

不飽和土の有効応力の吟味

岡山大学工学部 正会員 西垣 誠
三井建設(株) 正会員 木村 裕史
岡山大学大学院 学生員 ○ 近藤 俊恒

1. まえがき

不飽和土の力学的性質を解明する上で有効応力の概念は重要である。しかし、今なお不飽和土に対する有効応力原理は確立されていない。本研究では不飽和まき土の力学特性を解明するためBishopの有効応力式を取り上げ、その中のパラメーター χ の決定法の提案を試みた。

2. 間隙空気圧とサクシヨンの関係

Bishopの不飽和土に対する有効応力式は次式である。¹⁾

$$p' = p - u_a + \chi (u_a - u_w) \dots \dots (1)$$

(p' : 有効応力 p : 全応力 u_a : 間隙空気圧 u_w : 間隙水圧 χ : 飽和度などに関する係数)

ここで、次の2つの仮定を設ける。

- (1) 間隙空気圧を増加させても非排気状態ではサクシヨン ($u_c = u_a - u_w$) の値は一定である。
- (2) 間隙空気圧が高い時には、サクシヨンの値は無視できる。

これらの仮定より(1)式は、

$$p' = u_a \left(\frac{p}{u_a} - 1 + \chi \frac{u_c}{u_a} \right) \dots \dots (2)$$

$$= u_a \left(\frac{p}{u_a} - 1 \right) \dots \dots (3)$$

$$\text{よって } p = p' + u_a \dots \dots (4)$$

また、ある含水比における破壊線は高間隙空気圧状態でも同じと考えると、高間隙空気圧状態における有効応力の破壊線 ($p' = p - u_a \sim q$ 線) の式を(5)に、それより得られる

$$q = A (p - u_a) + B \dots \dots (5)$$

$$= A \{ p - u_a + \chi (u_a - u_w) \} + B \dots \dots (6)$$

(A, B : 高間隙空気圧試験による破壊線の傾きと切片)

非排水低側圧三軸圧縮試験の破壊線の式を(6)に示す。ゆえに、非排水低側圧三軸圧縮試験より得られた p, q, u_a, u_w を(6)式に代入することにより (1)式におけるパラメーター χ の値を逆算して決定することができる。

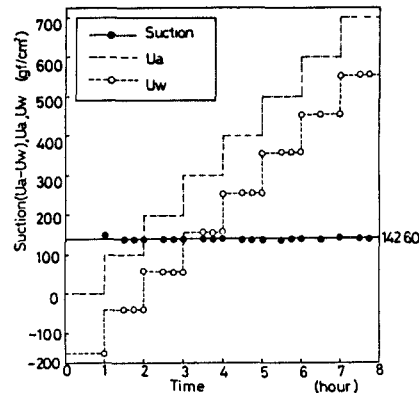


図-1 u_a を作用させたときの u_a, u_w, u_c の関係

表-1 u_a を作用させたときのサクシヨンの値

u_a (gf/cm ²)	u_w (gf/cm ²)				Suction (= $u_a - u_w$) (gf/cm ²)			
	Time (min)				Time (min)			
	0	30	45	60	0	30	45	60
0	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	-40.02	-40.90	-42.24	—	140.02	140.90	142.24
200	60.03	59.89	58.93	58.47	139.97	140.11	141.07	141.53
300	156.94	157.70	158.00	157.80	143.10	142.30	142.00	142.20
400	255.80	258.20	258.10	258.00	144.20	141.80	141.90	142.00
500	356.30	359.70	358.70	358.70	143.70	140.30	141.30	141.30
600	455.50	456.70	—	—	144.50	142.30	—	—
700	553.70	556.00	557.10	—	146.30	144.00	142.90	—

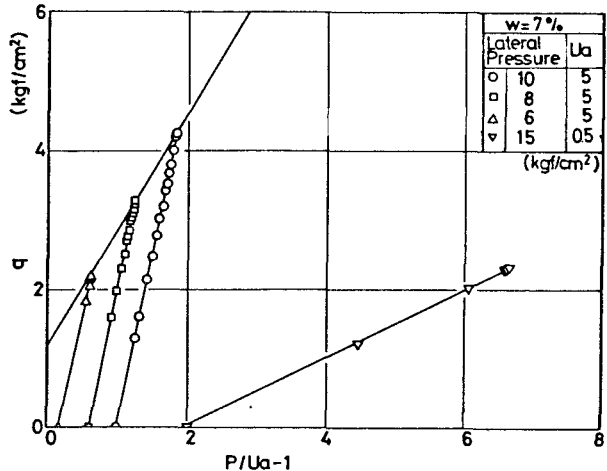


図-2 含水比7%における $p/u_a - 1$ と q の関係

3. 実験結果と考察

まず、間隙空気圧を増加させたときの間隙水圧とサクシヨンの値の変化について調べた。その結果、図-1、表-1に示すように、間隙空気圧の増加に伴い間隙水圧も増加するため、間隙空気圧と間隙水圧の差で表されるサクシヨンの値は常に一定である。

ゆえに、前述の仮定は証明され高間隙空気圧下においてサクシオンは無視して良いということになる。

次に、含水比 7, 9, 11%における高間隙空気圧状態と低側圧状態における非排水三軸圧縮試験の結果と (6)式より算定されたパラメーター α の値を図-2, 3, 4と表-2, 3に示す。

これによると、パラメーター α は、含水比 7%, 9%とも 0 ~ 1 の範囲に納まっている (表-2) が、含水比 11% の場合 (図-4) は $p' < (p - u_a)$ であるため、パラメーター α が負の値となっている。これは、含水比 11%において、破壊線の式より得られた p' の値が、過小に算定されたためと考えられる。

また、各含水比におけるパラメーター α は含水比の増加に伴い減少しているが、これはサクシオンが低含水比 (7%) ほど有効応力に対して大きな影響を及ぼしていることを示している。

従って、今後より正確なパラメーター α を算定するために載荷応力 ($p - u_a$) とサクシヨンのオーダーを近づけるために載荷応力を $0.2 \sim 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ ぐらいにおいて非排水低側圧三軸圧縮試験を行いパラメーター α を算定してゆけば良い。それにより、算定されるパラメーター α の値に対して及ぼされるサクシオン値のばらつきによる影響を最小にすることができると考えられる。

最後に、本研究を遂行するにあたり岡山大学工学部土木工学科河野伊一郎教授に御指導いただいたことを記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Bishop, A. W. "The Principle of Effective Stress." Teknisk Ukeblad, Vol. 106, No. 30, 1959, pp. 1-5.

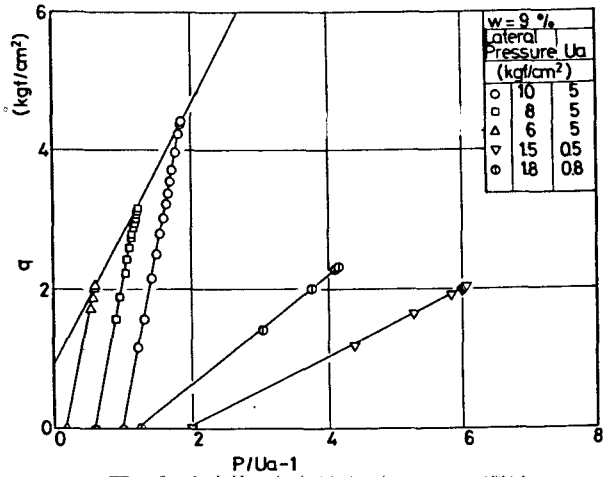


図-3 含水比9%における $p/u_a - 1$ と q の関係

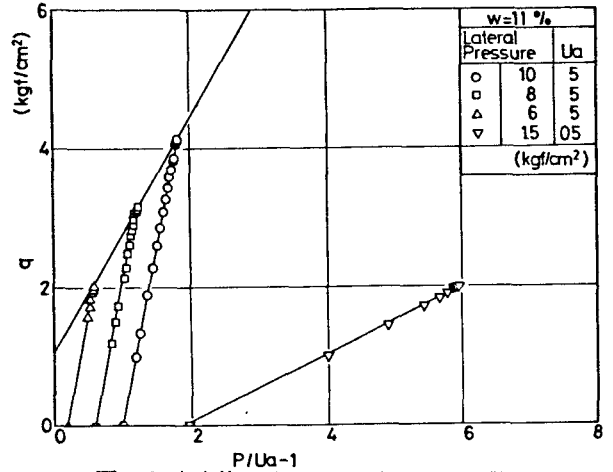


図-4 含水比11%における $p/u_a - 1$ と q の関係

表-2 各含水比における高間隙空気圧下の破壊線の式 (非排気条件)

Water Content (%)	p (kgf/cm²)	q (kgf/cm²)	σ_3 (kgf/cm²)	u_a (kgf/cm²)	$p - u_a$ (kgf/cm²)	Equations of Failure Lines
7	6.907	8.173	2.173	6.0	5.0	$q = 0.341 (p - u_a) + 1.107$
	6.904	11.278	3.278	8.0	5.0	
	6.900	14.239	4.239	10.0	5.0	
9	8.580	8.049	2.049	6.0	5.0	$q = 0.374 (p - u_a) - 0.896$
	8.326	11.180	3.180	8.0	5.0	
	8.220	14.435	4.435	10.0	5.0	
11	10.912	8.026	2.026	6.0	5.0	$q = 0.345 (p - u_a) + 1.002$
	10.621	11.175	3.175	8.0	5.0	
	10.950	14.133	4.133	10.0	5.0	

表-2 各含水比における α の値

Water Content (%)	p (kgf/cm²)	q (kgf/cm²)	σ_3 (kgf/cm²)	u_a (kgf/cm²)	u_w (kgf/cm²)	Suction (kgf/cm²)	p (kgf/cm²)	α
7	6.94	3.836	2.336	1.5	0.670	0.470	3.606	0.575
9	8.76	3.547	2.047	1.5	0.303	0.197	3.079	0.162
11	11.00	3.494	1.994	1.5	0.410	0.090	2.875	-1.321