

「2020 中華民國營建工程學會第十八屆營建產業永續發展研討會」

管制圖法在建築工程上之應用

-國立聯合大學第6宿舍工程混凝土品控為例

謝佳龍 (Chia-Lung Hsieh)

國立聯合大學土木與防災工程學系

陳博亮 (Bor-Liang Chen)

國立聯合大學土木與防災工程學系

摘要

本文以國立聯合大學第6宿舍新建工程為例，對於混凝土材料品質管控分別於施工階段初期及中期提出不同的統計分析方法，工程初期混凝土取樣數據量較少 ($n \leq 10$)，採用平均數—全距管制圖 ($\bar{x}-R$ Chart) 作為管控方法，平均數管制圖用於管制品質之集中趨勢，全距管制圖用於管制品質之離散程度，混凝土初期製程管制宜先用全距管制圖使製程穩定，再用平均數管制圖求平均數維持理想目標。工程中后期因已累計一定數量之混凝土抗壓數據 ($N \geq 25-30$)，足以滿足分析所用，故常以標準差或變異係數表示工程品質之不均勻性，其值愈大表示愈不均勻。並藉由資料分析所得混凝土抗壓強度之平均數及標準差，以其設定管制圖的上下界限，並以管制圖3種基本異常現象，判定有無異常原因存在。

關鍵字：混凝土品質管控、混凝土抗壓數據、管制圖

一、前言

公共工程通常包括設計、進料、施工、驗收及使用5大階段，因各品質管制階段之特性不同，每一階段之品質管制均可使用適當的統計方法進行統計分析，本文主要著重於國立聯合大學第6宿舍新建工程，於施工階段初期及中期針對混凝土材料，以不同的製程管制圖做為品質管控方法，其目標為控制混凝土材料製程之穩定，並符合材料標準及工程規範要求。

二、工程期初管制圖分析

本工程開工初期依據工程規範及施工需求，請混凝土供應商提供適當之混凝土配比設計，再採用送審通過之配比設計進行試拌與圓柱試體取樣、抗壓試驗，因新混凝土配比設計尚無圓柱試體抗壓數據之統計資料，採用試拌取樣之混凝土圓柱式體抗壓數據組數少，所建立之管制界限準確性較差，一般而言需蒐集一段

期間之數據，計算其平均數及標準差等，再根據以設定管制界限，管制後續之產品品質。

惟工程初期使用量少，檢驗頻率低，亦無法比照製造業先試生產一定量，待製程穩定才正式量產，要集滿25~30組以上數據費時太久，對於工程初期混凝土供應商之製程不易掌控，故本工程初期數據量較少 ($n \leq 10$)，採用平均數—全距管制圖 ($\bar{x}-R$ Chart) 作為管控方法，主要係由平均數管制圖 (\bar{x} Chart) 與全距管制圖 (R Chart) 兩圖組成，通常適用於 $n=2 \sim 10$ 情況。平均數管制圖用於管制品質之集中趨勢，全距管制圖用於管制品質之離散程度。混凝土初期製程管制宜先用全距管制圖使製程穩定，再用平均數管制圖求平均數維持理想目標。以下為作法簡述：

一、首先計算各組平均數 \bar{x} 和全距 R：如表1。

表1 $\bar{x}-R$ 管制圖數據

No.	混凝土抗壓強度		\bar{x}	R
	x_1	x_2		
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
	合計			

註： $\bar{x} = (x_1 + x_2) / 2$ ， $R = x_{\max} - x_{\min}$

二、計算平均數之平均 ($\bar{\bar{x}}$) 及平均全距 (\bar{R})：

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{x}_i =$$

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i =$$

式中，k=取得起用數據組數。

三、計算平均數管制圖之中心線及管制界限：

中心線： $CL = \bar{\bar{x}} =$
 管制上限： $UCL = \bar{\bar{x}} + A_1 \cdot \bar{R} =$
 管制下限： $LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R} =$

表 2 計量值管制圖係數

每組樣本數 n	管制圖係數		
	A_2	D_3	D_4
2	1.880	0	3.267
3	1.023	0	2.575
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.115
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

註：上述各式中之 A_2 、 D_3 、 D_4 為管制圖係數，可查表 2 得之。管制圖係數是以統計原理求得，使管制界線與中心線相距 3 個標準差之係數。

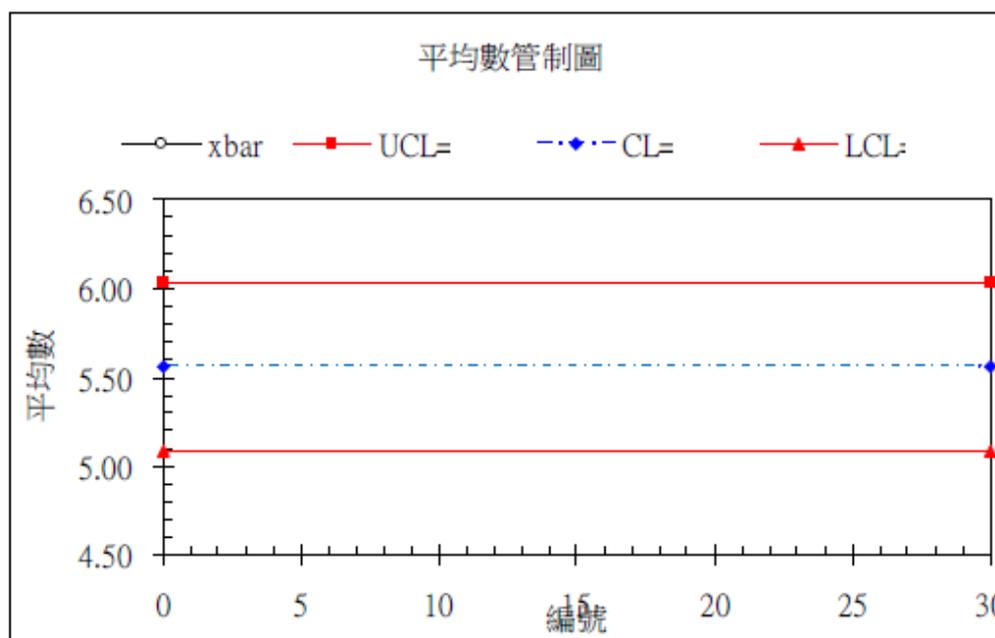
四、計算全距管制圖之中心線及管制界限：

中心線： $CL = \bar{R} =$

管制上限： $UCL = D_4 \cdot \bar{R} =$

管制下限： $LCL = D_3 \cdot \bar{R} =$

五、繪製管制圖



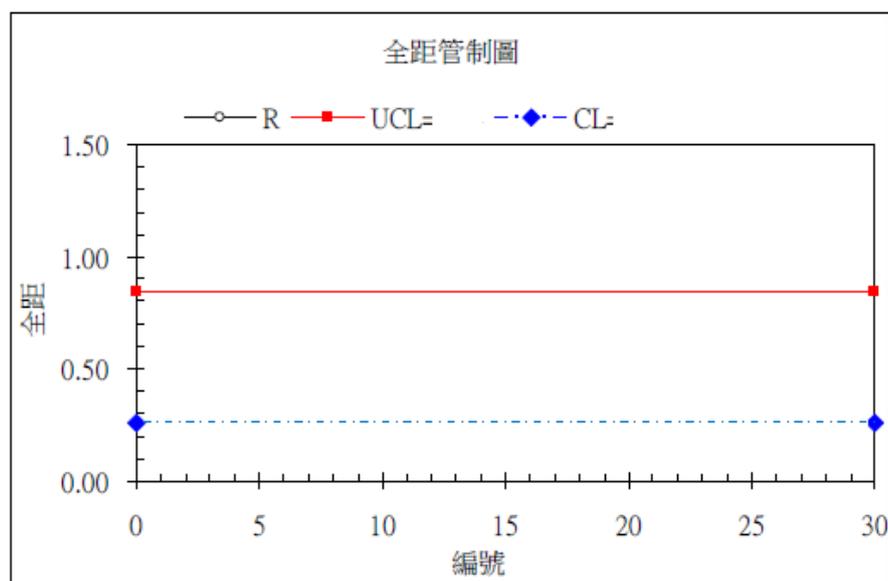


圖 1 $\bar{x}-R$ 管制圖

六、判讀：管制圖各點均無異常情形，顯示製程已呈穩定，可正式確定管制界限。

三、工程期中管制圖分析

工程中期因已累計一定數量之混凝土抗壓數據($N \geq 25 \sim 30$)，足以滿足分析所用，故常以標準差或變異係數表示工程品質之不均勻性，其值愈大表示愈不均勻。標準差可視為離散程度之絕對值，而變異係數則為離散程度對平均數之相對值，若變異係數保持一定，平均數大者其相對應之標準差亦大。

一、標準差 (standard deviation) 用於表示資料之離散程度，若由母體中

抽取 n 個樣本，其值分別為 x_1, x_2, \dots, x_n ，其樣本標準差計算如下：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

式中， s = 樣本標準差 (單位與個別值相同，實務上常比個別值多取 1~2 位有效數或小數)。

x_i = 數據個別值， $i = 1 \sim n$ 。

\bar{x} = 平均數。

n = 樣本大小 (數據個數)。

標準差用以表示一群數據之離散程度，標準差愈大表示各數據互相差異愈大，即表示品質愈不均勻。

二、變異係數 (coefficient of variation) 為標準差對平均數之比值，計算公式如下：

$$V = \frac{s}{\bar{x}} = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

式中， V ＝變異係數（可用小數或％表示，工程實務上較常採用％表示）。

s ＝標準差。

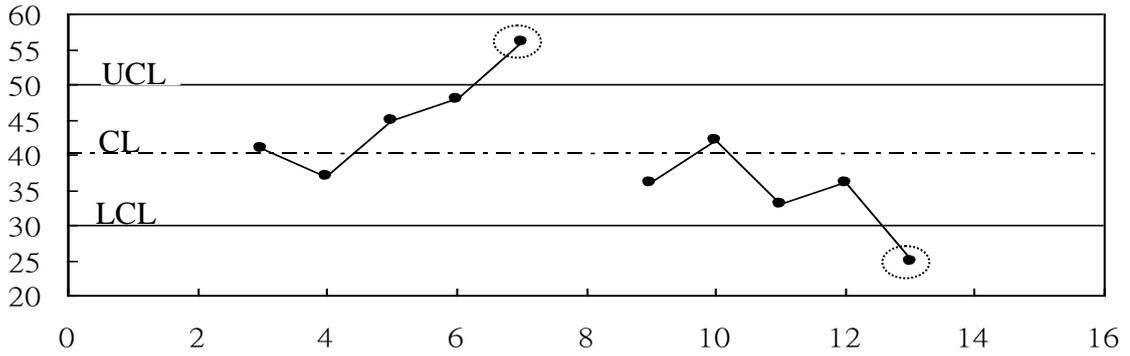
\bar{x} ＝平均數。

工程品管上常以標準差或變異係數表示工程品質之不均勻性，其值愈大表示愈不均勻。因此可藉由資料分析所得混凝土抗壓強度之平均數及標準差，以其設定管制圖的上下界限，以便管制後續之生產品質。

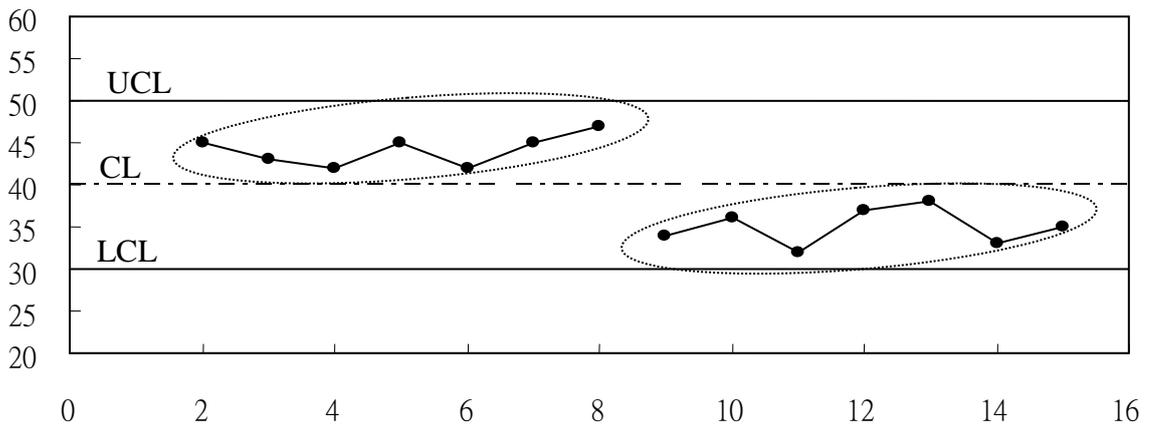
管制圖通常以中心線（CL）之上下各3個標準差（ $CL \pm 3\sigma$ ）為管制界限（涵蓋機率約99.7%），惟必要時亦可設置管制界限為 $CL \pm 2\sigma$ ，以提高反應靈敏度，但也會增加緊張度（因為各點更容易超出管制界限，可能將隨機原因之變化誤判為異常原因之變化）。

管制圖之判讀係採用統計檢定原理，以機率推算當製程為正常時，某現象之出現機會很低（通常設定為小於1%），如果出現該現象，我們就判定製程異常。最基本，當有下列3種現象之一時，可判定有異常原因存在，應追究改正。

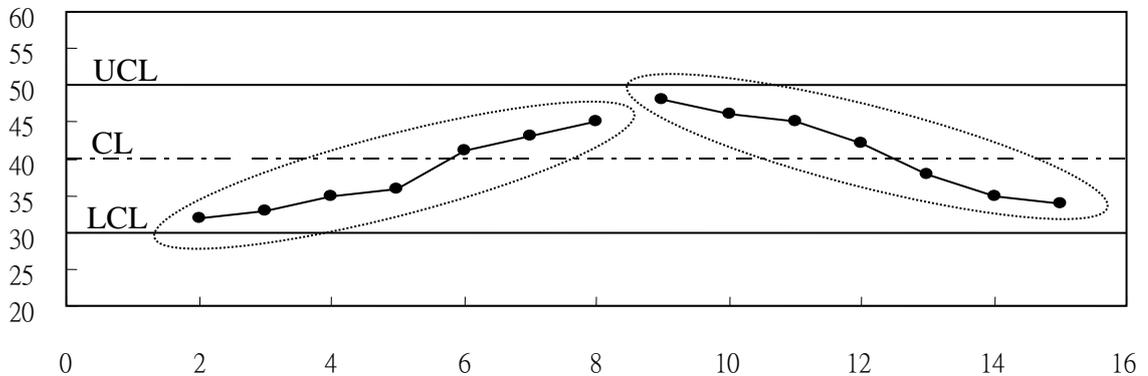
1. 有任何1點落在管制界限以外。
2. 連續7點出現在中心線之上邊或下邊。
3. 連續7點出現持續上升或持續下降。



(a)任一點落於管制界線以外



(b)連續 7 點落於 CL 之上或下



(c)連續 7 點持續上升或持續下降

圖 2 管制圖之 3 種基本異常現象

目前我國尚無官方頒布之混凝土管制水準評估標準，一般普遍採用ACI 214R 準則，土木水利學會「混凝土工程施工規範」(土木402-94)亦引用之。表3及表4為美國混凝土學會(American Concrete Institute, 簡稱ACI)技術文件ACI 214R-02建議用以評估混凝土管制水準(均勻性)之準則，表3. 適用於規定強度(一般常稱為設計強度) $fc' \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$ 之普通強度混凝土，表4. 適用於規定強度 $fc' > 350 \text{ kgf/cm}^2$ 之高強度混凝土。分全面變異及組內變異兩部分，各分工地檢驗(適用於評估工程施工水準)及試驗室試拌(適用於評估試驗室作業水準)兩

種標準，每種分5等級。

表 4 ACI 214R-02 混凝土管制水準評估準則
(適用於 $f_c' \leq 350 \text{ kgf/cm}^2$ 普通強度混凝土)

	全面變異				
	標準差， kgf/cm^2				
作業等級	最佳 Excellent	很好 Very Good	可以 Good	尚可 Fair	不良 Poor
施工試驗	<28	28-35	35-42	42-49	>49
試驗室試拌	<14	14-18	18-21	21-25	>25
	組內變異				
	變異係數，%				
作業等級	最佳 Excellent	很好 Very Good	可以 Good	尚可 Fair	不良 Poor
施工試驗	<3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	5.0-6.0	>6.0
試驗室試拌	<2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	>5.0

表 5 ACI 214R-02 混凝土管制水準評估準則
(適用於 $f_c' > 350 \text{ kgf/cm}^2$ 高強度混凝土)

	總變異 (變異係數，%)				
	作業水準	最佳 Excellent	很好 Very Good	可以 Good	尚可 Fair
工地試驗	<7.0	7.0~9.0	9.0~11.0	11.0~14.0	>14.0
試驗室試拌	<3.5	3.5~4.5	4.5~5.5	5.5~7.0	>7.0
	組內變異 (變異係數，%)				
	作業水準	最佳 Excellent	很好 Very Good	可以 Good	尚可 Fair
工地試驗	<3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~6.0	>6.0
試驗室試拌	<2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	>5.0

假設計算出標準差為 34.2 kgf/cm^2 ，如果該混凝土之規定強度為 210 kgf/cm^2 ，屬於普通強度混凝土，故對照表3，可判定該工程之混凝土品質均勻性屬「很好等級」，應繼續保持或更努力精進。

如果另有一工程混凝土之規定強度為 420 kgf/cm^2 ，屬於高強度混凝土，計算得試驗結果之平均數為 500 kgf/cm^2 ，標準差為 50 kgf/cm^2 ，故變異係數為 10%，對照表4，可判定該工程之混凝土品質均勻性屬「可以等級」，還需要加強管制。

四、結論

混凝土為結構物主要工程材料之一，其品質良窳影響構造物的安全性或使用性甚鉅。混凝土雖有就地取材、生產簡易、價格低廉及經久耐用等優點，惟品質

能否確保也相對受到其組成材料特性、生產設備、產製與輸送流程等因素之影響，以致長期以來，混凝土品質管理為施工過程中相當重要的工作。

本工程針對工程期初、期中混凝土取樣、抗壓數據多寡，使用不同方法進行統計、分析，以期透過統計方法，發現混凝土材料的異常，從而進行檢討與改善。

但對於混凝土取樣的方式及圓柱試體養護的過程仍須注意，是否符合相關規定，如混凝土取樣是否具有代表性(應以混凝土泵浦車管尾取樣，以確認在混凝土泵送過程有無另行添加水)或試體養護過程有無符合規定等。

除了混凝土材料製程的掌控，施工過程可能引發影響混凝土品質的問題眾多，如施工技術、天候與環境及後續養護等，皆須現場人員相互合作配合，才不會在施工完成後發現混凝土出現各項超出預期的問題再來想辦法補強，只要施工時確實做好品質管制，直接就可以預防混凝土日後問題的發生，進而提高結構體整體強度及使用年限。

五、參考文獻

1. 白賜清, 1981 "品質管制之統計方法", 中華民國品質學會
2. 房克成、林清風, 2006, "管制圖與製程管制", 中華民國品質學會
3. 中國土木水利工程學會, 2005, "混凝土工程施工規範", 土木402-94
4. CNS 3090, 1998, "預拌混凝土"
5. CNS 15315, 2010, "營建用材料隨機抽樣法"
6. CNS 12891, 1998, "混凝土配比設計準則"
7. CNS 2580, 1974, [生產過程中管制品質用之管制圖法]
8. CNS 2312, 1974, [分析數據用的管制圖法]
9. CNS 9445, 1987, [計量值檢驗抽樣程序及抽樣表]
10. ACI 214R-02, 2002, "Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete"
11. ASTM D3665, 2000, "Standard Practice for Random Sampling of Construction Materials"