

### 第3章 緊急地震速報の活用実績と組織間連携

#### 1. 猿投 - 高浜断層帯における西三河地域の強震動予測

榎下峰治・倉橋奨・正木和明・入倉孝次郎

##### 1. はじめに

愛知県の中央に位置する三河地域は、全国でも有数の産業集積地域として発展している。一方で、東海・東南海地震のような海溝型地震や三河地震のような直下型地震の発生も危惧されている地域である。一般的に、地震動の大きさを評価する場合、最大加速度や最大速度、最大震度などで評価されることが多いが、建物の被害にはこれらの最大値だけではなく、揺れの周期にも大きく影響を受ける。

兵庫県南部地震では、約周期 1 秒が卓越した地震動が地表に達したことが知られている 1)。建物の倒壊が多く見られたのは、1 秒の周期の地震動が 1 階、2 階建ての建物が共振したことが原因であると推測されている 2)。また、十勝沖地震では、震源から約 200km 離れた地点に設置されていた石油タンクが火災を起こした。この原因も地震動の揺れと石油タンクおよびその中にあった石油が共振したことであることが知られており、その地震動は約 7 秒の揺れが卓越していたことが知られている 3)。したがって、建物の被害のためには、強震動の揺れの最大値だけではなく、地震動の揺れそのものを評価することが特に重要である。

そこで、本研究では、三河地域に大きな影響を与える危険性が高い地震のうち、三河地域を縦断する猿投 - 高浜断層帯における西三河地域の地震動予測を行った。強震動予測手法は、近年、盛んに行われている半経験的手法を用いた。

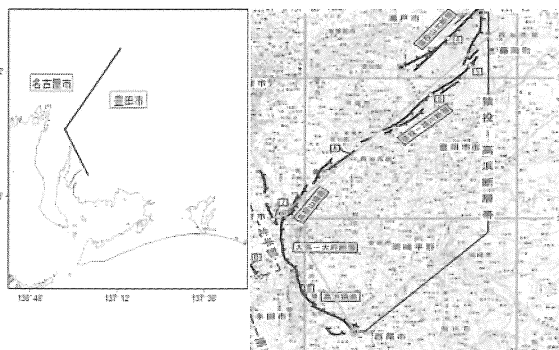


図 1 猿投-高浜断層帯  
(線は本研究で設定した地表トレースを示す)

##### 2. 猿投 - 高浜断層帯の緒元

猿投 - 高浜断層帯は、地震調査委員会により、研究成果や関連資料を用いた発生可能性の長期的な確率評価がなされている 4)。これによれば、当断層は豊田市藤岡町から大府市を経て、西尾市に至る長さ 51km の断層帯で、西側隆起の逆断層とされている。また、将来の断層の活動は、断層の位置関係・形状や断層の長さから、断層帯全体で 1 区間とみなすことができ、マグニチュード 7.7 程度の地震が発生すると予測されている。また、その発生確率は、今後 300 年以内においてほぼ 0%とされている。しかし、この断層帯におけるデータは少なく、発生確率に関する信頼性は低いと考えられる。図 1 に、猿投 - 高浜断層帯のトレースを、表 1 に長期評価による猿投 - 高浜断層帯の緒元を示す。

表 1 長期評価による猿投-高浜断層帯の緒元

確実度	活動度	長さ(km)	地震規模(Mj)	活動履歴等				
				断層のタイプ	断層面の傾斜(度)	平均変位速度(度(m/千年))	活動間隔(万年)	最新活動時期(年前)
1	B	51	7.7	逆断層	50-80	0.1	4	1万4千

### 3. 解析手法

強震動波形を評価する手法には、近年、盛んに実施されている半経験的手法 5) を適用した。この手法は、大地震を引き起こした断層をいくつかに分割した時、分割された小断層は、小地震の震源とみなし得るとして、小地震記録を重ね合わせることで大地震を評価するものである。よって、大地震の震源モデルを作成し、地震動を評価する対象地点にこの手法に用いるのに適している小地震が観測されていれば、大地震の地震動を評価することが可能である。この手法では、大地震の発生地域付近で発生した小地震を使用すれば、大地震と同様な伝播経路、サイト特性が評価されることになることから、他の手法よりも精度の高い地震動評価が可能である。

しかし現在、猿投 - 高浜断層帯の地震動評価に適した小地震は発生しておらず、重ね合わせる小地震が観測されていない。そこで、今回は、地震動評価に適した小地震（以下、要素地震という）を作成することにした。大地震による地震動評価の手順は以下のようになる。

1 対象地点における地震記録（対象地震の要素地震には適しない地震）から、対象地点の経験的サイト特性を評価する。

2 強震動レシピ（入倉）により対象地震の震源モデルを作成する。

3 作成された震源モデルをいくつかに分割し、その1つの小断層分に相当する地震、つまり要素地震を（1）で評価したサイト特性と（2）で作成された震源モデルから作成する。

4（3）で作成された要素地震を合成することで、対象地震から発生した地震動が評価される

#### 3.1. 経験的サイト特性の評価

地震動は、時間領域で考えると式 1) のように、震源特性・伝播経路特性・サイト特性のコンボリューションで表すことができる。また、周波数領域であれば、積で表すことができる。

$$F_i(t) = S_i(t) * P_i(t) * G(t) \quad 1)$$

$$F_i(f) = S_i(f) P_i(f) G(f) \quad 2)$$

ここで*i*は地震ごとの添え字を、\*はコンボリューションを示す。また、 $S_i(f)$ は震源特性、 $P_i(f)$ は伝播経路特性、 $G(f)$ はサイト特性を示す。

式 2) を移項することで、式 3) で示すように、観測スペクトルを震源特性と伝播経路特性の積で除することで、サイト特性が評価されることになる。

$$|G(f)| = \frac{|F_i(f)|}{S_i(f) P_i(f)} \quad 5)$$

そして、各地震により推定したサイト特性  $G(f)$  を log 軸上で算術平均することで、対象地点での平均的なサイト特性が算出される。

$$|G_{ave}(f)| = \sum_{i=1}^N \frac{G(f)}{N} \quad 6)$$

式 1)、2) で示したように、上記で評価された対象地点のサイト特性に大地震の震源特性と伝播経路特性を考慮すれば、大地震に適した要素地震の作成が可能となる。

#### 3.2. 猿投 - 高浜断層帯の震源モデル

猿投 - 高浜断層帯の震源モデルの作成には、強震動予測レシピ 6) を適用した。強震動予測レシピは、強震動評価を誰がやっても同じ答えが得られる方法論として、強震動評価法を確立させることを目的として作成された。

このレシピでは、調査から得られた断層の長さや幅、走向や傾斜角から、対象とする断層の地震モーメントや応力降下量などの巨視的パラメータが決定され、次に、震源域内のすべりの不均質分布を表す、アスペリティの大きさ、応力降下量などの微視的パラメータが決定される。

ただし、レシピにはアスペリティの位置、破壊開始点に関する情報は与えられない。そこで、本研究では、アスペリティを都市部に近い位置とし、破壊開始点は、第一アスペリティ下端と設定した。この方法に倣って作成した本断層の震源モデルを図2に、緒元を表2に示す。

表2 本断層の震源モデルの緒元

断層の地域	全アスペリティ		ASP1	ASP2	ASP3
	北部	南部	北部	北部	南部
S(km <sup>2</sup> )	135.602		-	-	-
Sa(km <sup>2</sup> )	91.27	44.33	66.38	24.89	44.33
$\Delta\sigma$ (MPa)	13.31	13.31	13.31	13.31	13.31
M <sub>0</sub> (dyne·cm)	4.77E+25	1.61E+25	2.96E+25	6.79E+24	1.61E+25

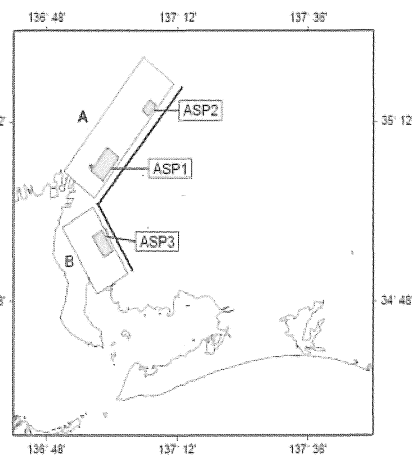


図2 本断層の震源モデル

表3 要素地震の緒言

s(km <sup>2</sup> )	2.76
$\Delta\sigma_s$ (MPa)	13.31
m <sub>0</sub> (dyne·cm)	2.53E+23
Fc(Hz)	1.3

### 3.3. 要素地震の作成

要素地震は、大地震の震源モデルをある大きさに分割した一つの小断層から発生した地震である。よって、3.2で示した震源モデルを、適当な大きさに分割し、その地震モーメント、小断層の面積により要素地震を作成する。本研究では、要素地震を面積が2.76km<sup>2</sup>、地震モーメントを2.53E+16Nmとして設定し、3.1で作成した経験的サイト特性と、幾何減衰と内部減衰の影響である伝播経路特性を考慮して、要素地震を作成した。表3に要素地震の緒元を示す。

## 4. 合成結果

ここで評価された要素地震を用いて波形合成法5)により強震動評価を行った。図3に合成波形の一例を示す。両地点とも断層帯近傍に設置されているのであるが、震源モデルの位置と観測点の位置の関係により、波形形状が異なることが示されている。また、AICH14では、最大加速度2000galが評価されている。図4には、各地点で得られた工学的基盤における最大速度と距離減衰式との比較図を示す。その結果、得られた最大速度は、距離減衰式7)と整合しており、地震動評価は妥当であると考えられる。

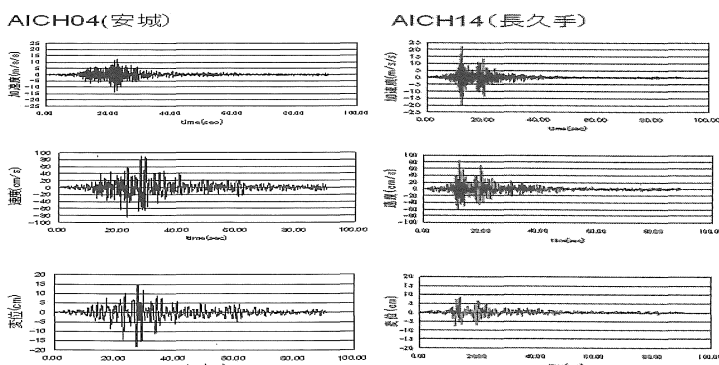


図3 AICH04 (安城), AICH14 (長久手) の強震動評価

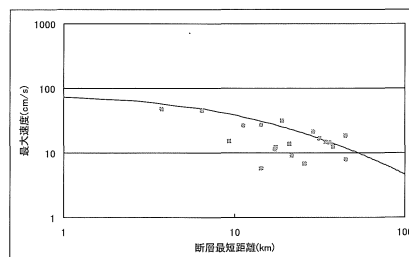


図4 本研究で評価された工学基盤における最大速度と距離減衰式7)の比較

## 5. 断層帯近傍の震度分布と最悪想定を作成

前章において、猿投 - 高浜断層帯における震源モデルを作成し、対象地点の地震動評価を行った。ここで、防災上の観点からすれば、この断層帯における地震動の最悪想定を示すことは重要である。そこで、本研究では、アスペリティの深さと位置を変更することによりこの断層帯における最悪想定モデルを作成した。今回対象とした地域は、この断層帯の東側にあたる豊田市中心部と断層帯西側にあたる名古屋市中心部である。また、前章までは、KIK-NET における強震動評価を行っていたが、最も被害が大きくなる地点は、震源近傍であると考えられるため、震源近傍の強震動予測も行うこととした。しかし、震源近傍の対象地点すべてに地震計があることは稀であり、本研究で実施した要素地震の作成に必要な対象地点のサイト特性を得ることができない。そこで、本研究では工学基盤から地表における、既存の地盤構造モデルから S 波多重理論による増幅度を計算し、それをその地点のサイト特性として評価した。

図 5 の左図北部最悪想定におけるアスペリティの位置と、震源近傍および kik-net 地点における予測震度を示す。このモデルでは、北側の断層に推定した 2 つのアスペリティを繋げて北側に設置し、アスペリティの深さを 0km とした。その結果、震源近傍の北部において、震度 7 と予測される地域が推定された。しかし、アスペリティを設定していない断層の中心付近では、震度 6 強と推定されており、アスペリティの設定位置により、推定震度が大きく異なることがわかる。一方、愛知県内の kik-net 地点においては、どの地点においても 5 弱以上と評価され、広い範囲で大きい揺れが推定されている。

図 6 の南部最悪想定では、北側の断層の 2 つのアスペリティを繋げて南側に設置した。その結果、北部最悪想定とは異なり、断層に沿った地域で震度 7 が推定された。南部最悪想定における断層近傍の震度は、北部最悪想定より全体的に大きく推定されている。しかし、愛知県内の KIK-NET 地点の震度を比較すると、地点により違いが生じているところもあるが、どの地点も 5 弱以上が推定されており、大きな変化はみられない。よって、震源近傍の揺れの大きさは、アスペリティの位置により大きく依存するため、今後、アスペリティの位置を含めた震源モデルの作成が不可欠であり、研究を進めていく必要がある。

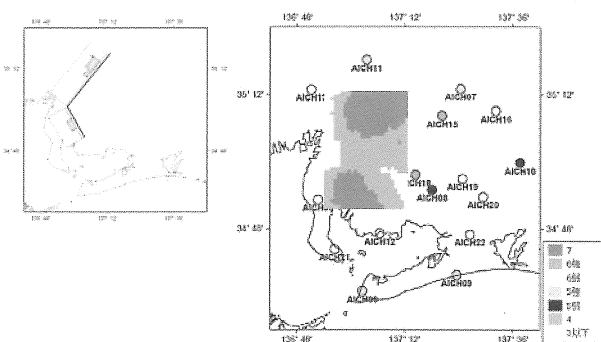


図 5 北部最悪想定 of 震源モデル (左) と震度分布 (右)

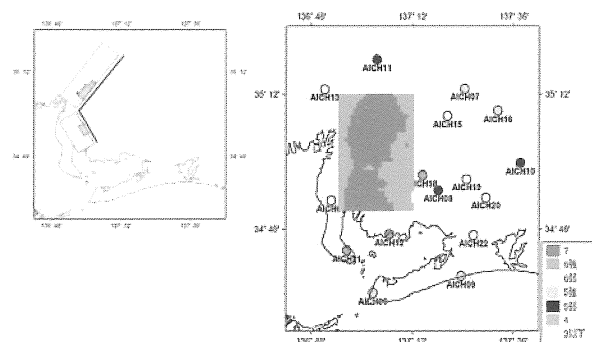


図 6 南部最悪想定 of 震源モデル (左) と震度分布 (右)

## 6. まとめ

- (1) 波形合成の結果、地点ごとに特徴のある地震波形を推定することができた。そして、最大速度は、距離減衰式と整合しており、妥当であると考えられる。
- (2) サイト増幅特性を経験的に求めたことで、より現実性の高い地震波形を推定できていると考えられる。
- (3) 北部最悪想定・南部最悪想定を推定したところ、各々、西三河北部と西三河南部で震度が大きくなった。このことにより、当断層による地震発生により、西三河への影響が大きいことが改めて示された。また、名古屋においても震度6強になり、影響が大きいと考えられる。この結果のようにアスペリティの位置によって影響を受ける地域は変わるため、アスペリティの位置は適切におく必要がある。

謝辞 本研究では、防災科学技術研究所の KIK-NET の観測記録を使用させていただきました。

## 参考文献

- 1 川瀬博・林康裕, 兵庫県南部地震時の神戸市中央区での基盤波の逆算とそれの基づく強震動シミュレーション、日本建築学会構造系論文集, No.480, p.67-76, 1996
- 2 川瀬博, 建物の地震被害の予測とその軽減への展望, 地学雑誌, 110, p.885-899, 2001
- 3 畑山健, 座間信作, 西晴樹, 山田實, 廣川幹治, 井上涼介: 2003年十勝沖地震のよる周期数秒から十数秒の長周期地震動と石油タンクの被害, 地震, 第2輯, 第57巻, pp.83~103, 2004.
- 4 地震調査委員会: 屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯の長期評価について, 2004.
- 5 Irikura, K.: Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, Proc. 7th Japan Earthq. Eng. Symp., Tokyo, pp151-156, 1986.
- 6 入倉孝次郎: 強震動予測レシピ, 京都大学防災研究所年報, 第47号, 2004.
- 7 司宏俊, 翠川三郎: 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, 第523号, pp63-70, 1999.