

## 鋼製ペローズの低サイクル疲労試験と FEM 解析による最適形状の検討

近畿技術コンサルタンツ株式会社 笹部 真由

1. 研究の目的：鋼製ペローズのうち、大円部と小円部をもつ従来型鋼製ペローズについて低サイクル疲労試験と、有限要素法解析（FEM 解析）によるひずみの予測と再現性について検討を行う。これらにより疲労特性を明らかにし、実験値と解析値との比較から従来型鋼製ペローズの疲労特性による最適形状の検討と、疲労試験と解析の疲労強度の調査を行う。なお、本研究で使用する従来型鋼製ペローズは図-1 のように記号を定義し、表-1 のような各部名称で従来型鋼製ペローズが構成されている。

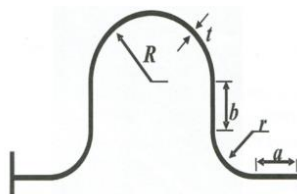


図-1 ペローズの各部名称

2. 研究の内容：本研究の内容は以下のとおりである。

2.1 疲労試験の概要：構造・水工実験室にある疲労試験機を用いて実施した。従来型鋼製ペローズを試験装置上側に固定させて、下側に変位を与える。ひずみゲージは大円部の中央の表と裏に1枚ずつ、接合部小円にも表と裏に1枚ずつの計4ヶ所に取り付けた。なお、地震動をできるだけ再現するために、調査したい変位量を与える前に、上下方向に予備荷重  $\delta_y$  の変位を引張、圧縮方向にそれぞれ3回ずつ与える。そのあとで、R80r20t9 のペローズには  $\pm 2.0\delta_y$ 、 $\pm 8.0\delta_y$  の変位を破断まで与え続ける2ケース、R60r40t9、R50r50t9 のペローズにはそれらに、

$\pm 4.0\delta_y$  の変位を与えるケースも加えた、各計3ケースを行い、合計で8ケースの疲労試験を行う。各供試体に与える予備荷重  $\delta_y$  と変位量は表-2 のとおりである。

表-2 予備荷重と与えた変位量

	$\delta_y$	$\pm 2.0\delta_y$	$\pm 4.0\delta_y$	$\pm 8.0\delta_y$
R60r40t9	5.0mm	$\pm 10.0\text{mm}$	$\pm 20.0\text{mm}$	$\pm 40.0\text{mm}$
R50r50t9	5.3mm	$\pm 10.6\text{mm}$	$\pm 21.2\text{mm}$	$\pm 42.4\text{mm}$
R80r20t9	4.3mm	$\pm 8.6\text{mm}$	$\pm 17.2\text{mm}$	$\pm 34.4\text{mm}$

2.2 FEM 解析の概要：FEM 解析について、有限要素法の解析は ANSYS ソフト「Mechanical APDL Product Launcher 16.0」を用いて行った。モデルとする従来型鋼製ペローズは疲労試験と同じである（表-1、2）。再現性を高くするために実際の従来型鋼製ペローズと同じ材料特性を適用する。疲労試験とほぼ同じ状態を ANSYS 上でも作り出し解析を行うことで、疲労試験による荷重-変位関係、荷重-ひずみ関係などの結果と解析による結果の比較を行いやすくした。各モデルに圧縮方向と引張方向とに変位を1回ずつ与えて1往復とし、5往復の変位を与える。また、拘束条件については疲労試験と同じ状態を作るために図-2 のようにし、全てのモデルに適用した。

表-1 疲労試験に用いたペローズの寸法

	鋼種	R (大円部半径)	r (小円部半径)	b (直線高)	t (板厚)	h (ペローズ高さ)
R60r40t9	SM400	60mm	40mm	0mm	9mm	110mm
R50r50t9	SM400	50mm	50mm	0mm	9mm	110mm
R80r20t9	SM400	80mm	20mm	0mm	9mm	100mm

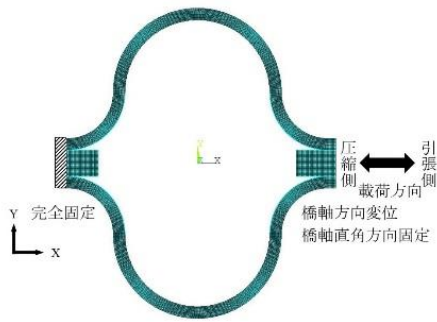


図-2 拘束条件

3. 研究の成果: 疲労試験とFEM解析の結果を用いて、最適形状の検討を行った。図-3はR60r40t9の $\pm 2.0\delta_y$ の荷重-変位関係である。実験値(緑色)と解析値(黒色)のループがほぼ重なっており、正確にエネルギー吸収が行われていることが分かる。①疲労試験による破断までの回数では、 $\pm 2.0\delta_y$ の全シリーズと、 $\pm 4.0\delta_y$ のR60r40t9が100回を超えての破断となったため、低サイクル領域であると推定できる。 $\pm 4.0\delta_y$ のR50r50t9と、 $\pm 8.0\delta_y$ の全シリーズは極低サイクル領域であると推定できる100回未満で破断した。②耐力低下率については、 $\pm 2.0\delta_y$ の場合を図-4に示す。R60r40t9が最もよいが、 $\pm 4.0\delta_y$ 、 $\pm 8.0\delta_y$ でも同様であった。そのため、どの規模の地震動に対してもR60r40t9が最も高い疲労強度を発揮すると考えられる。③図-5、6はそれぞれエネルギー吸収量、累積損傷度の数値である。R60r40t9がどの要素でも高い数値を示している。ここから、疲労強度が高いことが予想できるので、限られたケースではあるが、R60r40t9のケースが最適な形状であるといえる。④疲労試験の解析による大円部の発生ひずみに予測については、表-3( $\pm 2.0\delta_y$ のケース)に示すように、実験値と解析値とが近いケースもあれば、かなり差があるケースもある。変位量が大きくなるにつれてその差はさらに大きくなった。原因としては、曲がった形状にひずみゲージを貼っていることと、解析では再現できない残留ひずみの発生により、最大ひずみ、最小ひずみが本来より大きな値になったことが考えられる。

これらより、限られたケースではあるが、R60r40t9が最も疲労強度が高いため、最適形状であると考えられる。大円部、あるいは小円部の半径を大きくすれば強度が良くなるのではなく、 $R:r=1.5:1$ 程度の比率をもつ従来型鋼製ベローズが耐久性能を効果的に発揮すると考えられる。

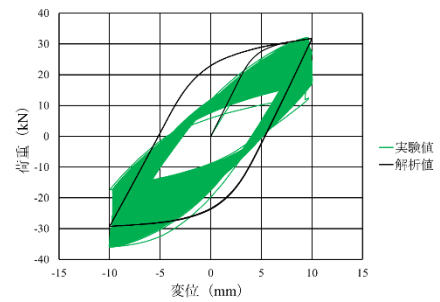


図-3 R60r40t9の荷重-変位関係 ( $\pm 2.0\delta_y$ )

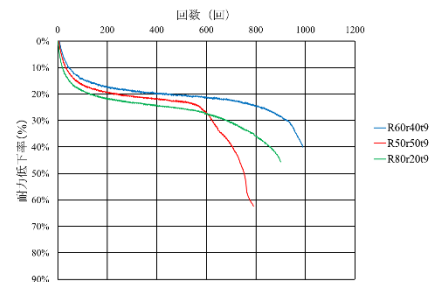


図-4 耐力低下率 ( $\pm 2.0\delta_y$ )

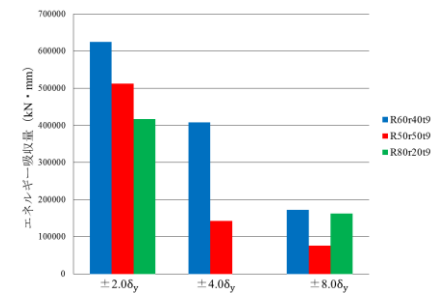


図-5 エネルギー吸収量の比較

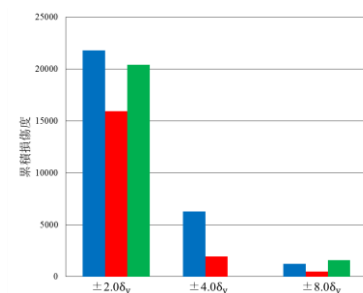


図-6 累積損傷度の比較

表-3 大円部外側の最大・最小ひずみ ( $\pm 2.0\delta$ )

種類	最大ひずみ		最小ひずみ	
	実験	解析	実験	解析
R60r40t9	0.008715	0.008415	-0.005393	-0.008317
R50r50t9	0.022839	0.010071	-0.005646	-0.009969
R80r20t9	0.022498	0.005799	-0.008465	-0.005820