

# 橋梁メンテナンス技術の現状と課題

Present Status of Bridge Maintenance Technology

広島製作所 岡 俊 蔵\*<sup>1</sup>  
 横浜製作所 秋 山 洋\*<sup>2</sup>  
 神戸造船所 岸 明 信\*<sup>3</sup>  
 技術本部 村 井 亮 介\*<sup>4</sup>  
 三菱重工工事株式会社 勝 野 壽 男\*<sup>5</sup>

橋梁メンテナンス事業は、従来からの機能維持のための補修にとどまらず、機能向上、震災対策、環境保全等ここ数年の社会的ニーズの変化に合わせて、その内容は多様化かつ高度化してきている。もともと幅広い技術要素を必要とするメンテナンス分野であるが、平成5年11月の大型車両規制緩和に伴う既設橋梁の耐荷力向上、さらに平成7年1月の兵庫県南部地震を教訓とした耐震性の向上に対する新たな技術的対応が求められている。橋梁メンテナンスには点検・計測、分析・評価・診断、補修補強設計・施工等の幅広い技術が必要である。本報ではその中でも、今後更に重要性が高くなると考えられる“点検・診断技術”や“補修・補強技術”に関する現状と課題について当社の経験を踏まえて解説する。特に、“大型車両対応に関する技術”においては、補強重量の軽減を可能とする“パネル鋼床版の施工事例”及び“FRP材料関連の研究”について当社の取組みを述べる。最後に、“既設長大橋の耐震性診断”の解析手段として、実用性の高い非線形動的解析手法について紹介する。

Bridge maintenance includes repair to maintain and improve bridge functions, implement earthquake countermeasures, and ensure environmental preservation as society develops and diversifies. We are focusing on the improvement of load capacity related to the deregulation of heavy vehicles in 1993, and earthquake technology reflecting the lessons of the Kobe Earthquake in 1995. To reinforce slabs and steel girders in the deregulation on traffic, replacement of steel deck slabs and the use of fiber reinforced plastic (FRP) are effective in minimum increment in weight. Non-linear dynamic analysis, which is superior to its calculation time, cost and accuracy, has been developed and made practical for the diagnosis of earthquake resistant proofing for existing long-span bridges. We present the status of bridge maintenance from inspection and diagnosis to repair and reinforcement.

## 1. ま え が き

橋梁メンテナンスには、従来より、点検診断及び補修補強に関する幅広い技術があった<sup>(1)</sup>。大型車両規制緩和措置の施行及び兵庫県南部地震を契機として、その内容は更に多様化かつ高度化してきている。本報ではそれらの多様化・高度化している技術のうち、点検・診断技術、大型車両に対する補強技術、既設長大橋の耐震性診断技術について解説する。

## 2. 点検・診断技術

既設橋梁数の増加に伴い、橋梁の点検・診断業務も短期間かつ低コストで実現できることが求められている。橋梁の点検・診断業務を高コストにしている要因の代表的なものとして足場の設置等の省力化が難しいことが挙げられる。当社ではこれらの点を解決する点検技術の開発を進めており、以下に2例を紹介する。

### 2.1 RC床版のひび割れ点検

既設橋梁のRC床版の亀裂損傷確認は、足場を設置して目視点検とスケッチにより行われている。これに対して当社では、望遠レンズ付きデジタルカメラと画像処理技術を組合せることで、足場が不要なひび割れ点検技術の開発を進めている。

ひび割れの判別にはデジタル画像に幾つかの画像処理を施すことにより行うが、処理方法によるひび割れ検出の可否を検討した結果を表1に示す。エッジ強調処理を用いることで幅0.1~0.2mmのひび割れまで判別可能である<sup>(2)</sup>。

表1 各種画像処理条件での0.2mmのひび割れ検出  
Comparison of detectability of 0.2mm width crack with some image processing technique

| 距離   | 通常カメラ | 高感度カメラ |    |     |       |
|------|-------|--------|----|-----|-------|
|      |       | 原画像    | 微分 | 2値化 | エッジ強調 |
| 3.5m | ×     | △      | △  | ○   | ◎     |
| 10m  | ×     | △      | △  | ○   | ◎     |

注) ◎: 検出良好 ○: 検出可能  
△: 一部検出可能 ×: 検出不可能

これまでのところ、図1に示すように河川敷から10m程度上方の実橋床版について0.1~0.2mm幅の亀裂の検出とパソコンによるデータ管理を可能としている<sup>(3)</sup>。撮影に100~300mmの望遠ズームレンズを用いることで10~20m程度の遠隔からでも良質な画像が得られ、足場なしで地上からの床版点検が可能である。デジタルカメラと画像処理ソフトを搭載したノートパソコンを組合せることにより、電源も不要で小型軽量かつ現地で結果が出せる携帯検査システムが構築できた。

現状では、汚れなどで床版の濃淡差が大きい場合にはひび割れの判別が困難な場合があり、ひび割れ検出方法の改良を検討中である。

近年、デジタルカメラの画素数は急速に増加していることから、ごく近い将来により広い範囲が一度に撮影可能になると期待している。さらに、ひび割れ幅判定や床版の健全度判定機能についても開発を進めていきたい。

\*1 鉄構技術部橋梁設計課

\*2 鉄構技術部開発グループ主務

\*3 鉄構部構造設計課

\*4 広島研究所物質工学研究室

\*5 技術本部橋梁リフレッシュエンジニアリング室長

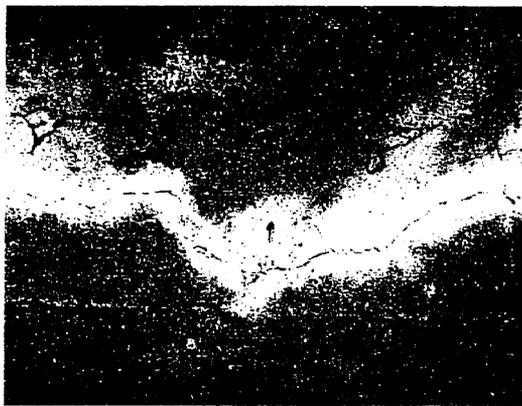


図1 CCDカメラシステムで撮影された床版のひび割れ  
河川敷から10m程度上方の床版を撮影し、0.1~0.2mm程度のひび割れが確認できた。  
Crack in concrete deck detected by CCD camera & image processing technique

## 2.2 実応力度計測技術

既設橋の余寿命予測、補強並びに改造の要否を診断するためには、実交通状況下での応力変化状態を把握することが重要である。現在は応力測定にひずみゲージを用いているが、取付時の足場の設置、塗装除去及び復旧など付帯作業が必要となるため、多大な費用と期間を要している。

そこで当社では、主桁(けた)下フランジなどの一般部の応力を簡便に測定する手段として、塗膜上から応力測定が可能な図2に示す磁石固定型変位計式応力センサを開発した<sup>(4)</sup>。これは $\pi$ 型変位計の両端を磁石で固定し、基準長さ間の伸び量から応力を求めるものである。実交通下でもずれや振動を生じない磁石固定方法などがセンサ設計上のポイントであり、実橋試験を通じて適切な条件を設定している。

塗膜上に磁石で固定できるため、塗膜除去や後の復旧が不要となる。また、高所用の取付けジグを用いれば5m程度の高さまで足場なしで測定することが可能である。供用下の実橋応力測定試験により、このセンサはひずみゲージに対して応力レンジ50MPa程度で $\pm 10\%$ 以内の精度で主桁の応力を測定できる。また、図3に示すようにひずみゲージとほぼ同等の応答追従性を確認している。

## 3. 大型車両対応に関する補強技術

大型車両に関する規制緩和措置の結果、耐荷力向上を必要とする場合には、RC床版及び主構造の補強を実施することが多い。

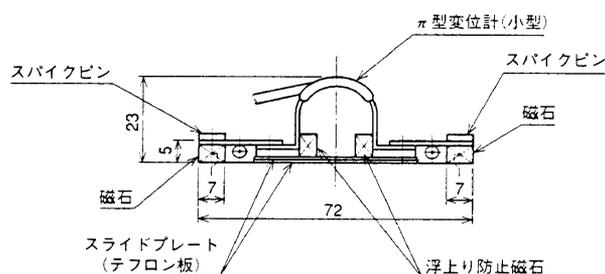


図2 磁石固定型変位計式応力センサ  $\pi$ 型変位計と磁石から成るセンサで塗膜上から鋼桁に固定し、応力計測が可能である。  
Stress measuring sensor construct of displacement gauge and magnet

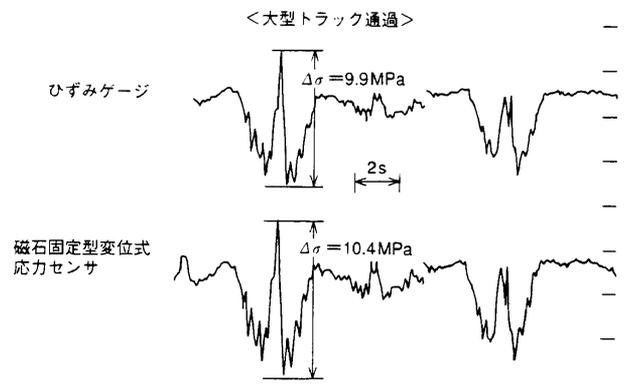


図3 実橋における応力計測例 ひずみゲージ(上)と磁石固定型変位計式応力センサ(下)の比較のために、大型トラック走行時の主桁の応力波形を計測した。

Comparison of stress waves of main girder measured by strain gauge and stress measuring sensor

## 3.1 RC床版及び主構造の補強法とその課題

RC床版の主要な補強方法として、縦桁(主桁)増設・鋼板接着工法、RC床版増厚工法及びカーボクロス工法が採用されている。また、主構造の主要な補強方法として、主桁・主構増設工法、外ケーブルによる補強及び鉄桁の箱桁化等が採用されている。

これらの補強方法は、橋梁全体の死荷重を増加させ、常時及び地震時に作用する応力度が増加する。このため、補強重量はできるだけ軽く抑える必要がある。

この観点から、耐荷力の向上と補強重量の軽量化についての技術検討に取組んだ“三菱パネル式鋼床版”及び“GFRP材を用いた補強”について概要を紹介する。

## 3.2 三菱パネル式鋼床版の開発<sup>(5)(6)</sup>

既設橋のRC床版を鋼床版形式に更新することは、構造の軽量化が図れること、品質管理が容易で信頼性が高いこと及び現場の施工期間が短いこと等の利点がある。

これらの鋼床版形式による更新の利点を有効に活用するため、以下に示すパネル式鋼床版を開発した。ここでは、図4に示すその構造概要と利点について説明する。

### (1) パネル式鋼床版の構造概要

- ① パネル式鋼床版は橋梁形式によって主桁あるいは横桁上で支持され、支持間隔を一つの施工単位として構成されている。
- ② パネル式鋼床版は主桁あるいは横桁と高力ボルトで強固に接合されている。
- ③ パネル式鋼床版は、パネル単独でも活荷重に耐えるように設計している。パネル単位を相互に逐次連結して最終的には一体化構造とする。

### (2) パネル式鋼床版の利点

- ① RC床版に比べて死荷重が小さいので、取替えによって橋体の活荷重に対する耐荷力が増加する。また、下部工の負担が軽減し、耐震性向上にも寄与する。
- ② 取付け方により、縦桁又は主桁も合成又は重ね梁として補強され、剛性及び耐荷力が向上する。
- ③ 既設主桁や横桁などの大型車両対応の新荷重(B活荷重)に対する補強を最小限、場合によっては不要にすることができる。
- ④ パネルは工場で作られるので安定した品質が確保できる。また、現場では高力ボルト及び溶接で取付けるので、強度的にも信頼できる。
- ⑤ 現場工期が他の方法より短くできる。

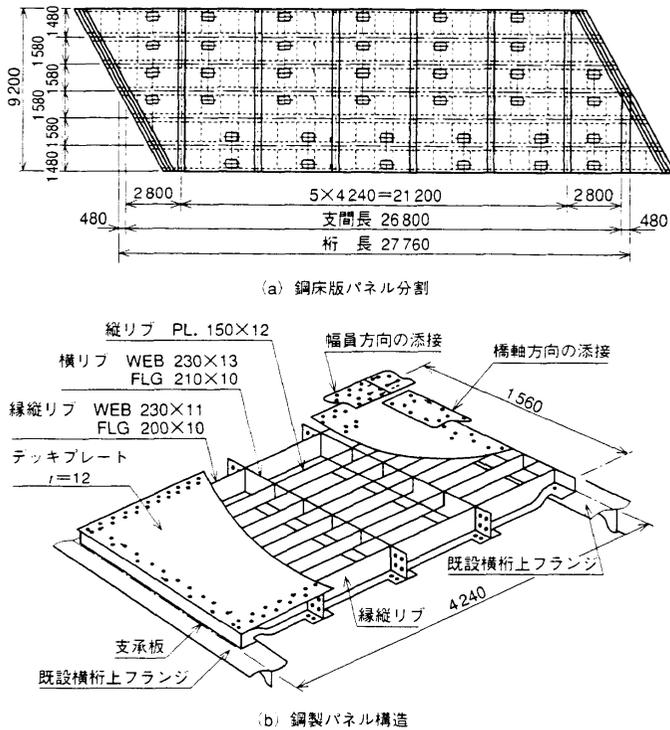


図4 鋼床版パネル構造 (a) 取替えを行った RC 床版における鋼床版パネルの分割と (b) 既設横桁上フランジ間で取替えられた鋼製パネルの構造を示す。  
Structure of steel deck panel

⑥ パネル単位の取替えを行うので、部分的な交通規制により施工できる。昼間は全面供用し、夜間のみ部分規制で逐次施工する方法も採用できる。

(3) 設計施工例

RC 床版をパネル式鋼床版に取替えた事例として、神奈川県藤沢跨線橋の例を紹介する。

本橋は、昭和 34 年に東海道本線上に架設された 1 等橋で、諸元は以下のとおりである。

支間：26.8m、道路幅員：8.4m、歩道幅：1.5m×2  
形式：下路単純 2 箱桁橋、斜角 64°

約 40 年の供用を経た厚さ 15cm の車道部 RC 床版の損傷が顕著で、撤去及び更新することとなった。更新に当たっては、以下の条件下でコンクリート系各種プレキャスト床版と比較検討を行った。

- ① 床版と同時に主桁・床組も新活荷重で照査し、必要あれば補強する。
  - ② 取付け道路との関係で路面高は現橋と同じにする。
  - ③ 鉄道上で床版の撤去・架設作業は夜間の 1.5 時間に限る。
  - ④ 車道の交通規制は夜間半幅のみとし、昼間は全幅供用する。
- その結果、主桁・床組の補強が不要で、軽量でかつ取付けの簡単なパネル式鋼床版が採用されることになり、これらの厳しい条件を満足することが可能となった。

3.3 GFRP 材を用いた既設鋼橋の補強に関する基礎研究<sup>(7)</sup>

大型車向に対する床版及び主桁の補強重量の低減を目標に、経済性も考慮した結果、ガラス繊維補強材 (GFRP 材) に着目した。RC 床版を有する既設鋼橋の補強材として GFRP 材の適用性を確認するため、補強構造の考案及び縮尺模型による疲労実験を実施した。

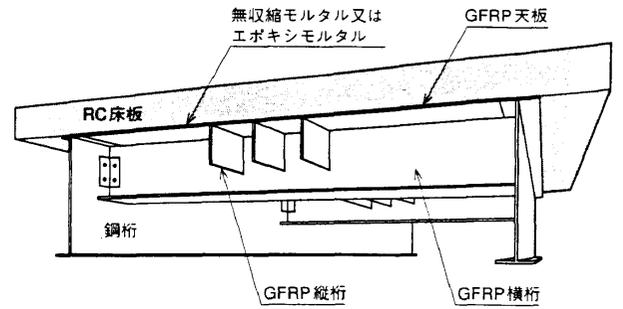


図5 GFRP 補強構造 既設床版下面に取付けられた GFRP 補強材を示す。  
Reinforcement of concrete deck using GFRP

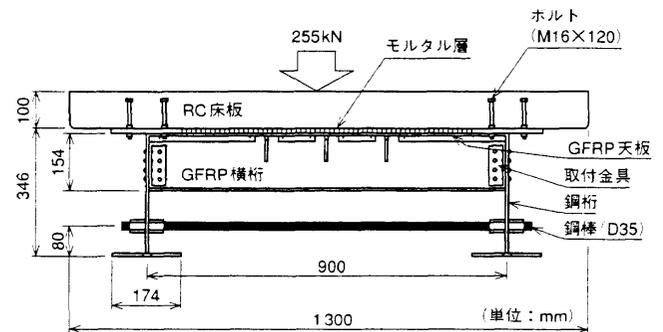


図6 定点疲労実験供試体 GFRP で補強された実橋の 1/2.5 断面の供試体を示す。  
Experimental specimen reinforced by GFRP

表2 床版下面と GFRP との接合状態  
Adhesion method of concrete deck and GFRP reinforcement

| 供試体の種類 | RC 床版下面と GFRP 天板との接合面 |
|--------|-----------------------|
| No. 1  | 無補強                   |
| No. 2  | 無収縮モルタル充填 (付着なし)      |
| No. 3  | エポキシ樹脂モルタル充填 (接着)     |

表3 GFRP 補強による応力・たわみの低減率  
Reduction rate of stress and deflection by GFRP reinforcement

| 供試体   | 低減率 (%) |      |      |         |         |     |      |
|-------|---------|------|------|---------|---------|-----|------|
|       | RC 床版   |      | 桁 桁  |         |         |     |      |
|       | たわみ     | 鉄筋応力 | たわみ  | 上フランジ応力 | 下フランジ応力 |     |      |
|       |         |      | 外側   | 内側      | 外側      | 内側  |      |
| No. 2 | 30.8    | 48.3 | 5.0  | 28.3    | 32.2    | 6.3 | 15.2 |
| No. 3 | 35.7    | 62.4 | 1.75 | 46.0    | 58.5    | 8.2 | 17.3 |

GFRP 材で補強した RC 床版を有する鋼桁橋の概要を図 5 に示す。格子状に組んだ部材に天板を張付けた GFRP 補強構造を床版下面に密着させ、部材両端を主桁ウェブの上部側面にボルト接合によって取付ける構造を考案した。

次に、図 6 に示す実橋の 1/2.5 断面の小型模型供試体を対象に上限荷重 255kN、下限荷重 59kN とした 50 万回の定点疲労荷重試験を行い、RC 床版及び主桁に対する GFRP 材の補強効果について実験的な検討を行った。

本研究では、この GFRP 構造の補強効果を明らかにするために、表 2 に示すような既設 RC 床版下面の接合状態をパラメータとして実験を行った。

表3に上限荷重時におけるGFRP補強前に対する補強後の床版及び鋼桁のたわみ及び応力度の比を低減率として示す。

実験より得られた結果をまとめると次のとおりである。

- ① RC床版下面のGFRP材と既設床版との接合面の充てん材として無収縮セメントモルタルを用いた場合に、補強前に比べRC床版鉄筋に対して約50%、主桁上フランジに対して約30%程度の曲げ応力度の低減効果が見られた。
- ② エポキシ樹脂モルタル充てん材を用いた場合は、それぞれ約60%、約50%という極めて大きな曲げ応力度の低減効果が認められた。
- ③ 鋼桁下フランジに対する補強効果は充てん材の種類にかかわらず約10%程度にとどまり、別の補強策の併用が必要である。

以上より、低ヤング係数のGFRP材でも既設橋の補強材として適用が十分可能であることが判明した。今後は補強目標に合ったGFRP補強材の設計、既設構造とGFRP補強材との接合法等実用化に向けて更なる検討をしていきたい。

#### 4. 既設長大橋の耐震性診断技術

##### 4.1 耐震性診断の現状

兵庫県南部地震以降、耐震設計法の見直しがなされ、それに基づいて、高架橋の橋脚耐震補強、支存取替え及び落橋防止装置の改良等の工事が、主要幹線道路を中心に全国的に実施されてきた。その一方で、国内には既に吊橋、斜張橋、アーチ橋等地震時の挙動が複雑な長大橋が多数存在しており、これらの激震時における橋梁全体挙動の検討が実施されつつある。

長大橋の耐震検討を進める場合には、大節点構造の全体モデルを用いた直接非線形動的応答解析を行う必要がある。これらの長大橋の応答解析には、多大な計算時間と検討費用を要することが課題となっていた。

##### 4.2 実用的解析法の開発<sup>18)</sup>

当社では、この課題を解析するために、実際の設計レベルで実用可能な長大橋用の非線形地震応答解析プログラムを開発した。

このプログラムの特徴は以下のとおりである。

- (1) 質量凝縮法の導入により、長大橋の構造設計に用いる三次元全体骨組モデルを流用した解析を行うため、モデル化に当たっての構造簡略化作業が不要となる。さらにアウトプットとして、設計評価で重要となる個々の部材単位における応力度まで直接得られる。
- (2) 非線形時刻歴解析法として、陽積分法を採用しているため、大節点構造物であっても比較的lowコストで、高精度の解が得られる。
- (3) プログラムの基本仕様として、以下の非線形特性が考慮できる。
  - ① 基本特性：バイリニア、トリリニア、武田モデル等
  - ② 支承特性：剛塑性、摩擦、がた・衝突等
  - ③ 部材特性：軸力-モーメント相関、トラス部材の座屈、ケーブル等
  - ④ 基礎・地盤特性：Hardin-Drnevichモデル、Ramberg-Osgoodモデル等

このプログラムを用いた解析例を図7に示す。今後、この実用

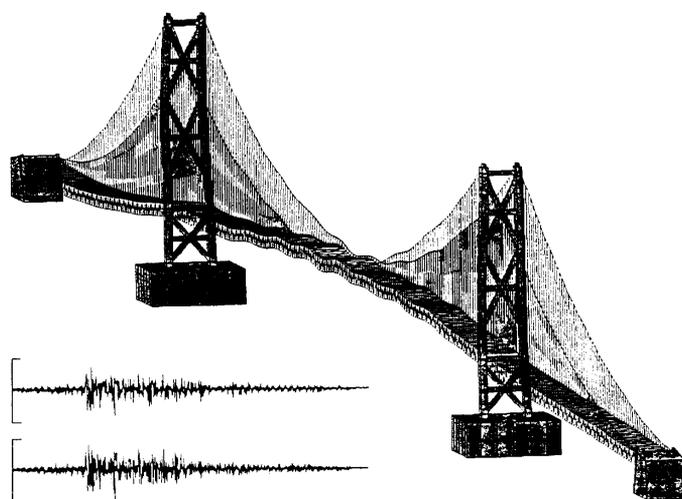


図7 長大橋の非線形耐震解析例 大規模全体構造系からなる長大吊橋の耐震シミュレーション例を示す。

Non-linear seismic response analysis of long span bridges

的解析法を国内に多数存在する既設長大橋の耐震性診断の有効な手段として活用していきたい。

#### 5. む す び

現状の橋梁のメンテナンス技術について解説したが、メンテナンス技術の内容は多岐にわたり、しかも複雑化しており、点検・診断から施工、維持管理に至るまで、幅広い専門的で高度な技術が要求されてきた。

今後、急激に増加する橋梁ストックに対して、コスト削減を念頭においたメンテナンス技術、とりわけ、長大橋耐震補強技術並びに塗装及び床版の維持管理技術の開発が重要であると考えられる。それらに対応すべく橋梁メンテナンス技術の蓄積・開発に今後とも積極的に取り組んでいきたい。

#### 参 考 文 献

- (1) 和田宏一ほか、鋼構造物メンテナンス技術の開発、三菱重工技報 Vol. 26 No.6 (1989) p. 538
- (2) 柳沢栄一ほか、高感度画像強調カメラを用いたコンクリート床版ひび割れの遠隔点検に関する研究、土木学会第53回年次学術講演集I (1998-10)
- (3) 岡 俊蔵ほか、CCDカメラを用いた床版ひび割れ検出に関する実橋試験、土木学会第54回年次学術講演集I (1999-9)
- (4) 藤井正直ほか、変位計を利用した簡易応力センサの開発(その2) 土木学会第53回年次学術講演集I-A 258 (1998-10)
- (5) 萩原 淳ほか、パネル式鋼床版による藤沢跨線橋の補修設計、三菱重工工事橋梁メンテナンス技術レポート、Vol. 1 (1997) p. 72
- (6) 勝野壽男ほか、標準パネル式鋼床版の開発、三菱重工工事橋梁メンテナンス技術レポート、Vol. 2 (1999) p. 48
- (7) 日野伸一ほか、ガラス繊維補強材を用いた既設鋼橋の補強に関する基礎的研究、土木学会第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集 (1998-11) p. 289
- (8) 佐々木伸幸ほか、長大吊橋の立体骨組モデルによる非線形地震応答解析、橋梁振動コロキウム'97論文集 (1997) p. 109