RC 梁に作用する衝撃力の同定

松江工業高等専門学校　正会員　○柴田俊文
北海道大学大学院　フェロー　三上　隆
㈱地崎工業土木部技術課　正会員　須藤敦史

1. はじめに

カルマンフィルタは①観測値の次元数が未知量（状態量）より少なくても同定が可能である②時間領域で逐次状態量を同定できる③観測ノイズを考慮に入れた同定が可能であるなどの利点を有している．しかし，これらのような利点があるにも関わらず，構造物に対する衝撃力の同定にカルマンフィルタを適用した研究例はあまりみられない．そこで本研究ではカルマンフィルタを用いた衝撃力の同定手法の確立を目的に，実験値を用いた逆解析を行いその適用性の検討を行った．

2. カルマンフィルタ

カルマンフィルタは状態方程式（式(1)）と観測方程式（式(2)）から構成されている．

$$\boldsymbol{x}_t = \boldsymbol{\Phi}_{t-1}\boldsymbol{x}_{t-1} + \boldsymbol{\Gamma}_{t-1}\boldsymbol{w}_{t-1} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{z}_t = \boldsymbol{H}_t\boldsymbol{x}_t + \boldsymbol{\nu}_t \tag{2}$$

ここで $\boldsymbol{x}_t$ が状態量，$\boldsymbol{\Phi}_{t-1}$ が遷移行列，$\boldsymbol{\Gamma}_{t-1}$ が変換行列，$\boldsymbol{w}_t$ がシステムノイズ，$\boldsymbol{z}_t$ が観測値，$\boldsymbol{H}_t$ が変換行列,そして $\boldsymbol{\nu}_t$ が観測ノイズである．

本研究では状態量を衝撃力，観測値を梁中央の変位として解析を行う．ここで有限要素法との組み合わせを考え，状態方程式は定常性を示すと仮定する．式(1)で $\boldsymbol{\Phi}_{t-1} = \boldsymbol{I}$，かつシステムノイズを無視すると式(3)を得ることができる．

$$\boldsymbol{x}_t = \boldsymbol{I}\,\boldsymbol{x}_{t-1} \tag{3}$$

また状態方程式を定常と仮定したため，観測方程式に含まれる変換行列の各成分は影響係数法を用いて決定する．以上よりカルマンフィルタと有限要素法を組み合わせた解析が可能となる．

また変換行列にはマルコフ過程（連鎖）の概念を導入しており，本研究では連鎖数 m =5 を用いて解析を行った．

3. 実験概要

本研究では鉄筋コンクリート（RC）梁と重錘との衝突実験のデータを用いて数値妥当性を検討する．実験は室蘭工業大学で行われたものであり，RC 梁のスパン中央部に重量 1.96kN，直径 15cm，長さ 1.6m の円柱状で底部が高さ 2mm の球形状となっている鋼製重錘を所定の高さより自由落下させる．ここで衝突速度 v_0 が 1.0，2.0 及び 3.0m/sec となるように落下高さを設定した．なお，RC 梁は支点部のリバウンドを防止するために，RC 梁の両端から 25cm の位置で鋼製の治具により梁の上下を固定している．また，治具全体は梁の回転を許容し，ピン支持に近い境界条件となっている．なお梁中央の変位は非接触式レーザー式変位計，衝撃力は起歪柱型ロードセルを用いて計測を行った．

4. 数値解析

RC 梁のモデル図と諸元をそれぞれ**図-1** 及び**表-1** に示す．E，ρ，ν，h，b 及び L はそれぞれヤング率，密度，ポアソン比，梁の高さ，幅及び梁の長さを表す．なお，梁の剛性に対する断面二次モーメント I と断面

キーワード：衝撃力，カルマンフィルタ，RC 梁，同定

連絡先 : 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4, TEL/FAX : 0852-36-5260

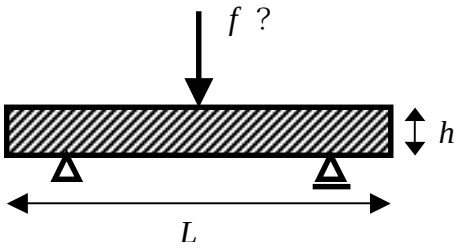
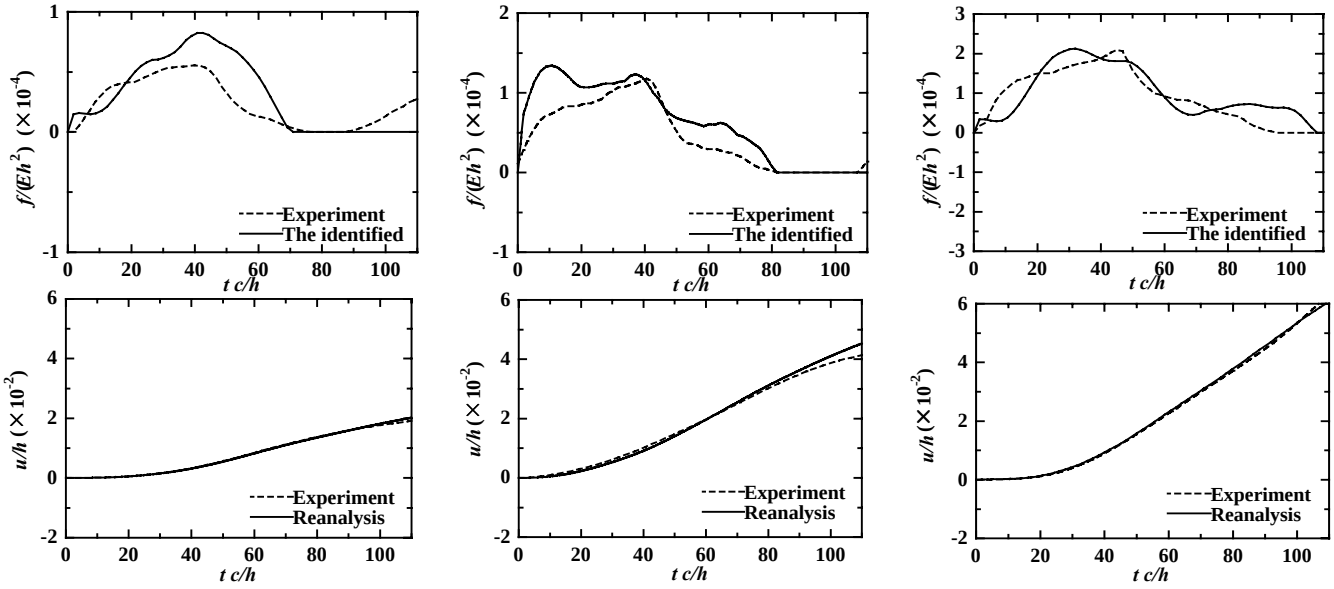


図-1 解析モデル

表-1 解析諸元

E (Gpa)	ρ (kg/m^3)	ν	h (m)
19.3	2.4×10^3	0.19	0.16
b (m)	L (m)	I (m^4)	A (m^2)
0.16	2.5[2.0]	3.6×10^{-5}	0.22×10^{-1}

注：大括弧内は純スパン長を表す



(a) v_0 =1.0m/sec の波形　**(b)** v_0 =2.0m/sec の波形　**(c)** v_0 =3.0m/sec の波形

図-2 解析結果

積Aは，設計に準じてコンクリートの引張を無視し，引張，圧縮両鉄筋を考慮に入れて計算する．ただし，質量マトリックスに対しては全断面有効とし，接触点には局所変形は考慮していない．梁は弾性の範囲で適用可能であるとして有限要素法で離散化し，Timoshenko 梁理論を用いた一次元の梁（ビーム）要素を使用する．時間積分法は Newmark β法（β=0.5，γ=0.25）を採用し，また，カルマンフィルタの初期推定誤差共分散と観測誤差分散は，無次元化した値を用いてそれぞれの比を 0.1 として解析を行った．

図-2 に実験値を用いて解析した結果を示す．上側のグラフが衝撃力を表し，実線及び破線はそれぞれ同定値，実験値を表す．また，下側のグラフは変位を表し，実線は同定した衝撃力を入力値として順解析を行って得た波形（再解析），破線は実験値である．**(a)**，**(b)**及び**(c)**は衝突速度v_0がそれぞれ 1.0, 2.0 及び 3.0 のときの結果であり，減衰定数はζ=0.1 として解析を行っている．いずれのケースにおいても実験値と同定値との間に僅かに差が見られるが，再解析の変位波形と実験値がほぼ一致しており，カルマンフィルタによる逆解析が成功していることがわかる．

謝辞

本研究を行うにあたり，室蘭工業大学の岸徳光教授，安藤智啓氏に多大なるご支援を戴きました．ここに記して謝意を表します．

参考文献

岸徳光他，静載荷時に曲げ破壊が卓越する RC 梁の弾塑性衝撃応答解析，土木学会論文集, No.619, 1999.