

(Ⅲ-4)

劣化コンクリート診断 エキスパートシステムの開発

The Development of the Expert System for Damaged Concrete

日石エンジニアリング(株)	渡辺栄市*
同	山口 力**
日本石油(株)	○内藤茂喜***
東洋建設(株)	大音宗昭****
同	佐野清史*****
同	田中裕作*****

By Eiichi WATANABE, Tsutomu YAMAGUCHI, Shigeki NAITOU,
Muneaki OHTO, Kiyofumi SANO, Yuusaku TANAKA

本稿は、海洋RC構造物として栈橋上部工に特定した、主として塩害に対する劣化診断のエキスパートシステム化について、その検討結果を示すものである。

本システムは、従来専門家により行われていた調査データの整理および判定などの業務の一般化・効率化を狙ったもので、パソコンで対応できるようにしている。システムの構成は、主として「外観目視（一次）調査結果による劣化度一次判定」と「詳細サンプリング（二次）調査結果による劣化度二次判定」から成り、劣化度の判定は（財）沿岸開発技術研究センターで取纏められた試案¹⁾を定量化することにより基準化した。また、判定基準のシステム化においてエキスパートシステム構築支援ソフトを用いた。

【キーワード】 劣化診断、エキスパートシステム、栈橋、塩害

1. システム開発のねらい

コンクリート構造物の劣化診断は、適切でしかも的確さが要求される重要な業務である。この業務は、これまで複雑な手引書をもとに熟練した技術者の判断に委ねられてきた。しかし、技術者のレベルが異なるため、必ずしも的確な診断がなされているとは言い難い現状がある。特に、港湾構造物の代表である栈橋は海上・海岸に位置するので、もっとも劣化が進行しやすい状態にあるとい

える。このような状況を対応するため、栈橋（上部工RC）を対象として、塩害により劣化したコンクリート構造物の“診断エキスパートシステム”の構築を考えた。

本システムを導入することにより、技術者の診断レベルの統一を図り、見落としを防止し、高単価の専門技術者が携わる必要を最小限にとどめ、業務の効率化が図られる。また、診断結果から評価判定を行う上で、判定基準を設けて整理することにより損傷ランクが自動的に導かれ、その結果を容易に参照することが可能である。従って、分析業務を省略することができる。

さらに、診断された結果を保存することにより資料が蓄積され、データを管理できる。これは検索業務の合理化につながる。

本システムは、上記を踏まえて、コンクリートの劣化状況を診断する専門家のノウハウを取り入れて、一般の土木技術者で代行することを目的として開発を進めるものである。

*技術本部 土建設計部長	045-323-7548
**同 土建設計部課長補佐	045-323-7548
***工務部工務技術グループ	03-502-9194
****技術研究所 所長	0798-43-0661
*****同 主任研究員	0798-43-0661
*****技術開発部 課長代理	03-296-4664

2. 概 要

(1) 劣化診断の内容

一般に、栈橋の劣化診断業務は図-2.1 に示す手順で行う。各作業の内容は下記の通りである。

- ◆予備調査……栈橋履歴（栈橋名・建設時期・スパン数・スパン諸元等）情報の収集、整理
- ◇一次調査……栈橋全域にわたる“ひびわれ／鉄筋腐食／剝離・剝落”損傷状況の目視調査
- ◆劣化度一次判定……一次調査結果による、部材別判定基準に沿った部材単位の劣化度判定
- ◆補修要否一次判定……劣化度一次判定結果に基づく、部材単位の補修要否判定
- ◆要因判定……劣化の要因判定
- ◆二次調査要否判定……劣化度一次判定結果に基づく、スパン単位の要否判定
- ◇二次調査計画立案……より正確な劣化度判定を

目的とする、サンプリング詳細調査としての二次調査計画立案（調査項目、方法、範囲の選択）

- ◇二次調査……適当な部材を抽出し、鉄筋腐食／自然電位／コンクリート強度／中性化／塩分濃度等を把握する詳細調査
- ◆劣化度二次判定……劣化度一次判定結果に二次調査の分析結果を加味した、部材単位の劣化度二次判定
- ◆補修要否二次判定……劣化度二次判定結果に基づく、部材単位の補修要否判定
- ◇対策検討……劣化度（二次判定）に応じた部材単位もしくはスパン単位の補修計画（工法材料、範囲）立案

上記作業のうち、◆はシステム化の対象となるもの、◇はシステム化が困難もしくは見合わせたものである。

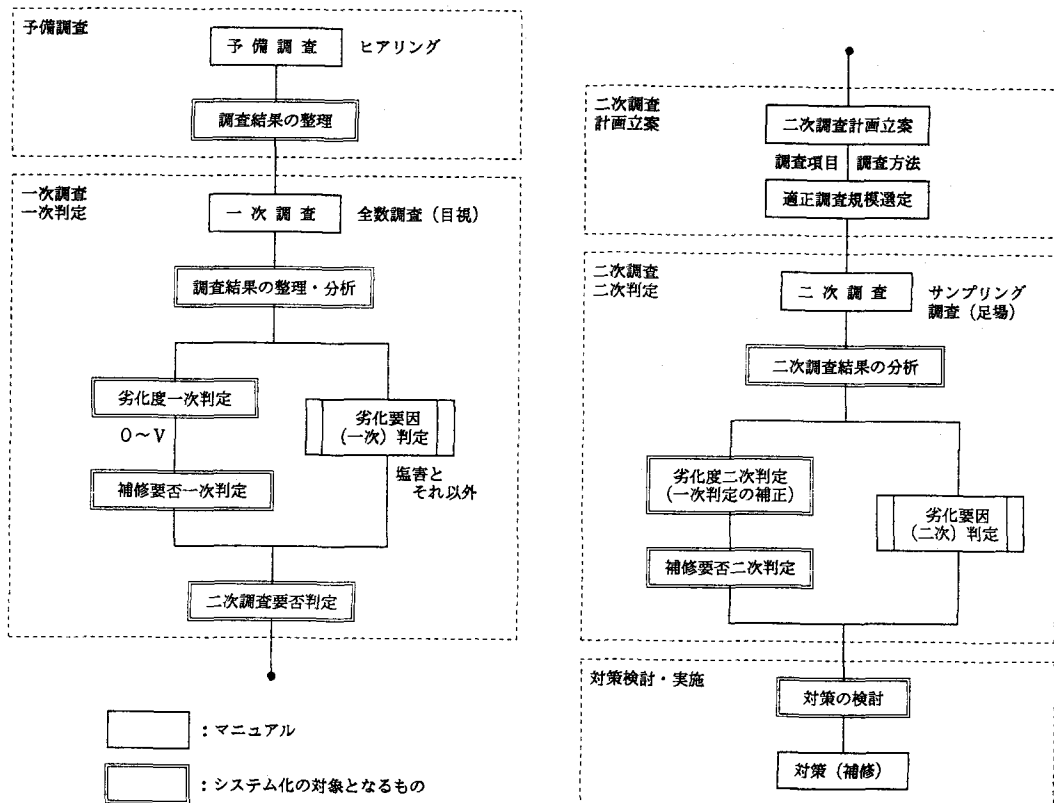


図-2.1 劣化診断の手順

(2) システム概要

本システムは、前述の栈橋劣化診断のうち「予備調査」「一次判定」「要因判定」「二次判定」の各作業をパーソナル・コンピュータ（以降パソコンと言う）に代行させることにより、業務の

合理化・高能率化・一般化を目指したものである。ただし、本件でのシステム化は診断業務に限定し「対策検討」は将来的に付加させる方向で考えることとした。従って、現行の劣化診断業務の各作業は図-2.2 に示す形態となる。

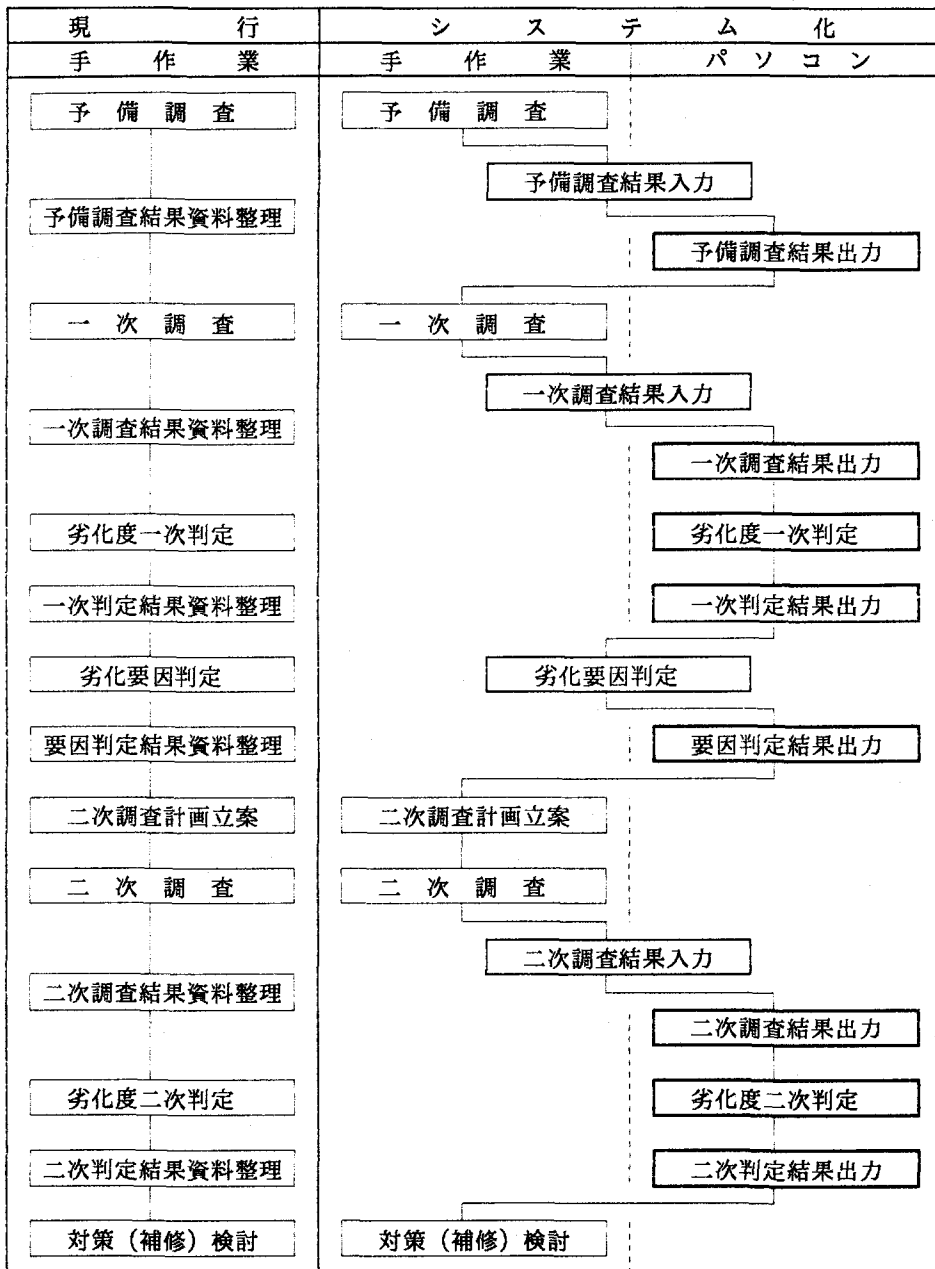


図-2.2 劣化診断におけるシステム化の形態（現行との対比）

(3) ソフトウェア概要

本システムのソフトウェアは、以下に示す内容のものとした。

a) 動作環境

- ・本 体 : PC-9801VX21以上
[CPU] 80286
(10MHz) 以上
[RAM] 640KB以上
- ・ディスプレイ : 対応RGB対応カラーディスプレイ
- ・ハードディスク : 20MB以上 (平均アクセス時間20ms以内)
- ・プリンター : PC-PR201系136桁
印字可能
- ・O S : MS-DOS ver3.3

b) 開発環境

- ・言 語 : C (MS-C Ver5.0
; マイクロソフト社)

マクロアセンブラ (MASM
; マイクロソフト社)

- ・支援ツール : エキスパートシステム支援ツール
[Super Expert Plus]
(判定条件の確認、判定サブルーチンの作成に使用する)
- ・ISAMツール [BTREVE]
- ・開発マシン : PC-9801RX2以上

c) 構 成

本システムのソフトウェアは下記により構成される。図-2.3 にソフトウェアの構成を示す

- ・制御処理 : 機能処理の動作制御を行う。
- ・機能処理 : システム機能を実現する。
- ・データファイル : 調査結果・判定結果・制御情報を格納する。
- ・共通メモリ : 制御処理・機能処理で利用度の高い共通データを格納する。

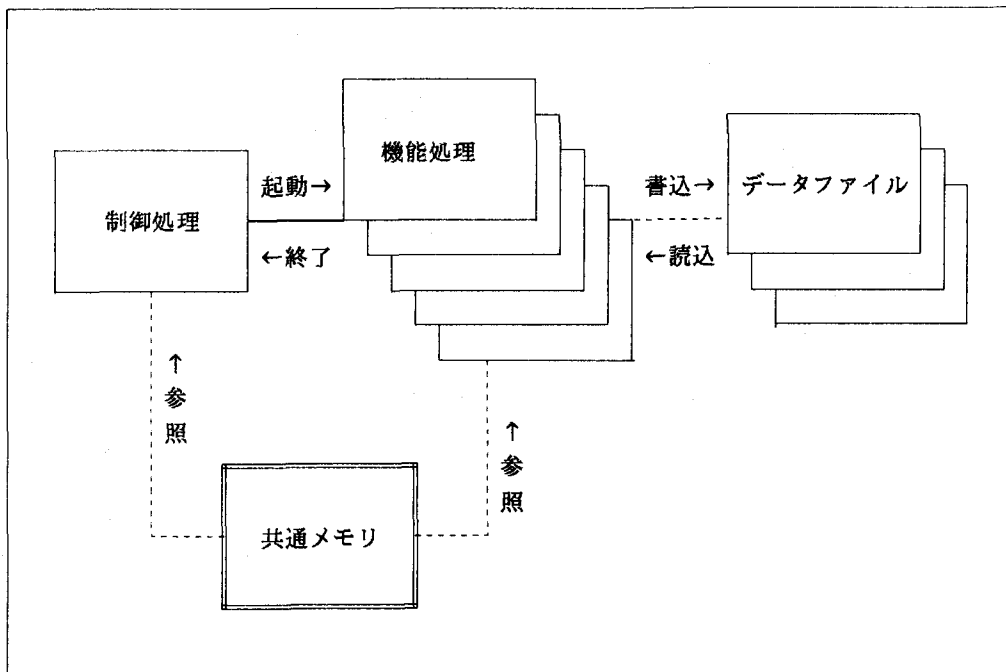


図 2.3 ソフトウェア構成図

3. システム機能とその内容

本システムの機能と内容について以下に示す。

(1) 予備調査機能

予備調査機能は、予備調査により得られた栈橋に関する情報（栈橋名／建設時期／スパン数／代表部位形状寸法／コンクリート設計基準強度／水セメント比／スパン長等）の入出力機能である。

入力された各部寸法などを基に1スパンのイメージ図をディスプレイ上に描かせ、各データの入力状況や劣化度分布状況を表示する際の下絵とする。入力情報はファイルに保存するが、劣化度判定結果には直接影響を与えないものである。

(2) 一次調査機能

一次調査機能は、一次調査により得られた栈橋全体にわたる部材（梁・スラブ・ハッチ・張出）単位の損傷状況の入出力機能である。当調査は外観目視を原則として全部位を対象に行うもので、項目は「ひびわれ／鉄筋腐食／剝離剝落」の3種である。入力情報はファイルに保存する。

(3) 劣化度一次判定機能

本機能は、一次調査機能により入力された部位単位の損傷状況を判定基準に従って判定し、劣化度を決定する機能である。判定結果はファイルに保存する。得られた3項目の劣化度を基に部位の総合劣化度の判定を行う。総合劣化度は3項目劣化度の最大値とする。

次に、部位の総合劣化度を用いて各部位の補修の要否を判定する。補修工法の決定に際しては、構造物の劣化状況と今後の進行性や施設の使用形態・重要度・耐用年数・工費などを勘案して総合的に判断されなければならない。このように複雑に絡み合った多要因を考慮して判断されるべきものをどの程度コンピュータープログラムに移植できるかが課題となる。よって今回は、従来通りマニュアルにて対応することとし、システム化は次ステップのテーマとした。

また、全部位の総合劣化度よりスパン全体の劣化度を判定する。スパン劣化度は全部位の総合劣化度の算術平均とし、この結果から二次調査の要因判定を導く手順とした。

なお一次判定のシステム化に当たっては、ソフトウェア支援ツール：Super Expert Plus を用いた。

(4) 劣化要因判定機能

コンクリート劣化は単独の要因により生じてい

ることは希で、いくつかの要因が重なって生じているケースが多い。逆に単独要因と決めつけてしまうことはかえって危険な判断を招きかねない。そこで要因判定は簡単なアンケート方式とし、塩害、アルカリ骨材反応、外力の各々について、要因の可能性（要因確率）を算出することとした。なお、当機能は本システムの中で独立した形で組み込み（多機能と連動しない）、入力情報、判定結果はファイルに保存しないこととした。

二次調査データを要因判定に取り入れる方法は現在検討中である。鉄筋腐食度と塩分濃度との関係、コアからの劣化特有現象照査、コンクリート強度低下量などを用いた判定仕様が考えられる。

(5) 一次判定結果出力機能

本機能は劣化度一次判定の結果を下記の図表にまとめて出力する機能である。

〔出力図表〕

- ・部位別、区画別劣化度ランク図
- ・部位別、区画別劣化度判定表
- ・スパン別劣化度および劣化度別度数表

(6) 二次調査機能

より信頼性の高い劣化度を判定する目的で、はつりやコア採取によるサンプル調査として二次調査を行う。本機能はこれら調査結果の入出力およびファイル保存を担うものであり、取扱うデータは、はつりによる鉄筋腐食度、コア及びシュミットハンマーによる圧縮強度、自然電位、中性化深さ、塩分浸透度等である。

二次調査実施位置の選定は、後述のように一次判定結果の延長上で行う二次判定を系統的に機能させる重要な要素であり、1スパン内の二次調査箇所として以下の選定条件を設けた。当面は手引書で対応するが、いずれ本システムに組み込むことを考えている。

- ① 非調査部位の二次劣化度も実施範囲での判定結果より推定するため、なるべく多彩の劣化度の部位を有する範囲を選ぶ。
- ② 劣化度判定基準の思想を反映すべく、部位単位では、劣化部・劣化近傍部・健全部の各領域を選定する。
- ③ 経済的かつ合理的な調査となるよう、隣接する範囲の選定を基本とする。

(7) 二次判定機能

二次判定機能は、二次調査機能により入力された特定部位の損傷状況の詳細情報を、工学的技術

計算に基づき劣化度を判定する機能であり、かつ一次判定結果を二次判定結果により総合判定する機能である。二次判定の概念フローを図-3.1に示す。

二次調査を実施しない部位の二次劣化度の推定方法は、二次調査を行った部位の一次判定から二次判定への移行状況を模倣する形をとる。

全部位の二次劣化度が判定された後、一次判定と同手順で部位総合劣化度、スパン劣化度および補修要否の判定を行う。

二次判定結果はファイルに保存する。

(8) 二次判定結果出力機能

二次判定結果出力機能は、一次判定結果・二次調査結果・二次判定結果・総合判定結果を図表にまとめて出力する機能である。

【出力図表】

- ・鉄筋腐食度一覧表
- ・自然電位判定一覧表
- ・コンクリート劣化度一覧表
- ・コンクリート強度図
- ・かぶり厚さ分布図
- ・中性化劣化度一覧表
- ・中性化深さ分布図
- ・塩分濃度一覧表
- ・塩分濃度分布図&含有量分布図
- ・二次判定結果総括表
- ・部位別劣化度ラング図
- ・区画別劣化一覧表
- ・スパン別劣化度&劣化度別度数表

【劣化度一次判定】

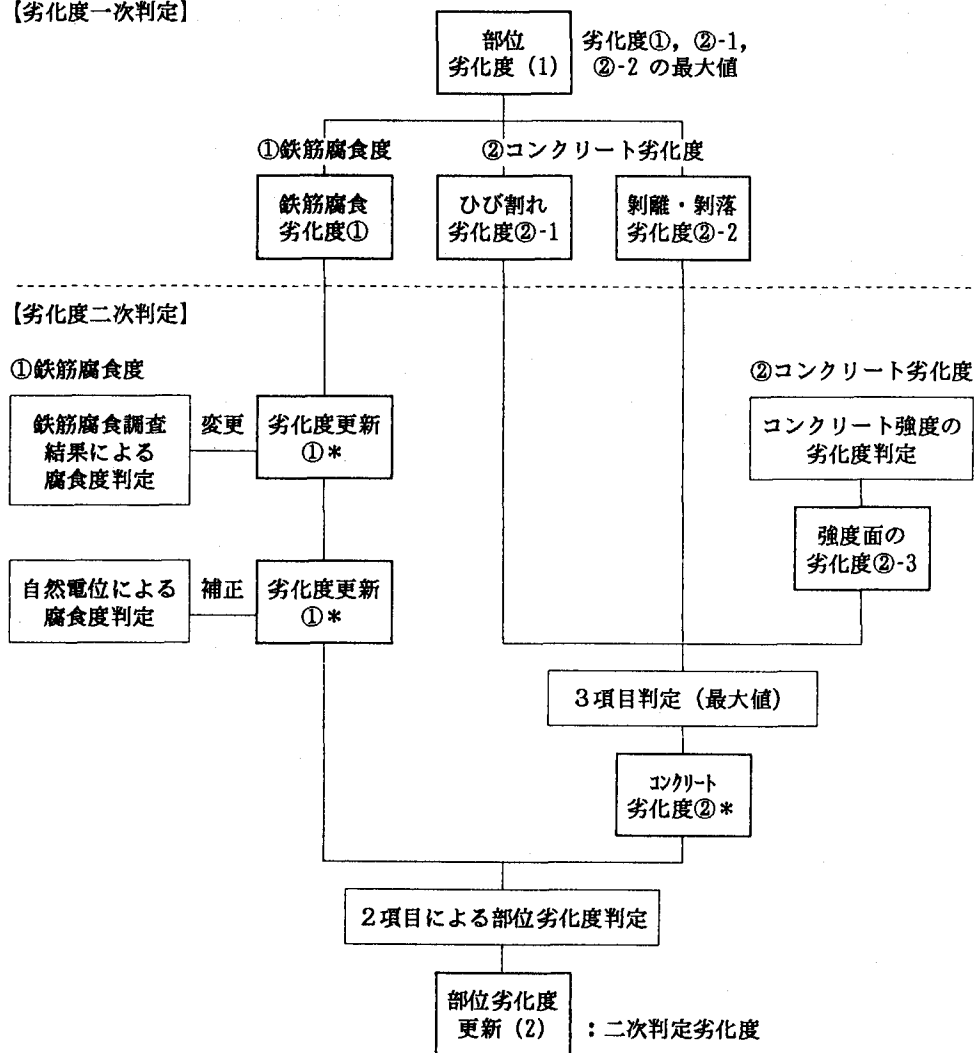
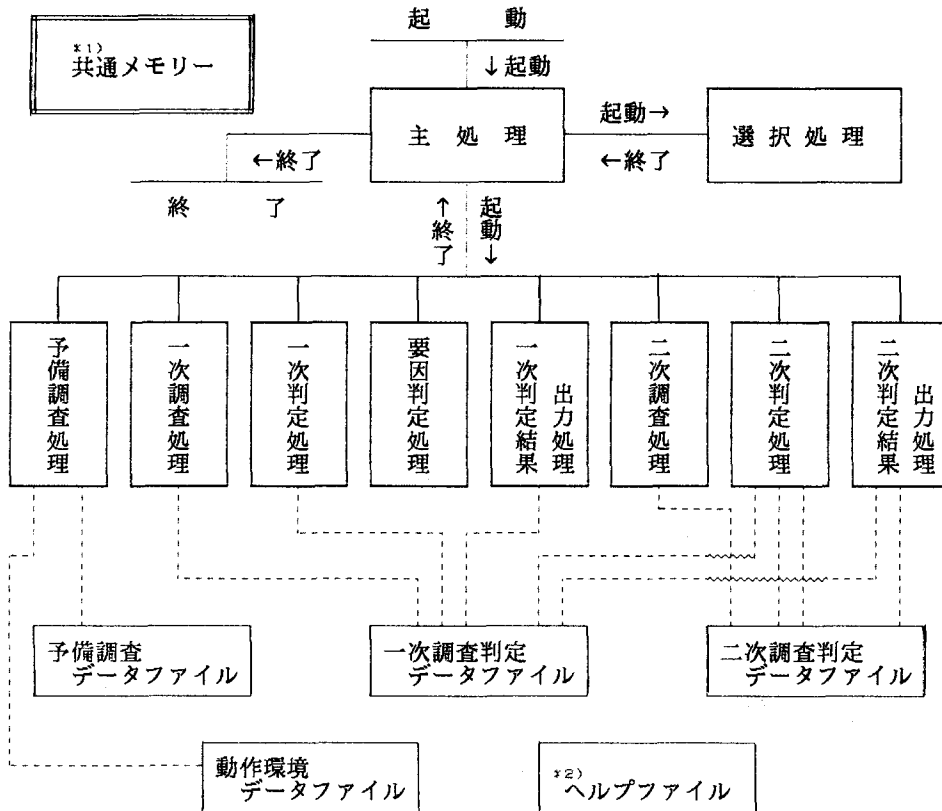


図-3.1 一次判定から二次判定への部位単位劣化度判定の流れ

4. システム構成

本システムの構成を図-4.1 に示す。



- * 1) 共通メモリは、全てのモジュールからアクセスされる。
- * 2) ヘルプファイルは、全てのモジュールからアクセスされる。

図-4.1 システム構成図

5. インターフェース

(1) モジュール間インターフェース

本システムでは、図-5.1 に示すように各モジュール間のインターフェースを共通メモリとデータ・ファイルにより行う。各モジュールは共通メモリから予備調査データ、動作環境情報、制御状態等を取得し、モジュールが必要とするデータファイルを利用する。

(2) マンマシンインターフェース

本システムにおけるマンマシンインターフェー

スは、図-5.2 に示すように以下の内容とする。

- ・処理の選択：作業フェーズに沿った処理の選択
- ・調査データの入力：データ編集画面での予備調査一次調査、二次調査結果の入力
- ・調査データの出力：入力した調査結果の図表出力
- ・判定データの出力：判定結果の図表出力

(3) システム間インターフェース

図-5.3 に示すように、本システムと他システムとのインターフェースは片方向のみで、データファイルにより行うものとする。

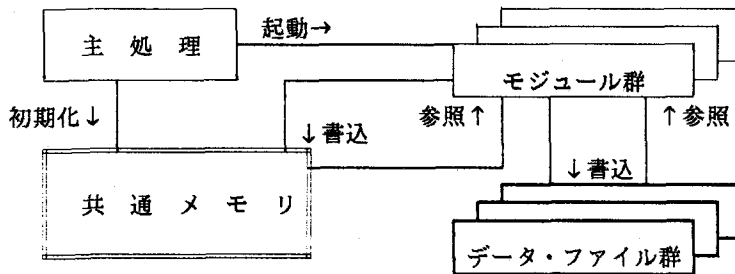


図-5.1 モジュール間インターフェース

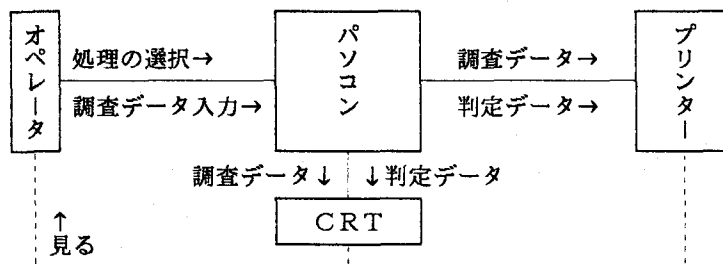


図-5.2 マンマシンインターフェース

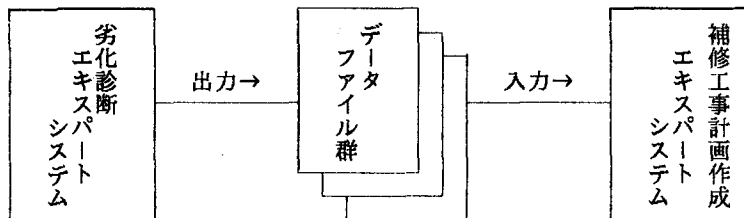


図-5.3 システム間インターフェース

6. 今後の課題

今後の本システム活用に当たり、以下の課題に取り組む予定である。

- ① 劣化度や補修要否の判定結果が実状に即しているかどうかの検討。即していない場合の判定基準などの再検討。
- ② 二次調査データを用いた要因判定の検討（塩分濃度と塩害、コンクリート強度とアルカリ骨材反応との因果関係の適用など）。
- ③ 二次調査計画立案のシステム化検討。

上記のうち①については実証実験として栈橋の

劣化調査を行い、生データを収集しシステムを実際に走らせて結果を確認する。また平行して操作マニュアルの完備も行う。当マニュアルは、システムの操作方法や二次調査計画立案方法を掲載するほか、劣化度または劣化要因別に最適な補修工法を工事規模に応じて抽出できる手引きとするものである。

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、昭和62年9月。