

地震と雪の荷重組み合わせについて －鋼構造大スパン建物の動的解析結果から－

日本建築学会

荷重運営委員会 信頼性工学利用小委員会

2017/2/15 公開小委員会

山崎賢二（竹中工務店），小檜山雅之（慶應義塾大学）

1-1. 背景

2

近年、日本では地震と雪の複合災害が増加

建築基準法施行令
多雪区域の短期設計
積雪荷重の組合せ係数：0.35

建築基準法では**中程度の地震**と**中程度の積雪**のような荷重の組合せについては構造安全性検証を要求しない

一般的な中低層建物では静的解析により検証しており、雪の質量により変化する**動的振動特性**については考慮されていない

建物の安全性をどの程度確保できているのか**不明確**

1-1. 背景

Lee and Rosowsky

- ①平屋と二階建ての木造建物を対象に複数の入力地震動と積雪荷重の組合せに対し時刻歴応答解析を実施
- ②最上部の変位に注目して被害を評価し、地震と雪の荷重組合せに対するフラジリティ曲面の評価

石澤ら

- ①木造平屋建物を対象に様々な地動速度 (PGV) を有する地震動と積雪荷重の組合せに対して時刻歴応答解析を実施
- ②部材の最大応力度から被害発生の有無を評価し、地震と雪の同時超過確率のハザード曲線から建築基準法とは異なる荷重組合せの必要性を考察

Wang and Rosowsky

- ①平屋、3階建て、5階建ての木造建物を対象に地震と雪の荷重組合せに対するハザード曲面から複数の荷重組合せの設計点を設定する方法を提案
- ②動的解析結果からフラジリティ曲面を評価し、ASCE 7で規定される荷重組合せ（積雪荷重の組合せ係数0.2）の妥当性について考察

1－2. 目的

4

積雪に伴う被災時に人的，経済的被害の大きいコンベンションセンター，工場，倉庫などの**大スパン鋼構造建物**を対象として，

- ①異なる雪荷重と地震動レベルにおける建物被害を時刻歴応答解析により検討する。
- ②建物被害は**構成部材の最大応力度**をもとに判定する。

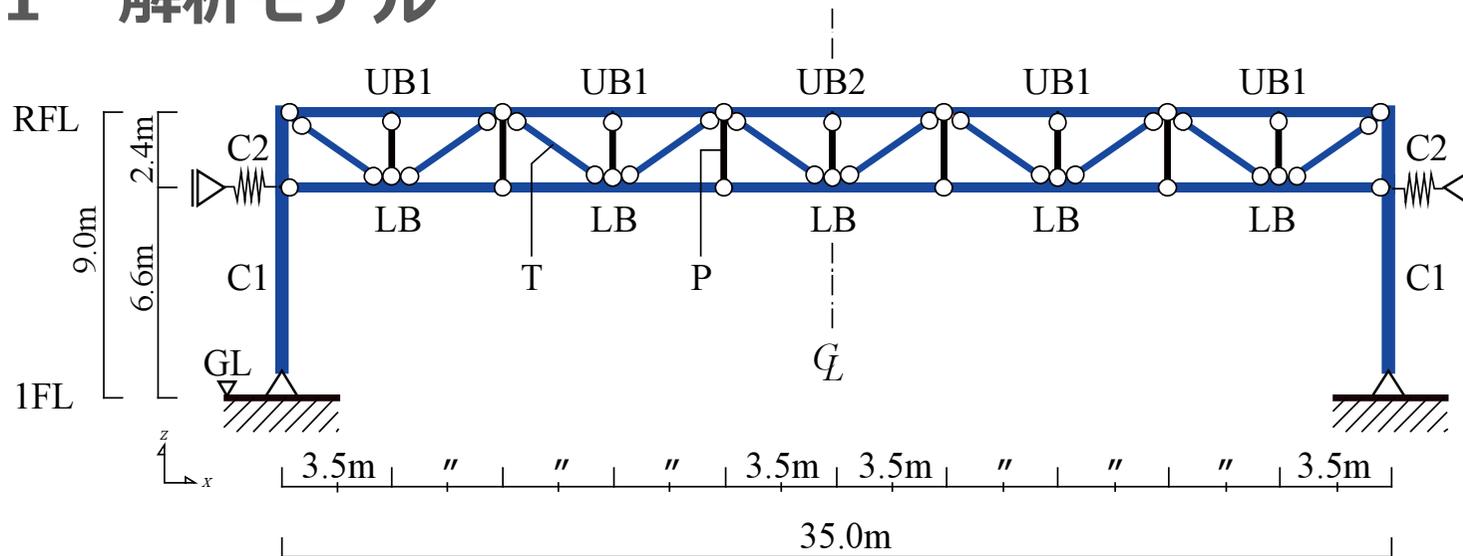


雪荷重の適切な**荷重組合せ手法の必要性**を検討

2. 解析方法

5

2-1 解析モデル



対象建物: ブレース付ラーメン骨組

対象構面: ラーメン架構部分

桁行方向柱スパン: 5.25m

質点位置: トラス梁部材節点

固定荷重: 400N/m² (折板屋根, 仕上げ, 設備)
 +430N/m² (躯体重量: 上弦材節点に負荷)
 +540N/m² (躯体重量: 下弦材節点に負荷)

雪荷重: 部材と一体となって動く質量モデルと仮定

固有周期: 0.27s

減衰: 一次減衰定数2%の剛性比例型

構成部材一覧

Section ID	Section	A (cm ²)	Z (cm ³)	L (cm)	f (N/mm ²)
C1	H-340x250x9x14	99.5	1250	630	220
C2	H-340x250x9x14	99.5	1250	255	226
UB1	H-294x200x8x12	71.1	756	350	235
UB2	BH-300x220x9x16	94.5	1044	350	235
LB	H-294x200x8x12	71.1	756	350	235
T	2L-90x13	43.4	-	424	235
P	2[-75x40x5x7	17.6	-	255	157

柱C1,C2と垂直材Pの基準強度fは座屈を考慮して低減

2-2-1 雪荷重と地震動のハザード曲線

6

建築基準法による現行の設計荷重相当値

	Snow weight (kN/m ²)	PGV (m/s)
Toyama	5.69	0.113
Asahikawa	4.81	0.063

雪荷重:

建築基準法(平成12年建設省告示1455号)で定められる年超過確率2%(50年再現期待値)相当の積雪重量

地震荷重(PGV):

建築基準法(平成12年建設省告示第1461号)における**稀に発生する地震動**の最大地動速度は0.08~0.16 m/s程度であり、再現期間は約50年であることから、建築基準法に対応するPGVを50年再現期待値に設定

2-2-1 雪荷重と地震動のハザード曲線

7

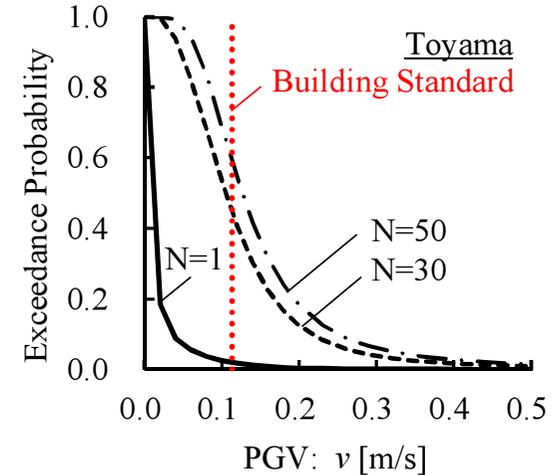
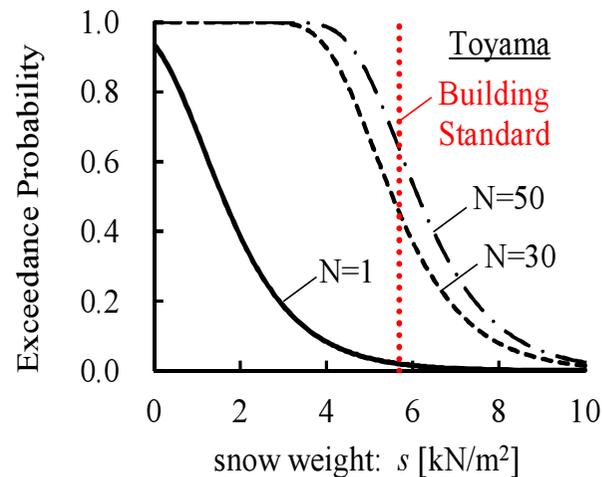
雪荷重(積雪重量 s): グンベル分布(係数は建築物荷重指針に準拠)

地震動(地動最大速度 v): J-SHIS地震ハザードステーションのデータを使用

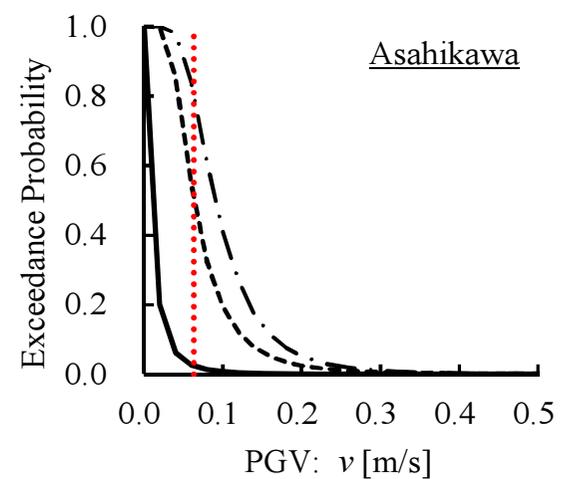
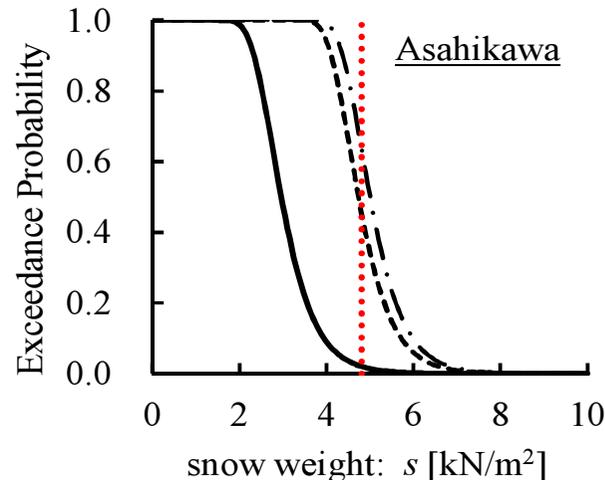
解析対象地域①:
富山県富山市($Z=1.0$)

左図: 評価期間 $N=1, 30, 50$ 年間の積雪ハザード曲線

右図: 評価期間 $N=1, 30, 50$ 年間の工学的基盤上における地震ハザード曲線



解析対象地域②:
北海道旭川市($Z=0.8$)



2-2-2 地震と雪の組合せ

Turkstra の経験則 (Turkstra's Rule)

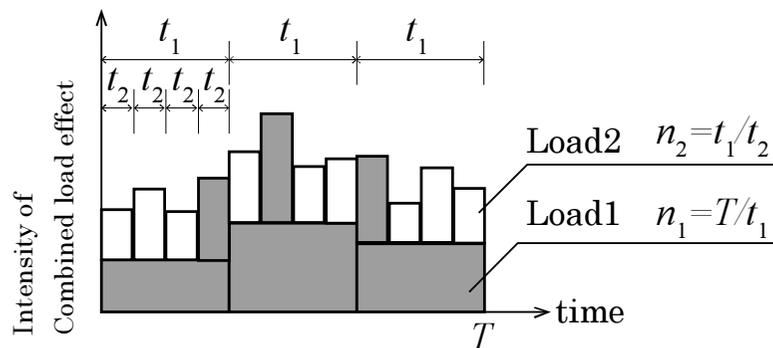
主の荷重の評価期間N年超過確率(N年の合計積雪期間に超過する確率)と従の荷重の年超過確率(1年の合計積雪期間に超過する確率)を用いて次式で評価

$$H_N(v, s) = \max(H'_{EN}(v) \cdot H_{S1}(s), H'_{E1}(v) \cdot H_{SN}(s)) \quad \dots\dots\dots \text{Eq.(4)}$$

Ferry Borges-Castanheta model (BC モデル)

矩形パルス更新過程を対象とした組合せ荷重の補累積分布関数として、雪荷重を矩形パルスでモデル化し、地震と雪の組合せ荷重の最大値の同時超過確率の分布を次式で評価

$$H_N(v, s) = \left[1 - \{1 - H'_{E1}(v)\}^N \right] \left[1 - \{1 - H_{S1}(s)\}^N \right] \quad \dots\dots\dots \text{Eq.(7)}$$

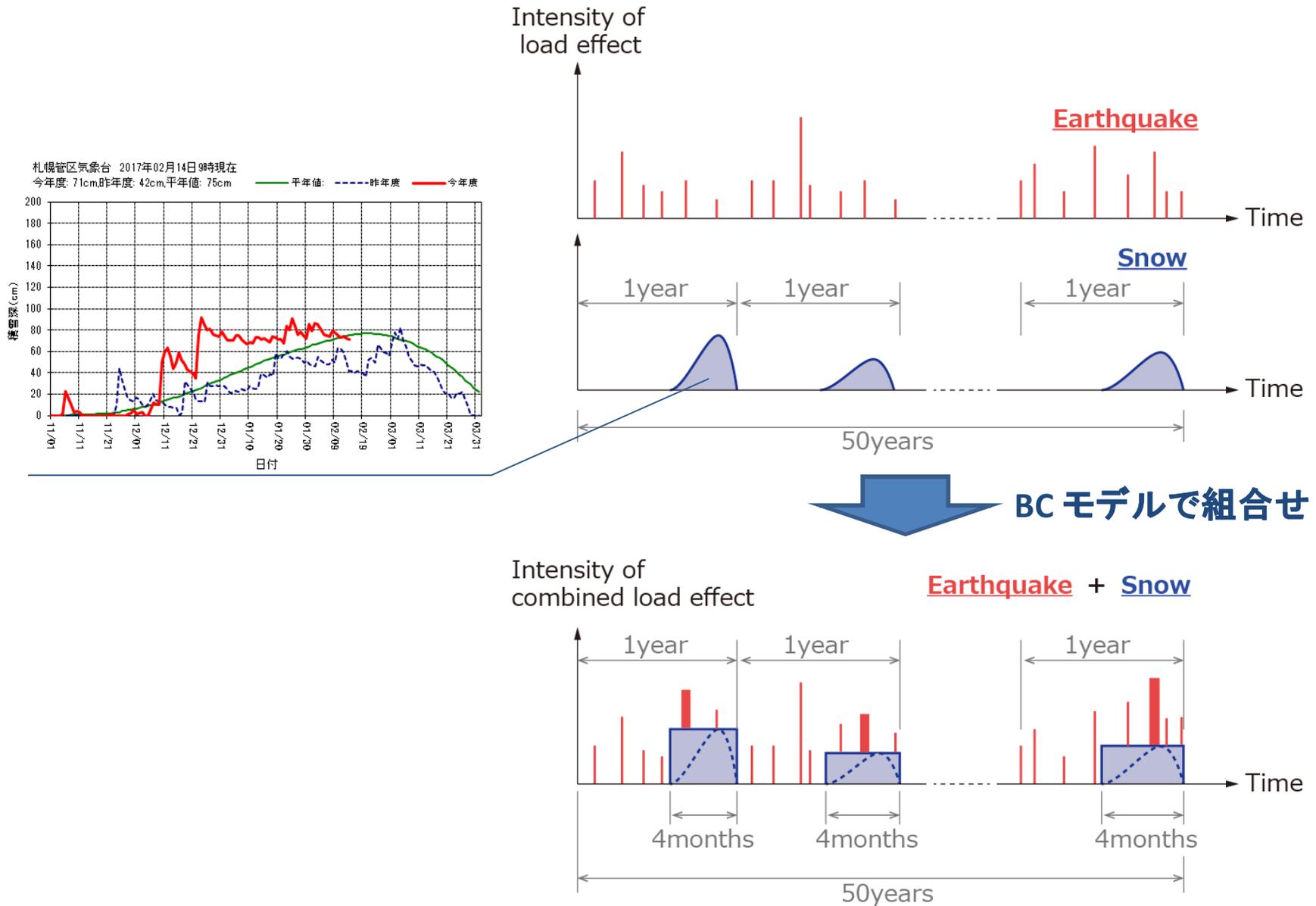


- $H'_{EN}(v)$: 地震ハザード曲線によるN年超過確率✖
- $H'_{E1}(v)$: 地震ハザード曲線による年超過確率✖
- $H_{SN}(s)$: 積雪ハザード曲線によるN年超過確率
- $H_{S1}(s)$: 積雪ハザード曲線による年超過確率

✖雪荷重の最大値の確率分布関数が1年のうちの4か月程度の期間で決定する為、

$$H'_{EN}(v) = 1 - [1 - H_{EN}(v)]^{1/3} \quad H'_{E1}(v) = 1 - [1 - H_{E1}(v)]^{1/3}$$

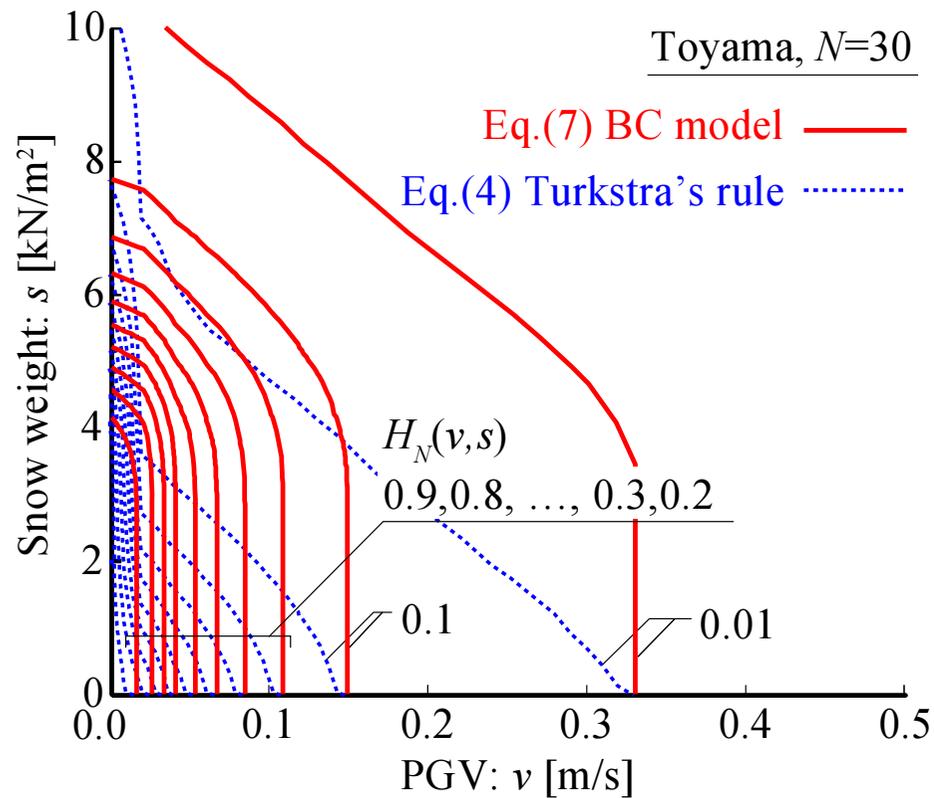
2-2-2 地震と雪の組合せ



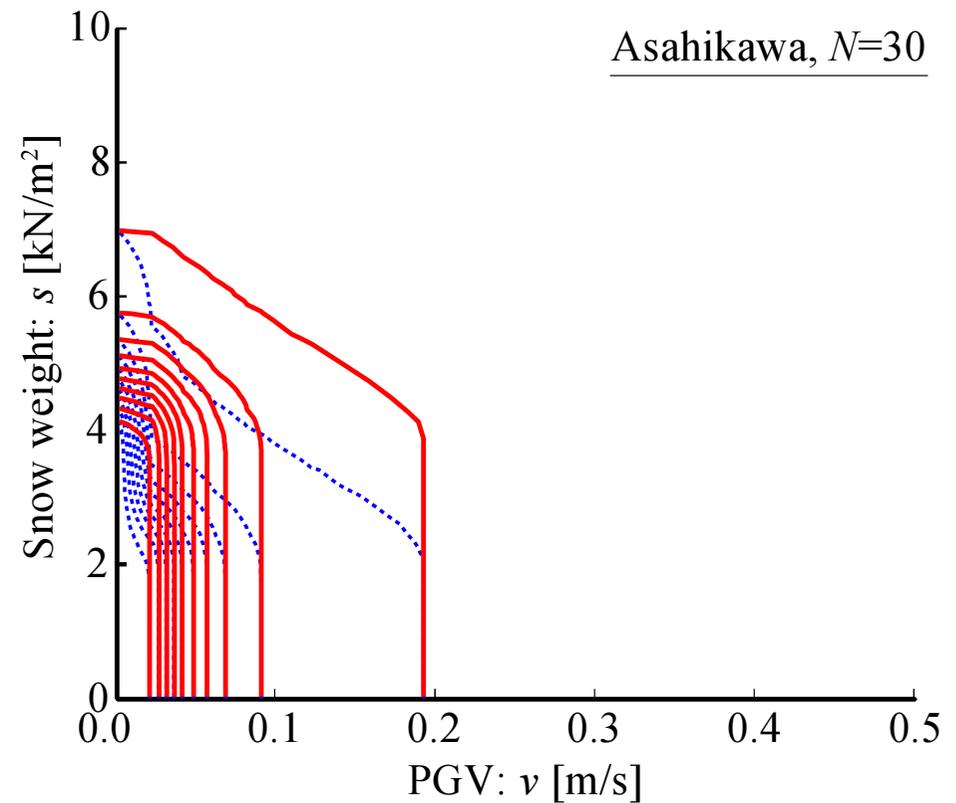
2-2-2 地震と雪の組合せ

10

解析対象地域①, ②における評価期間30年の地震と雪の同時超過確率分布



解析対象地域①: 富山市



解析対象地域②: 旭川市

2-3 入力地震動の設定

11

被害のない小さな入力地震動から、被害が生じる大きな入力地震動を用意して、フラジリティ曲面を作成する

レベル1(L=1, 稀に発生する地震動) から
 レベル2(L=2, 極めて稀に発生する地震動) まで
 Lを等間隔に漸増させ, 1000波の模擬地震動を作成

模擬地震動作成は下記を参考とする

国土交通省建築研究所:改正建築基準法の構造関係規定の技術的背景
 建設省建築研究所・財団法人日本建築センター:設計用入力地震動作成手法技術指針(案)

[各種パラメータ]

継続時間: 60L 秒

時刻歴の包絡線

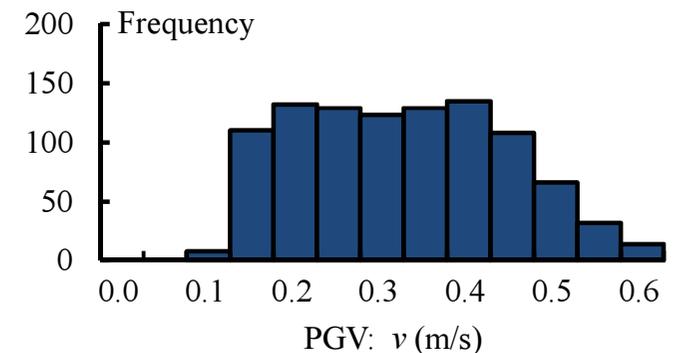
加速度一定の区間が始まる時刻: 5 秒(レベルによらず一定)

加速度一定の区間が終わる時刻: 10L + 15 秒

加速度減衰区間の指数関数の係数: $\ln(10) / (50L - 15)$

目標加速度応答スペクトルの増幅倍率: $4L - 3$

上下動: 目標加速度応答スペクトルの増幅倍率を水平動の1/2とし, 水平動とは異なる乱数のランダム位相



作成した模擬地震動のPGVヒストグラム

5 まとめ

(1) 大スパン鋼構造建物を対象として、地震と雪の荷重組合せを検討し、建築基準法とは異なる荷重組合せの必要性を考察した。

- ・ 構成部材に作用する最大応力度から建物被害を推定し、対数正規分布で各荷重と被害率の関係を表すことで地震と雪の組合せによるフラジリティ曲面を示した。
- ・ 地震動と雪のハザード曲面とフラジリティ曲面から、建築基準法の規定以外の組合せの検討の必要性を指摘した。