

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	時刻歴応答解析に基づくオイルダンパーの減衰力が超高層免震建物の風応答に及ぼす影響の検討
Title(English)	Effects of damping force by oil dampers on wind response of high-rise seismically isolated building
著者(和文)	松本彩愛, 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)	Ayame Matsumoto, 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, 1, , pp. 377-380
Citation(English)	, 1, , pp. 377-380
発行日 / Pub. date	2026, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

時刻歴応答解析に基づく

オイルダンパーの減衰力が超高層免震建物の風応答に及ぼす影響の検討

構造—振動

超高層免震建物 時刻歴応答解析
弾性すべり支承 オイルダンパー

準会員 ○ 松本彩愛*1 正会員 佐藤大樹*2
正会員 陳引力*3 // 稲井慎介*4
// 桑素彦*5 // 川又哲也*5
// 得能将紀*5 // 丸尾純也*4
// 三須基規*6

1 はじめに

近年、技術の進歩により、超高層建物への免震構造の適用事例が増加している。免震構造は、地震時における上部構造への入力エネルギーを低減することが可能である。一方で、風外力は建物の高層化によって増大し、長周期側で顕著なエネルギーをもつという特徴を有している。そのため、免震層のダンパーが大きな変形を受け、免震層が弾性範囲を超える可能性が指摘されている。日本免震構造協会¹では、免震層の応答に基づきランクを設定しているが風外力に対する免震層特性の影響については十分な検討がなされていない。そこで本報では、免震層特性の違いが風応答に及ぼす影響を時刻歴応答解析に基づき検討する。ここでは、天然ゴム系積層ゴム、弾性すべり支承を設置した高さ 100 m の超高層免震建物を対象にして、オイルダンパーの 1 次減衰係数による応答の変化に着目する。

2 解析モデル概要

本論文では、地上 25 階 ($N = 25$)、高さ $H = 100$ m の異なる平面形状をもつ 2 つの超高層免震建物の立体モデルを用いる²⁾。モデル 4.2 は、建物幅 $B = 24$ m、建物奥行 $D = 24$ m、アス

ペクト比 $H/\sqrt{BD} = 4.2$ 、モデル 2.3 は、建物幅 $B = 64$ m、建物奥行 $D = 30$ m、アスペクト比 $H/\sqrt{BD} = 2.3$ である。図 1 に建物モデルの全体俯瞰図、表 1 に建物モデルの諸元を示す。上部構造には上部構造の 1 次固有周期に対して減衰定数 $h_u = 2\%$ となる剛性比例型減衰を設定する。免震層は天然ゴム系積層ゴム支承 (NRB)、弾性すべり支承 (ESB)、オイルダンパー (OD) で構成される。図 2 に免震層の配置を示す。免震層の設定は文献²⁾と同様にし、ここでは OD2 と呼ぶ。本報では、オイルダンパーの 1 次減衰係数の違いが風応答に与える影響を検討するために、OD2 の 1 次減衰係数を 0.5 倍 (OD1)、2 倍 (OD3) としたモデルと、免震層に OD を有さないモデル (OD0) の 4 モデルを用いる。

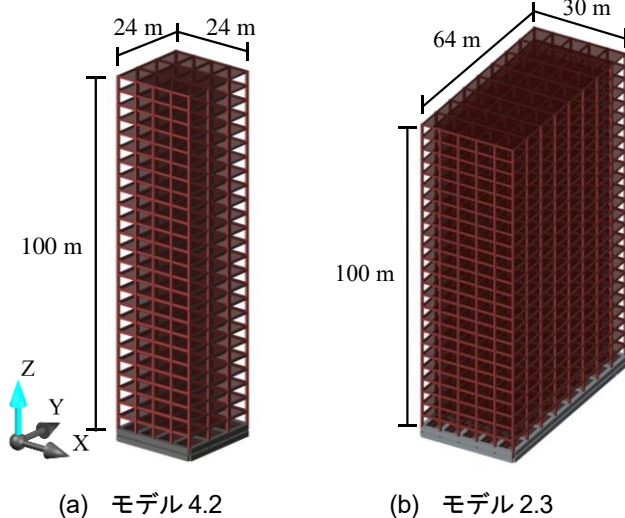


図 1 建物モデル

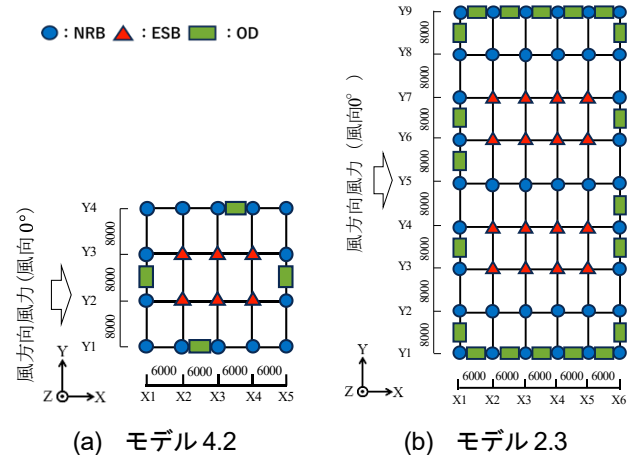


図 2 免震層配置図

表 1 建物モデル諸元

モデル		4.2	2.3	
上部構造	重量 W_u [kN]	120796	377693	
	密度 ρ_u [kg/m ³]	214	201	
	固有周期	T_{ux} [s]	2.21	2.21
		T_{uy} [s]	2.19	2.01
T_{uz} [s]		1.87	2.00	
減衰定数 ξ_u		0.02		
免震層	重量 W_b [kN]	12715	38717	
	密度 ρ_b [kg/m ³]	2253	2058	

Effects of damping force by oil dampers on wind response of high-rise seismically isolated building

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

表 2～4 に NRB, ESB, OD それぞれの諸元の値²⁾を示す。ESB のすべり出しせん断力係数 α_s , OD のリリースせん断力係数 α_D , 免震層の固有周期 T_b は次式で算出される。

$$\alpha_s = Q_{ESB0}/(W_u + W_b) \quad (1)$$

$$\alpha_D = Q_{OD0}/(W_u + W_b) \quad (2)$$

$$T_b = 2\pi\sqrt{(W_u + W_b)/(K_{NRB} \cdot g)} \quad (3)$$

ここで、 Q_{ESB0} : ESB のすべり出し荷重, Q_{OD0} : OD のリリース荷重, W_u : 上部構造の重量, W_b : 免震層の重量, g : 重力加速度を表す。なお、弾性すべり支承は速度依存性を有し、低速度においてすべり出し荷重が低下することが確認されているが³⁾、本報ではダンパー量が風応答に与える影響を確認することを目的としているため、ここでは、すべり出し荷重は速度依存を有しない一定値としてモデル化する。また、弾性すべり支承の摩擦係数は、耐震設計において規定される面圧 20 MPa, すべり速度 40 cm/s における値を使用する。

表 2 天然ゴム系積層ゴム (NRB) 諸元

ゴム外径 [cm]	有効断面積 [cm ²]	ゴム総厚 [cm]	水平剛性 K_{NRB} [kN/cm]
95	7070	18.5	16.9

表 3 弾性すべり支承 (ESB) 諸元

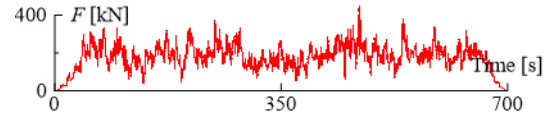
ゴム外径 [cm]	有効断面積 [cm ²]	水平剛性 K_{ESB} [kN/cm]	摩擦係数
90	6346	124	0.094

表 4 オイルダンパー (OD) 諸元 (OD2)

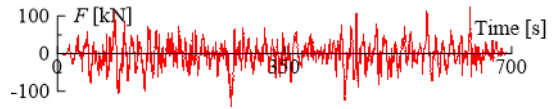
1次減衰係数 [kN・s/cm]	2次減衰係数 [kN・s/cm]	リリース荷重[kN]	リリース速度[cm/s]
12.5	0.85	400	32

3 風外力概要

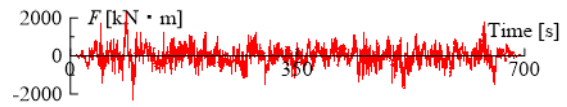
風外力は、風洞実験結果⁴⁾を用い、風方向、風直交方向、ねじり方向の3方向同時入力とする。風向は、0°とし、X方向が風方向、Y方向が風直交方向とする(図2)。風洞実験により得られた風圧力時刻歴データを、建物モデルの高さ、基準風速 $U_0 = 36$ m/s, 頂部風速 $U_H = 50.4$ m/s, 再現期間500年, 地表面粗度区分Ⅲでの風外力の変換を行った。その後、負担面積に応じた補間により上部構造の床位置に作用する層風力に変換した。1組につき0.05秒刻みの700秒とし、5組取り出した(Wave1~Wave5)。さらに、本報では、過渡応答の影響を避けるため、各波形の前後に50秒のエンベロープを設け、その間の600秒(10分間)を用いた。図3に、モデル2.3の25層目の層風力の時刻歴波形(Wave1)を示す。図3(a)より、風方向風力は平均成分を有することが分かる。



(a) 風方向



(b) 風直交方向



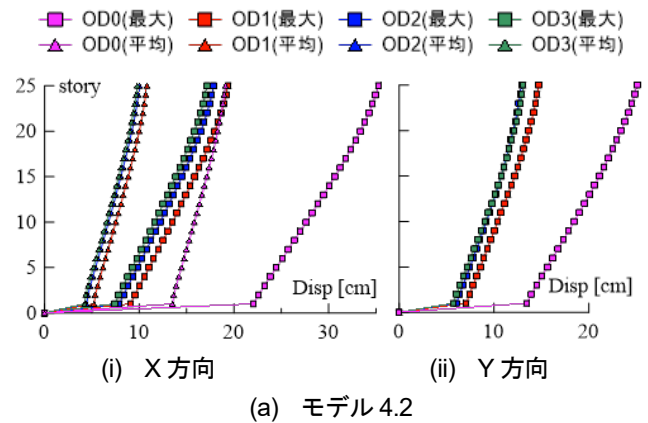
(c) ねじり方向

図3 層風力の時刻歴波形(モデル2.3, 25層目, Wave1)

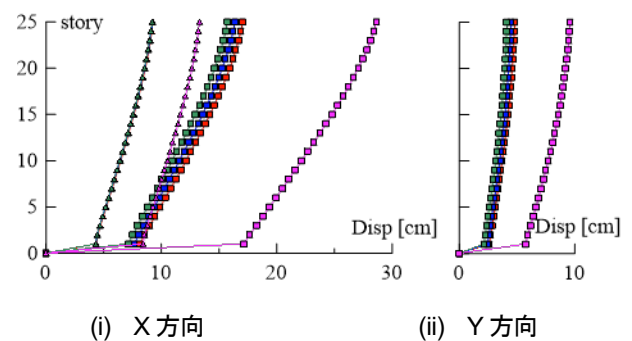
4 時刻歴応答解析結果

4.1 上部構造の応答について

本報では、5波のアンサンブル平均値で解析結果を評価する^{5),6)}。モデル4.2, モデル2.3における上部構造の最大変位および風方向(X方向)の平均変位の高さ方向分布を図4, 最大加速度の高さ方向分布を図5にそれぞれ示す。図4, 5より、OD1~3の最大変位, 最大加速度は、オイルダンパーの1次減衰係数が増加に伴い減少するが、X方向の平均変位は減少しないことが確認できた。一方、OD0の場合、最大変位, 最大加速度は大きな値を示し、かつ平均変位は他のモデルと異なっていることが確認できる。



(a) モデル4.2



(b) モデル2.3

図4 最大変位, 平均変位の高さ方向分布

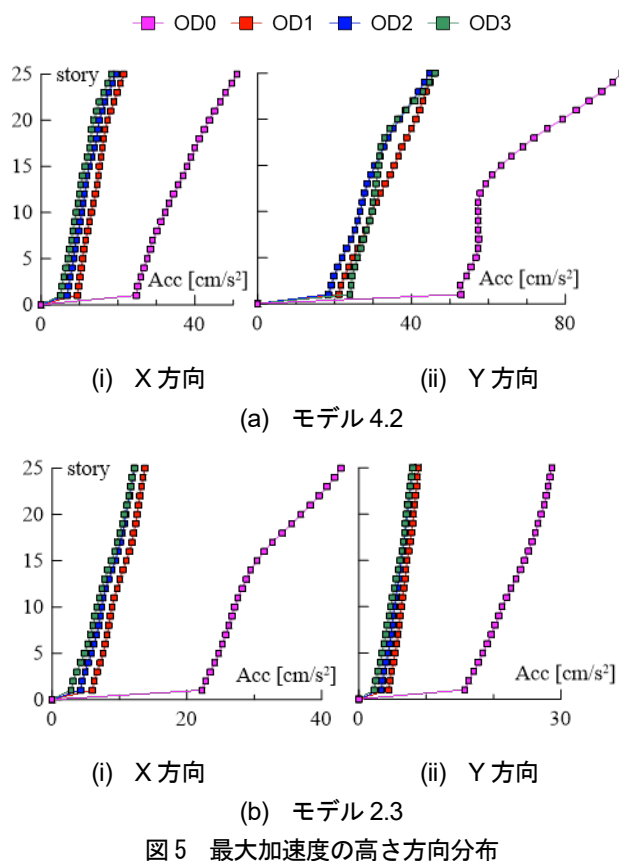


図5 最大加速度の高さ方向分布

モデル 4.2, モデル 2.3 における X 方向の変位の時刻歴波形 (25 層目, Wave1) を図 6, 7 にそれぞれ示す。図 6, 7 より, オイルダンパーを有する OD1 ~ 3 の場合, 変位に平均成分があるが, OD0 の場合, 平均変位が一定でなく, 非定常的な応答となることが確認できる。これは, OD0 が弾性範囲 (ランク A) を超えているため (図 9, 10, 後述) であると考えられる。

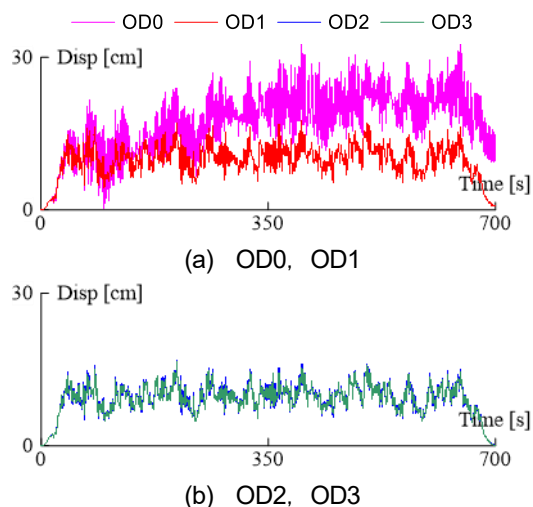


図6 X方向の変位の時刻歴波形 (モデル 4.2, 25 層目, Wave1)

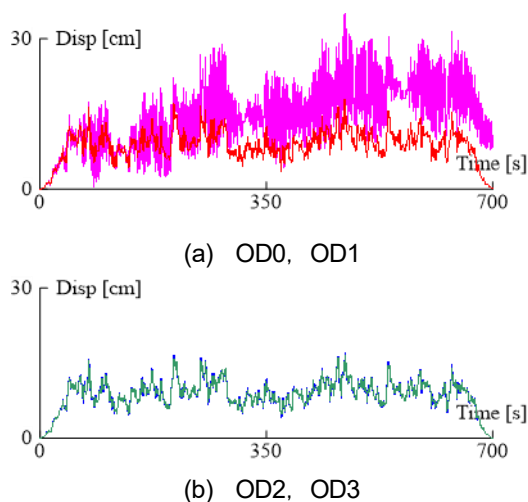


図7 X方向の変位の時刻歴波形 (モデル 2.3, 25 層目, Wave1)

4.2 免震層の応答について

免震層の最大せん断力を図 8 に示す。図 8 より, オイルダンパーの 1 次減衰係数の増加に伴い, OD1~3 の免震層の最大せん断力は X 方向・Y 方向ともに減少するが, OD0 の場合, 最大せん断力がすべり出し荷重を上回り, 免震層が弾性範囲を超えていることが確認できる。

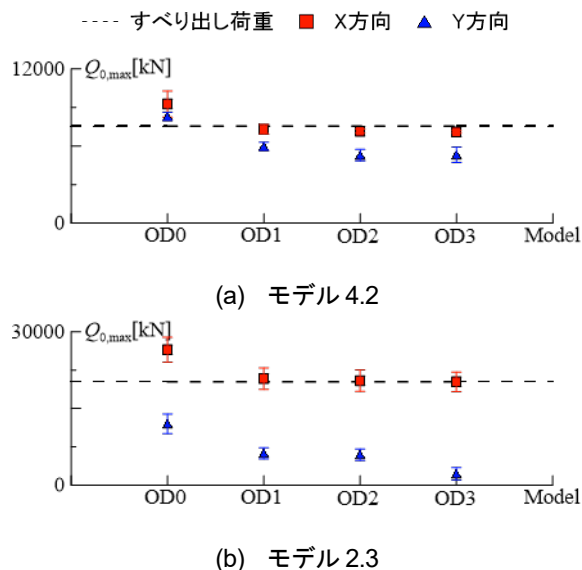


図8 免震層の最大せん断力とすべり出し荷重の比較

モデル 4.2, モデル 2.3 における OD0 と OD2 の免震層のせん断力とすべり出し荷重を図 9, 10 にそれぞれ示す。なお, 図 9, 10 の□のプロットは X 方向の最大せん断力, △のプロットは平均せん断力を意味する。図 9, 10 より, オイルダンパーの有無によらず, 平均せん断力は減少しないことが確認できた。免震層のせん断力は, OD0 の場合, すべり出し荷重を上回っており, 時刻によってばらつきが大きく, 非定常的であるが, OD2 の場合, オイルダンパーの減衰力によって減少し, すべり出し荷重を下回り, 応答が定常的であることが確認さ

れた。これらより、ランク A を超えた応答となる OD0 の場合、継続時間およびアンサンブル数が不十分であることがわかる。

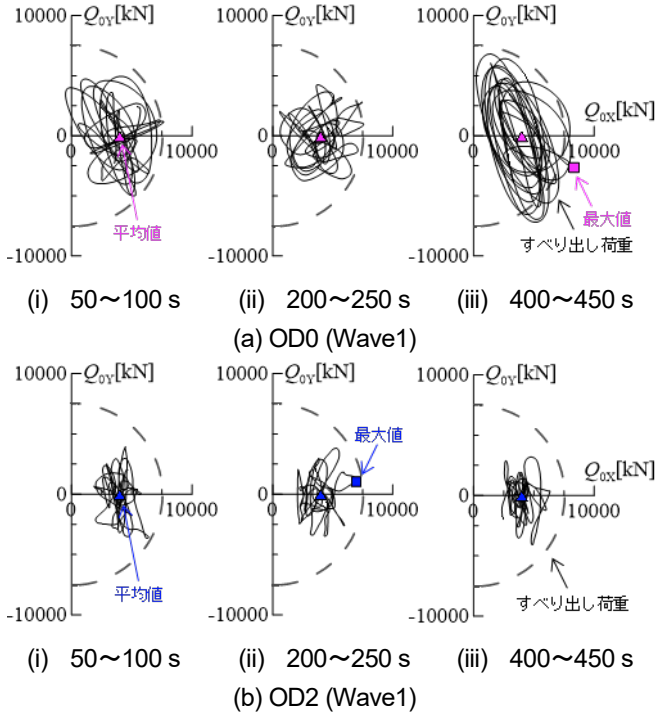


図9 免震層のせん断力とすべり出し荷重 (モデル 4.2)

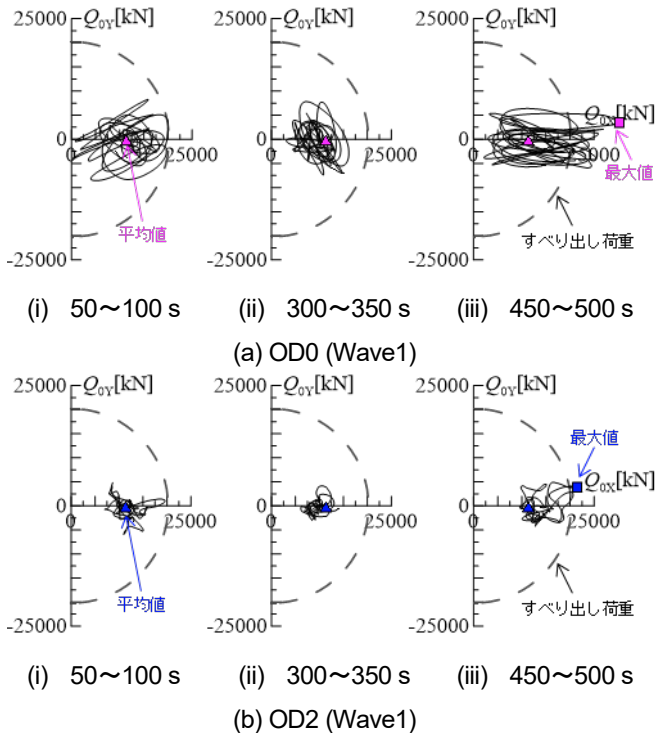


図10 免震層のせん断力とすべり出し荷重 (モデル 2.3)

- *1 東京科学大学 環境・社会理工学院 学部生
- *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

5 まとめ

本報では、オイルダンパーの減衰力の違いが風応答に及ぼす影響を時刻歴解析に基づき検討した。

オイルダンパーの減衰係数の増加に伴い、上部構造の最大変位、最大加速度および免震層の最大せん断力は減少するが、変位およびせん断力の平均成分は、オイルダンパーの減衰力により減少しないことを確認した。また、免震層の応答が弾性範囲を超える場合は、応答が定常的とならず、より長い継続時間およびより多くのアンサンブル数による評価が必要であることが分かった。

参考文献

- 1) 日本免震構造協会：免震建物の耐風設計指針 (2023), 2023.3
- 2) 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：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, 日本建築学会技術報告集, 第 31 巻, 第 79 号, pp.1211-1216, 2025.10
- 3) 佐藤大樹, 牧平康也, シガイ・アレックス, 三須基規, 稲井慎介, 桑素彦, 川又哲也, 石田琢志, 得能将紀, 丸尾純也：低速度領域における摩擦係数の変化を考慮した弾性すべり支承の解析モデルの構築, 日本建築学会構造系論文集, 第 89 巻, 第 821 号, pp.719-726, 2024.7
- 4) 立元拓, 佐藤大樹, 牧平康也, 稲井慎介, 桑素彦, 川又哲也, 得能将紀, 丸尾純也, 三須基規：荷重指針に基づく風応答時におけるベースシア係数の評価 その 1 風洞実験気流および風力特性に関する検討, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.473-476, 2024.3
- 5) 佐藤大樹, 齋藤元紀, 吉江慶祐, 大熊武司, 片桐純治, 北村春幸：アンサンブル平均数が風応答評価に及ぼす影響 その 1 既往論文に基づくアンサンブル平均数の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概, 構造-I, pp.259-260, 2016.8
- 6) 齋藤元紀, 佐藤大樹, 吉江慶祐, 大熊武司, 片桐純治, 北村春幸：風力のサンプル数が超高層免震建築物の弾塑性風応答評価に及ぼす影響, 日本建築学会技術報告集, 第 23 巻, 第 53 号, pp.65-70, 2017.2

- Undergraduate Student, 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 Division, TODA Corporation
- SWCC Corporation