

論文 既存鉄筋コンクリート橋における中性化進行と塩分侵入

枝元宏彰*¹・中澤隆雄*²・今井富士夫*²・新西成男*³

要旨：供用年数が 30 年以上の複数の鉄筋コンクリートT桁橋および鉄筋コンクリート床版からコンクリートコアを採取し、中性化深さや塩分侵入量を測定するとともに、各種の材料試験を行った。中性化進行は水セメント比などの配合条件や含水率などの材料的要因および気温などの曝露環境要因によって、同一構造物であっても、部位別に異なったものとなることなどが明らかになった。また、中性化の進行によって、コンクリート中の塩分濃度のピークが内部に向かって移動する傾向なども確認された。

キーワード：中性化進行、塩分侵入、配合推定、含水率、既存橋梁

1. はじめに

コンクリートの中性化進行や塩分の分布状況を把握することは、耐久性を考えるうえで重要であり、これまでも多くの研究がなされ、材料や配合さらには気温、湿度や炭酸ガス濃度など曝露環境条件を考慮した中性化深さ予測式が提案されている^{1), 2), 3)}。さらに、コンクリート内部の塩分分布が中性化の進行の影響を受けるとの報告もなされている^{4), 5)}。このように有益な成果は得られているものの、全般的には促進試験から得られたもので、実構造物によるデータに基づいたものはあまり見受けられない。

著者らは、これまで解体・撤去されることになったコンクリート構造物を対象にして、中性化進行や塩分侵入に関する試験を行って

きた^{6), 7)}。本論文では、4つの実構造物から得られた結果を基に、同一環境条件下で供用されてきた構造物であっても、部材の部位別に一定の傾向をもって中性化の程度が異なってくることや、中性化の進行によってコンクリート内部の塩分分布状況が変化し、そのピークは内部に向かって移動する傾向があることを示すとともに、構造物の部位の違いによる材料劣化についても考察している。

2. 試験対象構造物

本論文で対象とした構造物は、表-1ならびに図-1に示すような鉄筋コンクリートT桁橋3体および鋼桁橋の鉄筋コンクリート床版1体である。

細田橋(供用年数：51年)、法の瀬橋(供用

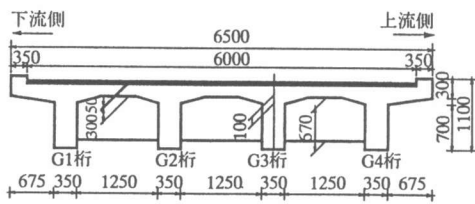
表-1 試験対象構造物の概要

	細田橋	法の瀬橋	乙房橋	富士橋
所在地	宮崎県日南市大堂津	宮崎県日南市大字下方	宮崎県北諸県郡庄内町乙房	宮崎県日南市大字富士
路線名	一般国道220号	県道日南・南郷線	県道財部・庄内・三股線	一般国道220号
橋長	60m (6@10m)	60.0m (2@30m)	137.5m(5@21.0m+2@16.0m)	44.220m (4径間)
架設年度	昭和15年	昭和38年3月	昭和31年3月	昭和34年1月
橋梁形式	主桁：RCT桁 床版：RC、厚さ23cm	主桁：鋼桁 床版：RC、厚さ20cm	主桁：RCT桁 床版：RC、厚さ29cm	主桁：RCT桁 床版：RC、厚さ23cm

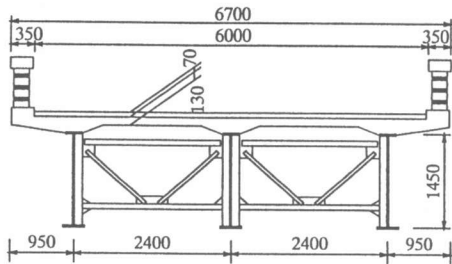
* 1 (株)国土開発コンサルタント技術本部副本部長 (正会員)

* 2 宮崎大学教授 工学部土木環境工学科 工博 (正会員)

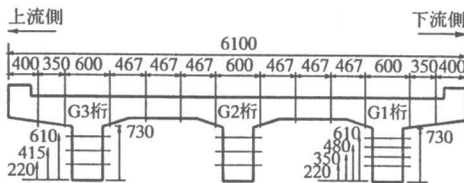
* 3 宮崎大学助手 工学部土木環境工学科 工博 (正会員)



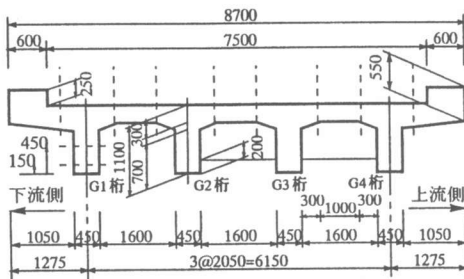
(a) 細田橋



(b) 法の瀬橋



(c) 乙房橋



(d) 富士橋

図-1 各橋梁の断面諸元

年数：32年）および富士橋（供用年数：37年）は海岸線より500m以内に架設され、飛来塩分の影響を受けていると思われるが、乙房橋（供用年数：38年）は内陸部に位置しているので、飛来塩分の影響は考えられない。

細田橋、法の瀬橋および富士橋が架設されている宮崎県日南市の自然環境条件は、過去30年間の気象統計値を基にすれば、月平均気温は8.1～27.1℃、年平均では17.7℃、高温期の平均（5月～10月）では23.5℃、低温期平

均（11月～4月）では11.8℃となっている。また、湿度と降水量に関しては、月平均湿度は64～81%（年平均：74%）で、年間降水量は2597mmである。また、乙房橋が位置する宮崎県北諸県郡では、都城地区の過去30年間の気象統計値を基にすれば、月平均気温が5.4～26.3℃、年平均は16.0℃、高温期平均（5月～10月）は22.4℃、低温期平均（11月～4月）は9.5℃であり、月平均湿度が72～82%（年平均：77%）および年間降水量が2406mmである。

3. 試験結果

3.1 配合推定

各構造物からコンクリートコアを採取し、これらを微粉碎して、文献8の方法を用いて施工当初のコンクリートの配合推定を行った。

各構造物のコンクリートの配合推定結果は表-2に示すとおりである。細田橋では単位セメント量および単位水量は低めに推定されているが、その他の橋梁ではほぼ妥当な結果が得られており、水セメント比については46.9%～56.3%とばらつきも少なく、精度よく推定できたものと考えられる。

表-2 配合推定結果

	単位量 (kg/m ³)			水セメント比 (%)
	セメント	骨材	水	
細田橋	196	2120	111	56.3
法の瀬橋	286	1909	134	46.9
乙房橋	327	1835	161	49.2
富士橋	279	2026	146	52.3

3.2 中性化深さ

1つの構造物のなかであっても部位が相違すれば、気温、日照条件あるいは湿度などが違うために、それらの影響は一様ではなくなる。このために、コンクリートの中性化の進行は、同一橋梁でも異なってくるといわれている。そこで、対象とした4つの橋梁の主桁および床版から様々な位置でのコンクリート

コアを抜き取り、中性化深さを測定した。中性化深さは、コアの割裂面に1%フェノールフタレイン溶液を噴霧し、未着色部分の5カ所における深さから、最大、最小および平均値を求めた。以後の考察では平均中性化深さをを用いている。

図-2は、鉄筋コンクリートT桁橋である細田橋、乙房橋および富士橋の主桁および床版の中性化深さについて行った測定結果を示したものである。なお、細田橋では両耳桁の内外側面での中性化深さしか測定していない。

図から明らかなように、富士橋のG1桁および細田橋、乙房橋の主桁における高さ方向の中性化深さの分布は、桁の下部に位置するほど中性化深さが大きくなる傾向にあり、また、耳桁の内外側面での中性化深さについては、内側面の方が大きくなる傾向が認められる。次に、各橋梁の床版幅員方向における中

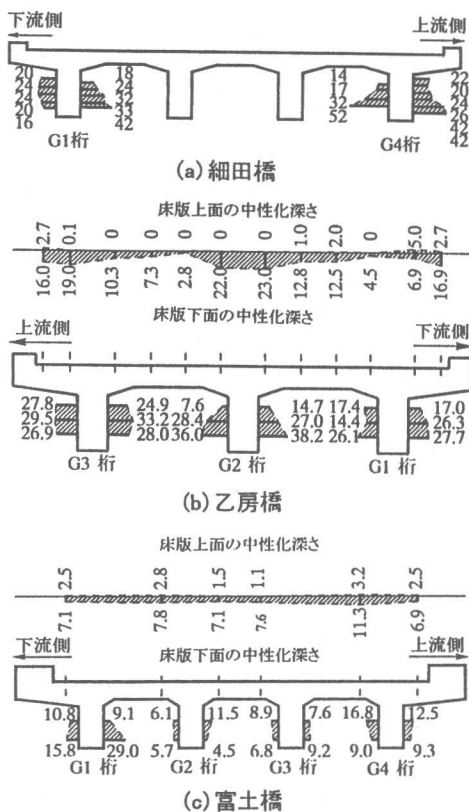


図-2 各橋梁の中性化深さ (単位: mm)

性化深さの分布についてみれば、幅員中央部の方が端部よりも中性化深さが大きくなっている。

図-3は細田橋の両耳桁(G1およびG4桁)の高さ方向について中性化深さの分布を内外側面別に詳細に示したものである。図中の実線および点線はそれぞれ外側面、内側面の回帰線である。これらの結果からも両耳桁とも外側面に比べて、内側面の中性化深さが大きくなっていることが判る。このような結果が得られた理由としては、内側面の領域は比較的一定の湿度条件が保たれるのに対して、外側面は降雨や日照によって乾湿の繰り返し作用を受けることが考えられる⁹⁾。例外的に富士橋の中桁は、耳桁ほどには中性化が進行

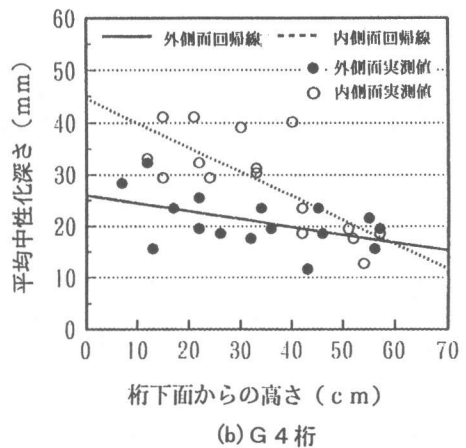
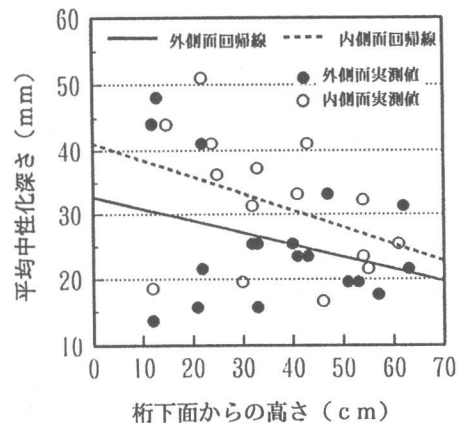
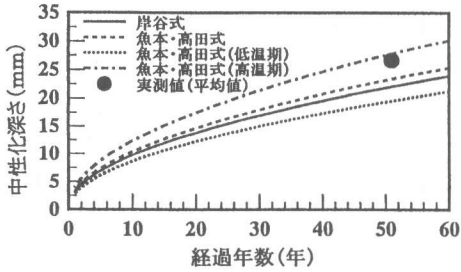


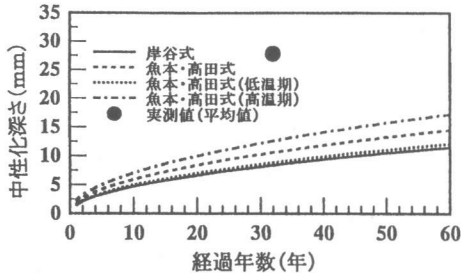
図-3 細田橋の桁高さに対する中性化深さ

していないが、この橋は中性化があまり進行していないために、上記の現象が顕著には現れなかったのではないかとと思われる。

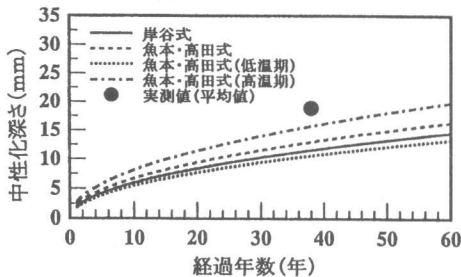
中性化深さの推定式としては、これまでに岸谷式¹⁾や気温および炭酸ガス濃度を考慮でき



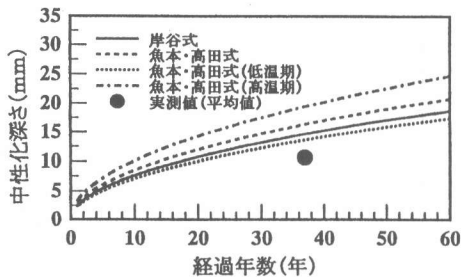
(a) 細田橋



(b) 法の瀬橋



(c) 乙房橋



(d) 富士橋

図-4 実測値と中性化深さ予測式との比較

る魚本・高田式³⁾、さらには湿度の影響をも考慮できる式²⁾などが提案されているが、ここでは岸谷式および魚本・高田式から得られる中性化深さと試験結果との比較を行うこととする。なお、これらの推定式を用いる場合の水セメント比は表-2に示した値を用い、気温は前述した各橋梁の曝露環境条件下の値を用いている。なお、炭酸ガス濃度は自然環境状態での0.035%の値を用いた。図-4に各橋梁の中性化深さの推定結果と試験結果との比較を示す。なお、細田橋、乙房橋および富士橋の試験結果は主桁の各位置で得られた平均中性化深さをすべてのデータについて平均したもので、法の瀬橋についても床版の下面の各位置から得られた平均中性化深さの平均値で表している。法の瀬橋の床版下面における実測中性化深さは推定式による結果を大きく上回っているが、これは床版下面では最大0.9mm、平均でも0.2mmの大きな幅のひび割れが、4~14m²のひび割れ密度(床版の単位面積当たりのひび割れ長さの総和)で発生しており、損傷が著しく進行していたことによるものと考えられる。これに対して富士橋では、主桁にはほとんどひび割れの発生は認められなかったことから、実測中性化深さは推定結果よりも小さくなったと考えられる。

細田橋および乙房橋では、実測中性化深さは高温期における魚本・高田式に近い値となっており、主桁にある程度ひび割れが発生していたことから、中性化がやや進行したものと判断できる。このことから、中性化進行は、気象条件や水セメント比などに加えて、ひび割れのような構造的欠陥も要因の1つとして検討すべきではないかと考えられる。

図-5は各橋梁のコンクリートの平均中性化深さと含水率との関係を示したものである。

いずれの橋梁においても、含水率は3%から5%に点在しているが、ひび割れが極度に少ない、富士橋はほぼ4.5%に集中している。

中性化深さと含水率の関係は、細田橋から

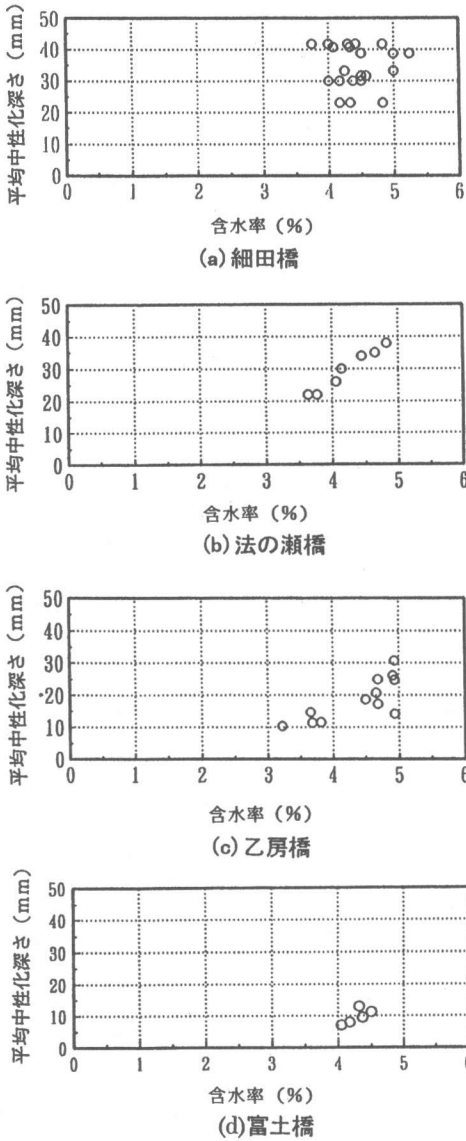


図-5 中性化深さと吸水率の関係

得られた結果については明確な傾向は認められなかったが、その他の橋梁では含水率の増大に伴って中性化深さが大きくなっている。このことから、含水率も中性化進行の考えるべき要因の1つと見えよう。

3.3 コンクリート内部の塩分濃度分布

海岸に近い位置に架設されていた細田橋、法の瀬橋および富士橋は飛来塩分の影響を受け、コンクリート内部に塩分が侵入している

ものと考えられる。飛来塩分がコンクリート内部に侵入した場合、中性化の進行に伴って塩化物が内部へ移動し、塩分濃度の最大値はコンクリート表面から幾分内部の位置で生じるといわれている⁵⁾。そこで、これらの構造物においてもそのような傾向が認められるのかを確認するため、JCIの分析方法(硝酸銀滴定法)によって、全塩分量および可溶性塩分量の測定を行った。図-6に、細田橋のG1桁の桁下面から高さ20cmの位置での塩分量分布(図中の記号、●:全塩分量、○:可溶性塩分量)および高さ40cmの位置での塩分量分布(図中の記号、▲:全塩分量、△:可溶性塩分量)、法の瀬橋の床版厚さ方向の塩分量分布(図中の記号、●:全塩分量、○:可溶性塩分量)ならびに富士橋のG1桁とG2桁との中間に位置する床版の厚さ方向の塩分量分布(図中の記号、●:全塩分量)を示す。これらの図から、細田橋の主桁および法の瀬橋の床版から得られた塩分量の分布においてはコンクリート表面から幾分内部に入った位置において最大塩分量となっていることが確かめられた。ただし、法の瀬橋の床版上面は、舗装で覆われていたことから中性化があまり進行していないことによって、塩分の移動は生じておらず、上面での塩分量が大きくなっている。この傾向は富士橋の床版においても同様であることが判る。また、下面付近の塩分濃度よりも上面での塩分量が多いのは、主に飛来塩分が床版上面から侵入していったことによるものと考えられる。これに対して、富士橋の塩分量分布の分析結果では、塩分の移動は認められず、桁側面の表面部および床版上下面での塩分量が大きき値となっている。これは、富士橋のコンクリートにはひび割れがあまり発生しておらず、材料劣化も進行していないことから中性化深さもその他の構造物ほど大きくないことによるのではないかと考えられる。

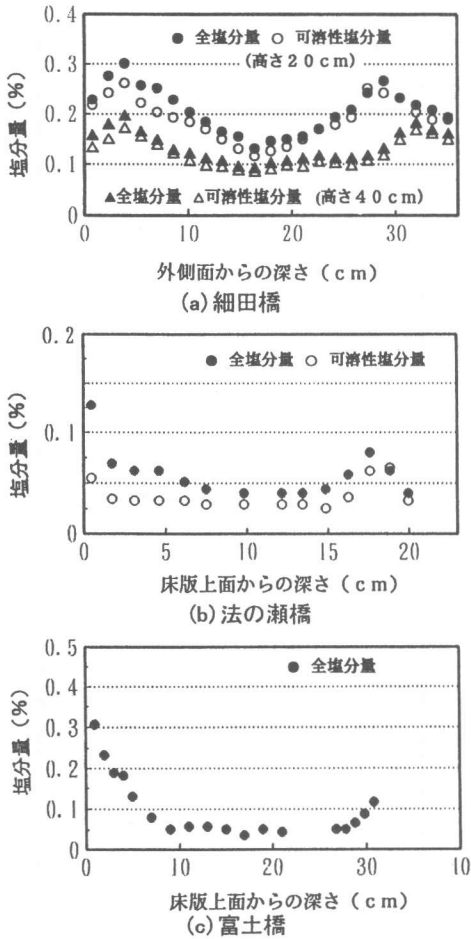


図-6 塩分分布状況

4. あとがき

本論文は、供用年数 30 年を越える 4 つのコンクリート橋やコンクリート床版の配合推定、中性化進行、含水率ならびに塩分濃度分布に関する試験を行い、これらの関係について考察を行ったものである。

その結果を要約すると、以下ようになる。

- (1) 文献 8) による配合推定試験により、ほぼ妥当な配合推定結果を得ることができた。
- (2) 中性化進行は、気象条件や水セメント比あるいは炭酸ガス濃度に加えて、ひび割れや含水率なども影響する。
- (3) 中性化深さが大きい場合には、従来から指

摘されているように、内部コンクリートへの塩分の移動が認められる。

参考文献

- 1) 和泉意登志・喜多達夫・前田照信：中性化（コンクリート構造物の耐久性シリーズ），技報堂出版、1988.3
- 2) 鄭載東・平井和喜・三橋博三：モルタルの中性化速度に及ぼす温度・湿度の影響に関する実験的研究，コンクリート工学論文集，第1巻，第1号，pp.85-93，1990.1
- 3) 魚本健人・高田良章：コンクリートの中性化速度に及ぼす要因，土木学会論文集，No.451/V-17，pp.119-128，1992.8
- 4) 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，第1巻，第2号，pp.69-82，1990.7
- 5) 丸屋剛・SOMUK T.・松岡康訓：コンクリート中の塩化物イオンの移動に関する解析的研究，土木学会論文集，No.442/V-16，pp.81-90，1992.2
- 6) 中澤隆雄・今井富士夫・横田漠：実構造物におけるコンクリートの劣化損傷について，セメント・コンクリート論文集，No.46，pp.440-445，1992.12
- 7) 今井富士夫・中澤隆雄・赤木正見・枝元宏彰：鉄筋コンクリート橋の部位の違いによる材料劣化に関する考察，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.1，1993
- 8) コンクリート専門委員会報告 F-18：硬化コンクリートの配合推定に関する共同試験報告，セメント協会，1967.12
- 9) 佐伯竜彦・大賀宏行・長滝重義：中性化によるコンクリートの微細組織，土木学会論文集，第420号/V-13，pp.32-42，1990.8