

報告 沖縄県の公営集合住宅の塩害による建物損傷調査

山川哲雄*1・伊良波繁雄*2・知念秀起*3

要旨：沖縄が日本に復帰する1972年前後に建設された沖縄県のRC造公営集合住宅(2団地)の建物損傷調査を行ない、これらの損傷が海砂の利用による塩害であることを明らかにした。これらの調査結果に加えて公営集合住宅の建設年度と戸数に、建設当時の細骨材に含まれる塩化物量等沖縄県の生コンに関する公的な統計データを重ねることによって、本調査結果も含めて沖縄県の塩害によるRC造公営集合住宅に関する被害状況の推定を試みた。

キーワード：沖縄県公営住宅、塩害、耐久性、塩化物量、海砂、RC造建築物

1. はじめに

著者らは1993年度、1994年度の2年間にわたり沖縄県の公営集合住宅の塩害等による建物被害調査を行なった。このような塩害による鉄筋コンクリート造建築物や道路橋の損傷調査は、過去に沖縄では数多く実施され、多くの調査研究報告がすでに公表されている[1]—[3]。これらの調査研究報告によれば、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。

- 1) 細骨材として海砂の使用のほか、混練水に塩分が一部含まれていることの可能性
- 2) 沖縄が高温多湿の亜熱帯海洋性気候条件に加え、台風の常襲地域で、しかも年中塩風に吹きさらされるような島嶼地域に位置しているという塩害環境地域特性

本調査による建物の損傷も上記の2点に起因しているものと考えられる。特に沖縄県では1972年に沖縄が日本に復帰してからも、その後10年近く海砂が細骨材として十分に除塩されることなくそのまま利用されていた可能性がある[4]。ただし、建設省による細骨材に関する塩分規制[5]が通達として出された後は沖縄にもその改善のきざしが少しずつ浸透していった。それでも沖縄で細骨材に関する塩分規制が100%守られるようになったのは1983年以降になる(図-4、5参照)。したがって、その当時これらの細骨材を利用した鉄筋コンクリート(RC)造建築物が、沖縄では社会的なストックとして公営住宅をはじめたくさん存在することになる。そして、それから20年ないし25年経過した今日、これらの建物には塩害による損傷が次第に顕在化しつつあり、一部には日常安全性がおびやかされる状況下にあるといっても過言ではない。

一方、今日では海砂の使用にあたり除塩が義務づけられ、しかもコンクリート中の塩化物総量規制が規準化された[5]。さらに、コンクリートの品質向上、かぶり厚さの確保や遮塩のための仕上げ材の技術開発、防錆材や防錆鉄筋の使用、FRP筋の技術開発、さらには打込み型枠材の新規開発などさまざまな対策が実施され、また試みられつつある。したがって、今日建設されている種々の鉄筋コンクリート造建築物等の耐久性は、耐震性とともにおもに沖縄においても確実に向上しつつあるものと期待される。なお、本報告で「塩素イオン」は Cl^- であり、「塩化物」は塩素イオン換算を意味し、「塩分」は NaCl 換算を意味する[5]。

2. 調査概要

損傷調査を行った4団地のうち、採取データの多い2団地についてその調査結果を整理する。これらの2団地の沖縄県における所在位置を図-1に示し、その団地概要を表-1に示す。両団地は共に賃貸集合住宅であり、そのうち泡瀬団地は道路一つへだてて太平洋に面した海岸沿いに建設さ

*1 琉球大学教授 工学部環境建設工学科, 工博(正会員) *2 同助教授, 工博(正会員)

*3 同大学院 工学研究科建設工学専攻(正会員)

れたが、現在では海岸の埋め立てが進んだ結果、海岸線から約1.5km前後離れている。一方、豊見城団地は那覇市のベッドタウンとして海岸から数km離れた内陸部に建設された。これらの団地は共に沖縄が日本に復帰する前後に相次いで建設された団地であり、特に豊見城団地は8年の年月を経て建設された沖縄でも最大規模の団地である。調査方法は現場における外観調査、コンクリートのひび割れ調査と、現場から採取したコンクリートの圧縮強度、コンクリートに含まれる塩分量、かぶり厚さ、中性化深さ等に関する試験室における試験に分類される。なお、塩分含有量はJCIの規準(案)[6]に準じて可溶性塩分について行なう。

3. 調査結果

豊見城団地では損傷調査戸数が856戸にのぼり、その割合は全戸数1208戸の70.9%にもおよぶ。そのうち、鉄筋の腐食によるかぶりコンクリートの剥離、剥落、浮きが観察された住戸が405戸もあり、それは33.5%にもあたる。このことは、かぶりコンクリートの剥落を考えると、日常安全性上かなり問題があると指摘せざるをえない。このように日常安全性も十分確保されていないなかで、一部の人々が生活を強いられている現状が沖縄に今も存在することを特に強調したい。

豊見城団地では5棟から合計11本、泡瀬団地では1棟3本のコンクリートコア(φ100×200mm)を各々採取した。これらの圧縮強度と圧縮強度時のひずみを図-2に示す。沖縄県建設技術センターが圧縮強度試験依頼として取り扱った試料数は表-2のようになっている[7]。表-2より沖縄が日本に復帰する1972年前後の沖縄における主要構造部材のコンクリート設計基準強度は、180kgf/cm²が主流であったと推定される。これらの集合住宅はラーメン構造とはいえ、建築計画上戸境壁や間仕切り壁等が多く構造設計上算定外余力がかなり期待できる[8]。したがって、図-2に示したコンクリートのシリンダー強度の一部は設計基準強度を大きく下まわっていると推定されるが、構造耐力上、そして耐震設計上の問題は少ないと考えられる。参考までに、1977年の沖縄県における某生コン工場のコンクリート調合例を表-3に示す。海砂を利用し、粗粒率が小さいからか単位水量がかなり大きいことが目立つ。

規制値の塩化物量0.3kg/m³(C1)と、鉄筋腐食

表-1 泡瀬及び豊見城団地建物概要(RC造ラーメン4階建)

団地名	建設年度	棟数	戸数	損傷調査戸数	調査戸数/全戸数(%)
泡瀬	1975	10	160	84	52.5
豊見城	'68~'76	52	1208	856(405)	70.9(33.5)

注) () 値はかぶりコンクリートの剥離、剥落等が観察された住戸数であり、その占める割合をそれぞれ示す。

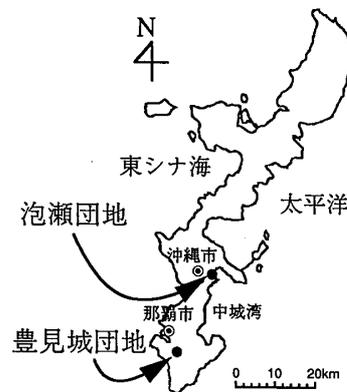


図-1 損傷調査を行った泡瀬、豊見城団地の所在位置

表-2 沖縄県建設技術センターがコンクリート圧縮試験として取り扱った試験数[7]

設計基準強度 (kgf/cm ²)	1973年	1974	1976	1978	1980	1982
240	201	400	391	409	612	320
210	647	1584	2709	4522	4810	5915
180	1014	2624	2647	3161	3305	924
160	—	100	674	1987	2151	4404

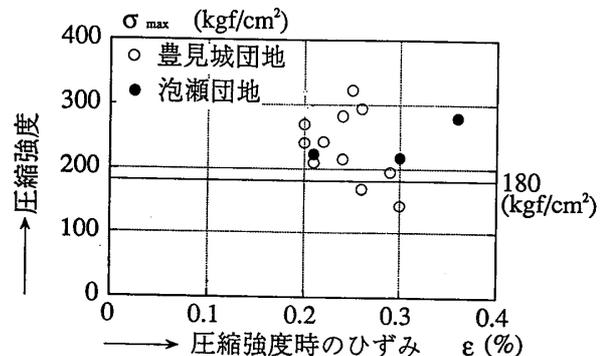


図-2 コンクリートコア(φ100×200mm)の圧縮強度とひずみ

表-3 沖縄県(本島内)の某生コン工場のコンクリート調合例

設計基準強度 Fc(kgf/cm ²)	調合強度 (kgf/cm ²)	重量(kg/m ³)					水セメント 比(%)	備考
		水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤		
1977年3 月	180	210	240	359	715	940	3.96	海砂(S1,S2) S1:S2=3:7 S1: ρ=2.57 F.M.=1.95 S2: ρ=2.51 F.M.=2.21
	210	240	234	378	695	965	4.16	
1977年7 月	180	210	223	306	834	888	3.37	海砂(S1),碎砂(S2) S1:S2=6:4 S1: ρ=2.47 F.M.=1.90 S2: ρ=2.60 F.M.=3.30
	210	240	221	330	804	907	3.63	

注) スランプは18cmで、粗骨材の最大寸法は20mmである。

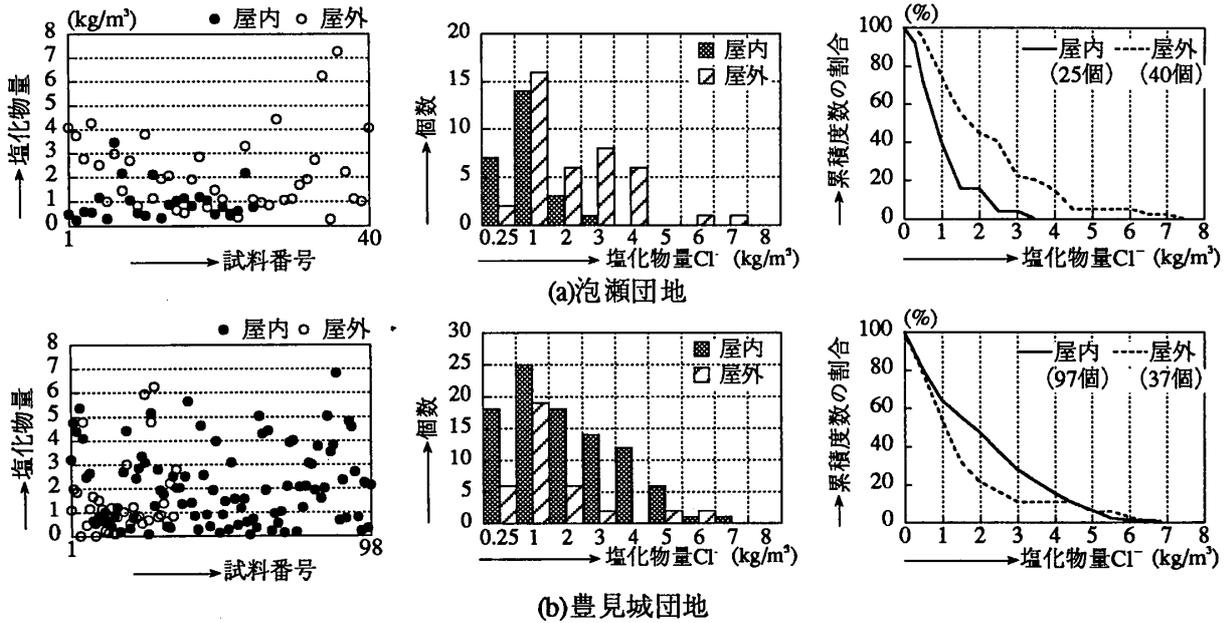


図-3 かぶりコンクリートに含まれている塩化物量

危険ラインである塩分量0.03%(NaCl)をガイドラインに可溶性塩分量の測定結果を整理し、図-3に表示する[9]。これらの図よりClは規制値(0.3kg/m³)前後から、その約23倍までいろいろばらついている。両団地とも全資料の約90%前後が塩化物量規制値や、鉄筋腐食危険ラインを上まわっている。泡瀬団地の場合は屋外の塩化物量が屋内よりも多く、海岸に近いことによる飛来塩分の影響も推察されるが、これらの測定値が可溶性塩化物量であることを考慮すると、いずれの団地も相当量の塩化物量がコンクリートに含まれている。

沖縄県の公的な機関である沖縄県材料試験所(現在の沖縄県建設技術センター)が塩分含有量調査を細骨材に関しては1973年から1974年にかけて、練り混ぜ水については1979年から各々は始めている。

図-4より、沖縄における細骨材の塩分含有量がほとんどの生コン工場で規制値の0.04%を下回る、すなわち規制値を満足するようになったのは1983年以降であることがわかる。特に、海砂が細骨材として100%近く利用された1970年前後から1977年10月建設省から塩分量規制(0.04%以下)通達が行われる頃までは、沖縄県のほとんどの生コン工場が規制値を大幅に上回る塩分入り生コンを出荷していたことになる。そこで、このことと当時の建築状況の対応関係を知るために沖縄県における公営賃貸集合住宅を離島を除く本島内の県営と公社に限定して、その建設年度と建設戸数を図-4に示した沖縄県の生コン用細骨材の塩分含有量調査結果に重ねて図-5に示す。沖縄県で公社住宅が建設されたのは1967年である。沖縄が日本に復帰した1972年以降は公社住宅にかわって県営住宅が主体となる。図-5より塩分が多く含まれていると思われる1967年から1977

年までに建設された住宅戸数は5002戸にもおぼり、それは1992年までに建設された公営賃貸集合住宅の約35%にあたる。沖縄本島内の生コン工場で塩分が細骨材から完全に除去される1983年以前までに建設された住宅は8154戸であり、それは全体の57%にも及ぶ。

泡瀬および豊見城団地が建設された1968年から1976年にかけての生コン用練り混ぜ水の水質試験に関する資料が見あたらないので、沖縄県材料試験所による1979年～1980年及び1987年～1988

年の水質試験結果を文献[4, 7]より図-6に整理する。図-6より、1979年11月より1980年6月までは200mg/lを越えた試料が45試料のうち4試料あるが、1987年4月より1988年3月まではすべての試料が200mg/l以下となっている。しかも文献[10]によると、1982年度で沖縄における生コン練り混ぜ水として75%以上の生コン工場で地下水が用いられ、それに含まれている塩素イオンCl⁻は40～160mg/l程度のものが多いと記されている。以上のことから、両団地のRC造集合住宅のコンクリートに含まれる塩化物量は、泡瀬団地の場合海からの飛来塩分の影響もあるが、基本的には除塩しないで利用したと思われる海砂によるものと推定される。

採取したコンクリートを利用して中性化深さを測定した。こ

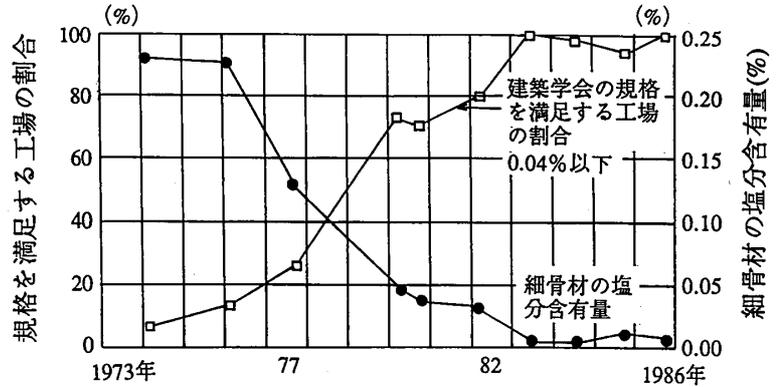


図-4 細骨材の塩分含有量と生コン工場の関係(沖縄本島)[4]

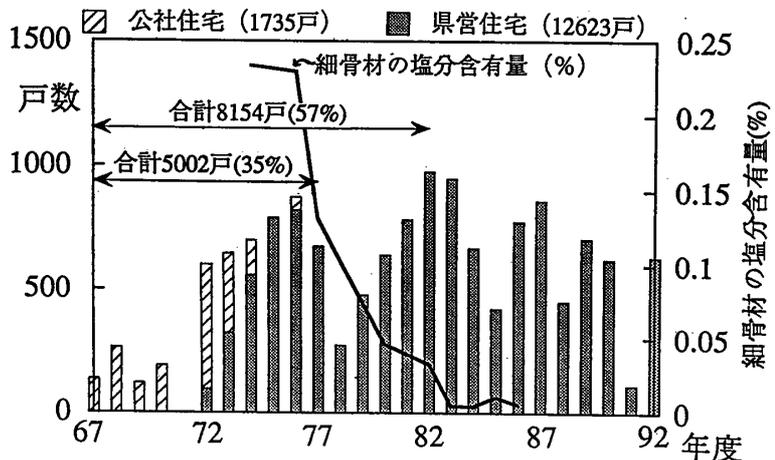
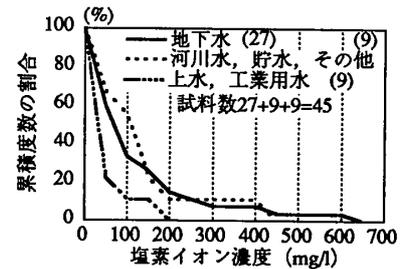
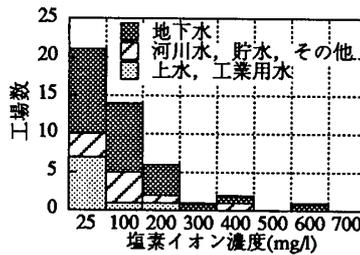
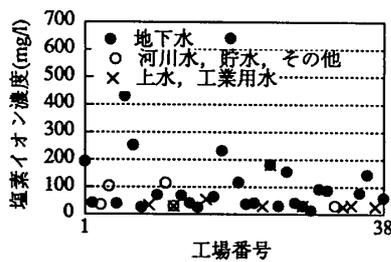
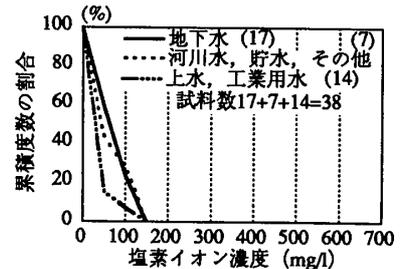
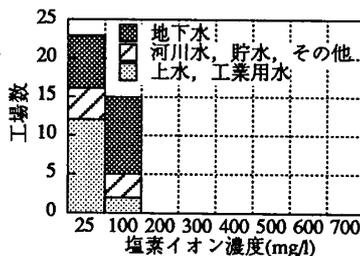
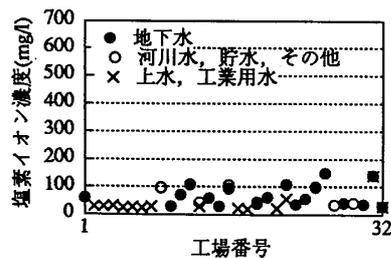


図-5 沖縄県(本島のみ)の公営賃貸住宅の建設年度と戸数



(a)1979年11月～1980年6月



(b)1987年4月～1988年3月

図-6 生コンクリート練り混ぜ用水に含まれる塩素イオンCl⁻(沖縄本島)

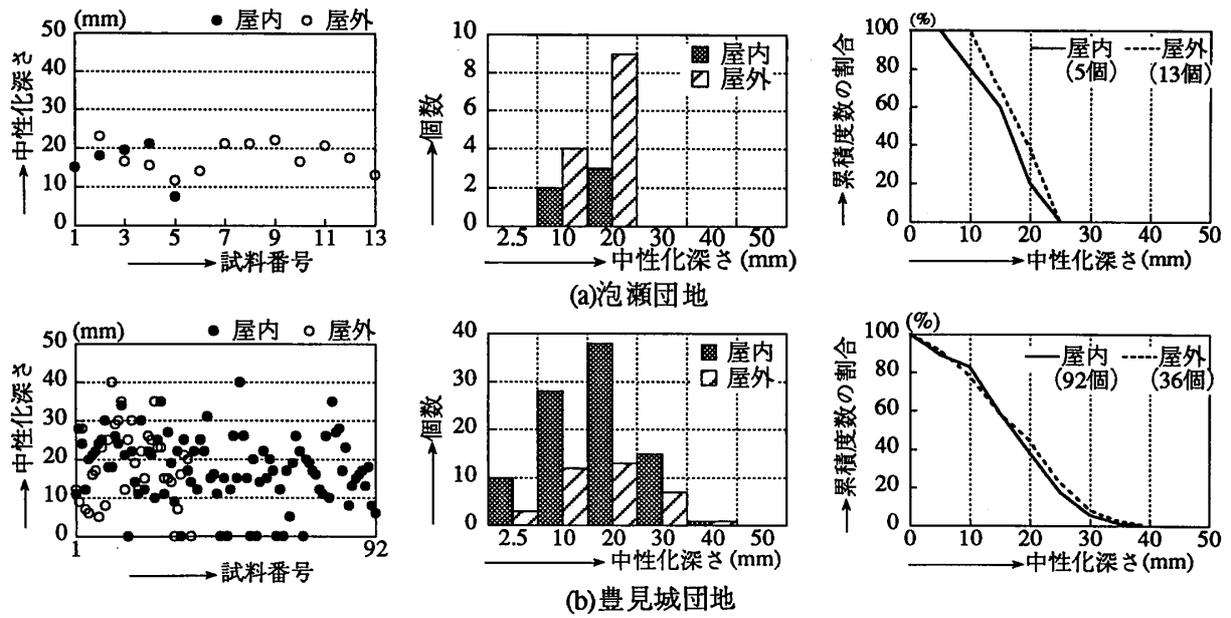


図-7 かぶりコンクリート採取片による中性化深さ

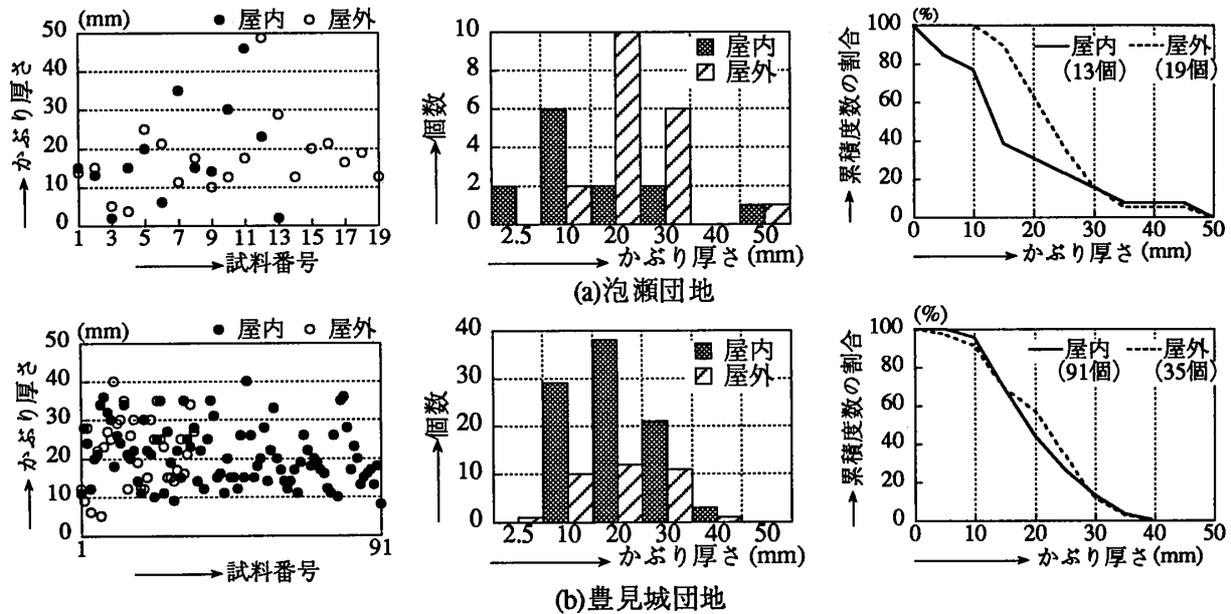


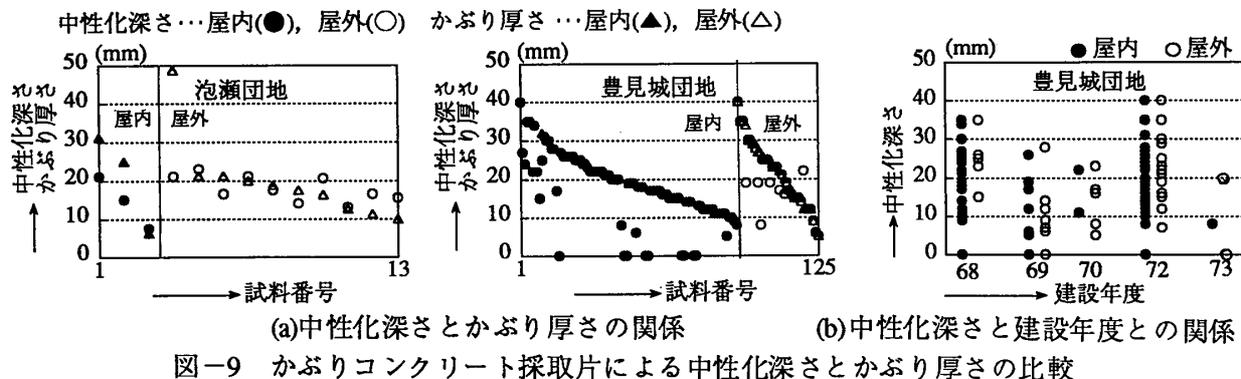
図-8 かぶりコンクリート採取片によるかぶり厚さ

これらの結果を図-7に示すとともに、岸谷式[11]を用いて中性化深さを計算した。計算にあたり、水セメント比65%、中性化比率1を仮定した。中性化深さに関する計算値は18mm~21mmであり、測定値は全試料の平均値が豊見城団地で18mm(128試料)、泡瀬団地で17mm(18試料)を示している。

かぶり厚さは採取したかぶりコンクリートを利用して主に測定した。したがって、床スラブのかぶり厚さが大半を占める。かぶり厚さの測定結果を図-8に示す。かぶり厚さに関する全資料の平均値は豊見城団地が21mm(126試料)であり、泡瀬団地が22mm(32試料)である。これらの値は床スラブの最小かぶり厚さにはほぼ等しく、中性化深さの平均値よりやや大きい。このことは鉄筋の腐食をできるだけおさえるために有効である。しかし、図-7、8に示すようにかぶり厚さの不足や中性化深さの進展が一部の採取片に見られるとともに、図-9より中性化深さがかぶり厚さを一部上回っているものもある。また、図-9(b)は中性化深さが1972年度を除いて、建設年度にはほぼ比例していることを示している。

社会資本の維持、保全を考えた場合、沖縄の公営賃貸集合住宅(本島内の県営と公社住宅)の1/3

前後と推定される建物が過大な塩化物を含み、鉄筋の腐食による建物の損傷がさらに進行しつつある状況を放置することは許されない。さらに、他の建築物や橋梁など土木構造物まで加えると、塩化物を多量に含む鉄筋コンクリート構造物の数は沖縄本島内でも莫大な数にのぼると推定される。特に、損傷したかぶりコンクリートの剥離や剥落が現実起き、また今後もこれらの多発が危惧される中で、居住者の日常安全性を確保することが急務である。



4 結論

豊見城及び泡瀬団地のRC造集合住宅は建築後20年から27年しか経っていないにもかかわらず、一部の棟は耐久性上かなりの損傷が見受けられる。特に、ベランダ先端の水切り部分の損傷が共通して多い。しかも、豊見城団地では損傷調査戸数が団地の全戸数に占める割合が70.9%にも及び(泡瀬団地では52.5%)、さらに剥離剥落などが観察された戸数の割合は33.5%にも及ぶ。このような箇所は日常安全上早急な補修工事を必要とすると思われる。これらの団地は規制値以上の相当量の塩化物を含有し、今後塩害による損傷の進行が心配される。これらの団地における建物の損傷原因は鉄筋のかぶり厚さ不足やコンクリートの中性化深さの進展が一部の採取片に見られるとともに、泡瀬団地に関しては飛来塩分の影響も一部考えられるが、根本的な原因は細骨材として除塩しないまま利用したと思われる海砂(海底砂)にある。特に、これらの団地が建設された年代(1968年から1976年)は沖縄が日本に復帰する年の前後にあたり、しかも1970年頃から1976年頃まで多くの生コン工場で海砂が十分に洗浄されることなく、そのまま細骨材として100%近く利用されていたことも明らかになってきた。さらに、建設省の塩分規制が通達として出された1977年以降も、沖縄ではその規制がすべての生コン工場で厳守されることはなく、沖縄県の本島内のすべての生コン工場で塩分規制が完全に守られるようになったのは1983年以降であることもわかった。

参考文献:

- 1) 岸谷孝一：海砂を使用した構造物の調査—9.4 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年次論文報告集，pp.165～168，1984
- 4) (財)沖縄県建設技術センター：試験年報，第6号，pp.117～120，1988
- 5) 日本建築センター：コンクリートの塩化物総量の規制とアルカリ骨材反応対策-建設省住宅局 建築指導課長通達の解説—1986年版，日本建築センター，pp.46～82，1986
- 6) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案)，日本コンクリート工学協会，技報堂，pp.17～54，1991. 4
- 7) 沖縄県建設材料試験所：試験年報，昭和52年度，p.31，昭和54年度，pp.35～43，p.68，1987，1980
- 8) 松永尚凡，山川哲雄 他3名：塩害により損傷を受けた実在RC造公営集合住宅の水平加力破壊実験，日本建築学会研究報告九州支部第35号・1(構造系)，pp.449～456，1995. 3
- 9) 岸谷孝一，西沢紀昭他編：塩害(I)(II)，コンクリート構造物の耐久性シリーズ，技報堂出版，pp.103～111，1986. 5，pp.33～43，pp.63～73，1989. 9
- 10) (財)沖縄県建設技術センター：試験年報，昭和58年度(第2号)，pp.127～131，1983
- 11) (財)国土開発技術センター：鉄筋コンクリート造建築物の構造物の耐久性向上技術，技報堂出版，p.36，1987. 5