

# 石油精製・石油化学プラントの地震防災のマネジメント

稲葉 忠

●元 東洋エンジニアリング(株)

## 1. はじめに

石油精製プラントは、発電プラント、LNGプラント、浄水場などとともに、都市機能や市民生活の維持に必要なエネルギー、ユーティリティを供給する役割を担っています。また石油化学プラントは、多くの製造業に合成樹脂、合成ゴム、合成繊維などを供給し、市民の豊かな生活を陰で支えています。

石油精製・石油化学プラント(以下、プラントという)は、こうした社会的役割を果たしていますが、一方では、大量のエネルギーを保有し、各種の化学物質を扱っているため、地震で事故を起こしたり、災害を招いたりする可能性を秘めています。このため、産官学を挙げて、地震災害のリスクを軽減するための努力が払われてきています。

ここでは、プラントを構成する設備、構造物について説明した後、プラントの地震災害のリスクマネジメントと保安・防災システムについて概説し、次に耐震設計と耐震性の維持・向上について述べ、最後に兵庫県南部地震の経験を踏まえた地盤変状(液状化による地盤の移動、土質定数の低下)に対する配管系の新しい設計概念を紹介したいと思います。

## 2. プラントを構成する設備、構造物

プラントは、塔類、貯槽類、熱交換器、加熱炉・ボイラー、回転機、配管、電気設備、計装設備、支持構造物(架構、基礎)、コントロールルーム、そして各種の防災設備などより構成されています。それらの設備、

構造物のうちの代表的なものを、主配管との取り合いを含め、図1に示します。

これらの設備等は、共通基礎上に建てられる場合もありますが、多くは独立基礎の上に建てられています。石油タンクなどは、盛土基礎の上に直接設置されたりもしています。配管は機器から機器へと3次元空間を縦横無尽に走りまわっていますが、プラント間を結ぶ導管の中には地下に埋設されているものもあります。

## 3. 地震災害のリスクマネジメントと保安・防災システム

### 3.1 地震災害のリスクの軽減

プラントの地震災害のリスクは、起こりうる地震災害の影響度(人的・物的被害、環境汚染など)に、そのような地震災害が発生する確率を乗じたものとして表わされます。プラントには事故災害の発生を防止するための保安・防災システムが具備されていますので、地震災害の発生確率は、同システムが保安・防災機能を果たせなくなるレベルの地震の発生確率と考えることができます。

地震災害のリスクを軽減するには地震災害の影響度を小さくすることと、地震災害の発生確率を小さくすることを考える必要がありますが、地震災害の影響度を小さくするための手段としては、保有量を抑えたり、代替プロセスを採用したり、人口密集地・文化財から離れた場所に立地したりすることなどが考えられます。地震災害の発生確率を小さくするには、立地に

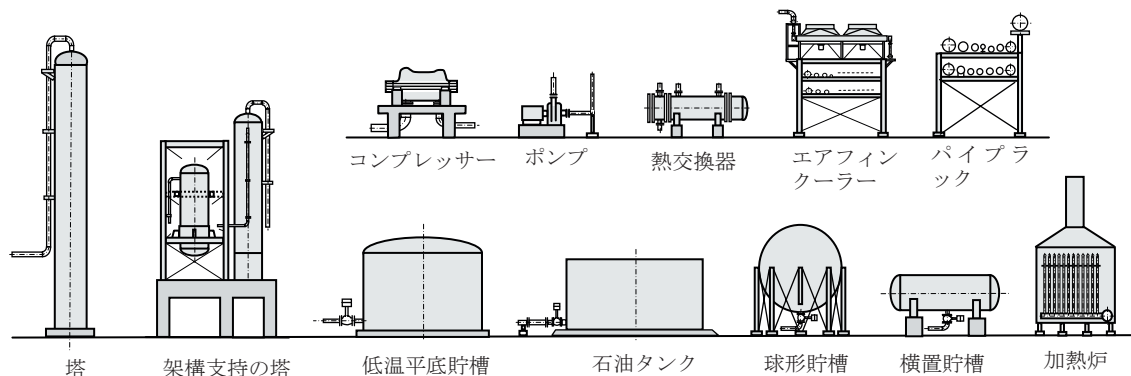


図1 プラントを構成する主な設備等

において活断層を避けるとともに、保安・防災システムの耐震信頼性を高めることが基本になります。立地条件によっては、地盤の液状化対策や津波対策も併せて考えることになります。

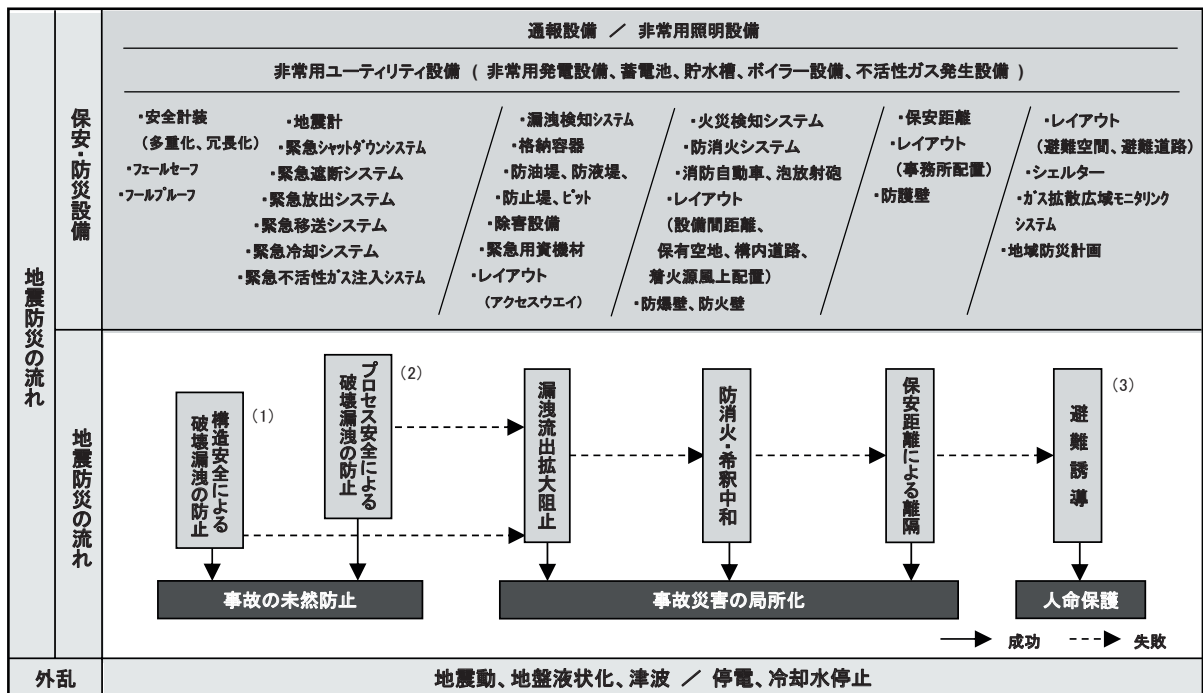
### 3.2 プラントの保安・防災システム

図2に、プラントが地震に襲われた場合の保安・防災の概略の流れを示します。まずは漏洩事故の未然防止を図り、漏洩事故を防止できなかった場合は事故災害の局所化を図り、危険が人命に及ぶと判断されたら避難誘導に移ります。

保安・防災の流れにはいくつかの局面があって、それらの局面がサブシステムを成し、全体として1つの大きな保安・防災システムを構築しています。保安・防災システムの耐震信頼性は、それらのサブシステム

の耐震信頼性に依存し、そのサブシステムの耐震信頼性は、そのまたサブシステム、あるいはシステム構成要素としての機器、配管系、建築構造物、土木構造物、電気設備、計装設備など（これらもサブシステムとしていくつかの構成要素より成る）の耐震信頼性、及び人による防災活動の信頼性に依存してきます。破壊的地震時にあって事故災害の局所化に限界がある場合には、事故の未然防止の段階で高い耐震信頼性が求められることになります。

保安・防災の流れ自体は地震による事故の場合も平時の事故の場合も大きくは変わりませんが、根本的に異なるのは、地震による事故の場合は保安・防災に係る全ての設備、システムが同時に地震の影響を受けており、そうした影響下において一連の保安・防災活動を進めていかなければならない点にあります。



- (1): 構造物が地震によって破壊されることなく、内容物の漏洩がない。
- (2): 地震時及び地震後にあって、構造物の破壊に至るような温度、圧力の上昇がなく、かつ、適切な処置がされないままに内容物が外部に放出されてしまうようなことがない。
- (3): 従業員の避難誘導と地域住民の避難誘導の2局面がある。

図2 地震時の外乱と保安・防災システム

### 3.3 プラントの生涯と地震災害のリスクマネジメント

保安・防災システムの設計は防災計画を立てる中で行われ、その耐震信頼性はシステム、サブシステムを構成する設備等の耐震設計と防災訓練によって確保されます。しかし、運転中に材料の劣化(減肉、割れ、脆化)が進んだり、周辺の都市化が進んだりすれば、地震災

害のリスクは増大してきます。一方、新たな地震被害経験や研究によって新しい事実が判明したり、地震防災に関する技術が進歩したりすれば、リスクを効果的に軽減できるようになります。

地震災害のリスクマネジメントは、図3に示すように、プラントの生涯にわたり、永続的に実施されるものとなります。

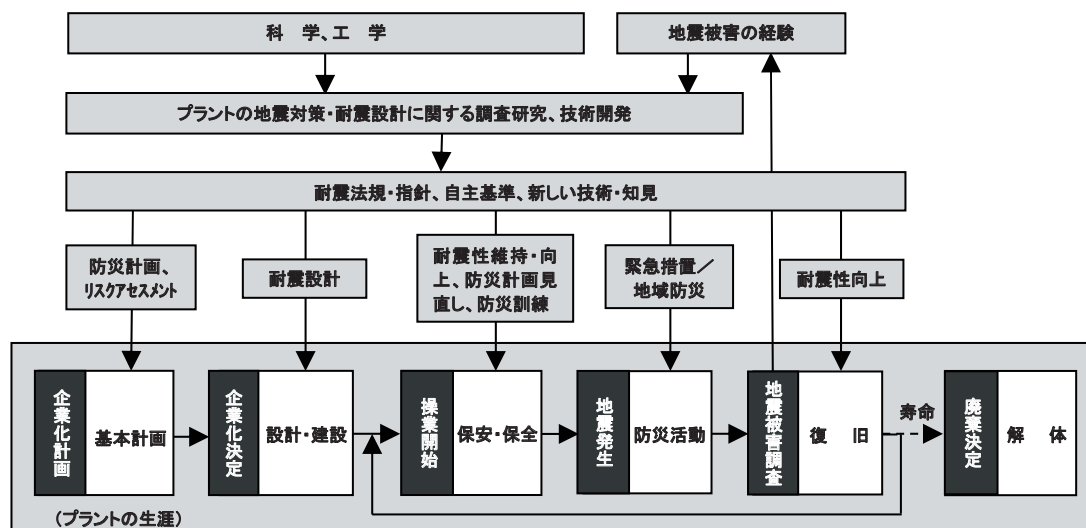


図3 プラントの生涯と地震災害のリスクマネジメント

## 4. 耐震設計と耐震性の維持・向上

### 4.1 プラントの耐震性の確保

プラントオーナーによる地震災害のリスクマネジメントは、安全・健康・環境マネジメント（地域住民の生命の安全と健康の確保及び環境保全を目的とする）の一環として、労働安全衛生マネジメント（従業員の生命の安全と健康の確保を目的とする。安全・健康・環境マネジメントに含めることもある）の一環として、また、経営のリスクマネジメントの一環として、プラントの生涯にわたって進められます。

設計建設段階では、請負契約により、主たる作業はエンジニアリング会社において行われるのが一般的であり、機器などの製造はメーカーによって行われ、建設工事は建設工事会社によって行われます。エンジニアリング会社、メーカー、建設工事会社による耐震安全性確保のマネジメントは、品質マネジメントの一環として、また、経営のリスクマネジメントの一環として行われ、その手段は信頼性の高い耐震設計、製造、建設工事によるところとなります。

プラントに具備される耐震性、耐震安全性は、プラントオーナーが提示する耐震設計に係る仕様（要求事項）と、エンジニアリング会社、メーカー、建設工事会社の耐震設計、製造、建設工事の能力、そしてプラントオーナー自らの設計審査、安全審査の能力に依存するところが大きいといえます。

### 4.2 耐震設計の信頼性

構造物の耐震性を高めるには、自立式構造物の場合はエネルギー吸収能力を高めるための構造的配慮が、また、配管系の場合は自らの慣性力、揺れの影響の他、

支持構造物、周辺構造物の揺れや地盤の液状化に基づく相対変位の影響を緩和、軽減する構造的配慮が大切なこととなります。耐震設計の信頼性はそうした構造的配慮がどれだけされているかによって決まってくるので、設計担当者には相応の知識・経験が、設計組織には相応の設計管理能力が求められます。

圧力や温度に対する設計と違い、耐震設計が適切に行われたかどうかは試運転では確認できませんから、エンジニアリング会社には慎重な設計管理、工事管理が、プラントオーナーには要所を押さえた設計審査、安全審査が求められることになります。

### 4.3 耐震性の維持・向上

建設を終えたプラントは、耐震性を含め、保全によって設備の健全性が維持されます。

耐震設計基準が制定される前に建設されたプラントなどは、地震に対する弱点を残している可能性があります。そうしたプラントも、最新の知見に基づいて耐震診断を行い、耐震性を向上することにより、地震災害のリスクを軽減することができます。

耐震診断では、まずは現場を調査し、眼に見えない部分は設計図書、保全記録、検査などで確認し、現状の耐震性を経験に基づく判断あるいは計算・解析により評価します。着眼点は設計の場合と同じですが、評価において劣化の影響を考慮する必要があること、現場の状況に合わせて改造案を考える必要のあることなどが、新設の場合との違いになります。弱点を補強することによって新たな弱点を生むようなことがあってはならず、相応の知識・経験が求められることには変わりはありません。

## 5. 地盤変状に対する配管系の新しい設計概念

### 5.1 兵庫県南部地震の経験と基準の改正

兵庫県南部地震の後、防災基本計画の改訂に従い、通産省告示515号“高圧ガス設備等耐震設計基準”もレベル1地震動とレベル2地震動の2段階の地震動を考慮することとし、設備が保有すべき耐震性能（レベル1耐震性能、レベル2耐震性能）も明確にされて、平成9年に改正されました。埋立地で大規模な地盤変状があって、貯槽の基礎杭の損壊や、配管フランジからの液化ガス漏出事故が見られたことを教訓として、地盤変状に対する機密性の保持もレベル2耐震性能に加えられました。

平成12年には高圧ガス保安協会より高圧ガス設備等耐震設計指針（レベル2耐震性能評論編）が発行され、液化化に伴う地盤の沈下量、水平移動量の推算を含めて、塑性変形を許容したレベル2耐震性能評価の具体的方法が示されました。

### 5.2 地盤変状に対する配管系の新しい設計概念

地盤変状に伴う基礎の沈下、傾斜、水平移動は支持点間の相対変位となって配管系に影響を及ぼします。兵庫県南部地震で経験した地盤変状は、それまでの設計で考えたことのない大きさのものでした。兵庫県南部地震の経験により、不明確であった地震災害リスクの要因の1つが明らかにされたといえます。

最後に、大規模な地盤変状に対する配管系の新しい設計概念を具体例をもって紹介したいと思います。

#### (1) 共通基礎による地盤変状の影響の遮断

基準の改正により、貯槽に繋がる配管は原則として緊急遮断弁（基準では地震防災遮断弁と呼んでいる）を挟み込んで共通基礎上に完全固定の条件で支持することとされました。周辺で大規模な液化化が起きても固定点を境に重要部位（ノズルから緊急遮断弁まで）に影響が及ばないようにするという考え方であっ

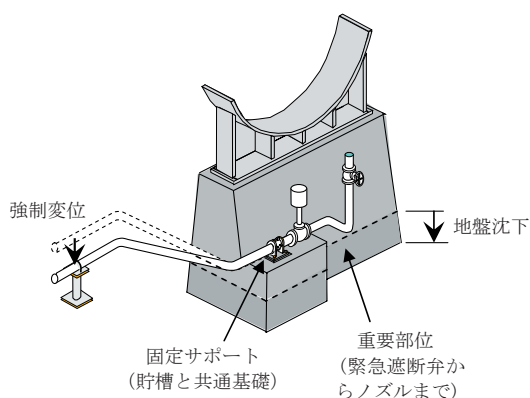


図4 共通基礎による地盤変状の影響の遮断

て、図4に横置貯槽の払出配管についての例を示します。こうした設計ができない場合は、十分な可撓性を有していることを確認することとされています。

#### (2) 地盤変状に基づく相対変位の吸収

エルボ（曲がり管）は優れた塑性変形能力を有していますので（比較的小さな塑性歪で大きな変位角が得られる）、相対変位に直角な方向の直管を2つのエルボで挟み込むことにより、大きな相対変位を吸収することができます。図5に道路横断面を利用して水平方向の相対変位を吸収した例を示します。地上部分の配管の途中に強制変位の方向（護岸の方向）の移動を拘束するサポートがあれば、強制変位に対して壊れるなどし、拘束機能を喪失するような設計をしておけばよく、そうした設計も認められています。

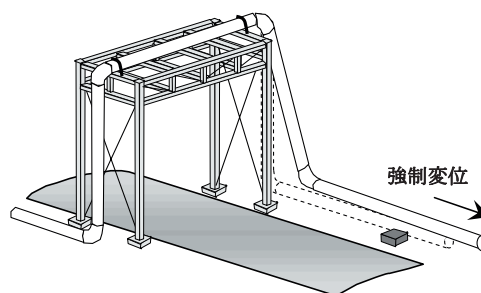


図5 水平方向の相対変位の吸収

## 6. おわりに

プラントは生産機能と保安・防災機能を併せ持つ1つの巨大なシステムです。そして、そのどちらの機能を喪失しても社会に大きな影響を与えます。

プラントの地震災害のリスクは保安・防災システムの耐震信頼性に依存し、その耐震信頼性はプラントオーナーの生涯にわたる安全・健康・環境マネジメント（労働安全衛生マネジメントを含む）と、設計建設時のエンジニアリング会社、メーカー、建設工事会社の品質マネジメントに依存します。そして、各マネジメントを支援するのが地震防災のための法規・指針であり、行政、学会の役割であるといえます。

安全・健康・環境マネジメント、品質マネジメントのシステムも大きなシステムであって、その信頼性は、当該マネジメントシステムを構成するいくつかのサブシステムの信頼性に依存し、最終的にはシステム、サブシステムを構成する人の信頼性に依存することになります。人の信頼性を高めるに必要なものは、文化であり、信頼性の高い教育・訓練のシステムであるといえます。