

合成鋼管用離脱防止継手の試作と その性能照査指標に関する検討

石井将幸* 野中資博* 坂村 博** 秋元昌哲** 井川秀樹**

* 島根大学生物資源科学部, 〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060

** 日本ヒューム株式会社, 〒360-0161 埼玉県熊谷市万吉 3300

要 旨

伸縮能力と離脱防止抵抗力の両方を備えた離脱防止継手は、地震時に隣接する管を次々に引き出し、複数の継手の伸縮能力を足し合わせることによって、地盤ひずみの集中に対応することができる。この種類の継手はパイプラインの耐震性を向上させる手段として期待されているが、その具体的な設計手法は確立されていない。合成鋼管を対象とし、カラーと止めネジの接触で抵抗力を生じさせる継手を試作して試験を行ったところ、直線施工と曲げ施工の両方において、想定したとおりのメカニズムで離脱防止機能を発揮できることを確認できた。次に、この継手が備える伸縮性能と離脱防止抵抗力の両方を評価し、離脱防止継手の性能を照査する指標として、離脱防止抵抗力によって伸ばされる継手の伸び量の合計である、合計伸び能力を用いることを提案した。

キーワード：パイプライン、耐震設計、離脱防止継手、合成鋼管、性能照査

1. はじめに

農業用パイプラインをはじめとする埋設管路が地震によって受ける損傷には、継手のずれや離脱など管路の軸方向のものが多くみられる。このような被害を軽減するために、管の継手の多くには伸縮能力と曲げ能力が付与されている。伸縮能力は管路軸方向の地盤ひずみに、曲げ能力は軸と直交する方向の振動や地盤の変形に追随するためのものである。伸縮能力と曲げ能力のそれぞれに対し、その性能に応じた規格化が行われている。

近年、伸縮能力と曲げ能力に加え、離脱防止機能を持たせた継手が開発されている。この種の継手は離脱防止継手と呼ばれ、継手の伸びが設計した量に達するとそれ以上の伸びに対する抵抗力、すなわち離脱防止抵抗力が生じるように設計されている。伸び能力と離脱防止抵抗力の両方で継手の離脱に抵抗するため、大きい地震動に対する安全性が期待できる。

土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」においても、離脱防止継手を備えた管路は「鎖構造管路」と表現され、「有効な耐震対策である」とされている（農林水産省農村振興局整備部設計課，2009）。しかし具体的な要求性能や設計手法は上記の設計基準には明示されていない。

地震時に管の継手が受ける被害に関する研究として、例えば藤田ら（2007）のものを挙げるができる。地震で実際の管路に生じた継手の残留変位量について調査を行った結果、管路と他種構造物との接合部付近で大きい残留変

形が生じることが示され、その原因として振動の位相の違いが挙げられている。毛利ら（2008）の報告も同様の結論に至っているが、こちらの報告では地震後の抜け出し量が継手の許容する最大抜け出し量を上回る確率である被害確率が算出されており、構造物周辺での被害確率は直線管路の約 100 倍に達することが示されている。管路の耐震設計では、地盤ひずみが局所的に集中する事態を想定した評価を行うことが一般的であるが、このような手法の必要性を裏付ける結果であると言えよう。

離脱防止継手やその性能評価に関する研究としては、離脱防止抵抗力を実測したもの（井谷・岸，2009）や、地震時に離脱防止抵抗力を上回る荷重が継手に作用し、離脱防止継手が破壊・離脱する確率を推定しようとしたもの（今井・小池，2010）がある。しかしこれらでは離脱防止継手が持つ性能と要求される性能との比較、すなわち性能照査に主眼が置かれていないため、現在においても、離脱防止継手を備えた管路の耐震設計手法が定まったとは言い難い状況にある。その理由として、地震時に継手の離脱を防ぐ機能が伸縮性能と離脱防止性能の両方で実現されていること、さらに後に示す設計資料では一方が持つ性能上の余裕を他方に振り分けた設計が可能であるとされているが、その具体的な手法が明確ではないことが挙げられる。

そこで本研究では合成鋼管、すなわち外殻としての鋼管を備えたコンクリート管を対象として離脱防止継手を開発し、それらに対する性能試験を実施した。そして継手の伸縮能力と離脱防止抵抗力の両方を定量的に評価し、管路の耐震設計を行う際に用いる指標について検討を行った。

2. 離脱防止継手の性能評価基準

2.1 離脱防止継手の概要

管の継手には伸縮能力を備えているものが多い。管自体には伸縮能力や曲げ変形能力がなくても、継手がそれらの能力を持っていれば、管路全体が伸縮したり曲げ変形を起こしたりすることができる。これによって、地震時の地盤ひずみや不等沈下に管路を追従させることが可能になる。

しかし継手の伸び能力には限界があるため、それを越えた伸びが管路に要求されると継手の離脱が生じる。地震時の地盤ひずみが均一であれば、地盤の変形と管の変位は分散され、各継手の伸び量はそれほど大きくなる。しかし異種構造物との接合箇所や、地割れの発生箇所などにおいて、地盤ひずみの局所的な集中が生じる。この場合、その周辺で局所的に管路が引き伸ばされることになると、継手の伸び能力が不足して継手が離脱する（毛利ら，2008）。

これを防ぐために、離脱防止継手では継手が設計した量まで伸びたところで離脱防止抵抗力が発生するようになっている。しかしその目的は当該継手の離脱を防ぐことよりも、管を引き出して隣接する継手を伸ばすことにある。隣り合った管を次々に引き出して次々に継手を伸ばすことができれば、複数の継手の伸び能力を合わせて集中した地盤ひずみに対応することが可能になる。その様子を図示すると Fig. 1 のようになる。鎖構造管路と呼ばれる所以である。

以上を踏まえると、各継手の伸び能力が高ければ、さほど大きな離脱防止抵抗力は必要ないと言える。少数の継手の伸び能力を足し合わせるだけで、集中した地盤ひずみに対応できるためである。逆に、離脱防止抵抗力が大きければ、各継手の伸び能力は小さくても良いと考えられる。同一の性能（対応する集中ひずみの量）を実現するうえで、2 とおりのアプローチがあり得ると言える。

2.2 既往の基準文書

離脱防止継手の性能に関する基準として広く引用されているものに

- (1) (財) 国土開発技術研究センター：地下埋設管路耐震継手の技術基準（案）
- (2) 日本ダクタイル鉄管協会：NS 形・S 形ダクタイル鉄管管路の設計

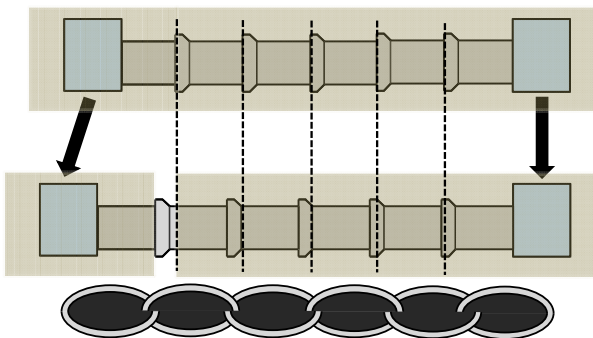


Fig. 1 離脱防止継手による集中した地盤ひずみへの追従
Prevention of joint separation by restraint joints

Table 1 伸縮性能と離脱防止性能の区分
Classes of expansion and restraint performances

(a) 伸縮性能	
区分	継手の性能
S-1 類	伸縮量 $\pm 0.01 l$ 以上
S-2 類	伸縮量 $\pm 0.005 l$ 以上 $\pm 0.01 l$ 未満
S-3 類	伸縮量 $\pm 0.005 l$ 未満
(b) 離脱防止性能	
区分	継手の性能
A 級	離脱防止抵抗力 $3d$ kN 以上
B 級	離脱防止抵抗力 $1.5d$ kN 以上 $3d$ kN 未満
C 級	離脱防止抵抗力 $0.75d$ kN 以上 $1.5d$ kN 未満
D 級	離脱防止抵抗力 $0.75d$ kN 未満

l : 管 1 本の有効長 (mm), d : 管外径 (呼び径を用いる) (mm)

の 2 つがある。しかし厳密に言えば、資料(2)は資料(1)を引用しているものであり、内容はほぼ同一である。離脱防止継手の設計手法に関する現状を確認するために、ここでは(1)の内容と解釈について検討する。

資料では、継手の性能として伸縮性能と離脱防止性能を定義し、それぞれに対して個別の性能区分を設定している。その具体的な内容を Table 1 に示す。なお引用に当たり、離脱防止抵抗力を SI 単位に変換した。伸縮性能は伸縮量、すなわち継手が離脱や離脱防止抵抗力の発生なしに伸縮できる長さで評価される。伸縮性能の類は管の有効長との比で規定されているが、有効長とは管全体の長さから継手部分の長さを引いたものであり、複数の管をつなげたときに 1 本分となる長さである。一方、離脱防止性能は離脱防止抵抗力で評価されている。これは、継手を離脱させようとする動きに抵抗した際に継手に生じる最大の力である。

A 級の離脱防止抵抗力を $3d$ kN とした根拠として、資料では「離脱防止性能については、100m 程度の範囲においては地盤の歪が一カ所に集中すると仮定し、100m に相当する管の周面摩擦力に耐える継手の離脱防止性能を有するものを A 級とし、B 級は A 級の 1/2 の離脱防止性能を有し、C 級は B 級の 1/2 の（以下略）」としている。この記述に基づいて計算すると、管と地盤の間に生じるせん断応力の大きさとして 10kN/m^2 を見込んでいることがわかる。しかし、管と地盤の間にどれくらいの相対変位が生じたときにこの大きさのせん断応力が生じるかに関する記述はない。

B 級が備えるべき A 級の 1/2 の 離脱防止性能が、A 級の半分の離脱防止抵抗力を指すことは明らかである。しかし、これが 50m に相当する管の周面摩擦力に耐える性能を意味しているのか、せん断応力が 5kN/m^2 である場合を想定しているのかは不明瞭である。本論文では前者の解釈に立ち、管と地盤の間のせん断応力を 10kN/m^2 としたうえで、B 級は 50m 以上 100m 未満、C 級は 25m 以上 50m 未満、D 級は 25m 未満の管を引き出す性能であるとして議論を進める。

伸縮性能については、1%の地盤ひずみを吸収できるものを S-1 類と定めている。そして「離脱防止性能がなくても

ここに示す離脱防止性能に相当する余裕長を持つものは、それぞれの類、級に該当させることができる」としている。先に述べたように、継手の伸縮性能と離脱防止抵抗力は相補的であるため、両者の読み替えを可能とする考え方は自然である。しかし具体的な方法や基準については、資料中には示されていない。またこれらの規定は継手の性能の規格化であり、要求性能の提示や性能照査手法の明確化も行われていない。

3. 離脱防止継手の試作と性能試験

3.1 試作した離脱防止継手の概要

呼び径 800mm の合成鋼管を対象として、離脱防止継手を試作した。合成鋼管は主に推進工法に用いられる管であり、不とう性管に分類される。この管に対し、推進管の基準である JSWAS A-2 に定める継手性能 JC の規格に従い、水密性を保ったままの約 60mm の伸び能力、これによる曲げ能力、そしてその後の離脱防止機能を持たせることを目標として、3 種類の継手を試作した。

継手部の概要は Fig. 2 のとおりである。継手はカラーと呼ばれる内径の大きい部位に外径の小さい内挿部が入り込む構造となっており、Fig. 2 は左側に位置するカラー側の管に、右側から内挿側の管を継いだ様子を示している。Type1 は伸縮能力に主眼を置いて設計したものであり、抜け出しによってカラーのくびれ部が止めネジに接触すると離脱防止抵抗力が発生する。また内挿管側には止めネジの両側に土砂流入防止ゴムと止水ゴムが接着されている。継手が伸びると土砂流入防止ゴムが抜け出してしまいが、離脱防止抵抗力が発揮されるような伸びが生じても止水ゴムは抜け出さないため、水密性が保たれるようになっている。

一方 Type2 は、伸縮能力よりも離脱防止抵抗力に主眼を置いたものである。止めネジと接触する部材をカラーのくびれから角鋼に変更し、また止水ゴムと土砂流入防止ゴムを一体化して、Type1 とは逆にカラー側、角鋼の隣に接着した。角鋼と止めネジの太さを変えることによって、Type2A と Type2B の 2 種類を試作した。なお Type1 では止めネジがカラーの端に達するまで継手が伸びることができるが、Type2 では止水ゴムの幅の分だけ伸び能力が制限されるため、カラー部を長くする必要が生じた。

3.2 離脱試験の概要

これらの継手に対して直線離脱試験と曲げ離脱試験の 2 種類の試験を行い、継手の伸び能力と離脱防止抵抗力を測定した。試験時の様子を Fig. 3 に示す。写真左側のカラー側管と右側の内挿管側管が、写真中央付近で接合されている。ジャッキ、ロードセルと変位計は管の反対側にも取り付けられており、個別の制御と測定が可能となっている。直線離脱試験では、まず 2 本の管を直線状に接合した。

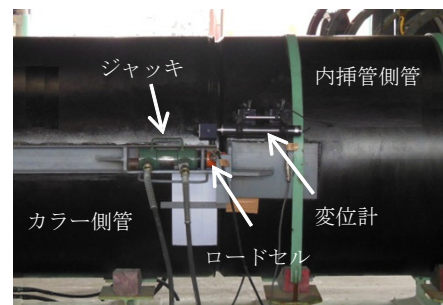


Fig. 3 離脱試験の様子
Outline of extraction tests

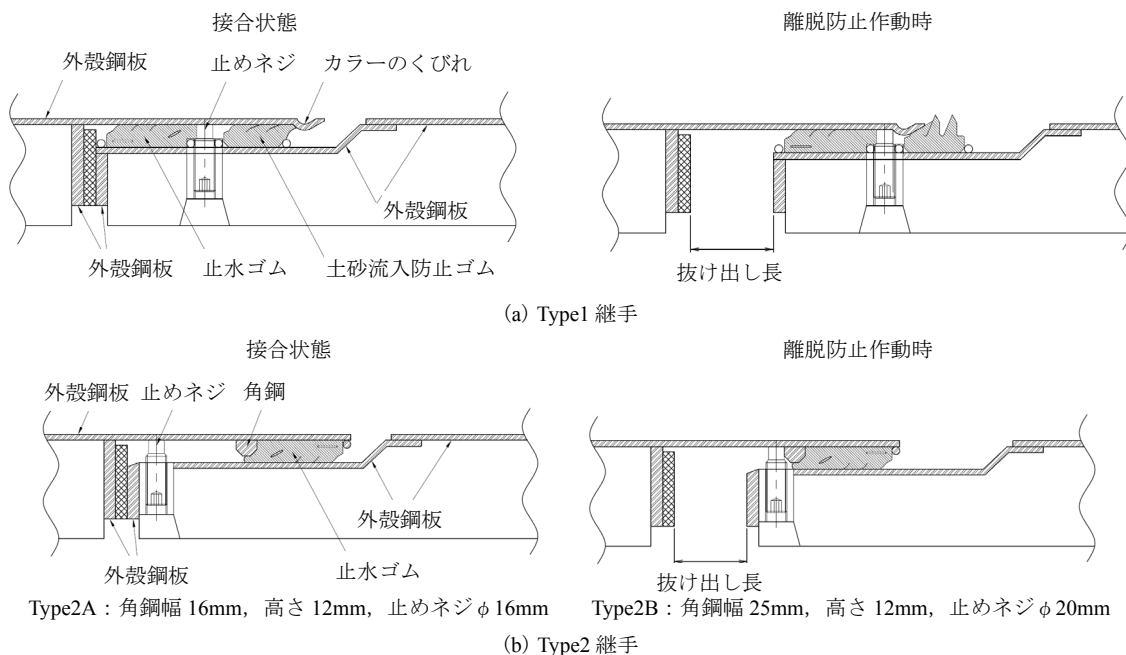


Fig. 2 試作した継手の種類と概要
Outlines of restraint joints

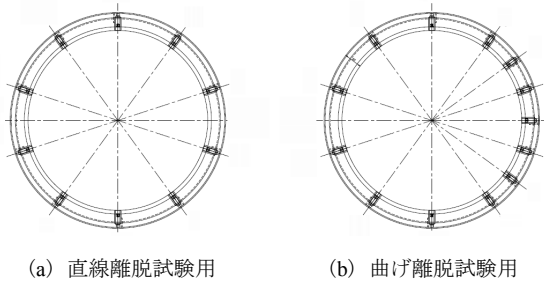


Fig. 4 止めネジの配置

Arrangements of restraint bolts

そして継手の左右両側に配置した油圧ジャッキ 2 本で管を押し離脱させ、抜け出し長と離脱防止抵抗力の変化を測定した。試験中は 2 本の管が直線を保つようにジャッキを制御するとともに、それぞれのジャッキから加えられる力を個別に測定した。両ジャッキからの力の合計が離脱防止抵抗力となる。離脱防止抵抗力の元になる止めネジは 10 本で、配置は Fig. 4 のとおりである。

一方曲げ離脱試験では、管の片側で継手の伸び量が 60mm に、反対側では継手が完全に接合されるように調整し、2 本の管が折れ曲がってつながった初期状態を作り出した。合成鋼管を用いた推進工法では、継手の曲げ能力を使って曲線状の管路を敷設することができる。この場合、曲線の外側では継手が伸びた状態に、内側では縮んだ状態になり、地震時などにはそこからさらに継手が抜け出すことになる。曲げ離脱試験ではこの状況を想定し、2 本の管が成す角度が変化しないよう、両ジャッキの伸び量が等しくなるように制御しながら継手を離脱させた。2 本の管の軸が成す曲がり角は約 4.3 度であり、この試験での抜け出し長は試験開始時からの各ジャッキの伸び量である。曲げ離脱試験の対象とした継手は、直線離脱試験で最も離脱防止抵抗力が大きかった Type2B である。

3.3 直線離脱試験の結果

直線離脱試験における左右平均の抜け出し長と離脱防止抵抗力の関係を Fig. 5 に示す。離脱防止抵抗力は、継手が抜け出すことで止めネジが抵抗部材と接触すると増加して

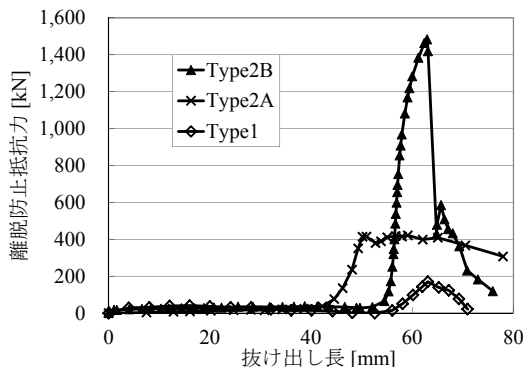


Fig. 5 直線離脱試験における離脱防止抵抗力
Restraint force in axial extraction tests

ピークに達し、その後止めネジが抵抗部材を通過すると低下した。離脱防止抵抗力の最大値は Type1 で 175kN, Type2A で 421kN, Type2B で 1,483kN となった。Type1 に対して Type2A は約 2.4 倍, 2B は約 8.5 倍の離脱防止抵抗力を発揮した。また離脱防止抵抗力がほぼ最大となる抜け出し長は Type1 が 63mm, 2A が 59mm, 2B が 63mm となった。

Type1 と Type2B の離脱防止抵抗力には明瞭なピークがみられるのに対し、Type2A にはそのようなピークがない。その理由としては、Type1 のくびれが山形の形状をしていること、また Type2A では継手の破壊モードが主に角鋼のえぐれであるのに対し、Type2B では止めネジの折損であったことが挙げられる。Type2B では離脱防止抵抗力が減少した後ふたたび上昇しているが、これは折損したボルトの基部が止水ゴムと接触したためと考えられる。

Type2B の試験において、各ジャッキから加えられた荷重の変化を Fig. 6 に示す。2 つのジャッキの荷重はほぼ同じ変化を示しており、10 本すべての止めネジが概ね同時に角鋼に当たっていることがわかる。最大荷重は A ジャッキでは抜け出し長 63mm 時の 733kN, B ジャッキで同じく 63mm 時の 751kN であった。

離脱試験後に止水ゴムや土砂流入防止ゴムの状態を調べたところ、Type1 では止水ゴムが一部切断されていた。これは抜け出しの過程でカラーがえぐられ、めくれ上がった金属片が、ゴム輪を切り裂いたものであった。つまり一時的であっても抜け出し量がある限度を超えると、継手の水密性が損なわれることになる。一方カラー側に止水ゴムを接着した Type2 では、止水ゴムの切断は生じなかった。

継手離脱後の管の状態を調べると、Type1 と Type2A では管そのものには損傷がみられなかったのに対し、離脱防止抵抗力が大きい Type2B では管のコンクリートに円周方向のひび割れが生じていた。つまり継手部分を Type2B よりさらに強化して離脱防止抵抗力を増そうとしても、管が先に破壊されてしまうことになる。

3.4 曲げ離脱試験の結果

曲げ離脱の状態では、まず外側で止めネジと角鋼の干渉が生じて離脱防止抵抗力が発生する。離脱の進行によって

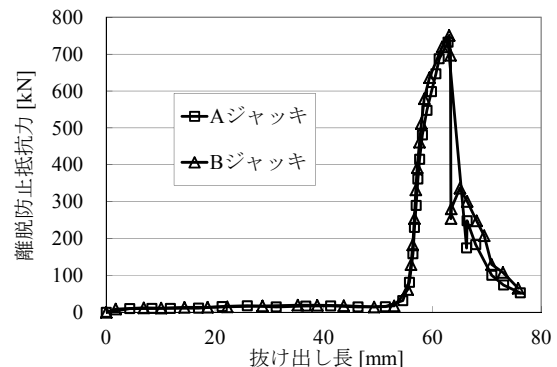


Fig. 6 Type2B 継手の直線離脱試験における各ジャッキの荷重
Loads on each jack in axial extraction tests for Type2B joint

次々に止めネジが機能するが、内側の止めネジが干渉するまでに外側が抜けきってしまうため、すべての止めネジが同時に機能することはないと考えられる。そこで Fig. 4 に示したように、片側に止めネジを多く配置して、曲げ離脱でも大きな離脱防止抵抗力が発生するようにした。推進工法で管路を敷設する際に生じる管の自転は軽微であるため、実施工において止めネジが多い側を狙った向きに位置させることが可能である。以下では止めネジを増やした側を曲線の外側にした試験を正曲げ離脱試験、内側にしたものを負曲げ離脱試験と称する。

正曲げ離脱試験と負曲げ離脱試験で得られた離脱防止抵抗力の変化を Fig. 7 に示す。正曲げでは急激に離脱防止抵抗力が立ち上がり、抜け出し長 12mm で最大の 720kN に達した。その後増加と減少を繰り返しながら、全体としては減少していった。一方負曲げ試験における離脱防止抵抗力は、増加と減少を繰り返しながら徐々に増加し、抜け出し長 59mm で最大の 731kN を記録した。そしてその後急激に低下した。

最大の離脱防止抵抗力は、正曲げと負曲げでほぼ同じ値となった。これは正曲げで 12mm、負曲げで 59mm の抜け出し長において、密に配置された止めネジが角鋼に同じように当たったためであると考えられる。また止めネジが 1 本ずつ折損、あるいは角鋼を通過することにより、離脱防止抵抗力が増加と減少を繰り返していると考えられる。

正曲げと負曲げの曲げ離脱試験における、内外それぞれのジャッキから加えられた荷重の変化を Fig. 8 に示す。正曲げ試験では、外ジャッキの荷重が先に立ち上がり、抜け出し長 13mm で最大荷重 565kN を記録した。そしてこのときに、合計の最大荷重も得られている。その後も内ジャッキの荷重は増加を続けるが、外ジャッキの荷重低下がそれを上回るため、合計の荷重は低下する。密に配置された側の止めネジが角鋼を通過しており合計荷重の増加が見込めないことから、抜け出し長 48mm で試験を打ち切った。そのため内ジャッキの最大荷重は明らかではないが、測定された範囲では 43mm での 305kN が最大であった。

負曲げ試験でも同様に、外ジャッキの荷重が先に立ち上がっている。しかし外側の止めネジが少ないため、抜け出

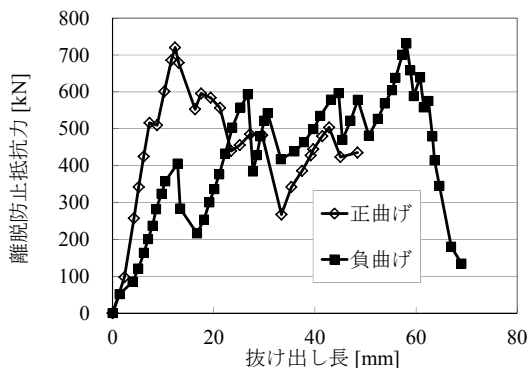
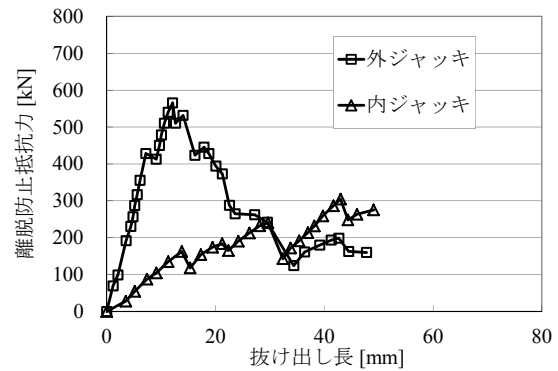
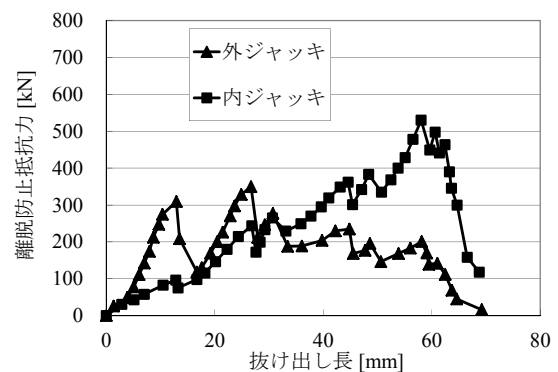


Fig. 7 曲げ離脱試験における離脱防止抵抗力
Restraint force in bended extraction tests



(a) 正曲げ離脱試験



(b) 負曲げ離脱試験

Fig. 8 Type2B 継手曲げ離脱試験における各ジャッキの荷重
Loads on each jack in bended extraction tests for Type2B joint

し長 13mm で外ジャッキの荷重がピークの 309kN を迎え、その後いったん低下する。外ジャッキの最大荷重は 27mm での 350kN であった。一方内ジャッキの荷重は増加を続け、抜け出し長 58mm でピーク荷重の 530kN を記録した。正曲げ試験で外ジャッキ荷重の最大時に合計荷重が最大となったのと同様に、負曲げ試験では内ジャッキの荷重が最大となった時点で合計荷重も最大となった。

直線抜け出し試験では、両ジャッキの荷重がほぼ同時に最大になった。また曲げ抜け出し試験では、正曲げの外ジャッキと負曲げの内ジャッキの最大荷重はほぼ一致し、またもう一方のジャッキの最大荷重も概ね同じであると推察される。直線離脱ではすべての止めネジが一斉に機能し、曲げ離脱では密に配置した側のネジが概ね一斉に機能する、という挙動が実現できたと考えられる。

4. 離脱防止継手の性能評価指標に関する検討

一連の試験で得られた伸び能力と離脱防止抵抗力をまとめると、Table 2 のとおりとなる。なおここで言う伸び能力は、離脱防止抵抗力が最大となる抜け出し長のことである。離脱防止抵抗力が最も大きく、かつ伸び能力も比較的大きい Type2B の継手を対象とし、前述の基準に基づいて性能評価を行ってみる。なお管の呼び径 d を 800mm とし、管 1 本の有効長 l については合成鋼管の規格に従って 1.20m と

Table 2 各継手の伸び能力と離脱防止抵抗力

Expansion capacity and restraint force of restraint joints		
継手種類	伸び能力	離脱防止抵抗力
Type1 直線	63mm	175kN
Type2A 直線	59mm	421kN
Type2B 直線	63mm	1,483kN
Type2B 正曲げ	12mm	720kN
Type2B 負曲げ	59mm	731kN

2.43m の 2 つの場合を考えることとする。

評価の結果は **Table 3** のようになった。伸縮性能の類は伸び能力と管長の比で決まるため、管 1 本が長いと類が下がる場合がある。しかし直線と負曲げの場合においては S-1 類に要求されるものを上回る伸び能力を備えており、余裕長が得られている。一方、離脱防止性能の級は管の呼び径と離脱防止抵抗力で決まるため、評価結果は管長には影響されない。

次に、各継手に対応できる集中ひずみの量を求めてみた。地盤と管の間に作用するせん断応力の大きさを前掲の資料に従って 10kN/m^2 とし、離脱防止抵抗力とせん断力がつり合う管側面の面積から管路の長さを求めた。この値が、離脱防止継手が引き出すことのできる管路の長さである。そしてその長さの管路の中に管と継手がいくつ含まれるかを計算し、それらの継手の伸び能力を足し合わせて合計伸び能力とした。検討の対象を Type2B 継手の直線、正曲げ、負曲げの 3 つとし、伸縮性能が S-1 類で離脱防止性能が A 級（ただし両者とも余裕なし）である仮想の継手を比較対象とした。管の呼び径は仮想のものを含めて 800mm とし、管の有効長は先ほどと同様に 1.20m と 2.43m の 2 種類を考えた。仮想の S-1 類 A 級継手が持つ離脱防止抵抗力は 2,400kN、伸び能力は管長 1.20m の場合に 12.0mm、管長 2.43m では 24.3mm である。

得られた結果を **Table 4** に示す。引き出し長は継手の種類のみで決まり、管の長さによらない。しかし継手の数は管の長さに影響されるため、継手の種類が同じでも管 1 本が長ければ継手の数が減り、合計伸び能力が減少する。一方仮想の S-1 類 A 級継手では、管長によらず管長の 1% の伸び能力を持つと仮定しているため、継手の数が変わってもほぼ同じ合計伸び能力となっている。

Table 3 Type2B 継手の伸縮性能と離脱防止性能の区分

Classes of expansion capacity and restraint force of Type2B joints			
使用条件	伸縮性能	伸縮性能	離脱防止性能
	(管長 1.20m)	(管長 2.43m)	
直線	S-1 類	S-1 類	B 級
	(余裕長 51mm)	(余裕長 39mm)	
正曲げ	S-1 類	S-2 類	C 級
	(余裕長 0mm)		
負曲げ	S-1 類	S-1 類	C 級
	(余裕長 47mm)	(余裕長 35mm)	

Table 4 離脱防止継手の引き出し長と合計伸び能力

Cumulative expansion capacity of restraint joints				
継手種類	管長 (m)	引き出し長 (m)	継手数	合計伸び能力 (mm)
Type2B 直線	1.20	59.0	50	3,150
Type2B 直線	2.43	59.0	25	1,575
Type2B 正曲げ	1.20	28.6	24	288
Type2B 正曲げ	2.43	28.6	12	144
Type2B 負曲げ	1.20	29.1	25	1,475
Type2B 負曲げ	2.43	29.1	12	708
S-1 類 A 級	1.20	95.5	80	960
S-1 類 A 級	2.43	95.5	40	972

離脱防止抵抗力と伸び能力がともに大きい直線離脱の条件では、大きい合計伸び能力が得られている。前掲の資料が仮定するように 100m の範囲の地盤ひずみが 1 箇所に集中した場合、管長 1.20m では 3,150mm の集中ひずみに対応する 3.2% の地盤ひずみに、管長 2.43m では 1,575mm に対応する 1.6% の地盤ひずみに耐えることができる。

一方、曲げ離脱の場合には合計伸び能力の低下がみられる。しかし伸び能力が大きくなる負曲げの条件では、管長 1.20m において S-1 類 A 級の約 1.5 倍の合計伸び能力が得られている。

伸縮性能の類と離脱防止性能の級で表現するならば、Type2B 継手は S-1 類 A 級を実現できていない。しかし合計伸び能力で比較すると、直線離脱では管長によらず Type2B は S-1 類 A 級を上回り、管長 1.2m であれば負曲げ離脱でも上回る。離脱防止継手が有する性能の本質は合計伸び能力にあることを考えると、伸縮性能の類や離脱防止性能の級ではなく、合計伸び能力を性能評価指標に用いた定量的な性能評価をすべきであると言える。

ところで、地盤のひずみが集中して生じる現象の代表的なものの一つに地割れがある。地割れの幅に関する既往の研究によって、非超過確率 90% の幅として 300mm という値が提案されている（片桐ら、2001）。Type2B 継手は正曲げの場合を除き、2.43m の管においても 300mm を超える合計伸び能力が得られており、実用上十分な耐震性能が実現できていると考えられる。

5. おわりに

推進工法に用いられる合成鋼管を対象として、伸び能力と離脱防止抵抗力を兼ね備えた離脱防止継手を開発し、その試験を実施した。その結果に基づき、既存の設計資料の内容を踏まえつつ、離脱防止継手の性能照査に用いる指標について検討を行った。検討した内容と得られた知見をまとめると以下のとおりとなる。

1. 離脱防止継手は離脱防止抵抗力を持ち、地震時に隣接する管を次々に引き出すことができる。これにより複数の継手の伸び能力を足し合わせることができ、集中した地

- 盤ひずみが生じても継手の離脱を防ぐことができる。
2. 呼び径 800mm の合成鋼管を用いて 3 種類の離脱防止継手を開発し、それらの性能試験を実施した。合成鋼管には曲げ施工が行われる場合があることを考慮して、管が直線を保って抜け出す直線抜け出し試験に加え、管が曲がった状態で抜け出す曲げ抜け出し試験を行った。
 3. 曲げ抜け出し試験では管の片側に止めネジを密に配置し、それが曲がりの外側になる正曲げ試験と、曲がりの内側になる負曲げ試験を行い、結果を比較した。
 4. 直線抜け出し試験ではすべての止めネジが同時に作用し、非常に大きな離脱防止抵抗力が得られた。この試験では継手と同時に管も損傷したため、継手を改良して離脱防止抵抗力を増そうとしても、管が先に破壊されると推察された。
 5. 曲げ抜け出し試験では、正曲げと負曲げの両方でほぼ同じ大きさの離脱防止抵抗力が得られたが、その大きさは直線抜け出しの半分程度であった。一方、伸び能力には大きな差が生じ、負曲げでは直線抜け出しと同等の伸び能力であったが、正曲げではその 5 分の 1 程度となった。
 6. 開発した継手の伸縮性能は直線と負曲げの両方で S-1 級、離脱防止性能は直線で B 級、負曲げで C 級となった。しかし伸び能力に大きな余裕があるため、直線と負曲げの両方で S-1 類 A 級と比べて同程度以上の合計伸び能力を実現した。
 7. 継手を実現した合計伸び能力は、地割れ幅の非超過確率 90% 値として提案された 300mm を上回っており、十分な性能を有していると判断された。

8. 離脱防止継手の性能照査指標として、性能の本質を定量的に評価できる合計伸び能力を用いることを提案した。

離脱防止継手を備えた管路の実設計を行うためには、設計手法に加えて要求性能の明確化が必要である。地割れや振動の位相差によって生じる集中ひずみの値を明確化しなければならない。片桐ら (2001) の研究は前者に関するものであるため、後者についてのさらなる研究が期待される。

引用文献

- 藤田信夫, 毛利栄征, 鈴木尚登 (2007) : 地震動に対する継手構造管路の伸縮余裕と安全性, 農土論集, **249**, 63-73.
- 今井俊雄, 小池 武 (2010) : 継手構造水道管路の地震時被害率推定式, 土木学会論文集 A, **66**(2), 344-355.
- 井谷昌功, 岸 正蔵 (2009) : 巨大地震における耐震継手ダクタイル鉄管の安全性, 第 60 回全国水道研究発表会講演集, 316-317.
- 片桐 信, 高田至郎, 山口真太 (2001) : 測方流動に伴う地割れ発生量の推定法に関する研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会要旨集, 704-705.
- 国土開発技術研究センター (1977) : 地下埋設管路耐震継手の技術基準(案).
- 毛利栄征, 藤田信夫, 河端俊典 (2008) : 埋設管の地震被害と耐震対策, 農業農村工学会誌, **76**(2), 3-6.
- 日本ダクタイル鉄管協会 (2014) : NS 形・S 形ダクタイル鉄管管路の設計.
- 農林水産省農村振興局整備部設計課 (2009) : 土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」, 336-337.

Development of Restraint Joints for Composite Steel Pipe and Investigations for Their Performance Evaluation Index

ISHII Masayuki*, NONAKA Tsuguhiro*, SAKAMURA Hiromu**, AKIMOTO Masanori** and IGAWA Hideki**

* Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University,
1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane 690-8504, JAPAN

** Nippon Hume Corporation, 3300 Magechi, Kumagaya, Saitama 360-0161, JAPAN

Abstract

Detachment of joints is a common type of seismic damage on pipelines. Restraint joints, which have both flexibility and restraint force against detachment, are expected to be a new method to enhance the safety of pipeline against earthquakes. Prototypes of restraint joints for synthetic steel tube are made and applied to pull-out tests in order to verify their performance in flexibility and restraint force. It is confirmed that the restraint action successfully works in both straight and bent connections of the joints. A cumulative flexibility, which is the total flexibility of joints activated by restraint force, is proposed as a performance index for restraint joints considering both of flexibility and restraint force.

Key words : Pipeline, Earthquake-resistant design, Restraint joint, Composite steel pipe, Performance evaluation