

道路橋の振動特性推定法について II (時間領域における方法)

長崎大学工学部 学生員 ○森 昌 弘
 長崎大学工学部 学生員 長友 章二郎
 長崎大学工学部 正員 岡林 隆 敏

1. はじめに

著者らは、衝撃試験による道路橋の動特性の実験²⁾を行なってきた。道路橋の実験では、供用中の橋梁をあるいは供用前の橋梁においても、測定結果に高いレベルの雑音が重複する。そこで、観測雑音に対して、動特性推定が可能な推定法を検討し、この方法を用いて実測結果の処理を行なった。観測雑音の除去対策として、まずデータ処理の段階で対応し、次に各種の推定方法を適用する。この報告では、シミュレーションとデータ処理の概要を述べると共に、時間領域での動特性推定法の結果を示したものである。

2. シミュレーションの方法

シミュレーションは、表-1の特性を有する構造物に、図-3(a)の衝撃力が作用し、観測雑音図-3(c)が付加するものとして考える。

観測雑音は雑音レベル、S/N比を0.5, 10, 20(%)と増加させて、S/N比の劣化による推定誤差関係について検討する。衝撃力は、図のように半正弦波を考える。応答はNew Mark β法で解析する。

観測雑音は、三角級数モデル⁵⁾

$$n(t) = \sum_{k=0}^n a_k \sin(\omega_k t + \phi_k) \quad (1)$$

を用いて、0~10(Hz)までパワースペクトル密度が、S_nである白色雑音を考えた。S/N比は応答については、σ_s=y_{max}/2を考え、雑音についてはパワーσ_nを用いて、その比で定義している。

3. データ処理の方法

雑音を除去する方法として、標本関数を平均する。図-4にデータ処理の概要を示した。周波数領域で伝達関数を平均化する方法と、時間領域で平均化し、平均化された外力と応答をフーリエ変換して伝達関数を求める方法である。さらに、ウインドー処理についても、この段階で実施する。FFTボードを用いれば、1024点でFFTは10msで実施できる。雑音レベル20(%)の加振点応答のコンプライアンスを図-5で示したが、かなり高いレベルの雑音の影響が現れる。

表-1 構造物の動特性		
	1次振動	2次振動
f _r	1.000	2.656
h _r	0.05	0.03
	4.367	0.01

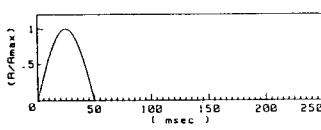


図-1 衝撃加振試験

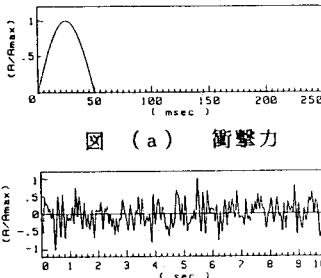


図 (a) 衝撃力

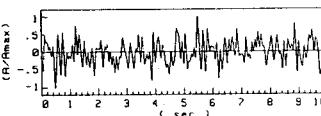


図 (b) 観測雑音

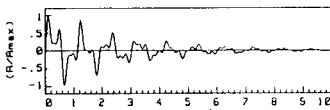


図 (c) 応答波形

図-3 シミュレーション波形

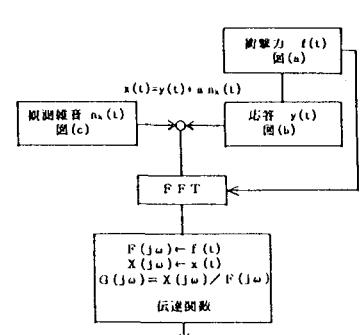


図-2 シミュレーションの方法

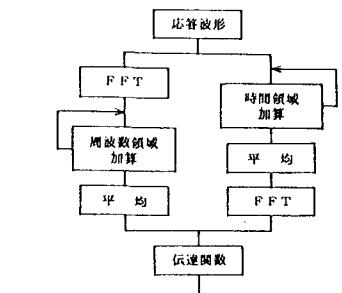


図-4 データ処理の方法

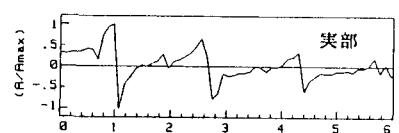
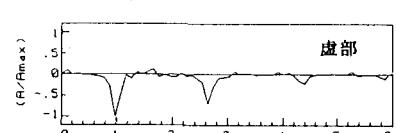


図-5 コクアド線図



4. 時間領域の手法

多自由度のコンプライアンス $G(\omega)$ は

$$G(\omega) = \sum_{r=1}^N \left\{ \frac{j\Omega_r^2/(2K_r\omega_{dr})}{j(\omega+\omega_{dr})+D_r} - \frac{j\Omega_r/(2K_r\omega_{dr})}{j(\omega-\omega_{dr})+D_r} \right\} \quad (2)$$

で与えられる。 $K_r = k_r / (\phi_{ri} \phi_{ri})$ であり、 ω_{dr} は減衰固有振動数 σ_r は、モード減衰率である。対応する単位衝撃応答関数は、次式になる。

$$h(t) = \sum_{r=1}^N \frac{\Omega_r^2}{K_r\omega_{dr}} e^{-\sigma_r t} \sin \omega_{dr} t \quad (3)$$

時間領域の推定法の処理手順を図-6に示した。

1)コクアド線図による推定¹⁾ 伝達関数のピークより推定する方法。

2)非線形最小二乗法⁴⁾による推定 伝達関数のピーク近傍の逆変換した時間波形に(3)式を適合させる方法。

3)プロニーの方法¹⁾ 時間波形の相関関数と代数方程式³⁾を解くことにより各パラメーターを推定する方法。

4)カルマンフィルターの方法 星谷⁶⁾より提案されている方法。

5. 推定結果と考察

動特性の推定法には大別して1自由度法と多自由度法があるが、図-6の結果は1自由度法による、ノイズレベルを0~20(%)変化させた推定誤差を示したものである。実線は非線形最小二乗法、点線はプロニーの方法、破線はコクアド線図による推定を示している。固有振動数は各法とも安定した結果が得られており推定誤差も3(%)以内に収まっている。特に、非線形最小二乗法による推定では1(%)以内に収まっている。減衰定数はばらつきが大きいが、非線形最小二乗法による推定において推定誤差が20(%)以内に収まっている。この変動の原因としては固有振動数に比べて値が小さいため推定誤差が敏感になっていると考えられる。更に、逆FFTを用いる場合に取り込むデータの個数について経験的な判断が入り込む余地がある。固有振動数、減衰定数ともノイズレベルの大きさと推定誤差との関係は見られなかった。Kalman Filter の方法とモードの結果及び実測結果の処理については講演時に述べる。

【参考文献】

- (1)長松：モード解析，培風館。(2)岡林，溝口，西村，原：昭和61年土木学会第41回学術講演会。(3)磯田，大野：FORTRANによる数値計算。(4)刀根：BASIC，培風館。(5)星谷：確率論手法による構造解析，鹿島出版会。(6)星谷：土木学会論文報告集No.339。

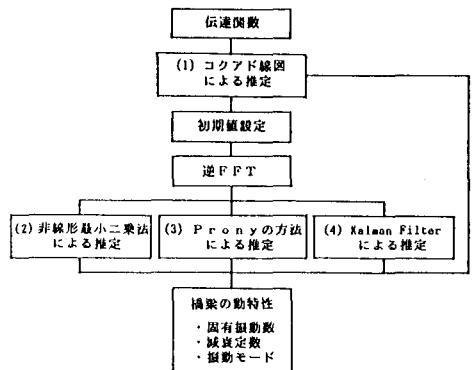


図-6 時間領域の動特性推定処理

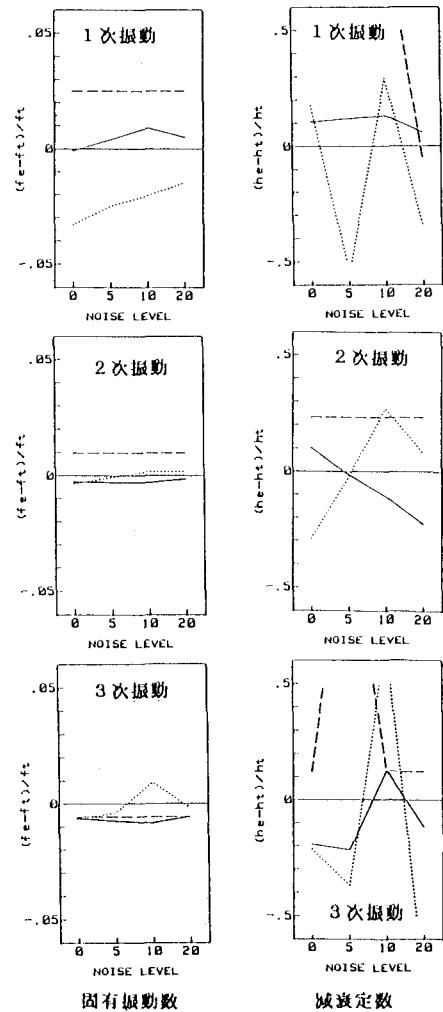


図-7 各推定量の推定誤差