

鉄道総研の震度・加速度換算式とその利用について

2010年06月10日 株式会社ANET発行

緊急地震速報を用いて予測された震度値に、加速度・S Iの既存閾値をあてはめる方法として、(財)鉄道総合技術研究所(以下、鉄道総研という)による式をご紹介します。また、最近の比較的大きな地震における予測加速度(鉄道総研の式と緊急地震速報により計算)と実測加速度との差異について、防災科学技術研究所の強震観測網“K-NET”の実測加速度値を利用して検証した結果を示します。

1. 【緊急地震速報と震度以外の指標】

[高度利用者向け] 緊急地震速報の電文にて配信される情報に含まれる情報：

地震規模マグニチュード ・ 震央位置 ・ 震源深さ

により、任意地点での震度・主要動(≒S波)到達時刻が予測できます。ここで、震度・到達時刻(あるいは主要動到達までの猶予時分)を算出する場合、その手法について気象庁の許可を得ねばなりません。当社のように受信装置・ソフトを製作する事業者は、気象庁に手法を提示し、許可をうけております。当社ANETは、許可番号第101号です。

付記

- 緊急地震速報による震度及び猶予時分の標準的な予測手法は、「気象業務法施行規則第十条の二 第一号ロ」：平成19年11月の気象庁告示第十一号に定められている。その内容・解説は気象庁HP内：

<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/techmeeting6/shiryo2-2.pdf>

(【資料2-2 予報業務許可の技術基準について】で検索してください)

に詳しい。この手法は、気象庁が予測計算に用いる手法である。なお、当社が気象庁から許可を受けた手法も、上記とほとんど同じである。

- 気象庁に予報業務の許可を受けた事業者は、気象庁HP内に発表されている。

http://www.jma.go.jp/jma/kishou/minkan/minkan_jishin.html

なお、気象庁は随時許可事業者に立入検査を実施している。

- 緊急地震速報の受信装置・ソフトのなかには、予測計算に関する部分を許可事業者が担当している場合もある。ANETの配信および(株)パトライト様製の受信端末をご利用の場合、予測計算の部分はANETが責任をもってお届けしている。

付記

一部許可事業者様（ANETと提携）製作による受信装置でも、ANETの配信を受信可能である。この場合予測計算結果については各許可事業者様が責任をもつ。なお、ANETが提携している事業者様は、いずれも信頼性の高い許可事業者様である。当社でも動作試験・検証を実施している。

緊急地震速報を実際にご利用するにあたり、既存装置・基準との整合性を考慮して震度以外の指標：たとえば加速度の値が必要となる場合があります。その場合の対処方法については、ANETにご相談お願い致します。対処方法は以下の2通りとなります。

- ①受信装置にて緊急地震速報から加速度・S Iの値を予測する。その加速度・S Iの値に、既存の閾値を適用する。
- ②加速度・S Iの既存閾値から震度の閾値を求める。その閾値を、受信装置にて緊急地震速報から予測された震度値に適用する。

※ S I（スペクトル強度）：地震動による一般的構造物の揺れの程度を示す指標のひとつである。

いずれの場合でも、ANETではいくつかの方法を提供しております。ここでは、鉄道総研による研究成果：新しい解析・処理により求められた式（以下、鉄道総研式と称します）をご紹介します。これは統計処理による経験式です。

$$[PGAJR] = 10^{\left(([震度値] - 0.53) / 1.85 \right)}$$

[PGAJR]：JR警報用地震計の加速度値 単位はガル（1gal = 1 cm/s²）

$$[S I] = 10^{\left(([震度値] - 2.45) / 1.86 \right)}$$

[S I]：S I値 単位はカイン（1kine = 1 cm/s）

付記

上記の式を大雑把にみれば、

$$[PGAJR] \approx [S I] \times 10^{\left(\text{約} 1.9 / \text{約} 1.85 \right)} \approx 10 \times [S I]$$

となる。S I値は、加速度値のだいたい1/10であるといえる。

まず予測震度を求め、それを換算する流れとなります。それぞれの式の算出過程等については、下記文献を御覧ください。

「地震時運転規制に用いる指標と鉄道被害の統計的な関係」 中村ほか

鉄道総研報告 vol. 19, No. 10, 2005. 10

付記

2004年中越地震・2007年中越沖地震・2008年岩手宮城内陸地震の実測震度と実測加速度（主にK-NET地震計による）を用いて換算式の傾向を調べたところ、

$$\text{【実測加速度】} \approx \text{【震度から鉄道総研式により換算した加速度】}$$

$$> \text{【震度から河角式により換算した加速度】} \left(\approx \text{【福島田中式による加速度】} \right)$$

という傾向があった。

※福島田中式：断層からの距離に基づく地震諸元－加速度の関係式。耐震工学の分野で多用される。

2. 【加速度値の予測 最近の地震による検証】

前頁“鉄道総研式”のうち、加速度予測結果について検証例を示します。

ここでは、最近の比較的大きな地震における K-NET 地震計の位置での以下 2 種類の加速度値を比較します。

- ① **実測** の最大加速度 (K-NET 地震計測定結果)
- ② K-NET 地震計と同一地点において、**早い段階の緊急地震速報** (初報発報後 3 秒以内で地震規模 M が最大のもの) の情報から **A NET の予測手法** (気象庁許可・気象庁手法に準拠) により **予測震度値** (小数点以下まで) を求め、さらに **鉄道総研式** によって換算した **EEW 予測震度換算加速度**

EEW：“緊急地震速報”の略

“K-NET”とは、防災科学技術研究所の強震観測網です。全国に約 25 km の間隔で地震計が設置されています (全国におよそ 1000 個)。そして波形が後に公開され、地震ごとに地震計ごとの地震波形をダウンロードすることができます。だいたい 1.2 ガル以上を感知した地震計の地震波形が公開されているようです。

<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>

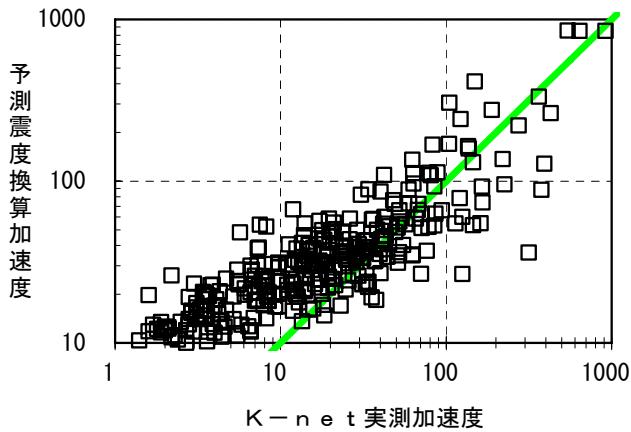
The screenshot shows the K-NET website interface. The left pane displays search filters and a list of earthquake events. The right pane shows a detailed list of maximum acceleration data for the event on 2009/08/09 at 19:56:00.00. A red arrow points from the search results to the data table.

コード	観測点名	緯度	経度	最大加速度 (ガル)	計測震度	
		北緯	東経	N-S	E-W	U-D
KNG201	平塚ST1	34.936	139.818	127	71	8
TCC014	茂木	36.545	140.174	71	88	24
CHB028	市川北	35.768	139.968	46	81	23
KNG202	平塚ST2	34.740	139.839	72	82	39
TCG009	今市	36.728	139.715	78	73	27
IBR015	笠間	36.395	140.237	73	47	28
IBR004	大宮	36.552	140.410	60	46	14
TCG008	鹿沼	35.580	139.768	59	64	28
FKS006	喜尾	37.503	140.759	54	60	19
IBR003	日マ	36.592	140.645	58	51	27
IBR018	狭野	36.158	140.489	58	60	34
IBR017	高萩	36.708	140.707	49	49	16
IBR001	大子	36.776	140.357	55	36	16
TKY017	辰巳	35.647	139.809	55	43	20
CHB018	勝浦	35.158	140.322	57	36	19
KNG203	平塚ST3	34.798	139.843	43	52	7
CHB001	野田	35.358	139.873	54	35	12
KNG001	川崎	35.529	139.706	26	53	31
CHB003	白井	35.794	140.056	43	48	19
TKY021	狭江	35.688	139.819	51	32	15
GNM009	桐生	36.411	139.325	31	50	23
CHB014	姉崎	35.477	140.049	32	43	28
CHB002	松戸	35.787	139.303	40	45	22
TCG011	喜生	36.387	139.614	27	46	14
CHB022	富津	35.308	139.860	33	37	16
CHB007	佐倉	35.911	140.227	46	37	13
IBR018	取手	35.911	140.049	31	39	21
TCG012	小山	36.286	139.805	34	42	17
IBR005	平塚	35.087	139.378	44	44	7
KNG206	平塚ST6	35.097	139.378	44	44	7
MYG015	岩沼	38.105	140.870	40	33	14
SIT007	東松山	36.054	139.391	20	41	8
CHB020	鴨川	35.115	140.102	24	39	18
FKS016	白河	37.123	140.191	31	29	11
IBR012	石岡	36.190	140.287	38	37	18
TKY018	八枝	35.655	139.811	37	33	21
FKS008	船引	37.436	140.657	35	36	12
FKS009	小野	37.278	140.635	38	32	9
SIT011	川口	35.810	139.721	28	33	10
IBR015	若井	36.058	139.303	33	31	15
KNG205	平塚ST5	34.941	139.421	31	36	5
TKY016	東妻	35.648	139.739	24	30	23
IBR010	下妻	36.184	139.965	35	33	12
CHB008	浦安	35.654	139.302	30	31	19
TCG005	年保	36.886	139.828	25	32	9

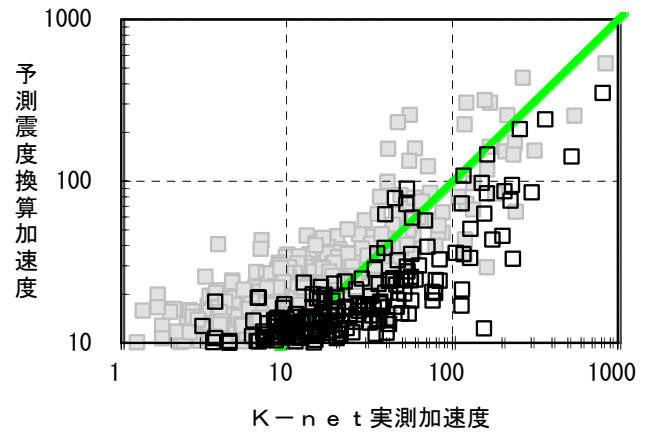
- ・ 波形の入手には登録 (無料) が必要です。
- ・ 以前は地震計ごとの計測震度参考値も公表されていましたが、昨年より公開になっています。

次頁に検証結果を示します。

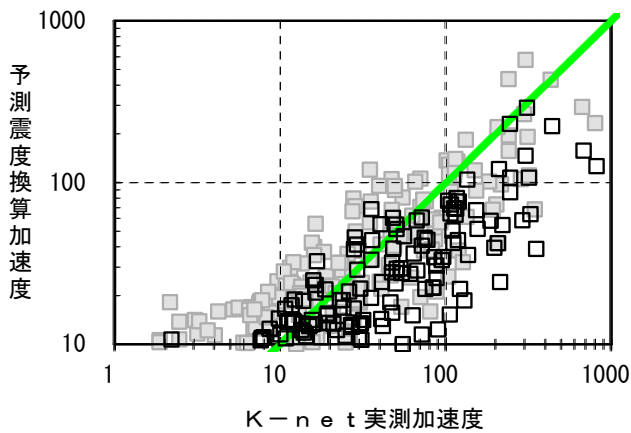
■ 実測加速度値と予測加速度値（鉄道総研式により緊急地震速報予測震度から換算）



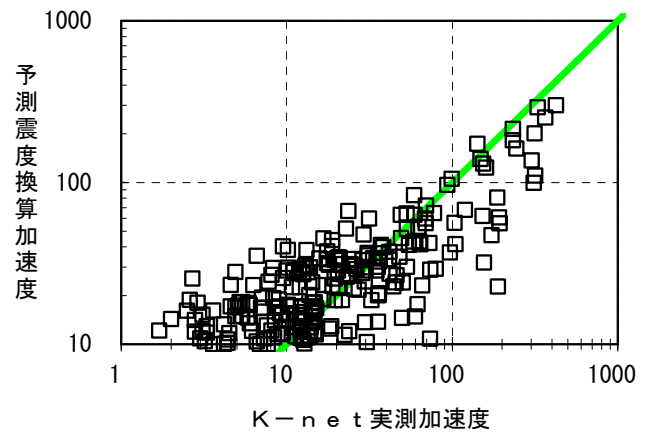
2004年 中越地震 (M6.8)



2007年 中越沖地震 (M6.6)

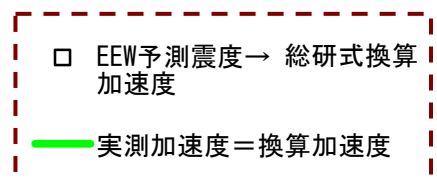


2008年 岩手宮城内陸地震 (M7.2)



2009年 駿河湾の地震 (M6.5)

横軸が実測加速度、縦軸が換算による予測加速度です。
 緑太線は予測＝実測となるところです。この線より左上側では、実測加速度値より予測加速度値が大きいです。



上図中“□”各点は、緊急地震速報のうち初報発報後3秒以内で地震規模Mが最大である速報の諸元を用いた予測加速度です。岩手宮城内陸地震・中越沖地震において実測加速度に比して予測加速度が小さいのは、これらの地震の際最初のほうの情報での地震規模Mの推定が小さめだったためです。参考までに、“■”で初報発報後6秒の速報の諸元による予測加速度を示します。ほかの地震と似た傾向があるといえます。

いずればらつきはありますが、“予測震度換算加速度値”が40ガル前後より小さい場合、実測加速度値より大きめ：過大な値となっています。そして、40ガル前後より大きい場合、実測値加速度値前後になっています。

付記

緊急地震速報については精度向上の努力が重ねられ、最初のほうの速報における地震規模推定精度はかなり向上している。このことについてはいずれ当技術レポートなどでもご紹介する予定であるほか、気象庁HPに詳しい。

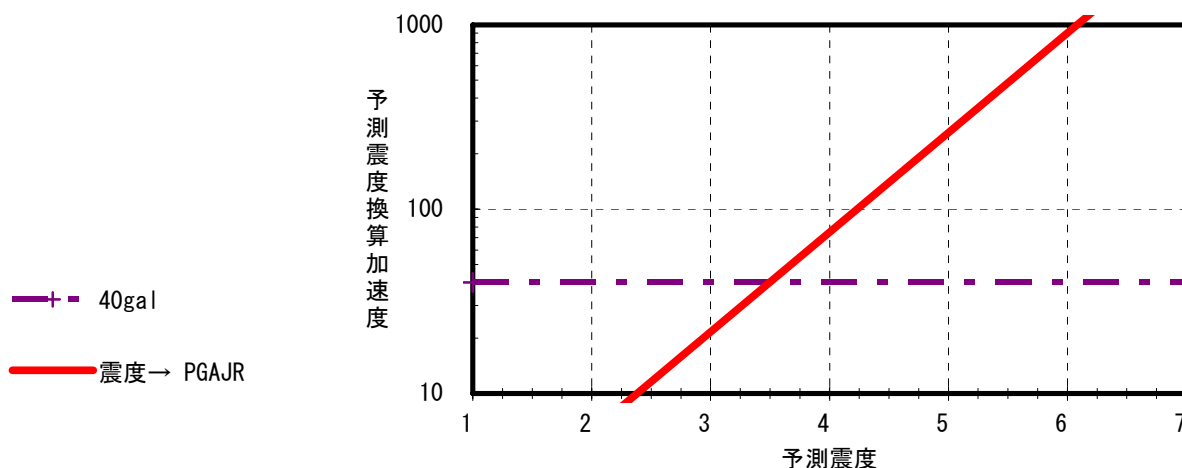
なお、“予測震度換算加速度”は、予測震度と同様、通常地震計配置より細かく計算可能です。点としての加速度分布ではなく、線や面に近いレベルでも計算可能です。そのため、通常地震計がない地域で通常地震計より大きい震度を予測する可能性は高いです。

例えば、緊急地震速報により震度5弱が予測されない＝テレビ等で“警報”が放送されない場合でも、震度予測計算地点によっては予測震度が5弱を超える可能性があります。“警報”とはあくまでも全国約4000点の震度計位置での予測震度に基づいて発令されますが、震度計位置近辺で震度計位置より地盤が悪いところは珍しくありません。そういうところが予測対象地点であれば、ANET製作機器（手法は気象庁手法とほぼ同じ）が大きな震度を予測することもあります。

3. 【加速度・S Iの閾値を震度の値に換算】

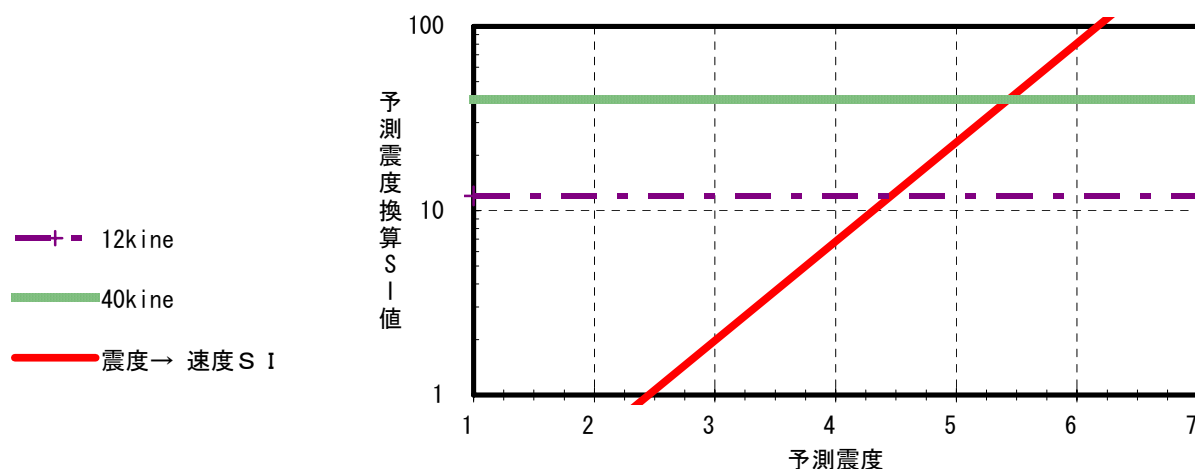
次に、加速度・S Iの既存閾値を震度の値に読み替えることを考えます。前出のように“鉄道総研式”によって“予測震度”を換算して得られる加速度値が40ガル程度以上であれば、実測加速度値とある程度一致します。したがって、加速度・S Iの閾値がある程度大きい場合、閾値を震度値のかたちに変換してもよいでしょう。

鉄道総研式による“予測震度”と“予測震度換算加速度”との関係は、下図のようになります。たとえば実測加速度40ガルという閾値の場合、震度値でいえば3.5、すなわち震度階4の下限、に相当するといえます。



(予測) 震度と、(予測) 震度換算加速度値との関係

同様に、鉄道総研式による“予測震度”と“予測震度換算 S I”との関係は、下図のようになります。S I の閾値が 12kine であれば、震度値でいえば 4.5、すなわち震度階 5 弱の下限に相当するといえます。



(予測) 震度と、(予測) 震度換算 S I 値との関係

4. まとめ

鉄道総研の震度・加速度換算式の利用について

“鉄道総研式”は、以下のように利用することができます。

- ①受信装置にて加速度・S I の値を予測：それらに既存の閾値を適用する場合
 → “鉄道総研式”にて震度値を換算して加速度・S I の値を予測する。
 予測加速度値が 40 ガル程度以上 ⇨ だいたい震度 4 以上なら概ね妥当
 予測加速度値が 40 ガル程度未満なら、やや過大

※ 実測の最大加速度 (K-NET 地震計測定結果) および
 K-NET 地震計と同一地点において 早い段階の緊急地震速報 (初報発報
 後 3 秒以内で地震規模 M が最大のもの) の情報から ANET の予測手法
 (気象庁許可・気象庁手法に準拠) により 予測震度値 を求め、さらに
 鉄道総研式によって換算した予測加速度 を用いた検証にて確認

- ②加速度・S I の閾値から震度の閾値を求め、受信装置にて予測された震度値
 に適用する場合
 → “鉄道総研式”にて閾値を換算する。
 閾値 40 ガル -----→ 震度階 4 (以上) に相当
 閾値 12kine -----→ 震度階 5 弱 (以上) に相当

以上