

非線形時刻歴地震応答解析による鋼製ペローズの低サイクル疲労寿命評価

関西設計株式会社 正会員 田中 賢太郎

大阪市立大学大学院 工学研究科 正会員 北田俊行

大阪市立大学大学院 工学研究科 正会員 松村政秀

摂南大学工学部 正会員 頭井 洋

1. はじめに

著者らは、エネルギー吸収型桁連結装置としての鋼製ペローズを、鋼桁橋の橋軸方向および橋軸直角方向に適用する場合について、実験および解析により、設置効果を明らかにしてきた¹⁾。

本研究では、地震荷重のように不規則的に繰返し荷重が作用する場合について、高架橋モデルを対象にし、レベル2タイプ地震動を用いて、非線形時刻歴地震応答解析を行っている。この解析で鋼製ペローズの応答変位を求め、既存の疲労寿命予測式²⁾に適用することにより、疲労寿命評価を行っている。

非線形時刻歴地震応答解析は、技術計算ソフトウェアのMATLAB¹⁷⁾により作成した。

2. 解析モデル

図1には、鋼製ペローズの断面図を示す。図2には、基本解析モデルを示す。両端が橋台で挟まれた3径間連続鋼I桁橋モデルを想定した。上部構造は、支間長39mで4本主桁プレートガーター、1径間当たりの総重量は4,250kNとした¹⁾。

上部構造は鉛プラグ入り積層ゴム支承（以後免震支承と呼ぶ）で支持され、各上部構造の両端部に鋼製ペローズを設置する。橋脚は鉄筋コンクリート橋脚とした。なお、橋軸方向および橋軸直角方向の支承諸元、および橋脚諸元は同条件とした。橋軸方向および橋軸直角方向の鋼製ペローズの履歴特性は、模型実験を参考に定めた。鋼製ペローズ、橋脚、および免震支承は、バイリニア型の履歴特性とした。兵庫県南部地震の際にJR鷹取駅構内地盤上で観測された地震波を入力した。

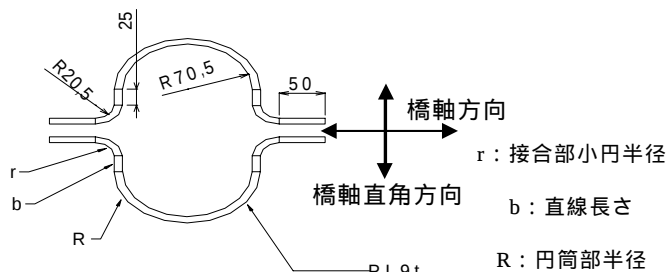


図1 鋼製ペローズの断面図

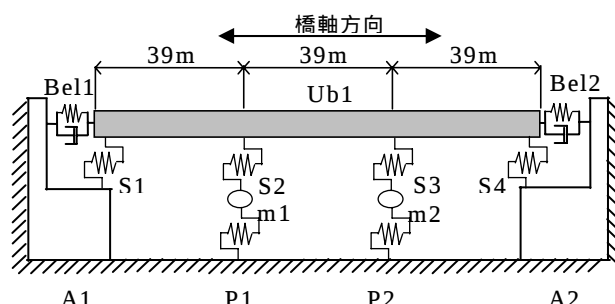


図2 解析対象モデル（3径間連続I桁橋）

3. 疲労寿命評価に用いる評価式

（1）ひずみ範囲の定義

本研究では、図3に示すように、鋼製ペローズの応答変位のパターンを基に変位量を定義する。非線形時刻歴地震応答解析より得られる鋼製ペローズの応答変位は、同図のパターン1～パターン3に分類できる。ひずみは、弾塑性有限変位解析を行い求める。パターン1は、鋼製ペローズの応

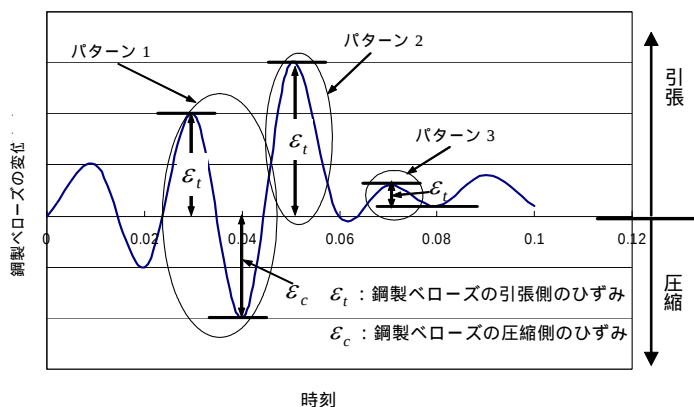


図3 鋼製ペローズの応答変位パターン

キーワード 橋軸直角方向，エネルギー吸収型桁連結装置，鋼製ペローズ，疲労寿命評価，地震時応答
連絡先〒558-8585 大阪府住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 TEL 06-6605-2735

答変位が圧縮側から引張側へと変化する場合でひずみ範囲は $|\varepsilon_c| + \varepsilon_t$ で疲労寿命評価を計算し、カウントを1回とする。パターン2およびパターン3は鋼製ペローズの応答変位が引張側のみで変化する場合でひずみ範囲は ε_t として疲労寿命評価を計算し、カウントを0.5回とする。

（2）有限ひずみ下における疲労寿命予測式

本研究では、館石らが提案した変動振幅における式（1）の疲労寿命予測式^{2）}を鋼製ペローズの疲労寿命評価に用いる。

$$D = D_{cyclic} + D_{ductile}$$

$$= \sum_i \frac{n_i}{N_i} + \frac{|\varepsilon|_{\max} - \varepsilon_{pD}}{\varepsilon_f - \varepsilon_{pD}} \quad \left. \begin{array}{l} \text{if } |\varepsilon|_{\max} > \varepsilon_{pD} \\ \\ \text{if } |\varepsilon|_{\max} \leq \varepsilon_{pD} \end{array} \right\} \quad (1)$$

4. 結果

図4および図5には、それぞれ鋼製ペローズの橋軸方向と橋軸直角方向の応答変位履歴を示す。横軸に時刻、縦軸には鋼製ペローズの応答変位を示している。鋼製ペローズに生じている最大ひずみ範囲を求め、疲労寿命を求める。表1には橋軸方向、表2には橋軸直角方向の寿命評価を示す。

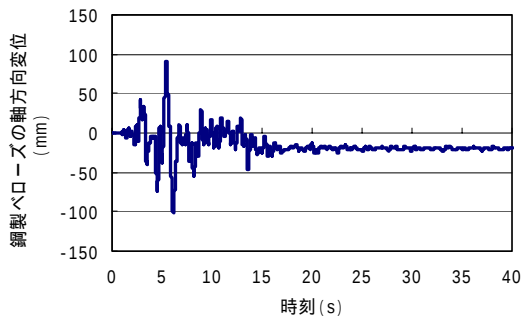


図4 鋼製ペローズの応答変位履歴（橋軸方向）

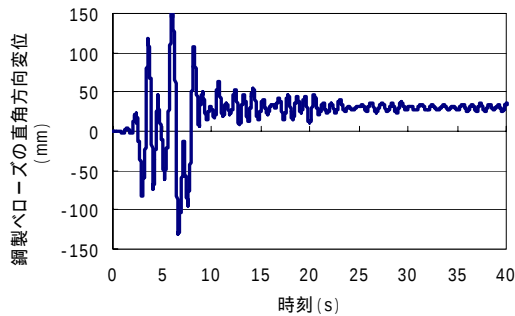


図5 鋼製ペローズの応答変位履歴（橋軸直角方向）

表1より、橋軸方向に対する最大ひずみ範囲は0.098となり、損傷発生限界ひずみ ε_{pD} 以下であったので $D_{ductile}$ は算出していない。

$D_{cyclic} + D_{ductile}$ の総和は0.234となり、 $D=1$ を十分下回ることから1回の地震動では、鋼製ペローズにき裂が生じないと判定できる。

表2より、橋軸直角方向に対する最大ひずみ範囲は0.158となり、損傷発生限界ひずみ ε_{pD} 以上であり、 $D_{ductile}$ は0.041を得た。

$D_{cyclic} + D_{ductile}$ の総和は0.548となり、橋軸直角方向に関しても、1回の地震動では鋼製ペローズにき裂は発生しないと判定できる。

鋼製ペローズの設計を適切にすれば、橋軸方向および橋軸直角方向ともに、1回のレベル2タイプ地震動では破断しないことを明らかにした。

表1 鋼製ペローズの応答変位と損傷度との関係（橋軸方向、レベル2タイプ）

鋼製ペローズの変位(mm)	ひずみ範囲	き裂発生寿命(回)	n_i (発生回数)	D_{cyclic}	$D_{ductile}$
-30	0.022	142	3	0.011	
-40	0.029	88	2	0.011	
-50	0.033	70	1	0.007	
-70	0.039	52	1	0.010	
±20	0.020	167	3	0.018	
±30	0.044	43	2	0.047	
±40	0.057	27	1	0.037	
±100	0.098	11	1	0.094	
合計	$D_{cyclic} + D_{ductile} =$			0.234	

表2 鋼製ペローズの応答変位と損傷度との関係（橋軸直角方向、レベル2タイプ）

鋼製ペローズの変位(mm)	ひずみ範囲	き裂発生寿命	n_i (発生回数)	D_{cyclic}	$D_{ductile}$
30	0.025	114	3	0.013	
40	0.035	63	5	0.040	
-60	0.050	34	1	0.015	
-70	0.055	29	1	0.017	
-80	0.060	25	1	0.020	
120	0.058	26	1	0.038	
±100	0.127	7	1	0.148	
±150	0.158	5	1	0.217	
合計	$D_{cyclic} + D_{ductile} =$			0.548	0.041

参考文献

1. 田中賢太郎・頭井 洋・北田俊行・松村政秀：橋軸直角方向の性能も考慮したエネルギー吸収型橋桁連結装置の制震効果について，鋼構造論文集，第12巻，第48号，日本鋼構造協会，pp. 77-88，2005.12.
 2. 館石和雄・判治 剛・南 邦明：極低サイクル疲労領域における変動振幅ひずみ下の低サイクル疲労寿命予測モデル，土木学会論文集，No.773，-69，pp.149-158 2004.10.