

# 芸予地震による鉄骨造体育館の被害に関する研究

高松隆夫\*・梶川鉄平\*\*

(平成13年10月26日受理)

## A Study on Damage of Steel Gymnasiums by Geiyo Earthquake

Takao TAKAMATSU and Teppei KAJIKAWA

(Received Oct. 26, 2001)

### Abstract

The large damage to steel gymnasiums of elementary or junior high schools in the western Hiroshima Prefecture that included Hatukaichi, Ohno and Ohtake caused by the 2001 Geiyo Earthquake was occurred. The main damage to the gymnasiums was the fracture of the connection concrete at the top of column. The concrete strength at the top is estimated by use of the collapse mechanism theory. It is confirmed that the connection concrete at some gymnasiums may be destroyed by the base-plates of roof beams.

**Key Words:** Geiyo Earthquake, steel gymnasiums, connection concrete

### 1. はじめに

2001年3月におこった芸予地震において、震度5以上で特に被害の大きかった廿日市市・大野町・大竹市を含めた広島県西部地区で調査を行った。調査対象は小・中学校の屋内運動場を中心として、校舎、及びその他の施設など鉄

骨構造物に関して28棟であった。

被害状況は柱頭部コンクリートの破壊、天井材の落下・損傷、内装材の損傷、外壁材の亀裂などであった。

本研究では、被害の中でも柱頭部コンクリートに破壊が生じた屋内運動場に関して被害の原因を検討する。調査体育館を図1に示す。

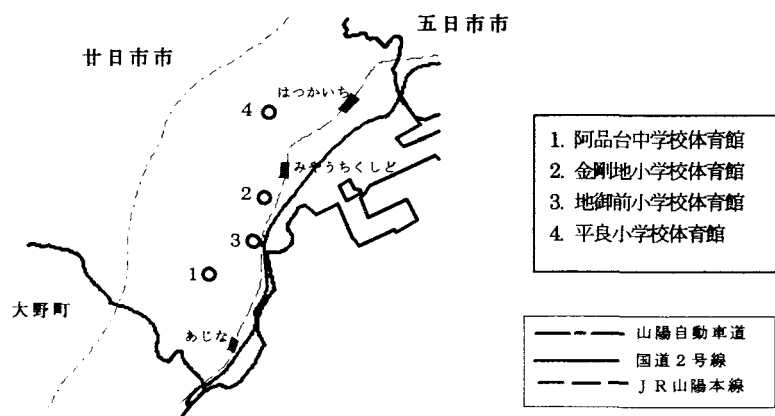


図1 調査体育館

\* 広島工業大学工学部建設工学科

\*\* 広島工業大学大学院工学研究科土木工学専攻

2. 個別建物の被害

2.1 阿品台中学校体育館（廿日市市）

この建物は1981年に建設されており、構造は躯体が鉄筋コンクリート造、屋根は鉄骨造の2階建である。骨組は、30m×45mであり、梁間5スパン、桁行8スパンである。図2に平面図を示す。

体育館の被害としては、鉄骨梁とRC柱頭部との定着部コンクリートに破壊が見られ、ほとんどの柱頭部で破壊が生じていた。地震時に鉄骨梁から曲げモーメントが作用することによる圧縮力で定着部コンクリートが破壊したものと推定される。図3に鉄骨梁とRC柱頭部の定着部詳細図を、写真1に定着部コンクリートの破壊写真を示す。すでに破壊箇所は補修済みである。

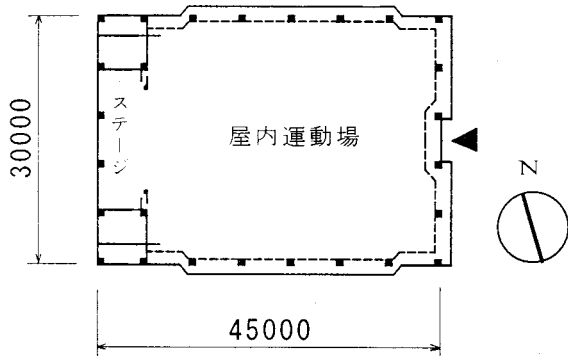


図2 平面図

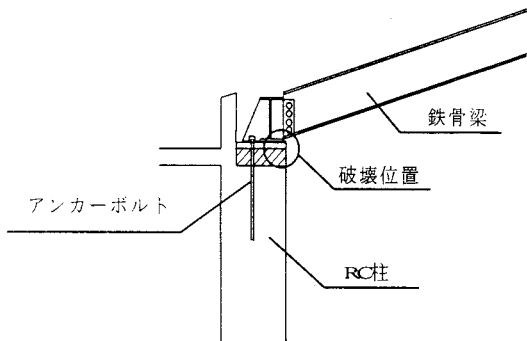


図3 定着部詳細図

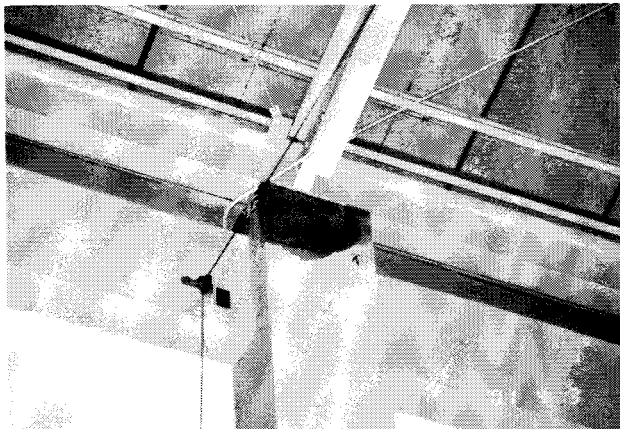


写真1 定着部コンクリートの破壊

2.2 金剛寺小学校体育館（廿日市市）

この建物は、廿日市市地御前の丘陵地に1987年に建設された。構造は、躯体が鉄筋コンクリート造、屋根が鉄骨造で、骨組は26.85m×42mであり、梁間に5スパン、桁行に6スパンである。図4に平面図を示す。

体育館の被害は建物入り口の柱において、鉄骨梁との定着部の柱頭部コンクリートに破壊が生じていた。他の柱においては、破壊は見られなかった。被害を受けた柱の定着部詳細図を図5に示す。鉄骨梁のベースプレートの面積がコンクリート定着部の面積より大きくなっている。その他の破壊が生じなかった柱については、柱頭部のコンクリート面積が鉄骨梁の定着部面積に比べて大きかったためであると考えられる。写真2は天井を開いて柱頭部破壊部分の被害調査を行っているものである。

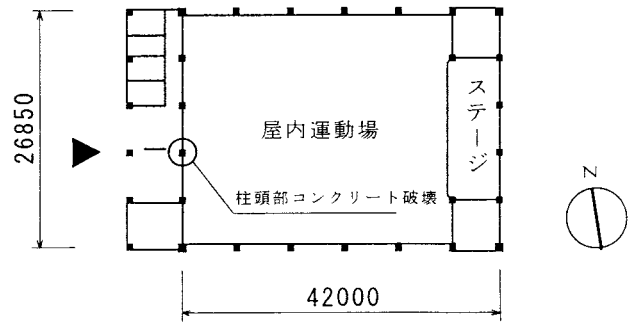


図4 平面図

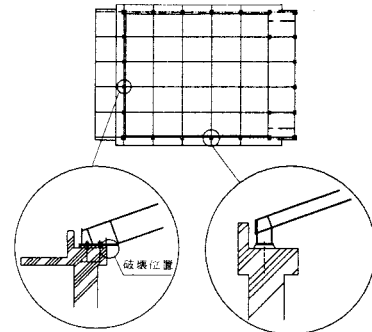


図5 定着部詳細図

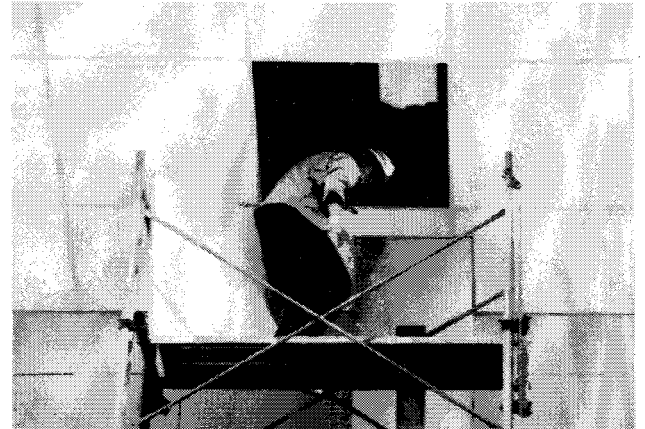


写真2 被害調査

### 2.3 地御前小学校体育館（廿日市市）

この体育館は広島県廿日市市地御前に1979年に建設された。

体育館の構造は、駆体が鉄筋コンクリート造2階建て、屋根は鉄骨造である。1, 2階平面は26.85m×35mで、梁間5スパン、桁行6スパンである。図6に平面図を示す。

体育館の被害は、鉄骨梁とコンクリート柱、あるいはコンクリート梁との定着部コンクリート破壊である。図7のコンクリート定着部の詳細図に示すように、鉄骨梁のベースプレートの面積がコンクリート柱定着部の面積とほぼ同じである。特にコンクリート梁は下に行くほど小さくなる台形断面である。写真3に体育館内部写真、写真4に定着部コンクリートの破壊写真（補修済み）を示す。

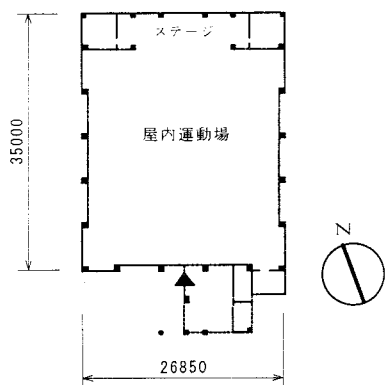


図6 平面図

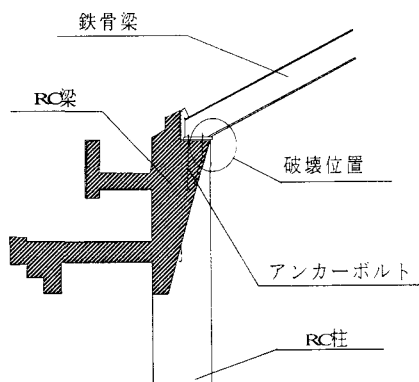


図7 定着部詳細図



写真3 体育館内部



写真4 定着部コンクリートの破壊

### 2.4 平良小学校体育館（廿日市市）

この建物は広島県廿日市市上平良に1980年に建設された。

構造は、駆体が鉄筋コンクリート造、屋根は鉄骨造の2階建てである。1, 2階の平面は、27m×35.5mであり、骨組は梁間5スパン、桁行6スパンである。図8に平面図を示す。

体育館の被害は鉄骨梁とRC柱頭部、あるいはRC梁との定着部コンクリートの破壊であり、ほとんどの定着部において破壊が見られた。図9に示すように、2本のアンカーボルトによるピン接合形式の定着部として設計されている。詳細図に示すように、鉄骨梁のベースプレートの面積がコンクリート柱定着部の面積とほぼ同じである。図10の小屋伏図にアンカーボルトの位置、写真5に体育館内部、写真6に定着部コンクリートの破壊状況写真（補修済み）を示す。その他の被害としては、体育館東側に位置する校舎のスチールサッシ製の窓ガラス50枚と、渡り廊下継ぎ目に損傷が見られた。

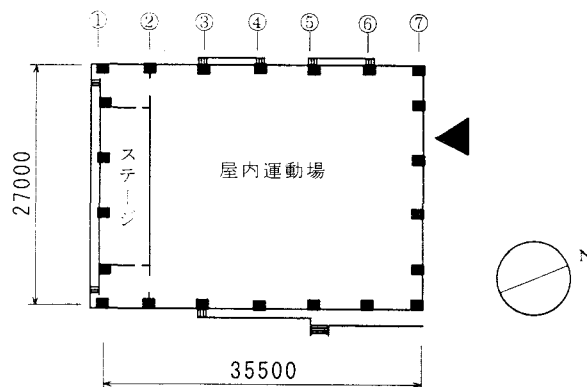


図8 平面図

## 3. コンクリート破壊モデル

鉄骨露出型柱脚における、コンクリートの破壊には図11, 図13, 図15に示すようなパターンがある<sup>1)</sup>。それぞれを破壊モードⅠ, Ⅱ, Ⅲとし破壊荷重計算より破壊の有無を調

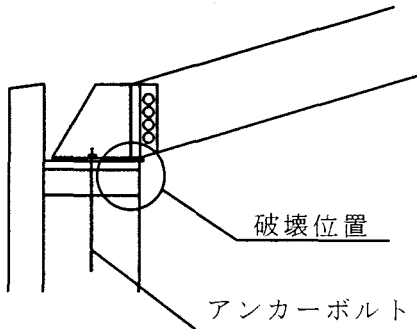
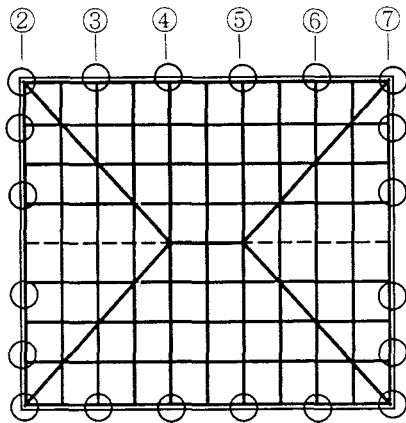


図9 定着部詳細図



○はアンカーボルトの位置を示す

図10 小屋伏図

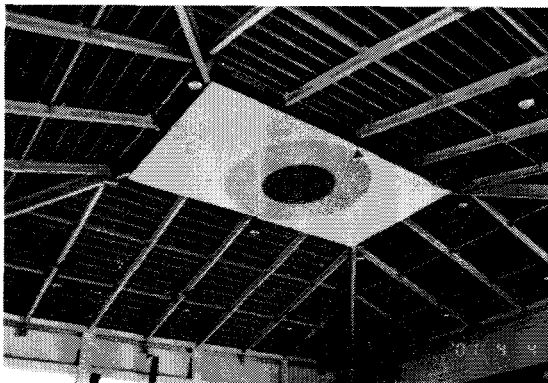


写真5 体育館内部



写真6 定着部コンクリートの破壊

べる。なおコンクリート破壊モデルとして露出型柱脚のものを用いているが今回の被害は柱頭部コンクリートと鉄骨梁との定着部なので、可能な範囲で応用し計算を進める。

## 2.1 ベースプレート端部による圧縮破壊（モードI）

アンカーボルトに引張力が作用した場合、逆側のベースプレート端部に集中荷重による圧縮力が作用すると仮定した。この時圧縮力 $C_Y$ は鉛直荷重 $N$ とアンカーボルトの引張力 $T$ の合力である。一方、コンクリートはベースプレート端部からコンクリート立上げ部最外縁までの2倍の距離 $2x$ にベースプレートの幅 $B$ を掛けた面積が抵抗するものとする。図11に破壊モード図を、図12に力学モデルをそれぞれ示す。

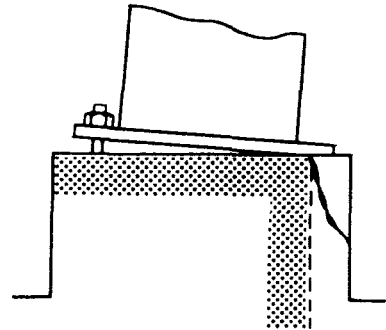


図11 破壊モードI

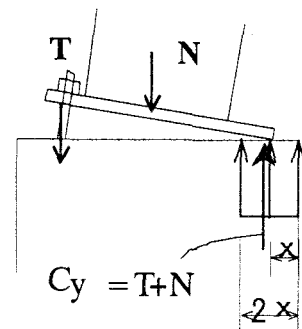


図12 力学モデルI

破壊が生じないならばコンクリートからの圧縮耐力が $C_Y$ を上回ると考えられ、以下の式を満たすことになる。なお、支圧応力が働く場合には圧縮応力度を $F_C$ とする<sup>2)</sup>。

$$C_Y < F_C B (2x)$$

$$C_Y = n \cdot b_a \cdot b_b \sigma_Y + N$$

ここに、

$C_Y$ ：アンカーボルト降伏時の圧縮力

$F_C$ ：コンクリートの設計基準強度（圧縮強度）

$B$ ：ベースプレート幅

- x : ベースプレート最外縁から立上げ部最外縁までの距離
- n : 引張側アンカーボルトの本数
- b<sub>a</sub> : アンカーボルトの軸部断面積
- bσ<sub>Y</sub> : アンカーボルトの引張強度

2.2 ベースプレートが曲がった時の割裂破壊(モードII)

アンカーボルトに引張力が作用した場合、ベースプレートが曲げ薄く変形し、C<sub>Y</sub> がコンクリート立上げ部に局部的に加わり立上げ部が割裂を生じて破壊するモードである。図13に破壊モード図を、図14に力学モデルをそれぞれ示す。

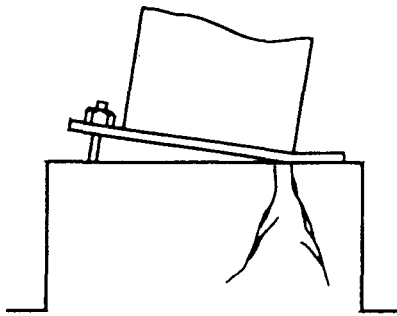


図13 破壊モードII

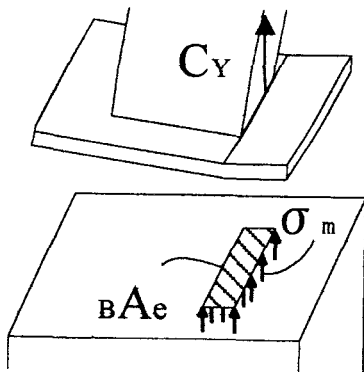


図14 力学モデルII

破壊が生じないならば加圧面積<sub>B</sub>A<sub>e</sub> にかかる局部圧縮耐力が C<sub>Y</sub> を上回ると考えられ、以下の式を満たすことになる。

$$C_Y < B A_e \cdot \sigma_m$$

ここに、

- B<sub>Ae</sub> : コンクリートを加圧している部分の面積 (B<sub>0</sub>/18)
- σ<sub>m</sub> : コンクリートの局部圧縮強度 (=6F<sub>c</sub>)
- B<sub>0</sub> : コンクリートと接するベースプレートの面積

2.3 圧縮によるせん断破壊(モードIII)

ベースプレートがコンクリート立上げ部より大きい場合、もしくは立上げ部の端部までである場合、立上げ部コンクリートの端部に圧縮力 C<sub>Y</sub> が作用し距離 x' の位置から45° に

せん断破壊すると仮定する。コンクリートは破壊断面全体で抵抗したとし、せん断面に作用するせん断応力の鉛直成分の合力と圧縮力との比較を行う。

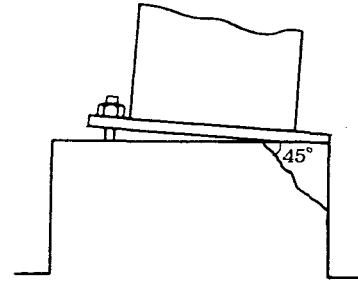


図15 破壊モードIII

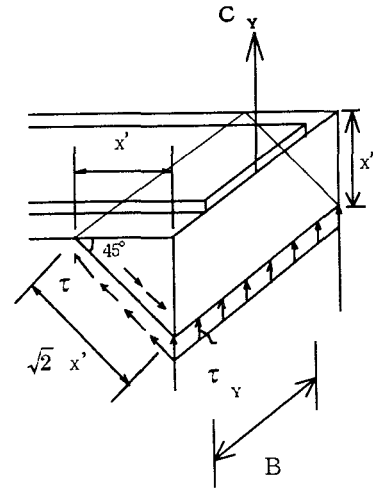


図16 力学モデルIII

破壊が生じないならば全せん断面 A<sub>τ</sub> にかかる τ の合力の鉛直成分が C<sub>Y</sub> を上回ると考えられ、以下の式を満たすことになる。

$$C_Y < \tau \cdot A_\tau \cdot 1/\sqrt{2}$$

$$\tau = 0.39F_c^{0.73}, A_\tau = B \times \sqrt{2} \cdot x'$$

ここで

- A<sub>τ</sub> : せん断面の面積
- x' : 立上げ部の高さ

4. 計算結果

阿品台中学校・地御前小学校についてはモードIベースプレート端部による圧縮破壊、モードIII圧縮によるせん断破壊のついてそれぞれ計算する。金剛寺小学校・平良小学校についてはそれぞれのモードに当てはめ難いので、計算方法については今後検討する。

阿品台小学校、地御前小学校の寸法、その他の値を表1

に示す。また、計算結果を表2に示す。

表1 モードI・II・IIIの計算式への入力値

モードI

	$F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	B (cm)	x (cm)	n (本)	$b_a$ (cm <sup>2</sup> )	$b\sigma_Y$ (t/cm <sup>2</sup> )
阿品台小学校	210	42	2.5	2	3.8	2.4
地御前小学校		20	1.1	2	2.01	

モードII

	$F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	B (cm <sup>2</sup> )	n (本)	$b_a$ (cm <sup>2</sup> )	$b\sigma_Y$ (t/cm <sup>2</sup> )
阿品台小学校	210	1680	2	3.8	2.4
地御前小学校		560	2	2.01	

モードIII

	$F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$B_0$ (cm)	$x'$ (cm)	n (本)	$b_a$ (cm <sup>2</sup> )	$b\sigma_Y$ (t/cm <sup>2</sup> )
阿品台小学校	210	42	15	2	3.8	2.4
地御前小学校		20	8	2	2.01	

表2 計算結果

	$C_Y$ (kg)	モードI	モードII	モードIII
		$F_c \cdot B \cdot 2x$ (kg)	$bA_e \cdot \sigma_m$ (kg)	$\tau \cdot A_r \cdot 1/\sqrt{2}$ (Kg)
阿品台小学校	20,170	44,100	113,400	12,000
地御前小学校	10,153	9,200	39,000	3,000

## 5. 結 論

柱頭部コンクリートに破壊が見られた4棟の小学校屋内体育館のうち阿品台中学校、地御前小学校について計算を行い以下の結論を得た。

- 1) 阿品台小学校について、モードIで $C_Y < 0.85F_c \cdot B \cdot 2x$ となり破壊しない、モードIIで $C_Y < bA_e$ となり破壊しない、モードIIIで $C_Y > \tau \cdot A_r \cdot 1/\sqrt{2}$ となり破壊する可能性がある。
- 2) 地御前小学校について、モードIで $C_Y > 0.85F_c \cdot B \cdot 2x$ となり破壊する可能性があり、モードIIで $C_Y < bA_e$ となり破壊しない、モードIIIで $C_Y > \tau \cdot A_r \cdot 1/\sqrt{2}$ となり破壊する可能性がある。

今後の課題としては今回破壊モードのどれにも当てはまらなかったり、また資料不足だった金剛寺小学校、平良小学校についても当てはまる破壊モードの研究と破壊状況を検討していく予定である。

## 文 献

- 1) 秋山 宏：鉄骨柱脚の耐震設計，技報堂出版，1985
- 2) 福原安洋，中山昭夫，高松隆夫，森村 毅：鋼構造，森北出版，2000