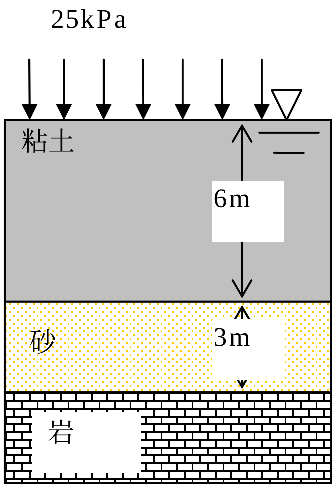
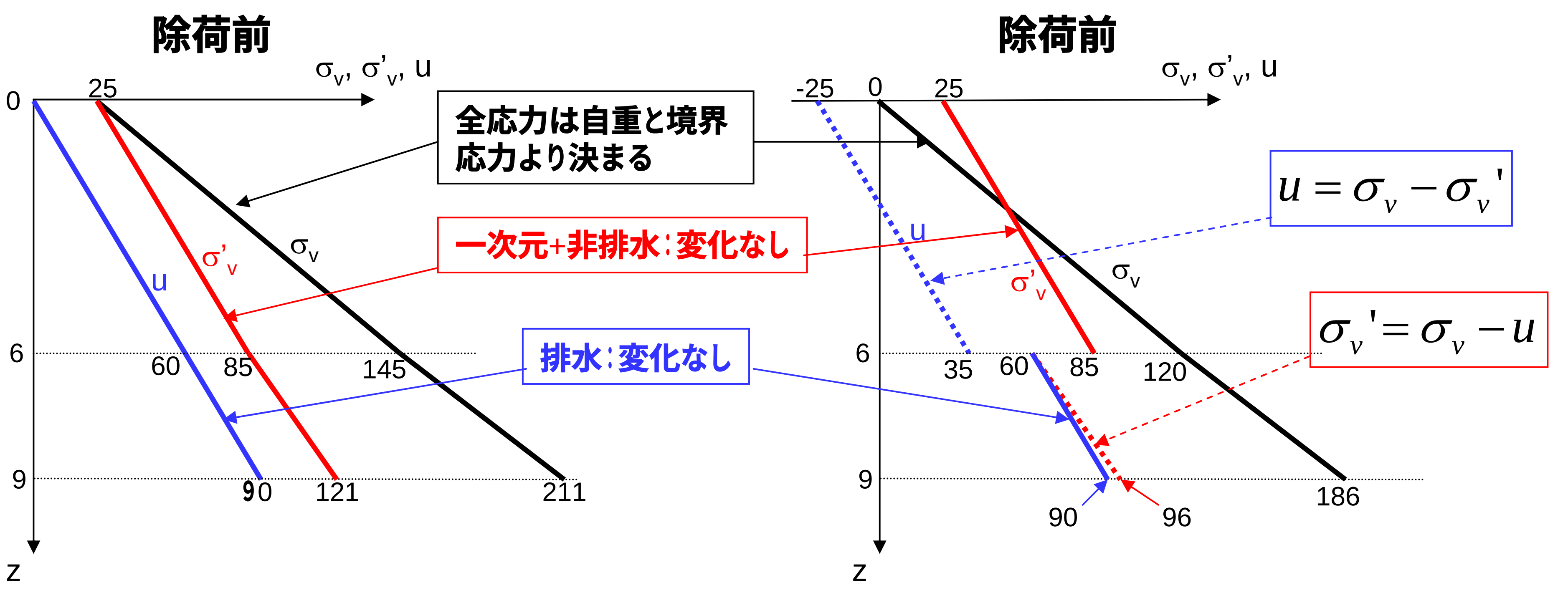
土木工学基礎演習土質力学（２回：圧密、せん断）

問1：不透水性の岩盤上に3mの砂層があり、更にその上に6mの粘土層がある。粘土層の表面は25kPaの上載圧を長い間に亘って受けており、地下水面は地表面にある。この状態から上載荷重を急激にとり除く。　上載荷重除荷前と除荷直後の地盤内の全応力(σ_v)、間隙水圧(u)、有効応力(σ'_v)の分布を描き、除荷直後の粘土層下面と砂層上面の間隙水圧の差を求めよ。但し、粘土と砂の飽和単位体積重量(γ_{sat})はそれぞれ20、22kN/m^{3}である。ここでは、水の単位体積重量(γ_w)を10kN/m^{3}とする。



Hint：
飽和粘土
除荷直後：
水の出入りなし
＋
変形一次元
↓
体積、せん断歪ゼロ
↓
有効応力変化ゼロ
<u>全応力変化=>Δu</u>

砂
排水条件Δu=0



問2：薄い砂層の下に8mの飽和粘土層があり、その下に透水性の岩盤がある。この粘土層が一様な100kPaの応力増分を受けるとき、90%圧密沈下量とそれに要する圧密年数を求めよ。ただし、m_v=4.0x10^{-4}m^2/kN、c_v=1.0x10^{-6}m^2/minとせよ。

圧縮係数m_v**はある圧力増分間の土の応力ひずみ（体積歪み：**ε_v**）-応力（鉛直有効応力増分：**$\Delta\sigma'_v$**）関係は線形と仮定し得られる係数：**

$$\varepsilon_v = m_v \Delta\sigma_v' = 4\times10^{-4}\times100 = 0.04$$

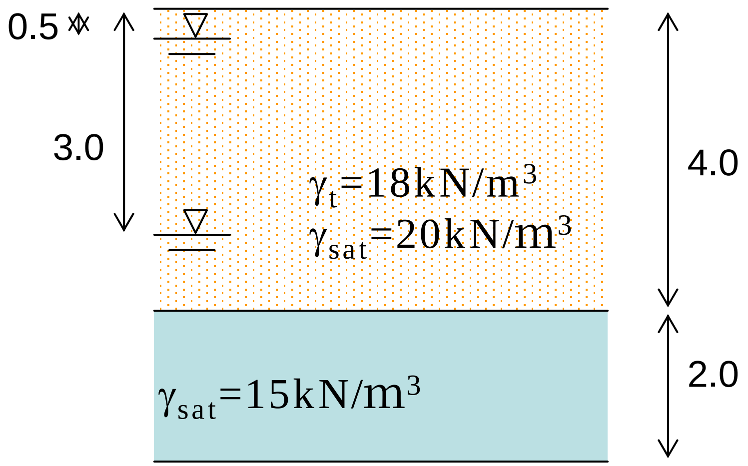
一次元の場合、体積歪み＝鉛直歪み

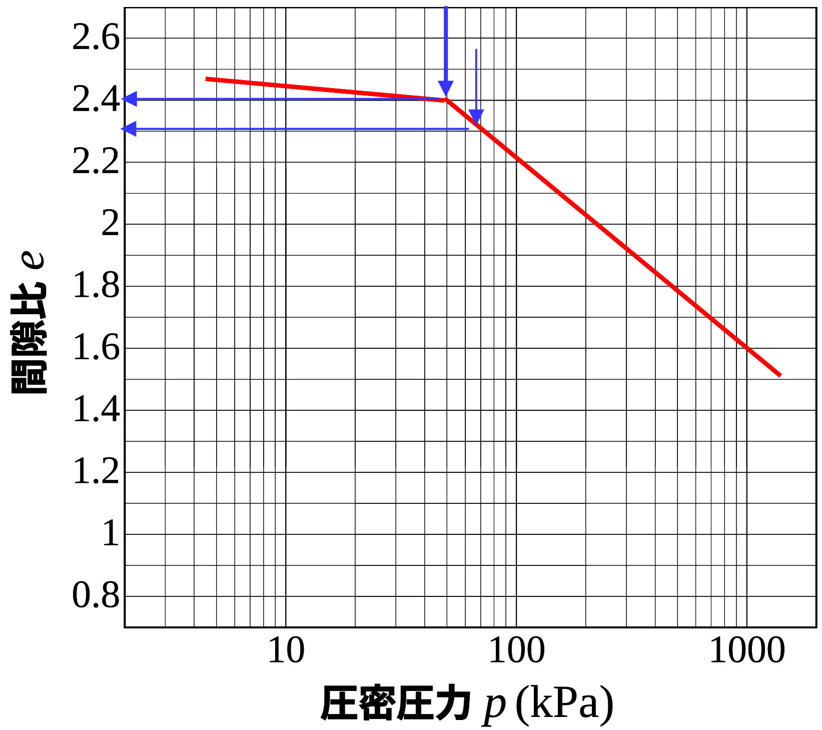
$$\therefore S_{90} = 0.9\int \varepsilon_v dz = 0.9H\varepsilon_v = 0.9\times8\times0.04 = \underline{0.288(m)}$$

一次元圧密におけるある圧密度までの沈下に要する圧密時間t**は、時間係数（**T_v**:無次元）、最大排水長**h（＝H（**片端排水**）、H/2（**両端排水**））**、圧密係数**c_v**によって与えられる。初期過剰間隙水圧分布が一様な場合の**90%**圧密時の時間係数**T_{90}＝0.848

$$t = T_v\frac{h^2}{c_v} = 0.848\frac{4^2}{10^{-6}} = 15{,}264{,}000\,\text{min} = \underline{29\,years}$$

問3：厚さ4mの砂礫層の下に厚さ2mの粘土層があり、地下水位が地表面より0.5m下にある。ここに排水路を建設して、地下水位を地表面下3.0mまで下げた。これによって生じる圧密沈下量がいくらか。ただし砂礫土については、γ_t=18kN/m^3、γ_{sat}=20kN/m^{3}であり、粘土に関してはγ_{sat}=15kN/m^{3}と裏面のe-logpが得られた。ここでは、水の単位体積重量(γ_w)を10kN/m^{3}とする。（ヒント：地下水位低下前後の粘土層の中央の有効鉛直圧力を求め、その変化にともなう間隙比変化量から鉛直歪を求める）





粘土層中央部(z=5m)**の鉛直有効土被り圧**

水位低下前： $\sigma'_v = 0.5\gamma_t + 3.5(\gamma_{sat} - \gamma_w)_{sand} + 1(\gamma_{sat} - \gamma_w)_{clay} = 49kPa$

水位低下後： $\sigma'_v = 3\gamma_t + 1(\gamma_{sat} - \gamma_w)_{dsand} + 1(\gamma_{sat} - \gamma_w)_{clay} = 69kPa$

e-logp**関係より、**49kPa**時の間隙比は**2.4、49kPa**から**69kPa**の増加による間隙比の変化**Δe=2.31-2.4＝-0.09

体積 (鉛直)歪み： $\varepsilon_v = -\dfrac{\Delta e}{1+e_0} = \dfrac{0.09}{1+2.4} = 0.0265$

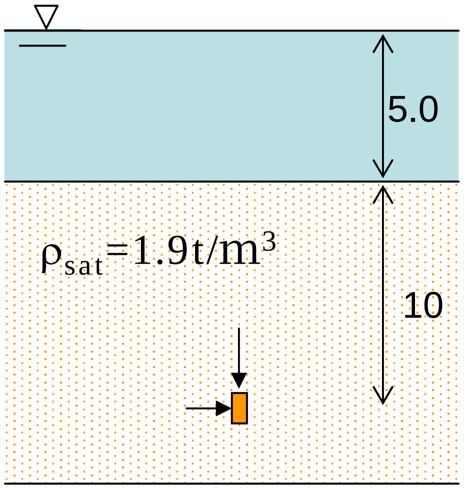
$$\therefore S = H\varepsilon_v = 2 \times 0.0265 = 0.053(m) = 5.3(cm)$$

正規圧密線上のm$_v$：

$$m_v = \frac{0.43C_c}{(1+e)\sigma'_v}$$

(注) この粘土は有効土被り圧と圧密降伏応力が同じであり、正規圧密状態 (OCR=1) である。従って、圧縮性、ある荷重増分に対する鉛直歪も深さとともに変化する。ここでは粘土層圧も薄いので粘土中央部の歪が粘土層の平均的な歪と仮定している。

問4：水平な表面を有する海底砂地盤がある。水深は5m、飽和砂の$\rho_{sat}=1.9t/m^3$ であり、地盤の静止土圧係数$K_0=0.4$ である。地表面より10mの深さにおいて水平面に対して30ºの傾きをなす平面上の有効応力成分（σ',τ）、全応力成分（σ, τ）を求めよ。（*hint*：モール円+極）



$$\sigma_v = \sigma_1 = (5\rho_w + 10\rho_{sat})g = 24\times 9.8 = 235kPa$$

$$\sigma'_v = \sigma'_1 = \sigma_v - u = 24\times 9.8 - 15\times 9.8 = 88kPa$$

$$\sigma'_h = \sigma'_3 = \underline{K_0\sigma'_v} = 35kPa$$

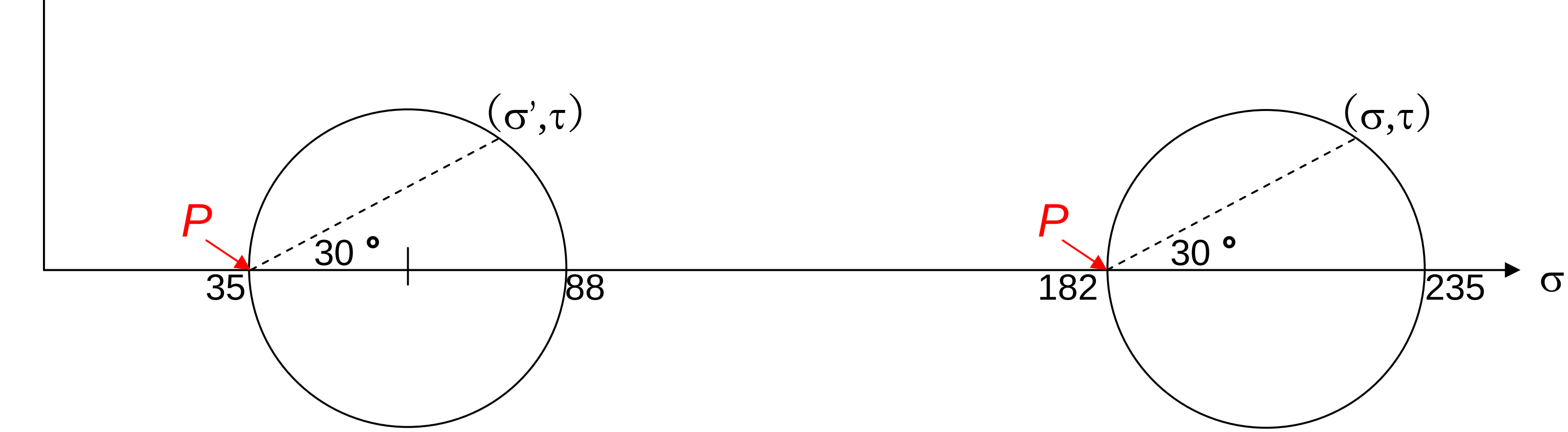
$$\sigma_h = \sigma_3 = \sigma'_h + u = 35 + 15\times 9.8 = 182kPa$$

$$\sigma'_{30} = \frac{\sigma'_1+\sigma'_3}{2} + \frac{\sigma'_1-\sigma'_3}{2}\cos 60^\circ = \underline{75kPa}$$

$$\tau'_{30} = \frac{\sigma'_1-\sigma'_3}{2}\sin 60^\circ = \underline{23kPa}$$

$$\sigma_{30} = \sigma'_{30} + u = \underline{222kPa}$$

$$\tau_{30} = \tau'_{30} = \underline{23kPa}$$



問5：ある粘土試料に対する一連の三軸圧密非排水圧縮試験により、以下の結果を得た。この粘土試料の有効応力による強度定数c', φ'を求めよ。

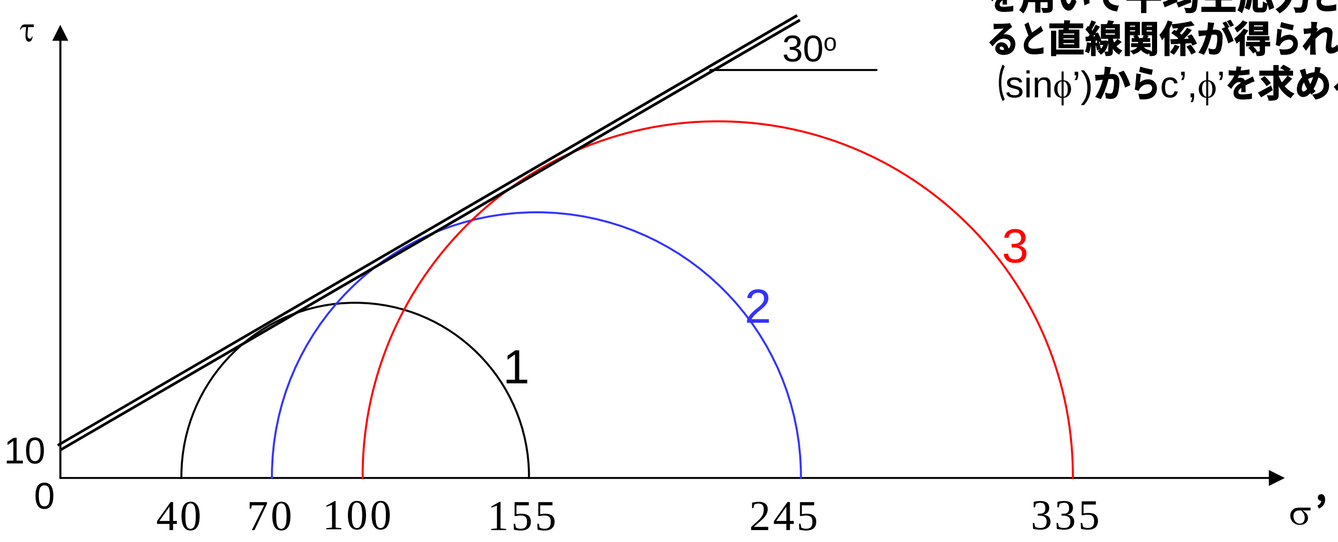
No.	σ_3（kPa）	$(\sigma_1-\sigma_3)_f$（kPa）	Δu_f（kPa）	σ'_{3f}（kPa）	σ'_{1f}（kPa）	$(\sigma_1+\sigma_3)_f$（kPa）
1	100	115	60	40	155	195
2	200	175	130	70	245	315
3	300	235	200	100	335	435

下図より$\phi'=30^o$,　$c'=10$kPa

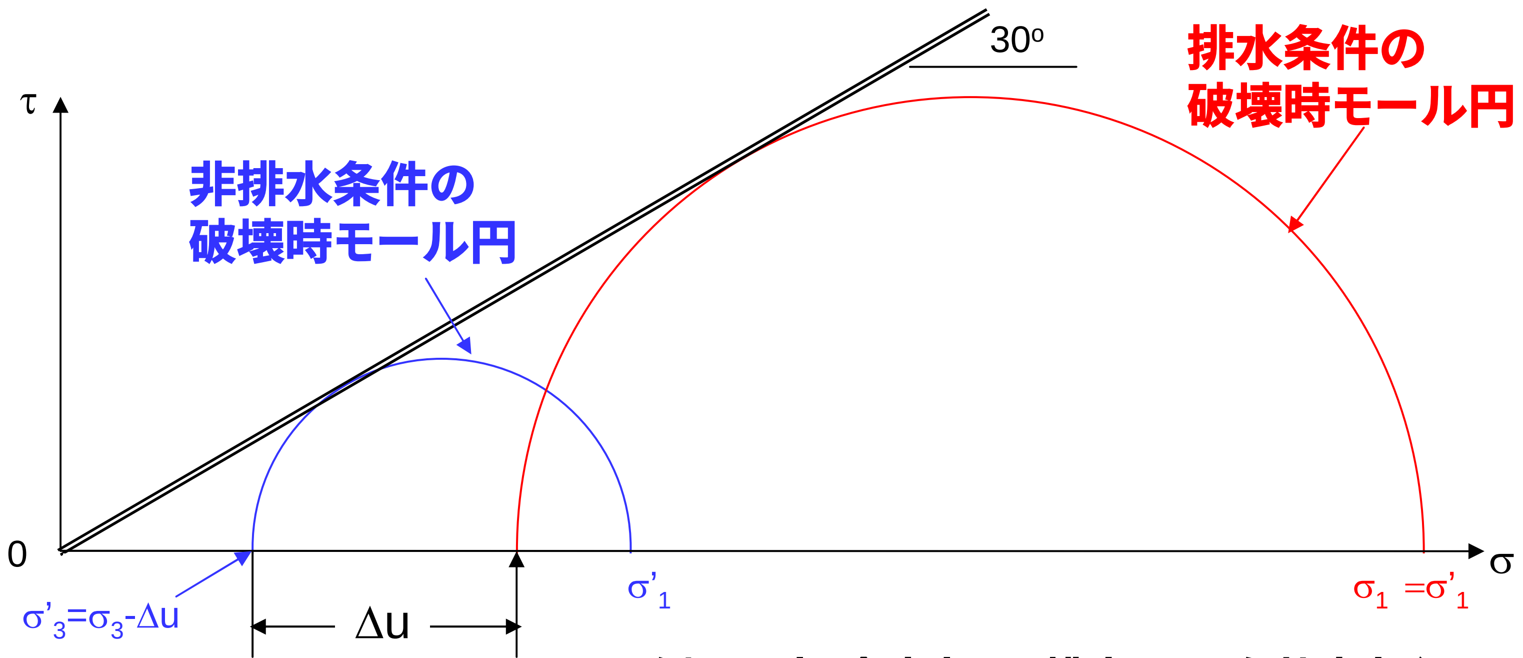
モール円を描く代わりに、Mohr-Coulomb規準式

$$\frac{\sigma'_1-\sigma'_3}{2}=c'\cos\phi'+\frac{\sigma'_1+\sigma'_3}{2}\sin\phi'$$

を用いて平均主応力と偏差応力の関係をプロットすると直線関係が得られ、そのy切片 (c'cosφ') と傾き (sinφ')からc',φ'を求めることができる。



問6：圧密圧力300kPaで等方圧密した飽和粘土供試体に対し(1)三軸非排水圧縮せん断試験、(2)三軸排水圧縮せん断試験をした場合の破壊時の鉛直全応力σ_1は何程か。ただし、有効応力に関する強度定数をc'＝0、φ'＝30°、破壊時間隙水圧係数を A_f＝0.7 とする。



σ_3=300：**側圧一定**：**全応力** => **排水なら、有効応力** (Δu=0)

(2)排水試験

Mohr-Coulomb**規準式より**

$$\frac{\sigma'_1-\sigma'_3}{2}=\frac{\sigma'_1+\sigma'_3}{2}\sin\phi' \qquad (1)$$

$$2(\sigma'_1-\sigma'_3)=\sigma'_1+\sigma'_3 \Rightarrow \underline{\sigma'_{1f}=3\sigma'_{3f}=900kPa}$$

(1)**非排水試験**　　Skempton**の間隙水圧式**：$\Delta u_f = B\{\Delta\sigma_{3f} - A_f(\Delta\sigma_{1f} - \Delta\sigma_{3f})\}$　(2)

$$\sigma'_{3f} = \sigma_{3f} - \Delta u_f = \sigma_{3f} - A_f(\Delta\sigma_{1f} - \Delta\sigma_{3f})$$

$$= \sigma_{3f} - A_f(\sigma_{1f} - \sigma_{3f}) \qquad (3)$$

σ_3：const、**圧密後**$\sigma_1 = \sigma_3$

Mohr-Coulomb**式**（(1)**式**）**を変形して**

$$\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f} = \{2\sigma'_{3f} + (\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f})\}\sin\phi' \qquad (4)$$

(2)**式を**(4)**式へ代入、**

$$\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f} = \{2\sigma_{3f} + (1 - 2A_f)(\sigma_{1f} - \sigma_{3f})\}\sin\phi' \qquad (5)$$

$$\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f} = \frac{2\sigma_{3f}\sin\phi'}{1 + (2A_f - 1)\sin\phi'} \qquad (6)$$

$$= \frac{2\times 300\times 1/2}{1 + (1.4 - 1)/2} = 250 \quad \Rightarrow \Delta u = A_f(\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f}) = 175$$

$$\sigma'_{3f} = \sigma_{3f} - \Delta u_f = 300 - 175 = 125kPa,$$

$$\sigma'_{1f} = 250 + 125 = 375kPa$$

$$\underline{\sigma_{1f} = \sigma'_{1f} + \Delta u_f = 375 + 175 = 550kPa}$$