

農業用管水路に発生する地震時動水圧 Hydrodynamic pressure generated in an irrigation pipeline during earthquakes

○大久保 天*, 今泉祐治*, 寺田健司*, 川口清美*, 中村和正*
OHKUBO Takashi*, IMAIZUMI Yuji*, TERADA Kenji*, KAWAGUICHI Kiyomi*
and NAKAMURA Kazumasa*

1. はじめに

地震動に伴い農業用管水路内に動水圧が発生・伝播する（地震時動水圧）。しかし、実際の管水路において地震時動水圧を観測した事例は少ない。そこで、筆者らは、管水路内の地震時動水圧を捉えるため、供用中の農業用管水路において、地震動の加速度と管水路内の水圧を常時観測している。その結果、2013 年の観測開始から 2019 年 3 月までに、震度 2～震度 4 の地震動におけるデータが得られ、そのいずれにおいても地震時動水圧の発生が確認された。その結果の一例を大久保ら（2018）に報告した。本稿では、観測の概要を述べるとともに、観測データの解析から得られた地震動の速度と地震時動水圧の間の相関関係について報告する。

2. 観測方法

本研究の観測対象は、北海道の畑作地域において供用中の農業用管水路である。同管水路はクローズドタイプで、Fig. 1 に示すような管網配管である。中川（1969）によれば、地震時動水圧は、管路の閉端部や曲管部などにおいて発生する。筆者らは、観測対象の管水路では主に曲管部において地震時動水圧が発生すると考えて、曲管部近傍に位置する観測地点 1 および観測地点 2 において観測を行った。各観測地点は異なるファームポンドを水源とする路線にある。また、観測地点の管種は両地点ともにダクタイル鋳鉄管（DCIP）である。その管径と静水圧は、観測地点 1 で 300mm と約 0.9MPa、観測地点 2 で 350mm と約 0.7MPa である。

管水路内の水圧は、空気弁施設を利用してその本体にある分岐管の先端に圧力センサーを取り付けて観測した。地震動の加速度は、空気弁施設底部のコンクリート部に加速度計を固定して、鉛直方向と南北水平方向、東西水平方向の 3 成分を観測した。また、データの取得間隔は 0.01 秒（1 秒間に 100 データを取得）とした。

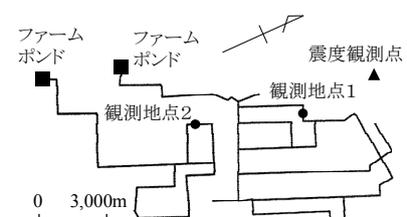


Fig. 1 観測対象の管水路と観測地点
The observed irrigation pipelines and the location of the observation points

3. 観測結果および考察

3.1 観測事例

地震時動水圧の観測事例として、2016 年 1 月 14 日に発生した地震（震央：浦河沖，M6.7，観測地域の震度：震度 4）の際に観測地点 2 において記録された加速度と動水圧を Fig. 2 に示す。横軸の時間は、地震波（P 波）の到着時点を時刻 0s としている。地震時動水圧は、水平方向の地震動（S 波）の到達に伴って発生した。地震時動水圧の最大値は 0.10MPa であったが、それは主要な地震動が減衰した後に生じた。このように地震波の減衰後に動水圧が増大する現象は、観測地点において 2 つ以上の圧力波が干渉することによって発生したものと推定される。

3.2 地震動の大きさと地震時動水圧の大きさの関係

これまでに観測された震度 2～震度 4 におけるデータをもとに、地震動の大きさと地震時動

* 国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所, Civil Engineering Research Institute for Cold Region ,PWRI
キーワード：地震，農業用管水路，地震時動水圧

水圧の関係を検討した。その結果、筆者らは、地震動の加速度ではなく、地震動の速度が地震時動水圧と高い相関関係にあることを確認した (Fig. 3)。

中川 (1969) によれば、最大加速度 a 、周期 T で単振動する管水路において生じる最大動水圧 σ_{max} は aT に比例する ($\sigma_{max}=m \cdot aT$ 、ただし、 m は管路の材質、大きさ、形状などにより決定される係数)。しかし、地震波は多様な波に重ね合わせであり、その周期は複雑で一定ではない。それゆえ、地震動の加速度の最大値と地震時動水圧の最大値は必ずしも比例するとは限らない。一方、最大速度 V に着目すれば、 $V=aT/2\pi$ であるから、最大動水圧 σ_{max} は V のみに比例する ($\sigma_{max}=2\pi m \cdot V$)。この理論上の比例関係が、実際の地震動の速度と地震時動水圧の間の高い相関関係を裏付けるものと考えられる。

Fig. 3 に観測地点 2 のデータにおける地震動の速度の最大値 V_1 と地震時動水圧の最大値 σ_{max1} の関係 (以下、「ケース 1」) を示す。ただし、先述のとおり、地震時動水圧の最大値は、管内の様々な箇所が発生した地震時動水圧の圧力波が観測地点において干渉した結果であると考えられる。そこで、干渉する前の地震動の速度と地震時動水圧の関係を評価する。そのため、地震波 (S 波) 到達後、観測地点 2 直近の曲管部で発生する圧力波以外の圧力波が、観測地点 2 にはじめて到達するまでの時間帯 (観測地点 2 では、地震波到着時刻から 1 秒間) における地震動の速度の最大値 V_2 と地震時動水圧の最大値 σ_{max2} の関係 (以下、「ケース 2」) を同図に示した。両ケースともに、地震動の速度の最大値と地震時動水圧の最大値との間には高い相関関係が認められた。その原点を通る回帰式および相関係数 r は、次のとおりである。

$$\text{ケース 1 : } \sigma_{max1} = 1.26 V_1, \quad r=0.97 \quad (1)$$

$$\text{ケース 2 : } \sigma_{max2} = 0.86 V_2, \quad r=0.96 \quad (2)$$

両式の外挿を仮定すれば、震度 5 以上の地震動における地震時動水圧の大きさを推定することができる。例えば、震度 6 強における地震動の速度は約 0.3m/s 以上である。このとき、(1)式、(2)式に従えば、地震時動水圧の最大値は、ケース 1 では 0.38MPa、ケース 2 では 0.26MPa と算出される。

4. 今後の課題

今後は、現在の観測を継続してデータの蓄積を図るとともに、樹枝状配管の管水路やオープンタイプの管水路などでも観測を実施したいと考えている。

引用文献：大久保天，立石信次，今泉祐治，中村和正 (2018)：震度 4 の地震動により農業用管水路に発生した動水圧，農業農村工学会論文集，No.306(86-1),pp.IV_1-IV_2。

中川義徳 (1969)：送配水管路における地震時動水圧についての理論的研究，水道協会雑誌，416，26-35。

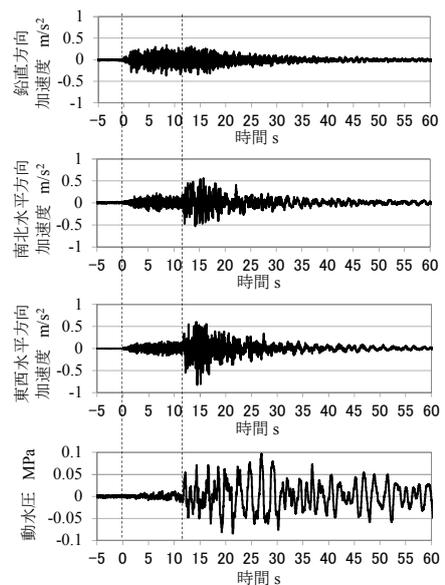


Fig. 2 地震動の加速度と動水圧 (観測地点 2)

The seismic acceleration and the hydrodynamic pressure

○: ケース 1, 複数の圧力波が干渉している場合の動水圧
△: ケース 2, 圧力波が干渉していない場合の動水圧
(観測地点直近の屈曲部単独で発生した動水圧)

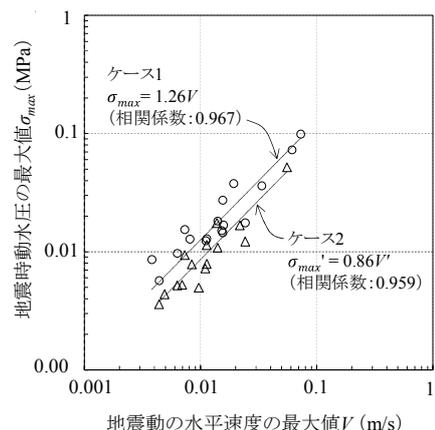


Fig. 3 地震動の速度の最大値と動水圧の最大値の関係 (観測地点 2)

Relationship between maximum velocity of seismic motion and maximum value of hydrodynamic pressure