

加速度計測網を利用した構造物健全性評価手法の開発

その2：健全性評価手法の開発

健全性評価 モニタリング 加速度計測網

正会員 ○赤上 広生*
同 亀田 敏弘**
同 金久保 利之***

1. はじめに

同名論文(その1)では、民生品向けの電子デバイスを用いて加速度計測装置を開発し、5層の実験モデルに加速度計測網を構築した。本報では、加速度計測網を利用した構造物健全性評価手法を提案する。なお、本報における加速度センサーとしてひずみゲージ式加速度センサーを利用した。

2. 提案手法の概要

本研究で提案する健全性評価手法では、まず、ある時刻における実測データ A とシミュレーションデータ A'，ならびに、ある一定時間経過後、あるいは中小地震発生後における実測データ B を必要とする。実測データ A と実測データ B の差とシミュレーションデータ A' とシミュレーションデータ B' の差をそれぞれ算出し、実測データの差とシミュレーションデータの差が同値となるようにシミュレーションデータ B' を決定する。そして、シミュレーションデータを算出するために用いた数学的パラメータを健全性評価のための指標として、対象構造物における損傷有無や損傷箇所、損傷程度を評価する。

具体的に、実測データやシミュレーションデータの差を求めるために、各計測地点で得られた加速度時刻歴データや数値解析により得られた加速度時刻歴データを用いて、各周波数成分におけるフーリエスペクトルを算出する。そして、そのフーリエスペクトルを利用して、損傷前後における実測データとシミュレーションデータの差を求める。これを、 ΔC と定義する。本手法では、全ての剛性低下率の組合せについて順解析を用いて ΔC の値を求める。次に、 ΔC の値が最小となるときの剛性低下率の組合せを同定する。そして、各層の剛性低下率を指標として構造物の健全状態を評価する。フーリエスペクトルを用いた理由は、試作を行った加速度計測装置の分解能が 5gal と比較的荒く、周波数成分で解析を行うことにより、その欠点を補うためである。

構造物に対する入力としては、不定期に発生する震度 3 程度の中小地震動を想定している。したがって、中小地震動が発生する度に振動計測を行うことにより、構造物の健全性を監視することが可能である。

3. 数値実験による提案手法の妥当性の検証

3.1 実験モデル

提案する健全性評価手法の妥当性を検討するため、5層の鉄骨造構造物を想定した 5 質点系せん断型モデルを用いて、数値実験を行った。実験モデルを図 1 に示す。各質点の質量を $1.0 \times 10^5 \text{kg}$ 、健全時の剛性を各質点ともに $1.5 \times 10^8 \text{N/m}$ と仮定した。減衰定数は 2% の剛性比例型とし、復元力特性は線形モデルを適用した。

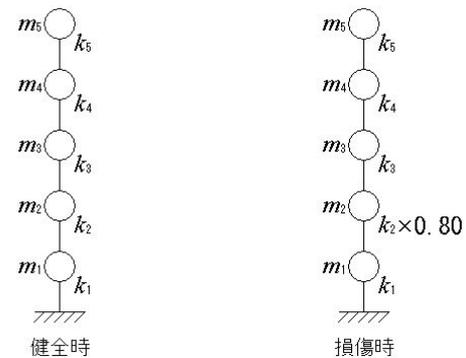


図1 数値実験モデル(2層の剛性が20%低下した場合)

3.2 入力地震動

入力地震動を選択するにあたり、対象構造物が建っている地域で発生する可能性の高い地震動を用いた検討が必要であると考えられる。そこで、構造物が健全状態にあるときの入力地震動として、2004/04/04 茨城県沖 (M5.8, 震源深さ 49km) の K-net つくば NS 方向の約 40 秒間の強震動記録を用いた。気象庁によると、この地震によりつくば市では震度 3 が観測された。なお、茨城県沖を震源とする地震は、茨城県地方で比較的頻繁に発生する地震の一つである。

一方、構造物が損傷状態にあるときの入力地震動として、2005/11/15 三陸沖 (M6.9, 震源深さ 0km) の K-net つくば NS 方向の 40 秒間の強震動記録である。気象庁によると、この地震によりつくば市では震度 3 が観測された。

3.3 損傷パターン

本実験で解析を行った構造物の損傷パターンを表 1 に示す。シミュレーションデータを作成するにあたり、初期状態において各層の剛性にばらつきを与えず各層の剛性を一定とした。一方、損傷前後の実測データを作成す

るにあたり、実構造物の地震応答を模擬するために、初期状態において剛性に1~2%のばらつきを与えた。

表1 損傷パターン

	損傷層	剛性低下率
損傷パターン1	2層	20%
損傷パターン2	2層・4層	ともに10%
損傷パターン3	損傷なし	

3.4 実験結果と考察

各層の剛性低下率を $\alpha_1 \sim \alpha_5$ とする。 $\alpha_1 \sim \alpha_5$ の5変数について、0%~30%の範囲で2%毎に変化させ、全ての剛性低下率の組合せについて ΔC の値を求めた。表2に ΔC の値が小さい方より3番目までの ΔC の値とそのときの各層の剛性低下率を示す。パターン1において、第2層の剛性低下率を正解値よりも数%程度低く同定しているが、おおむね良好な精度で同定できた。

4. モデル実験による提案手法の妥当性の検証

4.1 実験モデル

図2に示すように、実験モデルは5層で、各階床レベルに2mm厚のアルミニウム板を置き、各層の隅部に柱を模擬した4枚の板と壁を模擬した2枚の板をネジ・ナットで取り付けた。損傷による各層の剛性低下は、実験モデルの隅部にある柱を除去することにより実現した。具体的には、隅部にある柱を接合している状態を健全時とした。2本の柱を除去した状態で層剛性が10%低下し、4本の柱を除去した状態で層剛性が20%低下するように設定した。



図2 実験モデル

4.3 実験方法

実験モデルの各層と最下部に設置した加速度センサーにより計測された加速度時刻歴データを用いて、損傷層と剛性低下率の同定を行った。実測データとして、各層で計測された加速度データを使用した。一方、シミュレーションデータは、5質点系せん断型モデルを用いて算出した。数値解析を行うための入力データとして、実験モデルの最下部で計測された加速度データを使用した。実験モデルの損傷パターン、ならびに入力地震動は、数値実験と同様である。

4.3 実験結果と考察

$\alpha_1 \sim \alpha_5$ の5変数について、0%~30%の範囲で2%毎に変化させ、全ての剛性低下率の組合せについて ΔC の値を求めた。表3に ΔC の値が小さい方より3番目までの ΔC の値とそのときの各層の剛性低下率を示す。損傷パターン1では、損傷度を正解値より小さめに同定したものの、損傷程度の定量的評価は可能であった。損傷パターン3では、精度良く評価できた。しかし、損傷パターン2では、第2層目の損傷度を精度良く評価できたのに対して、第4層目を損傷なしと同定した。一般的に、高層部に損傷が発生した場合、高次モードの感度は低次モードの感度よりも大きくなる。提案手法においては、フーリエスペクトルをもとに同定しているため、高次モードの変化は低次モードの変化に比べて、同定結果に与える影響は小さい。したがって、高次モードのスペクトルが低次モードのそれと同等になるように重み付けをすることにより、同定結果の精度が向上すると考えられる。

5. まとめ

本報では、加速度計測網を利用した構造物健全性評価手法の提案を行い、数値実験ならびにモデル実験を通して、提案手法の検証を行った。

表2 数値実験による同定結果

(a) 損傷パターン1

$\alpha_1(\%)$	$\alpha_2(\%)$	$\alpha_3(\%)$	$\alpha_4(\%)$	$\alpha_5(\%)$	$\Delta C(\text{gal})$
0	16	0	0	0	30.86
0	18	0	0	0	31.23
0	16	2	0	0	31.25

(b) 損傷パターン2

$\alpha_1(\%)$	$\alpha_2(\%)$	$\alpha_3(\%)$	$\alpha_4(\%)$	$\alpha_5(\%)$	$\Delta C(\text{gal})$
0	6	0	8	0	29.73
0	6	0	6	2	29.75
0	6	2	6	0	29.95

(c) 損傷パターン3

$\alpha_1(\%)$	$\alpha_2(\%)$	$\alpha_3(\%)$	$\alpha_4(\%)$	$\alpha_5(\%)$	$\Delta C(\text{gal})$
2	0	0	2	0	31.83
0	2	2	0	2	32.73
0	2	0	2	0	33.12

表3 モデル実験による同定結果

(a) 損傷パターン1

$\alpha_1(\%)$	$\alpha_2(\%)$	$\alpha_3(\%)$	$\alpha_4(\%)$	$\alpha_5(\%)$	$\Delta C(\text{gal})$
0	14	0	0	0	1.927×10^3
0	12	0	0	0	1.929×10^3
0	12	2	0	0	1.929×10^3

(b) 損傷パターン2

$\alpha_1(\%)$	$\alpha_2(\%)$	$\alpha_3(\%)$	$\alpha_4(\%)$	$\alpha_5(\%)$	$\Delta C(\text{gal})$
0	10	0	0	0	2.628×10^3
0	8	2	0	0	2.628×10^3
0	8	0	0	0	2.628×10^3

(c) 損傷パターン3

$\alpha_1(\%)$	$\alpha_2(\%)$	$\alpha_3(\%)$	$\alpha_4(\%)$	$\alpha_5(\%)$	$\Delta C(\text{gal})$
0	0	0	0	0	1.554×10^3
0	0	2	0	0	1.554×10^3
0	0	0	0	2	1.554×10^3

* 東海旅客鉄道株式会社
 ** 筑波大学システム情報工学研究科 講師・Ph.D
 *** 筑波大学システム情報工学研究科 助教授・博士(工学)

* Central Japan Railway Company
 ** Assist. Prof., Graduate Schl. of Systems and Information Eng.,
 Univ. of Tsukuba, Ph.D
 *** Assoc. Prof., Graduate Schl. of Systems and Information Eng.,
 Univ. of Tsukuba, Dr.E