

鋼橋技術研究会リフォーム研究部会

参考資料

平成 8 年 3 月

リフォーム研究部会 C グループ

ヒストグラムレコーダとは……………

私達の身の回りには、時間とともに変化する数多くの現象があります。機械・構築物の挙動、温度や湿度の周囲環境の変化など、計測器が扱う物理量が長時間にわたって刻々と変化していくものがたくさんあります。そのような量のもつ意味を的確にとらえるためには、単に波形の変化を知るというのではなく、その頻度分布や2つの量の相関関係などを知ることが必要になってきます。すなわち、長時間にわたる現象の変化の中でどの程度の量がどの程度の割合で発生していたのか、あるいは2つの現象がどのようなかかわりをもって起きていたのか、などということです。ヒストグラムレコーダシステムHR-800シリーズはそのような目的のために開発された測定器＝データ処理システムです。

例えば空調の施された部屋で、室内の温度を測定することによって空調の状態を監視する場合を考えます。室内には環境温度に敏感に影響される精密機器が設置されています。ここで重要なのは温度がどの範囲で変動して

いたか、そしてどの温度にはどれだけの時間滞留していたか、などということ、すなわち温度分布の時間頻度を知ることです。(図1)

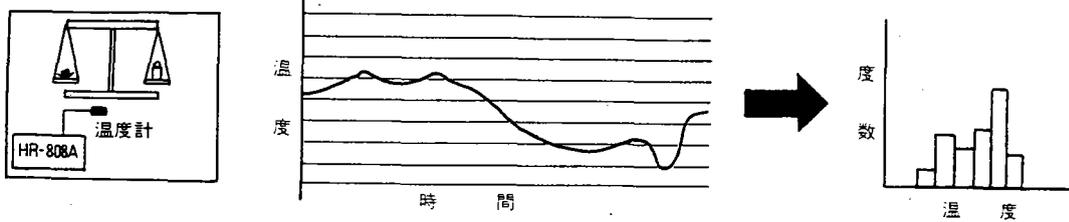


図1 室内温度分布の時間頻度

もうひとつの例を考えてみます。コンテナに荷を積んで輸送する時に荷物が受ける衝撃の程度を調べる場合です。トラックや列車に積んでの走行や積み降ろしの時などに、常に振動加速度が発生しています。その波形は図2のように0を中心に多数の変曲点を持っているはずで、荷物に対して影響を与えるのは加速度の正側負側ともその変極点すなわち極大値、極小値です。従ってセンサとして加速度計を取り付け、静止状態でゼロバランスをとってから輸送状態での加速度波形の極大値、極小値

を拾い上げてそのレベルと数を数えていけば、荷物が受けた振動の程度がわかります。輸送中の加速度の極大、極小値が図3-Aのような分布であれば、小さな振動ほど数が多く、あるレベル以上の振動はなかったことがわかります。もし図3-Bのような分布であれば、振動の数そのものは小さかったけれども、非常に高いレベルの振動まで発生していたということになります。このようにして輸送状態が監視できるわけです。

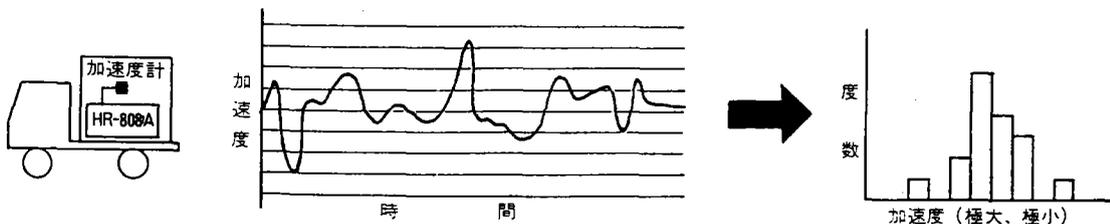


図2 貨物コンテナの振動加速度測定

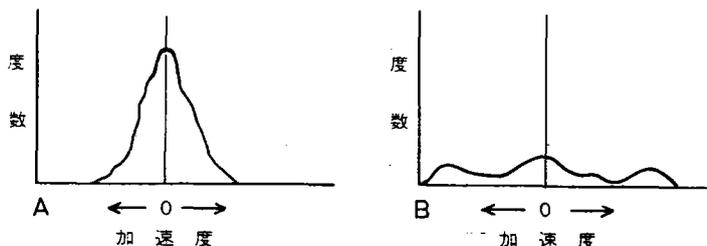


図3 振動加速度頻度の例

測定と同時に解析処理が……………

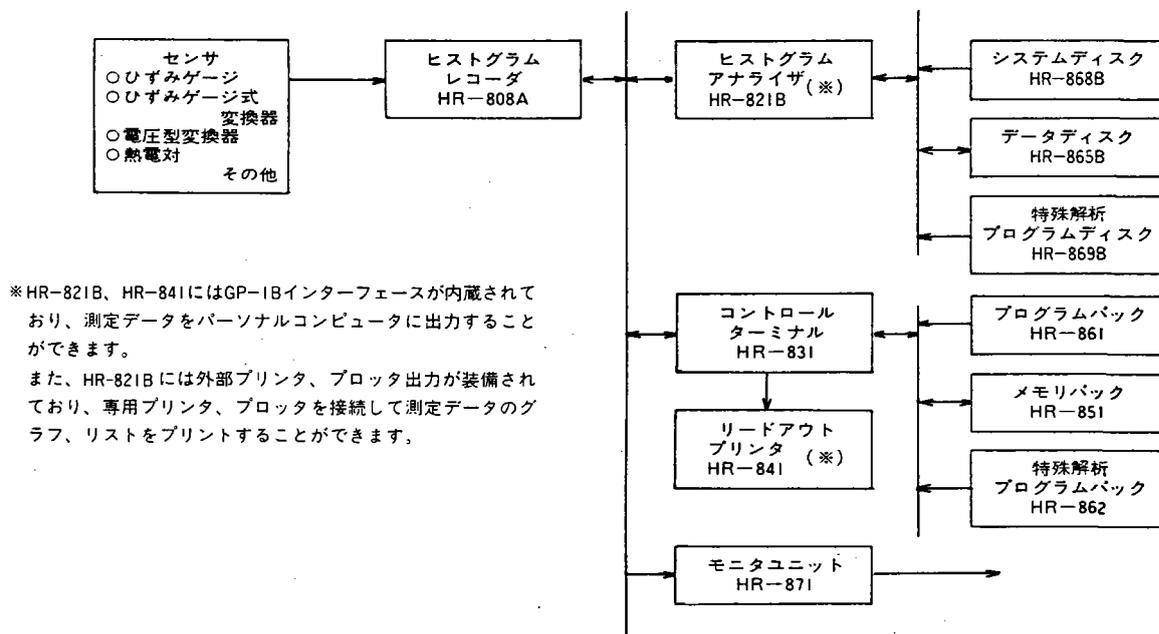
以上1例をあげましたが、このように一般に存在する現象を考える時にヒストグラム＝頻度分布は非常に重要な意味を持っているのです。

いろいろな現象の頻度分布を知るためには適当なセンサにより物理量を連続的に測定し、レコーダに記録します。次にその量から必要とされる頻度分布を求めますが、通常その作業はかなり煩雑なものとなります。現象波形から図形的に求める方法、あるいは物理量をデジタル化してから数値処理する方法などがありますが、測定時間が長くなるほど処理量も増大し解析にも相当の時間と労力を要するのが通例です。

ヒストグラムレコーダシステムHR-800シリーズはそのような時間と労力を省き、簡単な初期設定だけで測定

後直ちにヒストグラムが得られることを特長とする測定器です。ヒストグラムレコーダにセンサを直接接続して測定開始すれば連続的にデータを収集し同時に定められた解析処理を行います。処理されたデータは物理量の各レベル毎のカウント数という形でメモリーされますから、測定終了後、あるいはその中でも読み出すことができます。センサを選べばさまざまな物理量に対応でき、1年を越すような長期にわたる測定も可能です。このようにヒストグラムレコーダHR-800シリーズは測定、解析、記録を1台で行うユニークな測定器となっています。

ヒストグラムレコーダシステムHR-800シリーズは基本的に図4のような機器により構成されています。



※HR-821B、HR-841にはGP-IBインターフェースが内蔵されており、測定データをパーソナルコンピュータに出力することができます。
また、HR-821Bには外部プリンタ、プロッタ出力が装備されており、専用プリンタ、プロッタを接続して測定データのグラフ、リストをプリントすることができます。

図4 ヒストグラムレコーダシステムの基本構成

●ヒストグラムレコーダ/HR-808A

センサを接続してデータの収集、解析、記録を行います。極めて小型、軽量で耐振性にすぐれています。

●ヒストグラムアナライザ/HR-821B

コントロールターミナル/HR-831

リードアウトプリンタ/HR-841

HR-808Aの操作や収録データの読み出しなどを行います。ヒストグラムアナライザはCRT表示を採用し高度な処理が行えます。コントロールターミナルは小型で現場での使用に便利です。

●モニタユニット/HR-871

入力全点のアナログ信号が得られます。HR-808Aで測定しながら同時にデータレコーダなどで波形記録を行うことができます。

●システムディスク/HR-868B

プログラムバック/HR-861など

システムを動作させるプログラムが収録されています。機能の変更、拡張もプログラムの変更により容易です。

●データディスク/HR-865B

メモリバック/HR-851

測定データの記録、保存に用います。

実験から工程管理まで.....

ヒストグラムレコーダシステムには次のような特長があります。

- ★**小型、軽量**.....機能を分担したため、各機器は極めて小型、軽量となり、取り扱いが容易です。
- ★**システム化**.....初期設定、測定、データ読み出しなどの使用条件に合わせて最適なシステムを組むことができます。
- ★**汎用性**.....入力センサとしてはひずみゲージ、ひずみゲージ式変換器、電圧変換型変換器などが使用でき、幅広い測定対象をカバーします。
- ★**高信頼性**.....測定中は操作部が切り離されますから、設定やプログラム、測定データなどが変更されることはありません。停電、カウントオーバーなどに対する保護も完全です。

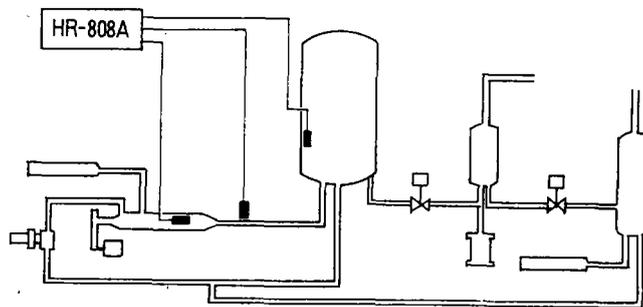
★**電源はDC12/24V**.....測定中はDC12/24Vで動作しますから、車両や移動体、遠隔地など、商用電源のないところでの測定にも適します。

★**長期自動測定**.....十分なカウント容量と高い信頼性、安定性を持っているから、長期にわたる無人の自動測定が可能です。

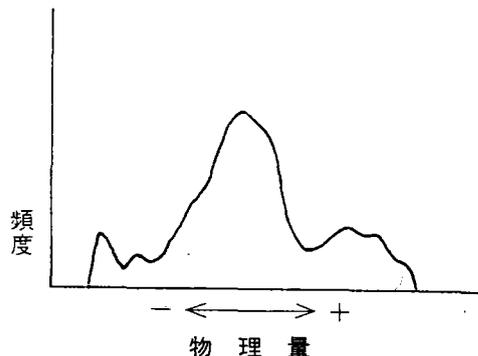
ヒストグラムレコーダHR-800シリーズは従来の測定器、記録器の概念を越えて、あらゆる分野でさまざまな目的に利用できます。ここではひとつの参考として、4点ほどの例をご紹介します。

① 製造ラインの動作の監視

製造ラインでは、各種のセンサを使っての自動制御などがさかんに行われています。このようなラインの動作状態を監視するために、ヒストグラムレコーダによる頻度測定が有効です。例えば、化学プラントにおける液温、液圧、粘度、流量など、あるいは機械工作における工作中的製品の寸法、工作機械の油圧、回転数、温度などの要因について、相関関係などを求めて評価することができます。また、モニタユニットを併用して入力のアナログ信号を得てアナログ記録計に間接的に記録すれば、現象波形について知ることができます。



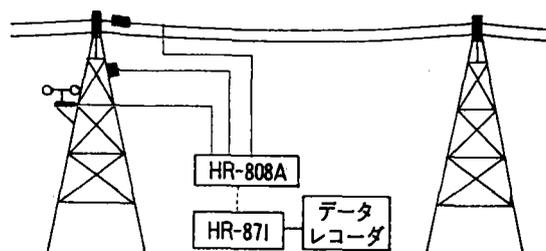
極大・極小
時間
振幅など



② 屋外構造物の挙動測定

鉄塔や橋梁など屋外設置の構造物では気象条件によってさまざまな影響を受けます。ヒストグラムレコーダを用いれば構造物各部材の応力やワイヤの張力、振動などとともに、風速、風向、気温などの頻度データが得られます。平常時に生じている微動や、強風時に発生する最大張力、振動などが、整理されたヒストグラムの形で読み出されます。

さらにコントロール出力機能とモニタユニットを利用して、風速が一定値より大きくなった場合に外部のアナログ記録器に自動的に波形を記録させることもできますから、実働状態にある構造物の効率的な監視に役立ちます。

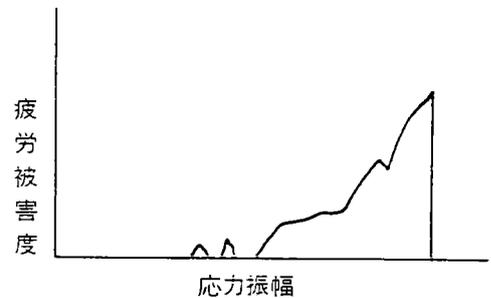
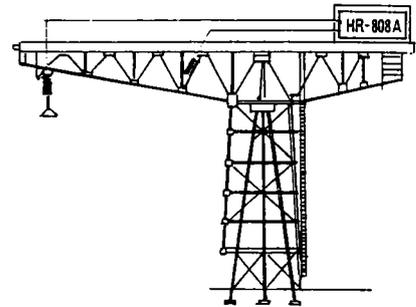
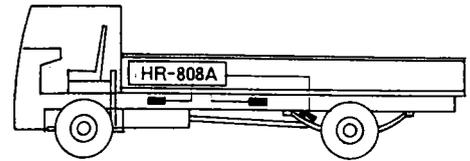


あらゆる頻度の測定に ヒストグラムレコーダ

③ 部材の疲労寿命の推定

材料があるレベル以上の繰り返し荷重を受けると最終的には破壊すること、そして破壊を起こす荷重の大きさと繰り返し回数とは材料ごとに定まった関係があること、などはよく知られています。自動車などの車両や、建築物などを構成する部材には常にランダムな荷重が作用していますが、それが部材に対してどのような疲労被害を与えているかを知ることは重要なことです。ランダムな繰り返し荷重の場合、それによる応力の大きさと回数をどのようにカウントするかが問題ですが、レインフロー法によって求められる応力振幅とその数が疲労に大きく影響することが確認されています。

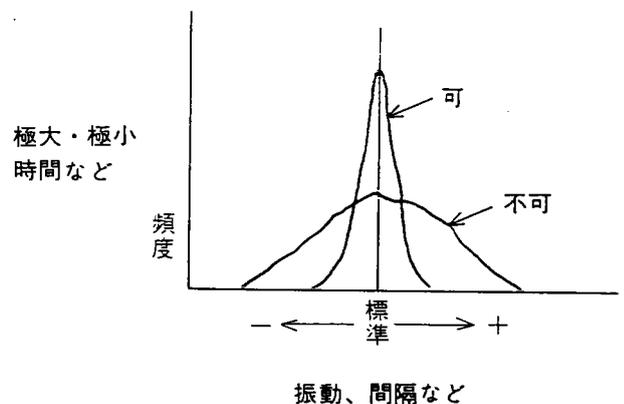
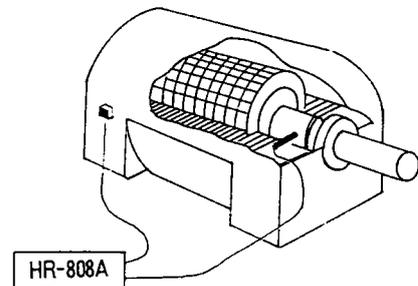
ヒストグラムレコーダにはレインフロー法が準備されていますから、センサとしてひずみゲージを用いて各部材にかかる応力のレベルと回数を知ることができます。収集データをもとに耐用年数を推定したり、それを設計にフィードバックしてより効率的な設計を行うなどさまざまに活用できます。ヒストグラムレコーダは小型軽量で車両搭載や長期測定にも最適ですから、自動車や機械などが実際に稼働している状態で信頼性の高いデータを得ることができます。またヒストグラムアナライザには、レインフロー法による収集データを処理して疲労被害度を求めるプログラムが用意されていますから、解析がより容易になります。



④ 機械部品交換時期の適性化

回転機械の軸受などが劣化してくると、回転子と固定子の間隔のばらつきが大きくなる、あるいは回転に伴う振動が増加するといった現象が現われます。それを定量的にとらえ部品交換や補修の要否を判断するのにヒストグラムレコーダが利用できます。

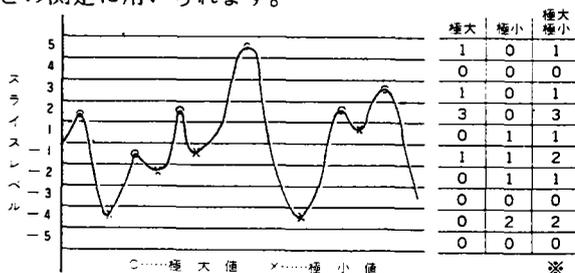
加速度計や非接触変位計を用いて振動や間隔を測定し、極大、極小値頻度や時間頻度を求めます。一定期間毎に頻度を読み出し、その分布がある幅より大きくなったら補修の必要ありと判断するわけです。発電機などの大型機械では常時モニタして保守管理用として、また量産機械では何台かをサンプルして標準的な補修時期を求めることができます。



ヒストグラムレコーダシステムHR-800シリーズでは、解析プログラムはシステムディスク及びプログラムパックの中に収められています。標準で用意されている7種類のプログラムについて簡単に御紹介します。

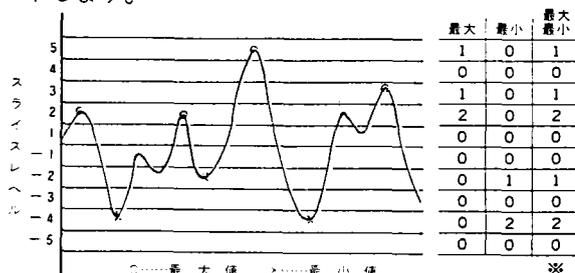
1) 極大値・極小値法

入力波形の傾きが正から負に変わる点を極大値、負から正に変わる点を極小値と定義します。入力レベルは0を中心に±32のスライスに区切られており、極大値、極小値が発生するたびにそのスライスにカウントします。この方法は短い周期で変動している量、例えば機械振動などの測定に用いられます。



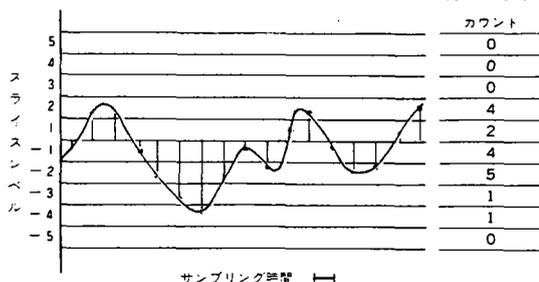
2) 最大値・最小値法

入力波形が正の領域にある間の最大の値を最大値、負の領域にある間の最小の値を最小値と定義します。最大値、最小値を±32に区切られたスライスレベルの中にカウントします。



3) 時間法

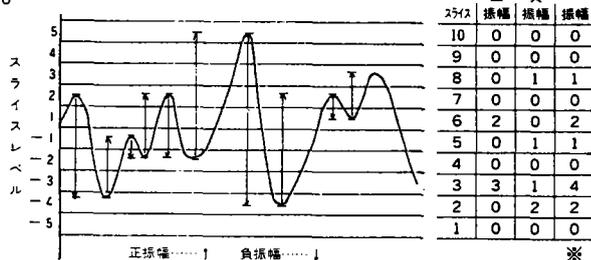
入力レベルを±32のスライスに区切り、それぞれのスライスに入力波形の滞留していた時間をカウントします。サンプリング周波数は1、10、125、250Hzが選べます。現象がどの範囲で生じていたかを知るのに有効です。



4) 振幅法

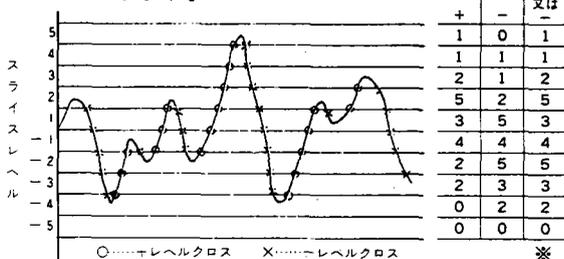
入力波形の極小値と次の極大値の差を正振幅、極大値と次の極小値の差を負振幅と定義します。入力レベルを±32のスライスに区切り、振幅の絶対値がいくつのスライスに相当しているかをとり、該当するスライスレベルにカウントします。従ってスライスレベルは1~64となります。現象の変動幅とくり返し数を知ることができ

ます。



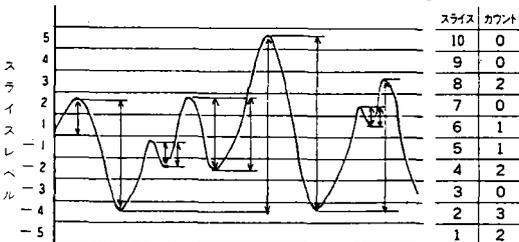
(5) レベルクロッシング法

入力レベルを±32のスライスに区切り、入力波形がスライスレベルを通過するごとに該当するスライスレベルにカウントします。



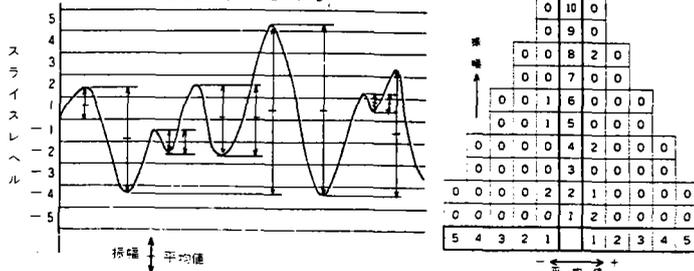
(6) レインフロー法

入力波形の振幅と発生回数をカウントする振幅法の一つですが、カウントの方法に独特の定義があり、くり返し荷重を受ける材料の疲労被害度の推定に用いられます。入力レベルは±32のスライスに区切られており、カウントのスライスレベルは1~64となります。



(7) 2次元レインフロー法

レインフロー法が入力波形の振幅の大きさと発生回数をカウントするのに加えて、一振幅ごとの平均値を求めその平均値と振幅を2つのパラメータとして発生回数をカウントします。入力レベルは±16のスライスに区切られており、カウントのスライスレベルは平均値が±16、振幅が1~32となります。



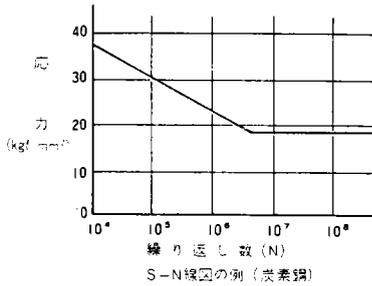
ヒストグラムレコーダでは上記の解析プログラムを自由に選んで用いられます。ひとつの入力波形を2つ以上のプログラムで解析することもできます。また「ヒステリシス(無効振幅)」の設定により、測定に不要な微小波形やノイズなどの影響を除去することができます。

※測定するデータの種類の種類はモード設定により選択されます。

システムディスクHR-868Bには、ヒストグラムアナライザHR-821Bを用いて材料の疲労被害度を求めるプログラムが収められています。このプログラムはヒストグラムレコーダHR-808Aのレインフロー法などによって収集された応力頻度データにマイナーの仮説を適用して累積疲労被害度を推定するものです。

(1) 材料のS-N線図

材料にあるレベルの応力Sをくり返し作用させると、ある回数Nで破壊します。このSとNの関係を図示したものがS-N線図で材料ごとに固有のものとなります。例えば鋼材ではSが大きい範囲ではSとNの対数が反比例の関係となり、Sがあるレベル以下になるとNが増大しても材料は破壊しません。



(2) マイナー (Miner) の仮説

材料のS-N線図から応力が σ_1 の時の疲労限界数 N_1 、応力が σ_2 の時の疲労限界数 N_2 を求めます。実際に σ_1 の応力が n_1 回、 σ_2 の応力が n_2 回加わったとしますと、疲労被害度Fdは

$$Fd = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} \text{ として求めることができます。}$$

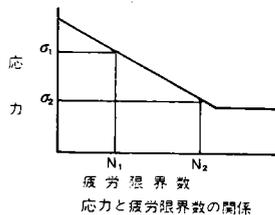
さらに σ_u までを含めて一般的に表わしますと、

$$Fd = \sum_{i=1}^u \frac{n_i}{N_i} \text{ となります。}$$

この式の n_i 、 N_i はいずれも応力の1サイクルを1回とみなしています。HR-808Aのレインフロー法では応力振幅のゆき、かえりをそれぞれ1回とカウントしますので、レインフロー法によるカウント数を2で割った値を上式に適用して疲労被害度が求められます。

また、2次元レインフロー法、レベルクロッシング法、振幅法、最大値・最小値法、極大値・極小値法によって収集された頻度データに対しても、上記の考え方を適用して疲労被害

度が算出されます。



※このパンフレットではヒストグラムレコーダシステムHR-800シリーズの概要について総括的に御紹介しています。

システムの機能を十分に発揮するためには適切な機器構成とプログラムが必要です。各機器の仕様については、HR-800シリーズカタログ(TML Pam J-655)をご覧ください。

(3) 修正グッドマン (Goodman) の方法

S-N線図、マイナーの仮説とも、応力は0を中心に正負に対称にくり返される状態を考えています。しかし実際は0でないレベルを中心に応力がくり返されることがあり、この場合疲労限度は応力レベルに比例して小さくなります。ここに次の関係式が成立します。

$$\sigma_a' = \sigma_a \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_s}\right)$$

但し σ_a' : 平均応力 σ_m での疲労限度

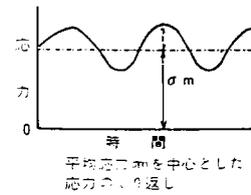
σ_a : 両振り疲労限度

(0を中心とした両振り)

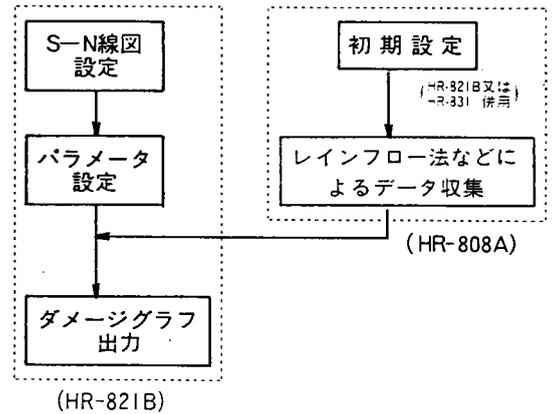
σ_s : 引張強さ

σ_m : 平均応力

HR-868Bのプログラムでは平均応力 σ_m を設定し、上式に基づいた補正を行うようになっています。

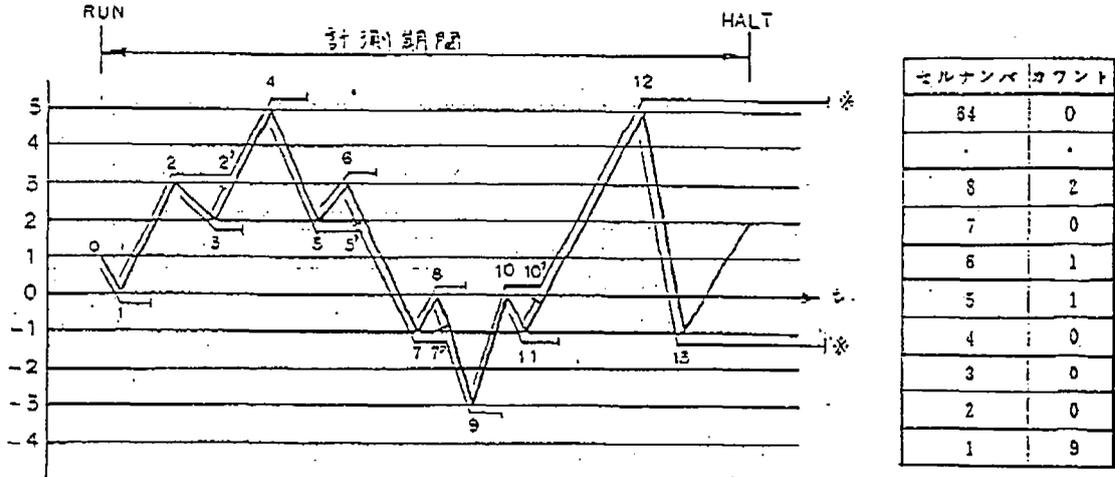


このプログラムは次のような流れにより動作します。



S-N線図、パラメータ(最大応力、平均応力、引張強さなど)を設定しますと、レインフロー法で収集したデータの各スライスレベルごとのカウントに対する疲労被害度が算出され、ダメージグラフないしリストとして出力されます。その計算方法は前記の考え方に従っており非常に信頼性の高い結果が得られます。構造物、車両、機械などが実際に稼働している状態で一定時間の測定を行い、疲労被害の状況を推定することができます。

レインフロー法



(定義)

① RAIN FLOW法 : RAIN FLOW法による波形の分解は、時間的経過を縦軸にひずみ変化の山と谷を連続して結び、各々の山と谷、谷と山間の直線を多量の屋根とみなし、一つの屋根の高い位置の山(または谷)より雨滴を流す事を想像します。雨滴の流れは次の3条件のいずれかにあてはまった時停止するものとし、その流れた経路の横軸を計測し、ひずみ振幅を算出します。

<雨滴の流れ停止の3条件>

1. 右向きに流れる雨滴は、その流れ始めた山(または谷)の位置よりも、左側に山(または谷)が現われた時、その流れは停止します。
(1-2-2'-4, 5-6, 7-8, 9-10-10'-12)
2. 左向きに流れる雨滴は、その流れ始めた山(または谷)の位置よりも、右側に山(または谷)が現われた時、その流れは停止します。
(0-1, 2-3, 4-5-5'-7-7'-9, 10-11, 12-13)
3. 1つの屋根を2ヶの雨滴が流れることはない。先に流れ始めた雨滴に優先権があり、もう1ヶの雨滴の経路に出会った時、その流れは停止します。
(3-2', 6-5', 8-7', 11-10')

以上の様に算出されたひずみ振幅がスライスレベルN-1とNとの間にある時、セルナンバNに計数積算します。