

# 観測地震波を用いた建築物の応答評価方法に関する研究

国際地震工学センター 上席研究員 犬飼 瑞郎

## I はじめに

近年、大地震時に地震動の加速度が観測され、公表されている。観測地震波は、地震発生中の建築物の挙動を推定することに役立つものであり、建築物を質点にモデル化した動的解析により、地震動を受ける建築物の応答値を推測できる。建物の被害に関する地震動の指標として、震度や最大加速度が使われているが、最近の地震被害では、震度や最大加速度の大きさだけでは、地震被害を説明しにくいケースもある。そこで、本研究では、建築物の応答を把握する上での参考とするため、1質点弾塑性時刻歴解析を行い、変位応答スペクトル及び塑性率応答スペクトルを求めた。

## II 観測地震波

解析に用いた観測地震波等は、2011年東北地方太平洋沖地震、2007年新潟県中越沖地震、2004年新潟県中越地震、1995年兵庫県南部地震で観測された主な地震波、及び工学基盤での人工地震波であるBCJ Level2の合計10波の原波とした。

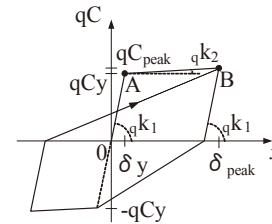
## III 弾塑性時刻歴応答解析

弾塑性時刻歴応答解析には、1質点モデルを用い、減衰強制振動の運動方程式(1)を用い、媒介変数法により応答値を求めた。

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{y} \quad (1)$$

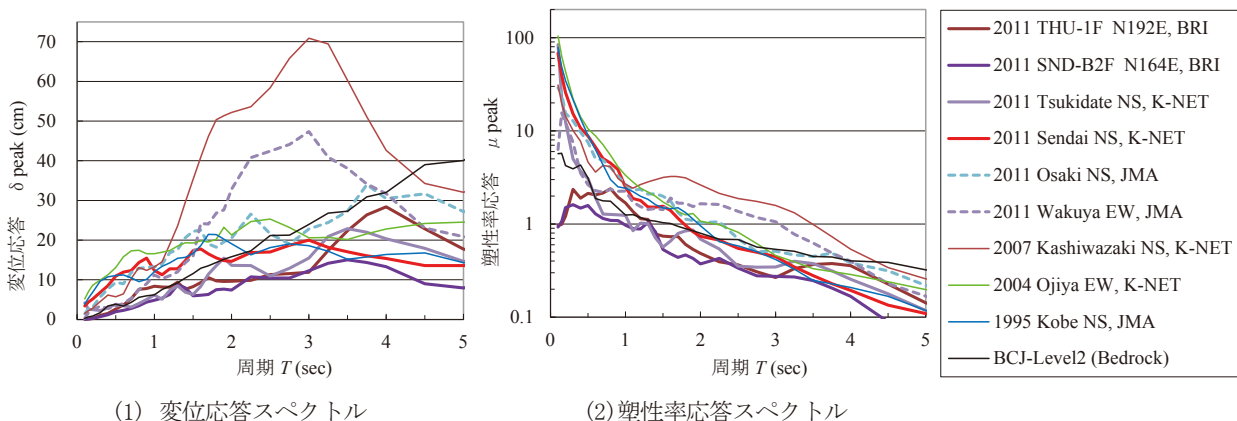
復元力特性は、図-1に示すように最大点指向型バイリニアモデルとした。降伏点での層せん断力係数 $qC_y$ を0.2としたのは、日本の耐震基準<sup>1)</sup>による。減衰定数 $h$ は0.05(1/rad.)とした。

一般に、本解析のように、1質点モデルにより変位応答を求めた場合、1階建て建築物の層間変位を求めることに相当する。図-2では、0.1~5.0(s)の各周期について求めた応答値のうち、絶対値の最大値をスペクトル表示している。周期 $T$ は、以下の式(2)により求めた。



- 注) (1)  $qC$  : 層せん断力係数(—)  
 (2)  $qC_y$  : 降伏点Aでの層せん断力係数(=0.2)  
 (3)  $qk_1, qk_2$  : 層の剛性を層の重量で除した値(1/cm)  
 (4) 剛性低下率 : 1/1000  
 (5)  $h$  : 減衰定数 (=0.05 (1/rad.))

図-1 最大点指向型バイリニアモデル



(1) 変位応答スペクトル

(2) 塑性率応答スペクトル

図-2 弾塑性応答スペクトル( $qC_y=0.2, h=0.05$ )

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{2\pi}{\sqrt{q_k k_1 \cdot g}} \quad (2)$$

観測地震波は、観測点周辺の地盤や構造物の影響も記録しており、特に、軟らかい地盤で観測された地震動の変位応答スペクトルは、長周期領域において、大きくなる傾向にあることが知られている。

地震応答時の最大層間変形角は、木造に対して1/30以下となること等<sup>1)</sup>が求められ、階高を仮に3mとすると、10cm以下となることが求められている。一般に建築物の固有周期と言われる0.5~1.5秒において、ピーク変位応答 $\delta_{peak}$ が10cmを超えていた地震波は、[2011 仙台 NS, K-NET]等の7波であった。比較的周期の長い3秒前後で $\delta_{peak}$ が大きかったのは、[2011 涌谷 EW, JMA]、[2007 柏崎 NS, K-NET]であった。また、 $T$ が長くなると $\delta y$ が大きくなり、 $\delta_{peak}$ が大きくても、塑性化しているとは限らないため、図-2(2)には、塑性率応答 $\mu_{peak}$ も示した。

図-1の他に、図-3(1)~(3)の復元力特性についても応答値を計算した。図-4は、[1995 神戸 NS, JMA]を用いて、降伏点の割線剛性による周期 $T_y = 0.5(\text{sec})$ の時の応答値を示したものである。

変位応答のピーク値が最小の復元力特性は、久田モデルであり、次いで、武田モデル、クラフモデル、ジェンキンモデルであった。

#### IV まとめ

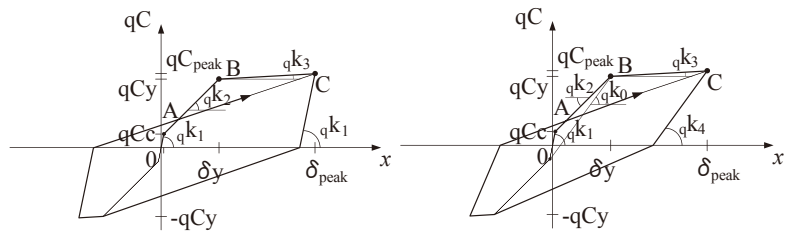
(1) 2011年東北地方太平洋沖地震で観測された地震波の変位応答スペクトルは、過去の地震における大きなレベルのものと同程度であった。

(2) 復元力特性により、変位応答の変化を比較した。

(3) 今後は、解析結果と地震被害との比較検討等も行い、応答評価方法に関する基礎資料をまとめる予定である。

#### 参考文献

1) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会：2007年版



久田モデル(1962) (最大点指向型Tri-Linear、除荷時剛性は初期剛性と同一)

$$q_{Cc} = 0.2 \cdot q_{Cy}, \quad q_k k_1 = \frac{k}{mg} \quad (4\text{通り 共通})$$

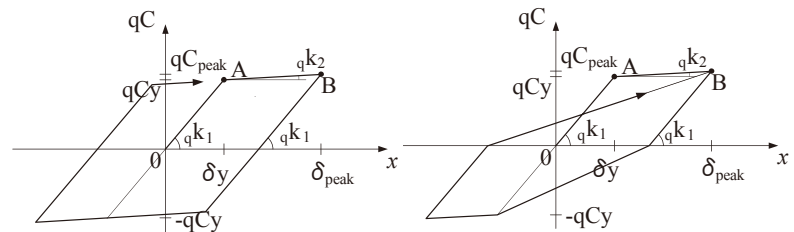
$$q_k k_2 = \frac{q_k k_1}{6}, \quad q_k k_3 = \frac{1}{1000} \frac{q_{Cy}}{\delta y}$$

(1) Tri-Linear モデル 1

武田モデル(1970) (降伏点前の指向点は反対側ひび割れ点、降伏点後の除荷時剛性  $q_k k_4 = q_k k_0 \left( \frac{\delta y}{\delta_{peak}} \right)^{0.4}$ )

$$q_k k_2 = \frac{q_k k_1}{6}, \quad q_k k_3 = \frac{1}{1000} \frac{q_{Cy}}{\delta y}$$

(2) Tri-Linear モデル 2



Jenkinモデル(1922) (Bi-Linearモデル、降伏点割線剛性  $\frac{q_{Cy}}{\delta y}$  はBi, Tri共通。)

$$q_k k_2 = \frac{q_k k_1}{1000}$$

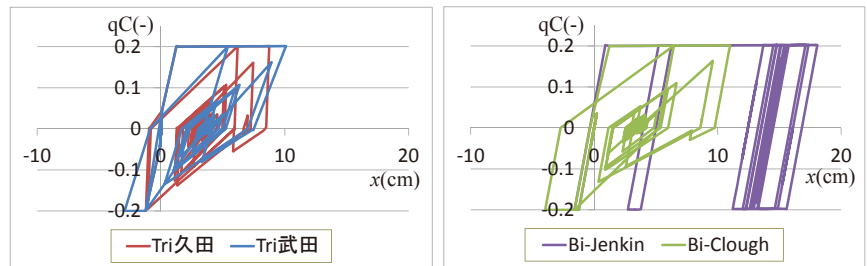
(3) Bi-Linear モデル 1

Cloughモデル(1966) (最大点指向型Bi-Linear、降伏点割線剛性はBi, Tri共通。)

$$q_k k_2 = \frac{q_k k_1}{1000}$$

(4) Bi-Linear モデル 2 (図-1と同じ。)

図-3 復元力特性(4通り)



降伏点の層せん断力係数  $q_{Cy} = 0.2$

$$\text{降伏点の割線剛性による周期 } T_y = \frac{2\pi}{\omega_y} = \frac{2\pi}{\sqrt{q_k k_y \cdot g}} = 2\pi \sqrt{\frac{\delta y}{q_{Cy} \cdot g}} = 0.5(\text{sec})$$

変位応答のピーク値：(Tri久田) < (Tri武田) < (Bi-Clough) < (Bi-Jenkin)

(1 質点、地震波：1995 JMA Kobe NS)

図-4 復元力特性による変位応答の違い

建築物の構造関係技術基準解説書、全国官報販売協同組合、2007年8月