

# 多機能橋梁常設足場の開発

## 耐用年数 100 年の長寿命化を目指して

藤 川 敬 人・田 村 康 行

近年、道路橋の老朽化が大きな問題となっており、2014年に橋長2m以上の橋梁において5年に一度の近接目視点検が国交省令で義務化された。しかし、鉄道上や幹線道路、海上などにある多くの橋梁は近接目視点検を簡単には行えない状況にある。このような背景から、高耐食外装材で橋梁の下面、側面を覆い、常に全面的近接目視点検を安全に容易に行うことができる高耐久性の多機能橋梁常設足場を開発した。本橋梁常設足場は足場としての機能に加え、橋桁や床版下面の防食機能、コンクリート剥落防止機能、路下火災から橋桁を護る防火機能、橋体からの騒音拡散を防ぐ遮音機能、および景観性向上を図る美装機能も有している。

キーワード：橋梁、点検、近接目視、足場、防護工、防食、維持管理、長寿命化

### 1. はじめに

重要な社会インフラである道路橋は、近年急速な老朽化が大きな問題となっており、2014年に橋長2m以上の橋梁において5年に一度の近接目視点検が国交省令で義務化された。しかしながら、多くの橋梁は予算および要員の課題に加え、設備面においても近接目視点検や修繕を簡単には行えない環境に置かれている。一般的な上部工検査路では点検可能範囲は限られ、橋梁点検車などは交通規制や作業効率の問題を有している。特に写真—1のような鉄道上や幹線道路・海上の橋梁では仮設足場の設置・解体作業に多大なコストと時間を要し、十分な点検・維持管理を実施できない要因となっている。

筆者らは、このような市場ニーズに対応し、橋梁主構造の近接目視点検をいつでも安全、確実に、

た修繕作業も容易に行え、更に橋桁や床版下面の防食機能、コンクリート剥落防止機能、路下火災から橋桁を護る防火機能、橋体からの騒音拡散を防ぐ遮音機能、および景観性向上を図る美装機能などを有する多機能橋梁常設足場を開発した。本稿では橋梁常設足場の適用事例および構造概要を紹介し、主要部材である裏面パネルと吊支持材の性能検証結果について述べる。

### 2. 橋梁常設足場の概要

#### (1) 適用事例

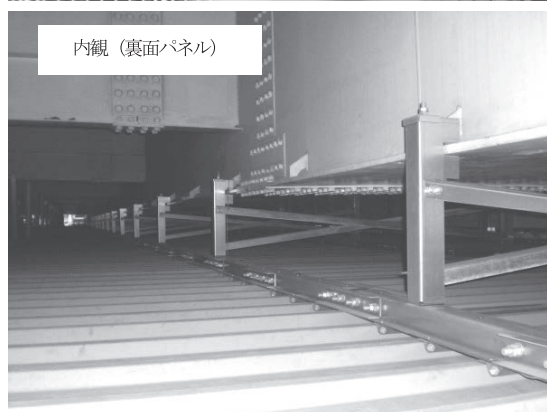
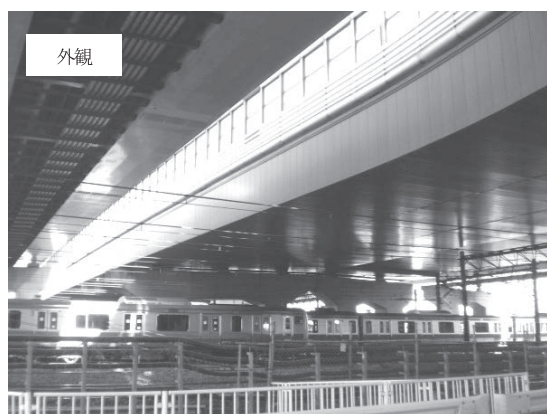
外面をチタン仕様とした多機能橋梁常設足場は2002年に開発され、製鉄所構内の新設橋に設置して足場機能、防食機能などの検証を行った。写真—2に示すように、国土交通省羽田空港D滑走路工事の延べ面積56万 $\text{m}^2$ の栈橋、連絡橋にも採用され<sup>1)</sup>、その



写真—1 鉄道上の鋼桁橋



写真—2 チタン仕様事例



写真—3 塗装ステンレス仕様事例

後、より安価で外面配色を自由に選定できる塗装ステンレス仕様も開発し、写真—3に示す既設橋（東日本高速道路東京外環自動車道東北本線跨線橋）に設置された<sup>2)</sup>。

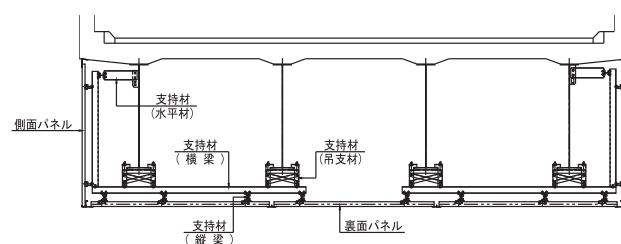
また、本年は壁高欄部の点検路となるように側面部上部のパネルが開閉できる構造（写真—4）も開発した。現在、首都高速道路の高架橋や沖縄、日本海沿岸などの数件の道路橋に多機能橋梁常設足場が採用され、施工中である。

## (2) 構造概要

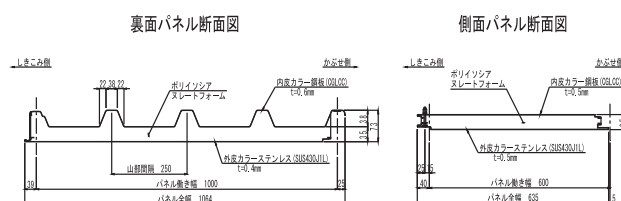
図—1に橋梁常設足場の断面図、図—2にパネル材の断面図を示す。パネルは専用工場ライン製造する金属サンドイッチパネルと呼ばれる構造であり、外



写真—4 開閉式側面パネル



図—1 橋梁常設足場断面図



図—2 パネル断面図

面となる外皮材には高耐食性の塗装ステンレス鋼もしくはチタン製の薄板を使用している。足場内面となる内皮材にはガルバリウム塗装鋼板を用い、芯材としてポリイソシアヌレートフォームを充填している。パネルは高耐食プレメッキ鋼板を加工した支持材で橋梁本体に固定され、パネル間や橋脚、橋台との取合いは高耐候性のゴムパッキンを使用した目地材で塞ぐ構造である。各部材は足場としての作業荷重や風荷重に対して所要強度、剛性を確保するように設計される。

## (3) 機能

多機能橋梁常設足場の第一の機能は、足場・防護工機能であり、橋梁主構造の近接目視点検をいつでも安全、確実に行え、修繕作業も容易に行うことができる。また、ボルトや剥落コンクリートなどの落下防止対策にもなり、パネルの耐火性能から路下火災から橋桁を護る防火機能もある。

第二の機能は防食である。高耐食のパネルで鋼桁、床版下面を覆い、風雨、飛来塩分、紫外線等の鋼材腐食・塗膜劣化因子を遮断<sup>3)</sup>し、かつパネルの断熱機

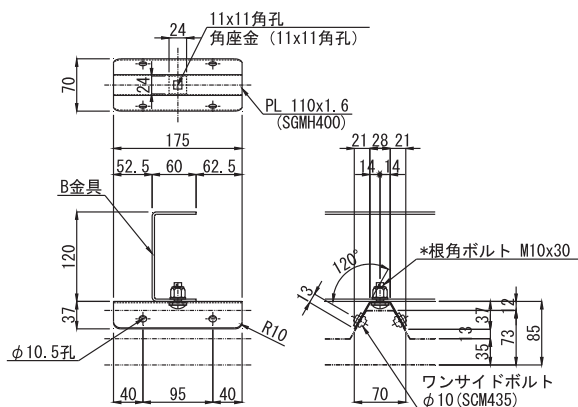
能で結露を抑制することで内部空間の腐食環境を緩和して腐食を抑制することができる。

その他の付加機能としては、橋体からの騒音拡散を防ぐ遮音機能、今後増加する老朽橋の補修・補強策として増桁や外ケーブルを用いる場合にも景観への配慮が不要となる美装機能がある。

### 3. 裏面パネルの性能確認

#### (1) 耐荷力試験

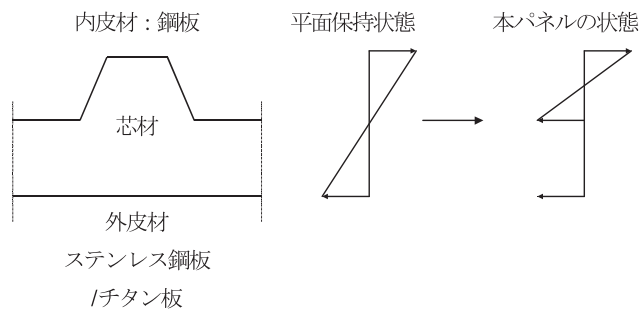
橋梁常設場の裏面パネルの支持構造を図—3、写真—5に示す。支持構造は内皮材をワンサイドボルトで固定する専用構造であり、支持点の耐荷力とパネルの梁構造としての断面性能の確認を行った。支持点の耐荷力は平均最大荷重 15.2 kN であったため、設計許容耐力を 5.0 kN とした。パネルはポリイソシアヌレートフォームを芯材とした金属サンドイッチ構造であるが、試験結果から図—4に示すように、断面は平面保持状態でなく、内皮材の下端と外皮材がほぼ同じひずみ量となること、正曲げおよび負曲げともに内皮材の降伏によって終局状態に至ることが分かった。表—1に裏面パネルの断面剛性を示す。



図—3 裏面パネル支持構造詳細



写真—5 裏面パネルの支持構造



図—4 裏面パネルのひずみ状態

表—1 裏面パネルの断面剛性（1 m 幅当り）

| 外皮材仕様 | 断面二次モーメント<br>cm <sup>4</sup> | 内皮材断面係数<br>cm <sup>3</sup> | 外皮材断面係数<br>cm <sup>3</sup> |
|-------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ステンレス | 45.7                         | 14.5                       | 60.7                       |
| チタン   | 31.5                         | 10.5                       | 34.7                       |

#### (2) 作業員落下衝撃試験

裏面パネル上に作業員が飛び降りた場合を想定し、その衝撃に対して脱落などの異常が生じないことを検証した。予備試験にて、人の落下による衝撃力を砂袋の落下による衝撃力に換算した場合、どの程度になるかを検証した。その結果、工具等の装備込みで 90 kgf とした作業員が高さ 1.0 m から H 形鋼梁上に飛び降りた衝撃力は砂袋（重量 90 kgf、直径 300 mm）を高さ 0.4 m とした場合と同等であることが分かった。

パネルの作業員落下衝撃試験は、各試験体当たり砂袋の落下回数を 40 回とし、落下位置はパネルの曲げとせん断が同時に卓越する単純梁のスパン 1/4 点に自由落下させる方法とした（写真—6）。その結果、パネル山部に局所的な変形は見られたが、支持金具および裏面パネル外面には損傷は見られず、十分な安全性を確保していることが分かった。

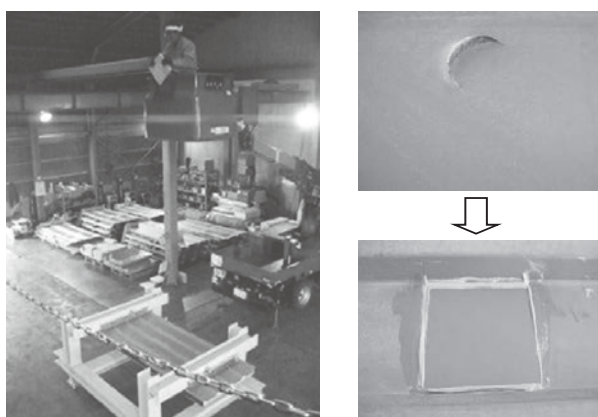


写真—6 作業員落下衝撃試験



### (3) コンクリート剥落試験

塩害などによる経年劣化に伴いコンクリートの剥落落下の危険性が高まっており、特に鉄道および道路、駐車場などの上空にある橋梁の場合には、第3者災害が危惧されている。そこで、コンクリート片落下に対する耐衝撃性能を確認するために、床版コンクリートのかぶり部分を想定したコンクリート試験片（30 cm × 30 cm × 3 cm, W = 6.5 kg）を高さ4 mから自由落下させる試験を実施した。試験片の角部が突き刺さるよう最も厳しく落下させた場合でもパネルの局部損傷で収まり、十分な落下防護性能があること、内皮材鋼板の接着で容易に修復できることを確認した。写真—7にコンクリート剥落試験の状況とパネル内皮材の局部損傷およびその補修状況を示す。



写真—7 コンクリート剥落試験状況

### (4) 疲労試験

橋梁常設足場の裏面パネルは風洞実験<sup>4)</sup>などにより、比較的大きな風荷重による負圧が作用することが知られている。長期間の風荷重の繰り返しによる疲労耐久性を検証するために、スパン2.0 mの2径間連続梁のチタン仕様パネルに① 1.0 kN/m<sup>2</sup>、② 2.0 kN/m<sup>2</sup>、③ 3.0 kN/m<sup>2</sup>の等分布荷重を載荷する試験を実施した。試験結果を表—2に示す。

表—2 裏面パネルの疲労試験結果

| 試験体 | 荷重<br>w (kN/m <sup>2</sup> ) | 支点反力<br>R0 (kN) | 金具当り<br>反力<br>R (kN) | 破壊回数<br>N (万回) |
|-----|------------------------------|-----------------|----------------------|----------------|
| 1   | 1.0                          | 2.5             | 0.83                 | 120            |
| 2   | 2.0                          | 5.0             | 1.67                 | 38.8           |
| 3   | 3.0                          | 7.5             | 2.50                 | 7.1            |

損傷したケースではいずれも中間支点部のパネル芯材がせん断破壊しており、疲労破壊の状況から支点部の反力の影響が大きいと考えられ、裏面パネルの疲労

耐久性能を支点金具の反力を用いて整理した。

$$N' = 3.36 \times 10^6 \times R^{-4.21} \quad \dots (1)$$

## 4. 吊支持材の性能確認

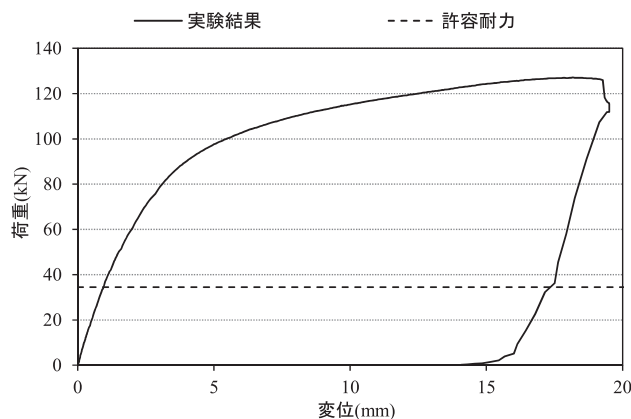
裏面パネルの吊支持材は高耐食ブレメッキ鋼板を加工したもので、主桁下フランジなどを挟み込む形式で橋梁本体に固定される。特に既設橋に適用する場合に橋梁本体への溶接や孔明けを必要としないことから、施工性に優れるのが特長である。

### (1) 耐荷力試験

写真—8に吊支持材の静的試験状況、図—5に荷重—変位関係を示す。主桁下フランジに見立てた載荷治具に鉛直上向きの荷重を載荷させた。約40 kN程度まで線形的な挙動を示し、その後、隅角部などで塑性変形が生じ破壊に至った。終局耐力は鋼材の許容応力度から算出した許容耐力の約3.7倍あり、十分な靱性を有する構造であることを確認した。



写真—8 吊支持材静的試験



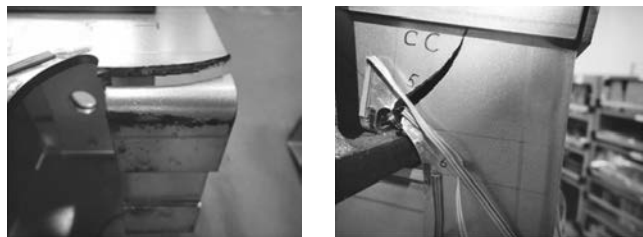
図—5 荷重—変位関係

## (2) 疲労試験

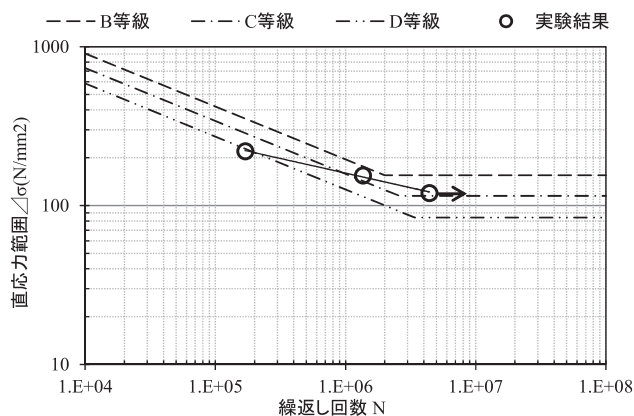
静的試験結果を踏まえ、隅角部に着目した疲労試験を実施した（写真—9）。損傷箇所は写真—10に示す載荷部の曲げ加工部および隅角部の応力集中点であった。吊支持材の疲労等級は図—6のS-N曲線を示すとおりC～D等級相当であることがわかった。



写真—9 吊支持材疲労試験



写真—10 損傷状況（左：曲げ加工部、右：R部）



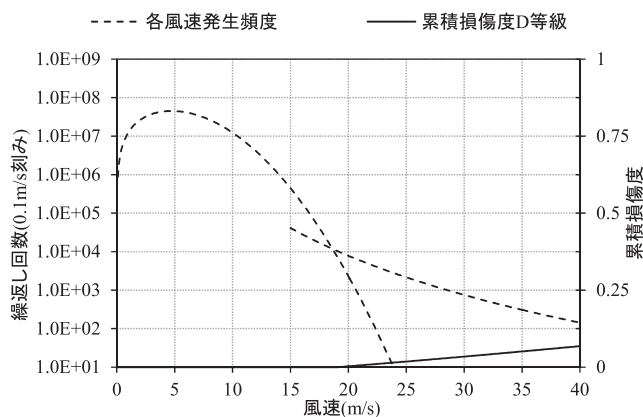
図—6 吊支持材の疲労等級

## 5. 疲労照査

橋梁常設足場への繰返し荷重としては交通振動による慣性力と風荷重が考えられる。大型車が通過する際の鋼桁橋の主桁振動の応答加速度は約100 gal程度であることが既往の研究<sup>5), 6)</sup>で報告されており、橋梁常設足場は非常に軽量であり、交通振動による慣性

力および部材の応力振幅は軽微で疲労限以下になることを確認した。

橋梁常設足場の耐風疲労は建築物の外装材と同様であり、建築外装材の耐風疲労設計に関する既往研究<sup>7)</sup>を参考に設計した。図—7に東京地区における各風速100年間の繰返し回数（0.1 m/s刻み）および累積損傷度による疲労照査の結果を示す。建築外装材のように風力変動に伴う共振が生じない部材の繰返し回数は、風荷重のピーク回数と考え、単位時間当たりのピークを1回/秒としている。風速毎の回数は各地の観測データと台風シミュレーションのデータを基に算出式が示されており、風速19 m/s以下は通常風、以上は台風に伴うものである。累積損傷度は支持材の作用応力度を許容応力度とし、支持材の疲労等級を先述の実験結果の最低等級D等級として照査した結果である。その結果、累積損傷度DはD = 0.07で1.0には余裕があり、耐風疲労性能は問題にならないことが明らかとなった。



図—7 疲労照査結果

## 6. おわりに

多機能橋梁常設足場は鋼桁橋だけでなく、塩害防止やコンクリート剥落防止対策として、プレストレストコンクリート橋への適用も計画されている。予防保全型の維持管理が重要視されてきており、橋の設計段階から供用期間中に予定する維持管理の方法や必要となる維持管理設備等について適切に考慮することが求められている。多機能橋梁常設足場は、このような要求に応える有効な手段となるもので、今後も更なる改良を加え、橋梁の長寿命化とライフサイクルコストの縮減に貢献していきたい。

## 《参考文献》

- 1) 藤川敬人, 野呂直以, 七浦恒康, 石原達也, 野口孝俊: 新しい鋼橋防食法としてのチタンカバークラウド工法の性能確認, 橋梁と基礎, 2008.6
- 2) 永目憲一郎: 東京外環自動車道東北線跨線橋に設置した永久足場, 土木施工, Vol.55, pp.80-82, 2014.8
- 3) 七浦恒康, 佐藤弘隆, 藤川敬人, 鈴木恵太: 臨海部橋梁における高耐食外装材の防食性能, 橋梁と基礎, 2014.10
- 4) 藤川敬人, 岡本 有造, 石原 孟, 野口 孝俊: 羽田 D 滑走路橋脚部カバークラウドの風荷重算定について, 土木学会年次学術講演会論文集, pp.311-312, 2008.9
- 5) 河井宏允, 藤田正則: 外装材等の耐風疲労設計, 日本建築学会学術概要集, 2005.9
- 6) 蘇迪, 嶋田優樹, 三輪陽彦, 藤野陽三, 長山智則, 水谷司: 交通荷重下の鋼桁橋の応答計測と局部応力の評価, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.205-213, 2014.3
- 7) 畔上昌己, 安藤直文: 鋼桁橋から発生する低周波空気振動問題への対策, 橋梁振動コロキウム 2011 論文集, pp.166-170, 2011

## [筆者紹介]

藤川 敬人 (ふじかわ のりひと)  
新日鉄住金エンジニアリング(株)  
建築・鋼構造事業部 鋼構造営業部  
ゼネラルマネージャー



田村 康行 (たむら やすゆき)  
新日鉄住金エンジニアリング(株)  
建築・鋼構造事業部 鋼構造営業部  
エコパイル・橋梁商品営業室

