

2004年9月5日紀伊半島南東沖の地震（Mj7.4）における建物応答性状

Earthquake Response of Buildings - Southeast of the Kii Peninsula Earthquake (Mj7.4) of Sept. 5, 2004 -

正会員 ○ 小島宏章

Hiroaki Kojima^{*1}

同 山崎靖典

Yasunori Yamasaki^{*2}

同 浜田栄太

Eita Hamada^{*2}

同 福和伸夫

Nobuo Fukuwa^{*3}

同 飛田潤

Jun Tobita^{*4}

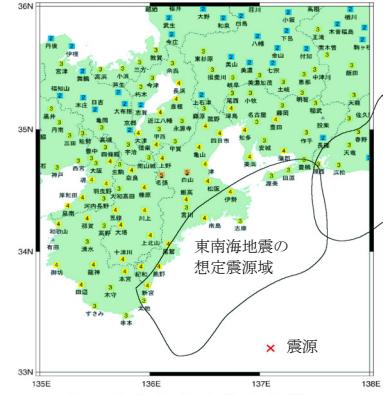
1. はじめに

2004年9月5日、紀伊半島南東沖を震源として、Mj6.8 (19:07) と Mj7.4 (23:57) の海洋性の地震が連続発生し、名古屋地区においても震度3~4の揺れが観測された^{1),2)}。2つの地震の震源はいずれも東南海地震の想定震源域³⁾に近く、長周期成分が卓越した、継続時間の極めて長い地震動であったが、幸い被害は少なかった。10月23日には新潟県中越地震が発生し、震源近傍では2,000galを越える極めて大きな加速度の地震動が観測され、甚大な被害が発生している。新潟県中越地震は活断層性の地震のため、震源近傍では短周期が卓越し、継続時間が短い地震動であったが、遠く離れた名古屋地区では長周期成分の卓越した記録が得られている。

日本各地で大規模な地震が発生しているにも拘わらず、東海地方の建物の耐震化は遅々として進んでいないのが現状である。しかし、東海・東南海・南海地震の発生は確実に迫っているため、ソフト・ハード両面からの対処が早急に要求される。9月に発生した紀伊半島南東沖の地震記録を分析することにより、建物の応答性状を把握

することは、東海・東南海地震発生時の建物被害を予測するという意味で極めて重要である。

そこで本論では、名古屋大学内の8棟の中低層建物⁴⁾⁷⁾で得られた地震記録を分析すると共に、名古屋市内で得られた地震記録⁸⁾を用いて、固有振動数と減衰定数が建物応答性状に及ぼす影響を検討する。



2. 地震記動の概要

本論では、23:57に発生した地震（Mj7.4）を対象とする。図1に震源位置とK-NET観測点での震度分布を東海・東南海地震の想定震源域と共に示す。

図2に名古屋市内で得られた地表

図1 紀伊半島南東沖の地震の震源位置¹⁾と東南海・南海地震の想定震源域³⁾

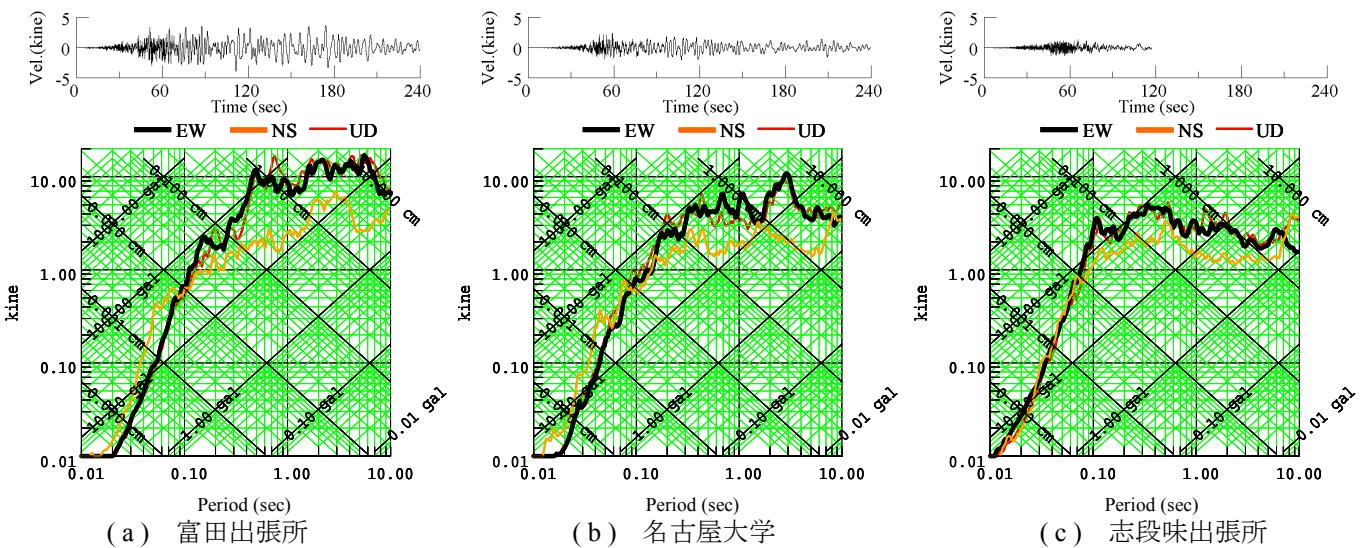


図2 名古屋市内の地震記録の速度波形とトリパティースペクトル

*1 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生・修士（工学）
日本学術振興会特別研究員

*2 名古屋大学大学院環境学研究科・大学院生

*3 名古屋大学大学院環境学研究科・教授・工博

*4 名古屋大学大学院環境学研究科・助教授・工博

*1 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., M. Eng.
Research Fellow of the Japan Society for the Promotion of Science

*2 Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.

*3 Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

*4 Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

の地震記録のトリパタイトスペクトルを示す。濃尾平野の地震基盤は、東から西に傾斜しているため、図2はこれに合わせて地震基盤の浅い志段味出張所を右に、深い富田出張所を左に示している。

富田出張所では5秒付近、名古屋大学では3秒付近が卓越している。この周期は、地震基盤深さ⁹⁾から決まる地盤の固有周期と良く対応している。また、この2地点では、表層地盤の重複反射によると思われる卓越が1秒以下にも現れており、高層建物の2次モードや中低層建物にも影響を及ぼしていると考えられる。

3. 中低層建物の地震応答性状

名古屋大学東山キャンパス内に立地する構造種別・階数の異なる8棟の建物で得られた地震記録の分析を行う。図3に建物頂部と1階で得られた記録の速度波形を建物毎に重ねて示す。また、図4に建物頂部・1階・地盤での、EW方向の速度フーリエスペクトルを示す。図3の速度波形が切れている部分では、データが得られていない。

S造10階建て建物は、他の建物に比べ1階の揺れが頂部で大幅に増幅しており、水平2方向で連成しながら振動している様子が明瞭に現れている。また、地震記録の継続時間も極めて長い。これは後続波部分においても揺れが増幅しているため、建物頂部で設定したストップトリガのレベルを下回るまでに長時間要したこと意味している。これに対し、同じ階数のSRC造10階建て建物では、揺れはそれほど増幅されていない。この原因として、上部構造そのものが持つ減衰と、建物と地盤との相互作用に伴う地下逸散減衰の差が影響と考えられる⁵⁾。

紀伊半島南東沖の地震は2Hz以下の成分が卓越していたため、固有振動数の高いRC系中低層建物は、主要動部分でのみ揺れが増幅し、長周期成分が主となる後続波部分ではほぼ剛体的に挙動している。RC造3階建ての建物においては、全時間区間で建物と地盤の揺れがほぼ等しくなっているこ

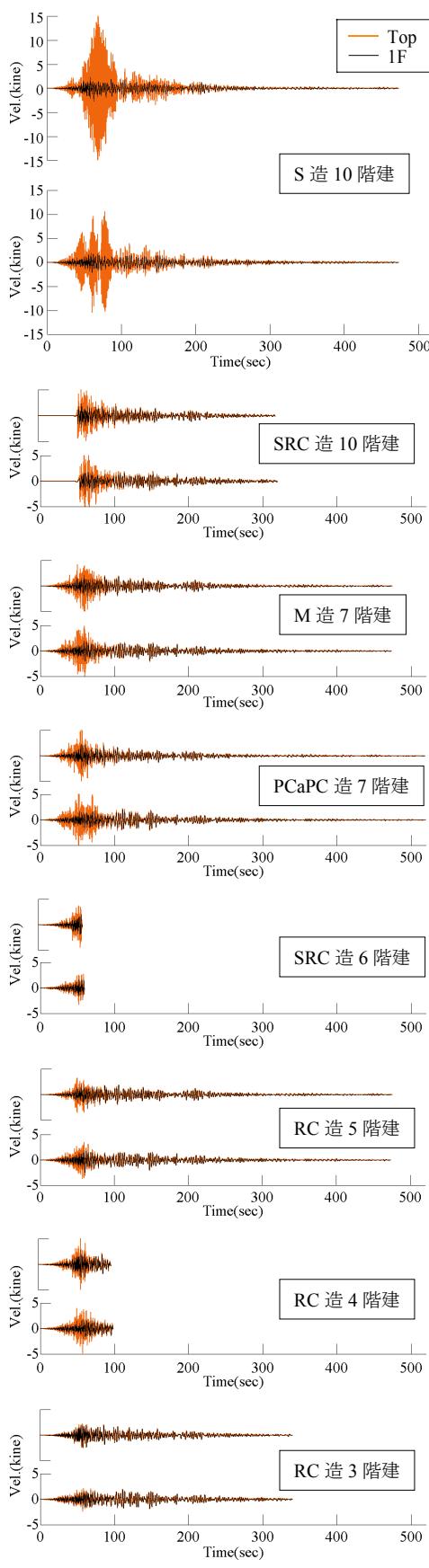


図3 観測速度波形（上：EW方向、下：NS方向）

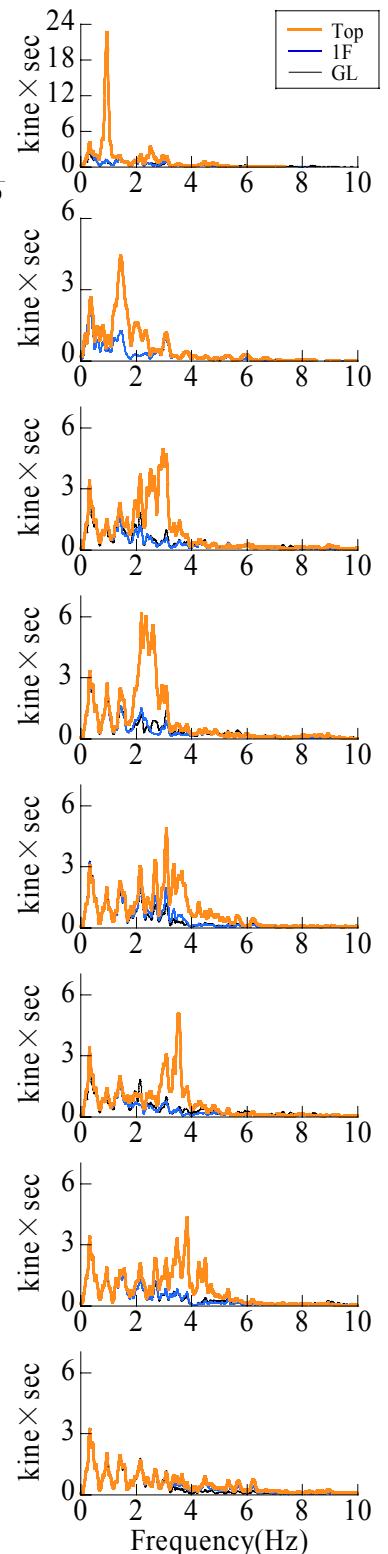


図4 速度フーリエスペクトル

とが図3, 図4から分かる。

3. 増幅特性と有効入力動

対象とした8棟の中低層建物の増幅特性と相互作用の影響を検討するために、地盤-建物連成系（Top/GL）とスウェイのみ拘束した基礎固定系（Top/1F）のEW方向のフーリエスペクトル比を図5に示す。但し、SRC造10階建て建物では地盤記録が得られていないため、Top/1Fのみを示す。

S造10階建て建物は他の建物に比べピークが高く、Top/1FとTop/GLのピーク振動数には差がほとんど認められないことからも、上部構造の減衰と相互作用効果がいずれも小さいことが分かる。PCaPC造7階建て建物は、Top/1Fのピーク高さが他のRC系建物よりも高いことから上部構造の減衰は小さめと考えられる。しかし、Top/GLのピーク高さは他の建物とほぼ同等で、Top/1Fの固有振動数と差が認められることから相互作用の影響が強いと考えられる。

入力損失効果を検討するために、EW方向の有効入力動（1F/GL）を図6に示す。建物基礎が大きなS造10階建て、PCaPC造7階建て、RC造5階建て建物では、高振動数成分で入力損失効果が認められる。しかし、紀伊半島南東沖の地震は、2Hz以下の振動数成分が長時間に渡って卓越していることから、実質的な入力損失効果は得られていないと考えられる。

5. 固有振動数と減衰定数が建物応答性状に及ぼす影響

名古屋市内の建物応答性状を検討するために固有振動数と減衰定数をパラメータとして、図2に示した3地点で得られた記録を用いて1質点系の応答解析を行った。図9に固有周期1, 3, 5秒、減衰定数1, 5, 20%に設定した場合の絶対速度応答波形を示す。固有周期1秒・減衰定数1%は一般的な中低層建物、固有周期3, 5秒・減衰定数1%は超高層建物、固有周期3, 5秒・減衰定数20%は免震建物に対応すると仮定してパラメータの設定を行っている。

図2のトリパティットスペクトルに示したように、志段味出張所では明瞭な卓越も見られず、継続時間も短いことから、応答波形はそれほど

大きくなっていないことが分かる。これに対し、名古屋大学では3秒が卓越した地震動が入力となるため、30階建て程度の超高層建物を想定した減衰定数が1%の場合、大きく共振している様子が分かる。富田出張所の記録を

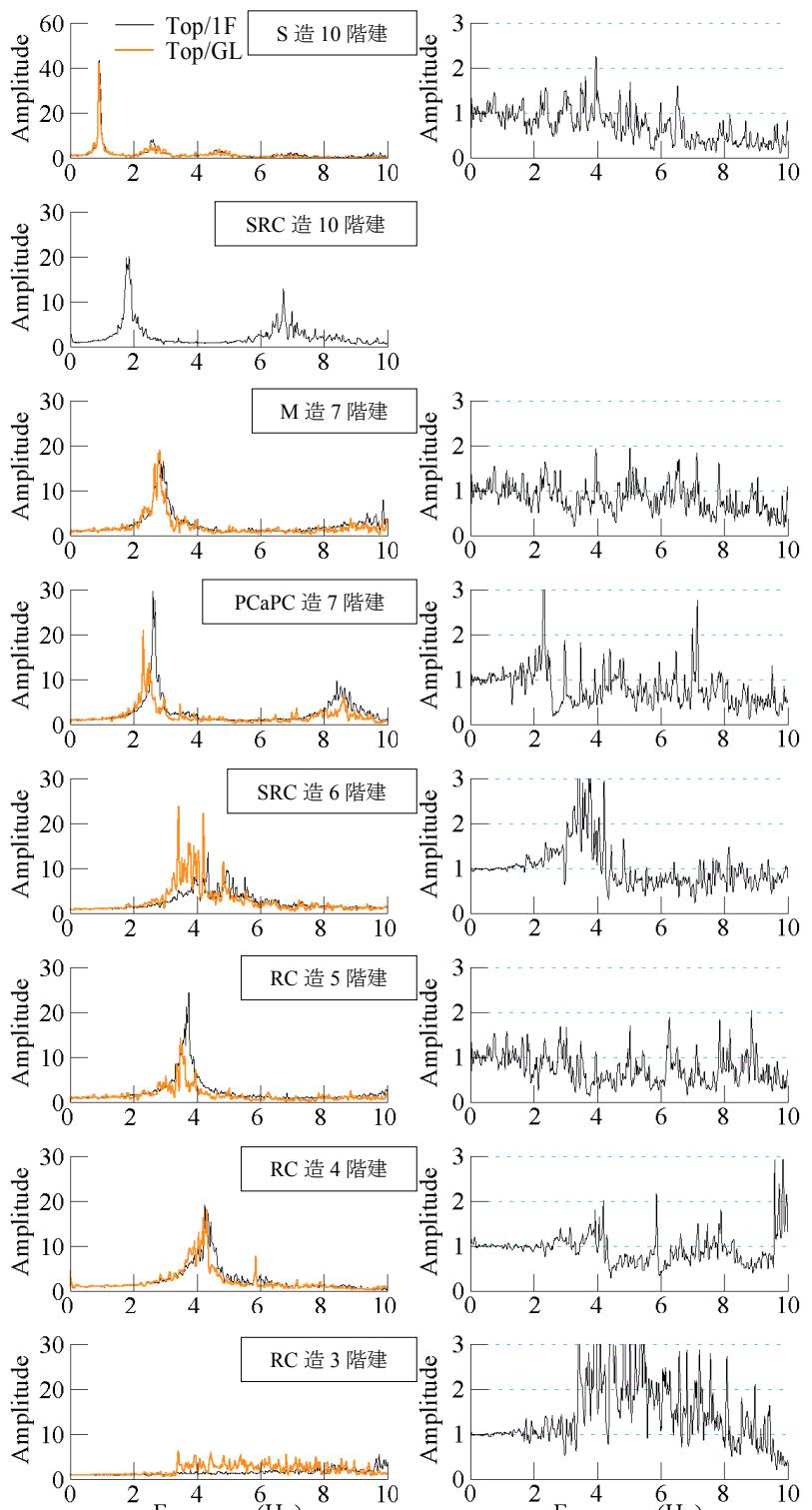


図5 フーリエスペクトル比
(Top/1F, Top/GL)

図6 有効入力動 (1F/GL)

入力とすると、減衰定数が 1% の場合、固有周期が 3 秒でも 5 秒でも共振する様子が現れている。減衰定数が小さい場合、共振するまでに多くの波が入力しなければならないが、一旦揺れ始めると振幅の小さな後続波でも影響を受けてしまうことも図 9 に現れている。これに対し、免震建物を想定した減衰定数 20% の場合では、共振しても揺れが治まるまで短時間で済むことが分かる。

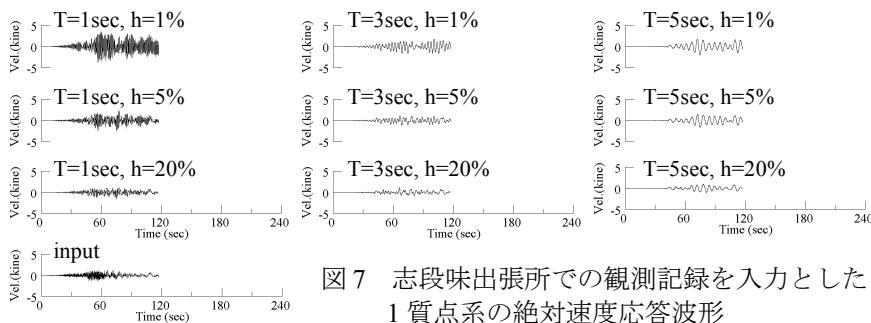


図 7 志段味出張所での観測記録を入力とした 1 質点系の絶対速度応答波形

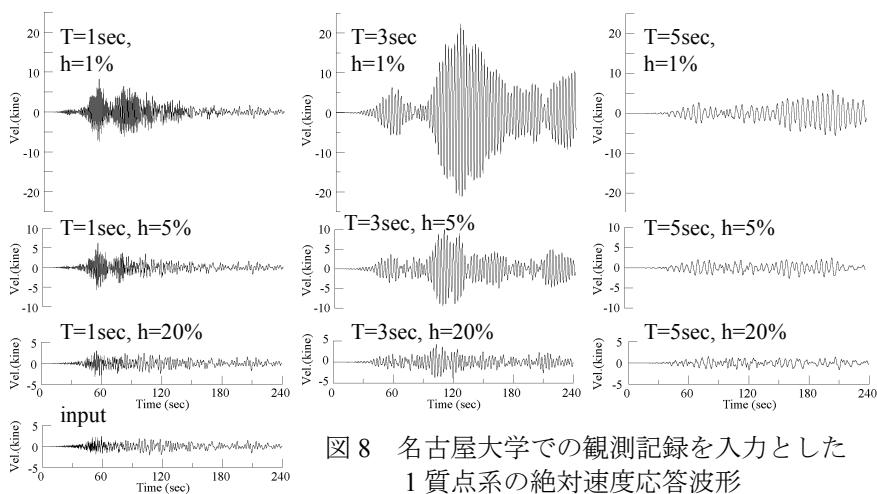


図 8 名古屋大学での観測記録を入力とした 1 質点系の絶対速度応答波形

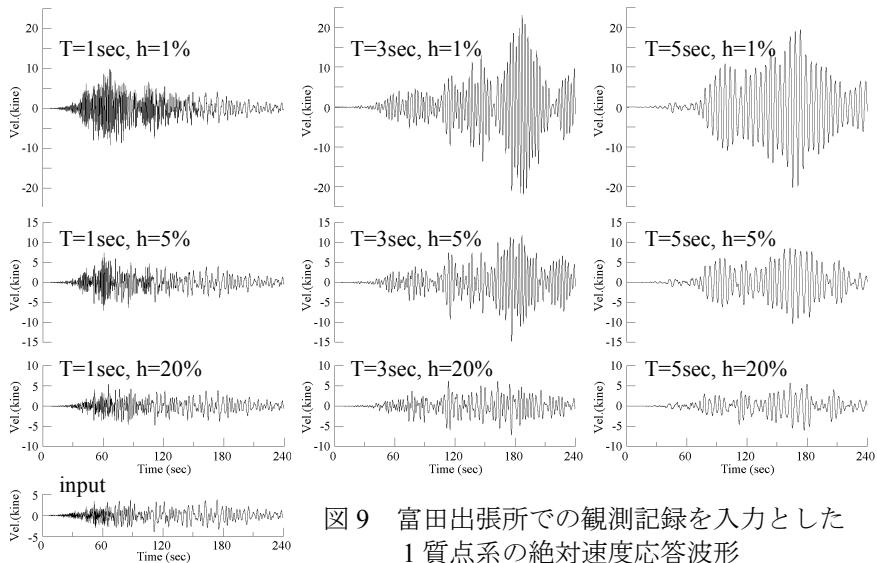


図 9 富田出張所での観測記録を入力とした 1 質点系の絶対速度応答波形

6. まとめ

2004 年 9 月 5 日に発生した紀伊半島南東沖の地震 (Mj7.4) で得られた記録の分析を行った。地盤震動は、地震基盤深さに対応した卓越周期を持っていたことが分かった。中低層建物の建物応答性状の分析と、固有振動数と減衰定数をパラメータにした 1 質点系の応答解析より、減衰定数の小さな建物へ継続時間の長い記録が入力することの危険性を示した。

東南海地震は、本論で対象とした地震よりも地震の規模が大きく、東海地区の近くで発生すると想定されているため、さらに強い揺れになると考えられる。揺れの継続時間は、震源断層の破壊時間が長くなるだけでなく、濃尾平野にトラップされる時間もさらに長くなると考えられる。東海・東南海・南海地震の連動発生も懸念されていることからも、紀伊半島南東沖の地震を糧として、早急な巨大地震対策が望まれる。

参考文献

- 1) 気象庁ホームページ：
http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jp/quake/
- 2) 防災科学技術研究所 K-NET ホームページ：
<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 3) 内閣府中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会（第 16 回）
- 4) 小島宏章、福和伸夫、飛田潤：常時微動計測・強震観測に基づく動的相互作用効果の階数依存性に関する研究～S 造及び SRC 造 10 階建物の建設段階毎の動特性の変化～、構造工学論文集, Vol.48B, pp.453-460, 2002.3
- 5) 小島宏章、福和伸夫、飛田潤：強震観測・常時微動計測に基づく中低層建物の入力損失効果に関する研究、日本建築学会論文集, 第 587 号, 2005.1
- 6) 山崎靖典、小島宏章、文学章、福和伸夫、飛田潤：隣接建物の建設に伴う振動特性の変化（その 1）既存建物の振動特性の推移、日本建築学会学術講演梗概集 B-2, pp.639-640, 2004.8
- 7) 小島宏章、福和伸夫、飛田潤：プレキャストプレストレスコンクリート造建物の建設段階に伴う振動特性の変化、日本建築学会学術講演梗概集 B-2, pp.647-648, 2004.8
- 8) 飛田潤、福和伸夫、中野優、山岡耕春：オンライン強震波形データ収集システムの構築と既存強震計・震度計のネットワーク化、日本建築学会技術報告集, 第 13 号, pp.49-52, 2000.7
- 9) 愛知県：平成 13 年度愛知県濃尾平野地下構造調査報告書