日本ニューロン

最大級の災害に挑む

レベル２地震動対応型伸縮可撓管を開発

日本ニューロンは、震度６強以上の強い地震動でも水道などパイプライン機能を確保していくことを目的とした「レベル２地震動対応型伸縮可撓管」を開発した。能登半島地震等の水道管路被害調査や土木学会で発表されているベローズ限界性能論文に基づいて製品化を進め、ベローズ本来の変形特性を効果的に組み込んだ伸縮可とう継手を形成。地震時の繰返し変位と大変形モードの双方に対応可能としている。本紙では、レベル２地震動対応型伸縮可撓管がどういった性能なのか追った。

レベル2地震動対応型伸縮可撓管

日本ニューロンが運営する管路防災研究所では上下水道管路を対象に地震被害調査や耐震技術の研究開発に注力し、その成果を学会発表や論文によって発信している。それらの成果を自社製品に集約し開発したのが「レベル2地震動対応型伸縮可撓管」だ。

同社が扱うベローズ型伸縮可撓管はステンレス製の蛇腹パイプが柔軟に変形することで管路に生じる変位を吸収する構造であり、日本水道鋼管協会技術資料WSP024－2013では「地震等による振動、衝撃に強く、全方向の動きに対応でき、阪神・淡路大震災でも漏水ゼロの耐震性が実証されている。許容量を超える動きがあっても、通水機能を維持することが可能である」とされている。

しかしながら、許容量を超えてどこまで通水機能を維持できるのかといった限界性能についてはこれまで明らかにされていなかった。

そこで伸縮可とう管が使用される代表的な管路として水管橋に着目し、能登半島地震の現地調査や東日本大震災など過去の大規模地震での被害調査文献を基に管路防災研究所において実大実験およびFEMによる非線形解析を実施し、ベローズの限界性能を検証することで本製品を開発した。

過去の水管橋の地震被害事例として、平成23年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では伸縮可とう管の過剰伸縮変位や脱管、支承破損などの被害事例が報告されている。これは地震による揺れの繰返しが作用することで生じたものである。そこでベローズに大振幅を与える疲労実験を行い、レベル2地震動に対応する設計疲労曲線を確立した。

一方で令和6年能登半島地震では河川盛土の液状化、沈下等によって水管橋の橋台背後地盤が沈下、移動する被害が多く見られた。この地盤変状は一方向性の大変位として伸縮可とう管に作用することとなる。

これに対しベローズを伸び方向および偏心方向へ破断するまで強制変位させる実験を行い、大変形モードでの限界性能を検証した。これら、ベローズが本来持つ極低サイクル疲労特性と大変形モード特性の両方を効率的なバランスで実現するため、実績のある旧来の構造を継承しながらも、細部の形状寸法を最適化することで「レベル2地震動対応型伸縮可撓管」を開発した。

日本水道協会から発刊されている水道施設耐震工法指針・解説2022では「水道施設は、設計地震動のレベルおよび施設の重要度に応じて、水道施設が保持するべき要求性能を確保できるよう設計する」と規定されている。その中で、水管橋部材の限界状態に対する照査基準における、伸縮可とう管の許容伸縮量は「温度変化や橋脚橋台変位、地盤ひずみ、設置誤差、たわみによる移動量、余裕量を適切に組み合わせて設定する」と限界状態1に対応する使用性（設定した地震作用に対して施設が継続的に使用できる性能）のみ規定されている。

このように現行設計法では地盤震動・地盤変状の変位特性や作用回数に関する議論がなく、単に最大発生変位を吸収できる継手性能が要求されている。

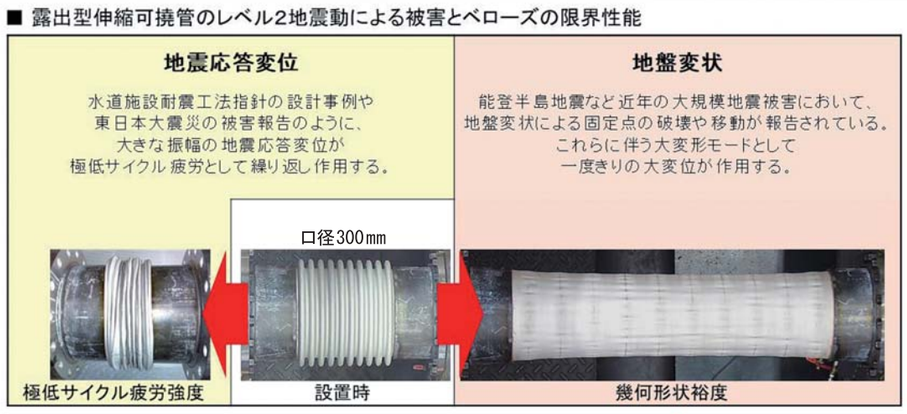
本製品はこれまで検討されてこなかった地震時の被害形態に応じた性能を個々に明確化し、レベル2地震動対策に必要な復旧性（地震時の影響等で低下した施設性能を早期復旧できる性能）や安全性（施設機能に重大な影響を及ぼすような損傷が発生しない性能。生命や財産を脅かさない性能）に関して初めて性能設計を可能とした伸縮可とう管といえる。

これまで管路の耐震化は地震動による荷重に、管材の強度で対抗する設計思想が主流とされてきた。しかし、能登半島地震で多く見られたような地盤変状による管路被害では地盤の移動に伴う荷重が作用することとなる。その大きさは予測困難であり、管材の強度では対抗し得ない可能性がある。一般に離脱防止機能を持つ伸縮可とう管は3DkNの強度を有するものが多いが、3DkNという荷重は伸縮可とう管に作用する地盤変状荷重と全くの無関係であり、地震時の地盤変状対策にはならない。

一方でレベル2地震動対応型伸縮可撓管は地盤変状対策として荷重に対抗するのではなく、ベローズの大変形特性によって変位を吸収する設計思想である。設置箇所の被災シナリオに合わせた伸縮可とう管の大変形性能を実現することで、水管橋や構造物周辺などの地盤震動・地盤変状対策として効果を発揮する。

水道施設耐震工法指針が参照している道路橋示方書では、令和7年の改定で構造物を支える周辺地盤も構造物の一部として考えるべきとの思想が取り入れられた。今後の上下水道分野においても周辺地盤に対する議論が進み、地震時の地盤変状対策技術の発展が望まれる中で、レベル2地震動対応型伸縮可撓管が広く管路の強靱化に役立てられることが期待される。

■ 露出型伸縮可撓管のレベル2地震動による被害とベローズの限界性能



■ 本製品の性能表

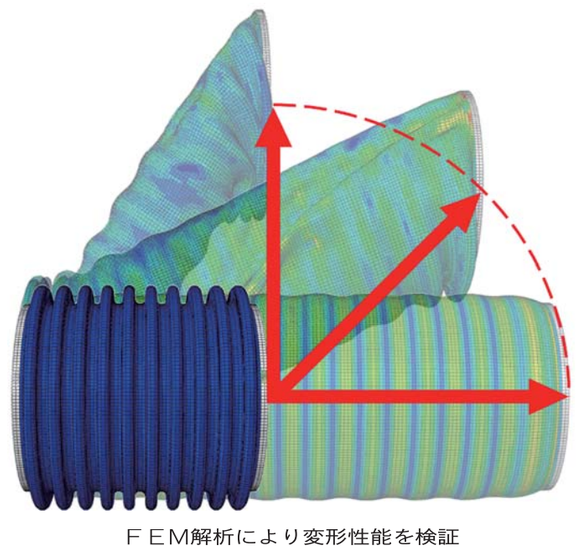
状況	変位/被害形態	変位量
常時	温度伸縮	疲労強度・100年
L1地震動	応答変位	低サイクル疲労強度
L2地震動	応答変位	極低サイクル疲労強度
	地盤変状	幾何形状裕度
参考）業界標準(WSP024)		可動範囲のみ規定

概要図

ベローズ限界性能を検証

地盤震動・地盤変状に効果

口径300㎜のベローズにおける大変形モードでの限界性能実験の様子



ＦＥＭ解析により変形性能を検証

聞く

学識者から見たレベル2地震動対応型伸縮可撓管

実地震動環境下で性能検証

神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻教授　鍬田　泰子

■レベル2地震動対応型伸縮可とう管の注目点

伸縮可とう管については、従来より各メーカーが「どれだけ変形に耐えられるか」という観点から開発を進めてきた。しかし、日本ニューロンが開発したレベル2地震動対応型伸縮可撓管は、単なる変位量・沈下量といった機械的性能の評価にとどまらず、実際の地震動環境下で性能をどこまで維持できるかを実験的に検証している点に大きな特徴がある。

さらに、能登半島地震の被災現場において、実際にどの程度の変形が生じていたかを確認し、その状況を自社の継手で再現した上で検討を進めている点は特に評価できる。机上で『変位量が何ミリ』と議論しても、現実にそのような変形が起きるかどうかは明確ではないため、現場知見を踏まえた性能確認は極めて重要である。すなわち、実被害に対応可能かどうかを実証的に確かめながら開発している点が、本製品の大きな強みである。

■期待される効果

本製品は「レベル2対応型」として地震動を基準にしているが、研究に可能性」が示唆される。

測している。管路にセンサーを設置した事例や、道路埋設光ファイバーによる観測も行っているが、これらの観測からは「地震動そのものでは大きなひずみは生じにくい

とう管がどの程度変形するかを正確に把握する必要がある。波動そのもので大きく変形する事例は少ない可能性があるが、地盤変状が生じた際の変形挙動を踏まえ、事業者が適切に選定・設計する

要としない可能性もある。ゆえに、性能を適切に評価する仕組みの構築が重要である。

■パイプライン全体の耐震化に向けた視点

「耐震管」という語は強度向上を想起させるが、本来伸縮可とう管は変位を逃がす機能を持った

動から算出される最大変位の簡易式での評価であり、地震時の繰返し変位については言及されていない。

光ファイバーによる観測結果からは、地震時のひずみは中小地震で数マイクロレベルにとどまり、大地震であっても管材料が降伏に至る可能性は極めて低いと推察される。しかし、この点は今後も立証が必要であり、地震動によるひずみ算出設計式の妥当性を含めて検証を進める必要がある。

メーカーは自社製品の性能のみを示すのではなく、パイプライン全体としてどのような外力が作用するかを理解した上で製品開発を行うことが求められる。管材や継手といった個別要素の耐震化だけでなく、システム全体としての耐震性向上を図る視点が不可欠である。

おいても地震時に伸縮可とう管が何回程度、どの程度変形するかを直接確認した例は多くない。設計式は存在するものの、実地震時にどこまで適用可能かは十分に解明されていない。

研究室では断層変位、地震時のひずみ、振動などを多様なセンサーで観

実際に地震時に全ての継手の数に対して漏水発生箇所が若干であることを踏まえると、地震動によるひずみは小さく、地震動よりも地盤変状による変形の影響が大きいことを示しているとも解釈できる。

水道事業体は、レベル2地震動に対して伸縮可

ことが求められる。

日本ニューロン製伸縮可とう管は、ベローズの山形状によって変形特性が決定されるため、事業体はその構造的意味を理解した上で選択する必要がある。逆に、橋台側の保護を十分に行うなど対策をすれば、高性能な伸縮可とう管を必ずしも必

め、「耐震化」という表現は必ずしも適切ではない。むしろ、どれだけ大きな変形を許容できるかが性能の本質である。

日本水道協会の水道施設耐震工法指針では作用となる継手の相対変位が不明瞭で、日本水道鋼管協会のWSP024－2013においても、地震

省令改正

レベル２対応を義務化

重要施設接続の配水支管等　10月１日から施行

（改正後）

	レベル1地震動	レベル2地震動		レベル1地震動	レベル2地震動
基幹管路	○	○		○	○
重要施設に接続する配水支管※	○	－		○	○
上記以外の配水支管	○	－		○	－

レベル1地震動：当該施設の設置地点において発生するものと想定される地震動のうち、当該施設の供用期間中に発生する可能性の高いもの

レベル2地震動：当該施設の設置地点において発生するものと想定される地震動のうち、最大規模の強さを有するもの

※現在対象となっていない、配水本管を有しないが、重要施設に配水支管が接続する配水池やポンプ場も同様に引き上げ。

管路が備えるべき耐震性能

国土交通省は、4月1日付で「水道施設の技術的基準を定める省令」（技術基準省令）の一部を改正した。全国的な耐震性の向上につなげるため、水道施設が備えるべき耐震性能の規定を見直した。重要施設に接続する配水支管、ポンプ場、配水池等について、基幹管路（導水管・送水管・配水本管）と同様にレベル2地震動への耐震性能を確保するよう義務付けている。

水道施設の重要度に応じて備えるべき施設要件は、技術基準省令の第1条第7号で定められている。

改正前、基幹管路と配水本管に接続するポンプ場・配水池等については▽レベル1地震動（想定される地震動のうち供用期間中の発生可能性が高いもの）で健全な機能（設計能力）を損なわない▽レベル2地震動（想定される地震動のうち最大規模のもの）による損傷が軽微であって機能に重大な影響を及ぼさない（機能低下を来しても速やかに機能回復できる）――ことを規定していた。

一方、重要施設（避難所や災害拠点病院等）に接続するものも含め、配水支管はレベル1地震動に対する耐震性能（機能低下を来しても速やかに機能回復できる）のみ規定していた。

能登半島地震では、配水支管を含む水道施設が各地で被害を受け、重要施設に接続する配水支管、ポンプ場、配水池等で配水本管と同様の耐震化を講じる必要性が認知された。

今回の改正では、レベル2地震動に対する耐震性能を確保すべき施設の対象として、新たに「配水管のうち災害その他非常の場合における確実な給水を確保する必要性が高い施設に給水する給水管が分岐して設けられたもの」を加えた。また、これと接続するポンプ場・配水池等にも同様の耐震性能を求めている。

なお、配水本管を有していない水道については、改正前の規定において「最大容量の配水池」のみがレベル2地震動への耐震性能を確保すべき施設の対象となっていた。今回の改正により、配水本管を有する水道と同様、重要施設に接続する配水支管とこれに接続するポンプ場、配水池等が対象に追加された。

省令の一部改正については、4月1日付で同省水道事業課が都道府県、市、特別区の水道行政担当部局と水道事業者等に通知を発出、周知を図っている。

留意事項としては▽重要施設は下水道事業者や防災部局等と調整を図り適切に設定する▽施行日である10月1日以降の新たな設置工事を改正省令の適用対象とする――ことなどを挙げた。

経過措置としては、全ての水道施設を直ちに適合させることはできない実情を考慮し、工事中を含む既存の水道施設で大規模な改造を実施するまで改正後の規定を適用しないこととしている。なお国交省は、既存施設も速やかに新基準に適合させることが望ましいとしている。