

[21] 老朽橋の含塩量と有効鉄筋断面積について

正会員○浜田 純夫 (琉球大学工学部)

正会員 成底 弘敏 (オモト建設コンサルタント)

正会員 大城 武 (琉球大学工学部)

正会員 具志 幸昌 (琉球大学工学部)

1. まえがき

よく知られているように沖縄県では多くのRC橋が塩害により損傷を受けている。これらの損傷はコンクリート中の鉄筋の腐食が原因で、この腐食は次の要因によると言われている。(1)鉄筋周辺の塩分量、(2)コンクリートの電気抵抗、(3)鉄筋への酸素の供給量で、これらが相互作用して、鉄筋がある年数で活性化し、腐食が始まるものである。沖縄県の橋梁は地形上、海岸近くに架設されている場合が多く、海岸から海塩粒子を常時受けている。さらに、高温多湿の気候が腐食を促進させている。これらの他に、施工上、材料上の問題を含め、現状に見られる様な損傷をもたらしたものと思われる。

このような観点から、腐食の促進に最も影響をもたらすと思われる塩分量についての定量的な測定を行ったので報告したい。実RC橋の塩分量測定はすでにいくらか行われているが、余り多くない。この研究で対象とした橋梁は9橋で、昭和9年1橋、10年代2橋、20年代3橋、30年代3橋、40年代1橋である。これらの橋梁のうち6橋は海岸に接し、3橋は内陸部(300m以上)にある。橋梁形式は1橋がスラブ橋で他は全てT桁橋である。これらの橋梁の位置を図-1に示す。このうち、炭焼橋は架け換えられる際に主桁部分を切り取り、琉球大学で疲労試験が行われた。塩分量試験用のコアは疲労試験後抜き取られた。

また、炭焼橋から主鉄筋を取り出し、全鉄筋を25cm間隔に切り、断面を測定した。

2. 採取位置と試験内容

コアを抜き取った橋梁は9橋であるが、それらの架設年、位置、主桁形式および外観状態を表-1に示す。コアの採取位置は、漢那橋がスラブ橋であるため、スラブを上下に、辺野古橋、大川橋は横桁から、他は主桁から抜き取った。これらのコアの径は10cmであり、約20cm高に切り取り、圧縮試験用供試体とした。しかる後に1~2cmにスライスして、塩分量の試験を行った。

試験内容は各供試体とも中性化深さ、強度と弾性係数、含塩量であり、炭焼橋については主鉄筋の断面を測定した。中性化深さはフェノールフタレン1%アルコール溶液で測定した。弾性係数は圧縮試験を行い、強度の約1/3の割接係数として求めた。塩分量試験の試料は粒度0.15mm以下に粉碎し、110°Cで乾燥させて求めた。この試料に対し、塩素イオン計でイオン濃度を測定し、塩化ナトリウムに換算して塩分量を求める。主鉄筋断面積は主桁から取り出した鉄筋を25cmずつに切断し、印肉で紙に写し、面積測定器で測定した。切断された鉄筋片の両面を測定しているので、隣り合せた面の面積を平均した。

外観上の損傷度の基準は研究者により異なるが、ここでは、主桁のコンクリートのひびわれと剥落の大きさから決めることにする。つまり、コンクリートが20%以上剥落している桁がある場合をA、それ以下の剥落で主鉄筋に沿う大きいひびわれがある場合B、主鉄筋に沿う1mm以上のひび

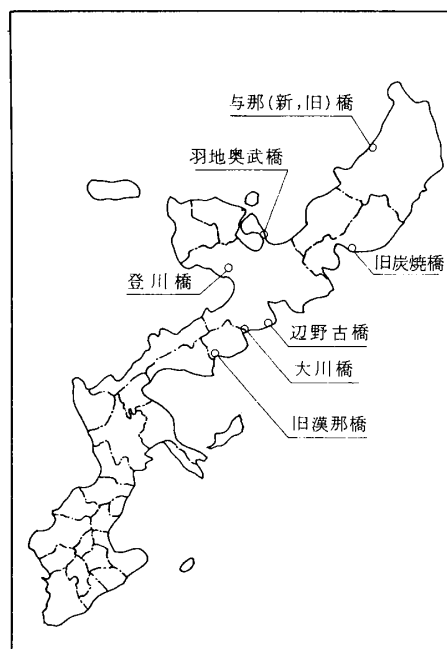


図-1. 調査した橋梁の位置

われがある場合 C、1mm 以下のひびわれがある場合 D、正常な場合 E に分けた。過去に補修をした橋梁もあるが、評価は補修前のもので行う。この結果最も損傷度の大きいのは羽地奥武橋である。

3. 試験結果および考察

3.1 中性化試験

コンクリートの中性化は空気中の炭酸ガス等により引き起こされ、中性化したコンクリートは鉄筋の腐食を容易にする。9 橋の中性化深さの試験結果が表-2 に示されている。漢那橋はスラブ上側と下側に大きい差があり、上側の平均は 0.2cm に対し、下側は 1.8cm となった。他はほとんど平均化されたデータを示した。コンクリートの中性化深さは依田により与えられており、屋外の場合、およそ $X = (11.6W/C - 4.46) t$ (X は中性化深さ、mm、 t は期間、年) で与えられる。W/C を 0.65 として計算した値を表-2 の () 内に示す。コンクリート強度の低い登川橋および羽地奥武橋の実測値は計算値の 2 倍にも達する。昭和 9 年に架設され

すでに 47 年に達している旧与那橋は中性化深さは計算値の 2.1 cm に対し、0.5 cm であり、この橋梁のコンクリートの良質さを物語っている。上述の計算式からも、又、実測値からも中性化の深さはコンクリート強度（水セメント比）に大いに関係している。

3.2 圧縮強度および弾性係数

表-2 に示されるように、最も古い旧与那橋は平均強度 333kg/cm² であり、現在用いられているコンクリート、例えば新与那橋の 350kg/cm² とほとんど差がない。最も損傷の大きい羽地奥武橋はわずかに 133kg/cm² にすぎない。このように外観上の損傷度はコンクリート強度にも関係している。

セメントペーストによる実験ではあるが、水分の透水係数は水セメント比に大きく影響し、水セメント比が 60% を越えると、³⁾ 透水係数は極めて大きくなる。また、水セメント比が 30% と 70% とでは 1,000 倍の差がある。コンクリート強度は単位体積当りのセメント量や骨材にもよるが、水セメント比に最も関連している。このようなことから、コンクリート強度と水分（海塩粒子を含む海水）の浸透とは重要な関係を示すことになる。

弾性係数は強度の他比重にも関係するが、ここに得られた弾性係数は比較的小さい。辺野古橋、大川橋は強度に相当する弾性係数を示しているが、新与那橋は強度 350kg/cm² に対し、相当低い弾性係数と考えられる。

3.3 含塩量

各橋の含塩量を図-2 に示す。これらの含塩量はコンクリート

表-1. 採取橋の概要

橋 名	架設年 (昭和) (経過年数)	位 置	主桁本数 構造形式	コア採取 位 置	コア 本 数	外観上 損傷度
旧与那橋	9 (47)	海岸	4,T桁	主 桁	4	B
旧炭焼橋◎	13 (推)(43)	海岸	3,T桁	主 桁	6	A
登川橋	14 (推)(42)	陸①	3,T桁	主 桁	3	C
旧炭焼橋◎◎	25 (推)(31)	海岸	4,T桁	主 桁	6	A
羽地奥武橋	28 (28)	海岸	3,T桁	主 桁	4	A
旧漢那橋	30 (26)	海岸	スラブ	スラブ	3	D
辺野古橋	32 (24)	陸②	4,T桁	横 桁	3	D
大川橋	32 (24)	陸③	4,T桁	横 桁	3	D
新与那橋	47 (9)	海岸	3,T桁	主 桁	3	C

外観上損傷度 A: 主桁のコンクリートが全面的に剥落

B: 部分的に

C: 主鉄筋に沿ったひびわれがある。

D: わずかにひびわれがある。

E: 正 常

◎ 旧炭焼橋第 3 スパン, ◎◎ 旧炭焼橋第 2 スパン

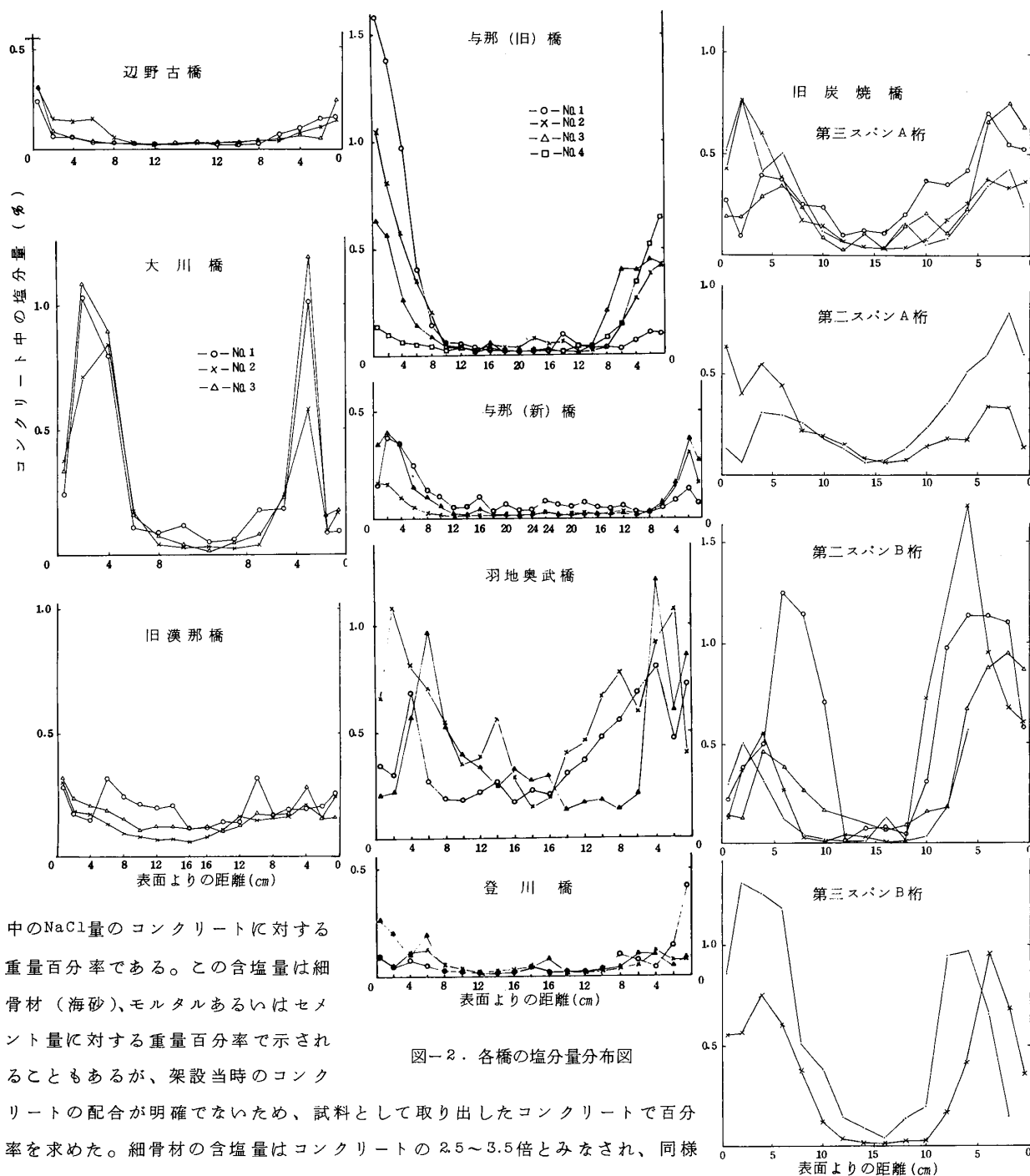
①②は海岸から約 300m, ③は約 1Km

表-2. コンクリート強度、弾性係数、中性化深さ

	強 度 (kg/cm ²)	弾性係数 (10 ⁵ kg/cm ²)	中性化深さ (cm)
旧与那橋①	357	3.02	0.4
②	266	2.41	0.1
③	368	3.05	0.6
④	341	2.36	0.7
平 均	333	2.71	0.5 (2.1)
旧炭焼橋① (第3スパン)	336	—	—
②	313	—	—
③	224	—	—
④	371	—	—
平 均	311	—	—
登川橋①	183	1.48	3.2
②	223	1.38	3.7
③	—	—	3.7
平 均	203	1.43	3.5 (2.0)
旧炭焼橋① (第2スパン)	302	2.50	—
②	269	2.30	—
③	253	1.95	—
平 均	275	2.25	—
羽地奥武橋①	146	1.61	4.5
②	120	1.34	5.3
③	—	—	4.7
平 均	133	1.48	4.8 (1.6)
旧漢那橋①	288	2.38	0.1○ 2.3◎◎
②	267	2.51	0.2 2.7
③	221	1.68	0.1 0.5
平 均	259	2.19	0.1 1.8 (1.6)
辺野古橋①	390	2.53	0.9
②	377	2.78	1.2
③	359	2.80	1.2
平 均	375	2.70	1.1 (1.5)
大川橋①	351	3.16	1.7
②	294	2.63	1.8
③	294	2.85	1.8
平 均	313	2.88	1.8 (1.5)
新与那橋①	278	1.79	1.0
②	344	2.11	0.8
③	427	2.55	0.8
平 均	350	2.15	0.9 (1.0)

() 内依田の式による計算値

○スラブ上面 ◎スラブ下面



中のNaCl量のコンクリートに対する重量百分率である。この含塩量は細骨材（海砂）、モルタルあるいはセメント量に対する重量百分率で示されることもあるが、架設当時のコンクリートの配合が明確でないため、試料として取り出したコンクリートで百分率を求めた。細骨材の含塩量はコンクリートの2.5~3.5倍とみなされ、同様に、モルタルに対しては1.1~1.5倍として換算できよう。

図-2からもわかるように、海岸近くのRC橋は相当多くの塩分量をコンクリート表面近くで示している。その半面、羽地奥武橋を除いては内部は必ずしも多いものではない。また、古い橋およびコンクリート強度の低い橋は含塩量は大きい。特に羽地奥武橋は強度がわずかに 133 kg/cm^2 であり、表面のみならず、内部も極めて多い塩分を含んでいる。このように低強度のコンクリートは外部から海塩粒子が入りよい一例を示していると思われる。

新与那橋は架設後わずかに9年にすぎないが、5mm程度ひびわれが主筋に沿って生じている。表面から4cmの含塩量は0.35%に達している。また架設当時、コンクリートのかぶり厚は3.5cmと考えられ、海岸近くにおける橋梁としてはかぶり厚が不足している。この橋梁のコンクリートの中性化深さは平均0.9cmであったが、中性化してなくとも鉄筋の発錆はあることを示している。

内陸部の登川橋、辺野古橋は含塩量は小さいが、いずれも表面部では内部より相当高い塩分量を示している。内陸部橋梁のコンクリート表面近くの塩分は外部からの浸入のみとは考えられず、内部の塩分の移動も考えられる。なお、内陸部に位置する大川橋は表面から2~3cmの所で相当高い塩分量を示している。

旧漢那橋はスラブ橋の一例である。この一例のみであるが、スラブの表面と内部には大きい差は生じていない。同様な現象は関らによる実験からも得られている。この橋梁は海岸に面し、なおコンクリート強度が259kg/cm²であることを考えれば、コンクリート中に含まれている塩分量は必ずしも多くない。このRC橋には主筋に沿うひびわれがほとんど見られない。

9橋の含塩量試験結果から、海岸近くのコンクリート橋の塩分量は表面付近で極めて多く、コンクリート強度が低いと内部も多くなる。このようなことから、海岸附近の橋梁は、海砂使用の場合の除塩は当然のことであるが、水セメント比の低い水密性のあるコンクリートでかぶりを十分とる必要がある。内陸部（海岸から1km以内）においても、海砂の使用における除塩と水密性のあるコンクリートの打設が望しい。沖縄県内には内陸部のRC橋には塩害を受けているものと受けてないものがあるが、これらはコンクリートの質（含塩量等）によるものと考えられよう。

3.4 鉄筋の欠損率について

炭焼橋の第2スパンと第3スパンの主桁2本づつから主鉄筋を取り出し、25cm間隔で鉄筋の断面積を測定した。その結果を表-3に示す。表中欠損率は(1-実断面積/公称断面積)で、腐食により失われた鉄筋の断面積を示している。腐食鉄筋量を測定した例は他にも報告されている¹⁾。炭焼橋は、第3スパンが昭和13年頃架設され、第2スパンは昭和25年頃架設された。いずれのスパンもコンクリートかぶり部分の剥落が相当あったが、鉄筋は浮いている状態ではなかった。第2スパンの鉄筋は降伏応力が引張試験で38kg/cm²を示し、SD30相当と考えられる。

第3スパンの鉄筋はいずれの鉄筋もその欠損率の平均値はほぼ22~26%であるが、それらの最大値は65%に及んでいる。鉄筋は2層に配筋されていたが、下段と上段に余り差がない。

第2スパンは表中2本の主桁（下段1~3、上段1~4がA桁、下段4~6、上段5~8がB桁）にいくらかの差がある。下段、上段ともにA桁に大きい欠損率がみられる。また、鉄筋により欠損率の差があり、上段No.5,6で平均5%程度に対し、下段No.3,6および上段No.1,8で平均15%を越えている。このように、コンクリートかぶりの剥落した橋（外観上損傷度A）は相当の鉄筋量減少がみられる。

4. むすび

実橋のコンクリートおよび鉄筋の調査を行ったが、試料採取に限度があり、十分なデータではないが、次のようなことが判明した。(1)中性化深さは強度と関係があり、強度の高いものは中性化が遅い。(2)海岸部コンクリート橋は多量の塩分を含み、コンクリート強度が低いと内部まで浸透する。(3)内陸部（海岸から1km以内）でも使用する材料によつては塩分量は無視できない。(4)かぶり剥落のRC橋の鉄筋量減少は相当大きい。

謝辞：この研究にあたり、沖縄開発庁企画調整官柳沢正氏、道路管理課長伊芸誠一氏、同補佐田中俊彦氏、北部国道事務所管理課長平田清二氏および沖縄県庁道路課長島進氏、同補佐砂辺秀雄氏、担当の末吉哲氏、大舛久嗣氏らに御協力戴いた。含塩量試験はオモト建設コンサルタントで行われ、当山清巳氏らが担当した。各位に深謝致します。

参考文献：1)、例えば、太田利隆「コンクリート中の鋼材腐食の現状—北海道」コンクリート工学、1981年3月

2)、依田彰彦「鋼材の腐食と対策、コンクリートの中性化」コンクリート工学、1977年9月

3)、T. C. Powers, et al, Permeability of Portland Cement Paste, J. of ACI, Nov. 1954

表-3. 炭焼橋の鉄筋欠損率

			平 均	標準偏差	最 大
第三スパン	下 段	1	26.6	16.0	65.6
		2	25.9	11.3	54.4
		3	22.1	10.7	35.6
	上 段	1	26.3	6.1	39.3
		2	22.7	10.5	45.0
第二スパン	下 段	1	12.6	4.3	20.4
		2	8.4	5.2	19.7
		3	15.9	11.1	39.6
		4	6.9	4.8	19.9
		5	10.5	4.1	17.6
		6	16.5	7.1	32.9
	上 段	1	26.5	5.2	39.4
		2	19.8	8.2	38.0
		3	11.2	2.6	17.6
		4	10.1	3.1	18.6
		5	5.0	2.3	5.6
		6	5.5	2.3	11.6
		7	22.1	4.7	28.3
		8	27.3	7.1	42.6