圧電アクチュエータを用いた RC 構造欠陥検出の検討

〇北見工業大学 正会員 山崎 智之
北見工業大学 ご会員 シェリフ ベスキロウン 北見工業大学 正会員 三上 修一
北見工業大学 フェロー 大島 俊之

1. はじめに

本研究では RC 構造部材を対象とし、隠れた損傷などを検出するために、積層圧電 アクチュエータを使用して RC 構造部材に対して振動実験を行った。各実験ケースに おける RC 構造部材の損傷の違いによる振動特性の変化を捉え、積層圧電アクチュエ ータによる局部振動加振が RC 構造部材の損傷検出に有効であることを検証する。ま た、損傷検出に有効であると考えられるモード信頼性評価基準を用いた損傷検出解析 について説明する。

2. 実験概要

実験は実験室内コンクリートブロックと実際のRC構造部材について行った。

I. 実験室内コンクリートブロックで行った実験

コンクリートブロックの概要と設定した実験ケースを図1に示す。この実験はコンクリ ート材料に対して積層圧電アクチュエータにより、振動入射が効率よく伝達するか確認する ために行った。実験では、加振装置として積層圧電アクチュエータを用い、アクチュエータ の設置は磁力で接着するホルダーを用いた。

加振方法: 200Hz から 800Hz までの加振周波数帯を分割して試験する。周波数が道線的に連続で変化する sin 波により加振するスイープ加振により振動実験を行った。

Ⅱ. 実際の配構造附すで行った実験

cæel:壁部林中央部 cæe2:壁部林偶角部 cæe3:柱部林における三つの実験を行った。 加振方法:300社から800社までの加振周波数帯を分割して試験する。一例として、 cæe3柱部林の概要と設定した実験ケースを図2に示す。柱部林の底部から加速度計1から8 まで順番に設置した。四つの損傷まセンサの裏側で柱の下部に以下の通り設定した: 損傷1:高さ12cmまで、幅42cm、および深さ12cmのコンクリートブロックを取り外す。 損傷2:高さ24cmまで、幅42cm、および深さ12cmのコンクリートブロックを取り外す。 損傷3:図-2の写真に示されるように高さ50mまで、幅42cm、および深さ12mのコンクリー トブロックを取り外す。損傷4:図-2の写真で見せられた主鉄筋を切断する。

3. 実験結果

I. 実験室内コンクリートブロックに行った実験

積層圧電アクチュエータが直接コンクリート面に設置された場合は振動入射が効率 よく伝達せず振動データが取れなかったため、コンクリート面に厚さ 1mm と 5.5mm の 鋼板をつけて、その上にアクチュエータを設置した。一例として、図-3 に加速度計 1 と加速度計2で得られた加速度応答波形を示す。

Ⅱ. 実際のRC構造に行った実験

健全状態と損傷状態のパワースペクトルを比較すると、卓越振動数は低下し、ピー ク値も減少するという変化が現れた。

キーワード: ヘルスモニタリング、損傷検出、モード特性 連絡先: 020-8507 北海道北見市公園町 165番地 Tel: 0157-26-9488





図-2 case3 柱部材の概要と主な寸法 および損傷写真



一例として、case3柱部材の加振周波数200-300kの場合、CH6の健全状態と各損傷状態のパワースペクトル比較を図4に示す、CH5、CH6、CH8の各状態のピーク値は表-1に示す。

4. 損傷検出解析の理論説明

モード信頼性評価基準(MAC: Modal Assurance Criterion)は、振動モードの直交性を使用することで2つのモードを比較する。 ここで MAC は、モード i と j の比較であり、 次式によって計算できる。

MAC $(i, j) = \frac{\left|\sum_{k=1}^{n} (\phi_{j})_{k} (\phi_{i})_{k}^{*}\right|^{2}}{\left[\sum_{k=1}^{n} (\phi_{j})_{k} (\phi_{j})_{k}^{*}\right] \left[\sum_{k=1}^{n} (\phi_{i})_{k} (\phi_{i})_{k}^{*}\right]}$

ここで(ϕ_k が振動モードベクトルの要素で、アスタリスクは複素共役を指示する。実際には、MAC 値 0.9 以上は相関モードを示し、MAC 値 0.05 未満は非相関モードを示す。 MAC は、CSD (cross spectrum density)が安定している周波数域を決定するために健全な構造による 2 つの実験から得られた CSD データを比較するのに使用する。 式 は、最初の実験の周波数 f におけるモード i でシミュレートした CSD の大きさを { ϕ_i }。 そして、同じ周波数 f における 2 番目の実験におけるモード j をシミュレートした CSD の大きさを { ϕ_i }。 それぞれの周波数では、MAC 値は、2 つの実験から得られた CSD の大きさが同じであるか、または近い値を示す。一致しない場合は MAC 値は CSD に大きな差異があらわれる。 同じ方法で、健全な構造から損傷しているものを用いて得られた CSD の大きさを比較するのに MAC を使用することができる。

各実験ケースの健全状態と損傷状態のデータの相関性をモード信頼性評価基準により検証する。一例として、図-5に casel 壁中央部の各加振周波数帯における損傷状態3と損傷状態4の相互 MAC 値のグラフを示す。

5. まとめ

コンクリート部材にある程度の厚さを持つ鋼板をつけて、その上にアクチュエータを設置するという積層圧電アクチュエータの設置方法が 確認された。また、振動特性、及び各波形の形状の変化を捉えることで損傷検出に積層圧電アクチュエータによる局部振動が有効 であると考えられる。MAC値の解析から、600Hz以上の加振周波数帯は損傷検出しやすい周波数帯であると考えられる。しかし、損傷の 位置を正確に把握するように検討する必要がある。現在まで解析はまだ不足だが、今後の課題としてFEM解析による実験のシミュ レーションをやりながら、RC構造欠陥検出精度を向上したいと思う。

参考文献 1) shima T., Yanazaki T., Onishi K and Mikami S., Study on damage evaluation of joint in steel member by using local vibration excitation, (In Japanese), Journal of Applied Mechanics JBE, Vol.5, pp. 837-846, 2002.

表-1 case3 柱部材 健全と損傷状態のピーク値

CASE3 柱	fi=200-300Hz		
	CH5	CH6	CH8
損傷なし	291	279	281
Damage1	265	265	261
Damage2	257	257	261
Damage3	252	252	261
Damage4	244	244	253

