

余部橋りょうの橋桁横取り・旋回施工に関する実証実験および有限要素解析

| | | | |
|---------|-----|------|--------|
| 清水建設(株) | | 博(工) | ○吉武 謙二 |
| 清水建設(株) | | 博(工) | 若原 敏裕 |
| 清水建設(株) | 正会員 | 工修 | 大野 浩 |
| 清水建設(株) | | 工修 | 中原 俊之 |

1. はじめに

2010年8月12日、山陰本線の鎧、余部駅間に位置する余部橋りょうは橋桁の横取り・旋回施工を無事終え、開通式を迎えた。余部鉄橋は建設当時、東洋一の橋長、高さを誇る鋼トレスル式橋梁として明治45年に建設された(写真-1)¹⁾。余部鉄橋は潮風による腐食劣化、および強風時の列車の遅延・運休本数が多いという課題があった。このため、安全輸送の確保と現実的な維持管理の観点から、コンクリート形式の橋梁に架け替えることとなった²⁾。

新橋梁は図-1に示すような橋長310mの5径間連続PC箱桁エクストラドーズド橋である。東側の既設トンネルを継続使用し、かつ運休期間短縮を図るため、新橋梁を余部鉄橋に隣接して構築し、鉄橋撤去後にA1橋台側からP1、P2橋脚間の93mの橋桁を4m横取りした後、5.2度旋回する施工方法を採用した(写真-2、図-2)。移動する橋桁の総重量は3,820t、P1橋脚からの張出し部の影響により、A1橋台の反力は4.8MN、P1橋脚の反力は32.6MNである。このような重量および重量バランスの橋桁の移動架設は前例がないため、橋桁の滑り挙動を把握することが工事の安全性および品質を確保する上での課題であった。そこで、実橋梁の1/10モデルを用いた実証実験と3次元有限要素解析を実施した。



写真-1 余部鉄橋全景



写真-2 横取り・旋回工対象位置

2. 橋桁の横取り・旋回施工実証実験

横取り・旋回施工の特徴は、①A1橋台反力とP1橋脚反力が大きく異なること、②鋼管ストッパーを設置するため、高い精度での移動管理が必要であること、③運休期間短縮のため短期間で施工を完了すること、などである。

そこで、実施工で想定されるテフロンと鋼材間の摩擦面の状態を反映した実証実験を行い、それらの要因が横取り挙動に及ぼす影響を把握した。

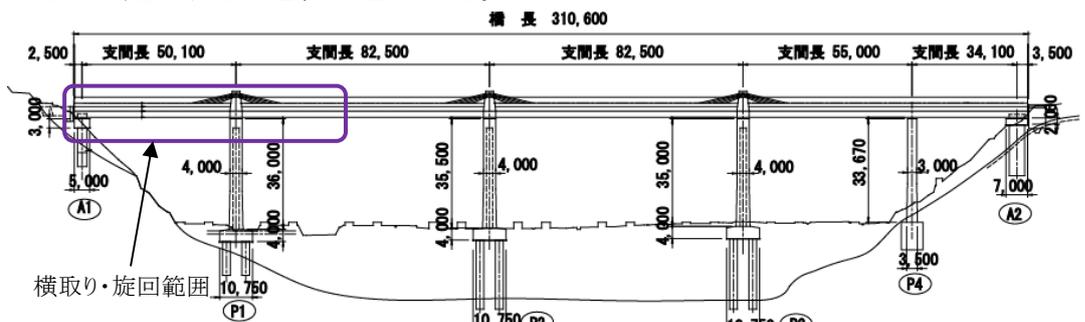


図-1 新橋梁構造一般図(単位: mm)

2.1 実験概要

実験では図-3に示すように橋桁を角形鋼管（幅500×高さ500×長さ5,100mm、板厚22mm）で模擬した。また、実橋梁の沓は、積層ゴムとテフロン板で構成されているが、両者の弾性係数に大きな差がないことから、沓は厚さ25mmのテフロン板でモデル化した。鋼板の上にテフロン板を設置した角形鋼管を置き、上から別の鋼板で載荷梁を介して鉛直面圧を作用させながら、鋼管を水平に移動させることにより横引きを再現した。テフロンに接する上下の鋼板にはテフロンコーティングしたものを用いた。実橋梁では、A1橋台、P1橋脚上にそれぞれ800×800mm、1720×1140mmの支承を2枚ずつ設置している。実験ではテフロン板と鋼板との滑り挙動に着目していることから、テフロン板の断面積は実橋梁の約1/10とし、A1側は250×250mm、P1側は440mm×440mmとした。横引き荷重も実橋梁の1/10とするため、角形鋼管の両側にテフロン板を上下2枚ずつ設置し、A1側、P1側の沓をモデル化した。

試験体形状および剛性が滑り挙動に及ぼす影響は少ないと考え、実橋梁と角形鋼管の長さおよび剛性の縮尺は無視した。角形鋼管は移動・旋回荷重作用時に変形しない程度の剛性とした。支間は実橋梁のA1橋台、P1橋脚の支間長50.1mの約1/10の4.6mとした。

2.2 載荷および計測概要

実験状況を写真-3に示す。A1側、P1側ともに2MN鉛直ジャッキ2台ずつ、合計4台を用いて載荷梁を介してテフロン板や鋼管に鉛直力を作用させた。A1側、P1側ともに2本のジャッキの合計荷重を横取り中に一定に保持し、テフロン板上下の鋼板が平行になるように制御した。パンタグラフは平行を保つため補助的に使用した。横取り実験の実験要因はA1側、P1側の鉛直面圧と、摩擦面のグリース、水滴、砂粒の影響である。

2.3 実験結果

グリースがある場合とない場合のP1側の水平ジャッキ荷重と水平移動量の関係を図-4に示す。摩擦面にグリースがある場合は、動き出してから水平移動量が300mm程度になるまでに水平荷重が25%程度低下した。一方、グリースのない場合は水平荷重の顕著な低下はみられなかった。動き出したときの水平荷重から算定した摩擦係数と鉛直面圧との関係を図-5に示す。摩擦係数は既往の文献3)と同様に鉛直面圧が大きくなるにつれて小さくなった。また、グリースのない状態でも摩擦係数の最大値は0.05程度であった。雨天時を想定した水滴のある場合は、摩擦係数が約半分程度に低減すること、グリースがない場合はあ

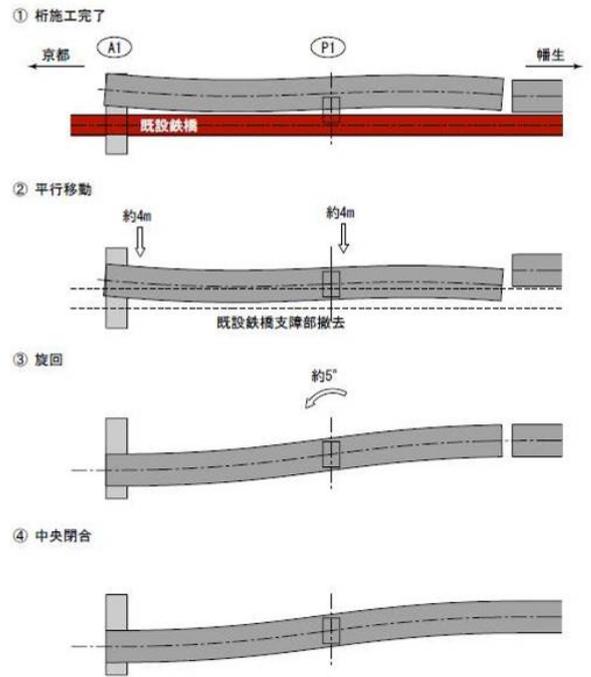


図-2 横取り・旋回施工手順

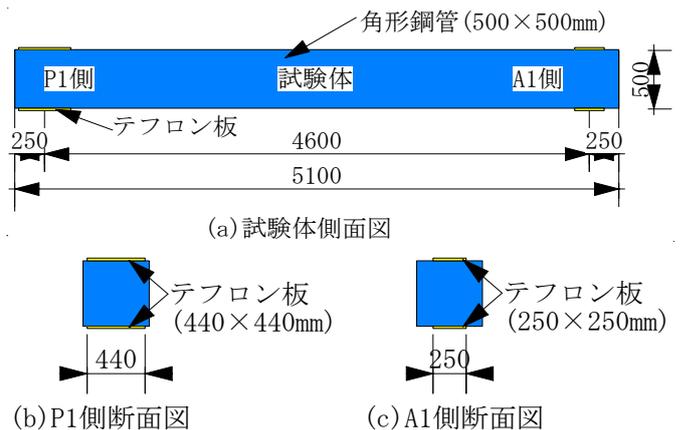


図-3 試験体概要



写真-3 実験状況

る場合と比較して約2倍に摩擦係数が増加することが確認できた。摩擦面に砂粒がある場合は摩擦係数が0.25となるまで水平荷重を増加させても摩擦が切れなかった。以上より、摩擦面に作用する鉛直面圧が1~10MPaの範囲において、摩擦面に砂粒などが無い状態では設計値0.13は安全側であることが確認できた。

3. 実橋梁の横取り・旋回解析

横取り移動時の橋桁の橋軸方向移動量を把握すること、旋回軸となるストッパーの必要性を判断すること、横取り・旋回施工時の橋桁の健全性を把握すること、を目的として、上柵と鋼板との滑り面やストッパー周りの摩擦を考慮した3次元有限要素解析を実施した。

3.1 解析概要

有限要素モデルを図-6に示す。解析は幾何学的非線形を考慮した弾性解析とした。橋桁と橋脚間の力の流れを再現するため、ジャッキ取付け部材などは詳細にモデル化を行った。摩擦はP1支承, A1支承, P1旋回軸のストッパーとテフロン間に接触要素を配置することにより考慮した。A1側では変位制御にて、P1側ではジャッキ反力の橋脚への影響を把握するため、ジャッキをモデル化したはり要素にひずみを漸増的に付与することにより変位を間接的に与えた。

2.3に記したように摩擦面のグリースが不十分な場合には摩擦係数がほぼ一定となる可能性があるため摩擦係数は一定値とした。コンクリートおよび鋼製部の弾性係数はそれぞれ28kN/mm², 200kN/mm²とした。解析での座標軸は図-6のように実験と同様である。

3.2 解析結果

3.2.1 摩擦係数が橋桁軸方向移動量に及ぼす影響

摩擦係数を0.01~0.2まで変化させた場合のX方向変位量を表-1に示す。A1, P1支承の摩擦係数が大きいほど、旋回軸の張出し方向移動量は小さかった。

また、A1側よりもP1側の摩擦係数がX方向移動量に対して支配的であることが確認できた。摩擦係数を0.01~0.2で組合せた結果、橋桁のX方向移動量は、張出し側に1~20mm程度であった。

3.2.2 旋回軸がない状態での旋回挙動解析

旋回軸がない状態でA1側のみに変位を与えて旋回させた場合の橋桁円形開口部中心の移動量を表-2に示す。A1, P1支承の摩擦係数の組合せにより、旋回軸はX方向, Y方向ともに正側にも負側にも移動することが確認された。例えば、P1支承の摩擦係数が南側と北側で異なる場合、旋回軸はX, Y方向変位ともに移動方向が異なった。このように

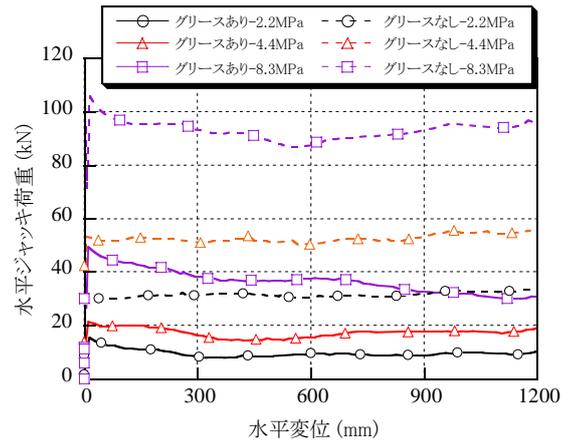


図-4 水平ジャッキ荷重と移動量関係

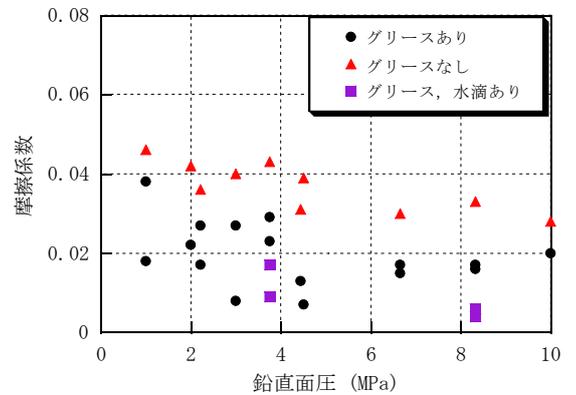


図-5 摩擦係数

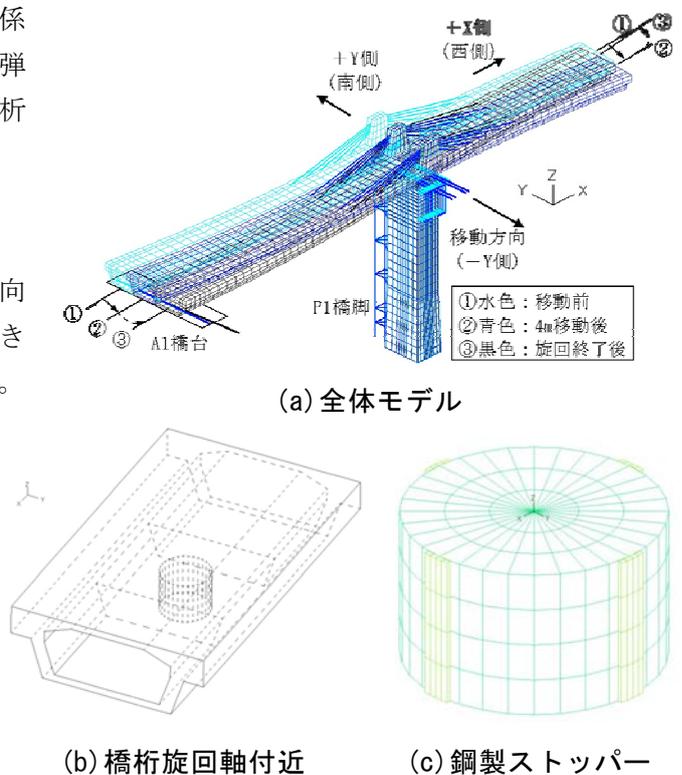


図-6 有限要素モデル

摩擦係数が高い支承を回転軸として回転するため、A1, P1支承の摩擦係数の組合せにより、回転軸が南側 (+Y側) へ移動する可能性がある。実施工において回転終了時に、南側に移動した場合は定位置に戻す機構がないため回転軸を用いて回転施工を実施することとした。

3.2.3 回転軸がある状態での回転挙動解析

橋桁の変動応力分布状況を摩擦係数が0.1の場合の横取り移動後为例として図-7に示す。ここで変動応力とは自重解析終了時からの横取り終了後の応力増分量である。移動時の発生応力は0.25N/mm²と小さく、構造物の健全性が確保されていることが確認できる。ケーブル取付け部などで局所応力が発生しているが、これは解析ではケーブルと桁の節点を直接結合しているためである。実構造物ではケーブルは定着板を介して設置されているため、応力は緩和され無視できる程度の値になる。

4. まとめ

支承反力が大きく異なる総重量3,820t、長さ93mのPC橋桁の横取り・回転施工のため、橋桁の滑り挙動把握を目的とした、施工試験も兼ねた実証実験と3次元有限要素解析を実施した。本研究から得られた知見を以下に示す。

- ・今回の使用材料では、摩擦面にグリースがある場合は、動き出してから水平移動量が300mm程度になるまでに水平荷重が25%程度低下するが、グリースのない場合は荷重の顕著な低下は生じない。

- ・摩擦面にグリースのない場合の摩擦係数の最大値は0.05程度である。グリースのある場合は摩擦係数は約半分に、雨天時を想定した水滴のある場合は、さらに約半分程度に低減する。

- ・摩擦係数は鉛直面圧が大きくなるにつれて小さくなるが、摩擦面に作用する鉛直面圧が1~10MPaの範囲において、摩擦面に砂粒などが無い状態では設計値0.13は安全側である。

- ・3次元有限要素解析において、摩擦係数を0.01~0.2まで変化させた場合、橋桁のX方向変位量は、張出し側に1~20mm程度である。

- ・回転軸がない状態でA1側のみに変位を与えて回転させた場合、摩擦係数が高い支承を回転軸として回転する。

- ・自重解析終了時からの横取り終了後の応力増分量は0.25N/mm²と小さく、構造物の健全性が確保されている。

参考文献

- 1) 金子雅, 堤内裕, 西田寿生, 仁山康史: 余部橋りょうの歴史と新橋梁の設計, 橋梁と基礎, Vol. 43, pp. 13-18, 2009. 12
- 2) 兵庫県香美町: さようなら! ありがとう! そして後世へ... 余部鉄橋 余部鉄橋の有終を刻む, 2007.
- 3) 日刊工業新聞社: ふっ素樹脂ハンドブック, 1990. 12

表-1 X方向移動量

| 摩擦係数 | | X方向移動量 (mm) |
|------|------|-------------|
| A1側 | P1側 | |
| 0.01 | 0.01 | 19.9 |
| 0.05 | 0.05 | 4.2 |
| 0.10 | 0.10 | 2.2 |
| 0.13 | 0.13 | 1.8 |
| 0.20 | 0.20 | 1.3 |
| 0.13 | 0.01 | 8.3 |
| 0.01 | 0.13 | 2.6 |

表-2 開口部中心移動量

| ケース | 摩擦係数 | | | 回転軸移動量 | |
|-----|------|---------|---------|----------|----------|
| | A1側 | P1側 (南) | P1側 (北) | X方向 (mm) | Y方向 (mm) |
| 1 | 0.10 | 0.01 | | -31.5 | -9.9 |
| 2 | 0.20 | 0.05 | | -33.7 | -10.9 |
| 3 | 0.13 | 0.10 | | 20.6 | 3.0 |
| 4 | 0.01 | 0.13 | | 35.1 | -11.4 |
| 5 | 0.10 | 0.10 | 0.20 | -107.5 | -21.0 |
| 6 | 0.10 | 0.20 | 0.01 | 92.5 | 5.5 |

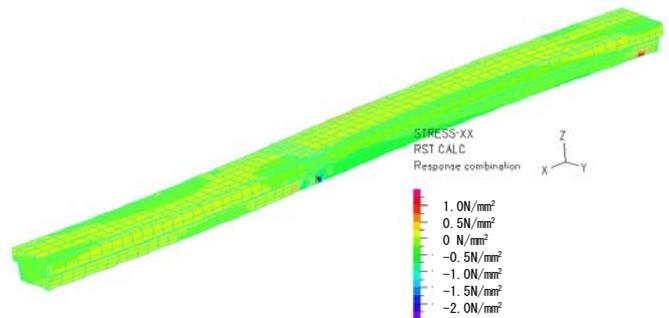


図-7 4m 移動後の変動応力分布