

水を供給した上面増厚コンクリート床版の輪荷重走行試験結果について

首都高速道路(株) 鈴木寛久

いであ(株) 野本克己, ○貴志 豊, 田竈慶一

日大生産工 阿部 忠

1 まえがき

近年、首都高速道路では、供用年数の経過と交通量の増大に伴い、交通荷重を直接受けるコンクリート床版は疲労劣化が大きな問題となり、これまで様々な補強方法についての研究がなされてきた。従来、床版補強は高速道路の交通規制を避けるために下面からの補強を行い、曲げ耐力の向上を行ってきた。しかし、床版上面にひびわれ損傷がある場合、雨水による疲労強度の低下が著しく、床版防水だけでなく上面からの補強による長寿命化対策が必要になっている。

首都高速道路での上面増厚補強は、都市内での重交通下で行うため渋滞軽減のため交通規制に制約を受けることから、早期に工事完了できる工法・材料であることが要求され¹⁾、技術募集から始まり、上面増厚工法に関する技術検討が進められてきた。

本試験では、他機関から報告されている研究成果、懸念事項、課題などの最新の知見を参考に、SFRC上面増厚コンクリートと既設床版の付着性の向上を目的としている。

2 SFRC上面増厚工法の状況

これまでの他機関の研究結果では、SFRC上面増厚補強を施した道路橋RC床版では施工目地部は施工不良になりやすいことから剥離が生じやすく、剥離箇所からの水の浸入によって床版の劣化が助長されるという報告がなされている。この対策としてRC床版部と増厚部の境界に接着剤を塗布することで気中においては境界の剥離を抑制し、寿命が向上するという報告²⁾がされている。

3 実験概要

3.1 実験目的

本試験では、床版上面増厚補強工法の増厚コンクリートと既設床版の接着界面に着目し、以下の項目の検討を行った。

- ・施工目地部の接着性の確認(水の浸入の有無)
- ・接着界面への水の浸入による疲労特性と接着剤効果の確認

3.2 実験供試体

(1) 形状寸法

(a) RC床版 (既設床版)

道示の規定³⁾に基づいて設計し、その1/2モデルとした。床版支間長を1200mm、張出部は135mmとし、全

長は1470mmである。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側の軸直角方向および軸方向にD10をともに100mm間隔で配置し、有効高さをそれぞれ105mm、95mmとする。また、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置した。RC床版供試体の寸法および鉄筋配置を図.1に示す。

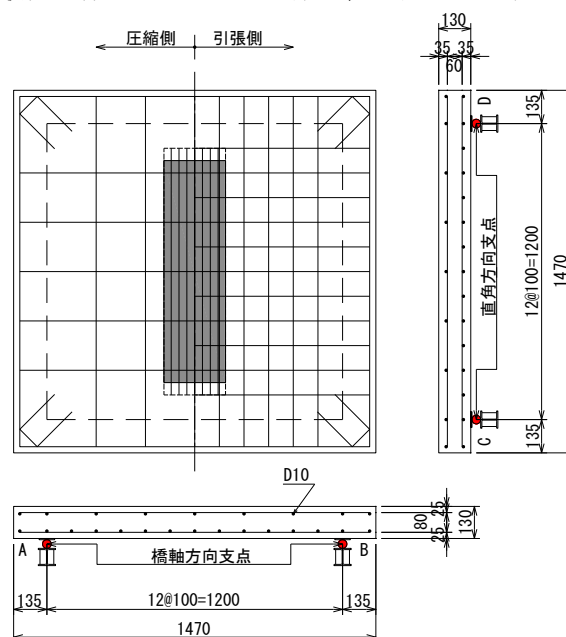


図.1 RC床版供試体の寸法および鉄筋配置

(b) 上面増厚コンクリート

既設床版を10mm切削し、その後40mmの増厚コンクリートを打設した(純増厚:30mm)。増厚コンクリートは、目地部を設けた試験を行うことから2段階に分けた施工を行い、端部から500mmの位置に施工継目を設けた⁴⁾。上面増厚コンクリート寸法を図.2に示す。

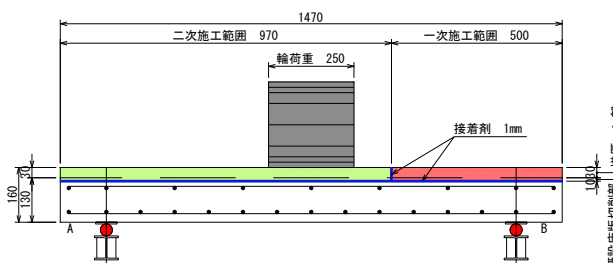


図.2 上面増厚コンクリートの寸法

Results of wheel load running test about RC slabs overlaid with SFRC which were supplied water

Hirohisa SUZUKI, Katsumi NOMOTO, Yutaka KISHI, Keiichi TAGOMORI and Tadashi ABE

(2) 使用材料および配合

(a) RC床版（既設床版）

RC床版供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと5mm以下の砕砂および5mm～20mmの砕石（JIS-A5005）を使用した。表.1に配合表を示す。

表.1 RC床版配合表

W/C (%)	G (mm)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W (水)	C (セメント)	S (細骨材)	G (粗骨材)	AE (混和剤)
47.3	20	50.5	164	347	929	886	マイクソート 2.08 マイクソート 17ml

(b) 上面増厚コンクリート

上面増厚コンクリートには、鋼繊維補強コンクリート（SFRC）を用いた。膨張剤を使用し、若材令時の収縮ひずみを抑える方法もあるが、過年度成果より膨張剤を使用することで供試体の圧縮強度やスランプにバラツキが出るなどの懸念もあることから本試験では膨張剤の使用は見合わせた。

SFRCの設計基準強度は、材齢3時間の圧縮強度を24N/mm²とする。セメントは超速硬セメントを使用し、最大寸法13mmの粗骨材、長さ30mmの鋼繊維を混入率1.27Vol.%（100kg/m³）で配合した⁵⁾。表.2に配合表を示す。

表.2 増厚コンクリート配合表

W/C (%)	G (mm)	s/a (%)	単位量 (kg/m3)					
			W (水)	C (セメント)	S (細骨材)	G (粗骨材)	AE (混和剤)	SF (鋼繊維)
39.5	13	51.2	170	430	851	858	—	100

(c) 接着剤

首都高速道路では鋼床版の上面増厚の研究が行われてきており、鋼床版とSFRCの接着はこれまでも何度も行われており、実績も数多く有る。その際使用されてきた実績から本試験にも土木用高耐久性エポキシ樹脂接着剤を使用することとした。

3. 3試験環境および試験ケース

施工目地部の接着性を確認するため以下の供試体を作製した。

CASE-1：基本ケースとするため接着剤を全く塗布しない

CASE-2：施工目地部から水が浸入することを想定し左右250mmの範囲に塗布

CASE-3：全面に塗布

施工目地部の深さ方向への剥離の進展を確認するため3箇所深さ30mmの孔明を行い、随時水供給を行った。また、支間方向中央4箇所には深さ40mmの孔明を行い、孔内に水を供給しその水位変化によって施工目地部および接着界面の剥離の発生の有無を確認した。試験環境を図.3に示す。

接着界面への水の浸入による疲労特性と接着剤効果を確認するため以下の供試体を作製した。

CASE-4：接着界面の額縁250mmに塗布

CASE-5：接着剤を全面に塗布

深さ40mmに孔明を行い強制的に接着界面への水の

浸入を行うために供試体上面に水張りを行った。各供試体の試験環境を図.4に示す。

全ケースの試験環境一覧表を表.3、供試体上面における孔明および水張り状況を図.5に示す。

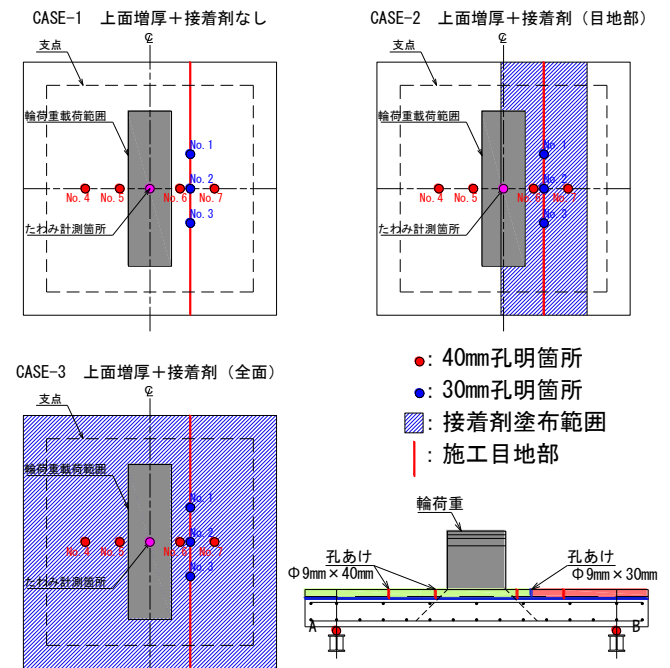


図.3 CASE-1, CASE-2, CASE-3試験環境

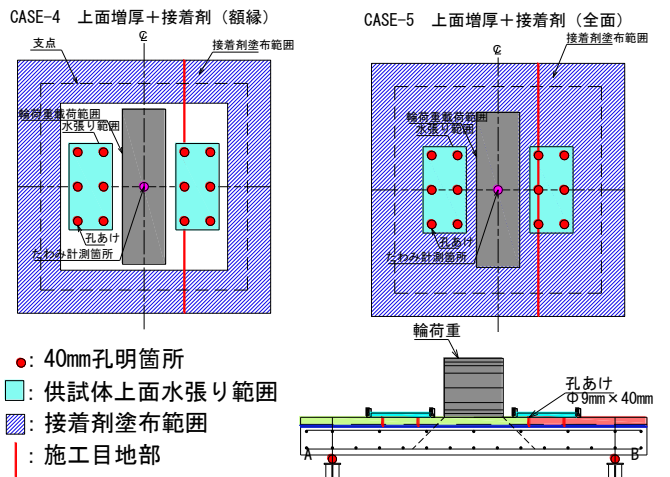


図.4 CASE-4, CASE-5試験環境



図.5 孔明および水張り状況

表.3 試験環境一覧表

検討ケース	上面増厚	施工目地	試験環境	接着剤塗布範囲
CASE-1	30mm	有り	水供給(孔あけ)	なし
CASE-2	30mm	有り	水供給(孔あけ)	目地部(500mm)
CASE-3	30mm	有り	水供給(孔あけ)	全面
CASE-4	30mm	有り	強制水供給(孔あけ)	額縁(250mm)
CASE-5	30mm	有り	強制水供給(孔あけ)	全面

3. 4実験方法および等価走行回数

(1) 載荷プログラム

輪荷重走行試験は、上面増厚補強床版に床版中央から両支点方向に450mmの範囲に輪荷重を繰返し走行させる。載荷荷重は、供試体寸法を実橋床版の1/2モデルとしたことから、設計活荷重は50kNであり、これに安全率1.2を考慮した60kNが設計基準荷重となる。そこで上面増厚補強床版には、この基準荷重を初期荷重とした60kNを載荷し、60kN、80kNは1万回ずつ走行させ、100kN以降は2万回ずつ走行させる。CASE-1からCASE-3では、最終的に供試体を切断し接着界面の剥離範囲を確認するために終局定義を押し抜きせん断破壊時とした。輪荷重走行試験毎のたわみ計測値を注視し、床版下面に押し抜きせん断によるずれが発生した時点で載荷終了とした。

(2) 等価走行回数

本実験における輪荷重走行疲労実験は、等価走行回数を算出して耐疲労性を評価する。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定する⁶⁾と式(1)で与えられる。補強されたRC床版の耐疲労性の評価は、過年度成果に合わせRC床版のS-N曲線の傾きの逆数 m は12.7を適用する。2)なお、基準荷重 P は60kNとする。

$$N_{ep} = \sum_{i=1}^n (P_i / P)^m \times n_i \quad (1)$$

ここで、

N_{ep} : 等価走行回数(回) P_i : 載荷荷重(kN)

P : 基準荷重(=60kN) n_i : 実験走行回数(回)

m : RC床版のS-N曲線の傾きの逆数(=12.7)

したがって、本試験における実験荷重と走行回数の関係から等価走行回数(N_{ep})を算出し、SFRC上面増厚RC床版、接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版の耐疲労性を評価する。

(3) たわみ計測

たわみ計測は、走行開始時、走行回数1回、10回、100回、1000回、5000回以降は走行回数5000回ごとに供試体中央に静的荷重を載荷させた際に生じる床版下面中央部のたわみを計測する。

4 実験結果

4. 1施工目地部の接着性の確認(水の浸入の有無)

CASE-1からCASE-3において、孔内に水を供給しその水位変化によって施工目地部および接着界面の剥離の発生の有無を確認した。孔内水位の低下により水は進入したと考えられる。しかし、図. 6のCASE-4の切断面に示す様に、接着界面に強制的に水を供給した場合、接着界面が剥離し砂利化が生じており、この結果と比較してCASE-1からCASE-3では施工目地部および接着界面の接着性に影響するほどの水が浸入しなかったと考えられる。

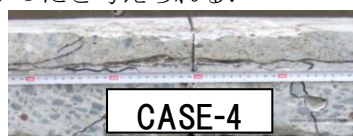


図. 6 直角方向断面

4. 2接着界面への水の浸入による疲労特性と接着剤効果の確認

(1) 等価走行回数結果

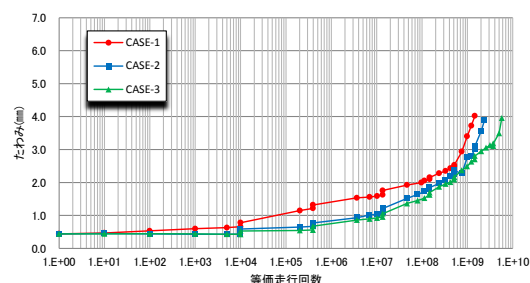
本実験における式(1)より算出した等価走行回数を表. 4に示す。接着界面への接着剤塗布の有無および水の供給方法の違いにより等価走行回数に差が確認された。

表. 4 等価走行回数結果

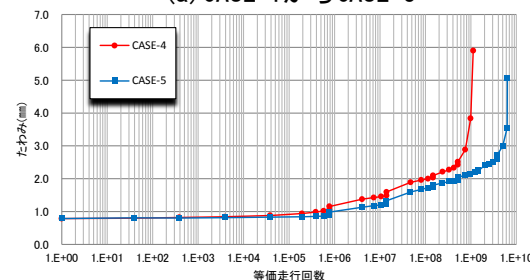
検討ケース	接着剤塗布範囲	試験環境	等価走行回数 (百万回)	等価走行回数比
CASE-1	なし	水供給(孔あけ)	1.471	1.00
CASE-2	目地部(50cm)	水供給(孔あけ)	2.366	1.61
CASE-3	全面	水供給(孔あけ)	5.831	3.96
CASE-4	額縁(25cm)	強制水供給(孔あけ)	1.026	0.70
CASE-5	全面	強制水供給(孔あけ)	6.308	4.29

(2) たわみ-等価走行回数

床版下面中央におけるたわみと等価走行回数の関係を図. 7に示す。塗布面積が大きいほど等価走行回数に対するたわみが小さくなっており、終局に至るまでの等価走行回数も接着剤の塗布範囲に比例してCASE-1からCASE-3の順に増加している。これは、剛性の違いにより生じたものと考えられ、接着剤により上面増厚部と既設床版が一体となっていると評価できる。CASE-4とCASE-5においても同様の結果となった。ここで、CASE-4、CASE-1を比較してみるとCASE-4では額縁に接着剤を塗布しているにもかかわらず接着剤を塗布していないCASE-1の等価走行回数を下回っている。これは、強制的に接着界面への水を供給したことにより等価走行回数が減少したと考えられる。



(a) CASE-1からCASE-3



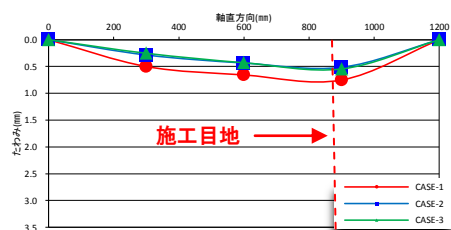
(b) CASE-4, CASE-5

図. 7 たわみ-等価走行回数

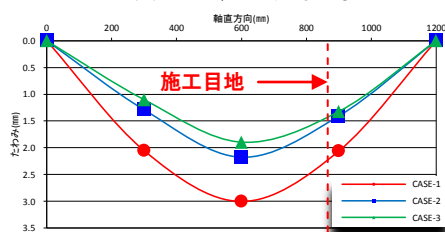
(3) 床版支間方向のたわみ

CASE-1からCASE-3において床版下面中央から床版支間方向に左右300mmにおいて、10,000回、100,000回走行時の床版支間方向のたわみを計測し、たわみ分布の確認を行った。図. 8にたわみ分布図を示す。

施工目地は左側支点から835mm(右側支点から365mm)にある。10,000回走行時、すなわち接着界面の剥離が生じていない段階では、上面増厚コンクリートが連続化されていない施工目地の床版剛性が小さいため、施工目地のたわみが大きく発生したものと考えられる。100,000回走行時では、支間中央に最大たわみが発生している。このことから載荷終期段階では、施工目地部と支間中央付近(剥離が進行している箇所)の剛性に差がなくなっており接着界面の剥離が進行していると考えられる。



(a) 10,000走行時



(b) 100,000走行時

図. 8 たわみ分布図

(4) 剥離範囲の確認

輪荷重走行試験終了後に、それぞれの供試体を切断し接着界面の剥離範囲の確認を行った。切断箇所は橋軸方向、橋軸直角方向のそれぞれ中央部を切断した。橋軸方向の剥離範囲は輪荷重走行区間で剥離し、すべてのケースにおいて同等の結果となった。橋軸直角方向の剥離範囲は、接着剤の塗布範囲により差が現れた。図. 9に各供試体の橋軸直角方向断面を示す。

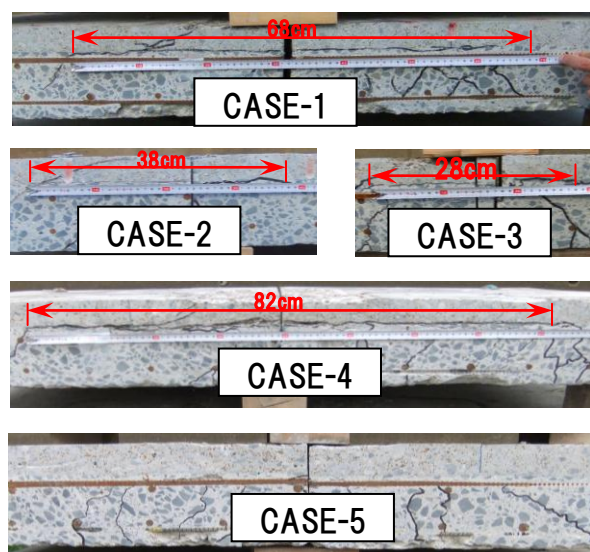


図. 9 橋軸直角方向断面

この結果から接着剤の塗布は接着界面の付着強度を増加させ剥離を遅延させ、塗布範囲が広いほどその効果があると考えられる。

CASE-4とCASE-5を比較してみるとCASE-4では接着界面が剥離し砂利化が生じているがCASE-5では生じていない。このことから接着剤の塗布は接着界面への水の浸入や剥離を抑制することができたと考えられる。

5 考察

- CASE-1, CASE-2, CASE-3の結果より施工目地からの水の浸入は定量的に確認できていないが水供給下においても接着剤の塗布は、その塗布範囲に比例して剥離時期を遅延させ、剥離範囲を縮小させる効果がある。そのため上面増厚床版の剛性低下の進展が遅くなり、疲労耐久性が向上する。
- CASE-4, CASE-5の結果より強制的に接着界面に水を供給した場合、接着界面が剥離し砂利化はするが接着剤を使用することで砂利化の時期が遅く範囲が小さくなり疲労耐久性は向上する。

6 今後の展望

- 実験床版の施工目地部は正曲げモーメントを受ける床版であり、増厚部は常に圧縮側となる。しかし、実橋では施工目地部と桁配置の関係から負曲げモーメントを受ける場合もある。そのため、施工目地が負曲げモーメントを受けることで目地部のひび割れが助長され、繰り返し外力を受けることで、目地部の接着境界にひび割れが生じる。その結果施工目地を起点とした水の浸入がはじまり新旧コンクリート界面の剥離が促進されることが考えられる。以上のことから、施工目地部に負曲げモーメントを発生させ、施工目地部からの水の浸入過程を確認することが必要である。
- 本実験で用いた供試体は、接着塗布範囲による疲労耐久性への影響を確認する目的であったため既設床版に予備載荷を行っていない。そのため新旧コンクリートの剛性の差が実橋床版と異なる。そのためより実橋に近い供試体を用いて接着剤の影響を確認する必要がある。

7 参考文献

- 1) 首都高速道路(株)：橋梁構造物設計施工要領，(2008)
- 2) (株) 高速道路総合技術研究所：設計要領 第二集 橋梁建設編 橋梁保全編，(2011)
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，(2004)
- 4) (財) 高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル，(1995)
- 5) 西日本高速道路(株)：超早強コンクリートによる上面増厚工法 設計・施工の手引き，(2008)
- 6) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，(2007)。