

(117) 原子炉緊急冷却用水路の地震時挙動に関する実験的研究

埼玉大学工学部 正会員 渡辺 啓行
 埼玉大学大学院 学生員 末広 俊夫

1. はじめに

原子炉緊急冷却用水路の横断面の耐震設計では、現在、物部・岡部の地震時土圧公式が多く用いられている。しかし、この方法は実際の現象を正確に評価していないので、このようなダクト構造物の地震時挙動の基本的性質を明らかにする必要がある。そこで今回、本実験を計画、実施した。

2. 実験概要

本実験は図-1に示すような軟質地盤中にあり、非岩着形式の原子炉緊急冷却用水路を想定してある。

①実際の地盤のせん断振動をできるだけ正確に再現するために、土槽の壁が地盤と一体となって変形するように工夫された、せん断土槽(図-2)を用いた。

②模型地盤の材料として、準標準砂と言われる岐阜砂を用いた。地盤の形成は、数層に分けてその都度振動台を振動させ十分な締め固めを行った。砂の物理特性を表-1に、粒径加積曲線を図-3に示す。

③ダクト模型の設計に当たり、香川の提案する相似則を用いた。この相似則は重力の加速度を変えることのできない振動台実験に適しており、さらに本実験のような大変形を伴わず土の非線形物性が問題となる水平地盤の振動問題などに適している。この相似則により弾性率を考慮し、ダクト模型の材料としてアクリルを用いることにした。相似模型(Case 2)の他に、ダクトの剛性による影響を調べるために断面を小さくした模型(Case 1)と、ダクトの慣性力が極端に大きい場合を想定した鋼鉄の模型(Case 3)の3種類を用いた(図-4)。

さらに、ダクトの上載土の影響を調べるために3種類の模型について各々上載土のある場合(Deep)と、ない場合

(Shallow)についても実験を行った。また、アクリル製のため表面が非常に滑らかであって地盤との接触条件が現実と、かなり異なるので、粗度を増すために地盤材料と同じ砂を全表面に一樣に付着させた。

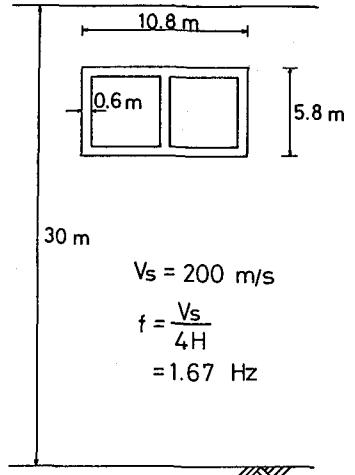


図-1 実規模地盤-ダクト系

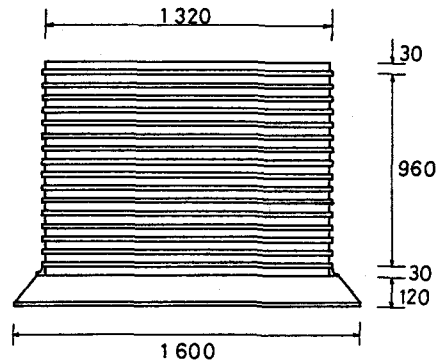


図-2 せん断土槽 unit: mm

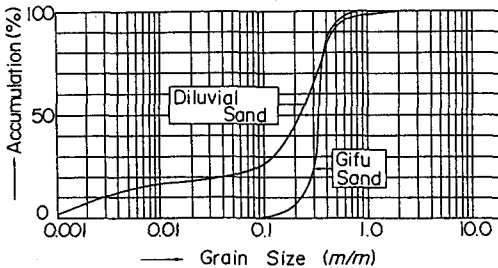


図-3 砂の粒径加積曲線

表-1 砂の物理特性

真比重	2.643
レキ分(%)	0.0
砂分(%)	99.0
シルト分(%)	1.0
粘土分(%)	0.84
最大粒径(mm)	0.350
60%粒径(mm)	0.310
30%粒径(mm)	0.220
均等係数	1.59
曲率係数	1.25
統一分類	SPu
最大間隙比	1.125
最小間隙比	0.717

④地盤-ダクト系の基本的応答を調べるために正弦波を入力し共振実験を行った。

加速度を一定とし振動数を1Hz刻みで上昇させ、相似則より推定した模型地盤の固有振動数(24Hz)を含むように、4~50Hzの範囲で行った。地盤材料が低拘束圧の砂であることから、砂の動的物性のひずみ依存性が現れると考えられるので入力加速度を50, 100, 150, 200, 300 galとして各々のケースについて行った。

⑤本実験では図-5に示すようにセンサーを配置し、地盤の加速度(AC-1,

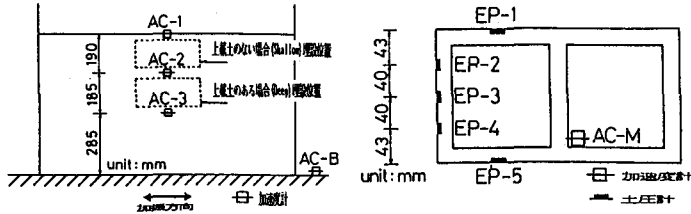


図-5 センサーの配置および模型埋設位置

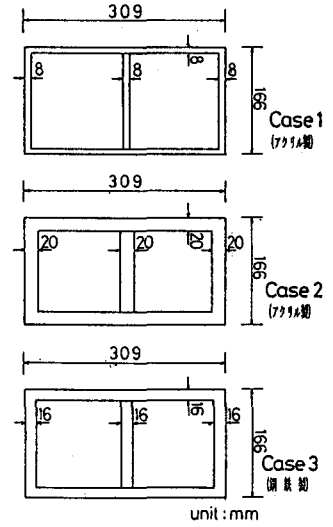


図-4 模型の断面寸法

2, 3), ダクトの加速度(AC-M), ダクト壁面の土圧(EP-1, 2, 3, 4, 5)の計測を行った。土圧計はダクトの外にはみださないように内部にはめ込んである。

3. 実験結果

①地盤-ダクト系の加速度応答(AC-2)(図-6)をみると、Case 1とCase 2は非常に似ており、上載土のある場合とない場合とでも著しい違いはみられない。しかし、Case 3についてみると、上載土のある場合には応答がかなり小さくなっていることがわかる。これはCase 3の模型の重量が非常に大きく、その運動に多くのエネルギーが消費されるので模型上部の加速度(Deep, AC-2)が他の場合より小さくなるものと考えられる。

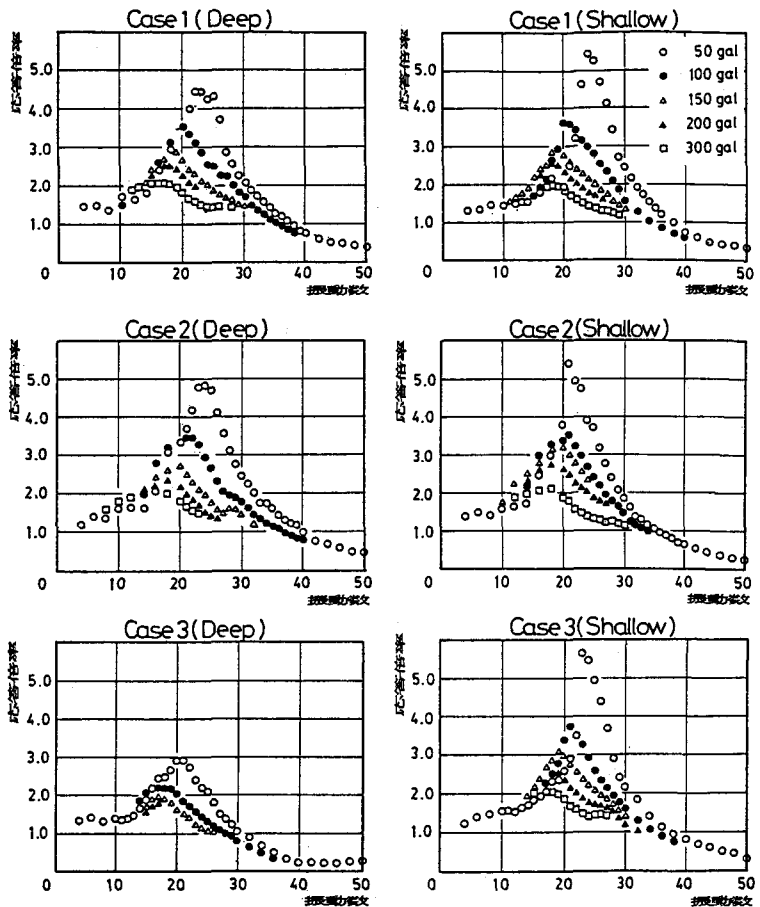


図-6 共振曲線(AC-2)

図-7の変形モード(共振時)をみても、Case 3 (Deep)では地盤内部での増幅が小さくなっていることがわかる。

②各Case (Deep) (50gal, 25Hz)の場合について加速度、動土圧波形をみると(図-8)、いずれの場合も模型の加速度は周辺地盤より位相が少し遅れている。

また、Case 1およびCase 2ではEP-2, 3とEP-4の位相が逆転しているのに対して、Case 3では同位相になっている。

この現象を半周期毎の動土圧分布図にしてみると(図-9)やはりCase 3では同位相であり、しかも静水圧分布をしていることは興味のあることである。

③上載土のある場合(Deep)、模型の慣性力と上載土の慣性力の比 α と共振時の動土圧の片振幅との関係を見ると(図-10)、Case 1とCase 2の間では減少傾向にあるが、これは質量によるものと考えるよりも剛性によるものと考えの方が妥当であろう。なぜなら、Case 1とCase 2は同じアクリル製であり、質量比は部材厚さの比、剛性比はその3乗となるためである。後者の方が影響が大きいと考えるのが妥当であろう。

また、Case 2とCase 3の間では逆に増加傾向にあるのは剛性より質量の影響が大きくなったものと考えられる。

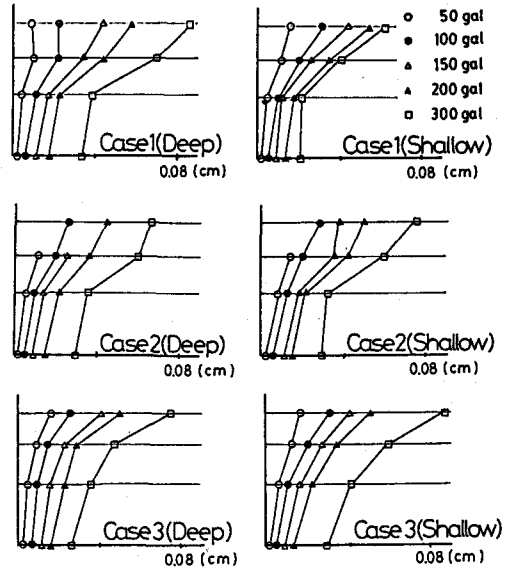
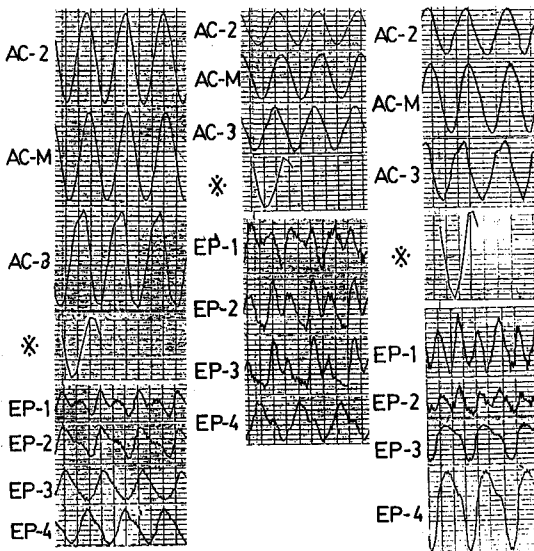


図-7 地盤の変形モード(共振時)



Case 1(Deep) Case 2(Deep) Case 3(Deep)

* AC-MとAC-3の相対加速度

図-8 加速度、動土圧波形 ($\alpha=50\text{gal}$, $f=25\text{Hz}$)

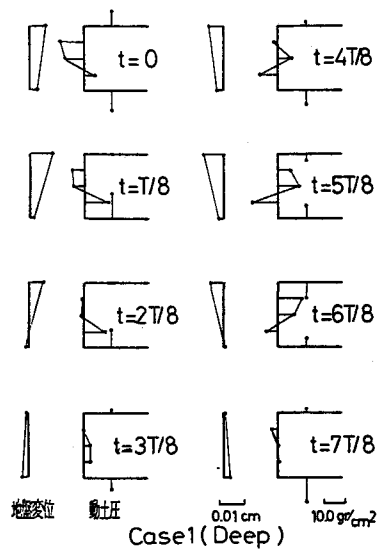


図-9 (1) 動土圧、地盤変位分布

このことから、実際に満水時は空水時と同じ剛性をもつが、水の分だけ質量が増加することを考えると、動土圧は増加傾向にあると推察される。

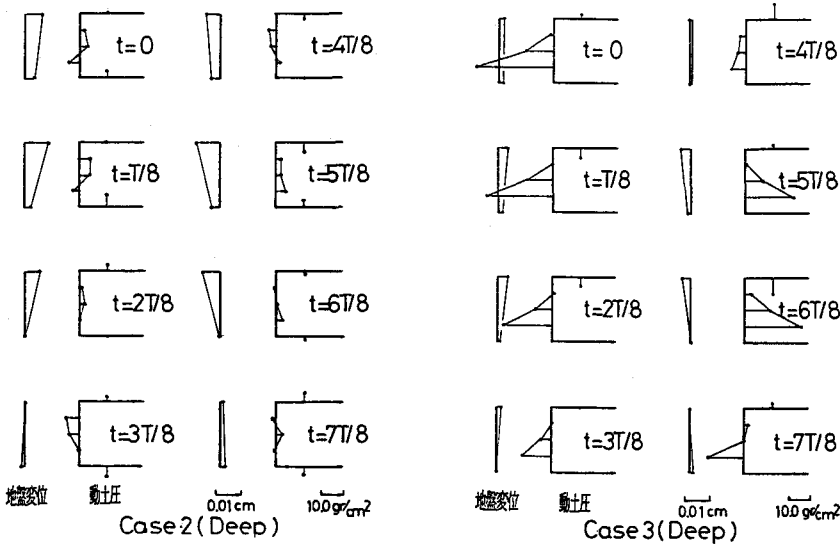


図-9(2) 動土圧, 地盤変位分布

図-9(3) 動土圧, 地盤変位分布

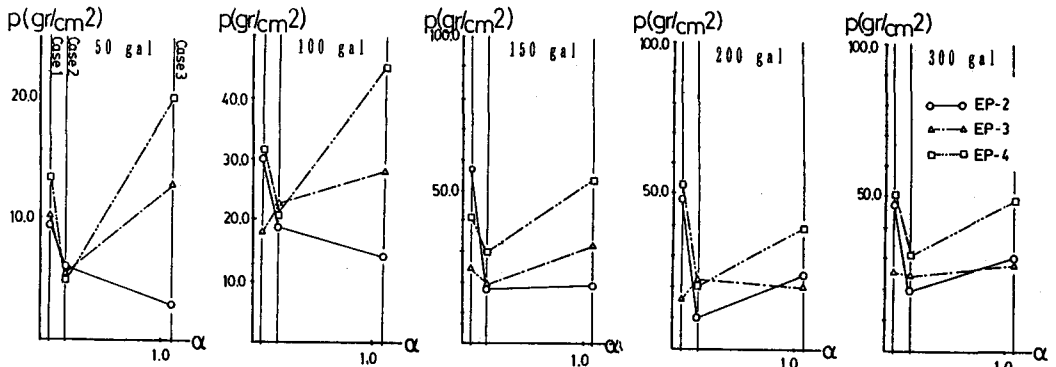


図-10 慣性力比(α)-動土圧(p)関係

4. おわりに

本実験よりダクト構造物の地震時挙動を現象的にとらえることができた。また、特に3.②で指摘したCase 3の静水圧分布をなす動土圧の発生機構などは非常に興味深い現象なので、今後数値実験により詳細な検討を行う予定である。

(謝辞)本実験を遂行するにあたり、前埼玉大学教授 久保慶三郎先生と埼玉大学助教授 川上英二先生に貴重な御助言を頂きました。また当時卒研究生の丸楠暢男氏と近藤祥生氏には多大な助力を頂きました。記して感謝致します。

参考文献

- 1) 香川 崇章 土構造物の模型振動実験における相似則 土木学会論文報告集第275号1978年7月
- 2) 国生 剛治 土の動的変形特性と地盤の非線形振動応答 電力中央研究所総合報告No. 301(1982年)