

3 軸応力状態における棒の座屈実験

川田工業（株） 正会員 ○田坂 裕一
広島大学 正会員 藤井 堅

1. はじめに

「静水圧を受ける棒は、座屈するのだろうか。」これは、3 軸応力状態にある棒を座屈解析したときに得られた疑問である。座屈解析結果からは、静水圧だけで棒が座屈するという結果が得られた。本研究は、この現象が事実かどうかを明らかにするために、側圧と軸圧縮力が作用するウレタンゴムの円柱棒で座屈実験を行った。この実験から、静水圧状態だけでは棒の座屈が起こらないことを確認するとともに、側圧が軸方向の座屈応力にどのような影響を及ぼすかを明らかにした。

2. 3 軸応力下の円形断面棒の座屈実験

(1) 座屈実験の概要

実験装置は、図-1 に示すような三軸圧縮試験機を使用した。

試験体には、図-2 に示すようなウレタンゴム円柱棒を使用した。支承には、ゴム円棒の両端に真鍮製のジグをはめ込み、その上端に剛体変形するような高張鋼製の先端がとがった細い棒を取り付け、境界が点接触になるようにした。

実験は、試験体、支承、荷重計を圧力室内に、ダイヤルゲージを試験机上盤にセットし、室内の空気を抜きながら三軸圧力室内を除々に水で満たした。そして、室内に一定水圧を作用させる。この荷重状況下においては目視ではあるが、試験体が座屈していないことが確認できた。そして、水圧を一定に保ったまま、ひずみ速度 $1(\%/min)$ の速さで軸圧縮を加えた。測定データは、軸荷重と軸変位を動ひずみ計で 1 秒ごとに測った。また、各座屈実験では、水圧を $0(kPa)$ 、 $98(kPa)$ 、 $294(kPa)$ 、 $490(kPa)$ 、 $686(kPa)$ の 5 つの一定水圧の下に座屈実験を行った。

(2) 試験体

試験体の実測値を表-1 に示す。

(3) 材料特性

ウレタンゴム円棒の引張り試験を行い、応力-ひずみ関係を調べた。その結果を図-3 に示す。弾性係数は、応力-ひずみ曲線を 3 次の多項式で近似し、その微係数から求めた。

表-1 に試験結果を示す。

(4) 実験結果と考察

5 ケースの水圧について座屈実験を行って、4 本の試験体から応力-ひずみ関係図を得たが、ここでは、試験体ⅡとⅢの応力-ひずみ関係図のみをそれぞれ図-4、図-5 に示す。図中 σ_r は、水圧の大きさを示す。

試験体Ⅱについての実験は、水圧を $686(kPa)$ 、 $490(kPa)$ 、 $294(kPa)$ 、 $98(kPa)$ 、 $0(kPa)$ の順で行った。また、試験体Ⅲ

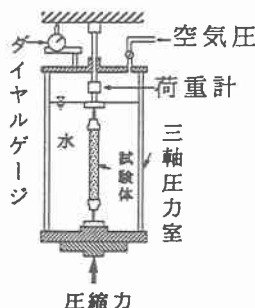


図-1 三軸圧縮試験機

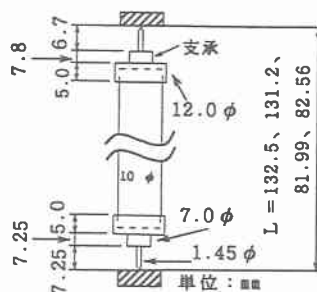


図-2 試験体詳細図

表-1 材料特性

試験体番号	寸法		初期弾性係数 (MPa)
	有効座屈長 L (cm)	平均直径 D (cm)	
I	13.250	1.013	56.4
II	13.120	1.012	
III	8.199	1.010	
IV	8.256	1.009	

は 0(kPa)、98(kPa)、294(kPa)、490(kPa)、686(kPa)の順で行った。

これらの図の縦軸は全軸圧縮力 σ を示し、横軸は軸方向のひずみ ε を示している。これらの図から、水圧が大きいほど軸圧縮応力が大きいことが分かる。ここで、全軸圧縮応力から水圧を差し引いて軸応力-ひずみ関係図をプロットしてみると、図-6、図-7のようになる。図から分かるように軸圧縮応力は水圧の大きさに関係なくほぼ同じ曲線である。

図-4、図-5の応力-ひずみ曲線を3次の多項式で近似し、変曲点を座屈応力として与えた場合の座屈応力を表-2に示す。また、図-4から図-7の中に、これらの座屈点を矢印で示した。表-2より、全軸圧縮応力から側圧を引いた応力と Euler 座屈応力との比は、1.0 前後の値となっていることから、側圧は棒の座屈強度に影響しないと判断できる。

3. おわりに

実験結果から、次のようなことが分かった。

- ① 静水圧のみを受ける棒の座屈は起きない。
- ② 側圧と軸圧縮力を受ける棒の座屈は、全軸圧縮力から側圧を差し引いた軸圧縮力によって座屈し、側圧は棒の座屈には無関係である。

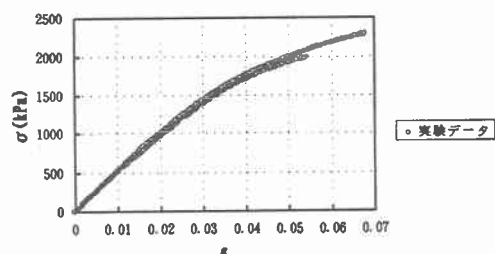


図-3 ウレタンゴムの応力-ひずみ図

表-2 座屈実験による座屈応力

種類	図	水圧	全軸応力	水圧を差し引いた座屈応力	Euler座屈応力	
		(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	σ/σ _E
Ⅱ	図-4	686	937	251	201	1.25
		490	685.5	175.5		0.87
		294	471.9	177.9		0.89
		98	268.5	170.5		0.85
		0	211.8	211.8		1.05
Ⅲ	図-5	0	484.4	484.8	516.8	0.94
		98	613.5	515.5		1.00
		294	668.1	374.1		0.72
		490	830.8	340.8		0.66
		686	1064.2	378.2		0.73

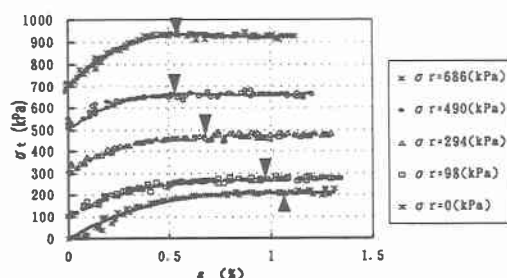


図-4 全軸圧縮応力-ひずみ曲線 (試験体: Ⅱ)

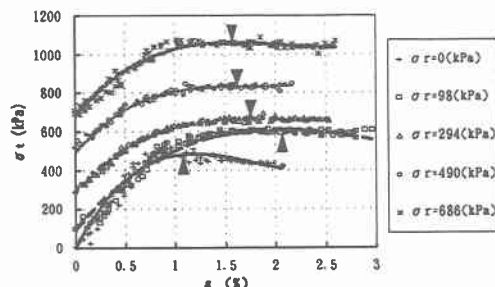


図-5 全軸圧縮応力-ひずみ曲線 (試験体: Ⅲ)

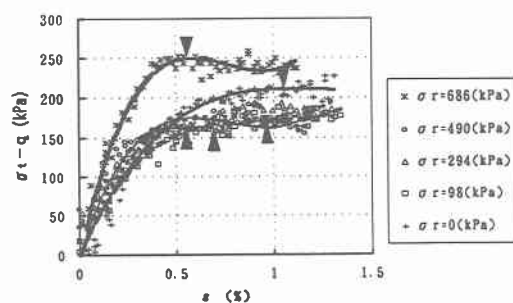


図-6 全軸圧縮応力から側圧を引いた
応力-ひずみ曲線 (試験体: Ⅱ)

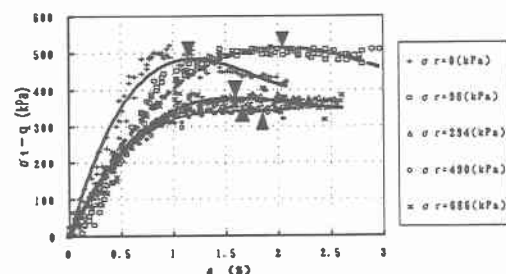


図-7 全軸圧縮応力から側圧を引いた
応力-ひずみ曲線 (試験体: Ⅲ)