

実構造物の復元力特性の計測方法の開発と応用

国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 本多 弘明
東京大学 地震研究所 正会員 堀 宗朗

1. はじめに

大地震が発生した際、被災構造物の被災度の迅速な診断は重要な課題である。現在、大地震時の被災状況の把握は、専門家による目視や応急危険度判定士による判定¹⁾が行われているが、海溝型地震による高域地震災害を想定すると、迅速かつ客観的な手法として、このような人手に依存する手法ではなく、センサによる計測に基づいた手法の構築が望まれる。震動台実験では、構造物のモデルや部材のモデルの損傷は復元力特性を使って判定される。復元力特性は、ロードセルと変位計を使って計測される力と変位の関係であり、これが非線形となったりヒステリシスを描く場合、非弾性的な応答として損傷が判定される。加振実験に倣えば、構造物や部材の復元力特性がモニタリングできることが望ましいと考えられるが、実構造物にロードセルや変位計を設置することは現実的ではない。上記を背景として、本研究は、安価な加速度計を使った計測システムを利用して、構造物の復元力特性を計測する手法を提案する。時刻同期をとった加速度計の時系列データから変位を計算し、加速度を力とみなし、この変位と力の関係から復元力特性を計測するのである。

2. 定式化

本節では、線形 1 自由度系モデルを例に、同期をとった 2 つの加速度計を使った復元力特性の計測方法の定式化を示す。質点の質量を m 、バネの剛性を k 、質点の位置を 1 次元の座標 $x(t)$ で表すと、次の運動方程式が成立する。

$$ma + F(t) = -mg(t)$$

ここで $F(t)$ は

$$F(t) = kx(t)$$

として与えられるバネの復元力であり $g(t)$ は地動加速度である。時刻同期をとった 2 つの加速度計を使って、入力加速度 $g(t)$ と質点の加速度 $a(t) = a + g(t)$ が計測されることを仮定する。式(1)より復元力 F は

$$F(t) = -m\alpha(t)$$

となる。質点の変位は計測された $a(t)$ と $g(t)$ の差を使って

$$x(t) = \iint \alpha(t) - g(t) dt dt$$

として計算される。式(3)の $F(t)$ と式(4)の $x(t)$ の間には式(2)の線形関係が成立するため、 $(x(t), a(t))$ を平面にプロットすると傾き k/m の直線が得られる。実際、変形が小さく線形弾性域にある場合に $(x(t), a(t))$ は一直線に乗る一方、変形が大きく非弾性域に入ると $(x(t), a(t))$ はこの直線から外れる。これが復元力特性を使った損傷の判定である。

3. 実構造物の計測例

時刻同期をとった加速度計から構成される計測システムを仙台市内の集合住宅に設置し、2005 年より約 3 年間、地震応答を計測している。対象構造物は 11 階建ての鉄筋コンクリート造集合住宅である。現在までに 30 波程度の地震応答が観測されている。システムでは、1 階床・1 階天井・11 階床にそれぞれ 3 軸の加速度計が設置されており、一定の



図 1：観測システムの概要

キーワード：復元力特性・時間積分・損傷度診断
連絡先：茨城県つくば市旭 1 番地・029-864-7681

加速度を閾値としてトリガーを設定し、120[s]の観測が可能となっている(図1)。本予稿では、1階床・11階床で計測された加速度から求めた復元力特性の例を示す(図2)。応答加速度は $10^0 \sim 10^2$ [Gal]と広範囲であるが、計測された復元力特性はほぼ直線となっている。この結果は、構造物に損傷がなく1次モードが卓越していることと調和的である。従って、中小地震を対象とした復元力特性の計測が可能であると示唆される。

4. 塑性化判定の可能性の検討

前節の場合、計測された復元力特性は構造物全体に対応し、層間の壁や柱の復元力特性ではない。そのため、得られた復元力特性から得られる情報が構造物のどの部分と対応しているかが分からないため、このデータのみから加速度のみから求められる復元力特性の有効性は検証できない。本節では、多質点系モデルを使った数値計算を行い、各質点を結ぶバネの復元力特性を計測する手法を提案する。

数値計算に使用した構造物モデルは、2自由度系のせん断モデルである。観測で得られた地動加速度の倍率を変化させながら時間積分を実行し、組成率が50%程度のものを検討に用いた。数値計算の結果から、直接復元力特性を求めたものと、加速度のみから復元力特性を推定したものを図3に示す。復元力特性の形状は一部変化

しているものの塑性化に起因する非線形性はいずれの図にも現われており、本手法による塑性化判定が可能であることが示唆される。さらに、下から2番目の質点の加速度と地動加速度のみから求めた復元力特性を図4(1)に示す。これは、複数の質点を挟んで加速度計測を行う場合に得られる復元力特性から塑性化を検出できるかどうかを検討するためである。この図からは塑性化しているかどうかを判定できない。そこで、1次モードの帯域のみを抽出したものを図4(2)に示す。この図から、塑性化の影響が復元力特性の非線形性に現われていることが分かる。結論として、限定的なケースに関してはあるが、各質点で加速度を計測すれば各バネの塑性化を検出することができ、また、1質点おきに加速度を計測しても1次モードを抽出すれば塑性化の判定が可能である場合があることが分かった。

4. 参考文献

- 1) 全国被災建築物 応急危険度判定協議会、(財)日本建築防災協会ホームページ。

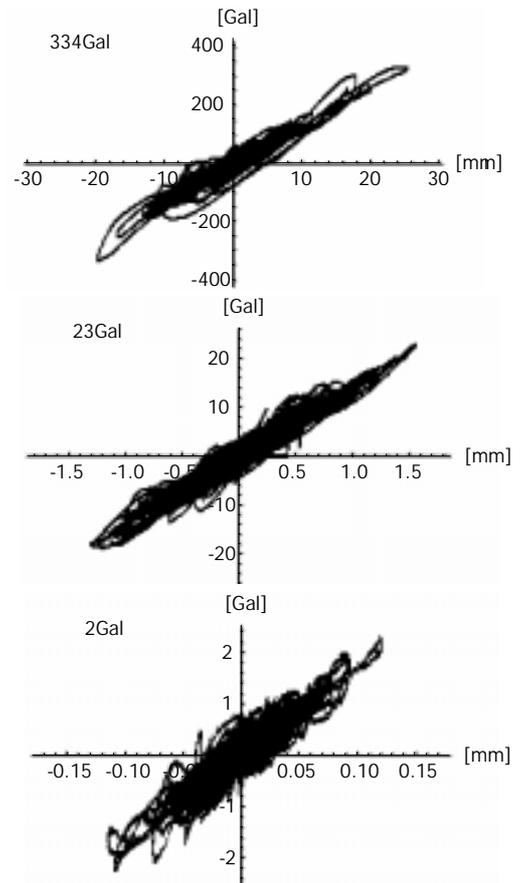


図2：実構造物の復元力特性

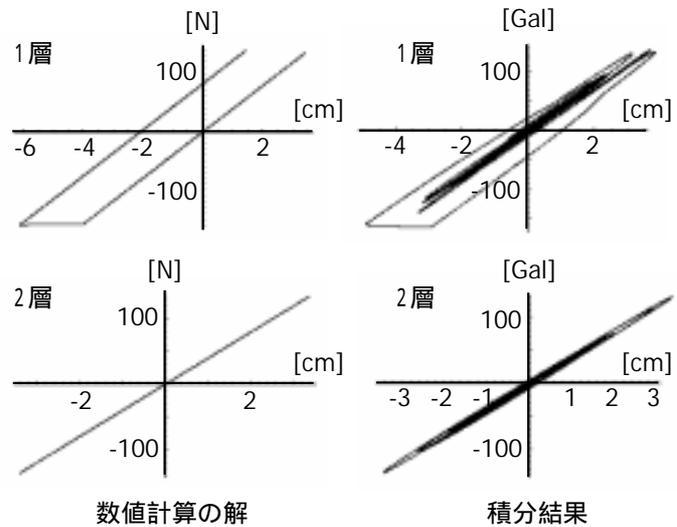


図3：各バネの復元力特性

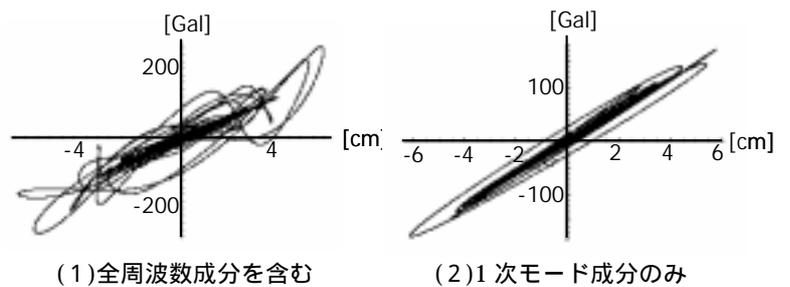


図4：2点の加速度データから求めた復元力特性