

橋梁添架管向け耐震性鋼管継手の開発

北居 祐馬¹・野田 裕樹²・楢田 泰子³

¹正会員 株式会社多久製作所 品質保証部 (〒528-0068 滋賀県甲賀市水口町ひのきが丘 33-2)
E-mail: y.kitai@tak-ss.co.jp

²正会員 株式会社多久製作所 APC 工務グループ (〒541-0053 大阪市中央区本町 2-5-7-13F)
E-mail: h.noda@tak-ss.co.jp

³正会員 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1)
E-mail: kuwata@kobe-u.ac.jp

地震時の断水被害軽減のため、水道施設・管路の耐震化が推進されている。橋梁添架部の管路には、耐久性に優れ、軽量の溶接鋼管が広く採用されてきた。しかし、現地溶接工法における専門的な溶接技術者の確保や維持管理などの課題があり、耐震性能に加え、漏水リスク無く、容易に施工可能な鋼管の接続方法が求められている。そこで、本研究は「溶接鋼管と同等以上の継手強度」を備え、作業者の溶接技量に依存すること無く、簡単且つ確実に接続可能なメカニカル形式の鋼管継手（以下、耐震性鋼管継手）を開発した。耐震性鋼管継手の設計検証及び検証試験を行い、耐震性鋼管継手で接続した鋼管が溶接鋼管以上の性能を有し、一体構造管として見なせることを確認した。

Key Words: Mechanical fitting, bridge attached pipe, water-pipe, design validation, verification test

1. はじめに

地震時の断水被害を軽減するためにも、水道システムの大部分を占める管路網の耐震化を図ることは重要である。2013年の厚生労働省の新水道ビジョン¹⁾でも、強靱な水道とするため、全国の基幹管路が耐震化されること、耐震化された施設においては、当該箇所想定される最大規模の地震動を受けたとしても、施設の機能に重大な影響が及ぶことなく、水道水の供給が可能となっていることが、目指すべき方向性として示されている。埋設管においては、溶接鋼管の他に、離脱防止機構がついたダクタイル鋳鉄管の耐震継手や継手部の電気融着によって一体構造管路となるポリエチレン管が普及している。一方で、河川等の横断部では、布設環境の制約から単独水管橋を設置できない場合は、橋梁に添架させた添架管を利用することになる。橋梁添架管の延長は管路網全体からみれば短い、添架管の耐震性が低ければそれがボトルネックとなり、管路網全体の耐震性にも影響する。東北地方太平洋沖地震では、橋梁添架管で197箇所の被害が確認されており²⁾、無視できない被害となっている。

橋梁添架管は屋外に露出していることから埋設管よりも劣化が進行しやすい環境にあるため、熱や紫外線、腐食等の劣化に対する耐久性に優れ、軽量の溶接鋼管が広く採用されてきた。しかし、一体構造

管路を溶接によって施工するためには、専門的な溶接技術者による現場施工と溶接後の現場での品質確認が必要となる。専門的な溶接技術者の不足に加え、人口減少による給水収入の低下等といった人員及び財源確保面での課題とともに、更新事業が鈍化停滞している。一方で、高度経済成長期に布設された管路が耐用年数の40年を経過し、一斉更新が必要な時期を迎えている。

これらの現状から、溶接鋼管と同等以上の耐震性能に加え、漏水リスク無く、容易に施工可能な鋼管の接続方法が期待されていることを鑑み、本研究では、「溶接鋼管と同等以上の継手強度」を備え、作業者の溶接技量に依存すること無く、簡単且つ確実に接続可能なメカニカル形式の鋼管継手（以下、耐震性鋼管継手と呼ぶ）を開発した。本稿では、耐震性鋼管継手の設計思想ならびに継手の機械的性質についての実験結果を示し、耐震性鋼管継手で接続した管路が溶接鋼管と同等以上の性能を有することを明らかにする。

2. 橋梁添架管向け耐震性鋼管継手の考え方

本研究で提案する耐震性鋼管継手は、建築設備等の屋内配管用継手（以下、既存継手と呼ぶ）として開発された継手をベースに改良したものである。配

管の製作工程に関しては、機械加工された継手（挿し口及び受口）を鋼管の端部へと溶接加工をすることにより、鋼管と継手を一体構造化させている。また、溶接施工要領の発行や有資格者による作業実施などの品質管理を確立している指定の工場内にて、溶接加工を行い、信頼性の高い溶接品質をしている。

さらに、現場で溶接加工を必要としないために一般の現場作業者によって施工できる上に、現場での溶接から品質確認に必要な検査工程までが不要となり、作業時間を大幅に短縮することができる。

従来、鋼管は、溶接による接合においても溶接部の強度が管本体と同等の強度を保有するとして、一体構造管と見なして耐震性を評価されている。本研究で開発する耐震性鋼管継手は、従来のような管路内応力を継手の伸縮で吸収し、管体の損傷を軽減させるための部分として機能させるのではなく、接合方法は継手であるが、継手自体を接合すれば「溶接鋼管と同等以上の継手強度」を有し、一体構造管として見なすことのできる性能の確保を目標とする。

本継手の布設対象として、埋設部ではなく今後の需要増加が予想される橋梁添架管の継手部分を想定する。橋梁添架管は、管路網の中でも、橋梁前後で管路の支持条件が異なるために、耐震設計上、重要な部分であると考えられるが、水道施設の耐震設計である水道施設耐震工法指針³⁾にはその耐震計算方法については触れられていない。また、日本水道鋼管協会による水管橋設計基準⁴⁾では、溶接鋼管を想定して支持部材間の添架管の鉛直振動時の断面力で性能照査することを規定している。現状では、添架管の継手に作用する地震時の変位や引抜阻止力を示す指標はない。そこで、一般的な継手性能については、日本水道協会が定める「JWWA G 120 水道用 GX 形ダクタイル鋳鉄管」⁵⁾及びステンレス協会が定める「SAS322 一般配管用ステンレス鋼鋼管の管継手性能基準」⁶⁾を適用し、各種試験方法に則り、検証を行った。

水道施設耐震工法指針において一体構造管路の管体に求める耐震性能の区分として、レベル1地震動に対して、力学的特性が弾性域を超えない限界の状態（耐震性能1）、レベル2地震動に対して、部分的に塑性化しても、漏水が発生しない限界の状態（耐震性能2）を保有することが規定されている。

また、高圧ガス導管耐震設計指針⁷⁾では SUS 鋼管の基準ではレベル1地震動に対して許容ひずみを 35t/D（座屈開始ひずみ）、レベル2地震動に対して許容ひずみ 3%を設定している。これらは、レベル1地震動においては弾性限界、レベル2地震動においては若干のひずみは残留するものの漏洩することなく継続して利用が可能なひずみとして設定されたものである。本研究では、これらの指標を目安に、継手の引張特性に基づき鋼管継手のある管路が一体構造管と見なせるか、また、その場合にどの程度の耐震性を有するのか明らかにした。

3. 設計思想、仕様および部品構成

(1) 耐震性鋼管継手の設計思想

水道施設における耐震化の推進に伴い、水道施設を機能させる上で重要な水道管（管路）において、耐震性能を有する配管材料の需要が高まっている。また、管路の更新時には、地震動による被害を最小限に抑えるべく、適切な耐震性能を有する配管材料を選定する必要がある。

配管接続方法の一つである溶接継手に対し、専門技術者の不足及び地震動による漏水リスクを伴わない配管材料の選定として、下記の3点の項目を設計思想とした。(1)作業者の技量に依らず容易に施工可能な継手として、機械的な接続構造（メカニカル継手）とする。(2)外的被害の影響を受けず、確実に給水を行うため、既存継手よりも厚肉な形状を採用するとともに、離脱防止用ロックバンドを2条で設置することで、引抜抑止力の向上を図る。(3)持続的な供給体制を維持するため、ステンレス鋼鋼管による長期耐久性の確保を目指す。

(2) 仕様

本研究で提案する耐震性鋼管継手は、大きく分けて、受口と挿し口、離脱防止用ロックバンドから構成されている。受口及び挿し口は、ステンレス鋼鋼管とのプレファブ溶接工法を採用して接続している。現地では、接続に溶接やそれに伴った検査が不要であり、組立（受口と挿し口の接続及び離脱防止用ロックバンドの挿入）のみの作業で施工できるため、配管施工時の大幅な省力化が可能となる。耐震性鋼管継手の仕様を表-1に示す。管種については、施工する橋梁に対し、配管軽量化による負荷軽減を図るため、SUS304 TP Sch10S 又は Sch20S を基本的に採用する。

(3) 部品構成

耐震性鋼管継手の部品構成を表-2、継手の構造を図-1に示す。構造面に関しては、受口と挿し口の溝に離脱防止用ロックバンドを挿入することで、抜け防止を行う。また、配管内部の止水は、シール機構を利用した所定のゴムパッキンで行う。

表-1 仕様一覧表

項目	仕様
サイズ	50A, 80A, 100A, 150A, 200A
最高使用圧力	2.0MPa
材質	SUS304
許容撓み角	0.5°
用途	橋梁添架管 場内施設配管

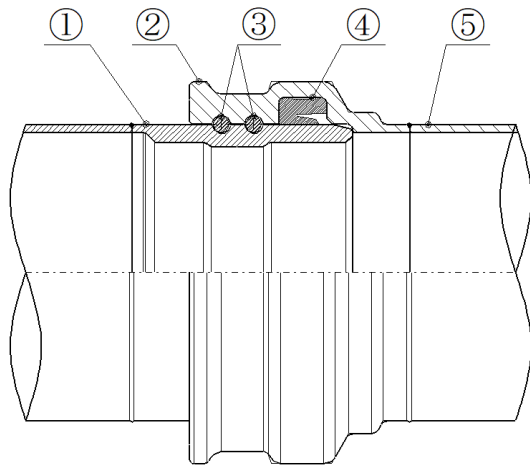


図-1 継手の構造図

表-2 部品構成表

番号	品名	材料
①	耐震性鋼管継手 「挿し口」	JIS G 3446 機械構造用ステンレス鋼鋼管 SUS304
②	耐震性鋼管継手 「受口」	JIS G 3446 機械構造用ステンレス鋼鋼管 SUS304
③	離脱防止用 ロックバンド	JIS G 4314 ばね用ステンレス鋼線 SUS304WPB
④	ゴムパッキン	耐塩素 EPDM
⑤	パイプ	JIS G 3459 配管用ステンレス鋼鋼管 SUS304 TP Sch10S, Sch20S

注：番号の丸数字は図-1の丸数字を指す

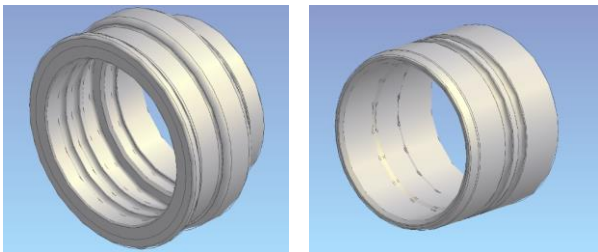


図-2 受口及び挿し口の形状

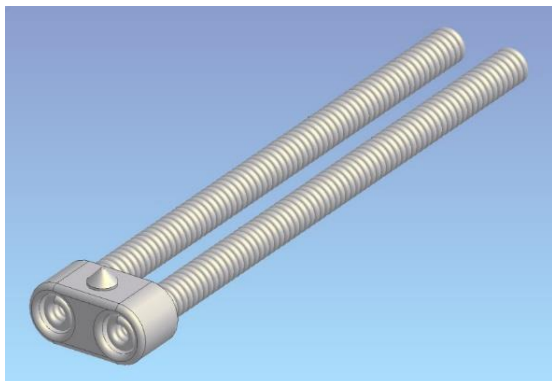


図-3 離脱防止用ロックバンドの形状

(4) 特長

耐震性鋼管継手の特長を下記の a)~d)に示す。

a) 溶接鋼管と同等以上の継手強度

溶接鋼管の継手強度に対し、耐震性鋼管継手は同等以上の性能を有する。

b) 接続が容易で配管接続の作業時間を大幅短縮

耐震性鋼管継手の接続手順は、受口に挿し口を挿入し、離脱防止用ロックバンドを装着することで完了する。溶接加工による接合が不要であり、作業者の技量（熟練度）に依存することなく作業可能である。

c) 止水性、耐久性に優れたゴムパッキン

止水用部材であるゴムパッキンについて、低圧時はゴムの圧縮力、高圧時はリップ部によるセルフシール構造となっており、低圧から高圧（2.0MPa）と広い範囲に対応できる。また、耐塩素性試験や耐久性試験においても優れた性能結果を有している。

ゴムパッキンの耐久性評価として「SAS322：2016 一般配管用ステンレス鋼鋼管の管継手性能基準」に則り、実体による促進劣化試験を実施した結果、推測される期待寿命として、常温水の環境下にて100年以上の耐久性が見込める。

d) ステンレス製による高耐食性

受口及び挿し口、離脱防止用ロックバンド共に、全てステンレス製であるため、耐食性に優れている。また、水道用塗覆装鋼管等と比べ、メンテナンス性においても優れている。

4. 製品設計

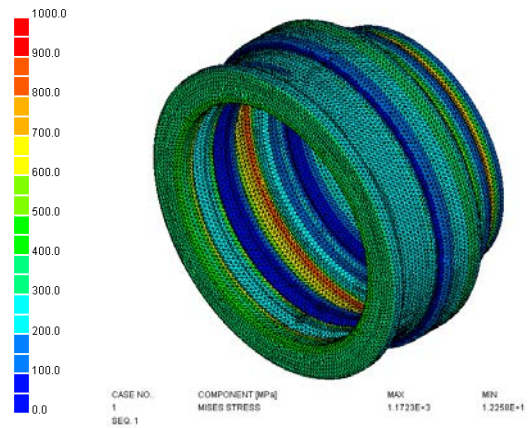
耐震性鋼管継手に求められる性能として、溶接鋼管と同等以上の継手強度が必要である。構造解析を用いることにより、溶接鋼管の継手強度（＝破断荷重）に対し、耐震性鋼管継手が耐えうるような形状を設計すべく、検証を行った。溶接鋼管の材質については、一般的に用いられているオーステナイト系ステンレス SUS304 を対象とした。また、橋梁添架管の中でも用途の高い「JIS G 3459 配管用ステンレス鋼鋼管」の 100A を対象として検証を進める。表-3 は SUS304 TP Sch10S 100A の主な材料特性を示す⁸⁾。対象の溶接鋼管の引張強度は、約 545kN となり、これを耐震性鋼管継手の継手強度目標値とした。

表-3 SUS304 TP Sch10S 100A の材料特性

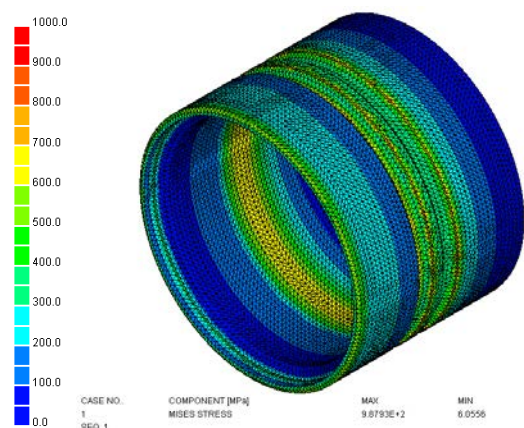
項目	規格値	
引張強さ σ	520 N/mm ²	
断面積 S	外径 D	114.3 mm
	厚み t	3.0 mm
※1	約 1,048 mm ²	
引張荷重 P ※2	約 545 kN	

※1 断面積 $S = (D^2 \times \pi / 4) - \{(D - t)^2 \times \pi / 4\}$

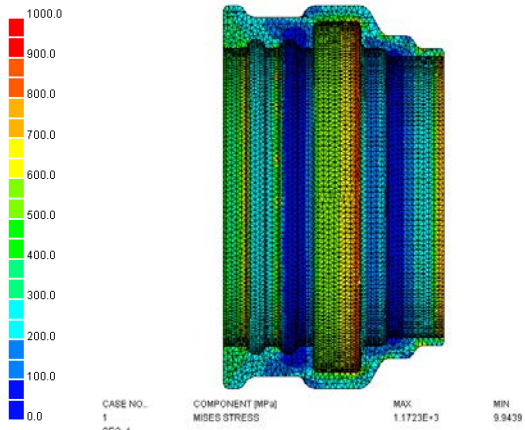
※2 引張荷重 $P = \sigma \times S$



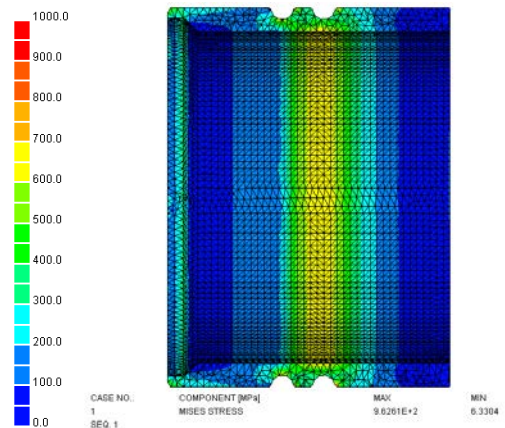
(a) 受口外面の応力状態



(a) 挿し口外面の応力状態



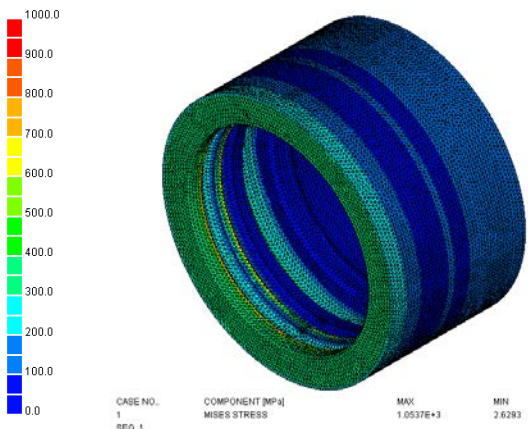
(b) 受口内部・内面の応力状態



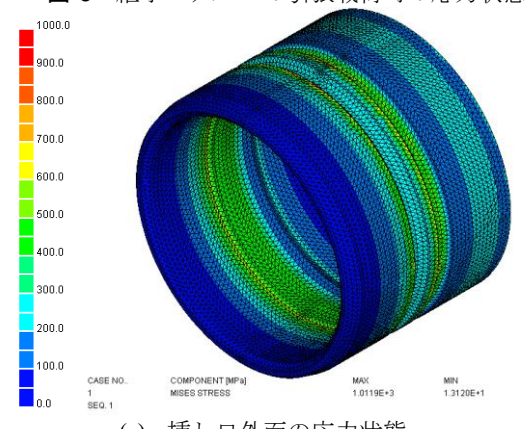
(b) 挿し口内部・内面の応力状態

図-4 継手モデル A の引張載荷時の応力状態

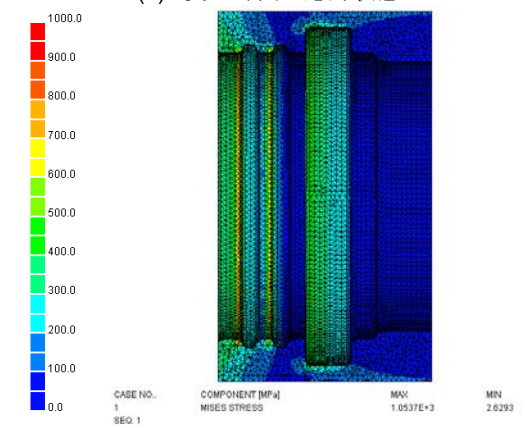
図-6 継手モデル C の引張載荷時の応力状態



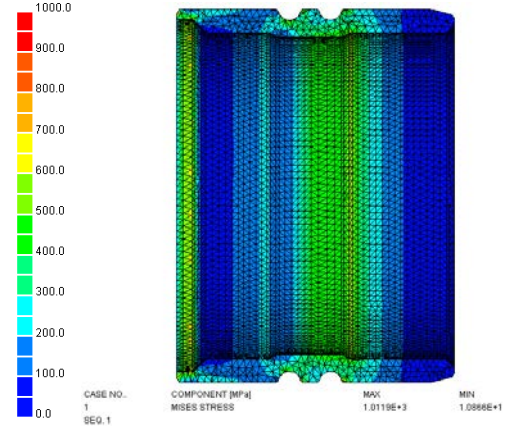
(a) 受口外面の応力状態



(a) 挿し口外面の応力状態



(b) 受口内部・内面の応力状態



(b) 挿し口内部・内面の応力状態

図-5 継手モデル B の引張載荷時の応力状態

図-7 継手モデル D の引張載荷時の応力状態

構造解析には、富士通株式会社の「FJKSWAD」を使用した。受口の構造として、切削による軽量化と離脱防止力のバランスを図るべく複数のサンプルモデルを設定して検討した。受口と挿し口を有限要素でモデル化し、ロックリングの接触部に継手引抜方向に破断荷重を載荷した場合の継手の応力状態を確認した。本製品適用管種である SUS304 TP Sch10S 100A の破断荷重は上述の通り 545kN とした。耐震性鋼管継手の受口におけるサンプルモデルの一例として図-4 と図-5 に示す。図-4 の継手モデル A は受口の管厚を薄く軽量化したもので図-4(a)は受口の外部から見たもの、図-4(b)は断面図で受口内部および内面の応力状態を示している。継手モデル B は受口内部の形状はモデル A と同じで、外面は切削加工していないモデルで、図-5 はその応力状態を示している。受口内面で挿し口の張り出し隅角部に大きな圧縮応力が発生していることがわかる。継手モデル A と B を比較すると、受口の外径部分を厚肉構造にすることで、応力は 200MPa 台から 100MPa 台に減少し、より継手強度の向上を見込められる。しかし、継手モデル A においても塑性域には達していないため、軽量化への減肉の切削加工をしたモデル A を本稿の耐震性鋼管継手の受口として、採用する。

また、同時に耐震性鋼管継手の挿し口におけるサンプルモデルの一例を図-6 と図-7 に示す。図-6 の継手モデル C は挿し口の内面及び外面を切削加工し、受口のサンプルモデルと同様に、図-6(a)は挿し口の外部から見たもの、図-6(b)は断面図であり、挿し口の内部および内面の応力状態を示している。継手モデル D は挿し口内部の形状において、応力をより強く受ける箇所段差形状といった部分的な管厚みを設け、図-7 は外面と内面それぞれの応力状態を示している。結果としては、図-6 において、内部に 600MPa から 700MPa 付近の応力を示す箇所が明らかとなり、本稿で扱う SUS304 の材料強度を上回ることとなった。しかし、図-7 においては、継手の内部全域に渡り、400MPa 付近もしくは 400MPa 未満の応力状態を示し、受口と同様に継手強度の向上が見込められる。強靱な継手性能を図るべく、モデル C を耐震性鋼管継手の挿し口として、受口と同様に次章以降の検証実験に用いる。

5. 検証試験

(1) 試験目的

継手の引張特性、曲げ特性の性能確認を目的として検証試験を実施する。試験規格に関しては、日本水道協会が定める「JWWA G 120 : 2013 水道用 GX 形ダクタイル鋳鉄管」の附属書 C 継手の性能試験方法に準拠して行う。規定される継手性能試験項目のうち、継手の管軸方向における引抜阻止力を評価する(2)離脱防止性試験、鉛直方向における曲げ特性の評価として(3)曲げ水密性試験を本稿では報告する。また、引張特性については溶接鋼管と比較を

行う必要があるため、同じ試験方法で溶接鋼管の試験も実施した。

(2) 離脱防止性試験

日本水道協会が定める離脱防止性試験では、正規に接合した直管に離脱防止力 3DkN (D は管の呼び径mm) を負荷することが規定されており、本試験の判定基準は、継手に異常があってはならないこととなっている。本研究では離脱阻止力の確認とともに、さらに荷重を付加して継手の破断まで載荷した。

本試験では、ステンレス鋼鋼管である SUS304 TP Sch10S 100A を使用し、2 種類の継手（以下、耐震性鋼管継手及び既存継手）及び鋼管同士を直に接合した溶接鋼管を製作し、引張試験を行った。管路の中央に各継手を配置するような供試体を製作した。

載荷には 1000kN 仕様のアムスラー万能試験機を用いた。試験方法は図-8 に示す通り、供試体の管路長は耐震性鋼管継手で 293mm、既存継手で 450 mm として、管路両端をチャックし、単位時間あたりの変位量を制御しながら、徐々に引張荷重を加え、管軸方向における引張特性を評価する。管の伸びはチャック間をデジタルメジャーで計測した。実験では継手各部の発生ひずみを確認するためにひずみゲージを貼って計測した。図-9 に実験の様子を示す。

図-10 に耐震性鋼管継手と既存継手の変位-荷重関係を示す。両継手ともに、数種類の部品群で組み合わされたものであり、30kN 付近までの変位はほとんど発生しないことがわかる。その後、両継手で引張荷重に合わせて変位が単調増加し、変位が 1.8mm を超えたところで両継手ともに塑性域に到達したと考えられる。継手の荷重-変位関係はほぼバイリニアの引張特性を有することがわかる。既存継手に対して耐震性鋼管継手は初期剛性も大きく、塑性後の破断時の変位も、3.5mm から 83.0mm まで伸びていることがわかる。既存継手は離脱防止用ロックバンドが 1 条に対して、耐震性鋼管継手は 2 条であることと、挿し口の張り出し部が大きくなるため、受口の拘束力が増加することによって初期剛性に寄与していると考えられる。

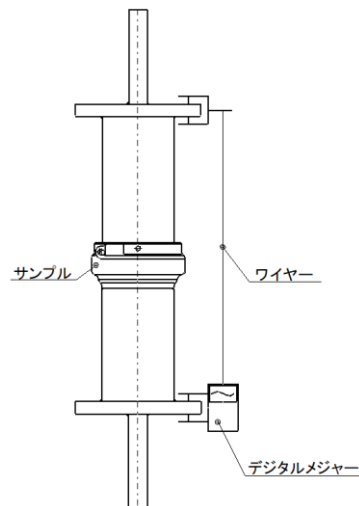


図-8 鋼管継手の離脱防止性試験概要図



図-9 離脱防止性試験の様子

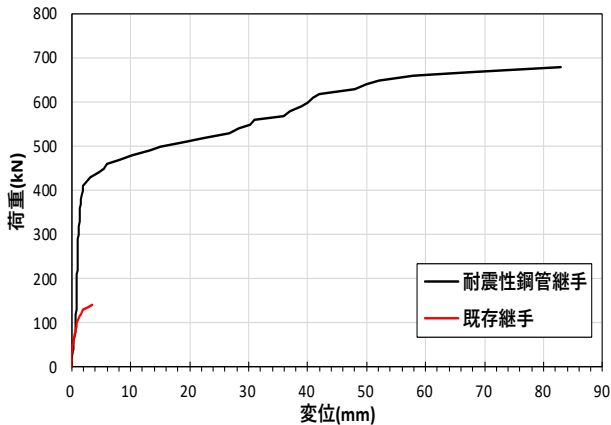


図-10 離脱防止性試験による荷重—変位関係

耐震性鋼管継手の破断メカニズムとしては、弾性域から塑性域に移行する付近で、挿し口側の管路が縮径し、離脱防止用ロックバンドが溝からずれることによって継手にも変位が発生し始める。ただし、継手の離脱防止用ロックバンドは抜け落ち掛かるが、最終的な破断は、図-11 に示す通り、継手の挿し口と受口間からの離脱ではなく、管体と受口もしくは挿し口との溶接部で生じていた。形状が局所的に変化し、応力集中が生じたためと考えられる。既存継手は離脱防止用ロックバンドが1条である他、受口の管厚が耐震性鋼管継手のそれよりも薄いため挿し口の縮径により、塑性域に達し、即座に継手が離脱した。

離脱防止性としてサイズが 100A の 3DkN=300kN の荷重に対して確認すると、耐震性鋼管継手であれば弾性域においても離脱阻止力を満足しており、離脱阻止性継手としても機能するといえる。一方、既存継手には 300kN の引張力には耐えられない。既存継手の約 4 倍の引張阻止力を有する耐震性鋼管継手により、継手部脱管における漏水リスクを最小限に抑えられるといえる。

次に、耐震性鋼管継手が溶接鋼管と同等以上の強度をもつことを確認するために、離脱防止性試験で用いた SUS304 TP Sch10S 100A の管中央を溶接接合した供試体を製作し、上述の試験と同じチャック間距離で引張試験を実施した。図-12 は溶接鋼管の引張試験による応力—ひずみ関係を示している。ひずみ 0.3%、引張応力 420MPa で塑性域に達し、その後



図-11 耐震性鋼管継手の溶接部破断の状態

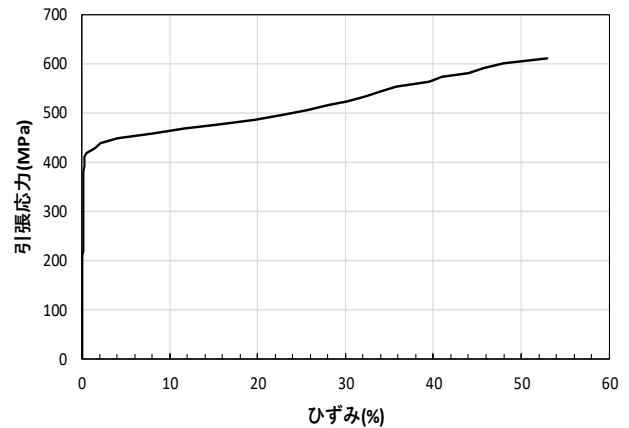


図-12 溶接鋼管による引張試験の応力—ひずみ関係

ひずみが 53.0%、610MPa で破断に至っている。降伏するまでの剛性は溶接鋼管であっても一般的な鋼管の剛性と同じであるが、塑性化し破断に至る箇所は溶接部であった。

(3) 曲げ水密性試験

耐震性鋼管継手の曲げ特性の評価として、曲げ水密性試験を実施する。試験方法に関しては、正規に接合した直管の継手を許容曲げ角度の 4° まで曲げ、管に試験水圧 2.0MPa を負荷し、5 分間保持する。判定基準においては、継手からの漏れ及び継手に異常があってはならないこととする。曲げ水密性試験の実施にあたり、継手の鉛直方向における曲げ特性を検討すべく、圧縮荷重を加えた際における継手の曲げ角度に対し、曲げモーメントの関係性を算出した。曲げ水密性試験実施の様子を図-13、角度と曲げモーメントの関係性を図-14 に示す。

曲げ水密性試験の結果としては、許容曲げ角度である 4° に対し、継手からの漏れ及び継手に異常は見受けられなかった。20m の橋梁を例に継手の曲げ角度が、4° の際のモデルを図-15 に示す。後述でも記載する通り、継手間の配管距離を 4m とし、計 5 つの継手を配置した。検討結果より、20m の橋梁においては、配管の中心位置において、約 1.4m の許容撓みが可能と推測される。地震発生時における橋梁の崩れや通水状態での配管本体の自重に対する撓みにおいても、4° の継手許容曲げ角度であれば、耐えうるが見込められる。



図-13 曲げ水密性試験の様子

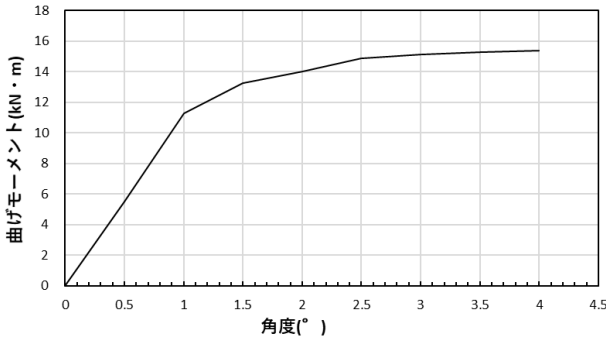


図-14 角度と曲げモーメントの関係

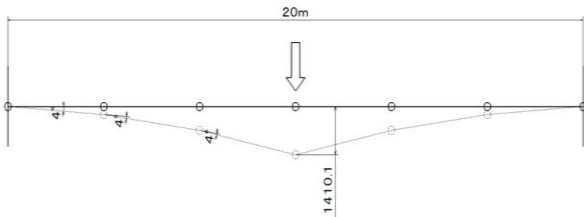


図-15 20m 橋梁に対する撓み量

6. 添架鋼管継手の引張特性

耐震性鋼管継手を橋梁添架管に布設することを想定した上で管路の引張特性を検討する。上述した離脱防止性試験では継手供試体の引張特性を確認したが、継手の剛性が高く、継手だけでなく管体でも伸びていた。図-10の結果は継手自体の引張特性を表現しておらず、管路長が長くなれば管路での変位やひずみの評価が適当ではなくなる。そこで、管体と継手の伸びを考慮して継手のみの引張特性を求める。引張方向に管体剛性のばねと継手剛性のばねが直列配置した場合の合成ばねに対して、管体剛性が既知であるとして実験結果から継手剛性の引張特性を算出する。実験の荷重-変位関係から継手の引張特性はバイリニアで表現できると仮定した。なお、継手の塑性域において管体も降伏することが考えられるため、弾性域での縦弾性係数を SUS304 の材料規格値に則り、 193.0kN/mm^2 とし、塑性域に対しては、非線形領域をバイリニアにて線形に変換し、塑性係数を 6.8kN/mm^2 とした。⁹⁾ 図-16はこれらの実験パラメータから継手特性をモデル化したものである。継手のみを考慮すると、変位 1.5mm 付近にて

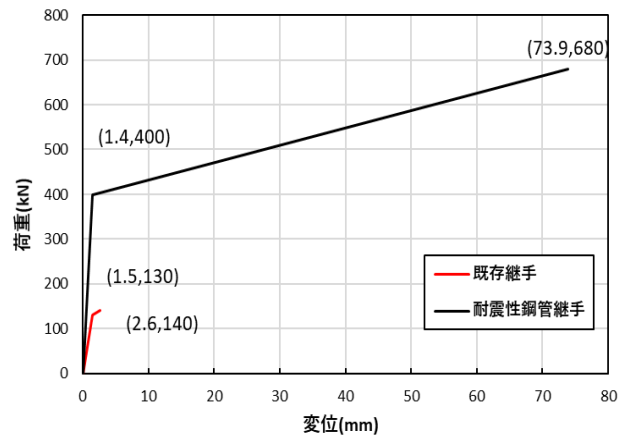


図-16 バイリニア型継手の引張特性のモデル化

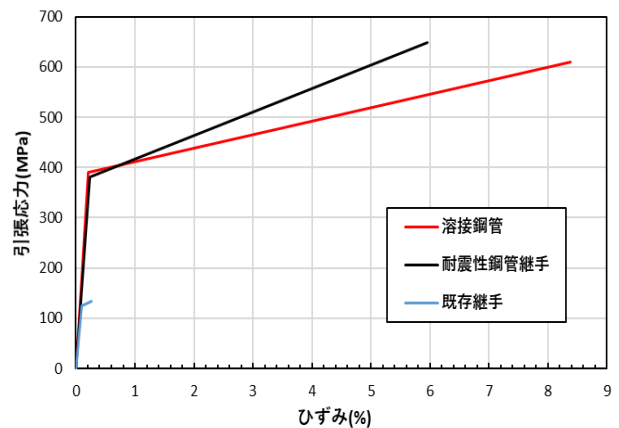


図-17 4m 管路に換算した管路の応力ひずみ関係

いずれの継手も塑性化している。

この関係を用いて橋梁添架管を対象とした場合の管路の耐震性能について継手管路と溶接管路との比較を行う。一般に橋梁には 4m 間隔で金物に固定支持されている。また、管路の単位長は口径が $\phi 100$ であれば 4m であるため、固定支持された 4m 管路には 1 か所の継手を有することになる。したがって、図-16 の関係を用いて 4m 管路に 1 か所の継手または溶接接合がある管路として、応力-ひずみ関係に換算したものが図-17 になる。4m 換算にあたり SUS304 の弾性域、塑性域での縦弾性係数の取り扱いは前述のとおりである。レベル 2 地震動に対しての一体構造管の許容ひずみは前述したようにひずみ 3% とすると、耐震性鋼管継手も溶接鋼管も塑性域に入り、一部で塑性化する範囲にあるが、溶接鋼管はもちろん、耐震継手においても漏水は発生していない。また、引張応力に関しても、溶接鋼管と同等以上の継手強度を示した。破断時のひずみ量も 5.96% と、目標の約 2 倍の値を示した。弾性域と塑性域の境目に関して、耐震性鋼管継手は 380N/mm^2 、溶接鋼管においては、 390N/mm^2 を示した。耐震性鋼管継手においては、引張荷重を加えた際に、離脱防止用ロックバンドが干渉し、その弾性力により、溶接鋼管よりも値が僅かに低くなったと考えられる。

また、ひずみに関しても、耐震性鋼管継手は溶接鋼管と比べ、塑性域に到達しているものの管路が伸

び切る前に、破断することとなった。

以上の結果より、レベル2地震動に対する3%許容ひずみ以下の範囲において耐震性鋼管継手のある管路と溶接接合した管路の引張特性はほぼ同等の性能を有するといえる。さらに、本研究で提案する橋梁添架管用の耐震性鋼管継手で接合した管路は、継手ではあるものの本来外力が作用した場合に変位を逃がす継手構造管の特性ではなく、一体構造管の特性を持つことが種々の実験から明らかになった。

7. おわりに

本研究で提案する橋梁添架管向け耐震性鋼管継手は、溶接鋼管と同等以上の継手強度を有し、従来工法である現地溶接工法に比べ簡単接続による施工性、耐久性、耐食性に優れた継手である。近年の溶接技術者不足といった課題点に対し、接続が容易で安全性の高い耐震性鋼管継手は、水道施設の配管設備の耐震化に大きく貢献できると期待される。

橋梁添架管向けである耐震性鋼管継手の使用面については、地震時に添架部の継手に作用する外力が不明である点、橋梁添架管継手に関する耐震設計基準が、明確には確立されていない点が課題として挙げられる。現状として、水道の添架管における耐震性評価を対象にした研究は皆無であるといえる。そこで、本研究の今後の展望としては、橋梁のモデル化のために水道添架管が設置されている橋梁の振動特性を明らかにするとともに、橋梁と添架管を合わ

せたモデルによって地震時の応答計算を実施し、橋梁添架管の地震時挙動、継手への作用力を明らかにする必要があると考える。

本研究を継続し、橋梁添架管継手の耐震設計基準の確立に向け取り組むことで、今後更新が必要な橋梁添架管を中心に、水道管路の耐震化への寄与を目指す。

謝辞：本研究を進めるにあたり、有益なデータをご提供頂きました（公財）滋賀県工業技術総合センターに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 厚生労働省健康局：新水道ビジョン, pp.15, 2013
- 2) 水道産業新聞社：厚生労働省健康局水道課とりまとめ東日本大震災水道施設被害状況調査最終報告書, pp.2-98-99, 2014
- 3) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説（2009年版）, 2009
- 4) 日本水道鋼管協会：水管橋設計基準（改正5版）, WSP 007-2019
- 5) 日本水道協会：水道用 GX 形ダクタイル鋳鉄管, JWWA G 120, 2013
- 6) ステンレス協会：SAS322 一般配管用ステンレス鋼管の管継手性能基準, 2016
- 7) 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針（改訂版）, 2000
- 8) JIS：JISハンドブック配管II, 2020
- 9) ステンレス協会：ステンレス鋼データブック, pp.683, 建築構造用鋼の応力-ひずみ曲線より

A DEVELOPMENT OF SEISMIC JOINT OF STEEL PIPE ATTACHED ON THE BRIDGE

Yuma KITAI, Hiroki NODA and Yasuko KUWATA

Seismic resistance of water supply facility and pipeline is promoted to reduce suspension of water supply by an earthquake. Lightweight welded steel pipes with seismic resistance have been widely used for pipeline attached on the bridge. However, there are problems on securing engineers for the field welding method and maintenance. A connection method with seismic resistance and no risk of suspension of water supply and easily connection is required. This study aims to develop mechanical steel pipe fittings with seismic resistance equal to or higher than that of welding joints and can connect easily and reliably for non-specialist engineers. Design verification and verification test were carried out. The seismic resistance of mechanical steel pipe fittings equal to or higher than that of welding joints was checked.