

國立成功大學土木工程學系

工程材料實驗手冊



目錄

壹、注意事項.....	1
貳、共用儀器設備.....	5
參、試驗.....	8
試驗一、水泥取樣與比重試驗.....	8
試驗二、水泥標準稠度與凝結時間試驗.....	13
試驗三、標準水泥砂漿之流度與水泥砂漿之抗壓強度 試驗.....	19
試驗四、水泥細度試驗(氣透儀法).....	27
試驗五、骨材篩分析實驗 (Test for Sieve Analysis of Coarse and Fine Aggregates)	30
試驗六、骨材之比重及吸水率試驗.....	34
試驗七、骨材單位重及空隙率實驗 (Test for Unit Weight and Voids in Aggregate).....	40
試驗八、混凝土坍度試驗(Test for Slump of Concrete)	43
試驗九、粗骨材磨損試驗 (Test for Abrasion of Coarse Aggregate)	46
試驗十、細骨材表面含水率試驗 (Test for Surface Moisture in Fine Aggregate)	50
試驗十一、混凝土單位重試驗 (Test for Unit Weight of Concrete)	53
試驗十二、混凝土鑽心試體抗壓強度試驗法 (Method of Test for Compressive Strength of Drilled Cores of Concrete).....	56
試驗十三、混凝土之抗彎強度三分點載重試驗 (Test for Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third-point Loading).....	59
試驗十四、混凝土圓柱試體之抗壓強度實驗 (Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens)	62
試驗十五、金屬材料之彎曲試驗法 (Method of Bend Test for Metallic Materials).....	65
試驗十六、鋼筋之單位質量與抗拉試驗 (Unit Mass and Tensile Test for Steel Bar).....	68

壹、注意事項

一、實驗室安全：

1. 任何人於實驗過程均應以「安全第一」。
2. 實驗室內禁止跑步嬉鬧、進食及從事與實驗無關的活動。
3. 實驗室嚴禁抽煙。
4. 實驗室應保持整潔，地板無油污、水或其它易致滑倒之物質。
5. 因實驗需要而搬移儀器，於實驗完畢應立即歸位，務求儀器各得其所。
6. 實驗室內的儀器設備，未經借用不得攜出。若有損壞，應立即報告助教或保管人。
7. 拿取廢物及破布時，應小心謹慎，因廢物破布易藏尖銳物品，致割破皮膚。
8. 第一次從事某項實驗時，應先有足夠之學習，不可胡猜。
9. 設備、儀器使用前，應詳讀操作手冊，並按正常程序操作，用畢務必關上所有開關。
10. 實驗過程應有足夠的照明，實驗完畢隨手關燈。
11. 認清並牢記實驗室內最近的滅火器、急救箱及緊急沖洗設備與洗眼器的位置，並熟知使用方法。
12. 當實驗未結束前，不可離開。
13. 對可安全無需看管之儀器設施連續操作時，均應加上操作中之標示，並應標示如何關機之詳細步驟，及註明緊急狀況之處置措施與聯絡人電話。
14. 食物不得貯存於試樣專用冰箱或冷凍櫃。
15. 實驗過程不得穿著過於寬鬆之衣物，亦不得穿著拖鞋。
16. 未列項目，請遵照「國立成功大學土木工程學系場所安全衛生工作守則」之規定。

二、課程大綱：

1. 課程名稱： 工程材料學實驗
2. 學分數： 1
3. 課程編號： E626200
4. 授課教師： 陳 鍵
5. 課程目標： 熟悉許多實驗的方法，從實際動手的實做當中，體會出實做時可能遇到的各種困難，並瞭解各種工程材料的特性，另外是特別要求必需遵守實驗室的安全規則，以確保學生的身體安全。
6. 課程內容概要：
 - I. Introduction Method of Sampling for Hydraulic Cement
 - II. Test for Normal Consistency of Hydraulic Cement
 - III. Test for Flow Value of Hydraulic Cement Mortars by Flow Tables
 - IV. Test for Sieve Analysis of Coarse and Fine Aggregates
 - V. Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse and Fine Aggregates
 - VI. Test for Unit Weight and Voids in Aggregate
 - VII. Test for Slump of Concrete
 - VIII. Test for Abrasion of Coarse Aggregate
 - IX. Test for Surface Moisture in Fine Aggregate
 - X. Test for Unit Weight of Concrete
 - XI. Test for Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third-point Loading
 - XII. Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
 - XIII. Unit Mass and Tensile Test for Steel Bar
7. 成績計算方式：

(a) Lab Report	65%
(b) Examination	30%
(c) Attendance	5%
8. 講義和主要參考資料：
 - (a) Specification of China National Standard (CNS)
 - (b) Specification of American Society of Testing Materials (ASTM)
9. 建議先修課程： 物理、化學
10. 適合修習對象： 大二必修

三、課程進度：

Fall Semester 2005

Lecture:

Monday, 1:10 p.m.-4:00 p.m.

Instructor:

Jen Chen, 陳 鍵

office: 4514, phone: 63138

Teaching Assistant

陳致銘 (2757575 ext. 63152 or 0953-676-738)

Tentative Course Contents

Section A (星期一)	Category	工程材料試驗講解及操作
09/12		介紹實驗室的安全規則，實際瞭解現場的狀況
09/19	水泥	取樣法及水泥比重試驗
09/26	水泥	水泥標準稠度及凝結時間試驗
10/03	水泥	水泥流度試驗及水泥砂漿抗壓試驗
10/10		國慶日（放假）
10/17	水泥	水泥細度(氣透儀法)及熱壓膨脹試驗
10/24	骨材	骨材取樣法及篩析試驗
10/31	骨材	骨材比重及吸水率試驗
11/07	骨材	骨材單位重及空隙率試驗
11/14	混凝土	混凝土坍度試驗
11/21	骨材	骨材磨損試驗
11/28	混凝土	混凝土單位重及含氣量試驗（鑽心）
12/05	混凝土	混凝土之抗彎強度三分點載重試驗
12/12	混凝土	混凝土圓柱試體抗壓試驗
12/19	鋼筋	鋼筋拉伸(彎曲及硬度試驗)
12/26	混凝土	混凝土圓柱試體（實際抗壓）
01/02	混凝土	混凝土之抗彎試體（實際抗壓）
01/10		學期考試

Important Note

You are required to turn in the lab report one week after the test is completed. In other words, you have to submit the lab report to teaching assistants every week except the first two weeks. Any late reports are not accepted.

Grading

	Point Distribution
Lab Report	65%
Final Exam	30%
Attendance	5%

House Rules:

1. Class attendance is taken every week. Someone is paying for your tuition.
2. Don't mistake my casual style for your casual attitude.
3. You are responsible for learning this material. I am here to help you that learning.
4. Clean up your mess before you leave the lab.

貳、共用儀器設備



恆溫恆溼箱



烘箱



電子秤



刮刀



不銹鋼匙



燒杯



量筒



溫度計



漏斗

參、試驗

試驗一、水泥取樣與比重試驗

1.1 水泥取樣法(Method of Sampling for Hydraulic Cement)

一、試驗目的：

為控制水泥品質，必須取樣進行化學與物理性質檢驗，所選取之水泥試樣應具代表性，試驗結果方能表示全體水泥之品質。

二、參考資料：

CNS 784 水硬性水泥之採樣法

ASTM C183 Standard Methods of Sampling and Acceptance of Hydraulic Cement

三、採樣之數量：

各個樣品須經綜合後方行試驗者其重量應不少於 5 公斤。各個樣品須經所有試驗者，其重量應不少於 5 公斤。

試驗所用之樣品可指定為個別樣品或綜合樣品，除另有約定外，每一試驗用之樣品，至多代表 2000 袋，或相當於 100 公噸。

採樣應由買賣雙方會同為之。

四、採樣步驟：水泥之採樣可依下述方法之一為之。

自運至散存倉庫之輸送帶上取樣：運送帶上之水泥，每通過約二千包以下時，應採取 5 公斤重之樣品一種，但如該樣品必須代表水泥，不超過六小時之水泥產量者除外。此類樣品之採取，如在一次手續中，即獲得全部之試驗樣品，稱為「抓取法」；如在相當的間隔內，採取數部份樣品，然後混合之，稱為「綜合法」。綜合樣品，必須在相等間隔內，每部份採取同重之水泥，再混合之，而每部份採取之樣品約代表 40 袋。自動採樣器亦可使用。

在散存倉庫之出料口取樣：在散存倉庫之出料口處取得足量之水泥以為代表性之樣品。每相當 2000 袋之水泥，須取樣 5 公斤以上。

由散存倉庫內用採樣管取樣：如以上兩法不適用，且散存水泥不超過 3 公尺時，可用適當之採樣管，在散存水泥之面積分佈均勻數點上，垂直插入在水泥層深度之全部，以取得樣品。

在上列三種情形之外，每批 50 袋或不滿 50 袋取出樣品，如同一廠產

品而使用卡車運輸者，各車可合併計算，但每個樣品至多代表 2000 袋，應自袋之上中下層平均取樣。如散裝運輸時，應自分佈均勻之各點取樣，以使樣品具有代表性。

以上各項採樣法，所採樣品之總量應多於需要量，經充分混合後，再經四分法或用分離器取得所需之量。

五、樣品之製備：

樣品應裝於避濕而氣密之容器內，必要時應加木框保護之。在試驗前，樣品應充分混合，並通過試驗篩 0.8 CNS 386，俾結塊得以粉碎，及除去摻入之外物。

試驗所需之綜合樣品須將樣品分組排列而製備之，綜合樣品每組所代表之袋須與各項試驗所指定者相同。自一組之各樣品須取出等量而足量之水泥，俾製成之綜合樣品能敷所需作之物理或化學試驗之用。已製備之綜合樣品在使用前須經充分混合。

六、試驗之次數：

如係自貨車或卡車取得之樣品，所有物理試驗應對每一試驗樣品而作，此每一試驗樣品應代表不超過 2000 袋(每袋 50 公斤)。

如係自貨船或倉庫等處取得之樣品，應作物理試驗，所需之樣品依下列規定。

凝結時間：每一試驗樣品代表每 7000 袋。

空氣含量(CNS 787)：每一綜合樣品代表每 7000 袋。

細度：每一綜合樣品代表每 7000 袋。

強度：每一綜合樣品代表每 7000 袋。

熱壓膨脹之健度(CNS 1258)：每一綜合樣品代表每 7000 袋。

化學分析：各項化學分析以每一綜合樣品代表每 7000 袋。

如總袋數尚不及上列指明之袋數時，各項物理及化學試驗均即依實際袋數計算。

1.2 水泥比重試驗(Test for Specific Gravity of Hydraulic Cement)

一、試驗目的：

本試驗之目的，乃在計算水泥之比重大小，以測定不同水泥品質及其受風化程度，可做為混凝土配合設計之依據。

二、參考資料：

CNS 11272 水硬性水泥密度試驗法

ASTM C188 Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | |
|-----------------------------|---------|
| 1.李氏比重瓶(Le Chatelier Flask) | 2.精密電子秤 |
| 3.恆溫水槽 | 4.漏斗 |
| 5.小匙 | 6.鐵絲或細棒 |

材料：

- | | |
|---------|--------|
| 1.波特蘭水泥 | 2.脫水煤油 |
|---------|--------|

四、試驗步驟：

- 1.將脫水煤油由漏斗注入比重瓶內，直到液面達 0~1cc 刻劃之間。
- 2.將比重瓶置於恆溫水槽中約 30 分鐘，然後記錄水溫，並讀取比重瓶中液面刻度 V_1 (cc)。
- 3.以精密電子稱量取約 64 克波特蘭水泥試樣，其重量為 W 。
- 4.經由比重瓶口之漏斗，以小匙將水泥試樣徐徐倒入比重瓶內。
- 5.輕搖比重瓶使氣泡被逐出。
- 6.將比重瓶置於恆溫水槽中，30 分鐘後，記錄水溫並讀取比重瓶中液面刻度 V_2 (cc)。

五、結果及計算：

$$\text{水泥比重 } \rho = \frac{W}{V_2 - V_1}$$

六、注意事項及討論：



圖 1.1 李氏比重瓶

水泥比重試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

試驗次數	1	2	3
(1)水泥重 (g)			
(2)第一次液面高 V_1 (c.c.)			
(3)第二次液面高 V_2 (c.c.)			
(4)水泥體積 =(2)-(3) (c.c.)			
(5)水泥比重 =(1)/(4)			
平均值			

組別：

姓名：

試驗二、水泥標準稠度與凝結時間試驗

2.1 水泥標準稠度試驗

(Test for Normal Consistency of Hydraulic Cement)

一、試驗目的：

乃在測定波特蘭水泥於標準稠度時所需添加之水量。

二、參考資料：

CNS 3590 水硬性水泥正常稠度試驗法
ASTM C187 Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | |
|--------------------------|----------|
| 1.費開氏儀器(Vicat Apparatus) | 2.天秤或電子秤 |
| 3.玻璃量筒(容量為 200 或 250 cc) | 4.橡皮手套 |
| 5.計時錶 | 6.刮刀 |
| 7.玻璃板 | 8.拌合機 |

材料：波特蘭水泥

四、試驗步驟：

- 1.水泥漿調製：先將拌合水倒入拌合機內，再將 650 克波特蘭水泥倒入並讓其吸水 30 秒後，以慢速(140 ± 5 rpm)攪拌 30 秒，停止 15 秒，然後再以中速(285 ± 10 rpm)攪拌 1 分鐘，即完成水泥漿拌合。
- 2.戴上橡皮手套，將水泥漿置於手中並作成球形後，使兩手分開相距約 150mm，由一手將水泥漿球拋入另一手，共互相拋擲 6 次。
- 3.將水泥漿球套入費開氏圓模下方較大口徑處，抹去圓模下方過多水泥漿後，置於玻璃板上，再以刮刀去除圓模上方較小口徑處過多水泥漿，刮平時勿使圓模內水泥漿受壓。
- 4.將圓模及玻璃板置於費開氏針下方，使針頭與圓模內水泥漿表面接觸，並讀取此時指針之刻度。
- 5.稠度之測定：鬆動費開氏儀螺絲使圓棒下滑，並開始計時，由水泥漿拌合完成至圓棒開始下降不可超過 30 秒。如果費開氏針於 30 秒內下降 10 ± 1 mm，則此時水泥漿內所加之水量，即為此水泥之標準稠度水量，並以水泥重量之百分比表示，否則應添加或減少水量，再重複上述試驗步驟。

五、結果及計算：

標準稠度水量=(費開氏針下降 $10 \pm 1\text{mm}$ 時添加之水量/水泥重量) $\times 100\%$

六、注意事項及討論：

2.2 水泥凝結時間試驗 (費開氏針法)

(Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle)

一、試驗目的：

測定波特蘭水泥之初凝時及終凝時間，以作為混凝土施工控制之參考。

二、參考資料：

- CNS 786 水硬性水泥凝結時間試驗法(費開氏針法)
ASTM C191 Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | |
|--------------------------|----------|
| 1.費開氏儀器(Vicat Apparatus) | 2.天秤或電子秤 |
| 3.玻璃量筒(容量為 200 或 250 cc) | 4.橡皮手套 |
| 5.計時錶 | 6.刮刀 |
| 7.玻璃板 | 8.拌合機 |
| 9.恆溫恆濕箱 | |

材料：波特蘭水泥

四、試驗步驟：

- 1.由水泥標準稠度試驗獲得之加水量先倒入拌合機內，再將 650 克波特蘭水泥倒入，並依水泥標準稠度試驗方法製作水泥漿體，記錄室溫、水溫及相對濕度。
- 2.將水泥漿體裝入費開氏儀圓模後，置於玻璃板上，再放入恆溫恆濕箱內，直到凝結時間試驗開始為止，記錄恆溫恆濕箱內之溫度及濕度。
- 3.於恆溫恆濕箱中 30 分鐘後，取出並置於費開氏針下，採用直徑 1mm 之針實施針入試驗，先將針頭與水泥漿表面接觸，旋轉圓棒螺絲使費開氏針固定，並調整刻度針在零點處，然後放鬆螺絲使圓棒徐徐下降，30 秒後讀取刻度針之刻度，即為針入度。
- 4.每隔 15 分鐘量測並記錄讀數一次，直到針入度小於 25mm 為止。

五、結果及計算：

以內插法求得針入度為 25mm 時所需之時間，即為初凝時間。

費開氏針在水泥漿表面不會產生明顯下降時所需之時間，即為終凝時

間。

六、注意事項及討論：

各次針入點距上次針入點不得小於 6mm，且距圓模邊緣 9mm 以內不得針入。



圖 2.1 費開氏儀

水泥標準稠度試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

試驗次數	1	2	3
(1)水泥重 (g)			
(2)和水重 (c.c.)			
(3)指針刻度 (mm)			
(4)標準稠度水量 = $(2)/(1)*100\%$			
(5)標準稠度之水量百分率 (%)			

組別：

姓名：

水泥凝結時間試驗

室 溫：最高 最低 濕 度： %
水 溫： 日 期： 年 月
日

試驗次數	1	2	3
(1)試驗開始時刻			
(2)水泥重 (g)			
(3)和水量 (c.c.)			
(4)初凝時刻			
(5)終凝時刻			
(6)初凝時間=(4)-(1) (時、分)			
(7)平均值			
(8)終凝時間=(5)-(1) (時、分)			
(9)平均值			

組別：

姓名：

註：(2)，(3)欄為一參考值

試驗三、標準水泥砂漿之流度與水泥砂漿之抗壓強度

試驗

3.1 標準水泥砂漿之流度試驗

(Test for Flow Value of Hydraulic Cement Mortars by Flow Tables)

一、試驗目的：測定水泥砂漿於標準流度值 $110 \pm 5\%$ 時所含有之水量。

二、參考資料：

CNS 1012 水硬性水泥試驗用之流動性台

ASTM C230 Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

1.流度儀 2.尺 3.玻璃量筒

4.電子秤 5.搗棒 6.刮刀

7.拌合機

材料：

1.波特蘭水泥 2.(ASTM 標準砂)美國依利諾州奧太華天然砂

四、試驗步驟：

- 1.首先擦拭乾淨流度台及流度模，並將流度模置於流度台中央。
- 2.稱取波特蘭水泥、標準砂及適度用水量，水泥：水：砂〔重量比〕
= 1：0.485：2.75。
- 3.將水倒入拌和機內，再倒入波特蘭水泥，以低速(140 ± 5 rpm)攪拌 30 秒，於低速拌和期間內將全部標準砂徐徐倒入，停止 15 秒鐘後，再以中速(285 ± 10 rpm)攪拌 30 秒，停止並靜置 1.5 分鐘，再以中速拌和 1 分鐘，即完成水泥砂漿拌合。
- 4.將水泥砂漿分兩層倒入流度模內，每層厚約 25mm，並以搗棒搗實 20 次，使得水泥砂漿均勻填實並避免水分滲出，以刮刀將流度表面多餘之水泥砂漿去除。
- 5.擦淨流度台表面及流度模周邊任何水分，並於水泥砂漿填實完成後一分鐘內，將流度模垂直向上提起。
- 6.啟動流度儀，使流度台於 15 秒鐘內跌落 25 次，每次跌落高度為 12.7mm。

- 7.以尺量測跌落後水泥砂漿直徑,間隔 45° 量測4次,計算其平均直徑。
- 8.試用不同加水量,直到獲得標準流度值 $110\pm 5\%$ 為止。

五、結果及計算：

流度值= $100\times(\text{跌落後平均直徑}-\text{流度模底面內側直徑})/(\text{流度模底面內側直徑})$

六、注意事項及討論：

3.2 水泥砂漿之抗壓強度試驗

(Test for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars)

一、 試驗目的：

測定不同水泥砂漿抵抗壓力性質之強弱，以達到比較各種廠牌水泥之品質優劣。

二、 參考資料：

CNS 1010 水硬性水泥壩料抗壓強度檢驗法

ASTM C109 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars

三、 試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | | |
|-----------|-----------|----------|
| 1. 流度儀 | 2. 尺 | 3. 玻璃量筒 |
| 4. 電子稱 | 5. 搗棒 | 6. 刮刀 |
| 7. 拌和機 | 8. 標準篩 | 9. 抗壓實驗機 |
| 10. 抗壓試體模 | 11. 恆溫恆濕箱 | |

材料：

- | | |
|----------|----------|
| 1. 波特蘭水泥 | 2. 級配標準砂 |
|----------|----------|

四、 試驗步驟：

1. 抗壓試體模內塗上一薄層脫模劑，例如礦油、潤滑脂或輕黃油，試體模裝妥後，擦拭去除多餘之礦油、潤滑脂或輕黃油。
2. 稱取波特蘭水泥、標準砂及適量水，水泥與砂之重量比為 1 : 2.75，所加入水量使得水泥砂漿達到標準流度值 $110 \pm 5\%$ 。
3. 將水倒入拌和機內，再倒入波特蘭水泥，以低速攪拌 30 秒，於低速拌和期間將砂徐徐倒入，停止 15 秒鐘後，再以中速攪拌 30 秒，停止並靜置 1.5 分鐘，再以中速攪拌一分鐘，即完成水泥砂漿拌和。
4. 水泥砂漿拌和完成後，在 2.5 分鐘應進行水泥砂漿試體製造，將水泥砂漿分兩層倒入模內，每層厚約 25mm，並以搗棒於 10 秒內均勻搗實 32 次，最後以刮刀將試體模表面多餘之水泥砂漿去除。
5. 將試體模置於恆溫恆濕箱中，24 小時後拆模，放入恆溫恆濕箱中養護。
6. 從恆溫恆濕箱中取出齡期 28 天之試體，擦乾試體表面，檢查試體承壓表面是否粘著任何砂粒或雜物，並應加以磨平。
7. 將水泥砂漿試體置於抗壓實驗機支承座中央，並加載荷重於試體，

使得試體於 20 至 80 秒間達到破壞之最大荷重。

五、 結果及計算：

水泥砂漿抗壓強度=試體承載最大荷重/試體承力剖面積

六、 注意事項及討論：



圖 3.1 拌和機



圖 3.2 砂漿抗壓試體模



圖 3.3 萬能試驗機



圖 3.4 電動流度儀

標準水泥砂漿流度試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

試驗次數	1	2	3
(1)加水量 (g)			
(2)水泥砂漿底部直徑 (cm)			
(3)底部直徑平均值 =(2)/(4) (cm)			
(4)流度值 =[(3)-10]/10*100%			

組別：

姓名：

水泥砂漿之抗壓試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

試驗次數	1	2	3
(1)水量百分率 (%)			
(2)斷面積 (c m ²)			
(3)最大荷重 (Kg)			
(4)抗壓強度 =(3)/(4) (Kg/c m ²)			

組別：

姓名：

試驗四、水泥細度試驗(氣透儀法)

一、試驗目的：

採用布蘭氏氣透儀測定不同水泥之比表面積，藉由細度大小表示水泥顆粒粗細程度，以比較各種水泥之品質。

二、參考資料：

CNS 2924 波特蘭水泥細度試驗法 (氣透儀法)

ASTM C204 Standard Test Method for Fineness of Portland Cement
by Air Permeability Apparatus

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | | |
|----------|---------|-------|
| 1.布蘭氏氣透儀 | 2.精密天平 | 3.計時表 |
| 4.濾紙 | 5.細棒或鉛筆 | |

材料：

- 1.波特蘭水泥

四、試驗步驟：

1. 量測壓實水泥層之假容積：

水泥層之假容積 = (氣透筒中無水泥時水銀重量 - 氣透筒中有水泥時水銀重量) / 水銀密度。

2. 將細度 S_s 之標準水泥 10 克置於 100cc 之瓶中激烈搖動兩分鐘使水泥鬆散，試驗時所需標準水泥重量 = 水泥層假容積 × (1 - 水泥層孔細率)，水泥層孔細率 = 0.5。
3. 孔版置於氣透筒內，再將一濾紙置於金屬孔板上，量測實驗所需標準水泥並倒入氣透筒內，另依濾紙置於水泥層上，然後以柱塞壓實，直到柱環與氣透筒頂端接觸為止。
4. 將氣透筒緊套於 U 型壓力計之頂端，以油脂塗於接觸處以防漏氣。
5. 徐徐抽出 U 型壓力計一側之空氣，使液面升到最高刻度時關閉氣閥。
6. 當液面降至第二刻度時，開始計時，等到液面降至第三刻度時，停止計時，紀錄溫度及所量測獲得之時距 T_s 。
7. 量稱試驗所需水泥量，重複上述氣透儀實驗並量測獲得時距 T 。

五、結果及計算：

$$S = S_s \sqrt{\frac{T}{T_s}}$$

六、注意事項及討論：

對下列實驗(卜特蘭水泥熱壓膨脹試驗法)有興趣者，請至圖書館參考室，直接查看中國國家標準 CNS 1258



圖 4.1 布蘭氏氣透儀

水泥細度試驗(氣透儀法)

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

試驗次數	1	2	3	4
(1)水泥重 (g)				
(2)下降時間 T (秒)				
(3)比表面積 S (m^2/Kg)				
(4)平均值 (m^2/Kg)				
(5)標準水泥量測值	S _s =		T _s =	

組別：

姓名：

試驗五、骨材篩分析實驗

(Test for Sieve Analysis of Coarse and Fine Aggregates)

一、試驗目的：

由篩分析決定粗細骨材之級配曲線，進而獲得骨材之最大粒徑及其細度模數，以作為混凝土配合設計之依據。

二、參考資料：

CNS 486 粗細粒料之篩析法

ASTM C136 Standard Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | | |
|-------|-------|------|
| 1.搖篩機 | 2.標準篩 | 3.烘箱 |
| 4.電子秤 | 5.鋼刷 | 6.鋁盤 |

材料：

- | | |
|-------|----------|
| 1.粗骨材 | 2.細骨材（砂） |
|-------|----------|

四、試驗步驟：

1. 將粗細骨材分別置於 105~115 溫度之烘箱中，烘乾至定量或 24 小時。

2. 藉分樣器或四分法獲得試樣，稱取適量試樣：

(a) 細骨材大小 試樣最少重量

95 % 以上通過 # 8 篩 100g 以上

95 % 以上通過 # 8 篩且 85 % 以上通過 # 4 篩 500g 以上

(b)

粗骨材最大粒徑 (in)	3/8	1/2	3/4	1	3/2	2	5/2	3	7/2
試樣最少重量 (kg)	1	2	5	10	15	20	35	60	100

3. 按標準孔徑大小由上至下疊好，最上為頂蓋，最下為底盤，採用之標準篩依粗細骨材區分為：

(a) 細骨材：# 4、# 8、# 16、# 30、# 50、# 100

(b) 粗骨材：5/2"、3/2"、1"、3/4"、1/2"、3/8"、# 4 及底盤。

4. 將粗細骨材試樣分別倒入搖篩機，開始篩動，直到一分鐘內之通過篩量僅及殘留量 1 % 時（約五分鐘），停止篩動。

5. 以鋼刷完全清除篩面上殘留物並倒入鋁盤中，量稱各篩上殘留物重量。

五、結果及計算：

細度模數 (Fineness Modulus) = 各標準篩上之殘留累積百分率總和 / 100 (3"、3/2"、3/4"、3/8"、#4、#8、#16、#30、#50、#100)

六、注意事項及討論：

篩分析後，各篩上殘留物重量不得超過每平方公分篩面 0.6g。



圖 5.1 粗骨材搖篩機



圖 5.2 細骨材搖篩機

骨材篩分析實驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

(1) 篩號	停留量			
	(2)留篩 (g)	(3)留篩 (%)	(4)累積 (%)	(5)=Σ(4)
2.5"				-
1.5"				
1"				-
0.75"				
0.5"				-
0.375"				
#4				
#8				
#16				
#30				
#50				
#100				
蓋和底盤			細度模數 =	

註：(1)劃“-”不必計算。

(2)細度模數等於第(5)欄最底下格內之值除於 100。

組別：

姓名：

試驗六、骨材之比重及吸水率試驗

6.1 粗骨材之比重及吸水率試驗

(Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates)

一、試驗目的：

量測粗骨材比重之容積比重、視比重及其吸水率，以作為控制混凝土強度之依據。

二、參考資料：

- CNS 488 粗粒料比重及吸水率試驗法
ASTM C127 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- 1.水桶 2.鐵絲籠 3.烘箱
4.電子稱 5.布 6.鋁盤

材料：

- 1.粗骨材

四、實驗步驟：

1. 藉分樣器或四分法獲得試樣,秤取適量試樣並記錄重量為 W_1 ：

粗骨材最大粒徑(in)	1/2	3/4	1	3/2	2	5/2	3	7/2	4	9/2	5	6
試樣最少重量(Kg)	2	3	4	5	8	12	18	25	40	50	75	125

2. 將粗骨材置於 105~115 溫度下烘乾至恆重，在室溫冷卻至 1~3 小時後，量稱試樣並記錄重量為 W_2 ，然後將此試樣浸入室溫之水中約 24 小時。
3. 將粗骨材試樣自水中取出，置於一具吸水性之布上徐徐滾動，除去試體表面水膜，其中較大粒徑之粗骨材需分別擦拭，以達到面乾內飽和狀態，量稱並記錄此時試體重量為 W_3 。
4. 鐵絲籠置於水桶中且掛於電子稱下，先將電子稱歸零，再將面乾內飽和之粗骨材試樣倒入鐵絲籠內，置鐵絲籠於水桶中並懸掛於電子

稱下，量稱粗骨材試樣於水中重量並記錄為 W_4 。

五、結果及計算：

容積比重(Bulk Specific Gravity)= $W_2 / (W_3 - W_4)$

容積比重-面乾內飽和狀態(Bulk Specific Gravity-S.S.D.)= $W_3 / (W_3 - W_4)$

視比重(Apparent Specific Gravity)= $W_2 / (W_2 - W_4)$

吸水率(%)= $100 \times (W_3 - W_2) / W_2$

含水量= $100 \times (W_1 - W_2) / W_2$

六、注意事項及討論：

骨材含水分情形可分為下列四種狀態：(1)烘乾狀態：又稱爐乾狀態，烘乾試體至重量不再改變為止之乾燥狀態，屬絕對乾燥狀態。(2)風乾狀態：又稱為氣乾狀態，乃置於室內使其自然乾燥者，為表面及內部一部份乾燥之狀態。(3)面乾內飽和狀態：骨材之內部孔隙呈飽和，但表面無附著水之狀態。(4)濕潤狀態：骨材之內部孔隙呈飽和，且表面有附著水之狀態。

骨材吸水量為骨材自烘乾狀態至面乾內飽和狀態所吸收之水量，有效吸水量係指骨材由風乾狀態至面乾內飽和狀態所吸收之水量。

粗骨材之比重及吸水率試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

項目	試 驗 值 (重量單位：克)			
	1	2	3	平均
(1)試樣重(W ₁)				
(2)烘乾重(W ₂)				
(3)面乾飽和重(W ₃)				
(4)試樣水中重(W ₄)				
(5)容積比重= (2)/((3)-(4))				
(6)容積比重-面乾 內飽和狀態= (3)/((3)-(4))				
(7)視比重= (2)/((2)-(4))				
(8)吸水率(%)= 100x((3)-(2))/ (2)				
(9)含水量(%)= 100x((1)-(2))/ (2)				

組別：

姓名：

6.2 細骨材之比重及吸水率試驗

(Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates)

一、試驗目的：

量測細骨材之容積比重、視比重及其吸水率，以做為控制混凝土強度之依據。

二、參考資料：

- CNS 487 細粒料比重及吸水率試驗法
ASTM C128 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | | |
|-----------|--------|-------|
| 1. 細粒料比重瓶 | 2. 圓錐模 | 3. 烘箱 |
| 4. 電子稱 | 5. 搗棒 | 6. 鋁盤 |
| 7. 吹風機 | 8. 漏斗 | |

材料：

1. 細骨材（砂）

四、試驗步驟：

1. 藉分樣器或四分法獲得試樣，稱取約一公斤細骨材。
2. 將細骨材置於 105-115 溫度下烘乾至恆重，將冷卻至適合操作之溫度後，將此試樣浸入室溫之水中約 24 小時。
3. 將細骨材試樣自水中取出，置於一不吸水之平坦表面上，開啟吹風機以暖風徐徐吹之，攪動細骨材試樣並均勻吹風，以達到面乾內飽和狀態。
4. 以圓錐模與搗棒試驗試樣是否達到面乾內飽和狀態：將圓錐模置於一平盤上，由頂端開口倒入細骨材試樣，利用搗棒自重輕搗試樣 25 次，刮平模頂並清除周邊多餘之試樣後，垂直提起圓錐模，若試樣保持原先圓錐模形狀，藉吹風機以暖風吹之，再重複上述步驟。若試樣坍塌嚴重，表示細骨材已太乾。若試樣稍有坍塌，表示細骨材以達面乾內飽和狀態。
5. 量稱 500 公克面乾內飽和細骨材試樣，紀錄此時試體重量為 S。
6. 先將 200cc 水倒入比重瓶中，再藉由漏斗倒入 500 公克面乾內飽和細骨材試樣，然後，加水使其達到 450cc 刻劃，來回搖動比重瓶使其其中氣泡逸出，量稱比重瓶包括細骨材與水之總重量，並記錄為 C。
7. 將比重瓶中細骨材倒出，此面乾內飽和細骨材試樣於 105-115 溫度下烘乾至恆重，室溫中冷卻後，量稱烘乾試樣於空氣中之重量並

記錄為 A。

8. 清潔比重瓶中，裝入室溫水至 450cc 刻劃，量稱其重量並記錄為 B。

五、結果及計算：

$$\text{容積比重} = A / (B + S - C)$$

$$\text{容積比重 (面乾內飽和)} = S / (B + S - C)$$

$$\text{視比重} = A / (B + S - C)$$

$$\text{吸水率} (\%) = 100 \times (S - A) / A$$

六、注意事項及討論：



圖 6.1 鐵絲籠



圖 6.2 吹風機

細骨材之比重及吸水率試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

項目	試 驗 值 (重量單位：克)			
	1	2	3	平均
(1)面乾飽和重(S)				-
(2)(瓶 + 水 + 砂)重(C)				
(3)烘乾重(A)				
(4)(瓶 + 水)重(B)				-
(5)含水量=(1) + (4) - (2)				
(6)容積比重 = (3)/(5)				
(7)容積比重 (面乾內飽和) = (1)/(5)				
(8)視比重 = (3)/(5)				
(9)吸水率 (%) = 100× ((1) - (3))/(3)				

組別：

姓名：

試驗七、骨材單位重及空隙率實驗

(Test for Unit Weight and Voids in Aggregate)

一、試驗目的：

量測粗細骨材之單位體積重量及骨材間空隙率，以供混凝土配比設計中骨材用量之計算依據。

二、參考資料：

CNS 1163 粒料單位質量與空隙實驗法

ASTM C 29 Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

1.量桶 2.搗桿 3.電子稱 4.鏟子

材料：

1.細骨材(砂) 2.粗骨材

四、試驗步驟：

- 1.稱取適量骨材，將此骨材試樣置於 105-115 溫度下烘乾至恆重。
- 2.選擇合適之圓柱形金屬桶，量桶大小依據骨材最大粒徑而定。

容積(L)	內徑(mm)	內側高(mm)	最大粒徑(mm)
3	153-157	158-162	12.5
10	203-207	303-307	25.0
15	253-257	293-297	40.0
30	353-357	303-307	100.0

- 3.校正量桶容積：量秤量桶及蓋板，記錄此時重量為 A，將室溫水倒滿量桶，並於桶上蓋一平板，量稱並記錄量桶、蓋板及水之總重為 B。
- 4.測定骨材單位重：
 - (1) 搗桿夯實法：適用於最大粒徑 4cm 以下。
分三次裝填，每層試樣表面以搗桿均勻搗實 25 次，所施加之力恰可夯擊至上一層頂面，最後以搗桿將量桶表面刮平，量稱量桶內試樣重為 W。
 - (2) 搖振法：適用於最大粒徑 4-10cm。
分三次裝填，每次將試樣置於一堅固地面上，提起量桶 5cm，然

後遽放使之落下振實，分別於量桶兩側各施加振實 25 次，最後以手指或直尺修平量桶表面，量稱量桶內試樣重並記錄為W。

(3) 鏟填法：適用於最大粒徑 10cm 以上。

以鏟子將試樣裝填入量桶，鏟子離量桶頂之高度不能超過 5cm，並以手指或直尺修平量桶表面，量稱量桶內試樣重並記錄為W。

5. 稱取適量粗骨材，重複上述步驟量取量桶內粗骨材試樣重。

五、結果及計算

量桶容積 $V=(B-A)/\text{室溫之水單位重}$

骨材單位重 $=W/V$

實體積比 $=100 \times (\text{骨材單位重}/\text{乾燥骨材容積比重})$

空隙率 $=100 - \text{實體積比}$

六、注意事項及討論



圖 7.1 量筒

骨材單位重及空隙率實驗

室 溫：最高 最低 相對濕度： %
 水 溫： 日 期： 年 月 日

項 目	試 驗 值 (單 位 : 公 斤)		
	1	2	3
(1)(量桶+蓋板)重(A)			
(2) (量桶+蓋板+水)重(B)			
(3)試樣重(W)			
(4)量桶容積 V= ((2)-(1))/室溫之水單位重			
(5)骨材單位重 = (3)/(4)(公斤/m ³)			
(6)實體積比= 100x((5)/乾燥骨材容積比重)			
(7)空隙率=100-(6)			
(8)平均值	單位重(kg/m ³)		
	空隙率		

註：乾燥骨材容積比重由骨材之比重及吸水率試驗求得。

組別：

姓名：

試驗八、混凝土坍度試驗(Test for Slump of Concrete)

一、試驗目的：

測定新拌混凝土之稠度，以作為判定其工作性好壞之依據。

二、參考資料：

CNS 1176 混凝土坍度試驗法

ASTM C109 Standard Test Method for Slump of Portland Cement Concrete

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

1.搗棒 2.坍度模及附件 3.電子秤 4.小鏟

材料：

1.波特蘭水泥 2.砂 3.粗骨材 4.水

四、試驗步驟：

1. 本試驗適用於最大粒徑為 38mm 以下之混凝土，若最大粒徑大於 38mm，除去 38mm 以上之粒料。
2. 按設計配比稱取水泥、砂、粗骨材及適量水，將粗骨材及部分水加入拌和機，拌和之，並陸續加入細骨材，水泥及水，拌和 3 分鐘後，停置 3 分鐘，最後再拌和 2 分鐘即完成拌和。
3. 先以抹布濕潤坍度模具，然後將其置於一不吸水之鐵板平面上，並用雙腳踏緊腳片以固定模具。
4. 將新拌和好之混凝土分三次澆置於頂部直徑 10cm，底部直徑 20cm 及高 30cm 之圓錐筒內，每層以長 60cm 之搗棒搗實 25 次，應均勻地分佈於各層之斷面，每次搗實須穿透該層且恰接觸下一層表面為止。
5. 最後以刮刀將頂端刮平，然後保持垂直方向輕輕將圓錐筒提起，於 3~7 秒時間內等速提起 300mm 之距離，混凝土隨即下坍，量測坍陷後混凝土高度，由填充試體至提起模具，必須於 2.5 分鐘內完成。

五、結果及計算：

混凝土坍度 = 坍度模高度 - 坍陷後混凝土高度

六、注意事項及討論：

混凝土坍度一般可分為四種類型：

1. 近零坍度：含水量少，工作性差，但強度較高，適用於巨積混凝土。
2. 正常坍度：混凝土工作性優良，含水量適中。

3. 剪力坍度：此種混凝土之抗剪能力差，其坍度值不可靠。
4. 崩陷坍度：混凝土含水量太多或為貧級配時，將產生此種坍度，其工作性雖高，但強度將降低。



圖 8.1 坍度模及附件

混凝土坍度試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

配合比：水泥：水：砂：石子 =

試驗次序	1	2	3
坍度(cm)			

組別：

姓名：

試驗九、粗骨材磨損試驗

(Test for Abrasion of Coarse Aggregate)

一、試驗目的：

藉洛杉磯磨損試驗機量測粗骨材之磨損率，以判別粗骨材對磨損之抵抗力。

二、參考資料

- CNS 490 粗粒料磨損試驗法
ASTM C29 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

三、試驗儀器及材料

試驗儀器：

1. 洛杉磯磨損試驗機 2. 標準篩 3. 電子稱 4. 磨球

材料：

1. 粗骨材

四、試驗步驟

1. 先清洗試樣，再秤取適量粗骨材，將此粗骨材試樣置於 105-110 溫度下烘乾至恆重。
2. 以標準篩將其分成各尺度分量，再依據下表規定組合成不同級配及試樣總重，並記錄為 A：

通過篩號尺度(in)	停留篩號尺度(in)	級配 A	級配 B	級配 C	級配 D
1.5	1	1225-1275			
1	3/4	1225-1275			
3/4	1/2	1240-1260	2490-2510		
1/2	3/8	1240-1260	2490-2510		
3/8	1/4			2490-2510	
1/4	#4			2490-2510	
#4	#8				4990-5010
總重(g)		4990-5010	4990-5010	4990-5010	4990-5010

3. 將粗骨材試樣放入洛杉磯磨損試驗機內，再依據下表使用適量磨

球，然後以每分鐘 30-33 轉之轉速轉動 500 轉後停止。

試樣級配	磨球數量(個)	磨球總重(公克)
A	12	4975-5025
B	11	4559-4609
C	8	3310-3350
D	6	2485-2515

- 將試樣由洛杉磯磨損試驗機內取出，以標準篩#12 篩分之，量稱停留於此篩上之試樣重量，並記錄為 B。

五、結果及計算

$$\text{磨損率}\% = 100 \times (A-B)/A$$

硬度均勻之粗骨材，其轉動 100 轉後與轉動 500 轉後磨損量比值不會超出 0.2 太多。



圖 9.1 磨球



圖 9.2 洛杉磯磨損試驗機

粗骨材磨損試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

項目	試 驗 值		
	1	2	3
(1)試樣級配			
(2)試驗前重(克)			
(3)轉數(回)			
(4)試驗後重(克)			
(5)磨損重(克) = (4) - (2)			
(6)磨損率(%)=100 x (5)/(1)			
(7)平均值(%)			

組別：

姓名：

試驗十、細骨材表面含水率試驗

(Test for Surface Moisture in Fine Aggregate)

一、試驗目的：

量測細骨材之表面含水率，可用於混凝土配比設計中，調整骨材及拌和水之用量。

二、參考資料：

CNS 489 細粒料表面含水率試驗法

ASTM C70 Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

1. 細骨材比重瓶

2. 電子秤

材料：

1. 細骨材（砂）

四、試驗步驟：

1. 稱取具代表性之細骨材試樣，其重量不得小於 200 公克並紀錄為 S。
2. 將室溫水倒入細骨材比重瓶直到 450cc 刻畫處，稱取重量並紀錄為 C。
3. 倒出比重瓶中部分室溫水，使得剩餘水量足以淹沒細骨材試樣，而不會超過 450cc 刻畫處。
4. 將全部細骨材試樣倒入比重瓶中，搖動比重瓶使得氣泡逸出，再加水至 450cc 刻畫處。量稱並紀錄總重為 W。

五、結果及計算：

細骨材試樣排開之水重 $V=C+S-W$

$D=S/\text{面乾內飽和細骨材之容積比重}$

以面乾內飽和為準之細骨材表面含水率 $P=(V-D)/(S-V)$

六、注意事項及討論：

$$S = A + B$$

$$P = \frac{B}{A} \rightarrow B = AP$$

$$S = A + AP \Rightarrow A = \frac{S}{1 + P}$$

$$B = S - A \quad \Rightarrow \quad B = S - \frac{S}{1+P}$$

$$\therefore P = \frac{B}{A} = \frac{S - \frac{S}{1+P}}{\frac{S}{1+P}} \times 100\% \quad \text{————— (1)}$$

$$V = \text{試樣於水中排水量} = \frac{B}{\text{水單位重}} + \frac{A}{\text{面乾內飽和骨材容積比重}}$$

$$= \frac{B}{1} + \frac{A}{G} = \left(S - \frac{S}{1+P} \right) + \frac{S}{(1+P)G} \quad \rightarrow \quad \frac{S}{1+P} = \frac{V-S}{\frac{1}{G}-1} \quad \text{————— (2)}$$

將(2)代入(1)

$$P = \frac{S - \frac{V-S}{\frac{1}{G}-1}}{\frac{V-S}{\frac{1}{G}-1}} = \frac{\frac{S}{G} - V}{V-S} = \frac{D-V}{V-S} = \frac{V-D}{S-V}$$

細骨材表面含水率試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

項目	試 驗 值 (重量單位：克)			
	1	2	3	平均
(1)試樣重(S)				-
(2)(瓶 + 水)重(C)				-
(3)(瓶 + 水 + 砂)重(W)				
(6)細骨材試樣排開之水 重=(1)+(2)-(3)				
(7) D=(1)/面乾內飽和細 骨材之容積比重				
(8)以面乾內飽和為準之 細骨材表面含水率= ((6)-(7)) / ((1)-(6))				

註：面乾內飽和容積比重由骨材之比重及吸水率試驗求得。

組別：

姓名：

試驗十一、混凝土單位重試驗

(Test for Unit Weight of Concrete)

一、試驗目的：

量測新拌混凝土之單位體積重量，進而計算已知配比之各種材料一次拌和所產生之混凝土體積及空氣含量。

二、參考資料：

CNS 11151 混凝土單位重、拌和體積及含氣量試驗法

ASTM C138 Standard Test Method for Unit Weight, Yield and Air Content of Concrete

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | | | |
|-------|------|-------|------|
| 1、量筒 | 2、搗棒 | 3、電子秤 | 4、蓋板 |
| 5、內振器 | 6、木槌 | 7、刮板 | |

材料：

- | | | | |
|---------|-------|-------|-----|
| 1、波特蘭水泥 | 2、粗骨材 | 3、細骨材 | 4、水 |
|---------|-------|-------|-----|

四、試驗步驟：

1. 稱取適量細骨材、粗骨材、波特蘭水泥及水，拌和成新拌混凝土。
2. 選擇合適之圓柱型金屬量筒，量桶大小依據骨材最大粒徑而定：

最大粒徑(mm)	25	37.5	50	75	114	152
容積(L)	6	11	14	28	71	99

3. 校正量筒容積：量稱量筒及蓋板，記錄此時重量為 A，將室溫水倒滿量桶，並於桶上蓋一平板，量稱並記錄量筒、蓋板及水之總重為 B。
4. 搗實混凝土方式，依混凝土之坍度大小可區分為：
 - (1) 振動法：坍度小於 25mm 時，分二層每層以振動機分三點搗實。
 - (2) 搗插法：坍度大於 75mm 時，利用搗棒分三層，每層搗實 25 次，最後以木槌敲擊量桶外側使空氣及搗棒痕跡消失。
 - (3) 坍度在 25 至 75mm 者，可採用任一方法搗實，不論何種方法搗棒或振動機之頭須深入下層 25mm。
5. 最後以刮板將量筒表面刮平，量稱量桶內試樣重為 C。

五、結果及計算：

量筒容積 $V=(B-A)/\text{室溫水之單位重}$

混凝土單位重 $W=C/V$
 拌和體積 $Y=(\text{每一拌和水泥、粗骨材、細骨材及水之總重})/W$
 相對體積比 $Ry=Y/Yd=\text{每一拌和混凝土實際體積}/\text{混凝土設計體積}$
 水泥含量 $N=(\text{每一拌和水泥總重})/Y$
 含氣量 $A=100x[(\text{混凝土理論單位重}-W)/\text{混凝土理論單位重}]$
 $=100x[(Y-\text{各配比材料總體積})/Y]$

六、注意事項及討論：



圖 11.1 量筒

混凝土單位重試驗

室溫：最高 最低 相對濕度： %
 水溫： 日期： 年 月 日

材料	項目	試驗值 (單位： g)		
		1	2	3
水泥	(1)重量(W_c)			
	(2)袋數(N) = (1)/50			
	(3)比重			
	(4)體積(V_c) = (1)/(3)			
砂	(5)重量(W_{fa})			
	(6)比重			
	(7)體積(V_{fa}) = (5)/(6)			
石子	(8)重量(W_{ca})			
	(9)比重			
	(10)體積(V_{ca}) = (8)/(9)			
水	(11)重量(W_w)			
(12)試料共重(W_t) = (1)+(5)+(8)+(11)				
(13)(量筒+蓋板)重(A)				
(14)(量筒+蓋板+水)重(B)				
(15)量筒試樣重(C)				
(16)量筒容積=((14)-(13))/室溫水之單位重				
(17)混凝土單位重=(15)/(16)				
(18)拌和體積=(12)/(17)				
(19)相對體積比=(18)/混凝土設計體積				
(20)水泥含量=(1)/(18)				
(21)含氣量=100x[(混凝土理論單位重-(17))/混凝土理論單位重]				

組別：

姓名：

試驗十二、混凝土鑽心試體抗壓強度試驗法

(Method of Test for Compressive Strength of Drilled Cores of Concrete)

一、試驗目的：檢測結構體中混凝土之品質。

二、參考資料：

CNS 1238 混凝土鑽心試體及切鋸試體抗壓及抗彎強度試驗法

ASTM C42 Standard Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | |
|-------------|---------|
| 1.鑽心機 | 2.切割機 |
| 3.鋼筋偵測器 | 4.抗壓試驗機 |
| 5.試體蓋平或磨平設備 | |

材料：混凝土結構物

四、試驗步驟：

1. 先利用鋼筋偵測器，測出欲鑽取區域附近之鋼筋位置，於無鋼筋處，以鑽心機鑽取試體長度與直徑比值約為 2 之試體，且試體直徑至少須為最大粒徑之 3 倍。
2. 鑽取之試體先以切割機切平，再以研磨機磨平，然後置入飽和石灰水中，至少養護 40 小時，其溫度須保持於 21 ~ 25 間。
3. 取出鑽心試體，抗壓面蓋平或磨平後，量測試體之平均直徑與長度，再置入抗壓試驗機抗壓頭下，進行單軸抗壓試驗。

五、結果及計算：

由試驗獲得之最大破壞荷重 P 與試體直徑 D ，可計算此鑽心試體之抗壓強度：

$$\sigma = f (4 P/\pi D^2)$$

其中 f 為試體長度與直徑比值之修正係數

修正係數值可參考下表：(L = 試體長度， D = 試體直徑)

L / D	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
修正係數	1.00	0.98	0.96	0.93	0.87

在此表中 未列之長度與直徑比值之對應修正係數，可藉由內插法求得。

六、注意事項及討論



圖 12.1 鑽心機

混凝土鑽心試體抗壓強度試驗法

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 期： 年 月 日

項目	試 驗 值		
	1	2	3
(1)直徑(cm)			
(2)面積(cm ²)			
(3)最大荷重(kg)			
(4)抗壓強度(kg/cm ²)			
(5)長度(cm)			
(6)長寬比， $L/d = (5)/(1)$			
(7)修正係數(f)			
(8)抗壓強度(kg/cm ²) = (4) x (7)			
(9)平均值			

組別：

姓名：

試驗十三、混凝土之抗彎強度三分點載重試驗

(Test for Flexural Strength of Concrete Using Simple Beam with Third-point Loading)

一、實驗目的：測定不同混凝土抗彎能力之大小。

二、參考資料：

CNS 1230 混凝土試體在實驗室模製及養護法

ASTM 1233 混凝土抗彎強度試驗法

三、實驗儀器及材料：

實驗儀器：

- | | | | |
|---------|------|---------|---------|
| 1.拌合機 | 2.搗棒 | 3.抗彎試體模 | 4.電子秤 |
| 5.萬能試驗機 | 6.小鏟 | 7.試體蓋平器 | 8.恆溫恆濕箱 |

材料：

- | | | | |
|---------|-----|-------|-----|
| 1.波特蘭水泥 | 2.砂 | 3.粗骨材 | 4.水 |
|---------|-----|-------|-----|

四、實驗步驟：

1. 抗彎試體模常用之尺寸為 15 公分 × 15 公分 × 53 公分，抗彎試體模內面塗上一薄層脫模劑，並確實栓緊各螺栓。
2. 按設計配比秤取水泥、砂、粗骨材及適量水。將粗骨材及部份水加入拌合機拌合之，並陸續加入細骨材、水泥及水。拌合三分鐘後，停置三分鐘，最後再拌兩分鐘即完成拌和。
3. 將拌合完成之混凝土灌置於抗彎試體模內，填模完畢後，將表面刮平，並蓋上玻璃板以防止水分蒸發，移至恆溫恆濕箱中。
4. 養護 24 小時後拆模，放入清水中養護，試體養護達齡期後，將試體表面擦乾，並以試體之側面作為承壓面，以粉筆將試體樑中間 45 公分劃分為三等份。如試體表面不平未能與施壓座及支點完全接觸時，則該試體須蓋平。
5. 以三分點載重法實施抗彎強度試驗，開動儀器馬達，施加载重於試體樑中央上，初期施加载重速率可較快，於施加载重至破壞荷重之 50% 左右時，增加施加载重速率為每分鐘 $8.8 \sim 12.3 \text{ Kg/cm}^2$ 之範圍內，直至試體產生斷裂為止。

五、結果與計算

當計算此試體之抗彎強度時，需考慮不同之試體梁破壞面位置：

- (1) 三分點載重法將使得試體梁中央 1/3 部份，處於相同撓曲彎矩作用下，於此區域中任一橫斷面產生破裂，皆可獲得相同之抗彎強度。如果抗彎試體梁之破壞面，正好位於梁中間 1/3 跨徑範圍內，其抗彎強度可由下列計算獲得：

$$\sigma = \frac{PL}{bd^2}$$

- (2) 如試體梁之破壞面位於中央 1/3 跨徑以外，但仍靠近此中央區域，且與中央區域邊界之距離並未超出跨徑全長之 5% 時，可採用下式計算其抗彎強度：

$$\sigma = \frac{3Pa}{bd^2}$$

其中 σ 為混凝土之抗彎強度，亦稱為破裂模數 (Modulus of Rupture, MOR)， P 為試體之破壞荷重， L 為跨徑長度， b 與 d 分別為試體之寬度與高度， a 則為沿試體底面中心線上所量測獲得破壞面與最近支承點之距離。

- (3) 如果試體之破壞面發生於中央 1/3 跨徑以外，且與此中央區域邊界之距離已超過跨徑全長 5% 以上時，則該試驗結果應予捨棄。

六、注意事項及討論

混凝土抗彎強度試驗，其載重型式可區分為三分點載重法與三點載重法兩種。由於三分點載重法可獲得較穩定之試驗結果，因此，一般混凝土抗彎強度試驗採用三分點載重法。



圖 13.1 石膏蓋平

混凝土之抗彎強度三分點載重試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： %

日 期： 年 月 日

項 目	試 驗 值 (齡期： 天)		
	1	2	3
(1)長度(cm)			
(2)寬度(cm)			
(3)深度(cm)			
(4)最大荷重(kg)			
(5)抗彎強度*(cm) $\sigma_1 = [(4) \times (1)] / [(2) \times (3)^2]$			
平均值			

*若破壞面位於中間跨徑 1/3 以外則以 $\sigma = [(4) \times 3 \times \text{破裂位置}] / [(2) \times (3)^2]$

組別：

姓名：

試驗十四、混凝土圓柱試體之抗壓強度實驗

(Test for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens)

一、試驗目的：測定不同混凝土抵抗壓力性質的強弱

二、參考資料：

CNS 1230 混凝土試體在試驗室複製及養護法

CNS 1232 混凝土圓柱試體抗壓強度之檢驗法

ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- | | | | |
|---------|------|---------|---------|
| 1.拌和機 | 2.搗棒 | 3.抗壓試體模 | 4.電子稱 |
| 5.抗壓試驗機 | 6.小鏟 | 7.試體蓋平器 | 8.恆溫恆濕箱 |

材料：

- | | | | |
|---------|-----|-------|-----|
| 1.波特蘭水泥 | 2.砂 | 3.粗骨材 | 4.水 |
|---------|-----|-------|-----|

四、試驗步驟：

1. 抗壓試體模內面塗上一薄層脫模劑，例如礦油、潤滑油或輕黃油，確實栓緊各螺栓。
2. 按設計配比稱取水泥、砂、粗骨材及適量水，拌和時需多加 10% 餘量。
3. 拌和時，先以類似之混凝土配料或超量水泥砂漿之混凝土試拌之，以補償可能貼附於拌和機上之水泥砂漿。
4. 將粗骨材及部分水加入拌和機，拌和之，並陸續加入細骨材、水泥及水，拌和 3 分鐘後，停置 3 分鐘，最後再拌 2 分鐘即完成拌和。
5. 量測混凝土坍度，依據坍度大小選取填實混凝土之方法：
 - A. 坍度小於 1 吋時，分兩層每層以振動機分三點搗實。
 - B. 坍度大於 3 吋時，利用搗棒分三層，每層搗實 25 次，最後以木槌敲擊模側使空氣及搗棒痕跡消失。
 - C. 坍度介於 1-3 吋時，可採用任意方法搗實，不論何種方式搗實或振動機之頭需深入下層 1 吋。
6. 將拌合完成之混凝土灌置於圓柱模內，填模完畢後，將表面刮平，

並蓋上玻璃板以防止水分蒸發，移置於恆溫恆濕箱中。

7. 養護 24 小時後拆模，放入清水中養護，到達試驗齡期後，取出試體，將表面不平處以石膏蓋平，以便試體表面能均勻受壓。
8. 將試體置於萬能試驗機上加壓，以每秒 $1.4\sim 3.4\text{kg/cm}^2$ 之負荷增加率，施力於試體，直至試體破壞為止，並記錄最大荷重值 P。

五、結果及計算：

混凝土抗壓強度=試體承載最大荷重/試體斷面積

六、注意事項及討論：

混凝土圓柱試體之抗壓強度實驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

項目	試 驗 值 (齡期： 天)		
	1	2	3
(1)直徑(cm)			
(2)面積(cm ²)			
(3)最大荷重(kg)			
(4)抗彎強度 (kg/cm ²)			
(5)平均值			

組別：

姓名：

試驗十五、金屬材料之彎曲試驗法

(Method of Bend Test for Metallic Materials)

一、研究目的：量測金屬材料受彎曲時的行為。

二、參考資料：

CNS 3941 金屬材料之彎曲試驗法

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

1. 抗彎試驗機 2. 鋼筋裁切器

材料：

1. 鋼筋

四、試驗的方法：

1. 壓彎法

a. 180° 彎曲

b. 密貼

2. 捲彎法

3. V 型槽法

五、結果及計算：觀察彎曲部分之外側有無裂痕或其他缺陷。

六、注意事項及討論：



圖 15.1 抗彎試驗機



圖 15.2 鋼筋裁切器

金屬材料之彎曲試驗法

室 溫：最高

最低

相對濕度： %

日 期： 年 月 日

項目	試 驗 值		
	1	2	3
(1)鋼筋長度(cm)			
(2)鋼筋重量(kg)			
(3)鋼筋單位質量(kg/m) $W=(2)/(1)$			
(4)標稱剖面積(cm^2) $S = (3)/0.785$			
(5)標稱直徑(mm) $D = (127.4 \times (4))^{1/2}$			
(6)彎曲部分之外側有 無裂痕或其他缺陷			

組別：

姓名：

試驗十六、鋼筋之單位質量與抗拉試驗

(Unit Mass and Tensile Test for Steel Bar)

一、試驗目的：

量測鋼筋之單位質量、斷面積標稱尺寸、降服強度、抗拉強度與伸長率等以檢驗不同的鋼筋材料性質之優劣。

二、參考資料：

CNS 479	鋼筋混凝土用鋼筋試驗法
CNS 560	鋼筋混凝土用鋼筋
CNS 2111	金屬材料拉伸試驗法
ASTM A370	Standard Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

三、試驗儀器及材料：

試驗儀器：

- 1.鋼尺 2.鋼筋裁切器 3.電子秤 4.抗拉試驗機

材料：

- 1.鋼筋

四、試驗步驟：

- 1 量秤鋼筋試樣之長度 L 與質量 M 。
- 2 將鋼筋裁切成試樣所需長度，鋼筋試樣長度= $L+2D$ +夾具所需長度，其中 L 為試驗標點距離，當 D 小於 25mm， $L=8D$ ，若 D 大於 25mm，則 $L=4D$ 。
- 3 將鋼筋試樣標示出規定之標點與夾具後，置入拉伸試驗機當中。
- 4 啟動拉伸試驗機，並以拉伸速率 $1\sim 3\text{kg}/\text{mm}^2/\text{sec}$ 加載，直到斷裂為止，記錄降伏荷重與最大荷重。
- 5 取下鋼筋試樣，重新接合並量測試驗標點距離。

五、結果及計算：

鋼筋單位質量 $W(\text{kg}/\text{m}) = M/L$

標稱剖面積 $S(\text{cm}^2) = W/0.785$

鋼筋密度 $= 7.85 \text{ g}/\text{cm}^3$

標稱直徑 $D(\text{mm}) = (127.4 \times S)^{1/2}$

標稱周長 $\ell(\text{cm}) = 3.1416 \times D$

伸長率 = 100% x (試驗後標點距離-試驗前標點距離)/試驗後標點距離

降服強度 = 降服荷重 / S

抗拉強度 = 最大荷重 / S

六、注意事項及討論：



圖 15.1 抗拉試驗機

鋼筋之單位質量與抗拉試驗

室 溫：最高 最低

相對濕度： % 日 期： 年 月 日

項目	試 驗 值		
	1	2	3
(1)鋼筋長度(cm)			
(2)鋼筋重量(kg)			
(3)鋼筋單位質量(kg/m) $W=(2)/(1)$			
(4)標稱剖面積(cm^2) $S = (3)/0.785$			
(5)標稱直徑(mm) $D = (127.4 \times (4))^{1/2}$			
(6)標稱周長(cm) $\ell = 3.1416 \times (5)$			
(7)試驗前標點距離(cm)			
(8)試驗後標點距離(cm)			
(9)伸長率 $= 100\% \times ((8) - (7))/(8)$			
(10)降服荷重(kg)			
(11)最大荷重()			
(12)降服強度(kg/cm^2) $=(10) / (4)$			
(13)抗拉強度(kg/cm^2) $=(11) / (4)$			

組別：

姓名：