

報告 [2129] 海洋コンクリートの劣化診断・補修設計エキスパートシステム

大音宗昭*¹・佐野清史*²・渡辺英市*³・森 悦栄*⁴

1. はじめに

港湾・漁港等の海洋における鉄筋コンクリート構造物に劣化が増えている。特に栈橋のような梁と床版からなる上部が海面上の飛沫帯にある構造物に著しい。20年～30年を経たものにひびわれ、錆汁、剥離・剥落等が多く見られる。塩分が風浪によってコンクリート表面に付着し内部に浸透していくこと、腐食因子である酸素と水分が常に供給される環境にあること、また乾湿の繰り返しや表面温度変化が激しいこと等が劣化を促進しているものと思われる。他方、船舶による衝撃力、風力、波力、土圧、地震力等の外力が大きく、かつ貨物による上載荷重、重量物トラックによる繰り返し荷重を受ける。したがって、いったん劣化が始まりひびわれが生じると加速度的に進行する例がみられる。

劣化診断と補修設計には専門家が当たっているが、かなりの手間とコストが掛かる上に専門家が不足している。このため一般の土木技術者でもできるよう専門家の経験と知恵を取り入れたエキスパートシステムを開発することとした。開発は先に診断を行い、それに基づいて補修設計を行うという二つの手順に分けて行った。

栈橋上部工の例を図-1に、劣化診断・補修設計フローを図-2に示す。補修設計エキスパートシステムは、構造物の諸元および部材別・性状別劣化度のデータを劣化診断エキスパートシステムから受け入れて稼働するものとしている。これらエキスパートシステム化の手順と設計の内容を以下に説明する。

今回のシステム開発の対象構造物は、海上の栈橋に限定した。これは、劣化の原因と対策を塩害に絞って考えることができ、構造物の形状が画一的でアウトプットでの図化が簡単なことから、まず最初に取りあげたものである。

なお、システム開発のツールには市販のA I ソフトを利用し、操作はパソコンで扱えるものとした。

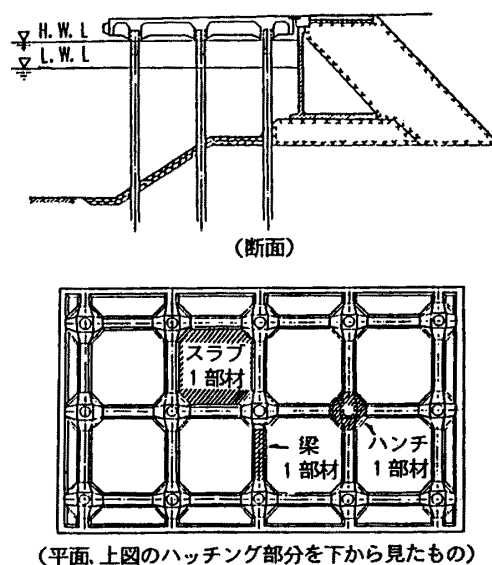


図-1 栈橋上部工の例

- * 1 東洋建設(株) 総合技術研究所鳴尾研究所長(正会員)
- * 2 東洋建設(株) 総合技術研究所鳴尾研究所課長(正会員)
- * 3 日石エンジニアリング(株) 技術本部建築土木設計部長
- * 4 日石エンジニアリング(株) 技術本部建築土木設計部

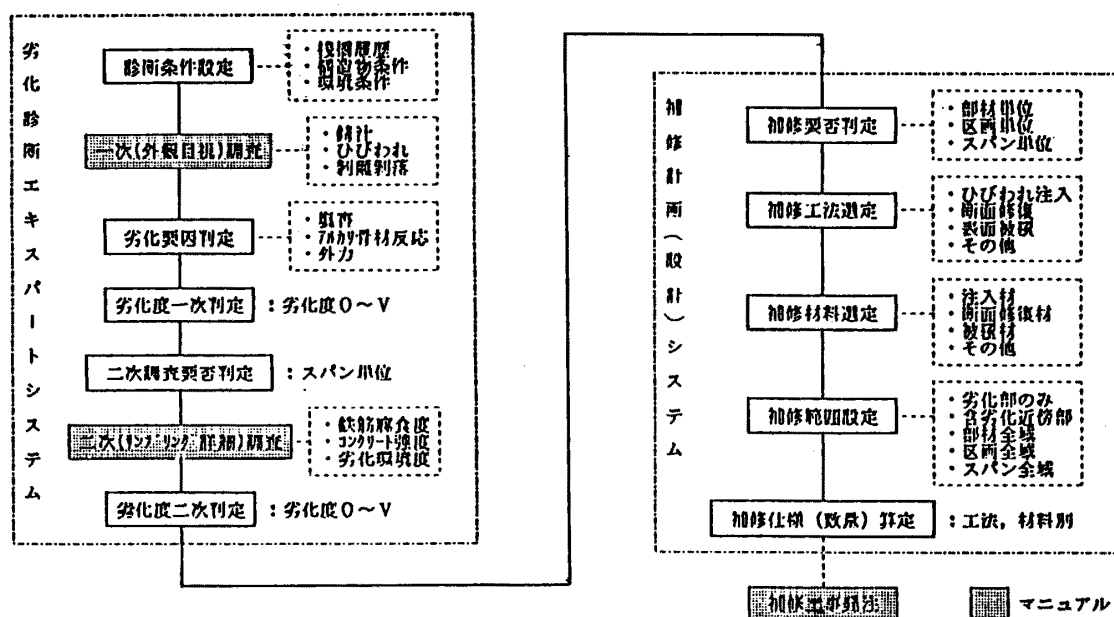


図-2 劣化診断・補修計画システムフロー

2. 海洋コンクリート劣化診断エキスパートシステム

診断は、栈橋の塩害劣化のみを対象として、目視による全数調査の一次診断と、コアとはつり等のサンプリング調査による二次診断で行うこととした。一次診断では全ての部材の劣化の程度を示し、二次診断ではこれを確認し修正するものである。

一次診断の方法は多数の専門家が討論し合意したものの成果を利用した[1]。栈橋の鉄筋コンクリート部材のスラブ

(床版)、はり(梁)、ハンチの3種とし、それぞれの構造材としての耐荷状態を考慮している。劣化の程度については、表-1に示すように健全な状態を0、最も劣化が著しい状態を5とする

表-1 部材種別劣化度判定基準

部材項目	劣化度	0	I	II	III	IV	V
スラブ	鉄筋の腐食	なし	コンクリート表面に点錆がみられる。	一部に錆汁がみられる。	錆汁多し。鉄筋腐食が広範囲に認められる。	錆多し。鉄筋表面の大部分あるいは全周にわたる腐食が広範囲に認められる。	錆著しい。鉄筋断面の有意な減少が全域にわたっている。
	ひびわれ	なし	一部にひびわれ。あるいは帯状または塊状のゲル状吐出物が2、3箇所みられる。	ひびわれ。あるいは帯状または塊状のゲル状吐出物が箇所みられる。	ひびわれ多し。網目状あるいは錆汁をともなうひびわれを含む。	網目状のひびわれ等が全域にわたる多量みられる。	—
	剝離・剝落	なし	なし	一部に浮きみられる。	一部に剝落がみられる。	浮き・剝落多し。(1区画面積の4割程度以下)	全域にわたる浮き・剝落(1区画面積の4割程度以上)
はり	鉄筋の腐食	なし	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ
	ひびわれ	なし	小さなひびわれ(ひびわれ幅1mm以下程度)が2、3箇所みられる。	ひびわれやや多し。軸方向に垂直なひびわれのみ。	ひびわれ多し。軸方向につながったひびわれ(ひびわれ幅3mm以上程度)を含む。	軸方向につながったひびわれが全域にわたる多量。	—
	剝離・剝落	なし	なし	一部に浮きみられる。	浮き多し。	浮き多し。剝離・剝落が箇所みられる。(1区画面積の4割程度以下)	剝離・剝落多量。(1区画面積の4割程度以上)
ハンチ	鉄筋の腐食	なし	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ	スラブと同じ
	ひびわれ	なし	一部にひびわれがみられる。	ひびわれ幅2mm程度以下のひびわれが箇所みられる。	ひびわれ幅2mm程度以下のひびわれが全体に広がっている。	ひびわれ幅2mm程度以上のくもの巣状あるいは鉛直方向のひびわれがみられる。	—
	剝離・剝落	なし	なし	部分的に浮きみられる。	部分的に剝落がみられる。	剝離・剝落多し。(1区画面積の4割程度以下)	全域にわたる多量剝落(1区画面積の4割程度以上)

6段階の「劣化度」を設定し、二次診断のための調査の必要性や補修の必要性を判断する基準としている。劣化度の判定は、3種の部材別に目視による鉄筋の腐食、コンクリートのひびわれ、剥離・剥落の各々の程度を劣化面積、ひびわれ幅とその分布等のおよその測定値を見て行うものとしている。一次診断の劣化度からみた二次調査および

表-2 劣化度と二次調査要否
および補修要否の関係

劣化度	0	I	II	III	IV	V
二次調査要否判定	不 要		要			不 要 (直ちに 対策検討)
補修の 要否判定	補修の 要なし		補修の要なし (場合に より補修)		要 補 修	要 補 修 (場合に より補強)

補修要否の判定基準を表-2に示す。このうち、補修の要否については、二次診断で一次診断の劣化度を修正したのち、再度この基準に沿って判定し表-2を確定する。二次診断の方法は、まず鉄筋腐食については日本コンクリート工学協会が提案する5段階の腐食度判定[2]を利用して一次診断の結果を修正する。一方、コンクリートの劣化度については、サンプリングコアの強度から劣化度を判定し、これと一次診断でのひびわれによる劣化度と剥離・剥落の劣化度を合わせた3者の最大値を採ることによって一次診断を修正する。各部材の劣化度は、上記の方法で求めた鉄筋腐食の劣化度とコンクリートの劣化度のうち大きい方を採ることとした。さらに全数部材の判定は、サンプリングした一部の部材における二次診断の修正結果の類型を適用して一次診断結果を修正することとした[3]。

3. 海洋コンクリート劣化補修設計エキスパートシステム

劣化診断の結果を受けて補修設計を行う。設計の手順は、補修部材の選定、補修工法の選定、補修材料の選定、補修範囲の設定、補修数量算定の5つのステップである。補修設計は対象構造物の現状での耐力を保持するものとし、それを越える補強とは区別することとした。なお耐久性についてはまだ不明な部分が多いため安全側の補修設計とした。耐荷力については現状維持を原則とし、新設時の状態に戻す場合は含まないこととした。

補修部材の選定は、「部材劣化度」に「塩分浸透劣化環境度」と「中性化劣化環境度」を加味して部材ごとに補修の要否を選定する。

補修工法の選定では、信頼性の高い工種として「表面被覆」、「ひびわれ注入」、「欠損部充填」、「断面修復1(鉄筋防錆)」、「断面修復2(鉄筋交換)」、「打替え」の6種、およびこれらを組み合わせた7種の計13工種を取り上げ、劣化に関わる7要素(部材、鉄筋腐食、ひびわれ、剥離剥落、コンクリート強度、塩分浸透、中性化)の各度合から選定するものとした[4]。

補修材料の選定では、対象を「表面被覆材」、「ひびわれ注入材」、「欠損部充填材」、「断面修復材」、「防錆材」および「打替え材」の6種類に絞り、先に選定された13種の補修工法ごとに見合った適用材料を1種または複数選定する。ここでは材料の種類を選定までで製品名までは決められない。各製品の長年月の耐久性については不明な点が多く、新材料の出現もあり時々見直しが必要である。

補修範囲の設定では、「表面被覆」、「ひびわれ注入」、「欠損部充填」は一部材の中で一箇所でも実施しない箇所を残すとマクロセルによる鉄筋腐食が促進される恐れがあるので全ての箇所を補修する。「断面修復1」、「断面修復2」は鉄筋のかぶり厚さ+5cmをはつことにしている。「打替え」は部材全体を打替える。

補修数量算定では、「ひびわれ注入」で一部材当たりのひびわれ総延長を経験的に二倍にして算定する。「欠損部充填」についても損傷部の周辺もはつり取るため、経験的に充填容積を2倍にして算定する。

補修工法と補修材料の関係を図-3に示す。

4. おわりに

海洋栈橋の鉄筋コンクリートについての劣化診断と補修設計は、劣化度を要素にしてマトリックス表に整理でき、IF-THENの連続で推論ができる。このためプロダクションルールを用いて、エキスパートシステムにすることができた。操作も簡単で明解な出力が得られるものとなっている。しかしながら、劣化診断については、各部材の劣化度として判定項目ごとの最大値を採用ことにしているため安全側になる。したがって、補修工費としては高めにでる。劣化度と耐荷力の関係、補修工法と耐

久性の関係について適用調査例を増し、確信度を入れることが考えられる。一次診断のための目視による調査を写真読み取りに変えること、二次診断のための調査を非破壊試験に変えることなど、今後調査に関する省力化が必要である。補修工法についても細かい部分を上向きで作業する場合が多く、工法そのものの変革が望まれる。今後、システムの改良に努力して行きたい。

参考文献

- 1) (財)沿岸開発技術研究センター：港湾コンクリート構造物の劣化防止・補修に関する技術調査 報告書 -劣化防止・補修マニュアル(案)-、1987.9
- 2) (社)日本コンクリート工学協会：海洋コンクリート構造物の防食指針(案)
- 3) 内藤茂喜、佐野清史ほか：劣化コンクリート診断エキスパートシステムの開発 土木学会第8回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集 1990.12
- 4) 大音宗昭、佐野清史、ほか：海洋コンクリート劣化補修設計エキスパートシステムの開発 土木学会第10回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集 1992.12

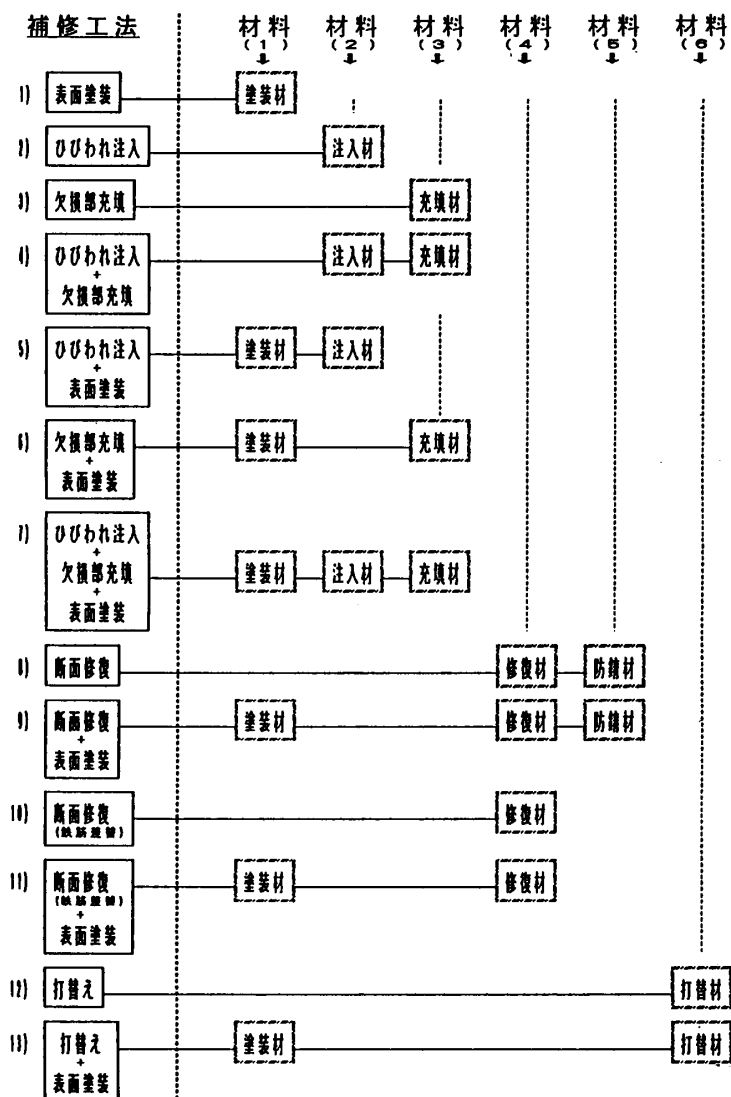


図-3 補修工法と補修材料の関係