

加茂跨道橋の設計と施工

Design and Construction of KAMO Bridge

南 誠二
Seiji MINAMI

川田建設㈱名古屋支店工事部
工事課課長

今井 平佳
Hirayoshi IMAI

川田建設㈱東京支店技術部
設計課課長

吉川 泰正
Taisei YOSHIKAWA

川田建設㈱東京支店技術部
設計課

本橋は、三島市市道三島2号線の伊豆縦貫道との交差点に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、伊豆縦貫道が切土掘削部となる位置に、現状道路の機能補償の目的で計画されている橋梁である。景観設計の結果、日本では他に事例のない構造形式である、鉛直材を用いない2ヒンジアーチが選定された。そのため、側径間は、支間長が長くPRC部材として設計されている。断面形状は、アーチクラウン部が箱桁断面をしており、アーチ支間の1/4点付近でT形断面の上部工とUトラフ断面のアーチ部に分割される。

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ことを目的とする。

キーワード：2ヒンジアーチ、景観設計、隔壁

1. はじめに

本橋予備設計における当初計画では、現況市道の機能補償として隣接する跨道橋を含めた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1本の橋梁で機能補償する計画に変更した。計画にあたっては、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、1%であった縦断線形が9%程度と急勾配となった。

A1橋台計画位置は、計画路面付近から岩盤層となっていることから、基礎形式は直接基礎である。したがって、軟岩を支持層とした斜面上の直接基礎として基礎幅の1/2の全面余裕幅を確保して橋台位置を決定した。

A2橋台計画位置付近は、計画路面より支持層となる火山礫凝灰岩までの深度が10 m程度であることから、基礎形式としては直接基礎、深礎杭基礎の両方が考えられたが、経済比較の結果、深礎杭基礎とした。

なお、構造形式は前述のとおり景観検討の結果、コン

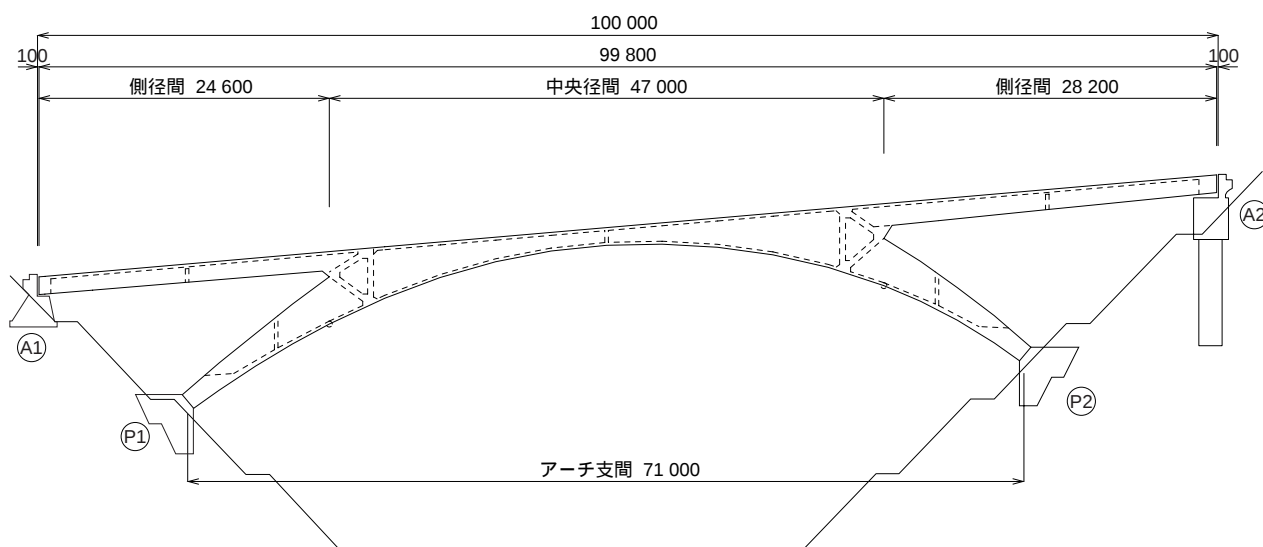


図1 一般図

クリート2ヒンジアーチ橋に決定した。

アーチ支間は、約9%の縦断線形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。

表1 加茂跨道橋の工事概要

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	100.0 m
支 間	アーチ支間 71.0 m
橋 格	A活荷重

2. 景観設計

前述した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、アーチスプリング位置の設定に



図2 完成予想図

表2 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	24 N/mm ²	m ³	131
		鉄筋	SD345	t	3
	A2橋台	コンクリート	24 N/mm ²	m ³	112
		鉄筋	SD345	t	5
	深礎杭	コンクリート	24 N/mm ²	m ³	57
		鉄筋	SD345	t	9
	P1拱台	コンクリート	24 N/mm ²	m ³	146
		鉄筋	SD345	t	22
	P2拱台	コンクリート	24 N/mm ²	m ³	146
		鉄筋	SD345	t	22
上部工	アーチリブ	コンクリート	40 N/mm ²	m ³	382
		鉄筋	SD345	t	72
	側径間部	コンクリート	40 N/mm ²	m ³	336
		鉄筋	SD345	t	70
		PC鋼材	SWPR7B 12S12.7	t	6

よって、側面景観の印象が大きく異なる、市道と本線道路が併走する広幅員な区間であるために、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、等が挙げられた。



写真1 全 景

表3 実施工程表

		平成13年												平成14年				
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5		
下部工	準 備 工																	
	床 堀 工																	
	A1橋台工																	
	A2橋台工																	
	P1拱台工																	
	P2拱台工																	
上部工	アーチリブ工																	
	側 径 間 工																	
	橋 面 工																	

上記の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の印象を極力緩和させるように設定する。

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。

3. 構造設計

(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(図3)。また鉛直材を設けないため、側径間のみPC鋼材を配置してこの部分の支間に対応している(図5)。側径間を除いた残りのアーチ部分はすべて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はなく、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。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。橋軸直角方向ではアーチの幅を標準部5.5 mから、メナーゼヒンジのある基部に向かって8.0 mに広げて地震力に有利に抵抗する形状とした(図4)。

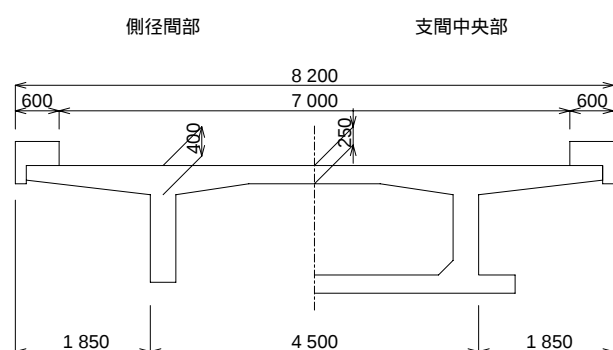


図3 上部工断面図

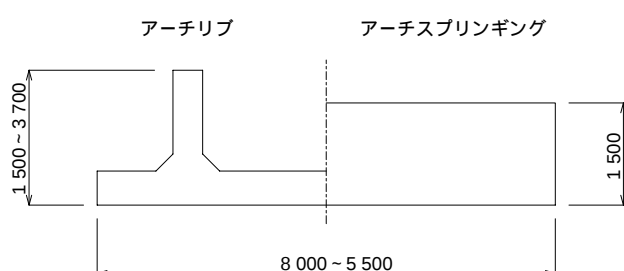


図4 アーチ部断面図

(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上床版が一体となった1室箱断面からダブルT断面の上床版部と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。

各径間部の応力照査位置を、アーチ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等が明確でない。

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、これらの隔壁を介して1室箱桁部とUトラフ部に、剛性に応じて分配されるか明確でない。

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。



写真2 Uトラフ断面

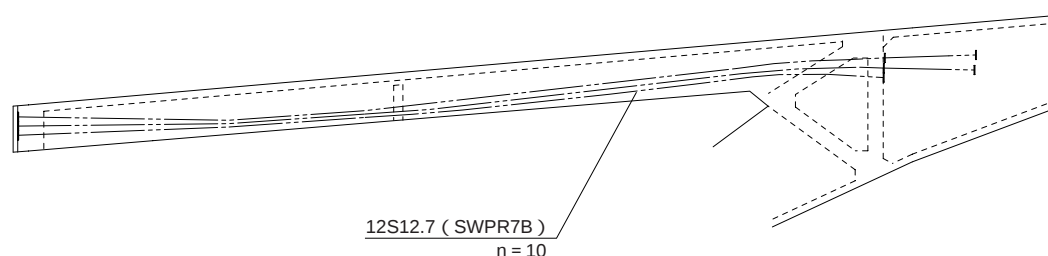


図5 PC鋼材配置図



写真3 アーチ分岐部

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わかった。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 0.60 N/mm^2 、鉛直隔壁部で 0.95 N/mm^2 であり、許容値 1.50 N/mm^2 に対し十分な余裕を有しているこ

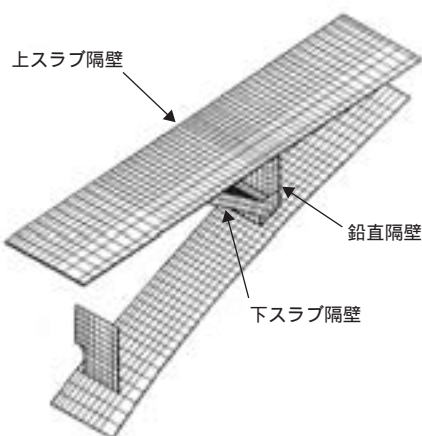


図6 FEM解析モデル

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。さらに関しても、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ることが分かった。

(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的とした。橋軸方向の地震動に対しては、アーチ部材の許容できる損傷度合いを、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、アーチ基部の無垢断面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でき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いを設定した。

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のである。

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形PC鋼棒を用いている。なお、A1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。

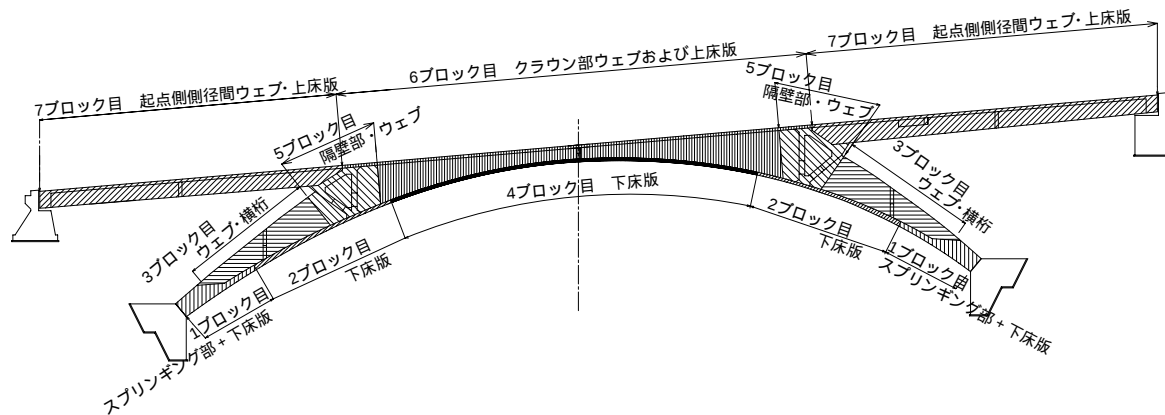


図7 コンクリート打設区分

4. 施工概要

上部工は、アーチ支間の1/4点付近でアーチリブと上床版が一体となった1室箱断面からダブルT断面の上床版（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。

（1）下部工の施工

橋台の構造形式は、A1橋台が直接基礎による重力式橋台であり、A2橋台が深礎杭による逆T式橋台である。基礎の掘削は、法面を片切り掘削する必要から仮設搬入路を設置し、バックホウによる機械掘削を行った。また、A2橋台の深礎杭の掘削は、施工基面が高所で作業スペースが狭く、機械搬入が困難なため、やぐらによる人力掘削とした。

拱台は、橋台の施工完了後、仮設搬入路を撤去し、大型ブレーカによる岩掘削を行い、直接基礎の支持地盤まで床堀りを行った。

基礎地盤は、火山礫凝灰岩の軟岩であり、平板載荷試験により地盤の地耐力を確認した。



写真4 メナーゼヒンジ（P2拱台）

拱台は、アーチ部材との節点がヒンジ構造であり、メナーゼ筋としてエポキシ樹脂塗装異形PC鋼棒を使用した。メナーゼ筋は、アーチリブからの反力を、拱台を介し地盤に確実に伝える重要な構造部分であり、密に配置された拱台鉄筋との取合いを確認し、据付けに細心の注意を払った。

（2）アーチリブの施工

アーチリブは全支保工工法とし、支保工形式はくさび支柱式とした。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ため、山留め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



写真5 スプリング部支保工

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、型枠の組み立ては、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、施工足場の組み替えを繰り返すことにより対応した。

アーチリブの主鉄筋（D22）の継手方法は、機械式のねじ節継手としたが、アーチリブ形状で最終継手部は施

工困難なため、圧着継手方式を採用した。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。

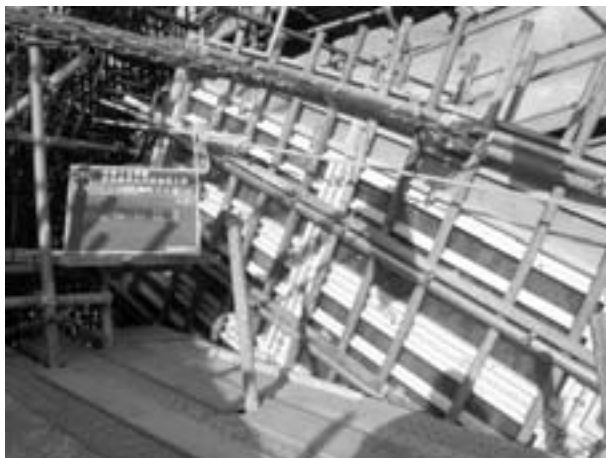


写真6 透明型枠

(3) 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。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、目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した。



写真7 側径間部支保工

5. 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橋を経て、当時様々に変化を遂げていた。100年近く経った現在、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シルエットが表現されることとなった。本工事を無事完了するために適切なご指導をいただいた国土交通省中部地方整備局沼津工事事務所の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) Brücken aus Stahlbeton und Spannbeton 1958.
- 2) Vom Holzsteg zum Weltmonument 1996.