

京都大学	博士 (工学)	氏名	岡本 信也
論文題目	プレストレストコンクリート舗装の衝撃加振による健全性把握に関する研究		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、トンネル内にあるひび割れ、空洞の損傷が見られるプレストレストコンクリート舗装(以下、PC舗装)を対象に、損傷発生メカニズムを推定し、重錘落下による衝撃加振から得られる挙動を用いて健全性を把握することを目的とした研究をまとめたものである。</p> <p>第1章では、序論として論文の目的と構成を述べている。</p> <p>第2章では、プレストレスが有効に作用していると輪荷重により発生したひび割れが閉じると設計されたPC舗装の設計方法の内容を整理するとともに、トンネル内の実際のPC舗装に生じたひび割れ、空洞、PC鋼材の破断の状況をまとめ、本研究で取り組むべき内容とその学術的な意義について明確にしている。</p> <p>第3章では、トンネル内のPC舗装に生じた縦断方向のひび割れの発生メカニズムを実験的に検証し、舗装構造をモデル化したFEM解析から、空洞とプレストレス減少の影響の把握を試みている。得られた結果は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 縦断方向に卓越した舗装版のひび割れの発生原因を、PC舗装版の背面に空洞の発生した状態でPC舗装版に加わる輪荷重であると考え、PC舗装版を模擬したPCはり部材を用いた載荷試験から、最初に載荷中央部下面にひび割れが発生し、次に固定端部上面のひび割れ、最終的に載荷中央部上面の圧壊が生じることを確認した。さらに、上面にひび割れが確認されている状態では、下面にもひび割れが存在する可能性が示された。</li> <li>② プレストレスが大きい場合には、ひび割れ発生荷重の増加がみられ、有効プレストレス量が低下した場合には、PC舗装版の曲げ耐荷性能の低下が確認された。空洞幅が大きい場合には、荷重の増加による曲げ引張応力の増加が大きくなることが確認された。</li> <li>③ 実験を再現した3次元非線形FEM解析からも、ひび割れ発生荷重の傾向、荷重と変位の関係は実験と同じであることを確認し、FEMモデルの再現性が認められた。</li> <li>④ 舗装構造の3次元非線形FEMから、たわみには空洞の大きさの影響が大きいことを確認し、載荷重直下において、曲げによるひび割れが生じ、さらに荷重増加により、空洞端部に負曲げが生じることが認められた。これにより背面に空洞を有する場合、PC舗装版表面にひび割れが発生する可能性が示された。</li> </ol> <p>第4章では、PC舗装に生じている空洞やひび割れの状況を把握するために、衝撃加振を行い、損傷の状態を表現できる動的特性の指標を特定することを目指している。得られた結果は以下のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 固有振動数の計測から、コンクリートに損傷がある場合に固有振動数が変化したが、その差は小さいことを確認した。たわみ、散逸エネルギー、最大荷重時と最大たわみ時の時間差の各指標において、コンクリートに損傷がある場合には、健全な状態に比べて、大きくなる傾向が明らかとなった。</li> <li>② 加速度センサ計測結果から、コンクリートに損傷がある場合、供試体の最大変位や重錘と供試体の最大変位時の時間差が大きくなることが認められた。この時間差は、コンクリートのひび割れによる粘性が増加した影響による可能性が示された。</li> </ol>			

第 5 章では、前章のコンクリートの損傷による時間差が増加する理由を、粘性によると仮定し、重錘落下による衝撃加振から得られるデータを用いて、二質点系の運動方程式とエネルギーの観点から得られる粘性による指標を算出し、健全性把握への適用性を検討している。得られた結果は以下のとおりである。

- ① 衝撃加振時の加速度センサから得られる加速度，速度，変位を用いて，ばねとダッシュポットを含んだ二質点系の運動方程式に基づき，ばね定数と粘性定数の関係を算出した。ばね定数は，空洞サイズが小さい場合，大きくなり，空洞サイズが大きい場合，小さい傾向であった。粘性定数は，健全なコンクリートの場合，小さく，損傷を持つ場合，大きくなる傾向があった。これらの結果から，ばね定数は空洞の幅に影響を受け，粘性定数はコンクリートの損傷に影響を受ける傾向が示された。
- ② 荷重と変位の関係から算出されるみなし等価粘性減衰定数と等価ばね定数の関係からも，同じ傾向が得られることを確認し，空洞の大きさは等価ばね定数に，コンクリートの状態はみなし等価粘性減衰定数に影響することが示された。ただし，粘性減衰には，コンクリートの損傷による内部減衰のほか，供試体支持層への逸散等による外部減衰も含まれるため，完全な切り分けは難しい。そのため，外部への逸散が少ない剛な支持条件での比較で，健全な場合と損傷が有る場合の傾向も示されている。
- ③ PC 供試体においては，プレストレスが有効に作用している状態では，みなし等価粘性減衰定数は大きく変動せず，プレストレスが有効に作用しない状態で，みなし等価粘性減衰定数が増加することを明らかとした。
- ④ たわみの増大には，空洞とコンクリートの損傷の両方の要因が影響しているが，原因を完全かつ明確に区分できるまでには至らなかった。しかし，健全性を判定するための閾値に幅を持たせることで概略判定を可能とした。

第 6 章では，実路での重錘落下加振試験のデータを用い，みなし等価粘性減衰定数と等価ばね定数の関係性を確認し，現地の損傷の抽出調査結果と関連付けて，両定数の閾値の妥当性に関する検討が行われている。得られた結果は，以下の通りである。

- ① 実路の FWD による荷重とたわみの計測結果を用いて，みなし等価粘性減衰定数と等価ばね定数を算出した場合においても，実験供試体と同じ傾向を示した。提案の手法の有効性が，実路から取得されたデータを使っても確認された。
- ② 抽出調査結果を基に，ばね定数は，空洞ありの場合は小さく，空洞なしの場合は大きくなる傾向が確認された。ひび割れありの場合も，みなし等価粘性減衰定数が大きくなる傾向が確認された。さらに，抽出調査結果を用いて，空洞あり，なしの閾値，ひび割れありの閾値を設定した。実路の FWD 計測結果と現地の損傷調査の結果から，ある程度の損傷原因の分類が可能であることを示した。
- ③ プレストレスが有効に作用している場合は，みなし等価粘性減衰定数は小さい。一方，みなし等価粘性減衰が大きい場合，ひび割れの増大，プレストレスの減少のいずれの影響であるかを判別するのは難しいことが明らかとなった。
- ④ FWD の調査手法から得た複数の項目の結果を使い，空洞，ひび割れ有無の判定ができることを示した。

第 7 章では，3 章から 6 章で得られた研究の成果を整理し，今後の課題として，損傷判定精度の向上，FWD 計測方法の工夫，粘性面からの評価法の確立，計測の効率化の提案が行われている。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、老朽化が進む社会資本の中で、トンネル内にある損傷したプレストレストコンクリート(PC)舗装の維持管理の課題に対して、実験的、解析的検討から、ひび割れ発生メカニズムを推定し、健全性を把握する技術について学術的にまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. PC舗装版を模擬したPC供試体の載荷実験と解析から、背面に空洞を有した状態でのひび割れ発生メカニズムを推定している。この結果から、トンネル内PC舗装に生じている損傷の発生メカニズムとして、地下水によりPC舗装版下にある砂が流出することにより空洞が発生し、空洞の拡大に伴い、輪荷重の作用によりたわみが増加し、PC舗装版下面と上面にひび割れが発生する。このひび割れ幅が広がり、水が浸入し、PC鋼材の腐食が開始するとともに、最終的にPC鋼材の破断に至ることを明らかにしている。

2. コンクリートの損傷の把握には、衝撃加振によるたわみ、散逸エネルギー、最大荷重と最大たわみ発生時の発生時間差の指標のうち、発生時間差が大きくなる傾向であることを明らかにしている。時間差が生じる理由をコンクリートの損傷による粘性と仮定し、粘性による指標から健全性の指標を試みている。重錘落下の挙動をばねとダッシュポットを考慮した二質点系でモデル化した運動方程式で表し、ばね定数と粘性定数を求め、空洞が小さい場合、ばね定数は大きく、空洞が大きい場合、ばね定数は小さいことを示した。一方、コンクリートが健全の場合、粘性定数は小さく、損傷を持つ場合は粘性定数が大きくなることを明らかにした。エネルギーの観点から求めた等価ばね定数とみなし等価粘性減衰定数を用いる方法からも、空洞が小さい場合、等価ばね定数は大きく、空洞が大きい場合、等価ばね定数は小さくなることを示した。また、コンクリートが健全の場合、みなし等価粘性減衰定数は小さく、損傷を持つ場合は、大きくなる傾向であることを明らかにした。さらに、PC供試体の場合においても同様の傾向となることを確認した。みなし等価粘性減衰定数は、プレストレスが有効に作用している状態では変動が少なく、作用しない状態では増加することも明らかにした。

3. 実路から得られたデータから、みなし等価粘性減衰定数を算出し、実験値と同様の傾向であることを明らかにした。調査結果から、空洞なしの場合の等価ばね定数、ひび割れ有の場合の等価粘性減衰定数の閾値、および補修方法を提案している。

以上より、本論文は、事例は少ないものの重要な課題であるPC舗装に生じた損傷メカニズムを明らかにし、健全性把握の技術の向上に貢献する研究であり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和6年2月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。