

5. 化学工場における震害について

河 添 邦 太 朗

最近の化学工場は石油化学センターなど臨海埋立地域に建設されるものがほとんどであり今後もなお次々と埋立地帯につくられようとしている。各種の状況が新潟と類似している場合が少なくなく、今回の新潟地震はこれら工場に大きな警告と教訓をもたらしたものとえよう。

今回の化学工場における被害の実情とその対策については前章 4. で詳細に述べられており、さらに筆者が、化学工場の震害の問題をとりあげるのは蛇足の感があるが、ここでは主として震害防止上設計建設あるいは管理面で考慮すべき点を気のつくままに記してみたい。

化学工場の震害で最初に考えなくてはならないのは、生産施設が震害を受けるのみでなく、火災その他の 2 次的災害を伴いがちな点である。さらに悪条件が重なると今回の昭和石油の例のように、工場外の周辺地区にも被害を及ぼす可能性もある。したがって化学工場においては企業の問題としてだけではなく、公共的立場からも震害対策がたてられなくてはならない。

震害対策としては、生産施設の耐震性を十分にすること、ならびにかりに設備が被害を受けても火災その他の 2 次的災害を起こさぬよう、またそれが拡大しないような対策も同時に講じておくということにつきよう。

生産施設の耐震性をどの程度にするかは、建設費、地震の規模と頻度、陳腐化、復旧費その他にもからみ、なかなか難しい問題である。公共的立場を考慮に入れるとまた変ってこよう。一応考え方としては、地震を考慮に入れた最適設計ということになるが、それにしてもそこに至る前の、地震時における個々の機械、装置類の挙動、あるいはそれらが配管で結ばれている状態でどのような力がかかるのか、それらと基礎との関係、地震の強度との関係というような問題が果してどの程度解明されているのであろうか。建物は別として、プラント類についてははなはだ疑問であり、むしろ今後の研究課題であらう。

これらプラント類の耐震設計に関する研究が望まれるとともに、現状では何よりもまず同様な建設費で耐震性の良い構造にするといった程度の配慮はぜひ欲しいものである。

また化学工場では火災その他に対し常時厳重な注意を払っているが、地震時の悪条件下の処置についても素素

の訓練が重要であらう。

5.1 プロジェクトエンジニアリング方式による建設について

最近の化学工場は新設に際しプロジェクトエンジニアリング方式がとられることが多い。この方式は化学・化学工学・機械・土木・建築・計装・電気等のあらゆる技術者が一団となり、一元的な責任下において総合的、有機的に建設業務一切を行なうものである。したがって全体的な経済性とならんで防災の見地からも十分に検討されて建設され、とくに土木、建築技術者とプラント技術者との設計施工時における緊密な連携は震害防止に非常に有効である。

まず工場用地に関しては地質調査、地盤沈下、地震の記録震度、公害取締法規等の資料が集められ、工場レイアウト決定の段階では、生産系統のフローパタンは地形輸送等を考慮し経済的な型（L 型、U 型など）をとると同時に、敷地の地耐力を調べ荷重の大きいプラントは適地に建設するとか、また地形や気象などから公害問題発生をさけるよう配慮するなど総合的に決定される。貯槽、高圧装置等の隣接地との関係、可燃物と炉、ボイラ等の発火源とを離すことなども当然考慮される。

つぎに土木関係では、高い塔などの重量物の基礎工事、ロングキルンのような重くかつ長く、荷重が場所により差異があり不等沈下を起こしやすいものの基礎工事等は完全かつ経済的な工法について十分検討され、また引火性の物質を使用する工場では例えば工場廃水等も延焼防止のトラップを設けるなどの配慮が必要とされている。

建築関係では災害防止、消火等に好都合な露天化を十分にとり入れ、またプロセスの都合上数層建の建築をとるような場合、立体的な構造における作業の便利性とともにも消火、避難などに関する防災性を十分備えた設計とする。その他防災上必要な防火壁・爆風壁など個々の特殊性に応じ、それと合致するような建築構造物を設計し、また重い機器を高い基礎上に設置する場合、建屋の梁上に設置するか、自立とするか等の問題も総合的に決定される。

配管関係では建物、架台、鉄構などにおける固定箇所、貫通箇所等も設計の段階で十分考慮され、最後に万一の

事故原因の除去のため安全技術者が設計を点検する。

このような総合的建設方式をとることにより、初めて耐震性も兼ね備えた合理的工場建設が可能となるわけで、今回の地震においてもその効果ははっきり出ているようである。

5.2 生産施設の震害について

上に述べたように総合的建設方式は耐震的に有効ではあるが、まだ十分とはいえない。今回の状況からつぎのような点がさらに考慮されて良いように思われる。

a) 塔槽類

精溜塔・吸収塔・反応塔・造粒塔等の高く、かつ重い塔槽類は意外に地震の影響を受けていない。これら塔槽類は重量もあり傾きも絶対に避けねばならないので、ボーリングによる地盤調査の上綿密な基礎工事が行なわれる。その効果が明瞭に出ている。

その付属機器類も、だいたい基礎を同じくするものが多いが、これらも同様影響を受けていない。けっきょく一体の基礎の上に乗るプラントはそれぞれ安全であるといえる。これに反し基礎を別々にしたものは概して良くない。たとえばポンプを別にすると塔よりも基礎が浅いので地震時振動や変位によってその間の配管とくにジョイントの損傷が起こる。小型装置類・ポンプ・ブローアなどの補機類で基礎の浅いものは沈下や傾斜がみられ基礎の影響は如実に出ている。

石油タンクは沈下したもので、不等沈下で傾いたものが相当数出ているが基礎としてパイプロ工法のもものは良く、工法によって耐震性に差異がみられた。小型タンクは砂置換のものが多いが良くないようである。サンドドレンも不等沈下がみられた。

地震時の液体の共振による貯槽類の損傷ならびに被害は予想外に多く、今後とくに注意を要する点である。液体の一方方向への揺れによってタンクが変形し、側板の上部や屋根板に亀裂が入り、あるいはチャンネルが一部はずれて屋根板が落ち込むといった被害や液の溢流による事故もあった。湿式ガスホルダーのガス槽が水の揺れでおどりがり外れた例がみられ、昭和石油KKの石油タンクの浮屋根も地震と同時に原油の動揺によって空中にはね上がったと伝えられている。通気管からの溢流、あるいは亀裂部からの溢流の跡もみられ、液体の共振については対策が考えられねばならない。

b) 炉・ボイラー

いずれも炉壁の亀裂、若干の煉瓦の剥落程度である。ボイラーは運転中のものは異常がなく、休止中のものには亀裂、煉瓦の張り出しなどがみられた。ボイラーとバーナーフロアの不等沈下によりバーナーが折れて火災になりかけた例があり、バーナーの支持、配管等は地震を考慮に入れる必要がある。

c) 配管系統

化学工場では配管系統は大きな比重を占め重要な配管も多いが、震害は相当この部分にしわよせされる。その固定箇所によっては、たとえば別個の基礎にのるものにそれぞれ支持された場合、支持体相互の変位があると損傷を受ける。例として建屋から建屋へわたされたパイプ、建屋に支持され装置に取り付けられているパイプが建屋の倒壊ないし傾斜によって壊れている。

タンクの抜取口とパイプの接続部も同様の理由から継手、バルブ等のところが傷み、内容物の流失などがみられた。ねじ込みの部分はもっとも弱いようである。

これに対しては強度を上げることは逆に装置本体を損傷することにもなるから、配管や継手類が被害を受けるのはやむをえないとして、むしろぜひ防止したい部分は同一基礎に支持するとか、別々でも基礎の深いものの間の配管はまず大丈夫であるから、そのようにするか、あるいは他に弱い部分を設けるとか、フレキシブルな部分を設ける等の工夫が必要であろう。タンクとパイプの接続部にフレキシブルパイプを使った箇所は被害を受けていない。

管橋は橋体が水で流されるとパイプも切れる。この外にも架台がパイプの重荷となった例がある。塩化ビニール管が耐震的に弱いのは明らかで到るところに切断がみられ、とくに地面から立上りの短い部分で起っている。下がコンクリートに埋没しているものは全滅しており、留意すべき点であろう。都市においても可燃ガスの配管等に使用することは問題である。

配管の構造物における貫通箇所も耐震的に考えねばならない。振動、変位によりどちらかの損傷が起こる。石油タンクの防油堤はコンクリートブロック製のものはみな亀裂が入って防油堤の用をなさなかったようであるがパイプの貫通による亀裂もみられた。耐震的には考慮すべき点であろう。

また配管に関しては地上配管の被害は被害箇所の確認も容易で短期間に修理でき好都合であり、その反対に地下埋設管は厄介であることも忘れてならないことであろう。

ことに用水関係は今度の例でも復旧に意外に日数がかかり、操業再開は水次第という工場がほとんどであった。

d) その他

その他石油埠頭の損傷、タンク車の転倒、荷役設備の損傷等輸送関係も震害を受けやすい部分である。また全般的なことであるが、設備の増設を行なう場合、基礎、架台、支柱等にかかる荷重や、消火、避難等について十分な配慮が望ましい。

5.3 火災または爆発災害の対策

これらの災害の防止は基本的には

- (1) 危険状態の形成の防止
- (2) 発火源に対する対策
- (3) 被害の拡大防止

につぎと考えられる。地震時においては、引火性の液体あるいは可燃ガスの漏洩逸出が考えられるとともに、作業上の火気ないしは摩擦、衝撃の火花等がこれに引火し、しかも被害の拡大防止のための消火設備は破損、停電等により機能を喪失するというように常時の火災の場合とまったく異なり悪条件が重なりやすいので、これらを考慮して対策をたてる必要がある。

a) 危険状態の形成防止

配管の損傷、タンクの亀裂等から生じるので耐震的な構造にして防止するとともに、危険場所となりうるところ、対策等を、ふだんから検討しておく必要がある。露天化によって危険度は下がるが、最近では装置の露天化が普通となってきており、今回の新潟でも非常に効果があったようである。危険状態の形成防止に不活性ガスで希釈する措置がとれるようにしておくのも良い方法であろう。

b) 発火要因の排除

火気、摩擦および衝撃、静電気、異常反応、自然発火等が地震の際の発火の要因となる。ボイラーのガスバーナーが折れてボイラー外で燃え、流れてきた重油に引火するところを作業員の処置で危く助ったという例もあり、火気、異常反応、自然発火等はその場の適切な処置で防止されることが多い。昭和石油KKのタンクの火災では静電気あるいは衝撃が原因と報ぜられている。衝撃による火花は材料である程度防止できるのではあるまいか。

c) 被害の拡大防止

被害の拡大防止には危険場所の分離や、消火設備の整備等も重要であるが、対策確立と作業員の訓練は、いっそう大切なことである。今回においてもスメルトボイラーの爆発を防止したとかその他の事故が作業員の手によって未然に防がれている例は多い。

火災に際しタンクからあふれ出る石油による火災のまん延を防止するための石油タンクの防油堤は、今回は無力であった。コンクリートブロックのものが多く、これらは地震のため亀裂が入り崩れ落ちて役に立たなかったようである。

5. 4 ガス災害について

化学工場では高圧ガス、有害ガスをいろいろ扱っており、地震に伴いガス災害も起こりうる。ガス災害の例として

- (1) 高圧ガスの噴出、高圧ガス容器の破裂による災害
- (2) 可燃性ガスの爆発、噴出ガスの引火によるもの

(3) 有害性、窒息性のガスであるための災害

(4) 液化ガスによる凍傷、高温ガスによる火傷

等が挙げられるが、ガス爆発、ガス中毒等は地震時起こりやすい。これらが考えられるガスについて爆発範囲と忍限度をつぎに示した。

ガス	比重 (空気 1.00)	爆発範囲 (空気中, vol %)	忍限度 (ppm)
CO	0.97	12.5~74	100
CH ₄	0.55	5.3~14	—
C ₂ H ₄	0.98	3.1~32	—
C ₂ H ₂	0.91	2.5~81	—
C ₃ H ₈	1.52	2.2~9.5	—
H ₂ S	1.19	4.3~45	20
NH ₃	0.60	15~28	100
Cl ₂	2.49	—	1
SO ₂	2.25	—	5
COCl ₂	3.5	—	1
HCN	0.96	6~41	10
C ₂ H ₄ O	1.52	3.0~80	50

高圧ガス取締法では忍限度が 200 ppm より低い有害ガスを毒性ガスと称している。新潟では液安の 3" のパイプが継手のところでぬけて、屋外であったが中毒事故が起こった。

また有毒ガスについては不活性ガス等による希釈も有効で、液体一酸化炭素の窒素ガスによる蒸発放出等の処置がとられていた。有害ガスに対しても火災同様ふだんから危険場所や地震時の対策についての検討が必要であろう。

5. 5 結 び

以上震害調査から気をつくままに、プロジェクトエンジニアリング方式が有効であること、さらに考慮すべき点を生産施設の震害、火災、ガス災害について述べたが、結論として、化学工場は地震に対しいろいろと弱点を持っているが、十分な考慮の下に設計、建設され、また作業員の適切な判断と処置が得られれば（これはまったく常時の安全教育と訓練による）、今回程度の規模においても震害は最少限度にとどめることがき、軽微なもので済むといえよう。

生産施設の耐震性については全般的に基礎の一体化、中小規模の塔槽類や補機類の基礎、貯槽類の漏洩に関し付属配管、液体の共振、基礎を別にするプラント間の配管等の点について十分配慮することが望ましいように思われる。また、意識的に弱点を設けて全体的な震害を軽微にするような考え方もあって良いと思われる。

最後に今回の調査に寄せられた各社のご好意に対し心から謝意を表する。

(1964 年 9 月 7 日受理)