

# 水文地質物理研究室

羅偉誠 教授

## 多相流體在可變形孔隙介質中 流動與傳輸模式

多相流體經由可變形孔隙介質傳輸之數學模式，對於地下水文學之工程應用是非常重要的，其應用於許多不同的領域上。如，探測地下廢棄污染物、石油產量的增採、地下水整治和地質結構與未壓密土壤材質中之地震現象。此模式主要展現在包含可壓縮、黏滯流體中，根據熱力學行為之線性動量平衡的物理了解。此行為依賴各別相的熱力學行為特性與其因相互間之交互作用而存在的互制行為(coupling)。多相連體力學(continuum mechanics of mixtures)從巨觀的觀點提供一個嚴謹的理論方法來描述多相系統。雖然，互制機制在混合理論(mixture theory)已經成功地被表現，但適用於模擬所須之本構係數仍然是缺乏的。此外，目前在巨觀尺度下描述相與相之間的交界面特性和熱動力學過程之本構關係，僅根據一個概念性的描述而非熱動力學原則之物理限制。如此，不等熵平衡關係需要詳盡地考慮和相與相之間交界面影響有關的熱動力學勢能與飽和度。為了處理這些問題，建立在可變形孔隙介質中，多相流體流動與傳輸之理論。[參考文獻1]

### 動量守恆方程式

$$\rho_{\xi} \theta_{\xi} \frac{D^s \bar{v}_{\xi}}{Dt} + \theta_{\xi} \bar{\nabla} p_{\xi} - \bar{\nabla} \cdot (\lambda_{\xi} d_{\xi} \bar{\delta} + 2\mu_{\xi} \bar{d}_{\xi}) - \rho_{\xi} \theta_{\xi} \bar{g} - \sum_{\beta=1}^2 \bar{R}_{\xi\beta} \cdot \bar{v}_{\beta s} - \sum_{\beta=1}^2 \bar{A}_{\xi\beta} \cdot \bar{a}_{\beta s} - \sum_{\alpha}^{s,1,2} \bar{\Pi}_{\xi\alpha} \cdot \bar{\nabla} T_{\alpha} = \bar{0} \quad (\xi=1,2)$$

$$\rho_s \theta_s \frac{D^s \bar{v}_s}{Dt} - \bar{\nabla} \cdot \bar{t}_s - \rho_s \theta_s \bar{g} + \sum_{\xi=1}^2 p_{\xi} \bar{\nabla} \theta_{\xi} + \sum_{\xi=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 \bar{R}_{\xi\beta} \cdot \bar{v}_{\beta s} + \sum_{\xi=1}^2 \sum_{\beta=1}^2 \bar{A}_{\xi\beta} \cdot \bar{a}_{\beta s} + \sum_{\xi=1}^2 \sum_{\alpha}^{s,1,2} \bar{\Pi}_{\xi\alpha} \cdot \bar{\nabla} T_{\alpha} = \bar{0}$$

### 符號表

$\bar{A}_{\xi\beta}$	慣性互制行為參數	$\bar{d}_{\xi}$	$\xi$ 相之體積應變率;	$\bar{d}_{\xi}$	$\xi$ 相之體積變形率張量
$d_{\xi}$	$\xi$ 相之體積應變率;	$\bar{g}$	重力加速度;	$p_{\xi}$	流體 $\xi$ 相之壓力
$\bar{R}_{\xi\beta}$	黏滯互制行為參數	$T_{\alpha}$	$\alpha$ 相溫度;	$\bar{t}_s$	固體相應力張量
$T_{\alpha}$	$\alpha$ 相溫度;	$v_{\alpha}$	$\alpha$ 相速度	$\theta_{\alpha}$	$\alpha$ 相體積分量
$v_{\alpha}$	$\alpha$ 相速度	$\lambda_{\xi}$	和 $\mu_{\xi}$	是 $\xi$ 相的巨觀黏滯參數	
$\theta_{\alpha}$	$\alpha$ 相體積分量	$\bar{\Pi}_{1\alpha}$	和 $\bar{\Pi}_{2\alpha}$	是熱轉換的本構常數	
$\lambda_{\xi}$	和 $\mu_{\xi}$	$\rho_{\alpha}$	$\alpha$ 相密度 (單位體積之質量)		

### 參考文獻

- [1] Lo, W. C., G. Sposito, and E. Majer, (2002). Immiscible two-phase fluid flows in deformable porous media, *Advances in Water Resources*, (Invited, Special Issue - 25 Years of Advances in Water Resources), 25 (8-12), 1105-1117.
- [2] Lo, W. C., C. L. Yeh, and C. T. Tsai, (2007). Effect of soil texture on the propagation and attenuation of acoustic wave at unsaturated conditions, *Journal of Hydrology*, 338, 273-284.

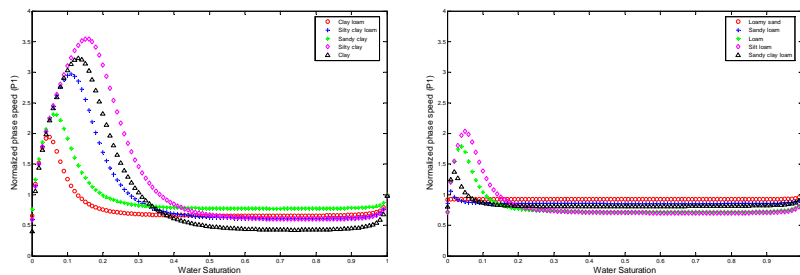
All research works are teamed by



## 在淺地層中 水文地質參數之地震波量測

精確地反映地表下水文地質參數，如，滲透率、孔隙率和流體飽和度，並藉此具體的描述地表下流體流動和分布是很重要的。這些參數通常都由井試驗或鑽探樣本量測或推論得到。然而，從井試驗資料得到之結果可能不甚精確且容易令人誤解。傳統上，鑽探樣本只從局部的水文地質資料獲得，且為侵入性開挖的方式。如此會擾動現地環境，更甚至於會使得污染物移動到未污染的區域，而擴大污染的面積。於是，彈性波傳遞波速和衰減變化可以提供定性的線索去探討地表下之物理特性，而被廣泛地認同。我們發展一個通用性的孔彈性數學模式來分析未飽和孔隙介質中膨脹波之運動。並數值模擬探討在包含不同流體混合之土壤介質中，其水力及彈性參數會影響不同彈性波模式(與刺激頻率和流體飽和度成函數關係)之波速和衰減係數。在理論與數值發展的同時，實驗室將執行試驗來驗證理論的預測。控制彈性波經過包含流體孔隙介質傳遞和衰減物理機制之了解，其應用在地震波刺激地下水整治和石油開採等新興技術也是相當重要的。[參考文獻2]

### 10種土壤質地之P1波正規化波速 (壤質砂土、砂質壤土、壤土、粉質壤土、砂質黏壤土、黏質壤土、粉質黏壤土、砂質黏土、粉質黏土、和黏土)



## 地下水整治和石油增採之聲波刺激技術

