

北海道の地域特性を考慮した設計入力地震動の検討 (地震観測記録に基づく、設計応答スペクトルの検討)

Study on design input motion in consideration of local site characteristics in Hokkaido, JAPAN
(Study on design response spectra based on an earthquake records)

飛島建設 技術研究所 ○ 正員 池田隆明(Takaaki IKEDA)
土木研究所 寒地土木研究所 正員 佐藤 京 (Takashi SATOH)
土木研究所 寒地土木研究所 正員 西 弘明(Hiroaki NISHI)
飛島建設 技術研究所 正員 上明戸昇(Noboru KAMIAKITO)
飛島建設 技術研究所 正員 柴田 登 (Noboru SHIBATA)

1. はじめに

耐震設計に用いるべき設計入力地震動は、対象とする地域の地震活動や地盤特性等を考慮して設定すべきであると考え、これまでに北海道の地域特性を考慮した北海道の耐震設計法に関する研究を行っている。

道路橋梁の設計基準である道路橋示方書¹⁾では、地震の種類・地震動レベル・地盤種別に応じて設定される加速度応答スペクトルに基づく地震動と、断層モデルを用いて算定される地震動の2種類を耐震性能の照査に用いる設計地震動と規定している。

地域特性を考慮した地震動を設定するためには、後者の断層モデルを用いて算定される地震動の方が適切であると考えられる。しかし、算定に必要な活断層の情報(規模、頻度、メカニズム他)や地盤の情報(深部、浅部他)等の解明が面的に進んでおらず、中規模以下の構造物には適用しにくいという課題があることから、著者らは、先に一般的に用いられている加速度応答スペクトルに基づく設計入力地震動を研究対象とした。

これまでに2003年十勝沖地震において観測された地震動記録を用いて、標準加速度応答スペクトルの検討を行った。対象は、最も地震危険度が高いと考えられる道路橋示方書・同解説 耐震設計編の地域別補正係数がAの地域区分に分類される地域とした²⁾。その結果、全てのスペクトルを包絡するようなスペクトルを設定すると、現行の標準応答スペクトルを部分的に上回ることで、スペクトルに見られる特異な周期特性を考慮すると、現行の標準応答スペクトルの最大値を超えないスペクトル特性を抽出出来ることがわかった。一方、詳細にスペクトルの分類を行っても、海洋性の大規模地震を想定したタイプのスペクトルを上回ることがわかった。

観測されたスペクトルを詳細に検討すると、同じAの地域区分であっても、スペクトル強度にばらつきがあり、地域区分だけで一つのスペクトルに代表させることは妥当ではないと考えられたことから、Aの地域区分の細区分を行い、標準加速度応答スペクトルの検討を行った。

その結果、加速度応答スペクトルの形状は、震源からの距離では整理が難しいが、地盤の増幅特性との相関が高いことがわかった。具体的には、地盤の増幅特性(最大速度)が1.6以下の地盤では、現行の標準加速度応答スペクトルよりも低いスペクトル特性を示すことが明らか

になり、地盤の増幅特性に応じて加速度応答スペクトルを設定することにより、より合理的な耐震検討を行うことが可能であることがわかった³⁾。

本検討では、地域別補正係数がBとCの地域に対して、設計応答スペクトルの検討を行う。また、設定した応答スペクトルに準拠する地震動を作成し、地域特性を考慮した場合としない場合の地震動の比較を実施する。

2. 検討条件

設計応答スペクトルの検討には、北海道周辺の内陸活断層を除く地震発生源で発生した地震による観測記録を使用する。検討に使用した地震の諸元を表-1に示す。

検討に用いる地震動記録は、WISE と K-NET の観測記録である。K-NET の観測は1996年以降のため、2003年十勝沖地震による地震動記録以外は、WISE の観測記録である。対象とする地震が太平洋および日本海で発生していることから、観測記録が得られた地震観測点には偏りがあるが、2003年十勝沖地震では震源から離れた北海道の北部地域の観測点において記録が得られている。

表-1 検討に用いる地震の諸元

No	地震名称	発震日時	Mj	震源		最大震度
				緯度・経度	深さ	
1	浦河沖 (浦河沖の地震)	1982/03/21 11:32:05.7	7.1	42.0667 142.6000	40	6
2	釧路沖 (プレート内地震)	1993/01/15 20:06:07.2	7.5	42.9167 144.3567	101	6
3	北海道南西沖 (日本海東縁部の地震)	1993/07/12 22:17:11.7	7.8	42.7800 139.1833	35	5
4	北海道東方沖 (プレート内地震)	1994/10/04 22:22:56.9	8.2	43.3717 147.6783	28	6
5	十勝沖 (プレート間地震)	2003/09/26 04:50:07.4	8.0	41.7750 144.08817	45	6弱

3. 設計応答スペクトルの検討

既報^{2),3)}と同様に、地震観測記録に基づき、設計応答スペクトルの検討を行う。設計応答スペクトルは、全ての応答スペクトルを包絡する応答スペクトルと、特異データを除外した応答スペクトルの2種類を設定する。

図-1～図-3に設定した応答スペクトルを示す。全ての応答スペクトルを包絡するように設定した応答スペクトルと、地域区分Aにおける特異データを除外した応答スペクトルは既報による検討結果である。なお、本報告で示す加速度応答スペクトルとは、減衰定数5%の応答スペクトルである。

3.1 地域区分B

(1) 種地盤

HKD129(苫小牧)と HKD130(白老)の応答スペクトルは、0.1～10 秒の周期帯域で大きな卓越が見られず、2 秒を超えてもほぼフラットなスペクトル特性を示す。これは、勇払平野特有の地盤構造により生成された、長周期地震動の影響と考えられる。このような長周期成分における増幅は 種地盤の他の地域では見られないことから、このスペクトルを除外する。図-2(a)に HKD129 および HKD130 を除外した応答スペクトルを包絡するように設定した応答スペクトルを示す。

(2) 種地盤

HKD184(千歳)と i002k002(千歳道路維持事業所)の応答スペクトルは、5 秒を超える長周期領域において大きい振幅を示す。これは、種地盤と同様に勇払平野特有の地盤構造により生成された長周期地震動の影響と考えられ、種地盤の他の地域では見られないことから特異データと判断し、このスペクトルを除外する。図-2(b)に HKD184 および i002k002 を除外した応答スペクトルを包絡するように設定した応答スペクトルを示す。

(3) 種地盤

i204k003(森町上鳥崎橋)と i206k002(七峰橋)の応答スペクトルは、0.2 秒以下の短周期領域において大きい振幅を示す。種地盤の他の地域では見られないことから特異データと判断し、これらのスペクトルを除外する。図-2(c)に i204k003 および i206k002 を除外した応答スペクトルを包絡するように設定したスペクトルを示す。

3.2 地域区分C

(1) 種地盤

i505k001(チバペリダム)の応答スペクトルは、長周期領域のみ大きい振幅を示し、種地盤としては他と異なる。また、HKD050(白滝)の応答スペクトルは、橋脚に影響を与えない短周期領域のみ大きい振幅を示す。これらを 種地盤としては、特異と考え除外する。図-3(a)に HKD050 および i505k001 を除外した応答スペクトルを包絡するように設定した応答スペクトルを示す。

(2) 種地盤

HKD016(遠別)の応答スペクトルは、種地盤の他の記録と異なり、やや長周期領域においてのみ大きい振幅を示すため、特異な記録として、このスペクトルを除外する。図-3(b)に HKD016 を除外した応答スペクトルを包絡するように設定した応答スペクトルを示す。

(3) 種地盤

i504k002(幌延築堤)の応答スペクトルは、種地盤の他の記録と異なり、長周期領域のみ大きい振幅を示す。また、i704k001(丸瀬布町南丸)は、橋脚に影響を与えない短周期領域のみ大きい振幅を示す。これらを 種地盤としては、特異と考え除外する。図-3(c)に HKD050 および i505k001 を除外した応答スペクトルを包絡するように設定した応答スペクトルを示す。

4. 応答スペクトルに準拠した地震動の作成

設定した応答スペクトルに準拠した地震動(時刻歴波

形)の作成を行う。時刻歴波形の作成には、いろいろな方法が提案されているが、本検討では最も一般的な正弦波合成法を使用する。

4.1 正弦波合成法

加速度時刻歴を振幅および振動数の異なる複数個の正弦波から構成されるものとして、(1)式で定義する。

$$y(t) = e(t) \sum_{i=1}^N A_i \cos(\omega_i t + \phi_i) \quad (1)$$

ここで、 $y(t)$:求める加速度時刻歴、 N :成分個数、 $e(t)$:非定常性を与える包絡関数、 A_i :成分の振幅、 ω_i :成分の円振動数($=2\pi f_i$)、 ϕ_i :成分の位相角である。

正弦波合成法では ϕ_i に乱数を用いることが多いが、ここでは包絡関数($e(t)$)を用いず、 i 成分の位相角(ϕ_i)に観測された地震動波形の位相角を用いることとする。

各振動数成分の振幅(A_i)は、時刻歴波形($y(t)$)から計算された応答スペクトルが、目標とする応答スペクトルに一致するように繰り返し計算を行う。 A_i の初期値は、非減衰の速度応答スペクトルがフーリエ振幅スペクトルとほぼ一致することから、(2)式のように設定する。

$$A_i = \frac{2}{T} S v_i^{(h=0.0)} \quad (2)$$

繰り返し計算では、繰り返し数を k とすると、下式に示すように($k+1$)回目の合成に用いる振幅は、その1回前の k 回目で計算した応答スペクトルと、目標応答スペクトルとの比を用いて(3)式のように設定する

$$A_i^{(k+1)} = A_i^k \times \frac{S v^{k+1}}{S v^k} \quad (3)$$

全ての振動数成分において、目標応答スペクトルと計算された応答スペクトルが完全に一致することは困難であるため、事前に適合条件を決め、その範囲に収まった際に繰り返し計算が収束したと見なす。

4.2 位相特性の設定

地盤種別毎に位相特性に用いる地震動を設定する。地震動は、最も地震動の大きい 2003 年十勝沖地震での観測記録から設定する。表-2 および図-4 に位相特性に使用した地震動波形を示す。

表-2 時刻歴波形の作成において位相特性に用いる地震動

地域区分	種地盤	種地盤	種地盤
A	HKD098-EW 大樹	i807k002-EW 池田河川事業所	i804k002-EW 大樹町生花
B	HKD055-NS 美幌	i706k002-NS 美幌	HKD180-NS 札幌
C	HKD022-NS 増毛	HKD048-NS 湧別	i704k002-EW 志撫子橋

4.3 時刻歴波形の作成結果

図-5～図-7 に正弦波合成法により作成した時刻歴波形を示す。各波形とも上段が道路橋示方書・同解説 耐震設計編のタイプ (海溝型地震)の応答スペクトルに準拠した地震動、中段が全ての応答スペクトルを包絡す

るスペクトルに準拠した地震動、下段が特異データを除外した応答スペクトルに準拠する地震動である。

地域区分がAの時刻歴波形は、応答スペクトルが道示のスペクトルを大幅に上回ることから、最大加速度も道示のスペクトルに準拠した時刻歴波形の最大加速度の2～3倍程度である。

地域区分がBの時刻歴波形は、種地盤を除き道示のスペクトルよりも低く設定されているため、最大加速度も小さい。道示のスペクトルに準拠した地震動の最大加速度が、種地盤が257cm/s/s、種地盤が415cm/s/s、種地盤が336cm/s/sであるのに対して、全てのスペクトルを包絡するように設定した応答スペクトルに準拠する地震動は、種地盤が196cm/s/s、種地盤が273cm/s/s、

種地盤が408cm/s/sである。見かけ上、種地盤は最大加速度が大きいが、これは最大加速度に大きく影響するごく短周期のスペクトルによるものと考えられる。

地域区分がCの時刻歴波形は地域区分がBと同様に、道示のスペクトルよりも大幅に低く設定されているため、最大加速度もかなり小さい。特に種地盤では1/4以下である。

道路橋示方書・同解説では、Bの地域区分については標準スペクトルの0.85倍、Cの地域区分については0.7倍に低減しているが、北海道において観測された地震動記録に基づいて設定された応答スペクトルは、この低減したスペクトルを下回ることがわかった。

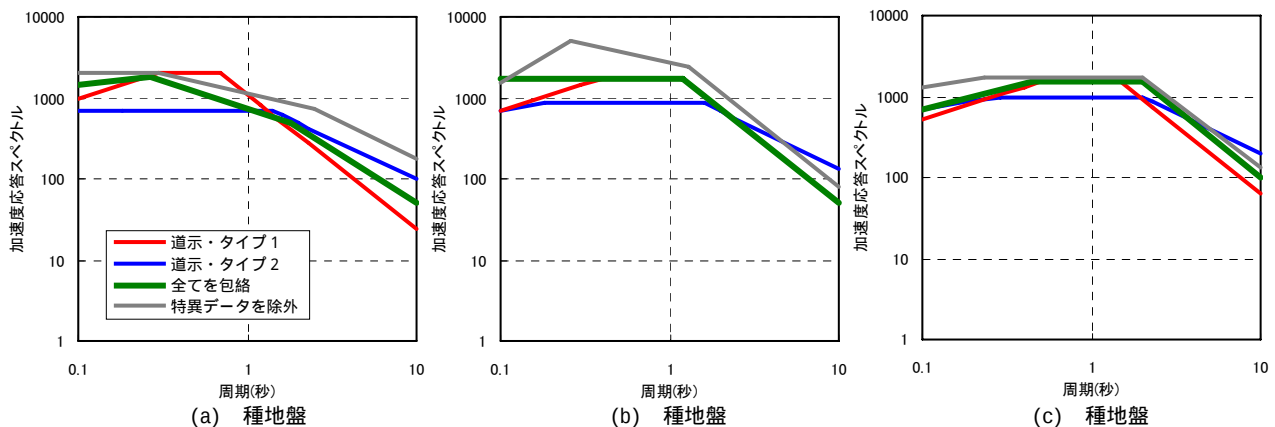


図-1 地域別補正係数がAの地域区分における加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)

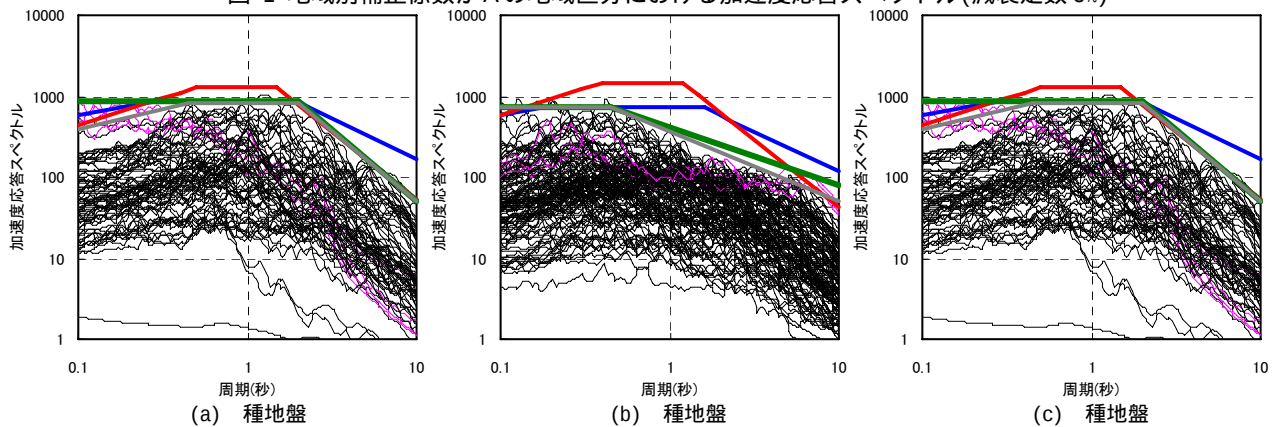


図-2 地域別補正係数がBの地域区分における加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)

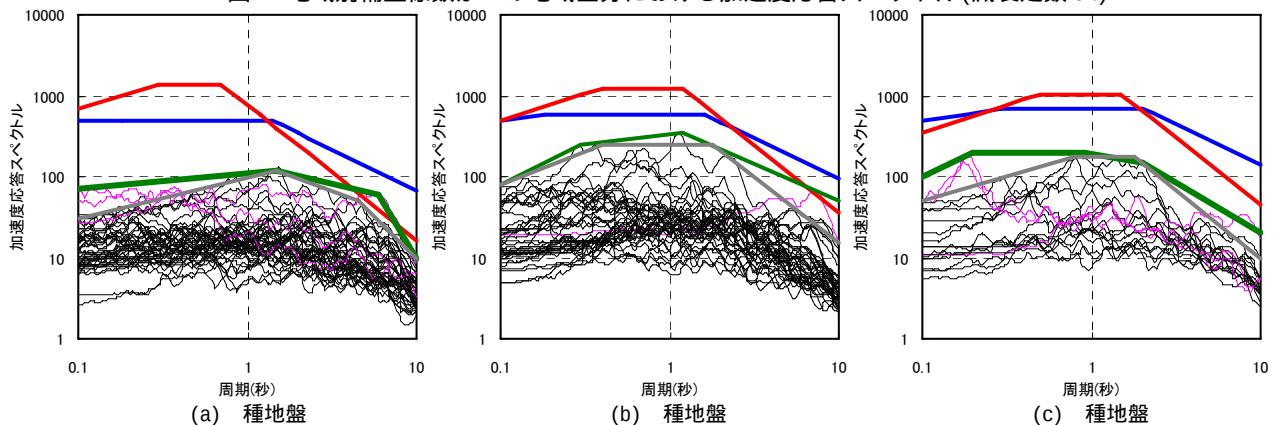


図-3 地域別補正係数がCの地域区分における加速度応答スペクトル(減衰定数 5%)

5. まとめ

北海道の地域特性を考慮した北海道の耐震設計法に関する研究の一環として、設計入力地震動の設定に用いる設計応答スペクトルの検討を行った。設計応答スペクトルは、北海道において観測された地震動に基づいて設定した。さらに設定した応答スペクトルに準拠した地震動の作成を行った。

その結果、地域別補正係数が B および C の地域では、道示のスペクトルを下回る設計応答スペクトルを設定することができた。さらに、観測応答スペクトルの特異データを除外することにより、さらに低い設計応答スペクトルを設定することが可能となった。作成された地震動も、道示の設計応答スペクトルに準拠した地震動よりも大幅に振幅が低減された地震動となった。

今後、これらの知見を耐震設計法としてとりまとめる予定である。

【謝辞】

K-NET の観測記録と地盤条件を使用させていただきました。

【参考文献】

- 1) 道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編
- 2) 佐藤京他：北海道の地震活動度を考慮した設計入力地震動の検討，-観測記録を用いた標準加速度応答スペクトルの検討-，土木学会第61回年次学術講演会，2006.
- 3) 池田隆明他：北海道の地震活動度を考慮した設計入力地震動の検討，-サイト特性を考慮した標準加速度応答スペクトルの検討-，土木学会第61回年次学術講演会，2006.

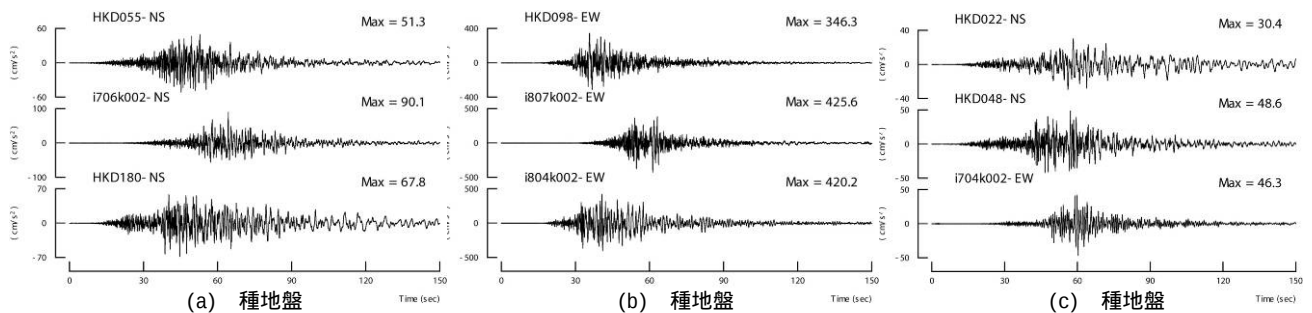


図-4 正弦波合成法の位相特性に用いる観測地震動

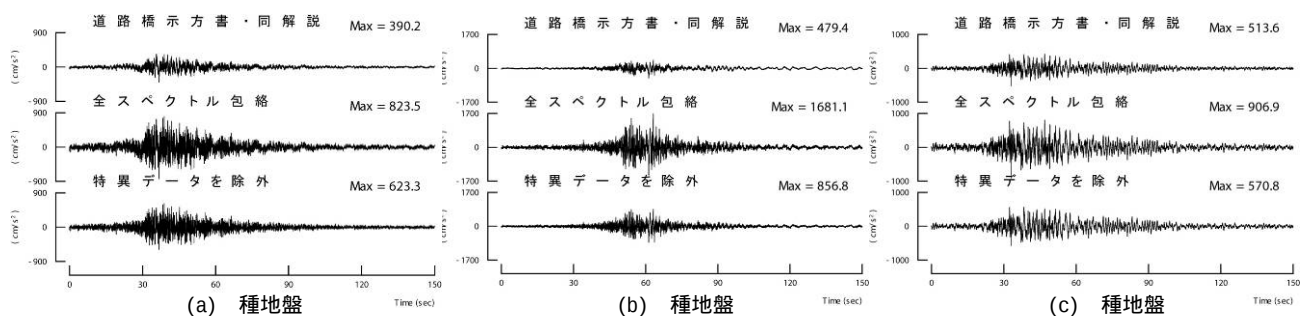


図-5 地域別補正係数がAの地域区分の応答スペクトルに準拠した地震動

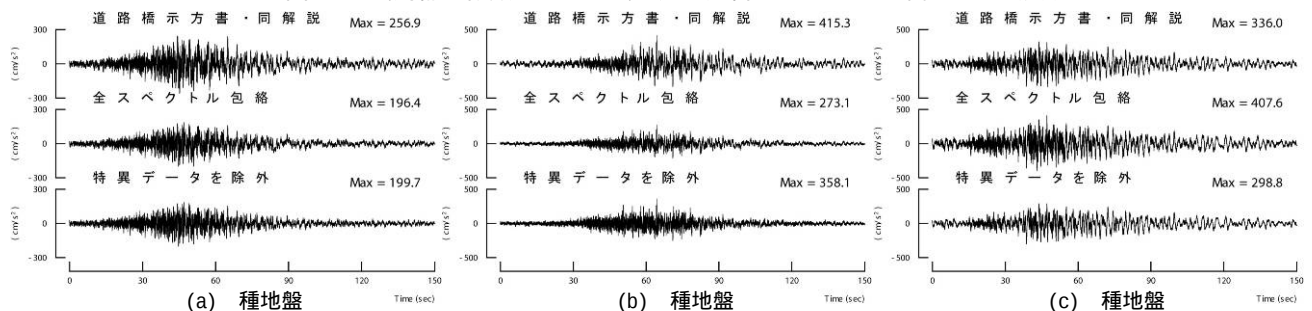


図-6 地域別補正係数がBの地域区分の応答スペクトルに準拠した地震動

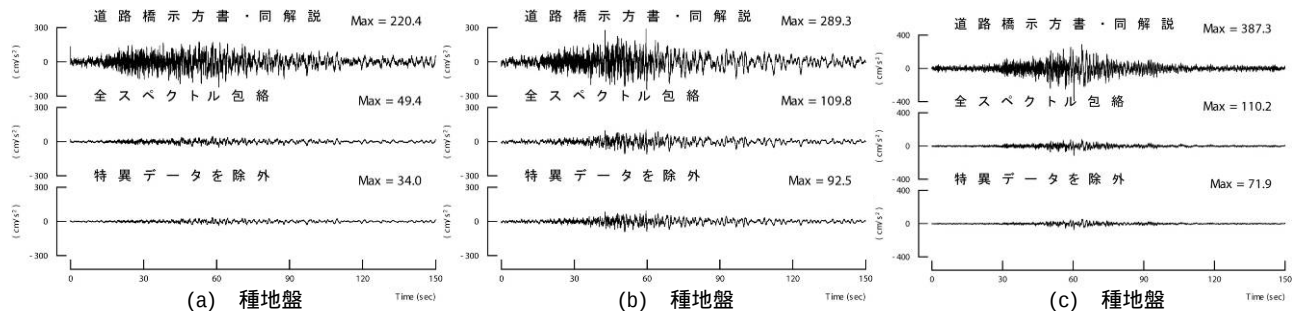


図-7 地域別補正係数がCの地域区分の応答スペクトルに準拠した地震動