

# プレキャストアーチ部材を活用した岩ヶ池「オアシス橋」の計画・設計

## The Planning and Design of Iwagaiké Oasis Bridge by using Precast Arch Segments

Umeda Shuichi\* 梅田 修市\* Nakano Satoshi\*\*\*\* 中野 聡\*\*\*\*  
 Ohira Tadashi\*\* 大平 正\*\* Rokugo Keietsu\*\*\*\*\* 六郷 恵哲\*\*\*\*\*  
 Zhang Feng\*\*\* 張 鋒\*\*\* Tanabe Tadaaki\*\*\*\*\* 田邊 忠顕\*\*\*\*\*

### 1. まえがき

オアシス橋は、主要地方道 名古屋岡崎線が農業用水池である岩ヶ池を横断する箇所に位置する、経済性、景観性などに優れた、プレキャスト部材を用いた連続アーチカルバート構造物である。この構造物は、第二東名高速道路の刈谷ハイウェイオアシス（岩ヶ池公園）の計画区域内にあり、公園内を通過する道路構造物として周囲の景観資源の一部となるべく、道路機能面以外に、景観面での整備効果も大きく期待されている。以下に、横断構造物の計画諸元を示す。

- 延長：L=84.0m（構造物延長）
- 幅員：W=13.15m（暫定二車線幅員）
- 構造形式：上部工 5連アーチカルバート構造  
 アーチライズ=7.0m, アーチスパン=14.0m
- 下部工 杭基礎（鋼管杭）
- 中詰め材：気泡モルタル（ $\gamma=6\text{kN/m}^3$ ）

### 2. オアシス橋が有するいくつかの特色

主要地方道において、連続アーチカルバート構造物を採用した実例が国内ではない。このことは、この種の構造物を設計するための基準類（例えば道路橋示方書という類）が確立されていないことを意味する。このような背景により、道路構造物としての安全性や耐震性能を確保するために、構造形式や設計手法、特に耐震設計の検討を詳細に行うことにより、連続アーチカルバート構造物としての妥当性を確認することが強く要求された。

以下に、これらの要件を満たしていく上でオアシス橋が有することとなったいくつかの特色を整理する。

#### 2-1 3ヶ年度にわたる技術検討委員会の開催

オアシス橋の計画・設計を行っていく上で、それらの妥当性を確認するために、3ヶ年度にわたりJCI※中部支部技術評価・支援機構による技術検討委員会を設立し、第三者機関を通して様々な技術支援を仰いだ。この委員会は、岐阜大学 六郷教授を委員長とした学術経験者9名と愛知県職員により構成されたものであり、年5回前後の開催により、計画・設計から施工・維持管理に至るまでのライフサイクルを対象とした検討が行われた<sup>1,2)</sup>。

以下に、各年度における委員会の検討内容と委員会構成メンバーを示す（表-1,2）。

※：JCIとは日本コンクリート工学協会の略名

表-1 JCI検討委員会での検討内容

平成14年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造形式の妥当性の検証</li> <li>・静的解析による耐震設計手法の確立</li> <li>・詳細設計に向けた留意事項の整理</li> </ul>
平成15年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・動的解析によるレベル2地震動に対する安全性の照査</li> <li>・アーチカルバート構造物の温度変化に対する考察</li> <li>・各部位の考え方の整理</li> <li>・施工における注意事項の整理</li> </ul>
平成16年度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・長期的視野での維持管理計画の策定</li> <li>・横断構造物の常時微動及び初期固有振動数の測定</li> <li>・横断構造物初期形状の計測</li> </ul>

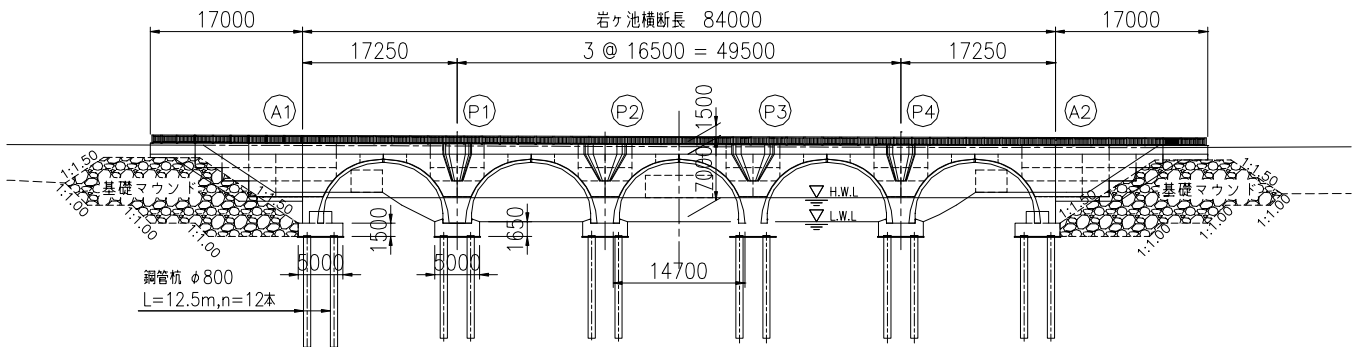


図-1 岩ヶ池横断構造物の形状図

\* 愛知県知立建設事務所 建設第一課 主任主査（当時）  
 \*\* 株式会社 創建 設計第2グループ  
 \*\*\* 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 助教授（当時）  
 \*\*\*\* 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 博士課程  
 \*\*\*\*\* 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 教授  
 \*\*\*\*\* JCI 中部支部技術評価・支援機構 理事（名古屋大学名誉教授）

キーワード：アーチカルバート、

表-2 J C I 検討委員会構成

委員長	六郷 恵哲	岐阜大学教授
委員	田辺 忠顕	技術評価支援機構理事、名古屋大学名誉教授
	澤田 義博	名古屋大学教授
	福和 伸夫	名古屋大学教授
	内田 裕市	岐阜大学助教授
	中村 光	名古屋大学助教授
	平澤 征夫	中部大学助教授
	張 鋒	岐阜大学助教授
	八嶋 厚	岐阜大学教授
愛知県側委員	小方 昭義	愛知県 知立建設事務所 建設第一課 課長
	梅田 修市	愛知県 知立建設事務所 建設第一課 主任主査
	河野 修平	愛知県 建設部道路建設課 主査
	宮林 和男	愛知県 建設部道路建設課 主査
	金井 真	愛知県 建設部道路建設課 主査
	村松 和哉	愛知県 知立建設事務所 建設第一課
オブザーバー	奥村 信彦	株式会社 近藤組
	菅内 寿幸	株式会社 創建
	大平 正	株式会社 創建
	中野 聡	岐阜大学
	内田 慎也	岐阜大学

※役職は委員会開催時点の立場を示す。

## 2-2 プレキャスト部材を用いた連続アーチ構造物

アーチカルバート構造物は、工場で作製したプレキャストアーチ部材を現場にて組立て、現場打ちもしくはプレキャスト化された側壁を設置後、アーチ内部に盛土を行う土工構造物である(写真-1)。通常は、写真のように本線のアンダーパスとして使用することが多く、今回のような橋梁的な使い方をする例は国内でもめずらしい。実際には、公園内や林道などでわずかに採用されたのみであり、重交通が予測される主要地方道などで採用された例は見ない。



写真-1 一般的なアーチカルバート構造物

このアーチカルバート構造物を採用することのメリットとして、以下の点を挙げるができる。

- ①アーチ部材を工場製作とするため、高品質かつ低コストの部材製作が可能となる
- ②プレキャスト化されたアーチ部材を現場にて組み立てることにより、工期の短縮が可能となる
- ③アーチ形状を効果的に生かすことにより、景観的な特長を有することが可能となる

## 2-3 アーチ部材と基礎、アーチ部材間の結合方法

工場製作によるプレキャストアーチの1エレメントは、輸送面などの制約により、長手方向に1/4円弧、奥行き方向に幅1.25mの部材となる(図-2の着色部分)。これらを、現場にて一枚板のアーチリブとなるべく、組み立て、結合させていく。

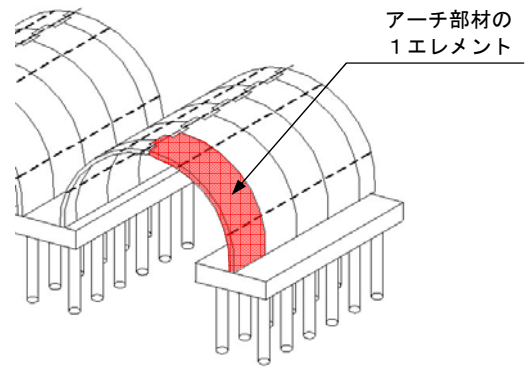


図-2 アーチ部材の概念図

構造物としては、アーチの頂部及び脚部節点を剛結として解析している。したがって、実際の構造物としても同等となる構造とすることが必要となる。そのために脚部および頂部は、以下に示す結合方法を採用し、基礎とアーチエレメント間および両アーチエレメント間の結合を強固なものとした。

アーチ脚部は、基礎フーチングに十分な根入れ長を持つH型鋼を建てこんだ後に溝型鋼による腹起しをわたし、腹起しとアーチリブを異形鉄筋にて結合させた(写真-2)。この部位は、後にコンクリートを打設することにより、基礎と結合のための鋼材、そしてアーチ部材とが一体化される。

またアーチ頂部は、突合せ先端部を凹凸形状とし、互いがしっかりと噛み合う鍵型構造とし、更に突合せ中心位置でPC鋼棒による横締めを行うことで、頂部の結合をより強固なものにした(写真-3、図-3)。



写真-2 脚部の結合方法



写真-3 頂部の結合方法

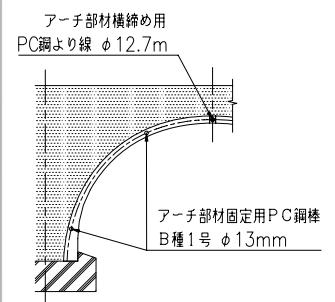


図-3 横締め位置

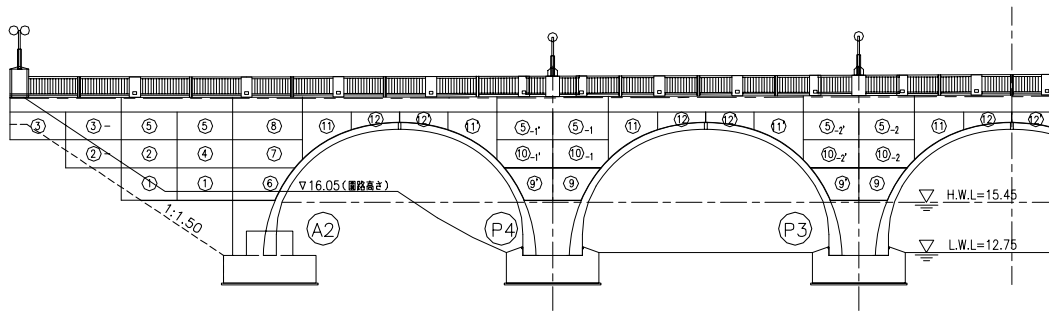


図-4 側壁のブロック割り



写真-4 工場での側壁ブロック

#### 2-4 施工工期短縮のための側壁のブロック化

名古屋岡崎線は刈谷ハイウェイオアシスへの一般道からのアクセス道路となることから、オアシスの開園と道路の開通時期とを一にしなければならないという社会的要請の中で進められてきた。したがって施工の工期短縮のために、側壁においても、ブロック割りしたものをあらかじめ工場で作成し現場にて組み立てるブロック化工法を採用した。ブロック割りは、製作のための鋼製型枠の数を最小限とするべく、ブロック形状を12タイプに抑え、これらの組合せにより全側壁面を構成している(図-4、写真-4)。

#### 2-5 アーチ中詰め材への気泡モルタルの採用

アーチリブと側壁で隔離されたアーチ内部へ充填する中詰め材は、構造物の自重を極力軽減するために、軽量盛土材である気泡モルタルを採用することとした。この気泡モルタルとは、セメント、水、細粒材からなる盛土材料であり、高流動性、充填性、軽量性、高強度盛土材などの特徴を持つものである。その性質は、発泡スチロールとコンクリートの中間的性状を持つ盛土材料と解釈できる。力学的特性としては、 $300\sim 3,000\text{kN/m}^2$  ( $3\sim 30\text{kgf/cm}^2$ )の一軸圧縮強度を有する良質の盛土材料である。

更に、車両の輪荷重による影響があると考えられる路床部においては、輪荷重の影響による微細クラックを軽減するために、PVA(ビニロン)繊維を用いた繊維補強気泡モルタルを、路盤下面から50cmの範囲で敷設した。なお、この材料の開発が契機となって、じん性の大きな繊維補強気泡モルタルが開発された<sup>3)</sup>。

#### 2-6 メンテナンス軽減を目指したコンポジット舗装

名古屋岡崎線は、将来の重交通が容易に予想される路線であり、かつ近年では、過積載車両の影響による路盤損傷が問題視されていた。オアシス橋においても、同様の問題が懸念されるために、供用後のメンテナンス性を考慮し、RC路盤上にアスファルトの表層を敷設するコンポジット舗装を採用することとした(図-5)。

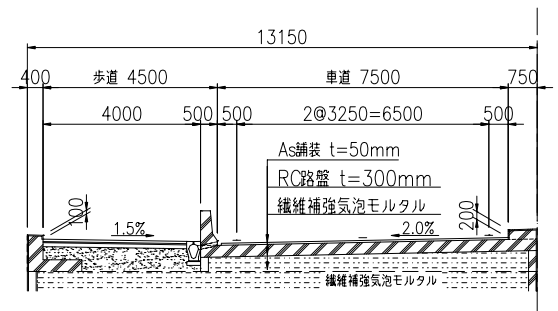


図-5 コンポジット舗装の断面図

更にこのRC路盤の下面には、前述した繊維補強気泡モルタルが層厚50cmの範囲で敷設してあるため、路盤・路床の損傷に対しては二重、三重の備えをしてあると言ってよい。また現在の表層は密粒アスファルト舗装であるが、将来的には、排水性舗装へと打ち替えられる可能性も考慮し、舗装端部の水処理にも細心の注意を払っている。

これらの複数の方策を施したことにより、将来的な路面のメンテナンスは、轍掘れによる表層のオーバーレイ程度で抑えられるのではないかと考える。

#### 2-7 橋台の側方移動を抑制する基礎マウンド

オアシス橋は、通常の橋梁設計の考え方に準じ、地盤を水平および鉛直バネとしてのみ評価し、地震時における背面の土圧を無視する構造解析モデルを用いている(図-6)。このことにより、構造解析モデルと実際の構造物との乖離を防ぐことを目的として、橋台背面の側方移動を防ぐ基礎マウンド(ズリ石による巨大な重石のようなもの)を設置することとした。

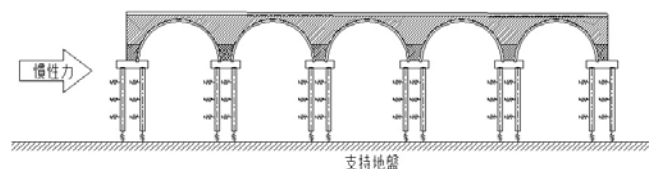


図-6 オアシス橋の構造解析モデル

この基礎マウンドは、橋台の側方移動を防ぐ重石の役割を果たすとともに、橋台背面から受ける地震時土圧を一身に受け、構造物本体へは伝達せず下層の地盤へ受け流す効果を期待している（図-7）. それと同時に、東海環状道路の建設に伴って大量発生しているズリ石を有効活用することにより、建設廃棄物の減量化にも寄与することを狙ってのことでもある。

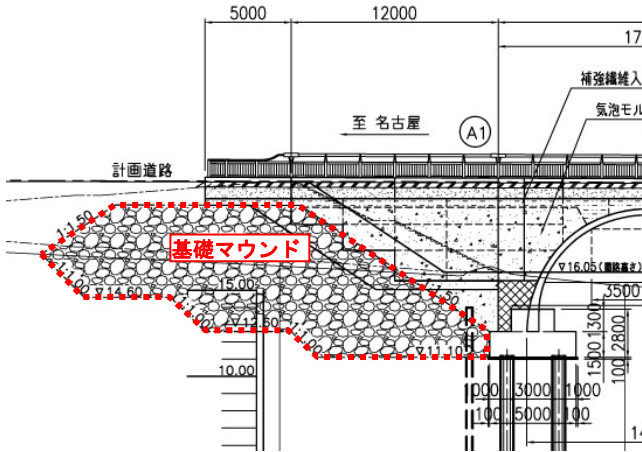


図-7 基礎マウンドの形状図

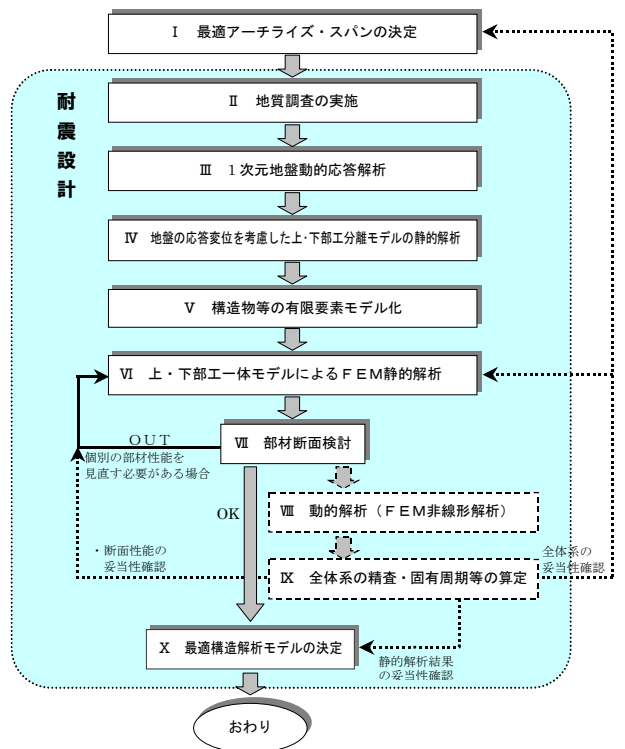


図-8 耐震設計フロー

### 3. オアシス橋の耐震設計

#### 3-1 耐震設計の考え方

オアシス橋は、主要地方道としての安全性の確保を鑑み、道路橋示方書によるB種橋と同等以上の耐震性能を有する構造物として設計を行うこととした。具体的には、名古屋岡崎線が幹線道路網の一端を担う重要な路線であることから、地震による損傷を限定的なものとし、道路としての機能の回復が速やかに行える耐震性能2の確保を目標とする。

耐震設計は、図-8の耐震設計フローにしたがって行った。また、耐震設計を行う上で、応答解析に用いるレベル2地震動の地震波は、以下の2つの波形を用いることとした。

##### ①タイプI地震動（プレート境界型の大規模な地震）

：本構造物が設置される地域は、東南海地震対策の強化地域であることから、岩ヶ池のジャストポイントでの東南海波予測波形を使用

##### ②タイプII地震動（神戸波のような内陸直下型）

：道路橋示方書による「内陸型サンプル波形①」を使用

#### 3-2 静的解析での安全性の照査

静的解析による照査は、以下の手順で行った。

**Step1:** 1次元地盤動的応答解析を行い、地震波による地盤の応答加速度を算出した。その結果、東南海波=395gal (0.4G)、神戸波=922gal (0.9G)との値を得る。

**Step2:** 上・下部工一体モデルによる FEM 静的解析を行った。構造モデルに与える地震時の慣性力は東南海波=0.4G、神戸波=0.9Gとした。この解析結果を用いて、主要部材（アーチ部材、杭部材など）の断面設定を行っている。（図-9, 10）

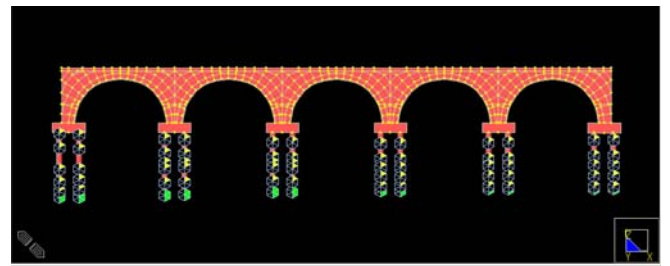


図-9 有限要素モデル

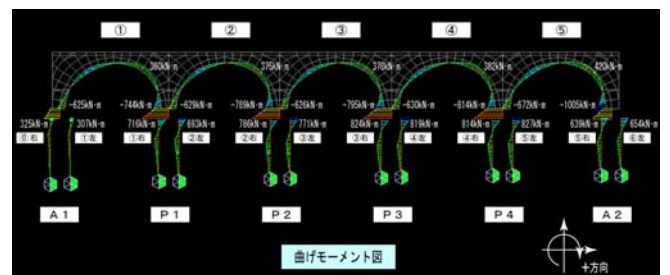


図-10 曲げモーメント図

**Step3:** 基礎部のみを取り出し、杭の非線形解析（プッシュオーバー解析）を行った。これにより、杭頭の塑性域での安全性を照査した（図-11, 12）。

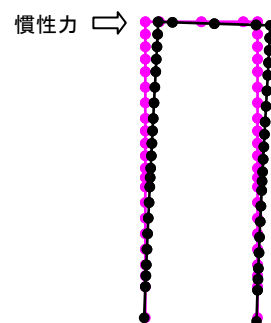


図-11 応答変位時変形図

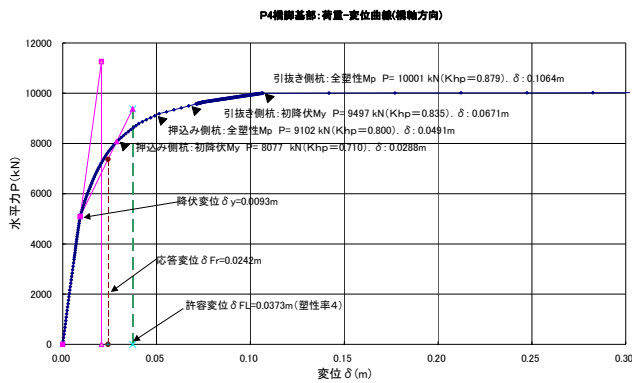


図-12 橋脚基礎の  $p - \delta$  曲線

アーチ部材は、落橋の恐れのないよう、FEM 静的解析結果に対して弾性域内でおさまる部材断面とすることとした。その結果、アーチ付根部では部材厚 70cm，アーチ頂部では部材厚 35cm の変断面とすることとなった。

これに対し杭部材においては、仮に断面を弾性域内に収めるためには、S C 杭などの高強度の杭を使用することが前提となる。しかし、杭頭部は全体構造系において最も断面力が発生する部位であり、設計を行う上では杭頭部を主たる塑性化を考慮する部材（非線形性を考慮する部材）として取り扱うことが、安全性を満たした上で経済性においても寄与できると考えた。

したがって、杭断面は FEM 静的解析結果に対してほぼ降伏強度内で収まる断面に設定した上で、非線形性を考慮したプッシュオーバー解析による塑性域での照査を行い、レベル 2 地震動における安全性を確認することとした。

その結果、杭部材は、鋼管杭  $\phi 800\text{mm}$ ， $t=14\text{mm}$ （SKK490）の経済性を確保できる断面でおさめることができた。

### 3-3 動的解析（時刻歴弾塑性動的解析）での安全性の照査

道路橋示方書では、構造物の耐震性能を照査するにあたり、対象構造物の地震時の挙動が明らかでない場合は、動的解析を行うことが望ましいとされている。オアシス橋においても、アーチチカルバートが連続する構造であり、構造系の地震挙動が明確でない場合と考えられるため、2次元 FEM モデルに基づく非線形性を考慮した動的解析を行うことで、静的な解析結果を検証することにした。

以下に、時刻歴弾塑性動的解析に用いた有限要素モデルを示す（図-13）。なおこの解析では、より現実に即した構造モデルとするために、周辺地盤の影響も併せて考慮し、任意の範囲で地盤のモデル化も行うこととした。解析に用いる地震波は、神戸波とした。

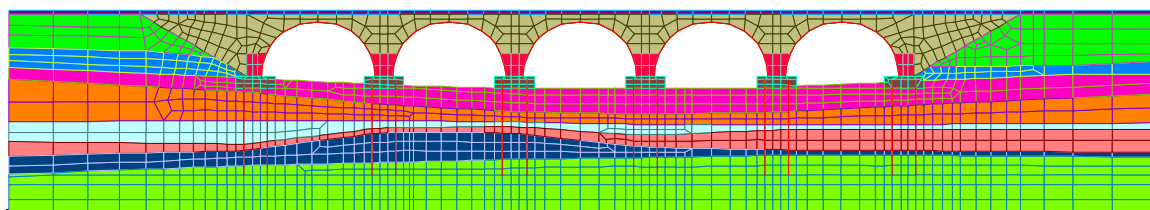


図-13 動的解析の有限要素モデル

この動的解析の結果、アーチ部の部材断面力はすべて弾性領域内にあり、橋梁全体系の耐震性能には支障がないと思われることが確認できた（図-14，15）。

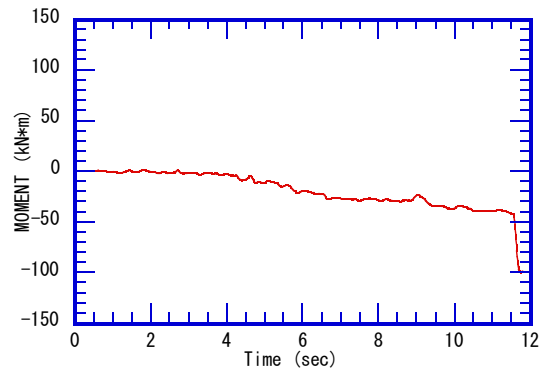


図-14 アーチ基部の時刻歴曲げモーメント

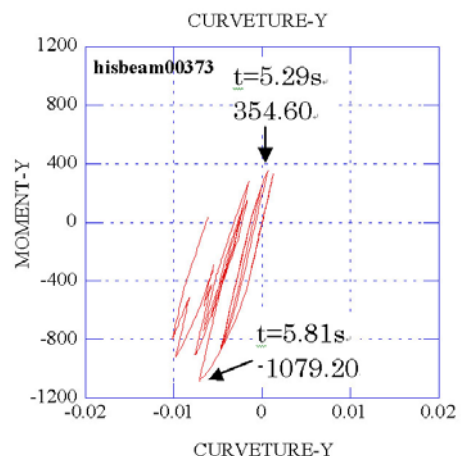


図-15 杭の曲げモーメント・局率関係図

静的解析と動的解析の曲げモーメント結果を比較すると、アーチ脚部では静的解析結果に対して動的解析結果が約 1/10 に減少するのに対して、杭頭部では約 2 倍にまで増加していた。このような結果となった理由としては、動的解析モデルでは地盤もモデル化したため、剛性の低い地盤のほうが構造物よりも先に塑性化したことが考えられる（図-16 の地盤の赤や青の部分など）。この影響により、杭頭部が露出した杭と同じような状態となり、周囲を抑える地盤がない分、杭の断面力が増大したと思われる。また、アーチ脚部の断面力の減少については、動的解析ではアーチ部材も非線形部材として扱ったために大きな減衰効果が示されたのではないかと推測できる。

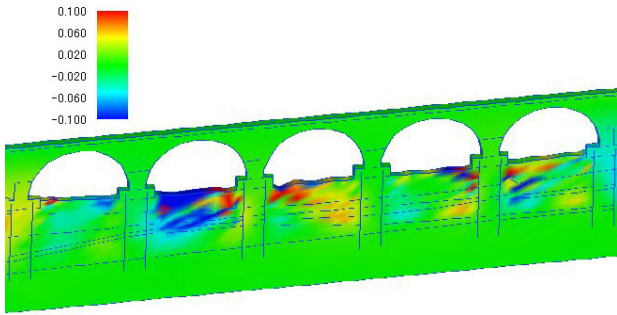


図-16 11秒時の水平変位図

#### 4. 景観設計

オアシス橋は、刈谷ハイウェイオアシス内の重要な景観資源としても位置付けられることから、景観整備に対する十分な配慮がなされている。この整備は、愛知県と刈谷市との協働により行われたものである。

プレキャスト製の側壁ブロックには、工場製作時に、エイジングデザイン(年を上手に重ねていくためのデザイン)に配慮したあらかじめ焼きむらのあるタイルを打込み、ファサードの表情を豊かにしている。また、アーチセグメント、側壁ブロック、場所打ち地覆など異なる構造の組合せにより成り立つ形をデザイン要素に取り込み、それぞれの部位を可視化させるために、タイル色の違いによるモザイク模様を強調することとした。(写真-5)



写真-5 ファサードの表情

カラフルなモザイク的デザインとした理由には、商業的集客を目的としたオアシス内の施設デザインとの整合性に配慮したこともある。

オアシス橋の歩道は、将来的にはオアシス内の園路を兼ねることから、非日常的な歩行空間の演出に努めた。取付け道路とオアシス橋との境界に舗装パターンによる見切りを設け、橋上では景観に配慮した舗装材やデザイン性の高い高欄、照明などを使用している。また、岩ヶ池への良好な視点を確保するために、大小2種類のバルコニーを4箇所設置した。バルコニーの舗装面は、この円形のバルコニー形状を生かして同心円状の御影石ピンコロ舗装を施し、場の舞台性を強調している。外側から見ると、円形のバルコニーがそのままの円錐形で側壁の平面にすりつく姿が、オアシス橋のファサードをより豊かにする(写真-6, 7)。

現在の橋詰周辺は、ガードパイプで無機質に仕切られてはいるものの、刈谷ハイウェイオアシスの二期工事が完了する頃には橋詰の取付け園路が整備され、オアシス橋も公園内の園路動線の一部として、また公園の景観資源のひとつとして、有機的に施設内に取り込まれることになる(図-17)。この橋詰整備が行われた後、オアシス橋とその周辺の公園施設は、はじめて機能的かつ景観的に一体の親水空間となる。



写真-7 外部から見たバルコニーの表情



写真-6 歩行空間のデザイン



図-17 今後の橋詰周辺の整備イメージ

## 5. 維持管理計画

平成 16 年度の JCI 検討委員会では、オアシス橋の完成に先がけて、長期的な視座に立っての維持管理計画の策定を行った。維持管理計画は、通常点検、10 年後点検、異常時点検を 3 つの柱として策定している (図-18)。

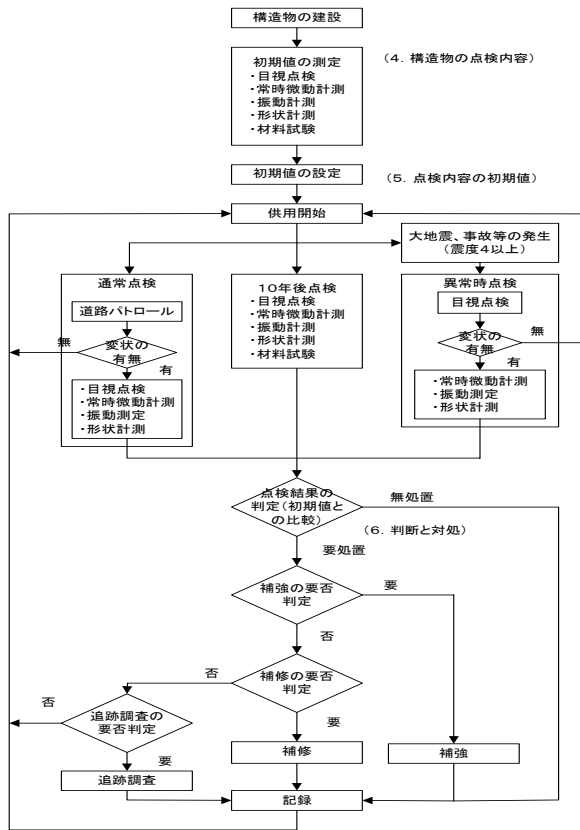


図-18 維持管理計画のフロー図

この委員会では、オアシス橋の完成後に常時微動測定および振動試験を実施し、実際の構造物が有する常時微動卓越周波数や固有振動数を今後の維持管理に役立てることとした。常時微動測定および振動試験は、以下の手法により維持管理に活用するものである。

- ①実測による構造物の振動性状をもとに、コンピュータ上で実構造物と同様な振動性状を示す構造解析モデルを再現する。
- ②正常な状態での応答解析、様々な部位が損傷した状態での応答解析を行い、様々な損傷による常時微動卓越周波数や固有振動数の変化の度合いを把握する。
- ②大地震の発生後など、構造物が損傷した可能性がある場合に常時微動卓越周波数や固有振動数を実測し、振動性状の変化の度合いから損傷箇所と損傷の程度を推定する。

以下に、常時微動測定および振動試験の具体的な活用方法を示す。

### 常時微動測定：

常時微動計測において明らかとなった橋軸直角方向／鉛直方向のスペクトル比の卓越周波数 (5.6Hz～5.7Hz) が、

±10%以上変化した場合、または上記スペクトル比および橋軸直角方向／鉛直方向のスペクトル比の形状が初期のそれと大きく異なる場合は、構造物の物性に相当の変化が生じたと考えられるため、詳細な調査により適切な補修または補強を行う。

### 振動試験：

損傷後における衝撃振動試験から得られる 1 次モードおよび 2 次モードの各固有振動数の変化から、構造物のアーチクラウン部、橋脚基部、杭頭部、気泡モルタルなど各部位の損傷の推定を行い、その推定が深刻な場合は、適切な補修または補強を行う。この部材が損傷を受けた場合における、固有振動数の変化の度合いを表-3 に示す。

表-3 各損傷の程度と固有振動数との関係

部位※1	状態	振動モード	初期	結合部条件	
				結合部:ヘンジ 結合部部材 剛性20%	結合部:ヘンジ 結合部軸直角方向 スライド
中間部	クラウン損傷	1次 (Hz)	10.5	10.0 (95%)	10.1 (96%)
		2次 (Hz)	42.5	37.9 (89%)	35.5 (84%)
	基部損傷	1次 (Hz)	10.5	10.4 (99%)	7.3 (70%)
		2次 (Hz)	42.5	40.6 (96%)	37.6 (88%)
杭頭損傷	1次 (Hz)	10.5	9.8 (93%)	7.9 (75%)	
	2次 (Hz)	42.5	42.0 (99%)	41.2 (97%)	
端部	クラウン損傷	1次 (Hz)	12.3	11.2 (91%)	11.1 (90%)
		2次 (Hz)	40.6	35.4 (87%)	35.5 (87%)
	基部損傷	1次 (Hz)	12.3	11.1 (90%)	7.3 (59%)
		2次 (Hz)	40.6	38.8 (96%)	37.6 (93%)
杭頭損傷	1次 (Hz)	12.3	10.3 (84%)	8.1 (66%)	
	2次 (Hz)	40.6	40.1 (99%)	39.1 (96%)	

※1 中間部:2径間・3径間・4径間 端部:1径間・5径間

## 6. あとがき

オアシス橋は、約 1 年半という驚異的な期間内でその完成を迎えた。このインフラが整備されることによる効果は、近隣小学校の通学路や刈谷ハイウェイオアシスへのアクセス道路としての重要な交通網が完備できたのみでなく、岩ヶ池の新たな景観資源の創出という地域ポテンシャルの向上へも寄与するものと考えている。

この事業を進めるにあたり、たくさんの方々のご協力とご支援を得た。この紙面を借りて、感謝の意を表す。

長期にわたりこの事業に関わってきた我々としては、ひとまずの完成を手ばなしで喜ぶとともに、これからのオアシス橋の生き永らえ方をしっかりと見届けていきたい。

### [参考文献]

- 1) JCI 中部支部技術評価・支援機構：平成 14～15 年度 岩ヶ池横断構造物検討委員会報告書，2003.12
- 2) JCI 中部支部技術評価・支援機構：平成 16 年度 岩ヶ池横断構造物検討委員会報告書，2005.3
- 3) 山本基由，本田賀久，武藤功治，六郷恵哲：複数微細ひび割れを生じる PVA 短繊維補強軽量気泡モルタル，コンクリート工学年次論文集，第 27 巻，2005.6

## ■ プロジェクトデータ

橋 名 : オアシス橋  
所 在 : 愛知県刈谷市  
橋 長 : 84.0m  
支 間 長 : 17.25m+3@16.50m+17.25m  
構造 形式 : 5連アーチカルバート構造  
荷 重 : B活荷重

事 業 主 : 愛知県

基本 計画 : JCI 岩ヶ池横断構造物検討委員会 (委員長 : 六郷恵哲)、(株) 創建

基本 設計 : 意匠/景観 (株) 創建

構造 JCI 岩ヶ池横断構造物検討委員会 (委員長 : 六郷恵哲)、(株) 創建

詳細 設計 : 意匠/景観 (株) 創建

構造 (株) 創建

施 工 : 下部工 (株) 近藤組 (所長 近藤昭彦)

上部工 (株) 近藤組 (所長 近藤昭彦)

施工協力 :

メーカ- : 支承 なし 高欄 昭和鉄工 (株)、那須エンジニアリング (株)  
照明 東芝 (株) 排水 なし 伸縮装置 なし

工 期 : 基本設計 平成 14 年 7 月 ~平成 15 年 3 月

詳細設計 平成 15 年 6 月 ~平成 16 年 3 月

施 工 平成 15 年 6 月 ~平成 16 年 3 月