

大地震に耐えられるプラント配管系の耐震補強技術

| | |
|-------|------------------------------|
| 落合 以臣 | (株)ジョンケルコンサルティング 工学博士 |
| 牧田 武紀 | 日本海エル・エヌ・ジー(株) 常務取締役 |
| 安在 一 | 同 技術部技術課 課長 |
| 長谷川辰也 | 同 課長 |
| 吉田圭二郎 | 三菱重工業(株) 機械事業本部 プラント事業センター主席 |
| 坂上 浩 | 同 主席 |
| 中村 友道 | 三菱重工業(株) 高砂研究所主席 工学博士 |

地震は人類の営みに多大な災害をもたらしてきた。ここ数年でも阪神大震災（日本）、トルコイゾミット地震（トルコ）、台湾集集地震（台湾）等は公共のライフライン設備に被害をもたらし、特に、阪神大震災では電力の復旧に3日、都市ガスの復旧に数ヶ月を要する等、改めて公共設備の安全性について十分な検討が必要であることを認識させられた。当基地は、建設当時の耐震設計基準を許容しているため、安全性の確保はできているが、前述したような教訓を基に、日本海側の重要エネルギー拠点である日本海エル・エヌ・ジー基地のさらなる耐震性向上について、1996年から5年をかけて調査・研究を行い、耐震補強工事を実施した。

調査・研究の目標は、地震の規模とLNG受入気化設備の耐震性向上策を模索するもので、各設備について、各種設計基準、ダイナミックな地盤の増幅特性等の整理に加え、図-1に示すようなリスクマネジメントの観点から機器・設備の重要度分類を行い、重要度に応じた耐震補強策を整理した。リスクマネジメント手法を導入した狙いは、地震発生時にプラントを構成する各種設備及び配管に及ぼす影響を検討し、「安全性の確保」及び「プラント機能維持」という観点から、機器・設備毎に重要度に対するスクリーニングを行い、その設備が破損した場合の他へ与える影響度評価を実施し、当基地において重要かつ弱点となる可能性のある設備の順位付けを行うことにある。こうして重要度分類された機器・設備に、地震規模による被害状況と地震動の考え方の整理を行い、各設備の主要個所に強震計を設置した。強震計で記録された実地震挙動データを耐震計算に反映した結果、重要度分類された機器・設備の中で、配管系架台に安全性の再確認が必要であることが判明した。特に気化器からの配管とそれを支える架台に焦点を当てると共に、地盤の2次元液状化を解析し、液状化による影響を付加した耐震計算を行った。この結果、配管系架台の柱・梁及び脚柱・基礎コンクリートに補強が必要であることが判明した。柱・梁については、カバープレート等を当てて強度を増すことで補強は完了するが、柱脚・基礎コンクリートについては、不用意に強化すると柱脚が固定となり、杭に軸力だけでなく曲げ応力も過大に伝わることを判明した。これを軽減するために、脚柱とペDESTAL基礎をそれぞれ補強しながら緩衝材で結合する新たな方法を開発した。この考案を確かめるため、実際の配管系架台 1/3 サイズのモデルを作成し、3次元大型振動台で加振試験を行った。この様子を図-2に示す。この試験から、

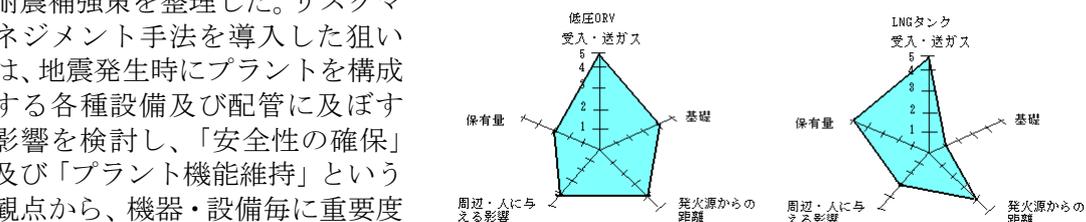


図-1 リスクマネジメントによる機器・設備影響度評価

与える影響度評価を実施し、当基地において重要かつ弱点となる可能性のある設備の順位付けを行うことにある。こうして重要度分類された機器・設備に、地震規模による被害状況と地震動の考え方の整理を行い、各設備の主要個所に強震計を設置した。強震計で記録された実地震挙動データを耐震計算に反映した結果、重要度分類された機器・設備の中で、配管系架台に安全性の再確認が必要であることが判明した。特に気化器からの配管とそれを支える架台に焦点を当てると共に、地盤の2次元液状化を解析し、液状化による影響を付加した耐震計算を行った。この結果、配管系架台の柱・梁及び脚柱・基礎コンクリートに補強が必要であることが判明した。柱・梁については、カバープレート等を当てて強度を増すことで補強は完了するが、柱脚・基礎コンクリートについては、不用意に強化すると柱脚が固定となり、杭に軸力だけでなく曲げ応力も過大に伝わることを判明した。これを軽減するために、脚柱とペDESTAL基礎をそれぞれ補強しながら緩衝材で結合する新たな方法を開発した。この考案を確かめるため、実際の配管系架台 1/3 サイズのモデルを作成し、3次元大型振動台で加振試験を行った。この様子を図-2に示す。この試験から、

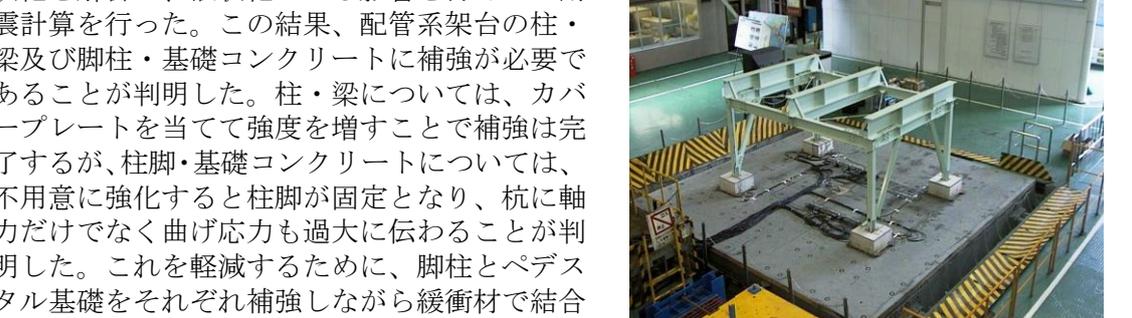


図-2 大型振動台による配管架台 1/3 モデルを使用した振動試験全景(三菱重工業(株)高砂研究所)

(1) 地震波入力によって、耐震補強がない場合、配管系架台柱脚のアンカーボルトの引き

抜き力により、ベースプレートに浮き上がりが生じたが、コンクリートによる根巻きを施すことによって、ベースプレートの浮き上がりが無くなった。(2) ベースプレートにコンクリートによる根巻きを施した場合、アンカーボルトの応力が低減した。(3) 配管系架台の柱脚にコンクリートに根巻きを施し、配管系架台柱脚とコンクリートとの間に防振ゴムを挿入する対策は、ペDESTAL基礎に新たな曲げモーメントの発生がなく、効果等があることが解った。これらの結果を集約すると、配管系架台の柱、梁は、全体のバランスを勘案した上で設計許容応力度 1.0 に対して余裕のない部材にカバープレートをはめること、ペDESTAL基礎は、柱脚と打設するコンクリートとの間に防振ゴムを挿入した根巻きを行うことで耐震性を補強することができた。また、これらの調査・研究の成果を具体的な配管系架台の耐震補強を実施するにあたり、「開発した補強策による配管系架台の終局耐力」を確認するために、図一3に示すような配管系架台 1/3 サイズモデルの静的荷重載荷試験及び大型振動台で動的加振試験を行った。

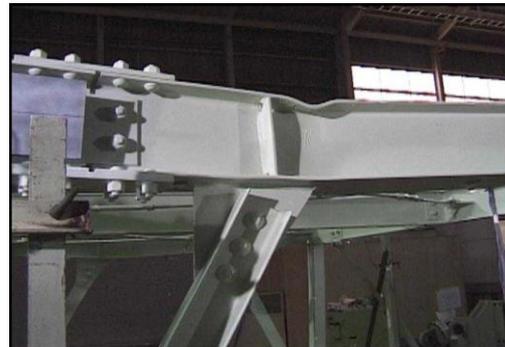


図一3 静的荷重載荷試験

図一4、図一5に示す試験結果から、配管系架台の塑性率は、静的荷重載荷試験結果から、耐震補強を施すことによって約3倍になることが解った。基地の耐震安全性確保の調査研究をスタートした平成8年当時では、「高圧ガス設備等耐震設計指針」の中で、レベル2耐震性能評価は定義されていなかったが、現在の指針の中で定義されている保有耐力との関連から、よい一致をみていると思われる。



図一4 モデルのブレース座屈



図一5 モデルの梁の座屈

以上のような調査研究の成果をもとに、図一6、図一7の写真に示すような配管系架台の耐震補強を完了し、日本海側の重要エネルギー拠点である日本海エル・エヌ・ジー基地の大地震に対する配管系架台の耐震性向上を図ることができた。



図一6 耐震補強工事（柱・梁）



図一7 耐震補強工事（ペDESTAL基礎）