

# 免震構造の動的応答解析と品質施工管理 に関する考察

学籍番号 1090506 氏名 依光 映紀

高知工科大学工学部社会システム工学科

これまでに当研究室では免震構造建物の設計・解析が行われてきた。今回実際の免震構造建物の施工プロセスをすべて見学できるチャンスがあり、この観察内容から設計解析上の仮定事項と実施工状態を比較しながら、設計・解析の妥当性あるいは改良すべき事項を検証することを本研究の目的とした。特に免震工事の場合、基礎、杭、免震ベッドの施工行程上で各免震層に軸力の不均等な負担が起らないか、またコンクリート断面（柱、基礎梁、梁、床等）の実施工と設計との乖離についても注目する。さらに構造設計で考慮しないとされている方立て壁、サッシ、間仕切り壁、の取扱いとこの構造設計上の食い違いがあるかについても検討したい。さらにコンクリート打設について、一般には現場水中養生の圧縮試験データ（シリンダー）と実際に打設された梁材、柱材、壁材のコンクリート強度の違いについても検討したい。

**Key Words :** 免震構造 施工管理 動的応答解析 施工誤差

## 1. はじめに

### 1.1 背景目的

わが国は、世界でも有数の地震大国であり、今現在も近年起こるとされている東南海地震の被害が懸念されていることもあり、建造物の耐震性能が大きく注目が寄せられている。この建造物の耐震性能は近年、構造解析ソフトの高度化に伴い、比較的容易に解析結果を得ることができる。

しかし、設計者が構造解析に用いるデータはあくまで現時点での仮定事項であり、実際に施工を行う現場の状況によっては設計段階からの変更を余儀なくされたり、誤差を生じることも少なくない。また、実際に施工現場で使用するコンクリートの圧縮強度などは基本的に設計条件より強度の高いものを使用している。

本研究では、実施工現場の設計と施工の調査をさせていただき、対象となった建造物が施工中に変動した施工誤差について、建造物をモデル化し、動的応答解析を行うことで、建造物の耐震性能にどのような変異となって表れるのかを主に免震層の変異について注目して比較・検証し、現場の品質施工管理が妥当であるのかを検証していく。

## 2. 解析対象建物

### 2.1 建物概要

今回、解析対象として用いる建造物は現在高知市内において建設中の共同住宅である。

この建造物の主な特徴としては、まず1階がエントランスホールとなっており、階高が5mを超えていること。また、すべての階で北側に階段が設置されており、柱部材・積層ゴムも存在するため、免震層

の構造はやや複雑な形状をしている。

このような建造物は上部構造の重心と免震層の剛心との差異が大きくなり、各面震層に軸力の不均一が起らないよう注意が必要である。2階より上の階はすべて居住スペースとなっている他、屋上には塔屋を設けており、全15階層である。

### 2.1 解析モデル

今回解析に用いたモデルは以上の設計図・施工図を元にフレームのみを作成している。また、一部の構造から独立した壁や屋上に設置されるはずだった塔屋の設計値が入手できなかったため、作成することができず全14階建てとなっているなど、比較的簡略化している。

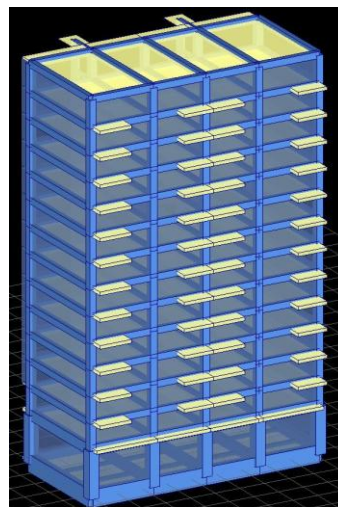


図2.1 解析モデル全容

## 2.2設計条件の変動

今回、建設現場で施工状況の調査をするにあたって

- ・鉄筋強度
- ・鉄筋のかぶり厚
- ・コンクリート圧縮強度

の3点に着目した。その結果、  
調査結果

- ・鉄筋強度

詳細な調査ができていないが通常、設計強度よりも強いものを使用するため、割増を行い解析を行った。

- ・かぶり厚

ほぼ設計値通りの値になっていた。

- ・コンクリート圧縮強度

施工強度、実測強度、共に設計値からの変動が確認できた。

これらの調査結果から解析に使用するコンクリート圧縮強度と鉄筋強度の変更についてはそれぞれ以下のとおりになっている。また、施工状況が悪く、コンクリート圧縮強度が著しく低下した場合の応答についても調べるため、各階の圧縮を $24\text{N/mm}^2$ とした場合の解析も行った。

表1 コンクリート圧縮強度

適用箇所	設計強度	施工強度	実測強度
1F~4F床	$39\text{N/mm}^2$	$42\text{N/mm}^2$	$45\text{N/mm}^2$
4F~7F床	$36\text{N/mm}^2$	$39\text{N/mm}^2$	$42\text{N/mm}^2$
7F~10F床	$33\text{N/mm}^2$	$36\text{N/mm}^2$	$39\text{N/mm}^2$
10F~13F床	$30\text{N/mm}^2$	$33\text{N/mm}^2$	$36\text{N/mm}^2$
13床~RF	$27\text{N/mm}^2$	$30\text{N/mm}^2$	$33\text{N/mm}^2$

表1 コンクリート圧縮強度

適用箇所	設計強度	施工強度
1F~6F	SD490	SD590
7F~10F	SD390	SD490
11F~14F	SD390	SD490
RF	SD345	SD390

## 2.3 1階平面図

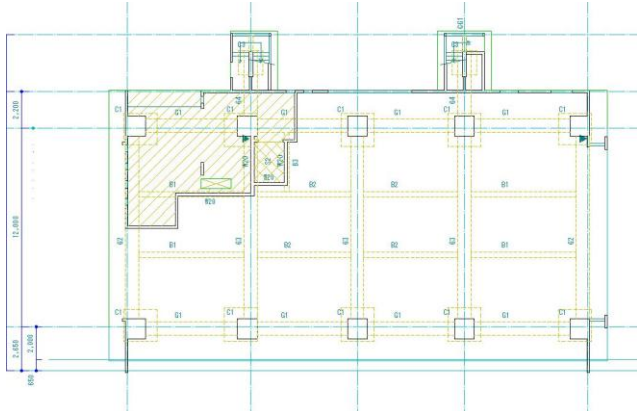


図2.3 1階平面図

## 2.4 構造設計図：免震層伏図

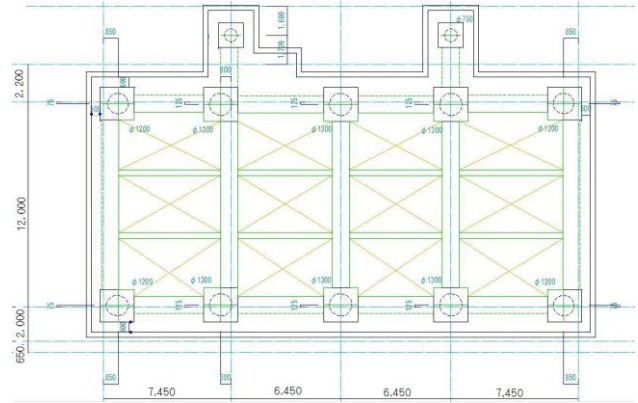


図2.4面震層設計図

## 2.5 現場施工図：免震層

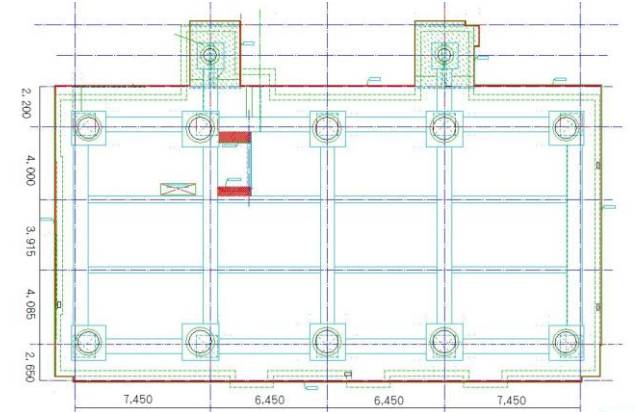


図2.5面震層施工図

## 2.6 立面図

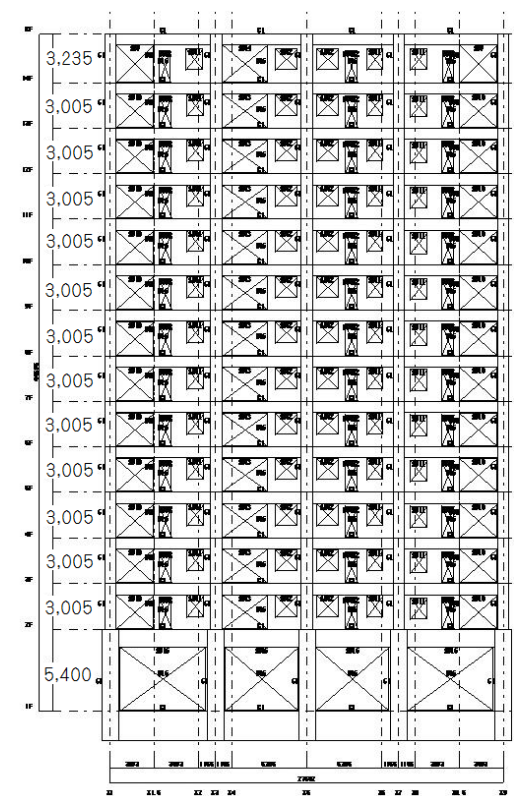


図2.6構造設計図：立面図

### 3. 解析方法

#### 3.1 解析に使用するソフト

今回の解析に使用するのは「Bird-21」、「RESP-F3」、「RESP-QDM」、「RESP-M/II」という計4つの構造解析ソフトである。各解析ソフトの解説は以下に示す。

##### ・Bird-21

構造物の形状、使用材料、床の利用面積などから構造物の解析モデルを作成するソフトであり、作成したモデルの許容応力度設計を行う。

免震構造の作成はできず、このソフトで作成できる構造は上部構造と基礎構造だけであるが、この許容応力度設計によって柱の視点反力が求まり、この反力を支えることのできる免震ゴムを使用しなければならない。

このソフトで作成した解析モデルを他のソフトで使用できるよう変換する。

##### ・RESP-F3

このソフトはBird-21で作られたモデルを用いての静的応力度設計法による解析を行う。

##### ・RESP-QDM

Bird-21で作成された解析モデルの復元力特性をモデル化し、動的応答解析を行うために質点系モデルへデータを変換させる。

##### ・RESP=M/2

変換された質点系モデルをに免震部材を追加することができる。解析モデルはこの時点で面震構造となり、この解析モデルを動的応答解析する。

#### 3.2 解析手順

本研究の目的は構造物が設計段階で満たしていたクライテリアを施工時に加えられた変更点を与えられた上で十分に発揮しているかを解析することである。よってまず、設計時に与えられていた寸法・圧縮強度・断面をもとに再現した「設計値モデル」を作成し、動的応答解析を行う。前項で示した順に解析ソフトによる解析を行う。

この解析の流れを解析条件を変更した各モデルに対して行い、すべての解析が終了した後、各モデルの免震層の最大応答変位がどのように推移しているのか、そこから免震層の持つ耐震性能にどのような変動があったのか検証する。

#### 3.3 使用する入力地震動

本研究では使用する入力地震動を2種類  
入力地震動は、「EL CENTRO 1940 NS」、「TAFT 1952 EW」、「HACHINOHE 1968 NS」という3種類の波形データ使い、さらにこれをL1レベル、L2レベルに分けて2種類使用した。各レベルの詳細を以下に記す。

・L1レベル：最大加速度を25cm/secに基準化した波形データであり、当該建築物の耐用年数中に一度以上受ける可能性が大きい地震動を想定した地震動の強さである。この地震動に対しては、主要構造体は概ね弾性的な挙動で応答することを目標とすること

を目的とする。

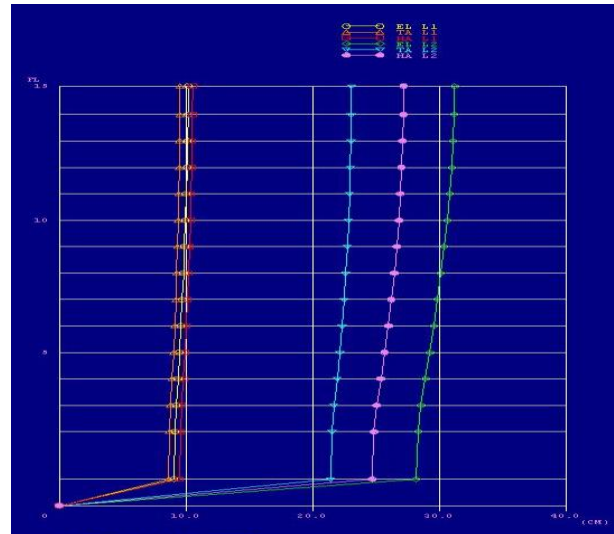
・L2レベル：最大加速度を50cm/secで基準化した波で、当該建築物の敷地において、過去及び将来にわたり最も大きいと考えられる地震動を想定し、この地震動に対しては建物は渡辺介したり、あるいは外壁の脱落等、人命に損傷を与える可能性のある破損を生じないことを目的とする。

### 4. 解析結果

#### 4.1 動的応答解析

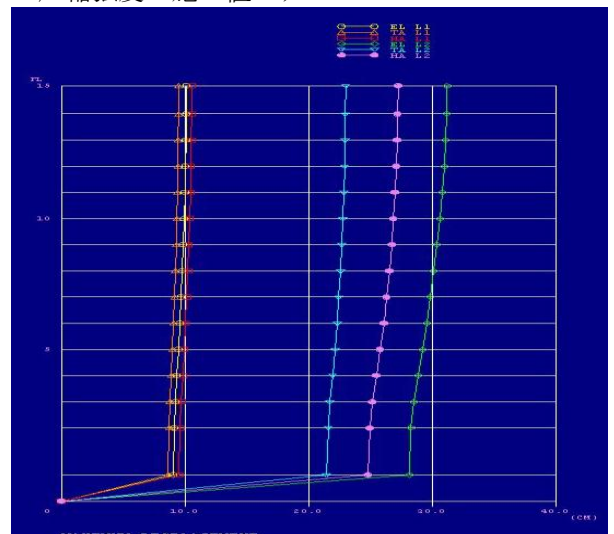
各解析モデルの動的応答解析結果を以下に記す。

##### ・設計値モデル



EL CENTRO	L1	9.09 cm
TAFT	L1	8.64 cm
HACHINOHE	L1	9.50 cm
EL CENTRO	L2	28.17cm
TAFT	L2	21.41cm
HACHINOHE	L2	24.71cm

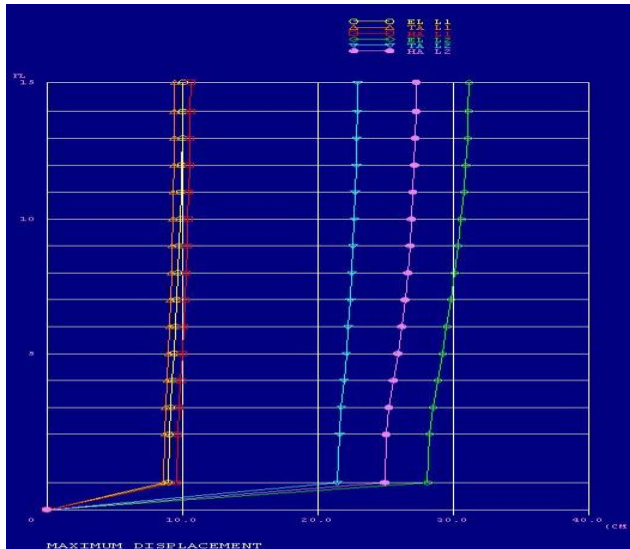
##### ・圧縮強度：施工値モデル



EL CENTRO	L1	9.07cm
TAFT	L1	8.64 cm

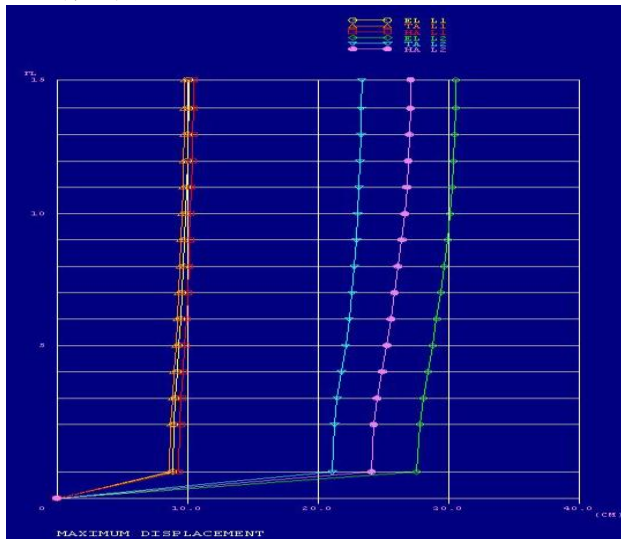
HACHINOHE	L1	9.54 cm
EL CENTRO	L2	28.16cm
TAFT	L2	21.45cm
HACHINOHE	L2	24.82cm

・圧縮強度：実測値モデル



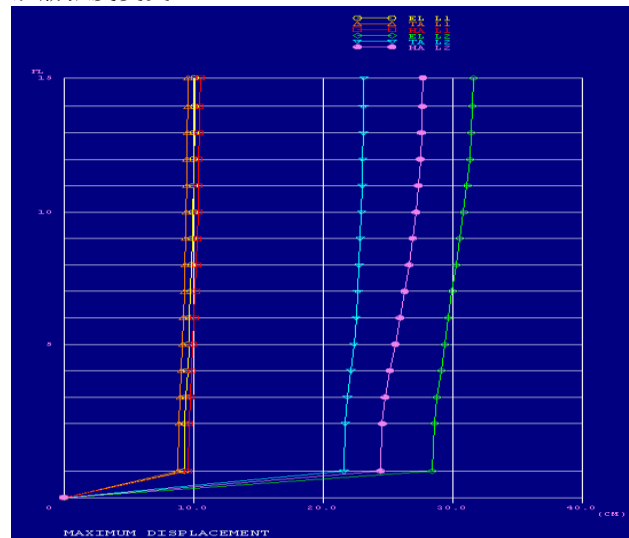
EL CENTRO	L1	9.00 cm
TAFT	L1	8.65 cm
HACHINOHE	L1	9.60 cm
EL CENTRO	L2	28.13 cm
TAFT	L2	21.48 cm
HACHINOHE	L2	24.95 cm

・圧縮強度：24N/mm<sup>2</sup>



EL CENTRO	L1	8.88 cm
TAFT	L1	8.64 cm
HACHINOHE	L1	9.34 cm
EL CENTRO	L2	27.56 cm
TAFT	L2	21.11 cm
HACHINOHE	L2	24.13 cm

鉄筋強度変更



EL CENTRO	L1	9.30 cm
TAFT	L1	8.83 cm
HACHINOHE	L1	9.60 cm
EL CENTRO	L2	28.45 cm
TAFT	L2	21.61 cm
HACHINOHE	L2	24.45 cm

## 5. 解析結果の考察

上部構造のコンクリート圧縮強度、鉄筋強度が変動することによる免震層の変位は多少変化するものの免震層の性質を大きく変化させる要因にはならなかった。

また、コンクリート圧縮強度を著しく低下させた場合、全体的に免震層の最大変位が小さくなる解析結果が得られたが、現在のところこの原因は分かっていない。

## 6. まとめ

今回、実施工に合わせて構造物の解析条件が変動することによる、免震層の耐震性能の推移を確認することができた。

しかし、上部構造の設計条件が変動が変動しても免震層の最大応答変位に大きな変動は起こらず、この両者に繋がりはないことが分かった。次は故意に柱の断面や耐震壁の有無を変更し、大きな変更が加わったとき免震層の性能がどう変化するのか、また、免震層を支えている免震基礎が傾いた施工の場合、免震層の受ける軸力が不均一になるなどの現象が考えられる。それらの免震装置への影響を検証したい。

## 7. 参考文献

- 免震構造設計指針 (2001年 日本建築学会)
- Bird-21 ユーザーマニュアル
- RESP-F3 ユーザーマニュアル
- RESP-F3P ユーザーマニュアル
- RESP-M/2 ユーザーマニュアル
- オイレス工業免震カタログ