

北海道開発局の地震情報伝達システム (WISE) による地震観測データを用いた距離減衰特性について

佐藤 京¹・池田憲二¹・金子孝吉²・山本明夫³・篠原秀明³・佐々木克憲⁴

¹正会員 独立行政法人 北海道開発土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目)

²正会員 専修大学北海道短期大学 (〒079-0197 北海道美唄市字美唄 1610-1)

³正会員 応用地質株式会社技術本部 (〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5)

⁴応用地質株式会社技術本部 (〒330-8632 埼玉県さいたま市土呂町 2-61-5)

北海道開発土木研究所で構築している地震情報伝達システム (WISE) では、北海道内に設置された 146 地点の強震計をオンラインでつなぎ、1997 年の観測開始以来 1,500 を越える強震記録が観測されてきた。そこで、これらの観測された強震記録をもとに、距離減衰特性および距離減衰式の検討を行った。まず、地震発生位置の違いによる距離減衰特性の検討を行った結果、ある傾向を見いだすことができた。次に、2段階回帰分析手法を用いて地表における距離減衰式を求めた。さらに、観測地点の地盤モデルを設定し、地表波形を工学的基盤に戻して、工学的基盤における距離減衰式を求めた。地表および工学的基盤での距離減衰式の比較を行った結果、工学的基盤における距離減衰式の方が相関の良い結果を得ることができた。

KeyWords : real-time monitoring system , strong motion records , regression analysis

1. はじめに

北海道開発土木研究所では 1993 年釧路沖地震以降に地震時の情報ネットワークの重要性を認識し、地震情報伝達システム (Warning Information System of Earthquake : WISE) の構築を行ってきた。この WISE は、地震当初の防災システムをサポートするもので、強震計による地震動の情報を迅速に得ることによって、地盤および道路構造物などの被害予測を行い、現場での指示や対応が的確にできるようにするものである。このシステムには北海道内に設置された 146 地点の強震計をオンラインでつなぎ、一元管理しており、強震記録を得ることができる。¹⁾

ここでは、WISE による地震動予測の精度向上を図るために、WISE で観測された観測記録をもとに地震動の距離減衰特性および距離減衰式について検討を行った。²⁾

2. 地震観測データ

WISE では 1997 年より観測を開始しており、既に 1,500 を超える強震記録が観測されている。ここでは、これらの観測記録の中から 1 地震あたり 10 点以上で観測された地震に対して検討を行った。対象とした地震は 20 地震で、これらの地震の諸元を表-1 に示し、震央分布図を図-1 に示す。今回の解析対象地震は、太平洋側のみで、二重深発地震面の上面と

表-1 解析対象地震の諸元

No.	発生年月日	発生時間	緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)	Mj
1	1997/02/27	23:22:15.4	41.5517	142.0733	71	4.6
2	1997/03/13	10:12:12.2	42.8000	142.9967	129	4.6
3	1997/07/01	12:40:08.6	42.6417	144.6550	73	5.1
4	1997/07/15	01:09:36.8	43.1150	146.2917	37	5.9
5	1997/10/03	13:46:33.6	42.5067	144.8217	50	4.9
6	1997/11/15	16:05:17.4	43.6467	145.0883	153	6.1
7	1997/12/23	04:08:04.6	42.9783	143.4883	113	5.1
8	1998/01/03	03:19:56.3	42.9383	145.4150	50	4.8
9	1998/01/31	00:50:17.3	41.4683	142.0667	60	5.1
10	1998/04/09	14:29:31.7	42.8033	144.9767	48	4.8
11	1998/09/03	16:58:17.5	39.7950	140.9100	10	6.1
12	1998/10/14	05:41:12.4	40.0767	143.4970	0	5.4
13	1998/12/10	00:56:36.1	42.3033	143.1367	57	4.6
14	1999/01/09	12:05:38.8	44.1017	147.3950	121	5.6
15	1999/02/09	09:19:38.6	42.3333	143.1133	57	4.7
16	1999/03/19	02:55:41.1	41.0300	143.2417	44	5.7
17	1999/05/13	02:59:23.1	42.9433	143.9083	104	6.4
18	1999/05/31	12:22:42.7	43.0467	144.5883	75	4.6
19	1999/06/15	16:47:34.1	42.9817	146.1683	43	5.1
20	2000/01/28	23:31:00.0	42.9800	146.7150	56	6.8

※ 地震火山月報 (カタログ編)、気象庁による。

下面の間で発生している地震である。

3. 観測記録の距離減衰特性

WISE で観測した地震記録をもとに、地震動の距離減衰に、1) 方位 (プレートの沈み込む方向との関

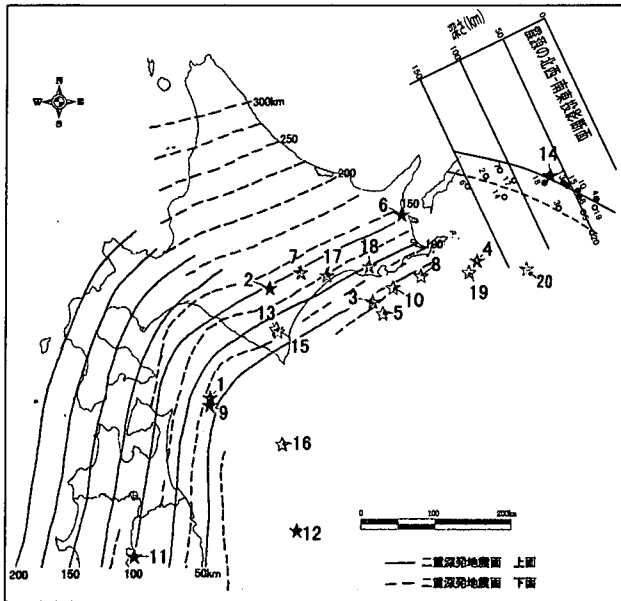


図-1 解析対象地震の震央位置図

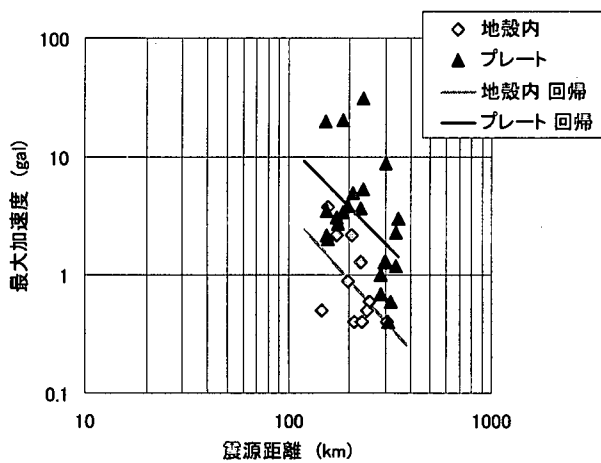


図-4 地殻内およびプレート地震による距離減衰の比較

係) や 2) 地殻内地震とプレート地震の関係がどのような傾向にあるのか、検討を行った。

(1) 方位 (プレートの沈み込む方向との関係)

図-1 に示したように北海道周辺では太平洋プレートが南東-北西方向に大陸プレートの下に潜り込んでいる。そこで、震源から太平洋プレートの沈み込む方向に存在する観測点と沈み込みと直行する方向に存在する観測点での距離減衰の違いを検討した。

検討は次の手順で行った。①震源が北海道南部でかつ北海道全域で記録が得られている地震を抽出する。②観測点を図-2 に示す北部、南部、東部、中央の 4 地域に分類する。③ 4 つの地域別に以下の回帰式を設定し、比較を行う。

$$\log A = -a \log X + b \quad (1)$$

ここに、A は最大加速度 (gal)、X は震源距離 (km)、a、b は回帰係数である。

図-3 に地域別の距離減衰を示す。今回の検討に該当する地震は、1999 年 5 月 13 日に発生した地震のみであったが、北部が他の 3 地域に比べると同じ震

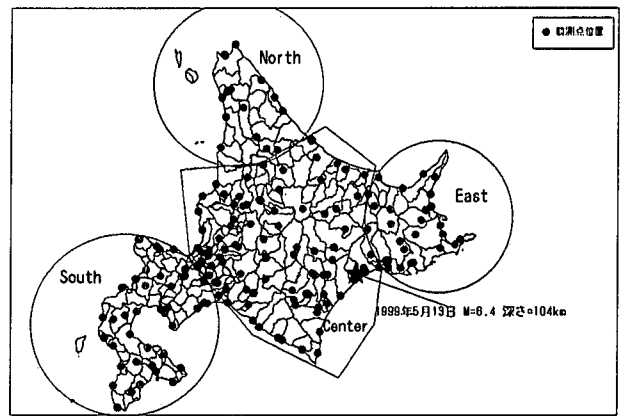


図-2 方位検討における地域分類

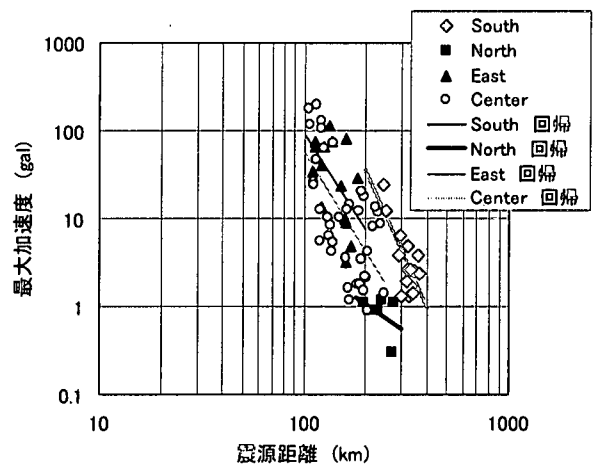


図-3 地域別の距離減衰の比較

源距離であっても地震動が小さくなっていることがわかった。この傾向は、高井ら (1998) が日高北部地震 (1987/1/14) や釧路沖地震 (1993/1/15) での高密度アンケート調査より推定された震度による地域別の距離減衰の比較³⁾と調和的である。

(2) 地殻内地震とプレート地震の関係

地殻内で発生した地震とプレート境界および内部 (以下、プレート地震) で発生した地震では震源から観測点に達するまでの伝播経路が異なるために、地震動の距離減衰特性に違いが生じることが想定される。そこで、次の手順で検討を行った。

①観測記録の中から、地殻内で発生した地震とプレートで発生した地震に分類する。②①のうちから同じマグニチュードの地震を抽出する。③地殻内地震とプレート地震ごとに (1) 式で回帰式を設定し、比較を行う。

今回の記録から地殻内地震とプレート地震でマグニチュードが一致した地震は、以下の 1 組のみであった。

- ・地殻内地震 : 1998 年 9 月 3 日
- ・プレート地震 : 1997 年 11 月 15 日

図-4 に距離減衰の比較を示す。地殻内地震はプレート地震より地震動がかなり小さくなっており、両者の違いは明瞭であった。

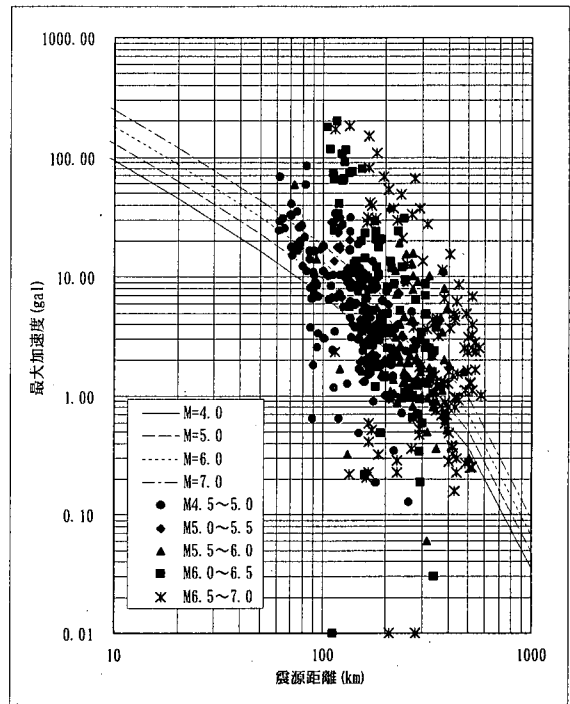
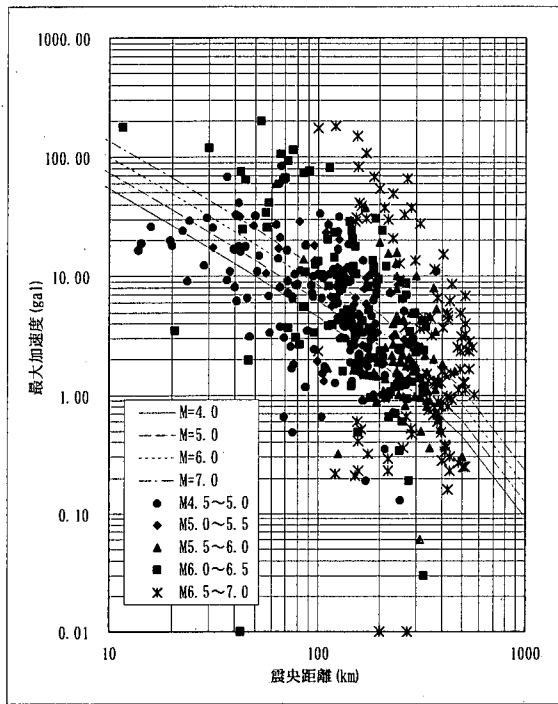


図-5 プレート地震における地表の距離減衰

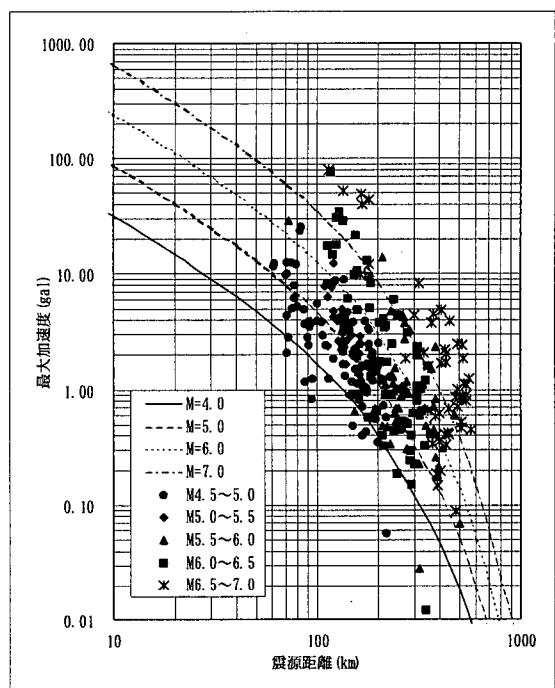
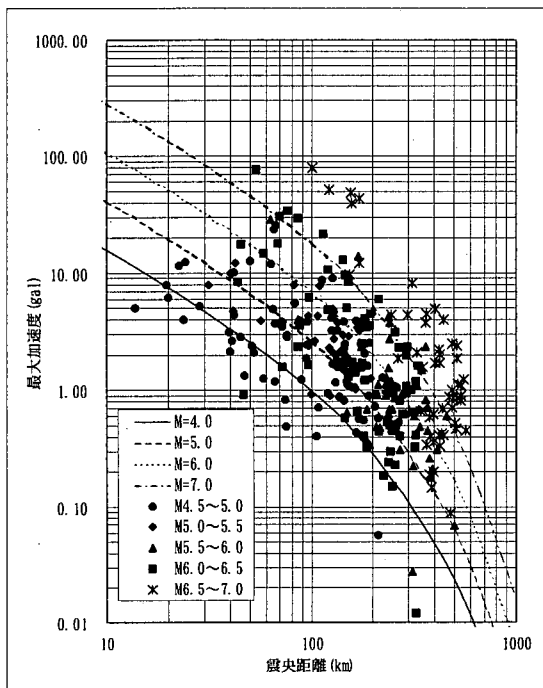


図-6 プレート地震における工学的基盤の距離減衰

4. 距離減衰式の検討

WISEで得られた地震記録を用いて、距離減衰式の作成を行った。作成した距離減衰式は地表と工学的基盤の2種類を作成し、それぞれの比較を行うとともに、既往の距離減衰式との比較も行った。

(1) 回帰分析手法

検討に用いた回帰手法は、武村ら(1987)⁴⁾が提案

した以下の2段階回帰手法を用いた。

$$\log A = aM - \log X - bX + c \quad (2)$$

ここに、Aは最大加速度(gal)、Mはマグニチュード、Xは震源距離(km)、a、b、cは回帰係数である。

(2) 地表における距離減衰式

3. (2)の検討から、地殻内地震とプレート地震に分けて検討することにした。20地震のうち19地震がプレート地震であることから、ここではプレート

表-2 2段階回帰解析結果

対象面	X	a	b	c	相関係数
地表	震央距離	0.133681	0.000777	2.205902	0.509469
	震源距離	0.142191	0.001440	2.415767	0.513095
工学的基盤	震央距離	0.419988	-0.002279	0.538720	0.642405
	震源距離	0.438237	-0.003151	0.784076	0.662889

地震について検討を行う。

まず、図-5に震源距離および震央距離と地表加速度の分布を示す。これによると、距離減衰を震源距離でまとめた方がばらつきが小さくなっている。次に、(2)式の2段階回帰手法によって距離減衰曲線を求めた。表-2に回帰係数と相関係数をまとめて示す。図-5には回帰曲線も併記している。回帰曲線から大きく離れている観測記録が存在しているのがわかる。

(3) WISE 観測地点の地盤データの収集・整理

地表での観測波形から工学的基盤における波形を求めるために、WISE 観測点の地表から工学的基盤の地盤モデルを作成した。

各観測点の地盤モデルの作成には、WISE 観測点台帳にボーリングデータがあるものはそれを使用し、無い観測点については、以下のデータを参考に地盤モデルを作成した。

- a) K-net の地盤・PS 検層データ
- b) KiK-net の地盤・PS 検層データ
- c) 既存の地盤図とボーリングデータ

c) のデータからS波速度構造を作成する際にPS検層データが無い観測点については、道路橋示方書耐震設計編⁵⁾によるN値とS波速度の関係を用いた。

なお、地盤モデルを作成できた観測点は、WISEの全観測点146点のうち105点であった。

(4) 工学的基盤における距離減衰式

観測地点の地盤モデルをもとに1次元の線形応答解析を行い、地表の波形を工学的基盤に戻した。工学的基盤における波形から最大加速度を読みとり、その距離減衰を図-6に示す。図-5に示した距離減衰特性よりも分布がかなりまとまっている。この結果を使い、2段階回帰手法によって距離減衰曲線を求め、表-2に回帰係数と相関係数をまとめるとともに、図-6に回帰曲線を併記した。

まず、相関係数を見ると、地表における回帰曲線の相関係数より高くなっており、相関が良くなっている。図-6を見ると、回帰曲線と工学的基盤での最大加速度分布との対比が良くなっている。図-5と比較すると工学的基盤の方が相関が良くなっていることがわかる。

(5) 既往の距離減衰式との比較

工学的基盤で求めた距離減衰式と既往の距離減衰式の比較を行った。用いた既往の距離減衰式は安中ら(1987)によるS波速度300m/s以上の基盤における距離減衰式⁶⁾である。図-7にM=5の時の距離減

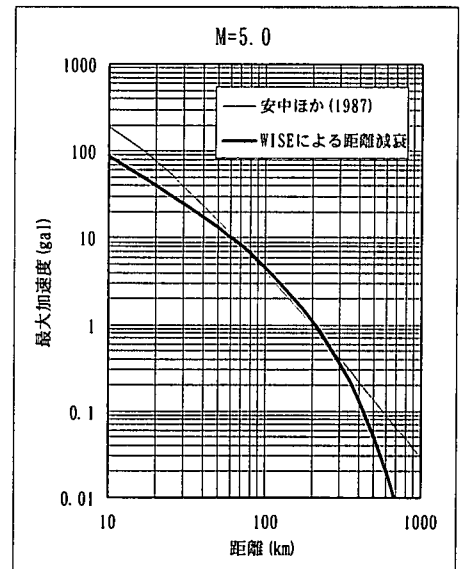


図-7 本解析結果と安中らの距離減衰の比較

衰の比較結果を示す。これによると、観測データが集中している震源距離100kmから400km付近で安中らの距離減衰と良い対応を示している。

5. おわりに

WISEによる地震観測記録をもとに、距離減衰特性について検討を行った。

今後、観測記録の蓄積および地盤データの収集により種々の検討をさらに進めていき、WISEにおける地震動算出の精度向上を図っていきたい。

なお、観測地点の地盤情報入手の際に、独立行政法人防災科学技術研究所のK-netおよびKiK-netの地盤情報を利用した。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 小林 将, 中井健司, 島田 武, 佐藤昌志: 北海道開発局の地震情報伝達システムの被害想定に関する現状と課題, 第24回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1281-1284, 1997.
- 2) 佐藤 京, 池田憲二, 藤野戸宏樹, 西村克弘: 北海道における加速度距離減衰の検討, 土木学会第55回年次学術講演会, pp.638-639, 2000.
- 3) 高井伸男, 梅田浩士, 岡田成幸: リソスフェア構造を反映させた広域震度分布予測手法の開発—北海道地域におけるアンケート詳細震度データの解析—, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp.553-558, 1998.
- 4) 武村雅之, 太田外気晴, 稗田成人: 地震動の平均応答スペクトルを評価する経験式の物理的基礎, 日本建築学会論文報告集, pp.1-9, 1987.
- 5) 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書(V耐震設計編)・同解説, 丸善株式会社, 1989.
- 6) 安中 正, 山谷 敦, 桃林治彦, 野沢是幸: 関東および周辺地域の地震観測記録を用いた基盤における最大加速度推定式の検討, 第19回地盤工学研究発表会講演概要, pp.129-132, 土木学会, 1987.