

## (64) 重信高架橋(プレキャストセグメント工法)における確認試験

(株)ピー・エス・住友建設(株)共同企業体 正会員○井谷 計男  
 日本道路公団 四国支社 建設部 湯川 保之  
 日本道路公団 四国支社 松山工事事務所 木水 隆夫  
 (株)ピー・エス 土木技術部 正会員 河村 直彦

### 1. はじめに

重信高架橋では、ショートラインマッチキャスト工法で製作したプレキャストセグメントをスパンバイスパン工法で架設する工法を採用している。本橋では、実施工にあたり各種確認試験を実施した。本論文は、このうち

1. プレキャストセグメントの柱頭部と現場打ちの橋脚天端部を剛結する構造形式に対する耐震性能試験
  2. プレキャストセグメントの端面に設けたスラブキーの強度確認試験
- について報告するものである。

### 2. Uテンドン剛結部載荷試験

#### 2.1 本試験の目的

重信高架橋は全9橋のうち7橋が連続ラーメン形式であり、これをプレキャストセグメント工法にて架設するため、柱頭部はU型テンドンを用いて橋脚と剛結する構造としている。このような形式は過去に例のない新しいものであるため、模型試験を行い、地震時での挙動を明らかにすることとし、さらにRC方式との比較を行った。

#### 2.2 試験方法

##### 2.2.1 供試体の決定

本試験では、曲げとせん断がともに効いてくる比較的橋脚高の低いものを対象とし、実橋のP2(H=15.5m)とした。また、縮尺としては載荷装置の寸法等を考慮して1/6とし、これに合わせて鉄筋量、軸力、Uテンドン緊張力等を決定した。

また、比較を行うために、曲げ破壊荷重が同等となるRC供試体を製作し、比較を行った。図-1にUテンドン供試体、図-2にRC供試体を示す。

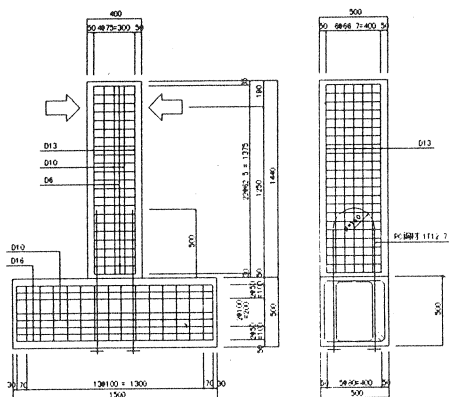


図-1 Uテンドン供試体

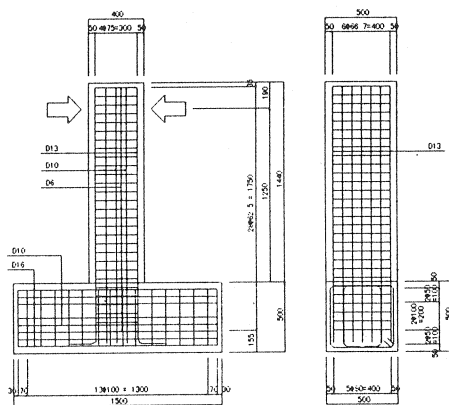


図-2 RC供試体

##### 2.2.2 載荷方法

載荷試験は静的正負交番載荷および準動的載荷を行った。

準動的載荷は、各時刻における復元力から運動方程式を解いて、次の時刻における変位を求める載荷方法である。

静的正負交番載荷はRC供試体の計算降伏荷重時の変位 ( $\delta y=5\text{mm}$ ) から変位を  $1\delta y$  ずつ増加させながら、各変位で1回ずつ往復させることとした。ただし、今回はRC供試体で  $8\delta y$  のみ5回の繰り返しを行っている。Uテンドン供試体では降伏変位が明確に示されないため、RC供試体の降伏変位を基準にして載荷を行った。ただし、変位  $40\text{mm}$ 、 $60\text{mm}$  では5回の繰り返し載荷を行い、 $60\text{mm}$  以降  $75\text{mm}$  までは負側のみの一方向載荷とした。

準動的載荷では、使用地震波は1995年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台で観測されたNS波とし、載荷時間は15秒間とした。加速度のレベルは地盤加速度として  $818\text{gal}$  に相当する加速度およびその2倍である  $1636\text{gal}$  相当の加速度とした。また設定固有周期については、実構造物の最も短いものと対応するように  $0.6$  秒とした。また、比較のために  $0.3$  秒としたものも1ケース設定した。

実験に用いた供試体と初期入力データを表-1に示す。

表-1 供試体一覧

| 供試体           | 固有周期<br>sec | 初期剛性<br>tf/cm | 仮想質量<br>ton | 地震波レベル     |
|---------------|-------------|---------------|-------------|------------|
| Uテンドン静的載荷     | -           | -             | -           | -          |
| Uテンドン準動的載荷 I  | 0.6         | 70            | 625         | 0.195g 相当  |
|               | 0.6         | 70            | 625         | 818gal 相当  |
|               | 0.6         | 70            | 625         | 1636gal 相当 |
| Uテンドン準動的載荷 II | 0.6         | 70            | 625         | 0.17g 相当   |
|               | 0.3         | 70            | 625         | 818gal 相当  |
| RC部材静的載荷      | -           | -             | -           | -          |
| RC部材準動的載荷     | 0.6         | 70            | 625         | 0.17g 相当   |
|               | 0.6         | 70            | 625         | 818gal 相当  |
|               | 0.6         | 70            | 625         | 1636gal 相当 |

## 2.3 試験結果

### 2.3.1 静的正負交番載荷試験結果

静的正負交番載荷試験の計算値と実験値を表-2に、荷重～変位曲線を図-3、図-4に示す。Uテンドンタイプ、RCタイプとも曲げ破壊先行型であり、静的載荷に対しては、実用上十分な耐荷力と変形性能をもっていることが確認された。

表-2 静的正負交番載荷試験結果

| 供試体   | 計算値(tf)       |               |               | 実験値      |      |          |      | 破壊形態                    |
|-------|---------------|---------------|---------------|----------|------|----------|------|-------------------------|
|       | 地震荷重<br>$P_e$ | 降伏荷重<br>$P_y$ | 終局耐力<br>$P_u$ | 降伏変位(mm) |      | 最大耐力(tf) |      |                         |
|       |               |               |               | 正        | 負    | 正        | 負    |                         |
| Uテンドン | 9.6           | 11.9          | 12.7          | -        | -    | 11.9     | 12.7 | 部分的なコンクリートはく離を伴う曲げ破壊    |
| RC    | 11.0          | 12.5          | 14.4          | 5.04     | 5.10 | 14.2     | 14.5 | コンクリートのはく離と主筋の座屈を伴う曲げ破壊 |

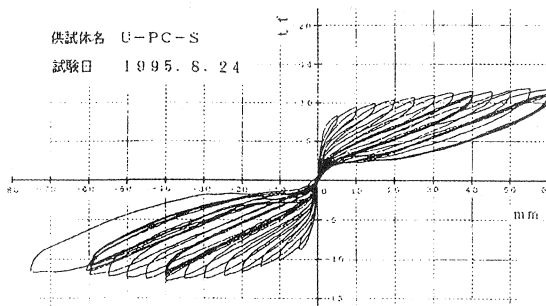


図-3 Uテンドン供試体荷重～変位曲線

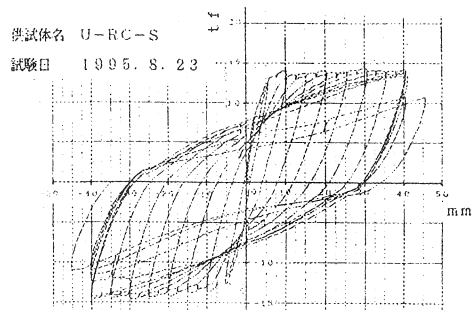


図-4 RC供試体荷重～変位曲線

RC供試体は  $8\delta y$  までは耐荷力を有したが、ここで繰り返し載荷を行った結果、かぶりコンクリートが

はく離し、耐荷力が減少した。

一方、Uテンドン部材は最後まで耐荷力を有していた。変形はUテンドンが伸びるかたちとなり、柱梁接合部に集中し、他の部位での変形やクラックの伸展はわずかであった。さらに、除荷時は原点指向となり、除荷後もほぼ健全な状態を維持していた。また、Uテンドン折り返し部に対しても、小さなクラックが入ったのみで、特に問題となるような挙動は示していない。これは、この付近には十分な主鉄筋量があり、クラックの伸展が抑えられたためであると考えられる。

### 2.3.2 準動的載荷試験結果

実験によって得られた時刻歴応答変位曲線と荷重～変位曲線の一部を図-5～8に示す。

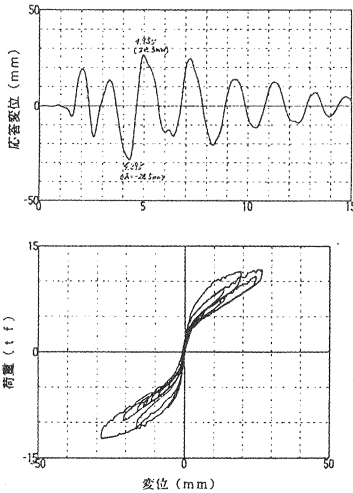


図-5 Uテンドン供試体 818gal 相当

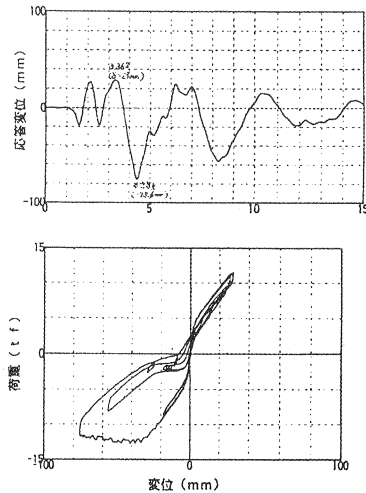


図-6 Uテンドン供試体 1636gal 相当

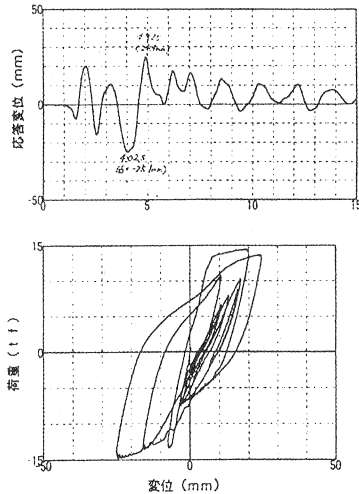


図-7 RC供試体 818gal 相当

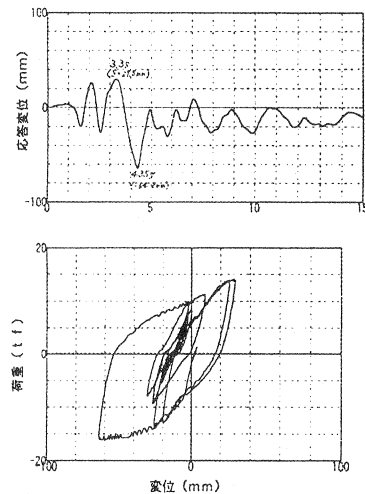


図-8 RC供試体 1636gal 相当

各供試体とも 0.17g 相当の動的載荷に対しては、ほぼ弾性的な挙動を示した。RC 供試体と U テンドン供試体 I については、818gal 相当の地震波での最大変形量は 25～28mm と RC 供試体の降伏変位に対して約 5～6 倍であり、十分な耐荷力を有していた。さらに、1636gal 相当の地震波に対しても十分な耐荷力と変形性能を有していた。

これに対し、U テンドン供試体 II (固有周期を 0.3 秒としたもの) は大きな変形が生じた。ただし、この

ような固有周期は対象とした橋梁は該当しないため、特に問題はないと考えられる。

## 2.4 Uテンドン剛結部載荷試験まとめ

以上をまとめると、次のとおりとなる。

1. 重信高架橋ラーメン構造での柱梁接合部では、十分な耐荷力と変形性能を有し、兵庫県南部地震での地震波に対しても十分安全であることが確認された。また、せん断破壊とそれに伴う急激な耐荷力の減少は起きないことも確認された。
2. Uテンドン折り返し部に対しては、十分な主鉄筋量と帯鉄筋量が必要である。重信高架橋ではこれらが十分に配置されているため、問題はない。

## 3. スラブキー試験

### 3.1 本試験の目的

床版に輪荷重が作用した場合の床版の応力性状については、FEM解析等で十分把握できており、スラブキーの設計手法としては問題がないと考えられる。しかし、この設計手法が我が国では一般化されていないという現状とプレキャストセグメント構造のスラブ挙動を成立させる構造物の細部構造に対して保証を行うことを目的として、スラブキーのせん断耐力、せん断破壊面および破壊モードの確認を載荷試験により行うこととする。また載荷試験のパラメータは、接着剤のある場合とない場合、プレストレスによる軸圧縮応力度の差とする。

### 3.2 試験方法

#### 3.2.1 供試体

供試体作成にあたっては、寸法効果によるせん断耐力への影響を考慮して、スラブ厚、スラブ形状を実物大とし4供試体を製作した(設計基準強度 $500\text{kgf/cm}^2$ )。各供試体のパラメータは、接着剤の有無、軸応力の程度とした(表-3)。供試体は、ロングラインマッチキャスト方式で作製した。供試体の各セグメントは、スラブキーの凸側に接着剤(厚さ $1\text{mm}$ )を塗布してPC鋼棒を使用して接合した(接着圧 $2\text{kgf/cm}^2$ )。その後、養生を10日間行った。

表-3 供試体の種類

| 供試体   | 軸応力 ( $\text{kgf/cm}^2$ ) | 接着剤塗布                 |
|-------|---------------------------|-----------------------|
| NO. 1 | 0.0                       | 有り (凸側 $1\text{mm}$ ) |
| NO. 2 | 10.0                      | 有り (凸側 $1\text{mm}$ ) |
| NO. 3 | 20.0                      | 有り (凸側 $1\text{mm}$ ) |
| NO. 4 | 10.0                      | 無し                    |

#### 3.2.2 載荷方法

図-9に供試体寸法を、図-10に載荷方法を示す。載荷は荷重制御および変位制御で行った。設計輪荷重の $6.2\text{tf}$ を2回、過載荷重の輪荷重に相当する $10.6\text{tf}$ を2回、ひび割れ発生時に除荷し、再度部材の破壊まで単調に載荷した。

### 3.3 試験結果

#### ①破壊形状

NO. 1~NO. 3供試体では、荷重の載荷により、

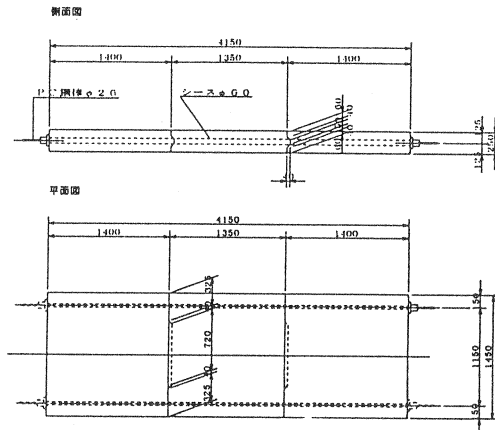


図-9 供試体寸法

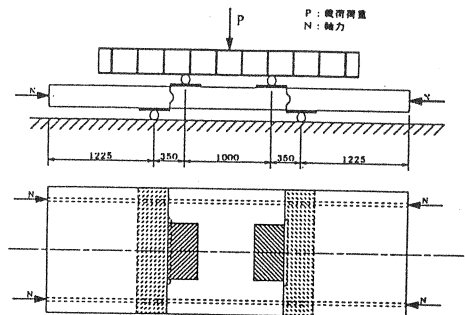
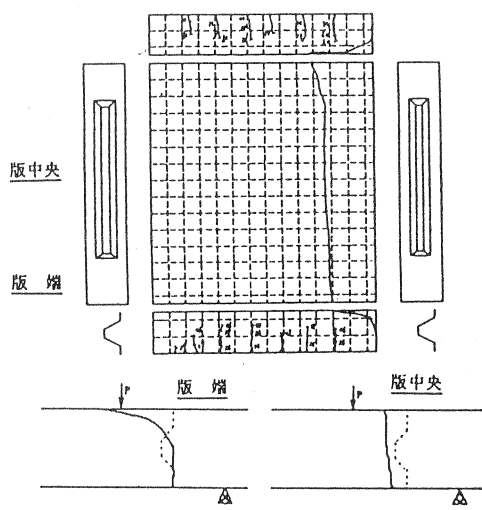
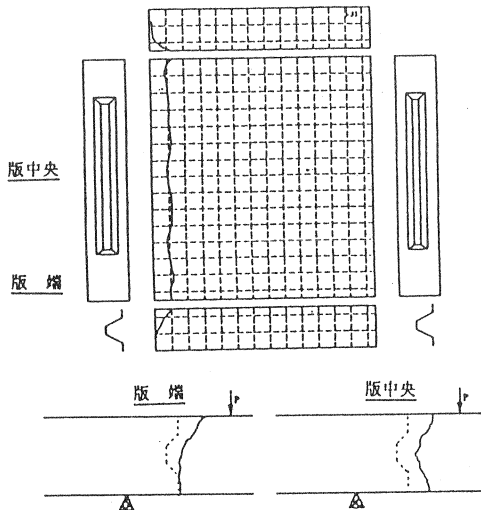


図-10 載荷方法

まずひび割れが荷重載荷点間に発生し、更に荷重を増加させると接合部の無筋区間で急激に破壊した。破壊の生じた面を観察すると版中央(スラブキーの位置)では、軸方向鉄筋端面が全ての供試体において確認できた。また、版端部(スラブキーの両外側)では、接着面のごく近傍で破壊面が形成されていた。これら3供試体の破壊形状としては、支承線と載荷点間でスラブキー部が全体的に突き抜けるような状態であった。NO. 4供試体は、軸力により接合されているだけであるので、接合面の下縁応力が解放されると各スラブが剛体のように挙動した。載荷荷重20tf以降耐荷力は増加することなく変形が進行し、最終的にスラブキーの凹部上面が破壊した。

(供試体 NO. 1)

(供試体 NO. 2)



(供試体 NO. 3)

(供試体 NO. 4)

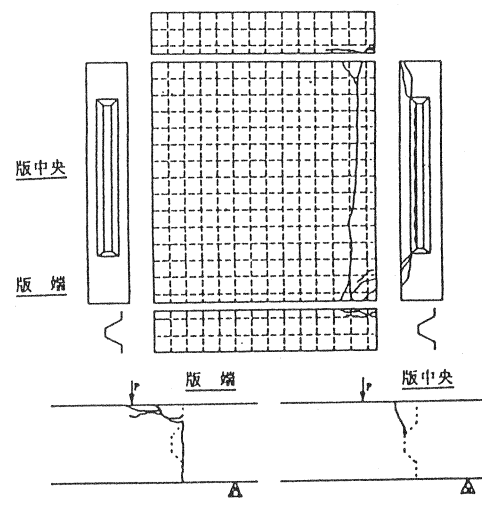
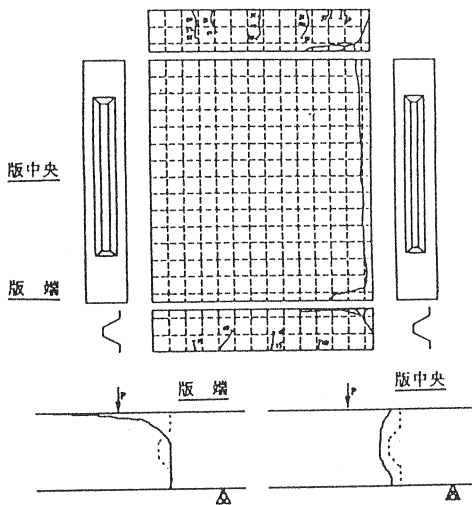


図-1.1 破壊形状

②スラブキー供試体のせん断耐力

載荷試験条件とせん断耐力に関する試験結果を表-4に示す。スラブキー1ヶの設計せん断力6.2tfに対して、各軸応力度別に表に示すような安全率が計算できる。この安全率はドライ接合の場合でも設計せん断力に対して1.7以上(軸応力10kgf/cm<sup>2</sup>)あり、接着剤接合の場合は軸応力度がない場合でも破壊時のせん断耐力は設計値の3倍以上ある。軸応力度が20kgf/cm<sup>2</sup>以上あれば、約5倍のせん断耐力があることが確認された。

表-4 供試体のせん断耐力 ( ) 内の数値は、作用荷重等の実測値から計算した値を示す。

| 項目             |                 | 供試体番号               | 単位                  | NO. 1        | NO. 2         | NO. 3          | NO. 4         |
|----------------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------|---------------|----------------|---------------|
| 試験水準           |                 | 接着剤塗布               |                     | 有り           | 有り            | 有り             | 無し            |
|                |                 | 初期軸応力               | kgf/cm <sup>2</sup> | 0            | 10            | 20             | 10            |
| 載荷試験時床版応力度の計算値 | 自重              | 床版荷重強度              | kgf/cm              | 9.06         | 9.06          | 9.06           | 9.06          |
|                |                 | 床版支間                | cm                  | 170          | 170           | 170            | 170           |
|                |                 | モーメント               | kgf・cm              | -55,900      | -55,900       | -55,900        | -55,900       |
|                |                 | 応力度                 | kgf/cm <sup>2</sup> | ±3.7         | ±3.7          | ±3.7           | ±3.7          |
|                |                 | 荷重強度                | kgf                 | 1,300        | 1,300         | 1,300          | 1,300         |
|                | 載荷装置            | モーメント               | kgf・cm              | 11,375       | 11,375        | 11,375         | 11,375        |
|                |                 | 応力度                 | kgf/cm <sup>2</sup> | ±0.8         | ±0.8          | ±0.8           | ±0.8          |
|                |                 | 載荷装置設置時床版応力度        | kgf/cm <sup>2</sup> | ±2.9         | ±2.9          | ±2.9           | ±2.9          |
|                | 初期軸力            | 導入後応力度              | kgf/cm <sup>2</sup> | -2.9<br>+2.9 | +7.1<br>+12.9 | +17.1<br>+22.9 | +7.1<br>+12.9 |
|                | 実測値             | ひび割れ時               | 作用荷重                | kgf          | 15,000        | 23,000         | 27,500        |
| 実測引張応力         |                 |                     | kgf/cm <sup>2</sup> | 25.4         | 44.9          | 60.5           | —             |
| 接合面せん断力        |                 |                     | kgf                 | 7,500        | 11,500        | 13,750         | —             |
| 破壊時            |                 | (接合面せん断応力)          | kgf/cm <sup>2</sup> | (2.1)        | (3.2)         | (3.8)          | —             |
|                |                 | 作用荷重                | kgf                 | 38,700       | 47,000        | 59,600         | 21,500        |
|                |                 | (せん断力)              | kgf                 | (19,400)     | (23,500)      | (29,800)       | (10,800)      |
|                |                 | (せん断応力=せん断力/供試体断面積) | kgf/cm <sup>2</sup> | (5.4)        | (6.5)         | (8.2)          | (3.0)         |
| スラブキーの設計せん断力   |                 | kgf                 | 6,148               | 6,148        | 6,148         | 6,148          |               |
| 設計値との比較        | ひび割れせん断力/設計せん断力 |                     | 1.22                | 1.87         | 2.24          | —              |               |
|                | 破壊時せん断力/設計せん断力  |                     | 3.16                | 3.82         | 4.85          | 1.76           |               |

### 3.4 スラブキー試験まとめ

スラブキーを用いた床版接合部の挙動を明らかにするために、切り出しモデルの載荷試験を行い、次の知見を得た。

- ①セグメント継ぎ目に接着剤がある場合とない場合では破壊形態が異なり、前者はセグメント継ぎ目全体でのせん断破壊となり、後者はスラブキー構成部分でのせん断破壊となる。
- ②セグメント継ぎ目に接着剤がある場合は、ない場合に比較してせん断耐力が上がる。
- ③初期軸応力が大きいほどせん断耐力が向上する。
- ④セグメント継ぎ目に接着剤がある場合は、初期軸応力0~20 kgf/cm<sup>2</sup>の範囲内で設計せん断力の3倍以上の耐力があることが確認された。

### 4. まとめ

重信高架橋ではわが国で初めてプレキャストセグメントをスパンバイスパン工法で架設する工法が採用され、施工の機械化、合理化を図っている。これにより新たな試みがなされたが、Uテンドン剛結部載荷試験では耐震性を十分満足すること、スラブキー試験では十分なせん断耐荷力をもつことが確認された。

本論文がプレキャストセグメント工法の発展の一助になれば幸いである。

謝辞 本試験を行うにあたり御指導および御検討いただいた「松山自動車道PCプレキャストブロック工法に関する技術検討委員会」(委員長:池田尚治横浜国立大学教授)の委員並びに幹事に皆様に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 平陽兵、松田哲夫、山口隆裕、池田尚治: PC緊張材で桁と剛結合したコンクリート橋脚の耐震性: コンクリート工学年次論文報告集 第18巻 第2号、pp23~28、1996.7
- 2) 辻昌宏、松田哲夫、山口隆裕、池田尚治: オンラインハイブリッド実験によるコンクリート剛結合橋脚の地震応答に関する研究: 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集 第5部、1996.9