

3径間連続PC箱桁橋の中央ヒンジ部の補修

菊地 正剛*

1. はじめに

本橋は、中央ヒンジを有する3径間連続PC箱桁橋で、昭和39年2月にしゅん功し、現在に至っている。また、国道上の高架道路であり、下からの仮設支保工を構築することができず、ディビダーク工法により建設された。構造形式の概略を図-1、表-1に示す。

2. 調査の発端

調査開始の発端は、平成2年1月、高速道路上の大型通行車輛から、本橋中央ヒンジ部（伸縮継手部）に段差があり、運転時にハンドルを取られて危険であるとの連絡があったことからであった。また、相前後して、地元からも、大型車輛通過の際、騒音と振動が発生するとの情報も寄せられたため、調査を開始したものである。

表-1 主径間の構造

| 名称 | 構造 |
|----|--|
| 橋長 | 170.960 (45.000+80.960+45.000) |
| 幅員 | 16.000 m 往復 4車線 |
| 舗装 | アスファルト舗装 8.0 cm |
| 橋梁 | 3径間連続PC橋梁（ディビダーク工法） |
| 橋脚 | RC構造（P 196 1本脚, P 197 2本脚） |
| 基礎 | カルウエルド杭 杭径 1.0 m P 196 L=12.7 m 36本 P 197 L=6.0 m 40本 |



写真-1

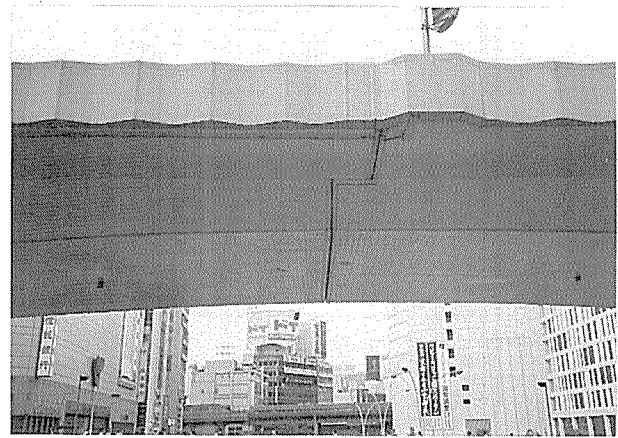
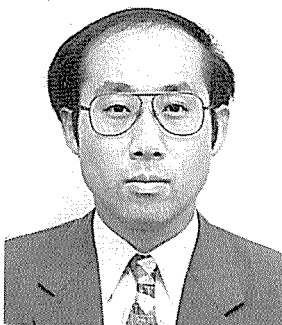


写真-2

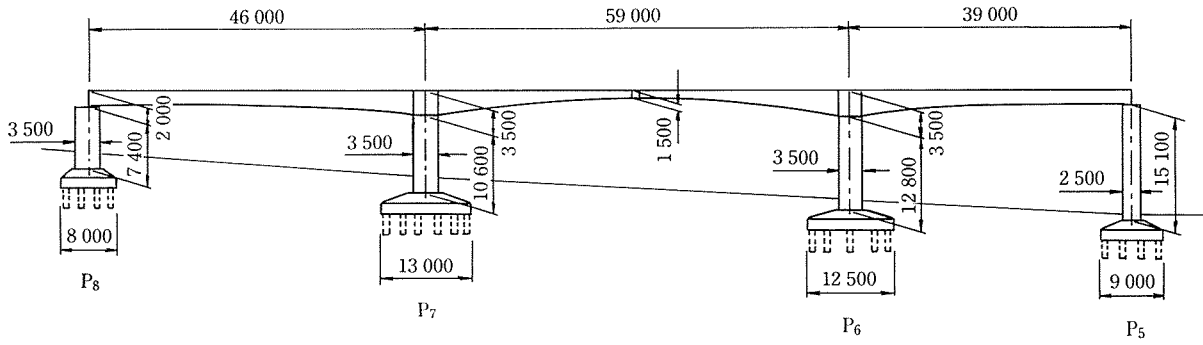


写真-3



* Masataka KIKUCHI
首都高速道路公団
第三建設部工務課

側面図



断面図

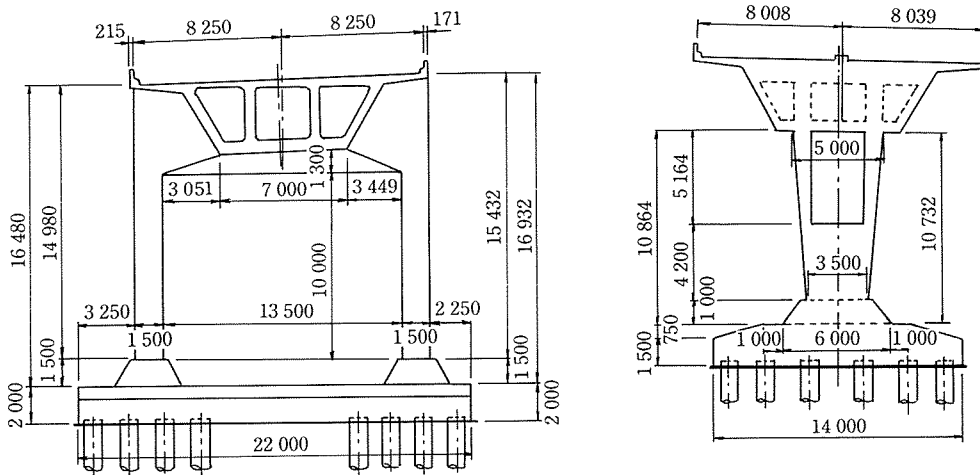


図-1 一般図

3. 損傷状態

騒音と振動の発生原因とみられる中央ヒンジ部へ、マンホールより入孔し、桁内の目視観察を行った。

3.1 ヒンジ部状況

Ⓐ部で音が発生しており、重い車が通るごとに隙間が開いたり、閉じたりの繰り返しが続いている。その隙間

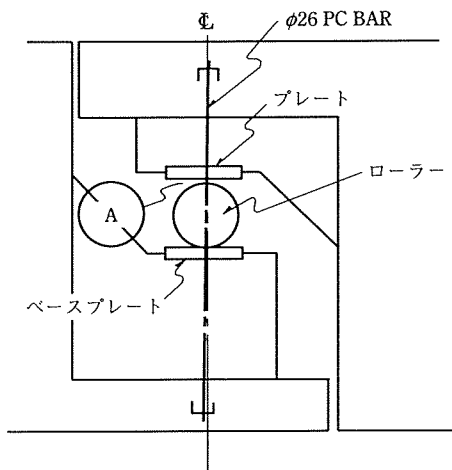


図-2 ヒンジ状況

は一車線規制の状態ですら最大 15 mm 程度である。また、鉛直締め PC 鋼棒の破断が確認された。ベースプレートは錆が激しく、上面で層状に剥離している。その厚さは大きいもので 3~4 mm 程度である。ローラー本体は健全であると思われるが、下方が、ベースプレートに数 mm めり込んでいるようである。上側のプレートは表面が錆びているが、健全であると思われる。

3.2 ヒンジ部周辺のコンクリート躯体状況

ヒンジ構造は 4 主桁に設置されており、設置部の台座コンクリートにひびわれ等は見られない。また、横桁、主桁においても、ひびわれ等は無く、健全であると思われる。

3.3 橋梁構造系

ヒンジは、PC 鋼棒によりせん断力のみ伝える構造として設置されているものであるが、PC 鋼棒の切断され

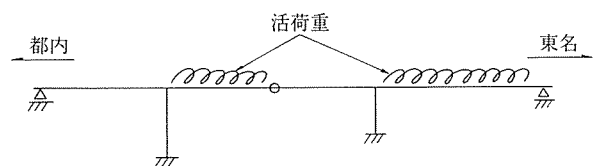
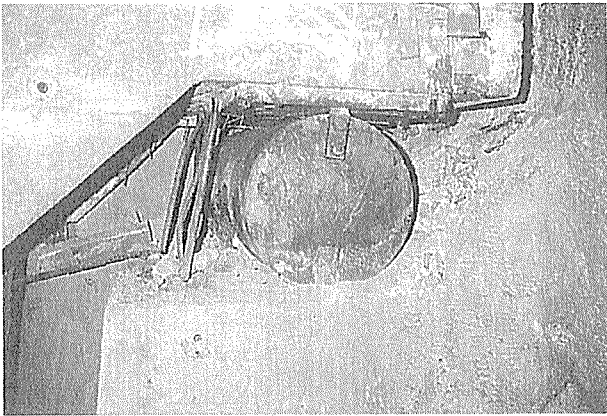
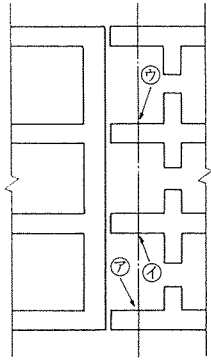
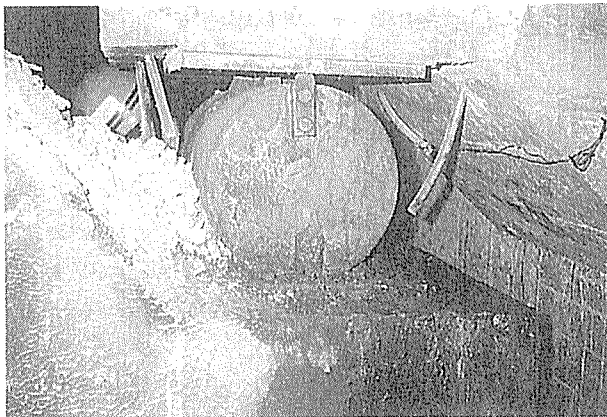


図-3 橋梁構造系



⑦



①



②

写真-4 損傷状況

ている現状では、都心側片持部と、東名側側径間部に
 載荷される活荷重に対するせん断力が伝えられない構造
 系となっており、本来の機能が失われている。

4. 原因の推定

中央ヒンジ部から騒音が発生している原因は、ヒンジ
 を構成しているローラーと上側プレートとの打撃による
 ものと判明した。また、隙間が発生した原因は、活荷重
 の増大とベースプレートの腐食によるものと考えられ
 る。ヒンジ部の観察をもとにして、図-4 に示すような
 フローで騒音発生の際の経緯を推定できるものと思われ
 る。

いずれにしても、せん断伝達機能が損なわれているた
 め、でき得る限り早急に機能回復措置を講ずるべきであ
 ることが結論づけられた。

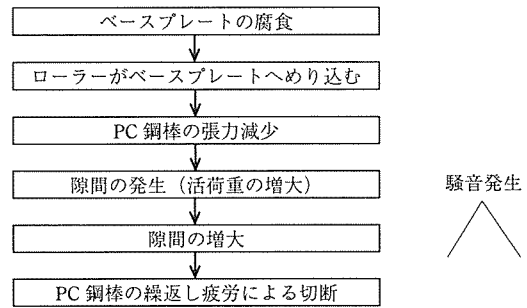


図-4 騒音発生の際の経緯

5. 補修設計

補修対策として、以下に示す緊急措置、応急復旧およ
 び本復旧の3段階を考えて、復旧工事を進めることとし
 た。

(1) 緊急措置→騒音を減らす。

ローラーと上側プレートの隙間にゴム系の支承板を挿
 入した。

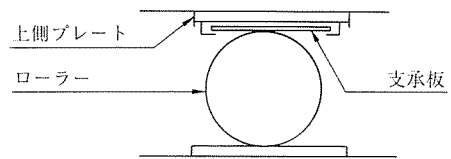


図-5 緊急措置

(2) 応急復旧→応急的な機能回復。

本来のせん断力伝達機能を回復させるため、仮の鋼製

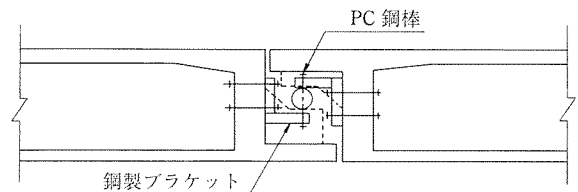


図-6 応急復旧

ブラケットを取り付け、PC 鋼棒により緊結する。

(3) 本復旧→耐久性のあるせん断ヒンジを取り付ける。

本復旧工を耐久性があり維持管理の容易な構造とするために、表-2 の 3 つの復旧方法について、構造・施工性・維持管理・経済性に関して比較検討を行い、総合的な判断により BP ヒンジ沓を新設する復旧方法に決定した。

表-2 本復旧方法の比較検討一覧表

| | 構 造 図 | 構造 | 施工 | 維持・管理 | 工費 | 総合評価 |
|------------------|-------|----|----|-------|----|------|
| (A) BP ヒンジ沓新設案 | | ◎ | ○ | ◎ | ○ | 採用 |
| (B) 鉛直 PC 鋼棒取替え案 | | △ | ○ | △ | ○ | |
| (C) 鋼製ブラケット新設案 | | ○ | △ | ○ | △ | |

BP ヒンジ沓新設案は、BP ヒンジ沓 (25 tf 沓) を 4 ヶ所に新たに設置し、せん断力伝達機能を回復させるものである。

新設する BP ヒンジ沓は、桁の伸縮・回転に対して、ベアリングプレートとステンレス板のすべりおよびゴムプレートの変形で吸収する構造である。

接触面の摩耗がすすんだ場合にカートリッジ式の構造となっているために、部分的な変換だけで元の機能が回復できる構造であり、維持管理は比較的容易である。

ゲレンク部 BP 沓新設に伴い、BP 沓・補強コンクリート等の重量がゲレンク部に新たに載荷され、主桁コンクリート上縁に引張応力が生じる。

そのため、荷重載荷前の健全な応力状態に戻すため、桁内に外ケーブルを配置する対策を講じた。

解析は、任意系平面骨組モデルとし、以下の項目に対して検討を行った。

- 1) 外ケーブルの選定
- 2) 荷重載荷 ($W=27.341$ tf) による影響
- 3) 外ケーブル配置位置の検討
- 4) 主桁応力状態の検討
- 5) 主桁の鉛直変位

外ケーブルの配置形状および位置については、①外ケーブルは、柱頭部横桁からゲレンク部横桁までの区間に配置する、②緊張端は、橋脚柱頭部とする、③柱頭部横桁には横桁横締め鋼棒 $\phi 26$ が主桁上縁付近に配置されているため、取合いを充分考慮して定着位置を決定する、④外ケーブルは、主桁構造中心に対して対称な配置とする、⑤外ケーブルは、中央ゲレンクを挟んで橋脚まで対称な配置とする、ように考えた。

外ケーブルは、主桁ボックス内に 4 本ずつ 4 ヶ所、計 16 本配置される。

外ケーブルの定着は、ヒンジ部および柱頭部の横桁位置で行う。

横桁に定着された外ケーブルによる曲げおよびせん断変形をおさえるために、横桁後面にコンクリートを増設した。増設したコンクリートは、横桁と一体化した剛体とし、その下面および側面でせん断をとらせるものとする。また、横締め鋼棒を配置してウェブと増設コンクリートを締付け、一体とする。

外ケーブルの耐久性を向上させるためには、防錆方法が重要なポイントであり、施工性を含めた観点からも、防錆材で被覆された PC 鋼材を使用することが望ましい。さらに外ケーブルは、将来の変状時に再緊張可能な構造とすることを配慮すると、定着方式はネジ形式が基本となる。

以上の条件を満足する PC 鋼材で一般的に使用されるものには、ポリエチレン被覆による防錆処理をした SEEE タイプとアンボンド PC 鋼棒がある。

また、桁内への搬入は、桁下の開口部からの搬入となり、SEEE タイプの場合にはフレキシブルであるため、約 30 m のケーブルを挿入することは容易であるが、PC 鋼棒の場合には 2~3 m の長さに分割して搬入せざるを得ない。この接続部にはカップラーを用いるが、標準部はポリエチレン被覆されているのに対して、接続部は現場で防錆処理する必要がある。

以上の理由から、本橋の外ケーブルには、工場においてケーブルを全長にわたってポリエチレン被覆し、防錆面で優れ、搬入・組立が容易で、将来の再緊張が可能な外ケーブルとして使用実績が多い SEEE 工法のタイプが採用された。

6. 外ケーブルの振動実験

PC 橋において、外ケーブルによりプレストレスを導

入する方法の問題の一つにケーブルの固有振動数が通行車輛の衝撃に起因する主桁の曲げ振動との共振によって定着具との間に応力が生じ、疲労につながる可能性が考えられる。そこで疲労に対する安全性を確かめる振動実験を行った。

6.1 予備解析

振動実験を実施する際、主桁と外ケーブルの固有振動数が一致した場合にケーブルが共振すると想定し、共振時のケーブル張力を求めるために予備解析を行った。

図-7に示すようにケーブルをモデル化し張力5tfを中心としたある範囲内で入力波の振動数（ケーブル張力）を変化させて時刻歴応答解析を実施し、応答変位および加速度を求めるものである。

解析結果を図-8に示すが、これは振動実験の想定共振曲線であり、実験の応答加速度の目安とした。

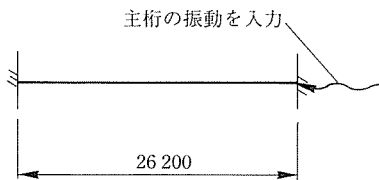


図-7 外ケーブルの解析モデル

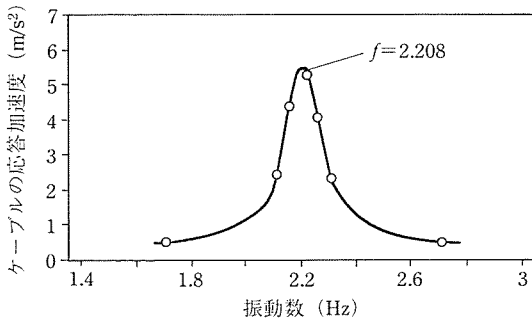


図-8 解析によるケーブル共振曲線

6.2 ケーブルの強制振動実験

外ケーブルを振動させて得られたケーブルの卓越振動数から、各測定ケースのケーブル張力を求めた。

測定結果を表-3に示すが、ケーブル張力はジャッキ後方に取り付けたロードセルで読み取った導入張力とほぼ

表-3 強制振動実験によるケーブル張力

| 測定ケース | 固定間距離 (m) | 振動数 (Hz) | 張力 (tf) | 導入緊張力 (tf) |
|----------|-----------|----------|---------|------------|
| TR 5 TA | 26.2 | 2.15 | 4.71 | 5 |
| TR 15 TA | 26.2 | 3.71 | 14.07 | 15 |
| TR 24 TA | 26.2 | 4.59 | 21.52 | 24 |
| TR 15 TB | 12.4 | 7.03 | 11.31 | 15 |
| TR 24 TB | 12.4 | 10.35 | 24.51 | 24 |

一致していた。

6.3 主桁の応答振動特性

主桁およびケーブルの振動波形は通行車輛によるため不規則なものとなった。

車輛通過時における主桁及びケーブルの加速度応答値についてパワースペクトルを作成し、卓越振動数を求め表-4に卓越振動数を示す。

主桁の振動特性についての明確な固有振動モードは得られなかったが、解析値との比較に示すようにおおむね1次モードと考えられる振動数が卓越していた。

表-4 主桁および外ケーブルの卓越振動数

| ケーブル張力 (tf) | 測定値 | | 解析値 (Hz) | | |
|-------------|---------------------|-------------------|----------|--------------|--------------|
| | ケーブル C ₃ | 主桁 G ₁ | | ケーブル | 主桁 |
| 5 | 2.15 | 2.25 | 1次 2次 | 2.21 2.42 | 2.25 2.55 |
| 15 | 3.71 | 2.25 | 1次 2次 | 3.83 7.66 | 2.25 2.55 |
| 24 | 4.09 | 2.25 | 1次 2次 | 4.85 9.69 | 2.25 2.55 |

表-5 主桁および外ケーブルの卓越振動モード

| 時間 (sec) | 0~3 | 3~6 | 6~9 | 9~12 | 12~15 | 15~18 | 18~21 | 21~24 | 24~27 | 27~30 | 30~33 | 33~36 | 36~39 | 39~42 | 42~45 |
|-------------|-----|-----|-----|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 主桁の卓越振動次数 | 1 | 1 | 5 | 1 | 9 | 1 | 1 | 8 | 1 | 2 | 2 | 1 | 5 | 1 | 1 |
| ケーブルの卓越振動次数 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 2 |

※ 数字が2段の箇所は、卓越したモードが2種類の場合を示す。

6.4 外ケーブルの応答振動特性

表-4に示すように張力を変化させて測定した結果、どのケースも主桁の卓越振動数とは関係ないケーブル自体の1次モードが卓越していた。

表-5に主桁および外ケーブルの卓越振動モードの次数を、振動開始時点から3秒間隔の時刻歴として示す。

主桁の卓越振動は1次モードと他のモードがほぼ交互に入れ替わっているのに対し、ケーブル振動は0~21秒で主桁の卓越モードとは無関係に1次モードが卓越している。

したがって共振する可能性についての判断材料となる。外ケーブルに主桁から同一モードの振動が入力される継続時間については6秒程度であると推定される。

なお、この時の外ケーブルの最大応答加速度は4.50 m/s²である。

6.5 解析による外ケーブル応答加速度

主桁からケーブルに伝達される振動の継続時間の推定のため、予備解析に示すモデルで実験と同一の条件を設定して時刻歴応答解析を実施した。

入力波の振動数は、実験における卓越振動数である 2.25 Hz、加速度は実験の平均である 0.19 m/s^2 とした。

図-9 に入力波継続時間をパラメータとして解析した外ケーブル応答加速度最大値の崩落線を示す。

これによると、実験で得られたケーブルの加速度 4.50 m/s^2 となる継続時間は 6.6 秒となっており、実験結果とおおむね一致した。

したがって通行車輛に起因する共振現象については、主桁の特定の振動数がケーブルの固有振動数と一致して生じたとしても、車輛のランダムな通行による主桁の特定モードの振動は数秒程度と推定され、外ケーブルの応答には比較的低い影響と言える。

また、ケーブル導入張力は 38 tf であり、固有振動数は 22.8 Hz である。

したがって、主桁の振動がかなり高いモードで卓越しないかぎり共振はしない。

さらに支持金具でケーブルを最大 7 m で支持固定しており、目視でも振動は確認できない程度で、疲労に対する安全性は十分と考えられる。

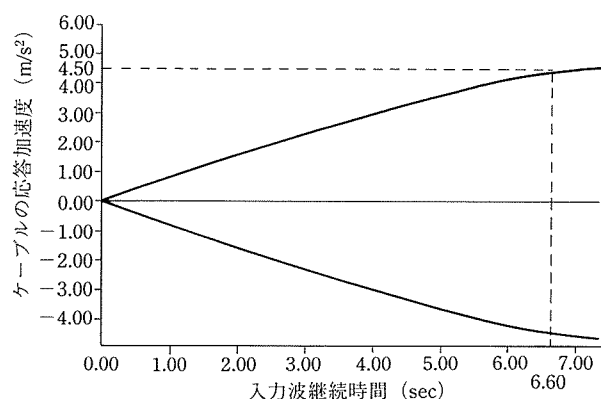


図-9 解析による外ケーブル応答加速度

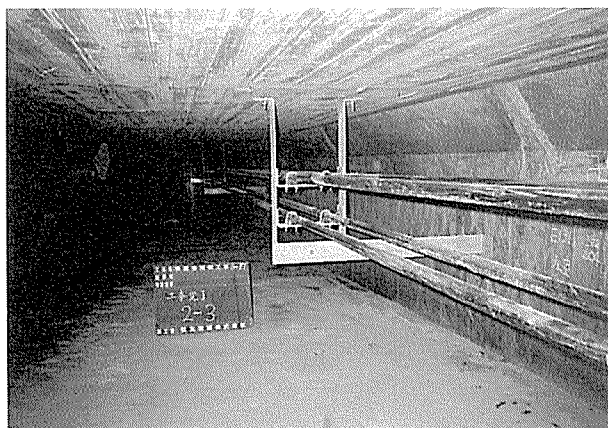


写真-5 外ケーブルの支持金具

7. 補修施工

補修工事は平成 2 年および 3 年の両年度にわたって、緊急措置、応急復旧および本復旧という手順にて行われた。

(1) 緊急措置→騒音を減らす。

1) 施工内容

フレシパットを挿入した。

2) 施工状況

① アングル溶接部サビ落とし (ディスクサンダー使用)

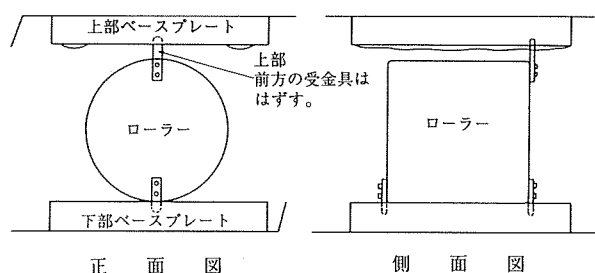


図-10 アングル溶接部サビ落とし

② アングル L-40×300 溶接取付け

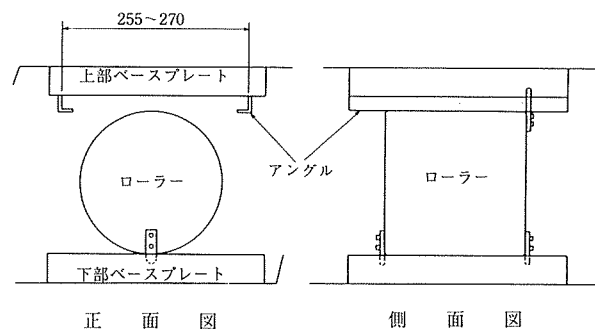


図-11 アングル溶接

③ フレシパット挿入 $t=10 \text{ m/m}$ 250×300

挿入は 6 ヶ所同時に挿入した。

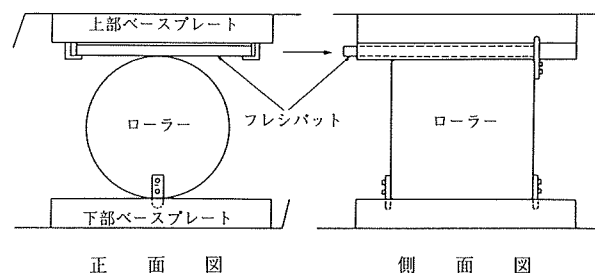


図-12 フレシパット挿入

3) 施工結果

挿入前は、

- ① 道路上継手部は、段差ができるぐらいにガタン、ガタンといった音が、車の通るたびにしていた。
- ② ボックス内は、上部プレートとローラーが当たるたび（大型車輛が通る時）、ガコンといった感じでボックス内に響いていた。
- ③ 振動も相当激しいものであった。
- 4) 挿入後（フレシパットのみ）は、
 - ① 道路上継手部は、車のタイヤが載った時にタイヤがすれる感じの小さな音になっていた。
 - ② フレシパットとプレートのかみ合いはよく、ライナープレートは入らなかった。
 - ③ ボックス内で大きな音がしなくなり、振動も短くなった。
 - ④ 振動は挿入前と比べるとほとんど感じなくなった。

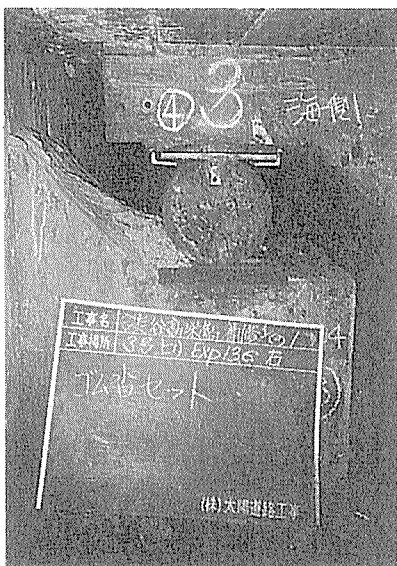
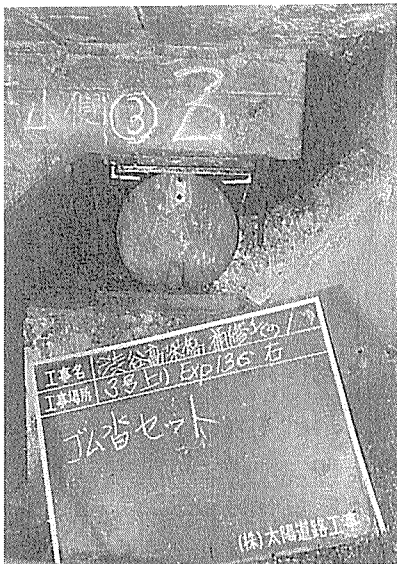


写真-6 フレシパット挿入完了後

(2) 応急復旧→応急的な機能回復。

1) 施工内容

鋼製ブラケットを取り付け、PC 鋼棒により緊結し、せん断力の伝達機能を回復させる。

2) 施工状況

① 施工手順

施工手順を図-13に示す。

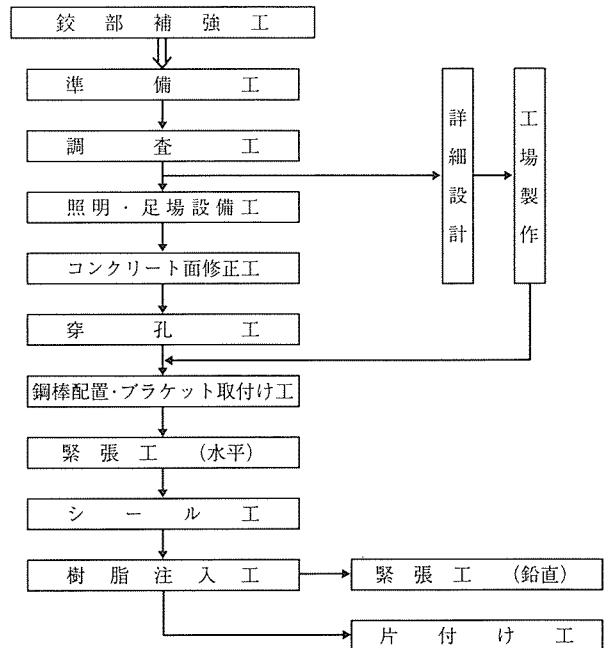


図-13 応急復旧の施工手順

② 横桁コンクリート面修正工

横桁コンクリート表面が凸凹しているため、ブラケットの水平、直角を合わせるためにも、コンクリート面を平にする必要があるため、表面修正をした。修正手順はコンクリート面をブラシがけし、型枠取付け用のアンカーを打ち込んだ。次にブラケット接地面より30mm程度型枠を大きく作り、型枠取付け前のコンクリート面に接着剤を塗ってから型枠を固定した。次に無収縮（速硬性グラウト材）を練り混ぜ、30分以内に型枠に流し込んだ。

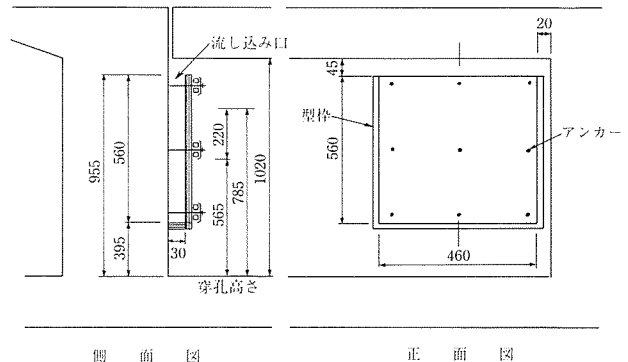


図-14 横桁コンクリート面修正工



写真-7 調整モルタル打ち完了状況

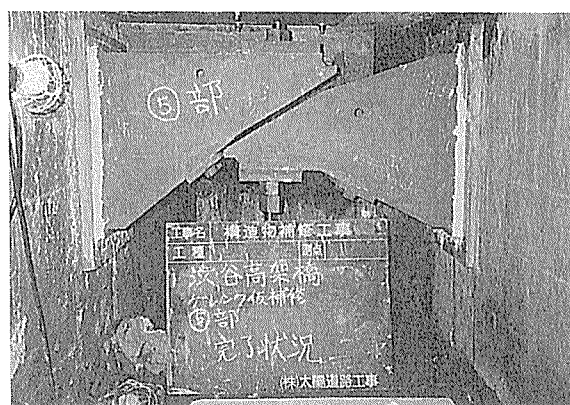


写真-9 ゲレンク仮補修完了状況

③ ブラケット取付け工

取付け順序は、台車により、入口までブラケットを運び取付け側入口下に角材で台を敷き、その上にブラケットを載せ、人力により取付け位置までずらし、ブラケット下にかいものをして、ブラケットを下からしゃくり上げて穴の位置に合わせた。そして、後ろからPC鋼棒を差し込み、ブラケットの穴に通してナットを締めた。ブラケット取付け終了後、隣のブラケットと、継ぎプレート(100×16×400)でボルトで締めた。

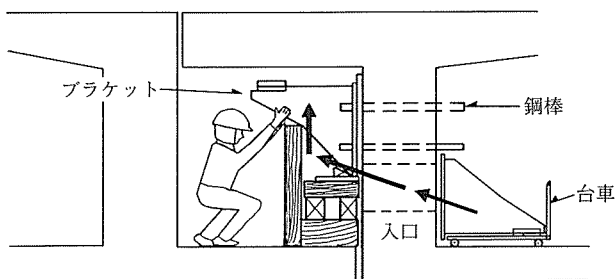


図-15 ブラケット取付け工

④ 緊張工

水平鋼棒の緊張工の順序は、緊張ボックス内に、

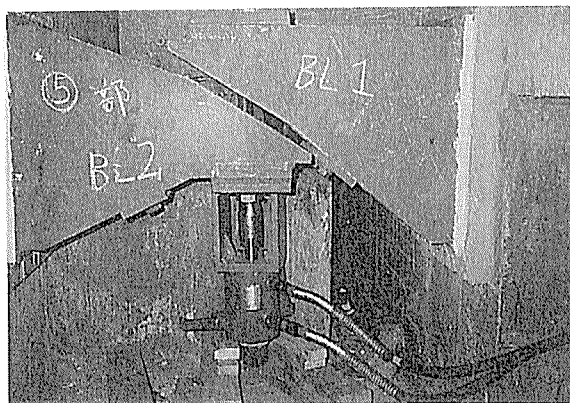


写真-8 緊張状況

ジャッキとポンプをセットし、ブラケット内との合図、交信を明確にし、緊張を開始し、所定の圧力(緊張力 55 tf)までポンプ操作にて上げた。

鉛直鋼棒の緊張工の順序は、鉛直鋼棒にカップラーと継ぎ鋼棒を付け、ラムチェアーとセンターホールジャッキをセットし、手動式ポンプを、外側ボックスにセットした。所定の圧力(緊張力 40 tf)まで、ポンプ操作により上げ、緊張時ナットを回しながら締め込んだ。なお、緊張中、鋼棒、ブラケットに異状がないか確かめながら緊張した。

(3) 本復旧→耐久性のあるせん断ヒンジを取り付ける。

1) 施工内容

中央ヒンジ部の沓の取換を行い、外ケーブルを配置した。

2) 作業手順

① 作業通路の設置

桁下より昇降設備を設置し、下床版および横桁に人孔を設けて中央部までの作業通路を設置する。

② 旧沓の撤去および搬出

現在設置されているローラー沓を取り外し、搬出する。

③ 新設沓の搬入および設置

新規に制作したBP沓をボックス内に搬入し、セットする。

④ 沓回りのコンクリートの打設

沓と本体を一体化させるために、沓回りにコンクリートを打設し、PC鋼棒を緊張する。

⑤ 外ケーブルの配置

SEEE工法のタイבלをボックス内に搬入し、セットする。

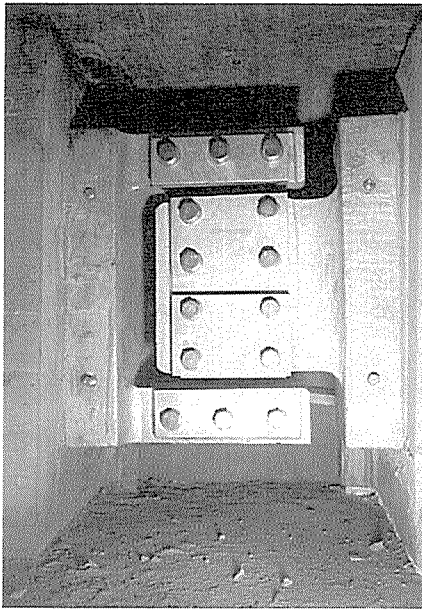


写真-10 BP ヒンジ

8. ま と め

本橋は、昭和 39 年に完成し、平成 2 年および 3 年の両年にわたって、3 段階（緊急措置、応急復旧および本復旧）の補修を、25 年目に行った。現在、約完成後 30 年、補修後 5 年が経過したが、補修当時の中央ヒンジ部からの騒音はない。ヒンジが構成しているローラーと上側プレートとが PC 鋼棒の切断により遊間が発生し、「ガタン」と騒音を発生していたことなど忘れてしまっている。PC 鋼棒の切断の原因は、活荷重の増大とベースプレートの腐食であるが 3 段階の補修終了まで、外ケーブルの振動実験も行い幾多の問題を解決していった。

本工事は、補修専門業者と当初施工業者の協力を得て行った。5 年前の工事報告の資料を集めるのも困難であったので、補修工事を行った時も大変であった。ここに心から謝意を表わし、厚くお礼申し上げます。

【1995 年 8 月 2 日受付】