

鋼橋床版更新への FRP の適用に関する検討

— FRP の活用による PC 床版の高耐久化 —

酒井 秀昭*

国内の橋梁は、高度経済成長期から急速に整備されており、経年化による劣化が顕在化している。このため高速道路会社においては、2015年3月に橋梁の大規模更新や大規模修繕を事業化しており、劣化が進行した鋼橋の鉄筋コンクリート床版は、耐久性が高く工期の短縮が可能なプレキャストのプレストレストコンクリート床版に取り替えることが決定された。

プレストレストコンクリート床版に更新された場合は、道路橋示方書に示されている100年の設計供用期間を、一般の環境下においては満足する構造物の構築が可能である。しかしながら、海岸地域や凍結防止剤として塩化ナトリウムを大量に散布する積雪寒冷地においては、設計供用期間中に塩害による鋼材の腐食により性能が低下して、所定の機能を満足できないケースも想定される。本文においては、現在施工されている鋼材を用いた更新用の床版の塩化物イオンによる塩害の影響について試算するとともに、対象となる更新床版への繊維強化ポリマーの適用範囲について検討を行った。

キーワード：更新、PC床版、FRP、塩害、プレキャスト

1. はじめに

都市間高速道路、都市内高速道路などの構造物の大規模修繕と更新の必要性が近年認識され、具体的な対策が進められている。橋梁では経年供用による劣化が顕在化しているものもあり、とくに鋼桁橋の鉄筋コンクリート（以下、「RC」という）床版の劣化が顕著である。これに対して、プレキャストのプレストレストコンクリート（以下、「PC」という）床版の高耐久性が評価され、これによる更新工事が実施中である¹⁾。鋼橋の劣化が進行したRC床版をプレキャストPC床版に更新する事業（以下、「床版更新事業」という）のための計画・設計・施工および維持管理方法については、(公社)プレストレストコンクリート工学会（以下、「PC工学会」という）において、2016年3月に「更新用プレキャストPC床版技術指針」²⁾（以下、「更新床版技術指針」という）が策定されている。また、技術指針を補完する具体的なプロセスを盛り込んだ設計・施工の要領として、2018年3月に「プレキャストPC床版による道路橋更新設計施工要領」³⁾（以下、「更新床版設計施工要領」という）が策定されている。

都市間高速道路会社においては、床版更新事業を実施中であり^{4,5)}、とくに塩害による影響が大きい箇所においては、塩化物イオンによる鋼材腐食の抑制が可能なエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用や、コンクリートの塩化物イオン濃度に対する拡散係数の低下が可能な高炉スラグ微粉末などの混和材の使用が実施されている。しかしながら、既設鋼橋のRC床版の全塩化物イオン濃度分布の調査結果からは、コンクリート表面の塩化物イオン濃度が 10 kg/m^3 を超える箇所もあり⁵⁾、エポキシ樹脂塗装鉄筋や高炉スラグ微粉末の使用のみでは、設計供用期間中の鋼材の腐食を防止する

ことが困難なケースも想定される。また、床版にひび割れが発生する場合は、塩化物イオンがひび割れから侵入し鋼材位置での塩化物イオン濃度が上昇することも想定される。

更新床版技術指針においては、コンクリートの配合や材料および鋼材の防錆による対策を行った場合でも鋼材腐食に対する照査結果から鋼材腐食が生じる場合は、繊維強化ポリマー（“Fiber Reinforced Polymers”以下、「FRP」という）の補強材（鉄筋の代替）や緊張材（緊張材の代替）を用いることとしている。しかしながら、FRPのPC橋への適用は、一般の鋼材に比べて高価であることなどから、その事例がきわめて少なくなっており、床版更新事業へFRPを適用するためには、その適用範囲や経済性を明らかにする必要がある。

本文においては、床版更新事業で実施されているプレキャストPC床版を対象に、鋼材とFRPの適用範囲や経済性について検討を行ったものである。

2. プレキャストPC床版の構造

床版更新事業の床版は、工場で橋軸直角方向にプレテンション方式によりプレストレスを導入したプレキャストPC床版が用いられ、図-1に示すように現場で架設され一体化される。プレキャストPC床版の橋軸方向の幅は、一般に運搬の制限により決定され、概ね2.0m程度となる。交通量が多く床版幅全幅での交通規制が困難な場合は、交通を一部通行させながら橋軸方向に分割して施工せざるを得ない場合もある。この場合は、プレキャストPC床版を橋軸方向に分割して製作し、現場で橋軸直角方向の一体化が可能な構造とする必要がある。プレキャストPC床版の橋軸方向の接合は、図-2に示すようにRC構造としてループ鉄筋継手とする方法が標準的に採用されている³⁾。

* Hideaki SAKAI：中日本高速道路(株) 技術・建設本部

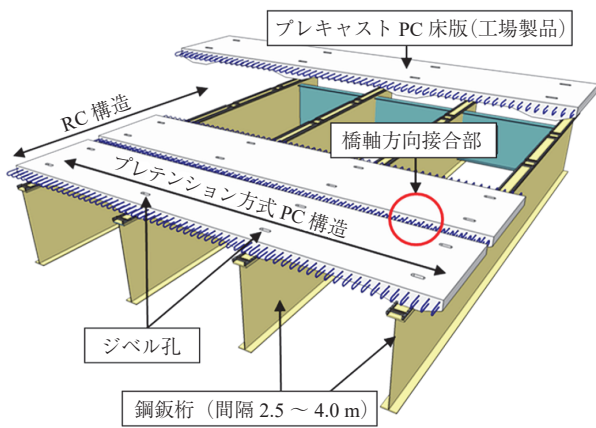


図 - 1 プレキャスト PC 床版の標準的な構造の例

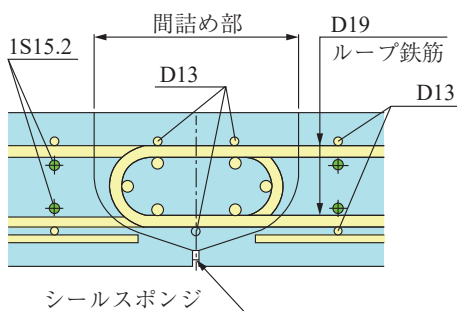


図 - 2 橋軸方向接合部の例 (RC ループ継手)

3. プレキャスト PC 床版の塩害の影響について

3.1 検討方法

プレキャスト PC 床版の塩害の影響については、更新床版設計施工要領を参考に以下に示す方法により検討を行った。

塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査は、式(1)に示すように、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d の鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} に対する比に構造物係数 γ_i を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行う。 γ_i は、1.0 とする。

$$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0 \quad (1)$$

ここに、 C_{lim} (kg/m^3) は、早強ポルトランドセメントを用いる場合は式(2)で、高炉スラグ微粉末を結合材の 50% 使用する場合は高炉セメント B 種相当として式(3)を、同様にフライアッシュを結合材の 15% 使用する場合はフライアッシュセメント B 種相当として式(3)を用いて算定する。

$$C_{lim} = -2.2 (W/C) + 2.6 \quad (2)$$

$$C_{lim} = -2.6 (W/C) + 3.1 \quad (3)$$

鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d は、普通鉄筋を用いる場合は式(4)で、エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる場合は式(5)で算定する。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{(D_d \cdot t)}} \right) \right\} + C_i \quad (4)$$

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{c_d}{\sqrt{D_d}} + \frac{c_{ep}}{\sqrt{D_{epd}}} \right) \right) \right\} + C_i \quad (5)$$

ここに、 C_0 : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)。

t : 塩化物イオン濃度に対する耐用年数 (年)。

γ_{cl} : C_d のばらつきを考慮した安全係数で 1.3 とする。

D_d : 塩化物イオンの侵入に対する設計拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$) でひび割れが発生しない場合は式(6)で算定する。

$$D_d = \gamma_c \cdot D_k \quad (6)$$

γ_c : コンクリートの材料係数で、床版上面なので 1.3 とする。

D_k : コンクリートの塩化物イオン濃度に対する拡散係数の特性値 ($\text{cm}^2/\text{年}$) で、早強ポルトランドセメントを用いる場合は普通ポルトランドセメントと大きな差異はないため³⁾ 普通ポルトランドセメントの推定式(7)を準用し、高炉スラグ微粉末を結合材の 50% 使用する場合は高炉セメント B 種相当として式(8)を、同様にフライアッシュを結合材の 15% 使用する場合はフライアッシュセメント B 種相当として式(9)を用いて算定する。

$$\log_{10} D_k = 3.0 (W/C) - 1.8 \quad (7)$$

$$\log_{10} D_k = 3.2 (W/C) - 2.4 \quad (8)$$

$$\log_{10} D_k = 3.0 (W/C) - 1.9 \quad (9)$$

D_{epd} : エポキシ樹脂塗装内への塩化物イオンの侵入を拡散現象と見なした場合の塩化物イオンの侵入に対する見掛けの拡散係数の設計用値 ($\text{cm}^2/\text{年}$) で、 $2.0 \times 10^{-6} \text{cm}^2/\text{年}$ とする。

c_d : かぶりの設計値 (mm)。

c_{ep} : エポキシ樹脂塗装の厚さの最小値あるいは保証値 (mm) で $180 \mu\text{m}$ とする。

C_i : 初期塩化物イオン濃度 (kg/m^3) で、 $0.3 \text{kg}/\text{m}^3$ とする。

検討にあたっては、プレキャスト PC 床版のかぶりの設計値を 35mm とする。水セメント比 (水結合材比) は、コンクリートの設計基準強度が一般に 50MPa であり、水セメント比は一般に $0.35 \sim 0.40$ 程度であるので、 0.4 とする。セメント種別としては、早強セメントを結合材として用いるケース、早強セメントの 50% を高炉スラグ微粉末に置換して結合材として用いるケース、早強セメントの 15% をフライアッシュに置換して結合材として用いるケースの 3 種類とした。

3.2 鋼材腐食発生限界濃度および設計拡散係数

早強セメントを結合材として用いるケース（ケース N）、早強セメントの 50% を高炉スラグ微粉末に置換して結合材として用いるケース（ケース B）について、早強セメントの 15% をフライアッシュに置換して結合材として用いるケース（ケース F）について鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} を式 (2) および (3) を用いて、設計拡散係数 D_d を式 (6), (7), (8) および (9) を用いて算定すると表 - 1 のとおりとなる。

表 - 1 鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} および設計拡散係数 D_d

ケース	使用結合材	C_{lim} (kg/m ³)	D_d (cm ² /年)
N	早強セメント	1.72	0.326
B	早強セメント + 高炉スラグ	2.06	0.0985
F	早強セメント + フライアッシュ	2.06	0.260

表 - 1 からわかるように、早強セメントの 50% を高炉スラグ微粉末に置換して結合材として用いるケース B および早強セメントの 15% をフライアッシュに置換して結合材として用いるケース F においては、早強セメントのみを結合材として用いるケース N と比較して鋼材腐食発生限界濃度が大きくなり、設計拡散係数が減少することから、早強セメントのみのケース N に比べて、塩化物イオンの侵入に対しては耐久性が増大することがわかる。

3.3 ひび割れを考慮しない場合の塩化物イオンの鋼材腐食に対する照査

凍結防止剤を多く散布する地域や海岸部に近接し飛来塩分量が多い地域の更新床版においても、設計供用期間中 (100 年) に塩害に起因して鋼材が腐食しない性能を有する必要がある。この性能を評価するため、ひび割れが発生しないことを前提として、防錆処理をしていない普通鉄筋とエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した場合について、鋼材腐食が生じないコンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_0 の限界値を式 (4) および (5) を用いて算定した結果を表 - 2 に示す。

表 - 2 塩化物イオン濃度 C_0 の限界値 (ひび割れ無)

ケース	使用結合材	C_0 の限界値 (kg/m ³)	
		普通鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋
N	早強セメント	1.64	6.00
B	早強セメント + 高炉スラグ	3.14	14.8
F	早強セメント + フライアッシュ	2.16	8.16

中央自動車道、北陸自動車道、名神高速道路の凍結防止剤散布地域の平成 27 年度から平成 28 年度に実施した 212 橋 1 209 個の全塩化物イオン量調査結果によれば、床版コンクリート表面の塩化物イオン濃度 C_0 は、平均値 1.11 kg/m³、標準偏差 1.26 kg/m³ となっている⁶⁾。NEXCO 中日本においては、このデータを標準偏差の 3 倍までのばらつきを考慮して算定すると 4.88 kg/m³ となるので、全塩化物イオン量の調査が未実施な場合は、コンクリート表面の塩化物イオン濃度 C_0 を 5 kg/m³ として塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査を実施することとしている⁶⁾。

したがって、NEXCO 中日本が管理する橋梁床版においては、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用すれば、早強セメントのみを使用した場合においても、凍結防止剤に起因する塩害が生じる可能性はきわめて低い。

しかし、コンクリート表面の塩化物イオン濃度が 10 kg/m³ を超える箇所もある⁵⁾ ことから、エポキシ樹脂塗装鉄筋の使用に加えて高炉スラグ微粉末などの混和材を併用することが望ましい。

3.4 ひび割れを考慮する場合の塩化物イオンの鋼材腐食に対する照査

床版更新事業においては、プレテンション工法により橋軸直角方向を PC 構造として、橋軸方向を RC 構造としている。これは、工期の短縮、橋軸方向への PC 鋼材の配置に伴う床版厚の増加による死荷重の増大の抑制、工事費の削減を図ることを目的としている。したがって、橋軸直角方向は、プレストレスによる圧縮力によりひび割れの発生を抑止することが可能であるが、橋軸方向は RC 構造のため、コンクリートの収縮やセメントの水和に起因するひび割れや活荷重によるひび割れが発生する可能性がある。とくに、図 - 3 に示す床版相互の橋軸方向の接合部は、接合部のコンクリートがプレキャスト PC 床版架設後に施工されるため、コンクリートの収縮や活荷重によりひび割れが発生する可能性がある。また、図 - 4 に示す連続桁の中間支点近傍は、活荷重により負の曲げモーメントが作用し、鋼桁と床版とが合成桁と同様な挙動を示すため、床版全体に引張応力が作用してひび割れが発生する可能性がある。

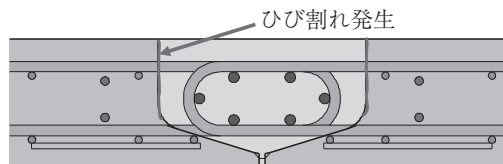


図 - 3 床版相互の橋軸方向接合部

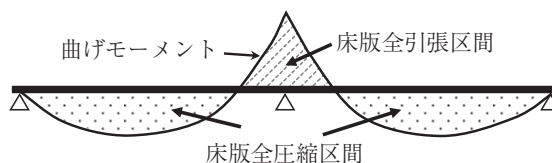


図 - 4 中間支点近傍の負の曲げモーメント区間

更新床版設計施工要領によれば、床版上面にひび割れが発生する場合は、式 (4) および (5) に示した Fick の第 2 法則に基づく拡散方程式の解による推定は現実的ではないとの意見がある。これを考慮して本研究では、橋軸方向にプレストレスを導入していない床版の床版相互の橋軸方向の接合部および主桁作用によりひび割れが発生する連続桁の中間支点近傍について、コンクリート表面から塩化物イオンがひび割れに沿って侵入し、コンクリート表面の塩化物イオン濃度と鉄筋表面（エポキシ樹脂塗装鉄筋においてはエポキシ樹脂表面）の塩化物イオン濃度とが同一となると仮定して、鋼材腐食が生じないコンクリート表面における

塩化物イオン濃度 C_0 の限界値を求めることとした。 C_0 の限界値は、式(4)および(5)を用いて c_d を0として算定した。算定結果を表 - 3 に示す。

表 - 3 塩化物イオン濃度 C_0 の限界値 (ひび割れ有)

ケース	使用結合材	C_0 の限界値 (kg/m ³)	
		普通鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋
N	早強セメント	1.02	2.98
B	早強セメント+高炉スラグ	1.35	3.68
F	早強セメント+フライアッシュ	1.35	3.68

表 - 3 からわかるように、床版上面にひび割れが発生する場合は、本研究の仮定によれば、塩化物イオン濃度 C_0 の限界値が大幅に低下し、鋼材が腐食する可能性が増大するため、FRP やステンレス鋼材などの塩化物イオンに対して高い耐久性を有する材料を使用する必要がある。

4. FRP の活用による更新床版の高耐久性

4.1 FRP について

橋梁で鉄筋(補強材)の代替として使用実績がある主な FRP としては、ガラス繊維強化ポリマー (GFRP)、アラミド繊維強化ポリマー (AFRP)、炭素繊維強化ポリマー (CFRP) などがあるが、PC 鋼材(緊張材)の代替として可能なものとしては AFRP および CFRP がある。本研究においては、CFRP は導電性があるため、鋼と混合して使用すると電気化学的腐食が発生するおそれが高いので、鋼と混合して使用することが可能な非導電性の AFRP を検討対象とした。コンクリート用の AFRP は、図 - 5 に示すようにアラミド繊維を組紐状に編み、ポリマーで硬化した補強材および緊張材である。

FRP のコンクリート構造物への適用に関する国内規準としては、「連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針(案)」⁷⁾(土木学会)があり、PC 工学会においても、「連続繊維補強材の PC 構造物への適用に関する委員会」において現在審議中である。

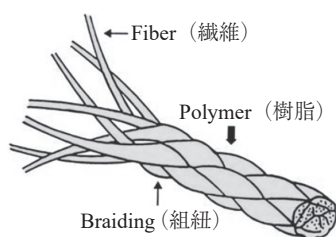


図 - 5 AFRP ロッド

4.2 AFRP の更新床版への適用

AFRP は、鉄筋および PC 鋼材に比べて高価であるため、床版更新事業への適用にあたっては、以下に示す 3 案が考えられる。

- ① 接合部の鉄筋およびループ鉄筋を AFRP で代替
- ② すべての鉄筋を AFRP で代替
- ③ すべての鉄筋および PC 鋼材を AFRP で代替

4.3 AFRP を更新床版へ適用した場合の工費比較

既往の施工事例から、AFRP を床版更新事業へ適用する場合のコストの例は表 - 4 に示すとおりとなる。全体工事費は施工箇所等の条件により大きく変化するが、工費比較にあたっては、既往の発注工事の費用を参考に、全体の工事費を床版更新事業の対象となる床版面積で除して、床版 1 m² あたりの費用で比較した。表 - 4 に示すとおり、床版の費用は大きく増加するが、全体工事費では最大でも 2 割程度の増加となる。したがって、設計供用期間中に、塩化物イオンに起因して鋼材が腐食する場合で、供用中にさらなる床版の更新が必要となる場合は、FRP の適用について検討する必要があるものと思われる。

表 - 4 AFRP を適用した場合の工費比較

適用方法	工事費 (千円/m ²)	比率
すべて鋼材	520	1.00
接合部鉄筋を AFRP で代替	550	1.06
すべての鉄筋を AFRP で代替	610	1.17
全鉄筋・PC 鋼材を AFRP で代替	640	1.23

4.4 AFRP を更新床版へ適用した場合のライフサイクルコストの比較

AFRP を床版更新事業へ適用した場合の初期費用(現時点での工費)については、表 - 4 に示したとおり FRP を適用した場合には大幅に増加するためその採用は困難である。しかし、設計供用期間を 100 年とした場合のライフサイクルコストでは、鋼材の腐食に起因して供用中に床版の再更新が必要となる場合は、AFRP を適用した場合のほうが安価となる可能性がある。このため、本研究においては、下記の条件でライフサイクルコストの比較をおこなった。ライフサイクルコストの比較を表 - 5 に示す。

- ① 再更新が必要な場合は、再更新時の費用を金利や建設費の上昇を考慮して、現時点での価格に換算して比較する。
- ② 供用中の維持管理費(点検などの費用)については、すべてのケースで同一と仮定し、費用比較から除外する。
- ③ 現時点での価格に換算する際の金利および建設費の上昇率については、過去の推移を考慮して、おのおの 4% および 2% に仮定した。
- ④ 再更新が設計供用期間中に 1 回必要な場合は、当初の更新から 50 年後に、2 回必要な場合は、当初の更新から 33 年後および 66 年後に再更新を実施すると仮定した。
- ⑤ 鋼材の一部またはすべてを FRP で代替した場合は、設計供用期間中に再更新が不要であると仮定した。
- ⑥ ライフサイクルコストの比較にあたっては、すべて鋼材を用いて現時点で更新する費用を 1 としてその比率で表した。

表 - 5 からわかるように、厳しい腐食性環境下で塩化物イオンに起因して設計供用期間中に鋼材が腐食して床版の再更新が必要となる場合は、AFRP を適用して設計供用期間中に再更新が必要とならない場合に比較してライフサイクルコストが増加する。したがって、塩化物イオンに起

因して設計供用期間中に鋼材が腐食して床版の再更新が必要となる場合は、FRPなどの塩化物イオンに対して高耐久性を有する補強材や緊張材の適用を検討する必要があるものと推察される。

表 - 5 ライフサイクルコストの比較

適用方法	更新費	再更新	
		1回	2回
すべて鋼材	1.00	1.37	1.79
接合部鉄筋をAFRPで代替	1.06	-	-
すべての鉄筋をAFRPで代替	1.17	-	-
全鉄筋・PC鋼材をAFRPで代替	1.23	-	-

5. 鉄筋（補強材）の使用区分

5.1 ひび割れを考慮しない場合の鉄筋（補強材）の使用区分

前述までの塩化物イオンの鋼材腐食に対する照査検討をもとに、床版にひび割れが発生しない場合の鉄筋（補強材）の使用区分についてとりまとめると図 - 6のとおりとなる。ただし、図 - 6は、プレキャストPC床版かぶりの設計値を35mmとし、水セメント比（水結合材比）を0.4として算定した。セメント種別としては、早強セメントを結合材として用いるケース、早強セメントの50%を高炉スラグ微粉末に置換して結合材として用いるケース、早強セメントの15%をフライアッシュに置換して結合材として用いるケースの3種類とした。

使用結合材	表面塩化物イオン濃度 C_0 kg/m ³									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
早強セメント	鉄筋	エポキシ樹脂	FRP等							
早強セメント+高炉スラグ	鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋								
早強セメント+フライアッシュ	鉄筋	エポキシ樹脂塗装鉄筋	FRP等							

図 - 6 ひび割れを考慮しない場合の補強材の使用区分

図 - 6からわかるように、床版にひび割れが発生しない場合においても、塩化物イオンによる鋼材腐食のおそれがある橋梁については、エポキシ樹脂塗装鉄筋や必要に応じてFRPなどの補強材を使用する必要がある。

5.2 ひび割れを考慮する場合の鉄筋（補強材）の使用区分

前述までの塩化物イオンの鋼材腐食に対する照査検討をもとに、図 - 3に示した床版相互の橋軸方向の接合部や図 - 4に示した連続桁の中間支点近傍などのように、床版にひび割れが発生する可能性がある場合の鉄筋（補強材）の使用区分についてとりまとめると図 - 7のとおりとなる。

図 - 7からわかるように、床版にひび割れが発生する場合は、コンクリート表面の塩化物イオン濃度が比較的低

い箇所においても、塩化物イオンによる鋼材腐食のおそれがあるので、エポキシ樹脂塗装鉄筋や必要に応じてFRPなどの補強材を使用する必要がある。

使用結合材	表面塩化物イオン濃度 C_0 kg/m ³									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
早強セメント	鉄筋	エポキシ	FRP等							
早強セメント+高炉スラグ	鉄筋	エポキシ	FRP等							
早強セメント+フライアッシュ	鉄筋	エポキシ	FRP等							

図 - 7 ひび割れを考慮する場合の補強材の使用区分

6. まとめ

本研究は、床版更新事業で実施されているプレキャストPC床版を対象に、鋼材とFRPの適用範囲や経済性について検討を行ったものである。本研究の検討結果は、以下のとおりである。

- 1) 更新床版技術指針を参考に、床版更新事業で施工されている標準的なプレキャストPC床版を対象として、設計供用期間中（100年）に鋼材が腐食しないコンクリート表面の塩化物イオン濃度 C_0 の限界値を算定した結果より、早強セメントの50%を高炉スラグ微粉末に置換して結合材として用いる場合および早強セメントの15%を高炉スラグ微粉末に置換して結合材として用いる場合は、既往の研究成果⁸⁾と同様に、早強セメントのみを結合材として用いる場合と比較して塩化物イオンの侵入に対して耐久性が増大することが確認された。
- 2) 更新床版技術指針を参考に、床版相互の橋軸方向の接合部や連続桁の中間支点近傍などのひび割れが発生する可能性が高い床版について、ひび割れの発生を考慮して設計供用期間中に鋼材が腐食しないコンクリート表面の塩化物イオン濃度 C_0 の限界値を算定した結果によれば、ひび割れの発生により凍結防止剤散布地域の橋梁床版は、塩化物イオンの侵入によりエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用したとしても、鋼材が腐食する可能性がある。
- 3) 床版更新事業に使用されるPC床版の鉄筋やPC鋼材の代替としてAFRPを用いた場合の工費の試算結果によれば、設計供用期間中に鋼材の腐食が発生して床版の再更新が必要となる場合は、AFRPを使用して床版の再更新を必要としない場合にくらべてライフサイクルコストが増大する。したがって、床版中の鋼材が腐食するような厳しい腐食性環境下においては、FRPを積極的に使用することによりライフサイクルコストの削減を図ることができるものと推察される。
- 4) 前述のFRPの床版への適用にあたっては、図 - 5および図 - 6に示したように、対象となる床版ごとに補強

材の使用区分を明らかにすることにより、耐久性の向上やライフサイクルコストの削減が可能となるものと推察される。

7. おわりに

都市間高速道路の鋼橋 RC 床版の劣化要因としては、塩化物イオンによる鋼材の腐食がもっとも大きな要因となっている。このため、高速道路会社においては、床版更新事業で採用されている PC 床版に、高炉スラグ微粉末などの混和材やエポキシ樹脂塗装鉄筋などを用いて、塩害に対する耐久性を向上させるための対策が取られている。しかし、調査結果によればこれらの対策でも鋼材が腐食するような塩化物イオンが供給されている箇所もあることから、さらなる対策を検討する必要がある。

AFRP や CFRP のコンクリート構造物への適用については、土木学会において 1996 年に規準化されており、海外においてもアメリカやカナダにおいて規準化^{9, 10)}されている。しかし、FRP の PC 構造物への適用はきわめて少ないのが現状である。この要因としては、FRP が一般の鋼材に比べて高価であることから、建設費が増大することが最大の要因と考えられる。床版更新事業においては、床版本体の費用に比べて、既設床版の撤去費や交通規制費などが多くかかること、床版の更新中は交通規制が必要となり渋滞による社会的影響や経済的影響も増大することなどから、設計供用期間中に床版の再更新が生じない高い耐久性が望まれている。

FRP を床版に適用した場合は、塩化物イオンによる鋼材の腐食が生じないため高い耐久性を付与することが可能となる。また、本研究で示したライフサイクルコストの比較によれば、設計供用期間中に床版の再更新が必要となるような環境下においては、FRP を用いた場合には鋼材を用い

た場合よりライフサイクルコストの低減が可能となることが示された。したがって、FRP を適用した床版の性能が適正に評価され、床版更新事業において高耐久な床版が構築されることが必要と思われる。

最後に、本研究の工費の比較にあたって資料を提供して頂いたファイベックス株式会社代表取締役近藤真一氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路株式会社：東・中・西日本高速道路の更新計画について、2015.3
- 2) プレストレストコンクリート工学会：更新用プレキャスト PC 床版技術指針、2016.3
- 3) プレストレストコンクリート工学会：プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領、2016.3
- 4) 広瀬、萩原、本間、長田、芦塚：高速道路における更新事業の取組み、第 45 回 PC 技術講習会、プレストレストコンクリート工学会、pp45-66、2017.6
- 5) 池田、酒井、寺田、渋谷：PC 橋の維持管理の規準に関する PC 工学会の取組み、第 45 回 PC 技術講習会、プレストレストコンクリート工学会、pp95-116、2017.6
- 6) 若林 大：更新床版の凍結防止剤による塩害に対する照査方法、プレストレストコンクリート、Vol60、No.1、pp51-55、2018.1.
- 7) 土木学会：連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）、コンクリートライブラリー 88、1996.9.
- 8) 土木研究所：低炭素型セメント結合材の利用技術に関する共同研究報告書（Ⅱ）－混和材を用いたプレストレストコンクリート橋の設計・施工マニュアル、共同研究報告書整理番号 472 号、2016.1.
- 9) ACI : Prestressing Concrete Structures with FRP Tendons, American Concrete Institute, 2011.
- 10) CSA : Design and Construction of Building Structures with Fibre-Reinforced Polymers, Canadian Standards Association, 2012.

【2018 年 9 月 7 日受付】



新刊案内

プレキャスト PC 床版による道路橋更新設計施工要領

2018 年 3 月

定 価 8,000 円／送料 300 円
 会員特価 6,000 円／送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会