

内閣総理大臣 大平正芳 殿

日本学術会議会長 伏見康治

写送付先：科学技術会議議長、大蔵大臣、
文部大臣、運輸大臣、建設大臣、
科学技術庁長官、北海道開発庁
長官

高密度強震観測の推進について（勧告）

標記について、日本学術会議第79回総会の議決に基づき、下記のとおり勧告します。

記

国際地震工学会（IAEE）、国際地震学地球内部物理学協会（IASPEI）及び国際連合教育科学文化機関（UNESCO）により組織された強震地動国際高密度観測会議が、各国の地震被害低減のため、国際協力によって推進することに決定した強震地動の国際高密度観測計画に我が国が参加し、その観測の諸結果を学術研究の推進、地震被害対策等に有効に利用することは、極めて大きな意義を有するものと考えられる。したがって、この国際協力計画を成功させるために政府は、(1)地震の発生機構及び地震波の伝播機構解明のための高密度強震観測、並びに(2)地震動に及ぼす局地的な地形・地盤条件の影響解明のための高密度強震観測、に必要な予算措置等、格段の措置を講じられたい。

（別紙）

説 明

我が国が繰返し発生する破壊的地震の脅威にさらされていることは、過去の経験はもちろん、最近の地震学の研究からも明らかにされており、我が国の宿命ともなっているが、特に最新の研究において、近い将来、東海地方、南関東地方等に大地震の発生が予想されている。

破壊的地震による構造物の被害が、地震動の特性に大きく影響されることは本会議が新潟地震後に勧告した「耐震工学の拡充強化について」（昭和39年11月7日）にも指摘したところであるが、1978年の宮城県沖地震等、その後の地震被害においても改めて確認されている。

現在我が国には強震観測網として、気象庁の1倍強震計や工学的目的のための強震計等が国内各地に配置されている。気象庁の1倍強震計は、振子の動きをドラム上の記録紙に直接ペン書きさせる機械式の強震計で、国内各地の気象観測官署に設置されているが、大地震の完全な記録のは握、発生機構解明のための性能については、なお解決すべき問題がある。また工学的目的のための強震計の多くは、加速度型の強震計であって全国各地に設置され、その台数は、1,000台を超えているが、その大部分は、記録する加速度範囲と周波数範囲が狭いこと、絶対時刻が刻時されず刻時精度も低いこと、遅延装置を欠いているため初期の地震動を記録し難いこと、設置位置が大都会の構造物に集中しており地盤の強震動記録が少ないことなどの問題点を有している。

強震時における地震動の性質は、その地震自体の発生機構、地震波の伝播経路並びに観測点付

近の地形・地盤等の局地的条件に強く影響されることが知られている。しかしながらこれまでで得られた地震学の成果は、大地震の震源である断層の破壊過程に関しては、概括的な性質を解明したに留まり、特に工学的に重要な短周期地震波が断層からいかに発生し、これが伝播途中の地下構造によりいかにして強震動に成長するかについての知識は、未だ不十分と言わざるを得ない。また、既往の強震計は、地盤に設置されたものであってもそのほとんどは地表面近くに集中しており、その記録から地表面付近における個々の強震動の特性を求めることはできても、対象とする地域の基から入射した地震波動が、地形や地表付近の堆積層等の局地的条件から受ける変形過程を、体系的に観測は握りきるまでには至っていない。

一方、構造物の現行の耐震設計においては、期待される地震動の影響を一定の水平荷重に置き換える、いわゆる震度法がとられているが、最近の構造物の長大化と地震工学の発達に伴って、構造物の地震応答を動的に解析する必要を生じてきている。このような構造物の例としては、高層建築物、長大橋、長大沈埋トンネル、長大タンク等があるが、その地震応答に対する地盤と構造物の相互作用の大きさを考えると、地盤内から構造物に至る鉛直方向及び構造物の占める水平方向の広がりや考慮して地震波を入力させる必要がある。地震入力波としては、対象とする構造物の耐震設計に影響する範囲での地震の発震機構、地震波の伝播経路及び地形・地盤等の局地的条件を考慮して予測された特性を持つ地震波を用いることが最も望ましいのであるが、現在のところでは、他の地点で求められた代表的強震記録を入力として用いている現状である。また、都市の防災対策上重要視されている交通網（道路、鉄道、港湾、空港等）、通信網、水道、ガス、電力等のいわゆるライフライン施設についても、長大構造物同様、3次元的な位置関係の中での地震動の特性を正しくは握り、全体としての地震時挙動を評価する必要を生じており、地表、地中を通じての立体的な計器配置による地震動の観測とその特性の解明を不可欠の要件としている。

異なる様式の発生機構の地震を、種々の伝播経路と局地的条件の下で系統的に観測して、将来の大地震の際の強震動を正確に予測するためには、気象庁が新たに計画している強震計観測網システムの近代化と、工学的強震計網の拡充強化を強力に推進すべきことは論をまたないが、これに加えて、特に震源域付近及び地形や地盤条件の変化点近傍に、広帯域（周波数、ダイナミックレンジ）、高精度の特性を持つ強震計を高密度に配置して観測を実施することが必要不可欠である。

昭和52年1月に開催された国際地震工学会主催の第6回世界地震工学会議で、高密度強震観測の推進が求められたが、これに基づいて、国際地震工学会（IAEE）、国際地震学地球内部物理学協会（IASPEI）、国際連合教育科学文化機関（UNESCO）などの関係国際機構主催の下に昭和53年5月ハワイで開催された「国際強震地動高密度観測会議」は、地盤の脅威を受けている各国に対して、“地震発生機構・波動伝播及び局地的影響解明のために恒久的観測網を大地震発生の可能性の高い地域に早急に設置するとともに、機動観測網を整備・維持する”ことを勧告した。

我が国においては、「駿河湾・伊豆・南関東地域」が特に優先度の高い地域として挙げられたほか、東北地方東部、中部地方西部の両地域も高密度強震観測網を設置すべき候補地域として挙

げられている。周知のようにこれらの地域では、近年特に地震予知観測体制が強化されつつある。強震度の観測から得られる大地震の発生機構と波動伝播に関する情報は、地震工学に対してのみでなく、将来繰返し発生する大地震の予知に対しても基礎的資料を与えるものであり、この意味においても地震発生が予想される上記の地域を含む各地で、高密度強震観測を推進することが強く望まれる。

なお、この計画の実施に当たっては、日本学術会議地震工学研究連絡委員会が主体となって、国際協力並びに研究情報の交換、実測資料の公開と相互利用の円滑化を図る方策について検討する。

添 付 資 料

1. Proceedings of the International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays (Abstract)
2. 高密度強震地動観測計画について
3. 同 研究課題担当機関表
4. 必要経費
5. 開発・設備費年次計画表

STRONG-MOTION EARTHQUAKE INSTRUMENT ARRAYS

Proceedings of the

**INTERNATIONAL WORKSHOP ON STRONG-MOTION
EARTHQUAKE INSTRUMENT ARRAYS**

May 2-5, 1978

Honolulu, Hawaii

CONVENING ORGANIZATION

International Association for Earthquake Engineering

SPONSORING ORGANIZATIONS

**United States National Science Foundation
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization**

SUPPORTING ORGANIZATIONS

**Earthquake Engineering Research Institute
International Association of Seismology and Physics
of the Earth's Interior
Indian Society of Earthquake Technology
National Committee for Earthquake Engineering, Science Council of Japan
Japanese National Committee on Earthquake Engineering
Seismological Society of America
The New Zealand National Society for Earthquake Engineering
The Royal Society of New Zealand**

SPECIAL EVENTS SPONSORSHIP

**Department of Architecture, University of Hawaii
Earthquake Engineering Research Laboratory, California
Institute of Technology**

Resolution

The following resolution was approved unanimously by the delegates of the International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays during a general session on May 5, 1978.

The protection of life and property from the devastating effects of earthquakes is an urgent world-wide problem. An understanding of the nature of strong earthquake motions is of crucial importance in solving this problem. At the present time, however, there is a scarcity of engineering data acquired near the centers of destructive earthquakes, and existing instrument arrays are inadequate to provide the necessary data. Yet there is a high probability of occurrence of destructive earthquakes in different parts of the world in the next decade. The participants in this international workshop unanimously recommend that the earthquake-threatened countries and other concerned countries and organizations make a concerted effort to establish a comprehensive world-wide system of specialized strong-motion earthquake instrument arrays capable of resolving the nature of the earthquake source mechanism, wave propagation and local site effects. As a first step, the following specific recommendations should be implemented.

1. The International Association for Earthquake Engineering in collaboration with the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior form an International Strong Motion Arrays Council to facilitate the establishment of strong-motion earthquake instrument arrays.
2. Earthquake-threatened countries individually and collectively initiate the immediate installation of minimal arrays of 10-20 strong-motion instruments at least at the 28 world-wide sites identified by this workshop.
3. High priority be given to the design and installation of more elaborate source mechanism, wave propagation and local effects arrays, particularly at the six critical sites identified.
4. A mobile strong-motion instrument array capable of making source mechanism, wave propagation and local effects measurements be established and maintained for deployment immediately following the occurrence of a major earthquake for the recording of aftershocks.

Chapter 1

Summary and Conclusions

1.1 INTRODUCTION

Safeguarding life and property from the destructive effects of earthquakes is a major worldwide problem. In spite of the increased awareness of this problem, earthquakes each year claim many lives and cause enormous damage to man-made structures and other facilities. In order to design safe, economical structures and facilities in earthquake prone regions of the world, it is necessary to understand the nature of the ground motion that these systems may be expected to experience during their lifetimes. This understanding can ultimately come only from the measurement and subsequent study of the strong ground motion resulting from actual earthquakes.

The first modern strong-motion accelerographs were designed and installed in 1932 and the Long Beach earthquake which occurred the next year produced the first strong-motion accelerograms. The number of accelerographs grew gradually until the early 1960's. Then, the rate of growth increased markedly until the present level of approximately 5000 instruments deployed worldwide was achieved.

The selection of sites for strong-motion accelerographs has traditionally been made by engineers primarily interested in the earthquake response of buildings and other structures. It is not surprising, therefore, that most strong-motion instruments are concentrated near major population centers. The remaining instruments are spread rather sparsely throughout some of the more accessible seismically active zones of the world. Relatively few strong-motion instruments have been deployed in integrated arrays designed for the purpose of gaining detailed information about the generation, transmission and local modification of strong ground motion.

In the design of major structures and facilities such as important buildings, dams, bridges and power plants, it is highly desirable to know the ground motion at a specific site that would result from a particular earthquake event. As the return period for major earthquakes associated with a given portion of a fault is generally quite long, it is impractical to wait for data from the particular event in question. Instead, it is necessary to extrapolate from data which have been obtained from other events which are thought to be in some sense similar to the particular event under consideration. This extrapolation process can only be

reliable if there is an understanding of the individual factors which affect the character of strong ground motion such as; the nature of the source mechanism, the influence of the wave propagation path, and the effect of local topographic and soil conditions.

Generally speaking, isolated single instruments provide insufficient information to give a clear understanding of the factors influencing strong ground motion. What is required are multiple-instrument two- to three-dimensional arrays with configurations tailored to the specific information desired. At the present time, the number of such arrays is inadequate. Only when a greater number of such arrays are operational and data have been gathered will it be possible to significantly improve the accuracy of predictions of the nature of strong ground motion at a particular site.

It is important that future strong-motion arrays be deployed at those locations around the world which provide the greatest potential yield for the sizeable investment required. It is also important that such arrays be designed so as to maximize the usefulness of the data which will be obtained. Both of these objectives can best be met through a program of international cooperation which draws upon the varied resources of different participating countries. It is with this understanding that the delegates of the *International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays* undertook the task of making specific recommendations concerning the location, configuration, and operation of strong-motion arrays. A summary of the recommendations of the Workshop follows.

1.2 FAVORABLE ARRAY LOCATIONS

In compiling a list of promising sites for strong-motion arrays, five principles have been employed: 1) the desirability of attaining a high probability of recording detailed strong-motion information for a damaging earthquake ($M > 6.5$) within the next 10 years, 2) the desirability of recording the near field ground motion for a very large earthquake ($M \geq 8$), 3) the desirability of obtaining data from a variety of different source mechanisms and geotectonic conditions, 4) the desirability of favorable operating conditions and 5) the desirability of the proximity of important industrial and population centers with structures of engineering significance.

Application of these principles and a careful examination of potential sites have led to the selection of 28 locations as being promising for the deployment of strong-motion arrays. These 28 locations are indicated in Figure 1.1. Detailed information about each location is contained in Chapter 2. All important source types are represented including: thrust, strike-slip and vertical slip faults. A variety of geological conditions is represented as well.

Of the 28 locations selected, six have been designated as high priority sites. These sites are judged to have an especially high probability of yielding useful data. The six high priority sites are, in order: Shillong, India; Oaxaca, Mexico; Chia-i, Taiwan; Palmdale, U.S.A.; Suruga-Izu, Japan; and Varto, Turkey.

The favorable locations indicated by the Workshop are not intended to be exhaustive. Countries throughout the world are encouraged to deploy strong-motion earthquake instruments wherever they believe the conditions for such deployment to be favorable. However, the identified locations are believed to be of sufficient importance that the delegates of the Workshop have recommended unanimously that minimal arrays of 10-20 strong-motion instruments be installed immediately at each of these locations. It has further been recommended that high priority be given to the design and installation of more elaborate arrays at the six most promising locations.

1.3 SOURCE MECHANISM AND WAVE PROPAGATION ARRAYS

The ground motion experienced at a given location depends both upon the nature of the earthquake source mechanism and the factors affecting the propagation of waves from the source to the site. In order to gain a fuller understanding of the physical processes involved in this generation and transmission of seismic energy, it will be necessary to obtain data from fairly dense arrays of strong-motion instruments deployed *within the near-field region of strong earthquakes*. These arrays should have different configurations depending upon the type of source.

Three different source mechanism and wave propagation array configurations have been developed for possible deployment at favorable sites. For sites with a predominantly strike-slip source mechanism, a comb-shaped surface array is recommended consisting of approximately 100 to 200 instruments. About half of the instruments would be deployed along a line on one side of the fault at an average spacing of approximately 10 km. The remaining instruments would be deployed in a number of legs extending from the fault. These legs would extend linearly from 40-100 km with the longer legs being used primarily for the study of path effects. For sites with a predominantly subduction thrust source mechanism, an array consisting of 50-150 instruments is recommended. These instruments would be arranged in two or three parallel lines along the fault with an average spacing of 20 km. For sites with a predominantly dip-slip source mechanism, a two-dimensional array configuration is recommended consisting of approximately 100 instruments with spacings from 2 to 10 km.

In addition to the permanent arrays designed for source mechanism and wave propagation investigations, it is recommended that a mobile array of approximately 50 instruments be maintained for use in measuring the strong ground motion generated by aftershocks following great earthquakes. It is believed that the information gained from magnitude 6-7 earthquakes can be extremely valuable in the study of the generation and transmission of seismic waves as well as in the study of local site effects.

It is recommended that the instruments used in source mechanism and wave propagation arrays be three-component, 2g accelerometers having a bandwidth of 0.1 to 30 Hz and a dynamic range of 10^6 . Provision must be made for precise relative timing. Internal clocks should have a very

low drift rate and should be externally resettable. All instruments should have pre-event memories and easily adjustable trigger levels.

Details of possible configurations of source mechanism and wave propagation arrays along with recommended instrument characteristics are given in Chapter 3.

1.4 LOCAL EFFECTS ARRAYS

A complete description of earthquake generated ground motion involves more than the characterization of the motion at a particular point. It also requires the description of the gradients of motion which give rise to possible rocking, twisting and relative motion between different points. The precise nature of the motion will be affected not only by the properties of the source and the wave propagation path between the source and site but also by many local factors. These include: localized topographic and soil features, soil-structure interaction effects, soil liquefaction, etc. The nature of strong earthquake ground motion and the way that it is affected by various local conditions can only be adequately understood if additional data are gathered using a system of local effects arrays.

Four general types of local effects arrays are recommended: Local Laboratory Arrays, Simple Extended Arrays, Elemental Arrays and Special Arrays. Local Laboratory Arrays are relatively complex arrays intended to provide data concerning the gradients of ground motion and the nature of wave propagation through a local site. They would consist of from 25 to 40 instruments arranged over an area of up to 1 km² and to depths of approximately 100 m. Instruments would measure rotational and relative motion as well as acceleration. Common time bases and simultaneous triggering would be required. These arrays should be deployed in regions where frequent shaking of 0.05g or greater can be expected. They may exist alone or in conjunction with source mechanism and wave propagation arrays.

Simple Extended Arrays are smaller arrays designed to measure systematic variations in ground motion across localized soil, geologic or topographic features. Such arrays would consist of from 6 to 12 accelerometers having common time bases and triggering. Both surface and down-hole instruments would be required.

Elemental Arrays are vertical arrays or horizontal clusters of approximately three instruments contained within a limited area. These arrays would provide data on variations of ground motion with distance and depth. Numerous arrays of this type already exist but their deployment should be expanded.

The Special Arrays recommended are of two types; those intended for soil-structure interaction studies and those intended for liquefaction studies. For soil-structure interaction studies, prototype rigid

foundations, simple model building structures and extended buried structures should be instrumented. Rotational accelerometers, strain gauges and pore-pressure transducers would be required in addition to conventional accelerometers. For liquefaction studies, various levels of instrumentation can be employed. However, arrays must have both accelerometers and pore-pressure transducers installed on the surface and to depths of approximately 30 m.

Detailed example configurations for local effects arrays along with a discussion of a possible multi-level deployment strategy are contained in Chapter 4.

1.5 ARRAY CONSTRUCTION AND OPERATION

Several factors affect the cost of construction and operation of a strong-motion array. These include: 1) the availability of field tested instrumentation, 2) local construction and operation capabilities and 3) the availability of standard data processing and dissemination facilities. Information on current strong-motion programs has been used to estimate the costs involved in the major types of arrays recommended herein. In order to enable cost comparisons, a currently available digital accelerograph-with a range of 0.001g to 2.0g, a self-trigger and a 2.5 sec pre-event memory has been used as the basic instrument for all arrays. The cost differential involved in changing to other types of instrumentation may be estimated from comparative cost figures given in Chapter 5.

The base cost for installation of a source mechanism and wave propagation array for a strike-slip source is estimated to be approximately \$865,000 with an annual operating cost of approximately \$84,000. For a subduction-thrust source array, the installation costs would be approximately \$655,000 with annual operating costs of approximately \$60,000. The corresponding costs for a dip-slip source array would be approximately \$830,000 and \$80,000 respectively. It is estimated that creation of a mobile array consisting of 50 instruments would cost approximately \$475,000 with annual operating costs of approximately \$40,000.

A Local Laboratory Array capable of centrally recording 90 channels of acceleration data from surface and down-hole sensors is estimated to have a base installation cost of approximately \$519,000 and an annual operating cost of \$24,000. These figures would increase if instruments such as pore-pressure sensors were added. No detailed cost estimates for Simple Extended, Elemental or Special Arrays are given due to the large number of variables in their design. However, the cost figures presented for other types of arrays can readily be used to establish costs for specific array configurations of these types.

The above cost figures are based on arrays located in California, U.S.A. A site cost adjustment factor for each of the 28 promising sites considered has been determined based on the probable type of array to be deployed and the degree of difficulty in conducting operations at the different locations. The site factors range from 1.0 to 3.0. It

is recommended that each array or local combination of arrays have its own operating headquarters staffed wherever possible by local personnel but if necessary supplemented by trained personnel from other areas.

With respect to data processing and dissemination, it is recommended that three regional data centers be established to handle the worldwide assembling, processing and dissemination of data. These three centers would be in North America, Asia, and either Europe or the Middle East. A standard data format should be agreed upon by all centers. The centers should store all earthquake and station information in a telephone accessed computer and bulletins should be circulated every three months describing records obtained. Floppy disks and cassettes should be used for the exchange of individual earthquake records.

1.6 IMPLEMENTATION

The implementation plan recommended is intended to be flexible and is therefore not rigidly defined. It is believed that array programs should be controlled by the participating scientists and this would appear to preclude any highly developed international inter-governmental structure at the present time. It is, however, felt that it is possible and indeed beneficial to tie the implementation plan for strong-motion arrays to the International Association for Earthquake Engineering (IAEE). This organization with members from all over the world is dedicated to the goals of the strong-motion program and could provide the necessary focal point for international cooperation.

It is recommended that the IAEE in consultation with other organizations such as the International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) appoint an International Strong Motion Array Council (ISMAC). This Council would be responsible for the initial organization of the implementation structure and would, among other things, prepare general guidelines for array deployment, recommend priorities for array locations and coordinate the world wide assembling and dissemination of data.

In order to assist it in its responsibilities, ISMAC would appoint five Committees. These ISMAC Committees would have responsibility in the following areas: 1) Data Projects, including the preparation of catalogs of existing and future data; 2) Intensive Instrumentation Arrays, including source mechanism and wave propagation arrays; 3) Regional Arrays, including stand alone Local Laboratory Arrays and Simple Extended Arrays; 4) Local Arrays, including Elemental Arrays and Special Arrays; and 5) Mobile Arrays.

It is recommended that a Steering Committee be formed for the planning and execution of each individual array project. This Steering Committee would formulate overall design and operation plans for the array. Such Steering Committees would be encouraged to work closely with the relevant ISMAC Committee thereby optimizing their effort from an international point of view. Where no Steering Committee is established or where such a structure is deemed inappropriate, it is

strongly recommended that some other mechanism be found for liaison and information transfer between those responsible for the individual array project and the relevant ISMAC Committee.

At the present time, individual countries are proceeding with unilateral array projects as they see fit and some effort has been directed toward the creation of bilateral projects. However, there appears to be no existing workable structure for the execution of multi-lateral projects. It is hoped that the implementation structure recommended herein will help to make such multilateral cooperation possible in the future.

1.7 CONCLUSIONS

Based upon the findings of the International Workshop on Strong-Motion Earthquake Instrument Arrays it is concluded that:

- 1) Ample promising sites exist for the deployment of dense strong-motion earthquake instrument arrays. These sites are distributed throughout the seismically active regions of the world and represent a variety of different source mechanisms and tectonic conditions. There are a number of sites for which there appears to be a very high probability of obtaining useful strong-motion data within ten years.
- 2) There is an adequate understanding of the nature of earthquake ground motion to be able to design useful strong-motion arrays which will provide answers to some of the important unresolved questions facing the designers of structures and other facilities in the earthquake prone regions of the world. Furthermore, instrumentation presently available or under development is adequate for use in these arrays.
- 3) The cost of deploying strong-motion arrays, although great, is not excessive considering the magnitude of the benefit to be derived from such deployment.
- 4) Most of the countries affected recognize that the earthquake problem is worldwide in scope and can best be solved by the collective efforts of all concerned. It appears, therefore, that international cooperation is possible and that a workable structure for this cooperation can be established.

In light of the above conclusions, it remains only to get on with the task of designing and deploying strong-motion earthquake instrument arrays.

高密度強震観測計画について

昭和55年4月24日

日本学術会議地震工学研究連絡委員会

高密度強震観測作業部会

§ 1. 高密度強震観測計画について

1.1 高密度強震観測の目的

地震学及び地震工学の観点から、強震時の地震動に関する国際的かつ集中的な観測を実施し、そのデータに基づいて、震源域を含む地域における強震動の特性を、地震発生機構、震源からの伝播経路及び観測地点付近の地形、土質条件等の局地的条件の影響を含めて明らかにしようとするものである。

1.2 意 義

現在、構造物の耐震設計においては、地震の影響を一定の水平荷重に置き換える。いわゆる震度法がとられているが、高層建築物、長大橋、長大沈埋トンネル、巨大タンク等、最近における構造物の長大化に伴って、その耐震設計において構造物の地震応答を動的に解析する必要を生じ、また最近の地震工学の発達は、この動的解析を可能ならしめている。このような動的解析に用いる地震入力波としては、対象とする構造物の耐震設計に影響する範囲での諸条件を考慮して予測された特性をもつ地震波を用いることが最も望ましいのであるが、現在のところでは、構造物建設地点の諸条件を考慮して地震波形を予測することができないので、他の地点で求められた代表的強震記録を入力として用いているのが実情である。我が国には、現在、強震観測網として、気象庁の1倍強震計網と、工学的目的のための強震計網が配置されており、得られた強震記録から、地震動の特性が地点ごとに異なることが知られている。このことは、諸外国で得られた強震記録についても同様である。これらの地震動の特性は、地震発生機構、地震動の伝播経路の特性及び観測点近傍の地形や土質条件等の局地的条件に強く影響されることが知られているが、工学的に重要な短周期地震波が断層からいかに発生し、これが伝播途中の地下構造によりいかにして強震動に成長するか、また観測点付近の局地的条件によりいかに変形されるかについての知識はいまだに不十分である。

一方、我が国は繰返し発生する破壊的地震の脅威にさらされているが、特に最近の研究において近い将来、東海地方、南関東地方等に大地震の発生が予想されている。破壊的地震による構造物の被害が、地震動の特性に大きく影響されることは、過去の地震被害の実例に照しても明らかである。それゆえ、集中的な強震動の観測を国際的に推進し、その特性に対する諸要素の影響を明かにしてゆくことは、将来の破壊的地震による構造物の被害を低減し、国民の生命、財産を保護することはもちろん、繰返し発生する大地震の予知に対しても基礎的資料を与えるものであり、単に学問的な知識を高めるばかりでなく、国民の安全を保つ上からも、その意義は極めて大きいものといわざるを得ない。

1.3 経 過

a 国際的な動向

世界における強震時の地震動観測は、1933年に米国カリフォルニアロングビーチで記録に成功して以来、次第に増加を続けてきたが、1960年代以降になると、米国以外の各国を含めて、観測地点数が著しく増加してきている。

これらの観測記録から、強震時の地震動に関する理解が深まるとともに、その特性が観測地点別に異なることが明らかにされてきたが、マグニチュード7以上の大地震の震源域近傍の地震記録となるとその数は乏しく、構造物の動的地震応答解析に用いる適切な入力地震波を確立するには至っていない。

観測記録の蓄積と、地震学、地震工学の発達によって、強震時の地震動、特に工学的に重要な短周期地震波の特性は、地震発生機構、途中の伝播経路の特性及び観測地点近傍の局地的条件に大きく影響されていることが明らかにされてきたが、同時に、これらの諸要因と地震動の特性との関係をは握するためには、従来のように散在する観測点によるものではなく、一ヶ所当たりに多数台数の強震計を集中的に配置して観測する。高密度強震観測の必要性が認識されるに至った。

以上のような事情を背景に、1977年1月インドのニューデリーで開催された国際地震工学会（IAEE）主催の第6回世界地震工学会議の実行委員会において、高密度強震観測に関する国際作業部会を開催することと、この作業部会に対し国際連合教育科学文化機関（UNESCO）をはじめとする各機関の支援を求めることが決定された。また、これに従って、作業部会の運営委員会が設置された。

高密度強震観測に関する国際作業部会は、国際地震工学会（IAEE）、国際地震学地球内部物理学協会（IASPEI）及び国際連合教育科学文化機関（UNESCO）主催の下に、世界16ヶ国からの参加者が出席して、1978年5月、米国ハワイ州ホノルルで開催された。

作業部会は、今後の10年間に大地震の発生が予想される地域として世界中から28の地域を選び出した。我が国からは、東北地方東部、駿河湾伊豆半島地区、中部地方西部の3地域が選出されており、中でも駿河湾伊豆半島地区は上記28地区の中から指定された大地震発生の確度が最も高い6地域に含まれている。また、横ずれ断層（strike slip fault）逆断層（subduction thrust fault）及び縦ずれ断層（dip slip fault）のそれぞれによって生ずる地震に対し、地震発生機構、伝播経路の影響を観測するための代表的計器配置計画、及び局地的条件の影響を明らかにするための各種の代表的計器配置計画を示すとともに、これらを補うものとして、移動観測計画の併用を勧告している。

更にこれらの観測計画を推進するため、IAEEが、IASPEIと協力して国際高密度観測評議会（ISMAC）を設置するよう求めている。

b 国内の動向

我が国の強震観測は、気象庁が各地の気象官署に設置した1倍強震計と、大学、各種研究機関、民間が各種の構造物を中心に設置した工学的強震計により行われ貴重な成果を挙げてきた。

気象庁の1倍強震計は、機械式の変位計で、振子の動きを記録ペンに伝え、記録ドラムに巻着けた記録紙に記録するもので、記録された変位振幅が、地震動の変位振幅と同じになるよう設計されている。しかし、大地震の波形を完全に記録できないこと、比較的短周期特性となっているため、断層形成等の地震発生機構解明には性能的に問題がある。このため、気象庁では地震予知に関する観測計画に関連して、新たな強震計の開発を進めつつある。

工学的強震計は、各種構造物の地震応答や地盤の強震動の観測に広く用いられているもので、そのほとんどは加速度計である。工学的強震計の設置は、日本学術会議が新潟地震後に「耐震工学の拡充強化について」(昭和39年11月7日)を勧告した後、急速に促進され、その台数は1,000台を超えているが、設置目的の性格上、大部分は大都市の構造物に集中しており、地盤表面又は地盤内の強震動波形を観測するには十分でない。また、強震計の性能も、ダイナミックレンジと周波数範囲が狭いこと、絶対時刻が刻時されず刻時構度も低いこと、強震計群としての同時記録が得難いこと、遅延装置を欠いているため、地震波の初動部分が記録できないことなどの問題点を有している。高密度強震観測に関する国際作業部会では計器の性能として、最大記録加速度2g、周波数範囲0.1~30Hz、ダイナミックレンジ 10^6 を要求しており、我が国においても、大学、政府研究機関などで、より優れた性能を有する強震計の開発が進められつつある。

特定の地点の近傍において、鉛直方向、水平方向又は鉛直水平両方向に複数基の強震計を展開して実施する強震観測を群列強震観測という。我が国における群列強震観測の例は1934年にまでさかのぼることができるが、組織的に実施されるのは1959年以降のことで、現在約100地点以上に及んでいる。

しかしながら、これらの群列観測の多くは、構造物の地震応答、構造物と土との相互作用の観測を目的としたものである。

上記のような強震観測が進むにつれて、表層地盤の地震時挙動や、表層地盤内における地震動の変化をは握する必要性が痛感され、地点数は少ないが、このための群列観測も実施されはじめている。

以上の経過を背景に、1977年に高密度強震観測に関する国際作業部会への参加を求められた我が国では、日本学術会議地震工学研究連絡委員会の中に高密度強震観測作業部会を設け、1978年5月の国際作業部会への参加準備を整えたのをはじめとして、国際作業部会終了後も引き続き、国内の高密度強震観測計画の作成等、その実施に向けての準備を進めている。

§ 2. 高密度観測用強震計の性能上の問題点

高密度強震観測は、震源域を含む地域で、強い地震動を確実に観測することを第1の目的にしている。しかしながら我が国においては、海溝性の大規模の地震の再現期間は100ないし150年、内陸性の中規模の地震のそれは1,000年に及ぶこともあるとされている。したがって、高密度強震観測計器を配置しても、強い地震動を記録できる機会は非常にまれである。一方、中小程度の強さの地震動記録からも、地震の発生機構、伝播機構、局地的条件など、各種の要因が地震動の特性に及ぼす影響をある程度まで解析することができる。したがって高密度強震観測用の強震計としては、生起確率の低い大規模地震による地震動を確実に記録できると同時に、中小規模の地震による比較的弱い地震動も十分な精度で記録する必要がある。現在までに記録された最大の地震加速度は約1.4gであるので、加速度の記録範囲の上限は2g程度が望ましい。また、比較的弱い地震動加速度を記録することを考えると、ダイナミックレンジは 10^6 、最小限 10^4 程度は必要であろう。

最近の構造物の長大化に伴って、その固有周期も大きくなっている。また、沈埋トンネル等の地中構造物や大型タンクの場合、周期の長い表面波の影響を考慮する必要性を生じている。一方、構造物内の機器、配管等の地震応答を考えると、かなり短周期の地震波の観測も欠くことができず。このような条件から高密度観測用の強震計としては0.05～50Hz、少なくとも0.05～30Hzの周波数範囲をもつものが必要である。

強震計は通常、一定の強さ以上の地震動をうけて起動するため、地震波の初動部分を記録することが出来ない場合が多い。この欠点を避けるためには、遅延装置を設ければよい。遅延時間は10秒程度が望ましいが、最低でも2秒は必要である。また、他の高密度観測点あるいは地震観測所の記録と比較するためには、絶対時刻の刻時装置を欠くことができない。刻時精度は0.01秒程度を目標とし、外部から調整できるものでなければならない。

資料-3

高密度強震観測研究課題担当機関表

研究課題	実施機関	研究の目的
I 高密度強震観測システムの開発	北海道大学工学部	地形・地盤条件が地震波に与える影響の調査及び地盤—構造物系の地震応答観測に用いる高精度かつ絶対時間確保可能な加速度型強震計と解析処理が便利な記録方式の開発を行う。
	国立防災科学技術センター	地震波経路の伝播機構、局地的地盤条件が地震波に与える影響を調査するための高密度強震観測に用いる速度型及び加速度型強震計並びに伝送方式の開発を行う。
	気象庁気象研究所	地震の発震機構が地震波に与える影響を調査するための高密度強震観測に用いる長周期型強震計の開発を行う。

研究課題	実施機関	研究の目的
<p>Ⅱ 地震発生機構と伝播機構の影響解明のための高密度強震観測及び解析</p>	<p>東北大学工・理学部 東京大学地震研究所 名古屋大学工・理学部 京都大学防災研究所 岐阜大学 国立防災科学技術センター 気象庁</p>	<p>東北地方東部，南関東地方，伊豆・東海地方，中部地方西部を対象として，地震の発震機構と伝播機構が地震波形に与える影響を観測，解析するための高密度強震観測を実施する。</p> <p>また，群発地震，大地震の余震を対象とした移動測点方式による強震観測を実施する。</p>
<p>Ⅲ 局地的な地形・地盤条件の影響解明のための高密度強震観測及び解析</p>	<p>北海道開発局土木試験所 建設省土木研究所 建設省建築研究所 運輸省港湾技術研究所 (東京大学地震研究所) (国立防災科学技術センター)</p>	<p>北海道太平洋岸，東北地方太平洋岸，南関東，伊豆・東海地方を対象として地形・地盤条件等の局地的要因が地震波形に与える影響を観測解析するための高密度強震観測を実施する。</p>

必要経費

(単位：千円)

研究課題	設備費	年間維持費等	担当機関
課題Ⅰ 高密度強震観測システム の開発	30,000	1,500	北海道工学学部
	35,000	1,750	国立防災科学技術センター
	8,000	400	気象庁気象研究所
	<u>73,000</u>	<u>3,650</u>	
課題Ⅱ 地震発生機構と伝播機構 の影響解明のための高密度 強震観測及び解析	128,000	12,800	東北大学工・理学部
	87,200	5,080	東京大学地震研究所
	68,000	6,800	名古屋大学工・理学部
	68,000	6,800	京都大学防災研究所
	332,600	16,630	国立防災科学技術センター
	<u>1,010,000</u>	<u>50,500</u>	気象庁
	<u>1,693,800</u>	<u>98,610</u>	
課題Ⅲ 局地的な地形、地盤条件 の影響解明のための高密度 強震観測及び解析	108,000	5,400	北海道開発局土木試験所
	540,000	27,000	建設省土木研究所
	686,000	36,000	建設省建築研究所
	275,000	13,750	運輸省港湾技術研究所
	<u>1,609,000</u>	<u>82,150</u>	
合計	3,375,800	184,410	

開 発 ・ 設 備 費 年 次 計 画 表

(単位：千円)

課 題	第 一 期 五 ケ 年 計 画						計	第二五ヶ 年計画 61～65年度	
	56年度	57年度	58年度	59年度	60年度				
	I 高密度強震観測 システムの開発	20,000	10,000	—	—	—			
(小計)	46,000	27,000	—	—	—	—	73,000		
II 地震発生機構と 伝播機構の影響解 明のための高密度 強震観測及び解析	—	64,000	64,000	—	—	—	—	128,000 東北大工・理 87,200 東大地震研 68,000 名大工・理 68,000 京大防災研 33,260 防災センター 気象庁	
(小計)	125,000	362,200	350,000	326,000	328,600	202,000	202,000	1,693,800	
III 局地的な地形地 盤条件の影響解明 のための高密度強 震観測及び解析	—	—	—	—	—	—	—	108,000 北海道土試 540,000 建士研 686,000 建研所 275,000 建港研	
(小計)	216,000	251,000	240,000	135,000	119,500	647,500	1,609,000		
合 計	387,000	640,200	590,000	461,000	448,100	849,500	3,375,800	*印は一部分他の計画予 算を充当	