

第2章 調査・診断技術

2.1 維持管理における調査・診断の位置付け

(1) 土木構造物の維持管理

コンクリート部材や鋼部材で構成される土木構造物は、立地環境や作用外力の影響により経年とともに性能が低下する場合が多い。このため、あらかじめ設定された予定供用年数までは構造物に要求される性能を満足するように適切に維持管理を行うことが必要となる。

土木構造物の要求性能とは、構造物の供用目的や重要度等を考慮して設定するものである。「2013 年制定 コンクリート標準示方書【維持管理編】」（土木学会、以下 示方書維持管理編）では、一般的な構造物の要求性能の項目として、図-2.1.1のように分類している。

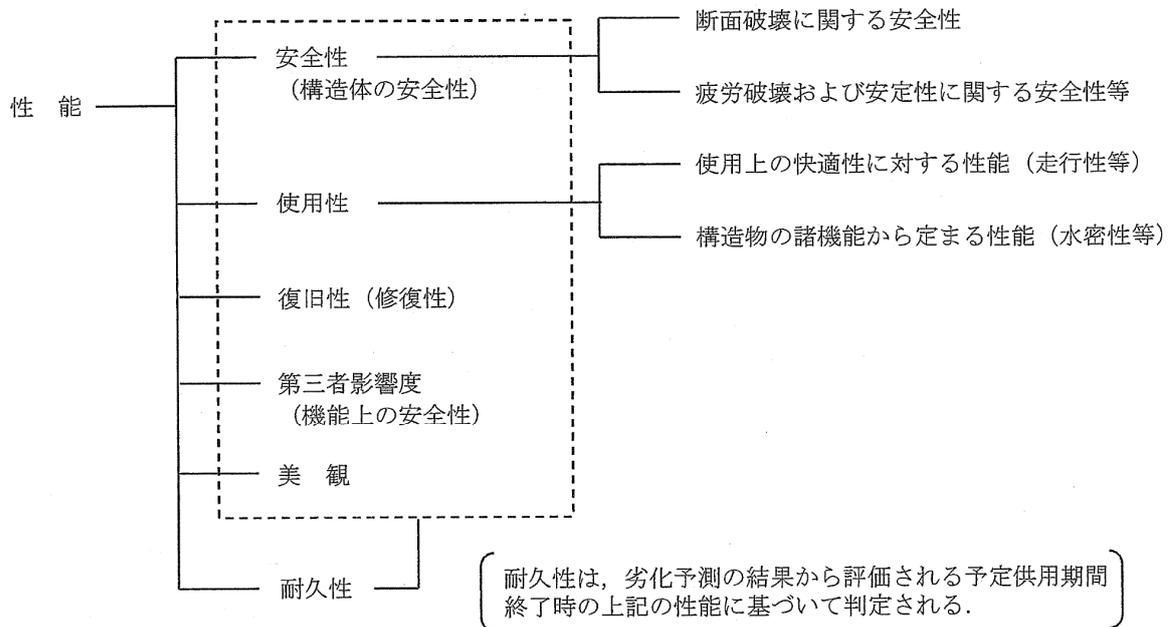


図-2.1.1 一般的な構造物の要求性能の分類¹⁾

土木構造物の維持管理は、構造物の重要度・残存予定供用期間・経済性などを考慮して維持管理計画を策定し、継続的に実施することが望まれる。維持管理計画には、点検の方法と頻度、点検結果に対する詳細調査の要否判定・調査項目・調査方法、点検や詳細調査の結果から判定される構造物の健全性に対する対策要否の判定基準・対策方法などを定めておく必要がある。

示方書維持管理編では、維持管理の流れと診断の位置付けを図-2.1.2のようにまとめている。

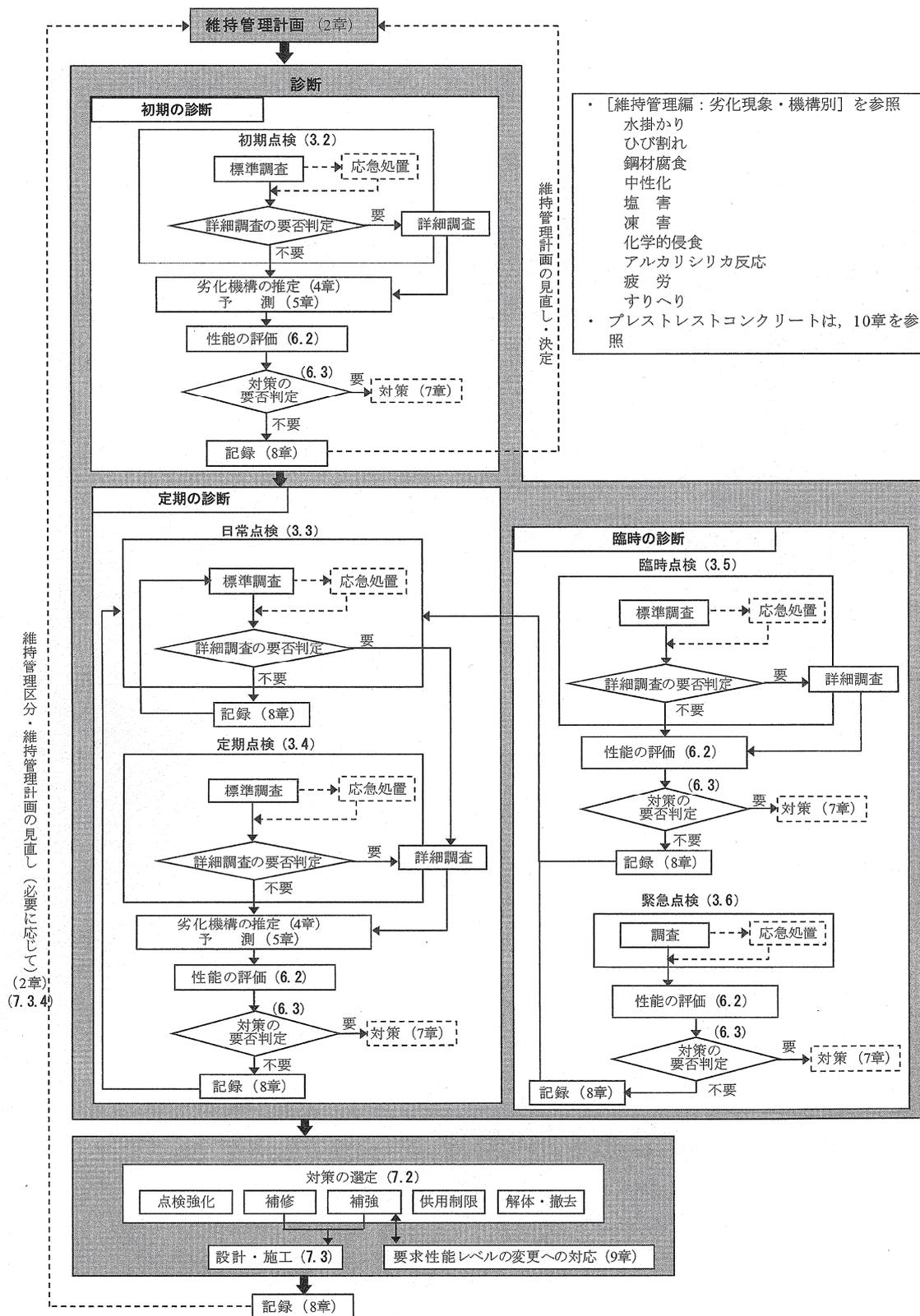


図-2.1.2 維持管理の流れと診断の位置付け¹⁾

(2) 点検

土木構造物を適切に診断して維持管理するためには、診断の目的に応じた点検を行う必要がある。点検において収集する主な情報としては構造物の要求性能である安全性、使用性、第三者影響度、美観・景観、耐久性にかかわる変状の有無などがあげられる。

点検の方法は、診断の目的や頻度などによりさまざまに分類することができる。示方書維持管理編では、点検種類を診断目的に合わせて図-2.1.3のように分類するとともに、各点検で得られる情報を比較することにより図-2.1.4に示すように点検以降の構造物の状態変化の予測など、合理的な維持管理を行う上で必要となる情報を入手するとしている。



図-2.1.3 点検の種類¹⁾

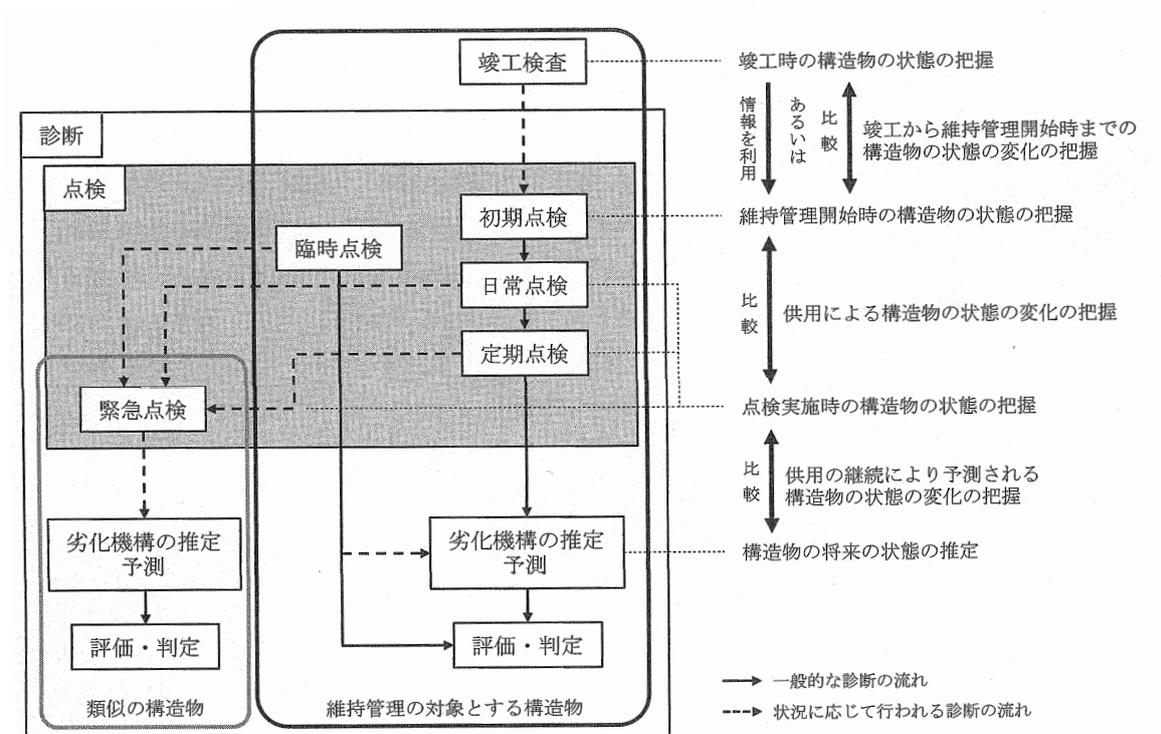


図-2.1.4 点検の種類と構造物の状態の変化に関して把握される内容¹⁾

(3) 調査

点検の結果、構造物の性能評価や補修補強の要否判定などに必要となる情報が十分に得られていないと判断された場合に、構造物の状態を可能な限り具体的かつ定量的に把握するために実施するのが調査である。

調査項目の一例を表-2.1.1に示す。調査においては、補修・補強対策を実施することを想定して、補修・補強の方法やその施工方法を検討するための情報、工事対象数量や工事費算出に必要な情報を収集することも重要である。

(4) 診断・評価

診断は、点検および調査の結果より構造物の現状における性能評価を行うことである。必要に応じて、補修・補強の要否判定、補修・補強の方法、補修・補強の実施時期の検討を行う場合もある。

最近では、高度経済成長期に集中して建設された土木構造物の劣化や老朽化がクローズアップされており、鉄道施設、道路施設、生産施設などの施設管理者には効率的・計画的な維持管理の立案が要求されるようになってきている。このような要求に対して、ライフサイクルコスト（LCC）やライフサイクルマネジメント（LCM）による評価手法を取り入れることも有効と考えられる。

表-2.1.1 一般的な調査の項目と得られる情報、主な調査の方法の例¹⁾

一般的な調査項目	得られる情報の例	主な調査方法の例
構造物の概要	<ul style="list-style-type: none"> 適用した示方書，設計基準 設計図書，竣工時期 施工記録，検査記録，維持管理記録 	<ul style="list-style-type: none"> 書類に基づく方法 ヒアリング（聞き取り調査）に基づく方法
構造物の供用状態	<ul style="list-style-type: none"> 供用の状態（荷重，外力等） 周辺環境の概要 支持の状態 異常音，異常な振動 使用性（乗り心地等） 活荷重によるたわみ 	<ul style="list-style-type: none"> 目視等による方法（近接，遠望） 車上感覚試験による方法 載荷試験，振動試験による方法
外観の変状・変形	<ul style="list-style-type: none"> 初期欠陥の有無（ひび割れ，豆板，コールドジョイント，砂すじ，表面気泡等） コンクリートの変色，汚れの有無 ひび割れの有無，ひび割れの状態 スケーリング，ポップアウトの有無 浮き，剥離，剥落の有無 鋼材の露出，腐食，破断の有無 変形の有無 さび汁の有無 漏水の有無 エフロレッセンスの有無 ゲルの有無 すりへりの有無 	<ul style="list-style-type: none"> 目視等による方法（近接，遠望） たたきによる方法 電磁波を利用する方法（赤外線法）
コンクリートの状態	<ul style="list-style-type: none"> 使用材料，配合に関する情報 浮き，内部欠陥の有無 コンクリートの含水状態 物理的特性（強度，空隙構造等） 化学的特性（水和物，反応生成物等） 劣化因子の侵入程度（中性化深さ，塩化物イオン浸透深さ等） 	<ul style="list-style-type: none"> 反発度に基づく方法 弾性波を利用する方法 電磁波を利用する方法 局所的な破壊による方法（コア採取，はつり，ドリル削孔粉の採取等）
鋼材の状態	<ul style="list-style-type: none"> 鋼材量 鋼材の位置，径，かぶり 鋼材腐食の状態 断面欠損の有無 PC グラウト充填状況 	<ul style="list-style-type: none"> はつりによる方法 電磁誘導を利用する方法 電磁波を利用する方法 直接測定する方法 設計図書による方法 弾性波を利用する方法
構造細目，付帯設備等の状態	<ul style="list-style-type: none"> 部材の断面寸法 かぶり 定着，継手の状態 柱はり接合部の状態 付帯設備の状態 	<ul style="list-style-type: none"> 電磁波を利用する方法 直接測定する方法
環境作用および荷重	<ul style="list-style-type: none"> 気象条件（気温，最低気温，湿度，降水量，日射量等） 水分の供給（雨掛かりの状況，地盤からの水の供給条件，防水層や排水設備の状況） 塩分の供給（飛来塩分量，海水の影響，凍結防止剤の散布量等） 風（向き，速さ） 二酸化炭素濃度 酸性度の高い河川水等の pH 下水道関連施設における水質 酸性雨，酸性霧の発生状況 アルカリの供給状況 荷重条件（車両等の状況，振動，水圧等） 災害に関する外力（地震，火災等） 	<ul style="list-style-type: none"> 既往の記録に基づく方法 気象情報（AMeDAS 等）に基づく方法 直接測定する方法（センサの利用等を含む）
既往の対策の状態	<ul style="list-style-type: none"> 補修，補強の状態 供用制限の状態 	<ul style="list-style-type: none"> 目視による方法（近接，遠望） 補修，補強材料に関する試験による方法

2.2 調査・診断の現状と問題点

(1) 予防保全への移行

従来の維持管理は、劣化がある程度進行して構造物の安全性や使用性に支障が生じた時点で補修・補強を実施する「事後保全」が主体であった。このため、調査・診断は、変状の程度や範囲を特定し、変状に対しての対策要否を判定するために行われていた。

近年では、高度成長期に建設された多くの構造物の更新時期を延伸させることを目的に、変状が現れないように劣化防止対策を実施するといった「予防保全」主体の維持管理に移行しつつある。示方書維持管理編においても、予防保全（示方書では「予防維持区分」と表記）の考え方が示されている。予防保全主体の維持管理では劣化予測に基づく判定が行われることから、調査・診断においては劣化予測を行うために必要な情報収集と分析が要求される。予防保全主体の維持管理を進めるためには、現時点において以下のような問題点や課題がある。

- ・劣化予測のためのシミュレーション技術の確立
- ・劣化予測精度を向上させる調査技術の確立
- ・材料あるいは構造性能の劣化に関する定量的判定技術の確立
- ・維持管理者すべてに対する高い知見と能力の習得
- ・維持管理における点検・調査・補修等の記録の蓄積

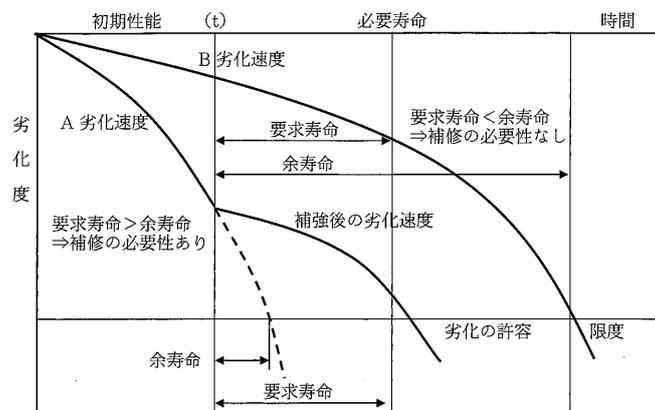


図-2.2.1 予防保全の概念図²⁾

(2) 建設コンサルタント会社による調査・診断

施設管理者が発注する調査・診断業務は、建設コンサルタント会社が行う場合が圧倒的に多い。建設コンサルタント会社には構造物の点検・調査・診断に関して高度な知識を有する技術者が所属しているため、得られた点検・調査結果に基づき適切な診断を行うことができる。しかしながら、建設コンサルタント会社が担当する調査・診断業務においては次のような問題点や課題が残されている。

- ・調査条件として足場を設置しない場合が多く、補修範囲の設定など診断結果の精度に限界がある。
- ・補修工事の経験やノウハウがないため、実態に合わない仮設計画や予算計画となる場合がある。
- ・建設コンサルタント会社では材料・工法の技術開発を行わないため、補修設計は一般的な技術情報だけで行われる（最新技術が反映されにくい）。

(3) 設計・施工分離の原則

最近では高度な技術が要求される建設工事などで設計・施工一括方式で発注される場合があるが、いまだに多くの工事では設計・施工分離の原則に基づいて発注されている。このため、補修業者（総合建設会社または専門工事会社）は、建設コンサルタント会社の設計に基づき積算している。補修工事を設計・施工分離で発注することにおいては、以下のような問題点や課題がある。

- ・調査・診断業務の完了から補修工事の発注までの間に数年経過する場合があります。塩害など劣化進行の早い環境では調査時点よりも劣化が進行して補修・補強の規模が大きくなってしまいます。
- ・補修業者が補修・補強工事用の足場を設置してから補修設計を照査すると、補修設計よりも工事規模が大きくなる傾向があり、補修設計をやり直す必要が生じる。
- ・補修設計は「劣化因子の遮断」、「劣化速度の抑制」、「劣化因子の除去」、「耐荷性能の改善」などを意図して行われるが、この意図を正しく反映しない補修工事が実施されると品質低下や比較的早期の再劣化などが生じる。

(4) 維持管理における総合建設会社の役割

維持管理における総合建設会社の役割としては、補修・補強工事の実施に限定して考えられることが多い。しかしながら、総合建設会社は単に設計とおりの補修・補強を担当するだけでなく、足場を設置してからの調査・診断、構造物の長寿命化を考慮した最新技術の提案など、建設コンサルタント会社の限界を超えた領域での調査診断や補修設計の業務を担当している場合も多くある。

総合建設会社は、非破壊・部分破壊による調査技術、調査結果に基づく診断技術、安全性と使用性を確実に回復させるための補修技術など、維持管理における課題を解決するための技術開発に積極的に取り組んでいるとともに、施工経験に基づく設計・施工のノウハウを多く有している。このため、総合建設会社が調査・診断業務から補修・補強工事までを一括で担当することで、前述した「予防保全への移行」、「建設コンサルタント会社による調査・診断」、「設計・施工分離の原則」における問題点や課題を解決し、構造物の合理的な維持管理に貢献できるものと考えられる。

2.3 調査・診断の事例

(1) 塩害により劣化した構造物

a) 調査対象となる変状事例

塩害とは、コンクリート中に拡散浸透した塩化物イオンの存在によりコンクリート中の鋼材が腐食し、腐食生成物の体積膨張によってかぶりコンクリートのひび割れ・はく離あるいは鋼材の断面減少が生じる現象である。塩害による劣化が進行すると構造物の耐荷性能の低下につながるおそれがある。海洋環境下に位置する栈橋や係船岸、護岸、放水路、取水路などの施設に多く発生する劣化現象である。

塩害による劣化の進行過程は、潜伏期、進展期、加速期、劣化期に区分され、各過程は表-2.3.1のように定義されている¹⁾。また、栈橋上部工を例にして劣化状態と保有性能の関係を模式的に表すと、図-2.3.1のようになる³⁾。塩化物イオンの浸透によりコンクリート内部の鋼材腐食が開始する時の塩化物イオン濃度（腐食発生限界塩化物イオン濃度）は、構造物の設置環境（酸素や水分の供給状況など）や使用されているコンクリートの品質などによって異なるが、既往の研究によると腐食発生限界塩化物イオン濃度は概ね $1.2\sim 2.4\text{kg/m}^3$ の範囲にあるとされている。

表-2.3.1 塩害の劣化過程¹⁾

劣化過程	定義	期間を決定する主要因
潜伏期	鋼材の腐食が開始するまでの期間	塩化物イオンの拡散，初期含有塩化物イオン濃度
進展期	鋼材の腐食開始から腐食ひび割れ発生までの期間	鋼材の腐食速度
加速期	腐食ひび割れ発生により腐食速度が増大する期間	ひび割れを有する場合の鋼材の腐食速度
劣化期	腐食量の増加により耐力の低下が顕著な期間	

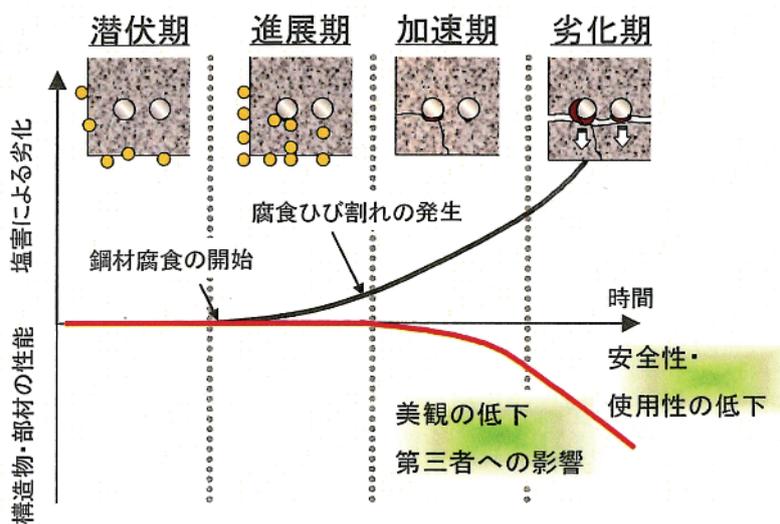


図-2.3.1 栈橋上部工の劣化状態と保有性能³⁾

示方書維持管理編では、腐食発生限界塩化物イオン濃度は、対象構造物における点検結果に基づき、鋼材の腐食状態と鋼材表面におけるコンクリート中の塩化物イオン濃度の関係から設定することを原則とするとしている。また、対象構造物の点検結果がない場合、あるいは点検結果から腐食発生限界塩化物イオン濃度を設定できない場合は、構造形式や環境が類似した構造物における点検結果等の調査実績に基づく値を用いてよいとしている。さらに、類似の構造物の点検結果がない場合には、設計や施工記録等の情報から設定しても良いとして、以下に示す(a)～(d)の4式を示している。

なお、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(日本港湾協会)では、港湾コンクリート構造物における腐食発生限界塩化物イオン濃度として 2.0kg/m^3 としている。

(a) 普通ポルトランドセメントを用いた場合

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4$$

(b) 高炉セメント B 種相当、フライアッシュセメント B 種相当を用いた場合

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

(c) 低熱ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメントを用いた場合

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

(d) シリカフェームを用いた場合

$$C_{lim} = 1.20$$

ここに、 C_{lim} : 腐食発生限界塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

W/C : 水セメント比 ($0.30 \leq W/C \leq 0.55$)

塩害の進行によりコンクリート表面に変状が顕在化するのは加速期以降であり、変状としてはひび割れ、浮き、錆汁、かぶりのはく離、はく落などがある。塩害による変状の事例を図-2.3.2～図-2.3.7に示す。



図-2.3.2 ひび割れ（一部錆汁あり）

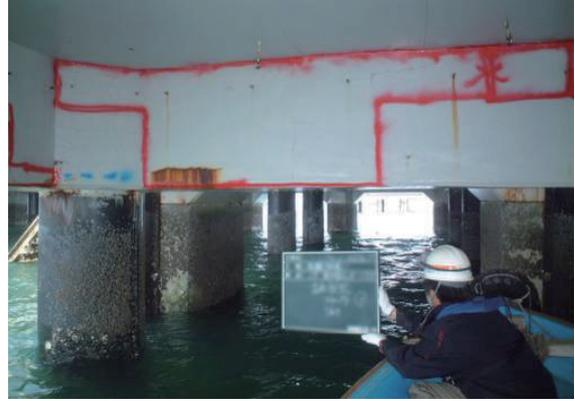


図-2.3.3 浮き（赤マーク内）



図-2.3.4 はく離、はく落（RC梁）



図-2.3.5 はく離、はく落（RC床版）



図-2.3.6 はく離、はく落（RC杭頭部）



図-2.3.7 はく離、はく落（PC桁）