ベローズ型伸縮管の履歴復元力特性実験と

水管橋における免震効果に関する研究

九州大学大学院 フェロー 大塚 久哲 九州大学大学院学生会員 山内 邦博 九州大学大学院 学生会員 栗木 茂幸 新日本製鐵株式会社 正会員 竹内 貴司

1.はじめに

ベローズ型伸縮管は,本来水管橋等の温度伸縮を吸収する目的で設置されているが,水管橋に設置する伸縮管は地震 に起因する大変形をも許容できる構造でなければならない1).そこで本研究では,伸縮管の大変形時における挙動を明 らかにするための実験を実施した.また、実験より得たベローズ型伸縮管の履歴復元力特性を用い、ベローズ型伸縮管 の大変形能力を利用した水管橋の免震化の可能性及びその有効性について地震応答解析により検証した.

2. ベローズの設計式

ベローズの設計式には様々なものがあるが、広く設計に用いられている M.W.Kellogg社の設計式²⁾を以下に示す.

$F_{BX} = f_B e_X$	(1)	۲. ۱:
$F_{BY} = \frac{f_B D_m e_Y}{2L}$	(2)	L:/ D_::
$e_x = \frac{X}{n}$	(3)	D₀: n:1
$e_{\rm Y} = \frac{3D_m Y}{Bn} \frac{1}{n}$	(4)	t:p B:l
$f_B = \frac{4ED_m t^3}{3b^{0.5}H^{2.5}2n}$	(5)	b:l H:l

:ヤング係数(193kN/mm²) 層数(今回は全て1) ベローズ長(mm)(=*B n*) 平均径(mm)(=D_++++H) 内径(mm) 山数 肉厚(mm) ピッチ(mm) ピッチの1/2(mm) H:山高(mm)

F_{Bx}とF_{By}はベローズが管軸方向変位,管軸直角方向変位を吸収した時に生 じる反力, exとeyはそれぞれベローズ全体が管軸方向にXだけ変位したと き,管軸直角方向に Yだけ変位したときのベローズの単位山あたりの等価伸 縮量, f_gはベローズの単位山を1mm伸縮するのに要する力である.

2.実験方法

本実験に使用した供試体はベローズ型伸縮管(ベローズ部:SUS304)であり ,例として山数が6山の断面図を図-1に,供試体の諸元について表-1に示す. 実験は変位制御による交番載荷を行い、管軸方向及び管軸直角方向について 各8ケース,計16ケース実施した.

3.実験結果および考察

3 - 1 管軸方向載荷実験 表 - 2 に管軸方向載荷実験結果を、図 - 2 に300A 6cの荷重-変位関係を示す(以降の荷重-変位関係は引張側を正とする).荷重-変位関係は,引張側と圧縮側で剛性低下が非対称なバイリニア型の特徴を示した .また300A_6cでは変位が-120mmで荷重が急激に増加した.これは変位がベローズ長さのおよそ半分程度の時に生じて おり,実験時に観察された変形形状からも,圧縮時に隣接するベローズ谷部が接触することによって,荷重負担のメカ ニズムがベローズ山部の曲げ変形からベローズ谷部の曲げ変形に変化したためであると考えられる.

供試体	引張側 降伏変位 (mm)	圧縮側 降伏変位 (mm)	引張側 降伏荷重 (kN)	圧縮側 降伏荷重 (kN)	初期剛性 (kN/mm)	引張側 剛性 低下率	圧縮側 剛性 低下率	Kellogg式 初期剛性 (kN/mm
LG_300A_3c	1.74	-5.97	8.72	-14.41	2.57	0.201	0.088	2.28
LG_300A_6c	5.95	-11.19	6.76	-14.41	1.23	0.185	0.084	1.14
LG_300A_9c	8.93	-18.08	6.37	-14.01	0.76	0.180	0.087	0.76
LG_300A_6c_t	8.80	-16.30	5.88	- 10.98	0.67	0.246	0.043	0.48
LG_300A_6c_B	9.19	-17.98	9.41	-18.33	1.02	0.210	0.072	1.02
LG_300A_6c_H	5.32	-10.75	8.82	-17.84	1.66	0.121	0.093	1.53
LG_450A_6c	9.71	-21.46	19.40	-39.69	1.89	0.198	0.057	1.81
LG_600A_6c	9.72	-18.76	23.32	-44.98	2.40	0.153	0.070	2.36

表-2 管軸方向載荷実験結果



-ワード:ベローズ型伸縮管,水管橋,免震構造

連絡先:福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院 工学研究院 建設デザイン部門 TEL&FAX:092-642-3266, e-mail:otsuka@civil.doc.kyushu-u.ac.jp





肉厚

図-1 ベローズ型伸縮管の断面図

(6山)

表-1 供試体諸元

供試体	口径	山数	肉厚	ピッチ	山高
云山平	D(mm)	n	(tmm)	B(mm)	H(mm)
300A_3c	300	3	2.1	40	45
300A_6c	300	6	2.1	40	45
300A_9c	300	9	2.1	40	45
300A_6c_t	300	6	1.6	40	45
300A_6c_B	300	6	2.1	50	45
300A_6c_H	300	6	2.1	40	40
450A_6c	450	6	3.1	60	65
600A_6c	600	6	3.1	60	65

300A_3c, **図**-4に300A_6cの荷重-変位関係を示す.いずれも純せん断試験であり,変 位は管軸の中立軸からのずれを示しており,全てのケースで荷重-変位関係は原点に 関してほぼ点対称になっている.しかし300A_3cの場合,+側変位がおよそ90mmの時 点から荷重が200kNのまま変位が増加し,その後素管に接続するベローズ部に局部座 屈が発生した.これは管径とベローズ長さの比が短い場合,各ベローズの曲げ,軸 方向変形よりもベローズ自体の内部せん断変形により荷重を負担するためであると 考えられる(写真1,2).Kellogg式の精度がベローズ伸縮可撓管が細長いほどよく, 逆の場合は初期剛性を過大に評価する傾向の要因も同様であると考えられる.



-7.84

-6.90

-9.80

-14.70

.31 56

-57.37

0.82

1.51

2.04

1.96

2.19

4.35

0.283

0.24

0.190

0.306

0.305

0.254

0.248

0.174

0.285

0.291

0.271

0.23

7.84

8.80

9.80

14.70

34.01

53.97

-9.81

-5.70

-4.80

-7.60

-14.50

-13.20



写真1:管軸直角方向に30mm 変位させた300A_3c



写真2:管軸直角方向に120mm 変位させた300A_9c



4.水管橋の地震応答解析

9.33

4.70

4.80

7.40

15.50

12.40

LG 300A 9c

300A 6c

300A 6c

300A 6c H

450A 6c

LG_600A_6c

対象橋梁はランガー形式独立水管橋(2本の水管が下弦材),地盤種別は 種地盤である.**図**-5に全体モデルを示す. このモデルはA端:可動支承4個、B端:固定支承4個によって支持されている.著者の振動実験³⁾から得られた対象橋梁 の固有振動数と本モデルの固有振動数とがほぼ等しいことから(表-4),本モデルは妥当とし,これをモデル1とする. 一方,水管の両端にベローズ4個を組込み,支承を全てLRB(鉛プラグ入り積層ゴム支承)に換え免震化したものをモ デル2とする.固有値解析の結果,モデル2の固有振動数は橋軸方向,面外水平方向ともに減少した.加震方向は橋軸方向 および橋軸直角方向にそれぞれ単独入力,入力地震波はType1:釧路川標準波形(LG),Type2:神戸ポートアイランド標 準波形(EW)の2種類とし,自重載荷状態を初期状態として地震応答解析を実施した.解析結果を表-5に示す.入力地震

1.06

1.51

2.05

4.82

5.29

11.80

動によらず,アーチ頂部の応答加速度,支承反力 および端部部材の応答断面力が大幅に低減され ていることがわかる.

表- 4	固有振動数	(Hz
		· ·

	橋軸方向	橋軸直角方向
振動実験値	2.55	1.16
モデル1	2.55	1.25
モデル2	1.25	0.75

表-5 地震応答解析結果(最大応答値)

解析対象モデル	入力地震動	橋	鼬方向入力		橋軸直角方向入力		
		アーチ頂部 橋軸方向 応答加速度 (cm/sec/sec)	端部部材 応答軸力 (kN)	支承反力 (kN)	アーチ頂部 橋軸直角方向 応答加速度 (cm/sec/sec)	端部部材 応答軸力 (kN)	支承反力 (kN)
モデル 1		935	1516	584	4662	6252	4053
モデル 2	Type1	880	930	69	1902	1078	80
モデル2/モデル1		94%	61%	12%	41%	17%	2%
モデル 1		1127	1835	512	4743	5364	3742
モデル 2	Type2	1206	933	82	2366	1585	73
モデル2/モデル1		107%	51%	16%	50%	30%	2%

5.まとめ

本研究の結果,ベローズ型伸縮管の大変形下での荷重-変位特性について把握できた.また水管橋の免震化に際し,本 伸縮管の大変形能および履歴減衰によるエネルギー吸収能力が効果的に機能し,水管橋の地震応答を低減できること を確認した.

< 謝辞 > 本研究の実施にあたり,(株)オクダソカベの谷清治氏ならびに九州大学大学院助手の矢葺亘氏及び同技官の山崎智彦氏には多大な 支援を頂いた.ここに記して感謝の意を表す.

<u>参考文献</u>1)日本水道鋼管協会:WSP水管橋設計基準(改定4版),1999.6改定,p.652)(株)オクダソカベ:Bellows Type Expansion Joints,pp.11-133)竹内貴司、他:構造工学論文集,Vol.46A、2000.4,三角トラス、ランガー形式水管橋の地震時動的挙動,pp.997-1004