

# 東北地方太平洋沖地震における 水道用伸縮可撓管損傷メカニズムについて

東出知大<sup>1</sup>・藪口貴啓<sup>2</sup>・今井俊雄<sup>3</sup>・小池 武<sup>4</sup>

<sup>1</sup>京都大学地球工学科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター）

E-mail: tomohiro.h@ay7.ecs.kyoto-u.ac.jp

<sup>2</sup>JFE エンジニアリング株式会社（〒230-8611 横浜市鶴見区末広町 2-1）

E-mail: yabuguchi-takahiro@jfe-eng.co.jp

<sup>3</sup>JFE エンジニアリング株式会社（〒230-8611 横浜市鶴見区末広町 2-1）

E-mail: imai-e-toshio@jfe-eng.co.jp

<sup>4</sup>京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C クラスター）

E-mail: koike.takeshi.7n@kyoto-u.ac.jp

東日本大震災では水道ライフラインにも多くの地震被害が発生したが、とくに埋設鋼管の被害として大口径の導・送水管に配置された伸縮可撓管の脱管による漏洩被害が発生した点に従来にない特徴があった。本研究では、なぜ幹線に配置された伸縮可撓管が脱管したのかその損傷メカニズムを解明して、今後の耐震設計に役立てようとするものである。

*Key Words: expansion joint, pipeline, riser, seismic design*

## 1. はじめに

2011.3.11 の東大日本大震災では、水道ライフラインにも多くの地震時被害<sup>1)</sup>が発生した。水管橋の支承部損傷、液状化地盤での配水管からの漏水、貯水タンクの崩落など従来の地震被害と共通する地震時被害も多数見られたが、今回とくに大口径の導・送水管に配置された伸縮可撓管の脱管による漏洩被害が発生して、長期間の断水を余儀なくされた。

大口径鋼管は耐震性能が優れていることから、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洩被害<sup>2)3)</sup>が数カ所で発生した。一つ目の事例は口径 2400A の水道用溶接鋼管であり、河川横断部前後のコンクリート巻き立て部の両端に設置された伸縮可撓管からの漏水被害であった。二つ目の事例は口径 1200A の水道用溶接鋼管であり、立坑とバルブピット間に設置された伸縮可撓管からの漏水被害であった。その他の事例としては液状化地盤での伸縮可撓管から

の脱管や地盤変状による伸縮可撓管タイロッド取付部管体損傷などの被害事例が見られた。

本研究では、口径 1200A の水道用溶接鋼管漏水被害事例を典型的ケースとして、今回に限ってなぜこのような漏水被害が発生したのか、その損傷メカニズムについて検討した。さらに、合理的耐震設計法確立の観点から、伸縮可撓管の設置位置、耐震設計法の考え方についても検討した。

## 2. 水道管路伸縮継手の地震時被害

### (1) 被害箇所

検討対象の水道管伸縮可撓管被害箇所は、Fig.1 に示すように宮城県企業局管轄の仙南・仙塩広域水道の白石バイパス横断部付近である。当該水道ラインは口径 1200mm の溶接鋼管よりなる送水管であり、運転水圧は 1.2MPa と水道管路としては比較的高い水圧が作用していた。

付近に設置された最も近距離の地震計<sup>4)</sup>は、MYG016 (白石) であり、事故現場との距離: 1.53km であった。3月11日の本震、ライフラインへの被害

が相対的に大きかった4月7日の余震時の地震加速度波形を Fig.2, Fig.3 に示す。これらの地震により、損傷発生現場付近では震度6弱の揺れが発生した。

写真1, 写真2に示すように、伸縮可撓管のジョイント部付近では外面被覆が剥ぎ取られており、表面は漏水によるハイドロブラスト効果のため部分的な摩耗が認められた。また、外面被覆が最も剥がれ



Figure 1 Location of the leakage accident

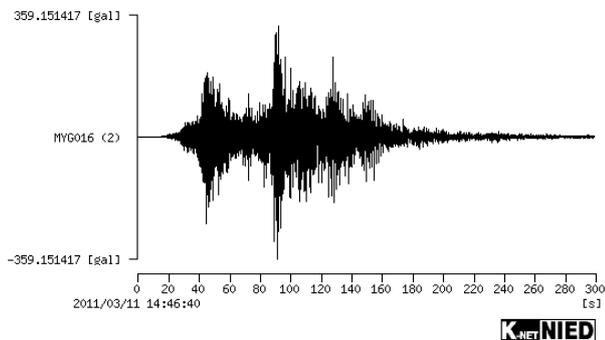


Fig.2 Strong ground motion at Shiroishi (MYG016) of the main shock (2011.3.11)

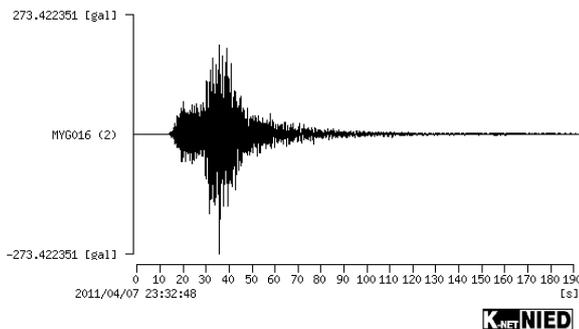


Fig.3 Strong ground motion at Shiroishi (MYG016) of the after shock (2011.4.7)



Photo 1 Sealing bolt worn out by hydro blasting



Photo 2 External coating eliminated by hydro blasting

ている付近のシール金具が一部削られシール機能が低下していた。当該箇所では、3月11日の本震時には地表面に溢れ出るような漏水は無く、4月7日の余震により大量の漏水が発生した。この事象は次のような損傷プロセスを想定することで解釈できる。すなわち、事故現場でのハイドロブラスト効果による摩耗の程度は比較的軽微であったことから、3月11日の本震により伸縮可撓管のシール金具が緩んで少量の漏水が発生し、埋め戻し砂を巻き込んだハイドロブラスト効果によって、徐々に鋼管表面の被覆とシール金具を損耗していったものと考えられる。さらに4月7日の余震の外力が引き金となり、緩みと一部削られたシール金具の止水機能低下により伸縮可撓管継手部で大量の漏水に進展したものと想定される。

余震発生までの一ヶ月間の漏水により事故現場周辺の地盤の地下水位は徐々に上昇し、地盤剛性を軟化させたものと推察される。その結果、4月7日の余震により立坑部の地震時挙動が大きくなり伸縮可撓管からの漏水発生を引起こしたものと考えられる。

### 3. バルブ室・立坑システムの破壊メカニズム

#### (1) 解析モデル



立坑の地震応答は、簡便に解析するために立坑を剛体とし、立坑重心の水平変位応答と回転応答から算定した。立坑を支持する地盤ばねは道路橋地盤反力係数にしたがって算定した。

以上の解析モデルにより、立坑の運動は次式で記述することができる。

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

$$M\ddot{x}_G + \sum_{i=1}^N k_i x_G + \theta \sum_{i=1}^N k_i l_i = -M\ddot{x}_Q - \sum_{i=1}^N k_i(x_Q - x_{si}) \quad (2)$$

ここで、 $x_Q$ ,  $x_G$ ,  $x_{si}$ は基盤変位、立坑重心水平変位、地盤変位であり、Fig.7に示す。また、立坑重心周りの回転角 $\theta$ および地盤変位は次式で関係付けられる。

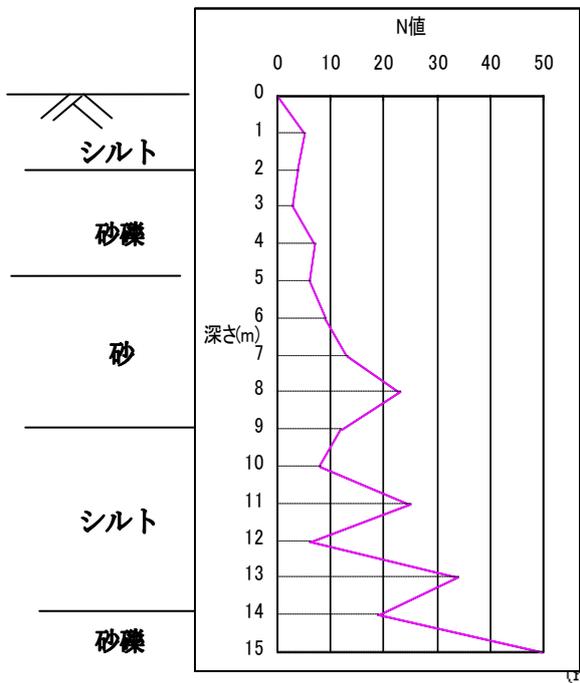


Fig.6 Soil classification and N value at the site

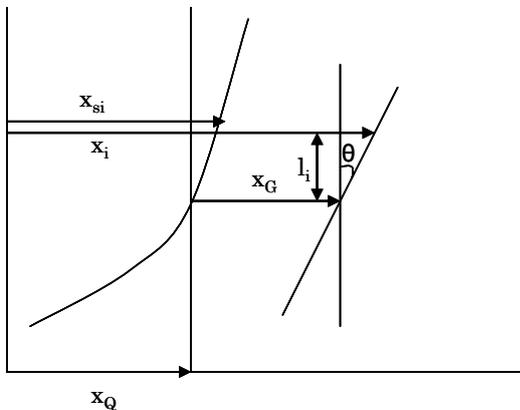


Fig.7 Configuration of the coordinate system

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

(2) 本震での漏水発生

Fig.8は、本震時の立坑重心の水平変位応答、回転角および伸縮可撓管位置での管路鉛直変位応答を示している。同図によると、管路鉛直変位応答の最大値は約6mmであり、この強制変位が伸縮可撓管に微小漏洩を発生させたものと推察される。

ところで、ここで用いられた伸縮可撓管は Fig.9に示すものであり、最大許容角度は約6度である。この伸縮可撓管に鉛直方向に強制変位6mmが作用したときの回転角は押輪間隔を1960mmとして約0.18度であり、伸縮可撓管の許容曲げ角度を超過し

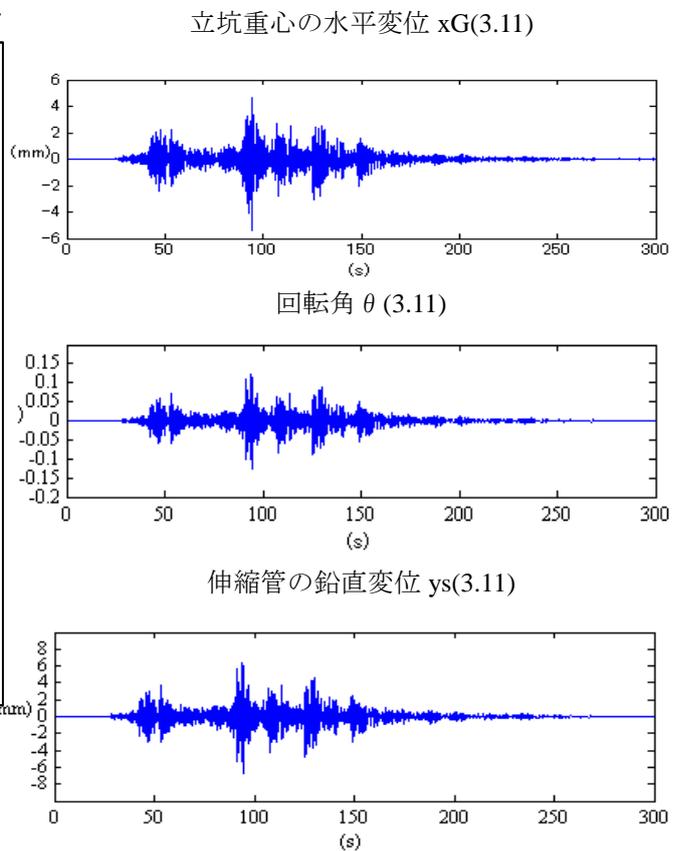


Fig.8 Seismic responses of the riser at the main chock

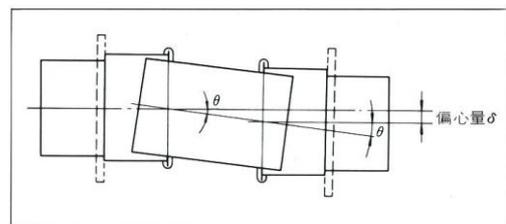


Fig.9 Expansion joint for a vertical displacement

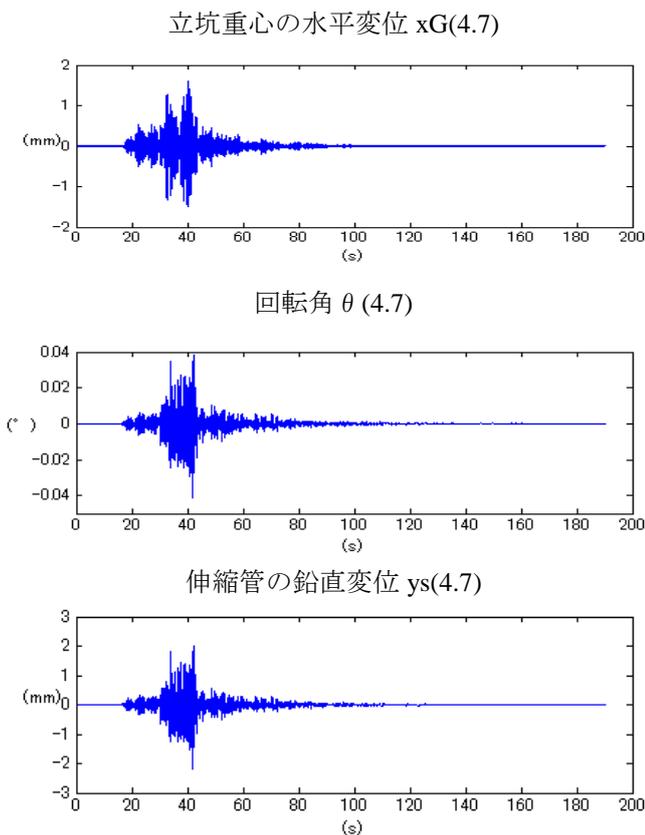


Fig.10 Seismic responses of the riser at the after shock.

ていないが、前述のように地震前に伸縮可撓管前後ですでに最大 120mm（伸縮可撓管曲げ角度 3.5 度相当）程度の相対変位が発生していたことを考えると、地震時応答が契機となって微小漏洩を発生させたものと思われる。

上述の Photo 1 の説明で記述したように、この漏洩によるハイドロブラスト効果により、伸縮可撓管のシール金具が摩耗損傷することになり、押輪を固定するメカニズムが喪失する状態になったものと推定される。この状態で 4 月 7 日の余震を迎えることになり、伸縮可撓管から大量の漏水を発生させるに至ったものと思われる。ちなみに、この時の地震応答は、Fig.10 に示すように本震時の最大加速度の半分程度であり、伸縮可撓管位置での鉛直変位も約 2cm 程度であった。ここで、Fig.5 に示す管路・伸縮可撓管の地震後の残留変位は大量漏水時の水圧によって管路が軸直角方向に変形した結果であり、地震時漏水の原因とは言えないことに注意が必要である。

#### 4. 伸縮可撓管に対する耐震対策

今回の地震で伸縮可撓管が脱管した原因は、伸縮可撓管近傍に設置された立坑が地震前に沈下していたこと、その条件下での立坑地震応答により伸縮可

撓管に強制変位が作用し、それを契機として漏洩発生とそれに引き続くハイドロブラスト効果によるシール金具摩耗損傷の発生という損傷メカニズムの進行を予測できなかったことである。

したがって、今後の耐震対策としては、伸縮可撓管を設置する前後のコンクリート構造物および立坑などの配置状況をよく見極めて、地震時に伸縮可撓管に強制的変位を与える可能性がある箇所では、伸縮可撓管の設置位置を変更し、その影響を排除するか、その強制力に対処できる離脱防止装置などの補強対策を実施するなど、何らかの耐震補強対策を事前に実施することである。

ところで、伸縮可撓管設置に関する基本的な考え方についても、今後検討する必要があると思われる。そもそも、伸縮可撓管はコンクリート構造物周辺での埋設管路との鉛直相対変位吸収のために設置されるものであるが、その背景には、コンクリート構造物から出た管体はその剛性のために構造物近傍での相対的な地盤変位を吸収できないとの認識に基づいている。もし、そうならば、管体の撓み性が大きくて相対変位を吸収可能であれば伸縮可撓管は設置する必要がなくなるはずである。既往の水道管は撓み性の小さい剛性の大きな管材から撓み性の大きい可撓性に優れた管材まで多種類の管材が存在することから、それぞれの管材特性に応じた相対変位吸収対策を実施することが望まれる。

今回の地震において、溶接鋼管に設置された伸縮可撓管でたまたま漏水被害が発生したが、撓み性管材である溶接鋼管に対して管材の撓み性で相対変位を吸収させる耐震設計手法を採用していた場合には今回のような漏洩被害を回避できたかも知れない。

したがって、今後の溶接鋼管に対する伸縮可撓管設置の耐震設計では、管材の撓み特性を考慮した地盤変位吸収工法を採用することが望まれる。

#### 5. 結論

本研究では、今回の東日本大震災で発生した伸縮可撓管の脱管原因とその耐震対策について検討した。得られた成果は以下のとおりである。

##### (1) 伸縮可撓管の脱管原因

伸縮可撓管がコンクリート構造物と立坑が近接する中間位置に設置されており、立坑の地震応答によって伸縮可撓管に付加的な強制変位が作用し漏水が発生する危険性が存在しているにも関わらず、離脱防止装置が設置されていない伸縮可撓管であった点

が指摘できる。そのような伸縮可撓管がたまたま溶接鋼管に設置されていたが、その他の管種に設置されていても同様の地震時被害を発生したものと思われる。今回の漏水被害は4月7日の余震時に顕在化した。周囲の地下水位の上昇や伸縮管外面に漏水によるドロブラスト効果と考えられる摩耗が認められたことから、3月11日の本震で微小漏水が発生し、周囲土壌の緩みや伸縮管ハウジングボルトの損耗が進行し、4月7日の余震による地震動で漏水が顕在化したものと推測された。また、伸縮可撓管を適切に配置することに留意すべきである。すなわち、コンクリート構造物から出たところでの相対沈下吸収用に伸縮可撓管を設置するのは一般的には必要であるが、すぐ近くに立坑などの他構造物がある場合はそれが伸縮可撓管に及ぼす影響について正しく把握して、耐震対策を実施することが重要である。

(2) 今後の耐震対策  
管剛性が非常に大きく、鉛直変形が期待できない

管種では、相対変位を吸収する方法として可撓管が必需である。しかし、管の撓み性が大きな管種にも一律に上記方式を適用するのは間違いである。要するに、管材の撓み特性に応じて適切な相対変位吸収対策を講じることが重要である。

#### 参考文献

- 1)土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書・第10章・水道施設の被害
- 2)仙南・仙塩広域水道事務所：仙南・仙塩広域水道用水供給事業のあらまし (<http://www.pref.miyagi.jp/ss-kousui/index.html>)
- 3)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), 2011.
- 4)防災科学技術研究所：強震ネットワーク K-net (<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>)
- 5)水道鋼管協会：水道用鋼管路における伸縮可撓管，WSP 024-97，日本水道鋼管協会，1997.
- 6)吉田 望, 末富岩雄：DYNEQ, (Version 3.01), 佐藤工業中央研究所，1999.

## DAMAGE MECHANISM OF EXPANJION JOINTS OF WATER LIFELINES IN 2011 EAST JAPAN GREAT EARTHQUAKE

T. HIGASHIDE<sup>1)</sup>, T. YABUGUCHI<sup>2)</sup>, T.IMAI<sup>2)</sup> and T. KOIKE<sup>1)</sup>

<sup>1</sup>Kyoto University and <sup>2</sup>JFE Engineering

Many water pipelines were damaged in East Japan Great Earthquake. Especially buried expansion joints used in large diameter water main lines were observed, so that the water supply suspension was largely developed during several weeks. In this study, based on the site observation of damaged joints, the damage mechanism of buried expansion joints were investigated from the seismic response analysis.