# 論文 PC 緊張力による圧着接合面周辺のひずみ状態に関する実験的研究

丸山 貴吉\*1・福室 順也\*2・笠井 哲郎\*3・中野 友裕\*4

**要旨**: PC 圧着接合構造の接合位置における変形を明らかにするために,緩衝材として用いられるゴム内のひ ずみ分布および接合面周辺のコンクリートひずみを測定した。その結果, PC 緊張力による圧着接合面付近の 応力は,ゴム・コンクリートともに均一ではなくなる可能性のあること,また, PC 緊張力の増加に伴いその 傾向が顕著になりうることを実験的に明らかにした。

キーワード: 圧着接合面, プレストレス, ひずみ分布

#### 1. はじめに

プレキャスト (PCa) 部材の大型化に伴い,分割した ブロックを現場で組み立てる工法が多くなっている。ボ ックスカルバートも例外でなく,輸送条件や施工条件等 から分割した PCa ボックスカルバートを PC 鋼材で圧着 接合することにより一体化する工法を採用する事例が増 えている。前報<sup>1),2)</sup>において著者らは,FEM 解析により 斜角のある上下を分割した PCa ボックスカルバートが圧 着接合に必要な PC 緊張力や合理的な PC 配置を提案して いる。この解析は,圧着接合面が PC 緊張力に関わらず 平面を保持する仮定のもとに行ったものであり,その仮 定が成立する条件下または,圧着接合面をエポキシ等で 接着する場合を想定したものである。しかし,既存の分 割型ボックスカルバートをはじめとする多くの圧着接合 面を有する構造物においては,接触面の緩衝を目的とし たゴムを挟む形式が採用されることが一般的である。

このようなゴムを挟む場合も含めて,PC 緊張力により 圧着接合する場合には、圧着位置に生じる圧縮応力は断 面内に均一に分布すると仮定して計算されるが、PC 緊張 力は断面の一部分にのみ局所的に導入されるものである ことから、圧縮応力が不均一となる可能性も否定できな い。さらに、上下を分割した PCa ボックスカルバートの 接合面には、止水性の向上や緩衝材の目的から高反発性 のゴム板を挟むことがあるが、これらの観点からも PC 緊張力を導入した場合の圧着接合面に及ぼす影響につい て検討しておくことは有益であると考えられる。

そこで本研究では、圧着接合面ヘゴム板を挟み込んだ うえで PC 緊張力を導入した場合、ゴム内のひずみ分布 が均一に分布するか否か、また不均一になる場合、どの 程度のばらつきが生じるのかを定量的に測定することと した。また、PC 緊張力・ゴム厚と接合面付近の外周コン クリートのひずみの関係を測定し、定量的に評価するこ ととした。

## 2. 試験概要

#### 2.1 試験体概要

本試験で用いたコンクリート試験体の形状を図-1に 示す。試験体は、寸法が 150×150×300mm の無筋コンク リートの角柱ブロックで、中央にシース孔 φ18mm を設 けている。使用したコンクリートは PCa ボックスカルバ ートと同程度となるように、設計基準強度 f<sub>ck</sub>=40N/mm<sup>2</sup> とし、養生条件は常圧蒸気養生(最高温度 65℃,3時間

表-1 配合表(kg/m³)					
W	С	BB	S	G	Ad*
168	300	270	792	841	5.64
**1.07. / 3					

\*Ad のみ g/m<sup>3</sup>



\*1 鶴見コンクリート(株) 技術部 (正会員)

\*2 鶴見コンクリート(株) 技術部 (正会員)

\*3 東海大学 工学部土木工学科教授 工博 (正会員)

\*4 東海大学 工学部土木工学科准教授 博(工) (正会員)



図-3 接合面内のゴム内のひずみ測定方法



図-4 接合面外周コンクリートのひずみ測定位置

保持)を行った<sup>3)</sup>。なお,試験時は材令14日で圧縮強度 は $f_c=46.9N/mm^2$ であった。配合表を $\mathbf{a}-1$ に示す。圧着 接合面は研磨機により圧縮供試体と同程度の平面度とし た。PC 鋼材は $\varphi$ 13mm の鋼棒(C種1号)を使用し,繰 り返し試験を行うことからPC グラウトは行っていない。 圧着接合面に挟むゴム板の材質は天然ゴム(NR)を使用 し,硬度は60とした。

## 2.2 試験条件

本試験の装置を図-2に示す。装置は、ゴム板を挟ん だ2本のコンクリート試験体、センターホール型のロー ドセルおよび油圧ジャッキを PC 鋼棒で貫通し両端で固 定し、油圧ジャッキのストロークを伸ばすことで試験体 の両端にあるアンカープレートを介して圧縮力を導入す るものである。なお、試験体の両端にあるアンカープレ ートは、試験体断面より小さい 50×50mm とした。

載荷は、ロードセルで緊張力管理を行いながら手動油 圧ポンプで徐々に導入し、その時に試験体の移動を阻害 しないように、試験体の支点には摩擦の影響を軽減する ためにテフロンシートを設置している。なお、試験時の 室温は 20±2℃の条件下で行った。

## 2.3 測定項目

## (1) 接合面ゴム内のひずみ測定

端面に作用した PC 緊張力が接合面へ均等に圧縮応力 として作用しているかを接合面内に挟むゴム板のひずみ を測定することで確認を行う。接合面内のゴム内のひず み測定方法を図-3に示す。PC 緊張力導入中の接合面の 変形を測定するために,試験体の間に挟む厚さ 15mm の ゴム板に24ヶ所の穴を等間隔で設置した。その上で,そ の穴と一致する同じ材質のゴム栓を用意し,それを二つ に割った内側にひずみゲージを貼り付けて測定を行った。 なお,この測定はゴム厚 15mm の場合のみ行った。

## (2) 接合部付近の外周コンクリートのひずみ測定

PC 緊張力・ゴム厚を変化させた場合に生じる接合面付 近の外周コンクリートのひずみの変化を測定した。PC 緊張力は最大 100kN とし、ゴム厚 t [mm]は 1, 3, 5, 10, 15, 20 およびゴムなし (t=0) の7ケースとした。接合



面外周コンクリートのひずみ測定位置を図-4に示す。

## 3. 試験結果

### 3.1 接合面ゴム内のひずみ分布

図-5に緊張開始から 90kN までのゴム内の各位置に おけるひずみの計測結果を示す。一部のひずみゲージで は、ある荷重レベルから接触不良と思われる箇所 (No.11,15,23)が見られるが,ひずみは全体的に緊張開 始から一気に増加して 30kN 付近に達したところで変曲 点が現れている。それ以降は PC 鋼材周辺となる接合面 内側 (No.7~9,12,13,16~18)と接合面外周 (No.1~ 6,10,11,14,15,19,20~24)とで変化が見られ,接合面内側 では微かに増減があるもののほとんど変動がないのに対 して,接合面外側では減少する傾向となっている。接合 面外周における減少は,四辺の中央部 (No.3,11,14,22) が特に顕著に現れていることも分かる。

#### 3.2 接合面付近の外周コンクリートひずみ

## (1) ゴム厚 t≧10mm

図-6 にゴム厚が 20mm の緊張開始から 100kN までの 外周コンクリート各位置におけるひずみの計測結果を示 す。10mm,15mm も同様の傾向である。2本の試験体の 外周コンクリートでそれぞれ同じ位置となるひずみを同 じグラフに表している。この2本の線の差は、下面では それほど見られないが、上面にいくにしたがって乖離が 大きくなっている。なお、この傾向は、ゴム厚が厚くな るほど大きくなる。傾きは、乖離した線の平均をとれば 各ケースほぼ同じ勾配で、増加傾向は比例関係を維持し て増加、もしくは少し上に凸の曲線となっている。

### (2) ゴム厚 t<10mm

図-7にゴム厚が 1mm の緊張開始から 100kN までの 外周コンクリート各位置におけるひずみの計測結果を示 す。3mm,5mm も同様の傾向であった。2本の線の差は, ゴム厚が 10mm 以上の場合と比較して小さいことが分か る。傾きは、2本の平均をとれば各ケースほぼ同じ勾配 となるが、増加傾向は比例関係を維持して増加、または 少し下に凸の曲線になっている。また、厚さが 1mm の 場合の No.33 (53) のみに引張ひずみが発生し減少傾向 の曲線となっている。

#### (3) ゴムなし(試験体直接接触)

図-8にゴムが無い場合の緊張開始から100kNまでの



図-6 外周コンクリートひずみ





図-8 外周コンクリートひずみ



写真-1 100kN時のゴム

外周コンクリート各位置におけるひずみの計測結果を示 す。2本の線の差は、上下面ではそれほど見られないが 側面で大きく乖離している。図-8左側面の3測点

(No.40, 41, 42) は、それに対応するゴムを挟んだ反対 側の測点(No.60, 61, 62) と比べて大きくなっている。 一方,図-8右側面は、試験体ブロックの関係が反対に なった大小関係になっている。傾きは、各辺ごとに傾向 が見られるものの全体的にはばらつきが大きい。

増加傾向もばらつきが大きく,全体的に下に凸の曲線 になっている。また,ゴム厚 1mm と同様で No.33 (53) で引張ひずみが発生している。

## 4. 考察

## 4.1 接合面内ゴムのひずみ分布の傾向

図-5の結果を基に、左右中心間を結んだ直線上 (No.03,08,17,22)に生じているひずみとPC緊張力の関 係を見ると、前述したとおり接合面内側と接合面外側で は30kN以降のひずみに違いが見られる。特に中心位置 外側(No.03,22)のひずみは30kN以降で大きく減少して いる。これは、PC緊張力によりゴムの圧縮変形が生じた 際、外側中心部のゴムは外へ変形したことによりひずみ ゲージに引張方向ひずみが生じた影響と考えられる(写 真-1)。そこで、ゴムの外方向への変形が少なかった対 角線上(No.01,07,18,24)で比較する。接合面外側(No.01,24) のひずみ減少量は低下しており、外方向への変形が小さ いにも関わらず、同様の傾向にあることが分かる。

図-9,10にPC 緊張力が20kN,40kN,60kN,80kN でのゴム内ひずみ分布を外側と内側に分けて表した図を 示す。なお、接触不良と考えられるデータに関しては示 していない。図-9から40kN以降は,外側のゴム内ひ ずみは減少しているが,図-10では40kN以降もほぼ 同程度のひずみを維持することが分かる。すなわち,図 -11に示すように,接合面内のゴムのひずみはPC 緊 張力が大きくなるとPC 鋼棒付近と比べ,PC 鋼棒から離 れた位置では,20~40kN付近でのピークひずみの後,



PC 緊張力の増加と共にひずみは低下傾向に転じている と言える。

## 4.2 接合部付近の外周コンクリートのひずみ傾向

図-12に、2本の試験体で測定している24ヶ所全ての外周コンクリートのひずみの平均値と荷重の関係を示す。なお、図中の黒線は、試験体と同時に製作した円柱供試体の載荷試験で得られた応力ひずみ関係ならびに PC 緊張力による応力が均一に分布するとの仮定に基づき算出した荷重ひずみ関係である。

まず、ゴム厚の厚い 20mm の外周ひずみは、緊張開始 30kN 程度まで計算値と同じ値となり、接合面全体に均等 に PC 緊張力が作用していると推察できる。その後は計 算値から離れ減少していくが、これは PC 緊張力の増加 とともにゴム内ひずみ分布が不均一になっていくためで あると考えられる。





一方、ゴム厚の薄い 1mm, 3mm, 5mm とゴムが無い 場合を比較すると、緊張開始から 30kN 程度までこれら 4ケースは、ほとんど同じひずみとなっており比例関係 で増加している。ゴムがある場合はその後も同じ勾配で 増加するが、ゴムが無い場合はひずみが 30kN 以降、下 に凸の形で増加している。これは、図-8に示したよう に、測定値のばらつきが大きいことが一つの原因と考え られるが、その理由として、ゴムが無い場合は接合面の 微細な不陸等による偏心の影響が挙げられる<sup>4)</sup>。しかし、 t=1mm のような薄いゴムであっても、その効果によりこ れらの影響を低減できているものと思われる(図-7)。 4.3 ゴム厚と外周コンクリートひずみの関係

図-13に、30kN、60kN、90kN 時のゴム厚と外周コ ンクリート平均ひずみの関係を示す。図中のεは、各PC 緊張力に対応する均一応力を仮定した場合のひずみの計 算値であり、図-12の黒線に相当する。また、図中の 白丸の上下に伸びている線は、標準偏差の大きさを示し ている。この図から、ゴム厚が薄い場合(t=1mm、3mm、 5mm)では、発生する平均ひずみは極めて小さく、厚い 場合(t=20mm)では、計算値に近づいていることが分か る。各荷重レベルにおいてゴム厚5mmでは、ゴム厚20mm と比べ、外周コンクリートの平均ひずみは、1/3 から 1/5 程度となった。このことは、ゴムが厚くなることによっ て接触面コンクリートのひずみが、均一状態に近づいて いくことを示していると推察できる。

次に、標準偏差を見ると、いずれの PC 緊張力におい ても t=5mm が最も小さくなっている。一方でゴムなしの 場合は、標準偏差が極めて大きくなっているため、平均 値が現象を正確に捉えていると判断することには難があ ると思われる。これらを確認するために、変動係数を求 めると 90kN にゴムなしの場合は 99.9%だが、t=10mm の 場合は 23.5%であり、ゴム厚により大きく異なる。

以上のことから,薄いゴムであっても接触面コンクリ ートの微細な不陸などの影響を低減できると考えられる が,PC 緊張力による接合面全体のゴム内のひずみ分布な らびに接合面コンクリートのひずみ分布は,均一でない 可能性が高いことが示されたと考えられる。

## 5. まとめ

プレキャスト部材の圧着接合部に PC 緊張力を導入し たときの接合部周辺のひずみを測定した。得られた知見 は以下の通りである。

- (1) PC 緊張力の導入により接合部のゴムおよび接合部周辺のコンクリートのひずみ分布は、均一にはならず、 PC 緊張力の増加と共に PC 鋼材付近と外縁部において、異なる履歴を描く傾向にある。
- (2) 接合面全体の PC 緊張力は、ゴム板が厚くなるほど接 合面に均等に伝達できる。
- (3) 接合面外周のコンクリートひずみは、ゴム板が薄くなるほど小さくなり、ゴム厚 5mm は 20mm の 1/3~ 1/5 程度となる。これは接合面内部のひずみ分布が不均一であることに起因する可能性がある。

なお、今回の実験で明らかになった接合面のひずみ分 布の不均一性の可能性については、今後解析的検討で明 らかにしていく必要がある。

## 参考文献

- 丸山貴吉,福室順也,笠井哲郎,中野友裕: PCa 斜 橋ボックスカルバートの圧着接合に関する解析的 研究,コンクリート工学年次論文集, Vol.33, pp.565-570, 2011
- 2) 丸山貴吉,福室順也,笠井哲郎,中野友裕: PCa 斜 橋ボックスカルバートの圧着接合に伴う側壁圧縮 応力の照査,コンクリート工学年次論文集, Vol.34, pp.463-468, 2012
- 3) 道路土工 カルバート工指針,日本道路協会,平成 21年度版
- 中井将博,荒井信章,濵田秀則: PCaPC 部材と現場 打ち部との剛結合の力学的性能に関する基礎的研 究,コンクリート工学論文集,第 21 巻第1号, pp.13-24,2010