

名古屋地区における強震観測の高度化と活用

福 和 伸 夫

名古屋大学大学院環境学研究科教授

1. はじめに

耐震設計の基本は、敵（地震動）の姿を知った上で、己の実力（耐震性能）が敵を上回るようにすることにある。すなわち、敵の姿を明らかにし、己の実力を知ることが耐震研究の根幹である。

兵庫県南部地震後12年が経つが、いまだこの地震での建物被害を十分には説明できていない。また、この間、性能規定型の耐震基準が導入されたり、耐震強度偽装問題が発覚したが、現状、建築物の耐震性能を正しく評価できていないため、社会に対して十分な説明ができていない。

大震災後、K-NET・KiK-netや、自治体の計測震度ネットワークが整備され、地盤の強震観測体制は一変した。豊富な観測データの分析を通して、地震動の姿もずいぶん分かるようになってきた。

これに対し、建築物の強震観測の状況は、震災前よりもむしろ悪化している。E-Defenseの完成により実大規模の実験が可能になったが、実験数は限られており、耐震性能解明への道のりは遠い。

強震観測は、実在する建物の耐震性能や、建物に作用する地震力を把握する唯一無二の方法である。振動実験や応答解析の意義は大きいですが、実験の対象は縮小・部分試験体であり、解析対象も人為的にモデル化したものである。適切な材料と相似則の採用、モデル化が行われていなければ、実験・解析は必ずしも正しい結果を与えない。

近年、解析の高度化が進んでいるが、地震動や、建物の振動特性、終局挙動が分かっているなければ、その信頼性は乏しい。免震や制震を利用した建物も増え、長周期地震動に対する高層建物の応答への懸念もある。初心に戻って、地盤と建築物の揺れを地道に観測することが望まれる。

筆者が生活する名古屋圏は、数十年以内に、東海地震・東南海地震での強い揺れを受けることが分かっている。実大振動実験の場でもあり、そのとき何が起きたかを、正確な記録として後世に残すことは、耐震工学上きわめて重要であり、私たちの責務

であると考えている。そこで、強震観測網を可能な限り整備し、観測記録の活用法を考案したり、新たな観測システムの開発を行ってきた。本稿ではこれらについて紹介する¹⁾。

2. 地域の強震観測網の共有化

兵庫県南部地震以降、防災科技研や自治体に加え、ライフライン企業や大学などで地震観測網が個々に整備されてきた。しかし、設置のピッチが速かったこともあり、設置状態が不十分だったり観測担当者が不慣れだったりして、当初不具合が散見された。そこで、筆者らは、1998年に名古屋地域強震観測研究会（名震研）を作り、各観測機関の強震観測状況の相互把握とオフラインでのデータ共有化を進めた²⁾。その後、2000年に文部科学省の研究費が措置され、東海版の大都市圏強震動総合観測ネットワークとして、各観測機関をオンラインで結んだ³⁾。

現在、東海版大都市圏強震動総合観測ネットワークには、愛知県74、三重県68、静岡県78、名古屋市18、豊田市4、中部電力46、東邦ガス113、名古屋高速道路公社18、応用地質4、愛工大119、豊橋技科大6、名大工71の計619観測点の記録が収集されている（静岡県や東邦ガスはオフライン）。東海4県でのK-NET観測点89、KiK-net観測点75と比較すると4倍もの数になる。図1下に示すように、特に、名古屋都市部を含む濃尾平野の観測密度は極めて高い。

データ収集は、各機関の本来の観測網設置目的を阻害することが無いよう、地震発生後半日程度を経過した深夜に行うようにしている。収集されたデータは図1右上に示すように、加速度・速度・変位波形及び最大値、トリパタイトの擬似速度応答スペクトルの形で公表されている。

これらのデータは、地域の地盤モデル作成の検証用に用いられると共に、自治体が作成するハザードマップや、建築構造設計者が作成する設計用入力地震動の基礎データとして活用されている。

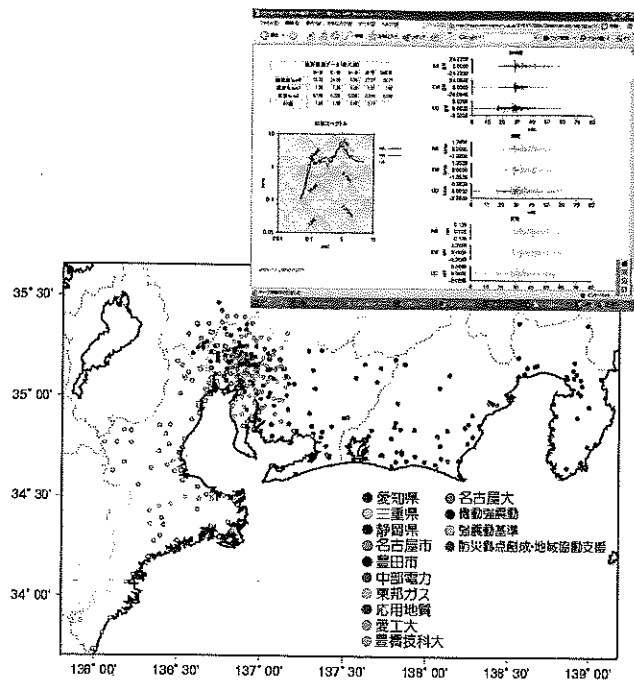


図1 大都市圏強震動総合観測ネットワーク

3. 戦略を持った建物の強震観測体制の構築

先にも述べたように、地盤の強震観測に比べ建物の強震観測は、兵庫県南部地震後、やや後退気味である。もともと、建物の強震観測は、多くの場合建築主が観測費用を負担しており、新しい構造形式の開発などと連動して設置されてきた。このため、観測対象は、超高層・原子力・免震・制震などの特殊な建物に限定されがちであった。兵庫県南部地震と相前後したバブル崩壊後は、景気の減退で強震観測設置の費用負担が困難になり、また、新たな構造開発が一段落したことで、建物の強震観測が減少したと思われる。

一方で、①兵庫県南部地震で明らかになった現実の建物の耐震性能（終局挙動）の把握度や、②限界耐力計算法で導入された動的相互作用効果や地盤増幅効果の把握度、③制震構造での減衰付加効果の前提となる高層建物の減衰能の把握度、④免震・制震構造の前提となる建築物の振動挙動の把握度などは、決して十分とは言えず、耐震設計の足元がふらついているのが現状であり、強震観測を通してこれらの把握度を向上させることが必須である。

このためには、強震観測の数と質を抜本的に改善することが必要となる。しかし、その実現には、莫大な資金が必要となる。また、より高精度で安価な地震計の開発なども必要となる。だが、これらを待つだけでは現状の早期改善はできない。そこで筆者

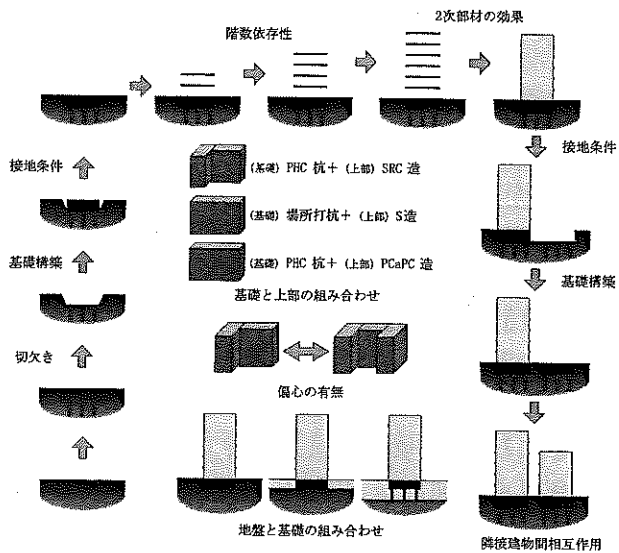


図2 戦略的強震観測・常時微動計測計画

らは、限られた予算の中で最も効果的に強震観測を行うための「戦略的な強震観測・常時微動観測計画」を立案し、多くの観測を実践してきた⁴⁻⁶⁾。

計画の概要を図2に示す。図のように、①共通の地盤サイトに立つ構造形式が共通で階数の異なる建物の観測を通じた建物階数の影響把握、②同じ階数・構造形式で地盤条件の異なる建物の観測を通じた地盤条件の影響把握、③同じ地盤サイトに建つ同一階数で構造形式の異なる建物の観測を通じた建物構造形式の影響把握、④同一建物で隣接建物建設前後の観測を通じた隣接建物の影響把握、⑤建物の平面増築前後の観測を通じた偏心ねじれの影響把握、⑥建物建設時の観測を通じた同一地盤・基礎条件での建物階数・2次部材・積載荷重の影響把握、などを行う計画である。解析的に実施するパラメータスタディと同様の検討を観測で実現しようとしたものであり、名古屋大学キャンパスの建物を中心に観測を続けてきている。

現在までに、筆者らが観測を行ってきた建物は44棟に上り、名古屋大学東山キャンパスの校舎建物17、鶴舞キャンパスの病棟・診療棟2（1建物は免震）、名古屋市三の丸地区の官庁建物5（免震レトロの前後で継続的観測）、名古屋市内の超高層建物9（建設時の継続的観測を実施）、その他、免震建物2、中低層建物2、住宅3、社寺・文化財4などである。

図3に2004年9月5日に発生した東海道沖の地震（M7.4）の際に観測された名古屋大学東山キャンパス内の建物の記録を比較して示す。図中には、基

T=3sec、h=0.20

T=3sec、h=0.01

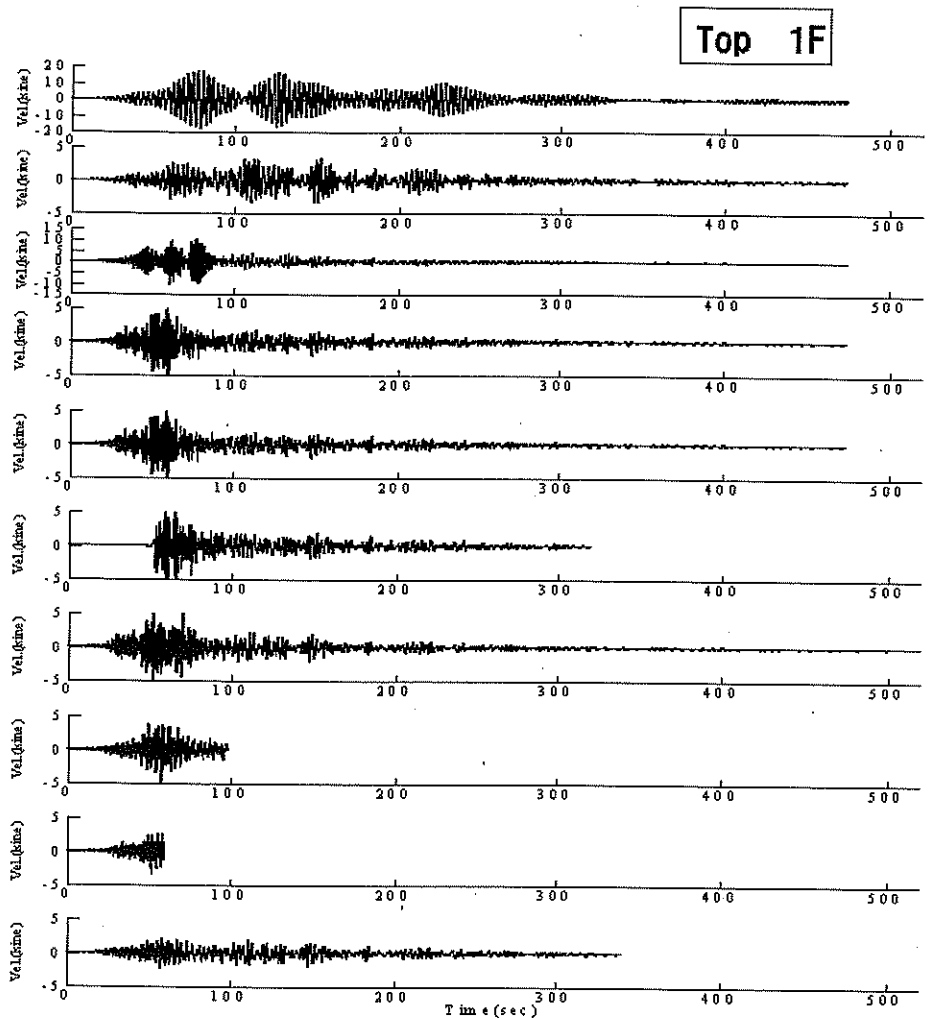
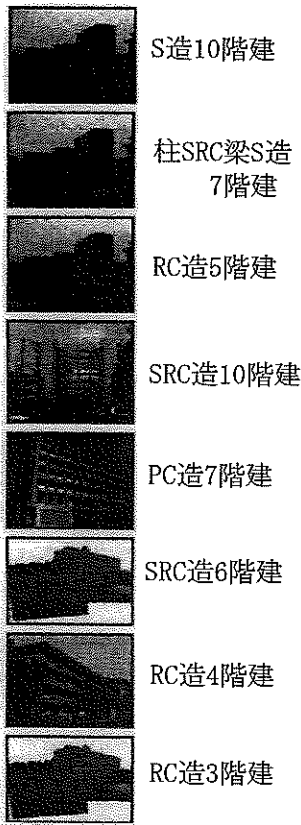


図3 2004年東海道沖地震における異なる高さ・構造の建物の張間方向速度波形

礎の応答と建物頂部の応答を重ね書いている。図のように建物の高さによって応答性状が全く異なる様子がよく分かる。これらの記録は、図4に示すように、データの信頼度が確認されたものから、Web上で、図面データ、地盤データ、常時微動記録とともに閲覧・ダウンロードできるようにしている。

4. 観測のリアルタイム化と多目的化

研究目的で強震記録を取得するのみでは、建物の強震観測の継続・発展は困難である。強震観測機器のインターネットへの接続や、他の計測機器と融合させることにより、観測のリアルタイム化や多目的化を図っていく必要がある。これによって、単なる強震観測が、早期地震被害予測システム、ナウキャスト地震情報システムや、環境モニタリングシステム、防犯システム、ヘルスマニタリングシステムなどへと進化する。

筆者らは、兵庫県南部地震直後、地震計をPC経

由でインターネット接続することにより、準リアルタイムの地震被害予測システムを開発した⁸⁾。その後、この考え方を発展させて、LANインターフェースを用いて工事振動対策のための環境振動モニタリングシステムを構築した⁹⁾。

さらに、急速に進展したインターネット環境や、GPS、携帯やPHSなどのモバイル通信、デジタルカメラ、インターネットカメラ、モバイルPC、ウェブGIS、電子百葉箱などの情報・通信・センシング技術を地震計と組み合わせることで、双方向の災害情報システム「安震システム」や「安震ステーション」を構築した¹⁰⁻¹¹⁾。これは、強震観測を、防災教育、電子百葉箱を利用した理科教育、防犯、環境モニタリングなど、多面的な活用へと道を開くものである(図5参照)。

リアルタイム化をさらに推し進めれば、ライブカメラ映像とリアルタイム波形との融合、ナウキャスト地震情報や、気象・環境・エネルギー・画像情報

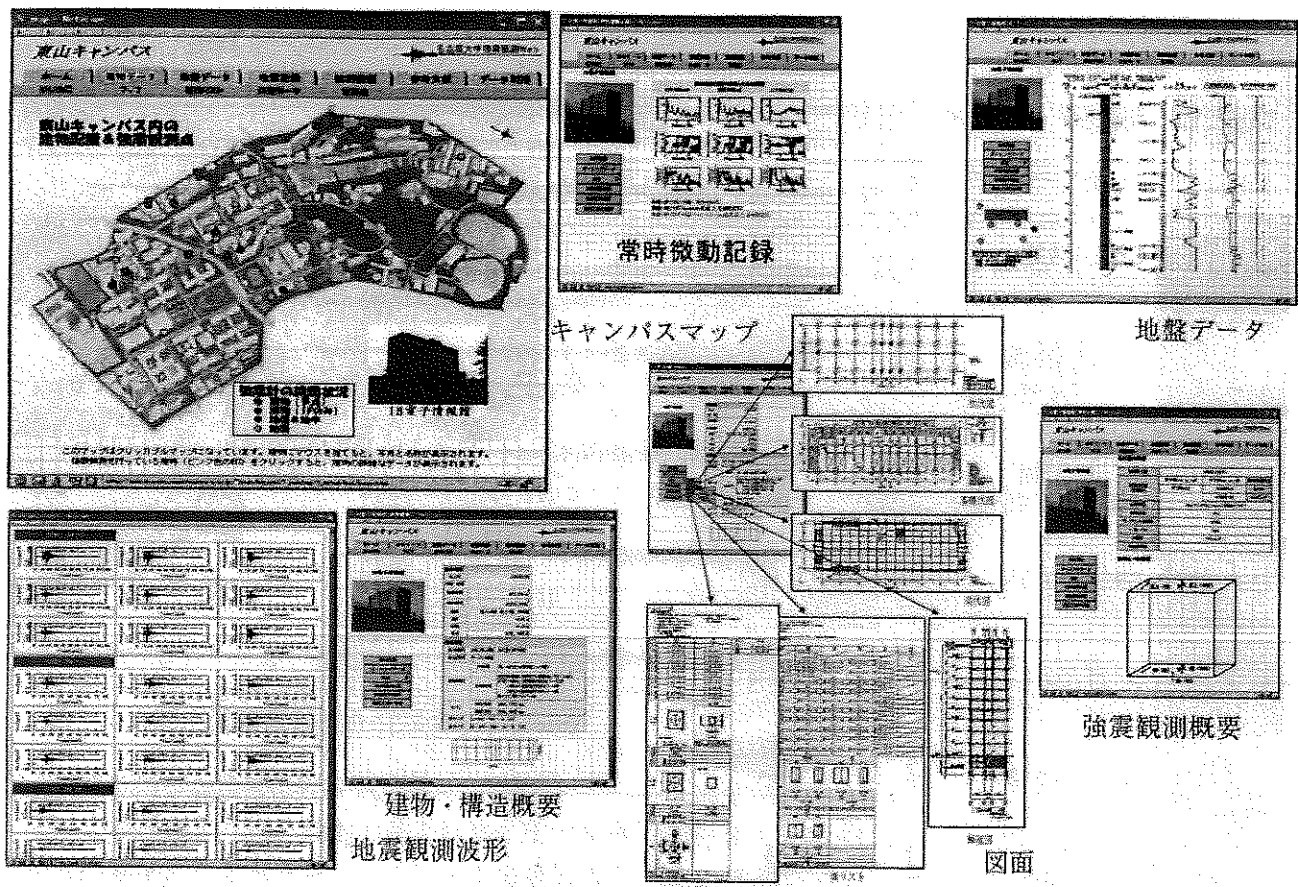


図4 観測データを公開するウェブシステム

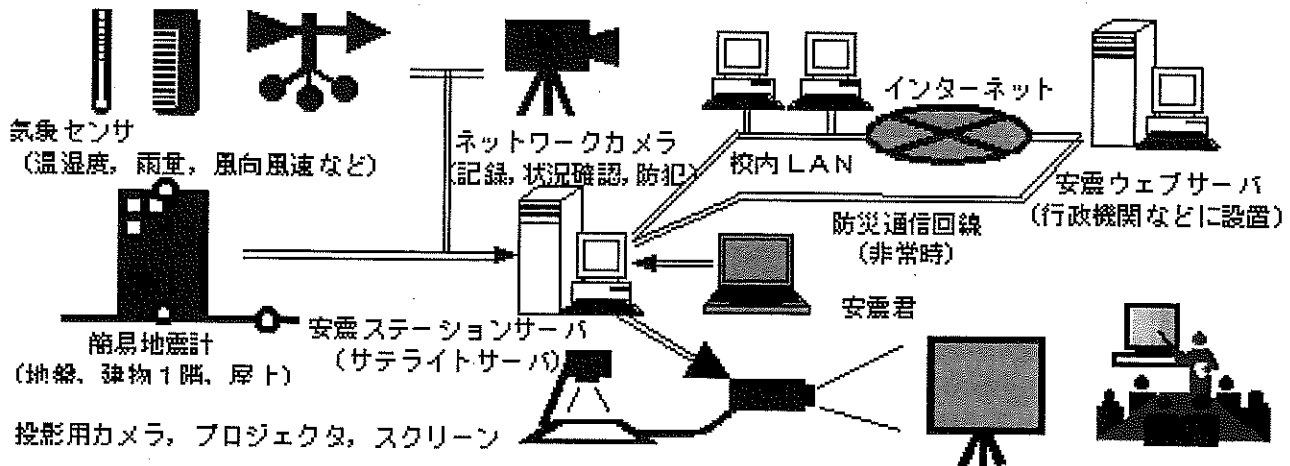


図5 各種センサー・ウェブサーバーと融合した「安震君」・「安震ステーション」

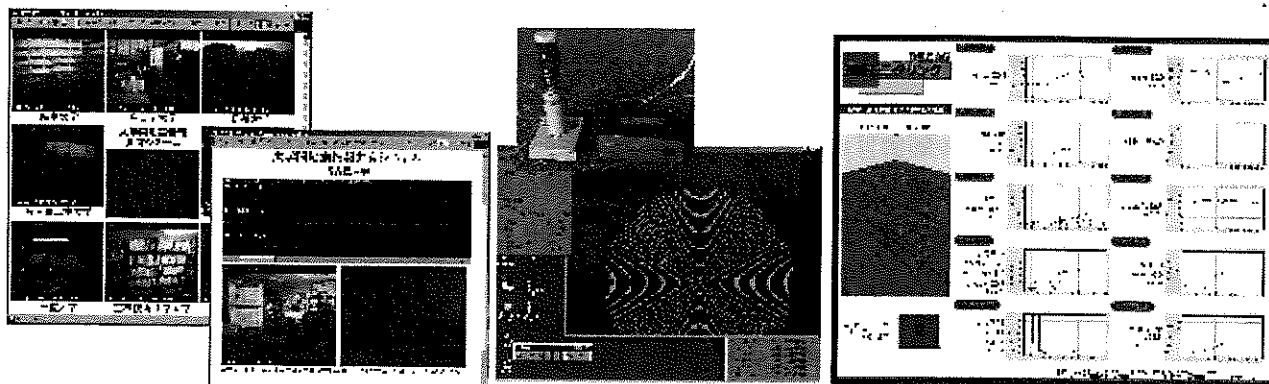
などと融合した常時モニタリングシステムなども可能となる¹²⁾。図6にその一例を示す。図中には、中部地域の複数の大学間でのリアルタイム画像・波形モニタリングシステム、ナウキャスト地震情報システム、環境・エネルギーモニタリングシステム（じしんモニ太くん）が紹介されている。

5. 新たな機器の開発

前節に示したように、地震観測を多目的に利用し

ていくには、それに適う地震計の開発も不可欠である。そこで、ここでは、筆者らが開発しつつある幾つかの地震計・常時微動計について紹介する（図7）。ここでのキーワードは、低価格化、多機能化、リアルタイム性である。

一つ目は、半導体センサーを用いた低価格の地震計 E-Catcher である¹³⁾。ここでは、低価格化を重視し、分解能（1Gal 程度）を多少犠牲にしつつ、インターネット接続が可能で波形取得ができる3成分地



リアルタイム画像・波形モニタリング ナウキャスト地震情報 環境・エネルギー・振動モニタリング

図6 リアルタイム地震情報の様々な利用



図7 低価格・多機能・リアルタイムセンサー

震計を開発した。簡易的に推定した震度も表示可能である。開発の主たる目的は、大地震時の記録をできるだけ多くの建物で取得できるようにすることであり、従来の地震計の1/10程度の低価格で、簡易に建物に設置できるように配慮した。

二つ目は、自治体が設置している計測震度計の更新を促進するために開発した次世代型の計測震度計である。各自治体に計測震度計が設置されてほぼ十年が経過し、地震計の更新の時期が迫っている。これを受けて、総務省消防庁では、次世代の計測震度計のあり方を検討し、その結果を平成18年に公表した¹⁴⁾。ここに示された仕様は、従来の計測震度計と比較して格段に高性能化し、インターネット接続などの即時性も重視しており、高価格化の懸念がある。そこで、三重県では、低価格の次世代震度計の開発を目指して、筆者らと共同でSWINGと呼ぶ震度計を開発した¹⁵⁾。この地震計は、次世代震度計の

仕様を満足し、インターネットを介したリアルタイム波形モニタリングも可能である。このため、オンサイト早期警報(単点ナウキャスト)や、ヘルスマニタリングなどへの活用も期待できる。

三つ目のセンサーは、手軽な常時微動計の開発である。近年、長周期地震動に対する高層建物の安全性への問題がクローズアップされてきた。ここでは、地盤と建物との共振の可能性や建物の減衰能の早期チェックが必要とされている。そこで、現場で準リアルタイムに、地盤の卓越周期、建物の固有周期と減衰定数を半自動で推定する常時微動分析システムMICRONを開発しつつある。ここでは、地盤の微動を計測しながらH/Vスペクトル分析を半自動で行って地盤の卓越周期を推定したり、建物の微動を計測しながら固有周期を推定し、バンドパスフィルター波形をスタックしてRD波形を自動生成して減衰定数を推定する。これにより、多数の建物・地盤

の共振の有無がチェックできるようになり、長周期問題への懸念の有無の判断が容易になる。

さらに、記録した揺れの特性を容易に理解することを促すために、デジタル制御可能な水平2軸卓上振動台を開発した。従来、地震動記録は、波形やスペクトルでの表示が一般的であったが、それでは揺れを実感することは難しい。ここでは、図8に示すように、直動転がり支承にサーボモータを設置することで、水平2次元の揺れを簡単に再現することを可能にしている。記録された揺れを実際に再現することで、一般の人たちに強震観測の重要性を説明したり、揺れの特徴を伝えることが容易になる。さらに、卓上振動台の上に、異なる周期の倒立振りや簡単な建物模型を設置することで、共振や減衰の重要性、免震や制震の特徴、壁の上下バランスや偏心の影響などを分かりやすく解説でき、免震・制震の普及や、耐震化の促進につなげることが可能になる。

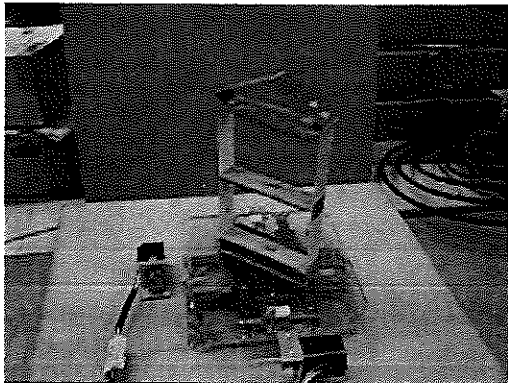


図8 水平2軸卓上振動台

6. おわりに

本稿では、現状の強震観測の問題点を指摘するとともに、それを克服するために筆者らが進めてきた幾つかの事例を紹介した。これらは、①異なる観測機関の地盤観測ネットの総合ネットワーク化、②戦略的な建物の強震観測体制の構築と観測データの公開用ウェブシステム、③強震観測のリアルタイム化と多目的化、④低価格・多機能・リアルタイムセンサーの開発、などである。まだ、発展途上のものもあるが、今後の強震観測の普及・発展に少しでも寄与することができれば幸いである。

兵庫県南部地震以降、K-NET・KiK-netにより、地震動の姿が明らかになり、強震動研究が格段に進展した。耐震偽装問題の発覚や、地震防災戦略にお

ける早期の耐震化が喫緊の課題となっている今、建築物の性能を明らかにすることが強く望まれている。また、来るべき巨大地震での貴重な記録を残すことも、我々の責任でもある。今こそ、建物強震観測体制の抜本的改善を行い、B-Netの早期実現を目指すべきときである。

参考文献

- 1) 福和伸夫、飛田潤：地域における多機関の強震観測網のネットワーク化と地域防災への活用、防災科学技術研究所研究資料、No.264, pp.223-230, 2005.3
- 2) 福和伸夫、飛田潤、中野優：名古屋地域強震観測研究会における地域の強震観測データ活用の試み、日本地震学会ニュースレター、Vol.11, No.5, pp.14-17, 2000.1
- 3) 飛田潤、福和伸夫他：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, 2001.7
- 4) 福和伸夫（代表）：戦略的強震観測及び地震被害分析に基づく中低層建物の地震時挙動及び耐震性能の解明、文部科学省科学研究費補助金研究成果報告書、2005.3
- 5) 福和伸夫：建物-地盤の動的相互作用から見た強震観測、第2回強震データの利用に関するシンポジウム、日本建築学会、pp.57-68, 2000.12
- 6) 飛田潤、福和伸夫、小島宏章、浜田栄太：地盤・建物系の高密度強震観測の展開と建物動的挙動の検討、日本地震工学会論文集、20p.2007（採用決定）
- 7) 小島宏章、福和伸夫、飛田潤、中野優：建物強震観測DB公開用webシステムの構築、日本建築学会技術報告集、第17号、pp.553-558, 2003.6
- 8) 福和伸夫、山田耕司、石田栄介他：オンライン強震観測・地震被害想定・振動実験システムの構築、日本建築学会技術報告集、第3号、1996.12, pp.41-46
- 9) 福和伸夫、飛田潤、西阪理永：学内LANの利用による環境振動モニタリングシステム、日本建築学会技術報告集、第5号、1997.12, pp.158-162
- 10) 福和伸夫、高井博雄、飛田潤：双方向災害情報システム「安震システム」と携帯型災害情報端末「安震君」、日本建築学会技術報告集、第12号、pp.227-232, 2001.1
- 11) 飛田潤、福和伸夫：双方向災害情報伝達に基づく地域防災拠点支援システム、第11回日本地震工学シンポジウム、2002.11
- 12) 飛田潤、福和伸夫、中野優：地域防災協働態勢を支援するシステムと防災拠点の構築、日本建築学会技術報告集、第20号、pp.367-370, 2004.12
- 13) 小出栄治、福和伸夫、正木和明、原徹夫他：建物観測のためのインターネット活用型低コスト地震計の開

発、日本建築学会技術報告集、第23号、pp.453-458、
2006.6

14) 総務省消防庁：次世代震度情報ネットワークのあり方
検討会最終報告書 (<http://www.fdma.go.jp/neuter/>)

topics/houdou/180414-3/180414-3houdou.pdf)

15) 次世代型震度計・SWING、<http://www.pref.mie.jp/TOPICS/2007010128.htm>

仮使用承認制度改正による「工事中に使用する建物の防火安全対策」の改訂版

工事中建物の仮使用手続きマニュアル —スケルトン貸しのニーズに応じて—

仮使用承認制度及び安全計画届出制度は、工事中に使用する建物の事故防止に大きな役割を果たしてきましたが、近年、内装仕上げ等をテナント等の決定後に行う需要が高まり、平成9年3月31日付建設省建築指導課長通達により仮使用承認制度等についての取扱いの明確化が行われました。これを受け、(財)日本建築防災協会では、既発行図書「工事中に使用する建物の防火・安全対策」の見直しを委員会（委員長：辻本 誠前名古屋大学教授）において行い、このたび書名も変更し改訂版を発行いたしました。

建物所有者・管理者をはじめ、建築設計・施工技術者、建築・消防行政担当者の皆様には是非本書をご活用されますようご案内いたします。

<目次>

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| I 総論 | 3. 承認基準と安全計画 |
| 1. 背景 | 4. 仮使用承認申請の具体例 |
| 2. 工事中建物の規制の概要 | IV 既存建築物の仮使用 |
| 3. 工事中の火災危険 | 1. 増築・改築・大規模な模様替の場合の仮使用 |
| II 制度の解説 | 2. 増改築時の仮使用の安全対策と代替措置 |
| 1. 仮使用承認制度の概要 | 3. 工事に関わる安全計画 |
| 2. 安全計画届出制度の概要 | 4. 防火管理体制 |
| III テナントビルのスケルトン賃貸に対応する仮使用承認制度 | V 記載例 |
| 1. 建築物のスケルトン賃貸 | VI 参考資料 |
| 2. 仮使用の手続き | |

頒布価格 3,800 円（情報交流制度申込者特価 3,420 円、税込み）

送料・申込方法 巻末の刊行物案内をご利用下さい。