

トラス橋の支承取替え工事における施工事例

SUPPORT BEARING REPLACEMENT OF TRUSS BRIDGES

宮崎好永^{*1}, 瀬田真^{*2}, 谷岸純一^{*3}, 小西拓洋^{*4}

Yoshinaga MIYAZAKI, Makoto SETA, Junichi KISHITANI and Takuyo KONISHI

^{*1} 日本橋梁建設協会 保全委員会 保全技術小委員会 委員長,^{*2} 同技術部会 部会長, ^{*3} 同副部会長, ^{*4} : 同部会員Japan Bridge Association, Maintenance Committee,
Maintenance technique sub committee

ABSTRACT

According to the 1996 bridge design specification, support structure should be appropriately arranged to control bridge behavior under heavy earthquake. For this requirement, upgradings of support bearings have been going on in old bridges.

Jacking up of upper structure is necessary for replacements of support bearings. These replacement works are often conducted without stopping traffics. Jacking up is done in the narrow and confined space under the bridge structures and require speedy and safe process. Important points are jacking up method, design of stiffening structural details of load supporting points and checking of safety during jacking up.

Jacking up of truss bridge has many difficulties compared to that of ordinary I girder or box girder bridges and tend to be headache for constructor. One of the difficulties come from extremely heavy reaction force per one bearing. It makes strengthening of jack-up points difficult. In addition to that, Jack-up points are sometimes set outside of truss node, which induces additional bending in truss members and require strengthening of members or structural system change. This paper summarize 4 cases of truss support replacement, reports concrete procedure of large reaction jack up, influential factors on construction, design and checking points concerning stiffening of members.

KEYWORDS : 支承取り替え, トラス橋, ジャッキアップ
replacement, support bearing, truss bridge, Jack up

1. まえがき

支承部は、橋梁全体の安全性・耐久性に係わる重要な部材であり、支承が求められる機能が確実に保持されなければならない。支承の損傷・劣化などの変状を放置するとさらに進行し、支承の機能を喪失するだけでなく、上下部構造にまでに悪影響を及ぼすこととなる。このためには、日常からの点検・保守作業が重要であるが、状況によっては補修では間に合わず、支承取替え工事による機能回復が必要な場合も生じてしまう。

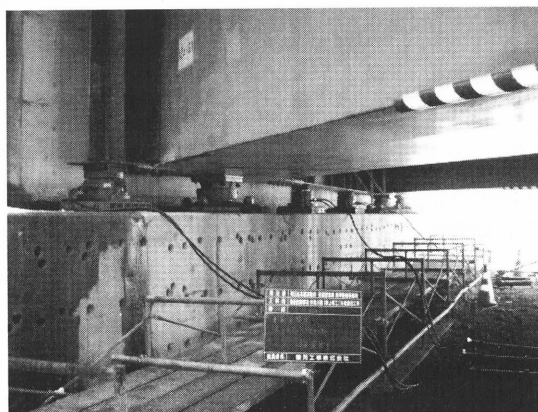
また、兵庫県南部地震を経験し、平成8年の道路橋示方書では支承部については橋を構成する主要構造部材として位置付けられ、上部構造の慣性力を下部構造へ確実に伝達できる構造とすることが基

本とされた。つまり橋梁構造物全体の耐震性能向上を図る補強工事においては、各荷重作用による橋の挙動をどの様に制御するかを考える上で、支承部構造を適切に構成することが重要となる。このため、現在実施されている耐震補強に伴う支承取替え工事の大半は、上記理由による支承のグレードアップ工事と考えられる。

支承の取替え工事は、上部構造をジャッキアップして行う必要がある。工事中は交通規制により通行車両を排除して行うのが理想的であるが、一般的には交通を供用した状態で工事を行う場合が多くなる。狭隘な空間で供用下の上部構造をジャッキアップして行う支承取替え工事は、通行車両による影響を考慮した安全対策を図り、迅速かつ安全な施工が行えるように工法を選定する必要がある。特に重要な検討項目は、いかに上部構造をジャッキアップするかであり、反力受け点の上部工および下部工の照査・補強方法の検討である。

現在、鋼橋の支承取替え工事では、鋼桁橋や鋼箱桁橋の施工実績は非常に多くなっているが、鋼トラス橋の支承取替え工事の実績に関しては豊富とは言えない（写真－1）。これは、トラス橋の支承取替え工事が桁橋や箱桁橋に比較して施工方法が難しく、先送りされてきた傾向にあったためかと思われる。難しさの要因は、桁橋・箱桁橋と比較してトラス橋の場合、1支承当りのジャッキアップ反力が非常に大きいことが挙げられる。ジャッキアップ反力が大きいことにより反力受け点の照査・補強方法を困難になっている。しかも、反力受け点をトラスの格点部から外れた場所に設ける必要があり、条件によっては、（例えば軸力部材である下弦材に設ける必要がある場合など）構造系が変わる事にもなり、十分な施工検討が必要になる。

今回、トラス橋の支承取替え工事の実施事例として代表的な4事例を挙げ、大反力のトラス支承ジャッキアップ工法について、必要な検討項目、照査および補強設計の具体的手法について報告する。



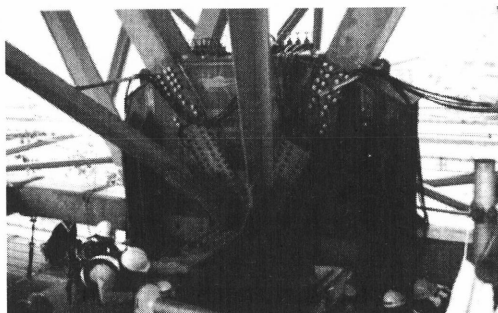
写真－1 鋼箱桁のジャッキアップ状況

2. 補強ガセット方式

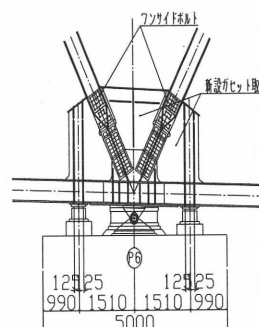
補強ガセット方式は支点部のガセットを拡大して補強材を溶接し、それを利用してジャッキアップする方式である。本事例ではジャッキアップ点は、支承に対して橋軸方向の前後に設けている。主な問題点は以下となる。

- ・ 現場溶接が多くなり、既設部材への影響が懸念される。
- ・ 下部工の拡幅が必要となる。
- ・ 追加ガセットの撤去の要否確認が必要（必要に応じて FEM 解析など）

地震時などの水平力に対処する必要から、片側ずつ施工することにより対処している。補強ガセット方式の留意点や検討項目について記述する。



写真－2 ガセット補強



図－1 ガセット補強図（中間支点）

2.1 ジャッキアップ部の検討

(1). ジャッキの選定

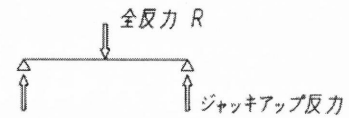
ジャッキのセット位置は、はつり・撤去・据付などの作業に大きく影響する。そのため、セット位置は、はつり範囲・ジャッキ形状を考慮して慎重に決定し、同時に下部工縁端のせん断破壊に対する照査を行う必要がある。

(2). 補強設計

設計に際し構造のモデル化を行う場合、その構造特性を十分に把握しておくことが重要である。補強ガセット方式の場合、そのジャッキ間隔を支間とする単純梁に斜材からの軸力が作用するものとして断面力を算出した。追加ガセットの高さを決定するにあたっては応力度のほかに、斜材やその連結板形状などの取合いも考慮する必要もある。

また、梁として設計するものの、実際の構造は図-2 に示すように支間の割に桁高の高いディープビームとしての挙動を示すことが考えられるので、設計計算の妥当性を確認するためにFEM解析(図-3)も実施した。

設計用単純梁モデル



ディープビームモデル

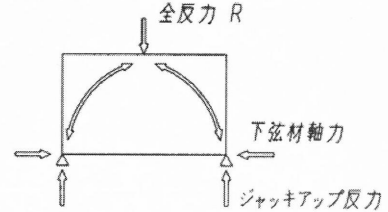
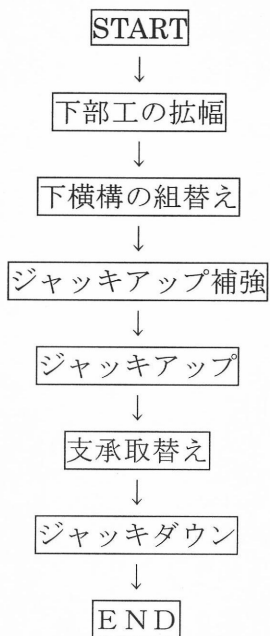


図-2 単純梁・ディープビーム概念



補強ガセット方式の施工フローチャート

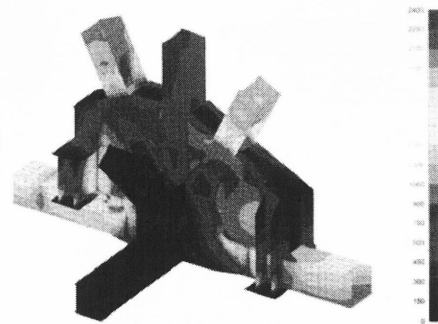


図-3 ガセット部応力コンター図

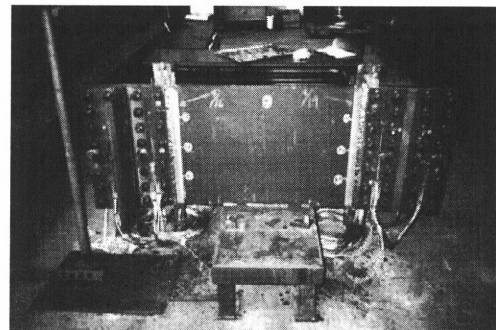


写真-3 実物大の熱影響実験

2.2 溶接施工性の確認

(1). ボルト部への溶接熱影響の確認

中間支点部のガセット取り付けを行うため、既設斜材との取り付け部で継手部のフィラープレートと追加ガセットを突合せ溶接することとなる。既設の高力ボルトから近接する場合には、ボルトが熱を受けるため、その影響を確認する必要がある。ここでは実物大モデルによる実験（写真-3）を行い、ボルト軸力への影響等を確認した。

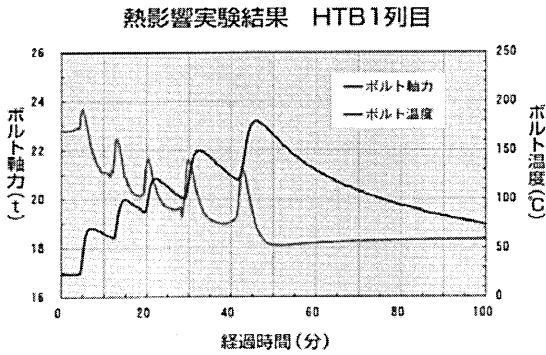


図-4 熱影響結果表

【実験結果要約】（駒井技報 vol.20 より）

溶接線から1列目のボルト軸力と温度の計測結果を図4に示す。これによるとボルトの温度上昇は200℃以下であり、継手耐力が低下するほどの温度上昇ではなかった。しかしながら、ボルト軸力は溶接パスを重ねるごとに低下し、最終的に1列目は20%、2列目8%、3列目4%の軸力が低下した（4列目の軸力抜けは無し）。継手部としては全体の8%の耐力が低下する結果となった。

(2). 溶接施工性の確認

ジャッキアップ補強部が設計どおりの機能を発揮するためには現場溶接の施工を確実に行う必要がある。供用下での施工となる場合には、交通による振動の影響も確認する必要がある。必要に応じて、現地での振動計測を行った。管理限界値については、例えば「供用下にある構造物の溶接施工指針（案）」に示されている値を参考に決定し、計測値と比較し、溶接管理を行っている。場合によっては、現地において同一条件下で溶接施工試験を行い、現場溶接品質を確認することも考えられる。また、溶接部の部材が多いことから、拘束による割れ等を防止するために、拘束力が出来るだけ小さくなるような溶接順序を設定する必要がある。

温度管理として、高力ボルト部への溶接は実験結果を反映させ、接触温度計によりボルト位置での最高温度が200℃を超えないように溶接のインターバルを調整して溶接を実施している。

3. 部材追加方式

ジャッキアップ点と上弦材の桁端格点の間に追加垂直材を設置し、それを利用してジャッキアップする方式である。主な特徴としては

- ・ 現場溶接が少ない。
- ・ 下部工の拡幅が必要となる。
- ・ 追加垂直材の撤去の要否確認が必要。（必要に応じてFEM解析を実施する）
- ・ 片側ずつ施工ができることから、ジャッキアップ時のアンバランスが少なく、水平力の対応も容易で安全性に優れる。

部材追加方式の検討項目や留意点について以下に記述する。

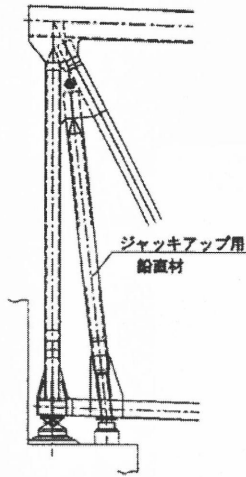
3.1 部材追加方式の検討

(1). ジャッキの選定

ジャッキのセット位置は既設支承と新設支承の平面形状の大きい方の寸法だけではなく、作業スペースを両側に確保することが重要である。

(2). 支点部の設計

支点部に追加するジャッキアップ用の垂直材の設計は、通常のトラス部材の設計と同様に行うことが多くなる。他工法同様に、力の伝達などを適切に判断し設計を進める必要がある。また、局所的な力の伝達の把握するためにFEM解析を実施している。



図—5 概念図



写真—4 追加部材図



写真—5 上弦材側ガセット

(3). ボルトの接合

斜材が箱断面であるため、追加ガセットと斜材の接触部分は外面からしかボルト締めができない。従って、ボルト接合はワンスайдボルト（M22：F8T相当）を使用している。

(4). 追加部材の撤去の要否確認

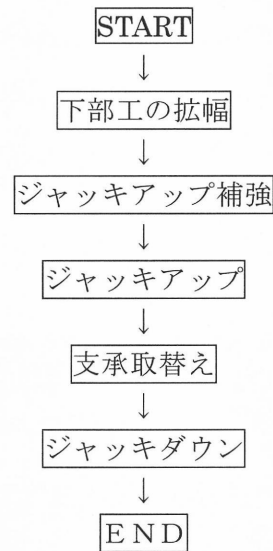
支承の取替え完了後に、荷重の受け点がジャッキから元の支点位置に戻される。このとき、追加した部材により、当初と異なる構造形となっており、斜材の鉛直力により、下弦材に曲げモーメントが作用することが懸念される。このため、ジャッキアップ用の補強材を存置するかどうかの検討を行った。さらに、局所的な応力の確認のために、FEM解析を実施している。

4. 横桁補強方式

横桁補強方式は支点付近の端横桁に垂直補剛材を溶接し、それを利用してジャッキアップする方式である。主な特徴としては以下となる。

- ・ 現場溶接が少なく、既設橋への影響が少ない。
- ・ 高力ボルト接合による垂直補剛材の設置も可能である。
- ・ 下部工の拡幅を必要としない。
- ・ 反力が小さい場合に適用可能である。

主に、横桁補強方式の留意点や検討項目について記述する。

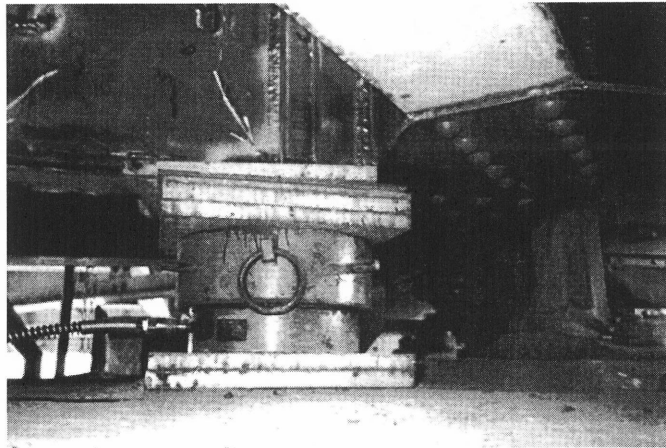


部材追加方式の施工フローチャート

4.1 ジャッキアップ部の検討

(1). 補強設計

他の方式と同様に、横桁補強方式も仮支持点で支点反力を受けるために補剛材の取り付けを行う。その設計は横桁補強方式の場合、FEMなどの簡易的な方法で行うことが決まる。補剛桁の取り付け方法は溶接とボルトの2つの工法があり、現地の状況等を考えて決定するが、作業スペースがあり、ボルトの配置が可能であれば、ボルト方式が現地での施工性が優れる。いずれも、ジャッキアップおよび仮支持点での集中荷重に対して、補剛部材の耐荷力を照査し、座屈、局部変形など破損が生じないように設計を行う。



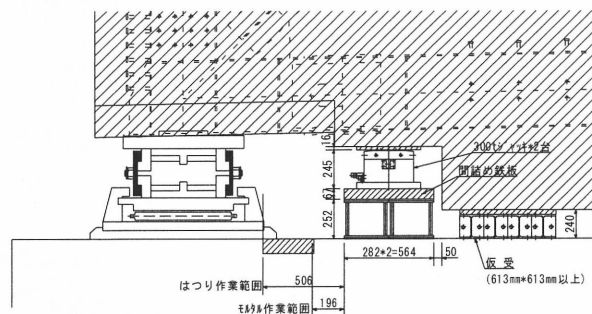
写真－6 横桁補強

5. 巻立てコンクリート方式

既設部材にスタッドを溶植して、コンクリートを巻立て、コンクリート部を利用してジャッキアップする方式である（図－7）。

端支点横桁をコンクリート巻き立てする場合、巻立てコンクリートを落橋防止壁、あるいは段差防止構造にも兼用することが可能です。主な特徴としては以下となる。

- ・ 主構本体の補強が他の方式に比べ少なくなる。
- ・ 下部工の拡幅は不要である。ただし、ジャッキアップ位置での橋座部の欠落ちの照査は必要です。
- ・ 巻立てコンクリートの自重により反力が増加します。
- ・ 橋台上での作業空間が狭くなるため、施工計画にて、作業配慮する必要があります。
- ・ 中間支点は反力が大きいため、十分な検討が必要となります。



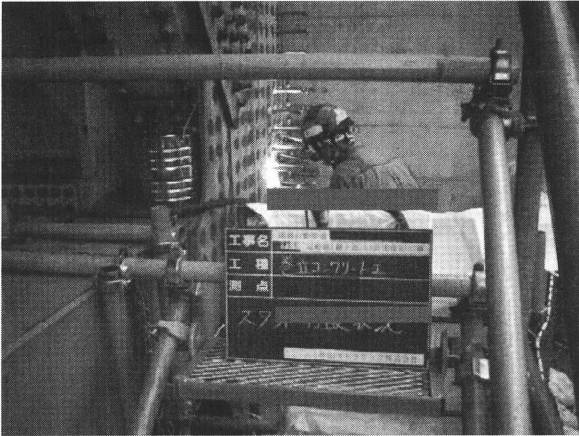
図－7 概要図

5.1 設計・施工上の留意点

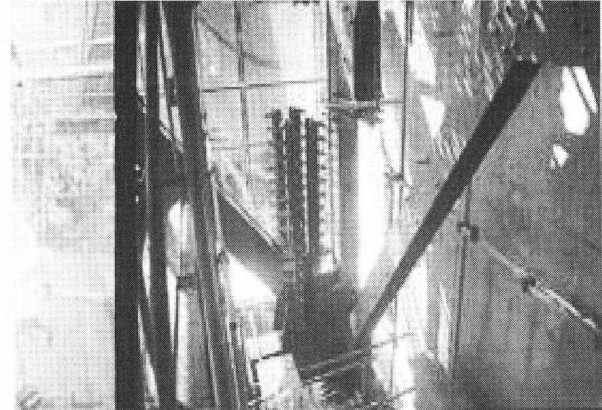
(1). 部材の設計

支点の内側でジャッキアップを行う場合、巻立てコンクリート部材は、曲げモーメントとせん断力を受ける鉄骨鉄筋コンクリート部材として設計を行う。

支点部の上部工反力は、巻立てコンクリートを介してジャッキ支点へ伝達する必要があるため、既設部材と巻立てコンクリートの定着方法はスタッドジベルを採用し（写真－7）、せん断力に対して必要本数を決定する。また、反力の大きい中間支点では、荷重集中点近傍での鋼コンクリートの一体化をはかるため、大掛かりな鋼部材の追加、補強が必要な場合がある（写真－8）。現場の制約条件を考慮して補修補強を決定する。



写真－7 スタッド溶植



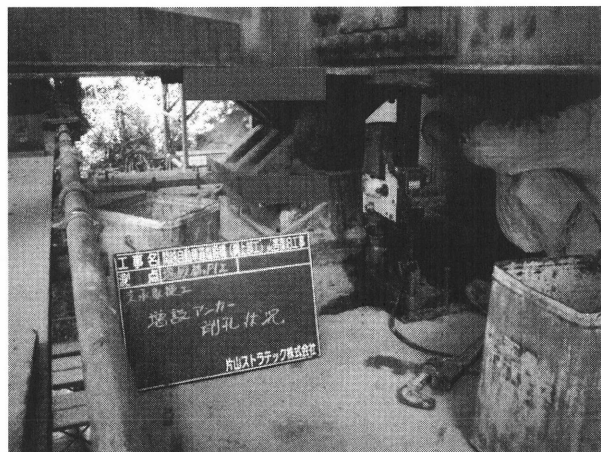
写真－8 ジャッキ支点部補強

巻立てコンクリート部材のひび割れ幅の検討に対しては、鋼材部分を鉄筋に置き換えて照査を行っている。構造詳細については、以下の点を考慮している。

- ・ スタッド溶植は横打ちの際に、溶接のたれが発生することを考慮して、最大径を $\Phi 19$ としている。
- ・ 鋼部材が箱形式の場合、一体化を図るために、箱内に無収縮モルタルを注入する方法もある。
- ・ コンクリート補強のために、ジャッキアップ位置にせん断補強筋を配置した。作業工程短縮のために、早強コンクリートを使用する。

(2). 増設アンカーの施工

道示の改定による水平力の増加に伴い、アンカーボルト本数が増える場合がある。巻立てコンクリート施工後は、作業スペースが狭くなりことから、増設アンカーの施工は、コンクリート巻き立て前に行う必要がある（写真－9）。



写真－9 増設アンカー施工

6. 共通事項

6.1 現場溶接

既設橋に補強部材を現場溶接で取り付ける場合、ジャッキアップ補強部が設計で要求する機能を発揮するためには現場溶接の施工を確実に行う必要がある。供用下での施工となる場合が多いため、交通による振動の影響も確認することが重要である。このため、現地での振動計測を行い、その結果を「供用下にある構造物の溶接施工指針(案)」に示されている管理限界値と比較するなどの対策が必要な場合がある。さらに拘束力が出来るだけ小さくなるように溶接順序を設定する必要があり、溶接施工試験を行って現場溶接に関する最終確認を行う場合もある。

6.2 安全管理

(1) ジャッキアップ反力管理

構造系が複雑な場合、ジャッキアップ反力の算出には、立体骨組構造解析を実施し、死荷重および活荷重反力を把握しておく必要がある。また、複数のジャッキを同時使用することにより不均等反力が考えられるため、使用するジャッキや反力管理手法にあった不均等係数を設定する必要がある。さらに、反力変動の管理限界値を定め、ロードセルなどを用いた反力管理を行い、安全な施工を行うことが重要である。

(2) 変位計測

既設のトラス支承には、一般的にはピン支承が多く、これをジャッキアップするということは、死荷重による回転や温度荷重などによる橋軸方向の力を解放することとなる。そのような場合、支点条件変更による橋脚と桁の相対変位を解析などによって予め算出して管理限界値を設定する必要がある。施工時には、その管理限界値を超えないように、ジャッキアップ時に桁と橋脚の相対変位を計測するなどの管理が必要となる。

6.3 二次応力の影響

ジャッキアップに必要な補強部材を格点部に追加することにより二次応力の影響が心配される。このため、必要に応じてFEM解析を実施し、補強部材撤去の必要性について照査する。二次応力の発生レベルと補強部材撤去に伴う既設部材への影響を考慮し撤去の必要性について判断する必要がある。

7. 将来への展望

支承部は、帯水や塵埃等が堆積しやすいにもかかわらず、狭隘で維持管理が行いにくい場所となっている。したがって、支承の損傷原因は、地震の影響を除くと、腐食を起因とした損傷が多くの割合を占める。従って支承の改良工事に際しては、今後の維持管理環境の改善にも配慮することが必要である。

7.1 支承の長寿命化

トラス橋のように支点反力が大きい橋梁では、支承を取り替えることより、支承のおかれている環境を改善し、適切な維持管理により長寿命化を計ることが必要である。この際の改善点として

- ・ 伸縮装置からの漏水を防ぐ。
- ・ 支承部を通気の良い構造に改善する。

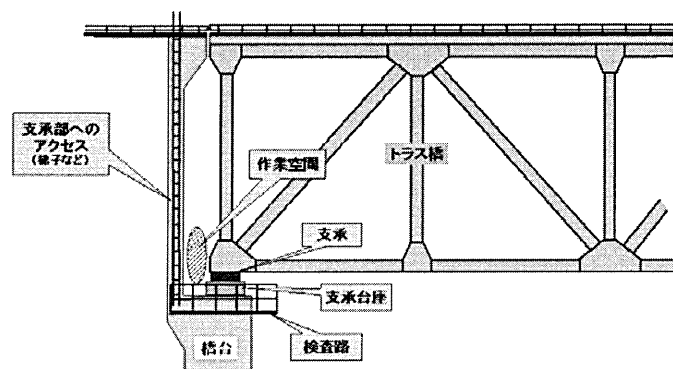


図-8 通気性・維持管理に配慮した支承部の構造(案)

・ 支承部へのアクセス，検査路などの管理設備を設置する。
ことなどが考えられる。支承構造の腐食損傷については，早期に発見し対処することが重要である。
早い段階であればあるほど，低コストで高い効果が期待できる。隅田川にかかっている橋梁の中には，
大正年間に施工されて，支承を取替えることなく現在に至っている橋梁もある。

7.2 ジャッキアップ部材の設置

一般的には，トラス橋において，当初の架設時にジャッキアップ用の部材が設置された実績は非常に少ないと思われる。しかし，架設時の仮受け支点などの施工例から，図-9に示すようなジャッキアップ用構造が考えられ，設計時にこのような配慮を行えば，いざというときの大きなコスト増を抑えることができる。

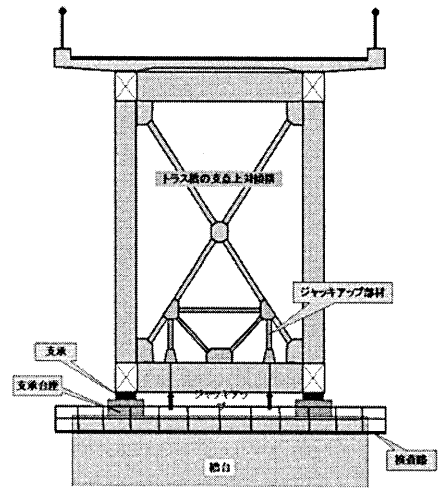


図-9 ジャッキアップ構造 (案)

8. おわりに

トラス橋の支承取替え工事に着目し，これまでの施工実績から代表的な工法について紹介した。今後は，トラス橋
の他，アーチ橋などの大型橋梁，あるいは長大トラス橋や斜張橋などの長大橋梁が残されており，大
反力の支承取替え工事に対応していく必要がある。本報告が計画立案の参考になれば幸いです。