

論文

[2141] プレストレス導入時の曲面版の挙動について

後藤 仁*1・高海 克彦*2・浜田 純夫*3

1.はじめに

近年、プレストレスコンクリートは高強度コンクリート、高張力鋼材などの材料的な進歩や、また施工技術の革新によって薄肉化され、長大化の傾向をみせている。橋梁分野だけを見ても、その適用支間は400mを越え、その構造にはコンクリート断面を薄くし、軽量化を可能とする箱桁構造が多くみられる。また箱桁はねじり剛性が大きい点から、曲線構造を持つ橋梁に多く採用されている。PC曲面材はこの他、各種容器、トンネル 消波堤などその使用範囲は広く、今後これらの構造において、さらなる長大化、経済性を追求していく上で、コンクリート部材の薄肉化は更に進められるであろう。しかしながら、薄肉化されたPC版にプレストレスを導入した場合、従来のプレストレスの目的である、軸力のみならず、曲率を有することによるPC鋼棒の腹圧の作用も、その挙動に大きく影響し、複雑な挙動を示すと考えられる。本研究では、PC薄肉曲面版供試体へのプレストレス導入試験を行い、また解析値との比較からその挙動特性を検討したものである。

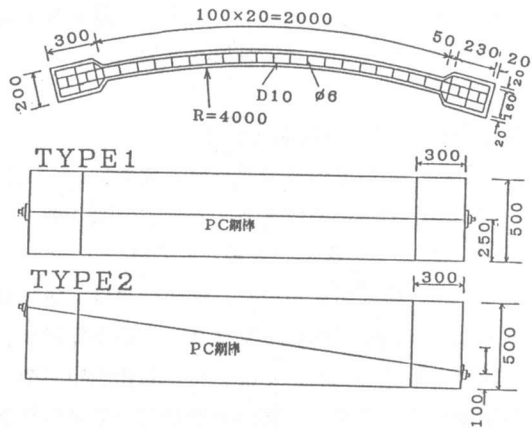


図2-1 円筒版供試体諸元

2.実験概要

本実験に用いた曲面版は、円筒版と扇形版でその供試体寸法を図2-1、2-2に、中央部、端部断面の寸法および配筋を図2-3に示す。

使用したPC鋼棒は

φ23のB種1号で、そのヤング係数は $2.03 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ である。

シーは円筒版でφ28,扇形版φ30を使用した。PC鋼棒はすべてその

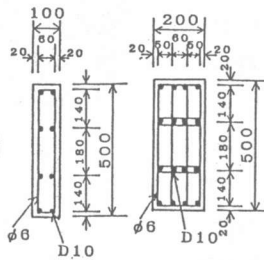


図2-3 断面諸元

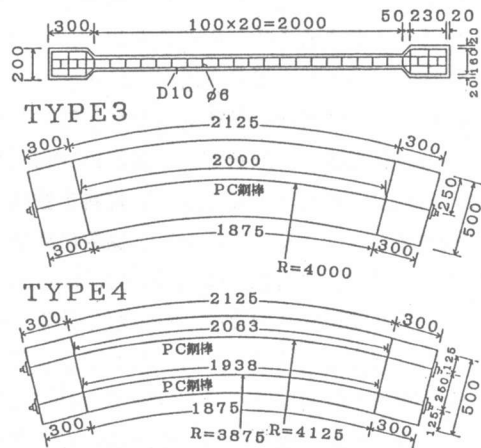


図2-2 扇形版供試体諸元

*1 山口大学大学院 工学部社会建設工学専攻 工修 (正会員)

*2 山口大学講師 工学部社会建設工学科 工博 (正会員)

*3 山口大学教授 工学部社会建設工学科 Ph.D (正会員)

厚さに対し中央に配置し、その幅方向の位置で、円筒版では中央に水平配置した TYPE1、傾斜配置したTYPE2、扇形版では、図心に配置したTYPE3と、図心から版幅に対し 1/4づつずらして2本配置したTYPE4である。プレストレスの導入はポストテンション方式で行い、供試体を鋼板上に置いた状態で、無拘束で 35t緊張を行い、その間の挙動を測定した。円筒版タイプでは片引きで、扇形版タイプでは両引きでプレストレスを導入した。扇形版タイプでは一方の導入側の幅方向の変位を拘束しているが、それ以外は全く無拘束である。扇形版タイプの、P C鋼棒を2本配置したものでは、その内側(TYPE4I)、外側(TYPE4O)のみを 30t緊張した実験、また両方合わせて 35t緊張した実験の3種類の実験を行っている。またプレストレス導入後の曲面版の挙動の経時変化の測定も行った。実験時のコンクリートの力学的性質を表2-1に示す。

表2-1 コンクリートの力学的性質

供試体種別	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 (kgf/cm ²)
TYPE1	383	3.49×10^5
TYPE2	454	3.47×10^5
TYPE3	399	3.81×10^5
TYPE4	379	3.80×10^5

3. 解析手法および解析モデル

本解析においてはコンクリート要素には、1 節点 5 自由度のアイソパラメトリックのシェル要素を用いている。P C鋼棒の要素としては、アイソパラメトリックの線要素を用いた。今回の実験にみられるように、薄肉化されたコンクリート曲面部材に、P C鋼材を配置した場合には、P C鋼棒の腹圧や、P C鋼棒とコンクリート間の摩擦など、その相互作用が、曲面版の挙動に影響すると考えられる。そこで本解析では、コンクリートとP C鋼棒との接触による影響を考慮するため、両要素間にアイソパラメトリックのジョイント要素を用いている。

解析モデルは実験供試体をもとに、特にその厚さが10cmの曲面部分のみを考え、図3-1に円筒版、図3-2に扇形版の解析モデルを示す。材料定数はそれぞれ実験時のコンクリートのヤング係数に鉄筋の比率も考え換算し、円筒版では $3.73 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、扇形版タイプでは $4.04 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ として計算を行った。ポアソン比は両タイプとも0.17とした。P C鋼棒の弾性係数、断面積は $2.03 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、 4.155 cm^2 である。ジョイント要素のバネ剛性は、P C鋼棒の軸線に垂直な k_n 、 k_t については、特に具体的な値が定められていないので、実験との比較を行い、その値を定めた。また、P C鋼棒の滑りに関しては、P C鋼棒とコンクリート間の摩擦係数は $\mu=0.3$ としている。以上のモデルで 35tプレストレス時の曲面版について解析を行い、実験との比較を行った。

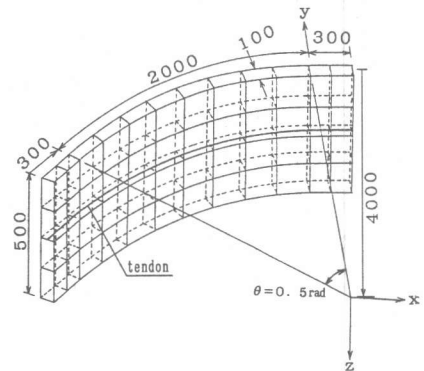


図3-1 円筒版解析モデル

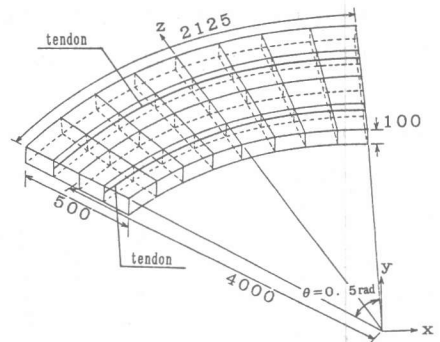


図3-2 扇形版解析モデル

4. 結果

4-1 円筒版に関する結果と考察

特にここでは、図4-1に示す7つの断面に置ける35tプレストレス時の変位、およびひずみについて結果を示す。特に片引きした円筒版では、プレストレス導入側の値について考察している。

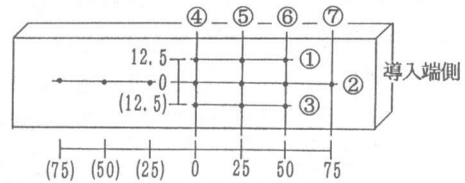


図4-1 測点位置

図4-2はTYPE1の35tプレストレス時における、②軸上の曲率中心方向の変位を示したものである。法線外向き変位を正とする。導入端は殆ど変位を見せず、非導入端側ほど曲率中心方向の変位が大きく、曲面が内側に折れ曲がる方向に変形していることが解る。また、同じグラフ上に、摩擦係数を $\mu=0.0$ とした場合と、 $\mu=0.3$ とした場合の解析結果を示している。摩擦のない場合($\mu=0.0$)でも内側に変位しているが、摩擦を考慮した結果($\mu=0.3$)では、より内側への変形が大きく、摩擦が曲面版の変位に大きく影響すると考えられる。

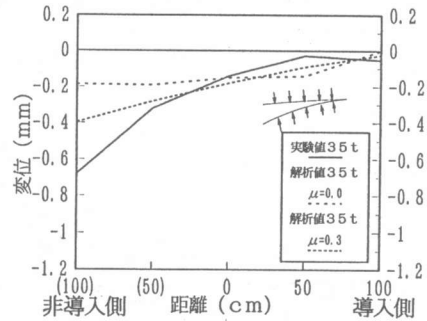


図4-2 TYPE1の変位

図4-3はTYPE1の、①②③線上のコンクリート内側、外側面の軸方向ひずみについて、その分布を示したものである。両端ほど、内側の軸方向ひずみが外側に比べ大きく、この分布から、曲面は内側に折れ曲がるように変形しているが、特にその曲率は、両端で大きいことが解る。

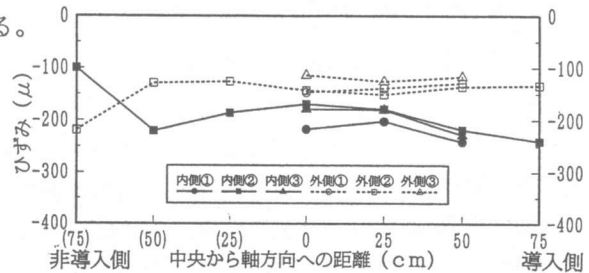


図4-3 TYPE1の軸方向ひずみ分布

図4-4はTYPE2について上と同様のグラフである。TYPE1同様内側の軸方向ひずみが大きく、内側に変形していることが解る。TYPE2ではPC鋼棒を斜めに配置しているため、導入側の下部の軸方向ひずみが大きい。しかし①②③線上の内側と外側のひずみ差は、中央からの距離が0~50cmのどの地点でも殆ど等しい。PC鋼棒を傾斜させ配置した場合でも、軸力によるねじりモーメントと腹圧によるねじりモーメントは打ち消し合い、断面にねじりを発生しないと考えられる。

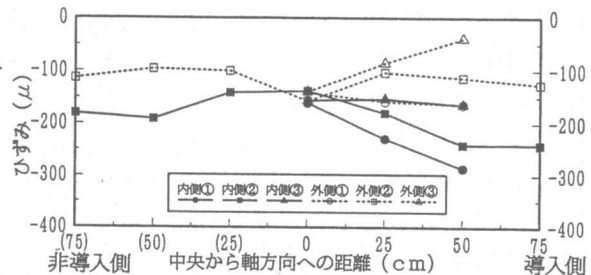


図4-4 TYPE2の軸方向ひずみ分布

図4-5はTYPE1の②線上の内側と外側の軸方向ひずみの分布について、実験値と $\mu=0.3$ とした場合の解析値を示したものである。内側と外側の値を平均した値は、

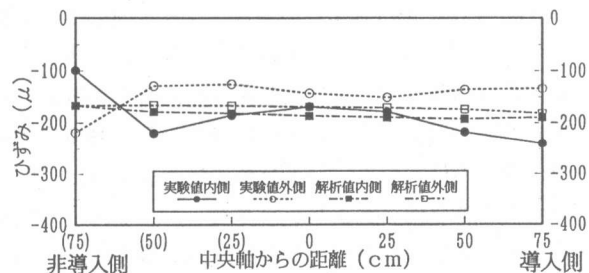


図4-5 TYPE1の実験、および解析値

実験と解析でほぼ一致する。摩擦を考慮したことで、プレストレスの減少を捉えている。解析値でもやはり内側に折れ曲がる変形により、内側の軸方向ひずみが大きい。しかし内側と外側の差は導入側から非導入側までほぼ一定である。実験値にみられた大きなひずみ差は、P C鋼棒とコンクリート間の摩擦以外に、P C鋼棒の偏心が原因であると考えられる。特にひずみ差の大きい、TYPE1の導入側におけるひずみより、その偏心量を計算すると、わずか 4.5mm程度の偏心量であった。実験に使用したP C鋼棒では、シースとの内径差から、2mm程度の偏心は想定され、製作時のわずかなシースの偏心が、薄肉曲面版の挙動を大きく左右すると思われる。

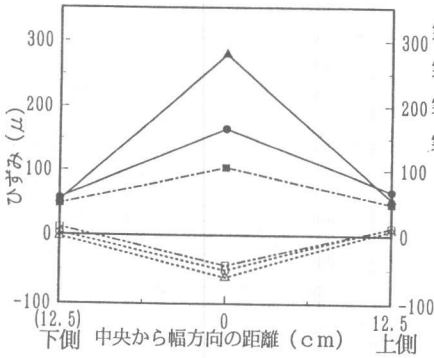


図4-6 TYPE1軸直角方向ひずみ

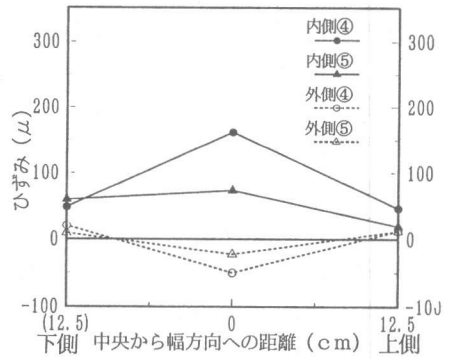
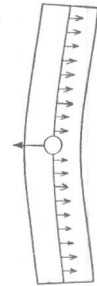


図4-7 TYPE2軸直角方向ひずみ

図4-6,7にTYPE1,TYPE2の④⑤断面の内側、外側コンクリート面における軸直角方向ひずみの分布を、TYPE1については解析も合わせて示す。両タイプとも④断面の内側中央に大きな引張ひずみがみられ、外側に圧縮ひずみがみられることから、曲面版は軸力の外向き成分と、P C鋼棒の内向きの腹圧によって、図5-8に示すような断面変形が起こっていると考えられる。解析結果でも、実験同様の分布を示すが、実験ほど大きな引張ひずみを捉えていない。またTYPE2の⑤断面でも大きな引張ひずみはみられない。実験値にみられる、内側中央の大きな引張ひずみは、シース内側のコンクリート面に直接腹圧が作用するためであると考えられる。特に今回の実験では、図4-8 断面変形



10cmの厚さに対し直径が 3cm近いシースを配置しており、シースの内側、外側にコンクリート断面が 3.5cm程度しかない。この様な更に薄肉化されたコンクリート断面に、直接P C鋼棒からの腹圧が作用するため、内側のみに大きな引張ひずみを発生すると考えられる。また TYPE1の⑤断面の内側の引張ひずみが、極端に大きいのはやはり偏心による為と考えられる。P C薄肉の円筒版にプレストレスを導入した場合、シース内でのわずかなP C鋼棒の内側の偏心によっても、曲面の内側に軸方向の圧縮応力が大きく作用し、更にP C鋼棒の腹圧が作用することで、軸直角方向に大きな引張を受けひび割れ発生の危険性が考えられる。

図4-9はTYPE1の④⑤⑥断面における、P C鋼棒位置の内側コンクリート面に生じた軸直角方向の引張ひずみについて、その経時変化をグラフにしたものである。P C鋼棒の緊張力は、コンクリートの乾燥収縮、およびレラクセーションによって減少し、その結果P C鋼棒の腹圧は小さくなるはずである。しかし④⑤⑥断面の引張ひずみは、40時間後には 100μ以上進行した。この後の測定でも更にひずみは進行しており、曲面部分の内側コンクリート面に、P C鋼棒の配置位置

に沿って、導入端から非導入端まで、明確なひび割れを生じた。TYPE2も同様の実験を行った結果、内側コンクリート面に、P C鋼棒の配置位置に沿って、ひび割れを生じた。

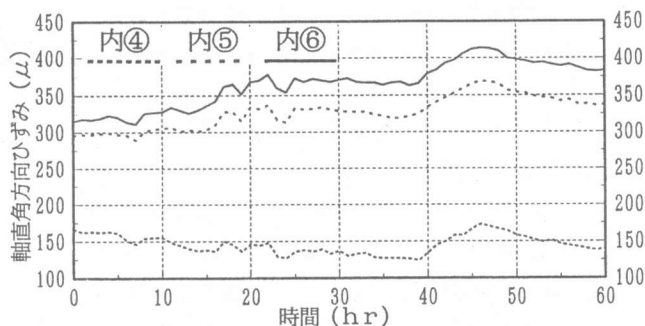


図4-9 TYPE1軸直角方向ひずみ経時変化

4-2 扇形版に関する結果と考察

図4-10にTYPE3の④⑦断面の、表裏のコンクリート面の軸方向ひずみの分布を示す。図心にP C鋼棒を配置しているので、幅方向には均一な分布を示す。しかし表裏では約80μのひずみ差を生じており、厚さ方向の偏心による影響であると考えられる。そのひずみ差より推定すると、厚さ方向に約5mm程度偏心圧縮していると思われる。

図4-11,12にTYPE4I、TYPE40の、30tプレストレス導入時における、④⑤断面のコンクリート面における軸方向ひずみ分布を示す。両タイプとも、幅方向に偏心圧縮しているため、TYPE4Iでは内側、TYPE40では外側に圧縮ひずみが発生している。この場合も、④断面の表と裏の軸方向ひずみの差が大きく、厚さ方向の偏心圧縮もあり、2軸回りのモーメントが生じていると思われる。

図4-13,14にTYPE4I,TYPE40における⑤⑥⑦断面の、表裏の軸方向ひずみの平均値の分布を解析値も合わせて示す。両タイプとも、⑤⑥⑦断面では、そのひずみ分布は等しく、解析値も全く一致する。幅方向に偏心圧縮したことにより、一方の側面で引張ひずみを生じている。この引張ひずみは、その厚さの中央におけるひずみを測定したものである。上で述べた2軸回りのモーメントが生じていると考え、表裏のコンク

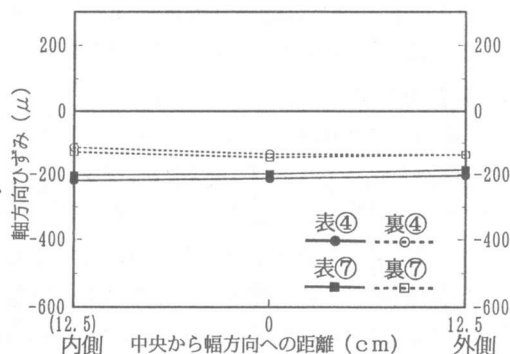


図4-10 TYPE3の軸方向ひずみの分布

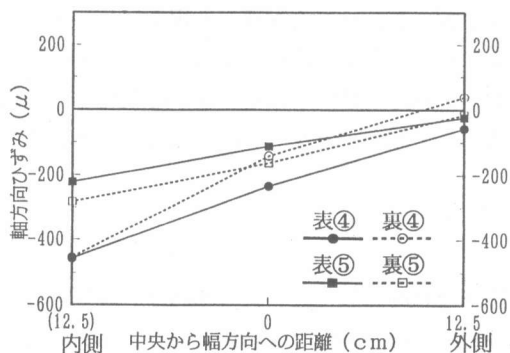


図4-11 TYPE4Iの軸方向ひずみの分布

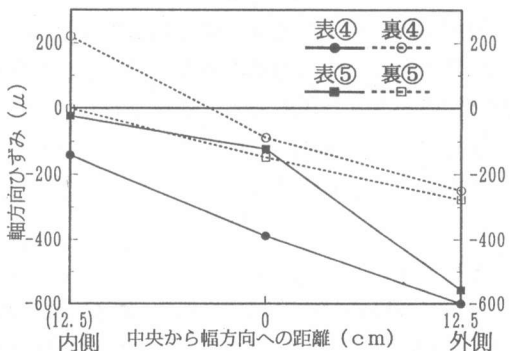


図4-12 TYPE40の軸方向ひずみの分布

リート面のどちらかで、より大きい引張ひずみを生じていることが推測され、厚さ方向の偏心による弱軸回りのモーメントの大きさによっては、一方の面でコンクリートひび割れを生じる危険性があると考えられる。

図5-15にTYPE4の2本の鋼棒を、交互に0→10→17.5tと緊張し35tプレストレス終了後の、先と同様のひずみ分布を示したものである。交互にプレストレスを導入した場合でも、その断面にはほぼ均等にプレストレスが作用していることが解る。

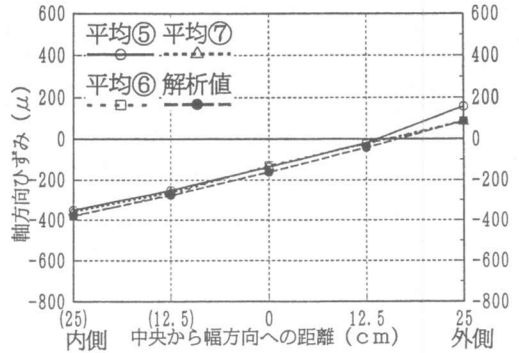


図4-13 TYPE4Iの軸方向ひずみの平均

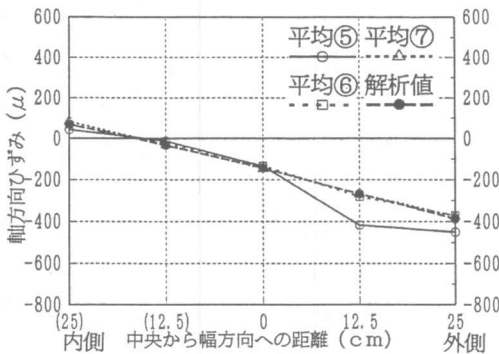


図4-14 TYPE40の軸方向ひずみの平均

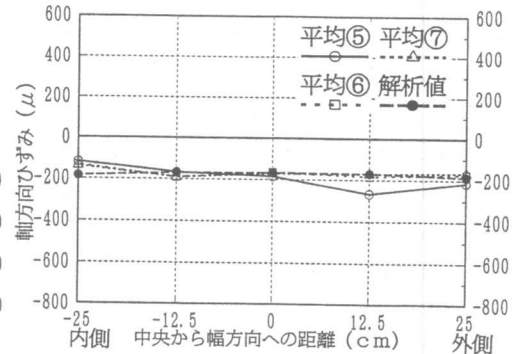


図4-15 TYPE4の軸方向ひずみの分布

5.まとめ

1) 薄肉化されたPC曲面版にプレストレスを導入した場合、シースを定位置に配置した場合でも、鋼棒の直径とシースの内径程度の偏心、およびPC鋼棒とコンクリート間の摩擦が、その挙動に大きな影響を及ぼすと考えられる。特にその薄肉化された厚さ方向に対しては、供試体作成時の誤差により、過大なひずみが発生することも考えられる。

2) 円筒版のように、曲率方向に厚さの薄い版では、シース内のPC鋼棒の偏心、および摩擦により、曲面の内側のコンクリート面に圧縮応力が集中し、またPC鋼棒の腹圧による断面変形もともない、特にPC鋼棒に沿った面では、PC鋼棒からの腹圧により、場合によってはコンクリートのひび割れを生じる危険性がある。

3) 扇形版のタイプでは、摩擦による影響は小さく、図心にシースを配置した場合には、その軸方向ひずみは、幅方向に均等で、厚さ方向の偏心により、表裏に一定のひずみ差がみられる。幅方向に偏心させた場合でも、強軸まわりのモーメントのみならば問題はないが、これに厚さ方向の偏心による、弱軸回りのモーメントが加わった場合、2軸曲げとなり、その断面では局部的なひずみを生じる危険性がある。

参考文献

- 1) O.C.Zienkiewicz: The Final Element Method in Engineering Science, McGRAW-HILL, 1971
- 2) O. Kiyomiya, H. Yokota: Nonlinear Properties of Arc-Shaped Concrete Members, REPORT OF THE PORT AND HARBOR RESEARCH INSTITUTE, Vol.24, No.1, Mar. 1985