報告 鋼板接着補強された実コンクリート床版の損傷評価

西田 孝弘*1, 茅野 茂*2, 橋本 勝文*3, 奥出 信博*4

要旨:鋼板接着補強されたコンクリート床版は,外観目視による点検が難しく,内部で生じているコンクリートの損傷を定期検査等で発見することが難しい。本研究では,将来的に上記の内部損傷を検知可能な非破壊手法を確立することを鑑み,内部損傷の位置や分布等をコア採取により調べた。その結果,鋼板接着補強されたコンクリート床版の内部では,下部鉄筋近傍で水平ひび割れが生じること,その分布は通行車両の輪荷重が作用する部分に多く見受けられ,かつ横桁等で拘束されている部分では,水平ひび割れが生じにくいことなどが分かった。

キーワード:コンクリート床版,鋼板接着補強,内部損傷,コア採取,ひび割れ,弾性波速度

1. はじめに

本研究では、現在進められている高速道路の「大規模 更新事業」¹⁾の約6割(約2兆円)を占める橋梁のコンク リート床版を対象とする。中でも、コンクリート床版内 部に生じる「水平ひび割れ」は、床版の一体性・安全性 を著しく減退させる損傷であり、その発生・進展メカニ ズムの解明、評価手法および対策方法の確立が喫緊の課 題となっている。しかしながら、コンクリート床版で生 じる損傷の発生・進展は、経年的な繰返し応力や内部鋼 材腐食など、複合的要因が作用して生じており²⁾、単純 な(例えば静的な)応力場では理解が難しい。

特に, 阪神高速道路が管理している高速道路床版においては, 昭和 40 年代に建設された RC 床版の 56%が床版下面にアンカーボルトで仮止めされた鋼板 (SS400, 厚さ4.5 mm) により接着補強された状態で供用されている^{1),2)}。このような鋼板接着補強床版は, コンクリート表面の損傷状況が外観目視により確認できず, 一般的な目視検査によるコンクリート床版の疲労進展³⁾を確認することができない。また, 外部から打音検査等で確認可能な鋼板のはく離率から床版のたわみを評価しようとする試みがなされたが, 両者の有意な関係は確認されていない⁴⁾。このような状況の中, 内部に生じる損傷の位置や程度の実態把握が求められている。

そこで、本研究では、将来的に鋼板補強された床版内 部の損傷を検知可能な非破壊手法を確立することを鑑み、 実際の高速道路入路から切出した鋼板接着補強されたコ ンクリート床版を対象として、コア削孔により試料を採 取し、内部損傷の分布に関して実験的に考察した。

2. 対象構造物の概要

対象としたコンクリート床版は,高速道路高架橋の入路部(図-1,図-2参照)であり,1969年の供用開始から約50年が経過している。入路部は,橋長22mの鋼単純合成鈑桁が5径間で構成されている。RC床版は,板厚が180mm,床版支間が4000mmで,供用から約11年~13年後(1980~1982年)に鋼板接着補強が適用されている。本入路部は高速道路長寿命化に向けた「阪神高



図-1 対象構造物の概要



図-2 対象構造物の概要

*1 国立開発法人海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 主任研究官(正会員)

*2 阪神高速道路株式会社 フェロー

*3 京都大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻 特定講師 (正会員)

*4 一般財団法人 東海技術センター(正会員)

速リニューアルプロジェクト」の一環として,目視調査 やたわみ計測,微破壊試験等が実施されたのち^{1),4),5}, 更新工事が進められた⁶⁾。本研究では,更新工事の過程 で撤去した床版を対象として調査を実施した。

3. 評価項目

本研究では、切り出した床版(図-3 参照)を対象に、 コア採取により内部の損傷状況を調査した。床版の切り 出しは、舗装アスファルトを除去したのち、下面に設置 してある鋼板と鉄筋コンクリート床版をチェーンソーお よびウォータージェットで切り出した。対象とした区間 は約 6000mm×4000mm であり、図-4 に示す●の位置か ら合計 236 本のコアを採取した(図-5)。この際のコア試 料採取位置の中心間距離は概ね 300mm であり、鋼板接 着のために用いられているアンカーボルトの部分を避け てコア試料の採取を行った。加えて、アンカーボルト部 分からも 10 箇所のコア試料を採取し、アンカーボルト 周辺の損傷についても調べた。

内部の損傷状況の評価としては、採取したコア試料お よびコア穴側面の外観目視、ひび割れ位置の計測(底面 からの高さ),コア長さの計測,超音波伝搬時間の計測を 行った。コア試料採取時に使用したコンクリートコア装 置に装着したビット径は102 mm であり、得られたコア 試料の直径は100 mm 程度であった。コア試料の高さは コンクリート床版厚(180 mm)と同等であった。

手順としては、コア試料およびコア穴を目視により観 察し、ひび割れなどの損傷の有無を確認・記録するとと



図-3 切り出した床版の全景



図-5 採取したコアの一部



図-4 コア試料採取位置

もに、ひび割れの位置、およびコア長さを計測した。そ の後、超音波試験機により超音波伝搬時間を計測した。 超音波の入力、受信には54kHzのトランジューサーを使 用した。計測に際しては、コア試料の円形上下面を清掃 し、高真空グリスを介してトランジューサーとコア試料 を接触させ計測した。その後、計測したコア長さと超音 波到達時間から超音波伝搬速度を算出した。

アンカーボルト部を除く床版内の損傷状況 コア試料の外観目視

図-6 にコア試料の様子を示す。確認できた損傷はコア 試料に対して水平方向に延伸したひび割れ(水平ひび割 れと称す)であり、縦方向のひび割れや圧壊した部分は 確認できなかった。また、得られたコア試料を観察する と、(a)ひび割れのないコア試料(健全試料と称す)、(b)ひ び割れが確認されるが一体となっているコア試料(ひび 割れ試料と称す), (c)ひび割れ部で完全に分離したコア 試料(割裂試料と称す)に大別できた。なお, コア試料 採取中にビットのトルクによりひび割れが生じる場合も 考えられるため、コア試料とコア穴側面のひび割れの有 無の整合性を確認しながら分類した。また、実際には完 全に分離していない場合(ひび割れ試料)でも、ビット のトルクにより分離してしまった可能性もあるが、本研 究では割裂試料として取り扱った。アンカーボルト部を 除く床版から切り出した236本の試料のうち,健全試料, ひび割れ試料および割裂試料の本数および割合は表-1 に示すとおりである。

図-7 にコア試料の分類に基づく水平ひび割れの分布 を示す。ここで、コア試料を採取した領域を以下に示す 外力や構造上の特徴から、A~E に分けて考察した。すな わち,通行荷重の輪荷重が卓越すると考えられる領域 A, C と中央部の領域 B,路肩下で主桁周辺の領域 D,横桁 が存在する領域 E とした。

図より,ひび割れ試料(黄色)と割裂試料(赤)が存 在する部分はある程度集中して分布しており,水平ひび 割れが存在する領域と存在しない領域に分かれているこ とがうかがえる。特にひび割れや割裂などの割れている 領域は,輪荷重の作用が卓越すると考えられる領域 A, C に比較的多く分布しているように見える。また,路肩 周辺の主桁周辺の領域Dおよび横桁が存在する領域Eに おいては,ひび割れは確認されず,すべて健全試料であ った。領域Dにおいては,路肩付近であるため,特に車 両の通行量が少なかったことが要因として考えられる。 また,主桁が周辺に存在することで,車両通行に伴う変 形が小さかったことも要因として考えられる。領域Eに おいては大型車両の通行も多く,領域A~Cと同様の荷 重条件と考えられるがひび割れは確認されなかった。こ



図-6 コア試料の例

表-1 各試料の本数と割合

	健全試料	損傷有	
		ひび割れ試料	割裂試料
数量 (本)	154	23	59
割合 (%)	65	10	25



図-7 コア試料の分類に基づく水平ひび割れの分布

の原因としては、図-8に示すように横桁が存在すること により主桁が拘束され、車両通行による床版の変形が抑 えられ、水平ひび割れが生じにくくなったことが要因と して推察される。一方で、同様に変形が拘束されると考 えられる対傾構部分ではひび割れが確認された。この理 由については不明確であるが、横桁に対する拘束度合い の違いが、床版の変形に影響を及ぼし、水平ひび割れの 発生進展に影響を与えたことが推察される。

いずれにしても、車両通行による荷重条件および桁等 に由来する床版の変形拘束条件が鋼板接着補強されたコ ンクリート床版に生じる水平ひび割れの分布に影響を及 ぼすことが考えられる。今後、実構造物で荷重と変形性



(図中矢印は変形の方向と大きさを表す)

状を計測することにより,車両通行による荷重条件およ び桁等に由来する床版の変形条件を把握し,損傷分布を 把握できる可能性があり,継続的に検討を進める予定で ある。

図-9に各領域におけるコア試料の分類割合を示す。先 にも述べたように領域 D および E に関しては、すべてが 健全試料であったため、ひび割れ率は 0%であった。領 域 A~Cを比較すると床版横断方向の中央に位置する領 域 B は、領域 A,C と比較して健全試料の割合が高く、ひ び割れ率は 30%であった。一方、領域 A,C を比較すると 領域 C の方が、ひび割れ率が若干高く、半数以上のコア 試料にひび割れもしくは割裂が確認された。

4.2 底面からのひび割れの位置

図-10 に底部からのひび割れの位置のヒストグラムを 示す。今回確認されたひび割れは、ほとんどが水平方向



図-9 各領域におけるコア試料の状態割合



に延伸していた。また、鋼板接着補強されていない鉄筋 コンクリート床版の場合、床版上側の鉄筋近傍にも水平 ひび割れが確認されているⁿが、鋼板接着補強された今 回の床版では、下側にのみに水平ひび割れが確認され、 その位置は底面から70mm以下に分布していた。ひび割 れは、図-6(b)に示したように、下部鉄筋の下側もしくは 上側に存在しており、ひび割れが大きいものは鉄筋下面 での腐食も確認された。この理由については不明確であ るが、鋼板が引張力を受け持つことで、部材内部の応力 の中立軸が下側に移動したことが、鋼板接着補強されて ない場合の床版との差異と考えられ、今後 FEM 解析等 で検証する予定である。他方、鋼板接着補強されたコン クリート床版は、下部でアンカーボルトにより仮止めさ れており、床版下部でのひび割れの集中が全体に広がっ た場合、アンカーボルトの抜け落ちや鋼板の崩落も懸念 される。しかしながら,背景でも示したように,鋼板が 接着されているため,下部からのコンクリートの状態を 確認することが困難である。したがって,本研究で示し たような水平ひび割れの分布を適切に評価できる非破壊 検査手法あるいはアンカーの健全度評価手法の確立が望 まれる。

4.3 超音波伝搬速度の分布

今回得られたコア試料のうち,割裂試料は超音波が試料上下面間に伝搬せず,超音波弾性波伝搬時間の計測ができなかった。そのため、ここでは、健全試料およびひび割れ試料を用い、図-7で示した領域D以外の車両通行が卓越する領域のコア試料を対象として評価した。なお、割裂試料の全試料に対する割合は、25%(59本)であった。

図-11 に超音波伝搬速度の分布を示す。これより,比 較的速度の遅いコア試料は■で示す割裂試料の周辺に分 布していることが確認できた。一般に,超音波伝搬速度 は,物質の波の伝搬のしやすさを表し,損傷が進むと速 度は低下する。このことから,床版内で大きな損傷が生 じている部分の周辺では,目視で確認できるひび割れの みならず,微細なひび割れが存在しており,それが周辺 に拡大していくことが推察される。

図-12 にコア試料(健全試料およびひび割れ試料)の 超音波速度のヒストグラムを示す。これより,健全試料 の超音波伝搬速度は 3000 m/sec 以上であり,ほとんどの 試料が 3500~4000 m/sec 程度であった。一方で,ひび割 れ試料に関しては幅広く分布しており,最も低いもので 2090 m/sec,最も高いもので 4435 m/sec であった。これ らの品質の違いは,目視調査のみで評価することは難し く,超音波伝搬速度のように,非破壊試験等で得られる 物理量に基づいて損傷の程度を程度分けすることが肝要 である。

5. アンカーボルト部での損傷状況

図-13 にアンカーボルト部で採取したコア試料の一例 を示す。アンカーボルトは鋼板を介してコンクリート内 に挿入されており、コンクリート内部に挿入された長さ は50 mm 程度である。アンカーボルト部では10本のコ アを採取したが、いずれもアンカーボルト先端から放射 状のひび割れが確認された。また、一部のコア試料では、 鋼板接着施工の際にアンカーボルト打ち込み後に注入さ れたエポキシ樹脂がアンカーボルト打ち込み後に注入さ れたエポキシ樹脂がアンカーボルト打ち込み時に できたひび割れど考えられる。図-13 の左側の写真では このひび割れが鉄筋下部に延伸しており、アンカーボル ト打ち込み時に生じた微細なひび割れが供用中の繰り返 し荷重等の影響を受けて下部鉄筋に沿って延伸した可能



■:割裂試料の部分で超音波伝搬速度が計測できなかった部分 図-11 超音波伝搬速度の分布



図-12 コア試料の超音波速度のヒストグラム



図-13 アンカーボルト部でのひび割れの様子

性も考えられ、今後詳細な調査が必要と考えている。

6. まとめおよび今後の課題

本研究では,鋼板接着補強されたコンクリート床版の 内部損傷の位置や分布等をコア採取により調べた。本研 究で得られた知見を以下に示す。

- 鋼板接着補強されたコンクリート床版における内部 損傷は、下部鉄筋近傍で水平ひび割れが認められ、既 往の研究で報告されている鋼板接着補強されていな い場合と異なることが確認された。鋼板接着補強さ れたコンクリート床版は、下部でアンカーボルトに より固定されており、床版下部でのひび割れの集中 が全体に広がった場合、アンカーボルトの抜け落ち や鋼板の崩落が懸念された。。
- 上記の水平ひび割れは、通行車両の荷重により変形 が卓越する部分に多く見受けられ、横桁等で拘束さ れている部分では、水平ひび割れが生じにくいこと が確認された。特に、横桁が存在することにより、輪 荷重の作用による床版横方向の変形が抑制され、そ の部分での水平ひび割れの発生が抑制されることが 推察された。
- 3. 外観目視でひび割れが確認されなかったコア試料の 超音波伝搬速度は 3000 m/sec 以上であり,ほとんど の試料が 3500~4000 m/sec 程度であった。一方で, ひび割れ試料に関しては幅広く分布しており,最も 低いもので 2090 m/sec,最も高いもので 4435 m/sec で あった。
- アンカーボルト近傍では、施工時に生じたと考えられるひび割れが確認され、鉄筋下部へ延伸する様子が認められた。

以上の結果を勘案すると、床版全体の変形を把握する ことにより、水平ひび割れの生じやすい場所を特定でき る可能性がある。したがって、今後、実構造物で詳細な 変形性状を計測することにより、車両通行による荷重条 件および桁等に由来する床版の変形条件を加味した損傷 の生じやすい場所の特定が有用と考えられる。また、鋼 板接着補強された床版は、下部に水平ひび割れが集中す ることが確認された。したがって、鋼板接着されたコン クリート床版での損傷評価においては、変形の影響を受 ける部位のコンクリート底面から 70 mm程度以浅のコ ンクリートの損傷を評価可能な非破壊検査手法を確立す ることにより、より確度の高い健全度評価が可能になる と考えられる。

謝辞

本研究の一部は,総合科学技術・イノベーション会 議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「イン フラ維持管理・更新・マネジメント技術」(プログラムデ ィレクター:藤野陽三,管理法人:JST)および京都大学 教育研究振興財団平成 30 年度研究助成事業「鉄筋-コン クリート界面が床版内部の水平ひび割れ発生・進展に及 ぼす影響の評価」(代表:西田孝弘)によって実施されま した。ここで,関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 前川敬彦, 久利良夫, 佐々木一則, 飛ヶ谷明人, 青 木康素: 鋼板接着補強床版の維持管理に関する検討, 土木学会第7回道路橋床版シンポジウム論文報告 集, Vol.7, p.13-18, 2012.6
- 佐野正,山下幸生,松井繁之,堀川都志雄,久利良 夫,新名勉:浮きを有する鋼板接着補強 RC 床版の 疲労耐久性および樹脂再注入の評価,土木学会論文 集 A1, Vol.67, No.1, pp.27-38, 2011
- 3) 公益社団法人日本コンクリート工学会:コンクリートのひび割れ調査,補修・補強指針-2013-, p.58, 2013.
- 前川敬彦, 久利良夫, 佐々木一則: 鋼板接着補強 RC 床版の維持管理に関する検討, 土木学会第 67 回年 次学術講演会講演概要集, pp.1173-1174, 2012.9
- 5) 前川敬彦, 佐藤彰紀, 坂本直太, 平山智啓: 阪神高 速道路における鋼板接着 RC 床版の健全性に関する 検討, 土木学会第 10 回道路橋床版シンポジウム論 文報告集, Vol.10, p.77-82, 2018.6
- 阪神高速道路株式会社報道資料, https://www.hanshin-exp.co.jp/renewal/tamade2018 2018.6
- 河田直樹,松井俊吾,松井隆行,梨本竜太郎:鋼橋 RC 床版の内部変状と健全性把握手法の検証,土木 学会第 10 回道路橋床版シンポジウム論文報告集, Vol.10, p.159-164, 2018.6