

1. 概説

構造物に地震動などの入力がある場合、実際にはそれらの直接入力や、隣接構造物などの相互作用による入力など、複数の入力が入力作用する場合が考えられる。そこで本研究では、このような複数の入力が入力作用する場合と仮定し、その応答値から入力を同定することを考える。その際用いる手法として、情報処理の分野で考えられている独立成分解析を利用し、線形8自由度構造モデルでその適応性を検証する。また、最小二乗法による外力波形の同定も行う。ここで同定を行う際、構造系の動特性を既知として用いるために、あらかじめ適応型カルマンフィルターを用いて同定された値を用いる。

2. 最小二乗法による外力波形の同定

本研究では、逆解析でよく用いられる最小二乗法による外力波形の同定を考える。多点外力を受ける構造系の運動方程式から得られる状態方程式、および観測値と状態量の関係を示す観測方程式は次式で表される。

$$z(t+1) = Pz(t) + Qf(t)$$

$$y(t) = Cz(t)$$

ただし、 y は観測ベクトル、 C は観測行列、 z は状態量ベクトル、 P, Q はそれぞれシステム行列、入力行列、 f は入力ベクトルである。そして、これらの式より得られる次式を考える。

$$\{y(t+1) - CPz(t)\} = CQ\{f(t)\}$$

上式の左辺と右辺の行列 CQ が既知量、入力ベクトル f を未知量として最小二乗法を適用し、入力ベクトル f を同定する。解析モデルとしては図1に示される線形8自由度構造系を用いる。質点2、4、7の3点に周波数帯域の異なるピンクノイズが外力として作用しており、構造系の動特性（減衰定数 h 、固有円振動数 ω 、質量 m ）が既知であり、全ての質点での速度、変位応答が観測されているとする。ただし、動特性（減衰定数 h 、固有円振動数 ω ）は事前にカルマンフィルターで同定した値を用いるため10%程度の誤差があり、観測値には、観測値の標準偏差の1%の標準偏差をもつホワイトノイズを付加している。質点2、4、7に外力が作用しているとして、入力波形の同定を行う。図2に質点2、4、7における同定された入力波形と真の入力波形の比較を示す。図より、入力波形が精度よく同定されることが分かる。

3. 独立成分解析による外力波形の同定

本研究では、独立成分解析による外力波形の同定を考える。ここで独立成分解析とは、いくつかの独立な元信号の混合信号から元の信号を分離、同定しようとするものであり、観測される混合信号だけから元の独立な元信号を同定できるという特徴が

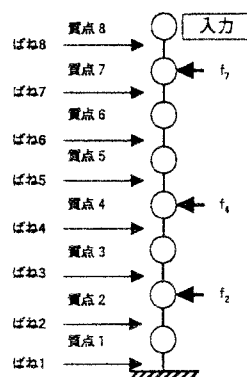


図-1 解析モデル

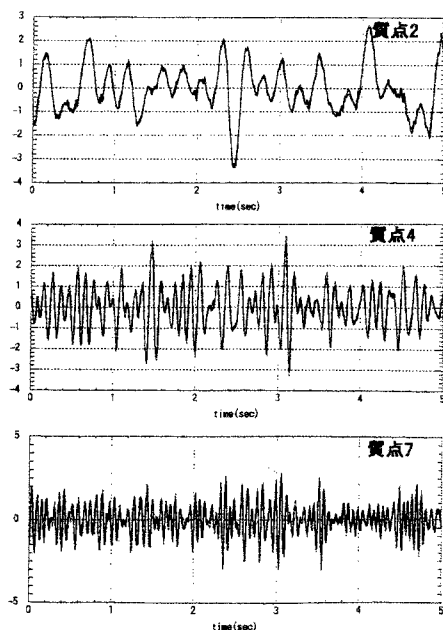


図2 同定波形と入力波形の比較(正規化したもの)

—— 真の入力波形
—— 同定波形

ある。いま、 n 個の互いに独立な信号をベクトル表示して $s(t)$ 、また n 個の観測点で観測される混合信号のベクトルで表したものを $x(t)$ として、

$$x(t) = As(t)$$

と表現できるとする。ここで A は混合係数行列である。この時、独立な元信号ベクトル $s(t)$ と混合係数行列 A が未知で、観測信号 x だけが得られたとして、元の独立な信号 $s(t)$ を推定するために、

$$y(t) = Wx(t)$$

で表されるように、観測信号 $x(t)$ に適当な行列 W を掛けて新たな信号 y を作成し、この信号 y の各成分が互いに独立となるように行列 W を学習的に更新していく。その際、以下の学習アルゴリズムを用いる。

$$W(t+1) = W(t) + \eta(t) \{I - \phi(y(t))y(t)^T\} W(t)$$

ここで、 $\eta(t)$, $\phi(y)$ はそれぞれ学習率、評価関数である。

次に、独立成分解析への適用であるが、ここでは最小二乗法のとくと同様に、運動方程式から得られる状態方程式と観測方程式より得られる次式を用いる。

$$\{y(t+1) - CPz(t)\} = CQ\{f(t)\}$$

そして、上式の左辺を観測信号、右辺の CQ を混合係数行列とみなして元信号 f を同定する。解析モデル、条件についても、最小二乗法の場合と同じものとする。本研究で用いるモデルの場合、8 自由度に対して 3 点入力ということで、観測量ベクトル y の成分を 3 つ選ぶ必要がある。そこで、観測量として入力位置である質点 2、4、7 の速度応答を選んだ場合と、観測量を質点 1、5、8 の速度応答とした場合について解析を行う。ここで、前者はあらかじめ入力位置が分かっている場合を想定しており、それに対して後者は、入力位置が未知の場合に観測位置をランダムに選択した場合を想定している。解析結果はそれぞれ図 3、図 4 であり、同定された入力波形と真の入力波形をそれぞれ標準偏差が 1 となるように正規化した波形の比較である。図 3 より、入力位置が既知の場合は、3 点に作用する入力波形が精度よく同定されることがわかる。しかし、図 4 より入力位置が未知の場合は、同定されないことが分かる。

4. 結論

最小二乗法を用いた外力波形の同定の場合、減衰定数、および固有円振動数に 10% 程度の誤差があり、観測値にノイズ(1%)が含まれている場合でも、外力波形の同定ができた。また、独立成分解析を用いた場合は、同様の条件で入力位置が既知の場合に外力波形の同定ができた。

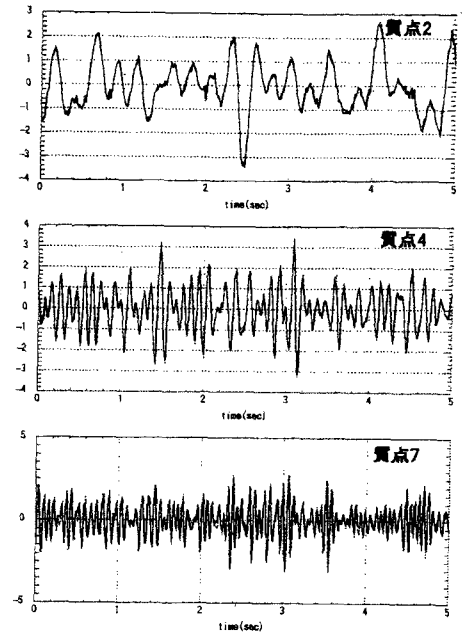


図 3 独立成分解析による同定波形と入力波形の比較(正規化したもの) <観測位置 質点 2,4,7>

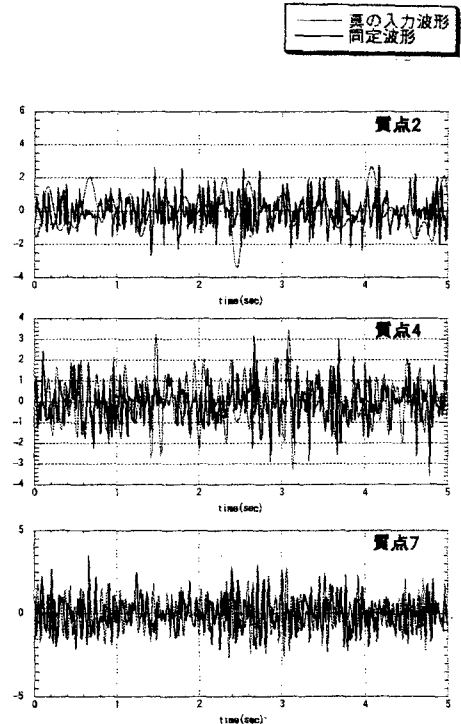


図 4 独立成分解析による同定波形と入力波形の比較(正規化したもの) <観測位置 質点 1,5,8>