

第六章 孔內千斤頂之數值模擬

多功能孔內試驗儀為自行研發之儀器，在孔內千斤頂解析的部分尚無可以直接套用的解析公式，所以本研究希望以數值模擬的方式，找出孔內千斤頂數值解析與傍壓儀數值解之應力-應變關係，一旦找出其比例關係，即可用以修正孔內千斤頂的試驗結果，套用擴孔理論的解析方法。

6.1 傍壓儀與孔內千斤頂之差異

孔內千斤頂與傍壓儀皆是用來求得孔洞側壁的變形模數，但是因為有些許不同所以無法直接套用在孔內千斤頂的解析上，以下提出幾點不同之處：

1. 邊界條件：

傍壓儀在膨脹時，由於傍壓儀是由薄膜與孔壁接觸，薄膜本身具有彈性，所以可以完全的與孔壁接觸，使孔壁可以均勻受壓、均勻的變形。但是一般鑽孔的尺寸皆會大於孔內千斤頂裝置的尺寸，且孔內千斤頂是由四塊填充板所構成，其剛性很高無法變形，所以孔內千斤頂在膨脹時，四塊填充板間會有空隙產生，以致於無法與孔壁完全的接觸。

2. 受力狀況：

由於傍壓儀之薄膜有彈性，在膨脹時是呈放射狀的方式向孔壁施加壓力，所以傍壓儀的施力方向與孔壁變形方向是成一直線，但是孔內千斤頂是剛性的，所以施力方向會與變形方向呈一個角度，只有填充板中央的位置與傍壓儀的受力相同。

3. 剪力的存在

由於孔內千斤頂裝置不是呈放射狀的形式施加壓力，所以在填充板與孔壁之間會發生剪力，以致作用力折減。

6.2 傍壓儀數值模擬

本研究之數值模擬是使用 FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) 套裝軟體，採用有限差分的方式分析。

使用 FLAC 分析前必須先決定材料的組合律、邊界條件。Haberfield and Johnston (1990) 指出軟弱岩石屬於非線性的材料且必須被模擬成可膨脹性材料，同時也必須要考慮裂縫之影響，所以採用莫爾-庫倫塑性模式 (Mohr-Coulomb Plasticity model)，其材料組合律的參數包含了：

1. 體積模數 E (elastic bulk modulus)
2. 凝聚力 C (cohesion)
3. 單位重 ρ (mass density)
4. 膨脹角 φ (dilation angle)
5. 摩擦角 ϕ (friction angle)
6. 剪力模數 G (elastic shear modulus)
7. 張力強度 T (tension limit)

而邊界條件是考慮應力-應變的影響範圍，首先必須嘗試不同的邊界條件，在本研究中嘗試以 10 倍、20 倍、30 倍的孔徑視為其影響範圍，而模擬誤差分別為 5%、1.7%、1.3%，在 20 倍孔徑時，數值模擬之解析與擴孔理論的解析解以非常相近時，所以將此邊界視為傍壓儀的最大影響範圍，採用影響範圍為 20 倍的孔徑，如圖 6.1 所示，分析結果如圖 6.2 所示。

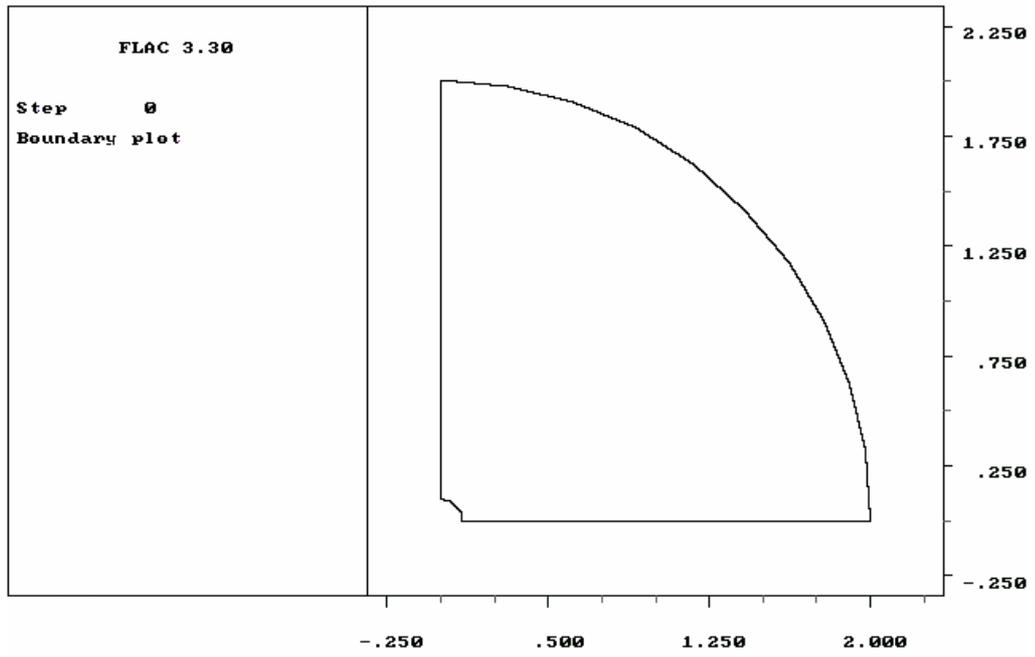


圖 6.1 傍壓儀之邊界條件

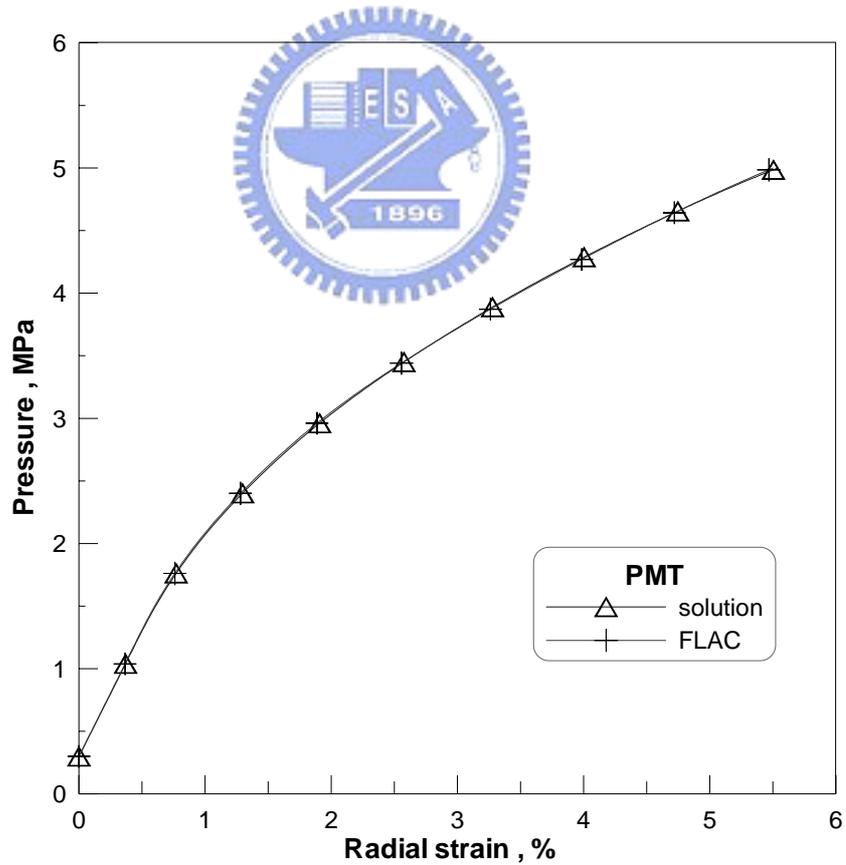


圖 6.2 數值分析與解析解之結果

6.3 孔內千斤頂數值模擬

孔內千斤頂的數值分析在材料的組合率大致與傍壓儀的分析相同，只有在邊界條件上有些許的不同，差異之處為：傍壓儀的壓力是均勻的直接作用在孔壁上，但孔內千斤頂的壓力是先作用在填充板上再傳至孔壁，所以土體之受力條件是不同的，且因為填充板與孔壁間並非一連續體，所以在填充板與孔壁間必須設定一個介面，如圖 6.3 所示，此介面必須設定參數包含了：

1. 正向勁度 K_n (normal stiffness)
2. 剪力勁度 G_n (shear stiffness)
3. 凝聚力 C (cohesion)
4. 摩擦角 ϕ (friction angle)

在使用數值模擬為了簡化問題的複雜性，所以此分析皆是假設土體為均質、等向性、無層面、無節理的材料，所以不考慮正向勁度與剪力勁度的影響，假設為一個定值。軟弱砂岩的凝聚力一般都很低，根據以前的試驗結果顯示此凝聚力會小於岩體本身的凝聚力，所以在介面的凝聚力假設為零。軟弱砂岩的摩擦角皆大於介面的摩擦角，且對岩體強度有著很大的影響，且介面摩擦力行為複雜，根據試驗結果顯示，其介面摩擦角約比岩體本身摩擦角小五度左右。因此分析時假設介面摩擦角小於岩體摩擦角五度，分析結果如圖 6.4 所示。

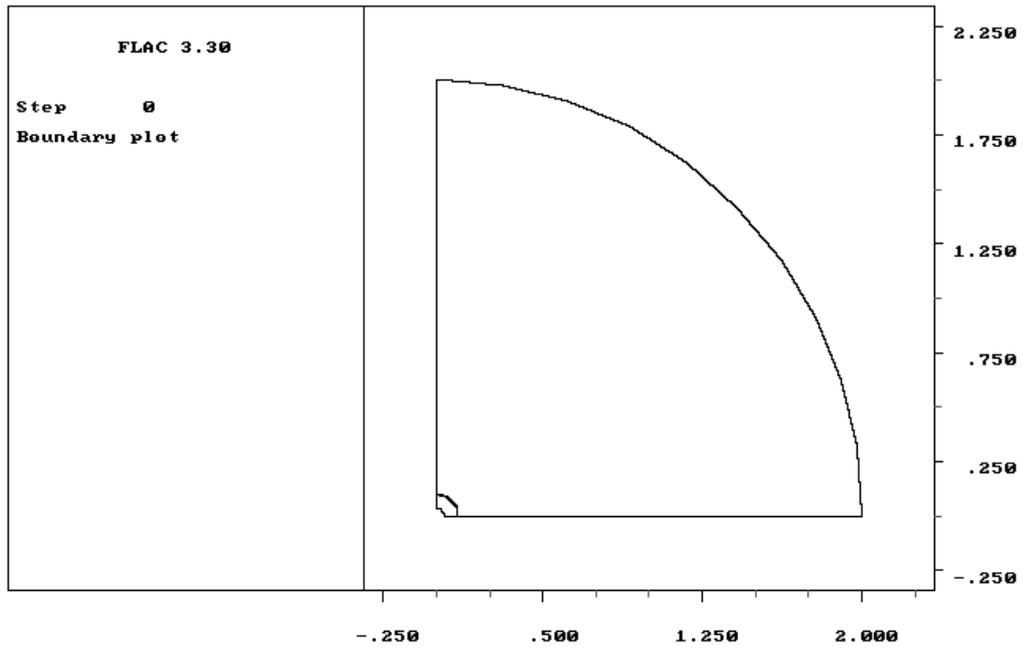


圖 6.3 孔內千斤頂之邊界條件

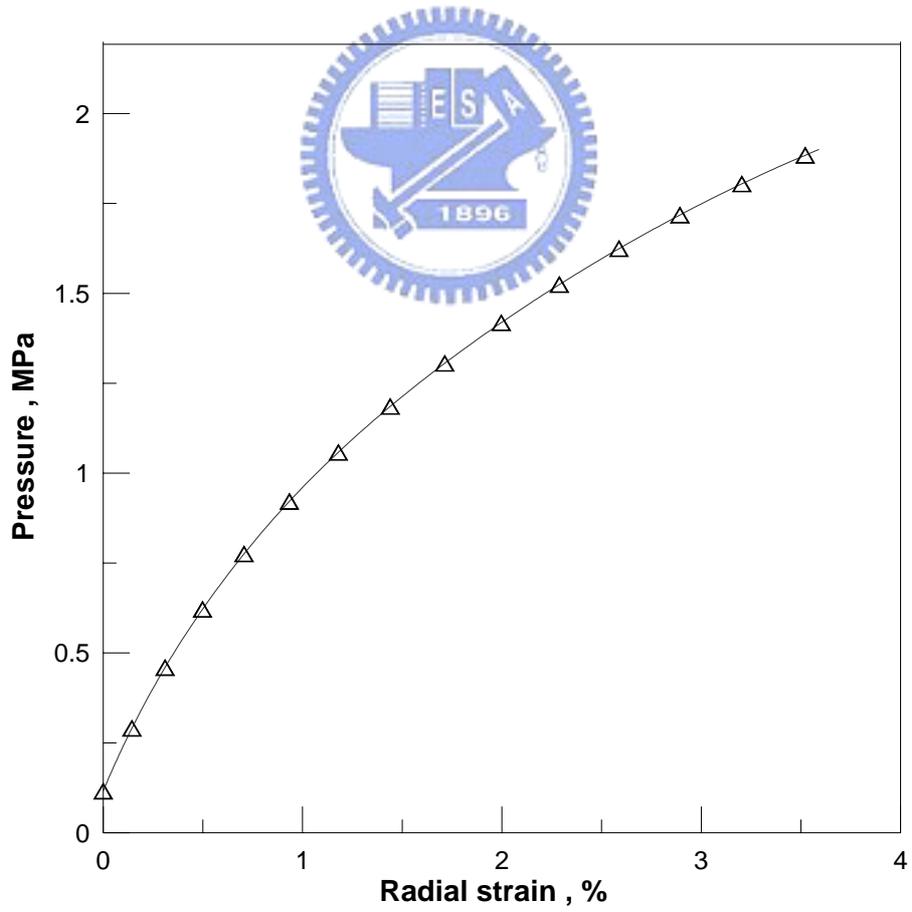


圖 6.4 孔內千斤頂之數值分析結果

6.4 傍壓儀與孔內千斤頂數值模擬之比較

藉由傍壓儀與孔內千斤頂之數值模擬可找出其比例關係，並修正擴孔理論之解析解，套用在孔內千斤頂試驗的結果，以求出軟弱岩石的工程參數。在 $C=0.3\text{MPa}$ 、 $\varphi=10^\circ$ 、 $\psi=35^\circ$ 、 $\nu=0.25$ 、 $G=50\text{MPa}$ 時，可以發現在相同的變形下，孔內千斤頂的壓力乘上一修正係數會與傍壓儀之結果相近，此應力修正係數為 0.85，如圖 6.5 所示。若在相同的參數而 $G=50$ 、100、150MPa 下，其應力的修正係數皆為 0.85，如圖 6.6 所示。

在 $C=0.3\text{MPa}$ 、 $\varphi=10^\circ$ 、 $\psi=40^\circ$ 、 $\nu=0.25$ 、 $G=50$ 、100、150MPa 時，修正係數也是 0.85，如圖 6.7 所示。

在 $C=0.3\text{MPa}$ 、 $\varphi=10^\circ$ 、 $\psi=35^\circ$ 、 $\nu=0.3$ 、0.35 及 $G=50$ 、100、150MPa 時，修正係數約為 0.85，如圖 6.8、6.9 所示。

在 $C=0.3\text{MPa}$ 、 $\varphi=10^\circ$ 、 $\psi=40^\circ$ 、 $\nu=0.3$ 、0.35 及 $G=50$ 、100、150MPa 時，修正係數約為 0.85，如圖 6.10、6.11 所示。

從數值模擬的結果可知道在同樣的剪力模數下，但是在不同的摩擦角作用下，其彈性段的結果差異不大，但是過了降服應力之後，卜松比及摩擦角會影響其結果，其中摩擦角的影響會比卜松比的影響還大，如圖 6.12、6.13、6.14 所示。

Haberfield 和 Johnston(1990)提出軟弱岩石受力時應力-應變在彈性段時，主要是受材料本身的變形模數所主控，在過降服應力後會受強度參數不同而有差異。數值模擬的結果與 Haberfield 和 Johnston(1990)所提的理論相近，若在孔內千斤頂試驗結果的壓力乘上修正係數，在使用擴孔理論的解析應該較為合理。

而此修正係數可視為傍壓儀與孔內千斤頂在邊界條件、受力狀況、剪力的存在，所做的修正。

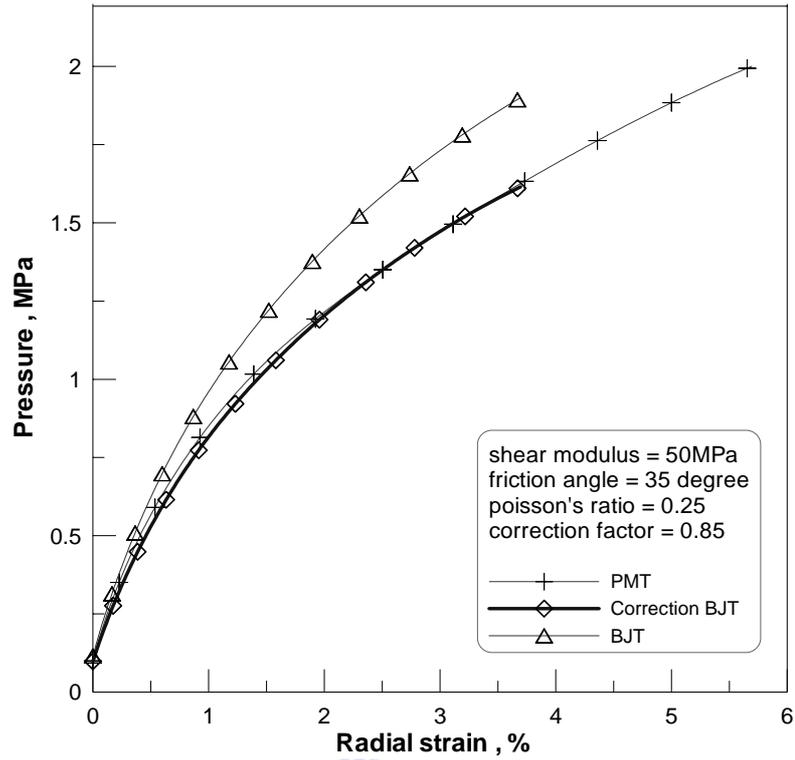


圖 6.5 傍壓儀與孔內千斤頂之結果比較

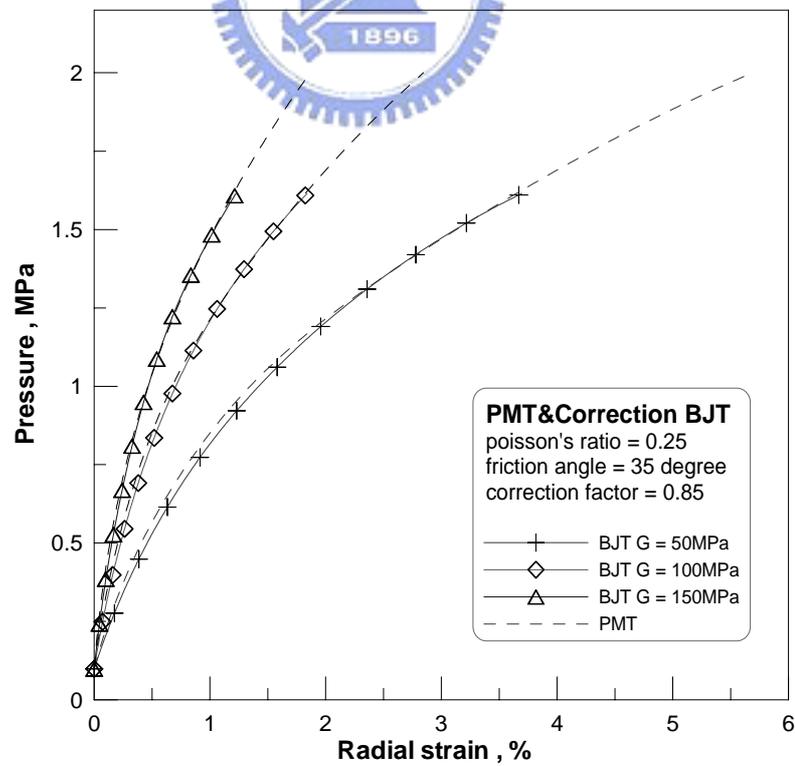


圖 6.6 不同剪力模數的傍壓儀與孔內千斤頂之結果比較

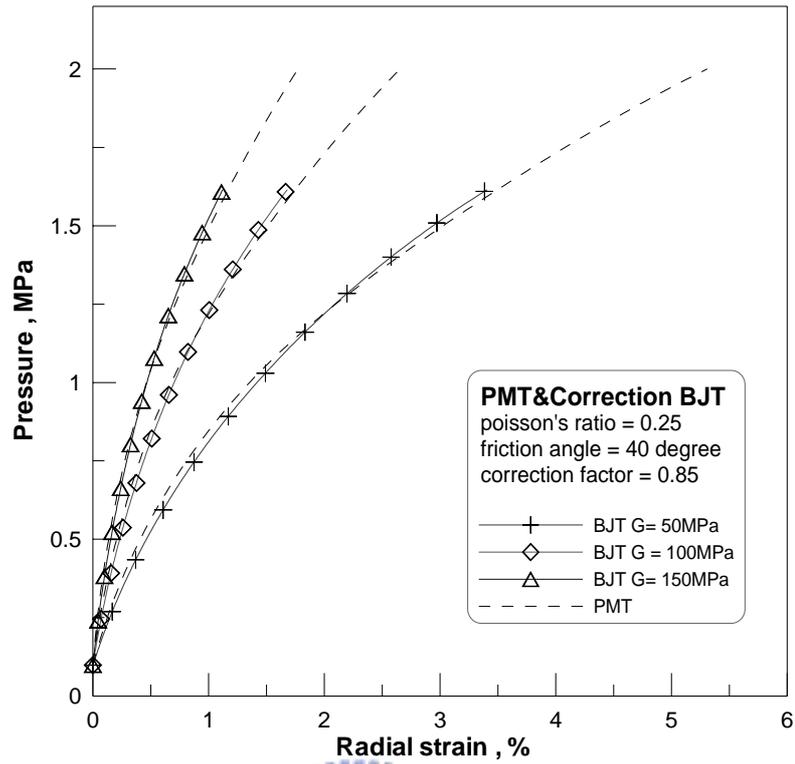


圖 6.7 不同剪力模數的傍壓儀與孔內千斤頂之結果比較

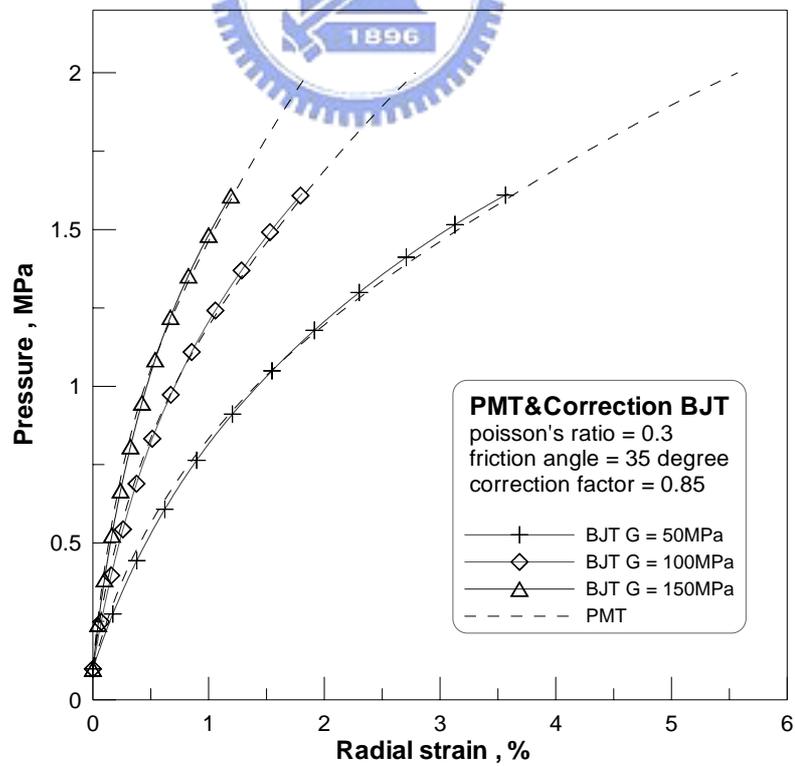


圖 6.8 不同剪力模數的傍壓儀與孔內千斤頂之結果比較

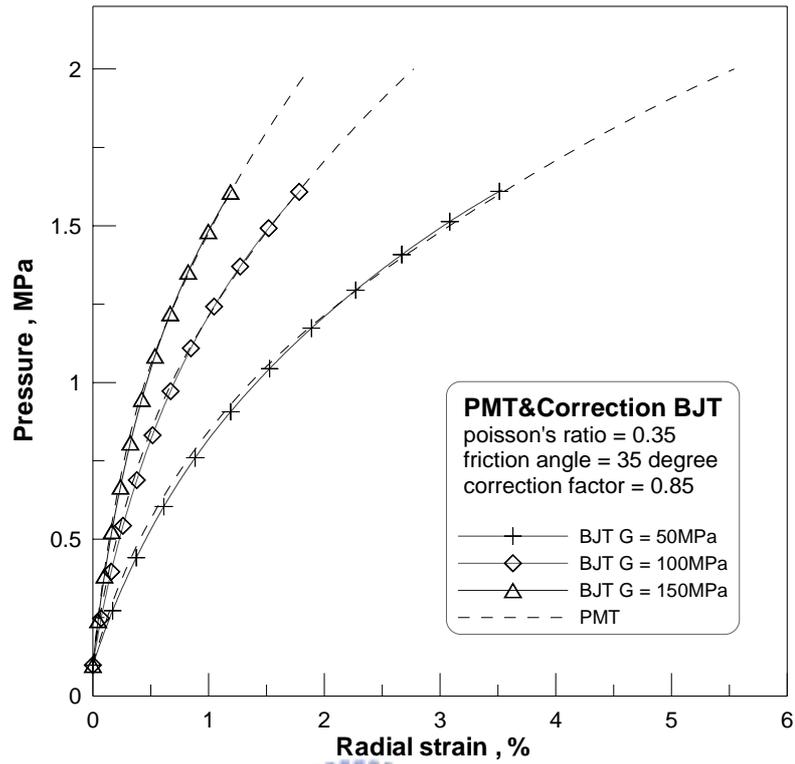


圖 6.9 不同剪力模數的傍壓儀與孔內千斤頂之結果比較

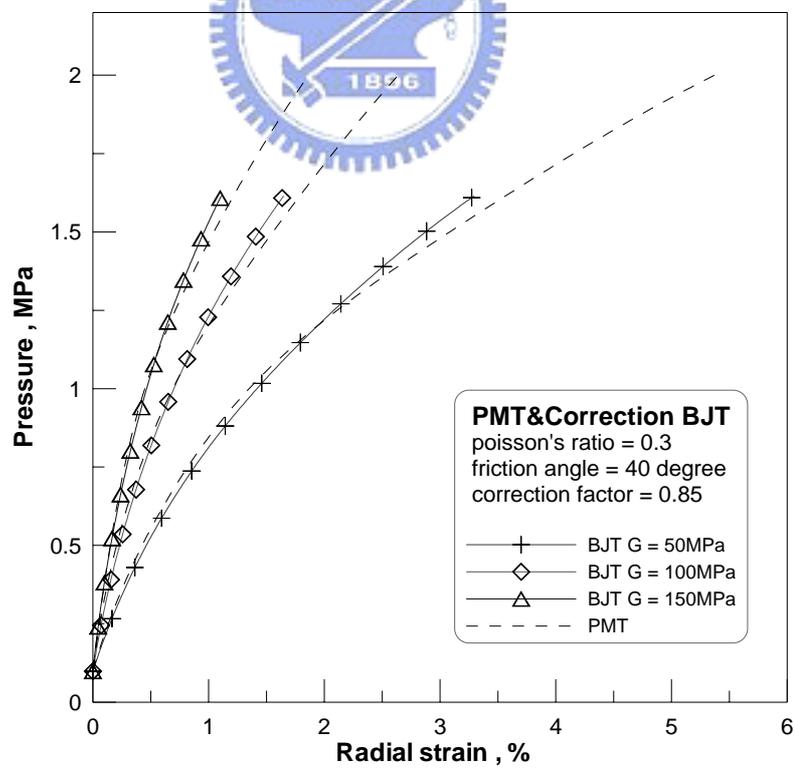


圖 6.10 不同剪力模數的傍壓儀與孔內千斤頂之結果比較

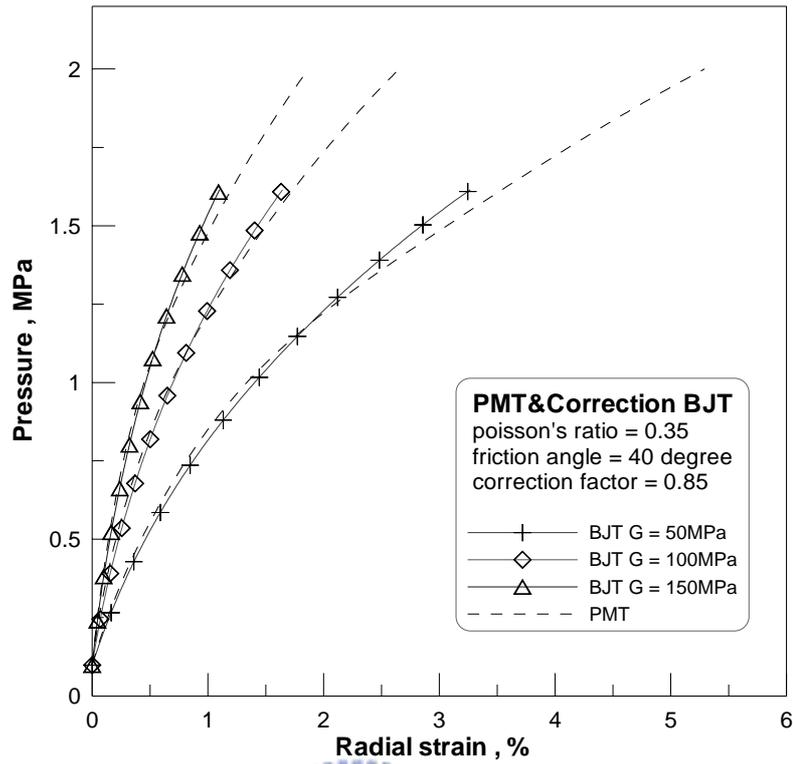


圖 6.11 不同剪力模數的傍壓儀與孔內千斤頂之結果比較

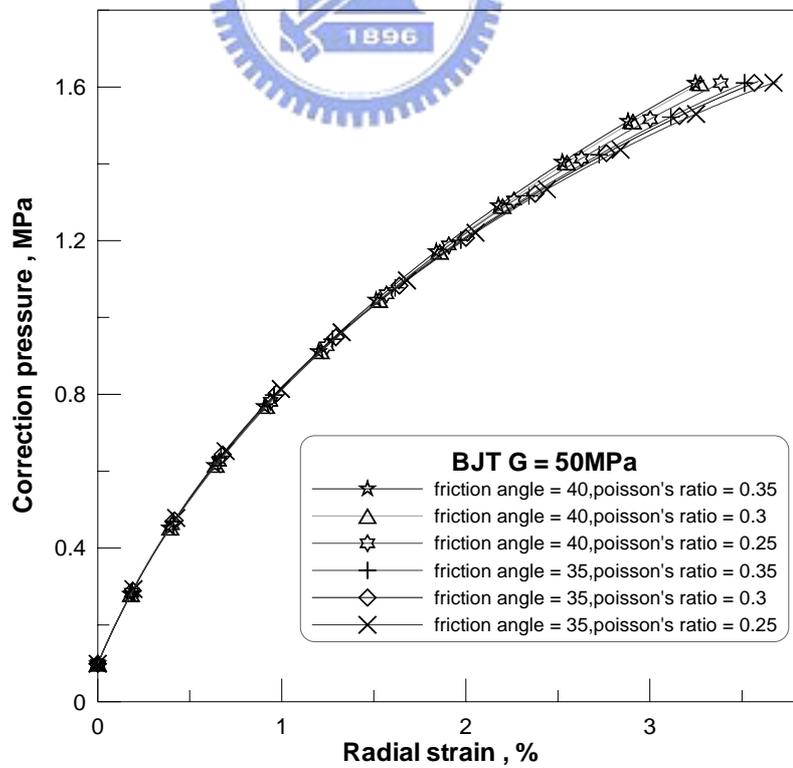


圖 6.12 BJT 在 $G = 50\text{MPa}$ 下，不同 ϕ 、 ν 之影響

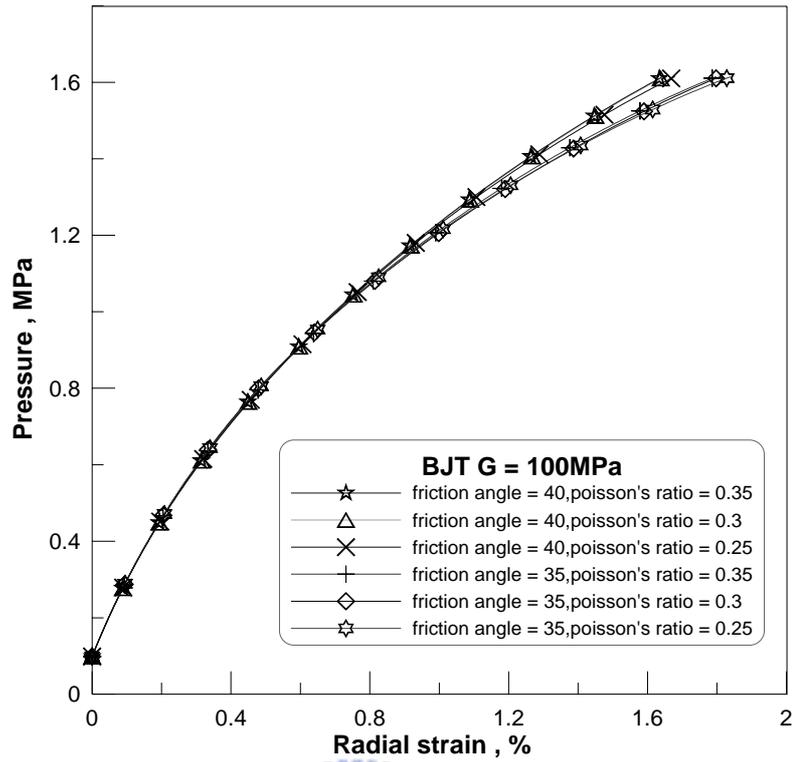


圖 6.13 BJT 在 $G = 100\text{MPa}$ 下，不同 ϕ 、 ν 之影響

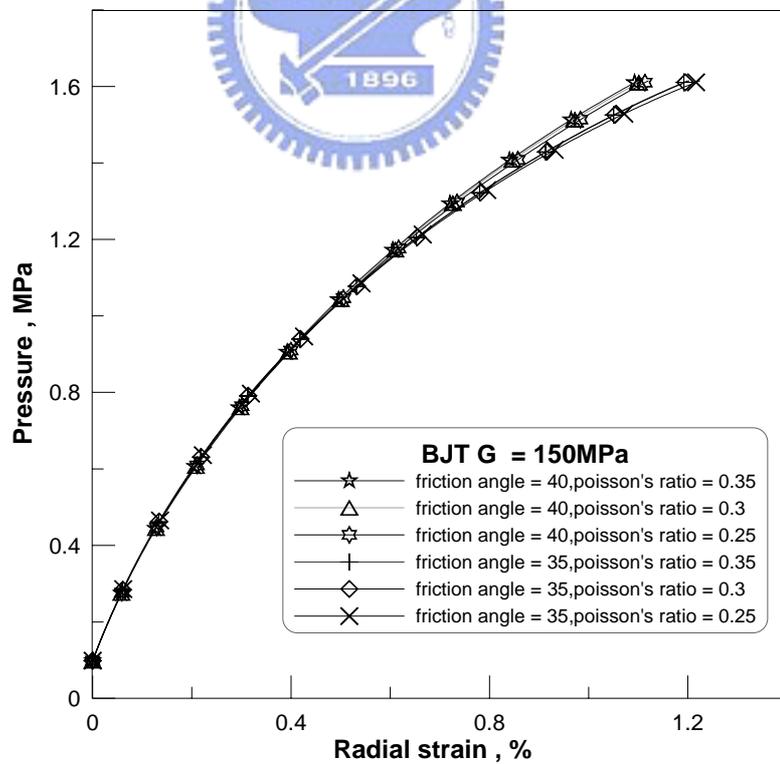


圖 6.14 BJT 在 $G = 150\text{MPa}$ 下，不同 ϕ 、 ν 之影響