
5. まとめおよびその他提言

5.1 損傷要因推定

損傷要因特推定のために実施した各調査および数値解析の結果の概要を以下に示す。

- ① 損傷した支圧板の破面観察の結果、ローラー接触面からのビーチマークが確認されていることから、大きな死荷重が作用している中で変動荷重の繰り返し作用により損傷したと考えられる。
- ② 設計当時は、疲労設計の実施が一般的ではなく、牛深ハイヤ大橋においても疲労設計は実施されていなかった。
- ③ 長大な橋であり鉛直荷重が非常に大きく、ローラーと支圧板の接触面ではこの荷重が繰り返し作用するため、時期を推定することは困難であるが、いずれ損傷が生じたものと考えられる。
- ④ 損傷した支圧板およびローラーの品質は、損傷した部材での調査の結果、支圧板の一部項目（伸び）は規格値を満足しない結果となっていたが、受入れ時検査ではすべて規格値を満足していたことが確認されており、材料のばらつきの範囲内であったと考えられる。
- ⑤ そういった中で、牛深ハイヤ大橋の構造の特殊性から日々変動する温度差により橋が変形しようとするのに支承が追従できず、支承には非常に大きな応力で発生し、これが日々繰り返す状況であった。
- ⑥ 以上のことから、長大で特殊な断面形状の曲線橋の橋桁が主として温度作用によって移動しようとする方向と支承の移動可能な方向の相違により拘束されて、支承部材内に生じた応力集中が繰り返し作用したことにより、他に事例のない損傷へ繋がったと考えられる。

5.2 恒久対策への助言

熊本県より恒久対策実施に対する方針が示されたため、熊本県の方針を踏まえたうえで、以下の提言を行った。

(1) 恒久対策方針に対する助言

- ① 温度変化に対して水平方向に拘束しないような支承構造とすること。
- ② 支承交換によって拘束条件を変更する場合、既設の上部、下部、基礎構造および新設の上下部接続構造（支承取付構造）に与える影響について留意すること。
- ③ 耐震設計において、レベル1地震動に対する応答も確認すること。
- ④ 温度変化、部材間温度差の作用によって橋梁全体が複雑な挙動を示すことが数値解析により明らかであり、これらに十分配慮すること。

(2) 支承構造に対する助言

- ① 既設部材が健全な状態であることを解析の前提としているのであれば、適切に点検を行い、損傷部に適切な対策を実施すること。
- ② 既設ジャッキ受台を利用した応急対策が可能であったこと、支承の損傷が生じたことで桁の転倒、落下が懸念されたことを踏まえ、フェールセーフ機能の確保を検討すること。

(3) 支承受付構造に対する助言

- ① 支承受換に伴う支承受付構造と上部構造への接合方法は、ボルト接合および溶接接合が考えられる。
- ② ボルト接合では、接合方法、原理に応じて要求される性能を満足できるか確認すること。
- ③ 支承受付構造に与える変動作用および偶発作用の影響は、数値解析を用いて確認すること。
- ④ 溶接接合では、疲労に関して可能な限り懸念を低減できる構造とすること。

5.3 支承受造変更に伴う維持管理の留意点

熊本県は恒久対策の方針として全方向水平の分散ゴム分散への取替（支承受造変更）を実施することとしたことから、維持管理に資することを目的として、施工中および施工後の状態の計測について定期点検時や地震後点検の提言を以下に示す。

- ① 本橋は長大で特殊な断面形状の曲線橋であり、常時の温度変化等で上部構造が複雑に挙動する。支承受造変更に伴い橋梁全体挙動が変化するため、支承受造変更後の挙動を確認すること。
- ② 上部構造等は、温度変化により絶えず変形しており、支承受を固定するタイミングにより、生じる応力状態が変化するため、ゴム支承受を据え付けるタイミングには留意するとともに、施工時の変形量を記録しておくこと。
- ③ ゴム支承受形状を事前に3次元計測し、内部応力や変形をモニタリングすること。
- ④ 地震後の緊急調査は、確実に近接目視を実施すること。

5.4 同じ構造を持つ橋梁について

同じ構造を有する橋梁に関しては以下のことを参考にしながら、今後の設計や維持管理に活用することを提言した。

- ① 本橋と同様な大規模な曲線橋で、支承受部を固定可動構造とする場合は、支承受の設置方向には十分留意する必要がある。支承受の可動方向と桁伸縮方向が不一致となる場合には拘束の影響を適切に考慮する必要がある。
- ② 牛深ハイヤ大橋は、長大で特殊な断面形状の曲線橋という特有の条件を持つ橋梁であるが、ローラー支承受の支圧板やローラーが弱点となる可能性があることが分かったため、今後、ローラーを有する支承受の定期点検を行う際は、カバープレートを外して支承受内部まで確認する必要がある。