
配管の耐震設計

株式会社 プラント耐震設計システムズ
池 田 雅 俊

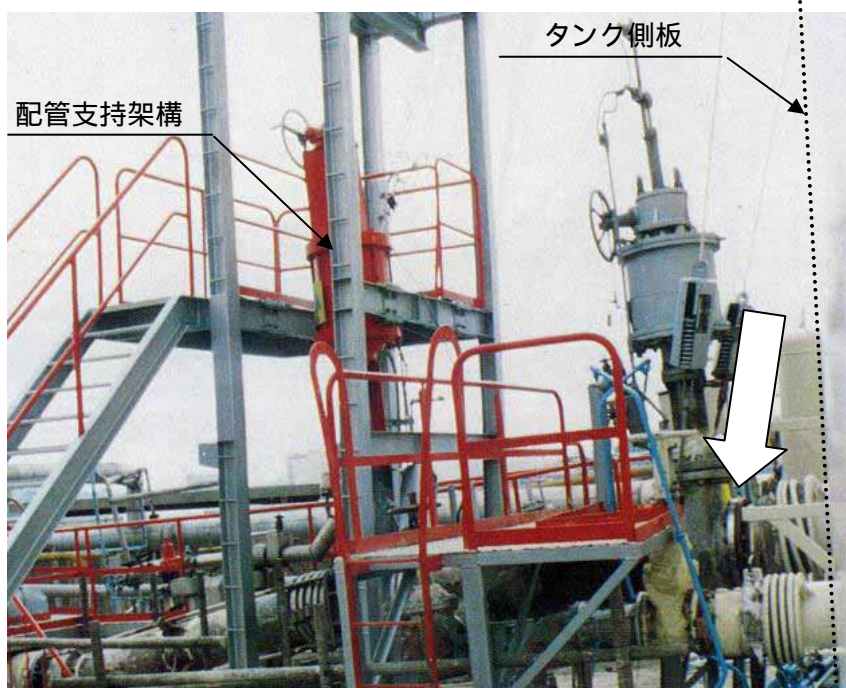
1．配管系の耐震設計の概要

石油精製、石油化学プラントの配管系は、多くの地震で被害が見れ、報告されている。被害事例から学び配管の損傷様式（「損傷モード」ということもある。）や弱点を明らかにして設計に生かすことが重要である。今回は配管の被害事例を紹介することにする。

2．配管被害事例

配管系の被害が生じやすい箇所・部品について代表的な損傷モード10例を示す。

- 1) **フランジ継手**：地震時にフランジ部に作用する地震力やモーメントのために、フランジ部がわずかに緩んでも可燃性や毒性の内容液が漏洩し大きな被害につながる可能性がある。フランジ継手は地震時の荷重に対して配管曲げモーメント分布が過大になる部分に配置させることを避けるなどの設計上の考慮が必要である。



矢印部分のタンクノズルフランジ継手よりタンク内溶液が漏洩した。配管支持架構が地盤の液

状化により沈下したために配管が下側へ引張れフランジ継手部に過大な曲げモーメントが発生した。

図 1 フランジ継手からの漏洩

- 2) 可とう管・フレキシブル継手：可とう管・フレキシブル継手は注意深く使用すると配管系の大きな強制変位を吸収するため有効な耐震対策といえるが、可とう管に設計を超えた過大な横変位が加わると強制変位を吸収できず可とう管継手の機能を喪失した結果、配管や支持構造に損傷を与えることがあるので注意が必要である。



地盤の液状化に伴う側方流動のため設計上考慮した以上の変位が負荷され、両端の配管に過大な力を発生させた。可とう管継手自体にも損傷が見られる。

図 2 可とう管継手の機能喪失

- 3) 弁：弁自体に慣性力または配管の変形に伴い発生する弁周りの配管曲げ応力が過大となると、材質が鋳鉄製の脆い弁では、弁体が割れた例がある。鋼鉄製の弁で

も局応力集中により亀裂が入るなど弁体に損傷が見られる。

- 4) **分岐管、曲がり管**：分岐管、曲がり管は形状の変化部であるため、曲げモーメントが大きく、また、直管に比して応力集中が発生しやすく、配管に作用する慣性力や揺れ変位によりこの部分に損傷が見られる。鋳鉄製の分岐管、エルボ及びえび管などの被害が目立つが、鋼製でも過大な応力が集中すると、この部分に塑性変形、亀裂などが生じる。
- 5) **管のねじ継手**：ねじ継手のある配管は、ねじ継手部（エルボ部、分岐部など）は剛性が高く、直管部分で損傷が発生したり、配管軸力で継手が外れるなど、溶接管とは損傷モードが異なる。



地盤の液状化に伴いタンクの漏洩検知装置配管が折損した。タンクの基礎と検知装置の設置基礎が異なるために発生した相対変位による損傷である。溶接管とは異なりエルボ部は変形せず直管支持部で折損している。

図 3 ねじ込み継手を有する配管の損傷

- 6) **配管系と周辺構造物との接触・衝突**：配管系と構造物が直接結合されていないとき、構造物及び配管系が地震時に独立に移動するため、その相対的な変位量により両者が接触、衝突して互いに損傷させることがある。



地盤の液状化及び側方流動により配管と架構の変位が異なり接触し、架構及び配管に損傷を与えた。

図 4 配管系と周辺構造物の接触

- 7) **小口径管**：大口径管に接続する小口径管は、大口径管の地震時のゆれや地盤変状に伴う変位を吸収できず過大な配管軸力や曲げ応力が発生して切断、損傷する例が見られる。



大口径配管の変位に対して小口径管は大きく塑性変形している。エルボと分岐管が近接しているため、ひずみ及び応力が集中していることが推定される。

図 5 小口径管の損傷

- 8) **支持構造物上の配管**：二つの配管支持構造物間をわたる配管で、地震時の揺れによるその配管支持構造物間の相対変位差を配管が吸収できず配管サポートが損傷し、配管が支持構造物から外れ、落下することが見られる。同一支持構造物上の配管でも、水平方向の配管支持が不十分なときには、配管がずれて落下することもある。



パイラック上にあった配管が地震時の揺れに伴い 3～4 mの高さから落下した。曲がり部分に配管塗装がはげていることから大きな塑性ひずみが生じていることが推定される。

図 6 パイラックから配管が落下

- 9) **防液堤貫通部などの壁貫通部の配管**：ポンプ室の入り口、防液堤貫通部などで配管がコンクリートに固められている場合に、この部分に過大な曲げモーメントが生じて配管が損傷する。管周辺に土、砂、その他緩衝材をいれておき、配管を拘束する力を緩和させると有効である。



壁貫通部をコンクリートで固めていたために地震時の配管の変位に対して近傍の曲がり部にひずみが集中して配管破損に至った。

図 7 壁貫通部の配管の損傷

10) 地中埋設管及びその出入り口配管：取水管、ガス管などで地中に埋設された配管は、地盤変状（地盤の不同沈下、地盤の液状化、地盤の側方流動など）と共に破損、折損、亀裂、圧壊などの損傷を受けることがある。



護岸に移動とそれに伴う側方流動により海水取水口周り配管が強制変位をうけ、ヘッダー間との取り合い部の配管フランジが離脱し、装置の冷却機能を喪失した。

図 8 海水取水口の損傷

3.地震時の配管の挙動と損傷モード

配管は地震時に前節のような被害が見られる。被害の様子をみると典型的に分類されることが分かる。通常このような典型的な被害の様子を損傷モードという。損傷モードを考える時、地震時に配管がどのように挙動するかを考えると、分かりやすい。

そこで本節では、地震時に配管がどのように挙動するかを述べることにする。

地震時の挙動は、大きく分けて図 9 のようになる。

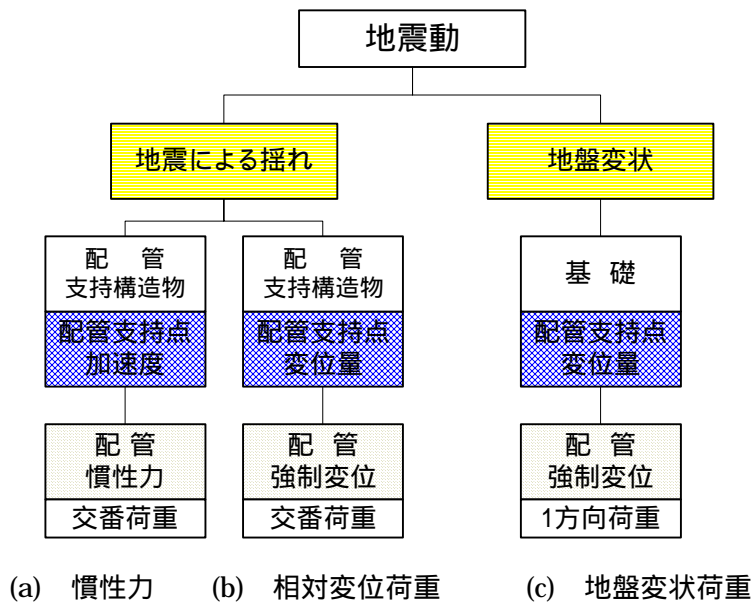


図 9 配管の地震時の挙動

地震が来襲すると地表が地震により揺れる。そうすると配管支持構造物が揺れる。配管支持構造物はサポートを通して配管を支持するので、サポートの位置の揺れが配管に入力される。このとき、配管支持構造物が配管へ与える影響はサポート位置の加速度と変位置量の影響が考えられる。すなわち図 9(a)の慣性力に関する影響と図 9(b)の相対変位荷重に関する影響である。

地震が来襲すると地表の揺れとともに、地盤変状が発生して地盤の液状化による基礎の沈下や側方流動による水平移動が見られる。地盤変状荷重に関する配管への影響が図 9(c)である。

図 9(a)に係る影響により、前節の 1),3),4),6),8)などの被害が見られる。配管の各部に慣性力が発生するため弁などの重量物が取り付けられていると大きな影響がでてくるので注意が必要である。また、配管と配管支持構造物の固有周期が近いと配管は共振して思わぬ被害につながることになるので注意が必要である。この影響の場合は荷重は交番荷重（繰り返し荷重）となる。

図 9(b)に係る影響により、前節の 1),3),4),5),6),7),8)などの被害が見られる。配管の両端

のサポートが同一の配管支持構造物にある場合は、相対変位はそれほど大きなものでないが、異なる配管支持構造物間を渡る場合は、大きな相対変位になるのでこの相対変位を吸収できるようループを設けたり可とう管を配置することが行われている。この影響の場合は荷重は交番荷重（繰り返し荷重）となる。

図 9(c)に係る影響により、前節の 1),3),4),5),6),7),9),10)などの被害が見られる。地盤が液状化する危険がある場合は、配管へ及ぼす強制変位は過大（場合によっては 50cm の沈下と 100cm 位の水平移動が見られることもある。）であるので十分注意が必要である。この影響の場合は荷重は一方向荷重で荷重の繰り返しはない。

4 . おわりに

今回は配管の代表的な地震被害事例を述べた。配管系がさまざまな形状、寸法、材質、支持方法が取られるために被害も種々さまざまであるが、損傷モードは、ある程度限られている。2 節に述べた 10 種の損傷モード及び 3 節に述べた地震時の配管の挙動に注意して設計すればほとんどの被害は避けられる。単に設備を現場点検して対策を講じても効果は大きい。

今回は、数値的観点から被害レベルや地震時の応答変位量、加速度などの評価法（簡易評価法を含む）及び地震の影響軽減策などに関しては紙面の都合で省略したが別の機会に述べることにする。