

鋼床版トラフリブの疲労損傷に対する補修・補強

Repairing and Strengthening for Fatigue Cracks at U-Type Rib Plate in Orthotropic Bridge Deck

沓掛 靖夫* 佐藤 徹** 伊藤 幹雄***
 Yasuo KUTSUKAKE Tohru SATOH Mikio ITOH

Summary

A number of cases of damage to road bridges, particularly viaducts carrying urban expressways, have been reported in which the damage was caused by the recent drastic increase in large vehicle traffic, fatigue accumulated over periods of years, and other factors.

Along the Nishinomiya maintenance section of the Hanshin Expressway, damage due to fatigue was found in the butt-welded part of a trough rib of a box girder with steel plate deck. The results of an examination indicated that the damage should be treated urgently so first repairs were performed. Then a study on reinforcing the structure to prevent further damage was performed and such work was carried out experimentally. The efficacy of the repairs and the reinforcement were evaluated by measuring the stress of the bridge.

1. まえがき

阪神高速道路神戸西宮線の5径間連続鋼床版ゲルバー箱桁橋は、鋼床版の縦リブに閉断面リブ（トラフリブ）を用いた構造では初期の橋梁である（図-1）。

供用後20数年経過後の点検時にトラフリブの突合せ溶接部に疲労損傷が確認され、損傷部の補修を行う必要が生じたが、道路橋の疲労損傷事例ではこのような損傷は報告されておらず、まず補修方法の検討から始める必要があった。更にこの時実施した応力測定結果からも、こ

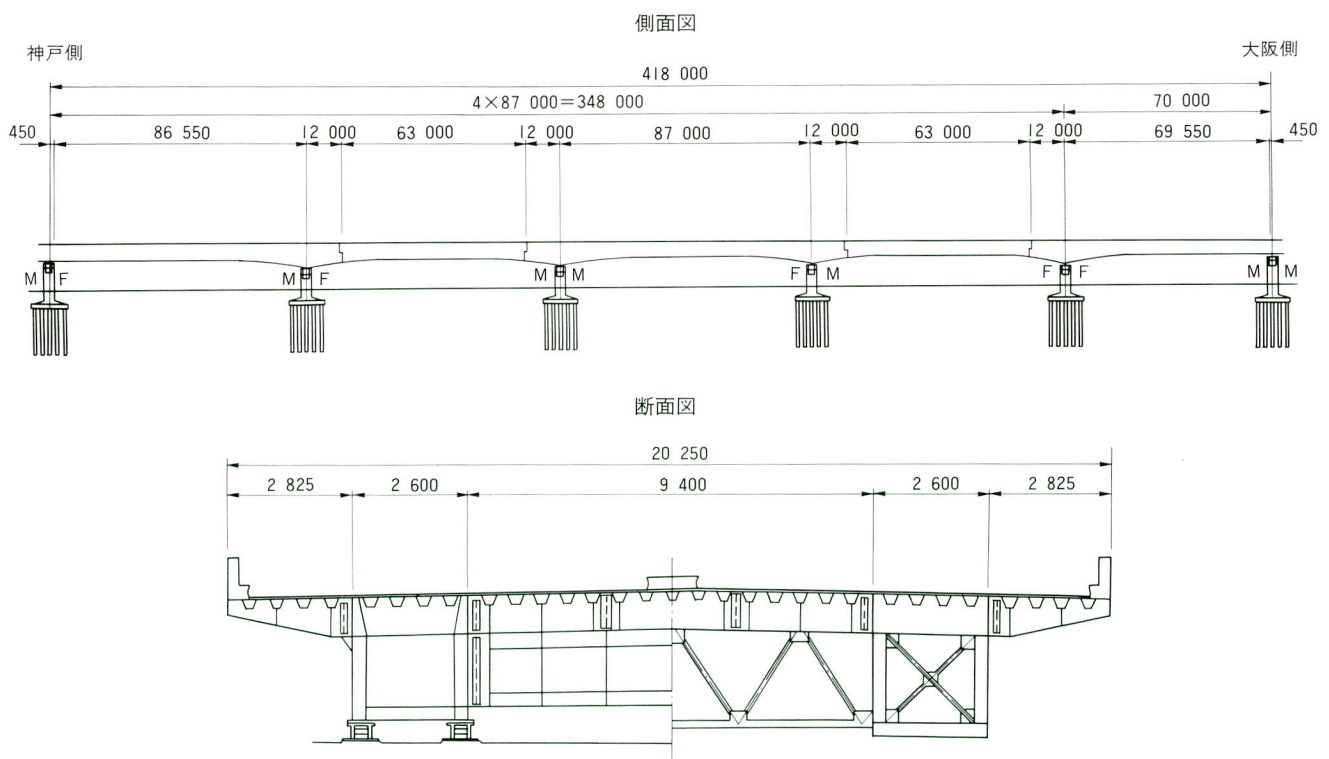


図-1 全体一般図

* 技術本部保全技術室保全技術課長
 ** 技術本部技術開発部技術開発課

*** 富地建設工業(株)大阪支店橋梁構造事業部工事部工課長

の継手が疲労被害を受け易い部位であることが解り、損傷発生を事前に防止する対策として、補強方法の検討も必要となり、幾つかの補強構造について補強効果の確認のための試験施工も実施した。

ここでは補修・補強施工内容と、実橋応力測定による効果検証結果について報告する。

2. 補修施工

(1) 調査点検

補修に際して損傷の詳細点検を実施した。損傷数は56

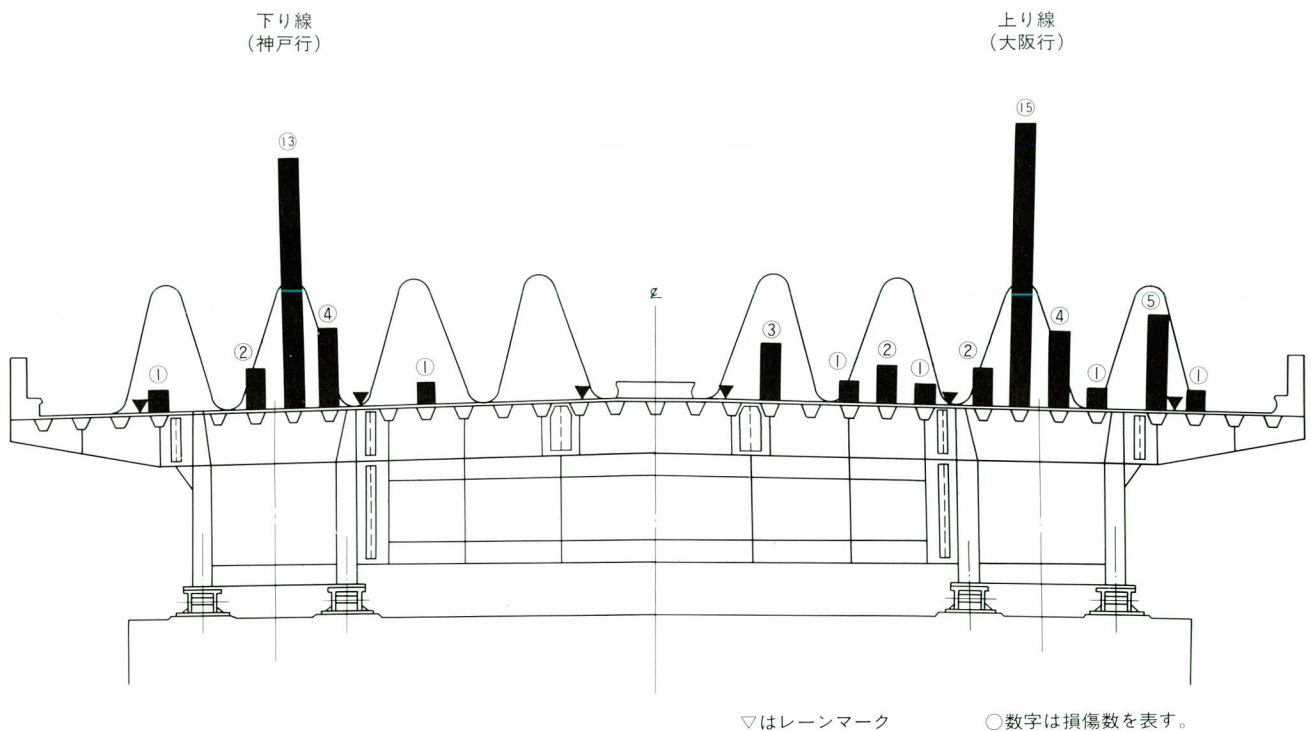


図-2 橋軸直角方向損傷分布

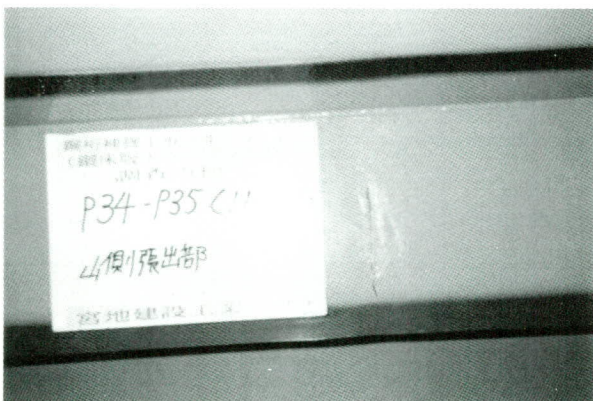


写真-1 損傷状況(a)

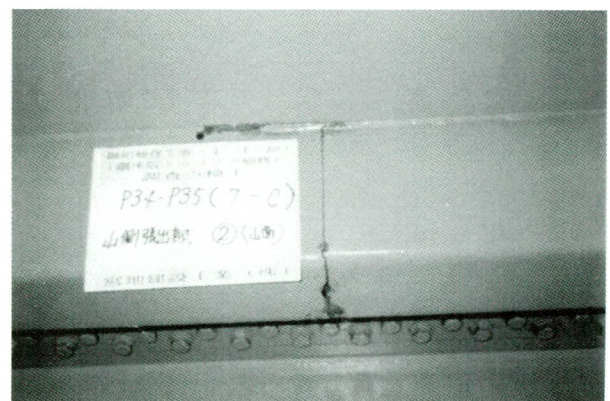
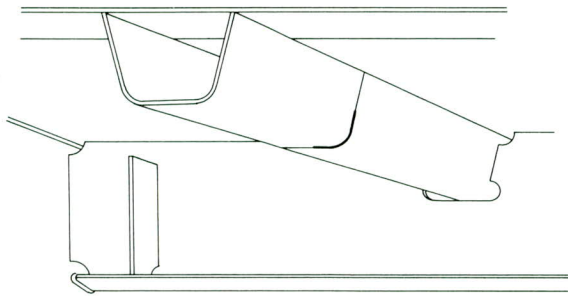


写真-2 損傷状況(b)

トラフリブ突き合せ溶接部の亀裂



トラフリブ突き合せ溶接部からデッキプレートとのすみ肉溶接部に至る亀裂

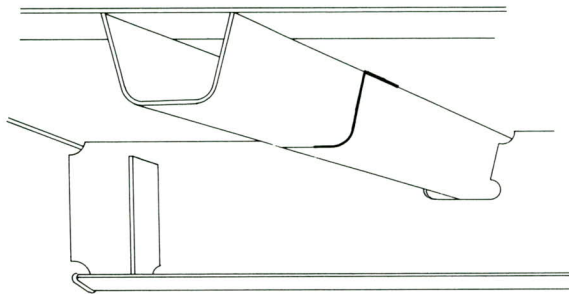


図-3 損傷状況図

(2) 補修構造

詳細点検により確認された疲労損傷は、その損傷度合いに応じて補修構造を決定した。補修構造図を図-4に示す。

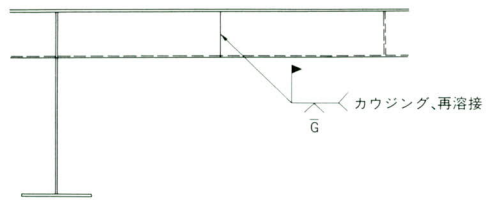
タイプIは突合せ溶接部のみの損傷に対するもので、カウジングにより損傷部を除去し溶接による補修のみで処理出来る箇所に適用した。これに対しタイプIIでは、突合せ溶接部からデッキプレートとのすみ肉溶接部に亀裂が進展している場合、トラフリブをある程度の区間撤去しなければ損傷部を完全に除去する事が出来ない箇所に適用した。

(3) 応力測定

補修施工の前後において、48時間連続測定による応力測定を行った。これは実際の走行車輻による変動応力を測定し、レインフロー法による頻度解析を行ったものである。このデータにより応力範囲と疲労被害累積度（損傷度）を求め、補修効果および継手の余寿命を確認した。

計測位置は端径間から中央径間の3径間分で、損傷箇

タイプ I



タイプ II

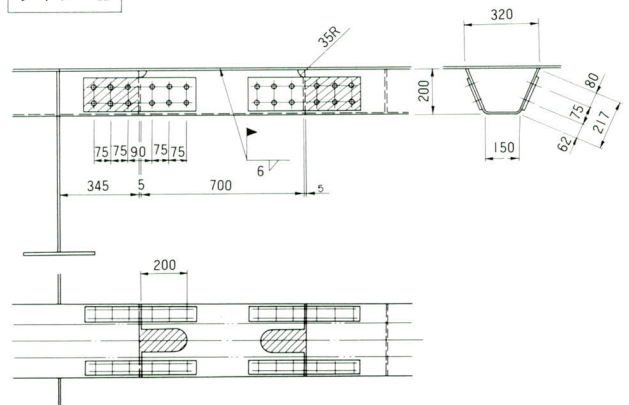


図-4 補修構造図

所および健全部をそれぞれ2、3箇所づつ代表的に選出した。各補修タイプ別に応力測定結果を整理すると表-1のようにまとめることができる。

これらの応力測定結果から、等価応力範囲はコーナー部に亀裂を生じているタイプIIにおいて補修を行うことにより補修後の応力が低下しており、損傷度も同様にタイプIIでは補修後の値が補修前の約1/2程度となっていることが解り、補修効果が確認出来た。但し、損傷度は比較的大きく余寿命としては非常に短い。

タイプIの補修では突合せ溶接部を除去しており、構造そのものが改善されていることから、応力・損傷度が多少高くとも疲労損傷を生ずる可能性は極めて低いと言える。

表-1 補修前後の応力測定結果（48時間頻度計測）

補修タイプ	補修前		補修後		補修後/補修前	
	等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ (MPa)	損傷度 D ($\times 10^{-6}$)	等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ (MPa)	損傷度 D ($\times 10^{-6}$)	等価応力範囲	損傷度
タイプI	8.41	14 397	7.15	7 585	0.850	0.527
タイプII	—	—	7.95	12 890	—	—
健全部	9.58	10 910	9.58	12 885	1.000	1.178

※等価応力範囲は、打ち切り限界を考慮していない。

(4) 補修まとめ

トラフリブ工事継手部の疲労損傷に対する補修方法は、応力測定により一応の効果は確認された。但し、健全部も含め再溶接による補修箇所は、疲労被害を受け易く余寿命は極めて短いことが解った。数年のうちに新たな疲労損傷が生ずる可能性は高く、補強等の予防処置を講ずる必要がある。

3. 補強施工

トラフリブ突き合せ溶接部の疲労亀裂発生を未然に防止するためには、鋼床版の構造を抜本的に補給・改善する必要があると考え、いくつかの鋼床版補強案について試験的に施工を行い、その効果を応力測定により確認し

今後の補強方法の検討資料とするために実施した。

(1) 補強構造

鋼床版の補強は版の鋼性の向上とトラフリブの応力低減を目的に行うこととし、デッキプレート補強案とトラフリブ補強案について構造を検討した。

1) デッキプレート補強案

デッキプレートを高力ボルト接合により増厚し、剛度を増すと共に輪荷重による版の局部変形を抑える構造とした。今回の施工では箱桁上フランジ部について増厚を行っており、補強構造は図-5及び写真-3の通りである。

2) トラフリブ補強

トラフリブに高力ボルト接合により補強板を取り付ける方法である。リブ剛度を増し応力度を低下させるためには、発生応力の大きいリブ下側からコーナー部を補強

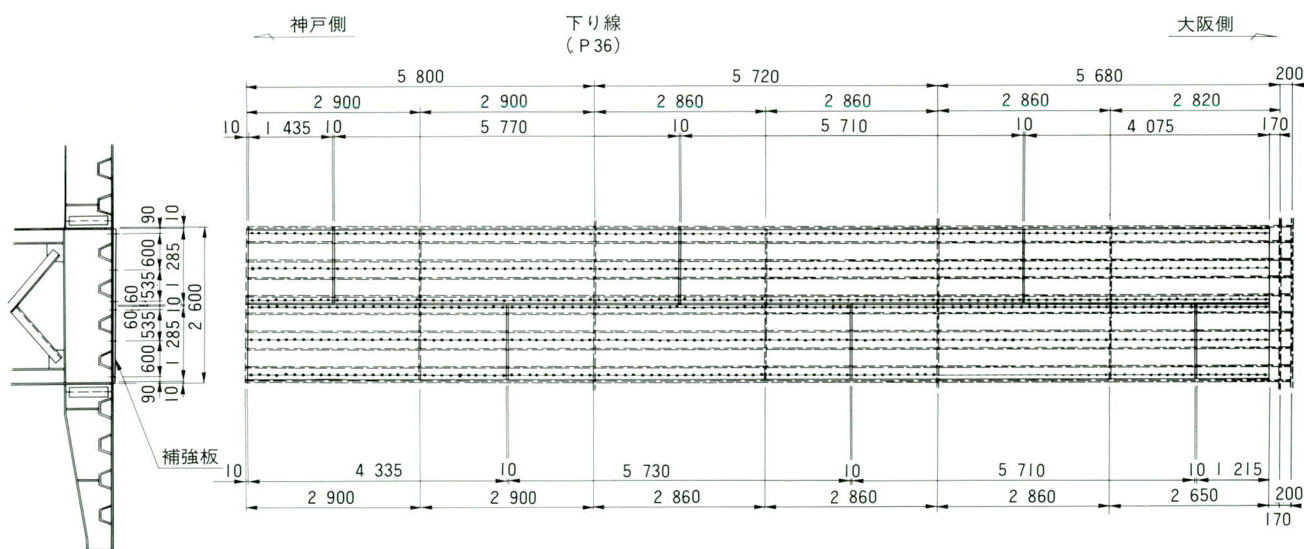


図-5 デッキプレート補強構造



写真-3 デッキプレート補強構造

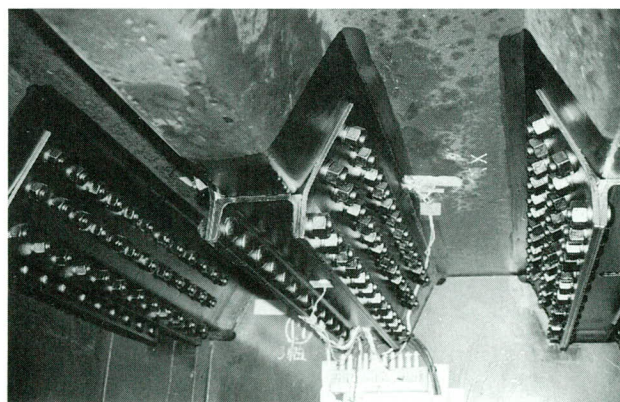


写真-4 トラフリブ補強構造

する方法が最も効果的であるが、リブ形状からの施工性を考慮し図-6に示す3種類の補強構造を比較検討することとした。

トラフリブ補強案3の側面、下面補強型の施工例を写真-4に示す。

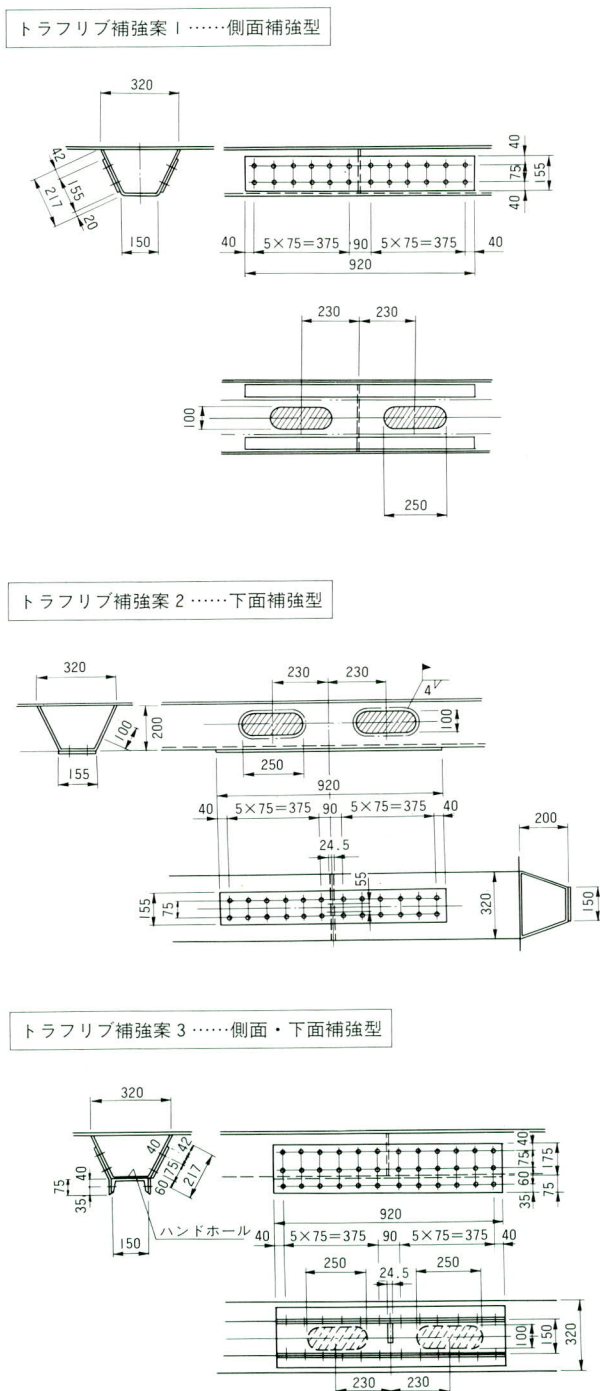


図-6 トラフリブ補強構造

(2) 応力測定

先に示した補強構造は、設計計算上ではそれぞれ応力を低下させることが可能で、一応の補強効果は期待できる。しかしながら補強後の応力レベルも比較的高く、設計計算上は特に考慮されないがトラフリブコーナー部は下面より大きな応力が発生する事、および裏当ダイヤフラムにより局部的に応力が增大することがFEM解析の結果から解っており、実橋での応力状態を把握する必要があると考えた。そこで補強前後で応力測定を行い、前後の比較により実態確認と補強を検証することとした。

1) 測定位置

補強箇所を補修前の点検時に確認した最も著しい損傷のあったP36附近のゲルバー部としたため、工事区間のトラフリブ突き合せ溶接部を選定した。ひずみゲージ貼付け位置はトラフリブの底部中央、コーナー部、デッキプレートとすみ肉溶接部近傍、横リブ交差部のスカーリップ周辺等とした。

2) 測定方法

試験車（総重量20t）走行による応力波形の測定と、48時間頻度計測を行った。

3) 測定結果

(a) 試験車走行試験

試験車走行試験のトラフリブ突き合せ溶接部における応力測定結果を表-2に示す。

(b) 48時間頻度計測

補修施工時と同様に、補強の前後に行った実走行荷重によるトラフリブ突き合せ溶接部の応力頻度解析結果を表-3に示す。

(3) 補強のまとめ

1) デッキプレート補強では応力度を大きく下げることが出来ないが、損傷度かた3~5倍程度の延命化が図れることが解った。但しこの施工方法は橋面上からの作業であり、交通止・舗装剥離等の大がかりな準備が必要であり、制約も多い方法である。

2) トラフリブ側面補強は、デッキプレートとほぼ同様の補強効果が期待できるという結果を得た。仮にコーナー部より損傷が発生した場合でも、補強板がデッキプレートやリブ本体への亀裂の進展を抑える効果もあると思われ、施工性・経済性の面からも有効な補給方法であると思われる。

表-2 補強前後の試験車走行試験結果

対策工法	補 強 前			補 強 後			補強後/補強前	
	最大応力 σ_{max} (MPa)	応力範囲 $\Delta\sigma_{max}$ (MPa)	損 傷 度 D ($\times 10^{-6}$)	最大応力 σ_{max} (MPa)	応力範囲 $\Delta\sigma_{max}$ (MPa)	損 傷 度 D ($\times 10^{-6}$)	損 傷 度	応力範囲
無 補 強	+26.2	39.7	0.150	—	—	—	—	—
側面補強 (案1)	+22.1	32.3	0.090	+16.6	24.0	0.027	0.30	0.74
下面補強 (案2)	+21.7	31.5	0.101	+20.1	28.5	0.046	0.46	0.90
全面補強 (案3)	+16.2	26.3	0.034	+ 5.0	5.6	0	—	0.21
デッキプレート 補 強	+26.2	39.7	0.150	+24.7	34.4	0.080	0.53	0.87

3) トラフリブ下面補強は今回実施した補強方法の中で最も施工性に優れた方法であるが、補強効果はあまり期待出来ない。

4) トラフリブ前面補強が最も効果のある補強方法である。応力度・損傷度共大幅な低減が図れ、工場継手部からの疲労損傷の発生はほぼ完全に防止できると思われる。側面補強より作業性・経済性は若干劣る。

4. あとがき

今回確認された疲労損傷は、基礎構造形式やゲルバー桁であるための振動や衝撃の影響等、この橋梁独自の特殊事情を考慮する必要があるが、疲労設計上も被害を受け易い位置であることから、他の橋梁においても充分注意すべき箇所である。損傷の補修はあくまで一時的な処置であり、損傷が確認された場合は補強も合わせて行う

表-3 補強前後の応力測定結果 (48時間頻度計測)

対策工法	補 強 前			補 強 後			補強後/補強前	
	最大応力 σ_{max} (MPa)	等価応力 $\Delta\sigma_e$ (MPa)	損 傷 度 D ($\times 10^{-6}$)	最大応力 σ_{max} (MPa)	等価応力 $\Delta\sigma_e$ (MPa)	損 傷 度 D ($\times 10^{-6}$)	損 傷 度	等価応力
無 補 強	116	32.6	<5.94> 921.9	—	—	—	—	—
側面補強 (案1)	245	31.3	<8.62> 636.0	62	28.7	<26.7> 204.9	0.32	0.90
下面補強 (案2)	90	29.9	<12.7> 431.5	58	30.0	<28.7> 190.8	0.44	1.00
全面補強 (案3)	103	29.8	<16.0> 342.9	13	1.4	<291.5> 18.8	0.05	0.05
デッキプレート 補 強	117	36.9	<2.62> 2 090	74	31.3	<14.6> 374.4	0.18	0.85

*等価応力範囲は、変動振幅応力に対する打ち切り限界を考慮している。
*損傷度欄の<>は、参考として余寿命(年)を示す。

必要があると思われる。

今回施工した内容においていくつか有効な方法が確認され、実際の施工に対しても適用が可能であるが、今後は他の部位に与える影響も合わせて更に検討を重ねる予定であり、それらの結果についてもいずれ機会があれば報告したいと考えている。

この工事を実施するにあたり、阪神高速道路公団神戸管理部 調査設計課の米倉課長(当時)をはじめ、調査設計課ならびに神戸第一維持事務所の皆様には多大なる御指導を戴きました。また、(財)阪神高速道路管理技術センターの「鋼橋の耐久性に関する調査研究委員会」および、その「疲労損傷の補修・補強検討部会」で検討を行って戴いており、委員ならびに関係者の皆様には深謝致します。

1994.6.25受付