

I-49 北海道における気象庁震度階と実加速度記録の相関について

北海道開発コンサルタント(株) 正員 佐藤 誠  
 北海道開発局開発土木研究所 正員 島田 武  
 北海道開発局開発土木研究所 正員 佐藤 京  
 北海道開発局留萌開発建設部 正員 吉田 紘一

1. はじめに

近年発生した、1993年1月の釧路沖地震(M7.8)や1993年7月の北海道南西沖地震(M7.8)や1994年10月の北海道東方沖地震(M8.1)などの大規模地震が2年以内に発生する確率は非常に低いと考えられるが、気象庁の調査においても、北海道は日本列島の中で地震の発生割合が非常に多いといわれている。このことから、今後も防災対策や、被害対策は必要不可欠な課題である。

現在、地震による揺れの大きさを表わす指標は、一般的に気象庁で出されている震度階である。その震度階は、過去においては人体の体感等により判定されたが、現在ではその経験を加え、初期微動の加速度記録の最大値および初期微動の波形を周波数分析することにより得られる2つの値を用いて数値化し定義している。

しかし、地震動の特性は、その地震の発生機構や伝播経路、揺れの観測地域の地形・地盤条件等が互いに複雑に影響していると考えられる。震度階を含む地震動の予測は、これまで蓄積したデータを用いて統計解析を行っているため平均的な指標でしかないことから、その値を用いて、地域を限定した地震動の予測は難しいと思われる。そこで、地域特性を考慮した地震動を求める基礎資料とするため、北海道で記録される予測加速度を求めることとした。

本論文では、確立されている気象庁震度階とこれまで北海道で得られた加速度最大記録の関係を統計的に分析しとりまとめたので報告する。

2. 解析手法

統計解析するデータは、既設橋に設置されている強震計の最大加速度と、気象庁震度階である。しかし、この震度階は一部の都市に対して求めているため、強震記録と比較することが困難と思われる。そこで、強震計設置箇所に対して気象庁震度階を修正し、それを「有感振動レベル」と定義した。「有感振動レベル」はおおむね気象庁の震度階に準拠し、実数化したものである。

加速度記録は、1966年十勝の千代田大橋架線橋に設置された SMAC-B2型の機械式地震計を始めとする道内29既設橋に配置された強震計に記録された実測加速度の中でも比較的情報の多い15既設橋のデータを取り上げている。本研究ではこの既設橋の実測加速度と有感振動レベルの情報から既設橋別に相関図を作成し、5種類の回帰式について回帰分析をおこない、既設橋・回帰式別の相関係数を解析し

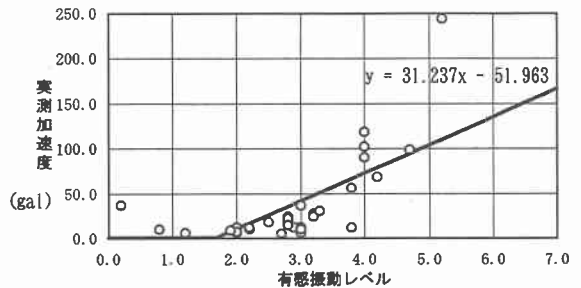


図-1 有感振動レベルと実測加速度の回帰式 (Y = aX + b)

Correlation of japan meteorological agency intensity scale and measured acceleration in Hokkaido  
 By Makoto SATOH, Takeshi SHIMADA, Takashi SATOH, Kouichi YOSHIDA

た。また、各回帰式別に既設橋全体及び地盤種別（Ⅰ種～Ⅲ種地盤）の平均相関係数、分散、及び標準偏差を分析した。

### 3. 解析結果と考察

#### 3.1 「千代田大橋」の相関係数の解析

本解析は『2. 解析手法』に準じておこなわれ、その結果の一例として千代田大橋（Ⅲ種地盤）について示す。

この図は、横軸に有感振動レベルをとり、縦軸に最大加速度記録をとっている。その図中の回帰線は各図のタイトルに示している式の形態に帰着するように回帰させた結果である。この各回帰式の変数を、Yは実測加速度で、Xが有感振動レベル、a、bは回帰で求める定数と定めている。

- ① 一次直線方程式の形態によって解法された回帰式  $Y = aX + b$  の係数項 a は 31.237、定数項 b は -51.963 と算出され、回帰分析による相関係数は 0.683 となっている。統計的に係数の値からみると相関が高い値とはいえない。（図-1）
- ② 震度の定義より無感とは 0.8 gal 以下であることから加速度の下限を 0.8 とした場合の回帰式  $Y = aX + 0.80$  の係数項 a は 12.724 と算出され、回帰分析による相関係数は 0.550 となり、①式より低い係数値が得られた。（図-2）
- ③ 2次曲線方程式の形態によって解法された回帰式  $Y = aX^2 + b$  の係数項 a は 6.603、定数項 b は -23.963 と算出され、回帰分析による相関係数は 0.825 となり相関係数の値としては比較的高い値である。（図-3）
- ④ ②と同様に震度の無感とする定義より、加速度の下限を 0.8 とした場合の  $Y = aX^2 + 0.80$  の係数項 a は 4.727 で、回帰分析による相関係数は 0.776 であった。相関係数の値としては比較的高く実測値をよく評価している。（図-4）

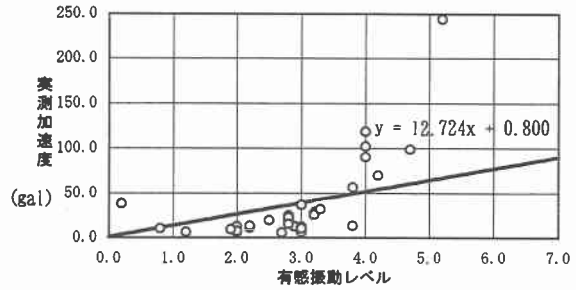


図-2 有感振動レベルと実測加速度の回帰式  
( $Y = aX + 0.8$ )

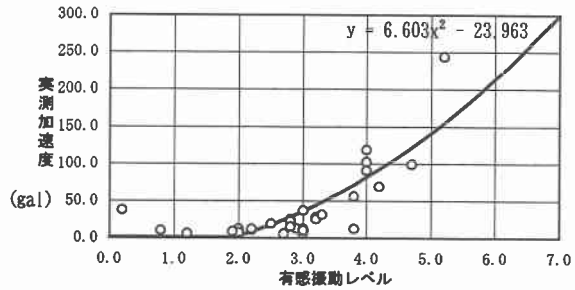


図-3 有感振動レベルと実測加速度の回帰式  
( $Y = aX^2 + b$ )

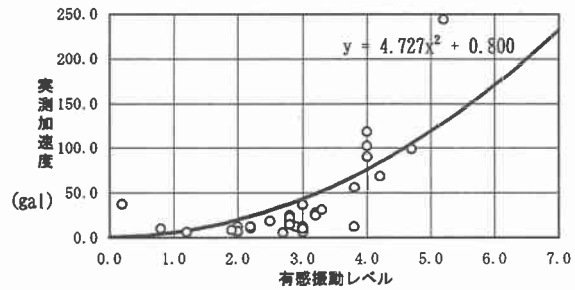


図-4 有感振動レベルと実測加速度の回帰式  
( $Y = aX^2 + 0.8$ )

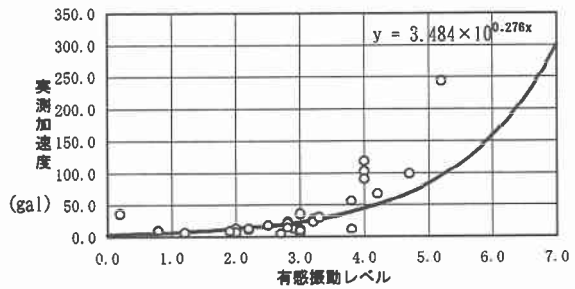


図-5 有感振動レベルと実測加速度の回帰式  
( $Y = b \times 10^{ax}$ )

⑤ べき乗係数を用いた方程式の形態によって解法された回帰式 $Y = b \times 10^{ax}$ は、係数項 $a$ は0.276、定数項 $b$ は3.484と算出され、回帰分析による相関係数は0.689が算出され低い相関といえる。(図-5) これらの千代田大橋の解析結果①~⑤を取りまとめると、回帰式 $Y = aX^2 + b$ の形態が最も相関係数として高い値を得ることができ、そのことはこの回帰式が千代田大橋の回帰式として有効な式になると推察される。

### 3.2 「全既設橋」の相関係数

前章の『千代田大橋の相関係数の解析』と同一解析手法を用いて、他の既設橋についても有感振動レベルと実測加速度の記録から分析をおこない回帰式を求めた。その回帰式を基に算出された相関係数の結果を表-1に示す。

図中の太枠で囲まれた部分は、既設橋別の各回帰式の中でも相関係数が最も高い値を表わす回帰式である。その高い値を示す回帰式の形態にはバラツキがあり、「 $Y = aX^2 + b$ 」の形態を示す回帰式の相関係数が高いものは15橋中11橋と最も多く、続いて「 $Y = b \times 10^{ax}$ 」の形態の回帰式が15橋中5橋であった。

なお相関係数の結果の中に「1.000」の解析値が存在するが、これは強震記録が2つの既往地震しか得られておらず回帰分析上、表現されてしまったものである。これらについては、これから得られるデータを含めて分析し、相関係数を見直す必要がある。

各既設橋毎に分析された各回帰式の相関係数を更に統計学を用いて分析する方法として、全既設橋(15橋)及び地盤種別(I種~III種地盤)別の四種類に分類し、それぞれ平均相関係数、分散、及び標準偏差を算出し比較した。(表-2)

図中の太枠で囲まれた部分は、各回帰式の中でも平均相関係数が最も高い値を、分散と標準偏差が最も小さな値を示すものであることから、両部分は相関の高い回帰式であることがわかる。

この図から既設橋全体について分析したところ、平均相関係数においては0.564~0.779の範囲の結果が得られた。これにより最大値0.779を得た回帰式 $Y = aX^2 + b$ の形態が最も相関が高いと考えられる。また分散と標準偏差の結果からみると、前者0.022~0.060の範囲が、後者0.147~0.210の範囲が結果として算出されているが、両者共、

既設橋名	地盤種別	各回帰式の相関係数				
		$Y=aX+b$	$Y=aX+0.8$	$Y=aX^2+b$	$Y=aX^2+0.8$	$Y=b \times 10^{ax}$
千代田大橋	III種地盤	0.683	0.550	0.825	0.776	0.689
幌満橋	I種地盤	0.611	0.463	0.680	0.623	0.611
大楽毛橋	II種地盤	0.544	0.427	0.714	0.648	0.528
新石狩大橋	III種地盤	0.447	0.446	0.408	0.381	0.470
七峰橋	I種地盤	0.943	0.651	0.972	0.908	0.945
石狩河口橋	III種地盤	0.907	0.741	0.909	0.636	0.960
斜里大橋	III種地盤	0.561	0.476	0.673	0.121	0.405
静内橋	III種地盤	0.873	0.587	0.919	0.838	0.930
別海橋	III種地盤	0.365	0.302	0.507	0.507	0.493
温根沼大橋	III種地盤	0.340	0.339	0.356	0.306	0.263
広尾橋	I種地盤	0.929	0.705	0.967	0.912	0.921
島松沢橋	II種地盤	0.699	0.698	0.782	0.781	0.899
札幌IC高架橋	III種地盤	1.000	0.559	1.000	0.782	0.997
白鳥大橋	III種地盤	0.933	0.758	0.968	0.954	0.931
新浜厚真橋	III種地盤	1.000	0.757	1.000	0.950	1.000

表-1 既設橋・回帰式別の相関係数一覧

項目	回帰式				
	$Y=aX+b$	$Y=aX+0.8$	$Y=aX^2+b$	$Y=aX^2+0.8$	$Y=b \times 10^{ax}$
既設橋全体					
平均相関係数	0.722	0.564	0.779	0.675	0.736
分散	0.051	0.022	0.044	0.059	0.060
標準偏差	0.226	0.147	0.210	0.243	0.244
I種地盤					
平均相関係数	0.828	0.606	0.873	0.814	0.826
分散	0.023	0.011	0.019	0.018	0.023
標準偏差	0.153	0.104	0.137	0.135	0.152
II種地盤					
平均相関係数	0.622	0.562	0.748	0.715	0.714
分散	0.006	0.018	0.001	0.004	0.034
標準偏差	0.078	0.135	0.034	0.067	0.186
III種地盤					
平均相関係数	0.711	0.552	0.757	0.625	0.714
分散	0.063	0.025	0.057	0.074	0.072
標準偏差	0.251	0.157	0.238	0.271	0.269

表-2 回帰式別の平均相関係数等一覧

平均相関係数で比較した結果と異なり回帰式  $Y = aX + 0.80$  の形態が統計的には最も最適な回帰式と考えられる。

続いて既設橋全体をⅠ種～Ⅲ種地盤に分類して解析を実施したところ、平均相関係数の値はⅠ種地盤 0.873、Ⅱ種地盤 0.748、及びⅢ種地盤 0.757の結果が得られ、既設橋全体の平均相関係数と同様の回帰式  $Y = aX^2 + b$  の形態が最も相関が高いという結果が得られた。また分散と標準偏差の結果から、Ⅱ種地盤の場合は、前者が 0.001、後者が 0.034の最小値が得られ、これにより平均相関係数と同様、回帰式  $Y = aX^2 + b$  の形態が最も相関が高いと推察されるが、Ⅰ種地盤及びⅢ種地盤の場合は、分散がⅠ種地盤では 0.011とⅢ種地盤では 0.025が、標準偏差のⅠ種地盤 0.104とⅢ種地盤 0.157がそれぞれの最小値として算出されている。このことによりⅠ種地盤及びⅢ種地盤については回帰式  $Y = aX + 0.80$  の形態が最も相関の高い結果を得たことになる。

#### 4. 結論

本論文は、有感振動レベルと実測加速度の記録値から5つの式の形態に帰着するように回帰分析を行い、回帰式を統計手法を用いて、既設橋全体及び地盤種別（Ⅰ種～Ⅲ種地盤）ごとに相関係数、平均相関係数、分散、及び標準偏差の多方面から気象庁の震度階と実測加速度の相関について比較検討をおこなった。この結果、北海道における気象庁震度階と実測加速度記録についてある程度、相関のとれる回帰式を得ることができた。そのなかで実測を高く評価できる平均の相関係数の最大値を最も多く得ることができた式は『 $Y = aX^2 + b$ 』の形態であり、15橋中11橋がこの回帰式の形態となった。その11橋のうち代表的な値を用いた回帰式は、 $Y = \{6.603, 2.835, 6.961, \dots, 8.263\} (=a)X^2 + \{-23.963, -19.602, -39.964, \dots, -33.757\}$  である。また回帰式で実測を高く評価できる平均の相関係数の最大値が次に多く得ることができた式は『 $Y = b \times 10^{ax}$ 』の形態であり、15橋中5橋がこの回帰式となった。その5橋のうち代表的な値を用いた回帰式は、 $Y = \{5.559, 13.461, 2.477, \dots, 1.581\} (=b) \times 10^{\{0.273, 0.114, 0.418, \dots, 0.441\} (=a)X}$  である。ただし、地盤種別により式の形態が異なる結果となった。このことは実測加速度の記録件数が少ないこと、実測加速度に片寄りがあること、更には、地盤種別の適切な評価等に要因があるものと考えられる。

しかし、北海道の地域特性を加味した気象庁震度階から、地盤震動を考慮した実測加速度の相関を評価することは耐震設計の指標とすることも可能と考えられる。今後も北海道における気象庁震度階と実測加速度記録の関連性について検討を加えて行く必要があると考えられる。

#### 5. あとがき

北海道における有感地震の有感振動レベルと実測加速度の回帰式の検討と、相関係数、平均相関係数、分散、及び標準偏差を用いて行った比較検討の研究結果を報告した。今後は有感振動レベルと実測加速度の回帰式形態と、統計解析による回帰式の相関分析手法について、更に研究を重ねたいと考えている。

#### <参考文献>

- 1) 翠川三郎・福岡知久：気象庁震度階と地震動強さの物理量との関係、地震第41巻、(1988)、223-233頁
- 2) 河角廣：震度と震度階、地震第15巻、(1943)、6-12頁
- 3) 山田公夫：実効震度と地盤の地表最大加速度、1989、中部大学工学紀要
- 4) 建設省土木研究所・川島一彦・相沢興・高橋和之：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式、土木研究所報告第166号、昭和60年9月
- 5) 建設省地震防災部・振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法－（その7）地震動加速度の継続時間の推定法－、土木研究所資料第2118号、昭和59年3月