

# 土木構造物の強震観測の現状と課題

葛西伸寛\* 杉田秀樹\*\*

表-1 現存する計器の記録媒体の種別による特徴

記録媒体分類	自記紙	電子媒体	
	アナログ	デジタル	
特徴	振動を紙などに直接波形として記録	振動を音声記号として記録	信号をデジタル化して記録
観測範囲	狭帯域	広帯域	広帯域
データの歪み	多い	少ない	無い
媒体の回収間隔	基本的に地震発生毎に回収	定期的	定期的
媒体コスト	安価	安価	高価
数値化コスト	高い	高い	安い
数値化に伴うデータの歪み	発生しやすい	発生しやすい	理論的には無い

## 1. はじめに

我が国の強震観測は、昭和 28 年 10 月に総理府資源調査会が内閣総理大臣に強震観測に関する勧告を提出したことを契機として開始された。建設省では、昭和 33 年に猿谷ダムに強震計が設置されている<sup>1)</sup>。

その後、昭和 39 年の新潟地震を契機に各管理施設で強震観測が強化されてきた。また、兵庫県南部地震では高速道路高架橋が倒壊するなど甚大な被災を被ったことにより、土木構造物の耐震性確保に対する要請が高まり、強震観測についても、より一層の重要性が認識された。

本文は、建設省所管施設における強震観測の現状を調査し、各観測施設毎や各地域毎等の差異を俯瞰的な視点から整理する。さらに、強震観測関係者によるブレインストーミングを行い、強震観測の課題を分析することで、より一層、効率的な強震観測のあり方について今後の方針を考察した。

## 2. 強震観測の現状

### 2.1 記録媒体による観測機器の分類

強震計は地震観測計器の一種であり、主に強振動と呼ばれる振幅域を観測する観測計器で、記録部とセンサーにより構成される。

観測機器は日々進化しているが、現在、観測している機器を記録媒体別に区分すると①自記紙タイプ、②電子媒体タイプの 2 種類に大別できる。

また、電子媒体は、アナログ形式とデジタル形式

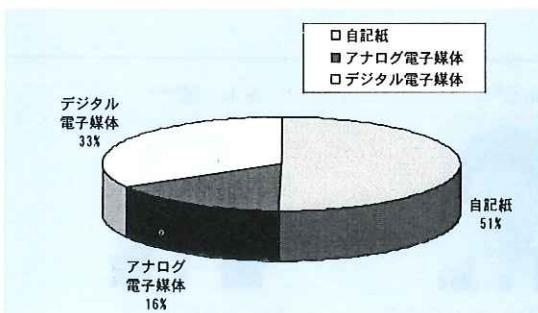


図-1 記録媒体別の観測機器の構成比

に分類できる。現在、土木研究所で動作確認を行っている観測機器の台数を記録媒体別に分類したもののが図-1 である。また、現在使用している観測機器で使用している各記録媒体の特徴をまとめると表-1 の通りである。自記紙タイプの観測計器はデータの歪みが電子媒体に比較すると大きい。また、地震発生時刻の記録が得られないために、地震発生毎に記録媒体を回収する必要があるなど不利な点が多い。現在の強震計は電子媒体が主流であり、自記紙タイプの強震計は計画的に電子タイプのものに更新していくことが必要である。

### 2.2 センサー形式による観測機器の分類

強震計に用いられているセンサーは表-2 の通り、機械式、圧電式、コイル式の 3 種類に大別できる。機械式は最も簡単な構造で、振動を振子で感知し、そのまま記録紙に出力するものである。

表-2 強震計のセンサーの種別<sup>1)</sup>

	機械式	圧電式	コイル式
振動変換方式	振子の振動を直接出力する	振子の振動を圧電素子で電気信号へ変換する	振動を電磁コイルによって電気信号へと変換する
対応範囲	振子により対応できる帯域が限られる	比較的広帯域	広帯域
遅延記録(感知前記録)の付記	不可能	不可能	可能
一般的な呼称	スクラッチ式 自記紙型	圧電式 電圧式	サーボ式 電磁式 可動コイル式

この方式が初期の地震観測計器に多く採用されたのは構造が簡単で振子の固有振動別に様々な周波数帯を測ることが可能だったためである。しかし、この形式は、測定範囲内の周波数帯でも様々な機器特性が顕在化しやすく、観測データの取扱いには多数の手順と注意が必要である。このため、最近の強震計では使われることは少ない。

圧電式は圧電素子(ピエゾ素子など)を使い、振動を直接電気信号へと変換する方式である。基本的に広範囲の周波数帯で強い振動を測定可能であるが、構造上、長周期帯は計測し難く、地震動よりは高周波数帯(短周期帯)の振動の計測に向いているためか、最近ではあまり使われてはいない。

コイル式は基本的に振動を磁石とコイルによる起電により電気信号へと変換する方式である。コイル式の一つであるサーボ式は振動子を電磁石とコンデンサで振動させないようにすることで振動を高効率で電気信号へと変換する方式である。構造的に静止から高周波数帯まで計測可能であり、機器特性の影響も極めて小さいため近年では最も一般的に用いられている方式である。また、強震観測記録を用いた地震動解析のためには地震動が構造物に到着してから大きく揺れだすまでの振動記録(初期微動という)が重要であることから、電気信号へ変換する圧電式とコイル式のセンサーを用いる強震計は感知前記録(遅延記録という)<sup>1)</sup>の機能を備えた構造となっている。

### 2.3 設置施設別の設置状況

観測機器の設置状況を示すと表-3の通りである。なお、表-3には建設省が別途、施設管理のために設置している地震計ネットワークの観測所も含まれている<sup>2)</sup>。

表-3によれば全国で、432 観測所、998 センサー、2,961ch が設置されている。この数は、全国平均で約 860km<sup>2</sup> に一つの観測所があることに

表-3 建設省直轄関係の地震計設置状況(管理施設別)

一般強震 観測総計	設置状況			観測区分 (センサー別)	
	観測所数	センサー	ch	一般	共用
河川	140	362	1,083	259	103
道路	165	250	734	129	121
ダム	84	291	859	256	35
砂防	49	97	291	96	0
総計	432	998	2,961	740	257

注 1) 観測区分については、「一般」は一般観測として、「共用」は地震計ネットワークと共に用いて整備したものと示す。

注 2) 対象施設の合計が観測所数の計と合致しないのは複数の対象施設を兼用している観測所を重複してカウントしているため。

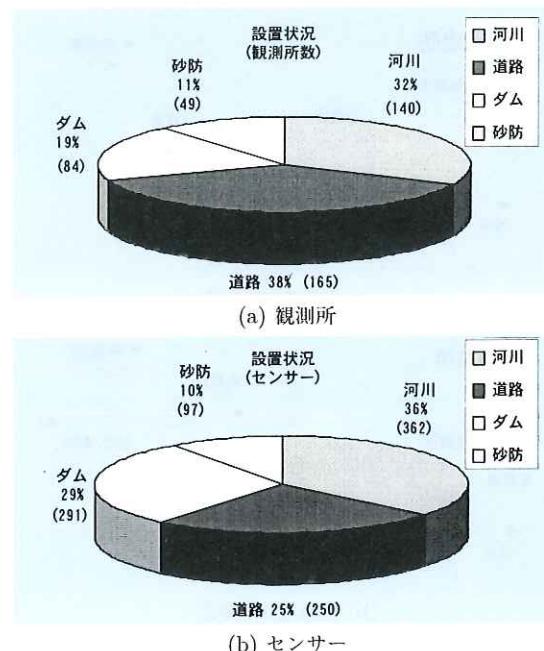


図-2 施設別の観測機器の設置割合

なり、これは一辺が約 44km の三角メッシュ毎の観測網と同等である。

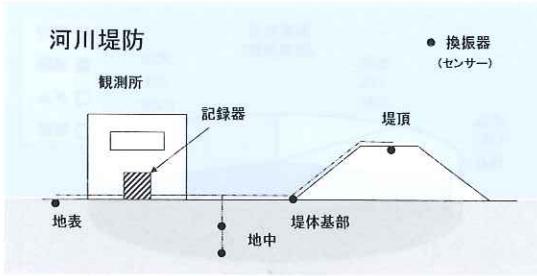
河川、道路、ダム、砂防の区分に応じて観測所とセンサーの割合を示すと図-2の通りである。観測所数で見ると、河川が約 1/3、道路が約 2/5、ダムが約 1/5、砂防が約 1/10 を占めているが、センサー数で見ると河川とダムが約 1/3、道路は約 1/4、砂防は約 1/10 を占めている。これは対象となる施設数の多寡と 1 観測所あたりのセンサー数の多寡による。

### 2.4 観測対象施設におけるセンサーの設置個所

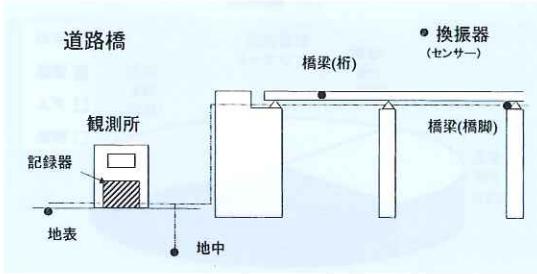
各施設におけるセンサーの標準的な設置位置を模式的に示すと図-3の通りとなる。センサーの設置に際しては地表での地震動と構造物の挙動の双方を記録できるように配置することが肝要である。

各施設毎にセンサーの数を設置位置別に集計すると図-4の通りである。河川施設は地表、地中、構造物にバランスよく設置されている。これに対して、道路施設では地表に設置されたセンサーが多く、構造物や地中のセンサーが少ない。ダム施設は巨大な水圧に抗する施設であり、堤体の挙動を精緻に観測する必要があるため、構造物に設置されたセンサーが多くなっている。砂防施設では構造物と地表の比がほぼ 1 対 1 という設置状況となっている。

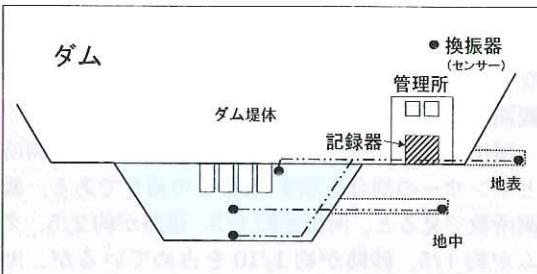
河川施設と道路施設について構造物の設置位置別に割合を示すと図-5の通りである。河川施設では堤防に対する観測に重点が置かれている。また



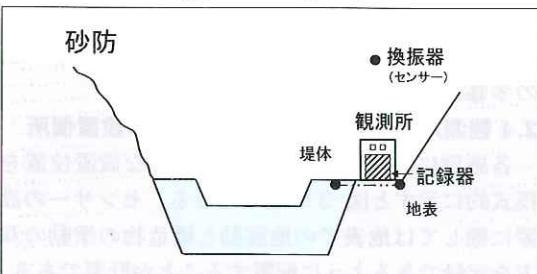
(a) 河川施設(堤防)



(b) 道路施設(橋梁)



(c) ダム施設(堤体)



(d) 砂防施設(堤体)

図-3 センサーの標準的な設置例

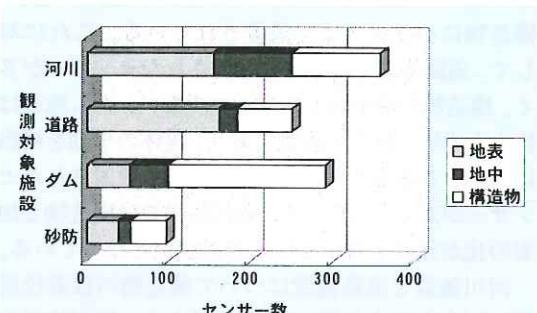
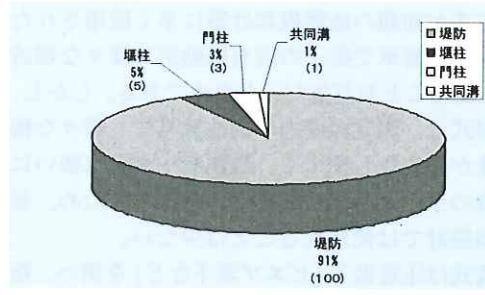
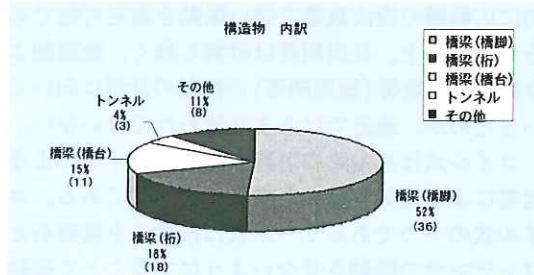


図-4 センサーの設置個所の施設別分類



(a) 河川施設



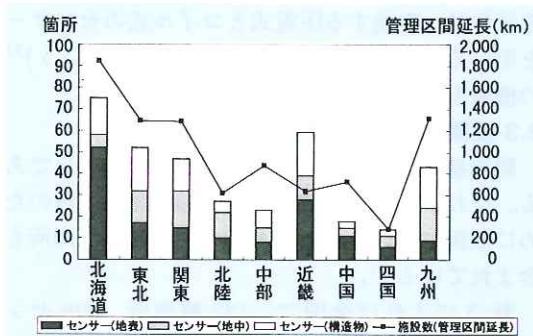
(b) 道路施設

#### 図-5 観測対象とする構造物合

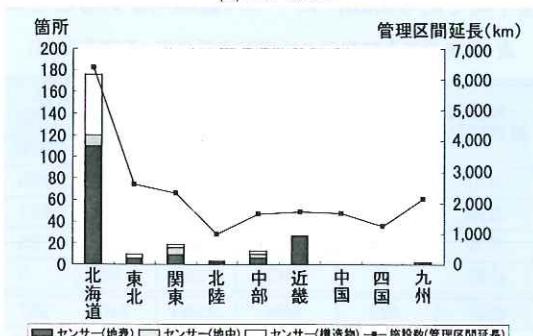
道路施設では橋梁に対する観測に重点が置かれ橋梁の各部位に対してセンサーが配置されている。

#### 2.5 地域別の設置状況

河川施設と道路施設についてセンサーの設置箇所数を地域別に整理すると図-6の通りである。



(a) 河川施設



(b) 道路施設

図-6 地域毎に見たセンサーの状況

河川では管理区間延長と施設数と比較して近畿の設置数が突出しているが、これは兵庫県南部地震により強震観測の重要性が強く認識され整備が推進されたためである。これに対して道路では北海道を除いて観測施設の整備は低い状況となっている。

また、観測所及びセンサーあたりの管理区間延長を整理すると図-7の通りである。

河川での1観測所あたりの管理施設延長は全国平均で約33kmである。地方別で見ると九州だけが長くなっているが、センサーあたりの管理施設延長では突出して長くはない。これは1観測所について多数のセンサーを配置しているためである。道路での1観測所あたりの管理施設延長は全国平均で約49kmである。比較して長い地方は四国、九州である。北海道を除く地域で観測所あたりとセンサーあたりの管理施設延長に差がないのはほとんどの観測所で単数のセンサーしか配置されていないためである。

河川、道路共に配置密度や観測所とセンサーの配置状況に地域格差があるため、今後は総合的な視野からの計画的な整備が必要であろう。

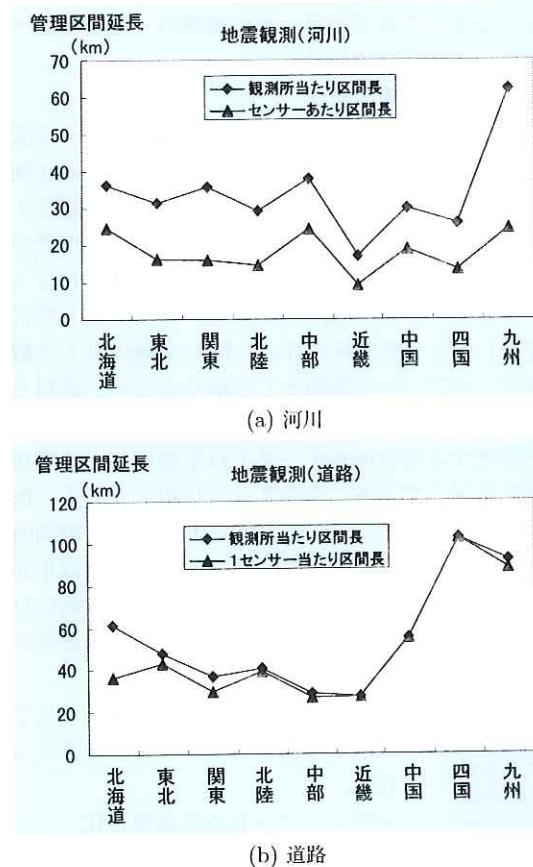


図-7 地域別の観測施設あたりの施設延長

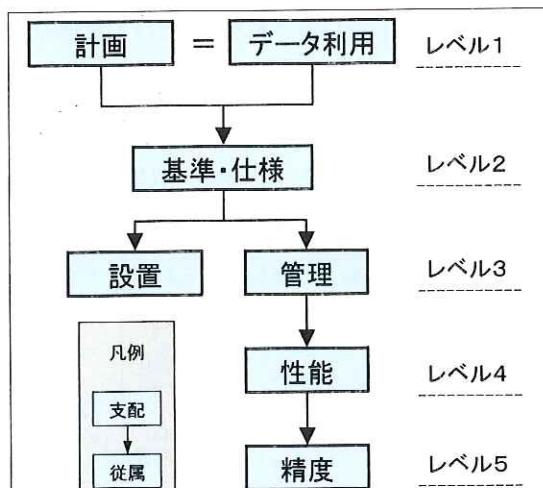
### 3. 強震観測に係る課題

第2章までに示したように、土木構造物の強震観測については近年になって一層、観測箇所が増加し観測機器の多様化が進んでいる。また約40年間の強震観測の歴史を通じて既に整備された観測器の老朽化に伴い機器の更新などの必要性も増している。このような背景の下、強震観測事業を円滑に円滑に推進するため、強震観測の関係者によるブレインストーミングを行い、強震観測に係る現状の課題を分析した。

ブレインストーミングでは「必要な設置場所の明確化が必要」、「データの変換方式などの統一化が必要」等の多岐に渡る意見が出された。次に課題を整理するために、これらの意見を「基準・仕様」、「精度」、「性能」、「計画」、「設置」、「管理」、「データ利用」の7つの属性でグルーピングした。さらにISM法(Interpretive Structural Modeling:要素、属性などを分析して階層構造を客観的に導出する数学的手法)を用いて、属性間の構造化を行った。この結果を図-8に示す。

図-8によれば、以下の点が指摘される。

- ①「計画」、「データ利用」が最上位に位置づけられており、次いで「管理・基準」の順となっている。これらの課題は強震観測関係者の間で最も重要かつ優先的に解決を図るべき事項として認識されていると考えることができる。
- ②これに対して観測計器の「性能」、「精度」は下位に位置づけられている。これらの課題は上段の計画等の課題に従属することを示すものである。



#### 4. 強震計の整備運用計画

第3章で明らかにされた強震観測の整備運用に係る計画について考察する。

現状において、ダム施設への観測計器の整備は施設自体の挙動観測として河川砂防技術基準(案)に従って行われている。砂防施設については、兵庫県南部地震を契機として「砂防ダムへの地震計の設置について(H7.11 砂防課長通達、建設省河砂発第51号)」が出され、高さ15m以上の砂防ダムについて強震計を設置することが求められている。河川施設については「河川堤防における強震計配置計画(第一~三期)(H8.5 本省治水課事務連絡)」に基づき、全国で90観測所に配置されることとなっている。

現状では前述した通り事業別の計画に基づき強震観測所は整備されてきた。しかしながら、観測所の疎密を解消し、新設、更新、廃止等を合理的かつ効率的に行うためには事業別の計画を包括する全体計画について検討していくことが必要である。

#### 5. データ処理の効率化

第3章では強震観測に係る課題として「データ利用」が課題意識の上位に位置づけられている。ここでは強震観測を気象観測の一つと捉え、同じく気象観測の一つである雨量、水位観測と比較することにより、データ利用に係る課題解決の方向を考察する。

##### 5.1 データ量の比較

建設省で観測している雨量、水位観測所と比較すると表-4の通りとなる。観測所数は約1/3であるが、ch数はほぼ同数である。これは1観測所=1センサー=1chである雨量、水位観測所と異なり、強震観測は1観測所に複数のセンサーが存在し、さらに1センサーにつき上下1方向水平2方向の3chとなるためである。また、収集整理すべき

表-4 雨量、水位観測との比較<sup>3)</sup>

	観測所数	ch数	総データ量	記録形態
雨量観測	2,886	2,886	25,281,360 データ/年	毎正時に1データ
水位観測	2,746	2,746	24,054,960 データ/年	"
地質観測	873	2,961	4,440,000 データ/地震	1/100秒単位で約2分程度 (約12千データ/ch/大地震) 半径100kmのデータ
			22,460,296 データ/年	震度4以上(年間30回) 半径50kmのデータ

表-5 地震発生回数  
(最大震度4以上)

年	地震発生回数 (震度4以上)
1990	16
1991	27
1992	50
1993	24
1994	20
1995	48
1996	31
1997	40
1998	29
1999	23
平均	30.8

データの時系列数量の相違がある。雨量、水位観測は基本的に毎正時(各時刻の00分時)に一度、観測しデータを収集する。だが、強震観測は基本的に地震発生時に対象となる施設に付けられた全てのセンサーで1/100秒単位で数分間観測しデータを収集する。仮に大地震が発生した時、震源から半径100km以内の観測所のデータを収集するとした場合、前述の観測所の平均密度から算出すると約9.1観測所のデータを収集することとなるこれは全国の雨量、水位観測所の約2ヶ月分に相当する。震災発生時に大量のデータを速やかに収集するためには工夫が必要である。また、最大震度4以上の地震についてデータを収集することを試算すると、対象となる地震は表-5の通り、過去10年間の平均で約30回/年程となる。これは雨量、水位観測の一年間あたりのデータ量とほぼ同量となる。

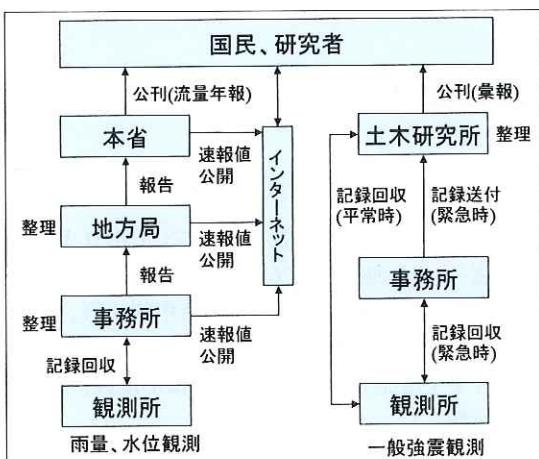
##### 5.2 データ処理の流れ

現在の雨量・水位観測と強震観測のデータの流れを比較して図-9に示す。この図に示す通り強震観測では①土木研究所が年1度、動作確認をする時に収集する、②大地震時に観測所の管理者が土木研究所に送付する、という2つの手段によって行われ、データ整理(数値化→テキスト形式変換)は土木研究所が行い、概ね20gal以上の観測データについて彙報として取りまとめ、公刊している。これに対して雨量・水位観測は、観測所を管理する事務所がデータを収集整理し、地方建設局を通じて本省に集約される仕組みである。仮に1事務所あたり10箇所程の雨量、水位観測所を管理していると仮定すれば、土木研究所は年間で約300倍、大規模地震発生時には約600倍の処理能力が即座に必要となる。

これを解決するための方法としては以下に上げる4つの方法が考えられる。

###### ①フォーマットの共通規格化

水位観測等のように出力形式、保存形式、保存媒体、等を共通の規格



することで、収集・整理の作業を効率化する。これはコストを削減や人為的なデータの取扱上のミスを削減することに繋がる。

#### ②データ回収の省人効率化

オンライン化などによりデータ回収の迅速化と省人効率化を図る。

#### ③データ処理の効率化

多様化する観測機器に対する機器特性の補正プログラムの効率的な整備を行う。また、観測機器を管理する事務所などにおいて回収されたデータのデータベース化を進めることにより、重要なデータの喪失を防ぐ。

#### ④デジタル式機器への積極的な更新

データ処理作業が相対的に繁雑なアナログ式の観測計器からデータ処理作業が少ないデジタル式の観測機器へ積極的に更新することにより、効率的な観測体制の充実を図る。

## 6. 今後の展望

これまで判明した強震観測の改善点を以下に整理する。

#### ①包括的な配置計画の推進

事業別、地域別の観測所、センサーの疎密を是正する包括的な観測計画を策定し、推進する。

#### ②組織的なデータ処理の推進

統一的な手法、手段で組織的に観測することで、効率的且つ省人効率化したデータ整理を推進する。

#### ③フォーマットの共通規格化

観測データの共通化を図ることで、データ処理の効率化と堅牢性の向上を図る。

#### ④機器の積極的な更新

自記紙(アナログ)タイプから電子(デジタル)

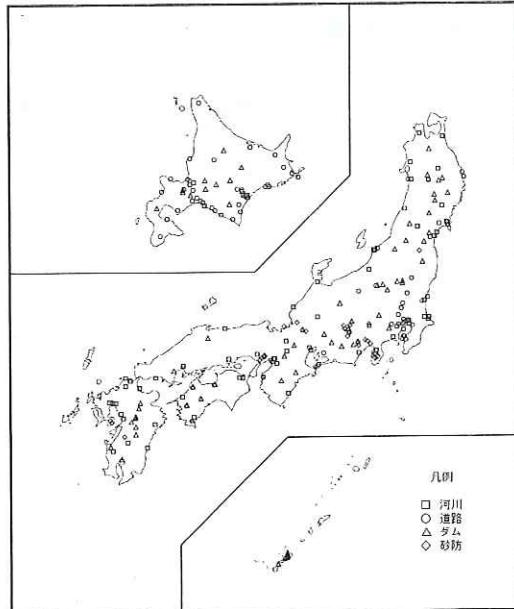


図-10 全国の一般強震観測地点

タイプ方式への機器の更新を図ることで、より効率的な強震観測を推進する。

#### ⑤データ回収の効率化

オンライン化等により、データ回収の効率化を図る。

#### ⑥データ処理の効率化

機器補正プログラム等の整備とデータベースの組織的な整備を推進する。

以上、6項目の強震観測の改善点について今後、関係各機関と調整を図り、積極的に推進していく予定である。

## 参考文献

- 荒川直士他：土木構造物に対する強震観測（第2刷），土木研究所資料 1734号
- 杉田秀樹：リアルタイム地震対応を目指した地震計ネットワークの整備、土木技術資料, Vol.40, No.2, 1998.2
- 建設省水文研究会：水文観測、社団法人全日本建設技術協会

葛西伸寛\*



建設省土木研究所耐震技術研究センター耐震技術課管理係長  
Nobuhiro KASAI

杉田秀樹\*\*



同 防災技術課長、工博  
Dr. Hideki SUGITA