

# 耐震性能の検証と強震観測

構造研究グループ 主席研究監 大川 出

## 目次

- I. はじめに
- II. 建築物の強震観測の経緯
- III. わが国の建築物の強震観測の現状
- IV. 米国における建築物の強震観測
- V. 建築物の強震観測の将来の展望
- VI. おわりに
- 参考文献

## I. はじめに

わが国で強震動を対象とした強震観測がスタートして半世紀が過ぎた。1995年兵庫県南部地震を契機に、強震観測点は飛躍的に増えた。すなわちK-NETや気象庁、それに自治体の震度観測と、これら地盤上の観測地点の数は数千のオーダーで増加した。これに対して建築物対象の強震観測はどうか。設計時に動的解析が必要な、超高層、免震建築物を中心に観測は実施されているものの、それ以外の一般建築物における観測事例は非常に少ない。これらの大量に施行される一般建築物の地震時の挙動が必ずしも精度よく推定できるということではない。それなりに複雑な構造を有する建物は建てられているし、一般建築物と一括りに分類するには、構造形式、材料、規模など非常にバリエーションが多いのである。建築物全体としての耐震性能の向上及び、評価技術の高度化を目指すならば、それら多様な建築物に資する情報の蓄積が重要である。

前述のように地盤上の観測が充実し、地震後それら観測値がすぐに公表される状況にあるものの、それらが近隣の建築物の被害状況とは必ずしも整合しないという事例が最近増加しており、建築物への実効入力動の評価のためにも、建築物への強震計の設置が広く求められる状況にある。さらに、性能設計への移行などを推進するためには、定量化に資するこれらの観測データの蓄積により、建築物の応答予測技術の高精度化が不可欠であることも、建築物強震観測の充実を訴える一つの根拠とな

っている。

ここでは、建築物の強震観測に焦点をあて、これまでの経緯、現状と問題点を紹介し、将来展望を述べることにする。

## II. 建築物の強震観測の経緯

まず、強震観測初期の観測点の増加の状況を、表1に示す。表から大部分は建築物を対象としていたことがわかる。開発されたばかりの当時の強震計は、高価な精密機器であること、また電源の供給という点からも、設置場所を提供してくれる建物所有者がいるならば、建築物内に設置することが優先されたのは当然のことといえる。

強震計が1953年に設置され始めてからほぼ十年後の1962年時点の全国の強震計の設置状況を図1に示す。

当時全国をあわせて119台の強震計が稼働していた。そのうち63台が東京地域、18台が大阪地域、3台が名古屋地域であり、大部分は大都市地域であったこともわかる。

また、同図では、全国を3つの地域に分類しているが、これは当時の建築基準法に初めて取り入れられた地域係数の根拠となった河角マップである。<sup>1)</sup> これを見ると、河角マップにおける地震動期待値の低い地域に強震計はほとんど設置されていなかったことがわかる。

表1 初期の強震計の設置地点

設置年	設置観測点
1953	東大地震研 (TK101)、大阪第一生命ビル (OS201)、明石製作所 (TK102)
1954	鉄道会館 (TK103)、名古屋文化会館
1955	東横デパート (渋谷区)
1956	釧路測候所、都庁第一庁舎 (TK105)
1957	東海原研 (KT601)、通産省庁舎、他建築物 5
1958	新潟県営アパート (川岸町)、東京タワー、十津川ダム (奈良県)、他建築物 11
1959	国鉄技研 (TK118)、川崎発電所、名古屋テレビ塔、国鉄静岡管理局
1960	建研 (TK116)、国鉄本社 (丸の内)、墨東病院 (TK121)、江東電話局 (TK119)、清水建設本社 (TK117)
1961	秋田県庁舎、伊勢丹デパート (TK122)、室牧ダム、他建築物 8カ所

さらに、建物内の設置点数も、規模に応じて複数点に設置していることも同図に示されている。当時は強震計の設置を大学・官庁などの公的機関だけでなく、大都市圏の民間建築物施主にも呼びかけ、強震計の普及を促進した。設置場所は、1階や地下階だけのものもあるが、大部分はこれに最上階を加えた2点観測となっている。<sup>6)</sup> また、1960年代後半には、超高層建築物が出現し、強震計の設置による建築物の応答観測が盛んに行われた。これら初期の強震観測については、田中<sup>2)</sup>に詳しい。

このように初期の強震観測では建物などの構造物が主要な対象であったが、港湾の強震観測が1962年に開始され、地盤対象の観測も増加していった。この時期の主要な被害地震を表2に示す。1995年兵庫県南部地震まで、大都市圏近傍で大きな地震の発生がない。

一方で、1960年代後半から増加した超高層建築物の設計では、地震動時刻歴による応答解析が義務づけられ、適当な建設地の観測記録の需要が生まれた。超高層建築物の立地が多い東京、大阪における大振幅の観測記録が無かったことから、東京101や大阪205と呼ばれる、それほど大きくない振幅の観測記録が、初期には使われることになる。(前者は、当時東京本郷にあった地震研究所建物で記録された1956年2月14日東京湾北部地震(M5.9)の記録、後者は、大阪市内の日本板硝子社屋で観測された1963年3月27日の越前沖地震による記録である。いずれ

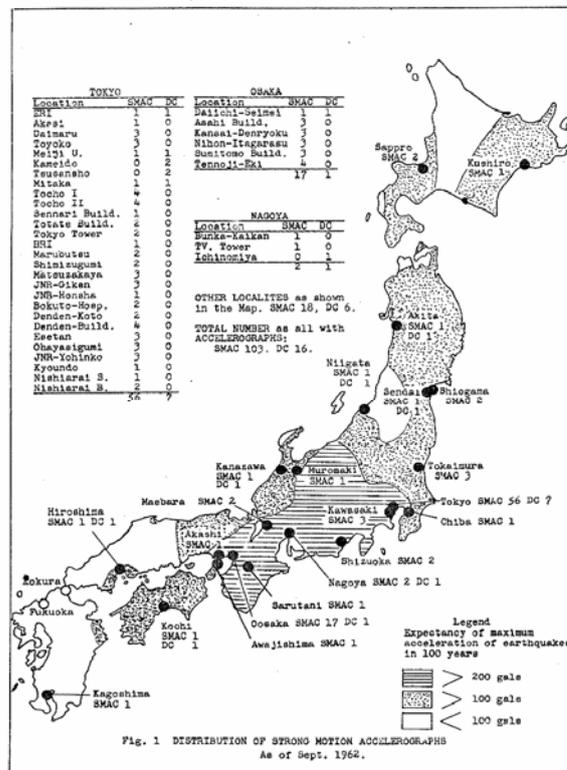


図1 1962年におけるわが国の強震計の分布

表2 わが国の強震観測と主要な被害地震

発生日	地震名	M	死者・不明	最大震度
1964.6.16	新潟地震	7.5	26	6
1968.5.16	十勝沖地震	7.9	52	5
1974.5.9	伊豆半島沖	6.9	30	5
1978.1.14	伊豆半島近海	7	25	5
1978.6.12	宮城県沖地震	7.4	28	5
1983.5.26	日本海中部地震	7.7	104	5
1984.9.14	長野県西部地震	6.8	29	6
1987.12.17	千葉県東方沖地震	6.7	2	5
1993.1.15	釧路沖地震	7.8	2	6
1993.7.12	北海道南西沖地震	7.8	230	5
1994.10.4	北海道東方沖地震	8.1	-	6
1994.12.28	三陸はるか沖地震	7.5	2	6
1995.1.17	兵庫県南部地震	7.2	>6400	7
2000.10.6	鳥取県西部地震	7.3	0	6強
2001.3.24	芸予地震	6.7	2	6弱
2003.5.26	宮城県沖地震	7.1	0	6弱
2003.7.26	宮城県北部地震	6.4	0	6強
2003.9.26	十勝沖地震	8	2	6弱
2004.9.5	紀伊半島沖地震	7.1	0	5弱
2004.9.5	東海道沖地震	7.4	0	5弱
2004.10.23	新潟県中越地震	6.8	68	7
2005.3.20	福岡県西方沖地震	7	1	6弱
2005.8.16	宮城県南部地震	7.2	0	6弱
2007.3.25	能登半島地震	6.9	1	6強
2007.7.16	新潟県中越沖地震	6.8	15	6強

も最大震幅は100ガル以下の記録で、設計にはこれらを拡張して用いた。) 1968.5.16に十勝沖地震が発生、北海道、東北地域で大きな被害が発生したが、この地震のあとの同年7月1日に東松山地震が発生し、首都圏内の広域の観測地点で比較的大き

な加速度記録を残している。

しかし、民間主体による高層建築物の強震観測は、その大半が立地する東京、大阪周辺での地震が少ないことや、観測機器の寿命、維持費用の確保の困難などから、建築物の強震観測は下火になっていった。

その後、1995年兵庫県南部地震において、被災状況の把握の遅れが問題となり、神戸地域での手薄な強震観測網がその原因の一つとされ、全国的な強震観測網の設置を促した。このとき以来整備されてきた強震観測網は強震動予測分野の進展に大きな貢献をしたが、これらの観測は、構造物を観測の対象としておらず、建築構造を対象とした観測とは無関係のものであった。

建築物内での大振幅の主要な観測記録は、数としては多くない。1964年新潟地震、1978年宮城県沖地震、1993年釧路沖地震、1994年三陸はるか沖地震、1995年兵庫県南部地震、2003年十勝沖地震、2004年中越地震、2007年能登半島地震、2007年中越沖地震などの地震時のものがある。

これらの主な観測記録は公表され、地震動予測手法、地盤増幅特性、強震時の建築物の応答などの研究のためのデータとして広く使われてきた。近年、免震建築物への設置が増加している。2003年十勝沖地震では、釧路市内の建築物で我が国の過去最大級の変形を記録し、貴重な関連資料を提供している。また、この時には、長周期地震動により苫小牧にある石油タンクに大きな被害を生じた。2004年中越地震では、兵庫県南部地震以降はじめての震度7が川口市で観測されている。さらには、小千谷市内の観測点でも震度7相当の揺れが観測されたこと、また、周辺の建築物被害が、必ずしもそのレベルに見合ったものではなかったことも記憶に新しい。さらに2007年能登半島地震、同中越沖地震でもきわめて大きい加速度記録が地盤上で得られ、在来木造住宅を中心に大きな被害が出た。ただし、両地震ともに被災地における建築物には強震計がほとんど設置されておらず、入力地震動と建築物被害の関係についての有用なデータがあまり得られなかったのが実情である。また2007年中越沖地震では、震源域に位置していた柏崎刈羽原子力発電所サイトにおいて、地盤と構造物で非常に密な観測記録が得られており、強震動の生成、伝播メカニズムの解明にきわめて有用な資料を提供している。

### III. わが国の建築物の強震観測の現状

建築物の強震観測は、大学、NTT、公団、建設会社などが実施してきた。そのうち、建築研究所の強震観測地点を図2に

示す。それぞれの観測地点の詳細については、建研HPに詳しいので省略するが、基本的に建築物基部（1階あるいは基礎）と最上階、そして近傍自由地盤上を基本的な組み合わせとしているが、建築物の構造形式や基本振動性状に応じて観測部位を追加したり、また、省略したりしている。図1に示す初期の強震観測地点のいくつかは、建築研究所がその後を引き継ぎ、現在に至っているが、観測が長期間にわたるので、対象建築物自体が建て替えられたり、近隣の別の建築物に移設されたりしている例もある。観測対象建築物は、官庁建物や自治体庁舎などで公的な建築物がほとんどである。建築研究所以外にも、半ば公的な性格を持つ公団、NTT、鉄道、電力などの各会社も強震観測を実施している。それぞれ対象とする建築物には業種毎に構造的な特徴がある。また多様な建築物の設計・施工を専門とする建設業では、自社関連建築物を対象に、自主的あるいは施主の依頼に基づいて強震観測を実施することがある。これらは、同業他社との競争としての技術開発の一環であり、観測データが、一般に公開されることはない。

強震観測の目的や業務上の位置づけは業種によって異なっている。建築研究所などは基本的に、設計基準、耐震計算法が妥当であるかどうかのチェックおよび、基準自体の高度化であるのに対して、後者は、個々の物件の構造設計の妥当性のチェックである。従って、建築物の耐震性能の検討および高度化に有用なデータの公表については、建築研究所を中心とした公的な性格を持つ機関に頼らざるを得ないのが現状である。

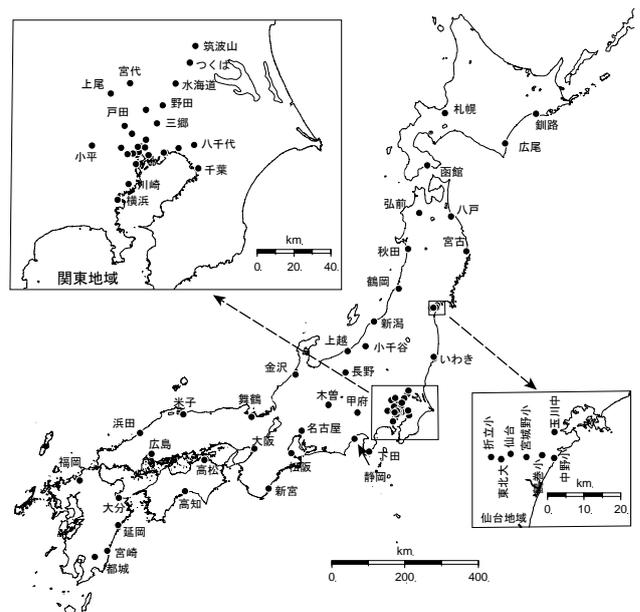


図2 建築研究所の現在の強震観測地点

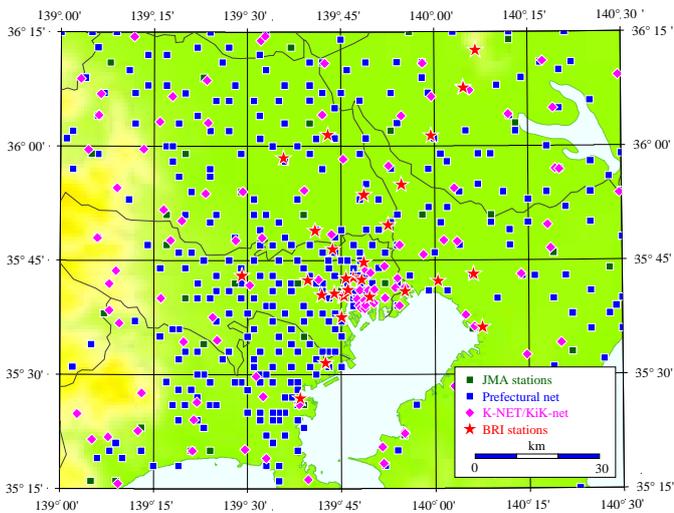


図3 他の強震観測ネットとの観測点の比較

地方自治体でも観測を実施しているところがあるが、建築物に設置している例は少ない。

気象庁（JMA）や防災科学技術研究所（NIED）などは兵庫県南部地震後、その観測網を急速に充実させたが、建築物は対象から除外されている。これに自治体による強震観測地点を加えて観測点を比較したのが図3である。他と比べて建築物の観測事例（赤い★印）がきわめて少ないことがわかる。（実際には、公表されない隠れた観測点がある。）

小山他<sup>4)</sup>は、わが国の建築物の強震観測のおもな実施機関（建設ゼネコン、設計事務所、NTT、公団、電力など）を対象に、アンケート調査を行っている。設問の内容は、観測の目的、対象建物、観測システムおよびデータの公表等についてである。回答から得られた観測対象の建築物について図4に、データの公表に関する意見の集約を図5に示す。著者らは、調査結果に基づいて、次の諸点を指摘している。

- 1) 建築研究所実施分を除いて、わが国では200棟以上の建築物で強震観測が行われているものと推定される。
- 2) 観測目的は、耐震性能の検証が主体である。
- 3) 観測対象建物や観測地域に偏りがある。
- 4) 民間所有の建築物では記録の利用には種々の制約がある。
- 5) 建築物強震記録の活用は重要と認識されている。

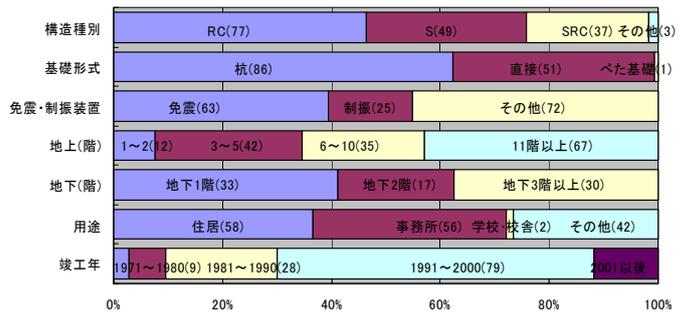


図4 対象建物建築物について

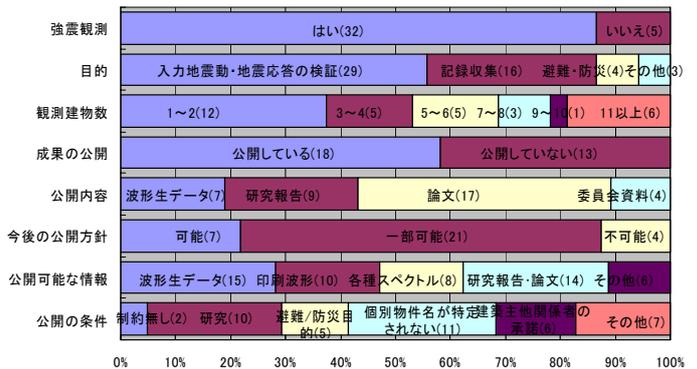


図5 強震観測実施の実情

#### IV. 米国における建築物の強震観測

強震観測の実施において、日本と米国の両国が、観測点数、観測実績、観測技術また、観測データを用いた研究において質、量共に世界をリードする存在である。

米国では、1930年代にわが国に先駆けて、USCGS（米国沿岸測地局）が中心となって、強震計の設置と観測を開始した。その結果、1933年ロングビーチ地震で世界最初の強震記録を観測し、1940年にはインペリアルバレー地震によりエルセントロ変電所建物内において当時最大の0.3Gあまりの最大加速度を観測した。この観測記録は、のちの1952年カーン郡（別名アービンテハチャビ）地震におけるタフト記録とともに、長年建築物の耐震設計に用いられてきたことはよく知られている。その後も引き続き観測地点の増加など観測ネットワークの拡充が精力的に実施されてきている。

その実情について、少し述べる。

米国では建築物の設計基準は各行政組織毎に決められているが、耐震関係では、ほとんどの場合UBC（Uniform Building Code）<sup>8)</sup>というモデル規準を参照し、そのまま設計基準として採用するか、それぞれの行政体の実情に合うよう修正後、施行することになる。1960年代半ば以降のUBCには、地震がよく起こる地域(米国ハザードマップのZone 3と4)では、ある規模以

上の建築物には強震計を設置することを推奨する条項が追加された。現在版の UBC でも同様な推奨条項があり、それを採用している自治体では計器の設置が義務づけられることになる。

設置された強震計により、地震のたびに多くの強震記録を得てきたのは、この仕組みのおかげによるところが大きい。

1971 年 2 月のロサンゼルス市郊外で起こったサンフェルナンド地震では、各種構造物に大きな被害が生じた。ロサンゼルス市など、いくつかの自治体では前記の耐震規準による強震観測条項を適用し、これを義務づけていたため、特に高層建築物で多くの強震記録が得られた。サンフェルナンド地震時の建築物の強震記録が非常に多数残されているのは、そのような事情があるためである。(code-required instrumentation)

この規定はロサンゼルス市などではその後も適用されており、1994 年ノースリッジ地震でも、後述のカリフォルニア州による観測 (CSMIPI) 網以外にも多くの建物で強震記録が得られていて、それらの記録はデジタル化され、一般に公表されている。<sup>7)</sup>

### 1) カリフォルニア州の強震観測プログラム

カリフォルニア州は、サンフェルナンド地震後に、強震観測事業の有効性を認め、構造物 (地盤含む) の強震観測プロジェクトを開始した。観測対象は、建築物以外に、地盤、ダム、道路橋、ユーティリティ (水道、電力、ガス) 施設など広い範囲を含む。観測の財源の確保のため、一定規模以上の建設行為に対して、その建設費に対して一律の割合 (7/10 万) で観測のための費用を徴収し、これに充てている。これは、CSMIPI (カリフォルニア強震観測計画: California Strong Motion Instrumentation Program) と呼ばれる<sup>5), 9)</sup>。カリフォルニア州地質調査所 (CGS、旧同州鉱山地質局 CDMG) に設けられた同計画事務局が、学術、行政、設計の各専門家からなる顧問会議 (Advisory Board、実際には設置建物の選定、観測方法等の提案も担当) の指導を仰ぎながら、地震計の設置、維持管理、記録の回収、公表を担当している。

この CSMIPI は、当初目標として全体で 400 棟の建築物で強震観測の計画を掲げた。まず対象とする建築物 (群) は表 1 のように 30 種類に分類されている。それぞれの建築物毎の棟数の内訳、2001 年現在の設置数が右二欄に記入されているが、このプログラム開始以来 30 年間で 170 棟の建築物への強震計の設置を完了している。30 種類の建物群は、それぞれがさらに細分され具体的な構造形式が決められていて、計 133 種類の具体的な形式の建築物が示されている。この数字に、地震の生起地域分

類数の 3 を掛けると目標の 400 程度となる。観測データ自体は無償で一般に公表されている。

表 3 CSMIPI における観測対象建築物<sup>9)</sup>

Group No.	Building Type - Structural System [Height]	Total No. Needed	Instrumented as of 7/01
1	Unreinforced Masonry Bearing Wall [M]	6	0
2	Unreinforced Masonry Bearing Wall [L]	9	2
3	Unreinforced Masonry with Load Bearing Frame [M]	6	2
4	Unreinforced Masonry with Load Bearing Frame [L]	9	1
5	Unreinforced Masonry Bearing Wall [H]	6	0
6	Unreinforced Masonry with Load Bearing Frame [H]	6	4
7	Non-ductile Concrete Moment Frame [L]	9	1
8	Concrete Tilt-up [L]	12	7
9	Reinforced Masonry Wall w/o Moment Frame [M]	9	2
10	Concrete Shear Wall w/o Moment Frame [M]	12	6
11	Reinforced Masonry Shear Wall w/o Moment Frame [L]	15	8
12	Concrete Shear Wall w/o Moment Frame [L]	12	6
13	Non-ductile Concrete Moment Frame [M]	3	2
14	Concrete Shear Wall & Moment Frame [H]	24	7
15	Steel Braced Frame [M]	12	5
16	Precast Concrete (Not Tilt-up) [H]	6	3
17	Precast Concrete (Not Tilt-up) [M]	6	2
18	Concrete Shear Wall w/o Moment Frame [H]	3	1
19	Non-ductile Concrete Moment Frame [H]	3	3
20	Reinforced Masonry Shear Wall w/o Moment Frame [H]	6	3
21	Precast RC (Not Tilt-up) [L]	6	0
22	Braced Steel Frame [H]	21	8
23	RM Shear Wall & Moment Frame [H]	3	0
24	Ductile Concrete Moment Frame [H]	3	1
25	Moment Resisting Perimeter Steel Frame [H]	9	5
26	Wood Frame [L]	6	6
27	Base Isolated [L,M,H]	9	8
28	Hospitals since 1989 (OSHDP)		24
29	Retrofitted		8
30	ALL OTHER BUILDING TYPES	169	45
	<b>Total:</b>	<b>400</b>	<b>170</b>

### 2) 地質調査所による強震観測

米国地質調査所 (USGS) が実施している NSMP (National Strong Motion Network)<sup>10), 12)</sup> では、主として連邦政府が所管する政府関係の建築物の強震観測を行っている。NSMP の観測対象は、一般建築物というより、少し特殊な形態、構造特性を有する建築物を対象とした先導研究的な観測が多い。表 2 に、米国での最大の強震観測実施者である USGS が独自、あるいは他機関と共同で実施している強震計設置構造物数を示す。(2001 年現在)

表4 USGSにおける強震観測（共同観測含む）<sup>10)</sup>

Owner Agency	Stations	Recorders	Comments
Army Corps of Engineers	46	180	all dams
Property Owner (Code mandated)	04	04	down from 30+
Calif. Department of Water Resources	03	06	2 dams + Pumping Plant
Department of Veterans Affairs	59	74	Long Beach & Palo Alto VA
General Services Administration	02	04	Bldgs
Geophysical Institute, Univ. of Alaska, Fairbanks	13	13	all remote sites
Hawaii State Civil Defense	05	05	Big Island
Metropolitan Water Dist. of Southern Calif. (MWD)	16	32	dams + 1 bridge
NASA-JPL (new)	05	06	all digital
Oregon Department of Transportation	10	38	10 digital bridges
University of Puerto Rico	41	53	2 structures
U.S. Geological Survey [includes cooperative instrumentation + latest ANSS* additions]	446	499	San Jose Bridge-15 ch+12 ch DH]
Utah Geological Survey	07	07	older digital
Washington, Tacoma Public Utilities	02	06	2 dams
Washington Dept. of Natural Resources	01	01	Bldg
<b>TOTALS</b>	<b>660</b>	<b>928</b>	

建築物の数は膨大であり、どこにどのような特徴を持った建物があるとか、観測計画があるというような情報は、観測実施者だけでは得られないので、学識経験者、行政体での専門家、設計技術者、観測技術者などからなる委員会をあらかじめ作成して検討しておくことは重要である。

### 3) ANSS (Advanced National Seismic System)

ANSS<sup>13)</sup>は2)と同じUSGSが実施している新しい強震観測プロジェクトである。このプロジェクトは、建築物だけでなくその他構造物や、地盤における地震観測を対象とするものであるが、最新の計器を使って、地震の発生から、地震波動の伝播、地盤増幅と構造物の応答、被害、早期地震警報の発信など、地震防災情報を準リアルタイムで提供するためのシステムである。

米国における強震観測の特徴は、一つの機関、あるいはプログラムで、建築物、橋梁、地盤、ダムなど多分野の強震観測を一括して実施していることである。

また、CSMIPのように、事務局によるデータの公表が業務として義務づけられているほか、USGSによる観測もインターネットを通してデータを取得することができる。前者の場合、観測事業の全体計画を策定し、観測のための費用を、事業者に求めるという方法、また、基準類に所有者による強震観測を義務づける条項が含まれていることなど、わが国では未だ実施されたことのない施策である。

表5 ANSSにおける地域毎の目標観測数<sup>11)</sup>

Table 2. National priorities for allocation of building instrumentation resources to ANSS regions. The number of buildings with 30 channels each is based on three thousand, 3-channel accelerographs as requested by the ANSS proposal.

Region	No. 30-channel Structures per ANSS Region
California ANSS Region 1	186
Pacific Northwest ANSS Region 2	26
Intermountain ANSS Region 3	33
Mid-America ANSS Region 4	13
East-Northeast ANSS Region 5	22
Alaska ANSS Region 6	14
Hawaii ANSS Region 7	7
<b>TOTAL</b>	<b>300</b>

## V. 建築物の強震観測の将来の展望

わが国の強震観測事業の中における建築物の強震観測の位置付けおよびその現在までの展開、さらにはわが国に先行する米国における建築物の強震観測の実態を参考として眺めながら、今後建築物の強震観測としてのあるべき姿を概観してみる。

### 1) 強震観測を取り巻く課題

#### ① 建築物を対象とした強震観測への期待

地盤条件の違いや震源タイプ（プレート内地震、プレート境界地震など）の違いに関しても同様に観測記録ははまだまだ不足している。しかし、これらの影響についてはK-NET、JMA他の観測ネットでも検討が可能である。とくに我が国の海域に起こる大型のプレート境界地震による強震記録については、強震観測が開始されて以来ほとんど有用な記録が記録されていない。（東海地震、南海、東南海地震、関東地震などの大型地震が今後早期に起こるといわれており、それらの地震への準備が必要である。）また、長周期地震動が注目されているが、それに対する超高層建築物の応答の実測が十分ではなく、地震の切迫性を考えれば、早急に対応すべき事項である。

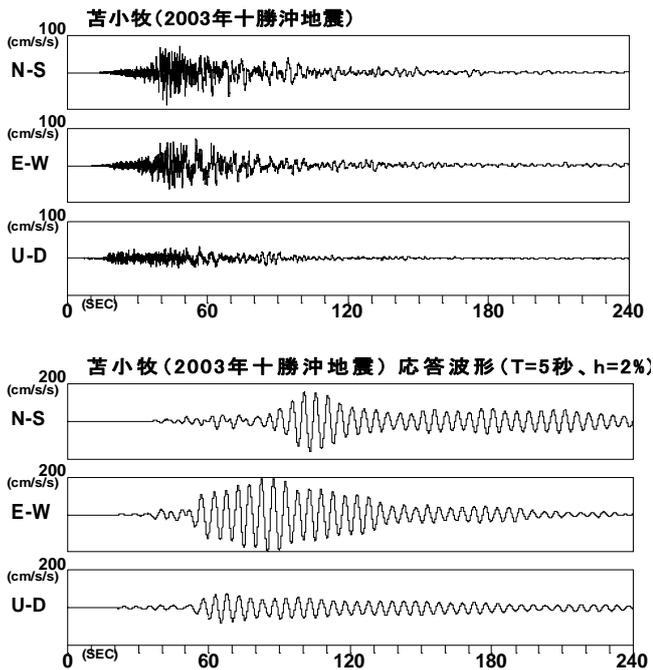


図6 2003年十勝沖地震でKNET 苫小牧地点で得られた加速度記録(上)とその周期5秒での弾性加速度応答波形

## ②JMA、K-NE Tと構造被害の不整合

2000年鳥取県西部地震や、2004年新潟県中越地震などでみられたように、建築物被害と観測地震動レベルの対応が必ずしも十分ではなく、建築物へ実際に入力した地震動がわからない事態が生じた。

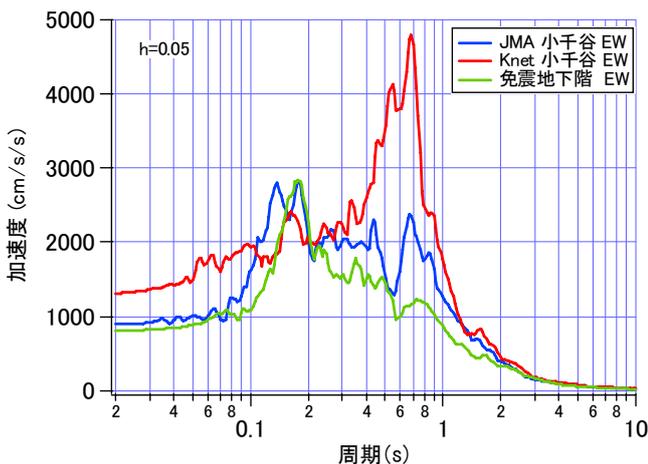


図7 2004中越地震における小千谷市内で得られた強震記録による加速度応答スペクトルの比較

## ③観測すべき地震動

現行設計基準が想定しているレベルの設計用地震動とその地震動に対する建築物の応答性状を把握しデータを蓄積していくこと。しかしながら、そのようなレベルの地震動記録はまだ多くない。震度7は、1995年兵庫県南部地震と2004年中越地震の2回のみである。

実際に多数の建築物が倒壊しているがそれらの挙動が計器により測定されている例はまだ少ない。震度6強についても、それほど多くない。

また、超高層建築物の構造設計では層間変形角などで設計クライテリアを表現する場合があるが、層間変形角を測定によって検証している例はない。同様に建築物の減衰特性についても、観測記録によって設計での値が妥当であるかどうか、データによって検証すべきである。

## ④強震観測の代替としての振動実験について

振動実験：メリットとしては、地震を待つ必要がない。地震動の大きさが制御可能。結果がすぐ出る。デメリットとしては経費がかかることがあげられる。特に実大はほぼ不可能。

強震観測：メリットは、実際の地震動による実際の建物の挙動であるという事実。デメリットは、データの取得に長期の観測が必要であり、測定機器のメンテが不可欠である。

## ⑤社会的必要性について

観測を継続しておかないと、肝腎なときにデータを逃してしまう可能性がある。そのデータによって今より遙かに正確に建築物の地震時の様子を推定することができる。将来の地震の起こり方を考えて、強震計を移設することもあり得る。

関東地震、東海地震、南海地震、東南海地震などの巨大地震が近い将来に襲来すると、一般にも広く知られている。それらの地震が来る前に、観測を中止することは考えられない。また将来的には、性能の検証に振動測定を用いる可能性もある。そういう事態になれば、強震データの蓄積が不可欠となる。

## 2) 建築物の強震観測の課題

特に個別の建築物の地震時挙動の確認ということよりも、建築物全体を見据えて、その耐震性能の向上を図るという観点から、様々なタイプの建築物、地盤条件、地震の生起確率などを勘案して、対象建築物を選定し、特性の把握を行い、データを公表・蓄積していくことが必要であろう。

### ①対象建築物の優先リストの作成

基本的には、どのような建物で何棟くらい観測すべきということであり、建築物の振動特性、構造形式、構造システム、建

築材料、建築年代などによって代表的建築物の分類を行う。また地域の地震発生頻度や、地盤条件などについても、地震動予測地図等を参考にしながら検討を加える必要がある。

## ②他実施機関との連携に基づく観測の拡充と調整

地盤観測については、既存の観測網も有効利用すべきであり、K-NET、JMA、自治体などのそれぞれの非常に密な地盤強震観測ネットワークが充実した現在、建築物に特化した観測とするためには重要な事項であると考えられる。

## ③観測・維持予算の確保

今後の耐震設計の仕組みや、一般所有者の耐震性能への意識の変化に応じて、状況が変化する可能性がある。まず、観測の目的、目標を再確認しながら、全体計画を策定し、それらが社会や、建築物の所有者にとってどのようなメリットがあるか、およびその重要性について、わかりやすく説明していくことが必要であろう。

## ④設計規準の高度化に資する資料提供

現状の耐震設計における評価の基本量は、建築物の固有周期、減衰定数、層間変形、層せん断力（あるいはベースシヤー）などである。超高層建築物の構造設計では層間変形角などで設計クライテリアを表現するが、その場合でも、層間変形角を測定によって算定している例はあまりないし、減衰特性を実建物の観測値から算定して設計の妥当性を検証することもあまり行われない。これらは、現状の観測手法から算定することは容易ではないかもしれないが、これらの量を直接測ったり、推定したりする方法なども含めて観測方法を再構築していく必要がある。

これらは耐震設計法とも密接に関連している。同様に建築物の減衰特性についても、観測記録によって設計での計算が妥当であるかどうか、データによって定量的な検証をすべきものと考えられる。

## ⑤データベースの構築と利用

今後データ量が爆発的に増えることが確実である。設計への利用など、有効利用を意識したデータベースの構築を考えておく必要がある。前記のような状況が実現されなくても、わが国の代表的なカテゴリーの建築物が多様な地盤条件や構造特性や設計規準の違いによって、地震時にどのような応答性状を示すかについて測定によってデータベースを地道に拡充していくことは建築研究所にとってきわめて重要な任務といえよう。これらは、将来の性能評価法や規準の高度化に有効に利用できることは明らかである。

## ⑥観測ガイドラインの作成

何を、どのように観測するのか。それによって何がわかり、耐震性がどのように判断されるのかについて一般対象の観測ガイドラインを作成し、情報提供を行う。データの一様性の確保からも、基準が必要である。

（機器仕様、データ補正、保存書式、保守作業など）

## ⑦強震観測の位置づけの変化への対応

一般ユーザの建築物の構造特性に関する関心や知識の向上などを合わせて考える必要がある。すなわち関連情報の充実により、ユーザが建築物への要求構造性能を具体的に持つようになることで、建築物の性能確認のツールとして地震時挙動測定が活用される可能性がある。現時点では、国や公共機関が行う代表的構造物の強震観測による地震時の当該建築物の挙動のデータを集約・分析し、平均的な建築物の応答特性の特定が主要な作業であるが、前記のような事態になれば、個々の建築物へユーザ自身が測定器を設置する事例が増加するような場合が想定され、公的な立場からは測定方法の標準化や測定値の評価方法などに関する情報提供なども必要となり、そのような場合を想定しておくことも重要である。現在研究的に実施されている地震測定を利用した構造物のヘルスマonitoring手法の開発などがそれにあたる。

## ⑧役割分担

前に、米国の事例の中で、一つの機関が、建築物だけではなく、地盤、橋梁、ダム、その他を一括して観測を担当していることを紹介した。わが国では、様々な機関が、独自に観測網を構築している。データの有効活用という観点から、各機関の連携を考えてもいいのではないだろうか。

また、公的機関と民間の観測とは、そもそも目的が異なるものであり、建築研究所としては、今後の建築物全般の耐震性能の向上に資するデータの蓄積という観点から観測事業を展開していくべきである。

## VI. おわりに

わが国の建築物の強震観測の歴史、現状、その少し先を行く米国のやり方等と眺めながら、今後のわが国の建築物の強震観測を考えてみた。より安全性の高い建築物の構築のための基礎データを収集し、耐震設計手法、同規準の改善に資する観測体制の構築が急がれる。

建築研究所では、わが国の建築物全体の耐震性能の向上を目標とする建築物の強震観測を計画・実施して行くにあたり、今

後の観測体制の整備、観測計画、観測データ公表方法等について検討作業を行っている。

それらについては、皆様のご理解を得るべく、随時公表していくことにしている。関係諸兄には今後ともご協力をお願いする次第である。

#### 参考文献

- 1) 中川恭次、「日本の強震観測の現状」、建築雑誌、昭和35年6月号
- 2) 田中貞二、「日本における強震計の開発と初期の強震観測」、ORI研究報告94-02、(株)大崎総合研究所、1994
- 3) 日本建築学会・強震観測小委員会、「建物の強震観測に関する将来像(案)―強震観測小委員会活動報告―」、平成15年3月
- 4) 小山信、他、「建物の強震観測現状調査」日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)2004年8月
- 5) California Division of Mines and Geology, “Second Report on the Strong-Motion Instrumentation Program”, Special Publication 48, 1976
- 6) USGS San Francisco Bay Region Instrumentation Advisory Committee, “Report on Recommended List of Structures for Seismic Instrumentation in the San Francisco Bay Region”, Open-File Report 84-488, USGS 1984
- 7) Robert L. Nigbor, Kim M. Madura, “Collection and Archiving of Code Accelerograph Data from The Northridge Earthquake”, Proc. 11th WCEE, Acapulco, Mexico, Paper NO. 738, 1996
- 8) International Conference of Building Officials (ICBO), “Uniform Building Code, Excerpts from Appendix Chapter 16 Structural Forces, Division II- Earthquake Recording Instrumentation”, 1997
- 9) Shakal, A.F., Huang, M-J, Rojahn, C. and Poland, C., “Strategies and Criteria for the Selection of Buildings for Instrumentation”, Proc. COSMOS Invited Workshop, COSMOS publication NO. CP2001/04, NSF and USGS, 2001
- 10) Celebi, M., “Current Practice and Guidelines for USGS Instrumentation of Buildings Including Federal Buildings”, Proc. COSMOS Invited Workshop, COSMOS publication NO. CP2001/04, NSF and USGS, 2001
- 11) Borchardt, R.D, et al, “National and Regional Priorities for Allocation of Strong-Motion Instrumentation in Buildings”, Proc. COSMOS Invited Workshop, COSMOS publication NO. CP2001/04, NSF and USGS, 2001
- 12) Celebi, M. “Structural Monitoring Arrays – Past, Present and Future”, Proc. NATO Workshop on Future Directions on Strong Motion and Engineering Seismology, Kusadasi, Izmir, Turkey, May 17-21, 2004
- 13) ANSS Structural Instrumentation Guideline Committee, “Guideline for ANSS Seismic Monitoring of Engineered Civil Systems-Version 1.0, Public Review Draft”, USGS Open-File Report 2005-1039, March 2005

