

逆ローゼ桁橋における橋梁計画

株式会社エイト日本技術開発 ○ 上 原 一 真
株式会社エイト日本技術開発 今 西 修 久
株式会社エイト日本技術開発 笠 松 徹

論文要旨

本業務は、一級河川を横過する国道の急峻地形に計画された橋梁の詳細設計を実施したものである。上部工は上路式逆ローゼ桁橋（橋長 110m，アーチ支間 87.5m），下部工は逆 T 式橋台・壁式橋脚（直接基礎）であり，急峻地形における上路式アーチ橋の橋梁計画として，「補剛桁とアーチリブの一体化によるアーチライズの改善」，「曲線の道路線形に対応した構造計画」「急峻な谷地形に計画される下部工の配置計画」「アーチリブの変形や上揚力の発生を踏まえた支点条件の工夫」「積雪寒冷地における耐久性・耐腐食性の向上の細目」，などの検討を実施した。

キーワード：アーチ橋，逆ローゼ桁，アーチライズ，曲線，段差フォーミング，積雪寒冷地

まえがき

本業務の対象橋梁は，一級河川と交差する国道の道路改良事業に伴う橋梁の架け替えとして計画されたものである。計画にあたっては，架橋地が急峻な谷地形を跨ぐこと，架橋路線は地域で重要な観光路線でありながら迂回路が無いこと，積雪寒冷地であり冬季の降雪影響を受けること，などの制約を有する。このような背景のもと，支間長 100m 弱に対応可能な形式であるアーチ形式のうち，曲線を含む道路線形に対して適用性が高い上路式アーチ形式のうち，経済性に有利である形式として逆ローゼ桁形式が選定された。本論文では，対象橋梁の詳細設計における橋梁計画について報告する。

1. 対象橋梁

対象橋梁は橋長 110.0m，アーチ支間 87.5m の鋼上路式逆ローゼ桁橋である。構造諸元を表-1 に示す。

表-1 構造諸元

構造諸元	
橋長	110.000m
支間長	11.000m+97.000m（アーチ支間：87.500m）
全幅員	10.200m
縦断線形	i=8.000% ↘ ~ i=5.000% ↘
平面線形	R=160m ~ A=90m ~ R=∞
横断線形	i=6.000% ✓ ~ i=2.000%（拌み勾配）
上部工形式	鋼上路式逆ローゼ桁橋
床版形式	RC 床版
下部工形式	橋台：逆 T 式橋台 橋脚：壁式橋脚
基礎形式	直接基礎（段差フォーミング）
支持層	混在岩 CM 級 (Mms-CM)，混在岩 CH 級 (Mms-CH)

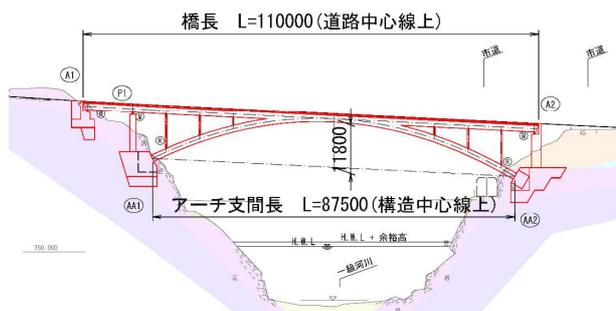


図-1 側面図

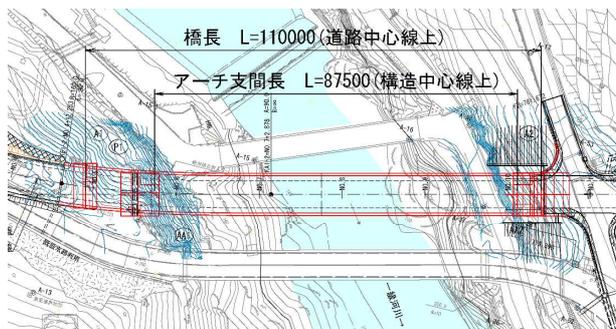


図-2 平面図

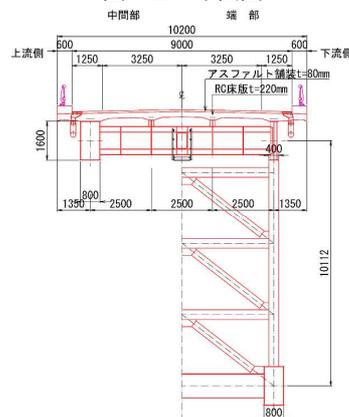


図-3 上部工断面図(アーチ部)

2. アーチライズの検討

(1) 検討手法

本橋梁の特性として、アーチ形式かつ曲線を有する橋梁のため、挙動が複雑なことが挙げられる。そのため、基本計画の橋梁一般図や概略設計計算書に基づき、図-4に示すような立体解析モデルを構築し、橋梁計画を実施した。

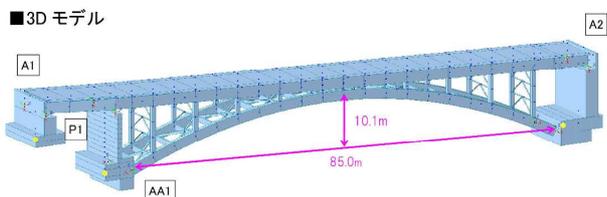


図-4 検討モデル図(諸元は基本計画時)

(2) アーチライズ設定の方向性

a) 検討概要

基本計画時での計画では、本橋梁のアーチライズは 10.1m であり、ライズ比(アーチ支間/アーチライズ)は $85.0/10.1 \approx 8.42$ である。鋼ローゼ桁橋のライズ比は最も経済的とされる 6 程度の実績が多いが、上路式の場合は地形条件の制約を受けるため、4 程度から 10 を超える範囲まで幅広く分布している。本橋梁はライズ比が大きい部類、すなわち扁平なアーチであることから、ライズ比の変化がアーチの断面力にどのような影響を与えるかを把握し、ライズ設定の方向性について検討した。

b) ライズ比変化の検討結果

検討においては、基本計画の諸元をもとに構築した立体解析モデルをもとに、図-5のように基本計画でのアーチライズを $\pm 0.5\text{m}$ ずつ変化させ、アーチ基部の死荷重断面力や L2 地震時の応力の変化を確認した。その結果を図-6に示す。扁平なアーチ橋における傾向として、ライズ比を小さくする(=アーチライズを大きくする)ことにより、死荷重断面力を小さくすることができ、L2 地震の発生応力も小さくすることが可能であると確認できた。本検討での最小ライズ比 7.73 (アーチライズ 11.0m) では、死荷重断面力は 1 割程度、L2 地震時応力は 0.5 割程度の減少となる。よって、扁平なアーチ橋のアーチライズ計画としては、地形条件に支配されるものの、可能な限りライズ比を小さくする(=アーチライズを大きくする)方向で構造計画を行うものとした。

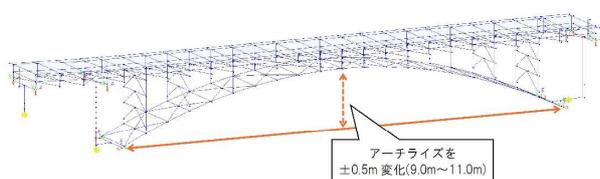


図-5 アーチライズ検討概要

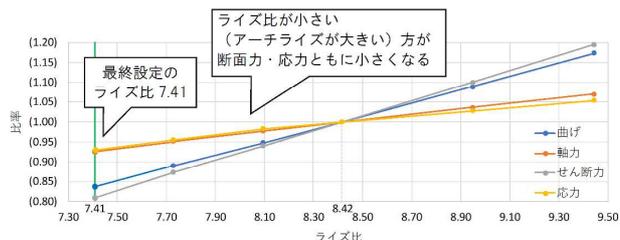
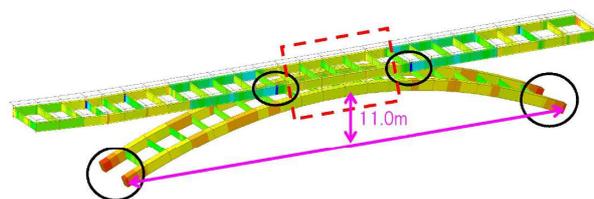


図-6 アーチライズ検討結果

(3) アーチライズ改善の工夫

扁平なアーチ橋におけるアーチライズを大きくする工夫として、アーチ頂部で補剛桁とアーチリブを一体構造とすることが挙げられる。本橋梁では、補剛桁とアーチリブを一体化することにより、ライズ比は 7.41 まで小さくなる。この構造について検討した結果、図-7に示すとおり、一体化していない構造に対し、一体化した構造は、L2 地震の発生応力について、高い応力度を示す濃色箇所が減少した。すなわち、ライズを大きくするために補剛桁とアーチリブを一体化することで、本橋梁で断面決定要因となる L2 地震時の応力状態を改善することができる。よって、補剛桁とアーチリブを一体化することとした。

【アーチ頂部での補剛桁とアーチリブ別体構造】



【アーチ頂部での補剛桁とアーチリブ一体構造】

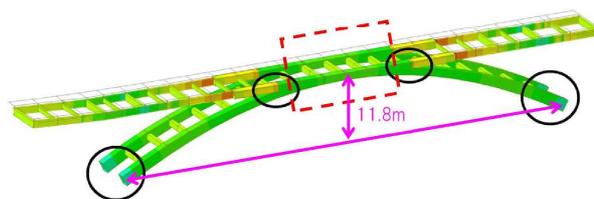


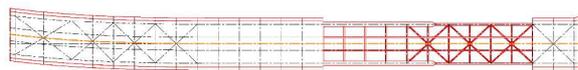
図-7 補剛桁とアーチリブの一体化検討結果

3. 曲線に対する構造計画

(1) 上部構造の計画

本橋梁の道路平面線形は、起点側に $A=90.0$ のクロソイド区間を有するため直線ではないが、本橋梁はアーチ形式であるため、アーチリブは道路平面線形における直線区間の方向に配置した。一方、補剛桁は、アーチ部材が路面下方に位置する上路式であるためアーチ部材に障害されずに配置がことから、床版支間を変化させないことを目的に、図-8のように道路線形に沿って曲線配置とし、クロソイドを含む道路線形に対応させた。

■補剛桁



■アーチリブ

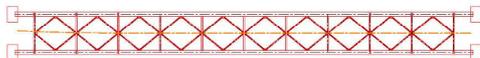


図-8 線形図

(2) 下部構造の計画

下部工のセット方向概要図を図-9に示す。前述したように、アーチリブは直線配置となるため、下部工の斜角は、道路平面線形の直線区間に位置する A2 橋台のセット方向を基準として、クロソイド区間に位置する AA1 橋台はこれと並行とした。また、補剛桁のみの区間の端部に位置する A1 橋台についても、橋梁全体の移動方向を統一するという考えから、A2 橋台と平行に配置した。

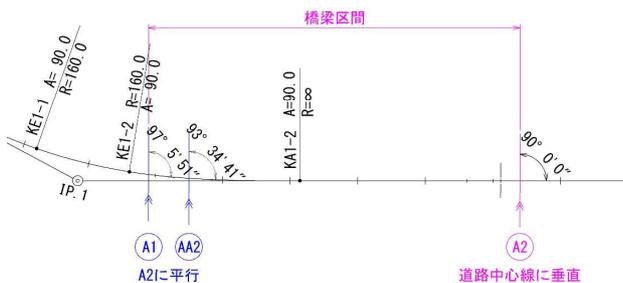


図-9 線形図(下部工セット方向)

4. 下部工の検討

(1) 検討概要

本橋梁の下部工は、急峻な谷地形の複雑な地形に設置される地形的制約のほか、施工条件として、隣接・交差する現道の交通を確保する必要がある。これらの条件を踏まえ、各下部工計画は以下の通りとした。

(2) A1 橋台

A1 橋台は、背面に隣接する現道に影響しない範囲で、極力後ろに下げた位置とした。橋台付近の地形は、図-10 のように前面側と左側の2方向に傾斜していることから、図中青丸で示す谷側の施工余裕幅 1.1m を確保しようとする、橋台を前出しするほど橋台高を高くする必要があったため、極力後ろに下げたほうが経済的となる。また、斜面上かつ岩が露呈する状況のため、掘削規模の縮小による現場作業の省力化の観点から、現道側である橋軸直角方向に段差フーチング(置き換え基礎)を採用し、橋台規模の縮小を図った。これにより、経済性に優れるほか、掘削範囲が小さくなったことで、施工時の現道交通を通常時と同様の2車線確保することができた。

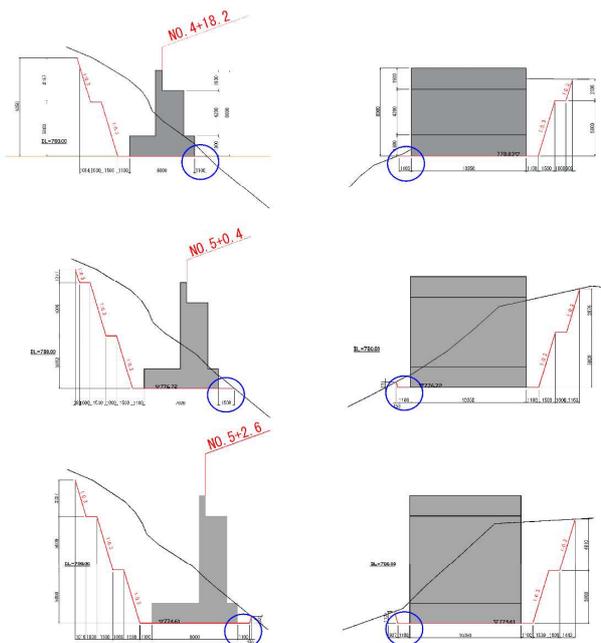


図-10 A1 橋台位置検討

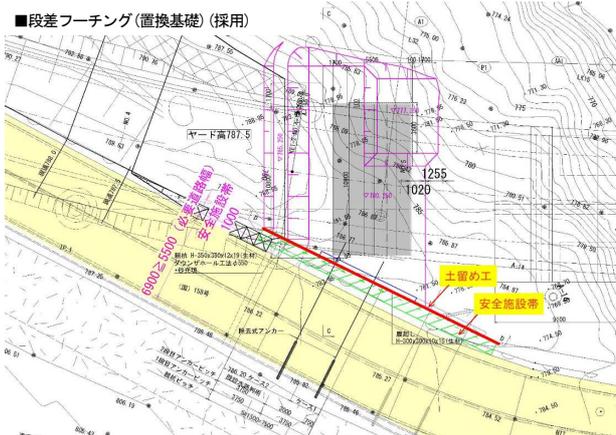
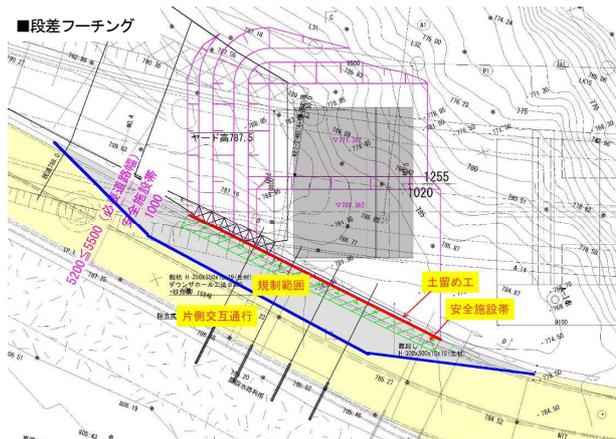


図-11 A1 橋台掘削範囲の検討

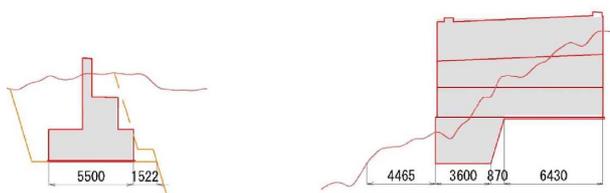


図-12 A1 橋台形状

(3) A2 橋台

A2 橋台は、図-13 に示す通り、前面に位置する市道に対し、施工影響範囲が干渉しない範囲で極力前に出した位置とした。これにより、アーチ支間の短縮に繋がり、ライズ比の縮小を図ることができた。また、斜面上の下部工における掘削・土留め工の規模の縮小の工夫として、勾配の厳しい橋軸方向に段差フーチングを採用した。

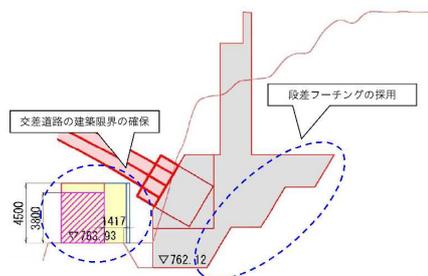


図-13 A2 橋台位置検討

(4) AA1 橋台

AA1 橋台は、図-14 の通り A2 橋台位置によって決定されるアーチライズによって位置が制約される条件下にて、前面に位置する市道に対して施工影響範囲が干渉しない範囲で考えられる位置のうち、上部工工費も含め経済性に優れた位置とした。また、斜面上の下部工における掘削・土留め工の規模の縮小の工夫として、現道側である橋軸直角方向に段差フーチングを採用し、掘削範囲の抑制を図った。

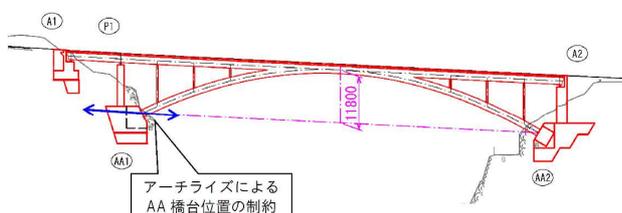


図-14 アーチライズによる AA1 橋台位置の制約

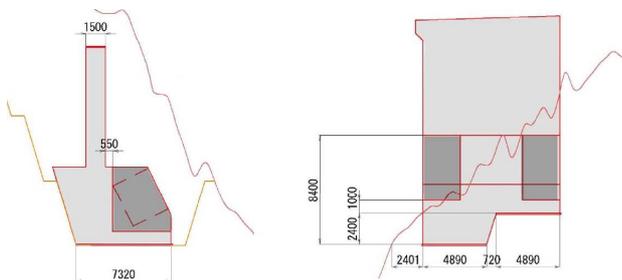


図-15 AA1 橋台形状

5. 支点条件の検討

(1) 検討概要

鋼上路ローゼ桁では L2 地震時の応力状況により、断面や支点条件が決定されることが多い。そのため、立体解析モデルにより、鋼上路ローゼ桁の応力発生状況を確認し、支点条件を検討した。基本計画時の支点条件を図-16 に示す。

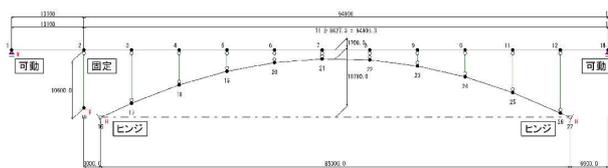


図-16 基本計画時の支点条件

(2) 応力発生状況と対応策

a) 応力発生状況の結果概要

変動作用支配状況の概算応力は、D+L+SW および D+EQ(L1 地震)のいずれのケースも、制限値を満足する結果であった。一方、偶発作用(D+EQ(L2 地震))においては、制限値を超過する部材がみられ、本橋梁の部材の多くは L2 地震時の断面力で決定されることが分かった。応力の発生状況を次項に示す。

b) 橋軸方向の応力発生状況

橋軸方向における概算応力は、図-17 の赤丸に示す補剛桁で高い応力が示され、制限値の超過が 15%程度みられた。このほか、補剛桁のアーチクラウン近傍や P1 橋脚上、アーチリブ端支柱部において制限値に近い応力が発生し、詳細設計における部材照査を行うと制限値超過の可能性が高い。橋軸方向で大きな応力が発生しているのは、図-18 に示す変形が生じている時で、アーチリブの大きな変形に伴い補剛桁が大きく変形していることによる。よって、アーチリブの変形を抑制する工夫が必要であった。

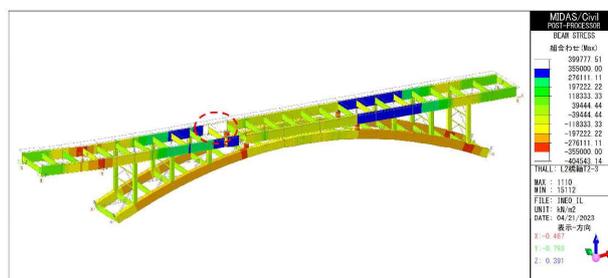


図-17 橋軸方向の応力発生状況

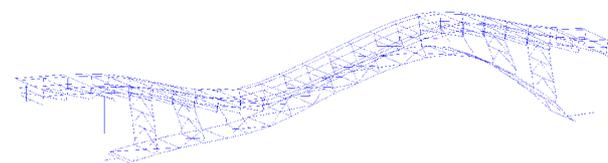


図-18 橋軸方向の変形状況

c) 橋軸直角方向の応力発生状況

橋軸直角方向における概算応力は、図-19 の赤丸に示す補剛桁・横桁・アーチリブ・鉛直材で制限値を超過し、特に横桁では制限値の 4 倍超の応力が発生しており、鋼材板厚の増加などでは対応できない応力である。このほか、橋軸方向と同様に制限値に近い応力が発生した部材があり、詳細設計にお

ける部材照査を行うと制限値超過の可能性が高い。直角方向で大きな応力が発生しているのは、図-20 に示す変形が生じている時で、アーチリブの大きな変形に伴い補剛桁が大きく変形していることによる。この大きな変形を A1 橋台・AA1 橋台の支承部と AA1 橋台・A2 橋台アーチ基部の直角方向固定支承で拘束しているため、この近傍の部材に力が集中する傾向がみられる。よって、直角方向の支承の固定条件の見直しとアーチリブの変形を抑制する工夫が必要であった。

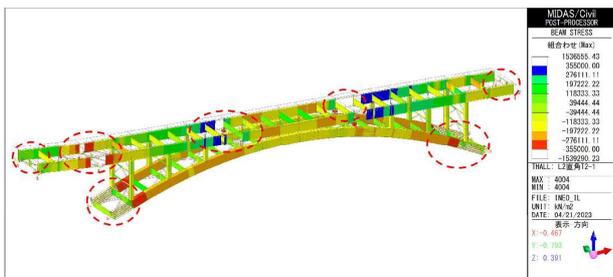


図-19 橋軸直角方向の応力発生状況

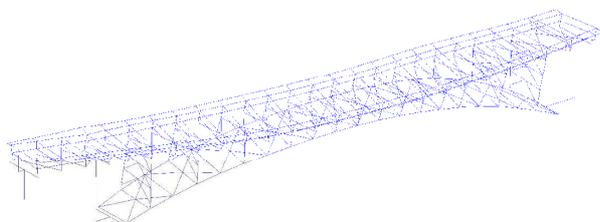


図-20 橋軸直角方向の変形状況

加えて、L2 地震時の直角方向では図-21 に示すとおり、支承に大きな上揚力が発生しており、支承単体での上揚力対策では対応が困難である。よって、上揚力への対応の観点からも、直角方向の支承の固定条件の見直しが必要であった。

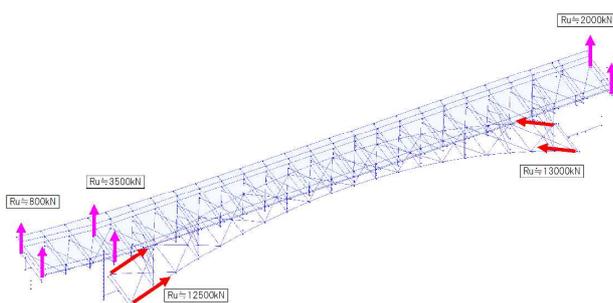


図-21 上揚力の発生箇所

d) 支点条件の改善

以上に示す基本計画時の形状諸元を基本とした構造検討の結果、本橋梁の部材の多くは L2 地震時の断面力で決定されることが分かった。これは一般的な上路アーチ橋の構造特性と一致している。ただし、本橋梁ではアーチライズ比が一般的な上路アーチの 6 に比べて 8.4 程度と小さいことから、ア

ーチリブの軸力が大きくなる傾向であった。また、L2 地震時の直角方向では、支承単体での上揚力対策では対応が困難であると考えられる大きな上揚力が発生した。これらを踏まえ、本橋梁の構造計画にあたっては以下の方針で検討を進めた。

- ・アーチリブ基部は、支承構造ではなくアーチアバットと剛結構造として、アーチリブ基部の変形を抑制するとともに上揚力に抵抗させる。
- ・支承の直角方向の固定条件は、L2 地震時に“固定”ではなく、上揚力を低減できるダンパー等の制震構造を用いて橋全体の応答を小さくする。
- ・AA1 橋台の橋軸方向の支承条件については固定を基本とするが、固定以外の弾性支持や可動について、橋全体の応答が小さくできる条件を検討する。

e) 支点条件の改善策

前述の方針に沿って、以下のように支承条件を変更し、トライアル計算を実施した。

- ・補剛桁の支承については、直角方向支承条件を L1 地震までは固定とし、L2 地震ではダンパーとする。
- ・アーチリブ基部の支承条件はアーチアバットと剛結とする。これにより、偶発作用における発生応力は、図-22 および図-23 に示すように橋軸・橋軸直角方向ともに制限値以内に改善された。また、L2 地震時におけるダンパーの応答履歴は制限値以内であることが確認できたため、補剛桁の直角方向支承条件はダンパーを併用した。

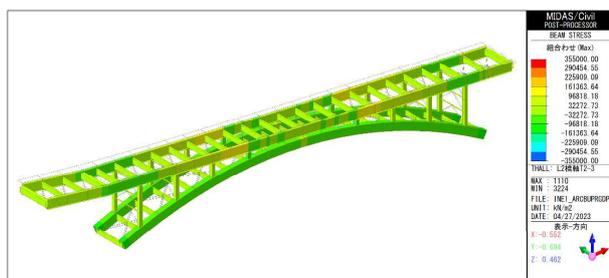


図-22 改善した支点条件による橋軸方向の応力発生状況

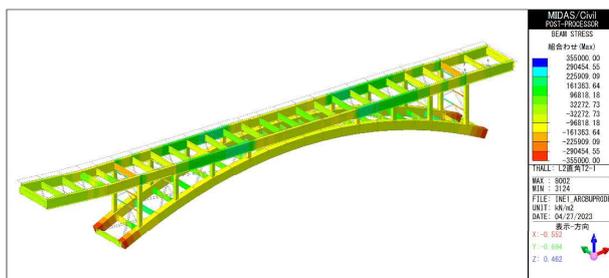


図-23 改善した支点条件による橋軸方向の応力発生状況

f) 本橋梁における支点条件の設定

以上の検討より、本橋梁の支点条件を表-2の通り設定した。
また、下記の支承固定条件を満たす制震ダンパー（鋼材せん断降伏系）を、各下部構造の上下部接合部に設置するものとした。

表-2 支点条件

支点位置	橋軸方向	橋軸直角方向	
A1	可動	固定(L1)	可動(L2)※ダンパー併用
AA1	可動	固定(L1)	可動(L2)※ダンパー併用
A2	可動	固定(L1)	可動(L2)※ダンパー併用
アーチ基部	剛結	剛結(L1)	剛結(L2)※ダンパー併用

※ここに、可動はゴム支承による弾性支持も含む

6. 耐久性向上の細目

(1) 検討概要

本橋梁が位置する地域は積雪寒冷地域であり凍害が懸念されるほか、冬季に凍結抑制剤が散布される路線であることから、塩害が懸念される。これらの条件下で、鋼部材の耐腐食性やコンクリートの耐久性を高めるため、以下に示す細目を計画した。

(2) 上部工鋼部材

鋼部材の防錆対策は、北陸地方整備局の設計要領を参考に、塗装仕様とした。これは、本橋梁の架橋環境にて耐候性鋼材を使用した場合、凍結防止剤を含んだ路面水の飛散や植物の繁茂、隣接するダムからの放流や河川水面からの水蒸気によって、鋼材表面に緻密な錆層が形成されず、近年の維持管理の知見から、防食方法としては適切ではないと考えられるためである。耐久性を向上させる工夫として、桁端部や添接部、主桁の下面における外面塗装は、下塗り塗装を1層多くすることで、より一層の防錆対策を施すものとした。

(3) RC床版・地覆

RC床版の材料細目は、東北地方整備局の手引きを参考とした。コンクリートのかぶり厚は死荷重低減の観点から通常の最小かぶりである30mmとしたが、表-3に示す水セメント比を小さくした密実なコンクリートを採用することで、耐久性の向上や凍害対策を図った。また、鉄筋の耐腐食性向上の工夫として、エポキシ樹脂塗料で塗装した鉄筋を採用した。

また、地覆についてもRC床版と同一の材料を採用することにより、塩害環境下に対応するものとした。

表-3 コンクリート材料

項目	内容	効果
配合	高炉セメントB種もしくはフライッシュ	密実化(耐久性)
水結合比	W/B=45%以下	乾燥収縮抑制
空気量	6.0%	凍害対策
膨張剤	あり	ひび割れ抑制

(4) 下部構造

下部構造は、道路橋示方書IV編に示される塩害対策区分I相当とみなし、最小純かぶりは90mm以上確保することで塩害への対策、水セメント比はW/C=50%以下として乾燥収縮の抑制を図った。

あとがき

本検討では、扁平なアーチ形式かつ曲線を有する橋梁に対する計画として、「補剛桁とアーチリブの一体化によるアーチライズの改善」、「曲線の道路線形に対応した構造計画」、「急峻な谷地形に計画される下部工の配置計画」、「アーチリブの変形や上揚力の発生を踏まえた支点条件の工夫」、「積雪寒冷地における耐久性・耐腐食性の向上の細目」を実施した。今後、同種の橋梁計画において参考できればと考える。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説I～V編, 日本道路協会, H29.11
- 2) 鋼橋構造詳細の手引き(改訂3版), 日本橋梁建設協会 R4.1
- 3) 東北地方におけるRC床版の耐久性確保の手引き, 国土交通省東北地方整備局, R3.6
- 4) 設計要領(道路編), 国土交通省北陸地方整備局, R4.4