

繰返し振りを受ける円形鋼管の疲労特性に関する実験的研究

円形鋼管 ダンパー 疲労試験
履歴挙動 座屈波形 疲労曲線

正会員 ○玉井 良明*1 同 佐藤 凱斗*2
同 鈴木 壮*3 同 神谷 勇成*2
同 木藤 一輝*2 同 鈴木 琢也*4
同 薩川 恵一*5

1. はじめに

円形鋼管は繰返し振りに対し安定的なエネルギー吸収能力を発揮することが知られている。また大きなひずみに対し座屈が生じにくい特性^{2),3)}を有しており、これらの特性を活かしたダンパーの提案が行われている。そこで円形鋼管を本システムに活用する上で鋼管の繰返し応力に関する疲労特性を把握しておく必要がある。

本研究では鋼管の振り変形角を振幅としたパラメータを用いて低サイクル疲労試験を行い、その疲労特性と破壊モードの把握を目的とする。

2. 実験計画

2.1 試験体概要

図1に試験体及び加力治具寸法を示す。加力治具は一方に対して90度回転させた鋼板を十字に二枚配置し、円形鋼管は加力治具を貫通させ、それぞれの板に隅肉溶接接合する。

表1に载荷実験を行った試験体6体の鋼管断面寸法および材料特性を示す。鋼種はSTK400材を用い、鋼管外径101.6mm、管厚3.2mm,4.2mmの2種類とする。

2.2 载荷及び測定計画

図2に载荷装置を示す。加力治具と設置治具は高力ボルト摩擦接合で接合する。各設置治具はそれぞれピン接合し、円形鋼管に純粋な振じりのみ作用するよう計画する。

鋼管のねじり変形角 θ 、治具軸力 P_N 、鋼管ねじりモーメント M_T の算出式を以下に示す。

$$\theta = 2 \left\{ \frac{\pi}{4} - \sin^{-1} \left(\sin \frac{\pi}{4} - \frac{\delta}{L_{dm}} \right) \right\} \quad (1)$$

$$P_N = \frac{P}{2 \left\{ \cos \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2} \right) \right\}} \quad (2)$$

$$M_T = 2 \cdot P_N \cdot L_{pl} \cdot \cos \theta \quad (3)$$

鋼管の振り変形角 θ は、加力治具に設置した2点間のアクチュエータ荷重作用方向の変位 δ を左右2箇所測定して、その平均値を使用する。鋼管に作用するねじりモーメント M_T は、荷重と振り変形角、設置治具寸法から求める。

図3に载荷プログラムを示す。鋼管の振り回転角 θ (rad)が $\pm 1/200, \pm 1/100, \pm 1/50, \pm 1/30$ となるよう各2回ずつ繰返し漸増载荷を行った後 $\pm 1/10, \pm 1/20, \pm 1/30$ となるよう、定振幅繰返し载荷を行う。試験体の破断または荷重が最大荷重の約60%になるまで繰返し、終局状況を確認する。

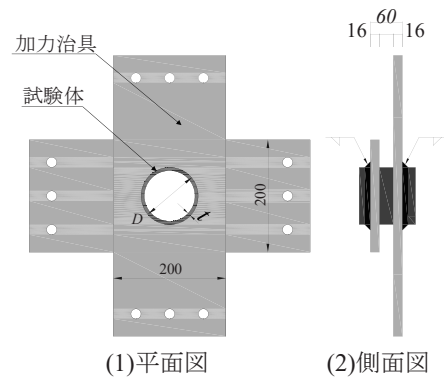


図1 試験体および加力治具寸法

表1 試験体寸法及び機械的性質一覧

NO.	鋼種	D (mm)	t (mm)	σ_y (N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	M_{Tp} (kN·m)	θ (rad.)
3.2-30	STK400	101.6	3.2	386	462	10.9	1/30
3.2-20							1/20
3.2-10							1/10
4.2-30			4.2				1/30
4.2-20							1/20
4.2-10							1/10

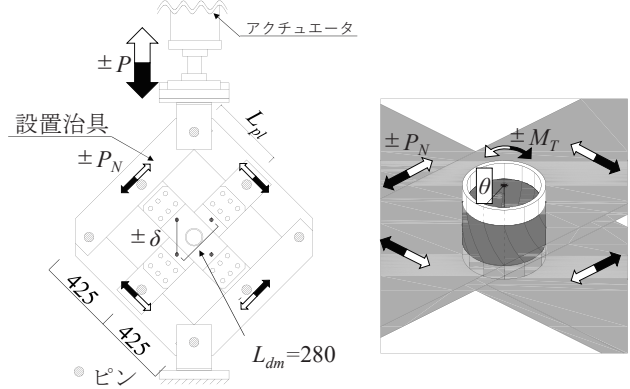


図2 载荷装置

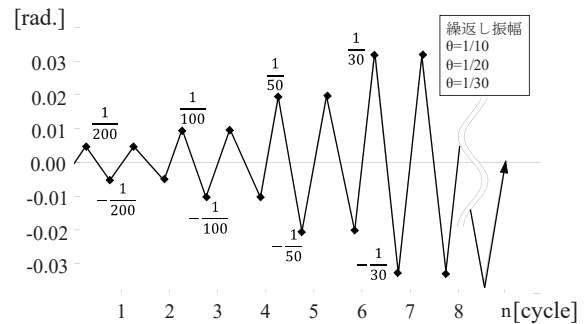


図3 载荷プログラム

Experimental study on Fatigue characteristics of Torsional steel tube

TAMAI Yoshiaki*1, SATO Kaito*2 SUZUKI Soh*3
KITO Kazuki*2, KAMIYA Yusei*2
SUZUKI Takuya*4, SATSUKAWA Keiichi*5

3. 実験結果

図4に振りモーメント変形角関係を示す。図中の細い点線は試験体の全塑性モーメント M_{Tp} を示し、太い点線は試験全体を通した際の最大ねじりモーメント M_{Tmax} を示す。全試験体は、紡錘型の履歴挙動を示し、座屈発生後もピンチング現象などは発生せず、安定した挙動を示した。全ての試験体は振り座屈発生後、鋼管円周方向に四つの波形を形成し面外変形をした。さらに繰返し载荷を進めると面外変形が大きくなり、緩やかな耐力の低下をした。その後試験体に破断が生じ著しい耐力低下が確認された。本試験では振りモーメントが最大振りモーメントの9割付近から著しい耐力低下が確認されたため、 $M_T/M_{Tmax}=0.9$ を疲労寿命とした。

表1に目視での座屈発生確認と疲労寿命に達したサイクル数および破壊モードを示す。また表1右に各破壊モードの写真を示す。破壊モードが振り座屈の試験体では鋼管円周上に四つのせん断波形を形成し、正負交番の繰返しにともなう波形交差部で穴が開き破断に至った。破壊モードが試験体では、四つのせん断波形を形成したものの、加力治具と試験体の溶接箇所付近で小さな亀裂が生じ、その亀裂が円周方向に進展して破断に至った。

図5に各サイクルにおける最大振幅時のねじりモーメントと繰返し回数の関係を示す。縦軸は、各最大振幅時の振りモーメント M_T を M_{Tmax} で除し無次元化した値である。横軸は、定振幅繰返し回数のみを示す。図中▼は座屈発生を確認した繰返し回数を示しており、左から順に振幅1/10, 1/20, 1/30(rad.)を示す。図5において、管厚4.2mmでは管厚3.2mmより座屈発生および疲労寿命に到達するまでの多くのサイクル数を必要とすることが確認された。また振幅1/10では座屈後数サイクルですぐに疲労寿命に達し耐力劣化が生じたが、振幅1/30では座屈後、疲労寿命まで非常に長く緩やかな耐力低下を保った。

図6に定振幅と疲労寿命に達した繰返し回数との関係を示す。図の白丸プロットは破壊モードが破断でないことを示す。本試験においてManson-Coffin則の成立していることを仮定し疲労曲線は管厚3.2mm, 4.2mmそれぞれ下式(4), (5)になる。

$$\theta = 0.3174 \cdot N^{-0.433} \quad (4)$$

$$\theta = 0.5710 \cdot N^{-0.480} \quad (5)$$

4. まとめ

本研究では、繰返し振りを受ける円形鋼管の疲労寿命と破壊モードを載荷実験より把握した。疲労寿命を把握し、疲労曲線の導出をした。

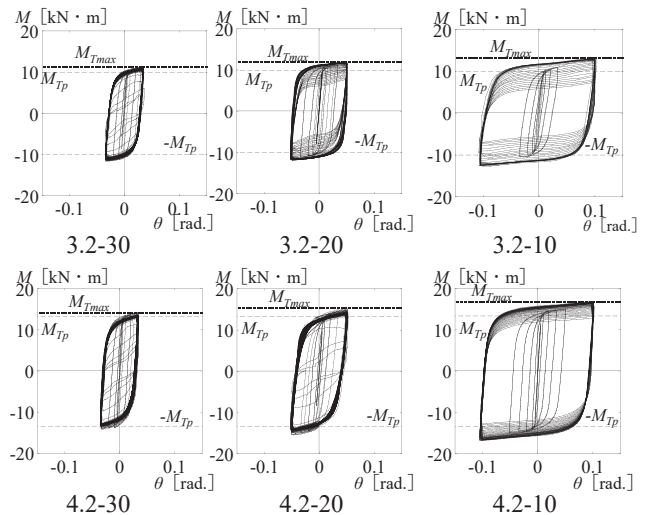


図4 振りモーメント変形角関係

No.	座屈確認 (回)	疲労寿命 (回)	破壊モード*
3.2-10	11	17	破断
3.2-20	39	52	振り座屈
3.2-30	64	207	振り座屈
4.2-10	21	36	破断
4.2-20	69	193	破断
4.2-30	131	320	破断

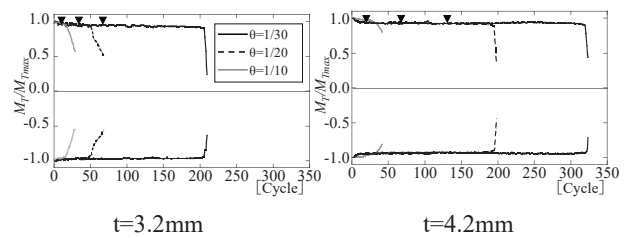
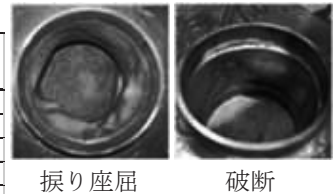


図5 モーメント繰返し回数関係

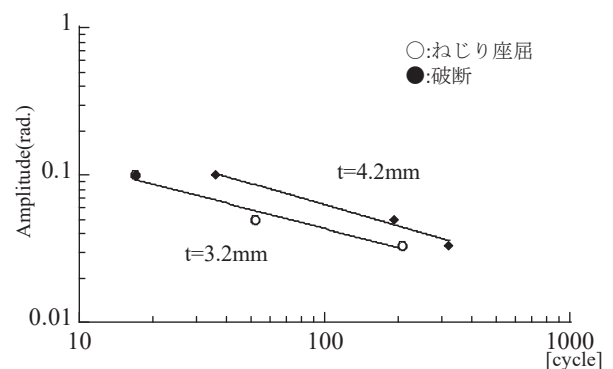


図6 振幅_繰返し関係

参考文献

- 1) 青木、鈴木：鋼管を用いた弾塑性ねじりダンパー特性に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol.44, pp.889-905、1998.3
- 2) 清川、谷中、尾下、佐野：鋼管のねじりを利用した鋼材ダンパーの開発、土木学会第65回年次学術講演会、pp1119-1120、2010.9
- 3) 鈴木、山崎：鋼管ねじれダンパーを利用した格子材制振壁システムにおける安定履歴のための限界径厚比に関する解析的検討、鋼構造論文集、Vol22、No86、2015.6

*1 愛知工業大学 元学生

*2 愛知工業大学大学院 大学院生(工学)

*3 愛知工業大学大学院 元大学院生 修士(工学)

*4(株)竹中工務店 技術研究所 博士(工学)

*5 愛知工業大学 教授 博士(工学)

*1 Former undergraduate, Aichi Institute of Technology

*2 Graduate student, Aichi Institute of Technology, M.Eng.

*3 Graduate student, Aichi Institute of Technology, M.Eng.

*4 Research & Development Institute, Takenaka Corporation Dr.Eng.

*5 Prof., Aichi Institute of Technology Dr.Eng.