

2005年パキスタン北部地震現地調査報告

国際協力審議役 榎府 龍雄

目 次

現地調査について

地震と被害の概要

1) 地震概要

2) 被害概要

建築物の被害状況

1) 調査の概要

バラコート

マンセラ

アポッタバード

イスラマバード

2) RCフレームを用いた建築物の被害事例

バラコート

マンセラ

イスラマバード

RCフレーム建築物についての所感

3) 伝統的な工法の建築物（ノンエンジニアド建築物）の被害事例

マンセラ郊外のクシャラ村

伝統的な工法の建築物（ノンエンジニアド建築物）についての所感

パキスタンの建築関連基準

1) パキスタン建築基準の状況

2) 耐震関係の基準

概要

パキスタンと日本の地震力係数の比較

3) 地震後の動向と今後の課題

おわりに（被害軽減の実現に向けて）

<参考> 建築研究所の地震防災に関する取り組み

参考資料リスト

現地調査について

2005年10月8日08時50分(現地時間)、パキスタン北部の山間部を震源とするマグニチュード7.5の地震が発生した。日本政府は、パキスタン政府(公式名称は、パキスタン・イスラム共和国)からの要請を受け、地震直後から、国際緊急援助隊及び自衛隊を派遣し、また、復興支援のための調査団を派遣する等支援活動を行ってきている。

筆者は、国際協力機構(JICA)の「パキスタン国北部地震復旧・復興プロジェクト形成調査団」(JICA、国土交通省、内閣府などの10名で構成)の一員として同調査に参画する機会を得た。本稿は同調査のうち、建築、住宅に関する部分について報告するものである。

調査団は、分野別に3グループに分かれて調査を実施した。建築、住宅分野の担当は、筆者、国土技術政策総合研究所犬飼室長とJICAイスラマバード事務所所員2名により構成され、筆者らの現地滞在期間中(2005年10月23日から11月3日)に、パキスタン政府の住宅省、環境省などの関係機関に協力しつつ被災地の調査を実施するとともに、関連する情報収集や、パキスタン側への建築物の耐震診断技術、耐震性向上技術、今後の復興に関する技術的助言等を行った。

地震と被害の概要

1) 地震概要

パキスタンは、図1に示すとおり、中国、インド、アフガニスタン、アラビア海等に囲まれ、北部は、標高4,000m以上の山々が連なる山岳地帯である。パキスタン北部や北西部には、ユー



★ : 本震震源位置(2005年10月8日午前8時50分

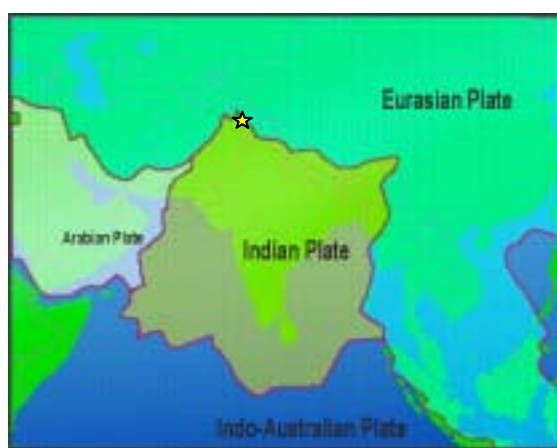
(現地時間)発生)

図1 パキスタン全国地図

ラシアプレートとインドプレートとの境界があり、地震が多く発生している。本地震は、この大陸プレート間の境界で発生したと思われる(図2)。

本震は、パキスタン北部に位置するジャンム・カシミール地方のうち、パキスタンが実効支配する地域内にあるムザファラバード市付近を震源として発生し(図3)、震源の深さは約10kmとされている。パキスタン気象庁等により推定された断層破壊面は、震源から、北西及び南東方向の向きに走っており、断層破壊面のすぐ上またはその周辺にあると思われる地域で甚大な被害が見られた。震源周辺の大陸プレート間の衝突は、インドプレートがユーラシアプレートに近付くことにより起きている。インドプレートがユーラシアプレートの下に沈み込む距離がある程度に達すると、周辺のユーラシアプレートが浮き上がるため、地震が発生すると考えられている。震源よりも北に位置する地域で、大きな震動が発生することが多いようである。

本震発生時の加速度が震源周辺で観測されている。(図4)震源から約50kmの距離にあるアボッタバード市で最大加速度0.23g(東西方向)、震源から約70km~100kmの距離では最大加速度0.1g以下を記録した。これらの加速度から、我が国の気象庁震度を試算してみると、アボッタバードで震度6弱、震源から70km~100kmの地点で震度4となった。なお、観測データは、現在パキスタン原子力委員会(PAEC)・微小地震研究計画(MSSP)に所属しておられる技術者で、当研究所が実施している研修を修了された方から提供していただいたものである。また、余震は1,000回以上が観測されている。



★ : 本震震源位置 0 2000 4000 km

図2 パキスタン周辺の大陸プレート
(パキスタン気象庁のホームページ
<http://www.pakmet.com.pk/earth.htm> 参照)



凡例) ★ : 本震震源位置、● : 加速度観測点、
 []内は日本の気象庁震度の試算

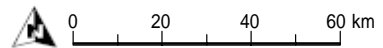
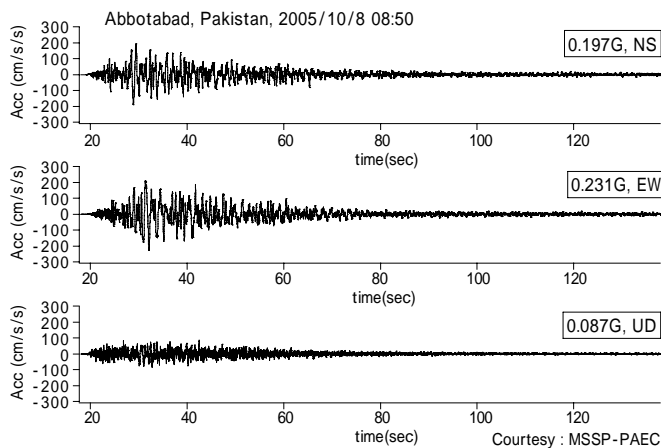


図 3 被災地周辺地図

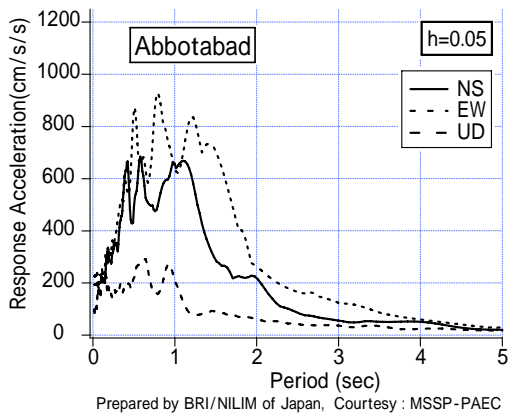
表 1 住宅被害 (世界銀行等調査団報告) (1) (単位: 戸)

地方名	倒壊	被害	合計
ザッド・ジャムム・カシミール州 (AJK)	116,572	88,368	204,940
北西フロンティア州 (NWFP)	87,007	108,205	195,212
合計	203,579	196,573*	400,152*

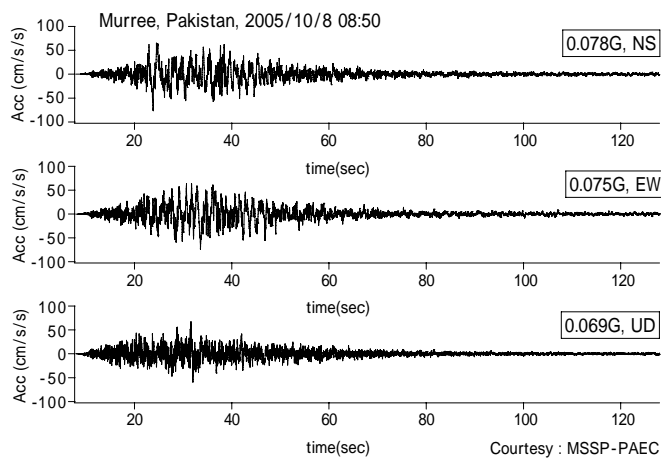
*合計値は再計算の上、文献(1)の数値を修正した。



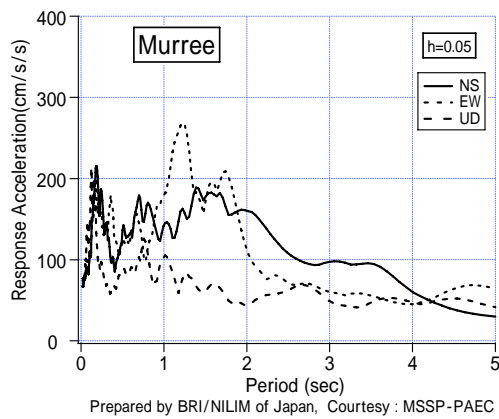
(1-a)アボッタバードの観測加速度



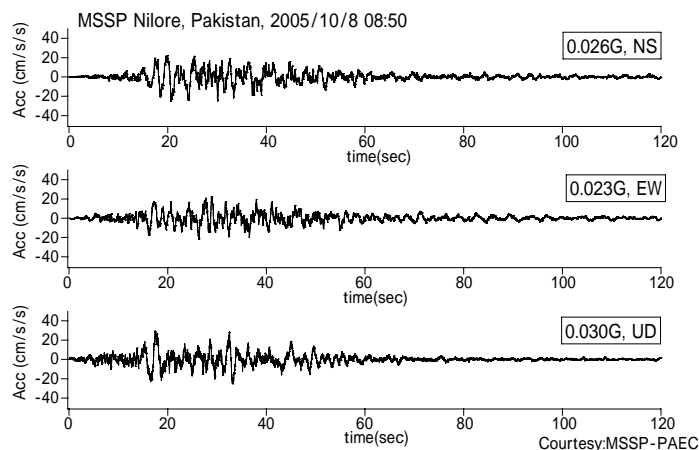
(1-b)応答加速度



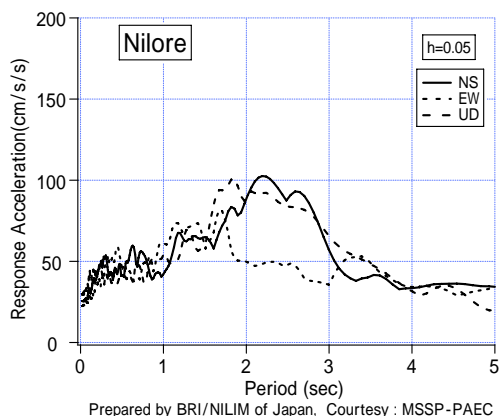
(2-a)ムレーの観測加速度



(2-b)応答加速度



(3-a)ニローレの観測加速度



(3-b)応答加速度

図4 各地の観測加速度及びその応答加速度

(独立行政法人建築研究所国際地震工学センターのホームページ
http://iisee.kenken.go.jp/special/Pakistan_EQ_SGM.e.pdf 参照)

2) 被害概要

地震による被害は、パキスタン、インド、アフガニスタンの3カ国にわたって発生しているが、パキスタンにおいて最も大きな被害が生じている。その中でも、震源の位置するジャンム・カシミール地方と隣接する北西フロンティア州において甚大である。

2005年11月3日の現地新聞報道によると、死者 73,276人、負傷 69,260人であるが、山間部でまだ状況の把握ができていない地域があり、今後更に増大する懸念がある。(世界銀行は、その後インド側約1300人を含めて死者は87350人に達したとしている)

地震直後から、国際機関(世界銀行、アジア開発銀行等)や各国(日本、EU、米国等)の緊急援助活動、被害調査等が活発に行われ、被災者の救出、避難者への食料・テントの供給等が進められている。

世界銀行調査団による住宅被害調査を表1に示す。これは、今後の調査の進展により、修正されると思われる。表中のアザッド・ジャンム・カシミール州とは、ジャンム・カシミール地方のうち、パキスタン実効支配地域に対してパキスタンが使用している地域名である。

建築物の被害状況

1) 調査の概要

被害調査は、北西フロンティア州のバラコート、マンセラ、アボッタバードと首都イスラマバードにおいて実施した。(震源が所在するジャンム・カシミール地方は、道路交通の確保が十分でないため断念した。)いずれも現地での目視によるものであり、イスラマバードの高層住宅は設計図を参照することができた。各都市の被災状況は以下のとおり。

被害状況は、RCの枠組みを用いた2階建て以上の建築物と、石、日干しレンガ、レンガなどを用いて地域の職人が建設している一般庶民住宅などの建築物(工学的な配慮がされていないという意味で、ノンエンジニアドと称されることが多い)に区分して記述することとする。

バラコート

震源から北西約15kmに位置し、標高4,000m級の山々の間のカガン渓谷(Kaghan Valley)を流れるクナル川(Kunhar)沿いに位置しており、標高約1,000mである。

街はクナル川を挟んで発展しており、両岸とその背後の丘陵地に多くの建築、住宅が建設されていた。街の中心部を見て回

った範囲(丘陵地はまだ道路が啓開されておらず調査が困難)で構造体の損傷がほとんど無い建物は1棟のみで、郊外部を展望してみてもまともに建っているものが数軒散見される程度である。(遠方からの展望なので実際には被害を受けている可能性がある)

写真1、写真2は、クナル川東側から西側を撮影したものである。川の両岸には、1~2階建て建物が多くあったと推定され、構造方法は鉄筋コンクリート造、レンガ造、石造等が考えられる。この地域では、従前の階数がわからないほど、全層が崩壊している建物が多く見られた。写真3、写真4は、街のメインストリートの状況であるが、従前は商店の建ち並んだ活気の溢れた通であったと想像されるが、見事なまでに破壊されてしまっている。写真1の左下に見える橋では、地震により橋桁が約1メートル左に移動し、また、橋桁に多数のひび割れを生じているなど危険な状態であるが、引き続き利用されている。



写真1 バラコートのクナル川西側



写真2 バラコートのクナル川西側(写真1の北側部分)

調査の帰路に車中から見た範囲では、バラコートから少し離れると建物被害は相当少なくなり、約5km南下した地点の一群の建物では、倒壊建物の数は相当低下し、倒壊に至っていない建物も多く見られた。(写真6)



写真3 バラコートのメインストリート



写真4 バラコートのメインストリート



写真5 被災者の活動状況



写真6 バラコートの南約5kmにある鉄筋コンクリート造と思われる建物群

マンセラ

マンセラは、震源の南西約30kmに位置し、カラコルム街道沿いにある標高約1,000mの町である。被害は比較的軽微で街の中心部では、被災建築物が散見される程度で街の機能は維持されている。中心部では、州立マンセラ病院の本館及び新館(RCの柱はりフレームにレンガ造壁を取り付けた3階建ての構造)を調査した。

また、ノンエンジニアドの建築物の被災状況を調べるために郊外のクシャラ(Khush-hala)村を訪れ、住宅、学校等を調査した。外観から大破していると明らかに分かる状態のものは1-2割程度である。ただ、離れた地点からは従前どおり建っていると見えるものでも、詳細に見ると構造体に危険なクラックを生じているものが多く、危険な状態のものは更に数倍はあるのではないかと推測される。



写真7 マンセラ市中心部の商業地区



写真8 マンセラ市中心部の商業地区



写真9 マンセラ市内の建築中の建物（被害は受けていないようである）



写真10 マンセラ市内の崩壊建物と被害の少ない建物

アボッタバード

アボッタバードは、震源の南西約 50km に位置し、カラコル

ム街道沿いにある標高約 1,000m の町である。被害はさらに少なくなり、街の中心部を貫通するカラコルム街道沿いに、数軒倒壊した建物が見られる程度である。

写真11は、カラコルム街道沿いの倒壊した建物であり、写真12は、小学校の女子教師を養成する国立大学のアボッタバード校であり無被害である。



写真11 街道沿いの倒壊した建物



写真12 国立小学校女子教師養成大学アボッタバード校

イスラマバード

震源から約 95 km 離れており、被害は軽微である。

JICAの専門家が亡くなったことから日本において報道された高層住宅はイスラマバードで大きな被害を受けたほとんど唯一ともいえるものである。比較的被害が大きいかとして案内されたオフィスビルでも、殆どは非構造部材の比較的軽微なクラックのみで、構造体の損傷はほとんど見られなかった。（現地の新聞報道によれば複数の公共建築物に被害が発生したとのことであるが、詳細は不明。）（後述の 2）RC フレームを用いた建築

物の被害事例（イスラマバードのA及びBで詳述）

なお、イスラマバードは首都として、パンジャブ州の拠点都市ラワルピンジの北側に隣接して1961年から計画的に開発された都市である。マスタープランはギリシャ人建築家ドキシアデスによる。



写真13 イスラマバード市内



写真14 イスラマバード シャー・ファイサル・モスク

2) RCフレームを用いた建築物の被害事例

バラコート

A市内中心部

市内のメインストリート沿いは従前の状況が想像できないほどほぼ全面的に倒壊してしまっているが、瓦礫の状況から、2-3階程度のRCフレームにレンガ、ブロック等で壁面を充填した建築物が連続していたものと推測される。

倒壊した建物の多くは、柱と梁の接合部及び柱と基礎の接合部で破断しており、結果、上階の床スラブが下階床近くまで落下している。このため建物内の人にとっての生存空間がほとんど無く、多くの人の命を奪うこととなったものと想像される。

また、レンガ、ブロック等の壁も多くはバラバラの状態に散乱しており、地震による水平の力にほとんど無抵抗で崩壊したものである。



写真15 バラコート 屋根スラブが地面まで崩落している



写真16 バラコート 柱頭部の破断状況



写真17 壁の崩壊状況

壁の材料であるブロックがバラバラの状態に崩壊している



写真18 写真17の建物の詳細



写真20 写真19の建物の内部
援助活動の部隊の休息の場となっている

イ 軽微な被害のショッピングセンター

大部分の建物が倒壊あるいは構造体に深刻な被害をうけているバラコート中心部の中で、写真19は軽微な被害で済んでいる極めて希な例である。2階建て鉄筋コンクリート造のショッピングセンターであり、間仕切り壁と思われるレンガ造の壁にひび割れが生じているだけの軽微な被害で済み、2店舗は営業を再開し、1階部分では救援活動隊員が休息をとっていた。（市の中心部で使用可能と思われる殆ど唯一といえる建物である）



写真21 写真19の建物の内部



写真19 バラコート
ほとんど被害の無い建物の外観



写真22 写真19の建物の内部
構造材（柱、梁）と間仕切り壁との間にクラックが入っている
壁自体のクラックは見あたらない

ウ大破した2階建て住宅

写真23は、クナル川西側の丘に登る道を200mほど進んだところにある2階建て建物である。この建物の構造は、コンクリートに石と鉄筋を用いた柱はりフレーム構造に、石造壁を取り付けたものであり、震動及び土砂により大破したと思われる。破壊箇所は、柱と梁及び柱と土台の接合部である。



写真23 クナル側西岸の丘の上の建物



写真24 写真23の建物の1階内部

マンセラ

ア州立マンセラ病院

写真25 - 27に、州立マンセラ病院の本館及び新館を示す。これらの建物は、RCの柱はりフレームにレンガ造壁を取り付けた3階建ての構造である。RCフレームの小さな断面から想像して、RCフレームとレンガ造壁とが一体として支える構造ではないかと想像される。1階のレンガ造壁のほとんどに斜めひび割れが生じ、柱の一部にもひび割れが生じていた。地方自治体の建築部局から損傷調査を受けたが、調査結果はまだ得てい

ないとのことであった。(本館、新館ともに使われておらず、敷地内に設置されたテントにおいて医療活動が行われていた。)



写真25 州立マンセラ病院新館
手前は医療活動のためのテント



写真26 病院新館1階
壁面に剪断によると思われるクラックが入っている



写真27 病院新館1階廊下(クラックはモルタルで補修されており、目立つ状態になっている)



写真28 病院本館1階の柱とレンガ壁
クラックが入った部分の仕上げを調査のためにはつっている



写真30 倒壊を免れた住棟(3棟)
(写真29の右側に見える住棟)

イスラマバード

ア高層住宅

写真29、30に、倒壊した高層住宅の外観を示す。5棟の一団の住棟のうち1棟と半分が倒壊したものである。写真29の住棟の間の部分が倒壊した住棟(1995年築)が建っていた場所である。写真30は、その東側(写真29の右側に写っている棟)に残っている3棟であり、1995年以前に建てられた。残っている部分は、横に3棟並んでいるが、このうち左側2棟(10階建てと11階建て)が、倒壊した部分と同じ平面計画の建物である。倒壊直後には、倒壊部分の上層に建て増したり、倒壊前から危険なひび割れが入っていたと言われていたが、所管の建築部局(首都開発庁)によると、そのような事実は無かったようである。



写真29 イスラマバードの被災した高層住宅
住棟の間に建っていた部分が倒壊した

写真31、32は、残っている部分の1階内部である。この建物は、柱はりフレームにブロック壁を取り付けた構造である。非構造壁であるブロック壁にはひび割れが多数生じていたが、柱及びはりのひび割れは少なかった。しかし、今後の地震による倒壊を恐れたせいか、居住者の多くは退去していた。写真32には、ブロック壁に生じたひび割れと、退去時に家具、建具が持ち出された後の状況が写っている。

倒壊の原因は判明されていないが、今後調査が行われるようである。



写真31 倒壊を免れた住棟の1階廊下



写真3 2 倒壊を免れた住棟の1階住戸内部

キッチン部分の間仕切り壁。ドアが無いのは所有者が持ち出したため

イオフィスビル

写真3 3 - 3 6に事務所ビルの被害を示す。この建物は、築後約10年、構造方法は柱はりフレーム構造であり、ブロック壁は非構造壁である。地震により、柱に曲げひび割れ、ブロック壁に多数のひび割れが生じており、ガラス周囲の枠、柱の化粧板等が脱落していた。ひび割れにはエポキシ樹脂を注入する等の補修工事が行われるようである。



写真3 3 イスラマバードのオフィスビル



写真3 4 オフィスビルの内部

構造体と壁との間にクラックが入っている



写真3 5 柱の化粧材(自然石板)の落下



写真3 6 写真3 5の詳細

上下2カ所の金具で化粧材が留められている

RCフレームを用いた建築物についての所感

首都イスラマバードのみならず地方都市でも、2階以上の商業系の建物ではRC構造が広範に用いられている。(戸建て住宅は組積造が大部分である。)その構造は、柱、梁のフレームに、レンガ、ブロック等の壁を充填するものである。(RCフレームの断面は日本と比較すると相当小さいという印象である。構造計算上、壁をどのように扱っているかは不明。)

倒壊建物のほとんどは、柱と梁及び柱と土台との接合部で破断しており、接合部の強度不足が倒壊の主原因と思われる。その原因としては、設計上の想定入力小さく(後述のパキスタンの建築関係基準参照)、補強のための措置(テーパ等)も取られていない他、鉄筋の接合が不十分、柱、梁の接合部がコンクリートの打ち継ぎ面に一致していることなどが考えられる。また、充填されている壁材は、倒壊しているものの多くではバラバラの状態で崩落しており、目地材の強度不足により壁全体として大変脆い状態と推測される。(目地材は爪でつつくだけでぼろぼろと崩れるものも見られた)倒壊を免れている建物の多くでは、RCフレームと壁との境界にクラックが入っている事象が見られることから(多くの場合壁面自体にはクラックは入っていない)、RCフレームとの一体性は確保できていないと推測される。

破壊されたコンクリートの断面を見ると、小さな空隙が一面に入っているものが少なからずある。(写真37)また、鉄筋も実質的な断面が相当少なくなっていると思われるほど内部まで発錆が進んでいるものも相当見られた。(写真38)

設計、施工、材料等広範な側面で多くの問題を有していると言わざるを得ない状況である。



写真37 コンクリート内部の空隙



写真38 発錆の進んでいる鉄筋

3) 伝統的な工法の建築物(ノンエンジニアド建築物)の被害事例

マンセラ郊外のクシャラ村

ア州立小学校

写真39に、マンセラ市クシャラ(Khush-hala)村にある州立小学校を示す。これは1階建て石造壁構造(壁厚約45cm)であり、壁隅角部に鉛直方向に大きなひび割れが生じていた。これは隅角部において直交する壁が分離し壁全体が倒壊する、組積造の典型的な破壊パターンの前兆を示すものと考えられる。石材は目地の外観からは整形の切石のように見えるが、実際はかなり不整形なものを積み上げ、目地を化粧材のような使い方で直線状に仕上げているものである。そのため石材の隙間は大きなものになっており、そこに紙、布きれなどを丸めて充填し、モルタルの使用量を節約しているようである。従って目地による石材相互の接合力はほとんど期待できないような状態のものである。



写真39 州立小学校外観



写真 4 0 外壁隅角部の破壊状況



写真 4 3 州立小学校壁隅角部のひび割れ

(右側の壁が、写真 4 1 の壁と同一の壁。平面計画上対称の位置に同様のひび割れを生じている。)



写真 4 1 外壁隅角部の破壊状況



写真 4 4 州立小学校外壁の詳細

石材間に大きな隙間があり、紙が充填されている



写真 4 2 隅角部のクラック(室内)

イ 州立女子小学校

写真 4 5、4 6 に、マンセラ市クシャラ村にある州立女子小学校を示す。写真 4 5 の左の棟が 1995 年築の鉄筋コンクリート造柱はりフレームにレンガ造壁を取り付けた 1 階建ての構造であり、右の棟が 1985 年築のブロック造 1 階建ての構造である。ブロック造棟の隅角部には大きなひび割れが生じていたが、これもアの小学校と同様の破壊性状であり、この場合は壁自体の強度も弱いためちょうど中間部分に水平に亀裂が入り、今後揺れがあれば上方部分から崩落するものと想像される。一方、鉄筋コンクリート造構造の校舎には、ひび割れが見られず、天井の仕上げ材の一部が脱落していた。



写真45 州立女子小学校
(左側がRC造、右側(妻面が見える)がブロック造)



写真47 石造住宅正面



写真46 ブロック造壁隅角部のクラック



写真48 石造住宅左側側面

ウ石造住宅

写真47 - 48に、マンセラ市クシャラ村にある石造住宅を示す。この壁は、丸石を積み上げたまわりを泥で固めて日干しにしたものであり、壁厚さは約 60cm である。屋根は木造小屋を組み、小枝及び泥で屋根を葺いている。この住宅では、正面の壁の中央の上部が崩れて、路上に積み上がっている。

左側側面の壁には、ひび割れが多数生じていた。振動方向に対して面外となる壁面のうち変位が大きくなる中央部が破壊する組積造の典型的な破壊パターンのひとつを示している。



写真49 石造住宅詳細



写真50 石造住宅詳細

丸石を積んで泥で固めていることがよく分かる

エアドベ造住宅

写真51, 52に、マンセラ市クシャラ村のアドベ造住宅を示す。この住宅では、壁が崩れるとともに、屋根が崩落した。(この事例の破壊パターンも前述のウ石造住宅と同様である)



写真51 アドベ造住宅正面



写真52 アドベ造住宅背面

オ複数種類の材料による組積造住宅

写真53 - 56は、複数種類の材料を使用している典型例の一つとして紹介する。



写真53 複数種類の材料による組積造住宅

一般庶民の組積造住宅では、それぞれの時点で容易に入手できる材料を使いながら段階的に建設されることから複数種類の材料が使われることは珍しくないが、この事例では丸石、割石、レンガ、ブロックの多くの種類の材料が入り乱れた状態で使われている。庶民住宅の建設プロセスが想像でき、また、建設材料が時代により変遷してきていることを伺わせる興味深い事例である。



写真54 上部は割石、下部は丸石、中央部にはレンガが使われている。また、その継ぎ目も不整形となっている。



写真55 住宅内部（屋根は崩落）左側壁の下部は丸石、上部は切石、右側はレンガとなっている。



写真56 室内に崩落、散在していたブロック
（壁の上部に使われていたと思われる）

カブロック造住宅

写真57 - 60に、マンセラ市クシャラ村にある1階建てブロック造壁構造住宅を示す。この壁には、比較的整形で大型のブロックが用いられ、基礎を割り栗石による地業を行った上に土間コンクリートを打っており、ある程度の技術的な配慮がされているように判断されるが、残念ながら壁隅角部で鉛直方向にひび割れが生じていた。このひび割れも、前述の壁全体が倒壊するパターンの前兆を示すもので致命的なものと考えられる。



写真57 ブロック造壁構造住宅



写真58 比較的整形なブロック
（写真57の左側面）



写真59 基礎の割り栗石による地業と土間コンクリート



写真60 壁隅角部のひび割れと上部ブロックの脱落

伝統的な工法の建築物（ノンエンジニアド建築物）についての所感

今回調査したのはクシャラ村という限られた地域であったが、壁、屋根が崩落するなど大破しているものがある一方で、外観からは単純なアドベと思われる建物や相当老朽化しているような建物がほとんど被害なく建っているなど、大きな差があることが印象的である。特にコンクリートブロックやセメントモルタルなど性能の高い工業製品を使っているものが必ずしも効果を発揮していないことには考えさせられる。原因としては、即地的な振動の違い（地盤条件等による）、建築計画上の違い（平面が整形でバランスがよいか、開口部の大きさ、配置バランス、屋根の重さ、振動による壁等の変位を押さえる効果のある部材（臥梁、火打材、タイバーなどに類するもの）の有無など）材

料の品質、施工精度などが考えられるが、多大の人命を左右する建築、住宅の耐震性能の重要性を考えれば早急に究明のための本格的な調査、研究が必要であると考えられる。

多種の材料が混用されているのも驚きである。一般にノンエンジニアド建築は地場の材料で伝統的な工法により建築されていると思われがちであるが、前述の「オ複数種類の材料による組積造住宅」の例に見られるように、実態はいろいろな材料、技術が無秩序に入り込んできているという印象である。形状、重量、力学的性状などの異なる材料が無造作に同じ構造物の中で混用されている状況は、地震による振動というような事態に対してプラスに働くことはないと思われる。

新しい技術の導入もアンバランスな形のようにはあるが確実に進んでいるように見られる。「カブロック造住宅」の所有世帯は3棟の住宅を所有（ブロック造住宅は最も新しい住棟）しているが、古いアドベ住宅から順次新しい材料、工法を使うようになってきていることが分かる。特に紹介したブロック造住宅は、割り栗、土間コンを導入するなど高い意識を感じさせる。写真56は、「ウ石造住宅」の筋向かいにあった建築中の壁であるが、一定間隔に強度のある部材を水平に入れるという組積造補強の基本的な方法をコンクリートにより実施しており、新しい技術が導入されてきている事例と考えられる。

（今回は、限られた地域での短期間の調査であり、また、地域の中心都市マンセラから車で15分程度の都市近接地であることなどを考慮する必要はあるが、ここで述べた事項は程度の差はあってもノンエンジニアド建築に共通する傾向ではないかと考える。）



写真61 「ア州立小学校」の敷地内のアドベの小屋。クラックも生じていなかった。



写真62 「石造住宅」の筋向かいにあった建築中の壁
(一定間隔に水平のコンクリート帯を配置している)

パキスタンの建築関連基準

1) パキスタン建築基準の状況(注1)

パキスタン建築基準(Building Code of Pakistan)²⁾は、1986年にパキスタン住宅公共事業省(当時。現在は住宅省、環境省等に組織改編されている。)が作成、公表している。そのうち、耐震基準については、内容が十分でないなどの理由により、個々の設計者はそれぞれが精通しているアメリカ(UBC、現在はIBC)、イギリス(BS)、ドイツ(DIN)、インドなどの基準を準用して設計をしている状況である。

建築基準行政は、市レベルの地方行政機関(中央政府、州政府の次に位置づけられる行政機関)が担当している。どういう建築基準を採用するか、どの範囲まで適用か、強制規定かどうかなどは、各地方行政組織の権限で定められている。首都イスラマバードの所管官庁である首都開発庁(CDA、Capital Development Authority)では、規則的事項(建物高さ、容積率など)のチェックは行っているが、建築基準(構造規定を含む)はチェックなしで建築家の責任とされている。(他の地域では、構造強度もチェックしているケースもあるとの情報もある)

被災後の建築物の耐震診断基準は特に定められていない。そのため、今回の地震後は、急遽、外国の耐震診断基準(米国のATC-20)を利用して、一部の公共建物を耐震診断したようである。なお、今回当方が日本から持参した日本の耐震診断基準(英語版)を提供して活用して頂くこととしている。

2) 耐震関係の基準(注2)

概要

パキスタン建築基準には、建築確認検査、設備、建築材料、地震力等が規定され、詳細な仕様は、別の文書により規定されているとのことである。(その資料の入手に務めたが現地滞在期間中には実現できなかった)

パキスタン建築基準のうち、地震力に関する部分の概要を以下に示す。

建築物の地震力Vは、以下の式により求める。

$$V=ZIKCSW$$

ここで、W : 固定荷重と積載荷重の和

Z : 地震地域係数。パキスタンは4つの地震地域に分類され、その区分に応じてZは、3/4、3/8、3/16、3/32のいずれかとする。パキスタン建築基準(1986年)に掲載されている地震地域係数分類図を図5に、その後2001年にパキスタン地質研究所が作成、公表し、現在一般に使われているという分類図を図6に示す。

I : 重要度係数。重要度係数Iは、建物の崩壊により一般社会に及ぼす危険度に関する。値は、1.00、1.25、1.50が、基準の中で与えられる。

K : 構造方法係数であり、構造方法によって変化する。異なる構造方法別に、フレーム構造(K=1.00)、壁式構造(K=1.33)、2方向筋交い構造(K=0.08)等の値が基準で定められている。

C : 以下の式により求められる振動係数。この値は0.12以下とする。

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

周期T(sec)は、適切な解析方法により、建築物の構造特性や構造部材の変形特性により求めなければならない。

上記のTを求める方法がなければ、以下の式を用いて良い。

$$T = \frac{0.05h_n}{\sqrt{D}} \quad (\text{sec})$$

ここで、 h_n : 建築物の高さ(feet)

D : 地震力と同じ方向の
建物長さ(feet)

他に、フレーム構造であれば、Tを以下の式により求めることもできる。

$$T=0.1N(\text{sec})$$

ここで、N : 建物の階数

S : 以下により求める。

$T/T_s \leq 1.0$ のとき、

$$S = 1.0 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

$T/T_s > 1.0$ のとき、

$$S = 1.2 + 0.6 \frac{T}{T_s} - 0.3 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

ここで、 T_s : 地盤の固有周期(sec)

T_s を適切に求められない場合、 $S=1.5$ として良い。

パキスタンと日本の地震力係数の比較

パキスタンと日本の地震力係数を、2階建て鉄筋コンクリート造建築物を例にして、比較すると以下ようになる。

パキスタン建築基準によると、建築物高さ $h_n=6\text{m}(=20\text{feet})$ 、長さ $D=12\text{m}(=40\text{feet})$ 、地震地域係数 $II(Z=3/8)$ 、構造種類係数 $K=1.00$ 、重要度係数 $I=1.0$ 、地盤周期 $T_s=0.6(\text{sec})$ とすると、 $T=0.16(\text{sec})$ 、 $C=0.12$ 、 $S=1.34$ となるので、

地震力係数 $V/W=0.06$

である。(ここで、主要な被災地(ムザファラバード、バラコート等)は、1986年の地域分類図(図5)ではZone 2 ($Z=3/8$)、2001年の地域分類図(図6)ではZone 2 ($Z=3/8$)あるいはZone 1 ($Z=3/16$)となっていることから、ここでは $Z=3/8$ を用いた。)

日本の耐震基準では、2階建て鉄筋コンクリート造建築物の場合、地震力係数 C_o は、

地震力係数 $C_o=0.2$

である。

したがって、今回の被災地におけるパキスタン建築基準による地震力係数(V/W)は、2階建て鉄筋コンクリート造建築物の場

合、日本の C_o の約 $1/3$ 以下と言える。

3) 地震後の動向と今後の課題(注1)

今回の地震災害を受け、想定地震入力を規定しているゾーニングマップ(地震地域係数分類図)を改訂する方向で進んでいる。取りまとめ役は住宅省、関連省庁として環境省(環境関連を担当)、気象庁(地震観測データ)、地質研究所(地盤関係データ)などが参画する見込みである。また、建築基準の実効性を高めるため、法律により基準を強制規定化(mandatory)することを検討しているとのことである。

しかしながら、建築物の耐震化を現実に実現していくためには、上述の点に加えて以下のような多くの課題があると考えられる。

建築手続きを経ていない建築活動

一般庶民住宅のみでなく、多くの建築物が建築関係手続きを経ず、全くのコントロール外となっている。(ある民間建築家によれば95%くらいだろうとのこと)

施工監理

施工監理が十分でないことが、建築物の品質確保上の課題のひとつとなっている。(公共建築については、公共側が監理を行うため一般に質が低いといわれている。関係者共通の指摘であり、新聞の記事でも裏づけられている。)

施工者の技術水準

技術習得の有効な機会がなく、また習熟すると高賃金を求めて海外に出稼ぎに出てしまう(マレーシア、中近東など)ため、国内の技術者の水準は低いものに留まっている。

材料、部材の試験機関

材料、部材の品質試験(コンクリート強度など)を行う機関が十分ではなく、品質確保が困難な状況にある。(CDAのような一部の公共機関において、公共建築のための試験機関は存在しているようである。)

ノンエンジニアド建築の対策

ノンエンジニアド建築について同一の建築基準を適用することには現実的に無理があり、建設に携わる職人の技術力、需用者の経済力や生活様式等を考慮した別途の対策を講ずる必要がある。

また、建築基準の実効性の確保に直接関わる事柄ではないが、建物被害の調査・分析が行われておらず、実施すべき機関も明確でないなど、被害の教訓を建築基準に反映させる体制そのものが無いことについてもここで指摘しておきたい。

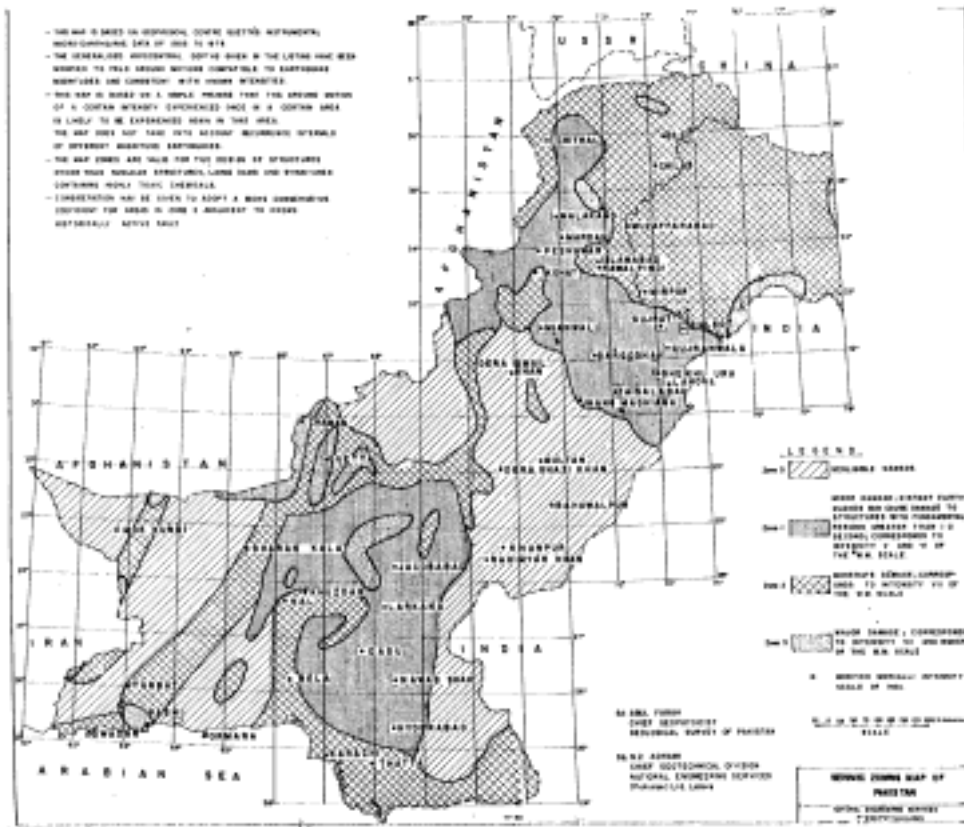


図5 パキスタン地震地域係数分布図
 (Building Code of Pakistan 1986 参照)



図6
 パキスタン地震地域係数分類図
 (パキスタン地質研究所 (Geological Survey of Pakistan) 提供
 2001年版)

おわりに(被害軽減の実現に向けて)

大規模な地震が発生する度に多くの人命が失われるなど甚大な被害の発生を繰り返してきており、特に開発途上国において顕著となっている。今回の地震もまた、不幸にしてその新たな1ページを追加してしまった。

地震直後から、国際機関や各国の緊急援助活動が活発に行われ、被災者の救出、避難者への食料・テントの供給等が進められ、その様子をマスコミなどがさかんに報道しているが、地震発生後の活動によって実施できることは極めて限られており、被害の軽減を実現するためには予防対策を推進することが必要である。とりわけ建築物や住宅は人的な被害に直結するものであり、その耐震性の向上は喫緊の課題である。

開発途上国における建築、住宅の耐震性の向上は、「3) 地震後の動向と今後の課題」で述べたように社会経済状況全般に関わる面が多く大変困難な問題ではあるが、今後正面から取り組むべき重要な課題であると考えられる。問題の背景となっていることからの広がりを的確に把握し、それらについて総合的な取り組みを続けるという地味で根気のいる取り組み(短期間では簡単に効果が見えてこないという意味で)をせざるを得ないが、こうした課題に取り組む研究機関やNGO等の団体も徐々にではあるが世界各国で増えてきているように思われる。

独立行政法人建築研究所は、これまで開発途上国の地震防災対策推進に貢献するため、開発途上国からの参加者を対象とした研修や各国の地震防災センターの設立プロジェクト、インターネットを活用した技術情報提供に取り組んできている。(参考1参照)また、2005年度には一般庶民住宅に焦点を絞った研究開発の企画立案を行い、さらに2006年度からは新たな研究開発や幅広い分野の方との研究会設立にも取り組むこととしている。(参考2参照)今回の貴重な教訓を生かしながら、今後とも、幅広い分野の関係機関、関係者の皆様と協力しながら、地震被害の軽減に微力ながら貢献すべく努力していきたいと考えているところである。

(注1)「1)パキスタン建築基準の状況」「3)地震後の動向と今後の課題」は以下の建築基準関係機関のヒアリングの結果を踏まえて取りまとめたものである。

<関連ヒアリング対象機関>

住宅省 MOHW Ministry of Housing and Works
環境省 MOE Ministry of Environment

首都地域開発局 CDA Capital Development Authority
気象庁 PMD
Pakistan Meteorological Department
パキスタン地質研究所
GSP Geological Survey of Pakistan
パキスタン技術委員会
PEC Pakistan Engineering Commission
パキスタン建築家協会 IAP
Institute of Architects of Pakistan (NGO)
コンサルタント協会 ACE
Association of Consulting Engineers (NGO)
アガ・カーン財団 Aga Khan Foundation (NGO)

(注2)独立行政法人建築研究所では、開発途上国からの研修生の協力も得ながら、建築の耐震関係基準を含めて、各国の種々の地震防災関係資料を収集、整理し、ウェブサイトで公開している。今回の調査で新たにパキスタンの建築基準が入手できたことから、その内容を追加している。

http://iisee.kenken.go.jp/net/seismic_design_code/pakistan/pakistan.htm

<参考1> 建築研究所の地震防災に関する取り組み 国際地震工学研修

1963年から建築研究所では、開発途上国からの研究者、技術者を招いて、地震学、地震工学を中心に約1年間の充実した内容の研修を実施してきており、修了者は世界97ヶ国、1227名に及んでいる。(図7)

開発途上国地震防災センター設立のためのプロジェクト
建築研究所では、これまでにJICAプログラムにより開発途上国の地震防災活動の拠点を確立するための多くの技術協力プロジェクト(実験・研究機材等の供与、現地への専門家の派遣、カウンターパート機関研究者等の日本での研修の実施など)に取り組んできている。(図8)

地震防災に関する技術情報提供システム(ISEE ネット)
開発途上国研究者の研究活動の支援などを目的に、世界約80ヶ国の地震観測網、地震被害履歴、建築耐震基準、マイクロゾーンなどに関する情報をインターネットにより提供している。(図9。(注2)参照)

<参考2>地震防災に関する最近の取り組み

開発途上国の住宅耐震化に関する研究開発の企画調査 (2005年度)

今後の研究開発計画の企画立案を行うため、世界各国での取り組み状況の把握、学識経験者による検討等を行った。その一環として、2005年10月12-13日に、開発途上国研究機関の研究者を招いてワークショップを開催し、情報、知識、経験の共有化を図るとともに、各国別に当該国研究者等と一緒に今後の取り組みについて意見交換を行った。(インドネシア、ネパール、ペルー、トルコの4ヶ国)



写真63 ワークショップ全体会議



写真64 ワークショップ会場の展示(簡易振動台デモンストレーション用の住宅模型とポスター)

開発途上国の一般庶民住宅の実践的な耐震工法に関する研究開発(2006-2008年度)

幅広い分野の機関の協力を得ながら、現地の事情に適合し(材料、工法、施工技術、経済性など)地域社会に受け入れてもらえる耐震工法(複数)を開発途上国の研究機関等と共同で開発する。

開発途上国における建築・都市の地震被害軽減のための国際技術協力ネットワークの構築(2006-2008年度)

地震防災情報の海外発信の強化(テレビ会議システム活用等による研修の講義の発信、レクチャーノートのWEB公開など)国際共同研究・共同実験の実施、地震被害想定システムの世界各地での共同実施などを通じて、国際技術協力ネットワークの構築を図る。

開発途上国向けの免震構造に関する研究会(2006年4月より。建築研究開発コンソーシアムにおいて実施。)

開発途上国において活用することを想定した、簡易でローコストの免震構造を開発するため、研究機関、ゼネコン、免震材料メーカー、建材メーカー、コンサルタント、開発途上国援助関係者(援助機関、NPO等)文化財関係者などの幅広い参加を得た研究会を発足する予定。

参考資料

1. Asian Development Bank and World Bank(アジア開発銀行及び世界銀行)、「Pakistan 2005 Earthquake, Preliminary Damage and Needs Assessment」, November 12, 2005, Islamabad, Pakistan (<http://www.reliefweb.int/library/documents/2005/adb-pak-12nov.pdf>)
2. Ministry of Housing and Works, Pakistan(パキスタン住宅省)、「Building Code of Pakistan, 1986」、1986年, Islamabad, Pakistan

図7 地震工学研修の国別参加者数（緑の円で表示）と発生地震の震源（赤のドットで表示）



図8 開発途上国の地震防災センタープロジェクトの一覧表

	国 Country	プロジェクト名 Project	期間 Period	相手側の組織 Counterpart
	インドネシア Indonesia	インドネシア共和国 集合住宅適正技術開発プロジェクト(構造)	1993-1998	人間居住研究所
	ペルー Peru	日本ペルー地震防災センタープロジェクト	1986-1991	日本ペルー地震防災センター(CISMID)
	チリ Chile	研究協力「構造物群の地震災害軽減技術」	1988-1991 1995-1998	カトリカ大学 University of Catolica
	メキシコ Mexico	メキシコ地震防災プロジェクト The earthquake disaster prevention project	1990-1996	メキシコ国立防災センター (CENAPRED)
	トルコ Turkey	トルコ地震防災研究センタープロジェクト	1993-2000	地震防災研究センター
	エジプト Egypt	地震学研究協力	1993-1996	国立天文地球物理研究所 (NRIAG)
	カザフスタン Kazafstan	アルマティー地震防災及び地震リスク評価に関する モニタリング向上	2000-2003	国立地震研究所
	ルーマニア Romania	ルーマニア地震災害軽減計画プロジェクト	2002-2007	地震災害軽減センター (MTCT)

図9 I I S E E ネットのイメージ図

