

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	弾性すべり支承を有する超高層免震建物を対象とした弾性応答におけるスペクトルモーダル法による組合せ風荷重の予測 その2 予測手法の精度検証
Title(English)	Prediction of combined wind loads using the spectral modal method for elastic response of a high-rise seismically isolated building with elastic sliding bearings Part 2 Accuracy verification of prediction method
著者(和文)	立元拓, 佐藤大樹, 陳引力, 稲井慎介, 桑素彦, 川又哲也, 得能将紀, 丸尾純也, 三須基規
Authors(English)	Taku Tatsumoto, Daiki Sato, Yinli Chen, Shinsuke Inai, Motohiko Kuwa, Tetsuya Kawamata, Masaki Tokuno, Junya Maruo, Motoki Misu
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 429-432
Citation(English)	, , , pp. 429-432
発行日 / Pub. date	2025, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

弾性すべり支承を有する超高層免震建物を対象とした弾性応答における スペクトルモーダル法による組合せ風荷重の予測

その2 予測手法の精度検証

構造—振動

組合せ風荷重 スペクトルモーダル法
弾性すべり支承 耐風設計

正会員 ○ 立元拓*1
〃 陳引力*3
〃 桑素彦*5
〃 得能将紀*6
〃 三須基規*6

正会員 佐藤大樹*2
〃 稲井慎介*4
〃 川又哲也*5
〃 丸尾純也*4

1 はじめに

本報その1では、スペクトルモーダル法を用いたランクA応答時の組合せ風荷重の予測手法について提案した。本報その2では、まず、スペクトルモーダル法に基づいた組合せ風荷重を用いて、ランクAの応答となる設計風速を予測する。さらに、予測した設計風速時のスペクトルモーダル法に基づく組合せ風荷重と免震層せん断力の時刻歴解析結果を比較することで、本報その1で提案した組合せ風荷重の予測手法の精度検証を行う。

2 ランクAとなる設計風速の予測

本報その1で示した予測手法を用いて、各モデルでのランクAとなる設計風速を推定する。各モデルの最大風荷重 W_{max} を(1)式により推定することで、各モデルの最大ベースシア係数 $C_{B,max}$ を(2)式のように算出する。

$$W_{max} = \text{Max}(W_{r1}, W_{r2}, W_{r3}, W_{r4}) \quad (1)$$

$$C_{B,max} = \frac{W_{max}}{W_u} \quad (2)$$

ここで、 W_{ri} ：各組合せ風荷重の原点から距離(図1)を表す。

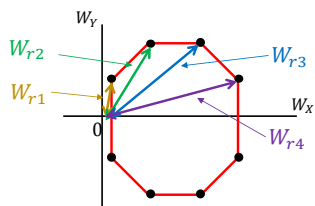
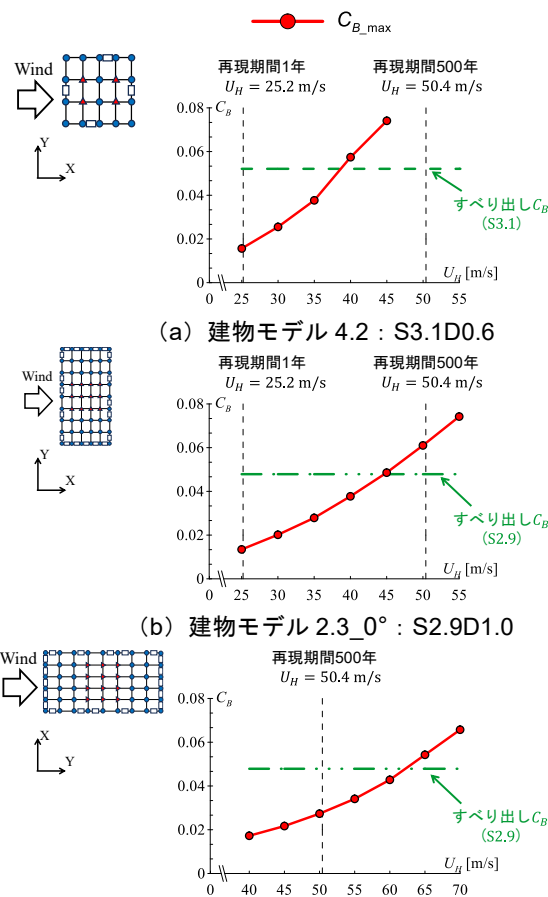


図1 各組合せ風荷重の原点から距離

各建物モデルの免震層のうち、弾性すべり支承とオイルダンパーの数が最も少なく、最も小さな設計風速 U_H で弾性すべり支承のすべり出しが予測されるモデル(建物モデル4.2 : S3.1D0.6, 建物モデル2.3_0° : 2.9D1.0, 建物モデル

2.3_90° : S2.9D1.0)における風外力作用時の最大ベースシア係数 $C_{B,max}$ と設計風速 U_H の関係を図2に示す。また、図2には、弾性すべり支承がすべり出す際のベースシア係数を併記している。



(a) 建物モデル 4.2 : S3.1D0.6
(b) 建物モデル 2.3_0° : S2.9D1.0
(c) 建物モデル 2.3_90° : S2.9D1.0
図2 設計風速とベースシア係数の関係

Prediction of combined wind loads using the spectral modal method for elastic response of a high-rise seismically isolated building with elastic sliding bearings
Part 2 Accuracy verification of prediction method

Taku Tatsumoto, Daiki Sato, Yinli Chen,
Shinsuke Inai, Motohiko Kuwa, Tetsuya Kawamata,
Masaki Tokuno, Junya Maruo, Motoki Misu

図 2 から建物モデル 4.2 の S3.1D0.6 の場合，設計風速 35 m/s の際に最大ベースシア係数はすべり出しベースシア係数を下回り，ランク A の応答となることが予測される。同様に建物モデル 2.3_0° の S2.9D1.0 の場合では，設計風速 40 m/s，建物モデル 2.3_90° の S2.9D1.0 の場合では，設計風速 60 m/s の際に最大ベースシア係数はすべり出しベースシア係数を下回り，ランク A の応答となることが予測される。そのため，3，4，5 章では，これらの設計風速を用いて，本報その 1 で提案した組合せ風荷重の予測手法の精度検証を行う。

3 免震層の変位の標準偏差の比較

図 3～5 にスペクトルモーダル法により得られた免震層の変位のパワースペクトル密度 ${}_1S_{eq0}(f)$ と時刻歴解析による免震層の応答変位のパワースペクトル密度 $S_{THA0}(f)$ の比較を示す。図 3～5 からいずれのモデルにおいても振動数が高い領域を除いて，概ね一致していることが確認できる。また，表 1 にスペクトルモーダル法により得られた ${}_1S_{eq0}(f)$ より算出した標準偏差 σ_{InM} と時刻歴解析値より算出した免震層の応答変位の標準偏差 σ_{THA} の比較を示す。なお，表 1 には，ホワイトノイズを仮定した場合の荷重指針に基づく標準偏差 σ_{RLB} (式 (3)) と標準偏差 σ_{THA} の比較を併記する。

$$\sigma_{RLB} = \mu(Z) \frac{\sigma_{\bar{F}}}{M_L (2\pi {}_1f_{eq})^2} \sqrt{1 + \frac{\pi}{4} \frac{{}_1f_{eq} S_{\bar{F}}({}_1f_{eq})}{\sigma_{\bar{F}}^2}} \quad (3)$$

ここで， $\sigma_{\bar{F}}$ ：モーダル風力の標準偏差を表す。

表 1 から標準偏差 σ_{InM} と標準偏差 σ_{THA} の誤差は，最大で約 10% 程度であり，いずれのモデルにおいても，標準偏差 σ_{InM} ， σ_{THA} は概ね一致していることが確認できる。また表 1 より，標準偏差 σ_{RLB} と標準偏差 σ_{THA} の誤差は，最大で約 30% 程度のあり，モデルによって誤差がみられることが確認できる。そのため，ホワイトノイズを仮定しない標準偏

差 σ_{InM} を用いて組合せ風荷重の予測を行う。

4 ピークファクターの比較

表 2 に各モデルの荷重指針に基づき算出したピークファクター g_{RLB} (式 (4)) と時刻歴解析により算出したピークファクター g_{THA} の比較を示す。

$$g_{RLB} = \sqrt{2 \ln(600 {}_1f_{eq})} + 1.2 \quad (4)$$

表 2 より，いずれのモデルも荷重指針に基づく g_{RLB} は g_{THA} に比べて過小評価しており，特に建物モデル 2.3_90° において誤差が大きくなっているものの，全体として誤差は 20% 程度であることが確認できる。

5 スペクトルモーダル法に基づく組合せ風荷重の評価

図 6～8 に時刻歴解析において 3 方向の風外力を加えた際の各方向の免震層のせん断力 (X 方向： Q_{0X} ，Y 方向： Q_{0Y}) の最大値，最小値をプロットしたものとスペクトルモーダル法に基づく組合せ風荷重の比較を示す。プロットは○が風方向の最大または最小となる点，△が風直交方向の最大または最小となる点を表す (附録 B)。また比較として，荷重指針に基づく組合せ風荷重 W ($\xi_{All} = 0.01, 0.02, 0.1$) を併記する。なお，建物モデル 2.3 では，アスペクト比が 3 未満かつ免震層の応答ランクがランク A となるため，簡便法に基づく組合せ荷重となる¹⁾。また，図中の破線は免震層のすべり出し荷重を示しており，0 と風方向荷重の平均 W_{mean} を中心とした二つの円である。また，表 3 に各方向の免震層せん断力の時刻歴解析値のアンサンブル平均値 W_{THA} (各方向において，+，- それぞれのアンサンブル平均値を算出し，絶対値が大きい値を用いる) に対するスペクトルモーダル法による風荷重 W_{InM} の比 W_{InM}/W_{THA} を示す。図 6～8 および表 3 より，スペクトルモーダル法による風荷重 W_{InM} は，時刻歴解析値 W_{THA} と比べて誤差は約 10% となっており，いずれのモデルにおいても， W_{InM} と W_{THA} は概ね一致していることが確認できる。

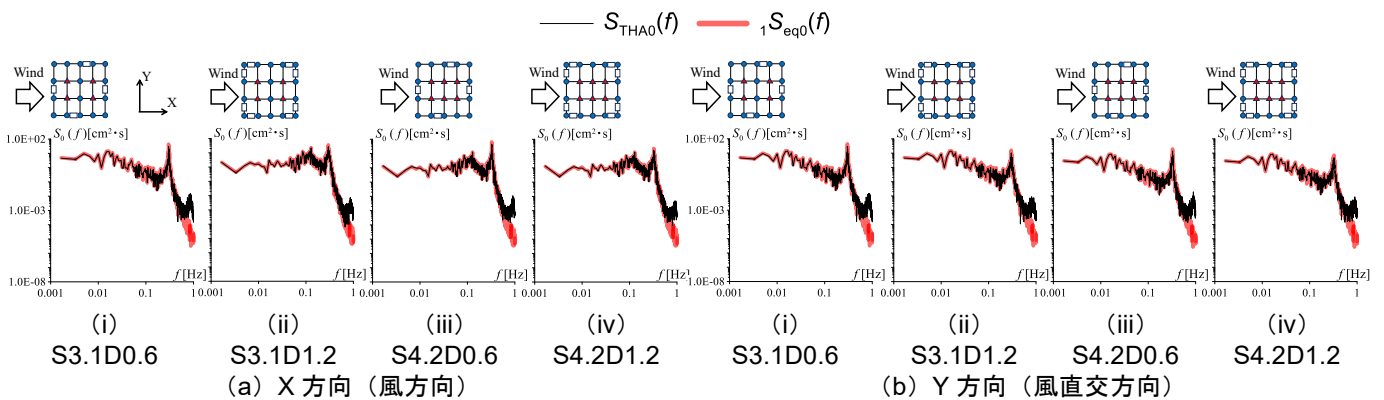


図 3 免震層の変位の PSD 比較 (建物モデル 4.2, $U_H = 35$ m/s)

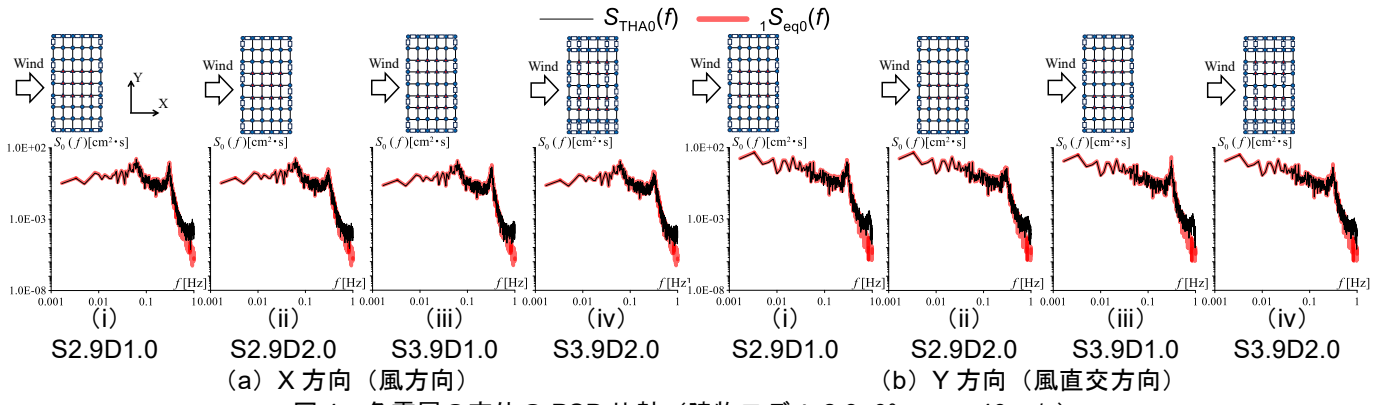


図4 免震層の変位の PSD 比較 (建物モデル 2.3_0°, $U_H = 40$ m/s)

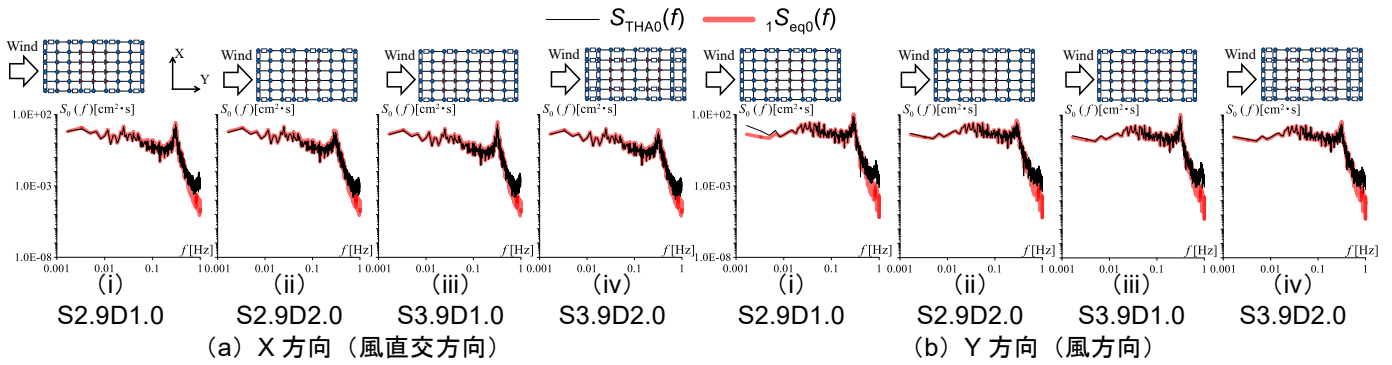


図5 免震層の変位の PSD 比較 (建物モデル 2.3_90°, $U_H = 60$ m/s)

表1 標準偏差の比較

建物モデル		S3.1D0.6 S2.9D1.0		S3.1D1.2 S2.9D2.0		S4.2D0.6 S3.9D1.0		S4.2D1.2 S3.9D2.0	
		X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
4.2	$\sigma_{InM}/\sigma_{THA}$	1.08	1.06	1.07	1.07	1.05	1.06	1.05	1.06
	$\sigma_{RLB}/\sigma_{THA}$	1.21	0.89	1.17	0.88	0.90	0.98	0.92	0.96
2.3_0°	$\sigma_{InM}/\sigma_{THA}$	1.07	1.07	1.07	1.06	1.08	1.06	1.06	1.05
	$\sigma_{RLB}/\sigma_{THA}$	1.03	0.97	1.03	0.97	1.04	1.04	1.03	1.01
2.3_90°	$\sigma_{InM}/\sigma_{THA}$	1.06	1.11	1.07	1.10	1.07	1.10	1.06	1.10
	$\sigma_{RLB}/\sigma_{THA}$	0.92	1.24	0.93	1.22	1.08	1.29	1.04	1.27

表2 ピークファクターの比較

建物モデル		S3.1D0.6 S2.9D1.0		S3.1D1.2 S2.9D2.0		S4.2D0.6 S3.9D1.0		S4.2D1.2 S3.9D2.0	
		X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向	X 方向	Y 方向
4.2	g_{RLB}/g_{THA}	0.92	0.88	0.91	0.89	0.98	0.94	0.93	0.89
2.3_0°	g_{RLB}/g_{THA}	0.90	0.95	0.91	0.96	0.96	0.92	0.95	0.93
2.3_90°	g_{RLB}/g_{THA}	0.84	0.78	0.84	0.78	0.88	0.89	0.84	0.82

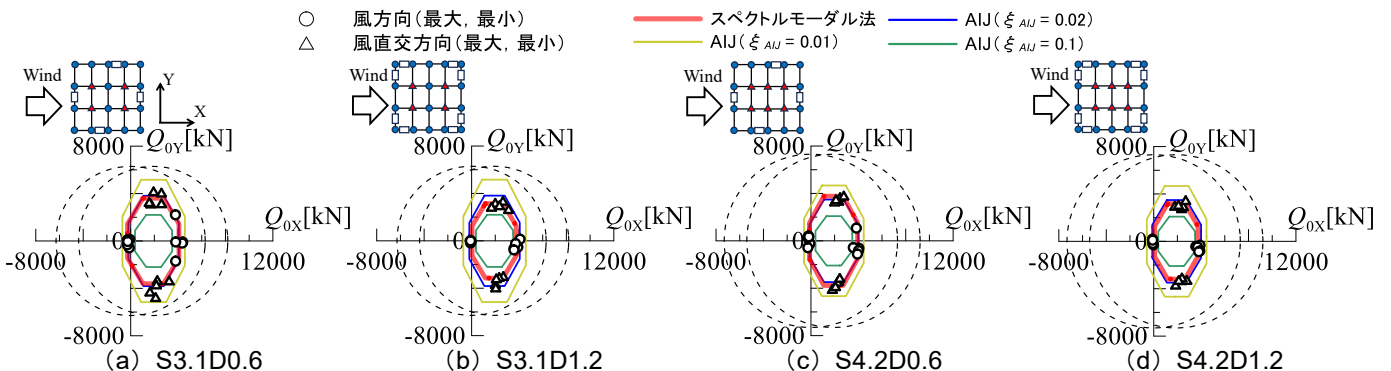


図6 組合せ風荷重と免震層せん断力の関係 (建物モデル 4.2, $U_H = 35$ m/s)

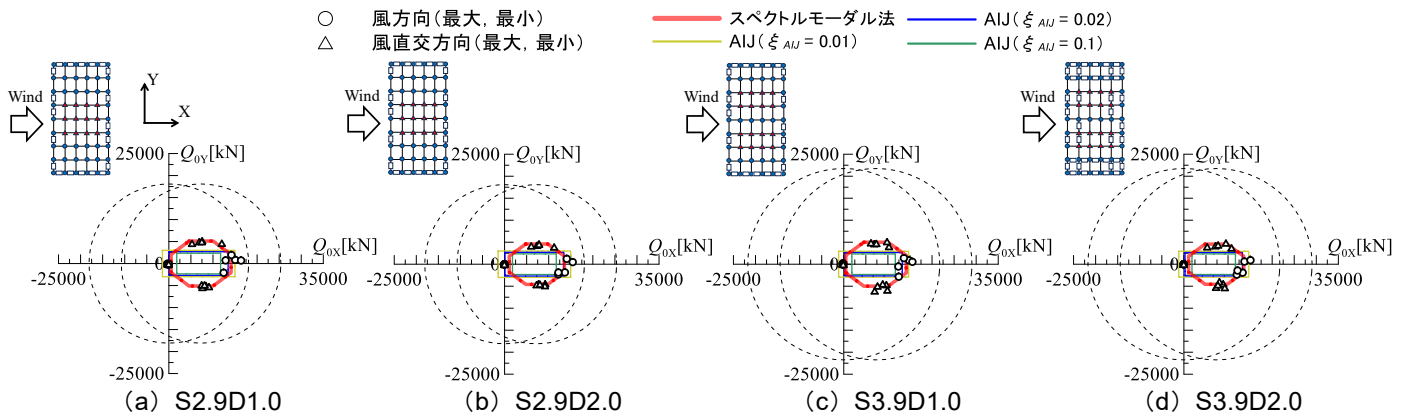


図7 組合せ風荷重と免震層せん断力の関係 (建物モデル 2.3_0°, $U_H = 40$ m/s)

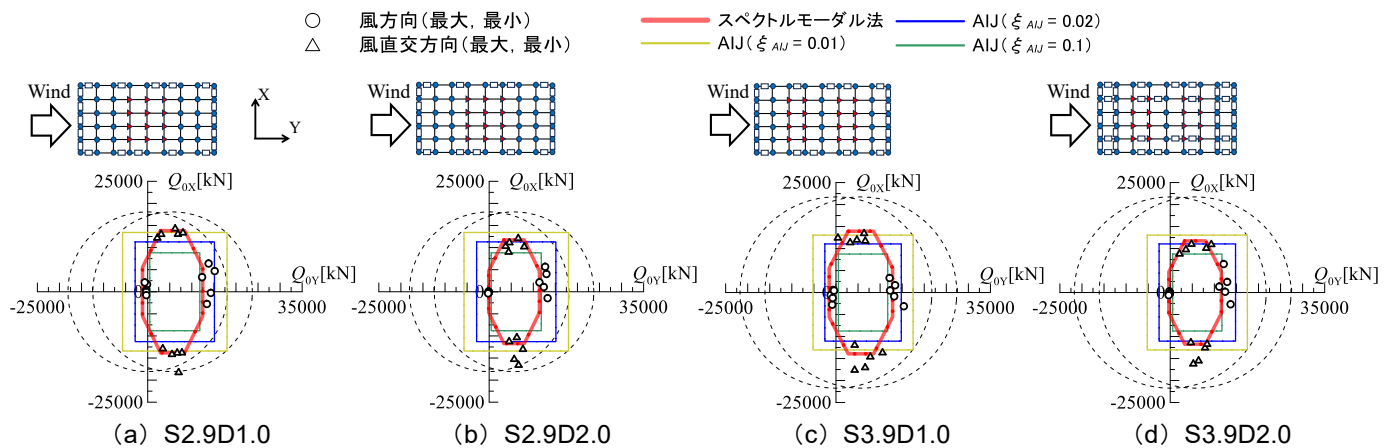


図8 組合せ風荷重と免震層せん断力の関係 (建物モデル 2.3_90°, $U_H = 60$ m/s)

表3 組合せ風荷重の比較

建物モデル		S3.1D0.6 S2.9D1.0		S3.1D1.2 S2.9D2.0		S4.2D0.6 S3.9D1.0		S4.2D1.2 S3.9D2.0	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向	X方向	Y方向
4.2	W_{InM}/W_{THA}	1.01	0.93	1.00	0.94	1.01	1.06	0.99	0.96
2.3_0°	W_{InM}/W_{THA}	1.00	1.01	1.00	1.00	1.03	0.96	1.02	0.96
2.3_90°	W_{InM}/W_{THA}	0.96	0.90	0.90	0.91	0.94	0.97	0.88	0.93

6 まとめ

本報その2では、ランクAの応答となる設計風速の予測を行い、スペクトルモーダル法に基づく組合せ風荷重の予測手法の精度検証を行った。スペクトルモーダル法による風荷重 W_{InM} は、時刻歴解析値 W_{THA} と比べて誤差は約10%となっており、いずれのモデルにおいても、 W_{InM} 、 W_{THA} は概ね一致していることを確認した。本報その3では、スペクトルモーダル法に基づき予測した組合せ風荷重

を用いて、再現期間50~1000年の設計風速の風外力に対してランクAおよび最大風荷重がすべり出し荷重を上回る免震層の設計を行う。また、設計した免震層でのせん断力の時刻解析結果を確認することで、応答を予測した免震層の設計が可能であるかを確認する。

参考文献は本報その3に併せて示す。

*1 東京科学大学環境・社会理工学院 大学院生

*2 東京科学大学 総合研究院 准教授・博士(工学)

*3 東京科学大学 総合研究院 助教・博士(学術)

*4 戸田建設株式会社 技術研究所

*5 戸田建設株式会社 構造設計部

*6 SWCC株式会社

Grad. Student, School of Environment and Society, Institute of Science Tokyo

Associate Professor, IIR, Institute of Science Tokyo, Dr. Eng.

Assistant Professor, IIR, Institute of Science Tokyo, Ph.D.

Technology Research Institute, TODA Corporation

Structural Design Department, TODA Corporation

SWCC Corporation