

## 水泥壘料之空氣含量

本分局材料實驗室長久以來一直負責卜特蘭水泥、高爐水泥物理性質相關檢驗工作，近年又陸續接觸像水淬高爐爐渣粉、壘砌水泥等類似產品，由於各產品的國家標準對壘料空氣含量一項的計算方式表示不一、說明略顯簡略，且大家習慣於以較常檢驗的「卜特蘭水泥」的公式型態逕為思考，忽略了壘料之空氣含量所代表的意義，以至於對該檢驗項目常有不甚明瞭之感。本文試圖描述水泥壘料之空氣含量其物理意義，並予闡明國家標準提到的各計算公式。

無論卜特蘭水泥、高爐水泥、水淬高爐爐渣粉、壘砌水泥其壘料之空氣含量檢驗方法皆是採用一容量為 400ml 的量器進行檢驗（如下圖）。



檢驗時用來加入至該容器中的壘料成分有：水泥  $W_1g$  ( $W_1=350$ )、標準

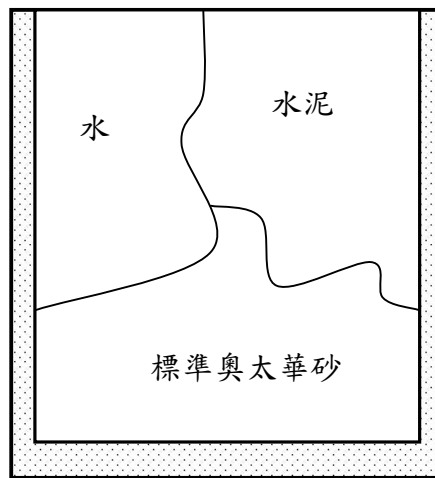
奧太華砂  $W_2g$  ( $W_2=1400$ ) 與符合流動性 80~95% 要求的混合用水量  $W_w g$ ，

在各成分拌合但未參雜空氣之理想混合物每單位體積之理論重量為：

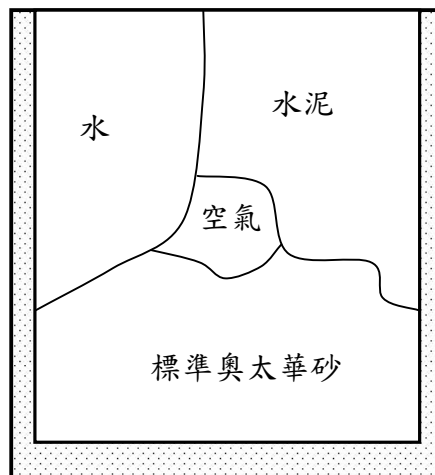
$$D_i = \frac{W_1 + W_2 + W_w}{\frac{W_1}{D_1} + \frac{W_2}{D_2} + \frac{W_w}{D_w}} \quad \text{① (在此 } W_1=350、W_2=1400 \text{ 而 } W_w \text{ 為符合流動性}$$

80~95% 要求的混合用水量； $D_2=2.65$ 、 $D_w=1$ )

我們可想像其裝在量器時的理想狀況如下圖。



但是在一般狀況下，拌合過程中會有空氣滲入，因此量器中的成分實際組成狀況自然會有一定的空氣含量，結果如下圖所示。因為空氣佔據了量器的一部分體積，實際水泥壘料每單位體積之重量將變成：



$$D_r = \frac{W}{400} \quad \text{②}; W=400\text{ml 量器實際測得之壩料重量，單位 g。}$$

因為滲入了空氣的緣故，所以  $D_r < D_i$  是很自然的，空氣滲入越多所佔的體積越多  $D_r$  值越小。

因此水泥壩料的空氣含量（體積之百分數）的表示如下：

$$A = \left(1 - \frac{D_r}{D_i}\right) \times 100 \quad \text{③},$$

此式即 CNS 787 式 (1) 中所呈現的壩料空氣含量最一般的表示式。

$$D_i = \frac{W_1 + W_2 + W_w}{\frac{W_1}{D_1} + \frac{W_2}{D_2} + \frac{W_w}{D_w}}$$

$$D_r = \frac{W}{400}$$

$$A = \left(1 - \frac{D_r}{D_i}\right) \times 100$$

仔細檢視上三式，並將  $D_r$ 、 $D_i$  帶入  $A$  則  $A = \left(1 - \frac{\frac{W}{400}}{\frac{W}{4D_i}}\right) \times 100 = 100 - \frac{W}{4D_i}$

此即 CNS 13512 「壩砌水泥」中所呈現的計算公式。

由於  $D_i$  是欲量測空氣含量樣品的比重，會因樣品而不同，除卜特蘭水泥被指定為 3.15 外，其他於水淬高爐爐渣粉、水硬性混合水泥（含高爐水泥）與壩砌水泥則必須另以李氏比重瓶測量，因此 CNS 12549 「混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉」及 CNS 15286 「水硬性混合水泥」皆特別強調需使用實際爐渣粉（水泥）的比重（密度）以求得真正的空氣含量。

對於壩料之空氣含量的進一步觀察，將聚焦在最熟悉的「卜特蘭水泥」，並以實務上稱之「水灰比」的概念來觀察空氣含量。

「水灰比」 $P$  定義為混合壩料中水與水泥的比值（以百分數表示），以式①來說即  $P\% = \frac{W_w}{W_1}$ ，代入①式，並將①式中以各已知數值表示，則

$$D_i = \frac{350 + 1400 + 350 \times P \times 0.01}{\frac{350}{3.15} + \frac{1400}{2.65} + \frac{350 \times P \times 0.01}{1}} = \frac{5 + 0.01P}{1.827 + 0.01P} \quad (4)$$

將④式與②式代入③並經整理得「卜特蘭水泥」壩料之空氣含量（體

積之百分數）  $A = \left(1 - \frac{D_r}{D_i}\right) \times 100 = 100 - W \times \frac{(182.7 + P)}{(2000 + 4P)} \quad (5)$