

台灣中北部西部麓山帶沉積岩之力學特性

劉宸好⁽¹⁾ 邱雅筑⁽²⁾ 羅偉誠⁽³⁾

摘 要

台灣西部麓山帶地質環境複雜，了解其岩石基本物理性質和力學特性，對於工程設計有極大幫助。本研究蒐集並統整前人研究結果，範圍涵蓋台灣中北部西部麓山帶沉積岩，包括五指山層、木山層等 10 個地層，岩性主要為砂岩，並包含相對少量頁岩和砂頁岩互層。結果顯示，砂岩的平均乾單位重為 22.43 kN/m³，飽和含水量為 6.3%，孔隙率為 13.98%；力學特性方面，砂岩的平均單壓強度為 45.26 MPa，凝聚力為 10.98 MPa，摩擦角為 45.22°。岩石強度從甚弱岩石至強岩不等。其中，南港層之基本物性與力學特性為最佳，強度最高；上福基砂岩之基本物性最弱；卓蘭層/砂岩之力學特性較弱，強度為最低。

(關鍵字：西部麓山帶、沉積岩、物理性質、力學特性)

Mechanical Properties of Sedimentary Rocks in the Western Foothill Region of Central and Northern Taiwan

Chen-Yu Liu ⁽¹⁾ *Ya-Chu Chiu* ⁽²⁾ *Wei-Chen Lo* ⁽³⁾

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

ABSTRACT

The geological environment of the Western Foothills of Taiwan is complex. Understanding the fundamental physical and mechanical properties of the rocks is highly beneficial for engineering design. This study collects and consolidates results from previous research, covering sedimentary rocks in the Western Foothill Region of Central and Northern Taiwan, including ten formations such as the Wuchihshan Formation and Mushan Formation. The dominant rock type is sandstone, with a small amount of shale and sandstone interbedded with shale. The results show that the average dry unit weight of the sandstone is 22.43 kN/m³, the saturated water content is 6.3%, and the porosity is 13.98%. In terms of mechanical properties, the average uniaxial compressive strength of the sandstone is 45.26

⁽¹⁾國立中興大學水土保持學系碩士生

⁽²⁾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)

⁽³⁾國立中興大學水土保持學系碩士

MPa, the cohesion is 10.98 MPa, and the friction angle is 45.22°. The rock strength ranges from very weak rock to strong rock. Among them, the Nankang Formation exhibits the best physical and mechanical properties, with the highest strength, while the Shangfuchi Sandstone shows the weakest physical properties. The mechanical properties of the Cholan Formation/Sandstone are relatively weaker, with the lowest strength.

(**Keywords**：Western Foothill, Sedimentary Rocks, Physical Properties, Engineering Properties)

一、前言

台灣西部麓山帶由中央山脈西側的起伏山地開始，向西漸變為較低緩的山地和丘陵。然而，由於其地勢較為崎嶇、施工難度高，其地層多為碎屑狀沉積岩，易發生土壤或岩石的滑動與崩塌，且岩石的力學特性（如抗壓強度、凝聚力等）在不同區域可能有較大差異，對於隧道與基礎工程構成挑戰。本研究旨在統整台灣西部麓山帶沉積岩之岩石基本物理性質及力學特性，研究範圍涵蓋台灣中北部地區，統整結果與 ISRM(International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering，國際岩石力學學會)提出之分類法進行分類，可作為未來在工程實務或學術研究方面之依據。

1.1 西部麓山帶

西部麓山帶為台灣年代最年輕之山脈，北起新北三芝、金山，南抵高雄鳳山丘陵，介於西部平原及中央山脈之間。地質分區由中央山脈西邊的漸新世及新第三紀地槽盆地構成，以屈尺斷層和中央山脈地質區分隔，如圖 1。地層以新第三紀碎屑狀沉積岩為主，沉積環境多屬淺海相至濱海相。地質年代從漸新世-中新世-上新世-更新世呈現連續沉積，無明顯的地層或構造間斷，表 1 為台灣西部麓

山帶第三紀及更新世地層對比表，各地層年代簡述如下(何春蓀，1987)：

台灣西部麓山帶最老之地質年代為漸新世，其包含五指山層及木山層的下部，在西北部之地層以含煤層的白砂岩夾灰黑色頁岩為主要岩性特徵。

表 1 台灣西部麓山帶第三紀及更新世地層對比表(何春蓀，1986)

Table 1 Correlation Chart of Tertiary and Pleistocene Strata in the Western Foothills of Taiwan (Ho Chung-Sun, 1986)

區域 時代	台灣北部		台灣中北部	台灣中部
	基隆、台北、桃園		新竹、苗栗	台中、彰化、南投
更新世	頭嵙山層 (觀音山層)		通霄(楊梅)層	頭嵙山層
	卓蘭層		卓蘭層	卓蘭層
上新世	錦水頁岩		錦水頁岩	錦水頁岩
	三峽群	二閣層	桂竹林層	魚藤坪砂岩
		大埔層		十六份頁岩
		南莊(五堵)層		關刀山砂岩
		南港砂岩	上福基砂岩	南莊層
中新世	瑞芳群	南港砂岩	東坑層	水裡坑層
		南港層	觀音山砂岩	
	早期	漆合層	打鹿頁岩	
		石底層	北寮砂岩	
	野柳群	大寮層	出磺坑層	大坑層
		木山層	碧雲頁岩	
漸新世	五指山層		汶水層	粗坑層
	蚊子坑層			

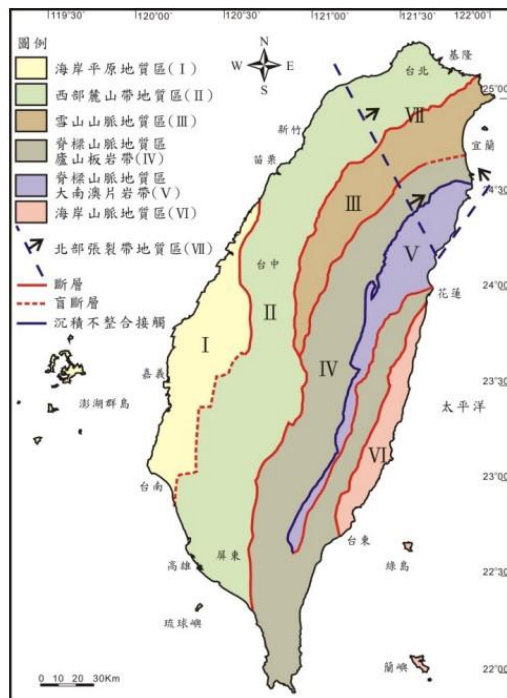


圖 1 台灣地質分區圖(陳文山，2016)

Figure 1 Geological map of Taiwan (Chen Wen-Shan, 2016)

中新世地層主要岩石為砂岩、粉砂岩和頁岩的互層。北部中新世地層特徵是塊狀砂岩較發達及砂頁岩互層和若干薄煤層。中部就變為厚層砂岩和厚層頁岩交替出現。

上新世地層分布在西部山地中新世地層出露地區以西的山嶺和丘陵地，其在台灣最北部出露較少，和中新世地層間的界線大致位於桂竹林層的關刀山砂岩段和十六份頁岩段間。

更新世地層大都出露在西部山地較靠西的山嶺或山丘內。台灣西部上新世和更新世的分界定在原屬上新世卓蘭層的中部。頭嵙山層是台灣最發達的更新世地層，位於卓蘭層的上部，廣布在台灣西部。

1.2 沉積岩

沉積岩是在地表環境下，由母岩的風化產物、火山物質、有機物質等，經過水流侵蝕、搬運、沉積及成岩作用所形成的一種岩石。沉積岩在地表出露的岩石中佔約 70%，其中以頁岩、砂岩及石灰岩分布最廣，約佔全部沉積岩分布面積的 99%。沉積岩之強度通常受到壓密、膠結的影響，通常由砂、鐵質膠結之岩層強度較大，鈣、泥質膠結之岩層強度較小(潘國樑，2007)。

沉積岩會隨著時間依層位堆積，形成具年代意義的地層層序。在不同的沉積環境中，沉積物會受到環境因素的影響，形成不同的沉積相，如河川、海岸、湖泊等地區的沉積物會呈現不同的堆積特徵(鄧屬予，1997)。

沉積岩的特徵包括沉積構造、組織和組成。沉積構造反映沉積作用的物理、化學和生物過程。如交錯層和波痕，這些構造能揭示沉積環境及成岩歷程。組織則涉及顆粒的粒度、外形與表面特徵，粒度可反映沉積環境的能量高低，而顆粒的圓度與球度則能指示其搬運過程(鄧屬予，1997)。

二、研究樣區地質概述

本研究範圍涵蓋台灣中北部，從新北市平溪區至雲林縣林內鄉，範圍橫跨多個地質單元，涵蓋各種沉積環境。研究所涉及之岩層包括五指山層(Wc)、木山層(Ms)、大寮層(Tl)、石底層(St)、南港層(Nk)、東坑層(Te)、上福基砂岩(Sf)、桂竹林層關刀山砂岩段(Kck)、卓蘭層(Cl)及頭嵙山層(Tk)，共 10 地層，地層年代

自漸新世至更新世，各岩層之地質背景簡述如下：

2.1 五指山層(Wc)

西部麓山帶中最老之地層，地質年代屬漸新世晚期。岩性主要由塊狀、厚層、白色、細粒至粗粒砂岩及深灰色頁岩所組成。砂岩層間常見深灰色頁岩和砂、頁岩的互層，並夾有炭質頁岩數層。在本層下部、中上部及上部常夾有厚數十公分的礫岩狀砂岩層(黃鑑水，2005)。

2.2 木山層(Ms)

本層地質年代屬中新世早期。岩性以白色中粒至細粒正石英砂岩或原石英砂岩為主，多呈厚層或塊狀，有時具有明顯之交錯層構造及含有暗紅色氧化。灰黑色頁岩常與砂岩構成互層。其另一特點為白色粉砂岩或細粒砂岩與黑色頁岩所成之薄葉互層甚為顯著(黃鑑水，2005)。

2.3 大寮層(Tl)

本層地質年代屬中新世早期。岩層主要由厚層塊狀砂岩和不同層厚的頁岩或砂頁岩互層所組成。砂岩大部份為淡灰色、淡青灰色或灰色細粒的亞混濁砂岩或混濁砂岩，另有一部份為淡灰色或白灰色細至中粒原石英砂岩。頁岩為深灰色，在本層下部較為發達(黃鑑水，2005)。

2.4 石底層(St)

本層地質年代屬中新世早期。主要岩層為淺灰色至白色細粒至中粒砂岩、灰色砂岩、灰黑色頁岩、以及白色粉砂岩或細砂岩與黑色頁岩所成之薄葉互層。砂岩以長石質砂岩為主，有時呈塊狀厚層。頁岩為深灰色或黑灰色，常含有炭質物(黃鑑水，2005)。

2.5 南港層(Nk)

本層地質年代屬中新世早期至中期。主要由灰色塊狀厚層至薄層細粒泥質砂岩和深灰色頁岩或粉砂岩構成。本層中有顯著的厚層塊狀砂岩。砂岩為石屑質的混濁砂岩(lithic graywacke)或亞混濁砂岩(subgraywacke)。頁岩為深灰色，較為純淨，但有時與薄層砂岩構成互層(黃鑑水，2005)。

2.6 上福基砂岩(Sf)

地質年代屬中新世晚期。本層以白色細粒至粗粒砂岩為主，間夾薄層至中層灰黑色頁岩、砂頁岩薄互層及煤層，白砂岩多為厚層至塊狀。砂岩為細至粗粒石英砂粒膠結而成，岩質相當疏鬆，易於破碎，常夾黑灰色頁岩細片。砂岩之新鮮面呈純白色，風化後則呈黃褐色或淡黃色(江婉綺、陳柏村，2011)。

2.7 東坑層(Te)

地質年代屬中新世中期至晚期。本層主要由淡灰色或淡黃色緻密砂岩及暗灰色頁岩之互層為主。砂頁岩所成之帶狀薄互層，多呈不規則黑白相間之條紋狀，也常見縞狀砂頁岩薄互層。在砂頁岩互層間也常夾有厚數十公分至數十公尺之淡灰色至灰黃色砂岩，也夾有延續性不佳之薄煤層及炭質碎塊。砂岩

的顆粒大多細緻，風化後顏色為棕灰色至棕黃色，偶見淺灰色至灰白色(江婉綺、陳柏村，2011)。

2.8 桂竹林層關刀山砂岩(Kck)

地質年代屬中新世晚期至上新世最早期。本岩段岩性以青灰色至灰色塊狀至厚層細粒至中粒泥質砂岩為主，間夾灰色至暗灰色厚層至薄層的砂質頁岩，底部常夾有灰白色的粗粒砂岩與灰色砂質頁岩之互層(江婉綺、陳柏村，2011)。

2.9 卓蘭層(CI)

地質年代屬上新世晚期至更新世早期。岩層均由砂岩、粉砂岩、泥岩、及頁岩之互層組成，岩性單調重覆。本層之砂岩多呈淡青灰色或淡灰色，以細粒為主，有時含炭質小片及雲母質。卓蘭層之岩質均至為鬆軟，僅其受石灰質或鐵液浸染部份較為堅硬。卓蘭層在大安溪以南泥質較多，大多為灰色頁岩夾黑灰色細至粗粒之砂岩及淡灰色細粒砂岩，以北則砂質大增，頁岩減少，形成以灰色頁岩與細粒砂岩所成的互層為主(李錦發，2000)。

2.10 頭嵛山層(Tk)

地質年代屬更新世中期。本層分為兩種岩相，上部主要以礫岩為主，間夾少許砂岩或泥岩層，此即火炎山礫岩相。下部主要以厚層或塊狀之泥質砂岩及泥岩為主要岩性，砂岩為細至粗粒，淘選不良，膠結疏鬆，呈塊狀，常移變為泥岩，甚難有平整之層理面，泥岩一般呈灰色，有時含砂質(李錦發，2000)。

三、研究方法

3.1 試體來源及產狀

本研究以台灣中北部西部麓山帶沉積岩為主要對象。蒐集之岩石試體資料含蓋 10 岩層 14 種岩性(圖 2)，並透過一系列基本物性、力學試驗求得岩石之物理性質及力學特性。其中試體以砂岩居多，僅含少量砂質頁岩薄互層及頁岩試體。下表 2 為各岩層試體之岩性、編號及取樣地點。

3.2 試驗方法

3.2.1 基本物理性質試驗

基本物性試驗包含岩石之單位重、比重、含水量及孔隙率，試驗方法皆參照 ISRM 所建議之規範進行，其中部分孔隙率係利用乾密度與比重求得(ISRM, 2007)。

3.2.2 岩石單軸壓縮試驗

ISRM 建議之岩石單軸壓縮試驗係將建議尺寸之圓柱試體於側邊黏貼應變計，接著以壓力試驗機加載，為避免強度在不同加載速度下改變使得比較基準不一，需使試體在 5~10 分鐘內破壞(ISRM, 2007)。試驗所得之尖峰強度即為單壓強度，而應力應變曲線可求得試體之楊氏模數。

3.2.3 傳統三軸壓縮試驗

傳統三軸壓縮試驗目的為求取岩石之尖峰強度、凝聚力、摩擦角及殘餘強度、凝聚力、

摩擦角等參數。試驗方法係將圓柱試體套上橡皮套後固定於三軸室內，以水或油加壓使試體受到圍壓並破壞。

3.2.4 巴西張力試驗

巴西張力試驗可求得岩石之抗張強度。ISRM 建議之試驗方法係將圓形試體放置於試驗機夾具中，並控制試體在 15~30 秒內破壞。將測得之最高荷重帶入巴西試驗公式求得岩石之張力強度。

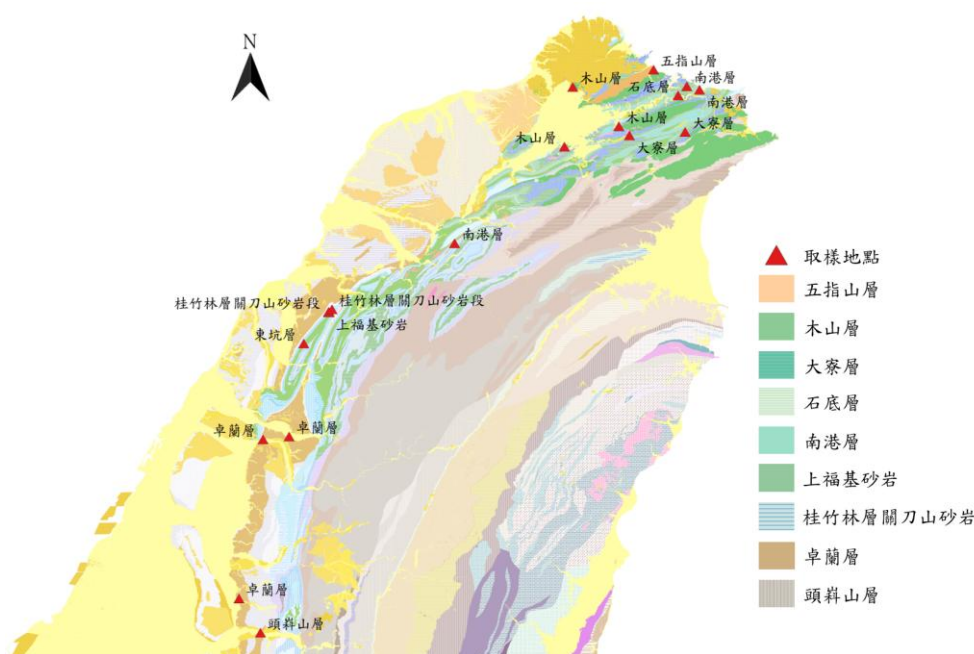


圖 2 資料來源取樣位置

Figure 2 Data Source Sampling Locations

表 2 各岩層試體簡述

Table 2 Description of specimens from each rock layer

岩層	岩性	編號	取樣地點	描述
五指山層	砂岩	Wc1/SS	台北縣萬里鄉之萬瑞公路工址	略帶黃褐色之粗顆粒砂岩，平行及交錯層理發達，主要組成礦物為石英，粒徑近似礫岩級
五指山層	砂岩	Wc2/SS		青灰色之雜砂岩，含少量白雲母及碳粒，基質含量高，膠結較佳，層理不明顯
木山層	砂岩	Ms1/SS	台北縣中和市圓通寺附近工址	白色中顆粒砂岩，岩塊中偶含薄煤層，有交錯層理
木山層	砂岩	Ms2/SS	台北市北投地區	白色粗顆粒砂岩，含有交錯層理並間夾薄煤線
木山層	砂岩	Ms3/SS	台北市南港區舊庄地區北宜高速公路南港二號隧道工程	淡灰色、中至細粒砂岩，膠結良好，淘選度佳，偶夾極薄之細泥層
木山層	砂岩	Ms4/SS	台北縣中和市圓通寺附近工址	黃棕色，偶含薄煤層，其中亦時夾有交錯層構造
大寮層	砂岩	Tl1/SS	台北縣石碇鄉之北宜高速公路工地	青灰色細顆粒雜砂岩，膠結普通，不具層理，可見明顯生痕擾動之現象
大寮層	砂岩	Tl2/SS	台北縣平溪鄉平湖村	青灰色細粒砂岩，膠結良好，淘選差，不具層理，具有生痕擾動之現象
石底層	砂岩	St/SS	台北縣瑞芳鎮四腳亭附近，接近四腳亭向斜軸	青灰色細粒砂岩，膠結程度普通，淘選度差，並含有薄泥層及偶現之極薄煤線
南港層	砂岩	Nk1/SS	新竹縣關西之亞泥礦場	灰色細粒砂岩，膠結程度佳，層面無法辨識
南港層	砂岩	Nk2/SS	台北縣瑞芳鎮深澳坑	淡灰色或青色細粒砂岩，膠結佳，可見鈣質膠結為主，並含有許多肉眼可見之生物化石

南港層	砂岩	Nk3/SS	台北縣平溪鄉新寮村	淡青灰色細粒砂岩，膠結程度良好，淘選度佳，含有極薄之灰黑色泥層
東坑層	砂岩	Te/SS	苗栗縣公館鄉南河村出磺坑背斜附近	細顆粒砂岩，部份已風化呈黃褐色至紅棕色，銹染情形普遍
上福基砂岩	砂岩	Sf1/SS	苗栗縣獅潭鄉鳴鳳村，出磺坑背斜東翼偏北處	灰白色中至粗粒石英砂岩，膠結程度差，淘選良好，地層層面缺乏沈積構造而無法辨識
上福基砂岩	砂岩	Sf2/SS		灰白色細粒砂岩，膠結與淘選程度普通，具有許多極薄泥層，與砂岩部份呈現交錯層之互層；部份薄泥層碳化程度較高，已碳化近似於煤
關刀砂岩段	砂岩	Kck1/SS	苗栗縣獅潭鄉與頭屋鄉交界處之鳴鳳古道內	由灰色、灰白色或白色粗粒砂岩及灰色泥質砂岩和薄層灰色砂質頁岩組成
關刀砂岩段	砂岩	Kck2/SS	苗栗縣造橋鄉	
卓蘭層	砂岩	Cl1/SS	南投市之中二高南投服務區工地	細顆粒砂岩，膠結疏鬆，淘選程度普通，岩塊多已風化呈黃褐色至紅棕色
卓蘭層	砂岩	Cl2/SS	大安溪	
卓蘭層	砂頁岩互層	Cl3/SS-SH		
卓蘭層	頁岩	Cl4/SH		
卓蘭層	砂岩	Cl5/SS	大安溪	
卓蘭層	砂頁岩互層	Cl6/SS-SH		
卓蘭層	頁岩	Cl7/SH		
卓蘭層	砂岩	Cl8/SS	石岡壩	
卓蘭層	砂岩	Cl9/SS		層狀砂岩
卓蘭層	頁岩	Cl10/SH		厚層頁岩
頭嵙山層	砂岩	Tk1/SS	集集攔河堰	
頭嵙山層	頁岩	Tk2/SH		
頭嵙山層	砂頁岩互層	Tk3/SS-SH		
頭嵙山層	砂岩	Tk4/SS		
頭嵙山層	頁岩	Tk5/SH		
頭嵙山層	砂頁岩互層	Tk6/SS-SH		

四、西部麓山帶沉積岩之基本物理性質

根據前人(林宏勳, 2001; 翁孟嘉, 2002; 吳佳諺, 2011; 翁翊恒, 2014; 張世穎, 2014)研究進行之岩石基本物性試驗, 篩選出符合本研究目的之試驗結果, 共 31 筆資料含蓋 14 種岩性。其中包含岩石之單壓強度、凝聚力及摩擦角等, 如下表 3 所示。

4.1 乾單位重

乾單位重為岩石在完全乾燥狀態下單位體積之重量, 其中體積包括岩石體積及顆粒空隙。單位重較大之岩石通常較緻密、強度較高。統整結果顯示, 台灣中北部西部麓山帶砂岩之乾單位重範圍介於 19.72~25.9 kN/m³ 之間, 平均值為 22.43 kN/m³, 而各岩性之平均乾單位重最高為桂竹林層關刀山砂岩段 24.98 kN/m³, 最低則是上福基砂岩 20.7 kN/m³ (圖 3)。

4.2 飽和含水量

飽和含水量是指岩石孔隙在完全飽水狀態下水分的質量與岩石乾重之比, 通常飽和含水量較高之岩石其乾單位重較低。台灣中北部西部麓山帶砂岩之飽和含水量範圍介於 1.3~11.4% 之間, 平均值為 6.3%。而各岩性之平均飽和含水量最高為卓蘭層/砂岩 9.61%, 最低則是南港層 1.52% (圖 4)。

4.3 孔隙率

岩石孔隙率是指岩石總體積與孔隙體積之比率, 岩石之孔隙率與滲透度、淘選度及膠結度有關, 孔隙率較高之岩石, 其淘選度及滲透度愈佳、膠結度愈低。台灣中北部西部麓山帶砂岩之孔隙率範圍介於 0.11~11.41% 之間, 平均值為 13.98%, 而各岩性之孔隙率最高為上福基砂岩 20.77%, 最低則是頭嵙山層/頁岩 5.6% (圖 5)。

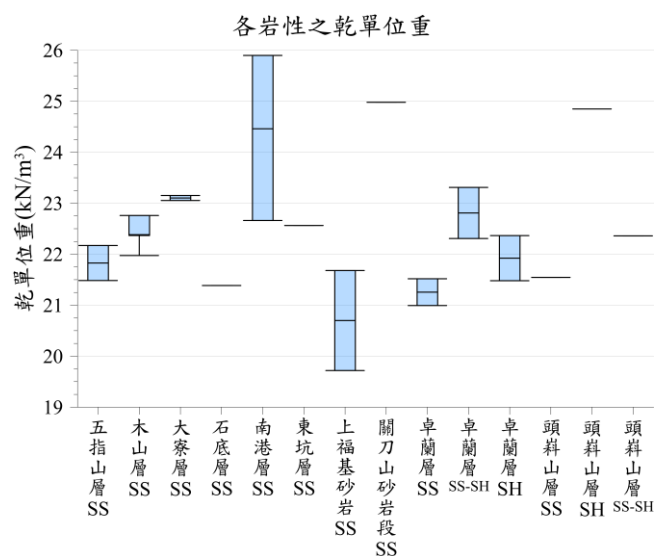


圖 3 各岩性之乾單位重

Figure 3 Dry unit weight of each lithology

表 3 西部麓山帶沉積岩各岩層之基本物理性質

Table 3 Basic physical properties of each rock layer in the sedimentary strata of the Western Foothills

岩性編號	乾單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	比重	含水量 (%)	飽和含水量 (%)	孔隙率 (%)
Wc1/SS	21.48	—	2.66	—	7.04	17.37
Wc2/SS	22.17	—	2.72	—	7.39	16.73
Ms1/SS	21.97	—	2.52	—	5.11	—
Ms2/SS	22.37	—	2.66	—	5.77	14.08
Ms3/SS	22.76	—	2.67	—	5.11	13.07
Ms4/SS	22.43	—	—	—	—	0.11
TI1/SS	23.15	—	2.72	—	5.58	13.29
TI2/SS	23.05	—	2.70	—	4.95	12.82
St/SS	21.39	—	2.67	—	8.44	18.20
Nk1/SS	25.90	—	2.74	—	1.30	3.54
Nk2/SS	24.82	—	2.70	—	1.73	6.36
Nk3/SS	22.66	—	2.71	—	5.59	14.83
Te/SS	22.56	—	2.65	—	5.55	—
Sf1/SS	19.72	—	2.66	—	11.22	24.64
Sf2/SS	21.68	—	2.66	—	6.83	16.89
Kck1/SS	24.98	—	2.66	0.34	—	—
Kck2/SS	—	—	—	—	—	—
CI1/SS	20.99	—	2.70	—	—	20.65
CI2/SS	—	—	2.62	—	11.41	21.11
CI3/SS-SH	—	—	—	—	—	—
CI4/SH	23.31	24.60	2.65	—	5.56	10.31
CI5/SS	21.52	—	2.61	8.97	—	16.03
CI6/SS-SH	22.36	—	2.64	7.59	—	13.13
CI7/SH	22.31	—	2.65	5.47	—	14.18
CI8/SS	21.48	23.14	2.64	—	7.82	11.00
CI9/SS	—	—	2.65	—	—	8.67
CI10/SH	—	—	2.64	—	—	7.74
Tk1/SS	—	—	2.62	—	—	16.20
Tk2/SH	—	—	2.68	—	—	5.60
Tk3/SS-SH	—	—	2.65	—	—	14.00
Tk4/SS	21.55	—	2.62	—	—	—
Tk5/SH	24.85	—	2.69	—	—	—
Tk6/SS-SH	22.36	—	2.65			

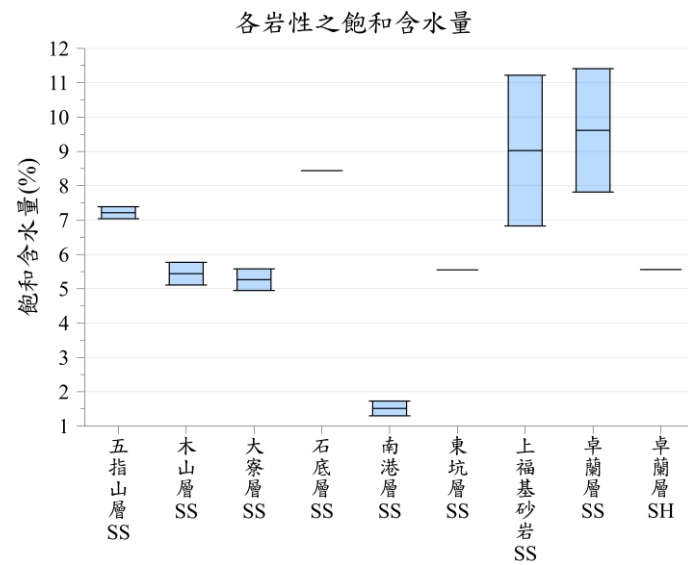


圖 4 各岩性之飽和含水量
Figure 4 Saturated water content of each lithology

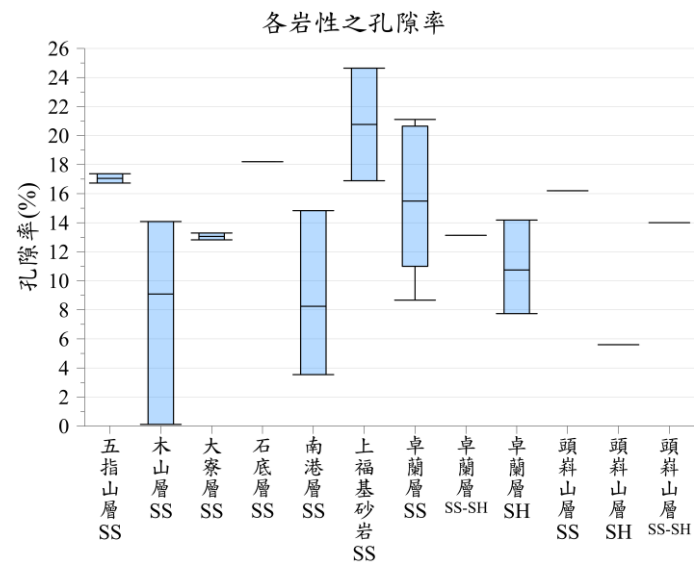


圖 5 各岩性之孔隙率
Figure 5 Porosity of each lithology

五、西部麓山帶沉積岩之力學特性

根據前人(林宏勳，2001；翁孟嘉，2002；吳佳諺，2011；翁翊恒，2014；張世穎，2014)

研究進行之岩石力學特性試驗，篩選出符合本研究目的之試驗結果，共 31 筆資料含蓋 14 種岩性。其中包含楊氏模數(表 4)、單壓強度、凝聚力及摩擦角等，如下表 5 所示。

表 4 西部麓山帶沉積岩各岩層之楊氏模數

Table 4 Young's modulus of each rock layer in the sedimentary strata of the Western Foothills

岩層/岩性	正切楊氏模數 (MPa)	飽和正切楊氏模數 (MPa)	正割楊氏模數 (MPa)
Wc1/SS	11990	4400	—
Wc2/SS	5000	1600	—
Ms1/SS	7560	3410	—
Ms2/SS	12700	10000	—
Ms3/SS	14000	9930	—
Ms4/SS	11663		—
Tl1/SS	9700	4300	—
Tl2/SS	12170	7330	—
St/SS	5560	1630	—
Nk1/SS	21300	23500	—
Nk2/SS	22330	17100	—
Nk3/SS	12130	8070	—
Te/SS	5200	2220	—
Sf1/SS	2630	2230	—
Sf2/SS	5170	2470	—
Kck1/SS	—	—	4552.73
Kck2/SS	—	—	—
Cl1/SS	—	—	—
Cl2/SS	—	—	1880
Cl3/SS-SH	—	—	1050
Cl4/SH	—	—	385
Cl5/SS	—	—	—
Cl6/SS-SH	—	—	—
Cl7/SH	—	—	—
Cl9/SS	—	—	190
Cl10/SH	—	—	686
Tk1/SS	—	—	2150
Tk2/SH	—	—	2335
Tk3/SS-SH	—	—	425
Tk4/SS	5152.50	—	—
Tk5/SH	2335.50	—	—
Tk6/SS-SH	426.57	—	—

表 5 西部麓山帶沉積岩各岩層之力學特性

Table 5 Mechanical property of each rock layer in the sedimentary strata of the Western Foothills

岩層/岩性	單壓強度 (MPa)	飽和單 壓強度 (MPa)	凝聚力 (MPa)	飽和凝 聚力 (MPa)	摩擦角 (°)	飽和摩 擦角(°)	抗張強度 (MPa)
Wc1/SS	34.09	25.37	13.14	1.46	42.50	44.50	—
Wc2/SS	47.45	6.67	9.92	0.94	44.90	37.50	—
Ms1/SS	48.50	28.90	—	—	—	—	—
Ms2/SS	37.13	28.28	10.67	9.82	43.50	42.70	—
Ms3/SS	82.69	43.29	—	—	—	—	—
Ms4/SS	32.83	—	—	—	—	—	—
Tl1/SS	68.70	23.24	16.73	3.26	44.40	43.50	—
Tl2/SS	77.46	44.18	—	—	—	—	—
St/SS	38.43	7.81	—	—	—	—	—
Nk1/SS	100.50	70.48	18.46	16.00	52.60	47.70	—
Nk2/SS	89.05	44.03	—	—	—	—	—
Nk3/SS	85.95	43.15	—	—	—	—	—
Te/SS	69.00	29.40	—	—	—	—	—
Sf1/SS	14.48	12.19	—	—	—	—	—
Sf2/SS	46.41	19.91	—	—	—	—	—
Kck1/SS	60.99	—	33.80	—	36.10	—	5.58
Kck2/SS	16.70	—	0.04	—	33.40	—	—
Cl1/SS	19.86	3.09	5.82	1.04	41.80	23.00	—
Cl2/SS	6.26	—	0.62	—	56.00	—	0.35
Cl3/SS-SH	4.39	—	0.48	—	25.00	—	0.32
Cl4/SH	2.65	—	0.56	—	45.00	—	0.28
Cl5/SS	5.91	—	0.57	—	57.00	—	—
Cl6/SS-SH	4.69	—	1.07	—	26.00	—	—
Cl7/SH	2.46	—	0.67	—	38.00	—	—
Cl9/SS	1.67	—	—	—	—	—	0.14
Cl10/SH	4.30	—	—	—	—	—	0.21
Tk1/SS	28.50	—	—	—	—	—	1.72
Tk2/SH	10.00	—	—	—	—	—	1.68
Tk3/SS-SH	2.00	—	—	—	—	—	0.50
Tk4/SS	28.40	—	—	—	—	—	—
Tk5/SH	10.50	—	—	—	—	—	—
Tk6/SS-SH	1.95	—	—	—	—	—	—

5.1 單壓強度

鄭富書等人(1994)整理台灣麓山帶一些岩石之力學資料，發現岩石平均單壓強度為 51.7 MPa。施國欽、李彪(1994)整理台灣沉積岩(漸新世至更新世之單壓強度資料)各種地層砂岩之單壓強度範圍約在 0.8~29.3 MPa 間，大部份砂岩強度皆屬軟弱岩石(翁孟嘉，2002)。

而本研究統整之砂岩單壓強度範圍介於 1.67~100.5 MPa 間，平均值為 45.26 MPa。而各岩性之平均單壓強度最高為南港層 91.83 MPa，最低為頭嵙山層/頁岩 1.97 MPa (圖 6)。根據 ISRM(1981)之建議，將各岩層之平均單壓強度進行分類，如下表 6，台灣中北部西部

麓山帶之沉積岩平均落在甚弱岩石至強岩之間。

5.2 凝聚力及摩擦角

凝聚力及摩擦角可直接反映岩石之剪力強度，凝聚力是指岩石顆粒之間相互吸引的力，摩擦角則是岩石受剪力作用下之抗滑力。蒐集資料顯示，台灣中北部西部麓山帶砂岩之凝聚力範圍介於 0.04~33.8 MPa 間，摩擦角介於 33.4~57°之間。平均凝聚力為 10.98 MPa，平均摩擦角則是 45.22°。各岩性之平均凝聚力最高為南港層 18.46 MPa，最低為卓蘭層/頁岩 0.62 MPa (圖 7)。而各岩性之平均摩擦力最高為南港層 52.6°，最低則是卓蘭層/砂頁岩互層 25.5°(圖 8)。

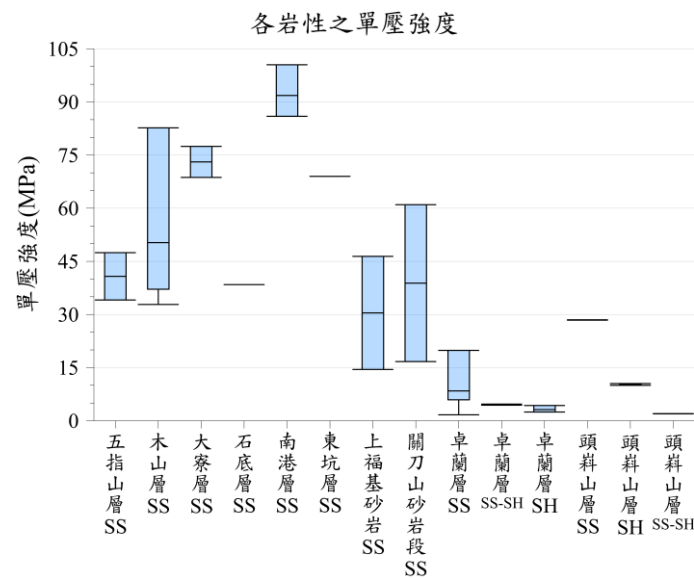


圖 6 各岩性之單壓強度

Figure 6 Uniaxial compressive strength of each lithology

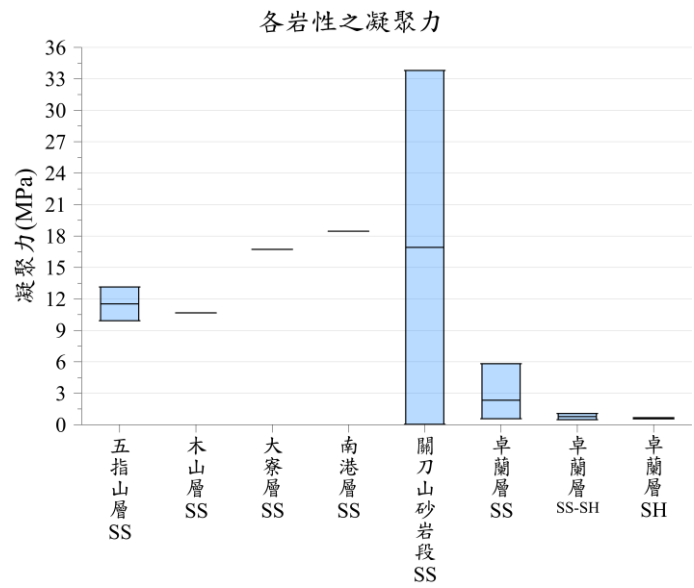


圖 7 各岩性之凝聚力
Figure 7 Cohesion of each lithology

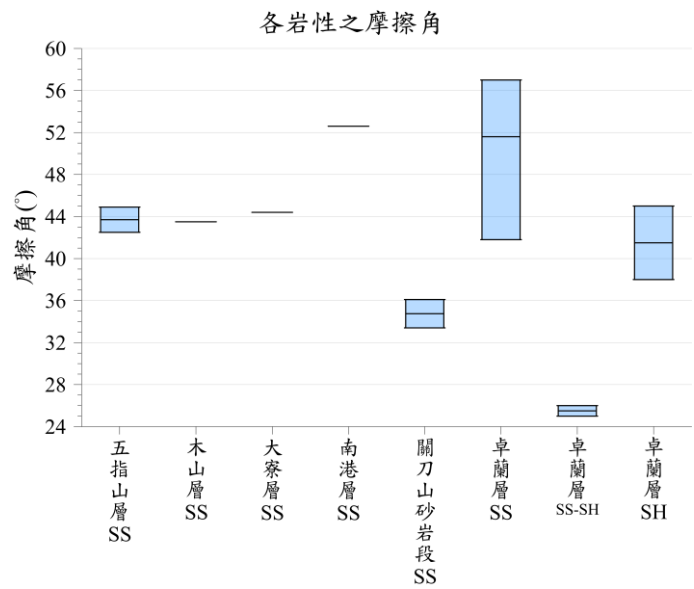


圖 8 各岩性之摩擦角
Figure 8 Friction angle of each lithology

表 6 各岩性平均強度分類

Table 6 Average strength classification of each lithology

岩層/岩性	平均單壓強度(MPa)	強度分類(ISRM, 2007)
Wc	40.77	中強岩石(25~50 MPa)
Ms	50.29	強岩(50~100 MPa)
Tl	73.08	強岩(50~100 MPa)
St	38.43	中強岩石(25~50 MPa)
Nk	91.83	強岩(50~100 MPa)
Te	69	強岩(50~100 MPa)
Sf	30.45	中強岩石(25~50 MPa)
Kck	38.85	中強岩石(25~50 MPa)
Cl/SS	8.43	弱岩(5~25 MPa)
Cl/SS-SH	4.54	甚弱岩石(1~5 MPa)
Cl/SH	3.14	甚弱岩石(1~5 MPa)
Tk/SS	28.45	中強岩石(25~50 MPa)
Tk/SH	10.25	弱岩(5~25 MPa)
Tk/SS-SH	1.97	甚弱岩石(1~5 MPa)

六、結論與建議

本研究透過蒐集前人研究資料，針對台灣中北部西部麓山帶沉積岩之基本物理性質及力學特性進行統整，並歸納出以下 4 點結論與建議：

1. 台灣中北部西部麓山帶砂岩之基本物理性質中，乾單位重介於 19.72~25.9 kN/m³，平均為 22.43 kN/m³；飽和含水量介於 1.3~11.4%，平均為 6.3%；孔隙率介於 0.11~11.41%，平均為 13.98%。
2. 對於岩石強度而言，南港層之基本物理性質為最佳，上福基砂岩則為最差。
3. 台灣中北部西部麓山帶砂岩之力學特性中，單壓強度介於 1.67~100.5 MPa，平均為 45.26 MPa；凝聚力介於 0.04~33.8 MPa，平均為 10.98 MPa；摩擦角介於 33.4~57°，平均為 45.22°。此數值反映西部麓山帶全區岩層跨越之地質年代甚廣，力學性質涵蓋範圍極寬。在使用本文統計結果時，應個別引用對應岩層之數值，不得以整個西部麓山帶統計結果作為代表力學參數。
4. 岩石力學特性中，南港層為最佳、強度最高，而卓蘭層/砂岩為最差，強度最低。

5. 各岩性依據 ISRM 建議之強度分類，發現台灣中北部西部麓山帶沉積岩平均落在甚弱岩石至強岩之間。
6. 本研究蒐集之資料主要為各岩層之砂岩，較少頁岩及砂頁岩互層，且某些岩層之數據僅一筆，較容易影響統整結果之準確度，因此後續研究可持續蒐集、更新。
7. 本文提供的強度參數與平均值等僅供參考。建議先對基地進行詳細調查，再判斷該岩層的單軸抗壓強度、凝聚力等參數的適用性。
7. 翁孟嘉(2002)，「麓山帶砂岩之力學特性及其與微結構關係研究」，博士論文，國立台灣大學土木工程學研究所。
8. 翁翊桓(2014)，「室內軟弱岩石於含砂水流之磨蝕率」，碩士論文，國立交通大學土木工程學系。
9. 張世穎(2014)，「關刀山砂岩層作為二氧化碳地質封存層之注儲壓力研究」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所。
10. 黃鑑水(2005)，「臺北地質圖幅及說明書 1/50,000」，經濟部中央地質調查所。
11. 潘國樑(2007)，「工程地質通論」，五南圖書出版股份有限公司。

參考文獻

1. 江婉綺、陳柏村(2011)，「苗栗地質圖幅及說明書 1/50,000」，經濟部中央地質調查所。
2. 何春蓀(1987)，「台灣西部麓山帶的地質」，地工技術雜誌，第 20 期，第 80~98 頁。
3. 李錦發(2000)，「東勢地質圖幅及說明書 1/50,000」，經濟部中央地質調查所。
4. 吳佳諺(2011)，「軟弱岩石水平磨蝕率及磨蝕行為」，碩士論文，國立交通大學土木工程系碩士班。
5. 林宏勳(2001)，「木山層砂岩之潛變行為研究」，碩士論文，國立台灣大學土木工程學研究所。
6. 洪如江(1984)，「工程地質之計量化其應用」，地工技術雜誌，第 6 期，第 90~101 頁。
12. 鄧屬予(1997)，「臺灣的沉積岩」，經濟部中央地質調查所。
13. 羅偉誠(2021)，「中台灣晚中新世以後沉積岩風化侵蝕特性之探討」，碩士論文，國立中興大學水土保持學研究所。
14. Commission on testing methods, International Society for Rock Mechanics (2007), The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974-2006, ISRM, Ankara.

114 年 02 月 07 日收稿

114 年 04 月 09 日修改

114 年 04 月 14 日接受