

今回解説する用語

- 地震動と設計水平震度・設計鉛直震度
- レベル2地震動
- 許容応力度（設計）法
- 終局強度（設計）法

構造物の耐震設計において重要なポイントは、設計の際に想定すべき地震動の大きさと、保有すべき耐震性能に関して明らかにすることである。

屋外貯蔵タンクの耐震性に関する基準においては、その要件が基準に定められており、具体的には、昭和58年4月28日付け消防危第44号通知に主な内容が定められている。

基準を満足するための設計としては、タンクに係る地震の影響を考慮することが不可欠であり、今回はその耐震設計を行う際の参考となる用語についての説明を行う。

なお、今回の解説する内容は、主に短周期地震動を対象とし、スロッシングをはじめとする長周期地震動及び浮き屋根に関する事項については、除外している。

1. 地震動と設計水平震度・設計鉛直震度

地震の規模の大きさは、通常マグニチュードで表されるが、震度は、地震が発生したときのある地点での「揺れの強さ」を表しており、同じ地震でも場所が変われば揺れの強さも変わる指標である。

震度は、かつて人が体感によって観測されていたが、1996年以降からは、地震計によって加

速度と周期が計測され、これらをコンピュータが計算することによって瞬時に計測震度として発表されている。

このうち、加速度は、重力加速度 $1G \equiv 980\text{cm/sec}^2 = 980\text{gal}$ を指標とした単位である。

静的な設計水平震度は、重力加速度に対する水平方向に作用する加速度の割合を構造物に作用させることであり、例えば水平震度0.2とは、重力加速度に対して水平方向に20%の加速度である196galが作用するという意味をもつものである。

耐震設計法は、従来各種構造物においてこの静的震度法が用いられてきたが、1980年以降、旧建設省が策定した「新耐震設計法(案)」によって、地盤の応答特性や構造物の応答特性(周期による揺れ方の増幅特性)等動的応答を考慮した修正震度法又は動的応答解析法が用いられるようになった。

屋外貯蔵タンクの設計を行う場合にも動的応答を考慮した修正震度法が適用されており、地震動による慣性力によってタンクに生ずる影響を考慮し、地震によってタンクに作用する水平方向の動的な慣性力を静的な荷重に置き換え、地震力を算出する際に用いられる係数が設計水平震度 kh である。

慣性力 F は $F = m \cdot a$ (質量×加速度) = kh (設計水平震度) × W (重量) → ($kh = a / g$ (重力加速度)) となるが、内容液は、動液圧として有効重量分が側板及び底板に作用することとなり、この重心位置での合計が転倒モーメントとして基礎に作用することとなる。

告示第4条の20(地震の影響)に定められているタンク本体の設計水平震度は、 $kh = 0.15 \cdot$

表-1 地域別補正係数

地域区分	地域別補正係数
□又は□に掲げる地域以外の地域	一・〇〇
□ 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 美瑛市 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 北広島市 石狩市 北斗市 石狩郡 松前郡 上磯郡 亀田郡 茅部郡 二世郡 山越郡 檜山郡 網走郡 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 南竜郡 上川郡 (東神楽町・上川町・東川町及び美瑛町に限る。) 勇払郡 網走郡 斜里郡 常呂郡 有珠郡 白老郡 青森県のうち 青森市 弘前市 黒石市 五所川原市 むつ市 つがる市 平川市 東津軽郡 西津軽郡 中津軽郡 南津軽郡 北津軽郡 下北郡 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 耶麻郡 新沼郡 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 鳥取県のうち 米子市 倉吉市 境港市 東伯郡 西伯郡 日野郡 島根県 岡山県 広島県 徳島県のうち 美馬市 三好市 美馬郡 三好郡 香川県のうち 高松市 (旧木田郡庵治町及び牟礼町の区域を除く。) 丸亀市 坂出市 善通寺市 観音寺市 三豊市 小豆郡 香川郡 観音郡 仲多度郡 愛媛県 高知県 熊本県 (□に掲げる市及び郡を除く。) 大分県 (□に掲げる市及び郡を除く。) 宮崎県	〇・八五
□ 北海道のうち 旭川市 留萌市 稚内市 紋別市 上川郡 (鷹栖町、当麻町、比布町、愛別町、和寒町、網走町及び下川町に限る。) 中川郡 (美深町、音威子府村及び中川町に限る。) 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 山口県 福岡県 佐賀県 長崎県 熊本県のうち 八代市 (旧八代郡坂本村、千丁町、鏡町、東陽村及び泉村の区域を除く。) 荒尾市 水原市 玉名市 山鹿市 宇土市 上天草市 宇城市 (旧下益城郡松橋町、小川町及び豊野町の区域を除く。) 天草市 玉名郡 鹿本郡 葦北郡 天草郡 大分県のうち 中津市 日田市 (旧日田郡前津江村、中津江村、上津江村、大山町及び天瀬町の区域を除く。) 豊後高田市 杵築市 宇佐市 国東市 東国東郡 速見郡 鹿耳島郡 (奄美市及び大島郡を除く。) 沖縄県	〇・七〇

備考 この表に掲げる区域は、平成十八年四月一日における行政区画によって表示されたものとする。

$v1 \cdot v2 \cdot v3$ とされており、基礎部に作用させる設計水平震度は $kh = 0.15 \cdot v1 \cdot v2$ であり、設計鉛直震度は、設計水平震度の $1/2$ とされている。※ $v1$ = 地域別補正係数(表-1)、 $v2$ = 地盤別補正係数(表-2)、 $v3$ = タンクの固有周期を考慮した応答倍率(図-1)

屋外貯蔵タンクの設計においては、この設計震度が大きくなるとこれに伴い、作用する荷重が大きくなることから、設計水平震度 kh の設定の際に設定する補正係数、特に $v2$ を設定する際の地盤種別の判別は既往ボーリングデータや地層断面図等を用いて適切に行うことが必要である。

なお、震度と加速度は、それぞれ地震動の大きさを表すひとつの指標ではあるが、周期特性や継続時間の要素もあり、対応して比較できるものではない。同様に、設計水平震度について

表-2 地盤別補正係数

地盤の区分	地盤別補正係数
第三紀以前の地盤 (以下この表において「岩盤」という。) 又は岩盤までの洪積層の厚さが十メートル未満の地盤 (以下「一種地盤」という。)	一・五〇
岩盤までの洪積層の厚さが十メートル以上の地盤又は岩盤までの沖積層の厚さが十メートル未満の地盤 (以下「二種地盤」という。)	一・六七
岩盤までの沖積層の厚さが十メートル以上二十五メートル未満であつて、かつ、耐震設計上支持力を無視する必要があると認められる土層の厚さが五メートル未満の地盤 (以下「三種地盤」という。)	一・八三
その他の地盤 (以下「四種地盤」という。)	二・〇〇

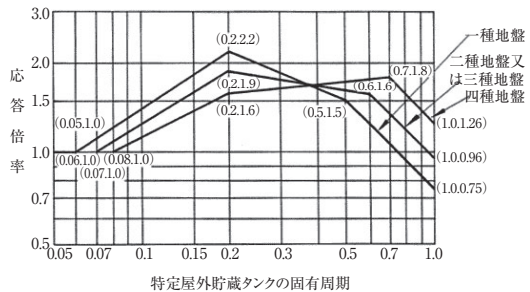


図-1 タンクの固有周期を考慮した応答倍率

も異なる構造物では、それぞれ各種の補正が混在しており、その大きさを単純には比較できないものであることに留意して頂きたい。

2. レベル2地震動

1995年の兵庫県南部地震(阪神・淡路大震災)以降、一般には、構造物の供用期間内に1回発生する確率が高い地震動をレベル1地震動、発生する確率は低い大きな強度をもつ地震動をレベル2地震動と二つに分けて耐震設計が行われるようになった。

レベル2地震動とは、構造物の耐震設計に用いる入力地震動で当該構造物の設置箇所において、過去及び将来にわたって最大級と考えられる地震動であり、一般的にこの地震動に対して構造物は倒壊やあるいは外壁の脱落等による人命にかかわる可能性のある損傷を生じないことを目標として設定する地震動をいう。

また、二段階設計とは、タイプ1の地震動(プ

レート境界型の大規模な遠距離地震)とタイプ2の地震動(兵庫県南部地震のような内陸直下型地震)の2種類を考慮する設計法をいう。

一般的にレベル1地震動は、検討地点におけるタイプ1の地震動の50年から100年程度の発生確率(再現期間)と震源からの距離から、レベル2地震動は、検討地点におけるタイプ2地震動の200年から1,000年程度の発生確率からそれぞれ設定される。

レベル1とレベル2を簡単に比較すると、例えばレベル1の地震動の強さに対しては、構造物にひび割れが起きない程度に、レベル2の地震動の強さに対しては、倒壊しないように設計すればよいとされている。タンクに置き換えて言えば、レベル2地震動では不等沈下やタンク本体の変形は許容されるが、貯蔵物の漏洩は決して生じないように耐震設計や照査を行うべきという事になる。これは、旧法タンクの新基準がレベル2に相当すると考えられるが、法令上からも解釈からも明確にはされていない。

また、レベル2地震動についての定義は、各種基準類や各種学会においても現状では必ずしも統一されていないのが実態である。

3. 許容応力度(設計)法

許容応力度(設計)法は、構造物の部材の安全性を確認するための設計方法の一種であり、部材に発生する応力度が材料ごとに定めた許容応力度以内であることを確認する設計法である。

許容応力度は、材料が壊れるときの応力度(耐力又は降伏点)を、常時の状態や地震時の状態など変化させた安全率で除して設定される。

屋外貯蔵タンクの基準においては、新法タンクの主な設計に採用されている。また、一般的にレベル1地震動に対応する設計に用いられる。

許容応力度法は、構造物の部材を弾性範囲の変形内で用いる場合等に有効な設計手法であるが、許容応力度を越えると、どのような損傷が

どの程度生じるのか、明確に説明することは困難である。また、この手法は、荷重のばらつきや材料のばらつきなどを精度よく考慮できない場合が多いことから、構造物が地震などによって破壊などに至る変形状態に対する安全度を求めることは困難であった。このような観点から、終局強度設計法が多く用いられるようになった。

4. 終局強度(設計)法

終局強度とは、一般的に部材に荷重を増加させていくと変形のみが増大し荷重が上らない状態の時の強さ又は応力~ひずみ曲線における最大の応力度の状態にある強度をいう。

終局耐力とも同義に使われることも多いが、構造の種類(例えば骨組み構造等)によっては、破壊の状況(曲げ耐力とせん断耐力、座掘の影響等)が異なる場合、これらの語は、使い分けられている。

終局強度(設計)法とは、一般的に構造物の変形をある程度まで許容する設計法をいい、許容応力度(設計)法が弾性設計の範疇であるのに対し、終局強度(設計)法は、塑性設計の範疇であるとも言える。

耐震設計の場合、終局強度法は、耐用期間内では発生確率が小さいが、大きな被害が予想されるような地震動(レベル2地震動)に対して、終局的な安全性を確認するときに用いられる。

この設計法は、めったに起らない規模の大きな地震動に対して、無損傷であるように設計すると、不経済となるので、多少の損傷を許容することによって、構造部の崩壊や人命に影響を与えるような大損傷に至る状態(終局状態)にならないような構造・強度を有することを確認する手法である。

屋外タンクの設計においては、必要保有水平耐力と保有水平耐力の照査や、スラブ基礎等における曲げ耐力及びせん断耐力の照査が終局強度(設計)法に該当するものである。