

論文

[2200] 外リブ付き鋼管・コンクリート合成はりの静的耐荷挙動

篠崎裕生*1・三上浩*2・岡本隆*3・水谷慎吾*4

1. はじめに

近年、施工条件の厳しい山岳橋梁の増加に伴い、高橋脚の省力化施工法の開発が強く求められている。著者らは、鉄筋工および型枠工を低減すべく、主補強材に外リブ付き鋼管を用い、外殻となるプレキャストセグメント(以下、PCaS)を構造部材兼型枠として中詰めコンクリートを打設する新しい施工法を考案した。しかし、この構造形式では鋼管と中詰めコンクリートおよびPCaSと中詰めコンクリートとの間に2箇所の界面が生じる。また、PCaSは施工上の制約から分割化しなければならずセグメント間に継ぎ目が生じる。本研究では、鋼・コンクリート合成はりを5体製作して、上述した界面や継ぎ目が合成はりの静的な曲げ挙動に与える影響を検討した。また、中詰めコンクリート内に配置した軸補強筋が耐荷挙動に与える影響もあわせて検討した。さらに、道路橋示方書に準じた方法で算出した計算結果とこれらの実験結果を比較検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は表-1に示す5体である。S、S-RはPCaSを用いていないはりで、MSはPCaSを軸方向に分割していないはりである。また、試験体名の末尾のRは中詰めコンクリート内に軸補強筋を配置したことを示す。試験体の形状寸法を図-1に示す。鋼管の径や肉厚およびPCaSの肉厚や分割長さは脚長が30~50m程度の橋脚を施工することを想定して決定したが、せん断補強筋については試験体のはりであるため道路橋示方書¹⁾に準じ、けたに配置する最小斜め引張鉄筋量(0.2%)をPCaS内に配置した。なお、PCaSを用いていないはりでも同じ位置にせん断補強筋を配置した。

試験体に用いた外リブ付き鋼管は、外径が200mm、肉厚が5mmで、高さ2.5mm、幅4.0mmのリブが間隔40mmでスパイラル状に加工されている。鋼管の力学的特性を表-2に示す。また、せん断補強筋(D10)および中詰めコンクリート内に配置した軸補強筋(D13)の力学的特性を表-3に示す。用いたコンクリートの配合、力学的特性を表-4に示す。PCaSのコンクリートと中詰めコンクリートは同じ材料を用いて配合したが、PCaSはワーカビリティ

表-1 試験体一覧

はり種別	PCaS	軸補強筋
S	—	—
S-R	—	○
MS	一体	—
DS	分割	—
DS-R	分割	○

表-2 鋼管の力学的特性

弾性係数(kgf/cm ²)	2.17×10 ⁶
ポアソン比	0.31
降伏強度(kgf/cm ²)	3065
引張強さ(kgf/cm ²)	4381
降伏ひずみ(×10 ⁻⁶)	1346
破断伸び(%)	39

*1 三井建設(株)技術研究所、(正会員)
 *2 三井建設(株)技術研究所主任研究員、工博(正会員)
 *3 日本鋼管(株)基盤技術研究所主任研究員、工博
 *4 日本鋼管(株)基盤技術研究所

表-3 鉄筋の力学的特性

呼び名	D10	D13
弾性係数(kgf/cm ²)	2.05 × 10 ⁶	2.02 × 10 ⁶
降伏強度(kgf/cm ²)	4062	3497
引張強さ(kgf/cm ²)	5821	5393
降伏ひずみ(×10 ⁻⁶)	2107	2210

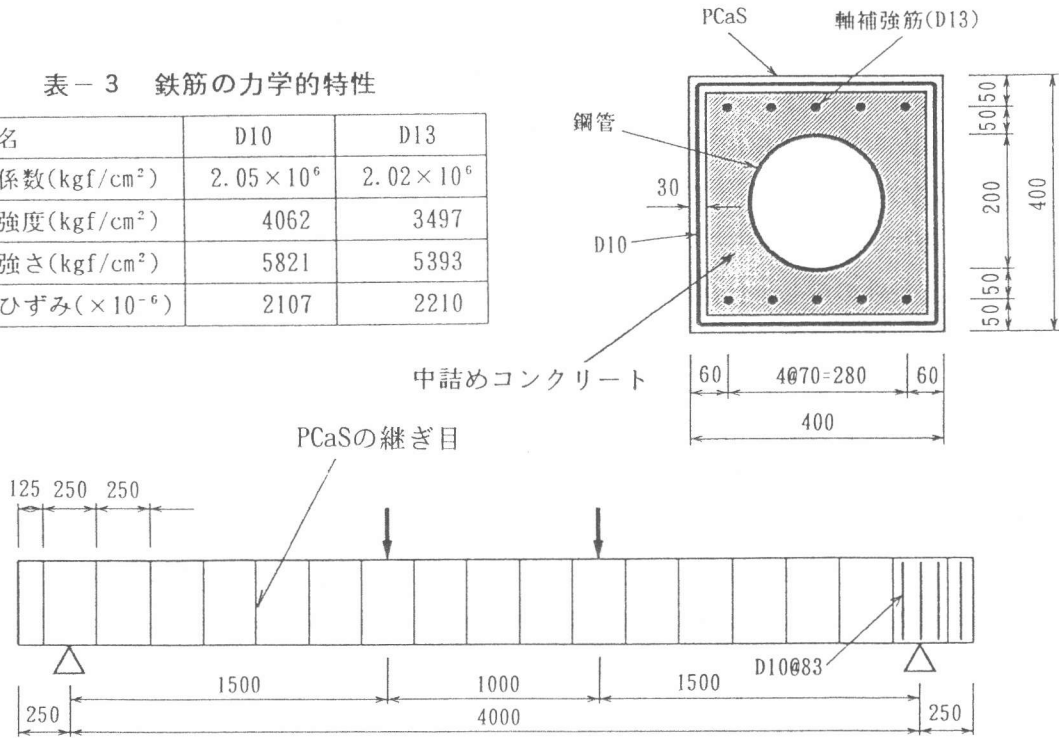


図-1 試験体の形状寸法

一を向上させるため単位セメント量と減水剤量を増加させた。

表-4 コンクリートの配合および力学的特性

PCaSの厚さは30mmで、分割長さはDSおよびDS-Rとも支点間で250mmとした。いずれも内面に高さ3mm、直径4.5mmの円形の突起を縦横7.5mm間隔に設けることで、中詰めコンクリートとの付着を確保した。また、継ぎ目面の型枠(鋼板)を隣接するブロックと共有してコンクリートを打設し、ブロック間の密着性を確保した。なお、継ぎ目の加工や接着等を行わなかった。

部材種別	PCaS	被覆コンクリート
水セメント比(%)	47.0	53.0
単位セメント量(kg/m ³)	379	334
粗骨材最大寸法(mm)	13	
圧縮強度(kgf/cm ²)	457	298
引張強度(kgf/cm ²)	25.6	29.8
弾性係数(kgf/cm ²)	3.65 × 10 ⁵	2.64 × 10 ⁵

試験体の製作は、鋼管を所定の位置に設置した後PCaSを鉛直に積み上げ中詰めコンクリートを打設するという手順で行った。中詰めコンクリートはPCaSを設置してから43日後に打設した。

2.2 実験方法

試験は純スパン4.0m、載荷点間距離1.0mの2点載荷曲げ試験とした。加力は、一方向単調増加とし、容量200tの試験機により行った。測定項目は、はりの鉛直変位、鋼管の軸ひずみと軸補強筋およびスパン中央断面のコンクリートひずみである。さらに、PCaSは継ぎ目の開きをパイ型変位計で測定し、ひびわれ幅はスケール付きの高倍率カメラ(マイクロスコープ)で測定した。

2.3 解析方法

道路橋示方書²⁾には、鉄筋コンクリート橋脚に水平力を作用させた時の橋脚躯体の曲げ変形による降伏および終局時の水平耐力および水平変位の計算法が示されている。これは、橋脚の各断

面においてひずみの平面保持を仮定し、材料の応力-ひずみ関係から求められる応力度のつりあいから曲げモーメントと曲率を求めるもので、曲げ荷重を受けるはり部材にも適用できる方法である。詳細は文献²⁾に譲る。計算上、鋼管とコンクリートおよびPCaSとコンクリートとは一体化して挙動することとした。また、PCaSの継ぎ目の影響は考慮しなかった。各材料の応力度-ひずみ関係では材料定数に実験値を用いた。なお、鋼管の応力度-ひずみ関係は鉄筋と同じ2直線モデルを用いた。

3. 実験結果

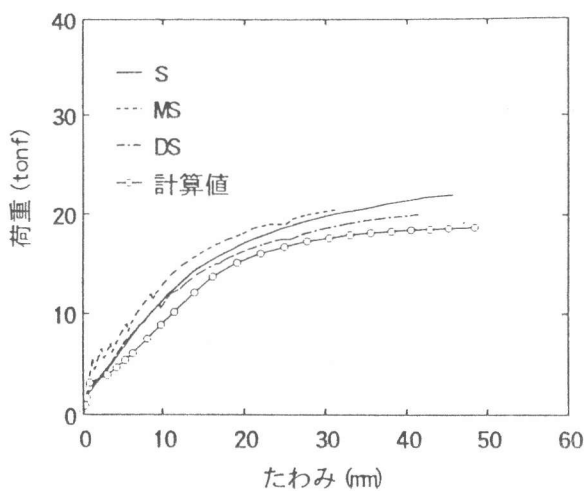
3.1 荷重-たわみ曲線

表-5に試験結果を計算値とともに示した。試験結果と計算値は比較的良好に一致している。図-2(a)、(b)に、はり中央のたわみと荷重の関係を計算値とともに示した。いずれの試験体も終局まで耐力の増加傾向が見られた。これは鋼管の降伏が下縁から徐々に上縁に進行し、全断面

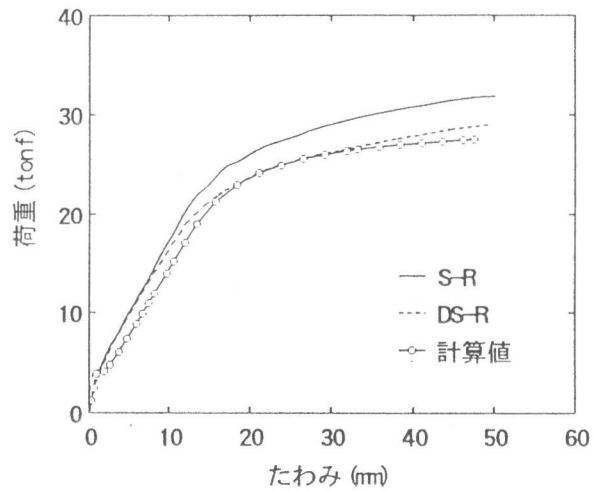
表-5 試験結果

試験体	終局耐力	ひびわれ発生荷重	鋼管下縁降伏荷重
S	22.0(18.7)	2.0(3.6)	10.5(11.6)
S-R	31.8(27.5)	3.0(4.0)	21.0(20.0)
MS	20.5(18.7)	5.5(3.6)	11.5(11.6)
DS	20.0(18.7)	2.5(3.6)	12.5(11.6)
DS-R	29.0(27.5)	4.0(4.0)	20.0(20.0)

単位：tonf、()内は計算値



(a) S、MS、DS



(b) S-R、DS-R

図-2 荷重-たわみ曲線

がまだ降伏していないためと考えられる。図-2(a)で、軸補強筋を用いていない3試験体の荷重-たわみ関係は計算と概ね一致した。しかしPCaSの影響により3つの試験体において詳細な挙動はそれぞれ異なる。MSおよびDSをPCaSを用いていないSと比較すると、MSは全体的にたわみ量が少なくなるのに対し、DSは荷重10tonf程度以上からSよりもたわみ量が大きくなる傾向を示した。

図-2(b)で、軸補強筋を用いた場合も計算と比較的良好な一致を示したが、その詳細な挙動はS-RとDS-Rで異なり、図-2(a)において、SとDSで見られた挙動の差異が両者の間にも見られた。

以上の結果から、一体型のPCaSを用いた場合にはたわみ量が少なくなり、分割型のPCaSを用いた場合にはある荷重以上で、たわみ量が大きくなるのが分かった。

3. 2 断面内ひずみ分布

はり中央断面のひずみ分布と荷重の関係を計算値とともに図-3 (a)、(b)に示した。ここでは、一体化の条件が厳しい分割型のPCaSを用いているDSおよびDS-Rとした。実験値は圧縮縁のコンクリート表面ひずみとDSではコンクリートと鋼管、DS-Rでは鉄筋と鋼管のひずみ値である。

図より、軸補強筋の有無にかかわらずはり中央断面のひずみ分布は直線を保ち、鋼管とコンクリートおよびPCaSが一体となった耐荷挙動を示すことが分かる。ただし、鋼管や鉄筋の降伏後はひずみ分布の直線性は保持されなくなる。また、計算で求めたひずみ分布と実測のひずみ分布は概ね一致した。両試験体とも中立軸は鋼管上縁に位置し、荷重による変化は少なく、終局では鋼管断面のほぼ全面に引張力が生じている。

3. 3 鋼管のひずみ分布

図-4 (a)、(b)に、鋼管下縁ひずみのはり軸方向の分布を示す。図-5 (a)で、MSとDSのひずみ分布には大きな差が見られる。すなわち、MSの各位置でのひずみ量はいずれの荷重段階においてもDSよりも小さく、荷重を鋼管よりもコンクリートで負担する割合が高いことを示している。また、その分布形状はDSがはり全体に分布しているのに対し、MSははり中央付近に集中する分布を示した。これは後で示すひびわれ性状から、DSでは、PCaSを分割することによりひびわれを分散させ、鋼管全体にひずみを分布させる効果があると考えられる。一方、図-5 (b)で、鉄筋で補強した場合のひずみ分布は、PCaSの有無にかかわらず各荷重段階ではり全体に分布する傾向を示し、軸補強鉄筋による荷重の分散効果が認められる。

3. 4 ひびわれ性状

図-5にひびわれ性状を示す。いずれの試験体もコンクリートの圧縮破壊で破壊したが、破

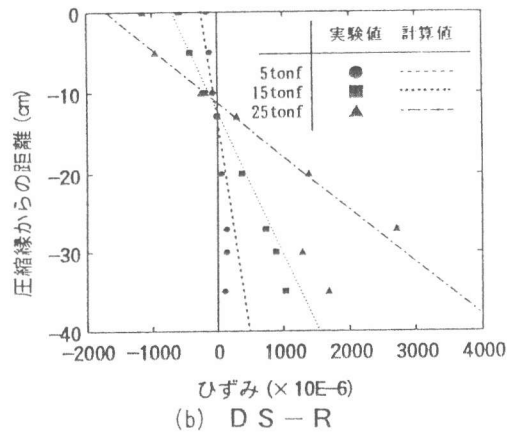
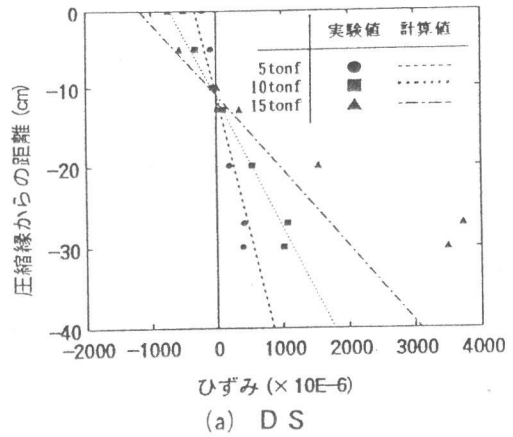


図-3 断面内ひずみ分布

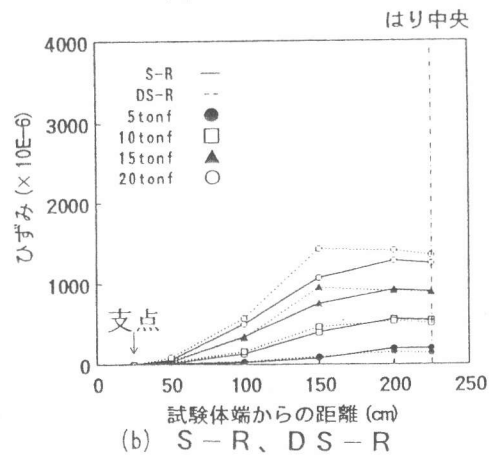
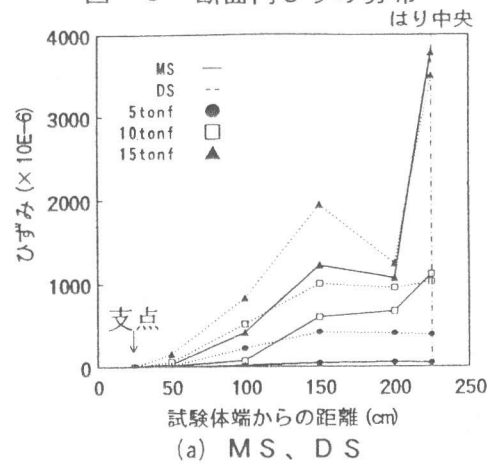


図-4 鋼管のひずみ分布

壊時のひびわれ性状は、試験体により大きく異なる。Sと比較するとS-Rは軸補強筋の効果でひびわれの分散性が向上した。一方、MSはPCaSを用いているが、ひびわれ性状はSとあまり変わらなかった。SとMSのひびわれ進展は、試験体下縁から上方に伸び、鋼管上縁付近で左右に枝分かれする傾向が見られた。はりの変形に伴い鋼管が湾曲すると、鋼管上縁より上のコンクリートが剥離しようとする力が働くため、このようなひびわれになったと考えられる。S-Rでも、同様のひびわれがいくつか見られるものの、軸補強筋が配置されているためその影響は少なくなっている。

PCaSを分割したはりでは、継ぎ目がひびわれ誘発目地と同じ働きをするため、曲げひびわれが主に継ぎ目で発生した。このうちDS-Rは、PCaS自体にもひびわれが発生したが、主に等曲げモーメント区間のPCaSで生じ、せん断区間ではほとんど見られなかった。

図-6(a)、(b)にPCaSの継ぎ目に生じたひびわれの幅を各荷重段階について示した。DSでは、SやMSと同程度のひびわれ間隔で継ぎ目にもひびわれが生じると考えられるが、図より⑦を除くすべての継ぎ目位置でひびわれが発生した。また、DS-Rでも計測したすべての継ぎ目でひびわれの発生が確認された。

各試験体の等曲げモーメント区間の平均ひびわれ間隔は、Sが39cm、S-Rが8.5cm、MSが46cm、DSが25cm、DS-Rが10cmとなった。分割したPCaSを用いたことにより、DSではMSと比較して平均ひびわれ間隔が小さくなり、DS-RではS-Rと比較して逆に大きくなる事が分かる。

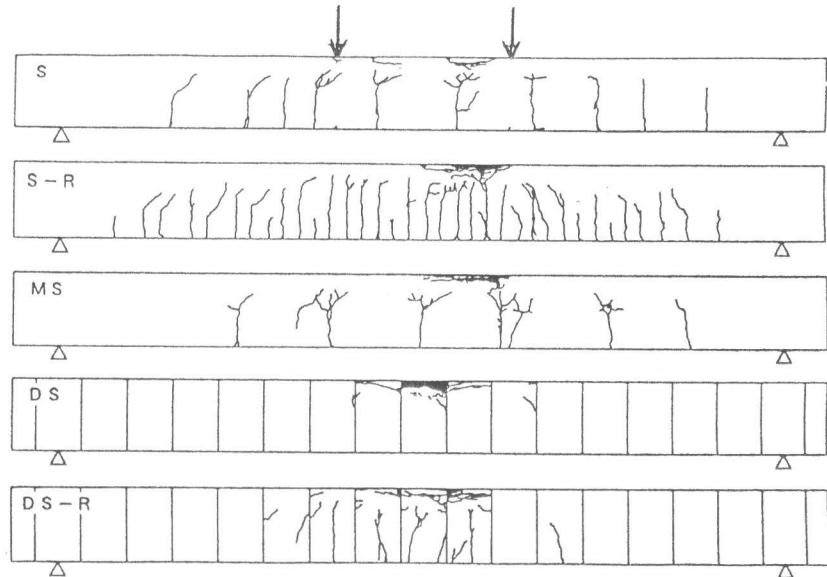
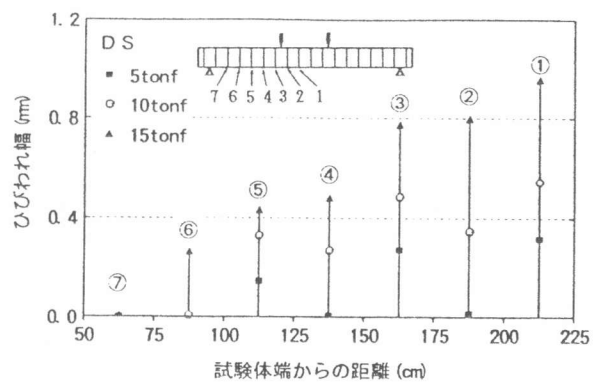
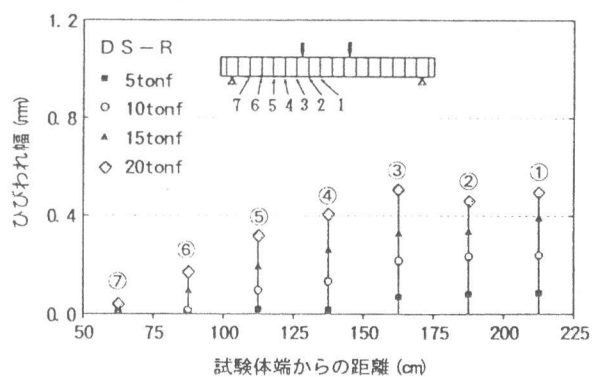


図-5 ひびわれ性状



(a) DS

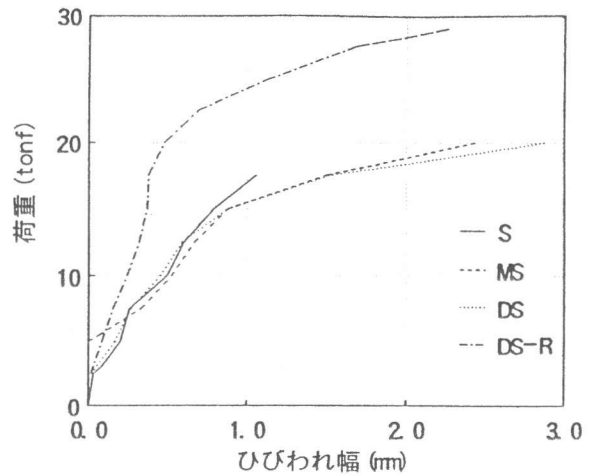


(b) DS-R

図-6 PCaS継ぎ目のひびわれ幅

3. 5 荷重－ひびわれ幅の関係

PCaSおよび鉄筋がひびわれ幅に与える影響を検討するため、図－7に等曲げモーメント区間の平均ひびわれ幅と荷重の関係を示した。なお、S試験体はマイクロスコープによるひびわれ幅の測定を行ったが、終局付近では計測を行っていない。また、DS-RではPCaSに生じたひびわれは微小なので除いた。この図で、S、MS、DSの荷重－ひびわれ幅の関係は同様の傾向を示し、PCaSの有無およびPCaSの分割がひびわれ幅に与える影響は小さいことが分かる。また、上述したように、等曲げモーメント区間のひび



図－7 荷重とひびわれ幅の関係

われ本数はDS > S > MSとなり、平均ひびわれ幅は同等であるから、等曲げモーメント区間の全伸び量もDS > S > MSとなる。この大小関係は図－2 (a)に示すように10tonf程度以上のたわみ量がDS > S > MSであることと対応している。一方、軸補強筋を有するDS-Rはひびわれ幅が極めて小さく、ひびわれ幅の制御に軸補強筋が有効であることが分かる。

4. まとめ

施工の省力化を目的とした、リブ付き鋼管およびPCaSを用いた合成はりの、静的曲げ試験を行うことにより以下のことが明かとなった。

- 1) PCaSを用いていないはりと比較すると、PCaSを一体としたはりではたわみが小さくなり、分割したはりではある荷重以上からたわみが大きくなる傾向が見られた。
- 2) 道路橋示方書に準じた計算ではりの挙動を推定した結果、実験と良好な一致を示した。
- 3) 断面内ひずみ分布より、PCaSを用いたはりでもひずみの直線が保たれており、鋼管と中詰めコンクリートおよび中詰めコンクリートとPCaSが一体化して挙動していることが確認された。
- 4) 鋼管の軸方向ひずみ分布から、PCaS一体型ではり中央付近にひずみが集中する傾向が見られた。一方、PCaSを分割したはりおよび軸補強筋を用いたはりは鋼管全体にひずみが分散した。
- 5) ひびわれはPCaSの継ぎ目に集中するため、PCaSの有無および分割の影響により、ひびわれ性状が大きく異なることが分かった。
- 6) 今後、試験体のサイズや加力方法等を変えた実験を行い、ひびわれ性状等の詳細な検討を行う必要がある。

5. 参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編、pp. 164-166、1990. 2
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、pp. 74-78、1990. 2