

2004年新潟県中越地震における 医療機関の被害分析

Achour, Nebil¹・宮島昌克²・池本敏和³・稲垣潤一⁴

¹金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程2年 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: nebil@pbousa9.ce.t.kanazawa-u.ac.jp

²金沢大学大学院自然科学研究科教授 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

³金沢大学大学院自然科学研究科助手 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: tikemoto@t.kanazawa-u.ac.jp

⁴金沢大学大学院自然科学研究科博士前期課程1年 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: inajun@pbousa9.ce.t.kanazawa-u.ac.jp

2004年新潟県中越地震における医療機関の被害状況に関する現地調査およびアンケート調査を行なった。その結果に基づき、医療機関の建物被害、ライフライン被害、医療施設の被害などが地震直後の医療機能に及ぼした影響を分析した。さらに、距離減衰式を構築して各病院の最大加速度を推定し、地震動強さと被害程度の関係を定量的に考察した。

Key Words : 2004 Niigata-ken Chuetsu earthquake, earthquake damage, hospital, lifeline

1. はじめに

2004年10月23日午後5時56分に新潟県中越地方にマグニチュード6.8の地震が発生した。この地震によって40人の死者と約3,000人のけが人が発生した。山間地域や信濃川沿いの河岸段丘において多くの斜面崩壊が生じ、地盤震動のみならず地盤の永久変形によって住宅や建築物、橋梁、道路、鉄道そしてライフラインに大きな被害もたらされた。被害が甚大であったのは、震度7を記録した川口町と十日町市、小千谷市、長岡市である。また、山古志村は斜面崩壊で村が孤立してしまい、全村民が長岡市に避難した。

地震災害時には医療施設が救命・救急活動の中心となる重要拠点であることは言うまでもないが、今回の地震により医療施設自体が被害を受け、医療機能が損なわれたことが報告されている。そこで本研究では、2004年新潟県中越地震における被害状況をアンケート調査により明らかにし、それらの被害が医療機能に及ぼした影響について考察する。

1995年兵庫県南部地震においても病院などの医療施設に大きな被害が生じ、地震後の救命・救急活動に

大きな影響を与えた。兵庫県南部地震においては、病院の大破が大きく報じられたので建物被害のみが注目されたが、建物そのものが大破しなくとも水道施設の破損による透析治療の停止、手術部機能停止、滅菌業務不能など、ライフラインの途絶により大きな影響を蒙った。また、1999年台湾・集集地震においては、集中治療室で治療中だった7人の患者が、地震による停電と水道機能停止による自家発電装置の停止により命を失った事例がある¹⁾。病院の建物被害に注目した研究は数多くなされているが、ライフラインや非構造部材の被害と医療機能との関係を取り上げた研究は多くない。本研究ではこれまでに行なわれた、兵庫県南部地震における医療機関のライフライン被害を取り上げた研究²⁾や2000年鳥取県西部地震や2001年芸予地震、2003年に東北、北海道で発生した地震の際の病院の非構造物被害と震度との関係を考察した研究³⁾・⁴⁾を参考にしながら、2004年新潟県中越地震における建物被害、非構造部材の被害、ライフラインの機能被害が医療機関の医療機能に及ぼした影響について検討する。

表-1 アンケートにおける被害項目

項目		内容
建物	外部	壁 コンクリートや仕上材のひび割れ/はがれ /鉄筋露出
		窓ガラス ガラスのひび割れ、サッシの変形、 窓の開閉困難/開閉不能
		出入口 扉の変形/はずれ、ガラス割れ、 扉の開閉困難/開閉不能
	内部	柱、壁 コンクリートや仕上材のひび割れ/はがれ /鉄筋露出
		扉 扉の変形/はずれ、ガラス割れ、 扉の開閉困難/開閉不能
		天井 天井板のずれ/落下
		床 ひび割れ/タイルはがれ
室内の家具・什器 机の移動、机上物の転倒、家具の移動/転倒、 テレビの移動/転倒、ガラス製品の破損		
生活機能と設備	生活機能の供給 電気、水道、ガス、通信、洗濯施設、給食施設	
	電気設備 照明のずれ/破損、照明落下	
	給排水設備 洗面台破損、トイレ使用不能、便器破損、 壁タイルはがれ、配管破損	
	空調設備 空調機の故障、吹出口破損、 配管破損、室外機転倒	
	屋上の設備機器 空調機の移動/転倒、高架水槽の破損/転倒、 配管のはずれ	
	防災設備 スプリンクラーの破損/誤作動、 防火扉の開閉困難、防煙垂れ壁の破損	
	輸送設備 エレベータの停止/故障	
医療機能	検査機器 X線透視装置、フィルム現像機、 血液検査機、CT、MRI、アンギオ	
	治療・処置機器 傷の洗浄、器具の煮沸・消毒、生命維持装置、 人工透析、一般診察・治療、手術実施	
	投薬とその他 自動分包機、医薬品や診療材料、ナースコール、 カルテ作成、薬品棚の転倒、薬品用容器の破損	
	医療空間の使用 病室、診療室、検査室、 手術室、調剤室、材料室	

2. アンケート調査の概要

新潟県中越地震で震度 5 弱以上を記録した地域の医療機関の被害状況を調査するため、被災直後の混乱期が終わったと考えられた地震発生から 3 ヶ月後に郵送によるアンケート調査を実施した。調査対象とした医療機関は、新潟県内における病床を有する RC 造の病院とした。55 箇所の病院に調査票を送付し、回答が得られた病院は 42 箇所であったので、回収率は 76%である。

本調査に用いた調査票には、建築年度や階数規模、救急病院指定の有無や救急医療体制などの建物および病院の基本情報に関する質問と、地震による被害に関する質問を設けた。被害に関する質問は表-1 に示すように、非構造部材を含む建物の外部・内部、生活機能と設備、医療機能の 3 つの項目からなっている。表-1 に示す被害項目に対して、地震による被害・不具合の有無を図-1 に示すように複数から選択する形式で回答してもらった。このとき、被害が何階で生じたかを調べるために、被害が生じた階を記入してもらうようにした。また、医療機器や設備に関する質問では、機器や設備がない場合には「該当なし」を選択してもらうようにした。

アンケートの回答が得られた病院の概要を図-2～6 に示す。震度別の棟数比率は図-2 に示すように、震度 5 弱で 35%、震度 5 強で 17.5%、震度 6 弱で 32.5%、震度 6 強で 15%となっている。図-3 に示すように建築年度については、旧耐震基準の定められた 1971 年以後から 1980 年以前と、新耐震基準の定められた 1981 年以後の棟数比率がともに約 3 割ずつとなっている。なお、建

1. 建物外部の被害・不具合についてお聞きします。

問1 外壁にはどのような被害が生じましたか、該当する数字を○で囲んで下さい。
複数あれば全て回答して下さい。また、被害の生じた階をカッコ内に記入して下さい。
1 被害なし 2 コンクリートにひび割れが生じた (階)
3 コンクリートがはがれた (階) 4 鉄筋が露出した (階)
.....

2. 建物内部の被害・不具合についてお聞きします。

.....

問7 天井にはどのような被害が生じましたか、該当する数字を○で囲んで下さい。
複数あれば全て回答して下さい。また、被害の生じた階をカッコ内に記入して下さい。
1 被害なし 2 天井板がずれた・欠けた (階)
3 天井板が落下した (階)
.....

5. 医療機能の被害・不具合についてお聞きします。(機器に関する質問において、機器が病院内にない場合、「該当なし」を選んでください。)

問34 X線透視装置は使用できなくなりましたか。該当する数字を○で囲んで下さい。
1 はい 2 いいえ 3 該当なし

問35 問34で1～2とお答えになった方にお聞きします。X線透視装置は固定してありましたか。
該当する数字を○で囲んで下さい。
1 固定してあった 2 固定してなかった

問36 問34で「はい」とお答えになった方にお聞きします。X線透視装置が使用できなくなった原因は何ですか。該当する数字を○で囲んで下さい。
また、「その他」の場合、カッコ内に原因を記入して下さい。
1 機器自体の故障 2 停電 3 断水
4 不明 5 その他()
.....

図-1 アンケートの質問、回答形式

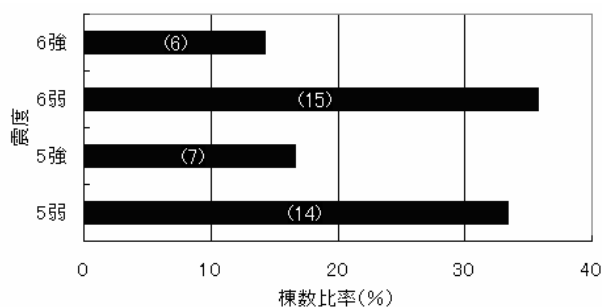


図-2 回答の得られた病院の震度比率

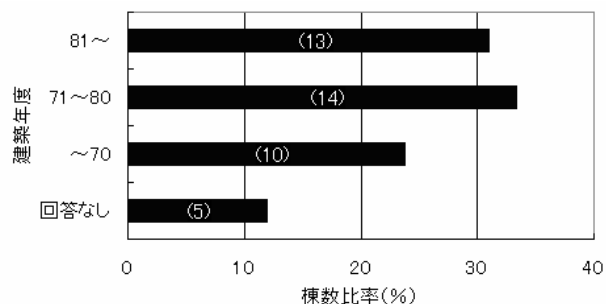


図-3 回答の得られた病院の建築年代比率

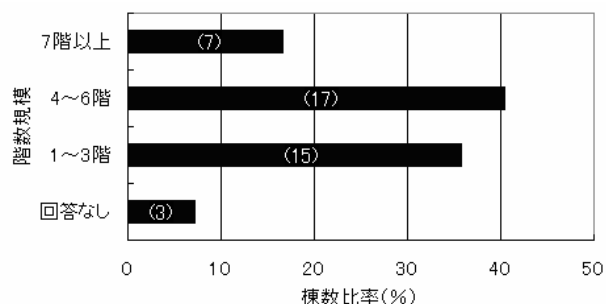


図-4 回答の得られた病院の階数規模比率

物の増改築が行われている場合には最も古い建築年度を示した。階数規模では図-4 に示すように、6 階以下の中低層建物がほとんどである。特に、4～6 階建ての中層建物が約 4 割を占めている。救急病院指定の有無については図-5 に示すように、全体の 71%の病院がその指定を受けている。ここでいう救急病院とは、消防の救急隊によって搬送される傷病者に関する医療を担当する病院、または診療所を指す⁵⁾。救急医療体制については、約 5 割の病院が 2 次救急となっている（図-6）。救急医療体制には 1～3 次救急があり、1 次救急は「初期救急医療を行う施設」、2 次救急は「入院治療を必要とする重症患者に対する医療を行う施設」、3 次救急は「脳卒中、心筋梗塞、頭部外傷等の重篤な緊急患者の医療を行う施設」である⁶⁾。

3. 震度と被害との関係

まず、病院の建物被害が発生する震度に注目した。表-2は各震度階ごとに、病院におけるそれぞれの被害項目「あり」の割合を求め被害発生率とし、被害発生率 5%未満を「被害の生じる可能性が極めて低い」とし、表-2においては空欄で、5%以上、10%未満を「被害の生じる可能性が低い」とし、表-2においては○で、10%以上を「被害の生じる可能性がある」⁴⁾として●でそれぞれ示した。ここでは震度階ごとに整理したため各震度のサンプル数が少なくなったので、建築年代による区分は行なわなかった。しかしこの場合でも、震度5強、6強のサンプル数は10以下であるので、表-2～4に○はありえないことになり、注意を要する。表-2より、鉄筋が露出するような大きな被害は震度6強から、各部材表面が剥離するような中程度の被害が震度5強から生じる可能性のあることがわかる。

表-3 には、各震度階における医療機能被害が発生する可能性を表-2 と同様な基準で示した。表-3 によれば、震度 5 強から検査機器が使えなくなるという機能被害の生じる可能性があり、震度 6 弱では人工透析や手術ができないといった深刻な医療機能被害が生じる可能性があることがわかる。表-2 と比較すると、鉄筋露出といった大きな被害程度に至らなくても医療機能被害が生じる可能性が十分に考えられることがわかる。また、震度 6 強では、鉄筋露出といった大きな被害が生ずることによって、表-3 に示す医療空間の使用不可が生ずるものと推測される。

医療機能に被害を及ぼす要因のひとつとして、ライフラインの機能被害に伴う生活機能の被害が考えられる。そこで、表-4に生活機能被害と震度との関係をまとめた。表-4によれば、震度5弱でも生活機能被害の生じる可能

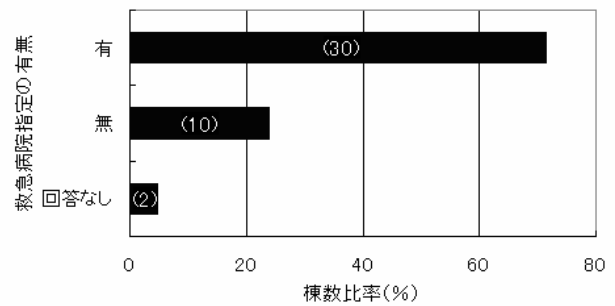


図-5 回答の得られた病院の救急病院指定の有無

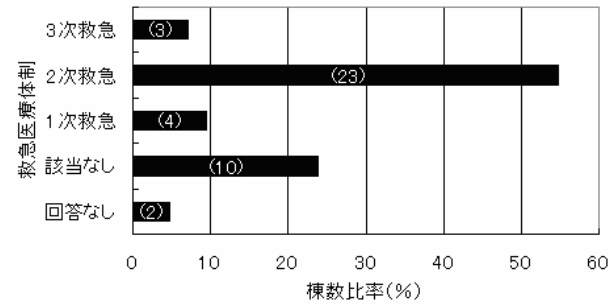


図-6 回答の得られた病院の救急医療体制

表-2 震度と建物被害との関係

被害項目	震度階			
	5-	5+	6-	6+
柱				
柱ひび割れ	○	●	●	●
柱はがれ	○	●	○	●
柱鉄筋露出	○			●
内壁				
壁ひび割れ	●	●	●	●
壁はがれ		●		●
壁鉄筋露出				●
外壁				
壁ひび割れ	●	●	●	●
壁はがれ			●	●
壁鉄筋露出			○	●

表-3 震度と医療機能被害との関係

被害項目	震度階			
	5-	5+	6-	6+
検査機器				
X線透視装置が使用できなくなった		●	○	●
フィルム現像機が使用できなくなった		●	○	●
血液検査機が使用できなくなった	○	●	○	●
CTが使用できなくなった	○	●		●
MRIが使用できなかった	●		●	●
アンギオや心臓カテーテルなどが使用できなくなった				●
治療・処置機器				
傷の洗浄ができなくなった				●
器具の煮沸・消毒ができなくなった		●	●	●
一般治療・診察ができなくなった			○	●
人工透析ができなくなった			●	●
生命維持装置が使用できなくなった		●		●
手術が実施できなくなった			●	●
医療空間の使用				
病室が使用できなくなった			●	●
診療室が使用できなくなった				●
検査室が使用できなくなった				●
手術室が使用できなくなった			●	●
調剤室が使用できなくなった				●
材料室が使用できなくなった				●

性は低くなく、病院の構造被害が必ずしも大きくなって
もこれらのライフラインに被害が生ずることが示された。

4. 医療機能被害の分析

(1) 距離減衰式を用いた最大加速度の推定

前章では、地震動強さと被害との関係を震度を用いて検討した。震度は地震被害の発生状況を地震直後に推測し、緊急対応に当たるための防災情報として重要な地震動強さの指標であるので、医療機関の被害と震度の関係を明らかにすることは重要である。しかし、震度は基本的には各市町村において1つの値が発表されるのみであるので、各病院の震源距離の違いは反映されていない。そこで、地震動強さとの関係をさらに詳細に検討するために、各病院の位置における最大加速度を、距離減衰式を構築することにより推測した。本論文では、次式を最大加速度の距離減衰式モデルとして用いた。

$$\log A = aM - \log X + bX + c \quad (1)$$

ここで A は最大加速度 (gal) , M はマグニチュード, X は震源距離 (km) , a, b, c は回帰係数である。式(1)を重回帰分析することにより、回帰係数を求めた。なお、重回帰分析には二段階重回帰分析を用いた。重回帰分析に用いたデータは、新潟県中越地震の本震および7つの余震であり、それらの諸元と K-NET および KiK-net の観測点を表-5, 6 に示す。重回帰分析の結果、以下の距離減衰式が得られた。図-7 に、式(2)と重回帰分析に用いたデータを示す。比較的良好に一致していることがわかる。しかし、ここでは各病院が立地している地盤の表層地盤特性は考慮されていないので、表層地盤特性について今後のデータの蓄積が望まれる。

$$\log A = 0.596M - \log X - 0.0031X + 0.0497 \quad (2)$$

(2) 推定最大加速度と医療機能被害との関係

距離減衰式(2)を用いて各病院における最大加速度を推定し、最大加速度と医療器の被害との関係について考察する。

図-8は最大加速度と検査機能被害との関係を示したものである。ここでは、表-3に示した各病院における検査機器に関する質問項目において「使用できなくなった」と回答した割合を百分率で表し、被害レベルとして表している。検査機能は建物の建築年代や検査機器の設置階、ライフラインの機能被害などの影響を受けると考えられるので被害レベルはばらついてはいるが、約300galを超えるあたりから高い被害レベルを示すということがわかる。

同様な方法で治療・処置機能の被害レベルを求め、最大加速度との関係を図-9にまとめた。図-8と比較すると、検査機能被害よりも若干大きな加速度から大きな被害レ

表-4 震度と生活機能被害との関係

被害項目	震度階			
	5-	5+	6-	6+
生活機能				
停電	●	●	●	●
断水		●	●	●
ガス供給遮断	●	●	●	●
固定電話がつながりにくくなった・通じなくなった	●	●	●	●
携帯電話がつながりにくくなった・通じなくなった	●	●	●	●

表-5 距離減衰式の構築に用いた地震の諸元

新潟県中越地震	M	深さ(km)	時間
本震	6.8	13	2004.10.23.17:56
余震1	6.3	9	2004.10.23.18:03
余震2	6.3	10	2004.10.23.18:34
余震3	6.0	10	2004.10.27.10:40
余震4	6.0	12	2004.10.23.18:12
余震5	5.9	10	2004.10.23.19:46
余震6	5.7	15	2004.10.23.18:07
余震7	5.6	10	2004.10.25.6:05

表-6 距離減衰式の構築に用いた記録の観測点

K-NET		KiK-net	
岩谷口、	寒川、	長岡、	聖籠、
村上、	新発田、	加茂、	松村、
新潟、	新津、	下田、	川西、
巻、	三条、	湯之谷、	牧、
松村、	寺泊、	塩沢、	六日、
長岡、	小千谷、	妙高、	湯沢
小出、	十日町、		
塩沢、	津南、		
安塚、	直江津、		
新井、	長岡支所		

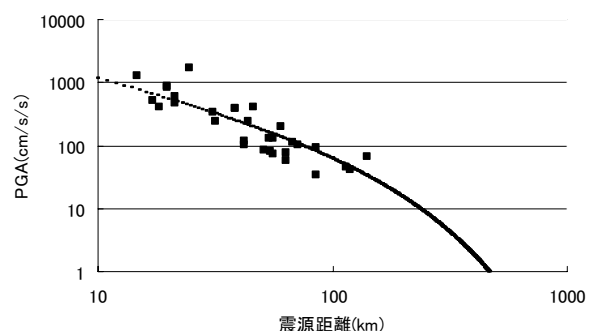


図-7 重回帰分析に用いたデータの震源距離と最大加速度 (PGA) の関係と距離減衰式

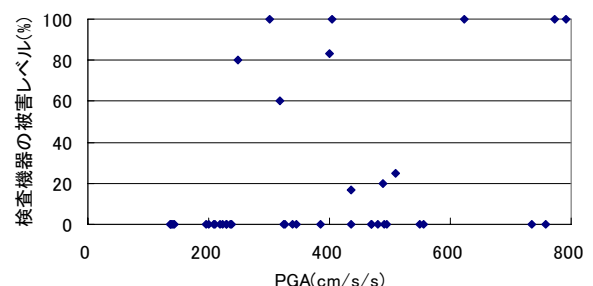


図-8 最大加速度と検査機能被害との関係

ベルを示している。すなわち、約400gal以上で被害レベルが50%を超える病院がいくつか見られる。

図-10には医療空間の被害レベルと最大加速度の関係を示した。医療空間の被害については前述したように、大きな構造被害の影響を受けていると推察されるので、図-10に示すように約600galあたりから大きな被害レベルを示しているものと考えられる。

構造被害と最大加速度の関係を検証するために最大加速度と柱の被害レベルの関係を図-11にまとめた。同図において被害レベルとは、表-2に示した質問項目に対応して、柱のひび割れが生じた病院をレベル1、柱表面の剥離が生じた病院をレベル2、柱の鉄筋が露出した病院をレベル3とした。図-11は建築年代ごとに示しているが、1970年以前の病院では200gal程度からレベル3の被害が生じているのに対し、1971年以降に建てられた病院では、大きな加速度に関わらずレベル1の被害に止まっている。医療空間被害は1971年以降に建てられた病院でも発生しているので、図-10と比較検討すると、これまでに推測していたように大きな構造被害に起因して医療空間の被害が必ずしも生じるのではないことがわかる。

そこで、内壁の被害についても柱と同様な被害レベルを設定して最大加速度との関係を図-12にまとめた。図-12によれば、柱の被害と同様に、1971年以降に建てられた病院のほとんどは、最大加速度に関わらずレベル1の被害に収まっている。以上のことより、医療空間の被害が必ずしも病院の構造部材の被害によるものではないことが明らかとなった。

(3) 生活機能被害と医療機能被害との関係

まず、最大加速度と停電が復旧するまでに要した日数を図-13に示す。病院内の停電には病院が立地している地域の停電の状況によるところが大きい、一部を除いてはほぼ2日以内で停電が解消していることがわかる。

同様に、断水が復旧するまでに要した日数を最大加速度との関係で整理し、図-14にまとめた。断水についても病院が立地している地域の状況によるところが大きい、約400galを超えるあたりから断水が1週間程度継続した病院のあることがわかる。

本研究では、医療機能については機能の喪失した項目の割合で被害レベルを定義しており、機能の喪失した期間に関する資料がないので、停電、断水が回復するまでの期間との関係を直接検討することはできないが、2日以内の停電でも医療機能に及ぼす影響の大きいこと、断水については約400galを超える地域では約1週間程度断水した病院があり、図-9に示したように、約400galを超えると治療・処置機能の被害も50%を超えることになる可能性があることを指摘している。

また、別に行なったヒアリング調査⁷⁾から、複数の種

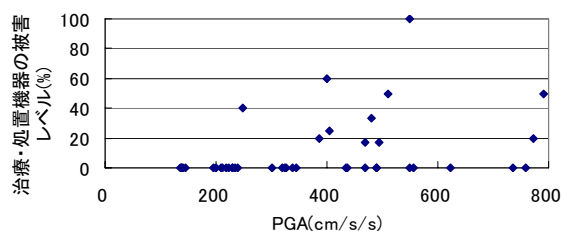


図-9 最大加速度と治療・処置機能被害との関係

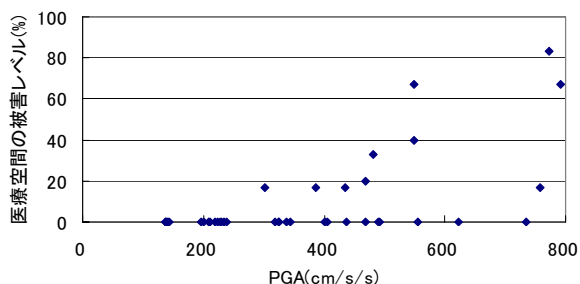


図-10 最大加速度と医療空間被害との関係

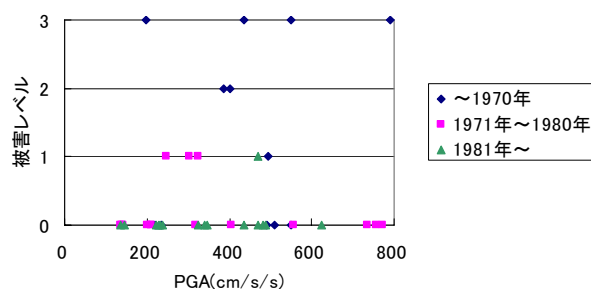


図-11 最大加速度と柱の被害レベルとの関係

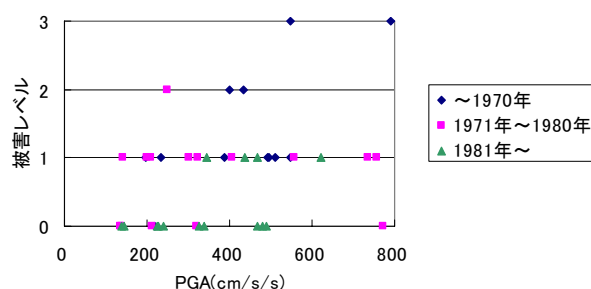


図-12 最大加速度と内壁の被害レベルとの関係

類のライフラインが相互に関連しながら医療機能被害に影響を及ぼしていることを明らかにしている、ライフラインの相互連関を考慮した検討がさらに必要である。

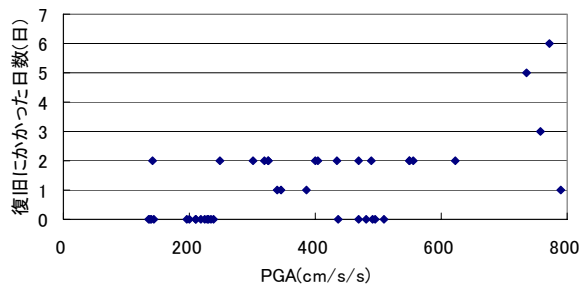


図-13 最大加速度と停電の復旧までの日数の関係

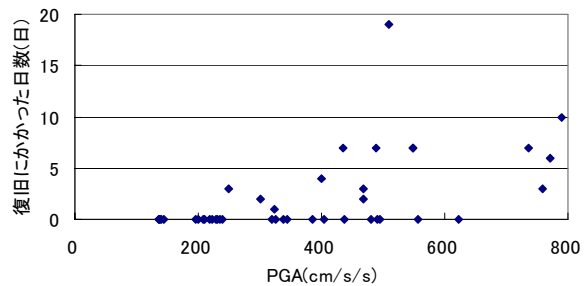


図-14 最大加速度と断水の復旧までの日数の関係

5. 結論

本論文は、2004年新潟県中越地震における医療機関の被害に着目し、アンケート調査を用いた被害分析を行なったものである。医療機能被害に着目し、建物被害、非構造部材の被害、ライフライン被害のそれぞれが医療機能に及ぼす影響について考察した。本研究で得られた成果をまとめると以下のようである。

1. 今回調査した病院では、柱や壁の表面が剥離するような中程度の被害は震度5強から、鉄筋が露出するような大きな被害は震度6強で生じた。
2. 震度5強から検査機器が使えなくなるという医療機能被害の生じる可能性があり、震度6弱では人工透析や手術ができないといった深刻な医療機能被害は生じる可能性がある。
3. 最大加速度で表すと、約300galを超えるあたりから検査機能被害レベルが高くなり、約400gal以上で治療・処置機能被害レベルが50%を超える場合がある。また、医療空間の被害レベルは約600galを超えると大きくなる。
4. 医療空間の被害も病院の構造部材の被害にのみよるのではないことが推測されたので、非構造部材やライフライン被害との関連をさらに考察する必要がある。

以上の成果は今回の地震被害を分析することによって得られたものであり、地域特性などを有していることも考えられる。また、本研究で収集し、分析したデータの数には十分に多くはないので、さらに多くの地震被害事例を分析する必要がある。今後は、被害関数の構築に向けて多くの資料を収集、分析する予定である。

謝辞：被災後のご多忙の中を懇切丁寧にアンケートにお答え頂きました病院の関係者に厚くお礼申し上げます。また、本研究の一部が科学研究費基盤研究（C）（2）（No. 15510148，研究代表者：宮島昌克）の補助によって行なわれたことを記して、感謝いたします。

参考文献

- 1) 高田至郎：救命ライフラインとしての水道機能，水道公論，Vol.38，No.9，pp.24-26，2002.
- 2) Kuwata, Y.: A study on search and rescue strategy and life-saving lifeline performance for the mitigation of earthquake-related casualties, Dissertation for Dr. of Engineering, The graduate School of Science and Technology, Kobe University, Japan, 2004.
- 3) 神原 浩，林 泰裕，田村和夫：アンケート調査に基づく建物の非構造部材被害と地震動強さとの関係，日本建築学会構造系論文集，No.578，pp.155-161，2004.
- 4) 郭 耕杖，林 泰裕，神原 浩：アンケート調査に基づく病院の地震被害と震度との関係，日本建築学会構造系論文集，No.586，pp.63-69，2004.
- 5) 医歯薬出版：最新医学大事典，1996.
- 6) 病院経営情報研究所編：最新医事業務用語辞典，経営書院，1994.
- 7) 宮島昌克，池本敏和，アシュール ネビル：2004年新潟県中越地震における医療施設の被害，日本建築学会北陸支部研究報告集，2005（掲載確定）。

(2005.3.14 受付)

DAMAGE ANALYSIS OF HEALTH CARE FACILITIES
IN THE 2004 NIIGATA-KEN CHUETSU EARTHQUAKE

Nebil ACHOUR, Masakatsu MIYAJIMA,
Toshikazu IKEMOTO and Jun-ichi INAGAKI

The present study is focusing on the damage to health care facilities in the 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake. Questionnaire survey was conducted for the hospitals suffering damage by the earthquake. The relation between malfunction of the hospitals and damage to structures and lifelines was investigated.