

2005年パキスタン地震における建築物被害概要

犬飼 瑞郎*1、榎府 龍雄*2

1. はじめに

2005年10月8日08時50分(現地時間)、パキスタン(正式名称は、パキスタンイスラム共和国)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。被害状況は、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。2005年11月12日版アジア開発銀行及び世界銀行発表の被害及びニーズ調査報告書⁽¹⁾によると、被災者総数は400万人、家を失った人は280万人に達している。

日本政府は、パキスタン共和国政府からの要請を受け、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、支援活動を行っている。

ここでは、国際協力機構(JICA)の「パキスタン共和国北部地震復旧・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)に、著者が参加して行った建築物被害調査の概要を報告する。調査団は、2005年10月23日から11月3日までの期間、現地を訪れ、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、被災地の調査を行うとともに、建築物の耐震診断技術、耐震性向上技術や、今後の復興に関する技術的助言・調査等を行った。

2. 地震概要

パキスタン共和国は、図2-1に示すとおり、インド、中国、アフガニスタン、イラン、アラビア海に囲まれ、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、ユーラシアプレートとインドプレート間の境界があり、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2-2)。

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2-3)、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づ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2-4)。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すると、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、観測加速度は、独立行政法人建築研究所の協力により、パキスタン原子力委員会(PAEC)・微小地震研究計画(MSSP)から提供していただいたものである。

余震は、1,000回以上が観測されている。

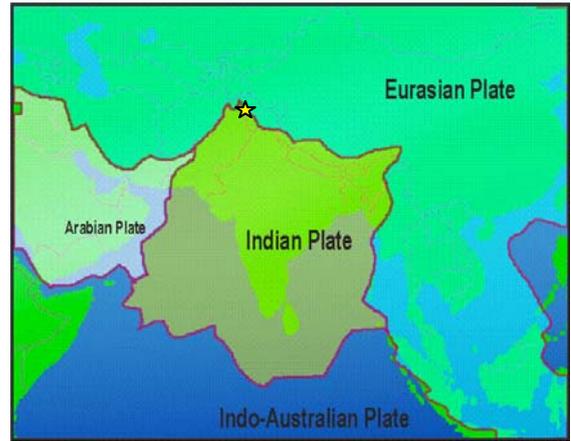
*1 国土交通省国土技術政策総合研究所 総合技術政策研究センター 評価システム研究室長

*2 独立行政法人建築研究所 国際協力審議役



★ : 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 2-1 パキスタン全国地図



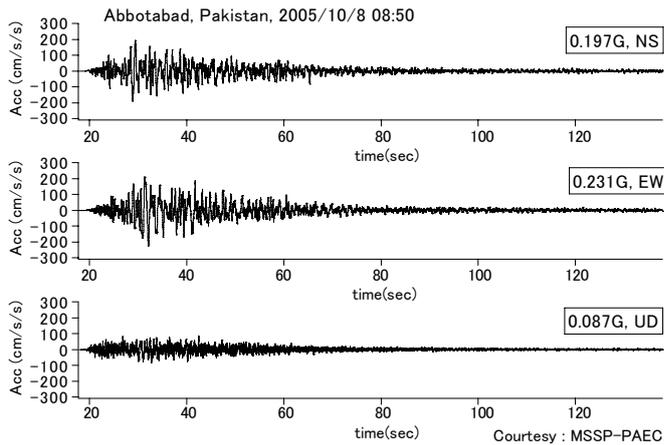
★ : 本震震源位置 0 2000 4000 km

図 2-2 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)

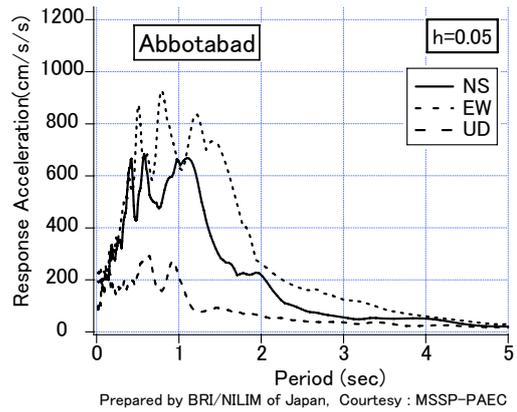


凡例) ★ : 本震震源位置、● : 加速度観測点、
[]内は日本の気象庁震度の試算

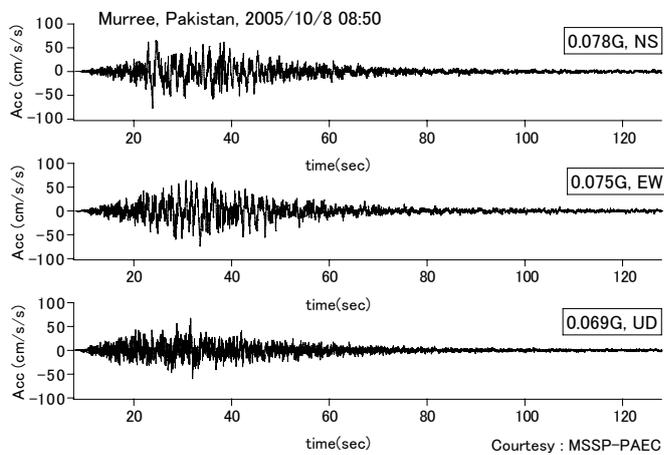
図 2-3 被災地周辺地図



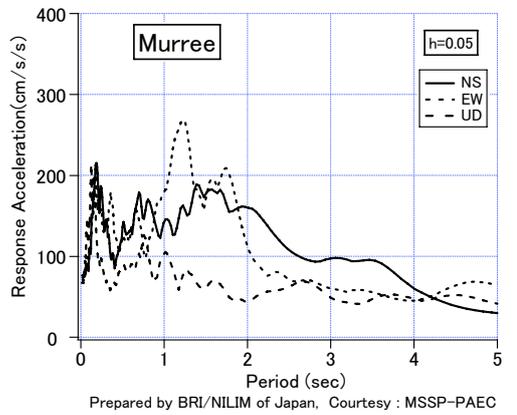
(1-a)アボッタバードの観測加速度



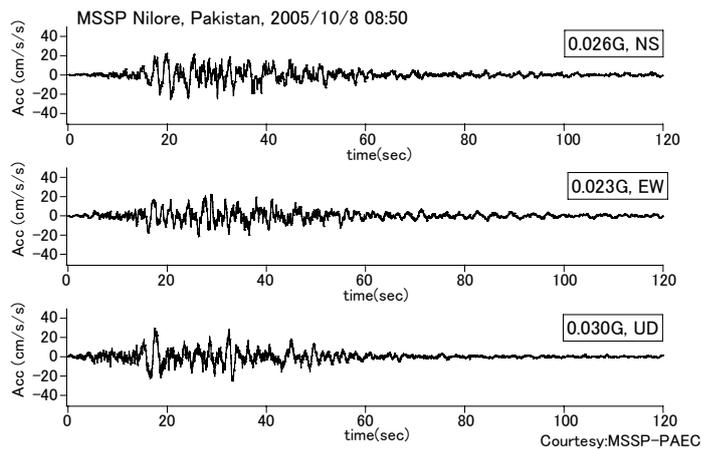
(1-b)応答加速度



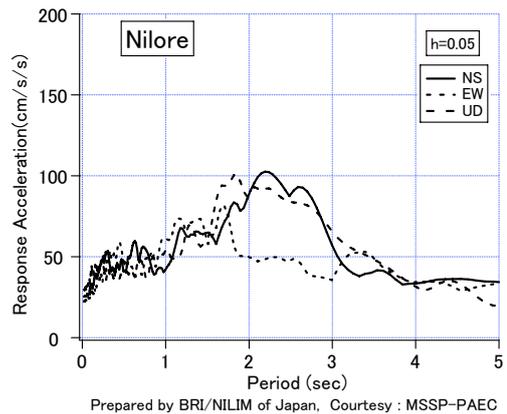
(2-a)ムレーの観測加速度



(2-b)応答加速度



(3-a)ニロールの観測加速度



(3-b)応答加速度

図 2-4 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)

3. 建物被害調査

地震による被害は、ジャンム・カシミール地方を中心に、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、パキスタンにおいて最も大きな被害が生じた。

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以下に示す。これは、今後の調査により、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・カシミール州のうち、パキスタン実効支配地域に対してパキスタンが使用する地域名である。

表3-1 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
アザッド・ジャンム・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*

*：文献(1)の数値を修正した値。

建物被害調査は、北西フロンティア州(North West Frontier Province)のバラコート(Balakot)、マンセラ(Mansehra)、アボッタバード(Abottabad)及びイスラマバード首都圏(Islamabad)において行った。震源にもっとも近く、比較的大きな都市であるアザッド・ジャンム・カシミール州(Azad Jammu and Kashmir)ムザファラバード(Muzaffarabad)は、道路事情等により調査しなかった。

(1) バラコート

バラコートでは、外観を中心に、建物の被害、構造方法を調査した。

バラコートは震源の北西約 15km に位置し、本地震による被害が最も大きいと言われているところである。ここは、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。

建物は、クナル川に面する丘を中心に、多数建てられているが、90%以上が全壊したと言われている。写真 3-1、写真 3-2 は、クナル川東側から西側を撮影したものである。写真 3-3 は、東側沿い、写真 3-4、写真 3-5 は東側に建築されたホテルと思われる建物である。

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、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。

倒壊を免れた建物の一部を写真 3-6～写真 3-9 に示す。写真 3-6 は、写真 3-1 の地域内の商店街であり、写真左奥の1階建てレンガ造等の商店と思われる建物が倒壊を免れて残っている。写真 3-7 は、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はひび割れが生じているだけの軽微な被害で済んでおり、2店舗は営業を再開していた。(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 3-8、9 は、クナル川西側の丘を登る道を 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。

バラコートから約 5 km 南下した地域では、倒壊建物の数は低下し、倒壊に至っていない建物も

多く見られた(写真 3-10)。

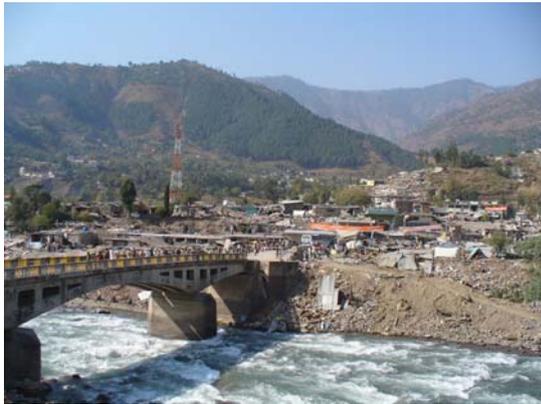


写真 3-1 バラコートのクナル川西側



写真 3-2 バラコートのクナル川西側
(写真 3-1 のすぐ北)



写真 3-3 バラコートのクナル川東側



写真 3-4 バラコートのクナル川東側にある鉄
筋コンクリート造のホテル



写真 3-5 倒壊した鉄筋コンクリート造
ホテルの詳細(写真 3-4 の詳細)



写真 3-6 バラコートの中心街と思われる
商店街のうち一部(写真の左奥)が
倒壊を免れている(クナル川西側)

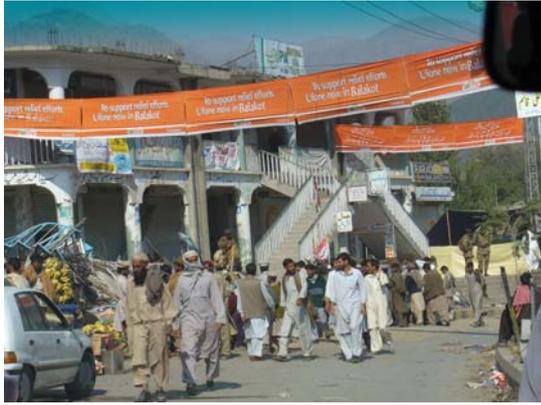


写真 3-7-1 商店街そばのショッピングセンター



写真 3-7-2 同左の内部 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



写真 3-7-3 救援活動の兵士の休息場所となっている



写真 3-8 クナル川西側の丘の上にある建物



写真 3-9 写真 3-8 の建物の 1 階内部



写真 3-10 バラコートの南約 5 km にある鉄筋コンクリート造と思われる建物

(2) マンセラ

マンセラでは、建物の被害、構造方法について、建物内部調査を行った。

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。地震発生直後は、75%の建物が倒壊したという地元報道があったが、本調査時には、被害建物は30%以下と思われた。

写真3-11～写真3-14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、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。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、結果は得られていないとのことであった。



写真 3-11 州立マンセラ病院本館



写真 3-12 州立マンセラ病院新館



写真 3-13 病院本館1階の柱とレンガ造壁



写真 3-14 病院新館1階廊下のひび割れ
(ひび割れはモルタル等により補修してある)

写真3-15～写真3-18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階建てブロック造壁構造(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。



写真 3-15 州立小学校外観



写真 3-16 州立小学校教室内のひび割れ



写真 3-17 州立小学校壁隅角部のひび割れ
(教室内)

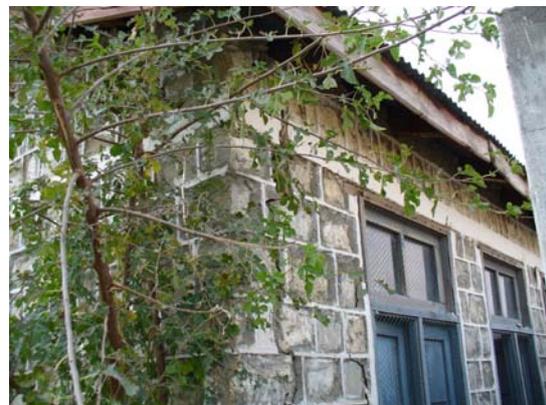


写真 3-18 州立小学校壁隅角部のひび割れ
(外観)

写真 3-19、20 に、マンセラ市クシャラ村にある石造壁住宅を示す。この壁は、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。

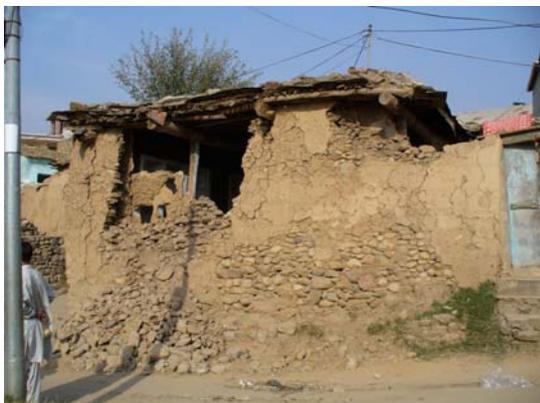


写真 3-19 石造壁住宅正面

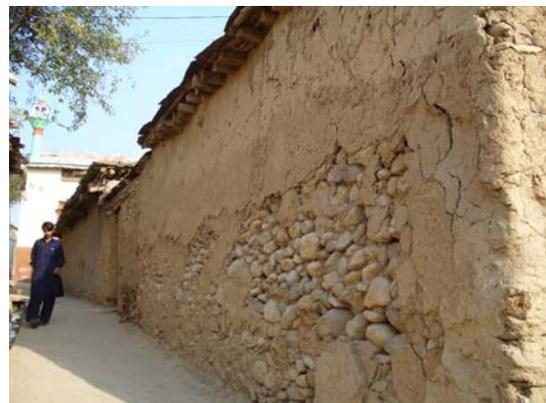


写真 3-20 石造壁住宅左側側面

写真 3-21、22 に、マンセラ市クシャラ村にある別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住宅と同様である)



写真 3-21 アドベ造住宅正面



写真 3-22 アドベ造住宅背面

写真 3-23、24 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 3-23 の左の 1 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 1 棟が 1985 年築のブロック造 1 階建ての構造である。ブロック造壁の隅角部には大きなひび割れが生じていたが、これは隅角部において直行する壁が分離し、壁全体（壁の強度が弱い場合はいくつか分割される。この事例の場合もほぼ中央部に水平に亀裂が入っていた。）が倒壊する、組積造のもうひとつ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。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、天井の一部が脱落していた。



写真 3-23 州立女子小学校 2 棟(左が RC 造、右がブロック造)



写真 3-24 レンガ造壁隅角部のひび割れ

写真 3-25～写真 3-28 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、比較的整形なブロックが用いられ、基礎で割り栗石による地業を行っているが、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と考えられる。



写真 3-25 ブロック造壁構造住宅



写真 3-26 比較的整形なブロック
(写真 3-26 の左側側面)



写真 3-27 基礎の割り栗石による地業



写真 3-28 壁隅角部のひび割れと上部
ブロックの脱落

(3) アボッタバード

アボッタバードでは、建物の外観調査を行った。

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。地震発生直後は、50%の建物が倒壊したという地元報道があったが、本調査時には、被害建物は 20%以下と思われた。

写真 3-29 は、カラコルム街道沿いの倒壊した建物であり、写真 3-30 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 3-29 倒壊した建物



写真 3-30 国立小学女子教師養成大学
アボッタバード校

(4) イスラマバード

イスラマバードは、パキスタンの首都であり、本地震の震源から約 95km 離れている。標高は約 550m である。ここは、1960 年代に新しく建設された街である。

写真 3-31～写真 3-34 に、倒壊した高層マンションを示す。写真 3-31 は、倒壊した部分であり、1995 年築である。写真 3-32 は、残っている部分であり、1995 年以前に建てられた。残っている部分は、横に 3 棟並んで見えるが、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、倒壊前からひび割れが入っていたと言われていたが、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 3-33,34 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小さかった。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 3-34 には、ブロック壁に生じたひび割れと、退去時に撤去された家具の残骸の両方が写っている。

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 3-31 高層マンションの倒壊



写真 3-32 高層マンション



写真 3-33 高層マンション 1 階廊下



写真 3-34 高層マンション 1 階住居内

写真 3-35,36 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 3-35 事務所ビル全景



写真 3-36 事務所ビル1階柱とブロック壁の間のひび割れ

4. パキスタン建築関連の基準

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)

被災した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。また、地震直後の建物被害調査が行われておらず、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。

4.1 パキスタン建築耐震基準

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、別の基準に規定されている。

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、 Z は、1,3/4,3/8,3/32 とする。パキスタン地震地域係数分類図 1986年版を図4-1、2001年版を図4-2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係する。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。

$$T/T_s \leq 1.0 \text{ のとき、 } S = 1.0 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

$$T/T_s > 1.0 \text{ のとき、 } S = 1.2 + 0.6 \frac{T}{T_s} - 0.3 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2$$

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。

4.2 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を、2 階建て鉄筋コンクリート造建築物に適用して、比較すると以下のようなになる。

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、

$$\text{地震力係数 } V/W=0.06$$

である。

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_0 は、

$$\text{地震力係数 } C_0=0.2$$

である。

したがって、パキスタン建築基準の地震力係数(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_0 の約 1/3 と言える。

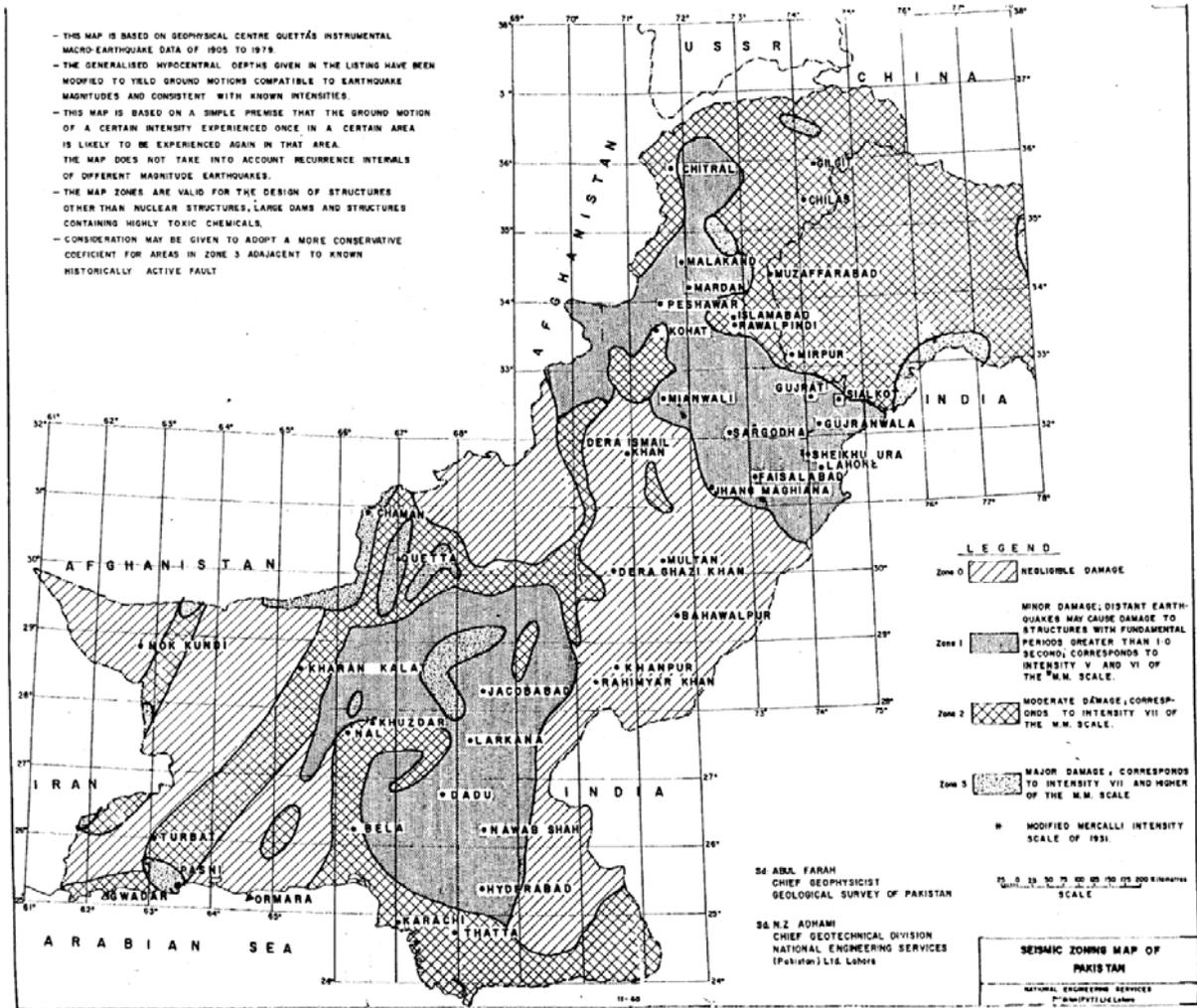
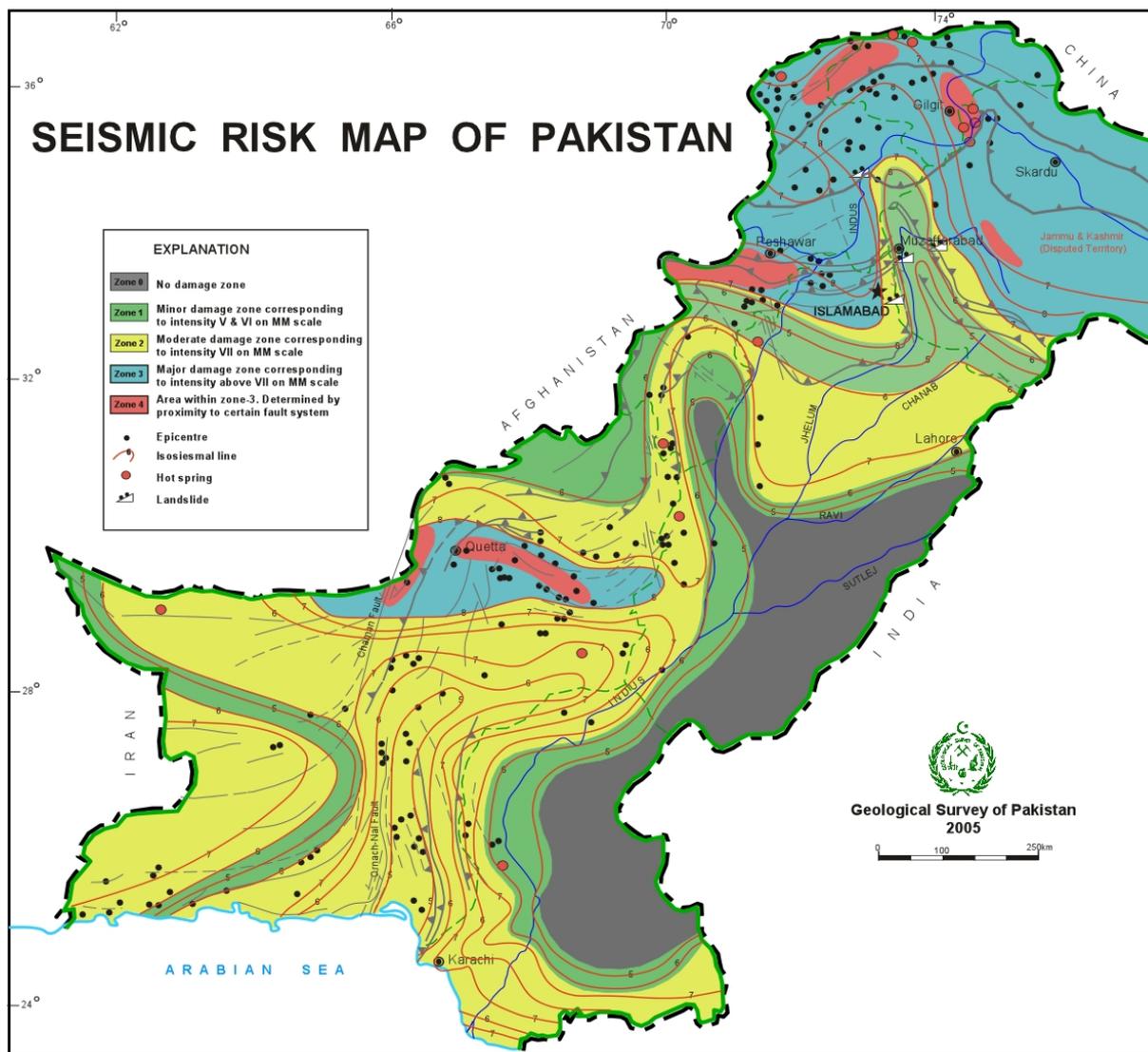


図 4-1 パキスタン地震地域係数分類図
(Building Code of Pakistan 1986 参照)



Computer Cartography by Tahir Karim, Geoscience Laboratory, GSP, Islamabad

© Geological Survey of Pakistan 2001

図 4-2 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)

5. まとめ

今回の地震により、7 万 3 千人以上の犠牲者が生じ、被災地が中山間部ということもあって、未だにその数は確定していない。建築物の被害では、全層が崩壊する事例が多く見られ、一部の地域では建築物の被害率が 9 割近くに達したと思われる。

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ている。今後の復興支援においても、国際機関等の活躍が期待されている。

被害が大きくなった要因の一つには、建築物や住宅の耐震性が十分でなかったことが考えられることから、建築耐震基準の改正及びその適正な施行、並びに、耐震診断技術、耐震性向上技術の普及が求められている。

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