

1999 年台湾集集地震により被災した鉄筋コンクリート造  
学校建物の耐震性能に関する研究

正会員 劉 鋒\*<sup>1</sup>  
同 中 埜 良昭\*<sup>2</sup>  
同 真 田 靖士\*<sup>3</sup>

フレーム解析 地震応答解析 強震記録

1. はじめに

1999 年 9 月 21 日に台湾中部地区を襲った「921 集集大地震」により数多くの建物が甚大な被害を受けた。本論文では、震央の近くで被災した南投県草屯鎮虎山国民小学校南館と中興高級中学校中興楼西棟の RC 造校舎を対象に、建物近傍で観測された強震記録を用いて、フレーム地震応答解析を行い、同一入力下における建物の耐震性能の違いによる被害程度の違いを解析により再現することを試みた。

2. 研究対象建物及び被害の概要

図 1 と図 2 に研究対象建物の平面図を被災度区分判定基準<sup>1)</sup>による部材の損傷度とともに示す。虎山国民小学校南館は RC 造の地上 4 階、地下 1 階建物であり(一部地下階なし)、桁行方向(以下、X 方向)はほぼ純ラーメン構造、梁間方向(以下、Y 方向)は耐震壁を有するラーメン構造である。中興高級中学校中興楼は 4 階建ての管理・教室棟で、東棟及び西棟からなる。両棟の間には Exp. Joint が設けられている。表 1 に各建物の被害の概要を示す。なお両学校は約 1km 南北方向に離れた場所に位置している。

3. フレーム地震応答解析

3.1 解析方法

(1) 建物のモデル化 柱、梁、壁をそれぞれ材端曲げパネとせん断パネを有する線材に置換し、床面を剛と仮定して、建物を X、Y 方向別の平面フレームにモデル化した。剛域は梁については柱・壁端まで、柱については梁端、あるいは腰壁高さから D/4 を引いた位置までとした(D:柱の断面せい)。1 階柱脚は固定とした。また、建物の重量を  $9.8\text{kN/m}^2(1.0\text{ t/m}^2)$  と仮定し、コンクリートの圧縮強度を  $21\text{ N/mm}^2(210\text{ kgf/cm}^2)$ 、

表 1. 診断対象建物の被害の概要<sup>2)</sup>

建物	判定	被害概要
虎山国民小学校南館	小破	地下室のない X20~X22 間で建物が沈下し、X20~X21 間で約 1° の傾斜が生じた。これに伴い、梁・スラブにひび割れ(最大 3 mm)が生じた。また、沈下した箇所を中心に柱のせん断ひび割れが生じた。 レンガ壁により短柱化した柱のせん断ひび割れが 1 箇所生じた。 本館と接している各階の渡り廊下によるコンクリートの剥離、X 方向の腰壁にせん断ひび割れ、また 1 階の一部の柱に仕上げタイルの剥離が見られた。
中興高級中学校中興楼	中破	1 階の柱の X 方向にせん断ひび割れ(損傷程度)が生じた。 Y 方向のレンガ造の間仕切壁の一部にも大きなせん断ひび割れが生じた。2~4 階、地下 1 階の被害は軽微であった。

鉄筋の引張強度を主筋で  $420\text{ N/mm}^2(4200\text{ kgf/cm}^2)$ 、帯筋で  $280\text{ N/mm}^2(2800\text{ kgf/cm}^2)$  と仮定した。  
(2) 部材の復元力特性 梁の耐力はスラブ協効幅を  $0.2L$  とし、スラブ筋を考慮して算定した(L:スパン長)。また、現地調査<sup>2)</sup>によると、虎山国民小学校では腰壁と柱の間に肌別れが見られたこと、中興高級中学校では腰壁筋が柱に十分定着されていない箇所が見られたことから、腰壁は梁の上端引張り耐力算定時には無視したが、上端圧縮算定時には考慮した(図 3)。但し、梁の剛性については腰壁の配置を考慮して十字または T 字断面として算定した。曲げ及びせん断に対する復元力特性<sup>3)4)5)</sup>は D-Tri モデル及び原点指向モデルを仮定した。また、復元力特性を決定する諸量は耐震診断結果及び文献<sup>4)5)</sup>と同様の手法で算出した。中興高級中学校の Y 方向レンガ壁の剛性、曲げ耐力は無視し、せん断耐力のみ  $=0.2\text{ N/mm}^2(2\text{ kgf/cm}^2)$  として考慮した<sup>2)</sup>。

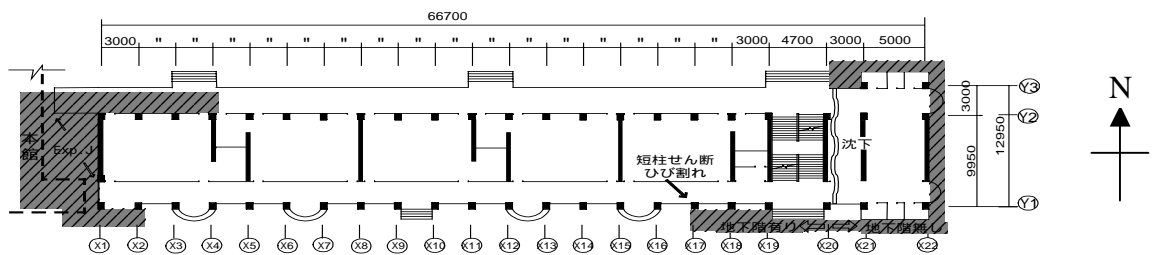


図 1 虎山国民小学校南館 1 階平面図と壁の損傷度 (RC 壁)

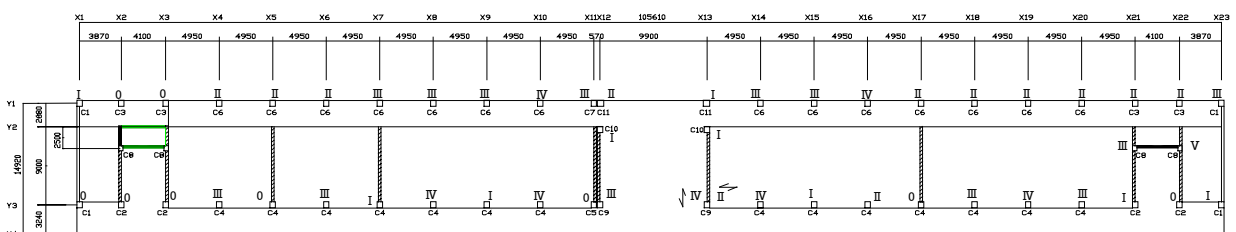


図 2 中興高級中学校中興楼 1 階平面図と柱の損傷度 (左:西棟 右:東棟) (レンガ壁 RC 壁)

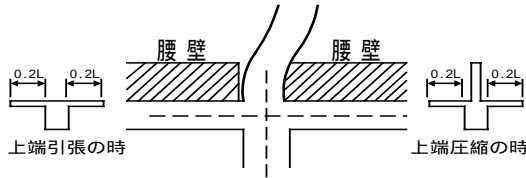


図3 梁耐力計算における剛域の違い

(3) **入力方法・数値演算方法** 鉛直方向の入力を無視し、建物の X, Y 各方向に対する水平地震動入力のみを考慮した。減衰は、弾性時の 1 次モードの減衰定数を 3% とする内部粘性減衰型とし、瞬間剛性に比例させた。なお、計算時間間隔は地震波の記録間隔と合わせて、0.005 秒とした。

### 3.2 入力地震動

一番近い強震記録は虎山小学校から 2km、中興高級中学校から 3km の地点で観測された TCU075 地震波である（東西方向最大加速度 325.723gal、南北方向最大加速度 257.584gal）。敷地の地盤特性に関する調査記録を得ることができなかったが、比較的近距离であることから、観測点と各学校の敷地への入力が同一であると仮定して原波のまま入力した。図4に弾性加速度応答スペクトルを建物各方向の弾性固有周期と重ねて示す。卓越周期はおおよそ 0.2~0.5 の範囲である。

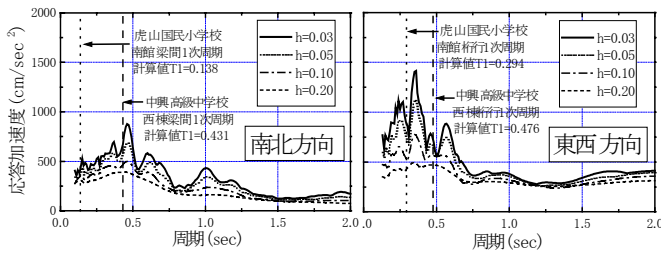


図4 加速度応答スペクトル(h=3, 5, 10, 20%)

### 3.3 解析結果

図5に各方向別に1階のベースシア係数と層間変形角の関係を別途行った漸増載荷解析(外力分布は逆三角形分布と仮定した)による結果及び漸増載荷解析における柱の初ヒンジ発生点、降伏メカニズム形成点と共に示す。これによると両建物とはともに桁行方向より梁間方向の変形及び層間変形角が小さく、南館の梁間方向では1階層間変形角が1/419程度であった。西棟も梁間方向では1階層間変形角が1/300を超えなかった。西棟の被害調査で梁間方向のレンガ造壁の一部に大きなひび割れが観測されたが、柱には被害があまり見られなかったことと対応する。一方、桁行方向の最大層間変形角は南館(1階で1/303程度)より西棟(1階で1/202程度)の方が大きかった。また、同図によると、すべての建物が弾性範囲を超えたが、メカニズムには至っておらず、部分的にひび割れあるいは降伏が生じる程度の被害に止まった。南館の梁間

方向では柱の降伏ヒンジは生じなかった。

図6, 図7には各建物の桁行方向 Y1 通りについて各部材のせん断に対する損傷状況を示す。南館では1階 X17 通りの柱(極短柱)がせん断破壊したものの、その他の1階と2階の柱には局部的にひび割れが生じた程度であった。特に1階では腰壁の右端(東側)に位置するほとんどの柱にせん断ひび割れが生じていないが、柱のモデル化で腰壁との間の肌別れを考慮したこと、建物が東側に大きく変形したことが原因と考えられる。一方、西棟では1階の全ての柱のせん断耐力に対する入力せん断力の割合が50%を超える結果となり、地震被害が主に桁行方向で生じ、しかも南館が小破、中興楼が中破と判定された結果と対応すると考える。また、地震応答解析により被災区分判定による柱の損傷状況を概ね再現することができたと判断する。

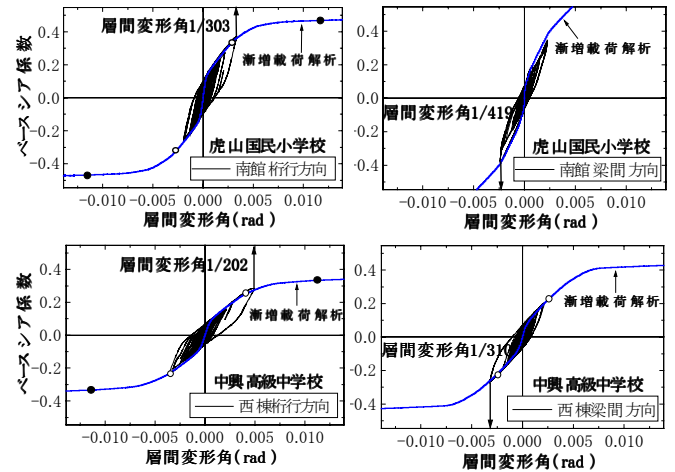


図5 各建物ベースシア係数と層間変形角の関係 (○:初ヒンジ発生点 △:降伏メカニズム形成点)

### 4. まとめ

同一入力条件における地震応答解析により、地震被害が主に桁行方向で生じ、かつ虎山国民小学校南館より中興高級中学校西棟の被害がより大きくなる結果となった。解析から得られた柱の損傷状況は観測された実被害と概ね一致した。

参考文献 1)日本建築防災協会：震災建築物等の被災区分判定基準および復旧技術指針 1991年 2)日本建築学会：1999年台湾・集集地震第 編 災害調査報告 2000.11 3)Giberson, M.F.: Two Nonlinear Beams with Definitions of Ductility, Proc. ASCE, Vol.95, ST2, 1969. 4)深田泰夫：鉄筋コンクリート建築物の復元力特性に関する研究, 日本建築学会関東支部研, 1969 5)梅村魁編著：鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法, 技報堂, 1973 続(中層編), 技報堂, 1982

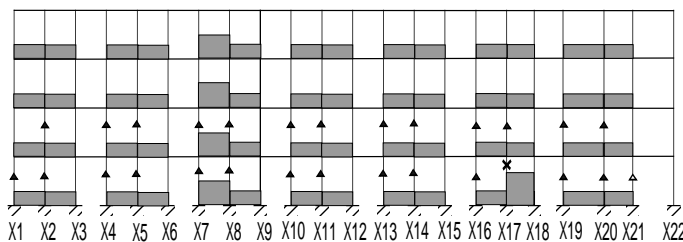


図6 虎山国民小学校南館 Y1 通りの柱の損傷図

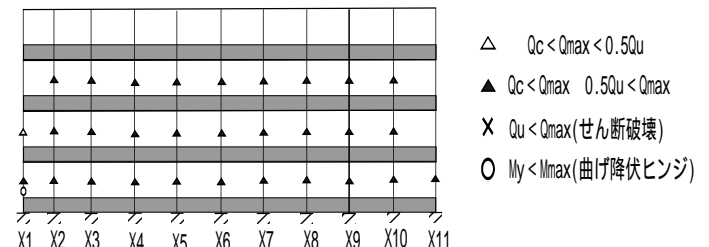


図7 中興高級中学校西棟 Y1 通りの柱の損傷図

\*1 株式会社大成情報システム 修士(工学) \*1 Taisei Information System, Co., Ltd, M.Eng  
 \*2 東京大学生産技術研究所 助教授・工博 \*2 Associate Prof., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo., Dr. Eng.  
 \*3 東京大学生産技術研究所 助手・博士(工学) \*3 Research Associate, Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo., Dr. Eng.