

京都大学工学部	学生会員	○東出 知大
JFE エンジニアリング株式会社	非会員	藪口 貴啓
JFE エンジニアリング株式会社	正会員	今井 俊雄
京都大学大学院工学研究科	正会員	小池 武

1. 研究の目的

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震によって、水道ライフラインに多くの被害が発生した。特に大口径の送水管に配置された伸縮可撓管の脱管による漏水被害が複数の箇所が発生し、長期間の断水を余儀なくされた。

大口径鋼管は導水管や送水管など重要幹線に使用され、過去の大地震においては十分な耐震性能を発揮してきた。しかし、今回の地震では地中のコンクリート構造物近傍の鋼管路に設置された伸縮可撓管の脱管による漏水被害が複数の箇所が発生した。伸縮可撓管とは、管路に発生する変形・変位を吸収し、管の損傷や破壊を防ぐために、地中構造物と埋設管との境界部分などに設置される継手である。

本研究では、その中でも大きな被害をもたらした 2 つの水道用伸縮可撓管の脱管事例に焦点を当て、これらの漏水のメカニズムを検討する。

2. φ1200 送水管

1 つ目の事例は宮城県白石市の口径 1200mm の送水管のバルブピット外側に設置された伸縮可撓管である。当該箇所では 4 月 7 日の余震時に漏水が発生した。伸縮可撓管の止水金具であるハウジングとボルトが写真のように大きく削られていることから、次のような損傷プロセスを推定できる。すなわち、本震時に少量の漏水が発生し、高水圧のためにハイドロブラスト現象が発生して徐々にハウジングを摩耗し止水機能が喪失した。そして 4 月 7 日の余震が引き金となり、伸縮可撓管が脱管し大量漏水に至ったと考えられる。脱管したのが立坑近傍の伸縮可撓管だったことから、立坑の地震応答によって立坑が回転し、伸縮可撓管に相対変位を与えたと考えられ



図-1 当該送水管位置

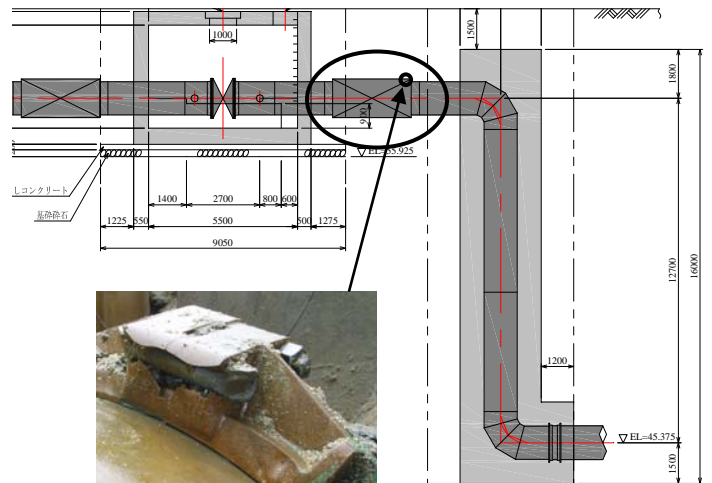


図-2 φ1200 現場断面図と損傷部拡大写真<sup>1)</sup>

る。立坑を剛体と仮定して、地震応答を算定した。立坑の運動は以下の式で示される。

$$M(\ddot{x}_Q + \ddot{x}_G) + \sum_{i=1}^N k_i(x_i - x_{si}) = 0 \quad (1)$$

$$I_G \ddot{\theta} = -k_R \theta - \sum_{i=1}^N k_i(x_i - x_{si})l_i \quad (2)$$

ここで、 $M$  は立坑質量、 $I_G$  は慣性モーメント、 $x_Q$  は立坑重心位置の地盤応答変位、 $x_G$  は立坑重心水平変位、 $x_{si}$  は地盤変位(SHAKE より)、 $k_i$  は地盤ばね定

数である。また、

$$x_i = x_G + l_i \theta + x_Q \quad (3)$$

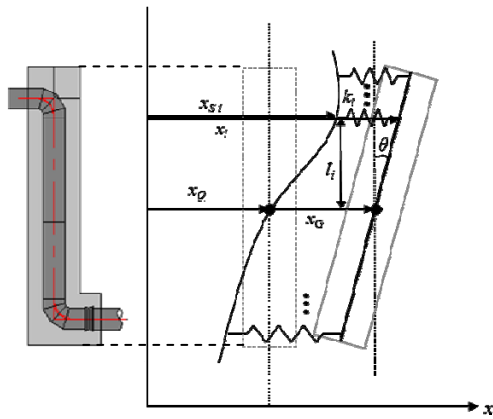


図-3 立坑モデル化

伸縮可撓管の最大許容角度は  $6^\circ$  である。地震後には伸縮可撓管に  $3.5^\circ$  の角変位が発生しており、それが本震前の立坑沈下によって発生していたものとする。本震の立坑地震応答によって最大  $4.04^\circ$  の回転角度が作用した。これは許容角度を超過していないので本震時には伸縮可撓管は脱管しなかったが、この地震応答によって少量の漏水が始まり、4月7日の余震によって脱管したと考えられる。

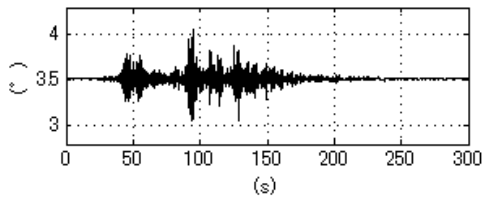


図-4 本震の立坑応答による伸縮可撓管角変位

### 3. $\phi 2400$ 送水管

2つ目の事例は、同じく宮城県白石市の口径  $2400\text{mm}$  の送水管で、河川伏せ越し部のコンクリートで巻き立てられた部分の両側の伸縮可撓管が本震によって同時に脱管した。このことから、コンクリ

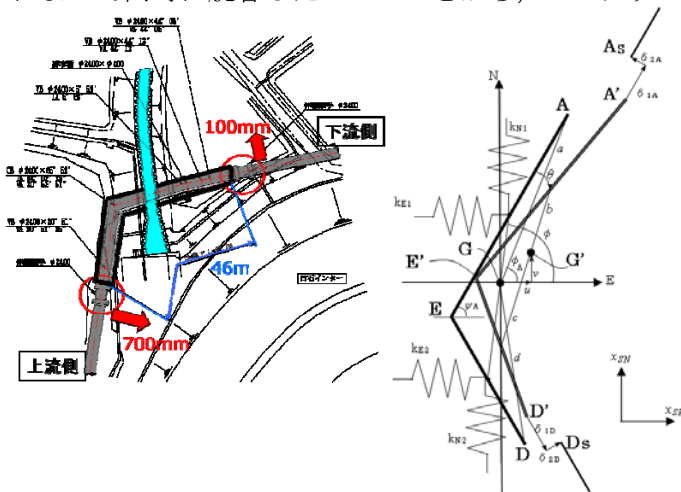


図-5  $\phi 2400$  現場図<sup>1)</sup>とコンクリート部モデル化

ート巻き立て部の回転運動によって伸縮可撓管位置に相対変位が生じ脱管したと推定した。コンクリート部を剛体と仮定して、東西・南北方向と回転方向で定式化し、地震応答計算を行った。

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{K}\mathbf{x}_s \quad (4)$$

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I_G \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\mathbf{K} = \begin{pmatrix} k_{E1} + k_{E2} & 0 & (k_{E1}b - k_{E2}c)\sin\phi \\ 0 & k_{N1} + k_{N2} & (k_{N2}c - k_{N1}b)\cos\phi \\ (k_{E1}b - k_{E2}c)\sin\phi & (k_{N2}c - k_{N1}b)\cos\phi & k_{E1}b^2\sin^2\phi + k_{N1}b^2\cos^2\phi - k_{E2}c^2\sin^2\phi - k_{N2}c^2\cos^2\phi \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{u} = \begin{pmatrix} u \\ v \\ \theta \end{pmatrix} \quad \mathbf{x}_s = \begin{pmatrix} x_{SE} \\ x_{SN} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

ここで、 $u, v$  は東西・南北方向の変位、 $\theta$  は回転変位、 $x_{SE}, x_{SN}$  は東西・南北方向の地盤変位である。

伸縮可撓管限界性能は軸方向変位  $\delta_1$ 、せん断方向変位  $\delta_2$  より定められるが、地震前の不同沈下により性能が低下していた可能性が考えられる。応答計算結果から、性能低下があった場合、コンクリート部の回転運動が脱管原因の一つであったとすることができる。

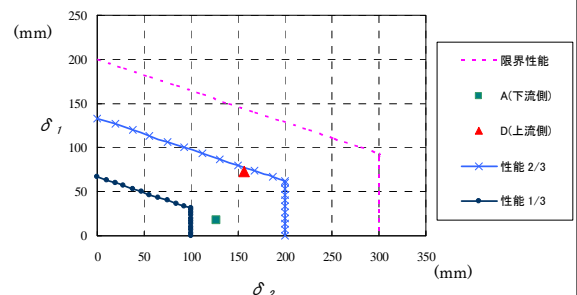


図-6  $\phi 1200$  限界性能と最大応答変位

### 4. 結論

本研究で検討した2箇所では、漏水による止水機能の損傷、地震前に不同沈下などの相対変位がすでに発生していて地震動に耐える余裕が無かったことが伸縮可撓管脱管の主な原因であったと考えられる。伸縮可撓管は不同沈下などの相対変位が発生しやすい地中構造物近傍に機械的に設置されてきたが、地震時に弱点となりうるので、今後は地震時挙動を十分に考慮した管路の設計を行う必要がある。

### 参考文献

- 1) JFE エンジニアリング株式会社：東日本大震災水道施設被害現地調査報告書(2011.6.28)