

# 「開発途上国の震災対策技術の向上および普及に関する研究」

## （平成21年度～平成23年度）評価書（事後）

平成24年7月13日（金）  
建築研究所研究評価委員会  
委員長 深尾 精一

### 1. 研究課題の概要

#### （1）背景及び目的・必要性

本研究課題では、これまでの実績と研修需要の変化を踏まえて、開発途上国との連携をより一層強化し、開発途上国の実情に即した震災対策技術の向上と耐震工法の普及に向けた研究開発を行うものである。以下に研究の背景と目的・必要性を述べる。

#### 背景① 近年の世界情勢の変化に伴い増加する研修対象国と高まる研修需要

世界経済の発展は、いわゆる中進国を中心に経済発展に伴う人口の都市への集中と社会インフラの急成長を生み、1980年代以前には地震防災をほとんど顧みる余裕を持たなかった諸国（例、バングラデシュ・ネパール・パキスタン・ニカラグア）からの研修の要望を生み出している。2004年に起こったスマトラ島沖の巨大地震とそれに伴ういわゆるインド洋大津波は、自国では地震災害を経験したことのない諸国（例、スリランカ・マレーシア）にも地震・津波災害対策の重要性を認識させる契機となり、これらの国々からの研修への要望がなされるようになってきている。

また、旧ソ連の崩壊に伴って誕生した中央アジア・コーカサス諸国では地震と地震災害に関わる理学・工学にまたがる専門分野でも、旧ソ連時代の独自の体系から欧米流の研究・技術体系への移行が切望されており、上記の技術分野での研修の需要が高まっている。

これらの研修の必要性については、21世紀に入っても頻発している地震・津波災害（例、2004スマトラ・アンダマン地震（インドネシア、インド）、2008カシミール地震（パキスタン））が不幸にも実証しており、国際地震工学研修の需要は内容を変えつつ21世紀の今も継続しており、地域によっては高まっている。

#### 背景② 世界をリードする日本の技術分野の研修への強い要望

地震学・地震観測技術分野では、広帯域地震計・デジタル観測技術・IT技術を応用した地震観測網が事実上の世界標準となり、それ以前のアナログ機器の標準技術を習得した諸国からも、これらの新標準技術に関する研修が要望されている。加えて、地震防災分野では、リアルタイム地震防災や緊急地震速報技術など以前には無かった研究・技術分野が育ち、地震・津波防災対策の要となる勢いを示している。東南アジア島嶼部・中南米等地震災害が頻発する諸国からは、これら新しい技術分野についての研修が要望されている。

地盤振動研究分野では、リモートセンシング等の簡便であるが故に広域的な危険度の評価に優れるものの個別の敷地の危険度評価では精度の不足する技術分野から、微動アレイ探査等より精度の高い地球物理学的探査技術へ需要の中心が次第に移行してきている（例、エジプト・モンゴル・中国）。日欧米と異なり、建設技術が未熟な開発途上国では、要求耐力のより少ない地盤を選んで開発・建設を進めることが有効とされており、これらの地盤評価技術の研修への需要が高まっている。

耐震工学分野では、途上国の都市部における人口の集中と建築物の高層化のニーズに伴い、免震・

制振構造や超高層のような最先端の建築構造技術に関する研修の要望が高まっている。また、耐震設計技術は、静的な地震力による弾性設計から動的な地震力による弾塑性設計に移行しており、等価線形化法やエネルギー法などの新しい設計手法の習得や非線形構造解析技術の応用に関する研修が要望されている。さらに、開発途上国では既存建築物の耐震補強事例は少ないが、我が国ではとくに阪神・淡路大震災以降、建築物の耐震診断・補強が数多く実施されており、その技術の研修に対する要望は極めて高い。

### 背景③ 国際地震工学研修の高い実績

国際地震工学センターが実施する国際地震工学研修は、1960年の開始当初から、地震と地震災害に関わる理学・工学にまたがる専門分野での日進月歩の科学的知見・技術に合わせて研修内容を進歩させることを標榜し、たゆまぬ努力を続けてきた。その間に経済発展を遂げた国々は ODA 対象国からはずれ（例、韓国・ルーマニア）、また研修参加と JICA 技術協力プロジェクトが実施されて技術移転が進み、関係機関が独り立ちした国々（例、メキシコ・チリ）とは、研修生受け入れよりは共同研究を実施するようになった。また、研修生の多くが、各国の地震学・地震工学分野の指導者として活躍している（例、アジア地震学会初代会長のインドの Harsh Gupta 氏、国際機関 CTBTO 包括的核実験禁止条約機関一元国際データセンター長のエジプトの Rashed Mohamed Kebeasy 氏など多数）。これらは国際地震工学研修の大きな成果である。

また、2008年5月の中国四川大地震を受けて、国際地震工学研修では中国人研修生7名を受け入れるとともに、2009年度からは、新たに「中国耐震建築研修」を開始するなど、耐震分野の人材育成に積極的に取り組んでいるところである。

### 背景④ 研修の充実と強化のための技術開発の実施

国際地震工学センターでは、これまでに研究課題「開発途上国における建築・都市の地震災害軽減のための国際技術ネットワークの構築」（平成18～20年度）として、HP（ホームページ）「IISEE ネット」を通じた情報発信を基本に、国地研修レポートの電子化と公開、e-learning システムによる講義資料（動画を含む）の提供、ニュースレターの発行、TV会議システムの導入など、開発途上国との直接的なコミュニケーションを可能にしてきた。

### 本研究の目的・必要性

本研究課題「開発途上国の震災対策技術の向上および普及に関する研究」（平成21～23年度）では、これまでの実績と研修需要の変化を踏まえて、開発途上国との連携をより一層強化し、開発途上国の実情に即した震災対策技術の向上と耐震工法の普及に向けた研究開発を行う。

震災対策技術としては、とくに開発途上国の地震・津波ハザード（危険度）評価技術と建築物の耐震診断・補強技術について、開発途上国の実態調査と問題点の把握、技術向上のための具体的な技術支援の提案と発信を行う。耐震工法の普及としては、開発途上国に多い枠組み組積造を対象に、開発途上国の建築工法の実態調査を行い、耐震工法の普及方策を提案する。

さらに、これらの研究成果を開発途上国の耐震技術者育成や国際地震工学センターの研修の充実と強化に生かすとともに、研究開発により得られた情報やノウハウについては、ホームページ（IISEE ネット）に掲載して広く共有を図る。

## (2) 研究開発の概要

以下のサブテーマについて、検討を行う。

### サブテーマ1： 開発途上国の実情に即した地震・津波ハザード評価要素技術の向上のための調査および情報発信

国際地震工学研修への参加者・元参加者を通じて、震源決定手法、シナリオ地震設定手法、マイクロゾーンネーション結果及び使われた評価手法などの技術の現状把握を行い、課題を整理する。とくに、現地のニーズに適した技術として、シナリオ地震設定方法と簡易な微動探査法の検討を行う。さらに、国際地震工学研修への参加者・元参加者を通じて、幾つかの開発途上国の地震・津波観測ネットワークに関する情報を収集し、地震・津波ハザード評価のために必要な、地震・津波に関する基礎情報データベースの整備を実施する。

### サブテーマ2： 開発途上国の実情に即した建築物の耐震診断・補強技術の向上のための調査および情報発信

各国の建築物の耐震情報について文献調査やヒアリング等を行い、課題を整理するとともに、途上国に典型的な枠組み組積造建物の解析モデルの開発を行う。さらに、開発途上国の建築物に適した耐震診断と補強技術を検討し、いくつかの補強方法についてその効果を検証するとともに、国際地震工学研修・現地セミナー・IISEE ネットを利用した発信等による普及・人材育成を行う。

### サブテーマ3： 開発途上国の耐震工法の普及方策に関する調査および情報発信

開発途上国における、アドベ造、レンガ造、石造、木造などの耐震性の低い在来工法の現況に関する基礎的データ（工法、生産体制など）の収集および国際会議を開催する。さらに、現地の職人を通じた技術普及方策を検討する。具体的には、2009年9月に地震被害を受けたインドネシアを対象に在来工法住宅の特性をふまえた実用的な被害予測プログラムの開発を行う。

## (3) 達成すべき目標

### サブテーマ1： 開発途上国の実情に即した地震・津波ハザード評価要素技術の向上のための調査および情報発信

- ・ 開発途上国の地震・津波ハザードに関する情報の IISEE ネットでの公開
- ・ 地震・津波ハザード評価技術の提案と発信

### サブテーマ2： 開発途上国の実情に即した建築物の耐震診断・補強技術の向上のための調査および情報発信

- ・ 開発途上国の建築物の耐震性や構造に関する情報の IISEE ネットでの公開
- ・ 開発途上国の建築物に適した耐震診断と補強方法の提案と発信

### サブテーマ3： 開発途上国の耐震工法の普及方策に関する調査および情報発信

- ・ 耐震性の低い在来工法の現況に関する基礎的データ（工法、生産体制など）の IISEE ネットでの公開
- ・ 国際会議の開催

## (4) 達成状況

### サブテーマ1： 開発途上国の実情に即した地震・津波ハザード評価要素技術の向上のための調査および情報発信

#### 1) 実態調査および課題の整理

##### ①シナリオ地震設定法の検討

高精度の地震の震源と発震機構を同時に図示するためのプログラムを作成した。さらに、震源と発震機構の比較により求められた地震活動面を図示化し、プレート境界・活断層等とも比較できる

ようにした。これらをミャンマーに適用し、ビルマ沈み込み帯の深部プレート形状（30 km以深）を決めた。また、ミャンマーの主要な横ずれ断層である Sagaing 断層沿いの震源の再決定を行った。その結果、マグニチュード7クラスの地震発生が懸念される地震空白域2ヶ所を見出し（Hurukawa and Phyoo, Geophys. Res. Lett., 2011）、ミャンマー内陸のシナリオ地震を設定した。

次に、フィリピン周辺で発生する地震について、津波シミュレーション用の震源パラメータ設定を行った。また、中国における活動度の高い Xianshuihe 断層の地震発生サイクルモデルの構築を行い、断層の曲がりにより地震破壊のセグメント化が生じることを明らかにした。

ペルー中部沖における1974年と1966年の地震について、検潮所で得られた津波波形を再現する震源モデルを提案した。また、それらの震源モデルとGPSデータによるプレート間固着モデルから、1746年のシナリオ地震による沿岸における津波の高さと到達時間を予測した。

なお、何れの成果も国際地震工学センターにおける研修等に反映させている。

## ②微動探査法の検討

第9回物理探査学会国際シンポジウム(2009年10月)及び第9回地震マイクロゾーネーションとリスク軽減国際ワークショップ(2010年2月)に参加し、開発途上国からの参加者と議論・情報収集を行った。また、タイ及びメキシコの研究者を招聘し、開発途上国で必要な機材の仕様、方位平均を行わないSPAC法と地震波干渉法、に関する情報交換を各々行った。

また、ニカラグア国立自治大学地質工学研究センターをカウンターパートとしたJICA-JSPSプロジェクトに協力し、同国首都マナグアにおけるSPAC法の適用性の検証の為に現地調査及びこれに伴う事前・事後のTV会議システムによる研究打ち合わせを実施した。

## 2) 地震・津波ハザード評価技術情報の発信

### ①IISEE ネットにおける地震関連データベースの更新

#### ・被害地震のリストの更新・拡充

掲載する国の数を68から87に増やした。国際地震工学センターが公開している「世界の被害地震の表」の更新に対応して、IISEE ネットの被害地震情報を更新した。

#### ・地震観測網及び地震活動のデータベースの更新・拡充

地震観測網の情報に関して20カ国分、更新作業を進め、6カ国に関しては許諾を得た。残りの国に関しては許諾を得しだい公開予定。

### ②開発途上国の津波情報の収集と公開

開発途上国の検潮所や海底津波計の設置状況・計画について観測情報（位置、所有機関、測定方式、記録方式など）を地図と表にまとめ、IISEE ネットで公開している。GLOSS (Global Sea Level Observing System) や DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) に登録済の観測点以外については、研修生を通じた情報収集を行った。さらに、これらの成果は、国際地震工学センターにおける研修等に反映させている。

#### ・津波観測情報の収集と公開

開発途上国の検潮所や海底津波計の設置状況・計画について観測情報（位置、所有機関、測定方式、記録方式など）を地図と表にまとめた。フィジー、インドネシア、マレーシア、ミャンマー、パキスタン、ペルー、フィリピンの7カ国のIISEE ネットへの情報入力が完了している。

#### ・津波ハザード評価のためのシミュレーション結果の公開

津波ハザード評価のためのシミュレーション結果のデータベース公開を進めた。モザンビーク（2008-2009年コースの研修生が実施）、フィジー、ミャンマー（2009-2010年コースの研修生が実施）における津波シミュレーション結果のデータベースへの入力作業が完了し、表示部分を検討・作成を行った。

### ③微動探査法に関する情報の発信と利活用。

SPAC 法解析プログラム及び解説書（英文）を IISEE ネットで公開した。平成 23 年に、この改訂版を作製し、IISEE ネットで公開した。

なお、ここで開発した高精度表面波探査のプログラムは、解説書（英文）を作製し、IISEE ネットで公開した。

## サブテーマ 2： 開発途上国の実情に即した建築物の耐震診断・補強技術の向上のための調査および情報発信

### 1) 実態調査および課題の整理

#### ①世界各国の建築物の耐震情報の収集・分析

世界各国の耐震情報として、耐震設計基準、耐震診断・補強ガイドライン、地震後の被災建築物の応急判定ガイドライン、地震マイクロゾーン・ガイドラインの有無や改訂年、入手方法などについて、元国地研修員や IAEE（国際地震工学会）メンバーを対象にアンケート調査を行い、耐震基準類の整備状況を分析した。また、入手可能な最新の耐震基準類を収集した。

#### ②外国人研究者に対するヒアリング調査・研究打ち合わせ

ルーマニア、アルメニア、イランの研究者を招聘し、枠組組積造建築物の耐震性評価と免震・制振部材を用いた補強に関する特別講義を平成 21 年 9 月 14 日に実施し、情報を収集するとともに、今後の研究協力の打ち合わせを行った。

#### ③2010 年チリ地震建物被害の調査分析

2010 年 2 月に発生したチリ地震では、高層の壁式構造の被害が顕著であったことから、被害原因について、チリの耐震規定や被害建物の設計図書等を入手して分析をしている。その結果の一部は、2010 年 9 月の日本建築学会大会（北陸）のパネルディスカッションおよび 2010 年 11 月の日本地震工学シンポジウムにおいて発表した。

### 2) 建築物の耐震診断・補強技術情報の発信

#### ①枠組組積造建物の解析モデルの構築

枠組組積造の壁要素の破壊実験結果をもとに、骨組解析に用いる復元力モデルを同定し、建物の地震解析ソフトウェア STERA3D に組み込んだ。

また、日本政府が実施しているエルサルバドルの TAISHIN（耐震）プロジェクトの実験結果を元に、非線形有限要素プログラムによる組積造建物の破壊シミュレーション解析を行い、破壊過程を高い精度で再現した。

さらに、個別要素法を用いて組積造建物の崩壊挙動をシミュレーションする解析プログラムを開発し、プログラムの検証のための振動台実験を行った。

これらの成果は、国際地震工学センターにおける研修等に反映させている。

#### ②開発途上国の建築物の免震補強技術の適用可能性の検討

ペルーの首都リマを対象に、ペルーの研修生と協力して、基礎固定の耐震構造と免震化した場合のそれぞれについて建築物の供与期間における地震損失コストを比較し、途上国でも免震技術がコスト的に適用可能であることを示した。

#### ③耐力壁の直交壁の効果に関する検証実験

壁の崩壊過程の解明のため、一方向から作用する水平加力に対して、耐力壁に直交する壁の効果を検証する実験を実施した。その成果は国際地震工学センターにおける個人研修にも反映させた。

### サブテーマ3： 開発途上国の耐震工法の普及方策に関する調査および情報発信

#### 1) 開発途上国における在来工法住宅の現況調査

開発途上国におけるアドベ造、レンガ造、石造、木造などの耐震性の低い在来工法の現況に関する調査およびインド、インドネシア、トルコ、ネパール、パキスタン、ペルーにおけるノンエンジニアド住宅の構造安全性や建築材料、施工の品質等について情報を収集した。

さらに、2009年9月に大地震の被害を受け、現在在来工法による復興住宅の再建が多数進められているインドネシアのパダン市及びその周辺地域を対象に、在来工法住宅の建設の実態をより詳細に把握するとともに、在来工法住宅の特性をふまえた実用的な被害予測プログラムの開発を行った。

#### 2) 国際シンポジウムの開催

2010年2月26日に「途上国のノンエンジニアド住宅の地震被害軽減に関する国際シンポジウム」を開催し、在来工法住宅の現況調査結果を発表するとともに、各国のノンエンジニアド住宅の耐震性向上のための取り組みを紹介した。

2011年1月12日に「パダン市におけるノンエンジニアド住宅に関する国際ワークショップ」を開催し、パダン市の80棟の在来工法住宅の調査結果の報告を行うとともに、耐震性向上の方法について協議した。

2012年2月21日に「国際シンポジウム－巨大災害からの復興を考える－」、2月22日に「国際ビデオ会議－復興を通じた安全な住宅づくりを考える－」を開催し、世界各国の大地震・津波被害に関する報告をもとに、復興に向けた教訓と課題について協議を行った。

#### 3) 開発途上国の防災に関する情報交換

2010年10月25～28日に開催された「第4回アジア防災大臣会合及び関連会合」に出席し、国際地震工学センターの活動を紹介するとともにアジア諸国の地震防災に関する情報交換を行った。

#### 地震防災情報及び研修情報の海外発信（サブテーマ1-3）

		内容	更新情報
ニュースレター		研修情報の発信	2009年4月～2012年3月 で39回 (第39号から第78号)
研 修 デ ィ タ ベ ィ ス	IISEE-UNESCO Lecture Notes	国際地震工学研修で使用している講義ノート(英文)を公開(登録制)	2009年6月以降、掲載講義科目数58件を公開、登録者数600名程度
	IISEE E-learning	講義のビデオや修士レポートの発表を公開	2010年6月：講師7件、研修生4件、計11件 2010年12月：研修生8件 2011年12月：研修生8件
	Synopsis Database	研修生の修士(個人研修)レポートの要旨を公開	2008-2009年度 22名分 2009-2010年度 22名分 2010-2011年度 20名分
IPRED (International Platform for Reducing Earthquake Disasters)		国際地震工学センターが進めているユネスコとの共同プロジェクトのページ	新規作成

ISEE ウェブサイト 月平均アクセス数：約5,000件

## 2. 研究評価委員会（分科会）の所見とその対応（担当分科会名：地震工学分科会）

### （1）所見

- ① 研修の観点からも、研究の観点からも当初の研究目的に対して十分な成果が得られていると判断できる。研修生と協働により進められた震災対策技術開発の成果は、修士論文としてまとめられ、さらに国際学術雑誌に出版されるなど、非常にレベルが高いものである。各国の実情に応じた適切な研究開発が着実に進められたことは高く評価できる。
- ② 本研究は1) ハザード評価・地盤探査、2) 耐震診断・補強、3) 耐震工法の普及という内容であるが、前者と後二者を結ぶ「ゾーニング」があると防災として一通り完結するので、さらによかったと思う。
- ③ 3年間の本研究開発を通じて見えてきた課題を明確化し、解決の糸口が見える「短期的課題」と、すぐには解決できないが今後十分な検討が必要な「長期的課題」に分けて、今後の研修等に活かしてほしい。
- ④ 報告書としての出版、学会における発表、論文としての発表等が十分になされているとみられる。国際シンポジウムを開催し、情報発信に努めたと認められる。内容は地震活動・地震動・津波災害・耐震にわたり、総合的な地震災害評価の形となっていると認められる。また、その成果はインターネットから参照可能な状態で公開されており、高く評価される。
- ⑤ 本テーマが扱う震災対策技術に関する研究は、多くが、途上国からの研修生（またはOB）との共同研究の形をとっている。そして研修生は、共同研究の遂行を通して、関連する震災対策技術を修得することになる。このように本テーマは途上国に対する技術援助の側面を持っており、その面からも重要と言える。

### （2）対応

#### 所見①に対する回答

今後とも研究成果の国際的な発信に努める。

#### 所見②に対する回答

理学分野（ハザード評価）と工学分野（耐震技術）を結ぶ分野の研究にも、次期の課題等のなかで取り組んで参りたい。

#### 所見③に対する回答

対象国の発展に伴って変化している課題や東日本大震災で顕在化したいくつかの課題などを整理したい。なお短期的な課題については、平成24年度からの新規課題で早速取り組む。

#### 所見④に対する回答

論文発表、国際シンポジウムの開催等、今後も継続して情報発信に努める。

#### 所見⑤に対する回答

途上国との共同研究を今後とも（ペルーやインドネシアなど）継続して進めたい。

## 3. 全体委員会における所見

本研究は、国際地震工学センターが行っている研修に関連し、開発途上国の実情に即した震災対策技術の向上等を目指すものである。研修、研究それぞれの観点から十分な成果をあげるとともに、国際シンポジウムの開催等研究成果に係る情報発信についても積極的に行っている。本研究が目指した目標を達成できたという分科会の評価を支持し、全体委員会の評価としたい。

#### 4. 評価結果

- A 本研究で目指した目標を達成できた。
- B 本研究で目指した目標を概ね達成できた。
- C 本研究で目指した目標を達成できなかった。