

報告 沖縄県における RC 床版の耐久性調査

親泊 宏*¹ 伊良波 繁雄*² 舟木 理*³ 富山 潤*⁴

要旨:最近,コンクリートの劣化により,それが剥離落下する事故が全国的な社会問題となっている。特に,沖縄県においては土木建築構造物のほとんどが維持管理不要という神話からコンクリート構造物になっているため,コンクリートの劣化の問題は重要である。本調査は沖縄県内のRC床版を有する橋梁からコンクリートの劣化・損傷が確認された5橋の中でも,早急な補修・補強が必要であると判断した2橋(桃原橋・安谷屋橋)について調査結果をまとめた。桃原橋は海岸近くに設置され,塩害による鉄筋の腐食が問題となり補修が必要となった橋で,安谷屋橋は内陸部に位置し塩害の恐れはないが,交通荷重による床版のひび割れで補修を必要とした橋である。

キーワード:耐久性調査, 塩害, 交通荷重, 疲労

1. はじめに

沖縄県内のコンクリート造の土木構造物や建築物の耐久性調査は過去に数多く実施されている。その調査結果¹⁾のなかで,コンクリート内の鉄筋腐食の原因は除塩されてない海砂の使用と飛来塩分であることが明らかとなっている。筆者らも公営 RC 造集合住宅の塩害調査を行い,沖縄本島では昭和41年から昭和52年にかけて建設された多くの RC 造集合住宅のコンクリートに除塩されないままの海砂が使用され,その結果塩害による被害が多数発生したことを報告した²⁾。また,塩害による鉄筋腐食の問題以外に,復帰後からの自動車交通量および荷重の増加による影響も道路橋においては,床版のひび割れとなって現れ耐久性上の問題の一つとなっていることも報告した³⁾。

本調査は,沖縄県内のコンクリート橋や鉄筋コンクリート床版を有する橋梁の実態をさらに詳しく明らかにするためにに行った。そして,塩害による鉄筋の腐食で問題となり補修が必要となった橋と交通荷重による床版のひび割れで補修を必要とした橋の2橋については詳細な調査を行った。

2. 調査概要

沖縄本島内の5橋梁(図-1)について外観調査を行い,その中から損傷が大きく耐久性に問題があると思われる2橋梁(桃原橋・安谷屋橋)については,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。



図-1 調査橋梁の位置図

表-1 鉄筋腐食度判定基準

腐食度	A	B	C	D
判定基準	腐食なし	ごく表面的な腐食	浅い孔食などの断面欠損の軽微な腐食	断面決損が著しい腐食

*1 ホープ設計 工学修士(正会員)

*2 琉球大学助教授 工学部環境建設工学科 工博(正会員)

*3 琉球大学大学院 理工学研究科(正会員)

*4 琉球大学大学院 理工学研究科 工学修士(正会員)

3. 外観調査結果

3.1 伊計大橋

伊計大橋は昭和 56 年に宮城島と伊計島を結ぶ海上に架設されたPC橋と鋼ランガー桁橋で構成された 2 等橋である。同橋は 3 カ年前から調査を継続しているが、ランガー桁橋の中央部床版に活荷重による上下貫通ひび割れが多く観られた。このために、ランガー桁橋の床版は平成 11 年に取り替え工事が行われた。

またその工事の際に、旧床版の全塩化物量を測定した結果、海面に近い床版下面の塩化物量は約 0.8kg/m^3 、床版中心部は約 0.1kg/m^3 、主鉄筋の位置付近(かぶり厚 3cm)で約 0.2kg/m^3 であった。外部からの塩分浸透量の少ない床版中心部の塩化物量は小

さいので、建設当時コンクリートに含まれる塩化物も少なかったと考えられる。床版の主鉄筋は表-1の腐食グレード⁶⁾で表すとAまたはBであった。

3.2 桃原橋

桃原橋は平座島と宮城島間の水路入口に位置し両島を結ぶ道路として昭和 48 年に架設されたRC単純T桁橋である。本橋の一般図を図-2に示す。

主桁及び床版においては、ひび割れ幅の大きい有害なひび割れが非常に多く観られる。特に主桁側面に、剥離性の大きな水平ひび割れが確認できる。これらのひび割れの原因は海水飛沫にあるが、この橋の塩化物量については後で詳しく述べる。

3.3 安谷屋橋

安谷屋橋は沖縄自動車道の北中城インターチェンジへの連絡道路として昭和 61 年に架設された 4 径間連続RC床版鋼板桁橋である。本橋の一般図を図-3に示す。

床版下面の数十カ所に主鉄筋方向のひび割れとそこからの遊離石灰の滲みが観られる。

この橋の詳細調査については後で詳しく述べる。

3.4 大平インター陸橋

大平インター陸橋は浦添市内にあり、昭和 46 年に架設されたRC床版合成鋼桁橋である。幹線道路として、交通量が非常に多い状況にある。

排水管の周りから床版に雨水が流入し、床版の裏側が常に湿潤状態にある。床版下面は一部に黒いカビと格子状のひび割れや遊離石灰が観られる。

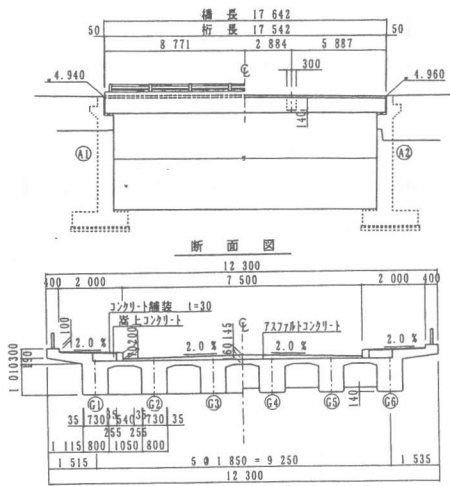


図-2 桃原橋一般図

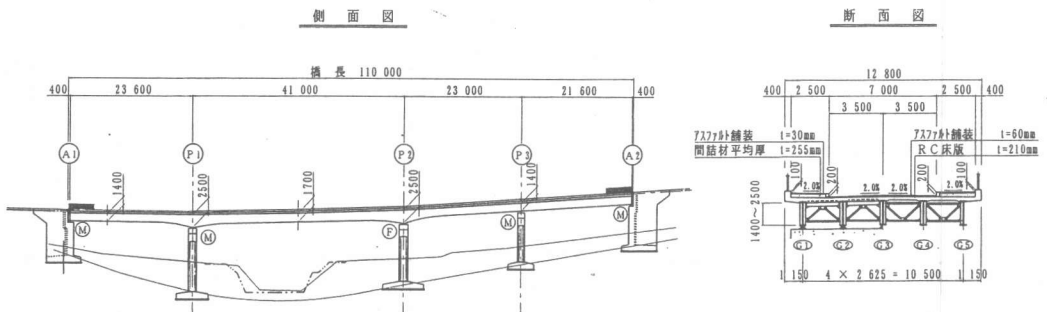


図-3 安谷屋橋一般図

平成 10 年の塩分量調査⁴⁾では、橋台の塩化物含有量の最大値はコンクリート表面から3.5cm の所で 0.40 kg/m³、床版では表面から 1.5cm の所で 0.81 kg/m³であった。また、塩化物の移動が少ないと思われる床版中央付近の塩化物は 0.30 kg/m³であるので、建設当時のコンクリート中の塩化物量も規制値⁶⁾ 0.30 kg/m³に等しい。中性化深さは橋台で約 1.5cm、床版で約 1.0cm となっていた。建設当時よりも交通量が増えたことと現基準の床版厚(t=23cm)よりも薄い(t=17cm)ことなどから判断すると、床版の耐久性の低下が懸念される。このため、本橋も平成 12 年に補修が行われた。

3.5 長浜橋

長浜橋は昭和54年に竣工されたPC単純T桁橋で海岸から約100mに位置する。平成5年の塩化物含有量調査⁵⁾によると、表面から約4cm付近で 7.9 kg/m³と非常に高い値を示していた。本橋は塩化物の移動が少ないと思われる深部の測定結果がないので建設当時の塩化物含有量の推定はできない。

主桁の下フランジ部には、コンクリートのかぶり非常に薄い所や施工不良による小さな空洞・豆板・露出した鉄筋・PC ケーブルシース管の発錆が確認できた。このため、本橋梁は、平成 11 年に断面修復と表面被覆の工事が施された。なお、本橋の鉄筋は表-1の腐食グレードで表すと大部分がCであった。

4. 桃原橋の詳細調査

4.1 ひび割れ調査

コンクリート床版下面のひび割れ損傷を図-4に示した。床版の下面側コンクリートには、数十カ所において剥離や剥落があり、それ以外に浮きやひび割れも確認できた。さらにコンクリートが剥離した所には腐食膨張した鉄筋も観られた。主桁は海側のほとんどの桁側面において、水平ひび割れが全長に渡って生じていた。ひび割れ幅は床版部で 1 mm 以内であったが、主桁部では 10mm 前後のものも確認された。これらの損傷は塩害によって生じた鉄筋の腐食膨張による代表的な損傷パターンである。なお、本橋の鉄筋は表-1の腐食グレードで表すと大部分がCまたはDであった。

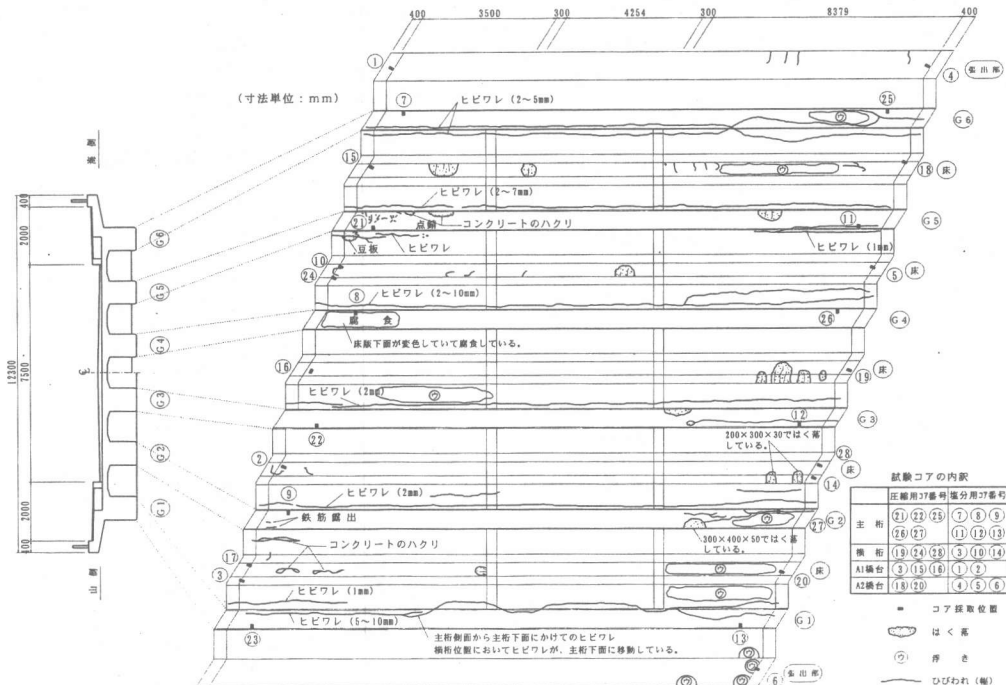


図-4 桃原橋のコンクリートひび割れ損傷図

4.2 コンクリート圧縮強度

圧縮強度は主桁、横桁、橋台から採取したコンクリートコアの圧縮試験から求めた。その試験結果を表-2に示した。圧縮強度は全て設計基準強度(床版で27MPa,主桁および横桁で24MPa,橋台で21MPa)以上の値が得られた。

表-2 コンクリートの圧縮強度、中性化深さ

コンクリートコア採取位置(鉄筋かぶり)	番号 No.	圧縮強度 (Mpa)	中性化深さ (cm)
主桁 (7cm)	21	40.0	3.3
	22	23.0	3.0
	25	37.2	2.3
	26	34.8	-
	27	37.1	2.8
	平均	34.4	2.9
横桁 (7cm)	19	26.5	2.8
	24	29.4	3.8
	28	31.4	2.8
	平均	29.1	3.1
橋台 (7cm)	3	29.0	3.3
	15	31.0	2.8
	16	28.3	3.3
	18	25.5	3.3
	20	26.9	3.3
	平均	28.1	3.2

4.3 コンクリートの中性化深さ

中性化深さの測定は、圧縮強度試験や塩分量測定に用いるコア等を利用しフェノールフタレイン法で行った。試験結果を表-2に示した。

表-2よりコンクリートの中性化深さの最大値は主桁で3.3cm,横桁で3.8cm,橋台で3.3cmであり、いずれも鉄筋までは達していない。このため、鉄筋の腐食の原因は中性化によるものではないと考える。床版については、主鉄筋までコンクリートをはつり中性化深さを測定した。その結果、中性化深さの最大値は2.0cmとなった。床版の主鉄筋のかぶりは3.5cmであるので、床版に関しても鉄筋の腐食に中性化の影響はないと考えられる。

4.4 コンクリートの塩化物含有量

図-5に桃原橋の全塩化物量の測定結果を示した。コンクリートコアを用いて測定した塩化物含有量は主桁、横桁の表面付近で $0.25\text{kg/m}^3 \sim 1.0\text{kg/m}^3$,内部で $0.31\text{kg/m}^3 \sim 0.4\text{kg/m}^3$ となっている。床版は海面から約3m程度であり、常時海水飛沫を受ける状況にある。橋台は表面付近で $0.3\text{kg/m}^3 \sim 1.0\text{kg/m}^3$,内部での最大値は 2.0kg/m^3 の高濃度の塩化物が測定された。主桁、横桁、橋台とも比

較的海水飛沫の影響の少ないと思われる表面からの深さ10cm~15cm付近の塩化物量は $0.4\text{kg/m}^3 \sim 0.7\text{kg/m}^3$ となっている。この値は現在の全塩化物含有量の規制値⁸⁾ 0.3kg/m^3 よりも大きい。

小林らの研究⁷⁾によれば、コンクリートが炭酸化(中性化)すると、Friedel氏塩として固定していた塩化物イオンが解離し内部に移動し中性化深さより少し深い所で塩化物の最大値が生じると述べている。図-5で塩化物量はコンクリート表面から約4cm付近で最大値になっているが、その原因は、

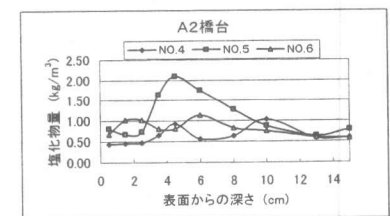
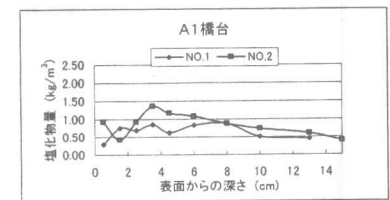
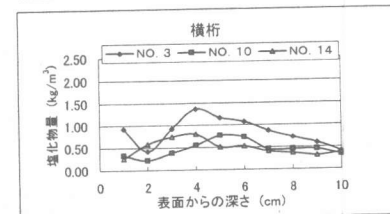
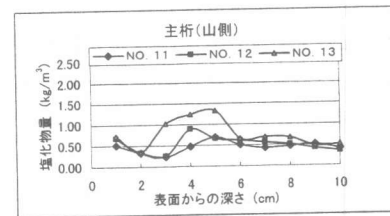
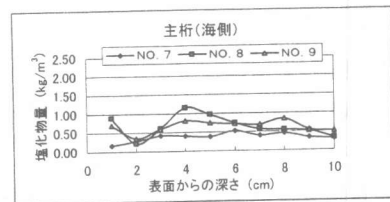


図-5 コンクリートコア内の塩化物含有量分布

海水飛沫により表面を最大値とする塩化物分布が大気中の炭酸ガスによるコンクリートの中性化によって塩化物が移動したためであると思われる。なお、本橋の中性化深さは主桁、横桁、橋台で約3cmとなっている。

本橋の劣化の主な原因は、海水飛沫による高濃度の塩化物が原因である。また、本橋の建設当時はまだ塩化物の総量規制がなされていなかったため、建設当時に約0.4kg/m³~0.7kg/m³程度の塩化物が混入されていた事も劣化の原因の一つと思われる。従って、本橋の補修の際は塩化物の除去と補修後の塩化物の浸透を防ぐことが重要となる。

5. 安谷屋橋の詳細調査

5.1 ひび割れ調査

床版の下面側コンクリートは数10カ所において、橋軸直角方向のひび割れを確認した。ひび割れ部からは遊離石灰が滲み出て氷柱状態となったものも観られた。特に図-6の第2スパンにひび割れが集中して発生し、橋上面(舗装面)のひび割れと合致する上下貫通ひび割れも数カ所で確認された。床版部のひび割れ幅は平均で0.2mm以内と小さいが、最大2mm前後のものも確認された。これらの橋軸直角方向のひび割れ(図-6)は桃原橋のように、塩害による鉄筋の腐食膨張によるひび割れ(図-4)とは異なり、伊計大橋でも観察された交通車両による繰り返し荷重によって生じた代表的な損傷パターンである。なお、本橋の鉄筋は表-1の腐食グレード⁶⁾で表すと大部分がAまたはBであった。

5.2 コンクリート圧縮強度

圧縮強度は主桁、横桁、橋台から採取したコンクリートコアの圧縮試験から求めた。その試験結果を表-3に示した。圧縮強度は全て設計基準強度(床版で24MPa、橋台および橋脚で21MPa)以上の値が得られた。

5.3 コンクリートの中性化深さ

中性化深さの測定は、圧縮強度試験や塩分量測定に用いるコア等を利用してフェノールフタレイン法で行った。試験結果を表-3に示した。

表-3よりコンクリートの中性化深さの最大値は床版、橋台、橋脚で1.0cmであり、かぶりの小さい床版でも、かぶり厚さは3.0cmであるから、いずれも中性化は鉄筋までは達してない。よって、鉄筋の腐食の原因は中性化によるものではないと考える。

表-3 コンクリートの圧縮強度、中性化深さ

コンクリートコア採取位置(鉄筋かぶり)	番号 No.	圧縮強度 (Mpa)	中性化深さ (cm)
床版 (3cm)	1	35.5	1.0
	2	45.1	1.0
	3	56.9	1.0
	4	51.1	1.0
	5	49.7	0.5
	6	50.3	1.0
	平均	48.1	0.9
橋台 (7cm)	11	44.4	1.0
	12	48.6	0.1
	13	40.1	1.0
	平均	44.4	0.8
橋脚 (7cm)	17	54.2	1.0
	18	32.7	0.3
	19	48.1	1.0
	平均	45.0	0.7

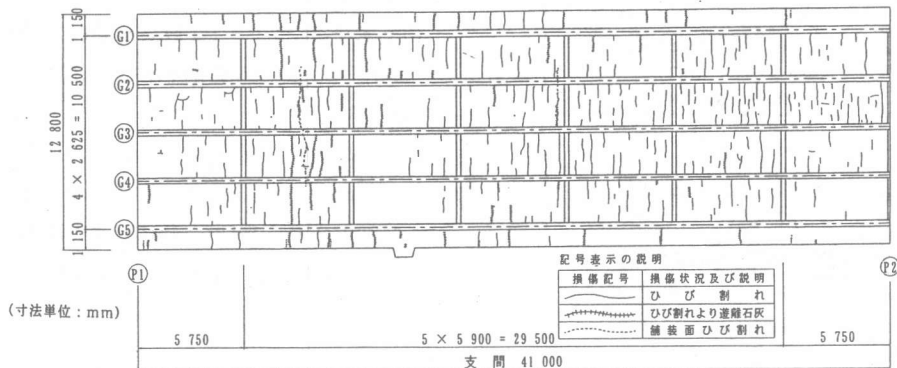


図-6 安谷屋橋の第2スパン部のコンクリートひび割れ損傷図

5.4 コンクリートの塩化物含有量

各コンクリートコア内の塩化物含有量の分布を図-7に示す。塩化物量は床版、橋脚、橋台を含め最大でも0.303kg/m³であり、平均しても0.1kg/m³と低い値を示しているため、全体的に少ないといえる。本橋は沖縄本島の内陸部に位置しているため、飛来塩分の心配は少ない。また本橋の建設当時は、既に塩化物の総量規制が行われていたため、使用されたコンクリートの塩化物は規制値0.3kg/m³以内であったと思われる。本橋はコンクリート中の塩分は少ないも

の、床版を貫通するひび割れが生じているので防水および荷重に対する補強を必要としている。

6. 結論

沖縄県におけるコンクリート構造物の耐久性の問題は、主に海砂の使用と海岸からの海水飛沫のように、塩化物による鉄筋腐食を中心とした調査研究が行われてきた。そして、その調査をもとに劣化した多くの橋が架け替えられたり、補修されたりする状況を見ると、コンクリート構造物の耐久性の問題は解決したかのようであった。しかし、かつて本土で交通荷重の増加による床版の疲労の問題があったように、沖縄県でも同様な問題があることを本報告で示した。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 伊良波繁雄, 親泊宏, 富山潤, 和仁屋晴謹: 沖縄県でのコンクリート橋の耐久性調査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.191-196, 1998
- 4) 沖縄県土木建築部中部土木事務所: 管内橋梁点検補修調査設計業務委託, 平成10年
- 5) 沖縄総合事務局開発建設部: コンクリート橋塩害対策調査業務委託, 平成5年
- 6) 土木研究センター: 建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発, 平成元年5月
- 7) 小林一輔, 白木亮司, 河合研至: 炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物, 硫黄化合物及びアルカリ化合物の移動と濃縮, コンクリート工学論文集, Vol.1, No.2, pp.69-82, 1990

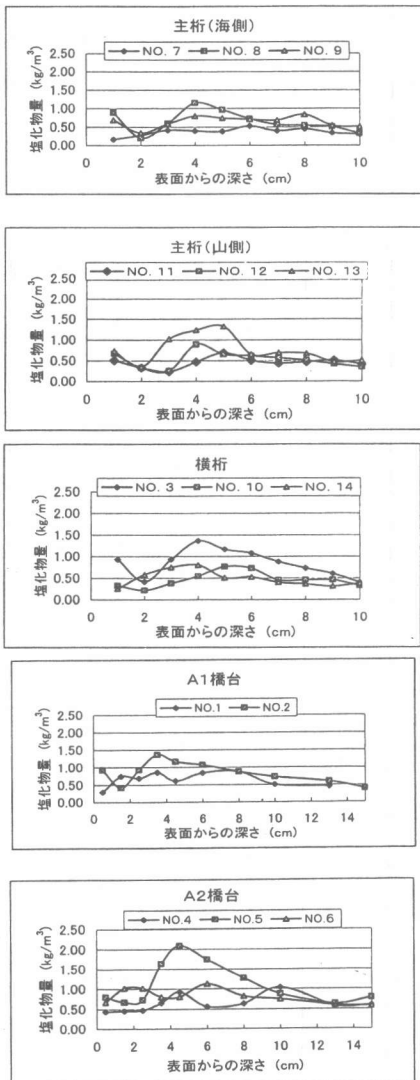


図-7 コンクリートコア内の塩化物含有量分布