

I-50

近年の道路被害と地震波形記録の相関について

開発局開発土木研究所 正員 岩淵 武
 〃 〃 島田 武
 開発局留萌開発建設部 〃 吉田 紘一

はじめに

近年、北海道周辺において大規模な地震が多発した。これは、過去の発生確率で考えた場合、非常にまれなことであると思われるが、北海道における道路基盤は社会経済の発展の基礎であることから常に災害に対する対応策を考えておかねばならない。特に被害を伴う可能性の高い大規模地震においては、生活の動脈となる道路網の寸断による被害対策の遅れなどが懸念される。

現在、北海道開発局では、全道各地に強震計をこれまでに31ヶ所設置しており、地震が発生した場合には、迅速な被害対策を講じるための基礎となる支援システムの検討を行っている。これにより、一段と迅速な対応を講じることが出来るかと期待される。

しかしながら、地震動と土木構造物被害の関係は未だ明らかにされておらず、今後の地震時の対策に対して、これらを解明することが必要不可欠なものと思われる。

そこで、地震動と被害の關係に資する基礎資料を得る目的で、統計的に北海道の地震動を分析し、その値と被害との相関係数を求め、被害の発生に対する地震動の特性について検討した。

本論文で、平成5年から平成6年までの間に発生した、大規模地震の被害状況とその地震で得られた加速度記録を用いて被害との相関を検討し、取りまとめたので報告する。

1. 統計解析に用いた加速度記録と被害記録

本論文で用いたデータは、平成5年から平成6年の2年間に発生した被害を伴う大規模地震で得られた距離減衰式および被害記録である。なお、本論文で用いている被害記録は盛土を対象としている。

距離減衰式を求めるために用いた加速度記録は、表一に示す地震で得られた水平成分記録の2@49データと上下成分記録の46データである。被害状況の記録は、表一に示している地震のうち、東方沖地震の前余震を除いた地震によるものである。被害の状況については、今後も地震動と比較できるように記録手法の統一を計っている。その記録手法は、まず被害の発生箇所の種別を盛土、斜面、構造物に分けてまとめる。被害の程度はその発生箇所の種別により定められた基準に従って、大中小を定義する。また、被害箇所から震央までの距離を求めているが、その値は、被害箇所を北海道地図上に記し、機械的に求めたものである。被害調査によると各地震毎の被害件数(盛土)は、表二に示す通りで、被害度2、または3の被害が多く発生している。なお、表中に示している被害度とは、1が最も被害が大きく、被害度2は中程度そして被害度3は、小規模の被害を示している。

表一 1 解析に用いた地震記録

地震名	年月日時分	規模	深さ(km)	水平成分記録	上下成分記録
1993 釧路沖地震	1993年1月15日 20時06分	7.8	101	2@15	14
1994 南西沖地震	1993年7月12日 22時17分	7.8	35	2@10	10
1994 東方沖地震 前震	1994年8月31日	6.5	90	2@6	6
1994 東方沖地震	1994年10月4日 22時23分	8.1	30	2@12	10
1994 東方沖地震 余震	1994年10月9日	7.3	5	2@6	6

注；水平成分記録は、橋軸方向と橋軸直角方向の2方向を記録している。

On A Correlation with Damages of Road and Records of Seismic Wave
 by Takeshi IWABUCHI, Takeshi SHIMADA, Kouichi YOSHIDA

2, 分析手法

距離減衰式に北海道の地域性を加える目的で表一1に示した加速度記録を用いて道路橋示方書V耐震設計編に示されている距離減衰式の修正を重回帰分析にて行い加速度、速度および変位の距離減衰を求めた。この式から得られる予測値は、震央距離とマグニチュードに対する地震動の平均値である。表一3にその式を示す。実測される値は、同じ距離においても異なっていることから求めた減衰式の予測する値の有効範囲を定めた。これは、予測値と実測値の誤差から求めた偏差より求めている。これを加味した減衰式を確率距離減衰式としている。ここでは有効確率50, 40, 30%に対する誤差比を表一4に示す。

被害については、上記に述べたように本論文では盛土を対象としている。分析に当たり、被害度の指標は、震央距離の任意の範囲に対して、その範囲に含まれる被害の大中小別の全体総数からみた発生割合とその範囲に含まれる大中小別の総数から見た発生割合としている。

相関の分析には、上記の値を用いて行っており、被害データの得られている地震ごとに、この被害の発生割合と水平地震動の距離減衰特性と比較検討する。この結果から3つの地震に共通して得られる被害を起こす地震動の上限値および下限値またはその要因を発生割合と距離減衰式から得られる予測値、加速度範囲、速度範囲そして変位範囲から分析する。

表一2 各地震の被害箇所数(盛土)

被害度	1	2	3
被害箇所数	13	56	88
被害全体の割合	8%	36%	56%

被害度	1	2	3
被害箇所数	11	57	3
被害全体の割合	15%	80%	4%

被害度	1	2	3
被害箇所数	47	134	255
被害全体の割合	11%	31%	58%

表一3 北海道で得られた記録を用いて求めた距離減衰式

(水平動)				(上下動)			
	推定式	相関係数	誤差の標準偏差		推定式	相関係数	誤差の標準偏差
加速度	$\alpha = 7.505 \times 10^{0.567M} \times (\Delta + 30)^{-1.446}$	0.78	0.34	加速度	$\alpha = 3.809 \times 10^{0.566M} \times (\Delta + 30)^{-1.474}$	0.79	0.35
速度	$v = 0.0191 \times 10^{0.776M} \times (\Delta + 30)^{-1.412}$	0.83	0.32	速度	$v = 0.0234 \times 10^{0.646M} \times (\Delta + 30)^{-1.211}$	0.87	0.24
変位	$d = 0.0029 \times 10^{0.749M} \times (\Delta + 30)^{-1.180}$	0.78	0.34	変位	$d = 0.0206 \times 10^{0.466M} \times (\Delta + 30)^{-0.765}$	0.79	0.22

Δ : 震央距離 M; 気象庁マグニチュード

表一4 表一3の距離減衰式(水平動)の誤差比

有効確率50%		有効確率40%		有効確率30%	
	誤差比		誤差比		誤差比
加速度	$10^{(\pm 0.674 \times 0.343)}$	加速度	$10^{(\pm 0.524 \times 0.343)}$	加速度	$10^{(\pm 0.385 \times 0.343)}$
速度	$10^{(\pm 0.674 \times 0.322)}$	速度	$10^{(\pm 0.524 \times 0.322)}$	速度	$10^{(\pm 0.385 \times 0.322)}$
変位	$10^{(\pm 0.674 \times 0.344)}$	変位	$10^{(\pm 0.524 \times 0.344)}$	変位	$10^{(\pm 0.385 \times 0.344)}$

4, 被害箇所の分布

図一1に表一1に示した地震より発生した被害箇所の分布を示す。ここでは、釧路沖地震についてのみ記載する。

図一1では、記載していないが、被害度が高い箇所が震央に近い地域に多く点在している。また、被害度が中程度のものについては被害度が小さいものと混在しているように思われる。ここでは、示していないが南西沖地震に関しては、小規模の被害が非常に少なく、ほとんどが中規模の被害であった。また、東方沖地震では、被害の調査記録が詳細に記されていたためか他の地震被害と比べ被害箇所数が多い。また、釧路沖や南西沖と比較すると大きな被害を受けた箇所が広く点在しており、この地震の傾向は異なると思われる。



図一1 被害分布図（釧路沖地震）

5、被害度と地震動の比較検討と考察

表一5に各地震で震央から最も遠い箇所記録された被害箇所での予測される加速度、速度と変位の平均値を示す。また、被害度1に着目し、その中で最も震央から離れた箇所での地震動の予測値を表一6に示す。

まず、表一5から被害の発生が低い箇所を得られる地震動の特性を検討する。

釧路沖地震では、震央から約80 (km) より遠い箇所では被害は発生していない。また、地震動の予測値からみると、加速度では約230 (gal) 以下、速度では約30 (cm/sec) 以下そして変位では約11 (cm) 以下では被害の記録はない。

南西沖地震では約160 (km) 以上震央から離れた箇所では被害が発生していない。また、地震動の予測値から考えると釧路沖地震の結果よりも小さな予測値で被害が発生している。例えば、加速度では約100 (gal) 以上で被害が発生している。これは、釧路沖地震と比べて約1/2倍の値である。

東方沖地震では、震央から約300 (km) 以上離れた範囲では被害が発生していない。この記録から、釧路沖地震や南西沖地震と比べると、かなり広い範囲で被害が発生していると思われる。これは、規模が大きかったことと、震央位置が北海道の陸地よりかなり離れていること等が原因として考えられる。また、他の地震と比較して予測加速度が約70 (gal) と小さな値においても被害が発生している。

このことから、被害の発生に関しては震央距離との相関が低いと考えられる。しかし、東方沖地震を除く他の地震で加速度記録から考えると100(gal)より低い値の範囲では、被害の発生がなかった。このことから加速度が100(gal)以下の場合、被害の発生割合が低いと推察される。

次に表一六から被害の発生する割合の高い箇所での地震動の特性を検討する。

釧路沖地震では、大規模な被害が震央から54km以内で発生している。このときの平均加速度は328.24(gal)を示し、速度は42(cm/sec)を予測している。

南西沖地震では、大規模な被害が震央から約120km以内に発生している。また、平均加速度は約150(gal)で、平均速度は、約19(cm/sec)と予測している。

東方沖地震については、上記に述べていることと同様に震央からの距離が長く、約270(km)まで大きな被害が発生している。このときの平均加速度は約77(gal)と予測された。

このことから、被害度1の発生している範囲での加速度の予測値は、約150(gal)以上と思われる。これは、大きい被害が発生している範囲で示された値であることから、加速度が約150(gal)以上の場合、被害の発生する割合が高くなると考えられる。

ここでは示していないが、被害と確率距離減衰との関係からは、推定式の有効確率が40%~30%のものが被害分布をよく評価できるものと思われる結果が得られている。

6. まとめ

本文は、近年の道路被害と地震波形から得られた最大加速度、速度、変位の相関について検討したものである。この結果から被害と震央距離の相関は低いものと考えられ、特に東方沖地震では相関は無いと思われるが、被害の発生割合を地震動と比較検討すると、加速度が100(gal)以下の場合に被害の発生割合が非常に低くなると思われる。また、予測加速度が150(gal)を越える場合には、大きな被害を受けた箇所が多く含まれるため、被害の発生割合が比較的高くなると思われる。しかし、ここで用いている被害の指標は発生した箇所数より求めたものであり、他の地震と比較する場合には不十分な指標であると考えられる。そこで、地質や地形等の物理的条件や被害の発生した構造物の固有周期やその被害箇所での周波数特性等の解析的条件を加味した指標と比較検討して行くことが重要であると認識することが出来た。

おわりに

用いた被害の調査方法により被害度にばらつきが生じることや記録の絶対数が少ないことなどが考えられるため。今後は、これから得られるデータを含めて統計解析を行い、相関の高い指標を求めることが必要となると思われる。この場合、ここで比較している地震動の値だけではなく、SI値や地表エネルギー値等に加え新たな指標を導き比較検討していくことも考えていかなければならないと思われる。最後に本論文で明確に分析が出来なかった確率距離減衰との関係を継続して解析する。

表一五 震央から最も遠い箇所での予測地震動と被害
釧路沖地震

被害度	距離	加速度	速度	変位
3	78	228.25	29.27	8.08

南西沖地震

被害度	距離	加速度	速度	変位
2	164	97.88	12.8	4.05

東方沖地震

被害度	距離	加速度	速度	変位
2	297	68.28	10.47	3.67

表一六 被害度1で最も長い震央距離での予測地震動

釧路沖地震

震央距離 (km)	加速度 (gal)	速度 (cm/sec ²)	変位 (cm)
54	328.24	41.73	10.87

南西沖地震

震央距離 (km)	加速度 (gal)	速度 (cm/sec ²)	変位 (cm)
117	146.17	18.94	5.62

東方沖地震

震央距離 (km)	加速度 (gal)	速度 (cm/sec ²)	変位 (cm)
271	76.74	11.77	4.04