

基部が腐食した防護柵支柱に対する非破壊検査手法の構築

金沢大学 正会員 ○深田 幸史

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 正会員 水野 卓哉

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) フェロー 青山 實伸

1. はじめに

北陸地方の沿岸部に位置している高速道路では、飛来塩分の影響や冬季の凍結防止剤(塩化ナトリウム)の散布により、防護柵(ガードレール)支柱付け根部を腐食させる環境状況にある。このような背景のもと、腐食により支柱付け根部(基部)の肉厚が減少していることから、防護柵支柱を点検する上で、どの程度の腐食段階で支柱を交換するべきか判断する材料がないのが現状であり、それらの支柱の耐荷力評価および維持管理方法が課題となっている。

そこで本研究では、このような問題に対して防護柵支柱の腐食度および耐荷力を評価する手法として、簡易的に判定できる非破壊調査手法を構築することを目的とし、室内実験および数値解析をもとにして、現場で適用できる手法を検討した。

2. 室内実験の供試体

室内実験では、実物の支柱(φ139.8mm×4.5mm, STK400)を使用し、腐食の程度を図-1および表-1に示したように、部分腐食モデルとして、腐食角度18度, 36度, 90度, 180度を貫通させた試験体を、全周腐食モデルとして、厚さを3.5mm, 2.5mm, 1.5mmに削り、さらに腐食幅(支柱軸方向)10mm, 50mmの試験体を作成した。試験ケースは、腐食ケースとして10ケース、健全ケースとして1ケース、合計11ケースとした。

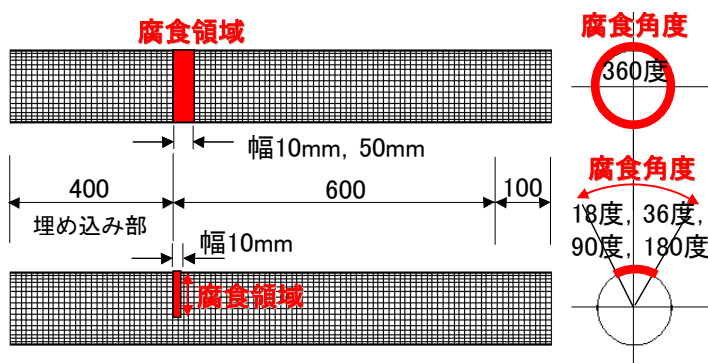


図-1 腐食をモデル化した供試体

表-1 供試体パラメータ

試験ケース	角度	厚み(mm)	幅(mm)	備考
case_018_00_10	18	0	10	部分腐食
case_036_00_10	36	0	10	部分腐食
case_090_00_10	90	0	10	部分腐食
case_180_00_10	180	0	10	部分腐食
case_360_35_10	360	3.5	10	全周腐食
case_360_25_10	360	2.5	10	全周腐食
case_360_15_10	360	1.5	10	全周腐食
case_360_35_50	360	3.5	50	全周腐食
case_360_25_50	360	2.5	50	全周腐食
case_360_15_50	360	1.5	50	全周腐食
case_000_45_00	0	4.5	0	健全

3. 非破壊検査手法

これまで損傷評価として用いられてきたものとして、振動数および減衰定数、フーリエ振幅比、曲率、音圧およびモード勾配などを用いたものが提案されている。本研究では、振動モードの変化に着目した評価方法として、式(1)で算出される Modal Assurance Criterion (MAC) を用いた評価方法¹⁾を用いることにした。

具体的な手順としては、①インパルスハンマーを用いて衝撃加振試験を行う。②支柱に卓越する振動数と振動モードを把握する。③着目した振動モードに対応した振動数を用いて、圧電素子による共振加振を行う。④共振加振により励起された振動モードと健全な振動モード(数値解析から算出)を用いて MAC を算出する。なお、③の過程はモード形状が明確に評価できた場合、削除できる。

$$MAC = \frac{\left(\sum_{j=1}^n \phi_{Tj} \phi_{Ej} \right)^2}{\sum_{j=1}^n \phi_{Tj}^2 \sum_{j=1}^n \phi_{Ej}^2} \quad (1)$$

キーワード 防護柵支柱, 非破壊検査, 振動モード

連絡先: 920-1192 金沢市角間町 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 TEL&FAX: 076-234-4605

4. 数値解析

解析では、表-1 に示したそれぞれの支柱に対して、シェル要素を用いたモデル化を行った後、固有振動解析を行い、固有振動数および固有振動モードを算出した。本研究では、図-2 に示す振動モードに着目し、式(1)を用いて MAC を算出した。さらに、弾性範囲での静的解析を行い、荷重

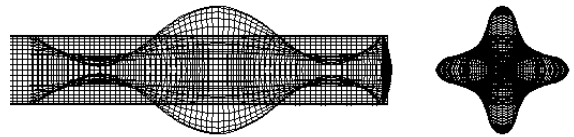


図-2 着目した振動モード

ー変位関係における剛性を各ケースで算出し、健全ケースで除したものを剛性比として MAC との関係をもとめ、図-3 (a) に示した。これより、解析上は剛性比と MAC との相関があることが明らかになった。

5. 腐食度評価

室内実験では、3 章で述べた手法を用い、解析で着目した振動モードと同じ図-2 に示した振動モードを抽出して MAC を計算した。解析と同じ剛性比を用いた際の実験で得られた MAC との関係を図-3 (b) に示した。これより、室内実験では計測における振動モード抽出におけるばらつきが見られたが、大小関係は解析と同じような結果が得られた。また、実物の支柱から切り出した試験片を用いて引張試験を行い、得られた応力-ひずみ関係をバイリニアでモデル化し、材料非線形を考慮した静的解析（基部から 60cm 位置に 60kN 荷重）を行った。これにより、60kN まで到達しないケースで線引きすると剛性比は 0.96 が妥当と判断できる。その剛性比 0.96 に対応した解析上の MAC を図-3 (a) から求めたところ、MAC : 0.995 となった。一方、実験から算出した MAC は 0.978 となった。解析と同じ MAC を現場に適用することは困難と考えられるが、現場での実測事例を増やすことで線引きする MAC 値を算出できるものと考えられる。

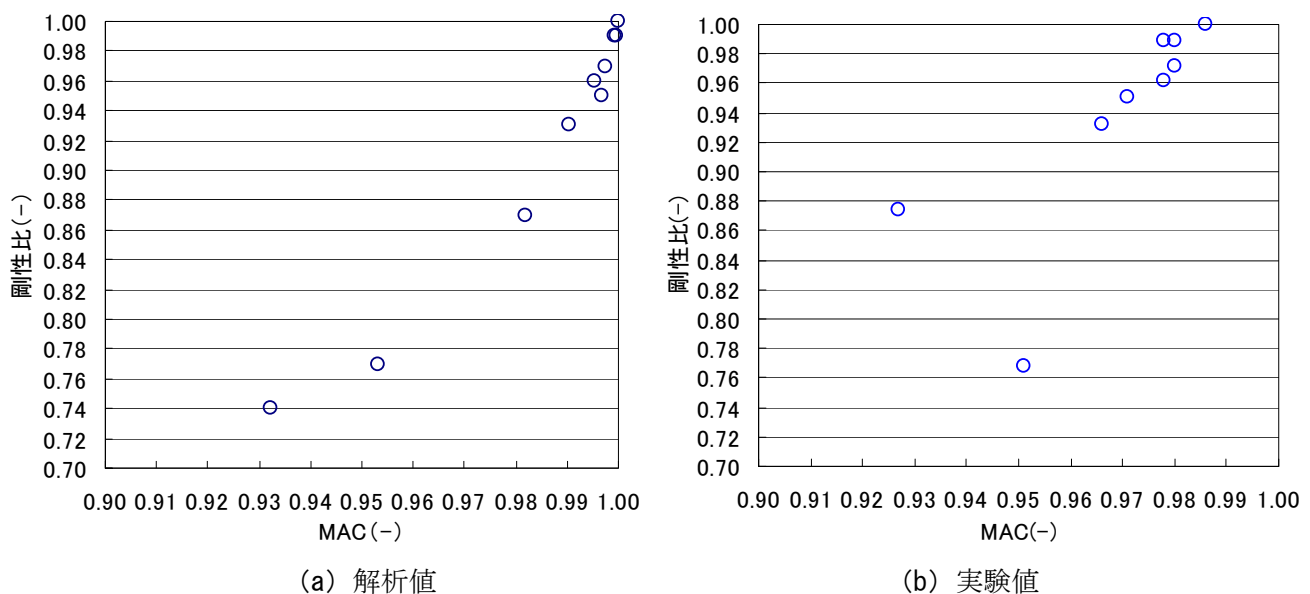


図-3 実験と解析における MAC

6. まとめ

本研究では、基部が腐食した防護柵支柱に対する腐食度および耐荷力を評価する非破壊検査手法として、室内実験および数値解析をもとにして、モード形状の変化を利用した MAC を用いた非破壊検査手法を構築した。

7. 今後の課題

現場に適用した場合、ガードレール拘束の有無の影響、土中およびモルタル支持などの支柱基部埋め込み部の支持条件の影響が考えられるため、今後は測定事例を増やして検証する必要がある。さらに、測定システムの小型化および評価時間の短縮化が必要である。

参考文献

- 1) S.T.Peterson, D.I.Mclean, M.D. Symans, D.G. Pollock, W.F. Cofer, R.N. Emerson and K.J. Fridley: Application of dynamic system identification to timber beams I, Journal of structural engineering, Vol.127, No.4, pp.418-432, 2001.