

大規模地震発生時の水道管破断対策用 革新的伸縮可とう管の開発

日本ニューロン株式会社
代表取締役 岩本 泰一

日本ニューロン(株) 代表取締役	岩本 泰一
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	金丸 佑樹
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	清水 英次
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	西 勇也
日本ニューロン(株) エンジニアリング本部	大西 雅行

はじめに

上下水道、工業用水、農業用水など様々なライフライン配管において、季節変遷による管路の熱伸縮や地盤沈下などによる管路破断を防止するため、「伸縮可とう管」と称する部品を管路の継ぎ目に適宜設置し対策を講じている。その際、大地震時等の大きな管路変位を吸収するには、従来の伸縮可とう管では製品長を非常に長くする必要がある。

しかし、据付スペースを必ずしも確保できない現場事情から、施工性および経済性に大きな問題を抱えており、我が国の喫緊の課題である水道管の耐震化を妨げている。そこで、災害発生時の大きな管路変位を極めて短い面間（製品長）で吸収でき、施工期間も短く、低価格にて提供できる革新的な耐震化対策継手として、当社独自の形状最適化アプローチにより従来構造に革新的改良を施した『MC (Modulated Convolutions) ジョイント』を開発した。

開発のねらい

近年、我が国で発生する自然災害は激甚化の傾向にある。直近では令和6年1月1日に発生した能登半島地震でマグニチュード7.6、最大震度7を

観測し、地震動や地盤液状化等によって水道管に大きな変位が作用し、管路が脱管破損（写真1）や橋梁付近で大きな地盤のずれが見られた。兵庫県南部地震（1995年）や東日本大震災（2011年）などの過去の教訓に基づき、水道管路の更新が各自治体で推し進められてきたものの、厳しい現実として多くの地域で管路の破損による断水が発生した。水道が極めて重要なライフラインであることは言うまでもなく、その耐震化が喫緊の課題であることは疑いようもない。



写真1 石川県 珠洲市水管橋破損

本開発品の目的は、これらの大変位を柔軟に吸収し、かつ地震荷重に耐える強靱な配管耐震化継手をライフラインに寄与するあらゆる管網へ普及させることで、国が掲げる「防災・減災、国土強靱化」へ貢献することである。

装置の概要

伸縮可とう管には伸縮部位の構造に応じて「ベローズ型」、「摺動型」、「ゴム型」などのタイプがあり、当社はベローズ型伸縮可とう管の設計製造メーカーである。同製品の伸縮部位である金属製蛇腹パイプ“ベローズ”は従来、全て同じ山高およびピッチの山形状を連続して設けたものである（図1）。今回開発したMCジョイントは、山高やピッチが異なる2種類の山形状を組み合わせた特異な構造を特徴としており、低い山形状と高い山形状を交互に設けた伸縮部位を『MC P (Metal Corrugated Pipe : メタルコルゲートパイプ)』と命名した（図2）。

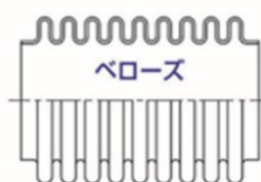


図1 従来ベローズの形状

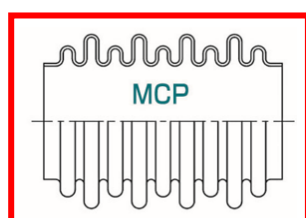


図2 MCジョイント
(本開発品)の形状

従来のベローズは100年以上前のドイツが発祥とされ世界的に普及しているが、ベローズの既往設計法では現行のものを含め全ての山が均一な高さであることを前提とされている。つまり、既往設計法では単純な均一山形状しか評価する術が無いため、一つのベローズ内で山の高さが異なるMC P構造を誰も発想し得なかった。MCジョイントは当社が得意とするFEM（有限要素法）解析を用いた複雑な変形シミュレーション技術や豊富な自社開発試験機群を活用した実大実験を駆使するという先進的なアプローチによって開発に成功したものである。

【技術の獨創性】当社は、数々のベローズ成形機群を保有しており、成形可能寸法は、板厚：0.15mm～36mm、口径：φ8mm～φ8,000mmの非常に広範囲にわたり、それぞれの仕様に応じて成形機を使い分け、且つミリ単位で山形状を調整できる高い塑性加工技術を有する。

一方、地震発生時の管路の破裂や脱管、大きな地盤のずれなどによる水道管路の断水を未然に防ぐには、実物大配管が大変位に対してどの程度耐え得るかを実証する必要がある。しかし、そのような大変位の耐震試験を行える管路試験施設は国内には無いに等しい。そこで当社では、外径φ2,700mmもの巨大な管体供試体の実大実験が可能な『大変位耐震試験機（写真2）』を一昨年に開発し、MCジョイントの耐震性能の実証に活用すると同時に、FEM解析によるMC Pの形状最適化手法を確立した。



写真2 大変位耐震試験機
(試験体最大サイズφ2,700mm×長さ6,300mm)

以上のように、MCジョイントはMC Pを代表とする独自のベローズ構造設計技術をベースに、その製品化を実現するための高度な成形技術と塑性加工技術、そして実大実験技術とFEM解析によるデジタルツイン技術などの融合を通じて開発した極めて獨創性の高い製品である。

技術上の特徴

本開発品MCジョイントは蛇腹状変形部であるMC Pにパイプやフランジ等の接続部品を溶接一体化した構造であるという点では従来のベローズ型伸縮可とう管と同様であるが、その設計思想は革新的であり性能・用途は全く異なる。

従来ベローズの山形状は、同形のものが連続する構造であるため、変形時には隣の山形状が接触し、スムーズな変形を阻害する。ゆえに、山形状が接触するまでの距離が許容変形量となる（図3）。

これに対して本開発品MCジョイントでは、隣り合う山形状の高さを調整して大小組み合わせることで大きい山形状は小さい山形状と接触

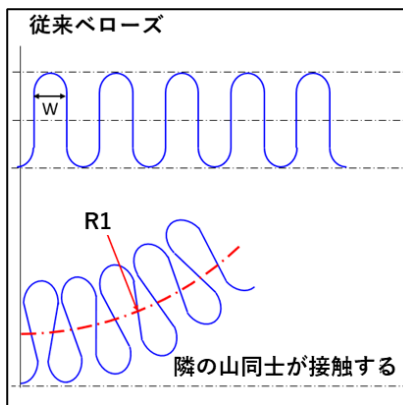


図3 従来ベローズの曲げ半径

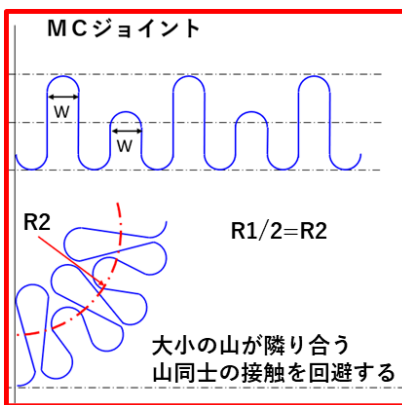


図4 MCジョイントの曲げ半径



写真3 変位時に大小の山が折り畳む

せず、1つ先の大きい山形状と接触する（図4、写真3）。そのために接触するまでの距離が約2倍となり、許容変形量が格段に増大する。また、曲げ変形時には、山同士が近づく内側の変形量を大きくすることができ、曲げ半径も従来の約1/2まで小さくできる。このような特異な機構により、短い変形距離でも大変位を吸収できる優れた性能を発揮する。これらの変形メカニズムに関して、従来ベローズとMCジョイントの縮小スケール試験体での変形比較実験（図5）や大変位シミュレーションに基づくFEM解析（図6）を通じて、それらの解明に成功しており

ライフラインでの実用に至っている。シミュレーションと実物実験の結果は良い一致を示しており、複雑に塑性加工されたMCPが期待通りの品質であることを定量的に証明している。

以上のようにMCジョイントの開発において、常用時の少量繰返し変位ではなく、大規模地震や断層ずれ、また能登半島地震でも多くの箇所で見られた地盤液状化など、管路の破損に繋がるような様々なモードでの大変位を吸収し、通水維持性能に焦点を当てたところに革新的な設計指針がある。従来製品の課題であった大変位による破損・脱管箇所を大幅に減少させ、被災地域の断水を防ぐことが期待できる。



図5 縮小スケール試験体での比較実験

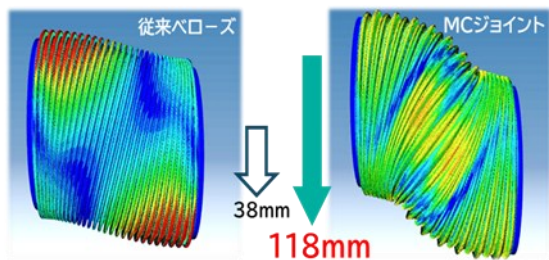
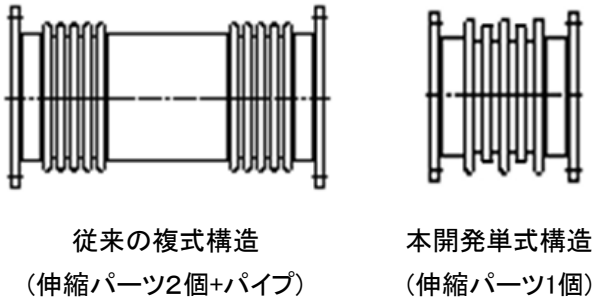


図6 従来ベローズとMCジョイントのFEM解析による許容変位量比較

実用上の効果

【経済性】従来の伸縮可とう管において大きな管路変位を吸収する場合、2箇所の伸縮パーツと中央にパイプを設ける複式構造が一般的である（図7左）。そのため、製品長さを非常に長く設計する必要がある。これに対して本開発MCジョイントは、伸縮パーツ1箇所だけの単式構造により大変位を吸収できるため、製品長さ重量を50%削減できる（図7右）。それに伴い加工量も約半減するために製造時に約50%の電力削減が可能となり、CO₂ガス排出量の大幅な削減による環境負荷低減に貢献できる。特に被災地では、限られた狭い工事現場への搬入が容易になり、吊り下ろしに必要な重機の小型化と台数の削減、設置時間の短縮などの効果が期

待できる。その結果、従来ベローズに比べて施工時間を約30%、コストを約20%それぞれ削減できるほか、輸送コストを約20%低減可能と試算している。



従来の複式構造

(伸縮パーツ2個+パイプ)

本開発単式構造

(伸縮パーツ1個)

図7 従来品の複式構造と本開発製品の単式構造での部品点数の比較

【今後の展望】「管路」という括りで言及すると、ありとあらゆるライフライン施設において縦横無尽に張り巡らされているという点で、巨大かつ多彩な市場があり、その市場内におけるMCジョイントの水道管路分野ではない別分野への転用は大いにあり得る。

例えば、再生可能エネルギーであるバイオマス発電、地熱発電などにおいて、熱媒によるタービン回転が発電を可能とするという点で、必ず伸縮可とう管が多数必要となる。水素や核融合発電などの新エネルギー分野においても、極低温環境あるいは極高温環境において「熱」は常に管路破断の主要因たりえる重要要素であり、管路の熱伸縮吸収用途で適宜設置されるベローズ型伸縮可とう管は将来的にもエネルギー分野において多くの活躍の場が約束されていると言っても過言ではない。

また、MCジョイントの性能確認用に開発した「大変位耐震試験機」は、他のあらゆる管体試験体の耐震性能確認用途で転用可能であり、自社製品に限らず、我が国のライフライン配管の耐震化という共通の目標をもつ企業として、仮に競合メーカー品であっても試験を請け負うスタンスである。

加えて、同試験機を備える施設である『管路防災研究所』（経営母体：日本ニューロン株式会

社）では多くの学識者や技術者、設計コンサル会社や事業者の方々に視察いただいております。同試験機を含む豊富な試験機群のスペックを社内外問わず多くの人の目に晒すことにより、本来の試験機用途とは全く異なる、ユニークな発想の創出を期待している（写真4）。



写真4 管路防災研究所 全景

知的財産権の状況

本件に関する特許登録は下記の通りである。

①特開 2022-123958(P2022-123958A)

名称:伸縮可撓管

概要:圧縮変形、S字変形、湾曲変形等の変形量を大きくし、地震等における配管の変位を確実に吸収緩和できる。

②特開 2022-170945(P2022-170945A)

名称:配管継手

概要:平時には伸縮部を拘束部材で拘束し、地震等の災害時にはこの拘束部材による拘束を自動的に解除させる。

その他1件を出願中。

むすび

水道管路に設置する、大規模災害発生時の破断対策用防災継手「MCジョイント」について記した。本開発品の普及により、大規模地震などによる断水戸数を減少できると確信している。当社は今後も安全性の高い管路システム構築のため、研究・開発を継続して参る所存である。