

CS-8

繰返し負荷試験によるステンレス鋼の累積歪に関する検討

建設省土木研究所 正会員 吉田正, 正会員 茂木正晴, 米村克己

1. 概要

ダム・堰・水門用ゲート等の構造物にステンレス鋼を使用する場合、ステンレス鋼は炭素鋼と異なる応力-歪挙動を示すことから、従来の炭素鋼の設計基本強度の考え方をを用いることができない。そこで、設計基本強度として耐力を基準とすることが考えられるが、ステンレス鋼の耐力は塑性変形域であること、かつ弾性限が明確ではないことから、耐力基準では適正な弾性域が設定できず耐用期間中に受ける繰返し負荷によって、累積的に塑性歪を生ずることが懸念される。そこで、この問題を解決するために、耐力基準で設定した4レベルの負荷の繰返し試験を行うことによって生じる歪の累積変化を把握し、設計基本強度に耐力基準を採用することの可否を明確にすると共に、適用すべき耐力（0.1%耐力、0.2%耐力）の選定を目的とした。

2. 試験方法

2.1 供試材

供試材には、現在ダム・堰・水門用ゲートに採用されている代表的なオーステナイト系ステンレス鋼である市販のSUS304及びSUS316ステンレス鋼板材を選定した。

2.2 繰返し負荷試験

(1) 試験片形状：形状及び寸法を図1に示す。

(2) 試験片数量：表1に示す。

(3) 試験機：EHF-UA20 疲労試験機、容量±20t
伸び計 MODEL 632.50C-05 GL=21mm

(4) 試験条件：①温度、環境・・・室温、大気中
②制御方法・・・荷重制御、片張り
③繰返し波形・・・正弦波
④負荷応力・・・表1
⑤繰返し速度、試験回数・・・表2

(5) 測定項目：①繰返し負荷応力の記録
②繰返し負荷に伴う歪変化の記録
③温度測定チャート

表1 試験片の数量

試験片種類	負荷レベル	SUS304		SUS316		合計
		し方角	ひ方角	し方角	ひ方角	
繰返し負荷試験片	0.1%耐力	1	1	1	1	4
	0.2%耐力	1	1	1	1	4
	0.2%耐力×2/3	1	1	1	1	4
	0.2%耐力×1/3	1	1	1	1	4
予備		1	1	1	1	4
合計		5	5	5	5	20

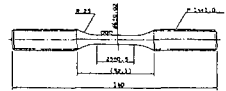


図1 繰返し負荷試験片の形状及び寸法

表2 繰返し速度と回数のパターン

負荷レベル	SUS304		SUS316	
	し方角	ひ方角	し方角	ひ方角
0.1%耐力	①	②	③	④
0.2%耐力	①	②	③	④
0.2%耐力×2/3	⑤	⑥	⑦	⑧
0.2%耐力×1/3	⑤	⑥	⑦	⑧

①②③④⑤⑥⑦⑧で指定したパターンの負荷の繰返し速度、繰返し回数および歪と応力の計測時間は以下のとおり。

①20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。
②20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。
③20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。
④20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。
⑤20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。
⑥20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。
⑦20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。
⑧20tで10分間で行う。この間、1.03%繰返し歪の割合に歪と応力の計測を行う。

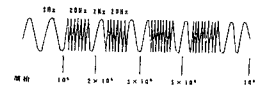


図2 繰返し数と歪の関係（例）

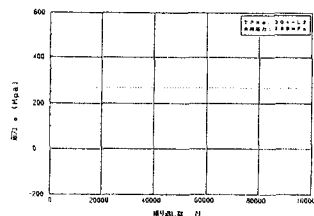


図3 繰返し数と応力振幅の関係（例）

3.1 最大歪の変化

繰返し負荷試験を実施した結果に基づき最大歪値のみ抜き出した結果を図4に示す。図4より、歪増加傾向はSUS304とSUS316の間ではほとんど差が見られない。また、負荷の大きさと最大歪とは良い相関を示して

おり、0.2%耐力で最も大きく、0.2%耐力 $\times 1/2$ で最も小さくなっている。最大歪の大きさはSUS316-L2（0.2%耐力）の 10^4 回で記録されている0.462%である。同一鋼種のL方向とC方向での歪変化は負荷の大きい場合にはL方向の歪が若干大きい傾向が見られるが、負荷が小さい場合には差異がない。

次に、0.2%耐力での最大歪を基準として、各負荷の最大歪との比を求めたものを図5に示す。図5より、SUS304とSUS316共に負荷が小さいもののほど歪が小さくなっており、L方向とC方向の比較でも差がなくほぼ同じ負荷応力依存性を示している。

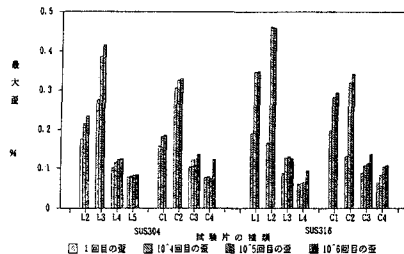


図4 負荷応力毎の繰返し数と最大歪

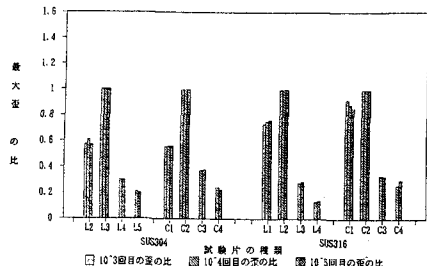


図5 負荷応力毎の繰返し数と最大歪の比

3.2 最小歪の変化

最大歪の場合と同様に、データより所定の繰返し数毎の最小歪を抜き出し、歪の変化としてまとめたものを図6に示す。0.1%耐力や0.2%耐力の場合の最小歪はそれぞれ0.1%、0.2%に近い値となっており、これらのことから最小歪は塑性歪に相当するものと判断される。図6より、最小歪の変化傾向も最大歪の場合（図4）とほとんど同じであるが、歪の大きさは全体に最大歪の約1/2となっている。SUS304とSUS316の比較やL方向とC方向の比較では、歪が小さいためにばらつきがやや大きくなっているが、最大歪の場合とほぼ同様な傾向を示している。測定した最小歪の中で最も大きい値は、SUS304-L3（0.2%耐力）の 10^6 回で記録した0.268%であり、0.2%耐力の2/3や1/2の負荷での最小歪は全く問題のない大きさと判断される。

次に最大歪の場合と同様に0.2%耐力での最小歪を基準として、各負荷での最小歪との比を求めたものを図7に示す。図7からは、最小歪の負荷応力依存性も最大歪とほぼ同様な傾向を示している。

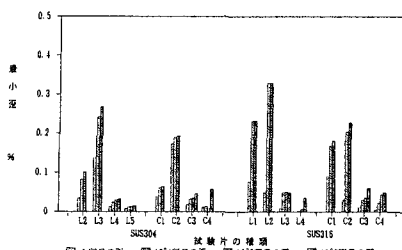


図6 負荷応力毎の繰返し数と最小歪

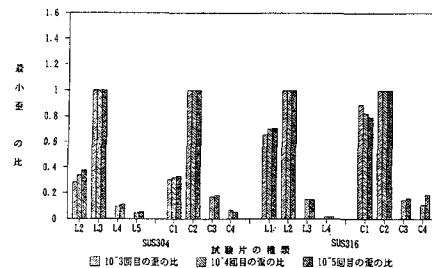


図7 負荷応力毎の繰返し数と最小歪の比

4. まとめ

SUS304及びSUS316の繰返し負荷試験によって得られた結果により、ステンレス鋼の累積歪や耐力基準については次のように考える。

- (1) 繰返し負荷試験による歪の増加傾向は初期歪が最も大きく、高サイクル側では小さくなること、最小歪の全測定結果の中で最大の値はSUS304で記録された0.268%であることから、ステンレス鋼の累積歪に関しては0.2%耐力であっても累積歪が小さくかつ0.2%耐力の2/3、1/2の負荷では累積歪はないと判断できる。従って、ダム・堰・水門用ゲートへの適用は妥当と考えられる。
- (2) 設計基本強度として測定値のばらつきを考慮すると0.1%耐力及び0.2%耐力のいずれの耐力基準を採用しても決定差はない。
- (3) 0.1%耐力の方が0.2%耐力より弾性限に近いだけ安全側の評価となるが、0.2%耐力を基準にすれば、現行のゲート設計にはJIS規格どおりの材料ミルシートの利用が可能となる。