

北海道における3大地震の盛土構造物 被害の要因

畑一洋¹・佐藤誠²・島田武³・佐藤昌志⁴

¹正会員 北海道開発コンサルタント 情報システム部 (〒004札幌市厚別区厚別中央一条五丁目4-1)

²正会員 北海道開発コンサルタント 情報システム部 (〒004札幌市厚別区厚別中央一条五丁目4-1)

³正会員 開発土木研究所 構造部構造研究室 (〒062札幌市豊平区平岸一条三丁目)

⁴正会員 開発土木研究所 構造部構造研究室 (〒062札幌市豊平区平岸一条三丁目)

地震による橋りょうなど道路構造物への被害は、構造物の種類・形状などを問わず地盤条件の不連続な地域においても発生する確率が高いと考えられている。古くから沖積地盤に地震被害が多くなることが知られているが、最近の被害報告によれば沖積地盤の中でも、特に被害が集中する区域のあることが指摘されている。

これらのことから、著者らは、北海道の地震における地域特性を考慮した推定地震動を分析し、道路構造物の被害発生に関する地震動特性の解析手法について提案を行い、これまでの研究においてその有効性を考察している。

Key Words : seismic motion, seismic damage, attenuation expression, land class, statistical analysis

1. はじめに

大規模地震の発生は非常にまれなことであると考えられるが、日本会社における道路基盤の発展は社会経済の基礎であることから、常に地震災害に対する防災対策を考慮し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、道路構造物の被害対策の遅れなどが懸念されている。

そこで、大規模地震の地盤振動と盛土構造物の被害相関を推定する目的から、北海道における3大地震の地盤振動特性とその被害特性を推定し、被害状況に対する地震動と土地分類条件の相関を統計的に分析することとした。

本論文は、釧路沖地震、北海道南西沖地震、および北海道東方沖地震の3大地震において、地質および土質などの理学的観点に着目し、道路盛土や橋梁などの構造物さらには河川堤防の斜面の被害相関を研究したものである。

2. 解析情報

本研究に用いた情報は、平成5年からの2年間に渡り発生した災害を伴う大規模地震で得られた強震記録と、その地震が北海道におよぼした盛土構造物の被害状況と、

被害箇所の地分類情報である。

強震記録は、2年間のうちに北海道周辺で発生した大規模地震の中でも大被害をもたらした地震(表-1)である釧路沖地震、北海道南西沖地震、および北海道東方沖地震の3大地震における強震計から記録された数値情報を採用した。この情報は、観測方向が35成分であり、その1成分に対して加速度、速度、および変位の各時刻歴が記録されている。これらを記録した強震計は、橋りょうなどの耐震設計の指標に設置したものであるため、地震動にかかわらず水平動の観測方向を橋軸方向と一致させている。このため、全ての強震計の水平動の観測方向は同一ではない。しかし、同研究所において地震波形解析した結果、設置箇所の地震の主方向はないと考えられる結果が得られている。このことから、本解析に用いる3大地震の強震記録データは、水平成分の橋軸方向の各最大値を用いることとした。

被害状況は、強震記録と同じく釧路沖地震、北海道南西沖地震、および北海道東方沖地震を対象とし、その道路構造物の被害の分類を盛土、斜面、および構造物に分けて取りまとめている。この情報には、被害の発生箇所を特定できる緯度・経度情報と、その被害程度を表わす被害情報がある。その被害程度は、その発生箇所の分類により定められた基準にしたがって、大中小の被害として定義される。被害の発生箇所は、各地震の被害情報を

表－1 解析に用いた強震記録

地震名	年月日時分	規模	深さ	水平成分記録
釧路沖地震	1993年1月15日 20時06分	7.8M	101km	14件
北海道南西沖地震	1993年7月12日 10時17分	7.8M	35km	10件
北海道東方沖地震	1994年10月4日 22時23分	8.1M	30km	11件

基に地図上に記し、機械的に調査したものである。その被害調査による各地震の盛土、斜面、および構造物を合わせた被害程度毎の件数とその割合は、表－2に示すとおりである。さらに表中には、被害全体に対する割合も示しており、この割合は各地震の被害全体の総数と、各大小被害の件数に対する被害発生割合を示している。

被害箇所の分布状況は、釧路沖地震について大被害の箇所が震央に近い地域に多く点在しており、中小被害の箇所は混在している。北海道南西沖地震については、小被害が非常に少なく、ほとんどが大被害であった。北海道東方沖地震については、他の地震と比較して被害箇所が多く、さらに被害を受けた箇所が広範囲に点在している。本解析では、各地震の被害分類である盛土、斜面、および構造物には片寄らず、被害全体の合計値に着目して検討した。

土地分類情報は、国土地理院が整備している国土数値地図情報のうち、北海道地域85,984件を抽出した数値情報である。この情報は、1件毎に3次メッシュコード（1kmメッシュ）が設定され、各メッシュ毎に地形分類、表層地質分類、および土壌分類の各種類が示されている。この各分類の項目には、地形分類が地形主分類に、表層地質分類は表層岩石区分と表層時代に、土壌分類が土壌統計群に分類されており、それぞれの土地分類における数値情報として基準化されている

3. 解析手法

解析手法は、表－1に示す北海道の3大地震記録を用いて、地震特性を加味した推定地震動の距離減衰式を道路橋示方書V耐震設計編に示されている距離減衰式の形態に帰着させて、推定式 $\alpha = a \times 10^{bM} \times (\Delta + 30)^c$ を導いている。この推定地震動には、推定加速度、推定速度、および推定変位がある。この式を推定するにあたり、得られた地震動毎の記録をすべて有効として解析し、その変数を地震の規模を表わすマグニチュード（M）と、その位置を表わす震央距離（ Δ ）としている。

これらを最小2乗法により重回帰分析を行い、式の変数としてa、b、cを算出している。また、この推定式と実測値との相関状態を把握するために、単純相関分析を行い相関係数を求め、さらに推定式と実測値との誤差が正

表－2 各地震の被害箇所と割合
(盛土・斜面・構造物)

地 震 名	大被害	中被害	小被害	小 計
	件 数			
	割 合			
釧路沖地震	31件	89件	37件	157件
	19.75%	56.69%	23.57%	
北海道 南西沖地震	39件	59件	5件	103件
	37.86%	57.28%	4.85%	
北海道 東方沖地震	63件	128件	26件	217件
	29.03%	58.99%	11.98%	
合 計	133件	276件	68件	477件
	27.88%	57.86%	14.26%	

規分布すると仮定して、誤差の標準偏差から推定式の有効域を定めている。この有効域は、実測値に対して推定値が50%程度の有効な確率で推定される範囲で、これを誤差比としている。

これらの推定地震動の距離減衰式における推定加速度、推定速度、および推定変位の各推定値と、その距離減衰式、相関係数、および誤差比と、強震計より記録された実測値を図－1に示す。

4. 被害における土地分類と地震動の相関

この相関の分析は、表－2に示す被害状況、図－1に示す推定地震動の距離減衰式と、被害箇所の土地分類情報を用いて行い、各地震毎の土地分類に着目した件数とその発生割合、各被害箇所推定される加速度、速度、および変位における割合から比較検討を行った。（図－2～5）

この相関図は、地形主分類を図－2に、表層岩石区分を図－3に、表層時代を図－4に、土壌統計群を図－5に示す。この図中の×印は、被害箇所全体のうち土地分類毎の示す件数の割合を表わし、○△□印は、全被害箇所について推定地震動の加速度、速度、および変位の各合計値に対する土地分類毎の合計に占める地震動の割合を示している。

(1) 地形主分類と推定地震動の相関（図－2）

釧路沖地震では、中起伏丘陵地（地形主分類コード：10）

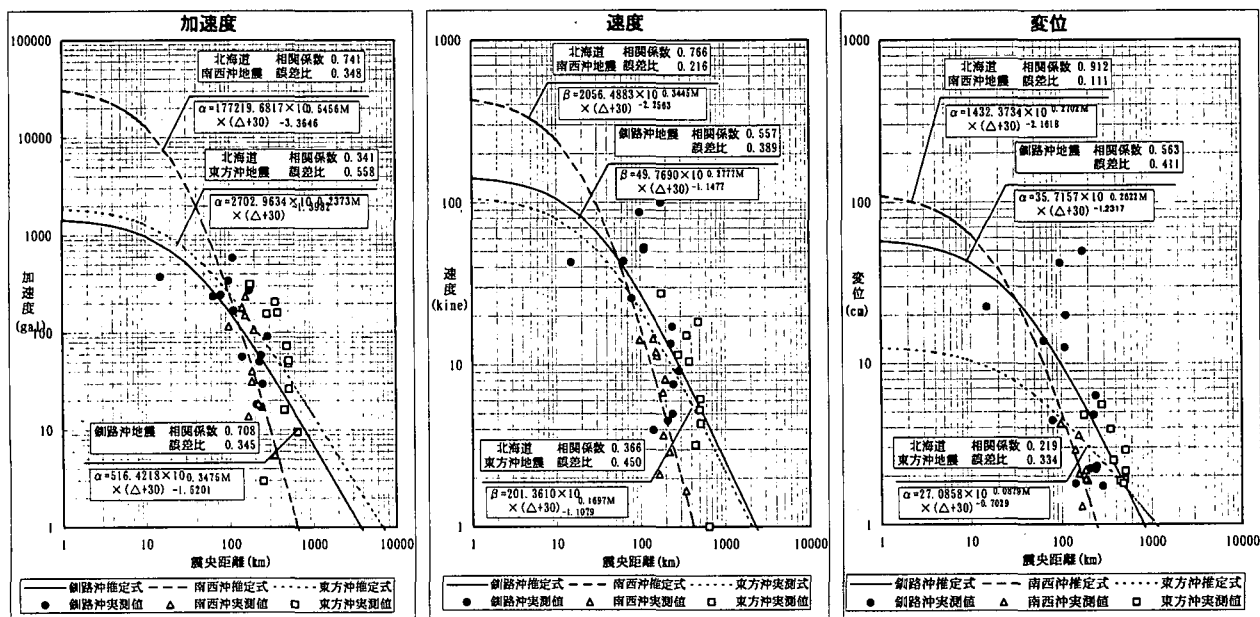


図-1 地震動の距離減衰式

が件数と地震動の割合から比較して最も高く、その値は加速度相関 32.20%、速度相関 32.09%、変位相関 32.13%、および件数割合 30.57%である。北海道南西沖地震における件数の割合は小起伏山地（地形主分類コード:03）が、地震動の割合では大起伏山地（地形主分類コード:01）が多く、両者とも大小に係わらず起伏山地である。また、北海道東方沖地震は、ローム台地（上位、地形主分類コード:31）が件数と地震動の割合から比較して相関が30%弱を表わす結果が得られている。

この地形主分類を総合的に評価すると、釧路沖地震は他の地震と比較して、件数と地震動の割合が最も高い30%強の値を得られたことがわかる。

(2) 表層岩石区分と推定地震動の相関（図-3）

釧路沖地震では、未固結堆積物の礫、砂、粘土（表層岩石区分コード:23）が地震動の割合から、北海道南西沖地震は、火山性岩石の凝灰岩質岩石（表層岩石区分コード:52）が地震動の割合から、未固結堆積物の礫、砂、粘土が件数の割合から、比較して相関が高い結果を得ている。北海道東方沖地震は、火山性岩石の火山灰（表層岩石区分コード:46）が、件数と地震動の割合から比較して最も高く、その値は加速度相関 47.69%、速度相関 47.73%、変位相関 47.71%、および件数相関 47.47%を示す結果が得られた。

この表層岩石区分を総合的に評価すると、北海道3大地震の中では北海道東方沖地震が、件数と地震動の割合から最も高い50%弱の相関結果を得た。このことから、

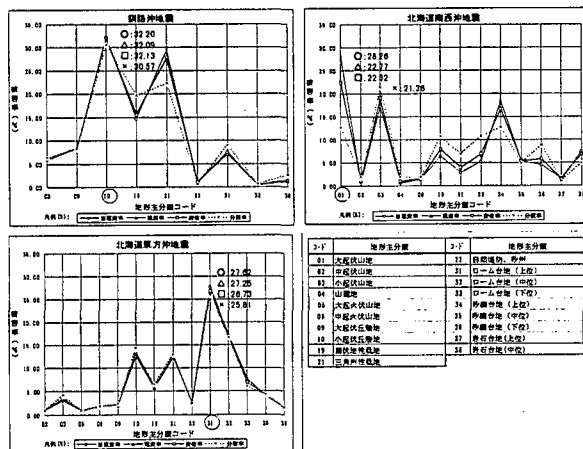


図-2 地形主分類の相関

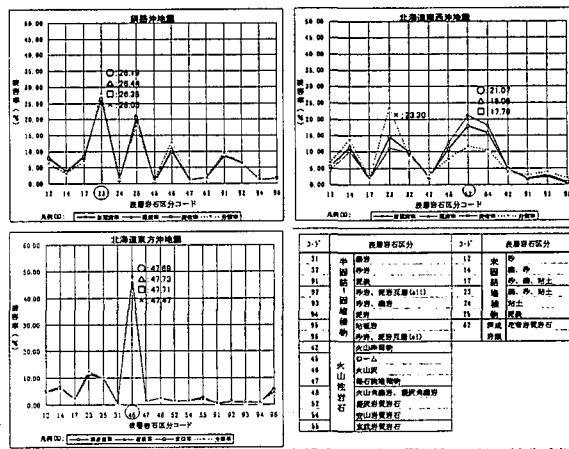


図-3 表層岩石区分の相関

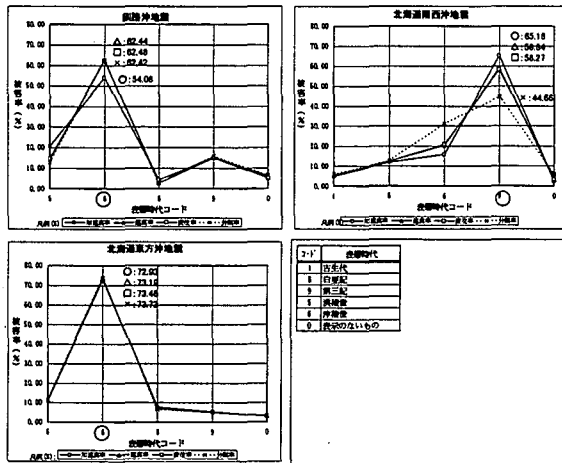


図-4 表層時代毎の相関

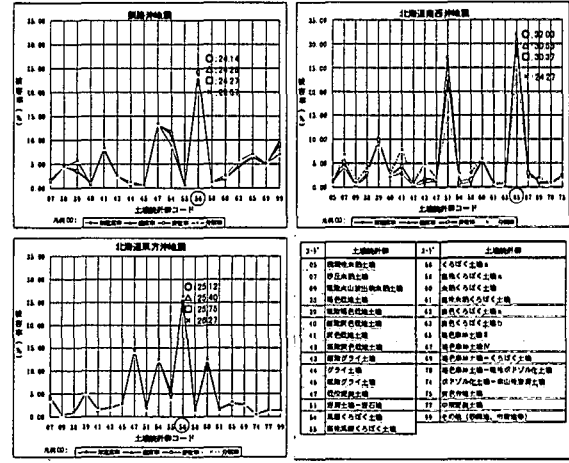


図-5 土壌統計群の相関

ある程度、北海道東方沖地震における火山性岩石の火山灰地域におよぼす被害との相関が高いことが推察される。

(3) 表層時代と推定地震動の相関 (図-4)

釧路沖地震と北海道東方沖地震では、沖積世時代 (表層時代コード:6) の土質層が、北海道南西沖地震は、第三紀時代 (表層時代コード:9) の土質層が、件数と地震動の割合から比較して最も高い相関結果を得られた。この北海道南西沖地震の相関結果は加速度 65.16%、速度 58.84%、変位 58.27%、および件数相関 44.66%である。だが、推定地震動の範囲と比較して、件数相関が40%弱の低い値であることから、この関係にはばらつきがあることがわかる。

(4) 土壌統計群と推定地震動の相関 (図-5)

釧路沖地震と北海道東方沖地震では、くろぼく土壌 a (土壌統計群コード:56) が、北海道南西沖地震は、褐色森林土壌 II (表層時代コード:65) が、件数と地震動の割合から比較して最も高く、北海道南西沖地震の相関結果は、加速度相関 32.03%、速度相関 30.55%、変位相関 30.37%、および件数相関 24.27%である。

この土壌統計群の分布傾向から考察すると、北海道南西沖地震では推定地震動の割合が最も高い、30%強の相関結果を得ることができた。

以上の相関結果を総合的に評価すると、各地震とも表層時代の検討では、件数と推定地震動の相関が50%弱から70%強の結果を得ていることから、沖積世時代と第三紀時代の土質層に大きく影響をおよぼしていると推察される。また、表層時代以外について考察すると、釧路沖地震は地形主分類に30%強の、北海道南西沖地震が土壌統計群に30%程度の、北海道東方沖地震は表層岩石区分に50%強の相関結果を得ていることから、これらの関係について何らかの相関があると考えられる。

5. まとめ

本報告は、北海道の3大地震記録と盛土構造物被害から得られた地震動の推定加速度、推定速度、および推定変位と、被害状況との相関について検討したものである。

この結果から道路構造物被害と地形主分類の相関は、全体的にまだ低いものと考えられるが、釧路沖地震については30%強の結果であることから、ある程度の相関を得られたと推察される。また、表層岩石区分との相関については、全体的に20%強の結果であるのに対して、北海道東方沖地震では2倍程度の50%弱の相関を得られたことは、ある程度の相関があると考察される。一方、土壌統計群との相関については、3大地震の中では北海道南西沖地震が最も相関が高い結果であるが、的確な数値的根拠を導くことは出来なかったと考えられる。

この解析に用いた強震記録は、橋軸方向の最大地震動であることから、橋軸直角方向と上下方向の最大地震動の記録も適用し、推定距離減衰式を導いて検討することが今後必要と考えられる。また、被害に関する情報として、被害箇所の盛土と斜面の物理的条件、その箇所の周波数特性を考慮した解析的条件、被害が発生した構造物の固有周期、などを加味した指標を比較検討することが重要であると推察される。