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 ^{1),2)}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、圧着接合面へ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

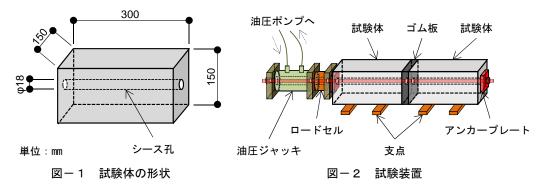
2.1 試験体概要

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 $150 \times 150 \times 300$ mm の無筋コンクリートの角柱ブロックで、中央にシース孔 $\phi18$ mm 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 $\mathbf{f}'_{ck}=40$ N/mm²とし、養生条件は常圧蒸気養生(最高温度 65°C、3 時間

表-1 配合表 (kg/m³)

W	С	BB	S	G	Ad*
168	300	270	792	841	5.64

*Ad $\mathcal{O} \not\rightarrow g/m^3$



- *1 鶴見コンクリート㈱ 技術部 (正会員)
- *2 鶴見コンクリート㈱ 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)

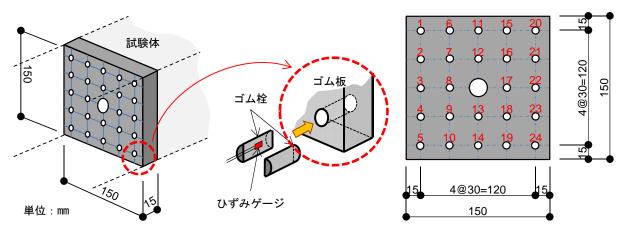


図-3 接合面内のゴム内のひずみ測定方法

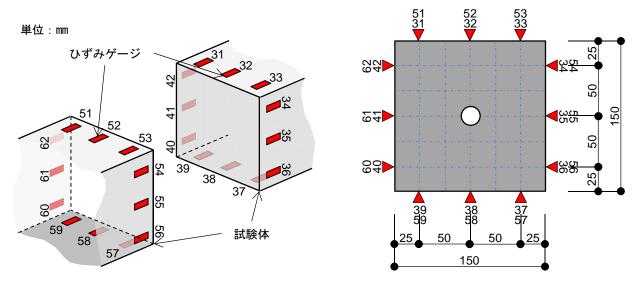


図-4 接合面外周コンクリートのひずみ測定位置

2.2 試験条件

本試験の装置を図ー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。

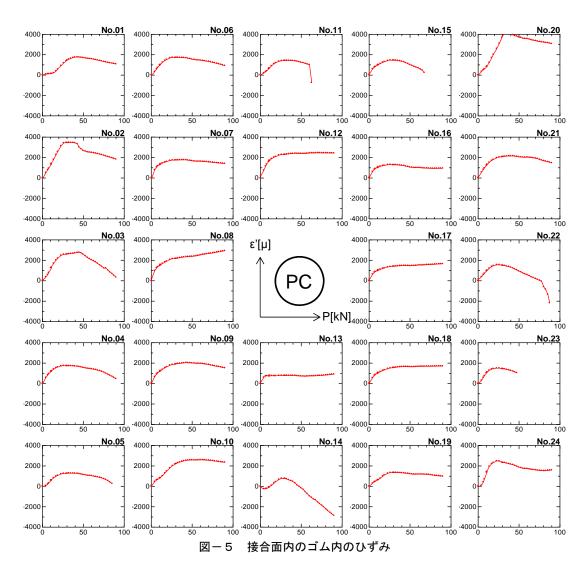
2.3 測定項目

(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

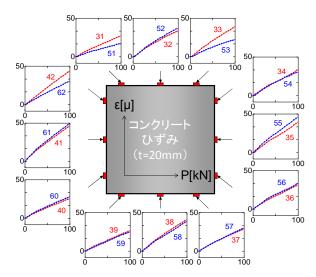


図-6 外周コンクリートひずみ

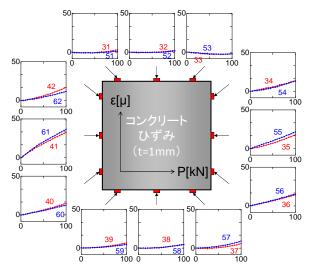


図-7 外周コンクリートひずみ

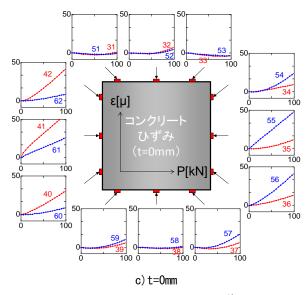


図-8 外周コンクリートひずみ



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、

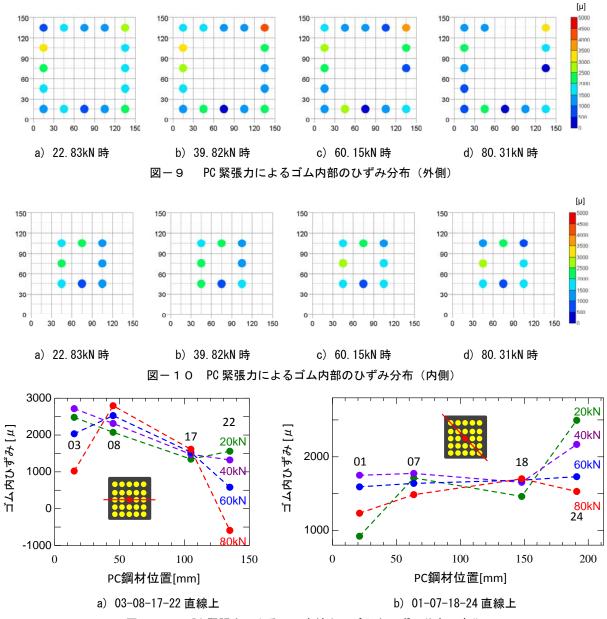


図-11 PC 緊張力による同一直線上のゴム内ひずみ分布の変化

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。

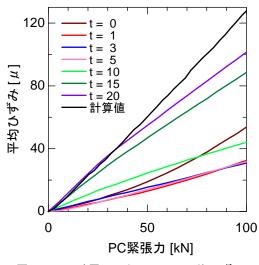
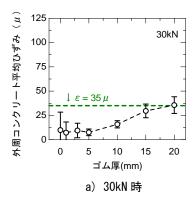
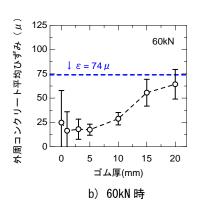


図-12 外周コンクリートの平均ひずみ





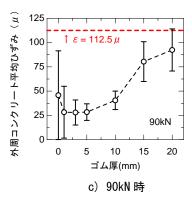


図-13 ゴム厚と外周コンクリート平均ひずみ・標準偏差の関係

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⁴⁾。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

図ー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、図ー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

- 1) 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
- 4) 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