

東北地方太平洋沖地震の強震記録を用いた 南海地震の揺れの体験談の解釈法の検証

Verification of actual accounts of Nankai earthquake using strong motion records
from the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake

北見工業大学社会環境工学科
徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部
北見工業大学社会環境工学科
北見工業大学社会環境工学科

○正会員 齊藤剛彦 (Takehiko Saito)
正会員 三神 厚 (Atsushi Mikami)
正会員 宮森保紀 (Yasunori Miyamori)
正会員 三上修一 (Shuichi Mikami)

1. はじめに

地震動を予測するためには、震源特性、伝播経路特性、サイト増幅特性の把握が必要となる。これまで著者らは、体験談を用いて南海地震の震源特性の検証を行ってきた¹⁾。これは、1946年の昭和南海地震の地震動記録がほとんど得られておらず、また、その後も南海地震の震源域を震源とする地震がほとんど発生していないことから、震源の様子が十分に把握できないためである。

巨大海溝型地震の地震動は断層の破壊過程や強震動生成域の分布により、たとえ震度が同じであったとしても地域によってその強震波形はまったく異なった形状を呈することがある。昭和南海地震についても同様で、地域ごとに揺れ方が大きく異なることが、著者らのこれまでの揺れに関する体験談の分析からわかってきている¹⁾。例えば、和歌山県南部のように「突然の大きな揺れに襲われた」地域もあれば、高知県中西部のように「さほど大きくない揺れがかなり長く続いた後に、すさまじい揺れに襲われた」地域もある。その他、体験談の中には興味深い揺れのパターンを示す体験談が複数にわたり含まれている。徳島県南部から高知県東部の地域では「揺れが水平動から上下動に変化した」というパターンの証言が複数得られている。著者らは、多重震源理論の考え方にに基づき、地震動のシミュレーションを用いながら、これらの体験談の説明を試みてきた。しかしながら、体験談を解釈する上での不確実性がどうしても残り、結果の信頼性が必ずしも十分ではないという問題が残っていた。

今回、東北地方で南海地震と同じ海溝型の超巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生した。強震観測網が整備されて以降、初めての巨大海溝型地震であり、貴重な強震記録と揺れの体験談が多く得られている。そのため、南海地震の体験談の解釈が妥当なものであったかどうかを検証するには絶好の機会である。ただし、揺れに関する体験談は多く得られているが、個人差があったり、建物の高層階での体感で昭和南海地震当時とは環境が異なっているという側面もある。ここではむしろ、各地において人々が平均的に揺れをどう感じたかを知りたい。

そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震の実地震観測記録に感覚補正振動加速度レベル(振動レベル)²⁾の考え方を適用して、それぞれ異なる強震波形に対する人々の体感を検討することで、南海地震の揺れの体験談の解

釈法を検証する。また、東北地方太平洋沖地震で得られた実際の体験談についても着目し、付近で観測された強震記録との対応について考察を加える。

2. 昭和南海地震の揺れの体験談¹⁾

著者らは、これまでに南海地震の震源域を取り囲む、和歌山、徳島、高知の3県において、昭和南海地震の揺れに関する体験談を文献資料や現地訪問に基づくヒアリングによって収集し、地域ごとに体験談の特徴を検討している。このうち、徳島県南部と高知県東部では、「揺れが水平動から上下動に変化した」という体験談が複数得られている。これについて、昭和南海地震の既往の震源モデルを用いて、破壊開始点から断層の破壊が同心円状に進み、複数の強震動生成域が時間差で破壊する、多重震源理論の考え方から検証した。

ここで、高知県東部を対象として、統計的グリーン関数法³⁾を用いて加速度波形を作成する。図-1に昭和南海地震の震源モデル⁴⁾を示す。強震動生成域は潮岬沖、紀伊水道、土佐湾にそれぞれ設定されている。図-2に高知県東部のK-NET室戸⁵⁾を対象として作成した加速度波形を示す。ここでは地盤の増幅効果は考慮していない。それぞれの強震動生成域から作成された加速度波形とすべての強震動生成域を考慮したものを示している。紀伊水道と土佐湾にある強震動生成域から振幅の大きい地震動が時間差を持って到達しており、山が2つある加速度波形が作成された。このように昭和南海地震でも東北地方太平洋沖地震の加速度波形で見られたように、山が2つある揺れが発生していた可能性がある。

3. 強震波形から得られる人体の振動感覚評価手法

振動の強さを表す指標として、環境振動工学の分野で使用されている振動レベル²⁾がある。振動レベルとは、人間が体に感じる振動の大きさ、つまり振動の感覚的大きさを表したものであり、建設工事による振動や工場的大型機械による振動のように我々の生活環境にかかわる振動を扱う際に用いられているものである。

人体の振動感覚は、その振動の周波数や方向によって大きく変わる。そのため、振動レベルを求めるには、まず加速度波形から振動の物理的大きさを表す振動加速度レベル L_a を周波数成分ごとに求める。

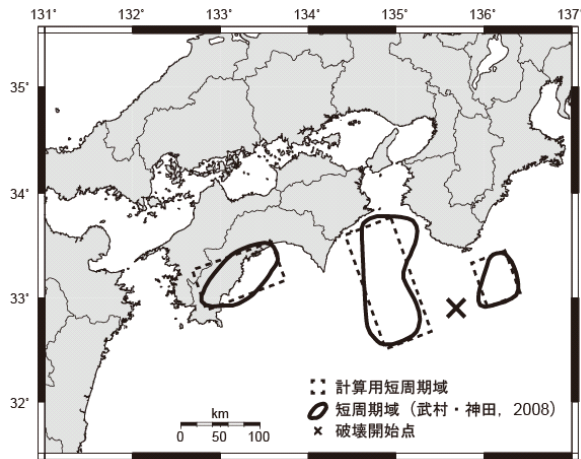


図-1 昭和南海地震の震源モデル

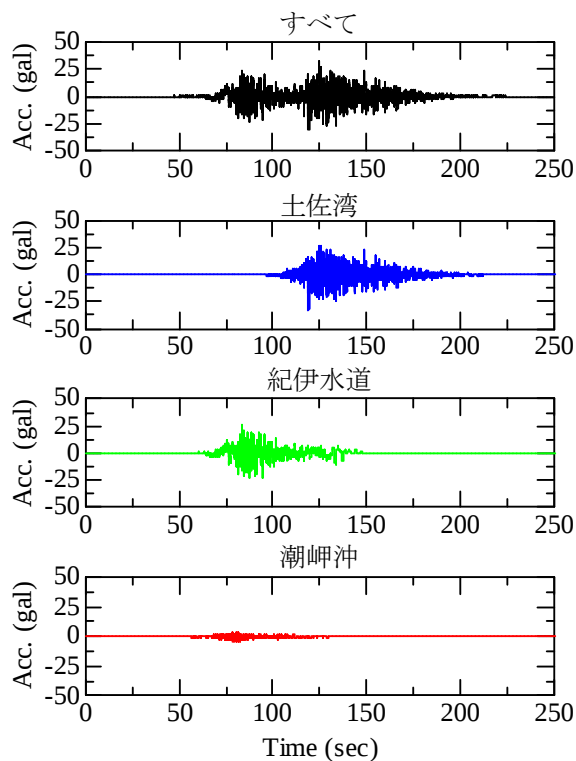


図-2 K-NET 室戸での地震基盤面における加速度波形

$$L_a = 20 \log \frac{A}{A_0} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

ここで、 A は振動加速度実効値(m/s^2)で、加速度振幅を2乗して1周期で平均して平方根をとることで求められる。また、 A_0 は基準値で $A_0 = 10^{-5}(\text{m/s}^2)$ が用いられている。

周波数成分ごとの振動レベル L は、式(2)のように、振動の物理的大きさを表す振動加速度レベルを、人体の感覚に合わせて補正することで求められる。

表-1 振動感覚補正值

中心周波数 (Hz)	振動感覚補正值 C_R (dB)	
	水平方向	鉛直方向
0.125	3	-7.75
0.25	3	-7.5
0.5	3	-7
1	3	-6
2	2	-3
4	-3	0
8	-9	-1
16	-15	-6
32	-21	-12

$$L = L_a + C_R \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

ここで、 C_R は振動感覚補正值(dB)であり、表-1に中心周波数ごとの振動感覚補正值を示す。この補正值はJIS C-1510から定められている²⁾。ただし、1Hz以下の成分の補正值は定義されていないため、樋口ら⁶⁾を参考にして決定した。

以上のようにして算出した、周波数成分ごとの振動レベルをパワー和²⁾で足し合わせることによって、振動レベルを求められる。

本研究は揺れ方の違いを水平動と上下動の振動レベルの違いによって検討するので、3成分それぞれで振動レベルを算出し、水平動はEW成分、NS成分の大きい方の振動レベルを採用する。また、5秒ごとの振動レベルを時間軸を1秒ずつずらしながら算出し、図示することで、振動レベルの時間的推移を見る。これによって、実観測波形から、人が感じる揺れ方がどのように変化しているかを考察する。

4. 強震波形から得られる振動感覚と体験談

4.1 振動レベルによる検討

図-3 に宮城県の東部地域である気象庁仙台宮城野区五輪⁷⁾での加速度波形と振動レベルを示す。なお、この振動レベルを用いると、人体にようやく感じられるくらいの弱い振動の振動レベルはおおよそ 55dB であるため²⁾、縦軸の下限を 55dB としている。加速度波形を見ると、振幅の大きい山の部分が2つある特徴的な波形である。ここで、水平動と上下動の振動レベルの違いに着目して、振動レベルの時間的推移を見ると、40秒までは上下動が大きく、40秒から80秒までは水平動の方が大きい。しかし、80秒から90秒付近では上下動が大きくなり、その後再び水平動が大きくなっている。また、特徴として、水平動が小さくなりながら、上下動が大きくなる点が挙げられる。このことから、この場所での平均的な揺れの感じ方は上下、水平、上下、水平と、変化しているであろうことが推察される。また、140秒から170秒あたりで揺れが強弱を繰り返していることが読み取れる。

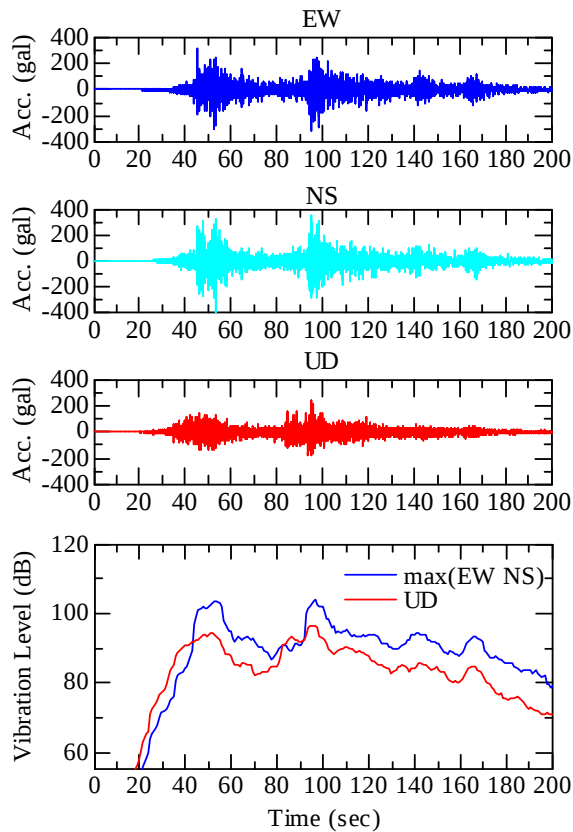


図-3 気象庁仙台宮城野区五輪での加速度波形と振動レベル

このように、2山ある加速度波形から上下、水平、上下、水平と、揺れ方が変化していることが確認できる波形が得られた。昭和南海地震では、徳島県南部や高知県東部で揺れが水平動から上下動に変化したという体験談が複数得られ、震源モデルから高知県東部を対象として作成した加速度波形でも2山の波形が得られたことから、昭和南海地震の際に同様の傾向を持つ揺れが襲っていた可能性が考えられる。

上下、水平、上下、水平と、揺れの感じ方が変化しているであろうと推察される波形は、K-NET、KiK-net⁹⁾、気象庁の観測点のうち、図-4に示す観測点で得られている。岩手県南部や宮城県、それに福島県南部と茨城県で得られている。このうち、2山の加速度波形のものは図中の緑丸で示している観測点で、岩手県南部や宮城県で得られている。なお、図-4には港湾空港技術研究所が提案している震源モデル⁸⁾を併せて表示しているが、観測点の近傍に、強い地震動を発生させるスーパーアスペリティ⁸⁾が複数存在している。

ここで、図-5に茨城県の南部地域であるKiK-net霞ヶ浦での加速度波形と振動レベルを示す。加速度波形の山はひとつであることがわかる。振動レベルの時間的推移を見ると、40秒までは上下動が大きく、40秒から85秒までは水平動の方が大きい。しかし、95秒から105秒付近では上下動の方が大きくなり、その後再び水平動が大きくなっている。

このように、図-3の宮城県での記録と同様に水平動

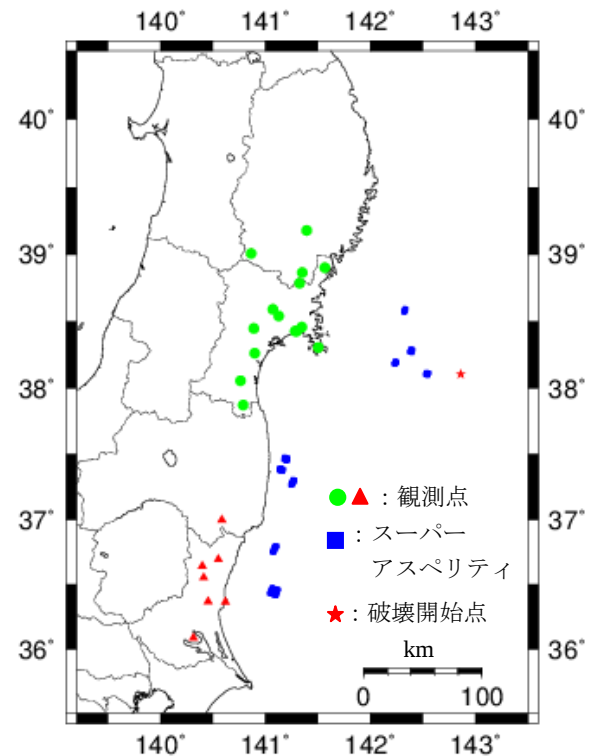


図-4 揺れ方が上下→水平→上下→水平と変化した波形が得られた観測点

から上下動へ揺れ方が変化しているが、図-3とは異なり、比較的弱い揺れが長い時間続いた後、強い揺れが来る際に、先に上下動が大きくなり、その後水平動が大きくなっている。さらに、上下動と水平動の振幅の増加、減少傾向が連動している点が図-3と異なる。この傾向は他の記録でも同様であった。すなわち、岩手県や宮城県で得られた記録では、1度揺れが小さくなって、再び大きな揺れが来る際に上下動が水平動より大きくなっているのに対し、福島県や茨城県では弱い横揺れのあと、振動が最大になる際に上下動が水平動より大きくなっている。

4.2 体験談

東北地方太平洋沖地震の震源域を取り囲む地域において、東北地方太平洋沖地震の体験談を文献資料やインターネットによって収集した。体験談は津波や、その後の避難生活に関するものが圧倒的に多いが、ここでは地震による揺れに関する体験談のみを抽出した。ここでは、体験談のうち、体験者の位置が特定できた宮城県仙台市と茨城県つくば市の2件の例を挙げて、近くで得られた地震動波形と比較して検討する。

宮城県仙台市青葉区にある河北新報社6階で得られた体験談⁹⁾には、ガタガタとした初期微動の揺れ、その後、主要動が到達した際に、下から突き上げるような激しい揺れを感じていることが記述されている。さらに、体験談には揺れが強弱を繰り返して長い時間続いていることが書かれている。この体験談からは、主要動が到達した際に下からの突き上げる揺れを感じたとなっているが、図-3の振動レベルから得られたような、一度揺れが小さ

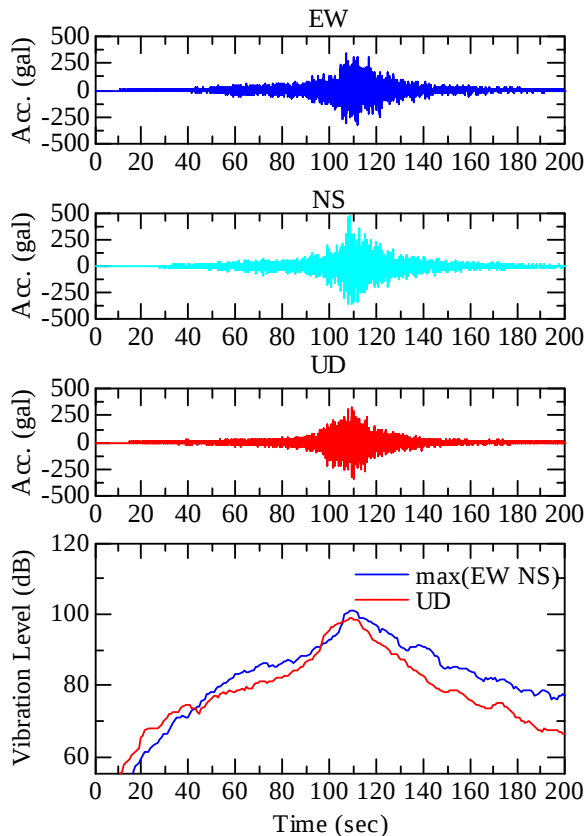


図-5 KiK-net 震ヶ浦での加速度波形と振動レベル

くなってから再び大きくなる際には上下動についての記述はない。

一方、茨城県つくば市にある筑波大学で得られた体験談¹⁰⁾には、弱い横揺れが長く続いた後、激しい縦揺れが来たことが記述されている。これについては、図-5の振動レベルから得られたように、振幅が最大になる際に強い上下動を感じていることが記述されている。さらに、この体験談は高知県中西部で得られた昭和南海地震の典型的な体験談である「揺れが段々激しくなった」ということを表現している。

5. まとめ

巨大海溝型地震では、断層の破壊過程や強震動生成域によって、様々なタイプの強震動がもたらされると考えられる。著者らはこれまで体験談をもとに南海地震の震源特性の推定を行ってきたが、体験談の解釈上の不確実性が指摘されてきた。今回、南海地震と同じ巨大海溝型地震である東北地方太平洋沖地震が発生し、強震記録が多数得られたので、東北地方太平洋沖地震の強震記録から、標準的な体感を表す振動レベルを用いて、南海地震の揺れに関する体験談の解釈法の検証を行った。昭和南海地震の揺れに関する体験談には、「揺れが水平動から上下動に変化した」という体験談や「さほど強くない揺れがかなり長く続いた後、強烈な揺れに襲われた」という主旨の体験談が複数得られていたが、今回、東北地方太平洋沖地震で観測された強震記録の振動レベルから、複数の観測点で揺れ方が水平動から上下動に変化したと

一般的に感じたであろうと思われる強震記録が確認され、著者らのこれまでの解釈が裏付けられた。

さらに、それらの強震動観測地点の付近での東北地方太平洋沖地震の体験談からも、「揺れが水平動から上下動に変化した」や「比較的弱い揺れが長い間続いた後、急に大きな揺れに襲われた」という、昭和南海地震の体験談と同様の傾向を示す特徴的な体験談が得られた。

謝辞：徳島大学の三神研究室の研究補助員の辻野典子氏には体験談の収集や図の作成にご協力いただきました。記して感謝の意を表します。本研究では防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET, KiK-net)の強震記録を使用いたしました。また、気象庁の強震記録を使用いたしました。関係各位に感謝の意を表します。一部の図の作成には、Generic Mapping Tools(Wessel and Smith, 1998)¹¹⁾を用いました。記して、感謝いたします。

参考文献

- 1) 齊藤剛彦, 三神厚: 体験談に基づく 1946 年昭和南海地震の震源特性の検証, 地域安全学会論文集 No.15, pp.199-208, 2011.
- 2) 中野有朋: 環境振動, 株式会社技術書院, 131pp, 1996.
- 3) 野津厚, 菅野高弘: 経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法—因果性と多重非線形効果に着目した改良—, 港湾空港技術研究所資料 No.1173, 2008.
- 4) 武村雅之, 神田克久: 震度データによる短周期地震波の震源推定, 歴史地震 第 23 号, pp.7-19, 2008.
- 5) 防災科学技術研究所: 強震観測網(K-NET, KiK-net), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 6) 樋口裕介, 三神厚, 澤田勉: 計測震度階と感覚補正振動加速度レベルの関係, 土木学会地震工学論文集 27-0073, 6pp, 2003.
- 7) 気象庁: 強震波形 (平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震), http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/jishin/110311_tohokuchiho-taiheiyouoki/index.html
- 8) 港湾空港技術研究所地震動研究チーム: 2011 年東北地方太平洋沖地震を対象としたスーパーアスペリティモデルの提案, 2012. http://www.pari.go.jp/bsh/jbn-kzo/jbn-bsi/taisin/sourcemodel/somodel_2011touhoku.html
- 9) 河北新報社: 河北新報のいちばん長い日 震災下の地元紙, 株式会社 文藝春秋, 269pp, 2011.
- 10) 筑波大学水圏生態学研究室: アルバム, <http://www.biol.tsukuba.ac.jp/aqua-eco/album.html>
- 11) Wessel, P. and Smith, W. H. F.: New improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79, 579, 1998.