

弾塑性構造物の風応答性状ならびにその予測に関する研究

その4 多質点系モデルへの展開

A STUDY ON WIND-INDUCED RESPONSE CHARACTERISTICS
AND PREDICTION FOR INELASTIC STRUCTURE

Part 4 Application to multi-mass system

辻田 修*, 早部安弘**, 丹羽秀聡**, 大熊武司***, 和田 章****

Osamu TSUJITA, Yasuhiro HAYABE, Hidesato NIWA,
Takeshi OHKUMA and Akira WADA

Wind-induced inelastic response characteristics and stochastic methods to predict those responses were reported in previous papers, Ref. [1], [2], [3]. One-mass system was used in those studies on assumptions that the first mode of structures is predominant in wind-induced motion and the change of the mode shape is negligible after yielding of the structural frame or hysteretic dampers. Applying stochastic methods proposed for one-mass system to practical buildings, it must be studied on effects of higher mode motion and on concentration into weak stories concerning excess deformation and hysteretic damping energy.

In this paper, first, response characteristics of inelastic multi-mass system are described through results of time history response analysis. Next, for the multi-mass system, a stochastic method to predict inelastic response of each story is proposed by extending the previous method for one-mass system.

keywords : Wind force , Across-wind vibration , Inelastic response , Multi-mass system ,
Distribution of story drifts , Distribution of absorbed hysteresis energy

風外力、風直角方向振動、弾塑性応答、多質点系、層間変位分布、履歴吸収エネルギー分布

1. 序

風振動は1次モードが卓越し、塑性化によるモードの変化は小さいとの仮定より、弾塑性構造物の風応答に関して、1質点系モデルでの応答性状の把握と弾塑性応答予測を筆者らは既に報告^{1),2),3)}している。

「その1 風直角方向振動の場合」¹⁾では、平均成分がほとんど無く変動風力の振動数範囲が比較的狭いという特徴を持つ風直角方向風力を対象に、「その2 風方向振動の場合」²⁾では、平均成分を有しかつ変動風力が低振動数成分を中心に広い範囲でパワーを有するという特徴を持つ風方向風力を対象に、「その3 提案予測手法の風速変化に対する適用性」³⁾では、台風通過時を想定して風速変化が急激な風外力を対象に、それぞれ風応答性状とその確率統計的予測手法について述べた。

しかし、提示した1質点系での弾塑性応答予測手法を実建物に適用するには、地震に対する弾塑性応答⁴⁾で指摘されているように、1.高次モードの影響や、2.変形及び履歴吸収エネルギーの特定層への集中を明らかにする必要がある。

本報告では、多質点系モデルによる弾塑性応答解析を行い応答性状を把握すると共に、弾性時の一次モードを対象としたモーダル風力を風外力とした一質点系モデルとの応答比較を行う。また、多質

点系における各層の復元力特性とモーダル風力に対する1質点系の復元力特性を対応させることにより多質点系から1質点系への近似を行い、1質点系での弾塑性応答予測手法^{1),2)}を応用して各層の弾塑性応答を確率統計的に予測する手法を提示する。なお、風外力としては、一般の高層建築物において高風速時に最大応答を示し且つ入力エネルギーも大きいと考えられる風直角方向風力を対象とする。

2. 想定建物と想定風外力

想定建物は、現在建てられている超高層建築物として実績の多い50階建、高さ200mクラスとし、各層の質量分布、剛性分布、降伏せん断力分布は、同規模の実建物を参考に決定する。建物規模は、幅 $B=45\text{m}$ 、奥行き $D=45\text{m}$ の正方形平面、高さ $H=200\text{m}$ 、地上部重量 $W=65000\text{ton}$ で、高さ方向に一様とする。

解析モデルは、10層毎を1質点に集約した5質点を等価せん断バネで連結したランプドマスモデルとする。連結バネには、柱の軸方向変形による全体曲げ変形の影響を考慮した曲げせん断要素を用いることも考えられるが、風外力による応答は地震波入力による応答ほど高次モードの影響が大きくないこと、等価せん断モデルは曲げせん断モデルに比べ塑性化による変形集中に対し一般に大きめの評価を与えることから、簡易な等価せん断バネを用いる。また、風直

* 大成建設(株)設計本部構造設計部 次長
** 大成建設(株)設計本部構造設計部 主任
*** 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博
**** 東京工業大学建築物理研究センター 教授・工博

Structural Engineering Dept., Design Division, Taisei Corporation
Structural Engineering Dept., Design Division, Taisei Corporation, M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kanagawa University, Dr. Eng.
Prof., Structural Engineering Research Center, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

角方向振動と風方向振動は独立であり、振じれ振動の影響は小さいと仮定して自由度は水平1方向とする。解析モデルの諸元を表1に、1次から3次までの振動形を図1に示す。弾性剛性時の1次固有周期は5.0秒、1次振動形は高さに比例した直線モード、構造減衰は1次と2次に対する減衰定数が2%のレーリー減衰とし、減衰マトリックスの剛性比例項は初期剛性で固定する。

各パネの復元力特性は図2に示す Normal Bi-linear 型とし、第一第二分枝剛性比 α は各層同一とする。図中、 $x_{e,max}$ は弾性応答時の評価時間 10 分における最大応答層間変位を示し、降伏層間変位 x_y の $x_{e,max}$ に対する比を降伏点比 β とする。高さ 200m クラスの建物が一般にそうであるように、構造部材は地震荷重によって決定されていると考え、降伏せん断力の鉛直分布は地震波入力による弾性応答時のせん断力分布に近似させる。実建物 5) を参考に今回採用した降伏せん断力の分布形状は、上層階での断面余裕度も関係しているが、地震時に高次モードの影響を受ける上層部及び低層部で1次モ

ード変形時のせん断力分布に比べ大きな値を示している。表1に各層の降伏せん断力 $Q_{y,i}$ を最下層である第1層の降伏せん断力 $Q_{y,1}$ で基準化した値ならびに、1次モード変形時における各層のせん断力 $Q_{m,i}$ を第1層のせん断力 $Q_{m,1}$ で基準化した値を示す。時刻歴弾塑性応答の解析パラメータは、 α と第1層での降伏点比 β_1 とし、降伏せん断力の分布形状は一定とする。尚、解析範囲は $\alpha=0.25, 0.5, 0.75, \beta_1=0.25, 0.375, 0.5, 0.625, 0.75$ 及び弾性時とする。

風外力は、矩形平面の壁面に正対する風向からの風直角方向風力を対象とし、日本建築学会「建築物荷重指針・同解説」6) に示された転倒モーメントのパワースペクトル密度となるような各質点の模擬風力（データ数 131072）を作成する。作成方法並びに各質点間の相関の設定は、文献 7) による。図3に頂部質点である第5質点の風力並びに1次モーダル風力のパワースペクトル密度を示す。図中、横軸は振動数 (n) を建物の幅 (B) と頂部風速 (U_H) で無次元化した無次元振動数 ($n^*=nB/U_H$) として示し、縦軸は風力の分散で基準化している。

頂部平均風速 U_H は、無次元固有振動数 n_e^* で 0.149 となるレベルを想定し、 $U_H=60.5m/sec$ とする。この風速レベルは、現在、高層建物に設計上考慮されている最大級の風速にほぼ対応し、東京、地表面粗度区分IVで再現期間 1000 年に相当する。

応答解析法は、線形加速度法による直接積分とし、時刻刻みは風力データを直線補間で2分割し 0.037 秒とする。応答値は、継続時間 162 分間の応答解析より、はじめの部分を除く 160 分の各 10 分

表 1 解析モデルの諸元

質点 i	重量 W_i (tonf)	層 i	階高 h_i (m)	剛性 K_i (tonf/cm)	$A = \frac{Q_{m,i}}{Q_{m,1}}$	$B = \frac{Q_{y,i}}{Q_{y,1}}$	$\frac{B}{A}$
5	13,000	5	40	94.3	0.360	0.556	1.54
4	13,000	4	40	167.6	0.640	0.640	1.00
3	13,000	3	40	220.0	0.840	0.720	0.86
2	13,000	2	40	251.5	0.960	0.863	0.90
1	13,000	1	20	523.6	1.000	1.000	1.00

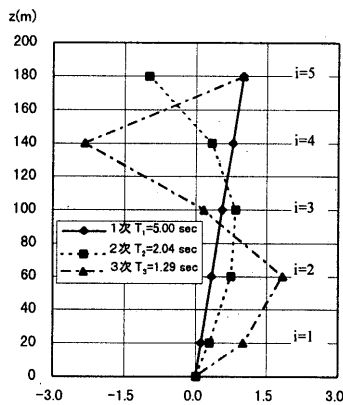


図 1 モード図

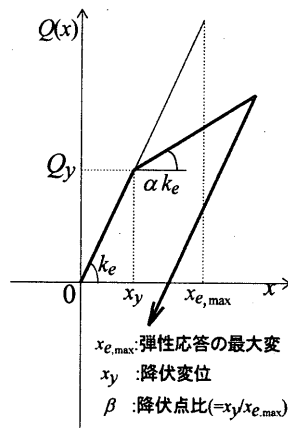


図 2 復元力特性図

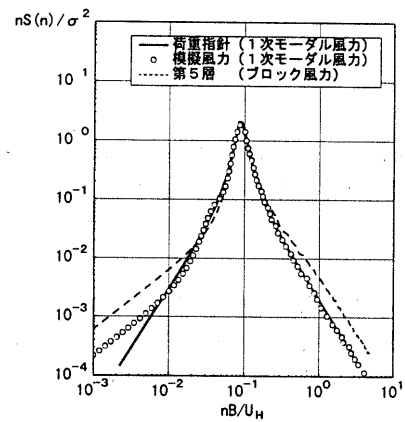


図 3 風力のパワースペクトル密度

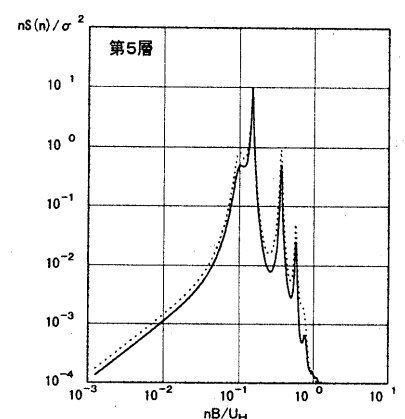
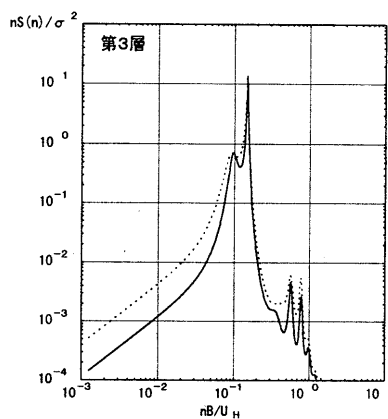
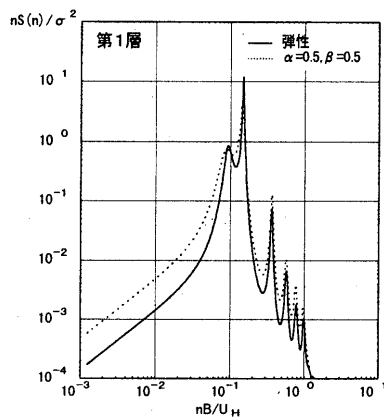


図 4 層間変位のパワースペクトル密度

間毎のアンサンブル平均を求め、評価時間 10 分の応答値として評価する。但し、この解析において振動依存風力は考慮しない。

なお、4. 弾塑性応答予測で述べる 1 質点系モデルに与える風外力は、下式により求めた 1 次モードに対する頂部質点位置における一般化外力 $F(t)$ とする。

$$F(t) = \sum_{i=1}^5 (f_i(t) \cdot u_i) \quad (2.1)$$

但し、 u_i は i 質点における頂部質点（第 5 質点）で基準化した弾性剛性時の 1 次振動モードを、 $f_i(t)$ は i 質点風外力を示す。

3. 多質点系の応答性状

3.1. 弾性応答性状

図 4 に、1, 3, 5 層における層間変位のパワースペクトル密度を $\alpha = 0.5$ 、 $\beta_1 = 0.5$ の弾塑性時と共に示す。図中の縦軸は層間変位の分散で基準化している。また、図 5 に層間変形角の標準偏差と最大変動を示す。

図 4 より、中間層（第 3 層）には高次モードの振動成分は殆ど見られないが、上層（第 5 層）では 2 次の固有振動数におけるパワーが他の層に比べ顕著である。

しかし、図 5 の層間変形角で見ると、各層ほぼ一定であり高次モードの影響は小さいことが分かる。1 次モードを対象としたモデル解析結果（破線）と比べると第 1, 2 層の下層部で高次モードの影響で多少の増大が見られるが、標準偏差で 5%、最大変動で 7%

程度の増大率である。また、入力エネルギーとしては 2% 程度の増大率であった。

3.2. 弾塑性応答性状

図 6 に $\alpha = 0.5$ の場合の β_1 と各層のレベルクロッシング数の関係を示す。但し、横軸 $\beta_1 = 1$ の値は弾性応答解析結果を表示する（以下、横軸 β_1 の図は同様とする）。第 1～4 層でのレベルクロッシング数はほぼ同等であり、 β_1 が小さくなるに従い減少し長周期化の傾向が見られる。最上層である第 5 層では、第 1～4 層に比べ大きな値を示し、且つ、 β_1 に依らずほぼ一定となっている。

図 7 に層間変形角の分布の例を示す。標準偏差、最大変動とも第 1～3 層の応答が第 4, 5 層に比べて大きくなる傾向がある。これは、第 2, 3 層での降伏せん断力比 ($Q_{y,i}/Q_{y,1}$) が 1 次モード変形時における層せん断力比 ($Q_{m,i}/Q_{m,1}$) に比べ小さい為と考えられる。

図 8 に $\alpha = 0.5$ の場合の β_1 と各層の層間変位の関係を示す。図中折れ線は 4. で述べる予測値（図 9, 10, 17, 18 も同じ）を、1 点鎖線は降伏変位を示している。標準偏差は各層共 β_1 が小さくなるに従い減少し、 β_1 が 0.4 付近で極小値を示す。この傾向は 1 質点系での弾塑性応答性状¹⁾と同様である。それに対して最大変動は層によって性状が異なっている。第 1～3 層では、 β_1 が小さくなるに従いやや減少傾向には有るがほぼ弾性時と同等の値を示し、 β_1 が 0.4 以下では増加する。第 5 層では標準偏差と同様の傾向を示し、最大変動

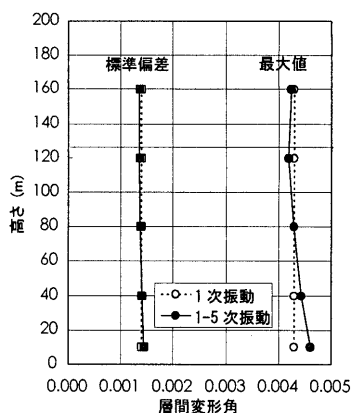


図 5 層間変形角（弾性）

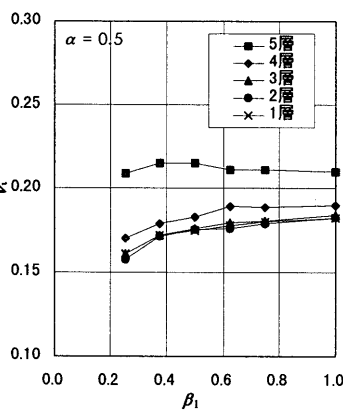


図 6 レベルクロッシング数

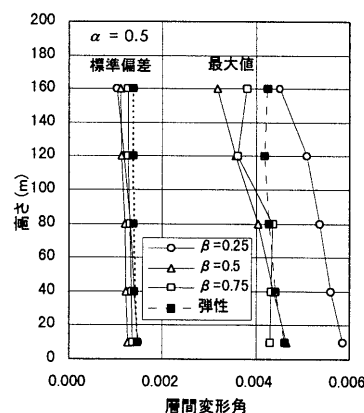


図 7 層間変形角（弾塑性）

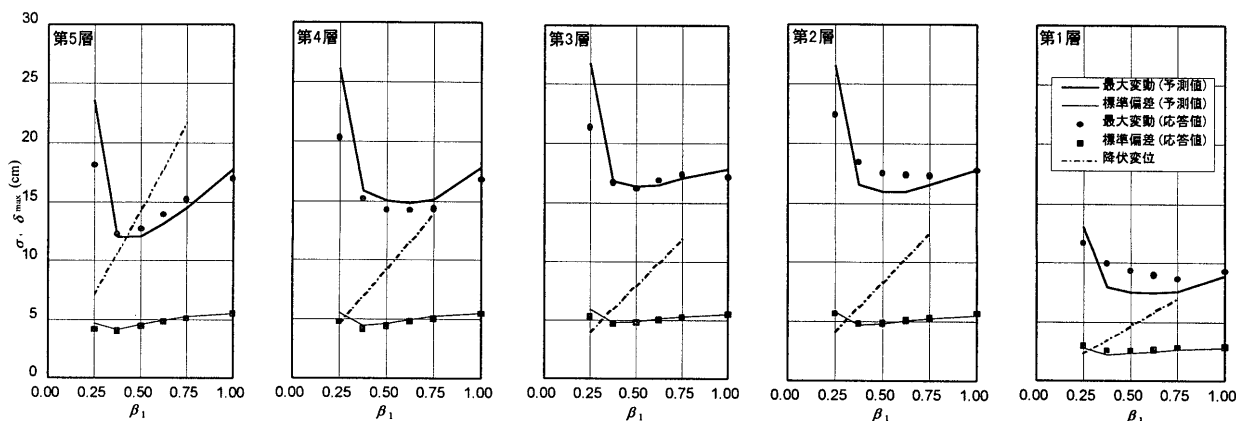


図 8 層間変位の標準偏差、最大変動 ($\alpha = 0.5$)

が降伏変位以下の範囲では他の層に比べ減少傾向が顕著である。第4層は第3層と第5層の間断的な性状となっている。

図9に $\alpha=0.5$ の場合の β_1 と10分間に全体で消費された各エネルギー量の関係を示す。図中 E_h は粘性減衰による吸収エネルギーを、 E_p は履歴による吸収エネルギーを、 E_{all} は総入力エネルギー (E_h と E_p の和)を示す。 β_1 が低下するに従い E_h は減少するものの、塑性化による長周期化により E_{all} は増加している。

図10に各層で10分間に消費された履歴吸収エネルギーの例を、横軸に全層の合計に対する各層の比率として示す。第2、第3層で E_p の多くが吸収され、そのエネルギー集中は β_1 が大きな場合に顕著であり、 β_1 が小さくなると各層で塑性化することにより集中は緩和されている。

4. 弾塑性応答予測

4.1. 1質点系への変換

予測法のフローを図11に示す。本予測法では、まず、多質点系モデルをバイリニア型1質点系モデルに近似させ、その1次モーダル風力に対する1質点系の応答を既に提示した1質点系弾塑性応答予測手法^{1),2)}によって予測する。その後、1質点系の応答を各層の応答へ変換し、多質点系の弾塑性応答量を算定する。

1質点系への近似には着目する外力や応答によって各種の手法が考えられるが、選択にあたっては簡便性と弾性応答からの連続性に留意した。以下に計算手順の詳細を示す。

Step1.ポリリニア型1質点系への変換

弾性時には1次モードが卓越した応答となる。弾塑性時にはにおいても応答せん断力の鉛直分布形状変化は小さいと仮定し、1次モード変形時のせん断力分布での増分解析により、頂部質点における変位 x_M と(4.1)式で示されるせん断力 Q_M の関係を求める。 Q_M は増分解析時において各質点に作用する外力 P_i の一般化外力に相当し、各層の荷重変形関係がバイリニア型の場合、 $Q_M \sim x_M$ 関係は層数に対応する折れ点を持つポリリニア型となる。頂部質点に対応する1質点系モデルを、上記で求められたポリリニア型復元力特性と(4.2)式で求める一般化質量 M で定義する。

$$\frac{Q_M}{Q_1} = \frac{\sum_{i=1}^5 (P_i \cdot u_i)}{\sum_{i=1}^5 P_i} = \frac{\sum_{i=1}^5 (m_i \cdot u_i^2)}{\sum_{i=1}^5 (m_i \cdot u_i)} \quad (4.1)$$

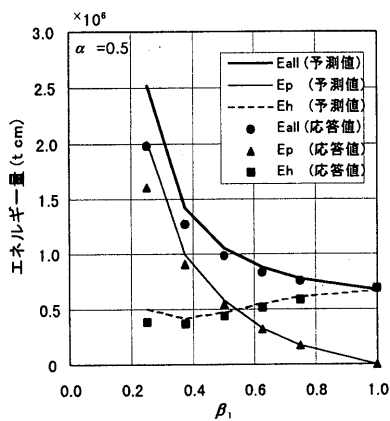


図9 入力エネルギー

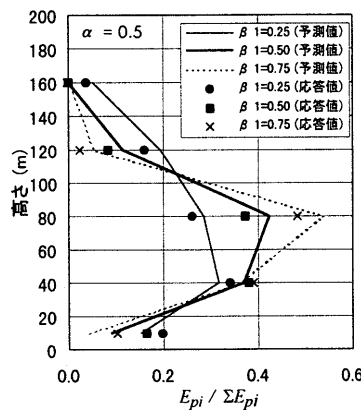


図10 $E_{p_i} / \sum E_{p_i}$

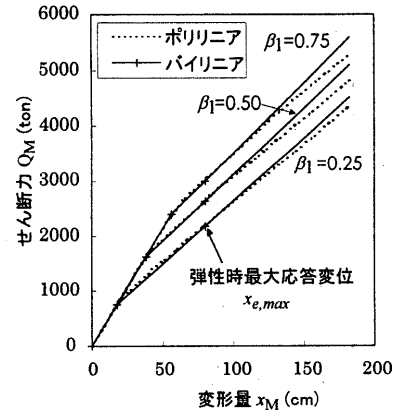


図12 復元力比較

但し、 Q_1 は第1層のせん断力を示す。

$$M = \sum_{i=1}^5 m_i \cdot u_i^2 \quad (4.2)$$

Step2.バイリニア型1質点系への変換

Step1.で求まるポリリニア型復元力から、弾性時の頂部最大変位 $x_{e,max}$ での骨格曲線上の点を通り、初期剛性が等しく、1サイクル当たりの履歴吸収エネルギーの期待値 W_p がほぼ同等となるバイリニア型復元力へ変換する。具体的には、まず、弾性応答時において変動変位がゼロクロス間で出現する最大値 x_p (以後、ゼロクロスピークと呼ぶ)の確率密度 $p(x_p)$ を(4.3)式で示すレーリー分布とし、弾塑性応答時におけるゼロクロスピーク値分布の近似値とする。次に、各 x_p での履歴吸収エネルギー $W_p(x_p)$ から(4.5)式により1サイクル当たりの履歴吸収エネルギーの期待値 W_p を、ポリリニア型と第2分枝勾配を仮定したバイリニア型それぞれに対して求め、両者が等しくなる第2分枝勾配を検索し決定する。従って、降伏変位及び第2分枝勾配は塑性化の程度に応じて変化する。

バイリニア型の $W_p(x_p)$ は、ゼロクロスピークが正側、負側共に同値であり且つ骨格曲線上にあるとの仮定より(4.4)式により求める。ポリリニア型の場合も同様の仮定を用いる。上記手順により算定された復元力の例を図12に示す。

$$p(x_p) = \frac{x_p}{\sigma_e^2} \exp \left\{ -\frac{x_p^2}{2\sigma_e^2} \right\} \quad (4.3)$$

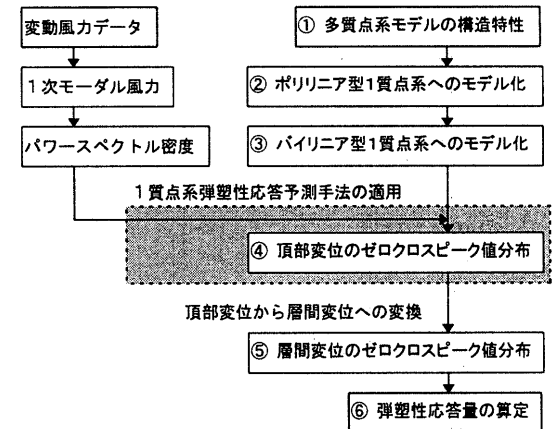


図11 多質点系の予測フロー

$$W_p(x_p) = 4 \cdot (1 - \alpha) \cdot Q_y \cdot (x_p - x_y) \quad (4.4)$$

$$W_p = \int_0^\infty W_p(x_p) \cdot p(x_p) dx_p \quad (4.5)$$

尚、頂部最大変位 $x_{max,e}$ や(4.3)式中での頂部変位の標準偏差 σ_e といった弾性応答量は、文献 8) に示されている確率統計的手法によって算定可能な数値である。

Step3. 頂部変位のゼロクロスピーク値分布の算定

(2.1)式に示す一般化風力のパワースペクトル密度を用い、バイリニア型復元力特性を有する 1 質点系モデルに対する応答予測を文献 2) に提示した確率統計的手法により行う。尚、文献 2) での変動成分の予測手法は、変動風力のパワースペクトル密度 $S_p(n)$ を、低振動数成分 (添字 L) と固有振動数成分 (添字 N) に分離し、低振動数成分風力による応答は準静的であり、固有振動数成分風力による応答は共振的で狭帯域な振動であるとの仮定を用いて弾塑性応答量を算定している。文献 1) の手法に比べ外力に含まれる低振動数成分の影響が考慮され、多様なパワースペクトル密度にも対応可能な手法である。

応答量として、両振動数成分に対する頂部変位のレベルクロッシング数 v_L, v_N 、標準偏差 σ_L, σ_N 、ゼロクロスピーク値分 $p_L(x_{p,L}), p_N(x_{p,N})$ と全体で消費されるエネルギー量が算定される。

Step4. 各層の弾塑性応答量の算定

まず、Step3. で求める頂部変位のゼロクロスピーク値分布における各ピーク値はポリリニア型復元力の骨格曲線上の変位に対応すると仮定し、Step1. で求めた頂部変位と各層の層間変位の関係を用いて各層での両振動数成分に対する層間変位のゼロクロスピーク値分布 $p_{L,i}(\delta_{p,L}), p_{N,i}(\delta_{p,N})$ を求める。次に、両振動数成分を合成したゼロクロスピーク値分布 $p_i(\delta_p)$ を(4.6)、(4.7)式により求め、その後、各層でのエネルギー吸収量、層間変位の標準偏差、最大層間変位をゼロクロスピーク値分布より算定する²⁾。i 層での層間変位の標準偏差 σ_i は(4.8)式、最大変動 $\delta_{max,i}$ は(4.9)式⁹⁾による。

$$p_i(\delta_p) = \int_0^\infty p_{N,i}(\delta_{p,N}) \cdot p_{L,i}(\delta_p - \delta_{p,N}) d\delta_{p,N} \quad (4.6)$$

$$p_{L,i}(\delta_L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{L,i}} \exp\left(-\frac{\delta_L^2}{2\sigma_{L,i}^2}\right) \quad (4.7)$$

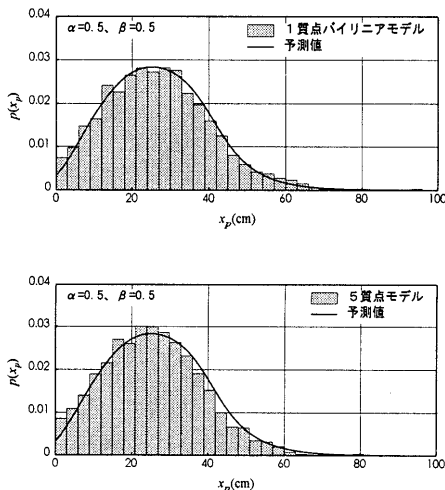


図 13 頂部応答変位のゼロクロスピーク値分布

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \int_0^\infty \delta^2 \cdot p_{L,i}(\delta) d\delta + \int_0^\infty \delta^2 \cdot p_{N,i}(\delta) d\delta \right\} \quad (4.8)$$

$$\delta_{max,i} = \int_0^\infty \delta \cdot p_{max,i}(\delta) d\delta \quad (4.9)$$

$$\text{但し、 } p_{max,i}(\delta) = N \cdot \{1 - q_i(\delta)\}^{N-1} \cdot p_i(\delta) \\ q_i(\delta) = \int_x^\infty p_i(\xi) d\xi \quad , \quad N = 600v$$

4.2. 多質点系と 1 質点系の応答比較

多質点系での頂部変位の時刻歴応答解析結果、バイリニア型 1 質点系での変位の時刻歴応答解析結果及びその予測値を、 $\alpha=0.5$ の場合について比較する。

図 13 に、 $\alpha=0.5, \beta_1=0.5$ の場合のゼロクロスピーク値分布を示す。予測値は、全ての振幅範囲で 1 質点系の時刻歴応答解析結果を良く近似している。多質点系の分布は予測値に比べやや小振幅側に偏在している。

図 14 に β_1 と標準偏差の関係、図 15 に β_1 と最大変動の関係を示す。標準偏差を見ると、予測値と 1 質点系の時刻歴応答解析結果は良く一致しており、多質点系の時刻歴応答解析結果に比べやや大きめの値となっている。最大変位も標準偏差と同様の傾向を示すが、文献 1) でも見られた様に 1 質点系の時刻歴応答解析結果に比べ予測値が幾分小さめの値を示す領域がある。

5. 時刻歴応答解析結果と予測値の比較

図 16 に、層間変位のゼロクロスピーク値分布の例として $\alpha=0.5, \beta_1=0.5$ における第 2,3,4 層での多質点系時刻歴応答解析結果のヒストグラムを予測値と共に示す。図中点線はレーリー分布とした場合の確率密度を、1 点鎖線は降伏変位を表している。各層での分布形状が多少異なっているのは、各層同時に塑性化せず、振動の漸増と共に第 3, 第 2, 第 4 層の順で塑性化が生じるためと考えられる。各図共、予測値はレーリー分布に比べ良い近似を与えている。

$\alpha=0.5$ での 10 分間に全体で消費されたエネルギー量を図 9 に、その履歴吸収エネルギーの分担比を図 10 に示す。全体での消費エネルギーの予測値は、 E_p, E_h 共に多質点系時刻歴応答解析結果よりやや大きめの値となり、 β_1 が小さくなるほどその傾向は強い。 $\beta_1=0.375$ での E_{all} の予測値は時刻歴の約 1.11 倍である。 E_p の分担比を見ると、履歴吸収エネルギーの集中が見られる第 2、第 3 層で

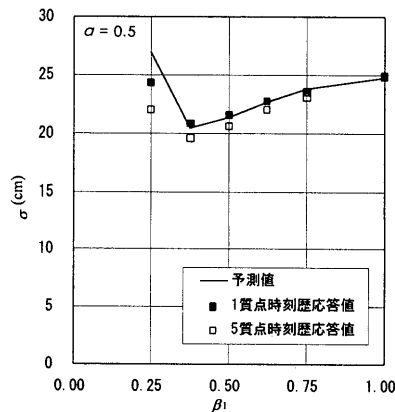


図 14 頂部応答変位の標準偏差

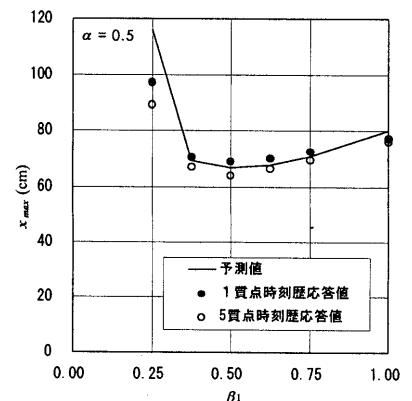


図 15 頂部応答変位の最大変動変位

予測値は多質点系での分担比と同等若しくはやや大きめの値となっている。また、塑性化の程度即ち β_1 の違いにより集中の度合いが変化の様子を良く再現している。 $\beta_1=0.5$ での全体で消費されたエネルギー量を、横軸 α として図17に示す。 E_p の予測値は、 α が小さくなるに従って時刻歴応答解析結果より大きな値となる傾向にある。

$\alpha=0.5$ での各層における層間変位の標準偏差と最大変動を図8に示す。標準偏差は、 $\beta_1=0.25$ での予測値が多質点系時刻歴応答解析結果より大きめの値となる以外は良い近似を与えている。最大変動は、 $\beta_1 \geq 0.375$ の範囲で第3～5層での時刻歴弾塑性応答解析結果と予測値は良く一致しているものの、第1、第2層では時刻歴弾塑性応答解析結果が弾性時とほぼ同等の値を示すのに対し、予測値は弾性時の第1層で最大10%、第2層で最大20%小さめの値とな

っている。これは、弾性時の層間変形角にも見られた高次モードの影響と思われる。 $\beta_1=0.5$ での各層の層間変位を、横軸 α として図18に示す。弾性時の最大層間変形角で高次モードの影響が見られた第1、第2層での最大変動の予測値は、 α が小さくなるに従って時刻歴応答解析結果より小さめの値となる傾向にあるが、標準偏差及びその他の層の最大変動の予測値は良い近似を与え、 α との全体的な傾向を良く表している。

これらの予測値と多質点系時刻歴応答解析結果の比較により、高次モードの影響が見られる下層部の最大層間変位でやや小さめの値を示す場合があることに留意を要するが、 $\beta_1 \geq 0.4$ の範囲で各層での履歴吸収エネルギーや層間変位の予測が可能であることが明らかとなった。

6. 結び

本報では、これまでの報告^{1),2),3)}に用いた1質点系モデルでは解明されない実建物における高次モードの影響、変形及び履歴吸収エネルギーの特定層への集中を明らかにすることを目的として、多質点系モデルでの弾塑性応答性状の把握と確率統計的手法による応答予測手法の提示を行った。

地震荷重で部材断面が決定されている高さ200mクラスの高層建築物を対象とした多質点系モデルでの風直角方向風力に対する弾塑性応答に関し、得られた知見を要約すると次の通りである。

1. 弾性応答時の層間変位は、下層部で高次モードの影響が多少見られるが、ほぼ1次モードの振動形で近似される。
2. 弾塑性応答時に消費される履歴吸収エネルギーは、弾性時における最大層せん断力に対する降伏せん断力の比が小さな層に

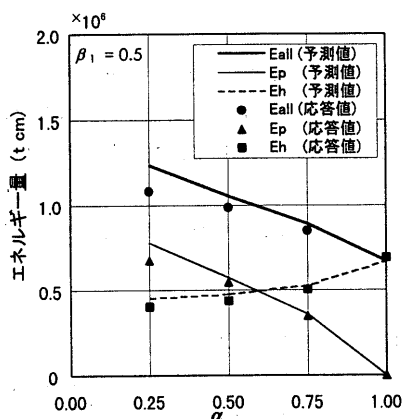


図17 入力エネルギー

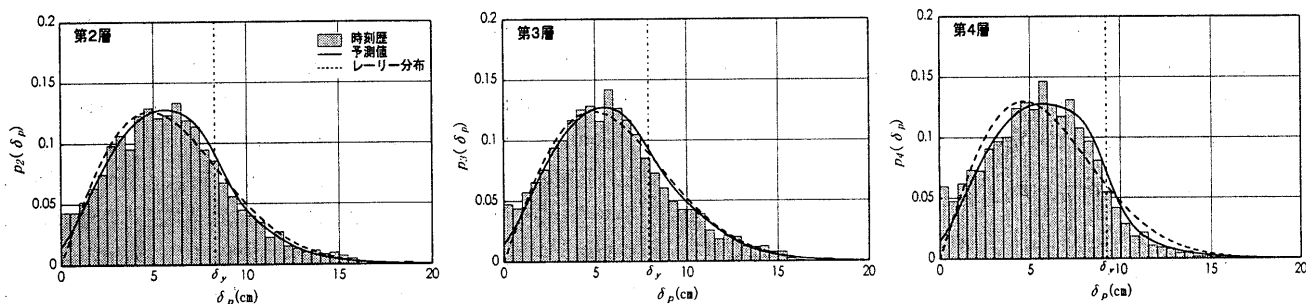


図16 各層ゼロクロスピーク値分布 ($\alpha=0.5, \beta_1=0.5$)

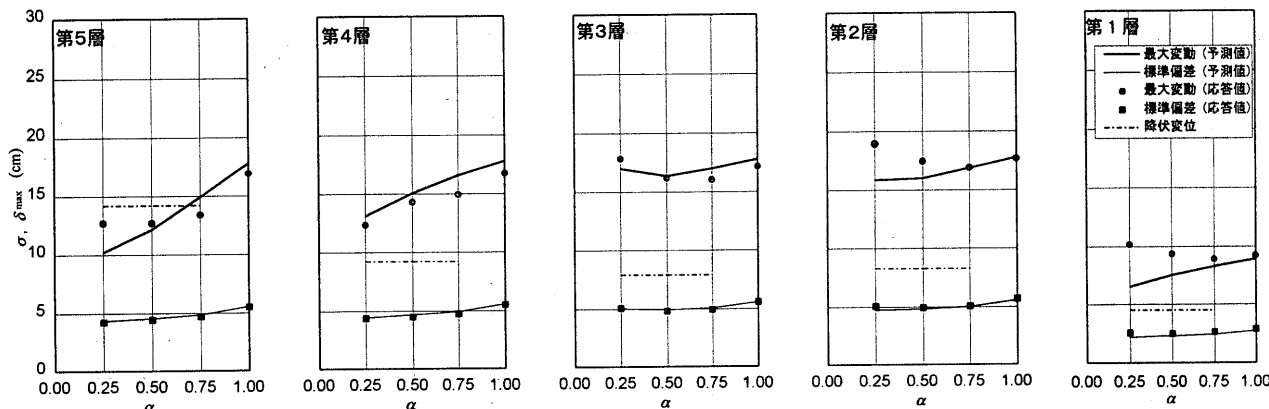


図18 層間変位の標準偏差、最大変動 ($\beta_1=0.5$)

集中する。それに対して、層間変位の特定層への集中は履歴吸収エネルギーほど顕著ではなく、弾性時最大応答変位と同等若しくはそれ以下におさまる降伏点比 β_1 の範囲が存在する。

3. 多質点系の弾塑性時頂部応答変位は、1次モード変形時の層せん断力分布での増分解析を基に多質点系を頂部質点に対応するパイリニア型1質点系にモデル化し、文献1),2)に提示した1質点系に対する確率統計的予測手法により予測可能である。
4. 多質点系における層間変位や各層の履歴吸収エネルギーといった弾塑性応答量は、3.で求まる頂部変位のゼロクロスピーク値を各層の層間変位に対応させ、得られた層間変位のゼロクロスピーク値分布を用いて予測可能である。従って、降伏点比 β_1 により変化する履歴吸収エネルギーの特定層への集中度合いを定量的に評価することができる。

履歴型の制振装置を設置することにより地震時における構造物の応答制御・損傷制御を行う設計法が提案されており¹⁰⁾、その場合、地震荷重に比べ風荷重が小さい建物でも風外力時に装置が塑性化することが十分考えられる。その様な建物では、風荷重で部材断面が決定されている構造物に比べ、変形や吸収エネルギーの特定層への集中がより問題となる。本手法は風外力に対する弾塑性応答の特定層への集中を定量的に把握する上で有効な手法と考える。

これまで進めてきた弾塑性構造物の風応答性状並びにその予測手法に関する研究(その1)から(その4)を通じて、1質点系での基本応答性状とその予測法に加え、耐風安全性で問題となる台風通過時の様に平均風速の変化が急激な場合への適用性や、多質点系における弾塑性応答の特定層への集中に関する性状とその予測法を示した。風外力に対する弾塑性応答変位が弾性時に比べ低減される降伏変位の範囲があることから、エネルギー吸収能力が高く対疲労

性能に優れた部材または装置の使用により、将来、強風時に塑性化を前提とした建築物の実用化が可能と思われる。本研究で提示した確率統計的予測手法は、その際の構造計画、累積疲労損傷の検討などに有用な1手法と考える。

謝辞

本研究にあたり、大成建設(株)技術研究所の浅見豊氏にご協力戴くと共に貴重なご意見を戴きましたことを感謝します。

参考文献

- 1) 辻田 修、早部安弘、大熊武司、和田 章：弾塑性構造物の風応答性状ならびにその予測に関する研究その1風直角方向振動の場合、日本建築学会構造系論文報告集第481号、1996.3
- 2) 辻田 修、早部安弘、大熊武司、和田 章：弾塑性構造物の風応答性状ならびにその予測に関する研究その2風方向振動の場合、日本建築学会構造系論文報告集第485号、1996.7
- 3) 辻田 修、丹羽秀聡、大熊武司、和田 章：弾塑性構造物の風応答性状ならびにその予測に関する研究その3提案予測手法の風速変化に対する適用性、日本建築学会構造系論文報告集第493号、1997.3
- 4) 秋山 宏：建築物の耐震極限設計、東京大学出版会、1980
- 5) 松村芳夫、山田瑞夫、他：新宿センタービルの設計と新工法について、総合建築NO.74、1980
- 6) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、1993
- 7) 浅見 豊、寺崎 浩、東山博人：高層建物に作用する風力の高さ方向分布のモデル化および風力の時刻歴データ発生に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、1994.9
- 8) 大熊武司、神田 順、田村幸雄：建築物の耐風設計、鹿島出版会、1996
- 9) 岡内 功、伊藤 學、宮田利雄：耐風構造、丸善、1977
- 10) 日本建築学会、他：シンポジウム「耐震設計の一つの新しい方向」、1995.10

(1997年3月10日原稿受理、1997年5月15日採用決定)