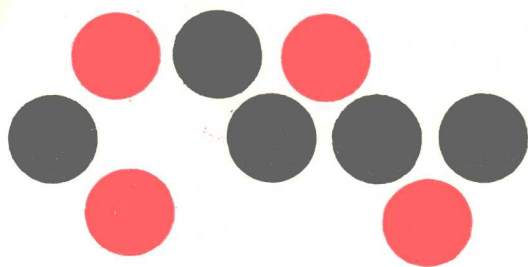


土木材料試驗

蔡攀鰲著

科學技術叢書 / 三民書局印行



土 木 材 料 試 驗

蔡 攀 鰲 著

學歷：國立成功大學土木工程學系工學士
美國奧克拉荷馬州立大學土木研究
所工學碩士
國立成功大學土木研究所畢業、國
家工學博士

現職：國立成功大學土木工程學系教授

三 民 書 局 印 行

中華民國七十五年九月初版

◎ 土 木 材 料 試 驗

基本定價柒元壹角壹分

行政院新聞局登記證 版字第一〇二〇號



著者	蔡攀鰲
發行人	劉振強
出版者	三民書局股份有限公司
印刷所	三民書局股份有限公司

臺北市重慶南路一段六十一號
郵撥：〇〇〇九九八—五號

自序

能夠充分掌握土木材料之特性與特點，才能達成土木建築構造物之最適設計及最佳施工，故近代各界學者、專家、業者都不斷地做材料研究、試驗，改進材料品質，開發新材料。

土木建築工程之成敗與所用材料之品質有密切的關係存在，因此從事土木建築工程之構築及研究者，必須了解材料的工程特性，同時亦應知道如何經濟而有效的應用，使之能發揮最大效果。

土木建築材料試驗之重要性，一方面在能獲得一件可資信賴的數據，檢定材料特性之良窳，以促進產品之改善，另一方面在檢驗工地材料是否合乎規範，施工品質是否達到標準。

本書之編撰主要目的在供學術之研究、實務作業之參考。全書共分水泥、粒料、水泥混凝土、建築石材、木材、金屬材料及建築用磚等七章。每一種材料先予重點簡介，並闡明與試驗有關之事項，使對該類材料加深認知，有助試驗結果之分析；其次再舉較重要而應施行的各種試驗法。每一種試驗法均按目的、概說、試驗儀器、試樣準備、試驗步驟、注意事項、計算式及記錄表格等八項逐一分條列述，使對每一試驗有一完整的觀念，不但可使試驗順利進行，減少試驗誤差的發生，更可促進了解每一試驗結果，在土木建築工程上之應用。

瀝青材料為一重要土木材料，亦為公路主要材料，發展甚為迅速，另請參閱拙著「瀝青混凝土材料——試驗與配合設計」（三民書局印行），有詳盡的敘述，本書不另列入。

本書所用單位以國際單位制（SI）為主，並附CGS公制單位，

在附錄中列有換算式。

爲促使工程界能普遍重視與配合已制定之國家標準，有關「中國國家標準 CNS」試驗規範、標準等，儘可能列入書中引用，並將之與美國規範、標準對照。同時書中所附儀器圖，皆註明SI制、或公制尺寸，供自製參考。

本書之編撰，參考各專科論文、書刊甚多，敬列於後，並對各原著者，謹致謝忱。

本書之編撰係編著者於公餘課畢之時以極謹慎態度編寫，但編者學驗有限，付梓之時，雖多次校訂，舛誤之處在所難免，尚祈諸位先進，不吝隨時賜予指正，俾再版時得以修正。

蔡攀鰲 謹識

民國七十四年九月廿二日

於國立成功大學土木研究所

土木材料試驗

目 次

自 序

第一章 波特蘭水泥

1-1 波特蘭水泥·····	1
1-2 波特蘭水泥分類·····	1
1-3 波特蘭水泥之主要化學化合物·····	2
1-4 波特蘭水泥之物理性質·····	3
1-5 波特蘭水泥試驗·····	6
1-6 波特蘭水泥試驗之取樣法·····	7
試驗一·一 水硬性水泥之比重試驗法·····	9
試驗一·二 用氣透儀法求波特蘭水泥細度試驗法·····	13
試驗一·三 水硬性水泥標準稠度試驗法·····	22
試驗一·四 費開氏針測定水硬性水泥凝結時間試驗法·····	27
試驗一·五 吉爾莫氏針測定水硬性水泥凝結時間試驗法·····	34
試驗一·六 波特蘭水泥假凝結試驗法·····	39
試驗一·七 波特蘭水泥之增壓膨脹試驗法·····	44
試驗一·八 以試餅測定波特蘭水泥之健性試驗法·····	53
試驗一·九 波特蘭水泥和熱試驗法·····	58
試驗一·十 水硬性水泥砂漿抗拉強度試驗法·····	70
試驗一·十一 水硬性水泥砂漿抗壓強度試驗法·····	81

試驗一・十二	水硬性水泥砂漿流度值試驗法（流動臺法）	92
試驗一・十三	水硬性水泥砂漿之空氣含量試驗法	100

第二章 粒料

2-1	粒料來源	109
2-2	粒料之級配性質	110
2-3	瀝青混凝土之粒料	111
2-4	水泥混凝土之粒料	112
2-5	粒料試驗	112
2-6	粒料試驗之取樣法	113
試驗二・一	粗細粒料之篩分析試驗法	118
試驗二・二	粒料中小於0.075 CNS386 篩之物質含量試驗法	131
試驗二・三	細粒料之比重及吸水率試驗法	135
試驗二・四	粗粒料之比重及吸水率試驗法	143
試驗二・五	粗粒料之洛杉磯磨損試驗法	151
試驗二・六	粒料之硫酸鈉或硫酸鎂健性試驗法	156
試驗二・七	粒料單位重及空隙試驗法	165
試驗二・八	細粒料表面含水量試驗法	172

第三章 水泥混凝土

3-1	水泥混凝土之粒料	178
3-2	水泥混凝土之拌合水	180
3-3	水泥混凝土之養治與收縮	181
3-4	水泥混凝土之強度	182

3-5 水泥混凝土之配合	183
3-5-1 固定比例法	184
3-5-2 水灰比法	184
3-5-3 隙灰比例法	188
3-6 水泥混凝土之混合劑	189
3-7 水泥混凝土之取樣	191
3-8 有關水泥混凝土之試驗	193
試驗三·一 水泥混凝土坍度試驗法	195
試驗三·二 水泥混凝土用流動台法測定流度值試驗法	200
試驗三·三 水泥混凝土圓柱試體抗壓強度試驗法	206
試驗三·四 水泥混凝土用簡支樑三分點荷重法測定抗彎強度試驗法	220
試驗三·五 水泥混凝土圓柱試體抗拉強度試驗法	229
試驗三·六 水泥混凝土泌水試驗法	235
試驗三·七 以容積法測定新拌水泥混凝土空氣含量試驗法	240
試驗三·八 以壓力法測定新拌水泥混凝土空氣含量試驗法	247
試驗三·九 硬化水泥混凝土之水泥含量試驗法	263
試驗三·十 水泥混凝土單位重試驗法	277

第四章 建築石材

4-1 石材依成因之分類	287
4-2 土木建築用石材	289
4-3 石材形狀及等級	291
4-4 石材之物理及力學性試驗法	294
4-4-1 比重試驗	294

4 土木材料試驗

4-4-2 吸水率試驗·····	295
4-4-3 空隙率試驗·····	296
4-4-4 耐凍性試驗·····	296
4-4-5 抗壓強度試驗·····	297
4-4-6 抗彎強度試驗·····	298
4-4-7 磨損試驗·····	298

第五章 木材

5-1 木材分類·····	299
5-2 木材組織·····	301
5-3 木材性質·····	303
5-3-1 木材之外在性質·····	303
5-3-2 木材之物理性質·····	304
5-3-3 木材之力學性質·····	305
5-3-4 木材之化學性質·····	305
5-4 伐木與木材乾燥·····	305
5-4-1 伐木·····	305
5-4-2 木材乾燥·····	306
5-4-3 木材之防腐·····	307
5-5 木材之外觀品質評判·····	307
5-6 膠合木板·····	307
5-7 膠合木板試驗·····	308
5-7-1 合板浸水剝離試驗·····	308
5-7-2 合板粘着剪力試驗·····	309
5-7-3 合板含水率試驗·····	312

5-7-4 合板比重試驗·····	312
5-8 有關木材之試驗·····	313
5-8-1 木材試驗之試樣製備·····	313
5-8-2 有關木材之試驗·····	313
試驗五·一 木材比重及含水率試驗法·····	315
試驗五·二 木材抗彎試驗法·····	321
試驗五·三 木材之抗壓試驗法·····	331
試驗五·四 木材抗剪強度試驗法·····	344
試驗五·五 木材硬度試驗法·····	350
試驗五·六 木材抗拉強度試驗法·····	355

第六章 金屬材料

6-1 金屬材料之一般性質·····	363
6-2 金屬材料之應力與應變關係·····	364
6-3 鐵金屬·····	367
6-3-1 生鐵·····	367
6-3-2 銅·····	367
6-3-3 鑄鐵·····	368
6-4 鋼筋混凝土用鋼筋·····	369
6-5 構造用鋼材·····	371
6-6 非鐵金屬·····	372
6-6-1 鋁及鋁合金·····	372
6-6-2 銅及銅合金·····	373
6-6-3 鋅·····	376
6-6-4 鉛·····	378

6 土木材料試驗

6-7 有關金屬材料之試驗	379
試驗六・一 金屬材料拉伸試驗法	380
試驗六・二 金屬材料冷彎試驗法	402
試驗六・三 金屬材料勃氏硬度試驗法	407
試驗六・四 金屬材料洛氏硬度試驗法	415
試驗六・五 金屬材料維克氏硬度試驗法	421

第七章 磚

7-1 磚之種類	427
7-2 建築用磚之尺寸與品質	431
7-3 磚之物理及力學性試驗法	431
7-3-1 比重試驗	432
7-3-2 吸水率試驗	433
7-3-3 抗壓強度試驗	434
7-3-4 抗彎強度試驗	434
7-3-5 凍融試驗	435

附 錄

一、單位換算公式	439
二、國際單位制與重力單位制換算	441
三、中國國家標準 CNS386 標準篩與美國 ASTM 標準篩對照表	442
四、水之特性表	443
五、乾粒料單位重	445

參考文獻 索引

第一章 波特蘭水泥

Portland Cement

波特蘭水泥係在加水混合，用作級配粒料與其他非膠結性材料的結合劑，普通使用於土木建築構造物、混凝土製品等。

1-1 波特蘭水泥

波特蘭水泥係由主成份為水硬性矽酸鈣煅燒而成之熔渣經研碎磨細所得之產物。在煅燒之後，除水及未經處理之硫酸鈣（ CaSO_4 ，石膏）外，不得添加任何物料。但如認為有實際需要而在認定不致損害水泥品質下，其添加量以不超過百分之一，將添加物添加於熔渣中共同研磨而得。

波特蘭水泥在所有不同種類的水泥中產量最多，且應用最廣。

1-2 波特蘭水泥分類

波特蘭水泥可視應用目的、調整原料成份、配合比例、燒成方法、研磨的細度等等，製成特性相異的水泥。依據我國國家標準（CNS）及美國材料試驗學會（American Society for Testing and Materials，簡稱 ASTM）之分類，有下列五種：

第Ⅰ類普通波特蘭水泥（Normal Portland Cement）：用於不要求具有特殊性質之一般混凝土構造物者，亦即不具有下列分類Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、及Ⅴ類水泥所規定之特殊性質者。

2 土木材料試驗

第Ⅱ類改良波特蘭水泥 (Modified Portland Cement)：用於通常暴露在受中等程度之硫酸鹽作用，或需要中等程度之水化熱之混凝土構造物者。

第Ⅲ類早強波特蘭水泥 (High-Early-Strength Portland Cement)：用於需要獲得早期強度的混凝土構造物者。

第Ⅳ類低熱波特蘭水泥 (Low-Heat Portland Cement)：用於需要低水化熱之巨積混凝土構造物者。

第Ⅴ類抗硫波特蘭水泥 (Sulfate-Resistant Portland Cement)：用於需要抵抗硫酸鹽侵蝕之混凝土構造物者。

分類Ⅳ及分類Ⅴ水泥之強度增加率較分類Ⅰ及分類Ⅱ者低，較分類Ⅲ者更低。

分類Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ波特蘭水泥在製造過程中，於水泥熔渣中添加輸氣劑 (Air-Entraining Agent)，而後共研磨而成者，分類為ⅠA、ⅡA、及ⅢA。其用途與原來添加輸氣劑之分類相同。

1-3 波特蘭水泥之主要化學化合物

波特蘭水泥係由四種主要化合物及石膏所組成，其他化合物尚包含有氧化鎂 (MgO)、鹼性氧化物，例如氧化鈉 (Na_2O)、氧化鉀 (K_2O)、石灰 (CaO)、及雜質，但含量均極微。四種主要化合物之名稱為：

1. 矽酸三鈣 ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$)
2. 矽酸二鈣 ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$)
3. 鋁酸三鈣 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$)
4. 鋁鐵酸四鈣 ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$)

四種主要化學化合物的百分比不同時，會產生特性相異的水泥。茲將主要化合物對水泥特性之影響簡述如下：

C_3S 及 C_2S 為控制水泥強度增加率的主要成份： C_3S 含量高過 C_2S 時，則呈具有早強性及高水化熱之水泥；反之，則呈強度增進緩慢之低熱之水泥。亦即 C_3S 能增加早期強度，但對後期強度的增加呈現連續降低的效應；而 C_2S 在早期28天內對強度的增加緩慢，但對後期強度增加顯著。

C_3A 之含量會加速水化作用，使水泥凝固時間縮短，產生較多熱量。因此水泥中若 C_3A 含量較高時，產生較大的體積收縮變化，致使裂縫增多，減低對硫酸鹽或餘質的抵抗。

C_4AF 之功用尚未明確瞭解，但其含量可能使水化速度減慢，水化熱減低，收縮變化小。

石膏 ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) 係在熔碯研碎時添加，用在調整減緩水泥之凝固時間。

1-4 波特蘭水泥之物理性質

波特蘭水泥之物理性質包括比重、細度 (Fineness)、凝結 (Setting)、健全性 (Soundness)、強度等。水泥之比重在 3.05 以上，普通為 3.14~3.16。經長期貯藏、風化、煅燒不完全、或有其他混合材料時，比重都有可能降低。水泥之單位重，通常視其緊密度而異，約 $14.7kN/m^3$ ($1.5 T/m^3$)。

水泥之細度影響加水後凝結與硬化 (Hardening)，通常水泥粒徑在 88μ ($1\mu=0.001mm$) 以上者可用篩分法，以下者應用布蘭 (Blaine) 法之氣透儀 (Air Permeability Apparatus) 求水泥之比

表面積 (Specific Surface Area)。水泥粒徑在 $10\sim 15\mu$ 以下者，最易與水結合。比表面積較大者，混凝土之工作性、水密性及外觀均較佳。

水泥加入適當水量拌合成水泥漿後，水泥漿逐漸由塑性狀態進展到凝固而至固態硬化。凝結時間長短對混凝土工程之品質具有顯著的影響。通常規定初凝 (Initial Setting) 為一小時以上，終凝 (Final Setting) 為十八小時以內。通常測定凝結時間係在溫度 20°C ，用針 (Vicat Needle) 或吉爾莫 (Gillmore Needle) 之裝置試驗之。¹

水泥凝結硬化後，常發生異常的體積膨脹或畸變，使混凝土龜裂，造成混凝土構造物的不健全性。健性試驗係將水泥加水混合製成，由中央向圓周減厚的圓扁塊，用浸水法或煮沸法檢查其膨脹性龜裂或變形的程度。

以強度比較水泥品質至為重要。通常用標準砂 (Standard Sand) 以一定之重量比與水泥混合 (水泥與標準砂之重量用 1:3 或 1:2.75)，製成標準砂漿試體，在 7 天或 28 天，或 3 天與 7 天之養治後，作抗壓強度、抗拉強度、抗彎強度等試驗，以比較水泥之優劣。砂漿強度之試驗以抗壓強度為主，抗拉或抗彎強度為輔。

茲將美國材料試驗學會，對各類波特蘭水泥性質規範列於表 1-1。

表 1-1 ASTM 波特蘭水泥之物理性質規範

[illegible]

1-5 波特蘭水泥試驗

水泥有很多類型，每一類型的性質及應用各不相同，為判定其品質是否合乎規範值；是否能達成水泥混凝土在工程上使用所需求的特殊性質；以及為製造、研究等的需要，都須藉各項水泥試驗來獲得正確可靠的數據，而為水泥混凝土品質管制以及製造改進、研究之用。水泥試驗無論在水泥混凝土工程、水泥製造、水泥研究等等，均佔一重要項目。茲將一般常用的水泥試驗項目，分列於表 1-2，每一試驗法分別標示中國國家標準試驗法（CNS）、及相當之美國材料學會試驗法（ASTM）、美國公路及交通官員學會試驗法（AASHTO），以供對照之參考。

表 1-2 水泥試驗項目

試 驗 名 稱	CNS	AASHTO	ASTM
水泥比重試驗		T 133	C 188
水泥細度試驗	2924	T 153	C 204
水泥凝結時間試驗	786	T 131	C 191
	785	T 154	C 266
水泥假凝結時間試驗	3458	T 185	C 359
水泥標準稠度試驗	3590	T 129	C 187
水泥增壓膨脹試驗	1258	T 107	C 151
水泥之水和熱試驗	2248		C 186
水泥砂漿之抗壓強度試驗	1010	T 106	C 109
水泥砂漿之抗拉強度試驗	1011	T 132	C 190
水泥砂漿流度試驗	1012		C 230
水泥砂漿空氣含量試驗	787		C 185