

論文 沖縄県でのコンクリート構造物の耐久性調査と維持管理に関する研究

室賀啓希*¹・伊良波繁雄*²・富山潤*³・親泊宏*⁴

要旨: 本論文は、沖縄県内で過去に行われたコンクリート構造物の耐久性調査及び今回行った耐久性調査等を構造物の維持管理に活用するためデータベースを作成した。次に、これらのデータを用いて構造物の塩害及び中性化による劣化予測を行い、その結果もデータベースの中に入れた。その後、構造物の位置及び環境条件を知るための地理情報等を統合的に処理するための、地理情報システムとデータベースを統合しコンクリート構造物の維持管理に役立てる方法を検討した。

キーワード: 耐久性調査, 地理情報システム, (GIS), 塩害, 劣化予測

1. はじめに

構造物の維持管理では調査した構造物の基礎的な資料、写真、ひび割れ図、損傷レベル、位置等のデータ¹⁾を管理するデータベースが必要である。さらに、維持管理を円滑に行うためには、構造物の劣化予測を行い将来の補修に備える必要がある。また、補修を行う時、その内容によっては路線の迂回路の確保も必要となる。

本研究では、このような点を考慮して、構造物の維持管理に必要なデータベース、構造物の劣化を予測するためのシステム、地理情報等を統合的に処理しコンクリート構造物の維持管理に利用する方法を検討した。コンクリート構造物の劣化調査は沖縄県でも過去に多く行われ、多くの研究成果が公表されている^{2),3)}。これらの調査結果によれば、沖縄におけるコンクリート構造物の劣化の多くは、コンクリート製造時に使用した海砂からの塩分と、海からの飛来塩分による鉄筋の腐食に原因があることが分かった。このため、本研究では塩害による劣化を主に取扱った。データベースを作るのに当たりデータは公的機関の橋梁台帳データ、具志らの調査データ²⁾及び、筆者らの調査データを用いた。

2. 耐久性調査と地理情報システムを組み合わせた維持管理

構造物の調査を行う時の調査項目を、ID 番号、名称、所在地、路線名、幅員、スパン、橋種、主桁数、架設年月日、立地条件、水面からの高さ、試料の採取、粗骨材、調査の難易、調査日、損傷のレベル、最大塩分量、中性化深さ、備考と19の情報とし、これら多くのデータを管理するためにはデータベースが必要である。さらに維持管理を円滑に行うためには、構造物の劣化予測を行う必要があるが、本研究ではこれらの予測結果もデータベースとして保存した。表-1に橋の調査データの例として項目やデータの一部を示した。本研究で用いている地理情報システムはハードウェアとしてデジタルカメラ、スキャナー、パソコン、ソフトウェアは地理情報システムソフト、表計算ソフト、画像処理用ソフトとなっている。地理情報システムは図形情報と属性情報から出来ており、図形情報は1/25000のデジタル地図、属性情報とは、表計算用ソフトウェアを用いた構造物データベースのデータの事で、両者はID番号によって図-1に示すようにリンクされている⁴⁾。なお、デジタル地図は、ベクター型データとラスター型デ

*1 琉球大学大学院 理工学研究科環境建設工学専攻 (正会員)

*2 琉球大学助教授 工学部環境建設工学科 博士(工学) (正会員)

*3 琉球大学助手 工学部環境建設工学科 博士(工学) (正会員)

*4 ホープ設計取締役 修士(工学) (正会員)

表-1 データの項目

番号	名称	所在地	路線名	幅員	スパン	橋種	架設年月	立地条件	水面からの高さ	調査日	判定
200001	杉田橋	名護市二見	国331号	13.5	43.4	プレテンション中空床版橋	1999.8	1	2	2000.5	5
200002	(旧)大浦橋	名護市大浦	国331号	6	55.55	RCゲルバーT桁橋	1964.3	1	1	2000.5	1
200003	瀬嵩橋	名護市瀬嵩	国331号	7.5	12.76	2連 BOXカルバート橋	1975	1	1	2000.5	2

表-2 損傷レベル

損 傷 状 況	損傷度
鋼材の露出や破断.またはコンクリートの断面欠損が認められる場合	1
ひびわれ.錆汁.はくり.あるいははく落が連続的に認められる場合	2
ひびわれ.錆汁.あるいははくりが部分的に認められる場合	3
ごく軽微なひびわれや.錆汁が認められる場合	4
損傷が認められない場合	5

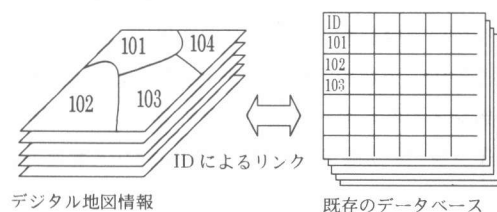


図-1 デジタル地図と属性情報



図-2 調査した橋の位置

一タの2種類が在るが本システムでは両方のデータを取り扱っている。

3. 耐久性調査

3.1 沖縄県内の橋梁の外観調査

本研究で用いている橋梁のデータは過去に具志らが1977年までに行った沖縄本島153橋、筆者らが2000年5月に行った沖縄本島北部の橋梁調査74橋である。筆者らの調査は具志らの調査した橋と一部は重なるが、具志らの調査²⁾から現在まで23年間も経ていることもあり、その間に橋の解体および新設、補修された橋も多い。なお、損傷レベルとしては具志の評価レベルを参考に橋の主桁、横桁または床板のみを表-2のように評価した。図-2には外観調査した橋の場所(○印)と詳細調査を行った橋の名称と場所を示した。表-1には調査結果の一部を示した。

3.2 沖縄本島中部橋梁の詳細調査

橋梁の詳細調査データは6橋で図-2にその場所を示した。詳細調査はコンクリートコアを

採取し塩化物分布、圧縮強度、中性化深さ、を測定し、さらに、ひびわれ図の作成、鉄筋のはつり調査を行い鉄筋の腐食状況を調べた。なお、これらの橋の大半はコンクリートのひびわれ又は交通量の増加に伴う耐力上の問題ですでに補修・補強が行われている。西川橋以外はすでに調査結果を報告³⁾しているので今回は新たに調査した西川橋について述べる。西川橋は鉄筋コンクリートのT

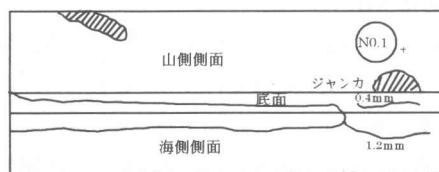
桁 6 本主桁の橋で、約 30 年前に建設された。鉄筋のかぶりは主桁で 7 cm、橋台は無筋となっている。設置環境は海岸の飛沫帯から約 50m であり塩害を受け易い環境にある。圧縮強度試験結果は表-3、中性化試験結果は表-4 に示した。主桁の中性化深さの平均値は 10mm、鉄筋のかぶりは 70mm であるので、鉄筋の腐食の原因はコンクリートの中性化ではない。図-3 には山側近い主桁と海側近い主桁のひび割れ状況を示してあるが、いずれも長いひび割れが生じている。このような状況は他の主桁も同じであった。また、ひびわれの無い健全な部分のコンクリートをはつって鉄筋の腐食状況を調査したが、鉄筋の腐食はなかった。コンクリートに浮きやひびわれのある箇所だけが鉄筋の腐食の程度は大きい。図-4 には採取したコアの塩化物量の分布を示してあるが、ほとんどの値が腐食限界値 1.2kg/m^3 を超えており、腐食の原因はコンクリート中に含まれる塩化物である。

表-3 圧縮強度試験

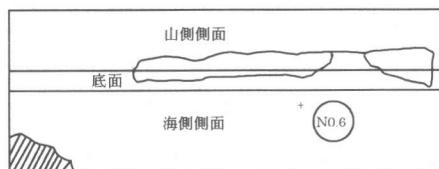
コア No		圧縮強度載荷試験	
		N/mm ²	平均値(N/mm ²)
主桁	2	51.26	51.8
	4	57.15	
	6	47.09	
橋台	8	20.32	21.0
	11	29.62	
	12	13.07	

表-4 中性化試験

コア No		中性化深さ	
		mm	平均値(mm)
主桁	1	5	10
	3	10	
	5	20	
	6	5	
橋台	7	測定不可	30
	9	10	
	10	50	



山側主桁



海側主桁

図-3 主桁の損傷図

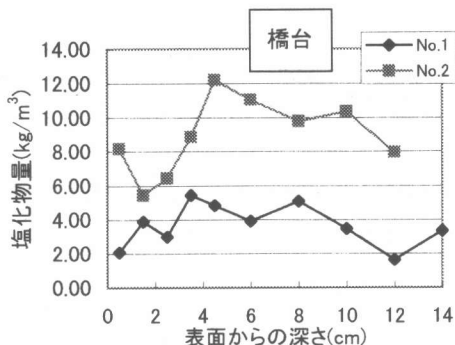
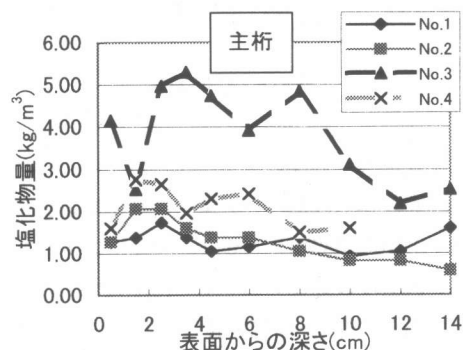


図-4 コンクリート中の塩化物量の分布

4. 劣化予測

塩害によるコンクリート構造物の劣化予測に関する研究も多く発表されている⁵⁾。これらの研究では、図-5に示すように第Ⅰ期の潜伏期、第Ⅱ期の進展期、第Ⅲ期の加速期、第Ⅳ期の劣化期の4区分に分けることが多い。

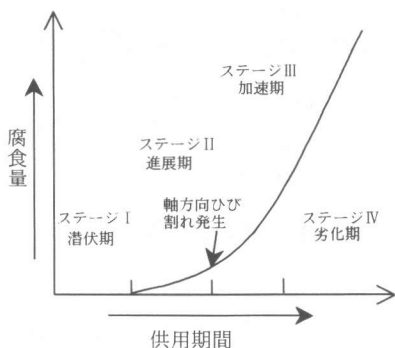


図-5 劣化過程

第Ⅰ期の潜伏期は塩素イオンがかぶりコンクリート中を浸透し鉄筋付近の塩化物が鉄筋の腐食を開始する時の限界塩化物量に達する期間までを言う。本論文では式(1)の Fick の拡散方程式の解を用いて鉄筋表面が限界塩化物量 1.2kg/m^3 に達する期間を求めた。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (1)$$

式(1)の解は誤差関数を用いて式(2)のように表すことが出来る。

$$C(x, t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}} \right) \right] \quad (2)$$

ここで、 $C(x, t)$: 時間 t 、距離 x における塩化物イオン量 (kg/m^3)、 C_0 : 見かけの表面塩化物イオン量 (kg/m^3)、 erf : 誤差関数、 x : 表面からの距離 (cm)、

D_c : 塩化物イオンの拡散係数 (cm^2/sec)、 t : 経過時間 (sec) である。

第Ⅱ期の進展期は鉄筋が塩化物によって腐食生成物となって蓄積され、その膨張圧によってかぶりコンクリートにひび割れが入るまでの期間である。本論文では森永⁶⁾が示した式(3)を用いた。

$$t = Q_{cr} / q \quad (3)$$

ここで、 t : 塩分に起因する寿命 (年)、 Q_{cr} : 鉄筋腐食でかぶりコンクリートにひびわれが生ずる時点での腐食減 ($\times 10^{-4}\text{g/cm}^2/\text{年}$)、 q : 鉄筋の腐食速度 ($\times 10^{-4}\text{g/cm}^2/\text{年}$) である。

第Ⅲ期の加速期は鉄筋の腐食によるひび割れによって、腐食速度が促進され、かぶりコンクリートの剥離剥落が起こる期間である。第Ⅳ期の劣化期は鋼材腐食が進み、断面積の減少も顕著になり、耐力の低下も深刻になる期間である。コンクリート構造物は塩化物の侵入により鉄筋が腐食膨張し、かぶりコンクリートにひび割れが生じた時点で補修が必要となると思われるので、本論文での劣化予測は、かぶりコンクリートにひび割れが入るまでとした。

本論文では、中性化速度の予測式として次式を用いた。

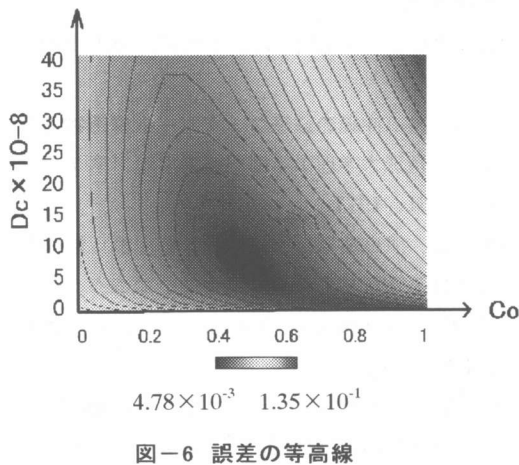
$$y = (-0.383 + 0.010 \cdot W/C) \cdot \sqrt{t} \quad (4)$$

ここで、 y : 中性化深さ (cm)、 t : 期間 (年)、 W/C : 水セメント比である。

コンクリート中の塩化物分布が明らかな場合は、式(2)に示す見かけの表面塩化物イオン量 C_0 、塩化物イオンの拡散係数 D_c を決める必要があるが、本研究では次のように求めた。最初に C_0 、 D_c を仮定し、仮定した式と実測値の塩化物分布量の各深さごとの誤差の二乗和を求める。 C_0 、 D_c をいろいろ仮定し誤差の二乗和の最小値を求めると、その値が最良の解となるが、本研究では図-6に示す誤差平面から最良の解を求める方法を用いている。

誤差平面から求める場合は C_0 を横軸、 D_e を縦軸とし誤差の等高線を図-6 に示すように描く。最良の解は同図から求められるが、この方法は求める解が最小になっていることが視覚的に確認できることが利点である。

次に、求めた C_0 、 D_e を用いて鉄筋表面が限界塩化物量に達する期間を式(2)を用いて求めた。その後、沖縄県での湿度、温度等を考慮して森永式よりかぶりコンクリートにひび割れが発生するまでの時間を求めた。なお、中性化深さは式(4)を用いて計算した。式(4)で水セメント比は、圧縮強度と水セメント比の関係式⁷⁾ から求めた。



5. 結果及び考察

橋の調査データを用いて、損傷レベルと竣工からの経過年数を比較したものが、図-7、図-8である。1973年調査時の橋は約20年で急激に損傷の程度が多くなっている、同図で海岸からの距離1、2、3とレベルを示してあるが、表-5にレベルとその内容を示してある²⁾。これらの図より、海岸に近いほど(○印)損傷は早いことがわかる。また、2000年の調査では約30年で損傷の程度が多くなっており、施工のレベルが向上した結果と思われる。図-9には伊計大橋の橋台から得られたコンクリート中の塩化物物分布を用いて計算した見かけの表面塩化物イオン量 C_0 、塩化物イオンの

拡散係数 D_e で示し、それを用いた時の塩分分布を同図に示した。また、求めた C_0 、 D_e を用いて鉄筋付近が腐食限界塩化物量に達するまでの年数を求めると7年、森永式を用いてかぶりコンクリートにひび割れが発生するまでの年数を求めると52年となった。地理情報システム (GIS) を用いて沖縄本島北部東海岸付近の橋の劣化レベルを地図上に示したものが図-10である。図-10から地域または路線ごとの橋の劣化レベルが容易に明らかになる。また、パソコン上で橋の地点をクリックすると、写真、橋梁台帳、調査データ等を容易に表示でき、維持管理に必要なデータが容易に引き出せる。

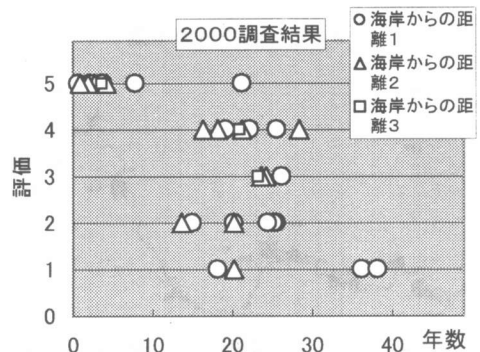
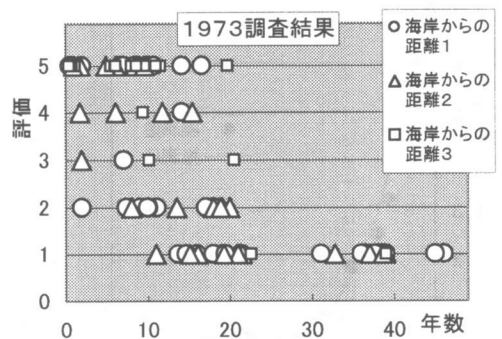


表-5 海岸からの距離

海岸からの距離 1	海岸にあって、常時または強風時には、波浪またはしぶきが直接桁にかかるもの。
海岸からの距離 2	海岸からある程度離れており強風時でも直接しぶきはかかるとはならないが、感潮部に位置しているとか潮風が直接当たるとか等、幾分か海水の影響をうけるものと考えられるもの
海岸からの距離 3	海から離れた内陸部・市街地・山中などにあって海水の影響をうけることはないと考えられるもの

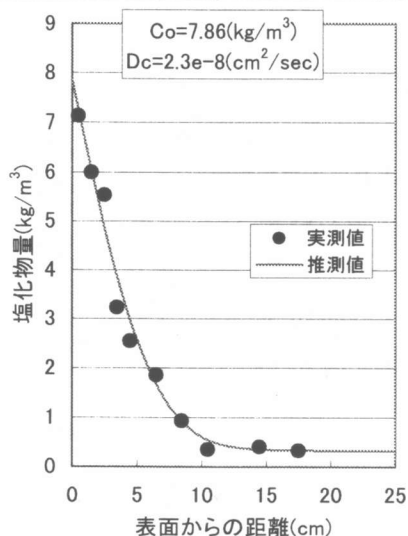


図-9 塩化物分布の予測

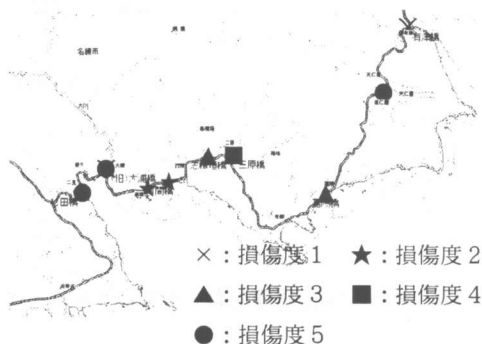


図-10 劣化レベルの地図上での表示

6. 結論

構造物の維持管理ではデータを管理するデータベース、構造物の劣化予測、構造物の位置や地理情報を知るための地理情報システム等が必要であるが本研究ではソフトウェアとして表計算ソフト、地理情報システム (GIS)、画像処理用ソフトを用いてコンクリート構造物の維持管理を行う方法の一例を示した。本研究で示した方法を用いることにより過去に行われた調査結果を生かすと共に将来の劣化の予測を行い円滑に構造物の維持管理が行われると思われる。

参考文献

- 1) コンクリート構造物の維持管理指針(案) 土木学会, 1995
- 2) 具志幸昌: 沖縄の鉄筋コンクリート構造物の耐久性, 琉球大学理工学部紀要工学編, 第7号, pp.19-61, 1977
- 3) 親泊宏, 伊良波繁雄, 舟木理, 富山潤: 沖縄県における RC 床版の耐久性調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22.No.1, pp.583-588, 2000
- 4) 町田聡: 地理情報システム, 山海堂, 1997
- 5) 伊予田岳史, 矢島哲司, 魚本健人: 塩害劣化を受ける RC 構造物の劣化予測, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21.No.3, pp.1123-1128, 1999
- 6) 森永繁, 入野一男, 大田達見, 土本凱士: 腐食による鉄筋コンクリート構造物の寿命予測, コンクリート工学論文集, 第1巻, 第1号, pp.177-189, 1990
- 7) コンクリート標準示方書[施工編]-耐久性照査型-改訂資料, pp.96, 土木学会, 2000