

被災前後の固有周期の変化率と建物損傷の関係に関する基礎的研究

その3 塑性率に対応させた評価方法

Fundamental study on the correlation the rete of the natural period before and after the disaster and the damage degree of the build

Part 3 Evaluation method to correspond with the plasticity factor

○森本竜¹, 北嶋圭二², 中西三和², 安達洋³

*Ryu Morimoto¹, Keiji Kitajima², Mitsukazu Nakanishi², Hiromi Adachi³

Abstract: The purpose of this research is to evaluate the damage of the building by using the observation record. This paper shows the outline of the evaluation method and time history response analysis.

1. はじめに

そこで本研究では、建物に強震計(加速度計)を最上階と最下階の2ヵ所のみ設置し、観測記録に基づき建物の損傷度がある程度推測し、被災建物の継続使用に関する意思決定を支援することが可能であるか検討する。

既報(その1)(その2)^[1]では、旧耐震基準と新耐震基準(梁曲げ降伏先行全体崩壊系)の建物を縮約1自由度系に置き換え、塑性率と固有周期の変化率の比較検討を行い、建物特性により傾向が異なるが、塑性率を固有周期の変化率によってある程度評価可能であることを確認した。

本報(その3)では、建物特性に関わらず、塑性率を固有周期の変化率によって評価可能なのか確認するため、解析モデルは高さ・降伏ベースシア係数・層間変形角をパラメータとして設定した1質点系モデルの応答解析を行い、観測記録に相当するデータを用いて検討を行う。

2. 建物損傷度の評価方法の概念

本研究で提案する建物損傷度の評価方法の概念をFig.1に示す。建物の1階と最上階に強震計を設置し、観測波形のパワースペクトル比の卓越振動数から被災前後の建物の1次固有周期を算定する。そして、被災前後の固有周期の変化率により建物の損傷度を評価する。

3. 1質点系の時刻歴応答解析による評価方法の検討

検討対象建物はRC造とし、日本大学理工学部船橋校舎の4号館と13号館、駿河台校舎の5号館の3棟を想定し設定した。検討対象建物の質量 M_0 は延床面積当たり1tonとして算出し、高さ H_0 は階高4.0mとして算出した。検討対象建物の建物諸元をTable1に示す。時刻歴応答解析は振動解析プログラムを用いて、検討対象建物の縮約1自由度系に対する1質点系応答解析を実施した。解析に用いた等価1自由度系解析モデルをFig.2に示す。等価1自由度系モデルは、等価高さ H を $0.7H_0$ 、等価質量 M を $0.7M_0$ 、固有周期 T_0 を略算式 $0.02H_0$ と仮定し、初期剛性 K を $K=M(2\pi/T)^2$ より算出した。1自由度系応答解析モデルの復元力特性はトリリニアモ

デル(Fig.3)を採用した。解析モデルのパラメータは、建物の階数(3ケース)と耐力(3ケース)および降伏点変形角(2ケース)とし、計18ケースの解析モデルを設定した。解析モデルのパラメータをTable2に示す。建物耐力は降伏ベースシア係数 C_B を0.25, 0.40, 0.55とし、降伏変形角 R は $1/150\text{rad}$ と $1/200\text{rad}$ とした。なお、ひび割れ耐力は $1/3C_B$ とし、降伏後剛性は $0.001K$ とした。履歴特性は武田モデルを採用し、応答解析はNewmark- β 法($\beta=0.25$)の数値積分法を用いて、積分刻みは0.001秒とした。減衰は瞬間剛性比例型の3%と設定した。

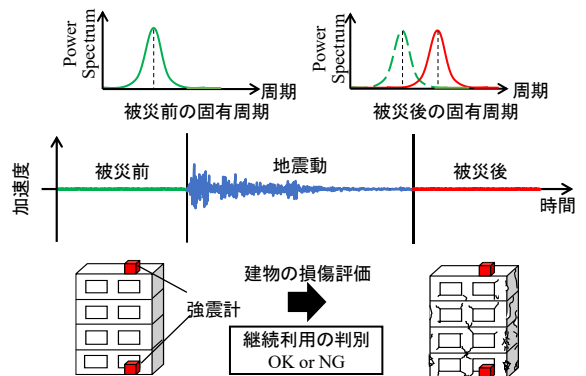


Fig.1 Conceptual diagram of building damage degree evaluation

Table 1 Building specifications

校舎	号館	階	高さ Ho[m]	床面積 [m ²]	総床面積 [m ²]	質量 Mo[ton]	周期 To[sec]
船橋	4	4	16	597	2388	2388	0.32
	13	6	24	634	3806	3806	0.48
駿河台	5	9	36	561	5049	5049	0.72

Table 2 Analytical model with parameters

高さHo	16m	24m	36m	3ケース	計18ケース
$C_B=Q_y/(M \cdot g)$	0.25	0.40	0.55	3ケース	
層間変形角R	1/150	1/200		2ケース	
共通事項	$T_0=0.02H_0$ $1m^2=1t$ $\delta_y=R \cdot H_0$ $M=0.7M_0$ $H=0.7H_0$				

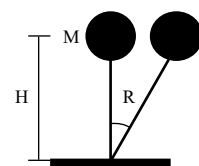


Fig.2 One lumped mass model

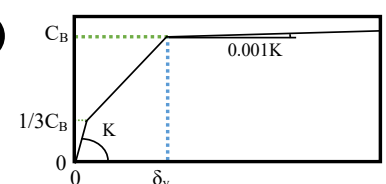


Fig.3 Trilinear model

3.1 検討用地震動

検討用地震動は、地動最大速度を 50cm/sec に基準化した観測波 3 波と日本建築センターの模擬地震動 2 波の計 5 波を用い、解析では入力倍率を 1.0 倍と 1.5 倍に増幅させて使用した(計 10 ケース)。検討用地震動を Table3, 検討用地震動の減衰定数 h=5%の入力地震動(加速度応答スペクトル)を Fig.4 に示す。

3.2 固有周期の変化率と塑性率の関係

建物の損傷度は塑性率 μ で評価でき、固有周期の変化率と塑性率の関係は下式で表すことができる。

$$\mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} = \frac{K_y}{K_m} = \left(\frac{T_m}{T_y}\right)^2 \quad (1)$$

ここに、 δ_m は最大変形、 K_m 、 T_m は最大変形時の割線剛性および割線周期、 δ_y 、 K_y 、 T_y は降伏点変形、降伏点割線剛性および降伏点周期である。トリリニアモデルと各剛性(各周期)の関係を Fig.5 に示す。(1)式は、 T_m と T_y が測定できれば建物の損傷度(塑性率)が評価できることを示している。しかし実際には、 T_m と T_y を測定することは困難であり、被災前の建物弾性周期 T_0 と被災後の固有周期 T_F しか測定できない。塑性率と被災前後の固有周期の変化率の 2 乗(以下、 $(T_F/T_0)^2$ を固有周期比と称す)の関係を Fig.6 に示す。固有周期比 $(T_F/T_0)^2$ による塑性率の評価結果には、大きなばらつきがあることがわかる。

3.3 塑性率と対応させるための補正

塑性率の評価結果のばらつきを小さくするため、固有周期比の補正を試みる。本研究における検討対象建物は解析モデルであるため T_y は既知である。解析モデルの T_0 と T_y の比を補正係数 α とする。 α の値は建物モデルの H 、 C_B および R が設定されれば下式で表すことができる。

$$\alpha = \frac{T_y}{T_0} = \frac{2\pi\sqrt{0.7H_0R/C_B \cdot g}}{0.02H_0} = 100\pi\sqrt{0.7R/C_B \cdot H_0 \cdot g} \quad (2)$$

Table 3 Earthquake response data (magnification 1.0)

	名称	継続時間 [sec]	最大加速度 [cm/sec ²]	最大速度 [cm/sec]
観測波	EL CENTRO-NS	53.8	508.6	50.0
	HACHINOHE-NS	234.0	351.8	50.0
	TAFT-EW	50.7	502.9	50.0
模擬地震動	BCJL1	60.0	207.3	25.0
	BCJL2	120.0	355.7	55.0

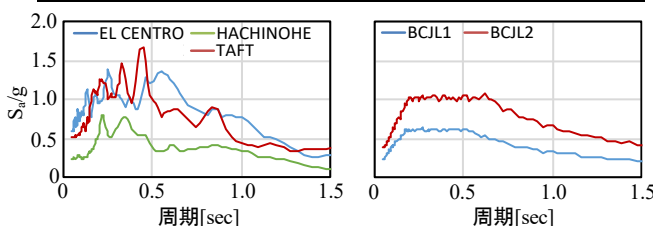


Fig.4 Acceleration response spectrum of earthquake response

しかし実際には、建物高さ H 以外を知ることは出来ない。そこで本検討では、降伏ベースシア係数 C_B を観測結果の最大加速度を重力加速度で除した値で類推し α を求めることとする。なお、降伏変形角 R は壁の多い建物か壁の少ない建物かを判断することとし、本検討では既知として建物モデルの値を使うこととした。また、 β の補正は行わないこととした。塑性率と補正後固有周期比 $(T_F/\alpha T_0)^2$ の関係を Fig.7 に示す。補正後固有周期比 $(T_F/\alpha T_0)^2$ と塑性率の相関係数は 0.906 となり、高い相関性が得られていることが確認できる。なお図中には、1 次回帰式もあわせて示している。すなわち、補正後固有周期比を観測し今回帰式で塑性率を算定すれば、建物の損傷程度(塑性率)がある程度評価可能であることがわかった。

4. まとめ

観測記録における被災前後の固有周期の変化率によって、建物特性に関わらず建物の損傷程度を評価可能かどうか検討した。被災前後の固有周期比に補正係数を乗じて塑性率を算出することで、建物損傷度のある程度評価できる可能性があることがわかった。

【参考文献】

- 1) 森本ほか;被災前後の固有周期の変化率と建物損傷度の関係に関する基礎的研究(その 1,2), 日本大学理工学部 学術講演会予稿集, 2018

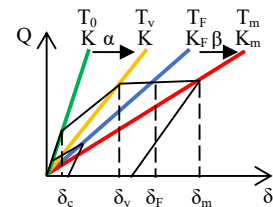


Fig.5 Relationship of period and stiffness

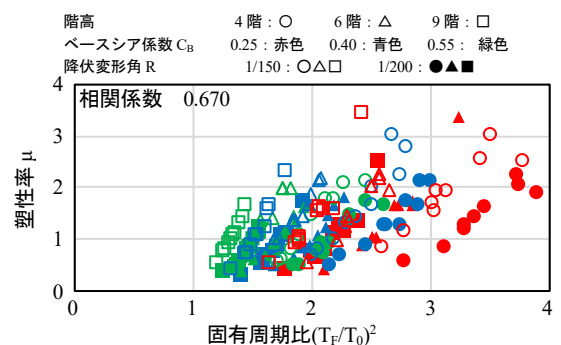


Fig.6 Ductility factor - Natural period rating relationship

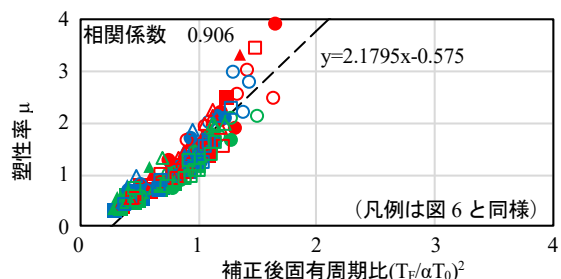


Fig.7 Ductility factor - Corrected natural period rating relationship