

2003年十勝沖地震による石油タンク被害について

Damage of Oil Storage Tanks due to the 2003 Tokachi-oki Earthquake

座間 信作[1]; 山田 實[1]; 西 晴樹[1]; 廣川 幹浩[1]; 畑山 健[2]; 柳沢 大樹[3]; 井上 涼介[4]

Shinsaku Zama[1]; Minoru Yamada[1]; Haruki Nishi[1]; Mikihiro Hirokawa[1]; Ken Hatayama[2]; Taiki Yanagisawa[3]; Ryosuke Inoue[4]

[1] 消防研; [2] 消防研; [3] 危険物保安技術協会; [4] 茨城大・工

[1] Fire Res. Inst.; [2] Natl. Res. Inst. Fire & Disaster; [3] KHK; [4] Eng. Ibaraki Univ

<http://www.fri.go.jp/>

2003年十勝沖地震では、苫小牧市において石油タンクのスロッシングに起因して原油タンク1基から、その2日後には浮屋根が沈没しつつあったナフサタンク1基から出火し、後者では全面火災に発展した。この火災は約44時間にわたって燃え続けるなど、大きな社会的関心を集めた。この他、浮き屋根の沈没、屋根上への油の滞留、ボンツーン(浮き)の破断等の重大な損傷が発生した。本稿では、これら石油タンクの被害およびスロッシング挙動について紹介する。

今回の地震では、苫小牧市、石狩市、釧路市で被害が生じており、その被害内容はほとんど全てがやや長周期地震動によって励起されたスロッシングによるものであり、火災2基、浮き屋根の沈没6基、内部浮屋根の沈没1基等の甚大な被害が生じている。その他、貯液の溢流、固定屋根の破損・変形、浮屋根デッキ・ボンツーンの座屈・破損、回転梯子、踊り場の損傷、ウェザーシールドの損傷、ガイドポール・ゲージポールの破断・変形、エアフォームダムの変形等が認められた。

スロッシングの最大上昇量は、速度ポテンシャル法で比較的精度良く推定できる。消防法ではその中で用いられている速度応答スペクトル値は、周期・地域によらず約100cm/sである。

スロッシングの最大上昇量についての実測データは、甚大な被害のあった苫小牧においてもそれほど多くない。そこで、実測値と計算値との整合性を確認した後、苫小牧地区のスロッシング状況を概観するために、全石油タンクの最大上昇量を推定した。その結果によれば、周期約5秒、7.5秒で3mを上回り、およそ3.5秒から9秒の間で2mを超える。周期数秒では2m程度、10秒となると1m程度で何らかの被害が生じている。また、火災や浮き屋根の沈没という甚大な被害のあったタンクは、概して同程度の固有周期を持つタンクの中では最大のスロッシング上昇量となっている。

スロッシング最大上昇量 W_h は地震動が与えられれば算出できる。 W_h が被害と1対1対応になっていれば、被害予測は地震動予測の問題になる。しかし、10万klタンクでは W_h は1.5m程度であり、地震時液高も約60%でありながら、浮屋根の沈没という甚大な被害(火災の発生危険が高い)となった。これは、満液に近いタンクほど被害が発生すると従来考えられていたこととは異なる。そこで、この10万kl浮き屋根タンクを対象として、今回の地震でどのようなことが起こったのか、簡単な計算を行ってみた。

計算は直近の地震記録の水平2成分を入力とした時刻歴応答法によった。特にスロッシングの大きかったE-W方向の液面の様子をみると、周期約12秒の1次モード以外にも、2次モード(周期5.6秒)、3次モード(周期4.3秒)で激しく揺れることが確認できる。今回の地震での苫小牧では、これら高次モードでの周期で極めて強い地震動となっている。今後の検討を待たねばならないが、この高次モードが浮き屋根の沈没に与えた影響を無視できないのではないかと考えている。

今回の地震では、極めて広い周期帯域での強い地震動が、小さなタンクから大きなタンクまでの殆ど全てのタンクにスロッシングを起こさせ、被害を与えたと考えられる。これは1999年コジャエリ・トルコ地震の際のTURAS製油所で起こった事象と酷似している。この時も大型タンクの沈没が発生しており、1次モードのみならず高次モードの寄与を受け被害をより大きくした可能性がある。実際、近傍の地震記録を解析してみると、高次モードの周期帯域も強い地震動となっている。もしそうであるならば、広い周期帯域(3-12秒程度)全てに亘る地震動予測が必要となり、その寄与をも考慮して被害との関係を導くというシナリオを考えた検討が必要であろう。

十勝沖地震時の特に苫小牧での地震動、スロッシングによる石油タンク被害を概観した。被害は多岐にわたったが、甚大な被害は火災等々で、特に我が国に於いては初めての浮屋根の沈没といった事態が生じた。これは更なる火災の危険をもたらすことから、重大視すべきと考えられる。浮屋根については、現在は豪雨時の浮屋根上への雨水の滞留に対する浮力が考慮されているものの、スロッシングによる浮屋根の揺動に対する強度についてはその限りではない。従って、今回の被害調査に基づき、浮屋根の沈没に影響したと考えられるボンツーンの破損、デッキとの接合部の破断に対する強度の観点からの検討を行い、早急に改善策を示す必要がある。その際には、今回の地震動の特徴であるスロッシングに係る広い帯域で地震動が強かったことから生じる高次モードの浮屋根への影響も明らかにすることが重要と考えられる。今後順次タンクが開放されるであろうが、その都度詳細な調査を行うことが先ず必要である。

