

林工處施工指導叢書 第壹輯：

鋼筋混凝土

結構工程作業實例

台灣省政府住宅及都市發展局
林口新市鎮開發工程處
處長 廖政治

編著

詹氏書局

第二章 模板倒塌實例探討

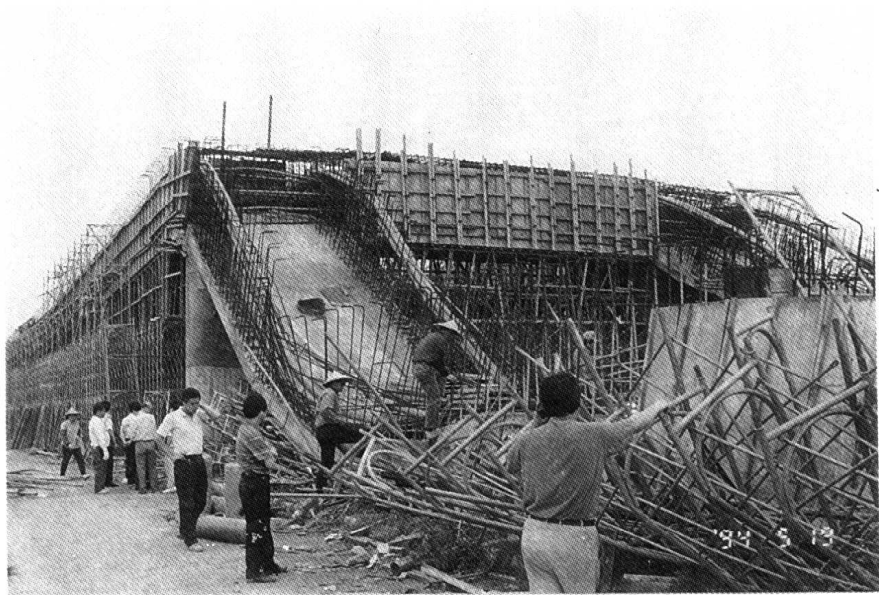
一、前言

本局東工處宜蘭工務所施工之羅東下四結立體交叉工程於83.5.16進行高架橋箱型樑牆灌漿時，突然發生塌模，使兩橋墩間早已施作完成之箱型樑底板塌落地面（相片一），造成十一人輕重傷，經83.5.19現場勘查發現，其模板施工不確實是發生塌模之主要原因，又鑑於83.3.14報端亦刊載臺南縣六甲鄉公所新建辦公大樓於進行三樓陽臺混凝土灌漿時亦發生樓面倒塌意外，造成二人死亡三人輕重傷事件（附剪報），均是模板施工不良所造成，今特就羅東鎮下四結高架橋塌模原因進行檢討，俾供本處同仁參考，避免重蹈覆轍。

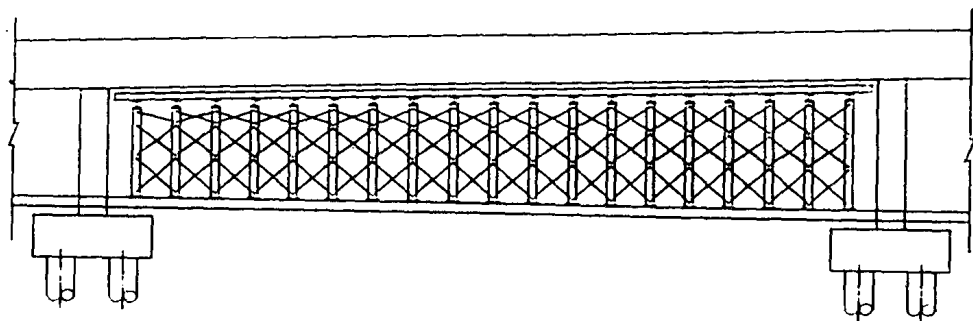
二、模板倒塌原因分析

- （一）羅東下四結高架橋長540公尺，寬20公尺，係一座箱型樑橋，設計圖上繪有場鑄 R.C 箱型樑重型鋼架支撐示意圖（如圖一），而承商並未照辦，由於箱型樑距地面7.7公尺高，承商乃採用一層4.2公尺高之鋼架支撐，和2.5公尺長之6cmX6cm角材支撐，其支撐型式和設計圖不符，依契約規定承商應提出施工圖和應力計算書經工程司核可後始得施工，若能確實事先要求承商提送，此次塌模意外當能避免。
- （二）經現場勘查發現第一層鋼架支撐相當牢固，並無變形情事，當不致於發生問題。第二層木材支撐及模板則有多處施工不當之處，應是本次塌模之主因。茲就其缺失分析如下：

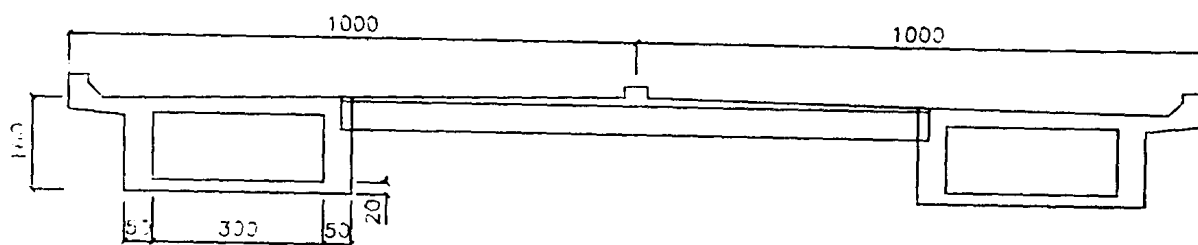
示	核	析分及項事間相	見 意 理 處	源 來 料 資
		擬傳聞同仁奉啟 擬選 李考	聯合報 刊 版 7 日 13 月 3 年 83	
客	內	料	資	
剪輯 83年3月14日	灌漿樓面倒塌 工人二死三傷 記者採訪／六福新聞 位於台北市中山區六福大樓，昨晚（十三日）下午一時許，發生灌漿樓面倒塌意外，造成二死三傷，多人受傷，目前正由消防局派員調查中。	灌漿樓面倒塌 工人二死三傷 位於台北市中山區六福大樓，昨晚（十三日）下午一時許，發生灌漿樓面倒塌意外，造成二死三傷，多人受傷，目前正由消防局派員調查中。	灌漿樓面倒塌 工人二死三傷 位於台北市中山區六福大樓，昨晚（十三日）下午一時許，發生灌漿樓面倒塌意外，造成二死三傷，多人受傷，目前正由消防局派員調查中。	灌漿樓面倒塌 工人二死三傷 位於台北市中山區六福大樓，昨晚（十三日）下午一時許，發生灌漿樓面倒塌意外，造成二死三傷，多人受傷，目前正由消防局派員調查中。



相片一



圖一 場鑄 P.C 箱型樑重型鋼架支撐示意圖 s:1/150



圖二 場鑄 P.C 箱型樑重型鋼架支撐剖面圖

1. 木柱強度不夠：

(1) 工程契約施工說明書，住公—104規定，其尺寸末徑90公厘以上。

(有效截面積約 81cm^2 ，本工程使用 $6\text{cm}\times 6\text{cm}$ 者，截面積 36cm^2 ，只有規定之44.4%，不到一半。顯然有減料之嫌)。

(2) 所用 $6\text{cm}\times 6\text{cm}$ 支柱細長比為 $3.46\times (Lk/d)=3.46\times (250/6)=144.2$ ，雖然在150以下，但接近臨界點，144.2之挫屈係數為約6.9。

(3) 其所受壓縮應力 F_c 為

$F_c =$ 容許壓縮應力為 $60\text{kg}/\text{cm}^2$ (柳安木，技則第184條)

$$F_c \geq wN/A$$

木柱間距60cm

$$N = (a) \text{slab. } 2,400\text{kg}/\text{m}^3 \times 0.6(1.6 \times 0.5 \times 2 + 3 \times 0.2 \times 2)$$

$$= 4,032\text{kg}$$

$$400/60=6.7 \text{ 用 7根柱}$$

$$4032/7=576$$

$$(b) \text{衝擊荷重 } 576 \times 1/2 = 288\text{kg}$$

$$(c) \text{作業荷重 } 150\text{kg}/\text{m}^2 \times 0.6 \times 0.6 = 54\text{kg} \text{ (附冊P2-28)}$$

合計918kg

$$F_c = 918 / (6 \times 6) = 25.5 < 60\text{kg}/\text{cm}^2 \quad \text{ok}$$

考慮細長比之容許應力

$$F'_c = 0.3E / (l/d)^2 = 0.3 \times 7 \times 10^4 / (250/6)^2 = 12.1$$

$$F_c = 25.5 > F'_c \quad \text{NG. 建技規則196條}$$

2. 大角材強度不夠

(1) 相片二，橫格柵顯然已變形

(2) 按合約規定，大格柵 (大角材)，尺寸為 $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ (住公—104)。

(3) $P=918\text{kg}$

$M=Pl/4=918 \times 60/4=13770$

$S=6 \times 6^2/6=36$

$f_b=13770/36=382.5\text{kg/cm}^2$

容許 $F_b=100\text{ NG}$.

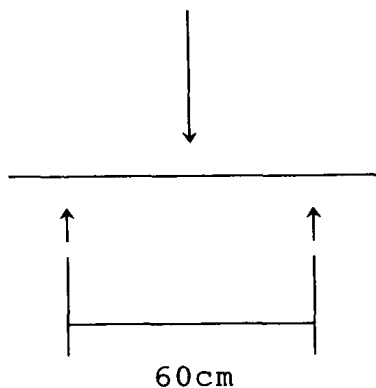
若大格柵使用 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$

$S=10 \times 10^2/6=166.67$

$f_b=13770/166.67=82.62\text{kg/cm}^2$

$<F_b=100\text{kg/cm}^2$

則尚不至於變形



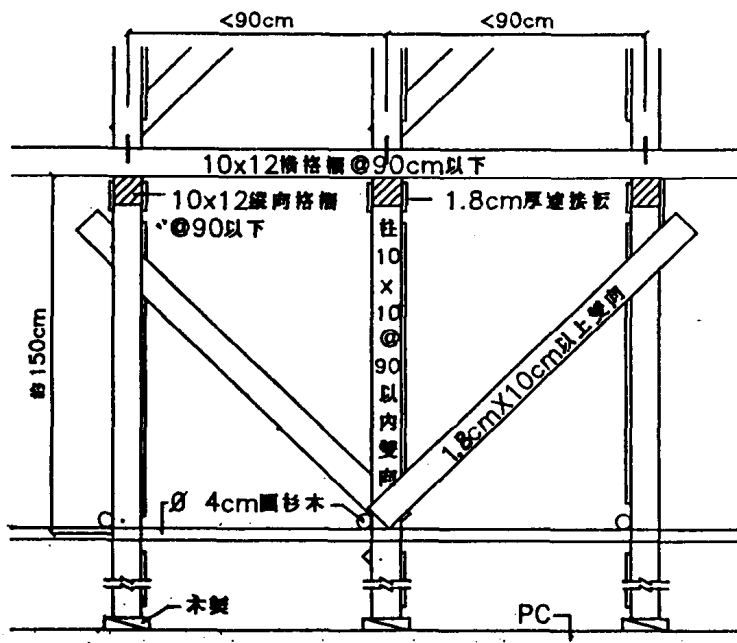
60cm

3. 支柱連接方法不對

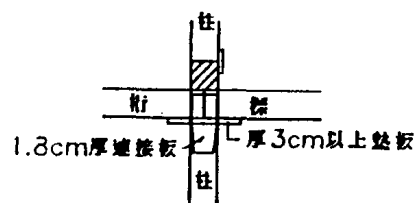
(1) 本工程橋版太高，故下層以鋼管架支撐，上層以木材支撐。兩層接處有諸多錯誤。

(a) 上層柱與下層支撐架應成一直線，使兩層接點不發生彎曲等其他應力。

(b) 上層柱與其上下水平大格柵未以木楔及螞蝗釘固定，如圖。

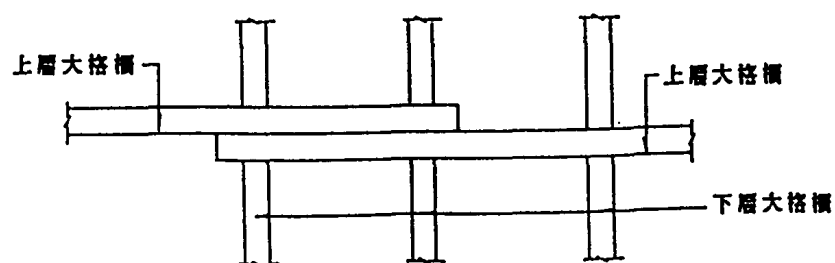


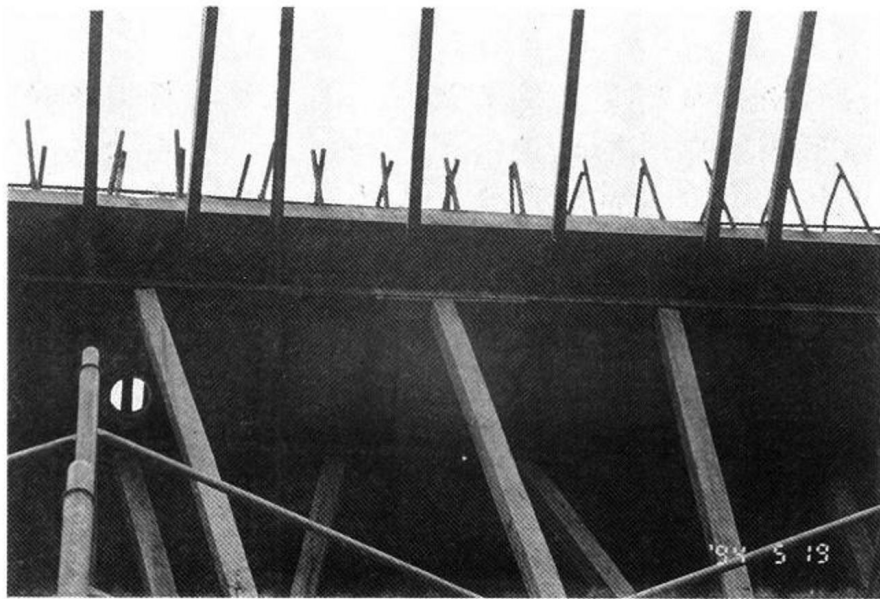
圖三 模板支柱連接正確方法



圖四 桁架接法

(c) 橫水平大格柵要有縱橫雙向，其下層大格柵之接法應如圖四，以 3cm 厚，長大於柱寬 3 倍之墊版在柱上連接，上層大格柵應錯接，使每支大格柵末端皆有支承。



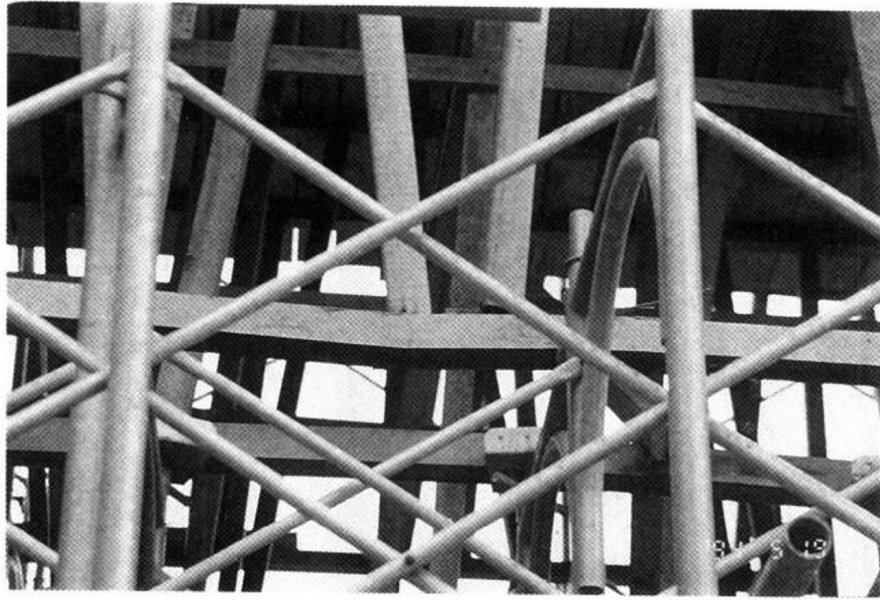


相片二 大格柵錯誤組立方式

相片二兩支大格柵對接且僅以一板條做底墊，當灌漿時產生振動，大格柵極易倒落。正確作法模板應有兩層大格柵，當大格柵長度不夠時需用錯接，並固定於另一大格柵上，如相片三。

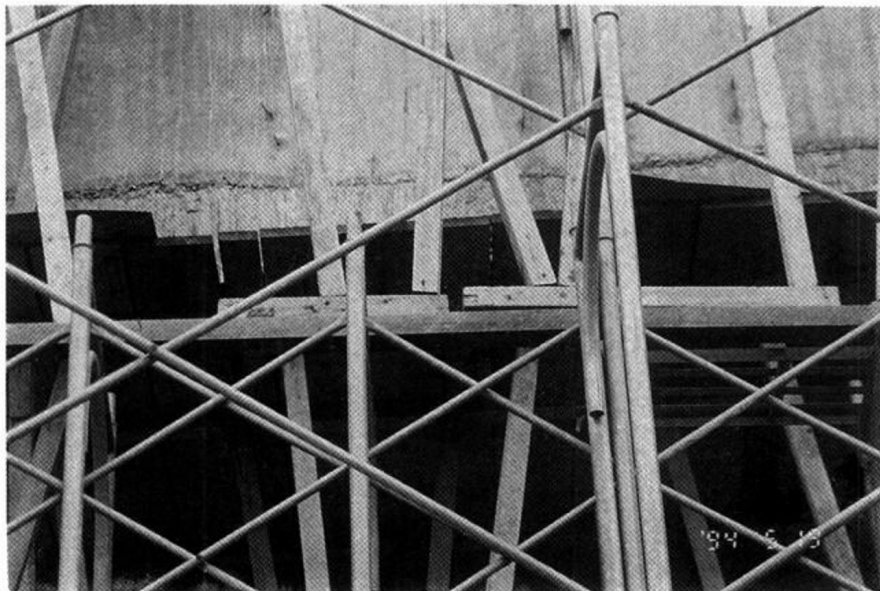


相片三 大格柵正確組立方式



相片四 垂直支柱不可以集中荷重方式接至水平角材

垂直支柱至水平角材上形成一集中荷重使角材彎曲甚至斷裂該支柱將無法發生作用可能造成支撐應力不足而倒塌。應如相片五在水平角材加置一與支柱同尺寸之角材，將支柱之應力平均分佈於角材。



相片五 水平角材加置一與支柱同尺寸角材，使垂直支柱應力平均分布於角材



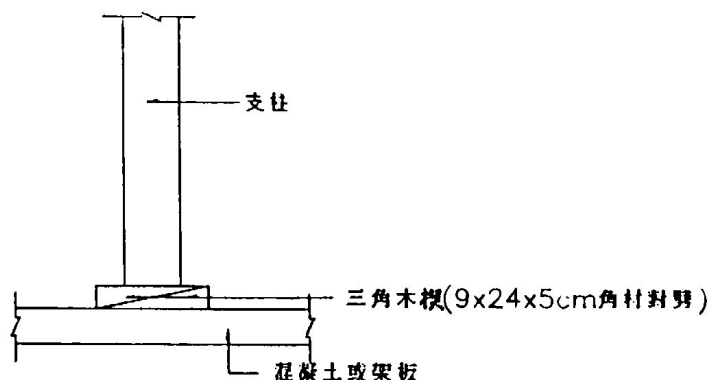
相片六 角材錯誤施工方式

相片六為角材錯誤施工方式

- (1) 角材支撐未垂直放置
- (2) 兩角材支撐間未加任何板條連接

正確施工方式

- (1) 木支撐底部須墊置二塊三角木契 (9X24X5cm角材對劈)
，以調整高度並減少滑動及保持支撐之垂直度，若支撐底部為軟弱土層或新填土時，宜先夯實並鋪置木板或先搗築一層混凝土，如圖三。
- (2) 支撐前後須左右連繫固定，繫材之寬度不得小於其所連接柱之較小邊寬度厚度不得小於其所連接柱之較小邊寬度之三分之一。(建築技術規則第178條。)



圖三 木支撐底部正確做法

箱型樑牆及版之模版僅有襯版、小格柵及橫大格柵三層，而無縱大格柵，依規定模板均要有上述四層。

下圖係高速公路拓寬工程，其橋墩使用鐵模施工，但亦有襯版、小格柵及縱橫大格柵等四層：故拆模後橋墩並無變形之情事，何況是使用木模更應確實依規定施工以確保工程品質。



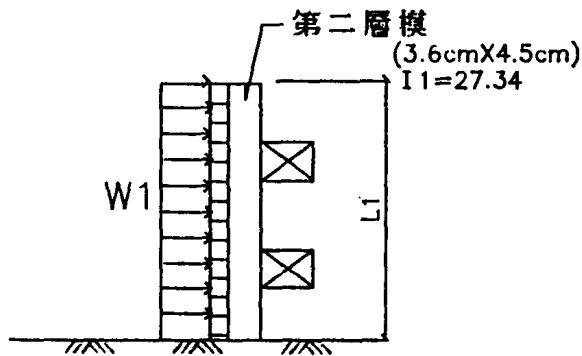
相片七 三層模強度不足



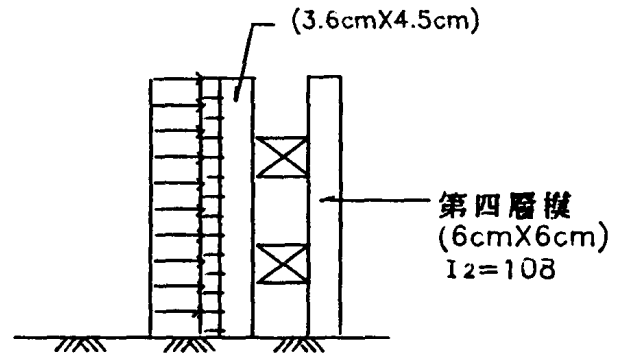
相片八 高速公路拓寬工程橋墩採用四層模，確保強度及勁度

三層模和四層模差異性討論：

由P8上所附之相片，切剖面圖可以分爲圖四所示。若另加一層大格柵（9cmX9cm）其剖面圖則可如圖五所示。茲繪圖如下：



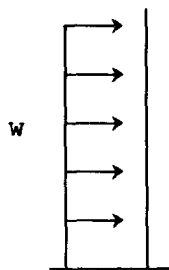
圖四 三層模之情形



圖五 四層模之情形

討論：

$$\text{use } \delta_1 = w_1^4 / 128EI$$



δ_1 ：撓度，滿足規範規定

CASE1. 三層模

$$\text{use } E1 = 7 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$$

$$I1 = 27.34 \text{ cm}^4$$

$$\delta_1 = w_1^4 / 128EI1$$

CASE2. 四層模

$$\text{use } E2 = E1$$

$$I2 = 3.95I1$$

$$\delta_2 = w_2^4 / 128E2I2 = w_2^4 / 128E1(3.95I1)$$

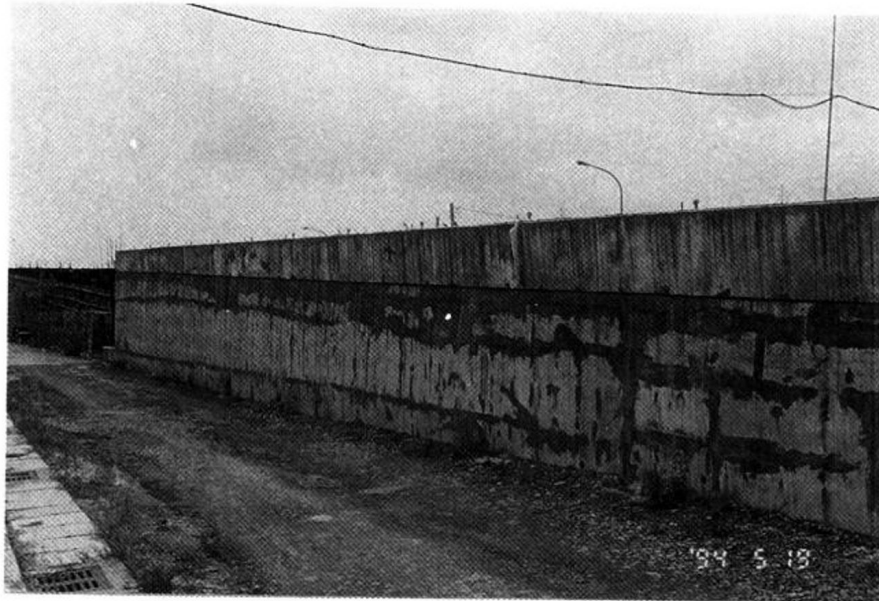
由CASE1, CASE2可知 $W2 = 3.95W1$

$$\Delta w / w_1 = 2.95$$

因此使用四層模板，可使假設工程增加 2.95 倍之安全性。

三、本工程其他部份施工缺失分析

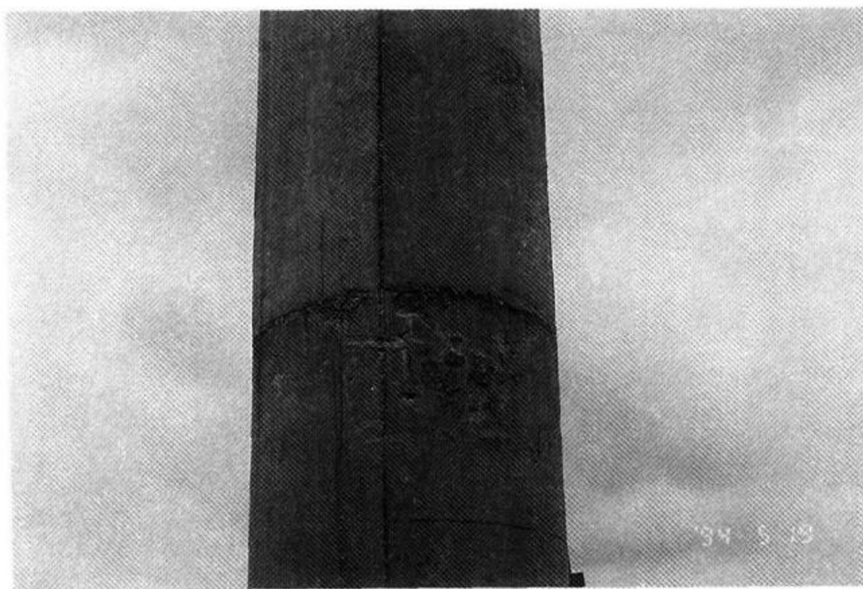
- (1) 高架橋側壁拆除後，表面不平整，事後再以水泥砂漿粉抹極不美觀。



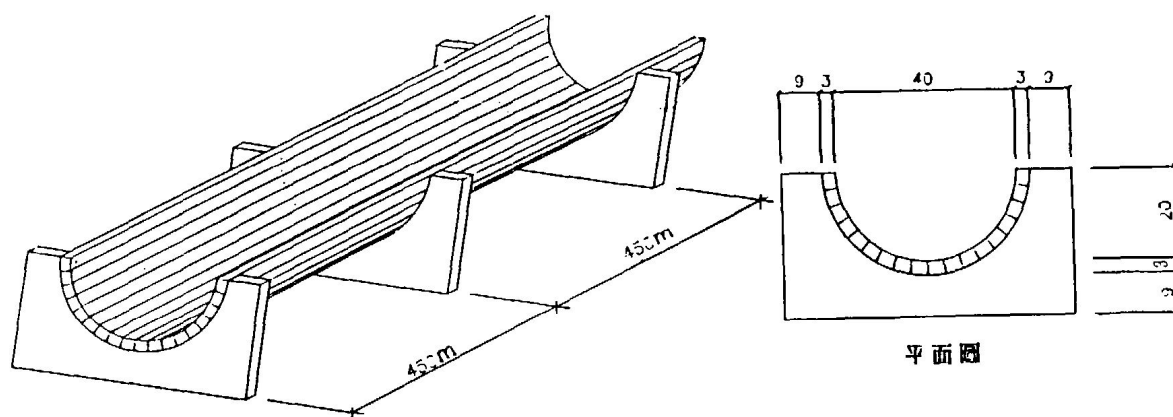
相片九 高架橋側牆表面不平整、不美觀

其原因可能為模板組立前未清理乾淨有殘餘砂漿致表面不平整，或模板組立前未塗油，致部份砂漿附於模板上，或混凝土澆置時未充份搗實有蜂窩現象。

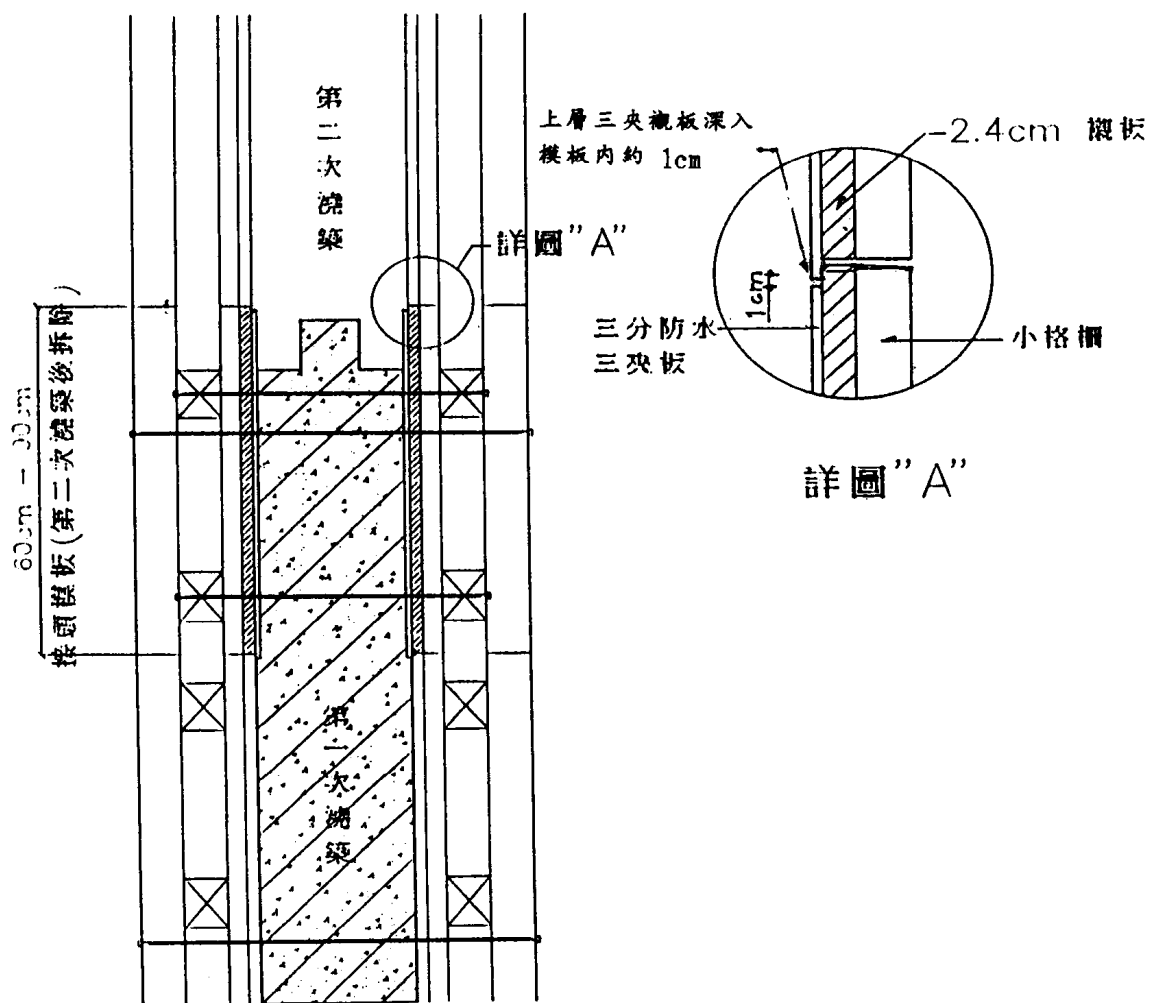
- (2) 圓形橋墩分層澆築混凝土時於上層混凝土澆築時，下層模板不能拆除，或設置接頭模板（圖六），即不會有圖上接頭不平整之現象，有礙觀瞻。圓形模板之製作以3.6cm厚木板鋸成圓弧狀，再以3cm厚之木條採門縫形釘製如下圖，內部再加釘防水三夾板。



相片十 橋墩分次澆築處接頭不平整



圖六 圖模正確作法示意圖



圖七 牆柱二次澆築交接處施工方式

四、模板應力計算公式

模板工程佔工程費約為鋼筋混凝土構造物35%，然模板為假設工程，在設計圖面上無法詳細規定，一般僅在合約中規定所用材料之大小。合約對模板之要求非常嚴格，以本局施工說明書住公-104對模板材料尺寸規定，大角材尺寸至少90mm×90mm以上，現今工程甚少採用此規格之材料，本處有鑒於現場實際情形與合約規定差異太大，因此同意承商依據相關規範，提送模板應力計算併同模板施工圖送審，本處審查合格後，承商可據此施工圖所繪製之組立、尺寸、間距及規格作為檢查標準，一方面施工有所依據，另一方面可確保模板強度。

本節將本處審查模板應力計算書時所依據之相關規範提出，可供工程從業人員參考，分為各構件適用之應力分析公式及依據二部份：

(一) 各構件適用之應力分析公式：

本處規定模板工程應含有四層模，即襯板、小格柵、第一層大格柵及第二層大格柵。

公式整理一覽表中針對上述四層模所受力各種公式列出含：

- (1)彎曲應力檢討
- (2)撓度檢討
- (3)剪應力檢討

(二) 依據：

除應力分析公式外，另所有相關規範對材料性質、緊結器強度及容許應力之規定，計算結果必須合乎容許之規定：

- (1)模板側壓力計算表：依據日本建築學會JASS.5之5、8、2模板側壓力計算表。
- (2)緊結器強度：依據林耀煌編著之「營造工程模板及支撐設施標準研究」。
- (3)容許應力之規定：依據建築技術規則184條規定。