

# 既存PC単純T桁橋における新しい免震化工事の設計と施工

## － 北陸自動車道・金沢高架橋十人川橋 －

日本道路公団金沢管理局 正会員○森山 守  
日本道路公団金沢管理局小松管理事務所 正会員 石村 勝則  
カジマ・リノベイト(株) 正会員 佐藤 亥四治  
鹿島建設(株)土木設計本部 正会員 一宮 利通

### 1. はじめに

北陸自動車道金沢高架橋の内、十人川橋(PC単純T桁橋;支間長22m、有効幅員10m)を支持する橋脚は護岸に隣接しており(図-1)、巻立て工法による耐震補強が困難と判断されたため、免震化工法によって耐震性の向上を図ることとなった。

既存の橋梁を免震化する場合、通常の支承よりも免震支承の方が高さが高いため、橋脚をはつる必要があり、工事は大がかりなものとなる。そこで、本橋では、支承の取り替えが必要のない免震化工法、すなわち、既存の支承をすべり支承化し水平力ダンパーを新たに取り付ける工法を適用した。これにより、大がかりな足場を必要とせず、また、交通規制を行うことなく施工を完了することができた。

本報告は、その設計と施工の概要を報告するものである。

### 2. 橋梁諸元

十人川橋は北陸自動車道金沢高架橋の一つであり、その主な諸元は次のとおりである。

橋梁形式: PC 単純T桁橋

支間長: 22m

有効幅員: 10m

橋脚形式: T型円形橋脚

また、十人川橋の構造一般図を図-1に示す。

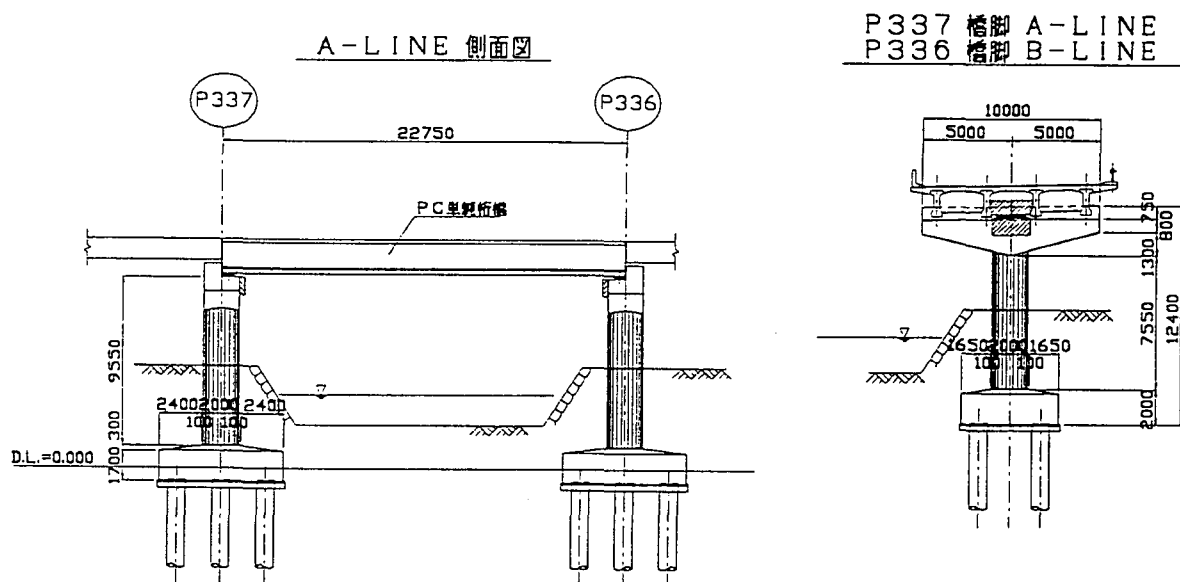


図-1 構造一般図

キーワード: 耐震補強、免震化、すべり支承、水平力ダンパー

連絡先: 〒920-03 石川県金沢市神野町東 170 日本道路公団 金沢管理局 保全第一課

TEL 0762-49-8111 FAX 0762-49-8119

### 3. 免震化工法の概要

#### (1) 構造上の特徴

図-2に本工法における一般的な施工概念図を示す。免震装置は、すべり支承と水平力ダンパーから構成されている。

すべり支承は、橋桁重量を支持しながら免震化に伴う変位に対応できるように、既存支承を改造する。また、設計においてはすべり支承の摩擦を考慮する<sup>1)</sup>。

水平力ダンパーは、免震支承として実績のある高減衰ゴムや鉛プラグ入り積層ゴムを用いる。水平力ダンパーは橋桁の重量を支持し

ておらず、支承の範疇に属さない。そのため、水平力ダンパーの設計の自由度が大きく、また、積層数は従来の免震支承よりも低減でき、コストダウンにもつながる。

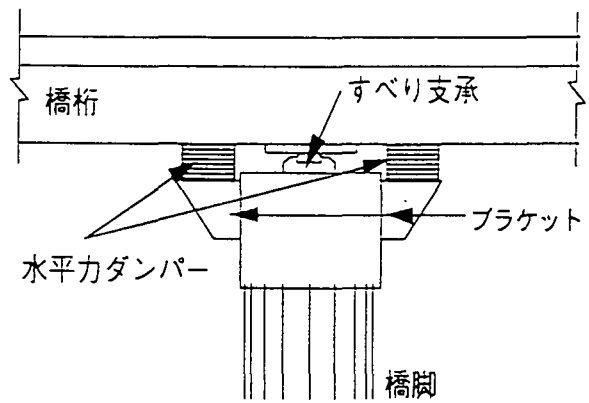


図-2 施工概念図

#### (2) 施工上の特徴

施工的には、既存の支承を利用してすべり支承に改造するため、アンカーボルトの付け替えなどに生じる橋脚や主桁のはつり工事はほとんど必要ない。また、水平力ダンパーは、橋脚に取り付けたブラケットを利用することにより設置スペースの制約を受けずに施工できる。従って、作業性確保のため既設の橋桁をジャッキアップする必要がなく、交通規制がほとんど不要である。

### 4. 設計の概要

#### (1) 設計方針

設計は「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に関わる仕様」<sup>2)</sup>（建設省、1995年3月、以下復旧仕様と呼ぶ）および「道路橋の免震設計マニュアル（案）」<sup>3)</sup>（建設省、1992年3月、以下免震マニュアルと呼ぶ）に従って行った。

免震マニュアルの照査方法は、震度法および地震時保有水平耐力法の静的解析を基本としている。しかし、本工法を実橋に適用するのは初めてであり、すべり支承の挙動を忠実に再現するために、非線形動的解析によることとした。

震度法レベルの地震動を用いた解析による照査では、断面力および変位量を算出し、各橋脚に生じる応力度が許容応力度を満足しているか、また、伸縮装置が破損しないかを確認した。

大地震を想定した地震動を用いた解析による照査では、各橋脚に生じる応答曲率およびせん断力が終局曲率およびせん断耐力以下であるか確認した。伸縮装置などの付属物については、大地震時であるため損傷することは許容するものとした。

#### (2) 設計条件

設計条件は以下に示すとおりである。

##### a) 使用材料

コンクリート 主桁： $\sigma_{ck}=350 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_c=3.00 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

橋脚： $\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E_c=2.50 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$

鉄筋 SD295

b)地盤種別

Ⅱ種地盤

c)水平力ダンパー

水平力ダンパーは図-3に示すものを各橋脚に2個ずつ取り付ける。

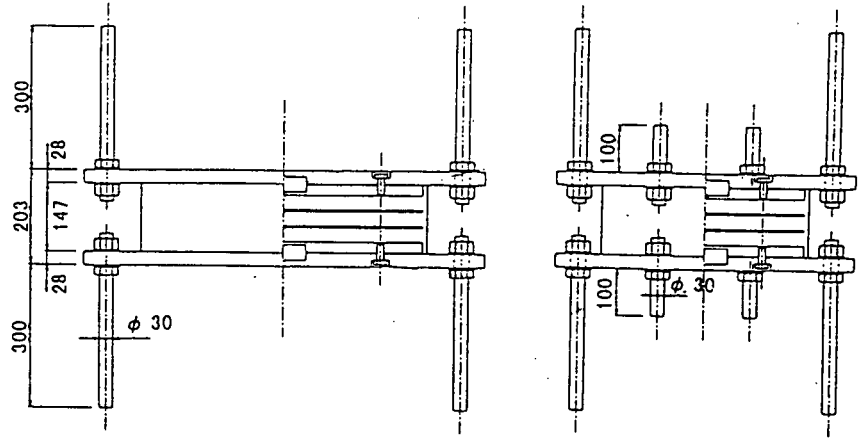


図-3 水平力ダンパー

(3) 解析条件

a)解析手法

本設計では、摩擦および水平力ダンパーの効果、構造部材の材料非線形性の影響を忠実に評価するために、直接積分法による弾塑性時刻歴応答解析を行った。

b)解析モデル

①構造モデル

図-4に解析モデルを示す。橋脚の節点は途中定着など配筋が異なる位置に設定しているが、解析を行う際に1要素が塑性化する領域で

30cm程度、その他の領域で1m以内となるように細分割した。

②主桁

本橋は単純桁であるため、主桁は線形部材としてモデル化した。

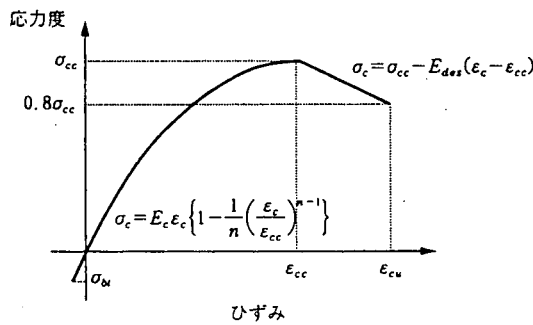


図-5 コンクリートの応力ひずみ曲線

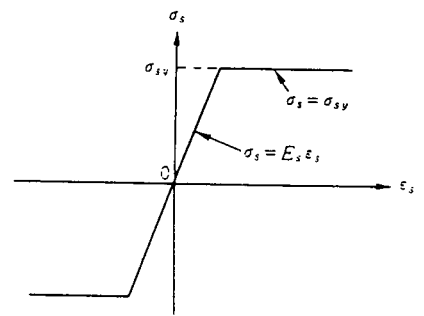


図-6 鉄筋の応力ひずみ曲線

③橋脚

橋脚は軸力変動の影響が小さいと考えられるため、M-φモデルでモデル化した。その際、コンクリートの応力ひずみ曲線は復旧仕様に従って求め(図-5)、鉄筋の応力ひずみ曲線はバイリニアとした(図-6)。また、M-φの復元力特性は剛性低下型の武藤ルールを用いた(図-7)。

④すべり支承

すべり支承については、動摩擦係数による摩擦力を考慮し、完全弾塑性でモデル化した(図-8)。降伏点は上部工反力に動摩擦係数を乗じて算出した。動摩擦係数

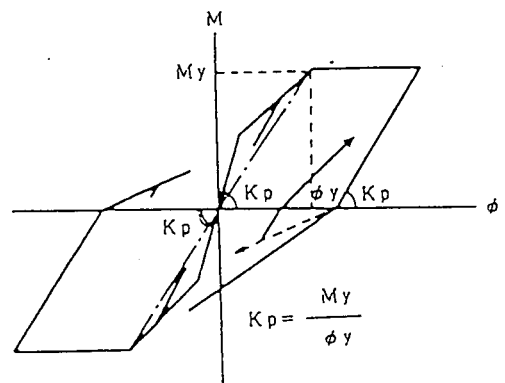


図-7 武藤ルール

は同種の支承を用いた試験により求め、本設計では $\mu=0.1$ とした。

#### ⑤水平力ダンパー

本橋では、水平力ダンパーとして高減衰ゴム支承を用いた。水平力ダンパーの動的非線形特性は免震マニュアルに従って求めた(図-9)。水平力ダンパーの動的非線形特性は設計水平変位に依存するため、解析結果として得られる応答変位が仮定した設計水平変位の $\pm 10\%$ 以内に収束するまで設計水平変位を仮定し直して解析を行った。

#### ⑥基礎地盤モデル

基礎は、道路橋示方書IV下部構造編に従い、線形バネでモデル化した。

#### ⑦減衰

減衰は、橋脚および主桁はレーレー減衰で与え、5%とした。基礎の減衰は道路橋示方書V耐震設計編では10%~30%を推奨しているが、変形量の小さい震度法レベルでは下限の10%、変形量の大きい鷹取駅記録波形を用いた照査では上限の30%とした。

#### ⑧入力波形

非線形動的解析に用いる地震入力波は、以下に示すように規模の異なる地震入力波形を用いることとした。

- ・入力波1：震度法レベルの地震動(中小規模の地震を想定した波形：道路橋示方書V耐震設計編)
- ・入力波2：地震時保有水平耐力照査レベルの地震動(海洋プレート型の大地震を想定した波形：免震マニュアル)
- ・入力波3：兵庫県南部地震の鷹取駅記録波形(直下型の大地震を想定した波形)

大地震を想定した照査では、兵庫県南部地震の鷹取駅記録波形を用いた場合の方が大きかったため、ここでは、震度法レベルの照査および鷹取駅記録波形を用いた照査の概要を示す。

図-10に本設計で使用する入力波形およびその加速度応答スペクトルを示す。

#### (4) 震度法レベルの照査結果

入力波1による非線形動的解析によって求められた各部材の曲げモーメントおよびせん断力の最大値に対して、許容応力度法により照査を

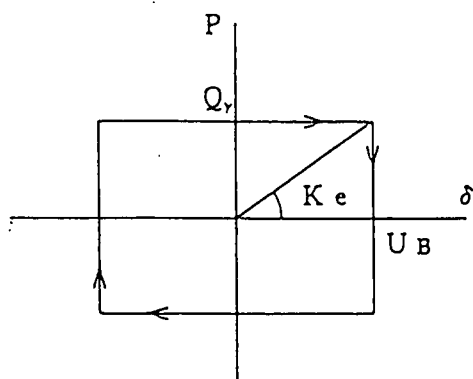


図-8 すべり支承のモデル化

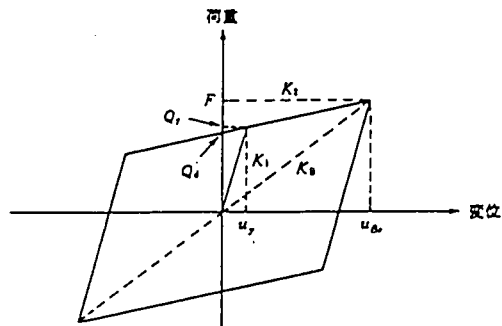
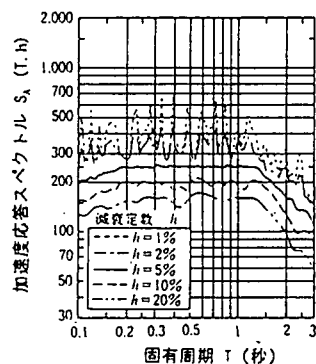
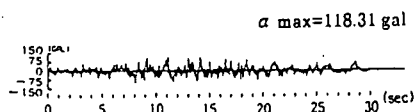
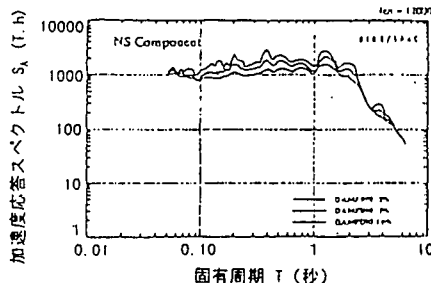
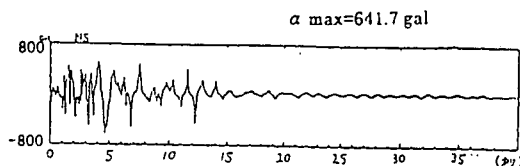


図-9 水平力ダンパーのモデル化



入力波1



入力波3

図-10 入力地震波

行った。

最も応答が大きかったP 3 3 7橋脚でもコンクリートの曲げ圧縮応力度は61 kgf/cm<sup>2</sup>、鉄筋の引張応力度は700 kgf/cm<sup>2</sup>、コンクリートの平均せん断応力度は1.5 kgf/cm<sup>2</sup>であり、全く問題はなかった。

また、主桁と橋脚天端の相対変位は最大で8mmであったため、伸縮装置に損傷を与える可能性は小さいと考えられる。

(5) 鷹取駅記録波形を用いた照査結果

a) 曲げモーメントおよびせん断力に対する照査

入力波3の波形を用いて非線形動的解析を行い、応答曲率およびせん断力が終局曲率およびせん断耐力を越えていないか確認することにより、照査を行った。せん断耐力は道路橋示方書Ⅲコンクリート橋編(1994年)に従って求めた。

曲げに対する照査結果の例として、最も応答が大きかったP 3 3 7橋脚下端のM-φ履歴図を図-11に示すが、全ての断面で終局曲率以下であった。せん断力に対しては、最も厳しかったP 3 3 6橋脚の段落とし部で作用せん断力に対するせん断耐力の比が1.1であり、全ての断面で作用せん断力はせん断耐力以下であった。

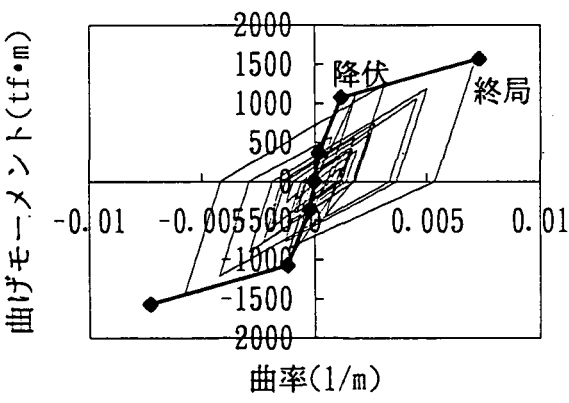


図-11 M-φ履歴図(P 3 3 7下端)

b) 水平力ダンパーの反力

1橋脚あたりの水平力ダンパーの最大水平反力は、橋軸方向で46 tf、直角方向で82 tfであった。この反力に対して、上部工および橋脚柱頭部に取り付けるブラケットのアンカーの照査を行った。

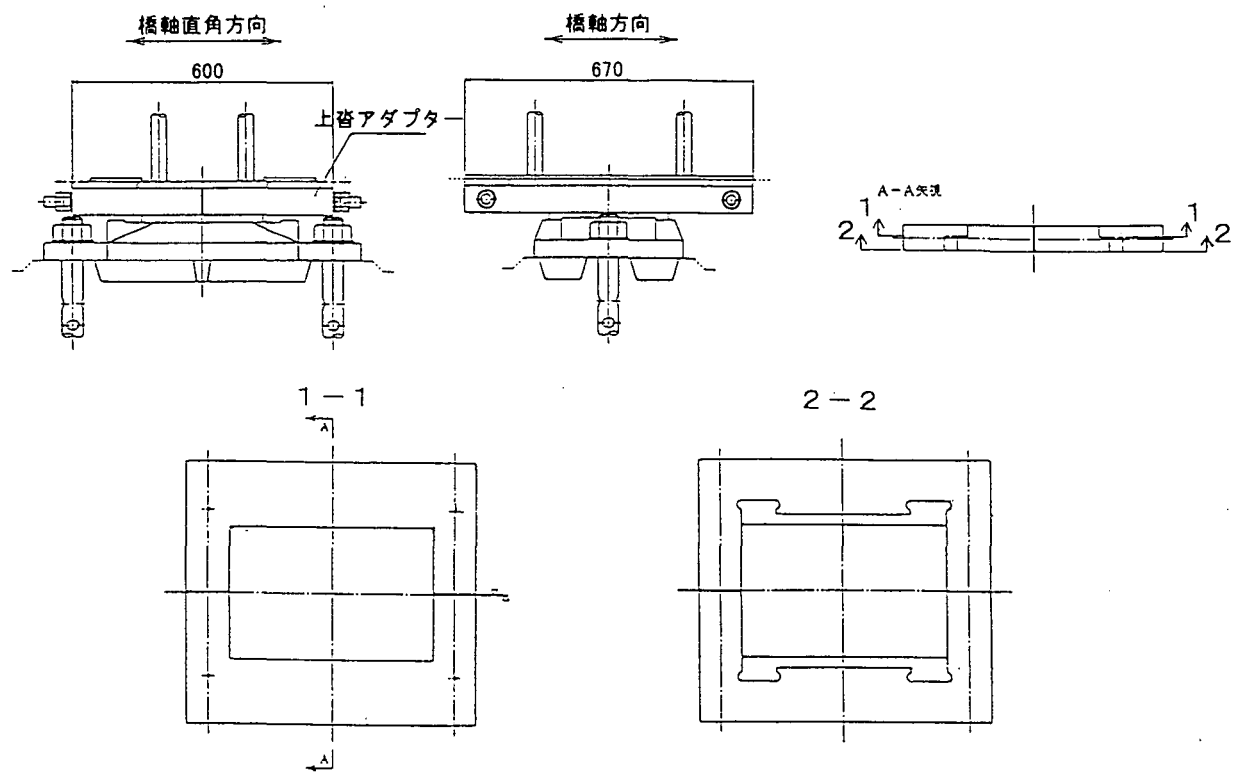
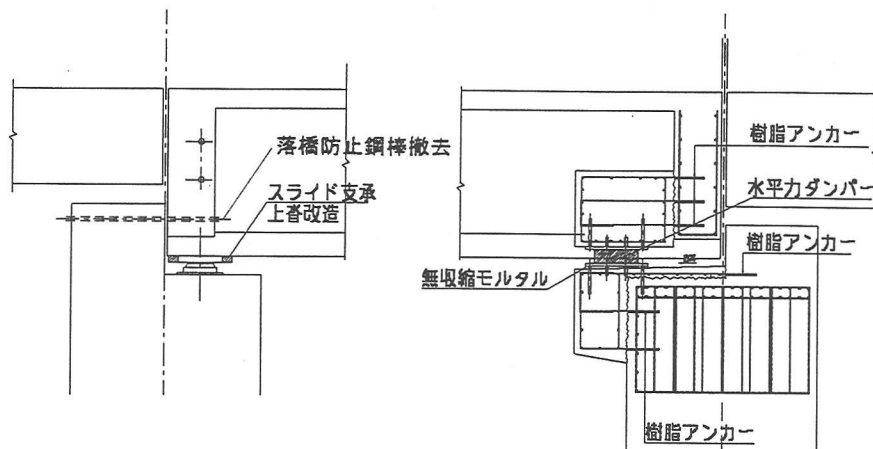


図-12 すべり支承の改造

### c) 水平力ダンパーの変形量

水平力ダンパーの最大変形量、すなわち、主桁と橋脚の最大相対変位は、橋軸方向で 104 mm、直角方向で 216 mm であった。この相対変位に対して、下桁が上桁からはみ出さないように上桁に拡幅のためのアダプターを取り付けた（図－12）。



図－13 施工概要図

## 5. 施工の概要

免震化工事の施工期間は、1996年7月～1996年11月である。

図－13に本橋の施工概要図を示す。また、免震化工事の全体の流れを図－14に示す。

### (1) 準備工

工事に先立ち作業場、進入路の確保が必要である。

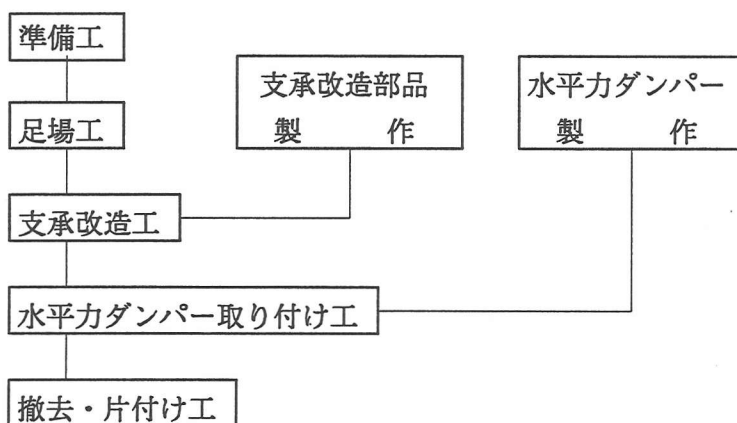
工事場所は、すぐ側を市道が走っており、資機材の搬出入はここから行うが、非常に狭いため搬出入時には、ガードマンを配置し、交通規制を行った。また、現場は狭隘で、高さもないため、油圧ショベル（ゴムクローラ）を置き、整地、フェンスの撤去、移動等に用いた。

### (2) 足場工

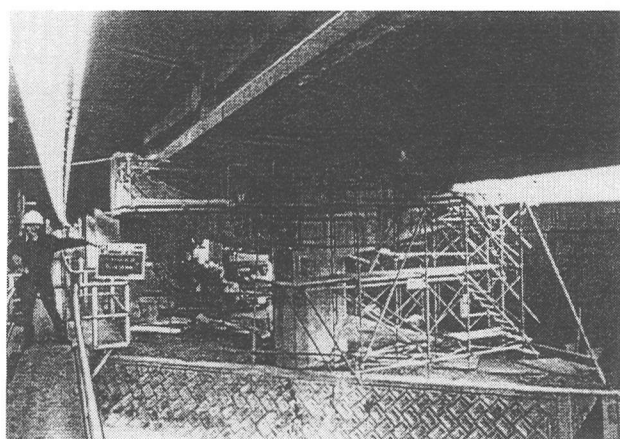
作業足場は、橋脚上部に重量物を据え付けることから、堅固に架設することが必要である。橋脚は、上部の半分が河川上に張り出しているため、そのうちの陸上部分を枠組み足場、河川上を吊り足場とした。河川上の吊り足場の架設は、重機が接近できないため、ブームリフト 12m 型(SR-120)を使用した（写真－1）。

### (3) 支承改造工

支承改造工は、現在の支承の一部を切断撤去し、工場で制作したアダプター（滑り支承）を取り付ける工事である。支承改造工のフローチャートは図－15のとおりである。



図－14 免震化工事全体フロー図



写真－1 作業足場全景（P 336）

#### a) サイドブロック撤去工

下沓のサイドブロックボルトを六角スパナで取り外し、サイドブロックを撤去した（図－16）。

#### b) 下沓ストッパー切断工

ストッパーの切断は、クリアランスのないところでの施工であったため、ガス切断とした。沓には、防塵シールリングが取り付けられていたため、これを火熱で損傷しないようその回りを鉄片で養生した。

#### c) 上部アダプター取り付け工

滑り支承となるアダプターを上沓にはめ込む工事で、重量物（約 50kg）を狭いところで取り付けるため、小型の台車を用いて行った。また、沓には、塗料やメタリコンが付着しており、その除去に相当な手間を要した。アダプターと上沓下面との段差については、精度が要求されるため、キャンバーをこまめに入れ、その確保に留意した。

#### d) アダプター定着工

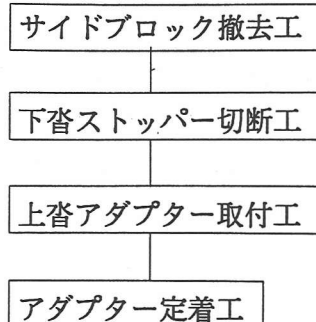
アダプターの取り付けが終わると、取り付けボルトを通し、ナットを締めて左右のアダプターを緊結した。この締め付けは、必要以上に締め付けないようにトルク管理を行った。アダプター上面と桁との隙間には、樹脂モルタルを注入し固定した。

#### （4）水平力ダンパー取り付け工

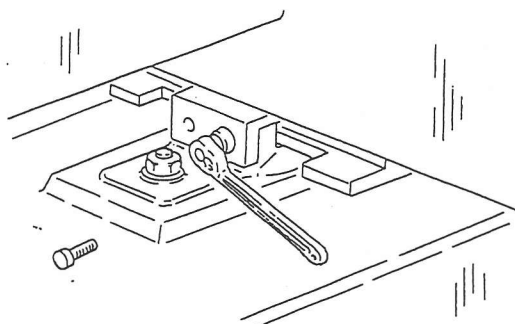
水平力ダンパー取り付け工は、橋脚上に新たに水平力ダンパーを取り付け、橋梁上部工と一体化する工事である。水平力ダンパーの取り付け工のフローを図－17に示す。

#### a) 水平力ダンパー台座ブラケット工

水平力ダンパーは、前面が新設の台座ブラケット上に、背面が橋脚天端に取り付く。このブラケットは鉄筋コンクリート構造で、橋脚前面に張り出しで取り付ける。既設コンクリート面は、十分なチッピングを行い樹脂アンカー鉄筋を埋め込み、定着した。コンクリートは、支保工を地上から組み、型枠、鉄筋を設置し打設した。この際、ダンパーのアンカーボルト埋め込み孔の一部（前面）を前もって箱抜きしておいた。



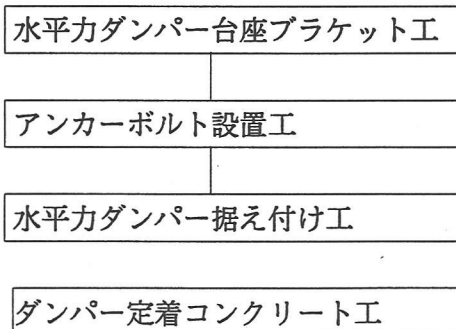
図－15 支承改造工フロー



図－16 サイドブロックボルトの撤去



写真－2 支承改造工完了



図－17 水平力ダンパー取付工フロー図

#### b) アンカーボルト設置工

橋脚天端の所定の位置に、水平力ダンパーのアンカーボルト埋め込み用の削孔を行った。削孔は、ジャックハンマーで行ったが、橋脚の鉄筋にぶつかり、多少の位置ズレが生じた。したがって、ダンパーフランジのボルト孔の位置は、削孔の原寸を取り決めた。

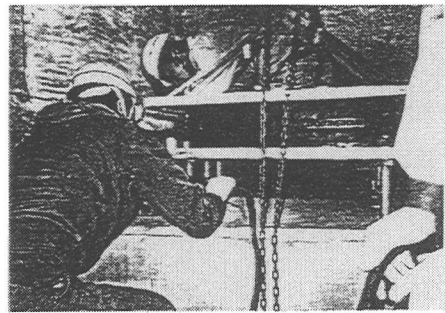


写真-3 水平力ダンパーの設置

#### c) 水平力ダンパー据え付け工

工場製作した水平力ダンパーを現地に搬入し、橋脚の近くまで横引きした。水平力ダンパーは、重量が約 500kg あったため、横桁に簡易天井クレーンを取り付けた。これを用いることにより、安全に吊り上げ、設置することができた。

その後、アンカーボルト孔に樹脂モルタルを注入し、水平力ダンパーを固定した。また、ダンパーと台座との隙間には、無収縮モルタルを注入した。

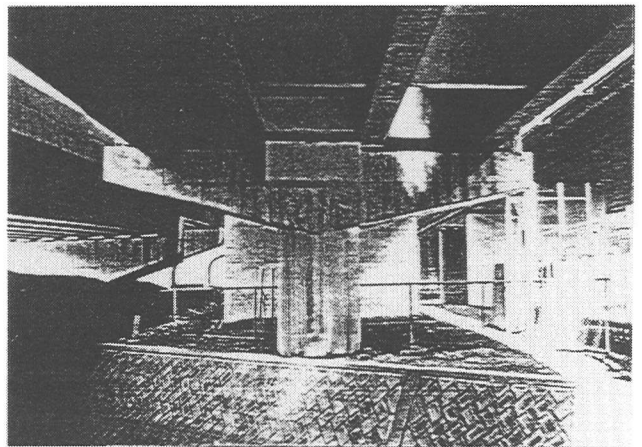


写真-4 免震化工事の完成

#### d) ダンパー定着コンクリート工

橋梁上部工と水平力ダンパーを一体化するために、ダンパー上面に、鉄筋コンクリートを打設し、上部工主桁間に定着した。ダンパー上面のアンカーボルトは、フランジに固定しておき、コンクリート打設時に埋め込めるようにした。この際、ダンパーのゴムに、コンクリートの重量が掛からないように、ダンパーフランジの上下の間に木片を入れ、コンクリートを打設した。

#### (5) 撤去、片付け工

工事終了後、作業足場の撤去、フェンスの復旧及び後片付け清掃を行い退去した。

### 6. 終わりに

以上、本免震化工法をP C単純T桁橋に適用した例を報告した。本工法は、河川内の橋脚や建築限界の問題などで巻立て工法が困難な橋脚の耐震補強に有効な工法である。今後、橋脚の耐震補強に本工法が役立てば幸いである。

#### 【参考文献】

- 1) 竹田哲夫他：既設橋梁に適した免震化工法、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、土木学会、1996年1月
- 2) 建設省：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に関わる仕様、1995年3月
- 3) 建設省土木研究所：道路橋の免震設計マニュアル（案）、1992年3月