鋼筋、混凝土、模板施工注意事項

高健章
台大土木系名譽教授

在台大土木系講學與研究經歷35年:

1. 土木材料課程
2. RC設計課程
3. PC設計課程
4. 混凝土材料試驗與研究
5. 結驗試驗與研究

一. 混凝土概說

水泥之沿革

- 1824 Joseph Aspdin發明波特蘭水泥
- 牛排與漢堡
- 混凝土之工易性

1. 水泥之本質

- 水硬性膠結材
- 豐富且便宜
- 高級化工產品
- 主要原料：石灰石，泥土，石膏
- 主要製程：磨 → 燒 → 磨

  1450 ℃　　#325篩

- 粒料 +水泥 = 混凝土

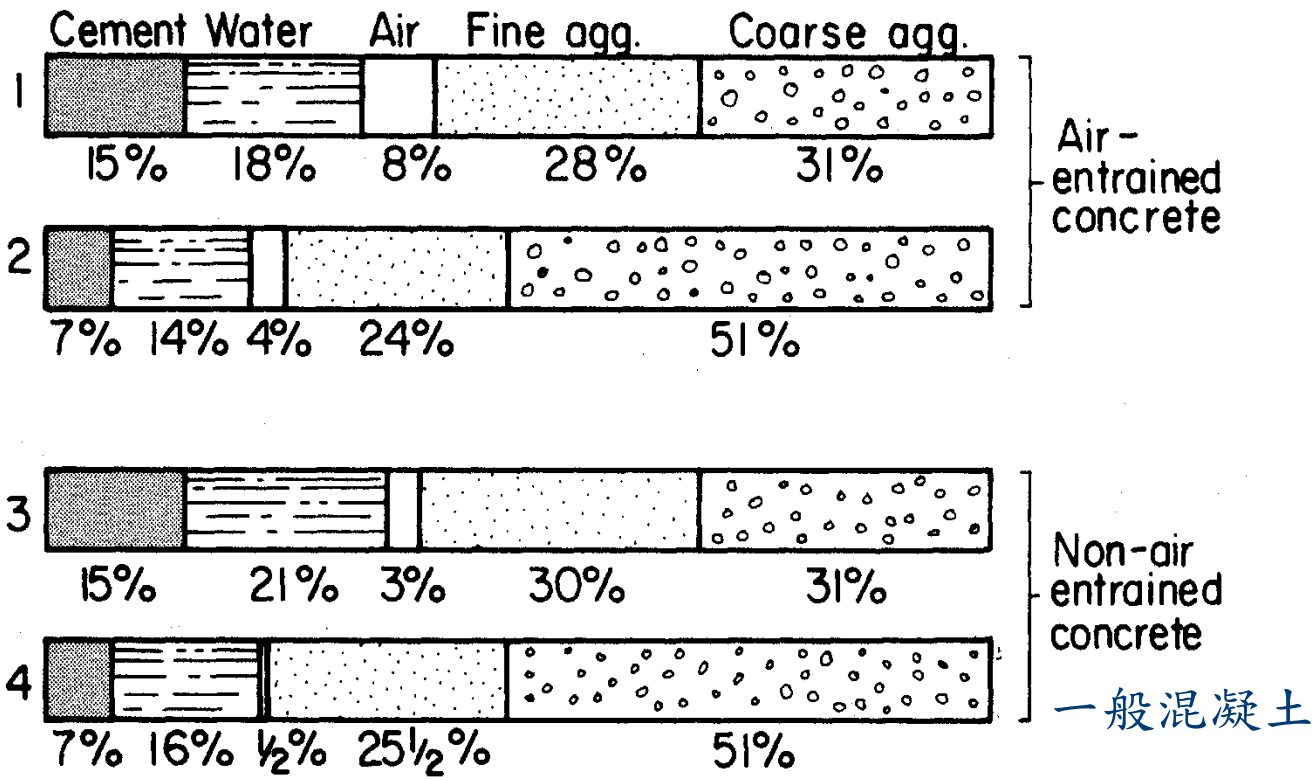
  （骨材）　（膠結材）

- 液態 → 固態

第一章　混凝土組成材料

1.1　混凝土材料之組成－概述

- 混凝土
  - 膠結材
    - 水泥
    - 水
    - 礦粉摻料
  - 填充材
    - 粗骨材＞＃４
    - 細骨材＜＃４
  - 其它
    - 化學摻料
    - 空氣
    - 纖維
    - …….


Cement
Water
Air
Fine agg.
Coarse agg.
1
15%
18%
8%
28%
31%
2
7%
14%
4%
24%
51%
Air-entrained concrete
3
15%
21%
3%
30%
31%
4
7%
16%
½%
25½%
51%
Non-air entrained concrete

一般混凝土

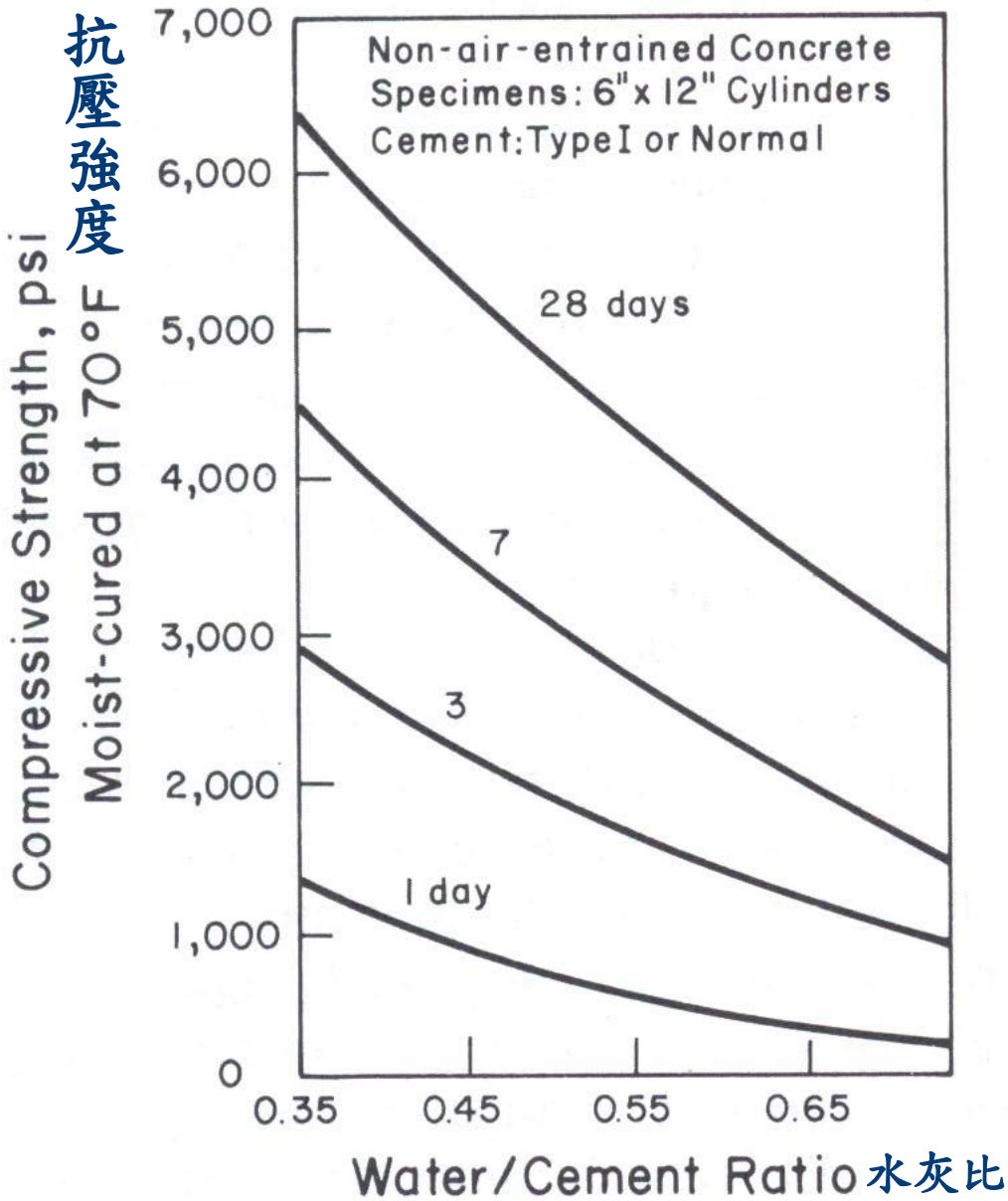
水泥漿之角色

- 凝固後－－－－膠結質（強度）
- 水灰比
- 凝固前－－－－潤滑劑（施工）

水灰比與強度

齡期與強度

1

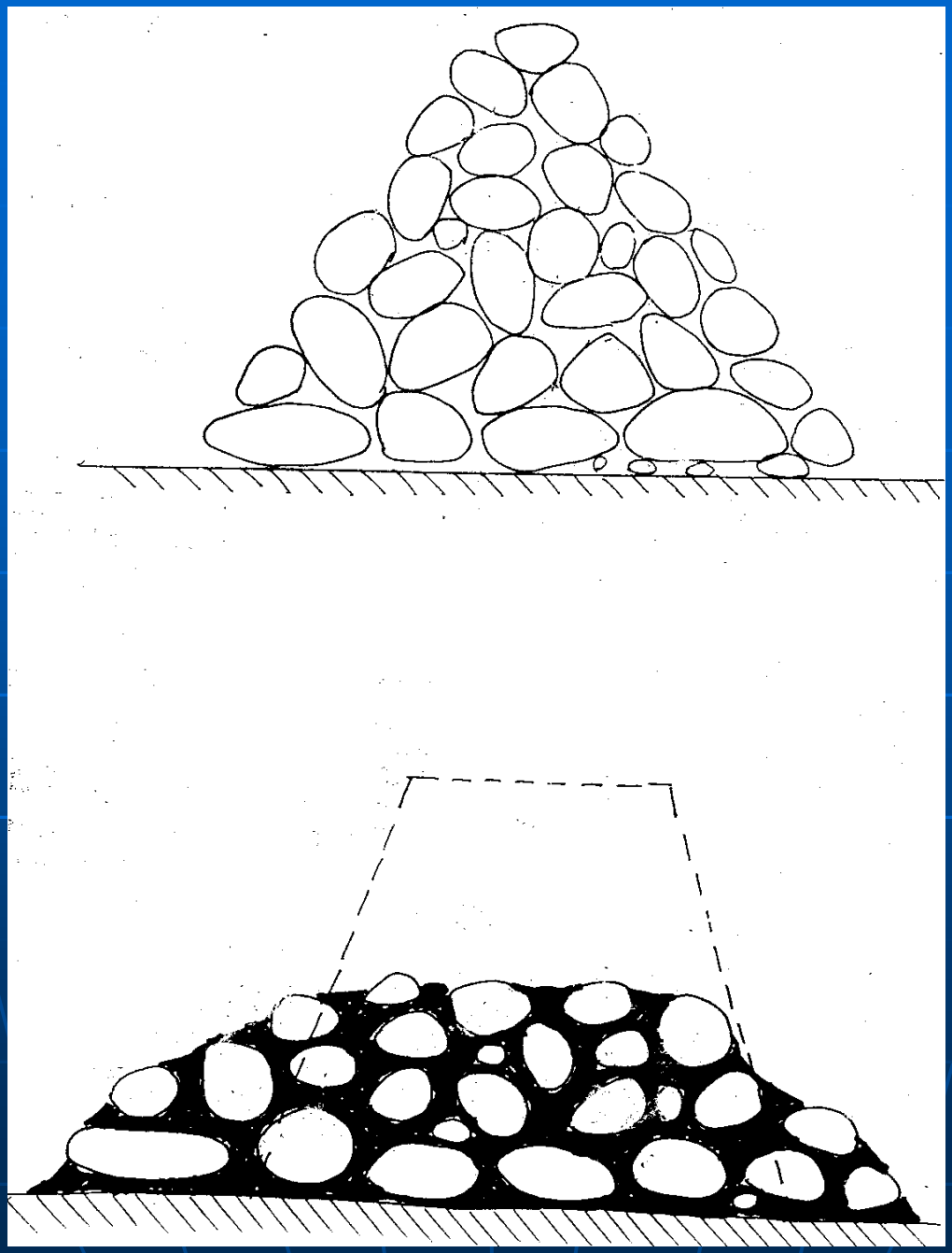

抗壓強度
Compressive Strength, psi
Moist-cured at 70°F
7,000
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
0
Non-air-entrained Concrete
Specimens: 6"x 12" Cylinders
Cement: Type I or Normal
28 days
7
3
1 day
0.35
0.45
0.55
0.65
Water/Cement Ratio 水灰比

水泥漿之角色

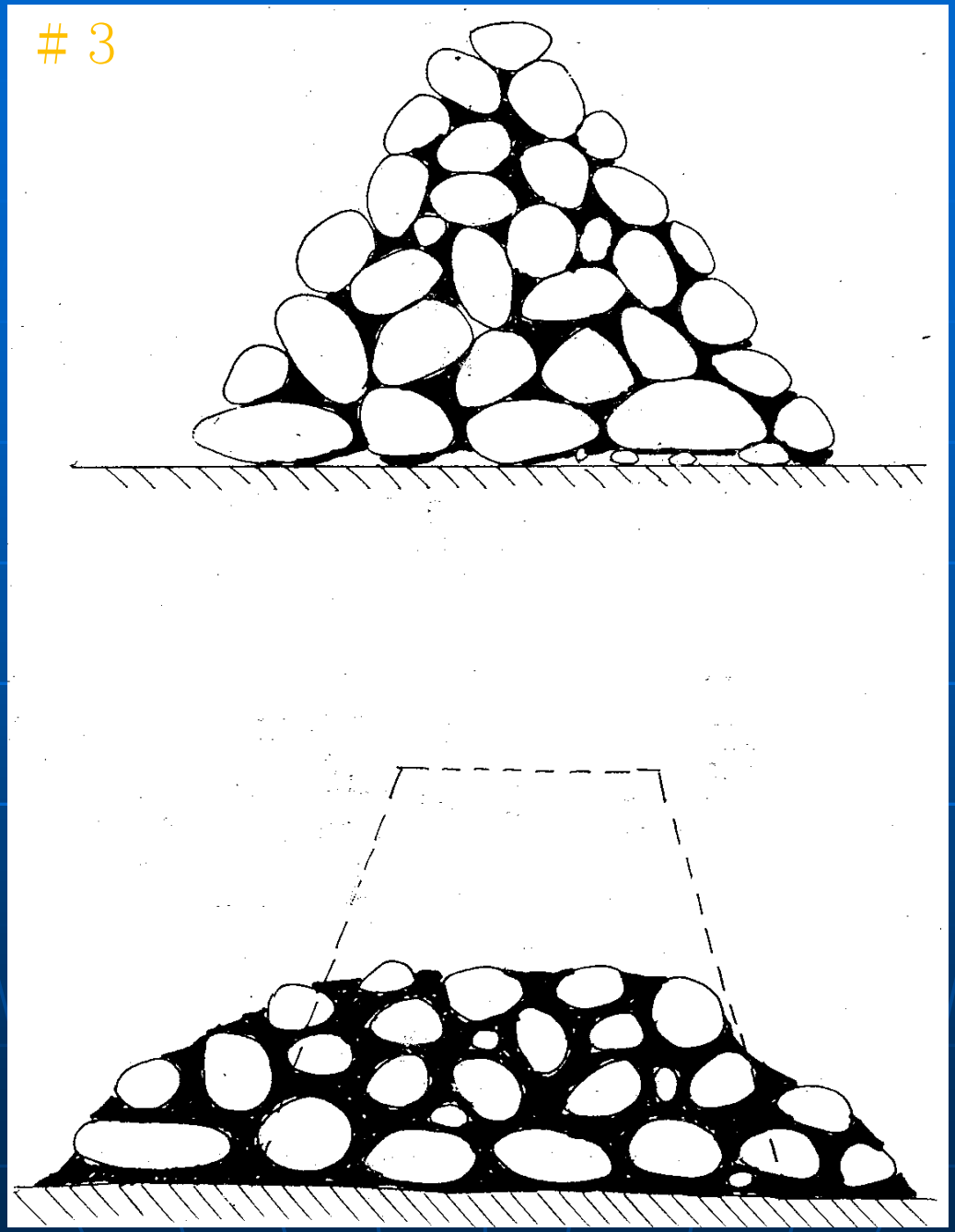
- 凝固後－－－－膠結質（強度）
- 水灰比
- 凝固前－－－－潤滑劑（施工）

工作性

- 流動性
- 材料析離與浮水
- 紅豆冰效應
- 細料與黏性
- 泵送性



3



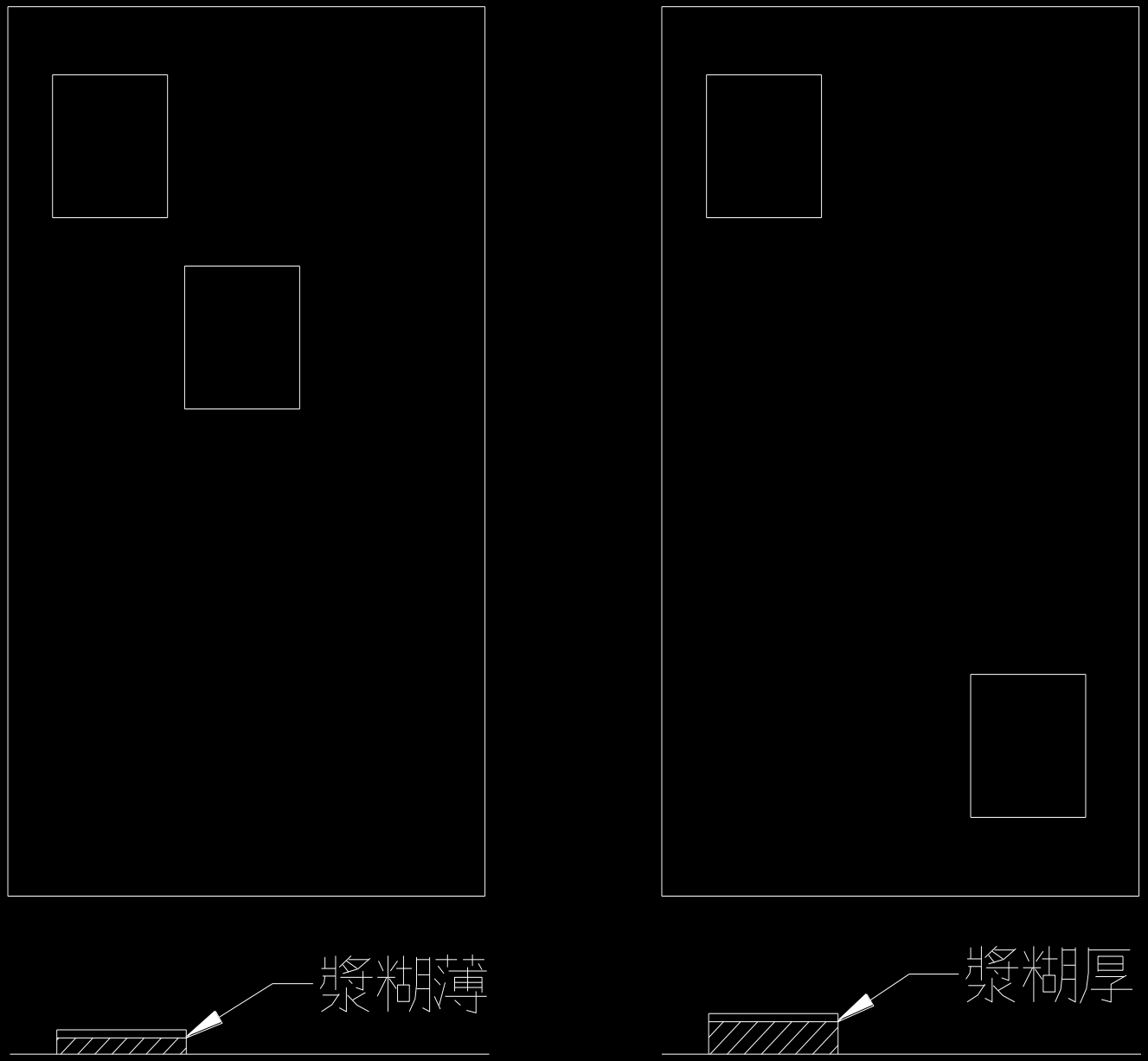
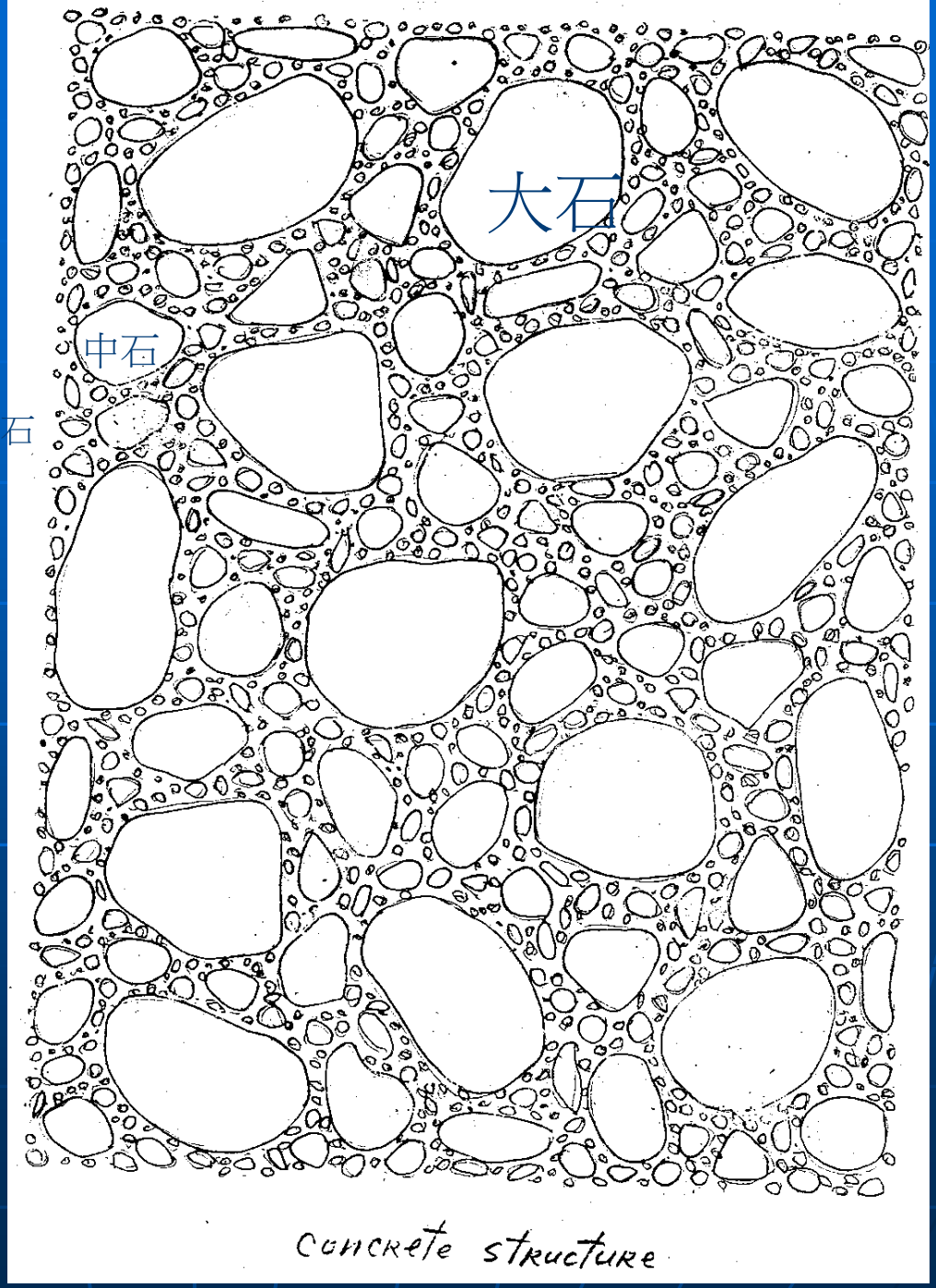
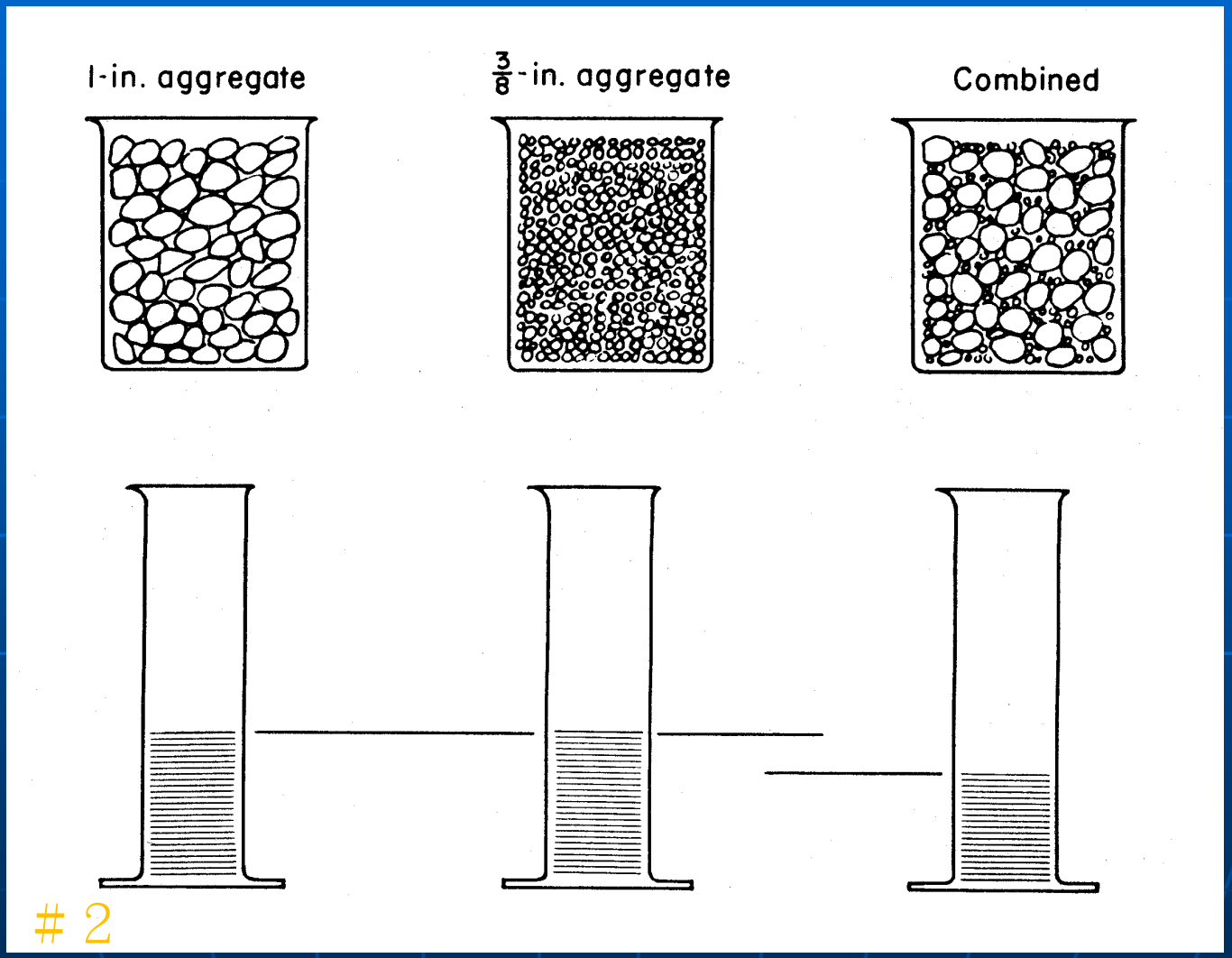


圖 6

2

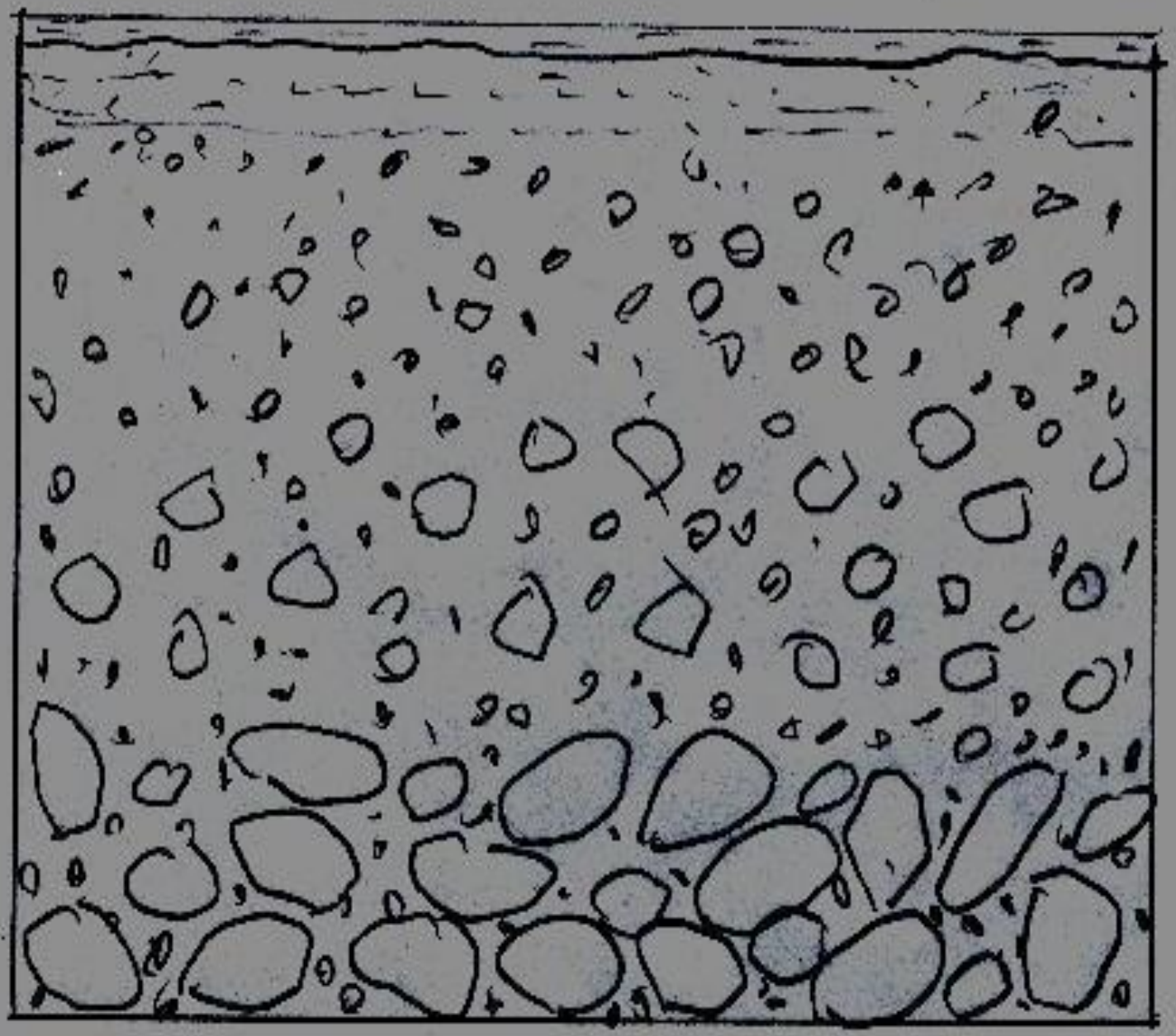
骨材級配
Grading of Aggregetes




1-in. aggregate
3/8-in. aggregate
Combined
2

工作性

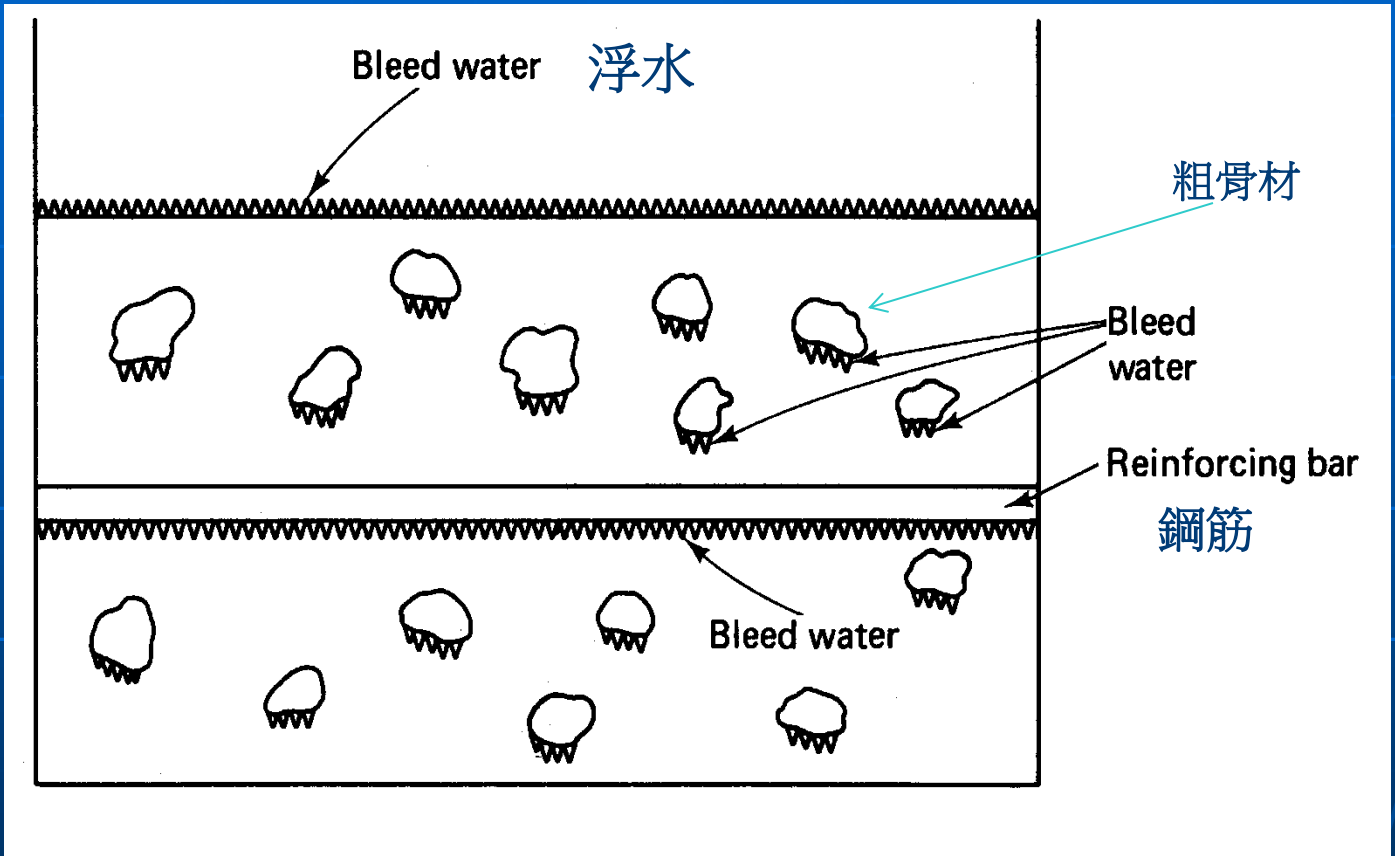
- 流動性
- 材料析離與浮水
- 紅豆冰效應
- 細料與黏性
- 泵送性



水上浮

粗骨材下沉

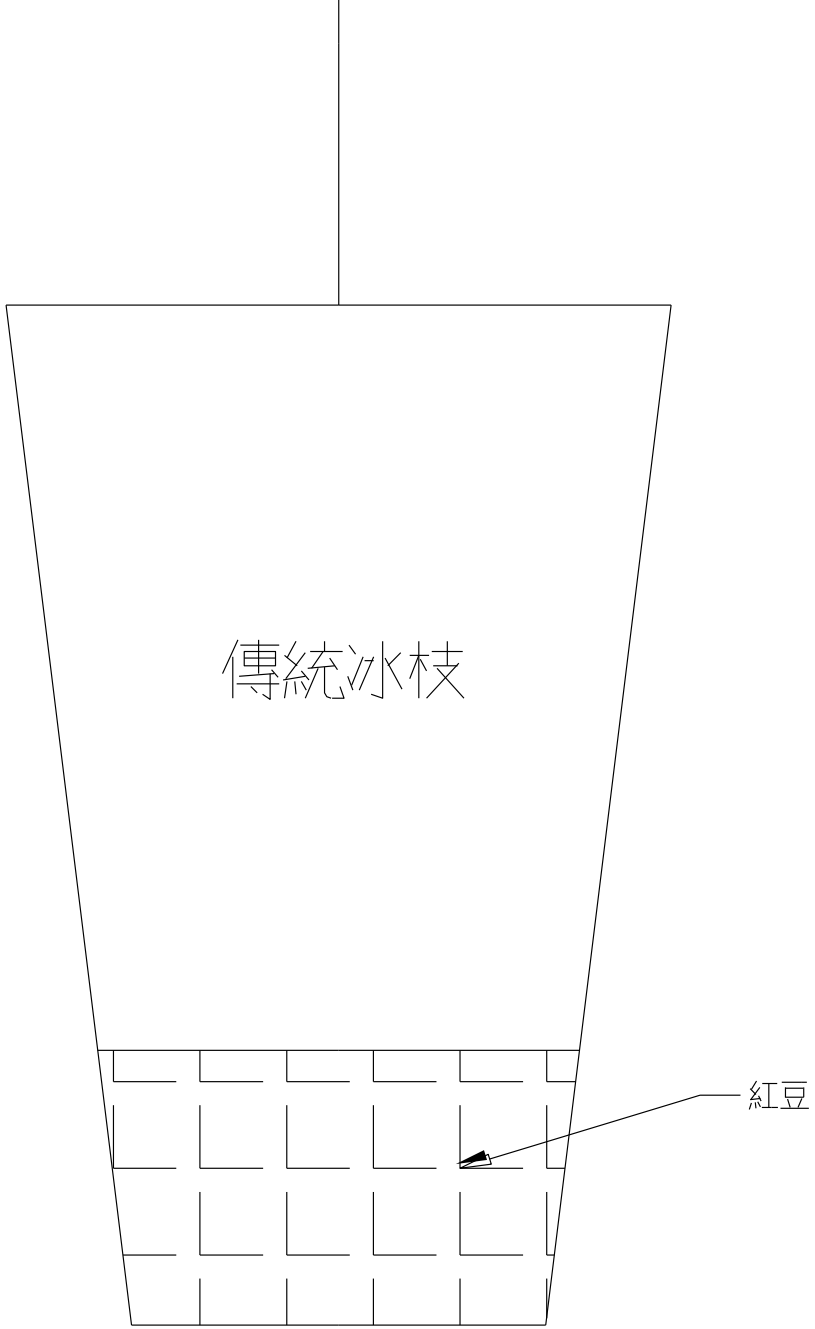
圖 12

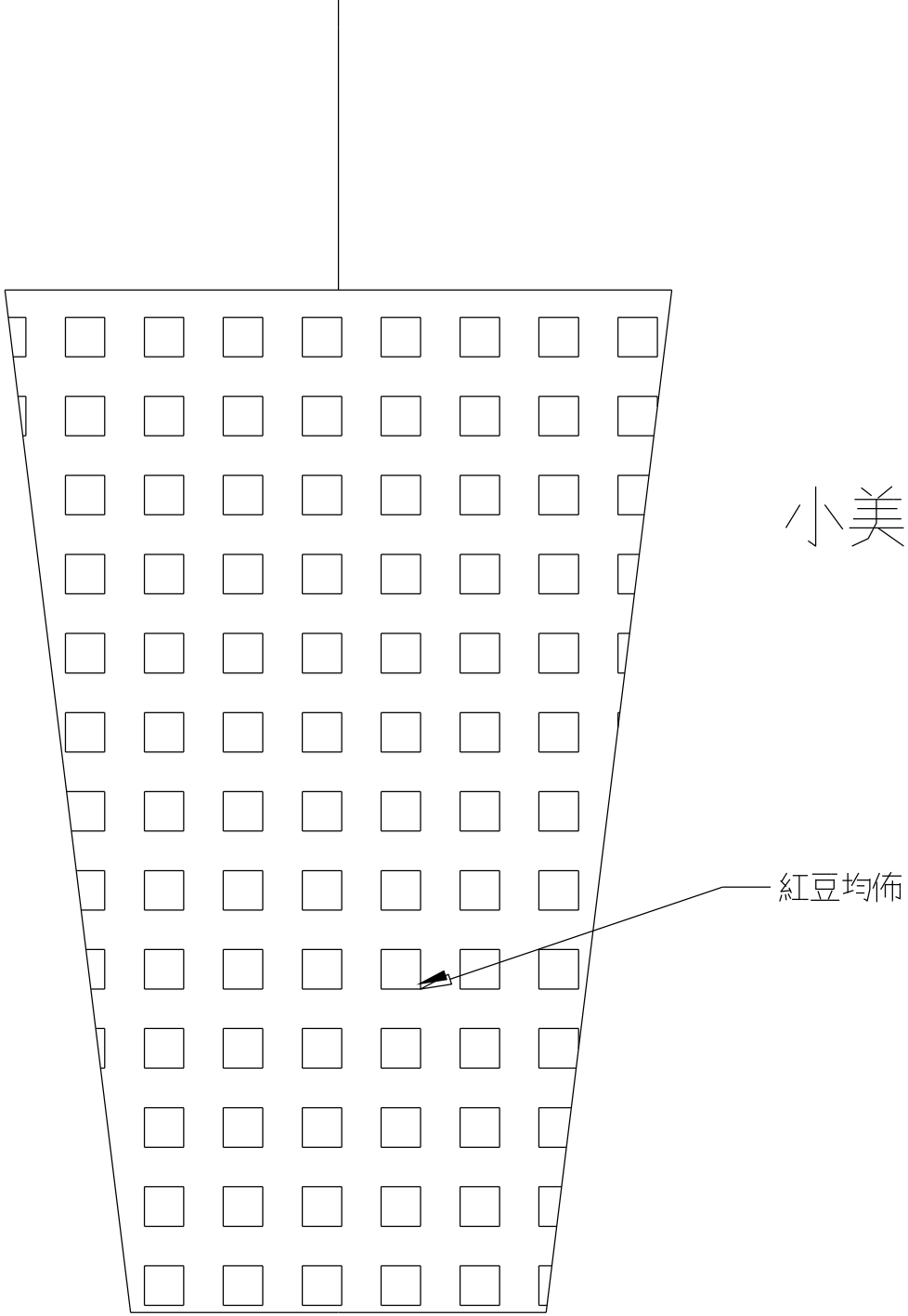

Bleed water
浮水
粗骨材
Bleed
water
Reinforcing bar
鋼筋
Bleed water

混凝土泌水發生位置

工作性

- 流動性
- 材料析離與浮水
- 紅豆冰效應
- 細料與黏性
- 泵送性


傳統冰枝
紅豆



小美冰棒

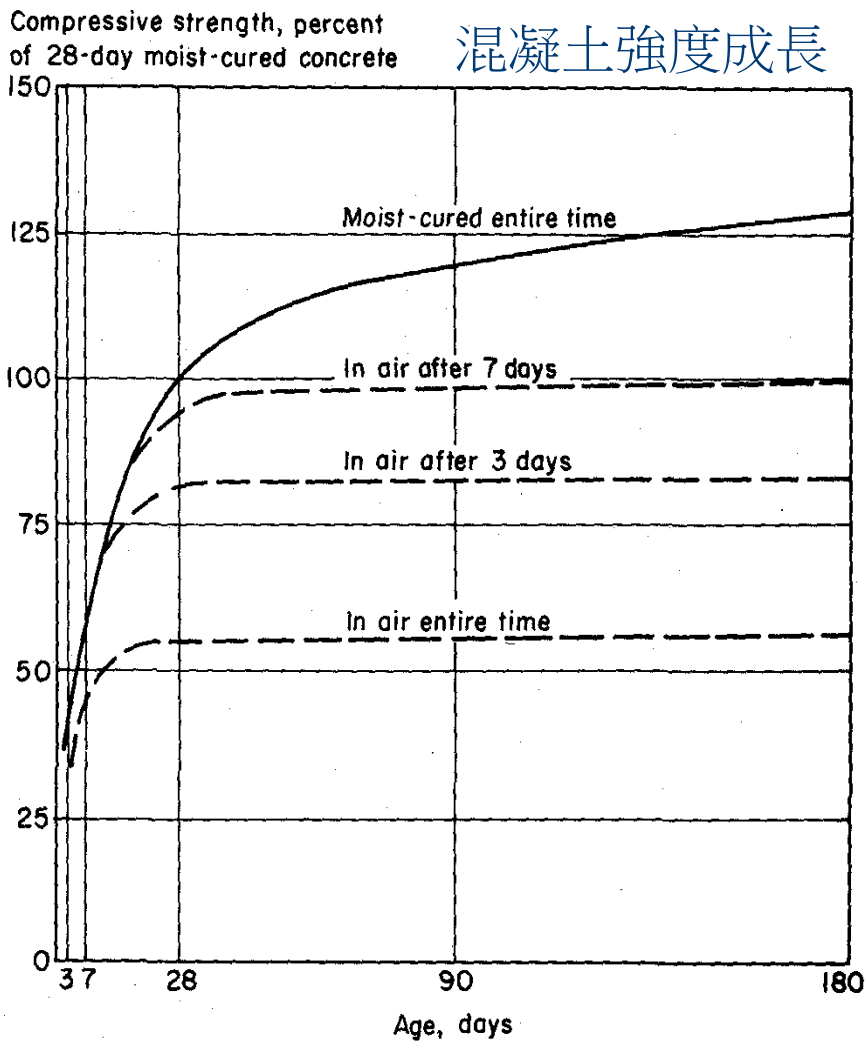
凝結與硬化

膠体說——首先由原子形成微細之膠体gel，當膠体密度增大時，遂由糊狀轉變成固体狀。如漿糊之凝固硬化。

- 增加膠体密度之方法：

  （一）膠体總數不變，以減少溶液量來增大膠体密度，如漿糊乾固之方式。如圖 17 所示。

  （二）溶液量不變，以增生膠体數量來增加膠体密度。如愛玉之固化。如圖 18 所示。
- 水泥之固化，屬第（二）種情形。


Compressive strength, percent
of 28-day moist-cured concrete
混凝土強度成長
150
125
100
75
50
25
0
Moist-cured entire time
In air after 7 days
In air after 3 days
In air entire time
3 7
28
90
180
Age, days

膠体總數不變，以減少溶液量來增大膠体密度

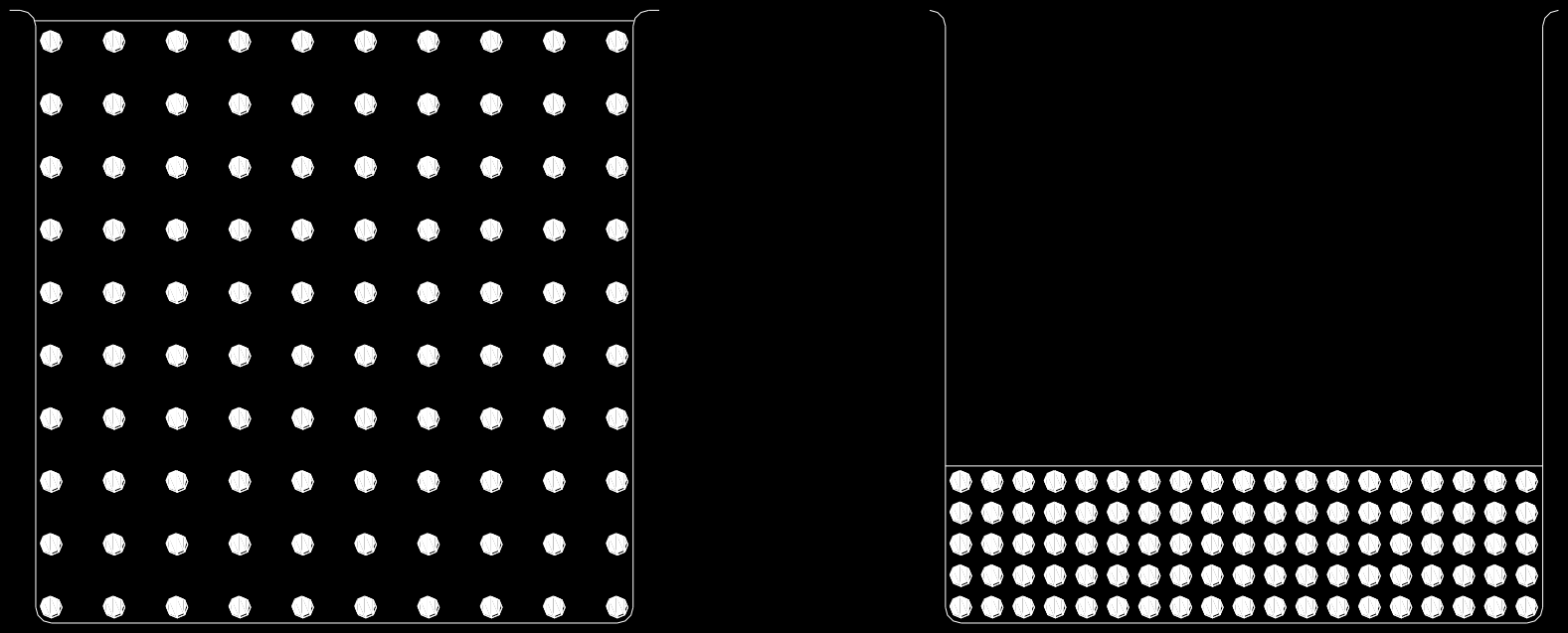
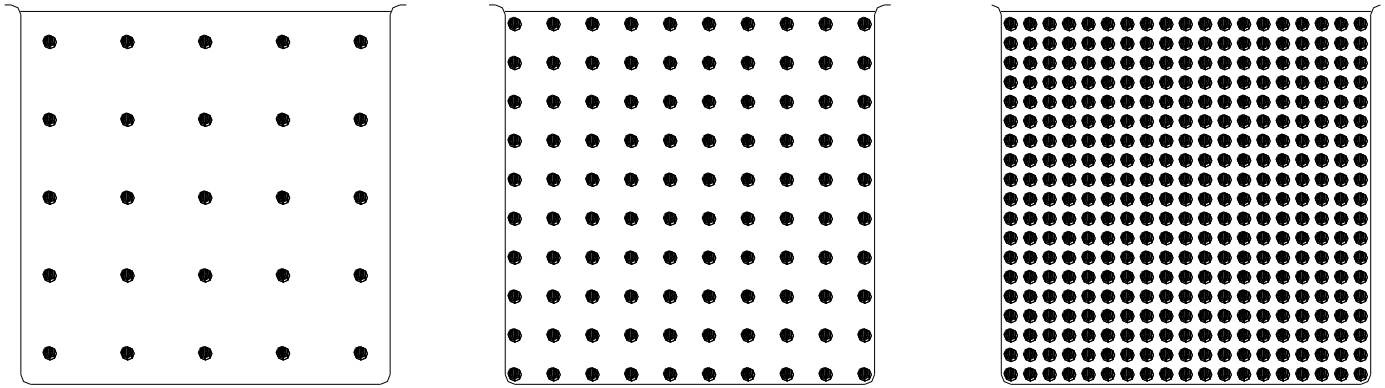


圖 17

水泥之固化

- 水化作用
- 水泥　＋　水　＝　水泥膠体 ＋ 消石灰
  ３０％
- 新拌混凝土時，膠体數量少，具良好流動性。
- 初凝時，膠体密度達到膠体相互接觸之情形，致使水泥漿失去流動性　。
- 混凝土之養生，首重水份之保持，以便水化作用充分進行，產生衆多之膠体，以提高混凝土之強度。
- 硬固水泥中約含30%消石灰　，遇水會被溶解滲出，到表面時會與空氣中之二氧化碳結合成白色石灰石，即所謂的白華現象。

#8



凝固(90min)

#9

添加卜蜀蘭材料對混凝土效益

- 卜蜀蘭材料為具化學活性的矽酸物質，摻入混凝土中會與消石灰化合，即謂二次反應：

卜蜀蘭材料＋消石灰→ 膠体

- 產生更多的膠滯體（gel），充填毛細孔隙，增加混凝土強度與減低混凝土透水率。

卜蜀蘭材料：飛灰，水淬爐石粉，矽灰等。

不影響混凝土28天強度之取代量為10%

二. 混凝土施工

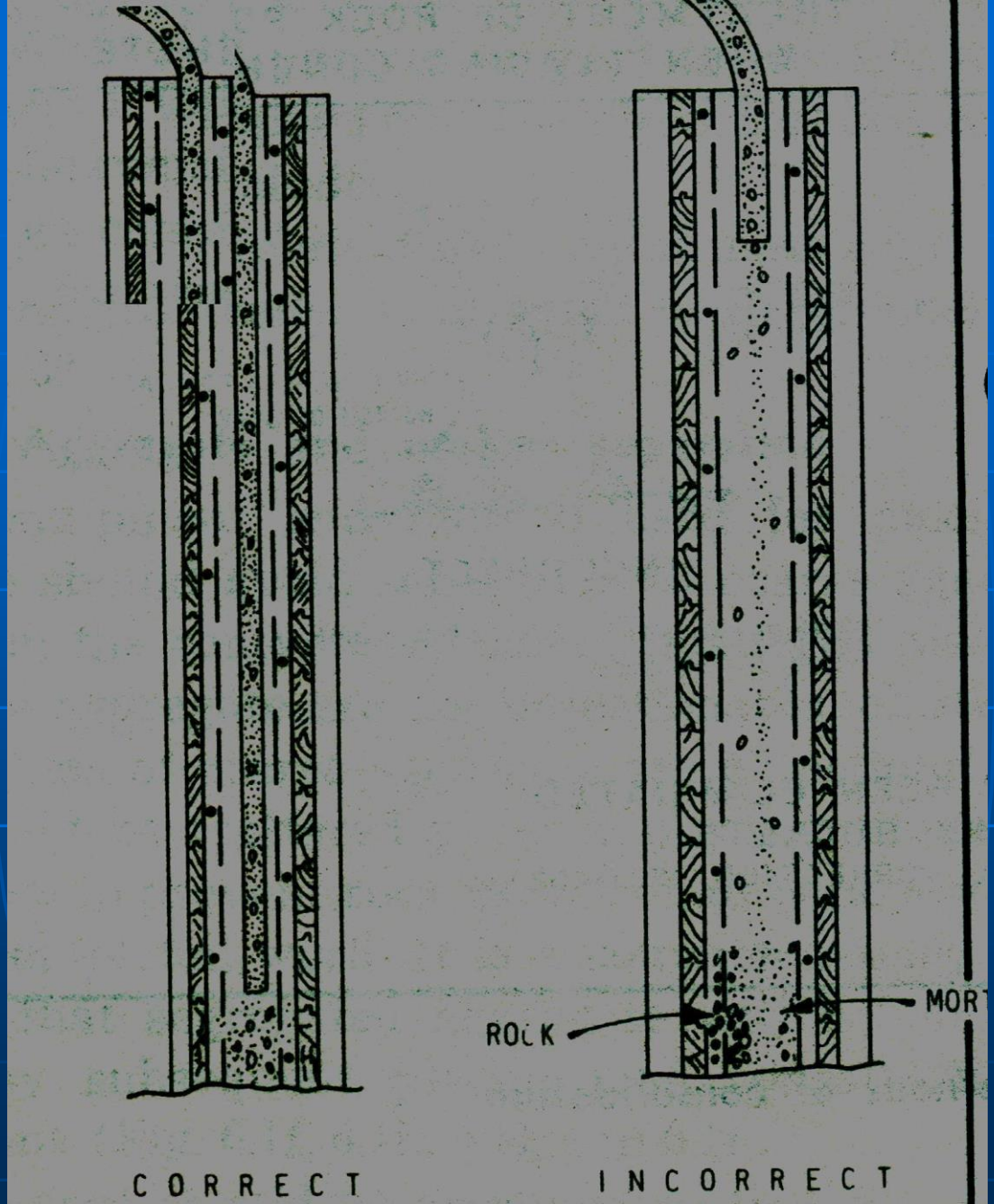
一. 蜂窩及修補
二. 混凝土粒料析離
三. 混凝土澆置
四. 混凝土養護
五. 冷縫
六. 伸縮縫
七. 穿孔位置

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

蜂窩

蜂窩產生之原因

- 混凝土注模時產生材料分離現象(太稀)
- 混凝土流動性不足,水泥漿無法流入粗骨材間隙(太硬)
- 模板漏漿



PLACING IN DEEP OR CURVED WALL
BY CONCRETE PUMP AND HOSE

模板漏漿

防止蜂窩之方法

- 水泥漿量足且具黏性(強度較高者)
- 維持混凝土之流動性(塌損小)
- 模板水密

蜂窩修補

蜂窩處理程序未依相關規定進行

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

冷縫

混凝土澆置不當造成冷縫，傾斜情形表示係從牆端灌漿

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

冷縫發生之原因

- 冷縫係混凝土澆置時未適當控制澆置之速率，使先澆置之混凝土過度硬化或凝結而無法與新澆置之混凝土黏結。
- 於熱天或有風之狀況下因高溫及水分消失太快最易發生冷縫之現象，另外缺乏搗實或模板鼓起，致發生冷縫現象。

冷縫防止的方法

一、適當擬定澆置計劃，以免先澆置混凝土層再澆置新混凝土前放置太久。

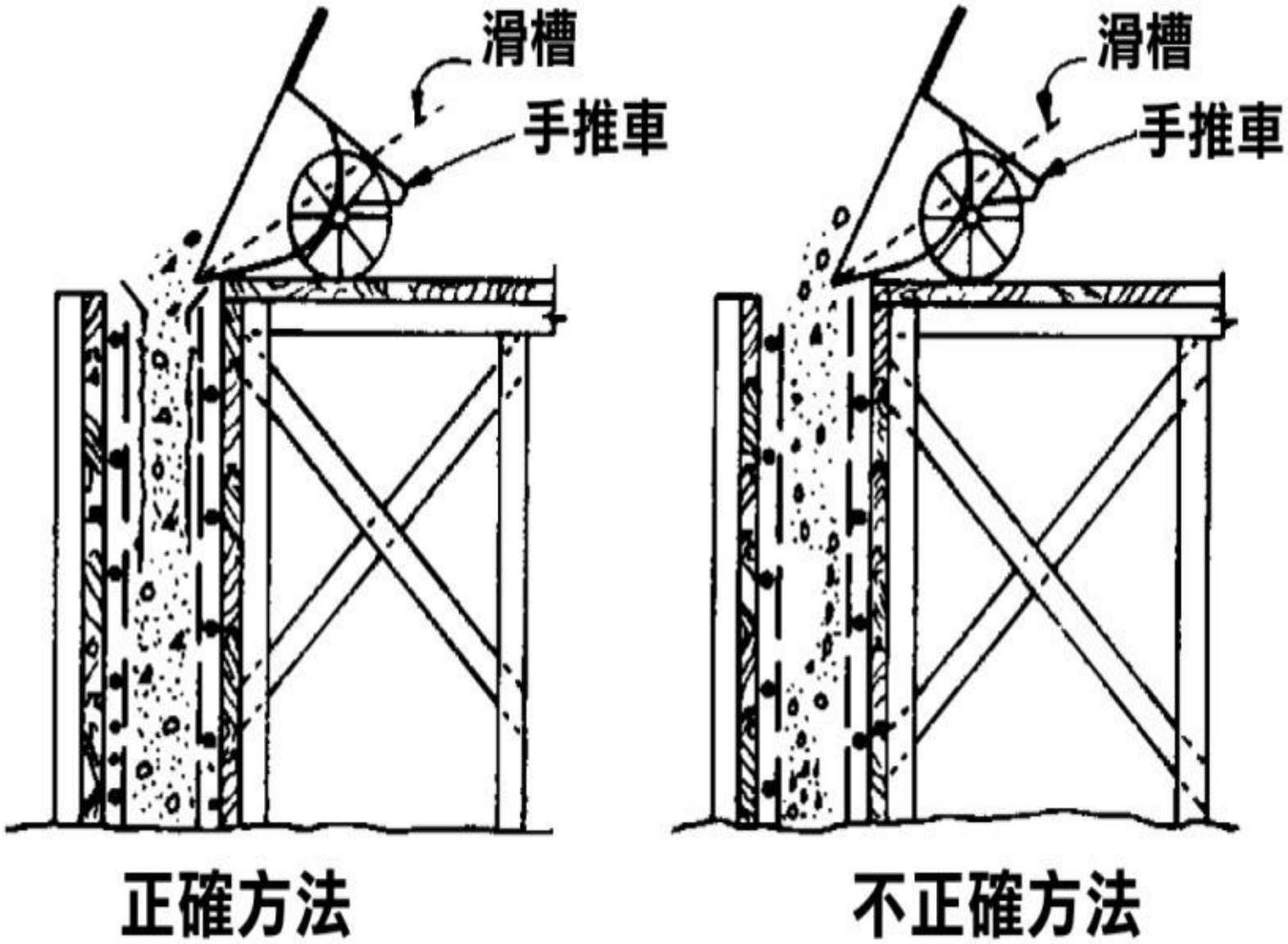
二、加速施工，可增加人力或設備或改用高效率之澆置方法，或消除引起澆置緩慢之瓶頸。

三、使混凝土凝結延緩，方法為：

1. 使用冷卻之混凝土。
2. 熱天在夜間施工。
3. 遮陰
4. 以噴霧保持混凝土之溼度
5. 使用緩凝劑

照片2.18 滑槽

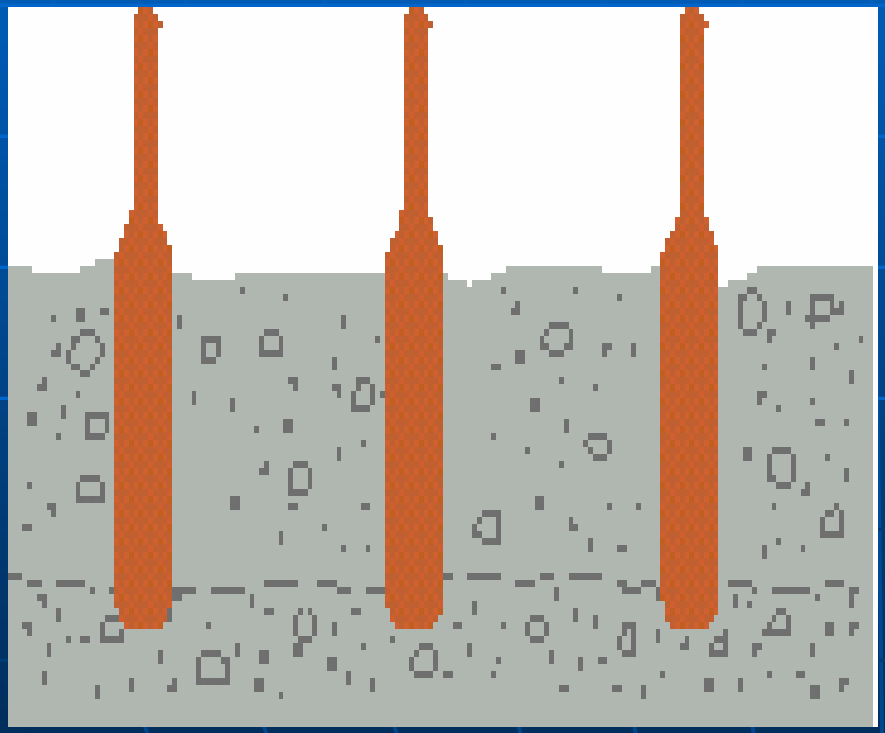
圖3.1 使用滑槽或手推車輸送混凝土，自牆及柱之頂部澆置時，應先卸入漏斗中，再以垂直落下，注入模板之中



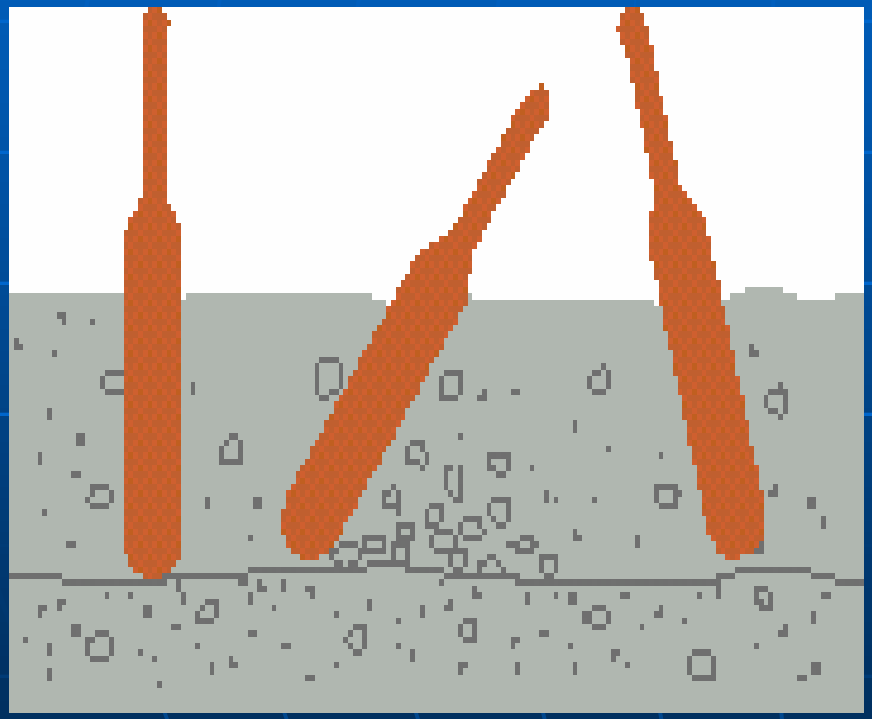
振動搗實之作業要項

1. 澆置應徹底搗實。鋼筋、預埋件周圍及模板角落處應確實搗實。
2. 澆置後，表面若微現游離水泥漿，為內部孔隙已被填滿之指標，此時不得使用振動器作大幅度之振移。
3. （分層）澆置混凝土，應分層水平澆置，每層厚度以用振動器能充分有效振實為度。
4. （插入插入方式）振動棒應垂直緩慢插入混凝土中（如照片3.14所示），不得傾斜及接觸鋼筋或振動模板（如照片3.15所示）。振畢插入時，應緩慢並保持振動棒垂直，振動棒插入點間距約45cm。#
5. #（振動時間）振動棒每點之振動時間應在5～15秒之間，以能充分搗實並達排氣為原則。充分搗實係指混凝土不再排出大氣孔、顏色均勻且表面上粗粒料若隱若現、以及振動棒之音頻由雜亂趨於穩定。振搗時間過短不易搗實，振搗時間過長使混凝土產生析離。

振動棒使用及拔初時，應儘量維持垂直方向



振動棒不可傾斜且不可觸碰或振動模板



混凝土養護

混凝土養護不良，於完成面上形成許多裂縫

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

4

塑性龜裂之防止

混凝土養護

- 保持潮濕，就是混凝土水份不過分蒸發，影響水化作用之進行，以確保混凝土品質。
- 塑性龜裂-----立即噴霧(提早養護)
- 早期-水平板面可覆蓋濕布,連續灑水或噴霧

3.3.2 炎熱天候

1) （養護必要）炎熱天候，水分蒸發過速導致塑性龜縫，影響品質。澆置後數天內須充分持續養護。

2) （蒸發因素）水分蒸發速率因素：混凝土溫度、氣溫、大氣濕度與風速，圖4.1可估算混凝土表面水分蒸發率。蒸發速率超過0.5 kg/m2/hr時，宜採用養護措施；但超過1.0 kg/m2/hr時，塑性收縮更顯著，須強制採取養護措施。

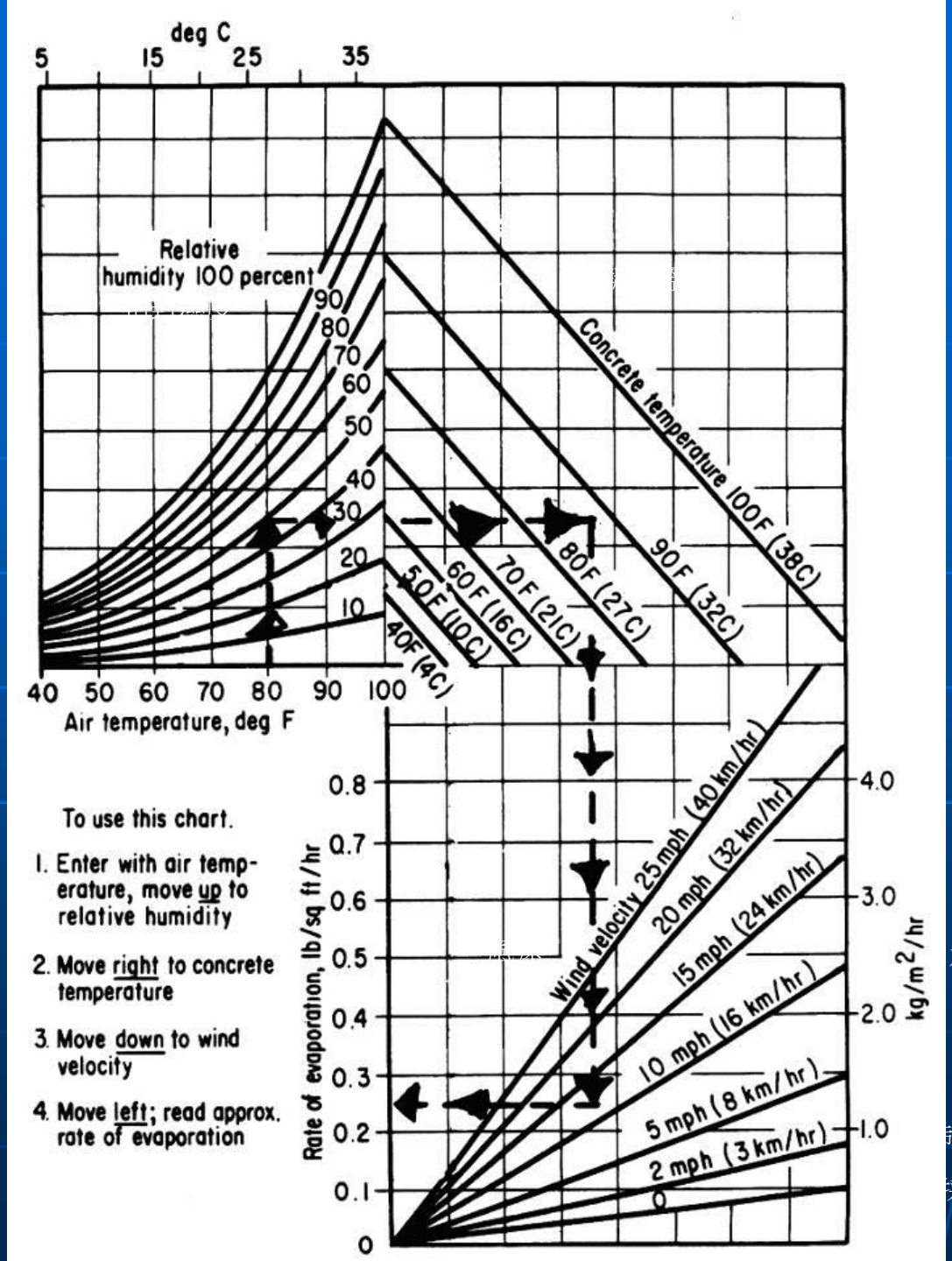


圖4.1 混凝土表面水分蒸發速率計算圖（摘自ACI 308）

水分蒸發速率

制採取

採用

照片4.7 修飾後立即養護

照片4.10 好的噴霧方法，霧氣細而勻

二. 鋼筋施工

一.鋼筋間距與保護層
二.鋼筋綁紮
三.鋼筋續接器
四.鋼筋堆置
五.鋼筋外露
六.鋼筋融銲

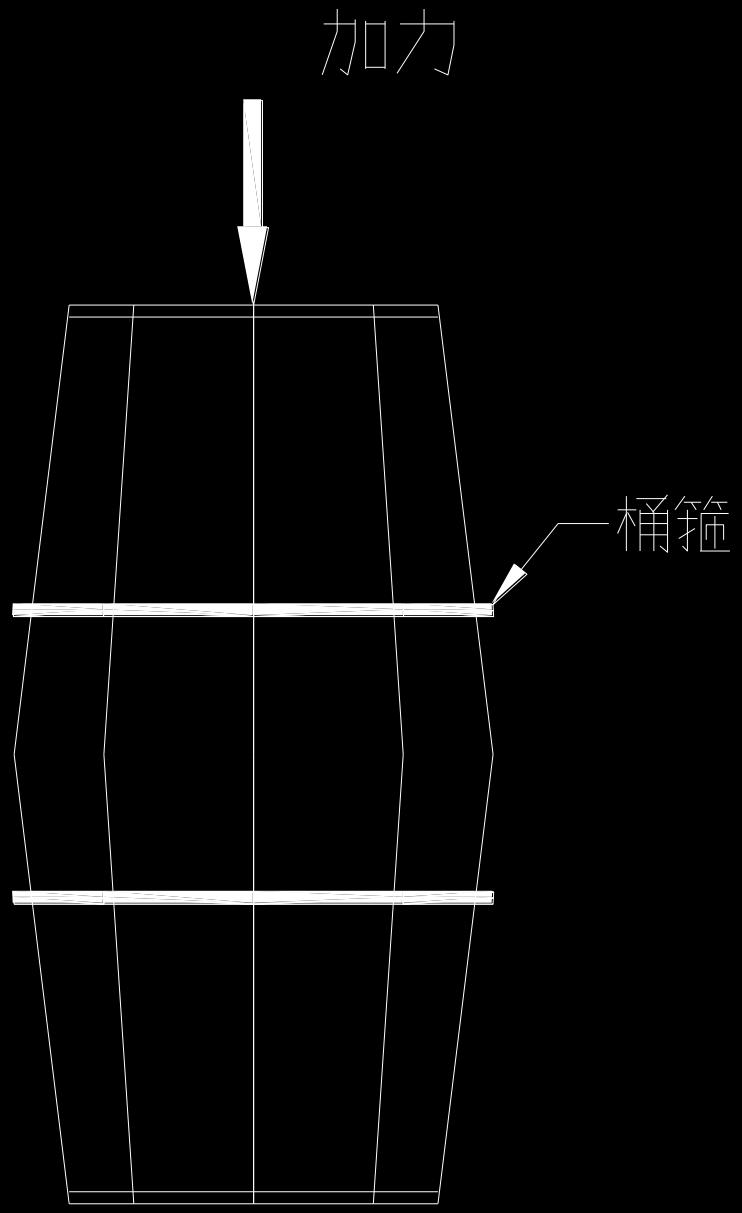
人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

鋼筋混凝土

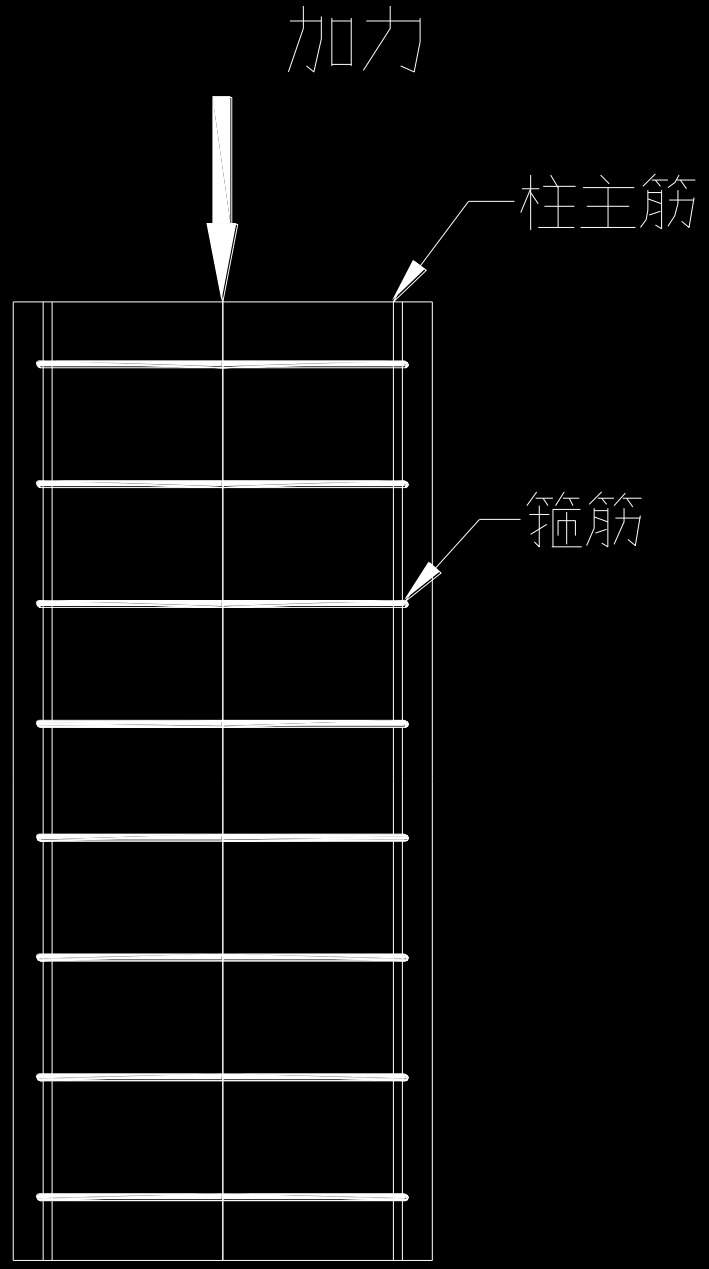
- RC構造佔建築市場的90%以上
- 鋼骨(SS) 、鋼骨鋼筋混凝土(SRC)造之地下結構與地面樓板 均為RC
- 因為 RC構造集 混凝土與鋼 兩種材料之優點於一身
- 價格便宜，物料豐富

緊密箍筋與135度彎鈎

- 防止柱之脆性爆碎
- 緊密箍筋，團團圍住柱心混凝土

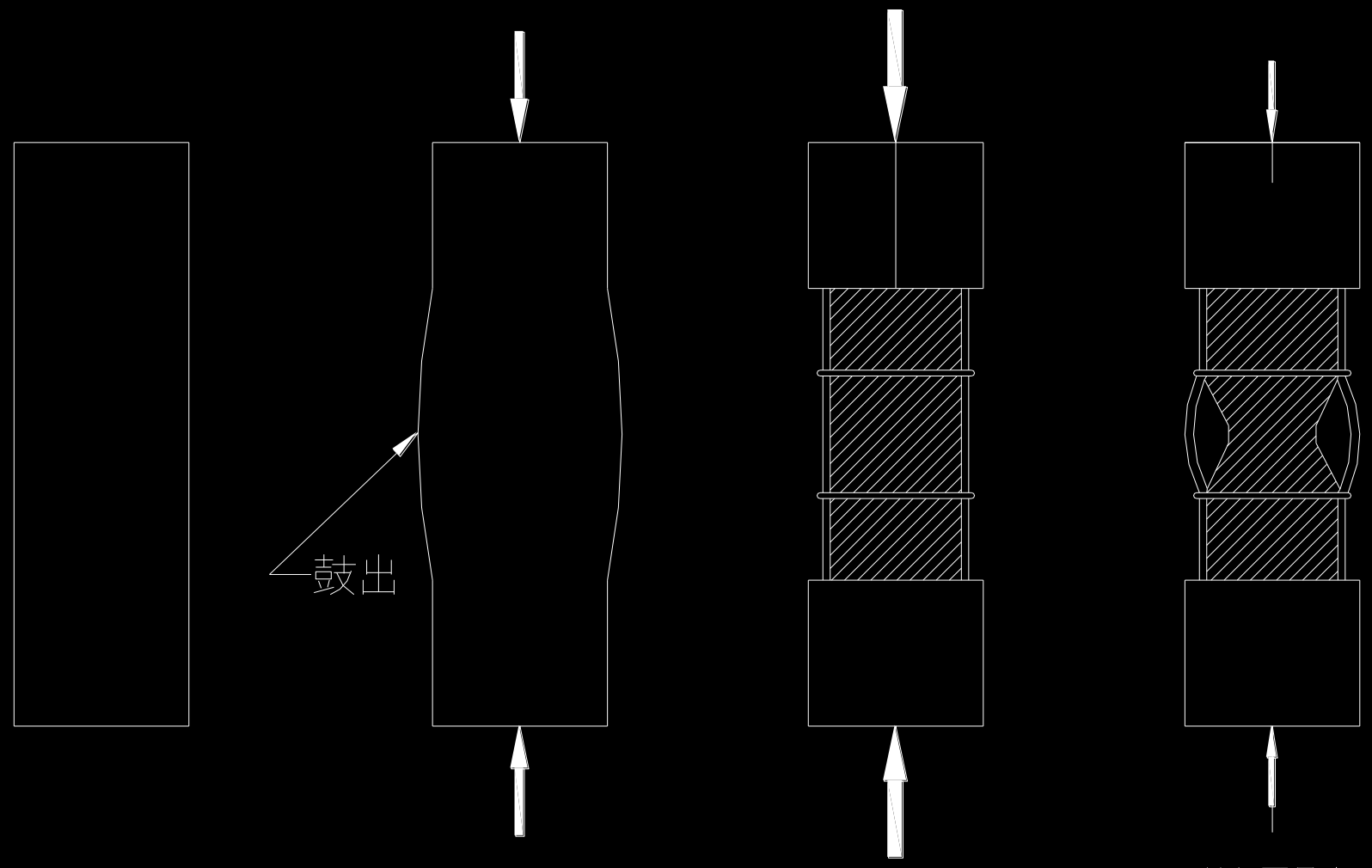


水桶



鋼筋混凝土柱

一般鋼筋混凝土柱受壓破壞過程：



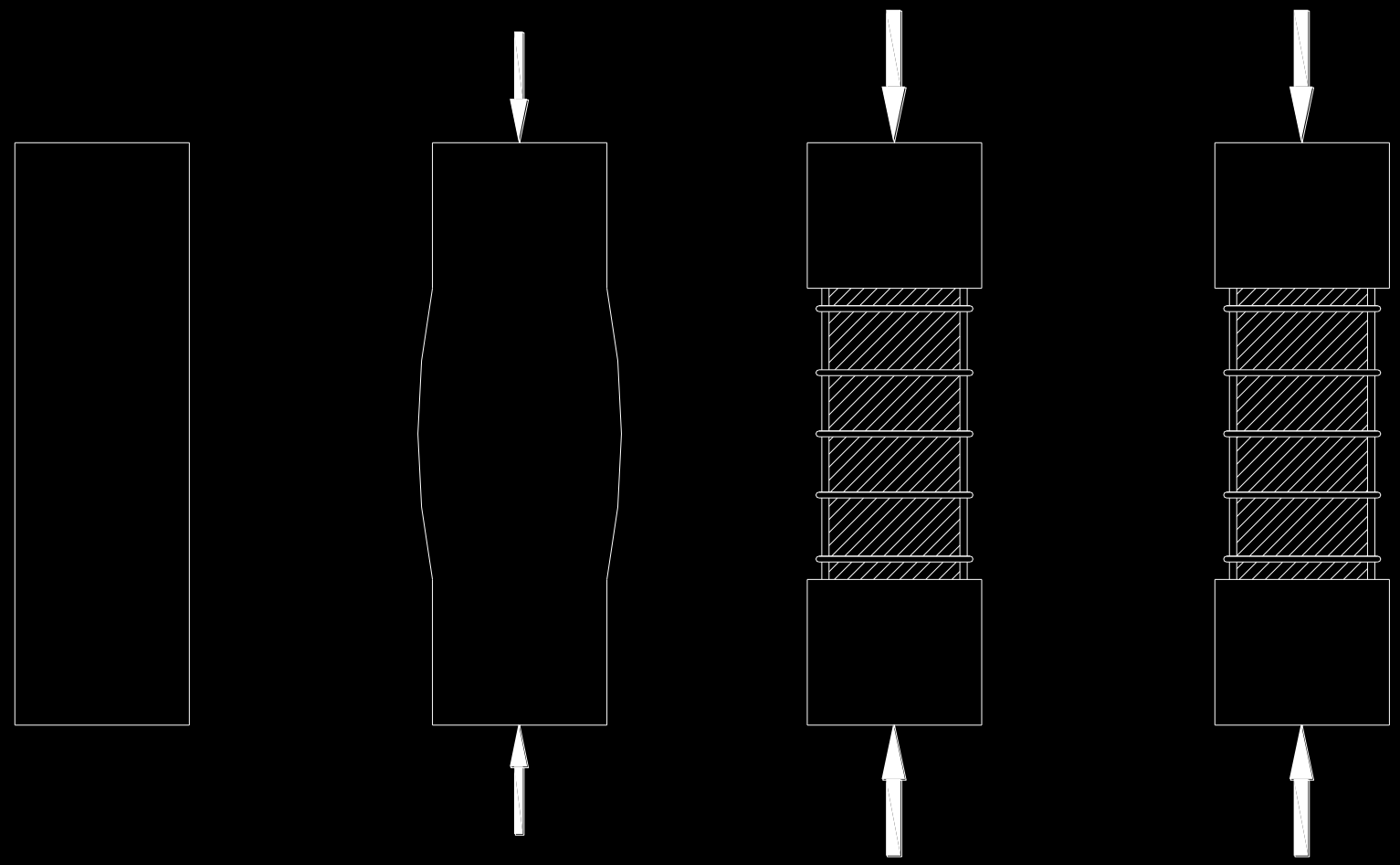
鋼筋混凝土短柱

壓大時柱側向鼓出

達極限壓力時
保護層撥落

箍筋不足時，主筋挫屈
核心混凝土爆破

緊密箍筋鋼筋混凝土柱



鋼筋混凝土短柱

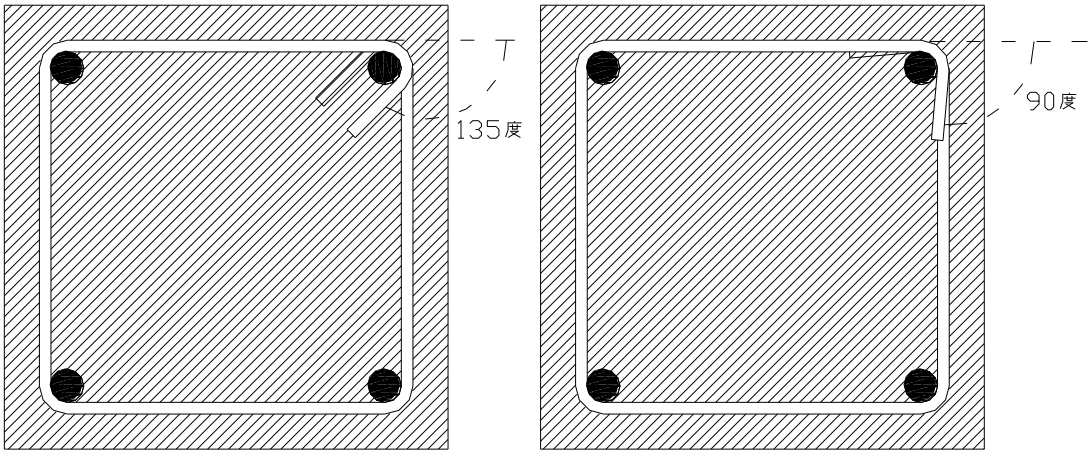
壓大時柱側向鼓出

達極限壓力時
保護層撥落

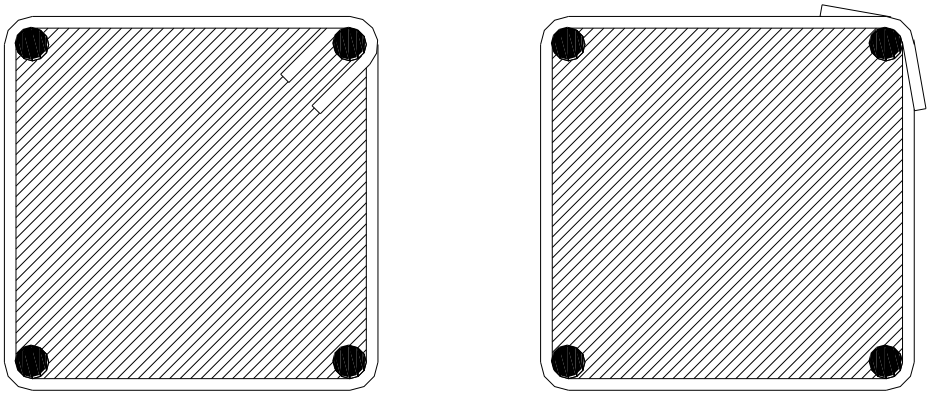
緊密箍筋時, 柱主筋不挫屈
核心混凝土被圍束強度不減

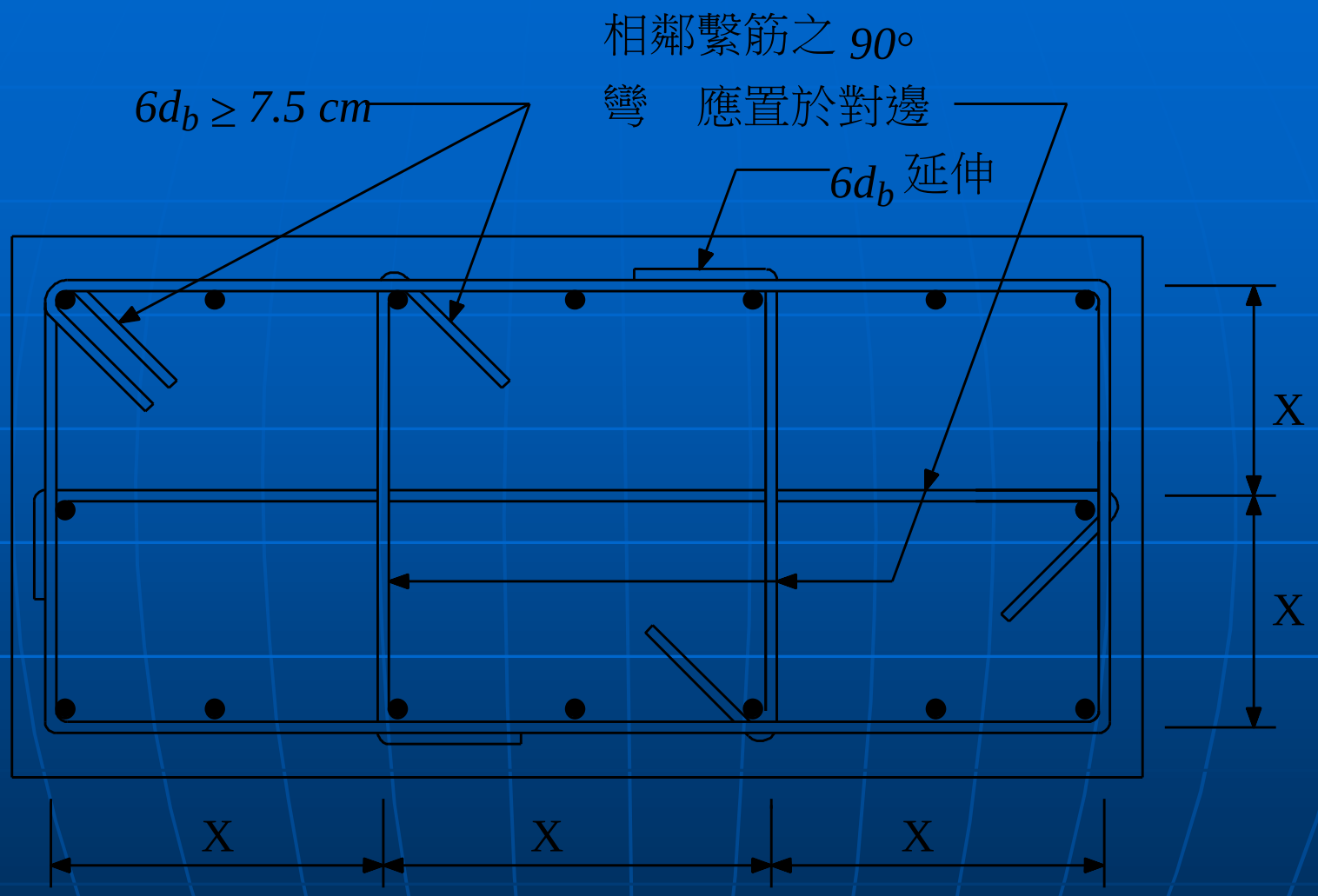
圖1-11 柱之受壓與破壞

圖1-1



柱受極限壓力
時保護層脫落

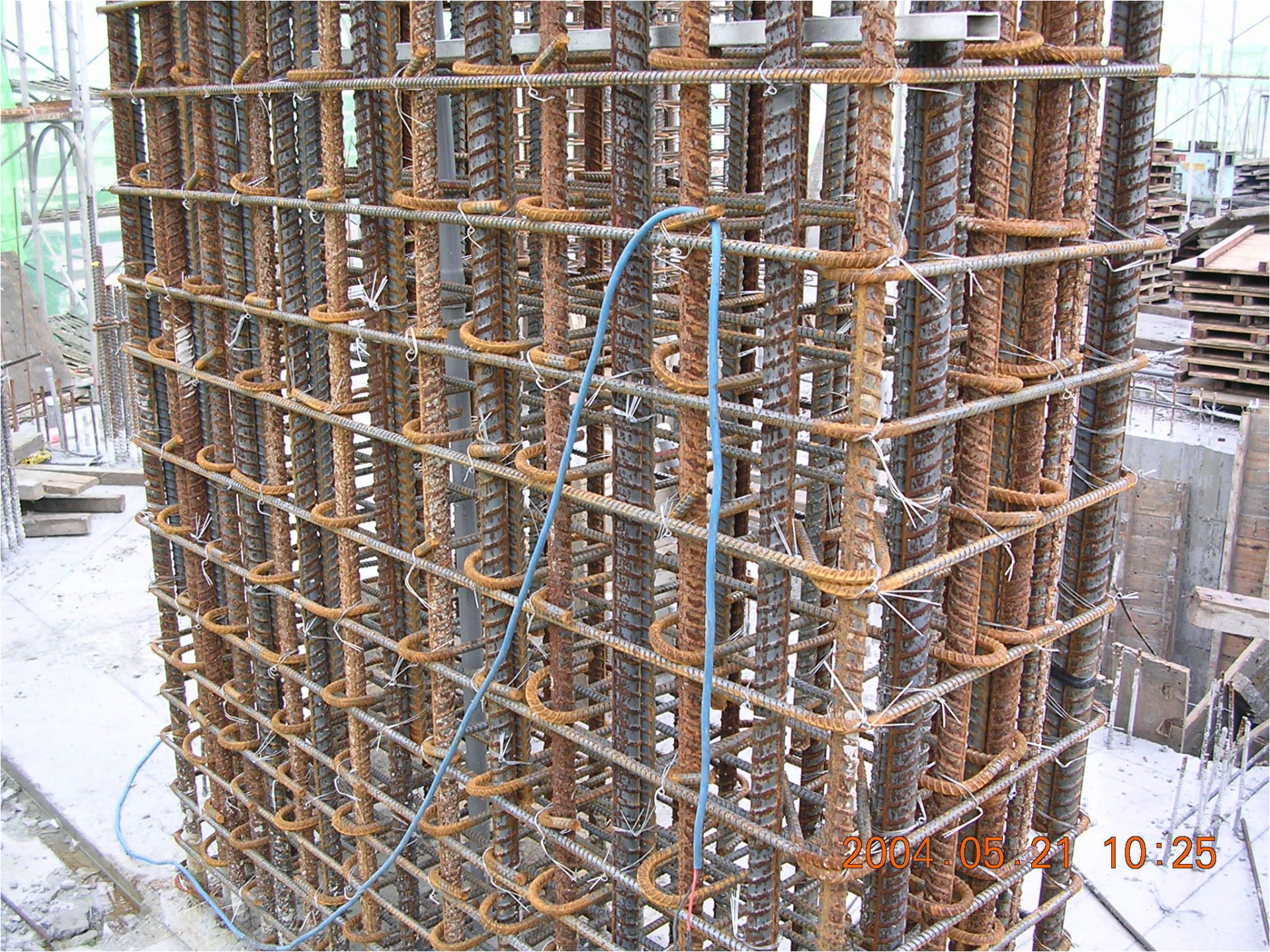


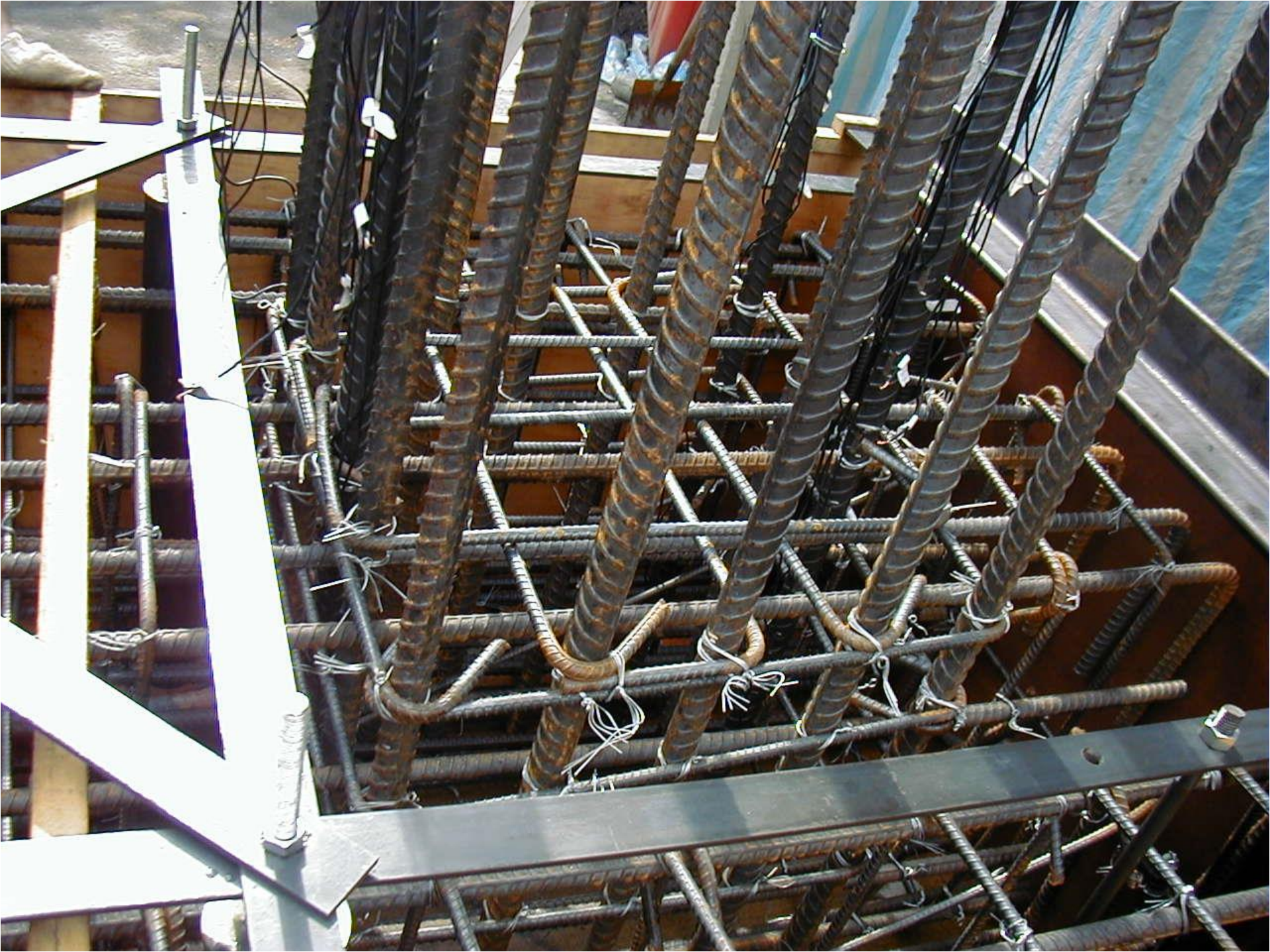


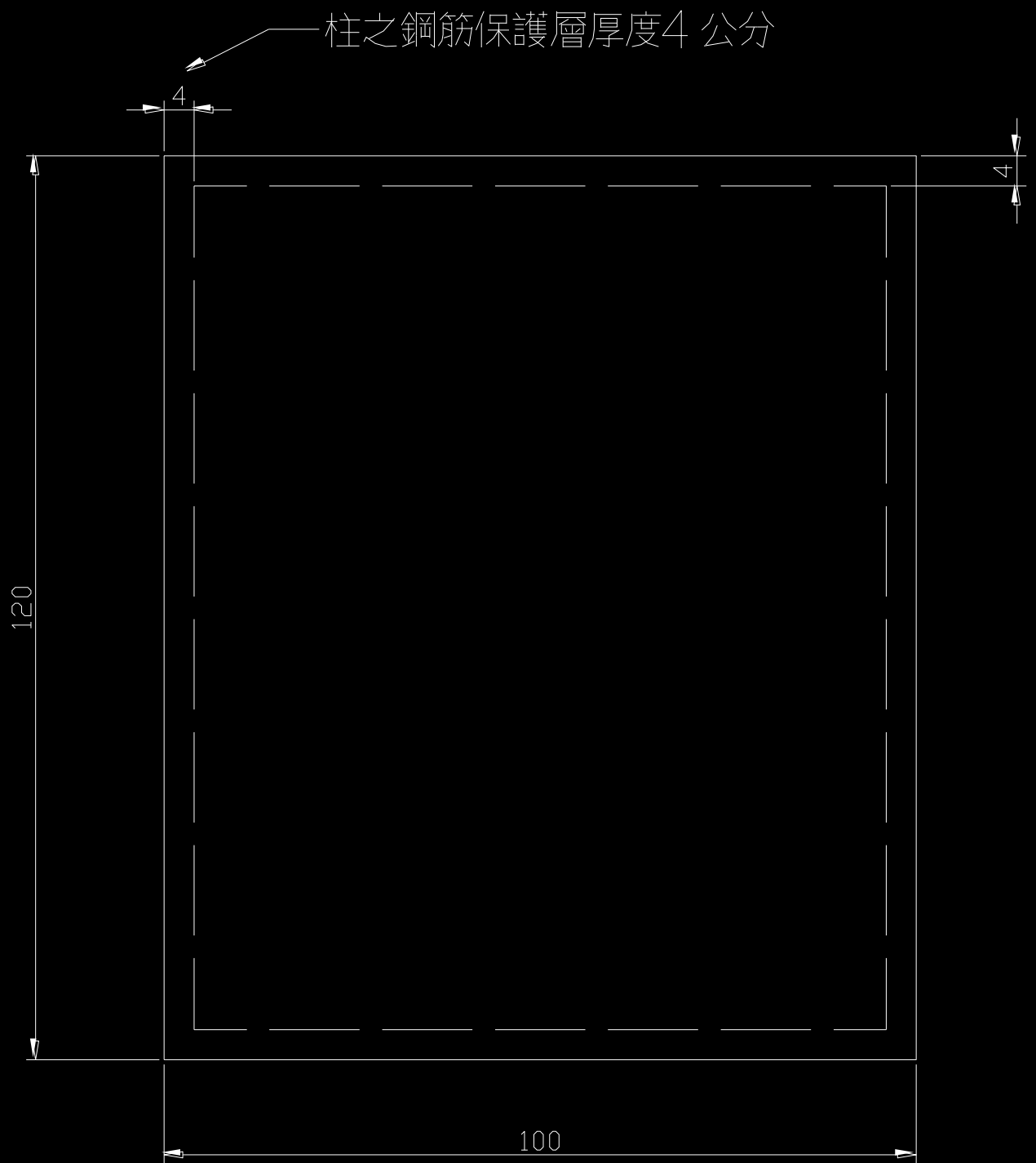
X ：不得超過 35 cm

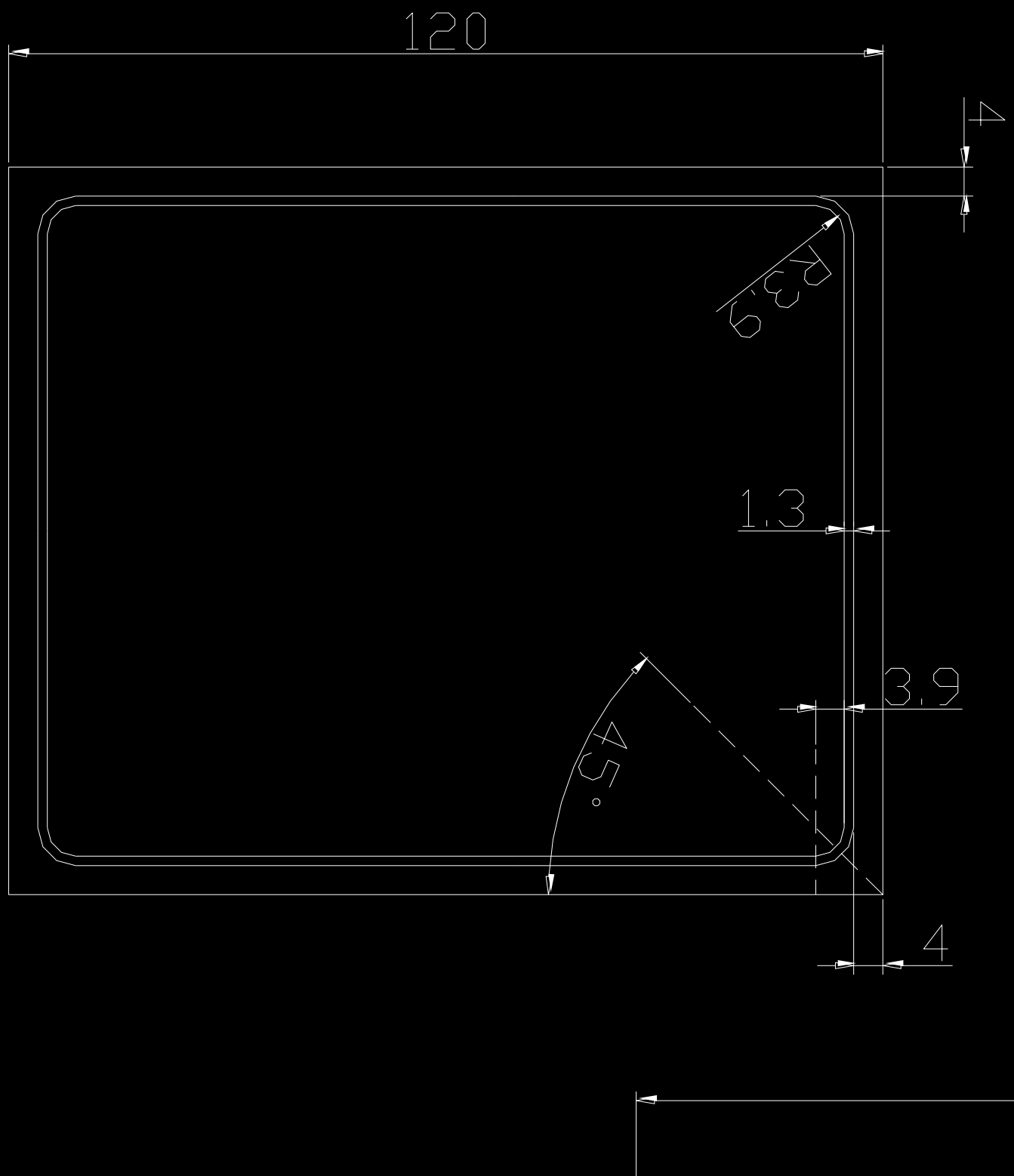
圖1-13　柱箍筋與繫筋

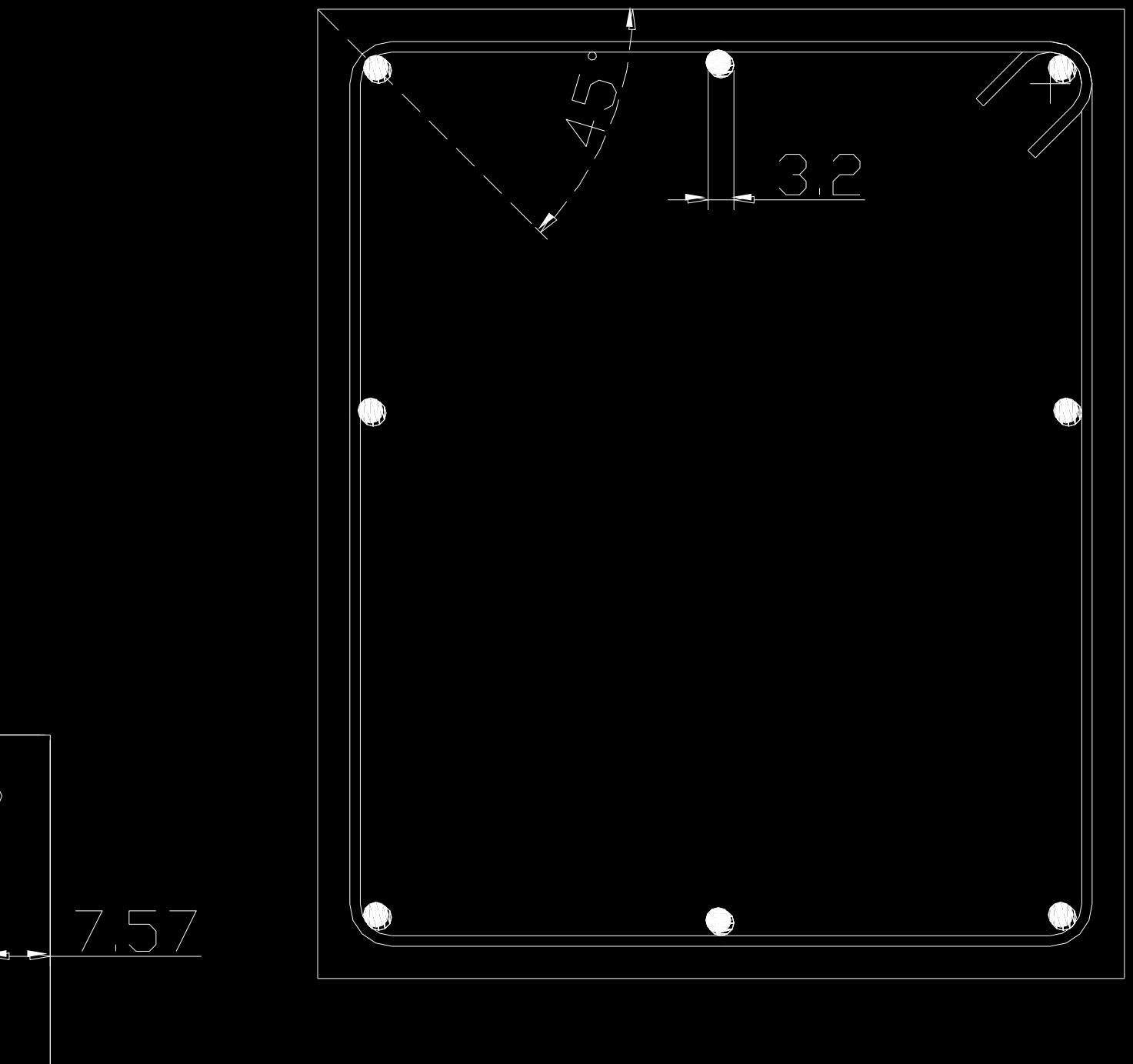
2004.05.21 10:17

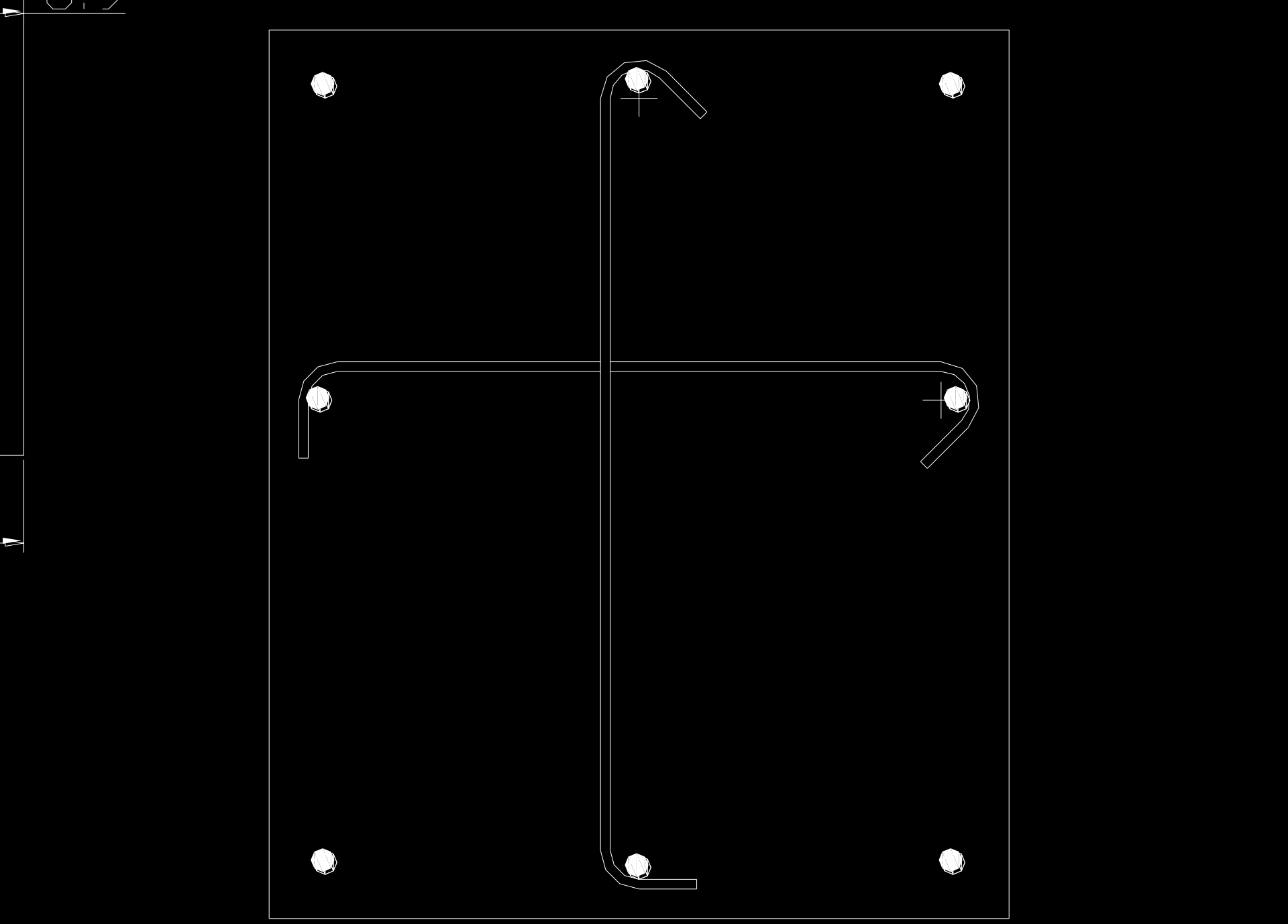

2004.05.21 10:25

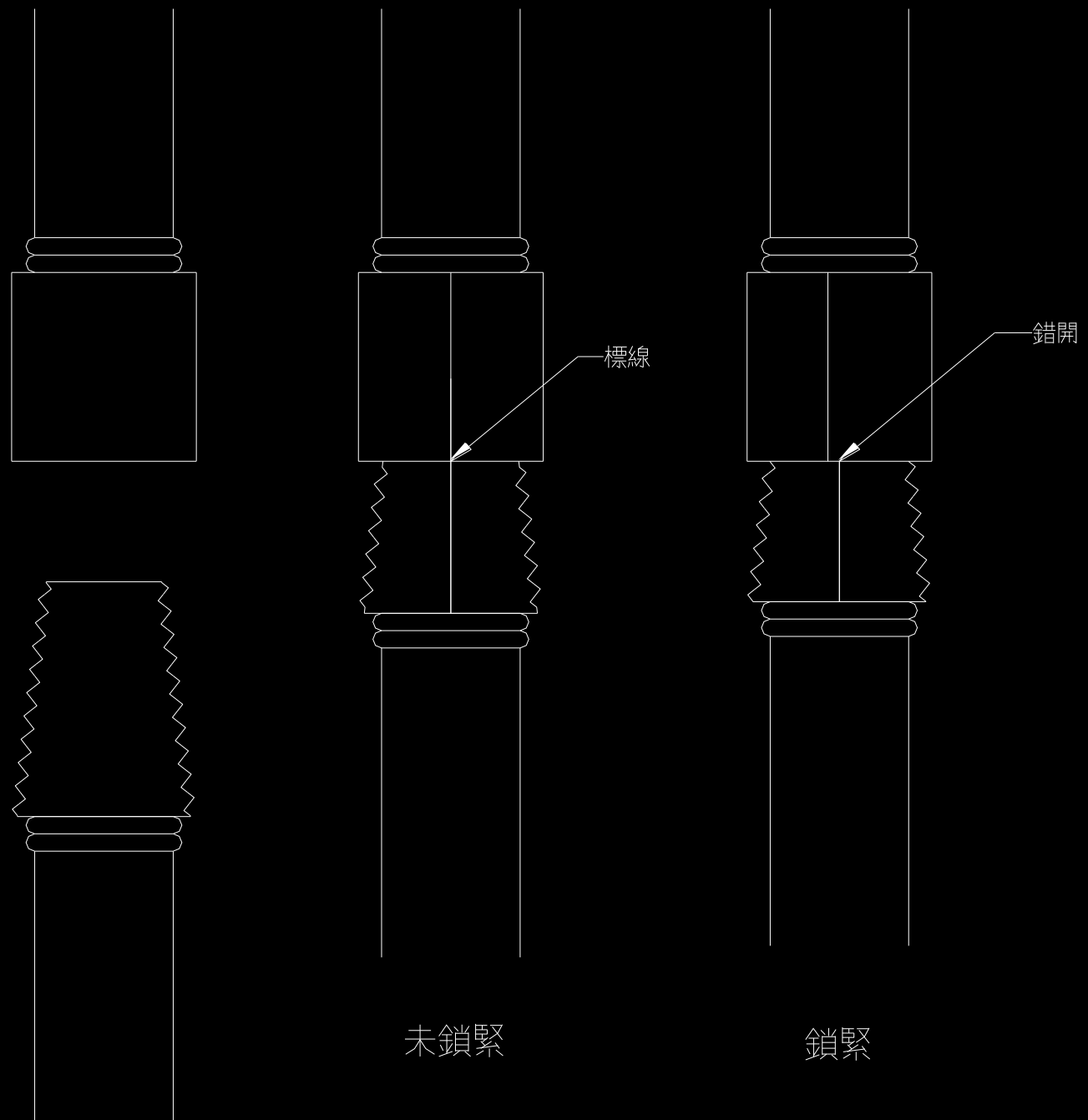



柱之鋼筋保護層厚度4 公分
4
4
120
100


120
4
R3.9
1.3
3.9
45°
4


45°
3.2
7.57




標線
錯開
未鎖緊
鎖緊

未使用間隔器、墊塊，保護層不足

良好排筋(間距均勻,保護層足夠)

鋼筋保護層

- 墊塊之間距不可太寬，以免鋼筋撓度增加太多，適當之間距如下：
- (1) #3鋼筋，間距不可大於60公分。
- (2) #4鋼筋，間距不可大於80公分。
- (3) #5以上鋼筋，間距不可大於100公分。
- 3. 混凝土墊塊抗壓強度至少須等於所澆置混凝土強度，且經試驗合格才准使用，以避免施工過程中被踩破，導致沒有保護層。

鋼筋之腐蝕關係因素:1.保護層厚度要足夠。2.嚴格控制水灰比。3.養護工作應確實。

5

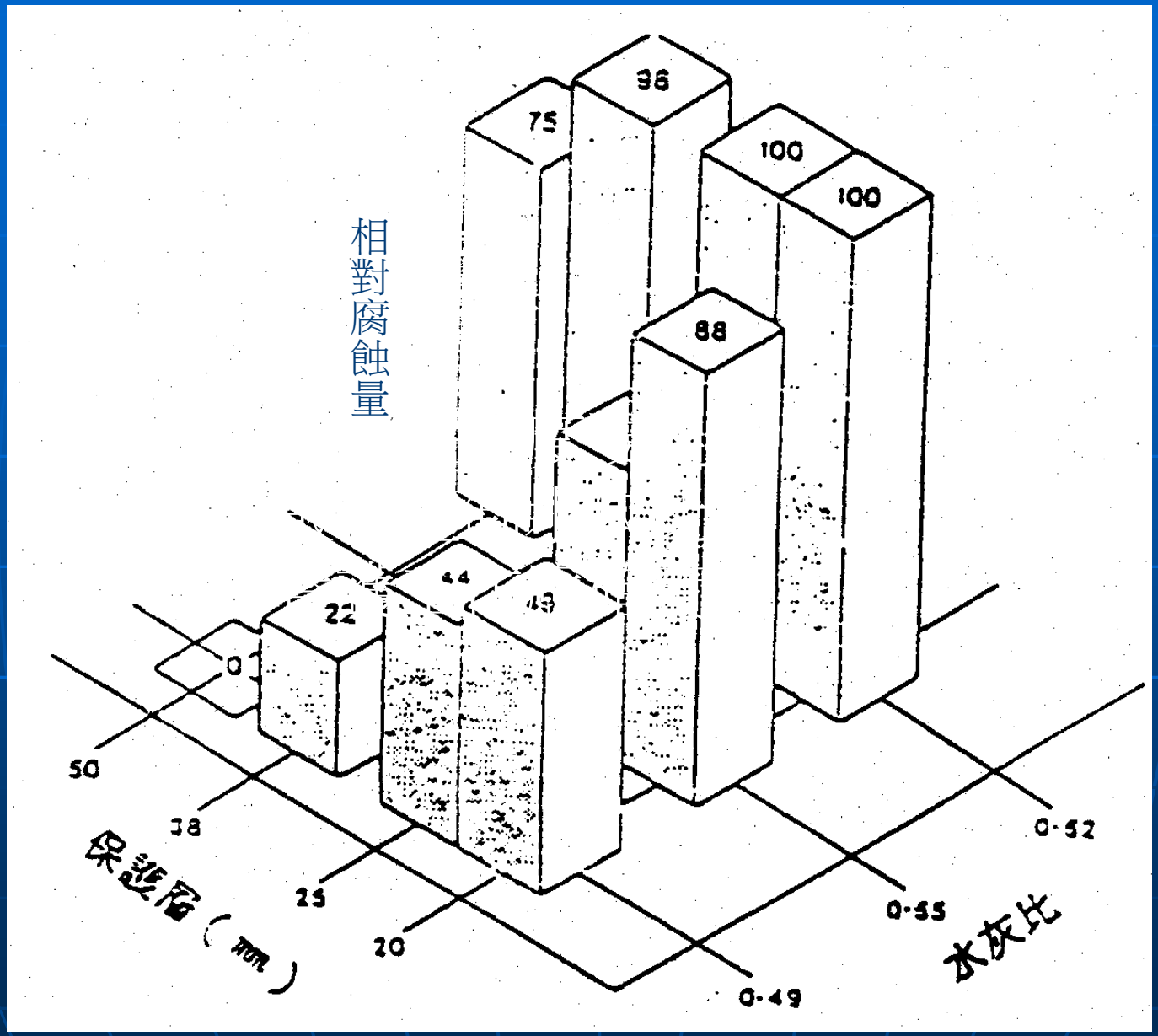


圖1-4　鋼筋相對腐蝕率與保護層及水灰比關係

三.模板

一.模板使用
二.模板施作
三.放樣作業
四.支撐系統

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

模板使用

使用之模板老舊，造成混凝土漏漿情形嚴重

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

放樣作業

放樣作業不當，致一、二樓間相關柱位及牆面發生錯位情形

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

模板支撐間距過大、基底不穩

模板支撐基礎穩固，配置斜拉桿穩定

照片3.2 灑水潤濕但不可積水

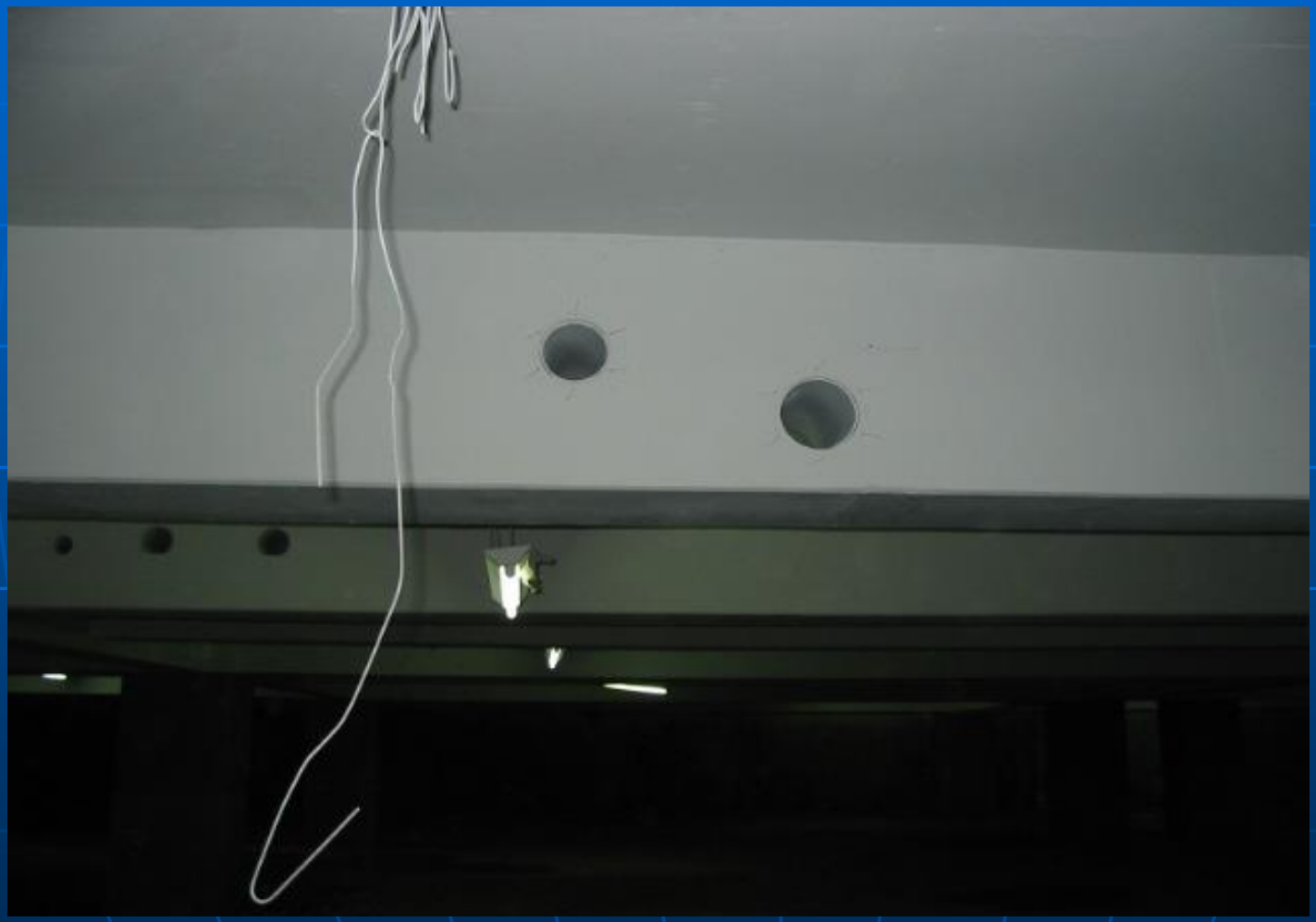
四、其他事項

鋼筋堆置

鋼筋任意堆置，未妥善進行維護，致鋼筋生鏽情形嚴重

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

穿孔位置



穿孔位置不當，影響結構安全及梁強度

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

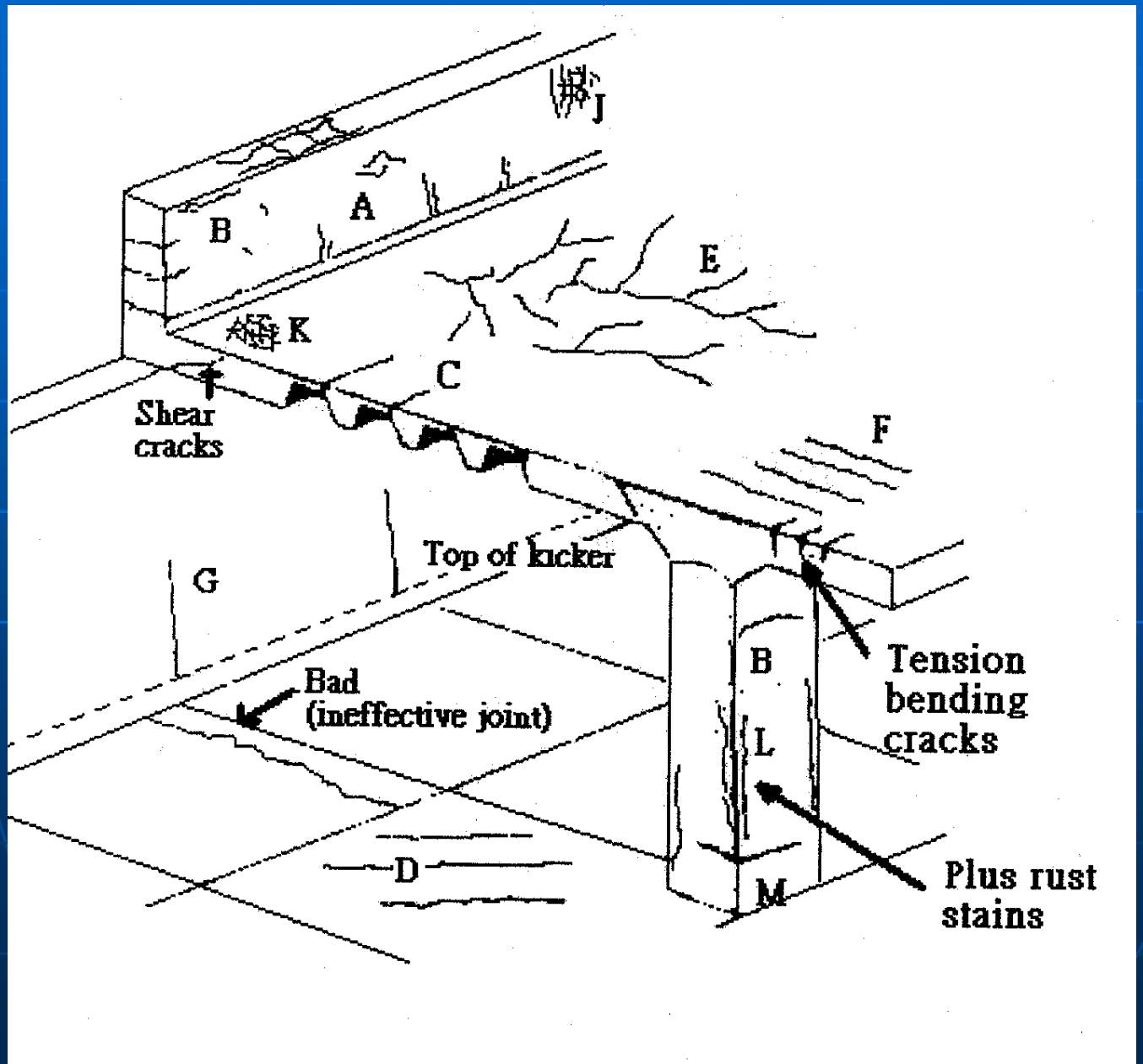
穿孔位置

梁穿孔位置靠近梁柱接頭之鋼筋排列最緊密處，影響該處鋼筋間距及構件承載能力。

人本 優質 永續
行政院公共工程委員會
Public Construction Commisson Executive Yuan

堆積過重,導致結構損傷

龜裂之種類


J
A
B
E
K
C
Shear cracks
F
Top of kicker
G
B
Tension bending cracks
Bad (ineffective joint)
L
D
M
Plus rust stains

龜裂之種類(續)

裂縫型式	圖示字母	型式細分	容易發生之位置	主要原因 (不含束制)	次要原因	補救方法*	發生時間
塑性沈陷	A B C	鋼筋上方 拱型 深度變化	深斷面 柱頂 凹槽及浪版	過度泌水	快速早期 乾燥狀況	減少泌水 (輸氣或再振動)	十分鐘至 三小時
塑性收縮	D E F	對角線 任意 鋼筋上方	道路及版 鋼筋混凝土版 鋼筋混凝土版	快速早期乾燥 快速早期乾燥且 鋼筋靠近表面	低速率的泌水	改善早期養護	三十分鐘至 六小時
早期 熱收縮	G H	外部束制 內部束制	厚牆 厚版	過度熱量產生 過大溫度梯度	快速冷卻	減少熱及/ 或隔熱	一天至二或 三星期
長期乾縮	I		薄版(及牆)	無效接縫	過度乾縮 養護不足	減少含水量 改進養護	幾星期或 幾個月
網狀龜裂	J K	靠模板面 水泥砂漿上浮	光面混凝土版	不透水模板 過度鏝飾	水泥量過高 養護不良	改進養護與鏝飾	一至七天 有時更久
鋼筋腐蝕	L M	天然的 氯化鈣	柱及梁預 鑄混凝土	保護層不足 過多的氯化鈣	低品質混凝土	排除列之原因	大於兩年

表5-5混凝土施工作業檢驗停留點抽查表（參考例）

檢查項目		設計圖書、規範之檢查標準（定量定性）	實際抽查情形（敘述檢查值）	抽查結果
施工前	設備配置	適當		
	鋼筋、模板組立查驗	查驗合格		
	模板內部	清潔無雜物	(模板之潤濕)	
施工中	出料單混凝土品質檢查	PC：140kg/cm2 基礎及牆身：245kg/cm2	(車次,車號,出廠時間,開始下料時間<60分鐘,下料完成時間<90分鐘)	
	坍度	10以下：[ ]±2.5cm 10以上：[ ]±3.8cm		
	氯離子含量	耐久性：≦0.3 kg/m^3		
	圓柱試體抗壓強度	取樣：50M^{3}以下免試；50~150M^{3}一組（二個）；超過50M^{3}以上每增加100M^{3}增加一組 PC：140kg/cm2，厚度≧10cm 基礎及牆身：245kg/cm2		
	倒料高度	1.5公尺以內		
	震動器震動時間	適當		
	施工縫設置	基礎與牆身間		

表5-6混凝土施工後檢驗停留點抽查表（參考例）

廠商自主品管文件紀錄	□齊全 □不齊全		
檢查結果符號說明	○合格 ×有缺失需改正 ／無此項檢查項目		
檢查項目	設計圖書、規範之檢查標準（定量定性）	實際抽查情形（敘述檢查值）	抽查結果
側模拆除時間	受外力之側模：7天；不受外力之側模：3天		
混凝土養護	連續保持潮濕至少7天		
蜂窩處理	依施工規範表面修補規定修補		
冷縫處理	無冷縫		
收縮裂縫處理	混凝土初凝前(澆置一個半時內)，以木製饅刀用力推抹 裂縫≧ 0.4mm 時應進行補強		
鑽心試驗	取樣：50~300M^3 一組；300M^{3}以上：1/300組/M^3 基礎及牆身強度：245kg/cm2		

缺失辦理情形：

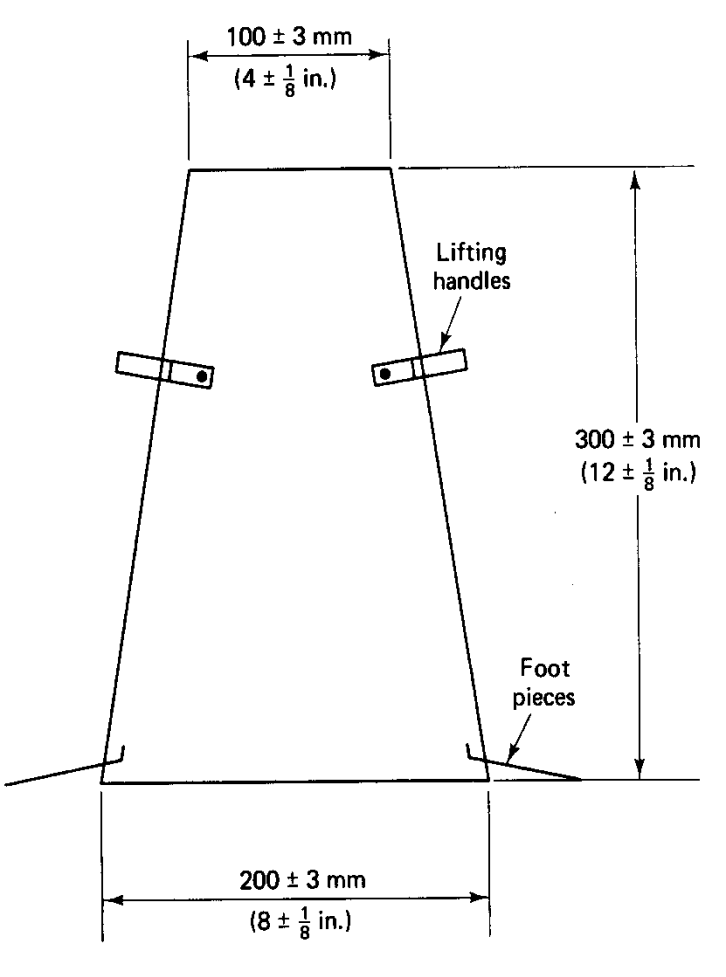
□已完成改善，改善說明：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿（檢附改善前中後照片）

□未完成改善或屬重大缺失，填寫「異常項目追紀錄表」進行改善追蹤

複查日期：　　年　　月　　日　　複查人員簽名：

備註：1. 查驗結果，查驗合格者註明「○」，不合格者註明「╳」，如無需查驗之項目則打「/」。查驗標準及實際查驗情形應明確敘述或量化尺寸。

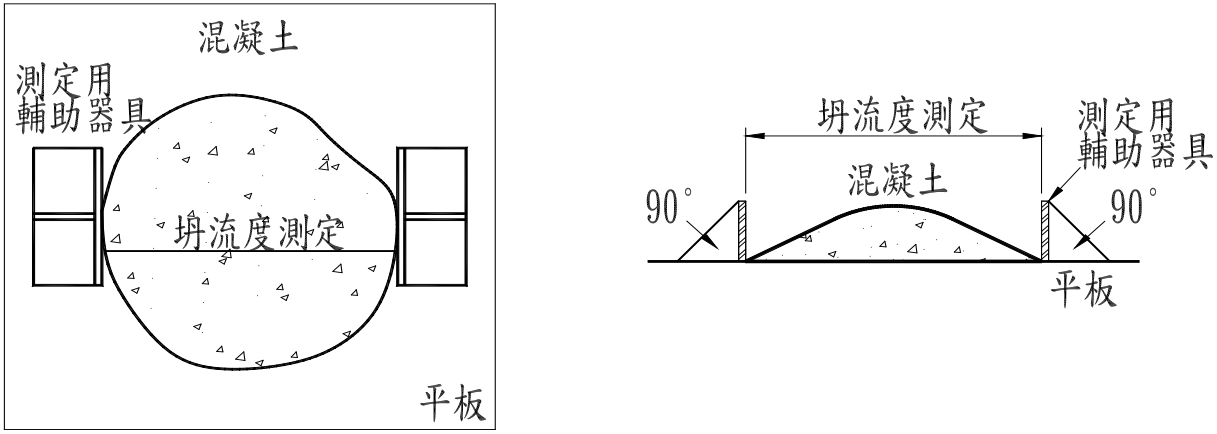
2. 查驗細項僅為參考，請依契約書圖予以詳列。


100 ± 3 mm
(4 ± 1/8 in.)
Lifting handles
300 ± 3 mm
(12 ± 1/8 in.)
Foot pieces
200 ± 3 mm
(8 ± 1/8 in.)

混凝土坍度錐示意圖

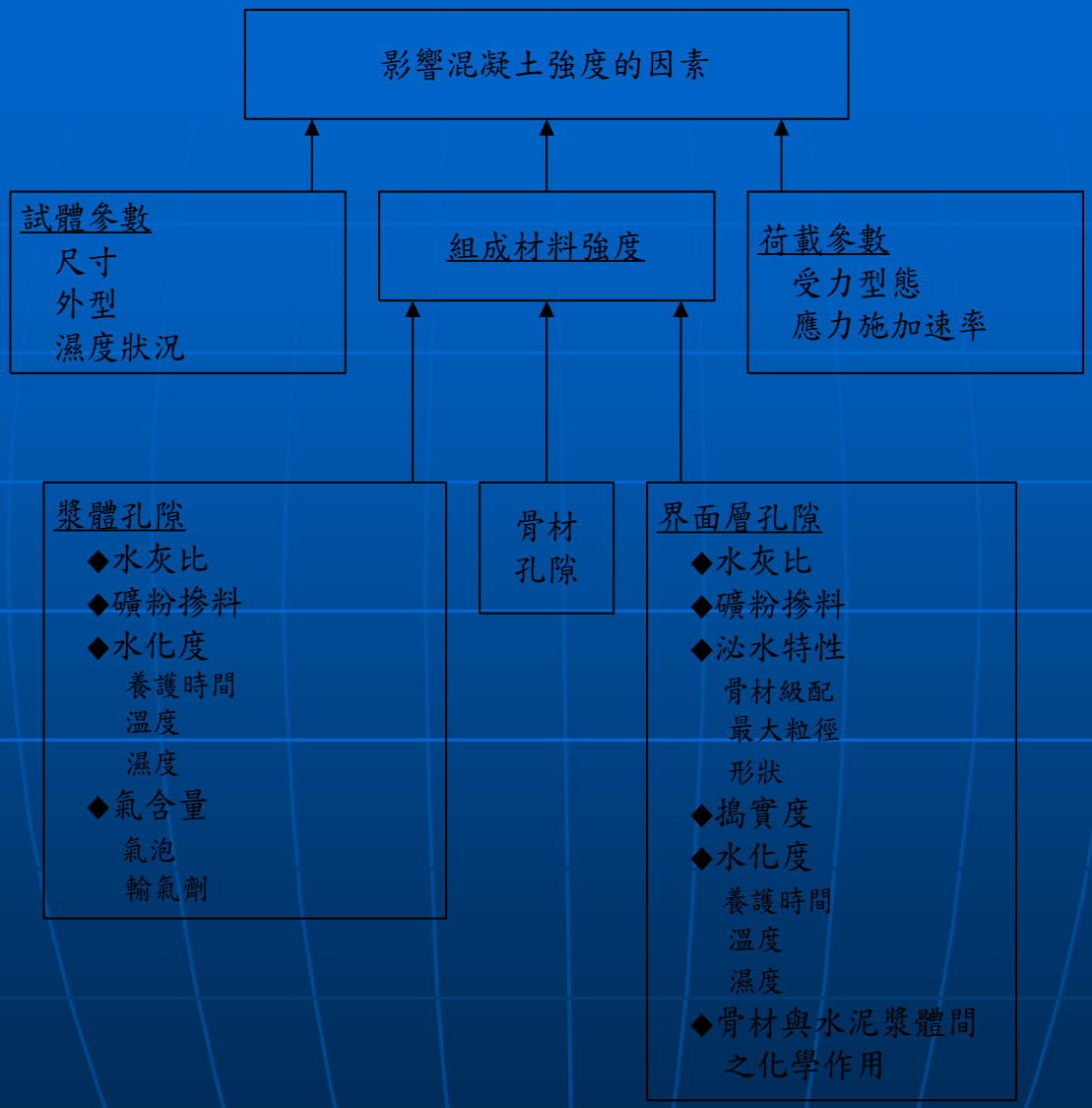
昌和

昌和



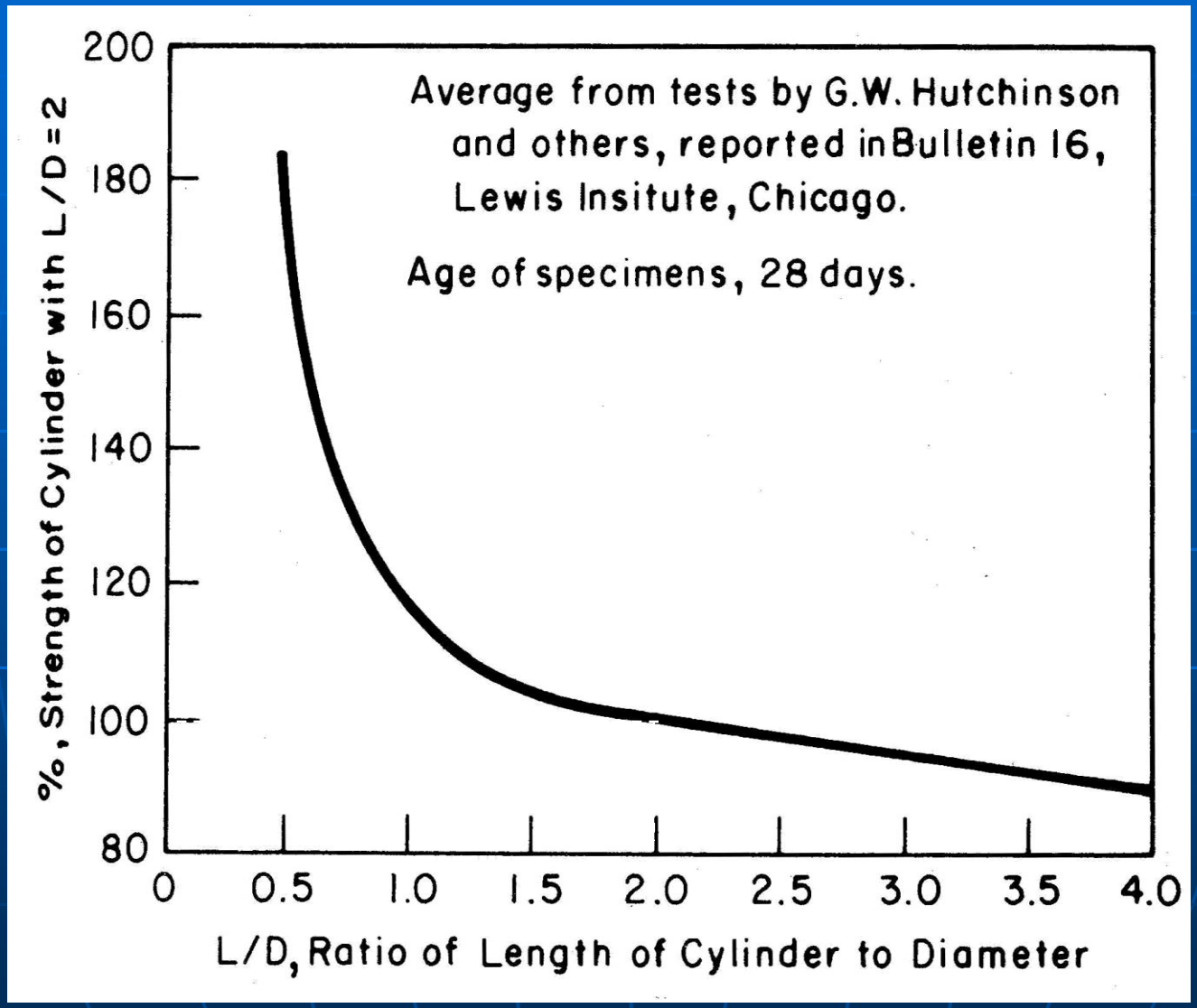
坍流度測定器操作圖

坍流度試驗裝置示意圖


影響混凝土強度的因素
試體參數
尺寸
外型
濕度狀況
組成材料強度
荷載參數
受力型態
應力施加速率
漿體孔隙
◆水灰比
◆礦粉摻料
◆水化度
養護時間
溫度
濕度
◆氣含量
氣泡
輸氣劑
骨材
孔隙
界面層孔隙
◆水灰比
◆礦粉摻料
◆泌水特性
骨材級配
最大粒徑
形狀
◆搗實度
◆水化度
養護時間
溫度
濕度
◆骨材與水泥漿體間
之化學作用

3.2.1 試體參數

- 標準試體之 高度:直徑 = 2:1
- 高度對直徑比增大時，抗壓強度減小。
- 試體直徑愈大，抗壓強度則漸減(試體愈大其含有缺陷愈多，而造成破壞之概率增加)。
- 含飽和水（saturated）試體，強度比氣乾試體（air-dried）減　少20至25%。


Average from tests by G.W. Hutchinson and others, reported in Bulletin 16, Lewis Insitute, Chicago.
Age of specimens, 28 days.
%, Strength of Cylinder with L/D=2
200
180
160
140
120
100
80
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
L/D, Ratio of Length of Cylinder to Diameter

3.2.3 外載參數

- 單軸壓力強度試驗依ASTM C 469
- 壓力試驗於 2至3分鐘 施載至破壞而求得。
- 試体濕度會改變力學性質

鋼筋

一. 鋼筋之降伏與拉斷

二. 箍筋之135度彎鉤

三. 鋼筋之錨定與搭接

鋼筋之降伏與拉斷

- 低碳鋼，含碳量不超出0.4 %
- 降伏強度（Yield strength，Fy）
- 抗拉強度（Tension strength，Fu）
- 伸長率（Elongation）
- 耐震構架用鋼筋，降伏強度設定上限，且規定 Fu/Fy≧1.25 ，以利韌性需求。
- 極限強度設計法(Ultimate strength design method ）

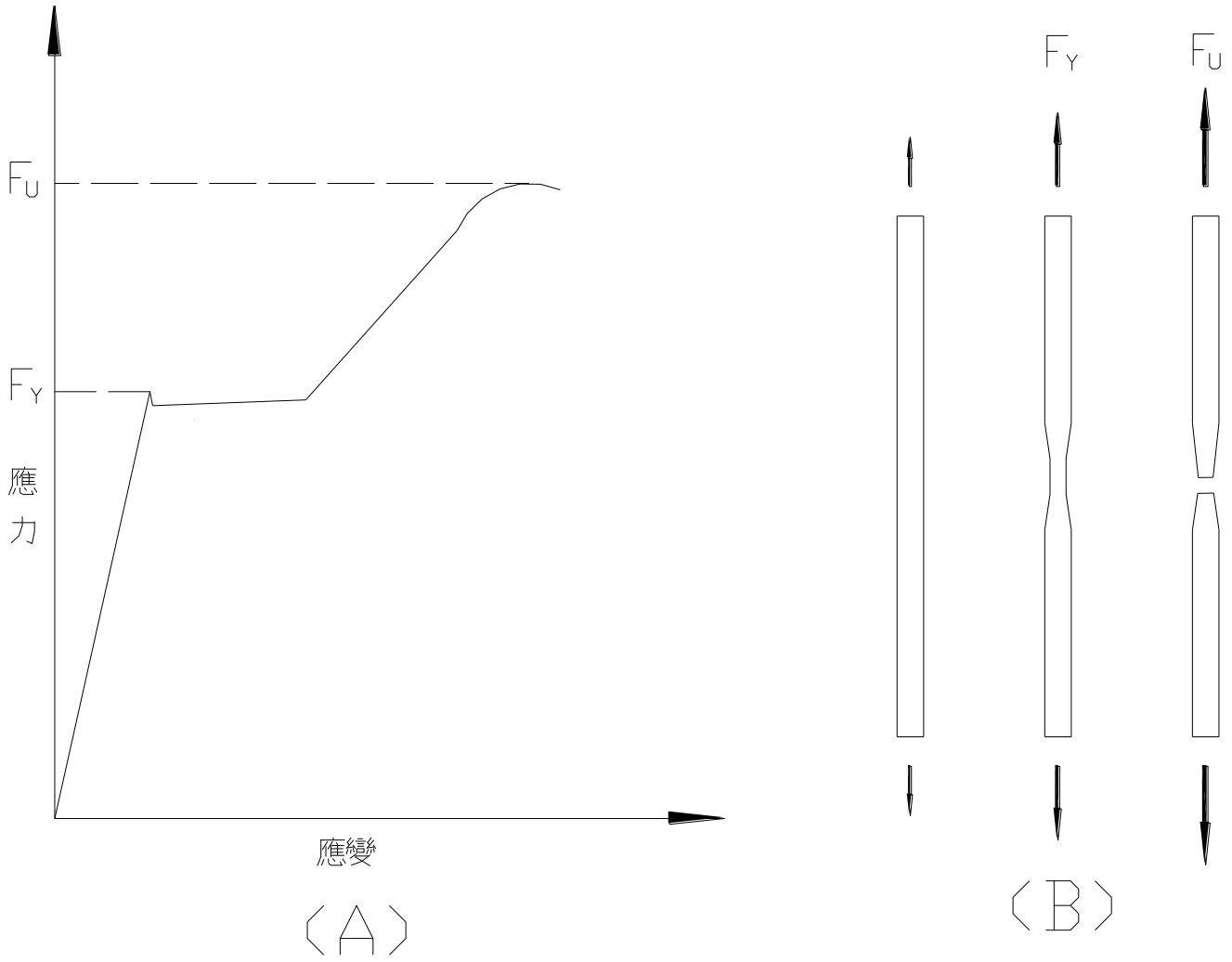


圖1-10 鋼筋之受拉變形

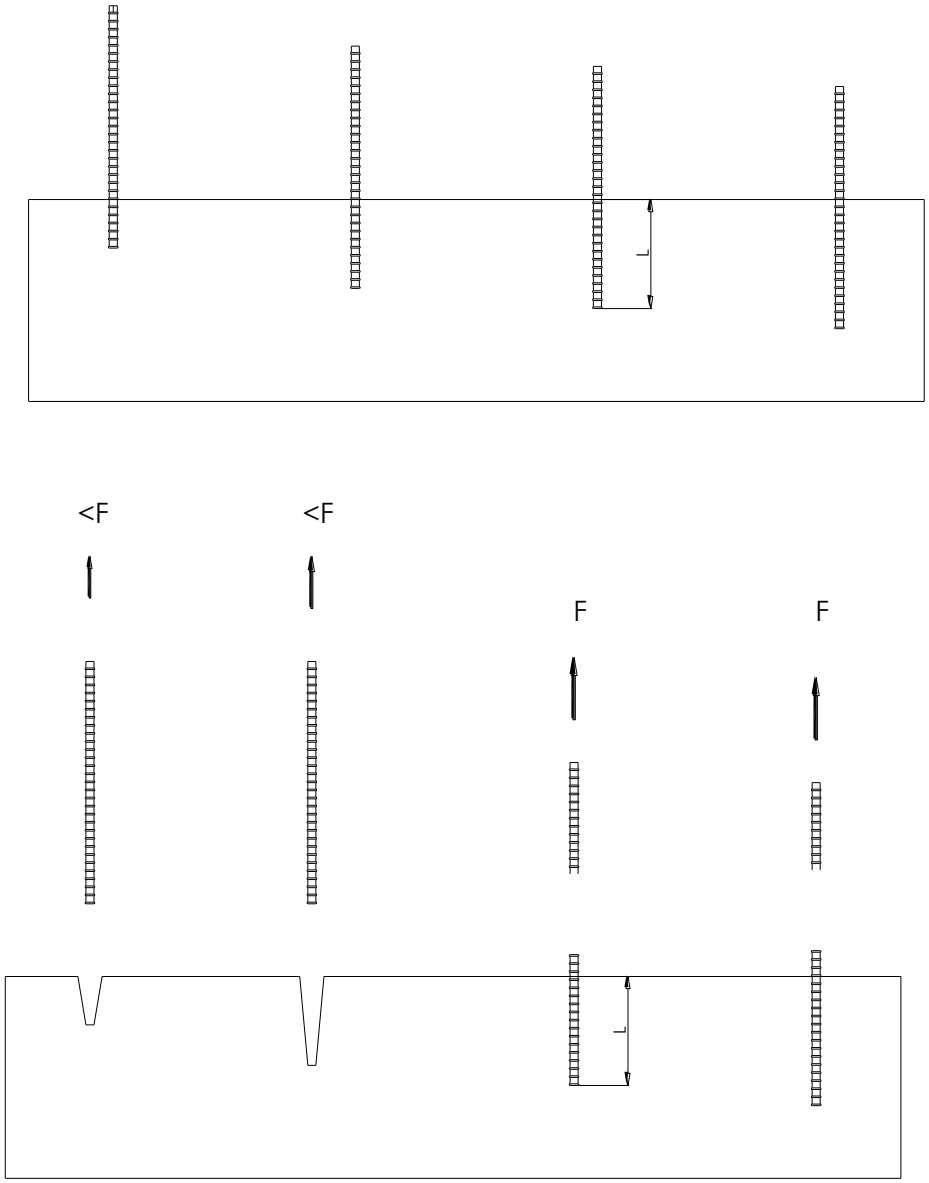


圖1-14 鋼筋錨定伸展長度

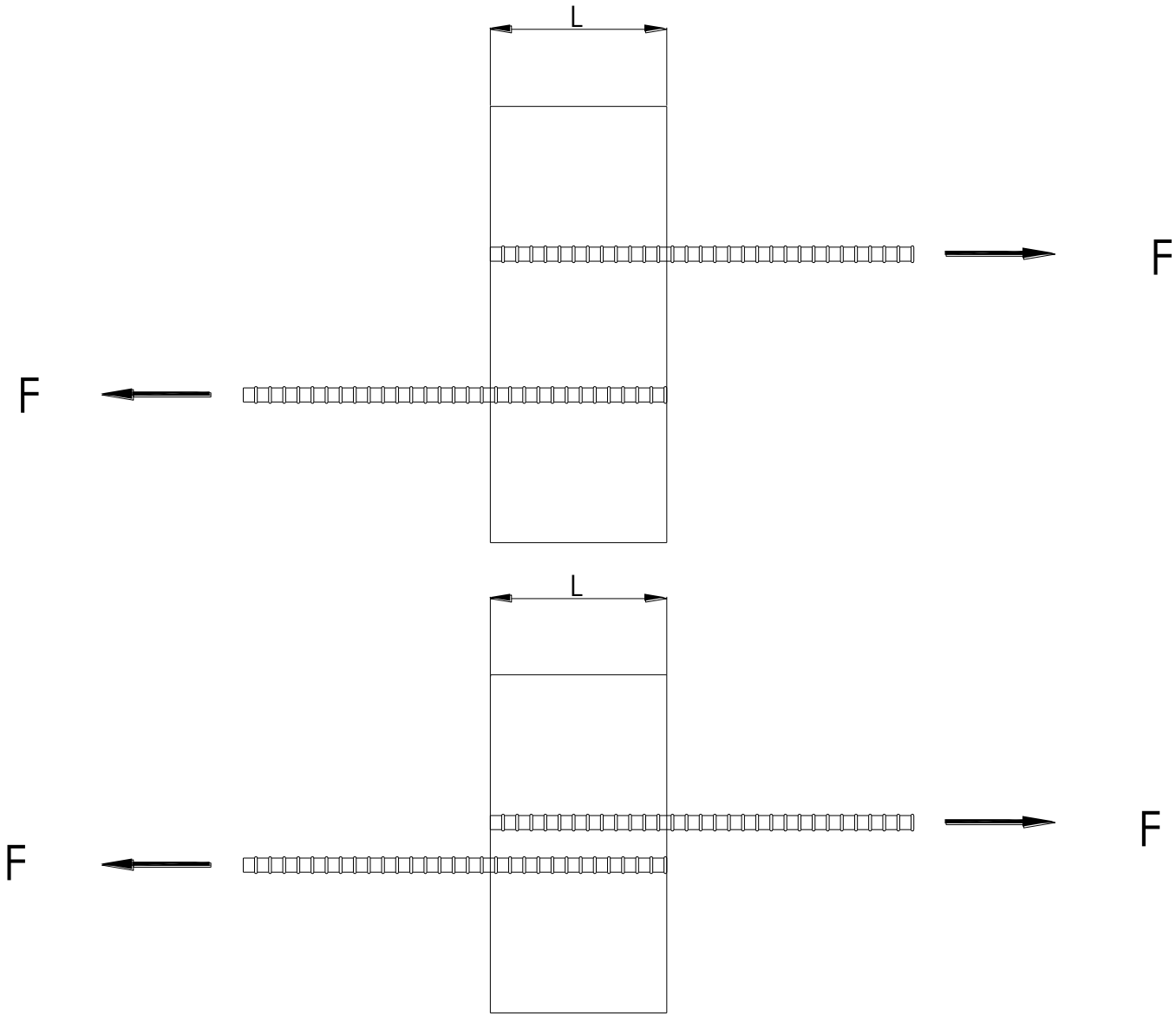


圖1-15　鋼筋之搭接長度

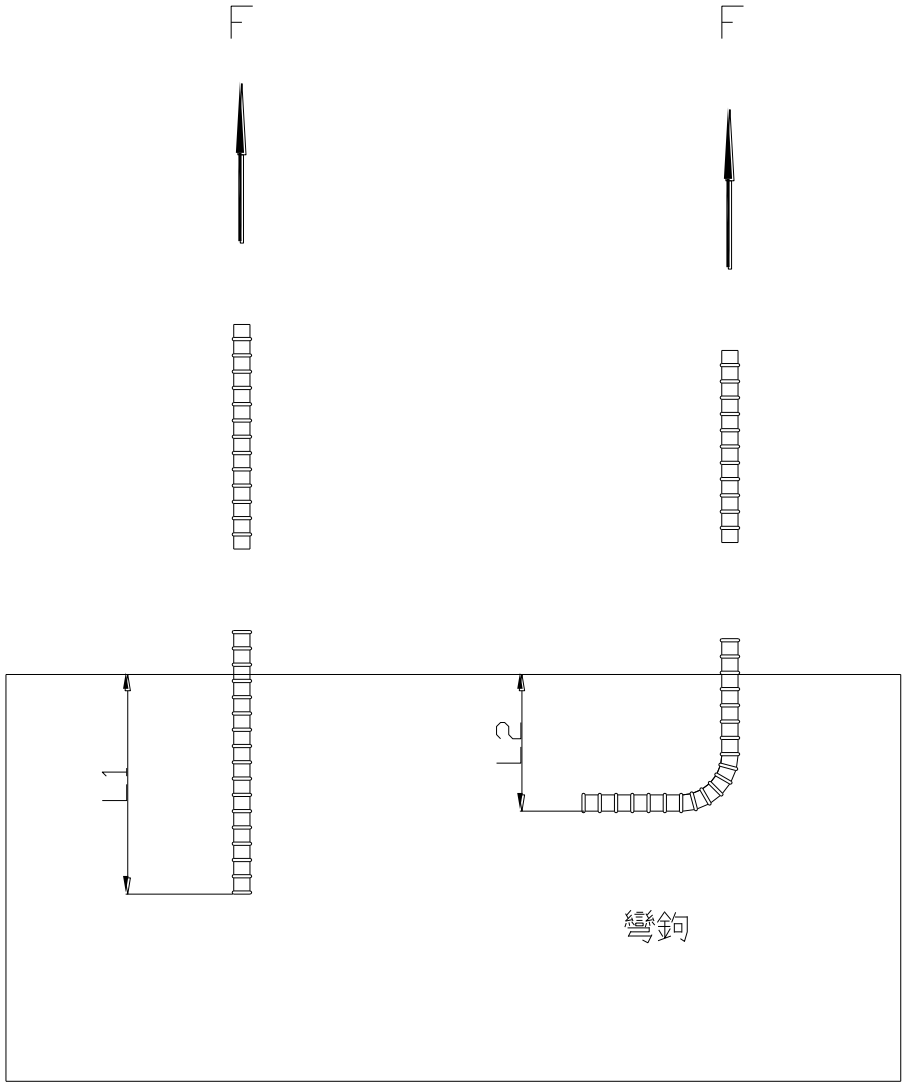


圖1-16 標準彎鉤

質作業之一致性，並防止現行材料檢驗之相關缺失。

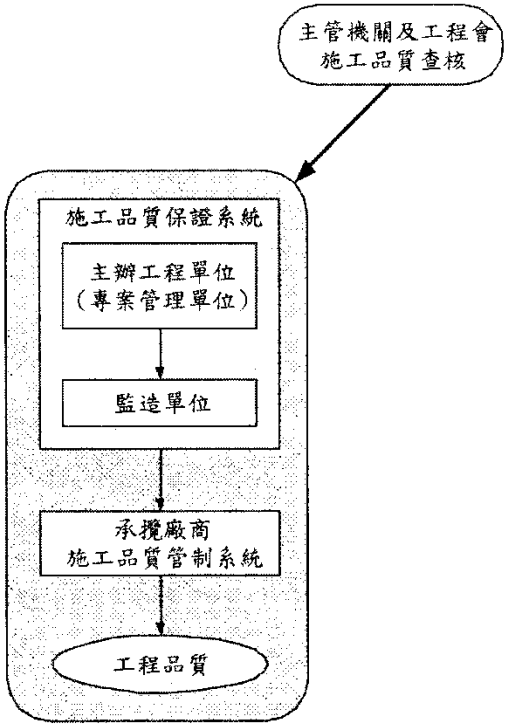


圖 1.1　公共工程施工品質管理制度架構圖