

コンクリート構造物の劣化診断ソフトの開発

DEVELOPMENT OF INSPECTION SOFTWARE FOR DETERIORATED CONCRETE STRUCTURES

松山公年*・吉田典明*・尾崎裕司*・藤原鉄朗*

Kimitoshi MATSUYAMA, Noriaki YOSHIDA, Yuji OZAKI and Tetsuro FUJIWARA

Interpreting the diagnostic results of deteriorated concrete structures depends on engineer's skill because the inspection requires technical knowledge and experience. In the future, engineers skilled in the inspection of deteriorated concrete structures will be in short supply. To address this problem, a software application for inspection of deteriorated concrete structures was developed. This software can diagnose the cause and degree of deterioration using visually inspected results rather than having it done by expert engineers. This software was applied to structures deteriorated by salt damage and alkali silica reaction.

Key Words : Software, visual inspection, diagnosis, deterioration, concrete structure

1. はじめに

我が国の社会資本整備において、既存構造物をいかに効率良く維持管理していくかは重要な課題である。今後、人口減少期に入り、建設技術者も減少すると予見される中、建設後数十年が経過し、補修・補強を必要とする構造物の増加に対して、専門的な知識と経験を有する技術者による点検を行うことは限界がある。そのため、専門的な知識を持たない一般技術者や施設管理者でも、構造物の劣化原因や程度を推定し、詳細調査の可否を判定できるシステムが望まれる。

そこで、RC橋梁とPC橋梁を対象として、構造物の諸元と目視による変状を入力することで、劣化原因と程度を推定する診断ソフトを開発し、実構造物への適用性を検討した。

2. 劣化診断ソフトの概要

劣化診断ソフトは、対象橋梁の諸元を事前に入力し、現地目視点検によりひび割れ状況（ひび割れ幅、方向性、錆汁・遊離石灰の有無など）やその他の変状について入力することにより、対象橋梁の各部位における劣化原因を推定し、劣化程度を判定するものである^{1,2)}。写真-1に劣化診断ソフトの使用状況を示す。写真-1に示すように小型のノートPCを現場に持参して、変状を入力する。

図-1に劣化診断ソフトのシステムフローを示す。事前に橋梁諸元を入力し、現地で目視点検結果を入力することにより、劣化原因と程度、第三者影響度を評価する。なお、第三者影響度は、「構造物から剥落したコンクリートなどの器物および人に与える障害などへの影響度合い」と定義されている³⁾。



写真-1 劣化診断ソフト使用状況

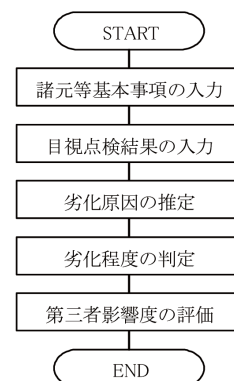


図-1 システムフロー

* 社会環境エンジニアリング事業部 ライフサイクルマネジメント部

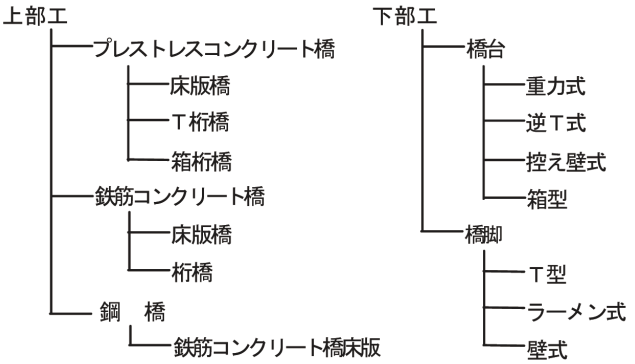
3. システムの内容

(1) データ入力

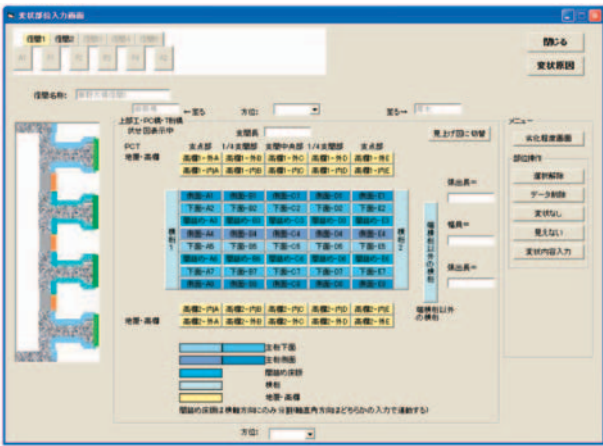
システムの対象は大きく上部工と下部工に分かれており、それぞれの構造種別は図－2に示すとおりである。点検員は事前に基本データ（環境条件・供用条件）・諸元データ

（共通事項）を入力する。現地では図－3、4に示す入力画面から、対象となる部位を選択し目視により得られた劣化状況を入力する。

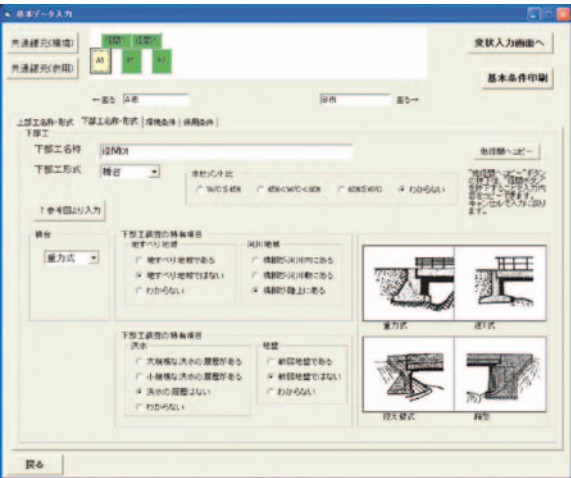
入力画面の特徴は、簡易に診断ができるように構造図や劣化事例などのサンプルを表示し、点検者が入力しやすい



図－2 対象とする構造種別



図－4 構造形式入力画面（下部構造）



図－3 構造形式入力画面（下部構造）



図－5 変状入力画面

表－1 入力内容

環境条件	塩害、寒冷地、アルカリ骨材反応性骨材の使用、都市・工業地帯、温泉地域、凍結防止剤の散布 など
供用条件	大型車交通量、地震、衝突、不同沈下、火災 など
内的条件	海砂、アルカリ骨材反応、示方書・荷重、示方書・耐震、打設方法、グラウト方法、表面塗装、PC 鋼材、水セメント比 など
構造上の変状	異常たわみ、異常音、異常振動、異常遊間、移動、漏水・滞水 など
ひび割れ状況	ひび割れ幅 (0.2mm 以上)・錆汁の有無・遊離石灰の有無・方向性
ひび割れ以外の変状	浮き・剥離、鉄筋露出・腐食、鋼材破断・突出、空洞豆板、変色、コールドジョイント、アルカリシリカゲル、スケーリング、ポップアウト など

ユーザーインターフェースを提供している点である（図－5）。目視により入力する内容は表－1に示す「ひび割れ状況」と「ひび割れ以外の変状」などである。ひび割れは幅0.2mm以上について方向性や錆汁の有無、遊離石灰の有無などを確認する。また、ひび割れ以外の変状として、浮き・剥離、鉄筋露出・腐食、鋼材破断・突出、空洞豆板、変色、コールドジョイント、ゲル、スケーリング、ポップアウトの有無を確認し入力する。

(2) 診断

表－2に劣化原因推定表を示す。入力したデータは表－2の横軸に示す劣化原因と縦軸に示す諸条件（環境条件・供

用条件・内的条件）および劣化現象（構造上の変状・ひび割れの状況・ひび割れ以外の変状）のマトリックスにより、重み係数を決め、それぞれ該当する係数の演算結果として、劣化原因として可能性の大きいものが、より大きな値として得られるように構成している。

診断結果は入力したセルに推定された劣化原因が表示される（図－6）。また、セルごとに該当する劣化原因の可能性の大きさがグラフで示される。また、入力セルごとにひび割れ本数や各種劣化の程度を入力することにより、劣化進行度と第三者影響度を評価し、表示することが可能である（図－7）。

表－2 劣化原因推定表の例（上部工）

変状要因区分		劣化環境										初期欠陥										損 傷					付属物	
		中性化	塩分供給	凍害	化学的侵食	炭酸力	疲労	乾燥収縮	温度応力	断面不足	不良コンクリートのP Cグット	のり不足	かぶり不足	養生不足	若材の軟弱	締固めの不良	打込みの不良	配筋・材料欠	過大荷重	地震	衝突	不同沈下	火災	伸縮継手	支 承			
構造上の変状	①異常たわみ	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2.5	1	1	1	1	1	1	1		
	②異常音	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.5	1	2.5	2.5			
	③異常変位	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2.5	1	1	2	1	1	2.5			
	④異常変角	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1	3			
	⑤移動	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	3	1	1	3			
	⑥漏水・湧水	1	1	1	1.2	1	1	1.5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
支間中央部	ひび割れなし																											
	①縦軸方向に発生	0.2mm以上	1	1	1			0.5	1	1.3	2		1	1.2		1			2	1.3		1.3				1.3		
		ひび割れ+錆汁	1.2	1.3	1.3			0.5	1	1.3	2		1	1.3		1			2	1.3		1.3				1.3		
		ひび割れ+遊離石灰	1.2	1.3	1.3			0.5	1	1.3	2		1	1.2		1			2	1.3		1.3				1.3		
		ひび割れ+錆汁+遊離石灰	1.3	1.5	1.5			0.5	1	1.3	2		1	1.3		1			2	1.3		1.3				1.3		
	②横軸方向に発生	0.2mm以上	1.3	1.3	1.3		1.3	0.5	1	1	1		1.5			1	1	1	1	1								
		ひび割れ+錆汁	2	2	2		1.3	0.5	1	1	1		1.5			1	1	1	1	1								
		ひび割れ+遊離石灰	1.3	1.3	1.3		1.3	0.5	1	1	1		1.5			1	1	1	1	1								
		ひび割れ+錆汁+遊離石灰	2	2	2		2	0.5	1	1	1		1.5			1	1	1	1	1								
	③両方向に発生	0.2mm以上	1.3	1.3	1.3		1.3	0.5	1		1.5		1.5						1.5									
		ひび割れ+錆汁	2	2	2		1.3	0.5	1		1.5		1.5						1.5									
		ひび割れ+遊離石灰	1.3	1.3	1.3		1.3	0.5	1		1.5		1.5						1.5									
		ひび割れ+錆汁+遊離石灰	2	2	2		2	0.5	1		1.5		1.5						1.5									
	ひび割れ以外の変状	④方向性ないひび割れ				2	2	2						1				1.2						1.3				
⑤浮き・剥離		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1	0.5	0.5	1		1.5	1	1	1	1	1	1	1	1.5	1	1.2	1	1			
⑥鉄筋露出・腐食		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1	0.5	0.5	1		1.5	1	1	1	1	1	1	1	1.2	1	1	1	1			
⑦鋼材破断・突出		1	1	1	0.5	0.5	1.5	0.5	0.5	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
⑧ひび割れが等間隔		1	1	1	1	1	1	1	1.5	2	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
ひび割れ以外の変状(後立)	⑨ゲル	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	⑩空洞豆板	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1			
	⑪変色	1	1	1	1	2	1.5	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.2	1	1			
	⑫コールドジョイント	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1			
	⑬スケーリング	1	1	1	2	1.5	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	⑭ポップアウト	1	1	1	2	1.5	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1.5	1	1	1	1	1	1.2	1	1			
	⑮浮き・剥離	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1	0.5	0.5	1		1.5	1	1	1	1	1	1	1	1.5	1	1.2	1	1			
	⑯鉄筋露出・腐食	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1	0.5	0.5	1		1.5	1	1	1	1	1	1	1	1.2	1	1	1	1			



図－6 劣化原因推定結果例



図－7 劣化程度判定結果例

4. 適用事例

開発した劣化診断ソフトを実構造物に適用した。ソフトへの入力は現地目視観察により行い、ソフトによる劣化原因推定結果および劣化程度判定結果に対し、対象構造物の変状状況をコンクリート診断士相当の技術者が観察した結果と比較した⁴⁾。

(1) 塩害により劣化した橋梁

1) 対象構造物の概要

対象橋梁は1950年頃に施工された単径間のRC桁橋である。本橋梁は海岸近くに供用されており、厳しい塩害環境下に置かれている。桁下面には、かぶりコンクリートの剥落および鉄筋の露出が見られ、損傷程度は部分的に著しい状況である。写真-2に対象橋梁の全景を示す。写真-3に上部工下面の劣化状況を示す。



写真-2 橋梁全景



写真-3 橋梁上部工下面の劣化状況

2) 診断結果

ソフトによる劣化原因推定結果を図-8に示す。ソフトによる劣化診断の結果、劣化原因は「塩分供給」となり(図中の赤色の部分)、海岸近くで供用されている影響が強く反映された結果となった。



図-8 劣化原因推定結果 (上部工)

また、劣化程度判定結果を図-9に示す。上部工の下面において、かぶりコンクリートが剥落して鉄筋が露出している部分は「著しい劣化」と判定され(図中の赤色の部分)、ひび割れが発生している部分は「劣化している」(図中の黄色の部分)または「軽微劣化」(図中の青色の部分)と判定された。

ソフトで判定した劣化程度は、写真-1の劣化状況と良く対応している結果となった。また、対象橋梁は河川を跨いでおり、第三者影響度は小さい評価となった。



図-9 劣化程度判定結果 (上部工)

(2) アルカリ骨材反応により劣化した橋梁

1) 対象構造物の概要

対象橋梁は1970年頃に施工された2径間の鋼桁橋である。本橋梁は海岸から離れた河川に架けられており、塩害による影響は小さい。目視調査では、上部工RC床版にはひび割れなどの変状は見られず、橋台および橋脚に亀甲状のひび割れと白色の析出物が見られた。とくに橋脚張出し部の変状が顕著であった。写真-4に橋梁全景を示す。写真-5に橋脚張出し部の劣化状況を示す。



写真-4 橋梁全景



写真-5 橋脚張出し部の劣化状況

2) 診断結果

ソフトにより劣化原因を推定した結果を図-10に示す。ソフトによる劣化診断の結果、劣化原因は「アルカリ骨材反応」と推定された(図中の赤色の部分)。また、個別セルの劣化原因も「アルカリ骨材反応」が他の原因より高い可能性を示した。



図-10 劣化原因推定結果(橋脚)

ソフトによる劣化程度判定結果を図-11に示す。

劣化程度は橋脚張出し部で「著しい劣化」となり、実際の橋脚の劣化状況と良く対応している結果となった。対象橋梁は河川を跨いでおり、第三者影響度は小さい評価となった。



図-11 劣化程度判定結果(橋脚)

5. 結論

コンクリート構造物の劣化状況を簡易に把握・評価する劣化診断ソフトを開発し、開発した劣化診断ソフトを用いて実構造物への適用性を検討した。その結果、劣化診断ソフトで推定した劣化原因(塩害およびアルカリ骨材反応)と判定した劣化程度は、実構造物の劣化状況と良く対応しており、劣化診断ソフトによる劣化診断の有効性が確認された。

そして劣化診断ソフトを使用することで、専門技術者でなくとも簡易に橋梁の劣化診断を行うことが可能となった。さらに、診断結果のデータベース化を図ることにより、構造物群に対する詳細調査や補修・補強の優先順位を検討・決定することが可能となる。

6. 今後の課題

今後、実橋梁への適用事例を蓄積し、診断精度の向上やシステムの改良を行う予定である。また、トンネル版および栈橋版についても開発を検討している。

劣化診断ソフトは、東京大学生産技術研究所魚本研究室と民間10社（建設技術研究所、五洋建設、コンステック、佐藤工業、銭高組、千代田コンサルタント、東亜建設工業、飛鳥建設、間組、日本工営）の共同研究「コンクリート構造物の劣化診断ソフトの開発」の成果である。

参考文献

- 1) 金田他：コンクリート構造物の劣化診断プログラムの開発、生産研究、第55巻、第4号、2003
- 2) 佐藤他：既存橋梁の劣化診断ソフト開発、土木学会第58回年次学術講演会講演概要集、第V部門、pp.165-166、2003.9
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書「維持管理編」、pp1-5、2001.1
- 4) 松山他：劣化診断ソフトの既設橋梁への適用性に関する研究、土木学会第59回年次学術講演会講演概要集、第V部門、pp.277-278、2004.9