

## 第四章 試驗計畫與試驗方法

本研究的目的，主要是在探討含飛灰之 TAICON，在不同的齡期、配比及養護條件下，混凝土中水泥漿和顆粒骨材間的界面特性及材料內部之微觀變化對巨觀現象的影響。

### §4-1 試驗材料

- (1). 水泥：使用台灣水泥公司的卜特蘭第一型水泥。水泥購買後放置於棧板上，並將每包水泥以塑膠袋封裝，避免受潮。水泥的化學成分如表 4-1 所示【23】。
- (2). 粗骨材：採自大安溪。試驗前將粗骨材倒入拌和機中以清水洗滌，再舖於地面上待其乾燥後再使用。篩分析結果見表 4-2，其物理性質如表 4-4 所示。
- (3). 細骨材：採自大安溪。篩分析結果與物理特性見表 4-3 及表 4-4。
- (4). 水：使用一般的自來水拌和。
- (5). 飛灰：採自於台電興達火力發電廠 Class F 型飛灰，並符合 CNS 3036 之標準。飛灰運至後，將其置入於防潮的密封桶中存放。其物理特性與成分如表 4-1 所示。
- (6). 強塑劑：使用啟欣公司所生產的 G Type 強塑劑，符合 ASTM C494 之規定。在使用前將其整桶搖晃數次，以確保其不會因為沉澱而造成不均勻。強塑劑之基本性質如表 4-5 所示。

### §4-2 試驗設備

#### 試樣製作處理及物性測試儀器

- (1). 拌和機：重力式拌和鼓，如圖 4-1。
- (2). 電子秤：
  - a. 最大容量 120 kg，精確度 10g，用於粗細骨材、水泥、飛灰及水的秤重。如圖 4-2。
  - b. 最大容量 12kg，精確度 0.01g，用於強塑劑的秤重。如圖

4-3。

c. 最大容量 150g，精確度 0.001g，用於燒失試驗之重量變化。如圖 4-4。

(3). 坍流度試驗儀：用於新拌混凝土的坍度與流度量測，符合 CNS 1176 的標準。如圖 4-5。

(4). 抗壓試驗機：用於混凝土圓柱試體的抗壓強度量測，如圖 4-6。

(5). 抗壓試驗試體模：用於灌製混凝土抗壓試驗試體，試體模尺寸為  $\phi 10 \times 20\text{cm}$ ，符合 CNS 10991 之規定，如圖 4-7。

(6). 烘箱：維持在  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ ，用於粗細骨材與實驗試體之烘乾之用。如圖 4-8。

(7). 超音波試驗儀：量測混凝土之傳遞波速，以建立混凝土抗壓強度和波速的關係。如圖 4-9。

(8). 電阻量測儀：量測混凝土之電阻值，以對應其滲透性，作為混凝土耐久性之評估。如圖 4-10。

### 微結構分析儀器

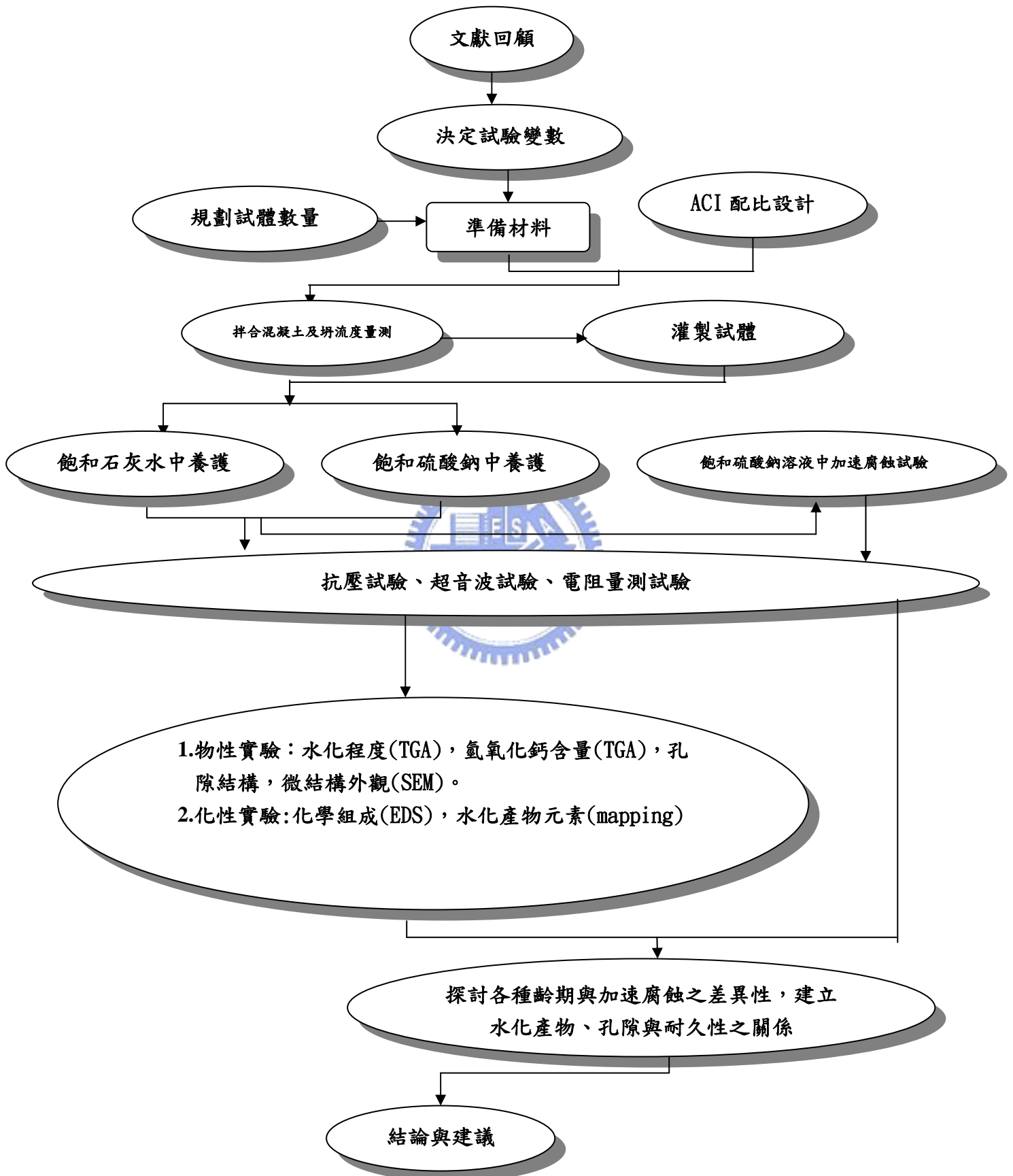
(1). 掃描式電子顯微鏡：清晰放大能力 10000 倍，用於觀測試體水化產物之晶相結構。如圖 4-11。

(2). 直流噴射鍍膜儀：將試體抽真空並鍍以金膜，使試體具有導電性，可順利反射掃描式電子顯微鏡之電子束，便於觀測。如圖 4-12。

(3). 烘箱式熱處理電器爐：測定試體之燒失量，其溫度最高可加熱至  $1600^\circ\text{C}$ ，熱容量為 18 kw。如圖 4-14。

(4). 立體鏡與測微尺：將微觀晶相立體化後量測其高差。如圖 4-15。

### §4-3 試驗流程



## §4-4 試驗計畫

### §4-4-1 使用材料(Used Materials)

本研究將採用第 I 型卜特蘭台泥水泥，其細度為  $301.3\text{m}^2/\text{kg}$ (Blaine)，符合 CNS 3036 標準之台電興達火力發電廠 Class F 型飛灰，使用符合 ASTM C494 Type G 之強塑劑，並作為拌合水之一部分，其固含量為 46.3%，各種材料的組成及物理性質如表 4-5 及表 4-6 所示。

### §4-4-2 配比性質(Mix proportions)

參考 ACI318-95 及本土化中低強度混凝土(簡稱 TAICON)，其水泥用量低於  $300\text{kg}/\text{m}^3$ ，初期坍度為  $22\pm 2\text{ cm}$ ，坍流度為  $50\pm 10\text{ cm}$ ，45 分鐘後坍度應大於 20 cm，坍流度在 40 cm 以上，水灰比  $\geq 0.42$ ，56 天之電阻應大於  $30\text{k}\Omega\text{-cm}$ ，本試驗選用配比強度 28.5-35.7Mpa( $280\text{-}350\text{ kgf}/\text{cm}^2$ )之 TAICON 中低強度混凝土，並採用 W/B=0.35、0.45、0.54、0.65 等四種水膠比，在配比設計時，考慮其經濟性及耐久性，固定用水量及強塑劑用量，分別為  $181\text{kg}/\text{m}^3$  及  $8\text{ kg}/\text{m}^3$ ，並假設 1kg 水泥提供  $0.14\text{Mpa}$ ( $1.4\text{kgf}/\text{cm}^2$ )之抗壓強度，W/B=0.35、0.45 之抗壓強度為 35.7Mpa，使用  $240\text{kg}/\text{m}^3$  之水泥量，而 W/B=0.54、0.65 之抗壓強度為 28.5Mpa，使用  $200\text{kg}/\text{m}^3$  之水泥量，然後調整飛灰量來符合坍度及坍流度之要求，唯有 W/B=0.65 者需增加用水量至  $200\text{kg}/\text{m}^3$  才能滿足，配比結果及坍度情形如表 4-7 所示。

### §4-4-3 養護條件(Curing condition)

考慮混凝土在不同的齡期之下，其內部的生成物將會隨之而變化。故決定以飽和石灰水及在室溫(約  $20^\circ\text{C}\text{-}25^\circ\text{C}$ )下養護，作為實驗中的環境條件變數；並分別配合 1、7、14、28、56 天的混凝土齡期，以期能將混凝土中水泥漿和顆粒骨材間的界面特性及材料內部之微觀變化對巨觀現象的影響作一可靠的分析。此次試驗所定義的齡期為混凝土灌注完成時在空氣中靜置 24 小時後，再予以拆模放置於飽和石灰水，因此實際上所定義的一天齡期，其實已是經過二天，以此類推來定義本次試驗的不同齡期。

#### §4-4-4 試體製作與取樣方法

按照 TAICON 配比製做混凝土試體，拆模後置於飽和石灰水養護至規劃齡期，到達規劃齡期時取出試體先做超音波速及電阻值量測，然後做抗壓試驗並取試片做 SEM，因本研究係以骨材界面處過渡區之特性為主，因此在取 SEM 試片時，需挑出同時含有骨材及水泥漿之試片，置於甲醇做終止水化，為期所取之試片能代表混凝土之整個完整結構，試片的取出位置見圖 4-16 所示。

#### §4-4-5 超音波試驗

利用發射器將超音波脈波傳入混凝土試體中，利用接收器量測脈波在混凝土內的傳遞時間，再依據脈波的傳遞路徑長度來計算出超音波在混凝土中的脈波速度。試驗時將試體兩端塗抹耦合膏，利用超音波試驗儀(見圖 4-9 所示)之發射及接受器量測其超音波速並做記錄。

#### §4-4-6 電阻量測試驗

利用混凝土中內部材料之不同電氣化學變化，而造成相異的電位差，此時可利用電阻測定儀(見圖 4-10 所示)，導入電流，依據電流的流動，藉以判定其中之電氣阻抗。利用所量測的混凝土電阻來判斷其腐蝕程度，因混凝土為非均質材料，因此在量測時取對稱四處量測其值，以平均值做為分析之數值。

#### §4-4-7 CH 含量試驗

本研究係採用燒失法(Loss on Ignition)測定新拌混凝土之Ca(OH)<sub>2</sub>含量。文獻指出，水泥漿體在不同溫度時各成份會分解，分解過程形成三個明顯之變化區如下：【27，59，60】

- (1) 105°C~440°C 分解 C-S-H 膠體及其他可能之成分。
- (2) 440°C~580°C 分解氫氧化鈣(CH)。
- (3) 580°C~1007°C 分解碳酸鈣(CaCO<sub>3</sub>)。

因此可依下列公式求出氫氧化鈣含量。

$$W_{ch} = \frac{4.11(W_{440} - W_{580}) + 1.68(W_{580} - W_{1007})}{W_{1007}} \times 100\%$$

式中：

$W_{ch}$  :  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  重量百分比(%)。

$W_{440}$  : 試樣於  $440^\circ\text{C}$  時之重。

$W_{580}$  : 試樣於  $580^\circ\text{C}$  時之重。

$W_{1007}$  : 試樣於  $1007^\circ\text{C}$  時之重。

4.11 及 1.68 : 分別為  $\text{H}_2\text{O}$  及  $\text{CO}_2$  轉換為 CH 莫耳數分子量之比值。又因燒失法通常應用於求水泥漿之水化程度及 CH 含量，故在利用高溫爐(見圖 4-14 所示)做燒失試驗時，需以同一試樣為之，以減少骨材對燒失試驗的影響，即將試樣置於陶製皿內並秤重，然後放入高溫爐內燒至  $440^\circ\text{C}$  後取出秤重，再放入高溫爐內燒至  $580^\circ\text{C}$  後取出秤重，再放入高溫爐內燒至  $1007^\circ\text{C}$  後取出秤重，然後利用上述公式計算其 CH 含量。

#### §4-4-8 SEM 觀測

將終止水化試片置於烘箱烘乾 24 小時，再從中敲取出同時含有骨材與水泥漿界面之更小試樣，界面朝上貼於試驗專用鐵片上，首先將鐵片置於直流鍍膜儀(見圖 4-12 所示)鍍金，然後將試驗鐵片放入掃描式電子顯微鏡(見圖 4-11 所示)，將 SEM 鏡頭放大至 2000 倍並找出界面，由骨材界面處向右連續拍攝 SEM 照片 10 張(即 1 卷)，2000 倍 SEM 照片之大小約為  $25\mu\text{m}$ ，左右各留  $7.5\mu\text{m}$  之重疊，因此 10 張所合成 SEM 圖即為  $100\mu\text{m}$  之長度，各種水化產物之形狀如圖 4-13 所示。

#### §4-4-9 SEM 立體觀測

為進一步作 SEM 立體觀測，於是利用航照的觀念套用於 SEM 上，以作為三度空間測量的根據。圖 4-17 及圖 4-18 說明兩個不同高度的地點在航照上呈現的視差變化。地面上，物體 T-B 之頂點為 T，其底點為 B；航照上，在透過相機後，T 點之位置為 t，B 點之位置為 b。因 t 與 b 相對於主點 P 的距離不同，所以顯然同一物體之頂點與底點的視差值並不一樣。這現象稱為高差位移或輻射狀位移。兩張航照圖之視差關係如圖 4-18 所示，物體頂點 t 的視差為  $(L_3+L_4)$ ，物體底點 b 的視差為  $(L_1+L_2)$ 。高度不同會造成輻射狀位移外，視差值也會變化，較高的點有較大的視差。頂點與底點的視差值相減，其差相當於  $(L_5+L_6)$ ，此即視差差值  $\Delta P$ 。若能精確量測立體對上底點的距離  $d'$  與頂點的距離  $d$ ，此兩個值的差值亦等於視差差值  $\Delta P$ 。若兩張航照相片主點的距離為 D，則物體的視差  $P_a$  等於 D 與  $d'$  的差

值。在航照上量測物體的高度 $\Delta h$ ，所依據的原理就是視差公式。其視差公式為：
$$\Delta h = \left\{ \frac{\Delta P}{(P_a + \Delta P)} \right\} \times H_a$$
 ( $H_a$ 為相對物體a之飛航高度)，因SEM照片左右各有 $7.5 \mu\text{m}$ 之重疊(約30%)，故在製作SEM立體圖時，將連續兩張SEM照片(各有30%之重疊範圍)分開置於立體鏡下(如圖4-15所示)，在重疊範圍內於立體鏡下會呈現立體狀態，並於兩張SEM照片上加以編號，利用視差尺量測 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 及 $L_4$ 之距離，立體鏡至桌面高度 $H_a$ ，相片主點距離(指所編的點號) $D$ 及 $d'$ 並計算 $\Delta P$ 、 $P_a$ ，最後再代入 $\Delta h$ 公式計算 $\Delta h$ 值，每組約取30-40點平均分布於 $25\sim 50 \mu\text{m}$ 、 $50\sim 75 \mu\text{m}$ 及 $75\sim 100 \mu\text{m}$ 之範圍內，並將第1點定為100單位，以此比例換算其他各點之相對高度，藉以判讀過渡區中水化生成物的緻密度。此外，為將SEM的觀測狀態完全模擬航測時的相同條件，因此在拍攝SEM之時，其holder的盤面角度在進行相片的拍攝時，乃是保持完全的水平，並不隨顯微鏡內光源的角度而有所調動。

