混凝土材料因漿體多，材料潛變性會較大，雖其充填性好，可增強對鋼筋之握裹能力，而有助降低混凝土之應變，但整體而言，仍有可能導致較大預力損失；3. 預力混凝土梁內之鋼筋比一般較橋墩柱少，結構體深度亦較小，混凝土澆置之困難性原本即不如橋墩柱高。因此，一般而言上部結構甚少採用自充填混凝土之案例。



照片 10



照片 11



照片 12



照片 13

自充填混凝土之配比

自充填混凝土之基本原理是利用水中懸浮性較佳之粉體材料，來托住細粒料，阻止細粒料下沉與堆積，再藉由細粒料阻止粗粒料下沉，使所有材料皆能懸浮於拌和水中，以降低粗粒料流動時之摩擦力至最低，使自充填混凝土能有良好充填性及均勻性。

為達到前述性能，充填混凝土之配比設計觀念將與傳統混凝土略有不同，其中對材料將有多項限制，諸如：限制粗粒料之最少用量、細粒料率（S/A）及使用化學摻料，並須為低水膠比、使用高粉體量（飛灰、爐石粉、水泥、石灰、石粉等）。

各案例之自充填混凝土配比均依此原理進行設計，並先由施工承商提送配比設計與澆置計畫，經監造單位審查，以及驗廠、試拌、廠拌與各項試驗，來確定可符合需求，並作為後續施工時之品質管控制據。本文所舉案例之材料用量分別如表 2 及表 3。

表 2 350 kgf/cm² 自充填混凝土之材料用量

| 項目 | 五楊高架 (C909 標為例) | 社子大橋 | 台中鐵路 高架 | 高雄港聯 外高架 |
|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 水膠比 | 0.39 | 0.355 | 0.4 | 0.381 |
| 最大粒料尺寸 | 19 mm | 3/4" | 19 mm | 19 mm |
| 水泥用量 | 250 kg/m ³ | 319kg/m ³ | 261 kg/m ³ | 262 kg/m ³ |
| 爐石用量 | 155 kg/m ³ | 162kg/m ³ | 166 kg/m ³ | 213 kg/m ³ |
| 飛灰用量 | 45 kg/m ³ | - | 48 kg/m ³ | - |
| 粗粒料量 | 801 kg/m ³ | 796 kg/m ³ | 760 kg/m ³ | 776 kg/m ³ |
| 細粒料量 | 925 kg/m ³ | 900 kg/m ³ | 880 kg/m ³ | 937 kg/m ³ |
| 用水量 | 170 kg/m ³ | 164 kg/m ³ | 181 kg/m ³ | 174 kg/m ³ |
| 坍流度 (cm) | 65 ~ 75 | 55 ~ 70 | 60 ~ 70 | 65 ~ 75 |

表 3 420 kgf/cm² 自充填混凝土之材料用量

| 項目 | 五楊高架(C903 標為例) | 高雄港聯外高架 |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| 水膠比 | 0.34 | 0.353 |
| 最大粒料尺寸 | 19 mm | 19 mm |
| 水泥用量 | 275 kg/m ³ | 275 kg/m ³ |
| 爐石用量 | 175 kg/m ³ | 225 kg/m ³ |
| 飛灰用量 | 50 kg/m ³ | - |
| 粗粒料 | 877 kg/m ³ | 806 kg/m ³ |
| 細粒料 | 871 kg/m ³ | 898 kg/m ³ |
| 用水量 | 170 kg/m ³ | 169 kg/m ³ |
| 流動性/坍流度 (cm) | 60 ~ 70 | 65 ~ 75 |

自充填混凝土應用在頂面有斜度之方式

雖自充填混凝土因流動性高，具有自平特性，並不適合應用在頂面有斜度之結構體，惟在所介紹案例中，如五楊高架工程 C903 標之高橋墩中有部分帽梁頂面斜度（如圖 1 所示）在 3% 以上，最大甚至達 5%，為各案例中坡度最大之情形。為使自充填混凝土能應用於有坡度之結構體，該工程於施工時曾經進行相關研究與測試來克服此問題。

一般要使自充填混凝土之頂面能有斜度，可於混凝土接近初凝時，以人工推送方式來達成，但須注意避免因推送動作而造成材料析離與強度降低。為此，該工程於施工前，曾先研究與比較多種配比之流動性與初凝時間，並經實際試驗，發現依所採用之配比（表 3），如更精確控制坍流度在 65 ~ 67 cm、V 型漏斗流下時間為 8.5 秒之條件下，約經一、二十分鐘後，可以自高處流向低處之自然澆置方式形成 3% 內坡度，

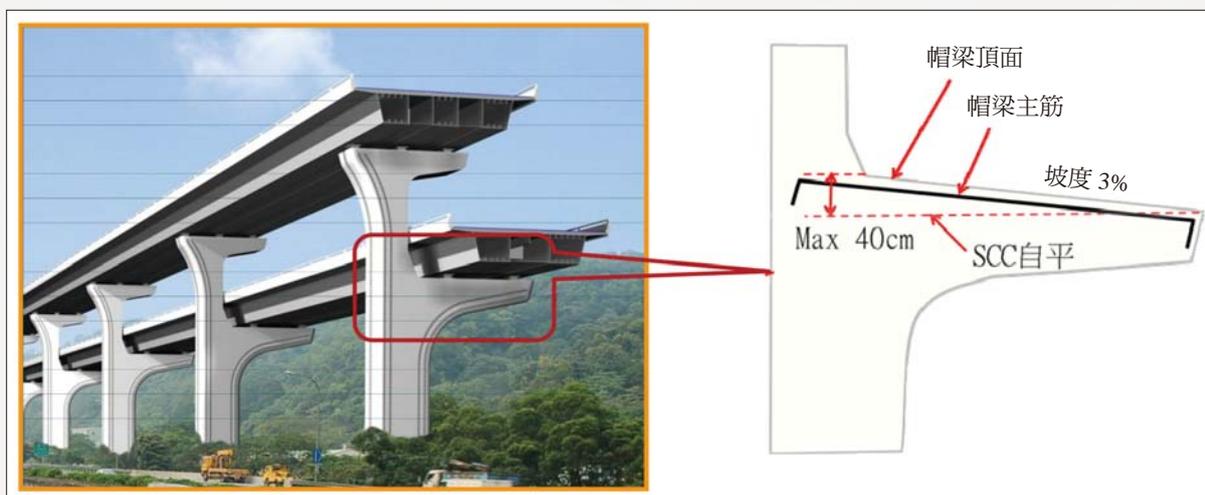


圖 1 SCC 應用於頂面具斜度之橋柱帽梁

如照片 14，並在停留未超過初凝後約 30 分鐘，再輔以人工推送方式可形成到 4.5% 坡度。該工程並依所研擬之配比，先製作一試體（照片 15），以驗證其可行性及瞭解各項施作時須注意之細節。

依該案例，如自充填混凝土之配比如合適，可以放慢澆置速度，使在實際坍流度略降低時，以自然澆置方式形成約 3% 左右之坡度，若再等待些許時間，配合人工推送動作，可達到約 5% 之坡度，使自充填混凝土亦能適用於有小橫坡之結構體。當然對有坡度之自充填混凝土，更須注意漿體之膠結強度，使不至於降低強度與造成浮漿、粗粒料下沉現象，另外澆置後之養護亦是此種有坡度結構體之重要管控因素。



照片 14



照片 15

使用自充填混凝土之效益

對上述案例，自充填混凝土之使用效益及優點綜整如下：

1. 可減少混凝土之水泥用量，降低材料成本，具有經濟性。

因採用如高爐石粉等卜作嵐材料取代水泥，可減少水泥使用量。依參考文獻 (8)，其單位水泥用量之比較如下表所示。由於自充填混凝土較一般混凝土減少水泥用量，除能降低混凝土成本外，亦可減緩地球溫度上升之「暖化效應」，保護生態環境，故自充填混凝土可視為「綠色混凝土」。

| 強度等級 | 一般混凝土 單位水泥用量 | 自充填混凝土 單位水泥用量 | 減少水泥用量 |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 350 kgf/cm ² 級 | 475 kg/m ³ | 255 kg/m ³ | 220 kg/m ³ |
| 420 kgf/cm ² 級 | 500 kg/m ³ | 265 kg/m ³ | 235 kg/m ³ |

例如：台中鐵路高架橋自充填混凝土使用量為 50,800 m³，約可節省 8,380 t 的水泥用量。另因自充填混凝土之高強度，亦可減少橋墩尺寸，此部分估計約減少混凝土用量 2,732 m³，以及鋼筋量 316 t。

2. 因充填密實，能有較佳之耐久性。

除自充填混凝土因具有良好充填性，可使混凝土充填密實，提高耐久性外，自充填混凝土中之卜作嵐材料，亦有助於耐久性能，因依相關實驗顯示，卜作嵐材料能充填顯微孔隙、改善粒料及漿體間界面、增加鍵結強度及緻密性，均有助於耐久性能。

3. 使用工業生產時副產品，可降低環境污染。

使用卜作嵐材料，除可減少水化熱、避免產生收縮裂縫外，因卜作嵐材料中之爐石、飛灰為工業生產時所衍生之工業副產品，過去常造成環境污染。採用自充填混凝土將可配合需要，使用適當數量之爐石與飛灰，因此可降低對環境污染，符合環保需求。

4. 具有節能減碳的效益。

依工程會之報告，利用爐石替代水泥每噸約可減少 CO₂ 排放量 0.79 t。例如以臺中鐵路高架橋工程為例，其水泥用量約為 50,800 m³，若以爐石可取代 30% 的水泥量，並以一般混凝土水泥用量 310 kg/m³ 來計算，該不到 20 公里之鐵路高架橋即可減少 CO₂ 排放量約為 3,725 t，可彰顯節能減碳的環保效益。

5. 免振動搗實，可節省施工人力、機具成本，且外表平順、無蜂窩。

由於自充填混凝土具有良好充填能力，澆置時可免振動搗實，對於特殊、不規則造型的橋墩形式，只要能製作外模，即能使混凝土完整充填，不致有缺損、空洞，且能與鋼筋有良好握裹。本文所介紹案

例中，已完成之三件工程中即獲得四座「金質獎」。例如：社子大橋工程，不論 P4 橋墩之拱橋造型、P5 及 P6 橋墩之 V 型造型，均能呈現外表平順、富變化之造型，符合台北市都市設計審議委員會之要求。對於五楊高架工程之 C903 標，自充填混凝土亦使高度高、內部鋼筋量多，又有鋼構斷面與預力鋼腱之雙層橋面橋墩之表面，不但能呈現平順外觀，且均能無缺損與蜂窩情形。

而台中鐵路高架橋工程在高架車站路段，因配合車站空間使用需求，橋墩尺寸須大幅縮小，使墩柱內之配筋更為緊密，該工程在自充填混凝土之使用下，不但解決澆置困優，亦大幅節省施工成本。

自充填混凝土施工時之注意事項

採用自充填混凝土除考量提高工作度外，對於施工品質最重要是要增進混凝土表面之平整性與避免斷面有缺損，尤其要避免氣泡孔（照片 16）。惟自充填混凝土因黏滯性高，施工時又不須振動，因此若澆置速度太快，在無足夠距離前即接觸模板，或於下料時因有衝擊動作，而增加空氣混入，或因模板表面之粗糙度過大，而導致空氣滯留等因素，都將會使混凝土中之空氣不易排出，而在面附近形成氣孔，甚至有孔徑較大之「砂眼」情形。

此種氣泡孔問題為採用自充填混凝土之最常見問題，此現象一般是與混凝土澆置作業較有關係，例如對有氣泡孔之橋柱，其各側邊之氣泡孔數量常會有不相同，有些邊較多、較大。因此，採用自充填混凝土時，除要管控材料、注意拌合外，施工時亦宜注意澆置作業，其中主要須注意事項有：

1. 澆置口位置：自充填混凝土澆置時，現場人員應注意泵送管線及卸料口之位置，其配置必需確保自充填混凝土有適當的流動距離，不能如一般混凝土之澆置習慣，任由工人擅自移動管線，以避免產生氣孔或造成冷接縫。
2. 供料管制：現場澆置速率與預拌廠之供料須要互相配合。於施工過程中，應隨時注意拌和廠內之運輸攪拌車待命車輛數，不得泵送太急，造成車輛無法接續或待命車輛過多，造成材料因待料時間太久，失去流動性，容易造成塞管與不利施工品質。

3. 為防材料析離，於澆置過程中，應避免使用振動棒搗實：為避免表面產生氣泡，應注意澆置速度不宜太快；或降低每次澆置高度；或可以採用如 PVC 空管或如照片 17 所示之排氣棒等設備，於模板內緣輕微的抽插；亦可使用木槌或膠槌敲擊外模。若發生阻塞於鋼筋間隙時，可以棒狀工具疏通，以盡力消除混凝土內的氣泡。
4. 泵送時需怠速泵送，並注意泵送車之能量，灌漿管出口距離混凝土面不可超過 30 公分，盡力避免材料析離。澆置口應事先規劃，並適時移動卸料口，不得任其自行流動過遠，以使粒料能均勻、避免產生析離，及防止填充不完全，造成蜂窩現象。
5. 應變計畫：因自充填混凝土之澆置細節均會影響品質，故工地需有應變計畫。常見諸如：泵送機械故障，是否有備用可供更換；若泵送時突因粉料太多，造成流動性不夠時，是否可二次添加化學摻料；是否有備用振動工具；對供料不連續時之因應方式等。
6. 模板之穩固：由於自充填混凝土的流動性高，施工時應特別加強模板強度，模版之側向壓力應以完全液體計算（比重可以 2.35tf/m^3 估計），並須注意模版支撐之穩固性及密閉性，以免發生移位變形、破壞或嚴重漏漿情形等。
7. 模板品質：模板表面因粗糙、光滑程度之不同，可能造成細微氣泡之產生，宜盡量防止；且模版表面如能平整光滑均勻，拆模後之表面可較不須再二次處理。
8. 用水量：自充填混凝土對單位用水量較為敏感，在產製前須確實測定粗、細粒料的游離水，否則，將因用水量不當而導致不良的後果。而在施工時，於包括運送、泵送及澆置過程中均嚴禁加水。另因化學摻料是和用水量有絕對關連，化學摻料的計量和貯存設備，須獨立設置，不得合用，其用量不論過或不及都將導致工作性失真。此外，運輸攪拌車在進入廠內裝載混凝土材料時，攪拌鼓內的清洗水都須充分洩出，以免影響用水量之準確性。
9. 監造單位於施工澆置期間應要駐廠監控品質，依核定之配比資料進行管控。並於預拌車到澆置現場時，要現場抽驗及製作試體，以利日後品質控制，尤其要嚴格管控拌合至完成澆置之時間。



照片 16



照片 17

自充填混凝土之養治

自充填混凝土由於是屬低水膠比、高粉體量之產品，因而用水量較少，相對在硬固過程中，因應水化熱的水量須再依賴外界水分來維持，否則容易產生乾縮裂縫，因此自充填混凝土之養治時機，宜較傳統混凝土早，尤其在天候炎熱、乾燥、風大、陽光曝曬的氣候，更應注意澆置完成後之初期養護時機。

對於大面積暴露之混凝土面，於澆置後至初凝時，須施以噴霧、灑水等不傷及混凝土表面之方式來養護，以嚴防混凝土表面迅速凝結及水份過快蒸發之情況，而造成混凝土表面會有微小塑性收縮裂縫。並應在澆置後初期（約 48 小時內），隨時觀察混凝土之乾縮情形。

對於無接觸模板之水平混凝土面，最好能於澆置後即以噴霧方式進行養治，直到全部澆置完成後、初凝時，再以麻袋或不織布覆蓋，施以水淹方式養治。

對於柱、牆等與模板接觸之垂直混凝土面，須避免模板太快拆除，以降低拆模後之結構體內部與表面間之溫度差，使能有效減少混凝土表面因乾縮而產生之髮絲裂縫。

自充填混凝土具革命性發展

自充填混凝土（SCC）為近年來混凝土界最具革命性的發展，由於其具有高流動、抗析離、自充填、免搗實之優良特性，為一能同時滿足優良耐久性、安全性、工作性、經濟性、生態性之高性能混凝土，對於提昇混凝土施工品質，具有實質效益。

但工程界對於自充填混凝土之應用，似仍存在原傳統混凝土之產製與施工觀念。本文是以介紹國道五楊高架工程、社子大橋、台中鐵路高架工程與高雄港聯外高架工程等較大型使用自充填混凝土之工程案例，期能增進工程界對自充填混凝土施工有更進一步之瞭解與認識，使能增快自充填混凝土之普及化腳步，達成提昇國內混凝土工程品質之目標。

參考文獻

1. 王泓文、楊景華、蔡益成、林曜滄、羅財怡、張純青，「大偏心單柱雙層高架橋之設計與施工 — 國道 1 號五楊拓寬工程」，土木水利第三十九卷第三期，2012 年 6 月。
2. 張純青、陳國隆、林曜滄、賴震川、張志斌、王泓文，「友善環境之路規劃設計 — 以泰山林口雙層高架橋為例」，首屆兩岸四地公路交通發展論壇，pp. 259 ~ 269，2012 年 10 月。
3. 王泓文、蔡益成、陳光輝、林曜滄、王炤烈、張荻薇，「大偏心單柱雙層高架橋之設計與施工 — 以臺灣國道 1 號五股楊梅段拓寬工程泰山至林口段為例」，第七屆海峽兩岸及香港鋼結構技術交流會，pp. 134 ~ 151，2012 年 11 月。
4. 張荻薇、王炤烈、張英發、游明益、宋裕祺，「具斜塔柱非對稱跨徑鋼斜張橋之設計與施工 — 台北市社子大橋新建工程」，中華技術第 89 期，民國 100 年 01 月。
5. 游明益、張英發、林曜滄、王炤烈、張荻薇、黃一平，「具斜塔柱鋼斜張橋之設計與施工 — 社子大橋」，土木水利第三十九卷第三期，2012 年 06 月。
6. 「新世代鐵路高架捷運化工程之規劃與設計 — 以臺中鐵路高架工程為例」中華民國第十一屆結構工程研討會暨第一屆地震工程研討會，民國 101 年 9 月。
7. 行政院公共工程委員會，公共工程施工綱要規範第 03315 章，「自充填混凝土施工要領」。
8. 行政院公共工程委員會，「第三代高速公路 — 國道 6 號南投段」節能減碳作為。