

節理岩體滲透係數先天異向性及應力引致異向性對岩坡穩定性之影響

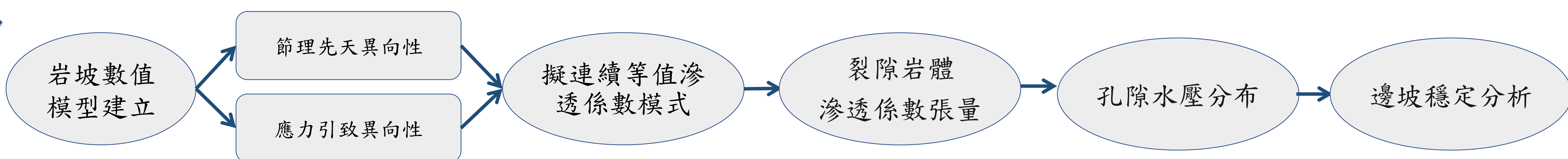
劉佳怡^{1*}、董家鈞¹、涂家輝¹

^{1*}國立中央大學應用地質研究所 (tina94020188@gmail.com)

摘要

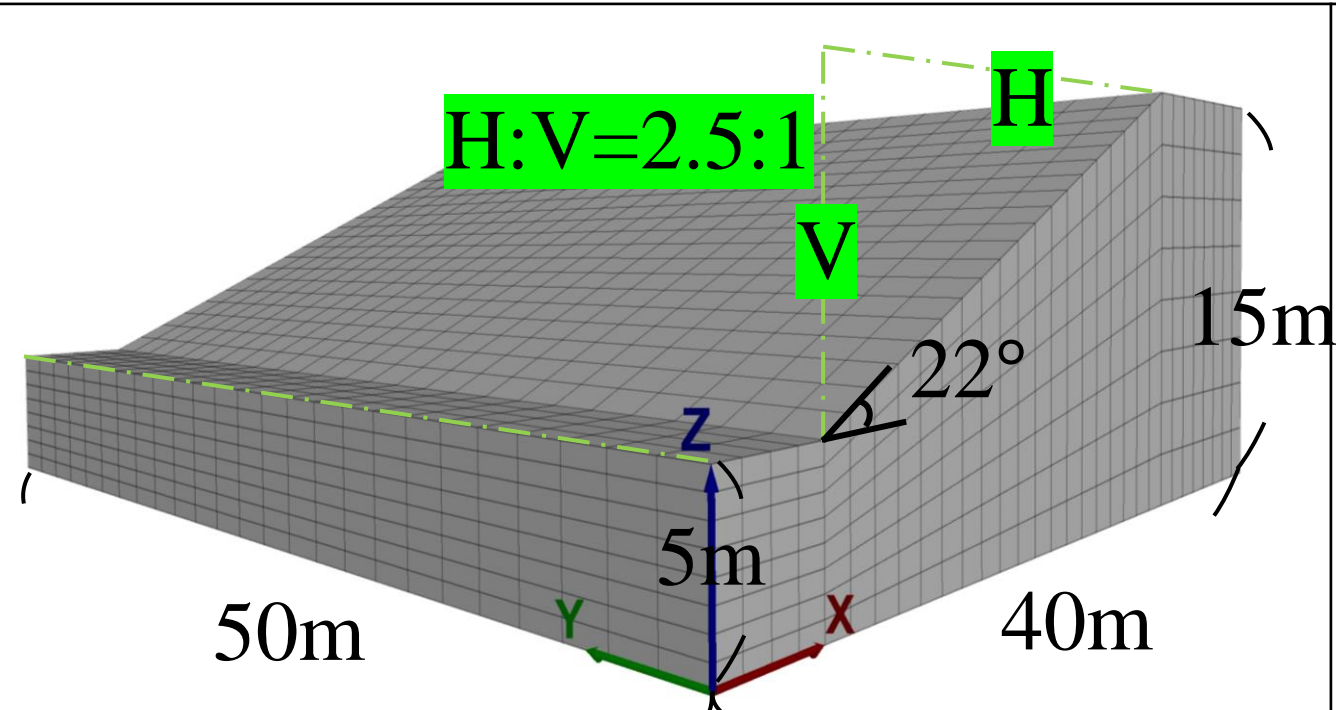
針對屬於裂隙介質之節理岩體所形成之岩石邊坡，其節理所形成之複雜網路往往是地下水流之重要通道，因此節理之分佈特性對岩石邊坡地下水滲流系統之影響需被進一步探討。本研究使用FLAC3D建立一岩石邊坡模型，參考Oda(1985)所提出之擬連續體模式及鄭允嘉(2006)之結果考慮節理先天異向性以及應力引致異向性計算等值滲透係數張量，再將計算結果代入至模型經滲流分析得到岩坡數值模型之穩態孔隙水壓分佈，最後利用剪力強度折減法進行邊坡穩定分析探討受節理特性影響之滲流異向性對岩石邊坡穩定性之影響。研究結果顯示，分析條件為均向應力下，當平行坡面之節理數量明顯多於垂直坡面之節理數量時，相較於節理均向分佈情況，節理之先天異向性會影響地下水流方向使邊坡中孔隙水壓值有相對差異-28%，進而影響後續邊坡穩定分析之安全係數；另外，在分析條件為節理均向分佈情況下，當最大主應力平行於坡面且明顯大於垂直於坡面之最小主應力時，會對平行於坡面之節理產生影響，使得地下水流傾向流動於平行坡面方向，與均向應力分佈情形相比孔隙水壓值有相對差異-6%，顯示應力引致滲流異向性會影響到邊坡孔隙水壓的分佈情形。綜合各分析條件之結果，本研究探討節理特性對節理岩體滲透係數張量的影響，進而影響岩石邊坡之滲流系統，導致岩石邊坡穩定性受到影響，因此未來於岩石邊坡穩定性分析時，建議考慮節理特性對地下水滲流系統之影響。

研究流程



岩坡數值模型建立

本研究利用FLAC3D創建一坡度約22°之三維岩石邊坡模型。模型之材料遵循莫爾庫倫定律並參考木山層砂岩之岩石直剪試驗結果，透過滲流分析得到邊坡模型孔隙水壓分佈及力學分析進行邊坡穩定分析以及。



材料特性	值	材料特性	值	材料特性	值
乾單位重	18.93 (kN/m ³)	波松比, ν	0.3	內聚力, c	17.5 (kPa)
楊氏係數, E	200 (MPa)	摩擦角, ϕ	22.5°	側向岩壓係數 \bar{K} (陳錦清等人, 1994)	1.1

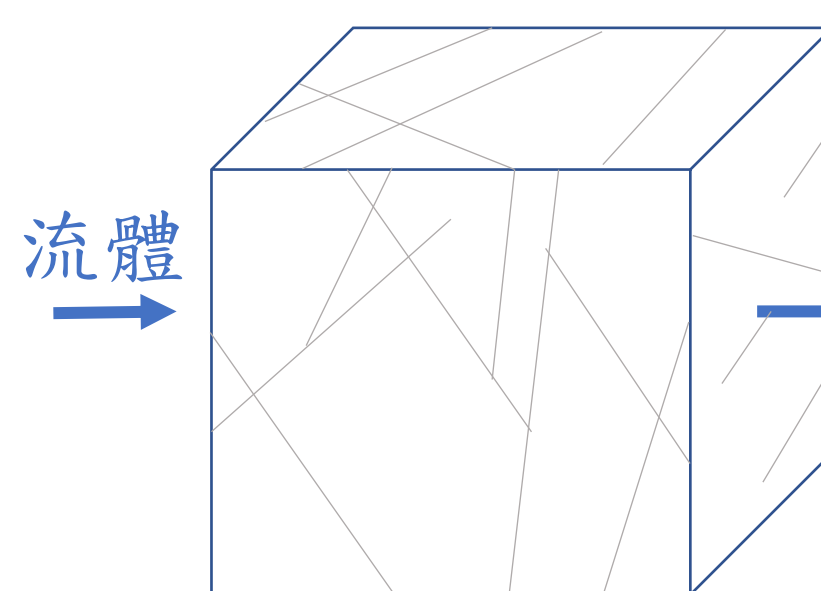
表1. 模型之力學參數

流體特性	值
流體體積模數, K_f	10 (kPa)
孔隙率, n	0.3
飽和度, S	1

表2. 模型之滲流分析參數

擬連續體模式 (Oda, 1985)

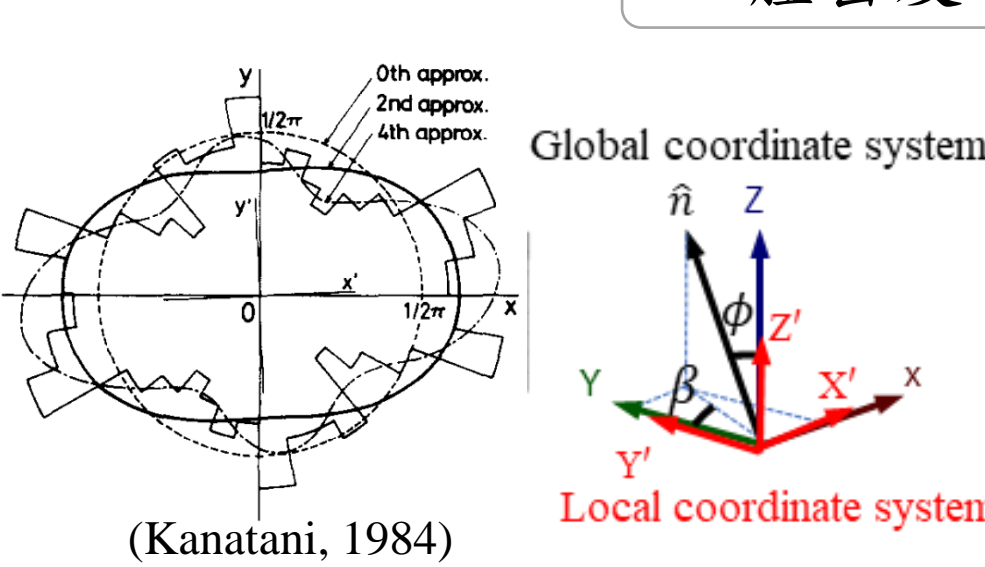
- 假將裂隙岩體視為一均質、異向性介質(V)
- 設岩體本身不透水，流體僅能沿裂隙通道(V^c)流動，並遵循達西定律
- 根據裂隙幾何(\hat{n}, r, t)推導出破裂張量 P_{ij}



$$\bar{v}_i = \frac{1}{V} \int_{V^c} v_i^c dV^c$$

\bar{v}_i = 總視流速, V = 總面積;
 v_i^c = 流經裂隙之視流速, V^c = 裂隙體積

- 裂隙位態 $E(\hat{n})$: $E(\hat{n}) = 1 + D_{ij}n_i n_j$ (以組織張量(D_{Zij})為係數之向量展開以逼近向量分佈資料)
- 裂隙長度 $f(r)$
- 裂隙內寬 $g(t)$: $g(t) = t_0 - \left(\frac{\sigma_n}{K_n}\right)$ (內寬密度函數由正向應力 σ_n 以及正向勁度 K_n 所定義)
- 體密度 ρ

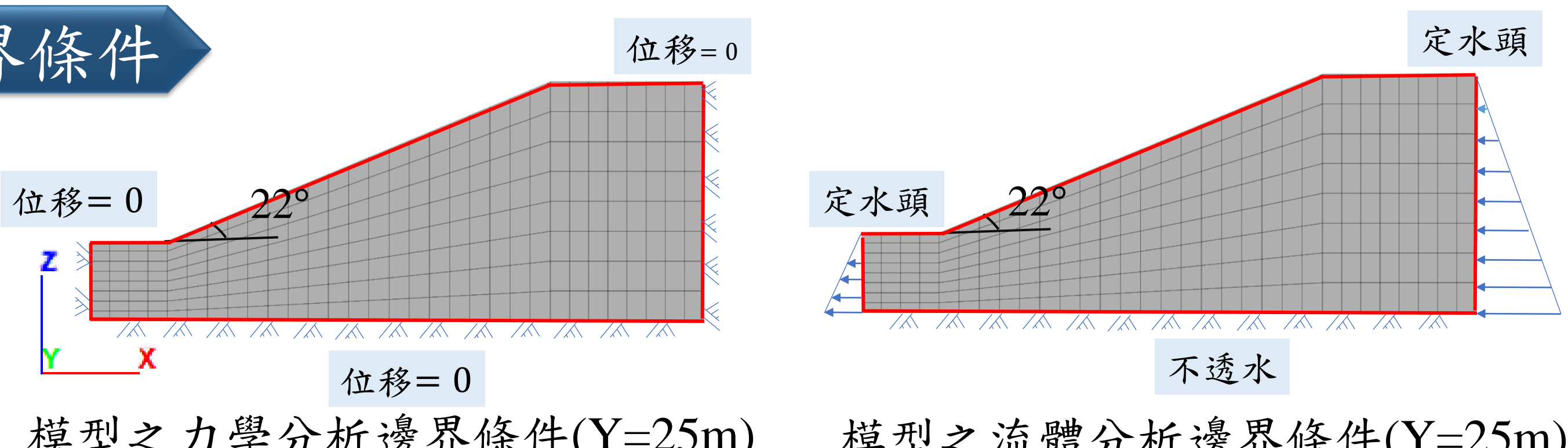


$$P_{ij} = \frac{\pi \rho}{4} \int_0^{t_m} \int_0^{r_m} \int_{\Omega} r^2 t^3 \hat{n}_i \hat{n}_j E(\hat{n}, r, t) d\Omega dr dt$$

$$k_{ij} = \sum \frac{1}{12} (P_{kk} \delta_{ij} - P_{ij})$$

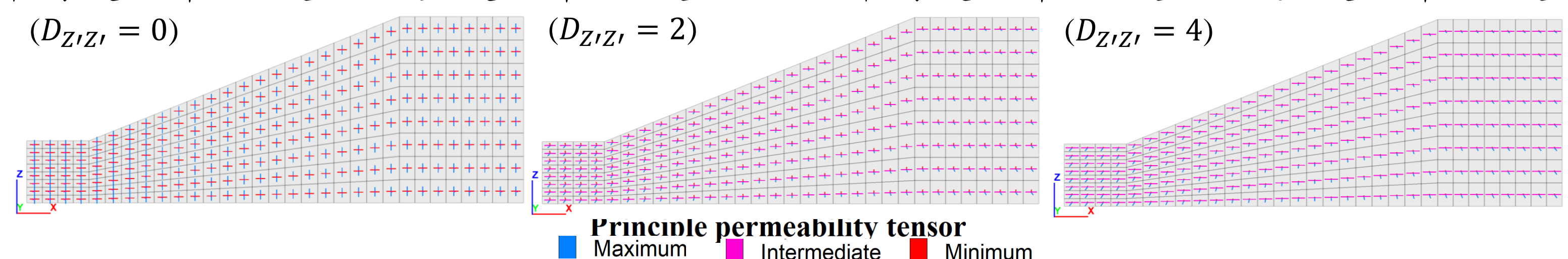
等值滲透係數張量 k_{ij}

邊界條件

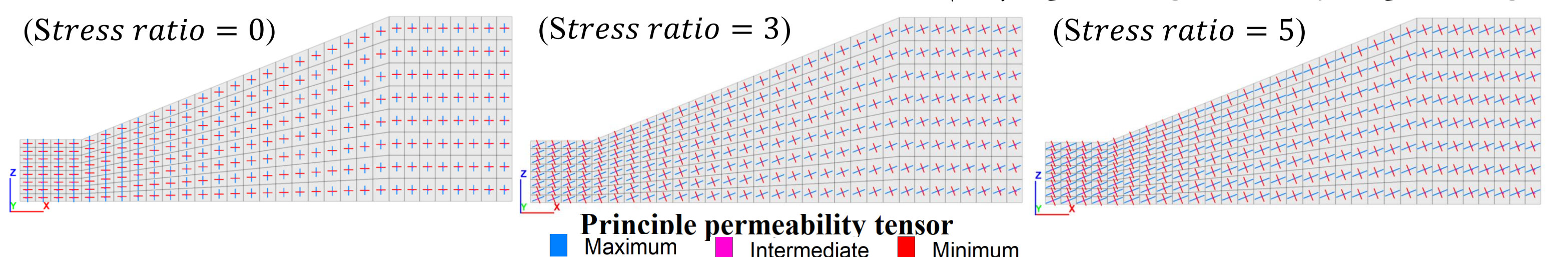


研究結果 I

① 均向應力條件下(0.25MPa)考慮節理先天異向性之滲透係數三個主軸方向
平行坡面節理數量=垂直坡面節理數量 \rightarrow 平行坡面節理數量 \gg 垂直坡面節理數量
($D_{ZiZi} = 0$) ($D_{ZiZi} = 2$) ($D_{ZiZi} = 4$)



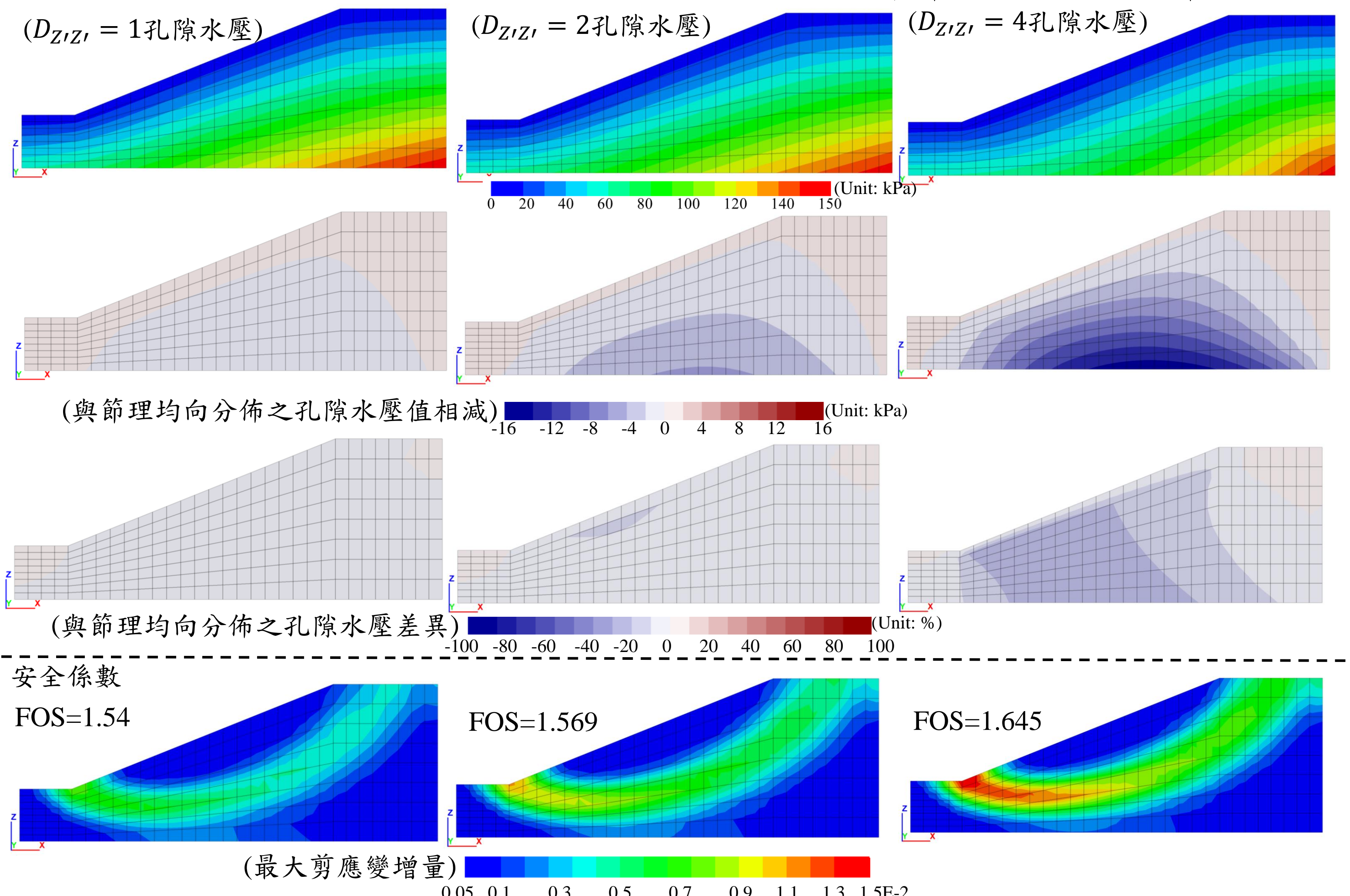
② 節理均向分佈條件下考慮應力異向性之滲透係數三個主軸方向
平行坡面主應力=垂直坡面主應力 \rightarrow 平行坡面主應力 \gg 垂直坡面主應力
(Stress ratio = 0) (Stress ratio = 3) (Stress ratio = 5)



研究結果 II

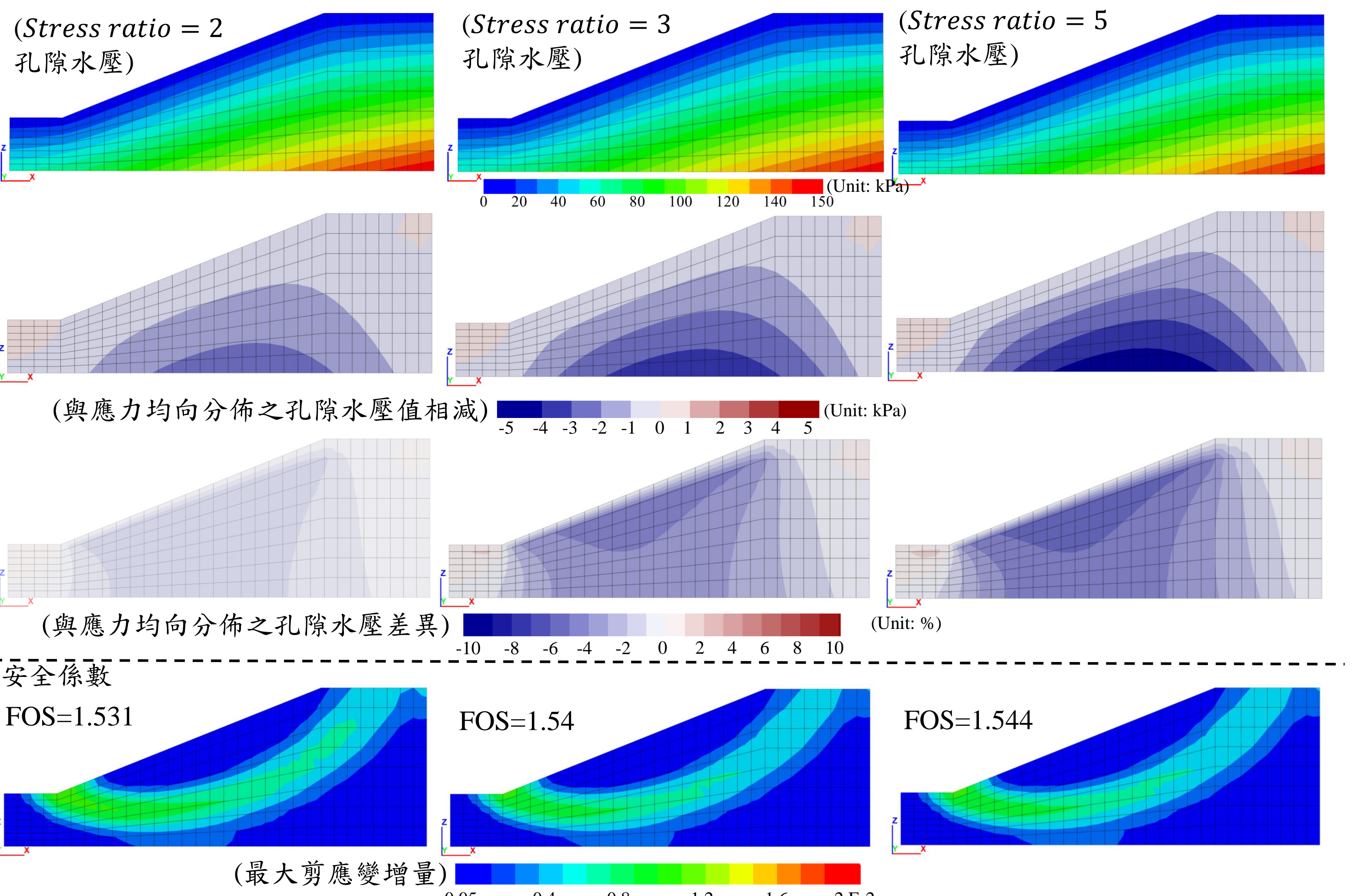
① 均向應力條件下(0.25MPa)考慮節理先天異向性之孔隙水壓差異與安全係數

水平節理數量 $>$ 垂直節理數量 \rightarrow 水平節理數量 \gg 垂直節理數量
($D_{ZiZi} = 1$ 孔隙水壓) ($D_{ZiZi} = 2$ 孔隙水壓) ($D_{ZiZi} = 4$ 孔隙水壓)

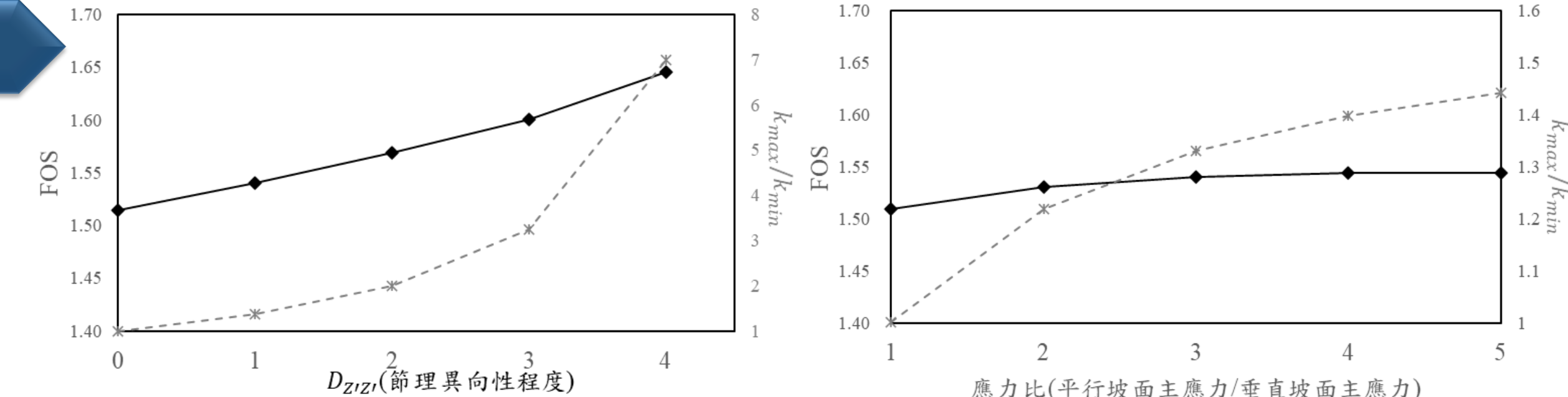


② 節理均向分佈條件下考慮應力異向性之孔隙水壓差異與安全係數

平行坡面主應力 $>$ 垂直坡面主應力 \rightarrow 平行坡面主應力 \gg 垂直坡面主應力
(Stress ratio = 2 孔隙水壓) (Stress ratio = 3 孔隙水壓) (Stress ratio = 5 孔隙水壓)



研究結論



參考文獻

Knatani, K., (1984). Distribution of directional data and fabric tensors. International Journal of Engineering Science, 22(2), 149-164.
Oda, M., (1986). An equivalent continuum model for coupled stress and fluid flow analysis in jointed rock masses. Water Resources Research, 22(13), 1845-1856.
陳錦清、俞旗文, 1994, 坪林隧道沿線水力破裂法現地應力量測, 土工技術, 第46期, 第35-46頁。
鄭允嘉, 2006, 節理岩體滲透係數之先天異向性與應力引致異向性, 國立中央大學應用地質研究所碩士論文。

◆ 於本研究之分析條件下 \rightarrow 節理先天異向性及應力引致之滲透係數異向性影響邊坡穩定性