

津幡川2号水管橋の耐震補強設計業務について

土木第2部 石塚久幸

1. 事業の概要

1.1 事業の目的

本事業は、平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震（阪神大震災）をうけて、津幡川2号水管橋耐震検討を行った結果、躯体・基礎の一部で耐力が不足することが確認されたため、以下に示す耐震補強対策を行うものである。

橋台前趾の増厚

橋台に作用する不平均力による転倒モーメントの低減

落橋防止装置の設置

地盤改良による地震時移動量の低減

本報文では、 について述べる。

1.2 対象構造物

当該業務で対象とした構造物は、二級河川大野川水系津幡川にかかる『津幡川2号水管橋』である。

当該水管橋は、昭和58年に架橋された単独水管橋である。

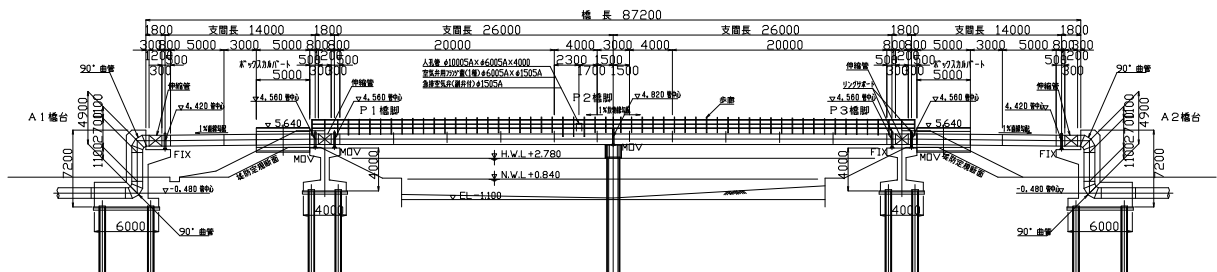


図 - 1.1 津幡川2号水管橋側面図

2. 設計概要

2.1 要求耐震性能の決定

平成7年の兵庫県南部地震の被害調査に基づき道路橋示方書を初めとする多くの耐震設計指針が改訂され、現在新設される構造物は非常に耐力的な構造物となっている。一方、昭和55年以前の示方書で設計された構造物は、比較的耐震性能が低い（兵庫県南部地震の被災橋梁の多くが昭和55年以前であったと報告されている）。

最も新しい平成14年示方書では、表 - 2.1のように重要性・機能によって耐震性能を色分けしている。

同表は、道路橋を対象としたものであり、当該水管橋には該当しないが、ライフラインとしての重要度を考慮し耐震性能2を目途とした補強を行うものとした。

重要度：鶴来浄水場を出発した県水を能登地方に送水する能登幹線を構成する主要管路である。受益対象となっている市町は、羽咋市以北の2市2町（羽咋市，鹿西町，七尾市，能登島町）であるが，将来的な拡張に対応した能力が付与されており，極めて重要な幹線であり，長期間の断水はもちろん，地震等における損傷も軽微なものに限定することが求められる

表 - 2.1 設計地震動と目標とする橋の耐震性能

設計地震動		A種の橋	B種の橋
レベル1地震動		地震によって橋としての健全性を損なわない性能（耐震性能1）	
レベル2地震動	タイプ の地震動（プレート境界型の大規模な地震動）	地震による損傷が橋として致命的とならない性能（耐震性能3）	地震による損傷が限定的なものにとどまり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能（耐震性能2）
	タイプ の地震動（兵庫県南部地震のような内陸直下型地震）		

2.2 耐震性能の解析手法と評価

当該水管橋の耐震レベルは、耐震性能1程度であり，関東大震災，兵庫県南部地震などに対して安全ではない。当該業務では，地震時保有水平耐力法（以下，保耐法），非線形動的解析（以下動解法）の2通りによる耐力照査を実施した。

動解法は，構造物をモデル化（線形部材はEIで曲げ剛性を与えてモデル化し，非線形部材については，M-曲線の非線形トリリニアモデルを使用）したものに，採取された実際の地震波（タイプは宮城沖地震や北海道南西地震など，タイプは兵庫県南部地震）を与えて挙動，応力を解析する手法である。

保耐法は，採取された地震波をフーリエ変換しスペクトル解析を行った結果を静的な設計水平震度として与え，対象重量に乗じることで等価水平力を算出する。これと，躯体固有の終局耐力との比較を行うものである。なお，保耐法は，動解法の簡便法として，構造物の塑性域を考慮した解法として定着している。

解析の結果，橋台の柱付け根については，内挿された鋼管のみで耐力が確保されていることがわかった。また，RC橋脚については固定支承を有するP3橋脚で曲げ耐力が保耐法で不足していたが動解法では安全が確認されたため補強は行わないこととした。橋軸直角方向については，せん断部材となるため，せん断耐力が不足していたが，躯体形状がディープビーム構造であることから，FEM解析によって，せん断力の伝達率を算出し，十分な耐力を有していることを確認した。

以上のように，躯体自身は解析レベルをあげることで，その安全性を確認したが，基礎については液状化の影響で何らかの対策が必要であることがわかった。

2.3 補強工法の概要

前述のとおり躯体の補強は必要なく，補強点としては基礎関係が主体となった。今回報告する“外ケーブルを設けて転倒モーメントを低減する工法”は水管橋の特徴であるスラスト力（不平均力）に対して極めて有効な方法である。

水管橋，特に当該橋台のように内挿された鋼管が90度で屈曲している場合，水圧によって屈曲方向の外側にスラスト力が作用する。図-2.1に示すように，スラスト

力の鉛直分力と水平分力はそれぞれ打ち消し合うため、杭に対して影響しない。しかし、水平分力の作用位置が異なるため、相反する水平分力によって転倒モーメント（以降、スラスト・モーメント）がそのまま作用することになる。

スラスト・モーメントは常時水を流している以上、常に作用するもので、杭体の耐力照査を行う場合の初期荷重として考慮されるものである。このモーメントは、設計モーメントの4割程度に達することから、モーメントの低減を図ることが耐力不足を解消する有効な手段となる。

道路協会等のマニュアルでは、基礎の補強方法として“増し杭工法”を推奨していたが、写真-2.1, 2.2に示すように広域農道の法尻に設置された構造物で、A1橋台には隣接して排泥弁室などが設置されているため増し杭などの大がかりな設備を導入することが困難であった。

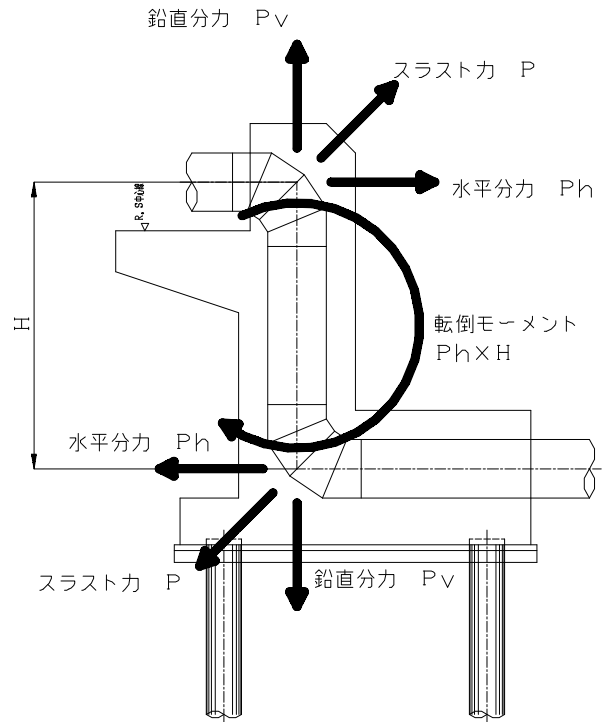


図 - 2.1 橋台とスラスト力



写真 - 2.1 A2橋台



写真 - 2.2 A1橋台

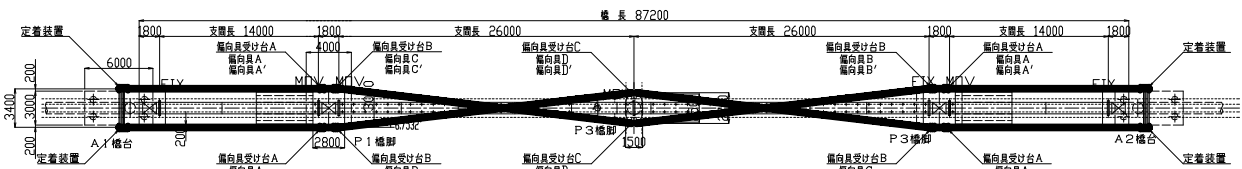


図 - 2.2 外ケーブル配置平面図

そこで、力学的にスラスト・モーメントを低減する方法として、図-2.2に示す”外ケーブルによる橋台間連結”を提案した。

2.4 工法の効果と問題点

当該工法は、基礎自身に対する耐力増強を必要とせず、すべて地上で施工できると、施工期間が短く、杭体の耐力不足に応じたケーブル張力（以下、張力）を与えることで合理的な設計ができることが挙げられる。

P2橋脚はパイルベンド橋脚で曲げ剛性は低く面外地震荷重に対し大きく変位し、上部構造を揺らすためにケーブルの配置をP2橋脚でクロスさせた。これによりダッシュポット効果が得られ、P2橋脚の挙動を抑制することができた。

一方、問題点としては、導入した張力が温度変化により変動すること、地震時の地盤変動により橋台間の相対距離が変化し張力が変動すること等が考えられた。

この解決策として、橋台に設けられるケーブル定着体にバネを配置して、想定される変位を初期に導入して、必要張力を一定に保つことも検討した。しかし、当該橋梁の橋台間長が長く、細径ケーブルで設計に必要な初期伸びを十分に与えることができたため、最も簡便なこの方法で張力変動に対応することができた。

3. まとめ

今回の業務では、構造物の特異性、立地条件など様々な制限に悩まされ、一般的な工法を使用することができず、創意工夫が多く求められた業務であった。ここで採用されたケーブルによるスラスト力低減工法は我が国初のもので、経済性や施工性からも極めて優れた工法である。

当該橋梁のケーブル長は90m程度あり、温度変化や地震時地盤変動を考慮した時でも設計に必要なケーブル伸びを初期伸びとして導入することができた。しかし、ケーブル長が短い構造物で必要な初期伸びが与えられなければ有効な工法ではない。今後はこのような構造物にも対応すべく、温度変化や地震時地盤変動に伴うケーブル張力変化に対し、定着体に共振しないバネの開発などして張力を一定にする工夫や実現化のための技術開発が必要であろう。