

# コンクリート構造物の劣化診断プログラムの開発 (1)

Development of Inspection Software for Deteriorated Concrete Structures (1)

金田 尚志\*・魚本 健人\*\*

Hisashi KANADA and Taketo UOMOTO

## 1. はじめに

既存コンクリート構造物の維持・管理を行う上で、現状の劣化程度評価、劣化原因の究明、今後の劣化予測、最適な補修・補強工法の選定が重要となる。これには、定期的な検査、詳細調査が実施され、その結果に基づいて劣化診断が行われる必要がある。コンクリート構造物の劣化診断は、専門的な知識や経験を要するため、エンジニアの裁量に依存するところが大きい。今後、人口減少期に入り建設分野の技術者も減少していくと考えられ、また、建設後数10年が経過し、補修・補強を必要とする構造物が増加するため、従来の技術者による点検では限界があると予想される。

点検対象となる構造物の増加により、点検結果、診断データ量も膨大となり、また、点検者の交代等により、後任者へ点検履歴の引継ぎが確実に行われていないのも現状である。

このような現状を支援するため、コンクリート構造物の

劣化診断プログラムの開発をした。本システムは、専門家だけでなく、簡単に劣化診断が行えるように、サンプル等を提供し、入力しやすいユーザーインターフェースを提供している。目視点検の入力データから、構造物の劣化原因、劣化程度の推定、第三者影響度の評価（構造物の一部（かぶりコンクリート片やタイル片など）が落下することによって構造物下の人やものに危害を加える可能性）、詳細点検方法の提案を専門家の代わりにシステムが行い、診断結果は画面上に表示されるだけでなく、デジタル文書として出力することも可能である。入力されたデータ、写真はデータベースに保存され、データの検索、更新が容易に行え、データ管理の効率化を実現した。本報では、劣化診断プログラムのコンクリート橋版の概要について報告する。本プログラムは、メンテナンスエンジニアならびに、管理者にとって有効なツールになると期待される。

## 2. 診断システムの構成

図1に劣化診断システムの構成を示す。ユーザーによ

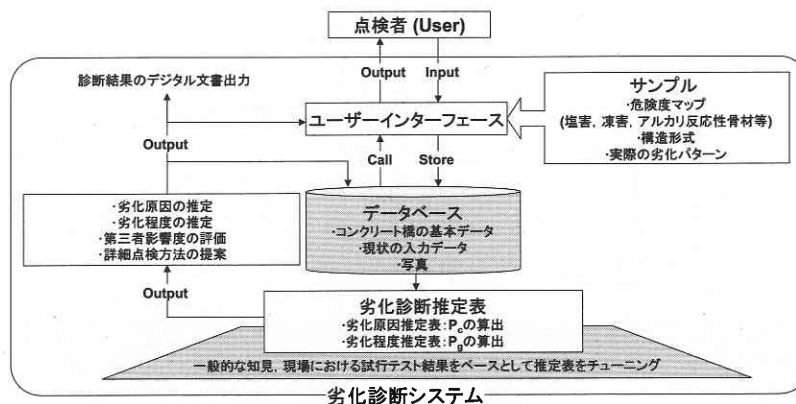


図1 劣化診断システムの構成

\*東京大学大学院 工学系研究科

\*\*東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

研 究 速 報

て入力されたデータは、データベースに保存され、その情報は、劣化原因推定表と劣化程度推定表に引き渡される。図2に劣化原因推定表のサンプルを示す。横軸は推定される劣化原因、縦軸は現状の入力データで、交差するセルの値が大きいほど、変状と劣化原因の関連性が高いことを意味している。推定表は、一般的な知見、システムの試作段階での現場試行で最適な診断結果が出力されるようにチューニングされている。推定される劣化原因は入力時に選択された縦軸に対応する横軸の値の小計を用い、以下の式により算出される。この値が高いほど、劣化原因で可能性が高いことを示している。

$$P_c = A \times D \times (B + C + E) \dots\dots\dots (1)$$

ここに

$P_c$  : 劣化原因推定値

A : 環境, 供用, 内的, 施工条件の小計値

B : 構造上の変状の小計値

C : ひび割れの変状の小計値

D : ひび割れ以外の変状の小計値

E : ひび割れ以外の変状 (独立) の小計値

「ひび割れ以外の変状 (独立)」は、空洞豆板, 変色, コールドジョイント等のひび割れを伴わない項目を示す。劣化原因ごとに  $P_c$  が算出され、この値が大きい順に劣化原因の候補としてリストアップされる。

同様に劣化程度推定値は、以下の式で算出される。

$$P_g = (A \times B + C) \times D \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

$P_g$  : 劣化程度推定値

A : ひび割れの変状の小計値

B : ひび割れに関係する変状の小計値

C : ひび割れに関係しない変状の小計値

D : 割増し係数

$P_g$  が高いほど劣化が進んでいることを示しており、境界基準を設定し、劣化程度を4段階で評価している。

算出された  $P_c$ ,  $P_g$  から第三者影響度の評価、推定された劣化原因に関する詳細調査方法の提案を行い、ユーザーインターフェースを通じて、診断結果を出力する。

3. 診断プログラムのフロー

図3に診断プログラムのフローチャートを示す。診断を行うには、新規データベースを作成する必要がある。過去に目視点検の履歴がある場合には、そのデータの更新、追加点検データの保存を行うことができる。

3.1 基本データの入力

最初に、橋梁名, 建設年月日, 建設地点, 交通量等の基本データを入力する。これらの情報も診断を行う上で重要な情報となる。例えば、海砂, アルカリ反応性骨材の使用, 塩害, 凍結融解の危険性は、建設地に依存するため、建設地からある程度劣化原因を絞り込むことができる。

3.2 環境条件の入力

建設地点を設定した時点で、その地域の環境条件が初期値として自動的に設定されるが、必要に応じてユーザーが変更することができる。サンプルとして、凍害・塩害危険

変状要因区分		劣化機構										初期欠陥						備 備								
		中性化	塩分供給	海砂等	凍害	化学的浸食	アルカリ骨材反応	疲労	乾燥収縮	温度応力	断面不足	PCグラウト不良	プレストレスの不足	かぶり不足	養生不足	若材齢の載荷	締固め不良	打重ね不良	配合・材料欠陥	過大荷重	地震	衝突	不同沈下	火災		
支間中央部	ひび割れ (0.2mm以上)	外観上の変状																								
		ひび割れなし																								
		構軸直方向発生	0.2mm以上	1.0	1.0	1.0				0.5	1.5	1.5	1.2	2.0	1.2	1.3							2.0	1.0		1.0
			ひび割れ+露汁	1.2	1.3	1.3				0.5	1.5	1.5	1.2	2.0	1.2	1.3							2.0	1.0		1.0
			ひび割れ+遊離	1.2	1.3	1.3				0.5	1.5	1.5	1.2	2.0	1.2	1.3							2.0	1.0		1.0
		構軸方向に発生	0.2mm以上	1.3	1.3	1.3			1.3	0.5	0.5	1.0	1.5	1.5			1.0	1.0				1.0	1.0			
			ひび割れ+露汁	2.0	2.0	2.0			1.3	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5			1.0	1.0				1.0	1.0			
			ひび割れ+遊離	1.3	1.3	1.3			1.3	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5			1.0	1.0				1.0	1.0			
		両方向に発生	0.2mm以上	1.0	1.0	1.0			1.3	0.5	1.0	1.2		1.5								1.2				
			ひび割れ+露汁	1.5	1.5	1.5			1.3	0.5	1.0	1.2		1.5								1.2				
			ひび割れ+遊離	1.3	1.3	1.3			1.3	0.5	1.0	1.2		1.5								1.2				
		斜め方向のひび割れ	0.2mm以上	2.0	2.0	2.0			2.0	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5								2.0	1.5			
			ひび割れ+露汁	2.0	2.0	2.0			2.0	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5								2.0	1.5			
			ひび割れ+遊離	2.0	2.0	2.0			2.0	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5								2.0	1.5			
		ひび割れ以外の変状	浮き, 剥離	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2
鉄筋露出, 腐食	1.5		1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2		
鋼材破断, 突出	1.0		1.0	1.0	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0		
ひび割れ以外の変状 (独立)	ひび割れが等間隔	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	1.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
	空洞豆板	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
	変色	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2		
ひび割れ以外の変状 (独立)	コーールドジョイント	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
	ゲル	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
	スケーリング	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
ひび割れ以外の変状 (独立)	ポップアウト	1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
		1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			
		1.0	1.0	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0			

図2 劣化原因推定表 (プレストレストコンクリート T 桁橋)

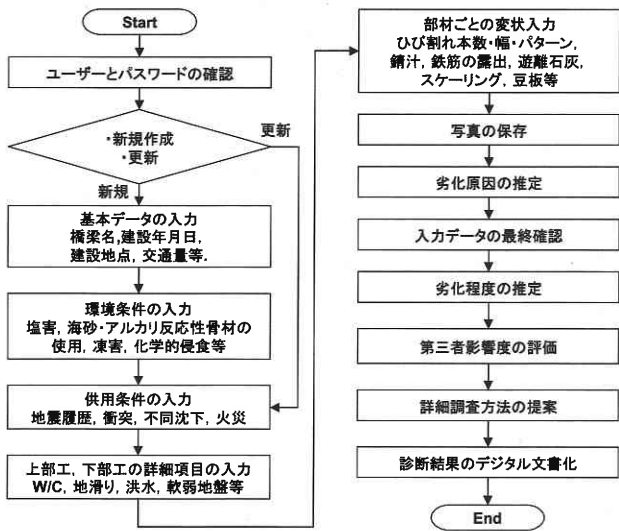


図3 診断プログラムのフローチャート

度マップ, 海砂・アルカリ反応性骨材の使用量マップ, 凍結防止剤散布マップを参照することが可能である。

3.3 供用条件・詳細項目の入力

火災や不同沈下等の供用開始後の履歴の入力, 上部工, 下部工の構造形式の選択が終了すると, 目視点検前の事前設定が終了する。ここまでの設定は, 実際に現場へ足を運ばなくても, 情報があれば入力を完了することができる。

3.4 部材ごとの変状入力

目視点検の結果は, 図4, 5に示すとおり, 部位ごとに入力される。入力する部位を選択すると, 変状入力画面が表示される (図6)。

図6の画面では, ひび割れの性状として, ひび割れの本数, ひび割れの幅, ひび割れの方向性, 更に遊離石灰, 錆汁の有無等, ひび割れ以外の変状として, 浮き, 剥離, 鉄筋露出, 腐食等を入力する。[参照図] ボタンをクリックすると, 実際の構造物の劣化パターンサンプルも表示されるため, 経験の少ない点検者もサンプルを参照して簡単に入力が可能となる。また, 点検者による判断のばらつきを小さくすることができる。入力時に, 撮影した写真の取込み, 所見記入のオプションが準備されており, ユーザーインターフェースで設定される項目では不十分な場合, これらのオプションが有効となる。

3.5 劣化原因と劣化程度の推定

各部位の変状 (目視点検結果) を入力後, システムによって劣化原因と劣化程度が推定される。劣化原因は, 式(1)によって算出され, 第1候補から第5候補まで表示される (図7)。図7の場合, 床版部は疲労, 桁部はプレス

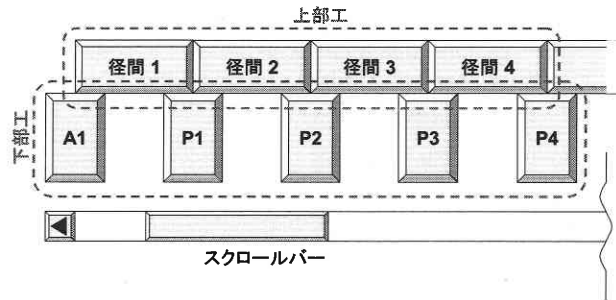


図4 上部工と下部工の選択画面

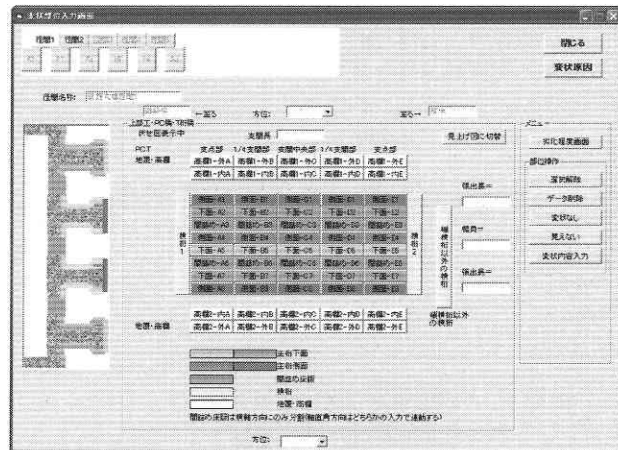


図5 上部工変状入力画面 (PC T桁橋)



図6 変状入力画面 (上部工)

トレス不足, 高欄部は乾燥収縮が劣化の原因である可能性が高いと診断された。また, 部位ごとに, 個別診断も行うことができ, 画面下方に式(1)で算出された値が棒グラフで表示される。劣化原因ごとのポイント (劣化原因とし

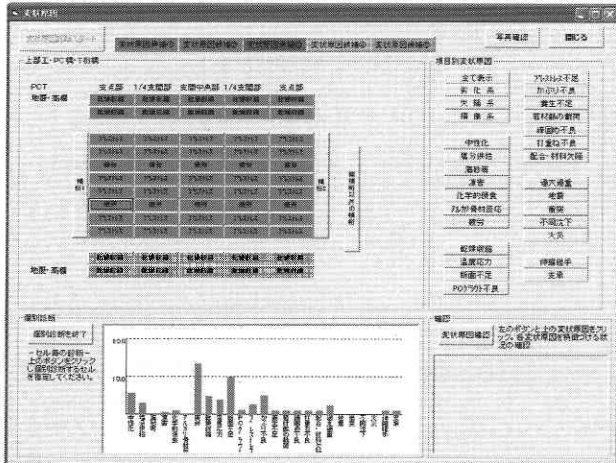


図7 劣化原因推定画面 (PCT 桁橋)

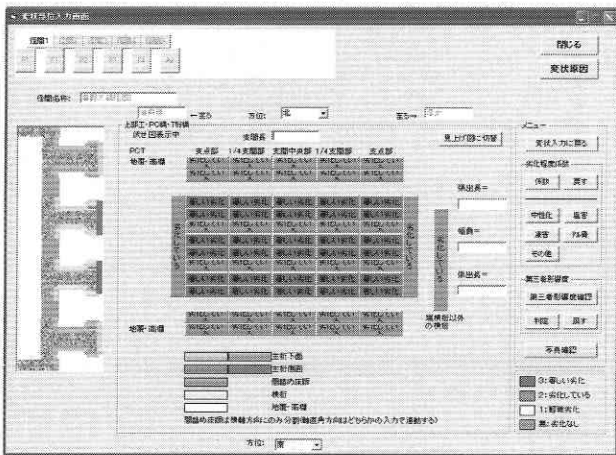


図8 劣化程度推定画面 (PCT 桁橋)

ての可能性が高いほどポイントは大きくなる)を確認できるため、劣化の傾向を把握することができる。更に、画面右側のボタンをクリックすることで、原因種類別の表示も可能である。

入力、点検ミスの発生を防ぐために、診断結果と目視点検結果の整合性を確認するオプションが準備されている。推定された劣化原因に関し、特徴的な変状が表示され、点検対象橋梁に同様な症状が発生しているかをチェックすることができる。

各部位の劣化程度は、式(2)から算出され、以下の4段階で表示される(図8)。

無：劣化なし

- 1：軽微劣化(定期点検で監視を続ける)
- 2：劣化している(継続的な監視が必要)
- 3：著しい劣化(早急に対応が必要)

調査部位ごとに管理できるため、詳細調査、補修・補強の必要性を確認することができる。劣化程度、部位、症状から、第三者影響度を評価することもできる。

### 3.6 詳細調査方法の提案

本システムの診断結果は、目視点検の情報から得られたものであり、次段階として非破壊検査や局部的破壊検査による詳細調査が必要となる。推定された劣化原因の調査方法を提案する。

最終結果として診断結果を文書として出力することができ、橋梁管理団体にメンテナンスを提案する際などに有効と考えられる。

## 4. おわりに

- 1) 本システムを使用することで、熟練点検者でなくとも容易に劣化診断を行うことが可能となった。点検結果のデータベース化を実現し、システムの導入により、メンテナンスの効率化が期待できる。
- 2) 現在、社会基盤構造物は、その管理団体独自の管理規準でメンテナンスが行われている(国、都道府県、市町村、公団、企業が管理する道路、鉄道、港湾等で異なった規準で管理されている)。本システムを用いることで、全国の構造物の健全度を相対的に評価することができる。
- 3) 現在、コンクリート構造物の劣化診断プログラム、トンネル版、栈橋版の開発も進めている。将来的には、英語版のリリースも検討されている。
- 4) 今後も診断精度、ロジックの改良、得られたデータのシステムへのフィードバックを行っていく予定である。

## 謝 辞

本研究は、以下の民間10社との共同研究で行ったものである。(株)建設技術研究所、五洋建設(株)、(株)コンステック、佐藤工業(株)、(株)銭高組、(株)千代田コンサルタント、東亜建設工業(株)、飛鳥建設(株)、日本工営(株)、(株)間組の協力研究員に感謝の意を表します。

(2003年5月22日受理)