

報告 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

伊良波繁雄*¹ 山川哲雄*² 森永繁*³ 仲座徳雄*⁴

要旨：沖縄本島において 1961～1976 年に建設された公営集合住宅の内 15 団地について塩害による建物の被害調査を行った。調査の結果、これらの団地の建物の中には、鉄筋の腐食によってかぶりコンクリートの剥離や剥落、コンクリートのひび割れ等、顕著な被害が多数生じていることが分かった。建物は耐久性の問題と同時にコンクリート剥離片の落下によって居住者の安全性が脅かされると云う二つの重要な問題点を抱えている。このために、筆者らは建物の損傷程度および損傷の原因を明らかにし、さらに損傷の推定を行った。

キーワード：沖縄県公営住宅、塩害、耐久性、海砂、RC 造建物

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損傷調査は、過去に数多く実施され、多くの調査報告書がすでに公表されている [1]、[2]、[3]。これらの調査報告によれば、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の 2 点である。筆者らも沖縄県内の RC 造集合住宅を 2 カ所調査し報告を行っている [4]。これらの 2 団地は細骨材として塩分を含んだ海砂を用いたため、鉄筋の腐食による損傷が大きく建築後 20 年から 27 年で、ベランダ先端の水切り部、屋内外の天井スラブ下面の剥離カ所が多く、建築物としての耐久性の問題、と同時にコンクリート剥離片の落下によって居住者の安全性が脅かされると云う問題点も抱えている。このために、筆者らは今後さらに厳しい状況に進むと思われる沖縄県内の RC 造集合住宅の現状を把握し、これからの補修計画に役立てるために調査研究を行った。

本調査報告は前回の 2 団地に続いて、沖縄本島において 1960～1970 年代に建設された公営集合住宅の内さらに 13 団地を追加調査し、鉄筋の腐食による損傷の程度をより詳しく把握する、と同時に損傷の原因を明らかにし、補修計画の資料とすることを目的とする。

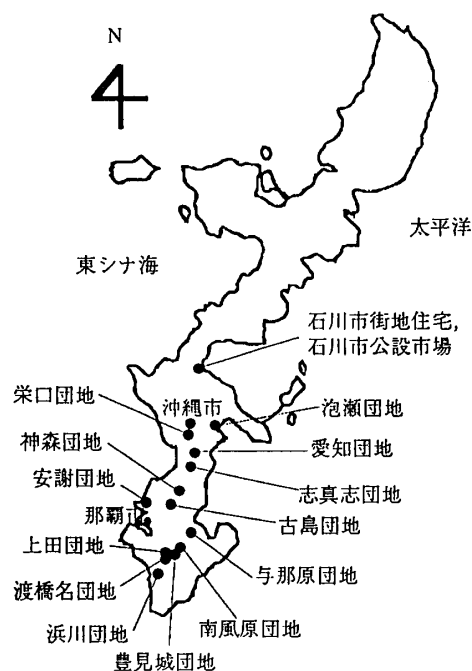


図-1 沖縄本島における各団地の所在地

- | | | | |
|-----|------------------|--------------------|-------|
| * 1 | 琉球大学助教授 | 工学部環境建設工学科、博士 (工学) | (正会員) |
| * 2 | 琉球大学教授 | 工学部環境建設工学科、工博 | (正会員) |
| * 3 | 九州東海大学教授 | 工学部建築学科、工博 | (正会員) |
| * 4 | 沖縄県住宅供給公社事業部計画課長 | | (正会員) |

2. 調査概要

コンクリートのひび割れやかぶりコンクリートの剥離、剥落等の生じている建物について外観調査、かぶりコンクリート破片の採取及びコンクリートコアの採取を現場で行った。かぶりコンクリートの破片については塩分含有量、かぶり厚さの測定、中性化深さの測定を行い、コンクリートコアについては先の項目に加え、圧縮強度、コンクリートコアや躯体中の鉄筋の腐食状態についても調査試験した。

各団地の建物の概要を表-1に、これらの各団地の沖縄県における所在地を図-1に示す。

表-1 建物の概要 (全てRCラーメン造)

団地名	施主	建設年度	階数	棟数	戸数	調査年	所在地
泡瀬	沖縄	1975	4	10	160	1993	沖縄
上田	沖縄	1972~73	4	7	128	1993	豊見城
栄口	沖縄	1969~73	3	3	48	1994	北谷
豊見城	公社	1968~76	4	52	1208	1994	豊見城
古島	郵政	1972	7~8	4	398	1995	那覇
安謝	那覇	1961	3	6	96	1995	那覇
石川住宅	石川	1967	5	1	40	1995	石川
石川市場	石川	1968	5	1	18	1995	石川
与那原	沖縄	1973	4~5	5	120	1995	与那原
南風原	沖縄	1975	5	10	230	1995	南風原
浜川	沖縄	1974	5	9	220	1995	糸満
渡橋名	沖縄	1973~74	5	11	250	1993	豊見城
神森	沖縄	1975	5	5	150	1995	浦添
志真志	沖縄	1974~75	5	6	140	1995	宜野湾
愛知	公社	1966~67	4	4	80	1995	宜野湾
合計	総棟数 134棟		総戸数 3286戸				

注) 沖縄；沖縄県、公社；沖縄県住宅供給公社、石川；石川市郵政；郵便貯金事業協会、那覇；那覇市

3. 調査結果

1) 外観調査

安謝団地は1961年の建設で、調査した建物の中で最も古い団地であるが、かぶりコンクリートの剥離、剥落は見られない。また、安謝団地と同様に1968年と比較的古い石川市公設市場は、その被害レベルは低い。これらの団地を除く13団地は、ベランダではその天井面のスラブ及び水切溝を中心とした鉄筋の腐食によるかぶりコンクリートの損傷が多くみられた。特に、豊見城団地、浜川団地、渡橋名団地、神森団地等の水切溝の剥離片は2, 3mにも及ぶものがどの団地にも見られた。また、与那原団地、志真志団地等では、居室天井面での鉄筋の腐食、電線用配管の腐食によるかぶりコンクリートの剥離、ひび割れが多く、剥離片の落下の事故が起きないような対策が必要である。居住者からの聞き取り調査では、風呂場の天井からのコンクリート片の落下によって軽度のけがを受けた例があったが、このような事故に対する対策は早めに行う必要がある。

2) コンクリートの圧縮強度調査

圧縮試験用のコンクリートコアの採取本数は上田団地が最も少なく3本、最も採取本数が多い団地は豊見城団地の13本となっている。古島団地以外の平均圧縮強度は189~282kg/cm²であり、建設当時の設計基準強度を満足していると解釈できる。ただし古島団地の場合は、ほとんどの圧縮強度が150kg/cm²を下回っており、平均で145kg/cm²、最も低い値で109kg/cm²という数値がでている。

3) コンクリートの塩化物含有量の調査

図-2は調査した15団地の、居室内から採取したコンクリート剥離片とコンクリートコアの中心部の塩分量を測定し団地ごとに平均を取ったものを示してある。これらの塩分量は海からの飛来塩分の影響が少なく、長年にわたるコンクリートの乾燥に伴う水分や塩分の移動を受けたとは

いえ、建設当時のコンクリート中の塩化物含有量に近いと思われる。図-2から塩化物含有量が規制値を満たしているのは安謝団地と石川市場だけであり、前述のように、これらの団地が他の団地に比べて比較的古いにも関わらず、コンクリートの損傷が少ないのは、塩化物含有量が少ないことにある。これに対して、安謝団地と石川市公設市場を除く13団地の建物のコンクリート中には塩化物規制値の 0.3kg/m^3 [9]を大幅に上まわる塩化物が含まれていることが分かった。この多量の塩化物が、これらの団地の損傷の大きな原因である。

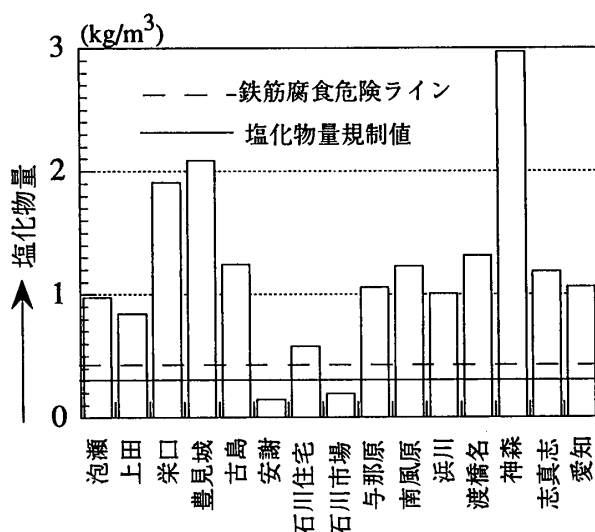


図-2 各団地の塩化物含有量比較図

表-2 各団地から採取された剥離のかぶり厚さ (mm)

団地名	個数	最小値	最大値	平均値	20mm以上の割合(%)
泡瀬	33	2	49	21.5	64
上田	5	14	21	18.4	40
栄口	24	6	40	17.6	33
豊見城	125	5	40	20.6	52
与那原	40	10	33	18.2	45
南風原	24	5	40	17.3	25
浜川	24	10	44	16.7	21
渡橋名	99	5	39	16.5	26
神森	14	11	26	19.0	57
志真志	30	7	32	18.6	37
愛知	32	4	27	16.3	31

4) 鉄筋のかぶり厚の調査

各団地から採取されたコンクリート剥離片から測定された鉄筋のかぶり厚さを表-2に示した。調査した団地の一部は、損傷が小さいためコンクリート片の採取が不可能であった。このために、かぶり厚さも測定してない。表-2の剥離片はほとんど天井スラブから採取されたものである。設計に用いられている最小のかぶり厚は20mmであるから、いずれの団地もかぶり厚さが小さいようである。

調査したはりのあばら筋のかぶり厚さはかなり小さくそのために鉄筋が腐食しているカ所もいくつか見られた。

しかし、柱は相対的に所定のかぶり厚さが確保されているようである。どの団地の柱のかぶり厚さもほとんど50mm以上確保されており、中には70mmから80mmも確保されているものまであった。

5) 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スラブ、柱、壁、はり等多数行っているが、調査した例として表-3にスラブのコアから測定した中性化深さの結果を示した。表-3から分かるように、設計で用いられている鉄筋の最小かぶり厚さは20mmであるが、中性化深さはこの値を部分的に越えている。表-4には、はりの中性化深さの調査結果を示した。鉄筋のかぶり厚さを30mmと仮定すると、古島団地、安謝団地、与那原団地、渡橋名団地、志真志団地の屋内では、中性化深さがほとんど鉄筋の位置まで達していることが分かる。しかし屋外に関しては中性化はそれほど進行していないようである。なお、柱は各団地の最大値でも27mmで主筋位置までは達していない。屋外の躯体の多くは仕上げ材が塗布されてあるため中性化が進行しにくいことが考えられる。

表－3 各団地のスラブの中性化深さ(mm)

団地名	表面数	最小値		最大値		平均値		20mm未満の割合(%)	
		屋内	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外
泡瀬	4	—	5	—	22	—	12.3	—	75
柴口	8	24	0	34	20	28.8	5.0	0	75
豊見城	6	—	1	—	33	—	16.5	—	50
与那原	4	—	0	—	20	—	8.8	—	75
南風原	8	—	3	—	20	—	11.4	—	75
浜川	8	—	3	—	26	—	12.0	—	75
渡橋名	4	—	6	—	30	—	16.5	—	50
神森	4	—	12	—	42	—	23.0	—	50
志真志	4	—	10	—	25	—	16.3	—	50
愛知	4	—	1	—	10	—	4.3	—	100

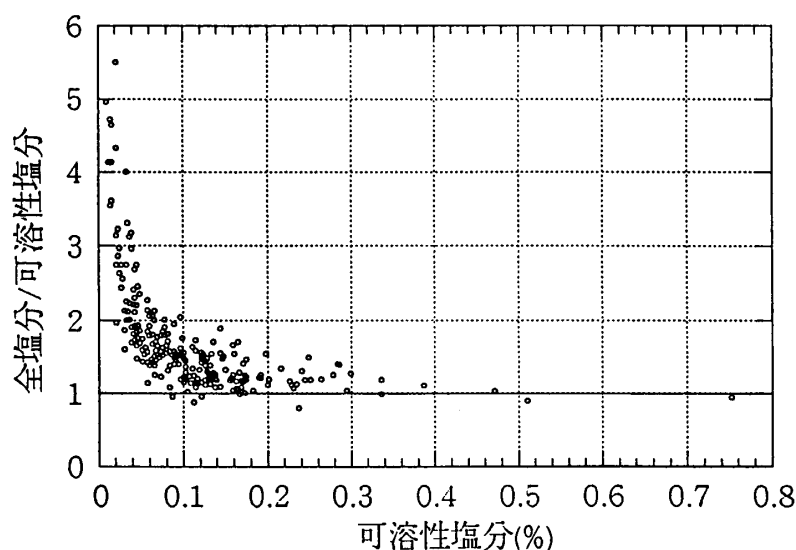
表－4 各団地のはりの中性化深さ(mm)

団地名	表面数	最小値		最大値		平均値		30mm未満の割合(%)	
		屋内	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外
泡瀬	2	—	20	—	25	—	22.5	—	100
古島	8	30	—	45	—	37.5	—	0	—
安謝	8	30	—	51	—	39.0	—	0	—
石川市場	6	—	19	—	35	—	24.8	—	83
与那原	19	20	20	37	20	31.0	20.0	19	100
南風原	32	14	20	40	30	25.7	23.3	71	75
浜川	29	13	10	35	28	24.4	16.0	77	100
渡橋名	29	20	7	46	25	32.9	18.3	27	100
神森	19	5	25	35	35	24.5	31.7	63	33
志真志	18	23	10	42	13	34.3	11.5	13	100
愛知	15	2	3	36	3	14.9	3.0	86	100

4. 調査結果の考察

1) 可溶性塩分と全塩分量の関係

表1に示す与那原以下の7団地については、剥離片やコンクリートコアの塩分量を測定する際、可溶性塩分と全塩分の両方を測定した。その内の全ての剥離片の測定結果を図－3に示した。なお、この図のデータ総数は255個である。これらの全塩分量の全ての値は鉄筋が腐食する危険がある



図－3 剥離片の可溶性塩分量と全塩分量の関係

塩分含有量0.03%〔5〕を越えており、これらの団地がいかに厳しい状況にあるかが分かる。

図－3で、塩分量が少ないときは全塩分量に比べて可溶性塩分量はかなり小さく、塩分量が多くなるにつれて、全塩分量と可溶性塩分量は近づく傾向にある。一般に、Cl⁻イオンはセメント重量の約0.4%までがフリーデル氏塩として固定化されるといわれているので〔5〕、この測定結果は当然な結果といえる。

2) 海砂の塩分による集合団地の損傷の推定

図-2で示した各団地の塩化物含有量は居室内から採取したコンクリート剥離片とコンクリートコアの中心部の塩分量を測定し団地ごとに平均を取ったものを示してある。これらの塩分量は海からの飛来塩分の影響が少ないので、塩化物は生コン用の練り混ぜ水か細骨材に原因がある。練り混ぜ水に関する資料は豊見城団地の建設年度の1976年以前の資料は見あたらず、沖縄県材料試験所の測定資料も1979年11月以降である。沖縄県材料試験所の1979年11月から1980年6月までの水質検査によると、使用されている練り混ぜ水は地下水、上水、河川水で塩素イオン濃度が200 mg/lを越える試料は測定した45個の内4個だけであった〔6〕。したがって、混ぜ水の塩素イオン濃度を200 mg/lとし、1974年度の本島内の各生コン工場における配合表〔7〕から単位水量を200kg/m³として塩化物量を求めると、練り混ぜ水からコンクリートに入り込む塩化物は0.04kg/m³となる。この値は、図-2の各団地の塩化物含有量と比較すると小さい。したがって、今回のコンクリート中の多量の塩化物も従来から指摘されていた海砂に原因がある。すなわち、コンクリート中に多量の塩

化物が含まれている原因は、十分に洗浄しないままの海砂を細骨材として利用したためと考えられる。コンクリート中の細骨材量を1974年度の本島内の各生コン工場における配合表より800kg/m³と仮定して各団地の調査結果より細骨材に含まれている塩分量の平均を算出し、公的データ〔8〕とともに図-4に表示した。

図-4の推定値は最大値と最小値の平均である。また、細骨材に含まれている塩分量と当時の建築状況の対応を知るために、本島内の公営賃貸住宅の建設年度と戸数を図-4から推定した細骨材に含まれている塩分量とともに図-5に示す。これら各団地の調査結果から、沖縄本島においては1966年あたりから多量の塩化物を含む十分に除塩されないままの海砂が生コン用細骨材として出荷されるようになり、1975年頃ピークに達したと推定される。そして1980年頃から当時の規制値である0.04%を下回るようになっている。

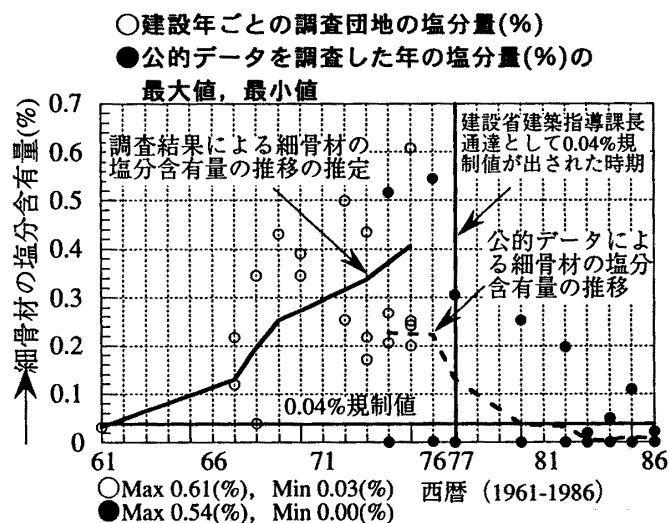


図-4 本島の生コン用細骨材の塩分含有量の推移

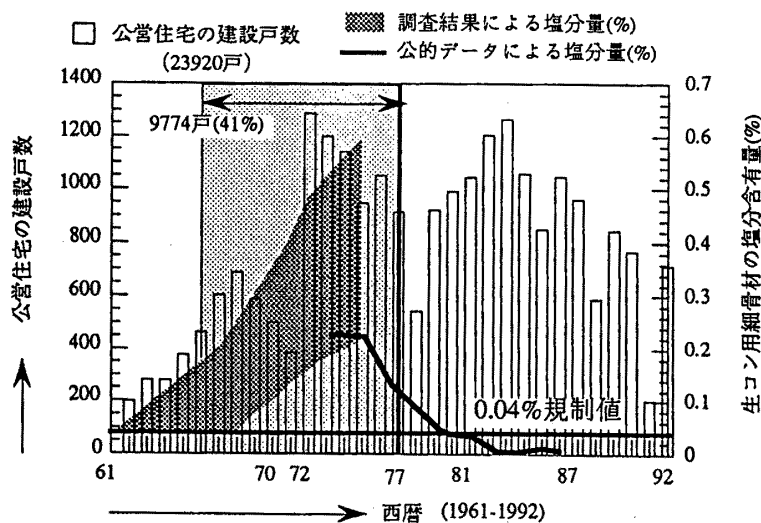


図-5 本島の生コン用細骨材の塩分含有量と公営集合住宅の建設戸数の推移

1977 年以前に建設された公社団地と県営団地の全団地戸数は 7809 戸であり、その中で本調査の対象になった全団地戸数は 3190 戸にものぼり、その割合は 40%にも及ぶ。その中でひび割れやかぶりコンクロートの剥離など、何らかの塩害による被害を受けている戸数は、目視調査した全戸数 (1187 戸) のうち、884 戸になり全体の約 7 割にも及ぶ。さらに本島内で 1977 年以前にかけて建設された全団地戸数 (市町村営団地も全部含む) は 9774 戸であり、その数は 1962 年から 1992 年にかけて建設された全団地戸数 (23920 戸) の約 40%にも及ぶ。調査した団地と同様にこれらの団地の 70%に塩害による損傷を受けているとすれば、今日までに建設された全団地戸数の約 30%は塩害による何らかの被害を受けているものと推定される。

5. まとめ

調査した 15 団地の内、14 団地でかぶりコンクリートの剥離、剥落などの塩害による被害が生じている。鉄筋腐食の要因は飛来塩分や混練水に含まれている塩化物の影響も一部考えられるが、十分に洗浄しない海砂の利用に主な原因がある。また、最も古い安謝団地 (那覇市営集合住宅) のみが健全であることがわかった。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を受け、その数は今日までに建設された全団地戸数の約 30%になるものと推定される。

調査した多くの団地で、水切溝の剥離片が 2, 3 m にも及ぶものが有り、剥離片の落下事故が起きないような対策が必要である。

謝辞

本報告をまとめるに当たり、実験および調査に知念秀起氏 (沖縄県庁) と今村大樹氏 (松尾建設)、コンクリートの塩分量測定には沖縄県建設技術センター、ひび割れ調査には県内の多くの建築設計事務所のご助力をいただきました。ここに、心から感謝の意を表します。

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] 山川哲雄、伊良波繁雄、知念秀起：沖縄県の公営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] 岸谷孝一、西沢紀昭他編：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 塩害 (I)、技報堂出版、pp.103-111、1986 年 5 月
- [6] (財) 沖縄県建設材料試験所：試験年報、昭和 54 年、(財) 沖縄県建設材料試験所、pp.38-43、1979
- [7] (財) 沖縄県建設材料試験所：試験年報、昭和 49 年、(財) 沖縄県建設材料試験所、pp.29-36、1974
- [8] (財) 沖縄県建設技術センター：試験年報、第 6 号、pp.120、1987
- [9] 建設省住宅局建築指導課：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、日本建築センター、pp.46-63、1986