

## 鋼製山留材を使用した 工事桁の開発



今 裕之\*



柳沼 謙一\*\*



清水 満\*

線路下に構造物を構築する場合に広く採用されている工事桁工法として、JR東日本においてはマクラギ抱き込み式工事桁を用いるのが一般的であるが、製作には鋼材の切断や孔あけなどの加工を要することから、製作工期や製作費の面でプロジェクト全体に与える影響が大きくなっている。

そこで今回、一般に鋼製山留として用いられているリース材を構成部材とした工事桁を開発した。入手も容易で加工も軽微であることから、製作工期も従来工法より短く、低廉に構築できる構造である。性能確認はFEM解析と実験により行い、スパン10m程度の工事桁として十分性能を満足していることを確認した。

●キーワード：鉄道用工事桁、汎用 H 形鋼、鋼製山留材

### 1. はじめに

線路下に構造物を構築する場合、工事桁で軌道の仮受けをしながら開削によって施工する工事桁工法が広く採用されている。JR東日本では工事桁としてマクラギ抱き込み式工事桁（図1）を用いるのが一般的である。

マクラギ抱き込み式工事桁の製作には鋼材の切断やボルト接合用の孔あけなどの加工を伴うため、仮設構造物でありながら、材料調達も含めた製作工期や製作費の面でプロジェクト全体に対する影響が大きく、課題となっている。

そこで、一般に鋼製山留として用いられるリース材（図2）を構成部材とした、軽微な加工のみで構築できる工事桁を開発した。



図1 マクラギ抱き込み式工事桁

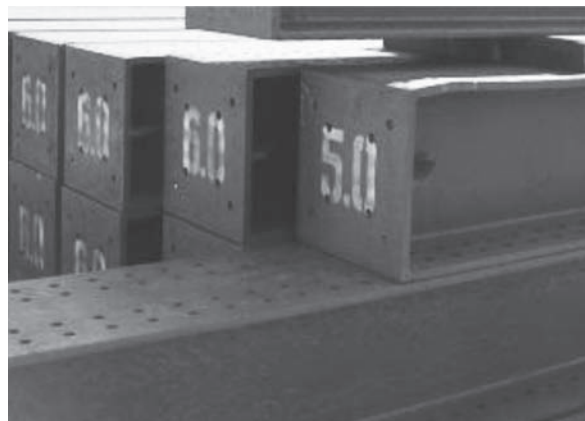


図2 鋼製山留に用いられるリース材

### 2. 従来型の工事桁と今回開発した工事桁の概要

図3にマクラギ抱き込み式工事桁（以下、従来型とする）、図4に今回開発した鋼製山留材を使用した工事桁（以下、本構造とする）の断面略図を示す。従来型は、主桁腹板に取り付けられた棚板の上にマクラギ受桁が載る構造となっているが、本構造では主桁下フランジに直接マクラギ受桁が載る構造となっている。

また、図5は従来型の桁接合部および支点部の構造、図6には本構造の桁接合部および支点部の構造を示す。従来型の桁接合部は2枚の添接板で部材を挟んでボルト接合する一般的な二面摩擦接合であるのに対し、本構造は鋼製山留材の端部に端板が溶接されているため、上下フランジへの添接板の取付は片面のみとなり、接合部が一面摩擦接合になる。

また、本構造では腹板にあたる箇所への接合には添接板を用いず、端板同士をボルト接合するため、載荷時にボルトに引張力が作用する点が従来型と異なる点である。そこで、

本構造の設計では端板の引張ボルト接合部については設計上考慮せず、上下フランジの摩擦接合継手のみでも成り立つように設計計算を行っている。

次章以降で実験による性能確認の結果について述べることにする。

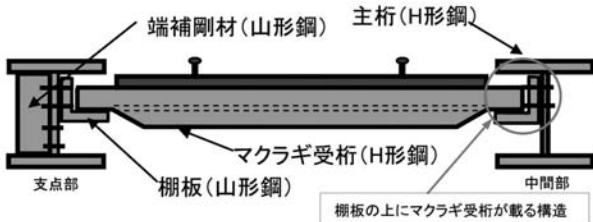


図3 マクラギ抱き込み式工事桁 (断面)

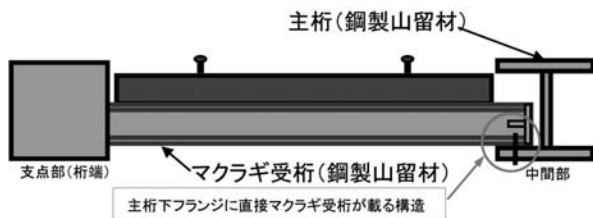


図4 鋼製山留材を使用した工事桁 (断面)

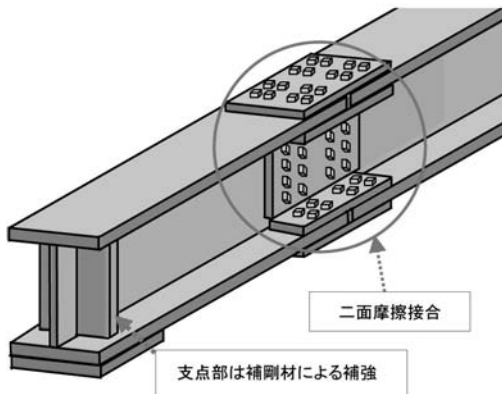


図5 マクラギ抱き込み式工事桁 (接合部・支点部)

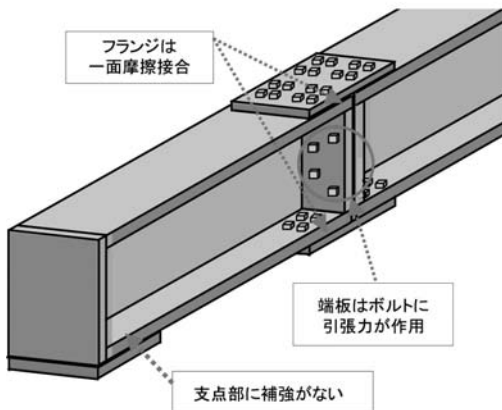


図6 鋼製山留材を使用した工事桁 (接合部・支点部)

### 3. 主桁静的載荷試験

本構造の特徴の一つである主桁の接合部に着目した試験として図7に示す試験体を製作し静的載荷試験を実施した。

試験体は2本のH500 (L=3.0m) の上下フランジの添接と突き合せた端板のボルト締結によって組立てたL=6.0mの桁である。接合部はグリッドブラストを施し、すべり係数0.4程度を確保している。ボルトはM22 (F10T) を使用し、標準締付け軸力である225kNを導入した。<sup>1)</sup> 導入軸力に対するボルトのひずみは約2,900 $\mu$ である。

載荷は各支点から1,900mmの位置の2点とし、試験体の降伏および接合部のすべりが生じるまで載荷を継続した (図8)。

図9に主桁中央部のたわみの測定結果を示す。点線は設計モーメントと等価な曲げモーメントを生じる荷重 (設計荷重: 325 $\times$ 2=650kN) を表している。設計荷重時点でのたわみは計算値6.93mmに対して6.8mmと概ね一致している。さらに載荷を継続したところ、1,460kN付近で添接板主材境界部が降

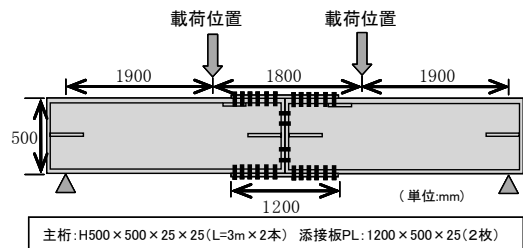


図7 主桁静的載荷試験体 (側面)



図8 主桁静的載荷試験状況

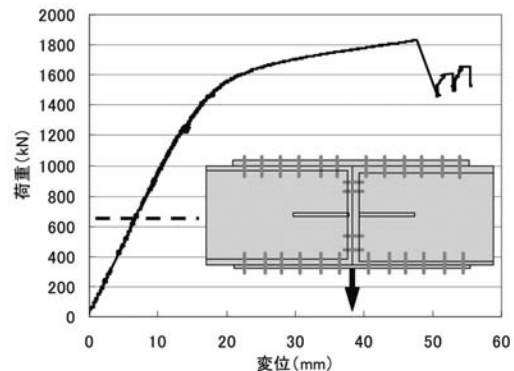


図9 主桁中央部のたわみ

伏、1,800kNを超えたところから添接部のすべりが発生した。

図10に載荷時の上下添接板接合ボルトのひずみの変化を示す。図に示した値はボルトの軸に貼り付けた2枚のゲージによるひずみ測定値の平均である。上フランジのボルトのひずみ変化は僅かである一方、下フランジのボルトは荷重とともにボルト軸力方向（圧縮方向）のひずみが増加した。設計荷重載荷時における導入軸力に対するひずみからの変化は3%程度であり、特に問題はなかった。図11には突合させた端板を締結するボルトのひずみの変化を示す。載荷により上中央側のボルト（図11②）は圧縮、下中央側（図11③）は引張の傾向を示したが、上下フランジ側のボルト（図11①、④）は上下フランジ付近が添接板により拘束されていることからひずみはほとんど生じなかった。

載荷時の下フランジ添接板付近3ヶ所のひずみの変化を図12に示す。添接板主材境界部（図12①）が本試験における最大ひずみの発生箇所であったが、設計荷重載荷時点において $560\mu$ （ $112\text{N}/\text{mm}^2$ ）であり、鋼製山留材に用いられる引張強度 $400\text{N}/\text{mm}^2$ 級の鋼材の降伏ひずみ $1,175\mu$ の約1/2程度であった。

また、端板下端での接合部の開きを $\pi$ ゲージにより測定した（図13）が、設計荷重範囲内での添接部の開きは見られなかった。そのほか、ボルト孔まわりにおいてもひずみの測定を行ったが、著大なひずみ値は見られなかった。

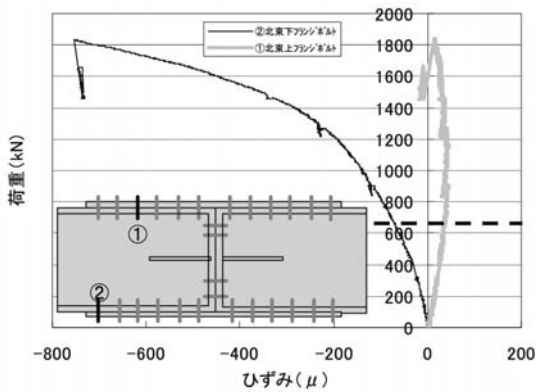


図10 上下添接板接合ボルトひずみ比較

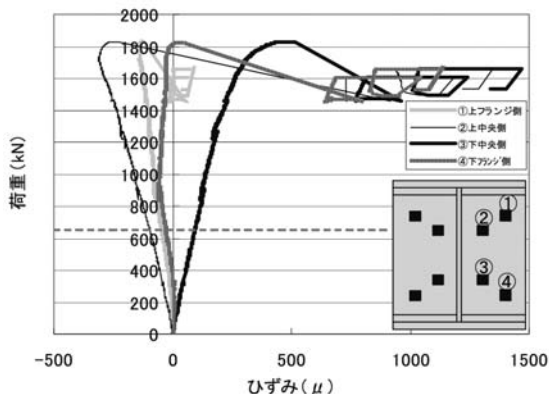


図11 端板ボルトひずみ比較

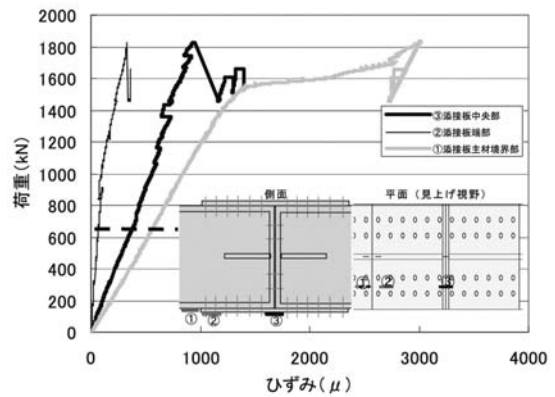


図12 下フランジ添接板付近ひずみ比較

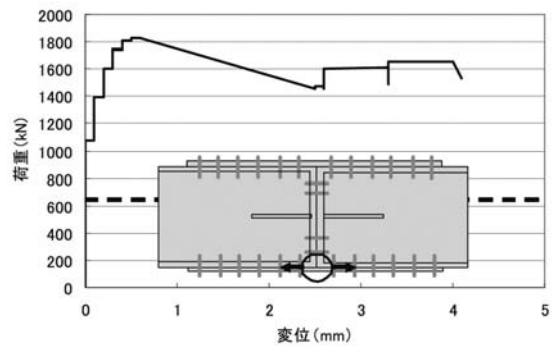


図13 接合部下端の開きの測定結果

#### 4. 受桁静的載荷試験

本構造の特徴の一つである、主桁下フランジに直接マクラギ受桁が載る主桁・受桁接合部についての性能確認のため、このモデルに対する静的載荷試験を実施した。

試験体は図14、図15に示す2本のH500（ $L=3,000\text{mm}$ ）の主桁の間にH200（ $L=2,500$ ）のマクラギ受桁を片側2本ずつのM22ボルトで締結したものであり、接合部は主桁静的載荷試験体と同様にグリッドブラストを施している。

狭軌のレール敷設位置に相当する点を載荷点として、主桁・受桁および接合部のひずみや変位の挙動を確認した（図16）。載荷時の接合部主桁下フランジのひずみの変化と、測定位置の略図を図17に示す。図中の点線は受桁の設計荷重（ $99\text{kN}$ ）を示す。ウェブ直下は圧縮、接合ボルト付近は引張で部分的に応力が集中する箇所が見られるが、いずれも値は小さく、他の測定点も含めて構造的に問題となるような値は生じていない。また、FEM解析においても同様の傾向を示す結果（図18）が得られている。

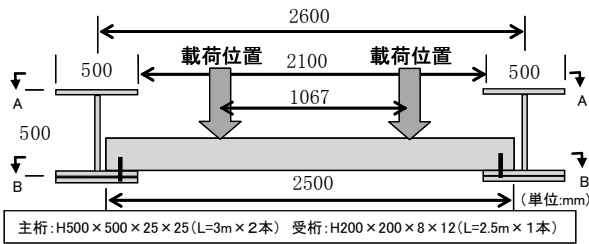


図14 受桁静的载荷試験体 (断面)

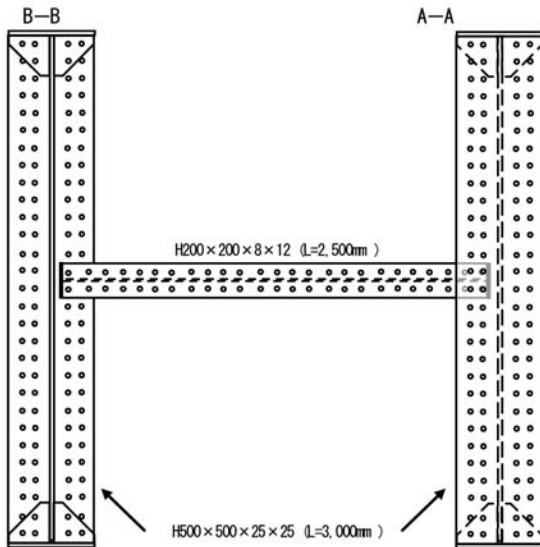


図15 受桁接合部静的载荷試験体 (平面)

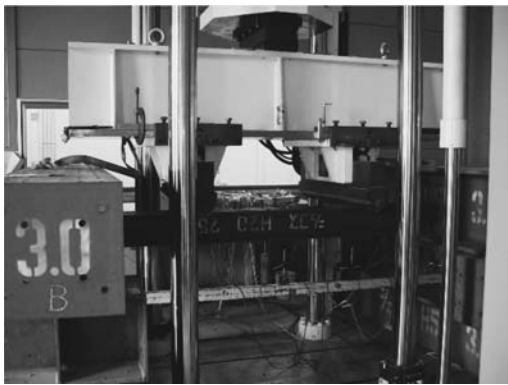


図16 受桁静的载荷試験実施状況

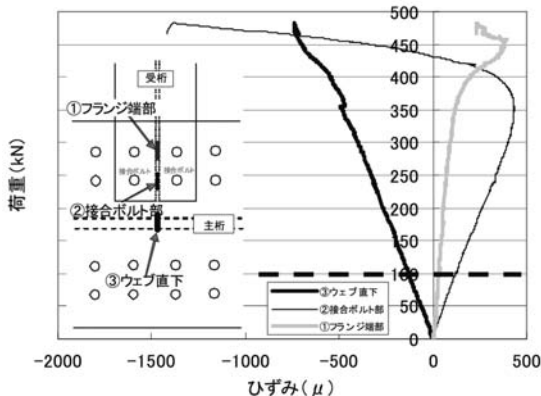


図17 主桁・受桁接合部ひずみ比較 (主桁直角方向)

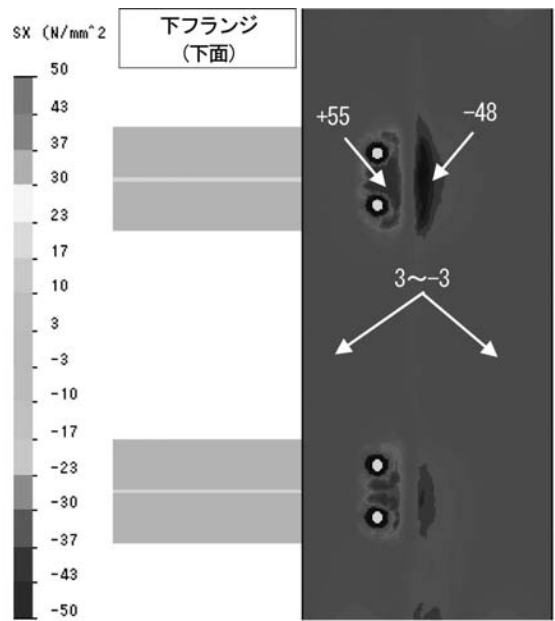


図18 受桁接合部FEM解析結果 (主桁直角方向)

## 5. 繰り返し载荷試験

列車荷重による動的な荷重の影響を確認するため、繰返し载荷試験を実施した。試験体は主桁静的载荷試験と同じ仕様の試験体とし、繰返し回数は、鉄道構造物等設計標準<sup>1)</sup>に基づき算出した。仮設構造物のため、設計耐用年数は10年とし、機関車荷重E-17、標準通過トン数は20万MN/年以上、また、汎用H形鋼の端板・フランジの溶接部に着目し、疲労強度等級は荷重非伝達型・非仕上げのすみ肉十字溶接継手であるE等級とした。

本構造で想定している適用最大長10mの桁の支間中央部におけるE-17荷重の通過により発生するモーメント波形 (図19) よりレンジペア法で頻度解析を行い、応力振幅ごとの繰返し数と疲労寿命を求め、累積疲労損傷度を算出した。これと実験時载荷重に対する疲労寿命より、繰返し回数は62.5万回と求められた。

载荷はアクチュエーター2基を载荷梁で連結・同期させ、1基あたり30kN⇔330kN (振幅300kN) の荷重を発生させた。予備载荷の結果、载荷サイクルは3Hzとし、初期値と最終値のほか、途中5万回、10万回、30万回、50万回の時点で繰返し载荷を一時停止し、30kNから330kNまで静的载荷を行った (図20)。

繰返し回数の増加に伴い、添接部のボルトひずみは部材同士のなじみの進行の影響と思われるごく微小な値の変化が見られたものの、その他の測定点においては、試験中を通して同じ挙動を示しており、また、部材の損傷なども見られないことから、耐疲労性についても問題がないことが確認できた。

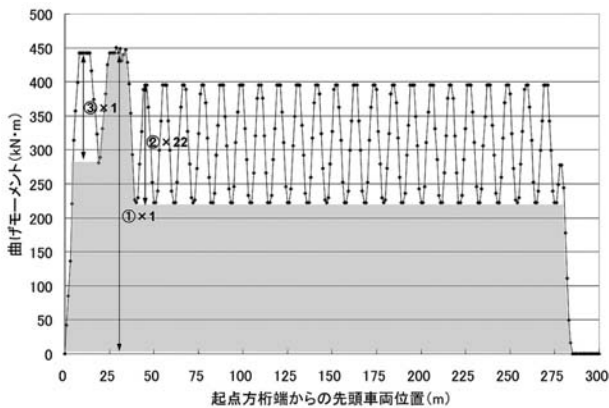


図19 スパン10mの桁のモーメント波形



図20 繰り返し荷重試験実施状況

## 6. 実大載荷試験

実構造における荷重の伝達の確認のため、実大試験体を製作した。H500 (L=5,000mm) 2本を添接した L=10,000mm の主桁2本と18本の受桁 (H200、L=2,500mm) からなり、受桁上には木マクラギをボルト締結し、マクラギに犬ギで50Nレールを敷設した (図21、図22)。

レール上の4点に各200kNずつの計800kN (支間中央部

に発生する曲げモーメントがE-17+衝撃荷重 [130km/h] と同等となる荷重) を荷重した (図23)。

荷重の結果、各測点とも不安定な挙動は見られなかった。荷重がレール・マクラギを介して受桁、主桁によく伝達されており、局所的な応力集中もなく、支点部や添接部も健全な状態を維持していた。また、主桁・受桁のたわみ、ひずみの傾向はFEM解析の結果と近い値が得られた。

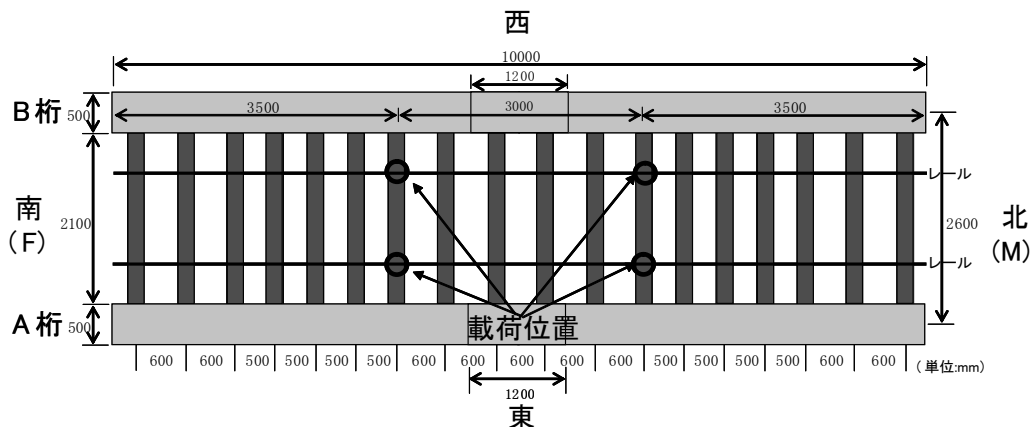
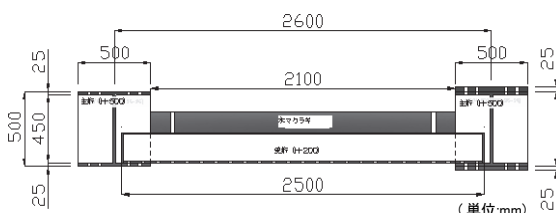


図21 実大載荷試験体 (平面)



主桁: H500 × 500 × 25 × 25 (リース材)  
受桁: H200 × 200 × 8 × 12 (リース材)  
添接板 PL: 1200 × 500 × 25 (リース材)  
ボルト: M22 (F10T)  
マクラギ: 木 (L=2100, b=200, h=140)  
締結装置: 犬ギ

図22 実大載荷試験体 (断面)

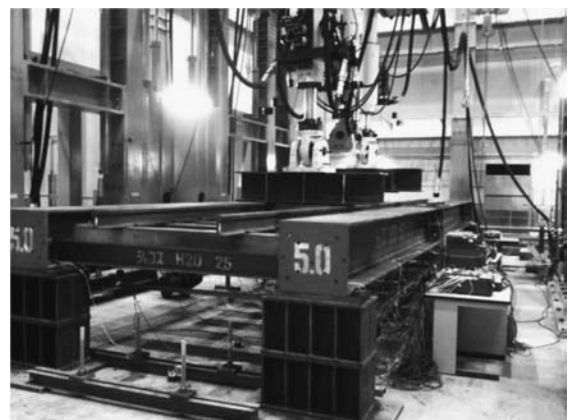


図23 実大載荷試験状況

図24に主桁のたわみの実測値とFEM解析値(1/4モデル)の比較を示す。図上の矢印は載荷位置を示している。東側に位置するA桁は数mm解析値を上回ったが、西側に位置するB桁は解析とほぼ同様であった。これらの値は、主桁の設計たわみに対して80%弱であり、また、鉄道構造物等設計標準(変位制限)<sup>2)</sup>における単連の場合のたわみ制限である1/400に対して1/555と下回っており、十分性能を満足しているといえる。

図25には受桁のたわみの実測値と解析値の比較を示す。測点の位置は各受桁の中央であり、たわみ量には主桁のたわみ量も含んでいる。桁の南北ともに解析値に近いたわみ値となった。

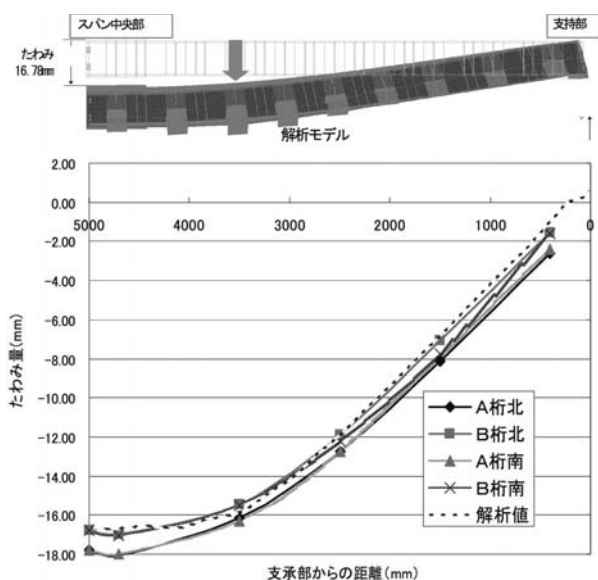


図24 実大試験 主桁のたわみ比較

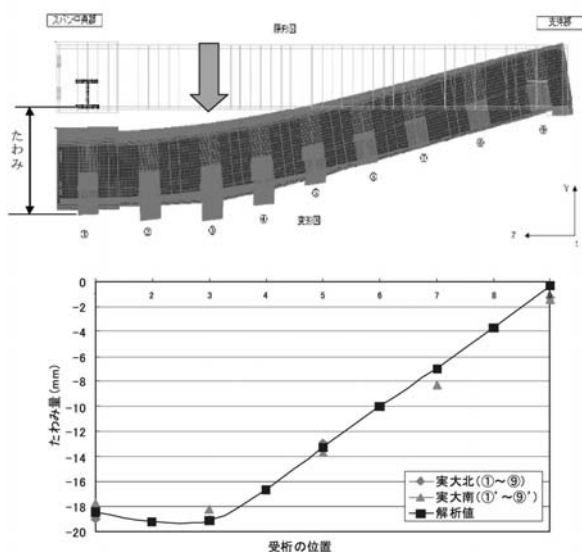


図25 実大試験 受桁のたわみ比較

## 7. 実構造への適用イメージ

本構造の設計上のたわみから求められる最大スパンは約10mである(最高速度130km/hの場合、鉄道構造物等設計標準(変位制限)<sup>2)</sup>)。今回、最大スパンでの実大試験を含む各種試験などにより、支間10mまでの実構造に適用可能であることが確認できた。

適用にあたり、特別な補強は不要であり、主桁・受桁などの主構造は汎用品のみで構成することが可能である。加工や別途製作が必要になる事柄としては、主構造部においては部材の接合部の摩擦面に対する処理のみであり、それ以外においては支点部のプレートの製作、受桁と固定するためのマクラギへのボルト孔あけである。なお、今回の実験ではマクラギに並マクラギを用いたが、実構造への適用にあたっては建築限界の余裕確保・曲線への対応の目的で、マクラギ高さが並マクラギより高い橋マクラギの使用を標準とする予定である。

これらの結果をもとにL=10mの工事桁について、従来型の工事桁と本構造について、上部工(主桁・受桁・ボルト・マクラギ)の材料費を試算したところ、4年半より使用期間が短い場合においては本構造の方が、安価に製作できることがわかった。本構造の適用範囲であるスパン10m以下の工事桁を必要とする工事は小～中規模で、工期がそれほど長くないことから、これらに本構造を適用することにより工事費のコストダウンが見込まれる。

## 8. おわりに

以上より、鋼製山留材を用いた工事桁が、スパン10m程度の工事桁として十分性能を満足していることを確認した。本構造は入手が容易な材料で構成され、加工も軽微で組立も容易であることから、材料調達も含め、製作工期が従来工法より短く済む利点があり、特に使用期間が短期間の場合は、従来型の工事桁より安価に製作することが可能であるため、実構造への適用を目指し、細部の検証や標準化を進めているところである。

### 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所; 鉄道構造物等設計標準・同解説, 鋼・合成構造物 (2009.7)
- 2) 鉄道総合技術研究所; 鉄道構造物等設計標準・同解説, 変位制限 (2006.2)
- 3) 白神 亮, 柳沼謙一; 汎用H形鋼を使用した鉄道用工事桁の構造特性に関する解析的検討, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集 (2010.9)
- 4) 今 裕之, 柳沼謙一, 後藤貴士, 工藤伸司; 汎用H形鋼を使用した鉄道用工事桁の構造特性に関する実験的検討, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集 (2011.9)