



# 地震情報に基づく被害規模と地盤災害の予測に関する基礎的研究

本田, 和也

---

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2021-03-25

(Date of Publication)

2022-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第8065号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1008065>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



(別紙様式 3)

## 論文内容の要旨

氏 名           本田 和也          

専 攻           市民工学専攻          

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

### 地震情報に基づく被害規模と地盤災害の予測に関する基礎的研究

指導教員           飯塚 敦          

(注) 2, 000 字～4, 000 字でまとめること。

(氏名: 本田 和也                      NO. 1 )

日本は、予てより多くの地震災害が発生する風土である。大きな被害をもたらす巨大地震は 100 年から 150 年の周期で発生すると考えられており、近年、地震災害に対する危機感が高まっている。地震災害に備えた対策は地震発生以前から前もって実施する事前対策と、災害発生後に応急対応を行うことで人命救助や復旧・復興に取り組む事後対応とに大別される。本研究では地震災害に対する被害低減を目的に、事前対策、事後対応それぞれのアプローチから地震対策に資する研究課題に取り組む。

本論文は 2 編から構成される。第 1 編では、応急対応時の被害情報に着目し、発災直後に錯綜する被害情報をベイズ推定手法によって予測する。第 1 編第 1 章では、発災直後の被害情報の不足と被害情報予測の必要性について述べ、他の発災後の被害予測手法と比較した本研究手法の位置づけについて述べる。地震の発生場所や規模に応じて被害を予測する手法はすでに提案されているが、逐次得られる情報を基に被害を予測する手法は少ない。第 1 編第 2 章では、ベイズ推定を用いた被害情報予測モデルの定式化について記述し、既往の研究成果と課題について述べる。既往の研究成果では複数の事前分布パターンを用いて被害情報推定を行っているが、事例によって信頼できる推定値が得られない事例があり、すべての事例に適用できる推定手法の構築には至っていない。第 1 編第 3 章では、死亡者数の経時変化を表現する死亡者数再現関数に着目し、被害情報推定に用いる場合に適した死亡者数再現関数について検討する。第 3 章では三通りの死亡者数再現関数を用いて比較を行っており、推定結果には再現関数のパラメータに対する感度が大きく影響するという傾向を示している。第 1 編第 4 章では、ベイズ推定手法における事前分布の決定手法について検討する。事前分布は推定の早期収束に大きく影響する。第 4 章では意思決定時点までの被害情報の推移を利用し、より早期での推定結果の収束が見込まれる事前分布決定手法の構築に取り組む。第 1 編第 5 章では、第 1 編での研究成果および展望について述べる。第 1 編では死亡者数再現関数や事前分布決定手法について検討することで、発災後 24 時間を目安におおよその被害規模を予測できることを示している。ただし、広域での甚大な被害が生じた東北地方太平洋沖地震を対象にした場合には推定値の収束に膨大な時間を要するなどの課題が残されている。

第 2 編では、事前の広域被害予測に視点を移し、弾塑性有限要素解析手法を用いて地震時被害を正確にシミュレートする手法の構築に取り組む。第 2 編第 1 章では、現状の事前対策における被害予測シミュレーションについて述べ、弾塑性有限要素解析による被害予測シミュレーションの必要性について述べる。第 2 編第 2 章では、地震時の動的挙動を表現する動的有限要素法の定式化および弾塑性構成モデルについて述べる。第 2 編第 3 章では広域地域の地震時被害を正確に表現するため、弾塑性動的解析における解析パラメータ決定手法について検討する。広域地域での解析では各地点で詳細な土質試験を実施することは困難であるため、限られた地盤情報から機械的にパラメータを決定する手法を考案する必要がある。飯塚ら<sup>2)</sup>や宮田ら<sup>3)</sup>は N 値や塑性指数から解析パラメータを決定する手法を

氏名	本田 和也		
論文題目	地震情報に基づく被害規模と地盤災害の予測に関する基礎的研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	飯塚 敦
	副査	教授	澁谷 啓
	副査	教授	大石 哲
	副査	准教授	竹山 智英
副査			
要 旨			
<p>地震災害に備えた対策は地震発生以前から前もって実施する事前対策と、災害発生後に応急対応を行うことで人命救助や復旧・復興に取り組む事後対応とに大別される。本研究では地震災害に対する被害低減を目的に、事前対策、事後対応それぞれのアプローチから地震対策に資する研究課題に取り組んでいる。本論文は2編から構成される。まず研究の背景と目的を述べた後に、第1編では、応急対応時の被害情報に着目し、発災直後に錯綜する被害情報をベイズ推定手法によって早期に予測する手法を考案している。第1編第1章では、発災直後の不足する被害情報から如何にして被害規模を早期に予測するかの重要性を論じている。地震の発生場所や規模に応じて被害を予測する手法はすでに提案されているが、逐次得られる情報を基に被害規模を早期に予測しようとする手法は少ない。第1編第2章では、ベイズ推定を用いた被害規模予測モデルについて記述し、既往の研究成果と課題について述べている。第1編第3章では、死亡者数の経時変化を表現する死亡者数再現関数に着目し、適切な死亡者数再現関数について検討している。第1編第4章では、ベイズ推定手法における推定の早期収束について検討している。より早期での推定結果の収束が見込まれる事前分布決定手法の構築に取り組んでいる。第1編第5章では、第1編での研究成果および課題と展望について述べている。再現関数や事前分布の決定手法を工夫することによって、発災後24時間を目安に信頼できる被災規模の推定を行えることを示している。ただし、広域での複合的な被害が生じた東北地方太平洋沖地震を対象にした場合には推定値の収束に膨大な時間を要するなど課題を残している。</p> <p>第2編では、土水連成の弾塑性有限要素解析手法によって、比較的広域を対象に地震時液状化被害予測シミュレーションを実施することで、事前対策に資することを目的としている。事前の地震被害予測に視点を移し、液状化被害を物理現象として正しくシミュレーションする手法の構築を試みている。第2編第1章では、現状の事前対策における液状化被害予測シミュレーションについて述べ、土水連成の弾塑性有限要素解析による被害予測シミュレーションの必要性について述べている。第2編第2章では、本研究で用いる動的有限要素法の定式化および弾塑性構成モデルについて説明している。第2編第3章では広域地域の地震時被害を正確に表現するため、弾塑性動的解析における解析パラメータ決定手法を検討している。広域地域での解析では各地点で詳細な土質試験データを得にくいことから、限られた地震情報からパラメータを決定する手法を考案する必要がある。ここでは広く得られるN値や塑性指数から解析パラメータを決定する手法を検討している。第2編第4章では、東京23区の広域地域を対象に多数地点ごとでの一次元動的解析を実施している。東京23区の約16000本のボーリング調査データを基に、三次元グリッドモデル構築プログラムを用いてN値、土質区分についての地盤モデルを構築している。東京23区の東部には海拔ゼロメートル地帯が広範囲に広がっており、災害が発生した際には甚大な被害発生が危惧されている。また、この地帯は過去の地下水の過剰な汲み上げによる地盤沈下とその後の地下水位上昇による履歴と水理境界を持つことが知られ、本研究では、これらの特徴が液状化発生にどのように影響するかも検討している。第2編第5章では、第2編での研究成果および課題と展望について述べている。予備検討時に指摘された解析条件の詳細についても、付録を設けて適切に説明している。</p> <p>以上より、本研究は、地震災害被害の軽減を目標に、事後対応に資することを目的としたベイズ推定による被害情報予測と、事前対策に資することを目的とした液状化被害予測解析の高度化に取り組んだ内容であって、災害被害の軽減に向けての技術的体系化を目指す野心的な試みと評価できる。災害時緊急対応及び地盤防災に関して重要な知見を得たものとして価値ある集積である。提出された論文は工学研究科学学位論文評価基準を満たすものであり、学位申請者の本田和也は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。</p>			

(氏名: 本田 和也 NO. 2)

考察している。既往の解析パラメータ決定手法では、これまでに蓄積された実験結果から圧縮指数の経験式を導出している。地震時に地盤が受ける載荷速度は一般的に室内試験と比較して非常に速く、地盤材料の強度は載荷速度が速い場合には増加するため、室内試験から算出する経験式では実際の地震時挙動を正確に表現できないと考えられる。第3章では新たな圧縮指数推定式を導入し、実際の地震時挙動を表現する。新たな圧縮指数推定式を用いることで、実際の加速度波形の振幅と位相をおおよそ表現することが出来ている。ただし、卓越周期の極めて短い事例では正確に実際の挙動を表現することは出来ないという課題が残されている。

第2編第4章では、東京23区の広域地域を対象に広域一次元動的解析を実施する。東京23区の東部には海拔ゼロメートル地帯が広範囲に広がっており、災害が発生した際には甚大な被害が生じることが危惧されている。東京都の海拔ゼロメートル地帯は地下水の過剰な汲み上げによって生じた地域であり、本研究では地下水位の変動を水理境界条件として設定することで実際の地盤沈下を表現することに成功している。広域解析では、東京23区の約16000本のボーリング調査データを基に、三次元グリッドモデル構築プログラムを用いてN値、土質区分についての地盤モデルを構築している。東京23区を対象に1000m間隔で解析対象地点を設定し、463地点での一次元動的解析を実施している。入力加速度として東北地方太平洋沖地震と大正関東地震型L2地震動を用い、一次元モデルの底面に加速度を作用させることで解析対象地点毎に一次元動的解析を実施する。解析結果として地点毎の過剰間隙水圧比を明示することで、地点毎の液状化リスクの違いを評価することが出来ている。第2編第5章では、第2編での研究成果についてまとめている。

本論文では、事後対応に資することを目的としたベイズ推定による被害情報予測と事前対策に資することを目的とした弾塑性力学による被害予測解析の高度化に取り組んでいる。今後、弾塑性力学による被害予測を進展させ、弾塑性解析によるリアルタイムの被害予測を実現することで、発災直後の応急対応に利用できるよう研究を進めていきたい。

## 参考文献

- 小谷裕, 飯塚敦, 河井克之: ワイブル分布を用いた被災者数情報のベイズ推定, 土木学会論文集 F6, Vol. 71, No. 1, pp. 46-57, 2015.
- A.Iizuka, H.Ohta: A determination procedure of input parameter in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soils and foundations, Vol.27, No.3, pp.71-87, 1987.
- 宮田智博: Deformation and Stability of Sandy Soil During Excavation Work, 東京工業大学修士論文, 2001.
- 木村克己・花島裕樹・石原与四郎・西山昭一: 埋没地形面の形成過程を考慮したボーリングデータ補間による沖積層基底面モデルの三次元解析: 東京低地北部から中川低地南部の沖積層の例, 地質学雑誌, vol.119, p537-553, 2013.