

(株) 大林組 正員 後藤 洋三

(株) エスコ ○ 前田 昌信

1 序

構造物の共振特性を求めるために、起振器あるいは振動台を用いた強制振動実験がしばしば行なわれている。この種の実験の計測は電氣的に行なわれるが、記録された波形の読み取りとプロットに莫大な人力を必要とし、波形が乱れている場合には読み取りの精度が低下してきた。このような問題を解決するために、実時間アナログ相関計の利用が試みられており¹⁾、デジタル相関や相関解析の適用拡大に関する研究も進められている²⁾。著者等も解析の自動化と高精度化に取り組み、解析システムを開発して実用に供しながらその効果を検討してきた。本報告は開発したシステムの特徴と波形解析理論および効果について述べる。

2 システムの機能と特徴

本システムは起振器あるいは振動台を用いた正弦波の強制振動実験を解析の対象とし、オンラインあるいはオフラインで入力されるアナログ振動波形から振動数と振巾および位相を読み取って共振曲線を作成する機能を有している。本システムの特徴は次の通りである。

- 1) 精度が高く安定したフーリエ解析による振巾の読み取り。
- 2) A/D変換、波形解析、倍率効正、共振曲線作図の全自動化
- 3) 大量データの高速処理能力
- 4) 計算機の映像表示装置を利用した共振曲線の表示と修正削除 (人間の高度な図形認識能力と判断力の活用)

3 システムの概要

解析システムの全体構成とフローを図-1に示している。システムは次の4ブロックに大別できる。

1) 実験データの記録

振動計増巾器から出力された振動実験のデータは入力レベル監視装置を通してデータレコーダに記録される。同装置は入力信号が適正なレベルにあるかどうかを監視するとともに、A/D変換のコントロール信号と増巾器の倍率信号の発生を行う。

フーリエ解析を行うためには基準の正弦波が必要となり、振動台の制御盤発振器あるいは起振器の回転シャフトと同期する正弦波発生器の出力が利用される。

2) A/D変換

A/D変換器はミニコンによって制御されており、コントロール信号に従ってA/Dされたデータは大型計算機と互換性のある磁気テープに書き込まれる。変換速度は16チャンネル/1mm secで、総データ量の制限は事実上ない。

3) 波形解析

磁気テープのデータはあらかじめ準備されたプログラムに従って解析され、その結果はディスクまたはカードに出力される。振動数の解析は基準正弦波について行ない、零クロス法と相関法によって高い精度の値が求められる。この振動数について観測波形のフーリエ解析を行ない振巾を求める。

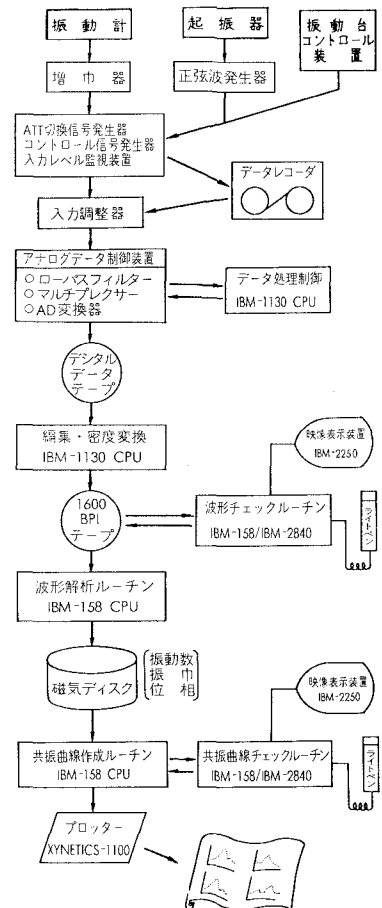


図-1 全体構成とフロー

4) 共振曲線の作成と映像表示装置による修正

3) で求められた振巾に対し倍率効正計算を行えば共振曲線のプロット点縦軸が計算される。横軸は基準正弦波から求めた振動数である。1 回の実験のプロット点を構成すれば共振曲線が作成されるが、電氣的障害や倍率計算の誤りによって若干の点がバラツクことがある。そのため、映像表示装置上に共振曲線が出力され、解析担当者はライトペンとキーボードを操作してプロット点の修正と削除を行うことができる。

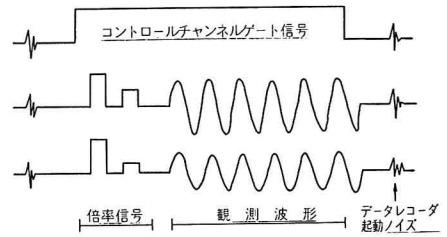


図-2 データの記録例

4 波形解析理論と誤差の検討

基準正弦波の角振動数を ω 、観測波形を $Y(t)$ とすると、 $Y(t)$ に含まれる角振動数 ω の成分の振巾はよく知られたフーリエ解析の原理に従って次式から求められる。

$$A = \frac{2}{T} \int_0^T Y(t) \sin \omega t dt, \quad B = \frac{2}{T} \int_0^T Y(t) \cos \omega t dt \quad (1)$$

$T = 2n\pi/\omega$ ただし、 n は整数である。

$$C = \sqrt{A^2 + B^2} \quad ; \quad \text{振巾}$$

フーリエ解析において、 $T \rightarrow \infty$ であれば解析上の誤差は生じない。しかし、 T が有限であつて観測波形に振動数が ω と異なる成分も含まれていると誤差が生じてくる。今、 $\omega^* = \omega + \Delta\omega = \alpha\omega$ とし、 $Y(t)$ を次式で表わす。

$$Y(t) = \frac{Y_{\omega^*}}{2} e^{i\omega^* t} + \frac{\bar{Y}_{\omega^*}}{2} e^{-i\omega^* t} \quad (2)$$

式(2)に対して有限フーリエ変換を行うと次式を得る。

$$C(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T (Y_{\omega^*} e^{i\omega^* t} + \bar{Y}_{\omega^*} e^{-i\omega^* t}) e^{-i\omega t} dt = \frac{Y_{\omega^*} (e^{i(\omega^* - \omega)T} - 1)}{i(\omega^* - \omega)T} - \frac{\bar{Y}_{\omega^*} (e^{-i(\omega^* + \omega)T} - 1)}{i(\omega^* + \omega)T} \quad (3)$$

ここで、 $\omega^* - \omega = (\alpha - 1)\omega$ 、 $\omega^* + \omega = (\alpha + 1)\omega$ 、 $T = 2n\pi/\omega$

とすると式(3)は次のように書きかえられる。

$$R = \frac{C(\omega)}{Y_{\omega^*}} = \frac{e^{2n\pi\alpha i} - 1}{2n\pi(\alpha - 1)i} - \frac{\bar{Y}_{\omega^*}}{Y_{\omega^*}} \cdot \frac{e^{2n\pi\alpha i} - 1}{2n\pi(\alpha + 1)i} \quad (4)$$

式(4)は観測波形の複素振巾と解析波形の複素振巾の比を示したものである。 $n = 5, 10, 20$ の各場合について、 α の変化に対する振巾比 $|R|$ を求めたものが図-4である。 $\alpha = 1$ の時は $|R| = 1$ であるが、 $\alpha \neq 1$ では急速に減少していることがわかる。すなわち、有限フーリエ変換は中心振動数を ω とする狭帯域のフィルターと同等の機能を有し、 n が大きくなる程、すなわち、 T が大きくなる程帯域巾が狭くなる。

5 むすび

以上に述べてきた自動解析システムはすでに多くの振動実験に適用されており、省力化と解析速度および精度の向上に貢献してきた。また、解析プログラムがFORTRANで作成されているため、プログラムを一部修正して波形を合成した特殊な共振曲線の作成(ねじり、ロッキング等)も容易であり、ノイズレベルの高い観測波形についても解析が可能であるので、振動実験による解析の範囲が拡大した。

参考文献

- 1) 武藤 清 他 3 名：関連技術を利用した振動実験法、第 3 回日本地震工学会講概集(1971)
- 2) 久保 慶三郎 他 2 名：関連計を用いた振動計測について、第 29 回土木学会講概集-I(1973)