

ジオテキスタイルの圧縮クリープと応力緩和

渡 辺 恵 美・近 田 富士雄*

Compression Creep and Stress Relaxation of Geotextiles

Emi WATANABE and Fujio KONDA

1. 緒 言

ジオテキスタイルは土を表す「ジオ」と繊維「テキスタイル」の合成語であり、この言葉からも解るように、土木分野で使用される繊維高分子材料を総称している。このジオテキスタイルには排水、濾過、分離、補強などの機能がある。この中で、土構造物の引張補強に関連して素材の引張特性は重要である。特にジオテキスタイルは高分子材料であるため、引張り歪の経時的変化について十分考慮する必要がある。そのため引張クリープ特性について種々検討されている。¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

一方、ジオテキスタイルは土の中で土圧や水圧を受け、圧縮された状態で使用されている。圧縮を受けると厚さや空隙率が変わり構造が変化するため、排水や濾過作用にも変化をもたらす。したがって、圧縮によるクリープ現象の経時的変化を調べる必要があるが、これについてはまだあまり研究されていない。

本研究は、ジオテキスタイル用のスパンボンド不織布を用いて圧縮試験を行い、圧縮クリープ、圧縮応力緩和及び構造変化について究明した。ジオテキスタイルはライフタイムが50年と言われており、長期の圧縮特性を予測することが必要であるが、現時点ではその方法が確立されていない。したがって、本研究では比較的初期における圧縮特性について考察した。

2. 実 験

2. 1 実験装置と方法

2. 1. 1 圧縮応力緩和

圧縮応力の緩和状態を知るために、図-1に示すようにテンシロンを用いて圧縮実験を行った。試料の厚さを測定し、歪が一定になるような厚さに圧縮し、そのまま放置する。そのときの圧縮応力と時間との関係を記録計に記録した。表-1に示した厚さの違う3種類の試料のう

*岐阜大学

ち、最も厚い試料と同じ厚さになるように、数枚重ねて実験を行った。圧縮速度は10 (mm/min) である。

また、歪と応力緩和との関係を知るために、38% 44% 50% 56%の4種類の歪について測定を行った。

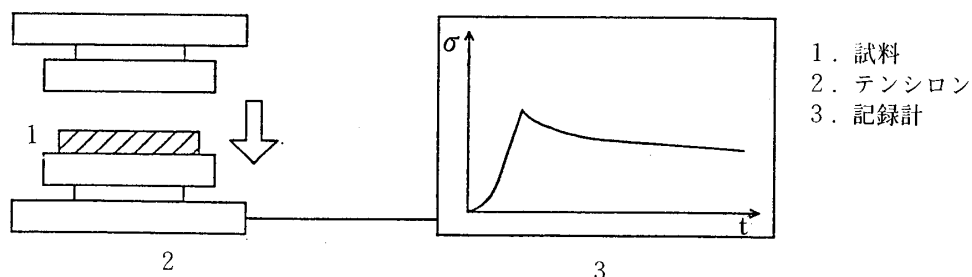


図-1 実験装置～応力緩和

2. 1. 2 圧縮クリープ

部分圧縮

図-2に示すように、オリエンティック社の207型厚さ計の上にプラスチックの板を取り付けて、その上に荷重を載せる。厚さ計のロッド部分を試料に直接接触させ部分的に圧縮し、厚さの変化を記録計に記録した。さらに、圧縮力と変形量を知るために、3種類の荷重を用いて実験を行った。また、薄い試料は変形量が小さくて分かりにくいいため、数枚重ねて変形量を大きくして測定を行った。

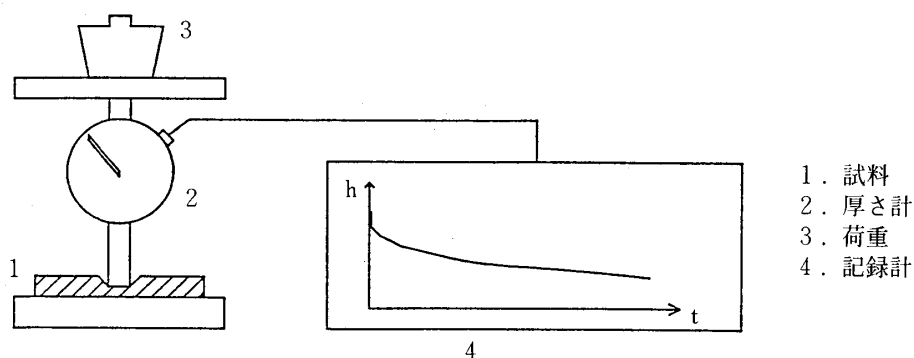


図-2 実験装置～圧縮クリープ (部分圧縮)

全面圧縮

テンシロン UTM-4 型を用いて試料全面を圧縮し、圧縮クリープ実験を行った。図-3に示すように、テンシロンに定荷重クリープ装置を接続し、常に一定の荷重が試料に加わるように可動クロスヘッドを制御する。変位計をテンシロンに取り付けて、固定クロスヘッドに連結したアングルの上面に変位計のロッドの先端を当て、試料の厚さの変位量を測定した。圧縮速度は10 (mm/min) である。

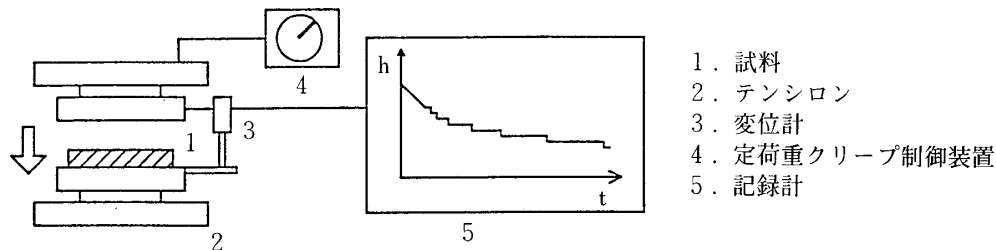


図-3 実験装置～圧縮クリープ（全面圧縮）

2. 1. 3 やや長期の圧縮クリープ

ジオテキスタイルは土中に何年も埋められている。その間ずっと土の圧力を受けクリープ現象を起こす。このことを知るために、試料をプラスチックの板ではさみ、その上に荷重を載せて荷重ごと厚さを測定し、荷重とプラスチック板の厚さを引いて試料の厚さを算出した。最初の1ヶ月は5日おきに、以降は10日おきに測定し、初期のクリープと比較した。

2. 2 試料

試料はポリプロピレン樹脂を原料とし、スパンボンド法により製造された、連続フィラメントよりなるスパンボンド不織布である。厚さは3種類で、その明細は、表-1に示す。数値は実際に測定した値の平均値である。

表-1 試料の明細

	I (薄)	II (中)	III (厚)
厚 さ (mm)	2.15	3.95	8.38
重 量 (g)	1.10	2.20	4.24
空隙率 (%)	88.7	87.7	88.9
織 度 (d)	13.6	5.74	7.15

3. 結果および考察

3. 1 圧縮応力緩和

試料を圧縮し放置しておく、記録計には圧縮応力と時間との関係が描かれる。得られた実験曲線の一例を図-4に示す。圧縮していくと応力は次第に増加し、所定の厚さあるいは歪まで圧縮した後、そのままの厚さで放置しておく、応力は次第に減少していく。最初は急激に減少するが、段々その変化量は小さくなっていく。

この実験曲線において、P点における時間を0とし、以後の経過時間を秒で横軸に対数を取って示したのが図-5である。いずれの試料においてもほぼ直線関係を示すことから、圧縮応力

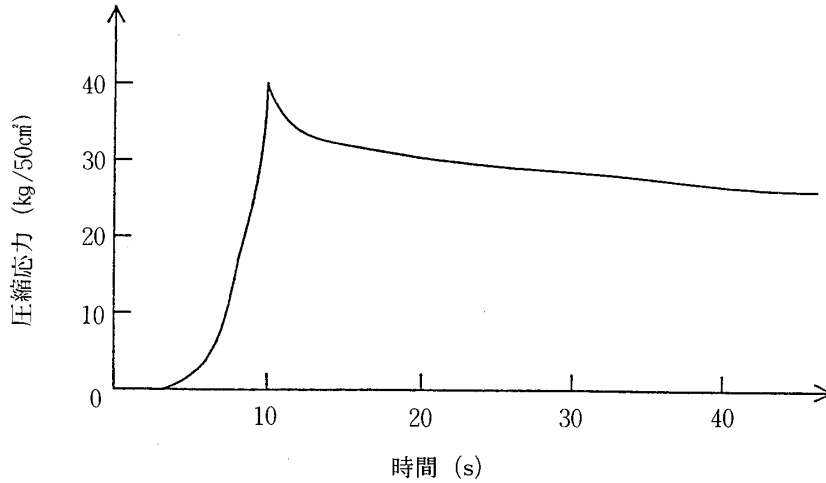


図-4 圧縮応力の時間的变化

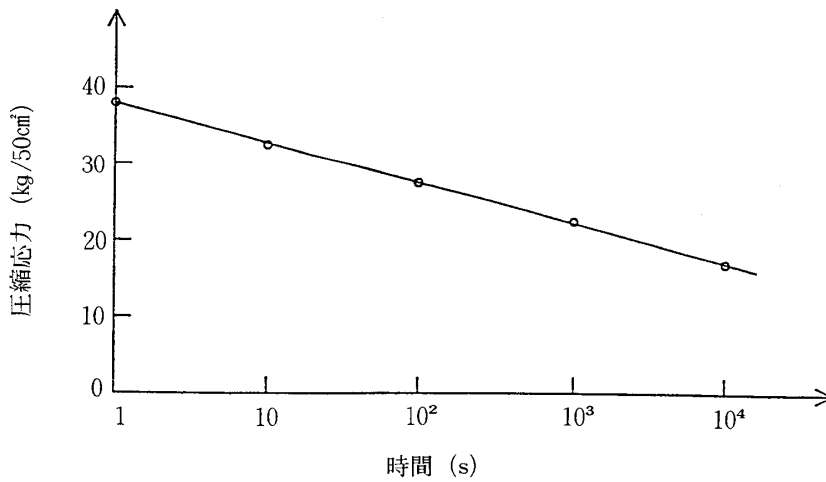


図-5 圧縮応力の緩和状態

は指数関数的に減少していくようである。直線の傾きや切片は、試料の厚さや圧縮の程度によって異なる。よって図-4の実験曲線を(1)式のような指数関数と見なすことができる。

$$y = a e^{-b t} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 y は圧縮応力、 t は時間、 a 、 b は定数である。対数を取ると、

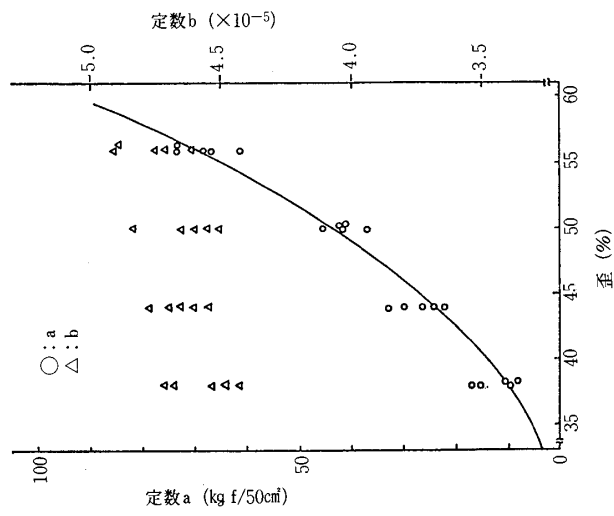
$$\text{LOG } y = \text{LOG } a - b t \dots\dots\dots(2)$$

$\text{LOG } y = Y$ 、 $\text{LOG } a = A$ 、 $b = B$ 、 $t = T$ とすると、(2)式は

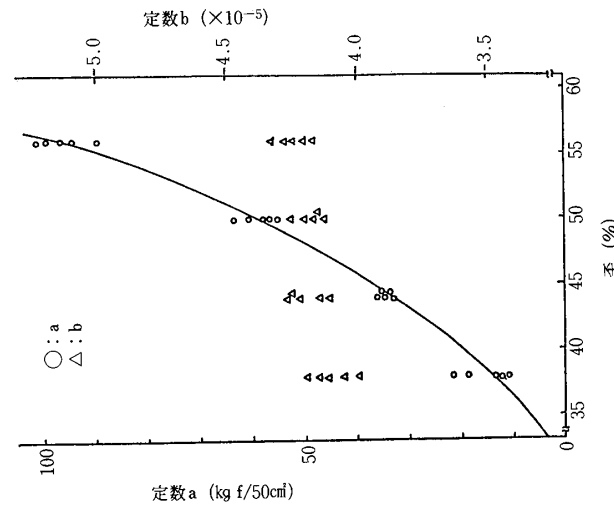
$$Y = A - B T \dots\dots\dots(3)$$

となり、(3)式は図-5の直線の式である。いずれの実験曲線も定数 a 、 b で全て決まり、定数 a はP点における応力、 b は緩和速度を示す。そこで次に、これらの定数と圧縮歪及び構成繊維の織度との関係について考察した。

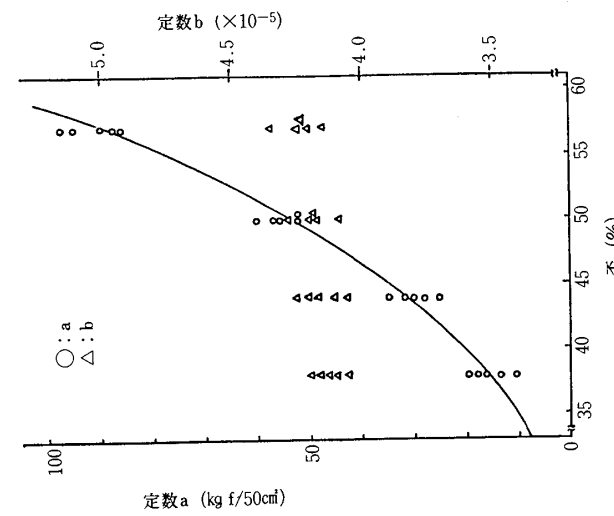
同じ試料で同じ厚さに圧縮しても、試料の厚さむら、織度のむら、空隙率の違いで種々の実験曲線となる。つまり、定数 a 、 b は圧縮歪、織度、空隙率に依存する。図-6 (I) (II) (III)



(III) 試料~厚



(II) 試料~中



(I) 試料~薄

図—6 定数 a , b と歪との関係

は、定数 a 、 b と歪との関係を示したものである。どの試料においても、歪が大きくなれば a は大きくなる。これは応力と歪の関係から説明できる。

$$\sigma / \varepsilon = E \dots\dots\dots(4)$$

ここで σ は応力、 ε は歪、 E はヤング率である。しかし、応力と歪は比例関係ではなく、歪を大きくすると急激に応力は大きくなっている。これはスパンボンド不織布が大きな空隙率を持つため、歪の小さいうちは空隙を埋める現象が主で、大きくなるに従って、繊維に力が加わり、応力は大きくなると考えられる。歪が大きくなっても b はあまり関係がなく、ほぼ一定となっていると思われる。

図-7 は、定数 a 、 b と織度との関係を示したものである。織度が大きいほど a は小さくなっている。換言すれば、繊維の太い試料ほど、圧縮したとき応力は小さいということになる。また、歪が大きいくほど、その傾向はよくみられる。表-1 に示したように、3つの試料の空隙率はほぼ同じである。よって充填率もほぼ同じ程度である。したがって繊維が太いということは

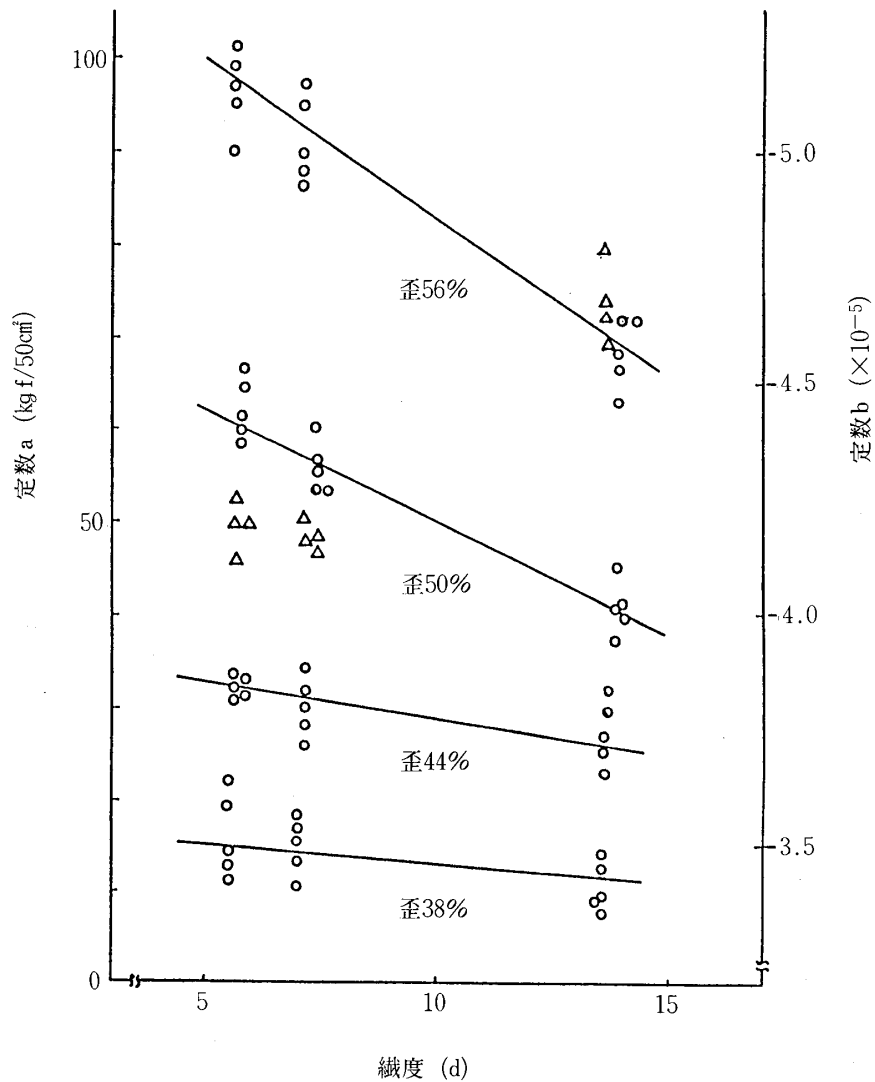


図-7 定数 a 、 b と織度との関係

繊維本数が少なくなり、繊維相互の接触点間の距離が長くなる。そのため繊維は曲げ変形を起こし易くなり、圧縮し易くなると考えられる。bは前述したように歪に関係なく一定だから、各歪ごとの平均値をプロットした。試料（薄）と（中）の織度は、ばらつきの程度から考えてほぼ同じと考え、織度が大きい方がbの値は大きくなっている。つまり織度の太い試料の方が応力の緩和速度が速いことになる。

3. 2 圧縮クリープ

試料に荷重をかけると厚さは急激に減少し、時間の経過と共にその傾向は少なくなる。得られた実験曲線の一例を図-8に示す。部分圧縮も全面圧縮の場合も図-8に示すような曲線となる。部分圧縮は荷重を載せた瞬間を、全面圧縮は定荷重クリープ装置が作動し、一定の荷重がかかり始めた時刻を0とした。

応力緩和と同様に、時間を秒で横軸に取ったグラフを図-9に示す。これもほぼ直線関係を示すことから、図-8は(5)式のような指数関数とみなすことができる。

$$y = a e^{-b t} \dots\dots\dots(5)$$

ここで、yは厚さ、tは時間、a、bは定数である。aは荷重をかけた瞬間の試料の厚さを示し、bはクリープ速度を示す。これらの定数a、bと荷重、織度との関係について考察した。

部分圧縮の実験において、定数a、bと荷重との関係を各試料ごとに示したのが図-10 (I) (II) (III)である。いずれも単位面積当りの荷重が大きいほどaは小さくなり、bは大きくなる。換言すると、荷重を大きくすると荷重をかけた瞬間の厚さは薄くなり、その後の厚みの変化量が大きくなるということである。大きな荷重をかければ、試料の厚さが薄くなり易いのは明白である。

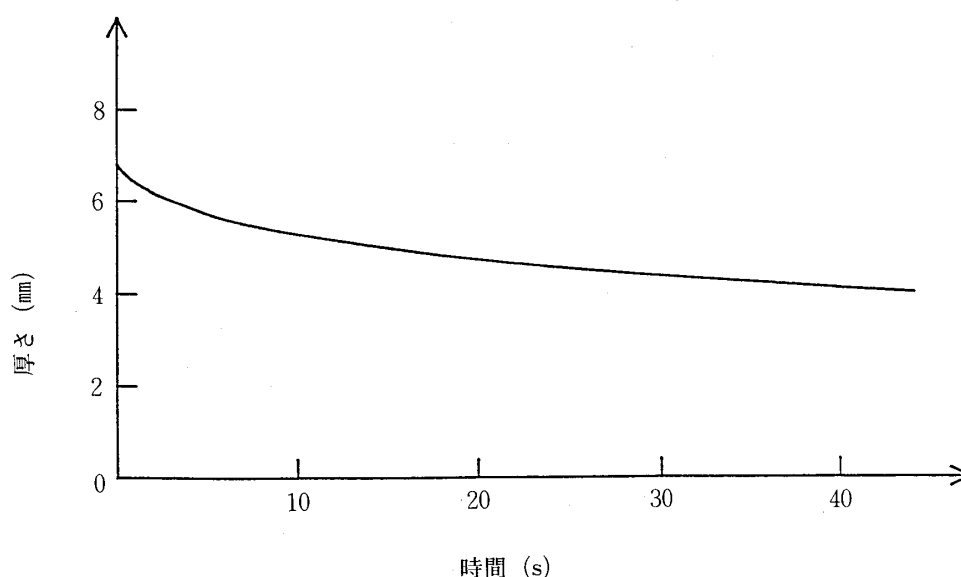


図-8 圧縮クリープの時間的变化

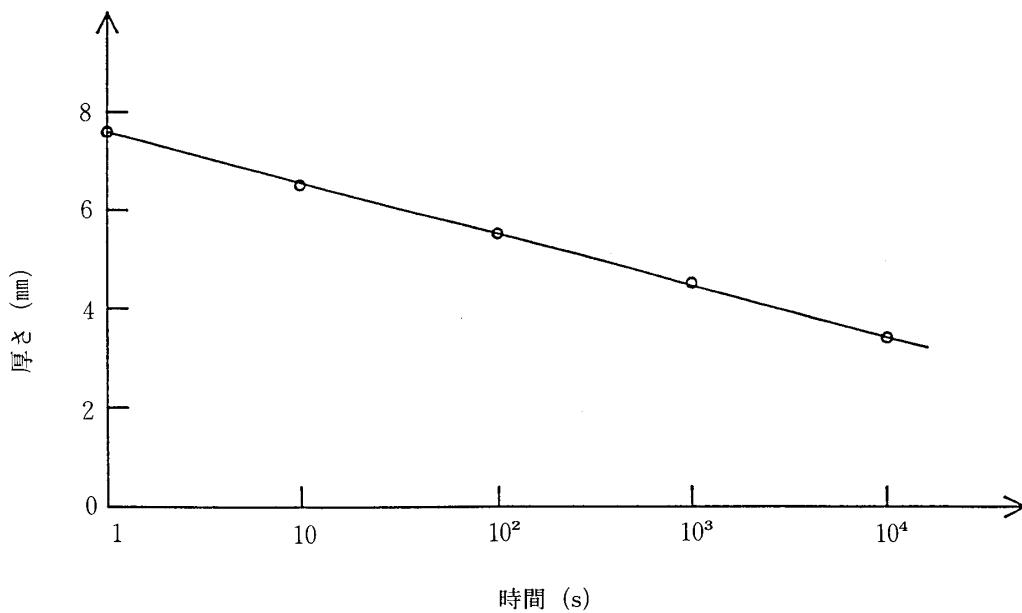
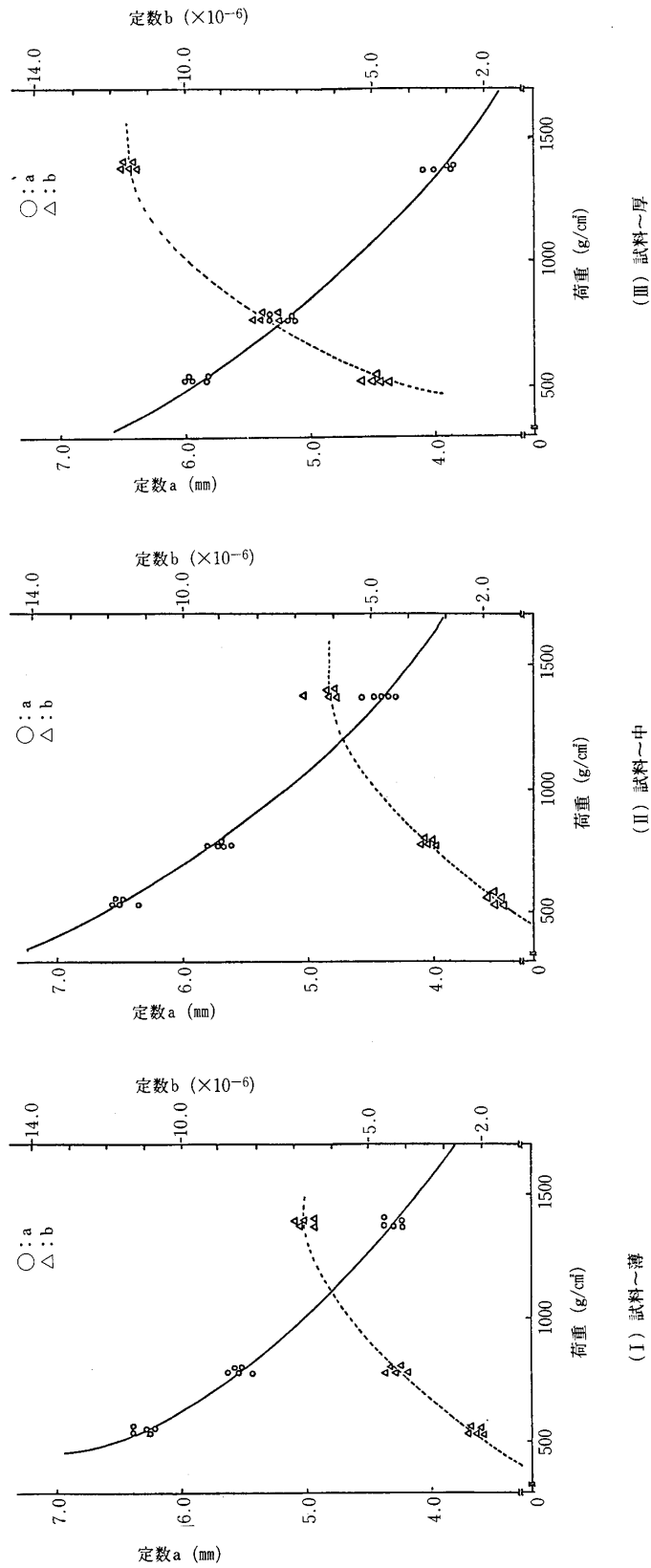


図-9 圧縮クリープ

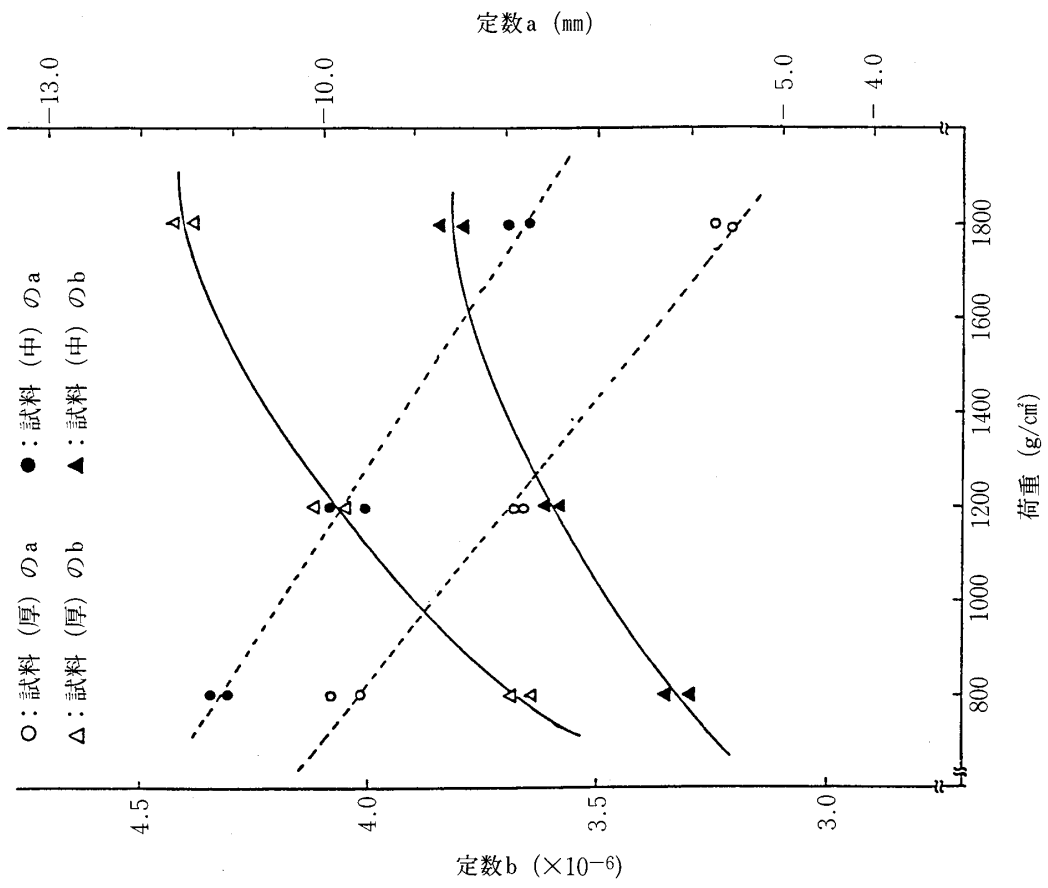
次に定数 a , b と繊維度との関係を図-11に示す。どの荷重においても繊維度が大きくなると a は減少し, b は増加している。つまり, 繊維の太い試料ほど変形し易いように思われる。これも応力緩和における圧縮応力と同じ理由と思われる。

全面圧縮においても同じ様な傾向がみられる。定数 a , b と荷重の関係, 定数 a , b と繊維度との関係をそれぞれ図-12, 図-13に示す。試料は (中) と (厚) の2種類で, いずれも部分圧縮と同様の結果となった。しかし, 単位面積当りの荷重を同じにしても, 部分圧縮は全面圧縮に比べ変形量が少ない。これは部分圧縮したときの厚さ計のロッドの周囲の繊維の影響であると考えられる。

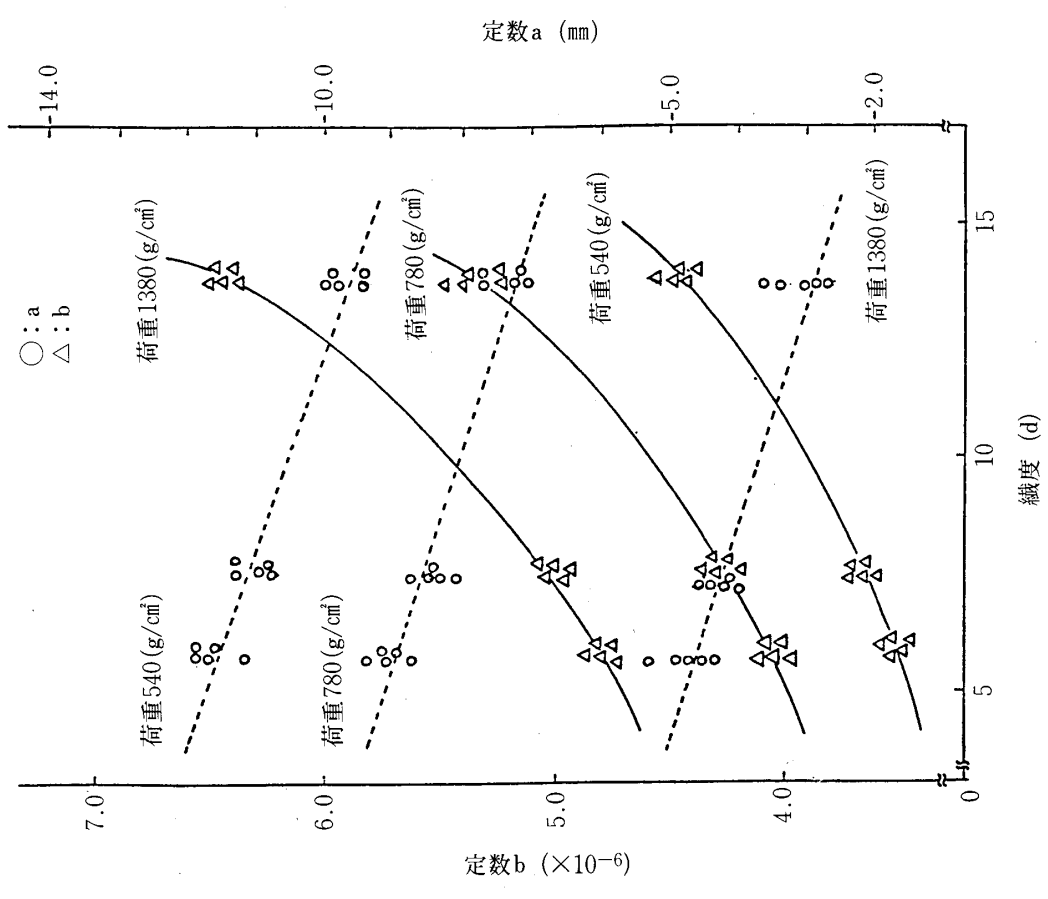
いずれにしても, 圧縮された試料は厚さや空隙率が変わる。そこで試料の構造について調べた。図-14は試料 (厚) を $3200 \text{ (g/cm}^2\text{)}$ の荷重のもとで全面圧縮したときの厚さの保持率と空隙率の時間的变化の一例を示したものである。縦軸には実験前の厚さを 100% としたときの厚さを百分率で表した厚さの保持率とその厚さの時の空隙率を取る。実線は厚さの保持率を, 点線は空隙率を示す。厚さの保持率に対し, 空隙率の変化は小さく, 空隙率は緩やかな曲線となっている。この傾向は荷重が大きい場合の方が顕著であり, スパンボンド不織布は圧縮されて厚さが薄くなっても, 十分な空隙率を保つことが可能である。



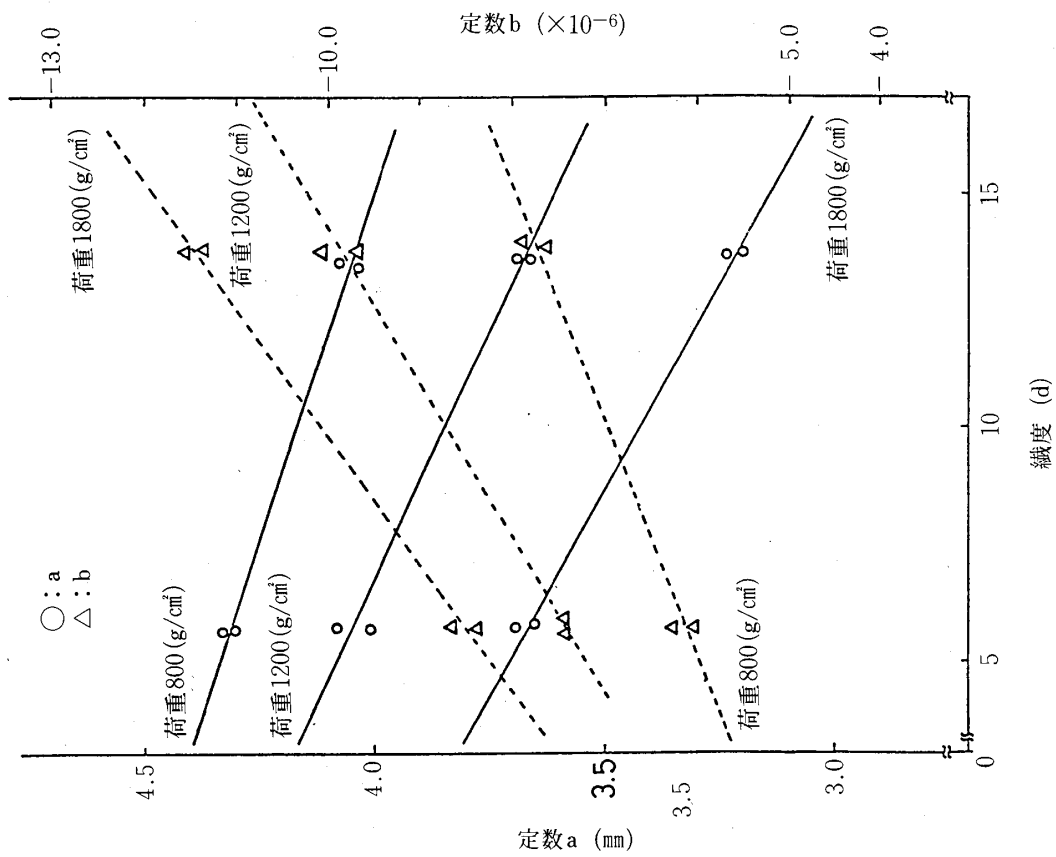
図一10 定数 a, b と荷重との関係



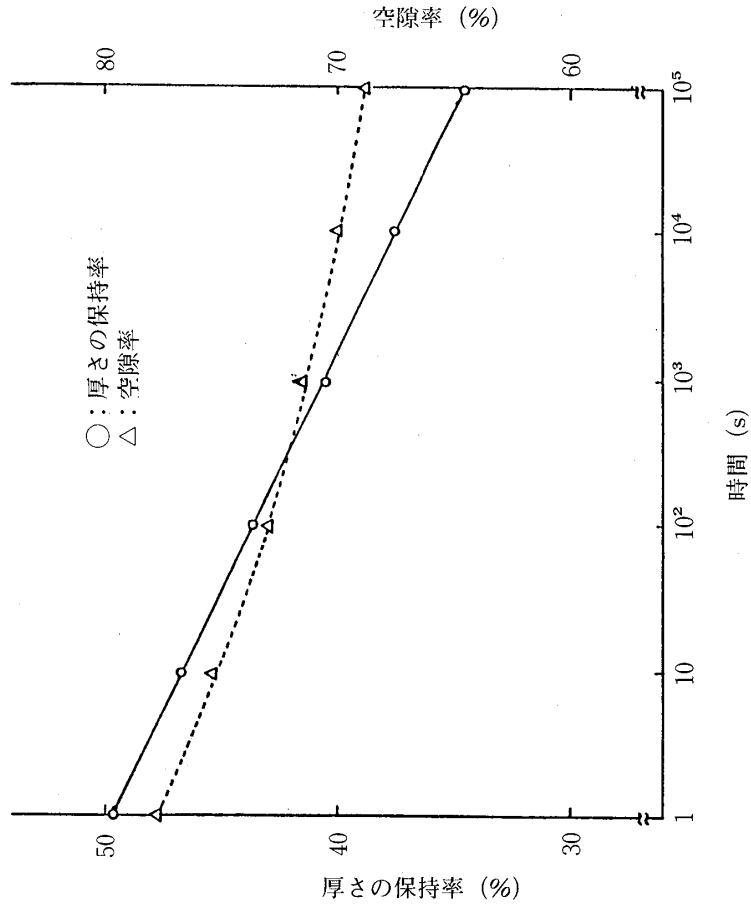
図一11 定数 a, b と荷重との関係



図一12 定数 a, b と荷重との関係～全面圧縮



図一13 定数 a, b と織度との関係～全面圧縮



図一14 厚さの保持率と空隙率の時間的变化

3. 3 やや長期の圧縮クリープ

短期の圧縮クリープと同様に、時間を秒で横軸に対数を取ったやや長期の圧縮クリープを図-15に示す。単位面積当りの荷重が小さいので変化が小さいが、徐々に厚さが薄くなっていくことが解る。荷重を載せた瞬間の厚さや初期の圧縮クリープは前述した通りであり、その傾向がどの程度まで続くかを測定した。

試料（薄）において、実験開始約 5.1×10^6 秒後（約60日後）までは初期のクリープの直線にほぼ等しく減少しているが、それ以降、直線から外れてほぼ一定値、もしくはわずかに増加している。増加したのは気温の上昇による試料の膨張のためであると考えられる。したがって気温、湿度が一定であれば、試料の厚さは一定値になると思われる。他の試料においては、 6.0×10^6 秒後（約70日後）になってもまだ初期のクリープの直線に沿って減少している。しかし、厚さがなくなることはないので、いつかは一定値になると思われる。その一定値は気温、湿度、試料の厚さ、織度、空隙率、荷重などに依存すると思われる。

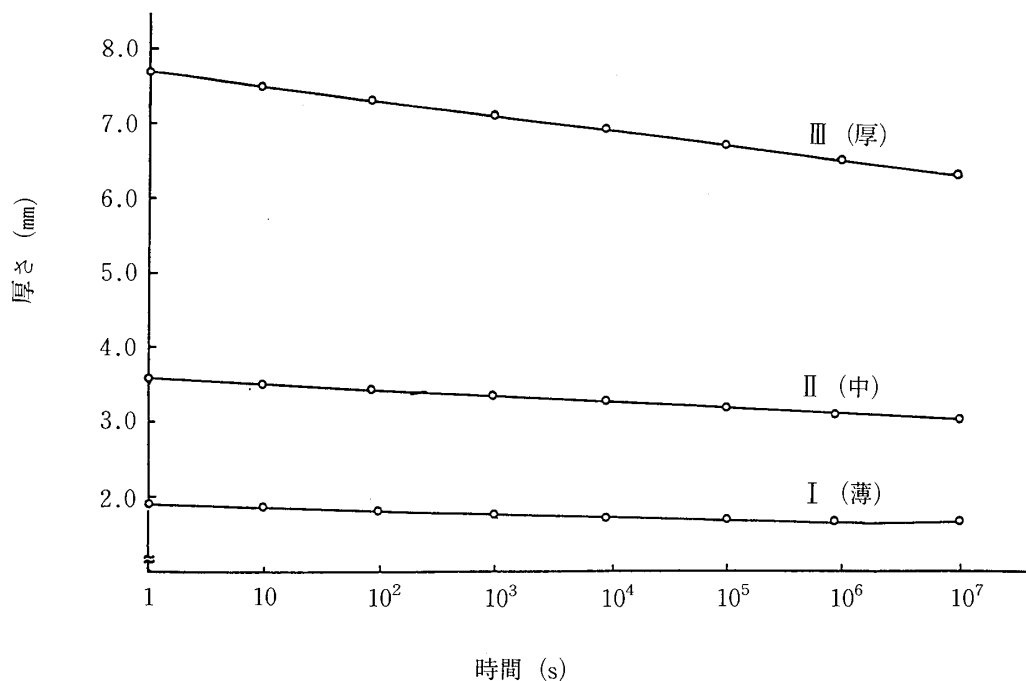


図-15 やや長期の圧縮クリープ

4. 結 言

ジオテキスタイルは土の中で圧力を受け、圧縮された状態で使用されるため、クリープ現象を起し構造が変化する。したがって、排水や濾過機能に影響をもたらす。

本研究は、ジオテキスタイルの圧縮特性の基本的な知見をうることを目的としたもので、そのためジオテキスタイル用のспанボンド不織布を用いて試料を圧縮し、応力緩和、圧縮クリー

プ現象，構造の変化について考察した。また，何十年も埋められて用いられるジオテキスタイルの長期のクリープを研究する前段階として，初期の変化について実験を行い，予測の指針とした。結果は次の通りである。

- 1) 大きな歪を与えると大きな応力が発生し，放置しておくとも緩和現象が起きる。緩和の速度は歪の大きさにあまり関係がなく，同じ空隙率の場合，試料を構成する繊維の太さに関係を有し，繊維が太いほど緩和速度は速くなる。
- 2) 試料に荷重をかけると，クリープ現象を起こす。荷重が大きいほどクリープ速度が速く，また，織度の大きい試料ほど，クリープ速度は速くなる傾向を示す。大きな空隙率を持つスパンボンド不織布は，厚さの変化に対する空隙率の変化が小さく，土中で圧縮されても高い空隙率を保持し，排水，濾過などの機能を果たすことができる。
- 3) ジオテキスタイルは数十年土中に埋められた状態で使用される。そのため，長期の圧縮クリープを知ることが重要である。やや長期の圧縮クリープは，初期の圧縮クリープとほぼ同じ傾向であるが，途中からある一定値になると思われる。その値は気温，湿度，試料の厚さ，織度，空隙率に依存すると思われる。

参考文献

- 1) 山岡一三，西形達明，岡本誠治：第1回ジオテキスタイルシンポジウム発表論文集，P47 (1986)
- 2) 西形達明，山岡一三：土木学会年次学術講演概要集Ⅲ，42，P850-851 (1987)
- 3) 山岡一三，広田泰久：基礎工，14，No12，P17-24 (1986)
- 4) 山岡一三，西形達明：土質工学研究発表会講演集，21，No2-2，P1915-1916 (1986)
- 5) 山岡一三，西形達明，田中 茂：土質工学シンポジウム発表論文集，130，P87-92，(1985)