

水平 2 成分の軸の回転が地震動の振幅・継続時間特性に及ぼす影響

岐阜大学大学院 学生会員 ○高島 拓也
岐阜大学工学部 正会員 能島 暢呂

1. 研究の目的

強震観測では通常、直交水平 2 成分と鉛直成分の 3 成分が記録される。水平成分の振幅・継続時間特性を論じる際には、地震計の設置方位に依存しない指標の方が望ましい場合がある。Boore¹⁾は水平 2 成分の加速度波形を用いて回転角 $0^\circ \leq \theta < 180^\circ$ として加速度応答スペクトルの 0, 50, 100 パーセンタイル値（最小値、中央値、最大値）を求め、地震計の設置方位に依存しない指標とする方法を提案した。Lee²⁾はこの方法を Significant/Relative 継続時間 D_{5-95} [s] および D_{5-75} [s] に適用して、方位が継続時間の評価値に与える影響について考察した。

本研究では既往研究に加え、加速度が任意の閾値を超えた正味の時間である D_U [s] (Uniform 継続時間)、閾値を最初に超えてから最後に下回るまでの時間である D_B [s] (Bracketed 継続時間) についても評価を行い、さらに最大加速度: $X_{\max}$ [cm/s²] やトータルパワー: P_T [cm²/s³] と、継続時間の各指標の相互関係を総合的に評価することを目的とする。

2. 評価方法

NS 成分, EW 成分加速度をそれぞれ $X_{NS}(t)$, $X_{EW}(t)$ として、北から時計回りに角度を θ だけ回転させ、新たな軸に対して得られる成分をそれぞれ $X_{rot}(\theta, t)$, $X_{rot}(\theta+90^\circ, t)$ とする ($0^\circ \leq \theta < 180^\circ$)。

$$X_{rot}(\theta, t) = X_{NS}(t) \cos(\theta) + X_{EW}(t) \sin(\theta) \quad (1)$$

水平 2 成分のベクトル合成波形は次式を満たし、方位依存性を持たない不変量であることから、すべての指標もまた θ に対して不変量となり、これに関する指標を添字 vec で区別して比較を行う。

$$X_{vec}(t) = \sqrt{X_{NS}^2(t) + X_{EW}^2(t)} \quad (2)$$

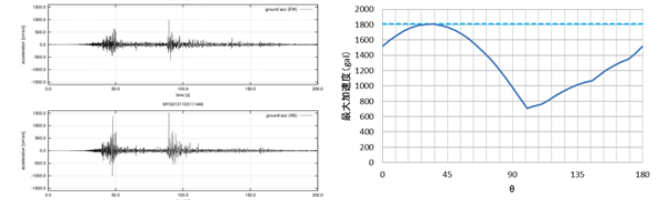
以上の X_{rot} , X_{vec} を用いて、振幅特性 ($X_{\max}$, P_T)、継続時間指標 (D_U , D_B , D_{5-75} , D_{5-95}) を求め、各指標への方位の影響と指標相互の関係を総合的に考察する。

3. K-NET 仙台の強震記録を用いた評価例

2011 年東北地方太平洋沖地震における K-NET 仙台 (MYG013) の水平 2 成分の加速度波形を用いて、 θ と各指標との関係を、 X_{rot} を実線、 X_{vec} を破線として図 1 に示す。加速度波形には、多重震源に伴う波形の分離が顕著に見られ、双峰形の波形となっている。図 1(b) の $X_{\max}$ は θ により大きく変化し、 $\theta=30^\circ$ の最大値と $\theta=100^\circ$ の最小値とで 2.5 倍以上の開きがある。 $\theta=0^\circ \sim 100^\circ$ の範囲では正弦関数状となっており、単一の最大値に支配されている。図 1(c) の P_T の θ に対する変動は完全に正弦関数であり、強軸と弱軸はそれぞれ 10° と 100° である。 D_{5-75} および D_{5-95} についてはいずれも 70° 付近で最大値となっており、 D_{5-95} については正弦関数状であるが、 D_{5-75} については明確ではない。 $D_{5-75vec}$ および $D_{5-95vec}$ はそれぞれ D_{5-75} および D_{5-95} の平均値に近い値である。

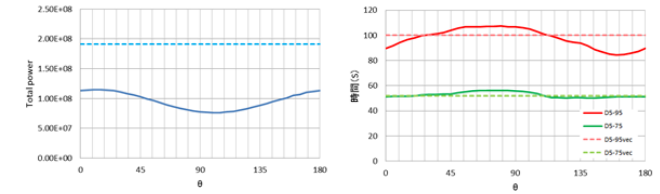
θ と各閾値に対する D_U および D_B の変動について、 D_U は $X_{\max}$, P_T 同様、 10° 付近で最大、 100° 付近で最小となっている。一方 D_B は非常に不安定であり、閾値 800cm/s^2 では顕著に表れている。2 つの分かれたピークの両方が閾値に達する回転角においては 45s

の継続時間を与えるが、端の一方が閾値に達しなくなると不連続に短時間となる。



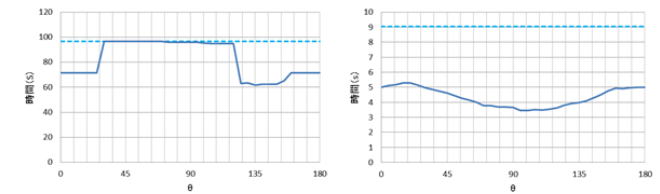
(a) NS, EW 方向加速度波形

(b) $X_{\max}$



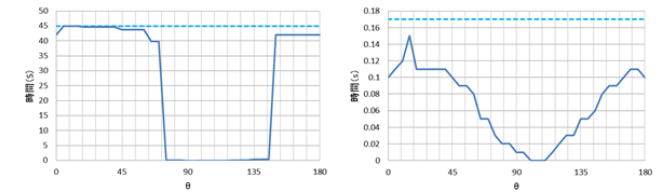
(c) P_T

(d) D_{5-95} および D_{5-75}



(e) D_B (閾値 200gal)

(f) D_U (閾値 200gal)



(g) D_B (閾値 800gal)

(h) D_U (閾値 800gal)

図 1 MYG013 における各指標と回転角 θ との関係

4. K-NET 全体(701 地点)の強震記録を用いた考察

東北地方太平洋沖地震における K-NET 全記録 (701 地点) を用いた考察を行う。

4.1 rot100/rot50 と roto/rot50 の頻度分布

各指標の 100, 50, 0 パーセンタイルをそれぞれ rot_{100} , rot_{50} , rot_0 で表し、その時の θ を $\theta_{\max}$, θ_{med} , $\theta_{\min}$ で表して、総合的に評価を行った (加速度閾値: 50gal)。各指標における rot_{100} と rot_{50} との比 $r_{\max}(rot_{100}/rot_{50})$ と rot_0 と rot_{50} との比 $r_{\min}(rot_0/rot_{50})$ の頻度分布を図 2 に示す。振幅特性指標である $X_{\max}$, P_T については、 $r_{\max}$ で $0.8 \sim 0.9$, $r_{\min}$ で $1.1 \sim 1.2$ にピークがあり、 $r_{\max}$ と $r_{\min}$ をあわせたレンジは概ね $0.5 \sim 1.5$ である。一方、継続時間指標 D_U , D_B については、 $r_{\max}$, $r_{\min}$ とともに 1.0 付近にピークを持つが、レンジはかなり広く、 θ によって評価値が大きくなることを示している。 D_{5-75} , D_{5-95} も同様に 1.0 付近にピークを持つが、レンジは極めて狭く、 θ への依存性は低く評価値は比較的安定している。

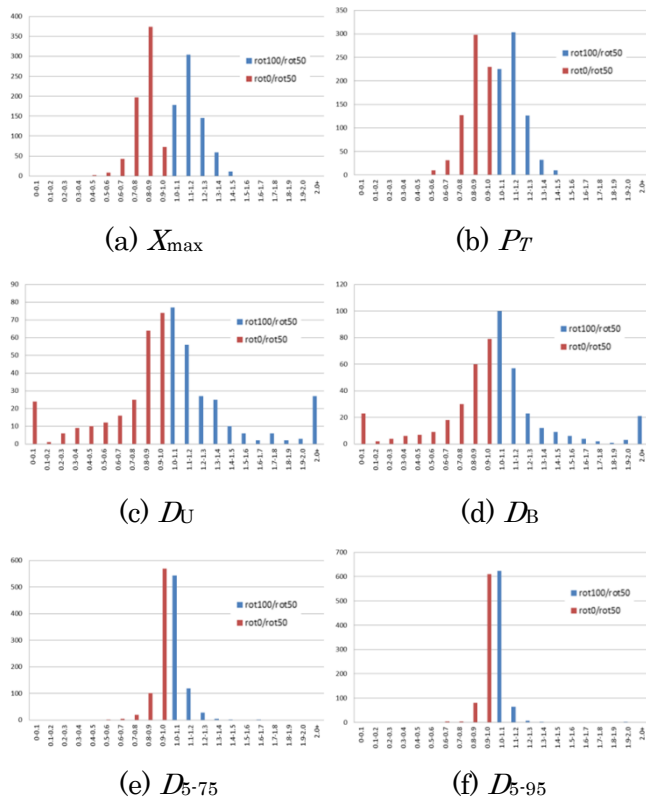


図2 各指標における $r_{\max}$ と $r_{\min}$ のヒストグラム

4.2 各指標における $\theta_{\max}$ と $\theta_{\min}$ との関係

各指標において最大値・最小値を与える回転角 $\theta_{\max}$ と $\theta_{\min}$ との関係を図3に示す。 $X_{\max}$ は平均的には 90° の差であるが、ばらつきは大きく $45^\circ \sim 135^\circ$ に広く分布している。 P_T は回転に対して不変量であり強軸と弱軸との角度差は完全に 90° となる。 D_U については約 90° の差であり、ばらつきは $X_{\max}$ よりもやや小さい一方、 D_B については明確な特徴が見られず、閾値超過時間の両端の偶然性が作用しているためと考えられる。 D_{5-75} 、 D_{5-95} については、ともに 90° の差が顕著である。累積パワーの累積値に基づく指標であるため、その強軸・弱軸の傾向を反映していると考えられる。

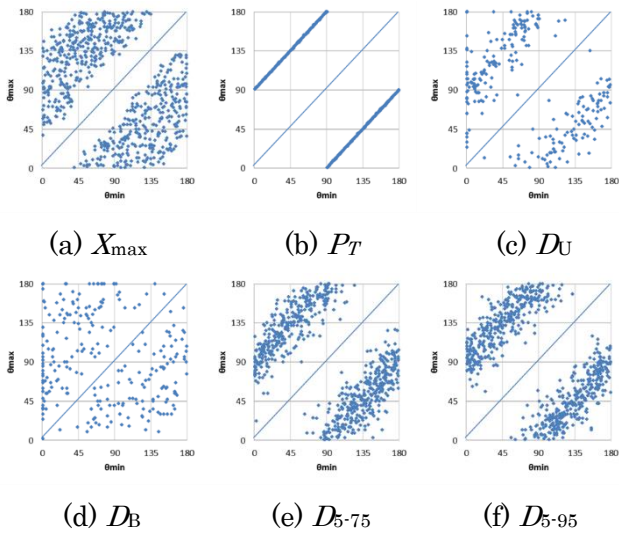


図3 各指標における $\theta_{\max}$ と $\theta_{\min}$ との関係

4.3 異なる指標間における $\theta_{\max}$ 同士の関係

異なる指標の $\theta_{\max}$ 同士の比較を図4に示す。図4(a)

～(d)は各継続時間と $X_{\max}$ 、図4(e)～(h)は各継続時間と P_T の関係を示している。 D_U については $X_{\max}$ 、 P_T とともに $\theta_{\max}$ が近い値をとり、継続時間の長時間軸は振幅の強軸に一致する傾向を示唆している。ただし D_B には特徴が見られない。一方、 D_{5-75} と D_{5-95} については $X_{\max}$ 、 P_T とともに $\theta_{\max}$ に 90° 程度の差が見られ、パワーの時間的集中によって継続時間が短時間化する傾向を示唆している。継続時間指標同士および振幅特性同士の $\theta_{\max}$ の関係については図4(i)～(k)に示すように、いずれも $\theta_{\max}$ は一致する傾向を示す。

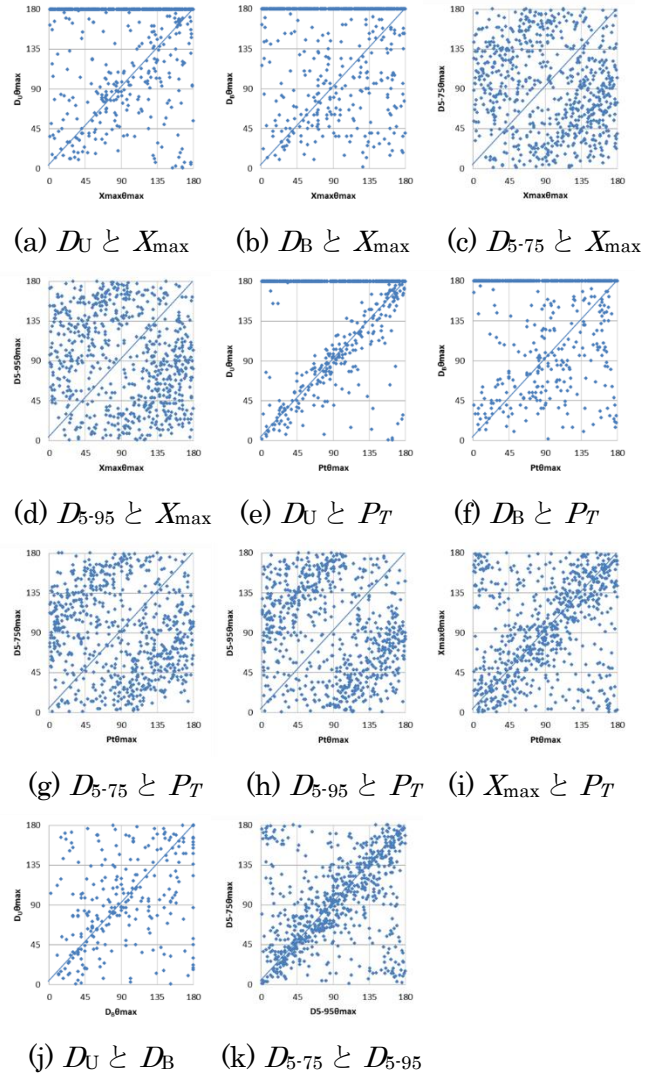


図4 異なる指標間における $\theta_{\max}$ 同士の関係

5. おわりに

本稿では東北地方太平洋沖地震に対する評価のみを示したが、他の地震についても同様の評価を進めており、回転角が振幅特性・継続時間特性に及ぼす影響について、さらに考察を進める方針である。

参考文献

- Boore, D.M.: Short Note, Orientation-Independent, Nongeometric-Mean Measures of Seismic Intensity from Two Horizontal Components of Motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.100, No.4, Aug. 2010, pp.1830–1835.
- Lee, J.: Directionality of Strong Ground Motion Duration, *Proc. of the Tenth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Frontiers of Earthquake Engineering*, Anchorage, Alaska, July, 2014, pp.1-6.