第I部門

地震応答評価に基づく構造ヘルスモニタリング技術の基礎的研究

立命館大学大学院理工学研究科	学生員	○山際	※ 渚
立命館大学理工学部	正会員	野村	泰稔
立命館大学理工学部	フェロー	伊津野	和行

1. 緒言

構造部材が損傷した瞬間の応答特性変化を把握す ることは、構造物のヘルスモニタリング技術の基礎 データ蓄積に有用である.本研究では、構造ヘルス モニタリング技術の開発を目的として、地震応答か ら構造特性の変化を検知することが可能か調査した. 具体的には、構造特性の情報を有する自己回帰モデ ル(AR モデル)を用いて地震応答データを近似し、 その際の AR 係数に着目して、構造特性の変化を検 知することが可能か調査した.

2. AR モデル

線形動的システムの出力の時系列 y(k)が p 次 AR モ デルにしたがって発生すると仮定すると、以下のよう に定式化できる.

 $y(k) + \sum_{i=1}^{p} a_i y(k-l) = e(k)$ (1) ここで、 a_i は AR 係数、e(k)は誤差項を表す.本研究 では、損傷同定の評価値として有効であると報告さ れている、以下の Damage Index^{1)、2)} (以降、DI 値) を用いて検討した.

$$DI = \frac{\alpha_1}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2}}$$
(2)

地震応答データに対して,任意の区間を設け(解析 区間と称す),AR モデルを構築し,DI 値を計算する. 本研究では,解析区間を逐次移動させながら,DI 値 の推移を確認した.

3. 振動台実験

本手法の有効性を確認するため、地震波を用いた 振動台実験を行った.振動途中で部材が破壊する状 況を観察できるよう、質量 2.34kg のアルミの天板 (300mm×200mm×厚さ 50mm)を木製の柱 A~Dの4 本で支える供試体を用いた.供試体を写真1に、柱 の諸元を表1に示す.柱Aのみ薄い部材を用い、他 より折れやすくしてある.







写真1 構造モデル 写真2 柱A(破損後)

表1 木材の諸元 (mm)

木材	長さ	幅(b)	厚さ(h)
А	400	15	4
B, C, D	400	15	9

入力波は 1995 年兵庫県南部地震の JR 鷹取 NS 記 録をもとに,後述するケースごとに最大値を修正し たものを用いた.入力加速度波形の最大値を 1m/s² に正規化したものを図 1 に示す.なお,応答は写真 1 の天板上部に加速度センサを配置し,サンプリン グ周波数 100Hz で 40 秒間計測した.そして,AR モ デルの設定に関しては,次数5,解析区間500ステップとし,解析区間を1ステップずつ移動させながら, ARモデルを構築し,逐次,DI値を算出した.

まず,入力波の最大加速度を 1m/s²にした際の DI 値の履歴を図 2 に示す.加振中,部材は損傷しなか った.AR モデルの解析区間に構造特性の変化前後の 応答が含まれる際には,AR 係数から計算される DI 値に急激な変化が現れる³⁾.図 2 においては,その ような変化は認められなかったことから,加振中に 構造特性に変化がなかったと考えられる.

次に入力加速度の最大値を9m/s²に上げ,二度実験 を行った.一度目(case 1)にはどの部材も折れなかっ たが,二度目(case 2)の実験では,加振開始後,数秒 で部材 A から折損音が確認され,さらに加振終了後, 部材 A の破断が確認された(写真 2).二度の実験の 供試体上部における加速度応答波形の前半部分を図 3 に示す.加速度応答波形は重なっており,木材の破 壊が起こる前後でも波形に大きな変化は確認できな かった.このことは,剛性が最も低い柱が一本破断 しても,構造物全体の応答には大きな影響を与えな かったものと考えられる.

部材が損傷しなかった一度目の載荷と,損傷した 二度目の載荷の DI 値の履歴をそれぞれ図 4 に示す. 損傷がなかった際の DI 値(case 1)については図2と同 様,階段状の急激な変化は見られなかった.一方, 損傷が発生した際の DI 値(case 2)については Step 番 号 410 と 910 の際に急激な変化が確認され,加振中 に構造特性の変化を検知することができた.

なお、今回行った実験では地震動実験前後に自由振動実験を行い、固有振動数の変化も確認している. 部材が破壊される前後の固有振動数は3.5Hzと3.3Hz で、大きな変化は確認できず、固有振動数の変化を 確認するだけでは、損傷発生を検知することが難しい.

4. 結言

構造物の地震応答の AR モデルから,損傷発生を 判断するシステムの構築を試みた.振動台実験を通 じて,部材に損傷が生じると DI 値に急激な変化が生 じることが確認され,本手法は損傷発生検知に有効 であることが分かった.



参考文献

- K.K. Nair, A.S. Kiremidjian and K.H. Law, Journal of Sound and Vibration, Vol.291, pp.349-368 (2006).
- C.W. Kim, M. Kawatani and J. Hao, Structure and Infrastructure Engineering, Vol.8(5), pp.459-472 (2012).
- 野村泰稔,山際渚,伊津野和行,JCOSSAR2015 講演論文集 CDROM, OS18-2B, (2015).