

緊急地震速報による建設作業所における警報システム — LNG 地下式貯槽建設作業所における活用事例 —

高橋 郁夫・久富 浩介

清水建設では、気象庁の緊急地震速報を活用した地震防災システムの開発を行ってきた。本システムは、緊急地震速報を基に、地震発生時に対象地点における震度予測を行って、この予測値に基づいて警報発令や機器制御、建造物の被災度予測を行う機能を備えている。本システムは各種施設の地震対策のみならず、地震時の建築・土木建設作業所の安全管理に役立てている。

本報文では、この地震防災システムを基に構築した地震警報システムの導入事例として、現在建設中のLNG地下式貯槽建設作業所を取り上げ、その仕組みやシステム作動時の行動基準、さらには津波対策を紹介する。また、建設作業所における地震速報の有効性や活用上の課題についてアンケート調査に基づいて考察する。

キーワード：地震防災、緊急地震速報、LNG地下式貯槽、地震警報システム、東海地震、津波対策

1. はじめに

現在、気象庁の緊急地震速報は、特定利用者に対して先行的に配信され、実用化への様々な試みがなされている。2007年10月には、一般市民への配信も予定されており、注目度はますます高まっている。

清水建設(株)技術研究所では、気象庁の試験配信の初期段階から緊急地震速報を受信し、その活用方法の検討とシステム化、さらには技術研究所における試験運用を行ってきた。現在では、本社や支店、さらには建設作業所へと適用範囲を拡大し、地震防災ツールとして本格的な活用段階へと入ってきている。

本報文では、この総合地震防災システムを基にした地震警報システムを、LNG地下式貯槽建設工事の地震発生時の安全管理へ適用した事例について紹介する。また、緊急地震速報の建設作業所での活用に関して考察を深めるため、責任者へのアンケート調査の結果を示しながら、建設作業所における緊急地震速報活用の有効性や適用上の課題等について言及する。

2. 建設作業所での緊急地震速報の活用

2002年3月31日に台湾北東部の花蓮東方沖を震源とするマグニチュード7クラスの地震が発生した。このとき、建設中の超高層ビル(101階)からクレーンが落下し、犠牲者が出た。建設作業所は常に危険と隣

り合わせであり、地震が発生した場合には大きな事故に繋がる恐れがある。日本国内では、地震発生によって建設作業所で大事故が発生した例はほとんど報告されていないが、何時大地震が稼働中の建設作業所を襲ってもおかしくない。したがって、緊急地震速報により地震発生をいち早く察知し、作業者が安全な体勢を取れることや危険に繋がる作業を中断できる仕組みを備えることは、建設作業所の安全管理を行う上で非常に重要な意味をもつ。

(1) 建設工事作業所の概要

本報文で紹介する、緊急地震速報を活用した地震警報システムを導入したLNG地下式貯槽建設工事の



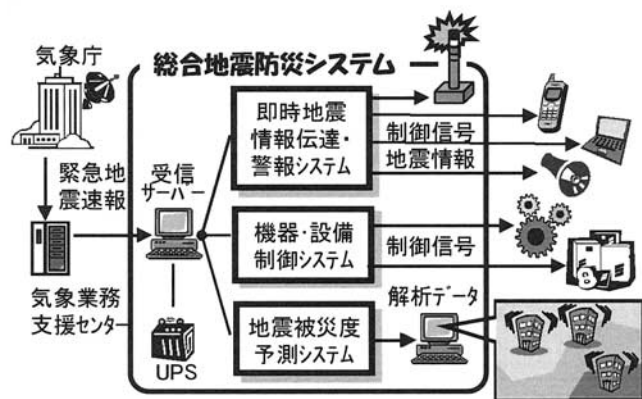
写真—1 LNG地下式貯槽建設作業所の全景

概要を以下に述べる。当社はこの建設工事のうち、LNG貯槽の鉄筋コンクリート躯体の構築およびこれに付随する地盤改良工事、連続地中壁工事、設備工事などを請け負っている。建設場所は清水港の沿岸に位置し、東海地震が発生した場合には大きな揺れや津波の襲来が予想される。写真—1に建設作業所の全景を示す。

- ①工事名称：清水エル・エヌ・ジー(株) No.3LNG 地下式貯槽建設工事（No.1 および No.2 の貯槽は完成済み）
- ②工事場所：静岡市清水区袖師町
- ③貯槽容量：160,000 kL
- ④工期：平成 18 年 4 月 1 日～平成 21 年 10 月 31 日（43 ヶ月間）

(2) 総合地震防災システムの概要

当社は緊急地震速報を活用した防災システムとして「総合地震防災システム」^{1), 2), 3)}を開発してきた。本建設作業所でもこのシステムの機能を使うことによって



図—1 総合地震防災システム

地震警報システムを構築している。緊急地震速報には、発生した地震の震源地（緯度・経度・深さ）やマグニチュード、最大震度などの予測値が含まれるが、これらは地震の基本情報であり、これを知っただけでは当該地点における様々な対策を講じることができるわけではない。これらの基本情報を防災に役立つ情報に加工したり、信号を出して制御を行うのが総合地震防災システムの役割である。

図—1に総合地震防災システムの概要を示す。システムは「即時地震情報伝達・警報システム」、「機器・設備制御システム」および「地震被災度予測システム」の3つのサブシステムから構成される。

(a) 即時地震情報伝達・警報システム

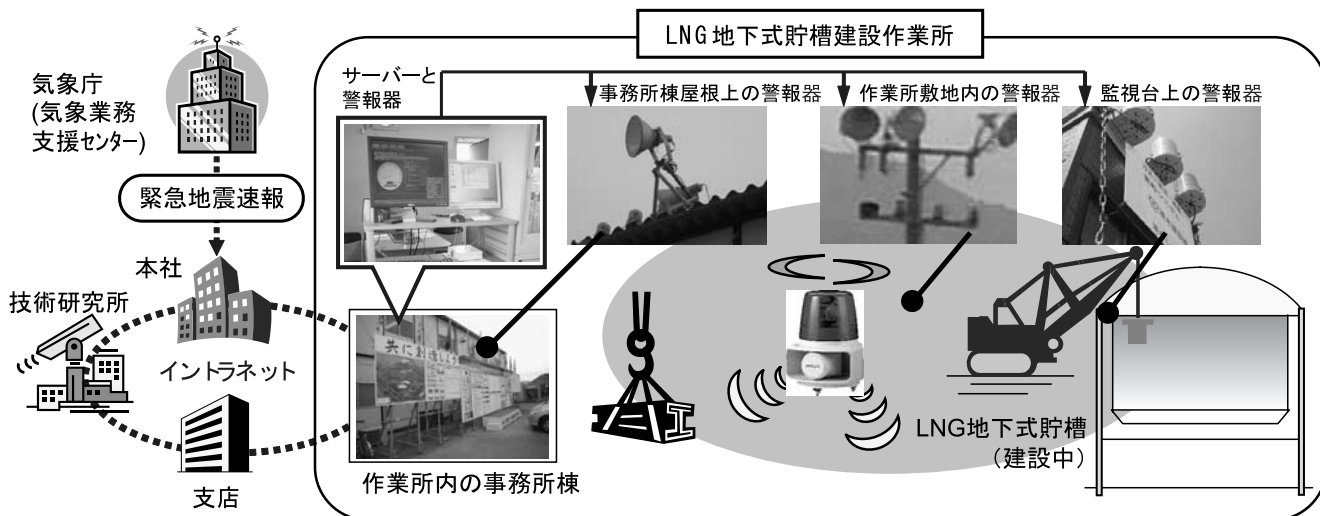
本サブシステムは多様な手段により人に緊急地震速報に基づく地震情報を伝達したり、さらには安全確保のために指示を行ったりする。具体的には、メール配信、警報器の起動、パソコンへの地震情報表示、自動構内放送などからなり、いずれも緊急地震速報を受信し、予想される諸元が一定の条件を満たした場合に自動的に起動する。

(b) 機器・設備制御システム

機器・設備制御は個々の対象の特性を考えた対応が必要であるが、本サブシステムはその基本部分を構成するものである。建築設備制御への適用事例としてはエレベーターの管制運転（当該地の予測震度が設定値を越えると、自動的に最寄り階へ安全に停止する運転）などがある。

(c) 地震被災度予測システム

本サブシステムは、緊急地震速報に基づき震度分布を予測する機能と、各地の建物の被災度レベルを予測する機能に分かれる。前者では、緊急地震速報の地震



図—2 LNG 地下式貯槽建設作業所の地震警報システム

情報を基に、メッシュ分割したエリア毎に予測震度を求め、GIS（地理情報システム）を用いて表示する。後者では、建物のデータベース（構造、階高、建築年など）と建設地での予測震度、および過去の地震における建物被害に関する統計的なデータに基づいて、各建物の被災度レベルを簡易的に評価し、その結果を震度分布に重ねて図示する。

(3) 建設作業所への導入

本建設作業所の地震警報システムの概要を図—2に示す。本建設作業所への地震警報システムの導入は、緊急地震速報を土木建設工事の地震時の安全管理に活用した先駆的な事例と考えられる。緊急地震速報は気象業務支援センターから本社管轄の受信サーバーで受けて前処理を行った後、イントラネットを使って建設作業所の事務所に設置したサーバーに送られる。ここで、この建設作業所における予測計測震度や主要動到達までの予測時間が瞬時に計算され、地震警報システムの起動条件（本建設作業所では予測震度4以上）を満たすか否かの判断を行う。起動条件を満たした場合には、事務所内、事務所棟屋根上、貯槽上端部の監視台、作業所敷地内に設置された警報器が作動し、作業者に地震の発生を知らせる。写真—2には作業所敷地内に設置された警報器（ガスや風の警報器と併設）を示す。

警報器が作動した場合の行動基準は「連続地中壁掘削時」「底版施工時」「側壁施工時」に分けて定められているが、主な行動基準は以下のとおりである。

①揚重時、吊り荷運搬中の安全確保

- ・クレーン等で重量物を吊っていた場合のオペレーターの措置としては、「荷を地面につける」→「クレーンをロックする」→「操縦室の中に待機する」の順序を実行する。



写真—2 屋外に設置されたガス・風・地震の警報器



写真—3 地震時における作業者の待避の様子（訓練時）

- ・吊り荷運搬中のオペレーターの措置としては、「クレーンをロックする」→「操縦室の中に待機する」の順序を実行する。
- ・吊り荷直下で作業していた場合には、吊り荷の近くや直下から待避し、安全な場所で待機する。
- ②タンク内部での安全確保
- ・掘削面にいた場合には、その場に待機して動かない。
- ・昇降設備内にいた場合、昇降設備から出られるときは、昇降設備外へ待避する。時間的に不可能な場合はその場に待機する。
- ③高所作業時の安全確保
- ・足場、組み立て中の鉄筋の上等の不安定な場所にいた場合には、安全帯を手近な最も堅固なものに掛け、待機する。
- ④その他の場所での作業
- ・鉄筋加工場等の作業の場合はその場で待機する。
- ・タンク周りの作業を行っていた場合、重機から離れて待機する。

写真—3には訓練時における作業者の待避の様子を示す。

本システムは平成18年5月に導入されたが、現在に至るまで作業時間中に震度4以上で作動したことはまだない。また、地震警報システムを模擬的に作動させて避難訓練を実施し、緊急時対応の訓練を実施している。

3. 建設作業所での活用に関する考察

ここでは、建設作業所における地震速報の活用スポットを当てた調査結果により、活用の方策や課題について考察を行う。

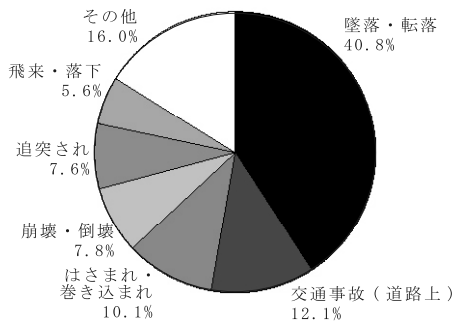
図—3には、平成17年の建設業における死亡者の事故の型（事故原因）⁴⁾を示したものである。これによると「墜落・転落」による死亡が約4割近くを占め、

建設作業所での高所や不安定な状態での作業が重大事故へ繋がっていることがわかる。地震発生の場合には、こうした作業員に対する安全対策が不可欠であり、緊急地震速報による警報や構内放送により作業員へ注意喚起を行い、待避・待機行動を促すことは、重大事故を未然に防ぐために非常に有効であることが推察される。

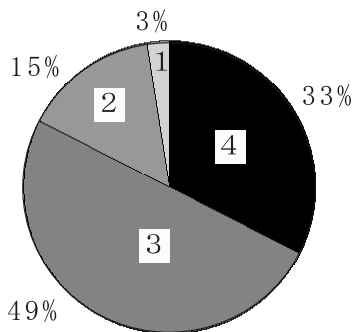
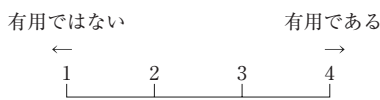
図一4～7は、当社の建設作業所に対して行った地震速報の活用に関するアンケート調査結果⁵⁾である(調査では地震速報は「リアルタイム地震情報」と記述)。調査は平成18年2月に実施し、名古屋市内の20の建築の建設作業所、東海地区の20の土木の建設作業所の現場責任者に対して調査用紙の配布・回収により行った。図一4～6では、有効性・有用性を「役に立たない・有用ではない(1)」～「役に立つ・有用である(4)」の4段階で回答してもらった。図一4は、地震速報による機械制御でどのような使い方が

有効かについての回答結果、図一5は、地震速報による人的対策でどのような使い方が有効かについての回答結果を示している。機械制御に関しては、作業用エレベータの自動停止や扉の開放、クレーン等の安全な姿勢での自動停止には有効であると判断している回答者が多い反面、作業機械の自動停止の有効性の評価はやや低くなっている。人的対策に関しては、地震速報を利用して仮設構造物から離れる方法が有効との回答が多いほか、全般的に落下物から身を守ったり、墜落防止の姿勢をとったりすることに対しても有効であるとする意見が多かった。図一6は、建設作業所における地震被害低減に対する地震速報の総合的な有効性についての回答結果を示している。この結果によれば、8割以上の回答者が総合的に見て地震速報の活用が建設作業所の地震被害低減に寄与できる可能性があると考えていることがわかる。

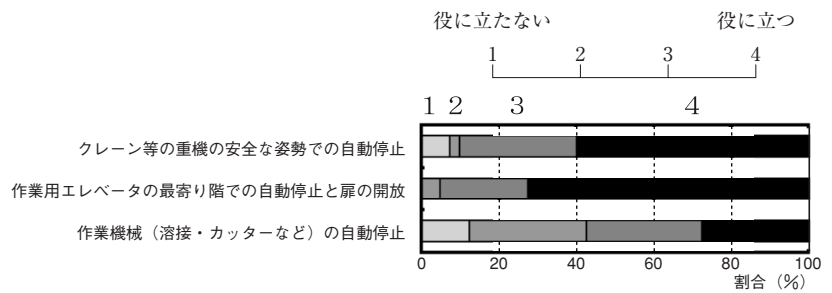
図一7は、地震速報による警報システム導入の際



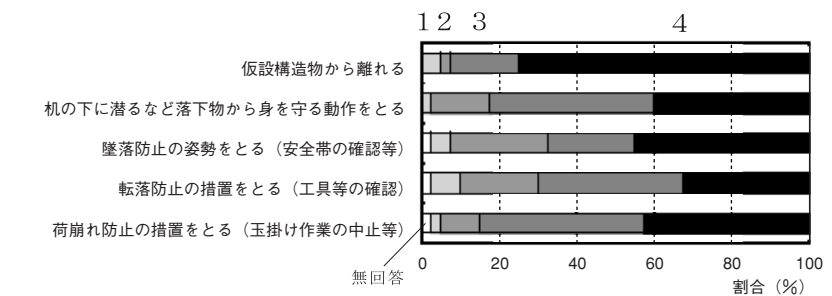
図一3 建設業における死亡事故の発生要因 (平成17年)



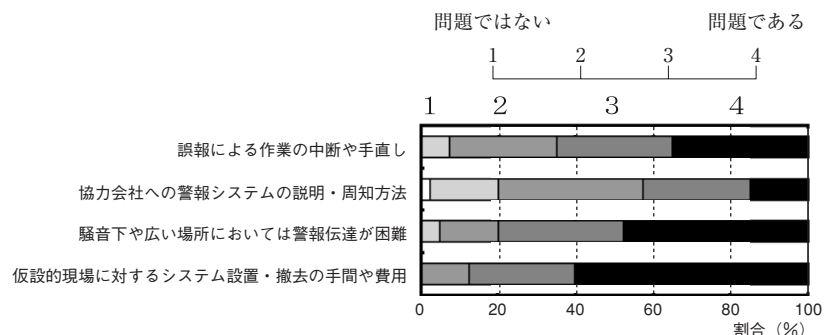
図一6 建設工事現場におけるリアルタイム地震情報システム導入の有用性



図一4 地震速報を使った場合の機器制御の有効性



図一5 地震速報を使った場合の人的対策の有効性



図一7 リアルタイム地震情報による地震警報システム導入上の問題点

の問題点は何かについての回答結果を示している。これによると、多くの回答者が設置・撤去の手間や費用を問題点として挙げており、そのほかには、警報伝達の困難さを指摘する声がそれに次ぐ結果となっている。仮設的な建設作業所においては、コストを抑えて如何に手間をかけずに導入できるか、騒音や通信インフラが十分でない作業環境において如何に確実に警報を伝達するかなどの点に課題があることを示す結果となった。

4. 津波対策

地震大国日本においては、三陸地方沿岸をはじめとして、数多くの津波の被害を経験している。近年では、東海地震、東南海地震、南海地震等の発生が危惧され、それに伴う津波被害も懸念されている。特に、沿岸地域には重要港湾、重要工業施設、電力施設が数多く配備されており、津波発生後の早急なライフラインの回復や災害派遣・復旧・復興という観点から津波による被害を最小限に抑える必要があるものと考えられる。本報文で紹介した LNG 地下式貯槽建設作業所においては、特に東海地震発生時の津波の襲来が予想される。そこで、建設計画時に、東海地震発生時の津波の波高を現地調査ならびに中央防災会議による津波の高さの分布⁶⁾から評価したところ、基準潮位に対して津波の最大波高が4～6メートルに達する可能性があることがわかった。このため、地下式貯槽の完成時の地盤高は基準潮位から7m高くなるように計画し、また、津波防護壁に準じた対策を講じている。これらの対策によって、貯槽内への海水の進入を防ぐとともに、貯槽内にいる作業員の避難路を確保して津波に対する人的な安全性を高めている。

5. まとめ

本報文では、緊急地震速報を活用した地震警報シス

テムを導入した事例として、静岡市の清水港沿岸部に建設中の LNG 地下式貯槽建設作業所を取り上げ、地震警報システムの概要と警報器作動時の行動基準を紹介した。また、現場責任者へのアンケート調査に基づいて、建設作業所への地震警報の導入の有効性と活用上の課題について考察した。さらに、東海地震発生時に予想される津波に対する安全対策についても言及した。

建設作業所での活用では、工事段階で入れ替わる多数の工事従事者への教育・訓練・周知徹底の方法、作業員への確実な警報の伝達方法、対応行動の適正化など、解決すべき課題がまだ残されているが、当社では、活用の実績を積みながら、実用性の高いシステムと運用方法へと発展させつつ他の建設作業所にも展開していく予定である。

《参考文献》

- 1) 高橋郁夫・南部世紀夫：緊急地震速報を活用した防災技術の開発、BE 建築設備、第 57 巻第 5 号、pp.29-35、2006.05
- 2) 高橋郁夫・南部世紀夫：清水建設における緊急地震速報活用システム、建築防災、No.342、pp.31-34、2006.07
- 3) 高橋郁夫・南部世紀夫：緊急地震速報を活用した総合地震防災システム、アーバン・インフラ・テクノロジー推進会議 第 18 回技術研究発表論文 CD、2006.11
- 4) 中央労働災害防止協会編：安全の指標（平成 19 年度）、2007.05
- 5) 小池則満・田代直人・内藤克己・高橋郁夫・正木和明：リアルタイム地震情報による建設現場の地震リスク低減可能性に関する研究、建設マネジメント研究論文集 Vol.13、PP.135-144、2006.12
- 6) 内閣府 HP（防災情報のページ・東海地震対策）
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/taisaku_toukai/toukai_top.html

【筆者紹介】

高橋 郁夫（たかはし いくお）
清水建設㈱技術研究所
施設基盤技術センター リスク・BCP グループ
主任研究員



久富 浩介（ひさとみ こうすけ）
清水建設㈱名古屋支店
静岡土木営業所
工事長

