

台中地區卵礫石層之物理性質與力學特性

翁君泰⁽¹⁾ 許珮筠⁽²⁾ 邱雅筑⁽³⁾

摘要

本研究旨在探討台中地區卵礫石層的工程特性，透過蒐集現地試驗與室內試驗資料，分析卵礫石層的物理性質與力學參數，並總結其對工程設計的重要性。研究結果顯示，台中地區卵礫石層平均卵礫石含量達81.34%，砂含量13.26%，細顆粒含量4.50%，各成分組成因地區有所差異。力學性質方面，卵礫石的平均尖峰凝聚力為29.0 kPa，尖峰摩擦角達38.1°；平均殘餘凝聚力為23.6 kPa，平均殘餘摩擦角為33.7°，卵礫石平均軸壓縮強度達145.49 MPa，平均動態楊氏模數為1.05 GPa，平均靜態楊氏模數為0.57 GPa，平均柏松比為0.25，平均滲透係數介於 2.09×10^{-2} - 2.74×10^{-1} cm/s。

本研究整理各行政區的試驗數據，建立卵礫石層參數分布圖，作為工程設計之依據，期望提供未來在地區開發、基礎設計及邊坡穩定性評估中的參考價值。

(關鍵詞：卵礫石層、現地試驗、室內試驗)

Analysis of the Physical Properties and Mechanical Behavior of Gravel Layers in the Taichung Area

Jun-Tai Weng ⁽¹⁾ Pei-Yun Hsu ⁽²⁾ Ya-Chu Chiu ⁽³⁾

Master Student ⁽¹⁾ Postdoctoral Researcher ⁽²⁾, Assistant Professor ⁽³⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan ⁽¹⁾ ⁽³⁾, Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taiwan ⁽²⁾

ABSTRACT

This study aims to investigate the engineering properties of gravel layers in the Taichung area by collecting data from in-situ and laboratory tests to analyze their physical characteristics and mechanical parameters, summarizing their importance in engineering design. The results indicate that the average gravel content is 81.34%, sand content is 13.26%, and clay content is 4.49%, with variations in composition across different regions. Regarding mechanical properties, the average peak cohesion is 29.0 kPa, and the peak friction angle is 38.1°. The average residual cohesion is 23.6 kPa, and the average residual friction angle is 33.7°. Additionally, the average uniaxial compressive strength of

⁽¹⁾ 國立中興大學水土保持學系 碩士生

⁽²⁾ 國立台灣大學土木工程學系 博士後研究員

⁽³⁾ 國立中興大學水土保持學系 助理教授(通訊作者 e-mail : clarice.chiou@gmail.com)

pebbles is 145.49 MPa, the average dynamic Young's modulus is 1.05 GPa, the average static Young's modulus is 0.57 GPa, the average Poisson's ratio is 0.25, and the average permeability coefficient ranges from 2.09×10^{-2} to 2.74×10^{-1} cm/s.

This study consolidates test data from various administrative regions to establish a parameter distribution map of gravel layers as a basis for engineering design. It expects to provide valuable references for future regional development, foundation design, and slope stability assessments.

(Keywords : gravelly pebble layer, field testing, laboratory testing)

一、前言

卵礫石層由卵石、礫石、砂及少量細粒土組成。其工程特性為顆粒粒徑大、分布不均且膠結程度不一，常造成現地取樣困難。此外，標準貫入試驗及鑽探時易受卵石阻擋，取樣器無法完整保留土樣，無法取得代表性不擾動樣本。種種原因表明現地試驗及取樣之難度，因此資料取得不易。

蔡明欣等(1995)蒐集整理國內16組共66點大型現地直剪結果與材料之物理性質資料，嘗試瞭解卵礫石層強度與物理性質之關係，然其結果顯示兩者之相關性不高。

因此本研究旨在彙整台中地區卵礫石層之室內與大型現地試驗之結果，總結前人辛苦的試驗成果並依台中行政區分類整理出各項參數與地域之相關性。

二、卵礫石層基本概述

2.1 區域地質特性

台中盆地為西側大肚山-八卦山丘陵與東側麓山帶所環繞而成，其沉積物供應來源主要為北部之大甲溪古沖積扇，中部之太平

聯合沖積扇與南部烏溪沖積扇與貓羅溪沖積扇。其中卵礫石主要存在於紅土化階地堆積層、階地堆積層、沖積層，均遍布台中市區(何信昌、陳勉銘，2000)。

紅土化階地堆積層主要由礫石、砂、細顆粒組成，礫石以砂岩及石英砂岩為主，一般厚度為10公尺或10公尺以上，為古河相沉積物或山麓堆積，頂部普遍有紅土化現象，推測為早於更新世晚期的堆積物。本層分布於麓山帶與台中盆地交界處，呈零星而側向不連續的分布，或是部分地區零星出現的高位階地，以及大肚山丘陵中北段沙鹿東側臨近大甲溪的廣大平緩區域。

階地堆積層由未膠結之礫石為主，間夾透鏡狀薄砂層，層理面不明，偶可見疊瓦狀的礫石排列，普遍淘選度不佳，未受紅土化作用影響，推測為更新世晚期以後的堆積物。本層主要分布在區內各主要河流之沿岸，呈零星而側向不連續的分布，一般為河床下切或側向遷移所遺留之舊河道堆積。

沖積層由砂礫為主，偶夾厚薄不一的泥層，地表有一層厚1-3公尺的表土，蓋在十公尺至數十公尺厚而普遍分布的砂質礫石層上。本層主要分布在現生河流的河床、台中

盆地、大肚山-八卦山丘陵西側的沖積平原，
主要為現代沖積層。

2.2 常見調查與取樣方法

根據褚炳麟等(1996)與趙基盛等(1995)

提出卵礫石層的現地調查方法有鑽探調查法、
試坑調查法(分為豎坑明挖調查法與明坑調
查法)、鑿井鑽探調查法、全套管連續取樣
調查法、冷凍工法、地球物理調查法，表1
將簡單描述並比較各優缺點：

表1 常見卵礫石層調查方式表(修改自褚炳麟等(1996)與趙基盛等(1995))

Table 1 Common gravel layer investigation methods

(Modified from Zhu Bing-Lin et al. (1996) and Zhao Ji-Sheng et al. (1995))

名稱	方法	優點	缺點
鑽探調查法	輔以水洗，並每1.5m 進行標準貫入試驗(SPT)	可取得擾動土樣，供室內物理性質試驗。	卵礫石顆粒大，鑽探及貫入困難。
豎坑明挖調查法	類似人工手掘式擋土柱工法，至少可挖至20m。	可目視地層分佈，方便採取試驗樣體。	人工耗費大、危險性高，地下水位以下難以確認。
明坑調查法	使用鋤土機或挖土機，開挖深度少於6m 的區域。	可目視調查，適合進行大型現地試驗。	需大面積開挖，施作深度有限。
全套管連續取樣調查法	套管口徑1m 以上，深度可達50m，常用工法如貝諾特(Benoto)法。	可確認最大粒徑、形狀及粒徑分布概況。	地下水導致細粒料流失，調查困難。
冰凍工法	利用冷媒凍結地盤取樣，土樣解凍後進行試驗。	可取得高品質不擾動土樣，克服取樣問題，。	-
地球物理調查法	震波法：利用震波回傳判斷地層分布。	毋須開挖擾動。	淺層與實際分布較吻合，但深度10m 以上辨識能力低。
	電阻法：利用材料電阻率差異分辨地層分布。		

2.3 室內試驗與大型現地試驗

經過前述介紹之調查方法取樣後，針對卵礫石層之室內試驗包含室內篩分析、室內岩石一般物理性質試驗、單軸壓縮試驗、直接剪力試驗等。

而在現場也可以施作一些大型現地試驗，避免試體過大、擾動以及重模試體製作之困

難。以下將分別簡單介紹現地工地密度試驗、平鈹載重試驗、現地直剪試驗、現地波速量測試驗、現地單壓試驗、土壤滲透性試驗。

董家鈞、黃安彬(1995)認為於卵礫石層中進行室內力學試驗須注意重模試體力學行為是否能代表現地力學行為。首先考慮擾動之影響：重模過程完全破壞礫石材料現地狀態，包括礫石與砂顆粒之排列堆積(packaging)

此外，力學試驗之尺寸效應也可分兩方面探討：(a)試體是否包含足夠之顆粒及試驗儀器邊界條件之影響；一般建議試體直徑至少為最大顆粒粒徑之6至10倍以消除邊界之影響。(b)縮尺寸試體造成之顆粒材料本身尺寸效應：縮尺寸模擬級配之試體製作方法仍無法真正達到模擬現地材料力學行為之目地。其原因為若欲維持粒徑分布曲線不變(平移法)，則將因所有顆粒尺寸均以對數座標上等倍降低而使細料含量增多。若維持細料含量固定，大顆粒縮小或去除，則尺寸效應將源於顆粒本身大小之影響，進而對強度與變形性產生影響。

本研究將台中市區依行政區分類，蒐集個別行政區內現有試驗資料，並採用普通克利金法的線形模式進行統計，討論台中市區內卵礫石層之基本物理性質(級配、含水量、單位重)分布情形，試驗數據結果如表2所示。

本研究共蒐集台中地區內39筆資料點，試驗地點遍佈台中市14個行政區。並將試驗地點與卵礫石層地質圖(重繪自地礦中心)進行套疊，根據圖1可以看到台中市區多處於卵礫石層上，且多數試驗地點位於沖積層，共30筆，其餘9筆資料則位於紅土堆積層與階地堆積層，間接表明卵礫石層參數蒐集在台中地區的重要性，後續討論將會數化台中市卵礫石層區域，討論區內各參數分佈情形。

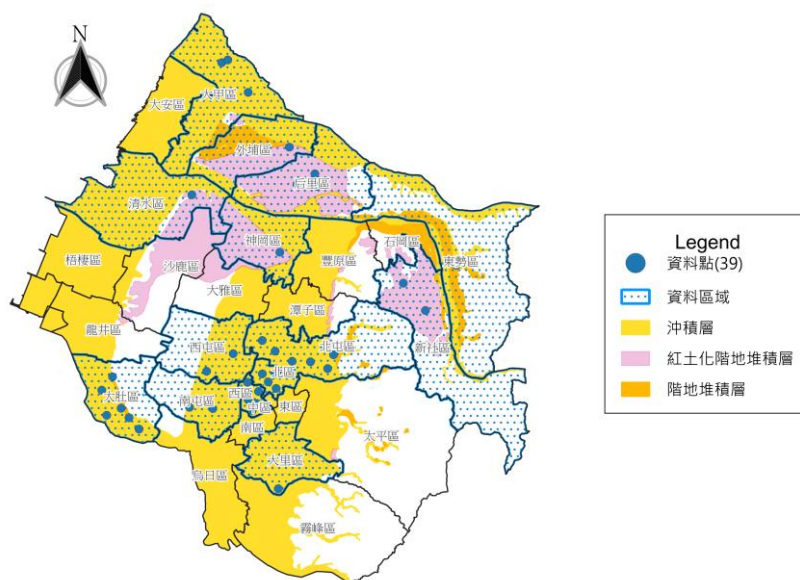


Figure 1 Data points and regional geology of the Taichung area

表2 台中地區卵礫石層基本特性一覽表

Table 2 Overview table of basic characteristics properties of gravel layers in the Taichung area

行政區	單位重 (t/m³)	含水量 (%)	卵石 (%)	礫石 (%)	砂 (%)	粉土 (%)	黏土 (%)	參考文獻
西屯區	-	-	48.4	25.9	25.7			中興顧問公司(1999)
	2.14	-	34	50	9.8	0.9		江(2012)
大里區	2.52	-	47	29.2	23.8	-	-	中興顧問公司(1999)
清水區	2.09	-	78		17	5	-	林(2006)
大甲區	1.83	7.6	80		9	7	4	蔡等(1995)
	1.79	9.5	80		10	7	3	蔡等(1995)
	1.97	8	80		9	7	4	張等(1996)
東勢區	2.1	-	80-91		8.5-15	0.5-3	-	吳等(1995)
神岡區	-	-	81		14	6	2.1	林(2006)
大肚區	2.08	4.4	84.5		3.6			黃、司徒(1995)
	-	15.3	90		9	1		吳等(1995)
	2.1	10	75		10	15		張等(1996)
	2.08	4	84		12	4		張等(1996)
	2.32	-	96		10	4		林(2006)
	-	-	32.4	49.4	18.2			陳(2013)
后里區	2.18	-	84		13	3	-	林(2006)
	1.96	10	80		10	7	3	張等(1996)
	2.1	-	80-91		8.5-15	0.5-3	-	吳等(1995)
外埔區	1.96	10	80		10	7	3	張等(1996)
新社區	2.1	-	80-91		8.5-15	0.5-3	-	吳等(1995)
	-	-	40.82	43.96	15.22			陳(2013)
南屯區	1.99	-	84		12	4	-	蔡等(1995)
	2.2	-	75	11	12.8	1.2	-	褚等(1995)
北屯區	2.19	-	53	32	10	5.2	-	褚等(1996)
	2.26	-	43	42	12	1.7	-	褚等(1996)
	-	-	40.5	45.5	6.6	1.3	-	江(2012)
	-	-	29.7	55.9	14.4			陳(2013)
	2.2	10	-	-	-	-	-	和協工程(2023)
北區	2.19	-	48	29	21.7	1.3	-	褚等(1996)
	2.19	-	68	17	14	1.4	-	褚等(1996)
	1.93	-	41	27	31	2.0	-	褚等(1996)
	-	-	34	50	9.8	0.9	-	江(2012)
西區	2.26	-	42	42	8.8	5.2	-	褚等(1996)
	-	-	37	49.8	10.7	0.9	-	江(2012)
	2.3	8-14	41-42	20-25	24-29	2-7	-	鄧等(2023)
	2.4	-	-	-	-	-	-	盧等(2024)

3.1 級配

洪如江等(1978)認為卵礫石層之粗料部分(粒徑大於4號篩)含量大於75%，工程特性由粗料控制；若粗料部分小於70%，則其工程特性由粒徑小於4號篩之材料所決定。由此得知，卵礫石層內材料占比將會影響到其工程特性。

根據美國統一土壤分類(USCS)，將顆粒粒徑介於300 mm 與75 mm 間者稱為卵石，顆粒粒徑介於75 mm 與4.75 mm (#4篩)間者稱為礫石，顆粒粒徑介於4.75 mm (#4篩)與0.075 mm (#200篩)間者稱為砂，顆粒粒徑介於0.075 mm (#200篩)與0.002 mm 間者稱為粉土，顆粒粒徑小於0.002 mm 者稱為黏土。

整理過程發現部分試驗結果僅分礫石、砂、細顆粒討論，將顆粒粒徑大於75 mm 者一律當礫石統計，顆粒粒徑小於0.075mm 者也經常統稱為細顆粒，故本研究將定義顆粒

粒徑大於4.75 mm 者稱為卵礫石、顆粒粒徑介於4.75 mm 和0.075 mm 間稱為砂、顆粒粒徑小於0.075mm 者稱為細顆粒以便後續討論。

本研究統計現地34筆資料結果顯示，台中地區平均卵礫石占比81.34%，砂占比13.26%，細顆粒占比4.50%。其中，東勢區之平均卵礫石含量85.5%，為卵礫石平均含量最高之行政區。卵礫石含量以東勢區、大肚區為中心向外遞減(圖2)。

大里區之平均砂含量29.20%，為含量最高之行政區，且由圖3得知，在33筆試驗資料支持下，台中地區卵礫石層之砂含量以大里區為中心向北均勻擴散；大甲區之平均細顆粒含量=10.67%，為平均含量最高之行政區。此外，由圖4得知，28筆試驗資料顯示台中地區卵礫石層之細顆粒含量分佈與砂含量分佈相反，以大甲區為中心向南均勻擴散。

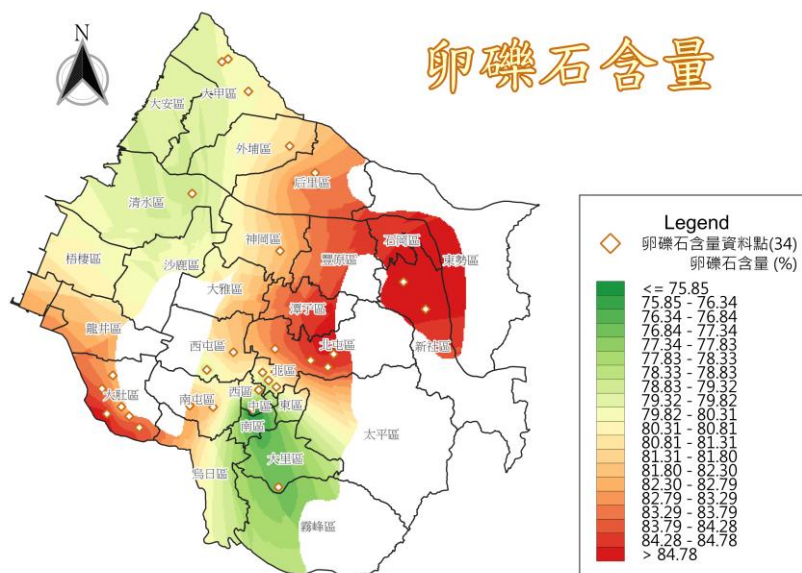


圖2 台中地區卵礫石平均含量分佈圖

Figure 2 Mean gravel content distribution map of the Taichung area

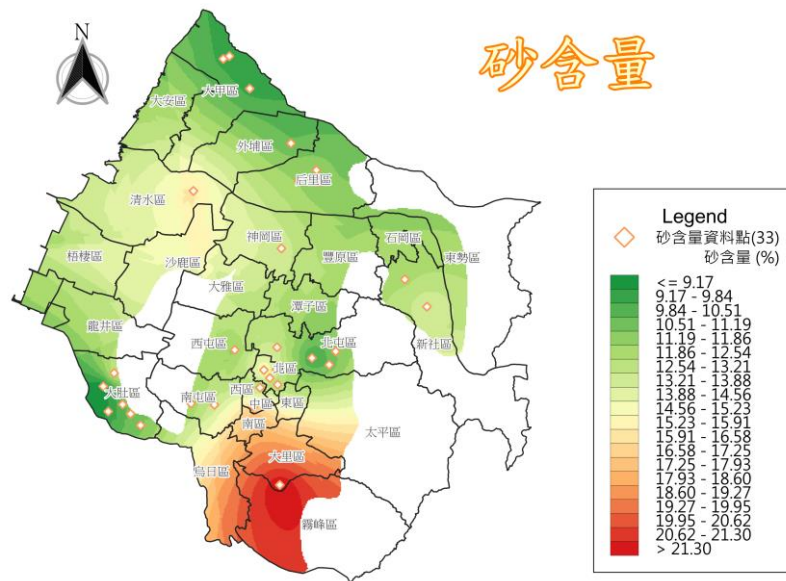


圖3 台中地區砂平均含量分佈圖

Figure 3 Mean sand content distribution map of the Taichung area

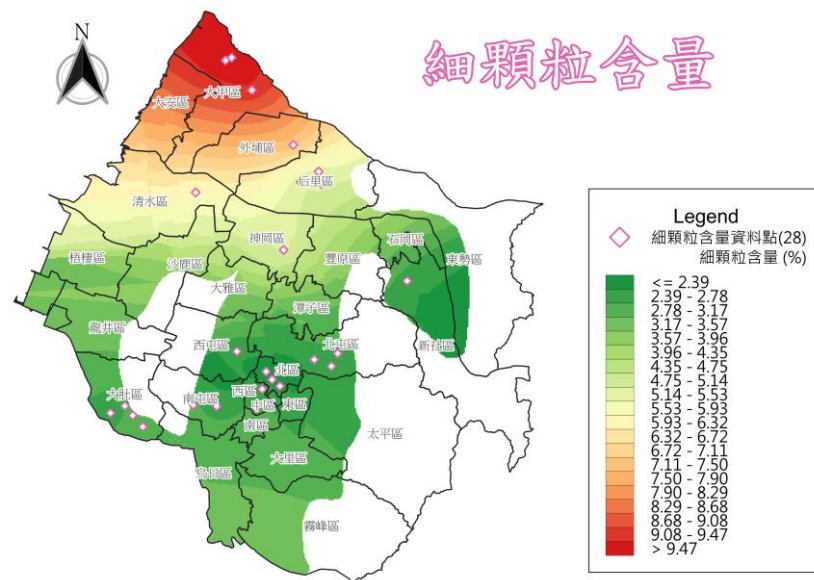


圖4 台中地區細顆粒平均含量分佈圖

Figure 4 Mean fine content distribution map of the Taichung area

3.2. 含水量

國內含水量試驗多參照美國材料試驗學會標準 ASTM D2216-19規定辦理。整理結果顯示，台中地區卵礫石層平均含水量為9.06%。其中平均含水量最高的行政區為大肚區，含水量15.3%。

3.3. 單位重

國內單位重試驗係依美國材料試驗學會標準 ASTM D7263-09(2018)e2之 B法規定進行，整理結果顯示，台中地區卵礫石層平均

單位重為2.13 t/m³。其中平均單位重最高的行政區為大里區，為2.52 t/m³。此外，由圖5可見，共27筆試驗資料顯示台中地區卵礫石層單位重以大里區為中心向北均勻遞減擴散。

根據本章結果得知，在至少28筆試驗資料支持下，台中地區卵礫石層的基本物理性質對空間分佈出現明顯趨勢。其中，單位重部分則有明顯向南遞增之趨勢，試驗之最大值出現在大里區，最小值出現在大甲區，且平均值仍以大里區最大。

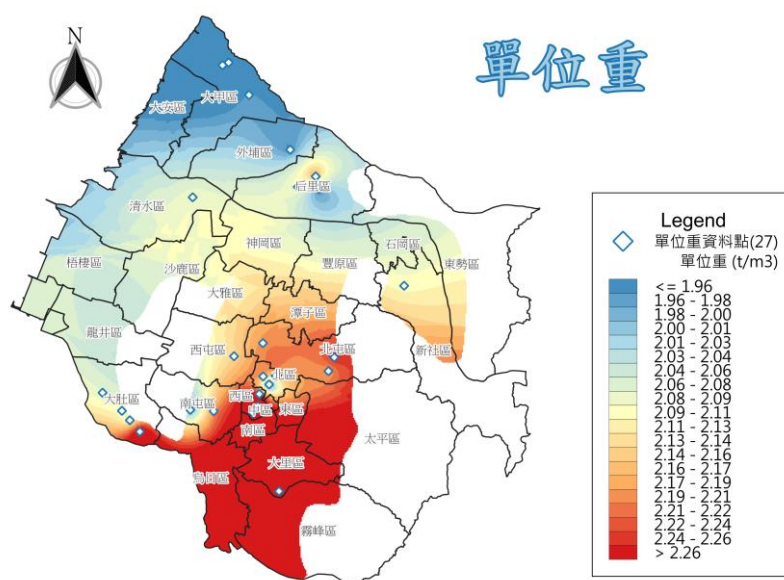


圖5 台中地區卵礫石層單位重分佈圖

Figure 5 Mean unit weight distribution of gravel layers in the Taichung area

卵礫石含量分佈均勻，唯其試驗之最大值出現在大肚區，最小值出現在大里區，且平均值以東勢區最大；砂含量部分則有向北遞增之趨勢，試驗之最大值出現在大里區，最小值出現在大肚區，且平均值仍以大里區

最大；細顆粒含量部分則有向南遞增之趨勢，試驗之最大值出現在大甲區，最小值出現在西區與西屯區，且平均值仍以大里區最大。

本研究還發現一般而言卵礫石含量大，單位重較大之趨勢在本區並不顯著，本文蒐

集之數據，即使是同一人在同一區內進行之土壤試驗，其卵礫石含量與單位重也無明顯相關性，如張吉佐等(1996)在大肚區的兩組試驗結果，其中之一卵礫石含量85%者，單位重 2.1 t/m^3 ；另一卵礫石含量96%者，其單位重 2.08 t/m^3 ，卵礫石含量較大者，單位重反而較小。推測一原因為部分現地密度試驗並未註記試坑尺寸，可能未考慮到尺寸效應，即周允文、孫漢豪(2017)文內提及褚炳麟老師認為之試坑尺寸應大於最大粒徑10倍以上，其結果較接近實際。

以上統計之級配分佈可供參考，如在大肚區與東勢區附近施工時需注意高卵礫石含量，大甲區附近則需留意高細顆粒含量等狀況，作為現地作業前的參考依據。

四、卵礫石層力學性質

陳福勝等(1995)認為在地層中粗顆粒之礫石含量愈高，其內摩擦角愈高，透水性亦高，但凝聚力愈小，整體之彈性模數愈大；若地層中細顆粒如沉泥、粘土或砂質土含量較高時，內摩擦角小，凝聚力高，透水性則低。

根據張光宗等(2014)結果顯示，當卵礫石粒徑越大與含量越多，其剪力強度、彈性模數、柏松比、摩擦角也會越大，但凝聚力略為下降。表示卵礫石粒徑大、含量高之材料，其抗剪強度大，變形性小。

將台中市區依行政區分類，彙整個別行政區內現有試驗資料，並採用普通克利金法

的線形模式進行統計，討論各地卵礫石層條件下之凝聚力與摩擦角、卵石單壓強度、楊氏模數與柏松比、滲透係數之區域分布情形，試驗數據整理結果如表3所示。

4.1. 凝聚力、摩擦角、單壓強度

現地直剪試驗部分，美國材料試驗學會標準 ASTM D4554-90 “Standard Test Method for In Situ Determination of Direct Shear Strength of Rock Discontinuities”建議試體上、下塊體尺寸為 $700 \times 700 \times 350 \text{ mm}$ ，而國內常見尺寸由 $750 \times 750 \times 375 \text{ mm}$ 至 $1500 \times 1500 \times 750 \text{ mm}$ 都有，以 $800 \times 800 \times 400 \text{ mm}$ 最多(蔡明欣等，1995；黃崇仁、司徒銳文，1995；林昀葦，2006)。其中林昀葦(2006)係於現地取樣以簡易設備進行重模直剪，試體尺寸為 $500 \times 500 \times 200 \text{ mm}$ ，試驗強度較其他研究稍低，本研究統計計算時不予納入。另部分試驗未註記其值為尖峰或殘餘剪力強度者，本研究同時納入尖峰值與殘餘值進行統計，以免低估其趨勢。

整理結果顯示，台中地區卵礫石層平均尖峰凝聚力為 29.0 kPa ，平均尖峰摩擦角為 38.1° ；平均殘餘凝聚力為 23.6 kPa ，平均殘餘摩擦角為 33.7° 。其中尖峰凝聚力最大之行政區為西屯區，接著便是大肚區，然西屯區僅一資料點，故尖峰凝聚力分布趨勢主要以大肚區為中心向外擴散(圖6)，此分佈僅供參考。尖峰摩擦角最大之行政區為西區，其分布趨勢以該為中心向外遞減(圖7)。

表3 台中地區卵礫石層力學性質一覽表

Table 3 Overview Table of mechanical properties of gravel layers in the Taichung area

行政區	尖峰凝聚力 (kPa)	尖峰摩擦角(°)	殘餘凝聚力 (kPa)	殘餘摩擦角(°)	卵石單壓強度 (MPa)	動態楊氏模數 (GPa)	靜態楊氏模數 (GPa)	參考文獻 *為重模試體
西屯區	84.4	35.6	67.7	34.7	-	-	-	中興(1999)
大里區	68.7	29.7	60.8	29.0	-	-	-	中興(1999)
清水區	1.3	40.1	1.3	40.1	-	-	-	*林(2006)
大甲區	25.7	32.8	10.0	30.2	-	-	-	蔡等(1995)
	19.3	39.3	26.6	34.1	-	-	-	蔡等(1995)
	29.4	28.0	9.8	28.0	-	-	-	張等(1996)
東勢區	-	-	-	-	117.7-186.3	-	-	吳等(1995)
神岡區	0.0	46.1	0.0	46.1	-	-	-	*林(2006)
大肚區	42.0	34.6	37.3	32.4	-	-	0.15	黃、司徒(1995)
	29.4	25.5	23.5	25.0	196.13	-	-	吳等(1995)
	29.4	42.0	0	42.0	-	-	0.74	張等(1996)
	39.2	30.0	39.2	28.0	-	-	0.25	張等(1996)
	1.3	47.7	1.3	47.7	-	-	-	*林(2006)
	-	-	-	-	-	1.27	-	陳(2013)
后里區	0.0	48.1	0.0	48.1	-	-	-	*林(2006)
	29.4	33.0	29.4	29.0	-	-	-	張等(1996)
	-	-	-	-	117.7-186.3	-	-	吳等(1995)
外埔區	29.4	33.0	29.4	29.0	-	-	-	張等(1996)
新社區	-	-	-	-	117.7-186.3	-	-	吳等(1995)
	-	-	-	-	-	0.19	-	陳(2013)
南屯區	22.7	33.6	19.6	29.0	-	-	-	蔡等(1995)
北屯區	14.7	48.7	14.7	48.7	-	-	-	任等(1998)
	-	-	-	-	-	0.95	-	陳(2013)
	0	38.0	-	-	-	-	-	和協工程(2023)
北區	-	-	-	-	134.7	-	-	江(2012)
西區	-	-	-	-	86.1	-	-	江(2012)
	0	52.0	0	48.0	-	-	-	張(2022)
	0	66.0	-	-	-	0.79-2.85	0.77	盧等(2024)

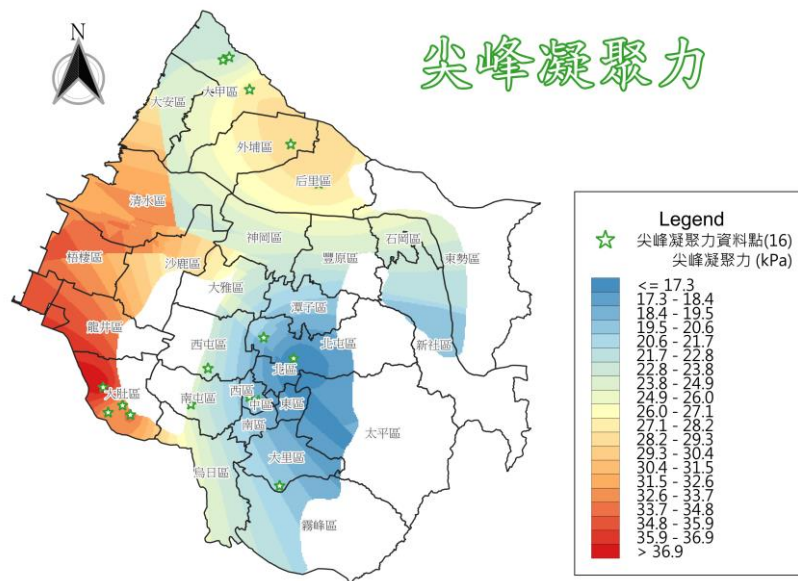


圖6 台中地區卵礫石層平均尖峰凝聚力分佈圖

Figure 6 Mean peak cohesion distribution of gravel layers in the Taichung area

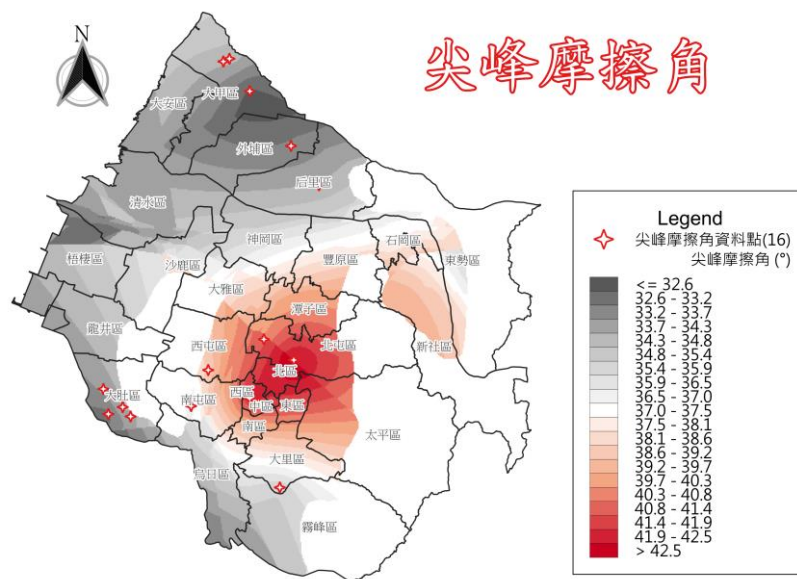


圖7 台中地區卵礫石層平均尖峰摩擦角分佈圖

Figure 7 Mean Peak friction angle distribution of gravel layers in the Taichung area

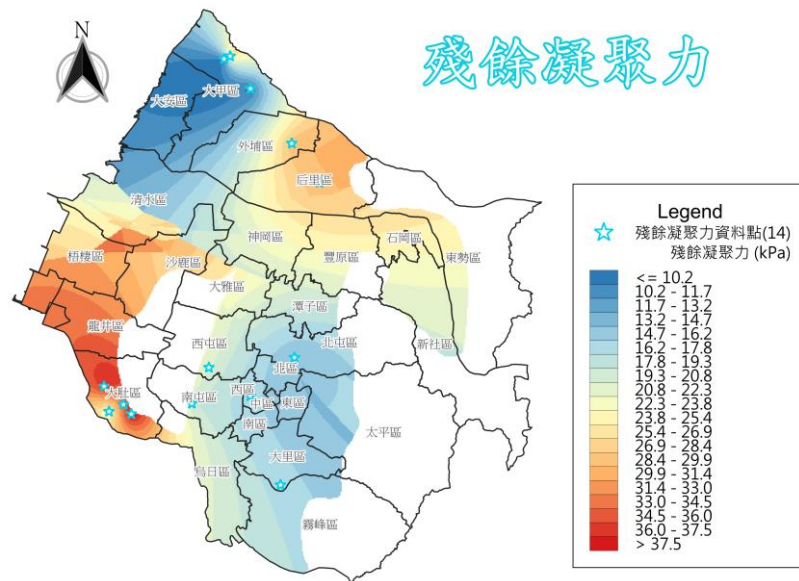


圖8 台中地區卵礫石層平均殘餘凝聚力分佈圖

Figure 8 Mean residual cohesion distribution of gravel layers in the Taichung area

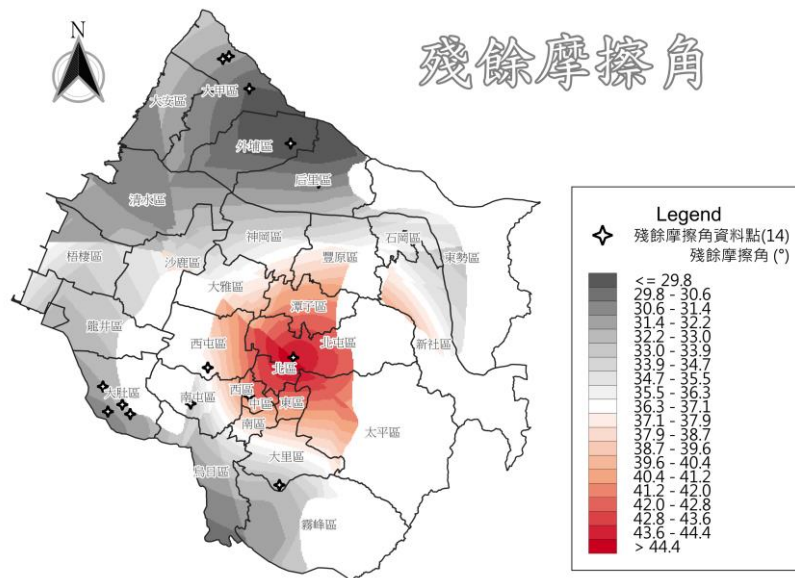


圖9 台中地區卵礫石層平均殘餘摩擦角分佈圖

Figure 9 Mean residual friction angle distribution of gravel layers in the Taichung area

殘餘強度部分，殘餘凝聚力最大行政區為也為西屯區，分佈現象與尖峰凝聚力分佈相似(圖8)。平均殘餘摩擦角最大之行政區為北屯區，次之則為西區，以這兩處其為中心向外遞減(圖9)，趨勢與尖峰摩擦角分佈近乎一致。

卵石單軸壓縮強度部分，通常會以現地或室內岩石試驗求得卵礫石之單軸壓縮強度。根據中興顧問社大地工程研究中心建議，參

照 ISRM 建議之"Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials"辦理。

整理結果顯示，台中地區平均卵礫石單壓強度為145.49 MPa，且卵石單壓強度最大之行政區位於大肚區，其值為196.13 MPa；最小值則為大肚區右側之西區值為86.10 MPa，整體分佈現象如圖10所示。

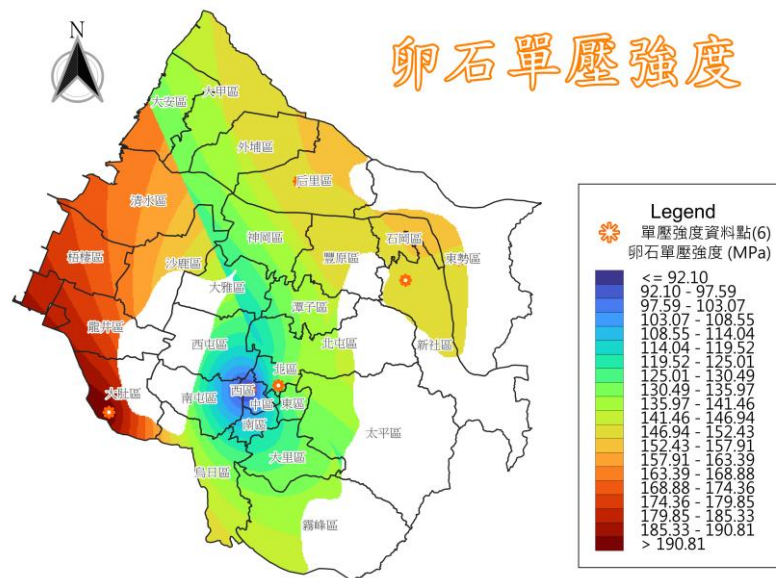


圖10 台中地區卵石平均單軸壓縮強度分佈圖

Figure 10 Mean uniaxial compressive strength distribution of gravel layers in the Taichung area

4.2. 動、靜態楊氏模數、柏松比

通常會以現地波速量測試驗來求得動態楊氏模數與柏松比，根據林進興(1992)表示，速度井測為測量震波於鑽孔附近地層傳遞之速度及震波衰減率，主要應用於地層之動態彈性模數、了解地層彈性模之規模效應等；平板載重試驗則用以求得靜

態楊氏模數，林炳森、楊麗文(1995)認為此法可用以評估地層之變形性與地層之承载力，理論上亦可由極限承载力反推材料強度參數。且根據過往經驗與整理結果，可以發現靜楊氏模數都比動楊氏模數小得多。

整理結果顯示，台中地區平均卵礫石層動態楊氏模數為1.05 GPa，靜態楊氏模

數為0.57 GPa，柏松比為0.25。其中平均動、靜楊氏模數最大值之行政區均位於西區。

4.2. 滲透性參數

經濟部(1975)指出臺中卵礫石層平均透水係數 K_r 範圍為 $2.04 \times 10^{-2} \sim 2.74 \times 10^{-1}$ cm/s，地層透水性極佳。鄧元昌等(2024)結果顯示，台中市區透水係數 K_r 範圍為 $2.09 \times 10^{-2} \sim 3.63 \times 10^{-2}$ (cm/s)。

整理結果顯示，台中地區平均卵礫石層滲透係數介於 $2.09 \times 10^{-2} \sim 2.74 \times 10^{-1}$ cm/s。

根據本章結果得知，在最多20筆試驗資料支持下，台中地區卵礫石層的力學性質對空間分佈僅出現部分趨勢。其中，尖峰與殘餘凝聚力部分無明顯分佈趨勢，在去除極端值條件下，試驗之最大值均出現在大肚區，最小值出現在北屯區，然平均值則以后里、外埔區為最大。根據試驗地點統計顯示，大多數現地直剪試驗其樣區多座落在台中市外圍，較少直接於市區施作試驗，或是因其結果較偏差而不採計，造成凝聚力在外圍以內地區為均勻分布之現象。

尖峰與殘餘摩擦角部分則有類似趨勢，在20筆試驗資料支持下，尖峰凝聚力試驗之最大值出現在西區，最小值出現在大甲區，且平均值仍以西區最大；殘餘凝聚力試驗之最大值則出現在后里區，最小值出現在大肚區，且平均值卻以北屯區最大，然兩者分佈均為外圍高中心低之趨勢，且此資料點遍布台中地區，其市區之均勻分佈現象較凝聚力統計具說服力。

卵石單壓強度部分，由西向東則有高、

低、中之分佈趨勢，然因其試驗資料僅有6筆，故其分佈趨勢僅供參考。該試驗之最大值出現在大肚區，最小值出現在西區，且平均值仍以大肚區最大；動態、靜態楊氏模數部分，兩試驗之最大值出現均在西區，且平均值仍以西區最大，最小值部分，最小動態楊氏模數出現在新社區、最小靜態楊氏模數出現在大肚區。

以上力學參數統計結果可供參考，結果顯示，在推估台中礫石層強度時需考慮其凝聚力，且摩擦角部分以台中市中心附近偏高，此外，施工時也需留意高強度卵礫石，其最低強度也至少達100 MPa。

五、結論與建議

本研究在彙整全台中地區所有試驗資料後，試圖找出各參數之分佈趨勢供後續相關研究，分析過程中統整出以下結論：

1. 本研究資料點共39筆，且涵蓋範圍有所侷限，部分數化之趨勢較不顯著者可能為資料量不足導致，後續研究可持續更新。
2. 本研究未針對卵礫石層之基本物理與力學性質在沖積層、紅土堆積層與階地堆積層之差異提出統計分析，未來如有更多試驗結果，可做進一步討論。
3. 台中地區平均卵礫石含量81.34%，平均砂含量13.26%，平均細顆粒含量4.50%。平均含水量為9.06%，平均單位重為2.13 t/m³。
4. 平均卵礫石含量最高之行政區為東勢區，平均砂含量最高之行政區為大里

區，平均細顆粒含量最高之行政區為大甲區，平均含水量最高的行政區為大肚區，平均單位重最高的行政區為大里區。

5. 台中地區卵礫石層平均尖峰凝聚力為 29.0 kPa，平均尖峰摩擦角為 38.1°；平均殘餘凝聚力為 23.6 kPa，平均殘餘摩擦角為 33.7°。平均卵礫石單壓強度為 145.49 MPa，平均卵礫石層動態楊氏模數為 1.05 GPa，靜態楊氏模數為 0.57 GPa，柏松比為 0.25。平均卵礫石層滲透係數介於 2.09×10^{-2} - 2.74×10^{-1} cm/s。
6. 尖峰凝聚力最大之行政區為西屯區，尖峰摩擦角最大之行政區為西區；殘餘凝聚力最大行政區也位於西屯區，殘餘摩擦角最大之行政區為北屯區，卵石單壓強度最大值之行政區位於大肚區，動、靜楊氏模數最大值之行政區均位於西區。

參考文獻

1. 中興顧問公司(1999)，「台中捷運路網沿線第一其地質鑽探與試驗」。
2. 任德煜、黃國書、林棕元、許致豪、壽克堅，1998，「台中盆地利用推進工地施行直接剪力試驗之研究」，岩盤工程研討會，第119~128頁。
3. 江長億(2012)，「卵礫石粒徑分布之空間統計及其在免開挖工程上的應用」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
4. 吳文隆、何泰源、林俊良(1995)，「台灣地區卵礫石層之工程特性」，國際卵礫石層地下工程研討會論文集，第1-61~1-72頁。
5. 何信昌、陳勉銘(2000)，「臺中」，五萬分之一台灣地質圖及說明書。
6. 林進興(1992)，「速度井測法」，地工技術，第39期，第98-101頁。
7. 林炳森、楊麗文(1995)，「卵礫石層地盤反力模數之研究」，國際卵礫石層地下工程研討會論文集，第1-87~1-94頁。
8. 林昀葦(2006)，「台灣中部地區崩積層抗剪強度之簡易現地試驗」，國立中興大學土木工程學系碩士論文。
9. 周允文、孫漢豪(2017)，「薪傳 臺灣卵礫石地層研究的先驅～褚炳麟教授」，地工技術，第153期，第102-106頁。
10. 和協工程技術顧問有限公司(2023)，「台中市北屯區太和段3地號地基調查報告書」。
11. 洪如江(1978)，「複合土工程性質之初步研究」，國立台灣大學工程學刊，第23期，第1-12頁。
12. 張吉佐、陳逸駿、嚴世傑(1996)，「台灣地區中北部卵礫石層工程性質及施工探討」，地工技術，第55期，第35-46頁。
13. 陳宥序(2013)，「以分離元素法探討卵礫石層力學性質」，國立中興大學水土保持學系碩士論文。

14. 張光宗、陳宥序、鄭敏杰(2014),「以數值方法探討卵礫石層的力學行為」,中華水土保持學報,第四十五期,第二卷,第95-102頁。
15. 張洹瑜 (2022),「以 TORSO 彈塑性基礎梁法模擬開挖土堤的方法探討」,國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文。
16. 黃崇文、司徒銳文(1995),「臺中大肚山台地礫石層承載特性調查實例」,國際卵礫石層地下工程研討會論文集,第1-41~1-50頁。
17. 經濟部水資源統一規劃委員會(1975),「台中地區地下水調查研究報告」。
18. 董家鈞、黃安斌(1996),「礫石土材料之力學試驗現況與展望」,地工技術,第55期,第59-70頁。
19. 趙基盛、陳福勝、何泰源、吳文隆、林俊良(1995),「卵礫石層工址調查方式探討與調查例」,國際卵礫石層地下工程研討會論文集,第1-51~1-60頁。
20. 褚炳麟、潘進明、張國雄(1996),「台灣地區中北部卵礫石層工程性質及施工探討」,地工技術,第55期,第47-58頁。
21. 蔡明欣、陳錦清、王銘德(1995),「台灣西部地區卵礫石層現地抗剪強度研究」,國際卵礫石層地下工程研討會論文集,第1-21~1-30頁。
22. 鄧源昌、黃俊鴻、高世鍊、周坤賢、林廷芳(2023),「以不同試驗求取臺中都會區卵礫石層透水係數之探討」,中國土木水利工程學刊,第三十五卷,第七期,第681-694頁。
23. 盧志杰、鄧源昌、黃俊鴻、林大鈞、陳楷仁(2024),「臺中都會區卵礫石地層深開挖案例之監測與分析」,中國土木水利工程學刊,第三十六卷,第二期,第123-135頁。
24. ASTM D7263-09 (2018) "Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens," Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.09.
25. ASTM D2216-19 (2019). "Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass," PA: ASTM International.
26. ASTM D4554-90 (1995). "Standard Test Method for In Situ Determination of Direct Shear Strength of Rock Discontinuities."
27. ISRM (1979). "Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials," Int J Rock Mech Min Sci. 16 (2), 135-140.

113 年 02 月 05 日收稿

113 年 02 月 07 日修改

114 年 04 月 14 日接受