



土質材料による構造物の耐震性に関するセミナー（SismoAdobe2005 in Peru）への参加報告

海外編

独立行政法人建築研究所国際協力審議役 榎 府 龍 雄
社団法人国際建設技術協会 野 村 聡

3. 同セミナーにおける日本からの報告の概要 建築研究所の取り組みの紹介

1) 概 要

建築研究所が長年取り組んできている、開発途上国における地震被害軽減のための人材育成、技術協力プロジェクト等の取り組みの概要を紹介するとともに、2004年度より国連地域開発センターとの協力により実施してきている、簡易な震動台を使った、耐震技術を直接的に一般市民に広報普及を図る取り組みに焦点を絞って以下を内容とする口頭発表とポスター発表を行った。なお、論文は国連地域開発センター兵庫防災計画事務所岡崎健二所長との共著で

ある。（発表論文、当日のプレゼンテーションのスライドは、建築研究所のホームページを参照されたい。<http://www.kenken.go.jp./japanese/research/presen/index.html>）

セミナーには現場で住宅の耐震化に取り組んでいる実務者が相当参加しており、また、セミナー全体の議論の中でも研究開発の成果が実際に活用されるまで至っていないことに対する実務者からの強い批判、研究者側の反省等がなされるなど技術の広報普及についての強い関心があったこと等から、本発表は大変好評をいただき、ポスター発表では発表者からの説明を行うコアタイム（1時間）の時間

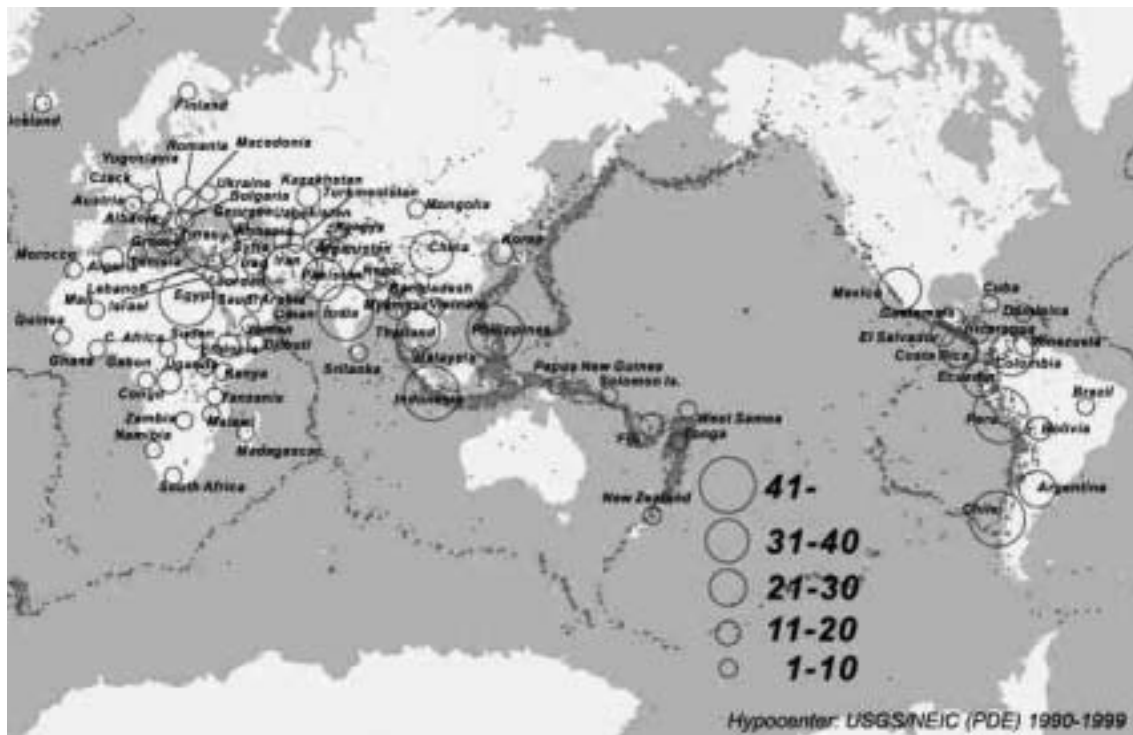


図 2 建築研究所の地震防災関係研修への参加者の状況
国毎に付されている円がその国からの参加者数を示している

中、見学者がとぎれることなく、更に15分ほど延長して対応しなければならないほどであった。

2) 発表内容の骨子

建築研究所の地震防災分野における開発途上国に対する協力の概要

ア 独立行政法人の活動概要

独立行政法人建築研究所は、建築、住宅、都市分野をカバーする日本の総合的な公的な研究所であり、研究開発のみならず、研究開発成果の広報普及、災害後の調査及びその結果の提供、国際協力活動等を実施している。

イ 開発途上国に対する協力の概要

開発途上国の人材育成を図るため、JICA との協力により40年以上にわたって開発途上国からの研修生を招き、地震学、地震工学等を中心とした研修を実施してきており、その参加者は2005年1月時点で92カ国、1227名に上っている。また、同じく JICA との協力により、各国における研究開発等の中心となるべき地震防災センター設立のためのプロジェクト（専門家派遣、研修生の日本への受け入れ、実験、研究等のための各種資材・機材の提供等）を実施してきている。更に研究開発の成果を広く広報する活動にも取り組んでおり、今回紹介する活動は2005年1月に神戸において開催された国連防災世界会議において国連地域開発センター等との協力により実施したものである。

「適正技術」を市民に直接的に広報する取り組みの紹介

① 背景

地震による被害軽減のためには、技術の開発とともに、それを一般市民、地域社会へ普及することが重要となっている。それは開発途上国において必要であるばかりでなく、先進国でも既存住宅の耐震補強の推進のような課題に関して重要とってきている。

② 論文の目的

国連防災世界会議において国連地域開発センターと建築研究所が協力して実施した、1/10スケールの模型を使った簡易な振動台による実演（デモンストレーション）について紹介し、耐震補強技術の広報普及の有力な方法の一つであると考えられるその方法についての経験、教訓を共有

することにより、地震被害の軽減に資することを目的とする。

③ 地震被害を軽減するための取り組み

「適正技術」の住民、コミュニティへの普及
各地域において受け入れ可能な「適正技術」（それぞれの地域の住民が理解でき、住宅生産に携わる関係者が習得し、実務に取り入れることが可能であること、経済的に一般住民の手の届く範囲のものであることを備えたもの）の開発がまず必要であり、次にその普及を図ることが重要である。開発途上国では、先進国のようなフォーマルなルートによる普及の方策（建築基準等の建築規制制度を通じての普及、住宅関連産業を通じての技術の普及など）が十分機能していないことが多く、



写真 25 イラン バムにおけるデモンストレーションの様子



写真 26 神戸市の公共広場におけるデモンストレーション
日本の木造軸組み構造について実施している様子。一般市民の大きな関心を得ることができた。

独自の有効な方策が必要である。一方、先進国においても既存住宅の耐震改修など一般市民の理解が不可欠な課題が増大してきており、一般市民への直接的な普及方策は、開発途上国、先進国共有の課題となってきたといえる。

国連地域開発センターによる開発途上国における実績

国連地域開発センターは、耐震技術の有効な普及方策の一つとして、簡易な振動台によるデモンストレーションを、これまでインド、ネパール、アフガニスタン、イランで実施してきた。ここでは、まず現地の住宅に関連する種々の状況を把握し、その地域社会が受け入れ可能な補強方法（それぞれの地域で容易に調達できる材料を使用し、地域の職人が実践可能な技術レベルであり、また、コスト的に住民の負担可能な範囲のもの）を提案する、次にその地域の建設従事者に、振動

台実演に用いる模型の制作への参加を呼びかけ、補強技術を伝えながら模型の製作を行う、そして最後にその模型を用いて広く一般市民を集めて振動台による振動のデモンストレーションを実施するという手順を踏む。デモンストレーションでは、従来の方法によるものと補強提案に基づくものの模型を同時に振動台で震動させ、従来の方法のものが脆く崩れることを実際に見ることにより、補強の効果を実感してもらう。これまでの数か国において実施してきたデモンストレーションによりこの方法が有効であることが確認されている。

国連防災世界会議（2005年1月神戸市）における国連地域開発センターと独立行政法人建築研究所との協力による取り組み

2005年1月に神戸で開催された国連防災世界会議において、国連地域開発センターと建築研究所が協力して、組積造住宅（コンクリートブロッ



写真 27 実演用の組積造住宅模型の制作風景
模型は1/10のサイズではあるが、実物に忠実に製作されることから、製作過程が地域の技術者にとってのトレーニングともなる



写真 28 国連防災世界会議でのデモンストレーションの様子
スクリーンの手前に振動台と模型が置かれている



振動前



強度の不足しているモデルが振動により被害を受けた状態



強度不足のモデルが倒壊
現行基準適合モデルはほとんど被害無し

写真 29 国連防災世界会議でのデモンストレーション（木造軸組み構造住宅）

ク造、レンガ造、アドベ造及び石造)と日本の木造軸組み構造住宅についてのデモンストレーションを実施し、参加した開発途上国政府、技術援助実施国政府、国際機関、研究機関、NGO等世界各国からの関係者と日本人一般市民から好評を得た。

種々の機会を活用した広報の取り組み

国連地域開発センターと建築研究所は、地震対策の重要性の広報を行うイベントの主催者からの要請を受けて、「震災10年 市民とNGOの「防災」国際フォーラム」(2004年12月11日に神戸市勤労会館にて開催。主催は、国際フォーラム組織委員会、同実行委員会。)「耐震・安心すまい展」(2005年1月29日に神戸市デュオドームにて開催。主催は、神戸市建築物安全安心推進協議会すまいの耐震促進部会。)において、組積造と木造軸組み構造について、日本人一般市民を対象としてデモンストレーションを実施した。また、建築研究所は、その主催する「建築研究所講演会」(2005年3月18日に東京有楽町朝日ホールにて開催。)及び「科学技術週間行事の一環として実施した建築研究所施設一般公開」(2005年4月23日に建築研究所において実施。)において、概要紹介ポスター、木造住宅模型の展示と国連防災世界会議のデモンストレーションの様子ビデオ放映等により、耐震補強の必要性のアピールを行った。

④ 独立行政法人建築研究所の今後の取り組み

建築研究所では、今後、開発途上国からの研修生に対する活動 開発途上国に対する技術協力関係の種々の活動 日本における既存住宅の耐震補強の促進等の地震対策推進への貢献等の諸側面において、この普及方法とその基盤となっている考え方(社会が受け入れ可能な技術の開発とその普及定着が重要である)を活用していくこととしている。

④ まとめ

社会が受け入れ可能な技術の開発とその普及定着が重要であるという考え方の共有と、それに沿った活動のための種々の効果的な方法を関係者が開発し、共有していくことが、今後の地震防災対策を進めていくうえで重要である。

社団法人国際建設技術協会の取り組みの紹介

1) 概要

当協会は、世界各地で進められているインフラストラクチャーの整備にわが国の技術力をもって貢献することを目的に1956年(昭和31年)当時の建設省所管の社団法人として設立され、建設技術を通じた国際協力と国際交流の推進、わが国の国際化のために様々な事業を展開してきた。

こうした活動の一環として、当協会は平成7年度以来、国土交通省から受託して「途上国建設技術開発促進事業」を実施してきており、建築分野では、世界に広く分布する組積造住宅の耐震化に取り組んできた。しかし、日本では組積造住宅が一般的でないため、その技術情報を得ることが難しい状況にある。そこで、今回、最新の技術情報を収集するとともに、国土交通省や当協会の活動を報告するため、SismoAdobe2005に参加したものである。

2) 発表内容の骨子

「途上国建設技術開発促進事業」について

日本において開発された建設分野の技術の中には、開発途上国でも有用であり適用可能と考えられるものが数多く存在する。開発途上国への技術移転は、わが国が果たすべき重要な役割のひとつであることから、これらの技術を開発途上国に紹介するため平成7年度から「途上国建設技術開発促進事業」がスタートした。この事業は、移転対象として選定された技術を開発途上国に紹介するため、自然や社会、材料などの様々な条件が日本と異なる当該開発途上国において試験施工等を実施してその評価を行い、当該技術の適合性の検証確認と技術の普及を行うことを目的としている。技術分野としては、道路、河川、下水道、建築など多岐にわたり、平成16年度までに7件の事業が終了し、現在2件が事業中である。1案件は3年間で実施される。

ここでは、住宅案件として平成13年度から平成15年度にペルーを対象に実施された「耐震性住宅技術」プロジェクト、平成16年度に採択され現在実施中のイランを対象にした、「簡易耐震補強技術」プロジェクトについて紹介する。

ペルーにおける「耐震性住宅技術」プロジェクト

⑦ プロジェクトの背景

南米のアンデス地方では住宅建設の構法として伝統的に組積造が多用されてきた。2001年にペ

表 1 ペルーの住宅構造別割合

構 造	構成割合 (%)
ブロック組積造	41.5
石 造	1.1
アドベ組積造	41.2
芦 泥 壁 造	2.9
土 砂 積 造	1.2
木 造	8.3
竹 組 造	1.2
そ の 他	2.6
計	100.0

from INEI



写真 31 倒壊したアドベ組積造



写真 30 れんがを用いた枠組み組積造

ルー国立統計研究所 (INEI) が行った調査結果によるペルーの住宅構造の割合を表 1 に示す。アドベ組積造は、アドベと呼ばれる低質な日干しれんがなどを積んでいく構法、ブロック組積造は、焼成した工場製れんがやコンクリートブロックを用いたもので比較的質の良い材料を使ったものである。これによれば、ブロック組積造とアドベ組積造がそれぞれ4割以上を占め、ペルーにおける主要な住宅構造であることがわかる。

近年では、組積材を積み上げると同時に鉄筋とコンクリートにより柱梁を組み上げていく写真30のような枠組み組積造が一般的な構造となっている。

ペルーにおける過去の地震被害を調べると、アドベ組積造住宅の被害が大きいことが明らかになっている。最近のある地震では、被災地域のアドベ組積造住宅の約70パーセントが倒壊した。比較的質の良いブロック組積造でも、2001年にペ

ルー南部で起きた Atico 地震では、アドベ組積造より被害が少なかったものの、30パーセント近くのブロック組積造が損害を受けている。

南米の組積造個人住宅は、住宅の持ち主自身が自ら建設する場合も多く、また、その他の場合でも特に地方では職人が伝統的な構法で建設するケースがほとんどで、耐震技術や施工技術、施工管理の点で問題を抱えるものが多い。その結果として耐震性能の不十分な住宅が数多く建てられ、これまでの地震でたびたび大きな被害を出しているのである。

そこで、本プロジェクトでは、相手国で技術を普及しやすくするため、対象を個人用の枠組み組積造住宅に絞り、伝統的な工法を大きく変えないで、必要な耐震性が確保できる程度に日本の耐震技術や施工技術・施工管理技術を選択・導入することをめざした。現地の実情に合わせ、簡易でわかりやすい技術、使いやすく確実に耐震性能を確保できる技術にまとめ直し地震被害の軽減を図った。

① 事業の内容

) 実験計画の作成

現地の実情をふまえ、移転すべき耐震建設技術の内容を検討し、その効果を確認するための施工・実験計画を作成した。

) 枠組みレンガ壁の加力実験

実大住宅実験の予備実験として、枠組み組積造の主要構造部材となる枠組みレンガ壁単体の基本性能を確認するため、仕様を変えた10体の試験体について加力実験を行った。(事業成果

を広く公表するため一部公開して行った。)この際、現地技術者への施工技術及び実験技術の移転もあわせて行った。

）実験用実大住宅の設計と施工

ペルーで従来慣用されてきた既往の建設工法を大きく変更することなく、日本の耐震技術を現地の枠組み組積造に応用して配筋ディテールの工夫や適正な施工を行うことによって、枠組み組積造住宅の耐震性能を向上させた実験用実大住宅を設計した。使用材料、部材仕様や施工方法もペルーの標準的な工法に従って建設されている。ただし、次に示す梁、および柱筋の定着方法、柱梁接合部における主筋の取り合いなどのディテールについては日本側からアドバイスを行い通常の施工方法に改良を加え、枠組みフレームのじん性能の改善を図り、耐震性能向上を図った。また、実際の枠組み組積造住宅の建設工事を通して適正な耐震技術と施工に関する例示を行った。

最上階柱頭部の柱主筋のフック付き定着柱梁接合部が、ト型あるいはL型となる部分での梁主筋の曲げ定着

柱梁接合部内に、柱のフープ筋を配置する

）実大住宅耐震実験の実施

実大モデル住宅試験体に対して地震荷重を想定した加力実験を行い構造性能を確認するとともに、将来的な耐震設計法の向上に役立つデータの取得を行った。事業成果を広く公表するため公開して実施した。この際、実験技術の例示、



写真 32 実大モデル住宅の公開耐震試験

移転も行った。

）枠組み組積造住宅の設計施工マニュアルの作成

技術的な知識を得る機会に乏しいペルーの一般国民にもわかりやすい枠組み組積造個人住宅の耐震的設計施工マニュアルをスペイン語及び英語で作成し、今後の技術の普及を図った。

イランにおける「簡易耐震補強技術」プロジェクト

⑦ プロジェクトの背景

イランは地震多発地帯にあり、2003年12月26日のパム地震(M6.5、ケルマン州)により約2万6千人の犠牲者を出したのに続き、2005年2月22日にも同じくケルマン州のザランド地震で数百人の犠牲者を出すなど、震災が相次いで起こっている。人的被害のほとんどが、伝統的な組積造の住宅の崩壊によるものである。イランの伝統的な組積造住宅は屋根もドーム状組積造であり、地震の震動により壁が崩れ屋根が落下するため、犠牲者の多くは崩れ落ちる屋根材や壁材の下敷きになり圧死したり、窒息死したりするのである。

現在のイランの新しい建築基準では、特に脆弱なアドベ造の住宅は建設が禁止されているが、今なお地方の村落を中心に伝統的な組積造住宅が多数存在している。こうした住宅に住む人々は、現金収入の機会に恵まれないため、低コストである程度効果の上がる緊急な対応が可能となる耐震補強技術が求められている。

本プロジェクトは、イランのこうした状況を踏まえ、PPバンド(ポリプロピレン・バンド)を用いた簡易耐震補強技術について、イランで現地の材料を用いた実験及び試験施工を行い、技術の効果を確認評価した上で、この技術を中心にした既存の無補強組積造住宅に対する新たな耐震補強策を提案し、現地にも受け入れられる技術として普及を図ろうとするもので、平成18年度までの事業である。本稿では、今年3月に実施した現地事前調査の概要、セミナーで紹介したPPバンド耐震補強技術について紹介する。

① イランの建築事情

テヘランなどの都市では、高層建築は鉄骨造が多く、RC造の建物もみられる。(写真 33)テヘラン近郊でも近い将来の大地震が予測されてお



写真 33 テヘランの鉄骨造新築工事



写真 35 Hotkan 村の被災状況



写真 34 ザランド近郊のアドベ造住宅



写真 36 Dahoueyeh 村の被災状況

り、約2年前から、銀行などの建物に対して鉄骨の補強やFRPを用いた補強など高価で高度な補強工事が行われている。

地方の村落ではアドベ、石、れんがなどを用いた組積造の建物が今なお多く存在している。(写真 34) これらの建物は、ほとんどが1層の住宅であり、そこに住む者は家を新築したり高度な補強を行うだけの経済力を持つものは少ない。

ザランド地震被災地視察

2005年2月22日早朝、ケルマン州の州都ケルマンから北西に約70kmの街ザランド(Zarand)近郊で発生した地震(Ms:6.5)により、約650名の死者を出すなど大きな被害があった。地震から12日後の3月6日に被災地に入り現地の被災状況について調査した。写真 35は、山中の丘の上に広がるHotkan村の被災状況で、石積みやアド

ベ造の住宅が多く、それらはほぼ全壊し、約170名の死者が出た。写真 36は、山の裾野の傾斜地に広がるDahoueyeh村の被災状況で、アドベ造の住宅が多く壊滅状態となり、村の人口が約450のところ、150~200名の死者が出、村は放棄された。表 2に各村のMSK震度と対応する日本の気象庁震度階を示した。これによれば、気象庁震度階で震度5弱程度の震動でも、イランの村は壊滅的な被害を受けることが分かる。

表 2 ザランド地震における各村の震度

	MSK 震度階	気象庁震度階
1. Hotkan 村	~	震度4~5弱程度
2. Islam Abad 地区	~	震度4~5弱程度
3. Dahoueyeh 村	<	震度5弱<

⑤ PPバンド簡易耐震補強技術について

イランなどにおける度重なる組積造住宅の地震被害から人命を守るため東大生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センターでは、PPバンドを用いた簡易耐震補強技術開発の取り組みが行われ、国内における実験や解析で補強効果の発現が確認されている。

PPバンドは、大型のダンボール箱の荷造りなどに用いられるポリプロピレンのバンドであり、安価、世界中のどこでも容易に調達可能、引っ張りに強く、大変形にも耐える、耐久性がある、扱いやすく運搬も容易、という利点がある。この技術は、PPバンドでメッシュを作り、組積造壁の外部及び内部に設置し、壁に小さな穴を開けて両側のメッシュを針金などで結ぶことにより、地震で目地が壊れ組積材がゆるんでも壁の面外にはずれないように拘束することによって、地震時の壁の崩壊を防ぎ、または、面外崩壊を遅らせて、居住者の避難のための時間を稼ごうというものである。いつまた発生するかも知れない地震に対して、緊急に低コストで人命を守る措置を行おうというものであり、これにより、建物の被害を完全に防ぐことを目的としたものではない。

PPメッシュを設置した後、モルタルで壁表面を被覆する。これは美観を整えると共に、PPメッシュの効果を高め、PPバンドの耐久性に悪影響を及ぼす紫外線を防ぐ役割も果たすものである。

補強有り無しの壁単体に対する加力実験から、PPメッシュにより補強された壁は無補強の壁に比べ、耐力のピークを過ぎ変形が進む間もある程度の耐力が維持され、剪断クラックが入った後も相当な強さの残余耐力を持っており、大きな変形性能を持っていることがわかった。壁は壊れても組積材が壁の面外に崩れ落ちることがなく、人的被害の軽減に役立つものと推察された。この補強方法の性能には、メッシュの上から行うモルタル被覆とメッシュ結びが、補強効果に大きな役割を果たすことが分かった。

いろいろなパラメーターを変えて行った解析によれば最大耐力に至る前後とも、組積材の間の摩擦（接着性）が最も重要なパラメーターであることがわかった。PPメッシュは、クラックが入った後の組積造の挙動を改善するが、最大耐力や剛

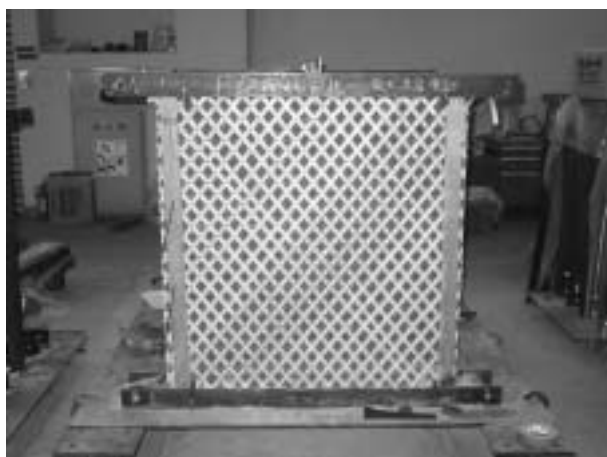


写真 37 PPバンドとメッシュの設置

性を高める効果はない。PPメッシュは、壁に生じるひび割れを分散させる効果があり、早期の崩壊を防ぐことができる。

以上のことから、PPメッシュによる補強は、組積造に対して非常に効果が高いことが分かる。

今年度以降、イランにおいてイランの材料を用いた実験を行い補強効果を確認し、評価した上で、イランの建築市場、地方の建設環境や施工現場の実態に配慮した簡易耐震補強施工の手引きを作成し、技術の普及を図ることにしている。

4. おわりに（地震被害の軽減にむけて）

開発途上国で大規模な地震が発生する度に多くの住宅が倒壊し、莫大な数の人命が失われている。その中でも強度の弱いアドベは被害の程度が著しいと言われている。

今回のセミナーに参加して、このアドベに関しても世界中で多くの研究者、実務者が長年にわたる努力をし、相当の成果を上げてきていることが理解できた。しかしながら、「現実に起こる被害を減少させる」という目標から見た場合、セミナーでの議論でほとんどの人が指摘していたように効果はほとん

ど上げることができていないと言わざるを得ない。

ここでは、今回のセミナー参加とそれに関連するヒアリング、資料収集等から、地震被害の減少を実現するための今後の主要な課題について言及させて頂くこととする。なお、筆者は地震防災の専門家ではなく、また、今回の活動に関連する限られた情報に基づく言及であることをご理解頂くとともに、その不足するところについて有識の読者諸兄よりのご指摘、御意見をお願いしたい。冒頭に述べたように独立行政法人建築研究所では、地震被害の軽減を実現するための総合的な戦略を策定するための研究開発プロジェクトを企画・立案することとして、本年度そのためのフィージビリティスタディを実施してきており、そこへの反映等の形で有効に活用させていただきたいと考えている。

* アドベに関して今後の取り組みが必要と考えられる主要な事項（私案）

技術の普及方策

セミナーでほとんどの人が指摘しているとおり現時点で最もキーとなっている事項のひとつ。住民、直接建設に携わっている職人、材料業者や、施策を進める立場にある地方政府の職員等への普及に重点を置く必要がある。

破壊、倒壊の性状の確認

補強方法を考えるうえでの最も重要な事項であり、これまでに被災した建物の調査、試験体を用いた力学実験（静的繰り返し加力、傾斜台、振動台など）が数多く行われており、相当の成果が得られているが、ほとんどが建物に直交する1軸方向加力のものとなっている。アドベ構造物の破壊では振動による変位の大きいことが支配的要因となっていると推測されていることを考えると、2軸、3軸の加力の場合の性状について把握することは不可欠と思われる。

現実の施工状況の把握と改善方策

ノンエンジニアドと呼ばれる構造物の場合、その施工精度が大きくばらついていることは多くの研究者の指摘しているところであり、現実の被害の減少を実現するためにはその実情を把握し、それを前提とした対策を講ずることが必要である。

多くの耐震補強提案の力学的な検証が、研究機関

で製作された試験体により行われているが、実社会への適用を考える場合、次のステップとして、現実の施工状況の把握と補強方法が確実に実現される方策を考える必要がある。

材料の耐久性、耐腐食性の確認

補強に種々の材料を用いることが検討されているが、併せて、その耐久性、耐腐食性を検討することが必要である。植物系の材料、断面の小さなスチール、プラスチック等の化学製品などが廉価であることを主要な理由として選定されているが、耐久性は重要な要素である。また、定着材、仕上げ材など接触が想定される材料との反応を含めた腐食も確認を要する課題の一つである。

普及を支援する助成制度の立案

耐震性能を備えた住宅はコストダウンの努力をしてもある程度のコスト増は避けられない。対象となるのは低所得層であることから、耐震工法の普及を図るためには助成制度が不可欠である。特に長年にわたり経済援助施策の実施についての最大の課題の一つであり続けているガバナンスの問題を克服する有効な助成制度の立案、実施が求められる。

生活様式、住意識からのアプローチ

長年コミュニティレベルでの取り組みをしてきた複数の実務家から筆者の発表に対して、「住民が耐震補強の重要性を理解し、経済的に実施可能な状況になっても、現実に彼らがそれを取り入れるまでにはまだ距離がある」とのコメントがあった。生活様式、長年の習慣、土着の信仰、宗教的理由など普及に向けて考えなければならない事項は多いとの事である。

関係者間の情報交流

世界各地で多くの研究者、実務者がいろいろな取り組みをしているが、それぞれの成果、経験、教訓といったものが必ずしも関係者の間で有効に情報交換し、活用されているとは言えない状況がある。一般庶民住宅の地震被害の軽減は、長年にわたる努力にも拘わらず十分な成果を上げることができていない大変困難な課題であるだけに、それぞれの取り組みの成果が目的を共有する他の多くの人々に共有、活用されるような仕組みが必要である。