

# 報告 沖縄県でのコンクリート橋の耐久性調査

伊良波繁雄\*1・親泊宏\*2・富山潤\*3・和仁屋晴謹\*4

**要旨:** 沖縄県での塩害による鉄筋コンクリート造建築物や道路橋の調査は、過去に数多く実施され、損傷の主要な原因として海砂の使用と海からの飛来塩分が多いという塩害環境地域特性の2点があげられている。本研究は沖縄県内のコンクリート橋4橋の外観調査を行い、その内の、最も緊急に補修が必要と思われる伊計大橋の詳細調査をまとめたものである。調査結果によれば、伊計大橋はランガー桁橋の鉄筋コンクリート床版に交通荷重による橋軸直角方向の長い貫通したひび割れが多数あり、吊り材も風、交通荷重による繰り返し荷重による水平方向の疲労亀裂が見られ、早急な対策が必要とされる。

**キーワード:** 塩害, コンクリート橋, 耐久性調査, 交通荷重

## 1. はじめに

沖縄県での塩害による鉄筋コンクリート造建築物や道路橋の調査は、過去に数多く実施され、多くの調査報告<sup>1), 2), 3)</sup>がすでに公表されている。調査報告によれば、損傷の主要な原因として次の2点がすでに指摘されている。すなわち、細骨材として海砂の使用と亜熱帯海洋性気候に加え、台風の常襲地帯で、しかも、年中潮風に吹きさらされるような島嶼に位置しているという塩害環境地域特性の2点である。筆者らも沖縄県内の公営RC造集合住宅を中心に多くの調査を行ってきた。コンクリート中の鉄筋腐食の原因は海岸近くで建設された建物では、飛来塩分を原因とするものもあったが、十分に洗浄しない海砂の利用が主な原因であることが分かった。特に1966年から1977年にかけて建設された多くの団地に、海砂による塩分が混入され、その結果塩害による被害が多数発生した<sup>4), 5)</sup>。同様なことは、同じ生コン会社のコンクリートを使用したコンクリート橋でも状況は同じである。ただ、コンクリート橋の場合は、沖縄本島が細長い島であるために、道路も海岸に近いものも多く海からの飛来塩分によってさらに鉄筋腐食の被害を増加させた。このような損傷のように、交通荷重と直接関係ないコンクリート橋の損傷に対して、日本本土



図-1 調査した橋の所在地

では、昭和40年中頃から交通荷重による床版陥没や抜け落ちの等の重度な損傷が各所で見られた結果、床版の耐力向上が求められ、道路示方書等の設計基準が段階的に改訂されてきた。

本研究は従来沖縄県で広く研究・調査されてきた塩害によるコンクリート橋の耐久性の問題だけでなく交通荷重による耐久性の問題を含めて調査を行った結果を報告する。調査は最初に4橋だけの外観調査

\*1琉球大学助教授 工学部環境建設工学科 工博(正会員)

\*2ホープ設計

\*3琉球大学工学研究科 工学修士(正会員)

\*4琉球大学助教授 工学部環境建設工学科 (正会員)

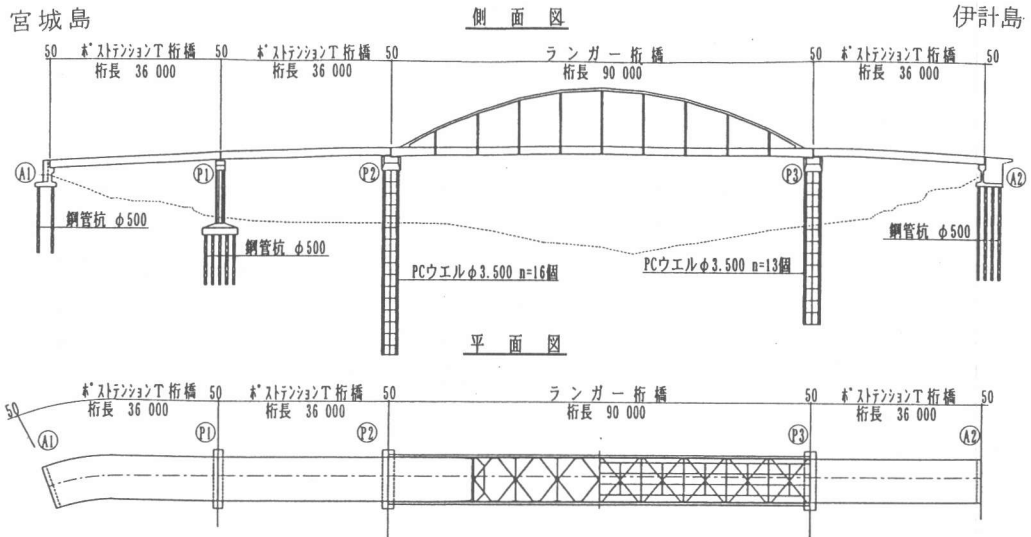


図-2 伊計大橋の側面及び平面図

を行い、その中で特に損傷の大きい伊計大橋については詳細調査を実施した。

## 2. 調査概要

調査は、図-1に示すように、沖縄本島内4カ所の橋(大平インター陸橋、浦添大橋、伊計大橋、長浜橋)の目視による外観調査を行った。その後、損傷の最も大きい伊計大橋については、作業用の足場を仮設し、コンクリートコアを採取し圧縮強度試験、全塩化物含有量試験(塩素イオン)、中性化深さの測定等を行った。

## 3. 外観調査結果

### 3.1 大平インター陸橋

大平インター陸橋は活荷重合成単純鋼桁橋で市街地にあり、海岸からは離れており、海からの飛来塩分の心配はない。橋長は45mで1971年の竣工、床版厚さ17cmである。高欄、地覆、縁石、舗装等は特に損傷は認められない。しかし、床版は、格子状のひび割れが多数発生しており、一部泥水の跡も認められる。ほか、遊離石灰の発生も認められた。橋梁台帳によれば、床版支間は3.0m、床版厚さは17cmとなっており、現在の道路橋示方書から規定床版厚を算定すると20cmとなるので、3cmの不足となる。

### 3.2 浦添大橋

浦添大橋は活荷重合成単純鋼桁橋で市街地にあり、海岸からは離れており、海からの飛来塩分の心配はない。橋梁台帳によれば、橋長は264.05mで1975年の竣工、床版支間は4.0m、床版厚さは23cmとなっている。高欄、縁石等には特に損傷は認められないが、舗装には若干ひび割れが見られる。床版には、特に損傷は認められないが、全体的に遊離石灰のにじみ出しの兆しが若干見られた。

### 3.3 伊計大橋

伊計大橋は図-2に示すように、中央部にRC床版ランガー桁橋(橋長90m、床版厚20cm)があり、その前後にPCT桁橋(床版厚18cm)がある。なお、ランガー桁橋のRC床版は平均海面より12m上にある。1981年竣工で、金武湾と太平洋に挟まれた海上にある。ランガー桁橋の鉄筋コンクリート床版に貫通したひび割れが多数あり、ランガー桁橋を構成する吊り材も風、交通荷重による繰り返し荷重による水平方向の疲労亀裂が見られる。図-2の橋脚P1、P2、P3にも主筋の腐食によると思われる、鉛直方向の長いひび割れが観察された。PC橋の主桁は鉄筋の腐食が若干見られる。調査した内で最も早急な詳細調査を必要とする橋である。

### 3. 4 長浜橋

長浜橋はPC単純T桁橋で、海岸から約100m離れている。橋長は33.3mである。竣工年月日は1979年3月。床版は特に損傷はない。主桁の下フランジ部にひび割れがあり、鉄筋やPCケーブルの露出等の損傷が見られる。横桁や支承部の損傷は特にない。

### 4. 伊計大橋の詳細調査

#### 4. 1 ひび割れ調査

調査した橋の内最も早急な詳細調査を必要とする橋と思われるので、海上からの船による調査、橋下面の海岸からの目視調査、橋上面の目視調査等を行った。図-3にランガー桁橋の鉄筋コンクリート床版上のアスファルトに生じたひび割れとコンクリート床版下面のひび割れ状況を示した。これらのひび割れが貫通しているかどうか確認するために、ひび割れに沿ってメチレンブルーの水溶液を床版上面から浸透させ、橋下面の船上から望遠レンズ付きカメラで確認すると同時に写真を撮った。この結果、橋軸方向に直交する床版上のひび割れはほとんど床版下面まで貫通していることが確認された。

伊計大橋の設計は2等橋で床版は総重量14トンの自動車荷重(T-14 荷重)で設計されており、建設後のサトウキビ満載車両や建設用大型車両等の交通荷重の増加に対応できなかったためにひび割れが生じたものと思われる。これらの貫通ひび割れ部では鉄筋コンクリート床版の上部からの浸透水による鉄筋の腐食が心配される。また、この橋が海上に設置されていることを考えれば、腐食対策は急を要する。

#### 4. 2 コンクリートの圧縮強度調査

圧縮強度試験用のコンクリートコアの採取本数は全体で24本である。採取場所は図-2に示すように、宮城島側橋台(A1)および橋脚(P1)から各3本ずつ、海中に設置された橋脚(P2)から3本、伊計島側の橋脚(P3)および橋台(A2)から各3本ずつとなっている。PC橋の採取場所は宮城島側2本の横桁(No.1, No.2)で各3本ずつ、伊計島側横桁(No.4)で3本となっている。なお、橋脚で採取した位置は、橋脚の頭部で、平均海面から約10mである。試験結果は表-1に示してあるが、橋台及び橋脚は最小の値でも23.4MPaあり、設計強度20.6MPa(210kgf/cm<sup>2</sup>)

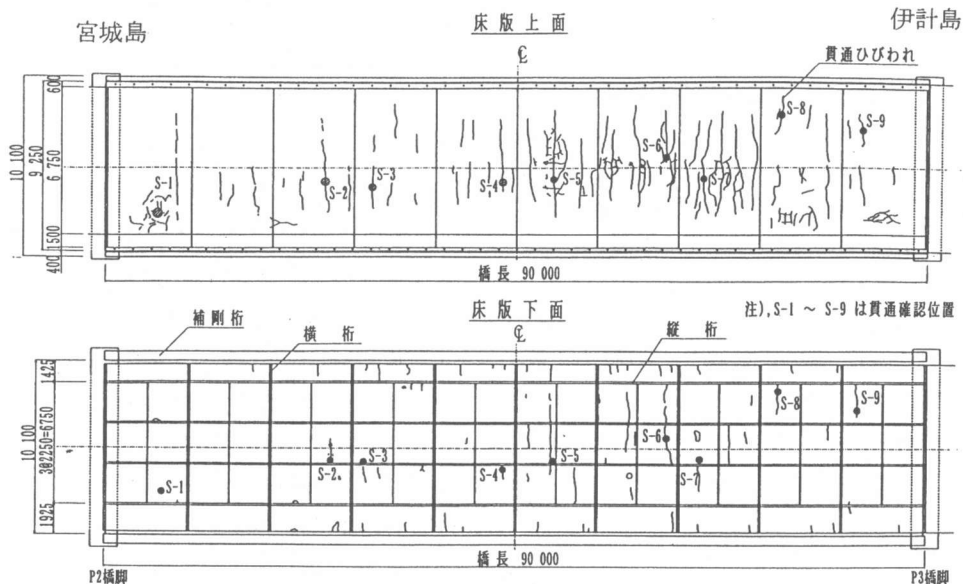


図-3 伊計大橋ランガー桁橋床版の貫通ひび割れ

より大きい。また、PC橋のコンクリートは最小でも41.1MPaあり、設計基準強度よりも大きな値が得られた。

#### 4. 3 コンクリートの中性化深さの調査

コンクリートの中性化深さの測定はフェノールフタレイン法<sup>7)</sup>で行った。表-2は圧縮強度試験に用いた試験体から測定した中性化深さの値を示した。また、PC橋主桁や床版下面で鉄筋の腐食膨張によって剥離したコンクリート片から測定した中性化深さの結果を表-3に示した。表-2で中性化深さの計算値は岸谷式<sup>7)</sup>を用いて計算した値で、このとき用いた水セメント比は表-1のコンクリートの圧縮強度より式(1)<sup>6)</sup>を用いて求めた。

$$Y = -78 + 204X \quad (1)$$

ここで、Yは圧縮強度、Xはセメント水比である。岸谷式で計算した中性化深さの推定値は橋台及び橋脚では大体一致しているが、PC橋横桁では実測値の方が大きい。表-3のコンクリート剥離片の測定値も約7mmのものが多く、PC橋の部分では実測値の方が推定値よりも高めにでている。橋台や橋脚のかぶり厚さの設計値が5cm、PC橋主桁や床版で3cmであるので、現在のところ中性化は鉄筋の腐食の原因ではない。

#### 4. 4 コンクリートの塩化物含有量調査

コンクリートコア試験体を表面から5cmまでは1cm間隔に、5cmから10cmまでは2cm間隔、10cmよりも深い所は4cm間隔で切断し全塩化物量を測定した。塩化物含有量の深さ方向の分布を図-3、コンクリート剥離片から測定した結果は表-3に示した。図-3で、試験体の採取場所は図-2に示すように、宮城島側橋台(A1)、橋脚(P1)と海中に設置された橋脚(P2)、伊計島側の橋脚(P3)、橋台(A2)である。PC橋の採取場所は宮城島側の2本の横桁(No.1, No.2)と伊計島側の横桁(No.4)である。

伊計大橋は1981年竣工であるので、その当時の大部分の生コンは沖縄県でも塩化物含有量の基準値を満たしていた<sup>5)</sup>ので、今回測定した値も、飛来塩分の浸透の影響がないと思われる表面からの深さ15cm付近では、橋台と橋脚で約0.1kg/m<sup>3</sup>、PC橋横桁で約0.0kg/m<sup>3</sup>であるので、土木学会で定められて

いるコンクリート中の全塩化物含有量の規制値<sup>8)</sup>0.3kg/m<sup>3</sup>よりもかなり小さい。また、塩化物含有量が0.3kg/m<sup>3</sup>に達する深さを橋台、橋脚、PC橋横桁で求めると、橋台(A1)で4~7cm、橋脚(P1)で8~12cm、橋脚(P2)で0~5cm、橋脚(P3)で0~4cm、橋台(A2)で2~3cmである。PC橋は横桁(No.1)で2~3cm、横桁(No.2)で1~2cm、横桁(No.4)で0~1cmとなっている。橋台、橋脚の設計かぶり厚は5cmなので橋台(A1)、橋脚(P1)、橋脚(P2)では主鉄筋の位置まで部分的に規制値0.3kg/m<sup>3</sup>より多い塩化物が侵入していると考えられる。なお、これらのP1、P2橋脚では主筋に沿ってひび割れが見られた。PC橋は横桁の設計かぶり厚は3cmであるので、横桁(No.1)も規制値0.3kg/m<sup>3</sup>より多い塩化物が侵入していると考えられる。

PC橋主桁及び床版下面より採取したコンクリート剥離片の塩化物含有量を表-2に示してあるが、これらの値はいずれの場所でも規制値0.3kg/m<sup>3</sup>を大きく越えており早急な補修が必要である。

表-1 コンクリートの圧縮強度

	供試体番号	圧縮強度 (MPa)	平均圧縮強度 (MPa)
橋台 A1	A1-1	30.5	26.5
	A1-4	28.6	
	A1-5	20.4	
橋脚 P1	P1-3	28.3	28.2
	P1-4	30.9	
	P1-5	25.5	
橋脚 P2	P2-2	26.3	26.3
	P2-3	24.6	
	P2-6	28.1	
橋脚 P3	P3-1	26.4	28.1
	P3-4	29.2	
	P3-5	28.6	
橋台 A2	A2-2	18.6	23.4
	A2-4	26.6	
	A2-6	25.0	
PC 橋 (横桁 No.1)	No.1-3	36.4	41.1
	No.1-4	43.8	
	No.1-5	43.2	
PC 橋 (横桁 No.2)	No.2-1	47.8	47.1
	No.2-4	42.9	
	No.2-6	50.7	
PC 橋 (横桁 No.4)	No.4-1	52.1	54.4
	No.4-4	55.6	
	No.4-5	55.6	

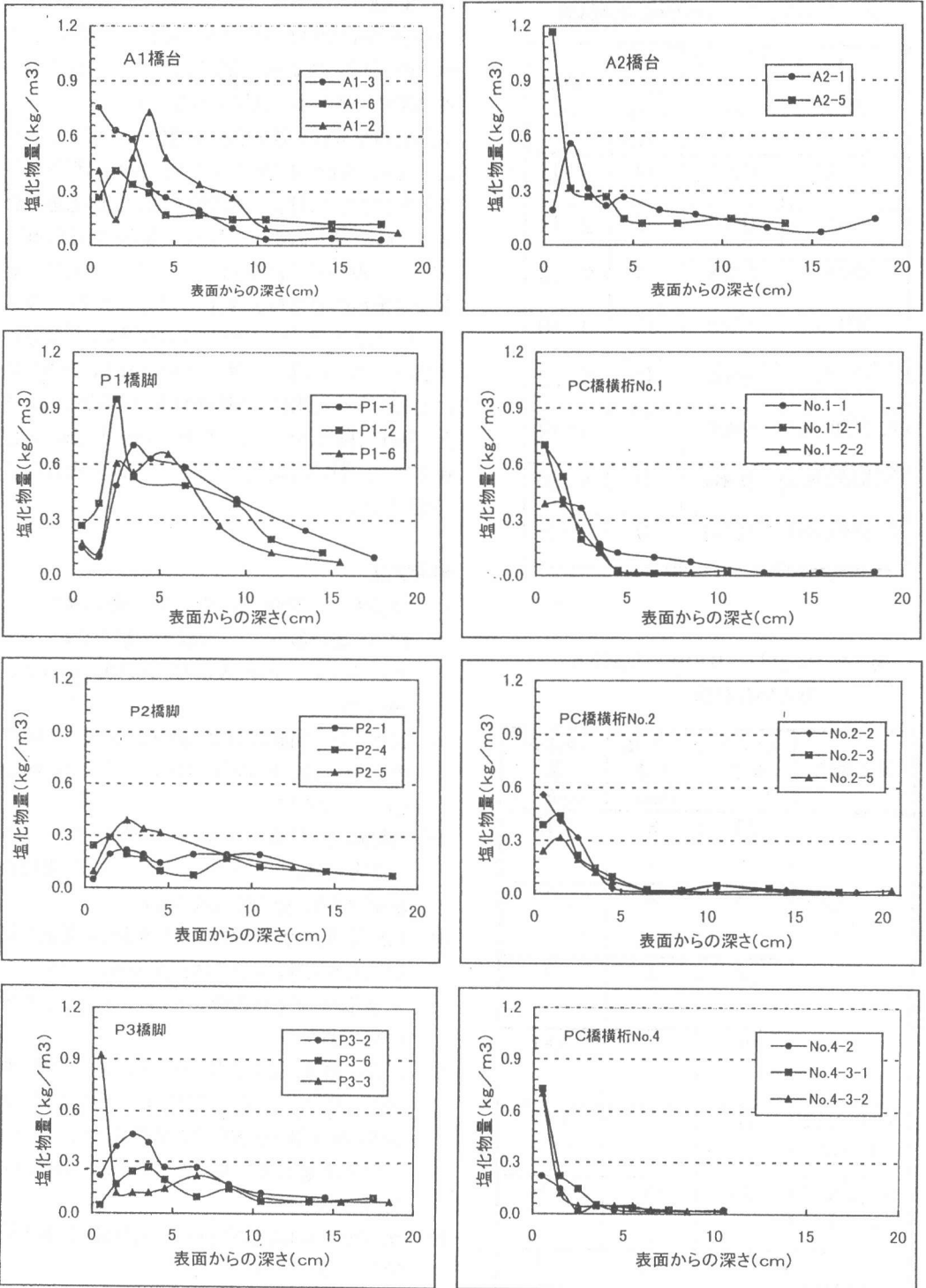


図-4 コンクリートコア内の塩化物含有量の分布

表-2 コンクリートの中性化深さ試験

採取場所	水セメント比 (W/C)	中性化深さ計算値 (mm)	実測値 (mm)
橋台A1	0.586	14	7~15
橋脚P1	0.557	12	2~12
橋脚P2	0.588	14	2~18
橋脚P3	0.560	12	3~10
橋台A2	0.644	16	5~22
PC橋横桁No.1	0.410	2	3~12
PC橋横桁No.2	0.365	0	6~10
PC橋横桁No.4	0.330	0	2~8

表-3 コンクリート片の中性化深さと塩化物含有量

採取場所	かぶり厚さ (mm)	中性化深さ (mm)	塩化物量 (kg/m <sup>3</sup> )
PC橋No.1の主桁	25	8	1.13
	45	8	1.30
	38	8	1.74
	5	—	0.81
PC橋No.2の主桁	10	3	1.87
PC橋No.4の主桁	38	8	1.23
PC橋No.1の床版	20	20	1.10
	20	3	1.14

## 5. まとめ

本調査報告では沖縄県内の4橋を外観調査し、その内の1橋だけを詳細に調査した結果を報告した。沖縄県は塩害が多い地域であるために、コンクリート構造物の耐久性を考えると、塩害対策が主であった。しかし、今回の調査で、コンクリート橋の耐久性を考える上で交通荷重による床版のひび割れも重要な要素であることがわかった。また、塩害と交通荷重によるひび割れの相互作用が起こるときは、さらに、十分な対策が必要である。特に、伊計大橋では、ランガー桁橋のコンクリート床板に交通荷重による貫通したひび割れが多数あり、伊計大橋が海上にあるために塩分を含む雨水による鉄筋腐食が心配される。また、伊計大橋ではランガー桁橋の吊り材も風、交通荷重による繰り返し荷重による水平方向の疲労亀裂が見られた。

## 参考文献

- 1) 岸谷孝一：海砂を使用した構造物の調査—那覇市における小・中学校校舎の被害状況、コンクリートジャーナル、Vol.12, No.10, pp.66-71, 1974.10
- 2) 具志幸昌：沖縄県における鉄筋コンクリート構造物の耐久性、セメント・コンクリート、No.363, pp.5-12, 1977.5
- 3) 大城武、伊芸誠一、上津敏：鉄筋コンクリート橋の塩害について、第6回コンクリート工学講演会講演論文集、pp.165-168, 1984
- 4) 山川哲雄、伊良波繁雄、知念秀起：沖縄県の集合住宅の塩害による建物損傷調査、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17, No.1, pp.895-900, 1995.6
- 5) 伊良波繁雄、山川哲雄、森永繁、仲座徳雄：沖縄県の公営 RC 造集合住宅に関する塩害による建物損傷調査と被害状況の推定、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19, No.1, pp.1015-1020, 1997
- 6) コンクリートの調合設計指針・同解説、日本建築学会、1994
- 7) 岸谷孝一、和泉意登志、西澤紀昭、喜多達夫：中性化、技報堂出版、1990.9
- 8) 土木学会コンクリート標準示方書(施工編)、土木学会、1991