

緊急地震速報を用いた 道路安全即時評価プロトタイプシステムの製作

浅原 裕¹・大内 浩之²・大角 恒雄³

¹徳島大学大学院先端技術科学教育部知的力学システム工学専攻
(〒770-8506 徳島市南常三島町2丁目1)

E-mail:asahara@astom.co.jp

²西日本高速道路株式会社四国支社建設事業部 (〒760-0065 高松市朝日町4-1-3)

E-mail:h.ouchi.aa@w-nexco.co.jp

³徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部教授 (〒770-8056 徳島市南常三島町2丁目1)

E-mail:t_ohsumi@ce.tokushima-u.ac.jp

高速道路を対象に、地震発生時に被害が予測される箇所とその規模、優先的に点検を行うべき箇所の情報を提供し、直後対応の意志決定を支援するシステムを製作する。プロトタイプとして、緊急地震速報の震源情報と距離減衰式を用いて、対象路線の最大加速度と震度の分布を計算し、結果を国土地理院の電子国土Webシステムを用いて表示するシステムを製作した。2011年東北地方太平洋沖地震時に発表された緊急地震速報について解析した結果、マグニチュード8を超える巨大地震発生時には、緊急地震速報のみの入力では適切な情報提供には不十分であることが明らかとなった。そこで、マグニチュード7.5以上の地震情報を受信した場合には、実測した地震動の情報を元に解析を行い、適切に情報出力できるよう設計を行った。

Key Words : *Earthquake Early Warning, expressway, damage estimation, hazard assessment, cyberjapan*

1. はじめに

大規模地震の発生時において、ライフライン機能の中でも特に高速道路網は、物資の輸送・けが人の搬送などの点から重要な役割を担っている。地震発生後即座に安全性を判断することは、道路管理者として重大な責務である。これまでも多くの地震で大規模な路肩崩壊などによる被害が起きており、2009年の駿河湾を震源とするマグニチュード(M) 6.5の地震では、静岡県牧之原市において震度6弱を観測し、東名高速道路 吉田ー相良牧ノ原間で路肩崩壊が生じた。法面の崩壊規模は長さ40 m、高さ10 mに達し、交通規制を実施するまでに時間を要した¹⁾。高規格道路の保全にとって法面崩壊等の被害を迅速に把握することは、二次被害の発生を防止することにつながる。この他にも、地震における盛土の大規模な被害は、1993年釧路沖地震、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2011年東北地方太平洋沖地震等、数多く発生している。高速道路の土工部の総延長において、被害箇所の特定には時間がかかる。道路土工部のような線上

構造物は、橋梁のような構造物と異なり、コスト面等で耐震化が困難な場合が多い。そのため被災状況を適切に把握し、供用可否等の判断を迅速に行うことが、二次災害の危険性を減らす上で必要とされる。

緊急地震速報は2007年に本運用開始となり、工場・交通機関における自動制御やオペレータを介した手動制御、集客施設での館内放送、テレビ・ラジオ・携帯電話での地震動警報提供、事業者・家庭向けの地震動予報報知端末などを通じて「大きな揺れが来る前に知らせる情報」として活用されている²⁾。一方で、緊急地震速報は地震後最も早いタイミングで入手できる「震源情報」という側面も持っている。気象庁から発表される従来の地震情報で最も早いのは、地震発生約2～3分後に発表される「震度速報」であり、震源や規模の情報を含む「震源に関する情報」や「震源・震度に関する情報」が発表されるのは、地震発生約5分後である³⁾。緊急地震速報の第1報は地震発生数秒～数十秒程度で発表され、最終報が発表されるのはそれから約1～2分後である。従って、緊急地震速報の震源情報を用いれば、従来の地震情報を使うより数分早く情報を得ることができる。

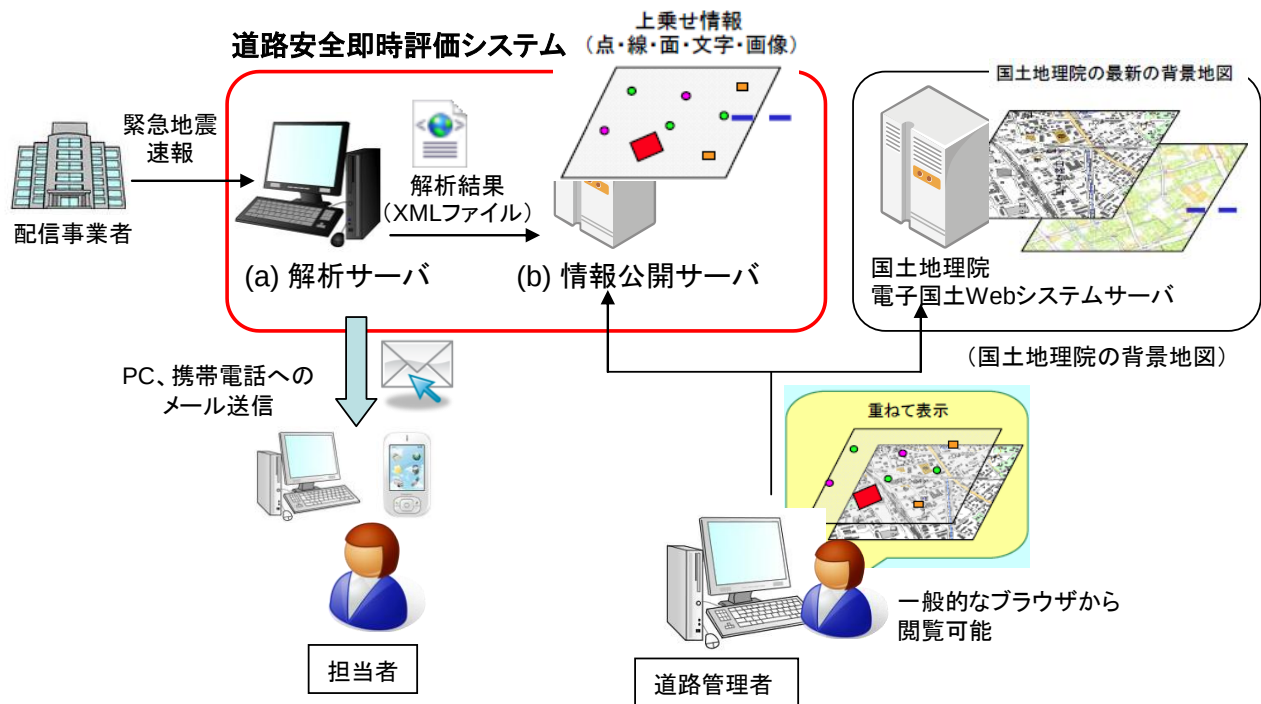


図-1 道路安全即時評価システム プロトタイプシステム構成図。

揺れが来る前、または揺れている最中に情報を受信できることで、揺れがおさまった直後に対応すべき事項・優先順位を意志決定するための補助情報として活用することが考えられる。

そこで本研究では、高速道路の道路土工部における被災状況を即時に推定し、直後対応を支援するためのシステムとして、緊急地震速報の震源情報を利用した意志決定補助システムを構築し、被災時の供用可否判断の迅速化を目指す。

2. システム概要

(1) 構成

即時評価のためのプロトタイプシステムとして、緊急地震速報から震源情報を取得し、距離減衰式を使って路線周辺の震度分布・最大加速度分布を即時に表示するシステムを製作した。対象は、徳島県東部に位置する徳島自動車道 脇町ー徳島区間（延長41.1 km）および高松自動車道 板野ー鳴門区間（延長10.5 km）とした。

システム構成を図-1に示す。本システムは、(a) 解析サーバと、(b) 情報公開サーバから構成される。前者は、配信事業者から緊急地震速報（予報）を受信し、緊急地震速報最終報の震源情報から距離減衰式を用いて路線周辺の揺れの予測演算を行う。予測結果のうち代表的な指標（各区間における最大予測震度など）は、PC・携帯電話へのメール送信を通じて担当者に通知する。情報公開サーバはWebサーバになっており、道路管理者はブラウザを使って詳細情報を取得できる。

(2) 予測演算

プロトタイプシステムでは、距離減衰式を使って路線周辺の震度と最大加速度を求める。評価地点は、西日本高速道路株式会社四国支社の高速道路建設時のボーリングデータのある地点と四国地盤情報活用協議会がまとめた四国地盤情報データベース⁴⁾のボーリング地点に加え、揺れの分布の全体像をつかむ目的で路線とその周辺1 km程度のエリアを含む1辺の長さが約250 mの4分の1地域メッシュとした。

表層地盤特性の評価には、表層30mの平均S波速度（AVS30）を用いた。ボーリングデータについては、道路橋示方書のせん断弾性波速度 V_s とN値の関係式⁵⁾を用い、AVS30を求めた。4分の1地域メッシュの表層地盤特性については、独立行政法人防災科学技術研究所の地震ハザードステーションJ-SHIS⁶⁾で公開されている表層地盤データの「表層30 mの平均S波速度」⁷⁾を用いた。

震度予測には、司・翠川(1994)の最大速度の断層最短距離減衰式⁸⁾を使用した。なお、緊急地震速報には破壊開始点の情報のみで断層領域に関する情報は含まれていないため、断層最短距離は M から推定される断層長⁹⁾の半分を震源距離から引いたものとした。表層地盤の増幅については、AVS30と速度増幅率の関係として藤本・翠川(2006)¹⁰⁾を用い、地表最大速度を求めた。地表最大速度から震度への変換には、藤本・翠川(2005)¹¹⁾を用いた。

最大加速度予測には、Kannno *et al.* (2006)¹²⁾を用いた。断層最短距離の考え方は上記と同様とした。表層地盤の増幅については、AVS30と加速度増幅率の関係として藤本・翠川(2006)¹⁰⁾を用いた。

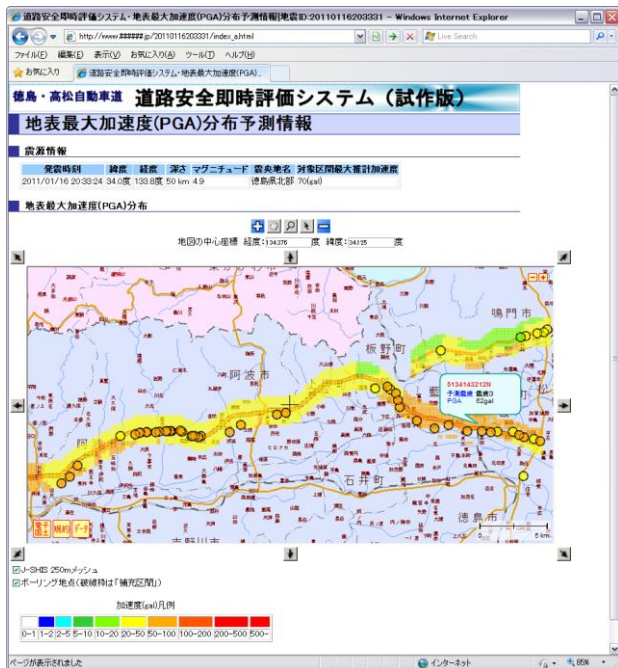


図-2 地表最大加速度予測情報の表示例。

(3) 情報の表示

求められた計算結果を地図上に表示するために、国土地理院が無償提供している「電子国土Webシステム」¹³⁾を利用した。情報公開サーバにテキスト(XML)形式の書式情報「電子国土プロファイル」¹⁴⁾で定められた形式で作成したデータファイル(上乗せ情報)と、Webページを記述するHTMLファイルをアップロードする。XML形式のデータはファイルサイズが大きいと表示時間がかかるため、表示時間短縮のために最適化したネイティブフォーマットに変換しておく。HTMLファイルは、JavaScriptを用いて電子国土WebシステムAPI関数¹⁴⁾を呼び出すよう記述してあり、ユーザがWebブラウザを使って情報公開サーバのHTMLファイルにアクセスすると、国土地理院の背景地図と重なった状態で情報を閲覧することができる。電子国土Webシステムの機能を使うと自由に表示範囲の拡大・縮小や表示する地域の選択が可能であり、さらに地図に重ね合わせる情報を選択することもできる。電子国土Webシステムは、広く公開されるWebページのほかにイントラネット上でも利用できるため、本システムのようにWebページの閲覧を許可する対象が社内の管理者と限定し、情報公開サーバがイントラネット上にあるような場合でも利用可能である。

図-2に地表最大加速度予測情報の表示例を示す。ここでは、予想される最大加速度の大きさに応じて色が塗り分けられている。対象区間に沿って矩形で表示されているのは沿線の4分の1地域メッシュについて計算した結果であり、円で示されているのはボーリング地点についての計算結果である。計算結果のある場所にマウス位置を合わせると、ポップアップでそのメッシュに関する情報が表示されるようにしている。

表-1 東北地方太平洋沖地震時に発表された緊急地震速報(予報)の発表時刻・M・予想最大震度の推移。

報数	発表時刻	M	予測最大震度
1	14:46:45	4.3	震度1
2	14:46:46	5.9	震度3
3	14:46:47	6.8	震度4
4	14:46:48	7.2	震度5弱
5	14:46:49	6.3	震度4
6	14:46:50	6.6	震度4
7	14:46:51	6.6	震度4
8	14:46:56	7.2	震度4
9	14:47:02	7.6	震度5弱
10	14:47:10	7.7	震度5弱
11	14:47:25	7.7	震度5弱
12	14:47:45	7.9	震度5強
13	14:48:05	8.0	震度5強
14	14:48:25	8.1	震度6弱
最終報	14:48:36	8.1	震度6弱
実際の値		9.0	震度7

3. 適用範囲

本システムは、緊急地震速報の震源情報を元に揺れの予測を行っている。従って、システムの限界は緊急地震速報の限界に支配されることになる。2011年東北地方太平洋沖地震では、以前から指摘されていた緊急地震速報の限界に直面することとなった。緊急地震速報本運用開始前の検討会¹⁵⁾時から指摘され、今回現実のものとなった「限界」は、以下の2点である。

(1) 地震の規模等の推定の課題

断層の破壊途中に情報を発表するため、特に大規模な地震に対して、初期の情報ではMが小さく出る傾向がある

(2) 震度推定の課題

震度推定に経験式を用いており、さらに即時的な処理のため断層面を考慮できないことにより推定震度の精度に限界がある

まず(1)について、東北地方太平洋沖地震発生時に発表された緊急地震速報(予報)の第1報から最終報(第15報)までの発表時刻とM・予測最大震度を、表-1に示す。断層破壊の進展とともに発表されるMが大きくなり、予想最大震度も6弱まで大きくなっている。最終報ではM 8.1であった。この地震における緊急地震速報最終報の発表は、地震発生から約140秒後であり、後に発表された震源時間関数¹⁶⁾と比較すると、まだ茨城県沖ですべりが継続しているところである。一方、通常の震源情報についても最初に発表されたのがM 7.9、約1時間後の発表でM 8.4となり¹⁷⁾、その約2時間後にM 8.8に訂正¹⁸⁾、2日後にM 9.0に訂正¹⁹⁾されていることから、巨大地

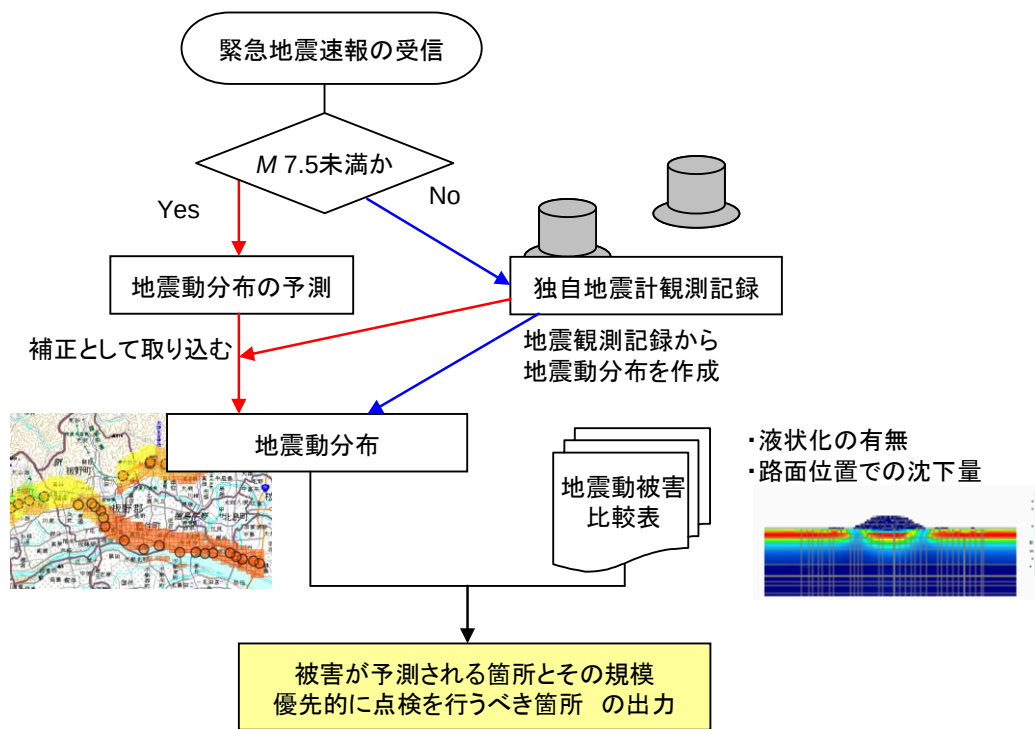


図-3 道路安全即時評価実用化システムのフロー。

震に関してはこの課題は緊急地震速報を用いていることに限定されない。

次に(2)について、緊急地震速報の震源情報などで得られるのは、破壊開始点の位置情報であり、距離減衰式を通常使用する時に仮定される断層面情報ではない。前に述べた通り、 M から推定される断層長の半分を震源距離から引いたものを断層最短距離と仮定して演算しているが、地震の規模が大きくなると断層面の形状やアスペリティ位置の効果などにより、この仮定から大きく外れてくる。仮に $M 9.0$ と求められたとしてもこの手法の震度推計では実態と合わない。

以上のことから、距離減衰式を用いた予測計算を行うのは、(1)や(2)の課題が問題にならない $M 7$ 程度までに限定するのが適当である。 $M 7$ 程度までであれば、断層破壊にかかる時間も緊急地震速報発表中の早い段階で終了し、これまでも比較的適切に規模推定が行われている。また、距離減衰式を使用する場合の断層最短距離についてもあまり問題にならない。 $M 8$ クラス以上の地震については、震源情報の値を使って計算してもその結果の信頼性には疑問が残るため、「非常に大きな地震が起きた」というトリガーとして使用するのが適切であると考えられる。

4. 実用化システム

現段階のプロトタイプシステムでは、前章の検討を踏まえ、緊急地震速報最終報において $M 7.5$ 以上の場合には揺れの予測を行わず、震源情報を伝えるのみとしている。 $M 7.5$ 未満の場合は地震動予測分布

図を提供している。実運用するシステムには、地震動の大きさから被害程度を予測し、点検箇所の優先順位の意志決定を補助するための情報を出力する必要がある。本システムの対象地域を考えると、今後高い確率で発生が予想されている東南海地震や南海地震発生時に有効に機能しなければならない。実運用システム構築のためには、今後以下の作業が必要である。

まず、対象区間のうち高盛土・谷埋め盛土・液状化の可能性がある地点を抽出し、東海・東南海地震などの巨大地震や近傍の活断層による地震動波形を策定する。また、液状化解析（有効応力解析）を実施し、安定性と路面位置での沈下量を算定する。外力（地震動強さ）を変化させて計算を行い、地震動の大きさと沈下量等の被害の大きさを比較できる表（地震動被害比較表と呼ぶ）を作成する。

次に、路線上に設置した地震計記録をシステムに取り込むことで、緊急地震速報を元に計算した地震動の大きさを実際の観測値で補正し、外力情報を作成する機能を作成する。この時、 $M 7.5$ 以上で緊急地震速報を用いた計算を行わなかった場合においても、実際に観測された地震動から路線全体の地震動分布を予測することとする。

最後に、外力と地震動被害比較表を用いて設計余裕度判定を行い、結果を出力する仕組みとして統合する。これらを反映させた実用化システムのフローを、図-3に示す。プロトタイプシステムでは、巨大地震に対して地震動に関する情報を出力できないが、実用化システムでは観測情報を取り込むことにより被害程度を予測し、優先的に点検を行うべき箇所の情報を出力する。

5. まとめ

高速道路の土工部における地震時の被災状況を即時に推定し、直後対応の意志決定を支援するシステムのプロトタイプとして、緊急地震速報の震源情報を用いて対象路線の最大加速度と震度の分布を予測するシステムを製作した。計算結果の表示には国土地理院の電子国土Webシステムを利用し、容易に地図情報として重ねて表示できるようにした。2011年東北地方太平洋沖地震では、以前から指摘されていた緊急地震速報の限界が現実のものとなった。M 8クラス以上の地震に対しては、緊急地震速報の震源情報のみを入力としてはこの限界を乗り越えることができない。そこで、東南海・南海地震時に有効に働くことが求められる本システムでは、実測した地震動の情報をシステムに取り込むことにより、M 8を超える地震時にも適切に情報出力できるよう設計を行った。今後は、高盛土・谷埋め盛土・液状化の可能性がある地点について、地震動の大きさと被害の大きさを比較できる表を作成し、被害が予測される箇所とその規模・優先的に点検を行うべき箇所の情報を出力できるよう、拡張を行う。

参考文献

- 1) 大角恒雄：四国地盤図を用いた高速道路における緊急地震速報即時評価システムの構築，四国地盤情報活用協議会平成22年度研究発表会，2010.
- 2) 気象庁：緊急地震速報について，
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/>
- 3) 気象庁：地震と津波 ～防災のために～，2009.
- 4) 四国地盤情報活用協議会：四国地盤情報データベース (CD-ROM)，2010.
- 5) 財団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2002.
- 6) 独立行政法人防災科学技術研究所：地震ハザードステーションJ-SHIS，<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 7) 松岡昌志，若松加寿江：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ，産業技術総合研究所，知的財産管理番号 H20PRO-936，2008.
- 8) 司宏俊，翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文報告集，523，pp. 63 – 70，1999.
- 9) 宇津徳治：地震学，共立出版，1977.
- 10) 藤本一雄，翠川三郎：近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係，日本地震工学会論文集，Vol. 6，No. 1，pp. 11 – 22，2006.
- 11) 藤本一雄，翠川三郎：近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法，地域安全学会論文集，No. 7，pp. 241 – 246，2005.
- 12) Kanno, T., Narita, A., Morikawa, N., Fujiwara, H. and Fukushima, Y.: A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Data, BSSA, Vol. 96, No. 3, pp. 879 – 897, 2006.
- 13) 国土地理院：電子国土ポータルサイト，
<http://portal.cyberjapan.jp/>
- 14) 国土地理院：電子国土Webシステム技術情報，
<http://portal.cyberjapan.jp/docs/agreement.html>，2008.
- 15) 気象庁：緊急地震速報の本運用開始に係る検討会(第1回)の概要について，
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kentokai1/index.html>，2007.
- 16) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第28報)，
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/25b/201103251730.html>，2011.
- 17) 気象庁：平成23年3月11日14時46分頃の三陸沖の地震について，
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/11b/201103111600.html>，2011.
- 18) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の地震の規模について(第3報)，
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/11d/201103111730.html>，2011.
- 19) 気象庁：「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第15報)，
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1103/13b/201103131255.html>，2011.

DEVELOPMENT OF REAL-TIME DAMAGE ESTIMATION SYSTEM FOR EXPRESSWAY USING EARTHQUAKE EARLY WARNING

Hiroshi ASAHARA, Hiroyuki OUCHI and Tsuneo OHSUMI

We develop a decision-making support system, so that the expressway company can take initial response quickly to earthquake disasters. We first developed a prototype system, which estimates the distribution of ground motion on the expressway covered, using the source parameters of the Earthquake Early Warning (EEW) and the empirical attenuation relations, and which maps the results on the geographical information system, Cyberjapan. The system was designed to perform adequately for major earthquakes, estimating the damages by analyzing ground motion waveforms rather than by using EEW when the magnitude of EEW exceeds 7.5.