

パイプラインに発生する地震時動水圧の継続時間に関する検討  
On the Significant Duration of Dynamic Water Pressure during Earthquake

○寺田健司 南雲人 大久保天

Kenji TERADA, Hitoshi NAGUMO and Takashi OHKUBO

## 1. はじめに

地震時には管内水圧が激しく脈動する(以下、地震時動水圧とよぶ)。地震時動水圧は管水路の複数の地点から発生し管内を伝播するため、地震動と比較して長く継続することが確認されている。管屈曲部などではスラスト力と呼ばれる、内圧に比例した大きさの不平衡力が作用するため、地震時動水圧が管水路に与える影響を評価する上で動水圧の継続時間は重要な要素の一つであると考えられる。本報では北海道内の4箇所で観測した38(震度2, 3, 4がそれぞれ32, 4, 2つ)の加速度・水圧データについて、地震時動水圧の継続時間について整理を行ったので報告する。観測手法、観測条件は既報<sup>1)</sup>で報告されている。

## 2. 動水圧データの前処理

地震時に観測される水圧データには静水圧・地震時動水圧・計器による定常的なノイズが含まれる。夏期の日中などでは、受益者のバルブ操作等に起因した水撃圧が観測される場合もある(Fig. 1)。特に震度2の地震ではノイズにより地震時動水圧の波形の識別が困難な場合もあったため、以下の手順により水圧データから地震時動水圧を抽出した。

静水圧のような直流成分は信号の平均値が0になるよう平行移動、水撃圧のような低周波成分はハイパスフィルタを適用することで除去した(Fig. 2)。また、定常的なノイズの低減にはウェーブレット縮退<sup>2)</sup>の適用を試みた。本手法では、離散ウェーブレット変換により信号の展開係数を求め、絶対値がしきい値以下の展開係数を0にし、逆変換により信号を再構成することでノイズを低減することができる。しきい値 $T$ は次式<sup>2)</sup>により求めた。

$$T = \sigma\sqrt{2\ln n} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma$ はノイズの標準偏差であり地震発生前の3000~5000標本点から計算した。 $n$ は信号の標本点数である。ウェーブレットにはDaubechies( $N=3$ )を用いた。ノイズ低減後の波形をFig. 2に示す。ノイズに覆われていた地震時動水圧の波形を概ね抽出できていることが確認された。

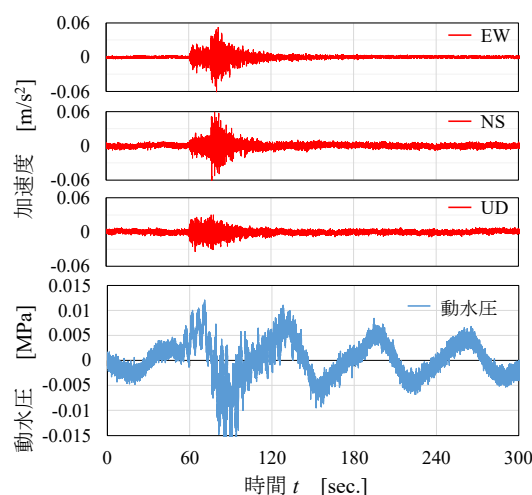


Fig. 1 地震加速度および動水圧の観測波形 (2016年9月26日14:13頃観測, 震度2)  
Measured earthquake acceleration and dynamic water pressure

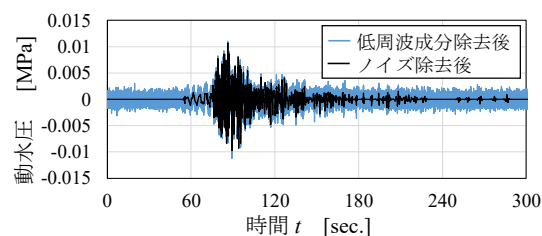


Fig. 2 動水圧の波形処理結果  
Water pressure after denoising

### 3. 継続時間の計算

地震動継続時間の評価には、種々の手法が提案されている。ここでは一般的な手法の一つであるSR継続時間<sup>3)</sup>により地震加速度  $a(t)$ 、地震時動水圧  $p(t)$ の継続時間(それぞれ  $d_a$ ,  $d_p$ とする)を評価した。地震加速度は3成分をフィルタ処理後、ベクトル合成したものとした。

時刻歴波形  $x(t)$ のSR継続時間  $D_{a-b}$ は以下の式により求める。

$$D_{a-b} = P_c^{-1}(b) - P_c^{-1}(a) \quad (2)$$

$$P_c(\tau) = \frac{100 \int_0^\tau x^2(t) dt}{\int_0^{t_d} x^2(t) dt} \quad (3)$$

ここで、 $t_d$ は全記録長、 $P_c^{-1}(m)$ は  $P_c(\tau) = m$ となる時間  $\tau$ を示す。SR継続時間として、 $D_{5-75}$ や $D_{5-95}$ がよく用いられる。 $D_{5-75}$ は主要動部、 $D_{5-95}$ は初動部と終端部を除く波形全体の傾向を示すとされる<sup>3)</sup>。Fig. 3はFig. 1, 2のデータについて  $D_{5-95}$ を計算した例を示す。地震動および動水圧の継続時間  $D_{5-95}$ はそれぞれ41.3, 62.8秒となる。

### 4. 結果と考察

Fig. 4に地震動と地震時動水圧のSR継続時間の関係を示す。 $D_{5-75}$ ,  $D_{5-95}$ いずれの場合においても地震時動水圧継続時間  $d_p$ は地震動継続時間  $d_a$ と概ね正の相関を有していることが確認できる。また  $d_p/d_a$ の値は  $D_{5-75}$ の1ケースを除いた全データについて1.0より大きいことから、地震時動水圧が地震動より長く継続することが確認できる。最小二乗近似によると地震時動水圧は地震動の約1.6倍程度継続するが、規模の大きい震度4の地震では、より長く継続する傾向にある。また、継続時間  $D_{5-95}$ については  $D_{5-75}$ と比べてばらつきが大きい結果となる。

地震時動水圧は管内を伝播する過程で、摩擦損失や管内に紛れている気泡など、その当時の流況に影響を受けて減衰していくと考えられる。そのため、波形全体で継続時間を評価する  $D_{5-95}$ においてばらつきが大きくなったと考えられる。

参考文献 1) 大久保天, 中村和正, 今泉祐治, 寺田健司, 川口清美 (2020): 農業用管水路で生じる地震時動水圧, 農業農村工学会論文集, 310(88-1), pp.I\_135-I\_144. 2) 中野宏毅, 山本鎮男, 吉田靖夫 (2002): ウェーブレットによる信号処理と画像処理, 共立出版, pp.101-110. 3) 能島暢呂 (2015): 累積パワーに基づく地震動継続時間の経験的予測式の構築, 日本地震工学会論文集, 15(6), pp.25-43.

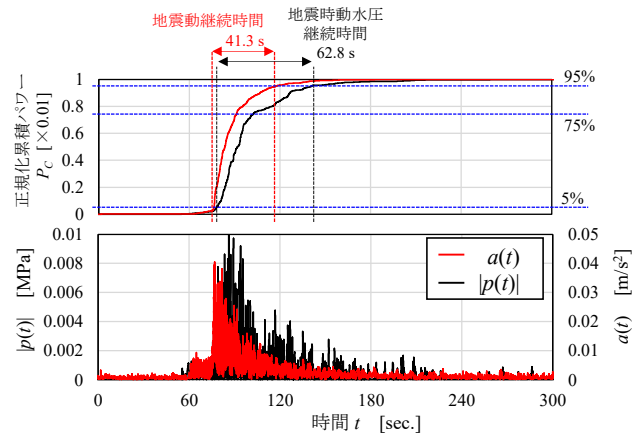
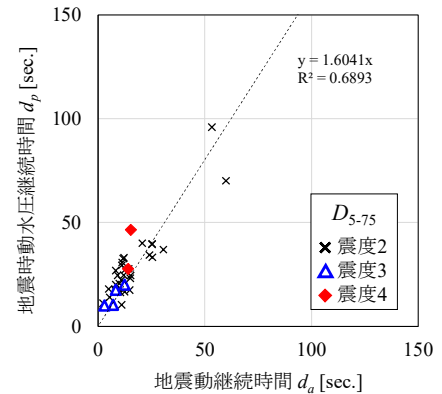
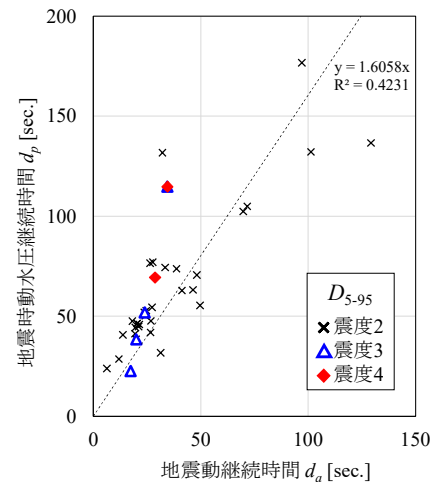


Fig. 3 SR継続時間計算例 ( $D_{5-95}$ )  
Calculation of Significant/Relative duration



(a)  $D_{5-75}$



(b)  $D_{5-95}$

Fig. 4 地震動と地震時動水圧のSR継続時間の関係  
Relationship between  $d_a$  and  $d_p$