２自由度系模型を用いた構造物のヘルスモニタリングに関する研究

金沢大学工学部　正会員　池本敏和
金沢大学大学院　学生員　吉川大輔
金沢大学工学部　正会員　宮島昌克
金沢大学工学部　フェロー　北浦　勝

1. はじめに

構造物は経年劣化とともに突発的な地震や暴風などによって損傷する．戦後の復興期に建設された多くの構造物が耐用年数を迎える時期にきており，また 1980 年代の高度成長期に建設された膨大な構造物や施設も耐用年数になる．こうした状況で，今後構造物に何らかの荷重が加わった場合，構造物にどのような影響を及ぼすかが把握できず，また大きな地震力が作用すれば一気に倒壊に至る可能性もある．しかし，損傷しているかもしれないという可能性だけで，構造物を修繕，改築しり，解体して損傷を検査したりすることは経済的にも厳しく容易には行えない．そこで構造物を解体せずに損傷を判定することができる非破壊損傷判定技術をヘルスモニタリングという．

本研究では，２階建て鉄骨構造物に見立てた２自由度系の鋼製模型を用い，第１に損傷階の発見，第２に損傷程度の評価を目標に，模型に施した様々な損傷による影響を捉える．

2. 実験概要

2 階建ての鉄骨構造物に見立てた 2 自由度系の鋼製模型に損傷の位置や程度の違いによって明確な変化が表れるような損傷を部材に与えた．また模型には加速度計，変位計，ひずみゲージを取り付け振動台で加振した．予備実験で行った強制入力による自由減衰波形によって得られた構造物の固有周期を有する正弦波と阪神大震災の観測波形を入力波形とした．正弦波は実際の構造物をヘルスモニタリングする際，起振機を用いることをイメージしている．一方，阪神大震災の観測波形には，観測で得られた波形を入力波形として利用するといった目的がある．実験模型を図１に示す．入力加速度，1 階加速度, 2 階加速度を得るために３つの加速度計, 1 階変位, 2 階変位を得るために２つの変位計，損傷上下のひずみを得るために 16 のひずみゲージを取り付け，測定を行う．構造物の損傷の違いによる挙動特性が明確に表れるよう図２に示すような部材損傷パターンを考えた．

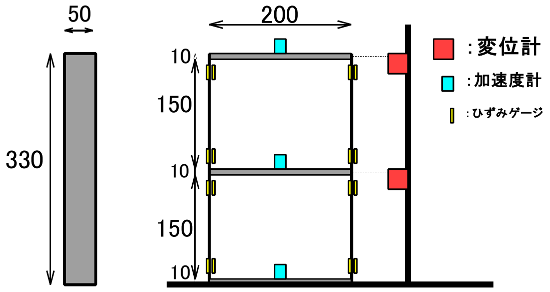

図１　実験模型

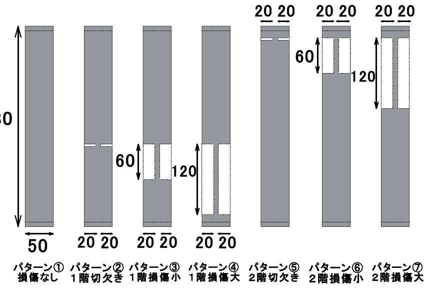

図２　損傷パターン

3. 実験結果

（１）逆解析の結果

実験で得られた加速度波形から以下に示す逆解析手法を用いて 1 階, 2 階の剛性を同定し，損傷評価を行う．振動台による地震波を入力，模型頂点部での加速度時刻歴を応

キーワード：ヘルスモニタリング，逆解析，模型実験

連絡先：〒920-8667　金沢市小立野 2-40-20　金沢大学工学部土木建設工学科, TEL:076-234-4656,FAX:076-234-4644

答とする．逆解析の同定パラメータとして，1 階剛性と 2 階剛性，減衰定数とする．図３に逆解析のフローチャートを示す．解析手順では，実際に模型実験で得られた観測応答加速度と，適当に選んだ動的定数を用いて地震応答解析することによって得られた計算応答加速度のそれぞれをウェーブレット解析し，スペクトルの誤差２乗和が最小となる最適な動的定数を探す．逆解析によって同定された１階剛性と２階剛性を表１に示す．結果を見ると，全体的に損傷のない階の剛性は 4.6～4.9(tf/cm)の範囲である．これに比べて，損傷のある階の剛性は低下している．また損傷が大きくなるにつれ剛性も低下している傾向があることから，逆解析で得られる剛性から損傷階の発見と階層単位の損傷程度の評価が可能であることが分かる．しかし，逆解析の結果だけでは階層内のどの部材に損傷があるのかを把握することは出来ない．そこで部材単位の損傷評価をひずみデータの最大値に注目する．

（2）最大ひずみの結果

柱の最大ひずみ値を損傷パターンの違いによって比較し，構造部材のヘルスモニタリングが行えるかを検討した．最大ひずみ値を左右で比較し，最大ひずみと損傷による影響を調べてみると，両者に何らかの傾向が現れていた．ほとんどのケースで損傷のない階層の左右のひずみの比は１に近い値になっている．したがって最大ひずみ比が１から離れた階層が損傷を受けているといえる．しかしながら，Case8,Case9 のように左右同じ損傷を受けていると最大ひずみ比は１に近くなる場合があり，判別しにくくなる．最大ひずみと損傷程度の関係を図４に示す．図中，右上ほど損傷程度が大きくなるが， １階上部，１階下部，２階上部，２階下部といった４種類の比もそれぞれ大きくなっているのがわかる．このことから左右の最大ひずみの比から損傷程度の判断が可能と考えられる．

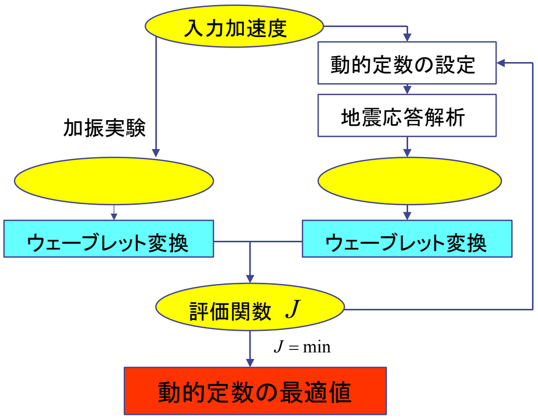

図３　逆解析フロー

表１　解析結果

	1階剛性k_1(tf/cm)	2階剛性k_2(tf/cm)	減衰定数h
Case0	4.89 (0.033)	4.66 (0.031)	0.011 (1.151)
Case1	4.18 (0.031)	4.58 (0.043)	0.001 (0.816)
Case2	3.68 (0.072)	4.48 (0.053)	0.003 (0.058)
Case3	2.40 (0.076)	4.64 (0.019)	0.005 (0.849)
Case4	4.94 (0.144)	4.38 (0.184)	0.002 (0.289)
Case5	4.78 (0.130)	4.33 (0.155)	0.001 (1.155)
Case6	4.77 (0.037)	3.42 (0.022)	0.004 (0.750)
Case7	3.68 (0.065)	3.14 (0.035)	0.004 (0.500)
Case8	0.82 (0.180)	4.55 (0.247)	0.004 (0.110)
Case9	4.99 (0.087)	2.52 (0.023)	0.001 (1.155)

４．まとめ

本研究では，2 階建て鉄骨構造物に見立てた 2 自由度系模型を用い，逆解析から得られる剛性によって階層ごとの損傷程度を試みた．また最大ひずみで値に注目し，部材単位の損傷評価を行った．その結果，簡単なモデルではあるが，逆解析手法を利用することによって階層の損傷程度，最大ひずみ比によって部材の損傷程度の把握が可能であると言える．

本研究を実施するに当たり実験実施に協力いただいた川中信介君（元：金沢大学大学院生，現：積水ハウス株式会社）に感謝の意を表します．

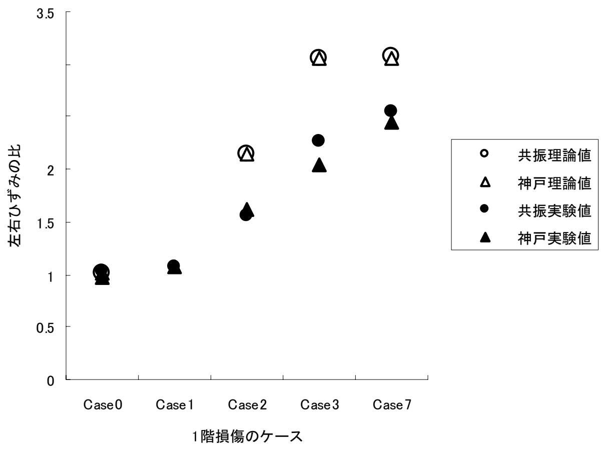

図４　最大ひずみと損傷

参考文献

山本鎭男：ヘルスモニタリング，共立出版株式会社，1999.