

ムーンゲートの設計・製作・施工

～ 曲線を有する大規模モニュメント～

The Design, Fabrication and Construction of MOONGATE

松田 哲二
Tetsuji MATSUDA

川田工業(株)橋梁事業部工事部
工事二部富山工務室総括工事長

早川 清
Kiyoshi HAYAKAWA

川田工業(株)橋梁事業部富山工場
生産技術一課係長

未武 浩
Hiroshi SUETAKE

川田工業(株)橋梁事業部技術部
大阪技術部富山技術課係長

米田 達則
Tatsunori YONEDA

川田工業(株)橋梁事業部技術部
大阪技術部次長

金沢城下より移転された石川県庁を中心に開発が進む金沢西部副都心。その一角である鞍月地区の土地区画整理事業の完成記念として、モニュメントが建設された。地名でもある「月」をイメージし、「ムーンゲート」と名付けられたこのモニュメントは、メインストリートを挟んで2本の鋼製タワーからなり、この地区を訪れる人々を迎える大規模な構造物である。ここでは、このモニュメントのデザインコンセプトを守りつつ、施工性、耐久性を考慮した設計および構造の考え方を紹介するとともに、製作、施工の概要について報告する。

キーワード：モニュメント、垂鉛・アルミ常温金属溶射、座屈解析、3D-CAD、現場溶接

1. はじめに

石川県では金沢西部副都心整備が進められ、都市機能の中心を加賀百万石として歴史的に広く知られる金沢城周辺から、金沢港に近い西部地区の鞍月に移設された。この鞍月地区の土地区画整理事業の完工に併せて、完工を記念したモニュメントの設置が計画された。鞍月土地区画整理組合より、モニュメントの製作、据付工事を上下部工一式として受注した。

このモニュメントのデザインは、デザイナーの梅沢曜行氏によるものであり、デザインコンセプトとして次の3つが掲げられた¹⁾。

Landmark：金沢西部副都心のエントランスにふさわしくスケール感あふれるデザインで表現。県都発展を象徴するランドマークとして位置づける。

Message：未来へと伸びゆく県都の姿を天に向けて描いた大きな弧でシンボライズ。“希望”というメッセージを永遠に発信し続ける。

Identity：「鞍月」という歴史ある地名を後世に伝えるために、“月”という言葉にフォーカスして表現する。

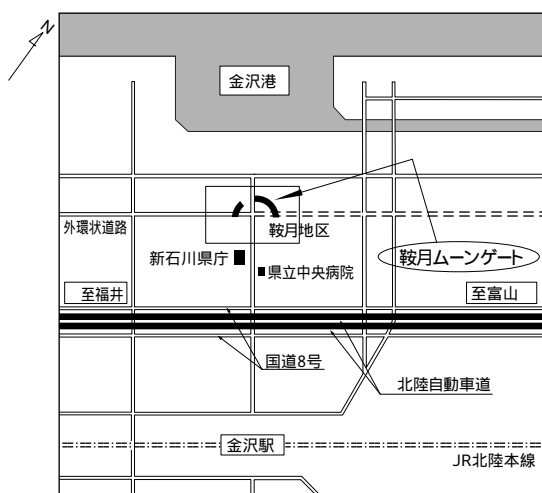


図1 位置図



写真1 全景

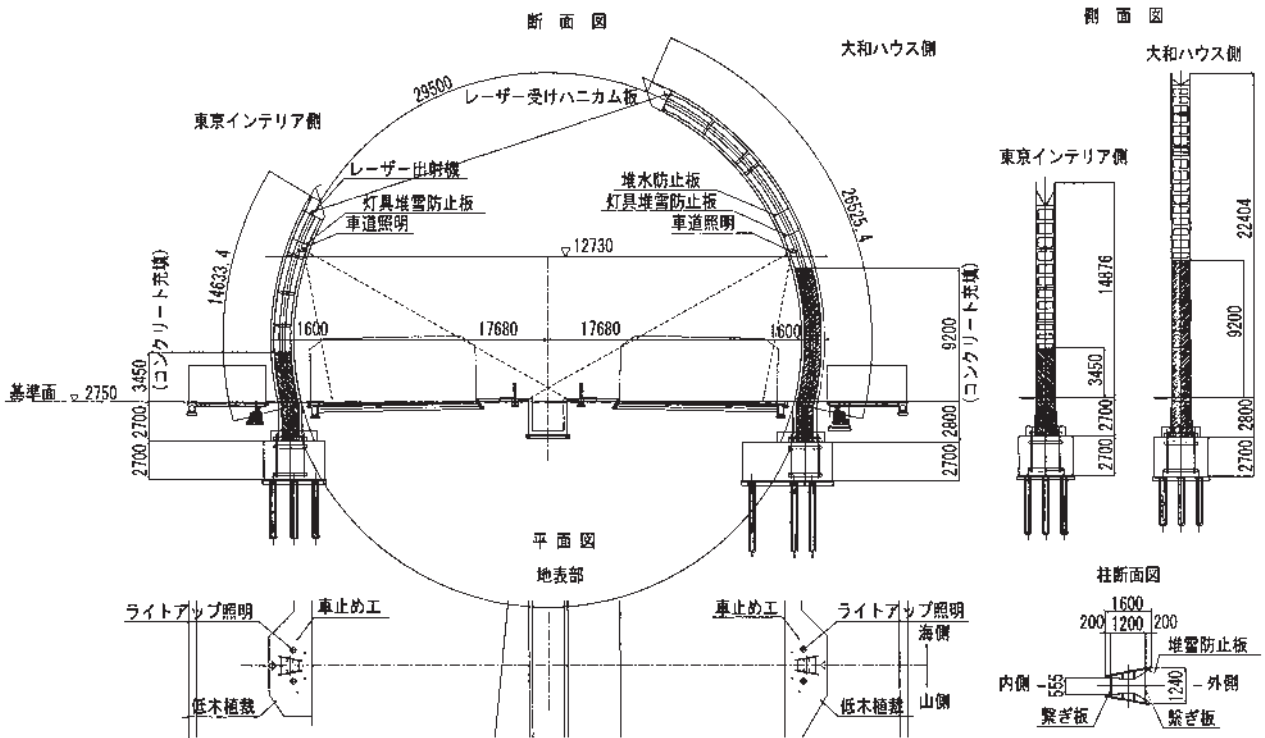


図2 構造一般図

2. 構造物の概要

(1) デザインコンセプト

ムーンゲートの最大の特徴は、レーザー光線が月の形の一部として採用されている点である。ムーンゲートは、6車線道路をはさみ、弓形をした高さの異なる2本の塔で構成されている。この2塔の軸線は、この地域の地名でもある「月」をイメージしたもので、一つの円を描くような曲線となっている。その形状や部材寸法は、図3に示すように「月」から導き出された数値と関連づけられている。

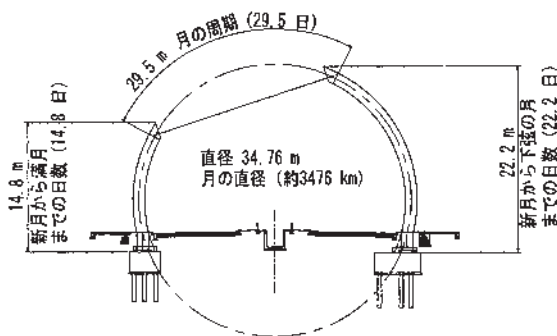


図3 「月」から導き出した数値

(2) 意匠

ムーンゲートには、太陽の光に照らされた「昼の顔」とライトアップにより浮かび上がる「夜の顔」と2つの月の表情を持つ意匠が求められた。一般的なモニュメントでは、美観を高めるために構造体をステンレスやアルミニウムなどの化粧板で覆っている場合が多い。この場

合、構造体に化粧板を取り付けるための空間が必要となり、その分構造体が大きくなってしまった。しかし、このムーンゲートでは可能な限り細い部材で表現したく、化粧板を用いることをやめ、構造体の防錆材料に意匠と防錆の効果を求めた。防錆材料には亜鉛・アルミ常温金属溶射（MS工法）が採用された。溶射表面の持つザラザラ感が月の「昼の顔」を感じさせる「白さ」を有していること、さらに長期防錆機能が優れていることなどからMS工法の採用に至った。

(3) 塔断面

ムーンゲートの形状はsurpriseを感じることをテーマに、開口部のある断続箱桁を用いること、形状が弓形の塔であることを要求された。写真2のように開口部があることで、塔の中から空までを見渡すことができ、圧迫感を感じさせない構造を実現できた。さらに塔を細く見せるため、箱断面の内側の曲線を狭くした台形箱断面とした。



写真2 モニュメント背面の構造

3. 関連設備

本構造物に付随して配慮した主な特色を以下に示す。

(1) レーザー設備

ムーンゲートの命とも言えるレーザーには、空冷式が採用された。一般に、夜空に照射されているレーザーには水冷式が多く採用されている。だが、水冷式は空冷式に比べて高価であること、設備機器が大きく収納スペースも多く必要となることから、本工事では空冷式が採用された。現在、空冷式はイベント会場で多く使用されているタイプで、ステージのパフォーマンス道具として大活躍している。

a) 出射口側の工夫

出射口のレンズには、レーザー光線によって空気中のチリや埃がレンズに焼き付くことから、レーザー光線の出力が低下し定期的に清掃する必要がある。しかし、ムーンゲートではレーザーの設置場所が高所であることから、頻繁に出射口のレンズの汚れを清掃することができない。そのため、出射口側に過去に例のない工夫がなされた。

まず、レーザー光線が飛び出す出射口を囲み囲んだ箱状の部屋を用意した。次に、箱内から孔に向かって風を送る送風装置が設けられた。これにより、箱内にチリや埃が進入しにくいため、メンテナンス費用を低減することが可能となった。

b) レーザー光線を受ける側の工夫

各塔の先端部を結ぶようにレーザー光線が照射され、夜空に「夜の顔」を浮かし出している。レーザーの受光部側の塔の先端では、強風時に約30 cmの変形が生じる。強風により両方の塔が揺れを起こし、レーザー光線が受光部を外れて照射することが想定された。

このため、レーザー光線がハニカム板から外れた場合、電氣的に感知し、自動的に出射を停止できる制御システムを採用した。レーザーを受けるハニカム板には太陽電池パネルを使用した(図4)。

(2) ライトアップ設備

各塔の基部には、それぞれ3個のライトアップ設備を設けた。照明灯具の配置位置や照射角度は、ムーンゲートが「夜の顔」として幻想的に浮かび上がるよう、現地で行った種々のテストを行って決定された。

(3) 堆雪対策

モニュメントは車道の上を跨ぐことから、塔に堆積した雪や氷雪が落下しないような対策が求められた。本構造は、開口部があるため、図4に示すように繋ぎ材と箱断面内の両方に対策を講じた。

a) 繋ぎ材の堆雪防止

北陸地方においては、夜間に降雪した雪が照明灯や信号機などに着雪し、寒気によって氷結した雪が日中の温度上昇に伴い雪の塊となって落下することがある。これは、通行車両や行人に障害を与えるため社会問題とな

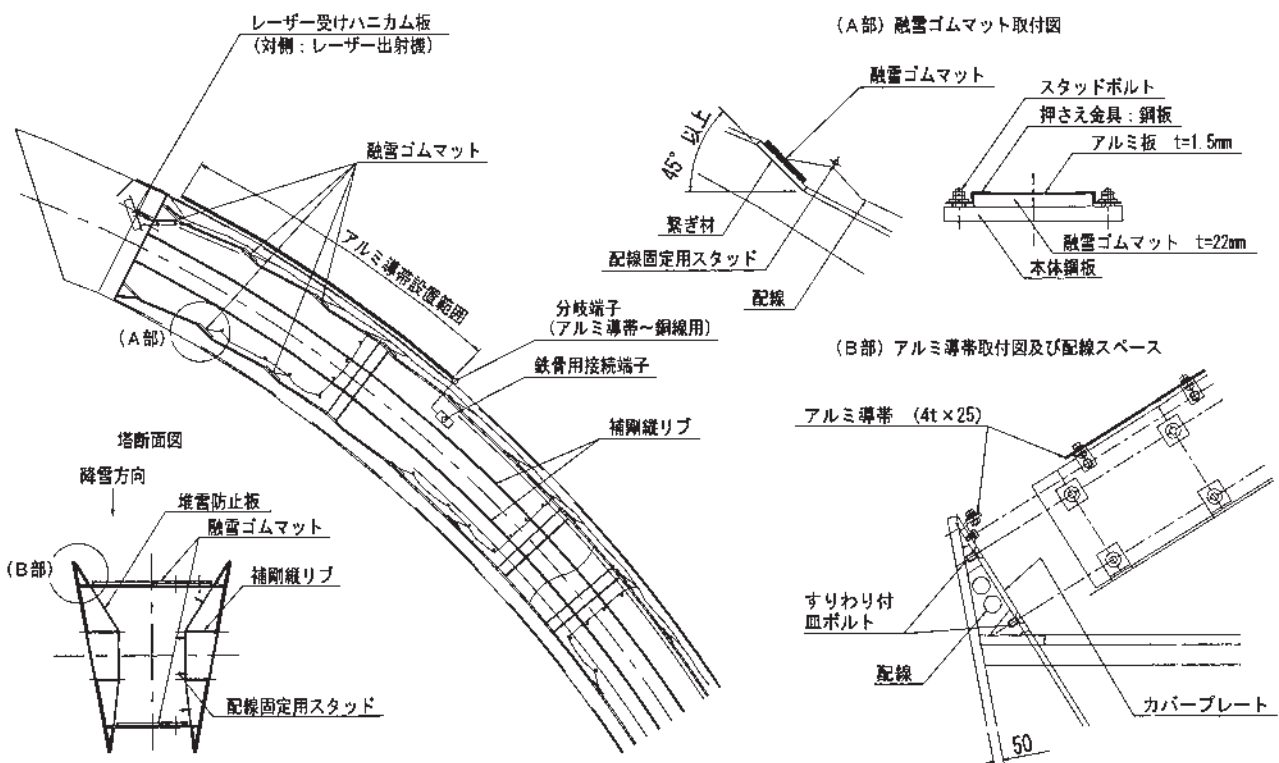


図4 主要設備概要図(高塔)

っている。よって、堆雪を防ぐため、本構造物に水平に配置される繋ぎ材は45°以上の傾きを付けた。

さらに、氷結防止対策として電熱線を埋め込んだ融雪ゴムマットを設置した。電熱線による融雪方法には種々あるが、使用電力が最も少なく、パネル化されたゴムマット内に電熱線が埋め込まれた商品を採用した。ゴムマットは景観に配慮し、亜鉛アルミニウム溶射と同色に近いアルミニウム板で挟み込んで取り付けた(図4・A部)。

b) 箱断面内の堆雪防止

塔を構成する側板には補剛縦リブが配置されるが、開口部の繋ぎ板すき間から入る雪が補剛縦リブに堆雪する。よって、側板を船底形断面となるような堆雪防止板を追加することで、縦リブへの堆雪を防止している。この堆雪防止板は、圧縮力を受ける縦リブの座屈防止にも有効な部材として設計した(図4・塔断面)。

(4) 道路照明

このモニュメントは道路照明も兼ねている。照明灯具が景観を損なわないように断続箱桁部内に照明器具を設置し、開口部の繋ぎ板の間から道路を照らしている。

(5) 避雷設備

高塔側の高さが20 mを超えるため、塔頂付近に落雷防止のためアルミ導帯を設置している(図4)。本体が鋼製であるため、途中のアース線を省略し、基部から再びアース線と接続している。アースは接地抵抗値を考慮して接地銅板(1.5 t×900×900)および連結式接地棒(14×1500)を使用した。

(6) 照明設備、レーザー設備の配線

照明設備とレーザー設備の配線は景観上塔内に埋め込むことおよび配線のメンテナンスも考慮することが必要であった。そこで、塔基部側板の板厚が50 mmもあったため、カバープレートを追加して外側を鋭角とし、スマートに見せるよう工夫した。そして、このカバープレートの設置でできた空間を配線経路に使用することにした。メンテナンスのため、カバープレートは取り外し可能なボルトで固定した。ボルトはステンレス製の皿ボルトを用い、ボルトの凹凸が出ないように配慮した(図4)。

4. 設計

(1) 設計条件

路線名	3・1・2金沢駅・港線
塔構造	鋼独立1本柱(高塔, 低塔各1柱)
基礎構造	中掘鋼管杭
設計荷重	死荷重, 風荷重, 地震荷重
風荷重	3.0 kN/mm ²
設計震度	kh = 0.30
地域区分	A区分(補正係数 Cz = 1.0)
地盤条件	種地盤
主要鋼材	SM400A
現場継手	現場溶接(縦リブは、高力ボルト添接)

(2) 塔の設計

まず、塔断面は設計条件で表す荷重に対して、微小変形理論で構造解析を行って断面寸法を設定した。ただし、開口部のある断続箱桁部分は、側板と繋ぎ材の座屈耐力が低下することから、弾塑性有限変位解析を行って部材断面を照査し、部材板厚を決定した。断面決定箇所は連続箱桁と断続箱桁の境界で、板厚が決定した(図5)。

次に、ムーンゲートは海岸に近いため風が強く、周辺には風を遮る障害物がないことから、過去の最大瞬間風速の調査を行った。そして、最大瞬間風速に対して塔が共振しないよう、塔部材の剛性と質量の調整をした。

剛性と質量の調整には、箱断面内部にコンクリートを充填する構造を採用し、適切な高さまでコンクリートを充填した²⁾。

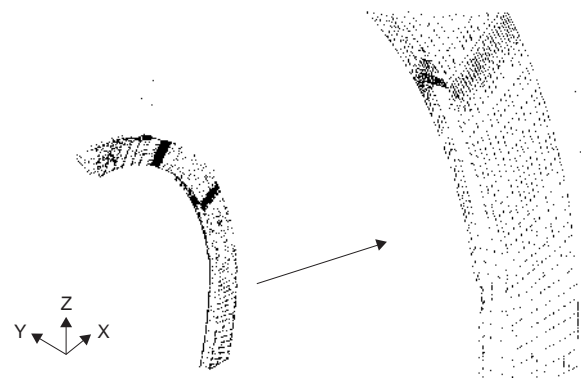


図5 弾塑性有限変位解析による変形図

5. 製作

(1) 原寸

a) 3次元CADによる原寸

本主塔は、台形断面の円弧形状(すり鉢状)をしていることから、フランジとウェブは全て曲げ加工が必要とされた。そのため、3次元CADを用いて製作資料(曲げ資料・3次元CADより曲面展開してNC切断資料)の作成を行った。

b) 箱内部の作業空間

フランジとウェブの角溶接部は完全溶込み溶接であり、また、側板は船底の形をした断面である。補剛縦リブと堆雪防止板、繋ぎ板と堆雪防止板との溶接において必要な開先形状とすること、溶接が可能な作業空間を考慮す

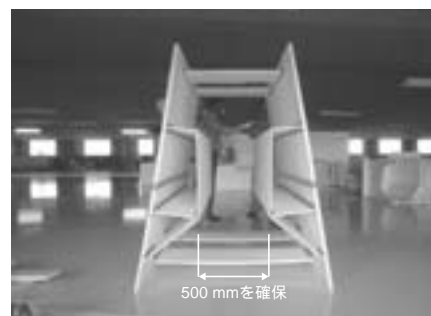


写真3 模型による確認状況

ることが必要である。また、箱内部の常温亜鉛アルミ合金溶射の品質を確保するために必要な作業空間500 mmを考慮して、塔の箱形状の寸法を決めた。決定に際し、写真3のような実物大の模型を作成し、溶接の作業性、組立順序、溶射の作業性など品質が確保できる作業空間の妥当性も確認した。

(2) 製作

製作精度は橋脚を基準とした。フランジとウェブの断面寸法と形状を確保するため、フランジはパネル工法とし、歪み矯正後に組立を行った。

完全溶込み溶接である角溶接部を先行溶接して、超音波探傷検査後にフランジ縦リブを覆う堆雪防止カバーを取り付けた(図6)。

円弧形状部材で不安定であるため、部材の反転を行う度に転倒防止、作業足場の確保に留意した。全形精度を確保するため、現場継手部をフェーシング加工し、仮組立により全体形状および諸寸法を確認した。工場製作および仮組立の状況を写真4、5に示す。

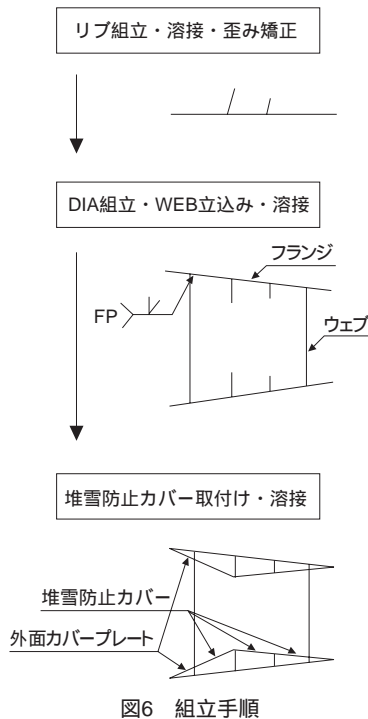


写真4 工場製作状況



写真5 仮組立状況

(3) 常温金属溶射

前述のとおりモニュメントのデザイン性から、仕上がりの不均一な金属溶射が採用されたことにより、サンプルによる仕上がり状態を試行した結果、仕様は表1とし、塗装建屋内にてケレン、脱脂を入念に行った後に施工した。

表1 防錆処理の仕様

溶射工程	使用材料名	使用量(g/m ²)	目標膜厚(μ)
粗面形成処理	粗面形成剤(プラスノ#21)	100	-
常温金属溶射	亜鉛綿材	530	100
	アルミニウム綿材	210	
封孔処理	溶射皮膜封孔剤(MSシーラー)	350	-
合計			100

6. 施工

(1) 塔の架設

架設位置は、JR金沢駅と金沢港を結ぶ幹線道路で昼間の交通規制ができず、片側3車線を規制した夜間作業による架設となった。塔は地上約4 mの位置で現場溶接し、接合する塔基部と塔頂部を分割して架設するための架設検討を行っている。架設順序は基部を先行架設し、アン

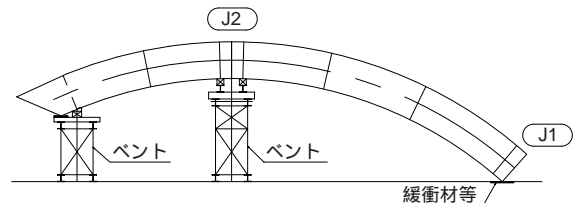


図7 地組立図(高塔: J1~TOP)



写真6 地組立ブロック運搬状況

カーボルト連結固定し、その後塔頂部を積み木方式で積み上げる順序で架設した。地組立、架設時の様子を図7~9、写真6と7、表2に示す。

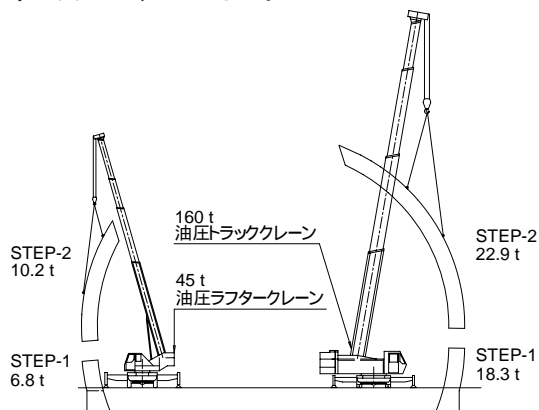


図8 架設STEP図



写真7 高塔地組立ブロック架設状況

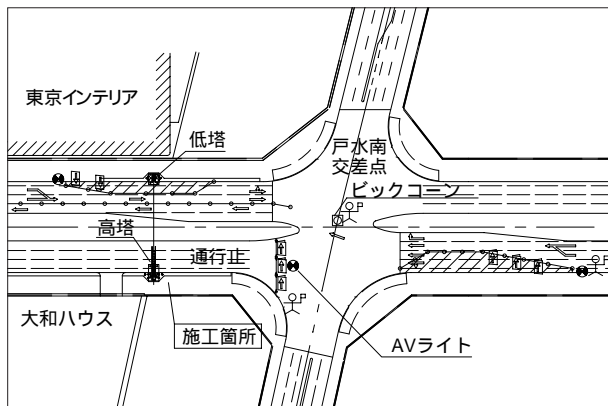


図9 交通規制、車線規制図

表2 夜間架設タイムスケジュール

工程	時間	22:00	23:00	24:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	時間
規制開始・追出し		■									40分
トレーラ搬入			■								20分
クレーン搬入・組立			■	■							90分
建起・架設				■	■	■					120分
継手部添接・調整						■	■				60分
架設用吊金具撤去								■			20分
クレーン解体・搬出								■	■		90分
後片付け										■	30分
規制解放										■	10分

(2) 現場溶接

現場溶接は、防風設備を設置し品質管理を行った。

その際、工場で行った常温金属溶射（封孔処理）表面が溶接による煙で黒く汚れるため、マジックアートを塗布し汚れ防止対策を行った。

同時に、白色で表面がガラガラした常温金属溶射は汚れが目立つこと、付着物が取れないことが懸念された。また、落書きの被害に遭う可能性も想定された。これらをふまえて、構造物全面に汚れ防止対策を施している。

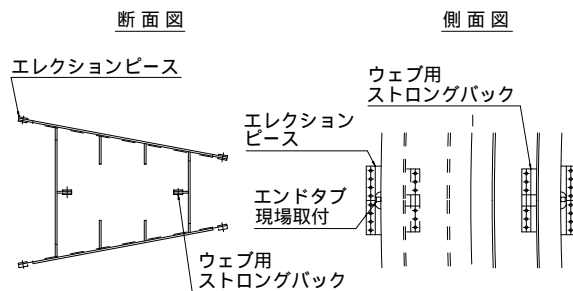


図10 現場用溶接の治具図

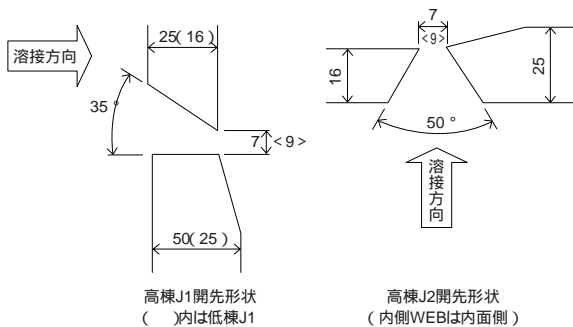


図11 現場溶接部開先形状

7. おわりに

鞍月土地区画整理事業の完成記念モニュメントは、種々の構造について検討が繰り返し行われ、関係者の英知が結集された。その結果、鞍月の地名に相応しいムーンゲートが完成した。

ジングルベルが鳴り響く、2002年12月24日の夜。ムーンゲートの完成式が盛大に行われ、鞍月土地区画整理組合から石川県へ寄贈された。以降、50 m道路の大地に半分隠れた月の「昼の顔」と「夜の顔」を持つ感動的な構造物を楽しむ見学者が後を絶たない。

本工事に際し、ご指導とご協力をいただいた鞍月土地区画整理組合を始め多くの方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 金沢市鞍月土地区画整理組合：鞍月ムーンゲートパンフレット。
- 2) 金沢市鞍月土地区画整理組合，(株)日本海コンサルタント：金沢市鞍月土地区画整理事業鞍月モニュメント設計業務報告書，2002.3.