

## 水管橋に設置する伸縮可撓継手の耐震性能

管路防災研究所 研究員 松本大

### 1. 水道管の地震時被害

水道管路は、その多くが埋設管路であるが、河川横断部では水管橋により地上配管となる。地上管路は、日光を受けて熱伸縮を発生するだけでなく、地震時には水管橋の地震時挙動の影響を受けて、強制的に橋軸方向伸縮変形を発生し、場合によっては管路破壊を引き起こす。

この管路破壊を回避するために、水管橋上水道管両端部に伸縮可撓継手が設置され、その橋軸方向変位を吸収する設計が行われる。

この時、一番重要な情報は、伸縮可撓継手が吸収しなければならない強制変位がいくらであるかということである。

### 2. 伸縮可撓継手の現行設計法

現行設計指針には、伸縮可撓継手に作用する地震時相対変位算定法が規定されている。しかし、この算定式は地盤震動（地盤弾性状態）に対するものであり、管路破壊に結び付く地盤変状（地盤崩壊状態）に対しては、その耐震対策の言及が無い。したがって、現行の設計指針が保証しているのは、地盤震動に対する伸縮可撓継手の地震時安全性であって、地盤変状に対する継手の安全性を保証する設計体系にはなっていない。

### 3. 伸縮可撓継手に求められる耐震性能

伸縮可撓継手に作用する地震時相対変位は、水管橋橋台間を伝播する地震波の位相差に起因して発生するものであるが、現行設計法はその位相差評価を不正確かつ過大に評価している。長周期地盤ではとくに、地震時相対変位の過大評価の影響が顕著となる特性が見られる。

問題点を改訂した提案式と現行式の比較検討結果について、本年度地震工学研究発表会で論文発表している。

### 4. 今後の課題

大地震が発生すると、軟弱地盤に設置された水管橋では橋台や橋脚が沈下や水平移動などの大規模な変形を発生する。実際にそこに設置された水道管の破断や漏水事故事例も過去に報告されている。現在のところ、伸縮可撓継手の耐震性能として、地盤震動に対する継手部分の抜け出しや漏水被害の具体的な回避策は期待されることはあっても、地盤変状により発生する強制変位を吸収できる耐震性能までは要請されていない。しかし、能登半島地震においても水管橋橋台背面の地盤崩壊を起因として伸縮可撓継手が破断する事例が報告されており、地盤変状に対応できる伸縮可撓継手耐震設計法の確立が今後は望まれることが予見される。

地盤変状が発生すると、水管橋周辺の地盤は、数メートル単位の浮上や沈下、あるいは側方流動を引き起こすため、伸縮可撓継手はこの大規模変形に追従できる耐震性能を要請されることになる。地盤変状状態は地盤崩壊状態であることから、この時、伸縮可撓継手は終局限界状態に対する耐震性能（伸縮性能）を期待されることになるのであろう。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウストラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



#### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

#### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

#### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング

# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol. 27

2024.8.

## ベローズの現地溶接

営業技術本部 北村 亮太

### 1. ベローズの現地溶接および調査・診断

当社では、コア技術のひとつであるクラフトマンシップ溶接技術を活かし、いわゆる現地現場における既設管路・設備等の延命補修、耐震補強及びその調査・診断を長年おこなってきた。具体的には、下水汚泥プラントの空気予熱器周辺や火力発電所のボイラー廻りへの出張溶接施工および現地既設ベローズの状態確認（寸法計測・材料調査・継続使用確認等）である。



### 2. 製品組み立ての1工程としてのベローズ現地溶接

既設配管において、外側ベローズ型二重配管（二重殻）を新規配管に交換する時、外側ベローズを分割タイプとして工場にてベローズを製作し、現地にて一体化溶接を行う必要がある。この場合は、ベローズ溶接は自社製品の現地組み立ての為の現地溶接であり、すべての工程に自社責任がある。

〒619-0237

京都府相楽郡精華町光台2-2-5

日本ニューロン株式会社

けいはんなサウストラボ

『管路防災研究所』

お問い合わせ先

[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 3. 上下水道管路の延命。耐震化対策としてのベローズ現地溶接

一方、上下水道管路の延命・耐震化対策として、老朽化した既存伸縮継手を覆う形でベローズを現地溶接する工法がある。このベローズは、既存伸縮継手の延命・耐震化対策として施工される。

もし、耐震化対策としてベローズを外蓋溶接した場合は、①既存伸縮継手の耐震性能が性能保証限界で、被覆溶接したベローズは単に既存伸縮継手の延命補強材であるのか？それとも②既存伸縮継手の耐震性能は無視して、外蓋溶接したベローズが代わってその耐震性を保証することになるのか？当該工法を採用した団体は、その目的が①なのか②なのかを事前に明確化すべきであろう。

しかし、一般的に現地を外蓋溶接したベローズの耐震性能は、品質管理の行届いた工場内で製作されたベローズと等しい耐震性能を期待すると、そのリスクは大きい。上記②を採用する場合は、このリスクに対して十分な配慮が必要であることは言うまでも無い。

### 4. ベローズの伸縮性能を100%発揮させる溶接工法

地盤変状によりベローズの伸縮が終局限界変位を超過する水準に達する時、ベローズの溶接部分は亀裂発生リスクが最も高い箇所となる。そのリスクを最少水準にまで低減するための対策として、以下の点に対する配慮が必要となる。

① ベローズの一体化溶接は完全溶け込み溶接（Full Penetration Weld）が原則である。懸念される所は、現地における理想的溶接姿勢ではない状況で完全溶け込み溶接を試みると、入熱量が大きくなり熱影響部（Heat-Affected Zone）が拡大されることである。したがって、性能維持の観点からも溶接作業員には相応の技量が必要となる。

② 二分割したパーツを一体化する際、既設管路の変形などにより合わせ面が合わない場合がある。極力既設管路の変形によらない手順、治具検討、工法を模索すべきである。

③ 作業環境によってはしばしば大気中に浮遊する粉塵や湿気の多い場合がある。粉塵については、溶融池への巻き込み防止のため、状況に応じて周辺環境との遮断を検討すべきである。湿気については、吸湿しやすい溶接棒を使用する場合は、開梱後速やかに溶接作業に移行することが望ましい。

#### 環境条件

地震災害

過酷環境

気候変動

#### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手

終局限界性能  
確認実験技術

#### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計

防災  
エンジニアリング



## 伸縮可撓継手の性能設計とは何か？

管路防災研究所 シニアフェロー 小池 武

### 1. 都市ライフラインの性能設計

都市ライフラインには、上下水道管路・ガス管路以外に電力・情報通信網さらに交通（道路・鉄道）網が含まれる。これらのシステムは常時も震災などの緊急時にも供給・機能維持が望まれ、それが一時でも遮断されると都市生活・都市活動の広範囲に亘って深刻な影響を及ぼすことになる。したがって、いかなる状態にあっても都市ライフラインの機能維持は最優先課題となる。

都市ライフラインの機能維持を実現するためには、基本戦略として「想定される緊急事態に対してその機能停止（供給停止）を何時間以内に抑えるか、そのための対策をどう進めるか」を確認し、その戦略実現目標およびその達成方法を明示する必要がある。

性能設計は、明示した目標性能を設計者が最適とする手段で実現するための設計法であり、このような議論をする際の作業指針を与えてくれる。一方、既往の設計指針は、全体システムの目標値と個別要素構造物の目標値の整合性が不明瞭なままに、設計実務者に形式上の性能設計化を要求していることが懸念される。

### 2. 伸縮可撓継手の性能設計

管路に直列に繋がる伸縮可撓継手は、継手破壊が管路からの漏洩被害を引き起こすため、その安全性水準は管路自体の目標安全性能と整合的でなければならない。すなわち、想定地震動により管路に発生する軸方向変位に対して管路は安全であっても継手が吸収できない状態があってはならないということである。

したがって、継手の機能性能すなわち限界変位は地震時管軸方向変位に対して所定の安全性を確保できるように設定する必要がある。性能設計法は、この所定の安全性を確保する限界変位を設定するのに有用な道具である。しかし、既往の設計指針は所定の安全性を定量的に明確化できていないため、性能設計法の利点を生かせていないと言わざるを得ない。

伸縮可撓継手のみならず、すべての製品供給側は、複数レベルの限界変位と実現可能な安全性との関係を明示した性能データを示すことで、製品の安全性能を明確化できるはずであり、それにより性能設計化に大いに貢献できることになる。

### 3. 水道システム全体の性能設計

2点間を繋ぐ管路システム(Link)は、直管・異形管さらに河川横断橋や弁室など様々の付属施設が直列に連なって一つのシステムを構成している。そして、伸縮可撓継手はそれらの構造物と管路を繋ぐ接続点に適宜設置される。

性能設計法に基づいて、個々の構造物要素の安全性から個別管路システム(Link)の安全性、さらに水道システム全体(Network)の安全性を評価できる安全性指標を提供するsystematicな設計手法を構築することができると、水源から需要端までの整合性のある水道システム全体の耐震化が実現できることになる。

将来の水道施設耐震工法指針には、このような観点からの性能設計法の新展開を期待したい。



〒619-0237

京都府相楽郡精華町光台2-2-5

日本ニューロン株式会社

けいはんなサウスラボ

『管路防災研究所』

お問い合わせ先

[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)





# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol. 25 2024.6

## ベローズの限界性能

### ベローズの失われた30年

管路防災研究所 研究員 西 勇也

神戸の震災以来、水道管路のベローズが常用性能を遙に超える大変位に対して強靱性を発揮し通水機能を維持した事例は広く知られている。これがベローズ業界の謳い文句である。しかし、果たしてベローズがどこまで通水を維持し得るのか、その限界性能は未だ明らかにされていない。豈図らんやで済ませてしまった当時のベローズ技術者たちの楽観的境地には閉口するばかりであるが、その遺産を無思慮に受継いだ筆者らもまた倫理の欠如を猛省せねばなるまい。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 地震時の限界状態を“ばね”に擬えて

地震時におけるベローズの限界性能を定めるにあたり、筆者らの研究グループでは“地震動に対する極低サイクル疲労”と“地盤変状に対する大変形モード”の二つの限界状態について議論すべきだと考えている。これらの平易な解説を試みよう。読者諸賢は手近にノック式ボールペンをお持ちだろうか。その中の小さなコイルばねを想起いただきたい。ペン先を出し入れする度にこのばねは何度も伸縮するが、インクを使い切るより早く疲労寿命を迎えることは先ずないだろう。ベローズも同様、常用時に作用する小さな変位に対しては供用期間内に疲労寿命を迎えないように設計が為されている。次にボールペンからばねを取り出して考える。指で両端を摘まんで、ある程度まで引き伸ばすと指を放しても元の長さに戻らなくなる。無理に戻そうと縮めるとコイルの巻きがずれて不揃いになる。また同じだけ伸ばして縮めると繰り返すうち、直にプツンと切れてしまう。この例はベローズに地震動が作用するときの限界状態に似ている。地震の大きな揺れによってベローズが不均一な塑性変形を繰返し疲労寿命に至るのである。最後に新たなばねを両手で力いっぱい引き伸ばすことを想像いただきたい。ばねはコイルの様相を失い真直に成ろうとし、所々に形状の残滓として鋭角な折れ曲りを生じるだろう。そして人力では困難だが機械的にさらに伸ばせば折れ曲りを基点にして破断に至る。これが地盤変状に対する大変形モードの類型である。地滑りや液状化などといった地盤変状によって管路が大きく移動するとベローズは追従して変形し続け、やがて破断に至るのである。

### 限界性能を知ることが何につながるのか

先に述べた二つの限界状態に至る変位量の大きさこそがベローズの限界性能といえる訳であるが、僥倖として是迄の我々の研究では一般的に使用されている旧来のベローズであっても非常に大きな限界性能を持つことが明らかになりつつある。工業製品の性能向上に大型化や重量増の伴うことが世の常であることを鑑みるに、これはベローズの性能向上と小型軽量化を同時に実現する可能性の天啓である。

水道管路の耐震化を阻む要因として老朽化した既設管路が新技術、新製品にとって過度に狭隘であるが故に更新が進まないといった課題が散見される。あらゆる防災技術は普及によってはじめて真価を発するものであり、明確な耐震性能を有しかつ小型軽量のベローズの登場はひとつのブレイクスルーとなるだろう。「天災は忘れた頃来る」とは寺田寅彦の言であるが、忘れる暇もないほど自然災害の激化する昨今に逸速く実現を目指したい。

#### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

#### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

#### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング



## 伸縮可撓継手と危機耐性

管路防災研究所 シニアフェロー 小池 武

### 1. 耐震設計法と危機耐性の関係

「危機耐性」という言葉が設計指針の中に散見される時代になったが、この言葉の解釈は人により異なっていると思われる。

ライフライン事業者は、いかなる危機状態が発生しても、需要者へのサービス提供を確保する責任がある。そのためには、危機状態でも何らかの対応策を実現できる体制を確保すべきである。それがライフライン事業者にとっての危機耐性と筆者は解釈している。

現在、世界中で行われている耐震設計法は、基本的には限界状態設計法に従って、3つの限界状態（使用・修復・終局）が設定され、終局限界状態を越えると構造物は破壊すなわち危機状態に陥るとされている。設計者は想定内の限界状態に対する安全性を所要の確度で保証する責任がある。しかし、設計者は想定外の危機状態に対しては責任の取りようが無い。設計者にできることは、極力危機状態を引き起こさないように、対象地点の設計荷重上限値を正しく予測し、採用する構造物・設備の終局限界範囲を拡大して危機状態に陥る可能性を小さくすることである。そのためには、設計者は構造物・設備を提供する受注者と、この点について認識を一致させることが必要となる。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウストラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 2. 危機耐性について考えるべきこと

「危機耐性」への対処法は、それに関わる立場によって異なる。すなわち、危機耐性を保有するとは、「想定外の危機状態に遭遇した時、ライフライン事業者がシステム全体の機能を活用して破壊状況を克服する能力を保持すること。」であり、危機耐性の執行者はライフライン事業者であることを認識しなければならない。

設計者は、地盤震動による地震荷重に対しては想定内の耐震設計対応が可能。しかし、想定外の大地震発生時には地盤変状による地盤の大規模変位・崩壊は事前の設計条件では確定できず、危機状態に陥る場合が発生する。したがって、大規模な地盤変状に対する対応策をライフライン事業者と事前に協議することが必要となる。

構造物・設備提供者は、危機状態に遭遇した時ライフライン事業者が危機対応を執れるように、できるだけ構造物・設備の耐震性能を向上させ、高信頼性製品を提供するように要請されることになる。

### 3. 伸縮可撓継手サプライヤーの役割

サプライヤーの役割は、設計者が要求する限界状態に対する耐震性能を高い信頼度で実現する製品を提供することで、ライフライン事業者が危機対応を実施しやすい条件を提供することである。

継手の終局限界性能を拡張し、その実現確率をより高い水準で保証できる製品を供給することが、伸縮可撓継手サプライヤーの「危機耐性」に対する対処法となる。



# NEWS LETTER

Vol. 23 2024.4.

## 水管橋用伸縮可撓継手への要求性能

管路防災研究所 研究員 松本 大

### 1. 水管橋用伸縮可撓継手への要求性能とは何か？

水管橋上に設置される水道管は、架空配管のため温度変化による伸縮を生じる。また、送水条件により水圧が大きく変動する機会があることから、内圧変動の可能性も存在する。これら常時荷重による水道管の伸縮変位を吸収する目的で、従来から伸縮可撓継手が設置されてきた。

しかし、地震危険度の高い我が国では、地震発生により大きな強制変位が作用する場合を常に想定しておかねばならない。

とくに、レベル2地震動が作用すると、地盤震動により水管橋両端の橋台が振動することで橋台間に地震時相対変位が発生する。伸縮可撓継手は、この相対変位を吸収できなければならない。また、橋台周辺地盤が液状化などの地盤変状を生じると、橋台が平行移動・回転などを生成し、水道管自体が大変形を生じ、条件次第では水道管に亀裂漏洩あるいは剪断破断もしくは引張破断が発生する可能性も考慮しなければならない。実際、本年当初に発生した能登半島地震では橋台背面の地盤変状により、伸縮可撓継手が破断した被害事例が報告されている。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 2. 地盤震動に対する要求性能は満足できているか？

能登半島地震において、地盤震動のみによる水管橋上伸縮可撓継手の被害は発見できなかった。このことは、伸縮可撓継手に作用する相対変位が想定外に小さかったのか、あるいは可動支承の設計移動量と伸縮可撓継手の設計変位量に整合性がとれていないために、伸縮可撓継手本来の変位性能を発揮できず、水道管本体が長柱座屈を起こす形で相対変位を吸収したのかもしれない。伸縮可撓継手が適切に作動したかどうかを判断するためには、地盤震動による橋台間相対変位をより高精度に評価し、伸縮可撓継手はその相対変位をスムーズに吸収できる支承機構になっていたかを確認する必要がある。

### 3. 地盤変状に対する要求性能は満足できているか？

埋立地や人工改変地といった軟弱地盤では、地震により液状化や土砂崩れ等の地盤変状が発生しやすい。このような場所に水管橋を設置する場合は、沈下を抑止するために橋台は杭支持されるが、周辺地盤は地盤改良等の対策が行われなため、橋台と周辺地盤の間で不同沈下が生じる。そのため、この状態で大地震に遭遇すると、周辺地盤が液状化することで、橋台・地盤間に管軸方向・管軸直角方向に大きな地盤変状が発生する懸念が生じる。既往設計指針に基づいた伸縮可撓継手では、大規模地盤変状を吸収できるとは限らないため、管路破断が生じない変位吸収メカニズムの構築に向け、当研究所で新たな伸縮可撓継手の開発に取り組んでいる。

#### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

#### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

#### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング



# NEWS LETTER

Vol. 22

2024.3.

## 設計技術者のAIとの付き合い方

管路防災研究所 研究員 金丸 佑樹



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』



お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

### 1. 設計技術者にとってのAIの存在

将来、生成AIによって完全に代替されると予想されている職種の一つに、「建築設計・エンジニアリング」が含まれる。たとえば設計対象構造物における過去の設計実績に基づく類型化、事象事例に基づく必要設計要素の反映、チェック作業などはAIによる完全自動化が可能との見立てと思われる。それらの要素を全て学習させれば、設計技術者と同程度の設計が可能となるはずであるから、その結果、設計技術者の設計計算結果の間違いはAIがチェックすることになる。そのような未来では、新入社員の教育方針でさえもAIが決定し、何の疑いもなくAIの回答を鵜呑みにしてしまう世代が出てくる。AIに付き従う未来とならないためにも、来たるAI社会の中で設計技術者として何かできるかを今から熟考しておく必要がある。

### 2. 設計技術者のAIとの付き合い方

ベローズ型伸縮可撓継手の設計業務をAIに委ねることの問題点を指摘するとすれば、学習させる基となるデータベースが正確かという点である。たとえば、AIに教えるデータベースに、設計法に関する何らかの不備があれば、AIの出す解答も不正解となる疑念が残る。もし、設計技術者がこのデータベースに内在する不備に気が付かなければ、事故が発生するまでその設計上の間違いが継続されることになる。しかし、設計技術者は事前にこの問題点に気付くことができるであろうか？設計技術者は設計した製品に対する冷徹な観察力により、AIの出力間違いを発見できる能力・洞察力を錬磨させねばならない。世の中の大半の設計指針は、数年ごとに新たな知見や地球環境の変化などに伴い改訂される。それは、常に現行の設計指針は完璧ではないものと捉え、どこか問題点が無いか、という視点を持つ技術者の存在によるものである。設計指針が完璧なもので無いとすると、その指針を学習したAIもまた完璧ではないはずである。したがって、「AIが出力する設計結果はあくまで現行の設計指針に従った設計であって、必ずしも完璧なものではない」ことをしっかりと理解した上でAIを活用する必要がある。

### 3. まとめ

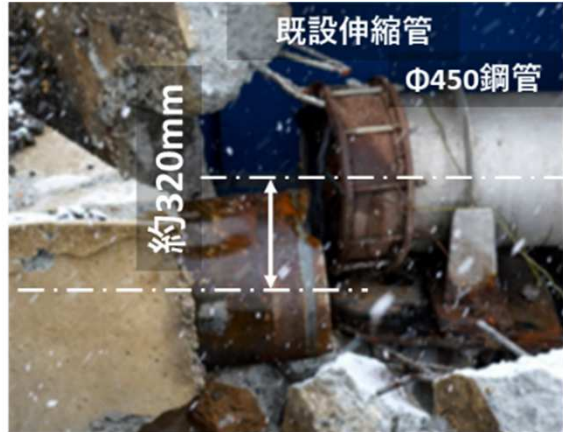
AIは業務効率化に大いに期待される反面、時として設計技術者が本来もつべき現行設計指針への問題意識を奪ってしまう懸念がある。AIが普遍化する未来に向け、アウトプットされる情報の正誤を判断する目を養っておきたい。



# NEWS LETTER

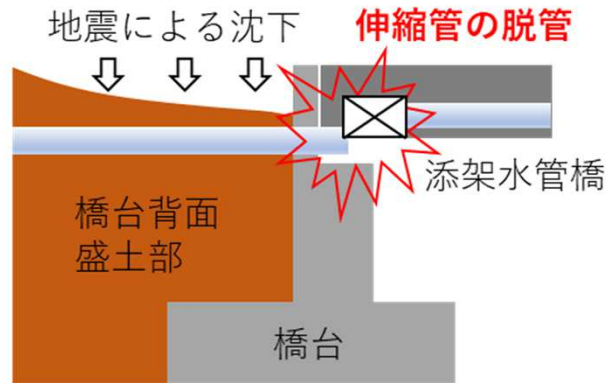
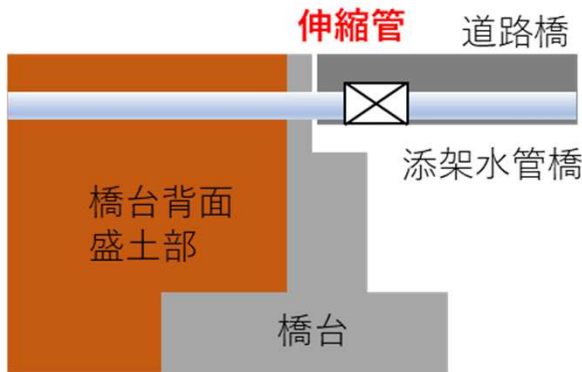
【特報】 2024.2.

## 地震時の橋台背面沈下対策として「ベローズ型伸縮可撓管」の適用



2024年能登半島地震での既設伸縮管の被害事例

地震時の橋台背面盛土部の沈下

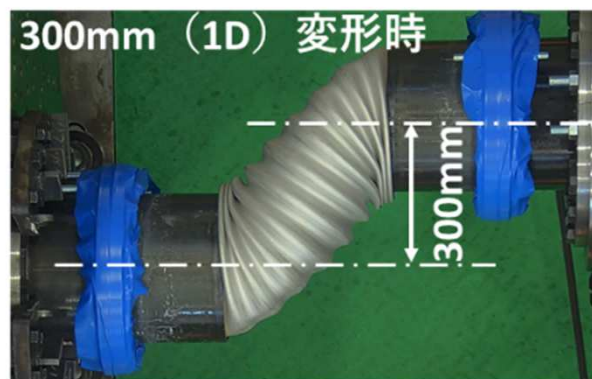


2011年東日本大震災、2016年熊本地震でも同様の水管橋の被害事例が多く報告されている。

「ベローズ型伸縮可撓管」の限界性能（地盤変状時）



伸縮管の性能  
口径：φ300 材質：SUS304  
山数：10山  
許容繰り返し軸変位：±50mm  
限界軸直角変位：470mm



亀裂なし・通水断面を保持

限界変位では口径（φ300）の1.5倍以上の変位でも亀裂・漏水の発生なし

➤地震時の橋台背面部沈下による伸縮管の抜け対策として最適な工法



# NEWS LETTER

Vol. 21 2024.2.

## 研究者のAIとの付き合い方

管路防災研究所 シニアフェロー 小池 武

### 1. 研究者の資質

検索システムの無い時代の研究者は、既往の研究を調査できる範囲が今とは比較にならないくらい限定的であったが、何処かの時点で自身のアイデアの新規性・独自性を見極める決断をし、その後はそのアイデアの実現に向けて粘り強く邁進したはずである。

ここで重要なのは、自から独自アイデアを見つける洞察力である。そして、そのアイデアの意義・価値・倫理的妥当性などの判断は研究者自身が考えるべきであろう。

問題点や課題は、日々注意深く事象を観察することから見つかる。しかし、問題解決のための画期的なアイデアを思い着くのは、問題意識やアイデアを抱えて悩む頭脳が何らかのきっかけを掴む瞬間である。それが何かは、一般論では言えないが、どこかの瞬間に閃きとして現れる。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 2. AIの強みと弱み

研究論文を書く時、AIが既往研究事例の調査をしてくれるとこれほど有難いことはない。しかし、AIはデータが無いものは検索できないし予測もできない。AIにあるアイデアの既存非存在の証明を要請しても、与えられたデータベース内では未発見であったとの報告を得ることになる。しかし、研究者のアイデアと既存データとの距離を希少性や偏向性と言った尺度でAIに計測させれば、そのアイデアのユニークさを定量的に把握することができるかもしれない。したがって、研究者は、AIから正しい回答を得たいならば、研究目的の全体像を踏まえて、そこに到達するための最適質問条件を与えられるかにかかっていることを自覚すべきであろう。

### 3. これからの研究開発スタイル

AIは検索（質問）条件に応じて種々のデータを収集・分類することはできる。研究者は、AIから回答を得た時、それが正しいか、間違いか、問題有かを直観的に判断できなければならない。

以前にFEM解析結果の妥当性を判断するのは、研究者に十分な知識と洞察力が必要であると指摘したことがある。AIの場合も全く同様であり、AIの回答の良否を判断できるのは、研究者自身の問題に対する洞察力しかあり得ない。

これからは、研究者の洞察力がAIの技術進歩に追従できるかどうか、問われることになる。





## 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol.20 2024.1

### 2024年 年頭所感

日本ニューロン株式会社  
管路防災研究所 代表 岩本 泰一

#### ごあいさつ

謹んで新年のご挨拶を申し上げます。  
旧年中はいろいろとお導きをいただき、ありがとうございました。  
本年もどうぞよろしくお願いいたします。

元旦能登半島地震ではじまった今年、2週間を経ても尚、復旧が遅々として進まない状況をメディアで確認する毎日が続いています。お亡くなりになられた方々にはお悔やみを申し上げますとともに、一日も早い復旧復興を願ってやみません。

続く2日の海上保安庁航空機と日航旅客機の衝突では、5名の自衛隊員がお亡くなりになりました。一方で旅客機の乗員乗客が、規律と節度ある行動で全員無事脱出。この「18分間の軌跡」は今後将来、有事防災の鑑として語り継がれることでしょう。

#### 想うこと、願うこと

当社では毎年5日の初出に「新年の集い」を開催しています。社員全員で代表（私）が掲げた「新年の展望」を共有し、各人は「決意表明」というかたちで自身の想いや誓いを述べます。

今年の干支(えと)は甲辰(きのえ・たつ)。甲はよろいで、よろいをつけた草木の芽が殻を破って頭を少し出した象形文字。人事に適用すると、旧体制が破れて革新の動きが始まることを意味するそうです。他方「辰」は理想に向かって辛抱強く、様々な抵抗や妨害と闘いながら慎重に歩を進めてゆく意味があります。予想や占星術が当たるかどうかは大事なのではなく、考えられる状況にどう対処していくかが重要です。

6日からの連休に当研究所所員が能登半島地震の調査のため、輪島、穴水、七尾地区に入りました。水管橋や浄水場の管路を中心に現場・現物・現実を目の当たりにしたことで、あらためて「管路防災」を標榜している当方がなすべき役割は大きいと強く感じた次第です。

明後日で阪神淡路大震災から29年、当時長田区にあった妻の実家が被害を受け(のちに取り壊し)、救済物資を運ぶためにトラックで駆け付ける道中、無残な街の情景にはらはら涙したことを思い出します。

一方で、当時の神戸市内水管橋に配備されていたベローズ型伸縮可撓管500台超が、1台も漏れ報告無しとの事でした。願わくは、耐震性に優れたベローズ型極短面間防災継手【MCジョイント】の早期普及により来たるべき今後の大震災に対しライフライン分断を極力回避できますように、当方一丸となって設計・製造・研究開発に一層拍車をかけて参ります。

本書ご高覧のみなさまには、なにとぞよろしく御導きのほど、お願い申し上げます。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』



お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

#### 環境条件

地盤災害  
過酷環境  
気候変動

#### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

#### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング

# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol. 19

2023.12

## エネルギー分野での伸縮可撓継手の可能性

管路防災研究所 研究員 金丸 佑樹

### 1. 地球環境問題とエネルギー

18世紀以降、人類の様々な活動が今日の地球環境問題を引き起こしている。とりわけ化石燃料を用いたエネルギー消費が限界を越える二酸化炭素の累積をもたらしたことは間違いない。

脱炭素化に向けて、水力、風力、太陽光、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーや水素やアンモニア、核融合などの次世代エネルギー、さらには原子力発電などあらゆる手法を尽くしてこの問題に取り組んでいる。しかし、地球大気の世界平均気温1.5°Cの臨界限界を越える前に対策が功を奏するかどうか、厳しい状況にある。

脱炭素化は自動車分野でガソリンエンジンからEVへの転換を推進しているが、発電プラント分野においてもその高性能化を実現するため、大口径化、高温化、高圧化が指向され、個々のプラントを繋ぐ配管仕様も苛酷な条件を要求されることになる。

伸縮可撓継手を供給する立場から、この苛酷条件を満足する伸縮可撓継手を実現するための活動を紹介する。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 2. 苛酷環境での伸縮可撓継手の可能性

**超高温対応継手** 発電効率向上のためプラント・管路内の一層の高温化が必要となり、従来の高温対策では対処できないケースに遭遇する。その対策として、融点が3000°Cに達するレアメタルであるTa（タンタル）製ベローズが考えられる。ベローズ単体から製品化するまでの過程で高難易度の溶接工程が必須となるが、Taの最も理想的な溶接法である電子ビーム溶接機を用いて、大気から遮断した真空状態でかつビームスポットを小さく絞ることでビード幅が狭く熱影響部を小さくすることができ、Ta製ベローズを実現することができる。

**極低温対応継手** 次世代エネルギーである水素用途では、液化することにより体積をおよそ1/800とした状態で運搬することが効率的であるが、その際の貯蔵タンクや供給配管は-253°Cに達し大きな熱収縮を生じる。その際、魔法瓶のような真空断熱構造を取るが、外殻と内殻との熱伸び差吸収のためベローズが設置される。ベローズの材質には、水素脆化の影響が小さいSUS316Lが用いられる。

**超高压対応継手** 化石燃料を使用した火力発電により排出されるCO<sub>2</sub>をほぼ100%回収できるシステム開発では、管内圧力が30[MPa]を超え、さらには温度も700°C超と苛酷環境と呼ぶに相応しい仕様要求がある。これには高強度な材質選定および、ベローズの多層化により対応することができる。試験体製作の際は結果として8層のベローズを採用したが、高強度材使用のためベローズ成形時の水圧は100[MPa]を超えた。

### 3. まとめ

我が国の地震環境を考えると、プラント継手部の耐震性向上が必須であり、本紙で述べたような苛酷環境に耐えながらも優れた耐震性能を有するresilientな伸縮可撓継手の提供を実現しなければならない。更に、苛酷限界条件を満足するより高性能な材料の探索には過去の事例を学習したAIの活用が不可欠になる。





## 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol. 18

2023.11

### NEURONにおけるDX

管路防災研究所 代表 岩本 泰一



〒619-0237

京都府相楽郡精華町光台2-2-5

日本ニューロン株式会社

けいはんなサウストラボ

『管路防災研究所』



お問い合わせ先

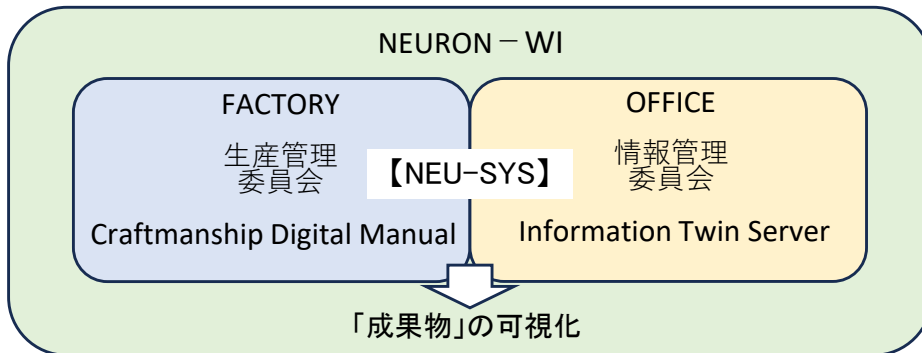
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

#### 1. DXの目的

『貴社はDXについてどのような取り組みをしていますか?』。この問いに各社回答は様々であろう。DX（デジタルトランスフォーメーション）はデジタル技術活用による業務フローの改善から、究極的には企業風土を変革するレベルまで多岐にわたる。NEURONでは競争力のある「やりがいといごこち」実現企業をめざし、社内向きには独自の働き方改革、市場向きには新たなビジネスモデル創出のため、DXを積極展開しているまさに真っ最中である。

#### 2. 「働き方改革」のためのDX

2019年、NEURONは受注生産の業態に則した独自の働き方改革NEURON-WI (Workway Innovation) をスタートさせた。まず製造方 (FACTORY) では工場匠の最短・最速・最善処理をつぶさに画像化した「デジタル手順書」を作成。また事務方 (OFFICE) では社内既存情報は「捜さない」を合言葉に情報管理委員会を設置、データ管理一元化・簡略化のため、Twin Serverを駆使してディレクトリーの新陳代謝を図っている。「探す・運ぶ・移す」に加え「考える」も非生産時間とみなし、データ集積と分析のための統合管理システムNEU-SYS (仮称) を導入、生産部門・エンジニアリング部門・事務部門での情報共有水準向上で全社横断的な効率化を図っている。これにより各工程・業務における個々人リードタイム等を検出比較し、「成果物」を可視化、適財適所へのジョブプロテや大胆な動線・レイアウト改変も敢行している。



#### 3. NEW BUSINESS創出のためのDX

市場からのデータや社外からの貴重な情報をどう収集・分析するか? そこから、どんなビジネスチャンスを見出すか? しかしデータはあくまで基礎資料であり、企業風土を変革するまでのクリエイティブな新たなビジネスモデルを生み出すのは、データを有効活用できる創造性豊かな人間、そしてチーム。そのような人材をどう確保し、どう人材に育成してゆくか、模索と挑戦は恒久的に続いて行く。

昨年11月に設立した管路防災研究所は、DXから得られる情報を基に、新規ビジネスモデル創出のための中核組織として、社内外研究員の「交流と共創」により、さまざまなR&D活動をおこなっている。



## Resilientな伸縮可撓継手とは何か？

管路防災研究所 シニアフェロー 小池 武

### 1. 管路システムのResilience

地震防災を議論する時、地震に対して粘り強い構造物を達成するという意味でresilienceという言葉が使われることがある。このresilienceという機能は、たとえば「高層住宅に住む大勢の人々が地震災害に生き延びるためには最重要な耐震性能である」という風に使われる。

水道管路システムの場合には、管路とその付属設備で構成される管路ネットワーク全体が地震に強い、すなわち震災直後でも短時日で給水再開できる管網であることがresilientな管路網の耐震目標とされる。水道管網の場合は、2点(Node)間を繋ぐ一本の水道管路(Link)においても直線管路以外に分岐管や曲がり管、バルブ室や水管橋など様々な要素構造物が直列に連結されている。どれ一つの要素が破損してもその管路は閉止されねばならない。その意味で、要素構造物の内どれか一つが極端に脆弱であると、そこに破壊が集中するため、それを回避するにはどの要素構造物もある一定の安全性が確保されていなければならない。一方、水道管路網の利点としては、ネットワークの冗長性というresilienceを有しており、その特性を踏まえた管路網構築が必要なことは言うまでもない。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 2. 伸縮可撓継手のResilience

地震時軸方向変位が大きい時、水道管路の中で真っ先に伸縮するのが伸縮可撓継手であり、その変位が限界変位を越えると直ちに漏水が発生する意味で伸縮可撓継手は耐震的には脆弱である。その脆弱性を克服して地震時に脱管漏水しない伸縮可撓継手を、ここではresilientな伸縮可撓継手と呼ぶ。

伸縮可撓継手をresilientにするためには、次の要求性能を満足できなければならない。

- ①地震時軸方向変位に対して脱管漏洩しない安全性余裕が確保されていること。
- ②管軸直角方向変位と管軸方向変位に対して、適切な変形応答ができる継手システムであること。
- ③伸縮可撓継手周辺の構造物地震時挙動を考慮した耐震設計に基づいて、継手が設置されていること。

上記①～③を確実に実現するには、伸縮可撓継手設計者は与えられる設計条件の持つ予測誤差、設置環境が継手に及ぼす影響を確認する努力を怠ってはならない。

### 3. 管路システム全体の耐震性能との整合性

水道管路網は、想定地震に対して管路網の一部が損傷しても、管路網の冗長性を利用して震災後最短日数で本格給水が再開できることを水道システム全体の耐震性能目標にしている。これを実現するために、水道システム内のどの設備、どの要素構造物の耐震性能をどこまでレベルアップすればよいのか、それが不明であれば、やみくもに耐震化を図っても無意味となる。水道システム全体としてどのような耐震安全性を確保するのか、その耐震性能目標を掲げて、それを実現するために優先順位に従って適切に個別要素の耐震化を図るといった戦略的手法の展開が望まれる。



# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

## NEWS LETTER

Vol. 16 2023.9

### 過酷環境での伸縮継手の用途と可能性

管路防災研究所 研究員 西 勇也

#### 伸縮継手を取巻く過酷環境

あらゆる管路に設置される伸縮継手は、ときに過酷な環境に晒されることとなる。特にエネルギープラントや製鉄所などの大きな熱量を輸送する管路では、伸縮継手にも摂氏数百度から千度以上の高温環境に適合した性能が要求される。このような用途では伸縮部位であるベローズを高温から保護するため、キャストブル(セメント状の耐火物)を内面に打設した伸縮継手を使用されている。

また、管路を通過する流体が清澄であるとは限らない。例えば海水に含まれる塩化物イオンはベローズの主要材質であるオーステナイト系ステンレス鋼の孔食を引き起こす恐れがある。このような場合には、より耐食性に優れたスーパーステンレス鋼や高ニッケル合金製のベローズを使用することで対策が可能である。さらに過酷な腐食環境として燃焼ガスに含まれる硫酸や塩酸が管表面で結露することで生じる露点腐食の対策には伸縮継手の内面にPTFE層を設けることで金属部分に直接流体が触れないようにする方法がある。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウストラボ

『管路防災研究所』



お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



キャストブル

キャストブル型伸縮継手



金属ベローズ PTFE

PTFE内装ベローズ

#### 災害時における伸縮継手の可能性

地震をはじめとする災害によって起こり得る管路の大変位も伸縮継手にとっての過酷環境と言える。欧州に端を発し、米国で設計法が発展したベローズは得てして温度伸縮などの小さな常用変位に用途の主眼が置かれてきた。しかし我が国を含め、地震の頻発する諸国と地域にとって被災時にライフラインの弱点となり得る伸縮継手の災害対策が焦眉であることは疑いようもない。つまり伸縮継手を含む管路系の防災技術の確立が喫緊の課題である。

当研究所では種々の被災シナリオに対し、伸縮継手を含む管路にどのような安全性が確保されるべきか。そしてその安全性をどのように実現可能かについて研究を進めている。特にベローズの性能限界を明確化し、適切に破損抑止策を設けることで、災害時の大変位を吸収し管路機能を維持する新型継手の開発が期待される。

#### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

#### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

#### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング



# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol.15 2023.8

## 新著紹介「ライフラインの耐震設計法」

小池 武著

管路防災研究所シニアフェロー 小池 武

### 出版の動機

日常生活で自分の知らない知識を得るために、人は専門家の説明を求める。しかし、専門的知識体系を一度説明を受けただけで全てを理解できる人はそう多くはいないであろう。

良く分からなかった事項を本当に理解するには、その事項を頭の中であれこれこね回し、得心のゆくまで反芻する努力が必要である。この過程を踏んで納得した事項は自分の本物の知識となる。専門書を読んでその知識を自分のものにするためにはこの過程を経る必要があるが、多忙な社会人には中々実践できないことである。

昨今のデジタル社会では、手軽に情報が入手できる環境が整った分人間はじっくり頭の中で考えを巡らす習慣を失う懸念がある。この書物は、頭の中で不明点をじっくりと考え、咀嚼することを期待して執筆したものである。

### 書籍がめざすもの

本書では、ライフライン地震工学の発展過程について記述することで、この技術体系が何を契機にして生み出され、震災経験が技術発展にどう寄与したのか、歴史的にどの分野の技術課題解決に努力が払われてきたか、技術の現状と今後の課題についてまとめている。

とくに、従来の設計体系内で必ずしも十分に論議されてこなかった伸縮可撓継手の耐震設計法について言及している。さらに、耐震設計で実現できる安全性を議論するため有益な性能設計法について種々の事例を紹介している。

### AI時代の書籍の意義

ITおよびAI技術がここ最近、急進展している。とくに、ChatGPTを筆頭とする生成AI技術は来るべき産業革命を引き起こす新技術とも言われている。

これからの人間は、知的分野で人工知能と競合しなければならない時代を迎えている。この時代に必要な能力は何か？それは、AIの嘘を見破れる力、物事の真偽を見極める洞察力である。この洞察力は如何にして磨けるか？書物を読み頭脳を鍛えることでこの洞察力を涵養しなければ、人間はAIを凌駕できないことを肝に銘じてこれからの社会を生きてもらいたい。



〒619-0237

京都府相楽郡精華町光台2-2-5

日本ニューロン株式会社

けいはんなサウスラボ

『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### ライフラインの 耐震設計法

小池 武  
TAKEO IKI



## 小型要素実験の意義は何か？

管路防災研究所 研究員 金丸 佑樹

### 小型要素実験の意義

実大実験ができる供試体の実験は、小型要素実験ではない。実大実験そのものである。実大実験ができない供試体の場合はすべて小型要素実験をせざるを得ない。比例的縮尺が可能な供試体は、縮尺復元が容易であり、結果から実大供試体挙動を推測できる。一方、比例的縮尺が困難な供試体の解釈は難しい。実サイズに復元する方法が比例的でない、実験結果が歪んでいることになる。

地盤内に設置する埋設型伸縮継手の地盤内挙動実験は、実大変位挙動観察が難しい。しかし、模型地盤内での埋設型伸縮継手挙動を観察することで、現象理解が進む。観察結果は、理論モデル、FEMモデル作成に役立つが、地盤土粒子は縮尺できないので、地盤の縮尺は比例的で無いことに注意を要する。地盤変状（液状化変位、断層変位）は再現できないが、基本的な地盤変状はモデル化できる。その中で継手挙動を観察できる実験は、小型要素実験でも有用である。小型要素実験で重要なことは、たとえば、座屈現象、破断現象、疲労破壊現象、大規模塑性変形状態の再現、修復限界状態の再現、終局限界状態の再現など、破壊事象が正しく再現できているかという点である。たとえば1山ベローズに弾塑性変形を伴う軸方向大変位を載荷したとき、ある範囲の伸び量を超えると頂部に管軸方向の皺形成が生じる。それはどの程度小型要素実験で再現できるのか、それが座屈開始にどう影響するのか。それらを再現できていないと、実大供試体と小型要素供試体では破壊挙動が異なっているかもしれない。FEMモデルでは、細部をどこまでモデル化できるかによって、その度合いで破壊現象の解析結果も変化するはずである。

### FEM解析の活用方法

FEMモデルは何を再現できるのか？弾性状態あるいは弾性に近い領域での弾塑性状態まではFEMモデルで再現可能であるが、崩壊過程に近い大規模塑性変形状態のFEMモデル化は難しい。FEM解析結果の妥当性は、実大供試体の実験結果を正しく再現できているかによって判断できる。したがって、小型要素実験は、FEM解析の精度チェックに有用である。FEMモデルおよび解析精度が確認できたとすると、たとえば積層構造体の極限状態挙動を予測したい時、FEMモデルが作成でき、挙動の推測が可能となる。そうすると、このデータを踏まえて実際の確認実験や、モデル製作を具体的に検討できることになる。このように、未知領域の素材開発のセンサーとしてFEMは役立つかもしれない。

### 展望

今後は様々な極限状態における終局限界状態での継手挙動を把握できる実験能力を獲得することが求められる。そのためには小型要素実験と高いFEM解析技術との併用が必要である。経験を積み、崩壊過程に近い状態であっても実験的、解析的に精度良く再現できるよう、努力してゆきたい。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウストラボ  
『管路防災研究所』



お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)





## 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol. 13 2023.6

### 大型実大実験装置の効用とは何か？

エンジニアリング本部 飯尾 哲志  
営業技術本部 北村 亮太



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ

『管路防災研究所』



お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

#### 大型実大実験装置の意義

実構造物の安全性は、実大構造物実験をしないと正しく検証できないと主張する立場もあるが、ダムのように実大構造物のサイズが巨大であれば、最初から実大実験をしようとは考えない。

実大の意味は構造物の実大供試体寸法が試験装置に設置できる範囲内での議論であることに注意しなければならない。

構造物は様々な寸法の部材で構成されているので、それを忠実に縮小した実験供試体を作成することも容易なことではない。しかも、縮小モデルで実際の大変位挙動を正確に再現できる保証はない。

たとえば、水道用大口径管路は、管厚口径比が1/100程度、さらに伸縮可撓継手のベローズの管厚口径比はより小さくなるため、縮小モデルの作成が困難な部類に属する構造物と言える。

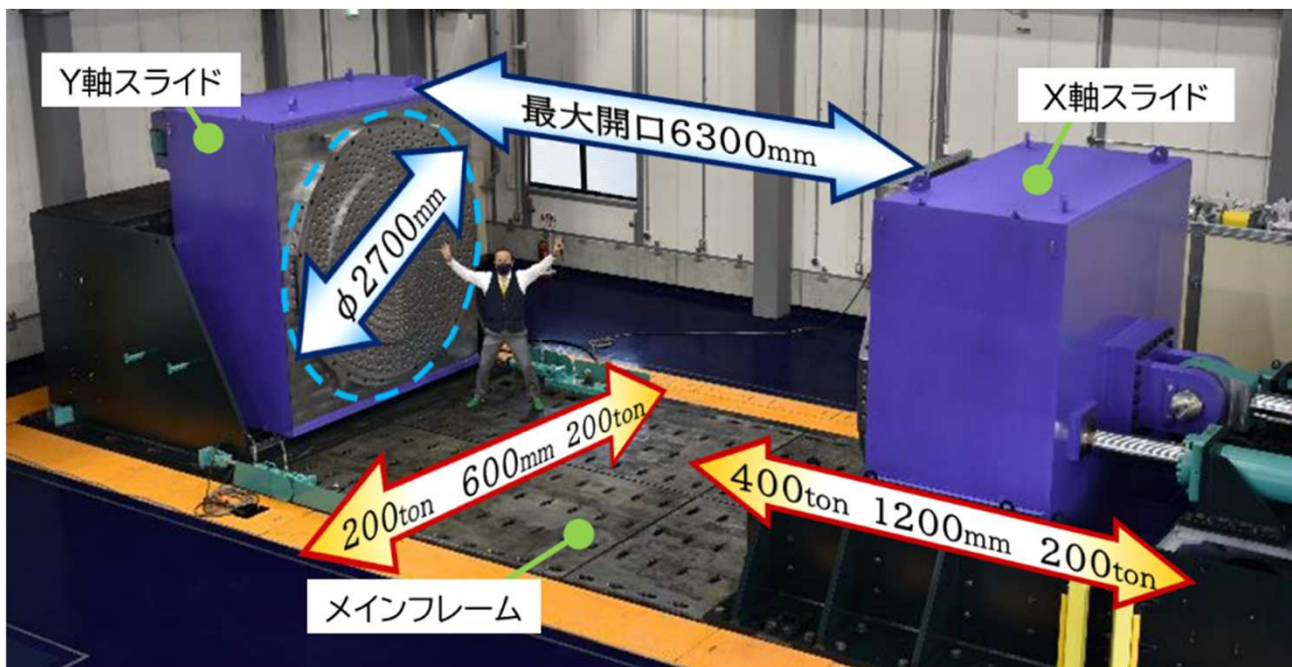
このような制約条件の中で、大口径管路・継手系の終局限界挙動をできるだけ厳密に把握するには、実現可能な範囲での大型実大実験装置が必要なことは言うまでもない。

#### 大型実大実験装置とFEM解析技術の連携

構造設計において安全性照査は必要であるが、全ての設計で毎回実大実験による安全性照査を行う必要は無い。代表的な大口径管路・継手系に対して実大実験とそれを模擬できるFEM解析技術が確立できれば、その領域の大口径管路・継手の安全性照査は、FEM解析により未実験口径の結果を補完することで実現可能となる。すなわち、大型実大実験装置とFEM解析技術を一体的に運用することで、広範囲の管路・継手系の安全性照査が可能となる。

#### 展望

管路防災研究所に設置した大変位耐震試験機(Purple Monster)により、大口径管路・継手系の終局限界近傍での大変位挙動を観察することができる。それを精密に反映したFEMシミュレーション技術を確立することで、大口径管路・継手分野でのより高性能な耐震技術開発に寄与してゆきたい。





## 解析手法・FEMと実大実験の関係

管路防災研究所 シニアフェロー 小池 武



### 実大実験の効能

構造物の終局限界強度を確認するために、実大実験あるいはその縮小モデル実験を行うことがある。この種の実験が必要な理由は、①全く構造物の破壊性状が予測できない場合に実際の破壊性状を確認するため、②FEM解析結果の妥当性を検証するため等である。

しかし、実験コストや日程的・労務的制約などで、実験ケースは限定されざるを得ず、僅少な実験結果から必要な特性値を推定しなければならない。従って、事前にFEM解析などで実験数を絞り込むことが重要である。

### FEM解析の位置付け

構造物の弾塑性挙動を理論解析で追及するのは至難であり、今日ではFEM解析により弾塑性領域あるいは終局限界状態近辺の性状を数値計算的に追跡することが行われる。しかし、実際の破壊現象が想定した破壊メカニズムと異なる場合や実際の境界条件が設定モデルの境界条件と異なることもあり、その結果の妥当性は実大実験などで検証せざるを得ない。

一方、設計技術者が実務設計を行う際に、様々の原因でFEMのモデル化や入力データで錯誤を生じることがある。もし、実務設計者がFEM解析結果の間違いに気づかないと、往々にしてその設計に基づいて建設が行われることもあり得ることになる。従って、実務設計者はFEM解析結果の間違いを見抜く設計者センスを磨くことが重要となる。

### 解析手法の役割

すべての設計実務において対象構造物の挙動をFEM解析に頼り切ると、その設計者は数値解析結果と実大構造物の真の挙動との比較検証を蔑ろにする懸念が生じるとともに、構造物の弾塑性挙動や終局破壊限界状態に対する推察力（センス）を鍛える機会を失うことになる。

弾塑性挙動を厳密に理論解析することが難しい場合でも、構造物を大胆にモデル化することで、構造物の概略的な弾塑性挙動を予測する解析手法を構築することは可能である。その種の理論解析手法の構築は、構造物の弾塑性的特性の本質を知悉している研究者においてはじめて可能と言える。構造技術者の設計技法向上のための弛まない研究開発努力に期待したい。

〒619-0237

京都府相楽郡精華町光台2-2-5

日本ニューロン株式会社

けいはんなサウスラボ

『管路防災研究所』

お問い合わせ先

[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング

## 構造設計における安全性について

管路防災研究所 シニアフェロー 小池 武

### 安全性とは

構造物に外部から荷重が作用する時、その構造物が破壊しないように設計するのが**構造設計**ですが、設計者はどのくらい安全な設計を行ったか確認しなければなりません。設計指針では、**安全性照査式**に基づいてその安全性を確認するようになっています。

安全性の度合いを示す指標として、許容応力度設計法の時代には**安全率**が用いられ、近年は**信頼性設計法**に基づく**安全性指標**や**破壊確率**が提案されてきました。性能設計法が要請される環境下で、信頼性設計手法の中で最も簡便な**部分係数設計法**が採用されましたが、この設計法で達成できる安全性水準が設計者には必ずしも明確でないという問題点があります。

### 部分係数設計法の課題

信頼性設計法には、簡便な設計法から高度な解析処理を要する設計法まで少なくとも3段階の設計法があります。現行の設計指針は、最も簡便な信頼性設計法である**部分係数設計法**に基づいて定式化されています。

部分係数設計法では、照査すべきモードが指定されると、その限界状態に対する抵抗照査値と荷重照査値の**確率統計的不確定量**を部分係数で反映し、複数荷重連結による相互影響を特別係数で評価することで、安全性照査が実現できます。**Code writer**はそれら係数値の予測誤差を把握できているが一般の設計者には判りません。これでは設計実務者は自分の設計結果が保障する安全性レベルを確認できないという不満が残るはずです。部分係数設計法にもう一段の改良が望まれる点であります。

### 性能設計手法による構造物設計の実践

構造物設計で性能設計手法を適用しようとする時、設計実務者には参照すべき**設計事例**の存在が不可欠です。部分係数の評価方法、確率統計的設計諸量の取り扱い方、安全性照査の具体的な評価方法などについて具体的な計算事例があると、設計実務者も納得しながら各設計ステップを進めて行けると思われます。



〒619-0237

京都府相楽郡精華町光台2-2-5

日本ニューロン株式会社

けいはんなサウスラボ

『管路防災研究所』

お問い合わせ先

[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
  
終局限界性能  
確認実験技術

### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
  
防災  
エンジニアリング

# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol. 10 2023.3

## 研究員の経験談 ～成形機開発での失敗と新形状ベローズの着想～

管路防災研究所 研究員 西 勇也



〒619-0237  
 京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
 日本ニューロン株式会社  
 けいはんなサウスラボ  
 『管路防災研究所』



お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

### ベローズ自動成形機の開発

私がベローズの自動成形機を開発することとなったのは入社6年目の2019年。それまで製造設備の補修程度は行っていたが自動機を丸ごと一台つくるのは初めてのことだった。開発にあたって資格を伴う電気関係や専門性の高い油圧ポンプ周りは社外の協力を仰いだが、それ以外の設計製作は無謀にもすべて自身で行うこととした。開発に要した1年間で機構検討から強度設計、部品の作図・選定、油圧回路設計、制御プログラム作成、組立て、塗装、調整、試運転まで一貫して携われたことは非常に良い経験になった。

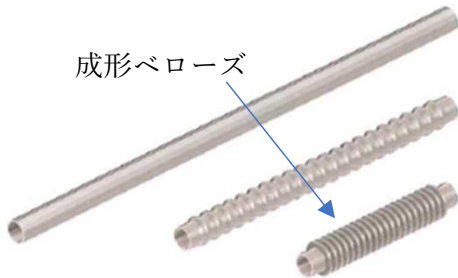
開発の序盤では詳細設計に相応の時間を費やしたものの、製作に取り掛かると機械として形になるまでは難なく組み上がった。ところがやはり、にわか仕込みの素人仕事である。こと油圧機器に関しては意図した精度で作動せず、成形されたベローズの山形状は不揃いで使い物にならない。油圧バルブを追加し、金型を見直し、方々手を尽くして漸く成形が安定したころには失敗作が山積みになっていた。

### 新形状ベローズの着想

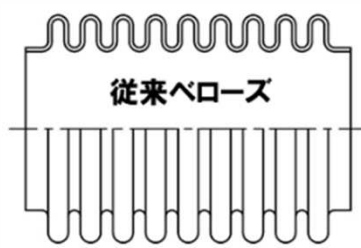
成形機の開発から半年ほど過ぎたころ、社内である相談を受けた。曰く、短面間で大きな偏心を吸収できるベローズが作れないかとのことであった。従来、ベローズで大きな偏心を吸収するには山数を増やすかベローズの間に直管部を設けることとなるが、いずれも製品面間が長くなる。新設管路の場合には十分なスペースが確保されていることも多いが、既設のライフライン特に水道管路においては、設置場所の制約からよりコンパクトな製品が求められていた。

新たなアイデアを考えるなかで、解決すべき課題としてベローズを大きく偏心させると山同士がぶつかることに思い当たった。通常のベローズは山の高さが均一であるが故に大きく変位させると個々の山が干渉し合い、全体の変形を阻害してしまうのである。その時思い起こしたのが山の不揃いな失敗作の成形ベローズだった。隣同士の山の高さが異なれば偏心時の干渉を軽減できる。このようにして高い山と低い山を交互に設けた新形状ベローズの着想に至った。

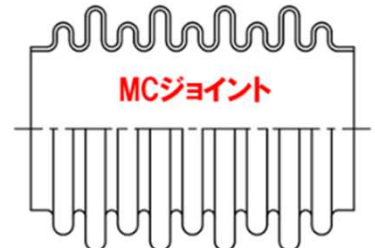
この新型継手はMCジョイント(Metal Corrugated Joint)と命名され、現在特許出願中である。当研究所ではMCジョイントのさらなる改良のため実大実験を進めている。



成形ベローズ



従来ベローズ



MCジョイント

### 環境条件

地震災害  
 過酷環境  
 気候変動

### Core技術

Resilientな  
 伸縮可撓継手  
 終局限界性能  
 確認実験技術

### 管路防災技術

管路系システムの  
 耐震・性能設計  
 防災  
 エンジニアリング



## パイプラインの耐震設計法について

管路防災研究所 シニアフェロー 小池 武

### 管路耐震設計法の特徴

慣性力の支配する地上と異なり、地中では地盤変位が強制力となって構造物に作用します。**応答変位法**は地中構造物の地震時挙動解析技法です。

埋設管の耐震設計では、**地盤震動**（地盤は揺れるが弾性的）と**地盤変状**（断層変位、液状化変位、地滑りなどの地盤破壊）の2形態について検討します。さらに、地中構造物と管路の接合部では周辺土の不同沈下対応策も検討が必要です。

### 最近の耐震設計法

従来の耐震設計指針では、指針で用意された解析式を用いて構造物の地震時挙動を算定し安全性照査を行いました。しかし、近年のパソコン性能向上に合わせて、地盤と地中構造部を含む**FEM**モデルを用いて地震応答解析を実施し安全性照査を行います。

問題は、設計技術者はFEM結果の妥当性を何で判断するかという点です。もし入力データやFEMモデル化に間違いがあっても、結果の不適切さに気づかなければ、その設計結果が独り歩きする危険性があります。現代の設計技術者にはFEM解析**結果の妥当性を検証**できる力量が求められていることを忘れてはなりません。

### 性能設計化時代の耐震設計法

我が国ではWTO（世界貿易機構）の条約批准以来、耐震設計法の安全性照査は性能設計手法に基づいて行うように改訂されてきました。

**性能設計法**に従うと、安全性照査が信頼性理論に基づいて合理的に行え、さらに設計者の裁量で設計の自由度を上げられる余地が増えると謳われていましたが、実際には性能設計化の進展は捗々しくありませんでした。理由は、確率統計諸量の収集およびその取扱いの煩わしさ、設計の自由度を実感しにくい点、さらに設計者自身が安全性照査で実現した安全性（もしくは信頼性）を定量的に把握するのが難しいなどの項目です。

使いやすい新耐震設計法確立に向けて、官産学関係者の一層の努力を期待したいものです。



〒619-0237

京都府相楽郡精華町光台2-2-5

日本ニューロン株式会社

けいはんなサウスラボ

『管路防災研究所』

お問い合わせ先

[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング



# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol.8 2023.1

## 2023年 年頭所感

日本ニューロン株式会社  
管路防災研究所 代表 岩本 泰一

### ごあいさつ

あけまして おめでとうございます。  
旧年中はいろいろとお導きをいただき、ありがとうございました。  
本年もどうぞよろしくお願いいたします。

さて2023年は当社創立50周年の大きな節目の年であり、そして当研究所「本格稼働元年」でもあります。  
皆さまのお力添えを得ながら、管路防災に特化した我が国ライフライン強靱化に大いに資する研究施設に昇華して参りたく存じますので、なにとぞよろしくお願いいたします。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)



### 視察説明会

昨年秋の「竣工披露会」はコロナ禍を鑑み、ご臨席者を京都府副知事、精華町長、大学教授や研究団体様等の代表者に限らせていただきました。そのため本来お招きすべき顧客の皆様方へのご披露が叶いませんでしたので、今後「視察説明会」を随時開催することで本施設の設備や取り組みをしっかりと御覧いただけるようにいたします。ご希望の企業様、団体様は是非お問い合わせください。

2023年の当研究所の主な動向としてはこの「視察説明会」と「オープンセミナー」をスタートさせることです。「視察説明会」は2時間コース、3時間コースなどをご用意しますが、本研究所近傍に位置する本社工場における製管・成形・溶接現場の視察などを併せることも可能ですので、みなさまのご希望によりカスタマイズさせていただきます。5Sを徹底した工場、若い現場スタッフ、そして世界屈指のペローズ成型機群と、きっと皆さまにも少なからずやインパクトをお与えできるのでは!? と想っています。

### オープンセミナー

初回「オープンセミナー」を今年春夏ごろに予定しております。  
内容はずばり、「小池塾～特別版～」。

ライフライン地震工学の専門家、当研究所シニアフェローの小池武氏による水道技術関係者垂涎の、まさに管路防災に特化した若手研究員育成カリキュラムです。ありがたいことにすでにいくつかの団体様からも参加のご意向をいただいております。日程とプログラムが整い次第、ご連絡させていただきますので、乞うご期待ください。

セミナーの内容は水道管路の耐震設計を主眼に、「埋設管耐震設計法の基本的考え方」「水道管路の特性と耐震化対策」などを予定しています。

### 環境条件

地盤災害  
過酷環境  
気候変動

### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
  
終局限界性能  
確認実験技術

### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
  
防災  
エンジニアリング



# 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol. 7 2022.12

研究員の経験談 ～既往設計規格への疑問～

管路防災研究所 研究員 金丸 佑樹



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』



お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

## はじめに

入社して11年がたち、現在発電所、製鉄所など民需プラント関連のベローズ型伸縮可撓継手の設計及び、昨年11月より官需水道管路に設置される新型耐震継手の開発に携わっている。本号では私が日常設計業務の中で抱いた疑問から、新たな構造発想に至った経緯を紹介する。

## 経験談

ベローズ型伸縮可撓継手は各種プラントの配管において、配管の熱伸縮や機器の振動、構造物間の不同沈下などから配管系の損傷を防ぐために設置される。

日常設計業務の中で疑問に思ったことは、例えばベローズが配管の熱伸縮+不同沈下や、不同沈下+地震動など、供用期間内において頻度や速度の異なる複数の変位モードが同時期に発生することを想定する必要がある場合、従来の評価方法が適切かという点である。

ベローズが上記のように複数のモードの累積損傷を受けるケースに対して、既往設計規格ではまず変位モード毎に設計上の繰り返し回数が設定される。そのうち、複数の変位モードが重なる繰り返し回数分のみ応力が加算され、その分を差し引いた残りの回数は各モード単独で応力を算出する方法が取られてきた。

しかしながら、例えば不同沈下について考えると、特殊なケースを除けば製品の供用期間中に一度発生すれば元に戻らない一方向のみの変位である。そのため、不同沈下が配管敷設直後に初期変位として生じており、その変形に加えて配管の熱伸縮や地震動を受けるとき、常に不同沈下による変形状況下で変位することを強いられる。したがって、本ケースでは従来の評価方法では極端に言えば1[cycle]のみ重複変位にて評価すれば良いが、実際は伸縮可撓継手の供用期間を終えるまで常に不同沈下の影響を受けると考えられることから、必ずしも実際の状況と合致していない懸念がある。そこで、まず地下構造物近傍の埋設水道管路に設置される伸縮可撓継手であって、不同沈下状況下に追加的に管軸方向の地震動を受けるケースを想定し対策を思案した。

そして、同一伸縮可撓継手内において、不同沈下吸収専用のベローズと管軸方向伸縮専用のベローズに役割を完全に分けることによって、既往設計規格では評価できない、不同沈下発生による管軸方向の変位性能の低下を防止できるのではないかと考えた。なお本案は、「不同沈下対策用伸縮可撓継手ユニット」と名付け、特許出願している（出願No.2022-109394）。

実際の管路へ採用するにあたっては、実大実験の実施や関連規格との兼ね合いなど検討事項はあるが、伸縮可撓継手の1つの損傷パターンについて、有効な対策を立案することができた。

## まとめ

経験談を述べた。今後も管路防災研究所の研究員として、既往の設計規格や通例などに囚われず、様々な使用条件や環境に応じて適切な設計法を納得いくまで追求してゆきたい。

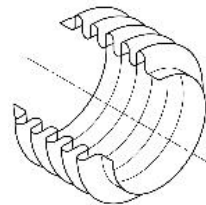


図 ベローズ

### 環境条件

地震災害  
過酷環境  
気候変動

### Core技術

Resilientな  
伸縮可撓継手  
終局限界性能  
確認実験技術

### 管路防災技術

管路系システムの  
耐震・性能設計  
防災  
エンジニアリング





## 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol..6 2022.11

### 管路防災研究所 竣工

日本ニューロン株式会社  
管路防災研究所 代表 岩本 泰一

先週11月11日(金)、11時11分に竣工・神事が厳かに執り行われました。

披露会には京都府山下晃正副知事、精華町杉浦正省町長をはじめ  
大学等学術関係、上下水道分野や産業プラント分野などのご来賓、  
ならびに建築ご協力企業の方々などご臨席を賜りました。

大変位耐震試験機「Purple Monster」始動のテープカット、そして書道家  
青柳美扇様のライブパフォーマンス、その後に施設内覧があり、第1  
実験場、第2実験場、ワークスペースやマルチスペースをご視察いた  
だきました。

[新施設紹介ダイジェスト](#) (4:40) を是非ご覧ください。



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『 管路防災研究所 』

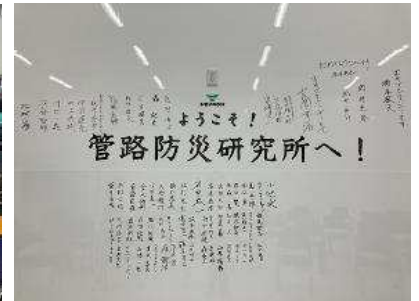


お問い合わせ先  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

click here

新施設紹介ダイジェスト

### 竣工披露会 Photo





## 管路防災研究所

NEURON Pipeline Resilience Laboratory

# NEWS LETTER

Vol.01

2022.01

創刊号

ごあいさつ

皆様におかれましては益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。  
また平素は格別のご高配を賜り誠に有難く、厚く御礼を申し上げます。

さてこのたび、『管路防災研究所』を開設するにあたり、当施設の取り組みや研究員たちの活動内容をNEWS LETTERというかたちでお知らせすることといたしました。つきましては日頃からたいへんお世話になっている皆様方にその「創刊号」をお届けし、ひとことご挨拶を申し上げます。

当社は関西文化学術研究都市(京都府精華町)に本社を構えて15年目となる今年、新施設『管路防災研究所』を開設いたします。

登録名称は、**日本ニューロン株式会社 けいはんなサウスラボ『管路防災研究所』**です。

〔 英語名 : NEURON Pipeline Resilience Laboratory 〕

本年2月に着工、同10月に竣工を予定しています。

本施設は、地震災害をはじめとする自然災害や過酷な環境条件に晒される管路の防災技術に特化した研究所に昇華させるべく、関係者の皆様方と共に尽力いたす所存です。

管路は都市インフラ施設や産業施設の活動を支える基盤システムであり、とくに地上・地下、3次元空間内を自在に展開しています。その管路を円滑に機能させるために必須の装置が伸縮可撓継手です。しかしその設置場所は、管路システム内で構造的に最も過酷な場所であるため、災害に対しては最大限の注意が払われなければなりません。本研究所は、災害に強い管路システムの開発、とくに耐震性能に優れた伸縮可撓継手を開発する目的で設立致しました。

当社がさまざまなプラント業界で50年にわたり培ってきた伸縮可撓継手の設計・開発・製造・評価技術をもとに、これを機に管路防災に資する製品とサービスのさらなる開発と普及に鋭意邁進する所存です。

尚、本研究所開設にあたっては、ライフライン地震工学の専門家である**小池 武氏**(元京都大学大学院教授)にシニアフェローとしてご就任いただき、管路防災技術指導と研究技術者の人材育成にご尽力戴くことになりました。

このNEWS LETTERは年に数回のご案内を予定しております。

皆様方には、なにとぞよろしくお導きのほど、かさねてお願い申し上げます。



代表

日本ニューロン株式会社  
代表取締役 岩本 泰一



シニアフェロー

小池 武

日本ニューロン株式会社  
代表取締役 岩本 泰一



〒619-0237  
京都府相楽郡精華町光台2-2-5  
日本ニューロン株式会社  
けいはんなサウスラボ  
『管路防災研究所』

お問い合わせ先  
総務部 IT-MEDIA Gr.  
[info@neuron.ne.jp](mailto:info@neuron.ne.jp)

