

1999年10月27日
振動運営委員会資料

強震観測小委員会
関東地区WG

強震観測の現状と展望

1999年3月

強震観測小委員会・関東地区WG 活動報告
目次

序

委員名簿

1 . はじめに	.....1
2 . 強震観測および強震動データベースの現状	
2.1 国内における強震観測およびデータベースの概要	.....3
2.2 海外における強震観測およびデータベースの概要	.....53
3 . 強震動データベースの望まれる姿	
3.1 データベースの利用事例と問題点	.....65
3.2 必要な強震観測情報	.....73
4 . 強震観測の将来展望	
4.1 建物の耐震健全性評価につながる強震観測の活用	.....77
4.2 強震観測システムとしての監視用カメラの可能性	.....87
4.3 リアルタイム地震情報の利用	.....93
4.4 共同観測のあり方 静岡市内における共同観測を例にしてー	.....99
4.5 高密度アレー観測	.....103
4.6 今後の強震計に望むこと	.....105
4.7 インターネットを利用した強震データの交換・公開について	.....109
5 . 強震動データベースに関する現状分析と提案	.....115
6 . まとめ	.....117

Report on Activities
in Working Group on Earthquake Strong Ground Motion and Observation in Kanto Area
and Sub Committee on Earthquake Strong Ground Motion and Observation of A.I.J.

CONTENTS

Preface	
Committee Members	
1.Introduction	.....1
2. Outline of Strong Ground Motion Observations and Databases	
2.1 Outline of Strong Ground Motion Observations and Databases in Japan.....	3
2.2 Outline of Strong Ground Motion Observations and Databases in Foreign Countries	.....53
3. Demand for Strong Ground Motion Database	
3.1 Some Problems and Recent Studies of using Database on Strong Motions in Japan through a Questionnaire Survey	.....65
3.2 Observational Information Required for Database of Strong Motion	.....73
4.Futuer Prospects on Earthquake Observation	
4.1 Survey: Utilization of Earthquake Observation for Evaluation of Earthquake Resistance Performance and Health Monitoring of Buildings	.....77
4.2 Possibility of Security Cameras as Strong Motion Measurement System	.....87
4.3 Utilization of Real-time Earthquake Information	.....93
4.4 Joint Observation-Case Study in Shizuoka city	.....99
4.5 Dense Strong Motion Instrument Array	.....103
4.6 Specifications for a next Generation Strong-Motion Seismometer	.....105
4.7 Exchange and Exhibition of Strong Motion Data through the Internet	.....109
5. Present State and Proposal on Strong Ground Motion Database	.....115
6.Concluding Remarks	.....117

序

強震観測小委員会は、強震観測に係る諸々の問題を学会外部の関連機関との連携をはかりながら横断的に検討・整理し、学会での強震動分野における情報発信及び先導的役割を果たすべく1997年4月に構造委員会・振動運営委員会の下に新しく設置された。そのため本小委員会は、建築学会各支部および強震観測に関連する各機関の代表者により構成されている。また、本小委員会の下には、関東および近畿地区にワーキンググループ(WG)が結成され、親委員会との連携をとりながら具体的な活動項目について検討を行っている。ここで、本小委員会が設置されるまでの経緯を簡単に振り返ってみると以下のようになる。

1956年に設置された耐震連絡委員会は、建築物の地震災害とその調査に関する情報交換及び地震災害調査報告の作成のために、学会内での各種関連研究委員会を横断的に連絡する情報交換組織として長年に亘って幅広い活動を行ってきた。また、その下部組織としての強震観測小委員会は、この間、強震観測データに関する情報の収集・整理を行い、同時に、建築会館に設置されている強震計の管理と観測データの公表を任務としてきた。1987年に発生した千葉県東方沖地震のデジタル強震データ集が同小委員会から刊行されている。1992年4月に学会委員会組織の一部改組が実施されたことにより、上記の耐震連絡委員会は研究委員会としての地震災害委員会として生まれ変わった。また、それに伴って、強震観測小委員会は、地震災害委員会の下、強震観測運営委員会とその下部組織である強震データ小委員会に再構成された。両委員会は共同で1995年に、強震データの活用に関するシンポジウム「強震データベースの現状と共同利用の試み」を開催し、強震動データを効果的に活用するために建築学会として何をどうすべきかについて討議された。また、委員会内部で共同利用された関東地方で発生した3つ地震(1990年伊豆大島近海, 1990年神奈川県西部, 1992年東京湾の各地震)の貴重な強震動記録を広く建築学会会員に公開した。

本小委員会は、以上のような経緯の基に設立されているが、本小委員会設立前の1995年には、兵庫県南部地震という特筆すべき地震災害が発生した。この地震以来、公的機関による強震観測体制が以前とは比較にならないほど充実してきたことは周知の事実であり、建築学会を取り巻く強震観測に係る環境は激変している状況にある。

ここに取りまとめた報告は、本小委員会の下に結成されている関東地区WGの2年間にわたる活動内容の一部をとりまとめたものであり、1995年兵庫県南部地震以来急激に変化した強震観測網や強震動データベースの現状、強震動データベースの望まれる姿、強震観測の将来展望について述べている。

なお、この活動報告は、建築学会としての正式な手続きを踏んだ刊行物ではなく、強震観測小委員会の内部資料として各WGの作業成果を取りまとめたものである。ここに建築学会会員各位の御参考になれば幸いである。

1999年3月
強震観測小委員会
主査 北川 良和

強震観測小委員会および関東地区WGメンバーリスト

強震観測小委員会

主査 北川良和(広島大学)

委員 青井真(科学技術庁防災科学技術研究所)、天池文男(竹中工務店)

鏡味洋史(北海道大学)、鹿嶋俊英(建設省建築研究所)

片岡俊一(清水建設)、工藤一嘉(東京大学地震研究所)

渋谷純一(宮城工業高等専門学校)、杉戸真太(岐阜大学)

高橋克也(鹿島建設)、日比野浩(大成建設[現・理化学研究所])

福和伸夫(名古屋大学)、堀家正則(大阪工業大学)

山村一繁(東京都立大学)、若松邦夫(大林組)

関東地区WG

主査 若松邦夫(前掲)

SWG - A (共同観測と記録評価WG)

幹事 片岡俊一(前掲)

植竹富一(東京電力)

鹿嶋俊英(前掲)

小林孝至(西松建設)

境茂樹(ハザマ)

芝良昭(電力中央研究所)

日比野浩(前掲)

淵上勝志(五洋建設)

松崎浩(熊谷組)

三浦篤(日本国土開発)

安井健治(奥村組)

SWG - B (強震DBシステム構築WG)

幹事 天池文男(前掲)

木村正彦(東急建設)

栗田勝実(東京工業大学)

座間信作(消防研究所)

佐間野隆憲(日本物理探鉱)

土肥博(NTTファシリティーズ)

長屋雅文(佐藤工業)

堀直人(国土館大学)

山村一繁(前掲)

SWG - C (強震動データ分析WG)

幹事 高橋克也(前掲)

青井真(前掲)

市川正武(東電設計)

斉藤芳人(前田建設工業)

高崎芳夫(フジタ)

村上勝英(日建設計)

山田真(早稲田大学)

渡壁守正(戸田建設)

1. はじめに

この活動報告は、1997年4月に構造委員会・振動運営委員会・強震観測小委員会の下に設置された関東地区ワーキンググループ(WG)の、2年間にわたる活動の一部をとりまとめたものである。

強震観測小委員会が、複数の地区・組織の代表者から構成され、強震観測に係る諸々の問題を大所高所から横断的に検討・整理し、学会での強震動分野における情報発信及び先導的役割を果たして行くことを目的としているのに対し、地区WGは、親委員会との連携を計りながら具体的な検討項目について実作業を実施する場であると位置づけられている。また、兵庫県南部地震のような突発的大地震災害に即応できる強震データの収集・公開体制の保持も本小委員会および地区WGの大きな役割の一つである。なお、地区WGとしては関東および近畿にそれぞれ設置されている。

ここで、本関東地区WGの活動内容について若干触れておきたい。WG設立当時、活動目標として次の5項目があげられた。

- 1) 建築学会保有の強震計の維持管理およびその有効利用
- 2) 強震観測に関する情報の収集・整理
- 3) データベースに関する情報の収集・整理
- 4) 強震記録の収集・公開と公開方法に関する技術的検討
- 5) 強震記録に基づく地震動現象の解明

これらの目標を達成すべく、以下に示す3つのサブワーキンググループ(SWG)が設置された。その活動内容を概観すると以下の通りである。

SWG-A(共同観測と記録評価WG)は、建築会館地下に設置された強震計の維持管理と観測記録の公表を行うと共に、建築学会に寄贈された多数の強震計の有効利用に関して検討を行った。その結果、静岡市を中心とした官学民共同観測が計画・立案され、委員会参加機関の地震計も含め、各種地盤上での高密度な共同強震観測が実施されるに至った。地震動と地盤特性との関係や強震動予測等について、種々の研究が行われている。また、親委員会での審議を通し、近畿地区にも2台の強震計が貸し出され、活用されている。

SWG-B(強震DBシステム構築WG)は、国内外に存在する地震観測網やデータベースに関する現状を把握すると共に、データ公開の技術的検討を行った。最近のコンピュータ通信技術の発達を踏まえ、建築会館において観測された地震記録や福井大学における地震記録などを学会のホームページを通して公開し、インターネットによる地震動データの配信システムを構築した。

SWG-C(強震動データ分析WG)は、各種データベースの具体的な使用結果報告に基づく問題点の指摘を行い、強震観測やデータベースのあり方に対して検討した。具体的には、研究者のみならず実務者等をも対象としたアンケート調査を実施し、使用者側にたったデータベースのあり方について検討した。

当初設定した活動目標を十分に達成できた訳ではなく、現在も継続的に実施されている項目も存在しているが、ワーキンググループの任期である2年を経過した現在、今までの活動成果を記録に残すこともけじめとして重要であると考え、ここに活動報告としてまとめた次第である。

この活動報告は、上述の活動内容の内、主に、SWG - BおよびSWG - Cに関する成果についてとりまとめたものであり、SWG - Aの静岡市を中心とした官学民共同強震観測や強震記録に基づく地震動現象の解明等は、今後も引き続いて検討が行われるものであり、近々シンポジウム等を通して公表する予定である。

本活動報告はまず、強震動および強震動データベースの概要を国内のみならず海外も含めて紹介し、各種データベースの入手方法について示している。つぎに、強震動データベースのあり方に関して、データベースの利用事例と要望についてアンケート調査し、主に、利用者側に立った場合の望ましいデータベース或いは必要な強震観測情報について述べている。最後に、強震観測の将来展望に触れ、強震記録の活用方法やインターネットの更なる活用など、地震防災や性能設計に向けた新たな強震観測の可能性について述べている。本活動報告が、会員各位に何らかの御参考になれば望外の喜びである。

(若松邦夫)

2. 強震観測および強震動データベースの現状

2.1 国内における強震観測およびデータベースの概要

国内に関しては 13 機関を調査対象とした。データベースの公開状況とともに表 - 1 に示す。各機関についての詳細は次ページ以降の資料を参照されたい。

なお、2 章の調査は以下の委員が担当した。

青井 真 (防災科学技術研究所)	天池 文男(竹中工務店)
植竹 富一(東京電力)	鹿嶋 俊英(建築研究所)
片岡 俊一(清水建設)	木村 正彦(東急建設)
栗田 勝美(東京工業大学)	土肥 博 (NTT ファシリティーズ)
長屋 雅文(佐藤工業)	畑山 健 (消防研究所)
堀 直人(国土館大学)	

表 - 1 国内各機関におけるデータベース公開状況一覧表

番号	観測名称 または機関名	公開 状況	データベースの入手方法及び問合せ先
1	気象庁	公開	(財)気象業務支援センター「振興部オンライン・データ担当」に問合せ(有料)。 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町 3-17 東ネンビル TEL : 03-5281-0440 FAX:03-5281-0443
2	科学技術庁 (K-NET)	公開	インターネット及び CD-ROM で公開 http://www.k-net.bosai.go.jp/ 〒305 つくば市天王台 3-1 防災科学技術研究所 地震・火山防災研究室 FAX 0298-54-4941
3	建設省建築研究所	公開 予定	最新情報は以下を参照。 http://iisee.kenken.go.jp/
4	高密度強震観測システム (建設省土木研究所)		
5	運輸省港湾技術研究所	公開 (空港 は非公開)	〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 運輸省港湾技術研究所 地盤震動研究室 一井康二・佐藤幸博 TEL:0468-44-5028 FAX:0468-44-0839 E-mail:satoh-yuk@cc.phri.go.jp
6	震度情報ネットワーク	公開は 制度化 されて いない	
7	震災予防協会	公開	〒108-8414 港区芝 5-26-20 (財)震災予防協会 TEL:03-3457-7453 FAX:03-3456-7076

8	関西地震観測研究協 議会	会員制	データを手入手するためには会員になる必要がある。 2年経過後のデータは、非会員にも有料で公開されてい る。 〒550-0012 大阪市西区立売堀 4-3-2 (財)大阪土質試験所 技術 5 部 TEL:06-6539-2975 FAX:06-6536-1739
9	東大地震研究所	公開	ただしデータベース化されていない記録が多い。 〒113-0032 文京区弥生 1-1-1 東京大学地震研究所 地震火山災害研究部 工藤一嘉 TEL:03-3812-2111 FAX:03-5803-2697
10	横浜市	検討中	地震情報は以下で公開されている。 http://www.city.yokohama.jp/me/bousai/eq/index.ht ml
11	川崎市	未公開	
12	東京電力	検討中 (個別 実績あ り)	〒230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎 4-1 東京電力(株) 電力技術研究所 耐震グループ 植竹富一・高橋 聡 TEL:045-585-8983 FAX:045-585-8986
13	東京ガス	公開 予定	SI 値、最大加速度値等は以下で公開されている。 http://www.tokyo-gas.co.jp

2.1.1 国内における観測状況

(7) (財)震災予防協会の活動

(財)震災予防協会では、これまで多数の機関により蓄積されてきている地震観測記録(主としてアレー観測)のデータベースの構築と運用を行うことを目的として、強震動アレー観測記録データベース推進委員会(以下、推進委員会と称する。委員長:表俊一郎,副委員長:片山恒雄)ならびにデータベース作業部会(部会長:亀田弘行)を1991年に発足させている。つまり、地震観測は実施していないが、データの整理を実施していることになる。

推進委員会の活動内容については、杉戸による報告¹⁾が詳しいが、これまでに4回にわたりデータベースを編集^{2),3),4),5)}、データおよび検索プログラムを含むCD-ROMおよび関連する解説資料⁶⁾が刊行されている。また、推進委員会がデータ収集と整理について先駆的な活動をしたためか、例えば関西地震観測研究協議会のように同一のデータフォーマットを使用されている機関もある。

参考文献

- 1) 杉戸真太, 強震動アレー観測記録データベースについて - (財)震災予防協会のアレー観測記録データベース開発・活動の紹介 - , 日本建築学会強震データに関するシンポジウム資料集, 7-12, 1995.
- 2) (財)震災予防協会, 強震動アレー観測記録データベース, 推進委員会 / 作業部会1991年度活動報告書, 1992.10.
- 3) (財)震災予防協会, 強震動アレー観測, No.1, 1993.12.
- 4) (財)震災予防協会, 強震動アレー観測, No.2, 1994.12.
- 5) (財)震災予防協会, 強震動アレー観測, No.3, 1998.12.
- 6) (財)震災予防協会, 強震動アレー観測記録データベース 解説資料集, 1992.10.

4.1 建物の耐震健全性評価につながる強震観測の活用

中村 充^{*}、若松 邦夫^{*}

キーワード：建物地震観測、ノースリッジ地震、CSMIP、兵庫県南部地震、建物動特性、損傷検出、ヘルスマニタリング

1 はじめに

強震観測の対象となるのは地盤ばかりではなく、建物も重要な観測対象である。しかしながら、地盤における強震観測のように一般化した方法で活用されていないのが建物地震観測の現状であるように思われる。これは、建物地震観測の活用方法についての共通化した認識が確立していないことも一因であると考えられる。

この報告では、建物地震観測の活用の現状を概観し、さらに耐震健全性の評価につながる建物強震観測について、関連の研究分野の現状を紹介しながら将来展望について述べてみたい。

2 建物における地震観測記録活用の現状

建物における地震観測活用の現状は、観測結果を用いた設計モデルの検証、あるいは詳細モデルによる地震応答シミュレーションなどが主として行われている。これらの目的は、建物の地震時挙動を解明し、間接的に設計の妥当性を評価すること、あるいは、現状の技術でどこまで建物の地震時挙動を説明できるか確認することにある。ここでの検討過程では、建物の「耐震健全性」は応答シミュレーション等を通じて間接的に評価されることとなる。

近年続けて発生したいくつかの被害地震では、強震域で記録された観測波形により、強非線形領域に至る建物応答シミュレーションを通じた地震時の建物挙動に関する研究が進展している。

ノースリッジ地震

1994年1月に発生したノースリッジ地震では、CSMIP (California Strong Motion Instrumentation Program) による強震観測が成果をもたらしたことは、建物地震観測の活用と言う観点から特に注目し値する。

CSMIPはCDMG (California Division of Mines and Geology) が実施している、カリフォルニア州における広

域地震観測であり、1970年に観測が開始されて以来、現在では650個所に至る観測サイトで強震観測を継続している¹⁾。650個所のうちいわゆるビルディングタイプの「建物」は150個所となっているが、建物の観測点は1棟あたり最低でも十数点という高密度観測が実施されており、建物観測記録の活用と言う観点からも極めて有用な記録が期待できる観測体制となっている。

ノースリッジ地震ではCSMIPの観測サイトのうち193地点で記録が取れた。193地点のうち77個所はダムや高速道路を含む土木建築構造物であり、そのうちいわゆる「建物」は57棟となっており、観測サイト全体の約30%となっている。²⁾

これらのCSMIPの観測記録は一般公開されており、強震域での建物挙動の研究等に盛んに活用されている。例えば、強震域で被害を受けた7階建てRC造ビルについては、Islam³⁾あるいはLi等⁴⁾といった異なるグループによる複数の研究結果が報告されている。また、鉄骨造のビルについては、Maison等⁵⁾による13階建て被災鉄骨ビルの解析を始めとして多数の報告が見られる。

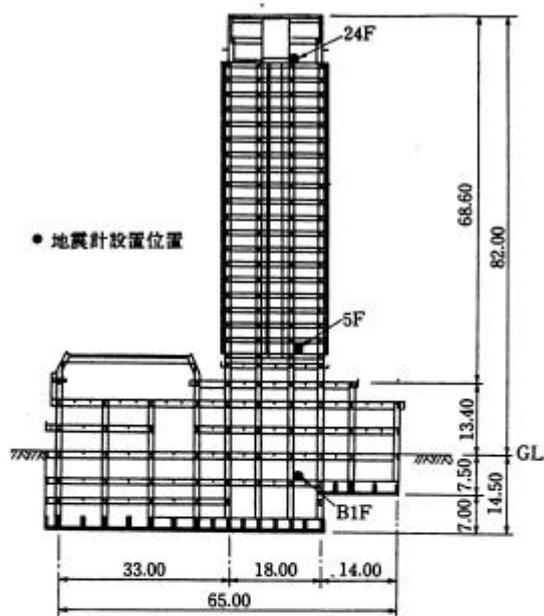
なお、ノースリッジ地震ではCSMIPの観測記録以外にも、市の建築基準により強震計の設置を義務づけられた高層建築300棟以上において観測記録が得られており¹⁾、その結果も同様に活用されていることを付記しておく。

兵庫県南部地震

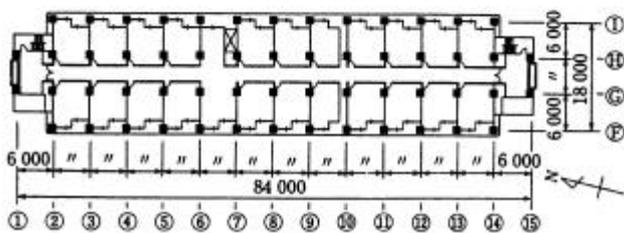
一方、ノースリッジ地震の一年後に発生した兵庫県南部地震では、被害の大きさの割に、建物における観測記録、特に被災建物における観測記録が極めて少ないことがその特徴となっている。

日本建築学会が収集した観測記録⁶⁾によると、兵庫県南部地震の記録が観測された251観測地点中、地盤以外で少なくとも2点以上の観測が行われている建物観測点は30棟に過ぎない。観測サイト全体に占める比率も約12%と、ノースリッジ地震におけるCSMIPの観測記録に比べ半

^{*} 大林組技術研究所



解析対象建物の断面図（はり間方向）



解析対象建物の平面図（高層部）

図1 参考文献8)より転載

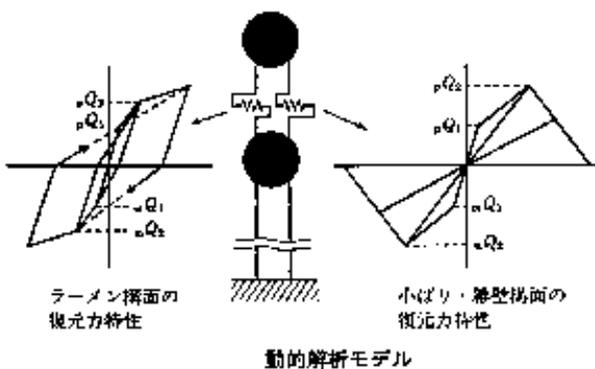
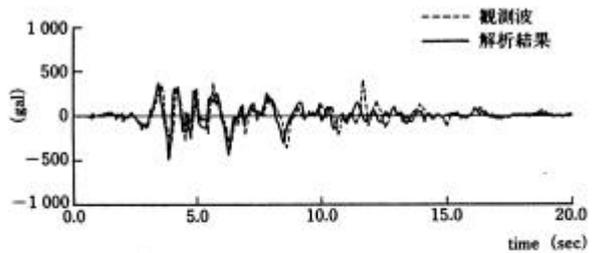
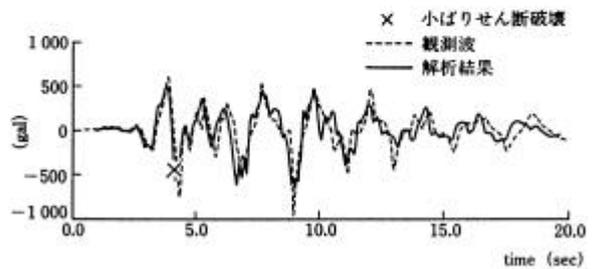


図2 参考文献8)より転載



応答加速度の時刻歴（5階床，2本バネの場合）



応答加速度の時刻歴（24階床，2本バネの場合）

図3 参考文献8)より転載

- 小ばり・雑壁構面の復元力特性
- - - ラメン構面の復元力特性
- 小ばりがせん断破壊
- 9割の小ばりがせん断破壊
- △ 大ばりが曲げ降伏
- ▲ ラメン構面の最大応答値（2本バネの場合）
- ◇ 小ばり・雑壁構面の最大応答値（2本バネの場合）
- ラメン構面の最大応答値（1本バネの場合）

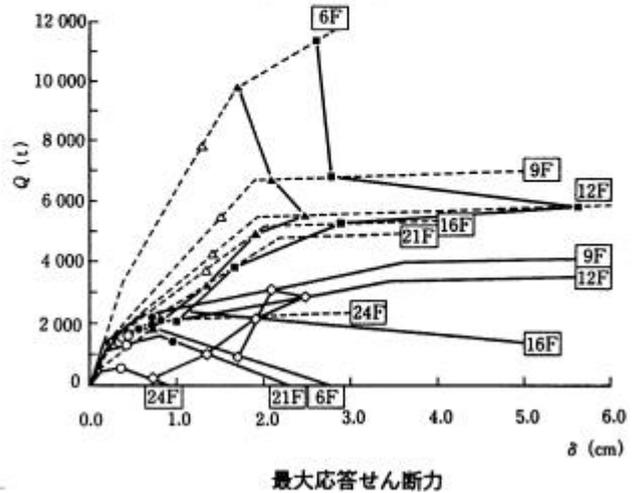


図4 参考文献8)より転載

分以下となっている。両地震での被災建物総数の差を考慮すれば、神戸における建物観測記録数はあまりに少なすぎるというわざるを得ない。

このように兵庫県南部地震での建物観測記録数が限られている原因としては、やはり地震以前の関西圏における建物地震観測に対する認識の低さが災いしたためと思われる。もともと観測物件が少なかったことに加えて、メンテ

ナンス状況が良くなかった場合などもあるようで、動作しなかったもの、振り切れてしまったもの等が少なからずあるようである。

また、日本の固有事情として、建物強震観測が建設会社を中心とする私企業によりなされていることが多く、観測建物が被災した場合、建物施主への対応上、観測記録を公表できない事例もあったのではないかと推察される。

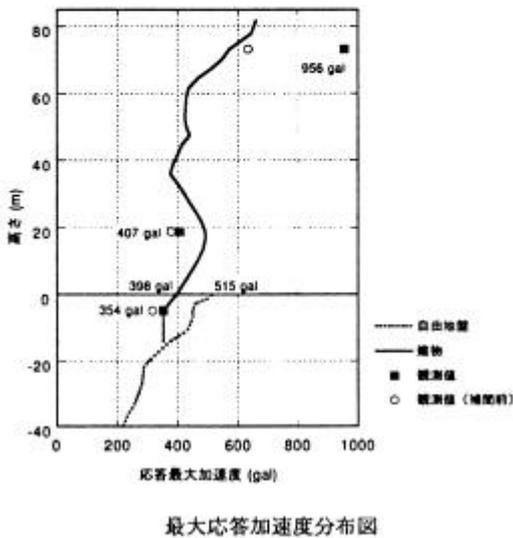
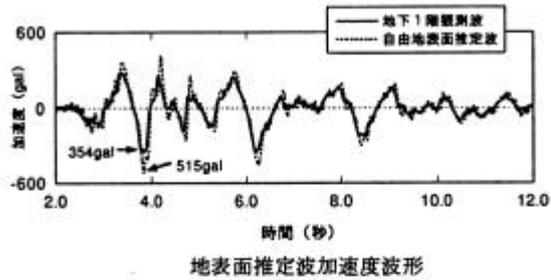


図5 参考文献13)より転載

このような数少ない建物観測記録においても、わずか数棟ではあるが、強震域における被災建物での観測記録が得られている。代表的なものとしては、住都公団新長田駅前市街地住宅^{7),8)}やN T T神戸駅前ビル^{9),10),11),12)}等があげられるが、いずれも建物の詳細な挙動解析等に活用されている。

例えば、新長田駅前市街地住宅(図1)について、沢井等⁸⁾は観測結果をもとに建物弾塑性応答解析を行っている。まず、詳細な立体骨組みモデルを用いた静的解析により得られた復元力特性を用いて、この建物を雑壁構面を含む多質点系モデル(図2)で表現している。このモデルに建物地下1階で観測された地震波を入力して弾塑性応答解析を行い、得られた上部階の応答を観測結果と比較することで解析モデルの妥当性を確認している(図3)。この研究では雑壁構面が損傷を受けることで建物に入力した地震エネルギーを減衰させ、結果的に主体構造の被害が押さえられたことが判明している。(図4)

また、この建物では観測結果の更なる活用として、安井等¹³⁾により強震時における基礎地盤相互作用の評価も行われている。ここでは、地下1階観測波をもとに地表面地動を逆算推定し(図5)、その結果、建物基礎の最大加

速度は自由地表面に対して約3割の低減傾向が見られ、同じく最大速度では約1割の低減が見られることが確認されている。

ところで、両地震の観測記録を通じて言えることであるが、耐震健全性評価と言う観点から見ると、現状における建物地震観測活用方法では、被害のなかった建物については間接的に「健全」であることを評価できるが、被害を受けてしまった建物については、「健全性を評価した」とは言えない。建物挙動のシミュレーションから得られるものは、結果的に建物が壊れなかったことの追認であるか、もしくは「予想通り壊れた」(あるいは、「壊れることは予想できた」)ことの確認を行っているにすぎない。すなわち、地震観測記録の利用方法としては消極的であるといわざるを得ない。

次節では、より積極的な建物地震観測の活用方法について述べてみたい。

3 地震観測記録の耐震健全性評価への応用

ここでは、建物における地震観測の活用方法として、直接「耐震健全性」を評価するという点について考えてみたい。これは、いわゆるヘルスマonitoring¹⁴⁾という考え方に基づくものであり、観測対象の現状(=健康状態)を把握することを通じて健全性を直接評価しようというものである。

具体的には、地震前後の建物動特性の変化を把握したり、あるいは、強震時の建物特性の時刻歴上での変化を把握し、その結果を評価することで耐震健全性の評価を行うというものである。

現実的には、この分野はいまだ研究途上であり、実用的な研究はほとんど行われていないのが実状である。¹⁵⁾

建物損傷と動特性

建物地震観測記録に基づいて健全性評価を行う際に、まず問題となるのが、健全性を定量的にどう評価するかという点である。つまり、地震観測から建物の健全性を評価するためには、健全性(損傷程度と言いかえることも可能)と動特性の関係が明確であることが大前提となる。

しかしながら、損傷が建物動特性に与える影響については良く分かっていないのが現状である。これは、最近に至るまで被害を受けた建物そのものが比較的少なかったことも一因であり、さらに、被災建物で動特性を実測しようという例はほとんど見られなかったことによるものである。

兵庫県南部地震以前の数少ない研究の一例として、南¹⁶⁾は、12階建てSRC造ビルにおける地震観測を通じて固有周期の長期的変化について報告している。しかし、こ

の建物では中小地震しか観測されておらず、固有周期の伸びは主に非構造部材の剛性低下に起因すると思われるとしている。

兵庫県南部地震を契機として、建物被害と動特性の関係についてさまざまな実測が行われ、報告がなされている。最も多く見られるのが、地震前後の建物固有周期の変化に着目したものである。

例えば、鈴木等¹⁷⁾は複数の被災建物において復旧前後の常時微動測定に基づき固有周期等の変化について調査している。建物構造形式、損傷程度により異なる結果が得られているが、固有周期から推定すると、鉄骨造の例では被害の大きい方で補修による剛性増加が2.42倍に至ったとしている。(図6)

奥田等¹⁸⁾は被災建物の補修前後の常時微動測定による固有周期変化について報告しており、松岡等¹⁹⁾は同じ建物において過去の地震と兵庫県南部地震の余震間での固有周期変化について報告している。

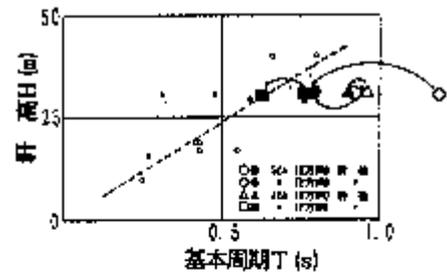
また、直接被災前後を比較したものではないが、横田等²⁰⁾は被災建物の固有周期を既往の実験結果等から推定した値と比較し、被災による固有周期の伸びについて検討しており、被害が大きいほど固有周期が伸びる傾向を確認している。(図7)

さらに、被害を被った建物ではないが、兵庫県南部地震における大阪地区での高層ビルに関する報告として、沢井²¹⁾、此上²²⁾、高崎²³⁾等がそれぞれ異なる高層建物に関して、微動計測、地震観測等に基づき兵庫県南部地震前後の固有周期の変動について報告している。それによると、構造体そのものに被害がなくとも2次部材等の影響により固有周期のわずかな増加が見られることもある、ということが指摘されている。

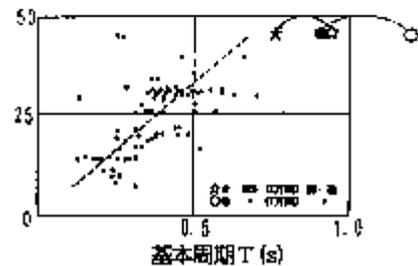
また、大場、三枝等^{24),25)}は大阪におけるSRC造16階建てのビルの兵庫県南部地震前後の固有周期の変化について検討し、固有周期の変化は地盤剛性の変化によるものと考えられるとしている。

これらの報告はいずれも固有周期に基づく建物全体としての動特性に着目したものであるが、一方、中村等²⁶⁾は、被災鉄骨建物における補修前後の全層同時微動計測を通じて、固有周期の変化のみならず層ごとの剛性低下について評価している。それによれば、主に中間層の柱梁接合部に損傷を受けた鉄骨ラーメン構造の場合、損傷の大きな層の剛性は20~30%低下したと考えられるとしている。(図8)また、ブレース破断を伴うような損傷を生じた鉄骨造の場合、損傷の大きな層では層剛性は50%程度低下した可能性があるとしている。

兵庫県南部地震以降の研究としては、遠山等²⁷⁾により、



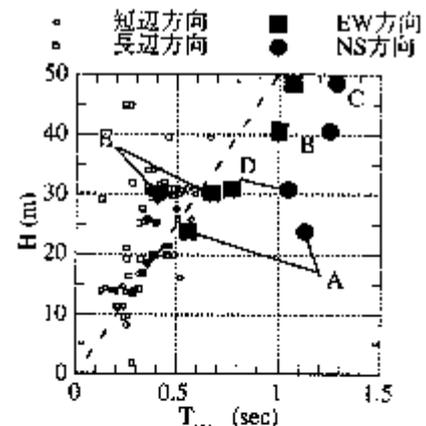
(a) (S造)



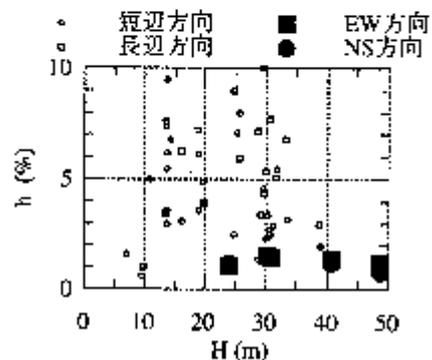
(b) (SRC、RC造)

図6 基本周期と軒高

参考文献17)より転載



(a) 基本周期と軒高の関係



(b) 基本周期の減衰定数と軒高の関係
調査対象建物の基本的動特性

図7 参考文献20)より転載

実大鉄骨建物を用いたブレース破断による建物動特性の変化を探る実験が行われるなど、この方面への関心が高まっていることがうかがえる。

損傷検出手法

地震観測を活用した建物健全性評価手法について検討するに際して、建物損傷と動特性変化の関係を明らかにすることと同時に重要であるのが、この動特性の変化をいかにして検出するかという検出手法に関する研究である。

建物固有周期を地震観測結果から求めるというのは、一般的に普及している基本的システム同定技術を用いれば現状で対応可能であり、適用例はいくらでも見られる。このことから、固有周期に着目して健全性評価を行おうというのは現実的な手法にも思われる。比較的少数の観測点で評価が可能であることもこの手法の利点である。例えば、建物頂部と建物基礎の最低2点の観測点があれば、地盤の影響を分離した建物自身の動特性すなわち健全性を評価できる可能性がある。

しかしながら、前述のように建物損傷と動特性変化の関係が明らかになっていない現状が、応用的な研究を行うことを阻む一因となっている。つまり、同定手法としては比較的簡明であるはずにもかかわらず、被害程度と固有周期の関係に関する定量的な知見が得られていないため、その固有周期そのもの（あるいはその変化）を建物健全性と結び付ようという現実的な応用研究はほとんど見られない。

もっとも、逆の見方をすれば、建物損傷と建物固有周期変化の定量的な関係さえ明らかになれば、固有周期に着目した健全性評価手法は、実用的な損傷検出手法となりうる可能性が大きいといえる。建物地震観測の活用が今後期待できる一分野であるということができよう。

一方、固有周期のような建物全体の動特性から間接的に健全性を評価するのではなく、観測された情報から直接構造特性の変化を捉えて損傷を検出する手法に関する研究も行われている。ここでは、従来とは違った新たな同定手法が必要とされる。ただし、具体的な適用事例となる観測記録が不足しているため、数値シミュレーションもしくは模型実験にとどまっているのが現状である。また、一部の手法では地震動ではなく常時微動を用いることを前提としている。代表的なものについて、以下に概説を示す。

Lin 等²⁸⁾は、時刻歴上で剛性を評価し、その変化を捉えることを数値シミュレーションを通じて試みている。

Agabian 等²⁹⁾は時刻歴上で直接剛性・減衰等の構造パラメータを同定し、その統計量の変化を指標として被害検出を試みている。

濱本等³⁰⁾はARMAモデルを応用して損傷検出を行う方法を提案し、さらに振動台実験によりその手法の有効性を確認³¹⁾している。

Oreta 等³²⁾は、RCフレームの振動試験で得られた結

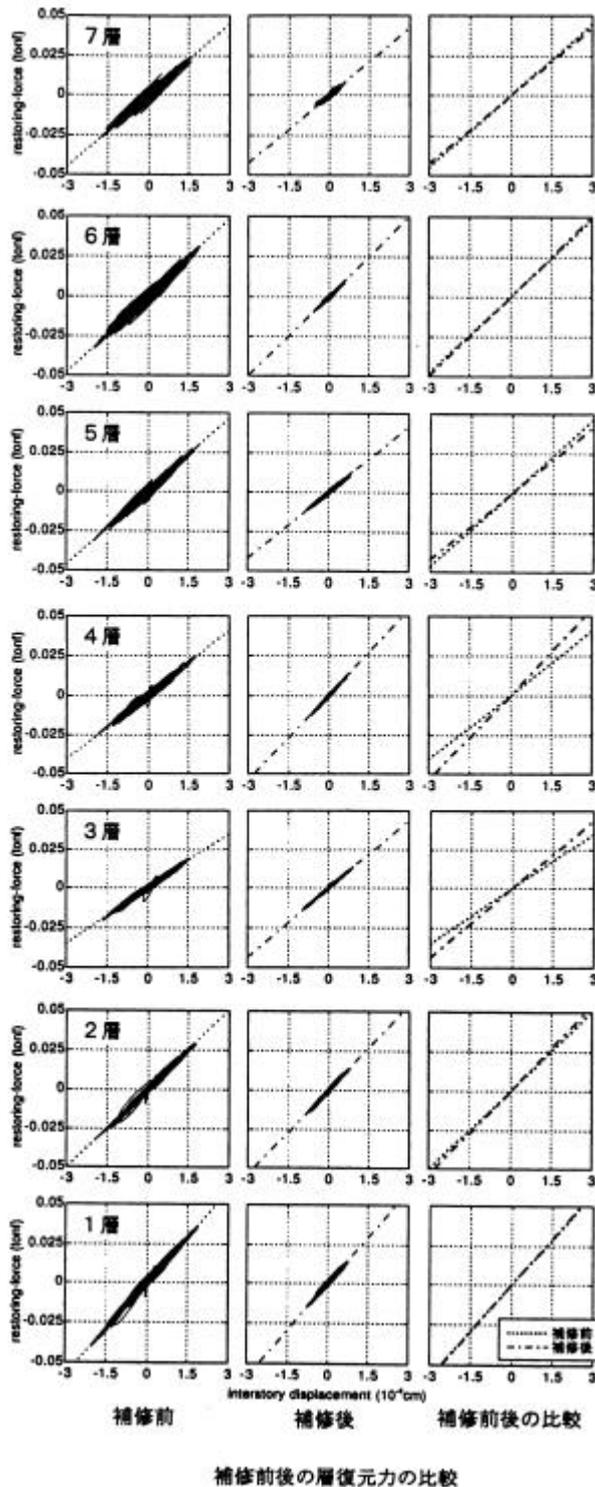


図8 参考文献26)より転載

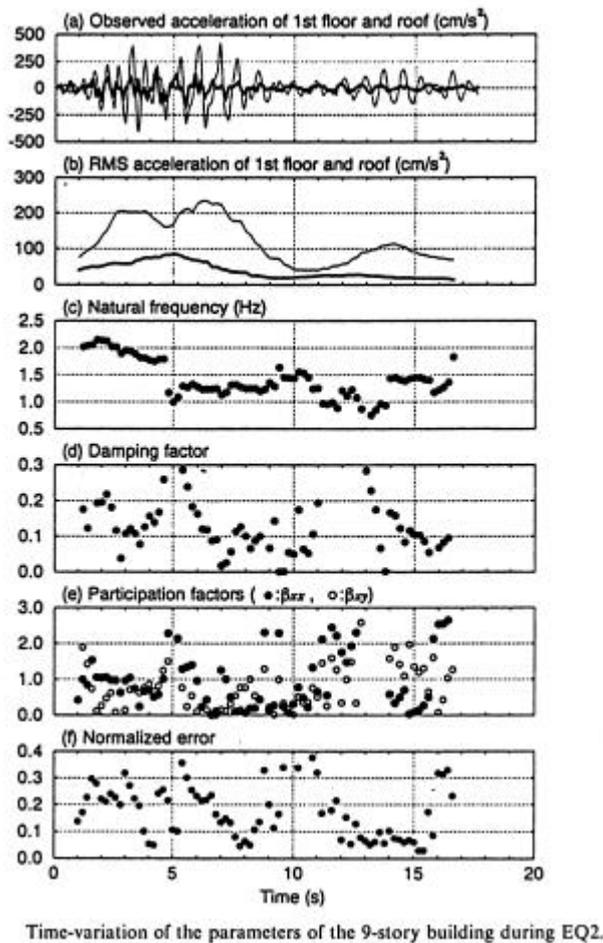


図9 参考文献35)より転載

果から、カルマンフィルターを用いて剛性を評価し、その劣化程度を評価することを試みている。

曾根等³³⁾は構造物が被害を受けたときに生じる時刻歴上の不連続な特性変化をウェーブレット変換を用いて検出する手法を提案している。

三田³⁴⁾は、多層構造物において層間ごとに独立して損傷を検出できる手法について提案し、手法を免震構造物の振動台試験に適用している。

飛田³⁵⁾は時刻歴上で剛性・減衰を同定する手法について示し、手法を免震建物および9階建てのSRC建物で得られた地震観測結果に適用している。(図9)

Masri等³⁶⁾はニューラルネットワークを応用した構造物の損傷検出手法を提案しており、中村等³⁷⁾はこの手法を兵庫県南部地震で被災した建物の補修前後の微動計測結果に適用している。

斎藤³⁸⁾は、ARMAモデルを用いてモーダルパラメータの時間変化を評価する方法を提案し、手法を大阪に位置する15階建ての鉄骨造建物で得られた兵庫県南部地震の

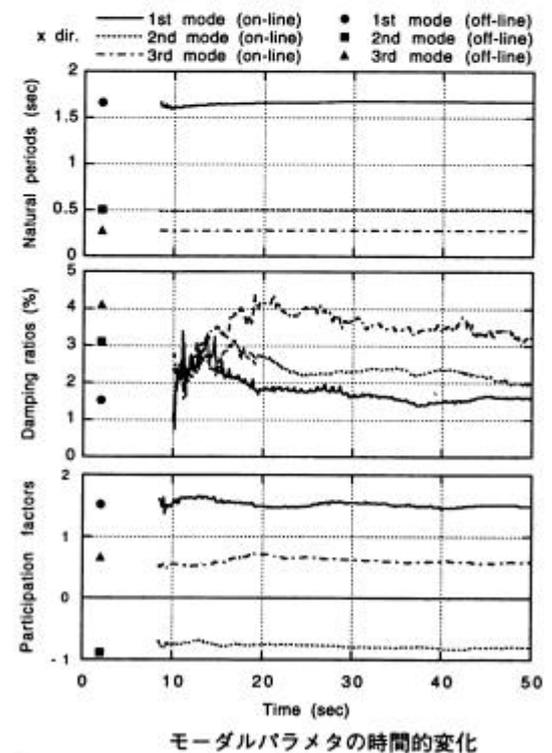
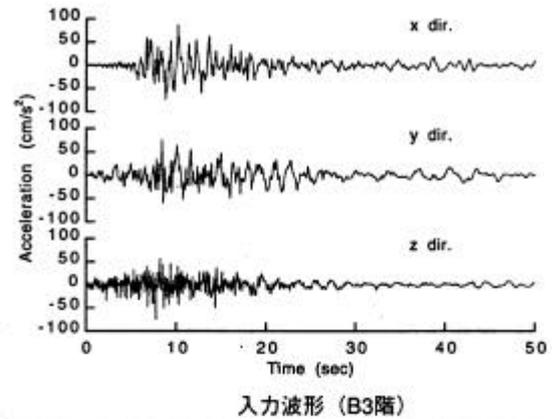


図10 参考文献39)より転載

観測記録に適用している。³⁹⁾(図10)

エスコバル等⁴⁰⁾は、測定で得られた振動モードから剛性マトリックスを作成し、その損傷前後での変化から損傷部材とその損傷程度を確定する手法について提案している。

また、損傷検出手法そのものではないが、微動計測結果から耐力補強型の耐震改修効果を確認する手法についての指針案が田中等⁴¹⁾により提示されている。損傷検出と耐震改修効果確認は表裏一体の関係にあり、損傷検出手法は耐震改修効果確認の分野にも応用が可能であると考えられる。

これらの検出手法の適用可能性を検討するためには、今後、建物における地震観測結果を用いて検証を重ねてい

く事が欠かせない。現状で見られる提案手法は、比較的高密度の観測点を想定しているものが多いことから、手法の検証段階では、高密度な観測体制における観測記録が必要となるであろう。しかし、手法がある程度確立すれば、測点数が少ない場合への適用方法を探る等、より実用的な方向へ向けての展開も可能になるものと思われる。

検出手法を確立するためにも、建物地震観測結果の蓄積が必要とされている。

建物地震観測の将来展望

以上、概観したように、耐震健全性評価と言う観点から見た建物地震観測の活用は、いまだ研究途上であり、今後、研究をより現実的な応用に結び付けていくためには、広範な建物観測記録が蓄積されていく事が必要と思われる。

将来これらの研究が実用的なものになり、地震観測を通して建物健全性評価が可能になれば、建物における強震観測に新たな価値を付加することができることになる。すなわち、地震直後の建物の危険度判定などを自動化できる可能性が開けることになり、ユーザ（建物の住人）に対しても有益な情報を提供できる可能性がある。

地震観測装置を建物に数多く取り付けられているセンサーの一つであると考えれば、地震観測結果をもとに健全性の判定を行うことは建物自身のインテリジェント化の一つともみなせ、他の「センサー」と統合した真のインテリジェントビル構築へ向けての一つの足がかりともなりうるなど、建物地震観測の新たな将来展望が開けるのではないかと考えられる。

4 最近の建物地震観測の実例

近年の建築学会大会での報告を見ると、数は少ないものの、異なる建物での地震観測報告が毎年コンスタントに見られ、決して建物地震観測がおろそかにされているわけではないことがわかる。

ここでは、比較的多数の測点を配置して高密度に観測を続けている建物地震観測事例の概要をいくつか紹介する。

連棟超高層ビル

久田は、新宿に立地する連棟の超高層建物で、地震観測を行っている^{42),43)}。この建物は、それぞれ地下6階を有する28階建てと29階建ての鉄骨造ツインタワー（工学院大学新宿校舎/STE Cビル）である。（図11）

観測規模は、地震計が37チャンネル、風圧計・風向風速計が12チャンネルとなっており、地震以外にも風による振動を観測対象としていることが特徴である。また、地上階の観測点が高密度に配置されており、建物のねじれ振動も評価できるようになっている。

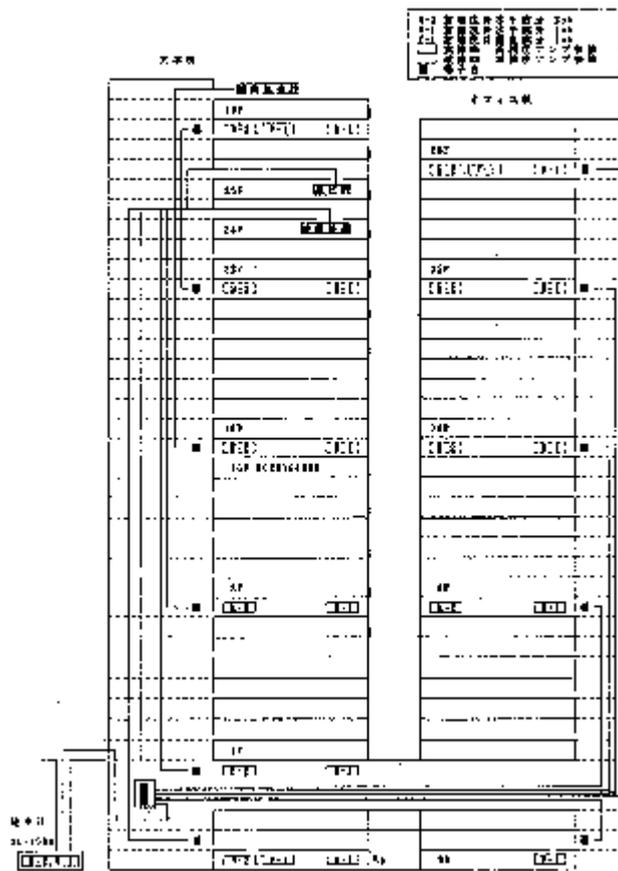


図11 参考文献44)より転載

1989年より工学院大学と民間企業が共同研究として観測を行っており、成果は報告書の形で公開されている⁴⁴⁾。

複数建物におけるアレイ観測

福和等⁴⁵⁾は、名古屋大学の構内において複数の建物および地盤観測点を含んだアレイ観測を行っている。

建物は、4階建てから10階建てのRC造ならびにSRC造の3棟の建物で、観測規模は地盤も含めて12個所計40チャンネルとなっている（図12）。地盤測点に関しては、他のキャンパスの観測点と共に中規模アレイを構成している。また、これらの観測記録はオンラインシステムを通じて収集・整理が速やかに行えるように整備されていることが特徴となっている。

観測結果は、飛田等^{46),47)}により、建物の減衰特性評価に関する研究等に活用されている。

長大な駅ビル構造物

藤原等⁴⁸⁾は、長大な駅ビル構造物において地震観測を実施している。

観測対象となっている京都駅ビルは、長辺方向が約

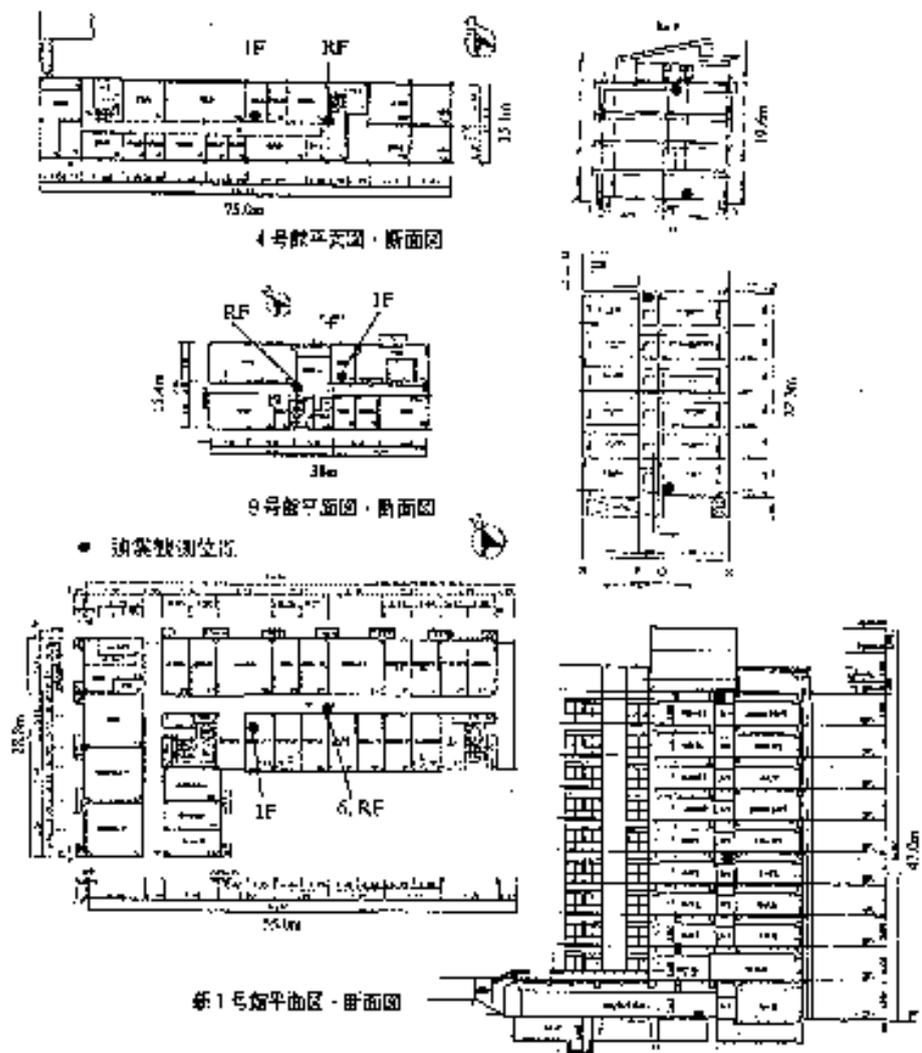


図 1 2 参考文献 45)より転載

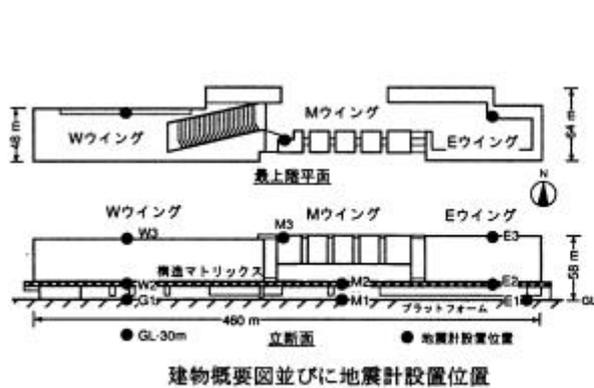


図 1 3 参考文献 48)より転載

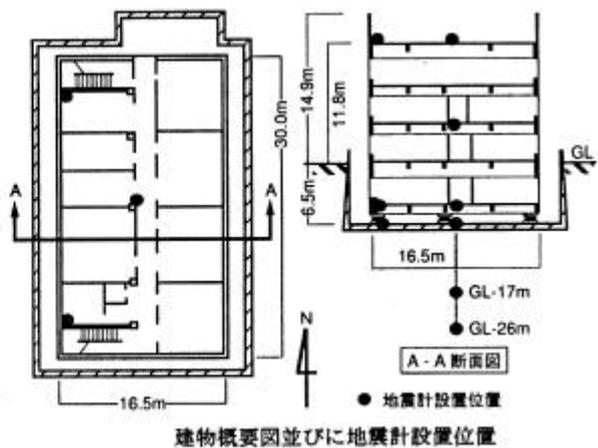


図 1 4 参考文献 50)より転載

460m という長大な鉄骨造ビルであり、地上16階、地下3階、高さ約60m、短辺方向50~60mという規模を有する。(図13)

観測点は、建物を構成する大きな3つのウイングに分散して合計10箇所計24チャンネルとなっており、1997年より観測を開始している。

観測結果からは建物のモード特性等が評価されており、さらに設計モデルを用いた応答シミュレーション解析が行われている。

免震構造物

免震構造物や制振構造物等の新しい構造形式を持つ建物については、比較的積極的に地震観測が行われているようである。特に免震建物は、兵庫県南部地震を契機に建設戸数が急激に伸びており、地震観測設備を有する物件も増えているものと思われる。

免震構造における地震観測は、通常、免震効果の評価を主目的としており、耐震健全性の評価と言う観点からは少しはずれると思われるが、ここでは、小規模な免震建物でありながら比較的高密度な建物観測点を有する一例を紹介する。

この建物は、京都市内に位置する地下1階、地上3階の免震建物で、天然ゴム系の積層ゴムと粘性ダンパーからなる免震装置を有する。観測規模は地中2測点、免震層下ならびに免震層上の建物内部の合計27チャンネルとなっており、免震層上の上部構造に比較的多数の測点を有するため、上部構造の立体的な挙動を評価できることが特徴となっている。(図14)

中村等^{49),50)}により1997年より観測が行われており、観測結果は、免震効果の検証に加えて、免震層の動特性の振幅依存性の評価等に活用されている。

5 まとめ

現状における建物地震観測記録の活用は、観測結果を用いた地震応答シミュレーションといった「消極的利用」が中心である。

より積極的に建物観測記録を活用すれば、観測記録から直接、建物の健全性評価が可能となるはずであり、これは、建物における強震観測に新たな価値を付加するものである。

しかしながら、現状では建物損傷程度と建物動特性変化の関係に関する定量的知見が不足しており、また、地震観測の蓄積不足から、健全性評価(損傷検出)手法に関する研究はシミュレーションによる検討レベルにとどまっている。

建物における強震観測は、強震時の建物挙動の解明を

進めるためのみならず、損傷による建物動特性変化に関する定量的な知見を確立し、損傷検出手法を検証していく上でも欠かせない。今後、より広範な建物強震観測が展開されていく事が必要とされているのである。

そのためには、現状の建物地震観測体制を、CSMIPにみられるような公的機関主導による一体化した体制へと変革していく事が必要ではないだろうか。関係機関による検討を切に望みたいところである。

参考文献

- 1) California Strong Motion Instrumentation Program : SMIP98 Seminar on Utilization of Strong-Motion Data Proceedings, Sep. 1998.
- 2) Shakal, A. et al. : CSMIP Strong-Motion Records from the Northridge, California Earthquake of 17 January 1994, Report No. OSMS 94-07, California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, Feb. 1994.
- 3) Islam, M.Saiful : Analysis of the Northridge Earthquake Response of a Damaged Non-Ductile Concrete Frame Building, The Structural Design of Tall Building, Vol.5, pp.151-182, 1996.
- 4) Li, Y.Roger and James O. Jirsa : Nonlinear Analyses of an Instrumented Structure Damaged in the 1994 Northridge Earthquake, Earthquake Spectra, Vol.14, No.2, pp.265-283, May. 1998.
- 5) Maison, Bruce F. and Kazuhiko Kasai : Analysis of Northridge Damaged Thirteen-Story WSMF Building, Earthquake Spectra, Vol.13, No.3, pp.451-473, Aug. 1997.
- 6) 日本建築学会兵庫県南部地震特別研究委員会特定研究課題1 - SWG 1、他：1995年兵庫県南部地震強震記録資料集、1996.
- 7) 木村匡、此上典文、他：兵庫県南部地震における新長田駅前高層SRC造建物の解析的検討 その1、その2、その3、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.533-538、1996.
- 8) 沢井布兆、江戸宏彰、他：SRC造25階建て集合住宅の被害と解析、コンクリート工学、Vol.34、No.11、pp.37-41、1996年11月号
- 9) 関貴治、赤木久真、他：兵庫県南部地震におけるNTT建物の地震記録について(その1)(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.219-222、1995.
- 10) 奥田賢持、赤木久真、他：兵庫県南部地震におけるNTT建物の地震記録について(その3)(その4)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.547-550、1996.
- 11) 二宮利文、赤木久真、他：NTT神戸駅前ビルの地震応答解析(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.405-406、1996.
- 12) 稲葉拓、佐藤沢、他：NTT神戸駅前ビルの地震応答解析(その2)(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.323-326、1998.
- 13) 安井謙、井口道雄、他：1995年兵庫県南部地震における基礎有効入力動に関する考察、日本建築学会構造系論文集、第512号、pp.111-118、1998.
- 14) 山本鎮男編：ヘルスマニタリング - 機械・プラント・建築・土木構造物などの健全性監視 -、共立出版、June.1999.(出版予定)
- 15) Housner, G.W. et al. : Special Issue "Structural Control : Past, Present and Future",

- Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.123, No.9, pp.943-950, 1997.
- 16) Minami, Tadao : Stiffness Deterioration Measured on a Steel-Reinforced Concrete Building, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.15, pp.697-709, 1987.
 - 17) 鈴木敏夫、寺岡勝、他：常時微動を利用した被災建物の復旧工事前後の振動性状調査、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.57-58、1996.
 - 18) 奥田賢持、赤木久真、他：兵庫県南部地震におけるN T T建物の地震記録について(その3)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.547-548、1996.
 - 19) 松岡昌志、翠川三郎、他：兵庫県南部地震におけるN T T建物の地震記録について(その4)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.549-550、1996.
 - 20) 横田治彦、田村和夫、他：1995年兵庫県南部地震におけるS R C造被災建物の動特性(その1：被災状況と地盤・建物の卓越振動数)、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.71-72、1995.
 - 21) 沢井布兆、横山浩明、他：兵庫県南部地震における高見フローラル超高層R C造集合住宅の検証(2) 地震観測の概要および観測記録I、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.431-432、1995.
 - 22) 此上典文、野畑有秀、他：兵庫県南部地震における鉄骨造高層建物の地震応答、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.439-440、1995.
 - 23) 高崎芳夫、平澤光春、他：高層建物での兵庫県南部地震の観測結果と固有周期の変動、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.441-442、1995.
 - 24) 大場新太郎、三枝大介：1995年兵庫県南部地震の建物固有周期の経時変化、日本建築学会近畿支部研究報告集平成10年度、pp.209-212、1998.
 - 25) 三枝大介、大場新太郎：兵庫県南部地震前後における建物固有周期の変化、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.1003-1004、1998.
 - 26) 中村充、安井謙：微動測定に基づく地震被災鉄骨建物の層損傷評価、日本建築学会構造系論文集、第517号、pp.61-68、1999.
 - 27) 遠山幸太郎、村井信義、他：高層建物の部分損傷による振動特性の変化把握実験、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.971-972、1998.
 - 28) Lin, C.C., T. T. Soong and H. G. Natke : Real-Time System Identification of Degrading Structures, Journal of Engineering, Mechanics, ASCE, Vol.116, No.10, pp.2258-2274, 1990.
 - 29) Agbalian, M.S., Masri, S.F. et al.: System Identification Approach to Detection of Structural Changes, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol.117, No.2, pp.370-390, 1991.2
 - 30) 濱本卓司、近藤一平：既存建造物の全体損傷の同定に関して、構造工学論文集、Vol. 38B、pp.177-188、1992
 - 31) 近藤一平、濱本卓司：振動台実験のランダム応答データをを用いた多層建築物の損傷検出、日本建築学会構造系論文集、第473号、pp.67-74、1995.7
 - 32) Oreta, Andres W.C. et al. : Identification of Stiffness Deterioration of Concrete Structures, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16, No.2, 1994.
 - 33) 曾根彰、山本鎮男、増田新、中岡明、芦野隆一：強震記録のウェーブレット解析による履歴復元力特性を有する建築物の累積損傷の推定、日本建築学会構造系論文集、第476号、pp.67-74、1995.
 - 34) Mita, Akira : Distributed Health Monitoring System for a Tall Building, 2nd International Workshop on Structural Control Workshop Papers, pp.333-340, Dec. 1996.
 - 35) Tobita, J. : Evaluation of Nonstationary Damping Characteristics of Structures Under Earthquake Excitations, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.59, pp.283-298, 1996.
 - 36) Masri, S. F., Nakamura, M., Chassiakos, A. G. and Caughey, T. K. : A Neural Network Approach to the Detection of Changes in Structural Parameters, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, Vol. 122, No. 4, pp. 350-360, 1996.
 - 37) Nakamura, Mitsuru, Sami F. Masri et al. : A Method for Non-Parametric Damage Detection through the Use of Neural Networks, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.27, pp.997-1010, 1998.
 - 38) 斎藤知生、横田治彦：1995年兵庫県南部地震の記録を用いた建物振動特性の同定、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.509-510、1996.
 - 39) 斎藤知生：モード解析型他入力他出力A R Xモデルを用いた高層建物のシステム同定、日本建築学会構造系論文集、第508号、pp.47-54、1998.
 - 40) エスコバール・ホセ・アルベルト、他：センシティブィー・マトリックスによる鉄筋コンクリート建造物の損傷解析、日本建築学会構造系論文集、第508号、pp.93-100、1998.
 - 41) 田中礼治、阿部良洋：常時微動測定による既存建築物の耐震改修効果確認法指針(案)、建築技術、1998.5
 - 42) 久田嘉章：工学院大学新宿校舎の地震応答性状について、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.725-726、1997.
 - 43) 久田嘉章、菊池毅：工学院大学新宿校舎のリアルタイム強震観測情報システムに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.1047-1048、1998.
 - 44) S T E C街区強震強風振動観測委員会：1997年度S T E C街区強震強風振動観測・研究報告書、1998.
 - 45) 福和伸夫、山田耕司、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、pp.41-47、1996.
 - 46) 飛田潤、福和伸夫、他：名古屋大学東山キャンパスの高密度地震観測に基づく建築物の減衰特性推定、日本機械学会D & D'97 21世紀のダンピング技術シンポジウム講演論文集、pp.41-44、1997.
 - 47) 飛田潤、西山拓一、他：実測記録による10階建てS R C造建物の振動特性評価、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.989-990、1998.
 - 48) 藤原悌三、鈴木祥之、他：京都駅ビル建造物の地震観測 その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.387-390、1998.
 - 49) 中村充、竹脇出、他：京都市内に位置する免震建物における地震観測、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.565-566、1997.
 - 50) 中村充、竹脇出、他：地震観測に基づく免震建物動特性の振幅依存性評価、日本建築学会大会学術講演梗概集B-2、pp.707-708、1998.

強震観測システムとしての監視用カメラの可能性

Possibility of Security Cameras as Strong Motion Measurement System

齊藤 芳人¹⁾・堀 宗朗²⁾・須藤 敦史³⁾

Yoshihito SAITO, Muneo HORI, Atsushi SUTOH

This paper proposes the strong motion measurement system using security video cameras. Since this system basically uses the existing devices which are installed in many buildings, it is economical. It also enables to use the devices as maintenance-free and a denser network system of strong motion measurement. The image analyses and the inversion methods are considered in this paper, and shaking table tests are carried out to verify the validity of this proposed methods. Since input waves are well reproduced from recorded video images by applying the proposed methods, the results of the tests support the possibility of the security video cameras as the strong motion measurement system.

1. はじめに

近年、様々な組織が強震観測ネットワークを整備しており、兵庫県南部地震以来、急激に観測点数を増している¹⁾。科学技術庁防災科学技術研究所のK-NET²⁾³⁾では、全国1000地点に強震計が設置されており、日本全国に約25km間隔で同スペックの加速度型強震計が設置されている。また、横浜市⁴⁾では150台の高精度強震計を市内約2km間隔に設置し、詳細な震度分布を把握しようとしている。こうした高精度の観測記録は、理学的研究のみならず、工学的研究や実務さらにはUrEDAS⁵⁾やSIGNAL⁶⁾のような緊急警報システムに用いられている。一方、都市防災や既存構造物の耐震性能を考える際には、より狭い地域での地盤震動特性やその分布を評価することが必要となる。これは、強震動の増幅特性が地盤の不均質性や地質構造の複雑さ等の理由により、10~100mのオーダーで変化するためである。典型的な例として、兵庫県南部地震では神戸市内に震度VIIの狭い带状地域が現れている。加えて、この地域では構造物の被害に大きな差を生じているにもかかわらず、強震観測記録はほとんど得られていない。こうした観点から、より高密度な強震観測網が望まれるところである。しかし、現状の観測装置を密に設置することは、初期投資ならびにメンテナンス費用の面から非現実的である。そこで、観測精度がある程度犠牲にされても、より高密度なネットワークを可能にする新たな方法が提案されるべきである。ここでは、

経済的かつ高密度に、既存の強震観測点を補間するネットワークのひとつの候補として、銀行やコンビニエンスストアなどに設置されている監視用カメラを利用する方法を提案している。これにより、特別な装置を新たに設置する必要がなく、都市内において密な強震観測ネットワークを構築することが可能となる。さらに、維持管理に手間をかけずに地震観測が行えることになる。

ビデオ画像を利用した強震観測については幾人かの研究者が既に研究している。菊地⁷⁾は兵庫県南部地震での神戸市内の断層の位置を特定するのに監視用カメラの画像記録が利用できることを示している。瀬尾ら⁸⁾は、同地震でのNHK神戸放送局の室内映像を用いて、強震時の棚の動きや人の行動が簡単な建屋モデルの解析結果と良く対応することを示しており、映像記録から地震動を推測することの可能性を示唆している。また、大堀ら⁹⁾¹⁰⁾はコンビニエンスストアの監視用カメラに記録された物の動きや人間の行動を気象庁震度階に照合することで震度調査を試みている。さらに、S-P時間などが読み取れることを述べている。こうした研究はいずれも画像記録中の物の動きや人の行動に注目した定性的な検討が中心であった。

本論では、監視用カメラが記録したビデオ画像記録から強震動を同定するための画像解析手法と逆解析手法を提案している。さらに、振動台を用いたモデル実験から本手法の地震観測ネットワークへの適用可能性について検討している。

1)前田建設工業(株) 技術研究所

2)東京大学地震研究所

3)株式会社地崎工業 技術開発部

MAEDA CO., Technical Research Institute

UNIVERSITY OF TOKYO, Earthquake Research Institute

CHIZAKI KOGYO CO., Technical Research&Development Dept

2. 監視用カメラを用いた高密度強震観測の提案

まず、監視用カメラならびにその画像記録を用いた強震観測ネットワークの特徴⁹⁾を以下に示す。

有利な点

- 1) 監視用カメラは殆どの銀行や店舗等に設置されており、強震観測点に比べて設置間隔が狭く、特に人口の密集した地域に自然と形成されている。
- 2) 装置の特別なメンテナンスは必要なく、監視用カメラは、その監視機能のために通常メンテナンスされている。
- 3) 画像として記録するため、事後においても正確な再現（再生）が可能である。
- 4) 一般に、1/30 秒ごとに 640*480 ピクセルのデータが銀行や店舗の開店している間記録される。また、コンビニエンスストア等の店舗によっては 24 時間記録している。
- 5) 定量的な強震動推定の可能性を有しており、加えて被写体の振動やその動きにより定性的な検証も行える。

不利な点

- 1) 画像を連続的に記録しない場合、もしくは営業時間のみの場合もある。
- 2) 画像が短時間で消去される場合や保存期間がある。
- 3) 電源が遮断された場合には記録が残らない。
- 4) 記録装置を保有する店舗もしくは企業の協力が必要となる。

このように、本強震観測システムは既存装置の利用を前提としているため、解決しなければならぬ問題点も多く、かつ現在の強震観測点を補間するシステムとなるが、防災上からも特に都市内にこうした観測ネットワークを設ける意義は高いと思われる。

具体的な監視用カメラの利用形態として、本論文では以下のような 3 通りの方法を提案する。各方法の特徴をまとめて表-1 に示す。

(1) 標点観測

図-1 に示すように、建物の振動によって監視用カ

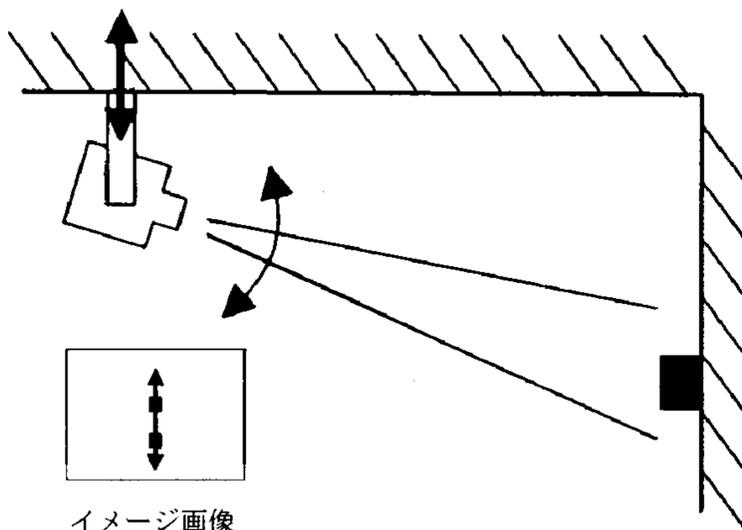


図-1 標点観測の概念図

メラが揺れることにより、画像内のある幾つか任意の標点（画像解析上コントラストの明確なものを選ぶ）を通して、監視用カメラの相対的な動きを測定するものであり、特に特別な装置を付加する必要はない。ただし、監視用カメラやその取り付け金具の振動特性が明確でないと入力強震動を評価することは難しい。また、本方法は比較的大きな地震に適している。

(2) 振り子観測

図-2 に示すように、監視用カメラに取りつけた幾つかの振り子の動きを画像から追うものである。本システムは適当な固有周期をもつ幾つかの振り子からなり、本来の目的である室内の監視を妨げないような小さな振り子でなければならない。また、他の振り子や背景と一体化しないような色を選ぶ必要がある。簡単な振り子の設置のみで、低コストでシステムが完成する。また、本方法は中小地震に向いている。

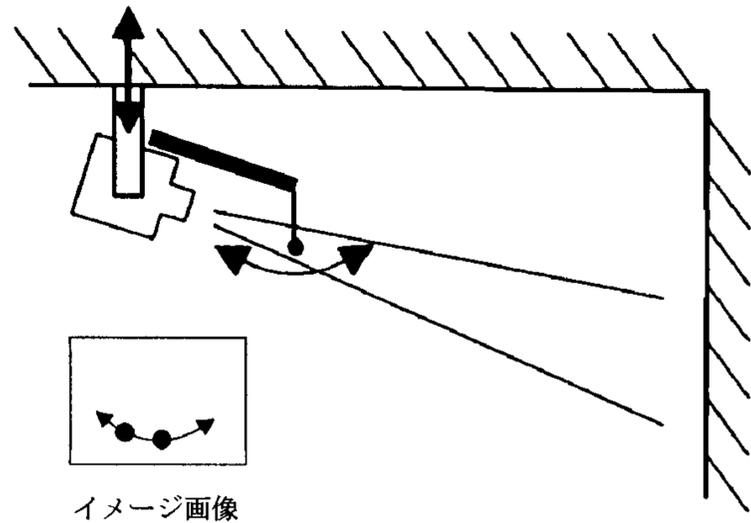


図-2 振り子観測の概念図

(3) センサー観測（音声トラックを利用）

加速度計等の小さなセンサーを監視用カメラに設置し、観測されたセンサーの信号を変調して、監視用カメラの画像を記録しているビデオテープの音声トラックに記録させるものである。記録を再生する際には、音声トラックに記録された信号を逆変調することで得られる。本方法は場合によってはビデオカメラの一部を改良する必要があるが、前述の方法より、高感度かつ高精度で強震動を観測することができる。したがって、地震計を設置することなく、正確に強震動を測定する必要がある場合には本方法が候補となる。

表-1 各観測方法の特徴

観測方法	有利な点	不利な点
標点観測	特別な装置は不要	カメラ取付部の振動特性が必要な場合がある
振り子観測	標点観測より高感度	振り子を設置する必要がある
センサー観測	高感度かつ高精度な観測が可能	センサーを設置する必要がある

各方法には、それぞれ特徴または制約があり、コスト的な違いもある。しかし、いずれにしても既存の装置を利用することから、いわゆる強震計を新設する場合に比べて格段に低コストで地震時の定量的な情報を得ることができる。

3. 画像解析および逆解析

提案した標点観測および振り子観測によって、監視用カメラが記録した画像記録から地震動を同定するには、以下に示すような二段階の解析が必要となる。つまり、ビデオ画像の標点または振り子の動きを同定する画像解析（センサー観測の場合は不要）と、同定された標点または振り子の動きから入力地震動を推定する逆解析である。

(1) 画像解析

一度大きな地震が起こると、観測ネットワークから収集される膨大な数のビデオ画像データを解析しなければならない。従って、各ビデオ画像の解析は可能な限り単純化する必要がある。そこで、ここでは標点や振り子の位置を同定するためにパターンマッチングを適用する。まず、画像の二値化処理を行い、標点や振り子のパターンを抽出する。次に、各画像中の標点や振り子の重心もしくは境界の移動量を順次求め、時刻歴変位波形を得る。ただし、中小地震ではビデオ画像中の標点や振り子の動きは大きなものではない。従って、一般的に行われている画像解析¹⁰⁾では標点や振り子の動きを正確に計算することは困難である。たとえば、ビデオ画像が640*480ピクセルの点に離散化された場合、標点の位置はピクセル単位で記録されるため、標点がビデオ画像の約1/500程度しか動かないと、その動きを認識することはできない。そこで、著者らは連続的に記録されたビデオ画像を統計処理することで計測精度の向上を計る方法を提案している⁸⁾。

簡単のため、一つの標点におけるX方向変位の画像解析を例として精度向上の方法を説明する。この標点を含む画像がある時間内でN枚の画像フレームが取り込まれると仮定する。まず、それぞれの画像フレームについてX方向の移動量kはビデオ画像のピクセル単位で読み取られる。この読み取り量がイメージデータに変換される際に打ち切り誤差（二値化の境界設定誤差）が含まれる。次に、全画像フレームで得られた時刻tと標点の移動量kの関係をプロットして時刻歴変位波形が得られるが、イメージデータ変換の際に境界設定の誤差が含まれるため、滑らかな波形は得られるとはかぎらない。そこで、複数の画像フレーム（時刻歴変位波形の数点）を用いて、t-kの関係を滑らかな関数で近似する。従って、平滑化されたt-k関係が真のt-kに近ければ移動量kの解析精度は向上することになる。簡単なシミュレーションから表-2、

に示すような検証結果が得られている¹¹⁾¹²⁾。平滑化されたt-k関係では、移動量kの尺度は画像の最小単位1ピクセルよりも小さくなっているため、時刻歴変位量の解析精度向上が期待され、この平滑化に利用される画像フレームの数が多いほど、かつ標点のピクセル単位の移動量が大きいほど、平滑化された関係が真のt-kの関係に近づくことが予想される。

表-2 高精度画像解析による標点変位の推定誤差

標点の変位	必要なフレーム数	標点変位推定精度
1ピクセル	5フレーム以上	0.4ピクセル
2、3ピクセル	10~15フレーム以上	0.2ピクセル
4ピクセル以上	20フレーム以上	0.1ピクセル

(2) 逆解析

ビデオ画像中の標点や振り子の変位が解析されれば、逆解析から入力強震動を計算することができる¹³⁾。簡単のため、ここでは振り子観測の場合を考える。振り子が次の運動方程式を満たすとすると、

$$m_0 \ddot{u}(t) + m_0 (\omega_0)^2 u(t) = m_0 a(t) \quad (1)$$

従って

$$\ddot{u}(t) + (\omega_0)^2 u(t) = a(t) \quad (2)$$

となる。ここに、uとaは振り子の変位と入力加速度を示す。振り子の固有円振動数 ω_0 が既知であれば、uからaを容易に逆解析することができる。 ΔT 毎の離散化されたデータ $\{u_i\}$ ($i=1, 2, \dots, N$)が与えられると、入力加速度は次のように評価される。

$$a_n = \frac{u_{n+1} - 2u_n + u_{n-1}}{\Delta T^2} \quad (3)$$

4. 振動台実験¹⁴⁾¹⁵⁾

監視用カメラを用いた強震観測の可能性を検討するため、標点観測を対象に振動台実験を実施した。図-3に示すように振動台上にせん断型の1層フレーム（外形寸法：W*D*H=1360*1360*1100mm）を設置し、フレーム天井部よりアルミ製の取り付けパイプによってカメラを完全に固定し、紙面直交方向に加振している。1層フレームの紙面直交方向両側面にはコイルばねを介したブレースが配置されており、カメラを含む1層フレーム全体系の固有周期は事前の予備実験から0.73秒となっている。カメラ撮影方向の振動台上には鋼棒が固定されており、この一部に画像解析時の標点となるビニールテープが巻き付けられている。また、画像解析より求めるカメラ部分の変位波形の精度を検証するため、カメラ、フレーム天井部および振動台上には加速度センサーが設置されており、カメラによる画像

記録と同時に加速度データの計測も行っている。なお、カメラとフレーム天井部に設置されている加速度センサーの記録がほぼ一致することから、カメラと天井部とは完全に固定されていることを確認している。振動台での加振方法は次の2ケースで実施している。

(1) スイープ加振

加速度振幅が約 10gal で、周波数 1~2Hz のスイープ加振

(2) ランダム加振

加速度振幅が約 200gal のランダム加振

なお、加速度センサーのサンプリング間隔は両ケースともに 0.01sec とした。

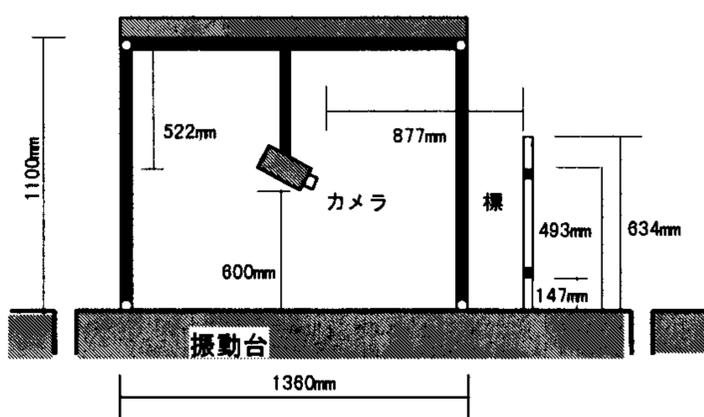


図-3 振動台実験概略図

図-4及び図-5にスイープ加振及びランダム加振時の振動台入力波形並びにカメラの応答波形を示す。

振動実験より得られたカメラ部の加速度データを積分することによりカメラ部の変位波形を求め、これと画像解析手法より得られる変位波形とを比較することにより本手法の精度を検証した。なお、比較のため平滑化を行わない標準的な画像解析による結果も比較した。

(1) スイープ加振

図-6及び図-7には加速度データから求めた変位波形と標準的な画像解析から求めた変位波形を示してある。さらに、図-8は両変位波形の一部ならびにそ

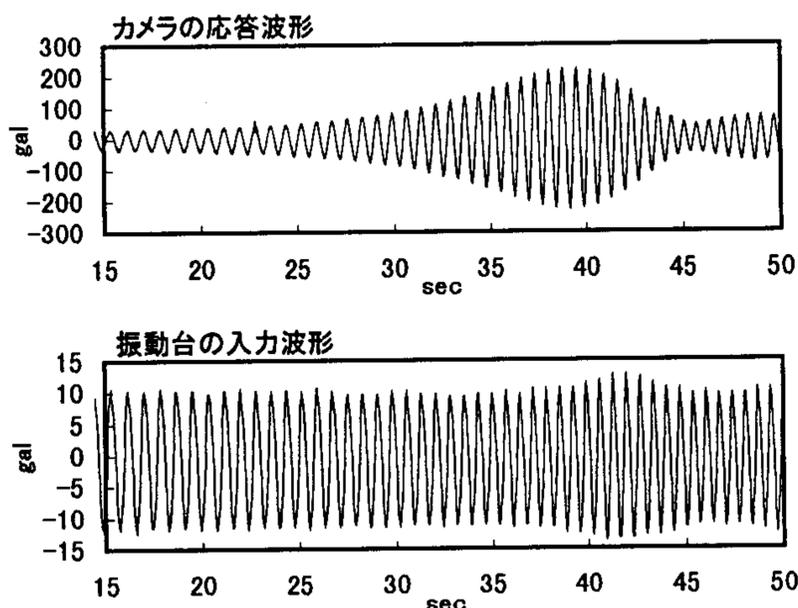


図-4 スイープ加振入力および応答波形

の誤差を示してある。同様に、図-9には著者らの提案している平滑化処理を行なった結果を比較して示してある。標準画像解析による誤差が 0.16% であるのに対し、平滑化処理した画像解析では 0.13% であり、さらに最も効果が現れている箇所で比較すると、標準画像解析で 0.13% であった誤差が、平滑化処理した画像解析では 0.07% と格段に向上している。このように、入力が比較的正弦波に近い場合には画像解析からカメラ部の揺れを精度良く再現することが可能である。

(2) ランダム加振

ランダム加振の場合には、スイープ加振には無かった高周波数成分が含まれている。ビデオ画像のサンプリング周波数 (30Hz) を考えると、こうした高周波数成分を画像解析から求めることは不可能である。従ってこの場合、高周波数成分をカットした状況での比較を行うことにする。

図-10及び図-11には加速度データから求めた変位波形と標準的な画像解析から求めた変位波形を示してある。さらに、図-12は高周波数成分をカットした後の両変位波形の一部ならびにその誤差を示してある。同様に、図-13には平滑化処理を行なった結果を比較して示してある。標準画像解析による誤差が 0.46% であるのに対し、平滑化処理した画像解析では 0.08% と格段に精度が向上していることがわかる。

以上のように、平滑化処理を伴う画像解析を行なうことによって、ビデオカメラ部の揺れを精度良く再現することが可能であることを確認した。また、振り子観測を用いた実験も実施しており、同様な結果を得ている。ただし、今回の実験では、ランダム波入力による場合でも、1層フレームの特性が反映された(フィルターのかかった)カメラ部の揺れを推定していることから、こうした良い結果が得られたものと考えられる。実際にもカメラは天井に固定されていることから、建物の揺れに関しては同様に精度良く再現できるものと考えられ、監視用カメラを用いた強震観測の可能性を強く裏付けるものである。

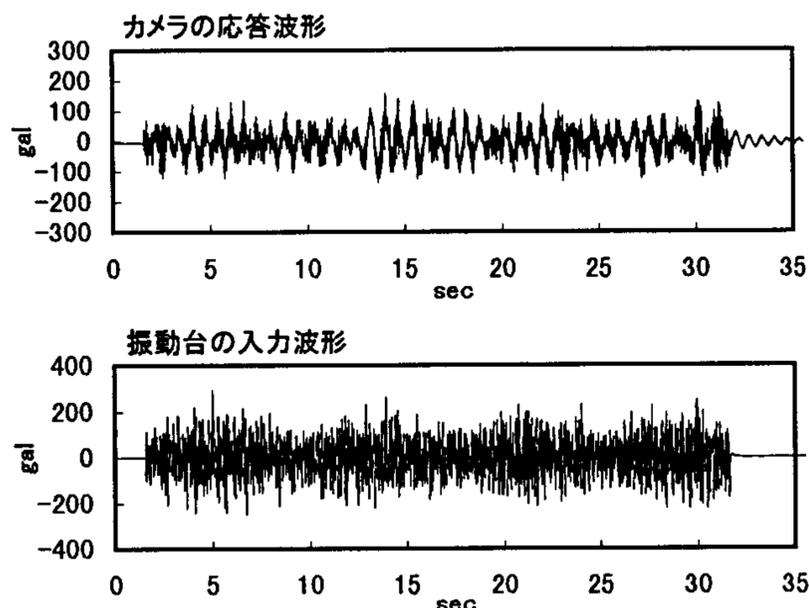


図-5 ランダム加振入力および応答波形

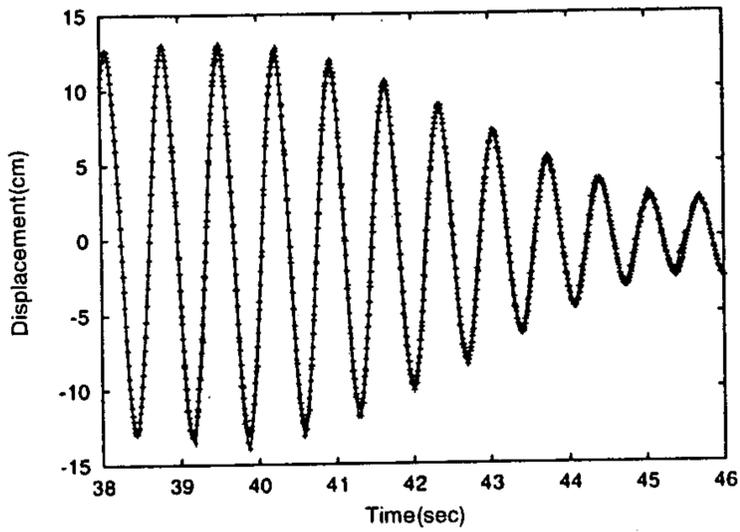


図-6 加速度データの積分による変位波形

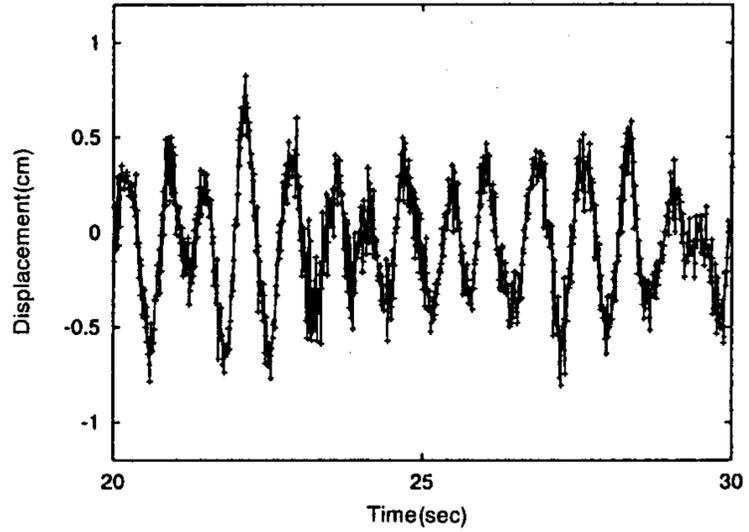


図-10 加速度データの積分による変位波形

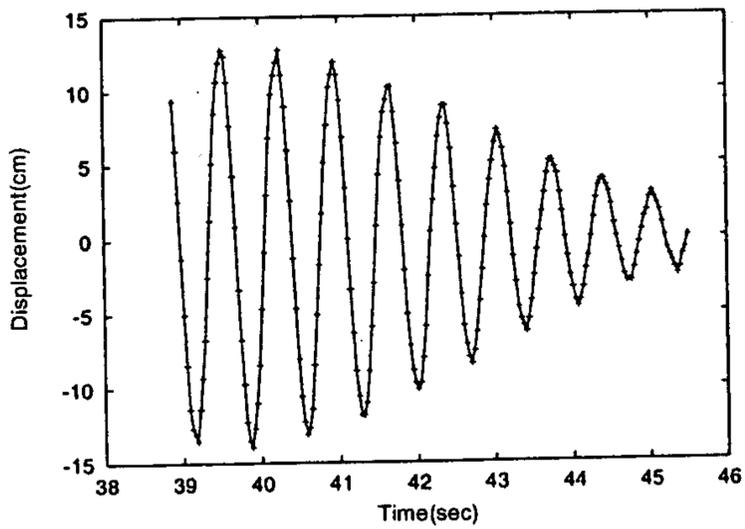


図-7 標準画像解析による変位波形

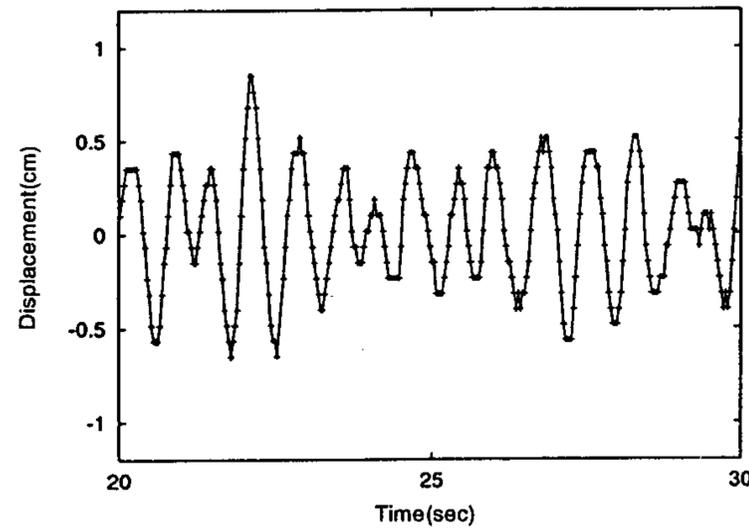


図-11 標準画像解析による変位波形

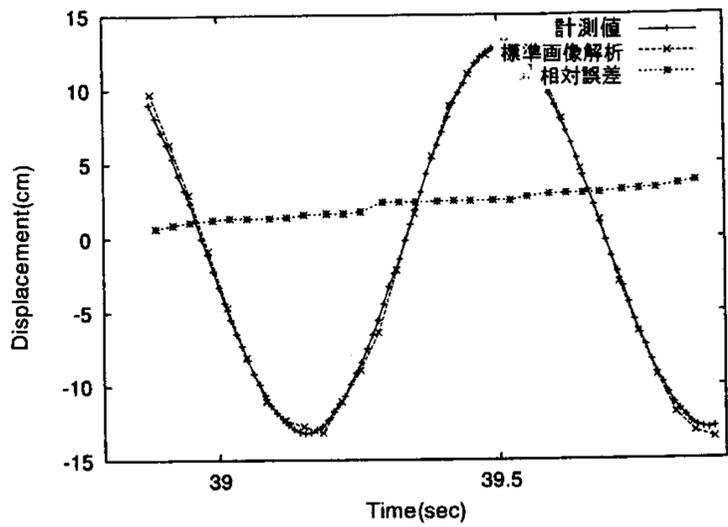


図-8 標準画像解析結果と計測値の比較

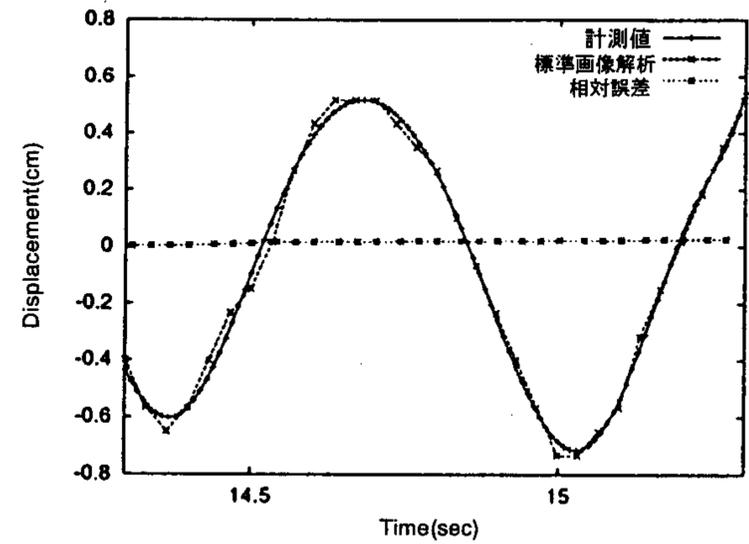


図-12 標準画像解析結果と計測値の比較

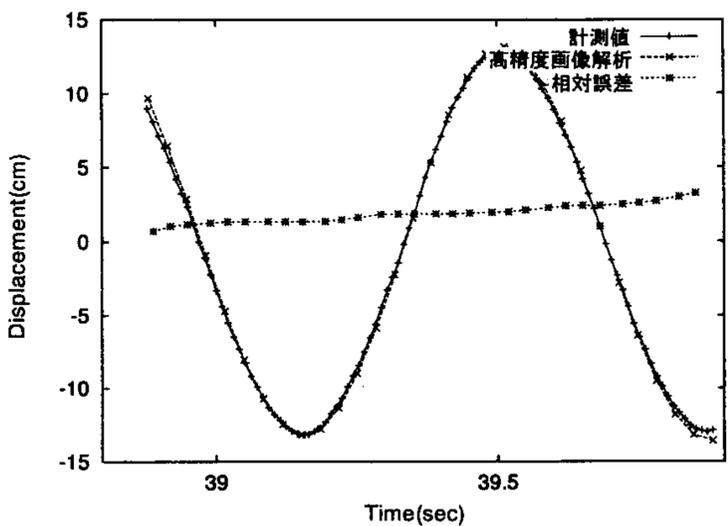


図-9 高精度画像解析結果と計測値の比較

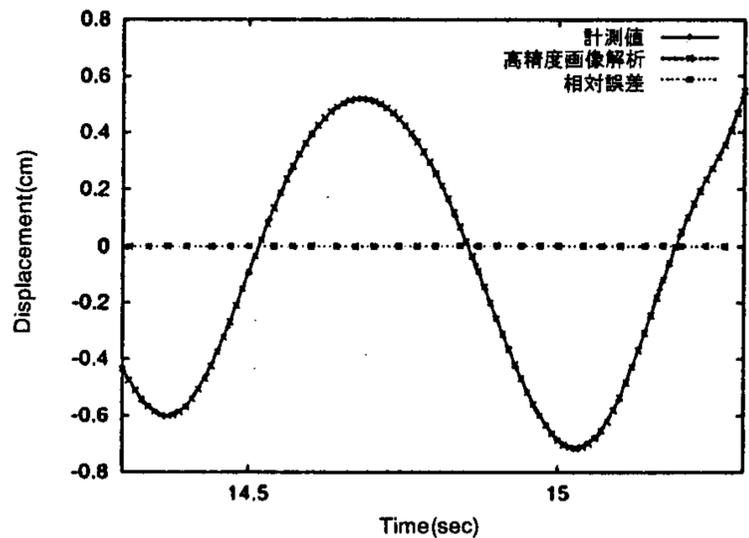


図-13 高精度画像解析結果と計測値の比較

5. まとめ

本論では、経済的かつ高密度に強震観測ネットワークを構築する方法として、銀行やコンビニエンス・ストア等に設置されている監視用カメラを利用する3つの方法を提案した。また、ビデオ画像記録から強震動を同定するための画像解析手法と逆解析手法についても述べた。さらに、本手法の可能性について検討するため、監視用カメラを1層フレームの天井部に完全に固定した状態で振動台実験を実施した。その結果、カメラ部の振動加速度が10~100gal、周波数が10Hz程度以下で変調する振動に対して、相対誤差が0.1~0.01%程度の精度で計測できることを確認した。しかし、一般の監視用ビデオカメラの画質は必ずしも高くなく、測定精度が落ちる可能性があるなど、本システムでは解決しなければならない課題は多い。しかし、この考え方を採用することにより特別な装置を新設することなく、都市内において高密度な強震観測ネットワークを構築することができると考えられる。

現在、著者らは実用化に向けて、実際の監視用カメラと強震観測装置を同一地点に設置して、地震観測を継続中である。これによって監視用カメラの地震観測システムとしての有用性を確認していく予定である。

《参考文献》

- 1) 若松 邦夫：望まれる強震観測網、第26回地盤震動シンポジウム、日本建築学会、1998年10月22日
- 2) 科学技術庁防災科学技術研究所：Kyoushin Netパンフレット
- 3) 青井 真：K-NET、日本建築学会・強震観測小委員会関東地区WG資料、1998年2月6日
- 4) 横浜市：横浜市高密度強震計ネットワーク—横浜市における地震システムについて—パンフレット
- 5) 中村 豊、上野 真：地震早期検知警報システムUrEDASの開発、第7回日本地震工学シンポジウム、1986年
- 6) 山崎 文雄、片山 恒雄、吉川 洋一、大谷 泰昭：地震動モニタリングに基づく都市ガス導管網警報システム SIGNAL の開発、pp.2113-2118、第9回日本地震工学シンポジウム、1994年
- 7) 菊地正幸：兵庫県南部地震の震源断層：防犯カメラが記録した地震動を読む、科学、Vol.65、pp.569-572、1995年
- 8) 久家 英夫、瀬尾 和夫、佐間野 隆憲：兵庫県南部地震における地震時挙動とビデオ画像との対応について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp207-208、1995年8月
- 9) 大堀道広、奥田 暁、若松邦夫、安井 譲：コンビニエンスストアを対象としたアンケート震度調査の試み—1994年10月4日北海道東方沖地震を例題として—、日本建築学会構造系論文集、No.478、pp71-79、1995年
- 10) 大堀道広・奥田 暁・若松邦夫・安井 譲：コンビニエンスストアの防犯カメラが記録した1994年10月4日北海道東方沖地震、地震第48巻、pp.423-427、1995.
- 11) 須藤敦史、堀 宗朗、斉藤 芳人：画像記録を利用した地震動同定システムの基礎検討、第24回地震工学研究発表会、1997年7月
- 12) 安居院 猛、長尾 智晴：画像の処理と認識、昭晃堂、1996.など
- 13) 安達 修一、後藤 寛英、堀 宗朗：ビデオ画像を用いたジオテキスタイル盛土滑り面の応力—ひずみ関係の逆解析、第31回地盤工学研究発表大会、pp15-16、平成8年7月
- 14) 安達修一：ジオテキスタイル盛土の崩壊過程の高精度画像解析と構成則の逆解析、東京大学工学部土木工学科卒業論文、1996.
- 15) 須藤 敦史、星谷 勝、柳河 勇：絶対応答波形を用いた入力地震動およびパラメータ同定、構造工学論文集、Vol.41A、pp.709-716、1995
- 16) 斉藤 芳人、堀 宗朗、須藤 敦史：画像記録による地震動同定に関する振動台実験、第24回地震工学研究発表会、1997年7月
- 17) 水谷 俊夫、堀 宗朗、斉藤 芳人、須藤 敦史：ビデオカメラを利用した強震計の提案、第25回関東支部技術研究発表会、1998年3月10日

4.4 共同観測のあり方 - 静岡市内における共同観測を例にして -

片岡俊一*

キーワード 時刻精度, 静岡

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、気象庁の震度計ネットワークに加えて、K-netや自治体震度計ネットワークなどの整備が進み、日本全国ではかなりの数の強震計が設置されるようになった。例えば、工藤は「内陸で発生する地震に対しては、10km程度以内の記録が少なくとも1点以上は得られる」と評価している¹⁾。しかしながら、同じ報告において「例えば1995年兵庫県南部地震の震度7の領域の南北方向の幅は約1kmであり、K-netの25km間隔の配置はあまりにも粗すぎる」と指摘している。

全国的に見るとこのような状況ではあるが、一部の機関では高密度地震観測を行っている。例えば、横浜市は市内150箇所地震計を設置しており、東京ガスは管内に3600台のSIセンサーを設置する予定にしている(約0.9km四方に1台)。建設省土木研究所も1981年から開始した高密度地震観測を更新し、さらに新規の観測地域を設けている²⁾。この観測では、観測地域によって密度は異なるものの、最小の観測点間隔は数百mである。また、小田原市周辺では複数の機関が高密度の地震観測を行っている^{3), 4), 5)}。

密度の高いアレイ観測は、様々な点で重要なデータを与えたと考えられる。しかしながら、数百mに一点などという密度で、全国一律に強震計を設置することは、経済的に不可能であろう。そのための解決方法の一つとして、共同観測が考えられる。1995年に開催された「強震データの活用に関するシンポジウム」で、共同観測のあり方が議論されたのも、共同観測の必要性が高いからであろう。

また、定常的な観測ばかりではなく、余震観測における稠密な共同観測が重要であることから、文部省科学研究費において、機動性に富んだ強震計の開発が行われている⁶⁾。

以下では、このシンポジウムの内容をまず概観する⁷⁾。次に、現在実施している静岡市内での共同観測の例を紹介する。

2. 前回シンポジウムの概要と考察

前回シンポジウムでは、「共同観測事例」と題した話題提供があった⁸⁾。そこでは、当時の大規模な共同観測を3例紹介し、それを通して今後の強震観測の在り方やデータ公開の在り方を論じている。取り上げた共同観測は、建設省建築研究所と民間企業が共同で行っている高密度強震観測(仙台アレー)、関西地震観測研究協議会、釧路ESG共同観測である。既に、釧路ESG共同観測は終了しており、関西地震観測研究協議会の観測状況も当時とは大幅に変わっているが、議論された内容については、現在でも考慮しなくてはならない事項が含まれていると考えられる。

当時、文中で議論されていた話題としては、地震計の精度(振幅、時刻)、加速度が適切か速度が適切か、ネットワークをどのように利用するか、などであった。

地震計の精度のうち、振幅に関しては当時の強震データ小委員会が、建築会館に設置されていた複数台の強震計の比較や振動台試験の報告などから、ある程度の振幅が確保されればほぼ問題がないと結論づけている。さらに、K-netの仕様⁹⁾がその後の強震計の実質的な仕様となったために、最新の地震計は分解能が向上しており、相対振幅に関して疑問視する必要はないであろう。

地震記録の相対比較には、時刻の情報が重要である。特に、最近では波動の伝播を議論することも多くなっており、その際には必須の条件であろう。時刻精度に関しては、前回シンポジウムでも報告があり、建築会館の地下一階の同一基礎上に設置されていた地震計相互の時計の精度が悪いことが指摘されている。その後、小委員会では同じ強震計を用いて、時刻精度に関する検討を引き続き実施しており、地震記録の比較と基礎の打撃試験を行った。

地震記録の比較による時刻精度の確認では、NS成分の最大値の生起時刻で相互比較すると、1台は7地震の平均で0.03秒(標準偏差0.09秒)であったが、もう1台は6地震の平均で4.70秒(標準偏差3.43秒)であった。一方、2回行った基礎の打撃試験の結果は、以下のものであった。時間ずれは、1台は0.60秒であり(2回とも同じ)、もう1台は2.21秒と2.80秒であった。なお、時刻校正はラジオの時報で行われていたので、試験は時報の確認の後に行っている。また、相対時刻差は、数個のバルス列全体の相互相関関数の最大値から算出している。自然地震と基礎の打撃試験で結果が大きく異なっているので、評価が難しいが、ラジオによる校正はそれほど信頼性がないといった方がよいであろう。

但し、K-net以降GPS信号による時刻修正が一般的になっている。GPS信号は設置場所にとり受信状態が大きく変化し、強震計の機種毎にGPS信号w受けるタイミングがまちまちであるが、原則的には毎秒毎に校正可能である。よって、適切に運用すれば、時刻精度の信頼性は向上するであろう。

3. 静岡市内における共同観測

上記シンポジウムが終了した後、建築会館に設置されていた強震計の有効利用が話題になった。その結果、2台は関西地域に設置することにし、残る1台を静岡市内に設置することにした。以下にその経緯を述べる。

3.1 静岡市を選んだ理由

強震計の有効利用できる設置場所を考えていたところ、静岡市

*清水建設(株)

の市街地地域には、建設会社各社が設置した強震計に加え科学技術庁K-netの強震計が比較的密に存在することが判った。一方、静岡県は全域が想定東海地震の警戒地域であり、静岡市は県庁所在地であるので、防災対策重要性は高いものと評価される。しかしながら、これまでは静岡県中部以西では地震活動度が低いために、静岡市内において地震動を観測しその特性を検討した例は少ないことが委員会の議論で判り、静岡市における強震観測の意義は高いことが判明した。

さらに、日本建築学会構造委員会振動運営委員会地震荷重小委員会は、1992年に想定東海地震による静岡市内各地の地震動を、当時適用が可能であった手法を用いて評価して¹⁰⁾いることも了解されており、報告書にはその時に用いた地盤条件等も記載されている。

また、地域的にも関東に近く、強震計のメンテナンスや記録の回収が容易であることも、観測点を設置する際の重要な要因である。

3.2 観測点

共同観測を行う臨時観測地点として、まず上述の地震荷重小委員会が地震動を検討した地点、大谷、東静岡、谷津山を候補地とした。これらの地点は、地盤情報が得られているあるいは地震記録が以前得られたなどの理由で地震動予測地点として選ばれたのだが、東静岡を除いて厳密な場所は分かっていないことも判明した。

その後、委員の下見や関連機関からの情報により、大谷地点は、静岡大学の地震観測用竖孔が使用できることが判った。また、谷津山は商用電源が取れないことから、谷津山の延長にある清水山公園に変更した。

さらに、建設会社の観測点のうち、3地点は市街地の建物内に設置されていることから、自由地盤の観測点を探すとし、市街地にある駿府公園(駿府城の跡地)の管理事務所内に設置することにした。また、清水山公園は岩が露頭しているが、この岩はそれほど良好な岩盤ではないことが判った。基準点として良好な地盤の観測点が必要であるとの委員会の議論をもとに、市街地北西にある浅間神社を岩盤観測点として、地震計を設置した。

現在の観測状況を整理すると、表-1のようになり、観測点をプロットすると、図-1のようになる。臨時観測点による観測は、概ね1998年の初頭から開始されている。これらの観測点の中には設置に当たって土地借用願いの提出義務があるものの、2000年3月までは続く予定である。

3.3 静岡における共同観測のまとめ

静岡市において、自由地盤と岩盤とにおける地震観測が追加できれば、既存データの評価や地震動予測に役立つものと考え、共同観測を実施している。共同観測のデータを用いた検討項目としては、以下のものが考えられるが、これらは委員会参加者の自由意志で検討するものであり、更なる検討項目が挙がることのできよう。

- ・観測地点による地震動の差違と地下構造の対応
- ・地震動記録を用いた地下構造の推定
- ・観測記録を用いた設計検討用地震動の策定

4. おわりに

強震観測の密度が上がることにより、地震動の解釈は格段に進むものと考えられる。その際の最も大きな問題点は、経済性であり、それを解決するためには共同観測が最適であろう。そこで、共同観測の問題点を以前のシンポジウムの反省という意味合いで考えてみた。また、強震観測委員会で現在実施している静岡市内における共同観測を通じて、共同観測の問題点を考えてみた。今後も、共同観測とデータの流通が容易になることが望まれよう。

参考文献

- 1) 工藤一嘉・高橋正義・坂上実・神野達夫・鹿熊英昭・坪井大輔・機動強震アレイ観測のための軽量小型強震計の制作と観測・解析マニュアルの制作、平成7年度～平成9年度科学研究費補助金[基盤研究(A)]研究成果報告書(研究代表者:工藤一嘉), 1-9.
- 2) 田村敬一・本田利器・千葉光・建設省土木研究所における新しい高密度強震観測システム、第24回地震工学研究発表会講演論文集, 189-192.
- 3) 植竹富一・工藤一嘉・遠距離大規模地震記録を用いた足柄平野の広周期帯域地震応答、地震2, 第50巻, 397-414, 1997.
- 4) 佐藤清隆・神奈川県小田原地区、平成10年度ローカルサイト・エフェクト・シンポジウム論文集、土木学会地震工学委員会, 75-80, 1998.
- 5) 松岡昌志・翠川三郎・内山泰生・小田原市内での強震観測とそれに基づく地震動特性の検討、地震2, 第50巻, 1-10.
- 6) 研究代表者工藤一嘉・機動強震計アレイ観測のための軽量小型強震計の製作と観測・解析マニュアルの製作、平成7年度～平成9年度科学研究費補助金[基盤研究(A)]研究成果報告書, 176p, 1998.3.
- 7) 地震災害委員会強震観測運営委員会強震データ小委員会: 強震データの活用に関するシンポジウム, 建築雑誌活動レポート, vol.110, No.1373, 82-83.
- 8) 片岡俊一・共同観測事例, 強震データの活用に関するシンポジウム - 強震データベースの現状と共同利用の試み -, 日本建築学会地震災害委員会強震観測運営委員会強震データ小委員会, 13-18, 1995.
- 9) 木下繁夫・上原正義・斗沢敏雄・和田安司・小久江洋輔: K-NET型強震計の記録特性, 地震, 第49巻, 467-481, 1997.
- 10) 日本建築学会・地震荷重 - 地震動の予測と建築物の応答, 日本建築学会, 240p, 1992.

4.5 高密度アレー観測 Dense Strong Motion Instrument Array

鹿嶋俊英*

キーワード: 高密度強震観測、アレー観測、強震計

Keyword: Dense Instrument Array、Strong Motion Instrument

(1) はじめに

アレー観測と称される観測はここ 20 年くらいの間に積極的に推進されてきた。2 章で概観したようにこの種の観測はそれぞれの目的を有し、その目的に応じて様々な形態がある。本節では強震観測に関連する現状を整理し、アレー観測の将来について考察する。

(2) 背景

1995 年の兵庫県南部地震以降、強震観測を取り巻く状況は大きく変化した。ひとつは公的機関によって大規模な観測網が整備されたことである。既に稼動しているものとしては防災科学技術研究所の強震ネット(K-NET)、気象庁の震度計、消防庁と地方自治体の震度情報ネットワークが挙げられる(詳細は 2 章を参照)。これらの共通の特徴は、広範な地域を網羅する観測網であること、迅速な情報収集を実現し地震防災に資することを目的としていることにある。一方で観測地点の密度が比較的粗い(近接地点でも 10 数 km)こと、観測地点の条件が必ずしも統一されていないこと、収集している情報の種類やその公開方法が異なることなど留意すべき点もある。

また 1997 年には総理府に地震調査研究推進本部が設置され、組織的・総合的な調査研究の推進が図られている。強震観測に関連することとしては、基盤的調査観測計画の一環としての地下の基盤への強震計設置や、データ流通センター構想が挙げられる¹⁾。

各機関が独自にアレー観測を実施する場合もこのような動向を視野に入れ、積極的に活用、あるいは関与してゆく必要があるであろう。

(3) 地盤系の観測

地盤系のアレー観測を振り返ると、着実な成果を挙げていると言えるであろう。例えば表層地盤の鉛直アレー観測では、1993 年釧路沖地震や 1995 年兵庫県南部地震で非線型挙動を実現象として克明に記録した例が記憶に新しい。また水平あるいは鉛直アレー観測の記録は、表層地盤増幅の定量的評価、地下構造の推定、地震波動伝播や生成機構の解明などにしばしば利用され、有意義な成果となっている^{例えは 2)}。

一方で表層地盤や地形の影響でごく近傍の地点でも地震動の様相が異なることが近年の地震被害からも確認されており、構造物の耐震安全性の向上には、表層地盤増幅や地表・地中不整形の影響の評価や地下構造の推定精度を上げて行くことが必要である。アレー観測の立場からは一層の観測密度の向上が課題である。このためには極めて廉価で保守性の高い強震計の開発、複数の機関での共同観測の推進、数年単位で対象地域を変えることのできる機動性の具備が必要となるであろう。

(4) 構造物系の観測

構造物を対象としたアレー観測も事例がいくつか紹介されてはいるが、流通している記録の数の面では極めて不十分といわざるを得ない。この

* 建設省建築研究所国際地震工学部

ような記録には構造物自体の特性が直接表れるので公表が制限される事情があると推察される。また構造物の記録を扱う場合、構造形式や基礎形式に関する資料が必須となり、そのような資料の整備や提供の方法は今後検討すべき課題である。加えて構造物の所有者と観測者が異なっている場合が多く、設計図書などの付帯資料や記録自体の所有権にも配慮しなければならない。

現状では構造物の耐震設計における入力地震動は自由地盤を想定して設定されることが原則となっている。このため合理的な設計を行うためには構造物への入力機構(地震時の地盤と構造物の相互作用)を適切に評価することが不可欠である。地盤と構造物の相互作用は極めて複雑で、その影響の定量化には観測資料を活用することが重要である。日米の研究者による Workshop が開催されるなど³⁾、相互作用の解明は国際的にも懸案の課題である。

この観点からは構造物系の観測体制は今後一層強化されるべきであり、観測に際しては構造物の特性を十分に理解したシステムを構築する必要がある。理想的な観測を行うためには、対象構造物の設計段階から観測者が積極的に関与して行くことが望ましい。同時に観測記録と関連資料(地盤資料や設計図書など)が公開され、広く地震入力評価の研究に資するような仕組みを構築する必要がある。このためには施主、設計者、施工者に観測の必要性に対して共通の認識と理解が必要であり、観測記録は公的な財産であり公開は地震防災に資するとの啓蒙がなされることを期待する。公的機関が中心となって積極的に地盤や構造物の強震観測とデータ公開を推進している California Strong Motion Instrumentation Program (SMIP)⁴⁾の取り組みも参考となる。一方で観測システムの一層の低価格化や観測システムを設置することによる付加価値を創出することも課題である。

参考文献及び URL

- 1) "地震に関する基盤的調査観測計画報告書"、地震調査研究推進本部(<http://www.jishin.go.jp/>)
- 2) Uetake, T. and Satoh, T, "Recent array experiments in Japan", The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, 1998
- 3) "Preproceedings of UJNR Workshop on Soil-structure Interaction", September, 1998
- 4) <http://constrv.ca.gov/dmg/csmip/index.htm>

4.6 今後の強震計に望むこと

片岡俊一*, 鹿嶋俊英**

キーワード: IC 強震計, ネットワーク

1. はじめに

自然現象である地震が起こすコレは, 人間界にとっては被害を引き起こす原因であるので, それを知ることは対策を打つ上で, 極めて重要なのである。古くから, このコレを計測するために, 強震計が種々開発されてきており, 技術の進歩とともに改良がなされている。工学的な目的においてコレを計測し収録するという機能は, 現状市販されている強震計は全て満たしていると考えられる。

このような現状で, 今後の強震計を考えると, その基本仕様よりも, 機能の多角化が議論の主体となろう。言い換えるならば, 次世代には様々な機能を有した多種多様な強震計が開発されることが望まれる。ここでは, 今後の強震計に望むことを考えたい。但し, 著者に力不足のために現状から全く離れたものではなく, 現在開発されつつある技術を基にした議論であることをお許し頂きたい。

なお, 現状の技術を踏まえるのであれば, 強震計に関する技術展開の経緯を示すべきであろうが, ここでは参考文献を示すにとどめる。まず, 強震計の開発の経緯に関しては, 田中による報告¹が詳しい。また, 日本建築学会地盤震動小委員会がその活動の節目に作成している資料²にも, その当時までの強震観測の状況が記載されている。

2. 将来の強震計の機能

2.1 高性能強震計

まず, 現状の性能を高めることを考えてみる。K-net が AD 変換方式を, 従来の逐次比較方式とは異なる方式に変更したことにより, その後この方式を用いた強震計が広まった。また, AD 変換方式以外にも K-net 以降の市販強震計の仕様は, K-net が基本となっており, 強震計の新たな仕様を打ち出したと言った意味でも K-net はエポックメイキングなことであったと言えよう。

方式の高分解能を有した強震計では, 都心であれば, 微動から最大 2G 程度の加速度まで観測できるようである³。こうしてみると, 強震計のうち加速度を計測するものにおいては, 分解能や測定可能振動数範囲等の基本性能の大幅な向上は不要とも思える。

但し, 上記の議論は, 加速度を測定することを決めた以降の話である。加速度を測定するデメリットもあるので, 加速度を測定するのが適切か, 速度を測定するのが適切か, については, 目的に応じて判断すべきものである。

一方, 速度型強震計はどうであろうか。村松の提案⁴による速度型強震計以来, 主としてやや長周期地震動の計測のために, かなりの数の速度型強震計が各地に設置されている。1995 年

1995 年兵庫県南部地震の際には, 関西地震観測研究協議会が速度型強震計を採用していたこともあり, 速度型強震計により多くの記録が得られた。

速度型強震計は, 村松が指摘しているように, 加速度型強震計に比べて測定周波数範囲が実用上広く, 測定すべきダイナミックレンジが加速度, 変位に比べると狭いので分解能が高い記録が得られる, という二つの大きなメリットがある。さらに変位波形の再現性がよいことも利点の一つであろう。速度計の加速度計と比較した時の欠点は, 取り扱いがやや面倒なことで, 価格が高いことが挙げられる。また, 一般的に加速度計よりもサイズが大きいのも, 欠点であろう。速度を測定するメリットは大きいので, 上記の欠点を克服した速度型強震計が望まれる。

2.2 廉価・簡易型強震計

木下の報告⁷にあるように, 地震計を IC 化する動きがある。これは, いわゆるマイクロマシン技術を利用したものであり, 人手をいさず大量生産が可能のために, 大量消費が保証されれば, 価格を安くすることができる。例えば, 木下の報告にも記載されているが, USGS の調査⁸によれば, 1995 年の時点で 100 個納入時の 1 個当たりの価格が 1 万円以下というものもある。

これだけ低価格になると, ある地域の地震動を観測する「地震動モニタリング」としては非常に有効な手段である。東京ガスは, 管内に 3600 台(約 0.9 平方 km に 1 台)の新 SI センサーを置く予定にしているが⁹, これだけの量のセンサーが設置可能になったのは, センサーの価格が破壊的に(とは, 言っても一桁は異ならないようだが)安くなったためであろう。

従来から強震計を作っていたメーカーでも, マイクロマシン技術を利用した強震計の開発に努めている。例えば, アメリカの Kinemetrics 社は QDR という名称の強震計を製作した。この強震計の仕様は, 同社のホームページによれば ([URL:http://www.kinemetrics.com](http://www.kinemetrics.com)), 測定範囲: 水平動 ± 2 G, 上下動 ± 1G, AD 変換: 11bit, 周波数範囲: DC ~ 25Hz となっている。(株)東京測振でも同様な仕様の地震計を試作しており, 計測震度も算出する仕様と聞いている。このような強震計は, 可動部がないために, 保守作業は非常に容易であろう。実際, Kinemetrics 社はこの強震計のコンセプトを「Hassle-free」としている。これは, 設置から保守, 管理, データ回収等が非常に簡単なことを意味しているのであろう。

目的を絞れば, このように性能は最先端のものに比べて劣るが, 価格が非常に安い強震計の用途は多いように思える。前述した, 地盤のコレを対象とした地震防災用の地震動モニタリングもそのひとつであるが, さらに, 強震時の構造物の挙動の計測が考えられる。本報告書で中村・若松が指摘しているように¹⁰, 兵庫県南部地震では建物における地震記録が少なかった

*: 清水建設, **: 建設省建築研究所

た。彼らは、記録が少なかったことの原因として、観測物件が少なかったこと、メンテナンスが悪かったこと、記録保有者の財産権などを挙げている。このうち、メンテナンスに関しては、ここで紹介した強震計では問題が少なくなると考えられており、さらに価格が安ければ観測物件も増えると思われる。耐震設計方法の向上のためには、やはり強震観測が必要であることを、再確認する必要がある。

しかしながら、最終的な問題は価格であろう。価格が従来器より安いことは間違いのない事実であるが、どの程度安ければ、強震観測に拍車がかかるかは、社会的な要因で定まることである。ここでは、安ければ安いほど良いと言う、一般論しか言えない。

2.4 機動型強震計

強震計は、構造物被害が生じた時にでも記録ができるようにとの意味合いもあり、頑丈な作りになっている。このために、運搬するには、多大な労力を要する。また、一度設置したら移動することを考えていないためか、商用電源が必要である。一方、余震観測のように臨時に観測を実施することもあり、機動性に富んでいる強震計の開発が望まれていた。このような強震計に関しては、既に開発が終了しており¹¹、市販もされているが、その重要さから敢えてここでも記した。

また、この技術は必ずしも機動観測だけでなく通常の強震観測についても有用と考えられる。通常の観測においても、商用電源が必要であるとすると、観測場所などに様々な制約が生じる。基本的にはバッテリーの容量の問題なのであるが、バッテリーで半年～1年観測態勢を維持できる強震計の存在も望まれよう。

2.5 ネットワークとの親和性

ここ数年で社会は、急激な勢いでネットワーク社会となってきた。強震計に関しても、電話回線を用いた記録収集が当たり前ようになってきたが、最新のネットワーク関連技術から見ると、強震計関連の技術は、やや遅れているようにも見える。その例としては、電話回線の利用である。現状の電話回線は、デジタルであっても、LAN で使用しているような速度ではデータ転送できない。また、セキュリティの上からは良いことであるが、一対一のデータ提供となってしまっているため、データ公開用のサーバーが別途必要である。

データのリアルタイム(に近い)転送は、広帯域地震観測では以前から行われている¹²。強震動については、東北工業大学の神山が仙台地区で開始した¹³。これは、仙台地区の20箇所の地表に設置した強震計と東北工業大学に設置されたセンターとを公衆ISDN回線で結び、地震動感知後3分以内に全地点の観測データを回収完了する仕様で設計されている。強震計の仕様は、ほぼK-net95と同等あるいはその上位となっている。

強震計が自らデータを発信するシステムは、名古屋大学で試みられている^{14,15}。このシステムでは、強震計とRS-232Cで結ばれたパソコン上でTCP/IPプロトコルが動作し、これによりデータ発信を行っている。機能の切り分けという面では、強震計とPCを分けて置くことは有利であるが、高速の学内LANを使用しているにもかかわらず、転送速度が強震計とPCの間の転送速度で制限されてしまうのが欠点である。

ここで挙げた事例以外には、ネットワークを利用した強震観

測の利用の例は少ないと思われる。しかしながら、ネットワーク分野の技術を用いれば、複数地点の強震計の同期起動の確保や高速データ転送を利用したデータの取り込み等が考えられる。また、起動の同期あるいは、時刻データの共有が可能となると、単独に設置されていた強震計もネットワークにつながることで、アレー観測網の一部となり得る可能性も出てくる。さらに、地震記録の自動管理が強震計で出来、かつネットワークに発信できれば、これはそのままデータサーバーになる。また、現状ではセンサーと収録部分を分けた場合、両者の間はかなり太いケーブルが介在することになる。この引き回しにかかる労力もかなりのものである。センサー間の同期が保証されれば、センサー側でAD変換し、そのデータを送ることは、従来のケーブルを省くことができるので、この点でもメリットはあるであろう。

このように、可能性は大いにあるので、ネットワークを利用した強震計をさらに検討すべきではないであろうか。

2.6 付加価値

強震計の設置を推進するとの観点からは、価格を押さえるとともに、出費に見合う付加価値を創出することが必要である。現状では震度やSI値など防止情報の提供程度であり、極論すれば、建物の所有者には全くメリットはない。例えば、構造物の健全性モニタリング機能の一環として強震観測を位置づけることや、地域の防災システムと連動した早期情報提供サービスを行うことなどを考える必要がある。

2.7 他分野の技術導入

ここまでは、従来の振動計の延長を考えていたが、別の分野の技術を導入することも考えられる。例えば、固有周期が長い構造物の基準点との相対変位を測定するためには、GPSの利用が考えられる。この技術は既に強風時の吊り橋の測定に用いられており、mm単位の変位を検出している¹⁶。

また、本報告にもあるが画像処理によりビデオカメラを振動計にする試みも、もう一歩で実用の域に達していると言えよう。このように、従来の枠組みに捕らわれず、計測目的を明確にして、他分野の技術を導入すべきであろう。

3. おわりに

現在開発中の技術を基に、強震計の将来を考えてみた。高性能の強震計の仕様は、観測することに関しては十分な仕様であろう。次の事項が今後必要になってくるのではと考えている。

- ・廉価な強震計
- ・よりネットワークに融合した強震計
- 付加価値を出せる強震計

今後は目的に応じて必要なセンサーを選ぶことになると思われる。例えば、受けた最大値に応じて色が変わる物質が発明されれば、最大値検出装置としては十分なのではないであろうか。

また、ここまでは強震計そのものの機能の議論をしていたが、方位を自ら示せる強震計等、設置工事が単純になる強震計も一方では望まれていると考えている。

謝辞

本報告のうち、マイクロマシン技術を利用した強震計に関しては、応用地震計測の佐々木輝男氏と東京測振の横井勇氏に多くの情報を頂いた。記して感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 田中貞治: 日本における強震計の開発と初期の強震観測, 強震データに関するシンポジウム - 強震データベースの現状と共同利用の試み -, 日本建築学会地震災害委員会強震観測運営委員会強震データ小委員会, 39-48, 1995.
- 2) 日本建築学会: 地震動と地盤 - 地盤震動シンポジウム 10年の歩み -, 5章強震動観測, 179-251, 1985.
- 3) The Architectural Institute of Japan : Earthquake motion and ground conditions, Part II, 1.Observation of strong ground motion, 191-229, 1993.
- 4) 木下繁夫・上原正義・斗沢敏雄・和田安司・小久江洋輔: K-NET 型強震計の記録特性, 地震 2, 第 49 巻, 467-481, 1997.
- 5) 川瀬博・佐藤智美・工藤一嘉・高橋正義・神野達夫: JEP-6A3 強震計と VSE11/12 速度計, および Altus K2 との微動計測特性の比較, 機動強震アレイ観測のための計量小型強震計の製作と観測・解析マニュアルの製作, 平成 7 年度 ~ 平成 9 年度科学研究費補助金[基盤研究(A)] 研究成果報告書, 研究代表者工藤一嘉, 60-96, 1998.
- 6) 村松郁栄: 速度型強震計の製作, 地震 2, 第 30 巻, 317-338, 1977.
- 7) 木下繁夫: サーボ型地震計, 地震 2, 総合報告, 第 50 巻, 471-483, 1998.
- 8) Evans, J. R. and Rogers, J. A.: Relative performance of several inexpensive accelerometers, USGS Open-file report 95-555, 38p.
- 9) 小金丸健一・清水善久・築田貴・古川洋之・田久保光: 新 SI センサーの開発, 土木学会第 53 回年次学術講演会, I-426, p.852-853.
- 10) 中村充, 若松邦夫: 4.1 建物の耐震健全性評価につながる強震観測の活用, 本報告書, 1999.
- 11) 工藤一嘉(研究代表者): 機動強震アレイ観測のための軽量小型強震計の製作と観測・解析マニュアルの作成, 平成 7 年度 ~ 平成 9 年度科学研究費補助金[基盤研究(A)] 研究成果報告書, 176p, 1998.
- 12) 福山英一: FREESIA network における地震観測, 地震学会ニュースレター, 強震観測の最新情報, vol. *, 15-16.
- 13) 神山眞: 宮城県仙台地区, 平成 10 年度ローカルサイト・エフェクト・シンポジウム論文集 1.2 地震観測, 土木学会地震工学委員会, 63-68.
- 14) 小出栄治・福和伸夫・山田耕司・石田栄介・西山拓一・飛田潤: 学内 LAN を活用した名古屋大学における振動観測・分析システムの構築, 日本建築学会情報システム技術委員会, 第 19 回情報システム利用技術シンポジウム, 1996.
- 15) 福和伸夫・山田耕司・石田栄介・森保宏・辻本誠・松井徹哉: 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.
- 16) 中村俊一・坂本良文・並木厚・渋谷元: GPS を用いた強風時における吊橋補剛桁の変位観測の報告, 第 15 回風工学シンポジウム, 245-250.

5. まとめ

本報告書は、構造委員会・振動運営委員会・強震観測小委員会・関東地区 WG の 2 年間にわたる活動の一部をまとめたものである。本委員会の活動は 2 年間であったが、本委員会に至る前身委員会の活動を含めて、以下に活動の経緯と現時点における問題点の整理を行う。

本委員会の前身である耐震連絡委員会・強震観測小委員会は、1992 年 11 月に Vol.1(千葉県東方沖地震データ集)を刊行した。Vol.1 刊行計画書によると、データ集作成の目的は、「有益な研究・開発が広く行われ、地震工学の発展に寄与するため、採取された記録を統一された書式のもとでデータベース化し、共同利用を可能とする」ことにあり、位置付けとしては、「これまで研究・設計等に広く利用されている Digitized Strong-Motion Earthquake Accelerograms in Japan (1972 年、学術文献普及会)の続刊」ととらえ、データベースの特徴は、「特定の地震(今回は 1987 年 12 月 17 日千葉県東方沖地震)の際の、地盤上の強震観測記録を広く収集することにより、面的な広がりの中で強震動データベースを構築しようとするもの」としての。

その後、強震観測運営委員会・強震データ小委員会は、関東地方で観測された 3 地震の強震データを、Vol.2 として 1996 年 4 月に公開した。

また、兵庫県南部地震特別研究委員会及び近畿支部耐震構造研究部会は、1995 年兵庫県南部地震データを 1996 年 11 月に公開した。

このような背景の下、本委員会は 1997 年 4 月に活動を開始し、「はじめに」で述べた 5 項目の活動目標を掲げた。その後、1998 年 1 月に、日本建築学会は「建築および都市の防災性向上に関する提言 - 阪神・淡路大震災に鑑みて - (第三次提言)」の中で、本委員会の活動と関係の深い以下の提言を行った。

【提言 7】

強震観測体制の強化によるデータの充実と公開を推進すべきである。

【説明】

兵庫県南部地震において観測された多くの強震記録は、震源特性・地震動特性および建物の挙動解明に貴重な情報を与えた。しかし、設計用地震動の設定およびその検証のためには、系統的な地盤・建物に関する地震動情報が不十分であったため、依然として信頼性の高い設計用地震動を設定するには至っていない。この現状を打破するために、特に地盤と建物における同時観測を実施する体制を強化した高度で高密度な強震観測システムを構築する必要がある。更に強震観測記録を利用した研究のより一層の推進を図るために、データの早期公開及び相互利用が可能な体制作りをする必要がある。

本委員会は、当初の目標および上記提言を受けて、建築学会としての強震動データベースのあり方に対する調査および公開方法に関する技術的検討を行った。

まず現状を把握するために、国内外の各機関における地震観測及びデータベース作成の状況を調査した。その結果、日本国内では数千点で観測が行われているが、そのうち、定期的にデータが公開(有料を含む)されているのは、気象庁、科学技術庁、関東協、建築研究所の千数百点であり、非定期的に公開されているのは、震災予防協会であることが判明した。

次にデータ公開方法に関する新しい試みとして、建築会館や福井大学において観測された地震記録を学会のホームページを通して公開し、インターネットによる地震動データの配信システムを構築した。

また、データベースの利用事例についてアンケート調査を実施し(3章)、強震動データベースの望まれる姿を追求した。

以上のような活動を基に、建築学会としての強震動データベースのあり方に対する討議を行った。その結果、兵庫県南部地震以降、K-NETを始めとする公的機関による強震観測網が以前とは比較にならないほど充実してきたこと、地中深部に設置した強震計による基盤観測網が設置中であること、データ流通センター構想が存在するがその内容が明確でないことなど、強震観測をとりまく社会情勢が変化しつつある現状を考慮すると、現時点で建築学会独自の明確な基準を作成することが困難であると判断し、ここでは以下のような現状分析及び提案を行うに留め、具体的な方針作成は次期委員会に委ねることとなった。

兵庫県南部地震以降、観測点が増加したが、K-NETでも観測点間隔は20km程度であり、震災の帯のようなローカルな地震動を把握することは困難である。したがって、建築学会においても、必要と判断される地震については速やかにデータを収集し公開していく必要がある。一方で、東京ガスは供給区域内約3100km²に約3600基の地震計を設置中(超高密度観測網)であり、今後データを公開するという情報があり、引続き社会情勢を調査し、学会活動に反映させていくことが重要である。

建築学会の提言でも、「地盤と建物における同時観測を実施する体制を強化した高度で高密度な強震観測システムを構築する必要がある。」とされている。これをうけて、今後、具体的な方針を検討する必要がある。

強震データは構造設計の進歩のために活用されることが望ましいことや、海外との交流を考えると、今後は、「研究目的という制限」や「建築学会員に限る」といった制限はできるだけ無くす方向でのデータ収集が望ましい。また、できるだけ地盤情報も収集することが望ましい。

社会の強震データベースが巨大化してきた現状で、ボランティア活動だけでどこまで学会や社会に貢献できる活動ができるかという問題もあり、震災予防協会との関係や、データ流通センター構想との関わり方を考えていく必要がある。

6.まとめ

本報告は、構造委員会・振動運営委員会・強震観測小委員会・関東地区WGの2年間にわたる活動の一部をとりまとめたものである。報告内容としては、(1)国内外の強震観測およびデータベースの現状把握と強震動データベースの望ましい姿について追求し、(2)更に強震観測の将来展望として、ハード・ソフトの両面から強震観測に関連する種々の課題について、その方向性・可能性について述べている。観測、データベース、記録の利用、それぞれの項目について、私見を含めてまとめると以下ようになる。

強震観測に関しては、兵庫県南部地震以降公的機関による、特に地盤に着目した強震観測網が以前とは比較にならないほど充実してきたこともあり、地震動現象の解明や設計入力地震動の策定はもとより新たな観測網の設置に際しても、それらを積極的に活用して行くことが期待されている。しかしながら、建物や建物地盤連成系の観測体制では、観測点の数が多数になることもあり、官民による観測を合せても地盤に比べるとその数は少ない。また、民間による建物観測記録の公開には諸々の制限があり難いことを考えると、例えばCISMIP(米国)にみられるような公的機関主導による、観測からデータ公開までの一体化した体制へと変革して行くことも必要である。

強震動データベースについては先ず、強震観測が、計画から、設置、維持管理、データの保存まで、多大な労力を要することを、データ利用者は理解すべきであり、観測に係った方々の苦勞を忘れてはならないことが基本的に重要である。

データ公開に関しては、観測記録は公的な財産であり、公開は地震防災に資するとの啓蒙がなされることが期待される。またデータをお互いに公開し共同利用することにより、公開した以上のことを得ることができることも理解すべきである。

また5章では、強震動データベースの現状分析と提案が要領よくまとめられているため、詳細は省略するが、データベースの構築には組織を超えた協力が必要である。このためには、データの収集・公開に関する国家レベルでの一元化を是非推進し、例えば強震記録を一括して扱うデータセンターの早期設立を希望する。

記録の利用に関してはまず、建物観測記録の活用例として、観測記録から直接、建物の健全性を評価する方向が示された。これは、建物における強震観測に新たな付加価値を与えるものである。また、近年注目を浴びているリアルタイム地震情報の利用では、地震後いかに迅速かつ正確に事象を把握・予測できるかは、システム・評価手法の信頼性向上や地盤・中小地震データの蓄積など日常的な努力が鍵になっており、平常時から非常時までの連続性を視野に入れた取り組み

が重要であることが指摘されている。

強震計に今後望まれることとしては、廉価で保守性が高いこと、よりネットワークに融合していること、付加価値を出せること、余震観測や数年単位の対象地域の変更に対応できる機動性を具備していること、が必要であると指摘される。また、このような性能を有するようになれば、観測密度の更なる向上や経済的な問題を克服する一つ的手段である共同観測或いはデータの交換・流通等が更に容易になることが期待される。

一方で、銀行やコンビニエンス・ストア等に設置されている監視用カメラを強震計の代用として利用することも提案された。特別な装置を新設することなく、都市内において高密度な強震観測ネットワークを構築することの可能性が示された。

また、インターネットを利用した強震動データの交換・公開に関しては、K-NETなど公的機関による新しい試みがなされている一方で、データの公開をボランティアに頼らなければならない一般の研究者にとっては、サービスする側とされる側が労力を分かち合えるようなシステム構築を考える必要がある。

以上、本活動報告について総括したが、建築学会は望まれる強震観測体制やデータセンター設立に関する提言を広く社会に対して行うべきであり、また、強震観測に携わる研究者・技術者は観測や記録の活用を積極的に行い、強震観測に更に多くの付加価値を創造して行くことが重要であると考える。

(若松邦夫)