

非線型共振曲線の解析

Proc. of A.S.C.E., EM/前野 陽治・訳
 蛍光性のトレーサーによる土砂流送過程の調査
 Proc. of A.S.C.E., HY/吉野 文雄・訳
 水の再生と藻類の利用
 Jour. of W.P.C.F./大迫 健一・訳

非線型共振曲線の解析

“Data Reduction from Nonlinear Response Curves”
 Novak, M.

Proc. of A.S.C.E., EM, Vol. 97, No. 4, pp. 1187~1204.
 August (1971)

(1) まえがき

非線型振動を解析するのに、近似解法が一般に用いられる。本論文は、共振曲線から非線型性の諸定数を求める逆解法について述べたものである。線型振動の逆解法は、すでに Nielsen 等により、報告されている。ここでは、起振振動数に等しい振動数での運動のみを考慮した。

(2) 共振曲線

1 自由度における運動方程式は、次式で示される。

$$P(t) = rm_0 \omega^2 \sin \omega t = m\ddot{y} + ky + f(y, \dot{y}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで ω : 起振振動数

ky : 復元力の線型部分

$f(y, \dot{y})$: 振動速度に関係する非線型減衰と、復元力の非線型部分関数

$y = A \sin(\omega t + \phi)$ とし、等価線型減衰 $C_e(A)$ と、等価ばね定数 $k_e(A)$ を用いると、等価線型方程式は

$$m\ddot{y} + C_e(A)\dot{y} + k_e(A)y = P(t) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$\rho = rm_0/m$, $\alpha_e = C_e(A)/2m$ の記号を用いると、共振曲線の一般方程式は

$$\omega^4 \left(1 - \frac{\rho^2}{A^2}\right) - 2\omega^2(\Omega^2 - 2\alpha_e^2) + \Omega^4 = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

位相遅れは、

$$\sin \phi = -\frac{2\alpha_e}{\rho} \frac{A}{\omega} \quad \dots\dots\dots (4)$$

で表わされる。

図-1 の鎖線 ② に示すように、原点を通る曲線と、共振曲線との交点を ω_1 , ω_2 とすれば、骨格曲線 $\Omega(\omega)$ は、

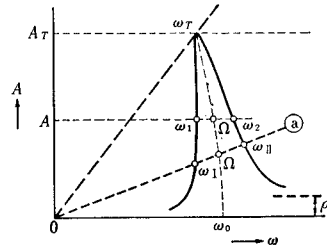


図-1 骨格曲線とダンピングの算定

$$\Omega = \sqrt{\omega_1 \cdot \omega_2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

より求められる。

実験に基づく共振曲線の解析の逆解法は、次の手順で行なわれる。

- ① 骨格曲線の決定
- ② 振動質量と減衰の決定
- ③ 力と変位の関係の決定

減衰比を求める方法として、次の方法等がある。

- ① $D = a/\omega_0 = 1/2 \cdot \Omega/\omega_0 \cdot \sqrt{2 - (\Omega/\omega_1)^2 - (\Omega/\omega_2)^2}$ の公式を使用する
- ② ノモグラム (図-2) を使用する

(3) ノモグラムを用いた解析例

図-3 の実験を例にとる。原点を通る直線で、共振曲

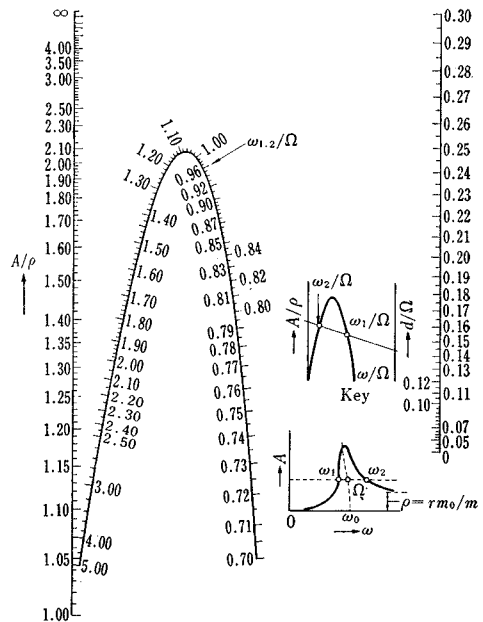


図-2 計算用ノモグラム

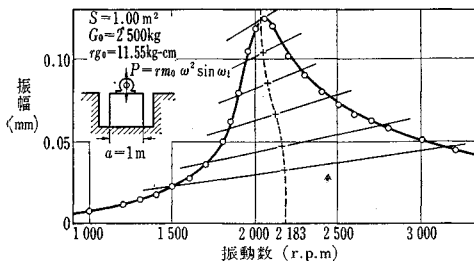


図-3 地盤上のコンクリート基礎による上下振動の共振曲線

線を切り、式(5)より骨格曲線が求められる。曲線を描くと、得た振動数 ω_0 ($N_0=2183$ rpm) を振動数軸にそう入する。振幅 $A=0.007$ では、 $\omega_1/\Omega=0.888$, $\omega^2/\Omega=1.206$, $\Omega=2110 \times (2\pi/60) \text{sec}^{-1}$ を得る。公式を用いると、減衰比 D は、0.101 および 0.10 を得、ノモグラムを用いると、0.101 および 0.096 を得る。また、質量は 4540 kg となり、2040 kg の付着質量が判明する。

(4) まとめ

このようにして、非線型復元力は、与えられた共振曲線に対して、数値計算によって求められる。非線型減衰および非線型復元力のある系では、この逆解法は一般的には、困難な問題である。しかし本論では、非線型減衰の二つの型、および多自由度系にも言及した。共振曲線の性質に着目したこの論文は、実験値の解析に有用であらう。

蛍光性のトレーサーによる土砂流送過程の調査

“Tracer Studies of Sediment Transport Processes”
Rathbun, R.E. and Nordin, C.F.
Proc. of A.S.C.E., HY, Vol. 97, No. 9, pp. 1305~1316, September. (1971)

アメリカ地質調査所は、1965 年以来、河川の土砂の流送、分散プロセスを調査するため蛍光性トレーサーを用いる研究を行ってきた。この論文は、流砂量を決定するためのトレーサーの使用と、トレーサー粒子の密度や寸法が河床粒子の流れ方向ならびに水平、垂直方向の混合と平均粒子速度に及ぼす影響を決定するため行った 2 種類の野外調査の結果をまとめたものである。

2 種類の野外調査はともに砂床河川の直線区間を選んで行われた。その一つは、ベルナルド近くのリオグランデ河用水路であり、流速ならびに流砂量が大きき河床は flat bed である。他の一つはアトリスコ用水路で行なわれ、流速ならびに流砂量は小で、河床には砂堆が形成さ

れていた。砂の粒度分布はこの両用水路ではほぼ等しく、平均径は 0.25 mm であり、流れの状態は表-1 に示すとおりであった。

表-1 流れの状態

| | 流量 (m³/s) | 流速 (m/s) | 平均水深 (m) | 水面勾配 | 水温 (°F) |
|-------|--------------|-------------|-------------|---------|------------|
| ベルナルド | 20.8 | 1.23 | 0.76 | 0.00070 | 34 |
| アトリスコ | 8.9 | 0.69 | 0.74 | 0.00050 | 52 |

使用したトレーサー粒子の諸元は表-2 のとおりである。

表-2 トレーサー粒子の性質

| 粒子 | 密度 | 粒度範囲 (mm) |
|----------|-------|-------------|
| 石英 | 2.65 | 0.125~1.500 |
| Garnet | 4.08 | 0.125~0.707 |
| Monazite | 4.79 | 0.125~0.500 |
| 鉛 | 11.30 | 0.177~0.500 |

ベルナルドでは、水路中央線上の注入点からトレーサー粒子を瞬間投入し、下流の数断面で試料を集め、平均濃度と時間の関係を調査した。アトリスコでは既知量のトレーサー粒子を 5 分ごとに投入し連続投入と考えた。投入は 7 日間続けられ、粒子の分散度を調べる試料を採取した。

表-3 はベルナルドでの実測流砂量と、トレーサー粒子の濃度から計算された流砂量を比較したものである。非常に良く一致していることが認められる。

表-3 ベルナルドでの流砂量

| 粒度範囲 (mm) | 計算流砂量 (t/日) | 実測流砂量 (t/日) | 計算値/実測値 |
|--------------|----------------|----------------|---------|
| 0.125~0.177 | 859 | 1194 | 0.72 |
| 0.177~0.250 | 1724 | 937 | 1.84 |
| 0.250~0.350 | 747 | 713 | 1.05 |
| 0.350~0.500 | 118 | 203 | 0.58 |
| 0.500~0.707 | 36 | 25 | 1.44 |
| 0.707~1.000 | 6.9 | ~0 | — |
| 計 | 3491 | 3072 | 1.14 |

図-1 は median fall diameter と粒子の平均移動速度を示すものである。平均移動速度はトレーサー粒子群の中心の速度であり、fall diameter は考えている粒子

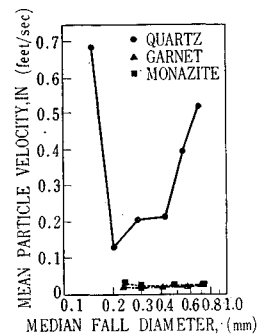


図-1 flat bed の流れでの粒子の平均移動速度

と同じ沈降速度を持つ石英球の径である。石英粒子では中央粒径を含む粒度範囲の粒子が最も移動速度が小さく、これより小さな粒子は浮遊で運ばれるものが多い。また、大きな粒子は主として掃流砂として運ばれ、流れへの露出度が中央径より大なため、移動速度も速い。Garnet や Monazite では移動速度が小さく、石英のような傾向は認められない。

図-2 は粒子の横方向の分散を示すものである。210 m (700 ft) 下流で集められたトレーサー粒子の分散は細粒の粒子の分散が染料のそれとほぼ同じであることを示している。このことはこれらの粒子が浮遊して運ばれていることを示すと

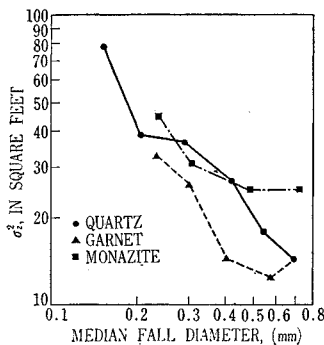


図-2 ベルナルドにおける投入源から 210 m (700 ft) 下流でのトレーサー粒子の横方向濃度分布の分散

考えられる。粗い粒子は掃流で運ばれ、粒子の寸法と横方向の混合との間には強い逆比例関係が認められる。砂堆のあるときの横方向の分散は flat bed のときより大であるが、粒径あるいは密度の影響は明らかではない。

水の再生と藻類の利用

“Water Reclamation and Algae Harvesting”
McGarry, M.G. and Tongkasame, C.
Jour. of W.P.C.F., Vol. 43, No. 5, pp. 824~835,
May (1971).

現在の汚水処理は有機質をガスまたは汚泥として取除き、きれいな処理水を放流するのであるが、将来の人口の増大、食糧の不足等を考えると、汚水の有機栄養分を食糧源に、また、処理水を再利用する必要がある。

Oswald は高速酸化池をカリフォルニアにおいて紹介した。このたびアジア工業技術研究所はタイ国の応用科学研究協会の協力のもとに熱帯地域で高速酸化の実験を行なった。通常酸化池では藻類はアンモニアとか二酸化炭素を栄養源とし太陽エネルギーのもとに光合成し、

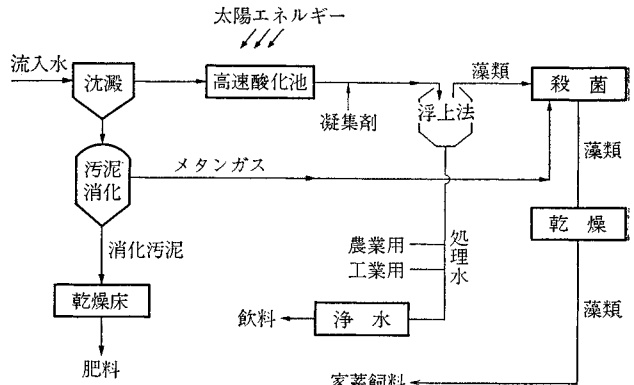


図-1

酸素を供給する。一方、バクテリアはこの酸素を利用して代謝により有機物を分解、合成して藻類の栄養源とする。従来の酸化池は維持管理費を最小にするように設計されたが、高速酸化池は藻類の増殖と、汚水中の有機物の減少を最大にするよう開発された。必然的にこのタイプの池は負荷を大きくし、滞留時間を短くし、水深を浅くするものである。処理のフローシートは図-1に示す。

バンコックで行なった一年間にわたる室内およびパイロットプラントの実験結果によると

① 負荷は 224 kg BOD/ha/日 で、水深 45 cm、滞留時間 1 日が最も効率が良い。このとき処理水は 10 mg/l 以下、ha あたり年間 45 400 kg の藻類(乾物)の収穫がある。藻類の細胞の 50% は蛋白質であるので飼料として利用できる。

② 藻類の凝集剤として、みょうばん単独と補助剤として有機凝集剤を併用したものと比較した結果、補助剤としてはカチオン系が最も経済的であったが、pH 6.5 のときはほぼ効果は同じであった。補助剤を使うと藻類の中のアルミニウム含有量が減少すると同時に凝集剤の管理費が安くついた。

③ 強制的に空気を吹込んだ水、あるいは過飽和状態の池の水と混和し、浮上法により藻類を浮遊物濃度 7% まで濃縮できる。

④ 濃縮した藻類(浮遊物濃度 6%)を 0.5 cm の厚さに敷き天日乾燥すると太陽エネルギーが 480 g cal/cm²/日 のとき 1 エーカー (4 046.86 m²) あたり水分 10% 弱の藻類 1 270 kg/日 乾燥できる。

⑤ 再生した水を雑用水として利用すると飲料用水としては従来の給水の $\frac{1}{3}$ で足りる。

確かに高速酸化池が有用であっても、さらに飼料として生産物の処理法、市場分析、経済性等をパイロット、実物スケールで試みる必要がある。