

南海トラフ巨大地震に対する既設道路橋の津波対策設計

東洋技研コンサルタント株式会社 技術第3部 わたなべ しんや 渡邊 信也
 東洋技研コンサルタント株式会社 技術第3部 きただい しゅういち 北臺 修一
 東洋技研コンサルタント株式会社 ○ 技術第3部 まつば しんたろう 松葉 慎太郎

論 文 要 旨

本橋は、一般国道と運河との交差部に架かる鋼床版鋼3径間連続ゲルバー-鈹桁橋(橋長 55.828m)である。南海トラフ巨大地震に対する津波を想定して算出した浮力および波力に対して津波対策構造の設計を行った。対策工は橋台部およびヒンジ部に緩衝チェーンを設置し、上部工の流出を防止する構造とした。また、落橋防止構造も設置する必要があったため、維持管理の煩雑性回避やコスト縮減を考慮し、津波対策と落橋防止構造を兼用する構造とした。

キーワード：南海トラフ巨大地震，津波対策，浮力・波力，落橋防止システム

まえがき

2011年に宮城県沖で発生した東北地方太平洋沖地震により多くの橋梁で上部工、下部工、支承部等の各部における損傷が見られた。さらに、地震により発生した津波により、上部工の落橋流失等の甚大な被害が発生した橋梁も見られた。

近年、日本においては南海トラフ沿いで大規模な地震が発生することが懸念されており、本橋が位置する大阪市も津波による浸水被害の想定区域に含まれている。そこで、過年度設計業務により津波対策が必要と判定された橋梁に対して、上部工の流失を防止する対策工法の詳細設計を行った。

1. 検討概要

上部工形式：鋼床版鋼3径間連続ゲルバー-鈹桁橋
 下部工形式：逆T式橋台、RC単柱式橋脚
 基礎工形式：松杭基礎、鋼管杭基礎
 橋長：L=55.828m(15.914+24.0+15.914)
 幅員：B=16.8m

本橋は、**図-1**に示すような河川内に橋脚が位置する3径間の橋梁で、上下線に分かれており、上り線と下り線の間には鉄道橋が存在する。津波対策詳細設計として、津波による外力に対する抵抗力の照査を行い、抵抗力が不足する場合は対策工の設計を行う方針とした。また、本橋は中央径間がゲルバー桁となっているため、側径間の主桁とゲルバー桁それぞれに対して津波対策詳細設計を実施した。

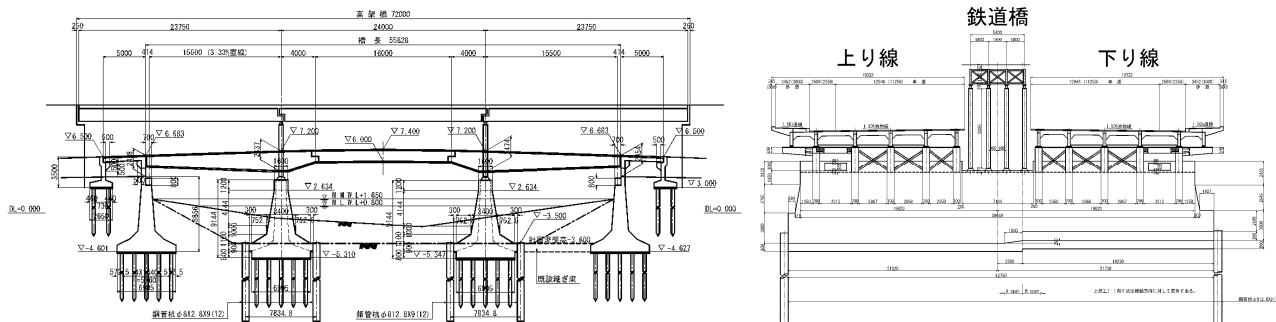


図-1. 橋梁側面図および断面図

2. 津波対策設計荷重の算出

津波対策工の詳細設計に使用する設計荷重は、津波により発生する外力から抵抗力を差し引いた力とした。津波による外力は①鉛直方向に作用する浮力と②水平方向に作用する波力の2種類を算出し、それぞれに対して設計を行うこととした。

2-1. 浮力に対する設計荷重

津波時の水位が主桁の下フランジ下面以上の場合、水位以下の上部工体積分の浮力が発生すると考えられる。また、上部工体積に加えて、**図-2**に示すように主桁間に空気塊が残ると考えられるため、空気塊の体積も含めて浮力を算出した。

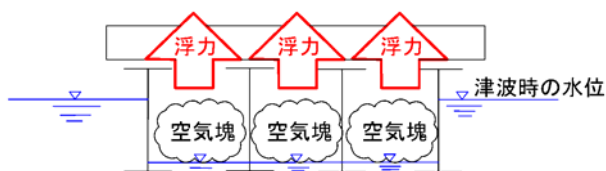


図-2. 浮力の考え方

また、浮力に対する抵抗力は上部工重量とした。その他にも支承の浮上り防止ストッパーや既設落橋防止システムによる抵抗等も考えられるが、本橋には上記の装置は存在しなかったため、考慮しなかった。

2-2. 波力に対する設計荷重

津波時の水位が主桁の下フランジ下面以上の場合、**図-3**に示すように下流側からの波圧による水平力が作用すると考えられる。

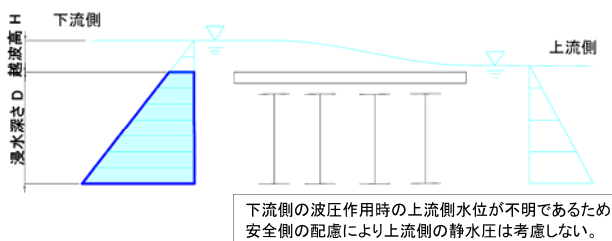


図-3. 波力の考え方

現在、橋梁に対する波圧の算出方法は明確に定められていない。そこで、本業務では土木学会から発行されている「津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書¹⁾」や国交省港湾局が策定した「防波

堤の耐津波設計ガイドライン²⁾」を参考に以下の3種類の算出方法により波圧の算出を行った。

①津波の流速Vにより算出する方法

「津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書」に示されている波圧の算出方法であり、桁断面(桁幅桁高比)より抗力係数 C_d を設定して津波作用力を算出する方法。

②谷本式により算出する方法

「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に記載されている波圧の算出方法であり、港湾構造物の設計において使用実績が多いが、橋梁に適用が可能かが明らかになっていない。

③模型実験に基づく津波高さによる式

模型実験により橋梁に作用する波圧と波高の関係式より算出する方法。「幸左」らによる模型実験結果を元にしており、「津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書」に示されている。

上記の①～③の方法で波圧を算出したところ、**表-1**に示す結果となった。

表-1. 波圧の算出結果

径間	算出方法①	算出方法②	算出方法③
A1-P1	97kN(1.00)	690kN(7.11)	915kN(9.43)
P1-P2	66kN(1.00)	480kN(7.27)	613kN(9.29)
P2-A2	93kN(1.00)	715kN(7.69)	978kN(10.52)

※()内の数値は①に対する比率を示す

ここで、算出方法①のみ波圧が小さいのは、算出方法②、③が津波の衝撃による波圧を考慮しているのに対して、算出方法①は衝撃による波圧を考慮していないためであると考えられる。河川内の橋梁については、防波堤等の港湾構造物のように衝撃による波圧が作用しないと考えられるため、波圧の算出は算出方法①により行うことが適切と考えられる。

また、波力に対する抵抗力は支承のサイドストッパーが考えられるが、本橋の既設支承はタイプA支承であり、レベル2地震が発生した段階で破壊されると考えられるため、抵抗力として見込まないこととした。既設落橋防止システムによる抵抗も考えられるが、前述のとおり本橋には設置されていなかったため、考慮しなかった。

3. 落橋防止システム

本業務では、津波対策詳細設計と併せて落橋防止システムの詳細設計も対象となっており、H24 道路橋示方書³⁾に準拠した落橋防止システムの設計を行った。

落橋防止システムの要否判定を行ったところ、A1, A2 橋台および P1, P2 橋脚側のゲルバーヒンジ部で桁かかり長の確保と落橋防止構造の設置が必要な結果となった。

なお、設計に使用する設計荷重について、縁端拡幅構造についてはH24 道示に準拠し、各支点における死荷重反力とした。落橋防止構造については、設置部の下部構造の水平耐力とし、死荷重反力の1.5倍(1.5 R_d)を最大値とすることが定められているが、A1, A2 橋台に関する既存資料が現存せず、下部構造の水平耐力が算出できなかったため、最大値の1.5 R_d を設計荷重として採用した。また、ゲルバーヒンジ部については上部構造同士の連結であるため、こちらも1.5 R_d を設計荷重とした。

4. 対策工法の選定

4-1. 橋台部の対策工法

A1, A2 橋台には津波対策と落橋防止対策(縁端拡幅構造、落橋防止構造の設置)を実施する必要がある。本業務では維持管理の煩雑性の回避や対策工のコスト縮減を考慮し、落橋防止システムと津波対策を兼用する構造を提案した。

津波対策工および落橋防止構造を兼用する構造として、鉛直方向の浮力、橋軸直角方向の波力、橋軸方向の地震力のいずれにも抵抗できる緩衝チェーンによる上下部工の連結を提案した。なお、本橋は橋梁下を船舶が航行する箇所であり、RC 逆 T 式橋台の橋座上に嵩上げのための鋼製受台が設置されており、鋼製受台の上に支承および上部構造が支持されている構造となっている(写真-1)。そのため、下部工側は鋼製受台に設置する構造とした。



写真-1. 橋台部構造

なお、津波対策工と落橋防止構造を兼用する構造については、津波による波力・浮力および落橋防止構造の設計荷重のそれぞれに対して照査を行い、満足する構造とした。

縁端拡幅構造については、鋼製受台に鋼製ブラケットを設置する案と鋼製受台を RC で巻立てる案が考えられたが、鋼製受台の支柱間に対傾構等があり、RC 巻立ての際の型枠が設置できないことから、鋼製ブラケットを設置する案を採用した。

橋台部対策工法の概略図を図-4 に示す。

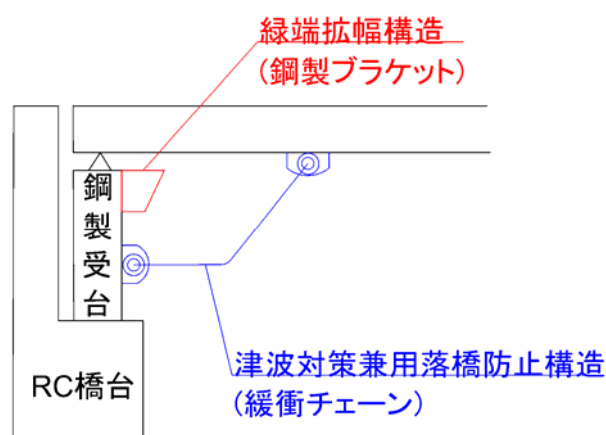


図-4. 橋台部対策工概略図

4-2. ゲルバーヒンジ部の対策工法

P1, P2 橋脚側のゲルバーヒンジ部には津波対策と落橋防止対策(縁端拡幅構造、落橋防止構造の設置)を実施する必要があり、橋台と同様に落橋防止システムと津波対策を兼用する構造を提案した。

ヒンジ部は多数の添架物があること、HWL から桁下までの高さに余裕があることから、桁下に対策工を設置する計画とした。縁端拡幅構造は橋脚側の主桁下フランジ下面に鋼製ブラケットを設置する構造とした。

津波対策工および落橋防止構造を兼用する構造は、橋脚側の主桁取付部の煩雑性を回避するために、緩衝チェーンによりゲルバー桁と縁端拡幅の鋼製ブラケットを連結する構造を採用した。なお、津波対策工と落橋防止構造を兼用する構造については、津波による波力・浮力および落橋防止構造の設計荷重のそれぞれに対して照査を行い、満足する構造とした。

ゲルバーヒンジ部対策工法の概略図を図-5 に示す。

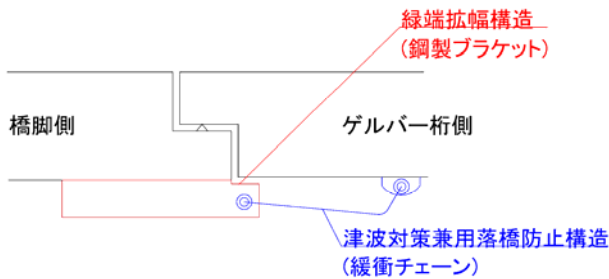


図-5. ゲルバーヒンジ部対策工概略図

5. 構造細目

5-1. 橋台部対策工の下部工側取付部

A1, A2 橋台の津波対策兼用落橋防止構造および縁端拡幅構造は前述のとおり、橋台部の鋼製受台に設置する計画とした。しかし、鋼製受台は中空構造となっており、高力ボルトで設置する場合、ボルトの締め付けが不可能となる。そこで、鋼製受台の外側からのみでもボルトの締め付けが可能なワンサイドボルトにより津波対策兼用落橋防止構造および縁端拡幅構造を設置する計画とした。

なお、ワンサイドボルトは通常のトルシアボルトや高力ボルトと比較して耐力が低いため、ワンサイドボルトの耐力を用いた設計計算により、取付部に発生する作用力に抵抗可能な本数を算出した。

5-2. ゲルバーヒンジ部の主桁補強

P1, P2 橋脚側のゲルバーヒンジ部に津波対策工を設置することにより、津波による波力が作用した際に主桁に想定外の面外曲げが作用し、座屈する恐れがある。そのため、面外の作用力に対する補強として、桁間に等辺山形鋼による補強横梁を設置する構造とした。

補強横梁の設計は波圧による曲げモーメントを算出し、それに抵抗しうる断面を有する等辺山形鋼を選定し、補強材とした。また、取付部も十分な耐力を有するよう、設計計算にてボルト本数を算出した。

5-3. 上部エリベット部へのブラケット設置

本橋はリベット橋であり、主桁の各部には既設のリベットが配置されている。津波対策兼用落橋防止構造を設置するに当たり、既設のリベットに干渉しないボルト配置を行った。また、リベットの上から取り付けるベースプレートには、リベット位置に孔明を行い、主桁面に取り付け可能

な加工を施すよう設計を行った。

6. まとめ

本業務において、津波対策として橋台部とゲルバーヒンジ部に対して詳細設計を実施した。本橋は落橋防止対策も必要な橋梁であったため、津波による浮力・波力への対策工と落橋防止における対策工を分離した構造とすると、取付部の構造が煩雑化し、維持管理が困難となると考えられたため、兼用した構造とした。また、兼用することにより、コスト削減の効果も期待できた。

あとがき

日本は地震が多いことに加えて周囲を海に囲まれた島国であり、沿岸部においては津波の危険性は常に考慮しなければならない。その中で上部工の落橋流失はインフラ確保の観点からも防止しなければならない重要な課題であるとする。

本業務を実施するにあたって、橋梁に対する津波対策設計についての手法が確立されておらず、特に波圧の算出方法については記述のある文献より、最適な算出方法を選定するよう心掛けた。

本業務では落橋防止システムの設置も必要な橋梁に対して、津波対策と落橋防止構造を兼用することで、構造の簡略化およびコスト削減を考慮した。今後、同様の橋梁の津波対策設計の参考事例となれば幸いである。

最後に、専門的な技術的指導ならびに業務遂行に関してバックアップして頂いた方々に深甚の謝意を表します。

参考文献 (または引用文献)

- 1) 土木学会：津波による橋梁構造物に及ぼす波力の評価に関する調査研究委員会報告書 2013. 11
- 2) 国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン H25. 9
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 H24. 3