

耐 震 設 計

土木学会原子力土木委員会耐震部会長 岡 本 舜 三*

1. ま え が き

原子力発電所においては、放射性物質を内蔵する各種の構築物および機器配管系などの施設があるため、発電所が大地震に遭遇した場合にも、これらが破損して放射性物質を放出し、付近の住民や従業員に放射線障害などを与えることのないよう、耐震設計にはとくに慎重な配慮が要求される。

このため、現在その損傷が放射線障害の原因となるものや、放射線障害の拡大を防止する施設に対しては、他の一般発電設備よりとくにきびしい耐震条件を適用して慎重な耐震性の検討を行ない建設が進められており、原子力発電所の地点選定にあたって、その立地条件として、現在は大地震の比較的少ない地域や、地震の際にその影響が少ないと思われる強固な地盤の地点を選んで建設が行なわれている状況である(表—1 参照)。

しかし原子力発電所の建設は、今後、従来以上に早い速度で進み、今後 10 年間に約 10 か所・3 000 万 kW が建設されるものと予想されており、その量は、現在稼働中および建設中のものの約 4 倍に及ぶ規模のものとなるが、従来のような耐震上の観点から有利な地点は次第に得にくくなることが予想され、原子力発電所の耐震対策の重要性が、ますます認識されるに至っている。

このため、土木学会原子力土木委員会が昭和 45 年 7 月発足するにあたって、その下部機構として原子力耐震部会が設けられ、以来、原子力耐震設計に必要な技術問題の検討を行なっている。

耐震部会では当面の課題について検討を行ない、その結果、

「わが国の原子力発電所は、現在強固な岩盤の地点に限って地点を選んで設置されているが、設置地点の地盤条件を緩和できれば、将来立地上の自由度は高まることになる。したがって、このような地盤条件の緩和された地点に原子力発電所を建設する場合に必要な設計上の基準について、研究し検討することは有意義である」との結論に達し、その結果、原子力土木委員会の承認を得

て、次の 3 つの課題を重要研究課題として取り上げた。

① あまり強固でない地盤上に原子力発電所を建設する場合の問題点と対策の検討。

② 原子力発電所の立地と断層の関係。

③ 原子力発電所取放水路の耐震対策。

① の課題については、砂礫層のようなあまり強固でない地盤上に原子力発電所を建設する場合について基礎を直接地上に設ける場合、半地下基礎の場合、杭やケーソン基礎の場合について、従来の静的耐震設計手法を適用して実際に設計を行ない、静的設計手法による問題点の検討や耐震対策上の問題点の抽出を行なう。

また、これらについて動的応答計算を行ない、強固な地盤上に建設する場合と応答を比較し、機器配管系などに及ぼす影響についても評価を加えたうえ、土木技術的な対策上の問題点を明らかにし、有効な対策の開発をはかろうとするものである。

② の課題は、主としてアメリカ合衆国において活断層の近傍においては、原子力発電所の立地を制限することが行なわれているが、わが国の地震事情はアメリカのそれと必ずしも同じとは考えられないので、地震専門家の意見を加え、検討を行なうものである。

③ の課題は、原子力発電所の取放水路の機能障害は原子力発電所の運転に直接関係する重要な施設であるので、これらの合理的耐震対策を検討するものである。一般に、これら施設は大部分が地中に埋設され、これに対する耐震設計は解決されていない分野が多い。このため埋設取放水路の動的解析方法のほか、周辺埋戻土の流動化等、土の動的性質の問題などを検討し、耐震設計上の問題点を明らかにしようとするものである。

これらの課題は、いずれも広範な分野の問題点を包括するもので、早急に結論を得ることは困難であるが、一応のとりまとめ目標を昭和 47 年 10 月として、目下検討を進めている。本文では、これらのうち、① について、現在まで実施した静的耐震設計法による検討結果の概要を紹介する。

2. 原子炉建屋の静的耐震設計法による検討

(1) 検討の目的

現在の原子力発電所は、ケーソン基礎が採用されてい

* 正会員 工博 東京大学名誉教授 埼玉大学教授・理工学部建設基礎工学科

表一 わが国における原子力発電所基礎地盤一覧

発電所名	女川原子力	福島原子力	浜岡原子力	美浜原子力	高浜原子力	島根原子力	東海原子力	新型転換炉	玄海原子力
所有者	東北電力	東京電力	中部電力	関西電力	関西電力	中国電力	日本原子力発電	動燃事業団	九州電力
所在地	宮城県牡鹿郡女川町・牡鹿町	福島県双葉郡大熊町	静岡県小笠原郡浜岡町	福井県三方郡美浜町	福井県大飯郡高浜町	島根県八束郡鹿島町	茨城県那珂郡東海村	福井県敦賀市明神町	佐賀県東松浦郡玄海町
基礎の形式	直接基礎	直接基礎	直接基礎	直接基礎 コンソリデーション クラウト (48300 t D=34 m)	直接基礎	直接基礎 原子炉建屋基礎に コンソリデーション クラウト	高さ17mの 鉄筋コンクリート製 ケーソン30基、砂質 泥岩に設置	直接基礎 破砕帯部分は クラウト	直接基礎
単位面積あたり荷重	48.2 t/m ² (92500 t 43.8×43.8 m)	38.2 t/m ² (66000 t 41.56 m)	35.6 t/m ² (146000 t 64×64 m)	1号炉53.2 t/m ² 2号炉48.6 t/m ² (58100 t D=39 m)	1号炉54.2 t/m ² (83500 t D=44.3 m)		33.5 t/m ² (105000 t 67×46.8 m)	56.5 t/m ² (100000 t D=47.5 m)	50 t/m ² (D=38.1 m)
地質状況	砂質頁岩・砂岩・頁岩	砂岩・凝灰質砂岩・泥岩	泥岩	花崗岩	石英粗面岩質凝灰岩	凝灰岩・頁岩互層	砂・砂礫・砂質泥岩	硬質花崗岩	砂岩・頁岩
P波速度	V _p =3.77 km/sec	V _p =1.7 km/sec	V _p =2.0 km/sec	V _p =4.0 km/sec	V _p =4.3 km/sec	V _p =3.7 km/sec	V _p =2.0 km/sec	V _p =3.3~5.0 km/sec	V _p =3 km/sec
S波速度	V _s =1.62 km/sec	V _s =0.61 km/sec	V _s =0.9 km/sec	V _s =1.65 km/sec	V _s =2.3 km/sec	V _s =1.8 km/sec		V _s =1.6~2.1 km/sec	V _s =1.5 km/sec
ポアソン比	ν=0.39	ν=0.42	ν=0.38 (弾性波試験)	ν=0.43~0.44	ν=(0.3)	ν=0.345		ν=0.36~0.39	ν=0.3
縦弾性係数またはせん断弾性係数	E=197000 kg/cm ² G=70000 kg/cm ²	E=18000 kg/cm ²	E=約45000 kg/cm ² (弾性波試験)	E=20000~70000 kg/cm ² G=75000 kg/cm ² (E'=210 t/cm ²)	E=80000 kg/cm ² G=80000 kg/cm ² (E'=210 t/cm ²)	E=220000 kg/cm ²	E=210000 kg/cm ²	E=190000~330000 kg/cm ²	E=180000 kg/cm ²
単位体積重量	ρ=2.6 g/cm ³		ρ=2.0 g/cm ³ (ボーリングコア)	ρ=2.7 g/cm ³	ρ=2.5 g/cm ³	ρ=2.5 g/cm ³			ρ=2.6 g/cm ³
支持力	1000 t/m ² 以上	700~1000 t/m ²	600 t/m ² (一軸圧縮) 700 t/m ² 以上 (ジャッキ)	700 t/m ² 以上 許容:長期700/3 短期700×2/3	700 t/m ² 以上 許容:長期700/3 短期700×2/3	長期400 t/m ² 以上 短期800 t/m ² 以上	長期許容300 t/m ²	700 t/m ² 以上	700 t/m ²
破壊強度 実測値または設計値 一軸圧縮または設計地耐力		800 kg/cm ² (ボーリングコア)	50~60 kg/cm ² (ボーリングコア)		500 kg/cm ² (ボーリングコア)				270~880 kg/cm ² (ボーリングコア)
沈下量 実測値または設計値	予想値 0		長期荷重1.5 cm 短期荷重2.0 cm (設計値)			400 t/m ² で1.9 mm	450 t/m ² で9 mm	400 t/m ² で3.8~2.0 mm (繰り返し荷重)	50 t/m ² で1.25 mm

る東海原子力発電所の例(表一参照)を除き、基礎はすべて岩盤上の直接基礎である。

その理由は、強固な岩盤上の有接基礎は耐震上一般に有利であって、国内にはそのような地点がまだ比較的容易に求めることにあると思われる。

しかし、そうした地点が将来求めにくくなることが予想され、その場合には耐震上の条件は恐らく今日より悪くなるであろうけれども、原子炉建屋基礎の新しい構造を考慮するか、または地盤の改良などにより地震時にも安定な原子炉建屋基礎を開発することが必要となるであろうと思われる。

そのために、いまより悪い条件として、あまり強固でない地盤を想定して、そこに原子力発電所を設置する場合の問題点の抽出と対策の検討を試みた。

(2) 検討内容

あまり強固でない地盤として、地盤条件に関して十分な資料が得られる鹿島火力発電所(東京電力)地点の砂

質地盤を想定し、この地盤が福島原子力発電所地点にあり、現在の福島原子力発電所第1号機と同規模の原子炉建屋をその上に建設するものとして、静的耐震条件を適用して、直接基礎(地上基礎・半地下基礎)、ケーソン基礎および杭基礎の3種の基礎形式について地震時安定計算を行ない、問題点の抽出をした。

なお、ケーソン基礎には多柱ケーソン・大型ケーソンが考えられるが、大型ケーソンの場合は原子炉をケーソン内に格納することもできるので、半地下式と同一のものとして取扱った。

3. 設計条件

(1) 現行の耐震設計

原子力発電所の耐震設計は、安全上および経済上の見地から、次のような重要度に応じた分類により行なわれている。

Aクラス：その機能喪失が原子炉事故をひき起こす恐れのあるもの、および原子炉事故の際に放射線障害から公衆を守るために必要なもの。

クラス A のうちでも、安全上とくに重要なもの、すなわち原子炉格納容器・原子炉停止装置は、通常 AS クラスに分類される。

Bクラス：高放射性物質に関連するもので、Aクラスに属する以外のもの。

Cクラス：A クラスおよび B クラス以外のもので、通常の耐震性を要するもの。

これら原子力発電所の耐震設計には、建築基準法（昭和 25 年 5 月 24 日・法律第 201 号および同施行令）に与えられている静的震度を重要度により割増しして行なう静的耐震解析のほか、A および AS クラスには、設計地震に基づいた動的解析を行ない、これにより決定される地震力もあわせて考慮される。すなわち、

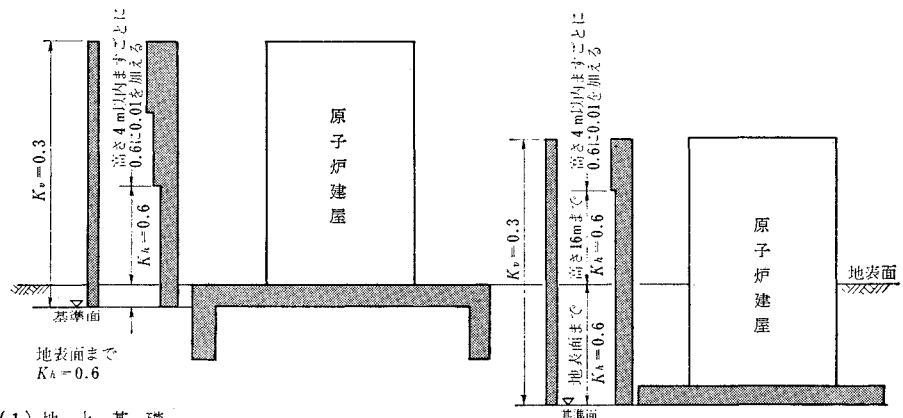
a) A クラス

水平地震力：次の ① または ② のうちの大きい値を用いる。

① 建築基準法に定める震度の 3 倍から定まる水平地震力（排気筒を除く）

② 設計地震による動的解析から定まる水平地震力

鉛直地震力：構造物の基部の水平震度の 1/2 の震度から定まる鉛直地震力で、その方向は上下方向を考え、その方向は水平地震力と同時に、最も不利な方向に働くものとする。



(1) 地上基礎

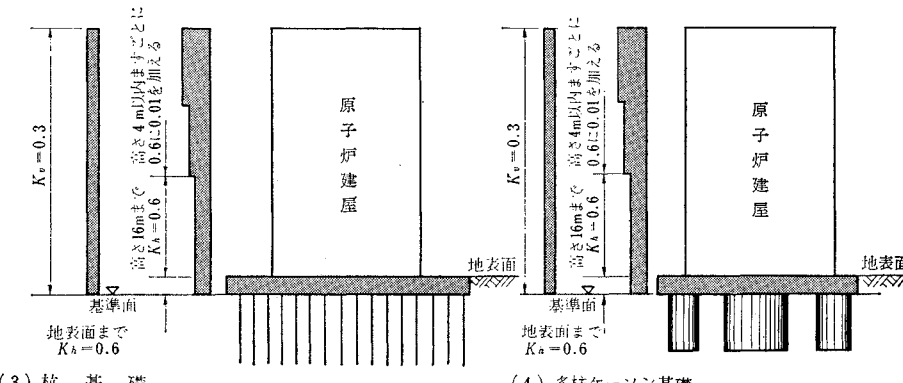
(2) 半地下基礎

b) B クラス

建築基準法に定める震度の 1.5 倍から定まる水平地震力（排気筒を除く）

c) C クラス

建築基準法に定める震度から定まる水平地震力。なお原子炉建屋は、



(3) 杭基礎

(4) 多柱ケーソン基礎

原子炉を収納する

ものであるため、建屋全体が AS クラスに属し、福島原子力発電所においても、この基準が適用されている。

(2) 原子炉建屋に対する静的設計震度

a) 地上構造物に加える設計震度

地盤係数は、福島地点では基礎が岩盤であるので 0.8 であるが、解析に使用した地盤は砂地盤であるので 1.0 とした。

したがって、震度の大きさは次のとおりである。

水平震度 $K_h = C_0 \times 3 \times 1.0 = 3 C_0$

鉛直震度 $K_v = 0.2 \times 3 \times 1.0 \times \frac{1}{2} = 0.3$

（上下方向とも）

この場合、 C_0 の取り方は建築基準法 88 条により次のようにしている。

① 水平地震力は、固定荷重と積載荷重との和（多雪地域では、さらに雪荷重を加える）に、水平震度を乗じて計算する。

② 地上部分の震度

Ⓐ 地面からの高さ 16 m 以下 0.2。

Ⓑ 16 m 以上高さ 4 m 以内増すごとに、Ⓐ の値に

図一1 震度分布

0.01 を加えた値。

以上の震度分布を 図-1 に示す。

b) 地下部分の設計震度

地下部分の構造に適用する設計震度は、図-1 に示すとおり、フーチング底面を基準にして地表面まで、水平震度 $K_h=0.2 \times 3 \times 1.0=0.6$ 、鉛直震度（上下方向とも） $K_v=0.2 \times 3 \times 1.0 \times \frac{1}{2}=0.3$ とした。

地盤の鉛直支持力および抵抗土圧を求める計算においては、地盤の地震動は実際に起こるであろう地震力を考慮して、水平方向震度 0.3、鉛直方向震度 0.15 とした。なお、動土圧は考慮しないこととした。

(3) 地盤条件

解析に使用した地盤条件は、図-2 に示すように定めた。これは、図-3 に示す東京電力鹿島火力発電所における代表的ボーリング柱状図を参考として定めたものである。

(4) 荷重の組合せ

福島原子力発電所の静的耐震設計において適用された組合せに準拠して、次のとおり仮定した。

荷重条件 1. (長期荷重) 固定荷重*+積載荷重**+雪荷重***

荷重条件 2. (短期荷重) 固定荷重+積載荷重×0.35+雪荷重×0.35+下向き鉛直地震力+水平地震力

荷重条件 3. (短期荷重) 固定荷重+積載荷重×0.35+雪荷重×0.35+上向き鉛直地震力+水平地震力

注： * 53 500 t (建物+構築物自重+機器配管重量+水櫃内水)
 ** 700 t (家具・什器・人員および建屋内に格納される予備品)
 *** 100 t (原根面積 1 730 m²×60 kg/m²=100 t)

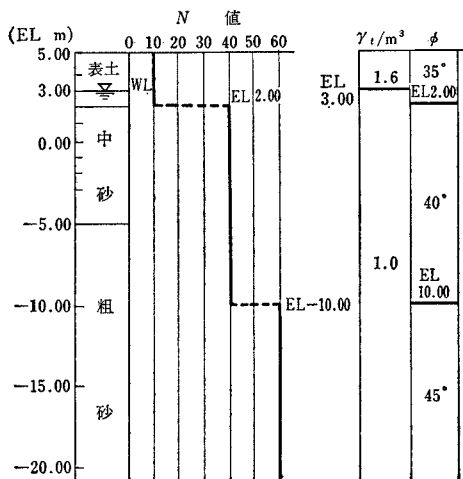


図-2 解析に使用した地盤図

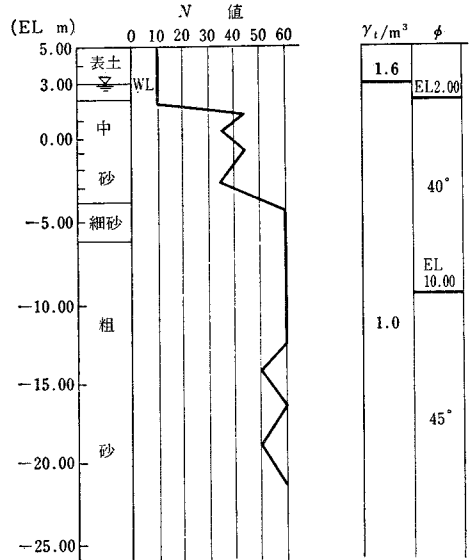


図-3 鹿島火力発電所の代表的地盤図

(5) 建屋荷重

① 基礎に作用する地震力計算のさいに震度を乗ずる荷重の大きさと高さは 図-4 による。

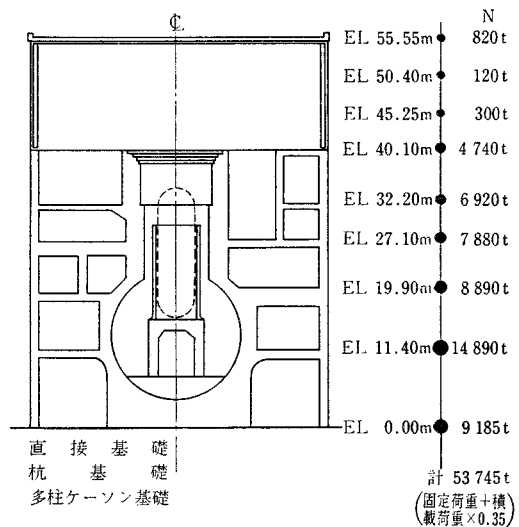


図-4 震度に乗ずる荷重の大きさと位置

② 基礎版上面に働く鉛直力は、次のとおりとする。

- ㊴ 固定荷重 53 500 t
- ㊵ 積載荷重 700 t
- ㊶ 雪荷重 100 t

条件 1. $N=53\,500+700+100=54\,300\text{ t}$

条件 2. $N=53\,500 \times (1+0.3) + (700+100) \times 0.35=69\,800\text{ t}$

条件 3. $N=53\,500 \times (1-0.3) + (700+100) \times 0.35=$

(6) 安定計算

基礎の安定性の検討には、日本道路協会道路橋下部構造設計指針（直接基礎の設計篇、杭基礎の設計篇）の条文を参照した。

a) 直接基礎への適用条文

直接基礎の安定性の検討のため、上記設計指針直接基礎の設計篇のうち、「地盤反力係数」「地盤反力の計算」「地盤支持力」「地盤の水平支持力」「変位量」「滑動抵抗」「安定計算」の条文を参照した。

b) 杭基礎および多柱ケーソン基礎への適用条文

杭基礎および多柱ケーソン基礎の安定性の検討のため、上記「設計指針」「杭基礎の設計篇」のうち

- 「1本の杭の軸方向押込力に対する許容支持力」
- 「1本の杭の軸方向引抜力に対する許容引抜力」
- 「1本の杭の軸直角方向力に対する許容支持力」
- 「1本の杭の許容支持力に加わる制限」
- 「軸方向押込力に対する群杭の考慮」
- 「軸直角方向力に対する群杭の考慮」

の各条文を参照した。

4. 計算結果

(1) 直接基礎

a) 計算ならびに結果

直接基礎は、地上基礎および半地下基礎の2種類とし、浮力があるとき、ないとき、および地盤支持力が地震力で弱くなる時、ならない時について計算した。

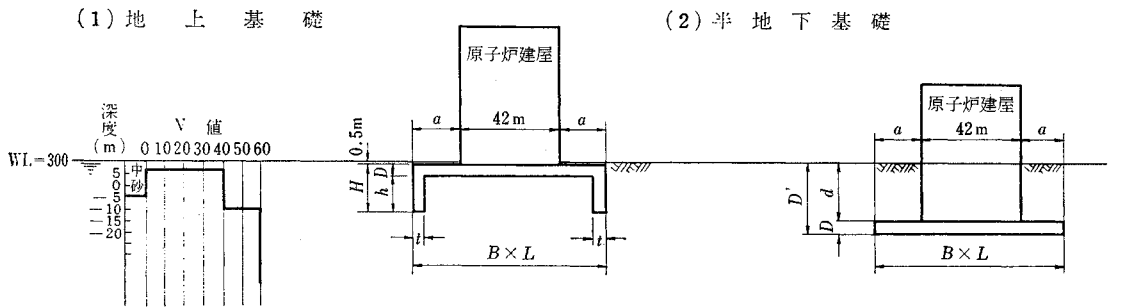
これらの条件のもとで、地上基礎は基礎幅を100×100m、85×85m、および70×70mの3種について計12通りの計算を、半地下基礎については、基礎幅100×100m（埋設深さ19.5mと46.5mの2種類）、70×70m（埋設深さ17.5mの1種類）、および60×60m（埋設深さ17mの1種類）の3種類について計5通りの計算を行った。

基礎安定、不安定の判定結果を表-2に示す。

① 地上基礎

荷重条件1（長期荷重）、荷重条件2（下向き地震力を考慮した短期荷重）では、Case 1-2と1-4の2種類が滑動および地盤支持力ともに安定である。Case 1-1

表-2 基礎安定、不安定の計算結果



	Case 1-1	Case 1-2	Case 1-3	Case 1-4	Case 2-1	Case 2-2	Case 2-3	Case 2-4
浮力	有	有	無	無	有	有	無	無
地震時地盤の支持力減	有	無	有	無	有	無	有	無
基礎の大きさ (単位m)	B L D t h H ① 100 100 6.5 5 10 16.5 ② 85 85 6 5 9 13 ③ 70 70 5.5 4 7.5 13	同左	同左	同左	B L a D d D' ① 100 100 29 6.5 13 19.5 ② 100 100 29 6.5 14 46.5	B L a D d D' ③ 70 70 14 4.5 13 17.5	B L a D d D' ④ 70 70 14 4.5 13 17.5	B L a D d D' ④ 60 60 9 4 13 17
安定	荷重条件1 ① 安定 ② 安定 ③ 安定	①安定 ②安定 ③安定	①安定 ②安定 ③安定	①安定 ②安定 ③安定	① 安定 ② 安定	③ 安定	③ 安定	④ 安定
	荷重条件2 ① 不安定 ② 不安定 ③ 不安定	①不安定 ②不安定 ③不安定	①不安定 ②不安定 ③不安定	①不安定 ②不安定 ③不安定	① 安定 ② 安定	③ 安定	③ 安定	④ 安定
	荷重条件3 ① 不安定 ② 不安定 ③ 不安定	①不安定 ②不安定 ③不安定	①不安定 ②不安定 ③不安定	①不安定 ②不安定 ③不安定	① 不安定 ② *安定または不安定	③*安定または不安定	③ 安定	④ 安定

備考：* Case 2-1の②とCase 2-2の③はフーチング上の土の地震時水平力を無視すると安定となり、考慮すると不安定となる。

と 1-3 は、滑動は安定であるが、地盤支持力が不足し不安定となる。

荷重条件 3 (上向き地震力を考慮した短期荷重) では、浮力の有無にかかわらず、Case 1-1, 1-2 および 1-3 とともに地盤支持力は不足し、滑動に対しても不安定となる。

しかし、Case 1-4 の浮力なし、支持地盤が弱くならない場合において、基礎幅を $100 \times 100 \text{ m}$ と大きくすると、地盤支持力・滑動ともに安定となる、基礎幅 $85 \times 85 \text{ m}$ および $70 \times 70 \text{ m}$ の場合は地盤支持力は十分であるが、滑動に対しては不安定となる。

② 半地下基礎

荷重条件 1 (長期荷重)、**荷重条件 2** (下向き地震力を考慮した短期荷重) では、すべてのケースについて安定である。

ただし、**荷重条件 3** (上向き地震力を考慮した短期荷重) では Case 2-1-① (埋設深さ $D'=19.5 \text{ m}$) の場合はフーチング上の土の水平力を無視しても不安定となるが Case 2-1-② (埋設深さ $D'=46 \text{ m}$) と Case 2-2 については、これを無視した場合のみ安定となる。

Case 2-3, 2-4 は、いずれの場合も安定となる。

これらの直接基礎を実現するため、次のような問題点を解明しなければならないと考える。

㊤ 静的設計水平震度 $3C_0$ および上向き鉛直震度 0.3 の条件をそのまま砂礫などあまり強固でない地盤の地上基礎に適用すると、いずれのケースでも安定を得ることがきわめてむずかしくなる。このような地盤条件の場合に適用する設計震度の大きさと、これを適用する方法。

㊦ 偏心荷重を考慮した地盤の許容支持力は、日本道路協会道路橋設計指針の公式をそのまま適用したが、水平力と鉛直力との比、すなわち偏心の程度が大きく、常に著しく小さい支持力が算出されることとなり、実状に合わないと思われる場合があるので、合理的な支持力算出方法を求める。

㊧ 地震時における地盤支持力算定公式における内部摩擦角およびコンクリートと土との動摩擦角の取り方。

㊨ 地下水による浮力の作用を除去すれば、安定性の得られる場合がある。このため、周辺の地下水位を恒久的に低下するための対策工法。

㊩ 大きいコンクリート基礎板の設計・施工、たとえば、基礎幅 $70 \times 70 \text{ m}$ 、厚さ 4.5 m の床版を一体として建設する場合の施工方法。

㊪ 原子炉建屋の支圧強度は、比較的大きいので、建設中および建設後の沈下量が問題となることがある。このような地盤に原子炉発電所を建設する場合の

沈下量を推定する方法。

(2) 杭基礎

杭基礎については、福島原子力発電所の現設計に近い $50 \times 50 \text{ m}$ のフーチングで径 1.0 m の鋼管杭をもつものと、杭の軸方向引張力が許容値以下におさまる $70 \times 70 \text{ m}$ のフーチングで径 1.5 m の鋼管杭の場合について検討した。このとき、杭の先端は N 値 60 の粗砂層に到着せしめた。

また、地盤条件としては、浮力を考慮し、地盤の支持力は、地震時低下しないこととした。

基礎の安定、不安定の判定結果を表-3に示す。

a) 鉛直支持力

杭の軸方向支持力は、**荷重条件 1, 2** および **3** で A, B 基礎ともに Terzaghi の式による許容支持力内にあるが、一般には、支持力の上限值を設けているので、同支持力は、A 基礎では荷重条件 1 の場合のみ、B 基礎で**荷重条件 1, 2** および **3** について許容支持力内にあることになる。

杭の軸方向引抜力は、A 基礎のうち荷重条件 3 のみ許容引抜力を越えるが、B 基礎では**荷重条件 1, 2** および **3** とも許容値内にある。

地盤支持力は、この杭を群杭として取扱い、その支持力は、杭基礎の最外側列の杭先端面が囲む面積と同じ底面積をもつ仮想ケーソン基礎を考えて検討したところ、A 基礎では荷重条件 3 のみが許容支持力を越え、B 基礎では**荷重条件 1, 2** および **3** とも許容値内にある。

b) 水平支持力

水平支持力は、杭と群杭として取扱い、鉛直支持力の項で検討した仮想ケーソンの前面に加わる抵抗土圧と、側面の摩擦力を考慮しても**荷重条件 2** および **3** で A, B 基礎ともに地震時水平力は、水平支持力を上回り不安定となる。

以上のとおり、杭基礎の場合、水平力を負担するのが非常に困難であるが、前に述べたとおり、その工法にはすぐれた点が多いので、直接基礎の場合と同様に、このような地盤の場合の設計震度およびこれに伴う水平地震力の量を検討するとともに、杭の水平支持力および水平支持力を増すための工法の検討が必要と考えられる。

(3) 多柱ケーソン

ケーソン基礎としては各種の構造が考えられるが、大型ケーソンは、前述直接基礎の半地下基礎に相当するので、中央荷重の大きいドライウエル、ベDESTAL 直下に径 20 m のケーソン 1 本と、原子炉建屋側壁下に径 8 m のケーソン 8 本を配置し、これが N 値 60 の支持層まで到達している多柱ケーソンを考えた。

なお、この場合浮力があり、支持地盤は地震時弱くならないものとして検討した。

基礎の安定、不安定の判定結果は、表-4に示すようにいずれのケースも引抜力・水平抵抗力が不足し不安定の結果となったが、これらのうちには、さらに検討を加えることによって解決できるものもあり、また、ケーソン基礎には、施工上の利点も少なくないので、さらに今後研究を行なう必要があると考える。これらを検討した結果、次のことが判明した。

① 軸方向支持力は、荷重条件 1, 2 および 3 で $\phi 8\text{m}$, 20m ケーソンともに許容値内にある。

② 引抜支持力、荷重条件 3 で $\phi 8\text{m}$ ケーソンが許容値を越える。

③ 水平支持力は、水平力に対して杭の場合と同様、仮想ケーソン前面に加わる抵抗土圧で抵抗しても、荷重条件 2 および 3 で不足する。

なお、基礎スラブの厚さについては、この構造体を立体ラーメンとして解析した結果、5m 以上必要であることがわかった。

5. 今後の検討

(1) 動的応答計算

静的に安定を得る見とおしのある地上基礎 Case 1-4 と半地下基礎 Case 2-4 の 2 種類の基礎について、原子炉建屋の地震応答を動的計算によって求め、動的に見た安定上の問題点と、これらの振動が原子炉あるいは機器配管系に及ぼす影響について調査する。

動的応答計算を行なうにあたって、力学モデルとしては、図-4 のように原子炉建屋をモデル化し、建屋の基礎は剛体と仮定し、垂直回転のばね支持とし、地震入力には、El Centro (1940 年 5 月 18 日), Taft (1940 年 7 月 21 日), 八戸地点 (1968 年 5 月 16 日) および鹿島地点 (1967 年 11 月 19 日) の地震記録波の NS 成分を使用し、地盤条件の仮定に基づき、重複反射の理論より基礎重心位置の波形を求めて、これを入力として動的解析を行ない、大体の傾向を求める予定である。

また、この結果に基づき、さらに詳細な力学モデルを仮定するなどして、細部の検討を行ない、また、これらの振動が機器配管系に及ぼす影響を判定し、地震時挙動を解析するとともに、土木技術の面で開発すべき問題点を

表-3 引抜力、水平抵抗力が不足している関係

基礎名	A								B								
浮力	有								有								
基礎と杭の寸法 (単位 m)	B	L	D	a	ϕ	l	d	n	B	L	D	a	ϕ	l	d	n	
	50	50	3.5	4	1.0	13	2.5	400	71.25	71.25	4.5	14.625	1.5	12	3.75	361	
安定	荷重条件 1	安 定								安 定							
	荷重条件 2	不 安 定								不 安 定							
	荷重条件 3	不 安 定								不 安 定							

表-4 モデル化された原子炉建屋

基礎寸法 (単位 m)	B	L	D	a	ϕ_1	l_1	ϕ_2	l_2	d	n
		52.0	54.0	5.0	0.5	8.0	11.5	21.35	8	8
浮力	有									
安定	荷重条件 1	安 定								
	荷重条件 2	不 安 定								
	荷重条件 3	不 安 定								

を明らかにする予定である。

(2) その他の検討

あまり強固でない地盤に、原子力発電所を建設する場合、基礎の沈下量が大きくなることが予想されるので、その影響についても検討を行なう予定である。

また、杭基礎および多柱ケーソン基礎については、水平支持力が不足するなど、問題点が明らかになったが、これらの基礎工法にはすぐれた点が多いので、前述の各項に述べた問題点の解決のための検討を続ける予定である。