

第 2 章 演習問題及び解答

【演習2.1】

問 1) 【演習1.2】の問 3) で、壁底面に静水圧の60%の揚圧力 u を考えたときの滑動と転倒に関する安全率を求めよ。また、滑動の安全率を $F_s = 1.2$ にするために必要なアンカ - 水平抵抗力 F を求めよ。

解) 新たな数値以外は【演習1.2】の問 3) の解答を参照すること。

貯水池底面の静水圧 : $\gamma_w h = 9.8 \times 5 = 49 \text{ kN/m}^2 = 49 \text{ kPa}$

壁底面に働く揚圧力 : $u = (\text{水圧 } 49 \text{ kPa} \times 60\%) = 29.4 \text{ kPa}$

滑動安全率 : 揚圧力分だけ W の効果 (摩擦抵抗) が減少するから

$$T_f = 20 \times 2 + (240 - 29.4 \times 2) \times 0.45 = 122 \text{ kN/m} \quad F_s = 122/123 = 0.992$$

転倒安全率 : 同様に揚圧力分だけ W が減るとして

$$F_s = \{(240 - 29.4 \times 2) \times 1\} / (123 \times 5/3) = 181/205 = 0.884$$

アンカ - 力の計算 : $F_s = 122 / (123 - F) = 1.2 \quad F = 21.3 \text{ kN/m}$

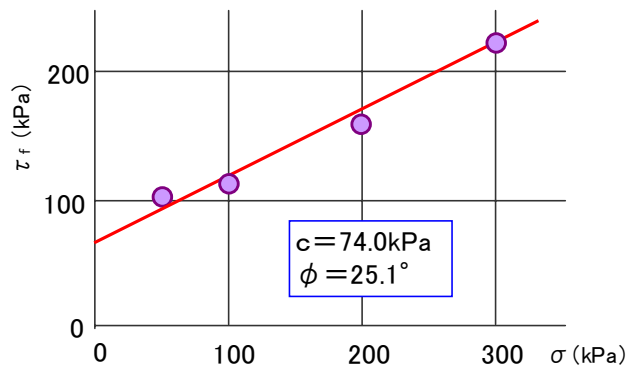
問 2) 土の一面せん断試験 (断面積 $A = 30 \text{ cm}^2$) を行ったところ、垂直力 P と破壊時のせん断力 T_f の関係が下表のように得られた。 $\tau_f \sim \sigma$ 関係をプロットせよ。手書きの直線近似で c, ϕ を求めよ。最小自乗法を用いて c, ϕ を計算し、求めた値と比較せよ。

	1	2	3	4
$P \text{ (N)}$	150	300	600	900
$T_f \text{ (N)}$	315	345	480	660

解) 垂直応力 σ と破壊時のせん断応力 τ_f

τ_f の値は (kPa 単位)

σ	τ_f
50	105
100	115
200	160
300	220



c, ϕ の値は最小二乗法で求めた。

問 3) 鉛直斜面の安定を検討するため、図のような直線すべり面を仮定して安全率 F_s を求める。

$H = 4 \text{ m}$, $\gamma = 18.0 \text{ kN/m}^3$, $c = 12 \text{ kPa}$, $\phi = 32^\circ$ とすると、 $\theta = 45^\circ$, 60° のすべり面を仮定したときの F_s はいくらか。

解) すべり土塊の天端幅 : $B = H / \tan \theta$, すべり面長 : $L = H / \sin \theta$

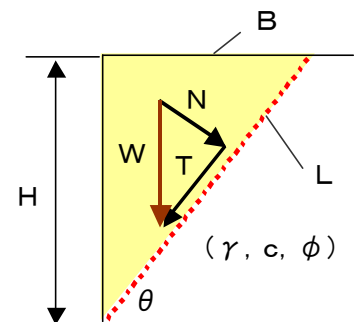
$$W = (\gamma H^2 / 2) \tan \theta$$

$$N = (\gamma H^2 / 2) \cos^2 \theta / \tan \theta = (\gamma H / 2) \cos^2 \theta$$

$$T = (\gamma H^2 / 2) \cos \theta \sin \theta = (\gamma H / 2) \cos \theta \sin \theta$$

与えられた数値に対して、 $(\gamma H / 2) = 36 \text{ kN/m}^2 = 36 \text{ kPa}$

θ	γ	c	ϕ	F_s
45°	18.0	12.0	32°	1.29
60°	9.0	15.6	32°	1.13 (応力は kPa)



問4) すべり面上の間隙圧 u が $u = 0$ 、 $u = 65\text{kPa}$ の場合について、ブロックすべりの安全率を求めよ。($a = 10\text{m}$ 、 $b = 40\text{m}$ 、 $\phi = 25^\circ$ 、 $\gamma = 20.0\text{kN/m}^3$ 、 $c = 30\text{kPa}$ 、 $\delta = 30^\circ$)

解) ブロック重量: $W = 10 \times 40 \times 20 = 8000\text{kN/m}$

垂直成分: $N = W \cos \delta = 7250\text{kN/m}$ $\sigma = N/b = 181\text{kN/m}^2 = 181\text{kPa}$

せん断力成分: $T = W \sin \delta = 3380\text{kN/m}$ $\tau = T/b = 84.5\text{kPa}$

$f = 30 + 181 \tan 30^\circ = 135\text{kPa}$ $F_s = 135/84.5 = 1.60$

$f = 30 + (181 - 65) \tan 30^\circ = 97.0\text{kPa}$ $F_s = 97.0/84.5 = 1.15$

【演習2.2】

問1) $c' = 30\text{kPa}$ 、 $\phi' = 25^\circ$ の土中のある面に $\sigma = 400\text{kPa}$ 、 $\tau = 150\text{kPa}$ が作用している。面上で $u = 0$ 、 $u = 180\text{kPa}$ のとき、すべりに対する安全率を求めよ。

解) $f = 30 + 400 \tan 25^\circ = 217\text{kPa}$ $F_s = 217/150 = 1.45$

$f = 30 + (400 - 180) \tan 25^\circ = 133\text{kPa}$ $F_s = 133/150 = 0.887$

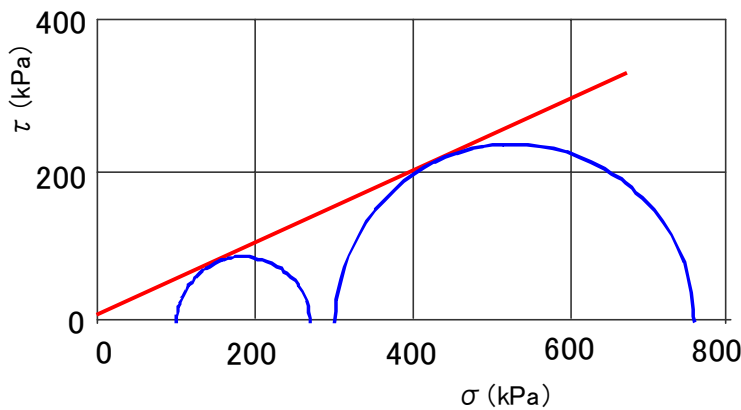
問2) 側圧 $\sigma_3 = 100$ 、 300kPa で三軸圧縮試験を行ったとき、破壊時の軸圧が $\sigma_1 = 270$ 、 760kPa であった。 c 、 ϕ を求めよ。モ-ル円と破壊規準式を描け。

解) 2つの試験結果をモ-ル・ク-ロン規準で書くと

$\sigma_1 - \sigma_3 = 2c \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi$ $170 = 2c \cdot \cos \phi + 370 \sin \phi$

$460 = 2c \cdot \cos \phi + 1060 \sin \phi$

c 、 ϕ について解いて、 $\sin \phi = 290/690 = 0.420$ ($\phi = 24.9^\circ$)、 $c = 8.06\text{kPa}$



問3) 砂 ($c = 0$) の三軸圧縮試験を行った。 $\sigma_3 = 200\text{kPa}$ 、 $\sigma_1 = 450\text{kPa}$ で破壊したとすると、 ϕ はいくらか。モ-ル円と破壊規準式を描け。

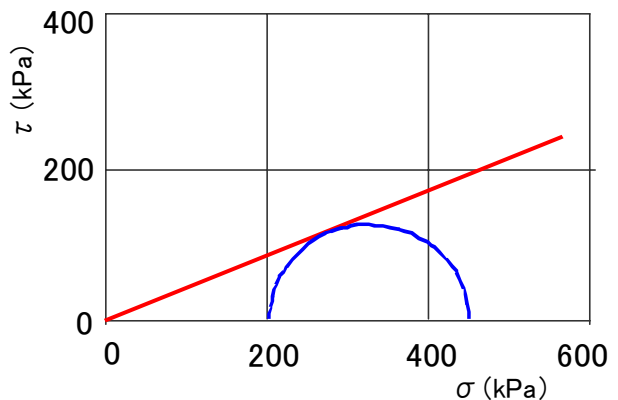
解) モ-ル・ク-ロン規準で $c = 0$ とすると

$\sigma_1 - \sigma_3 = (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi$

$\sin \phi = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3)$

$= 250/650 = 0.385$

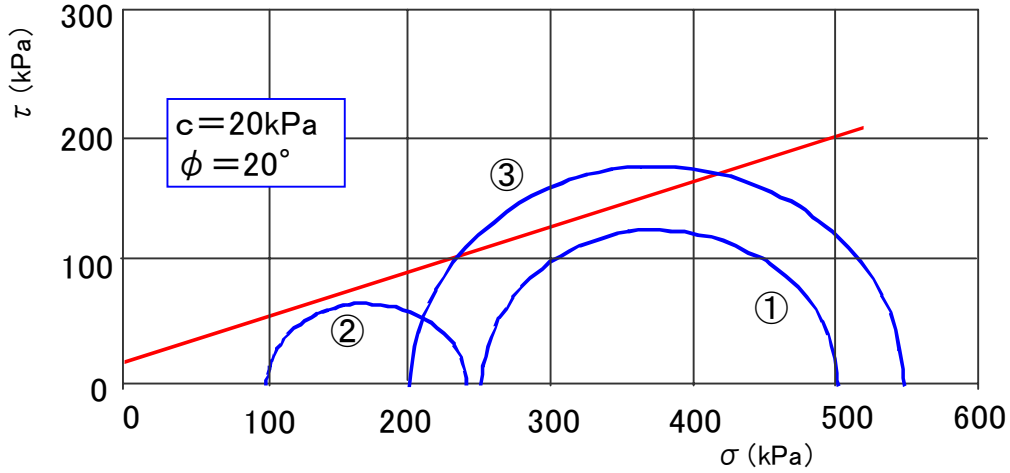
$\phi = 22.6^\circ$



問4) $c = 20\text{kPa}$, $\phi = 20^\circ$ の土に対して三軸圧縮試験を行った。以下の3つの応力状態において土が破壊するか否かをモ - ル円を描いて調べよ。応力の単位は kPa とする。

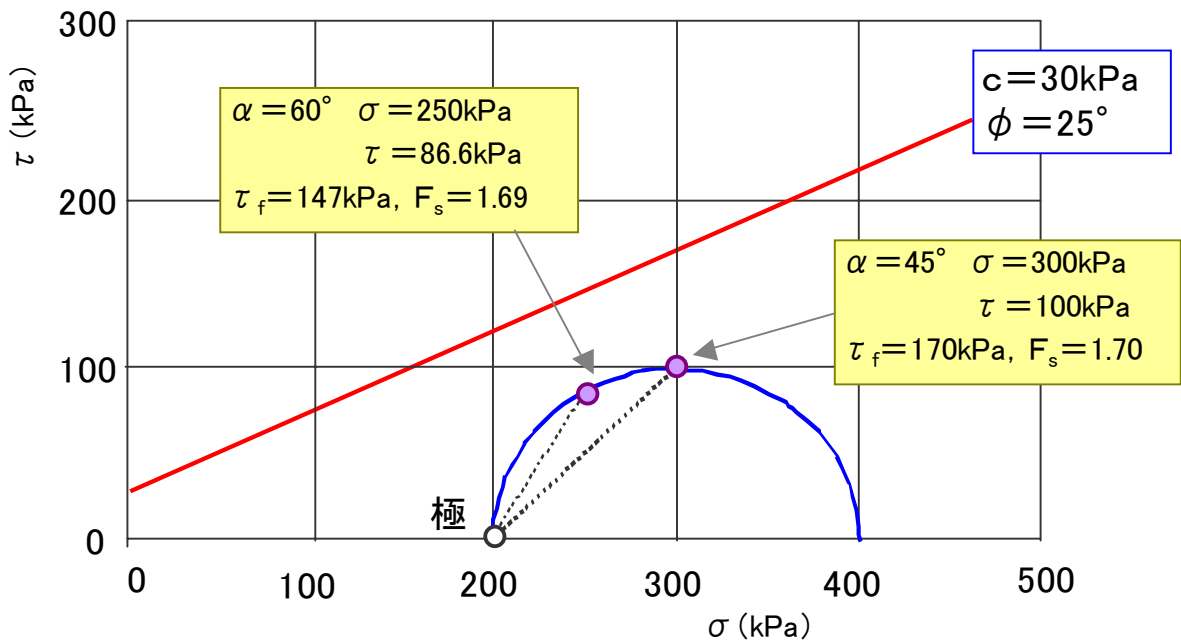
$$\sigma_1 = 500, \sigma_3 = 250 \quad \sigma_1 = 240, \sigma_3 = 100 \quad \sigma_1 = 550, \sigma_3 = 200$$

解) 作図から、②の条件のときだけ破壊している(破壊を乗り越えている)ことが分かる。



問5) $c = 30\text{kPa}$, $\phi = 25^\circ$ の土に対して三軸圧縮試験を行い、 $\sigma_1 = 400\text{kPa}$, $\sigma_3 = 200\text{kPa}$ のとき、水平から $\alpha = 45^\circ, 60^\circ$ 面上ですべり安全率を求め破壊判定せよ。また、モ - ル円と破壊規準線の関係及び 面上の応力点を描け。

解) 試験時の応力状態を表すモ - ル円が破壊規準線の下にあるから、この場合は α の値に関わらず(どの面でも)破壊していない。各面上に作用する応力(σ , τ)は○印の応力点で与えられ、幾何学的な条件から数値が決まる。 α に対応する破壊規準線の縦距からせん断強さ τ_f が求まり、安全率 F_s が計算できる。



【演習2.3】

問1) 三軸CU試験を4回行って下表の結果を得た。
 全応力のモ - ル円を描き、破壊包絡線を引いて強度定数 c_{cu} , ϕ_{cu} を求めよ。
 有効応力のモ - ル円を描き、破壊包絡線を引いて強度定数 c' , ϕ' を求めよ。
 間隙圧係数 A_f の平均値はいくらか。

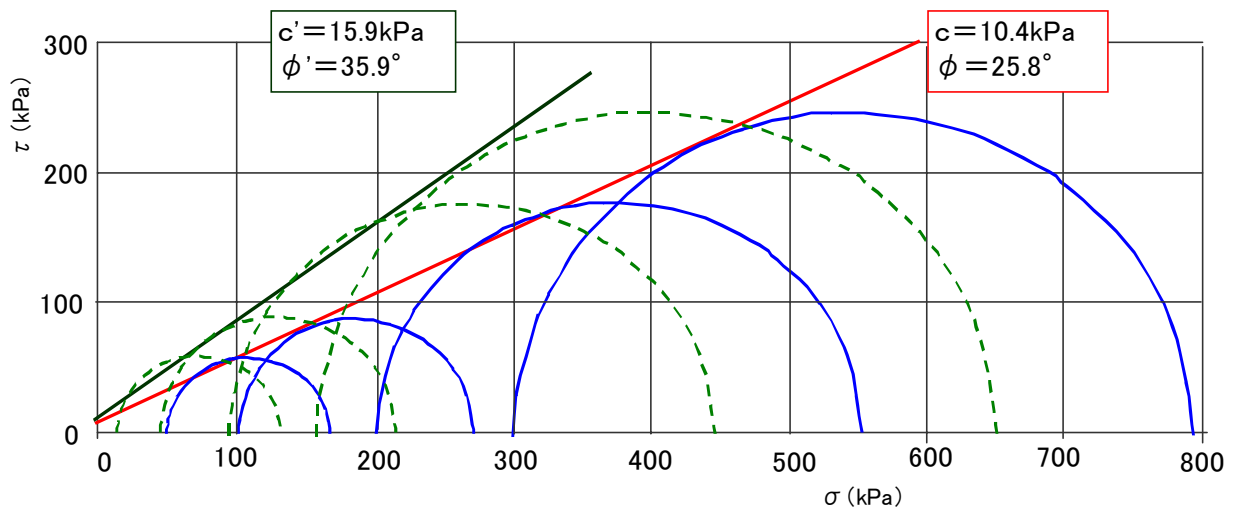
No.	側圧	主応力差	間隙水圧
1	50	118	32
2	100	172	54
3	200	352	108
4	300	490	144

(単位: kPa)

解) 次の問2) も含めて、解答に必要な数値を整理すると下表になる。全応力及び有効応力のモ - ル円は (σ_1, σ_3) と (σ_1', σ_3') の数値を用いて描ける。実線が全応力、破線が有効応力のモ - ル円である。図中の (c, ϕ) 値は問2) の整理をして最小自乗法で求めた値であり、破壊規準線もこの値に基づいて描いてある。間隙圧係数 A_f の平均値は 0.297 である。

σ_3	σ_d	σ_1	u	σ_3'	σ_1'	p	p'	q	A_f
50	118	168	32	18	136	109	77	59	0.271
100	172	272	54	46	218	186	132	86	0.314
200	352	552	108	92	444	376	268	176	0.307
300	490	790	144	156	646	545	401	245	0.294

(単位: kPa)



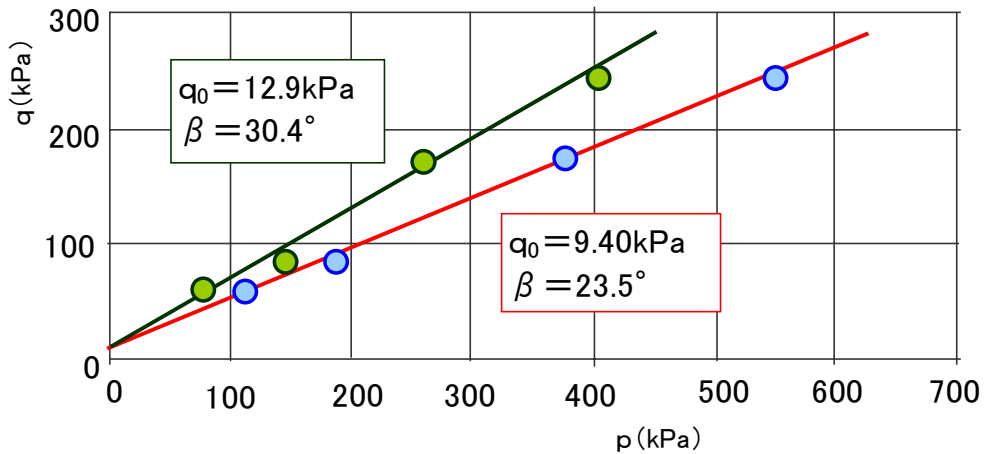
問2) 三軸試験で c, ϕ を求めるとき、横軸に $p = (\sigma_1 + \sigma_3)/2$ 、縦軸に $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ をとり、モ - ル円の頂点 (p, q) をプロットして直線近似する方法がある。この直線の切辺 q_0 と勾配角 ϕ は、強度定数 c と $q_0 = c \cos \phi$ 、 $\tan \phi = \sin \phi$ の関係があることを証明せよ。前問を p, q 関係で整理し最小自乗法を用いて c, ϕ を求めよ。

解) モ - ル・ク - ロン規準: $\sigma_1 - \sigma_3 = 2c \cos \phi + (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \phi$ を p, q で表すと

$$\text{左辺} = 2q, \text{右辺} = 2c \cos \phi + 2p \sin \phi \quad q = c \cos \phi + p \sin \phi$$

したがって、 p, q の直線関係は切辺が $q_0 = c \cos \phi$ 、勾配が $\tan \phi = \sin \phi$ となる。

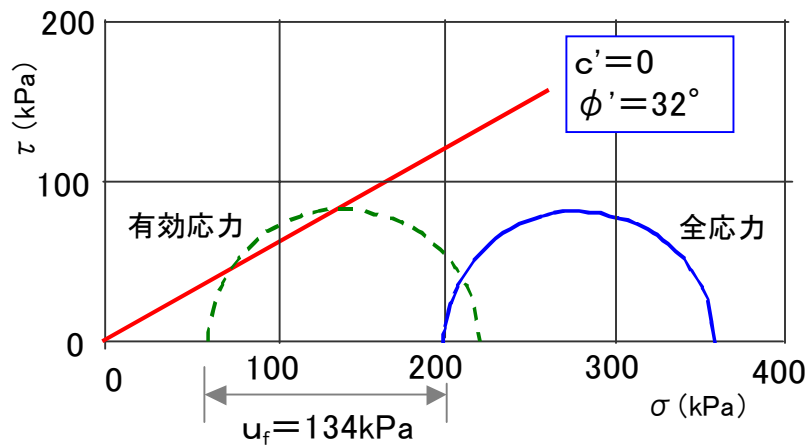
全応力、有効応力それぞれについて p, q 関係を描くと下図のようになり、最小自乗法で直線近似して図中の (q_0, ϕ) 値が得られる。また、上の関係を使って (c, ϕ) 値を計算すると、問1) の解答に示した数値を得る。



【演習2.4】

問1) 正規圧密粘土 ($c' = 0$, $\phi' = 32^\circ$) を側圧 $\sigma_3 = 200\text{kPa}$ で圧密した後、非排水条件でピストン圧 160kPa 加えた。 $A_f = 0.84$ として土は破壊するか、モ - ル円を描いて調べよ。

解) 全応力のモ - ル円を、発生した水圧 $u = 1.6 \times 0.84 = 134\text{kPa}$ だけ左にシフトして有効応力のモ - ル円を描くと、破壊規準線を切るなので、破壊したと判定される。



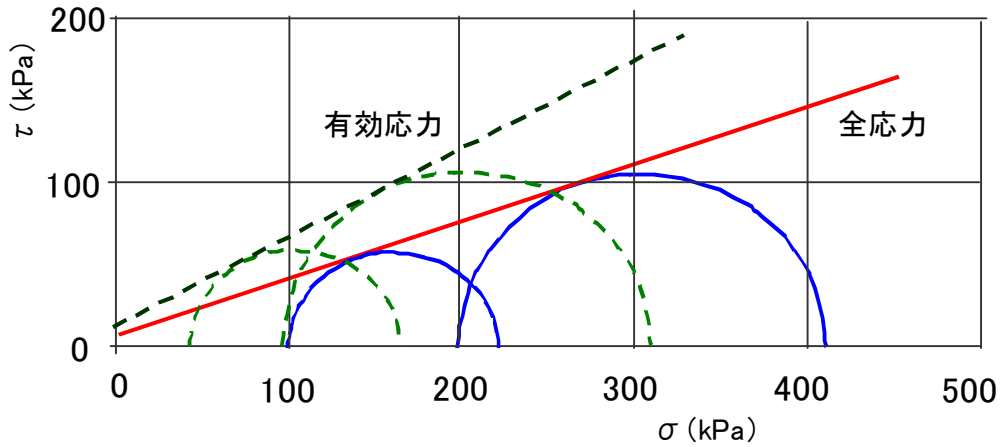
問2) 飽和粘土の三軸CU試験を行ったところ、 $\sigma_3 = 100, 200\text{kPa}$ のとき破壊時の主応力差がそれぞれ $120, 210\text{kPa}$ であった。 $A_f = 0.5$ としてモ - ル円と破壊包絡線を描き、強度定数 c_{cu} , ϕ_{cu} および c' , ϕ' を求めよ。

解) 2つの試験における破壊時の状況を整理すると、下表になる。(kPa単位)

	σ_3	$\sigma_1 - \sigma_3$	σ_1	u	σ_3'	σ_1'
試験1:	100	120	220	60	40	160
試験2:	200	210	410	105	95	305

したがって、モ - ル・ク - ロン規準式にあてはめて

$$\begin{aligned}
 \text{全応力: } 120 &= 2 c_{cu} \cdot \cos \phi_{cu} + 320 \sin \phi_{cu} & \text{有効応力: } 120 &= 2 c' \cdot \cos \phi' + 200 \sin \phi' \\
 210 &= 2 c_{cu} \cdot \cos \phi_{cu} + 610 \sin \phi_{cu} & 210 &= 2 c' \cdot \cos \phi' + 400 \sin \phi' \\
 \sin \phi_{cu} &= 90/290 = 0.310 & \sin \phi' &= 90/200 = 0.450 \\
 \phi_{cu} &= 18.1^\circ, c_{cu} = 10.9\text{kPa} & \phi' &= 26.7^\circ, c' = 16.8\text{kPa}
 \end{aligned}$$



問3) 正規圧密粘土の三軸CU試験を行ったところ、側圧 $\sigma_3 = 250\text{kPa}$ のとき破壊時の主応力差が 220kPa 、間隙水圧が 160kPa であった。一連の実験で $c_{cu}, c' = 0$ であったとすると、 ϕ_{cu}, ϕ' および A_f はいくらか。また、モ-ル円と破壊規準線との関係を全応力と有効応力それぞれについて描け。

解) (kPa単位で) $\sigma_3 = 250, \sigma_1 - \sigma_3 = 220, \sigma_1 = 470, u = 160$
 $\sigma_3' = 90, \sigma_1' = 310 \quad A_f = 160/220 = 0.727$

全応力: $220 = 720 \sin \phi_{cu} \quad \phi_{cu} = 17.8^\circ$
 有効応力: $220 = 400 \sin \phi' \quad \phi' = 33.4^\circ$

