

ソイルセメントの圧縮疲労特性

COMPRESSIVE FATIGUE IN SOIL-CEMENT MIXTURES

枷場重正*・川村満紀**・大浦 隆***
By Shigemasa HASABA, Mitsunori KAWAMURA and Takashi OHURA

1. まえがき

ソイルセメントの静的圧縮強度および弾性係数に関する研究の歴史は古く、また収縮きれつの発生に関連して、ソイルセメントのクリープ変形および乾燥収縮について、国内外において比較的数多くの論文が発表されている。このように、静的荷重下におけるソイルセメントの力学的性質はすでにかなりの程度解明され、実用面にも応用されているようである。しかし、土木材料の基本的な力学的性質として重要な動的荷重下におけるソイルセメントの力学的性質についての研究はきわめて少なく、繰り返し荷重下における変形および強度特性^{1), 2)}、そして疲労に関する二、三の報告^{3)~5)}がみられるにすぎない。なかでも重要な土木材料の1つであるソイルセメントの疲労に関する研究はその工学上の重要性が認識されているにもかかわらず、きわめて少ない。特に、ソイルセメントの疲労に関する研究においては、荷重の種類、載荷条件、土の種類およびセメント量など工学的に考慮すべき要因が多く、未解決の問題が多く残されている。

上述のようなソイルセメントの力学的性質に関する研究の現状を考慮に入れて、本論文はソイルセメントの疲労特性について、圧縮繰り返し荷重下における破壊応力条件と繰り返し回数との関係および軸方向ひずみの進行速度より規定される疲労破壊条件を中心に実験的考察を加えたものである。

2. 従来の研究概要

ソイルセメントの疲労に関する研究報告は非常に少ないが、Bofinger²⁾をはじめとして、二、三の論文が発表されているので、各論文の概要を記しつつ、問題点を明

らかにし、本論文の意義について述べる。

Bofinger は重量百分率で 8, 12 および 16% のセメントによって処理された粘性土の曲げ、圧縮および引張りの疲労試験を行い、圧縮繰り返し応力下では 95% の応力レベルでは 50 万回以下の繰り返し回数で破壊すると述べている²⁾。Bofinger はそのほか、純引張り繰り返し荷重下の疲労について、疲労限度が存在するが、その限度はセメント量に関係がないことなどの結果を報告し、ソイルセメントの疲労特性はコンクリートとは種々の点で異なるという結果を得ている²⁾。Bofinger が使用した疲労試験装置はスプリングの反力を利用したものである。したがって、供試体のひずみ進行にともなう荷重減衰およびブリケット型の供試体がもつさけがたい欠陥である応力集中のため、得られている実験結果に疑問が残っている。しかし、後述のように、ソイルセメントの疲労破壊限は破壊までのひずみ履歴によって記述する方が適当であると考えられるので、Bofinger が曲げ疲労試験において、疲労寿命を直接測定された最大曲げ引張りひずみの関数として表わそうとしている点は注目に値する。

Larsen and Nussbaum³⁾ は多種類のソイルセメントに対する疲労試験結果に統計的処理を施し、路床の強度はソイルセメント層の疲労寿命にあまり影響をおよぼさないことおよび疲労特性は土の種類にのみ関係することなどを明らかにしている。

Pretorius⁴⁾ はソイルセメントの曲げ疲労に関する実験を行い、破壊に至る曲げ引張りひずみ履歴について、次のような結果を発表している。すなわち、繰り返し載荷後、かなりの時間、ひずみは変化しないが、いったん変化しはじめると急速にひずみは増加して破壊に至る。そして、破壊時のひずみは初期ひずみに関係なく、 $130 \sim 170 \times 10^{-6}$ なる値を示す。さらに Pretorius は 100 万回載荷においても破壊しなかった供試体は全試験を通じて一定のひずみを示し、100 万回までに蓄積されたダメージはそれほど重要なものではないということから、ひ

* 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 ピー・エス・コンクリート(株)

ずみ履歴が供試体中に生じているダメージの目やすくなることを示唆している¹⁾。

上記の数少ない研究報告からは、通常、金属材料やコンクリートの疲労に関する研究^{4)~6)}において用いられているような統計的手法によって、ある程度厳密にソイルセメントの疲労破壊条件を求めるようとする本格的な研究はまだ行われていないことがわかる。上述のように、路盤中において、ソイルセメントが受けける応力状態に近い条件で疲労試験を行うことは勿論重要な課題ではあるが、多数の供試体について実験を行う場合、いろいろな制約や困難が伴い、全体として結果があいまいなものになりがちである。このような研究の現状を考慮に入れて、本研究は多数の供試体についての実験結果に統計的手法を用いて、ソイルセメントの圧縮疲労特性について実験的検討を加えようとするものである。

3. 実験概要

(1) 使用材料および供試体の作成法

使用砂質土および粘性土はそれぞれ富山県小矢部市石動産および石川県能美郡辰ノ口産のものである。粘性土は長期間室内で自然乾燥させたものをときほぐし機によって一定の粒度にときほぐしたものである。これらの土試料のおもな物理的性質は表-1に示す通りである。

表-1 試料土の物理的性質

	長ノ口産粘性土	小矢部産砂質土
分類	粘土質ローム	砂質ローム
砂 分 (%)	45.0	76.3
シルト 分 (%)	24.0	15.3
粘土 分 (%)	31.0	8.4
L.L (%)	78.00	—
P.L (%)	58.26	—
P.I (%)	19.74	—
O.M.C (%)	46.0	13.6
M.D.D (g/cm ³)	1.138	1.903
比重	2.786	2.67

使用セメントはN社製普通ポルトランドセメントである。

供試体は直径5cm、高さ10cmの円柱体であり、すべて所定の含水比（最適含水比）において最大乾燥密度（表-1参照）になるように静的締固めによって作製されたものである。各供試体は硫酸紙で覆い、その上にパラフィンワックスを塗布して、20±1°Cの恒温恒湿室で7日間養生したものである。

(2) 材料の配合

アスファルト舗装要綱に規定されている目標圧縮強度

を参考にして、本実験では目標7日強度を30kg/cm²および20kg/cm²とする。

7日材令において一軸圧縮強度が20kg/cm²および30kg/cm²となるようなセメント量を決定するために、適当な範囲で二、三のセメント量について最適含水比および最大乾燥密度を求め、目標圧縮強度を得るために必要なセメント量を決定した。その結果をまとめると表-2のようである。

表-2 供試体の配合割合

目標強度 土の種類	20kg/cm ²			30kg/cm ²		
	セメント量 (%)	最適含水比 (%)	最大乾燥度 (g/cm ³)	セメント量 (%)	最適含水比 (%)	最大乾燥度 (g/cm ³)
砂質土	6.0	9.9	1.950	7.6	9.6	1.965
粘性土	19.7	38.3	1.271	28.0	35.6	1.327

(3) 実験装置および方法

繰り返し荷重はサーボバルサー（島津社製、EHF-10型最大荷重10ton）によってあたえられ⁷⁾、荷重一時間関係は正弦関数である。疲労実験中における強度増加の影響を考慮しなくてもよい時間内に実験を完了させるために、載荷速度は毎分300サイクルとし、繰り返し荷重載荷中の供試体のたて方向ひずみは差動トランス型ひずみ計を用いて測定し、ペン・レコーダーに記録させた。疲労実験中の供試体からの水分の蒸発を防ぐために、供試体をゴム・スリープによって密封した。応力条件は圧縮強度に対する比率で、(i) 下限応力比0.1に対して上限応力比0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.90. (ii) 下限応力比0.3に対して上限応力比0.75, 0.80, 0.85, 0.90. (iii) 下限応力比0.5に対して上限応力比0.80, 0.85, 0.90, (iv) 下限応力比0.7に対して上限応力比0.85, 0.90, 0.95の各組み合わせである。

4. 平均破壊回数の求め方

ソイルセメントの疲労寿命は、金属やコンクリートと同程度あるいはそれ以上のばらつきを示す。金属材料については疲労破壊の物性論的基礎との関連とともに疲労破壊の統計的性質に関する理論が提案されてきたが⁴⁾、ソイルセメントの疲労破壊についてはほとんど解明されない。しかしソイルセメントのS-N曲線および応力振幅と破壊回数の関係について明らかにするためには、比較的数少ない供試体（本実験では8個）より平均破壊回数を推定する必要がある。そこで、金属材料の疲労破壊の統計的性質に関する一理論として提案されているように、現象としては一定の応力振幅に対する疲労寿命の分布は対数正規分布になると仮定してこの問題を処理し

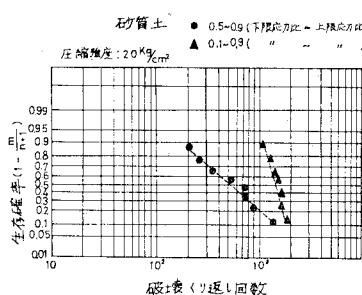


図-1 破壊繰り返し回数と生存確率

た。すなわち、順序統計量理論により、総数 n 個の供試体の破壊確率を小さい方から順に並べたときの m 番目の期待値より、その生存確率

$$P = 1 - \frac{m}{n+1}$$

計算する。そこで、片対数確率紙を用いて、横軸およびたて軸にそれぞれ破壊繰り返し回数 (N) および P をとって図示すると、応力条件とソイルセメントの種類のほとんどの組み合わせについて P と N の関係が直線的であることが認められた(図-1)。ここでは、最小二乗法によって求めた直線の式から、 $P=0.5$ に対応する N を求めて、その応力条件に対する平均破壊繰り返し回数とする。例外点は F 検定によって処理した。

5. 実験結果と考察

(1) 初期破壊点ひずみと全ひずみ速度の定義

図-2 および 3 に示されるように、横軸に對数目盛で繰り返し回数をとり、たて軸に普通目盛で全ひずみをとって図示すると直線関係が得られ、疲労破壊を起こさ

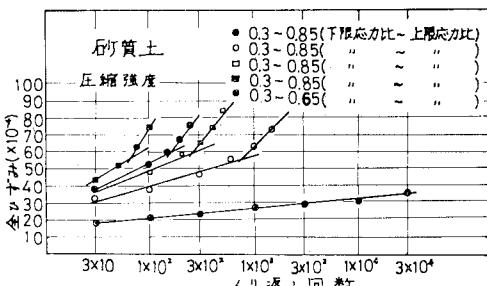


図-2 全ひずみと繰り返し回数の関係

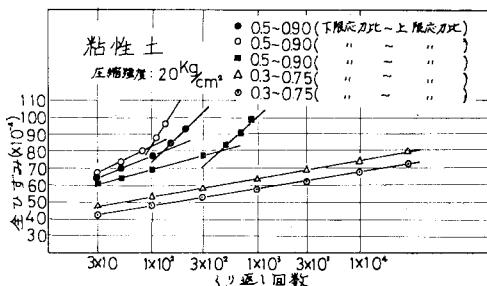


図-3 全ひずみと繰り返し回数の関係

ない範囲内の応力条件下では、応力条件が多少異なっても全ひずみの進行速度はほぼ等しいが⁷⁾、疲労破壊を起こすような応力条件の荷重を受けると、繰り返し回数の増加とともに全ひずみの進行度合は急に大きくなるとともに、応力振幅の増大によっても全ひずみの進行度合は大きくなる。さらに、疲労破壊を起こすような応力条件下では、破壊点近くにおいてひずみは急激に増加し、折点が生ずる。これらの事実より、繰り返し載荷中のソイルセメントのひずみ履歴が疲労破壊と密接な関係にあることがわかる。このことは Pretorius もその報告¹¹⁾の中で示唆しているところでもあり、この点について詳細な検討を加えるために、本論文では、ソイルセメントのひずみ履歴を示す特性値として、上記の折点に相当するひずみを初期破壊点ひずみ、そして載荷開始より折点までの直線部分の勾配を全ひずみ速度と定義する。

(2) ソイルセメントの初期破壊点ひずみ

前項において定義された初期破壊点ひずみを求め、破壊繰り返し回数との関係をえがくと、砂質土および粘性土を使用した圧縮強度 20 kg/cm^2 のソイルセメントに対して、それぞれ 図-4 および 5 のようになる。これらの図から明らかなように、各使用土について、初期破

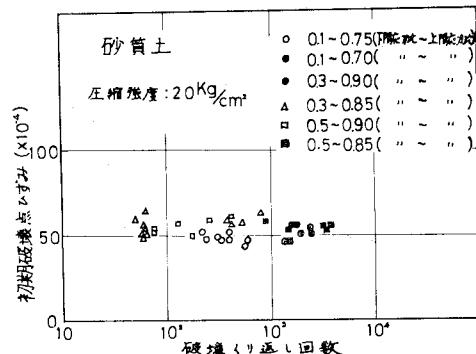


図-4 破壊繰り返し回数と初期破壊点ひずみの関係

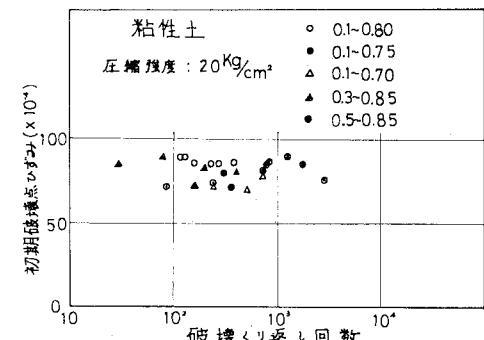


図-5 破壊繰り返し回数と初期破壊点ひずみの関係

壊点ひずみは破壊繰り返し回数に関係なくほぼ一定値を示す。そして、砂質土使用のソイルセメントは平均約 50×10^{-4} 、粘性土は約 70×10^{-4} なるひずみ値を示し、粘性土の方が砂質土より 40% 程度大きい初期破壊ひずみを持つことがわかる。

(3) 応力条件と全ひずみ速度

図-6 は目標強度 20 kg/cm^2 のソイルセメントについて、横軸上に上限応力比、たて軸に全ひずみ速度をとって、各下限応力比ごとに図示したものである。この図から明らかなように、いずれの下限応力比に対しても、全ひずみ速度は上限応力比の増加とともに、ほぼ直線的に増大している。下限応力比を 0.1 および 0.3 として応力振幅を増大させると、全ひずみ速度の増加割合（直線の勾配）は粘性土（図-6 中の破線）の方が砂質土（図-6 中の実線）よりやや大きいが、下限応力比が 0.5 および 0.7 に対する粘性土と砂質土の直線はほとんど一致することがわかる。さらに、図-6において○印をつけた実験値を比較すると明らかのように、少なくとも 30 万回までに疲労破壊を生ぜしめないような応力条件下では、応力振幅を一定にして平均応力を上昇させても全ひずみ速度はあまり変化しない¹⁾が、疲労破壊を生ぜしめるような応力条件下では応力振幅を一定にして平均応力を増加させると

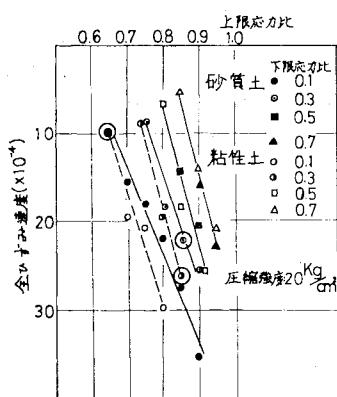


図-6 各下限応力比に対する全ひずみ速度・上限応力比関係

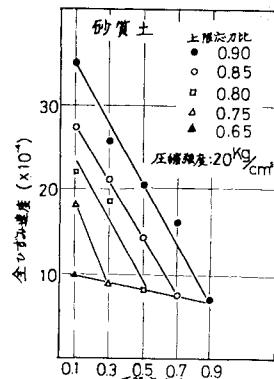


図-7 各上限応力比に対する全ひずみ速度—下限応力比関係

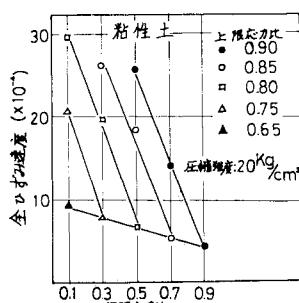


図-8 各上限応力比に対する全ひずみ速度—下限応力比関係

全ひずみ速度はかなり著しく増加する。

図-7 および 8 はたて軸に全ひずみ速度をとり、横軸に下限応力比をとって図示した結果である。これらの図から明らかなように、破壊しない応力条件の点を結ぶと直線となる。また、これらの図から、土の種類および応力条件に関係なく、全ひずみ速度が 10×10^{-4} 以下の値を示すものはいずれも疲労破壊を起こさないということがわかる。この事実は疲労による破壊、非破壊の限界は全ひずみ速度によってある程度予測できることを示している。すなわち、Pretorius は曲げ疲労について指摘しているように¹⁾、圧縮疲労においても、ひずみ履歴が供試体に生ずるダメージの目やすくなるといえよう。

(4) 応力条件と破壊繰り返し回数

破壊繰り返し回数（供試体が完全破壊するまでの繰り返し回数）と応力条件の関係を目標強度 20 kg/cm^2 のソイルセメントについてえがくと 図-9, 10 および 11 のようである。図-9 および 10 は一定の下限応力比に対して、横軸に對数目盛で疲労破壊繰り返し回数、たて軸に上限応力比をとり、実験結果をそのまま図示したものである。これらの図から明らかなように、応力振幅が小さくなるほど、破壊繰り返し回数のばらつきが大きくなっている。すなわち、破壊、非破壊の限界点に近づくにつれて、ばらつきの度合は大きくなる。特に、粘性土においてそのような傾向が著しいのは静的圧縮強度のばらつきが粘性土の方が砂質土よりも大きいためと考えられる。

砂質土、粘性土両ソイルセメントとともに、100 万回で破壊しない応力条件の限界は 0.10～0.65 の応力範囲であった。100 万回で破壊しないということは、たまたま 100 万回以内で破壊しなかったということを意味するのではなく、100 万回で打ち切り後に行った静的圧縮試験において、20～30% の強度増加がみられたことから、繰り返し荷重作用を受けることによって必ずしも供試体

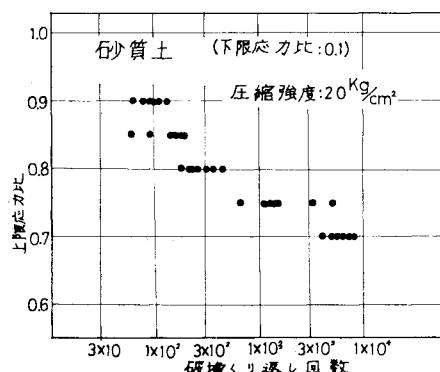


図-9 下限応力比 0.1 に対する上限応力比—破壊繰り返し回数関係

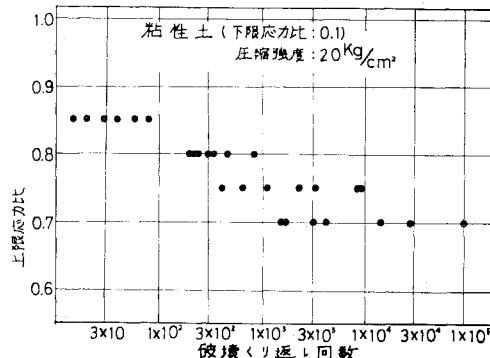


図-10 下限応力比 0.1 に対する上限応力比-破壊繰り返し回数関係

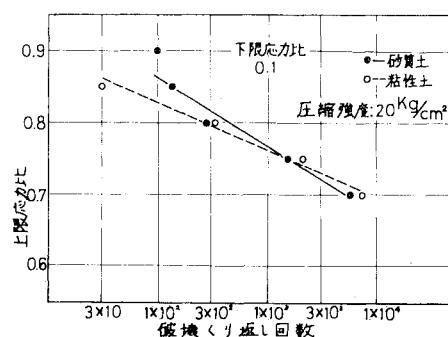


図-11 20 kg/cm² 強度ソイルセメントの S-N 曲線

内部にダメージが蓄積されることではなく、かえって、圧縮強度の増大によって疲労寿命が延びていると考えられる。

前述の方法によって平均破壊繰り返し回数を求め、下限応力比を 0.1 としたときの S-N 曲線をえがくと図-11 のようである。この図より、上限応力比 0.85 以上の高応力条件では粘性土の方が砂質土より少ない繰り返し回数で破壊するが、0.80 以下では両ソイルセメントの破壊に至るまでの繰り返し回数はほぼ同じか、または粘性土の方が砂質土よりやや大きい値を示していることがわかる。全体として、S-N 曲線の勾配は砂質土ソイルセメントの方が大きく、したがって粘性土の方が砂質土よりも単位応力あたりの疲労寿命の変化は大きいといえる。しかし、上限応力比が 0.80 以下の応力範囲において比較すると、両ソイルセメントともに S-N 曲線の勾配はほぼ等しく、砂質土ソイルセメントは 0.80 以上の高応力振幅域では

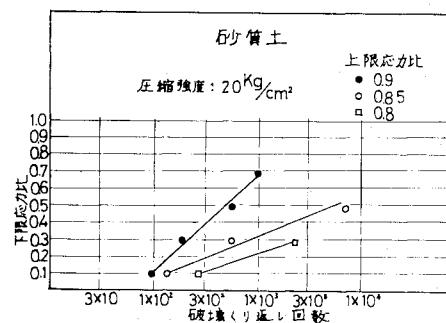


図-12 各上限応力比に対する下限応力比-破壊繰り返し回数関係

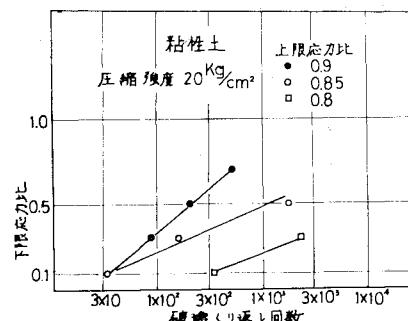


図-13 各上限応力比に対する下限応力比-破壊繰り返し回数関係

0.80 以下の応力振幅範囲とは異なった勾配をもつ S-N 曲線を示すと見なした方がよいようである。

横軸に對数目盛で破壊に至るまでの繰り返し回数をとり、たて軸に下限応力比をとって各上限応力比ごとに図示すると、図-12 および 13 のようになる。砂質土については、上限応力比が 0.90, 0.85, 0.80 と小さくなるにつれて、勾配がゆるやかになり、特に上限応力比 0.90 と 0.85 間の相違は顕著である。粘性土も同様な傾向を示している。このことはソイルセメントの疲労寿命は上限応力に大きく依存するということを意味している。

次に、両ソイルセメントの疲労破壊繰り返し回数における応力振幅の影響を知るために、修正 Goodman

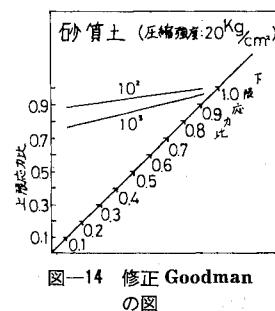


図-14 修正 Goodman の図

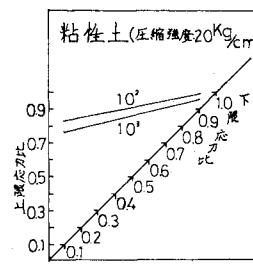


図-15 修正 Goodman の図

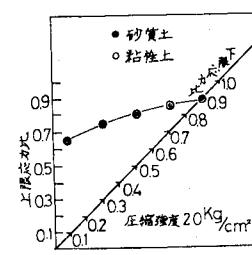


図-16 修正 Goodman の図

の図をえがくと 図-14 および 15 のようである。これらは 10^2 回および 10^3 回の範囲内の繰り返し回数において破壊する応力条件の点を結んだものであるが、100万回で破壊しなかった限界応力条件を図示すると 図-16 のようになる。この限界応力条件は砂質土、粘性土とともに同一であった。

(5) 目標圧縮強度と疲労特性の関係

最近比較的高い強度のソイルセメントが要求されていることを考慮に入れて、目標 7 日材令圧縮強度が 30 kg/cm^2 になるソイルセメントの疲労特性について、前項まで述べてきた 20 kg/cm^2 強度のソイルセメントに関する結果と比較しながら、セメント量が疲労特性におよぼす影響について実験的検討を加えた結果を示す。

a) 初期破壊点ひずみ

前述のように、砂質土、粘性土ともに、初期破壊点ひずみは破壊繰り返し回数の大小に関係なくほぼ一定であることが示されてきた。 30 kg/cm^2 強度のソイルセメン

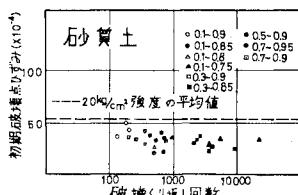


図-17 初期破壊点ひずみ

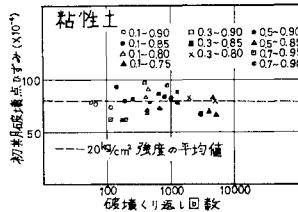


図-18 初期破壊点ひずみ

ー18 に示されるように、粘性土の 30 kg/cm^2 供試体は平均約 80×10^{-4} なる値を持ち、 20 kg/cm^2 強度とほとんど同じ値を示している。

初期破壊点ひずみは繰り返し荷重によってソイルセメント供試体内部に生じたダメージが破壊へと急速に進展しあらわるときのひずみと考えられるので、上述の事実は砂質土ソイルセメントと粘性土ソイルセメントとではこれらの疲労破壊のメカニズムにかなりの違いがあるといふことを示唆している。すなわち、砂質土ではセメント量を多少多くして圧縮強度を高めると、ソイルセメント中に決定的なダメージが生ずるまでのひずみ能力が低下するが、粘性土では圧縮強度を大きくするために、使用セメント量を増加させても、そのようなひずみ能力にはほとんど変化がないといえる。

b) 応力条件と破壊繰り返し回数

図-19 は各種ソイルセメントの $S-N$ 曲線を示したものである。これらの直線の勾配を最小二乗法によって求める

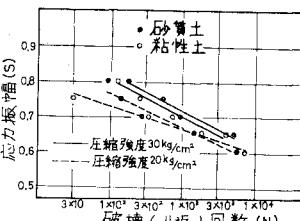


図-19 ソイルセメントの $S-N$ 曲線

と、粘性土の $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度の -0.06 を除いて、すべて -0.1 となり、たがいに平行な直線であることがわかる。しかし、前述のように、砂質土の $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度の $S-N$ 曲線は高応力レベルと比較的低い応力レベルで異なる勾配をもつとみなした方がよいようであり、全体として、 $30 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度の $S-N$ 曲線は $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ のそれより勾配が大きいようである。すなわち、単位応力あたりの疲労寿命の変化は高い強度のソイルセメントの方が小さくなる。

このように、圧縮強度が等しければ、土の種類に関係なく、 $S-N$ 曲線はたがいにほぼ平行な直線となるが、同一応力レベルに対しては、 $30 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度のソイルセメントの破壊繰り返し回数は $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度よりもかなり大きくなる。このことは当然のことではあるが次の Goodman の図にもあらわれる。すなわち、図-20 は砂質土に対する 10^2 および 10^3 回において破壊する応力条件を示したものであるが、 $30 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度の方が $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度よりも大きな上限応力比を示す。図-21 は粘性土に対する Goodman の図であるが、同様な傾向がみられる。次に、図-22 は 20 万回で破壊しなかった $30 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度の 100×10^4 回における限界応力条件を図示したものである。 $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 強度の 100×10^4 回における限界応力条件は破線で示されたものである。

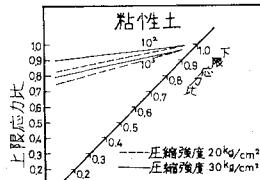


図-20 修正 Goodman の図

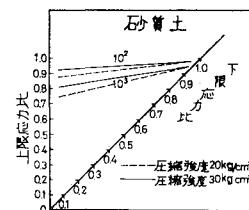


図-21 修正 Goodman の図

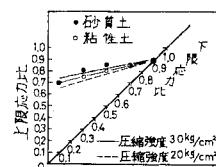


図-22 修正 Goodman の図

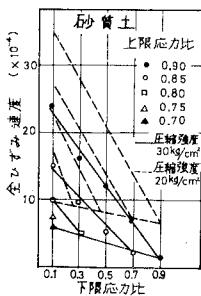


図-23 応力条件と全ひずみ速度

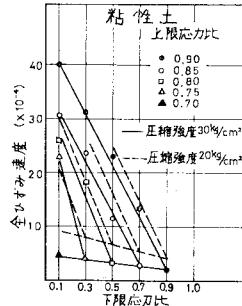


図-24 応力条件と全ひずみ速度

c) 全ひずみ速度と応力条件

全ひずみ速度は疲労破壊を起こす応力条件と起こさない応力条件とでは全ひずみ速度-応力振幅関係に大きな差違が生ずるという事実に着目して疲労限度を全ひずみ速度から規定するという目的で定義されたものである。図-23 および 24 は各応力条件に対する全ひずみ速度を下限応力比に対して図示されたものである。破壊限界を示す直線はほぼ平行に低下しており、砂質土、粘性土とともに強度が 20 kg/cm^2 から 30 kg/cm^2 に上昇することによって、破壊限界を示す全ひずみ速度はほぼ半減している。また、図-23 および 24 より明らかなように、同一の上限応力比を結んだ直線は応力振幅が全ひずみにおよぼす影響を示す。これらの直線の勾配については、粘性土においては両強度間に大きな差はみられないが、砂質土の 30 kg/cm^2 強度は 20 kg/cm^2 強度よりもかなり小さい勾配を持つ。すなわち、砂質土ソイルセメントにおいては、強度が大きくなることによって、全体として全ひずみ速度が小さくなるだけではなく、応力振幅の変化に対応する全ひずみ速度の鋭敏度が鈍くなっている。

6. ソイルセメントの疲労破壊の特徴

ソイルセメントにおける疲労破壊回数と応力条件の関係については、 10^6 回での打切り疲労試験により疲労破壊しない最高応力条件が求まった。この応力条件は一般に 10^6 回に対する時間強さとよばれているものであるが、本実験においては、 10^5 回以上で破壊した供試体はまったくみられないこと、および、実際には、 10^6 回繰り返し載荷試験後における一軸圧縮強度は $20\sim30\%$ 程度増大していることを考慮に入れると、ソイルセメントはこのような応力条件の下では無限回の繰り返しに耐えると考えてよい。すなわち、ソイルセメントは本来耐久限度を有する材料の 1 つと考えられるようである。ソイルセメントに耐久限度が存在するメカニズムは現在のところ、不明であるが、コンクリートなどには見られないソイルセメント特有の現象のようである。

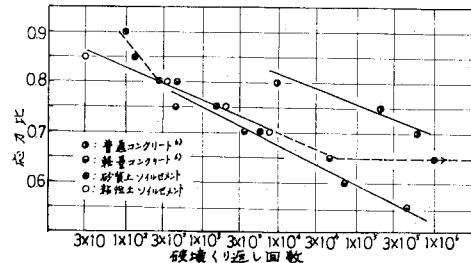


図-25 ソイルセメントおよびコンクリートの S-N 曲線

ソイルセメントの下限応力比 0.1 に対する耐久限度は $65\sim70\%$ の範囲に存在する。阪田・木山・西林の報告⁶⁾によると、普通および軽量コンクリートの 200 万回時間強さはそれぞれ 68.3% および 50.4% である。これらの結果より、ソイルセメントの耐久限度は普通コンクリートの 200 万回時間強さと同程度であり、軽量コンクリートのそれよりかなり大きいといえる。次に、本実験において得られたソイルセメントの S-N 曲線と阪田・木山・西林によって報告されているコンクリートの S-N 曲線⁶⁾を比較すると 図-25 のようである。この図より明らかのように、応力比が 0.70 以上の範囲におけるソイルセメントの S-N 関係は、区別しにくい程度に、軽量コンクリートの S-N 曲線に近い。しかし、 $0.65\sim0.70$ の範囲において耐久限度を示すということはソイルセメントの S-N 曲線の特徴となっている。一方、普通コンクリートの S-N 曲線はソイルセメントおよび軽量コンクリートとはかなり異なったものである(図-25)。必要セメント量を低減させるという実用上の問題をも含めて現在実験中の碎石を混入したソイルセメントの S-N 曲線は普通コンクリートにより近づく傾向を示している⁸⁾。これらの事実はソイルセメントの疲労機構解明という点で重要な意味をもっているようである。

7. まとめ

本実験において得られた結果をまとめると次のようである。

- (1) 繰り返し載荷中のソイルセメントのひずみ履歴が疲労破壊と密接な関係にある。
- (2) 一般にソイルセメントの全ひずみと繰り返し回数の関係は半対数方眼紙上で直線となるが、疲労破壊を起こす供試体の全ひずみ繰り返し回数関係は破壊点近くで折点をもつ。
- (3) 項目(2)において述べた折点によって定義される初期破壊点ひずみは破壊繰り返し回数に関係なく、各使用土に対してほぼ一定である。

(4) ソイルセメントの疲労寿命は上限応力の大きさに大きく依存する。

(5) 応力比が 0.70 以上の範囲におけるソイルセメントの $S-N$ 曲線は軽量コンクリートの $S-N$ 曲線に非常によく一致している。しかし、0.65~0.70 の範囲において、耐久限度を示すということがソイルセメントの $S-N$ 曲線の特徴となっている。

謝 辞：本実験を行うにあたり、ご協力いただいた金沢大学土木工学科材料研究室の諸氏に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) Pretorius, P.C.:Design Considerations for Pavements Containing Soil Cement Bases, Thesis Presented to University of California at Berkeley, California, U.S.A., in 1970, in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.
- 2) Bofinger, H.E. : The Fatigue Behavior of Soil-Cement, Australian Road Research, Vol. 2, No. 4, June 1965.
- 3) Larsen, T.J. and P.J. Nussbaum : Fatigue of Soil-Cement, Journal of the Portland Cement Association Research and Development Laboratories, Vol. 9, No. 2, pp. 37~59 May 1967.
- 4) 横堀武夫：材料強度学，技報堂，1955。
- 5) 清田純夫・成岡昌夫：軽量コンクリートの圧縮疲労強度に関する一実験，土木学会論文報告集，第 176 号，1970 年 4 月。
- 6) 阪田憲次・木山英郎・西林新蔵：統計的処理によるコンクリートの疲労寿命に関する研究，土木学会論文報告集，第 198 号，1972 年 2 月。
- 7) 柳場重正・川村満紀・大浦 隆：繰り返し荷重を受けるソイルセメントの変形および強度特性，土木学会論文報告集第 231 号，pp. 55~60, 1974 年 11 月。
- 8) 柳場重正・川村満紀：骨材を含むソイルセメントの圧縮疲労特性，セメント技術年報 XXIX, pp. 342~346, 昭和 50 年。
- 9) 岡田清・川村満紀：ソイルセメントの荷重変形特性に関する二、三の考察，材料，Vol. 13, No. 132, pp. 705~710, 昭和 39 年 9 月。

(1975.2.25・受付)