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１１年３月

社団法人　日本画像医療システム工業会

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１０年度報告書

目　次

1．はじめに

平成７年１月の神戸を中心とした阪神淡路大震災はまさに青天の霹靂であったが、元来日本列島全体が地震地帯にあるとも言える我が国では、いつどこに震災が襲ってきても不思議ではない。地震国である我が国のすべての施設は、地震に対する基準に則って建設、設置されてきたが、その基準そのものが実際的ではなかったことが実証された。地震被害にあった病院・診療所の医用放射線機器損害の実情調査が、直ちに地元の放射線科を中心にまとめられたが、さらに日本画像医療システム工業会により、画像診断機器そのものの地震に対する安全性、さらに装置の設置に関する安全措置が研究されてきた。装置メーカーによる努力も着実に進んでいるが、装置を設置する建築物そのものの耐震性の研究を行ってきた建築業界の努力も評価しなければならない。
建築物全体を免震構造にする技術もすでに実用化されている。
本研究では、過去の研究成果を踏まえ、近代医療に不可欠な画像診断機器の安全性を、設計から製造、設置に至るまでの多岐にわたり、普遍的に受け入れられるガイドラインの策定を行った。
本ガイドラインは、近い将来設定されるべき国家的なガイドラインの基礎となるものと思われる。

委員長　　平松　慶博
（東邦大学医学部第２放射線科）

２．事業の概要及び事業推進の方法

２．１　事業の目的

地震多発国であるわが国においては、建築、土木をはじめ各方面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。しかし、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の影響を考えると、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対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。

本事業は、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

本事業を進めるに当たり、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包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１０年度は、前年度および前々年度の研究に基づいて、医用放射線機器等の設計から設置するまでの各段階において耐震性の観点から参照すべき総合的な指針の策定を行う。

３．委員会の構成

（１）本委員会の委員構成

委員長	平松　慶博	東邦大学医学部放射線医学第二講座教授
	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（（社）日本放射線技術学会）
	鹿沼　成美	日本大学医学部付属板橋病院放射線部（（社）日本放射線技術学会）
	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（日本病院設備協会）
	小室　克夫	聖路加国際病院建設本部（（社）日本医療福祉建築協会）
	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）技術管理部サイトプランニングセンタ
	浅野　淳	（株）東芝那須工場第一製造部
	西村　俊平	（株）日立メディコ放射線機器事業部Ｘ線設計部
事務局	椎名　光男	（社）日本画像医療システム工業会

（２）分科会（１）の委員構成

主査	水谷　望	東芝メディカル（株）技術管理部サイトプランニングセンタ
	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）島津製作所医用機器事業部品質保証部
	園木　一誠	技研興業（株）放射線事業本部
事務局	椎名　光男	（社）日本画像医療システム工業会

（3）　分科会（2）の委員構成

主　査	浅野　淳	（株）東芝那須工場第一製造部
副主査	西村　俊平	（株）日立メディコ放射線機器事業部X線設計部
	石川　光雄	北里大学医療衛生学部医療工学科
	上遠野　昭	桧原村国民健康保険　桧原診療所
	高橋　勝	東京女子医科大学附属第２病院放射線科
	川上　充郎	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（有）
事務局	椎名　光男	（社）日本画像医療システム工業会

４．平成１０年度の研究報告

４．１　研究の概要

平成１０年度は、前々年度の研究でまとめた「医用画像診断装置の耐震設計指針」と前年度にまとめた「医用画像診断機器等の対地震設置に関する指針」を、より広く周知して適用させることを目的として、これらの指針を（社）日本画像医療システム工業会規格(JESRA)に公式制定するための規格案にまとめることを中心に活動を行なった。

規格案をまとめるに当っては、地震対策に関する世の中の最新動向を調査研究して指針の内容見直しを行なうとともに、不足していると思われる内容を追加することで、より充実した使い易い規格にすることをめざした。

４．２　耐震設計指針の見直し

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、計算あるいは試験で確認されることが必要である。しかし、これらの条件を各メーカが独自の判断基準で決めていては混乱を招くため、設計段階で想定すべき地震の条件と耐震性の判定基準を、前々年度の研究で「医用画像診断装置の耐震設計指針」としてまとめた。

具体的には、次のような内容について定めている。

(1) 地震の強さ
(2) 建物の揺れ方
(3) 装置の揺れ方
(4) 固定部に掛かる力の計算方法
(5) 後施工アンカの引抜力の計算方法
(6) コンクリートの強度
(7) 装置の耐震性基準

これらの内容について、世の中の最新動向に照らし合せて見直しを行なった。

４．２．１　世の中の動向調査

世の中の動向に関しては、関係各界を代表する委員から意見をもらうとともに、主に次の文献を参考として調査をおこなった。

・建築設備耐震設計・施工指針　1997年版（日本建築センター）
・建築設備の耐震設計 施行法　1997年版（社団法人空気調和・衛生工学会）
・官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説　平成８年版（社団法人公共建築協会）

以下、これらの文献から耐震設計指針の見直しに参考とすべき内容について、抜粋して報告する。

（１）建築設備耐震設計・施工指針　1997年版（日本建築センター）

建設省住宅局建築指導課監修の文献であり、建築内部の設備に対する耐震指針と

して最も一般的に用いられており、阪神淡路大震災の被害状況を受けて1997年に改訂されている。

(a) 適用範囲

６０m以下の建築物に設置される１００ｋｇ以上の建築設備の据付け・取付けについて、指針を定めている。

１００ｋｇ以下の機器については、確実に固定されることを求めている。

(b) 設計用地震力

局部震度法により、設計用地震力を算出している。設計用地震力を計算する条件となる設計用標準震度に関しては、建築設備機器の耐震クラスによって次のようにランク分けを行なっている。

局部震度法による建築設備の機器設計用標準震度

	建築設備機器の耐震クラス		
	耐震クラスＳ	耐震クラスＡ	耐震クラスＢ
上層階、屋上及び塔屋	２．０	１．５	１．０
中間階	１．５	１．０	０．６
地階及び１階	１．０	０．６	０．４

各耐震クラスの適用については、

・設備機器の応答倍率を考慮して耐震クラスを適用する。

・建築物あるいは設備機器等の地震時あるいは地震後の用途を考慮して耐震クラスを適用する。（例　防災拠点、あるいは重要度の高い水槽など。）

と規定している。

(c) アンカボルトの許容引抜荷重

アンカボルトの許容引抜荷重は、（社）日本内燃力発電設備協会の「自家用発電設備耐震設計ガイドライン」を引用して付表から求めるが、十分に施工管理されたアンカボルトについては、（社）日本建築あと施工アンカ協会の「あと施工アンカ技術資料」の許容荷重を用いてもよいと規定している。この技術資料の許容引抜荷重は、日本建築学会の「各種合成構造設計指針・同解説」の計算式を用いて求めることが規定されている。

(d) コンクリートの強度

アンカボルトの許容引抜荷重に密接に関係するコンクリートの強度に関しては、引用している「自家用発電設備耐震設計ガイドライン」では、設計基準強度を180 kgf/cm^{2}としている。

やむを得ずラフコンクリートに設けるアンカボルトに関しては、設計基準強度を100 kgf/cm^{2}としている。

上記「各種合成構造設計指針・同解説」においては、コンクリートの設計用基準強

度は、普通コンクリートで 180～300 kgf/cm²、軽量コンクリート１種では 180～300 kgf/cm²、軽量コンクリート２種では 210～300 kgf/cm² としている。

（２）建築設備の耐震設計 施行法　1997 年版（社団法人空気調和・衛生工学会）

空気調和設備などの設計・施工指針であり、阪神淡路大震災の被害状況調査に基づいて、1997 年に改訂されている。

(a) 適用範囲

建築物に設けられる空気調和設備、換気装置および給排水衛生設備などに適用される。

(b) 設計用地震力

設計用地震力は局部震度法により求める。計算の条件となる設計用標準震度に関しては、建築物・設備用途の重要度と耐震クラスにより、次のように値を規定している。

設計用標準水平震度（設備機器を固定する場合）

建築物・設備用途の重要度と耐震クラス	特に重要なグレード	重要なグレード	通常グレード
	耐震クラスＳ	耐震クラスＡ	耐震クラスＢ
屋上・塔屋・上層階	２．０	１．５	１．０
２階以上の中間階	１．５	１．０	０．６
地階・１階	１．０	０．６	０．４

「特に重要なグレード」の対象は、災害応急対策活動（指揮、情報伝達、救護）に必要な施設および危険物（放射性物質、病原菌、石油類、火薬類など）を貯蔵または使用する施設において、その機能を確保するために必要な設備としている。

「重要なグレード」の対象は、電算センタ、病院など社会的に重要な施設においてその機能を確保するために重要な設備としている。

「通常グレード」は、上記以外の設備としている。

(c) 免震建築物

免震建築物においては、動的設計法によって設計用水平震度を求めることを規定している。ただし、設計用垂直震度に関しては、非免震建築物の鉛直震度を用いることを規定している。

(d) アンカボルトの許容引抜荷重

付表から、許容引抜荷重を求める。

(d) コンクリートの強度

コンクリートの設計基準強度は、1760 N/cm² としている。

ラフコンクリートに関しては、980 N/cm² としている。

（３）官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説　平成８年版（社団法人公共建築協会）
建設大臣官房官庁営繕部監修の基準であり、国家機関の建築物に必要とされる耐震性能の確保を目的として制定されている。

(a) 適用範囲
官庁施設に適用される。

(b) 設計用地震力
局部震度法により設計用地震力を求める。計算の条件となる設計用標準震度に関しては、施設および設備機器の重要度によって次のように規定している。

局部震度法による建築設備の機器の設計用標準水平震度

設置場所	耐震安全性の分類			
	特定の施設		一般の施設	
	重要機器	一般機器	重要機器	一般機器
上層階、屋上及び塔屋	２．０	１．５	１．５	１．０
中間階	１．５	１．０	１．０	０．６
１階及び地下階	１．０	０．６	０．６	０．４

「特定の施設」とは、「災害応急対策活動に必要な施設」、「避難所として位置づけられた施設」、「人命及び物品の安全性確保が特に必要な施設」を示す。

(c) 免震構造及び制振構造の建築物
免震構造及び制振構造建築物の建築設備の機器は、構造体の地震応答に対して、十分安全なものと規定しており、建築物の動的な地震応答解析等から床応答加速度を算出し、設計用標準水平震度を求める。

(d) アンカボルトの許容引抜荷重
（社）日本内燃力発電設備協会の「自家用発電設備耐震設計ガイドライン」を引用して、付表から求める。

(d) コンクリートの強度
アンカボルトの許容引抜荷重に密接に関係するコンクリート強度に関しては、引用している「自家用発電設備耐震設計ガイドライン」では、設計基準強度を 180 kgf/cm^2 としている。
やむを得ずラフコンクリートに設けるアンカボルトに関しては、設計基準強度を 100 kgf/cm^2 としている。

４．２．２　見直し内容
上記した文献の動向を参考にして、以下のように「医用画像診断装置の耐震設計指針」の見直しを行なった。

（1）局部震度法の採用

前々年度の研究でまとめた「医用画像診断装置の耐震設計指針」では、設計の前提とする条件が細分化されている修正震度法を採用していたが、参考とした文献ではいずれも設計用地震力を簡便に求めることのできる局部震度法が採用されており、本指針でも局部震度法を採用することに変更した。

（2）耐震クラスの設定

調査した文献では、いずれも施設および設備の重要度に応じて耐震クラスを分けて設計用標準震度を設定している。本指針でも、同様な考え方を取り入れて、施設の性格に応じてランク分けできるように変更を行なった。

具体的には、災害応急対策活動の拠点となる病院とそれ以外の病院とで耐震クラスを分けることにしたが、ユーザの指定があればそれが優先することを規定した。ただし、指定されたクラスの震度に耐えるためには、装置側の対応だけでは十分ではなく、床のコンクリート強度や厚さなど建物の構造にも大きく左右されることに留意する必要がある。

（3）免震建築物における設計用地震力

最近の建築物では、免震構造を採用するケースが増えている。このような建築物に装置を設置する場合には、非免震建築物に設置する場合の厳しい固定条件を適用する必要はないため、調査した文献を参考に免震建築物における設計用地震力を新たに規定した。

ただし免震建築物の地震時の挙動については、採用している免震構造や建物の構造によって一件一件異なるため、設置する建築物の動的な地震応答解析等から床応答加速度を算出し、設計用標準水平震度を求めることが必要である。すなわち、設置する建築物が予め決まっている場合にしか適用できないことに留意する必要がある。

また一般的に、免震構造では水平方向の振動は吸収できるが垂直方向の揺れは吸収できないものが多いため、垂直方向の設計用地震力については、非免震建築物に関するものと同じ規定とした。

（4）キャスタ付き装置の耐震性

移動型装置に関する耐震性に関しては、振動台実験の報告書を参考に定めたが、移動型装置の安定性に関して広く取り入れられているIEC60601-1の内容と若干差があった。わずかに差のある規格がいくつもできることは好ましくなく、検討を行なった結果、IEC60601-1に規定されている安定性が確保されていれば地震時の安定性についても一定レベルにあると判断できるため、IEC60601-1の規定内容に合わせた見直しを行なった。

（5）設置計画書への記載内容

設置計画書への記載内容については、実際に設置計画する立場の人から出てきた要望を取り入れて、記載内容を増やす見直しを行なった。

４．２．３　耐震設計指針

（社）日本画像医療システム工業会規格(JESRA)に公式制定するための規格案として上記のように見直しを行なった「医用画像診断装置の耐震設計指針」を、巻末に記載する。

４．３　対地震設置に関する指針の見直し

装置が耐震設計指針に準拠したものであっても、装置を設置する段階で正しい知識に基づいて適切な手順が取られないと、十分な耐震性は得られない。外見上はアンカボルトでしっかりと固定されているように見えても、建物の構造が適切でなかったり固定部のコンクリート強度が不足している場合、あるいは施工が正しく行われていないような場合には、地震の揺れを受けたときに固定部が耐えられなくなるおそれがある。

このように画像診断装置の耐震性に関しては、設置段階が非常に重要なポイントになるため、この段階で必要な知識と手順を、前年度の研究で「医用画像診断機器等の対地震設置に関する指針」としてまとめた。具体的には、次のような内容について定めている。

(1) 装置設置の手順
(2) 建物の代表的な構造と装置設置上の注意
(3) 装置の固定方法と固定部に掛かる力の計算
(4) 地震力の計算とアンカボルトの選定

これらの内容について、４．２．１項にまとめた世の中の動向調査結果を参考に一部修正を行なうとともに、実際に使用するに当って不足していると思われる内容を補充することで、より充実した使い易い規格となるように見直しを行なった。

４．３．１　見直し内容

見直しを行なった内容は、次の通りである。

（１）適用範囲

前年度にまとめた「医用画像診断機器等の対地震設置に関する指針」では全ての医用機器を対象としていたが、床上に設置される機器については１００ｋｇ以上の機器を対象とし、床上１５０ｃｍ以上の壁面や天井に設置される機器については、落下による被害が大きいことから、質量によらず全ての機器を対象とした。

（２）設計用標準震度の修正

４．２．１（１）項で報告したように「建築設備耐震設計・施工指針」（日本建築センター）が改訂されたことに合わせて、新しい設計用標準震度の値を採用した。最近多くなってきた免震構造の病院にも対応できるように、免震構造の建築物に対する設計用標準震度の値も追加した。

また、災害応急活動の拠点となる病院とそれ以外の病院で耐震クラスを分け、それぞれに設計用標準震度の値を定めた。

（3）あと施工アンカボルトの記述内容修正

アンカボルトの許容力の計算値は、正しく施工されることが前提条件であることから、アンカボルト施工時の細かな作業手順を追加した。

また、一般的に医用機器の固定に用いられるサイズのアンカボルトに対して、簡易な式で許容力を算出できるように修正するとともに、接着系のアンカボルトの許容力算出の計算式を追加した。

（4）軽量コンクリートなどの説明と特性追加

機器の固定に用いられるアンカボルトの許容力は、ボルトを打込む壁や床の材料（母材）の強度や特性により左右されるため、材料の種類毎に特性の解説を加えた。

（5）ケーブルピットの注意事項追加

ケーブルピットが壁際に設けられている場合、その上にキャビネット類を設置せざるを得ない。しかし、ケーブルピットがあるとキャビネット類を床にアンカボルトで固定することが難しくなるため、耐震性の観点からは避けなければならず、建築設計時点でケーブルピットのルートを配慮するよう注意事項を追加した。

4．3．2　対地震設置に関する指針

（社）日本画像医療システム工業会規格（JESRA）に公式制定する規格案として上記のように見直しを行なった「医用画像診断機器等の対地震設置に関する指針」を、巻末に記載する。

5．おわりに

今回の研究を通して、地震時の被害を最小限に止めるには、装置の固定がいかに重要であるか改めて認識させられた。しかし、単に装置を固定すれば済む問題ではなく、耐震性を考慮して設計された装置を、十分な固定強度が得られる構造の建物に適切に設置しなければならない。装置の設計から病院建物の設計、装置の設置、装置の使用に到る全ての関係者の認識と取組みがそろってはじめて阪神淡路大震災クラスの地震に対する備えが確保されることを改めて強調しておきたい。

また、耐震性という言葉は定性的であり、耐震性の議論では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、本研究の成果が、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となれば幸いである。

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。

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。

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と想定する慣性力。

（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）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。

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

設計用垂直地震力 F_V は、次式による。

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

設計用水平震度 k_H は、装置が設置される建物が非免震建築物か免震建築物かにより、４．２項か４．３項により求める。

設計用垂直地震力 F_V は、装置が免震建築物に設置される場合でも非免震建築物として求める。ただし、設計用垂直地震力が免震建築物の構造設計者から得られる場合には、その値を用いる。

４．２　設計用水平震度

設計用水平震度 k_H は、地域係数 Z、設計用標準水平震度 k_S により、次式で求める。

$$k_H = Z \cdot k_S \qquad (4.3)$$

（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。

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

（２）設計用標準水平震度 k_S は、施設の重要度に応じて表４．１の値とする。一般に、災害応急活動の拠点となる病院に関しては耐震クラスＳを適用し、それ以外に関しては耐震クラスＡを適用してもよい。また、１階または地下階に設置されることが確実な装置では、（　）内の値を適用してもよい。

表４．１　設計用標準水平震度

施設の耐震クラス	耐震クラスＳ	耐震クラスＡ
設計用標準水平震度 k_S	１．５（１．０）	１．０（０．６）

４．３　免震建築物における設計用水平震度

免震建築物に装置を設置する場合の設計用水平震度 k_H は、次式で求めた値 k_H' により、表４．２で求める。

$$k_H' = (G_f/g) \cdot K_2 \cdot Z \cdot Ds \cdot I \qquad (4.5)$$

ここで、

- G_f　：各階の想定床応答加速度(m/s)であり、免震建築物の構造設計者から得た値を用いる。
- g　：重力加速度（9.8 m/s²）
- k_2　：機器の応答倍率（堅固に据付けられることを前提として、1.5 とする）
- Z　：地域係数（1.0 とする）
- Ds　：構造特性係数（設備機器の値として、2/3 とする）
- I　：建築物と装置の重要度係数（2 とする）

表４．２　設計用標準水平震度

設計用標準水平震度 k_H	算出値（k_H'）
0.6	0.63 以下
1.0	0.63 を超え 1.10 以下
1.5	1.10 を超え 1.65 以下
2.0	1.65 を超えるもの

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、（２）項に該当するものを除き、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 IEC60601-1 の第 28 章による。

（４）キャスタ付きの装置は、移動時および非使用時には１０°、使用時には５°の傾斜で転倒しない安定性を有すること。

キャスタのタイヤ回転は、対角位置の２個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個所をロックするように推奨し、３個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）床上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）床上保持装置の床上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。

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。

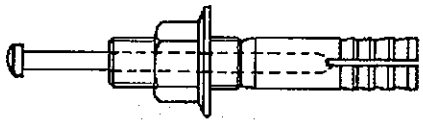
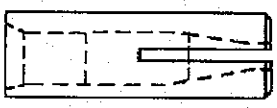
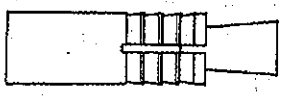
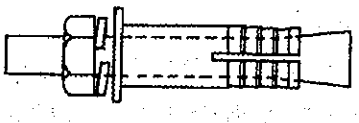
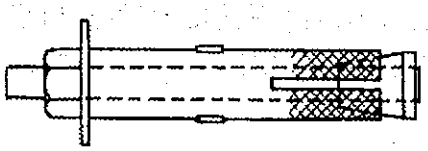
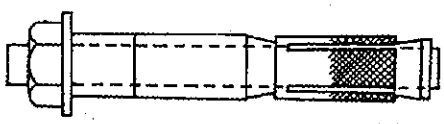
６．２　アンカの許容力

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力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　代表的なメカニカルアンカ

芯棒打込み式		芯棒を打ち込むと拡張部が開く。
内部コーン打込み式		内部コーンを打ち込むと拡張部が開く。
本体打込み式		本体を打ち込むと拡張部が開く。
スリーブ打込み式		スリーブを打ち込むと拡張部が開く。
テーパーボルト式		ナットを締めると拡張部が開く。
コーンナット式		同上
ダブルナット式		同上

（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。

$$p_{a1} = 2.3\phi_1 \cdot F_C^{1/2} \cdot A_C \qquad (6.1)$$

$$p_{a2} = \phi_2 \cdot {}_s\sigma_y \cdot {}_{sc}a \qquad (6.2)$$

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ϕ_1=0.54およびϕ_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。

${}_s\sigma_y$　：メカニカルアンカボルト鋼材の降伏応力(N/cm²)。

${}_{sc}a$　：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(cm²)。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。

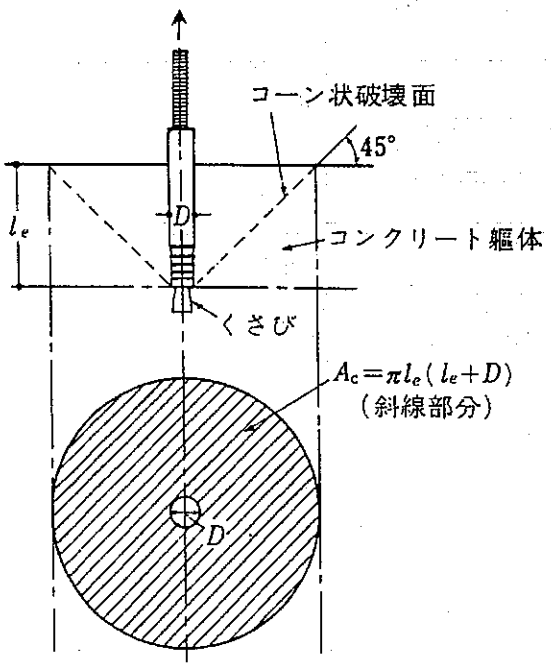


図6.2　メカニカルアンカボルトの有効水平投影面積A_C

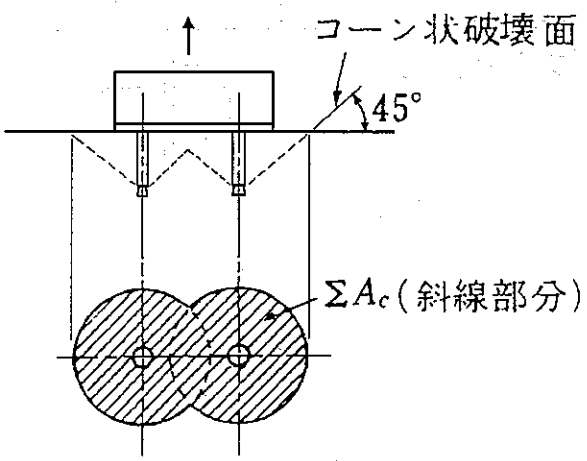


図6.3　アンカボルトが複数の場合の有効水平投影面積ΣA_C

（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。

$$q_a = 0.75\phi_{s3} \cdot \{0.5_{sc}a \cdot (Fc \cdot Ec)^{1/2}\} \qquad (6.3)$$

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。

${}_{sc}a$　：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有効断面積 (cm²)。

Fc　：既存コンクリートの設計基準強度 (N/cm²)。6.3 項参照。

Ec　：コンクリートのヤング率 (N/cm²)。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 le 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。

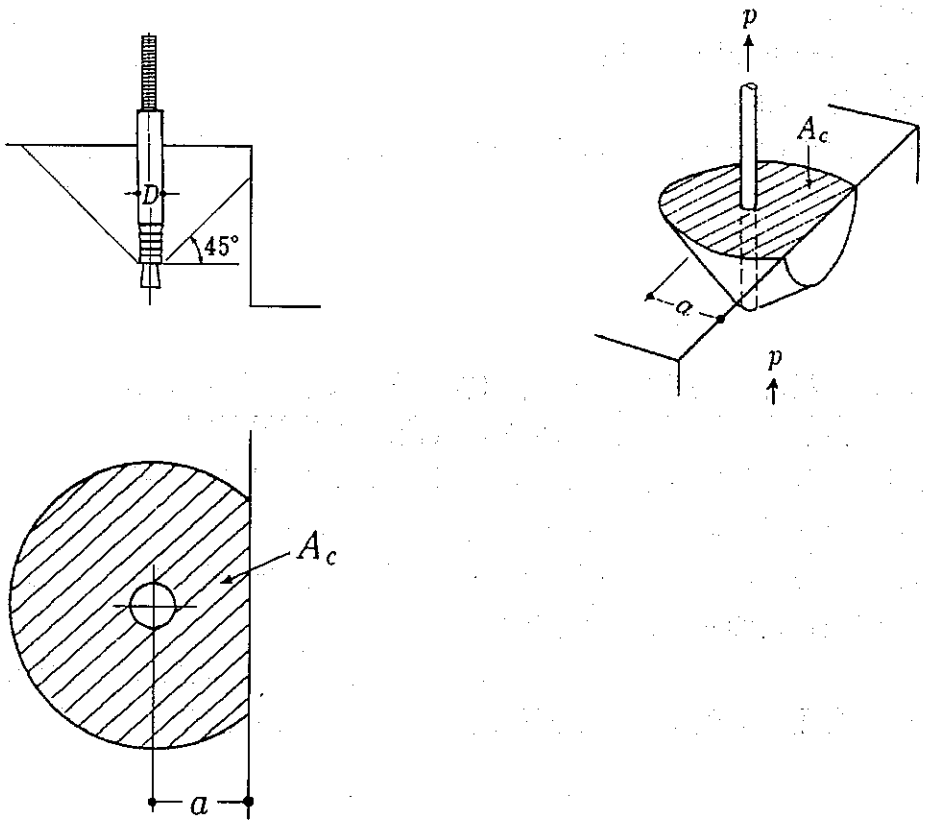


図 6.4

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=1.76×10^3 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Ec=1.08×10^6 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）建築設備の耐震設計 施工法　1997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　1997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
（7）官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説　1996年（社）公共建築協会

表１（その１）

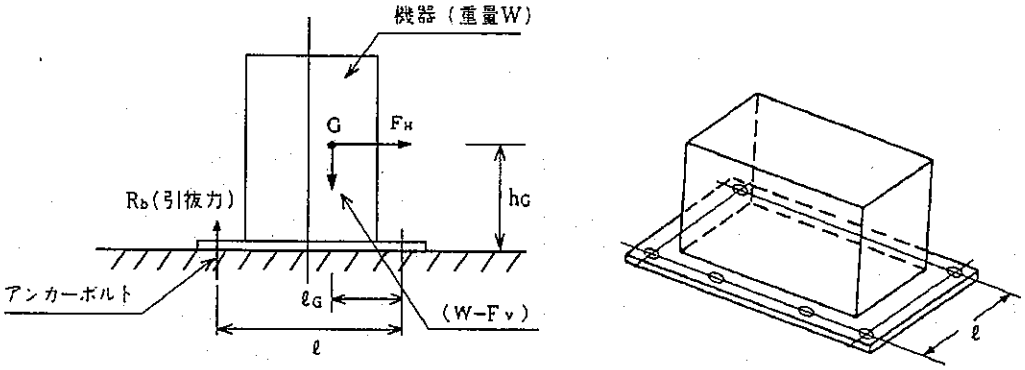
	床、基礎据付けの場合
アンカボルトに加わる引抜力とせん断力	矩形断面の場合  図 1-1 図 1-1 において G　:機器重心位置 W　:機器の重量 R_b :アンカボルト１本当りの引抜力 n　:アンカボルトの総本数 n_t :機器転倒を考えた場合の引張りを受ける片側のアンカボルト総本数 （図 1-1 において、検討方向の片側に設けられたアンカボルト本数） h_G :据付面より機器重心までの高さ l　:検討する方向からみたボルトスパン l_G :検討する方向からみたボルト中心から機器重心までの距離 （ただし $l_G \leqq \frac{1}{2} l$） F_H:設計用水平地震力（$F_H = K_H \cdot W$） F_v :設計用鉛直地震力（$F_V = \frac{1}{2} F_H$）
アンカボルトの引抜力	$R_b = \dfrac{F_H \cdot h_G - (W - F_v) \cdot l_G}{l \cdot n_t}$　(1-1)
アンカボルトのせん断力	$\tau = \dfrac{F_H}{n \cdot A}$　又は　$Q = \dfrac{F_H}{n}$　(1-3) 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 F_H :設計用水平地震力 A　:アンカボルト１本当りの軸断面積（呼径による断面積） n　:アンカボルトの総本数

表１（その２）

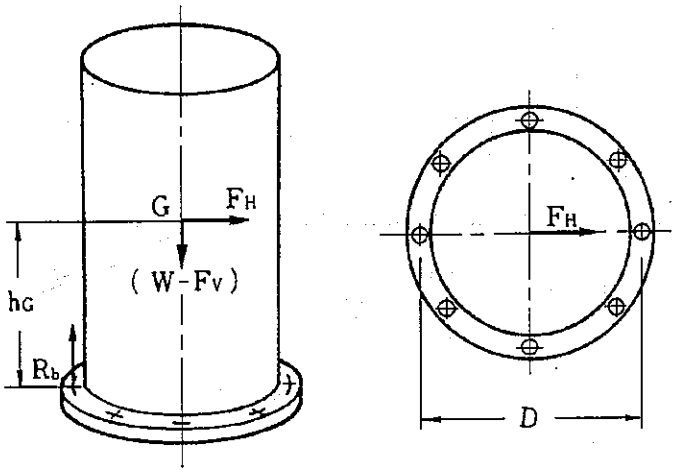
	床、基礎据付けの場合
アンカボルトに加わる引抜力とせん断力	円形断面の場合  図 1-2 図 1-2 において G、W、F_H、F_v、R_b、h_G は図 1-1 と同じ D　:円形断面のボルトスパン
アンカボルトの引抜力	$R_b = \dfrac{4}{n \cdot D} F_H \cdot h_G - \dfrac{W - F_v}{n}$　(1-2)
アンカボルトのせん断力	$\tau = \dfrac{F_H}{n \cdot A}$　又は　$Q = \dfrac{F_H}{n}$　(1-3) ここに、 τ　:ボルトに作用するせん断応力度 Q　:ボルトに作用するせん断力 F_H　: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

表1（その3）

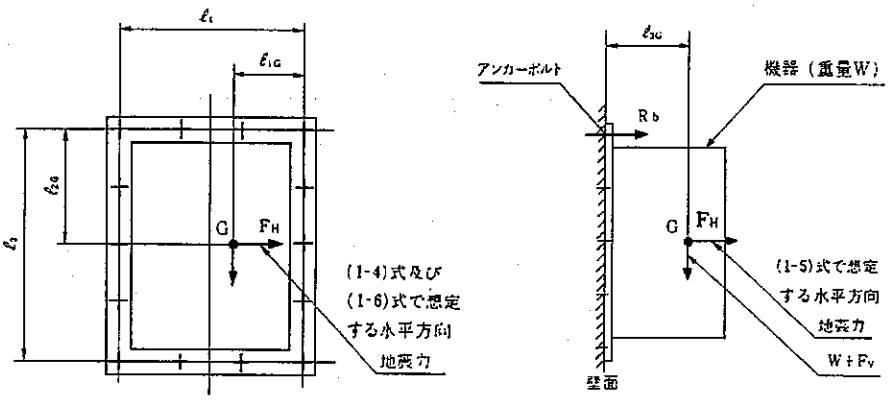
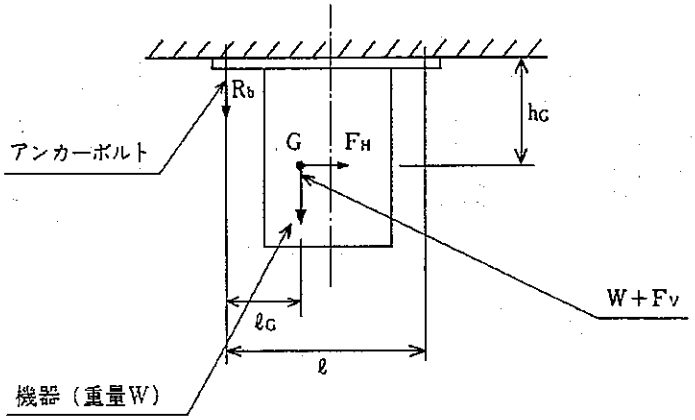
	壁面取付けの場合
アンカボルトに加わる引抜力とせん断力	 図 1-3 図 1-3 において G、W、R_b、n、F_H、及びF_vは、図 1-1 と同じ l_1 :水平方向のボルトスパン l_2 :垂直方向のボルトスパン l_{1G} :ボルトの中心から機器重心までの水平方向の距離 （ただし、 $l_{1G} \leqq l_1/2$） l_{2G} :上部側ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離 l_{3G} :壁面から機器重心までの距離 n_{t1} :上下面に設けたアンカボルトの片側本数（図 1-3 において辺長 l_1側のアンカボルト本数） n_{t2} :側面に設けたアンカボルトの片側本数（図 1-3 において辺長 l_2側のアンカボルト本数）
アンカボルトの引抜力	上部側アンカボルト1本当りの引抜力 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。 $R_b = \dfrac{F_H \cdot l_{3G}}{l_1 \cdot n_{t2}} + \dfrac{(W+F_v) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}}$ (1-4) $R_b = \dfrac{F_H \cdot (l_2 - l_{2G})}{l_2 \cdot n_{t1}} + \dfrac{(W+F_v) \cdot l_{3G}}{l_2 \cdot n_{t1}}$ (1-5)
アンカボルトのせん断力	$\tau = \dfrac{\sqrt{F_H^2+(W+F_v)^2}}{n \cdot A}$ 又は $Q = \dfrac{\sqrt{F_H^2+(W+F_v)^2}}{n}$ (1-6) ここに、τ、Q、F_H、A 及び n は、(1-3)式と同じ W :機器の重量 F_V :設計用鉛直地震力

表１（その４）

	床、基礎据付けの場合
アンカボルトに加わる引抜力とせん断力	 図 1-4 図 1-4 において G、W、R_b、n、n_t、h_G、l、l_G、F_H及びF_vは、図 1-1 と同じ
アンカボルトの引抜力	ボルト１本当りの引抜力 R_b は、 $R_b = \dfrac{F_H \cdot h_G + (W+F_v) \cdot (l - l_G)}{l \cdot n_t}$ (1-7)
アンカボルトのせん断力	(1-3) 式と同じ

医用画像診断装置の耐震設計指針解説

1．目　　的

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ない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ん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

対象装置を質量 100kg 以上にした理由は、比較的軽量な機器については、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。

4．装置設計上の基本条件

4．2　設計用水平震度

（1）地域係数 Z

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）設計用標準水平震度 k_s

設計用標準水平震度は、施設と機器の重要度に応じた耐震クラスと機器が据付けられる階によって決まる。

耐震クラスに関しては、災害応急対策活動の拠点となる病院とそれ以外の病院とで分

けた適用としたが、ユーザの指定があればそれが優先する。ただし、指定されたクラスの震度に耐えるためには、装置側の対応だけでは十分ではなく、床のコンクリート強度や厚さなど建物の構造にも大きく左右されることに留意する必要がある。

機器が据付けられる階に関しては設計段階では特定できないため、「中層階」に据付けられることを前提とした値とした。ただし、治療用直線加速装置のように地下階や 1 階に設置されることが確実な装置もあることから、例外を設けた。

(4.3)式は局部震度法による計算式であり、地震による地面の揺れの加速度（地動加速度)は設定されていないが、表 4.1 の設計用標準水平震度は地動加速度 400cm/ s^2 (Gal)を前提とした値である。ちなみに、気象庁が定めた震度階では、地動加速度 250～400cm/s^2 を震度 6、400cm/s^2 以上を震度 7 としている。

4．3　免震建築物における設計用水平震度

最近の建築物では、免震構造を採用するケースが増えている。このような建築物に装置を設置する場合には、非免震建築物に設置する場合の厳しい固定条件を適用する必要はないため、文献を参考に免震建築物における設計用地震力を新たに規定した。

ただし免震建築物の地震時の挙動については、採用している免震構造や建物の構造によって一件一件異なるため、設置する建築物の動的な地震応答解析等から床応答加速度を算出し、設計用標準水平震度を求めることが必要である。すなわち、設置する建築物が予め決まっている場合にしか適用できないことに留意する必要がある。

また一般的に、免震構造では水平方向の振動は吸収できるが垂直方向の揺れは吸収できないものが多いため、垂直方向の設計用地震力については、原則として非免震建築物に関するものと同じ規定とした。

5．装置の耐震性

（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にした。

（3）装置を構成する個々の部材の強度に関しては、IEC60601-1 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はないが、参考文献(6)を参考にして、IEC60601-1 に規定されている安定性を満たすことで一定レベルの耐震性が得られると判断した。

（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 1.5G の設計用水平地震力が働くと想定すると、12,000N(約 1,200 kgf)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ため、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に、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

6．2　アンカの許容力

（2）せん断を受ける場合

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。

医用画像診断機器等の対地震設置に関する指針

1．目　　的

本指針は医用放射線機器をはじめとした医用画像診断機器等（以下「機器」と呼ぶ）を設置する際に、参照すべき耐震設置の基本条件を定め、地震による機器の移動・転倒・落下により直接あるいは間接的に被験者や医療関係者に被害を与えたり、機器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している。

2．適用範囲

本指針は、病院に設置される１００ｋｇ以上の床上に設置される機器及び床上１５０ｃｍ以上の壁に取付ける機器と天井に吊り下げる機器については、機器の落下の危険性があることから機器の質量にかかわず適用する。
診療所に設置される機器についても本指針に準ずる。
ただし、耐震設置が診療に支障を及ぼす恐れがある場合については診療従事者もしくは管理者と協議し、別途対策を講ずる。

3．機器の固定設置の手順

機器を設置する際には、原則として次の手順にて進める。

（１）機器を設置する建物の地域、階数より、機器が受ける地震力を決める。
（２）機器配置計画を確認する。
（３）機器の固定方法について据付マニュアルを確認する。
（４）固定する床や壁及び天井の構造、材質を確認する。
（５）アンカーボルトにかかる力を計算する。
（６）機器付属のアンカーボルトで良いかを検討して不可だと判断したらアンカーボルトを変更する。
（７）固定仕様になっていない機器の固定方法を検討して固定用具を選択する。
（８）床・壁の補強工事が必要な場合には、使用者、建築担当者と打合わせて、工事仕様を決める。
（９）使用者に固定方法とその耐震性について確認を受ける。
（１０）設置作業を行う。
（１１）必要に応じて、耐震計算書や写真の記録を保管する。

4．床・壁・天井の種類と固定方法

機器の耐震固定とは、地震の加速度によって受ける外力に対して、機器が建築物の主要構造部（柱，梁，スラブ）と一体になることによって転倒や移動を防ぐことである。　機器と主要構造部を結合する接点となるアンカーボルトは、母材（アンカーボルトを埋め込む建築材）に固着され、さらに母材自身が主要構造部でない場合には母材が主要構造部と確実に固定されて、初めてその耐力が得られる。すなわち、機器を固定するには、予想されるアンカーボルトにかかる力に適した母材の存在が必須条件である。建築計画・施工においては、部屋の構造が機器固定できる強度をもった構造・材料とすること。また、強度が不足する場合には補強材などを設けなければならない。

機器の設置時点においては、床・壁・天井の構造と材料が母材として特性をそなえているか判断した上で適切に固定を行わなければならない。
以下に、床・壁・天井の代表的な構造を取り上げ、その特徴と装置を設置する上での注意事項を示す。

４．１ 床

放射線施設の床には、通常次の４種類がある。

１．鉄筋コンクリートの床（スラブ）１（ 図 4.1 ）

一般的なコンクリートの床で、あと施工アンカーボルトの耐力も十分期待できるが、穴あけ深さは、仕上げモルタル厚さとアンカーボルト埋込み深さを加算したものでなければならない。

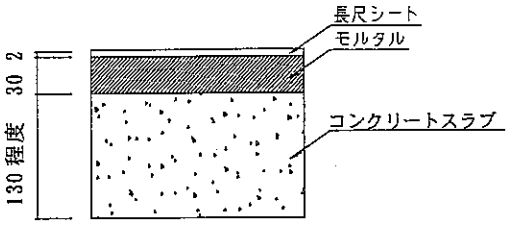


図 4.1

２．コンクリートの床２ （ 図 4.2 ）

ケーブルピットが設けられるＸ線室の床構造。コンクリートスラブの上にケーブルピットの枠を設置してから増打ちコンクリートで床をかさあげする構造である。機器固定に使用されるあと施工アンカーボルトはこの増打ちコンクリートに埋込むことになるが、このコンクリートはＪＩＳで コンクリート強度が定められていない種類が用いられていたこともあった。

そのような、コンクリートで施工されていると考えられる場合は、質量が大きい機器の固定には接着系アンカーボルトを使用し、さらに耐力検査器で試験することが望ましい。

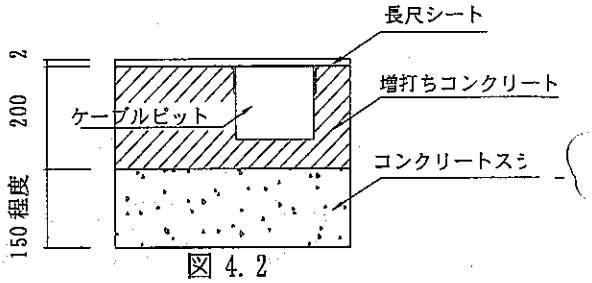


図 4. 2

３．デッキプレートの床（ 図 4.3 ）

厚さ 1.2mmの波形鉄板の上にコンクリートを打設する工法で、鉄骨構造のテナントビルに多く見られ、ビル診療所のＸ線室はこの工法が多い。

使用されるコンクリートは軽量コンクリートもあり、また厚さが７５mmしかないのであと施工アンカーボルトの埋込み深さの制限を受けてＭ１２が限界となる。アンカーボルトの耐力が得られない場合はボルトを床貫通させ、床の下端に設けた金物と機器で床を挟み込んで固定する工法となる。

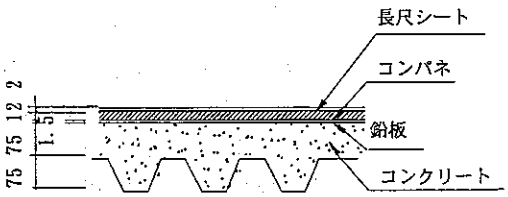


図 4. 3

4．フリーアクセスフロア（ 図4.4 ）

ＯＡフロアとも呼ばれ床下で自由な配線ができるので、操作廊下やコンピュータ機械室に採用されるようになってきたが、床パネルは取り外しができる構造なので、機器固定を困難にしているだけでなく床パネルが震災でずれ落ちた例が多く報告されている。

また機器固定には、床コンクリート面とパネルの間に鉄骨の箱を設置し、その箱を介して床コンクリートと機器をボルトで固定するなどの、非常に手間がかかる固定法になってしまう。さらにＸ線ＣＴ装置などのように、質量が大きい機器や振動する機器の設置床面部分には、フリーアクセスフロアではなく必ずコンクリートにすることが注意すべき点としてあげられる。

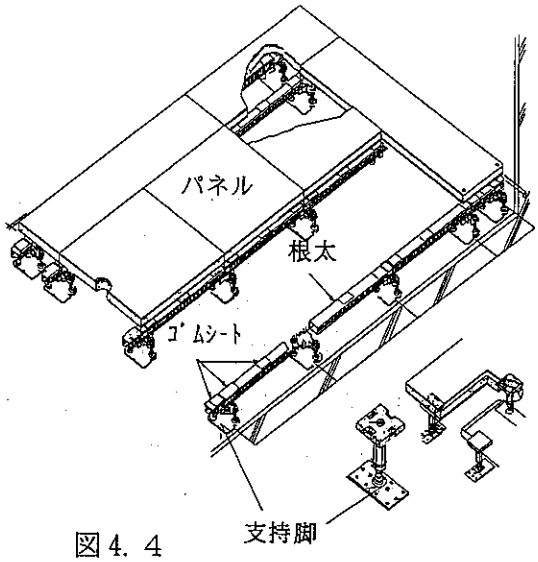


図4．4

フリーアクセスフロアは機器固定のために、次のような仕様でなければならない。

a．耐震性・耐荷重性能があること。

b．床コンクリートからの床高さを１００mm程度として、アンカーボルトで直接コンクリートに固定ができること。（図4.5）

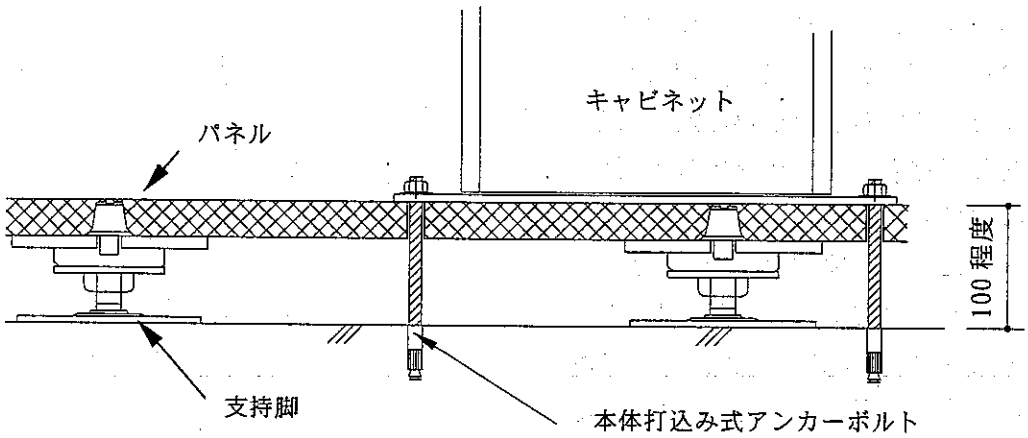


図4．5

図4．５のアンカーボルトの施工方法

①パネルと床コンクリートに、パネルの上から穴をあける。

- パネルの材質に適したドリルを選択する。
- 支持脚などを避ける。

②金属拡張アンカーボルトの本体打ち込み式の本体を穴に挿入して、専用の打ち込み棒で打ち込む。

③適切な長さのボルトを本体にしっかりねじ込む。

④ナットの締付力はパネルの強度を考慮する。

4．2 壁

放射線施設の壁には次の種類がある。

1．コンクリート壁 （ 図4．6 ）

一般的なコンクリートの壁でX線室では厚さがおよそ150mmで施工されているところが多い。

あと施工アンカーボルトの耐力も十分期待できるが、穴あけ深さは、仕上げモルタル厚さとアンカーボルト埋込み深さを加算したものでなければならない。

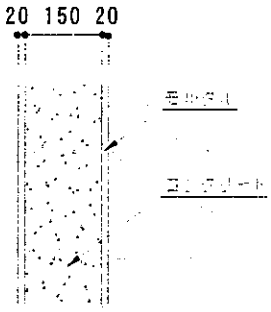


図4．6

2．軽量鉄骨間仕切壁 （ 図4．7 ）

床スラブから天井スラブの間に軽量鉄骨の間柱（スタッド）を立て、その両側に石膏ボードを貼りつけたものである。

X線室にも石膏ボードに鉛板を貼りつけて施工され、最近の施設ではコンクリートの壁より多い。

この壁は、コンクリートに比べて壁自体の強度が小さく、どの程度の強度が確保できているかの確認は困難なため補助的な固定方法と考えなければならない。機器の取付方法は、次の２種類あるが、スタッドにかかる地震力を考慮した仕様（スタッドの部材やその間隔など）で、設計施工されなければ、地震に対する固定の安全性を確認することはできない。

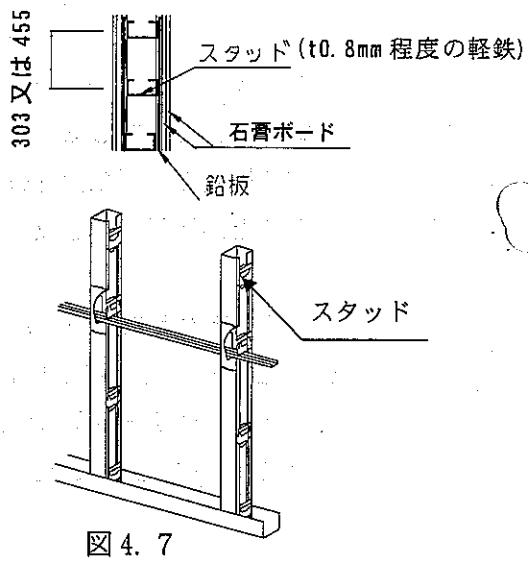


図4．7

a．２本以上のスタッドに固定した合板（２０mm程度）に機器を取付ける。（図４．８）

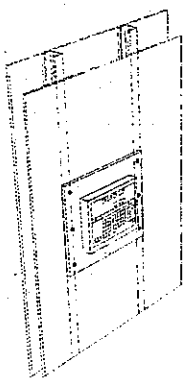


図4．8

b．２本以上のスタッドに横架材を取付けてキャビネットを床と壁の固定する。この場合は、地震時だけ壁に荷重がかかる。（図４．９）

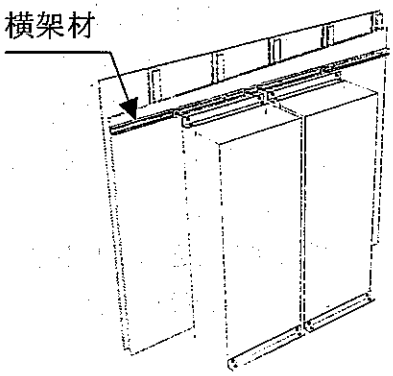


図4．9

3．ジーエル工法（GL:Gypsum Ling）（図4．１０）

これは直貼（じかばり）工法ともいわれ、コンクリートの壁に石膏ボードを貼りつけたものであり、コンクリート面とボードの間に 25mm程度の隙間がある。この場合は,石膏ボードを切り欠いてアンカーボルトを打ち込む必要がある。

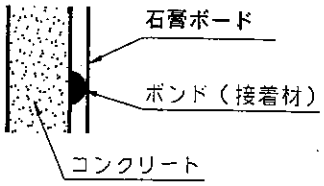


図4．１０

4．スチール（アルミ）パーティション（図4.１１）

X線室には、一般に使用されるパーティションで鉛板をサンドイッチした構造が用いられる。

耐震固定には不適。軽量機器を壁にとりつけるのもあらかじめ建築工事で補強板を壁表面に取りつけておかなければならない。

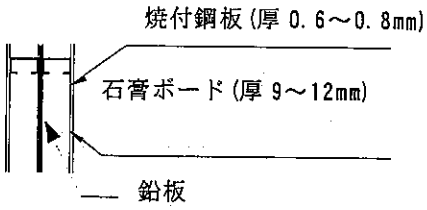


図4．１１

4．3　天井（図4.１２）

天井内に軽量鉄骨を組み、その下に仕上げのボードを貼り付けた構造がほとんどである。

この軽量鉄骨は、ボードを支持する強度しかもっておらず、機器の固定用には利用できない。

天井吊の機器を取り付けるには、天井内に鉄骨材を組んで、機器取付ボルトを下げておく工事（図4．１３）が必要である。この鉄骨材は、機器の地震力によって大きな力を受けるので、耐震強度計算により十分な強度であることを確認して、慎重に施工しなければならない。

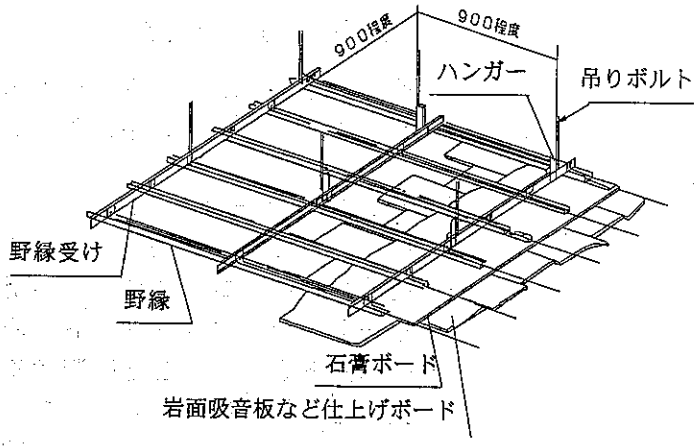


図 4．１２

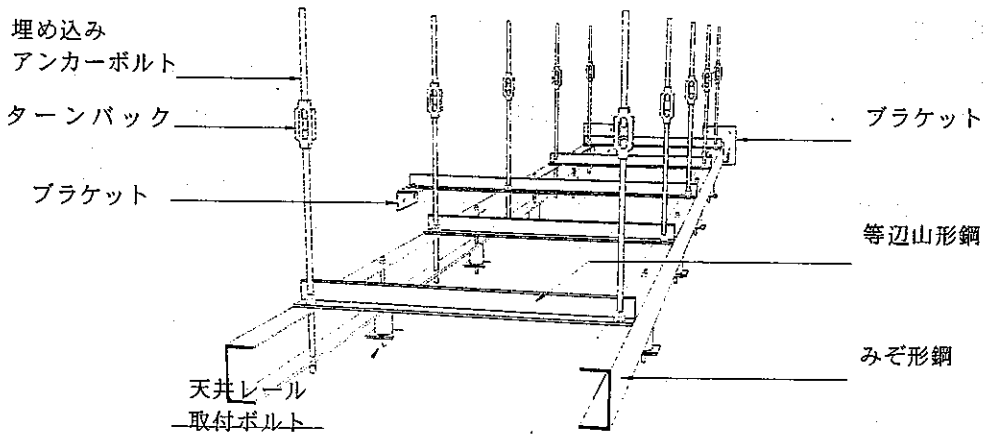


図4．１３　天井鉄骨補強工事の例

４．４　母材

１．鉄筋コンクリート

構造用コンクリートとして用いられコンクリート圧縮強度、比重などが管理されている。軽量コンクリートは、デッキプレート床やＸ線室のケーブルピット築造のために増打ち用に使われることがある。
あと施工アンカーボルトは、このコンクリートを母材として埋込まれることにより許容力が計算される。

表 4.1

コンクリートの種類		使用する骨材		設計用基準強度Ｆｃの範囲	ヤング係数（×１０^{6}Ｎ／cm^{2}）
		粗骨材	細骨材		
普通コンクリート		砂利または砕石	砂または砕石	１７６４Ｎ～２９４０Ｎ	１．６
軽量コンクリート	１種	人工軽量骨材	同上		１．０８
	２種	同上	人工軽量骨材またはこれに砂または砂利を加えたもの		

・コンクリートの設計基準強度は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。

・ヤング係数は、コンクリートの気乾単位容積重量と圧縮強度により求められるが、コンクリートの各種類の最少値を採用した。

２．増打ちコンクリート

床のケーブルピット築造のために増打ちされるコンクリートで、構造用としての強度を期待しないコンクリートが用いられることもある。これらは、シリンダーコンクリート、ラフコンクリート、雑コンクリートとも呼ばれ、原則として機器用アンカーボルトを設けることは避ける。やむを得ず、設ける場合にはコンクリートの圧縮強度を９８０Ｎ／cm^{2}として、あと施工アンカーボルトの許容引張力を計算する。
（表　１１．１～　１１．６の　許容引張力の７０％程度）
あと施工アンカーボルトの許容引張力が不足するので、埋込み深さの大きいアンカーボルト（接着系など）を使用する。

３．モルタル

セメントに水と砂を加えて混練したもので、セメントモルタルともいう。コンクリートの床（スラブ）や壁の表面仕上げに用いられ２０～３０mmの厚さに塗られる。
モルタルは強度がないので、あと施工アンカーボルトの穴あけは、必要な埋込み深さにモルタルの厚さを加算した深さをあけなければならない。

4．石膏ボード

軽量鉄骨間仕切や天井材に広く使用される。サイズが９１０×１８２０mm厚さ９，１２mmのものが一般に用いられ１枚又は重ね合わせて軽量鉄骨のスタッド（間柱）にビス止めされる。

数ｋｇ程度の軽量機器を直接石膏ボードに固定するには中空ボード用アンカーが用いられるが石膏ボードはアンカーの引張力、せん断力で破壊されやすい。耐震固定用アンカーボルトとしては中空ボード用アンカーは使用できない。（図４．１４）

5．合板（通称ベニア板ともいう）

薄板（単板）を３枚以上の奇数枚を、１枚ごと繊維方向を直角に重ね貼り合わせたものを合板といい、この単板をベニアと呼ぶ。

軽量鉄骨間仕切のＸ線防護のための鉛板を合板に圧着したものが使用されることもある。サイズは９１０×１８２０mm厚さ５．５mmや１２mm（コンパネといわれる）が使われる。

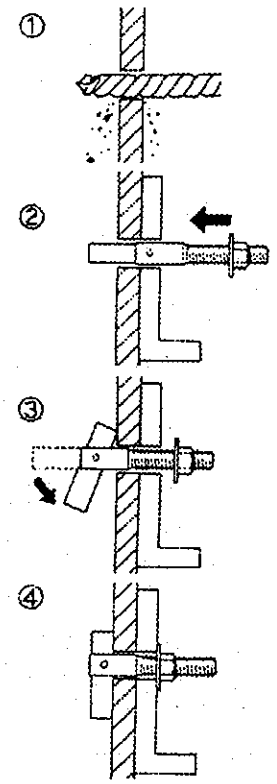


図４．１４

5．機器設置の方法

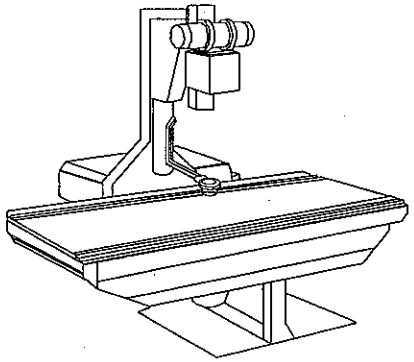
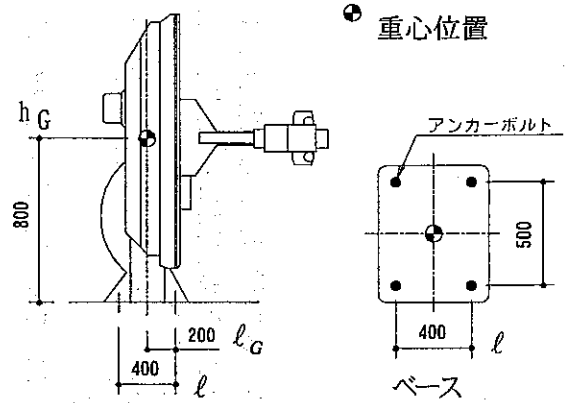
医用画像診断機器には、床据置形、天井吊り下げ形や、壁取付形、さらに移動して使用するキャスター付などのさまざまな形態がある。ここでは、その種類ごとに固定方法、計算方法、阪神大震災被害状況、使用上の留意事項についてまとめた。

尚、耐震計算例の設計水平震度（KH）の値は、医用画像診断機器が１階や地階に設置されることが多いので、仮定として0.6として計算した。

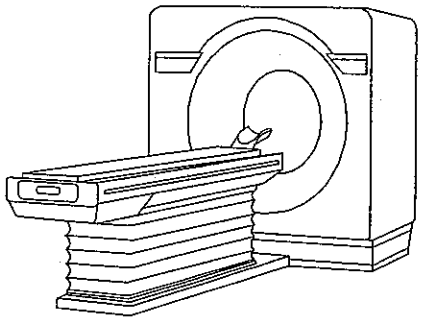
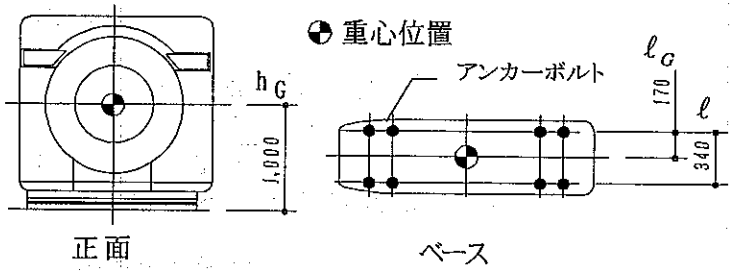
また、天井から吊り下げる機器は、１階の室に設置されていても２階の床下に取付られているので、設計用水平震度（KH）の値を1.0として計算した。

また、被験者の寝台の質量は、被験者の体重を１３５ｋｇとして加算している。

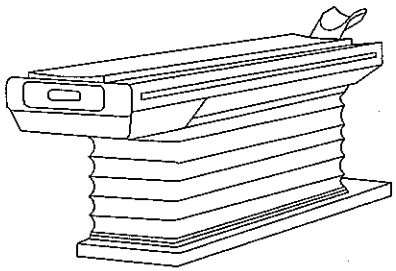
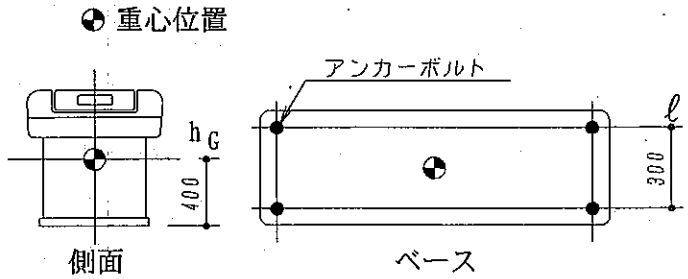
5．1　X線テレビ装置－床固定

姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
	 設計用水平震度(KH)=0.6 質量(M)=800+135=935kg　（患者を135kgとする。） 水平地震力(FH)=KH·M·g=0.6×935×9.8=5497.8N 鉛直地震力(FV)=(1/2)FH=2748.9N アンカーボルトの種類：M12 金属拡張アンカーボルト 床コンクリートの圧縮強度：1.76×10³ N/cm² アンカーボルト1本当りの引張力 $Rb=\frac{F_H\cdot h_G-(M\cdot g-F_V)\ell_G}{\ell\cdot nt}$ $=\frac{5497.8\times800-(935\times9.8-2748.9)\times200}{400\times2}$ $=3894.3N\langle4220N(M12)$ アンカーボルト1本当りのせん断力 $Q=\frac{F_H}{n}=\frac{5497.8}{4}$ $=1374.5N\langle9290N(M12)$ 組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2=\left(\frac{3894.3}{4220}\right)^2+\left(\frac{1374.5}{9290}\right)^2=0.88\leq1$	・機器は、固定仕様になっているにも関わらず、アンカーボルトで固定されていないものがあった。 ・アンカーボルトに、プラグアンカー（注）を使用していたものは、ボルトの引抜きが多くみられた。 （注）プラグアンカー ボルトを締めると下穴内のくさびが鉛の外筒の中に引込まれて、ふくらみ圧着するタイプ。 最近では、大型機器固定としては用いられなくなっている。	・アンカーボルトの打設位置をケーブルピット端より15cm程度は離すこと。 ・床のモルタル厚さ（3cm程度）を、考慮した埋込み長さのアンカーボルトを使うこと。 **使用上の留意事項** ・診療終了後には、寝台を水平位にして重心位置を下げておく。

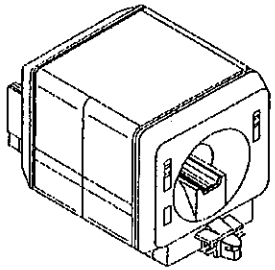
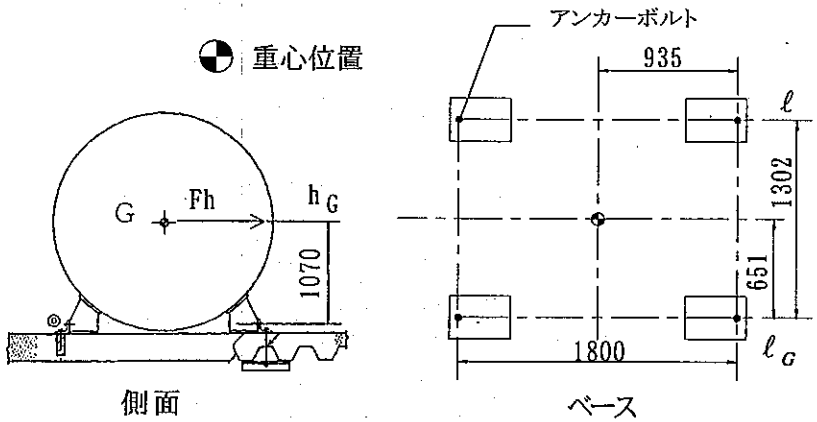
5．2　X線ＣＴ装置－床固定

姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
	 設計用水平震度(KH)=0.6 質量(M)=900kg 水平地震力(FH)=KH·M·g=0.6×900×9.8=5292N 鉛直地震力(FV)=(1/2)FH=2646N アンカーボルトの種類：Ｍ１２　金属拡張アンカーボルト 床コンクリートの圧縮強度：1.76×10^3 N/cm^2 アンカーボルト１本当りの引張力 $Rb=\dfrac{F_H\cdot h_G-(M\cdot g-F_V)\ell_G}{\ell\cdot nt}$ $=\dfrac{5292\times1000-(900\times9.8-2646)\times170}{340\times4}$ $=3119.4N\langle4220N(M12)$ アンカーボルト１本当りのせん断力 $Q=\dfrac{F_H}{n}=\dfrac{5292}{8}$ $=661.5N\langle9290N(M12)$ 組み合せ力 $\left(\dfrac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\dfrac{Q}{qa}\right)^2=\left(\dfrac{3119.4}{4220}\right)^2+\left(\dfrac{661.5}{9290}\right)^2=0.56\leq1$	位置ずれをおこした所もあるが、いずれも点検後は使用している。	・アンカーボルトの打設位置をケーブルピット端より15cm程度は離すこと。 ・床のモルタル厚さ（3cm程度）を、考慮した埋込み長さのアンカーボルトを使うこと。 **使用上の留意事項** 特になし

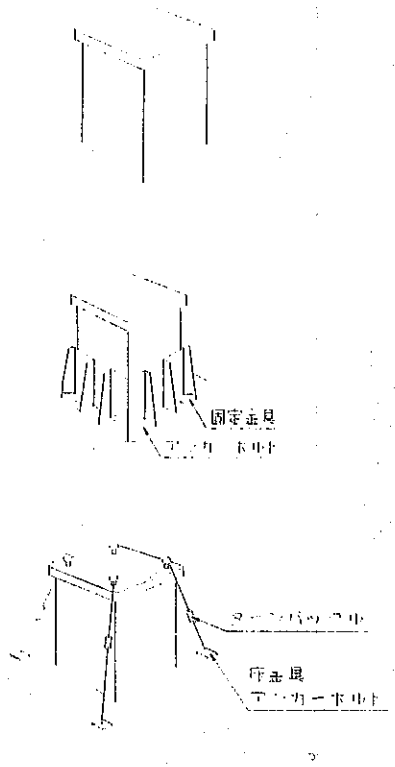
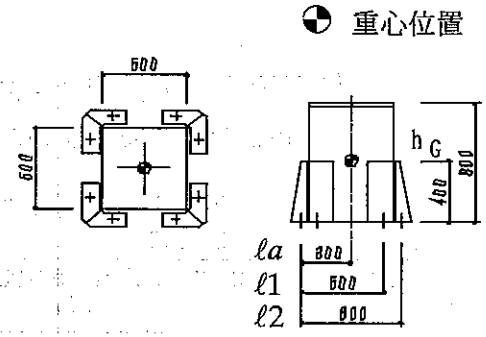
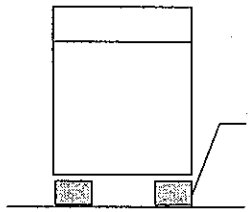
5．3　撮影用寝台ー床固定

姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
	 設計用水平震度(KH)=0.6 質量(M)=400+135=530kg　　(患者を135kgとする。) 水平地震力(FH)=KH·M·g=0.6×530×9.8=3116.4N 鉛直地震力(FV)=(1/2)FH=1558.2N アンカーボルトの種類：M１２ 金属拡張アンカーボルト 床コンクリートの圧縮強度：17.6×10^3 N/cm^2 アンカーボルト１本当りの引張力 $Rb=\frac{F_H\cdot h_G-(M\cdot g-F_V)\ell_G}{\ell\cdot nt}$ $=\frac{3116.4\times400-(530\times9.8-1558.2)\times150}{300\times2}$ $=1168.7N\langle4220N(M12)$ アンカーボルト１本当りのせん断力 $Q=\frac{F_H}{n}=\frac{3116.4}{4}$ $=779.1N\langle9290N(M12)$ 組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2=\left(\frac{1168.7}{4220}\right)^2+\left(\frac{779.1}{9290}\right)^2=0.09\leq1$	位置ずれをおこした所もあるが、いずれも点検後は使用している。	**使用上の留意事項** 特になし

5．4　MRI装置 マグネット－床固定

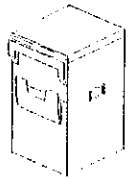
姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
	 設計用水平震度(KH)：0.6 質量(M)：9000kg 水平地震力(FH)：KH·M·g=0.6×9000×9.8=52920N 鉛直地震力(FV)：(1/2)FH=52920/2=26460N アンカーボルトの種類：M１６ 接着系アンカーボルト 床コンクリートの圧縮強度：1.76×10^3 N/cm^2 アンカーボルトの１本当たりの引張力 $Rb=\frac{F_H\cdot h_G-(M\cdot g-Fv)\ell_G}{\ell\cdot nt}$ $=\frac{52920\times1070-(9000\times9.8-26460)\times651}{1302\times2}$ $=6310.2N\langle23410N(M16)$ アンカーボルトの１本当たりのせん断力 $Q=\frac{F_H}{n}=\frac{52920}{4}=13230N\langle17300N(M16)$ 組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2=\left(\frac{6310.2}{23410}\right)^2+\left(\frac{13230}{17300}\right)^2=0.66\leq1$	ほとんどの機器が固定する仕様でなく数十 cm の移動が見られた。 クエンチング現象は見られなかった。	床の電波シールド材(鋼　など)をアンカーボルトが貫通する場合は，十分にシールド処理をして電波が入らないように仕上げなくてはならない。 **使用上の留意事項** 強い振動によりクエンチング現象をおこす可能性がある。 クエンチングによるヘリウムガスは、専用排気管により屋外へ放出される設備になっているが、排気管の被害により室内にガスが充満して、酸欠状態になる可能性があるので、震災後の入室には注意が必要。

5．5 高電圧発生装置－床固定

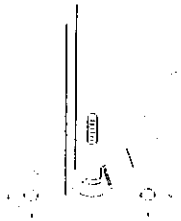
姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災状況	施工の注意事項
	 設計用水平震度 (KH) =0.6 質量 (M) =300kg 水平地震力 (FH) =KH·M·g=0.6×300×9.8 =1764N 鉛直地震力 (FV) = (1/2) FH =882N アンカーボルトの種類：M１２ 金属拡張アンカーボルト 床コンクリートの圧縮強度：1.76×10^3 N/cm^2 アンカーボルト１本当りの引張力 $Rb = \frac{F_H \cdot h_G - (M \cdot g - F_V) \cdot \ell_a}{\ell_1 \cdot nt_1 + \ell_2 \cdot nt_2}$ $= \frac{1764 \times 400 - (300 \times 9.8 - 882) \times 300}{(500 \times 2) + (600 \times 2)}$ $= 40.1N < 4220N \quad (M12)$ アンカーボルト１本当りのせん断力 $Q = \frac{F_H}{n} = \frac{1764}{4}$ $= 441N < 9290N \quad (M12)$ 組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2 + \left(\frac{Q}{qa}\right)^2 = \left(\frac{40.1}{4220}\right)^2 + \left(\frac{441}{9290}\right)^2 = 0.01 \leq 1$	・固定できる仕様になっているものが少なく、移動したものが多く見られた。 ・枕木の上に機器を設置していたものは、少しの移動で転倒した。 	・アンカーボルトの打設位置をケーブルピット端より15cm程度は離すこと。 ・床のモルタル厚さ（3cm程度）を、考慮した埋込み長さのアンカーボルトを使うこと。 ・機器の外装鉄板の内容には油が入っているため、外装鉄板にボルト用の穴をあけることはできない。 **使用上の留意事項** 特になし

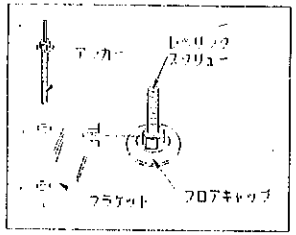
5．6 自動現像機－床固定

姿　図

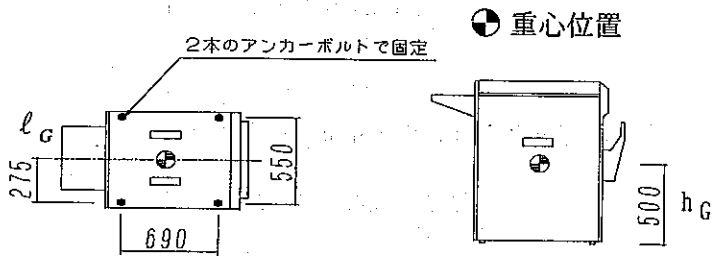


固定金具





固定方法と計算例



平面　　側面

設計用水平震度 (KH) =0.6
質量 (M) =170kg
水平地震力 (FH) =KH·M·g=0.6×170×9.8 =999.6N
鉛直地震力 (FV) = (1/2) FH =499.8N
アンカーボルトの種類 = M１２ 金属拡張アンカーボルト
床コンクリートの圧縮強度：1.76×10^3 N/cm^2
アンカーボルト１本当りの引張力

$$Rb = \frac{F_H \cdot h_G - (M \cdot g - F_V)\ell_G}{\ell \cdot nt}$$

$$= \frac{999.6 \times 500 - (170 \times 9.8 - 499.8) \times 275}{550 \times 4}$$

$$= 81.4N < 4220N \qquad (M12)$$

アンカーボルト１本当りのせん断力

$$Q = \frac{F_H}{n} = \frac{999.6}{4}$$

$$= 249.9 < 9290N \qquad (M12)$$

ボルトの本数を nt としたのは、ブラケットが差し込み式のため。

組み合せ力

$$\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2 + \left(\frac{Q}{qa}\right)^2 = \left(\frac{81.4}{4220}\right)^2 + \left(\frac{249.9}{9290}\right)^2 = 0.01 \leq 1$$

阪神大震災状況

・ほとんど固定されていなかったので、１割程度の台数が転倒・移動したり液の混入が見られた。

・架台の上に置かれる小型タイプは、重心が高く転倒しやすかった。

・水道管の接続は、ホース類を使用しているため、配管被害は少なかった。

・水道の復旧に長期間かかり移動できなかった。

施工の注意事項

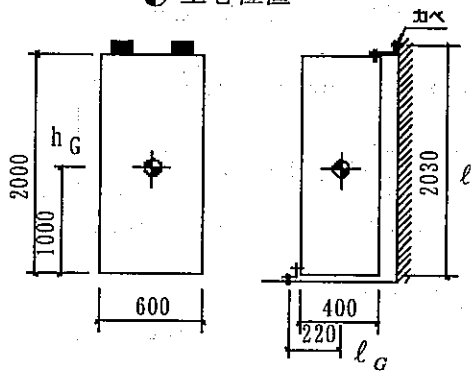
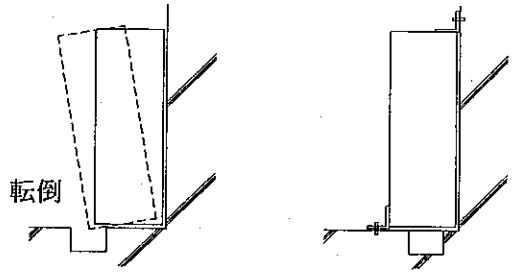
使用上の留意事項

・バット現像法を習得しておくことが必要。

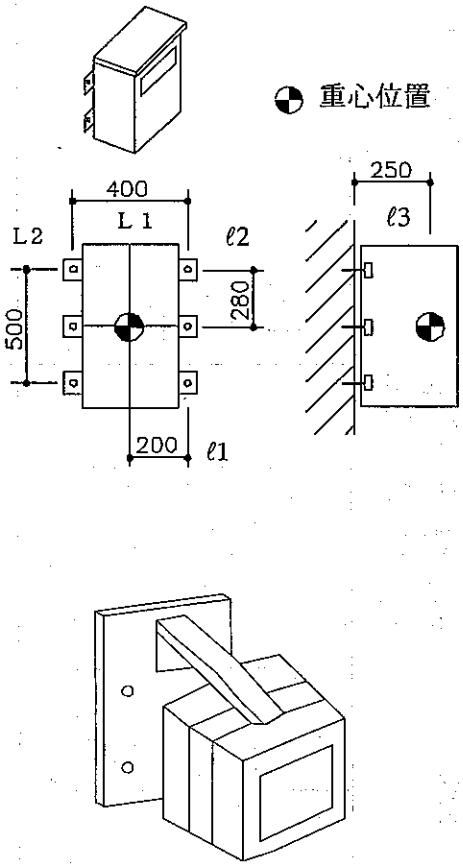
5．7 コントローラ

	姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
1．床固定	Ⓐ Ⓑ L形金具	重心位置 h_G 635 251 側面 100 ℓ_G 419 アンカーボルト 251 ℓ ベース 設計用水平震度(KH)=0.6 質量(M)=157kg 水平地震力(FH)=KH·M·g=0.6×157×9.8=923.2N 鉛直地震力(FV)=(1/2)FH=461.6N アンカーボルトの種類＝M12 金属拡張アンカーボルト 床コンクリートの圧縮強度：1.76×10^3 N/cm^2 アンカーボルト1本当りの引張力 $Rb=\dfrac{F_H\cdot h_G-(M\cdot g-F_V)\ell_G}{\ell\cdot nt}$ $=\dfrac{923.2\times635-(157\times9.8-461.6)\times100}{251\times2}$ $=953.3N\langle4220N(M12)$ アンカーボルト1本当りのせん断力 $Q=\dfrac{F_H}{n}=\dfrac{923.2}{4}$ $=230.8N\langle9290N(M12)$ 組み合せ力 $\left(\dfrac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\dfrac{Q}{qa}\right)^2=\left(\dfrac{953.5}{4220}\right)^2+\left(\dfrac{230.8}{9290}\right)^2=0.06\leq1$	ほとんどの機器が未対策のため移動が多数見られ、ケーブルが引張られケーブルコネクターの破損が見られた。	モニターは、ベルトなどで本体に固定する。 **使用上の留意事項** 特になし

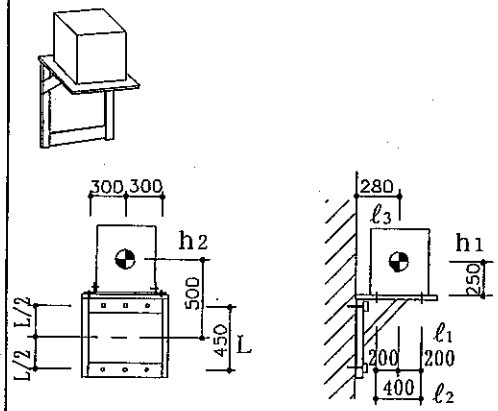
5．8 キャビネット

	姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
1．床固定	下部をＬ形固定金具で固定　固定架台の上に固定	◔ 重心位置  設計用水平震度(KH)=0.6 質量(M)=250kg 水平地震力(FH)=KH·M·g=0.6×250×9.8=1470N 鉛直地震力(FV)=(1/2)FH=735N アンカーボルトの種類＝Ｍ１２　金属拡張アンカーボルト 床コンクリートの圧縮強度：1.76×10^3 N/cm² 壁のアンカーボルト１本当りの引張力 $Rb=\frac{F_H\cdot h_G-(M\cdot g-F_V)\ell_G}{\ell\cdot Mt}$ $=\frac{1470\times1000-(250\times9.8-735)\times220}{2030\times2}$ $=269.2N\langle4220N(M12)$ 床のアンカーボルト１本当りのせん断力 $Q=\frac{F_H}{n}=\frac{1470}{2}$ $=735N\langle9290N(M12)$ 組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2=\left(\frac{269.2}{4220}\right)^2+\left(\frac{735}{9290}\right)^2=0.02\leq1$	・ほとんどの機器が未対策。よって、転倒が多数見られ被害が大きく、転倒により他の機器を破損しているものであった。 ・キャビネット上部に乗せた機器は、震度５で、ほとんど落下している。	 床のアンカーボルトはケーブルピットの端部より15cm程度 離さなければならない。 1-Ａキャビネットのキャスター式を採用する理由はメンテナンス時間短縮により、固定すべきである。やむを得ない場合は、４つのキャスターのうち対角の２つをロックして(他の２つはフリーにして)おくと、転倒・移動しにくくなる。 3-Ａは、キャビネット底面が手前にすべり出すので好ましくない。ベルトで下部を固定すべき。 3-Ｂ壁方向へのキャビネットの移動を防ぐために、そのすき間に部材をはさんでおくことが必要。 ・キャビネットにボルト穴を現地であけるときは、切粉が内側に入らないよう注意して作業しなければならない。
2．床･壁固定	Ⓐ Ⓑ			
3．壁固定	Ⓐ Ⓑ		使用上の留意事項 ・キャビネットの上部に小さな機器を乗せるときは、互いをベルト等で固定する。	
4．同じ形状のもの／連続設置されるものの固定	床・壁への固定は1,2,3を参照のこと			

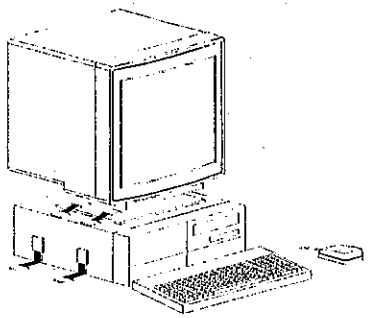
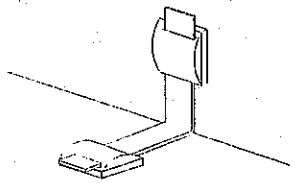
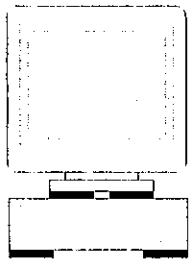
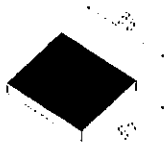
5．9 壁付機器 A

	姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
A. 機器を直接壁に固定		設計用水平震度(KH)=0.6 質量(M)=30kg 水平地震力(FH)=KH・M・g=0.6×30×9.8=176.4N 鉛直地震力(Fv)=(1/2)FH=88.2N アンカーボルトの種類: M10 金属拡張アンカーボルト 壁コンクリートの圧縮強度：1.76×10³ N/cm² 壁のアンカーボルト1本当りの引張力 2式のうち大きい値をとる。 nt₁:上下面のアンカーボルトの片側の本数 nt₂:側面のアンカーボルトの片側の本数 $Rb_1=\frac{F_H\cdot\ell_3}{L_1\cdot nt_2}+\frac{(M\cdot g+F_V)\cdot\ell_3}{L_2\cdot nt_1}$ $=\frac{176.4\times250}{400\times3}+\frac{(30\times9.8+88.2)\times250}{500\times2}$ $=132.0N$ $Rb_2=\frac{F_H\cdot(L_2-\ell_2)}{L_2\cdot nt_1}+\frac{(M\cdot g+F_V)\cdot\ell_3}{L_2\cdot nt_1}$ $=\frac{176.4\times(500-280)}{500\times2}+\frac{(30\times9.8+88.2)\times250}{500\times2}$ $=134.0N$ $Rb_2\langle Rb_1=132.0N\langle 134.0N(M10)$ 壁のアンカーボルト1本当りのせん断力 $Q=\frac{\sqrt{F_H{}^2+(M\cdot g+F_V)^2}}{n}$ $=\frac{\sqrt{176.4^2+(30.0\times9.8+88.2)^2}}{6}$ $=70.2N\langle 6390N(M10)$ 組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2=\left(\frac{132}{3280}\right)^2+\left(\frac{70.2}{6390}\right)^2=0.002\leq1$	特になし	・軽量鉄骨間仕切の石膏ボード用のボードアンカーもあるが許容引張力はボルトの種類によるが、約50N以下であり、又ボードの厚さに合ったものを選択する。 機器の質量としては、5Kg程度が限界。 ・木板の補強材を複数の軽量鉄骨（スタット）に渡して、取付けると強度は増すが、機器質量は10Kg程度が限界。 **使用上の留意事項** モニターの向きを変えられる機構のものは、十分に、ロックしておく。

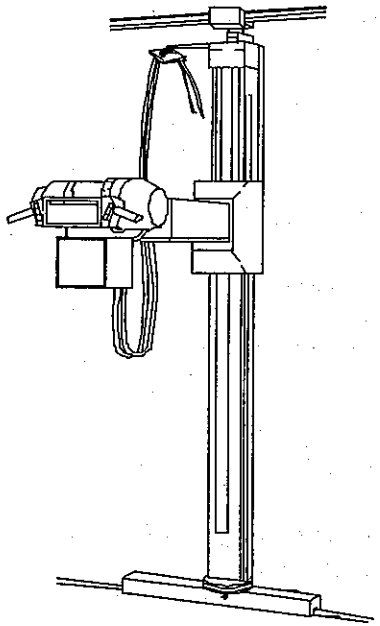
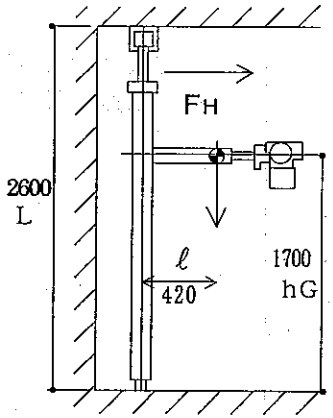
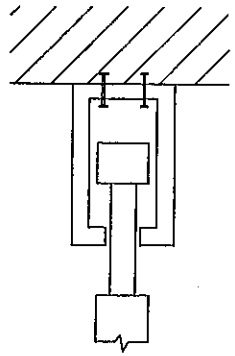
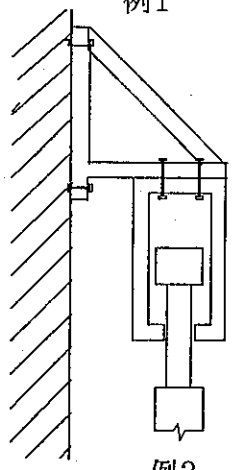
5．10 壁付機器 B

	姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
B. 壁の取付架台の上に機器を配置する。	 ③架台取付用ボルトの組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2$ $=\left(\frac{174}{3280}\right)^2+\left(\frac{70.2}{6390}\right)^2=0.003\leq 1$	設計用水平震度 (KH) =0. 6 質量 (M) =30kg 水平地震力 (FH) =KH·M·g=0. 6×30×9. 8 =176. 4N 鉛直地震力 (Fv) = (1/2) FH =88. 2N 機器取付ボルト = M8 架台取付アンカーボルトの種類 ＝ Ｍ１０ 金属拡張アンカーボルト 壁コンクリートの圧縮強度：17. 6×10³ N/cm² N1＝機器固定ボルトの片側の本数 (1) 機器固定用ボルト ①ボルト１本当りの引張力 $Rb=\frac{F_H\cdot h_1-(M\cdot g-F_V)\cdot \ell_1}{\ell_2\cdot N_1}$ $=\frac{176.4\times 250-(30\times 9.8-88.2)\times 200}{400\times 2}$ $=3.7N$ ②ボルト１本当りのせん断力 N＝機器固定ボルトの全数 $Q=\frac{F_H}{n}=\frac{176.4}{4}$ $=44.1N$ (2) 架台取付用ボルト ①アンカーボルト１本当りの引抜力 $Rb=\frac{(M\cdot g+Fv)\ell_3+F_H\cdot(h_2+L/2)}{L\cdot nt_1}$ $=\frac{(30\times 9.8+88.2)\times 280+176.4\times(500\times 225)}{450\times 3}$ $=174N<3280N \quad (M10)$ ②アンカーボルト１本当りのせん断力 $Q=\frac{\sqrt{F_H{}^2+(M\cdot g+Fv)^2}}{n}$ $=\frac{\sqrt{176.4^2+(30.0\times 9.8+88.2)^2}}{6}$ $=70.2N<6390N \quad (M10)$	取付架台と機器が固定されていないものは、落下した。非常に危険。	・軽量鉄骨間仕切の石膏ボード用のアンカーボルトもあるが許容引張力はボルトの種類によるが、約50Ｎ以下であり、又ボードの厚さに合ったものを選択する。 機器の質量としては、５Kg 程度が限界。 ・木板の補強材を複数の軽量鉄骨（スタット）に渡して、取付けると強度は増すが、機器質量は１０Kg 程度が限界。 **使用上の留意事項** 特になし

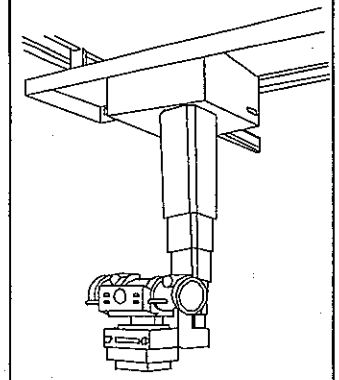
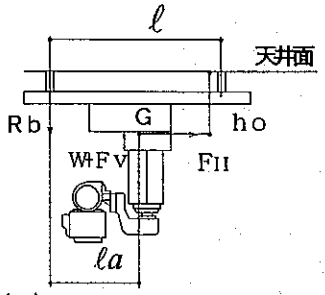
5．１１ パソコン〔市販品の耐震用品〕

姿　図	阪神大震災状況	施工の注意事項
  強力両面テープで固定した部品どうしをベルトで締める。   厚さ5mm ゲルニック この粘着材は、急激にはがそうとしても外れないが、ゆっくりはがすと外れて位置換えや再使用ができる。	・パソコンラックや机上におかれているだけなので移動して落下した。	・さまざまなタイプのものが市販されているが、用品メーカーの仕様を確認の上で、機器の質量・形状により適切なタイプを選択する。接着剤を使用する場所は、よごれ等を拭き取る。 ・パソコンラックは、重心が高く転倒しやすいので、ラック上部を壁に固定する。 **使用上の留意事項** ・データのバックアップをとっておく。

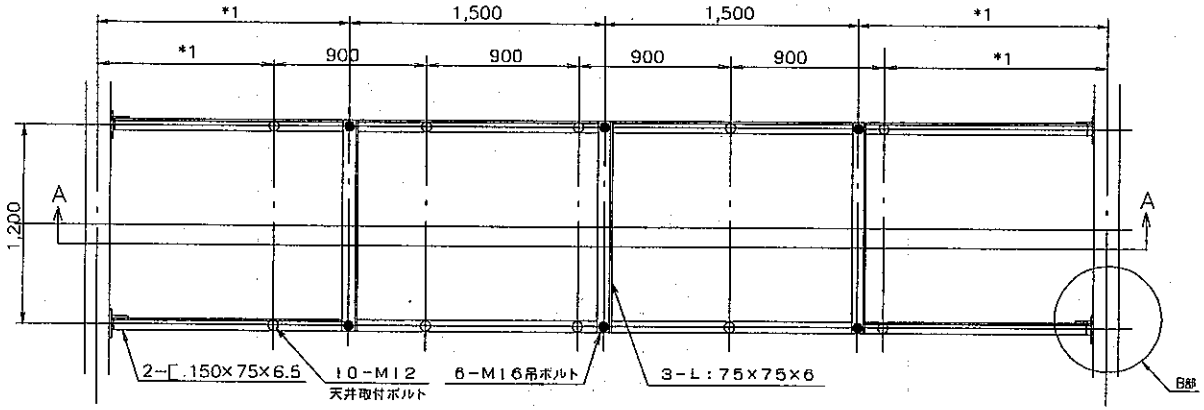
5．１２ 床－天井(壁)式X線管保持装置

	姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
1. 天井固定 2. 壁面固定		 設計用水平震度 (KH)=0.6 質量 (M) =170kg 水平地震力 (FH)=KH·M·g=0.6×170×9.8 =999.6N 鉛直地震力 (FV)=(1/2)FH =499.8N 天井コンクリートの圧縮強度＝1.76×10³N/cm² アンカーボルトの種類 ： Ｍ１２ 金属拡張アンカーボルト 天井アンカーボルト１本当りのせん断力 $Q=\frac{F_H\cdot h_G+(M\cdot g+F_V)\cdot \ell}{L\cdot n}$ $=\frac{999.6\times 1700+(170\times 9.8+499.8)\times 420}{2600\times 1}$ $=1003.4N<6390N \quad (M10)$ ・天井レールには、下方向への引張力は生じない。 ・天井レールは、数本のアンカーボルトで固定されているが安全を見て１本にせん断力がかかるとして計算した。	天井レールから、コロがはずれて、転倒している例が見られた。 **使用上の留意事項** ・撮影後は、装置の重心を下げるために、管球を下げること。 ・レール取付ボルトのゆるみを定期的、地震後チェックする。 天井軽量鉄骨に木板を付けて、それに天井レールを木ネジで固定する工法もあるが、 地震時の天井面の振れや鉛直地震力による天井をおし上げる力などを考えると。 壁がコンクリートであれば例２工法が望ましい。	例１．天井固定 例２．壁面固定 共に、上下／左右の揺れに対し容易にレールより外れる事のない構造とする。  例1  例2

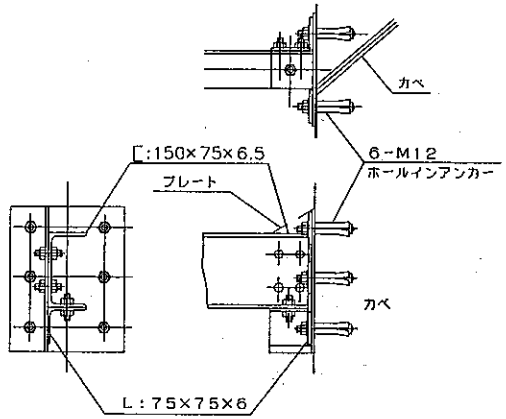
5．１３ 天井走行式X線管保持装置

姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
	 設計用水平震度 (KH)=1.0 質量 (M) =300kg 水平地震力 (FH)=KH·M·g=1.0×300×9.8 =2940N 鉛直地震力 (Fv)=(1/2)FH =1470N 天井レール取付ボルトの種類 = M12 天井レール取付ボルト１本当りの引張力 $Rb=\frac{F_H\cdot h_G+(M\cdot g\cdot F_V)\cdot(\ell-\ell a)}{\ell\cdot nt}$ $=\frac{2940\times450+(300\times9.8+1470)\times(1300-600)}{1300\times2}$ $=1696.2N<19600N \quad (M12)$ 天井レール取付ボルト１本当りのせん断力 $Q=\frac{F_V}{n}=\frac{2940}{4}$ $=735N<11760N \quad (M12)$ ・天井レール取付ボルトは、天井内で組まれた鉄骨から下げられているので、鉄骨及びアンカーボルトが十分な強度になるよう建設会社と打合わせ、確認しなければなれない。 ・ 組み合せ力 $\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2=\left(\frac{1696.2}{19600}\right)^2+\left(\frac{735}{11760}\right)^2=0.02\leq1$	ボルト抜けによる被害は一件もなかった。 **使用上の留意事項** ・撮影後はX線管装置を一番バランスのよい姿勢にし、最上部に退避すること。 ・レールボルトのゆるみや天井内の鉄骨、センサーボルトを、定期的、地震後にチェックする。	① 天井裏の安全を確認するため、一ヶ所以上の点検口を設けること。 ② 新築の場合、アンカーボルトは鉄筋に引っ掛けるか、または溶接し、コンクリートに埋込みボルト抜けがないようにすること。 ③ あと施工アンカーの場合、メネジアンカーは使用せず、オネジアンカーを使用すること。より一層強度を必要とするときは、樹脂アンカーボルトにした方がよい。 ④ アンカーの位置は梁等の端面より強度に十分な距離を確保すること。 ⑤ 天井のボルト出し工事はスラブからのアンカーボルトだけでなく、壁や梁等の側面を利用して振れ止めを設け、ボルトが抜けにくい構造とすること。 ⑥ アンカーボルトの選択は現場条件に適したものが第一であり、必要強度、ねじの選択コンクリート強度によるアンカー効果、施工面への適応性等十分な検討を行い決定すること。

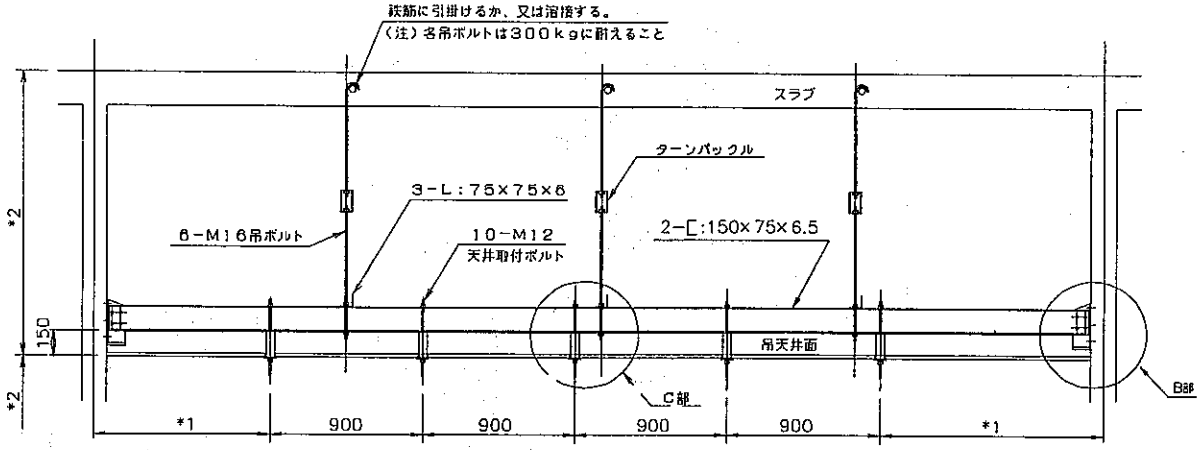
天井ボルト出し工事参考例



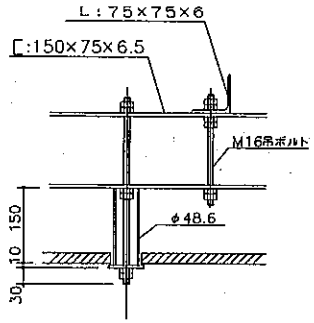
＊1：部屋寸法のよってきまります。
＊2：階高、天井高さによって決まります。



B部 詳細図



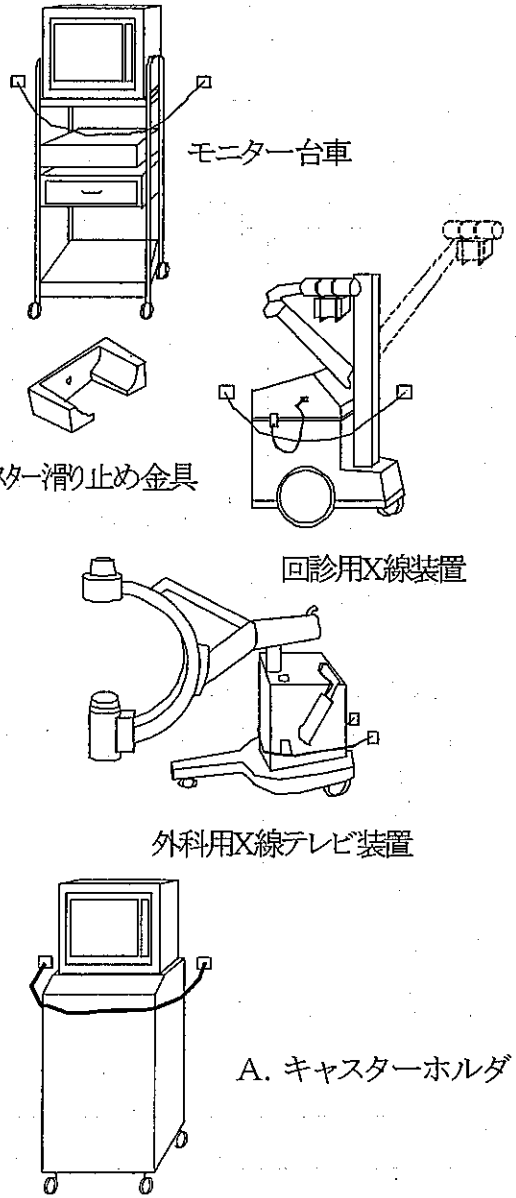
A－A 断面



C部 詳細図

(注1)部屋寸法のよって吊ボルトの数、ピッチ等の詳細は変わります。
(注2)壁、スラブが鉄筋コンクリートの場合のみ有効です。

５．１４ 移動して使用するキャスター付機器

	姿　図	固定方法と計算例	阪神大震災被害状況	施工の注意事項
1. モニター台車 2. 回診用Ｘ線装置 3. 外科用Ｘ線 テレビ装置		計算できない	キャスターの免震作用によるものか被害は少なかったが、ケーブルコネクターの損壊が見られた。 地震時の移動により人に衝突する危険がある。 ・非常用のコンセントの位置が不明だった。（色分けされていなかった。） ・エレベータが停止して機器を１階におろせなかった。	耐震計算はできないが、移動を制動するベルトなどの処置は有効である。 ベルトの耐力は、機器重量の２倍以上のものを使用する。 A. キャスター付 重心位置が高い機器はキャスターホルダー等で移動を止めると、転倒しやすくなるので、ベルト等で、壁に固定することが必要となる。 **使用上の留意点** ・常時固定はできないので、非常時には移動しても被害の少ない場所に収納する事が肝要である。 ・回診車のアーム部は、所定格納の位置に戻しておくことが必要である。

6．耐震計算

計算の方法を以下に示す。詳細は参考文献（1）による。

6．1 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（F）　地震によって装置の重心に働くと想定する慣性力。

3 設計用震度（K）　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、資料の表１１．７）であり、ここでの震度とは異なる。

6．2 設計用地震力（F）

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と鉛直地震力Fv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に機器の質量Mと重力加速度gを乗じた力とする。

$$F_H = K_H \cdot M \cdot g \qquad (6.1式)$$

設計用鉛直地震力Fvは、次式による。

$$Fv = kv \cdot M \cdot g = (1/2)\ F_H \qquad (6.2式)$$

6．2．1．設計用水平震度（K_H）

動的解析が行われない通常の構造の建築物については、次式で求める。

設計用水平震度K_Hの値は、地域係数Z、設計用標準水平震度Ksにより、次式で求める。

$$K_H = Z \cdot ks \qquad (6.3式)$$

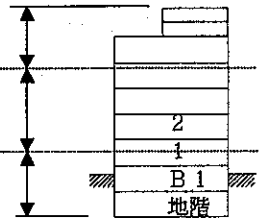
（1）地域係数Zは、地域による地震活動の差異を考慮する係数で、建築基準法施行令第８８条の規定に基づく昭和５５年建設省告示第１７９３号（表6．3）による。

（2）設計用標準水平震度Ksは施設の重要度に応じて表6．1の値とする。

一般に、災害応急活動の拠点となる病院に関しては耐震クラスSを適用し、それ以外に関しては耐震クラスAを適用してもよいが、ユーザの指定があればそれが優先する。

ただし、指定されたクラスの震度に耐えるためには、機器側の対応だけでは十分ではなく、床のコンクリート強度や厚さなど建物の構造にも大きく左右されることに留意する必要がある。

表６．１　設計用標準震度（Ｋｓ）

	耐震クラスＳ	耐震クラスＡ	適用階の区分
上層階、屋上及び塔屋	２．０	１．５	
中間階	１．５	１．０	
地階及び１階	１．０	０．６	

上層階の定義

・２～６階建ての建設物では、最上階を上層階とする。

・７～９階建ての建設物では、上層の２層を上層階とする。

・１０～１２階建ての建設物では、上層の３層を上層階とする。

中間階の定義

・地下、１階を除く各階で上層階に該当しない階を中間階とする。

６．２．２　免震構造及び制震構造の建築物における設計用水平震度（K_H）

免震構造及び制動構造の建築物の場合、構造体の設計において動的解析が行われ、各階の振動応答加速度Ｇｆ（$m \cdot S^{-2}$）が与えられる。この場合の設計用水平震度K_Hは次により求める。

（１）　設計用水平震度

K'_Hの値を（６．３式）で求め、（表６．２）を用いてK_Hを定めることができる。なお、個別の詳細設計を行う場合においては、K'_Hの値そのものを採用しても良い。

表６．２　建築物の動的解析が行われている際の設計用水平震度 K_H

設計用水平震度	K'_H の値
０．４	０．４２以下（通常の建築物の場合）
０．６	０．６３以下（用途係数の高い建築物・設備の場合）
１．０	０．６３を超え１．１０以下の場合
１．５	１．１０を超え１．６５以下の場合
２．０	１．６５を超える場合

$K'_H = (Gf/G) \cdot K_2 \cdot Dss \cdot Is$　　（6．4式）

Gf　：各階床の振動応答加速度（$m \cdot S^{-2}$）

G　：重力加速度　9.80（$m \cdot S^{-2}$）

K_2　：機器の応答倍率で堅固に据付けられた機器として$K^2=1.5$とする。

Dss：機器据付H用構造特性係数

振動応答解析が行われていない機器の据付・取付の場合はDss＝2／3とする。

Is　：機器の用途係数

災害応急活動の拠点となる病院　＝ 1.5

上記以外　＝ 1.0

（2）設計用鉛直震度K_V

$Kv = (1/2) K_H$　　（6．5式）

ただし、免震構造の建築物の設計用鉛直震度は特に解析されていない場合には（表6．1）のKs値の1／2とする。

6．3 アンカーボルトに掛る力の計算

据置機器の固定にアンカーボルトを用いる場合には、表6.4を参照してアンカーボルトが受ける力の計算をしてアンカーボルトの耐力が十分かの検討を行なう。

1．アンカーボルトが受ける引張力（Rb）

機器を転倒させようと作用する地震力は、機器の重心位置に水平方向及び鉛直方向の力が条件の悪い方向に同時に作用するとして計算する。

2．アンカーボルトが受けるせん断力（Q）

水平地震力は、機器を水平に移動させるように作用する。この水平地震力をアンカーボルト全数で受けるものとして計算する。

また、機器自重及びボルト締付力による床等との摩擦抵抗は、原則として考慮しない。

表６．３　地域係数Ｚの数値

	地　　方	Ｚの数値
①	②～④に掲げる地方以外の地方	１．０
②	北海道のうち・札幌市・函館市・小樽市・室蘭市・北見市・夕張市・岩見沢市・網走市・苫小牧市・美唄市・芦別市・江別市・赤平市・三笠市・千歳市・滝川市・砂川市・歌志内市・深川市・富良野市・登別市・恵庭市・伊達市・札幌郡・石狩郡・厚田郡・浜益郡・松前郡・上磯郡・亀田郡・茅部郡・山越郡・檜山郡・爾志郡・久遠郡・奥尻郡・瀬棚郡・島牧郡・寿都郡・磯谷郡・虻田郡．岩内郡・古宇郡・積丹郡・古平郡・余市郡・空知郡・夕張郡・樺戸郡・雨竜郡、上川郡（上川支庁）のうち東神楽町・上川町・東川町および美瑛町、勇払郡・網走郡・斜里郡・常呂郡・有珠郡・白老郡	0.9
	青森県のうち、青森市・弘前市・黒石市・五所川原市・むつ市・東津軽郡・西津軽郡・中津軽郡・南津軽郡・北津軽郡・下北都	
	秋田県	
	山形県	
	福島県のうち、会津若松市・郡山市・白河市・須賀川市・喜多方市、岩瀬郡・南会津郡・北会津郡・耶麻郡・河沼郡・大沼郡・西白河郡	
	新潟県	
	富山県のうち，魚津市・滑川市・黒部市，下新川郡	
	石川県のうち，輪島市・珠洲市，鳳至郡・珠洲郡	
	鳥取県のうち、米子市・倉吉市・境港市、東伯郡・白伯郡・日野郡	
	島根県	
	岡山県	
	広島県	
	徳島県のうち，美馬郡・三好郡	
	香川県のうち、高松市・丸亀市・坂出市・善通寺市・観音寺市・小豆郡・香川郡・綾歌郡・仲多度郡・三豊郡	
	愛媛県	
	高知県	
	熊本県（③に掲げる市および郡を除く）	
	大分県（③に掲げる市および郡を除く）	
	宮崎県	
③	北海道のうち、旭川市・留萌市・稚内市・紋別市・士別市・名寄市・上川郡（上川支庁）のうち鷹栖町・当麻町・比布町・愛別町・和寒町・剣淵町・朝日町・風連町および下川町・中川郡（上川支庁）、増毛郡・留萌郡・苫前郡・天塩郡・宗谷郡・枝幸郡・礼文郡・利尻郡・紋別郡	0.8
	山口県	
	福岡県	
	佐賀県	
	長崎県	
	熊本県のうち、八代市・荒尾市・水俣市・玉名市・本渡市・山鹿市・牛深市・宇土市，飽託郡・宇土郡・玉名郡・鹿本郡・葦北郡・天草郡	
	大分県のうち、中津市・日田市・豊後高田市・杵築市・宇佐市，西国東郡・東国東郡・速見郡・下毛郡・宇佐郡	
	鹿児島県（名瀬市および大島郡を除く）	
④	沖縄県	0.7

表6．4（その1）

<table>
<tr><th></th><th>床，基礎据付けの場合</th></tr>
<tr><td>アンカーボルトに加わる引抜力とせん断力</td><td>

矩形断面の場合

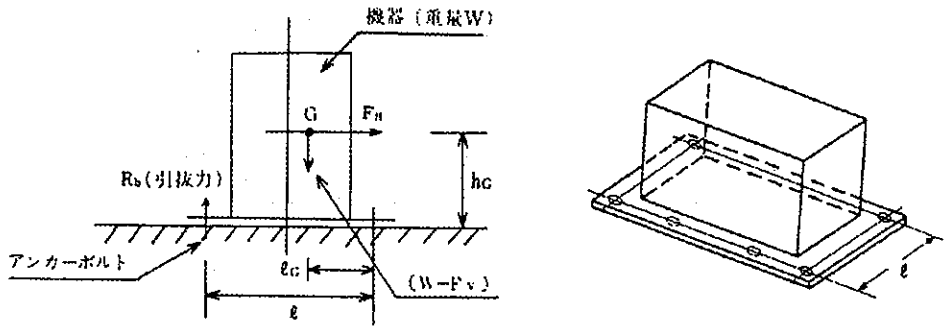


図6．1

図2.1-1において

G：機器重心位置

W：機器の自重＝機器の質量×9．8

張R_b：アンカーボルト1本当りの引抜力

n：アンカーボルトの総本数

n_t：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2.1-1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）

h_G：据付面より機器重心までの高さ

ℓ：検討する方向からみたボルトスパン

ℓ_G：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 $\ell_G \leq \ell/2$）

F_H：設計用水平地震力（$F_H = K_H \cdot W$）

F_v：設計用鉛直地震力（$F_v = \frac{1}{2} F_H$）

</td></tr>
<tr><td>アンカーボルトの引張力</td><td>

$$R_b = \frac{F_H \cdot h_G - (W - F_v) \cdot \ell_G}{\ell \cdot n_t} \qquad (6．6式)$$

</td></tr>
<tr><td>アンカーボルトのせん断力</td><td>

$$\tau = \frac{F_H}{n \cdot A} \quad 又は \quad Q = \frac{F_H}{n} \qquad (6．7式)$$

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

F_H：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

</td></tr>
</table>

表6．4（その2）

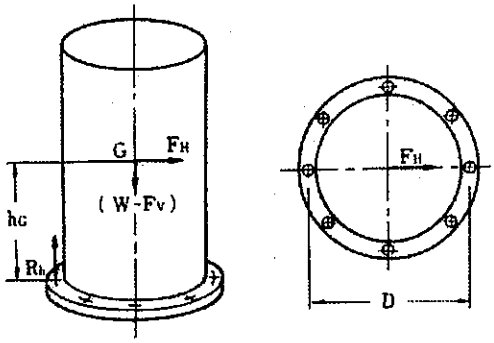
	床，基礎据付けの場合
アンカーボルトに加わる引張力とせん断力	円形断面の場合  図6．2 図6．2において G，W，F_v，F_H，R_b，h_Gは図2.1-1と同じ D：円形断面のボルトスパン
アンカーボルトの引張力	$R_b=\frac{4}{n\cdot D}F_H\cdot h_G-\frac{W-F_v}{n}$　（6．8式）
アンカーボルトのせん断力	（6．7式）と同じ

表6．4（その3）

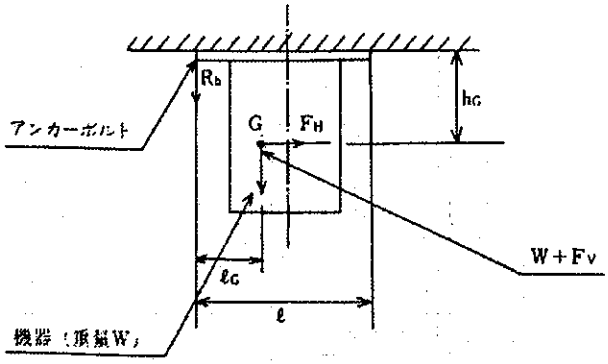
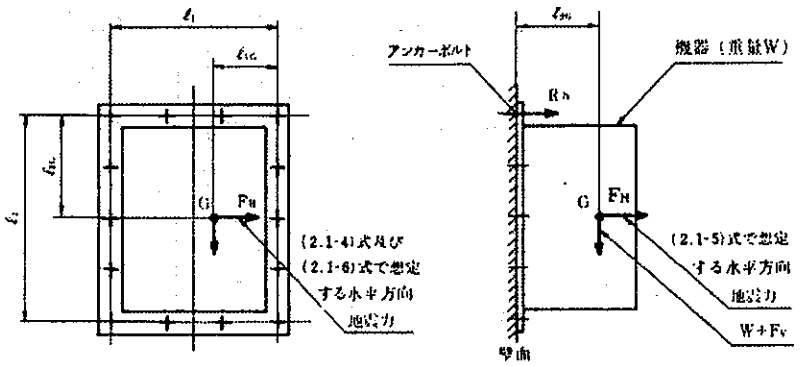
	天井面取付けの場合
アンカーボルトに加わる引張力とせん断力	 図6．3 図6．3において G，W，R_b，n，n_t，h_G，ℓ，ℓ_G，F_H及びF_Vは，図2.1-1と同じ
アンカーボルトの引張力	ボルト1本当りの引抜力R_bは， $R_b=\dfrac{F_H\cdot h_G+(W+F_V)\cdot(\ell-\ell_G)}{\ell\cdot n_t}$　（6．9式）
アンカーボルトのせん断力	（6．7式）と同じ

表6．4（その4）

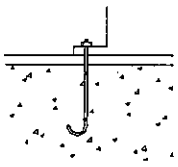
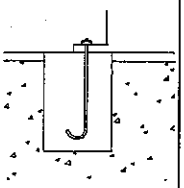
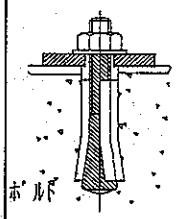
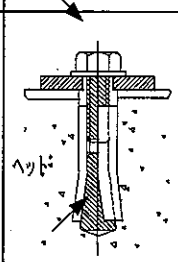
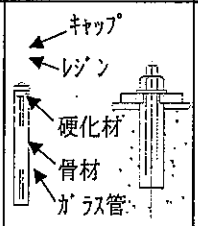
	壁面取付けの場合
アンカーボルトに加わる引張力とせん断力	 図6．4 図2.1-3において， G，W，R_b，n，F_H及びF_Vは， 図2.1-1と同じ ℓ_1：水平方向のボルトスパン ℓ_2：鉛直方向のボルトスパン ℓ_{1G}：ボルトの中心から機器重心までの水平方向の距離 （ただし，$\ell_{1G} \leqq \ell_1/2$） ℓ_{2G}：上部側ボルト中心から機器重心までの鉛直方向の距離 ℓ_{3G}：壁面から機器重心までの距離 n_{t1}：上下面に設けたアンカーボルトの片側本数（図2.1-3において辺長ℓ_1側のアンカーボルト本数） n_{t2}：側面に設けたアンカーボルトの片側本数（図2.1-3において辺長ℓ_2側のアンカーボルト本数）
アンカーボルトの引張力	上部側アンカーボルト1本当りの引抜力R_bは，下記二つの計算式〔(2.1-4)式，及び(2.1-5)式〕のうち大きい方の値で与えられる。 $R_b=\frac{F_H \cdot \ell_{3G}}{\ell_1 \cdot n_{t2}}+\frac{(W+F_V) \cdot \ell_{3G}}{\ell_2 \cdot n_{t1}}$　（6．10式） $R_b=\frac{F_H \cdot (\ell_2-\ell_{2G})}{\ell_2 \cdot n_{t1}}+\frac{(W+F_V) \cdot \ell_{3G}}{\ell_2 \cdot n_{t1}}$　（6．11式）
アンカーボルトのせん断力	$\tau=\frac{\sqrt{F_H^2+(W+F_V)^2}}{n \cdot A}$　又は　$Q=\frac{\sqrt{F_H^2+(W+F_V)^2}}{n}$　（6．12式） ここに，τ，Q，F_H，A及びnは，（6．7式）と同じ W：機器の重量 F_V：設計用鉛直地震力

7．アンカーボルト

7．1 アンカーボルトの種類

機器の固定に使用される代表的なアンカーボルトの種類と用途及び施工上の注意点を（表7．1）にまとめた。

表7．1 アンカーボルトの種類

種類			形状	施工法		施工上の注意	用途
埋込みアンカーボルト				床や天井のコンクリート打設前に設定しておきコンクリートに埋込む		・コンクリート打設の建築工程の調整が必要 ・寸法精度が必要な場合には、鋼材にアンカーボルトを固定して埋め込む	・天井吊装置の天井強化の吊ボルトや大きな引張り力を必要とする固定用アンカーボルト
箱抜きアンカーボルト				機器取得時にアンカーボルトを箱抜き穴に設定し、モルタルを充填する		・L型よりもJ型アンカーボルトの方が付着力を期待できるので望ましい ・充填用モルタルは、水の量を多くしないこと。収縮を防止するための混和剤を入れるなどの管理が必要 ・箱抜き穴の壁面は、十分に目荒し・水洗いを行い充填用モルタルが十分に付着するようにする。	・リニアックなどの大型機器の固定
あと施工アンカーボルト	金属拡張アンカーボルト	おねじ型		コンクリートにドリルで穴をあけて、アンカーボルトの下部を機械的に拡張させて、コンクリートに固着させる。	アンカーボルト金具とボルトが一体もので、ナットを回してボルトが上昇することにより下部のコーンがスカート部を拡張させる	・装置のベース厚、モルタル仕上げ部の厚さを考慮しコンクリートに十分な埋め込み深さを得る長さのもの採用する。 ・施工時の注意点 ①アンカーボルトの軸径に対して指定の径のドリルを用いること。 ②メネジ式については、特にせん孔深さの指定を守ること。 ③孔の周辺のコンクリートに傷を付けないこと ④孔内の清掃を十分行うこと。アンカーボルトの、たたき込みは十分に行うこと。	・X線TV装置、CT装置の固定
		めねじ型			アンカーボルトの下部にたる栓を内蔵し、本体をたたき込むか、たる栓をたたき込むんで、スカート部を拡張させる		
	接着系アンカーボルト			コンクリートにドリルで穴をあけ、その中に樹脂などの入ったガラス状カップルを挿入した後アンカーボルトを打ち込み樹脂などを硬化させて、コンクリートに接着させる。			・天井吊装置の天井補強材の吊ボルト（既存スラブで埋込みアンカーボルトを使用できないとき）

7．2 あと施工アンカーボルトの標準施工手順

あと施工アンカーボルトを施工する際には、次の手順にて進める。

1．コンクリートの圧縮強度、厚さを確認する。

コンクリートの圧縮強度は確認できない場合が多いが、そのときは不明としてコンクリート規格の最小値でアンカーボルトの許容引張力や許容せん断力をもとめる。コンクリートの必要厚さは、ボルトの埋め込み長さに２ｃｍを加えた寸法とする。

2．墨出しでアンカー間隔、へりあき寸法を確認する。

アンカー間隔は、アンカーボルト埋め込み深さの２倍以上、へりあき寸法はアンカーボルトの埋め込み深さ以上を原則とする。（図７．１）

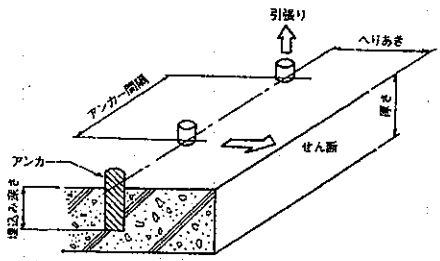


図７．１

3．コンクリートドリルの選定

所定の径のドリルを選定する。

4．穴あけ作業

（1） 母材面に対して直角になるよう電動工具をしっかり保持する。

（2） 穴あけ深さは電動工具のディプスゲージまたはドリル軸部にマーキングするなどの工夫をして管理する。（図７．２）

（3） 穴あけの途中で鉄筋などに当り必要深さに達しないときは、場所を変更する。

（4） 仕上モルタルがある場合の穴あけ深さは所定の深さに仕上モルタルの厚さを加えたものとする。

仕上モルタルは、コンクリートに比べ穴あけ作業抵抗が小さく、コンクリート部分に達すると抵抗は大きくなる。

抵抗力が変わったところで、ドリルを抜き出してきり粉が付着したドリル部の長さを測ると仕上モルタルの厚さが分かる。

（5） 上記によりボルトの長さが不足すれば長いアンカーボルトに変更する。

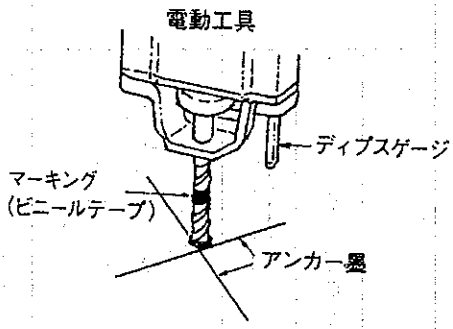


図７．２

（6） 芯棒打込みアンカーボルトはナットがボルトの上端になるよう、できるだけ深い穴をあける。

（7） 穴あけ作業でコンクリートがラフコンクリートのおそれがある場合には、樹脂系アンカーボルトを使用する。
ラフコンクリート（壁や天井のコンクリートには使用されない）の圧縮強度は普通コンクリートや軽量コンクリートに比べて１／２程度なので穴あけ作業の抵抗が小さいので分かる。

5．穴の掃除
集塵機、ブロアーなどにより、母材のきり粉を穴底から除去する。（図７．３）

6．固着
各種アンカーに合った施工法により、確実に固着する。
コーンナット式などの締付け式のものは所定のトルク値まで締付ける。（図７．４）
芯棒打込み敷きは、できるだけ埋込み。

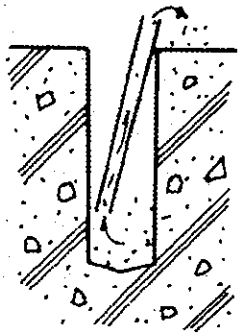


図７．３

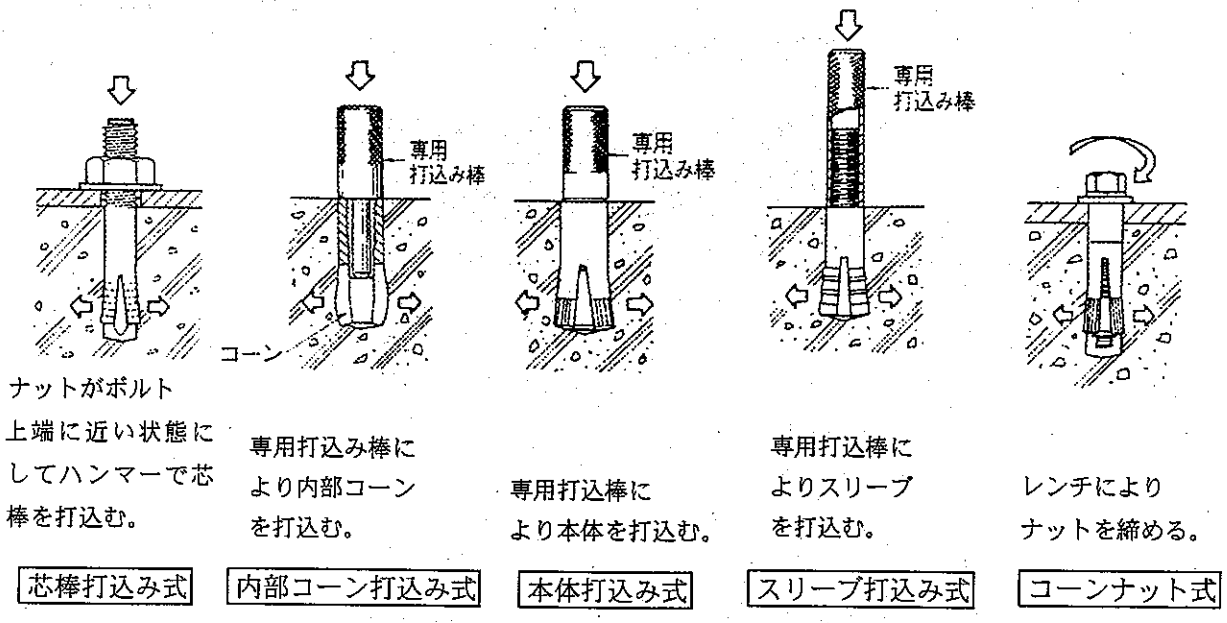


図７．４　金属拡張アンカーボルトの固着

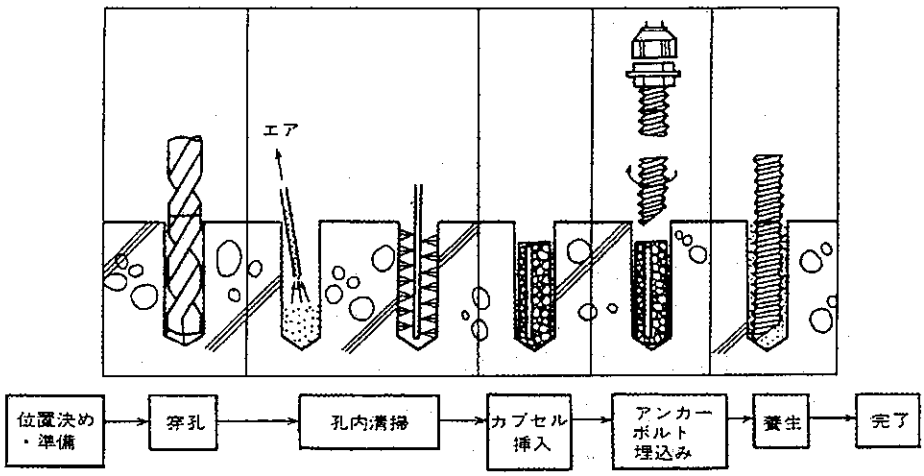


図７．５ カプセル型接着系アンカーボルトの施工手順

７．３アンカーボルトの耐力検査

機器固定用のあと施工アンカーボルトを施工するとき、アンカーボルトを打込む床や壁のコンクリート強度やコンクリート表面に塗られたモルタル（アンカーボルトの耐力に寄与しない）の厚さが不明で、耐震設計により必要とされるアンカーボルトの引張耐力が得られているのか確認できないことがある。

この様な場合で特にアンカーボルトの耐震設計荷重が許容荷重に対して余裕のないときには、施工したアンカーボルトの耐力を検査することが望まれる。

このような検査には、施工したアンカーボルトを現場で非破壊により耐力検査できるハンディーの検査器が市販されている。この検査器は、機器固定に使用されているアンカーボルトの種類や径にも対応している。もし、検査荷重に達する以前にアンカーボルトが弛み始めた時（取付不良など）は、締付レンチを通してはっきり感じ取ることが出来る。また、検査荷重は設計耐力の１．５倍を推奨している。

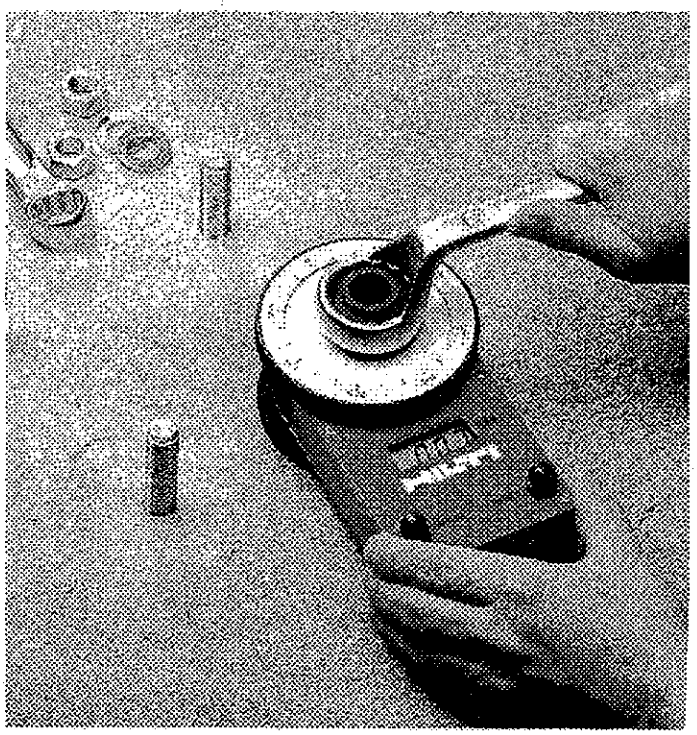


図７．６ 耐力検査器の例

7．4 あと施工アンカーボルトの許容力

7．4．1．アンカーボルトに作用する力

引張り（圧縮）力 ： 母材面に対して鉛直方向に作用する力

せ　ん　断　　力 ： 母材面に対して水平方向に作用する力。

組 み 合 わ せ 力： 引張力とせん断力を組み合わせて作用する力

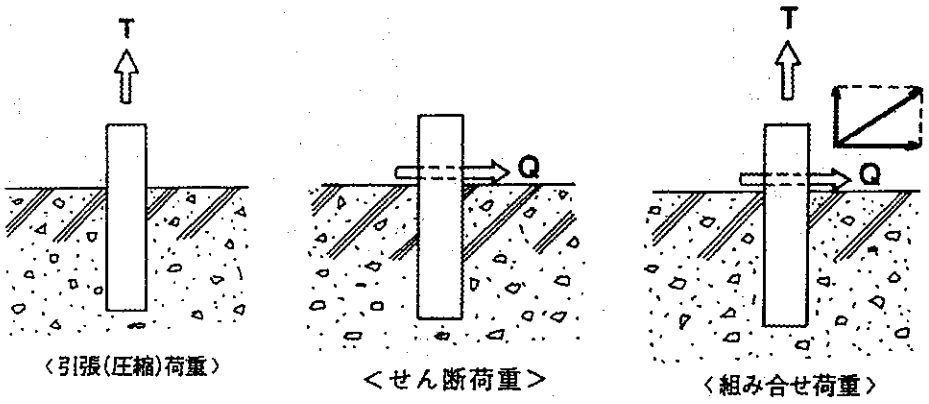


図7．7

地震力により、機器を転倒させる力が、アンカーボルトに引張り力として、機器を水平方向に移動させる力がアンカーボルトにせん断力として作用する。
引張り力とせん断力を同時に受けるのでアンカーボルトには組合せ力がかかる事になる。

7．4．2．アンカーボルトの破壊モード

コンクリートに打ち込まれたアンカーボルトに力が働き、その力が最大に達するとコンクリートまたはアンカーボルトが破壊される。その破壊モードは3種類考えられる。

（1）アンカーの破断

通常の場合、コンクリートの圧縮強度およびアンカーボルトの固着強度が大きく、アンカーボルトの断面積またはボルトの材料強度が小さいときに生ずる。

（2）コンクリートの割り裂け

一般に使用されているアンカーボルトは引張り力が作用すると、コンクリートが円錐状に割り裂けることが多いこの現象をコンクリートのコーン状破壊といい、この強度はアンカーボルトの埋め込み深さとコンクリートの圧縮強度による。

（3）アンカーボルトの引抜け

アンカーボルトの固着力不足の場合に生じ、原因は穴の径が所定のものより大きかったり、穴の中に残ったきり粉による摩擦力の低下による。

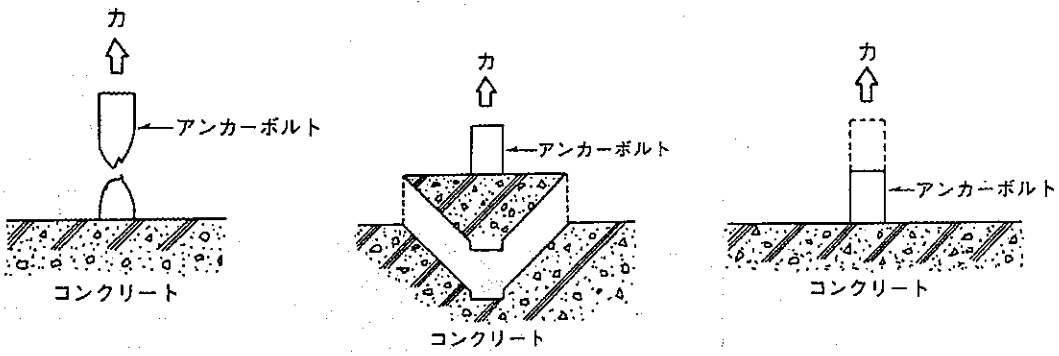


図7．8

7．4．3．あと施工アンカーボルトの許容力の計算

あと施工の金属拡張及び接着系アンカーボルトの引張力とせん断力の許容値は下記の計算式（7．2、7．3、7．4）により、コンクリートの種類は、普通コンクリート及び1種・2種の軽量コンクリートに限定して適用する。耐震固定では組み合せ力を受けるので、許容組み合せ力の確認も行なわなければならない。

＊補　足＊

各計算式は、参考文献（2）による。（2）によれば、許容引張力に関しては、①定着したコンクリート部分の破壊モードにより決まる許容引張力（7．1式）②アンカーボルトの降伏により決まる許容引張力③アンカーボルトとコンクリートとの間の付着強度により決まる、許容引張力のうち最も小さくなる値とし、せん断力に関しては、①定着したコンクリート部分の支圧破壊モードにより決まる、許容せん断力（7．3式）②アンカーボルト自体のせん断強度により決まる許容せん断力のうち小さくなる値としている。しかし、本指針においては、耐震固定に利用するアンカーボルトに期待する許容力の程度からボルトの径、コンクリートの圧縮強度及びヤング係数の上限を定めることにより、コンクリートの破壊モードにより決まるようにし許容力を求めた。

（1）許容引張力の計算

機器固定に用いられるM20までのアンカーボルト1本当たりの許容引張力は、次式により求められる。

金属拡張アンカーボルト

$$Pa1 = 2.3\phi_1 \cdot Fc^{1/2} \cdot Ac \qquad \cdots\cdots（7．1式）$$

接着系アンカーボルト

$$Pa2 = 2.3\phi_1 \cdot Fc^{1/2} \cdot Ac \cdot K_i \cdot P_E \qquad \cdots（7．2式）$$

ここで、

*Pa*1, 2：定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により決まる場合のアンカー１本当りの許容引張力（N）

Φ１　：低減係数で、表７．２による。ただし、軽量コンクリートを用いる場合は、これらの値の９０％とする。

表７．２

	Φ１
長期荷重用	0.4
短期荷重用	0.6

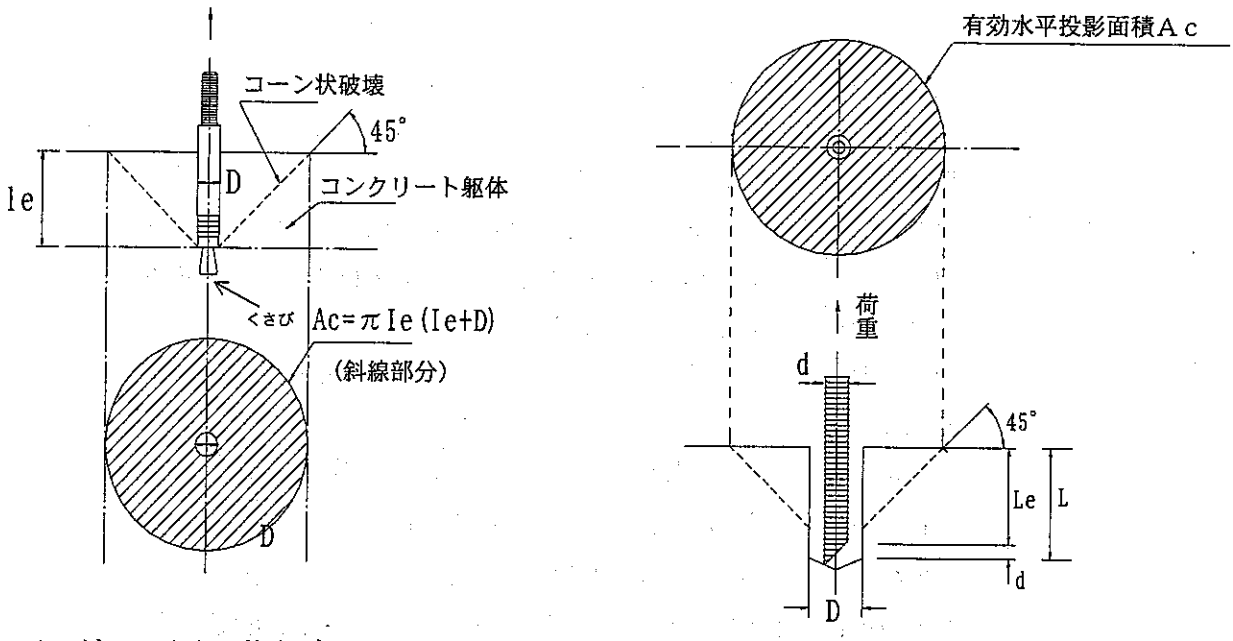
コンクリートが、普通コンクリートかどうか不明の場合には 安全側に評価して、軽量コンクリートの値を用いる。

Fc　：既存コンクリートの圧縮強度もしくは設計基準強度（N／cm^2）数値が不明の場合には、1.76×10^{3}N／cm^2（180kg／cm^2）とし、35×10^{3}N／cm^2（240kg／cm^2）を限度とする。

Ac　：コンクリートのコーン状破壊面の有効水平投影面積（cm^2）（図７．９）

k_i　：カプセルサイズ別係数　Ｍ８～Ｍ１６は１。Ｍ２０は0.8

P_E　：比例限度係数　　0.85



注：ｌｅは、モルタル仕上げ厚さを含まない

金属拡張アンカーボルトの場合　　接着系アンカーボルトの場合

図７．９ 有効水平投影面積 Ac

（2）許容せん断力の計算

コンクリート中に定着された金属拡張アンカーボルト１本当りの許容せん断力は、７．３式により求める。

$$qa = 0.75\phi_{s3} \cdot \left\{0.5_{SC}a \cdot \left(F_C \cdot E_C\right)^{1/2}\right\} \qquad (7.3式)$$

ここで、

$\Phi s3$　：低減係数で、長期荷重に対して 0.4、短期荷重に対し、0.6 とする。

sca　：金属拡張アンカーの定着部または、これに接合される鋼材の既存コンクリート表面における断面積（cm^2）

せん断力をねじ部で受けるので、ねじ部有効断面積（表７．３）とする。

表７．３

ボルト	M8	M10	M12	M16	M20	M22
有効断面積（cm^2）	0.366	0.58	0.843	1.57	2.45	3.03

コーンナット式では、せん断力本体部で受けるので本体の断面積を用いてもよい。ただし、ボルトの径は、呼び径で１３㎜以上２２㎜以下に本式は適用されるが、耐震固定に用いるアンカーボルトは引張力から選択され、せん断力は十分な余裕があることからＭ８、Ｍ１０にも本式を適用させて目安とした。

Fc　：既存コンクリートの圧縮強度（N/cm^2）

数値が不明な場合には $1.76\times10^3 N/cm^2$（１８０kg/cm^2）を用いる。

Ec　：既存コンクリートのヤング係数（N/cm^2）

数値が不明な場合には、普通コンクリートでは $1.6\times10^6 N/cm^2$（1.7×10^5 kg/cm^2）、軽量コンクリートでは $1.08\times10^6 N/cm^2$（105×10^5 kg/cm^2）とする。

コンクリートの種類も不明なときは、軽量コンクリートの値を用いる。

ただし、

$$4.9\times10^4 N/cm^2 < (Fc \cdot Ec)^{1/2} \leqq 8.82\times10^4 N/cm^2$$

既存コンクリートの Fc と Ec が共に不明な場合、$\sqrt{Fc \cdot Ec}$ の値を $4.9\times10^4 N/cm^2$ とする。１種・２種コンクリートの中には、$4.9\times10^4 N/cm^2$ を１割程度下まわるものもあるが、耐震固定に用いるアンカーボルトは引張力から選択され、せん断力は十分な余裕があることから、本式の適用範囲の最少値を採用し許容せん断力の目安とした。

（3）その他の条件

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

b）複数のアンカーが接近して設けられた場合には、図７．１０のような有効水平影面積により求める。

c）ケーブルピットなどコンクリートのへりからの距離は、アンカーボルトの埋設深さ以上にとるが、とれない場合は４cm以上とし、許容引張力の計算は、図７．１１の有効水平投影面積により求める。また、ケーブル、ピットの両側にモルタルをつめる工法もあるので、そのモルタルの巾を考慮しなければならない。

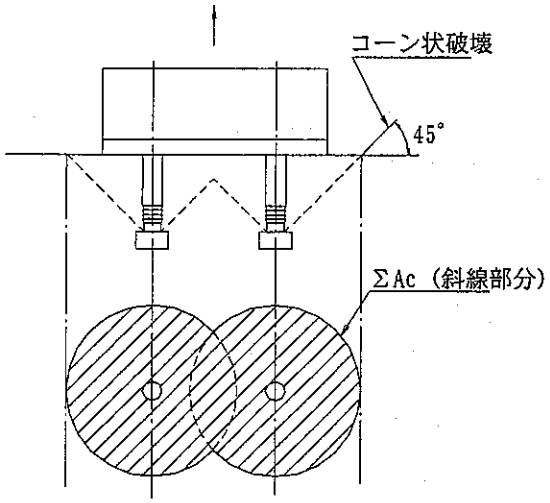


図７．１０ アンカーボルトが複数の場合の
有効水平投影面積ΣAc

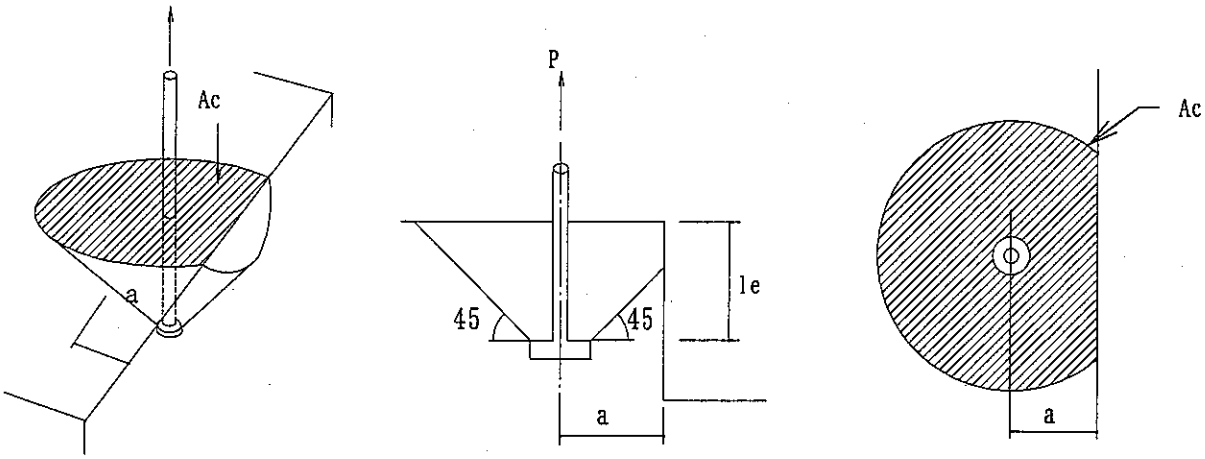
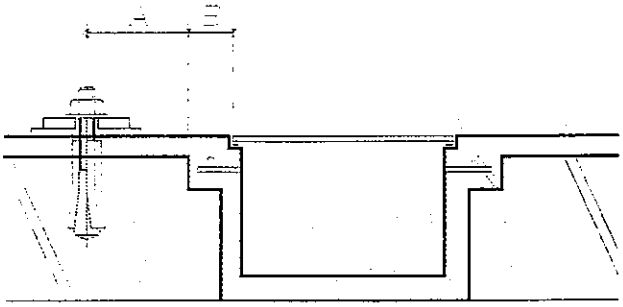


図７．１１



A：アンカーボルトの埋設深さ以上をとる。

B：モルタル部の巾
目安寸法は、10 cm程度だが施工により広い場合もあるので注意

図7．12
ケーブルピット端部からのアンカーボルト距離

（4）許容組み合せ力の確認式

アンカーボルトが引張力とせん断力との組み合せ力を受ける場合の終局耐力は、次式により確認する。

$$\left(\frac{Rb}{Pa}\right)^2+\left(\frac{Q}{qa}\right)^2 \leqq 1 \qquad (7.4式)$$

ここで、

Rb ：引張応力　(N)

Q ：せん断応力　(N)

Pa ：引張力のみが、作用したときの許容引張力　(N)

qa ：せん断力のみが作用したときの許容せん断力　(N)

8．設置計画書への記載事項

機器の耐震計画に際して必要となる次の情報を設置計画書などに記載する。

1.機器の質量、および重心の位置と高さ（寝台については患者＜135ｋｇ＞を考慮する。）

2.機器のベース形状・アンカーボルト位置を示す図面

3.大型機器については、水平地震力 1.2 としたときのアンカーボルト１本当りの引張力とせん断力

4.機器に付属するアンカーボルトのデータ

5.必要なコンクリートの圧縮強度

6.アンカーボルトの埋め込み深さと、許容される仕上げモルタル層の厚さ

9．建築施工上の対応

病院建築の設計・施工において、次の項目を考慮しなければならない。

1.コンクリートには設計基準強度（Ｆｃ）1.76×１０^{3}N/cm^{2}以上を使用する。

【補足】

Ｘ線室等の床にはケーブルピット（溝）を作るために、床スラブコンクリートの上にさらにコンクリートを打ち増しする工法が従来行われている。床に後打ちアンカーボルトを打つ場合、このコンクリート強度により引抜力などが影響を受ける。特にラフコンクリートと呼ばれるものは、アンカーボルトの耐力が期待できないので使用しない。

2.フリーアクセスフロアは耐震性・耐荷重性能があり、床コンクリートからの床高さが、パネルの上からアンカーボルトが埋込むことのできる１００mm程度とする。

また、重量機器や振動する機器の設定床面部分は必ずコンクリートとする。

【補足】

大型の医療機器は、回転や移動する機能を有するものが多く、固定のためのアンカーボルト打設だけではなく床設置面が不安定だと騒音・振動の原因になる。

3.軽量鉄骨間仕切壁のスタッドは巾６５mmのものが使用されているが、横架材の強度を上げるためには、ＪＩＳ規格品（鉄板厚が０．８mm）の巾９０や巾１００の大きいものでピッチを３０３mmとすることが望ましい。

また、補助板や補強鉄骨の追加を考慮する。

4.床耐荷重の検討を行う。

【補足】

放射線機器は、Ｘ線ＴＶ装置の 1,500ｋｇからＭＲＩ装置の 20,000ｋｇなどの重量物である。これらを積載する床スラブについては、建物の構造計算の際にあらかじめその

重量・ベースの形状・位置などを建築設計者や構造設計者と協議し、できるだけ直接梁に載荷されるよう小梁を設けたりする配慮がされるべきである。しかし多くの場合、建物の設計時にはメーカー機器の形式が未定で構造形式が決定される。既存建屋の装置の入れ替え・増設についても同様である。このような場合は、建築設計者・構造設計者と十分打ち合わせをし、安全の確認をすることが重要である。

5.壁ぎわのケーブルピットは、キャビネット類の床固定を考慮し
図８．１のような位置にする。

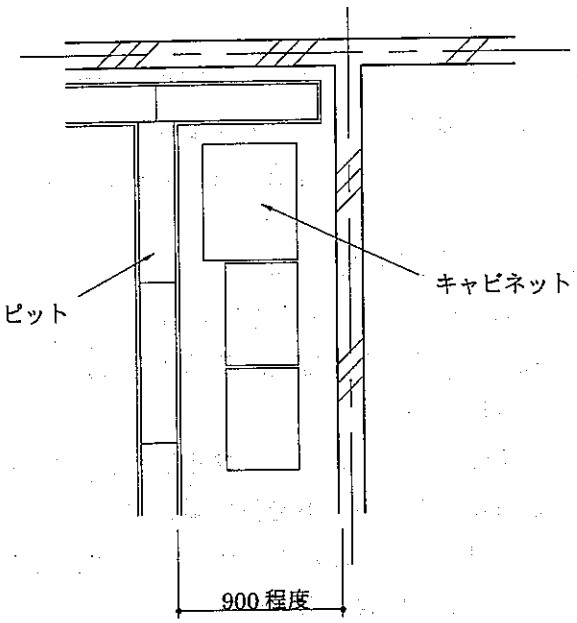


図８．１

１０．参考文献

（１）建築設備耐震設計・施工指針（１９９７年）
日本建築センター

（２）各種合成構造設計指針・同解説（１９８５年）
（社）日本建築学会

（３）官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説（１９９６年）
（社）公共建築協会

（４）あと施工アンカー設計と施工（１９９０年）
岡田 恒夫 他著

（５）「あと施工アンカー」の施工手引き（１９９４年）
（社）日本建築あと施工アンカー協会

（６）兵庫県南部地震記録誌「１９９５年１月１７日午前５時４６分M7.2」（１９９６年）
（社）兵庫県放射線技師会

（７）「放射線部門の地震対策ハンドブック」（１９９５年）
（社）静岡県放射線技師会長　宮本 唯男

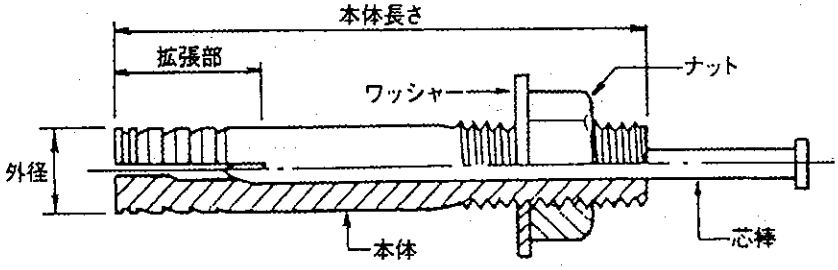
（８）California Building Code 1992 edition CHAPTER 23. PartⅢ

（９）病院の施設・設備自己点検チェックリスト（１９９７年）
東京都衛生局

資料１１．１ 金属拡張アンカーボルトの種類と許容力

１．芯棒打込み式（おねじ式）

芯棒をハンマーで打ち込むと拡張部が開き固着する。



<芯棒打込み式標準品> 図１１．１

表１１．１

呼び径	アンカー本体（mm）			穴あけ（mm）		Ａｃ（cm²）	短期許容引張力（ｋＮ）	短期許容せん断力（ｋＮ）
	外形	長さ	埋込	穴径	深さ			
Ｍ８	8	70	35	8.5	40	47	2.44	4.03
Ｍ１０	10	60	40	10.5	45	63	3.28	6.39
	10	80	55	10.5	60	112	5.83	6.39
Ｍ１２	12	70	45	12.7	50	81	4.22	9.29
	12	90	60	12.7	65	135	7.03	9.29
Ｍ１６	16	120	60	17.0	65	143	7.45	17.30
	16	150	80	17.0	85	241	12.55	17.30
Ｍ２０	20	150	80	21.5	85	251	13.07	27.01

・Ａｃ：有効水平投影面積

・長期の許容引張力と許容せん断力の値は、それぞれの短期の値の２／３。

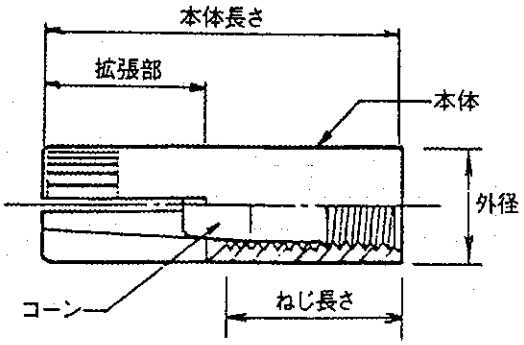
・コンクリートのＦｃを 1.76×10^{3}N／cm²、（Ｆｃ・Ｅｃ）$^{1/2}$を 4.9×10^{4}N／cm²として算出した。

・アンカー本体の埋込み深さは、コンクリート表面の仕上モルタル厚さ（一般的には２～３cm 程度）を含んでいない。

（注）穴あけ深さはアンカー打込み時の打撃により、芯棒先端が本体拡張部より飛び出るため、基準寸法より深めにあけることが望ましい。

2．内部コーン打込み式（めねじ式）

本体に内蔵されているコーンを打ち込むと拡張部が開き固着する。



＜内部コーン打込み式標準品＞図１１．２

表１１．２

呼び径	アンカー本体（mm）			穴あけ（mm）		Ａｃ	短期許容引張力	短期許容せん断力
	外形	長さ	埋込	穴径	深さ	(cm^2)	（ｋＮ）	（ｋＮ）
Ｍ８	10	30	30	10.5	32	47	2.44	4.03
Ｍ１０	12	40	40	12.5	42	63	3.28	6.39
	12.5			13.0				
Ｍ１２	15	50	50	15.5	52	81	4.22	9.29
	16			16.5				
Ｍ１６	20	60	60	20.5	62	143	7.45	17.30
		65	65		67			
Ｍ２０	25	80	80	25.5	82	251	13.07	27.01

・Ａｃ：有効水平投影面積

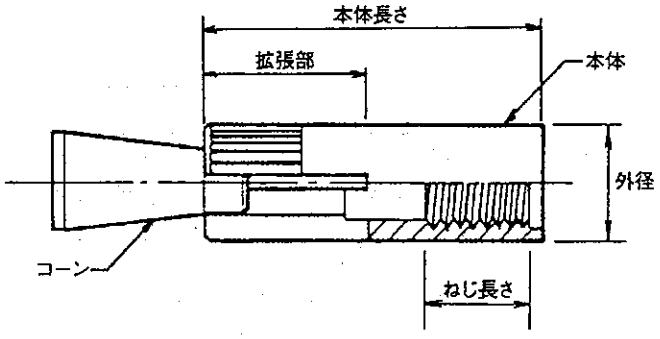
・長期の許容引張力と許容せん断力の値は、それぞれの短期の値の２／３。

・コンクリートのＦｃを１．76×10^3N／cm^2、（Ｆｃ・Ｅｃ）$^{1/2}$を4.9×10^4N／cm^2として算出した。

・アンカー本体の埋込み深さは、コンクリート表面の仕上モルタル厚さ（一般的には２～３cm程度）を含んでいない。

3．本体打込み式（めねじ式）

本体拡張部先端にコーンがついており、本体を打ち込むことにより拡張部が開き固着される。



<本体打込み式打ちねじタイプの標準品> 図11．3

表11．3

呼び径	アンカー本体（mm）			穴あけ（mm）		Ａｃ (cm²)	短期許容引張力（ｋＮ）	短期許容せん断力（ｋＮ）
	外形	長さ	埋込	穴径	深さ			
Ｍ８	12.0	35	35	12.5	37	52	2.71	4.03
Ｍ１０	14.0	40	40	14.5	42	68	3.54	6.39
Ｍ１２	17.5	50	50	18.0	52	102	5.31	9.29
Ｍ１６	21.5	60	60	22.0	63	154	8.02	17.30
Ｍ２０	25.4	80	80	26.5	83	265	13.80	27.01

・Ａｃ：有効水平投影面積

・長期の許容引張力と許容せん断力の値は、それぞれの短期の値の２／３。

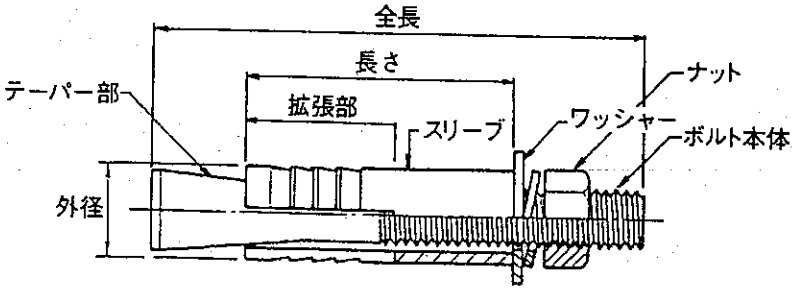
・コンクリートのＦｃを 1.76×10^{3}N／cm²、（Ｆｃ・Ｅｃ）$^{1/2}$を 4.9×10^{4}N／cm²として算出した。

・アンカー本体の埋込み深さは、コンクリート表面の仕上モルタル厚さ（一般的には２～３cm 程度）を含んでいない。

4．スリーブ打込み（おねじ式）

スリーブを打込むことによりボルトのテーパー部にそって拡張部が開き固着される。

ボルトにスリーブ・ワッシャーおよびナットがセットされたボルトタイプのアンカー。



<スリーブ打込み式ボルトタイプの標準品>　図１１．４

表１１．４

呼び径	アンカー本体（mm）			穴あけ（mm）		Ａｃ	短期許容引張力	短期許容せん断力
	外形	長さ	埋込	穴径	深さ	(cm^2)	（ｋＮ）	（ｋＮ）
Ｍ８	12	35	35	12.5	37	52	2.71	4.03
Ｍ１０	14	40	40	14.5	42	68	3.54	6.39
Ｍ１２	17.3	50	50	18.0	52	102	5.31	9.29
Ｍ１６	21.7	60	60	22.5	63	154	8.02	17.30
Ｍ２０	25.4	80	80	26.5	83	265	13.80	27.01

・Ａｃ：有効水平投影面積

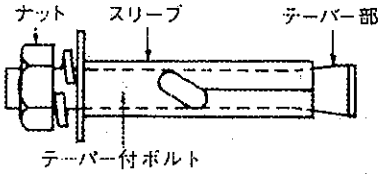
・長期の許容引張力と許容せん断力の値は、それぞれの短期の値の２／３。

・コンクリートのＦｃを $1.76\times10^3 N/cm^2$、$(Fc\cdot Ec)^{1/2}$ を $4.9\times10^4 N/cm^2$ として算出した。

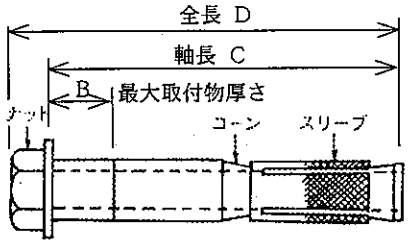
・アンカー本体の埋込み深さは、コンクリートの表面の仕上モルタル厚さ（一般的には２～３cm 程度）を含んでいない。

5．コーンナット式（おねじ式）

ナットを締付けるとコーンナットが引上げられ、スリーブの拡張部が開き固着される。締付け方式のアンカーでトルク管理ができる。重量物取付用アンカーとして使用される。



《コーンナット式アンカー》



《ダブルナット式アンカー》

図１１．５

表１１．５

呼び径	アンカー本体（mm）				穴あけ（mm）		締付トルク (kN·cm²)	Ａｃ (cm²)	許容引張力 (ｋＮ)	許容せん断力 (ｋＮ)
	外形	最大取付物厚さ	軸長	全長	穴径	深さ				
Ｍ１２	19	15	105	130	20	110 以上	7.84	308	16.6	31.20
Ｍ１６	24	16	125	160	25	130 以上	19.63	455	24.5	49.83
Ｍ２０	29	16	155	185	30	160 以上	39.2	733	3.81	72.76

日本ドライブィット（株）TX アンカー（ダブルナット式）の例

・穴あけ深さは取付物厚さを加えた数値

・Ａｃ：有効水平投影面積

・長期の許容引張力と許容せん断力の値は、それぞれの短期の値の２／３。

・コンクリートのＦｃを 1.76×10^3N／cm²、（Ｆｃ・Ｅｃ）$^{1/2}$を 4.9×10^4N／cm² として算出した。

・アンカー本体の埋込み深さは、コンクリート表面の仕上モルタル厚さ（一般的には２～３cm 程度）を含んでいない。

・締付けトルクから許容引張力を求める式。

許容引張力をトルクから求める式（参考文献（５））

ナットを締付けるために回す力（トルク）の大きさは発生する軸力とボルトの呼び径の積に比例し、その比例定数をトルク係数という。この理論を応用して、下記の式でトルク管理で施工ができる。参考文献（５）の式に安全係数を考慮した。

$$Pa = \frac{T}{k \cdot d} \times A$$

Pa：許容引張力（N）

T：トルク（N·cm）

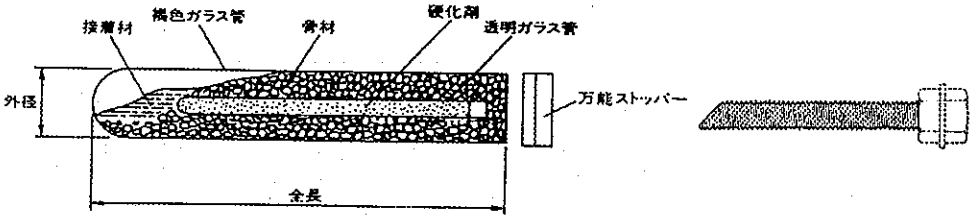
d：ねじの呼び径（cm）

k：トルク係数（通常 0.2 として計算する。）

A：安全係数　短期荷重　１／２

長期荷重　１／３

資料１１．２ 接着系アンカーボルトの許容力



カプセル型　　ボルト

図１１．６

表１１．６

呼び径	外形 (mm)	有効埋込み深さ (mm)	穴あけ (mm)		Ａｃ (cm²)	短期許容引張力 (ｋＮ)	短期許容せん断力 (ｋＮ)
			穴径	深さ			
Ｍ１０	10.0	80	12	90	231	11.36	6.39
Ｍ１２	12.0	88	14.5	100	283	13.92	9.29
Ｍ１６	16.0	114	19	130	476	23.41	17.30
Ｍ２０	20.0	180	24	200	1153	45.38	27.01

・Ａｃ：有効水平投影面積

・長期の許容引張力と許容せん断力の値は、それぞれの短期の値の２／３。

・コンクリートのＦｃを 1.76×10^{3}N／cm²、（Ｆｃ・Ｅｃ）$^{1/2}$を 4.9×10^{4}N／cm² として算出した。

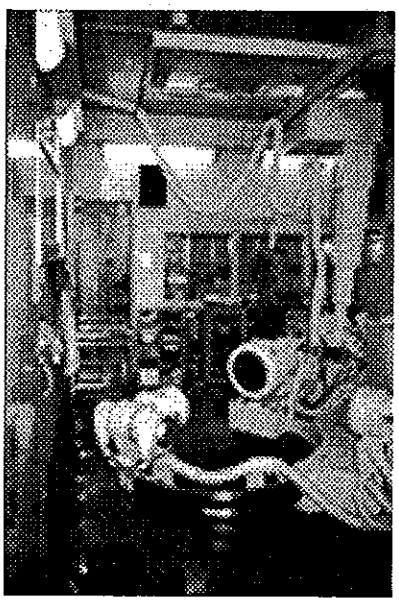
・アンカー本体の埋込み深さは、コンクリートの表面の仕上モルタル厚さ（一般的には２～３cm 程度）を含んでいない。

資料１１．３　**気象庁震度階**

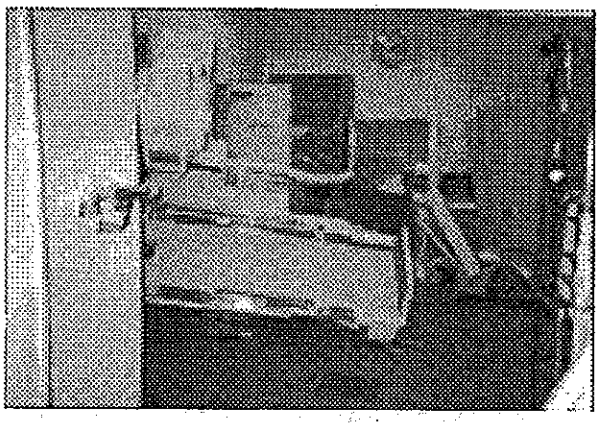
表１１．７

気象庁震度階				
震度階級	人　　間	室内の状況	室外の状況	加速度（ガル, gal）
0	人は揺れを感じない			０～０．８
1	室内にいる人の一部が、わずかな揺れを感じる.			０．８～２．５
2	室内にいる人の多くが、揺れを感じる. 眠っている人の一部が目を覚ます.	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる.		２．５～８
3	室内にいる人のほとんどが揺れを感じる. 恐怖感を覚える人もいる.	棚にある食器類が、音を立てることがある.	電線が少し揺れる.	８～２５
4	かなりの恐怖感があり、一部の人は、身の安全を図ろうとする. 眠っている人のほとんどが目を覚ます。	つり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる. 座りの悪い置物が倒れることがある.	電線が大きく揺れる. 歩いている人も揺れを感じる. 自転車を運転していて、揺れに気付く人がいる.	２５～８０
5弱	多くの人が、身の安全を図ろうとする. 一部の人は、行動に支障を感じる.	つり下げ物は激しく揺れ、棚にある食器類、書棚の本が落ちることがある. 座りの悪い置物の多くが倒れ、家具が移動することがある.	窓ガラスが割れて落ちることがある. 電柱が揺れるのがわかる. 補強されていないブロック塀が崩れることがある. 道路に被害が生じることがある.	８０～
5強	非常な恐怖を感じる. 多くの人が行動に支障を感じる.	棚にある食器類、書棚の本の多くが落ちる. テレビが台から落ちることがある. タンスなど重い家具が倒れることがある. 変形によりドアが開かなくなることがある. 一部の戸が外れる.	補強されていないブロック塀の多くが崩れる. 据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある. 多くの墓石が倒れる. 自動車の運転が困難となり、停止する車が多い.	～２５０
6弱	立っていることが困難になる.	固定していない重い家具の多くが移動、転倒する. 開かなくなるドアが多い.	かなりの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する.	２５０～
6強	立っていることが出来ず、はわないと動くことが出来ない.	固定していない重い家具のほとんどが移動、転倒する. 戸が外れて飛ぶことがある.	多くの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する. 補強されていないブロック塀のほとんどが崩れる.	４００
7	揺れにほんろうされ、自分の意志で行動出来ない.	ほとんどの家具が大きく移動し、飛ぶものもある.	ほとんどの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する. 補強されているブロック塀も破損するものがある.	４００以上

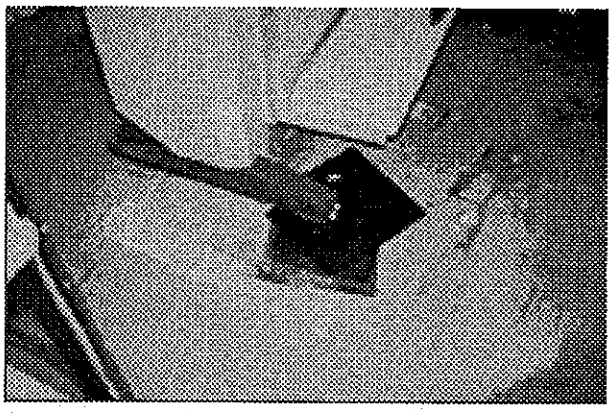
資料１１．４　被害写真



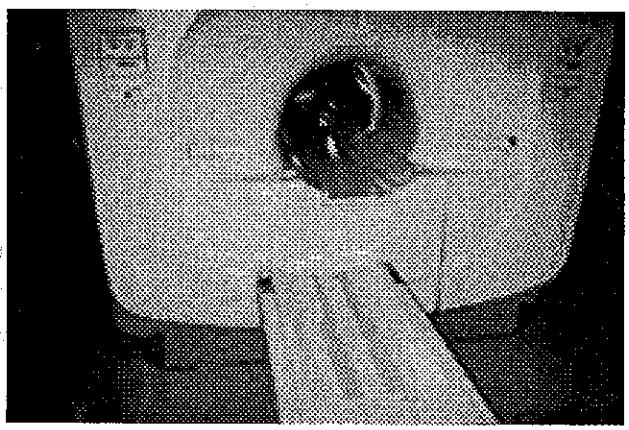
① 天井走行式Ｃアーム支持器の落下
（レール端部からぬけ落ちた。）



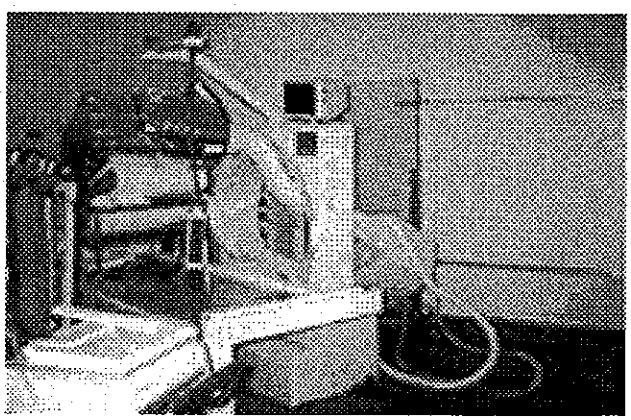
② Ｘ線テレビ装置の転倒
（アンカーボルトが引抜けた。）



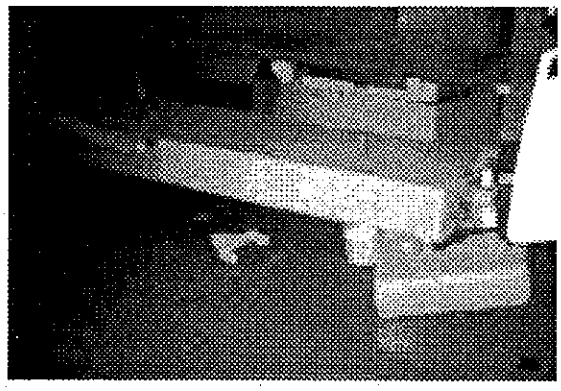
③ 近接式Ｘ線テレビ装置の移動
転倒はまぬがれたが散乱したＸ線フィルムがベースの下にはさまれている。このタイプは固定されていなかったものが多い。



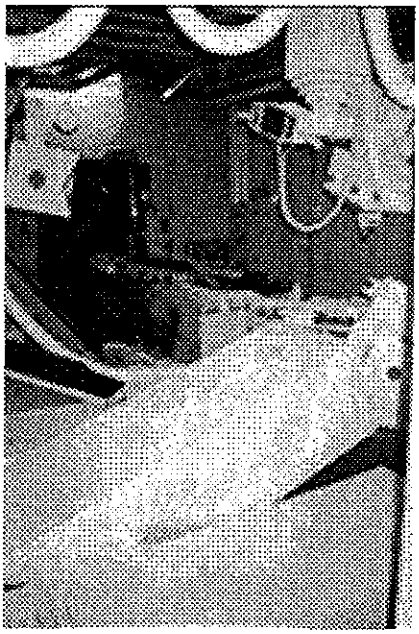
④ ＭＲＩ装置の移動
固定仕様になっていないので、数cm～数＋cm移動した。



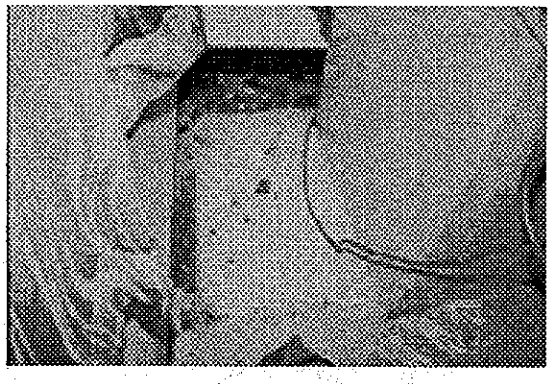
⑤ シンチレーションカメラの移動
（床走行レールの端部まで移動して脱線）



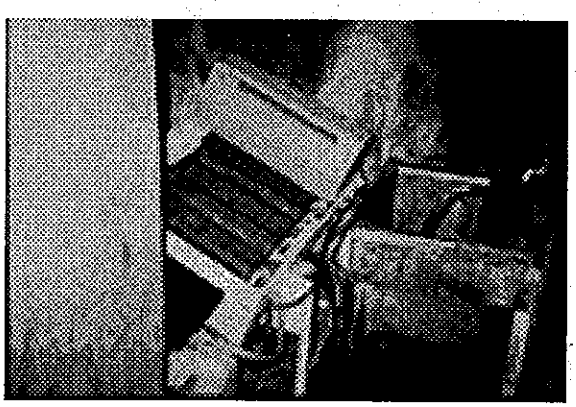
⑥ 乳房撮影台の転倒
床と壁にアンカーボルト固定されて
いたがボルトが引抜けて転倒した。



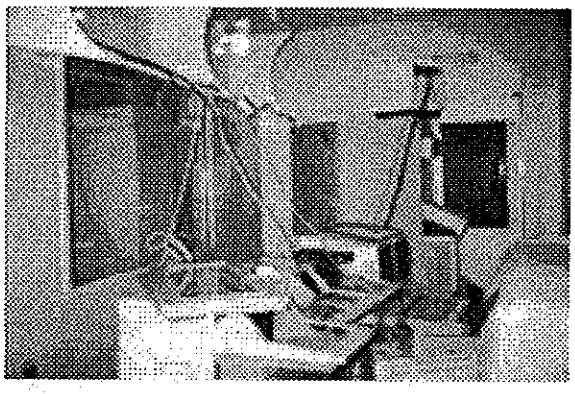
⑨ キャビネットの転倒
固定仕様になっていないので多くの
キャビネットが転倒した。



⑦ 高電圧発生装置の移動



⑩ 自動現像器の転倒
小型のものは架台の上に設置されて
いるので転倒・落下が見られた。



⑧ 壁付モニターの落下
モニターと架台が固定されていなかった。