

既設水管橋の耐震補強ポイント

(株)復建技術コンサルタント 正会員 ○野口 寛人 正会員 橋田 明良
正会員 鈴木 勝浩 正会員 水城 亨

1. はじめに

次の宮城県沖地震は今後 20 年以内に 90%¹⁾と極めて高い確率で発生すると予想されている。そこで近年、地震時のライフライン確保が重要視されるようになり、既設水管橋の耐震補強も行われるようになった。

水管橋は、送水機能確保のため、地震時の変位量抑制が耐震補強のポイントとなり、粘性履歴型ダンパー設置が有効な補強方法となる。本論文は、既設水管橋の耐震補強設計の実施例を紹介するとともに、各種水管橋の耐震補強のポイントについて報告するものである。

2. 耐震補強基本方針

大規模地震時に送水機能を確保するため、伸縮可撓管（写真-1）の抜け出しによる漏水や、橋脚の倒壊、支承の破損による落橋を回避する必要がある。

したがって、以下の点に着目し、耐震性能照査を行う。

- ①大規模地震時に生じる伸縮可撓管部の変位量
- ②支承の耐力
- ③下部工の耐震性能

耐震設計にあたっては、地震時の挙動を正確に把握できること、耐震補強工法として制振ダンパー設置等が考えられることから、非線形の挙動によるエネルギー吸収を適切に反映するため、動的解析を用いる。これにより、大規模地震時における変位量や断面力を算定し、可撓管の変位量、支承・橋脚の耐力照査を行う。



写真-1.伸縮可撓管

3. 振幅調整波

3.1.加速度応答スペクトル

図-1 の応答スペクトル図は、「水道施設耐震工法指針・解説[1997 年版]より抜粋したもので、平成 7 年 1 月に発生した兵庫県南部地震による観測記録 5 波形を用いて設定され、直下型地震を想定したものである。加速度応答スペクトル図は、横軸を固有周期(T[s])、縦軸を構造物の応答加速度(a[gal])とし、構造物の固有周期

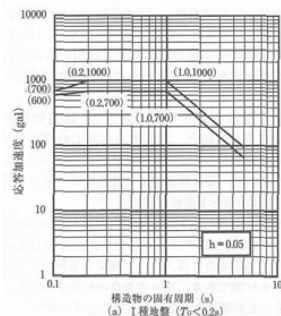


図-1.加速度応答スペクトル図 (I 種地盤)
(水道施設耐震工法指針・解説 [1997 年版]
社団法人日本水道協会より)

により、構造物が応答する加速度を示したものである。また、図中の上側の線は、非超過確率 90%、下側の線は非超過確率 70%を示し、施設の重要度に応じて事業者判断により設定するのが一般的である。

3.2.振幅調整波

水管橋設計基準で示されている加速度応答スペクトル図に合致する地震波形は、公開されていない。そこで、道路橋示方書で公開されている地震波形をベースとして、水管橋設計基準の加速度応答スペクトルの特性に合致するように振幅調整を行った振幅調整波を作成し、動的解析を行う (図-2,3)。

- 振幅調整後の波形
- 道路橋示方書オリジナルの波形

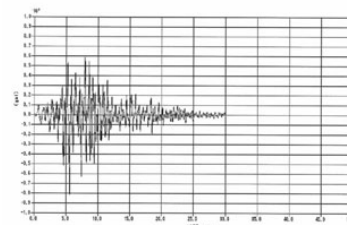


図-2.振幅調整加速度波形の例

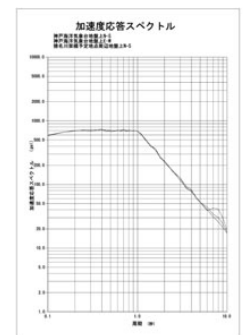


図-3.加速度応答スペクトル
(I 種地盤)

4. 実施例

4.1.トラス補剛形式水管橋

4.1.1.橋梁諸元

形 式：【上部工】単純トラス桁×6 連
【下部工】逆 T 式橋台、小判型橋脚
【基礎工】鋼管杭 φ600

橋 長：L=238.5m

径 間 長：40.230m+4@39.500m+40.230m

水管口径：φ300mm×2 条 (添架形式)

竣 工：平成 6 年 3 月

4.1.2.現況耐震性能照査結果

耐震性能照査結果、下部工の耐震性能は満足したが、伸縮可撓管の変位量が許容変位量を超過したため、地震時に伸縮可撓管の抜け出しによる漏水が懸念される。

4.1.3.補強対策工

伸縮可撓管の許容変位量を拡大させるには、伸縮可撓管の交換を行う必要がある。しかし断水は不可能であるため、地震時の変位量を抑制させる必要がある。

地震時の変位量を抑制させる方法として、制振ダンパーの地震時エネルギーの減衰効果を利用し、地震時の変位量を抑制させ、伸縮可撓管の抜け出し防止を図る。その結果、対策後の変位量は最大で 4.0cm 程となり、許容値内に収まる結果となった (表-1)。

表-1.相対変位量と許容変位量

	相対変位(cm)		許容変位量 (cm)
	現況	ダンパー設置	
P1橋脚	15.970	3.932	11.500
A2橋台	16.098	3.227	11.500

4.2.ランガー補剛形式水管橋

4.2.1.橋梁諸元

形 式：【上部工】単純トラス+単純ランガー×6 連
+単純パイプビーム

【下部工】逆T式橋台，小判型橋脚

【基礎工】ケーソン基礎

橋 長：L=618.4m

径 間 長：41.360m+68.500m+4@94.000+89.700
+29.150m

水管口径：φ1000mm×1 条

竣 工：昭和 53 年

4.2.2.現況耐震性能照査結果

一部下部工で耐力が不足することが確認された。また、橋軸直角方向地震時に、上部工下横構が67パネル（268箇所）において、部材が座屈することが確認された。これは、全パネル数(92パネル-368箇所)の70%以上となり、応力度超過率も最大390%となる。

伸縮可撓管の変位量は許容変位量以内となったが、支承部の変位量が許容変位量を超過する結果が得られた。

4.2.3.補強対策工

下部工に関しては、RC巻立て工により耐力不足を補うこととした。

上部工は、座屈が確認された部材全てを補強あるいは交換する場合、足場等の仮設費や施工性に劣るため、桁端部に制振ダンパーを設置することとした。その結果、橋軸直角方向の桁のたわみによる制振ダンパーの減衰効果を利用することにより、上部工下横構の補強量を8パネル(32箇所)の最小限に抑えることが可能となった。

4.2.4.制振ダンパー設置工

本橋梁では、制振ダンパー設置により、橋軸直角方向の地震力を低減させる必要がある。主構に橋軸直角方向水平たわみが生じれば桁端部は回転し、左右の主構間隔は開閉変位する。したがって左右主構に配置した桁間部を連結したダンパーは、橋軸直角方向地震にも減衰効果があるということに着目した。3次元モデルの動的解析により評価を行い、狙い通りの減衰効果を発揮させることが出来た。(図-4,5,6)。

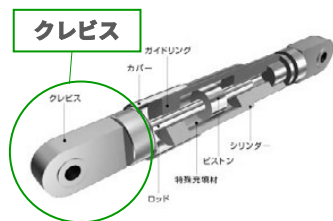


図-4.制振ダンパー姿図

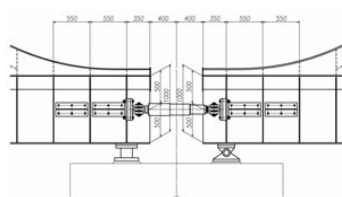


図-5.ダンパー取付図

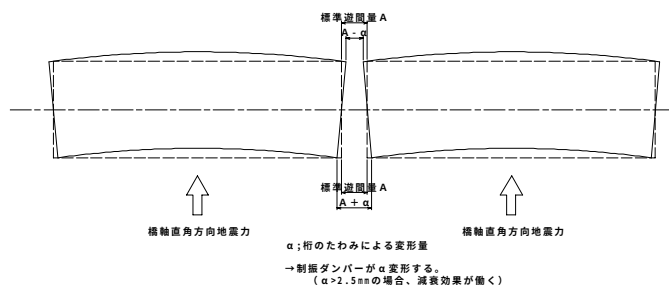


図-6.直角方向水平たわみによる桁端部での開閉変位

4.3.パイプビーム形式水管橋

4.3.1.橋梁諸元

形 式：【上部工】3 径間連続パイプビーム

【下部工】重力式、逆T式橋台，小判型橋脚

【基礎工】直接基礎

橋 長：L=97.4m

径 間 長：30.000m+34.000m+30.000

水管口径：φ1100mm×2 条

竣 工：昭和44年

4.3.2.現況耐震性能照査結果

P1橋脚の断面変化部において引張り鉄筋が降伏することが確認された。また伸縮可撓管の変位量が、A1・A2橋台において許容変位量を超過する結果が得られた。

4.3.3.補強対策工

P1橋脚は河川内にあり、橋脚補強は大規模な仮設を伴い非常に高価となる。そこで、制振ダンパーの地震時エネルギーの減衰効果により、断面力及び変位量の低減を図った。その結果、変位量は許容値内に収まり、P1橋脚断面変化部においても、許容値に対して最大応答値が5倍程度発生していたものを0.8倍程度まで収めることができ、耐震性能を満足する結果となった。

4.3.4.制振ダンパー設置工

上部工構造がパイプビーム形式であり、制振ダンパーの取付けスペースが水管本体へ限定された。しかし、水管本体への溶接による取付けは施工上問題が生じるため、樹脂系接着剤による接着工法を採用した。

5. まとめ

水管橋は、道路橋に比べ上部工重量が小さく、地震力が小さい。加えて伸縮可撓管の変位に対する照査が必要であることなど、道路橋の耐震補強とは異なる点がいくつかある。

今回、耐震補強対策として制振ダンパーを設置することは、各種水管橋の弱点においても対策の効果を得ることができた。また、下部工補強が不要となるケースもあり、仮設工事を含めたコスト縮減効果も見込めることから、非常に有効な対策であることを確認できた。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部：「海溝型地震の長期評価」（2007年1月10日）
- 2) (社)日本水道協会：「水道施設耐震工法指針・解説」（1997年版）
- 3) 日本水道鋼管協会：「既設水管橋耐震補強の基本方針」（平成11年10月）
- 4) (財)海峯架橋・橋梁調査会：「既設橋梁の耐震補強工法事例集」（平成17年4月）
- 5) (社)日本鋼構造協会：「土木鋼構造物の点検・診断・対策技術」（2006年版）