

水管橋の通水機能確保に関する考察

九州大学大学院工学府 学生会員 ○山内 邦博
九州大学大学院工学研究院 フェロー 大塚 久哲
新日本製鐵株式会社 正会員 竹内 貴司

1. はじめに

ライフラインとして重要な構造物である水管橋は大地震時においても通水機能が確保されることが要求されており、著者らはこれまでの研究^{1), 2), 3)}により、水管橋の耐震安全性の向上策について述べてきた。しかしながら、支承部が損傷し、落橋防止装置が作動した後の地震時動的挙動については十分に検討されていないのが現状である。このような背景から、本論文では支承・落橋防止装置・伸縮可撓管に着目した地震時動的挙動を検討することにより、水管橋システムとしての通水機能確保のあり方について検討する。

2. 解析モデル

解析対象橋梁を図-1に示す。支間長84.7m、アーチ高10.5m、幅員4.0m、通水時自重2026kNのランガー形式水管橋で、口径900mmの2本の水道管が下弦材として用いられている。また図-2に示す通り、同一支承線上に4体の可動支承もしくは固定支承が設置されており、固定支承側には支承と同じ位置に落橋防止装置が併設され、下弦材のジョイント部には、水道管の温度伸縮を吸収する目的で2体の伸縮可撓管が取り付けられている。地震動による反力は支承が受け持つが、耐力以上の反力が支承に生じると落橋防止装置（移動制限装置）が作動し、伸縮可撓管の限界変位を超えないように、さらには橋桁が落橋しないように応答変位を抑え、通水機能を確保する構造になっている。

3. 解析条件

上部構造及び橋脚をM-φの非線型3次元はり要素で、橋脚基礎及び地盤を地盤ばねでモデル化を行なった。また支承・落橋防止装置及び伸縮可撓管についてはそれぞればね要素でモデル化を行ない、支承と落橋防止装置の材料非線形モデルは図-3の(a)、(b)に示すものを用いた。支承の最大耐力 P_{max} はアンカーボルトのせん断耐力とし、支承は正負いずれかの最大耐力で破壊された後に耐力を失い、一定荷重 P_{const} ですべるモデルになっている。また、支承が破壊されてからある遊間 δ_s だけすべった後、落橋防止装置が作動し、支承及び伸縮可撓管の変位を制限するようモデル化されている。本解析においては、固定支承及び落橋防止装置のばね剛性を $K_0=1.0 \times 10^6 \text{ kN/m}$ 、可動支承及び伸縮可撓管のばね剛性（線形）を $1.0 \times 10^2 \text{ kN/m}$ とし、支承がすべる際の鋼板とコンクリートの摩擦係数を0.4とした。

既往の研究^{1), 3)}により、対象橋梁においては橋軸直角方向の地震力に対して橋軸方向に大きな支承反力が発生することが分かっており、地震波を入力した際、支承がこの大きな橋軸方向反力に耐えられずに破壊されてしまうことが予想される。支承の破壊形態がアンカーボルトのせん断破壊であるため、支承のモデル化において橋軸及び橋軸直角方向同時に破壊されるようにモデル化を行なった。

地震応答解析に用いる地震波は図-4(a)、(b)に示される2波であり、橋軸及び橋軸直角の2方向同時加震とする。数値積分法は

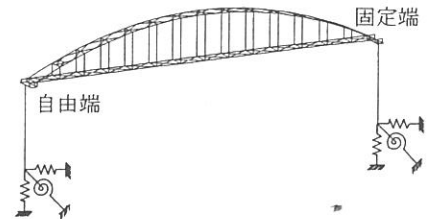


図-1 水管橋全体モデル

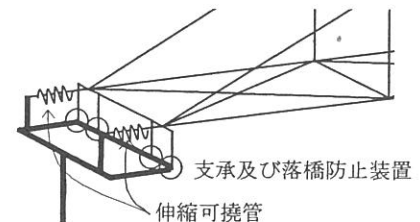
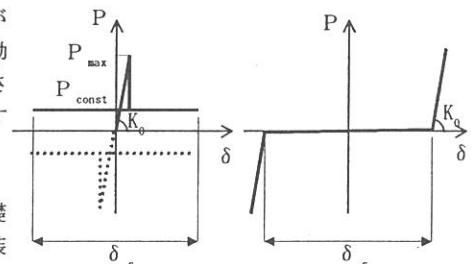
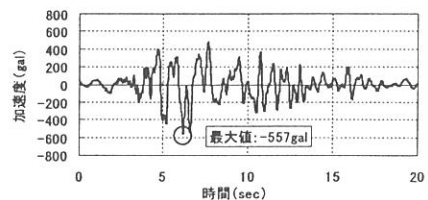


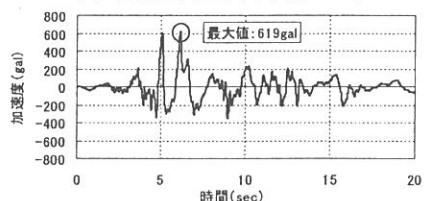
図-2 支承部近傍拡大図



(a) すべり型バイリニア (b) 非線型弾性
図-3 固定支承(a)及び落橋防止装置(b)の材料非線形モデル



(a) 橋軸方向加震用(Type232)



(b) 橋軸直角方向加震用(Type233)

図-4 入力地震波

Newmark β 法 ($\beta = 0.25$) で時間刻みは 0.001 秒とし、解析時間は 20 秒、減衰はレーリー減衰を用いた。

4. 解析結果

表-1 に解析の検討ケースを示す。遊間 δ_s について 5 ケース、支
 承耐力 P_{max} について 2 ケースを組み合わせると計 10 ケースを検討し
 た。図-5 (a), (b), (c) に検討ケース 3 の時刻歴応答結果を、また図-
 6 に固定支承の橋軸方向応答履歴を示す。支承が橋軸・橋軸直角方
 向同時に破壊され、その後落橋防止装置が作動しているのが分か
 る。落橋防止装置は数回作動しているが、最大応答反力は支承破壊
 直後に発生している。

図-7 に全ての検討ケースの解析結果を示す。遊間を大きくする
 ほど落橋防止装置に作用する力は低減される結果となっており、検
 討ケース 5 においては橋軸直角方向の落橋防止装置は作動してい
 ない。これは支承がすべる際の摩擦によるエネルギー損失が効いてい
 るものと思われる。また遊間が他の方向に与える影響 (例えば橋軸
 方向の遊間に対する橋軸直角方向の落橋防止装置の反力) は小さい
 ことが分かった。支承耐力を 1.5 倍程度大きくしても落橋防止装置
 にかかる力は低減されておらず、むしろ大きくなるケースも見られ
 た。これは支承が壊れるまでに蓄えられたひずみエネルギーが大き
 いほど、落橋防止装置にかかる力が大きくなることを示しているも
 のと考えられる。上部構造部材は全てのケースにおいて弾性挙動を
 示しており、支承が破壊された場合にも落橋防止装置を設置するこ
 とで水管橋の通水機能が確保されるものと思われる。

5. まとめ

本研究により得られた知見を以下に示す。

- ・落橋防止装置を設置することで、支承が破壊された場合にも水管
 橋の通水機能を確保することができる。
- ・支承がすべる際の摩擦を考慮すると、遊間を大きくすることで落
 橋防止装置にかかる力は低減される。
- ・支承耐力を 1.5 倍程度大きくしても、落橋防止装置にかかる力は
 低減されない。

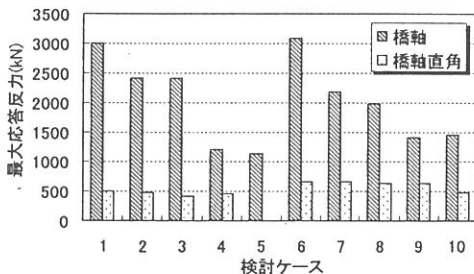


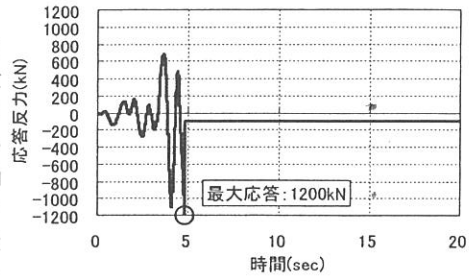
図-7 落橋防止装置の最大応答反力

参考文献

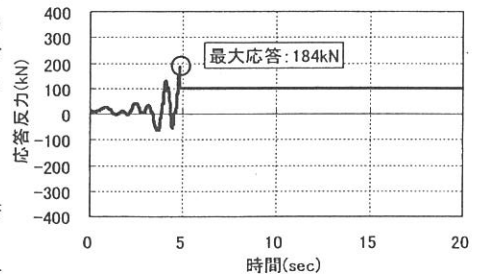
- 1) 竹内貴司、川口周作、水田洋司、大塚久哲：三角トラス、ランガー形
 式水管橋の地震時動的挙動、構造工学論文集、Vol. 46A, pp. 997-1004、
 2000年4月
- 2) 竹内貴司、川口周作、水田洋司、大塚久哲：斜張形式水管橋の地震時
 動的挙動、構造工学論文集、Vol. 47A, pp. 861-871、2001年3月
- 3) 山内邦博、竹内貴司、栗木茂幸、大塚久哲：ペローズ型伸縮可撓管と
 免震支承を利用した水管橋の免震効果に関する考察、構造工学論文集、
 Vol. 48A、2002年3月

表-1 検討ケース

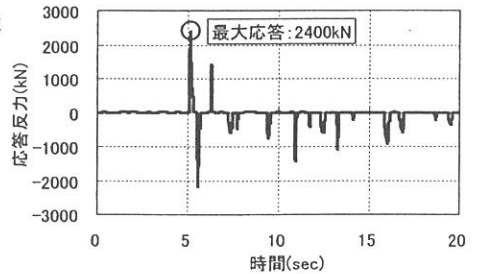
ケース	支承耐力 P_{max}	遊間 δ_s (mm)	
		橋軸	橋軸直角
1	1倍 (1200kN)	20	20
2		50	20
3		50	50
4		100	50
5		100	100
6	1.5倍 (1800kN)	20	20
7		50	20
8		50	50
9		100	50
10		100	100



(a) 固定支承橋軸方向反力



(b) 固定支承橋軸直角方向反力



(c) 橋軸方向落橋防止装置反力

図-5 時刻歴応答結果

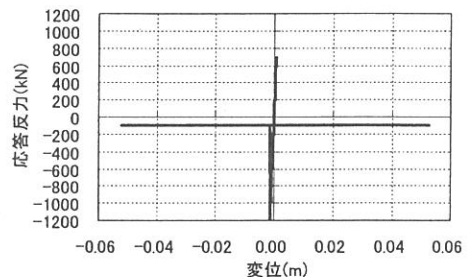


図-6 固定支承橋軸方向応答履歴