



# 垃圾掩埋場沉陷行為之研究(1/3)

劉家男 國立暨南國際大學土木工程學系  
陳榮河 陳國賢 國立台灣大學土木工程學系  
計畫編號：NSC-89-2211-E-260-006

## 一、簡介

對於垃圾掩埋場之封閉、沼氣收集、與滲出水收集等系統之設計，及封閉後場址復育與利用之規劃與分析，沈陷量皆是一個重要的考慮因素，然因垃圾成分複雜之特性，加上掩埋場處理因素及環境因素等之影響，使垃圾掩埋場沈陷行為更加複雜，故目前為止仍無一合理適當之模式來預估其沈陷量。有鑑於此，實有必要對垃圾掩埋場之沉陷行為作進一步探討與研究，以了解其力學機制與影響因素，並發展一合理實用之沉陷預估模式，以其能更精確預估垃圾掩埋場之沉陷行為，提供垃圾掩埋場封閉後使用設計與分析。

## 二、研究方法

本研究擬定之研究方法為，首先由室內試驗及現地

試驗之結果，建立產氣速率與沈陷速率之關係，及探討各環境條件對產氣及沉陷之影響情況。另由土壤力學之壓密理論出發，推導出可合理描述垃圾掩埋場沉陷行為之理論模式。再由室內試驗之結果及收集的現地觀測資料，分別進行模式之驗證與修正，以建立垃圾掩埋場沈陷預估模式。因此本研究主要之研究內容包括：(1)垃圾掩埋場沈陷行為之研究；(2)現有垃圾掩埋場沉現預估模式之探討；(3)垃圾掩埋場沈陷預估模式之建立；(4)模式之驗證、修正與應用。

## 三、研究成果

本研究計畫為三年計畫，至目前為止，研究完成之工作有三，茲分述於後：

### (一)垃圾掩埋場沈陷行為之研究

垃圾之沈陷機制，一部

份與土壤材料類似，一部份則與垃圾之特性，即與生物分解有關，包括：

1. 壓密 (Consolidation)：在一荷重作用下，飽和材料孔隙中的液體向外排除而導致體積壓縮之過程。
2. 壓實 (Compaction)：在荷重作用下，由於孔隙空間及顆粒之壓縮、固體垃圾勁度之改變等，導致垃圾材料移動及變形至一較緊密排列而造成體積壓縮之過程。
3. 分解 (Degradation)：因生物及化學分解反應，造成固體物質減少而使孔隙增加、壓縮量增大之過程。

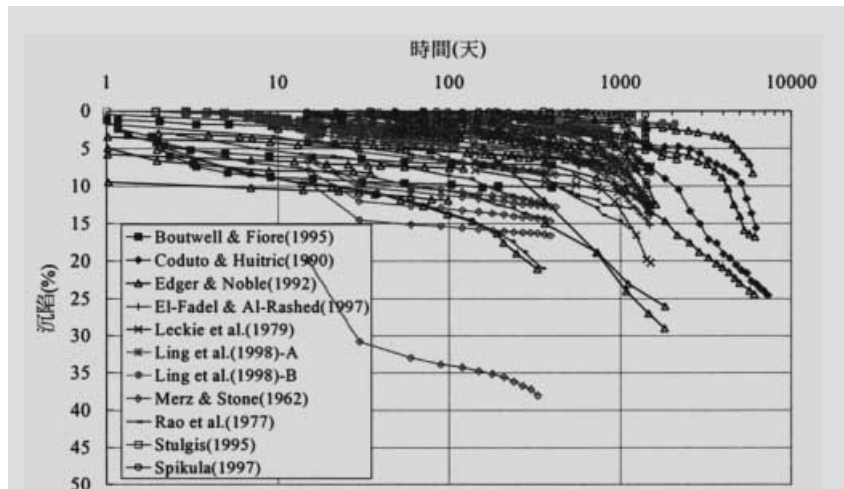
本研究收集國內外垃圾掩埋場之沉陷紀錄及垃圾材料之室內試驗資料，經由相關力學參數之整理與分析，



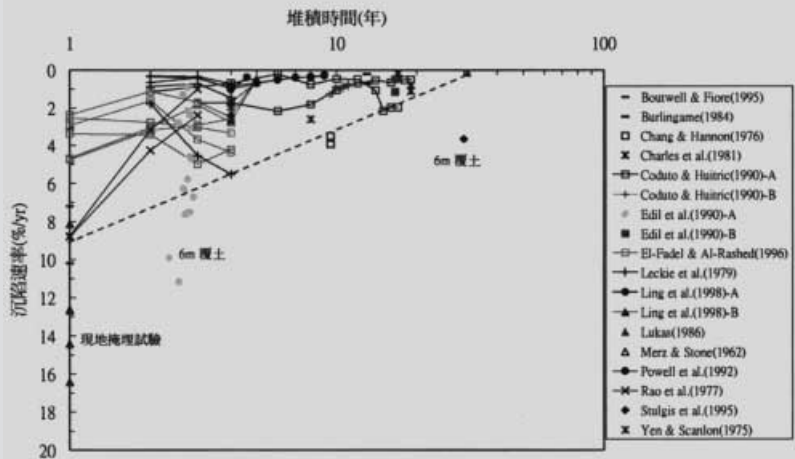
以探討掩埋場沉陷行為之特性，及其與影響因素之間的關係。圖一為收集之垃圾掩埋場沉陷紀錄，圖中各沉陷紀錄分布範圍極大，顯示垃圾掩埋場沉陷行為之複雜性與變異性。圖二係由圖一中可知垃圾堆積時間之沉陷紀錄，繪製沉陷速率對堆積時間之關係。由此圖可知，不同垃圾掩埋場沉陷速率差異極大；另外，沉陷速率隨垃圾堆積時間而逐漸減少，其持續時間可達 30-40 年（圖中虛線所示）。

影響垃圾掩埋場沉陷行為之因素眾多，不同研究之結果常常顯示各因素對沉陷行為有不同程度之影響，因此要定量描述各影響因素與垃圾掩埋場沉陷行為之關係極為困難，故在此僅以定性描述各影響因素與垃圾掩埋場沉陷行為之關係。（圖三）

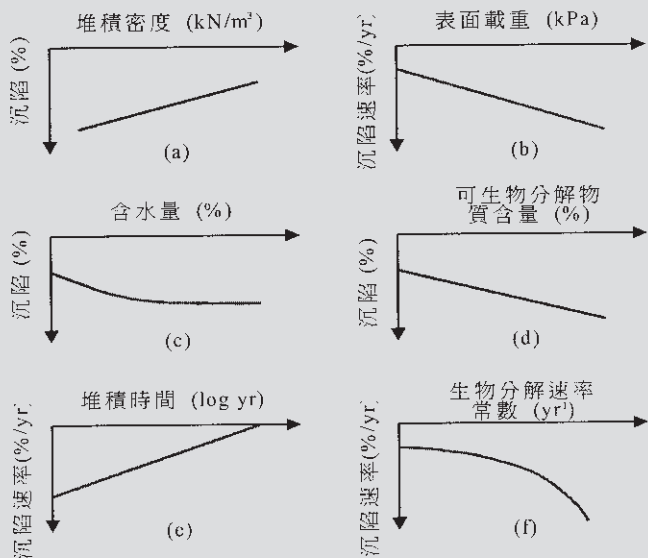
1. 垃圾堆積密度：沉陷量及沉陷速率均隨垃圾堆積密度增加，而約成線性減少。
2. 表面荷重：沉陷速率隨表面荷重增加而約呈線性增加。
3. 含水量：初期沉陷量隨含水量增加而增加，但當含水量超過某一限度後，則所增加之含水量對沉陷



圖一 垃圾掩埋場之沉陷紀錄



圖二 垃圾掩埋場沉陷速率與堆積時間之關係圖



圖三 垃圾掩埋場沉陷行為之影響因子

量即無影響。此外含水量增加亦會造成初始沉陷速率之增加，但對長期沉陷速率之影響則較小。

4. 可分解物質含量：沉陷量隨垃圾中可生物分解物質之含量而約呈線性增加。
5. 垃圾堆積時間：垃圾掩埋場沉陷速率會隨垃圾堆積時間而逐漸減少（圖二）。
6. 生物分解速率常數：凡會影響生物分解速率之因素，皆可以此常數來描述

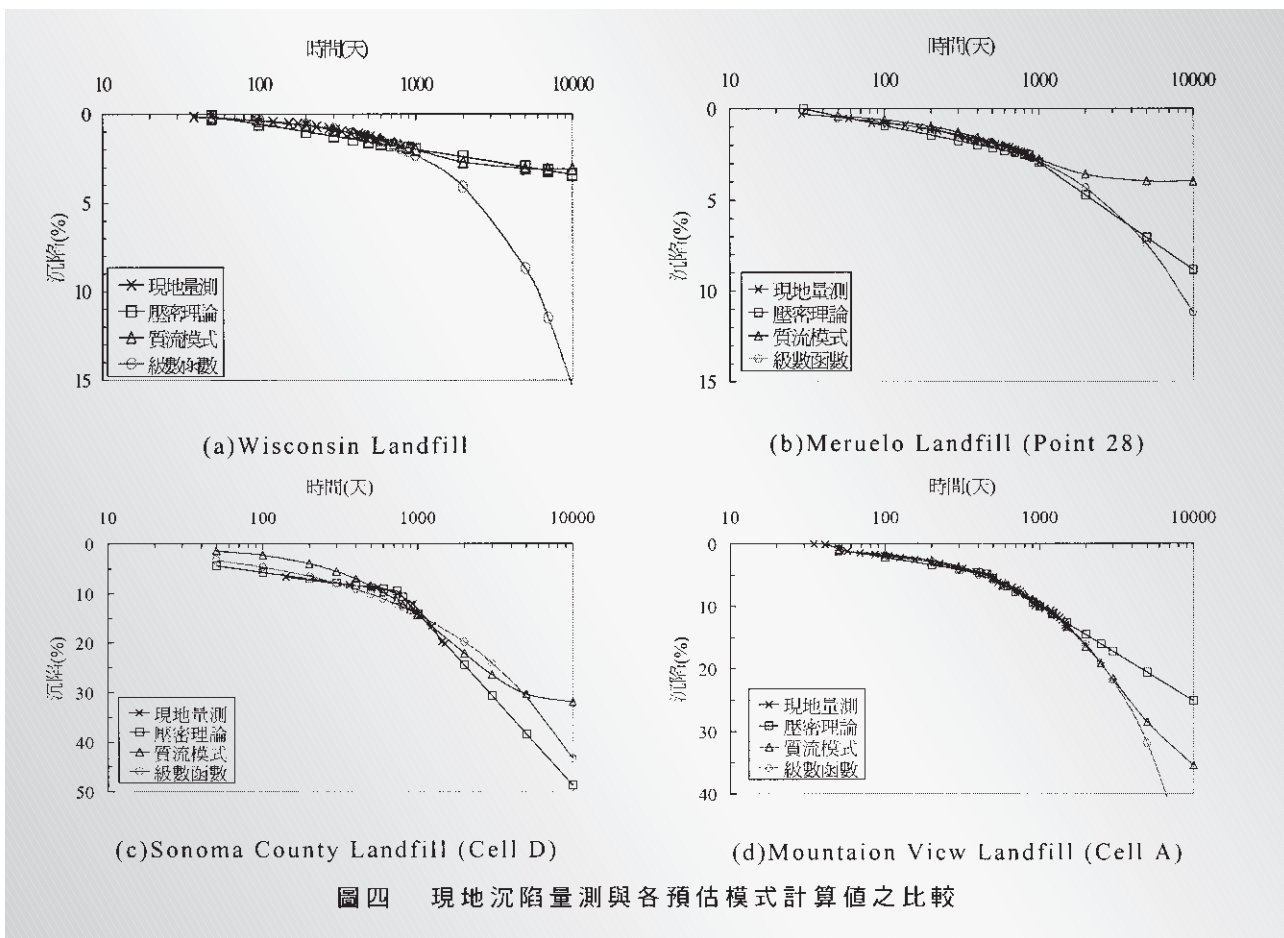
其對垃圾掩埋場沉陷行為之影響，如滲出水循環、增加含水量、導入空氣（好氧堆積）、垃圾破碎等，均會提高有機物質生物分解之速率，而增加沉陷速率。生物分解速率常數與沉陷速率之關係近似一指數函數。

上述影響因素中，表面荷重主要影響初期之力學沉陷行為，即其影響時間為堆積後數十天內。而垃圾堆積密度對初期及長期之力學沉陷行為皆有影響。含水量及可分解物質含量兩項因素，

不僅對初期力學沉陷有影響，對長期之生物分解沉陷亦有影響。生物分解速率常數則對生物分解沉陷有最大之影響。

(二)現有垃圾掩埋場沉現預估模式之探討

現有預估垃圾掩埋場沉陷量之方法眾多，其中較為使用且較為簡單易用者，包括土壤壓密理論模式、質流模式及迴歸函數等三種。其中土壤壓密理論模式之優點為計算簡單，參數容易求得，故應用最為廣泛，然其基本假設(均質、完全飽和、



圖四 現地沉陷量測與各預估模式計算值之比較



土粒不可壓縮、小應變等)與垃圾特性不符。質流模式之優點為模式之參數具物理意義。迴歸函數之最大優點為方程式計算簡單，然適用性較差，及參數缺乏物理意義，為其缺點。

為探討前述三種模式應用於預估垃圾掩埋場沉陷量之適用性，遂選取四個垃圾掩埋場之沉陷紀錄(包括現地觀測及現地掩埋試驗)進行分析。各垃圾掩埋場之沉陷紀錄分別以土壤壓密理論模式、質流模式及級數函數三種預估方法進行參數迴歸。

比較現地沉陷量測值與各預估模式計算值，如圖四所示，可得幾點初步結論：

1. 土壤壓密理論模式初期之預估值與量測值極為接近。然因模式特性，長期沉陷計算值並不會趨於一穩定值，此與實際情況下，垃圾掩埋場長期沉陷會趨向穩定之行為不符。此模式之參數決定簡單，但有時生物分解開始時間(轉折處)不易決定。
2. 質流模式之計算值亦與量測值頗為接近，顯示模式沉陷預估效果良好，而模式計算值隨時間會趨於一定值，故模式合理。然當沉陷觀測時間不足

時(圖四之(a)及(b))，模式計算值會快速趨一定值，導致長期沉陷量明顯低估；另當沉陷曲線有一明顯轉折時(圖四之(c))，初期模式預估值誤差較大。而迴歸時，資料趨勢有時極不明顯，導致參數決定不易。

3. 級數函數在沉陷觀測時間內，其計算值亦與量測值頗為接近，然因級數函數之特性，致長期之預估值明顯高估，且會有不合理之沉陷值(沉陷高過100%)。另當沉陷曲線有一明顯轉折時(圖四之(c))，模式預估效果亦較差。
4. 當沉陷觀測時間不足時(沉陷曲線未到生物分解沉陷階段，或雖已到生物分解沉陷階段，但趨勢尚不明顯)，此時除導致迴歸參數不易決定外，更可能造成模式預估值誤差大幅增加(圖四之(a))。由圖三可知生物分解沉陷開始時間大部分在堆積時間為2-4年，故如欲得到一較佳之沉陷預估值，觀測時間須超過生物分解沉陷開始(曲線轉折)一段時間，一般至少約需3-4年。

### (三) 垃圾掩埋場沈陷預估模式之初步推導

由前述分析比較，可知現有垃圾掩埋場沈陷預估模式雖多，但大部份皆缺乏直接描述垃圾材料主要特性生物分解作用之參數，故模式內參數並無法直接清楚地反映出實際垃圾掩埋場之特性(包括垃圾種類與組成、掩埋操作方式、環境狀況)，因此在實際應用上，難由垃圾掩埋場實際情況選取適當之參數，進行沈陷預估。為改進上述現有垃圾沈陷預估模式之缺點，本研究由掩埋場中氣體質量平衡出發，考慮垃圾材料生物分解作用，再由部份飽和土壤壓密理論推導之組成律，考慮垃圾材料之特性及垃圾掩埋場實際現況，推導出垃圾掩埋場中超額孔隙氣壓隨時間及深度分布之控制方程式：

$$\frac{\partial U_a}{\partial t} = A \frac{\partial^2 U_a}{\partial y^2} + B e^{-kt} \quad (1)$$

其中：

$$A = \frac{D_a RT}{\omega_a (P m_{1k}^a - (1-S)n)}$$

$$B = \frac{(\omega_b - \omega_a) RT M_o k}{m_{1k}^a \omega_a \omega_b V_o P - V_a \omega_a \omega_b (1-S)n}$$

式中， $U_a$ ：超額孔隙氣壓、 $k$ ：有機物分解速率常數、 $D_a$ ：空氣傳導係數、 $R$ ：氣體常數、 $T$ ：絕對溫度、 $\omega_a, \omega_b$ ：分別為單位莫爾數所含之原有氣體質量及生成氣體質量、 $M_o$ ：可分解有機



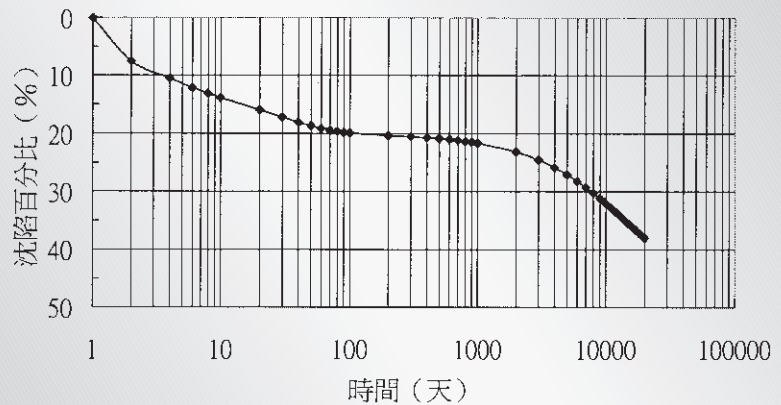
物之初始質量、 $m_{1k}^a$ ：氣體之體積變化係數、 $V_o, V_a$ ：分別為初始總體積及氣體體積、 $P$ ：空氣壓力、 $S$ ：飽和度、 $n$ ：孔隙率。

將邊界條件及初始條件代入式(1)即可得垃圾掩埋場中超額孔隙氣壓隨時間及深度之變化關係，而後由部分飽和材料組成律關係，求得氣體所佔總體積的百分比，再經由簡單的換算，最後即可得到隨時間變化下垃圾場的壓縮沈陷量。

為驗證本研究所推導之沈陷預估模式之合理性，遂進行垃圾掩埋場沈陷行為之模擬，模擬時模式內參數選取一般典型值，模式所得之沈陷量之歷時曲線，如圖五所示，此與由現地觀察得之典型沈陷曲線極為相似，顯示此模式可極為合理描述垃圾掩埋場之沈陷行為。

#### 四、結論

垃圾掩埋場沈陷行為複雜，不同階段之沈陷機制、沈陷速率及其影響因素皆有所不同。現有之垃圾掩埋場沈陷預估模式雖各有其優點，但大部份皆缺乏直接描述垃圾材料主要特性---生物分解作用之參數，故模式內參數並無法直接清楚地反映出實際垃圾掩埋場之特性（包



圖五 預估模式模擬之垃圾掩埋場沉陷歷時曲線

括垃圾種類與組成、掩埋操作方式、環境狀況)，因此在實際應用上，難由垃圾掩埋場實際情況選取適當之參數，進行沈陷預估。

本研究推導出由產氣之觀點來預估垃圾掩埋場沈陷量之理論模式，由模擬結果顯示此模式可合理描述垃圾掩埋場之沉陷行為。

#### 作者簡介



#### 劉家男

國立暨南國際大學土木工程學系助理教授

美國德州奧斯汀大學大地工程博士  
專長：環境地工；邊坡穩定；可靠度分析

電話：(049)2918084

傳真：(049)2918084



#### 陳榮河

國立台灣大學土木工程學系教授

美國普渡大學土木工程博士

專長：邊坡穩定；土石流；加勁土壤結構；生態工法；環境地工技術

電話：(02)23629851

傳真：(02)23629851

#### 陳國賢

國立台灣大學土木工程學系博士生