

模板支撐結構設計

【問】：

某橋梁工程因於澆置混凝土施工中發生模板支撐系統倒塌意外事件而受主管機關開立停工處分，嗣後辦理復工審查會時，審查意見提有「模板支撐結構設計除考量「構件強度」外，設計者宜考慮整體構架之結構系統強度」。

模板支撐結構可依據我國「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」進行設計。該規範 § 4.7 節(P- Δ 效應)規定：「構架設計時須考慮 P- Δ 效應之影響，P- Δ 效應可直接作二次應力分析求得，……」。請問模板支撐結構之設計是否有必要進行「P- Δ 效應影響作二次應力分析」？

【答】：

模板支撐結構係為了提供結構物將混凝土搗築在定位，因此模板支撐結構必須用盡各種方法來限制總側向位移量(Δ) 在結構物設計位置施工容許誤差值範圍內，例如採斜撐或拉鋼索等系統，否則結構物之完成位置會偏離設計位置太多。故工程實務上，模板支撐結構系統不應該有太大之側向位移量(Δ)，亦即 P- Δ 效應的問題並不顯著。

構架同時承受垂直及水平力時，水平力所造成之水平位移對垂直力而言乃一偏心距，而此偏心距加上垂直力的作用即對構架產生二次彎矩，一般稱此為 P- Δ 效應。P- Δ 效應會導致每一層樓之梁、柱構材承受額外之彎矩及額外之樓層水平位移，且其效應隨外力（垂直及水平力）之增大而增大。無斜撐系統構架之水平勁度通常比含斜撐系統構架低，水平位移較大，因而其 P- Δ 效應也就比較顯著。惟不論構架是否含斜撐或鋼索系統，構架之設計皆須將 P- Δ 效應納入考慮範圍。

另依現行「結構混凝土設計規範」第 3.12.4.2 節規定：「樓層若依下式計得之穩定指數 Q 不得超過 0.05，則該樓層應亦可判定為無側移……」。亦即，可忽略 P- Δ 效應的影響。

$$Q = \frac{\sum P_u \Delta_o}{V_u l_c}$$

式中：

$\sum P_u$ = 樓層之設計總垂直力。

V_u = 樓層之設計總剪力。

Δ_o = 樓層承受 V_u 時之一階分析頂與底相對變位。

l_c = 受壓構材之全長，為樓層兩節點之中心距。

若側向位移量值達須考慮 P- Δ 效應的影響時，依現行「鋼結構設計規範」第 4.7 節(P- Δ 效應)之規定：「構架設計時須考慮 P- Δ

△效應之影響，P－△效應可直接作二次應力分析求得，或以第八章之簡化公式計算」。

由 4.7 節之解說亦規定：「……設計者可以線性分析結果，在設計構材時採用本規範第八章之公式來修正構材之設計強度」。第八章之公式如下：

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F_a}) F_{bx}} + \frac{C_{my} f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F_a}) F_{by}} \leq 1.0 \quad (8.2-1)$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (8.2-2)$$

當 $f_a / F_a \leq 0.15$ 時，可以公式(8.2-3)取代公式(8.2-1)與(8.2-2)：

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (8.2-3)$$

由以上規範之規定顯示，模板支撐結構設計時，對整體構架之 P－△效應影響，可以已考慮 P-△效應之線性分析結果(ETABS 程式有此功能)，在設計構材時採用本規範第八章之公式來修正構材之設計強度即可。