

リアルタイム地震情報による建設現場の 地震災害リスク低減可能性に関する研究

愛知工業大学 小池則満*1

清水建設株式会社 田代直人*2

清水建設株式会社 内藤克己*2

清水建設株式会社 高橋郁夫*3

愛知工業大学 正木和明*1

By Norimitsu Koike, Naoto Tasiro, Katsumi Naito, Ikuo Takahashi, Kazuaki Masaki

我が国における地震防災に対する取り組みのひとつとして、リアルタイム地震情報の利活用が議論されている。特に、地震の主要動が到達する数秒から数十秒前に警報を発して注意を喚起するシステムの運用がさまざまな分野で開始されている。先行分野のレビューおよび建設業で現場代理人を務める方へのアンケート調査を通じて、期待される点や問題点を、さらにシステム導入によるリスク低減可能性についての考察を行うことを目的とした。アンケート調査の結果等に基づいて考察した結果、主要動到達までの数秒～数十秒という短い時間に建設現場としてどのような行動を起こせるのか考えることや、システム導入における費用対効果を明確にする必要性があること、などを明らかにした。

【キーワード】：リスクマネジメント、災害情報

1. はじめに

我が国における地震災害に対する取り組みのひとつとして、リアルタイム地震情報の利活用が議論されている。特に、地震の主要動が到達する数秒から数十秒前に警報を発して注意を喚起するシステムの運用がさまざまな分野で開始されている。

建設現場においても、すでに国内大手建設会社が超高層ビル建設現場への運用を開始している¹⁾。ここでは、「高所作業を行なうタワークレーンのオペレータの操作室へパトライトの光と音により地震情報を伝えて、高所から地上の作業員に退避指令を伝えさせること」、「工事用エレベータを自動的に最寄り階に停止させること」、「現場事務所内のパソコン画

面に地震情報を自動的に表示させること」、「現場内で利用している携帯電話のメールへ情報配信を行なうこと」により被害の低減を目指すものとしている。また、社内イントラネットにリアルタイム地震情報を導入し、早期の対応を目指す建設会社もある²⁾。野外作業者やレジャーなど、屋外で活動している人々へ、緊急地震情報を送るための小型端末の開発も進められている³⁾。この小型端末は製品化には至っていないが、今後、火災などの警報システム等との融合と相まって、普及に向けての技術的な諸問題は解決されていくであろう。

このように、リアルタイム地震情報の先駆的な利活用は開始されており、より安価で信頼性の高いシステムも構築されていくものと考えられる。しかし、システム導入によって、一般的な建設現場においてリスクを低減できるのか論じた研究は見あたらない。不安定な仮設構造物も多い建設業では、輸送業や製造業、あるいは学校などの教育施設とは異なった地

* 1 工学部都市環境学科

0565-48-8121,koike123@aitech.ac.jp

* 2 名古屋支店 052-201-7610

* 3 技術研究所 03-3820-6441

震災リスクも多いと考えられることから、リアルタイム地震情報をどのように利活用することができるか議論することは有意義であると考え。

そこで本研究では、このリアルタイム地震情報を建設現場における地震災害のリスク低減に利活用するシステムについて、先行分野のレビューおよび建設業で現場代理人を務める方へのアンケート調査を通じて、期待される点や問題点を、さらにシステム導入によるリスク低減可能性についての考察を行うことを目的とする。

なお、リアルタイム地震情報の定義や提案されているシステムの名称もさまざまであるが、本研究では、地震の主要動が到達する前にその情報を配信し被害低減を目指すシステムの総称として用いることにする。

2. 制御の分類と建設現場への適用可能性

(1) 先行分野における制御方法の分類

リアルタイム地震情報の利活用はさまざまな分野で開始されている。ここでは、リアルタイム地震情報の利活用を先行しておこなっている、あるいは議論されている業種における考え方について「機器制御」と「人的制御」にまとめて整理したい。

まず学校防災分野では、源栄らが宮城県で試行している小学校へのリアルタイム地震情報導入に関してまとめた論説がある⁴⁾。ここでは、リアルタイム地震情報によって避難を促し、人的被害の軽減を目指すとともに、避難訓練や地震防災教育にも役立つ旨が述べられている。児童の生命をいかに守るかが目的になっていると同時に、避難行動に焦点の置かれたものとなっている。

企業防災、特に工場などの生産現場を対象としたものでは、愛知県の三河地域に約30地点からなる強震観測網と気象庁のナウキャスト情報と合わせて地震動情報を解析し、各企業に設置された警報が鳴るシステムを試験運用している取り組みがある⁵⁾。

鉄道業においては、列車を減速、停止することによって、脱線、転覆という最悪の事態を避けることを明確な目標としている。また、自動車ドライバーに対する警報については丸山らが論じている⁶⁾。ここでは情報提供による減速、停止を目標とした議論がなされているが、自動停止ではなくドライバーへ

の情報提供による注意喚起を促すこととしている点が、鉄道業の制御の考え方とは異なる。

以上のような取り組みを整理すれば表-1のようにまとめられる。それぞれの分野において、システムが目指している目的は、人的被害軽減であるが、それを実現するための方策が、分野によって異なることがわかる。したがって、建設現場においても作業員や周辺住民、あるいは通行人の安全を第一に考えるとともに、必要な制御方法について考えていく必要がある。

表-1 先行分野における制御の例

制御分類	鉄道	道路	学校	製造業
機器制御	列車の緊急停止	減速・停止	—	機器の緊急停止
人的制御	—	ドライバーへの注意喚起	避難行動	避難行動

(2) 建設現場における制御方法

システム導入に際しては、まず、どのような被害に対してどのような制御でリスク低減を図るのか、考えることが必要である。

建設現場における地震被害としては、泥水の噴出、仮設構造物や現場事務所、作業用足場や建設中の構造物などの倒壊に伴う被害が予想される。次に、火器やカッター等の作業機械による被害、重機等の転倒、機械の転倒等が考えられる。これらのうち、泥水噴出や構造物等の倒壊に対しては、倒壊そのものを防ぐのではなく、倒壊してくるものに対して、身を守る姿勢をとる、危険な場所から離れる、といった行動を促す、すなわち人的制御によって被害を低減できる可能性がある。また、火器による被害は、火器を機器制御することで軽減できると考えられるほか、重機等の転倒も安全な姿勢に制御することで、転倒の危険を減らすことができると考えられる。構造物の倒壊や機械に関連した被害を伴わない場合でも、作業員が転落や墜落防止の姿勢をとつさにとることも可能となろう。これらを、制御分類別にまとめれば表-2のようになる。

以上の通り、リアルタイム地震情報によって様々なリスク低減の可能性がある。現場をよく知る方からの意見に基づいてシステム設計を進めることが必要と考える。

表－２ 建設現場における制御

制御分類	構造物等の倒壊に伴う被害	機械による被害	左記以外で揺れによる被害
機器制御	－	安全姿勢での停止、火器等の停止	エレベータの開放
人的制御	避難行動、身を守る姿勢	－	荷崩れ防止、転落防止、墜落防止、身を守る姿勢、避難行動、

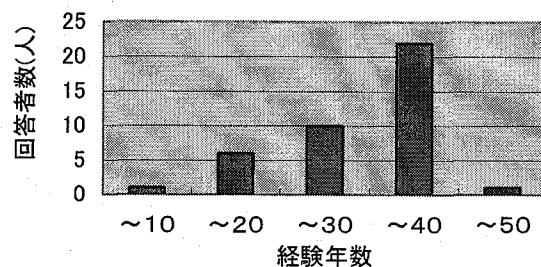
３．現場代理人を対象としたアンケート調査

（１）アンケート調査の概要

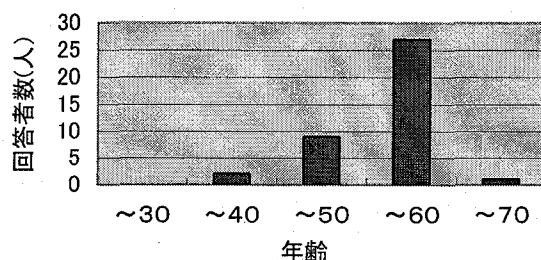
本研究では、リアルタイム地震情報システムを建設現場に導入するにあたり、建設業としての視点からの期待される効果や問題点等を明らかにするため、アンケート調査を行った。大手建設会社の現場代理人を務める４０名の方を対象とし、社内便等を用いて配布回収を行った。設問内容については、地震被害について深刻な被害に結びつくと考えられる要件を訊ねるとともに、リアルタイム地震情報システムについては、一般的用語ではないと考え、「リアルタイム地震情報システムは、地震が起こる数秒から数十秒前に警報を発するシステムであり、鉄道(新幹線)などでは既に実用化されています。これを建設現場に導入することで、墜落事故や落下事故、崩壊・倒壊等の被害を減らすことが期待されています。」との説明文をつけて回答をお願いした。

（２）回答者の属性

回答者の属性を図－１，２に示す、現場経験年数を見るとおおむね 20～40 年程度で平均 29.8 年、年齢が 60 歳までの方が最も多い一方で 40 歳以下の方は 1 名しかおらず、未記入であった 1 名を除いて平均 52.6 歳であった。したがって、現場経験が豊富なベテランの工事長クラスの方々から回答を得ることができたと考えられる。なお、アンケート配布数を建築部 20 名、土木部 20 名として、建築部と土木部の回答の違いや傾向を見いだそうとしたが、特段の差違が認められなかったため、両方をまとめて集計をすすめることとした。



図－１ 回答者の経験年数分布



図－２ 回答者の年齢分布

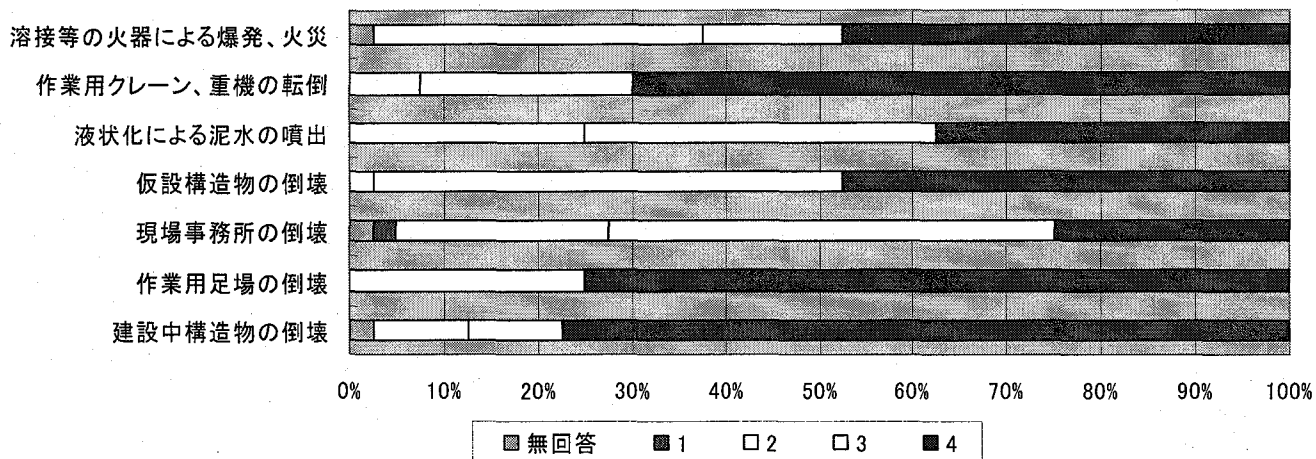
４．アンケート結果と考察

（１）集計結果と考察

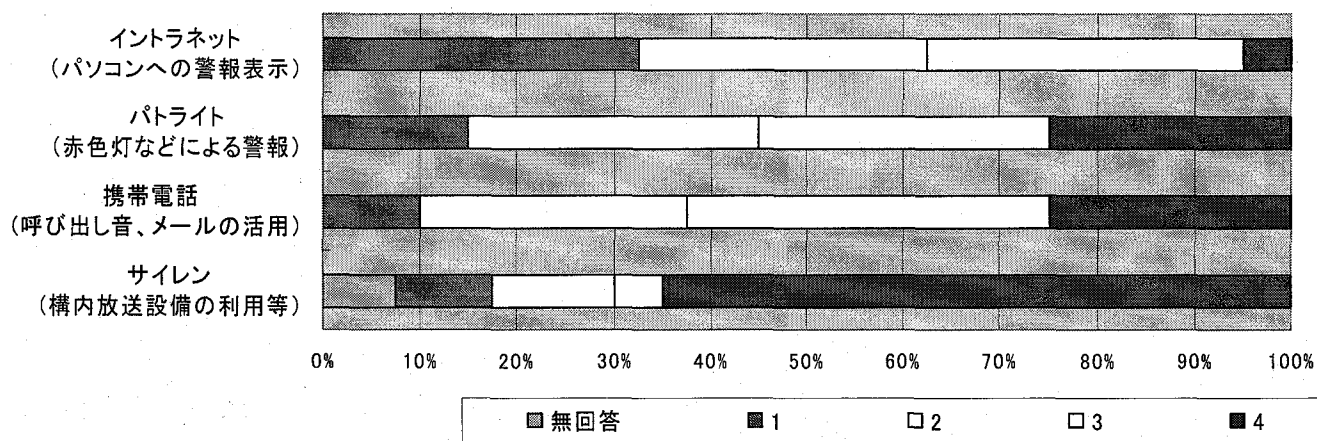
まず、「地震によって起こる被害のうち、どのようなものが建設現場に対して深刻な被害につながる可能性の高いと考えられますか。」という問いに対して深刻な被害につながる「４」から深刻な被害につながらない「１」とした回答結果を図－３に示す。これを見ると、「作業用クレーンの転倒」、「作業用足場の倒壊」、「建設中構造物の倒壊」に対して深刻な被害につながると回答している割合が高い。

次に、「建設現場における警報の発し方について、どのような方法が有効と考えられますか？」という問いに対する回答を図－４に示す。これをみると従来のリアルタイム地震情報システムで用いられているイントラネット利用によるパソコンへの表示やパトライトといった回答の割合が低く、また、携帯電話による配信も回答割合は低い。一方で、構内放送を用いたサイレンが有効とする回答割合が高かった。

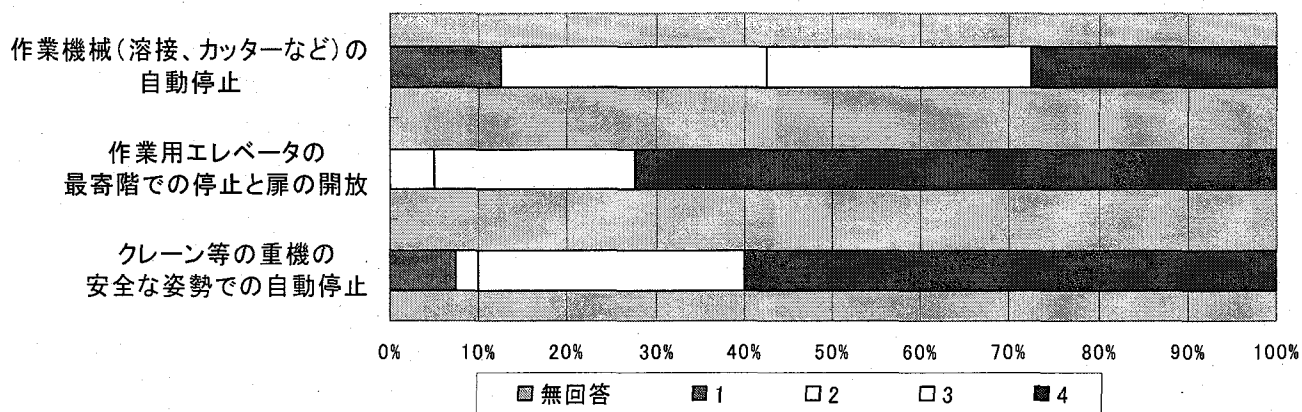
機器制御のあり方についてたずねた結果を図－５に示す。これを見ると、作業用エレベータの停止やクレーン等の安全な姿勢での自動停止が有効とする割合が高い一方で、作業機械の自動停止の割合が比較的低かった。



図－3 建設現場の地震被害可能性についての回答結果



図－4 警報の情報伝達方法に関する回答結果

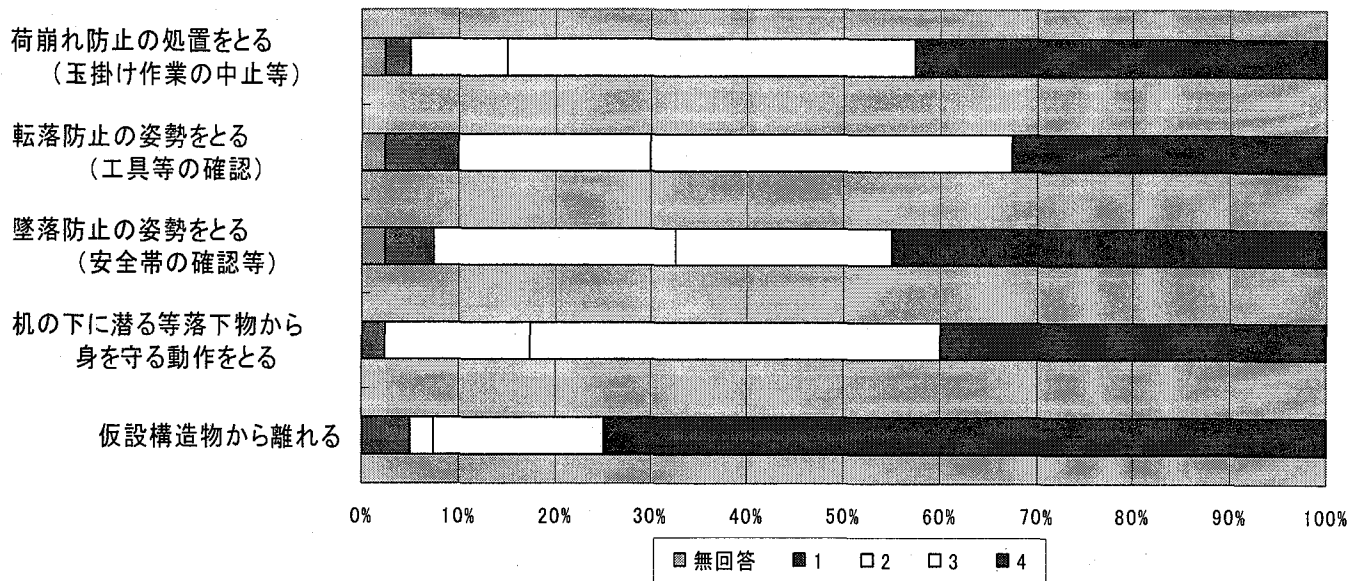


図－5 機器制御に関する回答結果

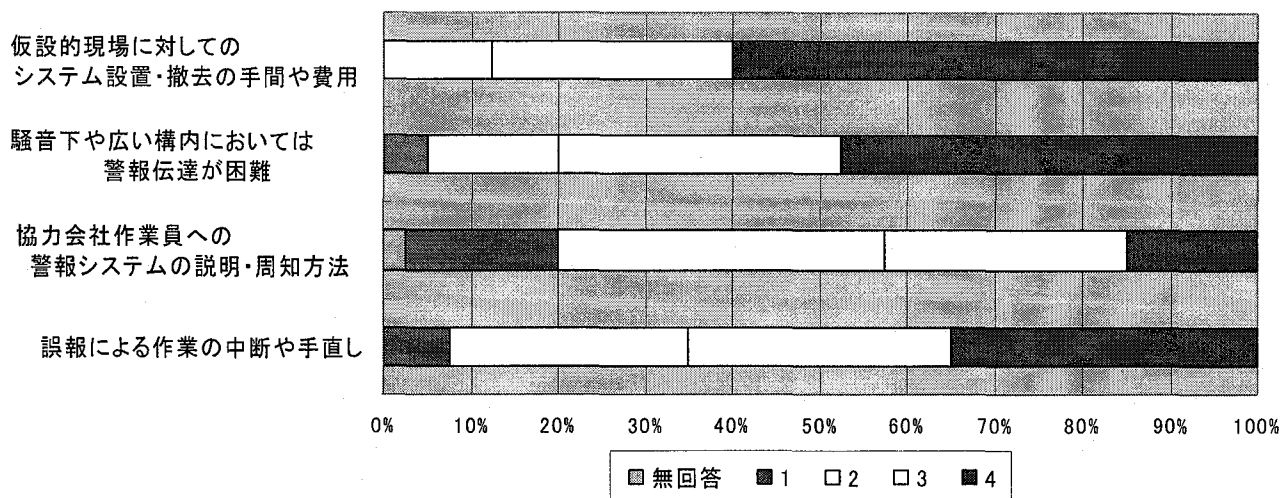
人的制御の例をして、どのような対処が有効かたずねた結果を図－6に示す。これを見ると、仮設建造物から離れるのが有効とする割合が最も高いほか、他の項目についても、有効とする割合が高い。これらはシステムの事前周知や訓練が必要な項目であるが、アンケート対象者からは、有効性が高いと考え

られている。

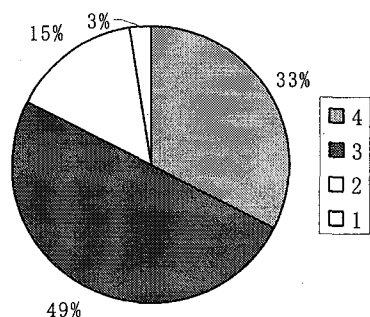
次に、リアルタイム地震情報システムを建設現場に導入する際の問題点についてたずねた結果を図－7に示す。システム設置や撤去に関する手間や費用に関する割合が極めて高かった。



図－6 人的制御に関する回答結果



図－7 システム導入の問題点に関する回答結果



図－8 総合的に見てリアルタイム地震情報システムは建設現場の地震被害軽減に有用と考えられますか

総合的にみてリアルタイム地震情報システムは有用と考えられるか、という問いに対して有用「4」から有用でない「1」までの4段階で回答いただいた

た。その結果、図－8に示すとおり、導入については前向きな意見が多かったが、半数が「3」と回答しており、積極的に有用とする「4」の回答割合は約3割にとどまった。なお、回答者の属性と、リアルタイム地震情報システムの有用性との関連性については、目立った傾向は見いだせなかった。

(2) 自由記述意見による考察

有用性について回答の違いが出た原因やシステム導入に関わる問題点についての考えを、自由意見欄から考察する。これを、表－3、4にまとめる。

これをみると、リアルタイム地震情報システムの有効性について、特に警報が地震動到達の数秒から数十秒前に発せられることに対する疑問が大きく、

「有用ではない」と考える群では、自由意見の記入のあった6名全員が「数秒、数十秒前に警報を発するシステムでは、建設現場の種々な作業状況、また、作業姿勢の作業員に対して、伝達することは不可能である。」(回答番号：N-1、以下同様)のように述べているほか、有用とした回答群においても、たとえば「数十秒くらいでは現場は対処できない」(Y-22)という指摘が多数みられた(Y-13, Y14, Y-17, Y-23, Y-26)。これに関連して「有用」とした回答群においても「末端作業員への連絡システムを確立できれば」(Y-3)のように、情報伝達に関する条件を付していることが多い。また、数十秒の間に行えることとして、「TC(タワークレーン)等で重量物を吊っている場合、数十秒で降ろせる場合がある」(Y-27)という具体的な記述もある。その一方で、「限界はあると思うが、ないよりはまし」(Y-9)といったように、明確に期待するものがなく、現在の状況から相対的に考えてあったほうがよいと考えられている様子がうかがえるほか「数秒、数十秒での対応は難しいと思われる。ただ心構えとして事前の対策、計画、意識付けにはよいと思う」(Y-26)というように、実効性はあまり期待していない意見もあった。したがって、建設現場にリアルタイム地震情報システムを導入していくにあたっては、数秒から数十秒という時間の活用方法をより具体的で明確なものにするとともに、事前に警報が発せられることでできる「心構え」の効果について考えて行く

ことが必要であろう。これは、建設現場に限らずリアルタイム地震情報システム全般にいえる課題ともいえる。

機器制御の課題としては、「自動停止などが望ましいが、現場は日々変化するので、それに対応していけるのか検討していく必要がある」(Y-15)との意見があった。建設現場は、輸送業や製造業、学校施設と異なり、緊急システムを構築しても、仮設物が多いためにすぐに使用できなくなってしまう。現場の機器や重機を制御室で一元的に管理できる現場では、制御システムにリアルタイム地震情報の回線をつなぐことによってこの問題は比較的容易にクリアできると考えられる。たとえば地下シールド工事現場などでは、シールドマシンやセグメント運搬装置の緊急停止と、それに伴っての作業員の待避行動が可能となろう。しかし、無人化やリモートコントロールが進んでいない現場では、こういった回線をすべての重機やクレーンに組み込むのに費用がかかり、しかもそれが工期のうちのわずかな時間の使用にとどまるのであれば、普及は現実的ではなくなると考えられる。また、構造物の強度発現前の段階で地震が来た場合を不安とする意見がみられる(Y-9, Y-10, Y-22)。したがって、着工直後で構造物倒壊の危険が少ない段階では重機等を機器制御する程度に、工事の最盛期には、機器制御にあわせてサイレンなどの避難を呼びかけるシステムとする、といった柔軟性のあるシステム設計が求められる。

表-3 有用でないとした回答群の自由意見

N-1	数秒、数十秒前に警報を発するシステムでは、建設現場の種々な作業状況、また、作業姿勢の作業員に対して、伝達することは不可能である。現場の状況、特異性があり、効果ある対応をすることは非常に難しい。
N-2	数秒程度では即対応できない
N-3	あまり有効とは思わない。事務所内でパソコンの前にいる人だけが情報を受けるだけで、現場と事務所が離れているため、現場にいる大方の人には地震情報は数十秒では地震発生前には伝わらないし、避難体制はとれない。 現場内のどこからでも目視できる位置に地震情報が表示される設備を設置していれば、それを見た者は地震発生に備えられるが、数十秒前に突然情報が入っても80%以上の者には地震発生前には被災防止の対応はできない。
N-4	「地震波が到達する数秒から数十秒前に警報を発して」の時間では現場に伝達できない。定期的に防災訓練を行い、作業者の防災意識・知識の向上を図るとともに、緊急連絡設備の正常稼働を確認することで発生時の被害を効率的に低減できると考えます。
N-5	警報が出てから数十秒では、現場全員、全箇所徹底できる時間はない。
N-6	地震が起きてから数秒又は数十秒後の警報が鳴ったとして、規模にもよるが、どれだけ対策が打てるのか疑問です。例えば鉄骨建方時における大規模地震の発生を考慮すると果たして架設工事の段階でどの程度の規模に耐えうるかを明らかにする必要があるのかどうかといった問題があるのではないのでしょうか。

表-4 有用であるとした回答群の自由意見

Y-1	日々、現場運営においてリスク管理を心掛ける技術者として思う事。何事にも常にリアルタイムに情報を得ることができることは、早い地震対応とそれに対する対策をとることができるかと常日頃から考えているから。但し、リアルタイム地震情報システムが通信エラーなく機能しての話である。
Y-2	機械の自動停止等においては有効であると考えている。避難、待避については警報を発するタイミングにより評価は分かれる。
Y-3	震度レベルにより使分け、末端作業員への連絡システムを確立できれば、火気の停止、避難行動が早期に実施できる。
Y-4	たとえ数十秒であっても避難する時間があれば、人的被害は軽減できる。ただし、数秒前というおそらく震源に近い場合には避難できない、システムは意味をなさない。今までの経験上、震度4程度の地震では工事現場にこれといった被害はでていない。震度5程度以上の地震が想定される場合のみ警報を発生させる等、限定されたものにすればシステムの価値はさらに高まる。工事現場は独立採算制であるため、システムの導入費用も気になる。
Y-5	我々がやっている地下工事においては、地上作業のようにすぐに避難することが大変である。よって事前のリアルタイム地震情報システムで少しでも早い警報は、作業中止、避難と安全確保には必要条件である。建設現場では、東海地震に備え、工事施工計画と同様に地震対策計画書を作成し、地震時に備え現場としての安全対策を実施している。(工事施工計画書と同様の扱いで処理している)
Y-6	坑内から早急に退避できる体制の確保
Y-7	数秒単位で出来ることが限られているので、最小限の身の守りに限定される。
Y-8	リアルタイム地震情報システムでは確かに必要ではあるが、現実的には、たとえば携帯電話にメールや電話が入るとか、テレビ・ラジオでの情報の方がより早く多くの人に伝わると思う。
Y-9	限界はあると思うが、無いよりはまし。一番対策を行って欲しいのは、建て方最中の鉄骨の安定とコンクリート未発現のRC構造物
Y-10	大型工事や現場の立地条件により有効なケース、ほとんど役に立たないケースがあると思う。地震時に一番気になるのは、構築中の建物が本来の強度を持つ前に地震により倒壊することです。ただ工事場所の立地条件によって法律で義務付けられてでも各種安全装置が必要かと思います。
Y-11	費用がいくらかかるかわからないが、コストがたかさんかかるものであれば、対費用効果をするかと採用するかどうか。コストが安ければするが、高ければ使用しないと思います。
Y-12	建設途中の建物である時、周囲に与える影響が大きい
Y-13	有効であることに異論は無いが、導入コスト面の問題と、効果を発揮するための警報到達からの時間の少なさに難があるのではないのでしょうか。
Y-14	特に②ができればよいと思います。
Y-15	最近では場内放送などをなくす傾向にあり、警報の伝達も難しい。また、数秒前に連絡があっても対応の取れることは少ない。ただ、事務所等に連絡が入れば、初動は違ってくるので有用ともいえる。また、超高層のエレベーター等に有効と思われる。リアルタイム地震情報システムは、一般的にいう大現場や超高層の現場では有効と思われるが、作業員への周知、徹底が難しいため、自動停止などが望ましいが、現場は日々変化するもので、それに対応していくのか検討していく必要がある。
Y-16	突然起こるより、数秒から数十秒前にかかる方が有用である。あとは、短時間に全員に知らせ被害を減らす方策
Y-17	特に仮設団連(土留・足場等)に携わって作業中などは非常に問題になる。現場の情報伝達手段から言えば、地震がおきる数秒前では遅すぎる。作業員全員への伝達方法に課題が残ると共にそのシステムを運用するコストにも非常に厳しいものがある。
Y-18	人命優先で、作業員が退避できる。
Y-19	その精度が実際の地震と対応している場合に有効であり、おおきみ少年のような予報であったり、震度1程度の影響のない場合までも警報が発せられると現場は不便と言わざるを得ない。安価で正確な情報が提供されることを望みます。
Y-20	数十秒という時間で何ができると考えると、とにかく発令と同時に現場全体にサイレンが鳴り響くシステムがいかにかかっているかが問題であると考えます。
Y-21	特に、墜落・飛来落下被害に有用
Y-22	情報システムが整うのであれば非常に有効である、数十秒くらいでは現場は対処できない。①コンクリート打設中、地震が発生した場合②鉄骨建方中地震が発生した場合等、建設中地震のことまで予期せずに今まできました。今後はそこまで考えて行うようにするのか
Y-23	数秒から数十秒前で対策まで間に合うかどうか疑問
Y-24	情報がはやく入ればなんらかの対策がうてると思う。
Y-25	深刻な被害につながる可能性がある規模(震度5以上)の地震に対して警報システムが作動するならば有用であると考えている。
Y-26	作業員の被害、災害防止に役立てそうである。現場作業中においては緊急な数秒、数十秒での対応は難しいと思われる。ただ心構えとして、事前の対策、計画、意識付けにはよいと思う。
Y-27	作業員が第3者の人命を守る。TC等で重量物を吊っている場合、数十秒で下ろせる場合がある。大規模現場では、第3者まで被害が及ぶ場合があるので導入したい。最低限の人命を守るためにも有効と思う。
Y-28	数秒前の予測により、安全な場所への避難が可能である。個々の現場への活用等を考えるのではなく、広い地域での活用を考えて欲しい。

人的制御の問題としては、多くの自由意見で指摘されたとおり (N-1, N-3, N-5 ほか) 警報伝達の問題が挙げられる。建設現場は屋外作業が多く、作業場

面積の広い現場も考えられる。重機や工具による騒音も大きい。ためリアルタイム地震情報が配信されたとしても、それをどのようにして作業員に伝えるべ

きか、現場形態に即した検討が必要である。また、重層化された雇用形態をもつ業種であるため、元請け業者が数多くの協力会社の従業員に警報システムをどのように説明し実効あるものにしていくか、考える必要がある。図-7においては、比較的問題と考える割合は低かったが、従業員に対して定期的に避難訓練などを行える他業種とは異なる問題であり、検討の必要があるだろう。

次に、費用に関する意見が多くみられた(Y-4, Y-11, Y-17, Y-19 ほか) ほか、第3者へ対応、すなわち現場の被害が周辺へ及ぶことに対する懸念も示された(Y-12, Y-27)。

5. 建設現場導入によるリスク低減に関する考察

(1) システム設計における諸条件

前章までのアンケート調査結果によって、種々の期待と問題点が指摘された。いずれも建設現場における現場監督者の視点からの意見をいただいたものである。しかし、リアルタイム地震情報システムそのものが、比較的新しい技術であり、多くの問題点も抱えている。本研究では、川上ら⁷⁾が述べている緊急地震速報によって様々な制御を最適化するために必要な諸項目に照らして、建設現場に導入する際のリスク低減効果について考察を加えたい。川上らは以下の①～⑥までの項目を挙げている。

①情報の精度

緊急地震速報は即時性が極めて重要なシステムであることから、第1報は精度的に劣ったものにならざるを得ず、第2報、第3報によって精度の高い情報に切り替えていくこととされている。しかし、精度を要求すれば、その分、即時性は失われていく。したがって、精度に依存するリスクと余裕時間との関連をよく考慮して、第何報の警報システムを利用すべきか、という問題が生じる。建設現場においては、たとえば高速鉄道のように、数秒の制御の遅れによって脱線、転覆といった大きなリスクの増大は考えにくい、あまりにも警報が遅れば、意味をなさなくなる。したがって、各現場の状況、たとえば、都市部の工事で重機の倒壊等が周辺にまで大きな影響を及ぼす恐れのある場合には、予測と実際の震度に多少の誤差があってもシステムを作動させるべきであるし、そうでなければ現場を停めることの

損失も考慮してより確実な制御を目指すべきだろう。

②推定されるマグニチュードの意味

これも前項①と同様に、時間経過によって推定されるマグニチュードの値が再計算されて変化をする。そのため、機器制御や人的制御を行う際には、次々と発せられる情報の変化に応じた制御を行わなくてはならない。しかしながら、たとえば建設現場では震度5程度の地震であれば経験的に大きな被害はない等(Y-4, Y-25)とアンケートでの指摘があった通り、小さな地震での警報は不要である。無論、学校教育の場においてシステムの訓練という意味で警報が鳴る意義が論じられる場合もあるが、生産現場である建設現場において、変化する震度情報をどのように採用して警報を鳴らすのか、議論が必要である。

③緊急地震速報が対応できる震度の限界

緊急地震速報は、その性質上「震度5以上の地震」を予測するよりも「震度7以上の地震」を予測する方が難しい。なぜならば、「震度5以上の地震」であるならば震度6も7もその範疇に含まれ、「とにかく震度5以上の大きな地震」という、ある意味大雑把な予測を発することになるからである。機器制御においては震度5、6、7において制御の内容が異なってくる場合には問題となりうる。したがって、過去の経験、建設現場の進捗・形態から、震度いくつ以上に対して対応を行うべきであるのかを明確にし、システムが作動する震度を設定できるようにする必要がある。

④震度に応じた制御

上項③と関連するが、震度に応じて、現場すべてを制御するのか、小さな地震であるならば作業員への警報発信のみで、エレベータなどの緊急停止は行わない、といった個別の制御のあり方を考える必要がある。これにより、システムが作動した後、通常作業に戻るまでの時間短縮を図れるものと考えられる。

⑤余裕時間に応じた制御

リアルタイム地震情報では、主要動到達までの余裕時間において何を行うか、により減災の効果が異なってくる。自由意見記述にあった通り、到達までの余裕時間が数十秒あれば、タワークレーンの荷物を下まで降ろす動作が可能かもしれないが、2～3

秒程度であれば、少しでも安定的な姿勢に保つ、あるいはタワーの可動部をすべてロックして固定をしてしまった方が、リスクは低減されるかもしれない。また、構内からの脱出が可能である場合もあれば、落下物に対処する姿勢をとることで精一杯の場合も考えられよう。余裕時間は震源との距離やシステムの通信環境などによって変わってくるため一概にはいえないが、これも現場の形態にあわせた対策が求められよう。

⑥誤情報対策

川上らは誤動作対策として[and]の制御、すなわちシステムからの情報と現地地震計との情報を組み合わせることによる精度向上を提案しているが、個々の建設現場において地震計を設置することは、大きな手間となる。システムの誤動作に関わる損失をシステム導入によるリスク低減が上回ることが導入の必須条件であり、システムの信頼性向上を期待したい。

(2) リスクカーブによるリスク低減可能性に関する考察

前節までの考察より、リアルタイム地震情報システムの利活用は、結局、システムがもつさまざまな情報誤差と即時性をよく理解し、利活用する建設現場のリスクに応じて設計していくことが必要であるとまとめられる。建設現場への地震災害リスク低減への有効性を考えるために、リスクカーブを用いた考察を加える。

まず、建設現場の年超過確率、すなわち1年間の地震イベントが起きる確率を縦軸に、その地震が起きた場合に予想される損失額を横軸にとれば、一般的に図-9に示すようなリスクカーブを描くことができる。導入前後のリスクカーブを差し引いた面積分がシステム導入によるリスク軽減効果となる⁸⁾。年超過確率の高い地震については、システム導入による大きなリスクの低減効果は望めないが、年超過確率の低い地震については予想される震度が大きく、リアルタイム地震情報によるリスク低減効果は高いと考えられる。これを定式化すれば式(1)のように示される。

$$X = \sum_i (x_i \times P_i) - \sum_i (x'_i \times P_i) \cdots (1)$$

X : システム導入による年間期待損失の軽減額

x_i : システム導入前の地震イベント i による予想損失

x'_i : システム導入後の地震イベント i による予想損失

P_i : 地震イベント i の年発生確率

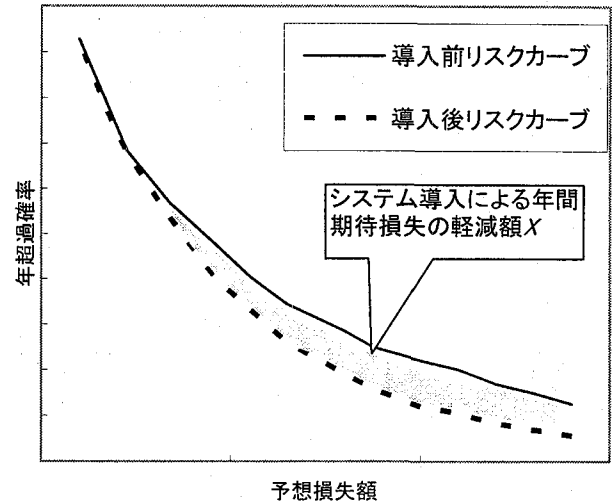


図-9 リスクカーブ変化の概念

システム導入によって期待される損失軽減額 X がシステムの年間コスト C を上回れば、システム導入は効果があると判断できる。

$$X - C > 0 \quad \cdots (2)$$

もしくは

$$X/C > 1 \quad \cdots (3)$$

システムをより高度化し多様な制御を現場に施せば、システム導入による年間期待損失の軽減額 X を大きくすることができるが、それに比例して年間コスト C も増大するものと考えられる。過去の地震災害による建設現場の被害の実情や、本アンケート調査によって指摘された各項目、システム開発および導入費用から、実際値に沿ったリスクカーブを設定し検討することが求められる。

6. おわりに

本研究では、リアルタイム地震情報システムの建設現場への導入について考察した。リアルタイム地震情報システムには、大きく分けて人的制御と機器制御の2つに分類でき、それぞれの分野で特徴に応じた施策が行われていることをまとめるとともに、建設現場への導入に向けて、アンケート調査を行っ

た。その結果おおむね肯定的な意見が多い一方で、いくつかの課題が指摘された。具体的には、①警報の発信から地震の主要動到達まで数秒から数十秒という短い時間の活かし方を考える必要があること②システム導入による年間期待損失の軽減額とシステムの年間コストと比較することで、システム導入の有効性を判定できると考えられること、を指摘した。

以上の知見は、リアルタイム地震情報システムを建設現場で有効活用を進めるための基礎的項目として今後、活用できるものと考えられる。抽出されたこれらの課題を定量的に評価し、システム設計へ反映させていくことが必要である。

【謝辞】

本論文をまとめるにあたり、清水建設株式会社名古屋支店の各位に、大変お世話になった。記して御礼申し上げる。

【参考文献】

- 1) 鹿島建設ニュースリリース
<http://www.kajima.co.jp/news/press/200601/17a1fo-j.htm>
- 2) 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, PP. 29-35, 2006.

3) 独立行政法人 防災科学技術研究所; 高度即時的地震情報伝達網実用化プロジェクト成果報告書 (平成 16 年度), 2005.

4) 源栄正人, 藤縄幸雄, 山口耕作, 佐竹昭弘, 草野直幹, 宮村正光, 岩崎智哉; 緊急地震速報を活用した避難・防災教育支援システム, 土木学会リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集, PP. 117-120, 2004.

5) 愛知工業大学地域防災研究センター; 愛知工業大学地域防災研究センター年次報告書, 2004.

6) 丸山喜久, 山崎文雄; 高速道路運転者への地震動早期警報提供に向けた基礎検討, 土木学会リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集, PP. 25-30, 2004.

7) 川上則明, 藤縄幸雄; 緊急地震速報の分野別活用システム開発, 土木学会リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集, PP. 11-18, 2004.

8) 兼森孝; リスク分析, 土木学会誌, 第 85 巻第 8 号, PP. 13-17, 2000.

Risk management of real-time earthquake information system for construction filed

By Norimitsu Koike, Naoto Tasiro, Katsumi Naito, Ikuo Takahashi, Kazuaki Masaki

Recently, a real-time earthquake information system has been developed for railway companies, education facilities, manufacturing businesses, and in other public and private sectors. The system provides an alarm and various security controls to facilitate a person's safety a few seconds before an earthquake occurrence. The risk mitigation of such a real-time earthquake information system for the construction field is discussed through a questionnaire survey of construction managers. According to the results of the survey, the system is expected to decrease certain risks. We suggest the following points to be important: 1. A discussion for countermeasures until earthquake occurrence is required. 2. The cost-benefit balance of the system is debatable.