

高速道路における地震被害と地震動強さの関係

大西 淳一¹・山崎 文雄²・田山 聡³・福田 直三⁴

¹学生会員 東京大学大学院 社会基盤工学専攻 (〒113 東京都文京区本郷 7-3-1)

²正会員 東京大学助教授 東京大学生産技術研究所 (〒106 東京都港区六本木 7-22-1)

³正会員 日本道路公団 試験研究所 (〒194 東京都町田市忠生 1-4-1)

⁴正会員 復建調査設計株式会社 技術研究所 (〒732 広島市東区光町 2-10-11)

日本道路公団が管轄する高速道路では現在、管理事務所等に設置した地震計が記録する最大加速度を指標として、高速道路の通行規制を行い、巡回・点検を実施することとしている。また、JH が最近設置した地震計では最大加速度のほか SI 値・計測震度の測定も可能になったことから、今後さらにそれらの指標値と高速道路の被害状況の相関を明確にすることにより、通行規制実施のためのより適切な指標および基準の導入が可能になると考えられる。本稿では、実際の地震による事例をもとに、高速道路における地震被害と地震動強さの関係を明らかにすることを目的とした研究についてこれまでの検討結果を報告する。

Key Words : Highway, Earthquake damage, Peak ground acceleration, Seismic intensity

1. はじめに

日本道路公団(JH)が管轄する高速道路(高速自動車国道)では現在、管理事務所等に設置した地震計が記録する最大加速度を指標として、高速道路の通行規制を行い、巡回・点検を実施することとしている。また近年、JH では道路管理の効率化・きめ細かな情報提供の観点から、地震計の増設を実施しており、最近設置した地震計では最大加速度のほか SI 値・計測震度の測定も可能になった。そこで今後、さらにそれらの指標値と高速道路の被害状況の相関性を明確にすることにより、通行規制実施のためのより適切な指標および基準の導入が可能になると考えられる。

本稿では、実際の地震による事例をもとに、高速道路における地震被害と地震動強さの関係を明らかにすることを目的とした研究について、これまでの検討結果を報告する。

2. 高速道路における地震被害の概要

地震被害と地震動強さの関係を明らかにするうえで、設計基準が同一の土木構造物を対象としなければならない。そこで、JH の管轄する高速道路について、90 年代に発生した地震による被害を調査した。高速道路と一般道路とでは設計基準が異なるため、一般道路についてはここでは考慮しないこととした。

90 年代に発生した地震によって、JH の高速道路が被害を受けたのは、釧路沖地震(93 年 1 月)、三陸はるか沖地震(94 年 12 月)とその最大余震(95 年 1 月)、そして兵庫県南部地震(同)である。

(1) 釧路沖地震による被害と地震動強さ

釧路沖地震の被害は、道央自動車道のメップ川橋(苫小牧 IC~室蘭 IC 間)の電源ケーブル切断の 1ヶ所のみである(図-1)。これにより、可変式速度規制標識等の作動が停止した。

気象庁の観測点のなかで、この地点に最も近い

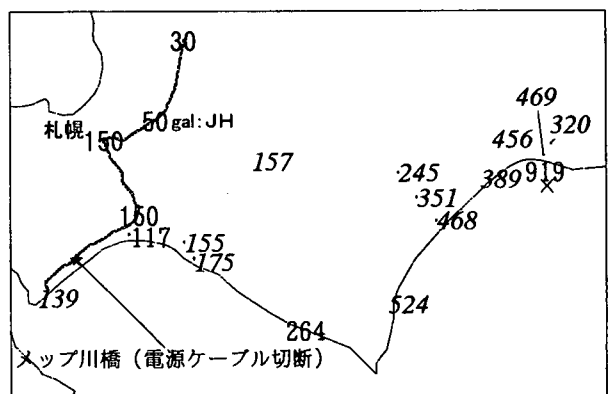


図-1 釧路沖地震における被害地点と最大加速度

苫小牧測候所の気象庁震度は4と発表され、またその地震波を解析したところ最大加速度117 gal、最大速度16 cm/s、計測震度4.7であることがわかった。また、JHの苫小牧管理事務所では最大加速度150 galを観測している。このような地震記録から、被害のあった地点の地震動強さのある程度推定することができる。

(2) 三陸はるか沖地震による被害と地震動強さ

三陸はるか沖地震(本震)の被害状況を図-2に示す。路面・橋梁等に被害が生じ、復旧工事を実施したため通行規制解除までに時間を要している¹⁾。

八戸自動車道(一戸IC~八戸IC間)においてボックスカルバート上の路面で段差が発生し、余震においても盛土箇所の路面にクラックが進行した。この近傍での本震の地震動強さとしては、八戸気象台で最大加速度602 gal、最大速度27 cm/s、計測震度5.6(当日発表の旧震度階は6)を観測した。また、JHの管理事務所観測された最大加速度は、八戸で674 gal(余震は267 gal)、一戸で357 gal(同332 gal)と大きい値であった。

一方、東北自動車道(碓ヶ関IC~十和田IC間)において、下フランジ・ウェブやサイドブロックボルトが破断するといった被害が生じた。しかし、地震動の強さとしては、JHの管理事務所観測された112 gal(碓ヶ関)、111 gal(十和田)程度であり、被害発生の原因として局所的な地盤や構造物の影響があると考えられる。このような事例をどのように扱うかは今後の検討課題である。

(3) 兵庫県南部地震による被害と地震動強さ

兵庫県南部地震では、多くの地点で被害が発生した。橋梁・高架に限って被害のあった地点を示すと図-3のようになった。

ここでは、被害の生じなかった橋梁・高架も検討を行うにあたって重要なデータとなり得るため、

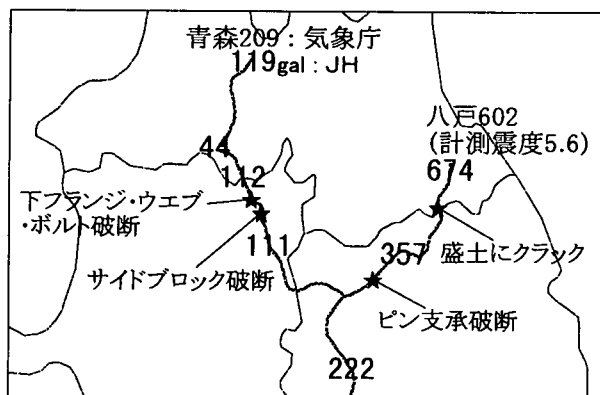


図-2 三陸はるか沖地震における被害地点と最大加速度

同一路線のなかから抽出した。検討に用いたのは、阪神高速道路3号神戸線の10橋をはじめ、合計中国自動車道(西宮北IC~吹田IC)の29橋、116橋である。ただし、阪神高速道路公団の路線である3号神戸線と5号湾岸線については被害が特に甚大であったもののみを対象とした。

a) 被害のランク分け

地震動と被害の相関関係、すなわちどの程度の地震動で橋梁・高架にどのような被害が生じるかを分析するためには、被害のランク分けと被害のあった地点の地震動強さの推定を行う必要がある。

橋梁・高架構造の被害は、「道路震災対策便覧(震災復旧編)」²⁾に示される被災度の区分のうち、橋梁・高架の耐荷力に関する被災度(As:落橋・倒壊, A:大被害, B:中被害, C:小被害, D:被害なしの5ランク)により分類した。

b) 地震動強さの推定

また、被災地点の地震動強さの推定はさまざまな方法を試みたが、最大加速度・最大速度についてはMolas-山崎の距離減衰式を用いた。これは、以前に提案された式³⁾に兵庫県南部地震についてのNear Fieldの影響を考慮したもので、最大加速度については図-4の鎖線(式(1))で表される。

$$\log_{10} PGA = 0.322 + 0.477 M_J - \log_{10}(r + 3.8) - 0.00144 r + 0.00311 h \quad \cdots(1)$$

$$\log_{10} PGV = -1.576 + 0.628 M_J - \log_{10}(r + 7.0) - 0.00130 r + 0.00222 h \quad \cdots(2)$$

PGA: 最大加速度(gal) PGV: 最大速度(cm/s)

M_J : 気象庁マグニチュード

r : 断層面への最短距離(km) h : 震源深さ(km)

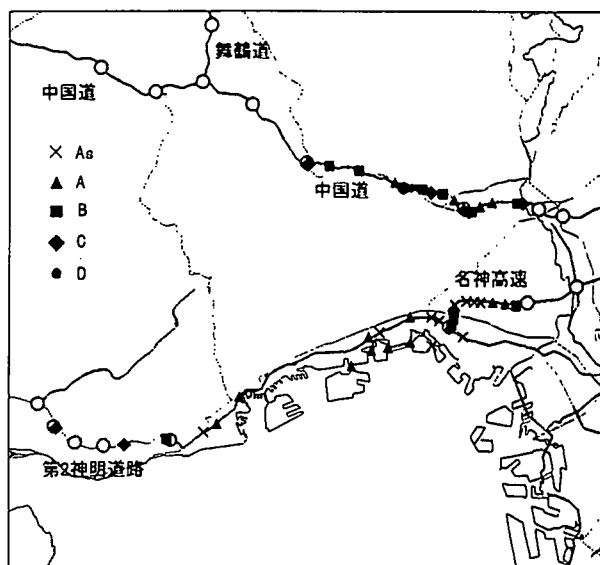


図-3 兵庫県南部地震における被害地点と被災度

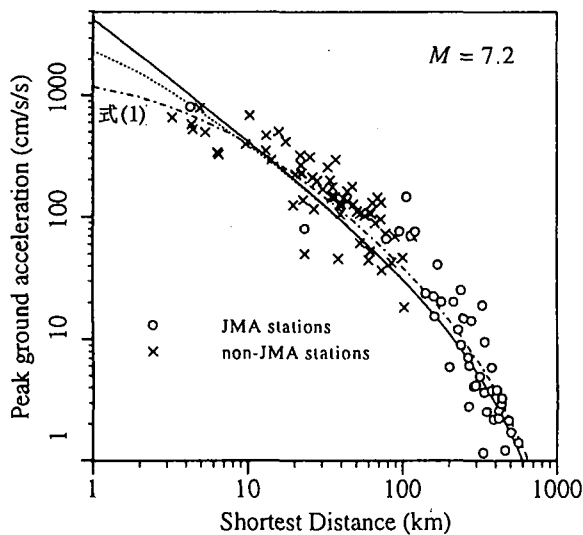


図-4 Molas-山崎の距離減衰式（兵庫県南部地震）

計測震度については、最大加速度の推定値に、次のような「最大加速度(PGA)と計測震度(I)の関係式」⁴⁾を適用して推定した。

$$I = 0.59 + 1.89 \cdot \log_{10} PGA \quad \cdots(3)$$

ただし、このような被害「地点」の地震動強さの推定では、地盤条件等の地点特性を考慮しておらず、かなりのばらつきがあるものと考えられ、大まかな範囲を示していると考えるべきであろう。

c) 被災度と地震動強さの関係

以上によりまとめられた被災度と3つの地震動強さ指標(最大加速度・最大速度・計測震度)との相関関係をまとめたものが図-5～7である。

これらの相関図から、各被災度に相当する損傷を生じさせる最低レベルの地震動を推定することができる。例えば、被害ランクC（小）以上の橋梁・高架被害は最大加速度で 250 gal 程度以上、最大速度で 35 cm/s 程度以上、計測震度で 5.2 程度以上になると発生していることが分かる。

3. 無被害地震の最大地震動強さ

一方、被害が発生しなかった地震について、その最大の地震動強さを推定するために、最近発生した地震のうち大きいものと思われる 97 年 3 月 16 日の愛知県東部を震源とする地震、97 年 3 月 26 日の鹿児島県西部を震源とする地震のそれぞれについて地震動パラメータ（最大加速度、計測震度）を図-8～11 にまとめた。

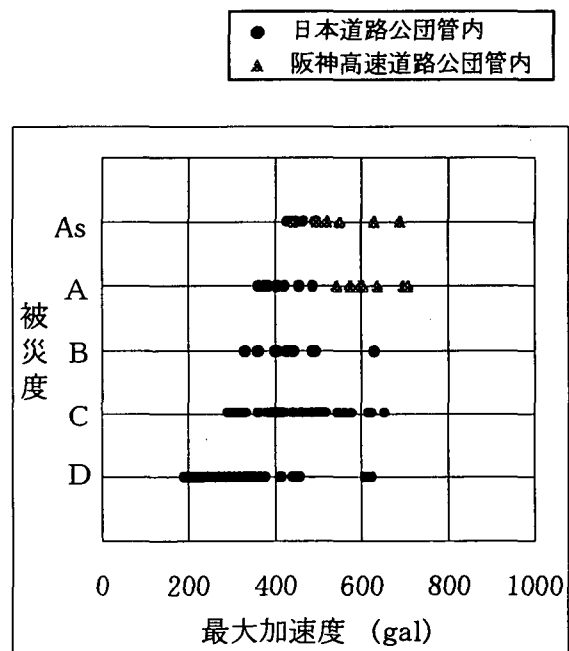


図-5 兵庫県南部地震における被災度と最大加速度

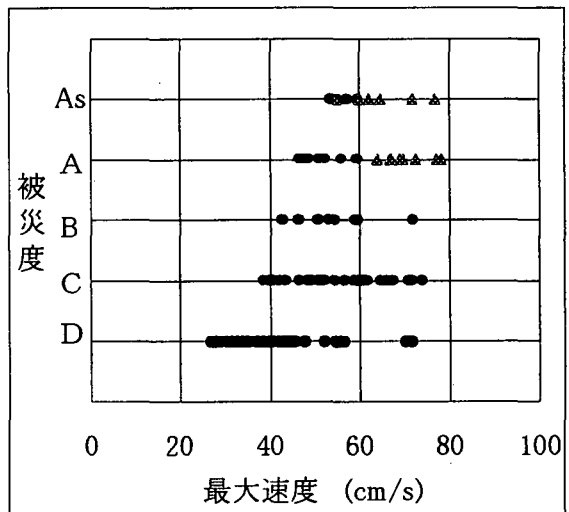


図-6 兵庫県南部地震における被災度と最大速度

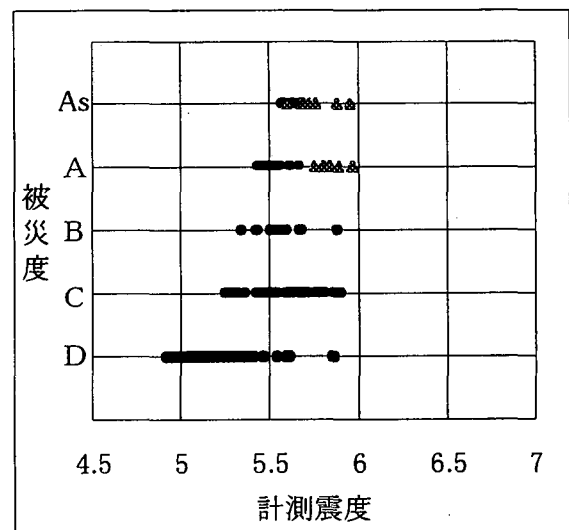


図-7 兵庫県南部地震における被災度と計測震度

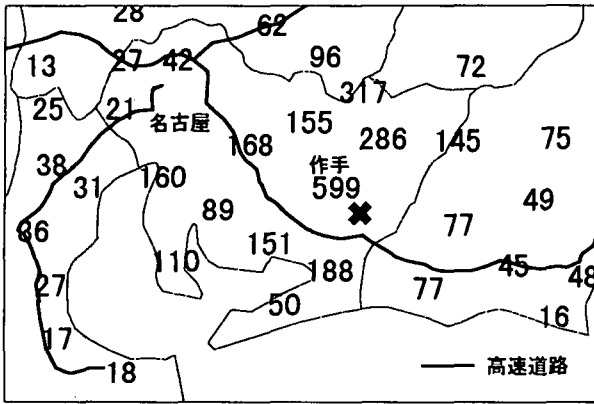


図-8 97年3月16日の地震における最大加速度(gal)

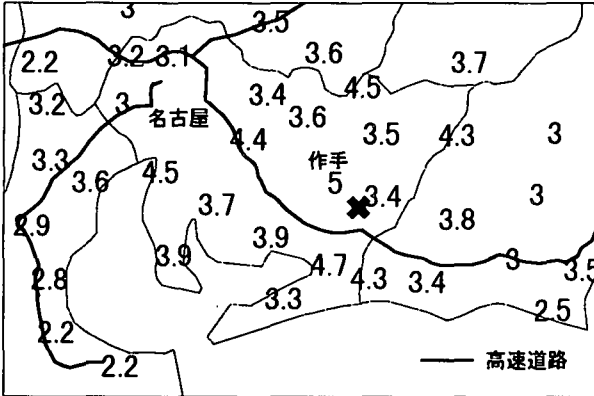


図-9 97年3月16日の地震における計測震度

用いた観測データは、科学技術庁防災科学技術研究所の「全国強震ネットワーク(K-NET)」⁵⁾のものである。K-NETでは、全国をほぼ25 kmメッシュでカバーするように1,000箇所の観測点が配置され、同じ型の強震計が自由地盤上に置かれている。このことから、広い範囲の地震動分布を知るためには有効なものと考えられる。

これら2地震では、最大加速度500 gal以上を観測しており、高速道路と観測点の位置関係から考えて、高速道路においても部分的にはこの程度の揺れが生じた箇所もあったものと思われる。計測震度については、最大の地点で5.0程度であると推測される。

4. まとめ

日本道路公団の管轄する高速道路について、最近の地震による被害と地震動強さ指標との関係について検討した。この結果、高速道路の道路構造物においても単純に最大加速度等の指標値のみによって被害が生じるといえないことが、ガスや水道の埋設管や構造物の被害の場合⁶⁾⁷⁾と同様に明

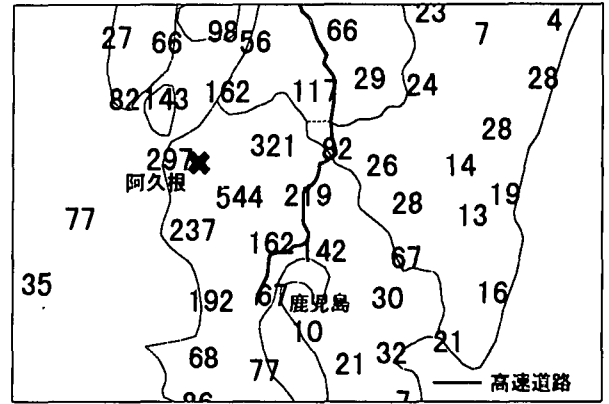


図-10 97年3月26日の地震における最大加速度(gal)

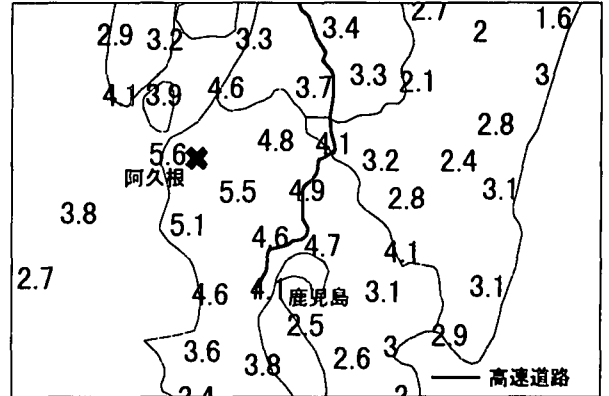


図-11 97年3月26日の地震における計測震度

らかになった。今後、高速道路の被害発生に最も相関の高い地震動指標値・要素は何であるかをさらに検討するとともに、通行規制を行う適切な地震動レベルを提案したいと考えている。

参考文献

- 1) 日本道路公団 (1996) : 日本道路公団技術情報, No. 133
- 2) 日本道路協会(1988) : 道路震災対策便覧 (震災復旧編), pp.61-93
- 3) Molas, G. L., Yamasaki, F. (1995) : Attenuation of Earthquake Ground Motion in Japan Including Deep Focus Event, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 85, No. 5, pp. 1343-1358.
- 4) 童華南, 山崎文雄 (1996) : 地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応, 生産研究 第48巻 第11号, pp. 31-34.
- 5) 大谷圭一 (1996) : 全国強震ネットワークの構築, 地震工学振興会ニュース, 震災予防協会, No. 147, pp. 27-29.
- 6) 安藤陽一, 山崎文雄, 片山恒雄 (1990) : 地震動の強さ指標による構造物損傷の評価, 第8回日本地震工学シンポジウム
- 7) Molas, G. L., Yamasaki, F. (1995) : Neural Networks for Quick earthquake Damage Estimation, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 24, pp. 505-516.