

津波堆積物を用いた南海トラフ東部の津波規模の推定 Estimation of the paleotsunami size using tsunami deposits along the eastern Nankai Trough

藤原 治^{1*}
FUJIWARA, Osamu^{1*}

¹産総研 活断層・地震研究センター
¹Active Fault and Earthquake Research Center, AIST

南海トラフについては、2011年東北地方太平洋沖地震を受けて、国による地震・津波の想定が見直された（中央防災会議、2011、2012）が、発表された“最大クラスの地震・津波”が従来の想定よりも非常に大きなものであったため社会の注目を引いている。これは、今後の想定地震・津波の考え方として、「あらゆる可能性を考慮した最大クラスの巨大地震・津波」を検討した結果とされる。ここで起こる地震と津波は日本の産業・人口の中核を直撃するため、それに対する防災について社会の関心が高まっている。一部の自治体などでは巨大津波を想定した防災・減災対策も進みつつある。

しかし、この“最大クラスの地震・津波”については、それが実際に過去に発生したことがあるかどうかは不明である。南海トラフ沿岸では、過去1300年にわたる歴史記録があるが、このような超巨大な地震と津波の発生は知られていない。それが本当に起きうるかを検討するには、より時間スケールを広げた地質学的な検証が必要である。それには、過去の津波の地質記録である「津波堆積物」を使った古津波イベントの調査研究が重要である。しかし、過去に発生した地震や津波の規模、再来間隔を詳細に解明し、それに基づいて将来起こり得る地震・津波の具体的な規模やその時期などを予測し、防災対策を提案するには、まだ情報が不足している。

津波堆積物から津波の規模を復元するには、津波が起きた時の地形を考慮する必要がある。過去の海岸地形は現在とは大きく異なるのが普通である。このため、津波堆積物が見つかった場所の現在の情報（海岸からの距離や標高）が、そのまま津波の規模を表している訳ではない。たとえば、沖積平野の海岸線は縄文時代には現在よりずっと内陸にあったが、その後の土砂の堆積によって次第に現在の場所まで前進してきた（平野が広がった）。海岸が前進した距離は、浜松平野では過去7000年間で3-4km程にもなる。このため、古い時代の津波堆積物が内陸部で見つかったとしても、それは津波が大きかったとは限らず、海岸線が現在よりずっと内陸にあって、津波が届きやすかっただけかもしれない。

また、隆起速度が速い場所では、古い時代の地層は現在では標高が高い場所に分布している。たとえば、御前崎の周辺では5000年前に海面付近で堆積した地層は、現在では標高7m程度のところまで隆起して海岸段丘を構成している。古い時代の津波堆積物が段丘の上から見つかったとしても、それが直接津波の高さを示していないことになる。遡上高を復元するには、津波が起きてから現在までの隆起量を差し引いて考える必要がある。これ以外にも、津波規模の推定には、土砂供給量の減少などによる海岸の侵食（海岸線が内陸へ後退する）や、風で運ばれた砂による海岸砂丘の成長（自然の堤防を嵩上げする効果）なども影響する。

本発表では、以上のような地形の変化を考慮しつつ、遠州灘沿岸から駿河湾西岸にかけて行っている津波堆積物の研究をレビューして報告する。これまでの調査結果からは、過去4000-5000年間程度については、歴史記録に比べて極端に大きな津波の痕跡は見つっていない。

キーワード: 南海トラフ, 東海地震, 津波, 津波堆積物
Keywords: Nankai Trough, Tokai earthquake, Tsunami, Tsunami deposit

南海トラフ沿いの津波堆積物から考える巨大地震と原子力発電所 Tsunami Sediment along the Nankai Trough and Nuclear Power Plants

岡村 眞^{1*}
OKAMURA, Makoto^{1*}

¹ 高知大学総合研究センター
¹ Science Research Center

東北地方太平洋沖地震が証明したことは、私たち地震の研究者は千年に一度の地震を「想定外」にしてしまう実力しかないということである。仙台平野を襲った貞観津波や海溝よりの地震による巨大津波の可能性などは、研究者には知られていたという事実はあったとしても、それは社会的には黙殺され、結局のところほとんどなかったに等しい。ないどころか多くの地震の研究者が、あたかも科学が地震を解明しつつあるような幻想をバラまいてきたことにより、「まさかこんなところまで津波がくるはずがない」という住民の思い込みを助長する役割を果たしたと言うこともできる。これらの事実を正しく認識しない限り、私たちは前に進むことはできない。

海溝型の巨大地震は、およそ数十年から数百年の繰り返し間隔を持っていると考えられている。それが正しいのであれば、当然、千年に一度、一万年に一度という出来事もあると考えるのが常識だ。しかしながら、私たちは実際には千年に一回というレベルの知識すら十分には持ち合わせていない。私たちはこれまで南海トラフ地震による津波の履歴を明らかにするために、沿岸湖沼の津波堆積物の研究を行ってきた。その結果、ある程度大きな津波は過去六千年間にわたって三百年に一回程度の割合で繰り返し発生していること、宝永地震津波は歴史記録で言われているように千年に一度の規模の地震であったが、過去数千年間では最大とは言えないことなどを明らかにすることができた。しかしながら、私たちが地質記録から知ることができるのは、過去数千年間のおおまかな津波観でしかない。津波堆積物を研究すれば過去の記録は解明できるような風潮があるが、調査をすれば必ず成果が得られるわけではない。私たちは30以上の湖沼で調査を行ってきたが、このなかで良好な記録を得ることができたのは数例であり、率にすれば3割に満たない。私たちが研究対象としているような沿岸湖沼は、南海トラフ沿岸が過去数千年間では沈降域であることから存在しており、こういった湖沼のない仙台平野や三陸沿岸で同様の研究を行うことは不可能に近い。反対に仙台平野で行われた貞観地震の津波堆積物の分布を詳細に追うような研究は、広い平野が存在せず、津波が山まで駆け上がってしまう四国や紀伊半島の沿岸域では難しい。さらに、津波堆積物が有効に利用できるのは、最大でも、海水準が現在とほぼ等しい過去約7000年の間に限られる。地質記録から具体的にどこで何メートルの津波が来たのかを明らかにすることは困難であるし、まして次の津波がどこで何メートルになるのか、わかるはずもない。私たちは過去の履歴を知る努力を少しずつ重ねていかなければならないが、そこで得られる結果についても冷静に限界を判断する必要がある。

これまで原子力発電所は絶対に事故を起こさないとされてきた。100%の安全は科学者もしくは技術者にとってはあり得ないことだが、では、原発の事故は何年に一回程度なら容認されるのか。千年に一度の地震を「想定外」にしてしまう地震の研究者が、どうして原発の安全を保障することができるのか。これまで多くの原発が地震や津波の被害を受けてこなかったのは、決して科学者が安全性を正しく審査しているからではない。単に、原発が地震や津波の被害を受けるなどということは、常識的にはめったに起こらないことだからである。めったに起こらないはずのことが、柏崎、福島と立て続けに起こったという事実は、何よりも私たちが原発の地震、津波に対する安全性をまったく評価できていないことを証明している。

今回の福島事故に対して、これまで原発の安全審査を行ってきた研究者、日本海溝の地震の研究を行ってきた研究者、そして地震の予知の予算を使用した研究者、誰一人として責任をとったものはいない。私たちはベストを尽くしていたが、そこまでは至らなかったのだから仕方がない、と言うことができるかもしれない。しかし、もしも次に事故が起こった場合、私たち地震の研究者は「想定外」でしたと言い訳して責任を逃れることが許されるとは思わない。

私たちは千年に一度の地震に対処できなかった。あれからたった3年しかたっていないにもかかわらず、地震の研究者は原発の安全性にお墨付きを与えようとしている。税金を使って研究を行っている私たちには、分からないことがたくさんあるということを謙虚に認識するとともに、正しく説明する義務がある。

キーワード: 巨大地震, 南海トラフ, 津波堆積物, 原子力発電所
Keywords: mega-quake, Nankai Trough, tsunami sediment, nuclear power plant

東北地方太平洋沖地震前後の巨大津波の研究と原発の安全審査 Change of giant tsunami study and the risk evaluation of the NPP before and after the 2011 Tohoku earthquake

岡村 行信^{1*}

OKAMURA, Yukinobu^{1*}

¹ 産業技術総合研究所

¹The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

東北地方太平洋沖地震が発生した2011年3月11日は、産業技術総合研究所が中心となって進めていた貞観地震研究が一段落し、地震調査研究推進本部ではその成果を含む日本海溝の評価が公表寸前の段階であった。一方で、原子力発電所の安全審査はスピード感が失われていた時機であったと言える。

産総研による仙台平野における津波堆積物研究は2004年から開始し、2005年度から2009年度までは文部科学省のプロジェクトの一部として研究を続け、2010年春に最終報告書を提出した。その中には、福島県北部から石巻周辺で津波堆積物が広がり、その分布域まで浸水する津波を発生させるためには、宮城県から福島県沖でマグニチュード8.4以上の地震は発生したと推定されること、地震発生間隔は450から800年程度であると記述されている。その時点で、産総研の研究チームでは、津波堆積物調査の範囲が不十分であるため、北側と南側の波源域がさらに広がる可能性があること、砂質の津波堆積物の分布域より津波浸水域が広いはずであるという認識を持っていた。それを証明するための調査を福島県南部から茨城県などで開始し始めていたが、条件の良い調査地点を見つけることができていなかった。

原子力発電所の安全審査は、新たな安全審査指針に既存の発電所が適合するかどうかの審査が2007年頃から始まっていた。審査は、3つのサブグループで担当を分割し、各サブグループの審査が終わった段階で全委員が集まる合同会合で最終確認を行うと手順で行われた。地震動に関する審査が優先され、その審査結果を中間報告としてまとめる作業が先行し、津波の評価を含む本報告は後回しにされた。福島第1原発の中間報告案は2009年春の全体会合に提出されたが、産総研による貞観地震の研究成果が考慮されていなかった。その後最低限のモデルだけは考慮されたが、貞観地震の本格的な評価は本報告で行うという条件で議論が先送りされた。その後の議論も津波の評価も一度も行われないうまま、2011年3月11日を迎えた。

産総研の貞観地震に関する研究成果は、2005年以降学会など発表で発表し、マスコミでも報道されたが、日本海溝でM8.4以上の巨大な地震と津波が発生する可能性について学会レベルで議論が広がることはなかったように思われる。さらに、想定津波の規模を大きくすることは社会的な影響と抵抗も大きかった。巨大津波に対する危機感は学会、社会全体に乏しかった中で、原子力発電所は稼働したまま審査を受けており、予定が遅れていても、原発が止まることはなかった。

東北地方太平洋沖地震によってそのような状況は180°変わった。防災意識は高まり、津波や地震の想定も、既往最大ではなく、最大規模が当然になった。原発への見方も厳しくなり、安全が確認されないと稼働できない状況に変わった。国が巨大な地震・津波を想定することに躊躇しなくなったことから、地質学的な研究から想定外の巨大津波の可能性を指摘ができる余地はかなり小さくなった。しかしながら、海溝型地震についてまだわからないことは多く残っている。それらを明らかにする努力を続けるとともに、確実にわかっていることと、可能性があること、わからないことを社会に正確に伝えていくことが重要である。

キーワード: 津波堆積物, 巨大津波, 貞観地震, 津波評価

Keywords: tsunami deposits, giant tsunami, Jogan earthquake, Tsunami evaluation

海溝型巨大地震の強震動の特性と巨大剛構造物としての原子力発電所の応答 Strong motion characteristics of Mega-Thrust earthquake and the seismic response of NPP as a massive, stiff structure

川瀬 博^{1*}
KAWASE, Hiroshi^{1*}

¹ 京都大学防災研究所
¹ DPRI, Kyoto University

東北地方太平洋沖地震では宮城県・茨城県を中心に多くの地点で大きな加速度を有する強震記録を観測した。気象庁の報告では震度7となったのは栗原市の K-NET 築館 (MYG004) だけであったが、震度6強を示した観測点は40地点に及んだ。その観測記録の最大加速度および最大速度は既往の距離減衰関係式と概ね対応しており、最大加速度では三陸から茨城県に至る広い沿岸地域において500Gal以上となっていたが、その大加速度領域内でも最大速度では80cm/sec以下となっていた。このように加速度が大きい割には速度はそれほど大きくなく、兵庫県南部地震の経験から求められた大被害となる条件である最大加速度800Gal以上、最大速度100cm/sec以上の条件を満たし、かつ明瞭な「やや短周期」パルスが見られた観測記録は見あたらなかった。

実際、筑波大学の境教授は震度6強以上を記録した観測点回りの被害建物棟数を現地調査し、非常に小さい被害率であったことを報告している。また我々は東北地方・関東地方北部における K-NET および KiK-net による観測強震動波形を兵庫県南部地震の震災の帯の中での被害率を再現できる非線形構造物応答解析モデルに入力して数値的に被害率(大破倒壊率)を計算しているが、2,700Galを記録した K-NET 築館 (MYG006) を含む一部の加速度の大きな地点を除きほとんどの地点で被害率は10%以下となることがわかっている。このことは剛構造設計のコンセプトに基づいて水平抵抗強度を付与することを主たる目的としている日本の耐震設計・耐震建築が、加速度が大きいだけのランダムな震動に対しては十分な抵抗力を持っていることを示している。

一方、今後発生が危惧される南海トラフ沿いの強震動予測については、中央防災会議が予測震度を計算しており、従来は南海セグメントと東南海・東海セグメントの3連動モデルまでの計算であったが、東北地方太平洋沖地震を受けて4連動モデルの震度分布を公表し、さらにそれによる被害予測結果も公表している。しかし、この4連動モデルの構造物震害予測は計算した計測震度とその計測震度一被害率の関係をを用いた経験的被害関数によっているものであり、その被害関数はもっぱら兵庫県南部地震の被害率によって決まっているので、上記のような強震動特性の違いが反映されておらず、明らかに過大評価となっている。

実際、東北地方太平洋沖地震と同様に非線形構造物応答解析モデルに対して、我々が独自に統計的グリーン関数法と不均質アスペリティを有する震源モデルで計算した強震動波形を入力して被害率を計算したところ、30%以上の大被害が予測されたのはアスペリティ近傍でかつ地盤の軟弱な一部地域に留まり、全面的に大被害が生じるわけではないという結果を得ている。これは構造物の震害予測に際しては実被害を予測でき、かつ強震動特性の性質の違いを反映できる手法を用いることが重要であることを示している。

原子力発電所の巨大地震による被災リスクを考える上でもこの強震動特性と原子力発電所の応答特性との関係は重要である。一般構造物と同様に原子力発電所は剛構造設計のコンセプトに基づいて設計されており、単にその共振振動数だけを考えれば海溝型巨大地震で大加速度地震動が入力した場合、大きな応答が生じることが危惧されるわけであるが、ではそれが直ちに大きな構造物被害に結びつくかという点、一般構造物と同様なメカニズムによってそうはならない可能性が高い。

その点に関して我々は2003年時点での中央防災会議の3連動モデルの公開計算強震動波形を用いて(なお4連動モデルの計算強震動波形は未だ公開されていない)、その沿岸域全域での計算波形による原子力発電所の原子炉建屋の最大層間水平(せん断)変形を計算し、それと地震動最大値指標との関係を整理している(Seckin et al., 2008, WCEE)。その結果、計算された原子炉建屋の最大層間水平(せん断)変形は、その設計値を超える大きな最大加速度・短周期成分にもかかわらず弾性限界値の2倍程度に留まり、危惧されるような大被害レベルには達しないことがわかった。このことは一般に十分理解されているとはいいがたいが、原子炉建屋の(建築物としての)設計クライテリアはそのせん断変形量を最小限にすることとしているため、言い換えると設計レベルをある周波数で超えることが直ちに被害に結びつくわけではないことを意味している。

以上本報告では、巨大海溝型地震の強震動特性と構造物被害の生じるメカニズムについて既往の研究成果に基づいて得られている知見を整理した。今後は中央防災会議の4連動モデルによる計算波形の公開を待って上記の計算を再度行って同様のことが言えるかどうかを確認する必要がある。

キーワード: 強震動, 海溝型巨大地震, 剛構造物, せん断変形

U09-04

会場:502

時間:5月1日 16:15-16:40

Keywords: strong motion, Mega-thrust earthquake, Stiff structure, shear deformation

東北地方太平洋沖巨大地震後の津波に対する原子力発電所の安全基準のあり方 Safety regulations of nuclear power plant for tsunami after the 2011 great Tohoku-oki earthquake

谷岡 勇市郎^{1*}
TANIOKA, Yuichiro^{1*}

¹ 北海道大学地震火山研究観測センター
¹ Institute of Seismology and Volcanology

2011年東北地方太平洋沖巨大地震により発生した大津波により福島第一原子力発電所が炉心融解および建家爆発に至り、今も放射能汚染により多くの住民が避難する大事故となった。事故発生後、間もなく原子力安全委員会の下に地震・津波関連指針等検討委員会が設置され、耐震設計審査指針の改訂が議論された。事故以前の審査指針では津波については「地震随伴事象に対する考慮」として扱われていたが、新指針では「耐震安全設計方針」とは別項目として「津波に対する安全設計方針」を作ることが議論された。2012年3月には津波に対する設計方針が盛り込まれた、新しい審査指針および安全審査の手引きがまとめられた。その後、2012年9月に原子力規制委員会が発足し、その下に「地震・津波に関わる規制基準に関わる検討チーム」が結成された。そこで新たに「地震及び津波に関わる新安全設計基準」が議論され、2013年6月に新安全設計基準がまとめられた。

そこには、基本として多重防御の思想が取り入れられている。1) 基準津波に対して敷地内に津波を侵入させない。2) 何らかの原因で津波が侵入した場合に備えて、施設及び建家内に津波を侵入させない。3) 何らかの原因で建家に津波が侵入し、電源喪失が発生した場合に備えて、高台に電源供給源を確保し、重大事故に陥らせない。基準津波に対しては、最大級の巨大地震による津波波源を考慮することとした。ここで問題となるのが、この多重防御の思想の理解であろう。津波が侵入した場合に備えて建家は防水されているのだから、基準津波による少々の浸水を許しても大丈夫と考える業者が出てくる。このような考えが出てくると逆に多重防御にすることにより、逆に危険性が増すことにつながりかねない。厳密に多重防御の思想を適用して欲しいと願う。

耐震規制基準と地震の科学 Seismic Safety Regulations and Earthquake Science

瀨瀬 一起^{1*}
KOKETSU, Kazuki^{1*}

¹ 東京大学地震研究所
¹ Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo

原子力発電所の耐震規制基準は、他の構造物と同じように地震動ハザードと津波ハザードの評価から始まっている。地震動ハザードの評価方法には大別して確率論的予測とシナリオ予測があるが、耐震規制基準においてはシナリオ予測を基本とし、残余のリスクの評価のために確率論的予測を補助的に行う。従って、地震の科学の知見が主に貢献するのは、シナリオ予測におけるシナリオ地震の想定にある。

本発表では、コンビナーの要請に従い原子力発電所の地震動ハザード評価を中心に議論するが、海溝型巨大地震に関連して津波ハザード評価についても述べる。また、東北地方太平洋沖地震によって原子力発電所で生じた各種事象と、これらのハザード評価やシナリオ地震の想定との関係について著者の見解を述べる。

最後に、原子力発電所の耐震安全性評価における地震の科学の果たす役割について議論し、まったく未経験の事象を予見することができなければ、地震の科学は原子力発電所の真の安全性には貢献できないことを示す。また、「何ものにもとらわれず、科学的・技術的な見地から、独立して意思決定を行う」ことで真の安全性が得られるという思い込みの危険性を議論する。