

# 1901 CTV ビルの崩壊挙動に関する有限要素解析

## Finite Element Analysis on Collapse Behavior of CTV Building

○正 磯部 大吾郎 (筑波大) 非 恩田 江理 (筑波大院)

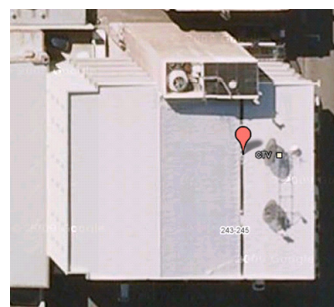
Daigo ISOBE, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki  
Eri ONDA, Graduate School, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

### 1. 緒言

2011年2月22日、ニュージーランド南島の最大都市クライストチャーチでM6.3の強い地震が発生し、ビルが倒壊するなど大きな被害が出た。特に、市の中心部にあった6階建てのカンタベリーテレビ (CTV) ビルが完全に倒壊し、多数の日本人留学生らが犠牲となったことは記憶に新しい。本稿では、この建物の写真などから寸法や柱配置を推定して建物のモデル化を行い、有限要素解析を実施してその崩壊挙動について検証した。建物の崩壊挙動解析に有効な ASI-Gauss 法<sup>1)</sup>に RC (鉄筋コンクリート) 構成則を導入し、これを解析に適用した。入力地震波には、市の南東 10 km 程の Christchurch Cathedral College で観測された波形 (CCCC 波) を用いた。推定値に基づいた解析のため、あくまでも定性的な評価にとどまるが、建物の北側側面に構造的に強いエレベータシャフトが配置されていたためにそれを中心に建物全体に大きな揺れ振動が生じ、各階の柱が一気に水平耐力限界を超えて崩壊に至ったことを裏付ける結果となった。



(a) Global view (by Google street view)



(b) Upper view (by Google map)

Fig.1 CTV building before earthquake

### 2. 解析モデルおよび解析条件

図1に示す CTV ビルは、6階建ての RC 造であった。これをモデル化するために、RC 部材のひび割れ強度および降伏強度として以下に示す諸式<sup>2)</sup>を使用した。

・ 曲げひび割れ強度

$$M_c = 1.8\sqrt{F_c} \cdot Z_e + \frac{NZ_e}{A_c} \quad (1)$$

・ 曲げ降伏強度

#### 柱

①  $N_{min} \leq N < 0$  のとき

$$M_y = 0.5(a_g\sigma_y + N)g_1D \quad (2a)$$

②  $0 \leq N \leq N_b$  のとき

$$M_y = 0.5a_g\sigma_y g_1D + 0.5ND(1 - \frac{N}{bDF_c}) \quad (2b)$$

③  $N_b < N \leq N_{max}$  のとき

$$M_y = \{0.5a_g\sigma_y g_1D + 0.24(1 + g_1)(3.6 - g_1)bD^2F_c\} \times (N_{max} - N)/(N_{max} - N_b) \quad (2c)$$

ただし

$$N_{min} = -a_g\sigma_y \quad (3a)$$

$$N_{max} = bDF_c + a_g\sigma_y \quad (3b)$$

$$N_b = 0.22(1 + g_1)bDF_c \quad (3c)$$

はり

$$M_y = 0.9a_t\sigma_y d \quad (4)$$

・ せん断ひび割れ強度

$$Q_c = (1 + \frac{N}{150bD})k_c(500 + F_c)\frac{0.085}{M/Qd + 1.7}bj \quad (5)$$

・ せん断終局強度

$$Q_y = [\frac{0.115k_u \cdot k_p(180 + F_c)}{M/Qd + 0.115} + 2.7\sqrt{p_w \cdot s f_{wy}} + 0.1\frac{N}{bD}]bj \quad (6)$$

・ 降伏時の剛性低下率

$$\alpha_y = (0.043 + 1.65n \cdot p_t + 0.043\frac{M}{Qd} + 0.33\eta_0)(\frac{d}{D})^2 \quad (7)$$

ここで、b:柱幅、D:柱せい、 $h_0$ :柱の内法高さ、d:有効せい、 $g_1$ :主筋重心間距離、 $A_c$ : RC 材の断面積= $bD$ 、 $F_c$ :コンクリートの圧縮強度、 $s_f$ :引張鉄筋降伏応力度、 $s_{fy}$ :せん断補強筋の引張降伏応力度、 $Z_c$ :鉄筋を考慮した断面係数= $1.1Z=1.1(bD^2/6)$ 、n:コンクリートと鉄筋のヤング率比、N:軸方向力、M/Qd:せん断スパン比、 $\eta_0$ :軸力比= $N/A_cF_c$ 、j:応力中心間距離= $7d/8$ 、 $k_c$ :部材せいの係数=0.7、 $k_u$ :部材寸法の係数=0.7、 $k_p$ :引張鉄筋比の補正係数=0.82 $p_t^{0.23}$ 、 $p_t$ :引張鉄筋比

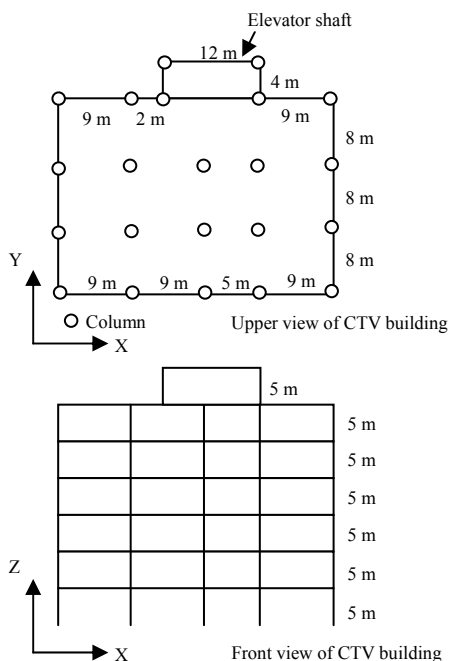


Fig.2 Model dimensions estimated from pictures

Table 1 Member list (columns)

	Sectional size (mm)	Reinforcements
Elevator shaft	800×800	16-D35 2-D10@100
4~6 <sup>th</sup> floor	400×400	8-D29 2-D10@200
2 <sup>nd</sup> , 3 <sup>rd</sup> floor	500×500	8-D29 2-D10@200
1 <sup>st</sup> floor	500×500	16-D29 2-D10@200

Table 2 Member list (beams)

	Sectional size (mm)	Reinforcements
1~6 <sup>th</sup> floor, Elevator shaft	400×600	4-D22 2-D10@200

$=a_i/bD$ ,  $p_w$ :せん断補強筋比 $=a_w/b\chi$ ,  $a_i$ :引張鉄筋断面積,  $a_w$ :全主筋断面積,  $a_w$ :せん断補強筋1組の断面積,  $\chi$ :せん断補強筋の間隔である。曲げ剛性の履歴曲線としては, Degrading tri-linear (D-tri)型<sup>3)</sup>を採用した。部材の破断に対しては, 部材を構成する各要素の曲率, 引張軸ひずみおよびせん断ひずみによる判定条件を用いた。図1等から推定したモデルの寸法を図2に, モデルの部材データを表1, 2に示す。使用したコンクリート強度は  $23.5 \text{ N/mm}^2$ , 鉄筋の引張降伏応力は  $411.6 \text{ N/mm}^2$ , 破断臨界値は一律に曲率:  $3.3 \times 10^{-3}$ , 引張軸ひずみ:  $0.17$ , せん断ひずみ:  $4.0 \times 10^{-3}$  とした。線材のみをモデル化し, 床と壁については重量のみを考慮して床荷重を一律に  $400 \text{ kgf/m}^2$  とした。また, 減衰は考慮していない。入力波とした CCCC 波を図3に示す。

### 3. 解析結果

解析結果を図4に示す。波形入力後 13 s 程からエレベータシャフトを中心に徐々に揺れ振動が増大し, 25 s 付近に3

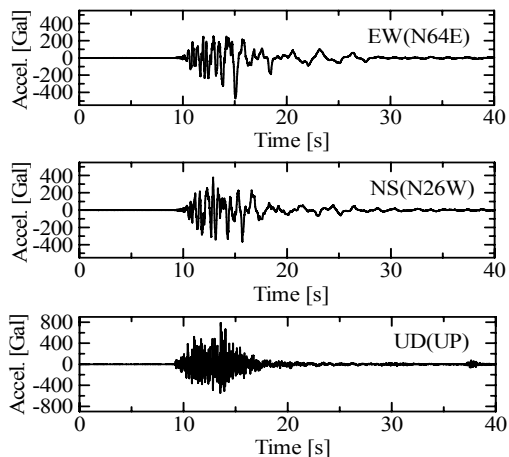


Fig.3 Input seismic wave (CCCC wave)

階で生じた層崩壊を起点として建物が一気に倒壊する様子が確認できた。

### 4. 結言

本稿では, 内部構造や部材寸法等の推定値を元に CTV ビルをモデル化しているため, 定量的にその倒壊要因を特定できたとは言えない。しかし, 構造的に強い箇所を中心に偏心運動が起こり, それがかき付けとなって倒壊に至ったことは十分に考えられる。

### 参考文献

- [1] 磯部, リン: 飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析, 建論, 第579号, 2004, pp. 39-46.
- [2] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説, 日本建築学会, 1997.
- [3] 梅村 魁: 鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法: 中層編, 技報堂出版, 1982.

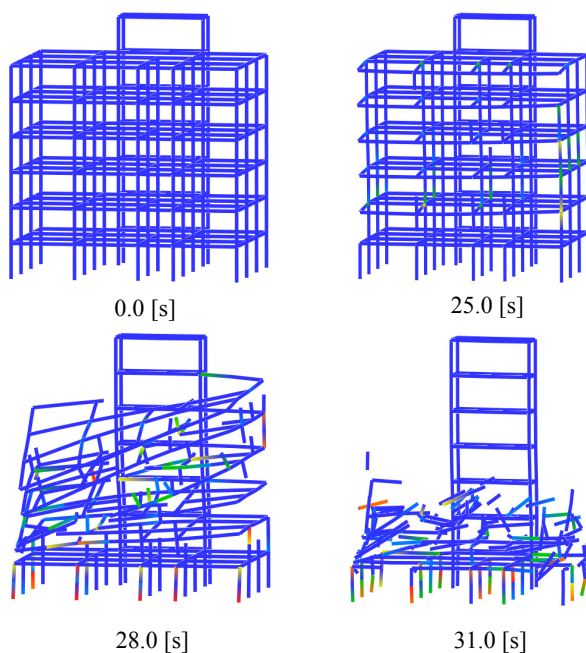


Fig.4 Collapse behavior of CTV building