

2004年紀伊半島沖地震津波に関する現地調査と防災上の課題

小池信昭*・越村俊一**・高橋智幸***・河田恵昭****・今村文彦*****
原田賢治*****・藤間功司*****・嶋原良典*****・谷岡勇市郎*****
西村裕一*****・加藤照之*****・寺田幸博*****
鈴木進吾*****・奥村与志弘*****

2004年9月5日に紀伊半島沖で発生した地震津波について、津波打ち上げ高および痕跡高に関する現地調査、津波来襲状況に関する住民のヒアリング調査、自治体の津波情報の伝達状況に関する調査、およびリアルタイム観測と数値シミュレーションによる解析を実施した。その結果、本震により発生した津波は伊豆諸島から四国太平洋岸に襲来し、伊豆諸島で1m未満、静岡県から和歌山県の太平洋岸にかけて2m程度の津波打ち上げがあったことを確認した。また、高知県室戸岬沖のGPS津波計では津波のリアルタイム観測に成功し、数値シミュレーションによる予測結果と良好な一致を示した。沖合での津波のリアルタイム観測と即時的津波予測の有効性が実証された。

1. はじめに

2004年9月5日、紀伊半島沖および東海道沖を震源としてマグニチュード7.1(前震)と7.4(本震)の地震が連続して発生した。19:07の前震により伊豆諸島から四国沿岸にかけて津波注意報が、23:57の本震では愛知県外海、三重県南部、および和歌山県沿岸部に津波警報、伊豆諸島から四国太平洋沿岸にかけての他の予報区では津波注意報が発令され、6日午前2時40分に解除された。実際に、伊豆諸島から四国沿岸部の検潮儀では0.5m前後の津波が観測され、和歌山県串本町では地震発生約25分後に0.9m、神津島で0.8mの津波高を記録した。幸いにして津波による深刻な被害は発生しなかったが、本地震による太平洋沿岸部の津波伝播・来襲特性や、沿岸部自治体における初動対応、津波情報の伝達状況は、来るべき東南海・南海地震津波に備えて、沿岸部自治体の津波防災体制の現状を評価する上で重要な資料となる。本研究では、地震発生の翌日から実施した津波打ち上げ高および痕跡高に関する現地調査、津波来襲状況に関す

る住民のヒアリング調査、自治体の津波情報の伝達状況に関する調査、およびリアルタイム観測と数値シミュレーションによる解析を実施する。

2. 津波の打ち上げ高に関する現地調査

津波の打ち上げ高に関する現地調査は、地震発生翌日の9月6日から約10日間、伊豆諸島から四国太平洋沿岸にかけて13の研究機関が分担して実施した。調査項目は、海岸および港湾内の津波打ち上げ痕跡の標高と痕跡の種類、測定位置の緯度経度、津波到達時間と来襲状況(検潮記録)である。津波痕跡の特定には、台風16号の通過に伴う高潮、波浪の打ち上げによるものとの区別に留意した。写真-1に現地調査の様子を示す。

同時に、津波来襲時の目撃証言、地震発生直後にとった行動、昭和の南海地震津波の経験の有無について、住民を対象としたヒアリング調査を実施し、調査地域毎に分類した。この結果については紙面の都合上、ここでは掲載しない。

津波の打ち上げ高に関する現地調査結果と来襲状況(検潮記録)を図-1にまとめた。この図から、本震により発生した津波は伊豆諸島から四国太平洋岸に襲来し、伊豆諸島で1m未満、静岡県から和歌山県の太平洋岸にかけて2m程度の津波打ち上げがあったことがわかる。また、局所的ではあるが、三重県尾鷲市、熊野市、紀伊町などでは、3m~4mの津波高さおよび週上高があり、津波警報で伝えられた予想津波高さ(2m)よりも大きくなる場所が存在することが確認された。自治体による避難勧告が発令されなくても、地域で自主避難などの対応を取る必要があると言える。

3. 津波情報の収集・伝達に関するアンケート調査

次に、津波警報が発令された三重県および和歌山県、

* 正会員 博(工) 和歌山工業高等専門学校環境都市工学科 助教授
** 正会員 博(工) 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター 助教授
*** 正会員 博(工) 秋田大学工学資源学部土木環境工学科 助教授
**** フェロー 工博 京都大学教授 京都大学防災研究所所長
***** 正会員 工博 東北大学大学院工学研究科附属災害制御研究センター 教授
***** 正会員 博(工) 人と防災未来センター 専任研究員
***** 正会員 工博 防衛大学校建設環境工学科
***** 非会員 理博 北海道大学大学院理学研究科
***** 非会員 理博 東京大学地震研究所
***** 非会員 工博 日立造船株式会社
***** 学生会員 修(工) 京都大学大学院情報学研究所

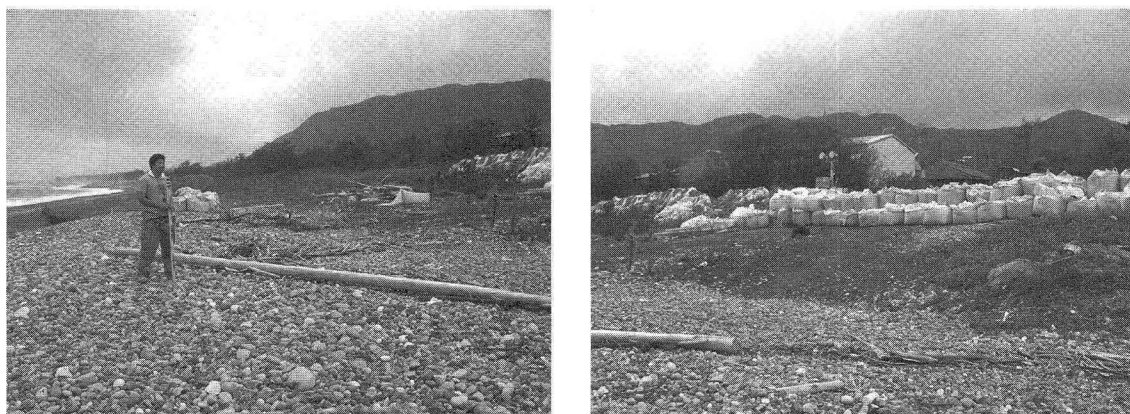


写真-1 三重県紀宝町道の駅ウミガメ公園付近での痕跡高の調査の様子

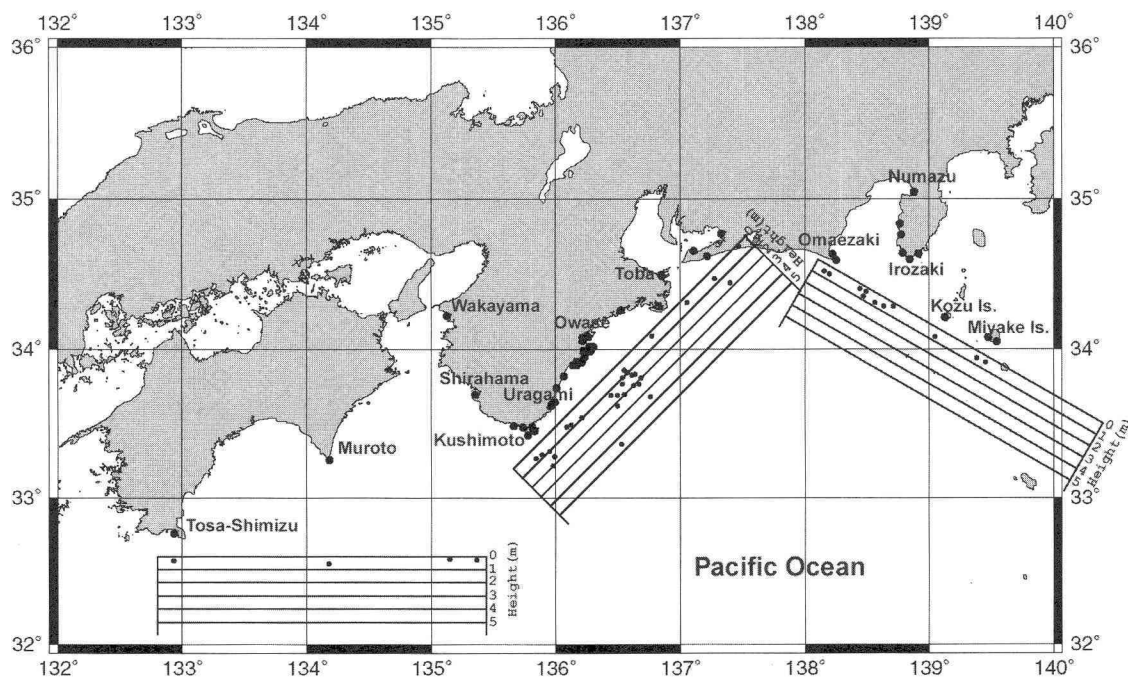


図-1 現地調査による最大津波高さの分布

注意報の発令された高知県沿岸部の市町村を対象として、津波情報の収集・伝達に関するアンケート調査を実施した。質問項目は、地震直後の防災担当職員の参集状況、津波避難勧告発令と発令基準の有無、地域への津波情報伝達手段、津波来襲状況の把握手段についてである。

(1) 正しい津波の知識と津波情報

まず、表-1 は2004年紀伊半島沖地震後に発令された避難勧告の発令状況である。この警報等が出たのは愛知県、三重県、和歌山県であった。当該市町村が42あり、そのうち避難勧告を出したのは12であった。自主避難の呼びかけをしたのが17、対応しなかったのが13であった。

このように、警報が発令されたにもかかわらず避難勧告を出さなかったところが多い。その理由が、震度が4であったとか、あるいは昭和21年、昭和19年の南海・東南海地震の揺れに比べて小さかったから津波も小さいだろうという判断が主であった。職員が非常参集しなかった市町村もあり、参集基準が地震の揺れの強さのみによっていると、地震の揺れが強くないにもかかわらず巨大な津波が来襲するという「津波地震」が盲点をつく形になるであろう。

図-2 に示すように、和歌山県では20市町村のうち13市町村が津波の避難を伝えており、7市町村が伝えてい

表-1 避難勧告実施状況

県名	対象予報区	当該市町村数	避難勧告	避難の呼びかけ	対応なし
愛知	愛知県外海	3	0	3	0
三重	三重県南部	18	10	6	2
和歌山	和歌山県	21	2	8	11
計		42	12	17	13

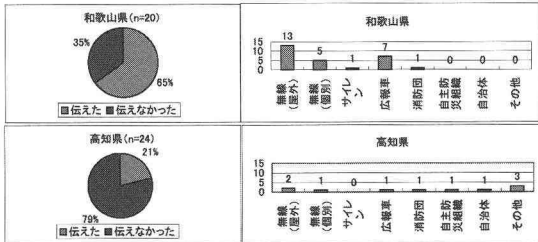


図-2 津波警報の伝達方法

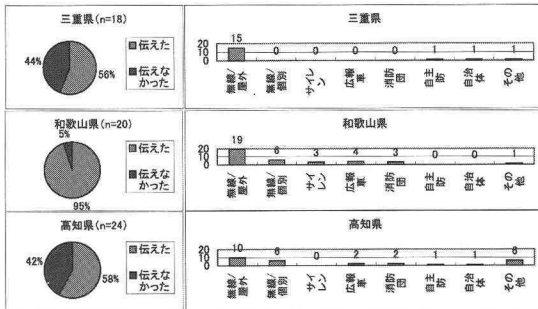


図-3 津波情報の伝達状況

なかった。高知などは、5市町は伝えたが19は伝えていなかった。県が、市町村に自動的に同報系無線で情報伝達しており、それがそのまま市町村からそれぞれの市民、町民に流しているかどうかということに関係してくるわけだが、完全ではない。特に串本町の潮岬の近くでは10分以内に大津波が来襲する。

(2) 津波情報発信の問題点

図-3は2004年9月の紀伊半島沖地震津波における津波警報の伝達状況である。「伝えている」状態が三重県、和歌山県、高知県という、県レベルでは大変津波対策に対して理解のあるところだが、市町村レベルではまだまだ改善しなければいけない部分が残っているということが分かる。

さらに、図-4から分かるように警報を出しっぱなしになっているところもあった。過去、気象庁は12時間ぐらい津波警報を出しっぱなししていたという事例がしばしばあった。警報や避難勧告発令時間の長期化は、我々の日常の社会・経済活動に大きな影響をおよぼすため、2003年の十勝沖地震では、警報発令4時間後に解除した。

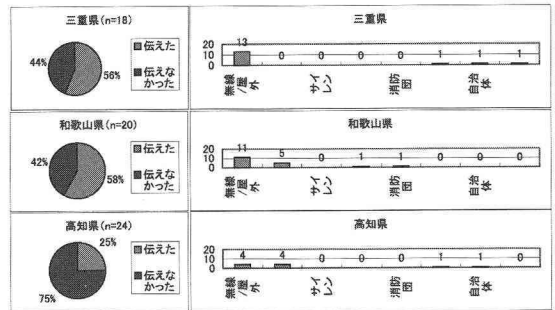


図-4 津波情報の解除の状況

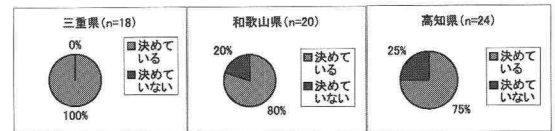


図-5 避難勧告の発令基準

しかしその後釧路港で最高潮位が観測された(河田ら, 2004)。津波は何度も繰り返し来襲する上に、振動の減衰特性の把握は非常に難しい。ここに津波警報の解除の問題の難しさがある。

少なくとも、東南海・南海地震が発生すると、大きな津波は計算上6時間は継続すると考えたほうがよい。三陸や北海道でも地震が起こって津波警報が出たら、大きな津波がもし来るとしたら、6時間は繰り返しやってくるということを常識としていくことが重要である。6時間は避難所でじっとしていなければならないし、出漁中の漁船は6時間港に帰ってきてはいけない。

図-5は沿岸部市町村の避難勧告の発令基準である。三重県18市町村全部であらかじめ決めていた。和歌山県ではまだ80%、高知県では75%ということで、勧告の発令基準が決められていない。気象庁・消防庁は、津波警報が出たら自動的に避難勧告を出すようにと要請しているが、これもなかなか進まない。首長が不在の場合には助役が判断するとか、消防署長が判断するとかというのはまだまだ文言として残っているが、これが避難勧告の発令を遅くする一つの要因でもある。

(3) 沿岸部自治体の津波災害対応上の問題点

表-2は、沿岸部自治体の職員の非常参集の状況をまとめたものである。2004年9月の紀伊半島沖地震は、夕刻に1回目、深夜に2回目と連続して起きているので、それぞれの県でどのようにであったかということが分かった。こういった事実が、それぞれの県で、その後非常参集の率を高めるという努力につながった。

また、図-6に示すように、避難勧告を誰が発令するのかも決められていないものもある。これは津波だけで

表-2 沿岸部自治体の職員の参集状況

県名	職員の参集状況
三重県	18市町村のうち、2度目の地震で10市町村が「地震発生後30分以内」に過半数以上の職員が参集している。
和歌山県	20市町村のうち、1度目の地震で17市町村、2度目の地震で18市町村が「地震発生後30分以内」に過半数以上の職員が参集している。
高知県	24市町村のうち、1度目の地震で5市町村、2度目の地震で14市町村が「地震発生後30分以内」に過半数以上の職員が参集している。

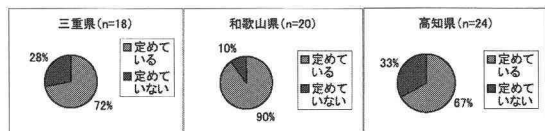


図-6 避難勧告の発令者

はない。集中豪雨時においても避難勧告を出すときにだれが出すのか。その人がいないときに次はだれが出すのか。こういったことが関係者全員の共通の知識として伝わっていないなければならない。

4. GPS 津波計の記録と数値シミュレーション

最後に、室戸沖に設置された GPS 津波計の記録と数値シミュレーションを実施し、リアルタイム解析の有効性と課題を整理する。

非線形長波理論に基づき、紀伊半島沖地震の再現計算を行った。計算に採用した空間格子間隔は1350 mである。本研究で採用した断層モデル（9月6日時点の防災科学技術研究所による暫定 CMT 解）を表-3に示す。

上記パラメータにより求められた海底地盤変動分布（津波発生初期水位の50 cm 毎のコンター、実線が正值、点線が負値）を図-7に示す。この波源モデルにより得られた波形の比較を、室戸沖の GPS 津波計投入位置（室戸岬の13 km 南方沖）と室戸漁港で行った。図-8（GPS 津波計）と図-9（室戸漁港）にその結果を示す。

沖合の計算波形と観測波形は非常に良い一致を示すものの、漁港内での波形の再現性に問題がある。図-9の観測波形を見ると、津波の到達前から津波の卓越周期にほぼ一致した湾水振動が励起されていることがわかる。湾水振動成分を除去した上で、港内の詳細な地形特性を反映した解析が必要であろう。室戸沖では、GPS 津波計による津波の検知から、室戸漁港までの到達に約10分の猶予があることが分かる。この10分をどのように活用するかが今後の課題である。

5. 結 論

以下に得られた結論を列挙する。

1) 本震により発生した津波は伊豆諸島から四国太平洋岸に來襲し、伊豆諸島で1 m 未満、静岡県から和歌山

表-3 断層パラメータ

断層基準点(UTMZone53)	724856, 3666353
断層長さ・幅	60 km・30 km
走行・傾斜角・すべり角(度)	277・52・96
すべり量(m)	1.8
深さ	8 km

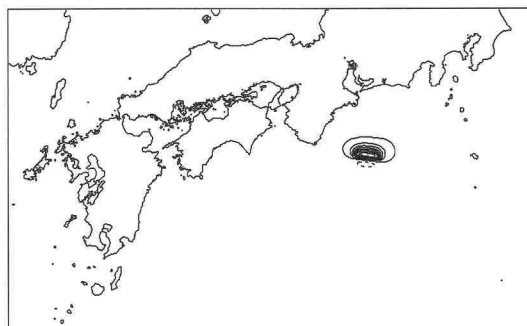


図-7 紀伊半島沖地震津波の初期波形

県の太平洋岸にかけて2 m 程度の津波打ち上げがあったことを確認した。

2) 局所的ではあるが、津波警報で伝えられた予想津波高さ（2 m）よりも大きくなる場所が存在することが確認された。自治体による避難勧告が発令されなくても、地域で自主避難などの対応を取る必要がある。

3) 本震直後の沿岸部自治体の津波情報伝達に関する調査の結果、和歌山県下の沿岸部20市町村では16市町で避難勧告の発令基準を設けていたにも関わらず、実際に発令されたのは2町のみ、三重県では18市町村すべてが避難勧告発令基準を設けていたにも関わらず、実際に発令

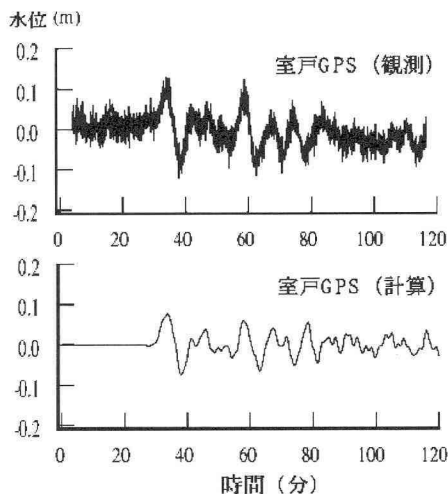


図-8 GPS 津波計投入位置の計算波形と観測波形の比較

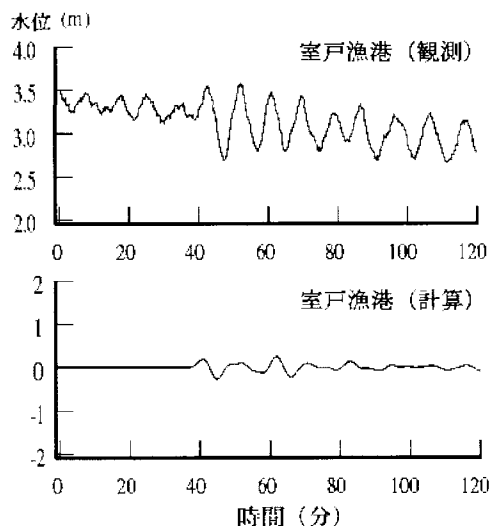


図-9 室戸漁港における計算波形と観測波形の比較

されたのは10市町にとどまった。津波からの避難は一刻を争うため、避難勧告発令の手続きを徹底する必要があることが課題として明らかになった。

4) 地方自治体による津波来襲時の状況把握は、主に職員による現場確認、気象庁からの電文、テレビやラジオの情報に基づいて行っていた。しかし、職員の現場目視による確認行動の危険性や、津波の地域性・局所性を考慮すると、津波来襲などの現状確認体制が不十分であることが分かった。

5) 過去の経験（昭和の地震津波）に基づく、自己判断

で津波警報が出されたにもかかわらず、行動を取らなかった住民が多くいた。

6) 高知県室戸岬の南方13 km 沖のGPS 津波計では津波のリアルタイム観測に成功し、数値シミュレーションによる予測結果と良好な一致を示した。沖合での津波のリアルタイム観測と即時的津波予測の有効性が実証された。しかし、室戸漁港における波形の再現性には問題が残った。津波の卓越周期に一致する湾水振動が励起されており、湾水振動成分を除去した上で、港内の詳細な地形を反映した解析が必要である。室戸沖では、GPS 津波計による津波の検知から、室戸漁港までの到達に10分の猶予がある。この10分を迅速な避難行動にどのように役立てるかが今後の課題である。

謝辞：現地調査を実施するにあたり、多くの津波研究者・海岸工学研究者に協力していただいた。室戸岬沖のGPS 津波計データは、観測主体である日立造船株式会社寺田幸博氏から提供いただいた。本研究の一部は、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト（代表：河田恵昭）の補助を受けた。ここに記して、謝意を表する。

参考文献

- 河田恵昭, 奥村与志弘, 越村俊一, 藤間功司, 永井紀彦: エッジ波の発生を考慮した津波予警報の改良に関する研究, 土木学会海岸工学論文集, 第51巻, pp. 261-265, 2004.
 秋田大学ほか: 2004年9月5日東海道沖の地震による津波, <http://www.hel.ce.akita-u.ac.jp/tsunami/kii2004/>, 2004.