

報告 沖縄にある某RC造事務所ビルの耐久・耐震調査

長嶺安一^{*1}・山川哲雄^{*2}

要旨: 本報告は沖縄にある某RC造事務所ビルの耐久・耐震診断調査を行い、沖縄県のRC造建築物の現状の一例として把握することを目的とした調査報告である。耐久性調査では、本建物のコンクリート中には多量の塩化物が含まれており、それによる鉄筋の腐食やコンクリートのひび割れもかなり進んでいるなど劣化現象が顕著に現れており、かつ耐震診断でもかなり憂慮すべき状況であることがわかった。

キーワード: 塩化物含有量, 耐久性, 耐震診断, 耐震性, ひび割れ

1. 序

本報告は沖縄が日本に復帰する2年前の1970年に竣工した沖縄にある地上6階、一部地下2階の某RC造事務所ビルの耐久性調査と耐震診断を行い、沖縄県の既存RC造建築物の現状の一例として耐久・耐震性能を把握することを目的とした。次の2点に注目して本建物の耐久性と耐震性を検討した。

1) 本建築物が竣工した1970年は塩分規制が通達される1977年以前であり、著者の1人である山川らによる沖縄の住宅団地の塩害調査によれば [1] [2], 塩分を十分除去しない海砂が大量に利用されていた年代に該当する (図-5参照)。しかも、本建物は現在かなりの補修が完了しており、しかも損傷したかぶりコンクリートが剥離、剥落しても安全ように防護ネットが本建物の外周に設置されている現状を考慮すると、塩分含有量を含む耐久性調査も行う必要がある。

2) 本建物は沖縄が日本に復帰する前に設計され、かつ竣工しているので地震荷重が本土の半分で設計されている。しかも、RC柱の主筋径が太く、その量が多いわりにはせん断補強がきわめて貧弱である。したがって、耐震性に関しても十分検討する必要があると思われる。

RC造建築物が地震に強く、長持ちするように設計し、施工することは論をまたない。しかし、沖縄が日本に復帰する前後に建築された多くの建物はこれらの観点から憂慮すべき建築物が多いものと推定される。

2. 沖縄のRC造建築物に関する問題点

沖縄県全建築物の約90%前後を占めるRC造建築物に関して、その問題点をあげると次のように整理される [3]。

1) 設計用地震荷重が1981年以前は本土の50%であり、新耐震設計法が1981年6月1日施行された後も、設計用地震荷重を求めるための地域係数が東京都や大阪府に比較して沖縄県は30%も小さい。また、この値は本土で最も低い福岡県や長崎県などに比較してもさらに10%も小さく、全国で最低の値であり、しかも広大な沖縄県全域に一律に適用された値である。

2) 沖縄の地震活動に関しては、1992年震度Vが6回も観測されるような西表島群発地震(M=5.2)が沖縄県内の南の離島である西表島を中心に発生している [4]。1771年には11,861人の住民が主に津波で亡くなった八重山地震津波(M=7.4)や、奄美大島の近海に位置する喜界島近海で1911

*1 (有)長嶺総合設計・所長(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)

年、 $M=8.0$ の大地震も発生している [5]。このように沖縄県といえどもその近海も含めて地震がないわけではない。

3) 1968年 $M=7.9$ の十勝沖地震が発生し、RC造柱のせん断破壊が数多く見られ、その結果RC造柱のせん断補強のありかたが大きな課題になった。このように、1971年(沖縄が日本に復帰する1年前)を節目としてRC柱のせん断補強が大幅に強化されたが [6]、このことが沖縄でもただちに、完全に実施されたかどうか検討する必要がある。

4) 亜熱帯の島嶼環境(高温、高湿度を避け、風通しのよい高床式の建物が好まれる)、さらには車社会と有効な土地利用の観点からピロティ形式(1階が車の駐車場)、すなわち地震に弱いソフトストーリータイプのRC造建物が他の都道府県に比較して圧倒的に多い。

5) 沖縄県は亜熱帯地域に位置し、温度と湿度が高い上に台風も多く、南北に細長い島が周り海に囲まれ飛来塩分も多く、他の都道府県に比較して鉄筋が腐食しやすい地域環境にある。

6) 1972年に沖縄は日本に復帰したが、その前後をはさんで約10年間にわたり、未洗浄の海砂が多量に用いられた結果、塩害による鉄筋腐食が生じ、鉄筋の膨張によるひび割れが進展し、雨漏れ、かびやかぶりコンクリートの剥離、剥落現象といった日常生活上危惧されるようなRC造建築物も数多く見られる。その数は我々の過去3年間にわたる公営集合住宅134棟3286戸の塩害による建物損傷調査結果によれば、沖縄県で今日まで建設された全RC造建築物の約20%から30%におよぶものと推定される [2]。

3. 調査建物概要

本建物は1970年に竣工後、1997年現在で約27年経過した一部耐震壁を含むRCラーメン構造の地上6階、一部地下2階建て(GL+22.8m, GL-6.1m)であり、途中階に吹き抜け空間などが設けられた構造物である(図-1参照)。外観や室内はかぶりコンクリートのひび割れや一部剥離・剥落など劣化現象が現れており、既に建物の一部は補修されている。特に外観に関しては、現在損傷したかぶりコンクリートの剥落による地上の安全性を確保すべく防護ネットが建物の2階部分に建物を1周する形で設置され、日常生活における安全性が十分すぎるほど確保されている。

4. 耐久性に関する調査

4.1 目視による損傷状態調査

建物の外観は、特に壁面や庇水切り部に剥離・剥落箇所が数多く、路上から目視確認ができるほど剥離・剥落面積も大きい。しかし、これらの部分は日常安全性の確保のため補修・補強が入念になされている。建物室内において各階ごとに目視調査した結果全体的にいえるのは、有害なひび割れといわれる 0.2mm 以上のひび割れが多く、最高で 3.5mm のひび割れも見られた。また、事務所空間より非常階段室の剥離・剥落部分が非常に多く、鉄筋や配管の腐食が激しかった。ひび割れの原因として本建物は、乾燥収縮、塩害による鉄筋や配管の腐食の2点に集約されそうである。その

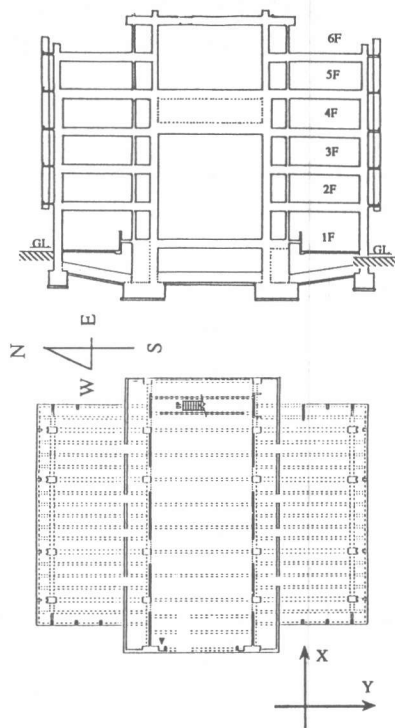


図-1 調査建物の断面図と3階平面図とX、Y方向

中でも鉄筋や配管の腐食によるひび割れが最も多いと推定される。これは後で述べるコンクリート中に多量の塩化物を含んでいるためだと考えられる。

4.2 コンクリートの圧縮強度試験

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。よって本建物のコンクリートの圧縮強度を知るために採取コンクリートコアの圧縮強度試験を行い、

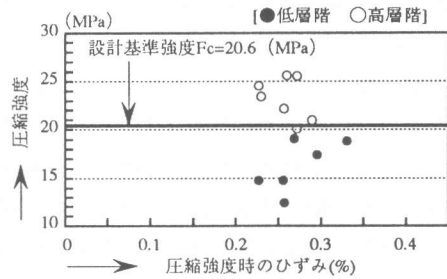


図-2 採取コンクリートコアの圧縮強度-ひずみの関係

コンクリートの圧縮強度とその時のひずみの関係を図-2に示す。試験結果より、平均圧縮強度は設計時の設計図書に明記されている20.6MPa (210kgf/cm²)を高層階(5, 6, 屋上階)はほぼ満足しているが、低層階(1階, 地下1階)はすべて下回っている。どの試料も、応力ひずみ曲線には特別な変化は見られなかった。しかし、このように設計基準強度を下回っている状態では耐久性は勿論のこと、耐震性能も危惧される。特に低層階は上層階からの大きな軸圧縮力を支えなければならないことを考慮すると、低層階の圧縮強度が上層階の圧縮強度より全般的に低いことは望ましいことではない。

4.3 コンクリートの塩化物含有量

塩化物量の総量規制値である塩化物量0.3kg/m³ [7]と、内部鉄筋が著しく腐食する限界となると言われているコンクリート中の塩分量0.03% (NaCl/コンクリート重量)である鉄筋腐食危険ラインをガイドライン [8]に、コンクリートコアに含まれる全塩分の測定結果を整理し、低層階、高層階の室内と屋外について一部を図-3に示す。

コンクリートコアはそれをコア高さ方向に薄くスライスして、塩化物のコンクリート内部への浸透、又はコンクリート内部に元々含まれている塩化物を測定した。全体的にみると、低層階は高層階より塩化物含有量が少なかった(図-3参照)。塩化物量規制値である0.3kg/m³以下を満たしている試料は少量で、多くの試料はその規制値を大幅に上回っている。特に室内5階ホール階段手摺に至っては、部分的に規制値の15倍前後に及ぶ多量の塩化物量が含まれていることがわかる(図-3参照)。また、参考までに室内で採取したかぶりコンクリート破片も測定してみたが多いところで規制値の10倍以上の塩化物量が含まれていた。調査の結果、90%以上の試料が塩化物量

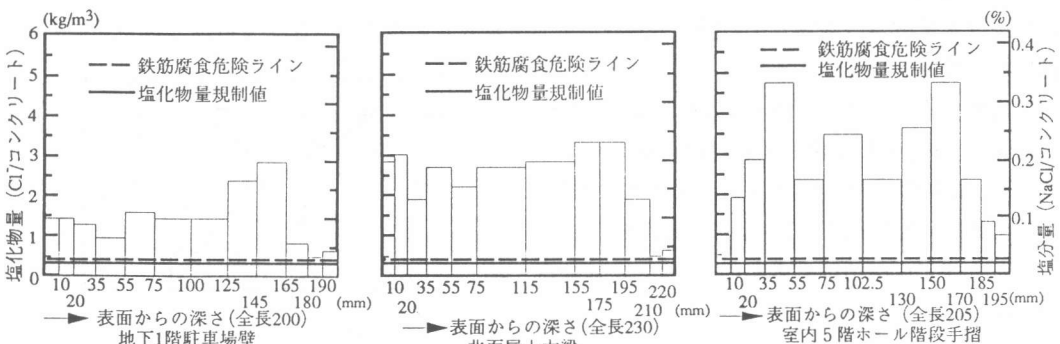


図-3 採取コンクリートコアに含まれている塩化物量 (全塩分)

規制値や鉄筋腐食危険ラインを上まわっている(図-4参照)。したがって、屋上階では飛来塩分の影響が一部あるとしても、基本的には十分に洗浄されていない海砂が細骨材として、その当時利用されたと考えられる。このことは主に沖縄県住宅供給公社の依頼により、山川らがこの3年間毎年行ってきた沖縄県のRC造公営集合住宅の塩害による損傷調査結果(図-5参照)とも符合するものである [1] [2]。

4. 4 コンクリートの中性化、かぶり厚さ、鉄筋の腐食

本建物の目視調査と、コンクリートコアを採取した際にコンクリートの中性化、かぶり厚さ、鉄筋の腐食グレードを測定した。コンクリートの中性化に関しては、鉄筋位置まで中性化は至っていなかった。かぶり厚さは、非常階段室の一部を除いてはほとんどの試料が所定のかぶり厚さを満足していた。鉄筋の腐食は、高層階で採取した試料に断面欠損が起こっており、コンクリートに剥離した鉄筋が錆汁とともに付着している状態のものや、浮き錆が全長にわたって起こっているものがほとんどであった。すなわち、腐食グレードがIII~IVに到達している試料が目立った。しかし、低層階の試料は全く健全であるか、あるいは鉄筋表面に小さい錆が斑点状にでている程度である腐食グレードIであった。

5. 耐震性に関する検討結果

本建物の耐震性の検討は3つの観点から検証した。本建物に1981年施行された新耐震設計法を適用して構造計算を行った場合(1次設計)、次いで2次設計に該当する本建物の保有水平耐力と必要保有水平耐力の計算とその結果の比較、そして最後に耐震診断ソフトを利用して本建物の耐震性能の検証を行った。

本建物を構造的にX方向とY方向に分け、かつ1981年に施行された新耐震設計法を適用して計算した。層間変形角はX、Y方向ともすべて1/200以下であり、規定を満足している。剛性率もX、Y方向とも規定の6/10以上を満足し、偏心率も規定の15/100以下を満足している。そこで、ルート「2」-1を適用して、簡便的に本建物の耐震強度を検討したのが図-6である。これらの図による

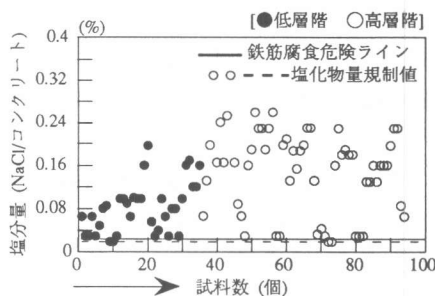
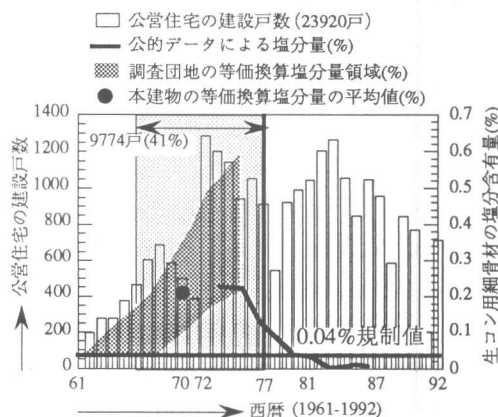


図-4 低、高層階の採取試料の塩分量の分布



- 1961: 那覇市営安謝団地竣工
- 1972: 沖縄が日本に復帰し沖縄県発足
- 1977: 細骨材に関する0.04%塩分規制値の建設省通達
- 1981: 新耐震設計法施行(沖縄県の地域係数0.7)
- 1987: コンクリート中の全塩分に関して0.3kg/m³の総量規制値の建設省通達
- 1992: 公営住宅の建設戸数の公的最終集計年度

図-5 沖縄本島の公営集合住宅の建設戸数と生コン用細骨材の塩分含有量

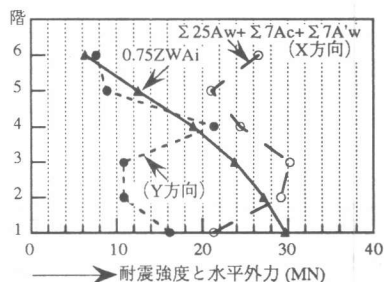


図-6 ルート「2」-1による耐震強度

と、本建物の耐震強度は規定の想定地震力による層せん断力（水平外力）を下まわっていることがわかる。特に、Y方向の耐震強度が下層階で著しく不足している。すなわち、想定地震力に対して、水平抵抗できる耐震部材としての耐震壁（Aw）、耐力壁を含む雑壁（A'w）及び柱（Ac）の断面積が不足していることを意味する。さらに、RC部材の曲げ破壊先行が保証されているかどうかを検証するために、1階の柱について曲げ強度とせん断強度の比較を行った。曲げ強度に基づくV-R曲線の計算にはファイバーモデルを用い材軸方向に曲率分布を仮定し[9]、かつ帯筋の横拘束効果を考慮したコンファインドコンクリートの構成則[10]を用いて計算した。その結果図-7から、X方向ではせん断破壊にともなうせん断強度[11][12][13]と曲げ破壊時の存在せん断力（これを以降、曲げ強度と呼称する）はほぼ等しいが、Y方向はせん断強度が曲げ強度より低く、せん断破壊が完全に先行する結果になっている。それは、主筋比が大きい割には（16-D32, $P_g=2.65\%$ ）、せん断補強筋比（帯筋比） P_w があまりにも小さいからである（2-D10, @300, $P_w=0.06\% \sim 0.08\%$ ）。

ルート[2]を満足していないので、ルート[3]に基づく保有水平耐力の確認を行う。本報告では、増分解析法で解析した結果を述べる。ただし、これらの解析法は部材の曲げ降伏が前提になっているので、せん断破壊する柱や梁が骨組みに含まれている場合は、それも考慮にいれて総合的に判断する必要があると思われる。本建物を耐震壁を含んだラーメン構造とみなし、増分解析法による弾塑性構造解析を行っても、図-8に示すように本建物の保有水平耐力は現行の耐震設計法が必要とする保有水平耐力より、はるかに小さいことがわかる。図-8が図-6と対応していないように見えるのは、図-6が各階ごとに独立して耐震強度を計算することに起因している。一方、図-8は剛床仮定を前提に各平面骨組を水平バネで結び疑似立体解析を行ったことになるが、その中の耐震壁を含むX方向の骨組がソフトストーリータイプのため、保有耐力が1階で支配されたことによるものと推定される。これに図-7に示した柱のせん断破壊が曲げ破壊より先行することを考慮

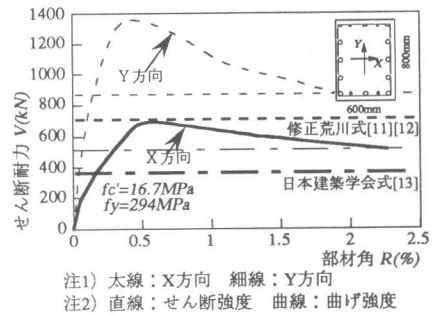


図-7 1階柱のX, Y方向の水平耐力計算値

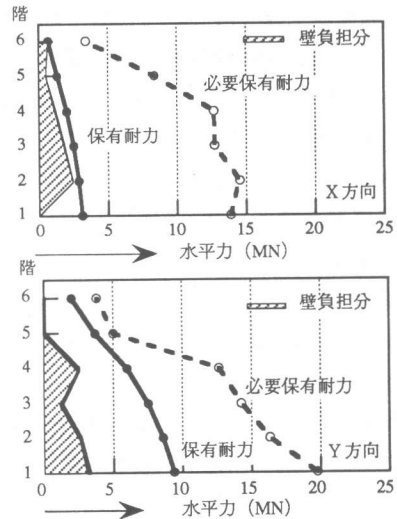


図-8 X, Y方向の水平耐力（耐震壁を含む）

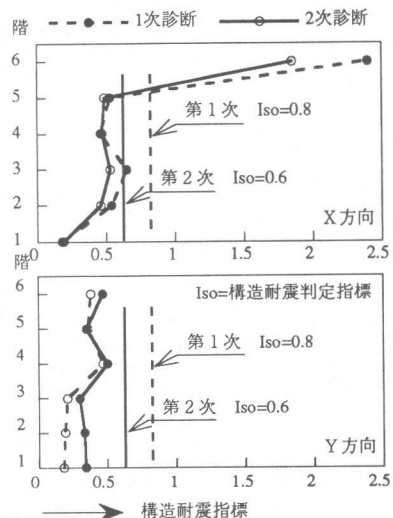


図-9 X, Y方向の構造耐震判定

すると、本建物の保有水平耐力はさらに小さくなるものと推定される。

最後に耐震診断の基準による構造耐震指標 (Is) と構造耐震判定指標 (Iso) を、建物の各階の X および Y 方向それぞれについて算定する [14]。第 1 次及び第 2 次診断とも形状指標については 0.891 を使用し、経年指標、地域指標、地盤指標、用途指標の値はすべて 1.0 を使用する。ひび割れが生じ、かなり損傷をきたした RC 柱でも、顕著な耐震性能の劣化を一定軸圧縮力下の正負繰り返し水平加力実験から認めることができなかった [15]、本報告ではあえて経年指標に 1.0 の値を採用した。図-9 より明らかなように、本建物の構造耐震指標 Is が第 1 次、2 次診断とも構造耐震判定指標 Iso を下まわっている。

6. 結論

1) 耐久性能上最も関心の高い塩化物含有量測定では、低層階は高層階に比べてやや少ないが、調査した 90% 以上の試料が鉄筋腐食危険ライン及び塩化物量規制値を越えている。特に高層階では 90% 以上の試料が規制値の 9 倍以上の塩分を含んでいた。屋上階では飛来塩分の影響が一部あるとしても、基本的には十分に洗浄されていない海砂が細骨材として、その当時利用されたものと考えられる。このことは山川らがこの 3 年間毎年行ってきた沖縄県の RC 造公営集合住宅の塩害による損傷調査結果 (図-5 参照) とも符合するものである [1] [2]。したがって、本建物は相当量の塩化物を含んでおり、今後塩害による損傷はさらに進行するものと思われ、耐久性能上もかなり憂慮すべき状況にある。

2) 本建物は 1981 年に施行された新耐震設計法を満足させることができず、必要保有水平耐力を保有水平耐力が大幅に下まわっている。また、構造耐震判定指標も満足していない。しかも、大きな鉛直荷重を支える下層階の柱はせん断破壊が曲げ破壊より先行し、ねばりに欠け、かつ採取したコンクリートコアの圧縮強度試験からその圧縮強度も設計基準強度 (20.6MPa) に達していない。したがって、耐震性能上問題の多い建物であると断定せざるを得ない。

参考文献:

- 1) 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 6 月
- 2) 今村大樹, 山川哲雄, 伊良波繁雄: 沖縄県の RC 造公営集合住宅 15 団地の塩害による建物損傷調査研究 (その 1, 2), 日本建築学会学術講演梗概集 A-1, pp.291~294, 1996 年 9 月
- 3) 山川哲雄: 阪神大震災と沖縄の建物, 琉球大学工学部紀要第 50 号, pp.71~88, 1995 年 9 月
- 4) 片岡俊一, 横田治彦: 西表島群発地震の地震被害調査と強震観測, 日本建築学会大会学術梗概集 B-1, pp.47~48, 1993 年 9 月
- 5) 木村政昭: 地震と地殻変動, 九州大学出版会, pp.54~75, 1985 年 9 月
- 6) 日本建築学会関東支部: 鉄筋コンクリート構造の設計-構造計算のすすめ方・2-1, 日本建築学会関東支部, pp.49~52, 1988 年 2 月
- 7) 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-建築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 年
- 8) 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
- 9) 萩洪涛, 山川哲雄: 鋼管と帯筋で二重に横補強した RC 柱の弾塑性挙動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.387~392, 1995 年 6 月
- 10) J.B.Mander, M.J.N.Priestley and R.Park: Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, ASCE Journal of Structural Eng., Vol.114, No.8, pp.1804~1826, Aug.1988
- 11) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, pp.167~192, 1991 年 4 月
- 12) 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, pp.157~165, 1981 年 6 月
- 13) 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, pp.104~121, 1990 年 11 月
- 14) (財) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準同解説 (改訂版), (財) 日本建築防災協会, pp.1~120, 1995 年 7 月
- 15) 山川哲雄, 中山耕一, 清川耕三, 太田達見: 電食試験により腐食した RC 柱の耐震性能に関する実験 (その 1, 2), 日本建築学会 1996 年大会 (近畿) 学術講演梗概集, pp.231~234, 1996 年 9 月