

加茂跨道橋の設計と施工

川田建設 (株) 東京支店技術部 正会員 ○吉川 泰正
 (株) 長大 構造事業部 秋元 仁志
 川田建設 (株) 名古屋支店工事部 正会員 南 誠二
 川田建設 (株) 東京支店技術部 正会員 今井 平佳

1. はじめに

加茂跨道橋は三島市市道三島2号線の伊豆縦貫道との交差部に、現状道路の機能補償の目的で計画された跨道橋である。架橋地点付近の地形は、箱根火山外輪山の南西斜面の末端部に位置する丘陵地であり、構造形式の選定に当っては、観光道路である伊豆縦貫道を跨ぐ橋梁であることから、計画時に景観設計を実施した。景観設計の結果、橋梁背景の見通しの良い、鉛直材を用いない2ヒンジアーチ橋が選定されたが、本構造形式は日本において他に事例が無い。

本報告は、他に事例のない構造形式である本橋の設計手法および施工について紹介するものである。

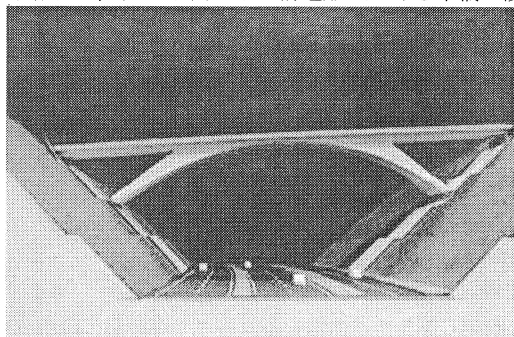


図-1 完成予想図

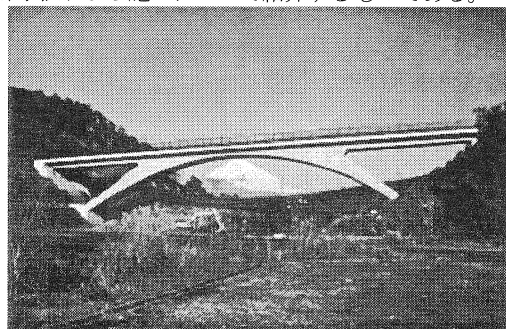


写真-1 現状写真

2. 工事概要

工 事 名：平成12年度伊豆縦貫加茂跨道橋工事
 工事期間：平成13年3月7日～平成14年5月17日
 工事場所：静岡県三島市加茂～沢地
 発 注 者：国土交通省中部地方整備局沼津工事事務所
 橋 長：100.0m
 支 間：アーチ支間 71.0m²
 橋 格：A活荷重
 一般図及び主要材料を表-1に示す。

3. 計画概要

本橋予備設計時における当初計画では、OV15号橋として、隣接するOV14号橋と共に現況市道の機能補償の2本の橋梁を計画していたが、詳細設計では経済性を考慮し2本を統合して1橋の橋梁で機能補償する計画に変更した。計画に当っては、2本の道路の高低差が大きいことから、統合した道路線形を予備設計時に設定した道路線形から変更した結果、特に約1%であった縦断線形が9%程度と急勾配となった。なお、構造形式は前述の通り景観検討の結果、コンクリート2ヒンジアーチ橋に決定された。

表-1 主要材料

| 区分 | 材料 | 仕様 | 単位 | 数量 | | |
|------|------|--------|---------------------|---------------------|----------------|-----|
| 下部工 | A1橋台 | コンクリート | 24N/mm ² | m ³ | 131 | |
| | | 鉄筋 | SD345 | t | 3 | |
| | A2橋台 | コンクリート | 24N/mm ² | m ³ | 112 | |
| | | 鉄筋 | SD345 | t | 5 | |
| | 深礎杭 | コンクリート | 24N/mm ² | m ³ | 57 | |
| | | 鉄筋 | SD345 | t | 9 | |
| | P1拱台 | コンクリート | 24N/mm ² | m ³ | 146 | |
| | | 鉄筋 | SD345 | t | 22 | |
| | P2拱台 | コンクリート | 24N/mm ² | m ³ | 146 | |
| | | 鉄筋 | SD345 | t | 22 | |
| | 上部工 | アーチリブ | コンクリート | 40N/mm ² | m ³ | 382 |
| | | | 鉄筋 | SD345 | t | 72 |
| 側径間部 | | コンクリート | 40N/mm ² | m ³ | 336 | |
| | | 鉄筋 | SD345 | t | 70 | |
| | | PC鋼材 | SWPR7B | t | 6 | |

アーチ支間は、約8.6%の縦断勾配がもたらす外観形状の違和感に対処可能なものに決定した。予備設計時に景観委員会で選択されたアーチライズ比は1:7であったが、縦断勾配の変更により1:6となった。

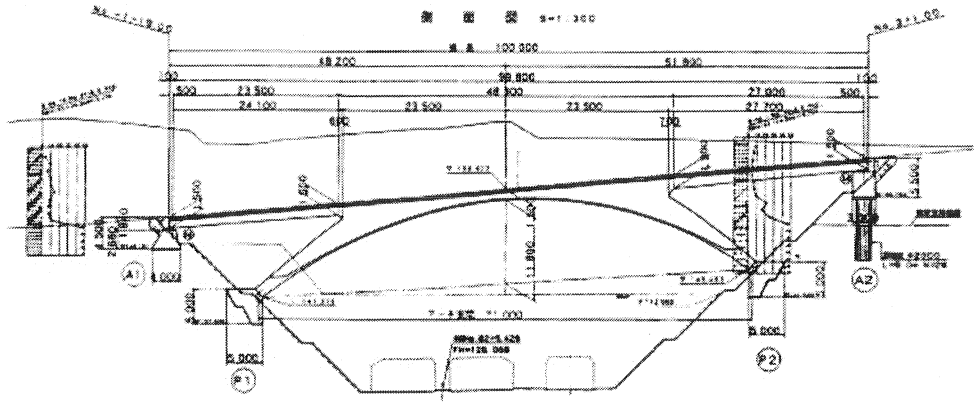


図-2 全体一般図

4. 景観設計

上記道路線形条件を踏まえ、予備設計にて設定されたアーチ部外観形状の印象を、可能な限り踏襲するため、再度景観検討を行った。急勾配の縦断による景観的な課題点として①アーチスプリング位置の設定によって、側面景観の印象が大きく異なる、②市道と本線道路が併走する広幅員区間であるために、橋梁下から見上げた場合に曲線部分が不自然に見える恐れがある、等が挙げられる。

上記景観的課題点を踏まえ、スプリングラインの設定案として下記3案を比較検討した。

第1案 スプリングラインを、水平に(本線道路と平行に)設定する。

第2案 スプリングラインを、縦断勾配と平行に設定する。

第3案 スプリングラインを、縦断勾配と平行に設定し擦りつけ曲線を非対称とし違和感を極力緩和させるように設定する。(1,2の折衷案)

経済性、施工性、構造特性(安定性)などについて比較検討を行った結果、各比較項目において優れ、加えて全体のシルエットの軽快さ、縦断勾配による不安定さを感じさせない第3案を選定した。

5. 構造設計

5.1 桁およびアーチの設計

本橋側径間部では桁をダブルT断面とすることで軽量化し、アーチ部に作用する集中荷重を極力軽減するようにした。また鉛直柱を設けないため、側径間にのみPC鋼材を配置してこの部分の支間に対応している。側径間を除いた残りのアーチ部分は全てRC構造である。しかしながら、このプレストレスは側径間に作用するだけでなく、アーチ部にも2次応力として作用している。この2次プレストレスの影響によって、死荷重時のアーチの曲げは大きく低減され、軸力が支配的な部材となっている。橋軸方向の構造はこのように側径間部の桁とアーチが協働して全体としてバランスされた一つの応力状態を作りだしている。また、橋軸直角方向ではアーチの幅を標準部5.5mから、メナーゼヒンジのある基部に向かって8.0mに広げて地震力に有利に抵抗する形状とした。

5.2 局部の設計

本橋はアーチ支間の1/4点付近でアーチリブとデッキが一体となった1室箱断面からダブルT断面のデッキ部とUトラフ断面のアーチリブ部に分岐した構造であり、曲げモーメントの伝達を行う接合部には形状保持(剛性確保)も考えトラス構造を採用した。

一般的なラーメン構造であれば、トラス理論を使用した簡略法を用いて構造解析を実施することが可能であるが、本橋の場合、側径間部とアーチ接合部の分岐部でアーチ軸線が急激に変化しており、軸力により2

次的な曲げモーメントが発生するなど、以下に示すような解析上の不明確な点がある。

- ① 側径間部の応力照査位置を、アーチとの接合部としていることの妥当性や分岐部における局部応力の発生状況などが明確ではない
- ② 分岐部にはデッキ構造からの軸力、せん断力、曲げモーメントが作用するが、これらは隔壁を介して1室箱断面部とUトラフ部に、剛性に応じて分配されるか明確でない
- ③ 分岐部付近の各着目断面における応力状態が明確でない

以上のことから、本橋の構造解析においては、棒部材の解析を目的とした単純な梁理論では、特に分岐部の応力状態を把握することは困難なため、立体FEM解析により分岐部の安全性を検証することとした。

FEM解析の結果から、①に関しては、設定した支点部付近の応力の流れから、境界条件の設定が正しいと判断された。鋭角接合部の局部応力は圧縮応力 12.7 N/mm^2 であり、許容値 14.0 N/mm^2 以下であることが確認できた。また、②に関しては、上床版からの各断面力が上スラブ隔壁を介しUトラフ断面へスムーズに伝達されていることが分かった。発生引張応力度は上スラブ隔壁で 0.40 N/mm^2 、下スラブ隔壁で 0.6 N/mm^2 、鉛直隔壁部で 0.95 N/mm^2 であり、許容値 1.5 N/mm^2 に対し十分な余裕を有していることが確認されたため、プレストレスを導入せず、引張に対して必要な補強鉄筋を配置することとした。更に③に関しても、応力の伝達はアーチ中央上スラブ→上スラブ隔壁→アーチ脚部→アーチウェブ→アーチ下スラブへと伝達されていることが分かった。

5. 3 耐震設計

地震に対する安全性の検討については、本橋の保有すべき耐震性能は、平成8年の道路橋示方書に示されている地震時保有耐力法の照査に用いる地震動に対して、橋梁を限定された損傷に留めることを目標とした。橋軸方向の地震動に対しては、アーチ部材の許容出来る損傷度合いを、タイプⅠ、タイプⅡのどちらの地震動に対しても鉄筋の降伏は許容するが、かぶりコンクリートは剥落しないこととした。

橋軸直角方向の地震動に対しては、アーチ基部の塑性化を許容塑性率以内に抑えた。

橋軸方向と橋軸直角方向の許容する損傷度が違う理由は、アーチの橋軸方向の支持条件と直角方向の支持条件の違いにある。橋軸方向の支持条件は2ヒンジアーチであり、アーチ基部の充実断面部には損傷が発生しない。損傷はアーチ部材が開断面となっているアーチ部材と桁の付け根付近であり、エネルギー吸収をあまり期待出来ない断面形状である。また、供用開始後は損傷箇所の修復が困難であるため、前述のように損傷度合を設定した。

一方、橋軸直角方向の支持条件は、アーチ基部固定であり、アーチ基部の無垢断面でエネルギー吸収が図れる構造となっているため、橋軸直角方向の地震動に対してはアーチ基部を塑性化させ、塑性率を前述のように設定した。

上記に示した損傷度合いとなるようなアーチ部材の配筋を非線形動的解析により検討した結果、アーチ部材の配筋は基部の無垢断面がD19ctc125、その他の部材がD22ctc125となった。決定した配筋状態をもとに、標準波形3波による非線形動的解析を再度行い、地震応答値が設定した許容値以内であるか照査した。

A1, A2橋台部では反力を受け、かつ水平方向の移動に対しても追従可能な積層ゴム支承を、P1, P2拱台部ではアーチ作用による反力を確実に支持しながら、温度等による橋軸方向の拘束断面力を解放するメナーゼヒンジ支承をそれぞれ採用した。メナーゼヒンジは耐久性を考慮し、エポキシ樹脂塗装異径PC鋼棒を用いている。なお、A1橋台部においては隅切部端横桁の張出し長が比較的大きいことから、自重によるクリープたわみを抑制するために、局部的にタイプAの補助支承を設けた。A1, A2部橋軸直角方向固定用アンカーバーは、大規模地震時においても解析上の固定条件が保たれるように設計した。

6. 施工概要

上部工は、アーチの1/4点付近でアーチリブとデッキが一体となった1室箱桁断面からダブルT断面のデッキ(PC部材)とUトラフ断面のアーチリブ(RC部材)に分岐した複雑な構造である。

施工順序は、アーチリブを分割施工した後にダブルT断面の側径間部を一括施工した。

6. 1 アーチリブの施工

アーチリブは全支保工工法とし、支保工型式はクサビ支柱式とした。ただし、アーチスプリング部については施工時に支保工に作用する水平力が大きいので、山留材による特殊支保工とした。本橋では、本線である伊豆縦貫自動車道の大規模な掘削を段階的に利用しながら固定支保工で施工することでアーチ架設の経済化を図った。支保工基礎は、十分な地耐力を有する軟岩であり、鋼矢板と覆工板を併設した。鉄筋、型枠の組立は、Uトラフ断面部および隔壁部において、部材が複雑なため、施工足場の組替えを繰り返す事により対応した。

アーチリブの主鉄筋 (D22) の継手方法は、ねじ式の機械継手としたが、アーチリブ形状で最終継手部は施工困難なため、圧着式グリップ継手方法を採用した。アーチリブは、複雑な断面形状のため、コンクリートの打設ロットを細分化するとともに透明型枠や透水シートを使用し、コンクリート表面の気泡やアバタの発生を防止し、表面の美観向上と耐久性の向上を図った。

6. 2 側径間部の施工

側径間部の支保工型式は梁支柱式とし、アーチリブを跨ぎ、地盤と拱台上に支保工基礎を設置し、支保工反力を支持した (写真-2)。型枠はアーチリブと同様に透明型枠を使用し、ダブルT断面の主桁部材のコンクリート充填状況を、黙視により確認しながら打設した。プレストレスの導入は、隔壁部への支点反力の伝達により、アーチリブへの偏載荷とならないように左右の側径間部を同時に緊張を行った。

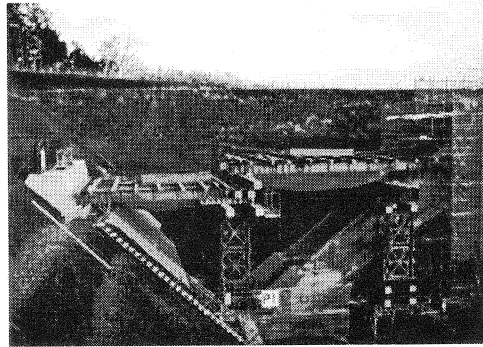


写真-2 側径間部支保工

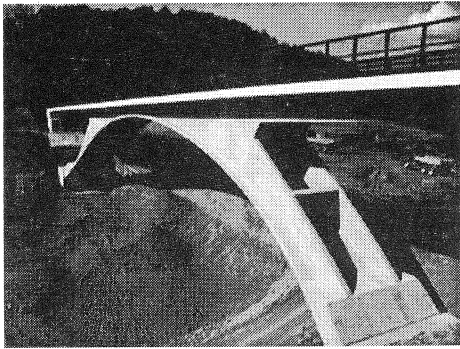


写真-3 Uトラフ断面

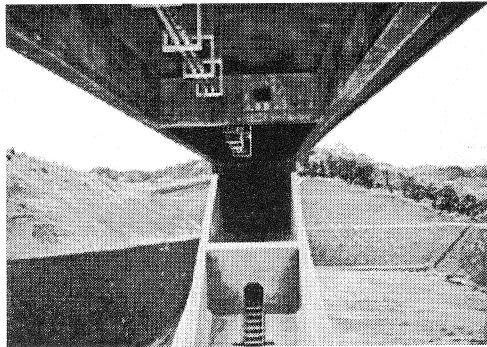


写真-4 アーチ分枝部

7. おわりに

MaillartがスイスでTavanasa橋(1905年)として始めた経済的なコンクリート3ヒンジアーチ構造の独特な形は、有名なSalginatobel橋(1930年)を経て、当時様々に変化を遂げていた。100年近くが経った現在、本橋において側径間をPC構造とし、アーチを2ヒンジとすることでその現代的な姿が表現されることとなった。本工事を無事完了させるために適切なご指導を頂いた国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所の皆様に感謝いたします。