

琉球大学学術リポジトリ

塩害により損傷を受けた実在RC造公営集合住宅の 正負繰り返し水平加力実験

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2008-03-31 キーワード (Ja): キーワード (En): Horizontal loading test, Existing building, Seismic behavior, Chloride attack, Cover thickness, Carbonation, Durability, Elastoplastic behavior, Horizontal loading capacity, Ductility 作成者: 山川, 哲雄, 伊良波, 繁雄, 田中, 伸幸, 松永, 尚凡, Yamakawa, Tetsuo, Iraha, Shigeo, Tanaka, Nobuyuki, Matsunaga, Takamina メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/5457

塩害により損傷を受けた実在RC造公営集合住宅の
正負繰り返し水平加力実験

山 川 哲 雄* 伊良波 繁 雄* 田 中 伸 幸** 松 永 尚 凡***

Horizontal Cyclic Loading Test on Existing R/C Public Housing Damaged
due to Chloride Attack

Tetsuo YAMAKAWA* Shigeo IRAHA* Nobuyuki TANAKA**
Takamina MATSUNAGA***

Abstract

An investigation on damage due to chloride attack on a reinforced concrete public housing was carried out before the horizontal cyclic loading test. Chloride attack is caused by using sea sand without removing sodium chloride. The compressive strength of concrete, cover thickness and carbonation were examined. As a result of this investigation, the deterioration of the existing R/C public housing was recognized from the point of the durability for the R/C buildings.

In order to observe the overall seismic behavior of the existing R/C public housing damaged due to chloride attack, a horizontal cyclic loading test was carried out on the building site. This loading test indicated that the behavior of this building was not affected by the damage and deterioration. The horizontal loading capacity of this building was about four times the value determined using an elasto-plastic analysis of a pure frame structure. This fact is the cause of using partition or outer walls made of concrete block. However, the seismic capacity and ductility of this existing building were not high. Assurance of safety and serviceability are important for corrosion damaged buildings.

Key Words : Horizontal loading test, Existing building, Seismic behavior, Chloride attack, Cover thickness, Carbonation, Durability, Elasto-plastic behavior, Horizontal loading capacity, Ductility.

1. 実験目的

高温多湿の気候条件に加え、台風の度重なる襲来を受け、しかも塩風に年中吹きさらされているような島

嶼地域に位置する沖縄では、塩害により鉄筋が腐食し、その膨張圧によりコンクリートにひび割れが生じ、損傷を受けた鉄筋コンクリート(RC)造建築物が、現在でも他の都道府県に比較してきわだって多く存在す

受理：1995年5月12日、日本建築学会1994年度第35回九州支部研究発表会で一部発表済み

* 環境建設工学科 Dept. of Civil Engineering and Architecture, Fac. of Engineering

** 清水建設株式会社技術研究所 Institute of Technology, Shimizu Corporation

*** 清水建設株式会社(元・琉球大学院学生) Shimizu Corporation

る。特に沖縄が日本に復帰する以前や、その前後に建てられたRC造建築物においては、細骨材として海砂が洗浄されることなくそのまま用いられたため、コンクリートに高濃度の塩分が含まれている⁽⁶⁾。その結果20年から30年前後経た今日、塩害により生じたRC造建築物の損傷が建物の機能維持や、耐震性能の劣化に少なからぬ影響を与えているものと思われる。そういう中において、塩害により損傷を受けたRC造公営集合住宅の建て替え工事が行われることになり、この実在建物を利用して正負繰り返し水平加力による破壊実験を行った。

塩害により損傷を受けた実在建築物は、沖縄本島の中部にある北谷町営業口団地（図-1参照）の集合住宅3棟のうちの1棟で（図-2参照）、1970年度に建設された3階建てのRCラーメン構造（12戸）である（写真-1参照）。この当時の設計用地震力は本土の半分であり、この状態が1980年まで沖縄では継続されたことになる。1戸あたりの専有面積が40㎡前後の比較的小規模の建物である。本実験の目的は次の3点に集約される。

- 1) 破壊実験を行う前に塩害で損傷を受けた実在建物の材料試験を行い、塩分含有量、中性化、コンクリートの圧縮強度、鉄筋の腐食量、コンクリートのひび割れ調査、腐食鉄筋の力学的性質等を明らかにすること。
- 2) 塩害で損傷を受けた実在建物の正負繰り返し水平加力実験を行い、耐震性能（剛性、強度、じん性、エネルギー吸収量）の劣化の有無を検討すること。
- 3) 塩害により損傷を受け、剥離または剥落しそうなかぶりコンクリート破片の落下が正負繰り返し水平加力により促進されるおそれがあるので、このことを層間変形角との関係に注目しながら実在実験で確認する

こと。

特に、塩害により損傷を受けた実在RCラーメン構造物が試験体であるので、すなわち建設以来約24年間の長期にわたり、自然暴露を行ってきた塩分入りの貴重な実在試験体でもあるので、塩害の実体に基づいた実験が可能となる。したがって、その影響の有無を現実的に把握することに、本実在実験の目的がある。

2. 北谷町営業口団地の所在位置と概要

水平加力による破壊実験を行った公営集合住宅の所在位置は図-1に示すとおりである。図-1から分かるとおり、本集合住宅は海岸から内陸部に約2km入った場所に位置している。山川研究室が現在までに塩害調査を行った団地の中では、直線距離にして上田団地と同程度に海から隔たった距離を有する。実在建物の水平加力破壊実験は、今回建て替えの対象（取り壊し対象）となっているA棟で行い（図-2、3参照）、実在試験体は1、2通りとS、N通りで囲まれた1スパン3層の立体ラーメン（図-3～5参照）とし、桁方向に正負繰り返し水平加力実験である。

前章でも述べたとおり、この集合住宅は1970年（昭和45年）に建てられたもので、建設以来24年間の長期にわたり自然暴露をしてきた塩分入りの貴重な建物であるといえる。それを考慮すると塩害の実体に基づいた実験が可能となり、塩害の水平荷重に及ぼす力学的影響の有無を把握することも可能である。水平加力破壊実験の対象となるラーメン及びその柱、梁断面は、図-6および表-1に示すとおりである。表-1に示すように、柱の断面が3階建てのRC造ラーメン構造にしてはきわめて細い。断面寸法は400×400mmであり、

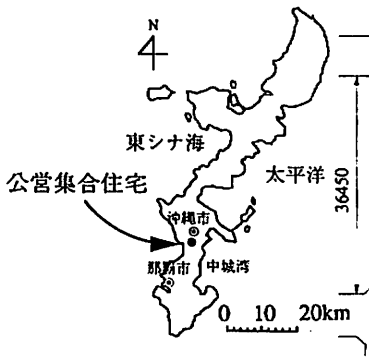


図-1 水平加力破壊実験を行った実在建物の所在位置

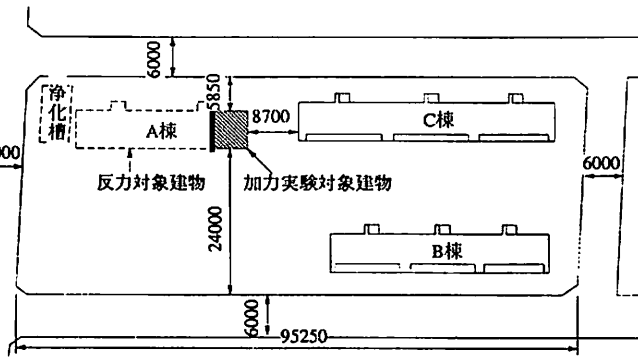


図-2 実在実験対象建物の北谷町営業口団地内配置図

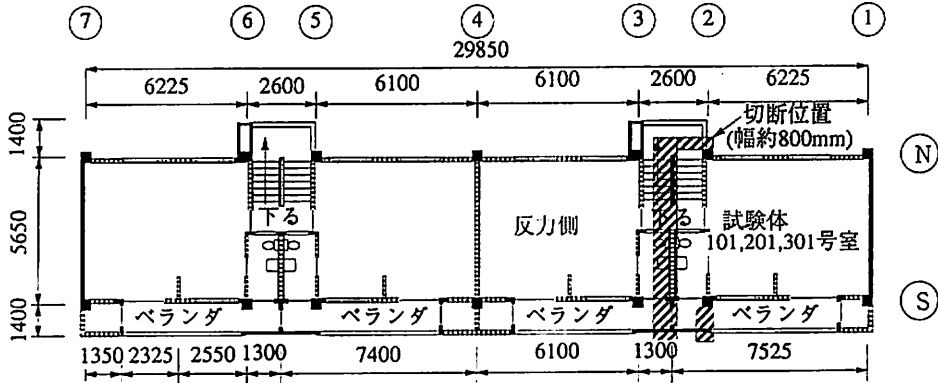


図-3 実在実験対象建物の平面図

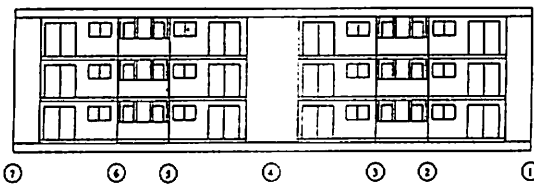


図-4 実在実験対象建物の南側立面図

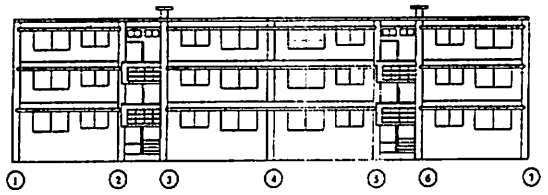


図-5 実在実験対象建物の北側立面図

表-1 柱、梁断面リスト

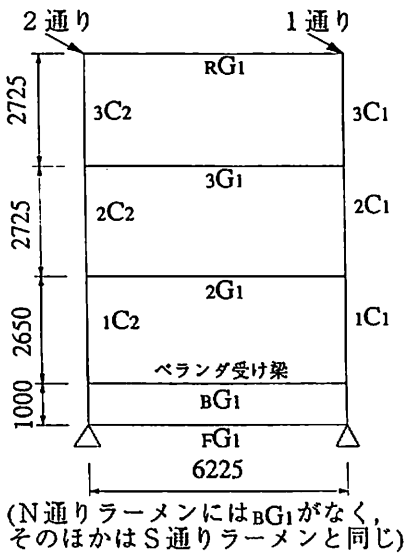


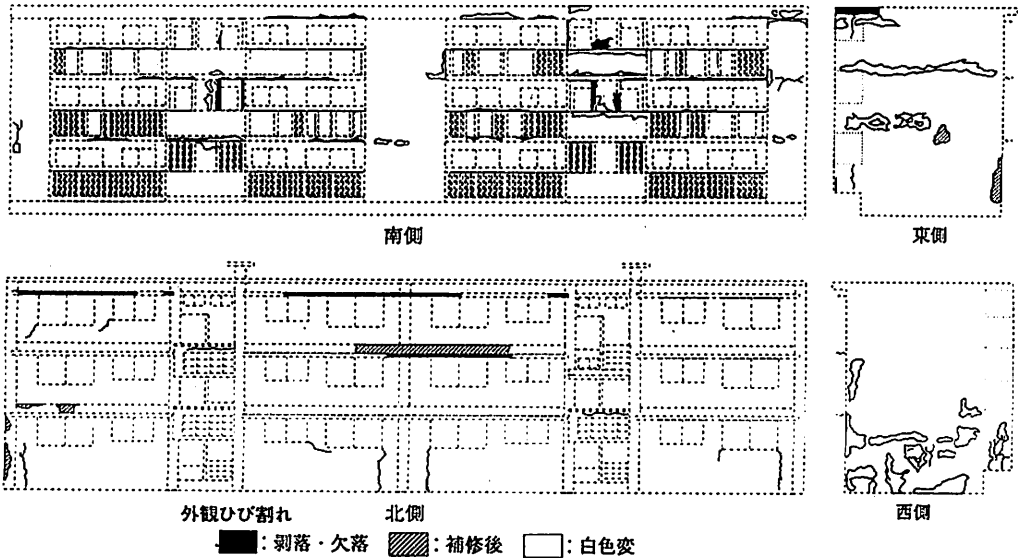
図-6 S通りラーメン立面図

	柱		梁	
	1通り	2通り	端部	中央部
基礎	1通り 2通り		基礎梁 -300- 550 D10@250 (全長にわたる)	ベランダ受け梁 -300- 300 D10@250 (全長にわたる)
1階	400 400 D10@250	400 400 D10@250	120 590 300 D10@200	D10@250
2階	400 400 D10@250	400 400 D10@250	120 590 300 D10@200	D10@250
3階	400 400 D10@250	400 400 D10@250	120 590 300 D10@200	D10@250

設計用地震力が本土の1/2であったその当時の影響を強く反映している。これくらいの規模のRC造建築物であれば、少なくとも柱の断面寸法は、500×500mm以上あってしかるべき建物である。

3. 実在建物の塩害による損傷調査

加力実験に先立ち、実在破壊実験を行う建物(A棟、図-2参照)について塩害による損傷調査を行った。目視による外観調査結果を図-7に示す。ベランダの



外観ひび割れ 北側
 ■：剥落・欠落 ▨：補修後 □：白色変

備考：コンクリートが白く変色した部分は非常に小さなひび割れが無数に生じている。変色部は直射日光のあたる場所のみ見られる。また、ベランダ手すりの欄干などスリット部が多数抜け落ちていた（補修として角材を代用していた）

図-7 ひび割れ，剥離，剥落に関する外観調査

手すりや庇の軒先端はかぶりコンクリートの剥離，剥落現象が生じており，日常生活上かなり危険な状況にある（写真-2，3参照）。建設後24年経過しているが，外観上はかなり劣化した状況にある。そこで，構造体劣化の有無を検討するために以下の項目について測定や試験を行った。

- 1) 含有塩分量の測定
- 2) 中性化，かぶり厚さの測定
- 3) 鉄筋の腐食量調査
- 4) 不同沈下量の測定
- 5) コンクリート，鉄筋の強度試験

含有塩分量はJCI（日本コンクリート工学協会）の規準（案）⁹⁾ に準じて可溶性塩分について行い，塩素イオンCl⁻で表示する。屋外から12個，屋内から12個のかぶりコンクリートの破片を採取して調べた塩化物量（塩素イオン換算）を図-8に示す。塩分含有量の定義については昭和62年6月2日建設省住宅局建築指導課長名で，全国の特定行政庁にだされた“コンクリートの耐久性確保に係る措置について”に従う。それによれば，コンクリート1 m³中に含まれる塩化物の含有量，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。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はコンクリート中の塩分量が

0.03～0.035%（NaCl/コンクリート重量：0.1%NaCl/絶乾砂重量にほぼ等しい）と考えられる⁹⁾。図-8によると，屋外より屋内のかぶりコンクリート採取片に塩化物量がより多く含まれ，しかも屋内の塩化物量は総量規制値である0.3kg/m³をすべての採取片で上回っている。その当時は細骨材として海砂が塩分を除去することなくそのまま利用された可能性がある。このことは，山川らによる“沖縄県の公営集合住宅（県営と公社住宅）の塩害による建物損傷状況とその原因に関する調査報告”によっても裏付けられている¹⁰⁾。屋外の採取片に塩化物量がより少なかった理由としては，採取片がかぶりコンクリートであったため，風雨で塩分が洗い流されたコンクリート表面を計測した恐れがある。この建物は幾度か補修されており，その補修跡が室内外に見られた。特に室外については著しく，補修の際には当然ながら健全なコンクリートを使用している。

コンクリートの採取片を利用して中性化深さと，かぶり厚さを測定した。中性化深さについては図-9に，またかぶり厚さについては図-10に各々示す。中性化の平均値は室内で16mm，室外で23mmで，一方かぶり厚さは室内で19mm，室外で32mmであり，平均的にはかぶり厚さが中性化深さを上まわり，望ましい傾向を示している。このことは，かぶり厚さと中性化深さを同一

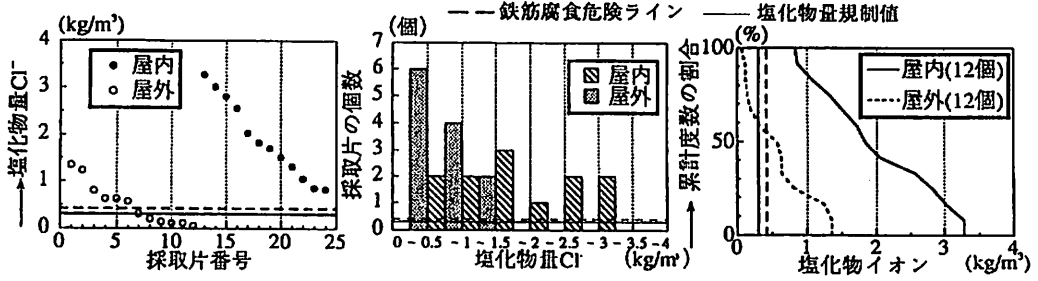


図-8 かぶりコンクリート採取片の含有塩分量Cl⁻

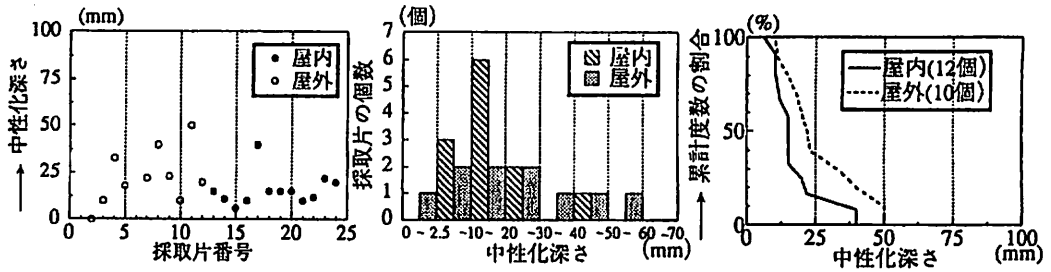


図-9 かぶりコンクリート採取片の中性化深さ

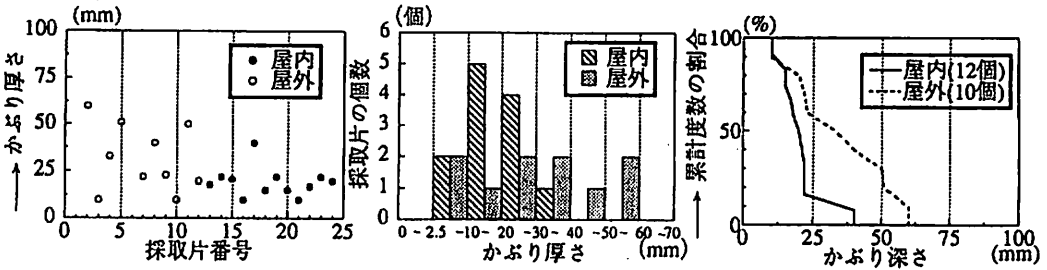


図-10 かぶりコンクリート採取片のかぶり厚さ

の採取片について、同時に示した図-11に関しても同様に言える。しかしながら、図-8からもわかるように、本建物に含まれる塩化物量が鉄筋腐食危険ラインや、塩化物量規制値を大きく上まわっているため、現状の建物の損傷や劣化がさらに加速されるおそれがある。

次にコアを採取してコンクリートを厚さ方向にスライスして、塩化物量の分布状況を検討した。採取したコアは72mmから175mmの長さであり、合計16本である。コア16本の塩化物量の分布状況は図-12のとおりである。スライスしたコアに関して、塩化物量はスラブの表面より内部に蓄積される傾向が強いことが分かる(図-13参照)。いずれにしてもこれらの試料に関しては、規制値を大きく上まわっている。

水平加力実験を行う前に反力側の建物を利用してコ

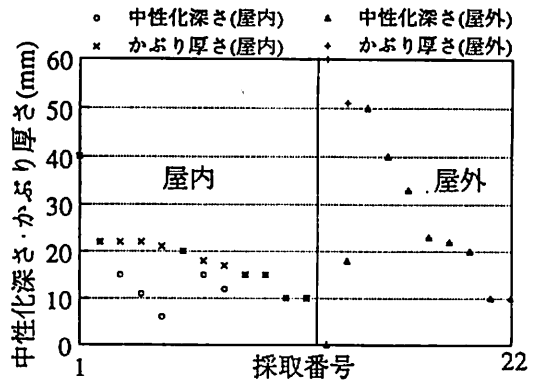


図-11 同一採取片における中性化深さとかぶり厚さの比較

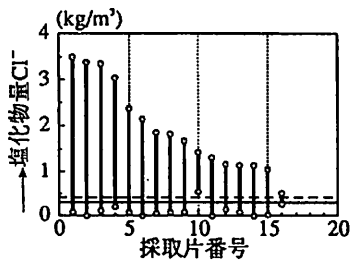


図-12 コア中に分布している塩化物量Cl⁻

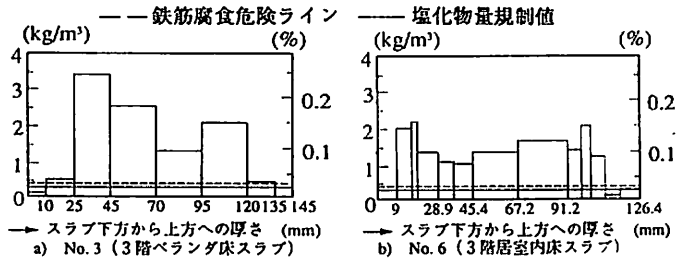


図-13 コアの厚さ方向に分布している塩化物量

表-2 はつり出した全鉄筋の力学的性質

	a (cm ²)	sσ _y (MPa)	sε _y (%)	sσ _u (MPa)
D10 (5本)	0.71	242.1	0.123	317.0
D19 (6本)	2.87	267.1	0.104	398.4
D22 (3本)	3.87	282.4	0.128	375.9

a：鉄筋の断面積，sσ_y：降伏点強度，sε_y：降伏点ひずみ，sσ_u：破断強度，sE：鉄筋のヤング係数

表-3 孔食部が破断しなかった鉄筋の力学的性質

	a (cm ²)	sσ _y (MPa)	sε _y (%)	sσ _u (MPa)
D10 (2本)	0.71	295.8	0.122	430.1
D19 (2本)	2.87	298.5	0.128	440.5
D22 (2本)	3.87	282.4	0.128	409.4

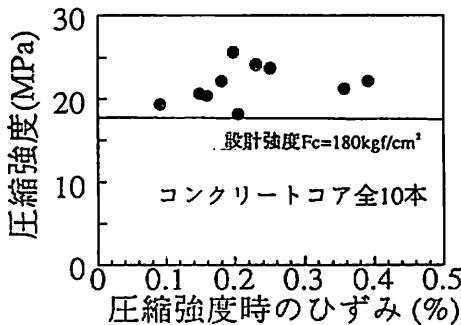


図-14 採取コンクリートコアの強度とひずみ

表-4 採取コアの材料定数平均値

	cσ _B (MPa)	cε _B (%)	cE (GPa)
コンクリート	21.7	0.221	21.5

cσ_B：最大圧縮強度，cε_B：cσ_B時のひずみ，cE：コンクリートのヤング係数

コンクリートコアや鉄筋等の採取を行い（写真-4～7参照），これらの力学的性質を調査，試験した．これらの試験結果を表-2～4と図-14に示す．鉄筋はかなり腐食しており，孔食の激しい部分からの破断が多く見られた．その当時の状況から，コンクリートの設計基準強度は180kgf/cm²で，鉄筋はSD30を利用したものである¹⁰．鉄筋の腐食によって，鉄筋の降伏応力は降伏力を公称断面積で除しているの，見かけ上低下している．なお，鉄筋は表-2，3に示した本数，コンクリートは100φ×200mmの採取コンクリートコア10本の平均値である．表-2では全鉄筋の平均値を，表-3では孔食破断しなかったものについての平均値を示す．コンクリートに関しては，設計基準強度F_c=180kgf/cm²を満足しているようである（図-14，表-4参照）．

4. 水平加力及び測定計画

水平加力するにあたり，基礎梁を除いた実在建物を試験体部分と反力側部分に切断し（写真-8～10参照），加力用鉄骨ジグを設置した．鉄骨ジグを床に完全に固着するために，全室内の内装を全て撤去し，コンクリートスラブがむき出しになるようにした．コンクリートスラブと加力用鉄骨ジグの固着は，スラブとジグの間にモルタルをひき，コンクリートスラブを鉄骨ジグで上下からはさみ込んだ状態で鋼棒を使って締め付けた（写真-11参照）．実在RC造建物に水平加力を行った場合，水平剛性のアンバランスにより建物がねじれることがないように，2階および3階床スラブに油圧ジャッキ（±50tonf）をそれぞれ2台ずつ設置した（図-15，16参照）．さらに，油圧ジャッキは柱列すなわち外壁の内側にできるだけ近接させた（図-15，写真-11，12参照）．床スラブをH形鋼でサンドイッチし，それを加力梁にして油圧ジャッキを図-15，16に示すよう

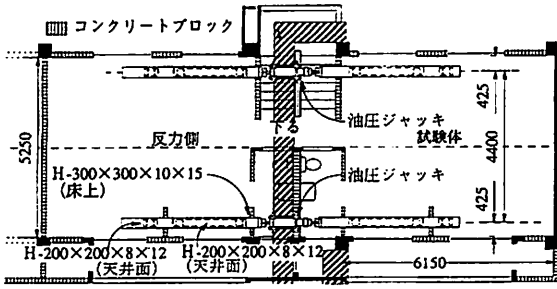


図-15 油圧ジャッキの取り付け位置 (2階, 3階平面図)

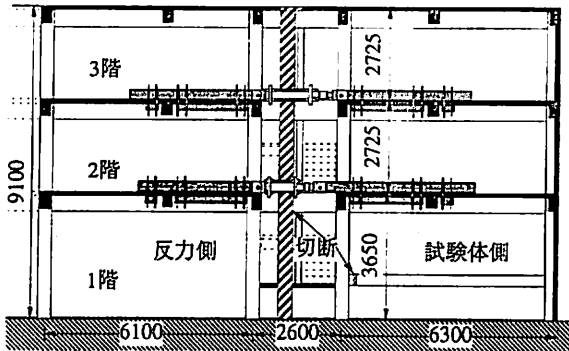


図-16 油圧ジャッキの取り付け位置 (断面図)

に設置し、正負繰り返し水平加力を行った。したがって水平力の作用位置が床スラブ面より150mm程度上がることになる⁹⁾。

一方、図-17に示すように変位測定は各階床スラブ

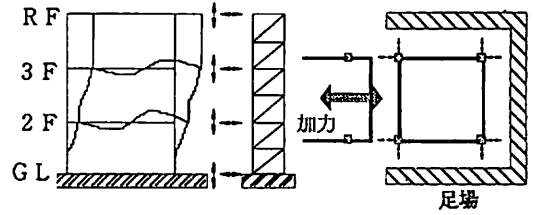


図-17 変位測定計画

の表面位置で、水平方向変位（水平加力方向とその直交方向の2成分）と上下方向変位に関して行った。変位計は実在建物試験体と独立に仮設した組立足場（不働体とみなす）に取り付けた。これらの変位計による測定結果は、自動的にパソコンに収録される（写真-13, 14参照）。

5. 正負繰り返し水平加力実験

水平力は3階床スラブに取り付けた2台の±50tonf油圧ジャッキを、その能力いっぱい合計100tonfまで稼働させ、それでも水平力が不足する場合は、その100tonfを保持したまま、2階に設置した2台のジャッキ（合計100tonf）を稼働させることにした。水平加力はひび割れが発生するまで荷重制御により行い、ひび割れ発生後は変位制御に切り替える。変位制御は1階の層間変形角を0.25%ずつ増加させながら、同一振幅で2サイクルずつ正負繰り返しを行った。

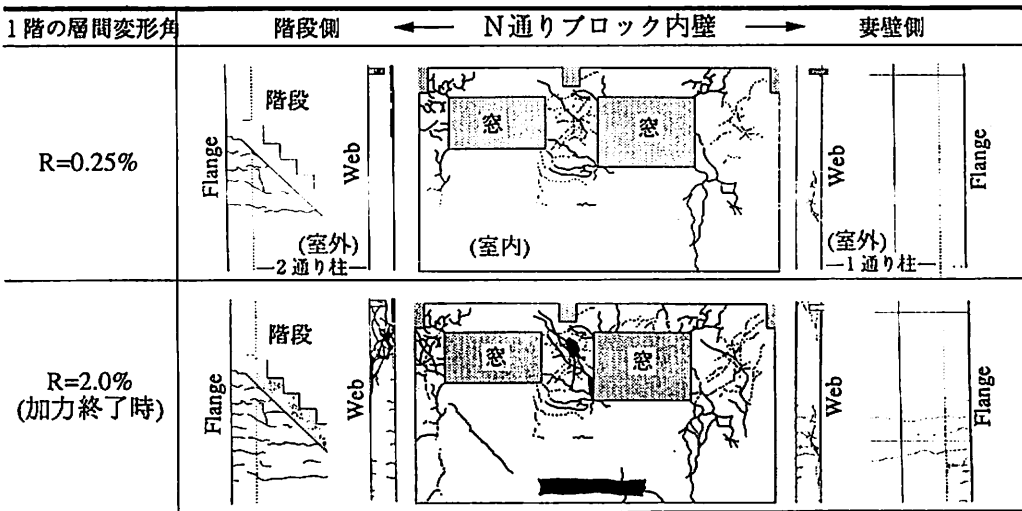


図-18 1階N通りのひび割れ進展図

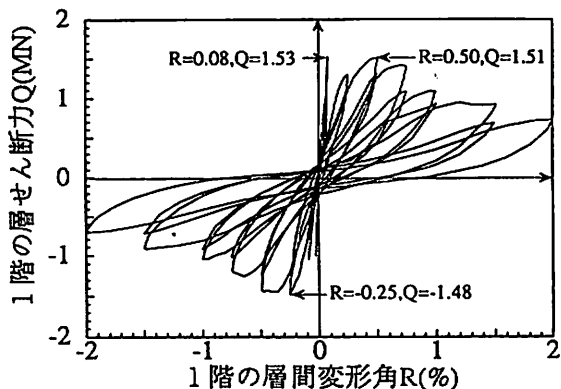


図-19 1階の層せん断力Qと層間変形角Rの関係

5.1 水平加力による建物の損壊状況

この建物の破壊形態は、コンクリートブロックでつくられた腰壁やたれ壁のため短柱化した柱のせん断破壊（写真-15, 16参照）と、コンクリートブロック壁のせん断破壊（写真-17, 18参照）、そして長柱の曲げ破壊等（写真-19, 20参照）の組み合わせによって支配された。具体的には、1階の2通り柱（N側とS側の両柱）でせん断破壊が発生しており、実験終了時には完全に破壊してしまった。また、この実験の1つの特徴であるコンクリートブロック壁のせん断破壊は、N側壁でもS側壁でも広範囲にわたり、著しく生じた（写真-21参照）。1階に関しては、図-18, 19に示すようにコンクリートブロック壁は、1階の層間変形角が小さいところで既にききはじめる。そのためコンクリートブロック壁は、柱・梁などの構造部材よりも先にひび割れ・剥離などの劣化を生じる。構造部材にひび割れが目立ち始める頃は、コンクリートブロック壁

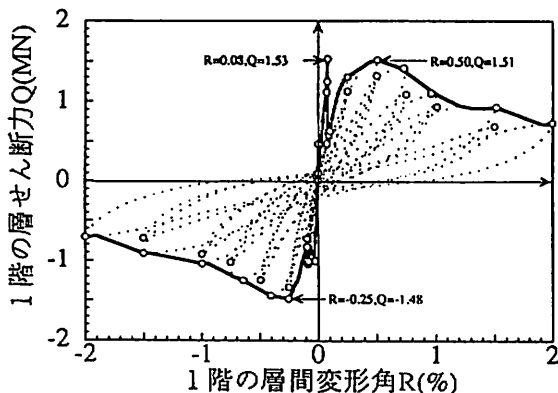


図-20 1階の実験結果から得られたスケルトンカーブ

にもあらかた破壊が進み、層間変形角も0.5%以上となっている。以上の様子から、コンクリートブロック壁は建物の変形を抑制するのに大きく貢献すると思われる。しかし、一方では建物としての靱性を劣化せしめることにもなる。

また前述したように塩含有量も多く、いずれ鉄筋の腐食による構造体の劣化や損傷もかなり加速されると思われるが、この時点では塩害による損傷は本実在建築物の耐力にあまり影響を与えていない。むしろ耐力などの構造上の問題よりも、塩害により損傷したかぶりコンクリートの剥離、剥落など日常安全性の確保が重要である。

5.2 水平加力実験のデータ解析

RC造3階建ての本建物の水平耐力は1階部分において、コンクリートブロックでつくられた腰壁やたれ壁のため短柱化した柱のせん断破壊、コンクリートブロック壁それ自身のせん断破壊、そして長柱の曲げ破壊等の集積によって支配された。したがって、1階の層せん断力Qと層間変形角Rの関係を示した図-19, 20のQ-R曲線は複雑な履歴を示しているが、1階部分すなわち建物としては明らかにせん断破壊の様相を示している。図-20で層間変形角が0.1%前後の正側で、せん断力が急激に上昇した後一時的に下がっているのは、一部のブロック壁にせん断破壊が生じたからである。その後、また層間変形角の増大とともにせん断力、すなわち水平耐力が上昇しているが、正側の0.5%、負側の0.25%でそれぞれ最大水平耐力にほぼ達している。その後は徐々に耐力が変形の増大とともに低下している。また図-19より履歴ループの面積も小さ

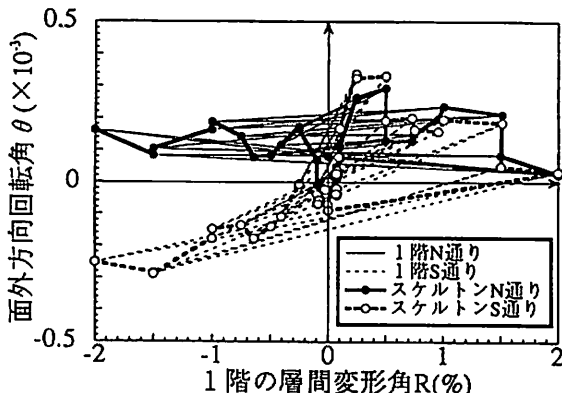


図-21 1階柱頭部での面外方向回転角 θ と層間変形角Rの関係

く、原点指向タイプのせん断破壊型の傾向を示している。ただし、加力試験体の妻壁側にある柱は長柱として曲げ破壊している。この実在試験体は妻壁のみが鉄

筋コンクリート造で、残りの壁はすべて壁筋の補強が不完全で、かつコンクリートの充填も不完全なブロック壁であった。それにもかかわらず図-24に示したス

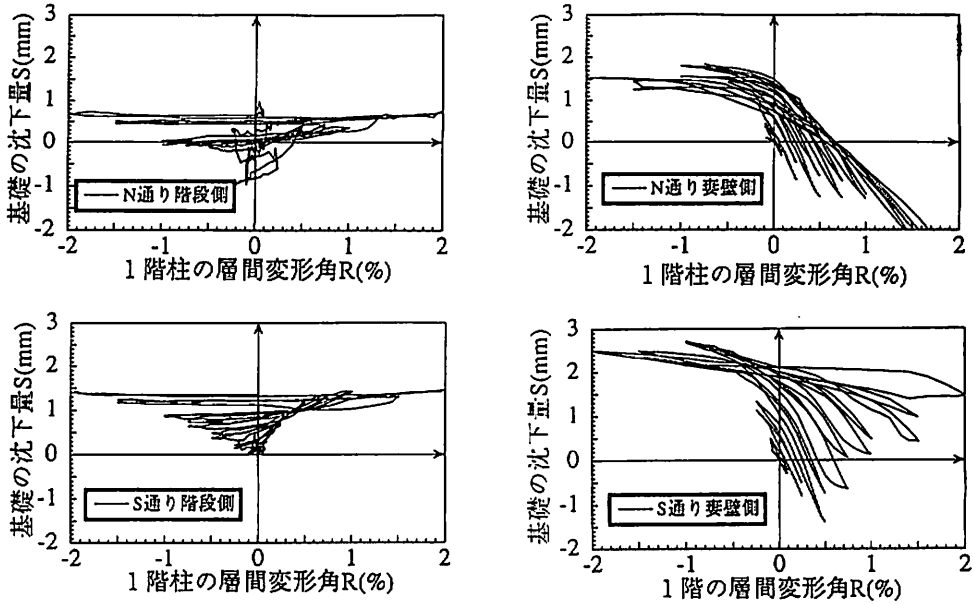


図-22 基礎の沈下量Sと1階の層間変形角Rの関係

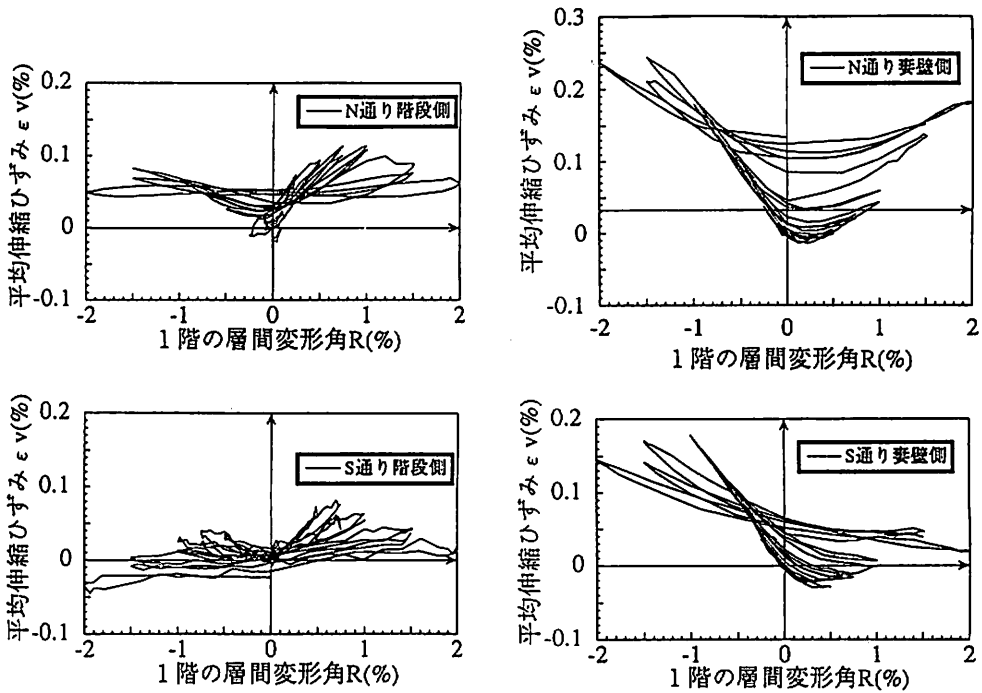


図-23 1階柱の平均伸縮ひずみ ϵ_v と層間変形角Rの関係

ケルトンカーブの比較からわかるように、ブロック壁の水平耐力が算定外余力として予想以上に高い。

図-21に、SおよびN通りラーメンの2階床位置における水平加力方向と、直交方向のそれぞれの動きを示す。図-21は1通りと2通りのスパン方向の水平変位、すなわち水平加力方向と直交をなす方向（以後面外方向）に生じる桁方向1スパン当たりの変位の差を、桁方向のスパン長でそれぞれ除した値（これを図-21では面外方向回転角と定義する）と、1階の層間変形角Rの関係を示した図である。図-21より、面外方向回転角が最大で約0.03%であり、水平加力方向と直交方向の水平変位は小さく、実験にあたって建物のねじれはあまり生じなかったものと推定される。図-22に基礎梁上面位置で測定した上下方向変位、すなわち基礎の沈下量を示す。水平力による引張力が柱に加わると、若干基礎が浮き上がっていることがわかる。特に図-22に示すように、妻壁側の基礎はその影響が大きい。また、水平力による圧縮力が自重による圧縮力に加わっても、その沈下量は小さいことが図-22よりわかる。なお、本建築物の基礎には所要のコンクリート杭が打たれている。基礎梁上面と2階床スラブ表面間の上下方向の相対変位量を、1階の柱材長で除した1階柱の平均伸縮ひずみと1階の層間変形角の関係を図-23に示す。S通りの柱で曲げ破壊する柱（妻壁側の1通りの柱）とせん断破壊する柱（階段側の2通りの柱）では、若干平均伸縮ひずみが異なる。すなわち、曲げ破壊する柱に、より大きな伸縮ひずみが生じていることがわかる。

6. 水平加力実験に関する理論解析

実在建物の弾塑性解析には、B. G. Nealの“The Plastic Methods of Structural Analysis”⁶⁾を利用した。基本的には、『仮想変位の原理』『仮想力の原理』に基づいた方法、すなわち仮想仕事法によるものである。ただし、この方法を適用するにあたっては、ヒンジ部を完全弾塑性と仮定し、ヒンジ点以外でのひび割れにともなう剛性低下は考慮しない。さらに、コンクリートブロック壁を考慮しない純ラーメンとして計算を行った。まず仮想変位の原理により釣合条件式を作成し、仮想力の原理により適合条件式をつくる。適合条件式をつくる際、Heymanによって提案された仮想残留曲げモーメント系を用いた。層せん断力については実験と同じく、100tonf (0.98MN) までは

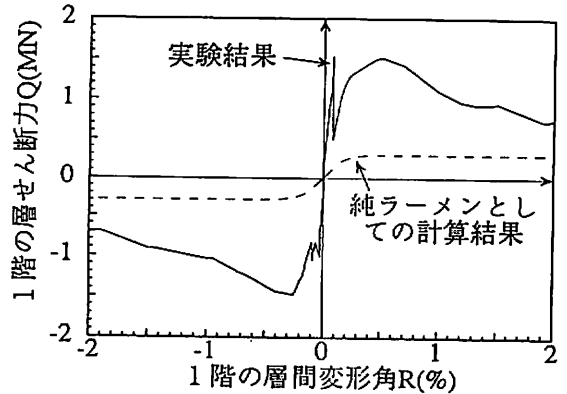


図-24 実験結果と純ラーメンとしての計算結果の比較

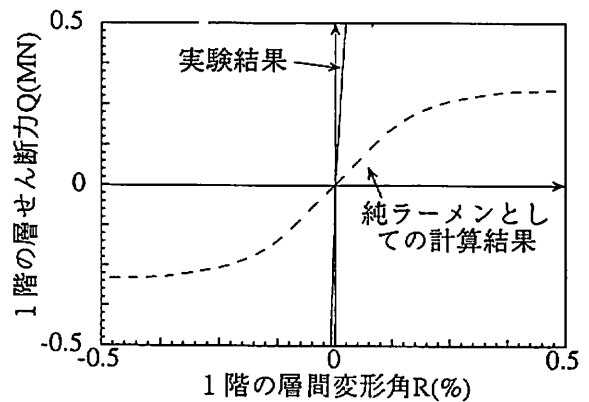


図-25 実験結果と計算結果の初期剛性に関する比較

3階スラブ位置で水平力を先行載荷する方法をとった。また、N側ラーメンとS側ラーメンとではベランダ小梁に関する違いがあり、これを考慮した上でそれぞれのラーメンを計算し、最終的に加え合わせる方法をとった。

図-24, 25に実験結果とあわせて計算結果（純ラーメンとしての弾塑性解析値）を示す。これからもわかるとおり、やはりコンクリートブロックは水平耐力のみならず、初期剛性にもかなり寄与している。さらにこの実在建物の破壊形態は、せん断破壊の様相が濃いため、次のようなせん断耐力式を利用した考察も試みた。柱のせん断破壊は2通り目（階段室）のS通り、N通りの両柱で起こっており、その部分に慣用されている荒川式に加え、A法とB法によるせん断強度式を適用した。柱の曲げ破壊については、妻壁側にある残りの2本の柱で生じており、前述した曲げ解析の結果（純ラーメンとしての曲げ耐力）を、S側ラーメンとN側ラーメンでそれぞれ1/2ずつにして加算した。そ

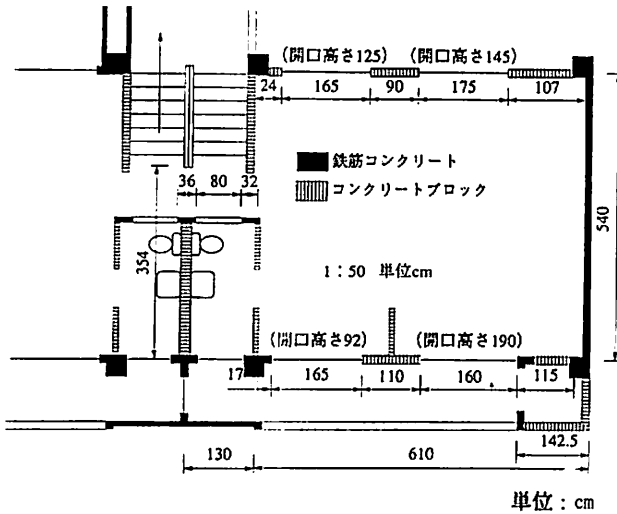


図-26 コンクリートブロック壁の配置と実測寸法

のようにして求めた柱のせん断耐力と曲げ耐力を、実験中に計測された最大水平耐力1.53MN (156tonf) から引いた。荒川式を用いた場合の算定外余力は1.04 MN (106tonf) となり、その値を壁の断面積で割ることで、コンクリートブロック壁の見かけ上の負担せん断応力を求めた。その結果、荒川式ではせん断応力0.79MPa (8.1kgf/cm²) となった。同じ操作でA法とB法ではそれぞれ算定外余力が0.66MN (67tonf)、0.24MN (24tonf) となり、その時のせん断応力度が0.64MPa (6.5kgf/cm²)、0.23MPa (2.3kgf/cm²) という数値がそれぞれ求められた。図-26にも示すとおり、水平加力方向のブロック壁の壁量は約14cm/m²であり、柱もコンクリートブロック壁の断面積に含めた最大水平耐力時の平均せん断応力は、約1MPa (約10kgf/cm²) である。一方、最大水平耐力時の一般的なコンクリートブロックのせん断応力は、5.6kgf/cm²から10kgf/cm²程度であり、これらの値と、実験と計算から推定されるコンクリートブロック壁のせん断応力は、ほぼ類似していることがわかる。したがって、本実験の場合、ラーメン構造に組み込まれた間仕切り用のコンクリートブロック壁は、水平耐力に関しては純ラーメンとして計算した柱4本分が負担するのと同じ程度のせん断力を負担し、しかも水平剛性に関しては純ラーメンの約14倍も増加させている。このように、間仕切り用のコンクリートブロック壁は、建物の水平耐力と水平剛性の増大にかなりの影響を及ぼすことがわかった。ただし、本建物の場合、柱の断面が細い上に主筋量が少ないので、純ラーメンとしての水平耐力は小さいこ

とに留意する必要がある。さらに、ブロック壁が本建物のように腰壁に利用されると柱が短柱化し、その柱が本実在実験にみられるごとく、もろいせん断破壊することも事実である。

本建築物の総重量は4本の柱中心で囲まれた床面積を34.5m²、単位床面積当たりの重量を1.2ton/m²、屋根スラブ(t=12cm)は仕上げ材を0.2ton/m²考慮した単位面積当たりの重量を0.49ton/m²と仮定して計算すれば141.1tonである。一方、本実在実験から得られた最大水平耐力は156tonfであったため、この実在建物は地震の際には1.1Gの応答水平加速度までしか耐えられないことになる。したがって、本建物が1995年1月17日に起きた阪神大震災クラスの地震(震度階7)にも耐えられるかどうか、きわめて疑問のあるところである。しかも、本実在建物が弱柱に欠ける耐震性能を有していることを考慮すると、なおさら崩壊の危険性があるRC造建物と推定せざるをえない。

実在実験の対象となった本建物は、沖縄が日本に復帰する1972年以前の1970年に建設されたものである。したがって、その当時アメリカの統治下にあった沖縄は本土の1/2の地震力で建築物の構造設計をしていた。すなわち、本土で震度法による値が0.2に対して、沖縄では0.1を採用していた。すなわち、建物の総重量の10%を設計用地震力として、水平力に算入した。そのためか、3階建てのRC造ラーメン構造である本建物の柱の断面が1階から3階まで、すべて400×400mmというきわめて細い柱になっている。しかも、主筋比が小さいところで1.08%しかなく、全般的に水平耐力が小さい建物になっている。しかもブロックによる腰壁の影響で、1階柱(2通り)が実在実験で予測どおりのせん断破壊を起こしている。このような耐震性能しかない上に、しかも多量の塩分を含み、塩害による腐食と劣化が進行しているという2重の意味で要注意の建物であるといえる。このように沖縄では今日なお、塩害による損傷が進行しつつある建物で、しかも耐震性能に欠ける建物が今なお多く存在するものと思われる。このような建物では、できるだけ早い機会に建て替えるか、補修・補強を行い、耐久性と耐震性能の回復と増強に努力する必要がある。これには沖縄の産官学を構成する人々が力を合わせていい知恵を出し合い、場合によっては沖縄仕様書を作成するくらいの気持ちで取り組む必要があると思われる。特に大学に所属する我々の責任はきわめて大きいと、自戒の意味も込めて本節の結びとしたい。

7. 結論

塩害により劣化した実在3階建て集合住宅の損傷調査と、正負繰り返し水平加力実験を行った結果、下記のことことがわかった。

- 1) 本建物の建設当時、海砂を細骨材として洗浄することなく、そのまま利用したと思われるので規制値を越える相当量の塩化物量が含まれ、しかも鉄筋の腐食がかなり進行していることがわかった。したがって、今後構造体の劣化や損傷もかなり加速されるものと推定される。
- 2) 塩害に起因する建物の損傷が、静的な正負繰り返し水平加力による実在実験において、かぶりコンクリートの剥離、剥落現象の増大や、建物の水平耐力の劣化等に影響を与えるようなことは、ほとんどなかったと判断される。ただし、地震力が実際には動的な現象であることを考慮すると、塩害により損傷したかぶりコンクリートの剥離、剥落がいつそう促進されるおそれがある。
- 3) 集合住宅等の建物の水平耐力は純ラーメンとして計算した水平耐力の約4倍近くあり、コンクリートブロックでつくられた腰壁や間仕切り壁などの算定余力をかなり期待できる。しかし柱が細い上に（柱の断面寸法は400×400mm）、ブロック壁が腰壁として、結果的に柱を短柱化させているので、建物として靱性に欠け、しかも建物の水平耐力も建物重量の1.1倍しか期待できない。

以上のことより、本実在建物は塩害による損傷が進行しつつある建物で、しかも耐震性能に欠ける建物と判断せざるを得ない。この種の建物はできるだけ早い機会に建て替えるか、補修・補強を行い耐久性能と耐震性能の回復と増強に努める必要がある。沖縄で数多く見られる塩害により損傷を受けたRC造建築物においては、かぶりコンクリートの剥離、剥落事故が生じないように建物の保全、補修（場合によっては建て替え）を行い、日常安全性の確保に努めることもまた重要な社会的課題ではないかと思われる。

謝辞

本実在実験は北谷町役場の好意により実現したものであり、とりわけ同建設課の金城永和課長や仲宗根義覚氏に大変お世話になりました。また実在試験体の準備にあたっては、栄商店の伊禮栄社長に多大なご協力を

をいただきました。本実験に際しては鹿児島大学工学部建築学科の徳広育夫教授が直接現地に滞在され、数々のご助言とご教示をいただきました。本実験は清水建設㈱技術研究所との共同実験であり、同技術開発センターの磯畑脩副所長には、数々のご助言、ご支援およびご協力をいただきました。また、竹中工務店技術研究所の毛井崇博主任研究員には、計測機器関係でご尽力いただきました。そのほか、たくさんの関係者の皆様にご協力とご支援をいただきました。本実験に琉球大学の大学院生や卒論生が多数参加しました。なお、本研究に関して1994年度日本建築学会九州支部奨励研究助成（代表者 松永尚凡）をいただきました。ここに記して、関係各位に深甚なる感謝の意を表する次第です。

参考文献

- (1) 山川哲雄, 他3名: 沖縄県の公営住宅の塩害による建物損傷状況とその原因に関する調査報告, 日本建築学会研究報告九州支部第35・1 (構造系), pp.9-20, 1995年3月
- (2) 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, 1994年4月
- (3) 徳広育夫, 三谷勲, 久徳琢磨: 実在鉄筋軽量コンクリート造学校建築の繰り返し水平加力による破壊実験, コンクリート工 Vol.25, No.10, pp.95~112, 1987年10月
- (4) B. G. Neal: The Plastic Methods of Structural Analysis (日本語訳: 五十嵐定義, 井上一朗): 建築構造物の塑性解析法, pp.32~41, 丸善, 1988年3月
- (5) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 丸善, 1988年7月
- (6) 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能, 丸善, 1981年6月
- (7) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説, 丸善, 1990年11月
- (8) 岸谷孝一, 他6名: 塩害(2), コンクリート構造物の耐久性シリーズ, 技報堂, pp.103~110, 1988年9月



写真-1 実在建築物の外観（右端の1スパン3層部分が実在実験の対象）

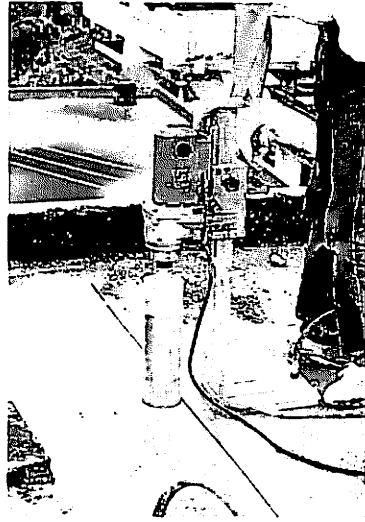


写真-4 コアドリルを用いてコンクリートコアを採取中



写真-2 塩害により損傷したひさし部分

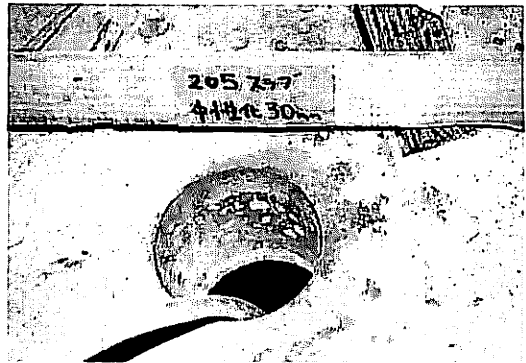


写真-5 室内床スラブの中酸化状況

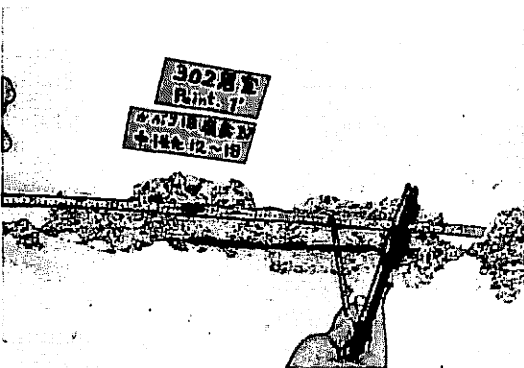


写真-3 塩害により損傷した天井部のはつり調査

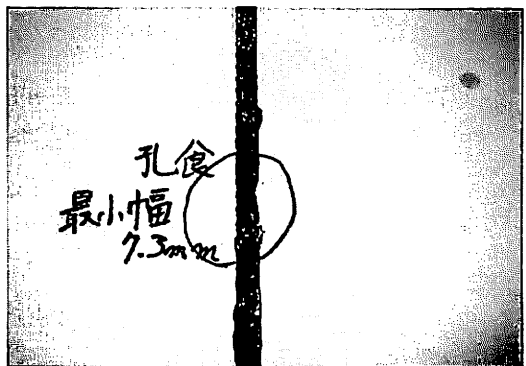
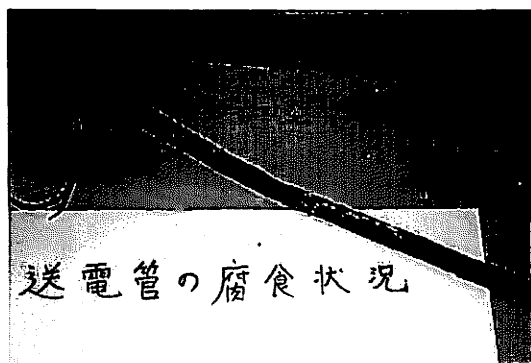


写真-6 はつり出した鉄筋の腐食状況



送電管の腐食状況

写真-7 送電管の腐食状況



写真-10 建物を切断した後の状況（北面）

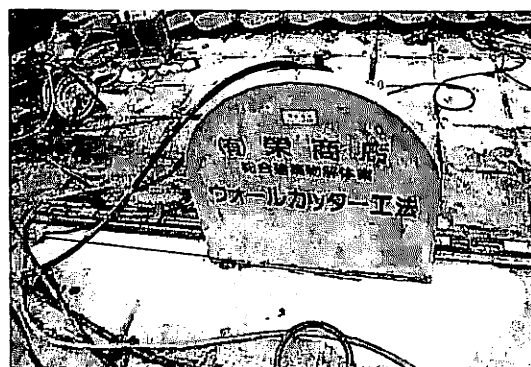


写真-8 建物の切断に用いたウォールカッター



写真-11 加力梁設置の作業風景

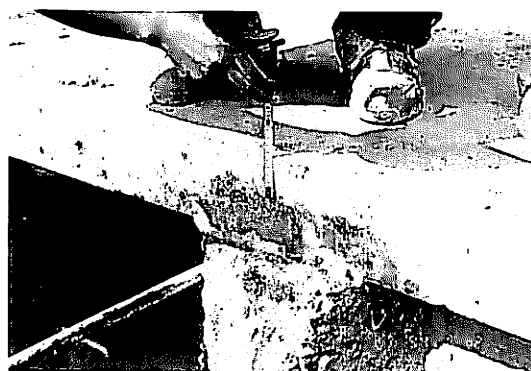


写真-9 ウォールカッターによる屋上床スラブの切断面と中性化状況



写真-12 3階床に設置した押しき（±50tonf）ジャッキ

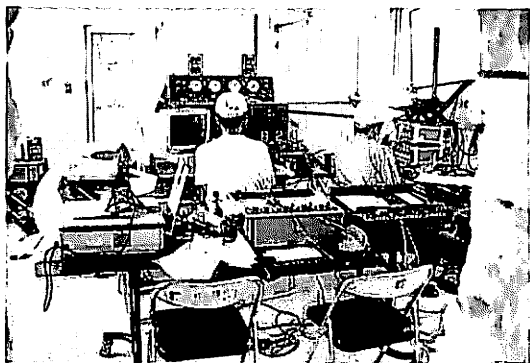


写真-13 制御室での計測風景



写真-16 1階N通りのせん断破壊した柱

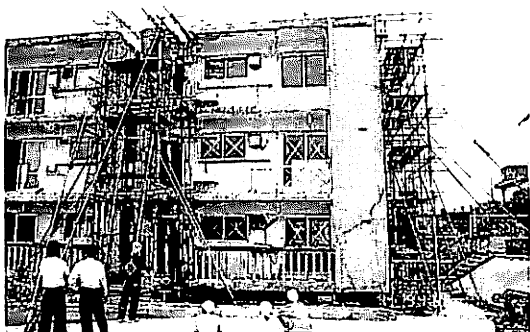


写真-14 正負繰り返し水平加力実験の全景



写真-17 1階N通りブロック壁のせん断破壊状況

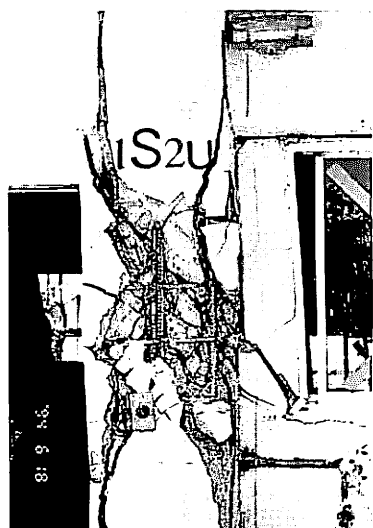


写真-15 1階S通りのせん断破壊した柱

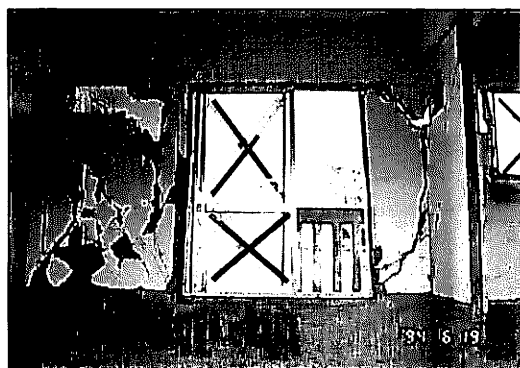


写真-18 室内からみた1階S通りブロック壁のせん断破壊状況



写真-19 1階N通り妻側（1通りスパン）
脚部の曲げ亀裂を生じた柱および耐震壁



写真-21 1階S通り面の破壊状況の全景



写真-20 1階S通り妻側（1通りスパン）
柱頭の曲げひび割れの進展状況



写真-22 実在実験スタッフ