

# 国内免震建物のデータベースの構築と分析



田中 佑治  
名古屋大学大学院



福和 伸夫  
同教授



飛田 潤  
同准教授



護 雅史  
同准教授

## 1 はじめに

1982年に初めての免震建物が評定を受けてから約30年が経過した。この間、国内外の被害地震の発生、建築関連法規の改正、経済状況の変化などにより、建築構造や耐震性に関する周辺環境が変化してきた。免震建物に関しては、1995年兵庫県南部地震と、2000年の建設省告示第2009号「免震建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める件」の施行の影響が大きい。兵庫県南部地震の甚大な被害により建築物の耐震性に対する関心が高まり、国内の免震建物の件数は1995年以降に急増した。また2000年の告示施行で大臣認定を必要としない検証ルートが新設されたことにより、免震建物の普及がいつそう進んだといえる。さらにその後いくつかの被害地震が発生し、また想定東海地震の震源域見直し、東南海地震・南海地震の長期評価や被害想定、活断層調査や地震動予測地図など、地震危険度に関する情報が広く公表されたことも、普及を後押ししたと考えられる。一方で、2000年以前のように全ての免震建物が日本建築センターで評定を受け、ビルディングレターで公開された期間と比べて、2000年以降は告示免震建物が増え、さらに複数の評価機関で評価が始まったことなどにより、国内の免震建物の全貌を把握することが困難になってきている。(社)日本免震構造協会などにより、これまでも免震建物の総数や免震装置の利用状況を調査した結果や、公表資料をもとにした報告<sup>1)</sup>が行われているが、構造、用途、規模などの概略の傾向分析が主であり、免震建物を取り巻く社会状況や地域特性、地震危険度や地盤状況などの情報も含めて現状を多面的に分析した例は少ない。また、免震建物の設計事例が増加するに従い、計画・構造設計に関する扱

も多様となっている。特に免震建物の耐震性能を大きく左右する固有周期や設計入力地震動の設定、免震層のクリアランスなどの傾向、さらにそれらの地域、用途による違いや構造設計機関・評定機関による姿勢の差などを把握しておくことは、将来の地震災害における免震建物の状況を予測する上で非常に重要である。

以上の背景から、本論では国内の免震建物を可能な限り網羅し、基本的な建物諸元に加えて耐震性能に関連する項目も整理したデータベースを構築するとともに、このデータベースを用いて国内の免震建物の現状を多面的に分析する。

## 2 免震建物のデータベース構築

国内免震建物データベースを、主に以下の4点のデータをもとに構築した。

- ①日本免震構造協会作成の免震建物の電子データ
- ②MENSIN(日本免震構造協会)に掲載された国内の免震建物一覧表の電子データ
- ③ビルディングレター((財)日本建築センター)に掲載された性能評定・性能評価シート
- ④構造方法等の認定に係る帳簿<sup>2)</sup>(国土交通省がウェブで公表)

上記の各資料に含まれる件数やデータ項目は異なっており、各項目の記載内容や表記(例えば、建物用途の分類や免震部材の名称など)も統一されていない。各資料は、以下の特徴を有している。

①は約2,500件の免震建物を含む電子データである。件名・所在地・用途・評定年などは8割以上が入力されているが、性能に関わる固有周期・クリアランスなどの記載は全体の1/4~1/5程度にとどまる。②は1,500件強のデータで、①に比べて件数は

絞られているが、ほぼ全ての項目が入力されている。ただし耐震性能に関わる項目は含まれていない。③は個々の建物に関する最も詳細な資料であり、必要とする項目をほぼ全て網羅しているが、印刷物のため電子データ化する必要があった。また2000年以降は、日本建築センター以外で評定を受けた建物が入力されていない場合がある(③をベースとして作成された②も同様)。④は国土交通省が告示以降に認定した全ての建物とその性能評価を行った機関が記載されている。したがって、免震建物だけでなく高層建物なども含まれており、記載項目は限定されているため、リストのみから免震建物を区別することは困難である。

以上の資料から、本論のデータベースを以下のように構築した。まず①のうち件名・建築場所・認定年が記載されている2,223件を用いて、3節で全体的な状況分析を行った。これを本論では「全体データ」と呼ぶ。一方、4節以降での詳細な考察のためには、性能に関わる項目が必要である。そこで電子化されている②を元にして、③と対応付けて各物件の詳細な項目を追加し、さらに④を用いて告示以降の評価機関の情報を加えた。また各項目の記載内容について、表記を統一した。このデータベースを「詳細データ」と呼ぶ。ここには1,601件が含まれる。これらは、『MENSIN』のNo.67(2010.2)までに掲載された国内の免震建物一覧表、及び、『ビルディングレター』のNo.531(2010.3.)までの性能評定・性能評価シートに対応し、いずれも評定を受けた物件である。告示免震は含まれていない。またデータの公開は遅れる傾向にあり、最近の2008・2009年のデータは件数が少なくなっている。

詳細な建築場所を特定できた物件については緯度・経度データも入力しており、GISやGoogle Earth<sup>4)</sup>などを用いて、特定の建物の概要や建物分布などを表示・分析できる環境を整えた。これにより、地震動、地盤あるいは都市、社会などの地理情報と合わせて傾向を分析することが可能になる。4.5項では、この情報を用いて地盤の卓越周期と免震建物の固有周期の関係を考察している。

### 3 国内免震建物の全体的な分析

前節で述べた「全体データ」2,223件を対象として、免震建物の全体的な傾向を分析する。このうち約8割が大臣認定を受けた免震建物、約1割が告示免震、残りは特定のできない物件である。

#### 3.1 免震建物件数の推移

免震建物の件数の推移を図1に示す。初めて認定された1982年から1994年までは、毎年数件～10数件で明瞭な増加は見られないが、兵庫県南部地震の影響で1995年から1996年にかけて急増している。その後やや件数を減らして横ばい状態となるが、2005年以降は再び件数が増えている。なお、図中には詳細データも表示しており、全体データに対する差は特に最近多くなっていることが分かる。

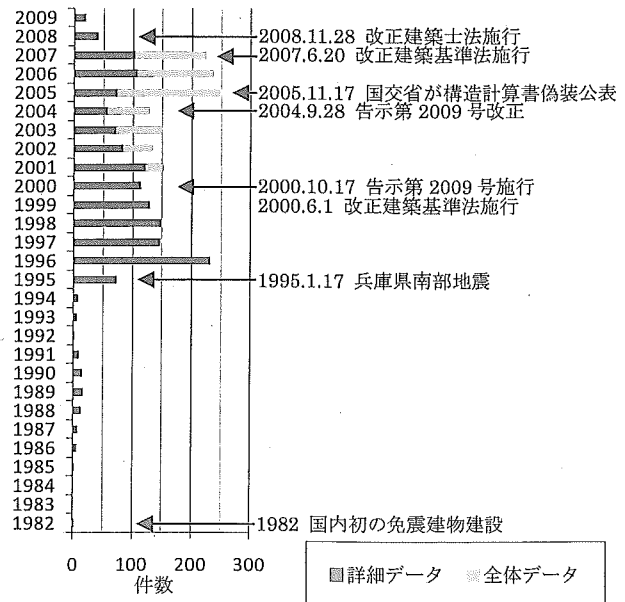


図1 国内免震建物件数の推移

#### 3.2 地域分布

免震建物の都道府県別の件数分布を図2に示す。宮城県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、静岡県、愛知県、大阪府、兵庫県などに多く、主に3大都市圏に集中している。図3に、免震建物数の全国割合を超高層建物数<sup>5)</sup>、人口、県内総生産<sup>6)</sup>の全国割合と比較して示す。人口と県内総生産の分布はほぼ類似の傾向を示すが、東京都では人口以上に県内総生産が集中している。免震建物の分布は県内総生産に類似した傾向を示しており、地域の経済活動に関連していることが分かる。一方、宮城県、東京都、静岡県においては免震建物の割合がそれと比べ大きく、宮城県沖地震や、東海地震に対する意識の高さ

が関係していると考えられる。超高層建物は、東京都、大阪府などの大都市に特に集中している。主要な都道府県について、免震建物件数の年代推移を図4に示す。関東や静岡県では1995年以前から最近まで常に建設されているのに対し、兵庫県では1995～2000年に特に集中して最近では減少している。愛知県、三重県、和歌山県、高知県などでは2004年以降の件数が多くなっており、東海地震の震源域見直しや、東南海・南海地震に対する被害想定結果の公表などによる影響が表れていると考えられる。

### 3.3 用途

免震建物の用途の割合を図5に示す。最も多い共同住宅が半数弱、次いで事務所、病院、庁舎の順で全体の約8割となる。図6に、用途ごとの地域分布を、人口、県内総生産、超高層建築物分布と共に示す。免震の共同住宅と事務所は7～8割が三大都市圏に集中しており、超高層建物の傾向に近い。病院

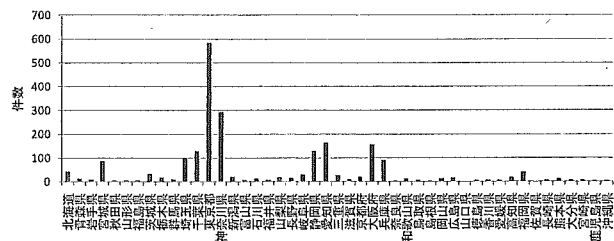


図2 免震建物の都道府県別件数

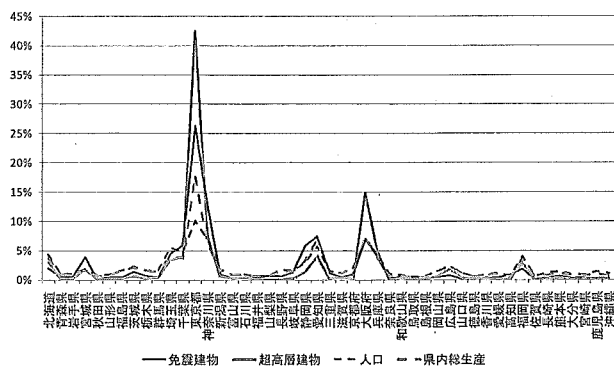


図3 免震建物と超高層建物、人口等の都道府県分布の比較

は三大都市圏が約5割で、人口分布に近いことから、災害時に機能維持を必要とする病院は全国的に免震化の関心が高いことが分かる。一方、庁舎は特に中京圏の割合が高く、東海・東南海地震などに対する自治体の意識の高さを反映していると考えられる。

### 3.4 規模

本項の検討では詳細データを用い、さらに2000年以前に日本建築センター特別委員会で評定を受けた高層免震等の23件を加えている。軒高の推移を図7に示す。図から免震建物の高さは増加傾向にあり、90年代後半から軒高60mを越える免震建物が現れ、2000年以降はさらに増加して、近年では100mを越える免震建物も多い。軒高が60mを越える高層免震建物のほとんどが共同住宅と事務所であるが、そのうち事務所の割合は90年代後半から2000年代前半に多く、最近ではほとんどが共同住宅である。

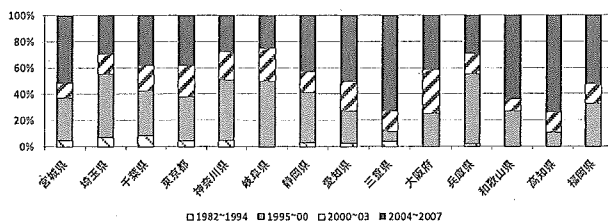


図4 主要都道府県別件数の推移

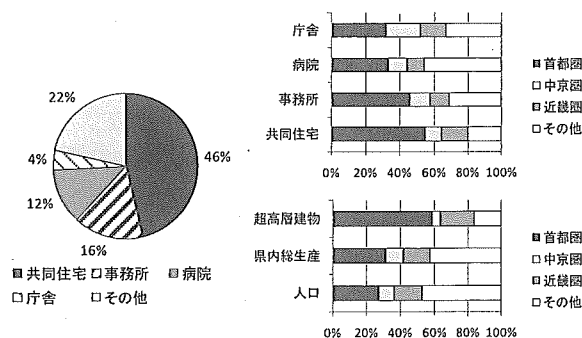


図5 用途の割合

図6 各用途の地域分布の比較

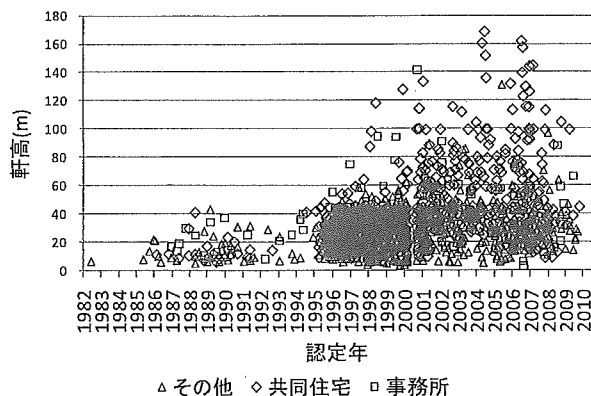


図7 軒高の推移

#### 4 国内免震建物の基本性能に関する分析

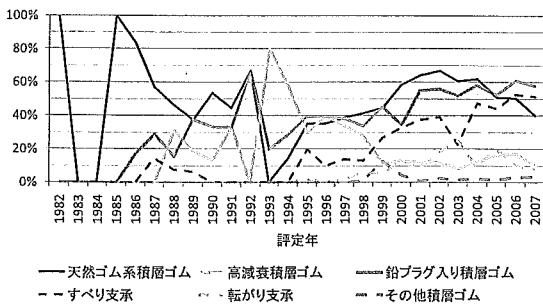
免震建物の基本性能に関連する免震部材の種類、採入力地震動、クリアランス、一次固有周期などについて、それらの傾向や変遷、構造設計機関や評価機関との関係について考察する。4節の検討では詳細データ1,601件を用いるが、2008～2009年のデータが十分ではないため、2007年までを考察の対象としたこと、2005年以降は全体データと詳細データの件数の差が大きいことなどに注意が必要である。

##### 4.1 免震部材

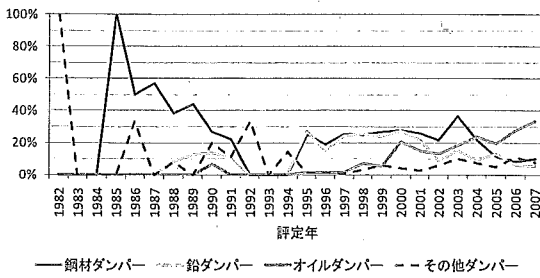
アイソレータ、ダンパーの使用割合の推移を、それぞれ図8に示す。アイソレータは、90年代後半には天然ゴム系積層ゴム、高減衰積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴムの使用割合がほぼ同様であった。その後、天然ゴム系積層ゴムと鉛プラグ入り積層ゴムが若干増加して50%程度になり、高減衰積層ゴムの使用は減ってきている。また、すべり支承は90年代後半から増加し、近年では50%程度となっている。ダンパーは鋼材ダンパー、鉛ダンパーが90年代後半には多く使われていたが、最近では減少傾向にあり、逆にオイルダンパーの使用割合が増加している。

##### 4.2 設計用入力地震動

サイト波(レベル2)の採用状況の推移を図9に示す。ここでのサイト波はBCJ波(レベル2)を含み、告示波は含まない。90年代後半から2000年にかけてサイト波の採用割合は年々増加し、ピークの1999



(a) アイソレータ



(b) ダンパー

図8 免震部材の採用状況の推移

年には、ほぼ全ての物件でサイト波が使われている。その後、2000年から2005年にかけて減少しており、告示波が使用された影響と考えられる。近年は、再び増える傾向も見られる。

次に、地域ごとのサイト波の採用状況に着目すると、2000年以降の様子が地域ごとに異なることが分かる。首都圏、近畿圏では2000年以降で急激に減少し、2004年から2005年まで大きく落ち込むのに対し、中京圏では2000年以降一時減少はするものの、その後も約半数の物件でサイト波が採用されている。これは、中京圏でこの時期に東海・東南海地震への懸念が高まったこと、愛知県設計用入力地震動研究協議会により種々のサイト波が作成されたことなどが関係していると考えられる。

##### 4.3 クリアランス

###### 4.3.1 クリアランスの全般的な分析

免震層の水平クリアランスの推移を図10に示す。(a)全体の図から、50cm未満の物件はほとんどなくなり、50～60cmと60～70cmにほぼ集中しており、年を追って60cm以上の物件が増加傾向にある。70cm以上を確保する例はあまり多くなく、増加傾向も見られない。(b)～(d)の地域別クリアランスの推移を見ると、首都圏では以前から件数が多いことから、全体の傾向と似ており、年々60cm以上の割

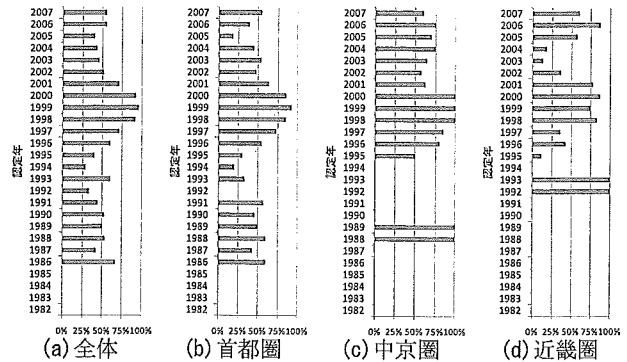


図9 サイト波(レベル2)の採用状況の推移

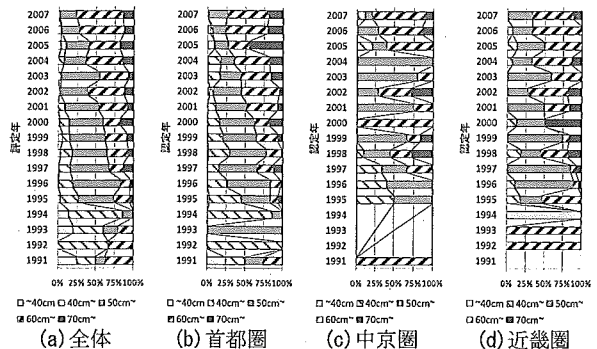


図10 確保されたクリアランスの推移

合が増加している。また90年代後半において50cm未満の割合が多い。中京圏、近畿圏では件数が少ないために変動が大きい、全体傾向に地域による大きな差は見られない。

### 4.3.2 用途とクリアランス

用途別のクリアランスを図11に示す。これから、用途によって確保されるクリアランスの大きさが大きく異なることが分かる。病院、庁舎においては、60cm以上のクリアランスを確保した物件が全体の6～7割以上を占めるのに対して、共同住宅、事務所では全体の4割に満たない。用途別クリアランスの割合の推移を図12に示す。病院、庁舎では、90年代後半から60cm以上が7～8割で、クリアランスは比較的大きめに確保されている。一方、共同住宅や事務所では、90年代後半ではクリアランスが60cm未満の物件が大多数を占め、50cm未満の物件も多かったが、近年は共同住宅に関しては60cm以上確保した物件がほとんどを占めるようになってきている。

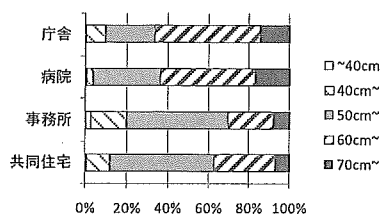


図11 用途別クリアランスの状況

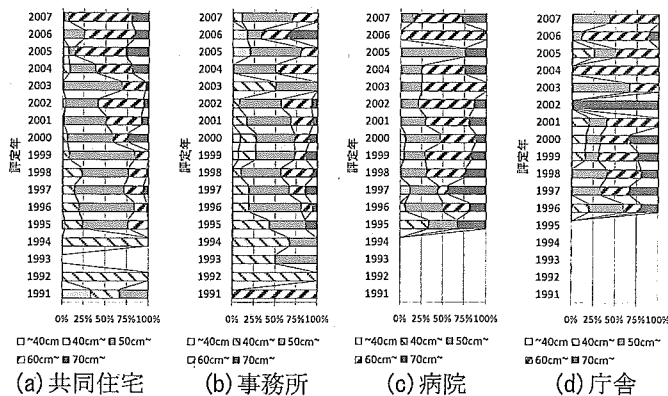


図12 用途別クリアランス確保状況の推移

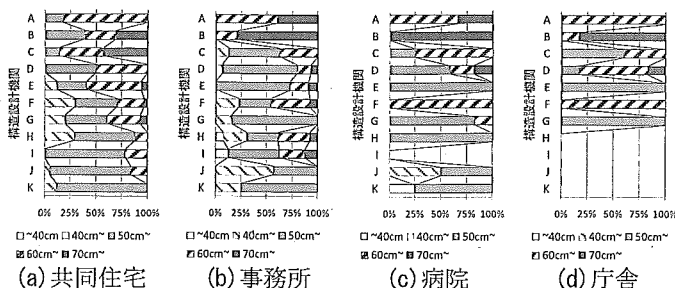


図14 各構造設計機関における用途別クリアランスの割合

### 4.3.3 構造設計機関とクリアランス

構造設計機関別の建物用途割合と、クリアランスの状況を図13に示す。図に記載したA～Kは件数の多い上位11社であり、クリアランス60cm以上の割合の順で表示した。これより、クリアランスを60cm以上に大きめに確保する傾向のある機関は、病院や庁舎の設計を多く手掛けていることが分かり、用途の影響を強く受けていると言える。また建物用途の割合についてみると、病院、庁舎、共同住宅は機関により異なるが、事務所はほとんど変わらない。次に、図14に設計機関ごとに用途別クリアランスを比較する。共同住宅は図13のクリアランスの傾向と類似しているのに対し、事務所のクリアランスは設計機関により大きく異なり、クリアランスを大きく確保している2社は全ての建物について60cm以上であるのに対し、その他機関では30%から40%程度となり、60cm以上の建物が全くない機関もある。

### 4.4 一次固有周期

図15に、レベル2地震動に対する一次固有周期の割合を示す。約半数が3～4秒で、ほとんど全てが2～5秒の範囲となっている。深部地盤の卓越周期分布<sup>8)</sup>と免震建物の分布を重ねた図を、首都圏、中京圏、関西圏について図16に示す。免震建物のマークの色は固有周期を表し、背景地図の深部地盤卓越周期と同じ色としている。地盤の1次卓越周期は関

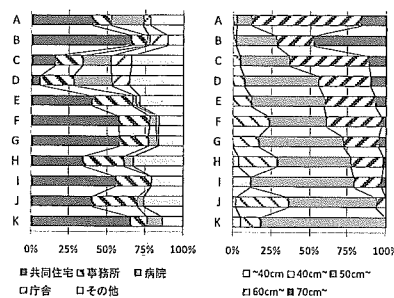


図13 構造設計機関別用途とクリアランスの関係

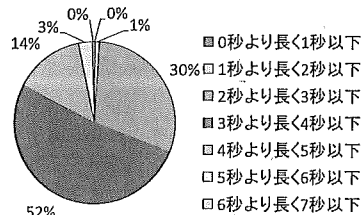


図15 一次固有周期(レベル2)ごとの該当件数割合

東平野では5秒以上、濃尾平野では2～4秒、大阪平野では2～5秒以上に分布している。特に中京圏、関西圏では免震建物の固有周期が地盤の1次卓越周期に近接している建物が多いことが分かる。首都圏では地震基盤が深いため、免震建物の固有周期より地盤の1次卓越周期がはるかに長い、高次の卓越周期の影響を受ける可能性があるため注意が必要である。このように、免震建物が多く分布している大規模堆積平野では、免震建物にとって不利な入力になる可能性も高いことが分かる。

## 5 まとめ

本論では、免震建物に関する複数の資料に基づいて、国内の免震建物を極力網羅したデータベースを構築するとともに、免震建物の現状分析を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 国内免震建物は1995年兵庫県南部地震の影響で急増し、2000年の告示以降はさらに普及している。分布は3大都市圏に多く、近い将来に大地震の発生が懸念される地域にも増えつつある。
- 2) 用途は共同住宅、事務所が多く、大都市圏に集中している。一方、病院は全国的にほぼ人口の比率で分布しており、庁舎は中京圏で相対的に多い。高さ・規模の大きい建物も増加している。
- 3) サイト波の使用は、90年代後半にはほぼ100%まで増加したが、2000年以降は減少傾向である。ただし、東海地域では比較的多い。
- 4) クリアランスについては、50cm以下の建物は減っており、全体として50～70cmに集中している。ただし、建物用途や構造設計者(機関)によっても傾向が異なる。

- 5) 一次固有周期(レベル2)はほとんどが2～5秒であり、中京圏、近畿圏では深部地盤の卓越周期と近接した建物が多い。
- 6) 建築場所の緯度経度を個別に求め、データベースをGISなどで利用できるようにした。またGoogle Earthを用いた情報表示システムを構築し、地震動予測地図や地盤状況などとの関係を地図上で確認・分析できる環境を整えた。

以上、本論で構築したデータベースは、現在の国内免震建物の状況を可能な限り網羅したものであり、将来の大規模地震災害における既存の免震建物の状況を予測し、また将来の設計のための資料として有効であると考えられる。

## 謝辞

本論で用いた免震建物データの提供など、データベース構築に御協力いただいた日本免震構造協会の可見長英氏、増田陽子氏、(財)日本建築センターの大塚紀明氏、小松亜紀子氏に深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 中村義嗣, 安田高明, 森田慶子, 高山肇夫: 性能評定シートに基づいた免震建物の特性分析, 日本建築学会九州支部研究報告, 第38号, 1999年3月
- 2) 大宮幸, 寺本隆幸: 免震建物の調査研究:公表されたデータに基づく免震建物の傾向把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2006年9月
- 3) 国土交通省: 構造方法等の認定に係る帳簿, <http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/register.html>
- 4) Google: Google Earth, <http://www.google.com/earth/index.html>
- 5) 日本建築学会構造委員長長期建物地震対応ワーキンググループ: 長期地震動対策に関する公開研究会, 2010年3月5日
- 6) 総務省統計局・政策統括官・統計研修所: 日本の統計, <http://www.stat.go.jp/data/nihon/index.htm>
- 7) 福和伸夫, 久保哲夫, 飯吉勝巳, 大西稔, 佐藤俊明: 愛知県名古屋を対象とした設計用地震動の策定 —その1 全体計画概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, pp.81-82, 2001年9月
- 8) 中央防災会議「東南海、南海地震等に関する専門調査会」: 長期地震動の卓越周期と深部地盤の固有周期, 2008年12月, pp.57

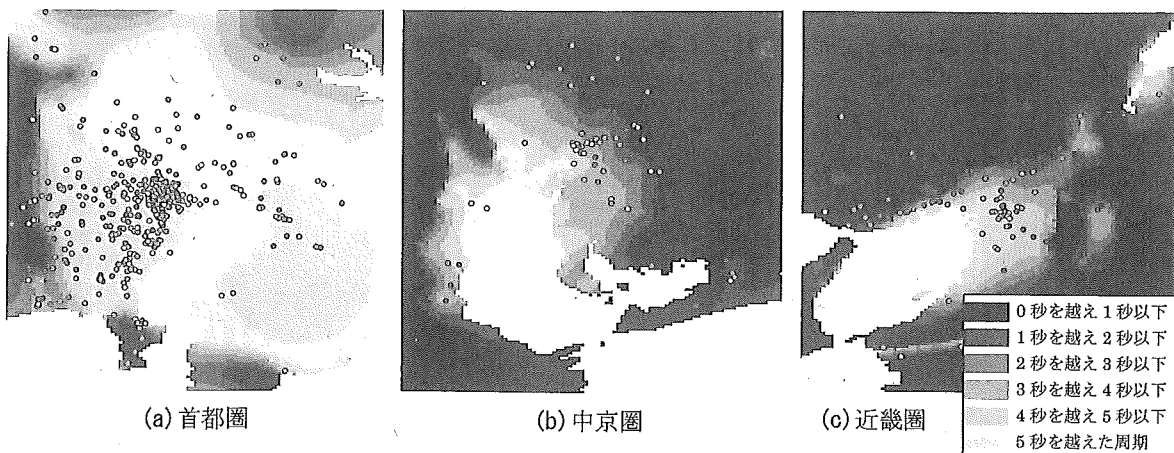


図16 地盤の卓越周期分布と免震建物の分布(内閣府デジタルデータから作成)