

京都大学	博士（工学）	氏名	RUSNARDI RAHMAT PUTRA
論文題目	EARTHQUAKE DESIGN GROUND MOTION OF INDONESIA BASED ON SOIL INVESTIGATION AND STRUCTURAL DAMAGE (地盤調査と地震被害に基づくインドネシアの耐震設計用入力地震動の設定に関する研究)		
本論文は、インドネシアの地震活動度、地震被害調査、地盤調査を基に、インドネシアの地震危険度や、設計強度と地震被害の関係を明らかにし、インドネシアの地震ハザード解析に基づく設計入力を提案したものであり、6章から成っている。 第1章は、序論である。インドネシアは東端のパプアから西端のスマトラかけてインド - オーストラリアプレート，太平洋プレート，ユーラシアプレートの三つの大規模なプレートの境界に位置している。インドネシアはこれら3つの地殻プレートの衝突地点になっている。沈み込みに関連したこの地域における地震活動は、津波や他の地震の危険性も高いことを示している。インドネシアは国土の総面積 $1.92 \times 10^6 \text{ km}^2$ 及び、海域 $3.26 \times 10^6 \text{ km}^2$ の中に約 17,504 の島から成立していると同時に、過去に多くの地震を経験している。カタログイベントによると、1779年から2010年までにマグニチュード 4.0 以上の地震が 48,000 回以上起きている。インドネシアの主要な地震は都市機能に大きな被害をもたらしている。多くの巨大地震は2004年のバンダアチェにおける地震の様に大規模な津波被害を引き起こす浅い海域において発生している。このスマトラ沖地震は、死者数十万人で百万人にも及ぶ人が家屋を失った。最近の津波被害は2010年10月25日に発生したメンタワイ津波である。一方、2009年9月30日に発生したスマトラ島地震の震源はインド - オーストラリアプレートの海洋スラブ -0.81°S, 99.65°E，深さ 80km に位置する $M_w7.6$ のプレート内地震であり、震源に最も近いパダン市では、死者千人以上の被害を出した。この地震では山岳地帯に多数の地滑りや土石流が発生した。 ここでは、これら近年の地震を含む歴史地震について概観するとともに、過去の関連文献をレビューし、本研究の背景を説明した上で、論文の構成について述べている。 第2章は、インドネシアパダンにおける地盤調査について論じたものである。パダン市では、限られた数のボーリングデータが散見されるだけで、地盤構造に関する詳細なデータは存在しない。そこでまず、地震時の地盤の揺れの強度分布を推定するために、2009年9月30日に発生したパダン地震を対象に、市民約 500 人に対してアンケート調査を実施した。この調査からパダンでの震度分布を推定した。 また、地盤の卓越周期を推定するために、パダン市内の 110 地点で常時微動の単点観測を行った。さらに、パダンの 3 次元地下構造の推定を行うために、3つの測線に沿った 12 地点で微動アレイ観測を実施した。これらの観測と既存の地質図から、地盤種別や卓越周期の分布、およびそれらと震度との関係を得ることができた。常時微動観測結果より、海岸線に沿ったパダン市街地では、V_{s30} が 400m/s 以下の相対的に軟らかい地盤が堆積しており、卓越周期が長く増幅度も大きいことが確認できた。 第3章では、パダン市内の水平成層地盤の地震応答解析を行った。第2章においてパダン市内の各ポイントでの地盤断面が推定できたので、山岳地域における基盤面での入力地震動を得るために、等価線形解析による伝達関数を求めた。地表面データとしては、2009年9月30日のパダン地震において、山岳地帯に立地するアンダラスの大			

京都大学	博士（工学）	氏名	RUSNARDI RAHMAT PUTRA
学で記録されたものを用いた。地震による加速度記録は、インドネシア政府の気象庁によって提供されたものである。アンダラスの大学での地震動を基盤に戻し、それを市内の対象地点の基盤入力とした。それを用いて、対象地点の地表面時刻歴をシミュレートした。 第4章は2009年9月30日のパダン地震の被害調査に基づく建物被害の分析について述べたものである。2009年09月30日、Mw7.6の地震がスマトラ島の西海岸を襲い、約15万家屋や建物、死者数1,000人以上の被害を出し、その影響はパダンパリアマンにまで及んだ。震央はパダン市内から約80km西に位置している。建物への被害の特徴の一つは、都市機能をサポートする大規模なRC構造物であった。 この中で、パダン市内の繁華街にある3つのRC構造物について被害調査を行った。RC構造物の損傷の理由を見い出すため、柱・梁などの部材を対象に、材料特性や構造特性などの調査を行った。これらの調査結果を基に構造解析を行い、建設当時に用いられた設計基準による耐力が、この地震外力を下回ったことが倒壊の主原因であることを明らかにした。 第5章では、現行のインドネシアの耐震設計基準が今後期待される地震動強度を十分反映していないことを勘案し、インドネシアの地震活動度を適切に評価した設計入力を提案した。ここで用いた確率論的地震ハザード解析（PSHA）は、不確実性の定量化に基づいて将来発生する可能性のある地震動の期待値を明らかにすることを目的としたものである。特定の場所または地域の地震災害を評価するには、過去の地震履歴の収集と距離減衰式が重要なファクターとなる。しかし、インドネシアで利用できる強震記録は少ないため、適切な距離減衰式が存在しないので、これまで提案されている様々な距離減衰式を比較検討することにより、最適な式を選択した。その際、2008年からパダン市の4地点において進めている強震観測の記録を用いて各距離減衰式を比較し、マグニチュードや距離の関数として相応しい減衰式を選んだ。 これらを用いて、過去に大きな地震の起こったスマトラ島内のパダン市とバンダアチェ市、そして首都ジャカルタにおける設計応答スペクトルを提案した。これは耐震設計や地盤応答解析のための有用な情報となり得る。 第6章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。 常時微動観測によると、海岸線に沿ったパダン市街地は比較的軟らかい地盤が南北に広がっており、この結果は卓越周期の観測とアンケート震度調査と整合的である。すなわち、沿岸部では卓越周期が2.0秒から4.2秒程度の厚い沖積層があり、山側では卓越周期が2.0秒未満の薄い沖積層が存在している。これらの結果は震度分布やハザードマップ、防災対策を発案するための重要な情報になる。2009年のパダン地震において被害に遭った構造物を分析し、建設当時の設計基準に基づく耐力と地震外力との関係を明らかにした。また、今後の新たな設計基準を照査するため、インドネシアにおける最新のデータを用いてハザード解析を行った。そして過去に大きな地震の起こったスマトラ島内のパダン市とバンダアチェ市、そして首都ジャカルタにおける設計応答スペクトルを提案した。			

本論文は、インドネシアの地震活動度、地震被害調査、地盤調査を基に、インドネシアの地震危険度や、設計強度と地震被害の関係を明らかにし、インドネシアの地震ハザード解析に基づく設計入力を提案したものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. インドネシアパダンにおける地震時の地盤の揺れの強度分布を推定するために、2009年9月30日に発生したパダン地震でアンケート震度調査を実施し、この調査からパダンでの震度分布、および場所ごとの揺れ易さを推定した。また、3次元地下構造の推定を行うために、パダン市内の110地点で常時微動の単点観測を行うとともに、3つの測線に沿った12地点で微動アレイ観測を実施した。これらの観測と既存の地質図から、地盤種別や卓越周期の分布、およびそれらと震度との関係を得ることができた。
2. 常時微動の単点観測とアレイ観測によってパダン市内の各ポイントでの地盤断面が推定できたので、工学的基盤面での入力地震動を得るために、等価線形解析を用いて伝達関数を求めた。地表面データとしては、2009年9月30日のパダン地震において、山岳地帯に立地するアンダラスの大学でインドネシア政府の気象庁によって記録されたものを用いた。アンダラスの大学での地震動を上記等価線形化手法によって基盤に戻し、それを市内の対象地点の基盤入力とした。これを用いて、対象地点の地表面時刻歴をシミュレートし、地震応答解析のための入力地震動を設定した。
3. パダン市内の繁華街にある3つのRC構造物について被害調査を行った。RC構造物の損傷の理由を見出すため、柱、梁などの部材を対象に、材料特性や構造特性などの調査を行った。これらの調査結果を基に、推定した入力地震動を用いた構造解析を行い、建設当時に用いられた設計基準による耐力が、この地震外力を下回ったことが倒壊の主原因であることを明らかにした。
4. 現行のインドネシアの耐震設計基準が今後期待される地震動強度を十分反映していないことを勘案し、インドネシアの地震活動度を適切に評価した設計入力の手順を提示した。これらの手順に従って、今後の新たな設計基準値を照査するため、インドネシアにおける最新のデータを用いてハザード解析を行った。そして過去に大きな地震の起こったスマトラ島内のパダン市とバンダアチェ市、そして首都ジャカルタにおける設計応答スペクトルを提案した。

以上より、本論文は、今後のインドネシアにおける耐震設計や地盤応答解析のための有用な情報となり得るとともに、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成24年1月23日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。