

粘弾性ダンパー型木造軸組工法建物の耐風性能に関する動的加力実験
その2 時間の経過による立体架構試験体の挙動変化と風応答解析

粘弾性ダンパー 風応答 弾塑性風応答解析

正会員 ○ 下村 祥一*
同 大熊 武司*
同 中村 淳子**

1 はじめに

風外力は地震力と比べ継続時間が長く、風方向風力には平均値成分を有するため、粘弾性ダンパー型木造制振建物の風応答は、時間の経過に伴い変位が風方向へ増大する、粘弾性体の温度が上昇しその力学特性が変化するということが懸念される。その2では、立体架構試験体による実験結果のうち、長時間加力による挙動の経時変化について検討するとともに、木造制振建物の弾塑性・粘弾性風応答解析を行い、その性状を検討する。

2 制振架構試験体の挙動の経時変化

2.1 せん断変形角の経時変化 図1に固有振動数 $n_0 = 2\text{Hz}$ の場合のせん断変形角の平均値の経時変化を示す。いずれの場合も、時間の経過に伴いせん断変形角が増大する。耐力壁だけで構成される $\beta = 0$ 、風速倍率 1.1 (Case2) の場合、変形角の増大に伴い外力の平均値成分により常時圧縮力を受ける側の筋かいが大きく撓むことにより間柱から抜けた。これによりさらにせん断変形角の変動が大きくなり、時間の経過に伴い筋かいプレートを止めつけている釘 (ZN65) がせん断破壊や引き抜きによりはずれたため、第4パート以降で変形角の平均値が他に比べ急激に大きくなった。一方、制振壁を有する場合、 $\beta = 0.61$ 、風速倍率 1.1 (Case4) において第1パートで筋かいが損傷したが、Case2のように完全な損傷には至らなかった。

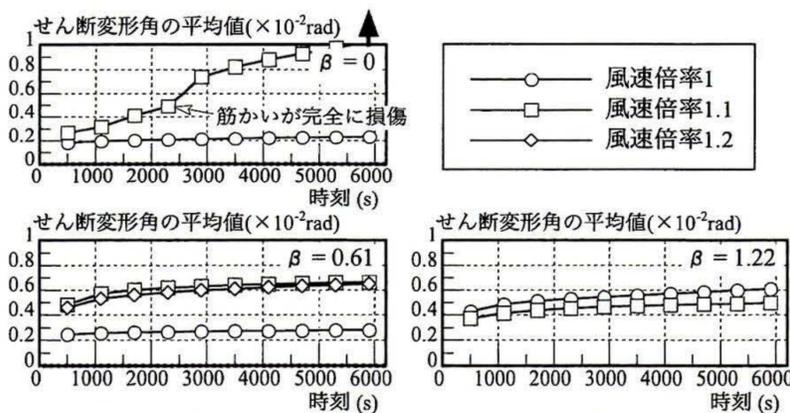


図1 固有振動数 2Hz の場合のせん断変形角の経時変化

2.2 粘弾性体の温度変化 図2に $n_0 = 2\text{Hz}$ の場合の粘弾性体温度の経時変化を示す。いずれの場合も、実験終了時には 21°C 後半から 22°C 程度まで温度が上昇する。温度が 2°C 上昇すると β は 0.84 倍 (1P 試験体で $\beta = 0.51$) となり、力学特性の変化に影響していると思われる。

3 弾塑性・粘弾性風応答解析

3.1 対象建物と解析モデル 図3に対象建物の形状を示

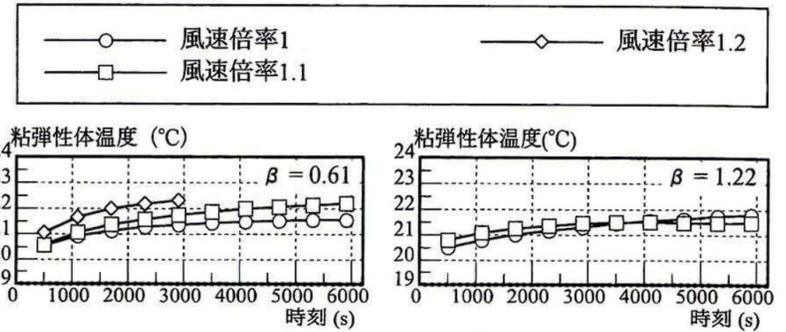


図2 固有振動数 2Hz の場合の粘弾性体温度の経時変化

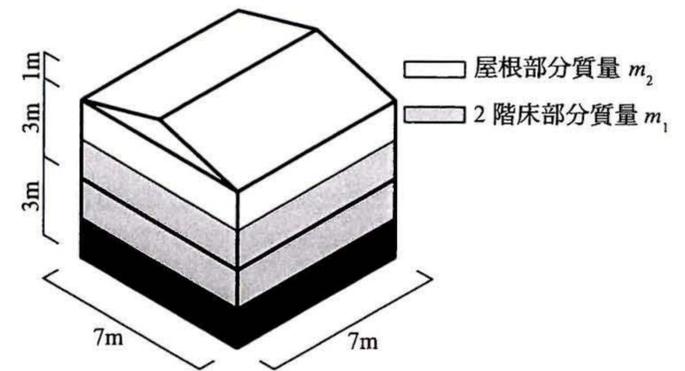


図3 対象建物

す。建設地の地表面粗度区分を III とする。

図4に解析モデルを示す。解析は1次モードを頂上が1の直線と仮定したモーダル1次を対象に行う。建物の全体剛性は、耐力壁のみで構成される「非制振建物」が再現期間50年の風速である弾性限界風速 U_e における最大瞬間風速 \hat{U}_e で降伏する剛性¹⁾として、 $7.79 \times 10^5 \text{N/m}$ とする。各バネ要素の剛性は、 β に従い決定する。

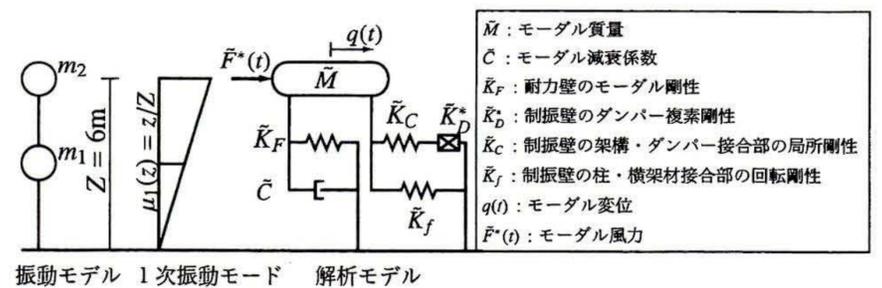


図4 解析モデル

3.2 振動方程式 解析モデル (図4) の振動方程式を次式で表す。

$$\tilde{M}\ddot{q}(t) + \tilde{C}\dot{q}(t) + \tilde{Q}_F(q(t)) + \frac{\tilde{K}_C \cdot \tilde{K}_D^*}{\tilde{K}_C + \tilde{K}_D^*} q(t) + \tilde{K}_f = \tilde{F}^*(t) \quad (1)$$

ここに、 \tilde{Q}_F : 耐力壁のモーダル復元力である (その他の記号は図4中に記す)。減衰係数は初期剛性比例型とし、減衰定数を4%とした。また、 $\tilde{F}^*(t)$ は小規模低層建物に

作用する風力特性を考慮したシミュレーション手法¹⁾により連続した6,200秒を発生させた。

3.3 制振壁の力学モデル 粘弾性体の力学特性は、分数階微分構成則で表す。ダンパーの稼働方向に作用する力 $\bar{F}_D(t)$ と稼働方向のせん断変位 $\bar{u}_D(t)$ は4係数 a, b, G, α を用いて次式で表される²⁾。

$$\bar{F}_D(t) + aD^\alpha \bar{F}_D(t) = \frac{S_v}{d_v} G \{ \bar{u}_D(t) + bD^\alpha \bar{u}_D(t) \} \quad (2)$$

ここに、 D :分数階微分演算子、 S_v :粘弾性体のせん断面積、 d_v :粘弾性体のせん断厚さである。

係数 a, b は温度-周波数換算則により刻々の粘弾性体温度から決定される。ダンパー部分の2次元有限要素解析³⁾を時刻歴応答解析に取り入れ、刻々の応答から粘弾性体の温度を同定し、その結果を係数 a, b に反映させながら時刻歴応答解析を進める。

3.4 耐力壁の復元力モデル 耐力壁の復元力モデルはバイリニア型要素とスリップ型要素の足し合わせで作成する。図5に復元力モデルを、表1にその特性値を示す。特性値は、その1で行った耐力壁の性能試験結果に一致するよう試行錯誤的に定めた。

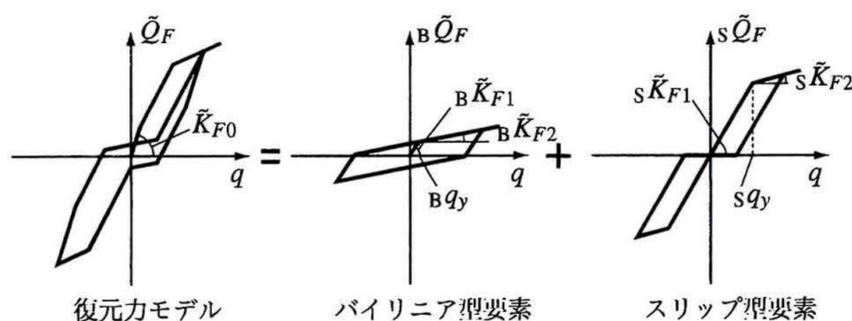


図5 耐力壁の復元力モデル

表1 耐力壁復元力モデルの特性値

バイリニア型要素			スリップ型要素		
$B\bar{K}_{F1}/\bar{K}_{F0}$	$B\bar{K}_{F2}/\bar{K}_{F0}$	$Bq_y(\text{rad})$	$S\bar{K}_{F1}/\bar{K}_{F0}$	$S\bar{K}_{F2}/\bar{K}_{F0}$	$sq_y(\text{rad})$
0.570	0.089	1/720	0.430	0.140	1/128

3.5 変位シフト手法 実験で見られた「時間の経過に伴い変位が風方向へ増大する現象」を「変位シフト手法」として解析に取り入れる。図6に変位シフト手法の模式図を示す。変位増大のモデル式を時刻 t の関数として(3)式とし、せん断変形角の平均値の経時変化(図1)から C_S, m を同定する。時刻歴解析において、 $n-1$ ステップ目までの変位の移動平均値を求め、平均値とモデル式の差 Δu_s による力 ΔQ_s を n ステップ目の方程式で解消する。変位増大は木造接合部等の「ガタ」によるものと考え、解析モデル(図4)のバネのうち $\bar{K}_f, \bar{K}_C, \bar{K}_F$ に適用する。

$$u_S(t) = C_S \cdot t^m \quad (3)$$

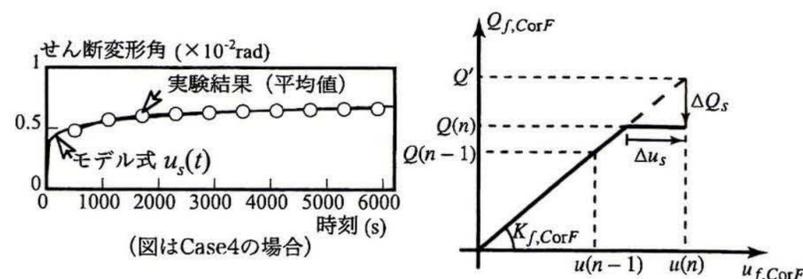


図6 変位シフト手法の模式図

4 解析結果

図7にいずれも風速倍率1であるCase1, Case3, Case7の復元力特性(第1パート)を、図8に $n_0 = 2\text{Hz}$ の場合の応答変位の平均値と粘弾性体温度の経時変化を示す。いずれの場合も、実験結果と比べ若干の定量的な差はあるが、おおよそ良く整合している。

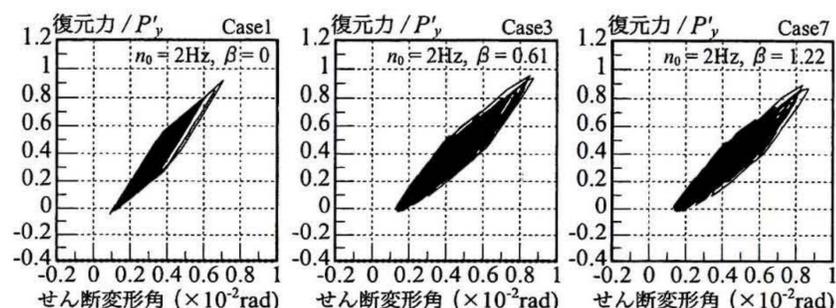


図7 風速倍率1, 固有振動数2Hzの場合の復元力特性 (第1パート)

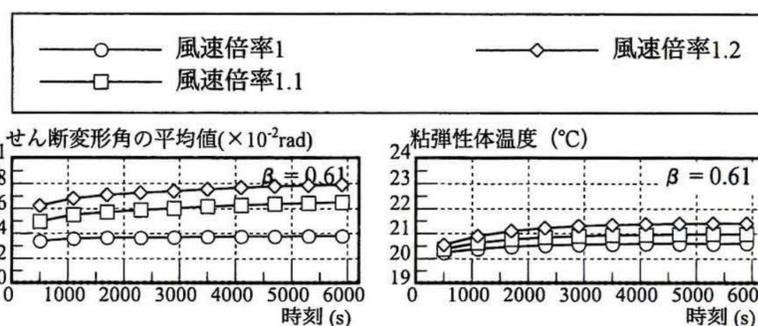


図8 固有振動数2Hzの場合の応答の経時変化

5 おわりに

本研究は、その1に引き続き時間の経過に伴う木造制振架構造試験体のせん断変形角と粘弾性体温度の変化について検討するとともに、木造制振建物の弾塑性・粘弾性風応答解析を行った。時間の経過に伴いせん断変形角は増大し、粘弾性体温度は最大で 2°C 程度上昇する。これらの現象の予測手法には、「変位シフト手法」と非定常熱伝導・熱伝達解析を考慮した粘弾性・弾塑性時刻歴応答解析が有効である。

謝辞 本研究を行うに当たり、東京工芸大学・文部科学省学術フロンティア推進事業のご支援をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献 1) 下村祥一, 大熊武司: 木造軸組工法建物の弾塑性風応答性状とその応答解析手法に関する研究, 木造軸組工法耐力壁の耐風性能評価用復元力特性に関する研究 その2, 日本建築学会構造系論文集, 第621号, pp.119-126, 2007.11 2) 下村祥一, 大熊武司: 粘弾性ダンパーを有する木造住宅の風応答を考慮した材料実験と応答の試算, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.89-90, 2005.9 3) 下村祥一, 金子哲也, 初岡徹朗, 大熊武司: 長時間ランダム加力を受ける粘弾性ダンパー付き木造制振壁の動的挙動に関する研究その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1, pp.277-278, 2007.8

* 神奈川大学 助手, 教授

** 神奈川大学 大学院生

* Research Assoc. and Prof., Kanagawa University

** Graduate student, Kanagawa University