

# 琉球大学学術リポジトリ

## 沖縄県のR/C造公営集合住宅15団地の塩害等による 建物損傷調査と被害状況の推定

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2010-08-02 キーワード (Ja): キーワード (En): Chloride attack, R/C Public apartment houses, Sea sand, Sodium chloride, Okinawa, Durability 作成者: 山川, 哲雄, 伊良波, 繁雄, 知念, 秀起, 今村, 大樹, Yamakawa, Tetsuo, Iraha, Shigeo, Chinen, Hideki, Imamura, Hiroki メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/17649">http://hdl.handle.net/20.500.12000/17649</a>

# 沖縄県のR/C造公営集合住宅15団地の塩害等 による建物損傷調査と被害状況の推定

山川 哲雄\* 伊良波 繁雄\* 知念 秀起\*\* 今村 大樹\*\*\*

An Investigation of 15 R/C Public Apartment Houses  
Damaged by Chloride Attack in Okinawa

Tetsuo Yamakawa\* Shigeo Iraha\* Hideki Chinen\*\* and Hiroki Imamura\*\*\*

## Abstract

Fifteen R/C public apartment houses in Okinawa were investigated on their damage due to chloride attack. These buildings were built between 1961 and 1976. The main objective of this investigation is to estimate the percentage of damaged R/C buildings due to chloride attack in Okinawa main island and to clear the dominant cause. As a result of investigation, fourteen R/C public apartment houses have been damaged by chloride attack except for the oldest apartment house which was built in 1961. Among them thirteen apartment houses contain a lot of sodium chloride in the concrete. The amount of chloride ion is beyond the permission line according to Japanese government guide line. The oldest R/C public apartment house built in 1961 is not damaged by chloride attack. This is the reason why sea sand was not used. Most of R/C public housing built between 1966 and 1977 has been damaged by chloride attack. The chloride attack is caused by using sea sand without removing sodium chloride. The percentage of damaged R/C buildings due to chloride attack in Okinawa main island is about 30%. Nowadays, this problem is a big social problem in Okinawa.

Key Words : Chloride attack, R/C Public apartment houses, Sea sand, Sodium chloride, Okinawa, Durability.

## 1. 序

今日、沖縄本島における公営集合住宅の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にあるといっても過言ではない。それは今に始まった現象ではなく、10年以上も前からそのような傾向が始め、いくつかの調査研究報告も既に公表されている[1]~[4]。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点が指摘されている。

- 1) 生コン用細骨材として海砂が使用されたこと。
- 2) 沖縄が高温多湿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。

特に1)のような現象は復帰前後に相次いで建設された建物に多く見られるようである。しかし、今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。さらに、2)に関しても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、新素材の技術開発、さらには打込み型枠材の新規開発など様々な対策が実施され、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、この沖縄においても確実に向上しつつあるものと思われる。しかし、沖縄が日本に復帰した1972年前後をはさんで約10年間にわたり、十分に除塩されないまま使用された海砂の問題は、現在の沖縄にとって深刻で、重要な社会問題である。それは、文献[5]によれば次のとおりである。

「砂は、海岸近くの原野、畑地で埋もれていた海成の砂（一般に陸砂）を用いていたが、昭和40年代半ばには陸砂も採りにくくなり、本格的に海底砂を採取するようになってくる。特に昭和50年（1975年）の頃には砂不足に悩まされると同時に海砂の使用で鉄筋の腐食による建物の損傷が発生し、社会問題となった事例もみられた。」

本研究調査は沖縄本島における塩害による損傷を受

1996年度日本建築学会大会（近畿）において発表済み。

\*工学部環境建設工学科

(Dept. of Civil Engineering & Architecture, Fac. of Eng.)

\*\*沖縄県庁

(Okinawa prefectural government)

\*\*\*大学院工学研究科建設工学専攻

(Graduate School, Architecture Engineering.)

けている建物の被害状況そして、その被害の推定とその要因を主な調査研究の目的として、1993年度以来数々の集合住宅を調査してきた。本調査では細骨材に0.04%という塩分規制値[6]が適用される1977年以前に建てられた建物のみ（合計15の公営住宅団地）を対象とした。文中で、「塩素イオン」はCl<sup>-</sup>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[7]。

## 2. 調査目的,概要

### 2.1 調査目的

那覇市が1961年度に建設した賃貸集合市営住宅安謝団地をはじめとして、沖縄県が1976年度に建設した豊見城団地内の4棟に至るまで、約16年間にわたって建設された公営集合住宅、住宅団地のうちの15団地について調査した。これらの建物の幾つかにおいて、鉄筋及び配線用配管等の腐食による膨張圧によってかぶりコンクリートの剥離や剥落、鉄筋及び配線用配管に沿ったコンクリートのひび割れ等、顕著な被害が生じている。本調査の主なる目的は、建設された年代を異にする各団地の損傷の現状を把握するとともに、各団地のコンクリート強度や塩分含有量等を比較することにより、沖縄におけるRC造公営集合住宅の耐久性能を調査・検討することにある。

### 2.2 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落など顕著な被害が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



図-1 沖縄本島における各団地の所在位置

表-1 建物概要 (すべて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

トコアの採取を現場で行なった。かぶりコンクリート破片については塩分含有量・かぶり厚さの測定，中性化試験を行ない，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。

各団地の建物概要を表-1に、これらの各団地の沖縄県における所在位置を図-1に示す。

### 2.3 調査建物概要

#### 1) 泡瀬団地

泡瀬団地は表-1に示すように、1975年度に竣工し、1977年11月から入居が始まった10棟160戸からなる団地である。この団地の建物は海岸のすぐそばに建設され、1993年度で約18年経過したRC造ラーメン4階建の集合住宅である。各棟の中で、居室やベランダ等の天井面からかぶりのコンクリート等の剥落の危険や、コンクリートにひび割れが生じている住戸が多数あった。さらに10号棟は目視によっても不同沈下が顕著に見られ、不同沈下によると思われる壁体のひび割れが観察された。

#### 2) 上田団地

上田団地は表-1に示すように全棟が竣工し、建設が完了したのは1973年度であり、7棟128戸からなる団

地である。建物はRC造ラーメン4階建ての集合住宅である。この団地は、海岸より内陸部に約2.1kmはなれたところにある。そのため飛来塩分量は少ないものと思われる。地盤も良好な硬質地盤に相当し、不同沈下の心配は皆無に思われる。

### 3) 栄口団地

栄口団地は表-1に示すように竣工したのが1969年、建設が完了したのは1973年度であり、48戸からなる建物である。建物はRC造ラーメン3階建ての集合住宅である。この団地は、海岸より内陸部に約2kmはなれたところにある。我々が調査したのはA,B,C3棟のうちのA棟のみで、調査していた時点で既に全棟の建て替え工事が決まっていた。この建物は山川らによって実在破壊実験が行われ[8]、現在ではファサードも一新した5階建てのモダンな建物に全棟建て替わっている。

### 4) 豊見城団地

調査の対象となった公社豊見城団地は、沖縄本島の南部に位置し(図-1参照)、賃貸集合住宅(鉄筋コンクリート造ラーメン4階建て)と分譲戸建住宅(鉄筋コンクリート造ラーメン1~2階建て)から構成され、合計戸数1652戸(計画人口6200人)の大規模な団地である。豊見城団地は海岸から約2km離れた内陸部に建設され、表-1に示すように1968年度に初年度の建設が完了し、1976年度までに賃貸集合住宅の建設がすべて完了している。本調査は賃貸集合住宅に限定され、しかも損傷レベルが比較的大きい5戸(B-2, B-14, C-2, C-7, C-15)について行った。この5棟以外の棟でも、かぶりコンクリートの破片は採取し、かつ塩分含有量を測定した。

### 5) 古島団地

調査の対象となった古島団地は、沖縄本島的那覇市環状2号線近傍に位置する賃貸住宅団地である。古島団地は1972年に建設されており、この年は沖縄県が日本に復帰した年でもある。古島団地は海岸から約2km離れた内陸部に建設され、RC造ラーメン7~8階建ての高層住宅団地である。西側には天久の都市計画区域が広がり、泊・安謝の海岸が見渡せる。しかし、海岸から2kmも離れているため、飛来塩分の影響は少ないと思われる。本調査は主として、1号棟を対象とした。ただし、2号棟からもコンクリートコアの採取を行ない、圧縮強度試験と塩分含有量を測定した。

### 6) 安謝団地

安謝団地は1961年に建設されたものであり、沖縄県

に賃貸住宅団地が建ち始めた初期の頃の建物である。安謝団地は海岸から約800m離れた国道58号線沿いに建設され(図-1)、1995年度で約34年も経過したRC造ラーメン3階建ての集合住宅である。安謝団地はあまり損傷している様子はなく、剥離や剥落、鉄筋や配線用配管に沿ったひび割れ等は見受けられない。しかし海岸に近いので、多少なりとも飛来塩分の影響を受けているものと思われる。

### 7) 石川市街地住宅

調査の対象となった石川市街地住宅は、沖縄本島の石川市国道329号線近傍に位置する集合住宅である。石川市街地住宅は海岸の近くに建設され、1995年度で約28年も経過したRC造ラーメン5階建ての集合住宅である。東側には今でこそ埋め立て地として石川市役所や公園が整備されているが、建設当時は石川ビーチが広がっていた。そのため飛来塩分の影響も相当受けているものと思われる。

### 8) 石川市公設市場

この建物は石川市街地住宅と向かい合っており、1968年に建てられたRC造ラーメン5階建ての集合住宅である。ただし1~2階は店舗として設計されており、住戸は3~5階になっている。またこの建物も石川市街地住宅同様、海岸近くに建設されており飛来塩分の影響を相当受けているものと思われる。

### 9) 与那原団地

与那原団地は1973年度に建設されたRC造ラーメン4~5階建ての集合住宅である。この団地は特に浴室天井の損傷がひどく、また居室内の梁にも下端筋の腐食によるものと思われるかぶりコンクリートの浮きが生じていた。位置的には中城湾から約600m離れた丘陵地に建っており、飛来塩分の影響も受けているものと考えられる。

### 10) 南風原団地

南風原団地は1975年度に建設されたRC造ラーメン5階建ての集合住宅であり、全部で10棟230戸からなる比較的大きな団地である。他団地に比較して、ひび割れや剥離などの現象が少ないように思われる。ベランダスラブにはところどころに剥離が見受けられるが、軽微なものが多い。また、海からは3kmほど離れており、飛来塩分の影響は少ないものと思われる。

### 11) 浜川団地

浜川団地は1974年に建設されたRC造5階建ての集合住宅であり、9棟220戸で構成されている大きめの団地

である。この団地はベランダ水切りの損傷がひどく、外壁の梁などは主筋に沿ったひび割れやコンクリートの浮きが多数見られた。この団地は東シナ海に面した国道331号線沿いに位置し、今では海岸面側に西崎の埋め立て地が広がっているが、建設当時は海のすぐそばに建てられたため、泡瀬団地同様多量の飛来塩分の影響を受けているものと思われる。

## 12) 渡橋名団地

渡橋名団地は表-1に示すように全棟が竣工し、建設が完了したのは1974年度であり、1977年11月より入居が開始された11棟250戸からなる比較的大きい団地である。建物はRC造ラーメン5階建の集合住宅である。この団地は上田団地の近くにあり、海岸より内陸部に約1.4km入った丘陵地にある。よって飛来塩分の影響は少ないものと思われる。この団地はベランダや居室天井の剥離が多く、外側の梁の上端筋に沿ったひび割れも数多く見られた。

## 13) 神森団地

神森団地は1975年に建設されたRC造ラーメン5階建ての集合住宅である。この団地では階段室側の底下の剥離が数多く見られた。また1階の柱にはジャンカも見られた。さらに外側の梁には上端筋やあばら筋の腐食によるものと思われるひび割れも見られた。海岸からは約1km離れている。

## 14) 志真志団地

志真志団地は1974年から1975年度にかけて建設されたRC造ラーメン5階建ての集合住宅である。この団地はベランダ水切りの剥離や外側の梁の上端筋や下端筋に沿ったひび割れ等が多く観察された。中でも5号棟の損傷がひどく、1階階段スラブの角部では配線用配管に沿ってコンクリートが剥離しており、配管は中のコード線が見えるほどに腐食し、断面欠損している。また海からは約3kmも離れているので、飛来塩分の影響は少ないものと考えられる。

## 15) 愛知団地

愛知団地は1966年から1967年にかけて建設された比較的古い集合住宅である。またA-1棟とA-4棟がRC造ラーメン構造であるのに対して、A-2棟とA-3棟壁式構造であるのも興味深い。ただし、いずれの棟も4階建てである。この団地は屋内の電灯周りの剥離が多く、モルタルによる補修や鉄板を備え付けるといった補修が施されている。また、ベランダスラブの剥離も多い。さらにベランダ手摺の損傷もひどく、金属で補強されている。海からは約3.5km離れている。

## 2.4 調査方法

建物現状における損傷程度、損傷の原因を明らかにし、その対策を講じるための基礎資料を得るために次の調査項目を設定した。

- 1) 室内及び室外におけるコンクリートのひび割れ、剥離、剥落等の調査
- 2) コンクリートの強度調査（コンクリートコアによるコンクリート圧縮強度）
- 3) コンクリートの塩分含有量調査
- 4) 鉄筋のかぶり厚さ調査
- 5) コンクリートの中性化深さ調査
- 6) 鉄筋の腐食状態調査

室内及び室外におけるコンクリートのひび割れ、剥離、剥落等が、コンクリートに含有している塩分量が多いことに主原因があるのか、または鉄筋のかぶり厚さやコンクリート強度の不足によるものか、コンクリートの中性化が進行したためかを明らかにするために上記の調査を計画した。特に以上の調査項目のうち、コンクリートに含有していると思われる塩化物量については詳細に調査した。塩化物量は室内と室外についてそれぞれ調査し、海からの飛来塩分の影響に関しても考察する。

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、かぶりコンクリートをはつり、かぶり厚さ、中性化深さ等を測定するはつり調査と、現場から採取したコンクリートコア、かぶりコンクリート、鉄筋等の諸性質に関する実験室における試験に分類される。なお、塩分含有量は可溶性塩分と、幾つかの団地においては全塩分を測定した。

## 3 調査結果

### 3.1 調査結果の概要

今回調査を行った15団地を各団地ごとに、損傷状態、コンクリートの圧縮強度、塩分含有量等のコンクリートの性質と、かぶり厚さ、中性化深さ、鉄筋の腐食状態等について調査結果を整理した。

### 3.2 目視による損傷状態調査

#### 1) 泡瀬団地

この団地はかなりの損傷をきたしていることがうかがえる。まず第一に屋内、屋外を問わず剥離箇所が随所に見られる。特にベランダの水切りや屋内の電灯周辺に多く見られる。外部の梁では上端筋に沿ったひび割れも観察される。ただし、4、5、6棟など既に補修が施されている棟もある。その剥離箇所の鉄筋に関しては、外部のベランダや梁、柱の腐食グレードがほとんどグレードIVであるのに対し、屋内天井スラブの下端筋は健全なものからグレードIVのものまでい

ろいろばらついている。また、屋内電灯周りの配管はこれも外部の鉄筋同様、ほとんどがグレードIVの状態である。さらには配管が断面欠損していて、そのためにコード線が見えている状態のものもある。

外部の仕上げ材は至る所ではげ落ちていて、梁、柱、壁、階段スラブなどではかぶり厚さが小さいために鉄筋がむき出しになっている箇所も数多く見られる(写真-1参照)。特に柱ではジャンカが見られる箇所もある。これらのことは施工上の問題も関連するものと思われる。

以上のほかに、9号棟や10号棟は地盤の沈下が生じており、さらに10号棟に関しては建物の不同沈下も目視で確認できるほど生じている。このように、泡瀬団地の建物の損傷レベルは総体的に大きいと判断せざるをえない。しかし現在では、この団地は全面的に補修が施されている。

## 2) 上田団地

この団地の外観は多少の剥離やひび割れはあるものの目立った損傷は見あたらない。但し、屋内には電灯周りのかぶりコンクリートの浮き上がり、配管に沿ったひび割れが数多く観察される。しかし現在では、この団地も一部の棟を除いてほとんど補修が施されている。

## 3) 栄口団地

この団地の外観では、ベランダの手摺や庇の軒先のかぶりコンクリートの剥離、剥落が目立つ(写真-2参照)。また、天井面の剥離している部分の鉄筋や配管はほとんどが著しく腐食していた。コンクリート中の送電管も著しい腐食を生じていた。

## 4) 豊見城団地

この団地では、塩害により損傷を受けたかぶりコンクリートが剥離しそうな箇所もあり日常安全性上、きわめて危険と思われる。したがって剥離しそうなかぶりコンクリートを強制的に剥落させ、とりあえず日常安全性の確保につとめた。このように損傷を受けて浮いたかぶりコンクリートは、軽い衝撃力で簡単に剥落させることができる(写真-3,4,5参照)。このことは、危険性と背中合わせで生活を強いられていることを意味し、耐震性以前の日常安全性として大きな問題を提起していることになる。特に居室内天井面の剥離・剥落は極めて危険であり、早急な対策が望まれる。ベランダの下端など水切付近に損傷が多く見られるほか、柱や梁にも主筋に沿ったひび割れが観察される。これらはすべて鉄筋腐食に起因している。

## 5) 古島団地

古島団地は各棟において、鉄筋及び配線用配管等の腐食による膨脹圧によってかぶりコンクリートの剥離や剥落、鉄筋及び配線用配管に沿ったひび割れ等、顕著な被害が生じている(写真-6,7参照)。これはコンクリート中に多量の塩分が含まれている可能性がある。特に1号棟の損傷はひどく、各階の廊下に配線用配管に沿ったコンクリートのひび割れが貫通しており、鉄骨で補強している程である。またこの1号棟は廊下下面など水切り付近に損傷が多く見られるほか、柱にも主筋に沿ったひび割れが観察される。これらはすべて配線用配管や鉄筋の腐食に起因している。

## 6) 安謝団地

安謝団地においては、外壁の1階部分にのみひび割れが集中しているところが多かった(写真-8参照)。それでも他の団地の損傷状況に比較すれば、安謝団地の損傷レベルは、相対的に軽微である。この団地は調査した団地の中で最も古い団地であるにもかかわらず、比較的健全な団地である。しかし、建築計画上1戸当たりの床面積が34m<sup>2</sup>と極めて狭く、今の時代にそぐわないからであるのか1996年11月現在では全て取り壊され、地上13階地下1階の新しい団地の建設が始まっている。

## 7) 石川市街地住宅

この建物は、鉄筋及び配線用配管等の腐食による膨脹圧によってかぶりコンクリートの剥離や剥落、鉄筋及び配線用配管に沿ったひび割れ等、顕著な被害が生じている。特に階段室の手すりの損傷はひどく、鉄筋がむき出しの状態、補助の手すりを新たに設置してある程である(写真-9参照)。

## 8) 石川市公設市場

この建物は階段室の損傷がひどく(写真-10参照)、スラブ下面には今にも剥落しそうなかぶりコンクリートの浮きが多数見受けられ、梁には上端筋に沿ったひび割れも見られた。外壁の一部にはジャンカも観察された。

## 9) 与那原団地

この団地では、梁の上端筋、あばら筋、主筋に沿ったひび割れが多く見られた。また、梁におけるかぶり厚さが小さいために鉄筋が露出している箇所が多数あった。露出している鉄筋グレードは、かなり錆びていてIII~IVの状態であった。3号棟においては、7本の柱に縦ひび割れが観察された。また全体的にベランダ天面で水切りに沿ったひび割れが多く見られた。屋内の

調査では、各棟において風呂場の天井面の剥離が数多く見られた（写真-11参照）。また、5号棟の居室において梁の下端筋に沿ってコンクリートが1m程浮いていたためはつってみると下端筋はかなり錆びていてグレードIII～IVの状態だった。

#### 10) 南風原団地

南風原団地は、調査した各棟において、階段室側の梁に主筋や、上端筋に沿ったひび割れが多数みられた。剥離、剥落した箇所も多数あり、大きいものでは1m程の剥離部分もあった。ベランダ側についても、同様であり、中には、約2mものコンクリートが浮いていて、落下の危険性のある状態のものもあった。10号棟においては、コンクリートのかぶり厚さが小さいために鉄筋が露出している箇所が数箇所観察された。屋内の調査では、内梁にひびがみられ、日常生活上危険であるコンクリートの浮きがあった。その他の室内にも剥離、剥落が多数見られた（写真-12参照）。

#### 11) 浜川団地

浜川団地では、梁にひび割れが多く、1スパンにつき5、6箇所のひび割れがみられた。特にベランダ水切りの損傷（写真-13参照）がひどく、剥離、剥落の箇所が多数あった。中には、外側から室内につづくひび割れの部分から雨漏りするという居室もあった。この団地は、海岸に近い場所に建っている建物なので、飛来塩分の影響を受けていると考えられる。

#### 12) 渡橋名団地

この団地も、梁の主筋に沿ってのひび割れが多く、5階の梁に、地上から容易に観察できるほど大きいひび割れがあった。ベランダ天井面、水切り部には、剥離、剥落、ひび割れが多数観察された。屋内では、かなり大きな剥離箇所があり、台所の天井面には、鉄筋腐食グレードIII～IVの状態のかなり錆びている室内もあった（写真-14参照）。

#### 13) 神森団地

この団地の特徴として、庇の部分に剥離、剥落箇所が多数あり（写真-15参照）、最大で4m程の大きな剥離箇所があった。梁には、鉄筋に沿ったひび割れが多く、錆汁が観察された。また、柱とベランダの打ち継ぎ面には、大きなひび割れも入っていた。室内では、居間の電灯周辺の補修済みの箇所が多数あった。

#### 14) 志真志団地

この団地では各棟において、全体的に、梁の鉄筋に沿って多数のひび割れや、剥離、剥落の部分があっ

た。ベランダ天井面には、最大で2mほどの剥離があり、小さな剥落部分が多数観察された。特に5号棟の損傷がひどく、1階階段室角部ではコンクリートが大きく剥落し、配管は断面欠損し中のコードが見えているほどである（写真-16参照）。ベランダ側の水切り部の損傷がひどく、ほぼ全面にわたりコンクリートが剥落し、鉄筋腐食グレードIII～IVの鉄筋がむき出しになっている。室内においては、コンクリートの浮きや、ひび割れ、中には大きく剥落した部分もあり日常生活上大変危険である。また配管がかなり断面欠損し、鉄筋もかなり腐食している。

#### 15) 愛知団地

愛知団地では、ベランダ手摺の損傷が著しく、金属で補強されているほどである（写真-17,18参照）。モルタルによる補修や、鉄板を備え付けるといった、補修が施されている。柱、梁、壁のひび割れが多数みられ、剥落箇所も多数ある。室内では電灯周りに剥離、剥落部分が多く、補修されているのもあった。

### 3.3 コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度は鉄筋コンクリート構造物の耐力に大きな影響を与えると同時に、コンクリートの耐久性に直接的、間接的に影響する。一般にコンクリートの中酸化はコンクリートの圧縮強度が大きいほど進行しにくく、鉄筋の防食効果は水セメント比の小さいコンクリートほど大きい傾向がある。それぞれの団地の、コンクリートの諸性質について調べるため、現場にてダイヤモンドコアドリルを用いて、コンクリートコアを採取した。コンク

表-2 採取コンクリートコアの本数(本)

団地名	圧縮試験用	塩分測定用	合計
泡瀬	2	8	10
上田	1	2	3
栄口	10	16	26
豊見城	13	7	20
古島	6	7	13
安謝	12	6	18
石川住宅	3	3	6
石川市場	3	3	6
与那原	6	4	10
南風原	9	8	17
浜川	9	8	17
渡橋名	10	11	21
神森	6	4	10
志真志	6	4	10
愛知	5	4	9

表-3 各団地におけるコンクリートの圧縮強度試験結果

団地名	圧縮強度 (MPa)	圧縮強度時のひずみ(%)	平均圧縮強度 (MPa)	圧縮強度時の平均ひずみ (%)
泡瀬	27.5	0.36	23.6	0.29
	21.4	0.30		
上田	30.7	0.33	30.7	0.33
栄口	25.6	0.23	21.7	0.21
	18.1	0.22		
豊見城	31.6	0.25	22.5	0.24
	13.5	0.20		
古島	17.8	0.19	14.2	0.21
	13.2	0.21		
安謝	36.6	0.26	27.7	0.21
	19.8	0.21		
石川住宅	28.0	0.28	26.0	0.26
	23.1	0.24		
石川市場	27.1	0.25	23.8	0.22
	20.6	0.20		
与那原	25.6	0.27	23.3	0.27
	20.2	0.26		
南風原	34.0	0.32	26.7	0.25
	21.7	0.25		
浜川	27.9	0.22	22.0	0.24
	16.9	0.24		
渡橋名	23.3	0.25	21.0	0.25
	14.5	0.24		
神森	26.8	0.27	21.3	0.24
	16.9	0.22		
志真志	25.5	0.27	23.3	0.26
	19.1	0.25		
愛知	20.2	0.27	18.5	0.25
	16.9	0.27		

リートコアの直径10cm, 全長20cmで, 躯体保護に十分注意し, 構造的に重要度の低い場所から採取している。その内訳を圧縮試験用と, 塩分測定用の使用別に表-2に示す。

また, それぞれの団地において圧縮強度試験を行った試験結果を, 団地ごとに, 最大値, 最小値を表-3に示す。コンクリートの圧縮強度は, どの団地においてもばらつきが見られ, 最低で18.1MPa, 平均圧縮強度は最低で18.5MPa (表-3参照) であり, ほとんどの団地において水準以上の強度を維持していた。しかし, 古島, 浜川, 渡橋名, 愛知団地の1部においてその当時の標準強度と推定される, 17.65MPaを下回っていた。

### 3.4 コンクリートの塩分含有量

塩分含有量の定義については1977年に建設省住宅局建築指導課が10月24日付けで, "コンクリートに使用される細骨材中に塩分が含まれる場合の取扱いに

ついて[6]" という通達を出した年である。それによると, 細骨材の絶対乾燥重量に対する塩分 (NaCl換算) 含有量を原則として, 0.04%以下とするという塩分規制である。しかし, それから10年後の1987年6月2日には建設省住宅局建築指導課長名で, 全国の特定行政庁建築主務部長あてに"コンクリートの耐久性確保に係る措置について[6]" (建設省住指発142号) という新たな通達が出された。それによれば, コンクリート1m<sup>3</sup>中に含まれている塩化物 (Cl<sup>-</sup>換算) の含有量, すなわち塩化物量を0.3kg以下とするという規制値が設けられている。このように総量規制が"細骨材に含まれているNaCl換算" から"コンクリートに含まれているCl<sup>-</sup>換算" に移行したのは, 塩分が細骨材のみならず混練水, セメント, 混和剤などにも含まれているからである。

一方, これまでの研究からわが国の気象条件下では通常の建築構造物の場合, 内部鉄筋が著しく腐食する限界となるコンクリートの中の塩分量は0.03% (NaCl/コンクリート重量) と言われている[11]。したがって, 規制値の塩化物量 (Cl<sup>-</sup>) 0.3kg/m<sup>3</sup>と, 鉄筋腐食危険ラインである塩分量0.03% (NaCl) をガイドラインに, かぶりコンクリートに含まれる塩分量の測定結果を整理し, 各団地ごとの平均値を表-4に表示する。なお, かぶりコンクリートはひび割れや, 剥離しそうな部分から採取しているので, 塩分含有量が一般的に多いと思われる。コンクリートコアに関しても, それをコア高さ方向に薄くスライスして, 塩分量のコンクリート内部への浸透, またコンクリート内部に元々含まれている塩分量を調査した。

各団地のコンクリートに含まれている塩化物量は採取した場所によってまちまちであることがわかった。このことは後に触れるが, ここでは各団地の塩分含有量を把握するために一つの指標を立ててみる。まず剥離片を採取できた団地については, 屋内の試料の平均値をもってその団地の塩分含有量とする。屋外では飛来塩分の影響を受けている団地もあるが, 建物全体と比較してみると飛来塩分の影響を受けている部分は相対的に小さいと考えられる。飛来塩分の影響については後に考察する。また剥離片を採取できなかった団地 (古島団地, 安謝団地, 石川市街地住宅, 石川市公設市場) についてはコンクリートコアから算出する。その場合, 飛来塩分の影響を受けている安謝団地, 石川市街地住宅, 石川市公設市場についてはその表面ではなく, 内部に含まれている塩化物量をもって含有量とする。そのようにして得られた結果を図-2及び, 表-4に示す。



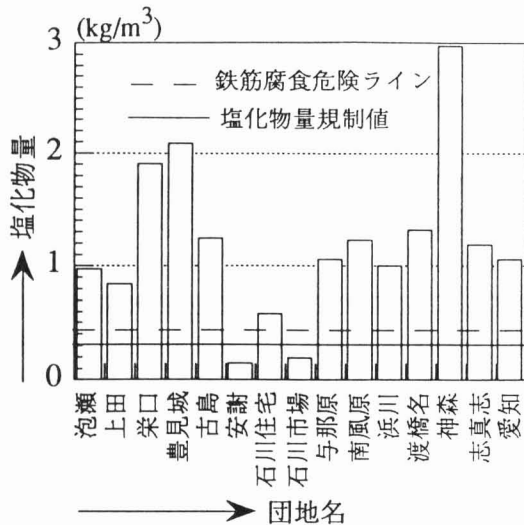


図-2 各団地の塩分含有量比較図

表-4 各団地の平均塩分含有量

団地名	Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	NaCl(%)	団地名	Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	NaCl(%)
泡瀬	0.976	0.070	与那原	1.059	0.076
上田	0.844	0.060	南風原	1.230	0.088
栄口	1.908	0.137	浜川	1.005	0.072
豊見城	2.086	0.149	渡橋名	1.317	0.094
古島	1.244	0.089	神森	2.970	0.213
安謝	0.149	0.011	志真志	1.187	0.085
石川住宅	0.579	0.042	愛知	1.062	0.076
石川市場	0.193	0.014			

前記の図表より、神森団地の塩分含有量がもっとも高く、次いで豊見城団地、栄口団地の順になっている。また、安謝団地と石川市公設市場については、鉄筋の腐食危険ラインや塩化物量規制値を下回っている。このように、安謝団地と石川市公設市場以外の建物の塩分含有量が鉄筋の腐食危険ラインや塩化物量規制値を上回っているのは、建設時に海砂を洗浄することなくそのまま利用したことによる塩分混入が主なる原因と考えられる。その他の理由としては高濃度の塩分が含まれた混練水(200ppm以上)を用いた可能性がある。またそれぞれの団地で剥離片の塩分含有量がまちまちなのは海砂をヤードに積み上げておいたために、元々高含水比の砂は塩分が下方に移動し、或いは雨水によって塩分が下方に移動し、底部で塩分が高濃度になり、上部では低濃度になったためと考えられる。

各団地のベランダ床スラブのコンクリートコアでは、上面の方が下面より塩分量が高くなっている場合が多い。これは上面では洗剤の利用や飛来塩分の影響

が考えられ、下面では中性化の影響が考えられる。さらに、比較的海に近い泡瀬団地、安謝団地、石川市街地住宅、石川市公設市場、与那原団地及び浜川団地はそれぞれ飛来塩分の影響を受けていると思われる。

### 3.5 鉄筋のかぶり厚さ

塩化物量が低い範囲ではかぶり厚さが腐食の抑制に効果があると言われている。しかし、塩化物量(塩素イオン)が $2.2\text{kg/m}^3$ 以上になると、60mm程度のかぶり厚さがあっても、グレードIV(断面欠損)の鉄筋腐食が十分に生じうる。したがって、かぶり厚さについても塩分含有量とともに調査を行うことが必要となる。日本建築学会では建築工事標準仕様書(Japanese Architectural Standard Specification)の鉄筋コンクリート工事JASS5として、設計に用いるかぶり厚さの最小値(mm)を定めている。各団地から採取したかぶり厚さを表-5に示す。

表-5 各団地から採取した剥離片のかぶり厚さ(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

これらの剥離片はほとんど天井スラブから採取しているので、かぶり厚さは20mm以上確保されていなければならない。しかしいずれの団地もかぶり厚さが小さい箇所が多いようである。これはかぶり厚さが小さいために剥離片が採取できたともいえる。また、調査した梁のあばら筋のかぶり厚さがかなり小さく、そのために鉄筋が腐食している箇所もいくつか見られた。しかし、柱の場合は総体的に所定のかぶり厚さが確保されているようである。どの団地の柱でもほとんど50mm以上確保されており、中には70~80mmも確保されているものまであった。

### 3.6 中性化深さ

コンクリート中で鉄筋が錆びていないのはコンクリートがアルカリ性を呈しているためであり、これによって鉄筋表面に不動態皮膜が形成されているからである。しかし、中性化帯が鉄筋位置まで到達すれば鉄筋保護の条件が崩れ、鉄筋は腐食されやすい状態に陥る。したがって、中性化深さを測定する必要がある。ここでは、コンクリートコアを採取することや建物の躯体をはつることによって測定した中性化深さの値を表-6~表-9に示す。

これらの表より主要構造部について、下に別々に考察する。

#### 1) 梁について：

梁の鉄筋のかぶり厚さを30mm前後と仮定すると、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到達していることがわかる。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。神森団地の場合は屋外でも31.7mmと高い値がでているが、調査したコンクリート表面が3箇所のみなのでもっと別の場所をはつてみる必要がある。

#### 2) 柱について：

柱は屋外についてのみ調査を行ったが、いずれの団地も中性化はあまり進行していないようである。かぶり厚さがかなり大きく確保されているので、中性化は柱の主筋や帯筋の腐食要因にはなっていないと考えられる。

#### 3) 壁について：

壁筋は低層の住宅団地などではシングル配筋となっている。よってかぶり厚さは50mm以上確保されているものと仮定すると、屋内では中性化が進行しているもののかぶり厚さにはあまり到達していないと思われる。安謝団地の場合は経過年数が約34年にも及び、常時利用者がいたとすれば中性化はかなり促進されていて当然である。それで屋内の中性化深さの平均値が47mmとなっているが、かぶり厚さが70mm前後確保されているためかぶり厚さにはあまり到達していないと考えられる。

#### 4) スラブについて：

先の3.5節でも述べたとおり、スラブのかぶり厚さは20mm前後であるため、中性化がかぶり厚さに到達しているものもいくらかはある。しかし、コンクリートコアの採取量や躯体のはつり箇所が少ないため、どの程度中性化がかぶり厚さに到達しているのかはよくわからない。

表-6 各団地の梁の中性化深さ (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

表-7 各団地の柱の中性化深さ (mm)

団地名	表面数	最小値	最大値	平均値	50mm未満の割合(%)
豊見城	3	0	0	0	100
古島	7	0	25	3.6	100
安謝	5	0	0	0	100
石川住宅	6	15	27	21.7	100
与那原	2	20	20	20.0	100
南風原	2	1	5	3.0	100
浜川	3	3	23	14.0	100
渡橋名	3	10	20	15.0	100
神森	1	5	5	5.0	100
志真志	2	15	15	15.0	100
愛知	1	10	10	10.0	100

表-8 各団地の壁の中性化深さ (mm)

団地名	表面数	最小値		最大値		平均値		50mm未満の割合(%)	
		屋内	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外	屋内	屋外
泡瀬	10	-	0	-	17	-	5.6	-	100
栄口	10	20	0	45	20	30.0	10.6	100	100
古島	4	30	0	33	0	31.5	0	100	100
安謝	10	28	0	55	0	47.0	0	20	100

表-9 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
栄口	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

3.7 鉄筋の腐食状態

コンクリート中の鉄筋の腐食状態を確認するためにかぶりコンクリートをはつり、除去する必要がある。はつり調査によって、鉄筋の腐食状態、かぶりコンクリートの損傷状態、塩分含有量、かぶり厚さ及び中性化深さ等の相互の関連性を明らかにするための情報を得ることができる。鉄筋の腐食グレードは岸谷らの方法[10]に従い、表-10に示す。

かぶりコンクリートにひび割れが生じている場合には、鉄筋の腐食状態はグレードIVのレベルであった。しかし、かぶりコンクリートにひび割れが生じていない場合は、鉄筋の腐食グレードは健全か、せいぜいグレードIまたはIIのレベルであった。コンクリートコアに含まれていた鉄筋や、躯体をはつることによって露出した鉄筋の腐食グレードを表-11に示す。表より建設当時塩分があまり混入されなかった安謝団地や石

表-10 鉄筋腐食グレード

グレード	鉄筋の状態
I	黒皮の状態、またはさびが生じているが、全体的に薄い緻密なさびであり、コンクリート面にさびが付着していることはない。
II	部分的に浮きさびがあるが、小面積の斑点状である。
III	断面欠損は目視観測では認められないが、鉄筋の全周または全長にわたって浮きさびが生じている。
IV	断面欠損を生じている。

表-11 採取した鉄筋の腐食グレード

団地名	場所	鉄筋番号				
		1	2	3	4	5
泡瀬	2号棟1階妻壁	健全	健全	健全	健全	健全
	7号棟1階梁	健全	健全	健全		
	10号棟1階妻壁	健全	健全	健全	健全	
	10号棟4階ベランダ	III	III	III		
上田	1号棟1階柱脚部	健全	健全	健全	健全	
	集会室外壁	健全	健全	II	II	健全
栄口	A棟柱	II	III	II	III	
豊見城	B-2棟柱	II	II			
	B-14棟柱	I	II	II		
	C-2棟柱	IV	IV			
	C-7棟柱	I	II	II		
	C-15棟柱	II	II	I		
古島	1号棟505号室小梁	健全	I			
	1号棟7階柱	IV	III			
	1号棟塔屋の壁	IV	III			
	2号棟ベントハウス	健全				
安謝	A棟12号室梁	II	I			
	A棟1階柱	I				
	A棟妻壁	I	I	I	I	
	C棟11号室梁	I	I			
	E棟妻壁	健全				
石川住宅	5階柱	I	II	I	III	I
石川市場	3階階段梁	I	I	II	I	II
与那原	梁	IV	IV	III		
	柱	III	IV			
南風原	梁	IV	IV	IV	IV	
	柱	II	III			
浜川	梁	IV	IV	IV		
	柱	III	III	IV		
渡橋名	高架水槽添え柱	III	III	III		
	梁	IV	IV	IV		
	柱	IV	IV	IV		
神森	4号棟1階妻壁	健全	健全	健全		
	梁	IV	III	IV		
志真志	柱	IV				
	梁	IV	IV			
愛知	柱	IV	IV			
	梁	II				
愛知	柱	II				
	梁	II				

川市公設市場は鉄筋の腐食グレードもせいぜいIかIIのレベルであることがわかる。また多少なりとも塩分が混入されていた団地は腐食グレードも II~IIIに到達しているものが目立つ。ただし、泡瀬団地の壁の場合

や梁の場合は塩分は混入されているが、かぶり厚さが確保されていたために酸素や水分などの鉄筋腐食要因が供給されなかったものと考えられる。与那原, 南風原, 浜川, 渡橋名, 神森, 志真志団地の梁や柱は躯体の損傷を受けている部分をはつてあるため、腐食グレードもIII~IVとなっている。

#### 4. 調査結果の考察

##### 4.1 可溶性塩分と全塩分の関係

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。そのうちの全ての剥離片の測定結果を図-3に示す。一般に、Cl<sup>-</sup>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[11]されるといわれている。今回の結果を見ても塩分量が小さいほど、全塩分の方が可溶性塩分よりも高い傾向にあるが、塩分量が約0.4%以上になると可溶性塩分も全塩分もほぼ同じ値になってくる。このことから塩分量が低い値の場合は、Cl<sup>-</sup>イオンの固定化の影響が大きいと考えられる。

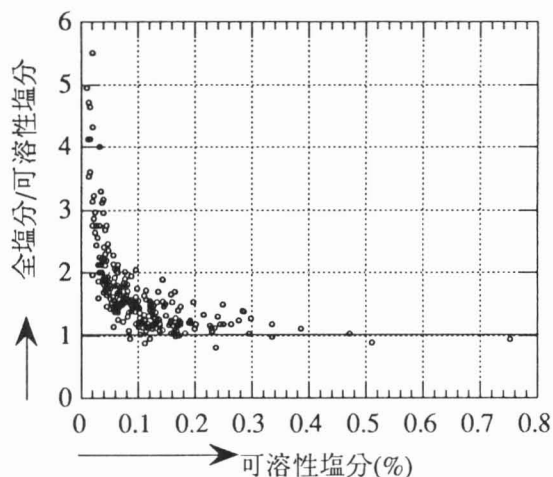


図-3 剥離片の可溶性塩分量と全塩分量の関係

##### 4.2 飛来塩分浸透解析

比較的海に近い泡瀬, 安謝, 石川市街地住宅, 石川市公設市場, 与那原, 浜川団地の6団地は飛来塩分の影響を受けていることがわかった。これらの各団地が飛来塩分によってどの程度の影響を受けているのかを明らかにするために、コンクリートコア中の塩分量について、Fickの第二法則[12]に準じた以下に示す略算式を用いて回帰計算を行った。

$$N = N_0 \left\{ 1 - \sqrt{1 - \exp\left(\frac{-x^2}{\pi kt}\right)} \right\} + C_0 \quad (1)$$

N:塩分濃度,  $N_0$ :コンクリート表面の塩分濃度, x:コンクリート表面からの距離, k:塩分の拡散係数, t:時間 (year),  $C_0$ :初期塩分量

上式による回帰分析結果の一例を図-4に示す。また、これらの結果に基づく各団地のかぶり厚さ50mmへの到達飛来塩分量を図-5に示す。図-5より、海からの距離に従って飛来塩分の影響も小さくなる傾向にあることがわかる。またほとんどの場合、かぶり厚さ50mmに到達した飛来塩分量は鉄筋腐食危険ラインである0.03%を下回っており、柱主筋腐食の大きな要因にはなっていないと考えられる。よって柱主筋腐食の主なる要因は初期塩分量が高いことに起因していると思われる。

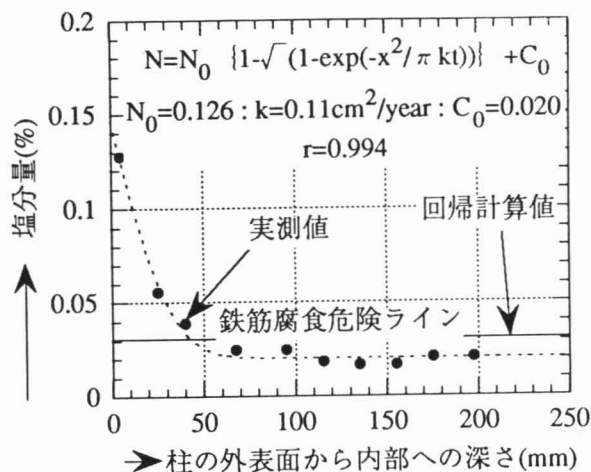


図-4 飛来塩分浸透解析結果 (石川市街地住宅: 柱)

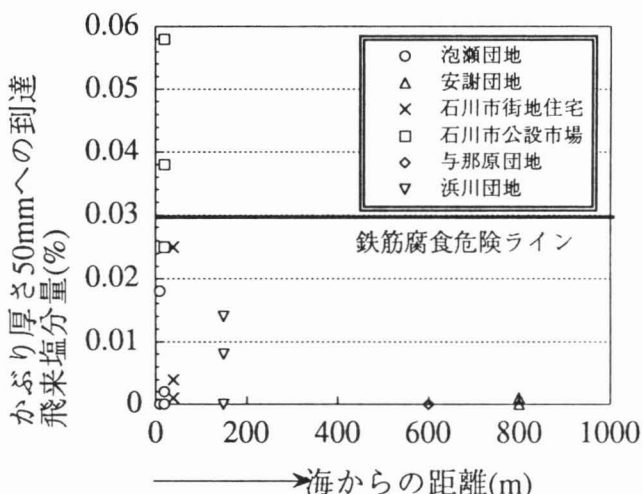


図-5 かぶり厚さ50mmへの到達飛来塩分

##### 3) 水セメント比と中性化深さの関係

各団地のコンクリートコアの圧縮強度から略算式を用いて水セメント比を算出した。そのうちの建設年度がほぼ等しい古島, 与那原, 渡橋名団地の水セメント比と、実際の中性化深さ及び岸谷式[12]によって得ら

れた結果を図-6に示す。各団地とも水セメント比が高くなるにつれて中性化深さが大きくなる傾向にあるものの、中性化深さは岸谷式から得られた結果よりもやや大きい値を示している。その原因として、コンクリートの品質不良が考えられる。実際に各団地の梁、柱ではジャンカが見られることが多かった。

近年のコンクリート構造物の中性化深さの調査結果では、既往の中性化速度式による推定値に比べて著しく大きいことを指摘しているようである[17][18]。

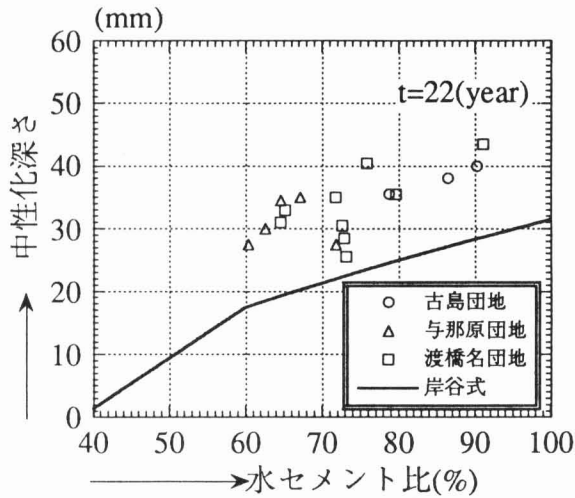


図-6 3団地の水セメント比と中性化深さの関係

## 5 調査建物寿命予測

### 5.1 構造物の寿命について

各団地の建物の寿命について考えてみる。一口に寿命といってもいろいろな観点からとらえることができる。その構造物の寿命についての定義を文献[13]より引用し、表-12に示す。

表-12 構造物の寿命

物理的寿命	自然営力と使用荷重によって構造物の機能が逐時減耗し、通常の維持修繕のよってはもはや使用に耐えなくなる限界としての寿命。
経済的寿命	引き続き維持修繕を行いながら使用するより、取り替えを行う方が経済的に得策となる限界としての寿命。
機能的寿命	構造物が建設された時点でのプロジェクトの機能要件が、その後の情勢によって変化し、構造物の仕様がこれに対応できないため廃棄されることによって決まる寿命（例えば、鉄道が電化されることにより、その区間のトンネルが断面不足になって使えなくなる場合など）。
社会的寿命	他のプロジェクトを要因とする環境の変化や新しいプロジェクトの出現により、当初の構造物を引き続き使用できなくなるために決まる寿命（例えば、河川改修が進み、川幅が広がったために橋梁が架け替わる場合など）。

このように構造物の寿命は大きく4つに分類できることが考えられるが、ここでは物理的寿命や経済的寿

命としての構造物の耐久性に関する寿命を取り上げる。住民意識調査では”天井などにコンクリートの剥離が生じた時点”や、ひび割れが生じた時点”を寿命ととらえる方が圧倒的に多かった。また文献[14]を引用すれば次のように書かれている。

「建築物の居住者の安全性、居住性などのその他の性能など総合的に判断すれば、かぶりコンクリートにひび割れが発生し始める時点の腐食量を腐食量の許容できる限界と定めるべきことは明らかである。」

本報告でも”ひび割れが発生し始める時点”を建物の寿命としてとらえ、各団地の寿命を算定してみる。

算定には文献[14]の森永式を適用する。算定の際インプットするパラメーターを表-13に整理しておく。水セメント比は圧縮強度から略算した。略算式には $Y = -78 + 204X$  ( $X$ :セメント水比,  $Y$ :圧縮強度)[15]を用いた。単位水量は陸産細骨材を使用したと思われる安謝団地と石川市公設市場は $183\text{kg/m}^3$ とし、一部海砂を使用したと考えられる他の団地は $190\text{kg/m}^3$ とした。また、その他のパラメーターは次に示す。

炭酸ガス濃度:0.03%, 中性化比率:1, 温度:22.4℃(那覇市の年平均気温), 湿度:76.2%(那覇市の年平均湿度), 酸素濃度:20%, 鉄筋径:10mm, かぶり厚さ:20mm(主要構造部のうちスラブに先にひび割れが発生すると想定)

表-13 各団地の寿命算定に使用するパラメーター

団地名	水セメント比 (%)	建設時から1995年度現在までの日数	単位水量 ( $\text{kg/m}^3$ )	建物の塩化物含有量 ( $\text{kg/m}^3$ )
泡瀬	64.2	7300	190	0.976
上田	52.2	8212	190	0.844
栄口	68.2	9125	190	1.908
豊見城	66.4	8395	190	2.086
古島	91.5	8395	190	1.244
安謝	56.7	1241	183	0.149
石川住宅	59.3	10220	190	0.579
石川市場	63.6	9855	183	0.193
与那原	64.6	8030	190	1.059
南風原	58.3	7300	190	1.230
浜川	67.3	7665	190	1.005
渡橋名	73.4	7847	190	1.317
神森	68.9	7300	190	2.970
志真志	64.6	7482	190	1.187
愛知	76.4	10403	190	1.062

5.2 中性化速度の推定

中性化深さは、時間tに関しては $\sqrt{t}$  則に従って進行し、水セメント比が60%以下と60%以上の場合に対し、それぞれ(2)式及び(3)式を用いて求める。

w/c ≤ 60%の場合

$$x = \sqrt{\frac{C}{5}} \times 2.44R(1.391 - 0.017RH + 0.022T) \times \frac{4.9(w/c/100 - 0.25)}{(1.15 + 3 \times w/c/100)^{1/2}} \times \sqrt{t} \quad (2)$$

w/c ≥ 60%の場合

$$x = \sqrt{\frac{C}{5}} \times 2.44R(1.391 - 0.017RH + 0.022T) \times (4.6 \times w/c/100 - 1.76) \times \sqrt{t} \quad (3)$$

χ：中性化深さ(mm), C：炭酸ガス濃度(%), R：中性化比率, T：温度(°C),

RH：湿度(%), w/c：水セメント比(%), t：期間(day)

このように計算した各団地の中性化深さの結果を表-14に示す。

表-14 各団地の中性化深さ結果 (mm)

団地名	中性化深さ	団地名	中性化深さ
泡瀬	10.406	与那原	11.004
上田	6.462	南風原	8.7586
栄口	12.578	浜川	11.336
豊見城	11.661	渡橋名	12.761
古島	16.823	神森	11.395
安謝	10.508	志真志	10.622
石川住宅	10.880	愛知	15.398
石川市場	11.941		

5.3 中性化領域での腐食速度の推定

中性化領域での腐食速度は(4)式を用いて求める。

$$k1 = 28.14 - 1.35P1 - 35.43P2 - 234.76P3 + 2.33P4 + 4.42P5 + 250.55P6 \quad (4)$$

k1：中性化領域における腐食速度(×10<sup>4</sup>g/cm<sup>2</sup>/year),

P1：温度(°C),

P2：湿度(% ÷ 100), P3：酸素濃度(% ÷ 100), P4：P1 × P2,

P5：P1 × P3, P6：P2 × P3

(4)式から得られた各団地の中性化領域における腐食速度は21.706 × 10<sup>4</sup>g/cm<sup>2</sup>/yearとなった。

5.4 塩分に起因する腐食速度の推定

塩分を含むコンクリート中での鉄筋の腐食速度は

(5)式と(6)式を組み合わせて求める。

$$k2 = \frac{d}{c^2} [-0.51 - 7.60N + 44.97(w/c)^2 + 67.95(w/c)^2] \quad (5)$$

k2：塩分を含むコンクリート中での腐食速度(×10<sup>4</sup>g/cm<sup>2</sup>/year), d：鉄筋径(mm), c：かぶり厚さ(mm), w/c：水セメント比(% ÷ 100), N：練り混ぜ水に対する塩分濃度(%), 単位水量をW(kg/m<sup>3</sup>), コンクリート中の塩素イオン総量をCl(kg/m<sup>3</sup>)とすると, N = 165 × Cl / Wとなる。

$$k3 = 2.59 - 0.05P1 - 6.89P2 - 22.87P3 - 0.99P4 + 0.14P5 + 0.51P6 + 0.01P7 + 60.81P8 + 3.36P9 + 7.32P10 \quad (6)$$

k3：塩分を含むコンクリート中での腐食速度(×10<sup>4</sup>g/cm<sup>2</sup>/year), P1：温度(°C), P2：(湿度-45)% ÷ 100, P3：酸素濃度(% ÷ 100),

P4：練り混ぜ水に対する塩分濃度(%), 単位水量をW(kg/m<sup>3</sup>), コンクリート中の塩素イオン総量をCl(kg/m<sup>3</sup>)とすると, N = 165 × Cl / Wとなる。 , P5：P1 × P2, P6：P1 × P3, P7：P1 × P4, P8：P2 × P3, P9：P2 × P4, P10：P3 × P4

このようにして求められた各団地の練り混ぜ水に対する塩分濃度と塩分を含むコンクリート中での腐食速度を表-15に示す。

表-15 各団地の練り混ぜ水に対する塩分濃度と腐食速度

団地名	塩分濃度 Cl(%)	腐食速度 (×10 <sup>4</sup> g/cm <sup>2</sup> /year)			団地名	塩分濃度 Cl(%)	腐食速度 (×10 <sup>4</sup> g/cm <sup>2</sup> /year)		
		N	k2	k3			N	k2	k3
泡瀬	0.848	0.883	3.284	与那原	0.920	0.934	3.410		
上田	0.733	0.494	3.084	南風原	1.068	0.783	3.669		
栄口	1.657	1.505	4.698	浜川	0.873	1.002	3.328		
豊見城	1.812	1.496	4.968	渡橋名	1.144	1.422	3.801		
古島	1.080	2.260	3.691	神森	2.579	2.111	6.308		
安謝	0.134	0.397	2.039	志真志	1.031	0.991	3.604		
石川住宅	0.503	0.587	2.682	愛知	0.922	1.383	3.415		
石川市場	0.174	0.529	2.108						

5.5 かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の腐食減量の推定

かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の腐食減量Qcrは(7)式を用いて求める。

$$Q_{cr} = 0.602 \left[ 1 + \frac{2c}{d} \right]^{0.85} d \quad (7)$$

$Q_{cr}$ ：かぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の腐食減量( $\times 10^4 \text{g/cm}^2$ ),

$c$ ：かぶり厚さ(mm),  $d$ ：鉄筋径(mm)

(7)式から各団地のかぶりコンクリートにひび割れが発生する時点の腐食減量は $23.64 (\times 10^4 \text{g/cm}^2)$ となった。

## 5.6 中性化に起因する腐食で寿命に達する場合

### (1) 中性化が鉄筋の位置まで到達する期間

(2)式または(3)式に必要なパラメーターを代入し, 中性化深さがかぶり厚さに達したときの期間 $L_1$ を求める。

### (2) 腐食開始からひび割れ発生までに至る期間

腐食速度 $k$ , 期間 $L$ , 及び腐食減量 $Q$ の間には $k \times L = Q$ の関係が成り立つ。したがって, (7)式から求めた $Q_{cr}$ を(4)式で求めた $k_1$ で除すことにより, 腐食開始からひび割れ発生までに至る期間( $L_2 - L_1$ )を求める。

### (3) 中性化に起因する寿命

上記(1)及び(2)で求めた期間をたし合わせることでより  $[L_1 + (L_2 - L_1) = L_2]$ , 寿命 $L_2$ を求める。

このようにして求められた各団地の腐食開始からひび割れ発生までに至る期間( $L_2 - L_1$ )は1.09年であった。さらに中性化が鉄筋の位置まで到達する期間 $L_1$ 及び中性化に起因する建物の寿命 $L_2$ を表-16に示す。

表-16 各団地の中性化に起因する建物の寿命(年)

団地名	中性化が鉄筋の位置まで到達する期間 $L_1$ (年)	中性化に起因する寿命 $L_2$ (年)	団地名	中性化が鉄筋の位置まで到達する期間 $L_1$ (年)	中性化に起因する寿命 $L_2$ (年)
泡瀬	73.9	75.0	与那原	72.7	73.8
上田	215.5	216.6	南風原	104.3	105.4
栄口	63.2	64.3	浜川	65.4	66.5
豊見城	67.7	68.7	渡橋名	52.8	53.9
古島	32.5	33.6	神森	61.6	62.7
安謝	123.2	124.3	志真志	72.7	73.8
石川住宅	94.6	95.7	愛知	48.1	49.2
石川市場	75.7	76.8			

RC建築物の目標寿命を60年とすればほとんどの団地が中性化に起因する寿命では問題ないように思われる。しかし古島団地, 渡橋名団地, 愛知団地の3団地はやや寿命が短いように思われる。特に古島団地は水セメント比が異常に高いため, 中性化が急速に進行し, 約30年では腐食量が許容限界に達すると考えられる。

## 5.7 塩分に起因する腐食で寿命に達する場合

### (1) 標準条件

(5)式は温度 $15^\circ\text{C}$ , 湿度69%, 酸素濃度20% (打放しコンクリートで中性化比率 $R=1.00$ に相当)の条件下で得られたものであるため, この条件を標準条件と呼ぶ。

### (2) 標準条件下での腐食速度の, 他の条件下での腐食速度への換算

寿命の予測を行おうとする対象物の温度, 湿度, 酸素濃度, 塩分濃度をそれぞれ $P_1, P_2, P_3, P_4$ とし, これらを(6)式に代入して $k_3$ の値が定まる。

一方, 温度, 湿度, 酸素濃度は前記の標準条件であり, 塩分濃度が予測を行おうとする対象物の $P_4$ と等しいとして, これらの値を(6)式に代入することでまた別の $k_3$ の値が定まる。この値を $k_3'$ とおく。 $k_3$ と $k_3'$ の比を $\alpha$ とすると,  $\alpha$ の値は標準条件で得られた腐食速度を1とした時の, 環境条件が変わった時の腐食速度の倍率を意味することになる。 $\alpha$ の値を換算倍率と呼ぶ。

$$\alpha = \frac{k_3}{k_3'} \quad (8)$$

したがって(5)式に従って求めた腐食速度 $k_0$ に $\alpha$ を乗ずることによって予測を行おうとする対象物の腐食速度 $k = k_0 \times \alpha$ を求める。

### (3) 塩分に起因する寿命

(7)式から求めた $Q_{cr}$ を上記の $k$ で除すことにより, 寿命 $L_2'$ が求まる。

このようにして求められた換算倍率 $\alpha$ , 腐食速度 $k$ , 塩分に起因する寿命 $L_2'$ を表-17に整理する。

前記した中性化に起因する寿命と比較してみると, いずれの団地も塩分に起因する寿命がはるかに短いことがわかる。またこの塩分に起因する寿命が短い団地は実際に建物の損傷もひどい傾向にあり, ひび割れの発生は勿論のこと, 剥離や剥落の現象も起こっている。逆に寿命が比較的長い団地(上田団地, 安謝団地, 石川市街地住宅, 石川市公設市場, 南風原団地)は実際の建物も比較的損傷が小さい。したがってこの寿命は概ね実際の建物に適用できるものと考えられる。

表-17 各団地の換算倍率, 腐食速度, 塩分に起因する寿命

団地名	換算倍率 $\alpha$	腐食速度k ( $\times 10^4$ g/cm <sup>2</sup> / year)	塩分に 起因す る寿命 L2' (year)	団地名	換算倍率 $\alpha$	腐食速度k ( $\times 10^4$ g/cm <sup>2</sup> / year)	塩分に 起因す る寿命 L2' (year)
泡瀬	1.848	1.631	14.49	与那原	1.813	1.693	13.97
上田	1.911	0.943	25.06	南風原	1.753	1.373	17.22
栄口	1.600	2.408	9.82	浜川	1.835	1.839	12.86
豊見城	1.574	2.354	10.05	渡橋名	1.727	2.456	9.63
古島	1.749	3.952	5.98	神森	1.483	3.130	7.55
安謝	2.692	1.067	22.15	志真志	1.767	1.752	13.50
石川住宅	2.088	1.227	19.28	愛知	1.812	2.506	9.44
石川市場	2.589	1.368	17.28				

## 5.8 総括

こうして考えるとコンクリート中に多量の塩分が含まれている場合は、中性化に起因する寿命よりも塩分に起因する寿命が相当短いと想定される。また適度に水セメント比が小さく、かぶり厚さが確保されていれば中性化は鉄筋腐食の要因にはなりにくいと思われる。上記の森永博士による建物の寿命予測式[14]から得られた結果を、各団地ごとに考察する。

古島団地は寿命予測推定結果から、竣工して僅か6年でひび割れが発生したと考えられる。実際に古島団地が調査した団地の中では最も損傷をきたしている。それは一部海砂の利用と思われる塩分が含まれていると同時に、現場でコンクリート打設の際に水をさらに混ぜたと推定される。そのために水セメント比が大きくなり、かつコンクリートの圧縮強度が大幅に低下したものと思われる。現在では廊下が落下しないように鉄骨で補強して使用しているが、今後さらに損傷が悪化するものと考えられる。しかし、ここ数年のうちに建て替えることが検討されている。

神森団地は強度は確保されているものの、塩分含有量が最も高いため、推定結果からすると7年半ではひび割れ発生に至ったことになる。しかし実際にはそれほど損傷をきたしているわけではないので、この推定値は若干早いようにも思われる。

また塩化物量Cl<sup>-</sup>が規制値の0.3Kg/m<sup>3</sup>以下の安謝団地や石川市公設市場でも推定結果ではせいぜい20年前後では寿命に至ったことになる。実際には安謝団地は

ほとんど塩害による損傷は見られなかった。石川市公設市場の方はかぶり厚さが小さい上に飛来塩分の影響もあるため、剥離、剥落の現象が起こっている箇所も見られた。もしかぶり厚さが30mm程度確保されていれば寿命はもっと長くなると考えられる。

上田団地や石川市街地住宅、南風原団地の場合、コンクリート中に塩分が入っているにもかかわらず推定寿命が長いのは、水セメント比が小さいために酸素や水などの鉄筋腐食要因が供給されにくいと考えられる。実際にこれらの団地は損傷の程度が低かった。

その他の団地は塩化物量Cl<sup>-</sup>が1kg/m<sup>3</sup>前後であり、推定結果、10年前後では寿命に至ったと考えられる。実際にこれらの団地は随所に剥離、剥落、ひび割れなどが観察された。

## 6 沖縄本島の公営集合住宅の被害状況の推定

本調査におけるコンクリート中の塩素イオンCl<sup>-</sup>は主に細骨材に含まれている塩化ナトリウムNaClから検出されたものと考えられる。例えば建設当時海から10~20mの場所に建てられた団地の柱の主筋に到達した飛来塩化物量Cl<sup>-</sup>は、泡瀬団地が約18年間で0.06kg/m<sup>3</sup>程度、石川市街地住宅が約28年間で0.14kg/m<sup>3</sup>程度である。また、混練水に200ppmの塩素イオンCl<sup>-</sup>が含まれていたとしても、コンクリート重量に対して約0.05kg/m<sup>3</sup>である。以上のことから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。また1974年度の本島内の各生コン工場における配合表では、コンクリート中の細骨材の割合が800kg/m<sup>3</sup>(コンクリート中の約35%)[16]前後である。したがってコンクリート中の細骨材の割合を35%と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に等価換算してその分布している領域を、公的データとともに図-7に表示する。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-7から推定した細骨材に含まれている塩分量とともに図-8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く。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3286戸にもものほり、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リートの剥離など、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たとすれば、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。

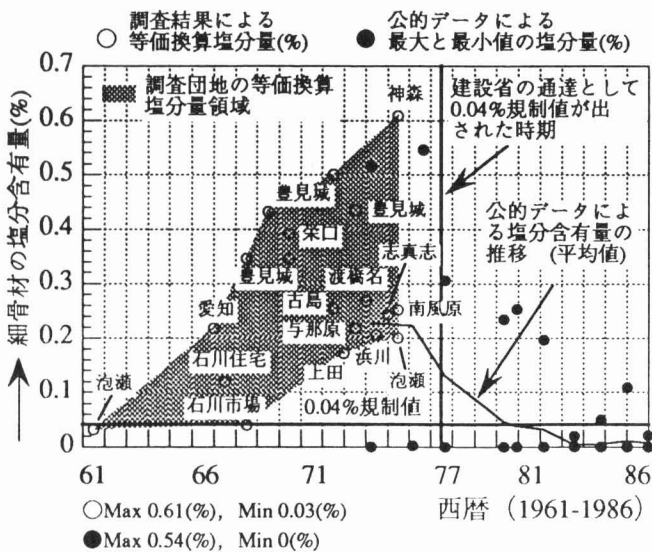


図-7 本島の生コン用骨材の塩分含有量の推移

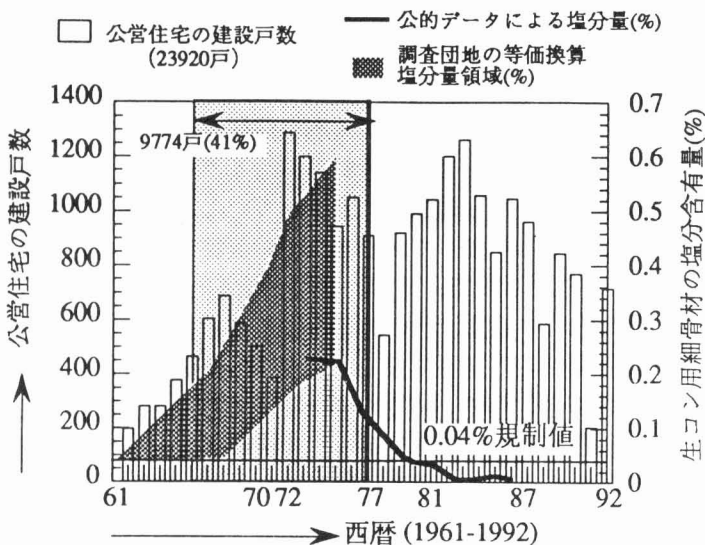


図-8 本島の生コン用骨材の塩分含有量と公営集合住宅の建設戸数の推移

### 7 調査まとめ

1) 安謝団地を除く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ことがわかった。その中でも古島団地は廊下を鉄骨で支えてい

るほどに損傷が際立っていた。各団地では塩分含有量が多いことに起因して鉄筋が腐食している箇所もあれば、かぶり厚さが極めて小さいために鉄筋が腐食している箇所も数多く見られた。居室天井面のかぶりコンクリートの剥離、ひび割れは電線用配管の腐食によるものが多い。また妻壁側の室内にあらわれたコンクリート打ち継ぎ面のひび割れは、漏水、湿気、かび発生の原因となっている。ベランダにおいては、鉄筋腐食に起因するベランダ天井面の水切溝を中心としたかぶりコンクリートの損傷が多く見られた。

2) 古島団地以外の平均圧縮強度は18.5MPa～27.7MPaであり、建設時の設計基準強度と推定される14.7MPa～17.65MPaを満足していると解釈できる。ただし古島団地の場合は、ほとんどのシリンダー強度が14.7MPaを下回っており、平均で14.2MPa、最も低い値では10.7MPaという数値がでていいる。古島団地の建設当時現場では、打設の際コンクリートが硬いために水を混ぜたということから、水セメント比が異常に高くなり強度が低くなったと考えられる。

3) 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、塩化物量規制値[6]の0.3kg/m<sup>3</sup>(Cl/コンクリート重量)を大幅に上回る多量の塩化物が含まれていることがわかった。そのコンクリート中に塩分が含まれている13団地のうち、神森団地の平均塩分含有量が約3.0kg/m<sup>3</sup>と最も高く、低い団地では石川市街地住宅が約0.6kg/m<sup>3</sup>であった。これら全団地を総括すると、約1.2kg/m<sup>3</sup>程度の塩化物が含まれていることになる。それは飛来塩分の影響や混練水に含まれている塩分なども一部考えられるが、4章や6章の検討結果から主に細骨材に含まれている塩分が原因であると判断される。例えば建設当時海から10～20mの場所に建てられた団地の柱の主筋に到達した飛来塩分量は、Fickの第二法則による回帰分析の結果、泡瀬団地が約18年間で0.06kg/m<sup>3</sup>程度、石川市街地住宅が約28年間で0.14kg/m<sup>3</sup>程度である。また、混練水に200ppmの塩化物量が含まれていたとしても、コンクリート重量に対して約0.05kg/m<sup>3</sup>である。以上のことから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。

4) 梁やスラブのかぶり厚さは総体的に小さく(0～20mm程度)、柱のかぶり厚さは一般的に大きかった(50～80mm程度)。

5) 中性化は屋外ではあまり進行していないが、屋内ではかなり進行していることがわかった(30～50mm程度)。この原因として、一般に屋内では炭酸ガス濃度が高いため中性化が進行しやすいこともあり、また屋外の躯体の多くは仕上げ材が塗布されてあるため中

性が進行しにくいことが考えられる。さらに屋内での中性化が岸谷式[10]を上回っている団地が多いのは、コンクリートの品質不良が主な原因と考えられる。また、中性化のためにコンクリート内部で塩分の濃縮がおきていることも多かった。

6) 柱や梁、壁から採取したコンクリートコアに含まれていた鉄筋や、躯体をはつることによって露出した鉄筋の腐食グレードは、建設当時塩分があまり混入されなかった安謝団地や石川市公設市場ではせいぜいIかIIのレベルであった。また多少なりとも塩分が混入されていた団地は腐食グレードもII~IIIに到達しているものが多い。

8) 森永式[14]による建物の寿命予測では、いずれの団地も中性化に起因する寿命(ほぼ50年以上)よりも塩分に起因する寿命(約20年以内)の方が相当短い結果となった。よっていずれの団地も、既に塩分に起因する寿命に達していることになる。実際に安謝団地を除く各団地では、鉄筋腐食によるひび割れが生じているのであるから、この寿命は概ね実際の建物に適用できると考えられる。そうした場合、古島団地は、推定で竣工してから僅か6年でひび割れが発生したと考えられる。これは水セメント比が異常に大きいことが影響しているものと思われる。

## 8 結論

調査した15団地のうち、14団地がかぶりコンクリートの剥離、剥落等の塩害による被害が生じていることがわかった。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、海砂利用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の戸数の約30%になるものと推定される。よって今回、調査を行ってきた団地は、剥離、剥落、ひび割れなどなんらかの塩害による損傷を受けおり、このような建物は、今後も塩害における損傷の進行が心配される。したがって、適切な補修工事を早期に実行することや、塩化物を電気化学的に抜き取る工法なども経済性を考慮しつつ検討する課題のように思われる。そして、何よりもそこに居住している生活者の日常の安全性を第一に確保すべきであり、さらに毎年来襲する台風やいつ起こるか予測できない地震による発生で、損傷を受けたかぶりコンクリートの剥離、剥落現象を防止し、十分安全で快適な居住空間を保障する必要があると考えられる。そのためにも、今回調査を実施した建物も含めて、多大な損傷をきたしている建物は、長

期的には建て替えも検討すべき課題であると思われる。

## 謝辞

本報告は、吉永健治氏(株)ピーエスの琉球大学卒業論文(1995年度)の一部である。

## 参考文献

- [1] 具志幸昌：海砂を利用した構造物の調査-9.3 沖縄地区における被害状況，コンクリート・ジャーナルVol.12, No.10, pp.61-65, 1974年10月
- [2] 岸谷孝一：海砂を利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年10月
- [3] 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年5月
- [4] 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，コンクリート工学年次論文報告集Vol.6, pp.165-168, 1984年
- [5] 沖縄金属腐食対策協議会，(財)沖縄県建設技術センター：米軍施設牧港住宅コンクリート調査報告書，沖縄金属腐食対策協議会，pp.2, 38-39, 1988年6月
- [6] 建設省住宅局建築指導課：コンクリートの塩化物総量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年
- [7] 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被害調査，コンクリート工学年次論文報告集Vol.17, No.1, pp.895-900, 1995年
- [8] 松永尚凡，山川哲雄，伊良波繁雄，田中伸幸，徳広育夫：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年3月
- [9] (社)日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事第10版，(社)日本建築学会，pp.23-24, 408-411, 667, 1993年5月
- [10] 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(II)，技報堂出版，pp.33-39, 1991年4月
- [11] 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
- [12] 小林一輔編集：鉄筋腐食の診断，森北出版，pp.171-190, 1993年5月
- [13] 市原久義，島村誠：首都圏JR線におけるコンクリート構造物保守の現状，コンクリート構造物の寿命予測と耐久性設計に関するシンポジウム 論文集，(社)日本コンクリート工学協会，pp.15-22, 1988年4月
- [14] 森永繁：鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究，東京大学学位論文，pp.8-1-8-22, 1986年
- [15] (社)日本建築学会：コンクリートの調査設計指針・同解説，(社)日本建築学会，pp.210-228, 1994年1月
- [16] (財)沖縄県建設材料試験所：試験年報，昭和49年度，(財)沖縄県建設材料試験所，pp.29-36, 1974年

[17] 小林一輔, 宇野祐一: コンクリートの炭酸化のメカニズム, コンクリート工学論文集Vol.1, No.1, pp.37~49, 1990年1月

[18] 石橋忠良, 北後征雄: 鉄筋コンクリート床板下面に施工した各種補修工法の効果, コンクリート工学年次論文報告集Vol.9, No.1, pp.429~434, 1987年

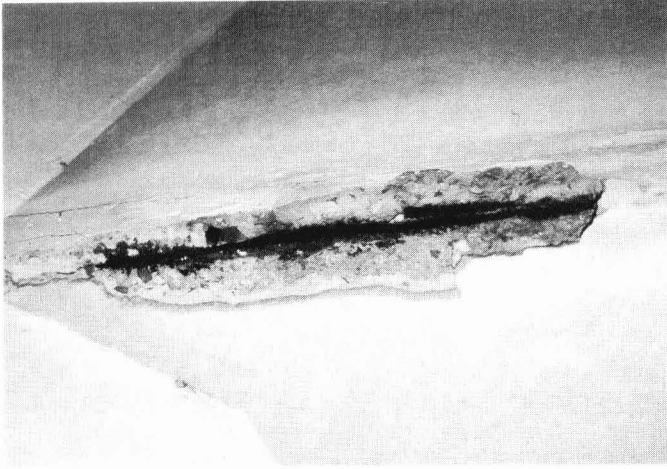


写真-1 泡瀬団地階段室角部の損傷状況

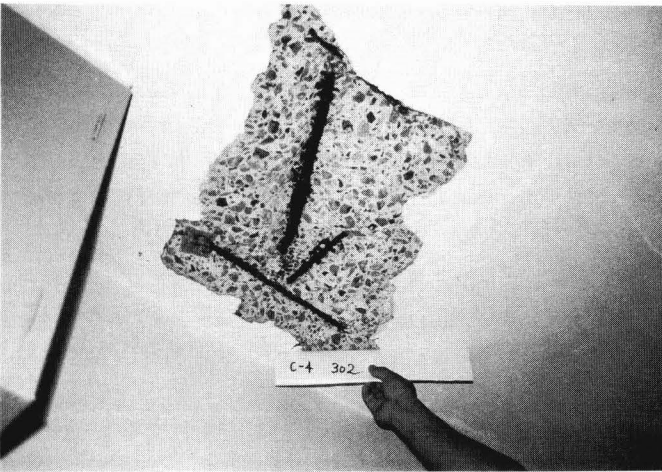


写真-2 栄口団地居室天井の損傷状況

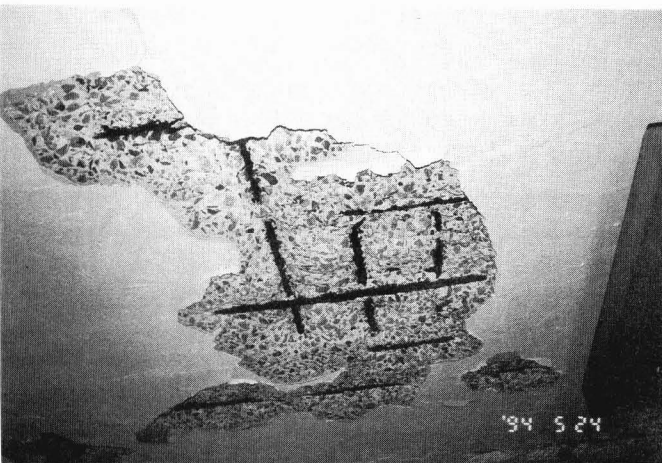


写真-3 豊見城団地居室天井の損傷状況



写真-4 豊見城団地ベランダ水切り部の損傷を受けたかぶりコンクリートの落下状況

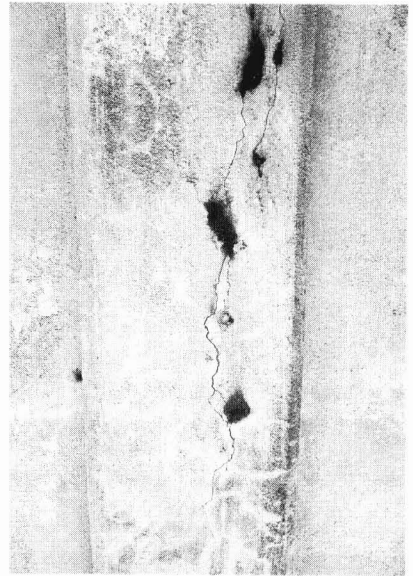


写真-5 豊見城団地柱の主筋に沿ったひび割れの損傷状況

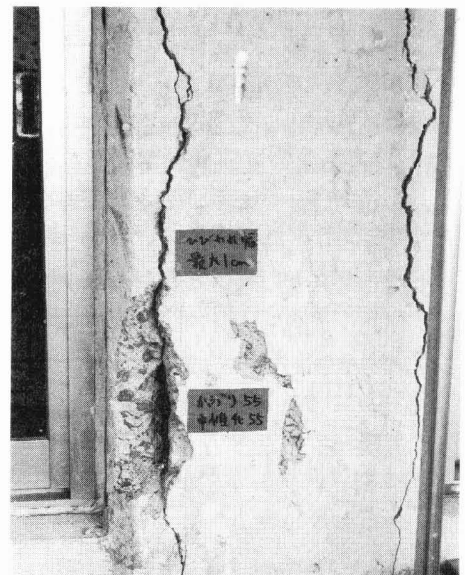


写真-6 古島団地柱主筋に沿った縦ひび割れの損傷状況

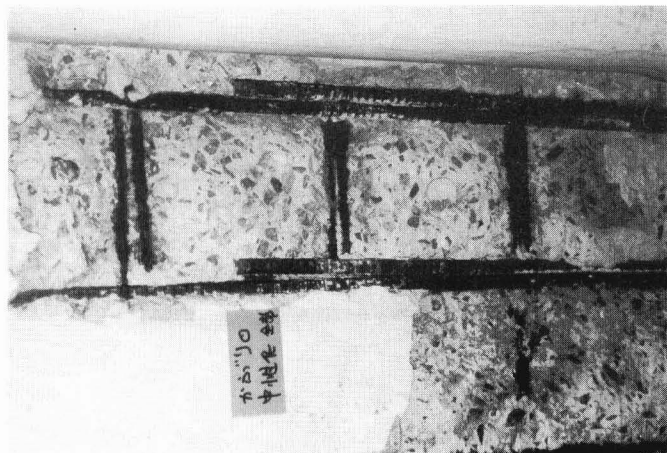


写真-7 古島団地1号棟階段室壁の損傷状況

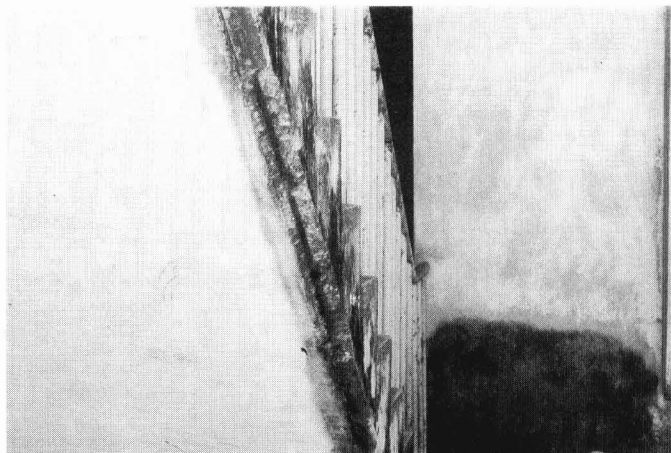


写真-10 石川公設市場階段手摺りの損傷状況

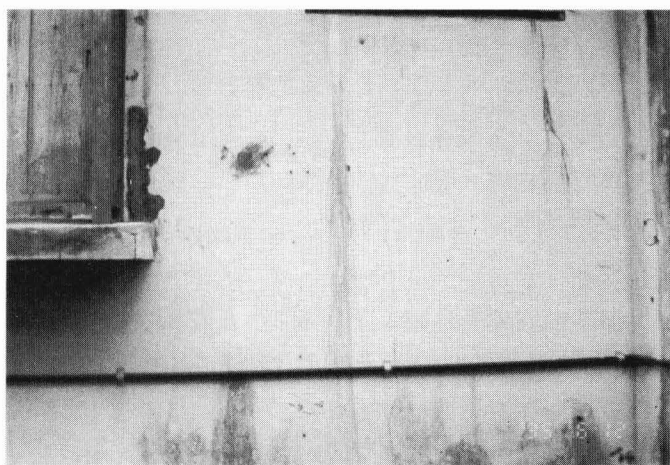


写真-8 安謝団地A棟壁の縦ひび割れの損傷状況

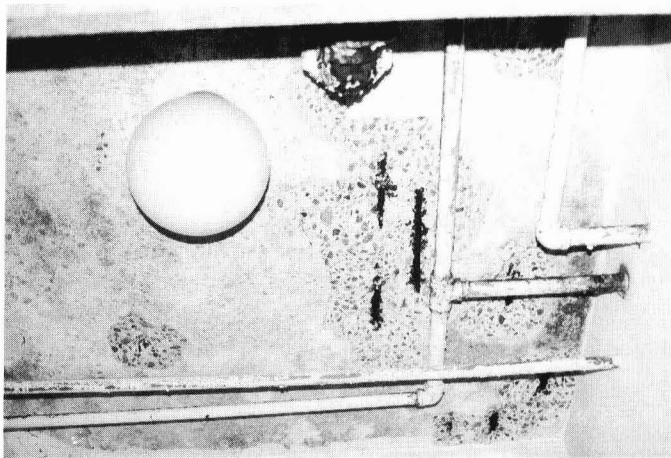


写真-11 与那原団地3号棟居室の風呂場天井の損傷状況



写真-9 石川市街地住宅階段室コンクリートの損傷状況

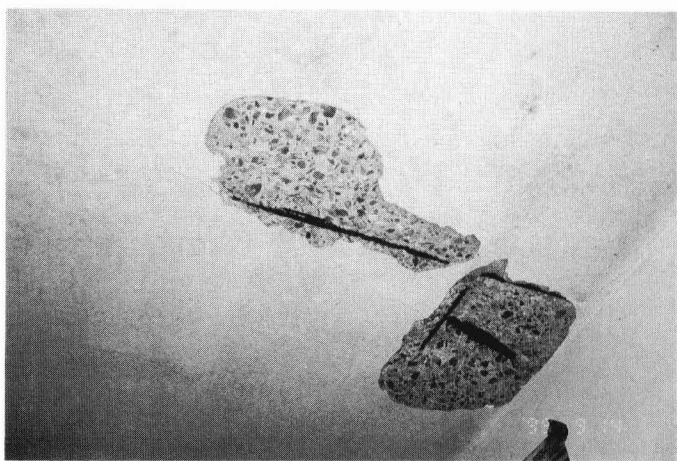


写真-12 南風原団地3号棟居室天井の損傷状況



写真-13 浜川団地2号棟ベランダ水切り部の損傷状況



写真-16 志真志団地5号棟階段室配管部の損傷状況

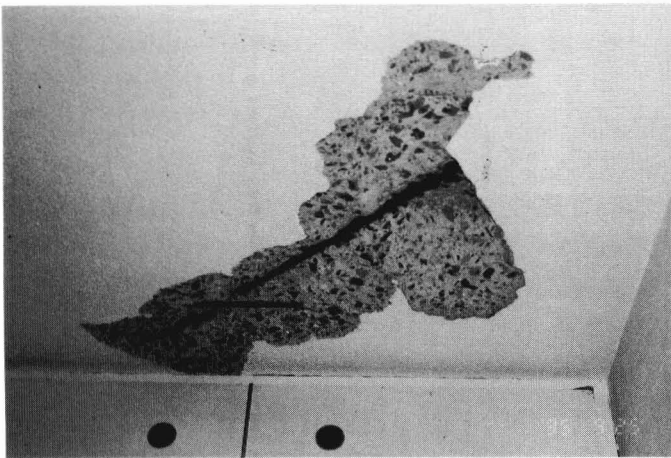


写真-14 渡橋名団地2号棟居室天井の損傷状況

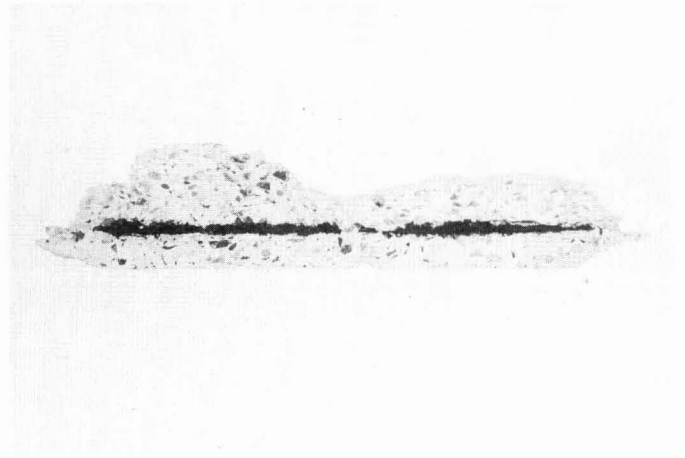


写真-17 愛知団地A-2号棟居室天井の損傷状況



写真-15 神森団地3号棟ベランダ水切り部損傷状況



写真-18 愛知団地A-3号ベランダ手摺りの損傷状況