

可變形粒子的沉降與壓榨機構之研究

Study on settling and expression mechanisms of deformable particles

國科會計劃編號：NSC88-2214-E-0C2-026

執行期限：87/08/01 ~ 88/07/31

主持人：李篤中 國立臺灣大學化學工程學系 教授

一、中文摘要 (關鍵詞: 直立式斷層掃描儀、重力沉降、絮凝調理、表面無應力濃度、組成方程式) 本研究以 CATSCAN (直立式斷層掃描儀) 觀察陽離子型高分子絮凝球土泥漿之重力沉降行為，藉此求得沉降過程中固體濃度對時間與空間之變化，並探討絮凝調理對沉降速度、沉積層孔隙度、滲透率、表面無應力濃度等指標的影響，再進而對組成方程式裡的實驗參數 (壓縮性係數) 進行估算。

ABSTRACT (Keyword: CATSCAN, gravitational setting, flocculation, null-stress solidosity, constitutive equation) In this study, gravitational settling of flocculated clay slurries were analyzed with CATSCAN. The relation between solid concentration of clay and height/time could be obtained, and the influences of flocculation to the settling velocity, permeability, or null-stress solidosity were revealed. Parameters in constitutive equations were estimated consequently.

二、計劃緣由與目的

重力沉降過程通常會同時發生總體沉降與沉積層形成兩種現象。若能有效取得粒子的沉降速度、固體濃度的變化與分佈、沉積層高度與局部滲透率的變化等資料，對於沉降器或增稠器的設計會有相當大的幫助。實際上這些數據並不易直接量得，多僅透過理論分析 (如 Kynch 理論) 間接估算。在本研究中，藉由美國休士頓大學化工系之 CATSCAN (直立式斷層掃描儀) 此一設備 (Tiller et al., 1989)，可即時量測得固體濃度對時間與位置的變化；透過進一步的數據處理，可得知粒子沉降速度變化與沉積層之堆砌狀態。此將有

助於了解在對泥漿施予陽離子型絮凝調理後，整個重力沉降過程所產生的影響，而更進一步了解絮凝作用之機制。

三、實驗方法 粉體與絮凝調理

本實驗中所採用之粉體樣品為英國球土，購自臺灣晉榮公司，其平均粒徑為 $4.1 \mu\text{m}$ ，固體密度為 2584 kg/m^3 ，固體濃度配為 5 wt% (體積比例為 0.02)。在此所使用之陽離子型高分子絮凝劑為由台灣開廣公司所提供的 T-3052，主要成份為陽離子型聚丙烯醯氨 (cationic polyacrylamide)，平均分子量 10^7 g/mole ，電荷密度 20%。將絮凝劑溶液以適當比例加入污泥中，用 200 rpm 快混 5 分鐘，再以 50 rpm 慢混 20 分鐘，使絮凝劑與污泥膠羽間充份作用並產生絮凝。

重力沉降與 CATSCAN 掃描分析

重力沉降實驗進行地點為美國德州休士頓市休士頓大學化學工程學系 CT-Scanner 實驗室。CATSCAN 之掃描大致方式如圖 1 所示。將沉降管與待觀測樣品置於掃描儀正中央的升降臺上，調整高度，進行掃描，訊號送至影像處理器處理後求得無因次吸收度 (CT 數)，再透過其與固體濃度間之已知校正關係 (見圖 2)，可得知沉降管內某一高度某一時間球土泥漿的固體濃度。詳細之設備與操作過程可見朱敬平 (1999)。

四、結果與討論

圖 3 與 4 分別為原始與絮凝球土泥漿 (絮凝劑量 2 g/kg DS) 在測試開始後 8000 秒內不同高度處固體濃度對時間的變化。對於原始球土泥漿而言 (圖 3)，各處的固體濃度變化緩慢，沉降速度甚低。而最上層液體的濁度仍然偏高，沒有明

顯上澄液層的出現，底部則開始形成高度壓密的沉積層 (sediment)，中間的懸浮液層濃度大致保持在 ϕ_{s0} (0.02)。而球土泥漿在絮凝過後各處固體濃度改變迅速 (圖 4)，幾乎在 1000 秒前後即達到平衡值；6 cm 以上濃度陡降至 0，底部濃度則快速增加，但其所能達到的固體濃度顯然較低；兩者之間顯然並未如圖 3 中存在一濃度維持在 $\phi_{s0} = 0.02$ 處的懸浮液區。

若改以固體濃度對高度作圖，則可以看出上澄液、懸浮液、沉積層等不同區域的變化，如圖 5 與 6 所示。對原始球土泥漿而言 (圖 5)，在 100 秒時就已有沉積層的出現，之上為濃度 ϕ_{s0} 之懸浮液層，17 cm 以上後濃度才開始略為降低；隨著時間的增加，沉積層的濃度與厚度均逐漸提高，中間部份的定濃度懸浮液層範圍則逐漸縮小，濃度也隨著時間與高度降低，無法繼續維持一定濃度；而上澄液層則逐漸出現，但仍不是很明顯。由於沉降性不佳，原始球土泥漿至少需要約 48 小時以上才能達到平衡狀態 (即各處的濃度均不再有明顯變化)；最終平衡的沉積層高度約為 4 cm。當絮凝劑量為 2 g/kg DS 時 (圖 6)，粒子的沉降與懸浮液層的消失十分迅速，在 1000 秒左右幾乎已經沉積層幾乎已經壓密完成，接進最終的平衡狀態；過程中懸浮液層存在時間十分短暫，僅能觀察到沉積層與上澄液兩部份。

為了進一步計算沉積層內固體接觸應力 p_s 與局部滲透率 K 的分佈，在此先將固體濃度相當於 0.0009 處至其下方 1 cm 之間的這段區域定義為「表面」，求取此區域內的平均固體濃度，並定義為表面固體濃度 ε_{s0} (又稱無應力表面濃度，null-stress solidosity)， ε_{s0} 的發生處即為 $p_s = 0$ 時，而其對應高度 l_0 為沉積層高度，平均濃度 $\varepsilon_{s,av}$ 為 $\frac{1}{l_0} \int_0^{l_0} \varepsilon_s dz$ 。在平衡沉積層內，固體接觸應力梯度

可表示為 $\frac{\partial p_s}{\partial z} = -\Delta \rho g \varepsilon_s$ ，因此各處之固體壓力即

為 $p_s = \int_z^0 \left(\frac{\partial p_s}{\partial z} \right) dz$ 。圖 7 為估算結果，可發現 ε_{s0}

隨絮凝劑量而降低，沉降層高度 l_0 隨劑量增加，平均濃度 $\varepsilon_{s,av}$ 則是降低，而底部之壓密壓力 $p_s|_{z=0}$ 則在絮凝後約略增加，但其值甚小，僅約 60 Pa；值得注意的是 ε_{s0} 在絮凝過後變得十分接近甚至低

於 ϕ_{s0} ，代表沉降一開始後泥漿即以沉積層壓縮 (sediment compression) 或總體沉降 (zone settling) 的方式進行 (因沉降層表面的濃度即為原始固體濃度)，使得懸浮液層幾乎不曾出現。

藉由以上的實驗數據，可進一步估算組成方程式 (Tiller and Leu, 1980) 中的壓縮性係數：

$$\left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_{s0}} \right)^{\frac{1}{\beta}} = \left(\frac{K}{K_0} \right)^{-\frac{1}{\delta}} = \left(\frac{\alpha_l}{\alpha_{l_0}} \right)^{\frac{1}{n_l}} = 1 + \frac{p_s}{p_a} \quad \text{式(1)}$$

其中 β 與 p_a 可由圖 8 中 ε_s 對 p_s 之變化曲線迴歸求

出。而局部滲透率 K 可表示為 $\frac{-\mu u_s}{\Delta \rho g \varepsilon_s + \left(\frac{\partial p_s}{\partial z} \right)_l}$ ，

其中 u_s 為某一定量體積的固體層移動的速度；結果如圖 9 與 10 所示；若單獨就沉降初期數據所求得的结果而言，絮凝過後之泥漿其 K_0 增加了一個數量級以上 (自 10^{-11} 增至 10^{-9} m^2)，這也與一般所知在絮凝後濾餅或沉積層變得疏鬆的現象相符。方程式的參數估算結果則如表 1 所示。

五、結論

綜合以上結果可發現：原始球土泥漿的沉降性差，但堆積而成的沉積層壓密性甚高；絮凝過後球土凝聚體的表面電荷獲得中和，粒徑沉降速度大幅增加，而堆砌成疏鬆、濃度較低、壓密性較差的沉積層。 ε_{s0} 等參數的估算則可以反應出整個沉降型態的不同，從絮凝後固體速度等數據可以得知，在過濾程序中，粒子的沉降的發生可能較過濾本身 (濾液通過濾餅) 更快，因此會對過濾造成相當大的影響。

六、參考文獻

朱敬平 (1999) 污泥膠羽結構、脫水性、水份分佈、與熱分解特性之研究。國立臺灣大學化學工程研究所碩士論文，臺北。

Tiller, F. M. and Leu W. F. (1980) Basic data fitting in filtration. *J. Chinese Inst. Chem. Eng.*, 11, 61.

Tiller, F. M., Hsyung, N. B. and Coffelt, N. L. (1989) CATSCAN analysis of sedimentation. *Proc. on Filtration and Separation in the Oil and Gas Industries*, Oct. 30 - Nov. 1, Houston, Texas, American Filtration Society, USA, p.1.

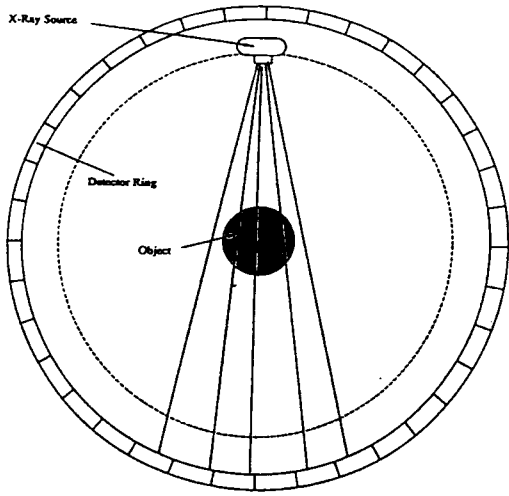


圖 1 CATSCAN 對樣品的掃描

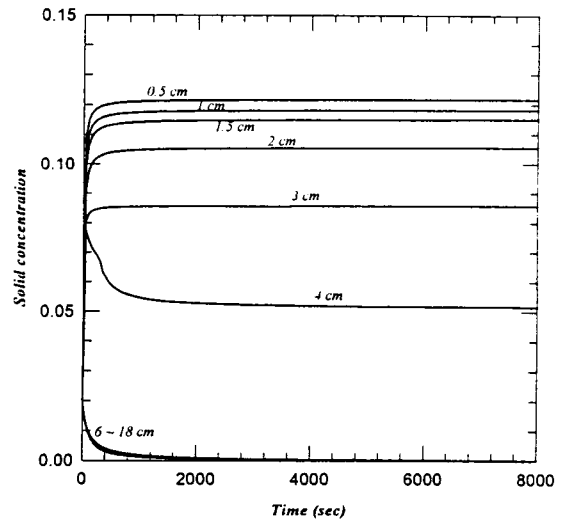


圖 4 絮凝球土泥漿固體濃度對時間的變化

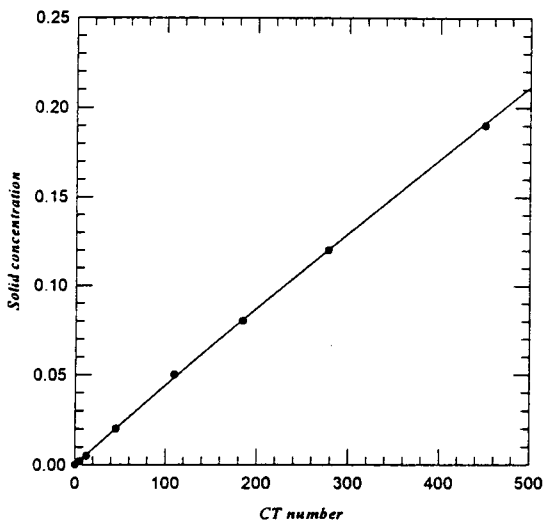


圖 2 球土固體濃度與 CT 數之間的關係

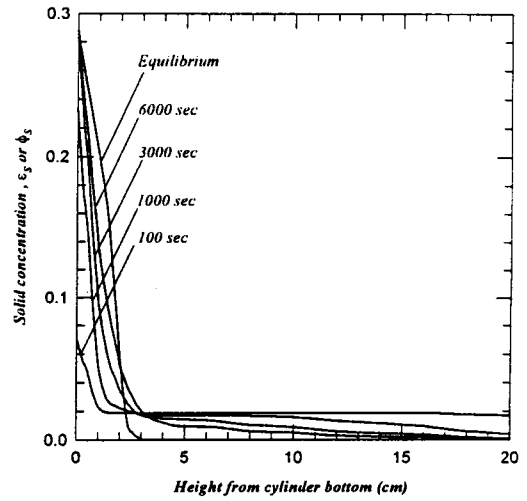


圖 5 原始球土泥漿固體濃度對高度的變化

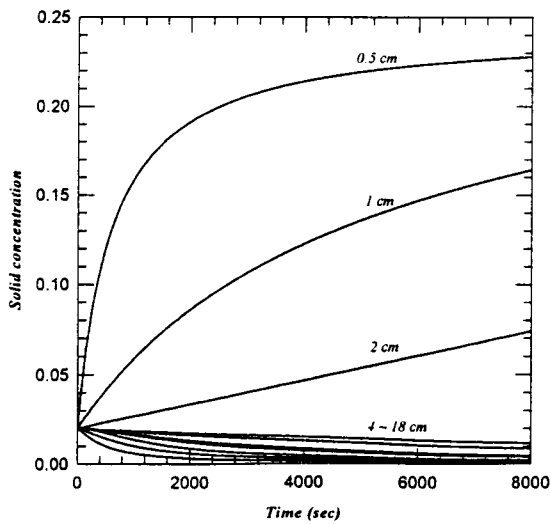


圖 3 原始球土泥漿固體濃度對時間變化

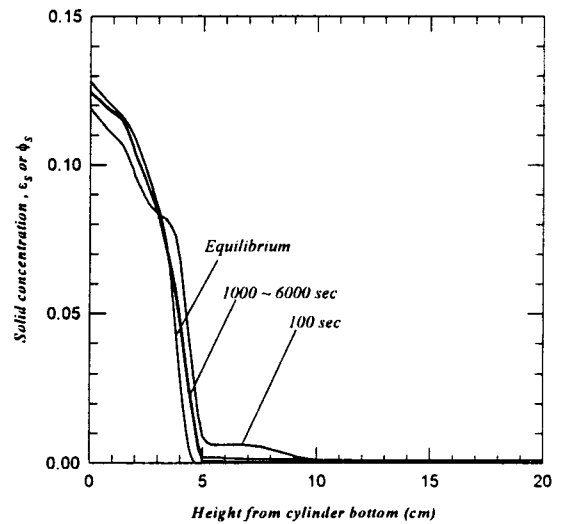


圖 6 絮凝球土泥漿固體濃度對高度的變化

表 1 球土泥漿壓縮性係數對絮凝劑量的變化

絮凝劑量 (g/kg DS)	p_a (Pa)	ϵ_{S0}	β	$K_0, initial$ (m^2)	$\delta, initial$	α_{10} (m^{-2})	n_1
0	1.22	0.079	0.33	$1.16 \cdot 10^{-11}$	0.49	$1.09 \cdot 10^{12}$	0.16
0.5	0.50	0.058	0.17	$6.31 \cdot 10^{-11}$	0.81	$2.73 \cdot 10^{12}$	0.64
2	0.41	0.045	0.21	$1.50 \cdot 10^{-9}$	0.75	$1.48 \cdot 10^{10}$	0.54
4	0.97	0.048	0.24	$2.82 \cdot 10^{-9}$	1.50	$7.38 \cdot 10^9$	1.26

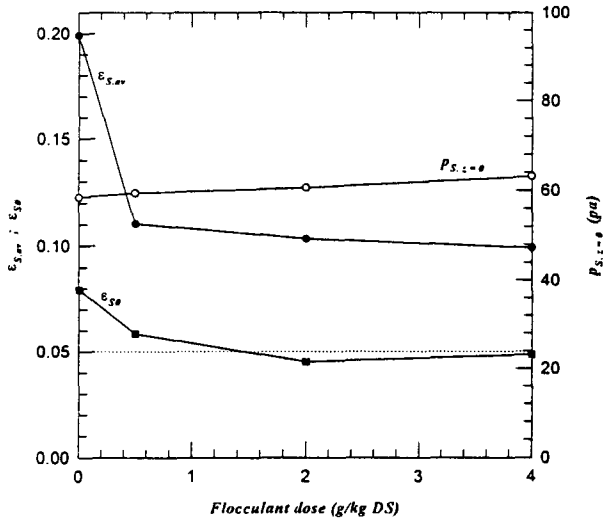


圖 7 絮凝前後球土泥漿最終平衡沉積層固體濃度對高度的變化

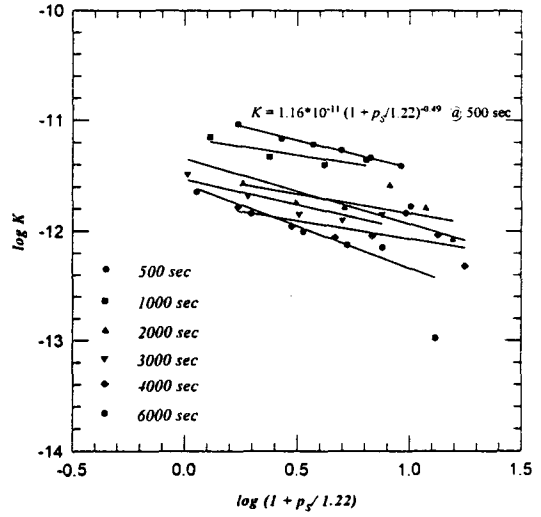


圖 9 K_0 與 δ 的估算 (原始球土泥漿)

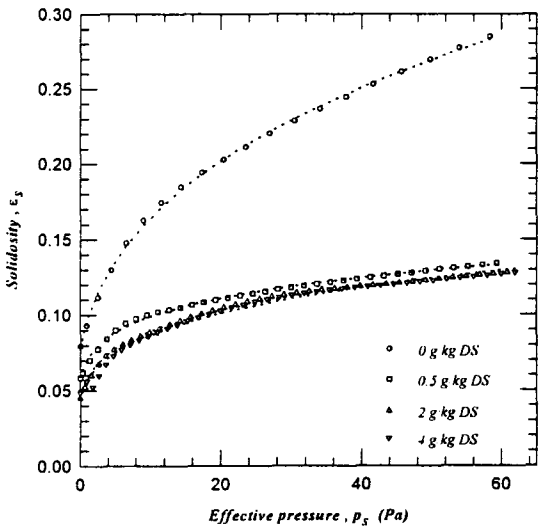


圖 8 絮凝前後球土泥漿沉積層內固體濃度對固體壓力的變化

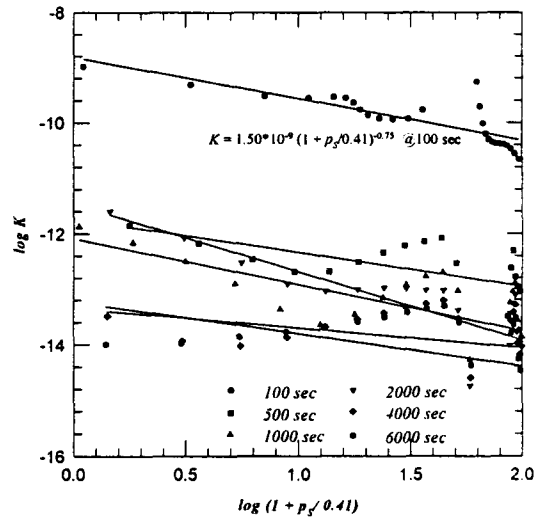


圖 10 K_0 與 δ 的估算 (絮凝球土泥漿)