報告　沖縄県石垣島におけるコンクリート構造物の実態調査

親泊　宏[*1]・伊良波　繁雄[*2]・古川　裕市[*3]・比嘉　敦[*4]

要旨：沖縄県石垣島には県管理のコンクリート構造物の橋梁やボックス・カルバート等が約100 橋程度あるが、その実態がほとんど調査されていなかった。今回の外観調査により、構造物の基礎的資料や変状の種類・程度等を把握することができた。これらのデータは今後の維持管理計画において重要な情報となる。さらに、これらのデータの維持管理方法について検討したものを報告する。

キーワード：耐久性調査，コンクリート変状，塩害，維持管理システム

1.　はじめに

過去に沖縄本島においては、数多くのコンクリート構造物の調査が行われてきたが、八重山諸島の島々ではこうした調査はほとんど行われておらず、その数や実態が把握されていなかった。したがって、今回の実態調査[1)]はコンクリート構造物の変状調査前に構造物の位置や形式および規模の確認等を行った。

今回の調査対象となった石垣島は、沖縄県八重山諸島内にあり，**図－１**に示すように台湾北部と同緯度（北緯 24 度）付近に位置し，年平均気温は 24℃，冬でも平均気温 18.3℃と暖かい亜熱帯海洋性気候に属する。この石垣島は，八重山諸島の政治・経済の中心で，面積 227ｋm^2・人口約 4.5 万人である。

2.　調査概要

2.1　対象構造物

調査は，石垣管内の県管理の県道および国道の橋梁およびボックス・カルバート等（**表－１**参照）を対象とした。対象構造物のほとんどがＲＣ（鉄筋コンクリート）およびＰＣ（プレストレストコンクリート）構造物であり，一部にＲＣ床版鋼橋も含まれる。

2.2　調査方法

調査は，主に目視の外観調査と携帯ハンマーの打音検査を行った。損傷状況等から塩害によると考えられる損傷が多く見られた。その原因を確認するため，4 橋からコンクリートコアを採取し，塩化物含有量試験を行った。

また，石垣島のレディミクストコンクリートの状況を既存資料[2)]等から把握した。

図－１　石垣島の位置図

*1　（株）ホープ設計　技術管理部設計部　工修　（正会員）
*2　琉球大学　工学部環境建設工学科助教授　工博　（正会員）
*3　沖縄県　八重山支庁土木建築課維持管理係
*4　（株）ホープ設計　技術管理部設計部

表－１　調査構造物の構造形式と架設年代

構造形式	架設年代区分					合計
	A	B	C	D	E	
PCBOX	1	7	10	23	7	48
RCBOX	0	0	0	9	0	9
RC 床版橋	0	5	2	0	0	7
RCT 桁橋	1	7	3	0	0	11
PC プレテン桁橋	0	0	1	0	0	1
PC ポステン桁橋	0	0	3	3	0	6
PC ポステン T 桁橋	0	4	1	3	0	8
PC ポステン箱桁橋	0	0	1	0	0	1
RC 床版橋 I 桁橋	0	8	5	1	0	14
調査橋梁の合計	2	31	26	39	7	105

架設年代区分 A:1963-1972，B:1973-1982，
C:1983-1992，D:1993-2002，E:不明

2.3 調査内容の記録方法

目視調査を行ったコンクリート構造物（橋梁・ボックス・カルバート）を「橋梁点検業務の手引き（案）」[3)]の橋梁点検診断書（カルテ）を参考に橋梁諸元，点検方法，点検結果，所見，対策等を記入した。特に点検結果と所見については，将来の維持管理の重要な資料となる。（**表－２**参照）

表－２　橋梁点検診断書記入例の一部

１．橋梁諸元

橋梁名	○○橋	距離標	－	橋梁ｺｰﾄﾞ	070-1
所在地	沖縄県石垣市字○○			管轄	八重山支庁
橋梁区分	本線橋		橋長	40.000m	
橋梁種別	橋		最大支間長		
架設状態	河川交差		径間数	2	
交通量			全幅員	10.750m 有効幅員	9.750m
設計示方書	道路橋示方書昭和55年　１等橋TL-20		架設年次	昭和57年3月	
構造形式 上部	2径間単純ポストテンション方式Ｔ桁橋				
構造形式 下部	逆Ｔ式橋台（直接基礎）、小判柱式橋脚				

２．点検方法

点検方法	目視確認、ﾃｽﾄﾊﾝﾏｰ
協議関係先	－

３．点検結果

点検日	平成１３年８月１３日	点検種別	定期点検（近接）
損傷部位	ﾗﾝｸ	損　傷　内　容	
歩道地覆	Ⅱ	ひびわれ	
伸縮装置	Ⅳ	欠損	
横　桁	Ⅱ	遊離石灰	
〃	Ⅲ	ひびわれ	
伸縮装置	Ⅳ	遊離石灰（車道側張出し床版部）	
A2橋台たて壁	Ⅱ	ひびわれ	
P1橋脚	Ⅱ	亀裂	
〃	Ⅲ	ひびわれ（張出し部）	

４．所見

【橋面】

・橋面を目視確認した結果、伸縮装置に局部的な欠損、歩道地覆のひびわれが見られ地覆については早急に対策を講じる必要があると思われる。又、車道及び歩道の舗装、排水桝等については損傷は見られなかった。

【橋体】

・主桁は健全であるが横桁に遊離石灰やひびわれがみられ、追跡調査１回／２年を要すると思われる。

【下部工】

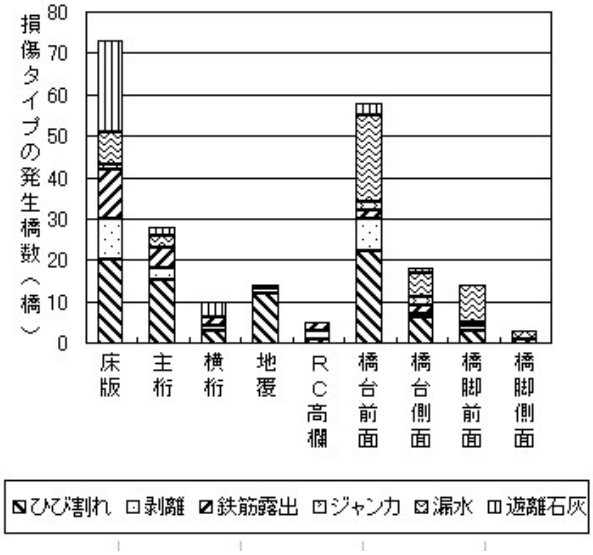
・Ａ１橋台については特に損傷は見られなかったがＡ２橋台たて壁部にアルカリ骨材反応らしきものが見られ、Ｐ１橋脚については亀裂やひびわれが見られた。従って専門技術者による詳細調査を早急に実施し、すみやかに補修（新設）を行う必要がある。

3.　外観調査結果

3.1　各部位の損傷タイプ

目視による外観調査結果からコンクリート構造である各部位（床版・頂版，主桁，横桁，地覆，ＲＣ高欄，橋台・側壁，橋脚）の変状をコンクリートの主な損傷（ひび割れ，剥離，鉄筋露出，ジャンカ，漏水，遊離石灰）に分類分けしたものを**図－２**に示す。

点検件数が多い床版や橋台前面は，比例して変状の発生件数も高いものとなっている。



図－２　各部位の損傷タイプの発生橋数

3.2　各部位の損傷タイプ別発生頻度

図－２では各部位の調査橋数が異なることからその損傷タイプの発生頻度を把握できない。そこで主要な部位（床版・頂版，橋台・側壁）の損傷タイプ毎の発生頻度（％：損傷発生橋数／点検調査橋数×100）として**図－３**に示す。

3.3　損傷タイプの原因

図－２，図－３において，各部位とも損傷（変状）のタイプは変色が最も多いものとなっているが，その原因としては塵埃と高温多湿な環境によるカビ類の発生によるものである。

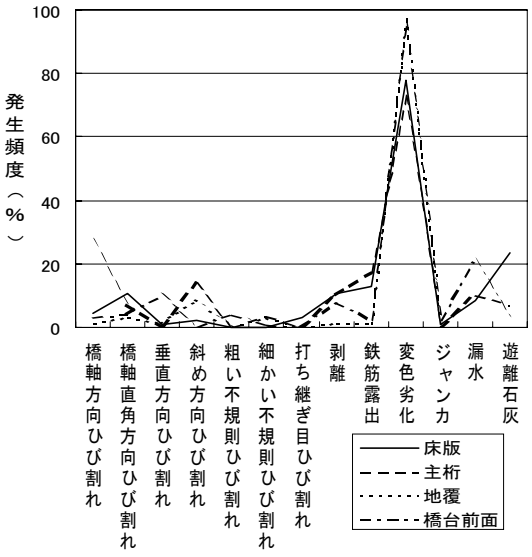
ＲＣ床版の損傷は，かぶり不足と塩害による鉄筋の腐食膨張が原因でひび割れ，剥離，剥落，鉄筋露出，遊離石灰等がある。

主桁と横桁においては，コンクリートの乾燥収縮と締固め不足が原因で橋軸方向ひび割れ，斜め方向ひび割れが発生しているものもある。

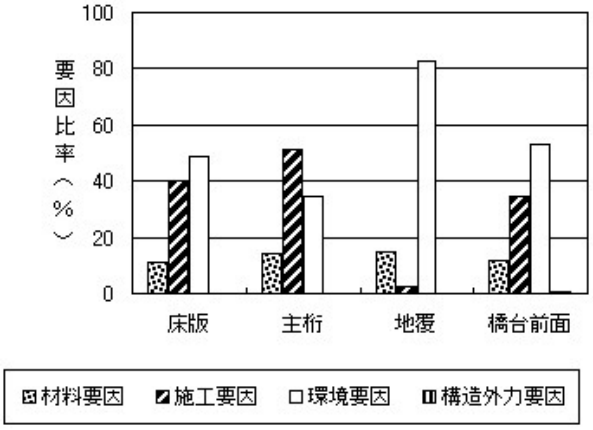
地覆は，コンクリートの乾燥収縮とアルミ高欄支柱の腐食膨張から斜め方向ひび割れが発生しているものも見られた。

橋台・橋脚は，締固め不良によるジャンカとコンクリートの乾燥収縮や塩害によるひび割れが発生しているが見られた。また，一部にアルカリ骨材反応と考えられるひび割れも見られた。

各部位の損傷タイプの原因を**図－４**に示す。



図－３　各部位の損傷タイプ別発生頻度



図－４　各部位の損傷タイプの原因

これらの原因については，材料要因（塩化物含有量の高い細骨材・アルカリ反応性骨材・乾燥収縮），施工要因（配筋の乱れとかぶり不足・締固め不良），環境要因（高温多湿・海岸部）の 3 つが主要なものである。尚，構造的外力要因による損傷はほとんど見られなかった。

3.4　主な損傷例

本調査において，主部材の損傷タイプの代表的な例について以下に示す。

(1) 中空床版橋の橋軸方向のひび割れ

ＰＣ中空床版橋の中空筒部の下面に漏水と遊離石灰を伴った橋軸方向ひび割れが見られた。その原因は，ボイド中空筒部下面のコンクリートの締固め不良が考えられる。（**写真－１**参照）

写真－１　中空床版橋の橋軸方向ひび割れ

(2) ＲＣ床版橋の橋軸直角方向のひび割れ

ＲＣ床版橋の斜角部の下面に漏水と遊離石灰を伴った橋軸直角方向ひび割れが見られた。その原因は，交通荷重の増加による耐荷力不足（配筋不足）とコンクリートの乾燥収縮が考えられる。（**写真－２**参照）

写真－２　ＲＣ床版橋の橋軸直角方向ひび割れ

(3) ＲＣボックス・カルバートの剥離

海岸線沿いのＲＣボックス・カルバートのかぶりコンクリートのひび割れや剥離が多数見られた。その原因は，かぶり不足と塩害による鉄筋の腐食膨張が考えられる。(**写真－３**参照)

写真－３　ＲＣボックス・カルバートの剥離

(4) **地覆部のひび**割れ

埋め込み式アルミ高欄の支柱基部の地覆コンクリートに斜め方向ひび割れが多数見られた。その原因は，風による高欄の振動とアルミ支柱と地覆鉄筋の接触により発生する金属間の電位差によるアルミの腐食膨張が考えられると報告[4]されている。(**写真－４**参照)

写真－４　地覆部のひび割れ

(5)　**下部工のひび**割れ

海岸沿いにある橋梁の橋台と橋脚に亀甲状のひび割れが見られ，一部はひび割れ部付近の骨材から白色の物質が滲み出ている。このような状況からアルカリ骨材反応の疑いが考えられる。(**写真－５**参照)

写真－５　下部工のひび割れ

3.5　構造物の損傷度判定

「橋梁点検要領(案)」[4]の損傷度判定標準(**表－３**参照)に基づいて判定した結果を**表－４**に示す。

損傷状態が最も悪いものがランク 1，損傷状態が段々に良くなるとランク 2,3,4,5 となる。さらに，各構造物の調査結果の一部を**表－４**に示す。

今回の調査結果からはランク 1 と判断されるものはなかったが，ランク 2，3 は今後の損傷の進行具合によっては数年内にランク 1 となる可能性もある。ランク付けは点検者の主観も大きく影響するため，複数の点検者による確認が必要である。

表－３　損傷度判定標準

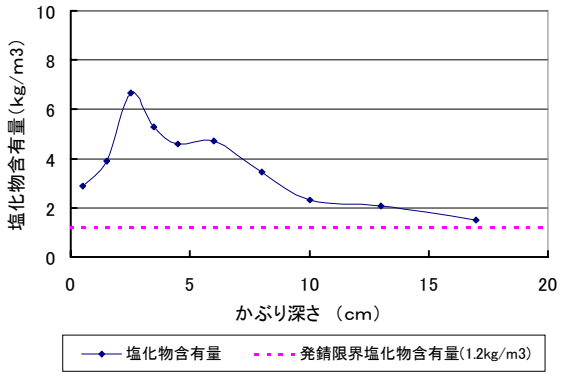
ランク	内　　容	橋　数
1	損傷が著しく，交通の安全確保の支障となる恐れがある。	0
2	損傷が大きく，補修検討が必要である。	10
3	損傷が認められ，追跡調査が必要である。	27
4	損傷が認められ，記録が必要である。	37
5	健全で損傷が認められない。	31
	合　　計	105

表－４　調査構造物の評価一覧表

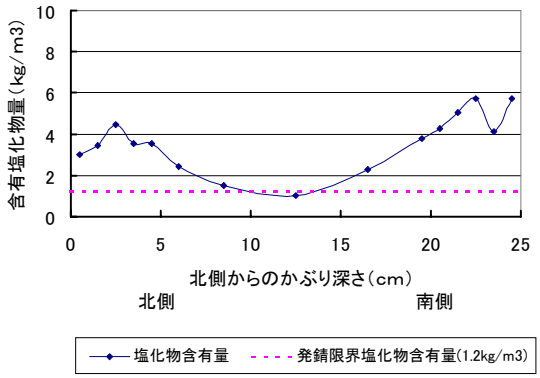
橋梁番号	構造形式	橋　長	竣　工年 月 日	周辺状況	代表的な損傷位置	損傷状況	損傷度判定
001	ＰＣポストテンション方式単純Ｔ桁橋	27.80	H7．3	海岸線	横桁	遊離石灰	3
002	ＰＣポストテンション方式４径間連続Ｔ桁橋	55.50	H9．3	海岸線	張出し床版	遊離石灰	4
003	ＲＣ１連ボックス・カルバート	2.70	－	海岸線	－	－	5
004	ＲＣ単純床版橋	3.67	－	住宅地	橋台たて壁	遊離石灰	3
005	単純合成鈑桁橋	33.68	S59．11	畑地	主桁	塗装劣化	3

4.　塩化物含有量試験

海沿いの道路の一部として設置されたＲＣ2連ボックス・カルバートの損傷（**写真－３**）が非常に厳しい状態である。その原因が塩害であることを確認するために側壁と中間壁から採取したコンクリートコアの塩化物含有量の測定をした。その結果を**図－５，６**に示す。



図－５　側壁の塩化物含有量分布図



図－６　中間壁の塩化物含有量分布図

以上の塩化物含有量試験結果より塩化物の内訳は，外部より浸透した塩化物と施工当時から材料に含まれていた塩化物（かぶり深さ10ｃｍ以上の塩分）の両者の影響を受けていると考えられる。鉄筋位置（かぶり深さ5～7ｃｍ付近）の塩化物含有量は，2～5ｋｇ/m³で鋼材（鉄筋）の発錆限界含有量（1.2ｋｇ/m³）よりも高い値となっている。よって，コンクリートのひび割れや剥離の原因が，塩害による鉄筋の腐食膨張によるものであると考えられる。

また、今回調査した橋の中で干潮河川に架設されているＰＣ橋についてはコンクリート表面付近で２ｋｇ/m³程度，鉄筋位置で１ｋｇ/m³程度の塩化物含有量が測定された。この場合にはひび割れや剥離・剥落等は見られないが確実に飛来塩分が内部に拡散していると考える。

5.　石垣島のレディミクストコンクリート

現在，石垣島のＪＩＳ認定レディミクストコンクリート工場は５社あるが，ＪＩＳ認定取得はほとんどが昭和50年代である。材料となる骨材は，昭和50年以降においては，島内に産する陸砂，石灰岩砕石と台湾産の川砂・川砂利と中国福建省産の川砂が多く使用されている。

石垣地区での骨材（砕石・川砂）の輸入実績が年間に約13.9万ｔ（砕石：6.9万ｔ，川砂：7.0万ｔ）である。

外国産輸入骨材の使用については，骨材資源

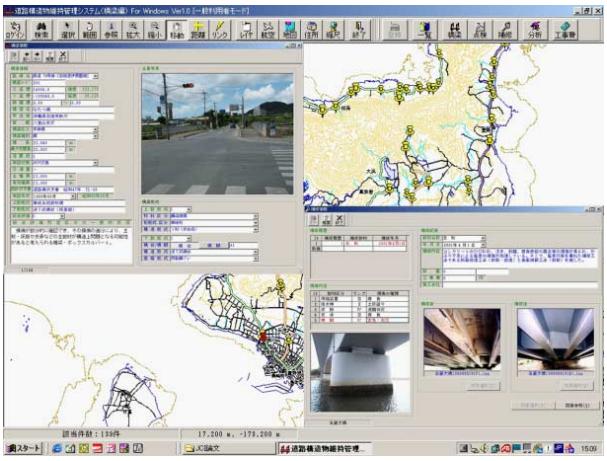
に恵まれないことや台湾・中国との交流が深いことから今後も続くものと考えられる。

6. 既設構造物の管理方法

既設構造物の調査により得られたデータは管理者が維持管理に迅速かつ有効に利用しやすい情報とすべきである。即ち，構造物の基礎データ（位置図・設計条件・一般図・補修履歴等）や点検調査結果をデータベースし，維持管理システムとして構築する必要がある。

さらに点検調査によりデータの追加および修正を行い，より正確なデータを保持しなければならない。

そして，そのデータを基にして構造物の劣化を予測し，ＬＣＣ（ライフサイクルコスト）を考慮した補修および補強の計画を行う必要がある。本維持管理システム[5)]はＧＩＳ（地理情報システム）に本点検データを組み込むことより利用しやすいものとして開発したものである。本調査の維持管理システムの内容について以下に述べる。（**図－７参照**）



図－７　維持管理システムの画面

- 橋梁のデータから橋梁位置を検索できる。（橋梁位置から橋梁データを検索することも可能）
- 多種多様なソフトデータ（表・図・写真等）の書き込みおよび読み込みができる。
- 基本データ（設計・施工関連資料）と維持管理データ（調査・補修・補強関連資料）の追加や修正ができる。

7. まとめ

石垣島のほとんどのコンクリート構造物が，本土復帰（1972 年）以降に施工されたもので，築 30 年以下である。

竣工時期・形式・規模が同様なものでも，劣化および損傷のレベルに大きな差があるのは環境要因と施工要因が大きいと考えられる。海岸沿いの締固め不良や基準かぶり不足など施工管理に問題がある構造物は，塩害により損傷が著しい状態にある。

石垣島はコンクリートの骨材資源が乏しいため，輸入骨材により補っている。アルカリ骨材反応によると考えられるひびわれの原因ついては，輸入骨材との因果関係の可能性もある。よって，輸入骨材の品質管理も重要である。

最後に，石垣島を含め沖縄県は振興開発計画の基に本土復帰前後から今日までに造られた構造物の維持管理が重要な課題である。そして，維持管理の第一歩として，現状の構造物の実態を把握する現地調査が最も重要なことであると考える。

参考文献

1) 沖縄県八重山支庁土木建築課：石垣島管内橋梁点検委託業務報告書，2001. 11
2) （財）沖縄県建設技術センター：研究報告第３号，1995.10
3) （財）道路保全技術センター橋梁構造部：橋梁点検業務の手引き（案），1995.8
4) 建設省土木研究所：橋梁点検要領（案），1988.7
5) 室賀啓希ほか：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，コンクリート工学年次論文集，Vol. 23，No. 1，pp. 1177-1182，2001. 6