

既設橋梁の耐震補強工について

親泊宏・比嘉徹・金城和成・○高安 慎也

株式会社ホープ設計 技術管理部 (〒902-0064 沖縄県那覇市寄宮 3 丁目 3-5)

キーワード: 動的解析、1点固定多点分散構造

1. はじめに

本橋梁は、厳しい塩害環境下に架設されており、竣工後 28 年が経過している。3 径間の単純鋼桁橋であり、橋長 77.1m、支間長 25.0m である。下部構造には、逆 T 式橋台、張出し梁を有する橋脚があり、基礎形式はいずれも杭基礎である(図-1 参照)。

平成 15 年に詳細調査(外観調査)を実施した所、既設の鋼製支承が腐食しており機能してない状況であった(写-1 参照)。また、段落し部を有する橋脚の復元設計を行い現行基準のレベル 2 地震時の耐震性能(地震時保有水平耐力)を照査したが満足していない結果となった。

本橋梁は、昭和 55 年以前よりも古い基準で設計が行われかつ迂回路がない場所に架設されているため、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム」(以下、3 プロと称す)の対象橋梁であり、応急対策として段落し部の補強と落橋を防ぐための落橋防止装置の設置が必要となる。しかし、本橋梁の支承が機能していないため、支承取替えのみ(支承条件変更を変更)で耐震性能 2 を確保することを設計方針として実施設計を行ったものである。

設計方針としては、落橋を防ぐために桁連結を行い、レベル 2 地震時に支承のみで抵抗するタイプ B 支承に取替えを行うものとした。

桁連結をしてかつタイプ B 支承を用いた場合、地震時に複雑な挙動となるため「H14 道示 V 耐震設計編」では動的解析を義務づけている。よって、本業務では動的解析を行い支承条件、各下部構造の耐震補強の有無を決定するものとした。

2. 動的解析条件及びモデル化

解析方向は橋軸方向と橋軸直角方向であり、各主要部材のモデル化として、上部工と橋台は線形モデル、橋脚のみ非線形モデルとした。また、各部材の減衰定数は、上部工 3% 橋台 5% 橋脚 2% 地盤(Ⅲ種地盤)30%とした。

橋脚の非線形モデルは、段落し部を有しているため、柱基部から柱天端まで M-φモデルとした。動的解析の際には、橋脚の非線形モデルによって応答値が大きく異なる場合があり各設計に影響するため、十分の注意を要する。橋脚の非線形モデルには 3 ケースある。

ケース 1 塑性ヒンジ部: M-θモデル 一般部: 線形モデル⇒道示 V 参考モデル

ケース 2 塑性ヒンジ部: M-θモデル 一般部: M-φモデル

ケース 3 基部から柱天端: M-φモデル

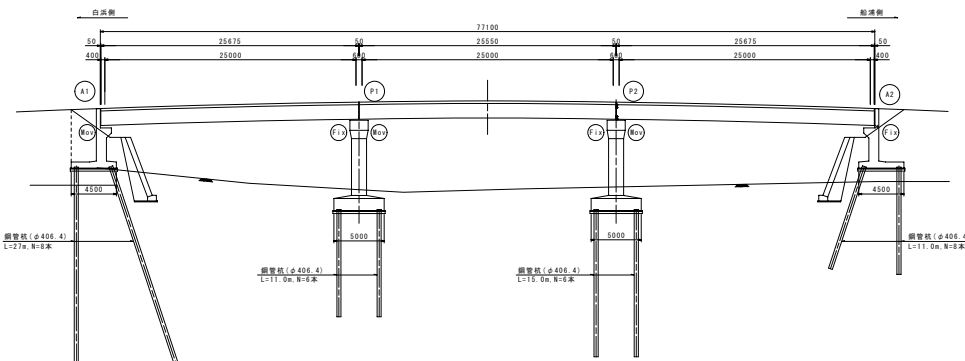


図-1 橋梁一般図



写-1 既設鋼製支承

ケース1・2は、確実に橋脚基部に塑性ヒンジが生じる場合に用いるモデルでありケース1の場合が比較的大きな応答値が発生する。どちらのモデルを採用するかは技術者の判断となる。また、ケース3は、変断面や段落し部がありどの部分が塑性化するか判断できない場合に用いるものである。既設橋梁の動的解析モデルの際には、ケース3を推奨する。また、本橋脚は段落し部先行破壊型であるため、レベル2地震時の照査においては、基部を降伏させずかつ段落し部も降伏させないことが条件となる。

動的解析の前に行う固有値解析は、サブスペース法を採用し、動的解析に用いる減衰はRayleigh減衰を用いるものとした。また、動的解析は時刻歴応答解析を採用した。

解析モデルを図-2に示す。前述した解析条件でモデルを作成し、遊間部には地震時の桁同士の間隙を表現する衝突パネ、橋台背面に受動土圧パネを設けて桁とパラペットの衝突を考慮した変移拘束効果を見込んだモデルとした(図-3参照)。また、支承条件は、全下部工分散支承、1点固定他点分散支承の2ケースを設定した。

動的解析に用いる地震波は、道示Vに定められているタイプI・IIのⅢ種地盤であり、地域別補正係数($G_z=0.70$)を考慮したものである(図-4参照)。本橋梁の動的解析を行った所、タイプII地震動で支承条件や各下部工の耐震補強有無が決定した。

3. 支承条件の検討

支承条件は、以下の設計方針に基づいて決定するものとする。

- ・ 大掛かりな仮締切りを必要とする橋脚の補強は避けるものとする。
- ・ 橋脚の剛性がかなり低いため、剛性の高い橋台に慣性力を集め、橋台を補強するものとする。
- ・ 橋台の補強は、経済性を考慮して片方の橋台を補強するものとする。

支承条件の1次選定として、静的解析を用いてレベル1地震時(橋軸方向)の検討を行った(表-1参照)。

全下部工に分散支承を用いた場合、橋脚の段落し部と橋台の背面鉄筋引張照査満足しないため、全下部工の補強が必要となる結果になった。そこで、片方の橋台に慣性力を集めることにより、橋脚を無補強とする方針で橋台に機能分離型支承を用いた解析を検討した。

検討した結果、片方の橋台補強のみが必要となることが明かとなった。次に、両橋台に機能分離型支承を用いることにより、慣性力を両橋台で分担して無補強とすることができるか否かの検討を行ったが不可能であった。片方の橋台に機能分離型支承を併用した分散構造は、施工性・経済性に劣る可能性が高いため、レベル2地震動においても固定条件を確保できるように固定治具を設けて、固定条件として他の下部工構造は分散支承を用いた1点固定多点分散構造を検討した。

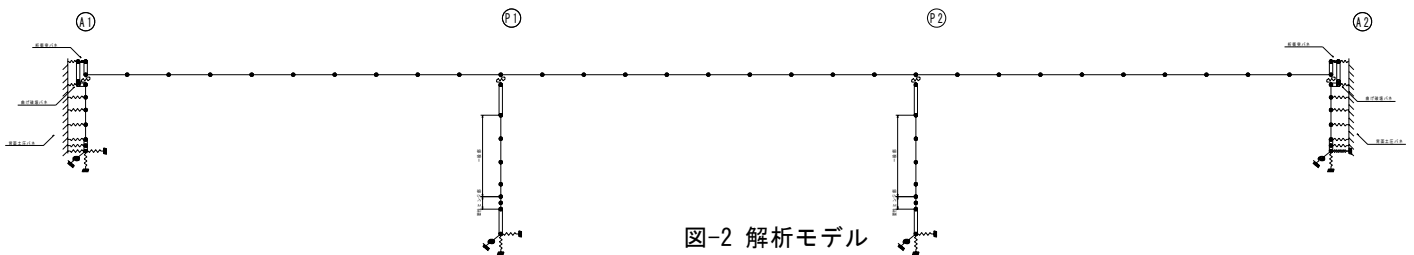


図-2 解析モデル

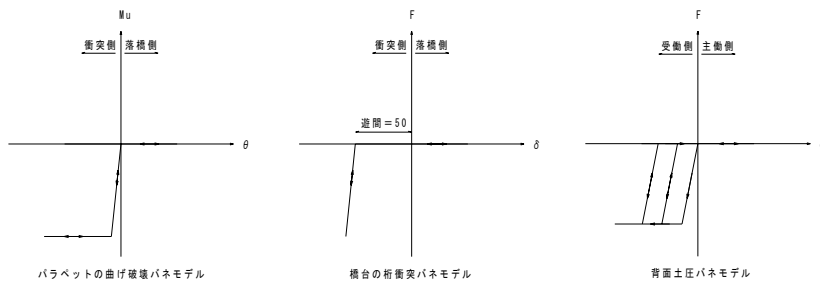


図-3 解析モデル詳細

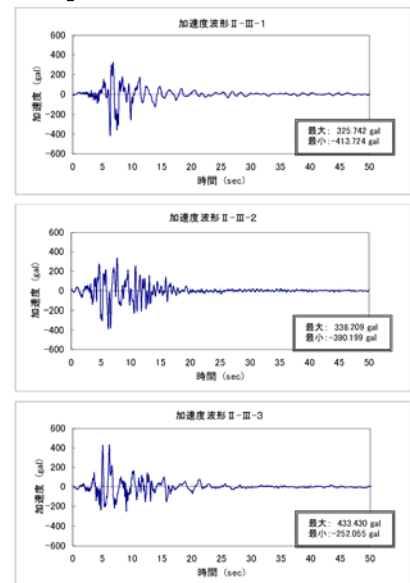


図-4 地域別補正係数を考慮した入力地震波形(ⅡⅢⅢ種地盤)

図-4 入力地震波

検討した結果、片方の橋台補強のみが必要となることが明かとなった。

以上の結果より、2次選定では、分散構造(分離機能型支承销併用)と1点固定多点分散構造で動的解析を用いたレベル2地震時(橋軸方向)の照査を行った(表-2参照)。レベル2地震時における橋脚の照査項目を以下に示す。

- ・ 曲率照査(線形内であることを照査)
- ・ 残留変移
- ・ 分散支承销のせん断ひずみ

分散構造(機能分離型支承销併用)を検討した結果、橋台の背面鉄筋引張照査が満足できなかつ橋脚の段落し部の応答曲率は許容曲率内に収めることが不可能であったため、橋台と橋脚の補強が必要となった。

次に、1点固定多点分散構造を検討した結果、片方の橋台のみ補強が必要となった。従って、橋軸方向の支承销条件は、1点固定多点分散構造を採用するものとした。

1点固定については、既設の支承销条件が固定でありかつ比較的地盤条件がよいA2橋台とした。

橋軸直角方向の支承销条件は、全下部工固定支承销として解析を行ったが、橋脚の段落し部の応答曲率が許容曲率を満足しない結果となった。そのため、橋脚のみ分散構造として検討を行った。その結果、橋軸直角方向においても橋脚を無補強とすることが可能となった。従って、橋軸直角方向の支承销条件は、2点固定2点分散構造を採用するものとした。

支承销条件を検討した結果、橋軸方向は1点固定多点分散構造、橋軸直角方向は2点固定2点分散構造とした場合、最も経済性・経済的に耐震性能2を確保することが可能であると判断した。

支承销条件検討結果(レベル1地震動-橋軸方向)

支承销条件(橋軸方向)	分散構造(機能分離型支承销併用)			1点固定多点分散	
支承销バネ値(kN/m)	A1 : 8910 P1 : 12710 P2 : 12710 A2 : 8910	A1 : 35000(機能分離) P1 : 15000 P2 : 17000 A2 : 8910	A1 : 8910 P1 : 15000 P2 : 18000 A2 : 33000(機能分離)	A1 : ∞ P1 : 12710 P2 : 12710 A2 : 3880	A1 : 3880 P1 : 12710 P2 : 12710 A2 : ∞
下部工の耐震性能照査	A1 : OUT P1 : OUT P2 : OUT A2 : OUT	A1 : OUT P1 : OK P2 : OK A2 : OK	A1 : OK P1 : OK P2 : OK A2 : OUT	A1 : OUT P1 : OK P2 : OK A2 : OK	A1 : OK P1 : OK P2 : OK A2 : OUT
照査判定図					
備考	全下部工の補強が必要。	A1橋台の補強が必要。 A2橋台を機能分離支承销にする。	A2橋台の補強が必要。 A1橋台を機能分離支承销にする。	A1橋台の補強が必要。	A2橋台の補強が必要。

支承销条件検討結果(レベル2地震時-橋軸方向)

支承销条件	分散構造(機能分離型併用)		1点固定多点分散	
支承销バネ値(kN/m)	A1 : 35000(機能分離) P1 : 15000 P2 : 17000 A2 : 8910	A1 : 8910 P1 : 15000 P2 : 18000 A2 : 33000(機能分離)	A1 : ∞ P1 : 12710 P2 : 12710 A2 : 3880	A1 : 3880 P1 : 12710 P2 : 12710 A2 : ∞
下部工の耐震性能照査	A1 : OK P1 : OK P2 : OK A2 : OUT	A1 : OUT P1 : OK P2 : OK A2 : OK	A1 : OUT P1 : OK P2 : OK A2 : OK	A1 : OK P1 : OK P2 : OK A2 : OUT
照査判定図				
備考	A1・P1・P2橋台の補強が必要。 A1橋台を機能分離支承销にする。	A2・P1・P2橋台の補強が必要。 A2橋台を機能分離支承销にする。	A1橋台の補強が必要。	A2橋台の補強が必要。

4. 検討結果

本橋梁は、当初のレベル1地震時における設計水平震度が0.14として設計されており、現行基準の0.21で照査した場合に5割増しの外力が作用するため、既設の支承条件では現行基準のレベル1を満足しない結果となった。よって、本業務では橋脚の負担重量を既設より低減する支承条件を検討する必要がある。

その結果、分散構造(機能分離型支承)と1点固定多点分散構造を採用することにより、現行基準のレベル1を満足することが可能となった。しかし、これらの支承条件によって橋台に約5割増の慣性力が集中するため、片方の橋台の補強は免れなかった。

次に、レベル1地震動において最小限の補強で済む支承条件にてレベル2地震動の照査を動的解析にて行った。その結果、橋軸方向においては、A2橋台を1点固定とした1点固定多点分散構造を採用した場合にA2橋台のみ補強が必要となった。本橋脚の橋軸方向の剛性はかなり低いため、単体でも段落し部の応答曲率が許容曲率を満足することが不可能であった。そこで、1点固定であるA2橋台と一体化された上部工の主たる振動系において、橋脚に分散支承を設けることで変移が減少した結果、許容値内に収めることが可能となった(図-5参照)。

また、橋軸直角方向においては、現在の支承条件である全下部工固定構造とした場合、連結された上部工の変移が大きいため、橋脚の応答曲率が許容曲率を満足することが不可能であった。そこで、本橋脚は単体では応答曲率が許容曲率を満足することが可能であったため、橋脚に分散支承を用いた2点固定2点分散構造で検討を行った。その結果、橋脚は許容値を満足することが可能となった(図-6参照)。

決定した支承条件で基礎の照査を行った所、レベル1地震動において安全率を考慮しない極限值を満足することは可能であるが、安全率を考慮した許容値を満足させることが可能となった。本橋梁の基礎工事をした場合、多大な費用が必要となるため、本業務では極限值を満足させることとした。

4. おわりに

- 1) 昭和55年以前の既設橋梁において、支承条件を変更することにより、耐震性能2を確保することが可能となった。
- 2) レベル1地震動において、当初と現行基準では設計水平震度が5割増しとなるため、橋台の補強が必要となった。また、基礎の照査においては許容値を満足しない結果となった。
- 3) レベル2地震動においても橋台の補強が必要となった。
- 4) 橋台の補強は、施工性を考慮して背面側の断面を250mm増加させかつD29@250の鉄筋を使用した。