

オイルプラント及び原子力発電所の耐震実験*

稲 葉 誠 一

国立防災科学技術センター大型実験研究部

1. 概 要

日本国内のエネルギー問題の解決の必要から、原子力発電所の建設、石油備蓄量の拡大のための大型石油タンクの建設の必要性が高まっている。地震によって発生する災害を防止する目的で、原子力発電所、石油タンク、ガスタンクなど産業施設の耐震安全性の確保が主要な課題となっている。

このような事情から、国立防災科学技術センターの大型振動台を用いたいくつかのプラント施設の振動実験が行なわれてきた。本報告は、大型振動台によって行なった黒鉛シャヘイ壁、貯油タンク、原子炉燃料集合体、薄肉殻体容器の振動実験の概要について報告するものである。

2. まえがき

国立防災科学技術センター耐震実験室の大型振動台は1970年に完成して以来、日本国内の各研究機関の共同利用施設として、各種構造物の振動実験に使用されてきた。実験の対象となった構造物は土および土質構造物の問題、地盤と構造物の相互作用に関連する問題に関するものが多く行なわれてきた。この間の事情については、このUJNR耐風耐震構造専門部会で報告してきた。

3. 黒鉛シャヘイ壁の振動実験

黒鉛シャヘイ壁の振動実験は、1971年6月に動力炉核燃料開発事業団と建設省建築研究所によって大型振動台を用いて行なわれた。

黒鉛シャヘイ壁は原子炉容器と格納容器の間に多数の黒鉛ブロックを積上げたものである。黒鉛シャヘイ壁はそのブロック間にすきまをあけておいて黒鉛の熱膨張と放射線効果による体積変化を吸収できるようにしてある。黒鉛ブロック間の結合はせん断キイを用い、格納容器との間はピンで結合してある。このようなすきまのある構造物の耐震安全性を理論解析で確かめることは困難であり、直接振動実験を行なうことによって確かめようとしたものである。

* 日米天然会議・耐風耐震構造専門部会 第7回合同部会 1975・5・20～23 東京

黒鉛シャヘイ壁の模型は材料は実物と全く同じ材料を用いて寸法を全て1/2に縮尺したもので外径3200mmに作っている。

実験ではまず試験体を振動台の上で30°と45°に傾斜させ、静的水平力を加えた傾斜実験を行なった。振動実験は、地震時の黒鉛シャヘイ壁の設置ヶ所における応答波形と正弦波形によって加振した。黒鉛ブロックとキーの応力、ピンの応力、ブロック間の変位、ブロックに生ずる加速度を計測した。

振動実験の後、3段の黒鉛ブロックをキイとピンで結合したものの材料実験を行なった。この破壊実験からピン周辺の黒鉛ブロックの破壊によって定まる最大加速度は52.4gであり、キー周辺の黒鉛ブロックの破壊によって定まる最大加速度は57.3gである。

傾斜実験において45°傾斜時に測定された許容最大加速度はピン周辺およびキー周辺についてそれぞれ31.8gおよび56.9gである。したがって3段の黒鉛ブロックの配列よりも実際の黒鉛ブロック配列の方が応力集中の大きいことを示している。

振動実験によって測定された加速度と傾斜実験時の水平加速度との比すなわち動的応答倍率は、振動実験の値からピンについて6.8倍、キーについて3.5である。したがって最大許容入力加速度はピンについては4.7g、キーについては16.3gである。

したがって、相似律から、2分の1モデルの許容最大加速度は4.7gであるから実際の構造物では2.3gに対応する。原子炉建屋と原子炉格容器の地震応答解析から設計地震(地盤で最大加速度0.15g)による黒鉛シャヘイ壁の設置高さの最大加速度は0.43gである。したがって黒鉛シャヘイ壁の耐震安全性は確保されるものと考えられる。

原子炉格納容器の剛性の高いことから高さ方向の地震応答の差は小さくこの模型実験で段数の少ないことは無視できる。黒鉛シャヘイ壁の弱点はピンのところであるがその部分に補強工法がとられれば、設計地震の大きい場合も十分に耐震性は確保されるものと考えられる。

4. 原子炉燃料集合体の振動実験

原子炉燃料集合体は、沸騰水型原子力発電所の炉心部を構成する主要な機器でその振動性を正しく評価する必要がある。このため原子炉燃料集合体の振動実験を1974年6月に日立製作所と国立防災科学技術センターによって行なった。

振動実験は4体の燃料集合体を用いている。燃料集合体は長さ4.5mで内部に49本の燃料棒をつめ138mm角の肉厚2.03mmのチャンネルボックスをかぶせている。二酸化ウラン燃料のかわりに重量の等しい鉛を装填した模型燃料集合体である。

4体の燃料集合体を1つの単位として直径800mm、高さ5200mmの鋼製容器内に実際に近い支持条件で設置した。加振方向は45°方向と直角方向の2方向である。燃料集合体4体の間のすき間に制御棒を設置した場合の影響について調べた。炉心冷却水の影響を調べるためタンクに水を満した状態の実験も行なった。

燃料集合体上部の支持状態はチャンネルファスナーと上部格子板で支持されるがチャンネルファスナーは弱いバネでの支持で従来の設計に用いられたものである。チャンネルファスナーの代わりにくさびで固定支持した場合の実験も行なった。

測定は加速度計を燃料集合体、タンク、振動台にとりつけ振動応答を計測した。振動実験は正弦波により3～8 Hzの間のスweep実験で、掃引速度は0.025 Hz/secにして行なった。振動台加速度は0.1 gから0.3 gまで何段階か変えて行なっている。燃料集合体への設計地震波を考へて、最大加速度を何段階か変えて振動実験を行なった。

周波数特性は周波数を上げて掃引する場合と下げる場合であまり大きな差はない。これは上部固定装置のバネの非線形性によるものであるが、その影響は小さい。振動実験を行なうと加振直角方向に加速度が発生するが、その大きさは加振方向の加速度の1/3である。加振方向を燃料集合体の辺に45°にした時は加振力が小さければ0°方向のと差があるが加振力が大きくなると同じ値になる。応答倍率は0°方向の方が大きい。

支持機構がバネの場合、共振振動数は加振力が大きくなると増加し、応答倍率も増加して固定支持の場合と同じになる。固定支持では、加振力の変化にかかわらず応答倍率は一定である。

制御棒を挿入した場合、共振振動数の変化は小さい。水中状態では特に、応答倍率は制御棒を挿入しない場合の1/2から1/4に減少する。制御棒により減衰を増加させる効果が大きく地震時に燃料棒の応答を減少させることが可能である。

地震時の応答倍率は1.1～1.3倍で、現行の設計解析の応答倍率2.0よりも小さいことがわかった。

以上のような振動実験の結果から設計の場合、0°方向の加振状態で、制御棒引抜状態の解析が必要であることがわかる。支持条件は通常的设计加速度になると線形性が大きく特に水中状態で加振される場合問題にならないと考えられる。

5. 薄肉殻体容器の振動実験

原子炉を収納する一次格納容器は径の大きい殻体の容器で容器側壁に種々の付加物が取付られるため複雑な振動をすることが予測される。

模型薄肉殻体容器の振動特性を測定するための振動実験を燃料集合体の実験と共に日立製作所と国立防災科学術技センターで1974年6月に行なった。

供試模型は直径2400mm、高さ3600mm、肉厚2mmの塩化ビニル製ドーム型容器で、底部に25mm厚のフランジを付け振動台に固定した。本体のみを加振した場合と、付加重量物をつけた場合、補強ベルトを本体の周囲につけた場合の3つの振動実験を行なった。

振動実験は正弦波による定加速度スweep実験と、地震波による加振を行なった。加速度計により径方向の加速度応答を、歪ゲージにより周方向、高さ方向の歪成分を測定した。

振動実験の結果、薄肉殻体容器の振動は、縦方向のはりタイプの振動によって支配される。共振振動数は19 Hz 付近にあり付加物や補強ベルトをつけることによってあまり影響されないことがわかった。付加重量物によって低い周波数で、殻体振動が発生するが応答倍率は小さい。補強ベルトをつけることによって殻体振動の共振振動数は大きくなり、低周波数での応答が押えられることがわかった。

6. オイルタンクの振動実験

日本国内の石油備蓄量を増大させるため超大型原油貯槽の建設が必要となっている。原油貯槽の大型化に適した浮屋根式原油貯槽の耐震性を明らかにするために原油貯槽の模型振動実験を行なった。

この振動実験は日本鋼管と国立防災科学技術センターが1974年2月に実施したものである。実験の目的は浮屋根式原油貯槽の地震時の槽内の貯蔵流体の流動と、槽壁の応力を明らかにすることである。

加振時の槽内流体の波高、動水圧、流速、槽壁に生ずるひずみを計測し、タンク及び貯蔵流体の動的挙動を把握した。振動台の加振方法として、数値解析の方法と比較するため正弦波、矩形波、三角波と地震時振動性状のシミュレーションを行なうため6種の地震波を用いた。

実験に用いた模型タンクは3個で、丸型流動実験用タンク（丸型、径2860 mm、高さ1219 mm、 $t=4.5$ mm）角型流動実験用タンク（長さ2000 mm、幅1000 mm、高さ1000 mm、 $t=4.5$ mm）と応力実験用タンク（丸型2190 mm、高さ914 mm、 $t=0.4$ mm）である。

丸型流動実験用タンクではダンパーフィン付き浮屋根模型をのせ、液面揺動に対する減衰効果を求めた。

振動実験の結果、槽壁応力は衝撃的な加振に対し、予測された値よりかなり大きいこと、流体の揺動による応力はあまり大きくないことがわかった。自由液体表面の揺動周期は理論解析によって得られる固有振動数とほぼ一致することがわかった。3つの容器共、一次共振振動数約0.5 Hz、2次1 Hz、3次1.2 Hz 付近の正弦波で加振した場合、流体の共振揺動現象がみられた。固有振動数をはなれた振動数の正弦波加振では、明らかに揺動現象は見られなかった。

このような液面揺動を抑制するために浮屋根を設置した場合、浮屋根の下側液面側にダンピングのための羽根をつけた場合、浮屋根の上に水を入れて重量を大きくした場合の振動実験を行なった。この結果、浮屋根のみを設置した場合の減衰定数は、自由表面の場合とほとんどかわらないこと、浮屋根下側に羽根をつけた場合は、減衰定数は自由表面の約3.0倍になることがわかった。浮屋根の上に水を入れて重量を大きくした場合の減衰定数は自由表面

の場合の2.0倍であった。したがって浮屋根下側にフィンをつけたものがより大きな減衰効果をもつことがわかった。

7. 結 論

以上日本国内で耐震工学と地震による災害の防止のために、人々の関心が集められている原子力発電所、石油貯蔵タンクなどに関して、国立防災科学技術センターの大型振動台を利用して行なった実験とその結果の概略について報告した。

日本国内では新潟地震における石油タンクの火災、最近の石油タンクの破壊による原油の瀬戸内海への流出と汚染、川崎における地震の可能性、原子力発電所建設に対する一般的関心から、このような産業施設の特殊建造物の耐震性が問題になっている。しかしこのような建造物の多くは、各産業、各会社の責任において耐震性を確保するのが原則であり国の研究機関がどこまで介入すべきかは問題である。

特殊建造物の耐震性について理論解析の方法も研究を進める必要があると共に、今後も大型振動台を用いた実大モデル建造物の振動実験の必要性が高いことはいうまでもない。そのため振動台の改善と建設、振動実験手法の改善、モデル化に関する研究開発も必要である。

1975年度に通産省資源エネルギー庁で、新しい超大型振動台建設のための費用の一部が予算化された。この振動台は30m四方で1000トンの試験体をのせられるもので、主として原子力発電関係の建造物の振動実験を行なおうとするものである。このような超大型振動台建設にも多くの困難が予測される。

この耐風耐震構造専門部会の合同部会で、このような諸問題の解決のために、技術情報の交換が活発に進められることを期待する。

(1975年6月24日 原稿受理)

防災科学技術研究資料 第19号 1975年8月

DYNAMIC TESTS OF STRUCTURES FOR OIL TANKS AND NUCLEAR POWER PLANT

SEIICHI INABA

NATIONAL RESEARCH CENTER FOR DISASTER PREVENTION
SCIENCE AND TECHNOLOGY AGENCY

THE SEVENTH JOINT MEETING OF
U.S.-JAPAN PANEL ON WIND AND SEISMIC EFFECTS

TOKYO
MAY 20-23, 1975

Dynamic Tests of Structures for Oil Tanks and Nuclear Power Plant

Seiichi Inaba

National Research Center for Disaster Prevention

Summary

In our country, it is necessary to build more nuclear power plants in order to overcome the energy problem, and also to build large oil tanks in order to increase the amount of reserved crude oil. It becomes an important subject of engineering to design aseismic structures for nuclear power plants, oil plants, gas tanks, and other industrial plants for the purpose of preventing disasters due to the earthquake. Under these circumstances, several dynamic tests of plant structures have been carried out by using the large-scale shaking table of the National Research Center for Disaster Prevention (NRCDP) in Tsukuba New Town. This report is to introduce briefly the dynamic tests and their results of a graphite shielding structure, oil tanks, fuel assemblies of nuclear reactor, and a container vessel of thin shell.

1. Introduction

The large-scale shaking table of the NRCDP was built in 1970. Since then, numbers of vibration tests for structures have been performed under the joint research programs with engineers of other research organizations. Most of the dynamic test projects have been related to the problems of soils, soil-structures, and soil-structure interaction. Some of the test results were reported on the former Joint Panels on Wind and Seismic Effects.

2. Dynamic Test of Graphite Shielding Structure

The dynamic test of graphite shielding structure for fast reactor was carried out by the Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation and the Building Research Institute in June, 1971, using the large-scale shaking table of NRCDP.

The graphite shielding structure is a masonry -type structure composed of a great number of graphite blocks to fill the space between a reactor vessel and a safety vessel. It is necessary to leave gaps between the blocks to absorb dimensional changes due to thermal expansion and radiation effects of graphite. The graphite blocks are connected by the graphite shear keys, and the outside rows of the blocks are linked by steel pins with the safety vessel.

Aseismic stability of this structure is to be proven directly by vibration test, because it is difficult to analyse theoretically those structures with many gaps. The model of the graphite shielding structure was built using the same materials as those of the prototype, and the geometric scale was one half. The graphite blocks of 11 layers were piled up and jointed to a cylinder cell of 3200 mm in outer diameter, 2270 mm in inner diameter, and 1067 mm in height.

The model structure was tilted to 30 degrees and then to 45 degrees on the shaking table to apply the lateral force for a static test. Dynamic tests were carried out inducing sinusoidal waves of various frequency range and the design earthquake waves obtained from dynamic response at the installed elevation of the graphite shielding structure. Measurements of stresses in the representative blocks and keys, stresses of the pins, relative displacements of blocks, and accelerations of the graphite blocks were widely made during the tilting test and the vibration test. After the completion of these tests, an ultimate strength test was carried out by applying static load to determine the ultimate strength of the several graphite blocks of 1 or 3 layers and 3 rows connected by the shear keys and pins.

The result of the ultimate strength test shows that the ultimate limit acceleration of the block corresponding to the collapse mode around the pin hole (the limit acceleration for the pin) was 52.4 g and the ultimate limit acceleration of the block corresponding to the collapse mode around the key way (the limit acceleration for the key) was 57.3 g.

The results of the static tilting test indicate that the limit acceleration for the pin and that for the key were 31.8 g and 56.9 g respectively from the measured stress values due to the lateral force of 45° inclination. Therefore,

stress concentration on the model structure of actual rows was greater than that of three rows. Dynamic amplification was decided from the data of the vibration tests and the values for the pin and for the key were 6.8 and 3.5 respectively. Thus, the limit acceleration for the pin was 4.7 g and that for the key was 16.3 g. The vibration test of 1/2 simulation model shows that the limit acceleration was 4.7 g, which is equivalent to 2.3 g in the prototype structure according to the similarity law.

The results of the response analysis of the reactor building and the safety

vessel supporting the graphite shielding structure indicate that the maximum response acceleration by design earthquake (0.15 g at the base of the building foundation) was 0.43 g at the elevation of the graphite shielding structure.

It is considered, therefore, that the graphite shielding structure was aseismic. The safety vessel had high stiffness and the earthquake response of the vessel was uniform in the vertical direction. The effect of insufficient numbers of layer for the model can be ignored. The design of the graphite shielding structure can be applied to areas of greater design earthquake than this reactor, if the pin is reinforced.

3. Dynamic Test of Fuel Assembly for Nuclear Reactor

The fuel assembly of nuclear reactor is one of the most important structures constructing the boiling water reactor, and it is necessary to evaluate the dynamic characteristics of the fuel assembly. The dynamic test of the fuel assembly was carried out by the Hitachi and the NRCDP in June, 1974.

A unit of 4 fuel elements was used for the test. The element had a dimension of 4,500 mm in length, containing 49 fuel rods inside the channel box of 138 mm side and 2.03 mm thickness. The model fuel element was built using the fuel rods made from lead, of which density was approximately equivalent to that of the uranium dioxide. A unit of 4 fuel elements was fixed with the supporting system inside a steel tank of dimensions of 800 mm in diameter and 5200 mm in height.

The lateral forces of vibration were applied to two horizontal directions of 0 degree and 45 degrees which were the angles between the side of the fuel element and the direction of the dynamic force. The influence of the control rod inserted to the gap of cross shape between the fuel elements was studied. The effects of boiling water inside the reactor core were also tested by filling water into the tank simulating submerged condition.

The upper joints of the fuel element are composed of the channel fastener and the upper lattice panel, and the channel fastener (hereunder called spring joint) is fixed by a spring in the original design. Tests using a wedge type fastener were carried out to study the effect of fixed supporting system (hereunder called pin joint).

Dynamic response of the structure was measured by accelerograms installed to the fuel assembly, tank, and the shaking table. Sinusoidal waves of the frequency range between 3.0 and 8.0 Hz at the sweeping speed 0.025 Hz/sec were induced for the vibration tests. The input accelerations between 0.1 g and 0.3 g were chosen to test the influence of the various vibrational force on the response. Design earthquake response waves obtained from the analysis were also applied to the model structure under several steps of maximum accelerations.

There were not much differences in the frequency characteristics between the test results of sweeping from lower frequency to higher one and the tests results of sweeping from higher frequency to lower one. This means that the non-linearity of upper spring joint was not so apparent as was assumed. The acceleration perpendicular to the direction of dynamic force of vibrating elements was $1/3$ of that of the direction of table vibration. The measured accelerations during vibration of 45 degrees direction was smaller than those during the vibration of 0 degree direction, and the difference became smaller as vibration force was increased. The dynamic amplification ratio was greater for the 0 degree direction than 45 degrees of vibration. In the cases of the spring joint system, the resonant frequency became higher and the amplification ratio increased associated with the increase of the applied force. In the cases of the pin joint system, the amplification ratio of the elements was constant even when the applied input force was increased. The resonant frequency of the fuel assembly with inserted control rod was not different from that of the structure without control rod. When the fuel assembly was sunken into the water, the amplification factor of the fuel element with control rod was reduced to the range between $1/2$ to $1/4$ of that of the element without control rod. The data indicate the effect of control rod as damping, and the inserted control rod can reduce the dynamic response due to earthquake. Amplification ratio obtained from the earthquake vibration tests were in the range between 1.1 and 1.3, and the dynamic amplification ratio of 2.0 for the actual design of fuel element was conservative.

The results of the dynamic tests show that it is necessary to design the fuel assembly, in the case of structures, without control rods and with the force direction of 0 degree. The non-linear characteristics of the fixing joint system cause no problem on the response analysis under the comparatively greater design accelerations and also when the fuel assembly is submerged into the water.

4. Dynamic Test of Thin Shell Container Vessel

Container vessels for the nuclear reactor are the shell type vessels with additional structure elements inside the wall, and it is assumed that such vessels show complicated dynamic response due to earthquake. The dynamic test of a model thin shell container vessel was carried out by the Hitachi and the NRCDP in July, 1974 after the test of fuel assembly for the purpose of evaluation of the dynamic behavior of the container vessel.

The model structure of domed shape had the dimension of 2400 mm diameter, 3600 mm height and 2 mm thickness, and the material was vinyl chloride resin. The model was bolted through the circular flange bonded to the bottom of the vessel, and was fixed on the large-scale shaking table. A model container vessel, a model with supplementary weight inside the shell wall and a model with stiffener belt outside the vessel were tested by vibration force. The sinusoidal waves sweeping the frequencies under constant acceleration and the earthquake waves were applied for the vibration tests.

The accelerations of thin shell in normal direction and the stresses of the shell in radial and vertical directions were measured using accelerograms and strain gages.

The results of the dynamic tests indicate that the vibrational behavior of the thin shell type vessel is mostly caused by the beam type vibration of vertical direction. The resonant frequency was approximately 19 Hz and the resonance was not so much influenced by the supplementary weight or by the stiffener. In the range of low frequency, some characteristics of shell type vibration were found, but the amplification was smaller than those of the beam effect. Effects of shell increase the resonant frequencies of shell type vibration but reduce the dynamic amplification in the lower frequency range.

5. Dynamic Test of Oil Tank

To increase the crude oil reservation in Japan, it is necessary to build super-scale oil tanks for crude oil. The dynamic test of model oil tank was carried out to confirm the aseismic stability of the floating roof tanks. Such tanks are considered to be suitable for the super-scale oil tank. The dynamic test was carried out by the Nippon Kokan (NKK) and the NRCDP in February, 1974.

The purpose of the test was to know the sloshing movement of fluid in the tank and the stresses of shell wall due to the earthquake, and to design the aseismic floating roof tanks. Wave heights of fluid, dynamic pressures, velocities, and the strains of the tank shell were measured to obtain the dynamic characteristics of tank cylinder and contained fluid. Sinusoidal, triangular, rectangular waves were applied for the dynamic test and earthquake simulated waves of six representative earthquakes were also induced.

Three model tanks were built on the shaking table. A cylinder type model for sloshing test (diameter of 2860 mm, height of 1219 mm, steel plate thickness of 4.5 mm), a rectangular type model for sloshing test (length of 2000 mm, width of 1000 mm, height of 1000 mm, steel plate thickness of 4.5 mm) and a cylinder type model (diameter of 2190 mm, height of 914 mm, steel sheet thickness of 0.4 mm) were constructed for the dynamic tests. The cylinder type model tank for sloshing test was also used to find damping effects of a floating roof with damping fins which were put on the fluid surface. The results of the dynamic tests show that the stresses of cylinder wall due to vibrational force were greater but the stresses due to sloshing fluid were less than the stresses assumed from the analysis. Natural frequencies of the sloshing fluid with free surface were in good agreement with those obtained from the theoretical analysis. When the sinusoidal waves of natural frequencies of 0.5 Hz of first mode, 1 Hz of second mode, and 1.2Hz of third mode were applied to the model tank, the sloshing phenomena in resonance were apparently caused by the vibration of sinusoidal waves. No sloshing phenomenon was observed in the range of frequency different from the natural frequencies.

In order to reduce the sloshing movement of fluid surface, dynamic tests were carried out for the cases using floating roof, floating roof with fins for damping and a case in which some water as weights was filled on the floating roof. The result of the tests with floating roof shows that the damping coefficient was not different from that of the free surface fluid. In the case of test for tanks of floating roof with damping fins, the damping coefficient of sloshing was three times as much as that of free surface sloshing. In the case of test for tanks with floating roof over which water was filled as weight, the damping coefficient was two times as much as that of free surface sloshing. This means the effectiveness of damping fins to reduce sloshing movement.

6. Conclusion

This paper has briefly described the dynamic tests by using the large-scale shaking table of the NRCDP and their results on structures for nuclear power plants and oil tanks, about which people of our country are concerned to prevent the disasters due to the earthquake.

The fire of oil tanks due to the Niigata Earthquake in 1964, and the crude oil leakage and pollution caused by the collapsed tank to the Inland Sea in Okayama in 1974, and the possible Kawasaki Earthquake predicted from the data on ground upheaval have aroused people's concern in the field of earthquake engineering and in the aseismic stability of structures for industrial plants. But the industries and the private organizations are mostly responsible for the design of such structures and the government institutions can not regulate the design of such structures. It is necessary to develop the theoretical analysis of the dynamic behavior of plant structures and also to test the large-scale structure on the shaking table. We have to stimulate improvement of shaking table, development of technique for dynamic test, and studies regarding simulation and modelling.

The Resources and Energy Agency of the Ministry of International Trade and Industry has appropriated the part of the fund to build a new large-scale shaking table in the budget for the fiscal year of 1975 - 1976. The shaking table of the 30 m square size carrying test structure of 1000 tons is to be built for the dynamic test of structures for nuclear power plant in the future. However, there still remains some problems on the construction of such super-scale shaking table.

It is hoped to exchange technical information concerning the problems through the Joint Panel on Wind and Seismic Effects.

Bibliography

Kawaguchi, O., Watabe, M., et al., " Special Aseismic Design Engineering and Development for Fast Reactor ", Proceedings Vol. I, Engineering of Fast Reactors for Safe and Reliable Operation, Karlsruhe 1973.