

ボックスカルバートの高加速度加振試験を対象としたテンプレートマッチングによる応答計測

電力中央研究所 正会員 ○府川 和樹
同 正会員 酒井 理哉
同 正会員 酒井 俊朗

1. はじめに

原子力発電設備である海水管ダクトの合理的な耐震評価手法の構築のため、ボックスカルバートと配管の連成的な挙動を考慮した fragility 評価の検討を進めている。その一環として、ボックスカルバート模型の加振試験を実施しているが、実験結果の検討には躯体のひずみが必要であり、計測には一般的にひずみ計測用のゲージが用いられるが、高加速度が作用する試験においては加振中に剥離するため設置が難しい。本論では、ひずみゲージの代替として、デジタル画像処理の 1 つであるテンプレートマッチング¹⁾を用いることで、実験の撮影映像から試験体の応答を計測する手法について検討する。

2. 実験概要

試験体は、実構造物を 1/2~1/3 スケールで模した曲げ先行破壊先行型の鉄筋コンクリート部材とする(図 1)。試験体には幅 50mm 間隔の格子線を入れる(図 2 中の l_x , l_y)。試験体は、図 3 の共振振動台にボルト固定で設置し(図 4)、図 2 の x 方向に最大 4G 程度の加振した。最大層間変形角は 1.6% で、試験終了後には、試験体下部で鉄筋の破断が確認された。

3. 計測方法

撮影カメラには GoPro HERO8 を用いる。解像度は 1,920×1,080 で、フレームレートは 240fps に設定する。図 4、図 5 のように振動台に設置した架台にカメラを固定し、振動台と平行移動することで、試験体の振動変形の様子を記録する。

変位量およびひずみの解析には、相関係数マッチング手法を用いる。テンプレートは試験体の格子の各交点(図 2 赤四角部分)に設定し、動画開始 1 フレーム目のトリミング画像を用いる。動画の各フレームでテンプレートマッチングを実施することで時刻歴データを取得する。カメラに魚眼レンズを使用

したことから、撮影時に用いたレンズに対応する補正処理を施す。また、精度向上のため、Lanczos 法によってピクセルの補間を行い、解像度を 3840×2160 相当にリサイズする。

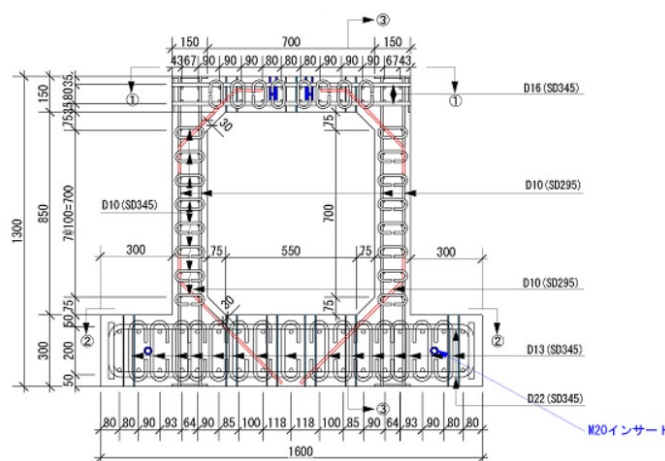


図 1 試験体配筋図

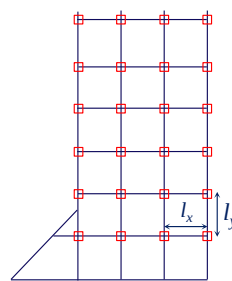


図 2 解析箇所



図 3 共振振動台

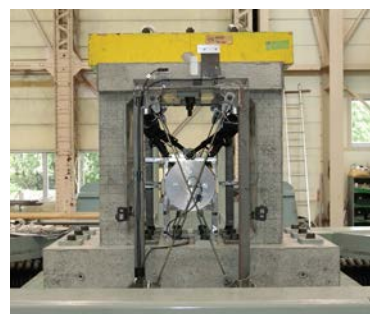


図 4 試験体設置の様子



図 5 カメラの設置箇所

キーワード 画像処理, テンプレートマッチング, ボックスカルバート, 原子力発電設備, 動的試験

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 一般財団法人 電力中央研究所 サステナブルシステム研究本部
Tel : 070-5555-6806, FAX : 04-7183-2962, E-mail : k-fukawa@criepi.denken.or.jp

4. 計測結果

図7にテンプレートマッチングの検知結果の画像を示す。白線で囲まれた箇所が各テンプレートの検知箇所であり、図中ではナンバリングがされている。大きな誤差やロストすることはなかったことから、テンプレート箇所の変形や回転による影響は小さいと思われる。

テンプレート検知箇所の n フレーム目の画面内座標を x_n, y_n 、動画開始 1 フレーム目の座標を x_1, y_1 とすると解析によって得られる任意の格子点 i の変位量 u_n, v_n は式(1)で表現される。

$$(u_n, v_n) = \{(x_{i,n}, y_{n,i}) - (x_{i,1}, y_{i,1})\} \alpha \quad (1)$$

$$\alpha = (l_x, l_y) / \{(x_{i,1}, y_{i,1}) - (x_{k,1}, y_{k,1})\} \quad (2)$$

k は i と隣り合う格子点であり、ひずみ量を算出する区間で設定する。格子点区間の n フレーム目のひずみ量 $\mu_{x,n}$ および $\mu_{y,n}$ は下記のように算出する。

$$(\mu_{x,n}, \mu_{y,n}) = \{(u_{i,n}, v_{i,n}) - (u_{k,n}, v_{k,n})\} / (l_x, l_y) \quad (3)$$

図8に、 x 方向の時刻歴変位について、実験値と解析値の比較を示す。実験値は、レーザー変位計で試験体頂部を計測しているが、解析値は図7の2cの位置であり、変位の計測箇所が異なる。本論では、それぞれの時刻歴変位内の最大値で除すことで無次元化を行い、傾向の比較を試みる。図から解析値が実験値の振幅の変化の傾向を表現できていることがわかる。図9には、図8の拡大を示しており、高加速度下での変位の変化を追跡できていることが確認できる。FFT から得られたピーク振動数は、実験値が 9.42Hz、解析値が 9.41Hz と誤差は 0.1%未満であり、周波数特性を表現できていることから、時間当たりのフレーム数に大きな不足はないと考える。

図10に時刻歴ひずみ量関係を示す。大まかに変化の様子をとらえることができるが、縦軸のひずみ量は階段のようなプロットとなり精度が低い。これは、動画内のひずみ量の変化が、画像を構成するピクセルの大きさと比較して小さいため、ピクセルの大きさの分だけ段差的になっていることが原因と考える。

5. まとめ

ボックスカルバートの縮小模型を対象とした高加速度加振試験の撮影映像を対象に画像解析を実施し、変位およびひずみの計測を試みた。今後、ひずみ量の計測の精度向上のため、サブピクセルを用いた検討を実施する予定である。

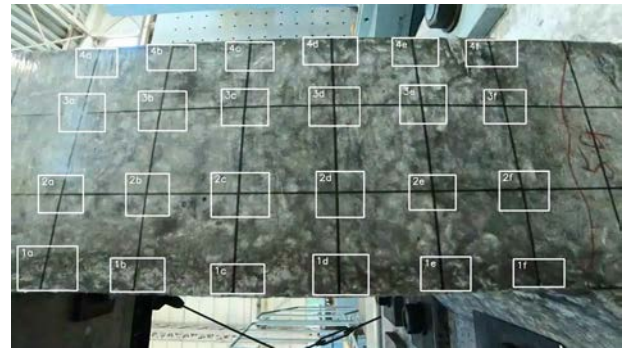


図7 マッチングテンプレートによる検知箇所

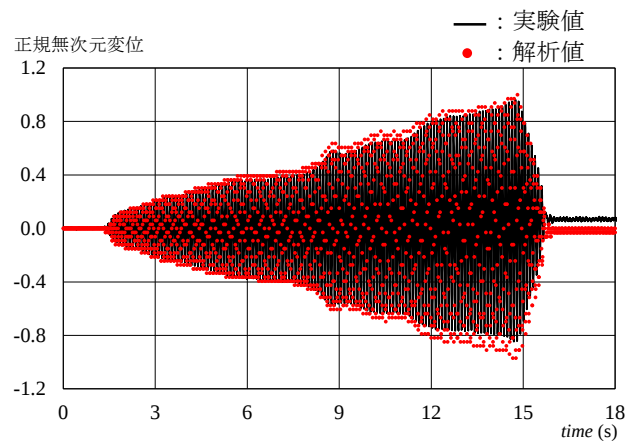


図8 時刻歴変位関係の比較

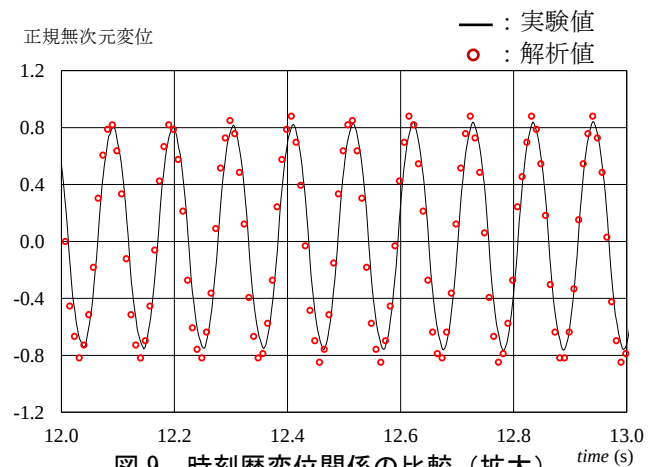


図9 時刻歴変位関係の比較 (拡大)

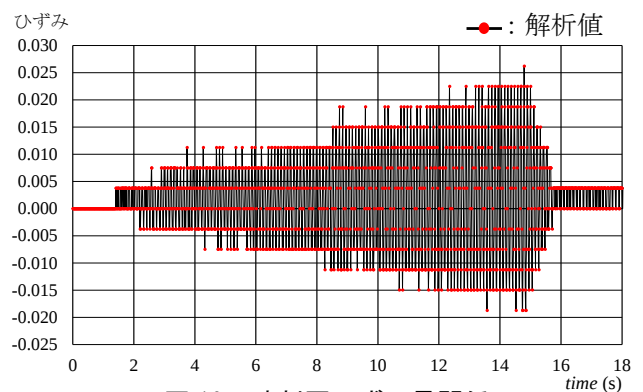


図10 時刻歴ひずみ量関係

参考文献

- 1) A.K.Jain : Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice-Hall, pp.400-407, 1989