

医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究

報 告 書

平成9年3月

社団法人 日本放射線機器工業会

KEIRIN



この事業は日本自転車振興会から競輪収益の一部である
機械工業振興資金の補助を受けて実施したものである。

医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究

平成8年度報告書

目 次

1. はじめに	委員長 平松 慶博	1
2. 事業の概要及び事業推進の方法		2
2. 1 事業の概要		2
2. 2 事業推進の方法		2
3. 委員会名簿		3
4. 平成8年度の研究報告		5
4. 1 研究の目的		5
4. 2 画像診断装置設置の現状		5
4. 3 阪神淡路大震災における被害状況分析		6
4. 4 耐震性の問題点		33
4. 5 まとめ		36
参考文献		37
資料1 医用画像診断装置の耐震設計指針		38

Faint, illegible text at the top of the page, possibly a header or introductory paragraph.

Second section of faint, illegible text, appearing to be a list or a series of short paragraphs.

Third section of faint, illegible text, continuing the list or series of paragraphs.

Final section of faint, illegible text at the bottom of the page, possibly a conclusion or footer.

1. はじめに

神戸を中心とした大震災（兵庫県南部地震）から、はや2年以上が経過した。しかし、いつも日本のどこかで、大なり小なりの地震の揺れが報告されている。特に関東地方では、統計学的に言って、かつての関東大震災なみの地震がいつ来ても不思議ではない、とさえ言われている。また、地震そのものが実際には予知できないということが、ごく最近地震予知委員会から発表された。

兵庫県南部地震の貴重な経験を生かして、近い将来において日本のどこかを襲うであろう大震災の被害を最小限に食い止めようとする動きは、当然の流れである。大きな、しかも高額の医療機器が乱立する放射線部門こそ、率先して地震に対する対策を立て、それを実践する必要がある。幸いにも兵庫県の地元の医療施設従事者や、中央から馳せ参じた医用機器メーカ、あるいは建設関係など多くの方々のご努力で、貴重な経験がまとめられた。それらの結果を骨子として、今回「医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究」ができあがった。この貴重な報告書が、来るべき大きな災害による放射線機器等の損害を最小のものに止めるのに役立つものと期待する。医療従事者においては、この報告書の内容をよく理解し、助言を真剣に受け止めて実践されることを切望する。

2. 事業の概要及び事業推進の方法

2. 1 事業の概要

地震多発国であるわが国においては、建築、土木をはじめ各界で地震に対する統一的な指針が設けられて対応が取られているが、医用放射線機器をはじめとする医用画像診断装置の分野においては、関係者が地震対策を考える上で参照すべきその種の指針が存在していない。医療活動において画像診断装置は不可欠な存在になっており、災害時の医療活動においても診断装置として最低限の機能を発揮するという社会的使命を果たすためには、一定レベルの地震に耐えられるだけの耐性を持たなければならない。更に、画像診断装置はより大形化しており、被検者や医療関係者への安全や周囲の機器へ影響を考えると、単に地震発生時に最低限の機能を確保することに止まらず、地震の揺れを受けた時の装置の挙動が对人的にも対物的にも安全なものであることが要求される。

本研究は、医用放射線機器等の対地震設置に関する動向調査研究を行い、上記のような使命を果たすために、関係者が参照すべき統一的な指針を提言することで、画像診断装置の耐震性を向上させることを目的とする。

2. 2 事業推進の方法

本研究を進めるに当たり、当工業会に放射線科医師および放射線科技師、病院建築・設備関係技術者、装置設計・設備設計関係技術者などの有識者からなり、基本的な問題についての調査研究と分科会の調査研究についての総括的審議を行う本委員会を組織し、同時に専門的な研究の実作業を行う二つの分科化会を組織して研究を進める。

平成8年度は、医用放射線機器等の対地震設置に関する問題点を調査し、装置設計に際して参照すべき統一的な耐震設計指針を提言する。

3. 委員会名簿

(1) 本委員会の委員構成

委員長	平松 慶博	東邦大学医学部第2放射線医学教室教授
	稲本 一夫	大坂大学医学部保健学科教授
	宗近 宏次	昭和大学医学部放射線医学教室教授
	伊藤 敏夫	駿河台日本大学病院放射線部技師長
	鹿沼 成美	日本大学医学部付属光が丘病院放射線科技師長
	川戸 隆夫	兵庫県放射線技師会会長
	宮本 唯男	前静岡県放射線技師会会長
	伊藤 一章	(株)伊藤喜三郎建築研究所
	小室 克夫	聖路加国際病院建設本部
	久島 康義	GE横河メディカルシステムズ(株)施設技術部
	園木 一誠	技研興業(株)放射線事業本部
	水谷 望	東芝メディカル(株)技術本部サイトプランニングセンタ
	浅野 淳	(株)東芝那須工場医用機器第一技術部
	西村 俊平	(株)日立メディコ放射線機器事業部レントゲン第一設計部
事務局	椎名 光男	(社)日本放射線機器工業会

(2) 分科会(1)の委員構成

主査	水谷 望	東芝メディカル(株)技術本部サイトプランニング
	伊藤 篤	フィリップスメディカルシステムズ(株)営業技術部
	大泉 志郎	(株)日立メディコテクノロジー設備計画グループ
	木村 純一	医建エンジニアリング(株)
	久島 康義	GE横河メディカルシステムズ(株)施設技術部
	小島 茂之	コニカ(株)医用営技グループ
	坂本 五郎	(株)島津製作所医用テクニカルサービス部
	園木 一誠	技研興業(株)放射線事業本部
事務局	椎名 光男	(社)日本放射線機器工業会

(3) 分科会(2)の委員構成

主査	浅野 淳	(株) 東芝那須工場医用機器第一技術部
副主査	西村 俊平	(株) 日立メディコ放射線機器事業部レントゲン第一設計部
	石川 光雄	北里大学病院放射線部
	上遠野 昭	国家公務員等共済組合連合会立川病院放射線科
	高橋 勝	東京女子医科大学第2病院放射線科
	伊倉 喬	(株) 大林製作所川口工場設計部
	川上 光郎	GE横河メディカルシステムズ(株)CTM
	桑原 勇幸	東芝メディカル製造(株)技術部
	祐安 克典	(株) 島津製作所医用技術部メカトログループ
	藤井 滋雄	(株) 日立メディコレントゲン第二設計部
	宮崎 博二	メディテック(株)
事務局	椎名 光男	(社) 日本放射線機器工業会

4. 平成8度の研究報告

4. 1 研究の目的

平成8年度は、医用放射線機器等をはじめとした医用画像診断装置（以下、画像診断装置あるいは単に装置と呼ぶ。）の対地震設置に関連する項目の中から、装置設計に関するものを取り上げ、現状の問題点を分析し、今後の装置設計の際に参照すべき設計指針を提言する。これにより、画像診断装置の耐震性の向上を計ることを目的とする。

4. 2 画像診断装置設置の現状

医用放射線機器をはじめとする画像診断装置は、体内の状況をさまざまな手段で可視化して診断情報として提供する役目を担っており、正確な診断を求められる医療に欠かせないものとなっている。そのためこれら装置の普及は目覚しく、全国どの病院においても何らかの画像診断装置が設置されている。

普及率の高い画像診断装置ではあるが、他の病院設備機器の多くが機械室などに設置されるのに対して検査室に設置されることが多いため、その耐震性を検討する時には他の設備機器とは異なる次のような条件を考慮する必要がある。

(1) 画像診断装置は、被検者や医療関係者など周りに多くの人たちが存在している中で使われる。このため、装置の耐震性として、地震発生後の医療活動に欠くことのできない基本的な機能が確保されるとともに、地震発生時に周りの人たちや機器に危害を及ぼさないことが求められる。

(2) 医療関係者の活動スペースを確保するために、また病院経営の観点からも、装置の占有面積は出来るだけ小さくすることが求められており、画像診断装置は機能的に許される限り設置面積を小さくするように設計されている。このことは、装置の物理的な安定性に関しては不利な状態に繋がっており、耐震性とスペース効率という相反する要素を同時に満たしていくことが要求される。

(3) 検査室に設置されるため、一部の装置を除くと、大掛りな基礎工事を行うことができない。他の大形設備が一般的にアンカボルトを埋め込んだ基礎コンクリートを打って強固に固定されるのに対して、あと施工で装置を固定することが多い。このため、検査室の床や壁の強度、および施工方法や施工者の技量などが、固定強度に大きく影響することになる。

このような厳しい条件において一定レベルの耐震性を得るためには、装置設計、病院設計、装置据付、臨床使用のそれぞれの段階において、必要なことが行われなければならない。すなわち、

- ① 装置設計の段階で、あるレベルの地震に会っても被害を出さないように考慮された設計がなされること。
- ② 病院設計の段階で、装置が設置される床や壁が必要な強度と構造になるように設計されること。
- ③ 装置設置の段階で、設置の施工が正しく行われること。

④ 臨床使用の段階で、使用者が注意すべきことが守られること。

これらの取り組みは、それぞれの立場立場で考えられてはいるものの、現在は統一的な指針がないために、その考えているレベルがまちまちである。たとえば、装置設計の段階では、メーカーがそれぞれ独自の判断基準と評価基準に基づいて耐震性を検討しており、有効な耐震対策である装置固定に関しても、固定を義務付けている装置もあれば、なんら固定を考えていない装置もあるのが実状である。

このように耐震性への取り組みやそのレベルが不揃いな状況に対して、各地の地震で画像診断装置に被害が生じる度に、耐震性をもっと高める必要があるとの問題提起がなされてきた。また、最近では東海地方で大きな地震発生が心配される中、静岡県放射線技師会が中心となって独自の指針を提言し、画像診断装置の耐震固定の徹底に取り組んでいる（参考文献（2）参照）。しかし、これらの動きは全国的な広がりを持ったものにはなっておらず、上述したように耐震性にメーカー間や機種間でばらつきのある状態のまま、阪神淡路大震災（兵庫県南部地震）の洗礼を受けることになる。

4. 3 阪神淡路大震災における被害状況分析

1995年1月17日未明に起きた阪神淡路大震災は、市街地を襲った直下型の大形地震であったために広範囲に渡って甚大な被害と6,000余名の犠牲者を出したことは記憶に新しい。我が国が地震多発国であることから地震には強いとされていた建築・土木関係をはじめ、各方面に大きな被害を出したことで、それぞれの分野で地震対策を見直すきっかけになっている。

画像診断装置の分野においても、受けた被害は空前な規模であったが、単に装置に大きな被害を受けたということに止まらず、被災者の救援活動に当たるために第一級の防災機能を持たなければならない病院施設の一つとしては、十分な耐震性を有していないことを事実を持って証明される結果になってしまった。

このような被害を繰り返さないためには、まず第一に現在の装置の耐震性の問題点を把握する必要があり、以下代表的な装置について、阪神淡路大震災における被害の状況を検証する。

被害状況のデータは、装置が設置されていた地域の震度（正しくは震度階）で区分して、被害状況を分析している。地震の際には、地面の揺れは建物によって増幅されるため、震度が同じ地域でも装置が設置されている建物の構造や何階に設置されていたかにより、装置の受ける揺れは大きく違ってくる。したがって、震度で区分しての分析は、必ずしも正確な状況分析にはなっていない可能性もあるが、マクロ的な傾向はつかめると考える。

なお、以下の被害状況を示すデータは、全て（社）兵庫県放射線技師会のご厚意により同技師会でまとめた被害実態調査結果報告（参考文献（1）参照）から引用させてもらったものである。

4. 3. 1 一般撮影室の被害状況

(1) X線高電圧装置の被害状況

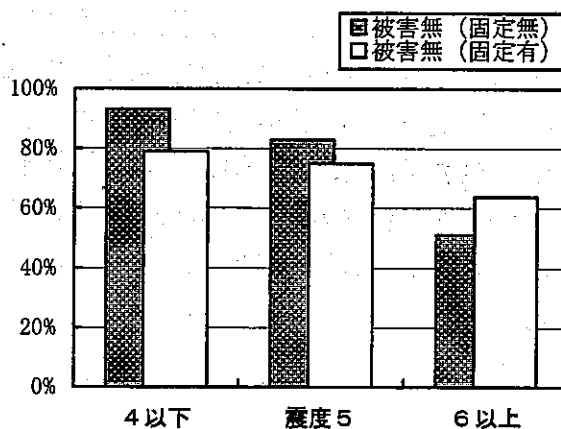
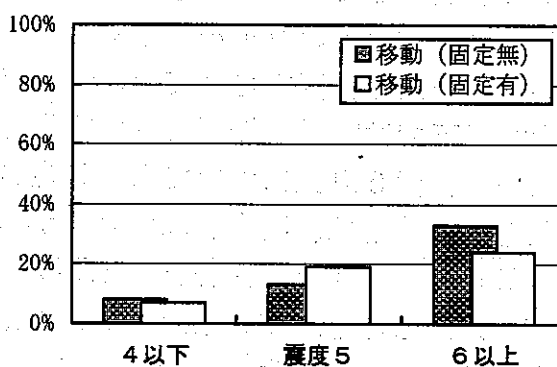
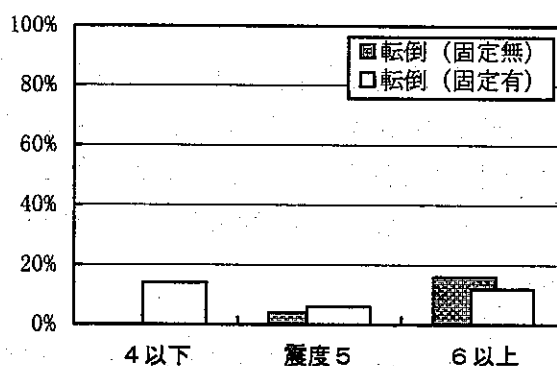
表4.3.1(1) X線高電圧装置の被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	1	10	11
	移動	3	3	21	27
	被害無	37	20	32	89
固定有	転倒	2	1	3	6
	移動	1	3	6	10
	被害無	11	12	16	39

一般撮影室に設置された床置型X線高電圧装置の被害状況を表4.3.1(1)に示す。図4.3.1(1)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

以下、図4.3.1(1)によりX線高電圧装置の被害状況を分析する。転倒被害に関しては、震度5以上では固定の有無に関わらず発生割合はほぼ同じであるが、震度4以下では、固定してあった方にだけ転倒が生じている。これは、固定部の強度が十分でなかったために、震度4程度の揺れで固定金具類が壊れたり外れたりしてしまい、その金具類に発生装置が引っ掛かって移動で済むところが転倒にまで至ったものと考えられる。X線高電圧発生装置のように質量の大きな装置を固定する場合には、地震によって生じる力を的確に予測し、固定強度を十分に検討することが必要である。

図4.3.1(1) X線高電圧装置の被害状況



(2) フィルムチェンジャの被害状況

表4.3.1(2) フィルムチェンジャの被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	1	1
	移動	5	1	12	18
	被害無	10	7	6	23
固定有	転倒	0	0	4	4
	移動	0	0	0	0
	被害無	9	5	18	32

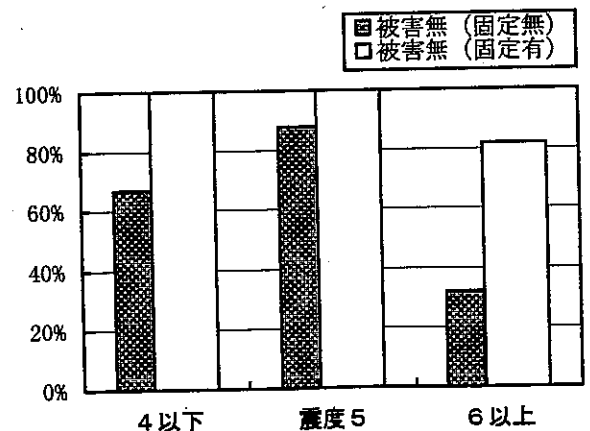
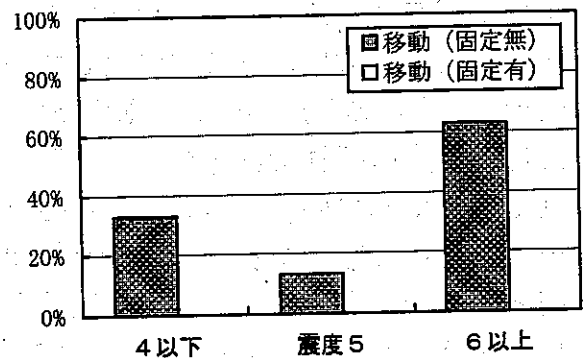
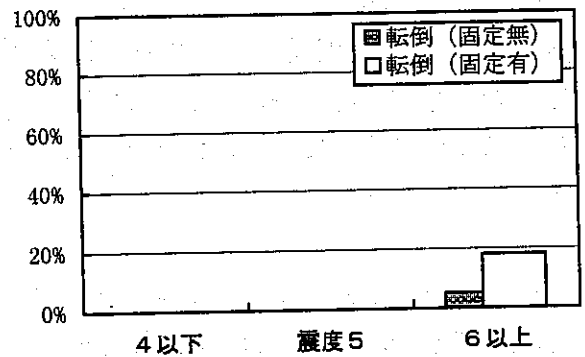
図4.3.1(2) フィルムチェンジャの被害状況

一般撮影室に設置されている胸腹部用フィルムチェンジャの被害状況を表4.3.1(2)に示す。図4.3.1(2)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

フィルムチェンジャは重心位置が高く不安定な形状をしていることもあり、床固定にはしっかりしたアンカボルトを用いることが多い。そのため、固定されていた装置では、震度5以下では移動、転倒ともに報告されていない。震度6以上においても、固定されていたものの被害は、固定されていなかったものに対して1/3の発生割合に止まっている。

一方、固定されていなかった方には移動被害が高い割合で発生しており、装置固定の重要性を示す結果となっている。

震度6以上において、固定されていた方に転倒被害が多いのは、前項でも考察したように、固定部の強度が地震の揺れに耐えられずに壊れた場合には、固定金具類が装置に引っかかって装置の移動を阻むために、移動で済むところが転倒にまで至ったものと考えられる。



(3) X線管保持装置の被害状況

表4.3.1(3) X線管保持装置の被害状況

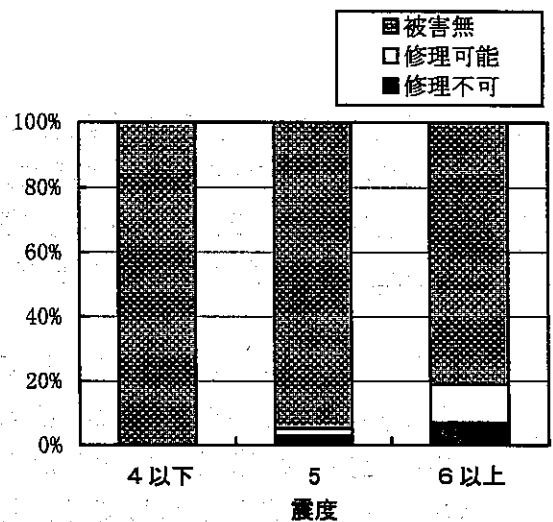
被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	2	13	15
修理可能	0	1	21	22
被害無	84	55	145	284

図 4.3.1(3) X線保持装置の被害状況

一般撮影室に設置されている床上走行式や天井走行式のX線管保持装置の被害状況を表4.3.1(3)に示す。図4.3.1(3)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

X線管保持装置は、先端に質量の大きなX線管を保持するという振動に対して不利な構造になっているため、大きな地震に会うと破損する装置が多く出るのではと心配する向きもあったが、被害データを見る限り、大きな被害は生じていない。震度5以下では、ほとんど被害は発生しなかったといってよい。揺れによってX線管保持部に生じる大きな慣性力を保持装置全体で吸収するような弾性構造になっていることで、局所的に過大な力が生じなかったためと考えられる。

また、天井式保持装置が落下するような致命的な被害は報告されていない。天井から質量の大きな装置を釣り下げることによって、設置計画の段階できちんと強度計算がなされ、かつきちんとした施工がされていたことで、震度6を超える地震に対しても十分な強度を持ち得たものと考えられる。



4. 3. 2 X線TV撮影室の被害状況

(1) X線高電圧装置の被害状況

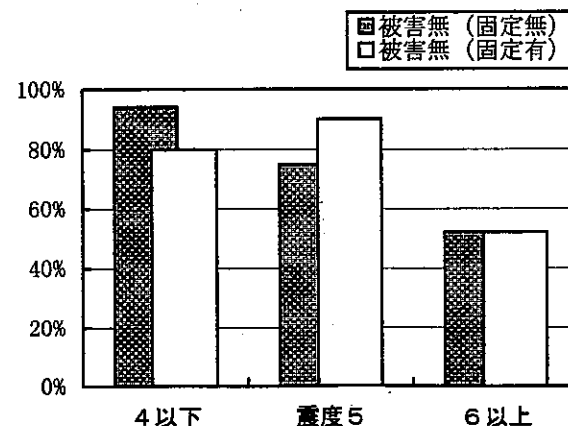
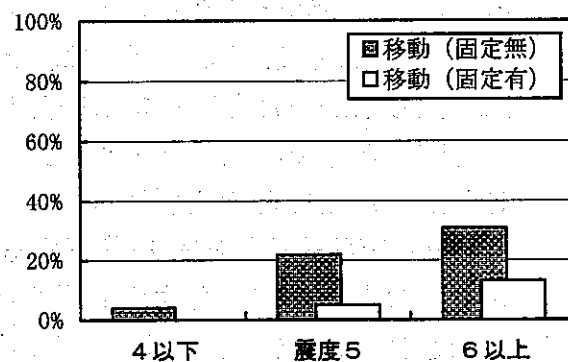
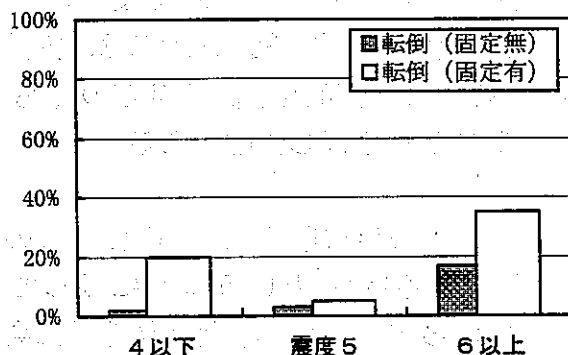
表4.3.1(1) X線高電圧装置の被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	1	1	15	17
	移動	2	8	27	37
	被害無	46	27	46	119
固定有	転倒	4	1	8	13
	移動	0	1	3	4
	被害無	16	18	12	46

X線TV撮影室に設置されたX線高電圧装置の被害状況を表4.3.2(1)に示す。図4.3.2(1)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

X線高電圧装置の転倒に関しては、各震度ともに固定していなかった場合よりも固定してあった方の被害発生割合が大きくなっている。一方、移動に関しては、固定していなかった場合の方の発生割合が大きい。4.3.1(1)項でも考察したように、装置を固定することは、固定部の強度が十分でない場合には転倒被害を増やすことにも繋がることを示している。特にX線高電圧装置のように質量の大きなものを固定する場合には、地震時の揺れにより生じる力を的確に予測し、それに十分に耐えられるだけの強度を持って固定を行うことが必要である。

図4.3.2(1) X線高電圧装置の被害状況



(2) X線透視撮影台の被害状況

表4.3.2(2) X線透視撮影台の被害状況

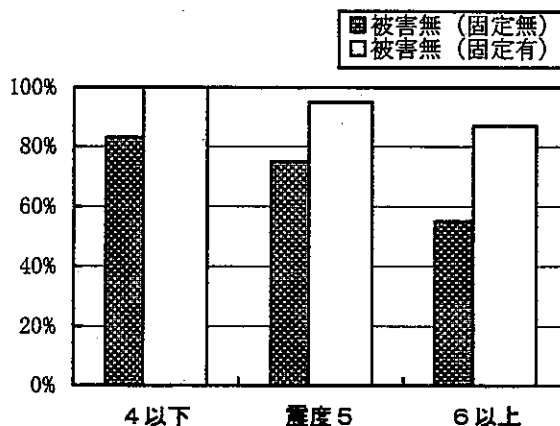
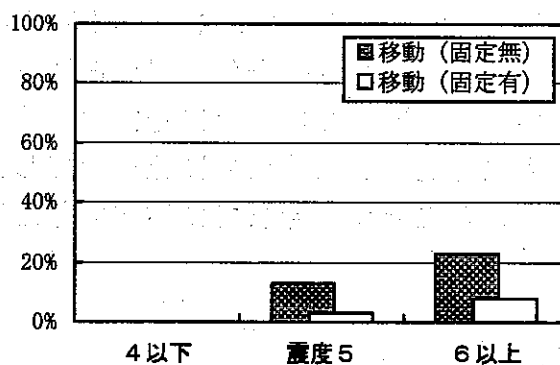
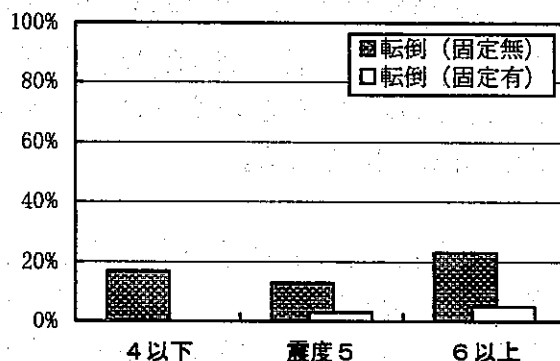
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	4	2	5	11
	移動	0	2	5	7
	被害無	20	12	12	44
固定有	転倒	0	1	4	5
	移動	0	1	7	8
	被害無	50	36	75	161

X線透視撮影台の被害状況を表4.3.2(2)に示す。図4.3.2(2)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

X線透視撮影台は、現在はほとんどがアイランドタイプになっており、床に固定するベース板の位置に対して重心が前寄りになっている。そのため安定性に関しては不利な状況にあり、メーカーは床にアンカボルトで固定するように指定している。このため、指定通りに固定されていた装置が多く、移動、転倒ともに被害の発生割合は低い。一方、固定がなされていなかった装置では、上述のように安定性が良くない状態で地震の揺れを受けたために、50%に近い高率で転倒か移動の被害が生じている。装置固定がいかに重要であることを示す結果になっている。

ただし、割合が少ないとはいえ固定されていたにも関わらず転倒したケースもあり、固定部の強度や施工方法など、固定強度に影響する要因の一つ一つについて検証する必要があると考える。

図4.3.2(2) X線透視撮影台の被害状況



(3) 透視撮影台操作卓の被害状況

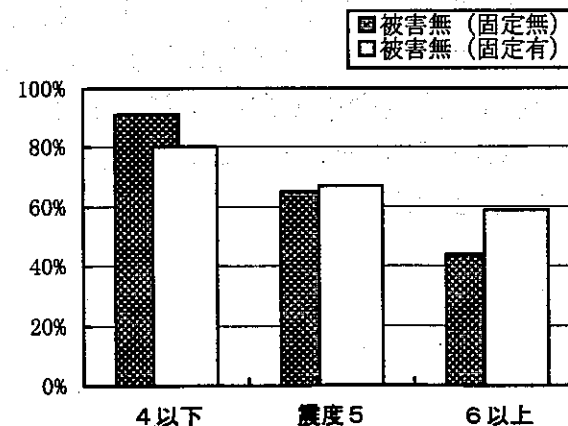
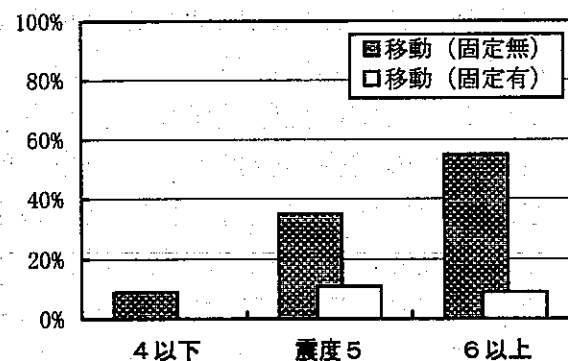
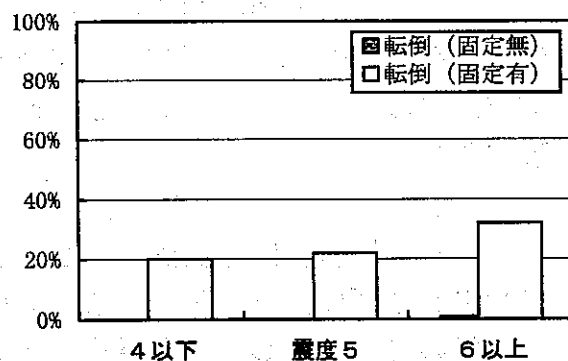
表4.3.2(3) 透視撮影台操作卓の被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	1	1
	移動	5	16	46	67
	被害無	52	30	37	119
固定有	転倒	3	2	7	12
	移動	0	1	2	3
	被害無	12	6	13	31

X線透視撮影台の操作卓の被害状況を表4.3.2(3)に示す。図4.3.2(3)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

X線透視撮影台の操作卓に関しては、腰の低い形状をしており、検査室の外に設置されることもあって、固定を行っていない場合が多い。固定を行っている場合でも、簡便な方法で行うことが多い。せっきく固定を行っても、地震の揺れに十分に耐えられるだけの固定強度を有していない場合には、移動で済むところを転倒被害までに至らせてしまう危険があることは、今までに述べてきた通りである。

図4.3.2(3) 撮影台操作卓の被害状況



(4) フィルム搬送系の被害状況

表4.3.2(4) フィルム系の被害状況

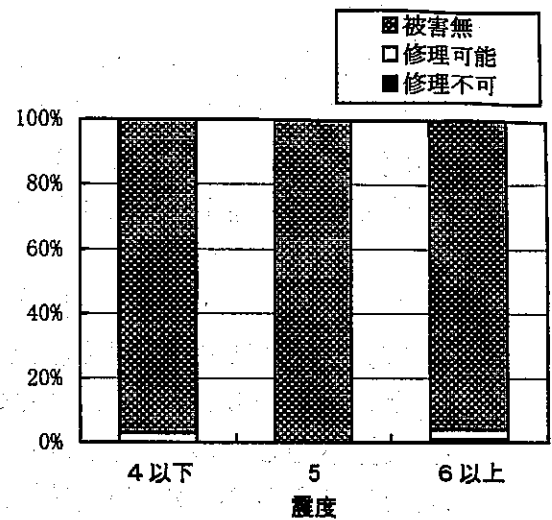
被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	0	1	1
修理可能	2	0	3	5
被害無	65	54	90	209

図 4.3.2(4) フィルム搬送系の被害状況

X線透視撮影台に組み込まれているフィルム搬送系機構の被害状況を表 4.3.2(4)に示す。図 4.3.2(4)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

X線透視撮影台がしっかりと固定されていて転倒や移動の被害が少なかったこともあり、フィルム搬送系の被害は大変少ない。被害の中には、制御装置側の故障により搬送不良が生じたケースも含まれていると思われるため、搬送機構そのものの被害は更に少ないと思われる。

この被害データから判断するに、フィルム搬送系としては、耐震性に特に問題はないと考えられる。



(5) 映像系の被害状況

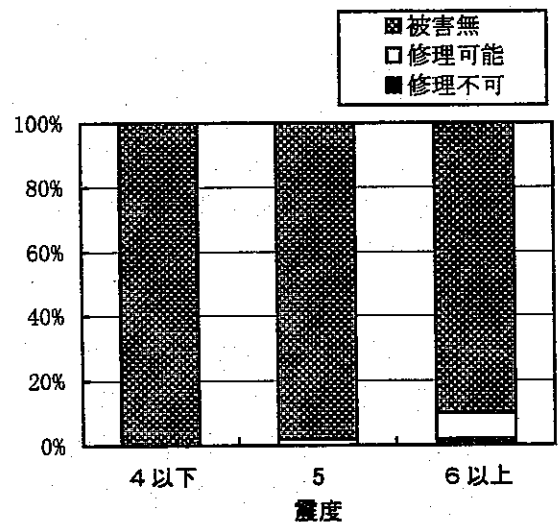
表4.3.2(5) 映像系の被害状況

被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	0	2	2
修理可能	0	1	9	10
被害無	67	55	95	217

図 4.3.2(5) 映像系の被害状況

X線透視撮影台に組み込まれている映像系の被害状況を表4.3.2(5)に示す。図4.3.2(5)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

映像系に関しても、X線透視撮影台がしっかりと固定されていて転倒や移動の被害が少なかったこともあり、広範な被害は発生していない。映像系としての耐震性には、大きな問題はないと考えられる。ただし、撮像光軸がずれるという被害が5件報告されており、光軸に関係する部品の固定方法を強化することで、更に耐震性が良くなるものと期待される。



(6) X線管の被害状況

表4.3.2(6) X線管の被害状況

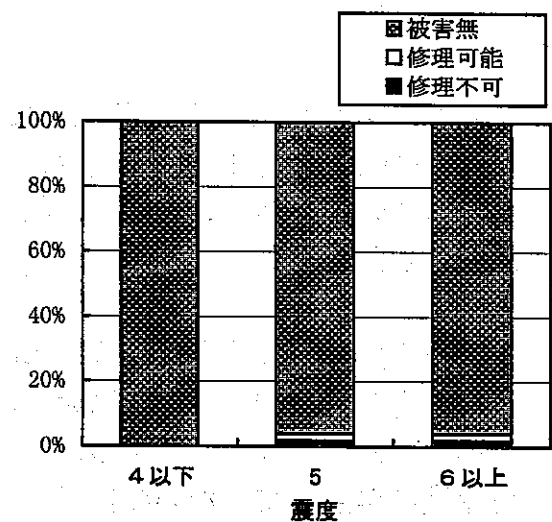
被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	1	2	3
修理可能	0	1	2	3
被害無	69	57	96	222

図 4.3.2(6) X線管の被害状況

X線透視撮影台に組み込まれているX線管の被害状況を表4.3.2(6)に示す。図4.3.2(6)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

X線管装置は、中のバルブがガラスでできていることや重い陽極を片持ちで支える構造になっていることなどから、振動に対する耐性をあまり期待できない。また、一般的なオーバーテーブルチューブ式X線透視撮影台では支柱の先端にX線管を保持していることから、地震の揺れを受けて寝台が揺れると、X線管には相当大的な振動加速度が加わると想定される。このような事情から、大きな地震では多くのX線管に被害を受けて、X線発生という最も基本的な機能が喪失するのではないかと心配されていたが、今回の震災の被害データは、予想外に被害が少なかったことを示している。これは、地震の衝撃的な揺れが透視撮影台の構造部材の弾性変位で吸収され、大きくは揺れたものの衝撃的な力がX線管に掛かることがなかったためではないかと考えられる。

いずれにしても、今回の被害状況から考えて、今後阪神淡路大震災クラスの地震が襲ってもX線管の被害が広範に生じるとは考えられない。したがって、今後の地震対策は、X線管の保護よりも、X線高電圧装置側の機能確保に重点を置く方が効果的であると考える。



4. 3. 3 血管撮影室の被害状況

(1) X線高電圧装置の被害状況

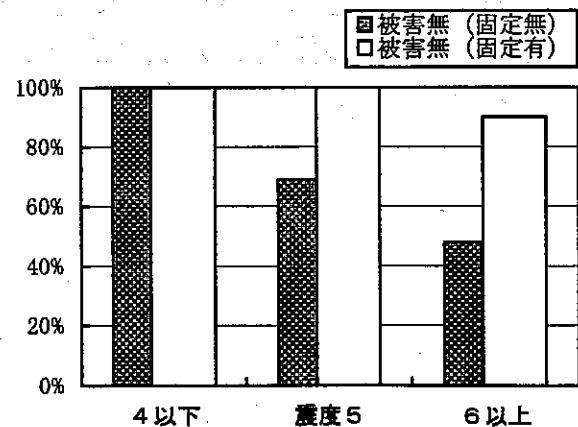
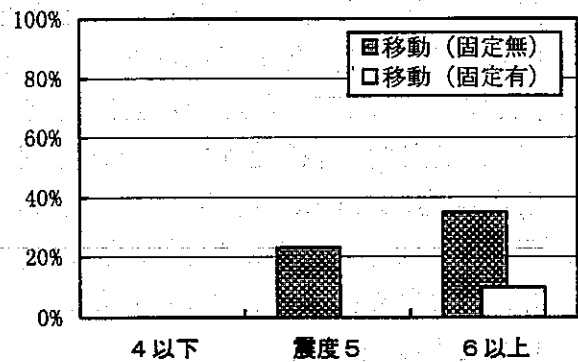
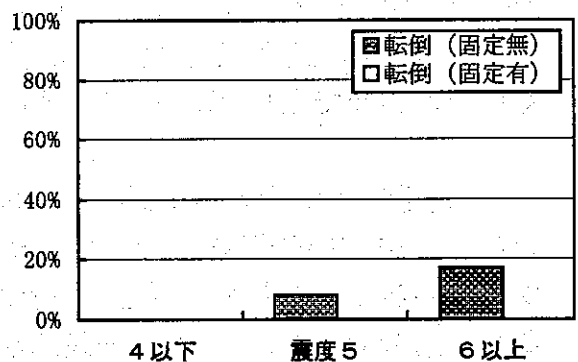
表4.3.3(1) X線高電圧装置の被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	1	4	5
	移動	0	3	8	11
	被害無	22	9	11	42
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	0	1	1
	被害無	8	3	9	20

血管撮影室のX線高電圧装置の被害状況を表4.3.3(1)に示す。図4.3.3(1)は、震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

血管撮影室のX線高電圧装置に関しては、固定の有無で被害状況に大きな差が生じている。固定されていたものは、震度5以下では被害が生じていないのに対し、固定されていなかったものは震度5で30%、震度6以上で50%に被害が生じている。一般に、血管撮影室では、装置設置に際して大掛かりな工事を行うため、装置の固定に関してもきちんとした設計のもとで行われることが多い。X線高電圧装置の固定も、固定強度が十分に検討されていたために、震度5以下では被害なしという結果を得られたものと思われる。しっかりとした装置固定が、地震被害を食い止めることの良い証である。

図4.3.3(1) X線高電圧装置の被害状況



(2) Cアーム形保持装置の被害状況

表4.3.3(2) Cアーム形保持装置の被害状況

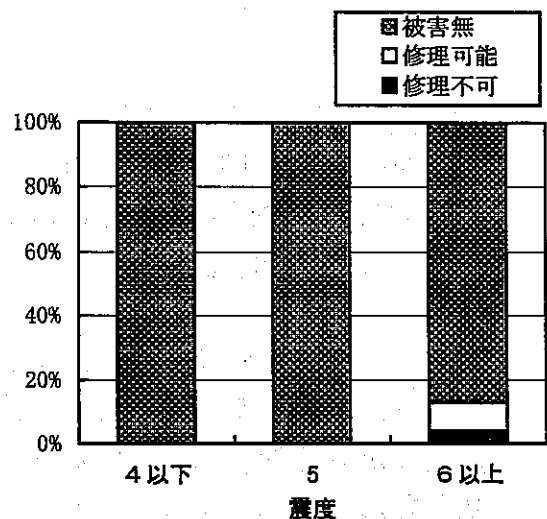
被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	0	1	1
修理可能	0	0	2	2
被害無	8	5	20	33

図 4.3.3(2) Cアーム形保持装置の被害状況

循環器診断用Cアーム形保持装置の被害状況を表 4.3.3(2)に示す。図 4.3.3(3)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

循環器診断に用いられるCアーム形保持装置の耐震性に関しては、アーム先端に質量の大きいX線管とイメージ管を保持するという振動に対して不利な構造にあるものの、被害データから判断すると震度5までの地震に対しては特に問題はなく、震度6以上の地震で被害が生じ始めるという結論を得る。

報告では、装置が振れ回ったり周りの機器とぶつかったりしたために生じた被害が多い。仮に地震の発生が臨床中であったならば、装置の被害に止まらず被検者や医療関係者への危害を生じた可能性もあったと予想される。今回の地震の被害状況をできるだけ詳しく分析し、今後の製品造りに生かしていくことが必要である。



(3) 撮影台の被害状況

表4.3.3(3) 撮影台の被害状況

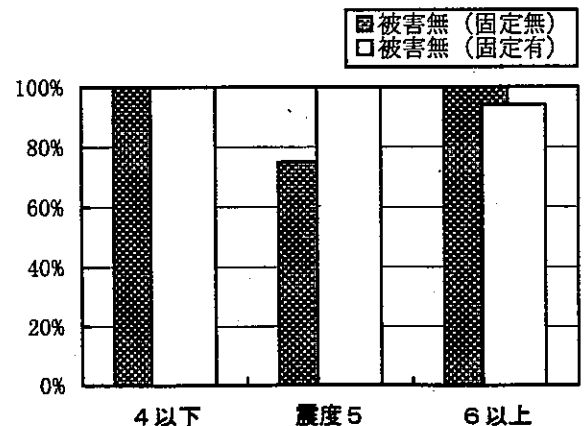
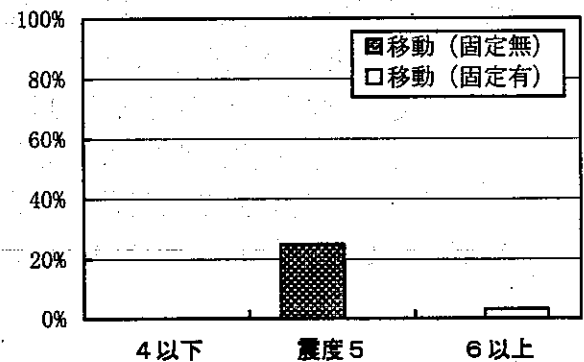
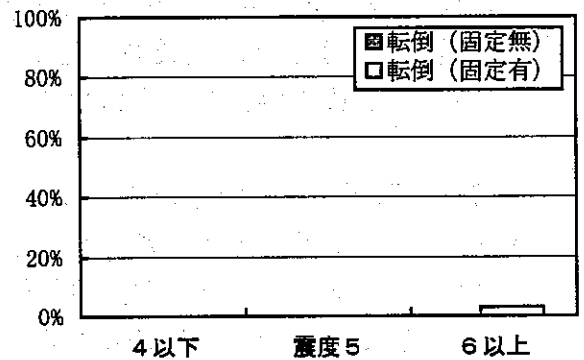
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	0	0
	移動	0	1	0	1
	被害無	4	3	5	12
固定有	転倒	0	0	1	1
	移動	0	0	1	1
	被害無	24	10	29	63

循環器診断用の寝台の被害状況を表4.3.3(3)に示す。図4.3.3(3)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

循環器診断用の寝台は、患者を載せて天板をいっぱいにしてスライドさせた状態では装置の安定性が悪くなるため、特別な事情がない限りきちんと床に固定している。このため、被害もほとんど報告されていない。

床固定がしっかりと行われていれば、少なくとも転倒と移動に関しては、現在の装置の耐震性で問題はないと考えられる。

図4.3.3(3) 撮影台の被害状況



(4) 映像系の被害状況

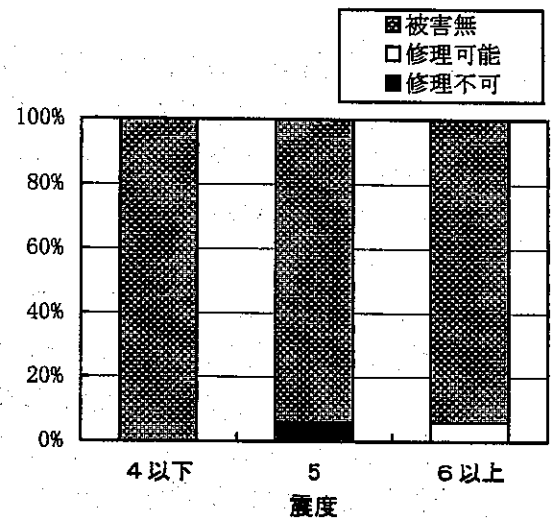
表4.3.3(4) 映像系の被害状況

被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	1	0	1
修理可能	0	0	2	2
被害無	23	15	30	68

図 4.3.3(4) 映像系の被害状況

Cアーム形保持装置に組み込まれている映像系の被害状況を表4.3.3(4)に示す。図4.3.3(4)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

4.3.2(5)項でX線TV撮影室では映像系の被害が少なかったことを報告したが、血管撮影室においても、映像系の被害はあまりない。TVカメラ関係の部品の取付け強度を高めることで更に耐震性が増すものと思われる。



(5) X線管の被害状況

表4.3.3(5) X線管の被害状況

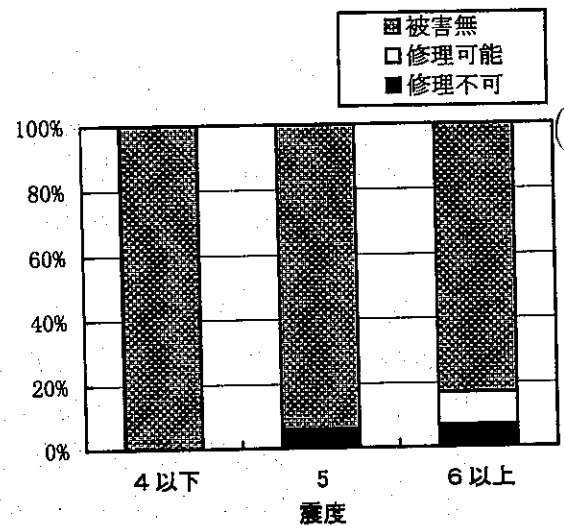
被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	1	2	3
修理可能	0	0	3	3
被害無	19	15	25	59

図 4.3.3(5) X線管の被害状況

血管撮影室のX線管の被害状況を表 4.3.3(5)に示す。図 4.3.3(5)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

4.3.2(6)項で、X線TV室のX線管装置はその耐震性に問題は無いと報告したが、循環器診断用のX線管装置では、無視し得ない割合で被害が生じている。ただし、被害の中にはX線管を保持していた保持装置の破損が原因となって被害を受けたと思われるものもあり、X線管自体の耐震性に起因する被害はこれよりもかなり少ないと思われる。

循環器診断に用いられるX線管は、中の回転陽極も大形で重いため、振動に対する耐性向上はあまり期待できない。それを保持する保持装置側の耐震性を上げることで、X線管が受けるダメージを最小限に押さえることが必要と考える。



(6) 画像処理装置の被害状況

表4.3.3(6) 画像処理装置の被害状況

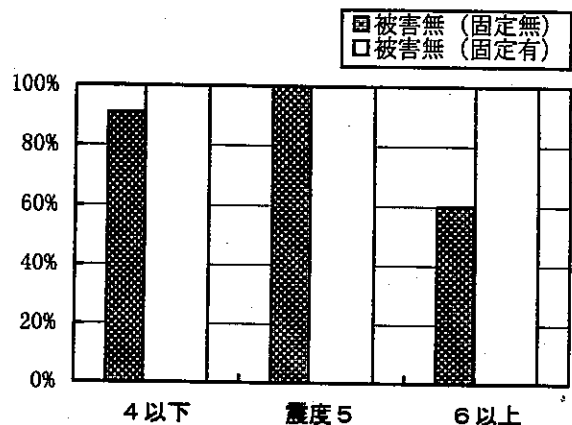
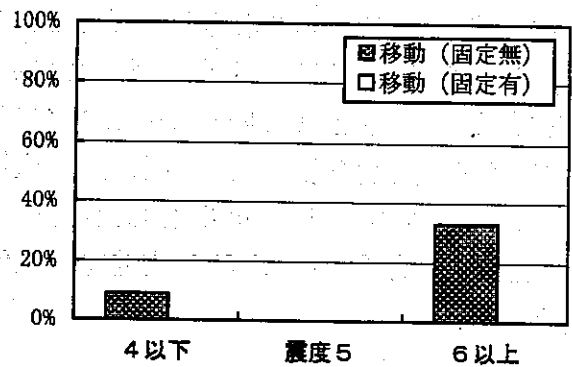
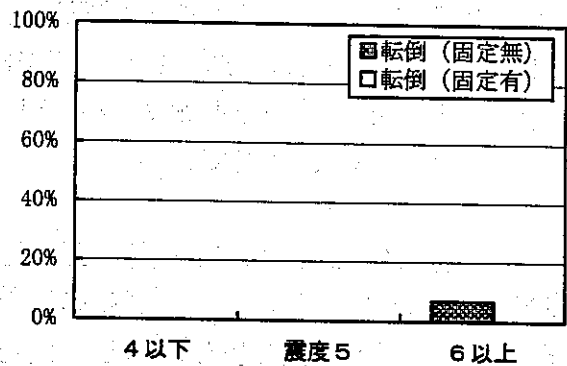
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	1	1
	移動	1	0	5	6
	被害無	10	5	9	24
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	0	0	0
	被害無	4	2	7	13

循環器診断に用いられる画像処理装置の被害状況を表4.3.3(6)に示す。図4.3.3(6)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

画像診断装置では、装置のキャビネットにキャスタを付けているものが多い。キャスタ付きの装置は、地震の際に動くことはあっても転倒することは少ないと言われていたが、被害データもほぼその通りの結果になっている。一方固定を行っていた装置では、震度6以上の揺れを受けても転倒、移動ともに全く被害が生じていない。

装置にキャスタを付けることで、移設がやり易くなるなどのメリットは確かにあるが、地震の際に装置が動くことでケーブルの断線などを引き起こし機能障害を招く可能性が高いことを考えると、やはり装置は固定すべきと考える。

図4.3.3(6) 画像処理装置の被害状況



4. 3. 4 CT撮影室

(1) X線高電圧装置の被害状況

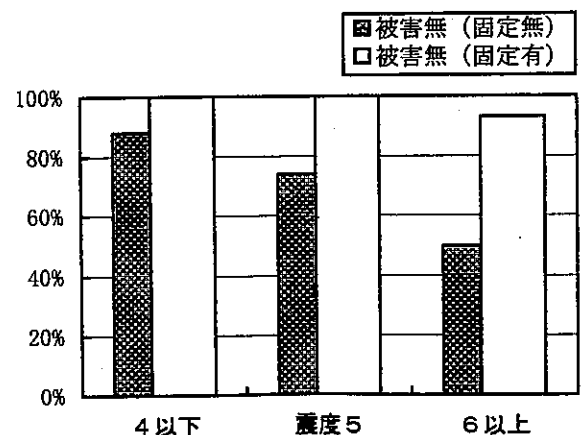
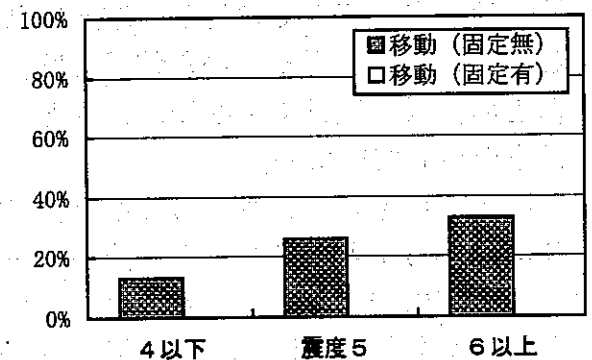
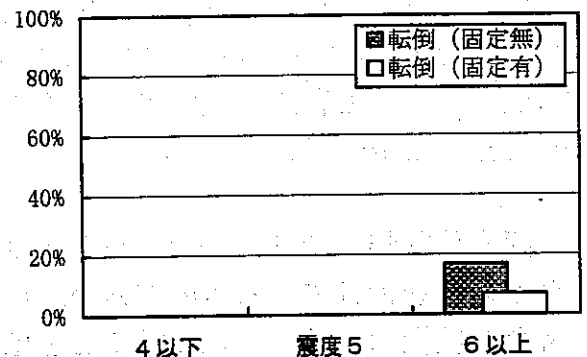
表4.3.4(1) X線高電圧装置の被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	7	7
	移動	4	6	14	24
	被害無	28	17	21	66
固定有	転倒	0	0	1	1
	移動	0	0	0	0
	被害無	13	5	13	31

CT撮影室におけるX線高電圧装置の被害状況を表4.3.4(1)に示す。図4.3.4(1)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

CT撮影室におけるX線高電圧装置の被害状況は、4.3.3(1)項の血管撮影室のX線高電圧装置の被害状況とほとんど同じ傾向を示している。すなわち、固定の有り無しで被害状況に大きな差が生じており、固定されていたものは、震度5以下では被害が生じていないのに対し、固定されていなかったものは震度5で30%、震度6以上で50%に被害が生じている。ここでも、しっかりとした装置固定が、地震被害を食い止めることをよく示している。

図4.3.4(1) X線高電圧装置の被害状況



(2) CT本体および寝台の被害状況

表4.3.4(2) CT本体および寝台の被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	0	0
	移動	0	0	2	2
	被害無	8	2	7	17
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	2	2	4
	被害無	39	24	48	111

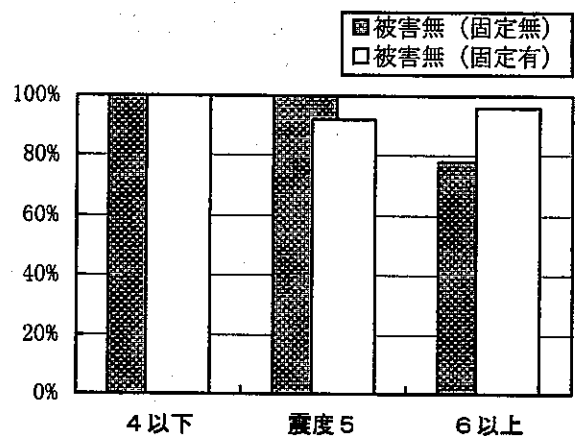
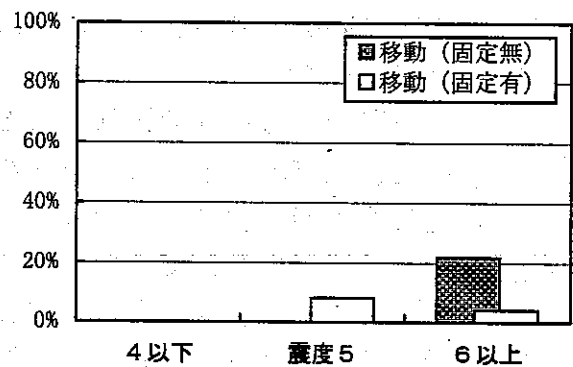
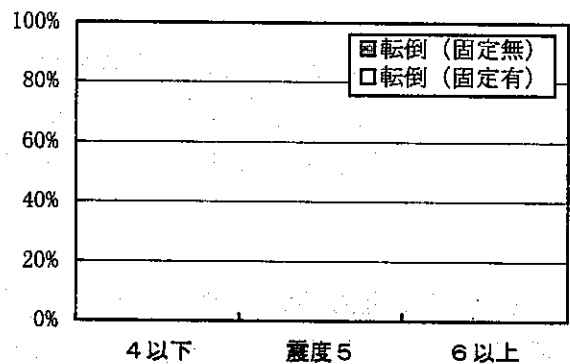
図4.3.4(2) CT本体および寝台の被害状況

CT本体および寝台の被害状況を表4.3.4(2)に示す。図4.3.4(2)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

CT本体と寝台には、転倒被害は1件も報告されていない。CT本体は、安定性に関しては有利な形状になっており、固定していなかったものも転倒までには至らなかったものと思われる。寝台も患者を載せた状態ではなかったこともあり、安定性の有利な状態にあったことで被害がほとんどなかったものと思われる。

CT本体も寝台も固定がしっかりと行われている限り、転倒と移動に関しては問題は無い。ただし、検出器の破損やアーチファクトの発生が各2件報告されており、一部内部構造の強化を計る必要があると考える。

割合が少ないとはいえ固定されていたにも関わらず移動したケースがあり、固定部の強度や施工方法など、固定強度に影響する要因の一つ一つについて検証する必要があると考える。



(3) CT操作卓の被害状況

表4.3.4(3) CT操作卓の被害状況

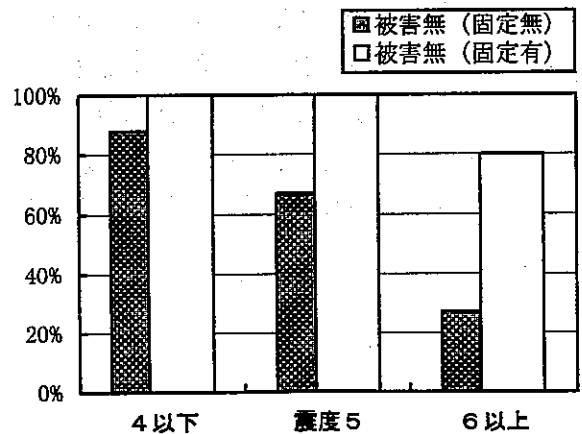
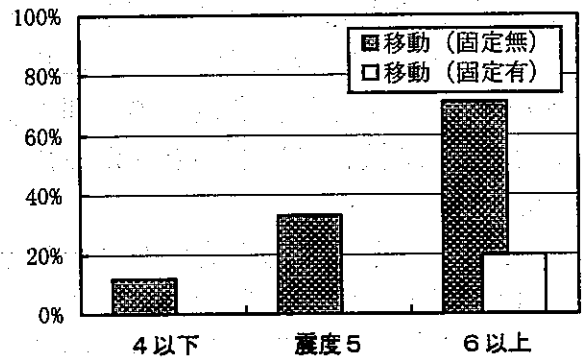
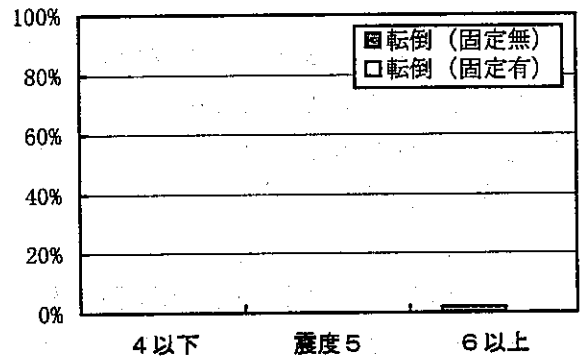
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	1	1
	移動	5	8	35	48
	被害無	36	16	13	65
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	0	1	1
	被害無	5	5	4	14

図4.3.4(3) CT操作卓の被害状況

CT操作卓の被害状況を表4.3.4(3)に示す。図4.3.4(3)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

CT操作卓の被害状況は、4.3.2(3)項のX線透視撮影台の操作卓とほとんど同じ被害傾向を示している。すなわち、置きっぱなしで固定をしていないケースが多く、移動被害が高い割合で発生している。

操作卓が移動するだけで壊れることは少ないとはいえ、操作卓に通じるケーブルの断線を引き起こす可能性は高く、それだけでCT装置としては機能を発揮できなくなる。CT本体は耐震性が高く、大きな地震に会っても被害を受ける可能性は低いだけに、操作卓の固定をしっかりと行うことで、CT装置全体の耐震性が高まるものと期待される。



(4) コンピュータ制御装置の被害状況

表4.3.4(4) コンピュータ制御装置の被害状況

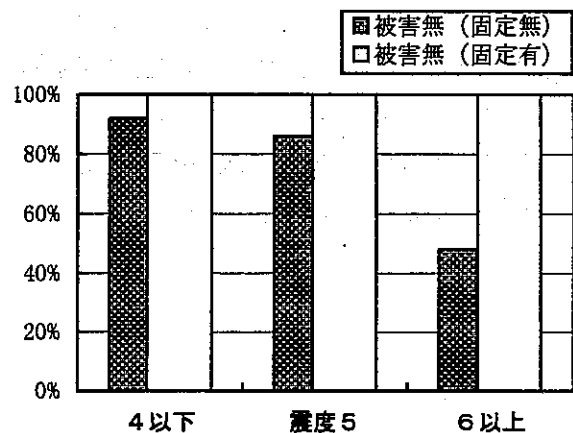
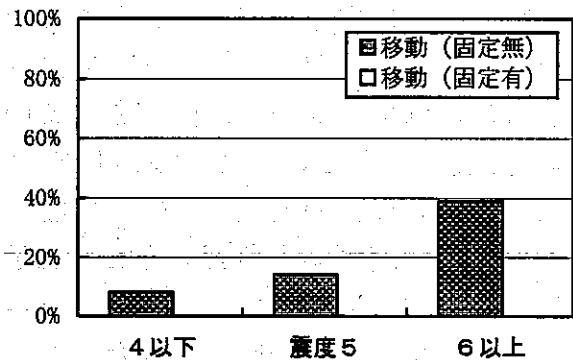
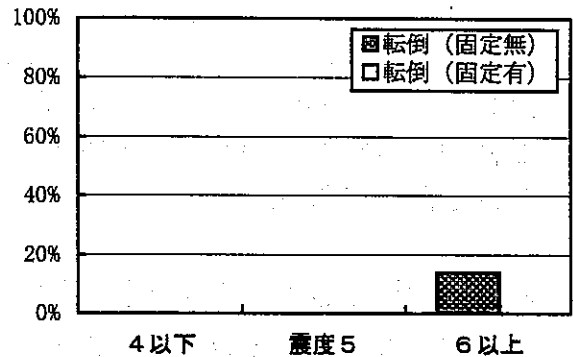
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	6	6
	移動	3	3	17	23
	被害無	34	19	21	74
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	0	0	0
	被害無	9	6	6	21

図 4.3.4(4) コンピュータ制御装置の被害状況

CT装置のコンピュータ制御装置の被害状況を表4.3.4(4)に示す。図4.3.4(4)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

コンピュータ制御装置はキャスタ付きのキャビネットに納めているものが多く、4.3.3(6)項の循環器診断用の画像処理装置とほぼ同様な被害傾向を示している。キャスタがついているがゆえに、転倒被害は少ないが、移動被害は高い割合で発生している。

一方、固定を行っている装置では、震度6以上の揺れに対しても、全く転倒も移動もなく、ここでも固定の効果を歴然と示す結果になっている。



2. 3. 5 MR室の被害状況

(1) 本体および寝台の被害状況

表4.3.5(1) 本体および寝台の被害状況

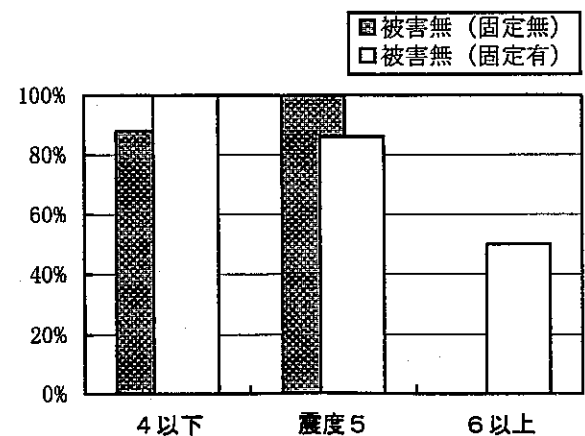
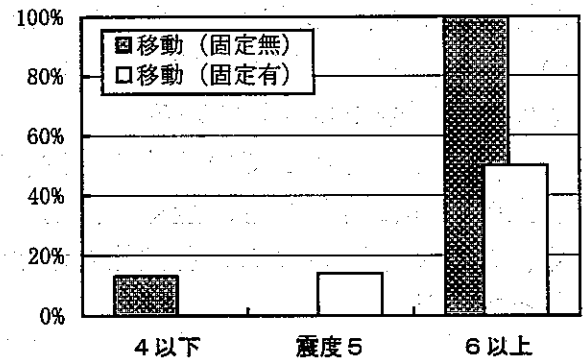
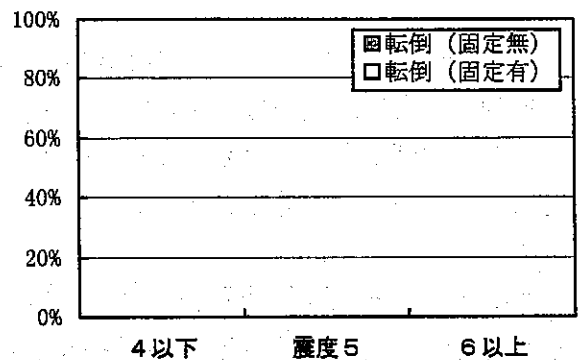
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	0	0
	移動	1	0	8	9
	被害無	7	2	0	9
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	1	6	7
	被害無	11	6	6	23

MR本体および寝台の被害状況を表4.3.5(1)に示す。図4.3.5(1)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

MR本体および寝台ともに転倒被害は生じていない。しかし、移動被害に関しては、特に震度6以上で大変高い割合で生じている。調査データは本体と寝台に分かれていないために、両者それぞれの被害状況を分けて考察することはできないが、固定されていた装置でも震度6以上で半数が移動していることは、震度6以上の地震を想定した場合には、その固定強度が不十分であることを示している。特に本体に関しては、質量が非常に大きいこともあり、その固定に当たっては十分に強度検討を行う必要がある。

ここでは、移動被害だけの報告であるが、それ以外にも地震の激しい揺れで機能障害を招いたケースも報告されており、それぞれのケースを検証して耐震性を向上させる努力が必要であると考えられる。

図4.3.5(1) 本体および寝台の被害状況



(2) 操作卓の被害状況

表4.3.5(2) 操作卓

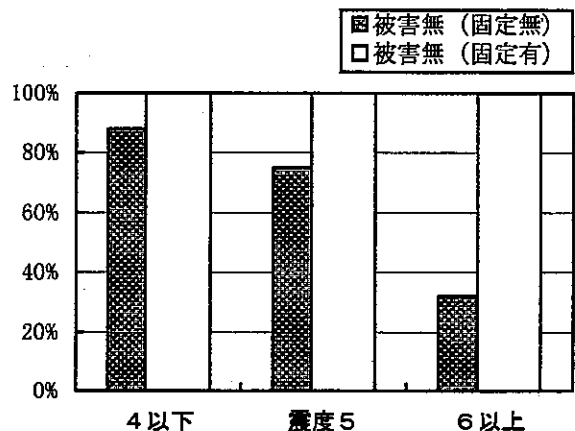
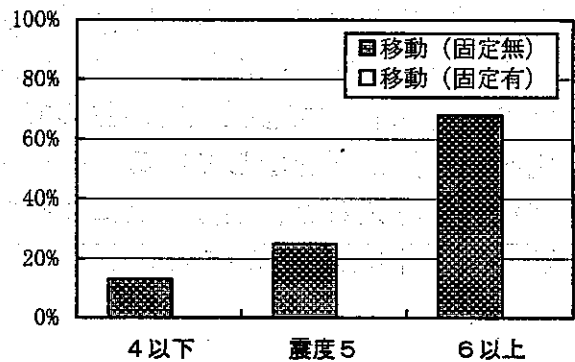
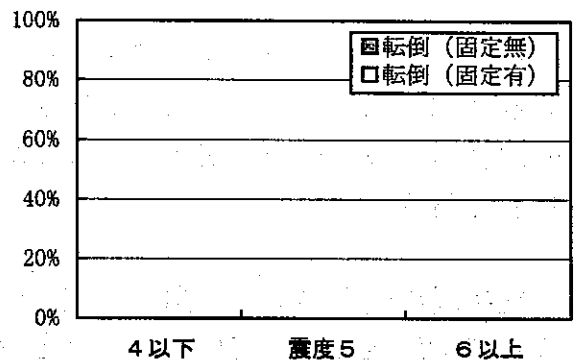
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	0	0
	移動	2	2	13	17
	被害無	14	6	6	26
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	0	0	0
	被害無	2	1	2	5

MRの操作卓の被害状況を表 4.3.5(2)に示す。図 4.3.5(2)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

MRの操作卓の被害状況も、4.3.2(3)項のX線透視撮影台の操作卓と 4.3.4(3)項のCT操作卓とほとんど同じ被害傾向を示している。すなわち、置きっぱなしで固定をしていないケースが多く、移動被害が高い割合で発生している。

CTの項でも述べたように、操作卓が移動するだけで壊れることは少ないとはいえ、操作卓に通じるケーブルの断線を引き起こす可能性は高く、それだけでMR装置としては機能を発揮できなくなる。操作卓の固定をしっかりと行うことで、MR装置全体の耐震性が高まるものと期待される。

図 4.3.5(2) 操作卓の被害状況



(4) MR制御装置の被害状況

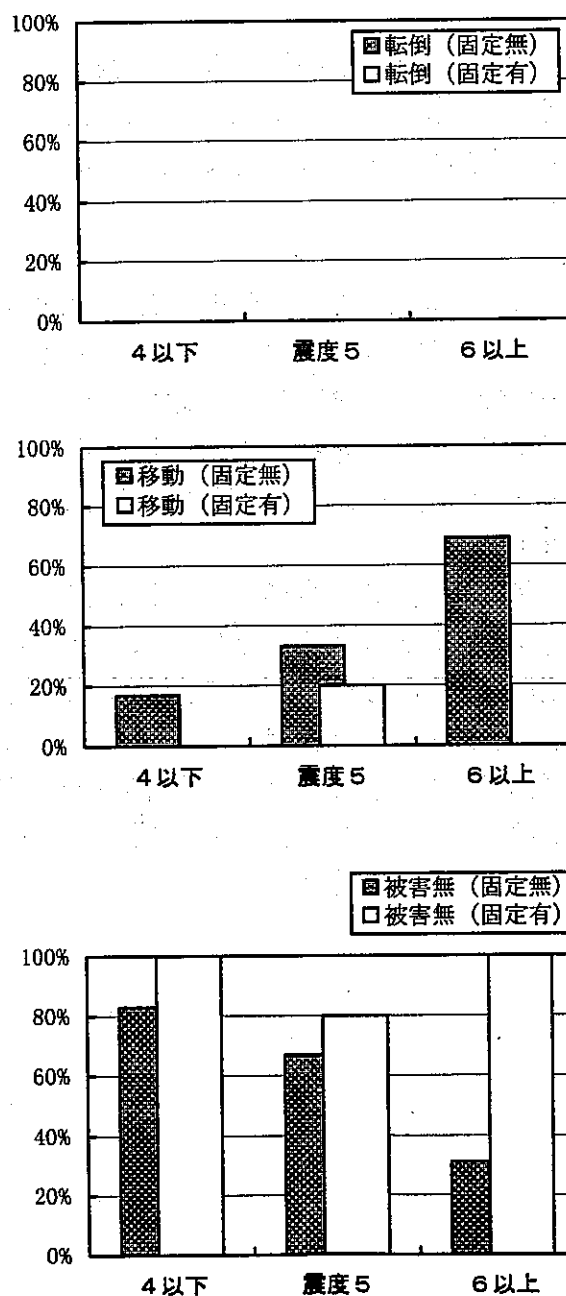
表4.3.5(3) MR制御装置の被害状況

	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	0	0
	移動	2	1	11	14
	被害無	10	2	5	17
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	1	0	1
	被害無	6	4	5	15

MR装置制御装置の被害状況を表 4.3.5(3)に示す。図 4.3.5(3)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

MR制御装置の被害傾向も、装置固定の効果を示す結果になっている。固定を行っている装置は全15装置の内の1件に移動被害が生じているだけで、その他は影響がない。固定を行っていなかった装置では、震度6以上で70%もの高率で移動被害が生じているのに比べて、好対照をなしている。ケーブルの断線などを考えると、装置固定によって得られる効果は計り知れないことを強調したい。

図 4.3.5(3) MR制御装置の被害状況



(4) コンピュータ制御装置の被害状況

表4.3.5(4) コンピュータ制御装置の被害状況

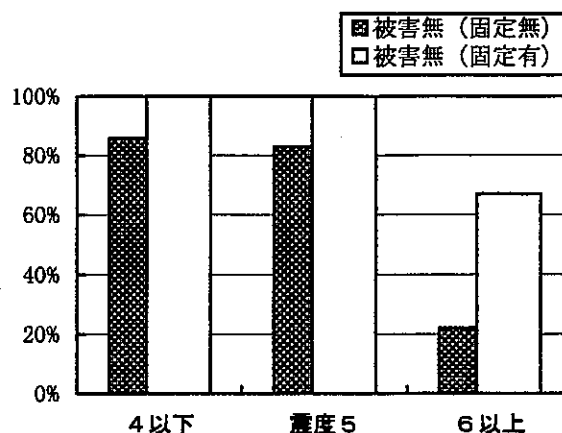
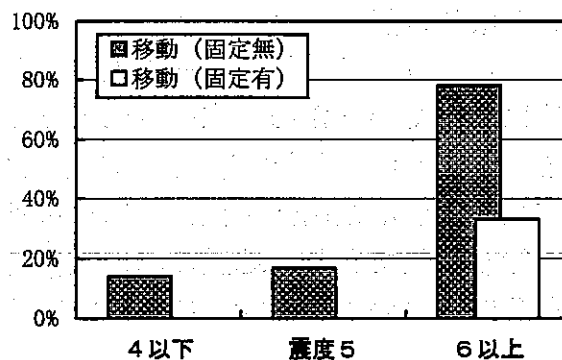
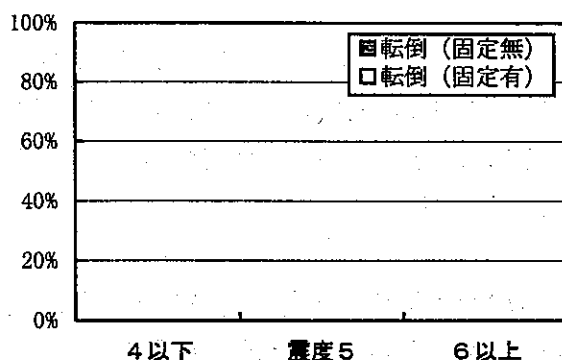
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	0	0
	移動	2	1	14	17
	被害無	12	5	4	21
固定有	転倒	0	0	0	0
	移動	0	0	1	1
	被害無	5	3	2	10

MR装置のコンピュータ制御装置の被害状況を表4.3.5(4)に示す。図4.3.5(4)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

MR装置コンピュータ制御装置の被害傾向は、4.3.4(4)項のCT装置のコンピュータ制御装置とほぼ同様である。すなわち、キャストの付いている装置が多いゆえに転倒被害は少ないが、移動被害は高い割合で発生している。

一方、固定を行っていたものでも震度6以上で3件の中の1件で移動被害が発生している。装置の固定強度が不足していたか、あるいはあまりに激しい揺れを受けたものと思われる。震度5以下では、全く転倒も移動もなく、固定の効果を示す結果になっている。

図4.3.5(4) コンピュータ制御装置の被害状況



4. 3. 6 RI検査室の被害状況

(1) ガンマカメラ装置の被害状況

表4.3.6(1) ガンマカメラ装置の被害状況

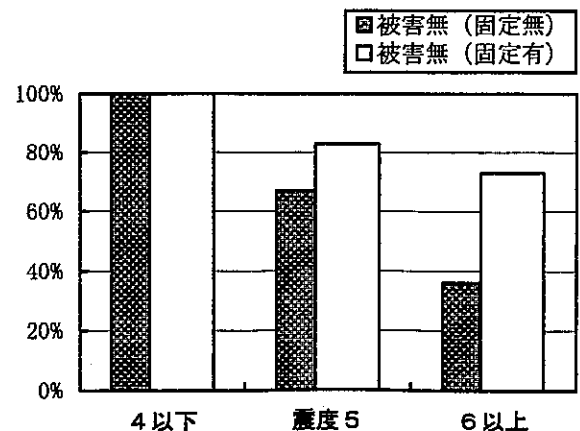
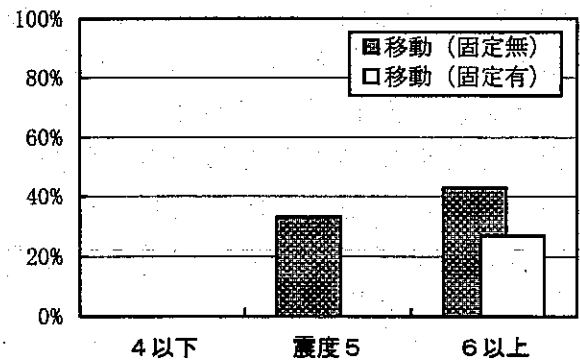
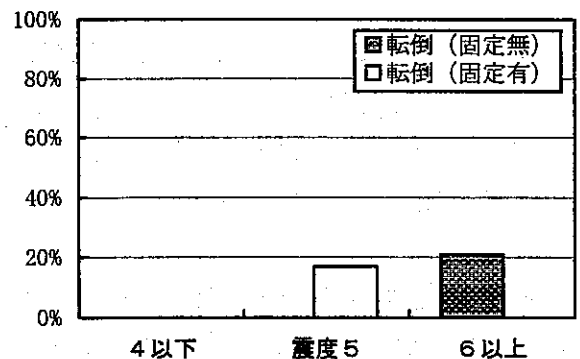
	被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
固定無	転倒	0	0	3	3
	移動	0	1	6	7
	被害無	13	2	5	20
固定有	転倒	0	1	0	1
	移動	0	0	4	4
	被害無	7	5	11	23

ガンマカメラ装置の被害状況を表 4.3.6(1) に示す。図 4.3.6(1)は、各震度毎に転倒と移動の被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

ガンマカメラ装置は、重い検出器を保持するというその構造上地震に強いとは思われませんが、被害データを見ても転倒と移動の被害がかなりの割合で生じている。

また、カメラ本体がレール上を移動する構造になっているため、床固定によって耐震性を増すことができない装置も多い。とはいえ、質量の大きな検出器を被検者に近付けて検査を行う装置であり、地震の際に被検者に危害を及ぼさないような対策を考えていく必要がある。

図.4.3.6(1) ガンマカメラ装置の被害状況



2. 3. 7 移動型装置の被害状況

(1) 移動型X線装置の被害状況

表4.3.7(1) 移動型X線装置の被害状況

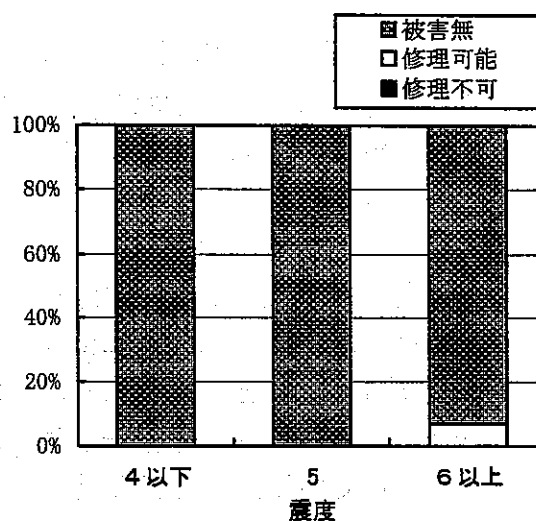
被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	0	0	0
修理可能	0	0	6	6
被害無	61	46	75	182

図 4.3.7(1) 移動型X線装置の被害状況

移動型X線装置の被害状況を表 4.3.7(1)に示す。図 4.3.7(1)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

今回の震災では、発生直後のライフラインが途絶している中で、被災者の診断にこの移動型X線装置が活躍したことを、多く関係者が語っている。すなわち、地震直後に多くの移動型X線装置が使用可能な状態にあったと思われる。被害データもそのことを裏付けており、震度5以下では被害が報告されていない。

今回の地震発生は朝方であったために、移動型X線装置はX線管を収容した状態すなわち最も安定した状態に置かれていたことで、被害の発生が少なかったものと思われる。診断中で安定性が不利な状態で地震の揺れを受けたならば、違った結果になっていたかも知れない。



(2) 超音波診断装置の被害状況

表4.3.7(2) 超音波診断装置の被害状況

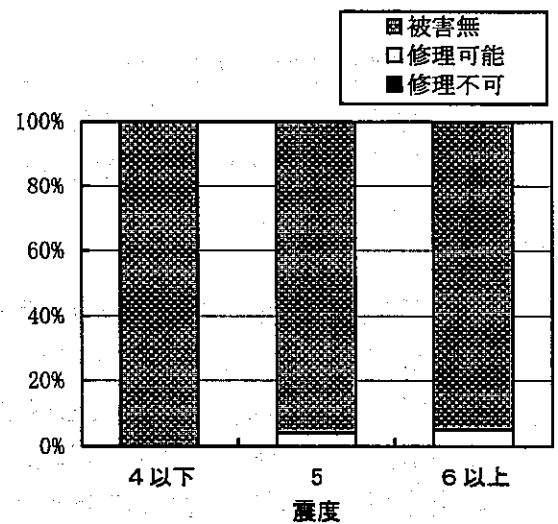
被害状況	震度4以下	震度5	震度6以上	合計
修理不可	0	0	0	0
修理可能	0	1	2	3
被害無	31	26	37	94

図 4.3.7(2) 超音波診断装置の被害状況

超音波装置の被害状況を表 4.3.7(2)に示す。
 図 4.3.7(2)は、各震度毎に修理不可と修理可能な被害がどのくらいの割合で生じたか分析した図である。

前項の移動型X線装置と同様に超音波診断装置の受けた被害は大変に少なく、その耐震性はほぼ問題ないと考えられる。ただし、被害報告の中には転倒も1件報告されており、移動型装置としての弱点はやはり持っている。

超音波診断装置では、診断に使う時と使わないで置いてある時で安定性にほとんど差はないため、昼間の地震でも被害状況はあまり変わらないと考えられる。



4. 4 耐震性の問題点

阪神淡路大震災における代表的な画像診断機器の被害状況の分析を行ったが、その中から共通的な問題点を拾い上げてみると、次のような点が挙げられる。

- ① 装置が、床や壁に固定されていなかった。
置きっ放しにすることを前提とし、固定するようになっていない装置が多い。一方、メーカーが固定を指示しているにも関わらず、固定されていなかったケースもある。
- ② 装置は固定されていたが、固定強度が十分でなかった。
震度4程度の揺れに固定部が持ちこたえられなかったケースも多い。そのような場合には、装置の転倒にまで至る割合が多い。
- ③ キャスタ付きの装置は移動被害が多い。
キャスタ付きの装置の多くは移動被害だけで済んでいる。しかし、ケーブル断線を引き起こし易いことや、移動することで医療関係者に危害を加える可能性もあることを考える必要がある。

これ以外に、個々の装置でそれぞれ固有の問題が挙げられている。一方、フィルム搬送系や映像系、X線管など、装置に搭載されているユニットに関しては被害が少ないという結果であった。

以上の被害分析から判断して、画像診断装置の耐震性を向上させるために最も効果的な取組みは、装置の転倒と移動の被害を防ぐことにあると考える。これにより、装置の機能喪失の発生も大幅に減らすことができ、さらに転倒や移動によって医療関係者に危害が及ぶことも防ぐことができる。

4. 5 耐震設計指針の提言

装置の耐震性を高めるためには、まず設計の段階で、あるレベルの地震に会っても被害を出さないように考慮されていることが必要であると4. 2項で述べたが、その検討のためには、以下の条件を決める必要がある。

- ① 地震の揺れ
地面の揺れ、すなわち想定する地震の揺れの強さと方向を決める必要がある。
- ② 建物の揺れ
地面の揺れは建物に伝わり、一般に増幅される。この増幅の割合は、建物の構造や高さなどに左右されるため、これらの条件を定める必要がある。
- ③ 装置の揺れ
建物の揺れは装置に伝わり、一般的にさらに増幅される。この増幅の割合は、装置個々の構造などに左右されるが、その条件を定める必要がある。
- ④ 装置を設置する床、壁、天井の強度
装置が揺れると装置に慣性力が働くが、その時に装置が転倒・移動しないためには、装置固定部の抗力が十分に得られなければならない。固定部の床や壁など建物側の強度が十分でないと、必要とする抗力が得られない場合もあり、その条件を定める必要がある。

⑤ 固定部材の強度

④と同様に、必要な抗力を得るためには、装置と建物を結び付ける固定部材の強度が十分でなければならず、その計算条件を定める必要がある。

⑥ 装置の安全性

上記の条件において想定した地震動を受けたとして、装置の満たすべき耐震性について定める必要がある。

これらの条件に対して統一的な基準を提言するのが、資料1の「医用画像診断装置の耐震設計指針」である。その中で、装置設計に際して考慮すべき内容と基準を定めており、それに基づいて設計されれば、画像診断装置として一定レベルの耐震性が得られるものと考ええる。

耐震設計指針をまとめるに当たっての基本的な考えについては、指針の中に補足として記載しており、そちらを参照して頂きたい。それ以外で必要と思われる基本的な考え方について以下に記す。

(1) 地震力の想定

地震の際に装置が受ける力を求める方法としては、大きく分けて静的解析と動的解析、および振動試験による検証がある。静的な解析は、地震による揺れの最大加速度を静的な力の置き換える方法であり、簡便である一方、装置の細かい挙動の影響までは考慮されない。一方、動的解析は、装置をモデル化して地震の揺れを受けた時の揺れ方を数値計算で求める方法であり、装置の挙動が求められるものの、モデル化が適切でないと正確な結果が得られない。振動試験により検証する方法は、実機または縮尺モデルを振動試験機に載せ、地震に模した振動を与えて装置の挙動を調べる方法であり、装置の挙動を正確に把握できるが、大掛かりな実験が必要になると同時に、装置がある程度完成してからでないと評価を行えない。

それぞれ一長一短はあるが、本設計指針では、簡便で各種設備機器の設計指針に採用されている静的な解析法を採用した。他の2方法を採用しなかった理由は、以下の通りである。

- ① 動的数値解析と振動試験による検証は、それぞれ大型コンピュータや大型加振機などを必要とするが、多種多様な画像診断装置に対して、大規模な設備を必要とする検証を求めることは現実的ではない。
- ② 建物の中に設置される装置の揺れを正確に検証するためには、建物の揺れを正確に想定することが不可欠であるが、設置される建物をあらかじめ特定できないため、建物の振動特性を想定することができない。

(2) 移動型装置の耐震性

移動型装置の耐震性に関しては、4.3.7項で考察したように、受けた被害はわずかであり、大きな問題はないように思える。しかし、地震の際の挙動に関しては、目撃談もなく不明であり、激しく動いて周りの人に危害を加えるおそれも考えられなくはない。車輪やキャスタのロックに関しても、耐震性を増すためにはロックをした方がよ

いのかあるいはしない方がよいのか判断に迷う。

こうした疑問に対して、判断の根拠としたのが、設計指針の参考文献欄にも記した建設省建築研究所発行の建築研究報告「医療機器の耐震性に関する振動台実験」である。この中で、キャスタ付き装置の振動試験により、四輪キャスタの対角位置の2箇所をロックすれば、地震の揺れを受けても最も動きが少なく、転倒に対しても強いことが報告されている。この報告書の中の対角ロックした装置の実験データを参考に、設計指針の内容を定めた。

(3) 壁の強度

制御ユニット収納キャビネットなど背の高いユニットの固定に関しては壁固定を前提にしなければならないが、壁の構造を一律に指定することはできず、またその強度を計算で求めることも難しい。コンクリート壁ならば強度を計算することは可能なため、コンクリート壁を前提に設計指針を作るべきとの考えもあったが、現実にコンクリート壁に装置を固定できる場所は少ない。このため、壁固定に関しては定性的な指針とし、壁の構造と強度については指定していない。ただし、どのような構造の壁でもよしとするわけではなく、病院設計の段階で、あるレベルの強度が得られる構造を採用すべきである。その構造に関しては、2年度以降の研究課題としてまとめられることを期待する。

(4) 保持装置のオフロック

保持装置の走行に対するロック力に関しては、規定の類がなく、各メーカーでその値は大きく異なっている。その一因として、停電時の非常待避のために、あえて非通電時のブレーキ力を弱めておくという設計思想を採用した装置があることも挙げられる。この設計指針では、停電時の非常待避よりも非通電時の耐震性を優先させるとの基本方針にて、保持装置のロック力を定めた。

(5) 保持装置のストッパ

今回の震災で、血管撮影室において天井走行式の保持装置が落下するという被害が一件発生した。臨床中でなかったため物的被害だけで済んだものの仮に臨床中であつたなら惨事は免れ得ず、二度と繰り返してはならない被害である。調査によると、いくつかの条件が重なった結果ではあるが、走行部ストローク端のストッパの強度が十分でなかったことが主因として挙げられている。そのため、この種の被害の再発を防止するために、ストッパの強度に関する指針を設けた。

地震の際に保持装置が揺れてストッパに当たった時に生じる衝撃力は、建物の揺れ方（振幅と周期）や保持装置の動的な特性、衝突する部分の弾性・塑性的な特性などたくさんの要素が絡むため、机上計算で求めることは難しい。そのため、保持装置の設計においては、ストッパの強度に頼るのではなく、十分な緩衝手段を設けることで発生する衝撃力を小さくすることが重要である。とはいえ、ストッパそのものの強度も当然必要であるため、定量的な基準も設けた。

(6) コンクリート強度

装置設計段階で想定する床のコンクリート強度は、軽量コンクリートを前提として定めたが、検査室の床にはラフコンクリート（シンダーコンクリートとも呼ばれる。）が用いられることが多い。しかし、ラフコンクリートは、JISで強度が定められていないため、耐震性を持たせて装置を固定する材料としては適当でない。このため、あえてラフコンクリートを前提とした指針内容とはしなかった。

とはいえ、特に既存建物に装置を据付ける場合など、ラフコンクリートに固定せざるを得ない場合も多いと考えられる。たとえラフコンクリートであっても、きちんと装置が固定されていれば、阪神淡路大震災の被害状況をみてもほぼ問題ないレベルで耐震性は得られると考えられるが、コンクリート強度についての基準値がない以上、装置固定部の強度に数値的な裏付けが取れないことを、病院側を含め関係者が納得して置くことが必要である。

(7) 免震構造

最近の技術として、建物全体を免震構造にすることや、装置設置部分を免震構造にすることが可能になってきている。これらの免震構造が取り入れられた上に装置が設置されるならば、装置自身の耐震対策は大幅に簡略化できるものと期待される。しかし、地震の揺れを免震構造で緩和することは出来ても完全になくすことはできないため、その緩和レベルが予め分からないと装置設計時にどれだけの揺れを想定したらよいか判断ができない。これらの事情から、設計指針では免震については言及していない。免震技術がもっと一般化した段階で、設計指針に盛り込むことを検討すべきと考える。

なお、免震構造を採用することは装置の耐震性について確実にメリットがあり、その効果を否定するものではない。

4.5 まとめ

阪神淡路大震災の被害状況を分析したが、従来から言われてきたことではあるが、改めて装置固定の重要性を感じた。提言した設計指針に基づいて装置固定がしっかり行われれば、阪神淡路大震災クラスの地震が再び襲ったとしても、被害を最小限に食い止めることができると確信する。

また、耐震性という言葉は定性的であり、耐震性を議論をする場合に、それぞれの考えている内容にどうしても差があったと思うが、今回提言した耐震設計指針が耐震性の議論を少しでも定量的なものにするための一助になれば幸いである。

本文でも述べたように、画像診断装置の耐震性に関しては、設計段階の取り組みだけでは十分ではなく、病院設計や装置設置の段階での取り組み、さらにはユーザの理解がないと十分な耐震性は得られない。平成9年度、10年度と続く本研究において、設計以外の要因に研究が進み、画像診断装置の耐震性がいっそう高まることを期待する。

参考文献

- (1) 兵庫県南部地震記録誌「1995年1月17日午前5時46分 M7.2」
(社) 兵庫県放射線技師会
- (2) 「放射線部門の地震対策ハンドブック」
(社) 静岡県放射線技師会会長 宮本唯男
- (3) 「災害時に強い医療機器の開発の理念研究報告」日本医療機器関係団体協議会
- (4) California Building Code 1992 edition CHAPTER 23. Part III
EARTHQUAKE DESIGN(p156~195)

医用画像診断装置の耐震設計指針

1. 目的

本設計指針は、医用画像診断装置（以下、画像診断装置あるいは単に装置と呼ぶ。）が地震によって転倒したり移動したりして直接的あるいは間接的に被検者や医療関係者に危害を与えたり、あるいは装置自身の機能喪失を招いたりすることを防ぐことを目的とする。

【補足】

地震時における画像診断装置の被害で第一に防がなければいけないことは、無防備な被検者と被検者の状態に注意を集中しなければならない医療関係者に危害が及ぶことであり、第二に防がなければならぬのが震災時の医療活動に必要な画像診断装置としての基本機能の喪失である。1995年1月17日に起きた未曾有の阪神淡路大震災の被害状況を見るに、装置の転倒と移動を防ぐことができれば、第一の目的と第二の目的の相当部分をカバーできると考える。このため、この指針では、装置の転倒・移動防止に力点を置いている。

装置の転倒と移動が防がれたとしても、装置内各部の耐震性のいかによっては機能喪失を招く可能性はあるが、装置が転倒や移動さえしていなければ、画像診断装置としての必要最小限の機能回復は比較的容易であるため、装置内各部の耐震性に関しては一般的な記載にとどめた。

2. 適用範囲

本指針は、画像診断装置を構成するユニットで質量100kg以上のものの設計に際して参照すべき耐震設計の基本条件について定め、臨床用途を妨げない範囲で適用する。ただし、磁気共鳴装置のように特殊な設置工事を必要とする装置、および個別の耐震設計基準または指針が制定されている装置は対象外とする。

【補足】

対象装置を質量100kg以上にした理由は、比較的軽量の機器については、市販のバンドで固定したり耐震シートを敷いたりすることで十分に耐震効果が期待できるためであり、それらの簡易的な対策では被害を防ぐことのできない大型装置を対象とした。100kg未満の機器についても、その機能の重要度や設置される場所などを考慮して、適切な対策を行う必要がある。

ただし、画像診断装置としての第一義の目的は臨床診断に資することであり、その目的は耐震性に優先する。

3. 用語の意味

- (1) 地震の加速度 地震の振動加速度の最大値をいう。
 (2) 設計用地震力 地震によって装置の重心に働く想定する慣性力。
 (3) 設計用震度 質量 M の物体に地震の加速度 α が加わると想定した場合に、物体の重心に働く地震力 F は、重力加速度を g として次式で示される。

$$F = M \cdot \alpha = k \cdot M \cdot g$$

このときの $k(=\alpha/g)$ を震度とよぶ。

地震の報道などで使用される震度は、気象庁が定めた加速度の大きさによる等級（震度階）であり、ここでの震度とは異なる。

- (4) 固有周期 ある弾性系に衝撃を加えたり、加えた外力を急に取り去って振動を起こさせると、あとに弾性系によって持続する自由振動が生じる。この振動の周期を固有周期と呼ぶ。
 (5) コンクリートの設計基準強度 コンクリートを打込んで4週間後の圧縮強度のことであり、コンクリートの許容強度はこの圧縮強度を基準に、せん断強度、引張強度などを表す。

4. 装置設計上の基本条件

4. 1 設計用地震力

地震の際に装置の重心に加わると想定する設計用地震力としては、水平地震力 F_H と垂直地震力 F_V を考える。

設計用水平地震力 F_H は、次式に示すように設計用水平震度 k_H に装置の質量 M と重力加速度 g を乗じた力とする。

$$F_H = k_H \cdot M \cdot g \quad (4.1)$$

設計用垂直地震力 F_V は、次式による。

$$F_V = (1/2)F_H \quad (4.2)$$

4. 2 設計用水平震度

設計用水平震度 k_H は、地域係数 Z 、装置の重要度係数 I 、建物の応答倍率を表す係数 k_1 、装置の応答倍率を表す係数 k_2 、設計用基準震度 k_0 により、次式で求める。

$$k_H = Z \cdot I \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_0 \quad (4.3)$$

- (1) 地域係数 Z は、地域による地震活動の差異を考慮する係数であるが、本指針では次のように一律の値とする。

$$Z = 1.0 \quad (4.4)$$

【補足】

地域係数 Z は、建築基準法施行令第 88 条の規定に基づく昭和 55 年建設省告示第 1793 号で最大を 1.0 として規定されているが、装置の設置される地域を設計の段階で特定することができないため本指針では最大値を採って 1.0 とした。

(2) 重要度係数 I は、次の値とする。

$$I = 1.0 \quad (4.5)$$

【補足】

重要度係数 I は、設備の機能と用途上の重要度を考慮した係数で、人命に直接影響がある場合や防災設備関係などは $I=1.0$ すなわち最重要と位置づけ、他の設備に関しては、用途に応じて $2/3$ あるいは $1/2$ を設定しているのが一般的である。

(3) 建物の応答倍率を表す係数 k_1 は、建物の上層ほど揺れが大きくなることを設計用地震力に反映させるための係数であり、本指針では次のように一律の値とする。

$$k_1 = 2.0 \quad (4.6)$$

ただし、1 階または地下階に設置されることが確実な装置は $k_1=1.0$ としてもよい。

【補足】

地震時には建物の上層部ほど応答加速度は大きく作用する。この影響を設計用地震力に反映させるために、建物の応答倍率を表す係数 k_1 は、装置設置場所の地面からの高さをパラメータとして一般に次式で表される。

$$k_1 = 1 + (A_B - 1) (h/H) \quad : \text{地上段}$$

$$k_1 = 1 \quad : \text{地表および地下階}$$

ここで、

H : 建物の地上高[m]

h : 装置などの設置される階の地上高[m]

A_B : 建物の頂部における応答倍率を表す係数で、建物の固有周期 T_B [s] の範囲によって次式で与えられる。

$$A_B = 10/3 \quad : T_B < 0.6$$

$$A_B = 10/3 - (2/3) (T_B/0.6 - 1)^2 \quad : 0.6 \leq T_B < 1.2$$

$$A_B = 3.2/T_B \quad : T_B \geq 1.2$$

なお、建物の固有振動周期 T_b は、鉄骨造り構造の割合により簡易的に算出することができる。

このように各種条件によって k_1 は決まるが、設計段階では設置される建物の構造と設置される階を特定できないため、本指針では数値を一義的に定めることとした。その上で、大型の画像診断装置の多くが1階に設置されており、2階以上に設置される場合でも比較的低い階に設置される場合が多いことを考慮して、1階と屋上の係数の中間を採って2.0とした。

また、治療用直線加速装置のように地下階や1階に設置が限定される装置もあることから、例外を設けた。

(4) 装置の応答倍率を表す係数 k_2 は、建物の揺れに対する装置に生じる応答加速度の倍率であり、装置の固有振動数 f_n により次のように定める。

$$f_n \text{ が不明な場合} \quad : k_2 = 1.5 \quad (4.7a)$$

$$f_n > 15[\text{Hz}] \text{ の場合} \quad : k_2 = 1.0 \quad (4.7b)$$

【補足】

装置の内部構造や固定部は一種の弾性系をなしており、建物に据え付けられた装置に生じる応答加速度は、装置の固有振動数や減衰定数、および建物の一次固有振動数 f_b の関係によって異なる。しかし、装置の設計段階で建物の固有振動数を特定できないため、各種文献にならって式(4.7)のように規定した。

(5) 設計用基準震度 k_0

設計用基準震度 k_0 は、設計上の基準として想定する地動の震度に相当するものであり、地動加速度を $400\text{cm/s}^2(\text{Gal})$ と想定し、次の値とする。

$$k_0 = 0.4 \quad (4.8)$$

【補足】

参考とした耐震設計の各種文献は、全て設計用基準震度を $0.3(300\text{cm/s}^2)$ としているが、これらはみな阪神淡路大震災の前に発行されたものであり、今後この値の見直しは行われるものと思われる。本指針においても従来の基準のままでは不十分と考え、従来の基準よりも強い震度を想定した値とした。

ちなみに、気象庁が定めた震度階では、地動加速度 $250\sim 400\text{cm/s}^2$ を震度VI(烈震)、 400cm/s^2 以上を震度VII(激震)としている。

5. 装置の耐震性

画像診断装置は、以下のような耐震性を有すること。

(1) 据置装置は、設計用地震力が作用しても転倒したり動いたりしないように、固定できる構造にすること。

装置には、水平地震力 F_H と垂直地震力 F_V が同時に重心に作用するものとする。

- (2) 壁際に設置する制御機器収納キャビネット（以下、制御キャビネットと呼ぶ。）に関しては、床及び壁に固定できる構造にすること。
- (3) 地震時における装置各部の破損が被検者や操作者に危害を及ぼす可能性があるならば、その部分の強度は IEC601-1 の第 28 章による。
- (4) キャスタ付きの装置は、地震の際に転倒する危険性を出来るだけ小さくするために、キャスタと重心の位置関係が次の条件を満たすこと。

$$B/H \geq 0.20 \quad : \text{移動時および非使用時} \quad (5.1a)$$

$$B/H \geq 0.10 \quad : \text{使用時} \quad (5.1b)$$

H : 重心の高さ

B : キャスタの接地点を結ぶ線と重心位置との水平距離の最小値

キャスタは、対角位置の 2 箇所をロックできることが望ましい。

また、装置の使用時および非使用時においては、対角位置の 2 箇所をロックするように推奨し、3 箇所以上のロックは行わないように、取扱説明書に記載することが望ましい。

- (5) 床式保持装置の床走行と天井式保持装置の天井走行に関しては、通電時には少なくとも質量の 6% に相当する力で動かないようなブレーキまたはロックを持つこと。また、非通電時には、少なくとも質量の 3% に相当する力で動かないように、ブレーキまたはロックを持つかあるいは所定の場所において保持装置の移動を防ぐための手段を講じること。
- (6) 床式保持装置の床走行と天井式保持装置の天井走行に関しては、保持装置に働く設計用水平地震力 F_H を受けても脱落しないストッパを走行部の端に設けること。また必要に応じて適切な緩衝手段を設けること。

【補足】

- (1) 据置装置はコンクリートの床にアンカで固定するのが一般的であるため、その計算方法について、第 6 項で詳述する。
- (2) 壁際に設置する制御キャビネットは、スペース効率の観点から水平投影面積を小さくして背を高くした形状が一般的である。したがってコンクリート床への固定だけでは、地震力に耐えられる構造にすることが困難である。一方、壁面に固定することで制御キャビネットの耐震性が飛躍的に増すのは確実であるが、壁面固定部がどれだけの強度を持つかは壁の構造によって大きく左右され、かつその値を計算で求めることは至難である。

このような現状から、壁面固定に関しては「固定できる構造にすること」だけを規定し、その強度については規定しない。ただし、石膏ボードに固定するといった方法では全く強度が無いのは自明であり、軽量鉄

骨間仕切り構造に渡した横架材にボルト固定する方法など、適切な施行を前提とする。

また、壁面への固定だけでは十分な耐震性を得られるとは言い難いため、確実な固定強度が得られる床固定も合わせて行うこととした。

- (3) 装置を構成する個々の部材の強度に関しては、IEC601-1で規定されている安全率を有する部材であれば、設計地震力として想定した力が加わったとしてもその安全性は十分に保たれると考える。
- (4) キャスタ付きの装置に関する耐震性に関しては、公的に規定されたものがないため、参考文献(6)を参考にして内容を定めた。ただし、装置の臨床目的から、使用時には移動時よりも不利な条件にならざるを得ないものもあるため、使用時と移動時の条件を別々に定めた。
- (5) 天井式保持装置と床上式保持装置に関しては、走行可能な形態になっていることから、設計用地震力が働いても動かないだけのブレーキまたはロックを持たせることは至難である。たとえば800kgの質量を持つ保持装置に1.2Gの設計用水平地震力が働くと想定すると、9,600N(約960kgf)からの抵抗力がなければ動いてしまうが、これは非現実的な要求である。このため、現実的に可能な水準を考慮し、基準を自重の6%に置くものと定めた。

また、通電時のブレーキは電磁石の吸着力によることが多いのに対して、非通電時のブレーキ力は永久磁石の吸着力によることが多く、通電時よりもブレーキ力が落ちるのが一般的である。このような事情と、非通電時には機器の近くに被検者がいる可能性は低いと、通電時と非通電時とで異なる内容とした。

- (6) 上述のように、保持装置の走行を強固にロックすることは難しいが、最悪でも保持装置が走行部から脱落して落下や転倒することだけは防がなければならないため、走行部のストッパの強度に関する項目を加えた。ただし、地震の際の保持装置の挙動には種々のファクタが関係するため、ストッパに加わる力を予め予測することは難しい。従って、装置の設計に際しては、ストッパの強度だけに依存するのではなく、保持装置の動きを押さえる適切なロック力と保持装置がストッパに当たった時の衝撃を緩和する適切な緩衝手段を合わせて考慮することが必要である。

6. アンカの設計

6.1 アンカに掛かる力の計算方法

据置装置の固定にアンカを用いる場合には、表1を参照してアンカに掛かる力の計算を行う。

6.2 アンカの許容力

据置装置の固定には、一般的に固化したコンクリートにドリルで穿孔して打ち込む「あと施工アンカ」が使われる。その中でも、アンカの先端部を押し広げることによりアンカの定着部とコンクリート孔壁を機械的に圧着させ、くさび効果によって引き抜き抵抗を生じるメカニカルアンカ（金属拡張アンカとも呼ぶ。図6.1参照。）が最も多く使われている。このメカニカルアンカの許容力は、以下のように計算を行う。

メカニカルアンカ以外のアンカを用いて装置を固定する場合には、参考文献(2)を参照して許容力の計算を行うこと。

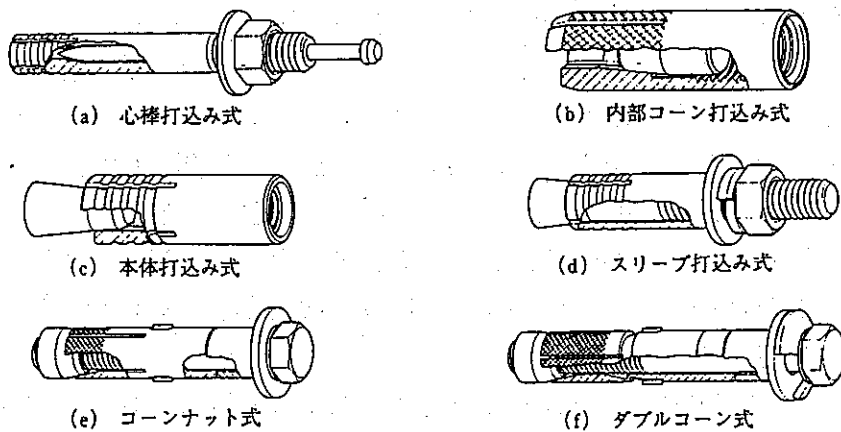


図 6.1

(1) 引張力を受ける場合

メカニカルアンカ 1 本当たりの許容引張力は、式(6.1)あるいは(6.2)で求めた値のいずれか小さい方とする。

$$P_{a1} = 2.3 \phi_1 \cdot F_c^{1/2} \cdot A_c \tag{6.1}$$

$$P_{a2} = \phi_2 \cdot s \cdot \sigma_y \cdot s_0 a \tag{6.2}$$

ここで、

- P_{a1} : 定着したコンクリート躯体のコーン状破壊（図6.2）により決まる場合のアンカ 1 本当たりの許容引張力(N)。
- P_{a2} : メカニカルアンカボルト鋼材の降伏により決まる場合のアンカボルト 1 本当たりの許容引張力(N)。
- ϕ_1 、 ϕ_2 : 低減係数で、軽量コンクリートの場合の地震力に対応する値として $\phi_1=0.54$ および $\phi_2=1.0$ とする。
- F_c : 既存コンクリートの設計基準強度(N/cm²)。6.3項参照。
- A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効水平投影面積(cm²)。図6.2参照。
- $s \cdot \sigma_y$: メカニカルアンカボルト鋼材の降伏応力(N/cm²)。

s_{ca}

:メカニカルアンカボルトの定着部またはこれに接合されるボルト鋼材の危険断面における断面積(cm^2)。ねじ切り部が危険断面になる場合には、ねじ部有効断面積をとる。

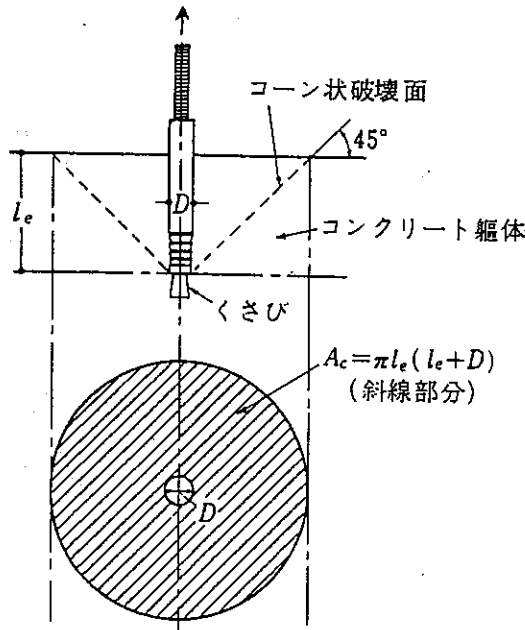


図 6.2 メカニカルアンカボルトの有効水平投影面積 A_c

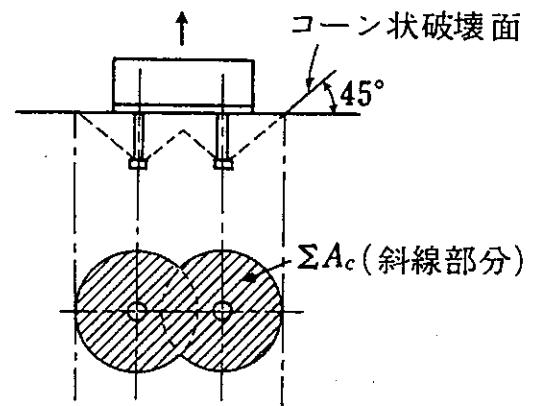


図 6.3 アンカボルトが複数の場合の有効水平投影面積 ΣA_c

(2) せん断を受ける場合

コンクリート中に定着されたメカニカルアンカボルト 1 本当りの許容せん断力は、(6.3)式により求める。

$$q_a = 0.75 \phi_{s3} \cdot \{0.5 s_{ca} \cdot (F_c \cdot E_c)^{1/2}\} \quad (6.3)$$

ここで、

- ϕ_{s3} : 低減係数で地震力に対応する値として 0.6 とする。
- s_{ca} : メカニカルアンカボルトの定着部、またはこれに接合されるボルトの既存コンクリート表面における断面積(cm^2)。
- F_c : 既存コンクリートの設計基準強度 (N/cm^2)。6.3 項参照。
- E_c : コンクリートのヤング率 (N/cm^2)。6.3 項参照。

(3) その他の条件

- a) 既存コンクリートへの埋め込み長さ l_e は、メカニカルアンカの定着部径 D の 4 倍以上とする。

- b) 複数のアンカが近接して設けられた場合には、図 6.3 のような有効水平投影面積により求める。
- c) ケーブル埋設ピットなどのへりからの距離は 4cm 以上とし、許容引張力の計算は、図 6.4 のような有効水平投影面積により求める。

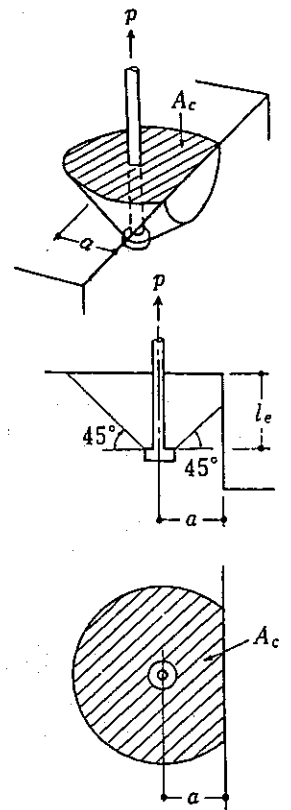


図 6.4

【補足】

6. 2項の計算式と図は、参考文献(2)から引用した。また、図 6.1 と表 1 は、それぞれ参考文献(4)と(3)からの引用である。

機械室に据え付けられるボイラーなどの設備機器では、あらかじめアンカを埋め込んだ基礎コンクリートに固定するのが普通であるが、検査室に据え付けられる画像診断装置では、特別な基礎は設けずに床や壁のコンクリートにドリルで穿孔し、あと施工アンカを打って固定するのが一般的である。あと施工アンカは、固着の方法により次のように大別される。

(1) メカニカルアンカ (または金属拡張アンカ)

母材(コンクリート)に埋め込まれた拡張部が、打撃またはナットを締め付ける力によりくさび作用で拡張し、母材に食い込み固着される。

(2) ケミカルアンカ (または接着系アンカ)

母材にあけた穴壁面に接着材が入り込み、化学的に硬化して母材と一体となりアンカが固着される。

6. 3 コンクリートの設計基準強度

装置を設置する建物のコンクリートは、軽量コンクリートを前提とし、その設計基準強度は、 $F_c = 1.76 \times 10^3 \text{ N/cm}^2$ とする。

コンクリートのヤング率は、軽量コンクリートを前提として $E_c = 1.08 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$ とする。

7. 設置条件

7. 1 ケーブル埋設ピット

ケーブルを埋設するピットを床に設ける場合には、一般に床スラブの上にラフコンクリートを増打ちしてピットを設けることが多いが、ラフコンクリートにあと施工アンカを打つことは強度上好ましくない。従って、ピットを設置するとともに質量の大きい装置をあと施工アンカで固定する場合には、必要なコンクリート強度の指示を行うこと。

7. 2 指示書への記載

装置の設置に際して必要となる情報を、適切な指示書にて設置担当者に伝えること。

- (1) 装置の質量、および重心の位置と高さ
- (2) アンカの位置
- (3) 必要なコンクリートの圧縮強度
- (4) アンカの埋め込み深さ
- (5) コンクリート表面のモルタルあるいはタイルなど、強度のない仕上げ材の許容される厚さ

8. 参考文献

- (1) 建築設備耐震設計指針・同解説 1985年 (社) 空気調和・衛生工学会
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説 1985年 (社) 日本建築学会
- (3) 建築設備耐震設計・施工指針 1984年 (財) 日本建築センター
- (4) あと施工アンカ設計と施工 1990年 岡田恒夫 他著
- (5) 「あと施工アンカ」の施工手引き
1994年 (社) 日本建築あと施工アンカ協会
- (6) 医療機器の耐震性に関する振動台実験
1986年 建設省建築研究所 水野二十一 他

表1 (その1)

床、基礎据付けの場合	
アンカーボルトに加わる引抜き力とせん断力	<p style="text-align: center;">矩形断面の場合</p> <p style="text-align: center;">図 1-1</p> <p>図 1-1において</p> <p>G : 機器重心位置 W : 機器の自重 Rb : アンカーボルト 1 本当りの引抜き力 n : アンカーボルトの総本数 m : 機器転倒を考えた場合の引張りを受ける片側のアンカーボルト総本数(図 1-1において、検討方向の片側に設けられたアンカーボルト本数) hc : 据付面より機器重心までの高さ</p> <p>さ l : 検討する方向からみたボルトスパン lg : 検討する方向からみたボルト中心から機器重心までの距離 (ただし $lg \leq l/2$) FH : 設計用水平地震力 ($F_H = K_H \cdot W$) Fv : 設計用鉛直地震力 ($F_v = \frac{1}{2} F_H$)</p>
アンカーボルトの引抜き力	$R_b = \frac{F_H \cdot hc - (W - F_v) \cdot l_g}{l \cdot n} \quad (1-1)$
アンカーボルトのせん断力	$\tau = \frac{F_H}{n \cdot A} \text{ 又は } Q = \frac{F_H}{n} \quad (1-3)$ <p>ここに、 τ : ボルトに作用するせん断応力度 Q : ボルトに作用するせん断力 FH : 設計用水平地震力 A : アンカーボルト 1 本当りの軸断面積(呼径による断面積) n : アンカーボルトの総本数</p>

表1 (その2)

床、基礎据付けの場合	
アンカーボルトに加わる引抜力とせん断力	<p>円形断面の場合</p> <p>図 1-2</p> <p>図 1-2において G, W, Fv, Fu, Rb, hcは図 1-1と同じ D:円形断面のボルトスパン</p>
	<p>アンカーボルトの引抜力</p> $R_b = \frac{4}{n \cdot D} F_H \cdot hc - \frac{W - F_v}{n} \quad (1-2)$
アンカーボルトのせん断力	$\tau = \frac{F_H}{n \cdot A} \text{ 又は } Q = \frac{F_H}{n} \quad (1-3)$ <p>ここに、τ:ボルトに作用するせん断応力度 Q:ボルトに作用するせん断力 FH:設計用水平地震力 A:アンカーボルト1本当りの軸断面積 (呼径による断面積) n:アンカーボルトの総本数</p>

表 1 (その 3)

天井面取付けの場合	
アンカーボルトに加わる引抜力とせん断力	<p style="text-align: center;">図 1-4</p> <p>図 1-4において G, W, R_b, n, m, h_c, l, l_G, F_H 及び F_v は, 図 1-1と同じ</p>
アの ン カ 引 ー ボ 抜 ル ト 力	<p>ボルト 1 本当りの引抜力 R_b は,</p> $R_b = \frac{F_H \cdot h_c + (W + F_v) \cdot (l - l_G)}{l \cdot n_i} \quad (1-7)$
アの ン カ ー ボ ル ト 断 力	<p>(1-3) 式と同じ</p>

表 1 (その 4)

壁 面 取 付 け の 場 合	
アンカーボルトに加わる引抜きとせん断力	<div style="text-align: center;"> </div> <p style="text-align: center;">図 1-3</p> <p>図 1-3において、 G, W, R_b, n, F_H 及び F_V は、 図 2.1-1 と同じ l₁ : 水平方向のボルトスパン l₂ : 鉛直方向のボルトスパン l_{1G} : ボルト中心から機器重心までの水平方向の距離 (ただし、l_{1G} ≤ l₁/2) l_{2G} : 上部側ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離</p> <p style="text-align: right;">l_{3G} : 壁面から機器重心までの距離 n₁ : 上下面に設けたアンカーボルトの片側本数(図 1-3において辺長 l₁ 側のアンカーボルト本数) n₂ : 側面に設けたアンカーボルトの片側本数(図 1-3において辺長 l₂ 側のアンカーボルト本数)</p>
アンカー引抜きボルト力	<p>上部側アンカーボルト 1 本当たりの引抜き力 R_b は、下記二つの計算式 [(1-4) 式、及び (1-5) 式] のうち大きい方の値で与えられる。</p> $R_b = \frac{F_H \cdot l_{3G}}{l_1 \cdot n_2} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_1} \quad (1-4)$ $R_b = \frac{F_H \cdot (l_2 - l_{2G})}{l_2 \cdot n_1} + \frac{(W + F_V) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_1} \quad (1-5)$
アンカーせん断ボルト力	$\tau = \frac{\sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2}}{n \cdot A} \quad \text{又は} \quad Q = \frac{\sqrt{F_H^2 + (W + F_V)^2}}{n} \quad (1-6)$ <p>ここに、τ, Q, F_H, A 及び n は、(1-3) 式と同じ W : 機器の自重 F_V : 設計用鉛直地震力</p>

