

# 大都市圏強震動総合観測ネットワークシステムに基づく 強震動の三要素と地盤特性に関する研究

名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻博士課程前期課程 2 年  
構造設計工学講座福和研究室 細萱 英也

## 1. はじめに

合理的な耐震設計や地震防災対策のためには強震動の特性を適切に把握することが重要である。構造物に影響を与える強震動の特性を、単純かつ正確に把握することができれば、耐震設計や地震防災対策にとって、大変有益なものとなる。しかし、複雑な強震動の特性を正確に把握し、その特性を簡単な指標で表現することは非常に難しい。強震動の特性を表す指標は、強震動の影響を受ける構造物によって変わるものであり、ある単一の量で地震動の強さを代表させることは不可能である。強震動が構造物に与える被害に着目した場合、強震動の三要素が大切である。強震動の三要素とは強さ、卓越振動数と継続時間である。強震動の強さ指標には、最大加速度、最大速度、計測震度と SI 値などがある。計測震度と SI 値はそれぞれ戸建住宅やライフラインの地震被害と対応がよい。強震動の最大加速度は構造物にくわわる力（慣性力）を表す指標であり、強震動の最大速度は地震動の持つエネルギーの目安となる指標である。強震動の大きさを表す強さ指標が構造物の地震被害を考える上で大切であることは自明である。

強震動の卓越振動数も、強震動が構造物に与える被害に大きく影響を与える。構造物の固有振動数と強震動が多く持つ振動数成分と一致した場合、地震動のエネルギー入力が大きく、構造物の地震応答は大変大きなものとなる。さらに、強震動の継続時間も、強震動

が構造物に与える被害に大きな影響を与える。強震動の継続時間が長く、強震動の強さがあまり大きくない場合、振幅の繰り返しによって構造物に損傷が蓄積したり、減衰の低い建物が共振した場合には大きな地震応答が生じる場合がある。さらに、構造物のエネルギー吸収能力を上回る入力を受ける可能性がある。

以上のように、地震による構造物の被害を考えた場合、強震動を三要素によって整理することが大切である。兵庫県南部地震以降、各機関で強震観測記録の充実が図られた。これらのシステムをネットワーク化(大都市圏強震総合観測ネットワークシステム)することにより、強震動記録の集積、データベース化が可能となり、様々な地震の強震動波形記録を用いて、地震動について検討出来る環境が整いつつある。そこで本論では、東海地域における高密度の強震観測記録の活用を可能とするネットワークシステムを構築し、それによって得られた強震記録を用い、地震動の三要素（強さ・卓越周期・継続時間）と地盤特性との関係について検討する。地震発生時に様々な地点での地震動の三要素を将来推定するために必要な、建築物の設計や防災に活用できる知見を得ることを目的とする。

## 2. 大都市圏強震動総合観測ネットワークシステム

兵庫県南部地震（1995）以降、防災科学技術研究所が地震研究の目的で整備された K-NET、災害発生時の初動体制を整える目的で整備された気象庁の計測震度計網や自治体と消防庁による震度情報ネットワークシステムなど、各種機関によって、地震動のより高密度な観測を目指して、強震観測網が全国的に急速に展開された。現在では全国で 5000 を越える強震計が設置されている。大都市圏のある地域では既存観測装置の設置台数は、数の上ではすでに数 km 間隔程度の高密

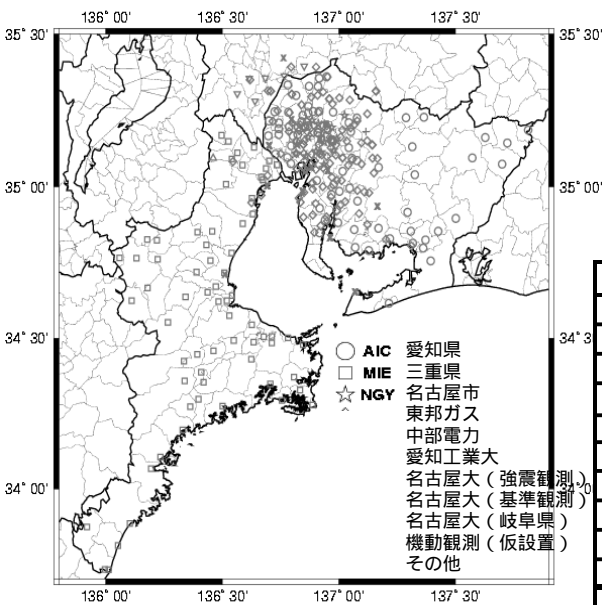


図 1 強震観測地点の分布

表 1 波形データ収集対象機関

記号	名称	観測地点数	地震計設置数	備考
AIC	愛知県	74	74	計測震度計
MIE	三重県	68	68	計測震度計
NGY	名古屋市	16	18	地震被害想定システム、地中2(工学基盤)
THG	東邦ガス	10	10	既設SIセンサ近傍に強震計(SI機能付)併設
CEP	中部電力	2	6	地中4
AIT	愛知工業大学	1	5	地中2(岩盤1)
NUE	名古屋大学強震観測	3	40	地表14、地中5(工学基盤1)、8建物
NUS	名古屋大学基準観測	4	4	岩盤上の微小地震観測点に強震計併設
NUG	名古屋大学岐阜県観測点	6	6	既設計測震度計近傍に強震計併設
NUM	機動強震動観測	10	10	名古屋市内・岐阜県内の測線に仮設置
合計地点数		194	241	
参考	K-net	61	61	東海3県(愛知・岐阜・三重)

度なものになっている。しかしながら、これらの強震観測網は、個々の観測機関が様々な目的のために整備しているため、強震計設置状況や強震動計測内容は異なっており、強震動記録のフォーマットも様々である。また、設置や維持管理に十分な注意が払われていない場合もある。さらには、波形データが記録・保存されない場合もあるため、震度情報のみが使用されて、多くの貴重な強震動データが消失している。大都市圏強震動総合観測ネットワークシステムは、これらの既存のシステムによって観測された地震動波形データをオンライン化・ネットワーク化によって自動で収集・整理し、フォーマットを統一し、さらには一般に公開し、研究者・実務者で共有するデータベースを整備する全国的な試みである。中京圏での大都市圏強震動総合観測ネットワークシステムは他の都市圏のネットワークシステムと異なり、ライフライン企業など多くの機関の強震波形データを収集している。収集される強震動波形の収集対象機関と観測地点数を表 1 に、観測地点分布を図 1 に示す。東海 3 県に約 200 地点、愛知・岐阜にまたがる濃尾平野で約 80 地点、名古屋市内で約 50 地点である。岐阜県については、波形データの抽出が不可能な計測震度計を自治体が使用しているため、岐阜県南部の濃尾平野以外では強震動波形計測地点はない。

### 3. 本論で検討に用いた強震動記録

本論では、上記のネットワークシステムによって自動収集された強震動波形データに著者らが手作業で収集した強震動波形データを合わせて用い検討を行った。主要な検討対象とした 6 地震の諸元を図 2 に示す。

強震動観測点における地盤種別は、国土数値情報<sup>1)</sup>

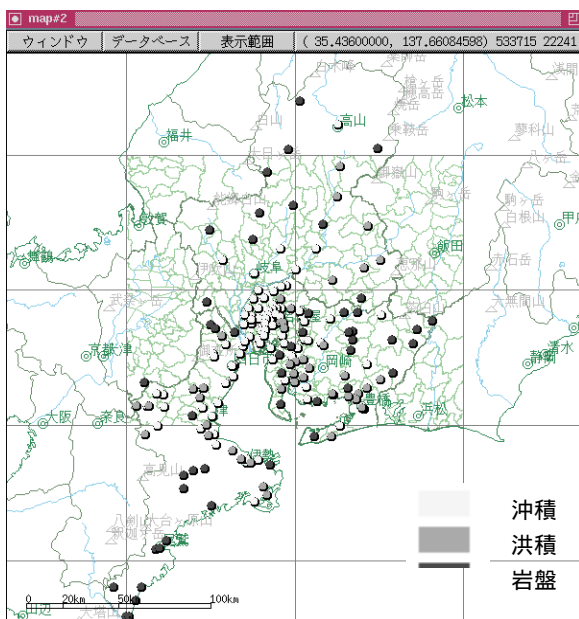


図 2 地盤種別の分布

および、地形図から表層地質の地質年代を読み取り、沖積・洪積・第 3 紀以前(岩盤)の 3 種類に分類した(図 3)。

### 4. 地震動の強さ指標

2000/10/31 の地震動の最大加速度・最大速度と計測震度・SI 値との関係を図 4、5 に示す。計測震度は最大加速度と最大速度の相乗平均と関係が強く、SI 値は最大速度とほぼ同じ指標であることが分かった。また、最大加速度、最大速度の距離減衰特性に地盤種別に違いによる、明確な違いは見られなかった。

### 5. 地震動の卓越振動数

#### 5.1 等価卓越振動数

最大加速度  $A_{max}$ 、最大速度  $V_{max}$  から加速度の等価卓越振動数を  $A_{max} / V_{max} / 2$  により簡易的に評価した。 $A_{max}$  は主要動から抽出し、 $V_{max}$  は  $A_{max}$  の発生時刻の前後 2 秒以内から求めた。また、最大速度  $V_{max}$ 、最大変位  $D_{max}$  から速度の等価卓越振動数を  $V_{max} / D_{max} / 2$  により簡易的に評価した。 $V_{max}$  は主要動から抽出し、 $D_{max}$  は  $V_{max}$  の発生時刻の前後 2 秒以内から求めた。これらの等価卓越振動数と加速度、および速度フーリエスペクトルの卓越振動数の比較を行った。ここで用いた加速度フーリエスペクトルの卓越振動数は、0.1Hz のパーセンウインドウをかけたスペクトルの 10Hz までの最大となる振動数を求めたものである。

#### 5.2 等価卓越振動数に関する検討

6 地震すべての、地震動の加速度と速度における等価卓越振動数と、フーリエスペクトルの卓越振動数の

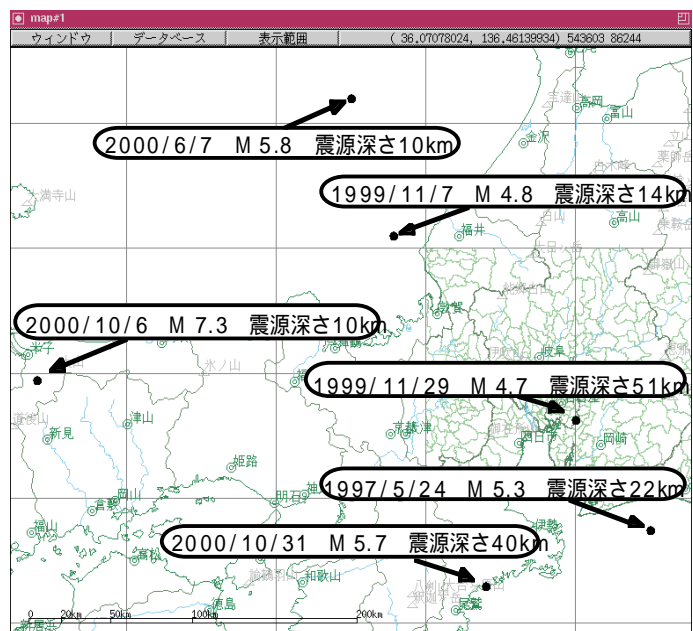


図 3 本論で検討に用いる地震の属性

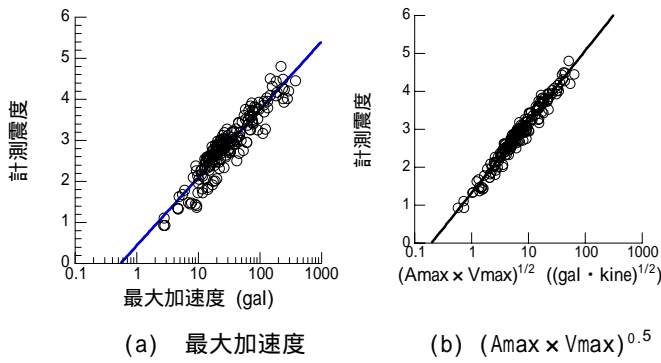


図4 2000/10/31の地震の計測震度との関係

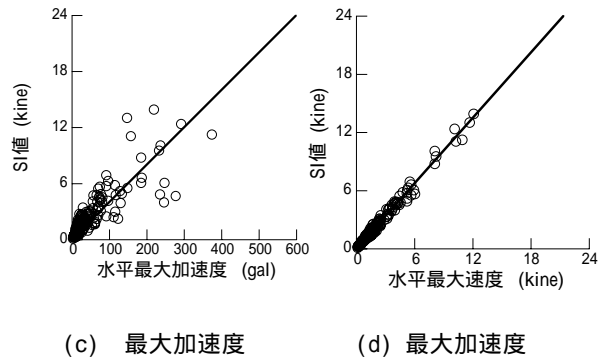
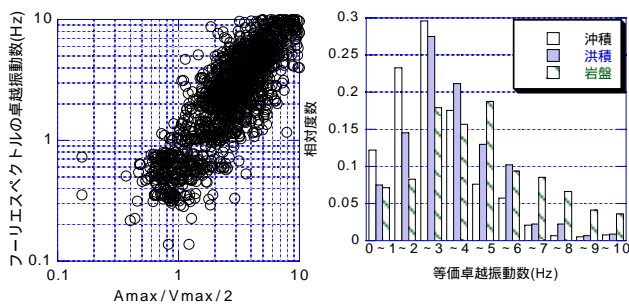
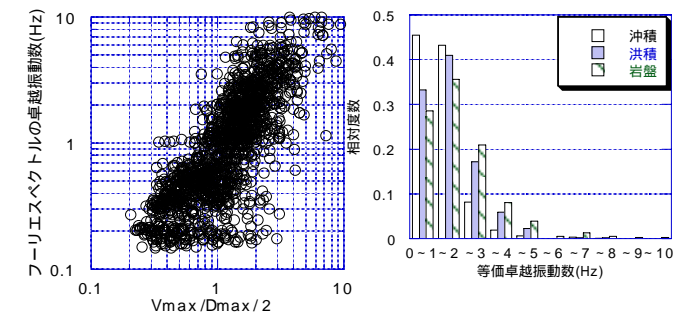


図5 2000/10/31の地震のSI値との関係



(a)フーリエスペクトルとの対応 (b)地盤種別毎の分布



(c)フーリエスペクトルとの対応 (d)地盤種別毎の分布

図6 加速度の等価卓越振動数

図7 速度の等価卓越振動数

散布図を図 6(a),7(a)に示す。また、地盤種別ごとの等価卓越振動数の相対度数分布を図 6(b),7(b)に示す。図 6(a),7(a)より、加速度・速度ともに、等価卓越振動数と加速度フーリエスペクトルの卓越振動数は対応が認められた。等価卓越振動数は強震動の卓越振動数を表わす簡便な指標として、加速度・速度ともに有効であることが分かった。図 6(b),7(b)から、表層地盤の地質年代が新しければ、表層地盤は軟弱であり、地震動の等価卓越振動数は低周波数側に、表層地盤の地質年代が古ければ、表層地盤は硬質であり、地震動の等価卓越振動数は高周波数側に分布する傾向があることが分かる。また、図 6(b),7(b)より、速度の等価卓越振動数は、加速度の等価卓越振動数よりも低い周波数を持つことが分かる。

## 6. 地震動の最大値と継続時間

### 6.1 継続時間の定義

地震動の波形は一般に図 10 に示すような振幅の時間変化を示す。振動が始まってから次第に振幅が増大し、最大振幅が生じた後、再び振幅は次第に減少していく。ただし、振幅が最大値に達する前および、達した後において、必ずしも単調に増加・減少するわけではない。一般には、一度小さくなった後再び大きな

るといったことを繰り返しながら、増加もしくは減少する場合が多い。

地震動が構造物に与える影響を検討する場合、ある一定以上の振幅がどの程度の時間継続するかが重要である。また、本論で検討に使用する強震動記録の収録時間が十分に長くない。そのため、本論では、包絡形の最大振幅を基準とし、その 50%の振幅が最初に生じる時刻を  $t_1$  (秒)、最後に生じる時刻を  $t_2$  (秒) として、継続時間を  $(t_2 - t_1)$  秒と定義した。

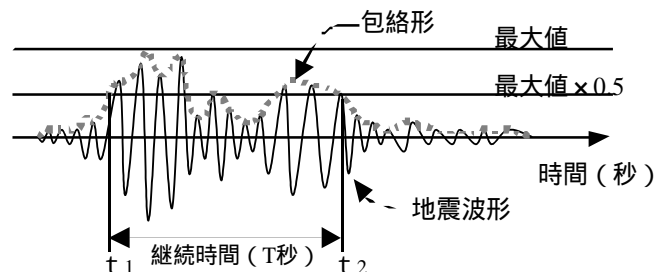


図8 地震動継続時間の定義

### 6.2 継続時間に関する検討

観測地点における速度波形による、6 地震すべての強震動の継続時間と、震源距離およびマグニチュードの分布を図 9 および図 10 に示す。さらに、2000/10/31

の地震における、各地点の震源距離と加速度、速度、および変位の強震動の継続時間の関係を図 12 に、さらに、変位での継続時間の分布を図 11 に示す。図 9 より震源距離が長いほど地震動の継続時間は長くなるのは、間接的に到達する実体波の影響を受けるためであると考えられる。図 10 より気象庁マグニチュードが大きいほど地震動の継続時間は長くなるのは、震源の破壊に時間がかかるためであると考えられる。図 12 より、他点と比べ継続時間が極めて長い強震動を記録した地点は、表層地質が主に沖積であって、震源からの距離が約 120km とほぼ等しい地点である。同じ表層地質であり、震源距離がほぼ同じでも、他点と比べ継続時間が 4 倍以上異なる場合がある。このように他点と比べ継続時間が非常に長い地点は主に沖積平野であることが図 11 から分かる。この沖積平野の継続時間に着目すると、図 12 より、加速度、速度、変位となるに従い、継続時間は長くなる事が分かる。つまり、強震動の長周期成分の継続時間が長くなる。このことは、表層地盤による影響ではなく、主に沖積層などの大規模な地下構造による影響を受けて生成される表面波の影響によると考えられる。また、沖積平野以外の継続時間に着目すると、図 12 より、震源から離れるに従って継続時間は長くなる。その変化の割合は、加速度、速度、変位となるに従い、大きくなる。つまり、強震動の長周期成分の継続時間が長くなる。このことは、強震動の長周期成分の距離による減衰が短周期に比べ、少ないないためであると考えられる。

## 7. まとめ

東海 3 県で得られた強震記録からつぎの事が明らかになった。

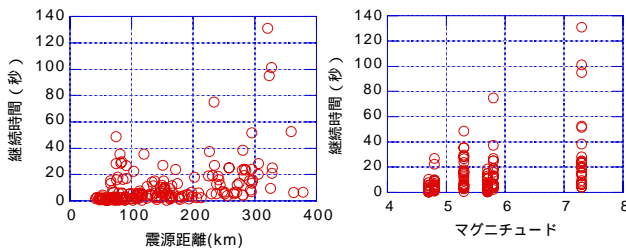


図 9 震源距離の関係 図 10 マグニチュードの関係

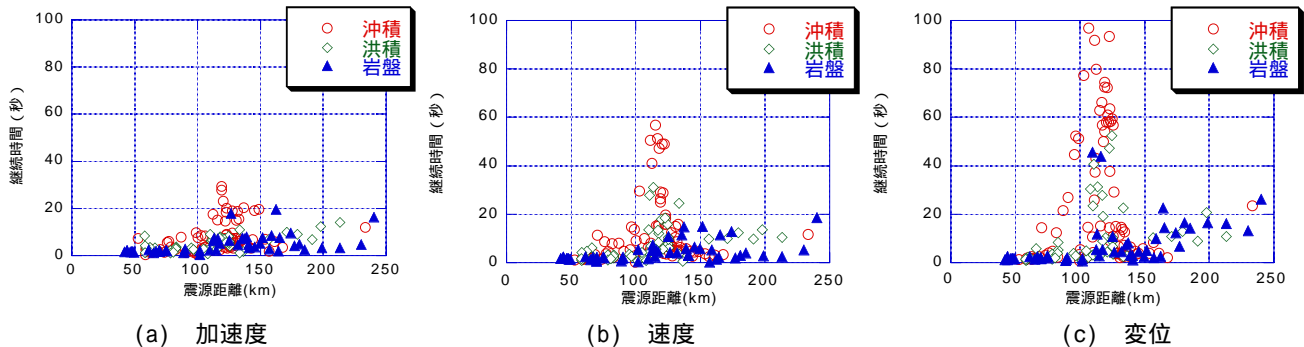


図 12 2000/10/31 の地震の強震動継続時間

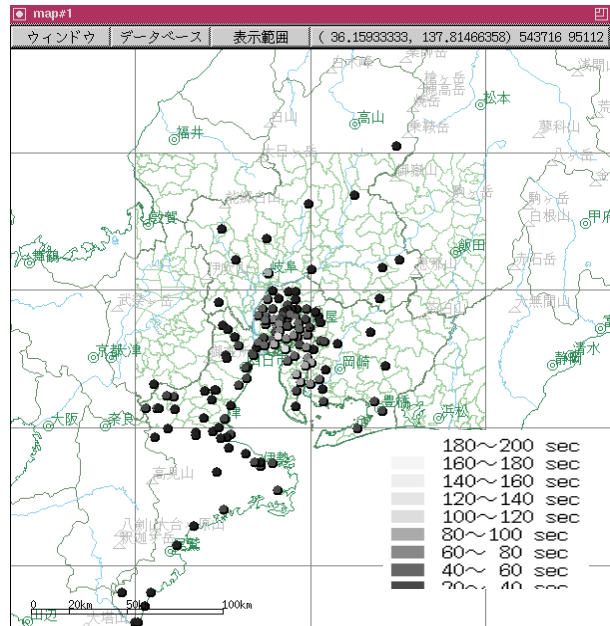


図 11 2000/10/31の変位波形継続時間

- 1) 計測震度は最大加速度と最大速度の相乗平均との関係が強く、SI 値は最大速度とほぼ同じ指標であることが分かった。最大加速度、最大速度の距離減衰特性に地盤種別による明確な違いは見られなかった。
- 2) 強震動の卓越振動数を表わす指標として等価卓越振動数  $A_{max}/V_{max}/2$  および  $V_{max}/D_{max}/2$  が有効であることが分かった。地盤の地計測震度質年代が新しくなる程、その地点での強震動の等価卓越振動数は低くなる事が確認された。加速度よりも速度の方が等価卓越振動数は低くなる事が確認された。
- 3) 強震動の継続時間は沖積平野による影響を大きく受けることが分かった。この傾向は、地震動の長周期成分ほど顕著である。震源からの距離が大きくなるにつれて強震動の継続時間は長くなる。この傾向も地震動の長周期成分ほど顕著である。強震動の継続時間は強震動の長周期成分の影響を強く受ける事が分かった。

## 参考文献

- 1) 建設省国土地理院監修：数値地図ユーザズガイド、日本地図センター、1992