

ベローズ修復・終局限界性能の決定法

管路防災研究所 研究員 西 勇也



ベローズ型伸縮可撓継手の特長

伸縮可撓継手にはベローズ型、円筒摺動型、ゴム型の各型式があるが、とりわけ、ベローズ型継手はステンレス鋼製の蛇腹パイプが管路変位に柔軟に追従し、過剰変位が作用しても破断まで漏水しないという特長を持つ。例えば、日本水道鋼管協会技術資料WSP024-2013ではベローズ型継手の特徴として「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。

では、ベローズの限界性能は如何にして決定すべきか。これに資するために、当研究所で行った研究成果の一端を紹介する。

実際の地震被害と終局限界性能

過去の水道管路の地震被害事例として、平成23年東北地方太平洋沖地震では伸縮可撓継手の過剰伸縮変位や脱管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作用することで生じたものである。このように地震時には、地盤震動により伸縮可撓継手に低頻度で大振幅な繰返し荷重が作用するため、その終局限界性能はベローズの極低サイクル疲労特性に基づいて決定されるべきである。そこで当研究所ではベローズに大振幅交番変位を与える疲労実験を行い、地盤震動を受けたベローズに対する設計疲労曲線を確立した。

別の被害形態として、著者らの調査において令和6年能登半島地震では液状化や側方流動による管路被害が多く見られた。また令和8年熊本地震では断層変位による管路被害を複数確認している。これらの地盤変状による被害は、地盤の移動や変状に伴う一方向性の管路大変位として伸縮可撓継手に作用することとなる。すなわち、その終局限界性能はベローズの延性破壊問題として議論すべきであるとの結論に至った。そこで当研究所では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、大変形モード特性を検証することができた。さらにFEMによる実験の再現解析から、伸びや偏心に対する限界性能をベローズの形状寸法から算定する照査式を提案することができた。

このようにベローズの終局限界性能は地震時に想定される被害形態について、地盤震動に対応する極低サイクル疲労特性と、地盤変状に対応する大変形モード特性によって決定することができることが明らかとなった。

機能から考える修復限界性能

修復限界性能を決定するにあたり、水道管路で要求される機能の観点から考察する。伸縮可撓継手には地震後であっても常時変位が恒常的に作用することが考えられる。また管路の復旧時には、伸縮可撓継手の変形特性を利用して地震後の管軸ずれを修正するなど機能回復のための修復作業が想定される。したがってベローズの修復限界性能はこれらの機能を維持できる限界として規定されるべきであろう。

大振幅交番変位実験の結果として特に疲労寿命回数が10回未満となる振幅ではベローズの山谷が管軸方向に波打つように変形し、内外径に張り出す皺状の座屈変形が見られた。この座屈変形は応力集中の起点となることから継続的な供用や管軸ずれの修復は困難であると考えられる。一方で疲労寿命回数が10回以上となる振幅では、皺状座屈は生じないが、ベローズの山ごとの変形量に偏りがみられた。この偏りによって常時変位に対する疲労特性は低下するものの、短期的な供用や管軸ずれの修復は可能であると考えられる。また管路機能の観点から、地震後の常時変位により疲労亀裂から漏水を生じても、直ちに通水機能を喪失するまでには至らず、機能回復のための修復が可能であると考えられる。以上の考察を踏まえると修復限界性能は、変位によってベローズに皺状の座屈変形が生じないことを照査して決定すべきであることがわかる。

以上のように地震後に求められる伸縮可撓継手の機能や破壊モードから、修復・終局限界性能を決定することができる。

〒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

