

2 検討対象構造物

本検討では、検討対象構造物として「海上部及び海岸線から100mまで」の位置に建設されるプレテンション方式単純床版橋を想定しました。以下に想定した橋梁の諸元を示します。

- ・橋 種：プレテンション方式単純床版橋
- ・橋 長：20.76m
- ・幅 員：8.2m
- ・橋 格：B活荷重
- ・塩害対策：対策区分S
 - ①一般の鉄筋、PC鋼材を用いる場合
一般の鋼材の純かぶりを70mmとし、コンクリート塗装を併用する。
 - ②FRP補強材と一般のPC鋼材を併用する場合
FRP補強材の純かぶりを35mmとし、コンクリート塗装は適用しない。
一般のPC鋼材は100年経過時に塩化物イオン濃度が発錆限界以下となる位置に配置する。

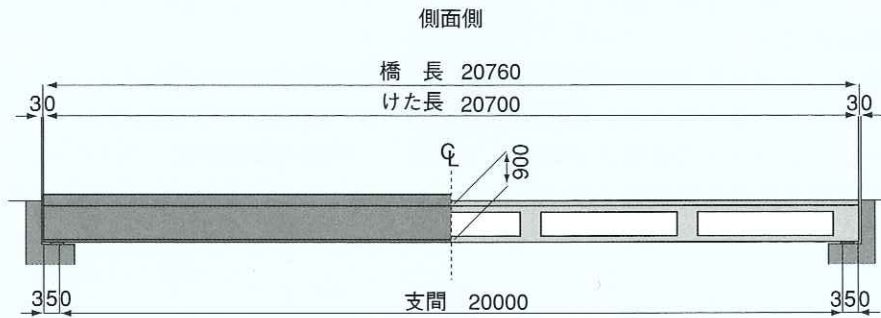


図-1 橋梁一般図（側面図）

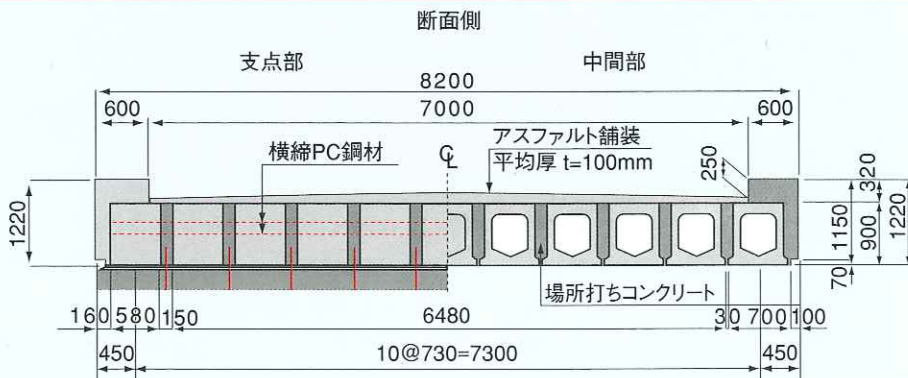
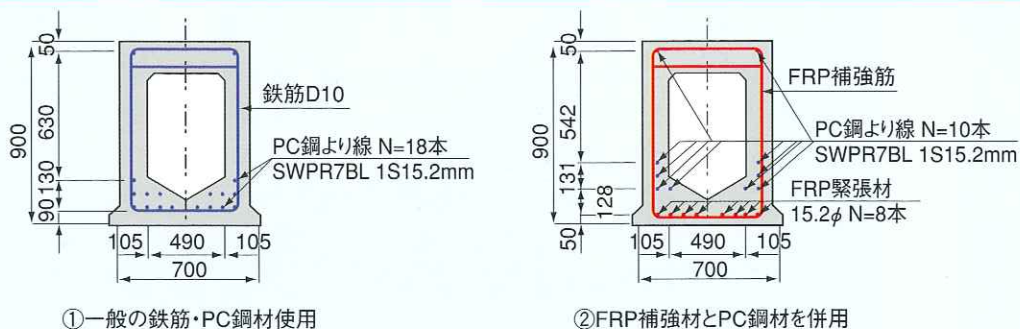


図-2 橋梁一般図（断面図）



①一般の鉄筋・PC鋼材使用

②FRP補強材とPC鋼材を併用

図-3 桁断面図

3 劣化予測

補強鋼材の腐食を促進する因子は、塩害と中性化が考えられますが、重要土木構造物に適用されるコンクリートの水セメント比は50%以下と推定されますので、コンクリート標準示方書にしたがい中性化の検討は省き、劣化因子として塩害を対象としました。

LCCの検討を行う場合には図-4のような劣化進行過程を想定し、劣化の進行に応じた補修・補強等の対策費用を考慮することが一般ですが、今回の検討では新設の予防保全工法を対象としたため、これらの対策費用は考慮しないものとしてしました。

最も塩害の影響が激しい区分Sの対策は、かぶりの最小値を70mmとしてコンクリート塗装を併用することが一般的であり、これによって鋼材位置の塩化物イオン濃度が発錆限界を超えないものと考えられます。これに対し、FRP補強材と一般のPC鋼材を併用してコンクリート塗装を施さない場合には、塩化物イオンがコンクリート内部に侵入するため、一般のPC鋼材は塩化物イオン濃度が発錆限界を超える位置を避けて配置する必要があります。この位置を求めるため、塩化物イオンの拡散予測を「【2001制定】コンクリート標準示方書【維持管理編】」を参照して行った結果、100年経過時の発錆限界深さは170mmとなることがわかりました。よって、桁下面より170mmの位置には一般のPC鋼材は配置しないものとしています。

下記の解析条件で得られた塩化物イオン濃度分布の経年変化を図-5に示します。

■解析条件

- コンクリート表面塩化物イオン濃度 $C_0 = 13.0 \text{ kg/m}^3$
- 初期含有塩化物イオン濃度 $C(x, 0) = 0.3 \text{ kg/m}^3$
- コンクリートの水セメント比 $W/C = 36\%$
- 腐食発生限界塩化物イオン濃度 $C_{cr} = 1.2 \text{ kg/m}^3$

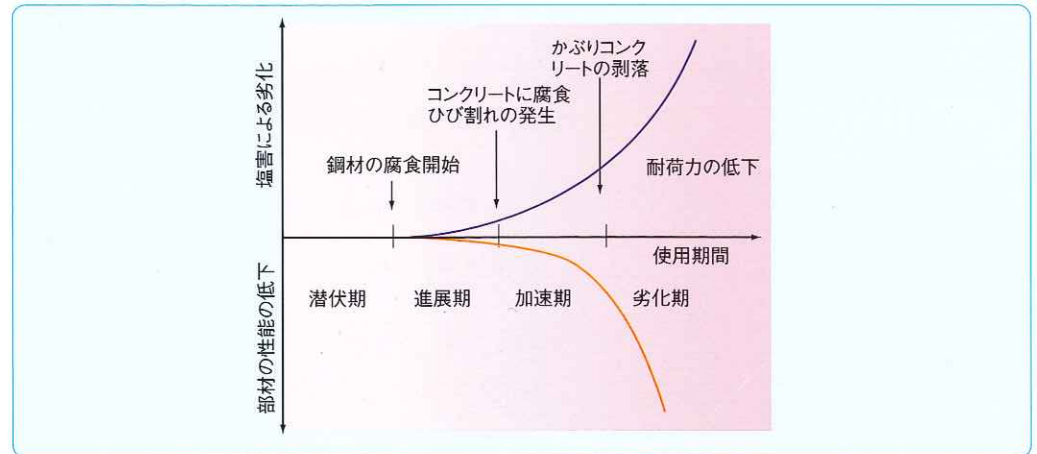


図-4 塩害による劣化進行過程

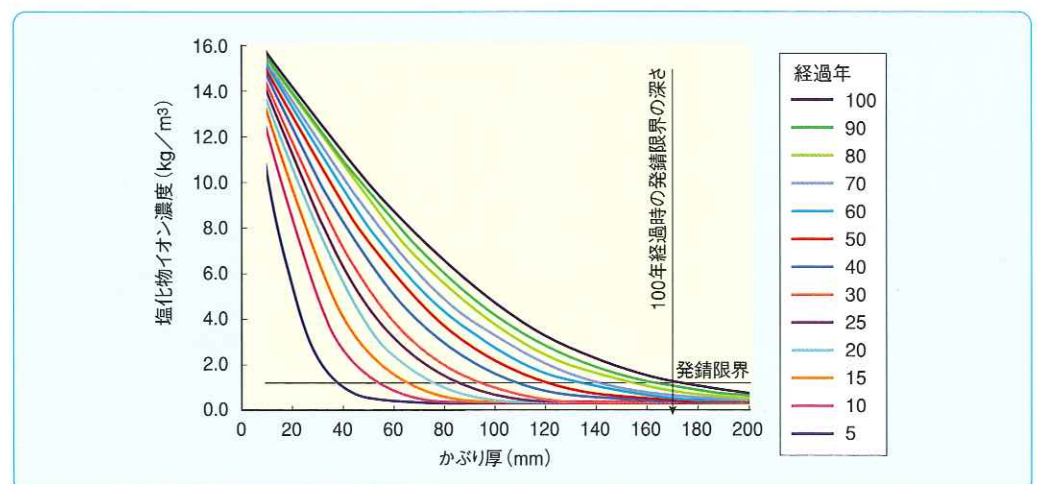


図-5 塩化物イオン濃度分布の経年変化の解析結果

4 検討ケース

今回の見直しでは以下の3ケースについて検討を行いました。

(図-6 対策と維持管理のシナリオ参照)

Case-1 一般的な塩害対策区分Sの橋梁（かぶり70mm、コンクリート塗装併用）

一般的な塩害対策区分Sの橋梁とは、70mmのかぶりを確保してコンクリート塗装を併用したもので、塩害対策区分Sにおける標準的な対策工法です。この場合の主桁断面を図-3の「①一般の鉄筋・PC鋼材使用」に示します。コンクリート塗装は経年劣化が避けられないため定期的な維持管理が必要であり、ここでは5年ごとの定期点検と16年ごとの表面再塗装を想定しました。表面再塗装を行う場合には部分的な断面修復も合わせて行うものとしています。

Case-2 FRP補強材を用いる橋梁

FRP補強材を用いる橋梁とはFRP補強材と一般のPC鋼材を併用したもので、かぶり増やコンクリート塗装などの対策は必要がなく、鋼材配置は塩害対策を行わない場合と同じ位置とすることを基本としました。ただし、前回の検討において最も経済的であったFRP補強材を用いた場合でも、初期建設費が一般的な工法の1.6倍程度と割高感が否定できなかったため、今回の検討においてはFRP緊張材の合理的な使用を追求することとしました。その結果最下段のPC鋼材のみFRP緊張材に置き換え、その他のものについては100年後に塩化物イオン濃度が発錆限界以上となる部分（主桁下縁より170mmの範囲、図-5参照）を避けて配置するものとししました。このことにより、FRP緊張材の使用量を低減することが可能となり、初期建設費のコストダウンを実現することができました。本ケースのシナリオでは予期せぬ劣化に備えて10年ごとの点検を行うものとしています。

Case-3 電気防食を施す橋梁

電気防食を施す橋梁は建設時に全てのシステムを設置し、完成時より通電を行うものとししました。その後は100年間にわたり通電を行い、25年ごとにシステムのメンテナンスと補修、50年程度ごとに電極を交換するものとしています。

割引率

LCCの検討を行う場合、将来の貨幣価値をどのように評価するかが結果に大きな影響を与えることが知られています。割引率とは将来の貨幣価値を現在に置き換えるために用いられる指標であり、例えば、割引率2%は、インフレ率が0%でリスクフリー金利（国債等）が2%の場合と考えられます。アメリカの研究では4%が一般的ですが、割引率を大きく想定すると将来の貨幣価値を小さく評価することになり、将来発生する大きな負担を覆い隠す効果があるため慎重に適用する必要があります。本検討では各ケース毎に0、2、4%について試算することとしました。

検討結果

LCCの算定結果を図-7に示します。厳しい塩害環境下でコンクリート構造物を維持保全して行くのに多大のLCCを要することがわかりました。FRP補強材の使用を必要最小限とすることで初期建設費を抑えることが可能（Case-2/Case-1=1.16）であり、割引率2%以下であればFRP補強材を用いた工法が経済的に最も優れたものであることがわかりました。割引率を大きめの4%と想定した場合でもCase-1とCase-2のLCCには大きな差はありません。電気防食工法の初期建設費はFRP補強桁と大差ありませんが、割引率4%としても他工法より2割程度多いLCCとなりました。



図-6 補修工法の一覧表



図-7 割引率を考慮したLCCの比較

5 まとめ

厳しい塩害環境では、予防保全を実施することがLCCを最小にし、そのなかでもFRP補強材を用いて、錆びない劣化しない構造物を構築することが最善の選択肢の一つといえます。今後、社会の持続的な発展のためにも、本構造が採用されることを期待します。

なお、本検討はACC技術委員会が実施しました。本冊子がコンクリート建造物のLCCを検討する際の参考資料となれば幸いです。また、検討内容の詳細については、ACC倶楽部の「ライフサイクルコスト適用検討研究会報告書：2002/06」および「FRPを用いたコンクリート構造物のライフサイクルコストのケーススタディー：2002/06」を参照してください。



いわき市の波立海岸にある弁天橋は、上部構造（RC中空床版橋）および下部構造のすべてのコンクリート補強材として、FRP補強材が使用されています。



コンクリート構造物に用いられている各種のFRP補強材