

地震動を考慮した鋼管の座屈性能確認試験

D

「東北地方太平洋沖地震」による、東日本大震災では、私たちの生活に必要不可欠である、水道・ガス・電気といったライフラインにも大きな被害をもたらした。報告されているライフラインの被害数(2014年3月現在)は、断水世帯は180万戸以上、都市ガスの供給停止は約46万戸、停電世帯は800万戸以上となっている。この、ライフラインには、鋼管やダグタイル、鑄鉄管、ポリエチレン管、硬質塩化ビニル管等が使用されており、これらの耐震性能の評価試験として、多種の試験が行われている。

本稿では、ラインパイプが地震動により、繰り返し荷重を受ける場合の座屈性能確認の試験方法および結果について報告する。



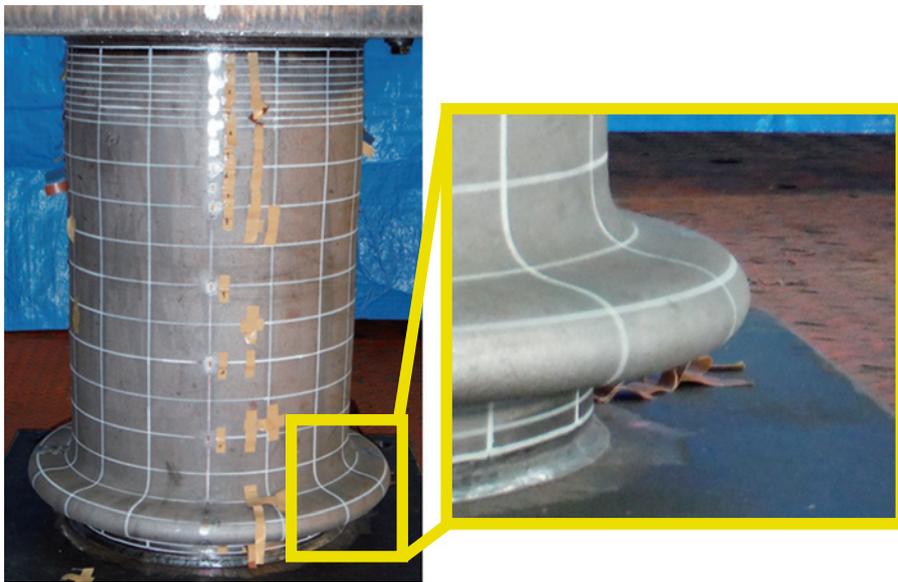
技術本部
EM事業部構造技術部
構造評価技術室
橋本 あゆみ

D-1 鋼管の座屈性能確認試験

座屈性能試験は大きく分類して、軸方向に外力を受けた場合を想定した軸方向圧縮(引張)試験と、軸方向に対して直角な方向に外力を受けた場合を想定する曲げ試験に分類される(第1図)。本稿では前者

の、鋼管に内圧を負荷した状態で軸方向に塑性域の引張・圧縮の低サイクル繰り返し試験について報告する。

第1図 軸方向圧縮による座屈状況



1-1 試験体設計

試験に供した鋼管は、主に都市ガスの輸送に用いられる中圧導管を模擬し、圧力配管用炭素鋼鋼管(JIS G 3454)のSTPG370、呼び口径250Aとした。

中圧導管の使用範囲(0.1MPa~1.0MPa)を再現するため、鋼管内に水圧1.77MPaを負荷した状態で圧縮および引張荷重を加える必要がある。

そのため、鋼管の両端部に鏡板加工を施すこととした。

この加工で検討すべきポイントは

①鋼管内の内圧による、両端部鏡板の変形・破壊

②引張方向の軸方向応力と内圧による周・軸方向応力が端部に作用することによる溶接部の変形・破壊を発生させない構造とすべき点である。

①の検討は、円板が周辺固定で等分布荷重を受ける時の計算式(1)*1)により行った。

$$\sigma_{\max} = \pm 0.750 \frac{pa^2}{h^2} \dots (1)$$

σ_{\max} : 最大応力(N/mm²)

p : 単位面積当たりの荷重(N/mm²)

a : 半径(mm)

h : 板厚(mm)

参考文献

*1)
機械工学便覧 機械工学
学会編、(1987)、pp.4-61

この結果から、鏡板（鋼種SS400）の板厚は20mm以上（安全率2）とした。

②の検討は、圧力と軸方向応力が作用した状態の応力状態を把握する必要があるため、有限要素法により応力状態を確認した。

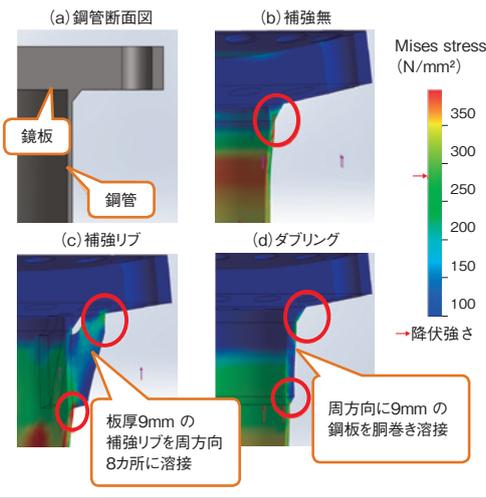
鋼管に鏡板を突き合わせ溶接した場合は、溶接止端部に評価部の鋼管以上の応力が発生することが判明した（第2図（b））。

このため、鋼管と鏡板の溶接部に補強を行うこととした。溶接部の補強の検討は以下の2パターンについて行った。

- i. 補強リブを8カ所設置（第2図（c））
- ii. ダブリング（端部胴巻き）の設置（第2図（d））

検討の結果、補強部のミーゼス応力が降伏応力を超えない「ii. ダブリングによる補強」を採用した。

第2図 応力分布図



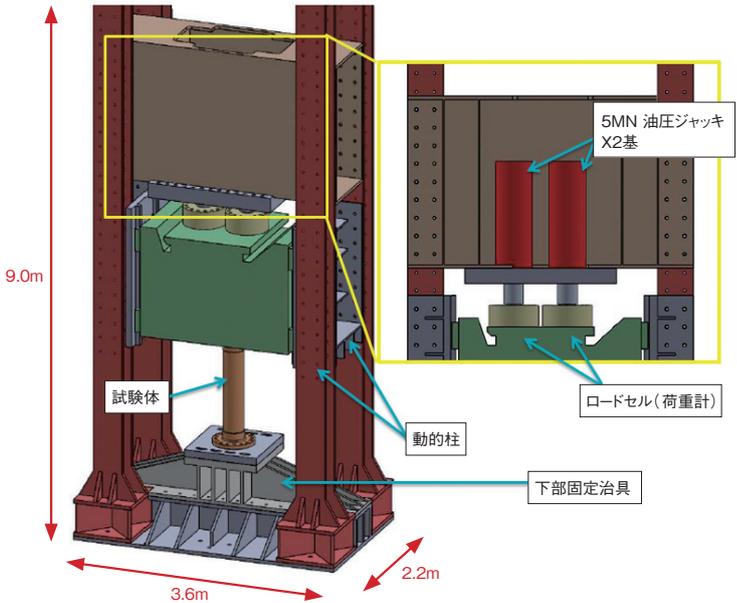
1-2 試験装置・圧力保持方法

試験は当社所有の動的テストベッド上に大型フレームおよび5MN油圧ジャッキ（最大圧縮荷重：5MN、最大引張荷重：2.3MN、ストローク：850mm）2基を組み込んだ試験装置により実施した（第3図）。

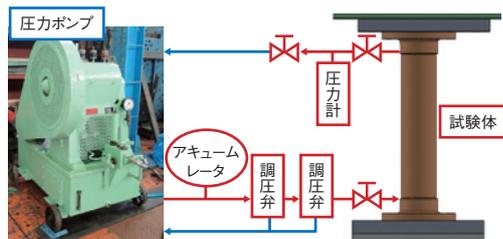
引張・圧縮の繰り返しを受ける場合、試験鋼管に容積変化が生じる。この容積変化が生じる鋼管内に内圧（1.77MPa）を一定で保持するために、従来は水圧ポンプの送り側バルブと、戻り側バルブの開度調整により制御していた。この方法では圧力変動が大きく、その変動幅は $\pm 0.17\text{MPa}$ と許容変動幅 $\pm 10\%$ （ $= 0.177\text{MPa}$ ）の限界であった。そこで圧力変動幅を小さく

くするため、圧力制御弁を使用した圧力保持回路（第4図）を採用した。この方法を適用した結果、圧力変動幅が $\pm 0.08\text{MPa}$ と従来法の1/2となり、許容変動幅を満足することができた（第5図）。

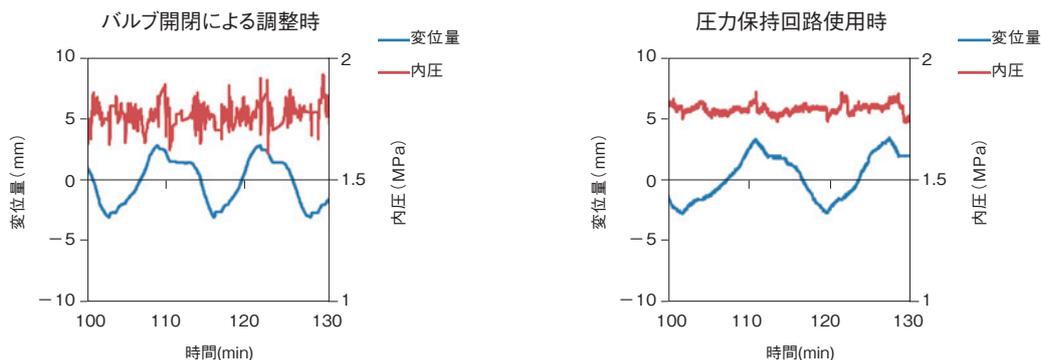
第3図 軸方向圧縮・引張試験装置



第4図 圧力保持回路



第5図 圧力と時間の関係



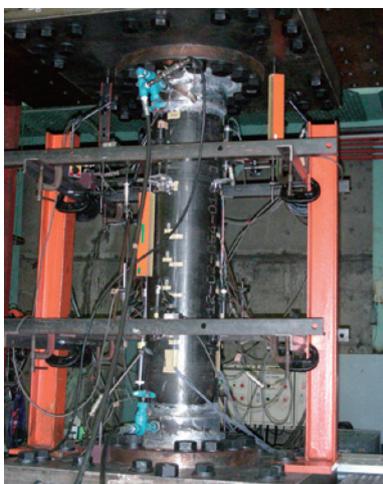
1-3 試験方法

試験鋼管の管内面に1.77MPaの圧力(圧力媒体:水)を負与した状態で保持し、軸方向に圧縮・引張の外力を負荷した。

軸方向の外力は、試験鋼管の軸方向中央部から±1.0D (=530 mm)を評点とし、評点間距離におけるひずみ変位量が±0.5% (=±2.65mm)になるように制御した。

外力の負荷は圧縮方向から開始し、0→圧縮→0→引張→0を1サイクルとして、20サイクル繰り返したのち、破壊(管内面に張った水の漏れ)が確認されない場合は引張側で破断させ、破断荷重を確認した(第6図)。

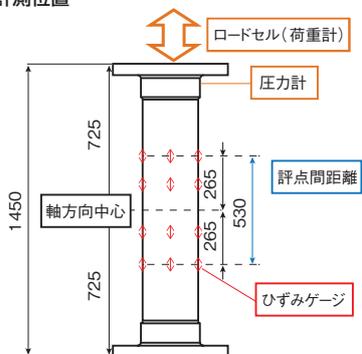
第6図 試験状況



1-4 計測項目・方法

試験中は、軸方向外力(荷重)、内面に付与した圧力(内圧)、評点間変位量(変位)、試験体全長の変位量、鋼管部位の局部ひずみ(ひずみ)を計測した(第7図)。

第7図 計測位置

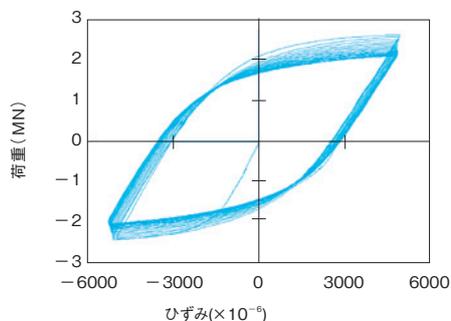


本稿では、当社で実施している評価試験の一例を紹介した。当社では大型テストベッドと油圧ジャッキ、アクチュエータ、試験機を保有しており、鋼製構造物やコンクリート構造物、木材の壁パネル、樹脂部材の

1-5 試験結果

軸方向の圧縮・引張外力を20サイクル負荷したが、局部座屈や破壊(管内面に張った水の漏れ)は確認されなかった。試験において得られるデータの一例を第8図(荷重-ひずみ曲線)に示す。

第8図 荷重・ひずみの関係

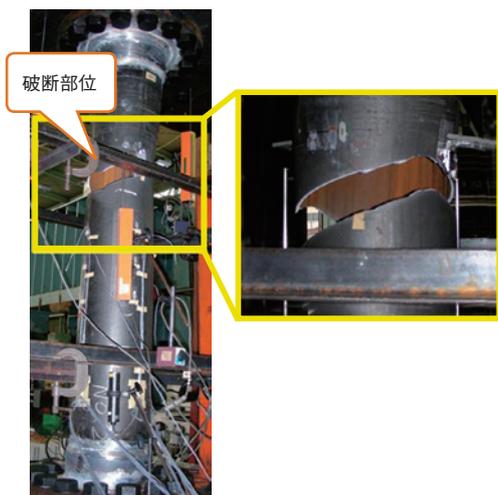


圧力配管用炭素鋼鋼管STPG370、呼び口径250Aにおいては、大幅な荷重低下(破壊・漏れ)は見られず20サイクルの繰り返し後も外力負荷前同様の耐荷重性能を得られると考えられる。

繰り返し後の引張破断時の荷重は2760kNであり、公称断面積から応力換算すると433N/mm²とJIS規格の引張強さ370N/mm²を満足する結果が得られた。破断は平行部にて発生し、鏡板等の破損は確認されなかった(第9図)。

この結果より、評価対象の鋼管が健全な場合の、軸方向塑性域における低サイクル繰り返し性能および破壊時の変形性能を取得することができた。

第9図 破断状況



評価試験などの実績を有している。

当社では、試験体の製作から治具設計、計測、試験、強度評価に至るまで、顧客のニーズに合わせた試験・評価を提供している。