低温で熱サイクルをうける含水岩石の熱膨張について[†]

江 原 昭 次* 柳 谷 俊* 寺 田 孚*

Thermal Expansion of Saturated Rocks Subjected to Cyclic Temperature Change between 110K and 300K

by

Shoji EHARA*, Takashi YANAGIDANI* and Makoto TERADA*

Thermal expansions of several saturated rocks were measured under a cyclic temperature change between 110K and 300K at a slow rate. The following changes due to water saturation were observed in thermal expansion; suppression of thermal cracking, hysteresis in thermal expansion, and an increase within thermal expansion coefficient. These changes were explained by freezing of pore water within cracks and the difference in temperature between freezing and melting of pore water. When the ice forms in the crack pore of granitic rocks, it bonds the surfaces of each crack to impede crack extension. The residual strain and the temperature at which thermal cracking initiated, therefore, decreased in these rocks. The temperature difference between freezing and melting is probably caused by supercooled water and a capillary force acting on the pore water. The hysteresis therefore appeared in the thermal expansion of nongranitic rocks which showed no hysteresis in the dry condition. These rocks exhibited no residual strain in the wet condition as well as in the dry condition except for the tuff in which a large amount of residual strain was observed after the first cycle.

キー・ワード: 含水岩石, 低温, 凍結・融解, クラック, ヒステリシス

1 緒 言

岩盤内空洞に LNG を貯蔵すると, 空洞壁面は約 110K まで冷却される. 岩盤が冷却されると, 含有水が凍結して岩盤の性質が変化したり内部にクラックが発生して岩盤の劣化の原因となることがあり, 保安上問題となる. たとえば, 岩盤内に掘削した空洞に液化エチレン (沸点約 170K) を貯蔵しようとした実験で, 大きなクラックの伸展によりエチレンが加熱されて沸騰したためその貯蔵を断念した例がある. したがって, 含水した岩盤や岩石の低温での力学的性質や熱的性質を知るとともに, 冷却される岩盤や岩石内にどのようにクラックが発生するか, またクラックの発生によって力学的性質や熱的性質がどのように変化するかを知ることは重要である.

筆者らは, 乾燥岩石に冷却・加熱の熱サイクルを与えた際, クラックが発生し熱膨張にヒステリシスがあらわれる岩石とクラックが発生せず熱膨張にヒステリシスがあらわれない岩石があることを示した²⁾. 前者は花こう岩質岩石と大理石で, 後者は非晶質岩石と斑晶質岩石で便宜上非花こう岩質岩石とよんでいる. さらに, すべての含水岩石では含有水が凍結している低温で乾燥岩石よりも熱膨張率が大きく, 熱膨張にヒステリシスがあらわれることがあきらかになった³⁾.

この研究では, 含水した岩石の低温熱サイクル実験をおこない, 最初の冷却時から実験の全過程を通じて熱膨張を高精度で測定し, クラックの発生の有無と熱膨張のヒステリシスの様相を調べた. さらに, 熱サイクルによるクラックの発生と岩石の種類との関係, 含水岩石の熱膨張のヒステリシスの原因, ならびに含有水がクラック発生におよぼす効果についても検討した.

2 実 験

試料の種類, 寸法, 熱膨張測定装置, 冷却・加熱速度, および測定の手順は, 既報とほぼ同じであるが簡単にしめすところである.

試料岩石は, Westerly 花こう岩, 大島花こう岩, 稲田花こう岩, 庵治花こう岩, 北木島花こう岩, 滝野石英閃緑岩, 村田玄武岩, 和泉砂岩, 甲府安山岩, 荻野凝灰岩, 秋吉大理石である. 試料は, 直径 15 mm, 長さ約 60 mm の円柱形に整形し, 真空容器内で排気した後水中に 1 か月間浸して含水飽和させた. 熱膨張測定中に試料が乾燥するのを防ぐため試料表面にポリエチレングリコールを塗布した.

1 回の熱膨張測定に必要な 800 分間, 無処理の和泉砂岩試料を空中放置して含有水の逸出による重量変化を測定したところ 0.9% 減少したが, ポリエチレングリコールを塗布した場合には重量変化は 0.4% にとど

† 原稿受理 昭和59年10月11日 Received Oct. 11, 1984

* 正 会 員 京都大学工学部 京都市左京区吉田本町, Faculty of Engineering, Kyoto university, Yoshida-Hommachi, Sakyo-ku, Kyoto

まった。したがって、ポリエチレングリコール塗布によって試料の乾燥はかなり防止できる。この報告では、含水飽和させた後表面にポリエチレングリコールを塗布した試料を含水飽和試料または含水試料と呼ぶ。

熱膨張の測定には溶融石英製の膨張計をもちいた。冷却・加熱速度 0.5 K/min で、常温（約 300 K）から 110 K まで冷却し、30 分間一定温度に保った後、再び常温まで加熱する。各試料につきそれぞれ 2 回の熱サイクルを与えこの間の試料長の変化を測定した。なお、熱膨張ひずみ算出にあたって溶融石英の熱膨張による誤差を補正した。

3 実験結果

村田玄武岩の熱膨張ひずみと温度との関係を Fig. 1 に示す。○印と□印はそれぞれ冷却時および加熱時の測定結果を示す。村田玄武岩の熱膨張ひずみには 230 K から 270 K の間でわずかなヒステリシスが認められる。

Fig. 1. Thermal strain vs. temperature for Murata basalt during thermal cycling. Circles and squares indicate the data obtained during cooling and heating, respectively.

すなわち、加熱時の試料長が冷却時の試料長より大きく、ヒステリシスループが閉じており、残留ひずみが認められない。したがって、この岩石では熱サイクルによってクラックが発生しなかったといえる。なお、2 回目の熱サイクルの結果は最初の熱サイクルの結果と一致したので、見やすくするため図示を省略した。甲府安山岩、和泉砂岩についても同じ理由で 2 回目の図示を省略した。

村田玄武岩の熱膨張率と温度との関係を Fig. 2 に示す。村田玄武岩の熱膨張率の温度特性には 230 K から 270 K で明確なヒステリシスが認められる。他の温度では冷却時と加熱時の熱膨張率は等しく、温度が低下すると直線的に減少している。

Fig. 3 と Fig. 4 にそれぞれ和泉砂岩と甲府安山岩の熱膨張率と温度との関係を示す。これらの岩石にも村田玄武岩と同様に、熱膨張率の温度特性には 230 K

Fig. 2. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Murata basalt. See the captions for Fig. 1.

Fig. 3. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Izumi sandstone. See the captions for Fig. 1.

Fig. 4. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Kofu andesite. See the captions for Fig. 1.

から 270 K でヒステリシスが認められる。また、2 回の熱サイクルとも、残留ひずみは認められなかった。以上のことから、これらの非花こう岩質岩石では熱サイクルによってクラックが発生しなかったといえる。

一方、荻野凝灰岩では Fig. 5 に示すように他の非花こう岩質岩石と同じ温度範囲で熱膨張にヒステリシ

Fig. 5. Thermal strain vs. temperature for Ogino tuff during thermal cycling. Open symbols indicate the data of 1st thermal cycling. Solid ones indicate the data of 2nd thermal cycling. See the captions for Fig. 1.

Fig. 6. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Ogino tuff. See the captions for Fig. 5.

スが認められる。しかし、最初の熱サイクルで大きな残留ひずみが生じている。すなわち、この岩石では熱サイクルによってクラックが発生したと考えられる。

荻野凝灰岩の熱膨張率と温度との関係を Fig. 6 に示す。最初の冷却時 270 K から 230 K までの熱膨張率が 2 回目の熱膨張率より小さいことから、クラックが発生したことがわかる。また、2 回の熱サイクルとも 260 K から 270 K で熱膨張率が負となっている。

すべての非花こう岩質岩石では 230 K 以下で加熱時と冷却時の熱膨張率が等しく、温度とほぼ比例している。したがって、含有水の凍結は 230 K までに終了するものと考えられる。また、110 K から 230 K の範囲ではヒステリシスがまったく認められないのでクラックの発生はないものと考えられる。

Fig. 7 に Westerly 花こう岩の熱膨張ひずみと温度との関係を示す。熱膨張に全温度にわたるヒステリシスが認められ、同じ温度では加熱時の試料長が冷却時の試料長より大きい。また、最初の熱サイクルで残留ひずみが認められるのでクラックが発生したものと考え

Fig. 7. Thermal strain vs. temperature for Westerly granite during thermal cycling. See the captions for Fig. 5.

Fig. 8. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Westerly granite. See the captions for Fig. 5.

えられる。2 回目の熱サイクルでは熱膨張のヒステリシスループは閉じており、新たなクラックの発生はなかったものと考えられる。この岩石の熱膨張率と温度との関係を Fig. 8 に示す。2 回の熱サイクルとも 180 K 以下になると冷却時の熱膨張率が急激に低下するが、最初の冷却時のほうが熱膨張率が小さくなっている。また、加熱時の熱膨張率は約 270 K での低下を

Fig. 9. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Oshima granite. See the captions for Fig. 5.

のぞくと温度とともに徐々に増加している。

Fig. 9~13 に、それぞれ大島花こう岩、稲田花こう岩、庵治花こう岩、北木島花こう岩、滝野石英閃緑岩の熱膨張率と温度との関係を示す。これらの岩石は、Westerly 花こう岩と同様な熱膨張挙動を示している。すなわち、2回の熱サイクルともに180K以下で冷却時の熱膨張率が急激に低下している。加熱時の熱膨張

Fig. 10. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Inada granite. See the captions for Fig. 5.

Fig. 11. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Aji granite. See the captions for Fig. 5.

Fig. 12. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Kitagishima granite. See the captions for Fig. 5.

Fig. 13. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Takino quartz diorite. See the captions for Fig. 5.

率は270K付近の低下をのぞき徐々に増加している。また、最初の熱サイクル後に残留ひずみが観測され、クラックが発生したと思われる。

秋吉大理石の熱膨張ひずみと温度との関係を、Fig. 14 に、熱膨張率と温度との関係をFig. 15 に示す。この岩石の熱膨張ひずみには全温度にわたるヒステリシスと残留ひずみが認められる。また、熱膨張率の温

Fig. 14. Thermal strain vs. temperature for Akiyoshi marble during thermal cycling. See the captions for Fig. 5.

Fig. 15. The temperature dependence of thermal expansion coefficient for Akiyoshi marble. See the captions for Fig. 5.

度変化は花こう岩質岩石とよく似ている。すなわち、冷却時の熱膨張率は 180 K 以下で急激に低下し、加熱時より小さくなっている。加熱時の熱膨張率は 270 K 付近での低下をのぞいて温度上昇とともにゆるやかに増加している。ただし、この岩石の熱膨張率は非常に小さく大部分の温度範囲で負となっている。

含水による熱膨張挙動の変化を岩石間で比較するため、残留ひずみの値と、既述のように含有水の凍結が終了していると考えられる 110 K から 200 K の間の加熱時の平均熱膨張率を、既報の乾燥試料の測定値とともにまとめて Table I に示す。一般に含水すると熱膨張率が増加している。花こう岩質岩石と秋吉大理石は含水すると最初の熱サイクルにおける残留ひずみが減少し、新たに発生するクラックの容積が減少していることがうかがえる。また、非花こう岩質岩石のうち荻野凝灰岩の含水試料のみに大きな残留ひずみが生ずることがわかった。

Table I. Thermal expansion coefficient and residual strain of various rocks.

Rock sample	Cycle number	Expansion coefficient for 120-200K 10^{-6}		Residual strain 10^{-6}	
		Dry	Wet	Dry	Wet
Murata basalt	1	3.96	4.12	7	4
	2	—	4.22	—	-10
Izumi sandstone	1	5.77	6.48	3	3
	2	—	6.38	—	4
Kofu andesite	1	4.21	4.81	3	2
	2	—	4.98	—	3
Ogino tuff	1	6.65	10.7	-14	159
	2	—	10.2	—	8
Westerly granite	1	2.73	4.13	80	45
	2	2.71	3.87	4	2
Oshima granite	1	3.06	4.00	45	38
	2	3.12	3.77	22	-2
Inada granite	1	2.06	3.63	34	30
	2	2.17	3.15	7	3
Aji granite	1	3.87	4.30	102	38
	2	3.52	4.32	8	18
Kitagishima granite	1	3.71	4.55	77	30
	2	—	4.06	—	20
Takino quartz diorite	1	4.22	4.79	11	8
	2	4.06	4.68	14	4
Akiyoshi marble	1	-2.21	-1.40	255	107
	2	-2.82	-1.60	97	25

4 考 察

4.1 非花こう岩質岩石における含有水の凍結・融解の温度ヒステリシス

非花こう岩質岩石には 230 K から 270 K の範囲で熱膨張にヒステリシスがあらわれた。これらの岩石には先在クラックがほとんど含まれていず、荻野凝灰岩を

除くとクラックの発生もないと考えられるので、クラックに起因するヒステリシスは考えにくい。また、乾燥試料には熱膨張のヒステリシスは²⁾ない。熱膨張のヒステリシスは水の氷点以下に限られている。以上のことから非花こう岩質岩石中の熱膨張のヒステリシスは含有水の凍結と融解に起因するものと考えられる。

含有水の凍結温度を低下させる要因には含有水に含まれる種々のイオン、含有水の一部が凍結することにより残された水に生じる圧力、および含有水に働く毛管力がある。これらの要因はそれぞれ含有水の凍結温度を低下させるが、前 2 者ではせいぜい 250 K までである^{5,6)}。毛管力による凍結温度の低下は空げきの形状と寸法によりきまる。非花こう岩質岩石にはアスペクト比の小さなクラックがほとんど含まれていない。そこで、解析を簡単にするために空げきは球形と考える。半径 r の空げき内の水の凍結温度 T は式(1)で求まる⁸⁾。

$$\ln(T/T_0) = -2V\sigma/\Delta fhr \quad (1)$$

ここで、 $T_0 = 273.16$ K, $\Delta fh = 5.060$ J/mol, 氷の融解熱、 $V = 1.805 \times 10^{-5}$ m³/mol 水の比容積、 σ は氷の表面張力で氷の生長のしかたにより異なる。 $T = 230$ K とし、水が直接氷になる場合 $\sigma = 2.2 \sim 4.2 \times 10^{-2}$ J/m^{8,9)}、水蒸気の相を介して氷になる場合、 $\sigma = 8.0 \times 10^{-2}$ J/m とすると、それぞれ、 $r = 0.9 \sim 1.7 \times 10^{-9}$ m, $r = 3.3 \times 10^{-9}$ m となる。この値は、水銀圧入法により測定された安山岩の最小空げき半径 (4×10^{-9} m) と同じオーダーであるが、このような小さな空げきの占める体積は試料全体の体積にくらべて極めて小さい。したがって、仮に 230 K で凍結・融解がおこったとしても試料全体の熱膨張にはほとんど影響しない。すなわち、もっと多量の含有水が 230 K まで凍結しない機構を考えなければ実験結果をうまく説明しえない。

小さな空げきの水ほど氷の核が形成されにくいので過冷却になりやすいといわれている。たとえば、イオン交換樹脂や粘土を氷点以上の温度から冷却すると過冷却が避けられないことが報告されている¹¹⁾。岩石でも小さな空げき内の水には過冷却が起きやすいと考えられる。また、連結部をもつ二つの空げき的一方で水が凍結する場合、他方から水が移動して氷が成長しうるが未凍結の空げき内には凍結面が移動しない¹²⁾。このように岩石の空げきの一部で含有水の過冷却がおこると凍結温度は低下する。加熱時には過冷却による融解温度の低下はない。また、冷却時に小さな空げきから大きな空げきへの過冷却水が移動する。その結果、凍結状態の空げきの寸法分布が大きな寸法へと遷移するので融解温度は上昇する。このため、凍結温度より融解温度が高くなり温度ヒステリシスがあらわれる。

冷却時の含有水の移動量は冷却速度と透水係数によってきまる。今回の 4 倍の冷却速度 (2 K/min) で熱

サイクルを与えた荻野凝灰岩では熱膨張率に負の部分がない。したがって、冷却速度の遅い今回の実験結果ではクラックが多く発生した。冷却速度が遅いと含有水の移動により氷が生長するので、クラックが発生しやすくなると考えられる。空げきの形状が一定のとき、透水係数は空げき率の3乗に比例する。空げき率が今回測定した岩石の中で最大の荻野凝灰岩は透水係数も最大で、含有水の移動量も最大と推定できる。したがって、荻野凝灰岩にクラックが発生したのは多量の含有水の凍結による体積膨張に加えて、冷却速度が遅いため含有水が移動して氷が生長したことによると考えられる。

4・2 花こう岩質岩石の熱膨張

花こう岩質岩石の含水試料には最初の熱サイクルで残留ひずみが発生した。また、冷却時の熱膨張率は180K以下で急激に低下している。冷却時にクラックが発生するなど、それだけ試料の見掛け体積が増加するため、この間の熱膨張率は小さくなり残留ひずみがあらわれる。したがって、最初の冷却時には180K以下でクラックが発生したといえる。

花こう岩質岩石は含水すると、クラックが発生しにくくなった。つまり、クラックが発生し始める温度が180Kと乾燥試料(270K)²⁾より低くなり、新たに発生したクラックの容積が減少した。また、水の氷点以下で加熱時の熱膨張率が大きくなった。これらの変化はクラック内に存在する氷のはたす役割に起因するであろう。

これまでの研究で、花こう岩質岩石の含水試料の熱膨張率が乾燥試料よりも大きくなっているが、その原因として、氷の熱膨張が試料全体の熱膨張に寄与すること、クラック内の氷がクラックを接着したりクラック³⁾の有効アスペクト比を大きくすることを報告した。クラックが氷で接着されたりクラックの空げき内の一部に氷の橋渡しが生じてクラックの有効アスペクト比が大きくなるとクラック周辺の応力集中は減少する。このため、周囲の鉱物粒子の熱膨張をクラックが吸収できなくなるとともに、新たなクラックの発生もおこりにくくなる。

花こう岩質岩石の2回目の熱サイクルでは、残留ひずみは発生せず180K以下で熱膨張率の急激な低下が観察された。セラミックスでは、冷却時に発生したクラックは焼結温度近くまで加熱されるとゆ着して消滅する。今回の実験における最高温度は300K以下であるので、加熱されても岩石のクラックはゆ着しない。これに対して、氷の中に発生したクラックは消滅する。したがって、2回目の冷却時にはクラック内の氷にのみ新たなクラックが発生し、クラック発生の証拠となるべき残留ひずみは加熱過程で消滅したと考えられる。

花こう岩質岩石の熱膨張には全温度にわたってヒステリシスがあらわれた。乾燥試料における熱膨張のヒステリシスはクラック面でのまざつすべりやアスベリティの破壊などに起因する²⁾。含水試料でも熱サイクルを与えるとクラックが発生することから、クラックの挙動が熱膨張のヒステリシスにあらわれているといえる。このために花こう岩質岩石では、熱膨張の温度変化から含有水の凍結・融解が起っている温度範囲を限定できない。さらに、冷却時(250~210K)に観測される熱膨張率の増加は乾燥岩石には認められない現象である。この原因解明に今後熱膨張の測定と同時に比熱や弾性率の温度特性を測定して、クラック内で何がおこっているのかを解明する必要がある。

秋吉大理石も花こう岩質岩石と同様に、熱膨張に全温度にわたるヒステリシスがあらわれ、クラックが発生した。また、冷却時には180K以下で熱膨張率が急激に低下するので、クラックは主に180K以下で発生したといえる。この岩石も、含水すると新たに発生するクラックの容積が減少し、加熱時の熱膨張率が大きくなる。したがって、秋吉大理石においても、氷がクラックの周囲の鉱物粒子の熱膨張の吸収をさまたげ、同時にクラックの発生も抑制するものと考えられる。

5 結 言

以上のように、岩石は含水すると熱膨張挙動が変化する。すなわち、乾燥状態では熱膨張にヒステリシスが認められなかった非花こう岩質岩石に230Kから270Kの間にヒステリシスがあらわれた。花こう岩質岩石と大理石では、新たに発生するクラック容積が減少し、クラック発生が始まる温度が低下した。さらに、すべての岩石で加熱時の熱膨張率が増加した。このような含有水が岩石の熱膨張におよぼす効果は、含有水の凍結と融解の温度が異なること、氷の熱膨張が試料全体の熱膨張に寄与すること、および氷がクラックを接着したりクラックの有効アスペクト比を大きくすることに起因すると考えた。

参 考 文 献

- 1) U. Jacobsson, "First Int. Symp. Storage in Excavated Rock Caverns. Stockholm, 1977, Rockstore 77", edited by M. Bergman, **2**, 449 (1978) Pergamon, Oxford.
- 2) 江原昭次, 柳谷 俊, 寺田 孚, 材料, **34**, 857 (1985).
- 3) 江原昭次, 柳谷 俊, 平尾一之, 寺田 孚, 材料, **32**, 1403 (1983).
- 4) T. A. Hahn and R. K. Kirby, Proc. 1971 Thermal Expansion Conf., AIP Conf., **3**, 13 (1972).
- 5) S. Takeuchi and G. Simmons, J. Geophys. Res., **78**, 3310 (1973).
- 6) H. Spetzler and D. L. Anderson, J. Geophys. Res.,

- 73, 6051 (1968).
- 7) L. G. Homshaw, J. Soil Sci., **31**, 399 (1980).
- 8) R. Defay, I. Prigogine, A. Bellemans and D. H. Everett, "Surface Tension and Adsorption" (1966) John Wiley and Sons, New York.
- 9) Y. Morioka, J. Kobayashi and I. Higuchi, J. Colloid Interface, Sci., **42**, 156 (1973).
- 10) 松永 烈, 厨川道雄, 木下直人, 日本鉱業会誌, **97**, 431 (1981).
- 11) L. G. Homshaw, J. Colloid Interface Sci., **84**, 141 (1981).
- 12) D. H. Everett, Trans. Faraday Soc., **57**, 1541 (1961).
- 13) W. F. Brace, J. Geophys. Res., **82**, 3343 (1977).
- 14) 例えば, J. A. Kuszkyk and R. C. Bradt, J. Am. Ceram. Soc., **56**, 420 (1973).

書 評

“金属疲労の力学と組織学”

M. Klesnil and P. Lukáš (著)

荒木 透, 堀部 進 (訳)

(1984年, 養賢堂発刊, A 5 判, 217ページ, 3 200円)

本書は, Elsevier Sci. Publ. Co. Materials Science Monographs, 7 “Fatigue of Metallic Materials” の日本語訳である。原著者の Klesnil, Lukáš 両博士は長年にわたり金属材料の疲労の微視組織学的研究を続けており, この方面の第1人者であるとともに, また多くの力学的な研究成果も挙げている。本書では, 疲労におけるこの両側面の研究成果, 知識が結合され展開されている。

第1章「序論」では, 疲労過程における繰返し塑性変形の必要性が強調されている。第2章「繰返し応力-ひずみ応答」では, 繰返し荷重による材料の硬化と軟化挙動が詳述され, 微視転位組織との対応ならびにその理論づけがなされている。第3章「疲労き裂の発生」では疲労き裂の発生に対し, その場所ならびに転位組織との関係が示され, 発生機構について説明されている。第4章「疲労き裂の伝ば」では, 第Ⅰ段階, 第Ⅱ段階き裂の伝ばモデル, 破壊力学の基礎, およびき裂先端における塑性域の意味と転位組織との関係が説明された後, き裂伝ばならびに停留の条件が力学的に論じられている。さらにき裂伝ばの過渡現象や環境効果についても簡単にふれている。第5章「疲労寿命曲線」では応力-寿命曲線, ひずみ-寿命曲線が示され, これらの曲線を規定する定数と材料特性値との関係が述べられている。さらに応力-ひずみ曲線の性質から, 両者の寿命曲線の変換について説明している。また非対称波形(平均を有する波形)やヒステリシスエネルギーと疲労寿命の関係, 疲労限, 定損傷曲線, き裂材のS-N曲線, 温度の影響についてもふれている。第6章「切欠き材の挙動」では, 切欠き材における応力とひずみの集中を述べ, 切欠き材の応力-ひずみ曲線や切欠きの疲労寿命への影響について説明している。第7章「ランダム荷重下の疲労寿命」では, 変動荷重下の応力-ひずみ関係およびその計数法として, レベル交差法, レンジ計数法, レインフロー法を紹介している。また累積損傷則としては Miner 則をとりあげ, その成立条件について言及している。

以上のように, 本書においては疲労の基本的現象が力学的な側面のみならず, 微視組織学的な側面から整理され, 説明されていることが大きな特徴である。本来, 疲労現象は局所的な性格の強い現象であり, これを工学的に有用な力学パラメータで取扱うには, 微視的観点からの研究成果と巨視力学的な研究成果の結びつけが必要であり, 本書はその橋渡しについて多くの示唆を含むものであり, 貴重な書であるといえる。また邦訳も読みやすく書かれており, 材料学を専攻する学部学生, 大学院学生にとって良き参考書であるばかりでなく, 疲労の研究者あるいは疲労の実務に携わっている技術者にとっても, 疲労の本質を理解し, 考えを整理するうえで有益な本と思われる。

(大阪大学工学部 城野政弘)