

# 緊急地震速報の建設工事現場への適用とその課題

坂下 克之<sup>1</sup>・志波 由紀夫<sup>2</sup>・末田 隆敏<sup>3</sup>

<sup>1</sup>大成建設 (株) 技術センター 土木技術研究所 (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)

E-mail:katsuyuki.sakashita@sakura.taisei.co.jp

<sup>2</sup>大成建設 (株) 技術センター 土木技術研究所 (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)

E-mail:shiba@ce.taisei.co.jp

<sup>3</sup>大成建設 (株) 技術センター 技術企画部 (〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1)

E-mail:sueda@pub.taisei.co.jp

気象庁緊急地震速報を建設工事現場に適用することについて、宮城県内の工事現場への導入例を通して、建設工事現場特有の問題を論ずる。工事現場では、一般のオフィスや工場などの屋内環境に導入する警報システムとは違った設計や運用が必要な場合がある。ここでは、警報機器に求められる仕様、警報が発せられたときの行動指針の策定、利用のための教育・訓練のあり方など、導入における対応のほか、今後こうした防災システムを広く普及していくための課題を挙げた。また、緊急地震速報の中の震源情報をもとにした震度予測に関して、現地の地震観測情報を利用することの有効性についても検証した。

**Key Words :** *earthquake early warning, disaster mitigation system, construction site, forecast of ground motion intensity*

## 1. はじめに

気象庁が配信する緊急地震速報は、地震の発生直後に、震源に近い地震計でとらえた観測データを解析して震源や地震の規模を直ちに推定して知らせる情報である<sup>1)</sup>。これまでに試験運用や特定事業者向けの先行的運用が行われ、まもなく一般への本運用が始まる。それを受けて、緊急地震速報を利用した警報機器や地震防災システムも、いくつか開発・利用されつつある。ただし、それらは工場やオフィスや家庭といった、通信設備の整った屋内環境での利用に向けたものが多い。一方、われわれ建設業界では、建設工事中の地震による災害を軽減する目的で緊急地震速報を利用する意義が大きいが、工事現場で利用するに当たっては工場・オフィス・家庭などとは違った職場環境への対応が必要であり、これまでのところ実施例は少ない。

本論では、まず、緊急地震速報を利用した地震防災システムの建設工事現場への導入例を紹介する。そして、導入に際してのさまざまな検討内容と対応策を示し、建設工事現場に特有な問題とともに、今後こうした防災システムを広く普及していくための課題を挙げる。また、

震度予測の重要性についても考察する。

## 2. 建設工事現場への地震防災システムの導入例

### (1) 導入現場

今回、気象庁緊急地震速報を利用した地震防災システムを導入したのは、宮城県仙台市内の新日本石油精製株式会社仙台製油所における化学プラント建設工事現場である。施主から、工事中の地震（特に当該地域で発生が懸念されている宮城県沖地震）による労働災害の軽減策として、導入を要請された。多くの工事請負会社に関係し、2,000人近い作業員が働く大規模な建設工事現場であるが、先行的運用期間中の緊急地震速報の配信は特定利用者に限られ二次配信を制限されていることや諸般の事情から、当社が工事を担当するエリアに限って適用することになった。

写真-1に工事現場の状況を示す。基礎工事・鉄骨工事が主な工事内容である。また、写真-2に工事事務所の状況を示す。工事現場からは100m程度離れたところにあるプレファブ建物の2階であり、十数名の職員が勤務し



写真-1 地震防災システムを導入した工事現場の状況



写真-2 工事事務所の状況

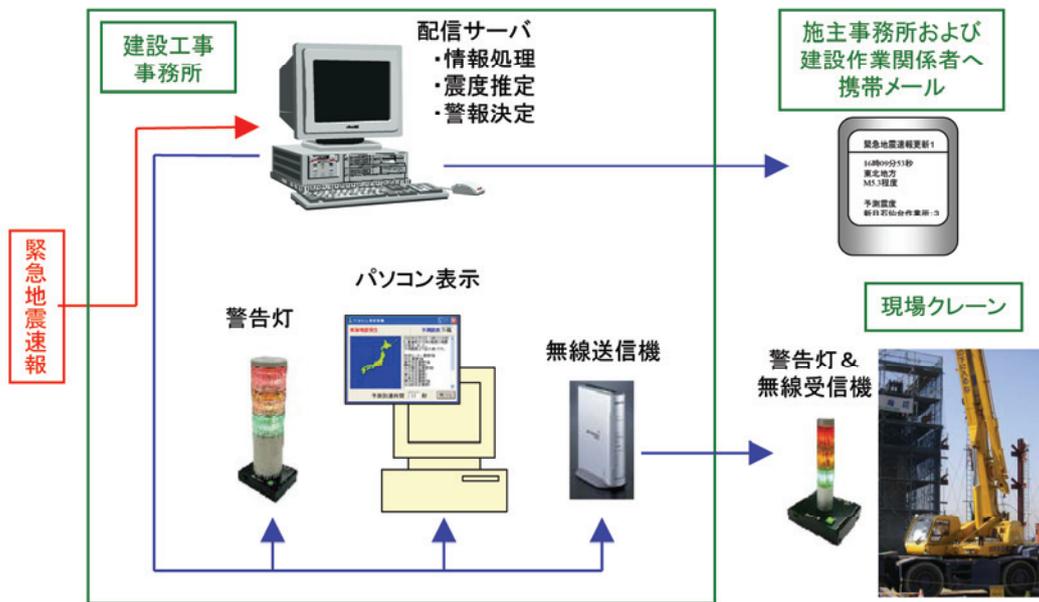


図-1 導入した地震防災システムの概要

ている。地震防災システムの目的としては、地震時のクレーン作業の安全性向上、工事事務所内の職員の安全性向上、地震時初動態勢の強化である。

## (2) 地震防災システムの概要

導入した地震防災システムは、気象庁緊急地震速報を受信し、対象地点での揺れの大きさと主要動到達時刻を予測し、大きな揺れが到達する前に、それら情報や警報を現場関係者に配信するシステムである<sup>2)</sup>。本システムの概要を図-1に示す。警報ツールは、以下のように構成した。

### a) クレーン車内警告灯

予測される震度に応じて以下の色を点灯させるとともに、ブザーを鳴らす警告灯であり、現場クレーン車の操

作室内に配備した。

震度3～4：黄色

震度5弱以上：赤色

### b) 工事事務所内パソコン表示

工事事務所内の各職員のパソコン画面に、警報を表示するシステムである。平常時はパソコンは通常通りに使用でき、警報が配信されたときにそれが画面上にポップアップ表示される。表示内容は、日本地図上にプロットした震央位置、当地点における予測震度、主要動が到達するまでの予測余裕時間である。予測余裕時間はカウントダウン表示される。当地点における予測震度が1以上のときに、職員全員のパソコンに配信する。

### c) 工事事務所内警告灯

工事事務所内には、前記パソコン表示のほかに、警告

灯を1台設置した。これは、全職員が常にパソコン画面に向かってはいるわけではないこと、警報には「音」が知覚的に有効であること、さらに、その時事務所に居合わせた来客にも警報を伝えるべき、という理由からである。この警告灯の動作仕様は、クレーン車内警告灯の仕様と同じである。

#### d) 携帯電話メール

施主事務所および建設作業関係者に携帯電話メールを配信する。警報の即時性はあまりないが、地震時に現場から離れた場所にいる関係者へも連絡でき、地震時の初動態勢の早期確立および事業継続性の向上に有用である。予測震度3以上のときに配信する。

### (3) 利用のための教育・訓練の実施

緊急地震速報を用いた地震防災システムでは、震源距離にもよるが、平均的には主要動の数秒～十数秒前に警報を受けることができる。これにより地震に対する心理的余裕が生まれ、冷静な避難行動をとることができ、減災につながる。また一方では、緊急地震速報の基本原則とそれを利用した本地震防災システムの成立ち、ならびに、そうした仕組みに基づいた地震動予測や警報発信には技術的な限界があるという注意点を、利用者に理解してもらう必要がある。こうした点で、適切な避難行動を



写真-3 現場作業員への説明会



写真-4 工事事務所職員への説明会

とるための指針の作成および教育・訓練の実施は重要であり、気象庁からも先行的運用の条件として、それらの実施を義務付けられている。

そこで本現場では、この地震防災システムの稼動開始に際して、利用者全員を対象に説明会を開催し、ユーザーマニュアルを配布してシステムの説明を行うとともに、実際に警報機を作動させて実践訓練を行った。写真-3、写真-4に、現場作業員および事務所職員への説明の様子を示す。

## 3. システム導入に当たって検討したことがら

### (1) 震度予測の方法

緊急地震速報の中の震源情報（地震のマグニチュード、震源の緯度・経度、震源の深さ）をもとにした震度予測は、一般的には図-2のように行うことが多い。（たとえば参考文献3））。

その手順は以下ようになる。

- ①まず、緊急地震速報で送られてくる震源情報から、距離減衰式を用いて当該地点の基盤（たとえば参考文献3）ではS波速度600m/sの硬質地盤）の最大速度を計算する。
- ②次に、予測された基盤の最大速度に地盤増幅率を乗じて、当該地点の地表の最大速度を計算する。
- ③最後に、予測された地表の最大速度から震度への変換式により地表の震度を計算する。

このうち②における地盤増幅率については、対象とする地点の地質構造等に応じて値を設定する必要がある。地震観測情報やボーリングデータ等、地盤増幅率設定のために有用な現地固有の情報がないときには、参考文献4)等から、当該地点の地盤増幅率を抽出して設定する方法などがある。またボーリングデータが得られているときには、地盤の平均S波速度(AVS)を計算して設定する方法<sup>5)</sup>や、現地地盤をモデル化した地盤応答解析を実施して求める方法などがある。

表-1に今回の地点を対象とした基盤(S波速度600m/s)から地表の地盤増幅率をいろいろな方法で計算した例を示す。

表-1 今回の地点の基盤(S波速度600m/s)から地表の地盤増幅率の試算例

算定方法	地盤増幅率
地盤情報がない場合	2.23
地盤の平均S波速度(AVS)による値	1.63～2.05
地震応答解析による値	1.24～1.89

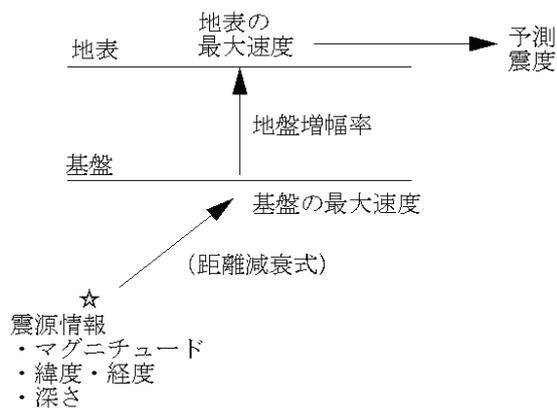


図-2 一般的な震度予測の方法

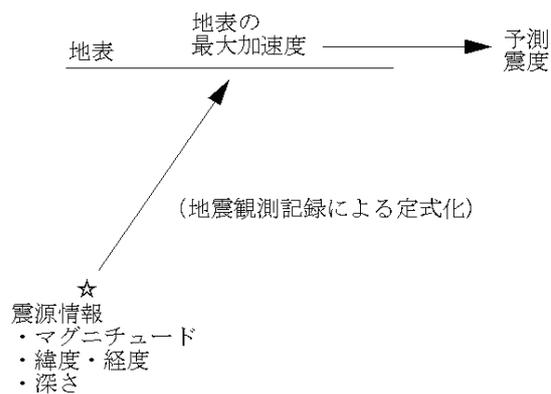


図-3 今回採用した震度予測の方法

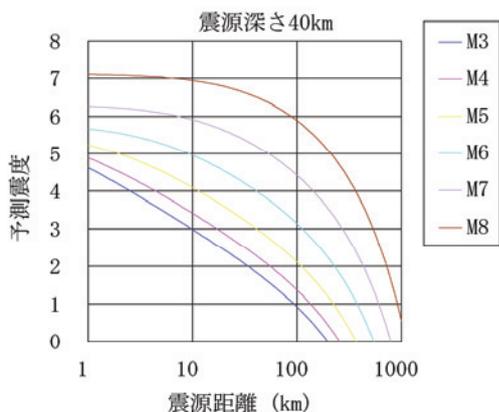


図-4 震源諸元と予測震度

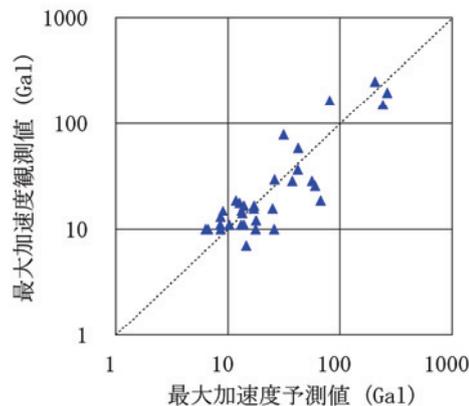


図-5 最大加速度予測値

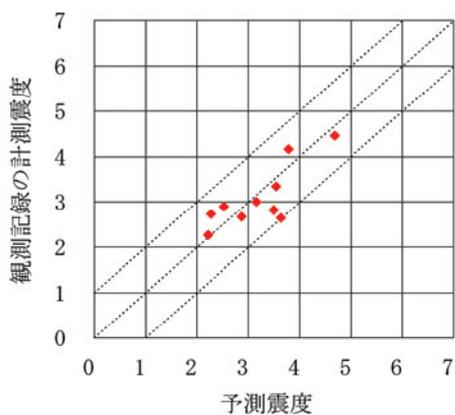


図-6 予測震度

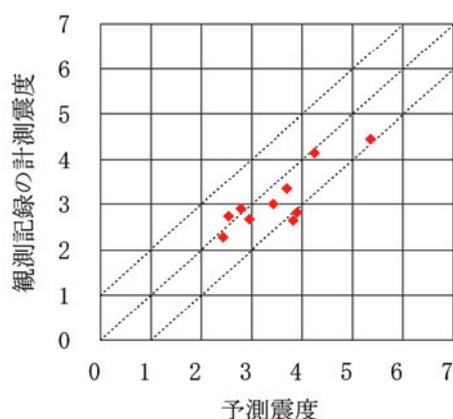


図-7 予測震度 (一般方式)

表中「地盤情報がない場合」は、防災科学技術研究所ホームページの地震ハザードステーション (<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>) より当該地点の工学的基盤(S波速度400m/s)から地表の地盤増幅率1.7を抽出し、さらに参考文献3)より基盤(S波速度600m/s)から工学的基盤までの増幅率1.31を乗じたものである。「地盤の平均S波速度(AVS)による値」は、敷地面積の広い今回のサイトでは地盤条件は一様でなく、複数のボーリン

グの中から代表的な3箇所のボーリングデータを選び、それぞれに対して、地表から地下30mまでの平均S波速度(AVS)をもとに算定している<sup>5)</sup>。このため地盤増幅率の値に幅がある。また「地震応答解析による値」では上記3箇所のボーリングデータに基づく3種類の地盤モデルおよび6種類の入力波形を対象とした18ケースについて1次元線形動的解析を実施し、基盤と地表の最大速度振幅比より計算している。表の地盤増幅率の幅はそれら

18ケースの結果のばらつきを示している。このばらつきは3種類の地盤モデルの違いによるばらつきだけではなく、同じ地盤モデルにおいても入力地震動により最大0.58の差が出ている。このように、地盤増幅率ひとつをとっても、その設定は容易ではなく、緊急地震速報で配信された震源情報から対象サイトの震度予測をするには、慎重な検討が必要である。

一方、今回システムを導入した製油所においては、防災用の地震計が設置されており、数年間にわたって主要な地震が記録されていたほか、敷地内で別の研究機関による地震観測も行われている。そこで、それらの情報を活用して、当サイトに適した震度予測を行うこととした。その方法は、図-3に示すように、これまでの地震観測データを用いて、震源諸元と地表最大加速度との関係を定式化し、最大加速度から震度に換算するというものである。ここで用いた地震観測記録は、当サイトにおいて2003年2月から2006年7月の間に観測された33個の地震である。記録されている項目は各地震について地表の最大加速度値と最大速度値である。33個のうち揺れが大きかった10個の地震については、別の機関で速度波形も得られており、計測震度を計算することができた。

震源諸元と地表の最大加速度との関係については、33個の地震データを用いて、司・翠川の距離減衰式に準じた定式化を行った。さらに、計測震度が計算できた10個の地震から、地表最大加速度値と計測震度とを関係づけた。こうした作業の結果として、図-4に示す震源諸元と予測震度との関係を得た。各地震の最大加速度の予測値と観測値を比較したものを図-5に示す。また観測波形の得られている10個の地震について、本手法により予測される震度と、観測波形から計算される計測震度を比較したものを図-6に示す。同図より、予測震度は観測結果による計測震度に対して震度±1以内の誤差に収まっている。

なお参考として、図-2に示した方法（具体的には参考文献3）に則り、地盤増幅率は表-1に示した「地盤情報がない場合」の2.23を用いる）で、同様に震度予測した場合を図-7に示す。図-6と比較すると、この方法では、予測震度が全体的に大きめに評価されてしまうことがわかる。このことから、観測結果を利用して震度予測を行うことの有効性が示される。

## (2) クレーン車への警報配信

本工事現場に地震防災システムを導入した目的の第一は、地震時のクレーン作業の安全性向上であった。ただし、これを実現するには、次のような問題があった。

①当現場では、クレーンは定置式のものではなく、車両タイプであり、現場エリア内を随時移動する。したがっ



写真-5 クレーン車内警告灯

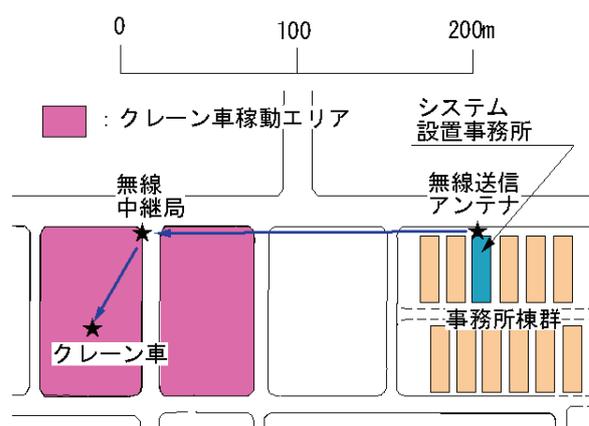


図-8 クレーン車への無線配信方法

て、有線方式で警報を配信することができないし、警報機の電源もケーブルでの供給ができない。

②クレーン車は、特定の車両に限定されず、工事工程や業者手配の状況にしたがって変わる。

こうした事情から、クレーンへの警報配信は無線方式とした。また、警告灯、無線受信装置を含む器機類一式をボックスに納めたポータブル・セットとした。写真-5に、クレーン車の操作室内に置いた警告灯の様子を示す。このセットに必要な電源は、シガーソケットから供給することにした。地震防災システムの配信サーバを設置した工事事務所からクレーン車までの無線配信方法を図-8に示す。両者間の距離は、平均で200m程度である。無線LAN方式は途中で障害物があると通信状況が悪くなることから、作業エリアに近い場所に無線中継局を設けた。

また、無線機器類の故障や電源の入れ忘れなどで、いざというときにこの警報配信システムが働かないという事態を防ぐために、障害監視の仕組みを造り込んだ。配信サーバとこの無線式警告灯との間の通信が途絶えたときには、システム管理者（工事事務所の担当職員）宛に障害を知らせるメールが送信されるようになっている。

表-2 警報時の行動指針

(a) 工事現場用

震度	クレーン内警告灯	行 動 指 針	
1	作動	—	
2	しない		
3	黄色		クレーンオペレータ： 警告灯が作動したら、吊り上げ（地切り前・地切り後とも）・吊り下ろし・旋回中の場合はそれらを停止し、配信を受けたことを周囲の作業員に知らせるために、クラクションを3回鳴らす。クレーンオペレータの判断で、安全な場所に吊荷を下ろす。 クレーン周囲の作業員： クレーンのクラクションが3回鳴ったら、吊荷から離れ、転倒・落下のおそれのあるものから離れた安全な場所に退避して、揺れに対して身構える。
4			
5弱	赤色		
5強			
6弱			
6強			
7			

(b) 工事事務所用

震度	パソコン表示	警告灯	行 動 指 針
1	震度1から作動し予測震度が表示される	作動しない	揺れに対して安定な姿勢をとり、揺れ始めからの推移を注意深く観察する。揺れが予測震度以上に大きくなると思われたら、机の下にもぐるなど、身の安全を図る。
2			
3		黄色	強い揺れへ身構え、揺れ始めたら近くの不安定物の転倒・滑動・落下に注意する。危険を感じたら、机の下にもぐるなど、身の安全を図る。揺れが収まったら、火の元、周囲の安全を確かめる。
4			
5弱		赤色	転倒・滑動・落下しそうな大きな家具や備品・什器類から離れ、机の下にもぐるか身を低くし、机の脚などの安定物に掴まるなどして、大きな揺れに身構える。揺れが収まったら、火の元を始末し、周囲に注意しながら、一旦、屋外の安全な場所に退避する。（余震対応）
5強			
6弱			
6強			
7			

### (3) 警報時の行動指針の策定

警報が出たときに各自がとるべき標準的な行動の指針として、表-2を策定した。このうち(b)は、工事事務所内にいる職員のためのものであり、内容的には、一般のオフィスや家庭内での行動指針と変わらない。

(a)はクレーン作業に関わる人たちのために策定したもので、建設工事現場に特有な行動指針である。緊急地震速報を建設工事現場に適用した事例は少ないため、その策定にあたっては検討を要した。ここで難しかったのは、次の点であった。

①クレーンオペレータが受けた警報を、周囲の影響範囲内にいる作業員にも知らせる方法

②クレーンオペレータが吊荷に対してとるべき行動

①については、「マイク」や「手振り」という案も考えられた。しかし、クレーン車に装備されているマイク・スピーカーは通常 OFF になっているので、オペレータがそのスイッチを入れて呼びかけるのでは、数秒の余裕時間しかない場合には間に合わない。また、周囲の作業員は常にオペレータの方を見ているわけではないから、合図を決めた手振りでも伝わらない。そこで、より確実に伝える方法として、「クラクションを3回鳴らす」と

いう方法に行き着いた。クラクションを1回鳴らすことは普通にあるが、3回鳴るのを聞けば何らかの異常を感じるので、「3回鳴ったら地震の合図」ということを、クレーン・オペレータと周囲の作業員の間での取決めとしたものである。

②については、吊荷を「降ろす」か「降ろさない」かが問題となった。地震時に「降ろす」という操作をすることは、かえって危険ではないかとの意見もあったが、吊ったままど荷が振れてもっと危険という判断となった。ただし、実際に地震に襲われたときに、どういうクレーン操作をしている最中か、地震動の強さはどの程度か、降ろしていく過程で吊荷の揺れが悪化していくか、などの状況によって、適切な対応の選択が分かると考えられた。そのため、行動指針としては「安全な場所に吊荷を降ろす」方向としたが、状況判断をオペレータに委ねることとし、「クレーンオペレータの判断で」という文言を入れた。

なお、予測震度に応じて警告灯の点灯色が2区分あるが、上述の対応行動に違いをもたせた実行は難しいと考え、行動指針は予測震度によらず一つとした。

これらは、現場職員との議論や、クレーンオペレータへのヒアリング等から、この現場の実情に最も適した方

法を模索した結果である。(b)の行動指針についても、現場事務所の状況視察やヒアリングを参考にして決めた部分がある。通常よく定められる「ヘルメットを被って机の下にもぐる」という行動は、この現場事務所ではヘルメットが自席から瞬時に手に取れる位置にはなく、廊下の専用ラックに保管していることから実行できず、指針にもそれを入れていない。また、警報が出たときの行動指針は、標準的と考えられる行動パターンを示したものであって、重要なのは、その時々状況に臨機応変の防衛行動がとれるように、平常時から、警報が出たときの心構えと咄嗟の行動ができるようにしておくことである。ユーザーズマニュアルにはこの旨を記した。

#### (4) 利用者への教育・訓練

前述のとおり、建設工事現場で本地震防災システムを有効に利用してもらうには、緊急地震速報に基づいた警報発報システムの仕組みとその技術的な限界を理解してもらうとともに、警報発報時に素早く適切な行動がとれるよう、平常時から心構えと動作を身に付けておいてもらうことが重要である。こうした利用者教育と訓練として、現場において説明会と模擬警報による避難行動訓練を実施した。その計画に当たっては、次のような点を考慮した。

①工事に着手した現場であり、タイトな工程計画に従って動いている工事を、長時間にわたって中断させるわけにはいかない。しかも、利用者全員に参加してもらわなければならない。そのために、事前にスケジュール調整をした上で、利用者を2班に分け、約1時間の教育・訓練を2度行うことにした。クレーン作業の対象者には、終業時に時間をとってもらい、現場で教育・訓練を行った(写真-3)。

②何ページにも及ぶ説明資料を作成し配布しても、最後まで読まれないであろうし、重要なポイントも押さえられないと考えた。本地震防災システムの詳細な説明・取り扱いマニュアルは用意した上で、一般利用者用には、地震警報の発報の仕組み、警報が出たときの行動指針、利用上の注意点などの要点を1シートに取りまとめた「ユーザーズマニュアル」を作成し、これを全員に配布した。また、説明会ではそれに沿って説明した。

③教育・訓練の受講者全員に、本地震防災システム(緊急地震速報)には技術的限界があること、このシステムを有効に利用するには教育・訓練が必要であること、などについて、「理解している/理解していない」形式の質問に回答・署名を求めた受講確認書を提出してもらい、利用に関する理解を深める一助とした。

## 4. システムの効果

### (1) 警報配信数

緊急地震速報は震源情報の予測値が更新されるごとに、第1報、第2報、・・・と繰返し配信される。震源情報の予測値が安定する最終報までの報数は地震により異なるが、第5報～第10報くらいで最終報となるケースが多い。地震到達前に警報を出すという観点から有意なのは、第1報、第2報といった初期の配信である。

システムを導入した2006年10月17日から2007年3月9日現在までに、緊急地震速報を受信してシステムが警報を配信した地震の回数、すなわち第1報から最終報のうちの少なくともどこかで1回予測震度が1以上となった地震は36個であった。表-3にその36個の地震に対して、第1報、第2報、最終報における予測震度の回数内訳を示す。現時点では予測震度が3以上になったケースはない。したがって震度3以上で警報を配信するように設定して

表-3 警報を配信した36個の地震における  
予測震度の回数内訳  
(2006年10月17日～2007年3月9日)

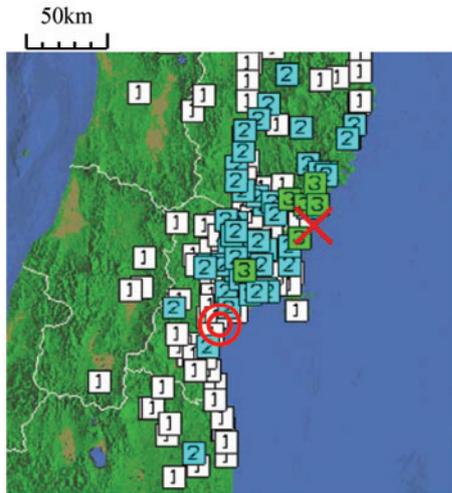
	第1報	第2報	最終報
予測震度0	15	15	5
予測震度1	16	18	24
予測震度2	3	3	7

注) 第1報の合計が34で36にならないのは、2個の地震に関して緊急地震速報の第1報が受信されなかったため。

表-4 表-3に示した36個の地震のうち工事事務所の就業  
時間内に発生した17個の地震の警報配信状況

地震発生日時	震源距離 (km)	マグニ チュード	予測震度			はじめの警 報からの余 裕時間(秒)
			第1報	第2報	最終報	
06/10/26 7:58	150.0	4.1	1	1	1	16
06/10/31 14:08	280.8	3.5	0	0	0	18
06/11/15 17:39	208.3	3.9	0	0	1	-5
06/11/30 11:59	151.1	4.3	-	1	0	39
06/11/30 15:03	151.0	2.8	1	1	1	31
06/12/18 16:28	176.6	4.3	0	1	1	22
06/12/20 11:57	265.3	3.8	1	0	0	38
06/12/28 9:25	103.8	4.4	2	2	2	10
07/1/9 13:18	282.9	4.3	0	0	1	39
07/1/13 14:42	283.0	3.2	1	0	0	50
07/1/17 13:11	133.0	4.3	0	0	1	-11
07/1/23 13:07	198.5	4.3	1	1	1	27
07/1/25 16:55	170.2	4.1	1	1	1	22
07/1/30 16:06	183.0	4.2	1	1	2	18
07/2/1 15:40	141.7	3.8	1	1	1	14
07/2/17 9:03	448.2	6.2	2	1	2	91
07/2/22 15:34	166.7	3.9	0	0	1	-21

注) 地震発生日時で、06は2006年、07は2007年。  
第1報で「-」とあるのは緊急地震速報が受信されなかったもの。  
余裕時間で負値は警報が間に合わなかったもので、「-5」とは地震到達5秒後に警報が出たことを表す。



✕ : 震源      ⊙ : サイト位置

気象庁ホームページより抜粋した図に加筆

図-9 2006年12月28日の地震の震度分布

いる警告灯や携帯メールでの警報配信はまだなく、パソコン表示の警報配信のみである。

表-3に示した地震のうち、パソコン表示の警報が工事事務所の就業時間帯に配信された地震は、17個であった。表-4にその17個の地震に対して、地震発生日時、震源距離、マグニチュード、第1報・第2報・最終報における予測震度、およびはじめの警報（予測震度0では警報は出ないので予測震度がはじめに1以上となったとき）から主要動到達時間までの予測時間を示す。ただし、各警報の配信時刻はログとして残っているが、正確な地震到達時刻の記録はないため、ここでは、気象庁が決定した発震時刻とS波走時表により主要動到達時刻を推定した。同表より余裕時間を見ると3個の地震に対しては警報が地震到達に間に合わなかったが、それ以外の地震では平均的に20~30秒程度の余裕時間があり、警報として有用であったことがわかる。

## (2) 予測値の検証

警報を配信した代表的なケースで、本システムで予測した地震動の大きさと現地における地震観測結果との比較をする。これまでに観測された地震のうちで、現地で最も大きな揺れを観測したのは、以下に示す地震である。

- 発生日時：2006年12月28日09時24分
- 震源地：宮城県沖（北緯38度47分，東経141度38分）
- 震源深さ：71km
- マグニチュード：4.4
- 震度分布：図-9に示す

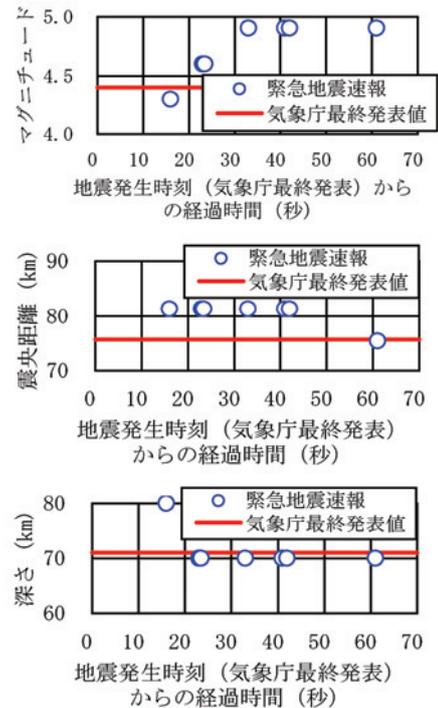


図-10 2006年12月28日の地震における緊急地震速報震源情報の推移

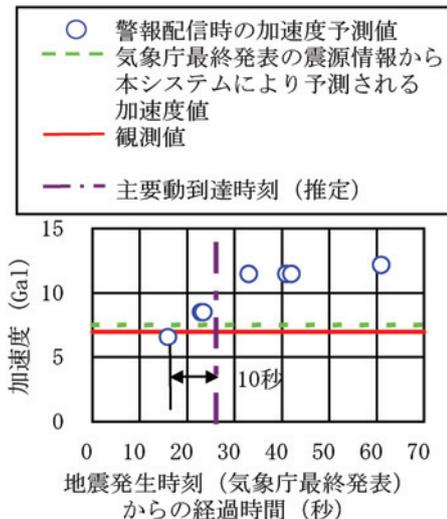


図-11 2006年12月28日の地震における最大加速度予測値の推移

システムの前予測値の検討をするにあたっては、予測値を計算する元となる、緊急地震速報の震源情報の誤差をまず分析しておく必要がある。図-10にこの地震における緊急地震速報の震源情報（マグニチュード、緯度・経度から計算される震央距離、深さ）の推移を示す。この地震では緊急地震速報は第1報から第7報（最終報）まで

配信されたので、7個の丸がプロットされている（第2報と第3報はほぼ同時）。図の横軸は、気象庁が最終的発表した地震発生時刻からの経過時間である。

本システムが上記の地震の緊急地震速報受信時に計算した最大加速度の予測値を図-11に示す。現地の正確な地震（主要動）到達時刻は現状ではわからないが、参考として気象庁最終発表の震源情報から走時表より求められるS波走時を地震到達時刻（推定）として併記している。第4報以降は、地震到達予測時刻よりも後に配信されているため警報として有効でないが、第1報は10秒前に配信されており、地震に対する身構えができる時間であり、地震防災システムとして有効に働いたといえる。現地で観測された最大加速度は7Galである。

図には、気象庁が最終的に発表した震源情報（緯度・経度、深さ、マグニチュード）から本システムにより予測される加速度値も併記する。この値（緑点線）は観測値（赤線）とよく一致している。警報配信時の震度の誤差は緊急地震速報の震源情報（マグニチュード、緯度・経度、深さ）の誤差と震度予測の誤差が相乗されたものであるから、本システムにおける震度予測手法はこの地震に対してはよい精度で一致していることがわかる。

警報配信時の予測最大加速度については第1報～第3報までは、観測値と比較的良く一致しているが、第4報以降では予測値の方が大きめに推移している。この誤差の推移の形は、図-10に示した緊急地震速報のマグニチュードの誤差の推移の形とほぼ同じであることから、第4報以降の加速度予測値の誤差は、緊急地震速報のマグニチュードの誤差にほぼ対応しているといえる。

ここで事例として示した1つの地震に対しては、本システムは地震防災システムとして有用に働いたといえる。ただし上記のように、予測震度は、その予測手法はもちろんのことであるが震源情報にも大きく依存することが改めてわかった。

### (3) 地震到達予測時間について

工事事務所における警報のパソコン表示においては、地震（主要動）到達時間も予測してカウントダウンで示すようになっている。システム導入後、パソコン表示の警報を職員が見たと思われる地震は17個で警報配信状況は表-4に示したとおりである。地震到達予測時間の精度については、現地における正確な地震到達時刻が現状でわからないため定量的に厳密な検証はできないが、「パソコンで表示された警報では、ほぼカウントダウンの時間どおりに揺れを感じる。」という現地職員のコメントが得られており、本機能は地震防災システムとして有効性を発揮しているといえる。

## 5. 今後の課題

今回の導入の経験から、今後緊急地震速報を建設工事現場へ普及させていくための課題と考えられることがらについて、以下に述べる。

### (1) システム計画について

①今回は大規模な建設工事現場の中の一部エリアでの適用となったが、全体へ適用するには、一斉放送、電光掲示、その他、広い範囲に警報を伝えるための大掛かりな仕組みが必要になる。現場の状況は、地形や構築物まで含めて日々大きく変化していく。そうした中で多種多様な作業が行われているので、それぞれに有効な形で警報を配信できるシステムを、総合的に計画することが課題となる。

②いざというときに、機器の故障や通信障害のために警報が出ないのでは、導入した意味が全くなくなる。個々の警報機器が常に正常であるように維持する必要があるが、現場は一般に繁忙を極めており、定期的に点検する時間をとるのは難しい。人手と時間のかからない保守点検方法を用意する必要がある。

### (2) 震度予測について

緊急地震速報では配信する震源情報の精度について技術的限界があるのはやむを得ないことであるが、前章で示したように、震度予測にはまず震源情報の精度が重要となる。これは建設工事現場に限った問題ではないが、震源情報の予測精度のさらなる向上が望まれる。

### (3) 警報ツールについて

①建設重機などの移動体に警報を配信するシステムの開発が必要である。今回は事務所からクレーン車まで200m程度の通信ということで、中継器を介した無線LANで対応できた。また、電源もクレーン車内で供給できた。これがさらに長距離となると、無線LANでは対応困難で、他の無線通信システムが必要になる。信頼性が高くしかも安価な移動式警報機の開発が必要である。

②山間部の工事現場などでは、そもそも緊急地震速報を受信するための情報システム基盤が無い場合も多い。最近では衛星通信による緊急地震速報の配信サービス事業も始まったが、こうした山間部での工事のほか、海上工事、トンネルなどの地下工事では、警報システムの構築上の開発課題がある上に、コスト面でも非常に高くつくことになる。

③JVの工事現場で各社が別々の社内ネットワークを組んでいる場合には、1つのシステムサーバからネットワークをまたがって各社に警報を配信することは難しい。

ネットワーク構成は現場によって異なると思われるが、全社への警報配信のしやすさと、各社間の情報セキュリティのレベルの高さは相反する条件となり、双方を考慮したシステム構築が必要である。

#### (4) 教育・訓練について

①今回は、クレーン作業に限定した適用であったが、建設工事現場で緊急地震速報が大きな効果を発揮すると考えられる場面はほかにも多い。例えば、仮設足場や高所作業での作業員の墜落や物の落下事故を防ぐ効果が期待できる。ただし、そうした各種作業について、合理的・効果的な退避行動の標準指針を、業界全体で策定しておくことが望まれる。

②建設工事現場は作業員の出入りが多く、教育・訓練をどのようなタイミング・頻度で実施するかが課題である。

#### (5) 導入費用について

建設工事現場は一般に、期間数ヶ月～数年の短期の事業所である。一方、緊急地震速報による警報システムを導入しようとするれば、その現場の特性に合わせた個別・大掛かりなシステムとなることから、一般のオフィスや工場などに導入するよりも費用が割高になる。したがって費用負担が重くならないような方策が必要である。

システムの構築に際しては、佐久間雄一郎グループマネージャー、宮下雅英グループマネージャーをはじめACE建設プロジェクトの皆様、多大なるご協力を賜りました。また、消防庁消防大学校消防研究センター様には、当製油所内で観測された貴重な速度波形データを提供していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 気象庁ホームページ：緊急地震速報について、  
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/index.html>
- 2) 長島一郎 他：大成リアルタイム地震防災システム システム開発と展開，大成建設技術センター報，第39号，06，2006.
- 3) 気象庁：緊急地震速報の概要や処理方法に関する技術的参考資料，緊急地震速報の本運用開始に係る検討会，第5回検討会，参考資料1-2，2006.5
- 4) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：「全国を概観した地震動予測地図」報告書，2005.5
- 5) 藤本一雄，翠川三郎：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定，日本地震工学会論文集 第3巻，第3号，2003

(2007.06.29 受付)

謝辞：新日本石油精製株式会社仙台製油所様には、当社担当工事に地震防災システムを導入していただきました。

## APPLICATION OF EARTHQUAKE EARLY WARNING TO CONSTRUCTION SITE

Katsuyuki SAKASHITA, Yukio SHIBA and Takatoshi SUEDA

This paper describes an application of earthquake early warning to a construction site and its peculiar points, through the example of application to a construction site in Miyagi prefecture. At construction sites, different design and use of the alarm system from ones at offices or factories are necessary. We raised several subjects to popularize these seismic disaster mitigation systems, for example specification of equipments, action at alarm, instruction and training for use, and so on. And we demonstrated the value of using seismic observation data at the site for forecast of ground motion intensity from earthquake early warning.