

水管橋の免震化に関する研究

九州大学大学院 学生会員○山内 邦博
新日本製鐵株式会社 正会員 竹内 貴司

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 栗木 茂幸

1. はじめに

水管橋は大規模な構造物であり、その代替対策も取り難いため、埋設管路等と比べ、厳しい機能確保が求められる。しかしながら、従来基準^{1), 2), 3)}においては、水平荷重として、風荷重が地震荷重よりも大きくなることから、水平荷重に対する検討は、風荷重による静的なものに対して行われてきた。そのため、水管橋の動的挙動に関する研究は少なく、不明な点が多い。著者らの一部は、文献4)、5)において、種々の形式の水管橋の地震時挙動に関し、実験及び時刻歴応答解析を実施しているが、大地震時に大きな支承反力が発生し、その結果、支承が破壊され、伸縮可撓管が脱管する可能性があることが判っており、耐震性の向上が課題となっている。

本研究では、水管橋の耐震性向上の手段として、現存水管橋の支承を鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)とし、水道管のジョイント部には、免震支承の変形性能に追随する手段として、管軸方向、管軸直角方向ともに変位を吸収できる構造である、ペローズ型伸縮可撓管を組み込むことを考え、地震応答解析により、耐震性の向上効果を確認した。

2. ペローズ型伸縮可撓管の交番载荷実験

ペローズ型伸縮可撓管(以下、ペローズ)の写真を写真-1に、ペローズ部の詳細を図-1に示す。ペローズは、本来、水道管の温度伸縮を吸収する目的で使用されるものであるが、大変形時の挙動については不明な点が多い。

そこで、ペローズの基礎的な性能を明らかにすることを目的とし、管軸方向および管軸直角方向の交番载荷実験を行った。実験用供試体の諸元を表-1に示す。実験は管軸方向、管軸直角方向それぞれ8体の、計16体行った。

3. 交番载荷実験結果

(1) 管軸方向

表-2に管軸方向の実験結果を、また図-2に管軸方向履歴曲線(例として300A_6c)を示す。初期剛性は、圧縮側と引張側でほぼ等しいが、降伏荷重及び降伏変位は、圧縮側が引張側より大きく、剛性低下率は、引張側が大きくなっている(これは、ペローズを圧縮成形した際の、残留応力に起因するものと思われる)。よって、履歴曲線の形は、圧縮側と引張側とで非対称である。また、圧縮側変位が120mm程で、荷重が急激に増加する現象が見られるが、これは、ペローズ長(ピッチと山数の積)の1/2程度で起こっており、隣接するペローズ同士が接触して起こるものと思われる。

(2) 管軸直角方向

表-3に管軸直角方向の実験結果を、また図-3に管軸直角方向履歴曲線(例として300A_6c)を示す。実験は純せん断で行っており、初期剛性、降伏点、剛性低下率は、+側と-側でほぼ等しく、履歴曲線は、原点对象となっている。また、

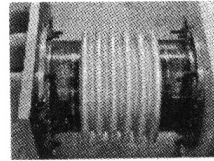


写真-1 ペローズ型
伸縮可撓管

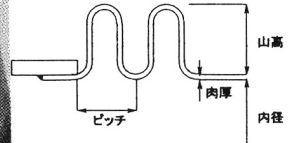


図-1 ペローズ部詳細

表-1 供試体諸元

供試体	口径 Db(mm)	平均径 Dm(mm)	山数	肉厚 t(mm)	ピッチ B(mm)	山高 H(mm)
300A_3c	300	347.0	3	2.0	40	45
300A_6c	300	347.0	6	2.0	40	45
300A_9c	300	347.0	9	2.0	40	45
300A_6c_t	300	346.5	6	1.5	40	45
300A_6c_B	300	347.0	6	2.0	50	45
300A_6c_H	300	342.0	6	2.0	40	40
450A_6c	450	518.0	6	3.0	60	65
600A_6c	600	668.0	6	3.0	60	65

表-2 管軸方向実験結果

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
300A_3c	3.03	-5.97	8.72	-14.41	2.57	0.201	0.088
300A_6c	5.95	-11.19	8.76	-14.41	1.24	0.185	0.084
300A_9c	8.93	-18.08	8.37	-14.01	0.75	0.180	0.087
300A_6c_t	8.80	-16.30	5.88	-10.98	0.87	0.246	0.043
300A_6c_B	9.19	-17.98	9.41	-18.33	1.02	0.210	0.072
300A_6c_H	5.32	-10.75	8.82	-17.84	1.68	0.121	0.093
450A_6c	9.71	-21.46	19.40	-39.69	1.90	0.198	0.057
600A_6c	9.72	-18.78	23.32	-44.98	2.40	0.153	0.070

表-3 管軸直角方向実験結果

供試体	+側 降伏変位 (mm)	-側 降伏変位 (mm)	+側 降伏荷重 (kN)	-側 降伏荷重 (kN)	初期剛性 (kN/mm)	+側 剛性 低下率	-側 剛性 低下率
300A_3c	3.18	-3.27	37.24	-24.50	9.57	0.308	0.306
300A_6c	4.98	-5.25	9.80	-9.80	1.92	0.275	0.245
300A_9c	9.33	-9.81	7.84	-7.84	0.82	0.283	0.248
300A_6c_t	4.70	-5.70	8.80	-6.90	1.51	0.242	0.232
300A_6c_B	4.80	-4.80	9.80	-9.80	2.04	0.190	0.174
300A_6c_H	7.40	-7.60	14.70	-14.70	1.96	0.306	0.285
450A_6c	15.50	-14.50	34.01	-31.58	2.19	0.305	0.291
600A_6c	12.40	-13.20	53.97	-57.37	4.35	0.254	0.271

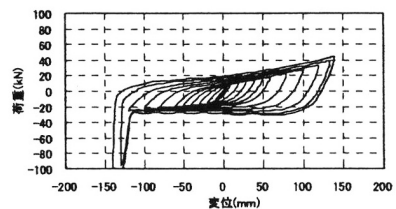


図-2 管軸方向履歴曲線(300A_6c)

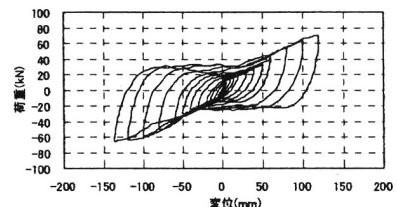


図-3 管軸直角方向履歴曲線(300A_6c)

供試体によっては、大変形時に、写真-2、3に示すような局部座屈が端部ベローズの山部に発生し、さらに载荷を続けると、座屈部分が進展し、管に亀裂が入ることが確認できた。

4. 水管橋の地震応答解析

図-4に対象橋梁のモデル図を示す。対象橋梁は、支間長84.7m、鋼材自重979kN、通水時自重2026kNのランガー形式独立水管橋で、口径900mmの2本の水道管自体が、橋の下弦材となった構造である。また、水道管のA端ジョイント部には、管の温度伸縮を吸収する目的で、伸縮管(クローザー型：管軸方向の変位を吸収するタイプ)2体が設置されている。A端の支承(4体)は可動支承であり、B端は固定支承(4体)である。本研究では、現存橋のモデルをモデル1とし、新たに、支承全て(8体)を鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)に取替え、水道管のジョイント部全て(4箇所)に、ベローズ(実験結果をもとに、口径900mmのモデルを作成したものを)を組み込んだモデルをモデル2、さらに、モデル2の支承の数を半分(4体)にしたモデルをモデル3として、地震応答解析を行う。入力地震波は、Type I 地震波として、津軽大橋標準波形TR成分(最大加速度：433gal)、Type II 地震波として、ポートアイランド標準波形EW成分(最大加速度：619gal)を用い、加震方向は橋軸方向もしくは橋軸直角方向の、いずれか1方向加震とした。

5. 地震応答解析結果

表-4、5にそれぞれ橋軸方向、橋軸直角方向加震時の解析結果(最大応答値)を示す。いずれの場合にも、応答値にかなりの低減が見られ、特に、B端(モデル1における固定側)支承の応答値が著しく下がっており、既往の研究における問題点を解決することが出来た(ここで、表中の値は1支承あたりのものであり、モデル3においては、支承の数を減らしているため、反力が増加しているケースもある)。ただし、モデル2においては、橋軸直角方向加震時に、免震支承に鉛直引張反力(表中の括弧書き)がはたらいており、モデル3の方がより安全な構造形式であると言える。

6. まとめ

- 本研究により得られた知見を以下にまとめる。
- ①ベローズ型伸縮可撓管の交番载荷実験(全16体)を行い、管軸方向及び管軸直角方向の履歴曲線を得た。
 - ②実験結果を元に、ベローズ型伸縮可撓管の、汎用的な骨格曲線の作成を可能にした(文献6)参照)。
 - ③LRBとベローズを用いる、水管橋の耐震性向上策の可能性を示した。

謝辞

本研究の実施にあたり、(株)オクダソカベ殿ならびに九州大学大学院助手の矢暮亘氏、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。

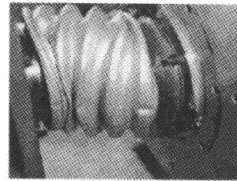


写真-2 300A_6c_tのせん断方向変位160mm

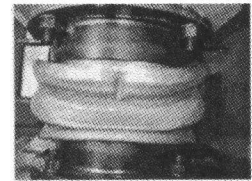


写真-3 300A_3cのせん断方向変位100mm



図-4 水管橋梁モデル

表-4 橋軸方向解析結果

解析対象モデル	入力地震動	Aーテ頂部橋軸方向応答加速度(gal)	Aーテ頂部鉛直方向応答加速度(gal)	B端主部材応答軸力(kN)	B端支承部橋軸方向反力(kN)	B端支承部鉛直方向反力(kN)
モデル1	Type I	806.7	1858.4	2078.0	452.9	361.3
モデル2		628.0	18.1	1084.4	76.7	268.4
モデル3		622.0	18.6	1083.4	152.5	538.8
モデル2/モデル1		69.3%	1.0%	52.2%	16.9%	74.3%
モデル3/モデル1		68.6%	1.0%	52.1%	33.7%	149.1%
モデル1	Type II	1556.7	856.4	2503.4	733.8	429.3
モデル2		861.9	33.6	1132.3	123.1	255.4
モデル3		858.7	36.6	1135.8	245.4	515.7
モデル2/モデル1		55.4%	3.9%	45.2%	16.8%	59.5%
モデル3/モデル1		55.2%	4.3%	45.4%	33.4%	120.1%

表-5 橋軸直角方向解析結果

解析対象モデル	入力地震動	Aーテ頂部橋軸方向応答軸力(kN)	A端主部材応答軸力(kN)	B端支承部橋軸方向反力(kN)	B端支承部橋軸方向反力(kN)	B端支承部鉛直方向反力(kN)
モデル1	Type I	4142.3	3117.3	5612.8	448.7	992.8(-539.7)
モデル2		1775.7	1701.5	36.3	66.8	566.8(-45.6)
モデル3		1498.8	1691.4	73.4	137.4	731.8
モデル2/モデル1		42.9%	54.6%	0.6%	14.9%	57.1%
モデル3/モデル1		36.2%	54.3%	1.3%	30.6%	73.7%
モデル1	Type II	3255.1	2897.3	5534.7	464.5	777.2(-330.8)
モデル2		2046.0	2181.9	41.5	112.4	702.7(-101.4)
モデル3		1928.9	2184.1	83.4	227.3	836.1
モデル2/モデル1		62.9%	75.3%	0.7%	24.2%	90.4%
モデル3/モデル1		59.3%	75.4%	1.5%	48.9%	107.6%

参考文献

- 1) (社)日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説、1997年3月
- 2) 日本水道鋼管協会：水管橋設計基準WSP-007、1999年6月
- 3) 日本水道鋼管協会：水管橋設計基準(耐震設計編) WSP-064、1997年9月
- 4) 竹内貴司、川口周作、水田洋司、大塚久哲：三角トラス、ランガー形式水管橋の地震時動的挙動、構造工学論文集、Vol. 46A、pp. 997-1004、2000年4月
- 5) 竹内貴司、川口周作、水田洋司、大塚久哲：斜張形式水管橋の地震時動的挙動、構造工学論文集、Vol. 47A、pp. 861-871、2001年3月
- 6) 山内邦博、竹内貴司、栗木茂幸、大塚久哲：ベローズ型伸縮可撓管と免震支承を利用した水管橋の免震効果に関する考察、構造工学論文集、Vol. 48A、2002年3月