

論文

路面切削が鋼橋 RC 床版のコンクリート内部に及ぼす影響に関する一検証

後藤俊吾*, 小野聖久**, 橋本雅行***

* 中日本高速道路株式会社, 八王子支社高速道路事業部 (〒192-8648 東京都八王子市宇津木町 231)

** 中日本高速道路株式会社, 技術本部環境・技術企画部 (〒460-0003 名古屋市中区錦 2-18-19)

*** 一般社団法人日本建設機械施工協会, 施工技術総合研究所 (〒417-0801 静岡県富士市大渕 3154)

鋼橋 RC 床版の取替工事で撤去した既設床版において、上側鉄筋に沿った水平ひび割れが発生している床版が確認されているが、必ずしも鉄筋の腐食膨張を伴わず、鉄筋の腐食すら生じていない例も見受けられている。本研究では、水平ひび割れの発生要因として舗装打換え時の路面切削による床版上面の切削や振動および衝撃等の影響に着目し、実物大試験体に対して路面切削機による切削試験を実施し検証を行った。ひずみ計測や蛍光エポキシ樹脂含浸によるひび割れ観察の結果、上側鉄筋およびコンクリートのひずみ振幅挙動や上側鉄筋近傍に微細ひび割れの発生を確認した。

キーワード：路面切削、水平ひび割れ、鉄筋ひずみ、蛍光エポキシ樹脂含浸

1. はじめに

鋼橋 RC 床版の取替工事で撤去した既設床版において、上側鉄筋に沿った水平ひび割れが発生している床版が確認されているが、必ずしも鉄筋の腐食膨張を伴わず、鉄筋の腐食すら生じていない例も見受けられている。

既設床版は、舗装打換え時に床版上面が路面切削機によって削られている場合¹⁾もあり、既往の研究²⁾では、切削機により床版を直接切削した場合には、既設床版表面に微細ひび割れが発生することが確認されている。

本稿は、舗装打換え時の路面切削による床版上面の切削や振動および衝撃等が床版コンクリート内部、特に上側鉄筋周辺に影響を及ぼしていることと想定して、実物大試験体に対して路面切削機による切削試験を実施し検証を行った結果を報告するものである。

2. 試験条件

2.1 試験概要

切削試験は、既往研究²⁾と同様に実物大の床版試験体を製作し、非合成桁橋を想定して鋼桁や橋面舗装を再現した上で路面切削機により切削を行うものとした。

切削試験の際の試験体配置を図-1に示す。基礎コンクリートを施工して、その上に鋼桁を設置、さらにその上に床版コンクリートを打設した。その後、床版試験体前後に盛土してスロープを設置し、アスファルトフィニッシャーにより橋面舗装を施工した。なお、床版試験体は2体設置し、その間は鋼桁を分離させてベニヤ板で仕

表-1 床版試験体の諸元

試験体寸法 (mm)	数量 (枚)	床版支間 (mm)	ハンチ形状 (mm)	鉄筋配置 (SD345)		
				橋軸直 角方向	上段 下段	D19ctc250 D19ctc125
3,600 × 6,000 × 210	2	2,500	幅 240 高さ 80	橋軸直 角方向	上段 下段	D16ctc250 D16ctc125
				橋軸 方向	上段 下段	D16ctc250 D16ctc125

表-2 床版コンクリートの仕様

材齢 28 日における圧縮強度	24N/mm ²
骨材の最大寸法	20mm または 25mm
スランプ	12cm ± 2.5cm
空気量	4.5% ± 1.5%
セメントの種類	普通ポルトランドセメント

切りを設けた 1m の緩衝用区間を設置し、各試験体における切削時の衝撃が互いに伝わらないように配慮とともに、前後の盛土部にも緩衝用区間を設置した。

2.2 試験体の諸元

床版試験体の諸元を表-1 に示す。床版試験体は、上面かぶりを 30mm とした床版厚 210mm のものを 2 体製作した。床版コンクリートの仕様は表-2 のとおりとし、材齢 28 日における圧縮強度が 24N/mm² になるように配合することとした。

橋面舗装は、切削機により床版が削られていた可能性が高い時代（旧日本道路公団で床版防水工が基準化される平成 10 年以前）に施工量が多かった仕様とすることとし、密粒度アスファルト混合物（最大粒径 13mm, スト

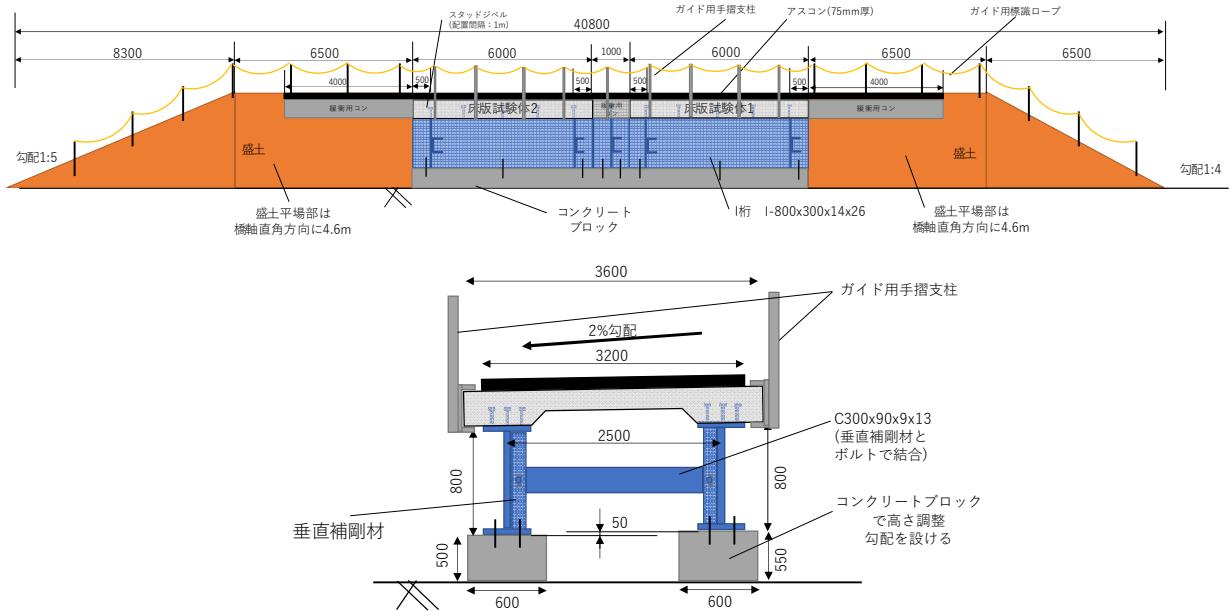


図-1 試験体配置

レートアスファルト 60~80) を表層 40mm, レベリング層 35mm とした。なお、層間に散布するタックコートは、アスファルト乳剤 (PK-4) を使用した。

2.3 切削試験方法

切削試験に用いる路面切削機は、ヴィルトゲン社製の W210 (クローラ型) を使用した。路面切削機の仕様は、運転重量約 31.0ton (水タンク、燃料タンク満杯時), 切削ドラム幅 2,000mm, 切削深さ 0~330mm である。

切削試験は、路面切削を実施する前に、路面切削機の走行時の各ひずみ値の動的計測を実施 (STEP0) し、その後、路面切削を施工中に、各ひずみ値の動的計測を実施した。

路面切削は、床版試験体 2 体に対して、表-3 の条件で切削するものとし、図-2 の工程で切削を行った。まず、床版試験体 1 に対して、舗装 75mm+床版コンクリート 10mm の合計 85mm を切削 (STEP1) し、次に、床版試験体 2 に対して、舗装 75mm+床版コンクリート 20mm の合計 95mm を切削 (STEP2) し、最後に、床版試験体 1 に対して、床版コンクリート 10mm を切削 (STEP3) し、床版試験体 1・2 どちらも舗装 75mm+床版コンクリート 20mm=95mm を切削した状態とした。

2.4 計測方法

切削試験の計測方法は、サンプリング速度 2kHz の動的計測とした。動的計測を行うために設置するひずみゲージについては、床版コンクリートの打設前に上側鉄筋側面に設置するとともに、床版コンクリートの打設後に $\phi 150\text{mm}$ のコア削孔を行い、試験体側の削孔側面の鉄筋断面および鉄筋周囲のコンクリート部に設置した。

ひずみゲージの設置位置を図-3 に示す。床版試験体

表-3 路面切削条件

試験体	切削幅 (mm)	舗装厚 (mm)	床版切削深さ
床版試験体 1	2,000	75	20mm(床版面-10mm×2回)
床版試験体 2	2,000	75	20mm(床版面-20mm×1回)

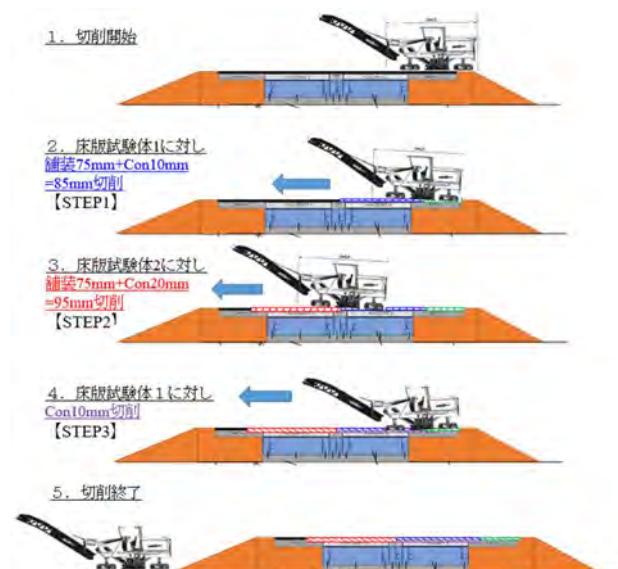


図-2 路面切削概要

1 体あたり、上側主筋に 15 点 (主筋 3 本×5 ケ所)、上側配力筋に 15 点 (配力筋 3 本×5 ケ所) の計 30 点を設置した。

コア削孔断面のひずみゲージ設置状況を図-4 に示す。床版コンクリートの打設後において、切削時における鉄筋断面ひずみや鉄筋周囲のコンクリート部ひずみを測定することを目的に、床版試験体 1 体あたり削孔径 150mm で 7 ケ所のコア削孔を行い、試験体側の削孔側面にひず

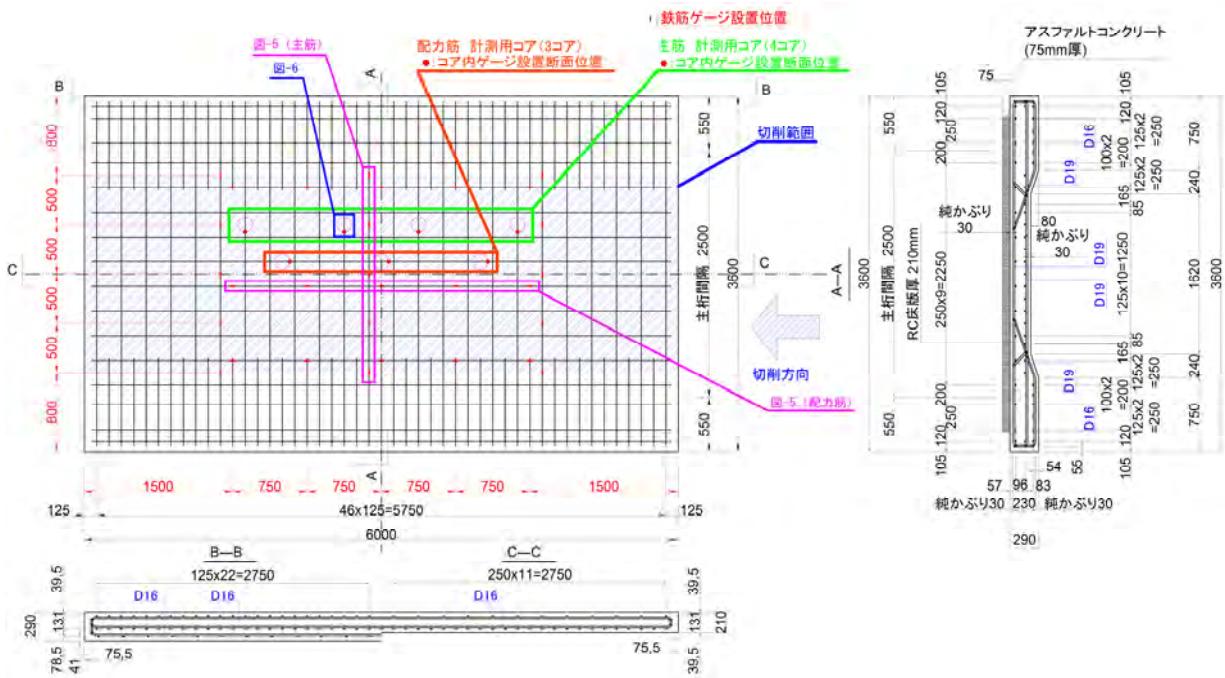


図-3 ひずみゲージ設置位置

みゲージを設置した。設置位置は、鉄筋断面には鉛直方向と水平方向のひずみを測定するための二軸ゲージを、鉄筋周囲のコンクリート部には、鉄筋を囲うように井桁状にひずみゲージを設置した。ひずみゲージ設置後、コア削孔箇所は断面修復材により埋め戻した。なお、一般にコンクリート用ポリエステルゲージは、最大粗骨材寸法の3倍程度のゲージ長のものを使用することが推奨されているが、本試験では鉄筋周囲の水平ひび割れの起点となる微細ひび割れの発生に影響するひずみの検知が目的であるため、ゲージ長が30mmのものを使用した。

3. 試験結果

3.1 床版コンクリートおよび断面修復材の圧縮強度

床版コンクリートおよびコア埋め戻し部に使用した断面修復材の圧縮強度試験結果を表-4に示す。路面切削日における床版コンクリートの圧縮強度は 28.4N/mm^2 、静弾性係数は 25.7kN/mm^2 であり、実橋床版と乖離しない結果が得られていることを確認した。また、コア埋め戻し部に使用した断面修復材の静弾性係数は床版コンクリートと同等であることを確認した。

3.2 切削ビットの摩耗状況および切削状況

切削試験前に切削ビットの摩耗状況について確認を行った。摩耗程度の確認方法は、切削ドラムの軸方向に無作為に5個のビットを取り外し、外観確認と寸法測定を実施することで確認した。摩耗していない新品の切削ビットは高さ87mmであるのに対し、取り外した切削ビットは高さ81~87mmの範囲であり、6mm摩耗している切削ビットがあることを確認した。

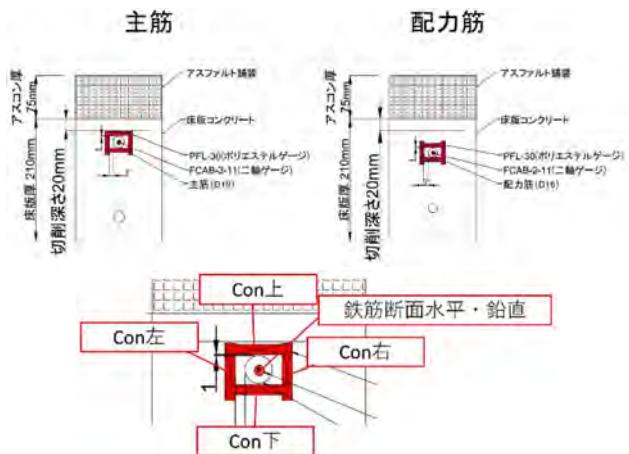


図-4 コア削孔断面ひずみゲージ設置状況

表-4 圧縮強度試験結果

床版コンクリート			
	材齢	圧縮強度	静弾性係数
28日材齢	28日	25.9N/mm ²	—
路面切削日	47日	28.4 N/mm ²	25.7 kN/mm ²
コア埋戻し部の断面修復材			
	材齢	圧縮強度	静弾性係数
路面切削日	28日	63.1 N/mm ²	25.4 kN/mm ²

切削試験後に路面切削深さの確認を行った。平均切削深さは床版試験体1の1回目の10mm切削時は12.4mm、床版試験体1の2回目の10mm切削時は21.0mm、床版試験体2の20mm切削時は18.3mmであり、 $\pm 2.5\text{mm}$ 程度の精度で切削されていることが確認でき、概ね想定どおりの切削をすることができていた。なお、切削試験時の路面切削機の平均走行速度は、切削試験ケースの違い

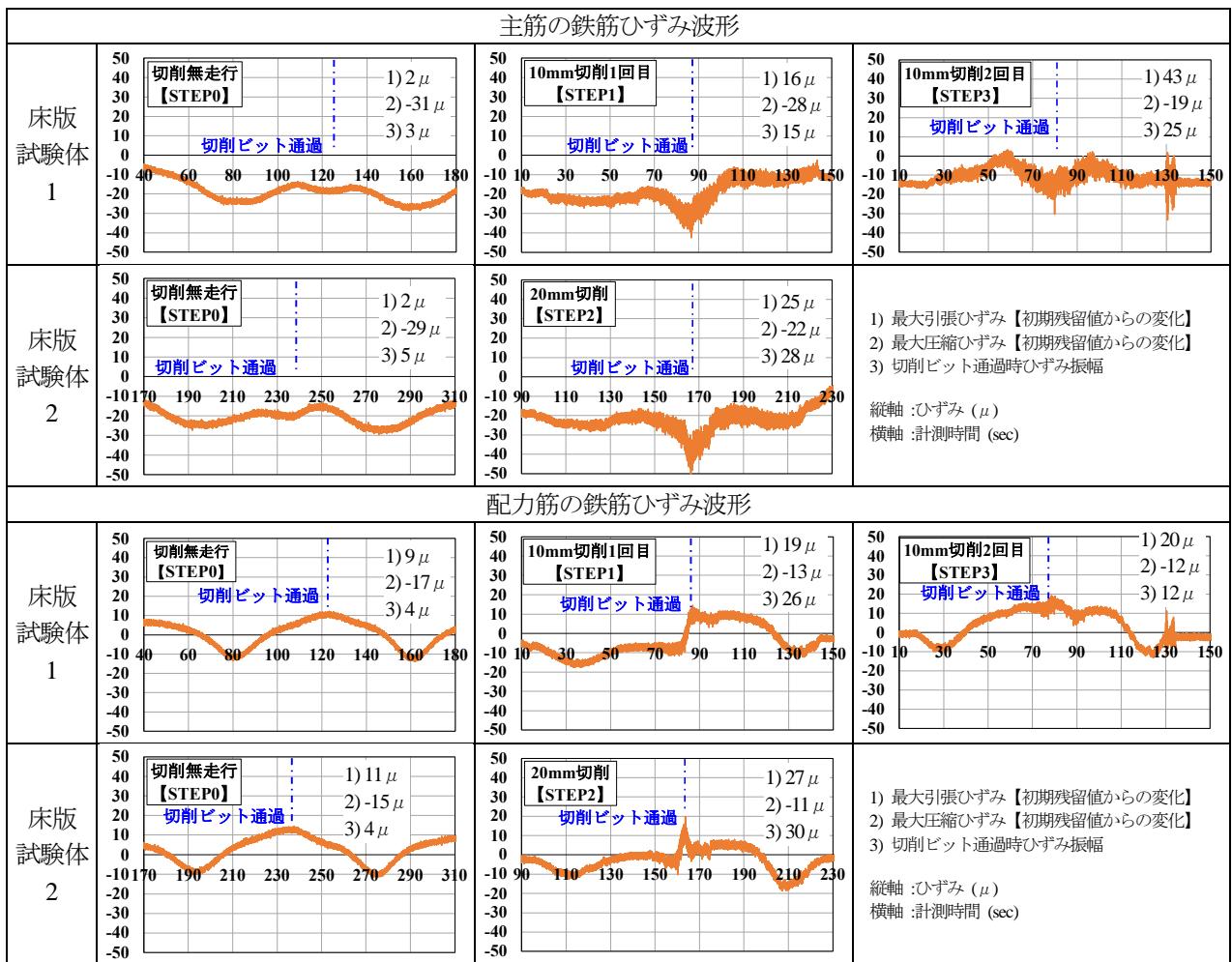


図-5 切削時の上側鉄筋ひずみの動的計測結果

により多少の変動はみられたものの、全て 3.0~4.0m/min の範囲であった。

また、切削試験後の床版試験体上下面の確認を行った。試験体上面を打音調査したが、浮き等は確認されず、試験体下面へのひび割れの発生は確認できなかった。

3.3 切削時の動的計測結果

(1) 上側鉄筋ひずみ

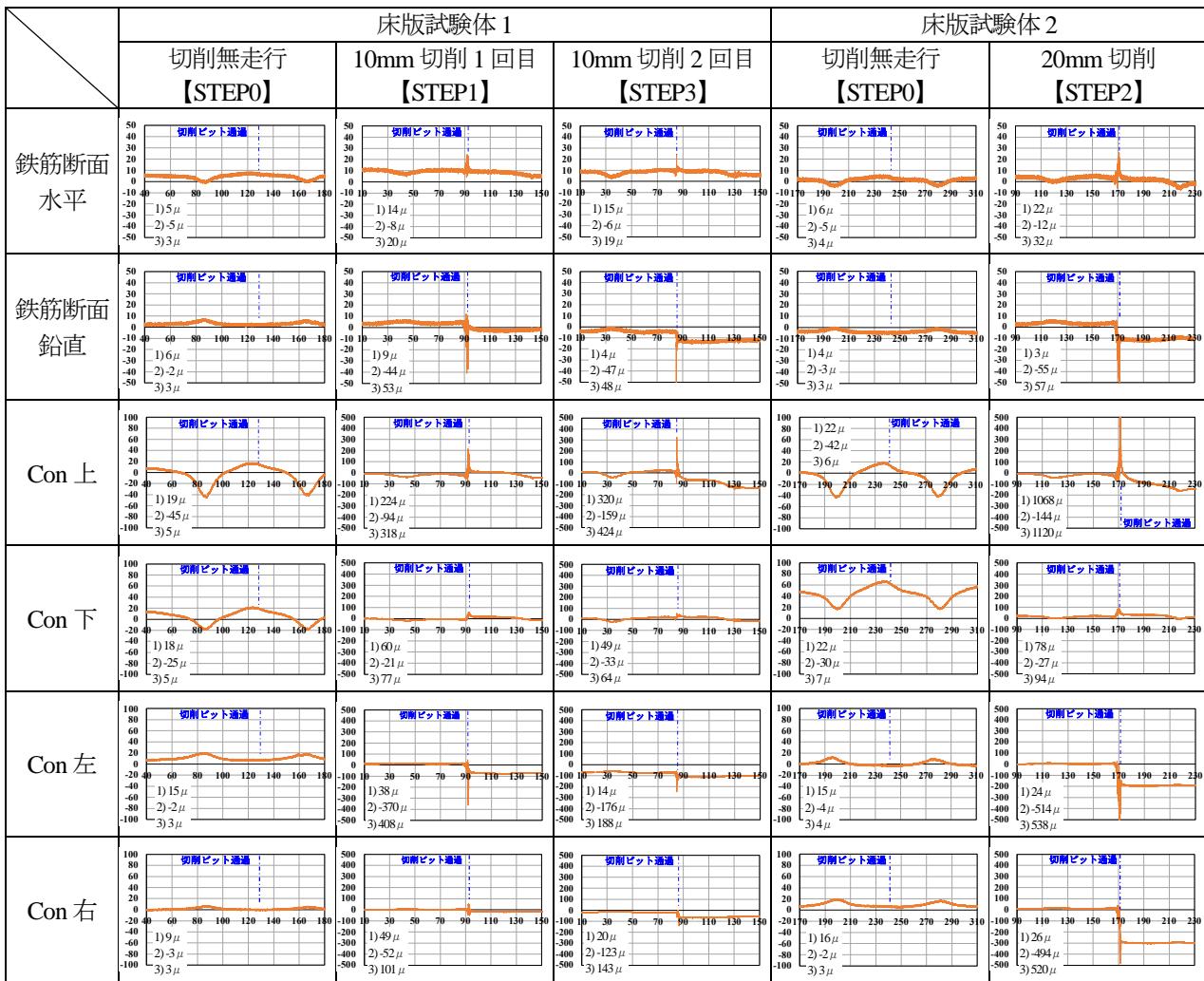
鉄筋ひずみを計測した上側主筋、配力筋各 3 本のうち、図-3 に示す床版中央に配置されている主筋、配力筋の鉄筋ひずみの動的計測結果を図-5 に示す。なお、ひずみは活荷重応答値として、1), 2) のひずみは引張側と圧縮側それぞれの初期残留値からの変化の最大値で、3) のひずみ振幅は切削ビット通過時の前後 5 秒間の最大値と最小値の差で整理しており、圧縮ひずみを「-」、引張ひずみを「+」で表記している。図-5 中の青色の一点鎖線で切削ビットが通過した計測時間を表示しており、前後に主に圧縮側のひずみが発生しているのが前後のクローラが通過したところである。

主筋のひずみは、切削ビットが近づく前から徐々に圧縮側に振幅が大きくなることが確認でき、床版試験体 1

の 10mm 切削 1 回目 (STEP1) と床版試験体 2 の 20mm 切削 (STEP2) のひずみを比較すると、切削ビット通過後に床版試験体 2 の 20mm 切削の方が若干大きい結果がみられた。これは、切削後に抵抗断面が小さくなっている方が上側鉄筋に圧縮力が大きくかかっているためと考えられる。また、ひずみの振幅も床版試験体 2 の 20mm 切削の方が高い傾向があった。

それに対して配力筋のひずみは、切削ビットが通過する時に急激に引張側にひずみが変動する傾向にあったが、舗装のない床版試験体 1 の 10mm 切削 2 回目 (STEP3) は前側のクローラが通過した後に既に引張側のひずみを示していた。舗装がない状態で 10mm のみの薄層の切削であったことから、床版面へ切削ドラムを押し当てる圧力が比較的小さく、前側のクローラが通過後、切削ビット通過までに生じていた圧縮力が小さかったものと考えられ、切削ビット通過時の変動や振幅はあるものの切削無 (STEP0) に似た波形であった。

なお、床版試験体 1 の 2 回目の 10mm 切削時 (STEP3)において、切削ビットが試験体を通り過ぎる直前に切削深さが大きくなり、試験体端部の主筋に接触して主筋 1 本が破断した。いずれも計測時間 130sec 付近にひずみ



1) 最大引張ひずみ【初期残留値からの変化】、2) 最大圧縮ひずみ【初期残留値からの変化】、3) 切削ビット通過時ひずみ振幅、縦軸：ひずみ(μ)、横軸：計測時間(sec)

図-6 切削時のコア削孔断面の上側鉄筋およびコンクリートひずみの動的計測結果

の振幅挙動がみられており、破断した主筋から配力筋を介して4m以上離れた主筋においても破断時の振動や衝撃が伝わっていたことが確認された。

(2) コア削孔断面の上側鉄筋およびコンクリートひずみ

図-3にて青四角で囲った床版中央付近の上側主筋部コア削孔断面における上側鉄筋およびコンクリートひずみを図-6に示す。

切削時における鉄筋とコンクリートの挙動については、圧縮ひずみと引張ひずみを示すタイミングが概ね一致しており、一体として挙動していたと考えられる。具体的には、切削ビットの通過時に水平方向では引張側に、鉛直方向では圧縮側に急激に振幅した。鉛直方向では切削ビットの通過後に圧縮側にひずみが残留しており、ひずみゲージを設置するためにコア抜きした箇所を断面修復している影響も否定できないが、図-5の軸方向のひずみの振幅結果と合わせて考えれば、路面切削時に鉄筋が鉛直方向に振幅する挙動をした可能性が高いと考えられる。

引張ひずみの最大値は20mm切削時の1068μであつ

た。参考までに、引張強度を圧縮強度の1/10と仮定し、実測した圧縮強度および静弾性係数から推定したひび割れ発生ひずみは110μ程度である。このことから、計測した引張ひずみは、ゲージ長30mm(標点距離30mm)のひずみゲージで計測した値ではあるものの、コンクリート部に微細ひび割れが生じている可能性はあると思われる。

4. 切削影響調査

4.1 調査方法

切削試験を実施した床版試験体において、切削表面および鉄筋近傍の微細ひび割れや浮き等の有無を確認するために、コア採取を行い、蛍光エポキシ樹脂含浸法による調査を行った。

コア採取箇所は、3.3の切削時の動的計測結果から、床版試験体1および床版試験体2のそれぞれ比較的大きなひずみが生じていた主筋および配力筋の近傍とし、主筋単独部、配力筋単独部、鉄筋交差部をそれぞれコア径φ150mmで採取した。また、切削の影響がない状態の評

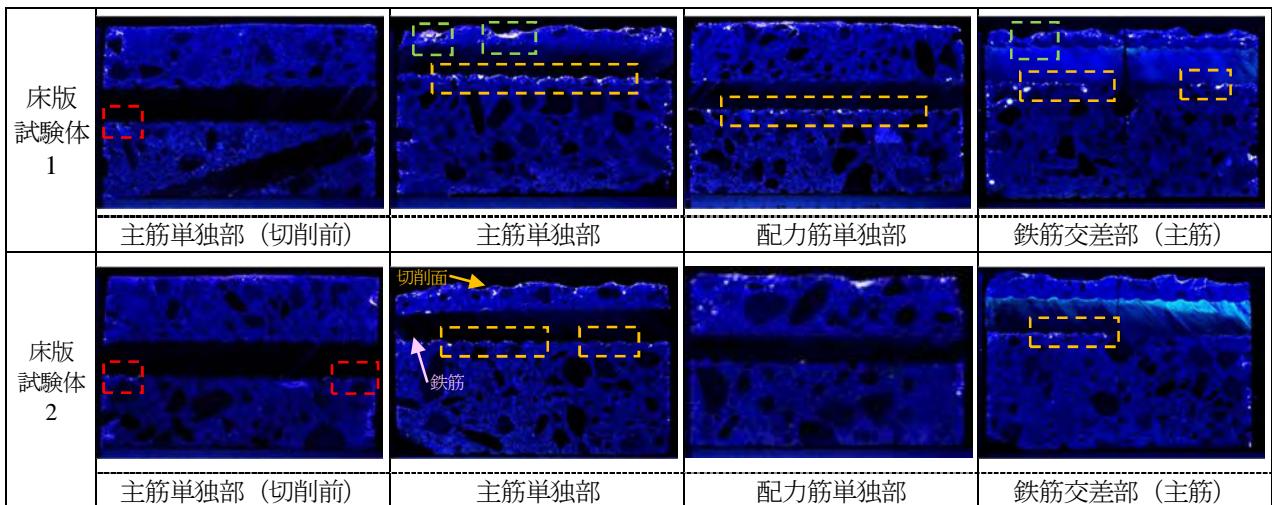


図-7 蛍光エポキシ樹脂含浸法により調査した紫外線照射画像

価として切削試験前にひずみゲージ設置のために削孔したコアを使用した。

蛍光エポキシ樹脂含浸法は、採取したコアを蛍光エポキシ樹脂の中に浸漬させた後に、0.1MPa程度で減圧して隙間に樹脂を浸透させ、コアを取り出して表面の余剰な樹脂を拭き取り、樹脂が硬化するまで養生する。その後、コアをカッティングし、各断面の可視画像と紫外線照射画像を撮影した。

4.2 調査結果

蛍光エポキシ樹脂含浸法により調査した紫外線照射画像を図-7に示す。空隙や微細ひび割れなどの隙間に蛍光エポキシ樹脂が浸透されるため、空隙や微細ひび割れなどが発色し、視覚的に確認できる。なお、切削試験前に採取した主筋単独部のコアで、コア削孔した際に発生したと考えられる微細ひび割れ（図-7 中赤枠）がコア端部で見られたため、コア端部から30mmは評価対象外とした。

(1) 切削面近傍

切削面近傍では、路面切削の影響と考えられる微細ひび割れが全体的に確認された。微細ひび割れの発生深さは切削面から概ね5mm～10mmであり、既往研究²⁾で確認された値と概ね一致した。一方で、微細ひび割れの発生深さは床版試験体1（2回切削）と床版試験体2（1回切削）で大きな差異は見られなかった。また、2回切削の床版試験体1の主筋単独部、鉄筋交差部（主筋）については、骨材とモルタルの界面や気泡を経由した切削面から上側主筋に繋がっていると考えられる微細ひび割れが発生していた（図-7 中緑枠）。

(2) 上側鉄筋近傍

上側鉄筋近傍では、局所的な微細ひび割れが発生する傾向がみられた。微細ひび割れの発生箇所は、鉄筋の上側（かぶり側）よりも下側の方がが多い傾向があった（図

-7 中黄枠）。この傾向は、鉄筋下のブリーディングや気泡等が影響している可能性が考えられる。2つのケースの違いとしては、1回切削の床版試験体2と比較して、2回切削の床版試験体1の方が上側鉄筋近傍の微細ひび割れの数が多く確認された。

また、1回切削の床版試験体2では鉄筋下側は断続的に微細ひび割れが発生していた一方で、2回切削の床版試験体1の特に主筋単独部には水平方向に連続的な微細ひび割れが確認され、ひび割れ幅も前者のものと比較して大きい傾向が確認された。

5.まとめ

実物大床版試験体に対して路面切削を実施し、ひずみ計測や蛍光エポキシ樹脂含浸によるひび割れ観察を行った結果、上側鉄筋およびコンクリートのひずみ振幅挙動や上側鉄筋近傍に微細ひび割れの発生を確認した。

上側鉄筋に沿った水平ひび割れの発生には、疲労、塩害、凍害、ASRによる劣化などの種々の原因が考えられるが、舗装打換え時の路面切削による床版上面の切削や振動および衝撃等も影響している可能性が示唆された。舗装の路面切削にあたっては、少なくとも床版面を切削しないよう適切に切削深さの管理を行い、床版への影響を最小限にする必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方中間とりまとめ, 2023.1.
- 2) 和田圭仙, 稲葉尚文, 本間淳史, 佐野昌嗣, 片桐良貴：RC床版の補修工法施工時に与える影響に関する実験検討, 土木学会第六回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.139-144, 2008.6.

(2024年7月12日受付)