

「地震防災研究基盤の効果的な整備の  
あり方について」（諮問第24号）  
に対する答申

平成9年9月3日

航空・電子等技術審議会

9 航電審第 16 号  
平成 9 年 9 月 3 日

科学技術庁長官  
近岡理一郎 殿

航空・電子等技術審議会  
会長 佐田登志夫

「地震防災研究基盤の効果的な整備のあり方について」  
(諮問第 24 号) に対する答申

本審議会は、平成 8 年 3 月 29 日付け 8 研第 66 号により諮問のあった「地震防災研究基盤の効果的な整備のあり方について」(諮問第 24 号)を受け、審議した結果、結論を得たので、科学技術庁組織令第 47 条第 1 項に基づき別紙のとおり答申する。

[ 別 紙 ]

( 目 次 )

はじめに	1
1．地震防災科学技術の基本目標と研究開発の中核目標	3
(1) 地震災害の特徴	3
(2) 地震防災科学技術の基本目標	3
(3) 地震防災において考慮すべき地震と地震動	3
(4) 地震防災科学技術の研究開発の制約と現状	4
(5) 地震防災科学技術の研究開発の中核目標	4
2．中核目標達成のための研究開発要素	7
(1) 「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発	7
(2) 数値振動台の前提としての震動実験施設の必要性	8
3．地震防災研究拠点の必要性和コンセプト	11
(1) 地震防災研究拠点の必要性	11
(2) 地震防災研究拠点に求められるコンセプト	12
4．地震防災研究拠点で実施すべき研究開発課題	15
(1) 地震防災研究拠点で実施すべき研究開発課題	15
(2) 地震防災研究拠点における研究開発の推進の際に留意すべき事項	16
5．地震防災研究拠点に必要とされる研究施設等	19
(1) 大型三次元震動実験施設	19
(2) 地震災害データセンター	24
(3) 地震災害時空間シミュレーション施設	25
(4) サポート施設	25
6．地震防災研究拠点の組織・運営のあり方	27
(1) 組織について	27
(2) 運営について	27
(3) 人員について	28
(4) その他	28

## 補 足 資 料

[ 地震防災において考慮すべき地震と地震動 ]	31
(1) 地震の特性	31
(2) 地震動の特性	34
[ 大型三次元震動実験施設 ]	41
(1) 大型三次元震動実験施設の必要性和震動実験の主要課題	41
(2) 大型三次元震動実験施設の駆動方式の選定とその理由	44
(3) 大型三次元震動実験施設の仕様	47
(4) 大型三次元震動実験施設の利用プロジェクト	54

## はじめに

平成7年1月に発生した阪神・淡路大震災は、それまでの予想をはるかに超える様々な被害をもたらし、六千名を越える犠牲者とともに、多くの建築物、構造物等への被害により社会経済に甚大な影響を及ぼした。特に、高度化・複雑化し、人口、機能等が集中した現在の都市構造が、災害に対して予想を超える脆弱性を持っていることを明らかにした。

このことは、都市の地震災害の軽減を図るためには、理学的、工学的、社会科学的研究分野を総合した広い視点に立った研究開発が必要であることを示しており、効果的かつ経済的な技術により対策を講じていくことが急務の課題である。

また、都市構造物に予想を越えるような様々な破壊が発生したひとつの要因として、近年の構造物の巨大化にともなって、実験可能な縮小試験体と実大構造物では破壊の挙動が全く異なるというスケール効果の問題を顕在化させ、実大構造物を対象とする研究の重要性を示したといえる。

さらに、都市部に対する地震災害が与える影響の大きさは、日米をはじめ世界に共通する脅威であり、科学技術の力を駆使して、災害の軽減、防止を図っていくことは、世界共通の重要課題である。

このような地震防災科学技術を取り巻く状況を踏まえ、本審議会は、平成8年3月29日に、科学技術庁長官から諮問第24号「地震防災研究基盤の効果的な整備のあり方について」を受け、地球科学技術部会に地震防災研究基盤分科会を設置して調査、審議を進めた。

地震防災研究基盤分科会では、さらに、地震防災研究基盤の中核となる研究拠点のあり方を検討する研究拠点ワーキンググループをはじめ、地震防災研究として対象と考えるべき地震、地震動等を検討する対象地震ワーキンググループ、及び研究拠点に整備すべき大型三次元震動実験施設に関して検討する大型三次元震動実験施設ワーキンググループを設置し、それぞれ、特に専門的な観点から検討が必要な具体的な事項について、調査、審議を行った。

特に、大型三次元震動実験施設については、科学技術庁防災科学技術研究所において、平成7年度以来、その要素技術開発が進められている。また、科学技術庁科学技術振興局において開催された地震防災研究基盤の検討に関する懇談会の報告書「阪神・淡路大震災を踏まえた地震防災研究基盤の効果的な整備の推進について」（平成8年5月）、及び科学技術庁研究開発局において開催された大型三次元震動台の利用に関する検討会の「大型三次元震動実験施設の利用に関する検討報告書」（平成8年8月）において、大型三次元震動実験施設に関する提言

が行われている。本分科会の大型三次元震動実験施設ワーキンググループでは、防災科学技術研究所における要素技術開発の進捗状況、及びこれらの報告書において指摘された事項についても十分考慮しつつ検討を行った。

本答申は、まず、地震防災科学技術の目標として、『地震に強い国土・社会を創る』ことが基本目標であることを確認し、そのための研究開発の中核目標を「地震災害時空間シミュレーション・システム（仮称）」の開発として設定した。

そして、その開発にあたり、中核となって研究開発を進めていく、地震防災科学技術の新しい研究拠点について、そのあり方、実施すべき研究課題、整備すべき研究施設、組織・運営のあり方等について、検討を行った結果をとりまとめたものである。

なお、地震に関する観測、測量、調査及び研究に関しては、平成7年7月に発足した地震調査研究推進本部（本部長：科学技術庁長官）において検討が行われていることから、本答申で対象とする地震防災科学技術は、災害の軽減という観点に的を絞っている。ただし、強震観測をはじめとして、地震観測データ等の活用は、防災の観点からも重要なものであることから、地震防災研究拠点の運用にあたっては、地震に関する観測、測量、調査及び研究との密接な連携のもとに推進することが必要である。

## 1. 地震防災科学技術の基本目標と研究開発の中核目標

### (1) 地震災害の特徴

ある特定の地域を考えた場合、大地震は、百年ないし千年に一度、さらにそれ以上の低い頻度でしか発生しないとされているが、世界的にみても地震活動の活発な日本列島においては、数年あるいは数十年に一度どこかの地域が大地震に見舞われている。しかも、特に高度な発展を遂げている都市地域においては、ひとたび大地震が起こった場合の人的・物的、社会的、経済的な被害は甚大であり、単に被災した特定地域の問題にとどまらず、経済のボーダレス化、グローバル化にともない、我が国、ひいては世界的規模で影響が及ぶ可能性がある。平成7年1月に発生した阪神・淡路大震災をはじめ、数多くの大地震の被害結果がこのことを明らかにしており、特に、兵庫県南部地震は、近年にない強い破壊力を有していた。

### (2) 地震防災科学技術の基本目標

兵庫県南部地震のような特異性の強い地震による災害であっても、その被害を可能な限り低減し、地震災害から国民の生命・財産を守ることができるような『地震に強い国土・社会を創る』ことが地震防災の基本的な目標であり、特に都市部を中心とする地震災害の軽減を図ることが重要である。地震国といわれる我が国にとって、そのための研究開発を積極的に推進し、地震防災科学技術を確立していくことが必要である。

### (3) 地震防災において考慮すべき地震と地震動

地震防災科学技術の研究開発のあり方を検討するにあたり、まず、考慮すべき地震及び地震動について明確にする必要がある。

地震防災のために考慮すべき地震のタイプ

地震は、その発生位置によりプレート間地震とプレート内地震に分けられる。

#### (a) プレート間地震

日本の周辺では再来期間が比較的短く、マグニチュード8を超える巨大地震がプレート境界での沈み込み帯で発生している（海溝型）。震源域が広く、長周期から短周期まで幅広い周波数成分を含んだ継続期間の長い地震動であることから、地震災害の影響範囲が大きくなる。また、大きな津波を発生させる危険性が高いといった点で、重要である。

#### (b) プレート内地震

日本列島内の活断層で発生する地震は、ひとつの断層における再来周期は長く、中規模の地震の場合が多いが、都市の直下で発生すると、大きな災害を生



じさせる。海のプレート内で生じる地震では、震源が浅い場合に津波災害を生じさせる危険があるが、陸上の構造物に対する影響は比較的少ない。

#### 地震防災のために考慮すべき地震動の特性

地震動の特性は、震源断層の大きさや破壊メカニズムなどの震源特性、地殻媒質での伝播経路、表層地盤構造による増幅特性などの影響を受ける。強震動の観測地点及び計器が増えるに従い、新しい特性を有する地震動あるいは振幅の大きな地震動が観測されるようになってきている。プレート間に発生する巨大地震では、短周期から長周期までの広い周期範囲を含む継続時間の長い地震動が広範囲に生じる。中規模の内陸地震では、短周期成分が卓越した継続時間の短い大加速度地震動が発生する。これらの地震動は、破壊伝播の指向性効果あるいは表層地盤構造による特殊な増幅効果などにより、被害の集中域を生じさせることがある。

#### (4) 地震防災科学技術の研究開発の制約と現状

従来、地震防災科学技術の研究開発を進めるにあたっては、

- ・地震はその発生頻度が低いため、そのような地震そのものを利用して耐震設計技術の実証・構造物崩壊検証等を行うことが極めて限定されること
- ・地震そのものを実規模で再現することは不可能であり、現象の完全な再現が困難であること

という大きな制約があることから、部分的な、モデル化した実験（静的実験及び一次元、二次元動的実験、スケールモデルによる実験）や実際の地震被害の調査等に基づき、耐震基準を定めたり、様々な被害等を推定しているのが現状であり、新たな地震による予想を超える被害に遭遇する度に、例えば、1964年の新潟地震を踏まえた液状化対策や、1968年の十勝沖地震において鉄筋コンクリート造建物が柱のせん断破壊を生じたのを踏まえて、現在のせん断設計の改良が行われたように、その都度対策が講じられてきた。そのため、遭遇した経験のない被害に対しては、十分な対策がとられない結果となっている。

しかし、阪神・淡路大震災では、従来にない様式の破壊が発生し、工学的に予想を超える極めて深刻な被害が生じるなど、これまでのように個々の地震被害の解明による対策を積み重ねていくだけでは、今後も地震被害の軽減が十分には図れないと考えられるようになってきている。このような破壊力のある地震動を現出するとともに、ハード、ソフトの両面にわたって地震災害をトータルにとらえ、対策を講じることが求められている。

#### (5) 地震防災科学技術の研究開発の中核目標

上記(4)のような制約を乗り越え、地震災害を大幅に軽減するためには、想定される地震による災害について、地震の発生から応急対策までのあらゆる挙動を

把握することによって、地震防災対策を講じていく必要がある。

そこで、そのような地震災害の時間、空間にわたるあらゆる状況を計算機上でシミュレートできるような「地震災害時空間シミュレーション・システム（仮称、以下同様）」の開発を、地震防災科学技術の研究開発の中核的な目標として設定し、それを用いた地震防災科学技術の研究開発を進めていくことが重要である。（図1）

この開発された「地震災害時空間シミュレーション・システム」は、起こりうるであろう様々な地震による地震動等とそれによる建築物、土木構造物、ライフライン、産業施設、地盤、災害時の人間行動、社会的な面の事象、情報流通面の課題等の多数の要素の挙動を再現し、地震災害の状況をあらかじめ明らかにすることを目的としたものである。

そのための必要な研究開発課題は、(3)で述べた考慮すべき地震について震源近傍も含む地震動を予測すること、構造物について強震動下での破壊に至るまでのメカニズムの解明と耐震技術の検証を行うこと、そして、人間工学的・社会科学的領域を統合した災害過程の研究を行うことなどである。

このようなシステムであるため、地域防災計画の策定を始め、ライフラインの代替機能の確保対策、住民の防災意識の高揚など、地方公共団体や電気、ガス、水道、電話といった公共事業者等による地震防災対策に有効に活用されていくものと思われる。

具体的には、個別の構造物の被害対策のほか、構造物の崩壊に伴う火災の発生あるいは延焼、ライフラインなどのシステムとしての機能保持、被害軽減策、構造物あるいは都市機能の復旧対策、被災者の救援などの問題の解決に有効であると思われる。特に、ライフラインの被害は、被災者の生活を含めた二次災害を伴い、その影響は地震後長期間に及ぶことも多い。二次災害の防止、被害影響区域の極小化などの方策を検討することは重要な課題である。これらの課題に関連する分野は、地震工学、地盤工学にとどまらず、都市計画工学、交通工学、経済学、政治学等、多岐の分野にわたっているため、これらの各分野の有機的な連携による事前防災、危険管理、復旧等の各方策の研究が期待される。

図1 地震防災科学技術の基本目標と研究開発の中核目標

**阪神・淡路大震災の教訓**

ある特定の地域を考えた場合、大地震は、百年ないし千年に一度、さらにそれ以上の低い頻度でしか発生しないとされているが、ひとたび大地震が起こった場合の被害は甚大

**地震防災科学技術の基本目標**

地震の被害を可能な限り低減し、地震災害から国民の生命・財産を守ることができるような『地震に強い国土・社会を創る』ことが地震防災科学技術の基本目標



**地震防災科学技術の研究開発の中核目標**

起こりうるであろう様々な地震による地震動等と建築物、土木構造物、ライフライン、産業施設、地盤、災害時の人間行動・社会過程・情報流通等の多数の要素の挙動を、計算機上で再現することによって、地震災害のあらゆる状況をシミュレートできるようなシステム（地震災害時空間シミュレーション・システム）を開発し、これを用いて地震災害の大幅な軽減のために資する。

## 2. 中核目標達成のための研究開発要素

### (1) 「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発

「地震災害時空間シミュレーション・システム」は、1. で述べたように、地震災害の時間、空間にわたるあらゆる状況をシミュレートできるような計算システムで、以下の3つの研究開発要素からなる。(図2)

このシミュレーション・システムの開発のためには、様々な要素及びそれらを総合する研究開発が必要であり、地震防災科学技術の新しい研究拠点を設け、そこが中核となり、国際的な視点も踏まえ、内外の様々な地震防災科学技術の研究機関と連携協力を図りつつ進めていくことが重要である。

#### 地震動シミュレータ

「地震動シミュレータ」は、各地域の地盤特性、地震歴、地震波の伝搬特性の把握、活断層調査による断層メカニズムの解明等により、強震動を予測するものである。

現在、各地域の特性に基づく地震動については、震源域近傍の観測データ、地域地盤特性のデータ等の不足により十分な把握がなされていない。したがって、1.(3) に述べた日本及びその周辺で起こりうる地震を把握し、これを踏まえ、地震動シミュレータを構築することが重要である。

#### 数値振動台

「数値振動台」は、実規模破壊実験、すなわち震動実験施設及び高力積加力装置による破壊過程の解明、検証により、建築物、土木構造物、ライフライン、産業施設、地盤等あらゆる構造物等の挙動をモデル化し、それにより、構造物等の破壊過程をシミュレートするものである。

この数値振動台は、各種の構造物等のデータとともに、得られたデータを入力することにより、各地域での脆弱性の評価に活用することができる。

#### 災害拡大過程シミュレータ

「災害拡大過程シミュレータ」は、に基づき  で得られた結果から引き起こされる、高潮洪水や火災延焼などの物理現象に加え、災害時の人間行動や都市生活機能の崩壊による影響といった社会的な面について、災害の過程を時間を追って再現するものである。

なお、今後、地震防災科学技術の推進にあたり、上記のシステム開発に際しては、次の点に注意し、対応できるように考えられるべきである。

我が国の地震災害は、1.(3)で述べたように、その地震の発生メカニズム等に起因して、大きくわけてふたつのタイプがある。ひとつは、海溝型で規模の大きい、被災面積の大きいものであり、もうひとつは、震源域周辺の局所における激しい地震動に起因するものである。我が国の防災対策は従来、前者のタイプを中心に据えており、建造物の倒壊などによる死者の数を減らすことに成果を挙げてきた。しかし、大都市を直撃した阪神・淡路大震災の経験からは、後者の必要性が強く認識された。

すなわち、震源域周辺の地震動は局所的に著しく強い破壊能力を有している。地震動としては、関連する断層の運動の性格から、いくつかのタイプに分けられる。兵庫県南部地震で代表される地震動は、高加速度に加え、高速度、大変位の長周期パルス波（断層破壊伝播の指向性効果によって震源域近傍に生成される波）がその特徴である。このような地震動は、その地震規模により、ごく局地的なものから、数 km<sup>2</sup>から数十 km<sup>2</sup>に及ぶものまであり、我が国ではこの100年間で約10回発生している。1特定地点では数千年から数万年に1回の事象であっても、我が国全体としては決して稀な事象ではない。このような事象により、どのような被害が発生するか正確に評価しなければならない。

## (2) 数値振動台の前提としての震動実験施設の必要性

地震動による様々な建築物、建造物等の破壊は、非常に複雑な現象であり、実スケール、かつ兵庫県南部地震のような破壊的地震動ではじめて現れる現象も多い。現時点では、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の一部を構成する数値振動台については、その実現の前提となるモデル化に必要な破壊現象等の基礎的及び実証的データが十分に蓄積されていない。したがって、そのデータを得ることができる震動実験施設と数値振動台が相互補完的な役割を持つことによって、高い信頼性をもって再現、実証、評価することが可能となるような破壊モデルを確立する。

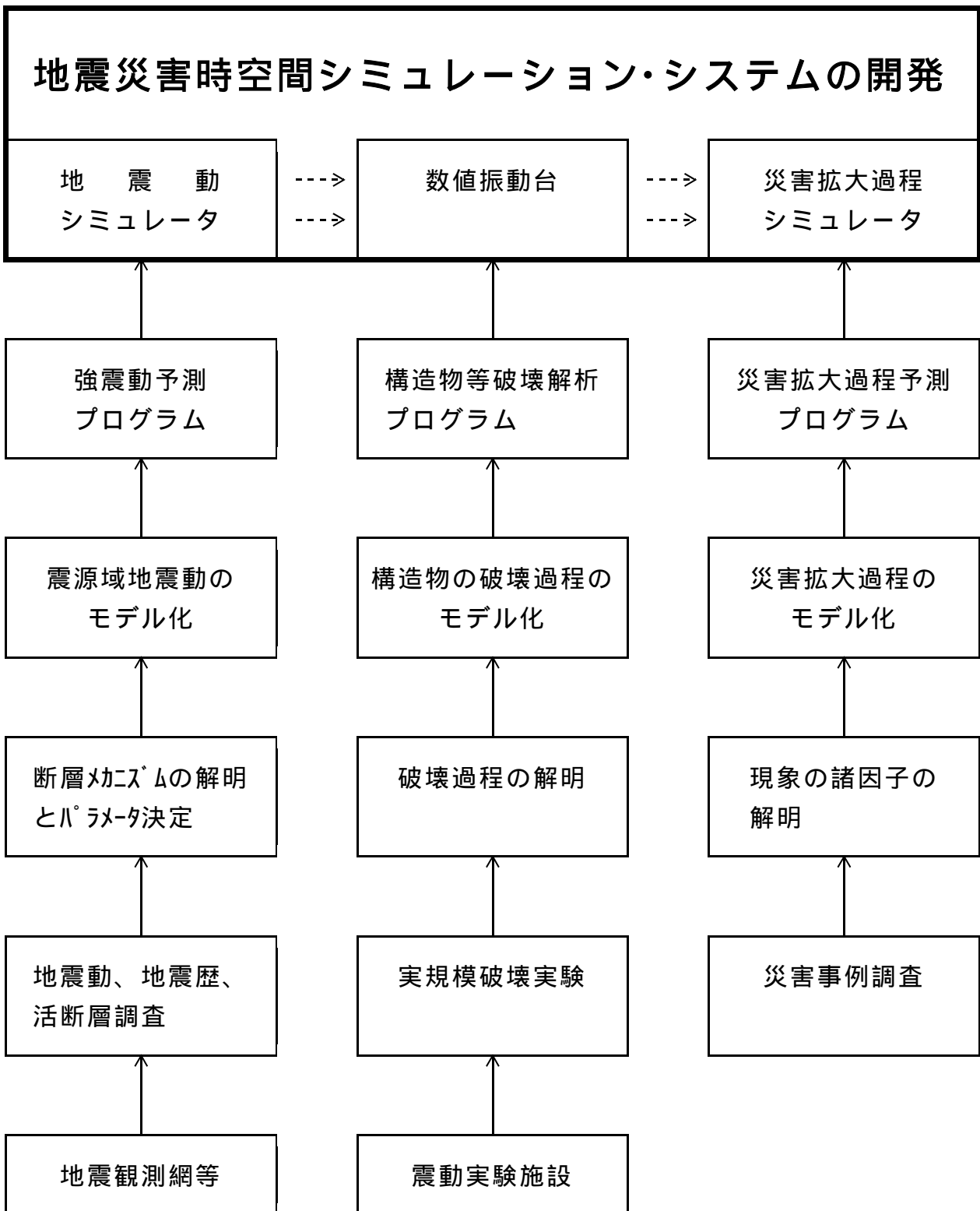
震動実験施設等による建造物の破壊実験等の成果が蓄積され、それらが計算機上で再現できるだけのモデルを構築することができたなら、これと実験困難な諸現象を結びつけて、数値振動台の有用性を飛躍的に増大させることが可能となり、地震災害事象の諸因子を総合的に考慮して地震災害事象を予測する「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発につながる。

すなわち、新たな地震を経験すると、未知の地震応答による破壊・損傷が生ずるとよく言われるが、阪神・淡路大震災では、高加速度の地震動に加え、高速度、大変位の長周期パルス波による新しいタイプの地震被害がいくつか見られた。こ

のような阪神・淡路大震災の経験やそれまでの過去の地震経験を踏まえ、現時点で大型試験体による試験が必要な現象例を挙げると、鉄筋コンクリート造建物の1階、中間階、最上階破壊、一般用鋼材の脆性破壊、地盤の液状化、流動化、液体貯槽の挙動、走行車両（鉄道・車輛・自動車・将来の問題としての滑走中の航空機）の挙動等があり、いずれも実大規模の試験が必要である。

したがって、まず、将来、計算機上で破壊過程を高い信頼性でシミュレートすることが可能となる（すなわち、数値振動台を実現する）ためのモデル化手法構築の基礎的データを得ることが必要であり、このようなことが可能な基本的機能をもった震動実験施設が、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発に向け、特に不可欠な要素として位置づけられる。

図2 「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発に向けたアプローチ



### 3 . 地震防災研究拠点の必要性和コンセプト

#### (1) 地震防災研究拠点の必要性

##### 従来の地震防災科学技術の取り組み

これまで、国における地震防災科学技術に関する研究は、組織としては、各省庁のそれぞれの所掌を持った国立試験研究機関や国立大学等において推進されてきている。

国立試験研究機関については、それぞれの所掌業務が、各省庁の設置法に基づく政令等において定められており、関係機関が共同して推進すべき課題については、科学技術振興調整費等により、連携協力して推進を図ったり、国立試験研究機関において共同利用施設として位置づけられた研究施設が、外部に開かれた施設として運用されているものもある（例えば、防災科学技術研究所の大型耐震実験施設）。しかしながら、研究課題の設定、研究施設の利用、予算、人事などが、基本的にそれぞれの縦割りの所掌の枠内で行われているという指摘もある。

一方、大学においては、近年、地震防災研究に関する推進組織の整備等が図られてきている。それらの研究組織については、それぞれ大学の組織ということで、その基本的役割は、学術的な基礎研究にあるといえる。

##### 新たな研究拠点の必要性

「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発の実現には、1 . で述べたように、理学的、工学的、社会科学的等の幅広い研究の実施の上に成り立つものであり、既存の枠組みにとらわれない新しい発想の下で、地震防災科学技術の研究開発を推進することが重要である。

したがって、新たな地震防災研究基盤を整備し、既存の枠組みによる従来の地震防災研究や地方自治体による防災活動と有機的に結びついて研究開発を推進することにより、地震災害の軽減を図ることが重要である。（図3）

地震防災研究基盤の整備にあたっては、構造物の破壊実験等の成果を蓄積するための震動実験施設等の整備や、横断型のデータセンター機能の整備、デジタルシミュレーションを手段とする地震防災研究、ならびに地震防災に関する研修支援活動など、これまで単独の研究機関では実施が困難であったものを実施する、新たな地震防災研究拠点の整備が必要となる。



## (2) 地震防災研究拠点に求められるコンセプト

### 地震防災研究拠点に求められるコンセプト

新たな研究拠点は、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発を中長期的な目標に据え、我が国をはじめ世界的な地震防災課題の解決に顕著な貢献を為すことを目的とすることが適当であり、そのためには、以下のようなコンセプトが、地震防災研究拠点には求められる。

- (a) 災害から人命を守るということを基本的考え方に据え、その目標達成のため、工学、理学、人文・社会科学、情報科学、医学等幅広い分野の研究者が、協力、交流、相互理解の促進が図られる場とすること
- (b) 固定化した研究組織では困難な課題を、流動的な研究システムで推進すること
- (c) 共同利用施設を整備し、内外の幅広い分野、組織の利用ニーズに応えうる体制を、人的な体制を含めて整備すること
- (d) アジア太平洋地域を中心とした国際研究交流の拠点とすること

研究拠点の立地の検討にあたっては、阪神・淡路大震災の経験を将来に有効に伝えていくことができるものとするような観点や、防災研究への理解・支援の観点等も踏まえて、研究拠点の立地を検討することが必要である。

### 新たな研究拠点と既存研究機関との役割分担、連携方策

新たな研究拠点の設置にあたっては、既存研究機関（国立試験研究機関、大学、民間研究機関等）との役割分担を明確にするとともに、それらと密接な連携を図ることが重要である。

阪神・淡路大震災以降指摘されている、地震防災科学技術の強化を図る一環としての新たな研究拠点の役割は、以下のように整理することが適当である。

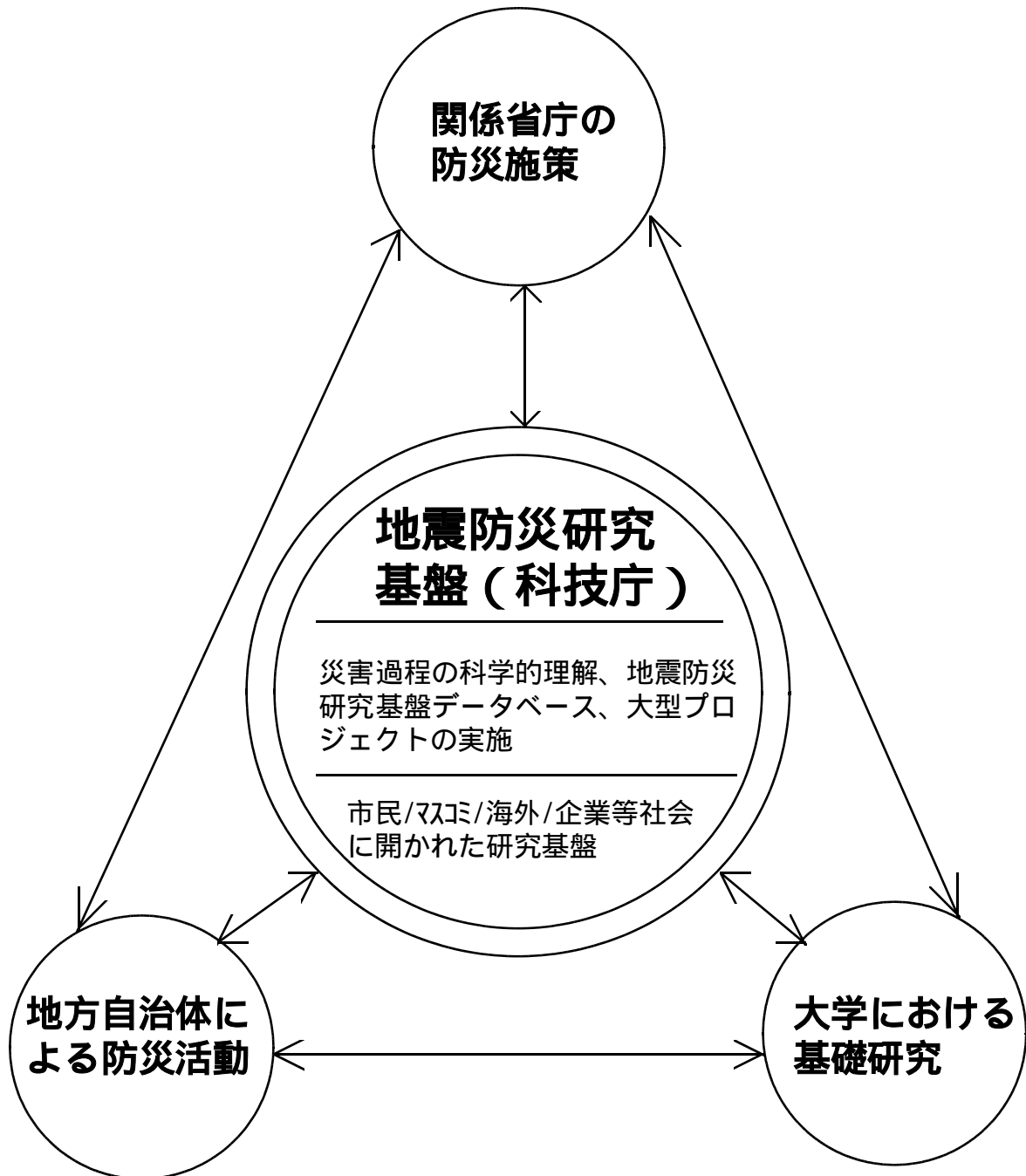
- (a) 産学官の既存の研究機関からの人的な協力・参加を得て、各機関等に共通する、または相互に関連の深い研究課題に対し、集中的に取り組む役割をもつ。特に、大学における基礎研究と、行政ニーズ対応の応用研究の間をつなぐ、実用的・実証的な基盤研究を中心とした研究を行う。
- (b) 既存の研究機関単独では整備が困難な大型実験施設を建設・管理・運営し、これを共同利用施設として内外の研究者等に開放するとともに、自らもこれを用いた実験を行う。
- (c) 既存の研究機関単独では整備が困難な地震及び地震災害・防災に関するデータベースの構築を行い、外部からのアクセスが可能な形で運営する体制の整備をあわせて行う。

(d) 既存の国内の研究機関や海外の研究機関等とネットワークで繋がった情報センター的な機能を有し、我が国の地震防災関連情報のクリアリングハウスの役割を担い、あたかも地震防災科学技術の研究機関全体が「姿なき研究機構」として機能するよう支援する機能を持つ。

新たな研究拠点と既存研究機関との連携方策については、既存研究機関から、期間を限り出向の形での研究員の派遣を受けるなどにより、地震防災研究拠点と既存研究機関との人的な連携を図ることが重要である。

また、(a) 新たな研究拠点に整備する共同利用施設の共同利用、(b) 新たな研究拠点に構築する地震災害・防災に関するデータベースへのアクセス、(c) 新たな研究拠点と既存の国内の研究機関や海外の研究機関等をネットワークで繋ぐ情報センター的機能により、新たな研究拠点と既存研究機関との継続的な連携を図っていくことが重要である。

図3 地震防災研究の結節点としての研究基盤の役割



## 4 . 地震防災研究拠点で実施すべき研究開発課題

### (1) 地震防災研究拠点で実施すべき研究開発課題

地震防災研究拠点で推進すべき研究課題は、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発を中長期的な目標に、基本的には単一の研究機関だけでは困難な大型実験や、多分野にまたがり、大学における基礎研究と行政ニーズ対応の応用研究の間をつなぐ、実用的・実証的研究課題とすることが強く求められている。

また、新しい研究拠点では、大型実験施設やコンピュータ、データベースを活用して、自然科学系と社会科学系の両面から研究を推進するとともに、両者を統合する地震災害軽減のための総合研究を可能とする体制を整備することが重要である。

#### 震源近傍の強震動予測

震源近傍の強震動は、記録がほとんど得られていなかったこともあって、これまで高い精度で予測することは困難であった。しかし、兵庫県南部地震やノースリッジ地震で、貴重な震源近傍の記録が得られたこと、また断層メカニズムに基づいたモデルによる地震動予測法の精度も高まってきたことより、広域の震源モデルと三次元地盤データを準備すれば、スーパーコンピュータによる地震動シミュレータの開発が可能となりつつある。研究拠点では、地震学・地質学・地震工学・計算力学の協力により、発生が予測されるプレート間地震及び内陸直下地震について震源近傍も含む地震動を予測し、地震防災対策に役立てる。なお、このような研究を推進するためには、活断層や表層地盤データの整備のみならず、深層地盤構造の把握が不可欠であり、研究拠点と連携したこのための調査研究が必要である。

#### 極限地震動下での都市基盤施設の破壊メカニズムの解明と耐震技術の検証

阪神・淡路大震災では、我が国の都市基盤施設が初めて激しい震動を経験し、予想を越えた被害をもたらした。これまで設計・建設された地上・地中構造物及び土構造物は、このような極限的な震動に対する挙動評価は、設備やコストの問題もあってほとんど行われてこなかった。研究拠点では、都市施設の強震動下での破壊に至るまでの挙動について、大型三次元震動実験施設を用いた実験とスーパーコンピュータを用いた数値振動台により追及し、耐震（補強を含む）・免震・制震技術の検証を行う。

#### 地震時の災害情報システムと危機管理システムの構築

地震発生時の緊急対応システムについては、阪神・淡路大震災以前より、我が国では鉄道や都市ガス事業者が開発・導入を行い、震災後、国土庁や地方自治体も地震情報の収集及び被害予測を行うシステムの開発を行ってきた。しかし、基盤データの整備、防災機関相互の情報交換、住民への情報伝達など、残された課題も多い。また、我が国において危機管理の考え方は始まったばかりで、行政機関や企業のためのシステム構築と実際的な訓練が重要な課題である。このようなソフト面の地震防災について、幅広い英知を集めた総合的な取り組みを行い、汎用性のある災害情報・危機管理システムを構築するとともに、それらを用いた訓練システムを開発する。

#### 人間工学・社会科学に基づく災害過程の研究

人工現実感（バーチャルリアリティ）などの人間と機械のインターフェイスは、最近急激に発展しており、防災研究への応用の可能性が高まっている。こうした新たな研究手段と防災情報データベース及びスーパーコンピュータのシミュレーション機能を結合させることにより、人間工学的・社会科学的領域を統合する災害拡大過程シミュレータを開発する。そのため、人間行動学、空間設計学、社会基盤設計学、社会心理学、社会学、経済学、災害医学などの災害関連分野、さらに、マルチメディア、メカトロニクスなどの情報システム分野の知識を結集する研究を行う。その成果に基づき、複合都市災害としての巨大災害の総合過程のシミュレーションを可能とする「地震災害時空間シミュレーション・システム」を開発し、個別防災対策の支援ツールとする。

#### 地震防災データベースの構築と運用

現状で様々な機関に個別的に存在するデータを活用して、地震防災研究の共通基盤となる分散型データベースと、その利用システムを構築する。これらのデータベースは、ネットワークで全国及び海外の研究機関からアクセスできることが重要であり、またその内容を逐次更新していく体制が必要である。こうした運用体制を確立する方策も同時に検討する。データベースの内容として、以下のような項目を考える。

- ・活断層 / 地盤データベース
- ・歴史地震 / 津波データベース
- ・強震記録データベース
- ・地震被害データベース
- ・防災地理情報データベース

#### (2) 地震防災研究拠点における研究開発の推進の際に留意すべき事項

必ずしも、地震防災研究拠点において優先的に推進する課題ではないが、今後の地震防災の研究開発の重要課題として、以下のような指摘があることに留意す

べきである。

阪神・淡路大震災では、老朽化した木造家屋の倒壊による死傷者が4千人を越え、道路・鉄道などの構造物に大きな被害が発生した。しかし、鉄筋コンクリート造のような近代的な構造物では、1981年改正建築基準法・同施行令、1980年改訂道路橋示方書・同解説などに従って設計・施工された構造物の被害は比較的少なかった。これは、古い設計基準で設計され、老朽化した既存の不適合構造物や家屋の耐震診断・耐震補強の重要性を示している。また、LNGタンクなどの産業施設の破壊は、それが周辺住民の安全性に重大な影響を及ぼす場合があり、二次的な災害防止に関する対策及び防災研究が望まれる。

近年の各地における地震災害の特徴は、地盤災害と津波による被害である。地震時の地盤災害は、地滑り、斜面崩壊、液状化・側方流動などに代表される。とりわけ、都市周辺丘陵地帯に造成された住宅地での斜面崩壊、港湾や河川の埋立地での液状化・側方流動など、人類による自然環境を改変した場所あるいは災害に弱い土地を利用していることが地盤災害を誘発している例も少なくない。今後進むであろう丘陵地の開発や、埋め立て開発などを念頭において、人工地盤を含めて地盤災害に対する防災科学技術の推進を図る必要がある。

特に、液状化に伴う側方流動(Lateral spreading)は、数m～数十mに及ぶ地盤の水平移動をもたらすこともある。国内では1923年関東地震、1964年新潟地震、1983年日本海中部地震などで大規模な地盤の側方流動とそれに伴う構造物被害が報告されている。阪神・淡路大震災でも木造家屋や倉庫のような基礎剛性のない建物はもとより、耐震設計された建物基礎杭も被害を受けている。したがって、側方流動メカニズムの解明と側方流動が基礎構造物に与える影響の把握及びその防災対策技術の確立は緊急かつ重要な課題である。

加えて、陸地から埋立地や人工島へ通じるライフラインは側方流動の生じやすい部分を横切るため、被害の危険度が一段と高い。運河、川、港湾をまたぐライフラインは代替経路が少ないため、1点の破壊が全系統、さらには都市そのものの大幅な機能低下や機能障害を引き起こす点に十分留意する必要がある。

津波が発生するとその影響は広範囲に及ぶため、被害は死傷者を含めて大規模なものとなる。津波の研究に必要な信用できる津波記録のほとんどは過去の津波の痕跡であるが、これは発生時刻、第何波の痕跡か等が不明のものが多く、地形効果による津波の挙動を推定するには、極めて精度が悪い。また、潮位計記録、超音波記録計による測定値は点での資料しかなく、局所的な海底地形の影響を受けやすく、必ずしも津波の全体像とはつながらない可能性がある。この欠点を補

うために、面的な測定可能な海洋短波レーダーなどの応用開発を行うことが望ましい。さらに、近年の頻繁な津波の発生により、津波数値シミュレーションが各国で行われるようになり、世界的に津波への関心が高まっているが、津波研究の最大の問題点は精度の良い水深資料など津波関連の資料を入手することが困難であるので、世界的なデータ・ベースを作成する必要がある。

また、津波災害は、人的被害や家屋被害の様な直接的な被害が大きいため、過去の資料は直接的な被害にのみ注意が注がれ、二次災害等が後ろに隠れている嫌いがある。我が国では、防潮堤など防災施設の整備が進み、直接的な被害は大幅に減少する防災レベルに達しているが、その一方では沿岸の開発が進展した結果、従来は陰に隠れていた形態の災害が重大な損失を与える可能性が増えている。とりあえず、近い将来に解決を必要とする項目としては、津波による土砂移動と地形変、防浪地区の設計、漂流物対策、危険物対策、船舶対策、既存防災施設の機能維持などが挙げられる。

最近の地震災害としてはあまり注目されていないが、関東大震災では地震に伴う火災で大きな人的被害を被っており、建物の崩壊に伴う火災も地震災害の重要な研究課題のひとつである。

## 5 . 地震防災研究拠点に必要とされる研究施設等

上記の研究課題を遂行するため、研究拠点には、以下に述べるようなハード・ソフト関連の研究施設を総合的な観点から整備する必要がある。

### (1) 大型三次元震動実験施設

大型三次元震動実験施設は、研究拠点における実験的研究の中核となるべき施設である。

また、以下で述べるように、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発の主要要素となり、『地震に強い国土・社会を創る』ための地震防災研究にはなくてはならない施設のため、できるだけ速やかに整備する必要がある。

#### 震動実験施設の必要性・位置づけ

#### (a) 「地震災害シミュレーション・システム」の開発の主要要素としての震動実験施設

震動実験施設等による構造物の破壊実験等の成果が蓄積されることにより、数値振動台の有用性を飛躍的に増大させることが可能となり、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発につながる。

#### (b) 破壊現象の解明のための震動実験施設

阪神・淡路大震災では予想を超える破壊が起こった。これは、既存の振動実験施設の性能の限界から、工学的に予想した以上の意外な破壊を招き、予期しない災害発生の一因になったといえる。

したがって、破壊過程を詳細に解析できる実大の構造物等についての震動実験が可能である機能を有する高性能の震動実験施設の整備が必要である。

#### (c) 震動実験の主要課題への対応のための震動実験施設

阪神・淡路大震災をはじめとする破壊的地震の被害の教訓を活かし、地震に強い国土・社会創りを行うために必要な耐震主要課題を検討した結果、以下のような領域の課題についての震動実験が必要である。

- (イ) 一般建築構造、高付加価値建築構造の新しい設計・施工技術の開発と検証
- (ロ) 土木構造物の新しい設計・施工技術の開発と検証
- (ハ) 異なる地盤条件立地点における構造物の新しい設計・施工技術の開発と検証
- (ニ) 免震・制震構造の開発と適用性・安全性の検証
- (ホ) 産業設備・機器、特に防災上の問題のある、または、社会機能の維持に重要な施設等の耐震性の高度化と安全性の検証



## 震動実験施設が要求される基本的機能

### (a) 破壊実験の実施が可能であること

阪神・淡路大震災のひとつの特徴である、いわゆる長周期パルス波による実大構造物の破壊現象を解明できる性能を有する震動実験施設が必要である。

### (b) 三次元震動実験の実施が可能であること

少なくとも兵庫県南部地震での地震動を、変位、速度を含め、完全に再現できる三次元震動実験施設の整備が必要である。

### (c) 実大構造物の震動実験の実施が可能であること

構造物の破壊は実大構造物においてはじめて現れる現象も多いため、その破壊のメカニズムを詳細に理解するための震動実験が必要である。したがって、十分に大型の試験体について震動実験を可能とするような、搭載重量、許容転倒モーメント等のスペックを有することが必要である。

## 大型三次元震動実験施設の駆動方式の選定とその理由

大型三次元震動実験施設の駆動方式については、技術的に必要とされる新たな解決課題が少ないこと、同種の建設事例が小から大まで世界的に見て数多くあり、直ちに設計・製作が可能であること、上流から下流までの技術蓄積がなされていること等から、「電気・油圧方式」を採用することが適当である。また、同方式は、周辺及び全体系を構成する計算機システムと、現状において最も結合しやすい方式である。

## 大型三次元震動実験施設の仕様

### (a) 震動入力の特性等

現出できる入力の大きさと震動実験施設の搭載重量は可能な限り大きい方が望ましいが、少なくとも「地表面での震動」を現出できることが第1条件である。

地震動の大きさを活断層に起因する直下型地震と海溝型地震に分類して考えると、

#### (イ) 直下型地震では

水平動：最大加速度  $2000 \text{ cm/s}^2$ 、最大速度  $200 \text{ cm/s}$ 、最大変位  $100 \text{ cm}$

上下動：最大加速度  $1500 \text{ cm/s}^2$ 、最大速度  $100 \text{ cm/s}$ 、最大変位  $50 \text{ cm}$

#### (ロ) 海溝型地震では

水平動：最大加速度  $800 \text{ cm/s}^2$ 、最大速度  $100 \text{ cm/s}$ 、最大変位  $200 \text{ cm}$

上下動：上記の半分程度

が適切な要求性能となろう。

また、経済的、技術的にかなり困難である場合には、加速度より速度や変位の大きさの現出性を重視すべきである。

地震動の継続時間としては、海溝型地震では少なくとも周期2～3秒で速度40～60cm/sの震動を40秒程度継続することが望まれる。また、兵庫県南部地震では速度170cm/sの波は1～2波程度しか発生していないとされているが、内陸直下型地震では少なくとも速度170cm/sの震動を3～6波継続できることが望ましい。

#### (b) 震動台寸法、最大搭載重量

できるだけスケール効果の問題がない、現実に近いデータが得られる実大試験体による検証実験を行うことが望ましく、震動台寸法、最大搭載重量については、理想的には大きければ大きいほど良い。これらを決定するに当たっては、まず、最も実験必要性が高く、かつ、最大の震動台寸法及び搭載重量を要するような試験対象の選定を行い、その上で、技術的実現性等を踏まえて最適かつ現実的な大きさを決めていくことが重要である。

最も実験必要性の高い試験対象のひとつとして、「中層実大鉄筋コンクリート造建物」がある。試験体としては、全ての鉄筋コンクリート造建物の基本パターンとなる4階建て、2スパン×3スパンで、具体的に設計手法が変わらないと考えられる実大モデルが最低限必要であり、その重量は約1,000トンとなる。これに計測用架台等のスペース、重量を考慮すると、震動台寸法として20m×15m、最大搭載重量として1,200トン程度が必要となる。

一方、「地盤の液状化に関する研究」も重要であり、飽和砂層の構築が可能な深さ及び液状化現象を支配する深さは、約5m程度であるとの有識者の意見を踏まえて、また、モデル化する地盤の長さも重要な因子として考慮し、18m×5m×5m(深さ)程度のせん断土槽が必要であり、最大搭載重量として1,200トン程度が必要となる。

#### (c) 基本仕様

大型三次元震動実験施設の基本的な仕様は、上記(a)及び(b)から以下のとおりとすることが適当である。

- ・震動台寸法 : 20m×15m
- ・最大搭載重量 : 1,200 tonf
- ・最大加速度 : 水平 0.9 G (1,200 tonf 搭載時)  
鉛直 1.5 G (1,200 tonf 搭載時)
- ・最大速度 : 水平 200 cm/s(長辺方向)、100 cm/s(短辺方向)

- 鉛直 70 cm/s
- ・最大変位 : 水平  $\pm 1$  m (長辺方向)、 $\pm 0.5$  m (短辺方向)  
鉛直  $\pm 0.5$  m
  - ・許容転倒モーメント : 15,000 tonf・m 以上 (鉛直加振を伴う時)

基本仕様の主な特徴として、震動台寸法、搭載重量もさることながら、大型アクチュエータの採用により、高速度、大変位を現出可能としたことが挙げられる。これらの基本仕様を満足する震動実験施設により、これまで実施できなかった実大構造物の破壊実験等各種の実験が可能となり、特に、相似則とそれに伴う地震動時間軸の変換をしなくてよい点が最大の利点となる。

(d) 基本仕様決定のために選定した実験対象以外の主要な実験対象

(c) による基本的な仕様において、(b) で選定した2つの実験対象以外の可能な主な実験対象についてみると、一般都市と周辺部の災害とその拡大に大きな影響を持つものとして、以下のものが挙げられる。

(イ) 鉄骨造建物の実験

中層実大鉄骨造建物の破壊実験は、構造体の重量が鉄筋コンクリート造建物より低減されるので、5階建て試験体が可能である。

(ロ) 木造住宅の実験

深さ2～3m程度の地盤を設置し、そこに実大木造住宅を建設した実験が実験が可能である。

(ハ) 橋脚の実験

実大橋脚に橋桁の重量を搭載したモデルにより、橋脚被害の解明と橋脚補強技術の検証が可能である。また、必要に応じ、橋梁上の自動車走行実験を橋桁上に走行ベルトを設けることにより可能となる。

(ニ) 液体貯槽の実験

液化ガス、石油燃料貯槽などの貯槽自体の破壊現象や、貯槽とパイプやバルブ等の相互作用についての実験のための実大貯槽による実験が可能である。

(ホ) 液状化、側方流動による構造物等の挙動に関する実験

地盤の水平流動による構造物、基礎の破壊現象は未解明な点が多いので、長さ18m、深さ5m程度の大型せん断土槽を用いて、実物大の検証実験を行う意義は大きい。また、地中に埋設される洞道の耐震性能に関する実大実験も可能である。

(ハ) 非液状化地盤と構造物の相互作用実験

非液状化地盤と構造物(特に基礎)との相互作用の現象を解明・検証するために、3m程度の土層と構造物を構築して実験することが可能である。

以上の課題は現状で、未知のことが多く、既存の振動台を用いるここ数年の

研究だけでは十分に解決することはできない見通しで、大型三次元震動実験施設が必要である。また、以上により、(c) で規定した仕様が各種の実験に対して十分適正であることが明らかになっているといえる。なお、ここでは、主要な実験対象について、実規模の実験を行うことを想定して、そのイメージの検討を行ったものである。

#### (e) 施設整備計画にあたっての留意点

以上のような大型三次元震動実験施設の整備計画においては、基本の設計思想に立ち返って十分な検討を行うことが必要である。

今回の震動実験施設は、今後20年は最低使われるものと考えられる。今後細部設計の実施に当たって、今後発生するであろう地震防災科学技術の多様な社会的、研究的要求に対する柔軟な検討や、この20年間の計算機、通信関係の進展を見込んだシステム設計が必要である。また、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の今後の発展も念頭に置くことが必要である。

立地場所を選定するにあたっては、本施設の主要な実験対象が上記のように基本的に現地での建物や橋梁などの建造もしくは組み立てるものを前提としていることや、施設建設のコスト面、周辺への振動影響等を考慮すると相当の敷地面積が必要であること、地元の理解等に配慮して検討すべきであると考えられる。

周辺環境に及ぼす影響、今後長期にわたっての研究者・実験従事者の作業性の変化、及び海外からの派遣者に対し良好な環境を提供できるようにすべきであり、その永続的使用を確保するためにも、いわゆる「使いにくい」施設と受け止められることのないよう十分な配慮が必要である。

### 大型三次元震動実験施設の利用プロジェクト

#### (a) 研究プロジェクトの推進

研究自身の規模が大きく、その成果が広く共有されるべきものと考えられることから、国内外の多くの研究組織・研究者による共同研究として実施されることが主体と考えられ、研究プロジェクト（研究費用が準備されたプロジェクト）の組織化を推進するとともに、科学技術振興調整費や戦略的基礎研究推進事業などの競争的資金等を活用して、広く研究プロジェクトの準備展開を行うことが重要である。

#### (b) 研究プロジェクトの優先度等

科学技術庁研究開発局に設置された「大型三次元震動台の利用に関する検討会」における予備的な評価も踏まえると、最も評価の高い利用プロジェクトとしては、以下のような課題が挙げられる。

- ・ 建物の動的破壊機構の解明
- ・ 大規模高架橋などの大地震に対する耐震性の実証
- ・ 液状化などの地盤破壊現象の解明と対策工法の検証
- ・ 液体貯槽の動的破壊機構・揺動による浮上現象等の解明

さらに、次に評価の高い課題としては、

- ・ ライフライン等地中構造物の耐震性の向上
- ・ 港湾施設等土木構造物の破壊メカニズムと耐震性の向上
- ・ 劣化を経験した構造物の耐震安全性に関する検討
- ・ 重要施設の免震構造の地震時健全性の確認
- ・ 液体貯槽の免震構造に関する研究

などがあげられる。

しかしながら、これらはいくまでも現時点における暫定的な検討に基づくものであり、当面、実施すべき研究プロジェクトについては、考えられる主要テーマの具体化のために検討のグループを設け、大型の震動実験につながる一連の研究計画として、速やかに着手していくことが必要である。その上で、テーマの募集、特に国際共同研究については、準備期間を考え早急に、また、施設完成後の実験実施への助言、また、その利用の順位についてなど、このための有識者（海外を含む）から成る常設の検討の場を設け、助言、決定などの運営に当たることが適当である。

## (2) 地震災害データセンター

地震災害データセンターは、国内及び海外の研究機関をデジタル通信ネットワークで結び、分散型研究機能を持つ、いわゆる「姿なき研究機構」の中心施設であり、研究拠点内はLANが張巡らされる。

地震防災データベースを大型ディスク装置に保管し、分散処理型ワークステーション/パソコン群によりデータベースにアクセスする。また、様々な形態の地震防災資料を集めたマルチメディア図書館とマルチメディアを駆使した会議設備をこのセンターに併設する。

- ・ デジタル通信ネットワーク
- ・ データベース用大型ディスク装置
- ・ 分散処理型ワークステーション/パソコン群
- ・ マルチメディア図書館/会議設備

### (3) 地震災害時空間シミュレーション施設

地震災害時空間シミュレーション施設は、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の施設として、スーパーコンピュータ、人工現実感（バーチャルリアリティ）研究設備、図上訓練設備などを保有するソフト地震防災研究の中核と位置づけられる。

スーパーコンピュータは、主として「地震災害時空間シミュレーション・システム」を構成する地震動シミュレータ、数値振動台、災害拡大過程シミュレータとして使用する。また、人工現実感設備は災害時の人間行動などの研究に、図上訓練設備は災害情報システムと連動した災害発生時の緊急対応システムの研究など災害拡大過程シミュレータの構築などのために使用する。

なお、施設整備に当たっては、今後の地震防災科学技術の進展による社会的、研究的要求と計算機、通信関係の技術の進展に併せ、柔軟な検討を行うことが必要である。

- ・ 災害過程シミュレーション用スーパーコンピュータ
- ・ 異常環境シミュレータ（人工現実感研究設備）
- ・ 危機対応図上訓練シミュレータ

### (4) サポート施設

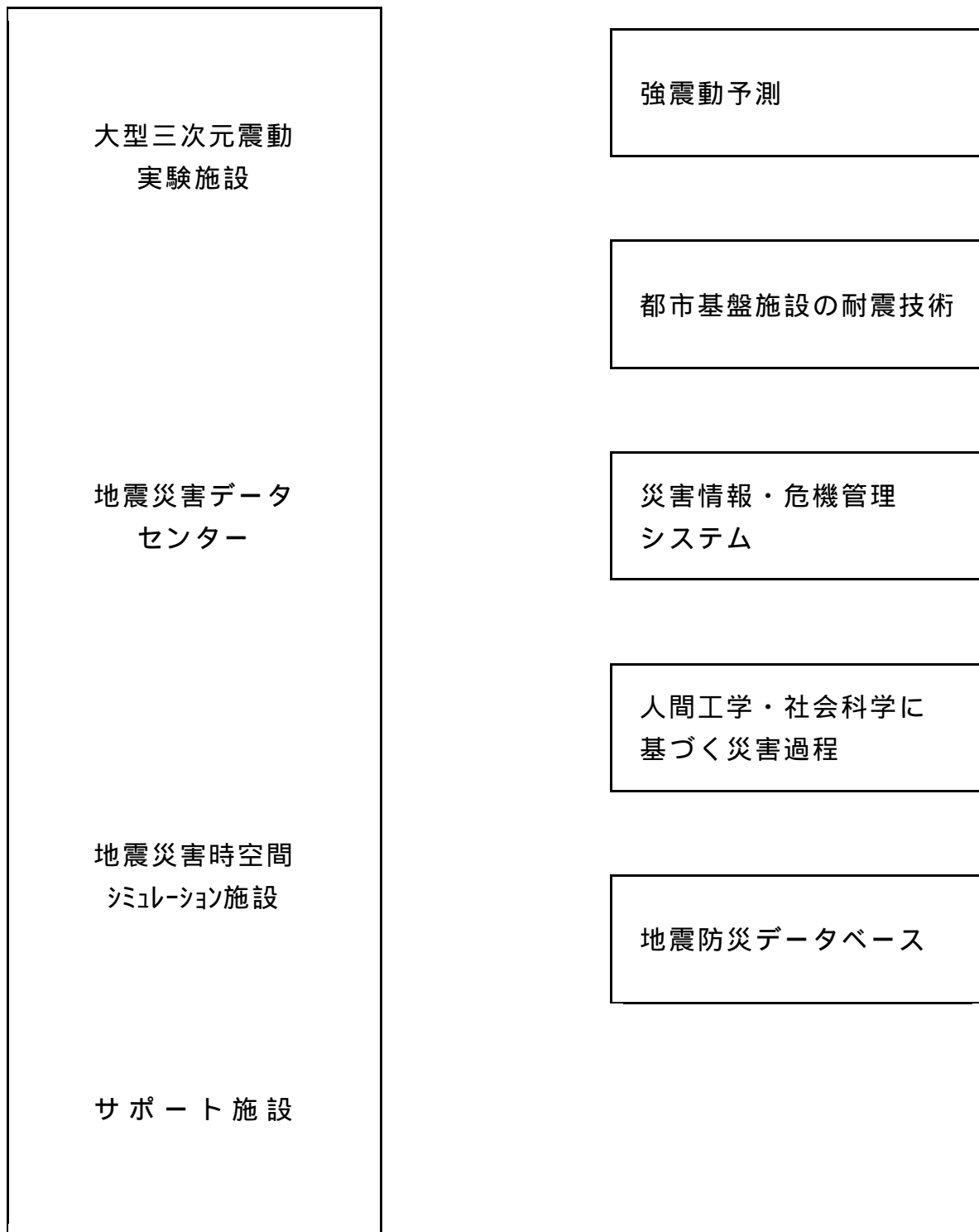
研究拠点には、常勤の研究者やスタッフに加えて、長期・短期滞在の研究者や研修生が、日本全国及び海外より訪れる。また、小規模の国際シンポジウムやワークショップなども開かれる。研究拠点をこのような活動の中心として、魅力のある外に開かれたものにするため、サポート施設の充実は不可欠である。

- ・ 研修施設
- ・ 会議場
- ・ 宿泊施設（長期、短期）
- ・ 厚生施設（食堂 等）

表 1 研究課題と研究施設の関係

	大型三次元震 動実験施設	地震災害デー タセンター	地震災害時空間 シミュレーション施設
(1) 強震動予測			
(2) 都市基盤施設の耐震技術			
(3) 災害情報・危機管理システム			
(4) 人間工学・社会科学に基づく 災害過程			
(5) 地震防災データベース			

図4 研究課題と研究施設等の相互関係



## 6 . 地震防災研究拠点の組織・運営のあり方

### (1) 組織について

地震防災研究拠点については、基本的には単独の組織として整備の核を持つことが運営上必要であるが、既存の機関との連携により、そのポテンシャルを有効に活用して研究を発展させるような研究拠点として整備するという観点から、複数の機関の協力・共同により、適切な役割分担の下で効率的に整備することも適当と考えられる。

### (2) 運営について

研究拠点における流動的な研究システムにおいては、優れた研究リーダーの下で研究が推進されるような体制を確立することが必要である。また、研究拠点全体については、研究拠点全体として目指す方向を明らかにして、整合性のとれた運営が十分行われるよう、配慮する必要があることから、研究拠点に、外部の有識者を含めた研究運営委員会や研究評価委員会を作り、研究課題・予算等の審査、研究及び活動成果などの審査を行うことが適当である。

積極的に情報公開を行っていくこと、特にデータベースや研究成果については、可能な限り、インターネット等で提供していくことが重要である。

本研究拠点の研究の成果は、防災機関等の業務に適切に反映させていくことが重要である。そのため、研究の成果を活用して、防災対策等を担当する行政の職員、民間等の関係者に対し、防災に関する知見のトレーニングを支援する機能が必要である。

大型三次元震動実験施設については、以下のように運営していくことが適当である。

#### 国際的にも開かれた共同利用施設

本施設は、世界で群を抜いた大規模かつ高性能の施設であるという性格からも、国内はもとより海外にも広く開かれた「国際的な共同利用施設」として、運営されるべきである。したがって、自ら研究を実施する研究機関の施設という性格とともに、国内外の研究者、研究機関等にかかれた利用が可能な体制、設備及び補助部門の整備が不可欠となる。

#### 運営主体の考え方

本施設の運転・点検等については、専門的知識と経験を有する者が実施するこ



とが肝要であり、運営機関にその人材を確保する必要がある。なお、その運営機関は必ずしも本施設の組織である必要がなく、業務委託することも適当である。

#### 運用の基本要件

大型三次元震動実験施設を効果的に運用していくためには、以下のような基本要件に十分配慮することが必要である。

- (a) 産官学及び海外にも広く開かれた共同利用施設として運営されること。
- (b) 利用者への支援体制を含めた適切な管理・運営体制が確立されること。（例えば、保険の取り扱い、利用者教育、安全教育、実施への助言などへの配慮を含む。）
- (c) 施設の円滑な運営のための高度の能力を有する人員及び継続的な経費が確保されること。
- (d) 施設の将来の高度化等への改修等にも十分対応できるような措置が講じられること。
- (e) 施設を利用した実験研究等を促進、支援、評価する制度を確立すること。
- (f) 利用者が研究を実施する上での良好な環境を整備すること。（特に、長期利用者への対策に万全を期すること。）
- (g) 新しい技術への展開を保証する施設としての運営を保証すること。

#### (3) 人員について

運営の核となる研究員、事務官、実験施設の技術スタッフ及び情報センターのスタッフ、については、拠点専任の人材を雇用することが重要である。また、既存の研究機関（国立試験研究機関、大学、民間研究機関等）からは期間を限定した出向の形で研究員を派遣することが適当である。一方、流動的な研究員については、ポスドクや海外の研究機関などから集めることが適当である。なお、国内の防災関連機関や海外の研究機関からの研究生を受け入れることも重要である。

#### (4) その他

##### 快適な研究環境の整備

多分野の研究者の参画による研究の推進にあたっては、研究をリードする優秀な研究者を確保することが重要である。したがって、新しい研究拠点においては、高度なネットワーク環境の整備といったハードの面や、研究に専念できるような組織運営といったソフトの面に加え、周辺環境の整備までを含めた、広い意味においての、快適な研究環境を整えることが重要である。

また、大型三次元震動実験施設については、ひとつの試験が長期間に及ぶ場合も多いと考えられることから、試験を円滑に行うために、試験体の組立ヤード・材料試験等の周辺設備や、研究者が滞在する施設などを整備する必要がある。

### 国際性を考慮した運営

地震防災に関する研究は、地球的規模での重要性を有しているという観点に立ち、海外研究者の積極的な受け入れ、海外研究者の共同利用施設の利用受け入れ等を円滑に進めることが必要である。特に、米国とは、地震防災科学技術の先進国としての責務を相互に果たしていくことが重要である。アジア太平洋諸国との間では、A P E C（アジア太平洋経済協力）の枠組みなどの活用にも配慮しつつ、研究者の受け入れや育成に努める観点が重要である。

### 関係機関との協力

本研究拠点については、人材交流の面も含め、既存の研究機関等との連携協力が不可欠であることから、計画推進にあたり、既存機関との間で十分な意志疎通を図るなどにより、円滑な推進が図られるよう、措置することが必要である。

### 研究拠点が整備される地元自治体との協力

本研究拠点の整備にあたっては、その目的が十分に達成されるよう、施設の整備、管理・運営の諸点にわたり、研究拠点が設置される地元自治体と密接に協力することが必要である。

[ 補 足 資 料 ]

## [ 地震防災において考慮すべき地震と地震動 ]

### (1) 地震の特性

地震は地球表面を覆っている大小のプレートの相対運動によって引き起こされると考えられている。地震のタイプは、プレートとプレートの相対運動の直接的結果としてプレート境界に蓄積される応力の解放によって生じるプレート間地震と、その相対運動によってプレート内部の弱面に集中した応力の解放により起きるプレート内地震に分けられる。

#### プレート間地震

プレート境界には、(a) プレートが互いに近づく収束型境界（海溝など）、(b) 互いに離れていく発散型境界（中央海嶺）、(c) 互いにすれ違う横ずれ型境界（トランスフォーム断層）などがあり、それぞれ異なったタイプの地震が発生している。

日本付近のプレート境界は、いずれも収束型境界で、ほとんどは海のプレートが陸のプレートの下に沈み込む、いわゆる沈み込み帯となっているが、伊豆半島の付け根は規模は小さいがプレートのぶつかりあう衝突帯となっている。

日本付近の沈み込み帯の地震は、太平洋プレートが千島 - 日本海溝で東北日本を載せているオホーツクプレート（北米プレートの一部ともいわれている）の下へ沈み込む場合[地震の例は表1のAの地震]と、フィリピン海プレートが相模トラフでオホーツクプレートの下へ沈み込む場合[Bの地震]、及びフィリピン海プレートが駿河トラフ - 南海トラフ - 琉球海溝で西南日本を載せているユーラシアプレートの下へ沈み込む場合[Cの地震]に、それぞれ発生している。さらに日本海東縁の北海道から東北地方にかけた地域では、ユーラシアプレートがオホーツクプレートの下に沈み込むことが原因と考えられている地震[Dの地震]が発生している。沈み込み帯の多くは海溝に位置するので海溝型地震とも呼ばれる。

プレート境界で起こるマグニチュード8クラスの巨大地震が同一震源域で再び発生する間隔（再来間隔）は、千島海溝に沿って発生する巨大地震は70～100年程度、相模トラフの関東地震は200年程度、南海地震など南海トラフで起こる地震は100～150年程度で、比較的短い。

これらの沈み込み型地震は規模が大きくなることがあるため、震源域が広く、震源継続時間が長く、影響範囲は広範囲となる。また、このタイプの地震では陸地プレートの跳ね上がりにもない津波が発生する場合もある。断層の破壊がゆ

っくりと進行して地震動はほとんど発生せずに大きな津波を引き起こす津波地震となる場合もある[Eの地震]。

海溝から離れた内陸部でも、その下に沈み込んだプレートの上面（境界面）で地震が発生する場合がある。関東地方の下ではフィリピン海プレートが沈み込んでいるので、東京直下のやや深いところ（深さ50～60km）に沈み込み型地震が発生する[Fの地震]。

表2 プレート間地震の発生位置とその地震の例

地震の発生位置	地震の例（マグニチュード）
Aの地震	1952年十勝沖地震(M 8.1) 1968年十勝沖地震(M 7.9) 1978年宮城沖地震(M 7.4) 1994年三陸はるか沖地震(M 7.5)
Bの地震	1703年元禄関東地震(M 8.2) 1923年関東地震(M 7.9)
Cの地震	1707年宝永地震(M 8.4) 1854年安政東海地震(M 8.4) 1854年安政南海地震(M 8.4) 1944年東南海地震(M 7.9) 1946年南海地震(M 8.0)
Dの地震	1964新潟地震(M 7.5) 1983日本海中部(M 7.7) 1993北海道南西沖地震(M 7.8)
Eの地震	1896年三陸津波地震(M 8.5)
Fの地震	1894年東京地震(M 7.0) 1968年埼玉県中部地震(M 6.1)

## プレート内地震

プレートの相対運動はプレート境界に集中した歪みの解放ではまかないきれず、プレート内部にも変形を生じ、そこに存在する弱面の破壊により地震が発生する。プレート内地震は陸のプレートの内部及び沈み込むプレートの内部で起こる。

### (a) 陸のプレート内地震（内陸地震）

日本周辺のプレート間の相対運動の結果として、日本の内陸は伊豆半島周辺を除いて、ほぼ東西に圧縮する力を受け、それによってプレート内地震が起こる。この内陸地震は深さ15kmから20kmまでの上部地殻の中だけで発生し、それより深いところでは温度が高いため発生しない。

東西方向の圧縮力が働いている結果として、一般に西南日本では横ずれ断層が多く、北東 - 南西に延びる右横ずれ、及び北西 - 南東に延びる左横ずれ断層の地震が生じる。一方、東北日本では南北に延びる逆断層の地震が発生する。九州中央部の別府 - 島原地溝帯では東西方向に正断層が延び、日本では珍しい正断層型の地震が生じる。伊豆半島内部ではプレートの衝突の影響でほぼ南北に圧縮力が働いていて、横ずれ断層が地震を引き起こす[その例が1930年北伊豆地震(M 7.3), 1974年伊豆半島沖地震(M 6.9)など]。

内陸に生じる震源の浅い大きな地震では、断層破壊のずれそのものが地表面に出現する（地表地震断層）こともある。明治以降の日本の例では、地表地震断層はマグニチュード6.5程度の地震から現れはじめ、7.0以上の震源の浅い内陸地震では全ての地震で出現した。日本の内陸部に発生した最大級の地震は1891年濃尾地震(M 8.0)である。日本の主要な内陸活断層の平均活動間隔は千年から数万年のオーダーで、海溝型地震に比べ極めて長いことが特徴である。ひとつの活断層が歴史時代に2回活動したという例は伊豆の丹那断層以外には知られていない。

内陸地震の発生時期を予測するのは現在極めて難しい。活断層のトレンチや考古学的調査により、当分は安全な活断層と要注意活断層を識別する研究が行われるようになった。今後想定地域に対する地震災害予測のため活断層の位置の特定及び発掘調査による地震活動履歴の把握が重要となる。

表3 主要な内陸地震の例

地震名	マグニチュード
1891年濃尾地震	M 8.0
1896年陸羽地震	M 7.2
1927年北丹後地震	M 7.3
1930年北伊豆地震	M 7.3
1943年鳥取地震	M 7.2
1948年福井地震	M 7.1
1974年伊豆半島沖地震	M 6.9
1995年兵庫県南部地震	M 7.2

(b) 海のプレート内地震

海のプレートの内部では、沈み込みの際のプレートの屈曲により、プレート上部に伸張力が生じて正断層地震が起き[例、1933年三陸沖地震(M 8.1)]、また、その下部では圧縮が働き逆断層地震が発生する[1994年北海道東方沖地震(M 8.1)]。さらに深く100km付近で起こった釧路沖地震(M 7.8)では水平断層が動き地震を発生させた。このタイプの地震はプレート境界と近接して発生するため、正確な余震分布などがわからないと区別が付きにくい。そのため、現在、ここに挙げた3地震以外の例は知られていない。

プレートの浅いところに生じた1933年三陸沖地震は大規模な正断層地震で、大きな津波を発生し、沿岸域に大被害を引き起こした。

1993年釧路沖地震や1994年北海道東方沖地震は平均的な沈み込み型地震に比べて短周期が卓越する地震で、同じ距離で比べると最大加速度が大きい特徴がある。しかし、陸地近くで起きたときは深く、遠くで起きたときは浅いところで生じるというプレート沈み込み帯の幾何学的条件のため、大規模な地震の割に大きな被害は報告されていない。

(2) 地震動の特性

地震動は、断層での急激なずれ運動により生成された地震波が、地殻媒質を伝わり、表層地盤で増幅され、そして地表面の揺れとなったものである。したがって、地震動特性は震源断層の大きさや破壊のメカニズムなどの震源特性、地殻媒質での地震波の屈折・反射・散乱・減衰などによる伝播経路特性、表層地盤構造

による増幅（あるいは場合によっては減幅）などのサイト特性、などの影響を受ける。

地震動による建造物の被害を考えるには、建造物に影響を及ぼす周期範囲における地震動特性の推定が必要である。工学技術の発達とともに長い周期を有する巨大建造物等が増えている。一方短周期地震動の影響を受ける電子・機械システムも存在する。

最近の大地震に対して日本のみならず米国、その他の諸国で精度良い強震動記録が得られるようになった（表3参照）。これらの観測記録から、地震動の特性は地震のタイプによって異なった特徴をもつことが明らかになってきた。また、地震動の大きさの限界値はこれまで地震が起きるたびに更新されてきた。これは決してより大きな地震動を生じた地震が起こったのではなく、計器で観測された地点が極めて限られていたことによる。日本では、内陸地震による震源近傍での精度良い記録は1995年兵庫県南部地震まで得られていなかった。兵庫県南部地震の時に計測された地震動は、これまでの設計用の基準地震動に比べて大きなものではあるが、その記録が地震動の限界値とは考えられない。これまでの日本で記録された地震動の中で最大加速度は水平動で 1.6g [ 1993年江差沖地震(M 6.3)の時震源から約14kmの乙部町 ]、最大速度は水平動で 138cm/s [ 1995年兵庫県南部地震の時震源極近傍のJR鷹取駅 ] である。これらの観測点はいずれも堆積土で、表層地質によって地震動が増幅されたと考えられている。

地震動は理論的に地震断層でのスリップの時空間分布と震源とサイト間の波動伝播特性（グリーン関数）の重畳により計算されるようになった。小地震の地震動記録を経験的なグリーン関数として大地震の強震動を求める方法も開発されてきた。

今後の地震防災において考慮すべき地震動を検討する際には次のような手続きでサイトに応じた地震動の推定を行うことが考えられる。すなわち、地震防災を検討すべきサイトが指定されると、被害地震をもたらす可能性のある活断層や既往地震の震源域が特定され、考慮すべき対象地震が想定される。想定された地震による地震動は、震源特性及び震源からサイトへの三次元的構造場の波動伝播特性を考慮して、経験的、半経験的、理論的手法、あるいはこれらのハイブリッド手法を用いて評価される。

観測記録の蓄積及び地震動の計算手法の発達により明らかになってきた強震動の特徴は次のようなものである。



## 地震動の一般的性質

### (a) 震源特性

地震の震源は断層の長さ、幅、スリップ、スリップ継続時間、破壊速度などの断層の静的及び動的パラメーターで表される。これらの震源パラメーターは、破壊速度を除いて、一般に地震の大きさ、地震モーメント、に比例して大きくなる傾向がある。震源から生成される地震動の変位スペクトルは低周波数域では平坦で、コーナー周波数よりも高周波数で平均的には周波数の2乗に逆比例して小さくなる相似則に従っている。

断層モデルを仮定して計算された理論地震動と観測記録との比較に基づき、インバージョンなどの方法で震源過程の詳細が推定されるようになった。その結果、以下のようなことが明らかになってきた。

- (イ) 地震動は、破壊の伝播方向に依存（指向性、directivity）し、破壊伝播の前方で大きな振幅となる。特に震源近傍域では破壊伝播方向で長周期のパルス波が現れる。この指向性効果は地震のタイプによっても異なる。
- (ロ) 大規模な地震の断層破壊過程は一般に不均質で、震源断層内で局地的に応力降下の大きいアスペリティーが生じるため、アスペリティーと観測点の相対的位置によって地震動が局所的に大きくなることもある。

### (b) 地質・地盤構造特性

地震動は一般に震源から近距離のところではS波が卓越すると考えられ、伝播媒質の地質・地盤構造の影響はS波入射に対する応答として近似的には評価できる。岩盤など硬い地盤における地震動は相対的に振幅が小さく、継続時間が短い。軟弱な地盤では振幅が大きく、継続時間が長くなる。震源距離が震源の深さに比べて数倍以上に長くなると、表面波などの距離減衰の小さい地震動が相対的に卓越し、継続時間の長い長周期の地震動となる。

複雑な地形・地質構造をもつ地域では特異な地震動の増幅がみられることがあり、三次元的構造を考慮した地震動特性の評価が必要となる。盆地構造地域では、盆地生成表面波によって盆地中央部で長周期の卓越する継続時間の長い地震動が現れる。

### (c) 土の非線形性

地震動が大振幅になると伝播媒質の地盤は大きな歪みを受ける。歪みは地震動の速度振幅と比例関係にある。地盤を構成する土は一般に生じた歪みに応じて剛性や減衰特性を変化させる性質がある。兵庫県南部地震では震源近傍の堆積地盤で大きな速度の地震動となったため、沖積層や埋立地盤は相当の非線形

挙動を呈したと考えられる。非線形性の進展にともなう土の剛性の低下により、卓越周期が長周期となり、増幅度が小さくなるため、加速度レベルはそれほど大きくならないが、変位が大きくなるので、杭基礎などに大きな強制変形が作用することがある。

#### (d) 上下動特性

地震動は、震源の極近傍では震源からのP波による寄与が大きいですが、やや離れるとS波とP波の振幅比はその速度比の3乗の逆数（約5倍）に比例するので、一般にS波からの寄与が卓越する。したがって、上下動もP波初動部を除くと主要動は震源からS波として生成されたものからの寄与が大きい。震源距離が極めて近い場合を除いて、主要動部ではS波の寄与の大きい水平動成分の方が上下動成分よりも1.5～2倍程度以上大きい。震源距離が近くなると震源メカニズムや不規則な地下構造の影響、あるいはS波とP波の時間差が小さいなどにより上下動成分が水平動とほぼ同程度あるいはそれ以上の大きさとなることがある。

堆積地盤では一般に上下動成分は水平動に比べ高周波数震動が卓越する。これはサイトの直下の表層構造によってS V波からP波に変換された地震動が表層内で重複反射によって増幅されることによる。特に、水位レベルより上の軟らかい表層は遅いP波速度をもつため、P波震動が高周波数域で大きく増幅され上下動が水平動よりも大きな加速度となることがある。また大振幅の地震動に対する土の非線形性の効果は水平動に比べて上下動には小さいため、上下動が水平動よりも大きくなる場合もある。

#### 地震のタイプによる地震動の特徴

前節で述べたそれぞれのタイプの地震は以下のような特徴をもつ。

##### (a) プレート境界での沈み込み地震

被害を引き起こすこのタイプの地震は、一般に地震規模が大きく、震源域が広いため、長周期から短周期まで広い周期範囲を含む継続時間の長い地震動を広範囲に引き起こす。震源域は海上となる場合が多いが、大規模な巨大地震が起きると震源域が都市の直下に及ぶ場合もある[例えば、1923年関東地震(M 7.9)、1703年元禄関東地震(M 8.2)]。

沈み込み型の巨大地震の震源近傍域で精度ある計測記録は日本ではまだ得られていない。このタイプの地震で記録された最大加速度は、1985年チリ地震の時震源域の直上地域に位置するLlolleoで、上下動 0.87g、水平動 0.67g である。この観測点は硬質地盤上ではあるが、(1) の(d)で述べたように観測点近傍S V波からP波に変換された波がP波の遅い表層で増幅されたため大加速度の

高周波数の上下動が形成されたと考えられる。

#### (b) 内陸地震

マグニチュード7以下の中規模地震でも、震源が近い（震源深さ及び震央距離）場合には、継続時間は短いが高周波の卓越した大加速度の地震動を引き起こす。中規模地震の場合、大きな地震動となる地域は局所的ではあるが、都市の直下に起こると大きな地震災害となる場合がある。

震源近傍地域では破壊伝播方向にあたる地域で指向性効果により長周期のパルス波が生成される。この長周期パルス波が構造物を直撃すると、衝撃力による破壊を引き起こす可能性が指摘されている。また、盆地端部に近い堆積地盤では盆地境界で二次的に生成される表面波と基盤から堆積層を伝わる波の重ね合わせで大きな地震動が生成されることがある。破壊伝播の指向性効果と盆地端部での波の干渉効果が重なると、帯状に大きな地震動が生じ、被害の集中域となる場合がある。

内陸での低角逆断層地震では、断層面上盤側に大きな災害が生じる傾向がある[1945年三河地震(M 6.8)]。日本においては震源近傍域で記録は得られていないが、カリフォルニアでの例では上盤側の最大加速度は平均値より50%大きいと報告されている。

これまでの内陸地震で、地盤上で計測された最大加速度は、日本では水平動0.86g[1995年兵庫県南部地震(M 7.2)、神戸海洋気象台]、米国では水平動1.82g[1994年ノースリッジ地震(Mw 6.7)、Tarzana]である。最大速度に関しては、日本、米国ともに、断層近傍域で断層に直交する方向の水平動が176cm/s[1995年兵庫県南部地震(M 7.2)、JR鷹取駅]、178 cm/s[1994年ノースリッジ地震(Mw 6.7)、Rinaldi]と、ほぼ同様の値が記録されている。

#### (c) 海のプレート内地震

1993年釧路沖地震や1994年北海道東方沖地震は平均的な沈み込み型地震に比べて短周期が卓越する地震であった。震源域が海域であるため震源近傍の記録は得られていないが、震源距離150~200 kmのところ、これまでの最大加速度の距離減衰式と比較すると最大加速度が5~10倍程度大きい。これらの地震は規模に比べて震源域が狭いので、応力降下量が大きかったと考えられる。

表4 主要地震記録の最大振幅値

地震名	年月日	観測場所	設置条件	成分	加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	速度 ( $\text{cm/s}$ )	変位 ( $\text{cm}$ )
(1) プレート間地震							
1968年十勝沖 (M 7.9)	1968.5.16	八戸港湾	地盤	NS	230	34	8.3
				EW	180	38	12.4
1978年宮城県沖 (M 7.4)	1978.6.12	東北大学	1階	NS	255	36	14.5
				EW	203	28	9.1
				UD	153	12	3.2
1994年三陸はるか沖 (M 7.5)	1994.12.28	八戸市庁舎	地下1階	N164E	415	44	6.7
				UD	118	8	2.2
				N254E	319	29	3.6
		八戸測候所	地盤	NS	603	26	2.9
				UD	94	6	2.2
				EW	488	23	1.9
1985年チリ (Ms 7.8)	1985.3.3	Llolleo (震源近傍)	地下階	N100E	437	23	4.2
				UD	849	20	6.8
				N010E	698	40	10.5
1985年メキシコ (Ms 8.1)	1985.9.19	Caleta de Campos (震源直上)	地盤	N00E	138	17	5.7
				UD	88	7	1.9
				N90E	138	13	3.2
		Zacatula (震源)	地盤	NS	271	30	18.2
				UD	145	11	9.6
				EW	182	14	8.6
SCT1 (メキシコ市)	地盤	NS	98	39	19.1		
		UD	37	9	7.6		
		EW	168	61	21.9		
(2) 海のプレート内地震							
1993年釧路沖 (M 7.8)	1993.1.15	釧路気象台	地盤	N063E	711	33	4.8
				UD	363	14	1.2
				N153E	637	41	8.0
1994年北海道東方沖 (M 8.1)	1994.10.4	釧路気象台	地盤	N063E	314	27	4.9
				UD	190	10	4.2
				N153E	392	21	4.3
(3) 陸のプレート内地震							
1995年兵庫県南部 (M 7.2)	1995.1.17	海洋気象台	地盤	NS	818	90	20.2
				EW	617	74	19.1
				UD	333	40	10.2
		葦合	地盤	N030W	802	121	43.9
				N120W	687	57	19.3
		JR鷹取	地盤	NS	606	127	35.1
				EW	657	127	33.5
				UD	279	17	4.7
		神戸大工学部	地盤	NS	270	55	55.1
				EW	305	31	-
		NTT	地下3階	N309E	342	84	27.5

N039E 193 24 9.0

地震名	年月日	観測場所	設置条件	成分	加速度 ( $\text{cm/s}^2$ )	速度 ( $\text{cm/s}$ )	変位 ( $\text{cm}$ )
				UD	193	20	7.0
		東神戸大橋	地盤	N348E	327	87	40.2
				N258E	281	81	43.2
				UD	394	35	13.6
(4) カリフォルニアの内陸地震 (トランスフォーム断層及びその周辺に起こる地震)							
1940年インパリアムレー (ML 6.7)	1940.5.18	エルセントロ変電所	1階機械室	NS	342	33	10.9
				UD	206	11	5.6
				EW	210	37	19.8
1952年カーン郡 (Ms 7.8)	1952.7.21	タフト・リカン学校	1階礼床上	NS	153	16	6.7
				UD	103	7	5.0
				EW	176	18	9.2
1971年サンフェルナド (Mw 6.7)	1971.2.9	Pacoima Dam	地盤	N164E	1148	113	37.7
				UD	696	58	19.3
1979年インパリアムレー (Mw 6.5)	1979.10.15	Array 7	地盤	N230E	454	108	41.4
				UD	504	26	10.2
				N140E	327	45	19.5
	1979.10.15	Array 6	地盤	N230E	424	109	55.2
				UD	1490	51	13.0
				N140E	341	63	27.0
1992年ランダース (Mw 7.2)	1992.6.28	Lucerne	地盤	N260E	740	146	261.0
1994年ノースリッジ (Mw 6.7)	1994.1.17	Rinaldi	地盤	Hor.	826	170	33.3
				UD	830	49	9.2
		Sylmar	地盤	Hor.	827	129	32.5
				UD	525	19	7.6
		Newhall	地盤	Hor.	578	95	30.5
				UD	537	31	12.8
		Tarzana	地盤	Hor.	1888	110	29.0
				UD	1130	72	17.0

(注) ・ 加速度、速度、変位とも片振幅の最大値を示す。

- ・ 最大変位振幅は、加速度記録を2回積分するとき、低域遮断フィルターを通すため、一般的に過小評価される。1992年ランダース地震のLucerneでの変位は、長周期変位を保持するための特別の手法を用いて求められたもので(Iwan and Chen, 1995(\*))、他の記録と比較できない。

(\* ) Iwan and X. Chen, Proceedings of 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria

- ・ 成分は、UDは鉛直方向、角度は水平方向成分で、数字は北方位から時計回りの角度を示す。
- ・ 例えばN164Eは真北から東回りに回って164度の方向。
- ・ 日本の地震の規模は気象庁マグニチュードによった。
- ・ 外国の地震については、ML：ローカルマグニチュード、Mw：モーメントマグニチュード、Ms：表面波マグニチュード、で示した。
- ・ カリフォルニアの地震のうち、サンアンドレアス断層沿いのものは、いわゆるトランスフォーム断層で、プレート間地震に分類される横ずれ断層であるが、その影響を受けて起きる地震(サンフェルナド地震やノースリッジ地震)はむしろプレート内地震といってもよい。

地震動の観点からは両者ともに日本の内陸地震とよく似た性質を示す。

## [ 大型三次元震動実験施設 ]

### (1) 大型三次元震動実験施設の必要性と震動実験の主要課題

「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発の主要要素としての震動実験施設

震動実験施設等による構造物の破壊実験等の成果が蓄積され、それらが計算機上で再現できるだけのモデルを構築することができたなら、これと実験不可能な諸現象を結びつけて、数値振動台の有用性を飛躍的に増大させることが可能となり、地震災害事象の諸因子を総合的に考慮して地震災害事象を予測する「地震災害時空間シミュレーション・システム」の開発につながる。

したがって、『地震に強い国土・社会を創る』ための地震防災研究にはなくてはならない施設であるため、できるだけ速やかに整備する必要がある。

破壊現象の解明のための震動実験施設

阪神・淡路大震災では予想を超える破壊が起こったが、これは、既存の振動実験施設では、その性能の限界から、実際の破壊メカニズムに関する実証試験を十分行うことができなかつたという現状があり、このことが工学的に予想した以上の意外な破壊を招き、予期しない災害発生の一因になったといえる。

したがって、破壊過程を詳細に解析できる実大の構造物等についての震動実験が可能である機能を有する高性能の震動実験施設の整備が必要である。また、これと併せて、高速度（力積）加力装置も不可欠な研究手段のひとつである。

さらに、面的な震源を考慮した地震動の予測手法が不可欠であり、本震動実験設備は、それに対応できることが必要である。

震動実験の主要課題への対応のための震動実験施設

阪神・淡路大震災をはじめとする最近100年間の破壊的地震の被害の教訓を活かし、地震に強い国土・社会創りを行うために必要な耐震主要課題を検討した結果、以下のような領域の課題についての震動実験が必要である。

- (a) 一般建築構造、高付加価値建築構造の新しい設計・施工技術の開発と検証
- (b) 土木構造物の新しい設計・施工技術の開発と検証
- (c) 異なる地盤条件立地点における構造物の新しい設計・施工技術の開発と検証
- (d) 免震・制震構造の開発と適用性・安全性の検証
- (e) 産業設備・機器、特に防災上の問題のある、または、社会機能の維持に重要な施設等の耐震性の高度化と安全性の検証

さらに、耐震関連分野の提案課題を以上のような領域毎に整理・分類すると、表4のような19課題となる。これらの課題は地盤、各種構造物、機器などの多方面にわたっており、現時点で考えられるハードな研究対象の大部分が網羅されていると考えられ、さらに、兵庫県南部地震のような地震動による破壊状況について、新たな知見が得られることが期待される。なお、地震時の人間行動の理解とその安全対策に関する研究、災害の起因事象となる可能性のある諸現象（たとえば出火）の解明なども、震動実験施設による実験的研究の有用性が考えられるが、これらの研究の実施については今後さらに検討することが必要である。

**表5 耐震主要課題とプロジェクト研究課題一覧**

- 
- 1 . 建築構造、高付加価値建築構造の新しい設計・施工技術の開発と検証
    - 1 - 1 建物の動的破壊機構の解明
    - 1 - 2 構造物の耐震性能確保に関する実験的検討
    - 1 - 3 劣化を経験した構造物の耐震安全性に関する検討
    - 1 - 4 高付加価値構造物の設計技術開発
    - 1 - 5 省エネルギー型建物の研究
- 
- 2 . 土木構造物の新しい設計・施工技術の開発と検証
    - 2 - 1 液状化などの地盤の破壊現象の解明と対策工法の検証
    - 2 - 2 ライフライン等地中構造物の耐震性の向上
    - 2 - 3 港湾施設等土木構造物の破壊メカニズムと耐震性の向上
    - 2 - 4 大規模高架橋等の大地震に対する耐震性の実証
    - 2 - 5 長大構造物・大スパン構造物の耐震性能の検証
- 
- 3 . 異なる地盤条件立地点における構造物の新しい設計・施工技術の開発と検証
    - 3 - 1 液状化地盤における杭基礎の破壊機構の解明
    - 3 - 2 側方流動による破壊機構の解明と対策工法の検証
- 
- 4 . 免震・制震構造の開発と適用性・安全性の検証
    - 4 - 1 普及型免震住宅の開発と検証
    - 4 - 2 液体貯槽の免震構造に関する研究
    - 4 - 3 重要施設の免震構造の地震時健全性の確認
    - 4 - 4 各種制震構造の開発と制震効果に関する評価
-



- 5 . 産業設備・機器、特に防災上の問題のある、または、社会機能の維持に重要な施設等の耐震性の高度化と安全性の検証
    - 5 - 1 自立型円筒タンク等、産業設備・機器の耐震性の向上
    - 5 - 2 建屋内における設備・機器の地震時挙動把握と耐震性の向上
    - 5 - 3 高速鉄道車両走行中の地震応答特性の検証
- 

#### 大型三次元震動実験施設の必要性

上記 ~ のような諸点を踏まえると、以下のような基本的機能を有する大型三次元震動実験施設の整備が必要である。この実験施設は、その運転及び実験結果の処理、さらに、全体系（数値振動台系など）に結合できるような十分な計算機及び関連ソフトで支援されていることが重要である。

本施設の仕様としては、(イ) 兵庫県南部地震のような震源域からの地震動を現出できること、(ロ) 実大の中層鉄筋コンクリート造建物の破壊を再現できるような構造物が搭載可能なこと、(ハ) できるだけ大きな土槽についての実験が可能なが挙げられる。

#### (a) 破壊実験の実施が可能であること

阪神・淡路大震災では、構造物等に予想を越えた被害が発生した。今後の課題として、これらの構造物破壊を防止ないしは制御して、地震災害軽減の方策を明確に示すことが求められている。この破壊は兵庫県南部地震のひとつの特徴である、鋼構造等の脆性破壊等にみられる、いわゆる長周期パルス波によるものと考えられ、この種の地震動による実大構造物の破壊現象を解明できる性能を有する震動実験施設が必要である。

#### (b) 三次元震動実験の実施が可能であること

現在、兵庫県南部地震での地震動を、変位、速度を含め、完全に再現できる大型の震動台は1台も存在しない。したがって、少なくとも兵庫県南部地震での地震動を、変位、速度を含め、完全に再現できる三次元震動実験施設の整備が必要である。なお、厳密には、観測された地震動は観測装置が設置された場所のものであり、推定される最大の地震動の現出が可能な仕様とする必要がある。

#### (c) 実大構造物の震動実験の実施が可能であること

構造物の破壊は実大構造物においてはじめて現れる現象も多いため、その破壊のメカニズムを詳細に理解するための震動実験が必要である。

この場合、実大試験と縮尺模型試験とは本質的に異なる点に留意する必要がある。実大試験は文字通り実大の構造体で、その応答挙動、損傷、破壊の過程も実物そのものである。縮尺模型による試験は、一般に多く行われているが、その妥当性は相似則で考えられることが多い。しかし、実際の破損・損傷様式（モード）は複数であって、複数の相似則で支配される。したがって、ごく例外を除いて、縮尺模型では複数の条件を満足することはできない。さらに、縮尺模型実験では、時間軸の変更が必要となる。この時間軸の変更は、加速度、速度、変位の関係を変化させ、本当の破壊の条件（たとえば力と力積）を同時に満足させることができなくなる。

こうした実験は、過去の地震災害の原因を解明する上で非常に重要であるとともに、将来の様々な耐震、制震、免震メカニズムの研究のための震動実験の基盤となるものでもある。さらに、計算機上で震動実験結果をシミュレートできるようにするためのモデル化手法の構築のための基礎データとして有用となる。したがって、このような震動実験施設については、十分に大型の試験体について震動実験を可能とするような、搭載重量、許容転倒モーメント等のスペックを有することが必要である。

## (2) 大型三次元震動実験施設の駆動方式の選定とその理由

### 各駆動方式の比較

大型三次元震動実験施設を実現するために考えられる振動台の駆動方式としては、既存の施設の実績があるものとして、(a) 電気・油圧方式、(b) 電磁方式、(c) 制御爆破方式 があげられ、また、実績はないものの技術的に考えうるものとして、(d) 液体ロケット燃焼方式 があげられる。

各駆動方式の概要は、以下のとおりである。

- (a) 電気・油圧方式は、油圧ポンプや蓄圧式アキュムレータから供給される油圧力で、シリンダー・ピストンを電気信号に従って制御し、振動台を駆動する方式であり、大出力を必要とする中型から大型振動台に多く使用され、既存の殆どの三次元振動台にはこの方式が採用されている。
- (b) 電磁方式は、電磁石を使用して振動台を駆動する方式であり、それほど大きな出力を必要とせず、周波数特性を特に重視する小型ないし中型の振動台に採用されている。この方式は、大型かつ大出力の振動台への適用例はない。
- (c) 制御爆破方式は、火薬を利用しその爆発力で振動台を駆動する方式で、複数の火薬の時間差爆発を利用して、非常に短い時間での大出力（衝撃力）を発生させることが可能である。
- (d) 液体ロケット燃焼方式は、液体ロケットエンジンを使用し、その燃焼を制御

することにより、振動台を駆動する方式であり、大出力を必要とする振動台に使用する可能性について技術的に研究が行われている。しかしながら、本方式の振動台の建設事例はなく、多くの技術開発が必要であると考えられる。

これらの方式についての技術的実現可能性の比較検討の結果は、図5のように整理される。



## 最適な方式の選定とその理由

上述の震動実験の実施が急務であることを踏まえると、速やかに施設の建設に着手し、実験を実施することが必要であるが、(a) 技術的に必要とされる新たな解決課題が少ないこと、(b) 同種の建設事例が小から大まで世界的に見て数多くあり、直ちに設計・製作が可能であること、(c) 上流から下流までの技術蓄積がなされていること等から、「電気・油圧方式」を採用することが適当である。また、同方式は、周辺及び全体系を構成する計算機システムと、現状において最も結合しやすい方式である。

但し、「電気・油圧方式」を採用する場合であっても、以下の項目について十分な検討を行い、所要の対策を講じておくことが必要である。

- (a) 電気・油圧方式では、油圧力によりシリンダー・ピストンを駆動することとなるが、この駆動を制御するためにサーボ弁が必要である。大型三次元震動台には、大容量かつ高応答のサーボ弁を使用することが必要となるが、信頼性（耐久性能への考慮を含む。）のあるサーボ弁の設計・製作に万全を期すること。
- (b) 超精密機械であるサーボ弁を長期にわたって使用するために、油清浄度の管理、保守管理性などを考慮したシステム設計・製作を行うこと。
- (c) 後述のような大型三次元震動台に要求される大振幅、高速度、高荷重を実現するため、加振機や三次元継ぎ手の設計・製作に当たって、油膜切れに伴う焼き付け対策やメンテナンスに対する十分な検討・対策を講じておくこと。
- (d) 油圧源の設計・製作に当たっては、要求仕様を満足し、かつ、経済性を考慮したものとする。さらに、複数の動的機器の並列運転に伴う不安定挙動対策に万全を期すること。
- (e) 油圧配管及び機器設計にあつては、油圧脈動を十分低減する設計、耐久性のある設計を心がけること。
- (f) 震動台運転に伴い発生する振動、騒音などを十分低減するシステム設計とすること。また、油圧源装置駆動用にディーゼル機関を用いるときは、その排気ガス対策に留意すること。
- (g) 大量の作動油を使用する施設であるという観点から、防火・消火対策に十分留意したシステム設計とすること。

### (3) 大型三次元震動実験施設の仕様

#### 大型三次元震動実験施設に求められる震動入力の特徴等

地震動の特性は加速度・速度・変位の各振幅、周期成分、継続時間等であり、過去に大きな災害を生じさせた地震動を再現できることが重要であることはいうまでもないが、加えて例えば兵庫県南部地震の震度7地域での強震動など観測デ

ータのないものについても、いろいろなモデル化の手法やシミュレーションを用いて推測し、それを目標波として現出を検討する必要がある。

つまり、神戸海洋気象台の地震動で兵庫県南部地震の地震動を代表させる場合が多いが、いわゆる激震地域では、これとは異なった波形である可能性があり、近い将来それが被害状況等から推定されるものと思われる。これは、この地震では継続時間が短いため、いわゆる増幅作用で地震動のエネルギーが著しく増加することはあまりないと思われるが、反射、屈折による集中のため、局所の地震動エネルギーが、現在考えられている入力地震動の数値を越すことが考えられるからである。

その場合、対象とするものが、

- (a) 基礎や地盤構造物などの実験を対象とした「基盤面での震動」なのか、
- (b) 上部構造物の実験を対象とした「地表面での震動」なのか、
- (c) 構造物内容物の挙動の実験を対象とした「構造物のある部位の振動」なのか、
- (d) あるいは構造物部材等の高速動的載荷実験を対象とした「大規模加力装置としての振動」なのか、

により現出する震動の特性がかなり異なることが予想される。もちろん現出できる入力の大きさと震動台の搭載重量は可能な限り大きい方が望ましいが、少なくとも(b)の「地表面での震動」が現出できることが第1条件であり、その入力性能をどの程度の搭載重量で可能か、そして付加的に(a)、(c)、(d)の項目を満足せしめるかということになる。

地震動の大きさを活断層に起因する直下型地震と海溝型地震に分類して考えると、

(a) 直下型地震では

水平動：最大加速度  $2000 \text{ cm/s}^2$ 、最大速度  $200 \text{ cm/s}$ 、最大変位  $100 \text{ cm}$

上下動：最大加速度  $1500 \text{ cm/s}^2$ 、最大速度  $100 \text{ cm/s}$ 、最大変位  $50 \text{ cm}$

(b) 海溝型地震では

水平動：最大加速度  $800 \text{ cm/s}^2$ 、最大速度  $100 \text{ cm/s}$ 、最大変位  $200 \text{ cm}$

上下動：上記の半分程度

が適切な要求性能となる。なお、地震断層は地表で大きな相対変位を生じるが、こうした相対変位は震動の変位とは異なるものであり、震動実験施設で再現する必要性は小さい。

また、構造物への影響の面から考えると、慣性力については加速度、破壊については速度、容器構造のスロッシングなどには変位が重要となるが、経済的、技術的にかなり困難である場合には、加速度より速度や変位の大きさの現出性を重視すべきと思われる。なぜならば、この震動実験施設の主要な目的が地盤や構造

物の終局状態を把握することに重要な役割があるからである。したがって、最大加速度については、最大搭載重量において、必ずしも最大の要求性能にならないこともやむを得ないと考えられる。

地震動の継続時間としては、1985年メキシコ地震ではメキシコ市において周期2秒の波による共振が数十回続いたこと、1968年の十勝沖地震では周期2.4秒の成分が卓越し、その継続時間は40秒以上などの結果から考えると、海溝型地震では少なくとも周期2～3秒で速度40～60cm/sの震動を40秒程度継続することが望まれる。また兵庫県南部地震では速度170cm/sの波は1～2波程度しか発生していないとされているが、内陸直下型地震では少なくとも速度170cm/sの震動を3～6波継続できることが望ましい。

さらに、試験体の条件または実験の目的によっては、回転動も加えることが望ましい場合があり、回転動の入力データについては今後検討する必要はあるが、震動実験施設への入力として三次元六自由度が必要だとする意見もある。

震動実験施設は地震動をできるだけ忠実に再現することが望ましいが、対費用効果、コントロール上の限界もある。特に非線形領域での試験の三次元コントロールは震動補正関数の評価が難しいなど、技術的に困難な問題が多いが、破壊に至るまでの挙動を正確に把握するには高精度の試験が必要であり、そのための制御法の開発が望まれる。制御に当たっての留意点は以下のようなだろう。

- (a) 重量物が高い位置に取り付く試験体では、震動台のピッチングに対する制御が重要になる。また、低減衰の試験体の共振試験の震動台制御も難しい項目のひとつである。
- (b) 水平二軸、上下の波の相互の位相関係は構造物の破壊の形態に大きく影響するので十分な精度で制御されること。
- (c) 震動台の動きを精度よく制御するためには、震動台の剛性、アクチュエータ及び油圧系を含むシステムの固有振動数を高くすべきであるが、ストロークの確保も重要なところから、加振性能とのバランスを配慮してできるだけ高くすることが望ましい。
- (d) 再現性については、必ずしも高精度を目指さず、平滑化応答のスペクトルにおける最大の齟齬が5%以下程度にする等の考え方もあるが、位相の再現性も考慮しつつ、制御精度を考えていくことが望まれる。
- (e) 構造物の部材応答など、いわゆるサブストラクチャーを震動台で行い、構造物全体の挙動はコンピュータシステムで構成するなど、より大規模構造物実験への拡張性のある付加施設についても検討しておくことが望ましい。

震動台寸法、最大搭載重量

震動台の搭載重量としては、縮小試験体を用いる場合には振幅に関する性能を緩和することができよう。しかし、今回の震災から、改めて実大構造物の実験研究の必要性を痛感させられたこと、そしてこの施設が日本あるいは世界の研究拠点として非常に重要性が高いこと等を考慮すると、できるだけスケール効果の問題がない、現実に近いデータが得られる実大試験体による検証実験を行うことが望ましい。

したがって、震動台寸法、最大搭載重量については、理想的には大きければ大きいほど良いが、これらを決定するに当たっては、まず、最も実験必要性が高く、かつ、最大の震動台寸法及び搭載重量を要するような試験対象の選定を行い、その上で、技術的実現性等を踏まえて最適かつ現実的な大きさを決めていくことが重要である。

その際、以下の点に配慮することが必要である。

- (a) 阪神・淡路大震災では、地盤及び各種の構造物に多大な被害が発生したが、これらのうち、ひとつの構造物としての被害規模をみれば、最も大きかったもののひとつとして鉄筋コンクリート造建物がある。
- (b) 鉄筋コンクリート造建物総数の約 9 割が、5 階建て以下の中低層建物である。
- (c) 阪神・淡路大震災の鉄筋コンクリート造建物被害は、中層建物に集中していた。
- (d) 4 階建て鉄筋コンクリート造建物の実大破壊実験結果は、全ての鉄筋コンクリート造建物の破壊解析の基礎となる。すなわち、4 層の構造物により、第 1 層、最上層の破壊とともに、中間層の破壊を代表できる。室内及び屋上施設、配管の損傷、挙動（転倒）なども同時に実験することは非常に意義のあることである。

以上の点を考慮すると、「中層実大鉄筋コンクリート造建物」が、最も実験必要性の高い試験対象のひとつであるといえる。具体的には、全ての鉄筋コンクリート造建物の基本パターンとなる、4 階建て、2 スパン × 3 スパンの実大試験体での震動実験が必要である。実験に用いる材料や建設工法等は実際の建物と同じとし、実際の建物と同等の結果を得ることができる実大モデルを考えることができる。したがって試験体としては、具体的に設計手法が変わらないと考えられる実大モデルが最低限必要であり、この重量は約 1,000 トンである。これに計測用架台等のスペース、重量を考慮すると、震動台寸法として 20 m × 15 m、最大搭載重量として 1,200 トン程度が必要となる。

一方、「地盤の液状化に関する研究」も重要であり、実地盤における地震時の液状化現象は、深さ 10 m 以浅で発生すると言われているが、飽和砂層の構築が



可能な深さ及び液状化現象を支配する深さは、約5 m程度であるとの有識者の意見を踏まえて、実験規模を設定することが必要である。また、地盤の液状化や側方流動の実験にあっては、構築する地盤の深さも重要な因子であるが、モデル化する地盤の長さも重要な因子として考慮すべきとされている。したがって、18 m × 5 m × 5 m（深さ）程度のせん断土槽が必要であり、最大搭載重量として1,200トン程度が必要となる。

#### 基本仕様

阪神・淡路大震災において特徴的な構造物の破壊機構の解明を行い、構造物破壊解析プログラムの開発を実施し、それらの成果を「地震災害時空間シミュレーション・システム」に活かすとともに、震動実験の主要課題に対応するための基盤となる「大型三次元震動実験施設」の基本的な仕様は、上記及びから以下のとおりとすることが適当である。

- ・震動台寸法 : 20 m × 15 m
- ・最大搭載重量 : 1,200 tonf
- ・最大加速度 : 水平 0.9 G (1,200 tonf 搭載時)  
鉛直 1.5 G (1,200 tonf 搭載時)
- ・最大速度 : 水平 200 cm/s(長辺方向)、100 cm/s(短辺方向)  
鉛直 70 cm/s
- ・最大変位 : 水平 ±1 m(長辺方向)、±0.5 m(短辺方向)  
鉛直 ±0.5 m
- ・許容転倒モーメント : 15,000 tonf・m 以上(鉛直加振を伴う時)

基本仕様の主な特徴として、震動台寸法、搭載重量もさることながら、大型アクチュエータの採用により、高速度、大変位を現出可能としたことが挙げられる。これらの基本仕様を満足する震動実験施設により、これまで実施できなかった実大構造物の破壊実験等様々な実験が可能となり、特に、相似則とそれに伴う地震動時間軸の変換をしなくてよい点が最大の利点となる。

#### 基本仕様決定のために選定した実験対象以外の主要な実験対象

以上のように、大型三次元震動実験施設の仕様のうち、震動台寸法、最大搭載重量については、最も実験必要性の高い対象のひとつと考えられる「中層実大鉄筋コンクリート造建物」及び「地盤の液状化に関する研究」を対象として設定することが適当とした。一方、上記のような基本的な仕様において、これら以外の実験対象について、どの程度の規模の実験が可能であるかについて検討を行っておくことも重要であるため、主な実験対象について、どの程度の実験が可能なかを検討した。実験対象は、一般都市と周辺部の災害とその拡大に大きな影響

を持つと考えられるものから選定すべきであり、 で選定した2つの実験対象以外の代表例を以下に列挙する。

(a) 鉄骨造建物の実験

中層実大鉄骨造建物の破壊実験は、構造体の重量が鉄筋コンクリート造建物より低減されるので、5階建て試験体が可能である。鉄骨造は、着工床面積からみると5階建て以下が90%以上を占め、中低層建物が圧倒的に多い。一方、高層ないしは超高層建物についても、理論を併用し、本実験を実大の部分模型の実験として行うなどの実験手法の工夫により、破壊機能の検証実験が可能であると考えられる。例えば、阪神・淡路大震災の際に芦屋浜高層建物の柱で発生した脆性破壊のような実験を想定すると、実物と同等の厚さの鉄骨材を用いて、柱・梁接合部を含む実大部分模型を対象とすることにより、実験を実施することができる。

(b) 木造住宅の実験

標準的な水田埋立地上に建設される2階建木造住宅を、家具・設備など及びガス・水道その他配管類を取り付けた状況で実験を行うことが必要である。通常の大さの木造住宅の実大実験は、地盤の影響を加味した実験を想定すると、少なくとも深さ2～3m程度の地盤を設置し、そこに実大木造住宅を建設した実験が不可欠であり、本震動実験施設ではこのような実験が可能である。

(c) 橋脚の実験

阪神・淡路大震災では、高架道路などの橋脚の被害が多発したが、被害原因の解明と現在進められている補強技術、特に落橋防止技術の検証のためには、実大モデルでの動的破壊及び相対変位のある実験が必要とされている。本震動実験施設では、実大橋脚に橋桁の重量を搭載したモデルにより、このような実験が可能である。また、必要に応じ、橋梁上の自動車走行実験を橋桁上に走行ベルトを設けることにより可能となる。具体的には2橋脚によって支持された桁構造とし、橋脚部にはコンクリート柱及び比較的少ないが既存の鋼製柱、桁はコンクリート桁及び鋼製桁とし、桁支承の脆性破壊を含めた実験、また免震システムの有効性を検証する試験が可能である。

(d) 液体貯槽の実験

市街地、住宅地内に設置される液化ガス、石油燃料貯槽などは、その内包するエネルギー量からいって、都市災害の拡大に寄与する可能性が、産業施設の中でもっとも高い。その例として、最近、都市ガス産業が展開しているLNG(液化天然ガス)のサテライト基地はその典型である。これらの貯槽では、貯槽自体の破壊現象や、貯槽とパイプやバルブ等の相互作用についての実験を行う

ことが必要である。本震動実験施設では、実大の貯槽に対する実験が可能である。

(e) 液状化、側方流動による構造物等の挙動に関する実験

高低差のある岸壁周辺にある構造物や斜面の近傍にある建物の基礎が地盤の水平流動により、破壊を生ずる例が阪神・淡路大震災で多発した。この現象は未解明な点が多いので、長さ18m、深さ5m程度の大型せん断土槽を用いて、実物大の確証実験を行う意義は大きい。また、地中に埋設される洞道の耐震性能に関する実験も、本震動実験施設により実大実験が可能である。

(f) 非液状化地盤と構造物の相互作用実験

非液状化地盤と構造物（特に基礎）との相互作用の現象を解明・検証するために、3m程度の土層と構造物を構築して実験することが、本震動実験施設では可能である。なお、現在、多くの計算方法が提案されているが、それらは検証がまだ十分に成されていない。

以上の課題は現状で、未知のことが多く、既存の振動台を用いるここ数年の研究だけでは十分に解決することはできない見通しで、大型三次元震動実験施設が必要である。また、以上により、で規定した仕様が各種の実験に対して十分適正であることが明らかになっているといえる。なお、ここでは、主要な実験対象について、実規模の実験を行うことを想定して、そのイメージの検討を行ったものである。

施設整備計画にあたっての留意点

以上のような大型三次元震動実験施設の整備計画においては、基本の設計思想に立ち返って十分な検討を行うことが必要である。

今回の震動実験施設は、今後20年は最低使われるものと考えられる。今後細部設計の実施に当たって、今後発生するであろう地震防災科学技術の多様な社会的、研究的要求に対する柔軟な検討や、この20年間の計算機、通信関係の進展を見込んだシステム設計が必要である。また、「地震災害時空間シミュレーション・システム」の今後の発展も念頭に置くことが必要である。

立地場所を選定するにあたっては、本施設の主要な実験対象が上記のように基本的に現地での建物や橋梁などの建造もしくは組み立てるものを前提としていることや、施設建設のコスト面、周辺への振動影響等を考慮すると相当の敷地面積が必要であること、地元の理解等に配慮して検討すべきであると考えられる。

周辺環境に及ぼす影響、今後長期にわたっての研究者・実験従事者の作業性の変化、及び海外からの派遣者に対し良好な環境を提供できるようにすべきであり、その永続的使用を確保するためにも、いわゆる「使いにくい」施設と受け止められることのないよう十分な配慮が必要である。

#### (4) 大型三次元震動実験施設の利用プロジェクト

##### 研究プロジェクトの推進

大型三次元震動実験施設を利用した研究プロジェクトは、その研究自身の規模が大きく、その成果が広く共有されるべきものと考えられることから、国内外の多くの研究組織・研究者による共同研究として実施されることが主体と考えられる。したがって、それぞれ、国立試験研究機関等の研究機関や大学等による研究プロジェクト（研究費用が準備されたプロジェクト）の組織化を推進するとともに、科学技術振興調整費や戦略的基礎研究推進事業などの競争的資金等を活用して、広く研究プロジェクトの準備展開を行うことが重要である。

##### 研究プロジェクトの優先度等

科学技術庁研究開発局に設置された「大型三次元震動台の利用に関する検討会」における予備的な評価も踏まえると、最も評価の高い利用プロジェクトとしては、以下のような課題が挙げられる。

- ・建物の動的破壊機構の解明
- ・大規模高架橋などの大地震に対する耐震性の実証
- ・液状化などの地盤破壊現象の解明と対策工法の検証
- ・液体貯槽の動的破壊機構・揺動による浮上現象等の解明

さらに、次に評価の高い課題としては、

- ・ライフライン等地中建造物の耐震性の向上
- ・港湾施設等土木建造物の破壊メカニズムと耐震性の向上
- ・劣化を経験した建造物の耐震安全性に関する検討
- ・重要施設の免震構造の地震時健全性の確認
- ・液体貯槽の免震構造に関する研究

などがあげられる。

しかしながら、これらはいくまでも現時点における暫定的な検討に基づくものであり、当面、実施すべき研究プロジェクトについては、考えられる主要テーマの具体化のために検討のグループを設け、大型の震動実験につながる一連の研究計画として、速やかに着手していくことが必要である。その上で、テーマの募集、特に国際共同研究については、準備期間を考え早急に、また、施設完成後の実験

実施への助言、また、その利用の順位についてなど、このための有識者（海外を含む）から成る常設の検討の場を設け、助言、決定などの運営に当たることが適当である。

[ 参 考 ]

8 研 第 6 6 号  
平成 8 年 3 月 2 9 日

航空・電子等技術審議会  
会長 佐田 登志夫 殿

科学技術庁長官  
中川 秀直

貴審議会に対し、下記の事項を諮問する。

### 記

「地震防災研究基盤の効果的な整備のあり方について」（諮問第 2 4 号）

#### （説明）

平成 7 年 1 月の阪神・淡路大震災は六千名を越える人命を奪うなど、我が国に多大な被害をもたらした。我が国は、地震による被害発生危険を常に抱えており、特に都市部を中心として地震防災対策を講じていくことが緊急の課題であり、それを支える科学技術の総合的な強化の必要性が高まっている。現在、各研究機関においても、それぞれ研究の充実強化、体制整備等が図られているが、今後、地震防災科学技術の一層の高度化を図り、多分野の研究者等の協力の下で総合的な推進を図っていくためには、関係研究機関相互の連携強化を図るとともに、共同利用実験施設等を中核とするような地震防災に関する研究拠点を設けて、地震防災科学技術の推進に力を注いでいくことが重要である。

このため、地震防災科学技術の研究開発を推進するための研究基盤を効果的に整備する方策を明確にする必要がある。

# 航空・電子等技術審議会の構成

## 1 . 航空・電子等技術審議会 委員

(平成9年9月現在)

会 長	佐 田 登志夫	豊田工業大学副学長
会長代理	赤 羽 信 久	(財)全日本地域研究交流協会理事長
	青 木 利 晴	日本電信電話(株)代表取締役副社長
	新 井 康 平	佐賀大学工学部知能情報システム学科学科長
	井 口 登美子	東京女子医科大学教授
	石 田 瑞 穂	科学技術庁防災科学技術研究所 総括地球科学技術研究官
	岡 田 恒 男	芝浦工業大学工学部教授
	加 藤 寛一郎	日本学術振興会理事
	菊 田 惺 志	東京大学工学部教授
	北 野 蓉 子	(社)日本婦人航空協会理事長
	黒 田 玲 子	東京大学教養学部教授
	小早川 真 也	三菱重工業(株)特別顧問
	小 林 繁 夫	東京大学名誉教授
	須 田 秀 明	住友化学工業(株)専務取締役
	瀬 高 信 雄	科学技術庁無機材質研究所顧問
	高 柳 誠 一	(株)東芝常任顧問
	竹 内 和 之	運輸省航空事故調査委員会委員長
	竹 内 謙 介	北海道大学低温科学研究所教授
	伊 達 宗 行	日本原子力研究所先端基礎研究センター長
	寺 田 雅 昭	国立がんセンター研究所長
	堂 山 昌 男	帝京科学大学工学部教授
	長 尾 真	京都大学大学院工学研究科科長
	中 川 龍 一	静岡理工科大学長
	松 野 太 郎	北海道大学大学院地球環境科学研究科教授
	吉 留 浩	千葉工業大学工業経営学科教授



## 2 . 地球科学技術部会の構成

(平成9年9月現在)

部 会 長	松 野 太 郎	北海道大学大学院地球環境科学研究科教授
部会長代理	山 形 俊 男	東京大学大学院理学系研究科教授
委 員	新 井 康 平	佐賀大学工学部知能情報システム学科学科長
	石 田 瑞 穂	科学技術庁防災科学技術研究所 総括地球科学技術研究官
	岡 田 恒 男	芝浦工業大学工学部教授
	竹 内 謙 介	北海道大学低温科学研究所教授
専 門 委 員	秋 元 肇	東京大学先端科学技術研究センター教授
	板 部 敏 和	通信総合研究所地球環境計測部光計測研究室長
	小 川 利 紘	東京大学大学院理学系研究科教授
	小 林 和 男	海洋科学技術センター研究顧問
	佐 々 朋 幸	森林総合研究所九州支所育林部長
	住 明 正	東京大学気候システム研究センター長
	竹 田 厚	アジア航測株式会社総合研究所顧問
	田 中 佐	宇宙開発事業団地球観測システム本部 地球観測データ解析研究センター長
	時 岡 達 志	気象庁気候・海洋気象部気候情報課長
	新 妻 信 明	静岡大学理学部教授
	花 輪 公 雄	東北大学大学院理学研究科教授
	菱 田 昌 孝	海洋科学技術センター海洋観測研究部長
	深 尾 昌 一 郎	京都大学超高層電波研究センター教授
	水 谷 仁	宇宙科学研究所教授
	安 岡 善 文	国立環境研究所地球環境研究センター 総括研究管理官

### 3 . 地震防災研究基盤分科会の構成

(平成9年9月現在)

主査	岡田 恒男	芝浦工業大学工学部教授
専門委員	雨村 博光	理化学研究所副理事長
	石田 勝彦	(財)電力中央研究所我孫子研究所部長(*2)
	伊藤 和明	日本放送協会解説委員
	稲富 隆昌	運輸省港湾技術研究所構造部長
	井野 盛夫	(財)静岡県防災情報研究所長
	入倉 孝次郎	京都大学防災研究所教授
	大谷 圭一	科学技術庁防災科学技術研究所防災総合研究部長
	小谷 俊介	東京大学大学院工学系研究科教授
	片山 恒雄	科学技術庁防災科学技術研究所長
	亀田 弘行	京都大学防災研究所教授
	佐藤 公雄	消防庁消防研究所研究企画官
	澤田 義博	名古屋大学工学部教授
	柴田 碧	東京大学名誉教授
	須田 忠義	動力炉・核燃料開発事業団副理事長
	遠山 幸三	鹿島建設(株)技術研究所長
	土岐 憲三	京都大学大学院工学研究科教授
	鳥井 弘之	日本経済新聞社論説委員
	廣井 脩	東京大学社会情報研究所教授
	藤田 勝久	大阪府立大学工学部教授
	松浦 祥次郎	日本原子力研究所副理事長
	室崎 益輝	神戸大学工学部教授
	山口 昇	兵庫県知事公室次長兼次席審議員(*2) (阪神・淡路大震災復興本部調整部次長兼次席審議員)
	山崎 裕	建設省建築研究所研究調整官
	吉田 隆至	前兵庫県知事公室次長兼次席審議員(*1)
	横山 功一	建設省土木研究所耐震技術研究センター長

(\*1) 平成8年5月から平成9年5月まで

(\*2) 平成9年5月から

#### 4 . 航空・電子等技術審議会 幹事

(平成9年9月現在)

防衛庁装備局管理課通信・電子システム室長	渡 辺 秀 明
防衛庁装備局航空機課長	新 保 雅 俊
科学技術庁科学技術政策局計画課長	坂 田 東 一
科学技術庁科学技術振興局研究振興課長	袴 着 実
科学技術庁科学技術振興局科学技術情報課長	大 塚 洋 一 郎
科学技術庁研究開発局企画課長	藤 野 達 夫
科学技術庁研究開発局総合研究課長	高 澤 修
科学技術庁研究開発局ライフサイエンス課長	藤 木 完 治
科学技術庁研究開発局航空宇宙開発課長	藤 田 明 博
科学技術庁研究開発局海洋地球課	丸 山 剛 司
文部省学術国際局学術課長	井 上 明 俊
厚生省大臣官房厚生科学課長	下 田 智 久
農林水産省農林水産技術会議事務局連絡調整課長	柘 植 茂 晃
通商産業省機械情報産業局航空機武器宇宙産業課長	桑 原 哲
通商産業省工業技術院総務部研究業務課長	兼 谷 明 男
運輸省運輸政策局技術安全課長	釣 谷 康
運輸省航空局技術部航空機安全課長	鶺 飼 博
郵政省通信政策局技術政策課長	寺 明

# ワーキンググループの設置について

## 1. 研究拠点ワーキンググループの設置について（平成8年7月29日）

### (1) 趣 旨

地震防災研究拠点の整備のあり方に関する具体的な事項について専門的な観点から検討するため、研究拠点ワーキンググループを設置する。

### (2) 検討事項

- ・ 既存研究機関との役割分担、連携方策
- ・ 研究拠点で推進すべき研究課題
- ・ 研究拠点に整備すべき研究施設
- ・ 研究拠点の運営に求められる事項
- ・ その他研究拠点の整備のあり方に関する重要事項

### (3) 構成員

主 査	亀 田 弘 行	京都大学防災研究所教授
	家 村 浩 和	京都大学大学院工学研究科教授
	伊 藤 和 明	日本放送協会解説委員
	上 部 達 生	運輸省港湾技術研究所地震防災研究室長
	大 谷 圭 一	科学技術庁防災科学技術研究所防災総合研究部長
	大 塚 久 哲	建設省土木研究所耐震研究室長
	大 町 達 夫	東京工業大学大学院総合理工学研究科教授
	久 保 哲 夫	名古屋工業大学工学部教授
	佐 藤 公 雄	自治省消防庁消防研究所研究企画官
	柴 田 勉	理化学研究所企画室長
	中 島 正 愛	京都大学防災研究所助教授
	中 埜 良 昭	東京大学生産技術研究所助教授
	西 山 功	建設省建築研究所国際研究協力官
	濱 田 政 則	早稲田大学理工学部教授
	林 春 男	京都大学防災研究所教授
	藤 田 隆 史	東京大学生産技術研究所教授
	宮 野 道 雄	大阪市立大学生活科学部助教授
	室 崎 益 輝	神戸大学工学部教授
	山 崎 文 雄	東京大学生産技術研究所助教授
	吉 田 隆 至	兵庫県知事公室次席審議員（阪神・淡路大震災復興本部調整部次長）

## 2. 対象地震ワーキンググループの設置について（平成8年7月29日）

### (1) 趣 旨

地震防災研究拠点において実施すべき研究、整備すべき施設（特に、大型三次元震動実験施設）の検討にあたり、どのようなタイプの地震、地震動等を対象とすべきかに関する具体的な事項について専門的な観点から検討するため、対象地震ワーキンググループを設置する。

### (2) 検討事項

- ・対象と考えるべき地震、地震動等（大型三次元震動実験施設の入力、性能等との関係を踏まえる）
- ・その他の重要事項

### (3) 構成員

主 査	小 谷 俊 介	東京大学大学院工学系研究科教授
	家 村 浩 和	京都大学大学院工学研究科教授
	石 丸 辰 治	日本大学理工学部教授
	伊 藤 和 明	日本放送協会解説委員
	入 倉 孝 次 郎	京都大学防災研究所教授
	大 川 出	建設省建築研究所応用地震学室長
	小 川 信 行	防災科学技術研究所耐震工学研究室長
	佐々木 陽 一	(財)原子力発電技術機構耐震技術センター部長
	佐 藤 忠 信	京都大学防災研究所教授
	澤 田 義 博	(財)電力中央研究所参事
	首 藤 伸 夫	東北大学工学部附属災害制御研究センター教授
	滝 澤 春 男	北海道大学工学部助教授
	田 村 敬 一	建設省土木研究所振動研究室長
	時 松 孝 次	東京工業大学工学部教授
	南 忠 夫	東京大学地震研究所教授
	山 崎 晴 雄	東京都立大学理学部助教授

### 3. 大型三次元震動実験施設ワーキンググループの設置について (平成8年10月30日)

#### (1) 趣 旨

地震防災研究拠点に整備すべき大型三次元震動実験施設の方式、仕様、利用、運営等に関する具体的な事項について専門的な観点から検討するため、大型三次元震動実験施設ワーキンググループを設置する。

#### (2) 検討事項

- ・ 大型三次元震動実験施設の方式、仕様
- ・ 大型三次元震動実験施設の利用、運営のあり方
- ・ その他大型三次元震動実験施設の整備に係る重要事項

#### (3) 構成員 (平成9年7月現在)

主 査	柴 田 碧	東京大学名誉教授
主査代理	藤 田 隆 史	東京大学生産技術研究所教授
	阿 部 清 治	日本原子力研究所東海研究所原子炉安全工学部次長
	新 谷 聖 法	動力炉・核燃料開発事業団企画部担当役
	家 村 浩 和	京都大学大学院工学研究科教授
	石 田 勝 彦	(財)電力中央研究所我孫子研究所部長
	石 原 研 而	東京理科大学理工学部教授
	上 部 達 生	運輸省港湾技術研究所地震防災研究室長
	大 井 謙 一	東京大学生産技術研究所助教授
	大 谷 圭 一	科学技術庁防災科学技術研究所防災総合研究部長
	佐々木 陽 一	(財)原子力発電技術機構耐震技術センター部長
	澤 田 義 博	名古屋大学工学部教授
	鈴 木 浩 平	東京都立大学工学部教授
	高 田 至 郎	神戸大学工学部教授
	田 村 敬 一	建設省土木研究所振動研究室長
	中 島 正 愛	京都大学防災研究所助教授
	緑 川 光 正	建設省建築研究所第三研究部構造研究室長
	目 黒 公 郎	東京大学生産技術研究所助教授

## 部会、分科会及びワーキンググループの調査審議経過

### 1 . 地球科学技術部会

第17回 地球科学技術部会 (平成8年 4月16日)

第20回 地球科学技術部会 (平成9年 9月 2日)

### 2 . 地震防災研究基盤分科会

第1回 地震防災研究基盤分科会 (平成8年 5月31日)

第2回 地震防災研究基盤分科会 (平成8年 6月20日)

第3回 地震防災研究基盤分科会 (平成8年 7月29日)

第4回 地震防災研究基盤分科会 (平成8年 9月24日)

第5回 地震防災研究基盤分科会 (平成8年10月30日)

第6回 地震防災研究基盤分科会 (平成9年 5月20日)

第7回 地震防災研究基盤分科会 (平成9年 7月 9日)

第8回 地震防災研究基盤分科会 (平成9年 7月24日)

### 3 . 研究拠点ワーキンググループ

第1回 研究拠点ワーキンググループ (平成8年 7月29日)

第2回 研究拠点ワーキンググループ (平成8年 8月14日)

第3回 研究拠点ワーキンググループ (平成8年 9月 2日)

### 4 . 対象地震ワーキンググループ

第1回 対象地震ワーキンググループ (平成8年 8月 1日)

第2回 対象地震ワーキンググループ (平成8年 8月13日)

第3回 対象地震ワーキンググループ (平成8年 8月26日)

### 5 . 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ

第1回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成8年11月29日)

第2回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成8年12月20日)

第3回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成9年 1月29日)

第4回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成9年 2月25日)

第 5 回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成 9 年 4 月 3 日)

第 6 回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成 9 年 5 月 9 日)

第 7 回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成 9 年 6 月 12 日)

第 8 回 大型三次元震動実験施設ワーキンググループ (平成 9 年 7 月 15 日)