

營建活載重配置及其模組化建立之研究

Research of Arrangements and Modular Setup of Construction Live Loads during Building Construction

彭瑞麟¹ 顏聰² 郭清吉³ 黃中和⁴ 蕭智仲⁵

¹ 國立雲林科技大學營建工程系教授 (E-mail: pengjl@yuntech.edu.tw)

² 國立中興大學土木工程系兼任客座教授

³ 行政院勞工委員會南區勞動檢查所組長

⁴ 私立大漢技術學院土木工程與環境資源管理系助理教授

⁵ 國立中興大學土木工程系碩士

摘要

本研究主要針對我國鋼筋混凝土房屋建築工程營建活載重配置及其模組化進行探討，並檢討載重模組化後之工程應用。灌漿前、後之營建活載重包含：鋼筋、模板、作業人員、機具設備、堆放之物料等，隨著施工作業階段、營建工地週遭環境條件及工人習慣的不同而分佈相當凌亂，具有隨機堆放的特性，與結構設計常假設載重為均佈載重型態截然不同。因此如何將凌亂無規則的營建活載重透過模組化的方式，轉換成可供結構物安全設計的外載重，是目前亟需解決的支撐結構設計安全課題。研究結果顯示：國內鋼筋混凝土房屋建築工程之灌漿前營建活載重以鋼筋為最大宗，材料放置地點較有規律性，此階段之載重最大值 45023.6 N/m^2 、平均值 6940.3 N/m^2 、標準偏差 4914.7 N/m^2 ；灌漿後營建活載重除鋼筋外，主要為模板支撐材料，且材料堆置情形十分凌亂，營建載重最大值 61024.5 N/m^2 、平均值 2430.2 N/m^2 、標準偏差 3971.4 N/m^2 。本研究將工地現場凌亂的營建施工活載重進行系統的模組化配置，此種模組化配置後之營建載重，可作為國內模板支撐結構強度設計外載重使用之參考依據。

關鍵字：模板支撐、模板、活載重、模組化、鋼筋

Abstract

This study mainly investigates the arrangements and modular setup of construction live loads during building construction. The construction live loads of before and after concrete placing include steel bars, formwork, workers, materials, equipment, and so on. These loads are placed with random by different construction stages, site conditions, and workers' habits. This loading type is quite different from the uniform load assumption typically used in current design. Therefore, how to use the modular construction loads to simulate the practical random construction loads is the crucial point for the safety design of falsework in construction. The study results show that the main construction live load before concrete placing is the steel bar with regularly placed locations. The maximum load value is 45023.6 N/m^2 . The average value is 6940.3 N/m^2 . The standard deviation is 4914.7 N/m^2 . After concrete placing, other than steel bars, construction loads include formwork and supporting materials with irregularly placed locations. The maximum load value is 61024.5 N/m^2 . The average value is 2430.2 N/m^2 . The standard deviation is 3971.4 N/m^2 . The modular construction live load transformed from practical random construction loads in this study can be considered as the external load in the domestic design of falsework systems in construction.

Keywords: Falsework, Formwork, Live load, Modular setup, Steel bar

國科會計畫編號：NSC 97-2221-E-224-015

一、前言

一般土木工程師對於結構物的安全保證，主要是考量結構本體強度及外載重兩方面。而現有對於結構物安全性的研究文獻中，除了以結構本體強度做為研究範疇外，對於外載重的研究主要以結構物在使用階段中可能承受的載重為對象。至於結構物在營建階段可能面臨的外載重之研究，則甚為缺乏。然而，由國內現有的營建災變資料查知，臨時支撐結構的倒塌意外原因，導因於支撐結構本體強度的不足或因外載重超過支撐結構系統的極限承载力而引起，常造成嚴重的人命傷亡與財產損失。

營建階段的施工載重包含：鋼筋、模板、新澆置混凝土、作業人員、機具設備、堆放之物料等，此等載重分佈相當凌亂，隨著施工作業階段、營建工地週遭環境條件及工人習慣的不同而有不同的特性。營建載重具有隨機堆放的特性，與結構設計常假設載重為均佈載重型態有截然不同之處，造成在載重調查上變數多、困難度較高，過去一直缺乏有系統的量測與探討。為避免營建階段災變可能造成的嚴重傷亡與損失，如何將凌亂無規則的營建載重透過模組化的方式，轉換成可供結構物安全設計的外載重，為目前營建安全課題的首要課題。

以往研究多半著重在結構物在使用及維修階段的載重配置^[1-5]，較少針對結構物在營造階段的受載情形。現有針對營造階段載重的研究，主要有 Ayoub and Karshenas 的研究^[6-7]，不過他們是針對美國營造工程營造載重配置作探討，由於美國與國內的營造條件及施工情況不同，因此其研究數據直接拿來引用甚為不妥。

二、研究目的及重點

本研究主要針對我國鋼筋混凝土房屋建築工程營建活載重配置及其模組化進行探討，並檢討載重模組化後之工程應用。研究的重點有：(1)營建載重之調查：載重調查方式採用直接量測及材料數量換算法二種方式。(2)營建載重模組化之建立：比對工地現場拍攝之載重配置照片與建築平面圖，將營建材料堆置形狀作適度的模組化，可增加載重值在分析時的參考。(3)模組化載重之工程應用：目前國內並沒有營建階段外載重的設計參考規範，因此模組化後之載重資料，可提供未來作為營建階段模板支撐結構設計外載重之依據。

三、營建載重之現場調查

3.1 灌漿前、後營建載重之定義

房屋建築工程由牆、柱鋼筋綁紮開始，模板支撐組立、樓版鋼筋及水電管線等鋪設作業，直到樓版混凝土澆置作業結束，此一營建過程反覆循環，直到主體結構完成。本文為方便說明，將樓層上已架設好直立之模板支撐及貫材後，可供放置營建材料開始至該上一層樓版混凝土澆置前，此階段之載重定義為「灌漿前營建載重」。當該樓層版上之混凝土開始澆置後，至該層樓版發揮工作強度止，此階段之載重定義為「灌漿中營建載重」。而樓版之混凝土開始發揮工作強度，至該層樓板上架設好直立之模板支撐及貫材止，此階段之載重稱為「灌漿後營建載重」。灌漿中的施工載重則以新澆置混凝土為主，因新澆置混凝土具有黏滯性及區塊載重的特性，本文暫不予討論，僅針對灌漿前、後二階段進行營建載重之調查工作。

表 1 為營建工程灌漿前、後階段之施工作業流程區分表。灌漿前作業階段鋼筋吊放至定位後，工人隨即依構件所需將鋼筋分配至定位，並開始進行鋼筋綁紮；在灌漿後模板作業階段，當模板組立用具吊放至定位後，工人依個人之施工習慣成堆放置或散亂置放。因此在營建施工過程中，營建載重會隨著時間而改變，應將其視為活載重。

3.2 工地篩選

進行營建載重調查工作前，必須針對營造廠商說明研究目的，並取得同意認可後，方能進入該工地實施營建載重調查工作。本研究期間針對台中地區之營造廠商進行說明與溝通後，計取得 19 個鋼筋混凝土房屋建築工程工地的同意，在配合工地施工作業進度下，總共進行 32 場次之營建載重調查工作。為能確實掌握工地中營建載重之配置情形，需同時拍攝工地載重配置之全景照片，因此工地附近是否有良好制高點是選取工地應考量的重要因素。

3.3 調查作業流程

3.3.1 前置準備作業

營建載重配置及載重值調查工作之前置準備作業，應置備下列資料及用具：(1)建築物基地位置及結構平立面圖。(2)營建載重調查表：調查時配合建築平面圖將載重資料作相關記錄，紀錄內容有--堆放物料之種類、形狀尺寸及重量、堆放物料與模板之接觸面積等。(3)工地鋼筋、模板等材料的規格尺寸重量表：本研究之營建載重調查方式採用直接量測及材料數量表列換算法二種方式。材料的規格尺寸重量表可做為推估無法以直接量測方法調查之營建載重值；對於載重大小在所用磅秤的容許範圍內者，亦可用於重複檢核營建載重的正確性。(4)磅秤、相機、長度量測工具。

本研究採取實際至工地現場量測載重重量及拍攝紀錄載重配置的方式進行，為使調查作業要求標準能夠一致，必須對所有參與調查工作的人員，實施載重調查前的講習，包括對於營建載重調查的基本要求、拍攝照片技巧以及調查過程應注意事項。

3.3.2 現場載重調查作業

現場營建載重調查工作為循環作業流程。以每單一場次營建載重調查作業流程說明如下：(1)事先與工地負責人取得工程進度時間，並確定調查作業的時程。(2)依事先準備之結構平面圖，按比例繪製工地平面圖，用以配置量測載重磅秤之位置及規劃人力，亦做為現場載重配置之草圖底稿。(3)灌漿前階段進行調查時，紀錄鋼筋之號數、長度及數量，之後計算鋼筋之重量。灌漿後階段中營建材料以電子磅秤直接量取重量。載重調查後，量取營建材料與模板接觸面積，並於工地平面圖上繪製營建材料之配置相對位置。(4)於工地附近選定視線良好之制高點，由上往下拍攝工地載重配置全景照片，並由現場繪製之營建材料配置相對位置，配合拍攝載重配置照片，繪製成營建載重分佈圖。(5)調查作業以二人為一組，調查時間已不超過二小時為原則，除可減少因載重調查過程中，工程持續進行所造成營建材料位置及數量產生變動之影響，並能降低磅秤搬運過程中可能的碰撞，以避免影響量測資料精度。

四、營建載重調查結果與討論

4.1 載重模組化

圖 1 及圖 2 為不同工地灌漿前階段之全景拍攝照片。由照片中顯示：灌漿前之營建材料以鋼筋材料為最大宗，鋼筋材料由工廠運送至工地時，會以同號數為一束，再以起重設備吊放在樓版的預定位置，與模板的接觸面積大都為矩形或其他較規則之形狀，較不會發生散亂的現象。因此，灌漿前階段之營建活載重可視為已經過模組化過程，如圖 3 及圖 4 載重分佈圖所示，可直接量取其與模板之接觸面積、鋼筋總重量，換算成單位面積載重值。

圖 5 及圖 6 為不同工地灌漿後階段之全景拍攝照片。由照片中顯示：灌漿後之營建材料則以模板支撐材料為主、鋼筋次之。灌漿後階段之作業為牆、柱構件組立（含模板及鋼筋）、模板支撐及上一層樓版之模板組立作業，在同一時間內作業點較多，因此營建材料會隨著不同作業點位置而堆放，且因施工作业之模板尺寸變化大、組立工作較為繁複，模板工人的工作習性對模板下腳料隨手棄置，常造成施工現場較為凌亂、施工材料四散的情形。因此，在進行灌漿後營建載重調查時，可將上述單獨、零散且重量較小之物料，計入附近較多且集中的模板整備材料中，不僅使調查工作進行容易，亦使載重更具代表性。

模板整備材料放置時，通常會將相同尺寸的模板集中一起堆置，其與樓版的接觸面積接近規則的幾何形狀（通常為矩形），於量測時可依上述原則，將區域內之零散物料重量與模板整備材料合計，並將接觸面積模組化成規則的幾何形狀。因此，在工地現場照片中所呈現的物料堆放凌亂情形，經過模組化後所繪製之載重分佈圖，均為規則的幾何形狀，如圖 7 及圖 8 所示。

4.2 載重調查結果

4.2.1 灌漿前階段

本研究共進行 16 場次的營建工地灌漿前載重調查工作，得到 408 個營建載重資料值。以久鼎○○A 棟新建工程為例說明：圖 1 為灌漿前工地全景拍攝照片，配合事前取得之工地平面圖及現場營建載重量測資料，繪製載重分佈圖如圖 3 所示，並據以計算營建載重強度值，如表 2 所示；表格中第一欄為營建載重區塊位置編號，第二、三欄為材料配置情形，營建載重放置面積以模組化後之形狀尺寸表示，堆置形狀為矩形，則面積表示為長 寬，若堆置形狀為其他形狀，則標示該形狀各邊之尺寸，第四、五、六、七欄為營建載重量化資料，本研究調查方式採直接量測及材料數量表列換算法二種方式：材料重量變異性較小之材料，如鋼筋材料，以計數鋼筋號數、根數及長度等資料，並乘以單位重即可得出鋼筋之總重量；其餘變異性較大之材料重量，則直接以磅秤來量測其重量，最後第八、九欄位則為營建載重強度值，為簡化載重強度之計算，假設營建材料與模板之接觸面為密接，且為均佈載重之型式，將營建材料總重量除以堆放面積，得到單位面積載重強度。

表 2 載重調查表中共有 14 個營建載重資料值，其中載重最大值為 15304.2 N/m^2 ，並以統計分析求取本次調查之營建載重平均值及標準偏差分別為 7163.9 N/m^2 及 4336.4 N/m^2 。彙整本階段 16 場次的工地調查所得之營建載重最大值、平均值及標準偏差，如表 3 所示，其中最後一列之工地載重總合係為 408 個營建載重資料值之最大值 45023.6 N/m^2 、平均值 6940.3 N/m^2 及標準

偏差 4914.7 N/m²。

4.2.2 灌漿後階段

灌漿後階段共進行 16 場次的工地載重調查，得到 679 個營建載重資料值。圖 5、圖 7 及表 4 為鉅虹○○新建工地灌漿後階段工地全景拍攝照片、載重分佈圖及營建載重調查簡表。將各調查場次之營建載重最大值、平均值及標準偏差等資料值，整理如表 5，發現灌漿後階段之營建載重值最大值 61024.5 N/m²、平均值 2430.2 N/m²、標準偏差 3971.4 N/m²。

4.3 模組化載重之工程應用

工地現場凌亂的營建載重進行系統的模組化配置，此種模組化配置後之營建載重，可作為國內模板支撐結構強度設計外載重使用之參考依據。以本研究結果為例說明：一般房屋建築樓層高度下，假設模板支撐排列間距為 70 公分，以灌漿前營建載重最大值 45023.6 N/m² 為支撐的設計載重，並假設該值為均佈載重，則單根模板支撐需承擔之垂直載重為 22.0616 kN (=45023.6 / 1000 × (0.7×0.7))

五、結論

本研究可得到以下結論：

1. 營建施工階段工人視其作業需要堆置、搬運各項營建材料，造成營建過程中載重隨時產生變化，故營建過程之營建載重需視為活載重。
2. 透過模組化過程可使營建材料的堆置形狀具規則性，能簡化工地實際複雜的載重配置，使本研究營建載重量測結果具有工程實用性。
3. 灌漿前階段之營建載重以鋼筋材料為大宗，材料放置地點較具規則性，此階段之營建載重最大值 45023.6 N/m²、平均值 6940.3 N/m²、標準偏差 4914.7 N/m²。
4. 灌漿後階段之營建載重除鋼筋材料外，以模板及支撐材料等為主，且材料堆置情形較為凌亂，此階段之營建載重最大值 61024.5 N/m²、平均值 2430.2 N/m²、標準偏差 3971.4 N/m²。
5. 模組化配置後之營建載重，可作為國內模板支撐結構強度設計外載重使用之參考依據。

誌謝

本計畫經費由國科會(NSC 97-2221-E-224-015)提供，特此誌謝。

參考文獻

- [1] Dunham, J.W., Brekke, C.N., and Thompson, G.N., "Live Load on Floors in Buildings," Buildings and Structures Report 133, U.S. National Bureau of Standards, Washington, D.C., Dec., 1952
- [2] Bryson, J.O. and Gross, D., "Techniques for the Survey and Evaluation of Live Floor Loads and Fire Loads in Modern Office Buildings," NBS Building Science Series 16, U.S. Dept. of Commerce, Washington, D.C., 1968
- [3] Karman, T., "Statistical Investigation on Live Load on Floors," International Council for

Building Research, Studies of Documentation Committee W23, Madrid, Spain, 1969

- [4] Culver, C.G., "Live Load Survey Results for Office Buildings," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.102, pp.2269-2284, 1976
- [5] Choi, C., and Edmnud, C.C., "Live Load for Office Building Effect of Occupancy and Code Comparison," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.116, No.ST11, pp.3162-3174, 1990
- [6] Ayoub, H.N., and Karshenas, S., "Survey Results for Concrete Construction Live Loads on Newly Poured Slabs," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.120, No.5, pp.1543-1561, 1994
- [7] Karshenas, S., and Ayoub, H.N., "Analysis of Concrete Construction Live Loads on Newly Poured Slabs," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.120, No.ST5, pp.1525-1542, 1994

表 1 營建工程灌漿前、後階段之施工作業流程區分表

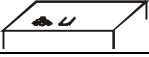

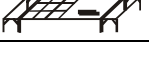

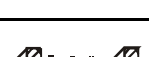

分類	說明	作業區分	說明	圖示
灌漿前	模板作業結束開始起算	吊置作業	A.鋼筋	
		鋼筋作業	B.樑筋	
			C.版筋	
灌漿後	混凝土澆置完成並隔夜	吊置作業	A.鋼筋、模板	
		鋼筋作業	B.柱筋綁紮	
		模板作業	C.牆筋作業(柱模已完成)	

表 2 久鼎○○A 棟工地灌漿前載重調查表

區塊位置編號	材料配置情形		量化資料				單位樓版面積鋼筋重量	
	材料模組化形狀	面積尺寸(寬×長,cm ²)	鋼筋號數	數量(根)	長度(cm)	鋼筋總重(kgf)	kgf/m ²	N/m ²
1		40×180	7	6	220	40.1	502.4	4933.2
			7	23	460	321.6		
2		60×600	7	21	490	312.8	335.1	3291.1
			7	18	700	383.0		
			7	21	800	510.7		
3		60×500	6	9	930	188.3	351.7	3453.4
			6	9	90	18.2		
			6	18	710	287.6		
			6	24	630	340.2		
			6	20	360	162.0		
			3	48	220	58.7		
4		a:90 b:45 c:45 d:150	3	145	178	143.5	300.4	2949.9
			5	55	140	120.1		
5		90×60	3	1650	60	550.4	1140.7	11202.1
			4	110	60	65.6		
6		110×40	3	660	105	385.3	875.7	8599.2
7		150×40	3	1080	105	630.5	1050.8	10319.2
8		20×420	4	80	680	540.7	643.7	6321.0
9		45×450	3	880	645	3155.9	1558.5	15304.2
			3	380	100	211.3		
10		45×280	3	145	270	217.7	975.9	9583.1
			3	480	300	800.6		
			3	1120	560	3487.2		
11		50×480	3	1120	560	3487.2	1453.0	14268.5
			7	18	550	301.0		
			7	18	620	339.3		
12		35×590	7	24	280	204.3	409.0	4016.5
			3	200	145	161.2		
			3	80	120	53.4		
13		60×60	3	200	145	161.2	596.1	5853.8
			3	80	120	53.4		
14		150×280	空桶	250	45	85.0	20.2	198.7

表 3 不同工地在灌漿前階段之營建載重統計值

工程名稱	營建載重(N/m ²)		
	最大值	平均值	標準偏差
台中市西區○○	12875.6	5730.2	2496.5
鉅虹○○	21187.9	7787.2	4031.7
太子○○A 區	21300.5	6193.4	3209.1
順天○○B 棟	22139.4	7797.5	5249.7
勝美○○A 棟	27532.0	9549.6	6548.7
勝美○○C 棟	45023.6	10390.6	9157.8
聖俯○○A 棟	15502.5	6220.2	2645.2
聖俯○○B 棟	11467.9	5237.6	3121.7
久鼎○○A 棟	15304.2	7163.9	4336.4
鄉林○○B 區	16271.7	6493.2	3234.4
順天○○A 棟	28219.2	7236.4	6569.6
財政部中區○○	16268.5	7667.7	3474.9
久鼎○○B 棟	9827.9	4789.8	2900.8
鄉林○○D 區	12723.9	4584.0	3011.9
鄉林○○A8 區	5135.6	2748.9	1538.0
鄉林○○C 區	4518.0	2314.6	1346.8
工地載重總合	45023.6	6940.3	4914.7

表 4 鉅虹○○新建工地灌漿後營建載重調查表

區塊位置編號	單位樓版面積重量	區塊位置編號	單位樓版面積重量	區塊位置編號	單位樓版面積重量	區塊位置編號	單位樓版面積重量
1	1070.1	21	2297.2	41	4816.7	61	542.3
2	677.3	22	4533.2	42	8128.5	62	407.0
3	1150.7	23	327.7	43	3333.6	63	345.3
4	2369.4	24	12024.8	44	4171.5	64	216.5
5	1266.8	25	1619.1	45	2084.0	#	#
6	2214.8	26	2296.1	46	1308.4	#	#
7	1013.2	27	1290.3	47	1218.1	#	#
8	517.1	28	3333.1	48	3068.5	#	#
9	2779.5	29	1242.6	49	2204.2	#	#
10	1221.4	30	735.4	50	1473.7	#	#
11	559.2	31	338.8	51	3846.3	#	#
12	542.8	32	1426.4	52	924.4	#	#
13	1900.1	33	2006.2	53	438.0	#	#
14	412.9	34	514.7	54	1896.6	#	#
15	1523.6	35	2011.7	55	612.0	#	#
16	4070.7	36	947.4	56	4185.6	#	#
17	572.1	37	784.0	57	1085.5	#	#
18	4830.3	38	958.0	58	542.3	#	#
19	4373.0	39	340.7	59	579.5	#	#
20	617.7	40	3953.7	60	1043.7	#	#

附註：# 表示無資料

表 5 不同工地在灌漿後階段之營建載重統計值

工程名稱	營建載重(N/m ²)		
	最大值	平均值	標準偏差
鄉林○○A8 區	61024.5	11000.7	15138.6
鄉林○○C 區	4733.2	2609.4	2032.2
鄉林○○D 區	26029.8	10093.1	5481.6
鉅虹○○	12024.8	1956.4	1983.8
聖俯○○A 棟	3596.8	1370.4	864.8
聖俯○○B 棟	4950.2	1310.2	1170.2
久鼎○○A 棟	12741.1	2009.3	2401.8
台中市西區○○	4002.5	1415.1	1198.9
太子○○B 棟	34545.2	2374.1	3998.1
順天○○A 棟	20361.2	2620.6	3039.7
順天○○B 棟	21676.5	2610.1	4210.0
勝美○○B 棟	16209.9	1636.2	2782.4
聖俯○○C 棟	4079.4	1102.0	933.1
久鼎○○B 棟	6333.4	1633.8	1370.8
鄉林○○A8 區	7098.9	1777.6	1654.8
鄉林○○D 區	20988.5	2525.4	3352.3
工地載重總合	61024.5	2430.2	3971.4



圖 1 久鼎○○A 棟新建工地灌漿前情形



圖 5 鉅虹○○新建工地灌漿後情形



圖 2 順天○○A 棟新建工地灌漿前情形



圖 6 鄉林○○D區新建工地灌漿後情形

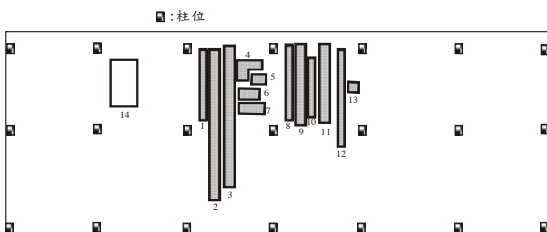


圖 3 久鼎○○A 棟新建工地灌漿前載重分佈圖

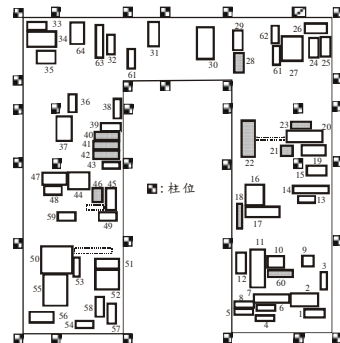


圖 7 鉅虹○○新建工地灌漿後載重分佈圖

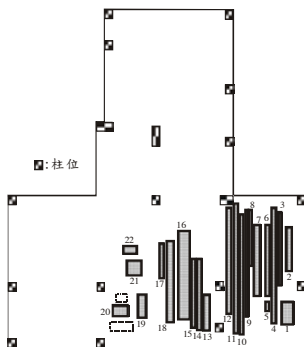


圖 4 順天○○A 棟新建工地灌漿前載重分佈圖

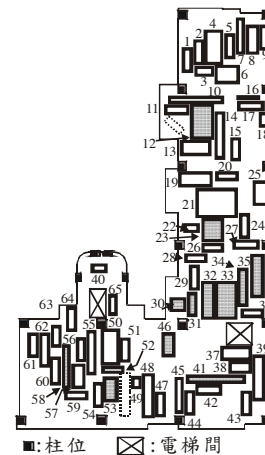


圖 8 鄉林○○D區新建工地灌漿後載重分佈圖