

1. はじめに

当所では、電気事業が当面する立地難を緩和するため、第四紀地盤立地の成立性に関し開発研究を鋭意進めており、その耐震性の実証を図るため、日本原子力研究所のJPDR (Japan Power Demonstration Reactor: 動力試験炉) が廃炉になる機会を利用し、日本原子力研究所と共同で地盤調査、地震観測、起振実験を行い地盤構造物のモデル化手法、解析手法の妥当性について検討した。

本研究は、これらの各調査・試験の結果に基づき、深い埋設部を有し、軸対称構造物のJPDRの地震時の挙動について、当所で開発した軸対称FEM複素応答解析プログラム (CRAS*1と称す) により検討し、解析プログラムの妥当性を検証するとともに、深い埋込みを有する構造物の動特性、埋設効果について考察を加えたものである。

2. JPDRと地盤の構造*2

JPDR格納容器は、図1に示すように全高38.1m、内径15.25mであり、22.85mの円筒部分と半球状の頭部から成っている。JPDR基礎は、直径20cmのRCコンクリート製円筒ケーソンで、全高の約40%が埋設された構造である。

地盤構成は地表より深さ14mまでが中砂、細砂、粗砂 (N値: 5~40)、-14m~-16.5mは砂礫 (N値: 40~50) これより以深は頁岩 (N値50以上) から成っている。

3. 地震観測結果

地震観測の計測点は、基盤 (G_1) と地表 (G_2) に各1点、建屋基礎 (H床 S_1) と操作床 (C床 S_2) の各1点の計4点である (図1)。

昭和57年6月~9月の観測期間中、 $M=7.0$ を含む6ケの良好な記録が得られた (図2)。これらの観測データの最大加速度増幅率の平均値は、地盤の水平成分で3.8倍、上下成分で6.6倍、建屋では水平成分の3.2倍に対し、上下成分はほぼ1.0倍とほとんど増幅しない (図3)。

水平成分に関して、各点間の伝達関数を調べた結果、地盤では4Hz, 8Hz, 13Hzに卓越があり、一方、建屋では1次に相当する6~7Hzが顕著に卓越する (図4, 図5)。

4. 観測結果の数値シミュレーション

4.1 解析条件

(1) モデル化

周辺地盤を軸対称回転体要素、JPDRを回転体要素とシェル要素 (ドーム部) にモデル化した。下方境界は-24.5m (測点 G_1) に基盤が存在するとし、側方境界は、対称軸より50mに水平ローラー境界が存在すると仮定した。

(2) 地盤、JPDRの物性

地盤物性は、弾性波速度試験および地震観測結果に基づいて、また、JPDRの物性は設計値に基づいて定めた。表1に解析用の地盤モデルを示した。

(3) 入力地震動

水平動に対しては、(a) G_1 入力: 解析基盤上 (-24.5m) で観測された地震動 (G_1 NS, EW, UD) を入力地震動とした場合。(b) G_1' 入力: 地表面で観測された地震動 (G_2 NS, EW) を基盤まで引き戻して作成した入力地震動 (G_1' NS, EW) を入力地震動とした場合の2ケースを考えた。また、上下動に対しては(a) G_1 入力のみを考えた。

(4) 埋設効果の検討

J PDRの周辺地盤の埋設深さ(全埋設、1/2埋設、埋設無)を変えて埋設深さの変化に伴う構造物の応答特性について解析的に検討した。

4. 2 解析結果

(1) 水平動入力の場合

①図6に地震(EQ1, EW)に対するJ PDRおよび周辺地盤の解析と実測による最大応答加速度を比較して示す。また、図7にJ PDR操作床(S_2)の時刻歴波形の観測値を比較して示す。 G_1 入力による解析結果では、J PDR基礎(S_1)では、応答値、スペクトルとも比較的観測値と良く一致しているが、J PDR操作床(S_2)および地表面(G_2)での応答は、応答値、スペクトルとも両者若干異なり、応答値は観測値の約80%程度となった。

これに対して、 G_1' 入力による解析結果では、 G_1 に比べて入力地震動の応答値が約20%程度増加するため、 S_1 における応答値は観測値より大きくなるが、 S_2 および G_2 での応答値は増加し、観測値に近づく傾向を示した。

この結果、従来の解析では、一般的に入力波として地中波を用いているが、J PDRのように比較的軟質な地盤に深く埋設され、周辺地盤の応答の影響を強く受ける構造物の応答を評価する場合、地中波だけでなく地表波を入力波として用いる事も出来る見通しを得た。

②図4、図5は、基盤と地表間、基盤とJ PDR操作床間の伝達関数 G_2/G_1 、 S_2/G_1 のCRASによる解析値を重複反射理論による解析値(MR)および観測値(6種の地震波の平均)と比較したものである。

CRASの解析値は3次のピーク値が観測値と若干異なる事を除けば、観測値とほぼ一致している。

これらの結果により、地盤およびJ PDR本体のモデル化と解析法(CRAS)が妥当であると判断される。そして、J PDR本体の卓越振動数が、6Hzを除いて、ほぼ周辺地盤の卓越振動数と一致していることから、J PDRの応答は周辺地盤の応答の影響を強く受けていることが、明かとなった。

(2) 上下動入力の場合

図8は、EQ1UD入力に対するJ PDRの最大応答加速度分布の観測値と解析値を比較して示したものである。観測値と解析値は比較的良く一致しており、CRASが水平動だけでなく上下動の評価に対しても有効であるものと判断される。

(3) 埋設効果の検討

図9は、埋設深さの変化に伴うJ PDRの最大応力の分布の変化を示したものである。

J PDRの応力は埋設無の状態から埋設1/2状態に変化した場合、応答値が約1/2に減少する結果が得られ、深い埋設部を有する構造物の地震時応答に対し周辺地盤が大きく関与している事が明かとなった。この結果設計に当っては、埋設効果を考慮した検討が必要である事を確認した。以上の結果、CRASプログラムが軸対称埋設構造物の地震時挙動(水平動、上下動)を評価するのに有効であり、埋設効果を妥当に評価し得る事を確認した。

参考文献*1: 岩橋敏広、国生剛治 「地盤-構造物連成系の地震応答プログラムの開発」
(等価線形法を用いた軸対称構造物の複素応答解析プログラム)

電力中央研究所研究報告380023 1980年12月

参考文献*2: T. Iwatate et al. "Soil-Structure Interaction of JPDR"

CRIEPI REPORT E383008 July 1985

Table.1 Layered Model of Ground

(a) Horizontal

LAYER	Hm	Vm/s	ρ g/cm ³	Q
1	3.5	120.0	1.80	2.00
2	2.0	220.0	2.00	1.00
3	4.0	310.0	2.00	1.00
4	2.0	240.0	2.00	5.0
5	5.0	305.0	2.00	3.0
6	8.0	500.0	2.10	2.00
		500.0	2.10	2.00

(b) Vertical

LAYER	Hm	Vm/s	ρ g/cm ³	Q
1	3.5	210.0	1.80	10.0
2	2.0	380.0	2.00	10.0
3	4.0	550.0	2.00	10.0
4	2.0	1600.0	2.00	10.0
5	5.0	1600.0	2.00	10.0
6	8.0	1800.0	2.10	20.0
		1800.0	2.10	20.0

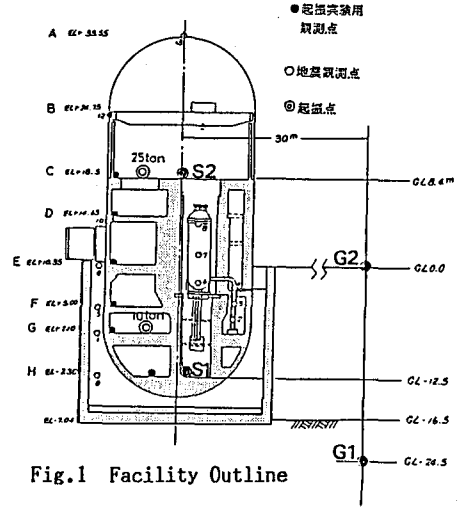


Fig.1 Facility Outline

Maximum Amplitudes of Accelerograms

Obs. pt.	Direction	Max. Amplitude (gal)					
		EQ. 1	EQ. 2	EQ. 3	EQ. 4	EQ. 5	EQ. 6
G1	NS	285	278	274	576	565	631
	EW	258	330	393	525	438	437
	UD	177	228	230	526	331	291
G2	NS	929	688	136	169	168	229
	EW	1070	820	162	180	201	281
	UD	1180	802	238	187	189	287
S1	NS	301	352	335	59	448	675
	EW	283	389	458	69	361	546
	UD	290	291	286	636	433	271
S2	NS	1093	712	120	1232	145	749
	EW	884	871	140	1897	164	99
	UD	302	250	392	512	481	351

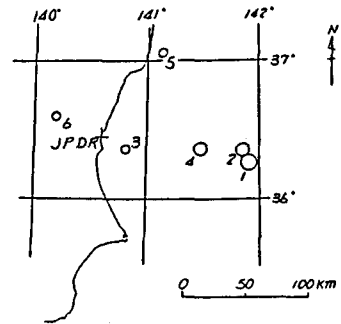


Fig.2 Distribution of Epicenters and Observation Site

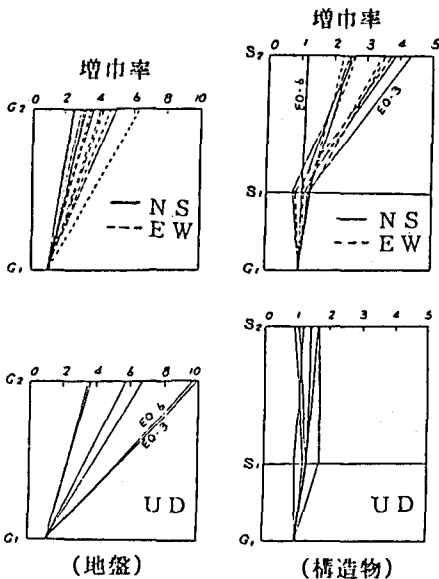


Fig.3 Distributions of Amplification factors of Maximum Amplitudes

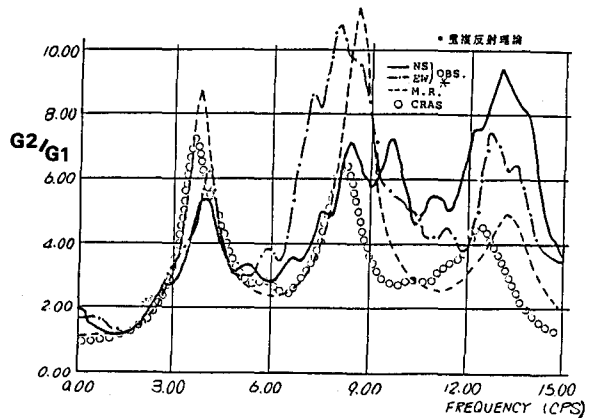


Fig.4 Comparison between Observed and Calculated Transfer Functions (G_2/G_1)

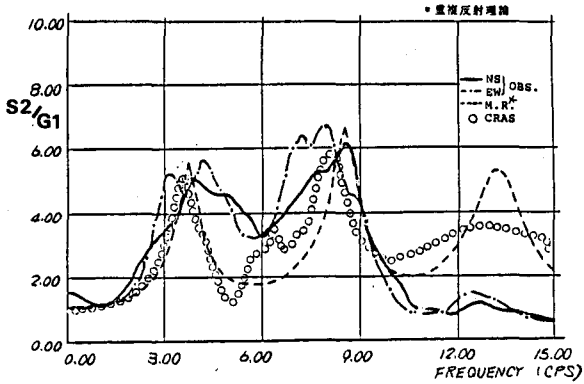


Fig.5 Comparison of Transfer Functions between Base Rock(G_1) and Operating Floor(S_2)

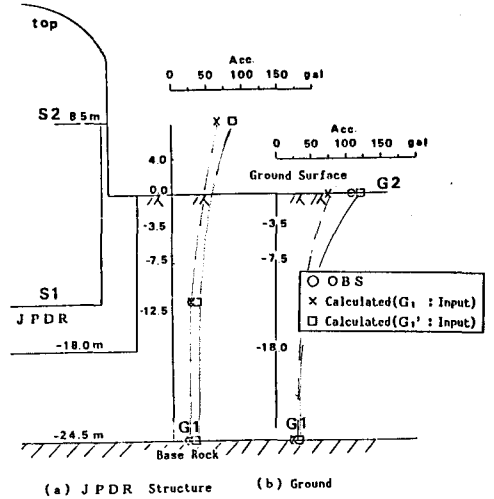


Fig.6 Maximum Acceleration EQ 1. EW

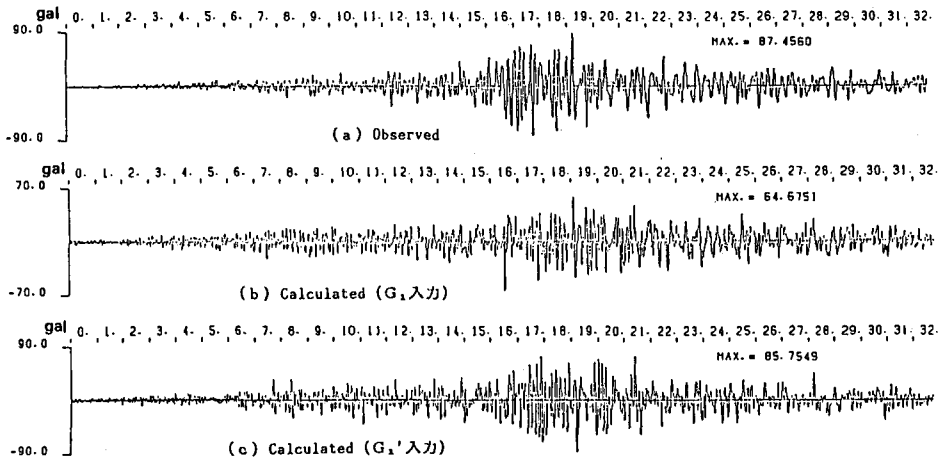


Fig.7 Time Histories (Acceleration) EQ 1 S2 EW

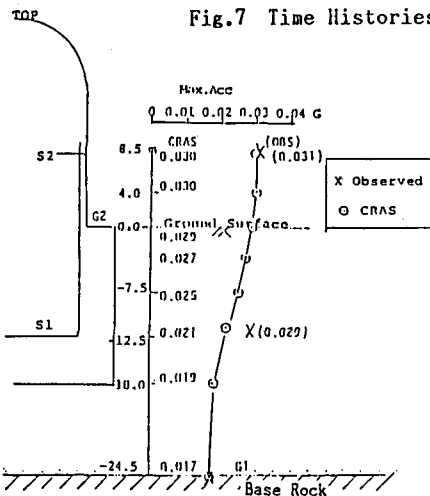


Fig.8 Maximum Acceleration Responses of JPDR (for Vertical Motion)

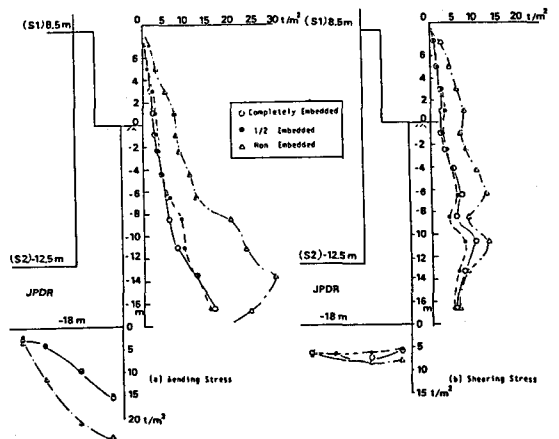


Fig.9 Maximum Stress Distributions of JPDR due to Horizontal Earthquake Motion with Variation in The Embedment Depth