

学位論文要旨および審査要旨

氏名 江原 竜二
学位の名称 博士(学術)
学位記番号 安全博第6号
学位授与の日付 2017年3月31日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目 地震に伴う広域地盤変動を考慮した氾濫リスクに関する基礎的研究
論文審査委員 主査教授 高橋 智幸
副査教授 河田 恵昭
副査教授 井合 進

論文内容の要旨

地震に伴う広域地盤変動は、今や治水計画の構想・計画段階において考慮すべき地震ハザードとなっている。しかしながら、従来から、内陸断層帯を震源とする地震に伴う変動は本格的に検討されてこなかった。本研究では、大阪府の寝屋川流域を対象として、地球物理学、土木工学および歴史学から得られる科学的知見に基づき、逆断層地震である上町断層帯の地震活動に伴う地表面の変動量を把握し、河川の氾濫リスクが惹起される可能性を明らかにした。その成果は、つぎの4点に集約される。

第1は、地震に伴う広域地盤変動を経験してきた大阪平野とその周辺を取り上げ、ここでは、南海地震のような海溝型地震より、上町断層帯のような内陸活断層帯地震の方が、大きな地盤変動を引き起こすことになることを示した。しかしながら、内陸断層帯地震は、一般に発生頻度が小さいために、地震記録や被災記述がない場合が多く、地震に伴う広域的な地盤変動を、防災上考慮できていないことが課題となっていることを明らかにした。

第2は、地震に伴う広域地盤変動によって、治水機能が著しく損なわれることを念頭に、現在の治水機能を新たに築き上げるために必要とする時間と経費がどの程度なのかについて、残存する治水投資に関する統計資料から評価した。その結果、大阪高潮対策事業および寝屋川総合治水対策事業の進捗の経緯から、現在の治水機能を新たに築き上げるための所要時間と経費を推定することができた。

第3は、地震による治水機能への影響を論じる上で、堤防の耐震性能を評価するため、地震応答解析時の工学的基盤面の設定深度の妥当性を検証した。大阪平野の沖積地盤は、洪積砂礫層とその下の洪積粘土層によって互層を形成しており、その代表的な地点を選定し、それぞれの地点で1次元非線形地震応答解析を実施するとともに、適切な工学的基盤面の設定深度を示すことができた。その上で、代表的な1断面を対象とした地震応答解析から、基礎地盤を含めた堤防沈下量を明らかにすることができた。

第4は、上町断層帯を震源とする地震によって発生する広域地盤変動が、東部大阪の寝屋川流域の氾濫リスクとなることを示した。すなわち、まず、地盤を均質な半無限弾性媒質と仮定し、既往の調査・研究成果から矩形断層モデルと断層パラメータを設定した上で、地表面の鉛直方向の変動量を、数値シミュレーションによって求めた。ここでは、上町断層帯の1回の活動に伴う、東部大阪の地盤変動の傾向は、同地層が堆積し始めた年代以降の断層の推定活動回数に基づいて、地盤変動量を算定した。その結果、東部大阪において、両地層の堆積年代間の傾動速度がシミュレーションと相関することがわかった。その上で、上町断層帯の1回の地震活動に伴う広域地盤変動によって、洪水氾濫は

発生しないが、東部で河川が逆勾配となり、基礎地盤を含む堤防の沈下も加味した流域の氾濫リスクを定量化できた。

論文審査結果の要旨

本研究で対象とした大阪府の東大阪地域を流れる寝屋川は、河床勾配が1万分の1程度の緩勾配河川であり、河口より約10kmが感潮区間となっている典型的な内陸河川である。その流域は密集市街地を構成し、12市（流域人口：約273万人）にまたがる流域面積267.6km²の約2/3の178km²は、自然排水しない低地であるという特徴を有している。そして、河口部に当たる西端付近に逆断層地震となる上町断層帯が南北方向に走行しており、もし地震が起これば、西端部が隆起し、東部が沈降すれば、河床勾配は逆勾配となり、最悪の場合、氾濫災害が惹起する恐れがあり、治水上憂慮すべき事態が想定さ

れていた。そこで、本研究では、地震の揺れに伴う地盤変動量を、非線形応答解析手法を適用して求めた。その過程では、地層形成に及ぼす過去の地震の影響を定量化してモデル化を行い、地盤沈下の影響も考慮した解析を実施した。その結果、河床勾配は逆勾配となるものの、直ちに氾濫に結び付く危険性は少なく、水門等の治水構造物の適切な稼働によって氾濫を避けることができることを明らかにした。この科学的知見は、将来の地震時の被害想定を行う上で極めて重要な知見であるといえる。

したがって、本学位請求論文は、これまで重視されてこなかった内陸活断層地震による広域地盤変動量を推定する定量的方法を開発し、その応用例として寝屋川の地震時の氾濫危険性を検討して、治水安全性を明らかにするという独創的な研究成果を上げていることがわかる。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。

学位論文要旨および審査要旨

氏名 小園裕司
学位の名称 博士(学術)
学位記番号 安全博第7号
学位授与の日付 2017年3月31日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目 建物倒壊および災害がれきを考慮した津波被害予測手法に関する研究
論文審査委員 主査教授 高橋 智幸
副査教授 川口 寿裕
副査講師 鳴原 良典

論文内容の要旨

2011年東北地方太平洋沖地震に伴う津波(以下、東北津波)は岩手県や宮城県、福島県を中心に甚大な浸水被害を発生させた。特に市街地へ浸水した津波は大きな流体力を有するため、多くの建物を倒壊させ、被害を拡大させる要因となった。倒壊した建物に加えて、車両や船舶も津波により運搬され、陸域および海域に災害がれきとして集積した。これらの災害がれきは被災直後の救助活動の妨げになったのみならず、復旧・復興過程にも支障をきたしており、最終的な津波被害に大きな影響を与えている。しかし、従来の津波被害想定では、災害がれきの発生および集積については定量的な評価が行われてこなかった。これは、津波の市街地への浸水、波力の発生、波力による建物倒壊、倒壊した建物や車両、船舶などの移動および停止という一連の現象を包括的に再現するための物理モデルが存在していないことが原因である。そこで、本論文では津波来襲時の災害がれきの発生に関する統合シミュレーションモデルの構築を目的として、以下のような研究を実施した。

(1)東北津波により大量の災害がれきが発生した気仙沼市を対象として、津波痕跡高や航空測量データ、航空写真などから被災状況を調べた。その結果、木造やRC造、S造などの建物の構造種別毎の倒壊状況を明らかにするとともに、提案モデルの検証データを得た。(2)従来の津波浸水モデルでは、建物を粗度とみなして計算条件を設定しているため、津波に対する建物の影響は底面摩擦によるエネルギー損失として考慮されている。すなわち、実際の物理現象をモデル化するのではなく、簡易的に建物の影響を評価している。そこで、本論文では建物の形状を計算条件として設定し、津波に対する建物の抵抗を考慮できる津波浸水モデルを提案した。そして、両モデルを気仙沼市に適用し、提案モデルが津波痕跡高をより再現できることを示した。(3)津波の浸水に伴う波力および推定された波力による建物倒壊を評価できる災害がれきの発生モデルを構築した。その際、気仙沼市での調査結果から建物構造種別毎で倒壊に至る閾値を求めた。そして、本モデルを気仙沼市に適用することにより、建物の倒壊被害が再現可能であることに加えて、浸水分布の再現性も向上することを示した。(4)災害がれきを構成するのは、倒壊した建物に加えて、車両や船舶など多種多様であるため、移動形態も複雑になる。さらに巨大津波においては大量の災害がれきが発生するため、津波への抵抗も考慮する必要がある。そこで、災害がれきの密度により漂流あるいは底面移動を評価でき、また災害がれき同士および災害がれきと流体との相互干渉を再現できる災害がれきの移動モデルを構築した。そして、津波によるブロックの底面移動および木片群の漂流に関する水理実験結果や数値実験結果と比較することにより、提案モデルの再現性を検証し

た。(5)上記の包括的な災害がれきモデルを気仙沼市および陸前高田市に適用して、津波による建物の倒壊、倒壊した建物や車両、船舶の移動、災害がれきの集積を再現して、東北津波による被害状況を解析できることを示した。

論文審査結果の要旨

津波災害においては浸水による直接的な人的被害が多く報告されるため、これまでの津波被害想定では浸水範囲や浸水分布の予測が中心となっている。しかし、東北津波が示しているように、大量の災害がれきは被災直後の災害対応や復旧・復興過程に対して大きな影響を与える。特に、南海トラフ巨大地震災害のように、現代の都市部を襲う巨大津波ほど、災害がれきによる被害の拡大は深刻な状況になると予想される。よって、事前に災害がれきの発生状況を定量的に予測し、地域防災計画に反映していくことが重要となる。

本学位請求論文では、津波による災害がれきの発生、移動および集積を数値シミュレーショ

ンにより再現できる包括的な物理モデルを提案している。具体的には、市街地での複雑な津波の流況を再現するための建物形状を考慮できる津波浸水モデル、津波の波力とその波力による建物の倒壊を建物構造毎に再現できる災害がれき発生モデル、倒壊した建物や車両、船舶の多様な移動過程とそれらの停止を再現するための災害がれき移動モデルを構築している。各現象は密接に関係しているため、それらの相互作用は物理的にモデル化がなされているが、非線形長波理論に基づく二次元モデルであるため、防災実務において使用できる程度の計算負荷を実現している。そして、提案モデルを実現現象や水理実験結果、数値実験結果と比較して検証することにより、災害がれきの発生メカニズムを再現できることを示している。さらに、浸水分布についても従来モデルに比べて再現精度が向上しており、津波被害想定信頼性向上に貢献できると期待される。

よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。

学位論文要旨および審査要旨

氏名 門 廻 充 侍
学位の名称 博士（学術）
学位記番号 安全博第8号
学位授与の日付 2017年3月31日
学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目 海洋レーダ等による観測データを
活用した津波波源および伝播
過程の検知に関する研究
論文審査委員 主査教授 高橋 智幸
副査教授 林 能成
副査教授 越村 俊一

論文内容の要旨

東日本大震災における甚大な津波被害は、従来の津波防災の様々な問題点を明らかにした。本論文では、特に重要と考えられる問題点として、事前の外力想定での過小評価、津波警報の過小評価および津波観測データの活用に焦点をあて、以下のような研究を実施した。

(1)東北地方太平洋沖地震（以下、東北地震）以降は、地震・津波の過小評価を防ぐため、大すべり域および超大すべり域（以下、大すべり域）を考慮した断層モデルが津波被害想定において一般的に用いられている。その際、大すべり域などの不確かさを考慮することができる多数津波シナリオが重要となる。そこで、大すべり域の形状として、幾何学的なパラメータを減らすことができる半円を採用し、複数の大すべり域の位置やすべり量、破壊開始点、地震規模を客観的に設定できる汎用的なモデルを構築した。そして、本モデルを南海トラフに適用した結果、Mw8.4から9.1までの328シナリオが設定され、既往の想定に比べてより不確かさが考慮できていることを示した。(2)東北地震の発生

直後に発表された津波警報は過小評価となったが、これは地震波観測から推定されたマグニチュードの過小評価が原因であった。そこで、津波観測データを用いて、津波警報の過小評価を防ぐモデルを構築した。具体的には、上述の多数津波シナリオを外力条件とした津波伝播計算（以下、多数津波シミュレーション）を実施して、津波波源とGPS波浪計での観測津波波形の関係性を求めた。その結果、地震発生から5分後および15分後の水位変動量を用いることにより、津波警報が過小評価になっていないかが判定できることを示した。(3)津波波源の形状は複雑であるため、津波波形には様々な周期の波が含まれる。また、各湾にはそれぞれ固有周期が存在し、この固有周期に一致した津波が湾に侵入すると副振動が発生し、局所的に津波が増幅される。そこで、多数津波シミュレーションによる観測津波波形のスペクトル解析を行い、大すべり域や破壊開始点、マグニチュードと卓越周期の関係性を明らかにした。これにより、津波発生直後の観測データから卓越周期を調べることができ、副振動が発生する危険性の高い湾を探索できることを示した。(4)津波発生直後に、GPS波浪計および海洋レーダの観測データを用いて、特性化波源モデルを推定する方法を構築した。具体的には、震源とマグニチュードのみから決定した矩形断層モデルを初期条件として津波伝播計算を実施し、観測データとの相関係数および回帰係数を求めることにより、背景領域と大すべり域の断層長、断層幅およびすべり量を推定できることを示した。(5)海洋レーダを仮想的に西日本の太平洋沿岸に設置し、南海トラフ巨大地震津波の観測性能を明らかにした。具体的には、レベル2津波（Mw9.1）、レベル1津波（Mw8.6）およびレベル1を下回る津波

(Mw8.4)を想定し、海洋レーダにより観測できる津波波源の領域を調べた。その結果、背景領域の大部分では流速が小さく観測は困難であるが、大すべり域では水面勾配が大きく、流速も4.8cm/sを超えるため、例えばMw9.1のシナリオでは大すべり域の輪郭の83%が検知できることを明らかにした。また、海洋レーダの観測適地として、津波波源全体を捉えるための7地点と津波伝播過程を捉えるための16地点を提案した。

論文審査結果の要旨

本学位請求論文では東日本大震災を踏まえた新たな津波対策が提案されている。東北地震では、想定されていなかったセグメントの連動や海溝軸付近での大きなすべりが津波を増幅させた。このような想定外が起こる危険性を下げるためには、地震発生の不確かさを考慮することが重要であり、提案されている多数津波シナリオの設定モデルはそれを可能にしている。また、

この多数津波シナリオを活用した検討から、津波観測データを用いて津波警報の過小評価を判定するモデルと副振動の危険性が高い湾を特定するモデルを構築している。さらに特性化波源モデルを推定する方法も提案されており、津波発生直後に不均質性を考慮した津波波源が推定できれば、津波警報の信頼性向上および高精度の激甚被災探索が可能となる。このように津波観測データは今後の津波防災ではより重要となるが、地震に比べて津波の観測体制は貧弱である。東北地震以降はDONETなどの点観測の整備は進んでいるが、津波波源は数百kmにもおよぶ大規模な現象であるため、その全体像を把握するには海洋レーダのような面的な観測が重要である。そこで、海洋レーダによる津波波源の観測性能を明らかにするとともに、観測適地を提案している。このように本論文では、来るべき南海トラフ巨大地震災害に備えることを目指して、防災研究のみならず、実務での活用も期待される研究成果が得られており、博士論文として価値あるものと認める。