

# 琉球大学学術リポジトリ

## 台湾集集地震による建築物被害と台湾・沖縄の課題

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): Taiwan, earthquake, damaged or collapsed buildings, seismic performance, soft story 作成者: 山川, 哲雄, 張, 翠萍, Yamakawa, Tetsuo, Chang, Tsui-ping メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/5450">http://hdl.handle.net/20.500.12000/5450</a>

# 台湾集集地震による建築物被害と台湾・沖縄の課題

山川 哲雄\* 張 翠萍\*\*

## Damages to Building Structures Caused by the 1999 Chi-Chi Earthquake and Related Issues in Taiwan and Okinawa

Tetsuo YAMAKAWA\* and Tsui-ping CHANG\*\*

### Abstract

At local time of 1:47 a.m. on September 21st 1999, a 7.7 Richter scale earthquake struck Taiwan at its geographical center a mountainous village called Chi-Chi. The measured maximum seismic accelerations at the epic center were 990 gal east-west, 563 gal north-south, and 520 gal vertical, respectively. The quake is the strongest ever recorded in Taiwan for the past 100 years. This earthquake caused approximately 2,400 dead and 12,000 injured. Collapsed and heavily damaged buildings exceeded 18,000 and an estimated property loss reached to 100 billion US\$. Based on the field investigation conducted in Taiwan, damage to building Structures caused by the 1999 Chi-Chi earthquake is introduced. Special emphasis is placed on the damage to the reinforced concrete buildings. These earthquake damaged or collapsed buildings gave a hard lesson to us. Also, they made us discuss problems on the seismic design codes and seismic performance of buildings in Taiwan and Okinawa.

Key Words: Taiwan, earthquake, damaged or collapsed buildings, seismic performance, soft story

### 1. はじめに

1999年は世界の各地で大地震が頻発している。1999年1月25日南米コロンビアでキンディオ地震M6.2(死者数1,171), 8月17日トルコでコジャエリ地震M7.4(死者数15,466), 9月7日ギリシャでアテネ地震M5.9(死者数124)[1][2], そして9月21日台湾で集集地震M7.7(死者数2,405), さらに11月12日同じトルコでトルコ北西部地震M7.2(死者数452)[3]と続いている。これら各地の地震被害のうち, 経済や社会構造, そしてそのレベルが日本に類似し, かつ沖縄に隣接し, 地理的環境も類似し, しかも民間レベルの交流が盛んな台湾に注目して主に建築物の被害調査を行った。

台湾は日本の九州とほぼ同じくらいの面積を有し, そこに約4000万人の人々が日々の生活を営んでいる。台湾も沖縄と同様にほとんどの建築物が鉄筋コンクリート造であるが, 沖縄によく見られる典型的なピロティ建築物, すなわち1階のSPANおよび桁方向とも壁が無く柱のみで構成され, 2階以上の上階には壁が存在する建築物は少ないようである。ただし, 台湾では地震被害として大破もしくは損傷を被っているソフトストーリータイプの建築物が多く見られた。本報告

では, これらの被災した建築物を損傷種類や要因別に整理し, 沖縄と台湾にそれぞれ居住している著者らが現時点での個人的感想や考えをとりあえず整理したものである。

### 2. 台湾集集地震の観測波

台湾は沖縄と同じように亜熱帯環境下にあり, しかも沖縄同様に木造の家屋がきわめて少なく, ほとんどの建物が鉄筋コンクリート造である。しかし, 沖縄に数多く見られる典型的なピロティ建築物はきわめて少ないようである。ただし, 1階がソフトストーリー(剛性が小さい)やウイークストーリー(耐力が小さい)タイプの建物は多い。一方, 台湾には活断層が数多く走っており, 図-1に示すようにフィリピン海プレートとユーラシアプレートが台湾内陸部で衝突しており[4], そのため台湾内陸部や東海岸, そして太平洋側で過去から繰り返し数多くの大地震が発生している場所である[5]。資料[5]から, 台湾で1900年以降起きた地震で死者数が100人を上回った地震災害を整理して表-1に示す。表-1に付随した図-2からもわかるように, これらの地震はすべて, 今回の集集地震と同じように台湾の太平洋側を南北に走る中央山脈より西側の内陸部で生じている。もっとも, 太平洋側でもかなりの地震が頻発している。しかし, 人口密度が低いためか大きい被害は少ないようである。日本列島と同様に台湾も振動台上の島であり, 世界で有数な地震国

受理: 1999年12月6日

\* 環境建設工学科

(Dept. of Civil Eng. and Architecture, Fac. of Eng.)

\*\* 台湾・実践大学

(Taiwan・Shih Chien University)

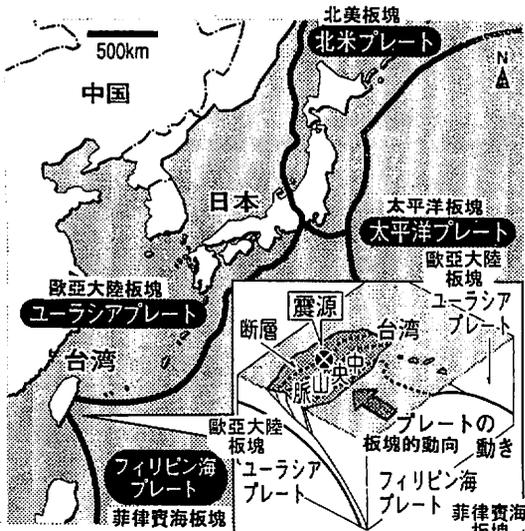


Fig.1 台湾と日本のプレート  
 (沖縄タイムス1999/9/22付けの朝刊)  
 図-1 台湾と日本のプレート (沖縄時報,1999.9.22 日報)

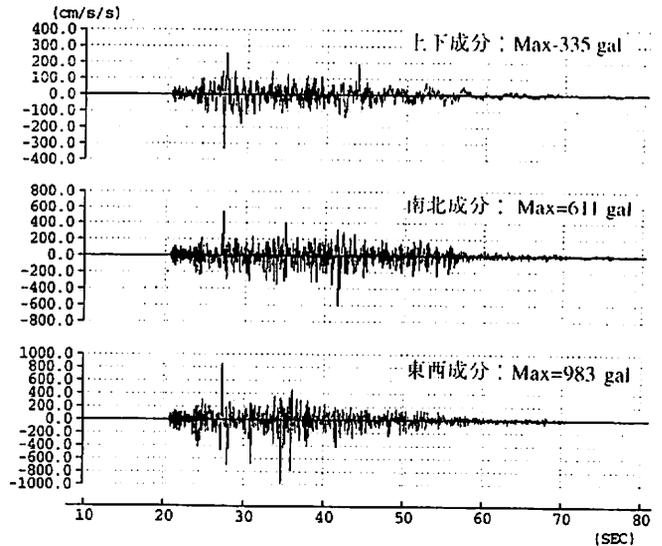
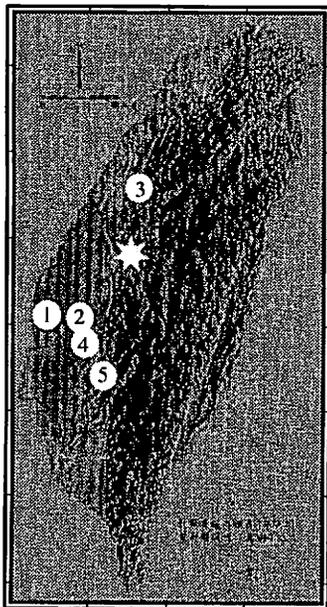


Fig.3 台湾中央気象局による観測加速度波形 (サイト: TCU129)  
 図-3 台湾中央気象局公佈の観測加速度波形

Table 1 100人以上の死者が出た1900年以降の台湾の地震 (資料5)  
 表-1 1900年以後・造成死亡100人以上の台湾地震 (資料5)

地震名称	地震発生日年月日	震源深度 (km)	地震規模 (M <sub>L</sub> )	死者数 (人)
1 斗六地震	1904/11/06	7.0	6.1	145
2 梅山地震	1906/03/17	6.0	7.1	1258
3 新竹-台中地震	1935/04/21	5.0	7.1	3276
4 中埔地震	1941/12/17	12.0	7.1	357
5 白河地震	1964/01/18	18.0	6.3	106



①~⑤: Table 1 の地震 : 表-1の地震  
 ☆: 台湾集集地震M7.7(1999/9/21)の震源地

Fig. 2 Table 1 の地震発生場所  
 図-2 表-1 的地震発生地点

であることは確かである。

そのような地理的環境におかれた台湾で、1999年9月21日深夜午前1時47分(現地時間)にM7.7の大地震が台湾中部の南投県集集付近(北緯23.86°, 東経120.81°, 震源深さ11km)で起きた。震源地から西に(台湾海峡に向かって)約10km離れたサイト(TCU129)で観測された地震加速度波形は台湾中央気象局の公開記録によると、東西成分で最大983, 南北成分で最大611, 上下成分で最大335gal(cm/s/s)となっている。これらの加速度波形を上から順に、上下, 南北, 東西成分ごとに図-3に示す。これらの観測波形のうち、最大加速度を記録した東西成分をその速度波形とともに図-4に示す。と同時に、比較する意味で1995年1月17日に起きた兵庫県南部地震M7.2(阪神・淡路大震災)で観測された神戸海洋気象台の最大加速度波形と速度波形の各南北成分も、図-4に合せて示す。

図-4から、台湾の集集地震が兵庫県南部地震より継続時間が長く、加速度も若干大きい、速度は逆に小さい傾向にある。しかし、これらの観測波形は観測された場所の表層地盤特性の影響を強く受けることに留意する必要がある。これらの地震波を建物に入力した場合、建物の応答加速度や応答速度は弾性レベルでどの程度になるものかを示したものがレスポンススペクトルであり、それを図-5に示す。図-5より、台湾集集地震は建物の固有周期が0.2秒(3-4階建てのRC造)をはさんでその前後にピーク値があるが、兵庫県南部地震は0.5秒(8-10階建てのRC造)をはさんでその前後にピーク値が見られる。しかも、両地震ともピーク値の値が250gal前後ときわだって大きい。これは重力加速度の約2.5倍に相当する。一方、速度応答スペクトルでは台湾集集地震波が固有周期によらず、0.2秒を越えたあたりから100kine(cm/s)前後の応答値になっている。しかし、兵庫県南部地震では1秒(20階建て前後のRC造)少し前で250kineを越えている。

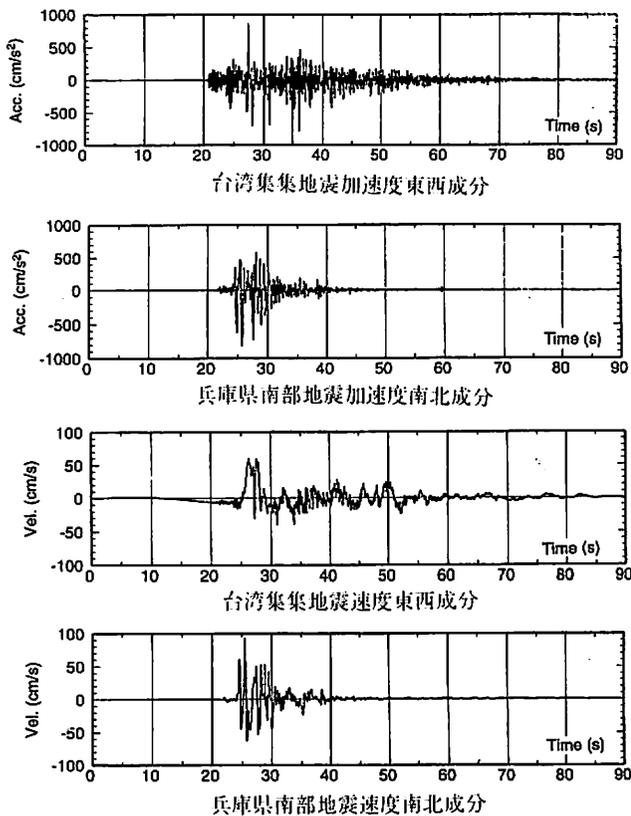


Fig.4 台湾集集地震M7.7 (TCU129)と兵庫県南部地震M7.2 (神戸海洋気象台)の観測波形 (清水建設 (株) 和泉研究室提供)  
 図-4 台湾集集地震 M7.7 (TCU129) 與兵庫県南部地震 M7.2の観測波形

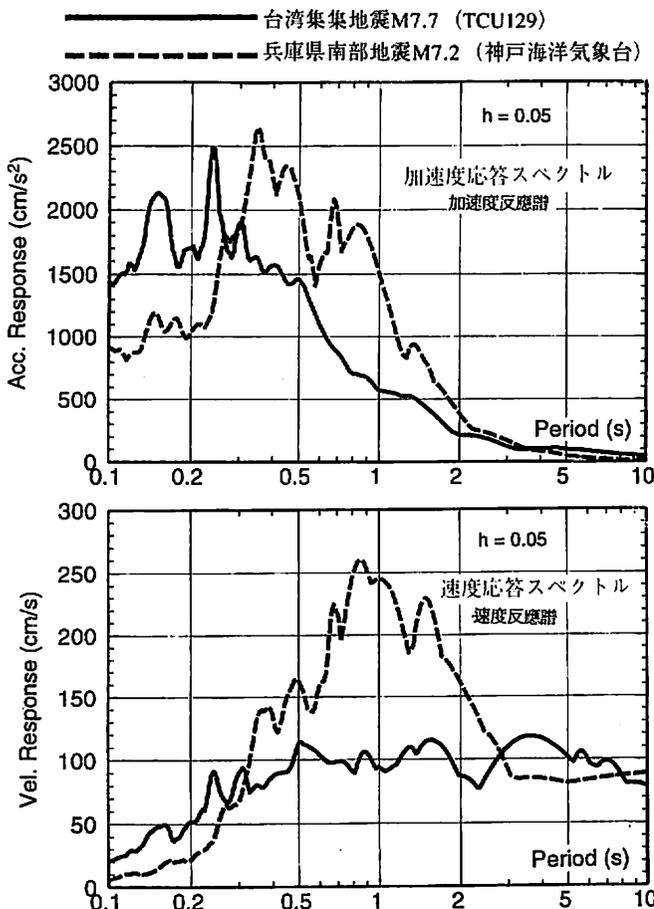


Fig.5 加速度と速度に関する応答スペクトルの比較 (清水建設 (株) 和泉研究室提供)

図-5 加速度與速度反應譜 (Response spectrum)的比較 (清水建設和泉研究室提供)

いづれにしても、両地震ともかなりの破壊力を持った大地震ということになる。ちなみに、1981年に施行された日本の新耐震設計法において2次設計で耐震安全性を検証する場合には、図-4の加速度レベルでせいぜい400gal前後を想定しているにすぎない。動的解析、すなわち地震応答解析では40から50kine程度である。

### 3. 台湾の耐震設計法

台湾は1895年の日清戦争後から1945年第2次世界大戦終了までの約50年間、日本の統治下にあった。したがって、日本の耐震設計法が台湾にも大きな影響を与えている。すなわち、日本では1923年の関東大震災後 (M7.9) の1924年に、1919年に施行した市街地建築物法を一部改正し、震度法という形で設計用地震力を世界で初めて導入した。これを受けて台湾も日本とまったく同じ震度法を採用した。第2次世界大戦後台湾は中国に返還され、日本では1950年に市街地建築物法が建築基準法へと改められ、設計震度が0.1から最大0.2へととなる一方、材料の許容応力度も2倍引き上げられた[6]。ただし、設計震度に関しては但し書きで戦前の0.1もそのまま残し、結果的に0.1から0.2までを建築基準法では許容した。しかし、台湾では設計震度が0.1のまま、コンクリートや鋼材の許容応力度のみが倍増された[7]。このことは第2次世界大戦後米軍統治下に置かれた沖縄が、日本の建築基準法を準用する形で設計震度を0.1のまま、材料の許容応力度のみ2倍に引き上げたことと、同じである。その当時、沖縄駐留の米軍は沖縄に軍の施設を建設する際にアメリカのUBC (Uniform Building Code)[8]を適用した。そのコードでは沖縄をゾーン4 (そのコードで最も高い地震地域) に位置づけ、カリフォルニア州と同じ扱いにした。その設計用地震力が後述するように日本の設計震度0.1とほぼ対応するものであったので、アメリカ統治下の琉球政府はその影響を受けたものと推測される。このような背景も加わり、沖縄が日本に返還された1972年以降1981年の新耐震設計法の実施まで、設計震度0.1が継続された。これは新耐震設計法で地域係数が東京や大阪・神戸の半分である0.5に相当する。

一方、台湾では日本の震度法から1974年、アメリカのUBC (Uniform Building Cord) [8]を参考にベースシャー係数法に変わった。設計用全地震力が地震地域係数、構造特性係数、基準ベースシャー係数および建物重量の乗算で与えられることになった。このなかで基準ベースシャー係数が地盤の種別と無関係に、建物の1次固有周期の関数として最大0.1以下で与えられた。そして、1982年に基準ベースシャー係数が最大0.15に引き上げられるとともに、新たに建物の用途係数が導入された。ちなみに、用途係数が重要な建物 (消防、警察、病院、発電所など) については1.5、公共性の高い建物 (学校、劇場、集会場など) は1.25、住宅などの一般建物は1.0となっている。

1989年基準ベースシャー係数が一部改正され、1

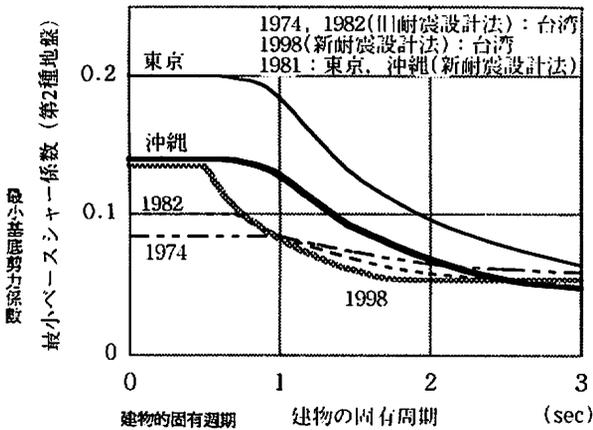


Fig. 6 許容応力度設計用最小ベースシャー係数の比較  
 図-6 容許応力度設計用最小基底剪力係数的比較

1998年1月地盤種別を考慮した新耐震設計法が台湾で施行された。この設計の基本的考えは、中地震に対して構造体がほぼ弾性内に納まり、大地震に対しては塑性変形を生じて安全性を確保できるように、変形性能を考慮したものになっている。しかも、高さ50m未満あるいは15階未満は静的解析のみでよいが、50m以上あるいは15階以上の建築物は必ず動的解析が義務づけられている[9]。日本の場合は建築物高さが60mを越える場合には動的解析を必要とする[10]。これらのことから、台湾の新耐震設計法（1998年）は日本の新耐震設計法（1981年）と類似していることがわかる。しかし、設計用地震力は同じ地震多発地域でありながら、台湾の方が日本より小さいようである。

台湾の旧基準である1974年、1982年および新基準としての1998年の耐震設計法と、日本の現行耐震設計法（1981年の新耐震設計法）をベースシャー係数レベルで設計用地震力として比較する。用途係数は日本の耐震設計法にはないので1.0、最も靱性が期待できるRC造ラーメン構造とし、かつ最も高い地震地域係数における台湾と日本（東京と沖縄）を比較する。これらは台湾で許容応力度設計レベルであり、日本でも同様に許容応力度設計レベルに等しい1次設計レベルである。ただし、台湾の計算には構造特性係数（塑性変形能力）が含まれているので、日本の許容応力度レベルで比較することには適正さを欠く面もないことはない。しかし、これらの値を終局強度レベルに換算すれば、そのような問題はなくなる。そのため、台湾ではその荷重係数に従い1.403倍し[7]、日本ではこの場合RC造ラーメンで1.5倍することも、おおまかな概算値として考えられる。上記の仮定や条件に従って、台湾と日本、さらに沖縄と比較するため第2種の普通地盤について、許容応力度設計用ベースシャー係数を図-6に示す。図-6によれば、建築物の短周期領域で台湾の新基準は日本（東京）の約2/3ということになり、それは現行の沖縄にほぼ等しいことになる。また、日本で新耐震設計法が施行される1981年以前の沖縄が、台湾の1974、1982年の旧耐震設計コードにほぼ匹敵し、台湾と沖縄は設計用

地震力が昔から現在までお互いにほぼ等しいことになる。地震活動度が沖縄より高い台湾が、日本で最も小さい沖縄とほぼ等しい設計用地震力でよいかどうかは、今後議論の余地がかなりありそうである。

#### 4. 地震被害について

台湾の地震被害をおおいた分類すると次のようになる。これらはいづれも、かつて日本でも経験したものばかりである。ただし、規模の大きさから以下の3)と、5)の埋め込みパイプが台湾で多く観察された程度である。

- 1) ソフトストリー（水平剛性の立面上不均等）による層崩壊（Photo 1-6 参照）
- 2) 角地の建物の層崩壊（水平剛性の平面上不均等）（Photo 7-11 参照）
- 3) 活断層やその近傍の構造物の崩壊（Photo 13-17 参照）
- 4) RC短柱のせん断破壊（Photo 19-24 参照）
- 5) 柱の埋め込みパイプと配筋詳細の欠落（Photo 25-28 参照）

これらの分類にしたがって、著者ら自身が台湾で撮影した被害例を写真-1から写真-31に示す。特に、ソフトストリートタイプの建物の崩壊については、1999年10月9日付けの台北の英字新聞「TAIPEI TIMES」が「Soft stories teach a hard lesson Taiwan's construction engineers」という見出しで、RC造建物3棟の崩壊写真をかかげていたのが目についた。しかし、この英字新聞に掲載している写真は3棟とも角地の建物であり、上記の2)に該当するケースであると思われる。ただし、ソフトストリー側面も一部存在する。そのほかに、ウィークストリー（水平強度の弱い層）の問題も含まれるが、本節ではソフトストリー（水平剛性の弱い層）に代表させておく。

写真-1から6まではいずれも1階がソフトストリーのため崩壊した建物である。特に台湾では写真-1に見られるように、商店街では1階が桁方向に街路を兼ねた建物が多い。スパン方向には間仕切り壁があるのでスパン方向は強く、桁方向がソフトストリーになり、その方向に壊れた例である。写真-3、4も商店街であり、1階もソフトストリーのため、水平方向の大変形と上からの鉛直荷重により完全につぶれている。写真-2はマンションであり、写真-5、6はトラックターミナルである。トラックターミナルではドライバーが2階の宿舎で睡眠中の深夜地震が発生したため、人間が助かりトラックが犠牲になったものと推定される。

写真-7から10まではいずれも角地の建物の1階が完全につぶれ、写真-11は建物の1階が損傷し、傾いた例である。特に写真-7は警察署の建物であり、このように重要な施設が地震時に崩壊して、最も必要とされる時にその機能を発揮することができないことはゆゆしき問題である。写真-7から11まではいずれも角地の建物であり、偏心率の問題を中心に剛性率の問題も加わり、特に弱い1階に損傷が集中したものと推定される。写真-12は既存の建物に接続用（重ね継ぎ）の

鉄筋を出した例である。台湾では商店街で隣接建物はお互いに隙間なく、連続して建てられることが多いようである。そのため角地以外の建物の耐震性能は結果的に高くなる傾向にある。また、隣の建物と連続して建てられない角地の建物でも、通りに面した角の2面はショウウィンドウやエントランスのため必然的に開口部が多くなるが、残りの2面は他の建物と隣接し、結果的に壁が設けられることが多くなる。そのため、平面上水平剛性が偏在することになり、地震時に大きなねじりモーメントを受けやすくなる。以上の考察から、写真-7から11に示すように台湾では角地の建物の被害が目立つことになったと推定される。

写真-13から18までは活断層上の地盤が盛り上がった状況と、それに起因する建造物などの被害例である。写真-13, 14に中学校の運動場が上下に1 mから2 m隆起している状況を示す。写真-15, 16は写真-13, 14に隣接した校舎の崩壊例である。パンケーキ状に崩壊した校舎の下を断層がすり抜けている[9]。建物が地盤変状のため、過大な強制変形を受けた状況であろうと思われる。それにしても建物に靱性が欠落しているがゆえに、なんら抵抗することもなく一瞬のうちに全層崩壊(パンケーキクラッシュ)に至ったであろうことは容易に想像できる。もし、これが授業が行われている昼間であれば、多くの生徒が犠牲になったであろう。このような場合でも、建物に強靱なねばりがあればそれ相当の損傷は免れないにしても、全層崩壊するような最悪の状況は避け得たと思われる。耐震設計工学や防災工学が目標とするものは、どんな大地震に対しても人命の保護や安全の確保・保障でなければならない。そのためには地震によってある程度の損傷は避けられないにしても、地震が終わった後も鉛直荷重を安心して支えられるような構造物でなければならない。大地震を防止することはもちろんのこと、タイムスパンの極めて長い大地震の発生を予知することもできない現在、いつ大地震が起きても絶対に写真-15, 16のようなパンケーキクラッシュや、写真-11までに見てきたような1階の層崩壊を防止できるものでなければならない。写真-17は建築物ではなく、ダム崩壊例である。写真の左端が地震前の状態であり、その右側が地盤の隆起によりダムが約9 m前後持ち上げられ、崩壊に至った例である。自然の脅威をまざまざと見せつけられた思いである。写真-18は表層地盤が隆起し、軽トラックのみが商店の街路で持ち上げられた例である。

写真-19から24までは、RC造極短柱および短柱のせん断破壊や付着割裂破壊の例である。このような例は過去にも日本でよく観察されている。特に短柱のせん断破壊は1968年の十勝沖地震で数多く見られ、日本では1971年に建築基準法が一部改正され、このような脆性的なせん断破壊を防止するために柱のせん断補強筋が強化されている。写真-19では腰壁のため、柱が極短柱になりせん断力の大きい2階ですべての極短柱がせん断破壊し、上階からの鉛直荷重、すなわち軸圧縮力で押しつぶされ、帯筋で囲まれたコアコ

ンクリートがはじけている。その結果、主筋が座屈している。1階は耐震壁が配置され、しかも長柱のため破壊を免れている。3階も一部の柱にせん断破壊が生じている。写真-20は日除けのためのルーバーかどうか分からないが、階の中間に配置された梁によって、せつかくの長柱が極短柱になり、典型的なせん断破壊を生じている。写真-21-24は短柱のせん断破壊や付着割裂破壊の例である。1968年の十勝沖地震の教訓が台湾でも活かされていたら、このようなせん断破壊は防止できたと思われる。地震災害は犠牲者や被災者には不謹慎で、たいへんに申し訳ない酷な言い方ではあるが、見方を変えれば自然の壮大な実在実験でもある。したがって、これらの地震によって引き起こされた災害の実体を調査し、正確な記録を後世のため、また学術研究のため残すとともに、さらに被害の発生要因を分析し、これらの教訓を得て、そのすべてを世界の人々と共有することは世界の各地で頻発する地震災害の軽減に寄与することになることは明らかであろう。

写真-25から28までは塩ビ管でできた雨水用パイプが埋設され、しかも破壊した柱の例と、コアコンクリートを拘束した帯筋がはじけた例である。なかでも写真-25, 28はコンクリートの品質も疑われるような例である。雨水パイプを柱のコアコンクリート内に埋設することは、断面欠損になり、その分だけせん断耐力が減少するとともに、帯筋によってコアコンクリートがはじけないように横拘束しているのを阻害することになり、柱の靱性確保が困難になることを意味する。ちなみに、写真-30は1997年の鹿児島県北西部地震M6.5で被害を受けた高校の校舎である。しかし、この高校は1968年建設された建物であるが[11]、写真からもわかるように雨水用のパイプは柱の外に配備してあることがわかる。写真-25, 28を見ると帯筋の間隔も粗く、しかも帯筋の定着端が90°フックになっている。写真-29に台湾の工事現場でたまたま撮影した帯筋の定着端を示す。日本では少なくとも1981年以降、帯筋の定着端は135°フックが現場でも多く採用されており(図-7参照)、簡単に帯筋がはじけないようになっている。このことはRC柱の靱性を確保する観点からもきわめて重要なことである。しかし、135°フックが1933年日本建築学会発行のRC規準書に初めて規定されながらも、現場では長い間なかなか順守されず、法的な処置がとられたのは阪神・淡路大震災後の1995年5月であった[6]。

写真-31に台湾における中間階の崩壊例を、そして写真-32に日本でも1995年の兵庫県南部地震で初めて観察された中間階の崩壊例を示す。兵庫県南部地震も今回の台湾集集地震も活断層による内陸型の大地震のため、水平動も上下動とほぼ同じ時刻に到達し(図-3参照)、しかも上下動も無視できないほど大きい。ちなみに、兵庫県南部地震の上下動の加速度は神戸海洋気象台で332gal、台湾集集地震(観測サイトTCU129)では335galとなっている。前述したように、これとほぼ同時に主要動の水平動が建物をおそったこ

とを考えると、建物が上下動で突き上げられた際に軸力が大きく変動したことなどもその原因のひとつとして考えられないこともない。しかし、この場合どのような要因で中間層が層崩壊したのかは特定できない。

個人的な感想としては損傷崩壊した建物の配筋状況から台湾の耐震設計法（断面設計）は、日本の1971年以前の旧耐震設計法に近い。しかも、設計用地震力は3節で述べたようにさらに小さい（図-6参照）。建物強度も不足していると思われるが、もっと重要な問題はねばり（韌性）不足であろうと思われる。

## 5. 台湾の課題

台湾集集地震の被害例を前節で述べてきたが、これらを逆にトレースすれば台湾における今後の課題も自動的に浮かび上がってくることになるだろう。ここではまったく個人的な見解として今後の課題を整理しておく。

### 1) 既存建築物の耐震診断と耐震補強

現在、日本では既存建築物の耐震診断を行い、耐震性能が不足していれば耐震補強を行い、耐震性能を引き上げる努力がなされている[12]。これは、単に建物の耐震性能を引き上げるのみならず、建築構造技術者の技量を引き上げる訓練の場にも結果的になっている。台湾でも1998年以前の旧基準で設計・建設された建築物が既存建築物の大半を占めているうえに、次にまた起こるであろう大地震を考えると、耐震診断と必要に応じて耐震補強を含む改修工事が急がれる。特に台湾では、建物の水平強度が不足している上に、韌性に欠け、しかも剛性や強度の立面上、また平面上不均等分布が多いことを考慮すると、耐震診断と耐震補強は最初に取り組みなければならない課題である。

耐震補強は基本的に建物の強度を引き上げる方法、建物の韌性を改善する方法と、地震入力の低減する3つの基本的方法がある[13]。あるいはこれらを適当に組み合わせた方法もある。建物の強度を引き上げる方法としては、既存耐震壁の壁厚さを増したり、さらに耐震壁や鋼製ブレースを増設や新設する方法がある。この方法は少ない補強箇所で大きな水平耐力の増大が期待できるが、一方では窓をふさいだり、やや規模の大きい改修工事もともなうことになる。それに対して、主に柱のせん断強度と横拘束効果を大幅に引き上げ、韌性を改善する方法として鋼板や連続繊維シートで巻き立てる方法がある。これらは重機をあまり必要としないが、補強箇所が多い。かつ、独立柱では容易であるが、袖壁や腰壁付き柱になるとかなり工事が困難になってくる。地震入力を低減する方法は免震装置を既存建物の基部に取り付けるもので、かなり大がかりな工事と費用をともなう。しかし、歴史的建物やデザイン的に変更が許されない記念碑的な建物には利用されている。

### 2) 台湾における耐震設計法の見直し

#### (a) 剛性率と偏心率の規制

台湾では剛性が立面上、また平面上不均等分布の建物が数多くあり、4節で述べたようにこの中の多くの建物の被害が目についた。このような不整形な建物に関して台湾では、動的解析を適用することになっている[7]。しかし、このようなやや高度の検討が台湾で一般的に実行されているかどうか疑問に思える。このことを考えると、まずは日本のように剛性率や偏心率の規制を具体的な数字で示すことが重要であると考えられる。日本でも過去にこの種の建物は大きな被害を受けており、被害現象としては台湾も日本も同じである。ようするに、「建物は立面的にも平面的にもバランスよく造ることが地震に強い構造物を造る基本である」この単純なことを銘記すべきである。このことがデザイン上不可避であれば、その代償として大きな保有水平耐力を建物に付与させなければならない[10]。ちなみに、日本ではこのような不整形な形状の建物に対して、1995年12月以降最大3倍の必要保有水平耐力の増大がペナリティーとして課せられている（6節1）参照）。

#### (b) RC短柱のせん断破壊防止

RC短柱のせん断破壊は1968年の十勝沖地震で顕著に観察された脆性的な破壊現象である。これを防止するためには短柱を造らないことである。そのために柱に接した腰壁においては、その境界にスリットを設けて、柱の短柱化を避ける。この方法も現在日本で行われている方法の一つであるが、これでは腰壁の耐力を切り捨てることになるので、短柱部分を鋼板[14]や連続繊維[15]、あるいはプレストレスを導入したPC鋼棒で耐震補強する新しい方法[16]なども提案されている。その際、腰壁部分まで補強を延長する方向で検討が進められている。基本的には主筋量を極力減らし、曲げ強度を低減させ、韌性を期待できる曲げ破壊先行を優先させる設計法が採用されている[10]。特に、脆性的なせん断破壊を防ぐためせん断補強筋が1971年以降、日本では大幅に増強されている一方、主筋量をできるだけ少なくする傾向にある。

#### (c) ベースシャー係数の増大と韌性設計

3節で見てきたように、台湾の設計用ベースシャー係数はほぼ同じ条件下で日本に比較して小さい。この値が小さければその分だけ韌性を確保すればよいが、短柱のせん断破壊や配筋状況をみても台湾のRC造建築物はそのようになっていない。建物の韌性を確保するためには全体曲げ崩壊機構の確立と、そのための細かな配筋詳細とていねいな施工が要求される。韌性のみ確保されれば、それで耐震性能に関する必要十分条件を満たしていることにはならない。それは変形が過大に大きくなるとP- $\delta$ 効果により、過大な付加曲げモーメントを受け、建築物が不安定現象を引き起こしかねないからである。日本では変形が進行しても、建築物にある一定の強度も要求しており、文献[12]に従えば、その値はベースシャー係数にしてRC造骨組構造でも約0.3である。日本を基準に考えれば、台湾の

設計用ベースシャーは地震の実状を考慮した場合小さいように思える。また、靱性の確保は大地震の場合の保険に該当するといえなくもない。かなりの損傷は免れないにしても、落階するようなパンケーキクラッシュは少なくとも防止してくれるだろうという望みが持てるからである。

(d) 配筋詳細の改善と埋め込みパイプ禁止

破壊した柱から露出した補強筋や塩ビ管をみて思うことは、帯筋間隔が大きく、主筋量が多い印象である。このことは一般的に言えば、曲げ強度が大きくてせん断強度が小さく、せん断破壊が先行しやすいことを意味する。さらに帯筋の定着端が90°フックであるうえに、塩ビ管が雨水用パイプとして埋設されてある。このような状況で脆性的なせん断破壊を防止し、靱性が期待できる曲げ破壊を先行させることは困難である。コンクリートそれ自身は脆性的な材料であり、これに拘束を与えることによって初めてねばりのある材料に変化させることができる。この拘束を有効に与えるためには、帯筋で囲まれたコアコンクリート部分がせん断力、軸圧縮力と曲げ応力という複合応力下に置かれても、はじけないように帯筋で密に横拘束し、かつ定着端も開かないように、帯筋端部をコアコンクリートの内部に135°曲げて定着させることが重要である。すなわち、図-7に示すような日本の現行帯筋の配筋詳細と配置が台湾でも望まれる。また、このような観点に立った場合、埋設パイプがせん断強度に対しては欠損断面積になり、かつ拘束効果を減少させることは明らかであろう。

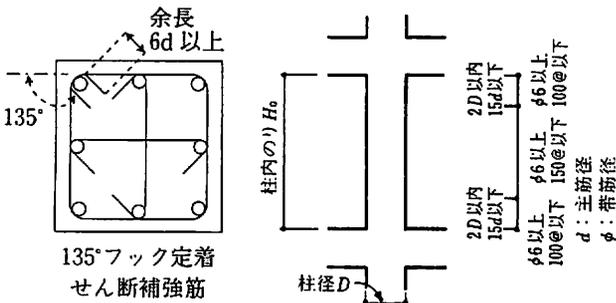


Fig.7 日本の帯筋詳細と帯筋配置規定 [10]

図-7 日本的帯筋細節與帯筋配置規定[10]

(e) 沖縄との比較

台湾と沖縄は亜熱帯環境下にあり、毎年台風の常襲地域としてその地域特性を共有している。しかも、このような環境特性からかどちらも鉄筋コンクリート造建築物が90%以上占めているような感じである。それほどRC造建築物が多く、木造建築物や鉄骨造建築物が少ない。3節でみてきたように、台湾と沖縄の設計用地震力が今も昔もほぼ類似している。しかし、沖縄の設計用地震力は1981年以前は東京の半分であり(台湾もほぼ同じ)、1981年以降は東京の70%であり、この値も現行の台湾とほぼ同じである(3節参照)。したがって、沖縄の建築物の耐震性能は1981年以前の建物で東京の約半分で、1981年以降

の建物は約2/3であるといえなくもない。特に沖縄に多いピロティなどを考えると、沖縄における建物の耐震性能は全体的にはもっと低下するかもしれない。しかし、1971年日本の建築基準法一部改正によりせん断補強筋の強化が盛り込まれたが、沖縄は1972年日本に復帰する前からその改正を受け入れ、せん断破壊防止に努めてきた。そのような沖縄と台湾の建築物(主にRC造)を比較した場合、沖縄のピロティ建築物を除けば、沖縄のRC造建築物がその耐震性能は台湾よりやや優れているのではないかと推定される。これにはコンクリートの品質も含めて、設計管理や施工管理の問題も含まれている。しかも、台湾が沖縄より地震活動度は上だし、その再現期待値もかなり大きいものと思われる。設計用地震力をどの程度に決めるかは技術的な問題のみならず、その国の経済的なレベルも大きく関与すると言われている。しかし、同じ亜熱帯地域に属し、しかも隣接した台湾と沖縄の現状を比較し、相互に検討することにより、多くの人々の理解も得られやすくなり、かつ改善に向けて有用な足がかりが得られるのではないかと期待される。

3) 活断層上やその近傍の建築禁止

台湾集集地震では活断層が地表面に露出し、表層地盤を隆起させ、その直上や近傍の建築物を破壊させた。このような例は日本でも過去に見られているが、数としては少ない。日本では内陸性の地震もあるが、海溝性の地震もけっこう多いからである。表層地盤が隆起したり、ずれたりすれば、その直上の建物は強制変形を受けることになる。その変形に追従できないと崩壊にいたる。しかし、その変形がかなり大きいので、どのような建物でも崩壊ないし、大破は避けられないであろう。そうであれば、そのような活断層域には建築物を構築しないことである。そのためには活断層を特定し、その幅や長さをどの程度の範囲内で建築禁止にしたらいかなど検討する必要がある。これらは今後の課題である。このような例はアメリカの建築物や、日本の原子力発電所には一部適用されていると聞いている。

4) 設計管理と施工管理

建物を建設する際には設計管理や、コンクリートの品質管理を含めた施工管理が重要になってくる。設計と施工の間に大きな溝があれば、どんなに優れた耐震設計法も絵に描いた餅になる。この間の溝を極力小さくする努力はどの国においても必要である。今回の台湾地震でも、ブリキ缶がはいっているなどで手抜き工事ではないかと一部マスコミで騒がれたが、現地の人に言わせれば、それはコンクリートを付加した部分にスタイルフォームのかわりに利用したのだという説明であった。たしかにそのような使い方であることも現地で確認できたが、それがすべてであるかどうかは疑問である。しかも、主筋上のかぶりごとれなので、帯筋を途中で切断したり、柱梁接合部にせん断補強筋が欠落している状況も、それぞれ一カ所づつ見られたこ

とも事実である。

## 6. 沖縄の課題

沖縄に隣接した台湾でM7.7の大地震が起き、2405名の人命が失われ、多大の被害が発生したことを考えると、沖縄に住む私たちも無関心ではいられない。そこで、台湾地震の被害から沖縄の課題を考えてみることにする。なお、沖縄の課題に関しては文献[17]も合わせて参照されたい。

### 1) ソフトストリータイプ（ピロティ建物）

ソフトストリーの代表的例はピロティ建築物である。ピロティでは1階に壁がなく柱だけで構成され、または壁があってもごく一部で、2階以上の上階には壁が多くあり、水平剛性（水平方向の変形のしにくさ）が1階とそれ以外の上階では極端に異なる構造物である。そのため、変形しやすい1階に水平変形が集中する一方、 $P-\delta$ 効果などにより、上階からの鉛直荷重で最終的につぶされる破壊形式がこのピロティ建築物には多く見られる。1995年の兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）では1982年の新耐震設計法で設計された比較的規模が大きいピロティタイプのマンションや、1階の壁が上階に比較して相対的に少ないソフトストリータイプの建物が数多く倒壊した。そこで、建設省は1995年12月1日建設省告示第1997号を出して、ピロティに代表されるソフトストリータイプの建築物の地震被害を最小限にとどめるために、必要保有水平耐力を最大1.5倍から2倍に引き上げる行政処置を施した。そのほかに、従来から平面上不整形な建物で偏心率が問題となる場合に関しては、上記に加えてその必要保有水平耐力をさらに最大1.5倍引き上げることになっている（5節2）参照）。

このようなピロティ建築物は写真-33に示すように、特に沖縄ではよく見かける建築物である。沖縄では設計用地震力が小さいからか、写真-34に示すように4階建ての集合住宅にもかかわらず、柱のせいや幅が46-7cm程度しかない。RC構造物としての住宅は木造住宅に比較して一般に地震に強くて当たり前であるが、それをピロティにすることによって、その強さを台無しにしていることになるかもしれない。場合によっては、木造よりその耐震性能が劣ることになりかねない。写真-35はタイ内陸部にあるコンケン大学の教職員宿舎である。写真-36からもわかるように、写真-33、34の沖縄の建物と同規模かそれ以上あるにもかかわらず、1階ピロティ部の柱のせいや幅は人間の手の広さしかない。すなわち、せいぜい23cmくらいであり、著者が加力実験で用いる柱試験体（25cmで実物の約2から3分の1程度）より小さい[16][23]。この建築物も典型的なピロティ建築物であるが、耐震設計がなされておらず、単に鉛直荷重のみを対象にした構造設計であろうと推定される。もっとも、アメリカのUBC[8]によればタイ内陸部は北部山岳地帯に近いチェンマイを除いてゾーン0か1のレベルであり、地震がきわめて少ない地域である。このように地震が少

ない地域では細い柱で構成されたピロティも建築可能であろうが、強震地域ではとてもこのような建築が許されるはずがない。沖縄と同様にピロティ建築は亜熱帯環境下にある台湾でもよく見かける建築物であろうと訪台する前は思っていたが、台湾では沖縄に見られるような典型的なピロティ建築物を2回の訪台では結局見いだすことはできなかった。

ピロティ問題は沖縄の根幹をなす耐震上の大きな課題である。先にも述べたように、本来ならば木造建築物より耐震性能が高い鉄筋コンクリート造建築物をピロティにすることにより、台無しにしていると言っても過言ではない。もちろん、それなりに耐震設計されたピロティであれば問題は少ない。しかし、2階以上の上階に外壁や間仕切り壁としてブロックを使用しているにもかかわらず、それを無視して純ラーメン（剛接骨組構造）で計算することも沖縄では行われているようである[18]。こうしてブロックの剛性や強度を無視して計算することが、はたして安全側の耐震計算になっているかどうか疑問である。というのは、著者が1994年沖縄で実施した実在RC造3階建て公営集合住宅の正負繰り返し水平加力実験から、ブロック壁も剛性や強度の面からかなり有効であることを確認しているからである[24]。上階の壁が一体打ちの鉄筋コンクリート造壁でピロティを形成している場合も、正確に剛性評価を行い、剛性率が規定の0.6以下であれば、上記の建設省告示に従って再度必要保有水平耐力の計算を行い、保有耐力がそれを確実に上回っているかどうか確認する必要がある。しかし、最近の研究によるとピロティ建築では、上下方向に関する水平剛性のアンバランスより、強度分布のアンバランスによる影響が大きいという研究成果もある[19][20]。現在、著者の研究室で沖縄のピロティの耐震性能調査を総合的に進めているので、いずれ一定の結論と整理がつき次第発表する予定である。

### 2) 設計用地震力における地域係数

沖縄はすでに述べたように設計用地震力が日本で最も小さい。そして、結果的に台湾とほぼ同レベルであることが前述のようにわかった（3節参照）。設計用地震力は建物に大きな靱性を期待できるものであればエネルギー論的には小さくしてもかまわない。しかし、過大に靱性を強調すると大きな変形が生じ、 $P-\delta$ 効果などで建物が不安定な状態におちいるなど思わぬ危険な状況を招きかねない。したがって、日本の規定ではRCラーメン構造でもベースシャー係数にして0.3程度の保有水平耐力を要求している。しかし、これが沖縄になると台湾でもほぼ同じであるが0.21程度になる。このことが、結果的に沖縄ではピロティの建設を容易にしたと考えられないこともない。

フィリピン海プレートのはほぼ中央に位置する南・北大東島は現状のまま（設計地震用地域係数が日本で最低の0.7）でよいとしても、沖縄本島は1981年新耐震設計法施行時の建設省の原案（福岡、佐賀、長崎と同じ0.8）以上[25]、また石垣島や西表島など台湾に隣

接した離島は0.9以上あるべきというのが著者の実感である。一方、松村は確率論手法により南西諸島の地震ハザードを文献[26]で論じているが、上記とほぼ同じような結論を別個に導いている。ちなみにアメリカのUBC1997年度版[8]によれば、沖縄の地域係数はゾーン4に属し、それは東京や大阪と同じで、かつ台湾全域およびカリフォルニア州と同じ最強震地域になっている。そして、かつて米軍が駐留していた福岡は次下位のゾーン3である。沖縄と福岡で日米の耐震コードが逆の評価を行っていることは興味深いことである。

### 3) 沖縄では弾性剛性の確保も重要

沖縄は台風銀座とも言われるほどの毎年台風の襲来地域でもある。したがって、台風時の揺れとそれにもなう雨漏りなどには注意が必要である。この観点からも、沖縄や台湾でRC造建築物が主流をなしているものと思われる。すなわち、RC造にすれば鉄骨造に比較して一般に断面が大きくなり、壁が多用されて必然的に水平剛性が大きくなり、揺れに対する抵抗が大きくなる。このように、弾性水平剛性を大きく確保することは好ましいことである。

### 4) かぶり厚さを多くとる(耐久性の確保)

沖縄は台湾に比較すれば小さい島であり、常に海から飛来塩分が運ばれている。しかし、その濃度は台風時を除いて海岸線から内陸部に向かって、せいぜい500m位が限度であろうとも言われている[21]。しかし、台風時はかなりの塩分が沖縄全体を包み込むことになろうかと思われる。そういうなかで、建物の寿命を少しでも延ばすためにはRC造建築物の重要な要素である鉄筋を腐食から守ることが重要である。そのためには、コンクリート表面から鉄筋表面までのかぶり厚さをより大きくとることが基本であろうと考える。文献[22]、[23]などによると、飛来塩分の浸透は水セメント比の影響もあるが、打ちはなしコンクリートで表面から70mmから100mm前後までが限界に近い状態であろうと推定される。もちろん、コストをある程度無視すればコンクリート表面を塗料などでコーティングしたり、あるいは腐食しないようにコーティングされたエポキシ鉄筋や新素材などを利用することも考えられる。沖縄ではこのように建築物の耐久性にも関心を払う必要がある。

### 5) 耐震診断と耐震補強の勧め

日本では阪神・淡路大震災後全国的に、しかも急速に構造物の耐震診断と耐震補強が進められている。しかし、沖縄県では国の施設を除いてほとんど手がつけられていない状況かと思われる。最近、かなり規模の大きい県営集合住宅1棟の耐震診断が進められている。しかし、残念ながら沖縄県にはそれを評価判定する委員会がいまだに立ち上がっていない。しかも、そのような委員会がいまだにないのは九州・沖縄地方では沖縄県のみである。したがって、早急にこのたぐい

の委員会を県内に設ける必要がある。このことが、耐震診断と耐震補強をスムーズに軌道に乗せる第一歩である。そのなかで、設計年代を問わず耐震診断を急がなければならない建築物は、個人住宅や集合住宅におけるピロティ建築物である。次に、1981年の新耐震設計法以前に東京の半分の地震力で設計・建設された沖縄のすべての建物である。

沖縄の地域係数、すなわち設計用地震力が全国一小さい状況がいつまで続くか著者にはわからないが、沖縄で今後新築しようとする建築物に関してはこのことを考慮して、可能な限り建物の靱性と余剰強度の確保に構造設計者は常に留意しなければならない。ただし、RC造ラーメン構造にブロック壁を挿入してピロティを形成しているにもかかわらず、これらのブロック壁を余剰強度と見なし、純ラーメンとして構造計算および構造設計することがはたして妥当で合理的な考えであるかどうかは今一度再考すべき沖縄の課題のように思われる。と同時に、沖縄では建築物に対して過酷な亜熱帯環境下にあることを考慮し、耐久性の確保にも配慮することが重要である。さらに、付言すると沖縄では日常生活に不安や支障をきたさないような弾性剛性の確保にも留意する必要がある。それは、丈夫で長持ちし、しかも安心して住める建築物こそ私たちの望むところであるからである。

## 7. おわりに

台湾集集地震の建築物被害も上記のように整理してみると、かつて日本の各地で起きた地震被害と多くの点でかなり類似していることがわかる。たとえば、1968年の十勝沖地震M7.9でRC短柱のせん断破壊や配筋詳細の欠陥を経験し、1978年の宮城県沖地震M7.4では建築物の立面や平面上の剛性や強度分布のアンバランスによる損傷を多く被った。これらのことは1971年の建築基準法の一部改正や、1977年の既存建築物の耐震診断基準・改修設計指針、1981年の新耐震設計法に生かされた。そして、これらの効果が1995年の阪神・淡路大震災で実証され、これらの施策により着実に耐震性能が向上していることもわかった[6]。しかし、それでもピロティ建築物や鉄骨構造の柱脚部などに関してはまだ不十分であることがわかり、1995年12月新耐震設計法の一部見直しが急遽なされ、かつ施行された[10]。

現在では情報通信技術が発達し、しかも国際会議や国際交流も盛んに行われるようになり、世界も相当に狭く、かつ近くなってきた。したがって、地震被害も含めてこれらの情報や教訓を世界の人々が共有し、それを活用する方向でお互いに前向きな努力を重ねていけば、地震被害の軽減にかなり有効ではないかと考えられる。台湾集集地震被害を観察して台湾を考え、そして同じ亜熱帯環境下にある沖縄の現状を省みて、現時点で考えていることをとりあえず整理してみた。速報の形で、しかも取り急ぎまとめたので誤認や思わぬミスがあるかもしれないが、平にご容赦いただきたい。

**謝辞：**

台湾での集集地震災害調査は10月1日-3日と10月8日-11日の2回行った。第1回調査では国家地震工程研究中心(National Center for Research on Earthquake Engineering, 通称 NCREE)の劉季宇博士, 黄文杰(黄文杰・建築師事務所), 陳明城(成城建築師事務所), 許浩展(漢傑工程顧問有限公司)の皆さんにたいへんお世話になりました。第2回調査では日本建築学会九州支部構造委員会に所属する委員長と委員で調査団を結成した。メンバーは多賀直恒(九州大学教授・構造委員会委員長), 崎野健治(九州大学教授), 江崎文也(九州共立大学教授), 廣岡利貞(廣岡建築事務所所長), 徳広育夫(鹿児島大学名誉教授), 山川哲雄(琉球大学教授)である。そのほかに, メンバーとして中原浩之(鹿児島大学助手)が, そして毛井崇博(竹中工務店技術研究所主任研究員)と張翠萍(台湾・實踐大学助教授)が台北で合流し, 調査団に加わった。その際にも蔡克銓(NCREE教授)および黄文杰(黄文杰・建築師事務所)にたいへんお世話になりました。特に, 黄文杰には2回の調査とも献身的なお世話をいただいた。本報告の冒頭におけるAbstractに, 資料[27]から一部貴重な統計データを転記した。さらに, 渡辺孝英(清水建設(株)和泉研究室室長)から観測地震波形とレスポンススペクトルを提供いただいた。また, 本稿を整理するにあたって鴨川茂義, 岡敬人(琉球大学大学院生)の助力を得た(敬称略)。ここに記して著者らを除く, これらの皆様に心から厚くお礼を申しあげます。

**引用文献および資料：**

- [1] 日本建築学会九州支部構造委員会, 日本建築構造技術者協会九州支部：海外地震被害調査速報会資料, 福岡, 1999.11
- [2] 大分大学工学部建設工学科建築構造研究室：海外地震被害調査速報会資料, 福岡, 1999.11
- [3] 沖縄タイムス：1999年11月16日付け朝刊
- [4] 沖縄タイムス：1999年9月22日付け朝刊
- [5] 竹中工務店技術研究所：研究開発月例報告会資料, 1999.10
- [6] 日本建築学会：阪神・淡路大震災調査報告 鉄筋コンクリート造建築物, 丸善, 1999.7
- [7] 日経B P社：日経アーキテクチャ10-18号, 日経B P社, pp.104-145, 1999.10
- [8] International Conference of Building Officials：1997 Uniform Building Code, Vol. 2, 1997.4
- [9] 日本建築学会：1999年9月21日台湾集集地震被害調査速報会資料, 東京, 1999.11
- [10] 日本建築センター：建築物の構造規定-建築基準法施行令第3章の解説と運用-1997年版, 1997.12
- [11] 日本建築学会九州支部：1997年鹿児島県北西部地震災害調査報告, 1998.3
- [12] 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説, 1995.7
- [13] 日本建築士会連合会：平成11年度建築士の役割と技術, 1997.12
- [14] 益尾 潔：RC及びSRC柱の耐震補強実験と設計式の検証, コンクリート工学 Vol.34, No.10, pp.21-30, 1996.10
- [15] 連続繊維補強コンクリート研究委員会：連続繊維補強コンクリート研究委員会報告書, 日本コンクリート工学協会, 1997.7
- [16] 山川 哲雄, 鴨川 茂義, 倉重 正義：プレストレスを導入したPC鋼棒で外帯筋状に横補強したRC柱の耐震補強法に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.526, pp.141-145, 1999.12
- [17] 山川 哲雄：阪神大震災と沖縄の建物, 琉球大学工学部紀要, No.50, pp.71-88, 1995.9
- [18] 知念 秀起：宮古圏域におけるピロティ建築の構造に関する調査研究, 沖縄県第8回土木建築部研究発表会, pp.21-28, 1998.11
- [19] 芳村 学, 岩淵 一徳：1995年兵庫県南部地震により崩壊したピロティを有する鉄筋コンクリート建物の非線形解析, 日本建築学会構造系論文集, No.486, pp.75-84, 1996.8
- [20] 伊藤 茂郎, 多賀 直恒：ピロティ形式構造物の地震応答性状と耐震性向上の検討, 日本建築学会九州支部研究報告, No.38, pp.425-428, 1999.3
- [21] 山田 智義, 大城 武, 榎田 佳寛：海岸付近における飛来塩分量に関する解析的研究, 日本建築学会構造系論文集, No.514, pp.21-26, 1998.12
- [22] 谷川 伸, 山田 智義, 大城 武, 川村 満紀：厳しい塩害環境下での鉄筋コンクリート構造物の耐久性に関する研究(アクリルゴム系防水塗膜の効果), 日本建築学会構造系論文集, No.487, pp.11-19, 1996.9
- [23] 長嶺 希, 山川 哲雄, 与古田 牧子：自然暴露試験で損傷したRC柱の耐震補強法に関する実験, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21 No.1, pp.403-408, 1999.6
- [24] 山川 哲雄, 伊良波 繁雄, 田中 伸幸, 松永 尚凡：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, 琉球大学工学部紀要, No.50, pp.55-70, 1995.9
- [25] 建設省住宅局建築指導課, 梅村 魁：新しい耐震設計, 日本建築センター, pp.81-84, 1979.6
- [26] 松村 和雄：確率論手法による南西諸島の地震ハザード：九州大学工学集報, No.68-6, pp.541-547, 1995.11
- [27] Chiang Pi Hsiao, Nan Su, Tsong Yen：A Look at The Taiwan 9-21-99 Earthquake through Building Codes, Baltimore for the 1999 ACI Fall Convention, New Hot Topic Session, 1999.11



Photo 1 街路を有する商店1階の層崩壊  
有廊道的商店第一層倒壊崩壊



Photo 2 集合住宅1階の層崩壊  
集合住宅的第一層倒壊崩壊

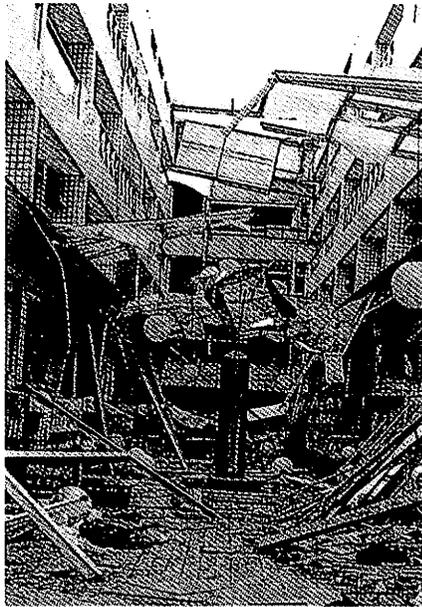


Photo 3 商店街1階の層崩壊  
商店街的第一層倒壊崩壊

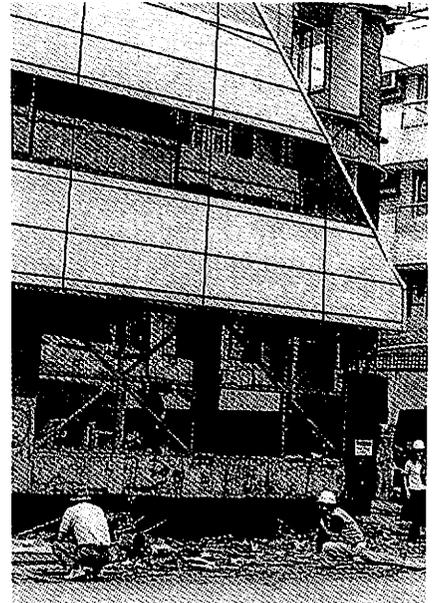


Photo 4 Photo 3と同じ商店1階の層崩壊  
商店的第一層倒壊崩壊

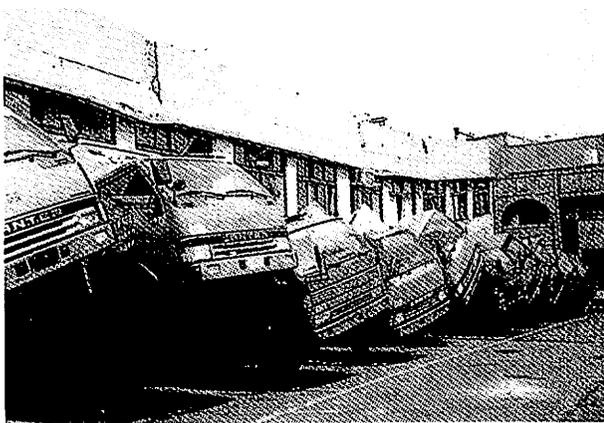


Photo 5 トラックターミナルの層崩壊 (西側)  
貨車站的第一層倒壊崩壊(西側)

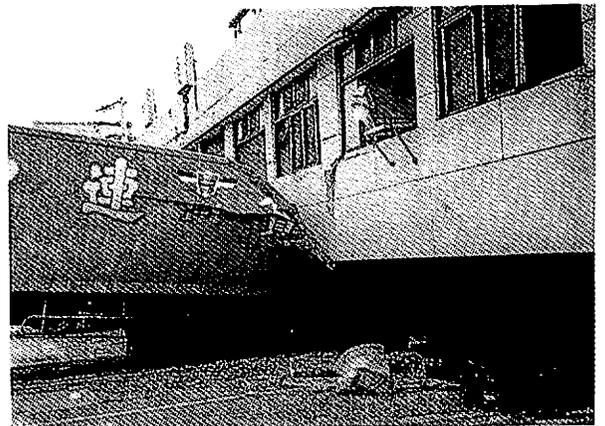


Photo 6 トラックターミナルの層崩壊 (東側)  
貨車站的第一層倒壊崩壊(東側)

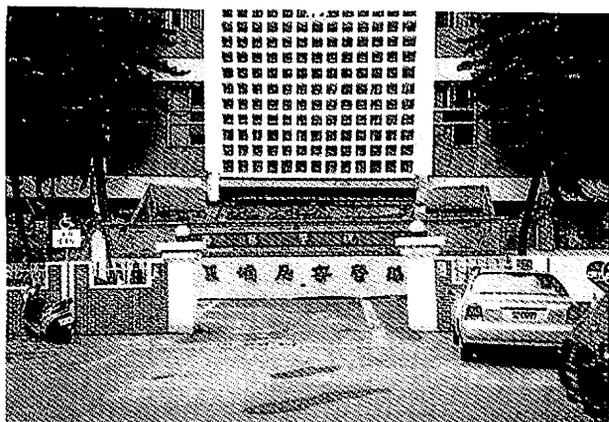


Photo 7 角地にある警察署の層崩壊  
位於角地的警察局倒塌崩壞

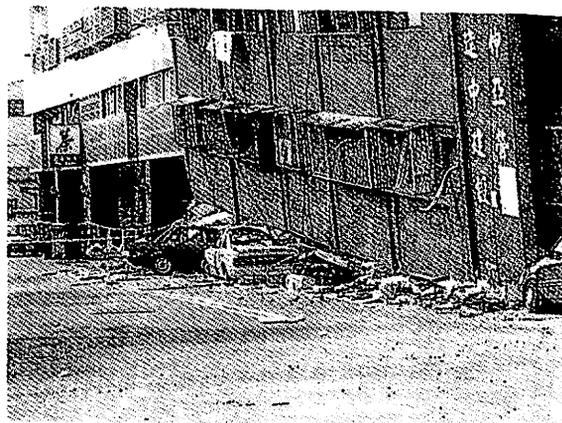


Photo 8 角地にあるアパートの層崩壊  
位於角地的公寓倒塌崩壞



Photo 9 角地にある事務所ビルの層崩壊  
位於角地的辦公大樓倒塌崩壞

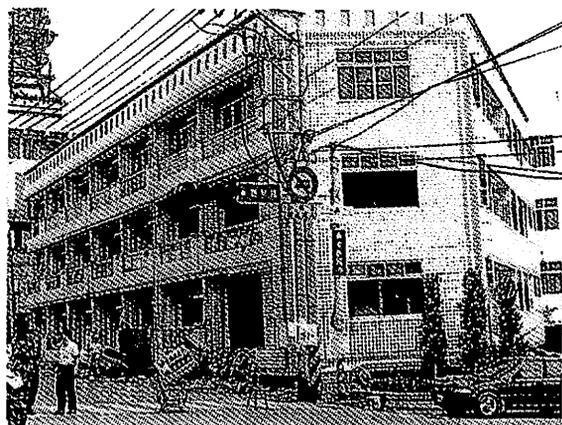


Photo 10 角地にある事務所ビルの層崩壊  
位於角地的辦公大樓倒塌崩壞



Photo 11 角地にあるマンションの傾斜  
位於角地的公寓整體傾斜

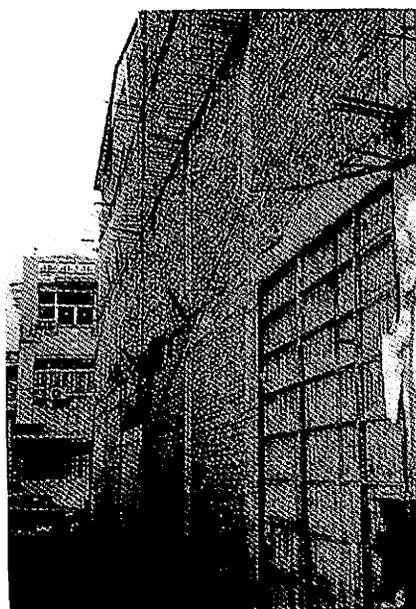


Photo 12 隣接建物に対する定着筋  
鄰接建物的鐵筋(定著筋)

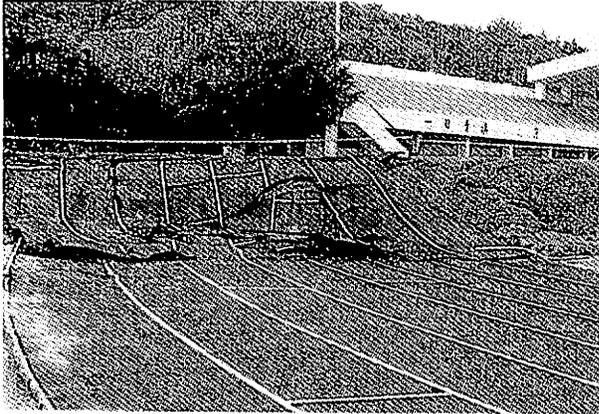


Photo 13 陸上競技場のグラウンドが1-2m 隆起  
運動場の跑道隆起 1~2 公尺

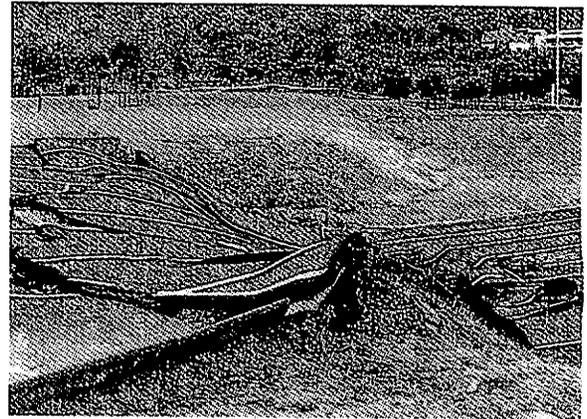


Photo 14 Photo 13の拡大写真  
PHOTO 13 的放大映像

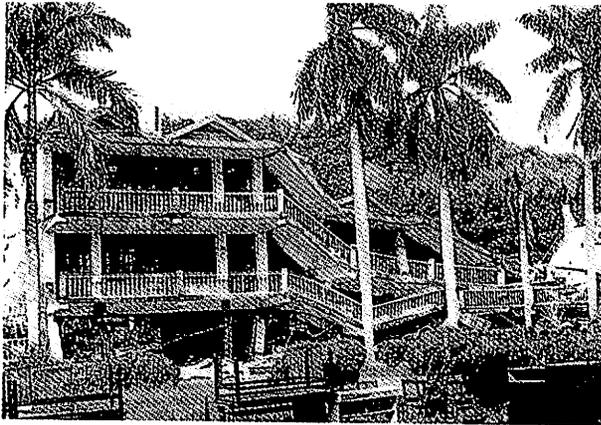


Photo 15 Photo 13, 14に隣接した中学校舎の崩壊  
鄰近 PHOTO 13 的國中校舍倒塌崩壞

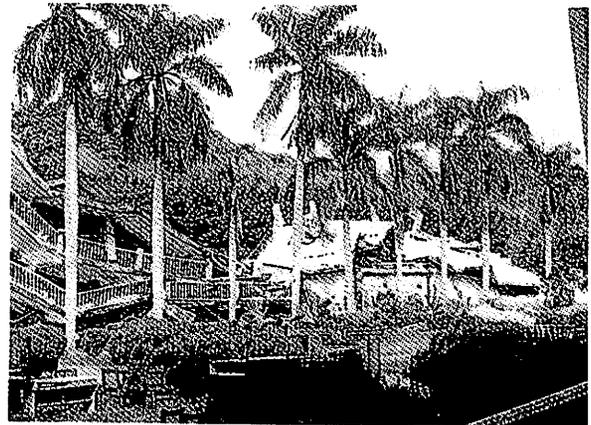


Photo 16 Photo 13, 14に隣接した中学校舎の全体崩壊  
PHOTO 15 的倒塌崩壞全體映像

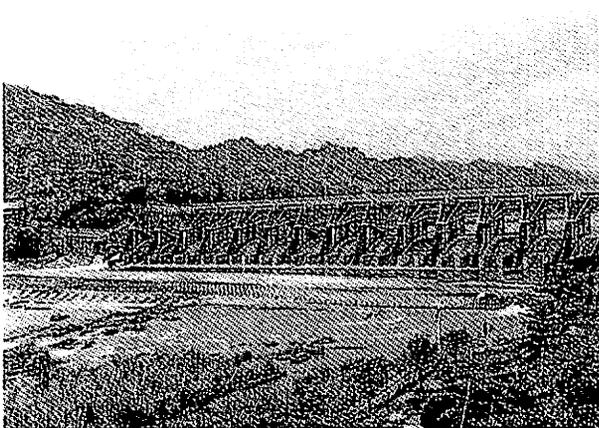


Photo 17 ダムの右側大半の隆起と正常な 左端部とその間の崩壊  
水壩右側大半隆起・左端正常・中間崩壊

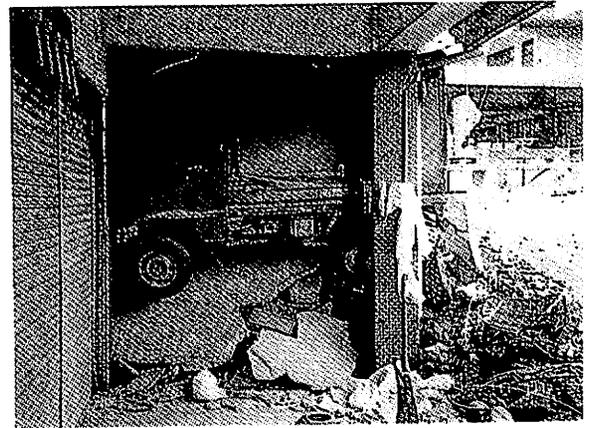


Photo 18 表層地盤の隆起による軽トラックの持ち上がり  
由於表層地盤隆起・小貨車被抬高起來

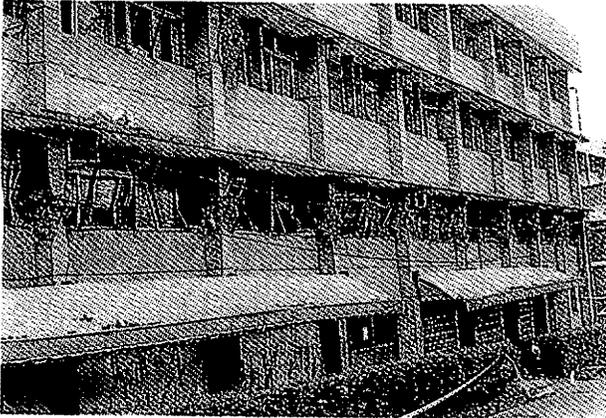


Photo 19 2階RC極短柱のせん断破壊  
二樓RC極短柱的剪斷破壞

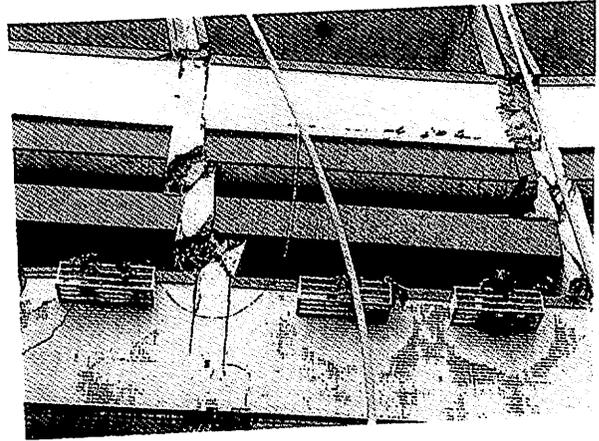


Photo 20 中間梁により極短柱化した柱のせん断破壊  
由於中間梁的關係・極短柱化的柱剪斷破壞



Photo 21 短柱のせん断破壊  
短柱的剪斷破壞

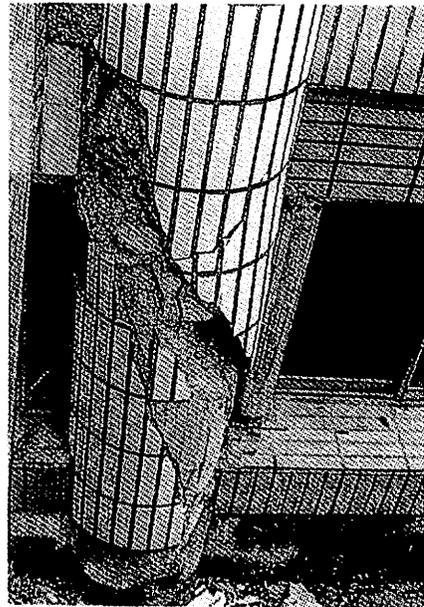


Photo 22 短柱のせん断破壊  
短柱的剪斷破壞

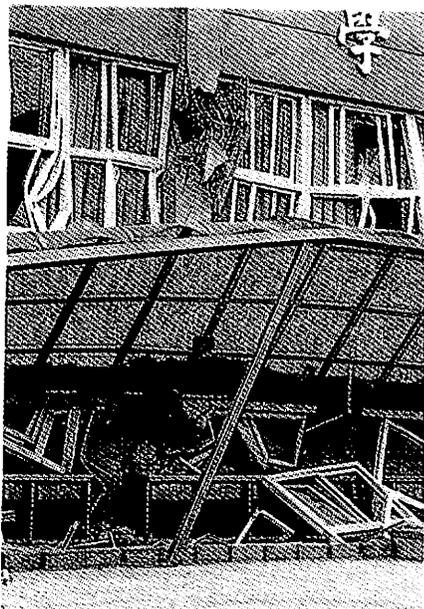


Photo 23 短柱のせん断破壊  
短柱的剪斷破壞

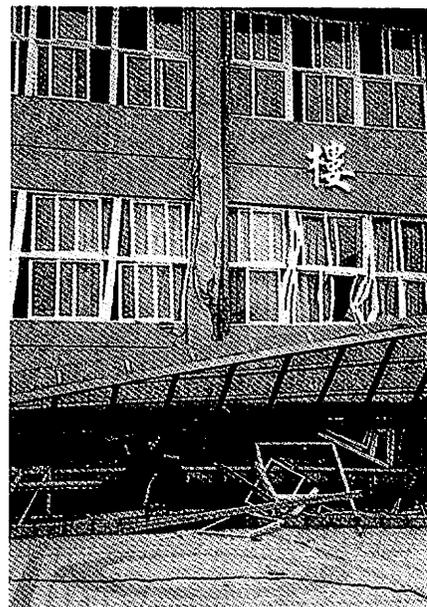


Photo 24 短柱の付着割裂破壊  
短柱的附著割裂破壞

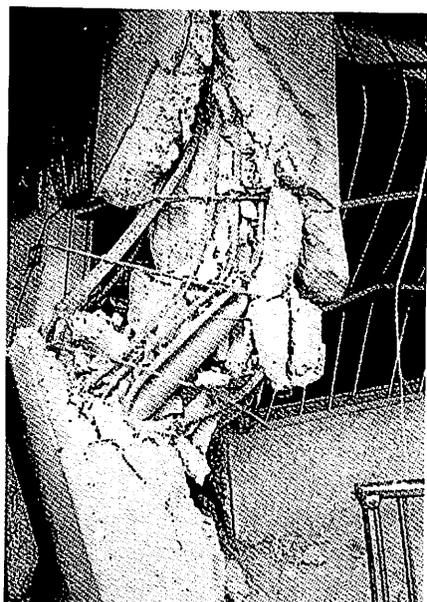


Photo 25 柱のせん断破壊と埋め込みパイプ  
柱的剪断破壊與埋設塑膠管

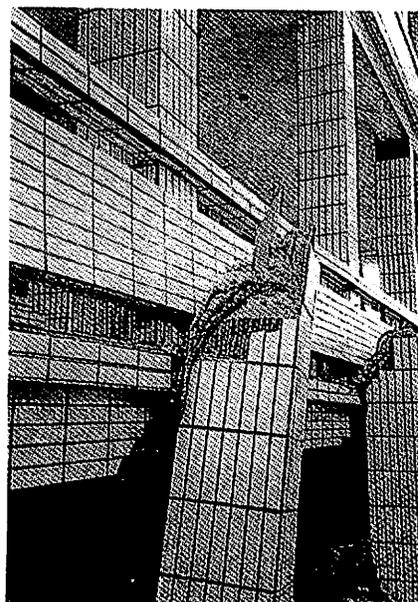


Photo 26 柱の破壊と埋め込みパイプ  
柱的破壊與埋設塑膠管

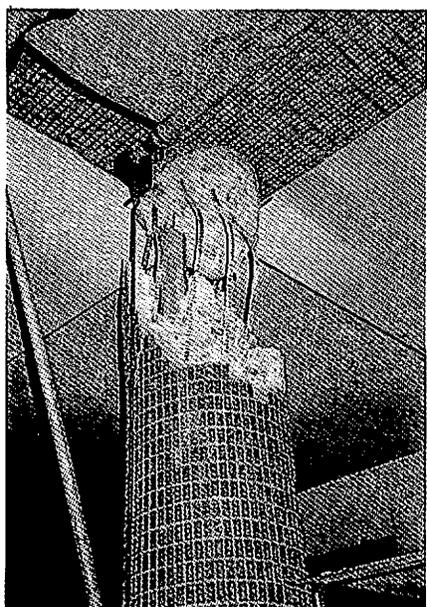


Photo 27 柱の柱頭破壊と埋め込みパイプ  
柱的破壊與埋設塑膠管



Photo 28 はじけた帯筋と90°フック  
脱落的帯筋與90°彎接(hook)

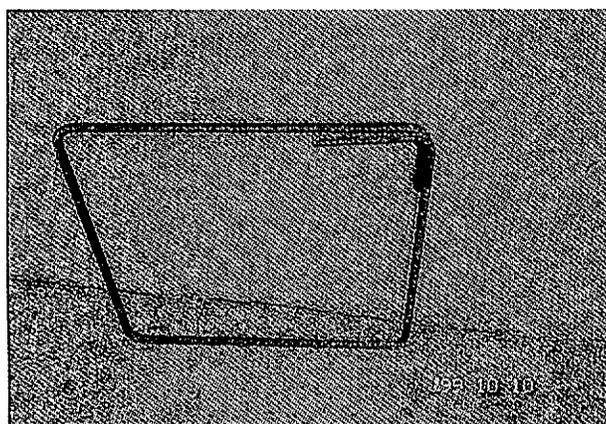


Photo 29 台湾の工事現場における帯筋の90°フック  
在工程現場看到的彎接帶筋90°

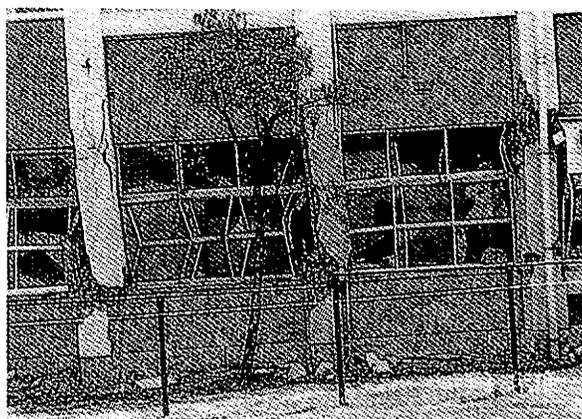


Photo 30 鹿児島県西北部地震で崩壊した学校 校舎と外付けパイプ  
(日本・鹿児島)  
鹿児島県西北部地震時の倒塌校舎與附設於柱外的塑膠管(日本・鹿児島)



Photo 31 雑居ビル中間階の層崩壊  
雑居大樓中間階的層崩壊

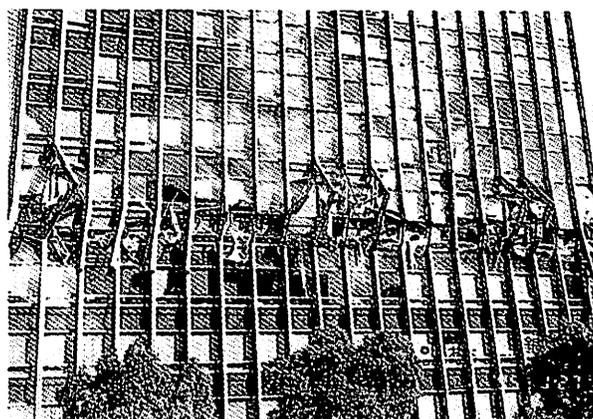


Photo 32 兵庫県南部地震における事務所ビル 中間階の層崩  
(日本・神戸)  
兵庫縣南部地震時的辦公大樓中間階的層崩壞(日本・神戸)



Photo 33 沖縄の典型的なピロティ建築物 (日本・沖縄)  
冲繩的典型騎樓式 (pilotis) 建築物 (日本・沖縄)

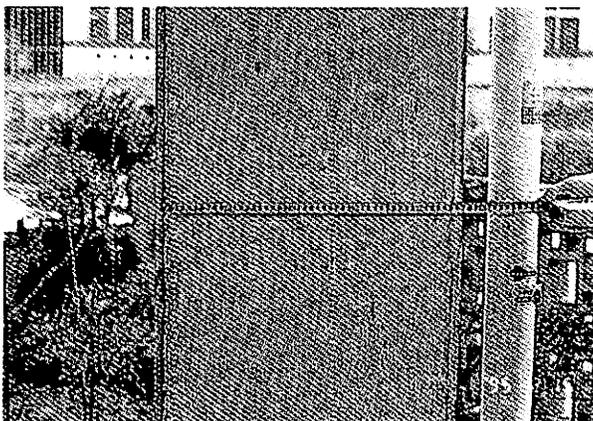


Photo 34 Photo 33の1階ピロティ部の柱の大きさ (日本・沖縄)  
Photo33的第一層騎樓部的柱子寬度 (日本・沖縄) 的比較

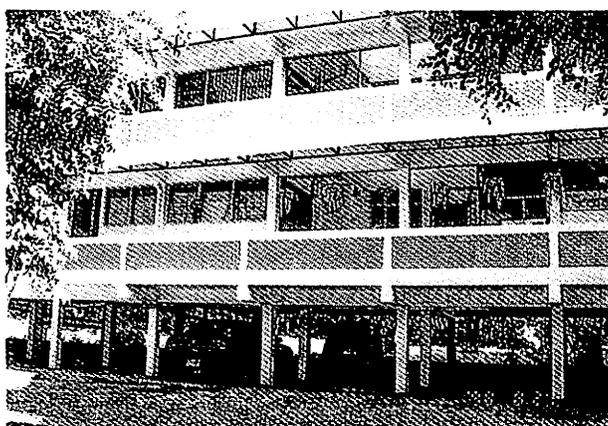


Photo 35 タイの典型的なピロティ建築物 (タイ・コンケン)  
泰國的典型騎樓式建築(泰國・康健)



Photo 36 Photo 35の1階ピロティ部の大きさ (タイ・コンケン)  
Photo35的第一層騎樓部的柱子寬度