

# 地質不安定な急傾斜地に建設するホテルの構造設計 —熱海暖海荘増改築工事—

Structural Design of Hotel Building to be extended on Steep Slope of Unstable Ground  
—Construction of Atami Dankaiso—

大野 俊介\*  
Shunsuke Ono

有坂 七郎\*\*  
Shichiro Arisaka

阿世賀 宏\*\*\*  
Hiroshi Asega

## 要 約

当建物は、熱海湾に面した急傾斜地に建設予定の12階建のホテルで、敷地の高低差が約25m、傾斜角度約45°という段状斜面の上、東海地震を想定した「地震防災対策区域」に指定されている。こうした敷地の特殊性から、建築認可は専門家の指導・審査を受けることが義務付けられ、渡部博士の指導を仰いだ。

構造設計上の問題点としては、①地震力のとらえ方、②既存建物との関係、③土質による杭への影響などがあったが、建物全体の構造的バランス、じん性の高い構造形式などを考慮し、最終的には地中梁にも鉄骨を入れたSRC造を採用することにした。

弾性応答解析の結果、当建物は300gal相当の地震力に対しても破壊することなく、十分ホテルとしての使命を果せることが判明した。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概要
- § 3. 構造設計上の問題点
- § 4. 検討結果と考察
- § 5. まとめ

### § 1. はじめに

豊富な温泉量と景勝地を持つ熱海は、海岸近くまで山が迫っている地形から、新に建物を計画する場合には、急傾斜地を利用することが多い。

熱海暖海荘増改築工事においても、こうした急傾斜地に建てられるため、厳しい種々の条件を満足する構造計画を行った。

以下にその概要を報告する。

### § 2. 概要

当建物は、熱海市東海岸町の急傾斜地に建設予定の12

階建、延床面積10,250m<sup>2</sup>(3,100坪)のホテルである。敷地は階段状となっているが、その高低差が約25mもあり、斜面に沿うような形で建物が計画されている。そのため、建物入口は6階部分にあり、1階～4階がサービスエリア、5階～7階がホール・宴会場、8階以上が客室となっている。

地盤は、第三紀鮮新世時代に形成された火山溶岩や火山砕屑物から構成された地質となっているが、斜面表層部は埋土、ローム、崖錐が不規則な厚さで分布し、下部に基盤岩として角礫凝灰岩(岩質は安山岩で、礫径は20～50cm程度)が広く分布している。

また、静岡県内は、昭和53年に制定された「大規模地震対策特別措置法」により、近い将来、駿河湾、遠州灘を震源地とした東海大地震が発生するおそれがあるため、当地域は、「地震防災対策強化地域」に指定されている。

### § 3. 構造設計上の問題点

当建物の構造設計を行う上で、問題となる事項に次のようなものがあった。

- (1)建物基礎が、敷地形状に合わせて1階から6階まで、段状に設けられるため、建物に入力する地震力を一概

\*建築設計部構造課 係長  
\*\*建築部計画課 副課長  
\*\*\*技術研究部原子力室 係長

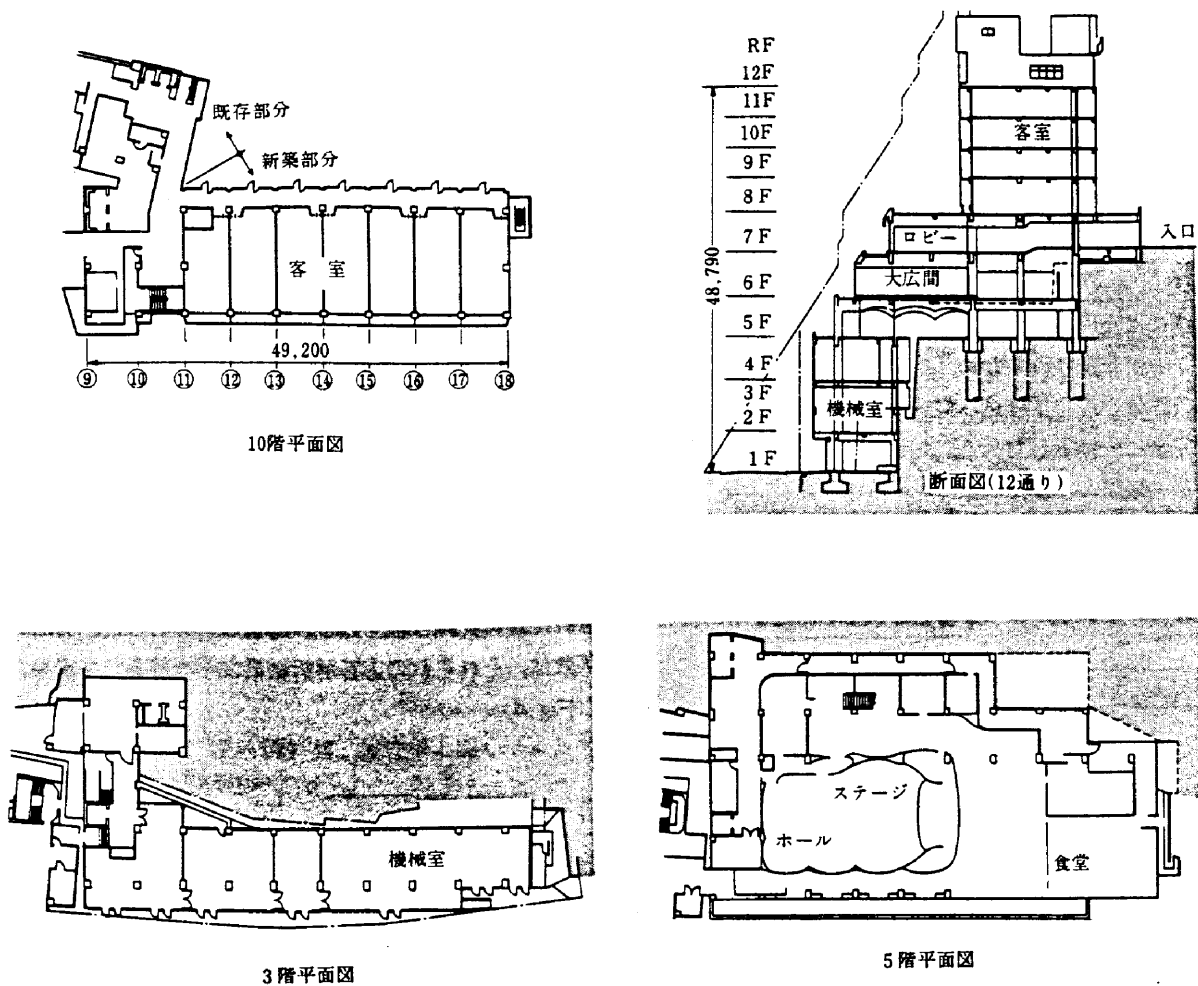


Fig.1 建物平面図・断面図  
Plan & section

に決められないのでどうするか。

- (2)既存建物の基礎が、当建物の6階床面に近接しているため、新設建家との相互間の影響があるか。
- (3)敷地が急斜面のため、地盤上部の地層(埋土、ローム、崖錐)が、地震時に杭と挙動を共にし、杭に過大な応力を与えないか。
- (4)当建物の中間階(5~7階)に、大空間を要求されるホールや宴会場を有するため、耐震壁が思うように設置できない。この処理をどうするか。

上記の事情と共に、敷地及び建物形状の特殊性から、建築確認申請に当っては、関連機関の判断だけでなく、日本建築センターの審査又は専門分野の先生から指導・審査を受けるよう建築主事より義務付けられた。

このため、構造設計段階で、建設省建築研究所国際地震工学部部長の渡部博士に御指導をお願いし、構造上の諸問題を検討して行くことにした。

## § 4. 検討結果と考察

### 4-1 構造計画

#### (1)建物の剛性

この建物の形状は、前述したように急角度の傾斜地に沿って建設されるため、1階から5階までは地下部分が多く、壁量も十分とれるのに対し、6階と7階はホール等の用途のためにどうしても壁量が不足がちとなる。また、8階以上は客室となるため、間仕切壁などで壁量は確保できる。

しかし、建物全体の剛性を考えると、客室部分の間仕切壁をRC造とした場合、中間階の壁量がネックとなって剛性がバランスしなくなる。

そこで、全体の剛性率を満足させ、地震時応力の偏りを無くすため、客室間仕切壁は、ALC板とすることにした。

(2)耐震壁の耐力

耐震壁は、剪断破壊型とすると、基礎にかかる応力が膨大なものとなるため、基礎の浮上りによる耐力で決定するようにした。

(3)柱及び梁

純ラーメン部分の耐力は、柱が脆性破壊を起さないように梁降伏型とし、靱性をより高めるために全階をSRC造とした。

(4)基礎

基礎には土圧のほか、地震による過大な水平力が作用することが予想されるため、地中梁にも鉄骨を入れ、柱脚部の鉄骨を地中梁埋込み型式として、柱・地中梁・基礎を完全に一体とした。

4-2 地震エネルギー

地震研究者グループの発表によると、東海沖で発生する地震の想定は、震源地が駿河湾沖で、地殻のひずみ状況から大きなエネルギーが蓄積されているという。その

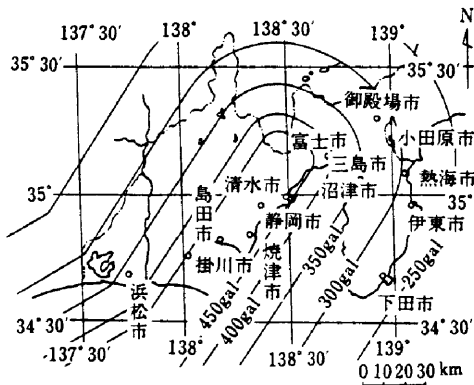


Fig. 2 安政東海地震時の地表最大加速度分布 (3種地盤の場合)  
Distribution of the maximum acceleration on the surface of the earth at the Ansei-Tokai Earthquake

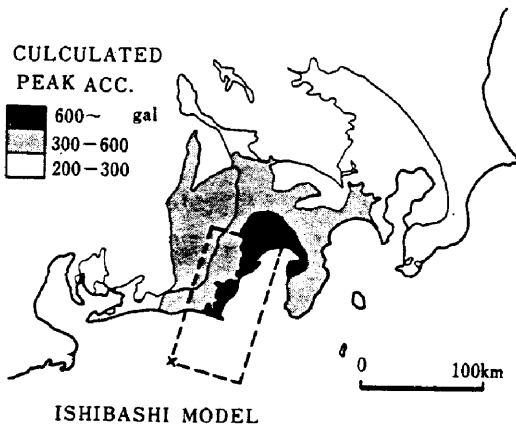


Fig. 3 仮想東海地震の震度分布予測  
Forecast of seismic intensity in case of a presupposed Tokai Earthquake happening.

場合、静岡県を中心部では、地表最大加速度 600galの地震力が発生し、熱海市では 300~600gal と予想されている。また、安政東海地震時の地表最大加速度は、熱海市で地盤種別が3種の場合、300galといわれている。

こうした背景より、当敷地の地表最大加速度は、地盤種別が2種に相当することから 200gal と推測した。

4-3 層剪断力係数

(1)計算方法

この建物の層剪断力係数は、建築基準法 (Co=0.2) による算定結果と振動分析モデルによる弾性地震応答解析の結果を比較して決定した。

算定に当っては応答計算モデルは、集中質点系モデルとし、対象質点数を13質点とした。減衰は剛性比例型とし、減衰定数を5%とした。建物と杭の剛性評価は、静的解析により床剛性を考慮して決めた。入力した地震波は、世界各地で得られた地震記録5波及び東京地区で得られた地震記録20波を選び、応答解析を行った。剪断力係数は、それぞれの応答解析結果の平均値として求めた。

(Fig.4)

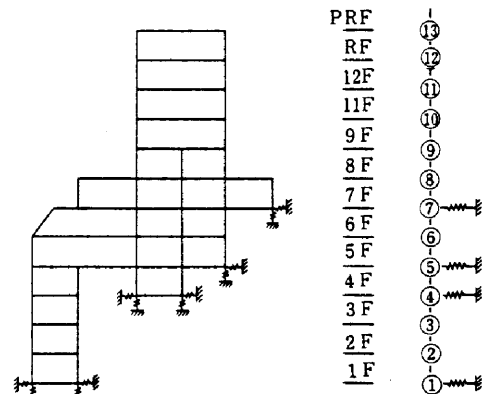


Fig. 4 地震応答解析モデル  
Earthquake response analysis model

なお、敷地形状より杭が段状となるため、構造設計上のGL設定が難しく、基準法による層剪断力係数を求めるのに、1階床面をGLとした場合と5階床面をGLとした場合の2ケースについて算定した。

(2)結果と考察

計算結果を Fig.5 に示す。この結果をみると、1階床面をGLとした層剪断力係数が最大で、地震応答解析による層剪断力係数が最小となった。5階床面をGLとした場合の値は、両者の中間値を示し、応答解析結果の値と類似していることから、1階床面をGLとした場合より、5階床面をGLとして求めた層剪断力係数が実情に近いのではないかと判断した。

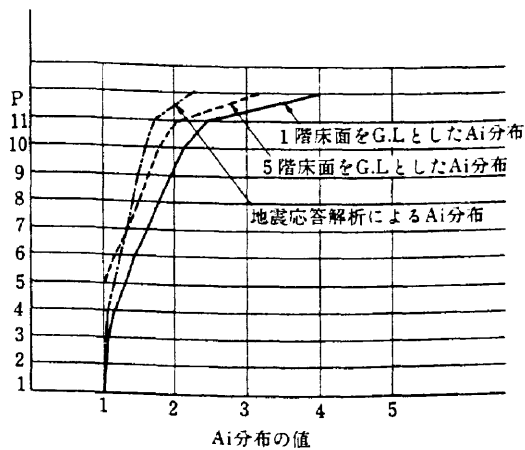


Fig. 5 Ai分布比較  
(層剪断力係数より換算)  
Comparison of Ai distribution

しかし、当建物の用途、安全性等を考慮し、一次設計時では、1階床面をGLとした層剪断力係数を採用した。

4-4 保有水平耐力

(1)計算方法

建物形状係数 (Fe・Fs) は、剛性率と偏心率より決定した。

剛性率は、前記の計算結果から5階床面をGLとした場合の方が実情に近いとの判断より、5階以上は剛性率を算出し、4階以下については地下とみなして、全てFs=1.0とした。

また、偏心率は、全階に亘ってFeを算出した。

保有水平耐力の計算は、ラーメン架構と耐震壁とを分け、節点振分法による一次設計時の分割率を使用して解析を行った。仮定外力分布は、一次設計時の分布を採用した。

なお、保有水平耐力の算定に当っては、事前に渡部博士及び建築主事より、建物の保有水平耐力が、規準上の必要保有水平耐力の1.2倍以上あることを義務付けられていた。

(2)結果と考察

保有水平耐力 (Qu) と必要水平耐力 (Qun) の計算結果を Fig.6 に示す。

この結果をみると、保有水平耐力は、必要水平耐力の1.2倍以上となっており、また、逆算的に構造特性係数 (Ds) を求めてみても、全てのDsは0.31以上をクリアしている。

更に、弾性地震応答解析結果による Ai 分布値を使って求めた保有水平耐力を比較しても、300gal以上の保有水平耐力があることが分かった。

よって、構造耐力としては、十分満足できると判断した。

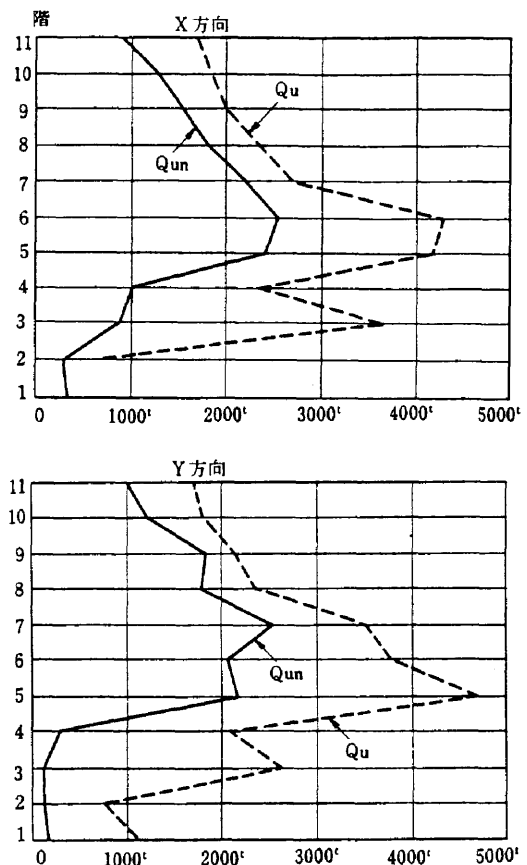


Fig. 6 保有水平耐力 (Qu) と必要保有水平耐力 (Qun) の比較  
Comparison between potential horizontal strength(Qu) and potential horizontal strength required(Qun)

4-5 杭の設計

杭は深礎杭とし、水平力に対しては杭頭固定、柱脚ヒンジとして断面算定及び剛性評価をした。

応力としては、長期土圧水平力と地震水平力の和、及び前述の杭周辺土量の重量を地震時加力と見込み、断面算定した。

4-6 敷地地盤の安定性検討

(1)滑り計算

地盤の滑り計算は、次式によって算定した。

$$F_s = \frac{\left\{ \sum R \cdot C \cdot l + \left\{ \sum W \cdot R \cdot \cos \theta - \sum R \cdot U \cdot l - \sum K h \cdot W \cdot R \sin \theta + \sum K v \cdot W \cdot R \cos \theta \right\} \tan \phi \right\}}{\left\{ \sum W \cdot R \cdot \sin \theta + \sum K h \cdot W \cdot R \cos \theta + \sum K v \cdot W \cdot R \cdot \sin \theta \right\}}$$

ただし

- Fs : 安全率 (常時1.5以上, 地震時1.2以上)
- R : 半径 (m)
- C : 滑り面の土の粘着力 (t/m<sup>2</sup>)
- φ : 滑り面の内部摩擦角 (度)

- $l$  : 微小スライスの円弧長 (m)
- $W$  : 微小スライスの全重量 (t/m)
- $U$  : 間隙水圧 (t/m<sup>2</sup>)
- $\theta$  : 微小スライスの底辺の傾き (度)
- $Kh$  : 水平震度 (本計算では  $Kh=0.2$ )
- $Kv$  : 鉛直震度 (本計算では  $Kv=0.1$ )

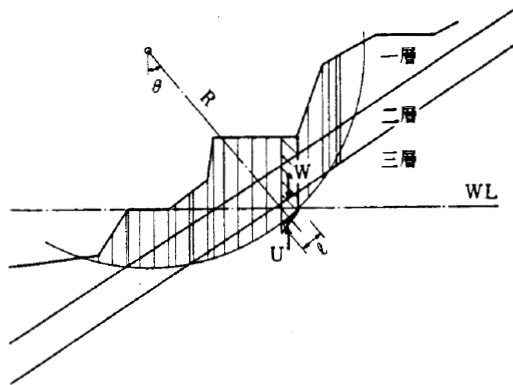


Fig. 7 地盤滑り計算モデル  
Model for computation of ground sliding.

なお、上記の計算は、当社の土木設計部で開発したプログラムを使用した。

建物の荷重については、次のように考えた。

直接基礎部は、接地圧と同面積、同荷重の1m厚さの水平土層に置換した。(Fig.8-1)

深礎部は、台柱が受ける水平荷重  $H$  が、基礎下部地盤の6m(短杭の場合は4m)に等分布すると仮定し、 $H = Kh \cdot W$  とした台柱体積と同体積の連続鉛直土層に置換した。(Fig.8-2)

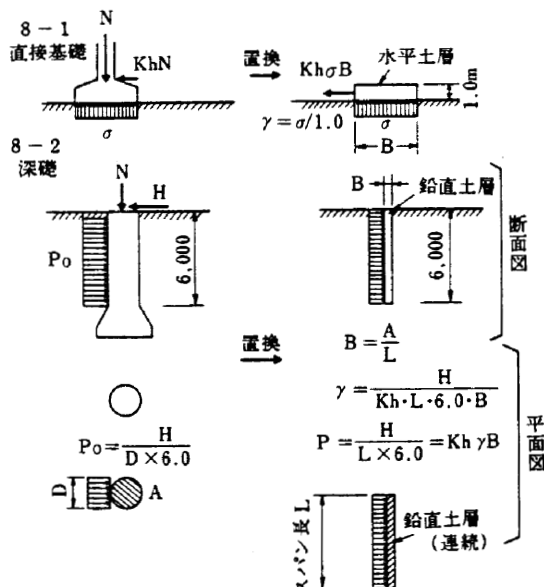


Fig. 8 建物荷重のモデル化  
Model of load condition

建物外壁(斜面方向)に作用する土圧水平力は、 $K=0.33$ の三角分布とし、外壁下端部に集中荷重がかかるものとした。(Fig.9)

ただし、新設建物に対する土圧は、深礎台柱に負担されるため、既存建物にかかる土圧のみを考慮した。また、地震時は、 $K=1.5 \times 0.33$ とした。

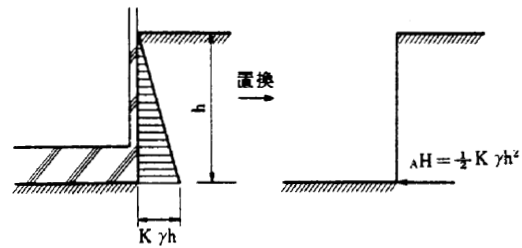


Fig. 9 水平土圧荷重のモデル  
Lateral earth pressure

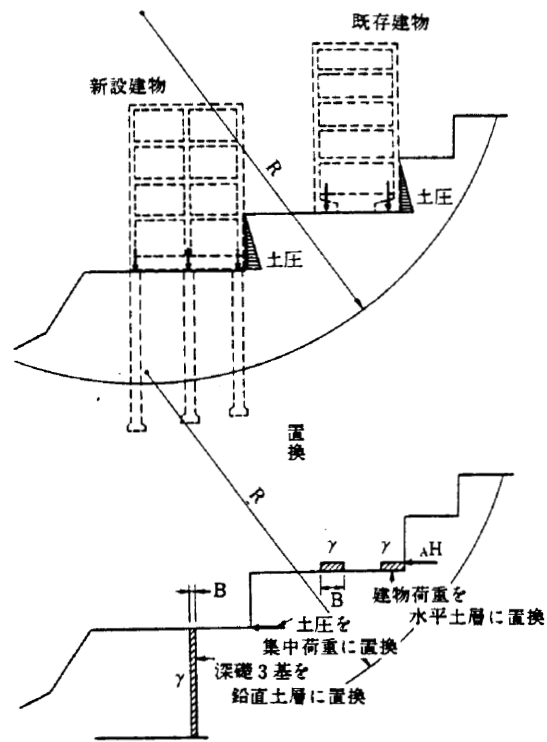


Fig. 10 円弧滑り解析用モデル  
Model of circular arc analysis

(2)計算結果と考察

斜面地盤の安定性検討は、平面図上の10通りをモデル架構として取り上げた。計算時の外力条件としては、地震時及び豪雨時を考慮し、それぞれについて算定した。ただし、地震と豪雨が同時に発生することはないとして算定から除外した。

計算結果を Table 1 に掲げる。

Table 1 地盤安定性計算結果  
Calculation result of ground stability

地盤状態	外力条件	M: 起動モーメント (10 <sup>3</sup> tm)	Fs: 安全率
現 状	常 時	526	2.13
	地震時	768	1.45
根切り完了時	常 時	10.7	2.47
	地震時	15.8	1.67
	豪雨時	10.9	1.58
建物完成時	常 時	4.5	3.27
	地震時	6.3	2.32

計算結果をみると、常時の滑りではいずれも  $F_s \geq 1.5$  を、また、地震時の滑りでも  $F_s \geq 1.2$  を満足しており、地盤の滑りに対して安全性を確認できた。

なお、根切り完了時の検討において、根切り部土圧はアースアンカーで負担させることにし、豪雨時の滑り面の粘着力  $C$  は常時の  $1/2$  としている。

## § 5. まとめ

(1) 当建物は、近い将来予想される東海大地震に対して、渡部博士及び建築主事から指示されている保有水平耐力を満足できた。また、熱海市に生ずると予想される 300gal 相当の地震力に対しても、建物が破壊することなく、多くの人命を預かっているホテルとして、その使命を果たせる結論を得た。

(2) 斜面である地盤の安定性を、各地盤状態のすべりの安全率で比較しても、現状地形よりも根切り完了時、根切り完了時よりも建物完成時の順に安定性が増しており、当敷地に建物を建設ことによって、より安全性の高い地盤が得られることが判明した。

(3) 基礎部分の耐震安全性は、地震時に作用する本建物、杭及びその周辺地盤の水平剪断力がすべて深礎杭に負担され、支持地盤へ伝達されると判断できた。

以上のことから、当建物の構造は、地震等に対しても十分安全性があると確認された。

最後に、当建物の構造設計に際し、建設省建築研究所国際地震工学部部長の渡部博士に多大な御指導を頂き、改めてここに深く感謝し、御礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 土木研究所資料第1389号：地震を特定した場合の地震動の推定法に関する研究 (1978)
- 2) 地震断層と地震条件を考慮した地表面最大加速・最大速度分布の推定：第8回地盤震動シンポジウム (1980) 翠川三郎