

台湾・集集地震の被害調査



大野 義照*, 馬場 研介**, 岸本 一蔵***

Reconnaissance Report of Chichi Earthquake in Taiwan

Key Words : Chichi earthquake, Seismic fault, Reinforced concrete structure, Structural damage

1. はじめに

1999年9月21日午前1時47分、台湾中部の南投県で内陸直下型の大地震(マグニチュード7.7)が発生し、台湾中部を中心に極めて甚大な被害が生じた。この地震による死者は2000人を越え、全壊した建物は約9900棟にもなる(台湾内政部発表10月3日現在)。1995年兵庫県南部地震と比較して各地に地震断層が現れ、地面に激しい変化が生じたことと中高層鉄筋

コンクリート造建物に大きな被害が生じていることが特徴的である。

筆者らの教育・研究の対象である鉄筋コンクリート造建物の被害が甚大であることならびに耐震工学上重要な情報が得られることから、地震発生の10日後に被災地に出かけ、震源地に近い集集から北に南投県(集集, 中寮, 南投市), 台中県(霧峰, 太平市, 大里市, 豊原市, 東勢郷), 台中市および台北市における建築物の被害状況を視察してきた(図1参照)。なお、筆者の一人は1ヶ月半後に再度調査に向出した。ここでは、主として地震の特徴と鉄筋コンクリート造建物の被害を報告する。



* Yoshiteru OHNO
1944年4月21日生
昭和44年大阪大学工学研究科・構築工学専攻・修士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・建築工学専攻・建築構造学講座・建築構造計画学領域、教授、工学博士、鉄筋コンクリート構造学
TEL 06-6879-7635
FAX 06-6879-7637
E-Mail oono@arch.eng.osaka-u.ac.jp



** Kensuke BABA
1946年7月22日生
1974年京都大学大学院・工学研究科修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・建築工学専攻、助教授、工学博士、建築耐震工学
TEL 06-6879-7633
FAX 06-6879-7634
E-Mail kbaba@arch.eng.osaka-u.ac.jp



*** Ichizo KISHIMOTO
1965年6月10日生
平成3年大阪大学大学院・工学研究科・建築工学専攻・修士課程修了
現在、大阪大学大学院・工学研究科・建築工学専攻・大野研究室、助手、工学修士、建築材料・構造学
TEL 06-6879-7637
FAX 06-6879-7637
E-Mail kisimoto@arch.eng.osaka-u.ac.jp

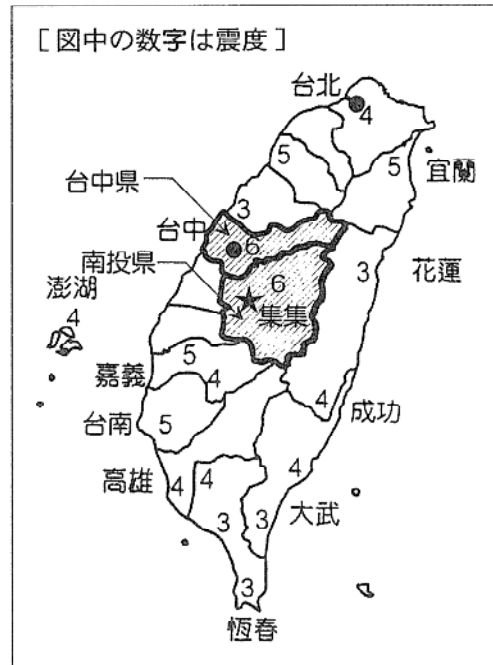


図1 集集地震の震度分布

2. 集集地震の特徴

1) 地震断層について

今回の集集地震では、図2に示すようにユーラン

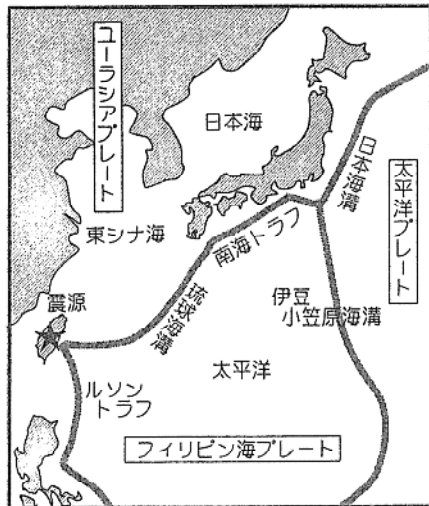


図2 台湾周辺のテクトニクス

アプレートとフィリピン海プレートとのせめぎ合いによって、東西方向の圧縮力に耐えきれずに断層の上盤側、つまり震源域を含む東側が西側に乗り上げる逆断層を形成した。総延長80kmに及ぶ震源断層が延々と地表面に現れたことが大きな特徴のひとつである。図3に示すように、この地震断層は台湾の中西部を南北に走る車籠埔(シャーロンポ)断層にほぼ並行して平野部の南投市、霧峰市、太平市を数珠

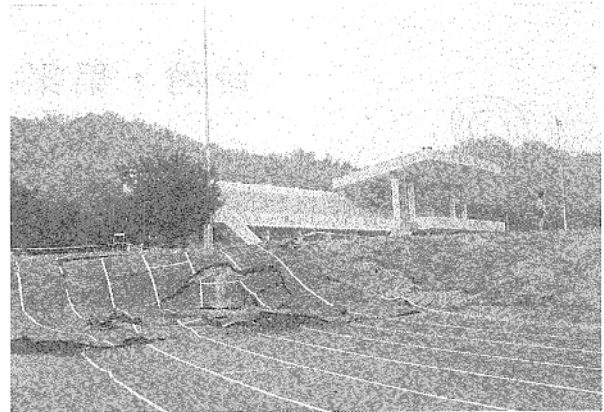


写真1 運動場に現れた地震断層(段差2m, 霧峰)

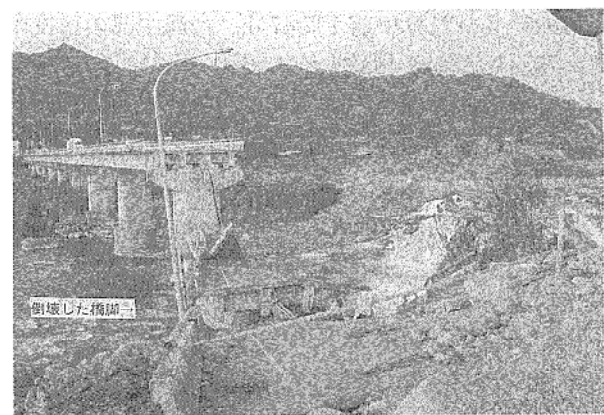


写真2 川に現れた地震断層(段差5m)と壊れた道路橋(豊原)

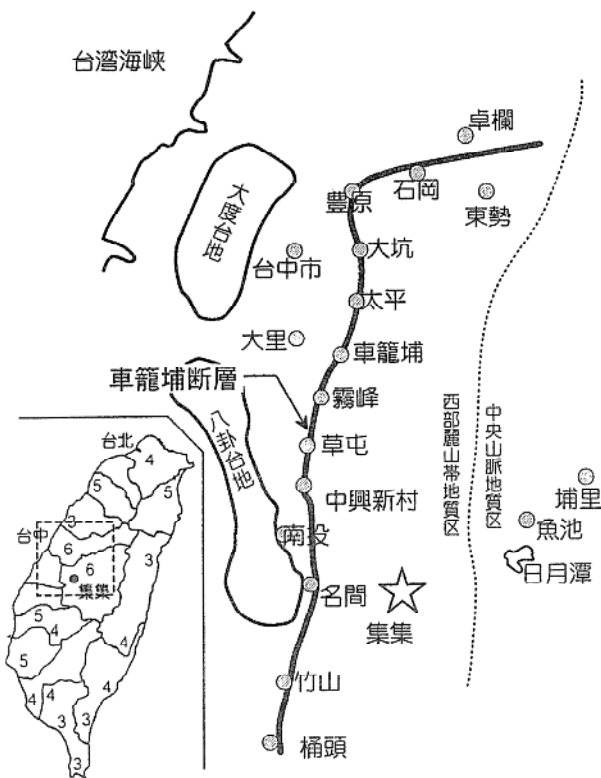


図3 集集地震で現れた地震断層位置

繋ぎにし、台中县政府の置かれた豊原市の南郊から進路を東北東に変えた後に、丘陵部の東勢市と卓欄市の間をすり抜けて中央山脈の西麓で終わっている。地震断層に伴って地表面に現れた段差は南北走行で2m内外である(写真1)が、西南西から東北東の走行をもつ北端部では最大10mにも達する懸崖を成し、道路や河川あるいは貯水ダムに大きな傷跡を残した(写真2)。

震源域を含む地震断層の東側で建築物の被害が著しいのは当然のことながら、断層の西側でも河川が網の目状に張り巡っている台中市近郊の沖積平野では、軟弱な地盤に基因して甚だしく被災した建物が多い。また震源域から北へ150kmも離れた首都・台北市の近郊でも数棟の鉄筋コンクリート建物が倒壊した。その原因として建物の低廉な耐震性能は無論のこと、台北盆地が山地に取り囲まれた軟弱な堆積層で構成されている点を指摘できる。

2)地震波形について

台湾では日頃から地震観測網がよく整備され、今

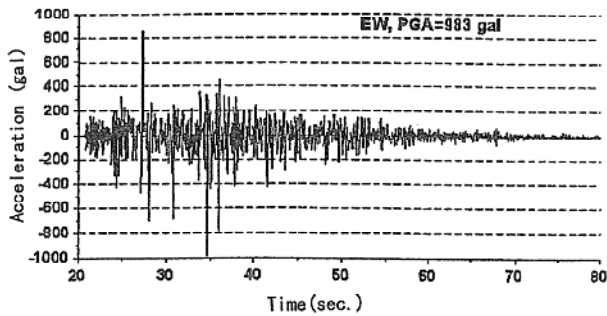


図4 南投県名間郷(震央からの距離10km)で観測された加速度波形(台湾中央気象局速報より)

回の地震でも数多くの波形記録が得られている(図4)。それらの記録によれば、震源地に近い地点で最大振幅が重力加速度よりも大きい波形が見られる。また東西方向を指向した水平成分が卓越しているケースが多く、地震の発生によってプレート間に蓄えられた東西方向の圧縮力が解放されたことをよく物語っている。

一方、震源を起点とした地震波動が南から北へ進んだために南側の後背地ではいわゆるドブラー効果が見受けられ、スペクトルが長周期化しているものの南北成分が東西成分より優勢である。さらに地震断層の終焉部に近い東勢市近くでは他に類例を見ない特徴を備えた波形が観測されている。すなわち、震源付近で得られた波形と比較してさすがにスペクトルが伸びているが、地震の開始地点から数十km隔てているにも関わらず上下動が水平動よりも大きい。近辺の地震断層が最大落差10mに及ぶことを考えあわせると、この地震が秘めている特異性が凝縮した結果とみられる。

地震断層の最後尾から遠く離れた台北盆地の観測波形について言及すれば、震源付近の波形と比べて10分の1以下に弱められ、その最大振幅は高々50galに過ぎない。ただし浜辺に打ち寄せる波間のようにゆっくりした波形がうねうねと続き、盆地の内部に閉塞されて逃げ場を失った地震波が衰弱しつつも繰り返し往復したことを示唆している。

3. 鉄筋コンクリート造建物に関する被害

台湾における建築の主たる構造形式は煉瓦造と鉄筋コンクリート造で、前者は民家や歴史的建造物に、後者は学校建築をはじめとする公共建築や低層から高層までの全ての集合住宅に見られる。木造建築は一部の歴史的建造物や日本の統治時代に建設された

ものが僅かに残っている。鉄骨造は最近、軽量鉄骨の倉庫や高層事務所建築などに見られるようになった程度である。従って今回の地震被害を受けた建物は煉瓦造の民家と鉄筋コンクリート造建物が圧倒的に多い。

1) 被害建物の分布

建物の被害は、出現した断層に沿って広く分布している。断層の直上に建つ建物の被害は避けられない(写真3)。ただし、壁の多い箱のような建物は大きく傾きながらも建物そのものには損傷がないものもあった。



写真3 断層が校舎を横切った国民成功中学校(霧峰)

市街地を流れる小河川(護岸が一部崩壊している)沿いに建つ建物で被害を受けているもの(写真4)や地盤の液状化により不同沈下している建築物もある。

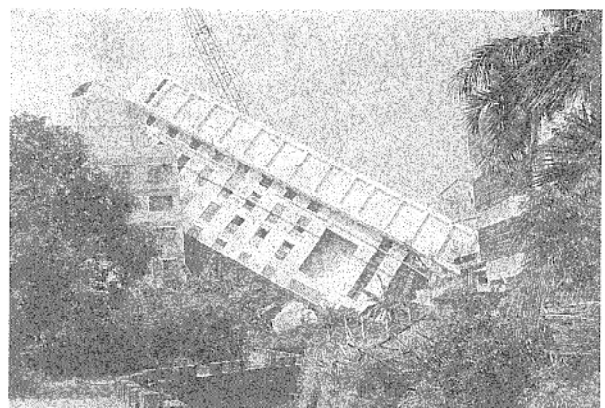


写真4 小河川の際に建つ12階建て集合住宅(霧峰)

2) ピロティ形式の建物の被害

1階が店舗や駐車場、上階が集合住宅のような建物で、1階の壁が上階に比べて少ない、いわゆるピロティ形式である3～5階建て建物の中に、1階部

分が完全に落階している被害が目立った。ピロティ建物の被害は兵庫県南部地震での被害と同じである。1階に限らないが剛性の低い階があるとその階に変形が集中し建物は壊れる。我が国では兵庫県南部地震以後、ピロティ建物に対する耐震規定が強化された。

3) 中高層の建築物の被害

中高層(地上11-20階)集合住宅で、大きな被害を受けているものがある。被害建物には、ピロティ形式で1階から転倒しているものがいくつかあった(写真5)。転倒はしていないが一階が完全に落階しているもの(写真6)、建築面積が大きく1階の一部だけが落階しているもの、地下階が崩壊し大きく傾斜しているもの(写真7)、全層にわたって被害が生

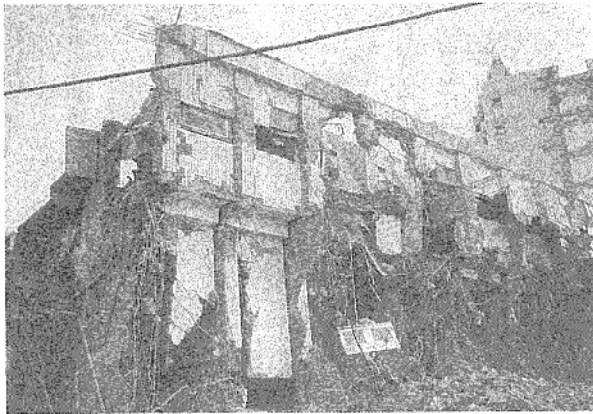


写真5 転倒した12階建て集合住宅(豊原)



写真6 1階が完全に落階したピロティ形式の10階建て集合住宅(南投)

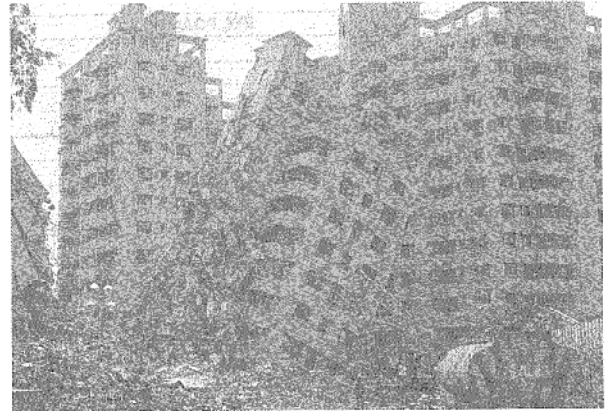


写真7 地下階の崩壊により傾斜した高層住宅(大里)

じているものなど、様々な破壊様相を呈している。

集合住宅では、1階は集会所、子供らの遊び場などの共用空間とし壁の少ない構造となっている場合が多い。また中高層の集合住宅では地下2~3階を設け、駐車場に供しているが、この地下階には壁が極めて少ない。これらの建物では、機能優先で1階あるいは地下階に耐震壁がないことが被害を大きくしている。

4) 道路に面した建築物の被害

道路に面した建物、特に角地に建つ建物の被害が大きい(写真8)。台湾では建物の1階の車道側1スパンを歩道に供している(騎楼という)。片持ち梁で上階を支えているものもある。特に角地に建つ建物は壁が少ない上に偏在し、偏心も大きくまた剛性の



写真8 騎楼建物の被害(霧峰)

バランスも悪くなる。このような建築様式は亜熱帯特有の強い日射しとスコールから歩行者をまもる上で合理的であるが、構造的には問題になる。

5) その他の被害

兵庫県南部地震被害で顕著であった、中間階の層崩壊、柱梁接合部や2次部材(非構造壁)、エキスパンションジョイント部の損傷、渡り廊下の落下、コンクリート打ち継ぎ部での損傷が散見された。

6) 鉄筋の継手

鉄筋の継手は、主に重ね継手が用いられている。中高層建物では柱が細く、継手部で過密配筋となっている(写真9)。過密配筋では鉄筋とコンクリートの一体性が確保できず継手としての機能が十分に発揮できない。前述の柱梁接合部の損傷も帯筋が配置されていないという配筋上の不備が被害を大きくしており、鉄筋コンクリート造における配筋の重要性を改めて認識させられた。なお、兵庫県南部地震で問題とされたガス圧接継手は用いられていない。

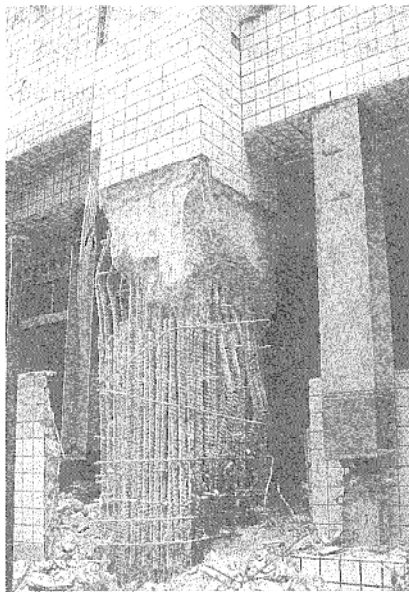


写真9 過密配筋(南投)

7) いくつかの建物において柱や梁に空き缶(18リッター缶)が埋め込まれていた。これは、報道機関が取りあげていたような施工不良によるものではなく、非構造部であるふかし部分に設計図書通りに埋設されたものであった。

4. おわりに

台湾では1997年に耐震規定が改定され、わが国の現行の耐震基準(1981年制定)とほぼ同じ耐震性能が求められるようになった。今回の地震で被害を受けたものはそれ以前の基準で設計されたもので、耐力は現行基準の求める値の1/2前後かそれ以下である。すなわち、わが国の1981年以前に建設された建物と同水準であり、兵庫県南部地震の教訓である現行耐震基準を満足しない既存不適格建物の耐震診断・耐震補強の緊急性が改めて示された。特に1階に壁が少ないピロティ形式の構造の建物は要注意である。大阪大学の建物には既存不適格の建物が多い。吹田キャンパスの工学研究科の建物は殆ど1981以前に建設された建物で、これらの建物の耐震安全性は現行基準が求める値を満足していない。早急な耐震改修が求められている。また損傷までには至らなくても中高層建物の上階では大きな揺れにおそわれ、家具や書棚等が転倒する恐れがある。転倒防止の対策が必要である。特に実験器具に対する対策は重要である。

集集地震では地震断層による地盤の変状が顕著であったが、わが国においても1891年の濃尾地震では根尾谷を中心に80kmにわたり大断層が生じ根尾村では段差6m、水平ずれ2mの断層が出現している。活断層の性質を調べ、活断層上に建つ既存建物に対する対策、ならびに活断層近辺の構造物の建設計画に十分な配慮が必要であることは云うまでもない。なお、大阪大学吹田、豊中両キャンパスの北部には有馬・高槻構造線の地震断層が走っているが、キャンパスを横切る活断層は報告されていない。

謝 辞

本調査に際して、本学工学研究科土木工学専攻を修了された台湾内政部 肅清分氏ならびに成功大学 葉光毅教授にお世話になりました。記して謝意を表します。