

固体強度物理学の現況

"Present State of Solid Bodies Strength Physics"

Regel, U.R.

Rheol. Acta, Vol. 14, pp. 19~26 (1976)

固体の強度と破壊の理論の物理学的発展の第一段階は、原子間相互作用力の理論の創設であり、理想的構造の固体の“理論強度”が求められた。しかし、これは現実の強度をはるかに上まわっている。第二段階は、原子の熱運動を、破壊過程を支配するおもな要因と考える動力学的方法の導入により、破壊の過程における原子の分離は原子間結合の強さ以下で生じ、熱的なゆらぎによって終局にいたらされると考えるものである。

動力学的な研究法では、破壊を荷重を受ける固体における時間に伴う破壊の累積と考え、強度特性は応力下の固体の寿命によって特徴づけられる。この寿命は応力と温度に支配され、100 種以上の材料についての実験結果によれば、次式によって十分よく表現される。

$$\tau = \tau_0 \exp \left\{ (U_0 - r\sigma) / kT \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに τ : 寿命, σ : 応力, T : 絶対温度. 図-1 にこの式による種々の温度の結果をまとめて示す。実験結果によれば式 (1) の τ_0 はほとんどすべての固体ではほぼ一定で、約 10^{-13} 秒であり、これは固体における原子振動の固有周期にきわめて近い。 U_0 は固体中の原子間結合の熱的減少の活性化エネルギーにきわめて近い。熱のゆらぎのエネルギーは、応力下の固体内

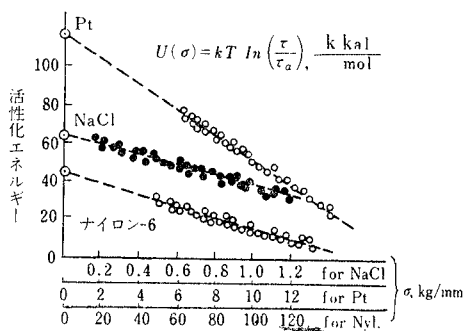


図-1

の原子の分離に費やされ、これに要するエネルギー $U(\sigma)$ が活性化エネルギーとよばれる。 $U(\sigma)$ の値は式 (1) より、応力の増加につれて直線的に減少する。すなわち、

$$U(\sigma) = U_0 - r\sigma_0$$

この式で、項 $r\sigma$ は破壊時の外力の仕事であり、エネルギーの不足は熱的ゆらぎによって補われる。 r は体積の次元をもち、活性化体積 V とその内での超過応力係数 $n = \sigma_{loc}/\sigma$ (σ_{loc} は破壊点の実際の応力で、 σ は平均応力) との積である。活性化体積の最小値は固体中の一原子あたりの体積にほぼ等しい。

外荷重は原子間結合に応力を生じさせ、現実の固体の不均質性から局所的な応力超過が生じ、そこで切断の過程が最も激しく進行し、固体の破壊にいたる。

このような考えを確かめるため、原子や分子の水準での破壊の発達を追跡する直接法による実験を行った。材料は主として配向性無定形結晶質の重合体である。

赤外分光分析を用いた実験は、無応力の場合に比して応力下の結合の切断の活性化エネルギーが減少し、原子間結合への外荷重の分布が不均一となることを確認した。これは赤外線領域における吸収スペクトルの変化から明らかとなる (図-2)。

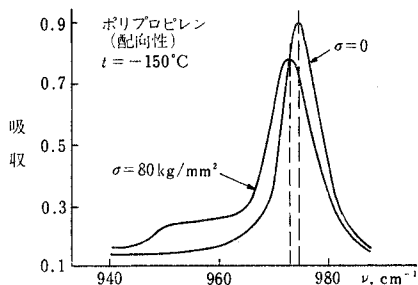


図-2 赤外線吸収

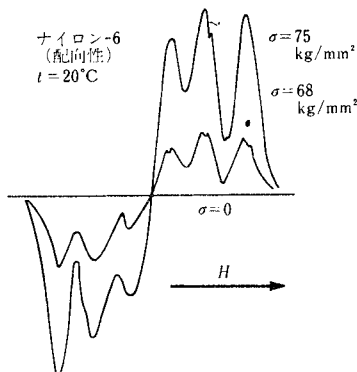


図-3 EPR スペクトル

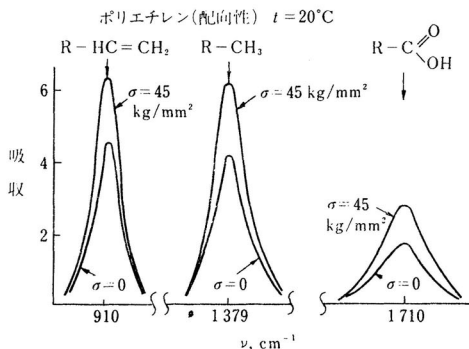


図-4 伸張後の吸収帯の変化

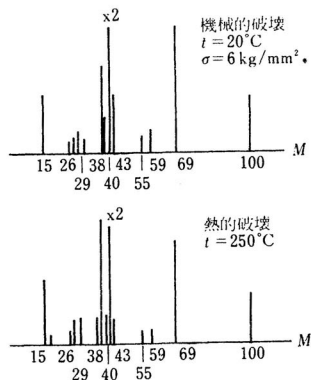


図-5 質量分析

前から生じ、荷重下で遊離基の蓄積が認められた(図-3)。二次的な基の反応は、分子切断の箇所に化学的に安定なグループが形成されて完了することは赤外分光分析によって知られ、これらによって切断の蓄積の定量的な評価が可能となる。

応力下の高分子の破壊は、質量分析によっても示される。二次的な基の反応で生じる揮発生成物を記録し、その組成を調べて反応過程がわかる。揮発成分の生成速度は応力とともに増加し、機械的破壊と熱的破壊の際に生じる揮発成分の組成は一致した(図-5)。高分子の機械的な破壊と熱的破壊の初期段階での活性化エネルギーも一致し、重合体の機械的破壊を応力によって活性化された熱破壊と考えてよいことがわかった。

ひびわれの発生とその増加はX線および可視光線の散乱によって追跡された、巨視的なひびわれ成長速度は、映画技術によって測定された。これも熱的ゆらぎの過程に従った。

変形と破壊の過程の相互関係については、重合体に紫外線を照射した場合のように、破壊により変形の生じる場合もある。(河角 誠:電力中央研究所 土木技術研究所)

地盤—構造物相互作用への土の動的性質の影響

“Some Effects of Dynamic Soil Properties on Soil-Structure Interaction”

Richart, F.E., Jr.

Proc. of A.S.C.E., Vol. 101, No. GT 12, pp. 1193~1240, December (1975)

この論文は、ミシガン大学の R.E. リチャートとその弟子達が行った主な研究について 12 回テルツァギー・レクチャーでリチャートが行った講演を内容としている。主な内容は三つに分れており、1. 土の動的な応力～ひずみ関係、2. 特性曲線による地盤の振動解析、3. 基礎の振動実験、から成っている。

「土の動的な応力～ひずみ関係」では、① レゾナントコラム試験、繰り返しねじり試験、繰り返し単純せん断試験等、実験室での測定方法の紹介、② 間隙比、拘束圧、せん断ひずみ振幅、拘束圧載荷後の経過時間、応力履歴、温度等の土のせん断係数、減衰に及ぼす影響、③ せん断波速度の野外測定方法の一つであるクロスホール法の紹介、④ 土の非線形応力～ひずみ関係へのランバーク・オスグッド式の適用、の4項目について述べている。

「基礎の振動実験」では、① ホログラフィ干渉(holographic interferometry)の模型基礎振動実験への適用、② 根入れを持つ基礎の振動実験と基礎の振動性状への根入れの及ぼす影響、について述べている。これらの豊富な内容より、一例として「ホログラフィ干渉の模型基礎振動実験への適用」を取り上げ、以下に説明する。

図-1 に示すように、可干渉(coherent)レーザー光線がビームスプリッターでオブジェクトビーム(OB)と、レファレンスビーム(RB)に分けられる。OB は

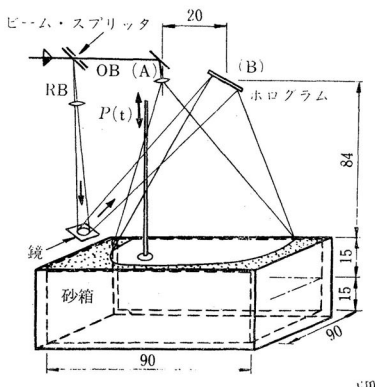


図-1

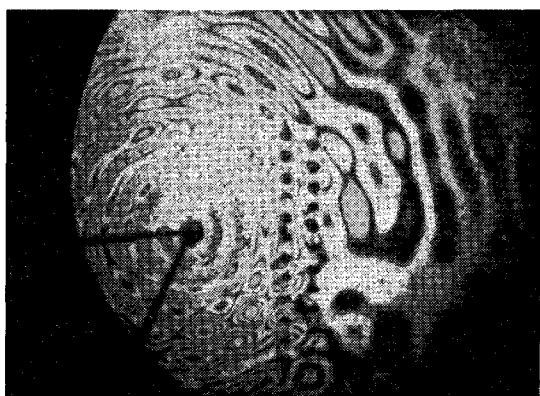


図-1

対象物に当たり反射して写真感光板に向う。RB は鏡で反射して感光板に向う。OB と RB に対し露出し、現像した感光板をホログラムという。現像した感光板であるホログラムに OB を当てず、RB のみを当てると、対象物の像がみられる。このことをホログラフィとよんでいる。

模型基礎の振動実験には次のようにホログラフィを用いる。図-1 に示す砂層の上に小さなフーチングを置き、静止状態で OB, RB を当て、感光板を一度露出させる。次にフーチングに鉛直棒より力 $P(t)$ を加え鉛直振動をさせ、振動中の一瞬间にストロボ的に OB, RB を当て、先に一度静止状態で露出した感光板を露出させ、二重露出させる。

感光板を現像すると、静止状態のホログラムと振動状態の一瞬间のホログラムがかさなったものとして得られる。これに OB を当てず RB のみを当てると、二つのホログラムの間に光の干渉縞が得られる。この干渉をホログラフィ干渉 (holographic interferometry) という。一例を 図-2 に示す。

図-2 では中央左寄りにフーチングと力 $P(t)$ を加える棒が写っており、中央の2個の黒い円列は砂中に掘られた空孔である。フーチングの振動により砂層に生じた波動が円孔列により遮へいされる様子を調べるための実験である。

二つの相となる干渉縞の間には鉛直方向にレーザー光線の半波長にあたる高さ変化が生じており、干渉縞は砂表面上の鉛直方向変位の等高線を示している。同図より円孔列の波動の遮へいに対する有効性をみることができる。

(長岡弘明：日本鋼管(株)技術研究所)

面内振動する粗面近くでの流速測定

“Velocity Measurements Close to a Rough Plate Oscillating in Its Own Plane”

Keiller, D.C. and Sleath, J.F.A.

Journal of Fluid Mechanics, Vol. 73, Part 4, pp. 673~691, February (1976)

粗度をつけた平板を、板に平行に振動させたときの板の近くでの流速の測定結果が報告されている。研究の系譜としては、同種の装置による Kalkanis (B.E. B., 1957)、波動境界層での Jonsson (IAHR 1963)、振動流境界層での 堀川・渡辺 (Coastal Engineering in Japan, 1968) の測定の延長にあるといえよう。目新しい点は、規則的な粗度を用いることにより、渦の放出に対応する流速が観察されていることである。

粗度としては、滑らかな球を平板に、六角形に密にはりつけたもの5種と、小石をはりつけたもの2種を用いている。この平板を、タンク内で水平に振動させ、その上の空気の流れを、定温度型熱線流速計で測定している。

図-1 には、滑らかな球を規則的にならべたものを

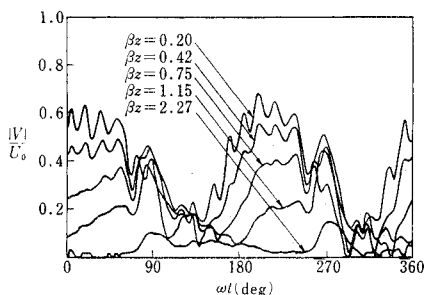


図-1 流速変動の一例

$$v_0/\omega D = 6.87, \beta D = 6.95, \beta = \left(\frac{\omega}{2\nu}\right)^{1/2},$$

D : 粒径, v_0 : 平板の運動速度の振幅

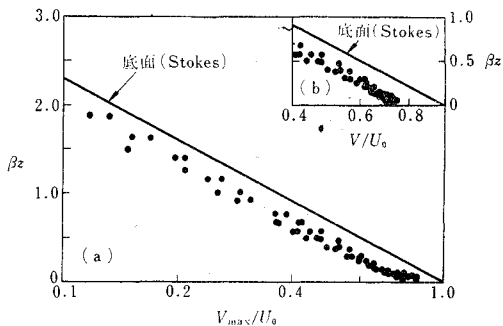


図-2 第2のピークが顕著でない流れの流速分布。底面の規準さえずらせば、Stokes の解とよく一致する

粗度としたときの測定結果の一例が示されている。ここで ωt は、平板の移動速度が最大のときに $0^\circ, 180^\circ$ とした位相である。図より明らかなように、 $\omega t=0^\circ, 180^\circ$ 付近で、板の運動に対応する流速のピークがみられる。これとは別に、ある βx の範囲で $\omega t=90^\circ, 270^\circ$ で第2のピークがみられる。(抄訳者注：ここで示してある流れは、 $R_\delta=U_\delta \delta/\nu=U_0/\beta \nu=96$ で、滑面ならば、層流となる流れである。また、 β は、 $\beta=1/\delta=\sqrt{\frac{\omega}{2\nu}}$) この第2のピークでは、ある種の βD で、ある範囲の βx において、第1のピークより流速が大きくなる。この第2のピークは、粒子粒子の間から鉛直方向に顕著な流体の放出、すなわち渦があることに対応している。それで、このような第2のピークが大き

くなる限界は渦のスケールに相当し、粗度粒子の大きさに比例していることが確かめられている。また、水平流速と鉛直流速の種々 uv の測定結果も、この第2のピークのあらわれる位相で極大値をとり、渦のあることを示している。

このような第2のピークが顕著でない流れでは、流速分布は Stokes の滑面に対する理論とよく一致している(図-2)。

小石ばりを粗度とした場合は、粗度が不規則に配置されているため、球を用いた場合のようなはっきりした第2のピークは判別できない。そして流速分布測定は、Kalkanis の結果と同じようなものになる。

(沢本正樹：東京工業大学 土木工学科)

土木学会岩盤力学委員会第3分科会編

B5・10ページ 200円(〒140円)

平板載荷による原位置岩盤の変形試験法の基準

1. 目的 2. 適用の範囲 3. 試験用器具 4. 試験の準備 5. 試験の方法 6. 試験結果の整理 7. 試験結果の報告

●送料の関係上なるべく一括してご注文下さい。詳しくは係までお問合せ願います●

配管工学ハンドブック 全2巻

S.シュワイゲラー原編

A5・①5000②4500円

川下研介・若林鐵生監訳 ドイツ配管技術界で指導的立場にある20数氏の協力を得て、配管の設計施工の際に不可欠な基本理論と応用技術をまとめたもの。各種配管の特性、計算法と検査法、防食技術、低・高温の断熱技術、計装技術などについて実務に直結した形で解説した。《全2巻完結》

衛生工学

徳平 淳著

A5・1900円

上水道と下水道にテーマをしぼって、著者の20数年にわたる上・下水道工学の講義の経験を十分活かして、現実の上・下水道施設がいかなる設計理論に基づいて作られ、どのような方法で運営されているかを、初学者にも無理なく理解できるように解説した入門書である〔森北土木工学全書16〕

〒102・東京都千代田区富士見1-4-11

森北出版

電話03-265-8341・振替東京1-34757

最新コンクリート工学

小林一輔著

A5・1800円

本書はコンクリート工学を初めて学ぶ読者を対象に、最近のコンクリート工学の研究成果を積極的にとり入れて基礎的な事項から説き起こしたテキストである。前半では材料としてのコンクリートの特性を、後半では施工にあたって注意すべき事項を簡潔に述べた。〔最新土木工学シリーズ9〕

道路施設工学

市原 薫・枝村俊郎共編

A5・4000円

地盤工学

島海 勲著〔新しい建築工学6〕

A5・1600円

新土木設計データブック 全2巻

成瀬勝武編集

B5・①8000円②9000円

土木施工データブック

成瀬勝武・谷藤正三・沼田政矩・種谷 実監修 B5・9800円