

その後、兵庫県南部沖地震を機に、1997年に水平震度が更に強化され、1.0G、1.5G、2.0Gとする耐震基準となった。この時、貯水槽の天井周囲に被害が発生したことからスロッシングを考慮した設計となり、現在に至っている。日本給水タンク工業会ではこの基準に基づく設計基準作りを行ったために、大きく構造の変更があった。具体的には当初の仕様品を初期耐震仕様品、第1回目の変更による仕様品を旧耐震仕様品、第2回目以降今日までの仕様品を新耐震仕様品としている。市場に納入された貯水槽の台数はそれぞれ74万台、98万台、30万台となっている。

貯水槽の設計耐用年数は15年としている。初期耐震仕様品、旧耐震仕様品とも耐用年数を超え、更新時期となっている中で、過去の地震の被害状況を見ると設置年数の長い初期耐震仕様品ほど被害の程度が激しく、問題のなかった台数の割合が少ない。初期耐震、旧耐震品の出荷した割合は80%以上であり、現在の耐震基準に合致せず、設計耐用年数も超えていることから更新を進める時期である。

調査した中では、水道の破損は70%にあたり、復旧にも10日から30日かかっていた。その中で保有水を確保していた貯水槽は65%を超えており、破損した貯水槽でも同様な結果が出ている。地震による被害は漏水、配管接続部、マンホール周囲に多かった。

事前に被害を防止できた可能性のある対策は現行耐震基準への対策、配管周りの耐震改善が主であり、耐震絡みがほとんどであった。また、保有水を確保するための“水”の節約方法はトイレの自動給水の停止、節水の張り紙などであったが、貯水槽の役割としては水道水の確保、生活水の確保として貯水槽の保有水を利用している。

緊急時での応急給水も保有水の利用方法として必須な事項であり、その給水の方法、応急給水訓練など対策が必要であった。

## 「自家用水道の災害時の活用および管理水準の向上に関する研究」

### — 日本給水タンク工業会の報告資料 —

#### 整理方針案① これまでの震災時での貯水槽の役割について

##### 1. 水槽の耐震設計の変遷・・・・・・・・

###### 1-1. 耐震基準の変遷

給水タンクの耐震設計は、1978年の宮城沖地震を教訓に建築基準法施行令（第39条の2）の一部が改正され、それを受けて強化プラスチック協会により1980年に「FRP水槽耐震設計基準」、1981年に「FRP水槽構造設計計算法」が作成された。FRP給水タンクメーカー各社は本基準、設計法に従って耐震設計を実施している。それ以来、建築設備の中ではFRP給水タンクは先進的に耐震設計・耐震実験に取り組んできている。

1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災では、1980年の耐震設計に従って設計された水槽にも被害が発生した。特にスロッシング現象により天井部を中心とした被害が観測された。

これを受けて、1996年6月にFRP協会により「FRP水槽設計基準」、同年11月に「FRP水槽構造設計計算法」が各々改定された。また、(財)日本建築センター発行の「建築設備設計・施行指針」も改定され、1997年度版として発行された。

改訂のポイントは、地震時の入力加速度のアップとスロッシング対応である。タンクの加速度計算に用いる設計用水平震度KHとスロッシング計算に用いる速度応答スペクトル値SVを表1に示す。給水タンクは重要機器として取り扱われるため、重要度係数を1.0、及び1.5としており、KH、SVともに従来に比して厳しい基準になっている。高置水槽については、設置階数による地震応答を考慮して受水槽より厳しい基準となっている。

この考え方をベースに各社新耐震基準適合水槽として開発・製造し、1997年から販売を開始している。

[スロッシング（液面揺動）とは]

地震によるタンクの応答には、地震の加速度に対して応答する加速度応答と、変位のやや長周期成分に対して共振的に応答する変位応答がある。スロッシングとは後者の現象を言う。従って、地震の加速度が小さくとも、変位のやや長周期成分とタンクのスロッシング周期が近いと天井などを破損する水圧を発生させることがある。

スロッシングへの具体的な対策は、天井パネルの強度アップ、側板パネル上部の強度アップ、および天井梁による補強である。



以下に、(社)強化プラスチック協会「FRP水槽耐震設計基準(1996年版)」に基づき、外力の種類等計算法の概要を紹介する。

●外力の種類

1) 常時かかる荷重

- a. 静水圧
- b. 固定荷重

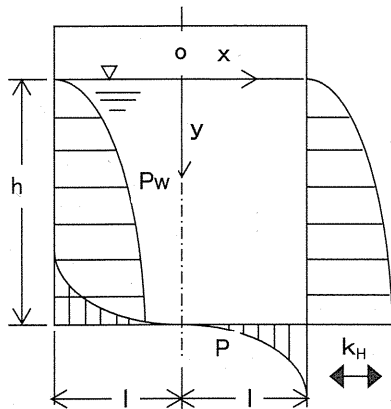
2) 短期的にかかる荷重

- a. 変動水圧 加速度応答水圧計算値とスロッシング応答水圧計算値

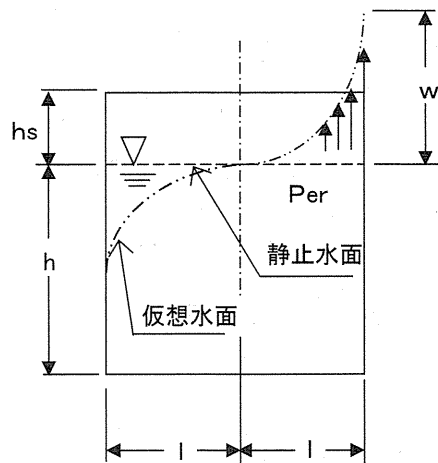
地震による水槽の応答には、以下の2つの応答がある。

- (ア) 地震の加速度に対して応答する加速度応答
- (イ) 変位のやや長周期成分に対して共振的に応答する変位応答

スロッシングとは、(イ)の現象を言い、地震の加速度が小さくても、変位のやや長周期成分と水槽固有のスロッシング周期が接近して共振状態になると、高い水圧が発生して天井を破損させる危険がある。



矩形水槽の加速度型応答による  
変動水圧分布



スロッシング応答による  
変動水圧

加速度計算に用いる水平震度 $K_H$ とスロッシング計算に用いる速度応答スペクトル値 $S_V$ を下表に示す。高置水槽と受水槽では、設置階数による地震応答が異なるために高置水槽の数値が大きくなる。

また、重要度係数は、水槽の場合、重要機器として取り扱われるとして、1.5としている。

水平震度 $K_H$ と速度応答スペクトル値 $S_V$

		水平震度 $K_H$		速度応答 $\lambda^\circ$ 外値 $S_V(\text{cm/s})$	
重要度係数		1.0	1.5	1.0	1.5
用途	高置水槽	1.5	2.0	375	375
	受水槽	1.0	1.5	150	150

b. 積載荷重

水槽構造	積載荷重 $P$ (N)		
一体式	天井投影面積	4 $\text{m}^2$ 以下	784
		4 $\text{m}^2$ を超える	1568
組立式	パネル1枚当たり		784

3) 地上、屋上など屋外に設置されたものにあつては、必要に応じて考慮するもの。

a. 積雪荷重

b. 風圧力

水槽形状	水槽部位	風圧力 $p$ (N/m <sup>2</sup> )		風荷重 $D$ (N)	
		設置場所		設置場所	
		地上 (受水槽)	屋上 (高置水槽)	地上 (受水槽)	屋上 (高置水槽)
球形	水槽周り	1176	3136	588×A	1568×A
円筒形	水槽周り	1176	3136	823×A	2499×A
	天井	-941	-2499		
角形	水槽周り	941	2499	1441×A	3773×A
	天井	-941	-2499		

A：受圧見付面積 (m<sup>2</sup>)

・これらの外力に対して、FRP製給水タンクのFRPパネル、鋼製補強材、架台、アンカーボルト等各部材に発生する応力が、各材料の許容応力以内に収まるように設計している。

- ・給水タンクの設計耐用年数は15年としているが、その際、FRPについては15年間の経年劣化を見込んで安全率を設定して設計している。
- ・設計耐用年数15年は、適切なメンテナンスを実施することが前提で、そのメンテナンス次第または、設置環境次第では15年以上は十分に使用可能である。
- ・設計耐用年数15年は、水槽本体の機能についてであり、定期的に交換が必要な消耗品的部品もあり、通気口やオーバーフロー口の防虫網、各部パッキン類がこれに当たる。
- ・また、FRPのガラス繊維が浮き出るチョーキング現象等外観劣化、変色、シール部の漏水、金属類の鍍等水槽の本質的機能と異なるものについては、設計耐用年数の対象外となる。

#### ●FRPの物性値と許容応力の考え方

##### 1) FRPの物性値

FRPは不飽和ポリエステル樹脂とガラス繊維の複合材で、一体型タンク用材料としては、JISに規定されており、その性能の一部を下表に示す。

FRPの代表的物性値

項目	単位	性能
	引張強さ	
曲げ強さ	Mpa	78 以上
曲げ弾性率	Gpa	5.9 以上
ガラス繊維含有率	% (質量)	25 以上
バーコル硬さ	—	30 以上
吸水率	%	1.0 以下

## 2) 安全率・許容応力の考え方

許容応力 = 限界値 / 安全率  $\geq$  作用応力

限界値の考え方には、以下の2種類がある。

### a. 材料の破損強度が基準となる場合

a-1 永久変形が問題となる場合・・・比例限度力

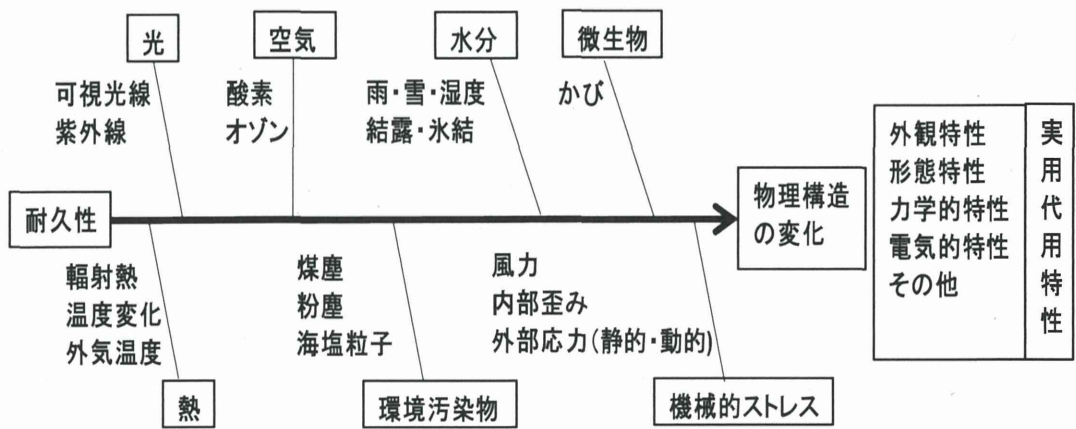
a-2 破壊が問題となる場合・・・破壊強さ

FRP材料は金属材料のように延性がなく、応力～歪み線図の非線形性は少なく比例限度力も定義し難く、一般に材料強度として破壊強さが求められているので材料の破損強度が基準となる場合には限界値として破壊強さを採用する。

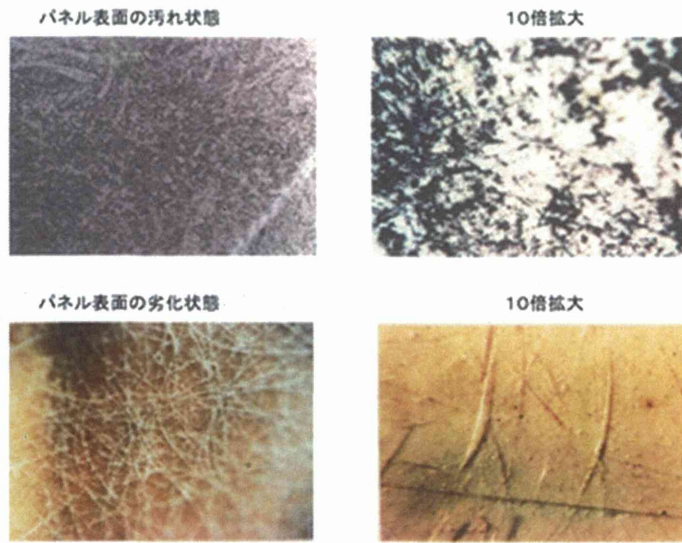
### b. 構造としての剛性が基準となる場合を起すなど運用上支障を来すことがある。

この場合は、水槽構造寸法や材料の弾性係数が問題となる。

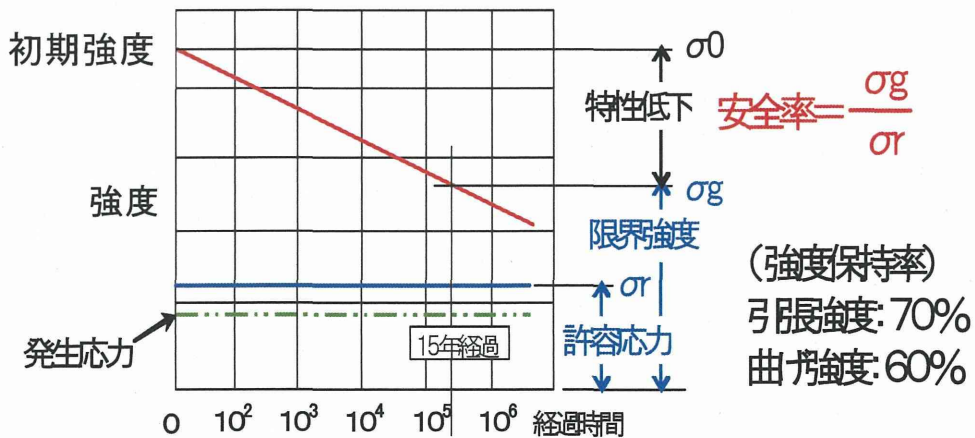
一般にFRPに限らず合成樹脂は経年と共に低下する。原因は多岐にわたり複雑であるが中でも紫外線が大きく影響するとみられる。使用中の材料として何ら破損する訳ではないが、変形が大きいとか、座屈現象水槽の状態を調べるため水槽が今どれくらいの強度を保持しているのか、いわゆる非破壊試験での方法で保持強度の評価技術は確率されていない。従って、実使用のパネルを回収し機械物性を測定し保持強度を評価している。次図に一般的なプラスチック製品の劣化要因を示す。



劣化によるパネル表面の状態を次写真に示す。



また、FRPの安全率・許容応力については以下のように考えられている。  
主材料 [FRP材] の初期強度から15年間の経年による強度低下を見込む。



3) 静的特性値と限界値

a) 材料の破損強度が基準となる場合

破壊強さの種類	静的（常温での） 特性値 (Mpa)	限界値 (Mpa)
引張強さ	$F_t$	$0.7 \times F_t$
曲げ強さ	$F_b$	$0.6 \times F_b$
面内せん断強さ	$F_s$	$0.7 \times F_s$
層間せん断強さ	$F_{IS}$	$0.7 \times F_{IS}$
横せん断強さ	$F_T$	$0.6 \times F_T$
面圧強さ	$F_B$	$0.7 \times F_B$

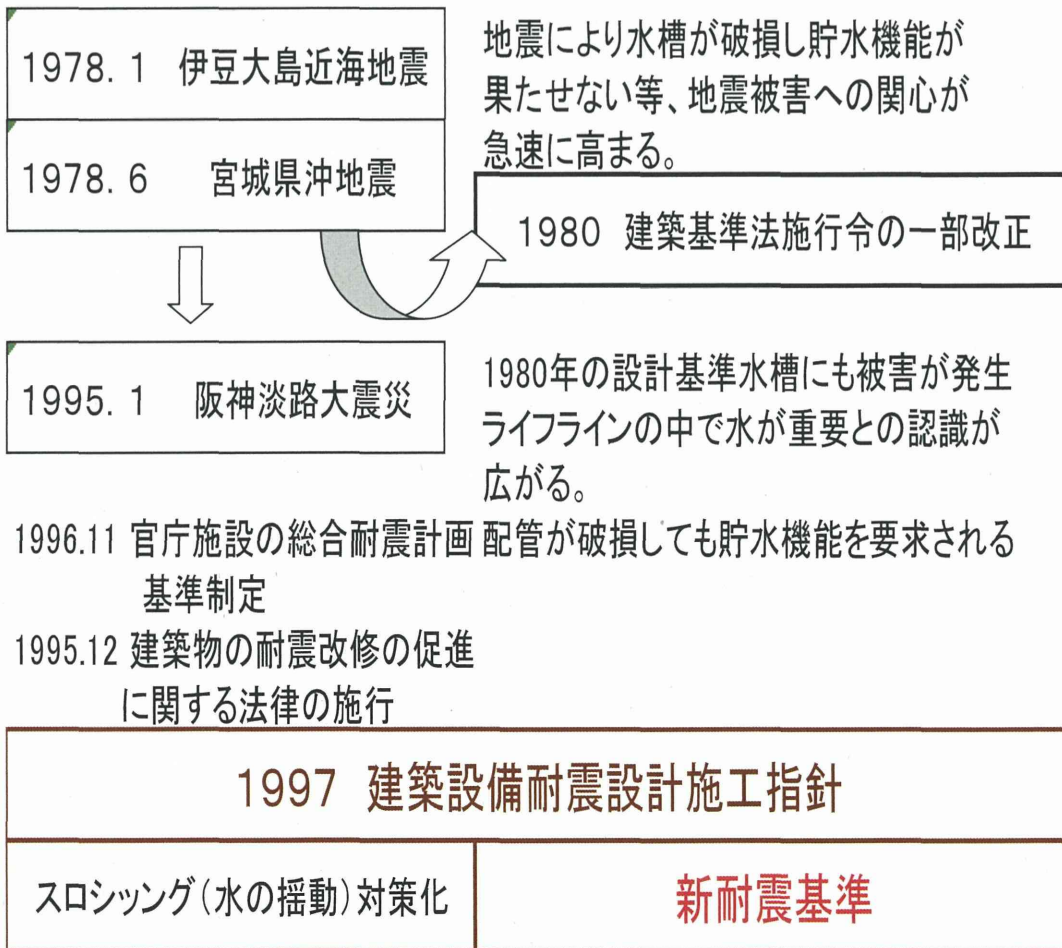
b) 構造としての剛性が基準になる場合

弾性係数の種類	静的（常温での） 特性値 (Mpa)	限界値 (Mpa)
引張弾性係数	$E_t$	$0.8 \times E_t$
曲げ弾性係数	$E_b$	$0.8 \times E_b$
面内せん断弾性係数	$G$	$0.8 \times G$
ポアソン比 ( $\nu$ )	0.3	0.3

以下に給水タンクの耐震仕様と法令の変遷を示す。



## 水槽強度計算法の基準



# 給水タンク耐震仕様と法令の変遷

## ●給水タンク 耐震仕様と法令の変遷

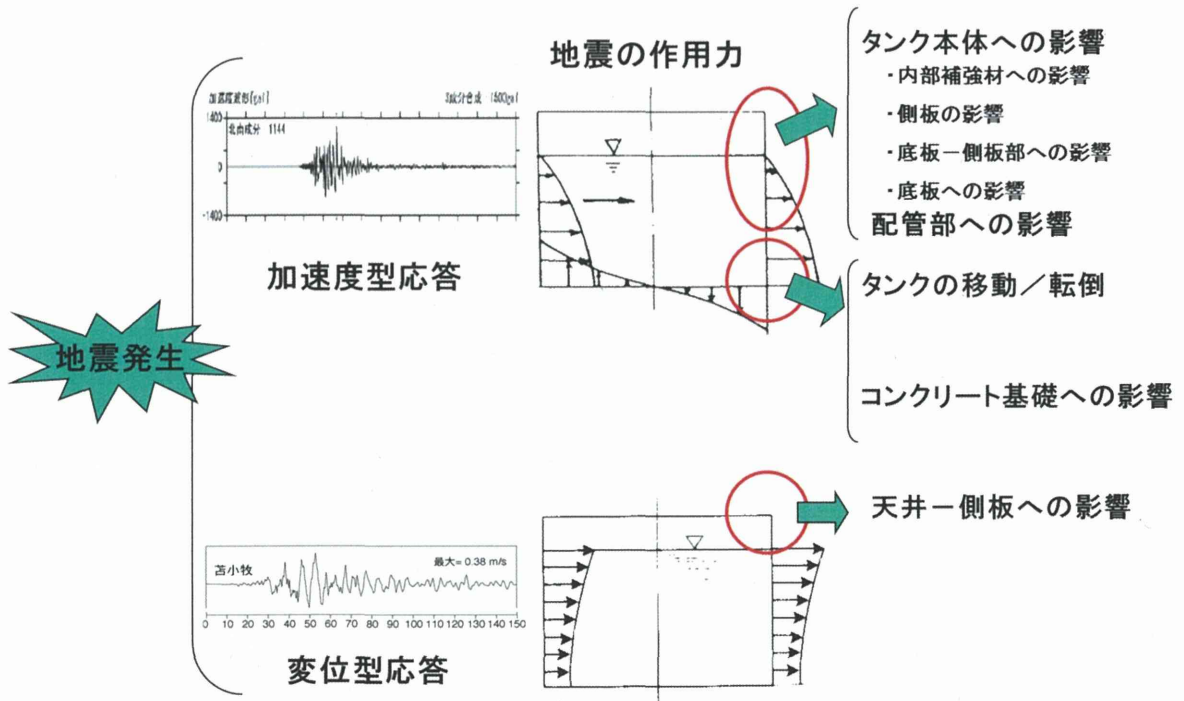
仕 様	年 代	地 震	法 規・基 準 等	耐 震 基 準																												
初期耐震仕様タンク	1981年 (昭和56年) 以前		1950年 (昭和25年) 「建築基準法」制定	水平震度 : 0.3G (垂直震度は含まず)																												
旧耐震仕様タンク	1982~96年 (平成8年) まで	1978年 (昭和53年1月) 伊豆大島近海地震 (昭和53年6月) 宮城県沖地震	<p>地震被害調査の結果</p> <p>●1980年 (昭和55年7月) 建築基準法施行令改正 同年11月 建設省告示第1790~1795号 同年12月 建設省告示第1799号 1981年 (昭和56年3月) 建築設備の耐震設計・施工指針 1981年 (昭和56年6月) 建設省告示第1101号</p> <p>●1981年 (昭和56年6月) 建築基準法施行令適用開始</p> <p>1994年 (平成6年12月) 建設省告示第2375号</p>	<p>■1980年 建築基準法施行令による設計水平震度</p> <table border="1"> <tr> <td>上層階・屋上 及び塔屋</td> <td>1.0G</td> <td>1.5G</td> </tr> <tr> <td>地下及び1階</td> <td>2/3G</td> <td></td> </tr> </table>	上層階・屋上 及び塔屋	1.0G	1.5G	地下及び1階	2/3G																							
上層階・屋上 及び塔屋	1.0G	1.5G																														
地下及び1階	2/3G																															
新耐震仕様タンク スロッシング対応	1997年 (平成9年) 以後	1995年 (平成7年1月) 兵庫県南部地震	<p>地震被害調査の結果</p> <p>1996年 (平成8年11月) 官庁施設の総合耐震計画基準 機械設備工事共通仕様書</p> <p>●1997年 (平成9年7月) 「建築設備耐震設計・施工指針」改訂</p> <p>●2005年 (平成17年5月) 「建築設備耐震設計・施工指針」改訂</p>	<p>■2005年 建築設備耐震設計・施工指針による設計水平震度</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">設置場所</th> <th colspan="4">耐震安全性の分類</th> </tr> <tr> <th colspan="2">特定の施設</th> <th colspan="2">一般の施設</th> </tr> <tr> <th>重要水槽</th> <th>一般水槽</th> <th>重要水槽</th> <th>一般水槽</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>上層階・屋上 及び塔屋</td> <td>2.0G</td> <td>1.5G</td> <td>1.5G</td> <td>1.0G</td> </tr> <tr> <td>中間階</td> <td>1.5G</td> <td>1.0G</td> <td>1.0G</td> <td>0.6G</td> </tr> <tr> <td>地下及び1階</td> <td>1.5G</td> <td>1.0G</td> <td>1.0G</td> <td>0.6G</td> </tr> </tbody> </table>	設置場所	耐震安全性の分類				特定の施設		一般の施設		重要水槽	一般水槽	重要水槽	一般水槽	上層階・屋上 及び塔屋	2.0G	1.5G	1.5G	1.0G	中間階	1.5G	1.0G	1.0G	0.6G	地下及び1階	1.5G	1.0G	1.0G	0.6G
設置場所	耐震安全性の分類																															
	特定の施設		一般の施設																													
	重要水槽	一般水槽	重要水槽	一般水槽																												
上層階・屋上 及び塔屋	2.0G	1.5G	1.5G	1.0G																												
中間階	1.5G	1.0G	1.0G	0.6G																												
地下及び1階	1.5G	1.0G	1.0G	0.6G																												



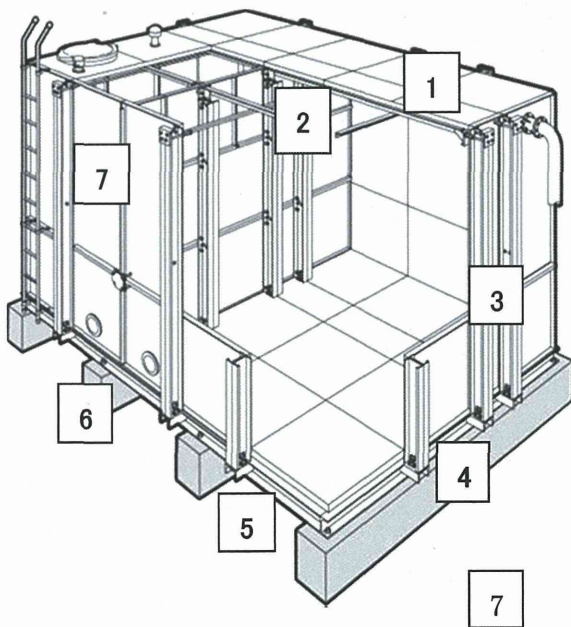
## 1-2 耐震基準の変遷に伴う貯水槽の仕様変遷

1-1の耐震基準に応じて、貯水槽の設計を実施し、開発を行ったが、地震発生に伴う設計のポイントは以下の通りである。

# 給水タンク設計のポイント



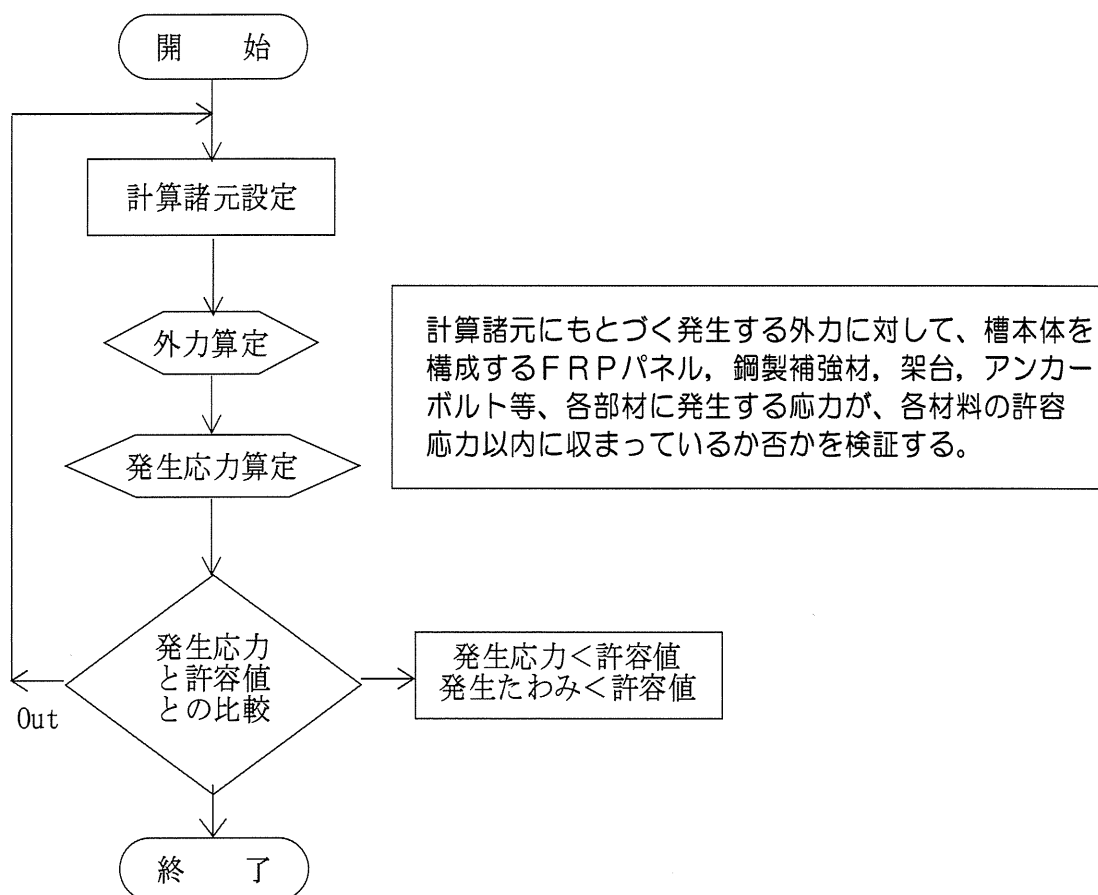
また、耐震構造の検証部位と手順は以下の通りである。



応力検証部位	
1	天井材
2	天井補強部材
3	側壁補強部材
4	本体据付ボルト
5	本体平架台
6	アンカーボルト

7 本体パネルは耐水圧試験による保持強度の確認

【 検 証 手 順 】



また、耐震基準の変更に伴い、給水タンクの構造についても大きな変更があった。すなわち、前項に示した通り、初期耐震仕様（非耐震）、旧耐震仕様、新耐震仕様タンクである。次ページにその大まかな構造を示すが、各々、その当時の設計基準に従って設計されており、現在の耐震基準ですれば、構造的に地震に対し、強度を維持できないことは明らかである。

現在、市場に設置されている仕様の給水タンクは明確にその数量を捉えることはできないが、給水タンク工業会として出荷している数量は以下の出荷基数となっている。

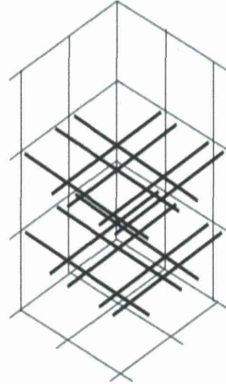
1968年～1981年	初期耐震仕様	74万台
1982年～1996年	旧耐震仕様	98万台
1997年～現在	新耐震仕様	36万台

（注）1968年以前のデータはない。

給水タンクの設計耐用年数は15年であり、初期耐震仕様品、旧耐震仕様品とも更新の時期であり、市場に出荷した給水タンクの80%以上はそれに該当する。

## 水槽本体の補強方式の変遷

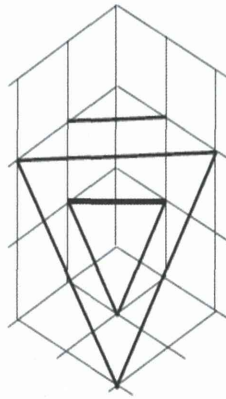
ステー方式



向かい合う側壁の交点を  
 $\Phi 12\text{mm}$  SUS製ロッドで  
引っ張り合う方式

昭和39年（'64年）発売  
当初～  
旧建築基準法適合品

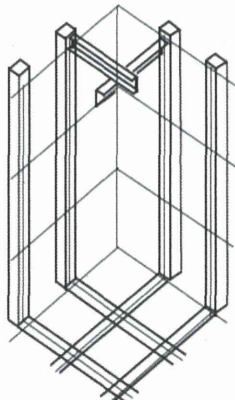
プレス方式



水槽の四隅でトリアン  
グル状に補強材を配置し  
たプレス補強方式

昭和58年（'83年）FRP  
水槽耐震設計基準適合  
昭和56年度改正建築基準法

外部補強方式



側壁補強柱、鉄平架台、  
蓋梁補強材とをラーメン  
（円形）構造とした高剛  
性補強方式

平成8年（'96年）新建築基準  
法  
1.0、1.5、2.0G使用品  
阪神・淡路大震災の教訓に基づく

## 2. 過去の地震の被害状況・・・・・・・・

日本給水タンク工業会では、過去の地震における貯水槽の被害状況を調査し、各耐震仕様ごとにまとめた。その結果を以下に示す。

### 2-1 阪神淡路大震災における被害状況

日本給水タンク工業会では、兵庫県、大阪府、京都府の延べ納入台数（推定）97,850台の中で、〈客〉から調査・依頼のあった1,449台を集計した。これを初期耐震（～'81年5月）と旧耐震（'81年6月～）に分け、漏水、一部破損、(A)、一部破損(B)、全壊に分類し、集計した。その結果を以下の表に示す。

表 阪神淡路大震災でのFRP製水槽の被害状況

被害状況	初期耐震仕様	旧耐震仕様
(1) 漏水 簡易な補修で止水	177台 (1.03%)	344台 (0.43%)
(2) 一部破損(A)	115台 (0.67%)	183台 (0.23%)
(3) 一部破損(B)	424台 (2.47%)	148台 (0.18%)
(4) 全壊 修理不能	48台 (0.28%)	10台 (0.01%)
合計	764台 (4.45%)	685台 (0.85%)
兵庫県、大阪府、京都府の納入台数(推定)	17,150台	80,700台

\* ( ) 内数値は、被害／納入台数の百分率を示す。

分類の定義 (○は、当てはまる項目)

	修理不可能	修理可能	
		貯水機能維持 できていない	貯水機能 できている
(1) 漏水	—	—	○
(2) 一部破損(A)	—	—	○
(3) 一部破損(B)	—	○	—
(4) 全壊	○	—	—

尚、一部破損(A)は、一部破損したものの貯水機能を維持している。一部破損(B)は、一部破損し、貯水機能を維持できないが、修理にて機能回復可能を言う。破損の程度、補修費用、工事期間、〈客〉の事情などで、一部破損(A)、(B)の中に修理せず、取り替

えたものもある。

この集計結果から明らかなように、旧耐震仕様の点検数685台は納入台数の0.85%に対して、初期耐震仕様は764台で4.45%である。また、全壊は旧耐震仕様は10台で0.01%に対して、初期耐震仕様は48台で0.28%である。一部破損(B)は旧耐震仕様は148台で0.18%に対して、初期耐震仕様は424台で2.47%である。このように旧耐震仕様は、初期耐震仕様と比べ、被害率が少なく、耐震性能が高いと云える。これは耐震仕様施行に際して、耐震確認実験など、FRP水槽構造設計計算法を遵守したためと考えられる。

## 2-2 新潟県中越地震と福岡県西方沖地震における被害状況

日本給水タンク工業会では新潟県中越地震と福岡県西方沖地震について給水タンクの被害状況を調査した。この2つの地震の概要は下表の通りである。ともに阪神淡路大震災以降に発生した地震であり、阪神淡路大震災後の耐震基準の見直しによる給水タンクの仕様変更もあり、初期耐震仕様、旧耐震仕様、新耐震仕様の各々の仕様の被害状況を比べた結果を示す。

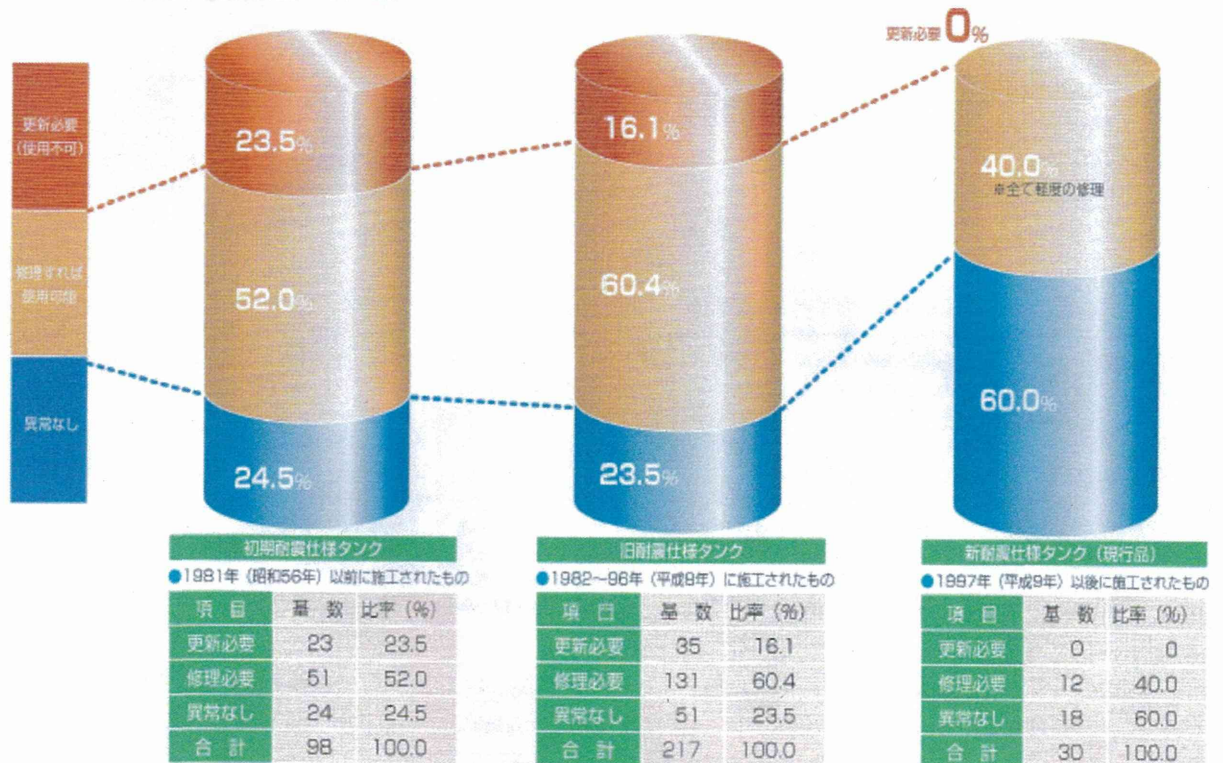
### ●調査対象地震の概要

名 称	新潟県中越地震	名 称	福岡県西方沖地震
発生時刻	2004年10月23日 17時56分	発生時刻	2005年3月20日 10時54分
震 源 地	新潟県中越地方	震 源 地	福岡県西方沖玄界灘
震源深さ	13km	震源深さ	9km
規 模	M6.8	規 模	M7.0
最大震度	7(新潟県川口町)	最大震度	6弱
種 類	直下型・逆断層型	種 類	直下型・横ずれ断層型
概 要	小千谷市・十日町市・長岡市・見附市周辺で被害が出たが、山間部で人口が密集していないことや家屋が豪雪地帯のため丈夫に作られていたことなどが、被害を抑えた要因であると言われている。	概 要	歴史上、この地域では大きな地震の記録がなく、有史以来初の大地震となった。福岡市中心部でも被害が出たが、震源地に近い同市西区と玄海島に被害が集中した。

注意) 市町村名は地震時の名称です。



■給水タンク被害状況（調査件数：345件）



当然のことながら、新耐震仕様の給水タンクでは被害を受けた中で更新が必要とされるものは発生しなかった。また、異常なしとするものも飛躍的に増えている。一方、初期耐震仕様では設置後20数年を経ていることから更新が必要とされる比率が高い。水槽の耐震設計の妥当性がうかがえる。

### 2-3 東日本大震災における給水タンクの被害状況

リビングアメニティ協会の参加メーカーに、震災後の調査依頼のあった給水タンクの件数は計1,175件であり、調査結果を出荷仕様別にまとめると以下の通りである。但し、津波による破損が明らかな件数は除いてある。また、設置場所（高架・高置と地上・地下）により被害状況に差があるかの調査も実施した。

該当地区出荷台数から、新耐震仕様の給水タンクの被害率を想定した。

リビングアメニティ協会の参加メーカーが生産した新耐震仕様（1997年製以降生産品）の給水タンクは、被害地5県に計36,930基出荷されていた。

この基数が、すべて現在も設置されていると仮定して被害割合の推定をおこなうと下記となる。

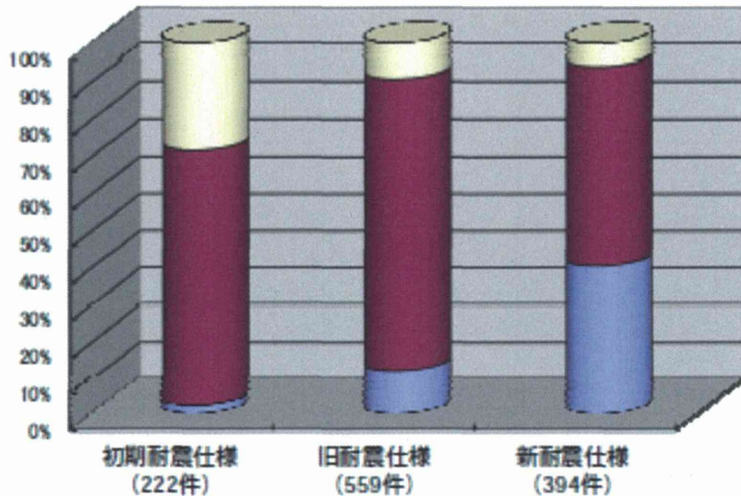
更新必要	0.06%
修理すれば使用可能	0.57%



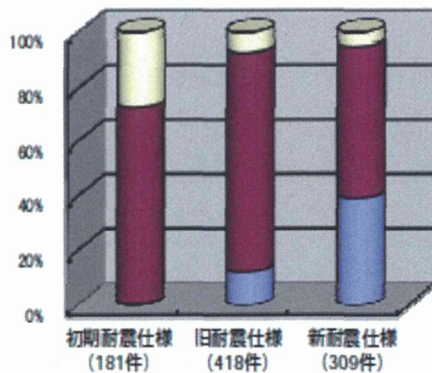
被災地5県で、更新必要と判断された基数は、設置基数の0.06%であると推定される。  
 設置場所（高架・高置と地上・地下）による被害状況の違いはなかった。

1997年以降に施行された給水タンクは、実地震に耐え、貯水機能を維持した。

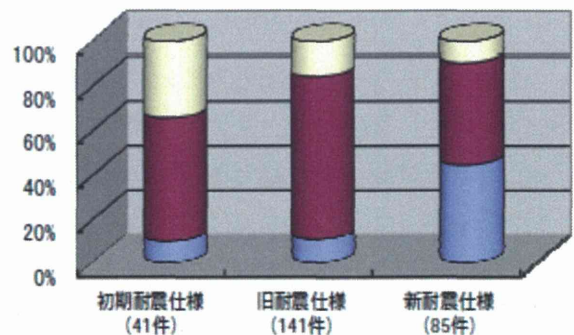
地震時の給水タンク被害状況(調査件数：1,175件)



地震時の給水タンクの被害状況  
 (地上・地下設置受水槽 調査件数：908件)



地震時の給水タンクの被害状況  
 (高架・高置水槽 調査件数：267件)



- 更新必要：パネルが破損して貯水機能を確保できない状態
- 修理すれば使用可能：貯水機能を確保しているが、部品・部材の交換が必要な状態
- 異常なし：増し締めなどの軽微な処置を含め、貯水機能を継続できる状態

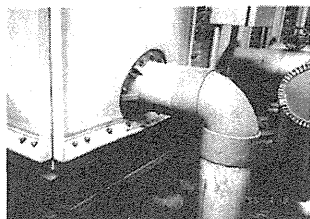
直近の大きな地震による水槽の被害を調査したが、当然のことながら、設置年数の長い水槽の更新に至る破損の比率は高く、設置年数の短い水槽には異常なしとする水槽の比率が高いことが分かる。これは過去に起きた地震により、水槽の耐震基準が変更になり、水槽そのものの強度が確保されていることにほかならない。

### 3. 貯水槽の被害状況の詳細（被害のあった部位など）

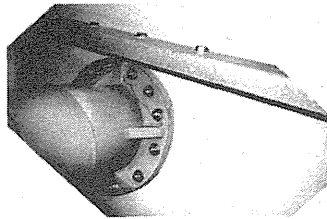
地震による被害状況の概要は前述の通りである。設置年数の長い水槽は被害が多く、その被害の程度も大きい。水槽の劣化もさる事ながら、古い水槽は耐震基準に合致していなく、水槽そのものの強度が確保されていないことがわかる。この章では地震によって、水槽のどの部位が被害にあったか、まとめた。

#### 3-1 阪神淡路大震災における被害状況

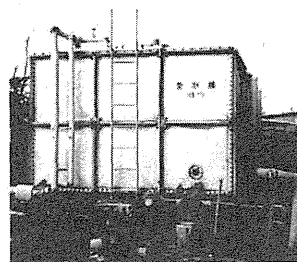
工業会として全体の調査データがないので、ある製造メーカーの調査データを添付する。一部破損の中では取出し口（内部配管含む）の破損が多かった。破損の原因としては配管サポートがなかったり、フレキシブルジョイントが未設置であったことによる。



溢水口の破損（サポート無し）



溢水口の破損（フランジ割れ）



出水口の破損（フレキシブルジョイント無し）

下記の表は給水タンクの詳細な破損部位を示した表である

表 旧耐震仕様水槽の破損部位別台数

破 損 部 位	受水槽		高置水槽	
	兵庫県	大阪府 その他	兵庫県	大阪府 その他
天井・マンホールの破損	22台	4台	3台	4台
側板の亀裂	1台	1台	0台	0台
底板の亀裂	2台	0台	0台	1台
中仕切板の亀裂	0台	0台	0台	0台
電極の防波筒の破損	1台	0台	0台	2台
内部トラップの破損	0台	0台	0台	0台
整流壁の破損	0台	0台	0台	0台
据え付け部の破損	0台	0台	0台	0台
合 計	26台	5台	3台	7台

\*亀裂とはライニングによってパネル補修が可能で、貯水機能が損なわれていない破壊状況を示します。

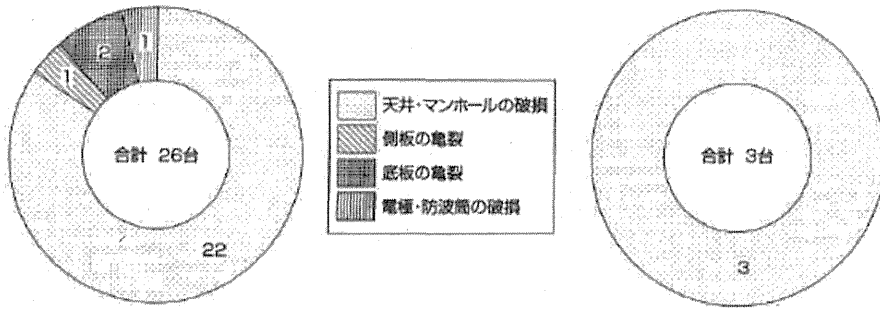


図 兵庫県の旧耐震仕様水槽 (受水槽)

図 兵庫県の旧耐震仕様水槽 (高置水槽)

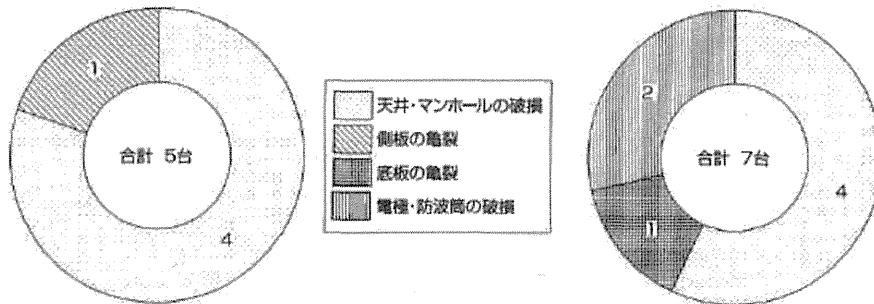


図 大阪府その他の旧耐震仕様 (受水槽)

図 大阪府その他の旧耐震仕様 (高置水槽)

一部破損の中で、天井の破損が多かった。天井破損の位置は天井端部のパネルがほとんどであり、クラック程度が大半であった。破損した部分が天井端部（水槽周囲）であったことと破損状況から、下からの水の突き上げによって天井が破損したと考えられる。

天井の破損は、以下のような破損形態に分類される。

- 天井パネルの割れ
- 天井パネル同士のボルト接合部の破損
- 天井パネルコーナー部の亀裂
- マンホールのヒンジ部の破損

天井破損の部位別の比率を下グラフに示す。高ヘッド、大容量の水槽ほど天井破損の比率は高く、水の突き上げによる天井への荷重が大きくなるスロッシングが起きたことが推測される。

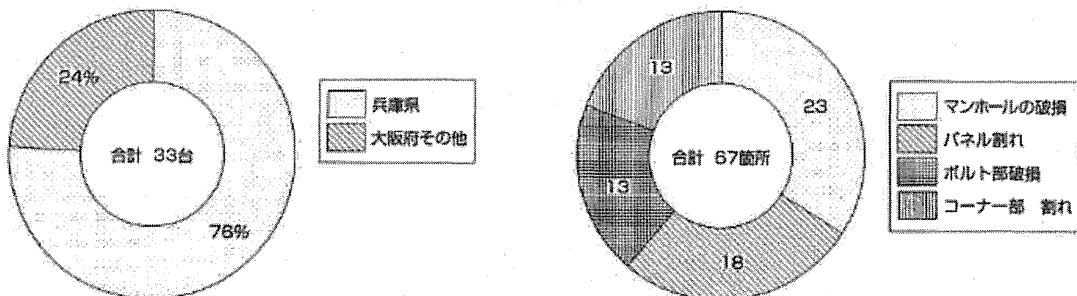


図 地区別の天井破損台数

図 天井破損形態別の延べ破損箇所数

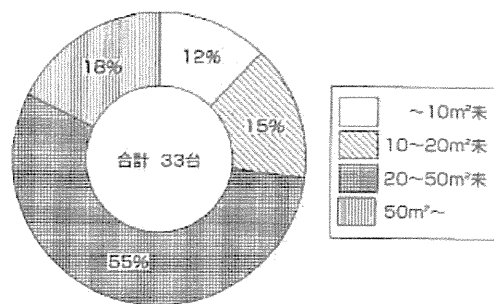
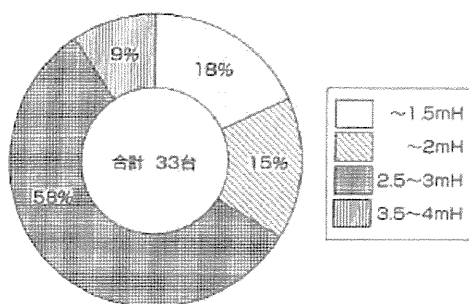
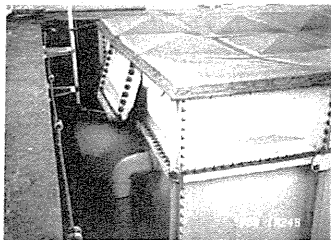
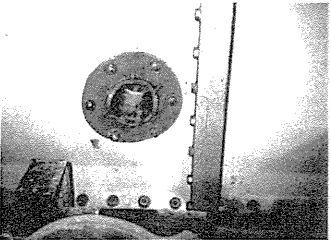
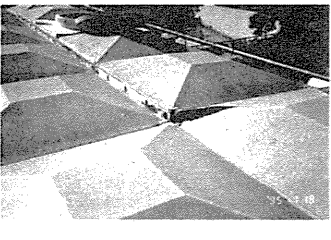
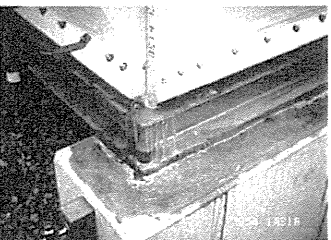


図 タンク高さ別の天井破損台数

図タンク平面平米数別の天井破損台数

全壊		<ul style="list-style-type: none"> <li>●斜板大破</li> <li>●天井陥没 (旧耐震)</li> </ul>
一部破損 (B)		<ul style="list-style-type: none"> <li>●側板取出口破損 (旧耐震)</li> </ul>
一部破損 (A)		<ul style="list-style-type: none"> <li>●天井破損 (新耐震)</li> </ul>
漏水		<ul style="list-style-type: none"> <li>●タンクコーナー部より漏水 (新耐震)</li> </ul>

上記写真は配管の被害例であるが、配管の支持が設けられていなかったり、フレキシブルジョイントが未設置である水槽が多かった。

阪神淡路大震災は直下型地震であり、天井近傍に被害が多かった。そのため、震災以降に見直された耐震基準では、スロッシングによる対策も含まれた。