

## 経済的な 既設橋りょう拡幅工法の 開発



加藤 精亮\*



星野 正\*\*



渡邊 明之\*

既設橋りょうの架替や線路下での地下空間の建設は、軌道を工事桁等で仮受けした状態の狭隘な作業空間で基礎、橋台の構築を行い、短時間線路閉鎖間合いでの桁架設撤去作業が多くなる。そのため、工事費の増大と工期の長期化を招いている。本開発は、より低廉で短い工期での施工法を可能とする新しい地下構造物構築方法を開発することを目的に、その構造形式を提案し、基礎試験による牽引試験での評価と試設計によるコスト比較を行い、その有効性を検証した。

この結果、現在の施工法に比べると低廉で工期の短い施工法を提案することができた。さらに普及展開を図るために、設計施工マニュアルも作成した。

●キーワード：地下空間、橋りょう改築、JES継手、結合

### 1. はじめに

既設橋りょうの架替や線路下での地下空間の建設は、軌道を工事桁等で仮受けした状態の狭隘な作業空間で基礎、橋台の構築を行い、短時間線路閉鎖間合いでの桁架設撤去作業となる。そのため、工事費の増大と工期の長期化を招いており、より低廉で短い工期での地下空間の建設が求められている。本開発では、架道橋の改築、新設において、より低廉で短い工期での施工を可能とする新しい急速架設方法を開発することを目的とし、以下の構造形式を検討する。

- ①橋台と桁の剛接合による門型ラーメン化
- ②側壁と上床版の剛接合したボックスラーメン化

これらの構造に対して、設計施工法の提案と開発および試設計によるコスト比較の検証を行った。

### 2. 構造形式の提案

#### 2.1 提案する構造形式

既設の架道橋を改築または新設する場合、一般的に同位置で橋台・桁形式の構造が検討される。しかし、その構造形式では、構造体が大きくなるだけでなく、線路切廻しや工事桁の架設、撤去など多くの線路閉鎖作業を伴い、工期、工事費とも膨大となる。図1に一般的な構造形式を示す。

そこで、構造物をスリム化しコストダウンを図り、既存の桁形式橋りょうを短時間でラーメン構造とできる方法を提案する。図2に提案する構造形式を示す。

提案する構造形式は、桁形式の橋りょう構造をラーメン構造とし、構造物のスリム化を図ろうとするものである。しかし、工事桁の下でラーメン構造物を構築すると道路空頭が低くなるという問題がある。また、鉄道工事では長時間電車を休止することができないことから、工事桁を撤去した後に時間をかけてラーメン構造物を構築することもできない。そこで、新設桁の横取りと同時に、桁と橋台とを結合しラーメン構造ができる方法として、接合には曲げせん断力を伝達できるJES継手を用いる。



図1 一般的な構造形式



図2 提案する構造形式

## 2.2 一般的な構造形式の施工方法

既設橋りょうの改築の場合、一般的な施工方法は下記のとおりである。

- ①仮橋台を既設橋台側面に施工する
- ②工事桁を線路閉鎖にて架設する
- ③工事桁の下で既設橋台の撤去、新設橋台の施工を行う
- ④あらかじめ線路脇で桁を製作しておき、それを線路閉鎖にて工事桁撤去後、横取り架設する

しかし、この方法の場合、線路閉鎖回数が多くなるなどの問題がある。

## 2.3 提案する構造形式の施工方法

提案する施工方法は、線路閉鎖回数を極力減らし、安価にできるものとした。ここでは、橋台（側壁）部分を HEP&JES工法により施工することとした。

提案する構造形式の施工方法（既設橋りょう改築の場合）を以下と図3に示す。

- ①既設橋台背面において、HEP&JES工法により、橋台部分の構築を行う。なお、上床版との接合部は、中空のエレメントを推進する。また、地盤条件により必要に応じて基礎杭を構築する。橋台は馬桁形式を考えている。
- ②エレメント上部の爪を設計位置に合わせ、中空のエレメント内に調整用の鉄筋かごを牽引挿入する。
- ③中空のエレメント部コンクリートを打設する。必要により、既設橋台の一部を撤去するなど上床版横取り時の前作業を行う。
- ④線路閉鎖にて軌道、路盤、既設橋台一部を撤去する。中空のエレメント蓋を撤去し、仮支承のフラットジャッキを設置する。また、既設橋台にもフラットジャッキを設置する。
- ⑤線閉作業にて、JES継手を嵌合させながら、上床版を横取り架設する。架設後に、フラットジャッキを加圧・密着させ、上床版を仮受する。JES継手のかみ合わせ部分にグラウトを注入し、同時に路盤、軌道等を復旧させる。
- ⑥接合部コンクリートを打設し、既設橋台とその背面の土砂を撤去する。

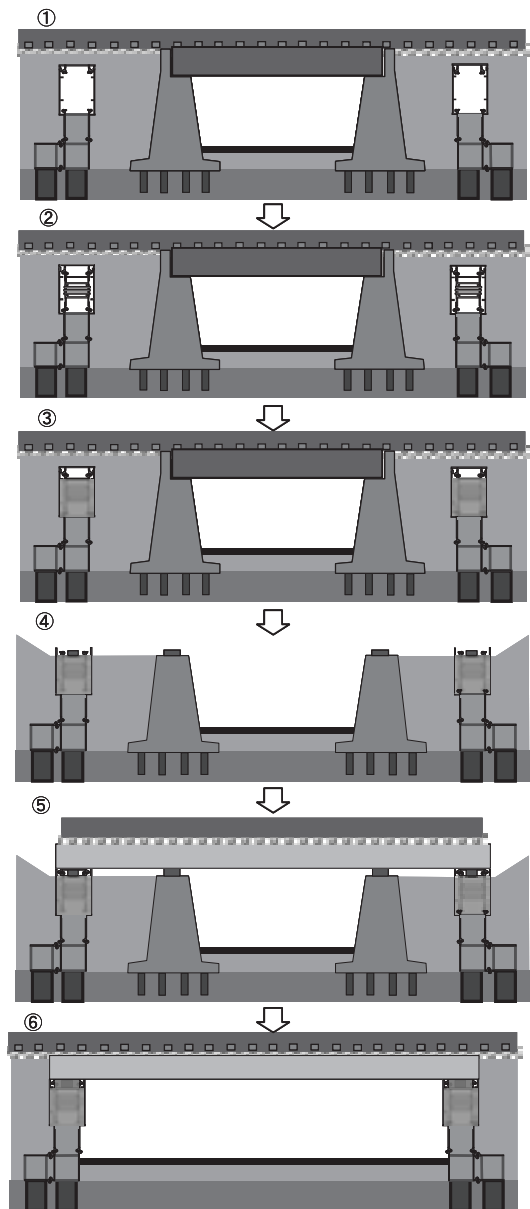


図3 施工方式

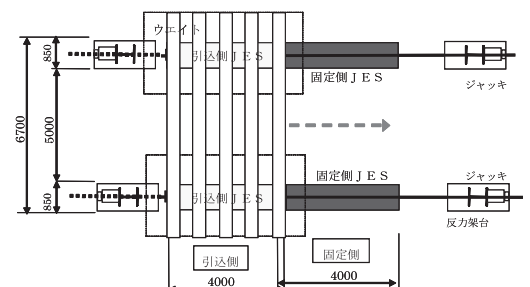


図4 試験装置平面図

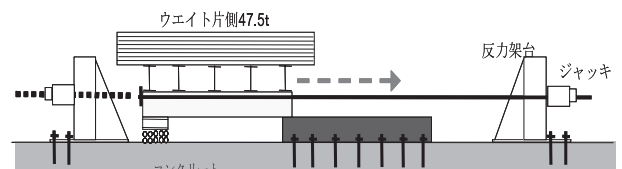


図5 試験装置断面図

### 3. JES継手の嵌合試験

#### 3.1 嵌合試験の概要

通常のHEP&JES工法では、1回の牽引に2つのJES継手の噛み合わせとなることや、牽引時に上載土の荷重しかかからない。しかし、今回提案した工法では、1回の牽引に4つのJES継手の嵌合になることや、上床版重量がJES継手部に作用するため、牽引時にJES継手部の抵抗が増して、牽引ができないことが予想された。

そこで、嵌合試験を行い、問題点の抽出を行った。



図6 試験状況（牽引前）

表1 牽引試験ケース

| ケース    | ウエイト  | 潤滑材 | 牽引      | 縦方向誤差 | 横方向誤差 |
|--------|-------|-----|---------|-------|-------|
|        |       |     | 速度      |       |       |
| case-1 | 4 t   | なし  | 150mm/分 | 0mm   |       |
| case-2 | 30 t  | なし  |         |       |       |
| case-3 | 30 t  | あり  |         |       |       |
| case-4 | 100 t | あり  |         |       |       |
| case-5 | 100 t | あり  | 300mm/分 | 8mm   | 0mm   |
| case-6 | 100 t | あり  |         | 8mm   | 8mm   |
| case-7 | 100 t | あり  |         | 8mm   | 8mm   |
| case-8 | 100 t | あり  |         | 8mm   | 8mm   |
| case-9 | 100 t | あり  | 600mm/分 | 2mm   | 1mm   |

#### 3.2 試験方法

図4、5に試験装置の平面図、断面図、また、試験状況を図6に示す。引込側と固定側のJES継手の長さ（けん引する延長）は、単線分の上床版を想定して、JES継手の長さを4mとした。なお、0.2mを嵌合させた状態とし、牽引距離は3.8mとした。また左右下部工中心の離れを3.95mとした。ウエイトは単線架設の場合での荷重（桁荷重、軌道荷重、桁スパン10m）に相当する約100 tの敷鉄板を載荷した。試験ケースを表1に示す。表中の縦方向誤差とは下部工側の片側に傾斜を与えたものをいい、横方向誤差とは下部工側の片側端部を外側に張出したものである。潤滑剤は、比較的手に入りやすい、業務用の合成洗剤をJES形鋼の下部工側に刷毛で塗布した。

表2 牽引結果

| ケース    | ウエイト  | 潤滑材 | 牽引速度    | 縦方向誤差   | 横方向誤差 | 備考                             | けん引結果     |
|--------|-------|-----|---------|---------|-------|--------------------------------|-----------|
| case-1 | 4 t   | なし  | 150mm/分 | 0mm     |       | 基礎的データ採取のため                    | —         |
| case-2 | 30 t  | なし  |         |         |       | 0tではけん引算出できなかったため30tで一次試験を行った。 | 20t (67%) |
| case-3 | 30 t  | あり  |         |         |       | 4t (5%)                        |           |
| case-4 | 100 t | あり  |         |         |       | 14t (15%)                      |           |
| case-5 | 100 t | あり  | 300mm/分 | 8mm     | 0mm   |                                | 29t (30%) |
| case-6 | 100 t | あり  |         | 8mm     | 8mm   | 固定側継ぎ手がコンクリート台版から移動            | 39t (40%) |
| case-7 | 100 t | あり  |         | 8mm     | 8mm   |                                | 35t (35%) |
| case-8 | 100 t | あり  |         | 600mm/分 | 2mm   | 1mm                            |           |

#### 3.3 試験結果

表2に各ケースでの牽引力の結果（最大値）を示す。なお、case-1は牽引力が低く、圧力計のゲージでは測定ができず記載していない。

case-2の潤滑材なしではウエイトの71%にあたる最大20tの牽引力であったが、case-3の潤滑材を塗布したものは、case-2の1/4の4tと小さい値となった。このことから潤滑材が牽引力に及ぼす影響が大きいことがわかった。

case-4では、case-3同様に最大牽引力はウエイトの14%である14tで牽引したのに対して、case-5はその倍の29tの牽引力を必要とした。

case-6では、片側のJES継手に縦方向のみに8mmの誤差（傾斜）を与え牽引を行ったが、case-5と同様の牽引力となり、その差は見られなかった。

case-7では、固定側のJES継手が鉄板ごと下床コンクリートからずれてしまい正確な計測ができなかった。

case-8では、ウエイトの約35%である35tの最大牽引力となった。

case-9では、牽引速度をさらに倍の600mm/minで行った。なお、縦横の誤差は0で設定する予定であったが、case-8終了後、若干下部工側のJES継手に変形しており、縦に2mm、横に1mmの誤差を与えた状態となった。

その結果、最大牽引力はウエイトの31%である31tとなった。

#### 3.4 試験結果のまとめ

今回の牽引試験において、以下のことがわかった。

- ・ JES継手の設置誤差がない場合、上床版荷重の14～30%で牽引が可能であった。
- ・ JES継手の設置誤差（8mm程度まで）がある場合、上床版荷重の30～35%以上の牽引力が必要であった。
- ・ 潤滑剤をJES継手部に塗布した方が小さい牽引力で牽引することができた。





### 2.16 調整部の検討

- (1) 上床施工前の調整部として、施工誤差を吸収できる機能を備える。調整部の位置図を図10に示す。
- (2) 構造体として、十分な断面性能、変形性能を有する。
- (3) 調整部の証査に対しては、その構造に応じたモデル化を行う。
- (4) 断面力の抽出は、調整部の両端の継手中心間で最も不利な値に対して行う。

### 2.18 調整部の疲労に対する安全性の検討

調整部の疲労に対する安全性を検討するため、JES継手部、フレア溶接部、閉合継手鉄筋部の3箇所について、疲労試験を行った。図11に調整部の疲労検討箇所を示す。試験体はJES継手の直線部を模擬した鋼板 (SM400A) に異径鉄筋 (材質SD345、径D22、D25) をフレア溶接継手にて接合したものをを使用した。

試験結果から得られた応力振幅と繰り返し回数との関係 (S-N曲線) を図12に示す。図中のA~Hは疲労強度等級を表す。実験結果のばらつきは比較的小さく、鉄筋径の違いによる優位な差は見られなかった。また、S-N曲線の勾配はほぼ1/3であり、鋼板の溶接継手の強度等級の勾配によく一致していた。

### 2.19 調整部の構造細目

- (1) 重ね継手長は、10φ以上とする。
- (2) 主鉄筋と補強鉄筋は指定された組合せとする。
- (3) 主鉄筋のJES継手への溶接は、「鉄筋フレア溶接継手設計マニュアル」による。
- (4) 継手部の可動余裕は50mm以上とする。
- (5) 鉄筋に必要なかぶりを確保する。
- (6) 土留めプレートは、掘削時に十分な耐力を有するものとする。
- (7) 調整部の鉄筋籠は施工性を考慮した寸法とする。
- (8) JES継手部のコンクリートは剥落しやすいので配慮する。

## 6. まとめ

嵌合試験および比較設計の結果より、下記のことがわかった。

- ・JES継手を使用した上床版と下部工の結合は、JES継手の設置位置誤差が8mm程度、牽引距離4m程度の牽引が可能である。
- ・間合いがある程度確保できる場合、今回提案したJES結合カルバート工法を使用することにより、通常のHEP&JES工法に比べて、工期を約1割、工事費を約2割削減できる。

このことから、現在の施工方法に比べて、より低廉で短い工期での施工を可能にする工法の有用性を確認することができた。

今後は、本工法の適用に際しての技術支援を行っていく予定である。

|                                   |
|-----------------------------------|
| 第1章 総則                            |
| 1.1 適用範囲                          |
| 1.2 関連規定類                         |
| 1.3 用語の定義                         |
| 1.4 構造形式一般                        |
| 1.5 施工手順                          |
| 1.6 工法の特徴                         |
| 第2章 設計                            |
| 2.1 設計の基本                         |
| 2.2 設計の原則                         |
| 2.3 安全係数                          |
| 2.4 荷重                            |
| 2.5 地震の影響                         |
| 2.6 設計荷重の組合せ                      |
| 2.7 材料および設計用値                     |
| 2.8 構造解析                          |
| 2.9 終局限界状態の検討                     |
| 2.10 側壁基礎の安定計算                    |
| 2.11 使用限界状態の検討                    |
| 2.12 疲労限界状態の検討                    |
| 2.13 耐震に関する検討                     |
| 2.14 構造細目                         |
| 2.15 調整部の検討                       |
| 2.16 調整部の曲げモーメントおよび軸方向力に対する安全性の検討 |
| 2.17 調整部のせん断力に対する安全性の検討           |
| 2.18 調整部の疲労に対する安全性の検討             |
| 2.19 調整部の構造細目                     |
| 第3章 施工                            |
| 3.1 エレメントの施工                      |
| 3.2 調整部の施工                        |
| 3.3 上床 (=桁) の施工                   |
| 付属資料1 鉄筋フレア溶接継手の疲労耐力              |
| 付属資料2 JES継手接合された上床版の架設に関する基礎試験    |

図9 設計施工マニュアル目次

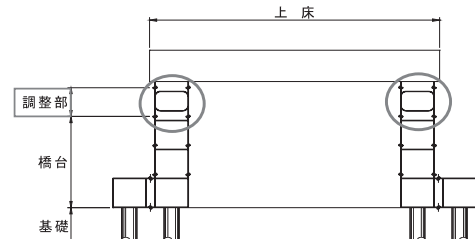


図10 調整部位置図

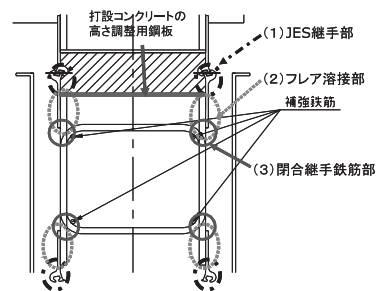


図11 調整部疲労検討箇所

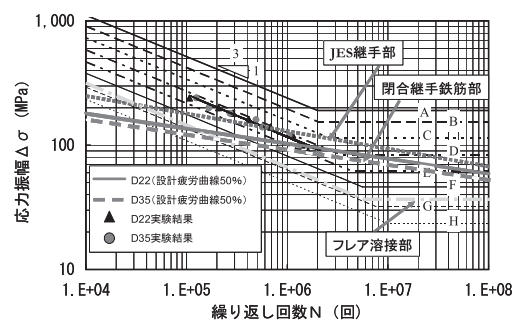


図12 調整部疲労検討箇所