

大型耐震実験施設利用実験概要集

防災総合研究部

要 旨

1970年に大型耐震実験施設の供用が開始されて以来、自体研究、共同研究、受託研究として実施されてきた、各種構造物の耐震実験、振動実験の概要を取りまとめたものである。

A Summary of Seismic Tests Using the Large-Scale Earthquake Simulator

Disaster Prevention Research Division

Abstract

The Large-Scale Earthquake Simulator of the NIDE has been used for aseismic or vibration tests on various types of structures since its completion in 1970. This report provides a summary of these tests conducted as self-planned, cooperative or entrusted researches.

(原稿受理：1996年3月19日)

大型耐震実験施設利用実験 (概要集)

目次

大型耐震実験施設概要	1
1971年	3
河川堤防の耐震性に関する研究	
沈埋トンネルの耐震性に関する研究	
1972年	6
河川の特設堤防の耐震性に関する研究	
砂地盤の流動化及び沈埋トンネルの耐震性に関する研究	
東京湾横断道路沈埋トンネル及び盛土の耐震性に関する研究	
大型模型タンクの耐震性に関する研究	
1973年	14
河川堤防の耐震性に関する研究	
砂地盤の流動化及び沈埋トンネルの耐震性に関する研究	
石油タンク模型振動実験	
地下埋設管の耐震性に関する研究	
1974年	20
沸騰水型原子炉機器の耐震性に関する研究	
免震構法に関する研究	
水中盛土の耐震性に関する研究	
構造物と地盤の相互作用に関する研究	
地中管の耐震性に関する研究	
鉄骨ブレース建造物の振動実験	
地下埋設管の耐震性に関する研究	
1975年	30
模型盛土の鉛直振動実験	
模型特殊堤の振動実験	
発電電所に使用する電力用しゃ断機の振動特性に関する研究	
地下埋設管の耐震性に関する研究	
1976年	36
鋼板製組み立て受水槽の耐震実験	
盛土の鉛直地震動に対する安全性に関する研究	
特殊堤防の地震時の安全性に関する研究	
液化瓦斯貯蔵用プレストレストコンクリートタンクの振動特性に関する研究	
耐震性評価に関する研究	

1977年	44
液化瓦斯貯蔵用P S—二重殻タンクの振動特性に関する研究	
F R P 製組立式パネル水槽の耐震性能に関する研究	
グローブボックスの耐震性に関する研究	
給水タンクの耐震研究	
大型振動台による鉄筋コンクリート造ラーメンの耐震実験	
1978年	54
河川堤防の模型振動実験及び構造物周辺の液状化に関する振動実験	
フィルダムの動的破壊機構の研究	
セキスイハウス・レンガ壁耐震実験	
1979年	59
168kV真空遮断器V C B耐震試験	
F R P パネルタンクの耐震実験	
スチール棚の耐震実験	
プレストレスコンクリート原子炉格納容器耐震実験	
1980年	67
F R P 製タンクの耐震強度の研究	
液体と弾性体の連成振動に関する研究	
土構造物の動的特性調査	
自動倉庫の耐震実験	
1981年	75
液体と弾性体の連成振動に関する研究	
堀割道路の耐震実験	
高圧ガス製造施設に係る塔の振動実験	
消防用設備等の耐震性能に関する研究	
高性能強震計開発試作	
液体配管の振動実験	
1982年	86
強震計の振動及び耐震実験	
空積み遮へいブロック壁の耐震実験	
軟弱地盤の振動性状に関する研究(水槽等の振動特性実験)	
ガラス固化パッケージ貯蔵ピット耐震評価試験	
1983年	91
F R P 2mパネル水槽の耐震実験	
配管系の振動実験(総合振動実験)	
1984年	94
66kV用ガス絶縁開閉装置の耐震性に関する研究	
配管減衰特性に関する振動試験	
天井走行型パワーマニプレータの耐震性に関する研究	
弾性負荷時の振動台特性の測定	

1985年	99
機器配管系の耐震安全裕度の評価確認に関する研究	
長大斜面の安定性に関する研究	
FRP仕様冷却塔の耐震強度に関する研究	
6.6kV縮小型開閉装置の耐震性に関する研究	
大型振動台制御精度に関する研究	
1986年	108
機器配管系の耐震安全裕度の評価確認に関する研究(多入力応答実験)	
機器配管系の耐震安全裕度の評価確認に関する研究(立体配管の振動破損実験)	
FRPパネル式水槽の振動実験	
NUCEF施設モックアップ模擬炉心タンクスロッシング試験	
1987年	115
円筒模型の振動座屈実験	
グローブボックス耐震安全性実証試験	
機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究(流体配管実験)	
機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究(容器実験)	
再処理施設臨界安全性実証試験に使用する装置の安全停止系耐震性能試験	
原子炉建屋耐震壁の弾塑性試験(減衰性能試験)	
1988年	121
機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究	
1989年	123
機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究	
計算機システムの耐震実験	
鋼製円筒の振動座屈実験	
実物基礎を用いた構造物と地盤の動的相互作用に関する研究	
1990年	129
変形パネル構造による3階建て住宅の耐震実験	
大型装置(MTL)の耐震実験	
実物基礎を用いた構造物と地盤の動的相互作用に関する研究	
動的機器の耐震支持法に関する研究	
275KVコンデンサ形計器用変圧器の耐震実験	
機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究	
デジタル制御精度確認試験	
1991年	139
耐震性評価に関する研究(大型振動台の制御特性に関する研究)	
薄肉大口径配管における液体と配管の連成振動に関する研究	
免震型プラントの実用化研究(中規模振動台試験)	
動的機器の耐震支持法に関する研究	
(支持部にガタ特性を有する配管系構造物の振動実験)	
基礎地盤の動的応答実験	
72/84kVタンク形ガス遮断器の耐震実験	

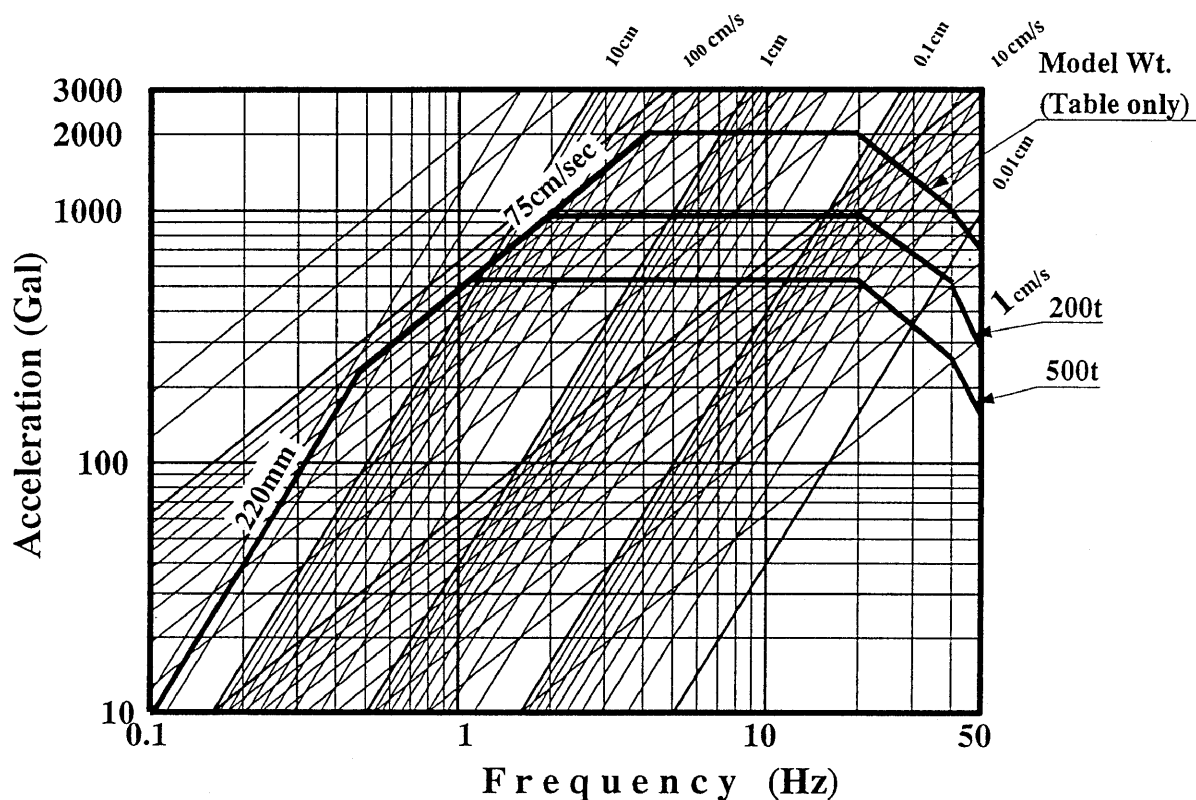
72/84 kV ガス絶縁開閉装置の耐震実験	
84 kV 調相設備用 GIS の耐震実験	
ビデオカメラを用いた供試体変位測定法の研究	
1992年	148
液状化地盤中の杭の挙動に関する研究	
安全板耐震モックアップ試験	
補機冷却水設備冷却塔ファンの地震時機能維持の評価の振動実験	
ビデオカメラを用いた供試体変位測定法の研究	
動的機器の耐震支持法に関する研究	
(支持部にガタ・摩擦を有する配管系構造物の振動実験)	
大口径 SUS 配管のラチェッティング強度試験	
免震型プラント配管インターフェイス部確認試験	
開発途上国に対する住宅建設技術移転に関する研究	
(枠組組積造の構造性能に関する研究)	
強震動による鉄筋コンクリート構造物の破壊に関する研究	
機器配管系の応答・損傷の制御に関する研究	
1993年	165
改良グローブボックスの閉じ込め性能確認試験	
液状化地盤における杭基礎の地震抵抗力に関する研究	
支持部に非線形特性を有する配管系構造物の振動実験	
伸縮式移動観覧席の耐震実験	
開発途上国に対する住宅建設技術移転に関する研究(その2)	
機器配管系の応答・損傷の制御に関する研究	
500 kV ガス絶縁CT耐震実験	
強震動による鉄筋コンクリート構造物の破壊に関する研究	
深層地下空洞及び内部構造物の振動挙動に関する研究	
磁気テープライブラリ装置の耐震実験	
1994年	183
テールアルメ補強土擁壁の地震時特性に関する振動実験	
深層地下空洞及び内部構造物の振動挙動に関する研究	
スロッシング実験時の振動台制御特性に関する研究	
(ワームタンクモデルの振動実験)	
高減衰積層ゴムを用いた免震構造の振動台実験	
(高減衰積層ゴム支承の効果の定量的把握)	
液状化地盤における構造物の動的破壊機構に関する研究	
機器配管系の応答・損傷の制御に関する研究(立体配管系モデルの制震実験)	
72/84 kV ガス絶縁開閉装置の耐震実験	
大型ライブラリ装置の耐震試験	
強震動による鉄筋コンクリート構造物の破壊に関する研究	
あとがき	200

大型耐震実験施設概要

主要諸元

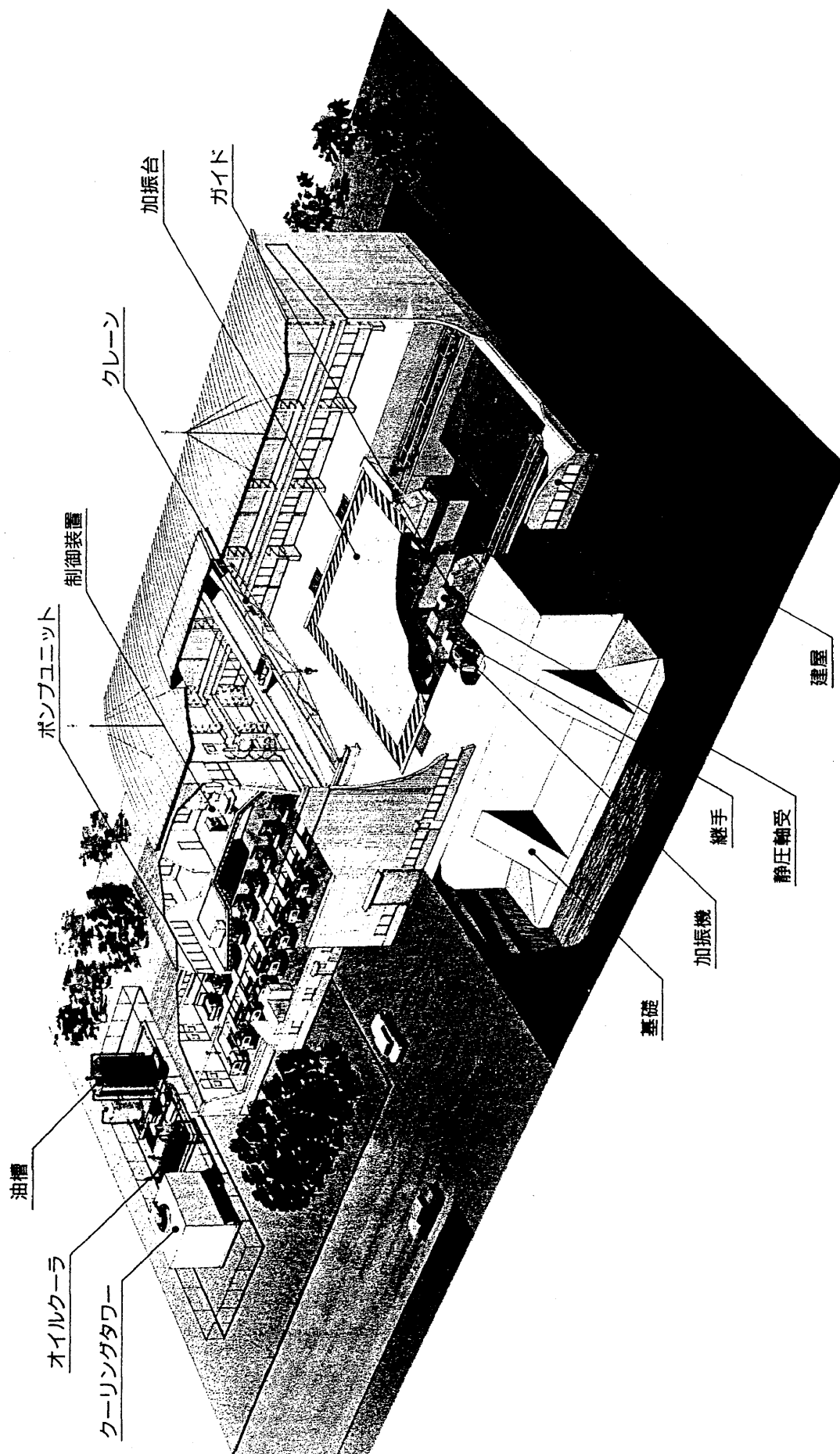
加振台	15.0 × 14.5m 重量 160ton
駆動方式	電気油圧サーボ方式
加振機出力	360ton (90ton × 4台)
最大搭載重量	500ton
最大振幅	± 220mm
最大速度	75cm/sec (90cm/sec に増強中)
最大加速度	0.5G (500ton時) 0.94G (200ton時)
加振周波数範囲	DC ~ 50Hz
加振波形	正弦波、不規則波、地震波
サーボバルブ	MOOGJ079 - 200型 2台 / 加振機 1台
静圧軸受	12台 油圧140kg/cm ²
ガイドシリンダ	4台 油圧140kg/cm ²
主ポンプユニット	11台 吐出油量 3,960 l/min
	4台 吐出油量 3,200 l/min
副ポンプユニット	2台 吐出油量 800 l/min

Limit Performance



限界性能図

大型耐震実験装置



河川堤防の耐震性に関する研究

1971 年 8 月 ～ 1971 年 9 月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 地震時の盛土の振動性状を調べる。
- (2) 河川堤防の中に力学的に異質なものである杭が橋台の基礎として打ち込まれた場合の堤体の耐震性の調査。

2 供試体および実験条件

振動台上に内り 12m × 12m × 高さ 1.5m の鋼鉄のわくを設置し、築堤した。

盛土材料は真砂(筑波山麓産、砂質ローム)であり、締固めは 30cm 厚ごとにバイブレーションローラ及びビブロンマーを用いて行なった。

模型は対称で、且つ、2 次元的な取り扱いをするために、加振直角方向方面に土のうを用いた。盛土中に設置した杭は、 $\phi 400\text{mm}$ 、肉厚 6.4mm の鋼管 2 本で、その頂部には、橋梁上部土や橋台のような死荷重を模した 10t の鋼塊を固定した。

(1) 加振方法

1) 共振実験

入力加速度 : 20、40、60gal(正弦波)
振動数 : 1～20Hz

2) 破壊実験

入力加速度 : 150～200gal(正弦波)
加振時間 : 20～30 秒(共振振動数)

(2) 計測方法

加速度計(水平、鉛直)、土圧計、ストレインゲージ、相対変位計を堤体及び杭に設置し、これらの応答値をアナログデータレコーダーに記録した。

(3) データ解析方法

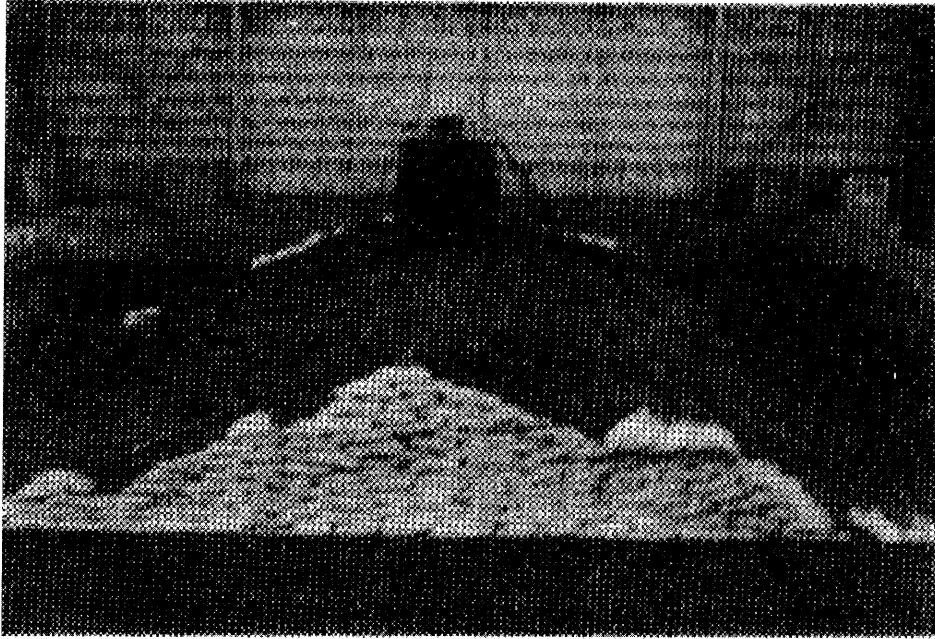
アナログデータをローパスフィルターを介してペンレコーダーに再生し読み取り、物理量に換算し図化した。

(4) 現論解析法

有限要素法により、杭の有無が堤体の振動性状に与える影響を調べた。

3 主な結果

- (1) 杭の影響は堤体全体には及ばないが、杭の周囲の堤体土にかなりのクラックを生ずる。
- (2) 基礎地盤が剛なときの堤体の破壊は、表面剥離として生ずる。また、堤体安定度はかなり高い。



実験模型堤防

沈埋トンネルの耐震性に関する研究

1971 年 11 月 1 日 ～ 1971 年 11 月 30 日

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

軟弱地盤内部の沈埋トンネルの地震応答特性を調べる。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

地盤はゼラチンで、沈埋トンネルはゴムでモデル化した。

(2) 加振方法

- 1) 正弦波
- 2) 自由振動
- 3) 地震波

(3) 計測

- 1) 光学式変位計
- 2) 16mm 高速撮影

(4) データ解析

- 1) 共振曲線を求める
- 2) 振動振幅の分布を求める
- 3) 減衰定数を求める

3 主な結果

地盤の変位部で、沈埋トンネルに大きな変形が生じる。

河川の特殊堤防の耐震性に関する研究

1972年7月1日～1972年8月21日

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

堤防の地震時の安定性を検討する実用的な方法(安定計算法)を提案すること、およびそれに関係するであろう基礎地盤の支持特性の変化を推定すること。

2 供試体および実験条件

模型堤防は振動方向に長さ10m、奥行き2m、最高高さ3.5mの堤防形の鉄製土槽中に山砂を材料として築堤した。

実験ケースは砂のみを材料とする3ケース、及び模型矢板護岸を有する特殊堤の1ケース、計4ケースである。

締固めは、ビブロランマーによって50cm層厚毎に転圧を行なった。後に地盤下部より吸水を行なった。

(1) 加振方法

1) 共振実験

台加速度 : 20gal
振動数 : 1～20Hz
加振時間 : 20～30秒(各振動数)(正弦波による水平加振)

2) 液状化実験

台加速度 : 50,100,200,(400)gal
振動数 : 共振振動数
加振時間 : 40～60秒(正弦波による水平加振)

(2) 計測方法

1) 電気計測

加速度、間隙水圧、地盤表面及び沈埋トンネル模型の変位

2) その他

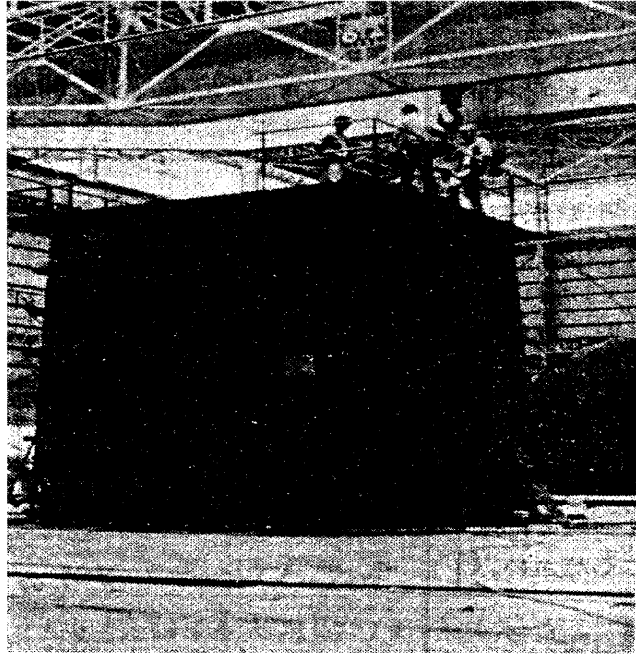
コアカッター法による密度、コーンペネトロメータによる貫入抵抗の測定(電気計測はアナログデータレコーダーで収録)

(3) データ解析方法

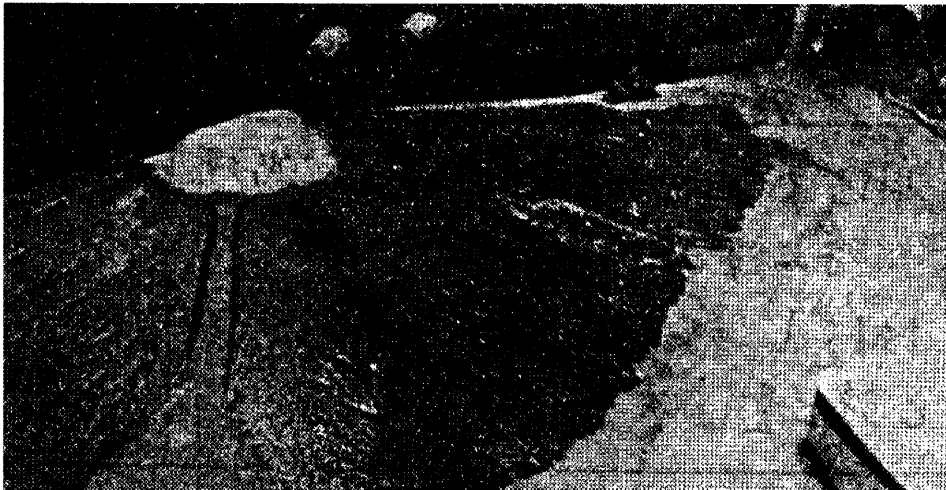
収録されたアナログデータをローパスフィルターを介してペンレコーダーに再生し応答波形を読み取り、物理量に換算し図化した。

3 主な結果

周辺地盤が液状化すると沈埋トンネルは、大きく浮上する。ただし、沈埋トンネルの周辺を採石で埋め戻すと浮上量は大きく軽減する。



砂箱



液状化した砂

砂地盤の流動化及び沈埋トンネルの耐震性に関する研究

1972年8月～1972年9月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

沈埋トンネルを対象として、周辺砂地盤の液状化の可能性の判定、液状化時の挙動、液状化対策についての検討を行なう。

2 供試体および実験条件

砂層は内寸4m×4m×高さ5mの鉄製槽。

沈埋トンネルの模型は外径寸法1m×1m×奥行き3.8mの鋼板被覆をした中空コンクリート製で、見かけの比重は1.07。

埋め戻した粗粒材料は6号採石で、砂層は山砂。

締固めは人力によるもので、砂層の築造が進むにつれて、下方から浸水させ砂層表面まで飽和させた。

(1) 加振方法

1) 共振実験

台加速度 : 20,40gal
振動数 : 1～20Hz
加振時間 : 20～30秒(各回)(正弦波水平加振)

2) 破壊実験

台加速度 : 100,200gal
振動数 : 共振実験結果による共振振動数
加振時間 : 40～70秒

(2) 計測方法

1) 電気計測(収録: アナログデータレコーダー)

加速度計 : 29箇所
間隙水圧計 : 14箇所
沈下計 : 1箇所

2) その他

- ・コアカッターによる地盤、盛土の速度
- ・コンベネトロメーターによる地盤、盛土の貫入抵抗

(3) データ解析方法

収録されたアナログデータを、ローパスフィルターを介してペンレコーダーに再生し、読み取った値を物理量に変換し、図化した。

(4) 理論解析方法

地盤内に発生する過剰間隙水圧、盛土土塊に作用する慣性力を考慮した円弧すべり安定計算を行った。

3 主な結果

- (1) 砂層地盤上に築造された堤防の地震時の安定性は、地下水位によって大きく影響を受ける。これは常時の降水圧及び振動によって発生する過剰間隙水圧のためである。
- (2) 振動時に地盤内に発生する過剰間隙水圧を考慮すると、簡単な円弧すべり計算法と震度法とを組み合わせた安定計算法によって、実験時の堤防の破壊の有無を説明できそうである。



東京湾横断道路沈埋トンネル及び盛土の耐震性に関する研究

1972年10月～1973年1月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

軟弱地盤上の盛土およびその中に埋設された沈埋トンネルの地震時特性を調べる。

2 供試体および実験条件

地盤材料 : アクリアマイドゲルおよびゼラチン
沈埋トンネル : ゴム

(1) 加振方法

- 1) 正弦波
- 2) 地震波
- 3) ランダム波

(2) 計測

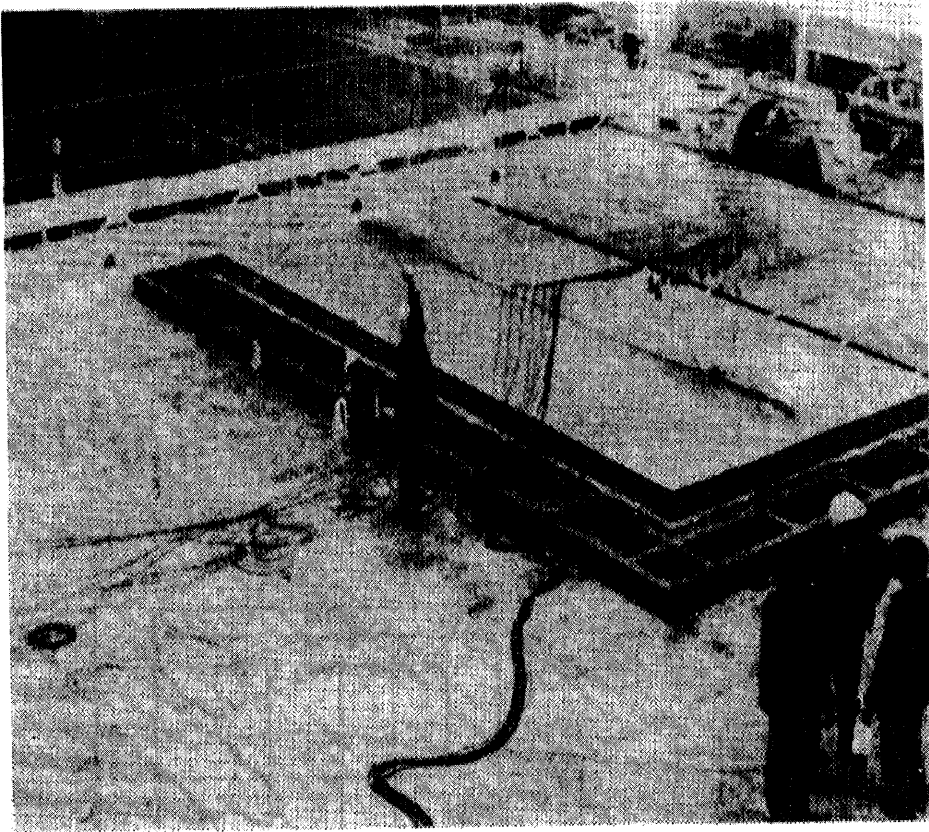
- 1) 光学式変位計
- 2) 加速度
- 3) 16mm 高速撮影

(3) データ解析

- 1) 共振曲線
- 2) 加速度の幅特性
- 3) 減衰定数

3 主な結果

沈埋トンネルは、地盤および盛土とおおむね同じような振動をする。



大型模型タンクの耐震性に関する研究

1973年2月～1973年3月

建設省建築研究所 通産省公害資源研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

(1) 入力波の設計と検定に関する研究

直径6.6mの球型模型タンクの振動実験において、強震計で得られた地震波を大型耐震実験装置の振動波形で再現する手法を開発するとともに、タンクに被害を与える入力波の性質を解明する。

(2) 振動実験によるタンクの強度に関する研究

球型模型タンクの貯水量を0、1/2および満水の状態で各種の加振を与え、ひずみ状況を高速度カメラおよびストレスコートにより測定し、タンクの揺動性状周期等を解析し、耐震設計の基礎資料を得る。

2 供試体および実験条件

(1) タンクの基本振動性状を求めるための実験

水量を漸次増加させ各注水率の下でのタンクの弾性範囲における振動性状を求める。

1) sin波地動による共振実験

タンク及び内容物の振動周期、及び振動減衰性を調べるために行う。

2) 自由振動実験

振動台の動きを完全に止めた状態でのマン・パワーによる加振の自由振動実験

3) 模擬地震による加振実験

3-1) エルセントロ

3-2) 十勝沖

3-3) 広尾

3-4) タフト1、タフト2

(2) タンクの破壊性状を調べるための実験

タンクが強震を受けた場合に、どのような破壊性状を示すかを調べるための実験で振動台の入力としては、他の波に比べて最も破壊力を持つエルセントロ波を用いた。

(3) 測定項目

1) 球殻部の変位、加速度、歪度応答

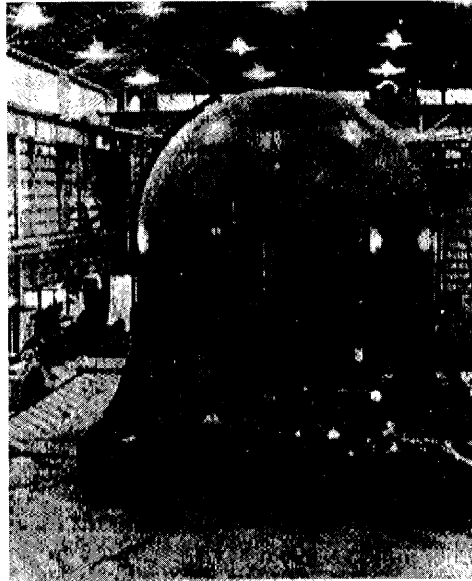
2) 支柱のガセットプレート取付部

3) ブレースの軸歪

4) 振動台の変位及び加速度

3 主な結果

- (1) 今回の実験に際し、従来保有していた地震波形に加え、タフト、ユーリカ、サンフェルナンド等の波形を新たに集め、入力波としての設計、処理、検定を行った。
- (2) 試験体の設計は破壊性状からみてバランスのとれたものであったが実際の地震を想定して、応答倍率を3～4倍としてみると、このタンクは、烈震時に弾性範囲をこえることが考えられる。
- (3) プレースの応力は球殻が剛体として変位するとして計算した値にほぼ等しい。



大型模型タンク

球直径	6.6m
設計圧力	10kg/cm ²
設計温度	55 °C
接手効率	100%
腐れ代	0.37mm
地震係数	0.3
形式	全溶接鋼板製球形タンク
内容物	液化ブタン (比重 0.585/15 °C)
容量	150m ³

河川堤防の耐震性に関する研究

1973年7月～1973年8月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

河川堤防、道路盛土等の、地震時に盛土斜面に作用する加速度の大きさとその分布、ならびに盛土地盤中に振動中に作用する過剰間隙水圧などを用い、円弧すべり計算法と震度法とを組み合わせた安定解析の方法によって斜面の安定性の検討を行なう。

2 供試体および実験条件

地盤及び盛り土は50cm毎に均一になるように人力で締固めた。実験の第1回は水無し、第2回は水位1.5mとしている。

(1) 加振方法

1) 共振実験

台加速度 : 20～60gal
振動数 : 1～24Hz
加振時間 : 20～30秒(各振動数)

以上の条件で正弦波の水平加振

2) 破壊実験

台加速度 : 100、200gal
振動数 : 共振実験による共振振動数
加振時間 : 60秒

以上の条件で正弦波の水平加振

(2) 計測方法

1) 電気計測：加速度、間隙水圧、表面変位

2) その他：コアカッター法による密度、及びコーンペネトロメーターによる貫入抵抗の測定(電気計測値はアナログデータレコーダーに収録した)

(3) データ解析方法

収録されたアナログデータを、ローパスフィルターを介してペンレコーダーに再生し、記録波形を読み取り、物理量に計算し、図化した。

(4) 理論解析法

- 1) 円弧すべり計算法による安定解析
- 2) 震度法による二次元応答解析 (FEM)

3 主な結果

- (1) 堤防のような盛土高のそれほど高くない盛土では、地盤の条件(水位等)及び加速度の大きさならびにその分布が地震時の斜面の安定性に大きな影響を及ぼすことがわかった。
- (2) 実験では、はっきりとしたすべり面は認められなかったが、天端付近の層が剥離するような現象がでており、安定計算の結果とかなり一致していた。

砂地盤の流動化及び沈埋トンネルの耐震性に関する研究

1973年8月～1973年9月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

沈埋トンネルに於いて周辺地盤の液状化の可能性の判定、液状化時の挙動、液状化対策等についての検討が必要である。液状化現象は一般に室内動的せん断試験によって検討される場合が多いが、地盤全体としての液状化現象の把握、検討を目的とする。

2 供試体および実験条件

砂層は山砂を用いた。沈埋トンネル模型は1m×1m×1.8mの中空コンクリートで、見かけの比重は、1.07である。粗粒材は6号碎石である。

(1) 加振方法

実験 番号	共振実験	液状化実験				備考	
	-1	-2	-3	-4	-5	初期間隙比	締固め方法
1	gal	37gal*	61	138	274	0.826	50cm層厚 ごと整地
	6.6～12.5	12°/s	11	10	9		
	1～20 _{sec}	74 _{sec} **	76	84	92		
2	計測不良	57	100	195	330	0.735	50cm層厚 ごと足踏み
		12	11	10	9		
		69	72	81	78		
3	6.9～18.5 1～20	66	99	200	365	0.680	30cm層厚 ごとビブロ 締固め
		12	11	10	9		
		93	88	103	85		
4	22.1～42.2 1～22	61	126	228	483	0.758	50cm層厚 ごと足踏み
		12	11	10	9		
		62	72	73	74		
5	18.2～54.5 1～24	74	131	230	490	0.789	50cm層厚 ごと足踏み
		12	11	10	9		
		75	68	68	82		
6	19.4～65.7 1～20	84	140	230	455	0.741	50cm層厚 ごと足踏み
		12	11	10	9		
		65	67	70	72		

* 台加速度の定常値

** 全加振時間

(2) 計測方法

- 1) 加速度計 : 砂層中、沈埋トンネル模型
- 2) 間隙水圧計 : 砂層中
- 3) 土圧計 : 土槽座、沈埋トンネル模型
- 4) 沈下計 : 砂層表面、沈埋トンネル

以上の計器による応答値をアナログデータレコーダーに収録した。

(3) データ解析方法

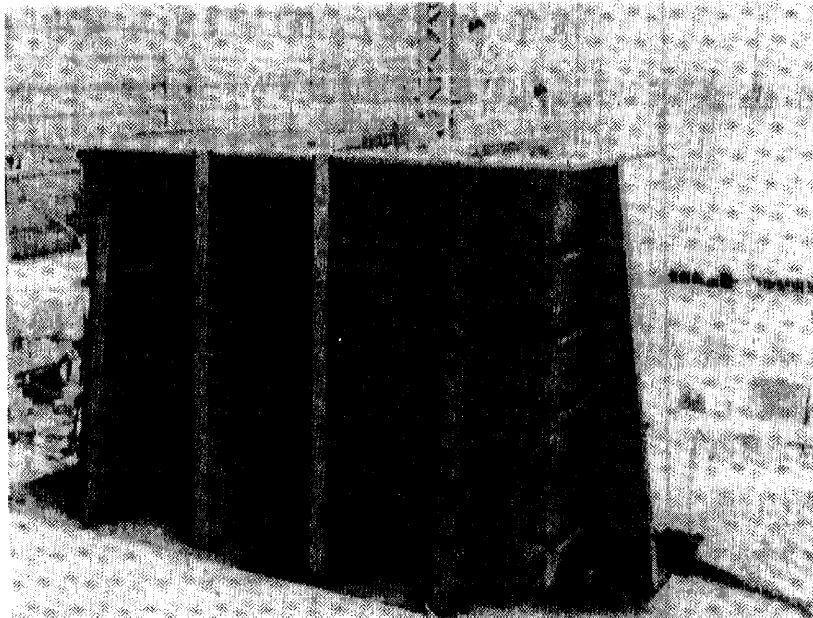
収録されたアナログデータを、ローパスフィルターを介してペンレコーダーに再生し、読み取った値を物理量化し、変換し図化した。

(4) 現論解析法

模型地盤を1次元せん断振動として地盤の不飽和条件下の間隙水圧発生特性、逸散特性、沈下性状を解析した。又、有限要素法により2次元モデルとして、振動特性を解析した。

3 主な結果

- (1) 測定された加速度性状から地盤内のせん断応力分布を推定し、間隙水圧発生及び砂層の沈下過程を良好に予測できた。
- (2) 沈埋トンネルを模した埋設物体の周囲に碎石層を設けることにより、液状化時の浮上量を大きく軽減することができる。



石油タンク模型振動実験

1974年2月15日～1974年3月2日

日本鋼管株式会社技術研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

新潟地震の際、昭石6万klの原油浮屋根タンク(FRT)の火災が問題となっており、また超大型のFRTの建設計画がスタートしていたので、FRTの耐震安全性の確認の必要があった。これに対し揺動防止装置を考案し実験した。

地震動による浮屋根構造の揺動状態把握、タンク側板底板の応力振動、タンク内流体の流動状態把握、揺動防止装置の効果の確認をする。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- 1) テストタンクⅠ：4,500 ϕ ×1,000H Shell 2.3～3.2t、bottom 6t、台付
- 2) テストタンクⅡ：2,000 ϕ ×700H Shell 0.3t
- 3) 振動防止装置：ワイヤメッシュ、波板、コルゲント板、格子板等の薄板構造物
- 4) 波高計、高速カメラ、波高測定用格子、微圧計、変位速度加速度計、流速計

(2) 実験条件

テストタンクに清水を入れ浮屋根を浮かせ、揺動防止装置、計器類をセットして加振した。

- 1) 加振方法
正弦、矩形、三角、エルセントロ、十勝沖の波形
- 2) 計測方法
応力：ストレンゲージ～40ch
波高：容量形、微圧形
波面のパターン：波高測定格子

応力振動はノイズが多く参考にとどめた。

3 主な結果

- (1) 原油浮屋根タンク(3万～15万kl)の耐震構造の考え方を確立した。
- (2) 揺動防止装置は著効があった。
- (3) 応力破壊試験はスケール合わせがうまくいかず失敗だった。

地下埋設管の耐震性に関する研究

1974 年 2 月 ～ 1974 年 3 月 31 日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

地下埋設管の振動挙動を実験により測定する。

2 供試体および実験条件

大型耐震実験装置の西側にある平地に長さ 60.5m の SGP-125-5 の継ぎ手ジョイントの鋼管を、深さ 60cm に埋めた。

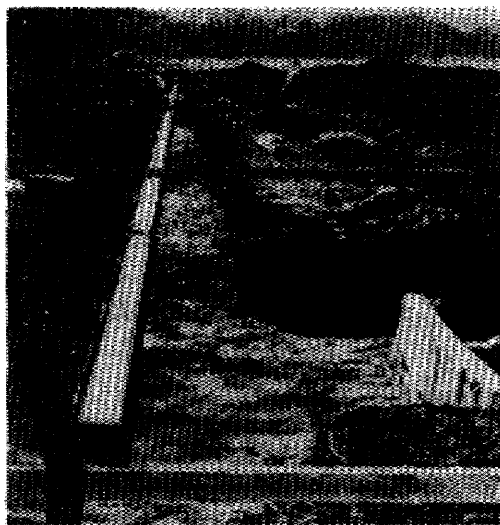
実験は振動台を動かす時に生じる振動台周辺の波動を利用して行なった。

測定は歪み、土圧、加速度について行ない、アナログデータで記録した。

理論解析は弾性地盤上の梁の縦振動を適用した。

3 主な結果

- (1) 振動台を正弦波で加振すると、ほぼ正弦波動が地盤に生じる。その振幅は、埋設管位置で最大 30gal であった。
- (2) 測定データには加振振動数以外の高調波がかなり混入していたが、埋設管の振動モードは端部、特に振動台から離れた端部が大きく振動する傾向が見られた。
- (3) 必ずしも地盤と埋設管が同じ挙動をするとは限らない。



沸騰水型原子炉機器の耐震性に関する研究

1974年6月1日～1974年7月5日

株式会社日立製作所機械研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) BWR 原子炉燃料体の振動特性を調べる。
- (2) マーク III 型格納容器の振動特性を調べる。

2 供試体および実験条件

(1) BWR 原子炉燃料体

BWR に使用される燃料は、燃料集合体と呼ばれる細長い角筒が基本要素になっていて、これが狭いすき間を保って数百本配置されており、全体が冷却水に没している。ここでは燃料集合体の群の最小単位である 4 本の組について大気中および水中のそれぞれの場合の正弦派スイープ試験を行ない、燃料集合体の共振曲線を求めた。

計測方法は燃料集合体の中央部に加速計、歪ゲージを取りつけ、トラッキングアナライザーで処理した。

(2) マーク III 型格納容器

格納容器の約 1/5 の模型を作り、正弦波スイープ試験を主体にして、以下の条件のもとに共振曲線を求めた。

- 実験 1 : 本体のみ
- 実験 2 : 本体+付加重量
- 実験 3 : 本体+付加重量+補強リング

計測方法は試験体の各部に歪ゲージ、加速計を取りつけて、トラッキングアナライザーで分析して共振曲線を求めた。

3 主な結果

- (1) 実物部分試験を通じて、燃料集合体の減衰特性、また液中の流体力等を求めることができ、実機設計への基礎データが求まった。
- (2) 実験結果をもとに FEM による解析手法の妥当性が検証された。



BWR 原子炉燃料集合体モデル



マーク III 格納容器モデル

免震構法に関する研究

1974年7月9日～1974年8月21日

株式会社フジタ工業技術開発センター 防災科学技術研究所

1 実験の目的

免震構法研究のための基礎資料を得るため

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

1) 供試体 1

鉄骨造 P_1 ラーメン構造、鉄骨上部に PC 版を取り付け、柱脚ピン支持。

上部構造重量 25ton

2) 供試体 2

供試体 1 の柱脚部を水平方向にしょう動状態とし、これを振動吸収ユニット (バネ+減衰) で支えた。

下部構造重量 1.7ton

各供試体について、静加力試験 (レバブロック使用) による復元力特性の確認

(2) 加振方法

- 供試体 1 : 正弦波 1～3Hz(0.2mm, 0.5mm, 20gal)
- : 地震波 ELCENTRO, TAFT, TOKYO-101 (40, 80, 120gal)
- : ステップ関数 5, 10, 15mm
- 供試体 2 : 正弦波 1～3Hz(10, 20, 30, 40, 50, 60gal)
- : 地震波 40, 80, 120, 160, 200gal
- : ステップ関数 5, 10, 15mm

(3) 計測方法

- ・変位計、速度計、加速度計
- ・ストレンゲージ、電磁式変位計
- ・ロードセル

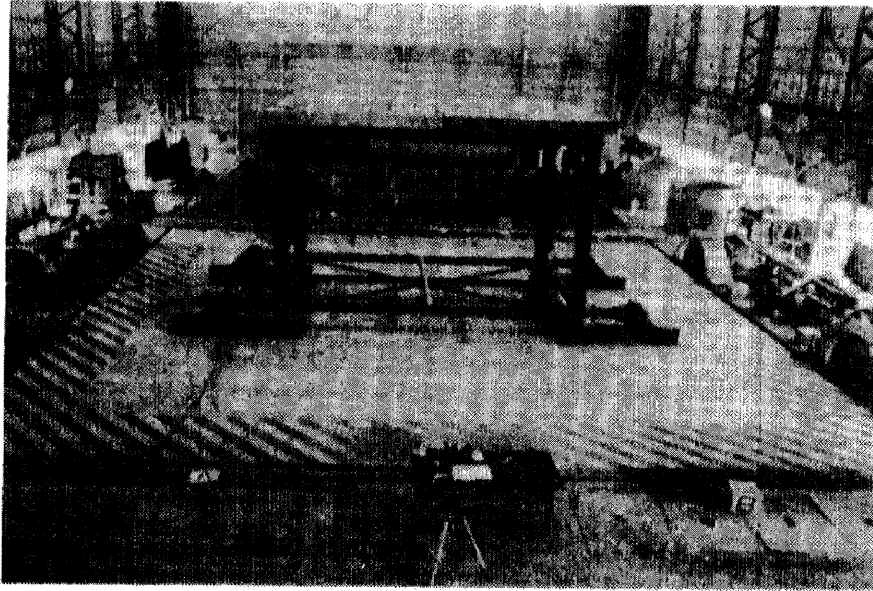
(4) データ解析

- ・ローパスフィルターを通して解析
- ・供試体加速度より求めた履歴曲線と静加力試験から得られた復元力特性を比較
- ・加振力と固有振動数、モードとの関係を比較

3 主な結果

- (1) 振動吸収ユニットは加荷時のバネ定数が減荷時のバネ定数より大きい履歴特性を持ち、又、大振幅時のバネ定数は小振幅時のバネ定数より小さくなる特徴を持つ。

- (2) 静加力試験結果と振動実験結果との対比は、精度良く一致しなかった。原因は柱脚部と振動吸収ユニットとの取り付け方法が複雑であったためと考えられ、この点を改良すれば精度が上がるものと思われる。



供試体 2 全景

水中盛土の耐震性に関する研究

1974年7月～1974年8月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

海浜あるいは海中に築造される埋立地や人工島のような盛土は、その多くの部分が水浸あるいは水没しており、このような状況を想定して、

- (1) 盛土本体が水没していることにより空中にある場合と比べて、盛土の振動特性(固有振動数、減衰定数)がどのように変化するか。
- (2) 水浸した斜面の動的な破壊形態。
- (3) 水浸した斜面内の動的な間隙水圧の性状。
- (4) 水浸した斜面の合理的な安定計算法の検討。

以上を具体的な目的とした。

2 供試体および実験条件

振動台に固定した土槽は、長さ12m×高さ5m×奥行2mの鉄製土槽である。

実験1は斜面に碎石(6号)を被覆材としておいている。

実験2は被覆材が無い場合、実験4は実験1～3より盛土の密度を若干緩く築造している。

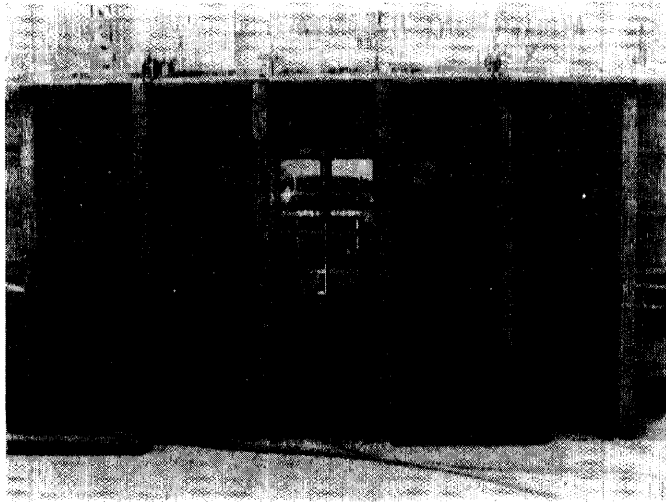
盛土材料は山砂で、盛土時の締固め層厚は30cm程度とし、締固め方法は第1～3回はビブロランマー、第4回は足踏みとした。

盛り土築造後非水浸で実験を行なった後、土槽底部より給水し、深さ4mまで水浸した。

- (1) 加振方法
共振試験
破壊試験
- (2) 計測方法
加速度計(22ヶ所)、間隙水圧計(23ヶ所)、移動計(6ヶ所)を設置し、移動計を除いてはアナログデータレコーダーに収録した。
- (3) データ解析法
収録されたアナログデータを、ローパスフィルターを介してペンレコーダに再生し読み取り、物理量に変換し図化した。
- (4) 理論解析法
有限要素法による静的な応力、変形解析を行なった。

3 主な結果

- (1) 水中盛土部分は、振動により液状化し難く、内部的に負の水圧を生ずることがある。
- (2) 上記のことは、地盤部分の軟化に伴う側方移動により盛土部分の水平土圧が減少するためである。



構造物と地盤の相互作用に関する研究

1974年9月25日～1974年9月28日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

同名テーマによる水平加振の場合に引続き、振動台垂直加振時の基礎及び周囲地盤の振動挙動を調べるために行なったものである。

2 供試体および実験条件

振動台上に6m×12mの砂箱を設置し、これに砂を入れて負荷とした。

3 主な結果

とりまとめは水平加振による同名テーマと一緒に進めたので、実験結果についてはそちらを参考にされたい。

地中管の耐震性に関する研究

1974 年 10 月 ～ 1974 年 12 月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

埋設管に地震時に生じる力を明らかにすることを目標に、地盤と埋設管の相互作用を検討する。

2 供試体および実験条件

(1) 加振方法

- ・ 正弦波
- ・ 地震波

(2) 計測

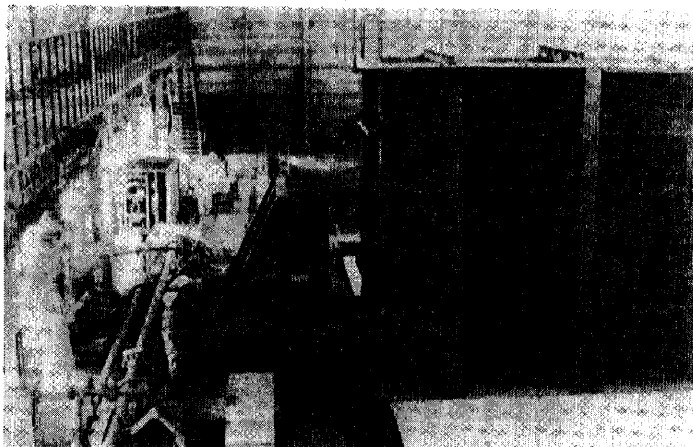
- ・ ひずみ
- ・ 加速度
- ・ 変位
- ・ 軸力
- ・ 土圧

(3) データ解析

地盤と埋設管の間の相体変位と埋設管へ地盤から伝わる力の関係を求めるためにデータ解析をした。

3 主な結果

- (1) 地盤から埋設管に伝わる力には上限があり、これを越えると埋設管とそれを取り巻く地盤の間にすべりが生じる。
- (2) 地盤から埋設管に伝えられる力は埋設深度が深くなるほど大きくなる。



鉄骨ブレース建造物の振動実験

1975年1月20日～1975年2月20日

建設省建築研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

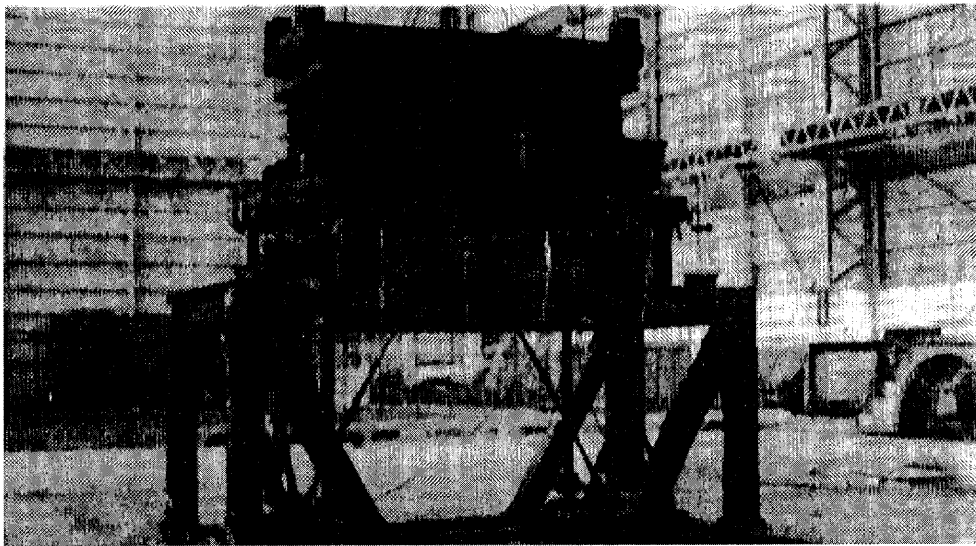
鉄骨ブレース構造の基本的な耐震性状を検討するため。

2 供試体および実験条件

1層スパン2連フレームのX型ブレース付鉄骨構面

3 主な結果

なし



地下埋設管の耐震性に関する研究

1975 年 3 月 1 日 ~ 1975 年 3 月 31 日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

動的水圧を受ける石綿セメント管の強度と破壊状況を調べる。

2 供試体および実験条件

- (1) 供試体
石綿セメント管 1 種 (保証水圧 35kgf/cm^2)、長さ 3.36m 7 本 (うち 2 本は補強鋼板入りの管)
- (2) 計測
 - ・ 周歪
 - ・ 軸歪
 - ・ 水圧

3 主な結果

動的水圧による破損は静的な水圧による破損に比し、亀裂の規模が大きく、パターンもいくつかあることが判明した。



模型盛土の鉛直振動実験

1975年7月～1975年8月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

鉛直地震力が盛り土の安定性にどのような影響を与え得るのか検討を行なう。

2 供試体および実験条件

(1) 加振方法

共振実験

水位 0m	20gal	1～24Hz	40gal	1～24Hz
水位 1.5m	20gal	1～24Hz	40gal	1～24Hz

破壊実験

水位 0m	105gal	15Hz	110gal	10Hz
	115gal	5Hz	180gal	5Hz
	190gal	15Hz	270gal	5Hz
	480gal	15Hz		
水位 1.5m	90gal	5Hz	150gal	5Hz
	210gal	5Hz	220gal	5Hz

(2) 計測方法

加速度、間隙水圧、変位の測定値をアナログデータレコーダーに収録した。尚、振動台の鉛直振動性状を測定するために、振動台の左端、中央、右端にも加速度計を設置した。

(3) データ解析法

収録されたアナログデータを、ローパスフィルターを介してペンレコーダーに再生し、読み取り物理量に変換し図化した。

(4) 理論解析法

非一様鉛直加振を受ける剛体の振動応答解析を行なった。

3 主な結果

- (1) 過剰間隙水圧の値が水平振動の場合より大きくなる場合がある。これは、鉛直慣性力により、見かけの上載圧が増加すると考えられるが、土の流動化という見地からは、水平振動のみの場合より危険であると思われる。
- (2) 地盤が水浸している場合、特に浅い層、中央層付近での値が大きくなる。これは(1)で述べた過剰間隙水圧の発生のため、盛土の変形特性が大になるためと考えられる。
- (3) 地盛部が水浸している場合の盛土部のすべりは甚だしいものであったが、これは鉛直慣性力よりも過剰間隙水圧に大きく起因している。

模型特殊堤の振動実験

1975 年 8 月 ～ 1975 年 9 月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

特殊堤防について

- (1) 振動によって矢板に生ずる変形及び振動土圧の特性
- (2) かさ上げコンクリートの振動が矢板壁の変形に及ぼす影響
- (3) 複合構造物の振動特性
- (4) 発生し得る種々の破壊パターンのうち、どのパターンが相似則を考慮して作った模型で生じるか
- (5) 安定計算法

を検討する。

2 供試体および実験条件

堤体及び地盤は、山砂、かさ上げコンクリート。

- (1) 加振方法

共振実験

水位	コンクリートブロック	矢板支持条件		
0m	無	free	20gal 1～24Hz	40gal 1～24Hz
1.5m	無	free	20gal 1～24Hz	40gal 1～24Hz
0m	有	free	20gal 1～24Hz	40gal 1～24Hz
1.5m	有	free	20gal 1～24Hz	40gal 1～24Hz
0m	無	pinge	20gal 1～24Hz	40gal 1～24Hz
1.5m	無	pinge	20gal 1～24Hz	40gal 1～24Hz

破壊実験

水位	コンクリートブロック	矢板支持条件		
1.5m	無	free	80gal 5Hz	100gal 10Hz
1.5m	無	free	170gal 5Hz	
1.5m	有	free	500gal 5Hz	
1.5m	無	pinge	105gal 5Hz	190gal 5Hz

(2) 計測方法

- ・ 地盤、堤体、コンクリートブロック、控え版の加速度
- ・ 地盤内の間隙水圧
- ・ 矢板、控え版に作用する動土圧
- ・ 地盤、堤体、コンクリートブロック、矢板の変位
- ・ 矢板のひずみ
- ・ タイロッドの張力

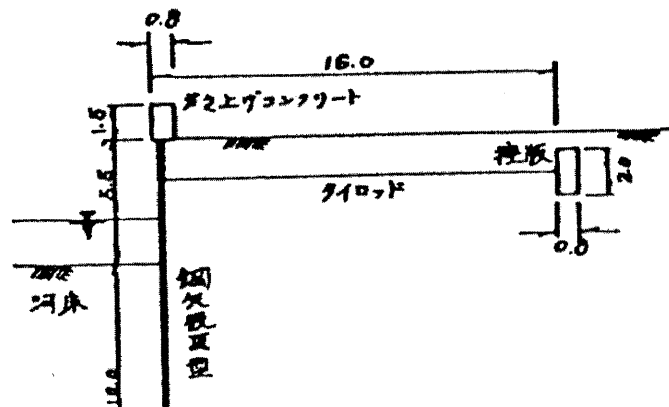
以上の項目をアナログデータレコーダーに収録した。

(3) データ解析法

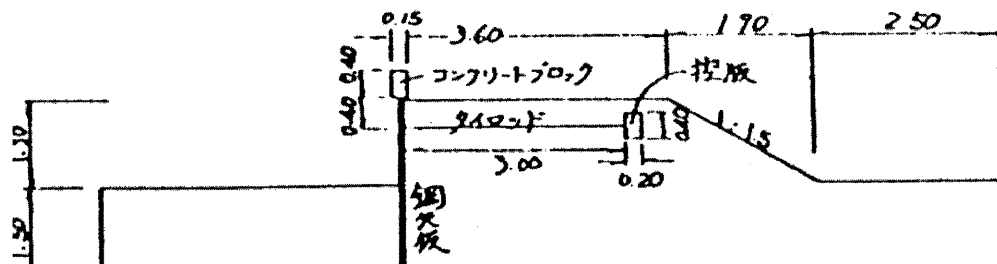
収録されたアナログデータを、ローパスフィルターを介してペンレコーダーに再生した。この値を読み取り、電圧量を物理量に計算し図化した。

3 主な結果

- (1) 矢板に支えられていることにより、堤体の振動挙動は土堤の場合よりやや複雑になるが、その影響は小さい。
- (2) 堤体の破壊はすべて矢板の全面への移動という形をとり、これは受動領域の破壊と主動領域が控え版の位置まで及んだためである。受動領域の崩壊には過剰間隙水圧の発生が大きく影響している。
- (3) (2) の裏返し、及びひずみの実測結果から、実用されている設計基準によって設計されている矢板工は、曲げにより破壊する可能性は小さい。



原型として想定した構造



模型の概要

発電所に使用する電力用しゃ断器の振動特性に関する研究

1975 年 10 月 28 日 ～ 1975 年 11 月 1 日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 0.3G3 波共振
- (2) 実地震波 (エルセントロ)

を実験し、その耐震性及び振動挙動を調べる。

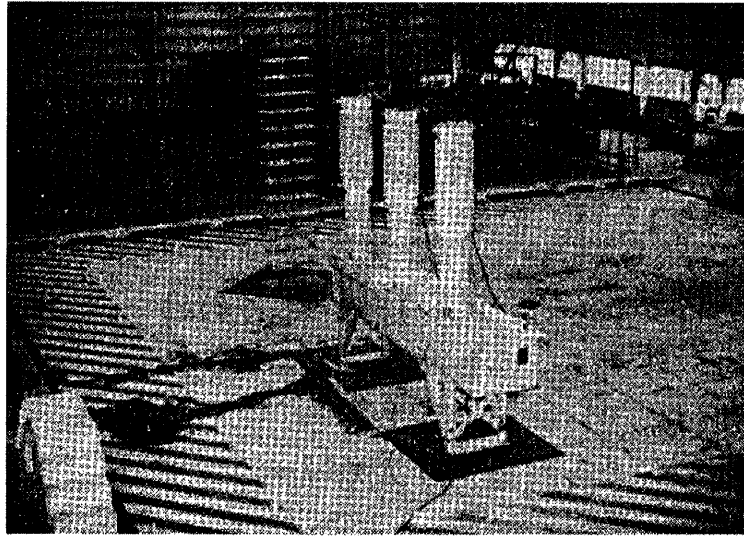
2 供試体および実験条件

長さ 4300mm、巾 750mm、高さ 4146mm、重量 2700kg で、共通架台上に各相毎に、上部しゃ断部碍管と下部支持碍管より構成された碍子形真空遮断器。

- (1) しゃ断器の前後、左右方向に対して
 - ・ 加振台より 0.5mm 程度のステップ入力を加え、共振周波数、及び減衰定数の目安を付ける。
 - ・ 0.03G 程度の正弦波を 5～10Hz の範囲で加え、各方向の共振周波数を求める。
- (2) (1) の試験で求められた共振周波数で加振台を 0.15G、0.3G、3 サイクル加振させた 3 波擬共振実験及びエルセントロ地震波により加振した実地震波実験を行ない、各部の加速度、歪量の測定をデータレコーダー及び電磁オシロにより行なう。
- (3) 共振実験については、静的限界歪み量に対する加振時の最大応答歪量から安全性を定量化し、更に加速度を大きくした場合は、碍管の振動を弾性棒の曲げ振動でモデル化して導いた半理論式から安全性を推定した。
- (4) 地震波実験については、加速度応答の共振振動数、減衰定数、応答加速度の自乗平均値の平方根、及び応答加速度のスペクトル形状係数の変動として振動挙動をとらえた。

3 主な結果

- (1) 共振周波数、応答特性及び安全性を定量的に把握することができ、0.3G3 波共振及び実地震波に対して十分な耐震強度を有することが実証できた。
- (2) 一連の耐震試験においても構造的に又、電気特性的に何ら異常のないことが確認できた。



72/84kV 真空遮断器

地下埋設管の耐震性に関する研究

1976 年 2 月 ～ 1976 年 3 月

防災科学技術研究所

1 実験の目的

埋設管の分岐部に生じる変形、歪等を調べる。

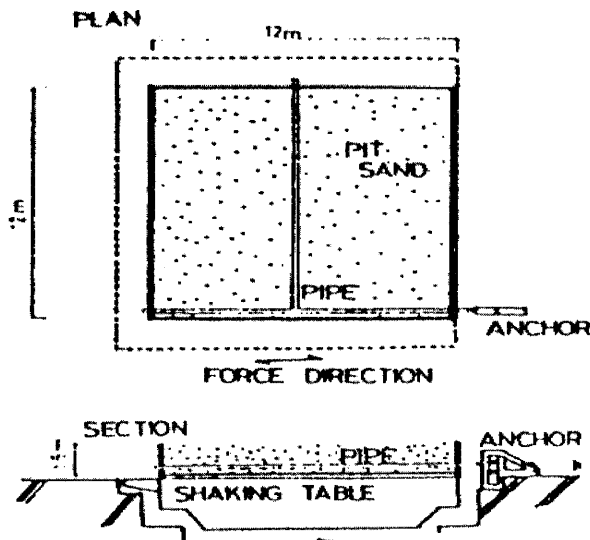
2 供試体および実験条件

振動台上に高さ 1.5m、12m 角の砂箱を組み立て、図のように分岐管を有する T 型管路を砂箱に設置し、管の一端を振動台に固定し、砂で埋める。管は溶接鋼管を用い、主管は SGP-125-5、枝管は SGP-125-5 と SGP-50-5 の 2 ケースについて実験した。

- (1) 加力
振動台を静的に動かす場合と、正弦波で動的に動かす方式によって行なった。
- (2) 測定
管に歪ゲージを貼付け静歪を測定し、管固部にロードセルを設置し主管に加わる軸力を測定した。
- (3) 理論解析
弾性地盤上の梁の理論を、曲げと軸力について解いて行なった。

3 主な結果

埋設管の分岐部には、土の拘束により曲げ歪が集中する。



強制変位実験概観

鋼板製組み立て受水槽の耐震実験

1976年5月24日～1976年5月29日

三機工業(株)、暁建設工業(株)、七洋設備(株)JV 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 鋼板製パネルタンクの基本的振動性状の確認
- (2) 水槽の共振実験と強度的なチェック

2 供試体および実験条件

- (1) 供試体
1m×1mのパネル及び補強部材を組み合わせて鋼板製組み立て水槽としたもの
・ 供試体容量 $31.5m^3$ (3m×3m×3.5mH)
・ 供試体重量 3.3ton (貯水時 30.3ton)
- (2) 共振試験
空水槽、満水槽のそれぞれに対し、変位ステップ波、正弦波にて実験
- (3) 強度試験
満水槽に対し、変位ステップ波、正弦波

3 主な結果

- (1) せん断力係数は理論値と大略一致したが最大水圧の理論値は実測値の1/2～1/3となった。
- (2) 供試体は短周期成分地動に対しては400gal以上の地動に耐えられると判明した。

盛土の鉛直地震動に対する安全性に関する研究

1976 年 7 月 ～ 1976 年 8 月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

盛土・地盤を構成する土の内部の接触圧及び地盤内の発生間隙水圧が、盛土の安定性にどのような影響を与えているか、また動的応力解析法等の検証のために盛土・地盤系の振動特性を調べることを目的とする。

2 供試体および実験条件

地盤及び盛土材料は山砂である。締め固めはランマー (100kg) 及び足踏みとし、各層 30cm 厚で所定の高さまで立ち上げ、注水を行なった。

(1) 加振方法

- ・ スイープ実験
- ・ 共振実験
- ・ 破壊実験

(2) 計測方法

加速度、間隙水圧及び変位をアナログデータレコーダーで収録した。

(3) データ解析法

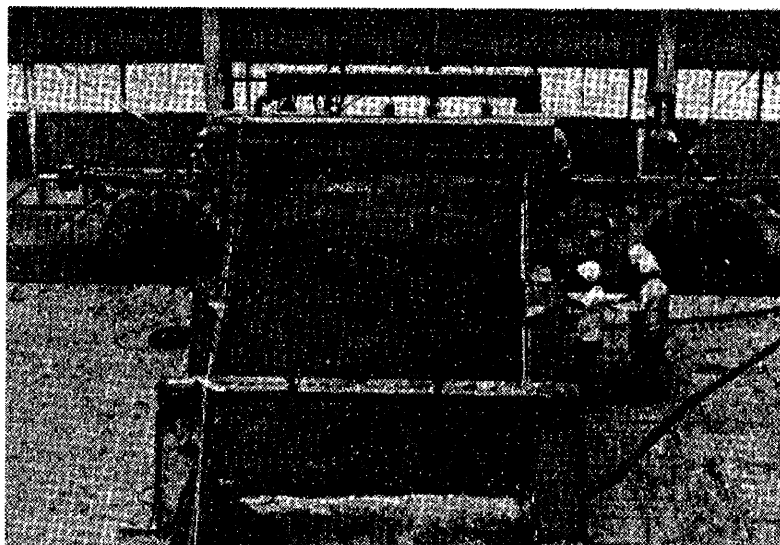
収録されたデータを再度、ローパスフィルターを介してアナログデータレコーダーに収録し、このデータをミニコンで A/D 変換し、図化を行なった。

(4) 理論解析法

2次元有限要素法による振動特性解析及び支持力理論により、過剰間隙水圧を考慮した安定解析を実施した。

3 主な結果

- (1) 地盤内の浅い所の加速度は、台加速度が定常になった後にも増加し続けることがある。これは地盤の軟弱化によるものと思われる。
- (2) 過剰間隙水圧の発生量は、加振の初期から深い所ほど大きい。この結果はこれまで実施した水平加振の場合と著しく異なっている。
- (3) 過剰間隙水圧を生ずる台加速度の大きさは、水平加振の場合と大差ない。
- (4) 盛土は表面が滑動するのではなく、全体的に比較的一様に圧縮沈下を示す。この時側方の拘束が小さいため側方へ膨張し、地盤部分は土槽壁で押えられているため隆起する形態を示す。



実験写真

特殊堤防の地震時の安全性に関する研究

1976 年 8 月 ～ 1976 年 9 月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

控え土を有する矢板護岸形式の安全性の検討のため

- (1) 堤体の破壊と計算上の控え版の安全率との関係を調べる
- (2) 控え版の安全率に影響する因子を明らかにする
- (3) その他現行設計法と実測値の比較を行なう

2 供試体および実験条件

地盤及び盛土材料は山砂で、1 層毎の仕上がり厚さが 30cm となるように、締固め方法をランマー (100kg) によるものと足踏みによる方法を用いた。模型矢板はアルミ製で $EI=0.47 \times 10^{-6} \text{kg}\cdot\text{cm}^4/\text{cm}^2$ である。タイロッドは土槽から立てた枠に固定した場合と、鉄板からできた控え版模型に取り付けた場合がある。矢板先端の地盤は特に締め固めた。

- (1) 加振方法
タイロッドを土槽壁に固定した場合と控え版に固定した場合の非水浸と地盤水浸による共振実験と破壊実験

- (2) 計測方法

- ・ 地盤、堤体加速度
- ・ 地盤内間隙水圧
- ・ 矢板ひずみ、土圧
- ・ タイロッド張力
- ・ 地盤変位、天端沈下量

以上の項目をアナログデータレコーダーに収録した

- (3) データ解析方法
収録されたデータを再度ローパスフィルターを介してアナログデータレコーダーに収録し、同時にペンレコーダーによるモニターを行なった。この後、アナログデータをミニコンで A/D 変換し、図化作業を行なった。

(4) 理論解析方法

クーロン土圧を主としたフリーアースサポート法や受動土圧を弾性論的に取り扱うロウの方法等を部分的に組み合わせた設計基準との対比を行なった。

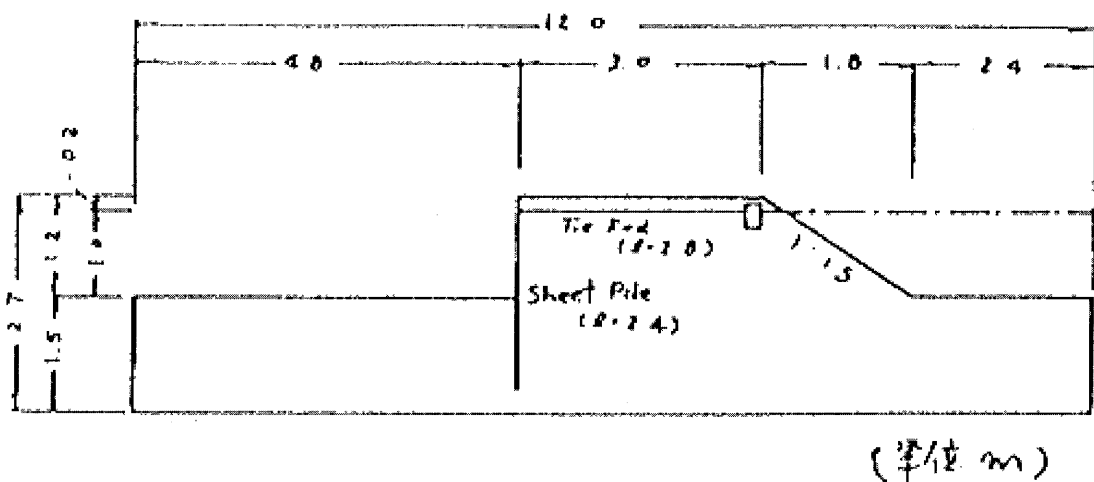
3 主な結果

(1) タイロッド張力、最大曲げモーメント

- ・ 設計基準による値は今回の実測値に対しては過小な値を与える
- ・ フリーアースサポート法はタイロッドを固定した場合の値に近い
- ・ 控え版を用いた時の値は、設計基準の方法と、フリーアースサポート法の間程度である

(2) 控え版の安全率

現行設計法における控え版安全率の所要値は、タイロッド張力の計算法が過小なため大きく見積もられている可能性がある



模型断面略図

液化瓦斯貯蔵用プレストレストコンクリートタンクの 振動特性に関する研究

1976 年 12 月 1 日 ～ 1976 年 12 月 31 日

株式会社石井鉄工所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

PS コンクリート製の貯槽が地震に対して十分な安全性を有し、内槽に万一リークが発生した場合でも内容物が外部に漏洩することがないことを確認するために実施し、各項目を調査する目的で行なわれた。

2 供試体および実験条件

供試体の仕様

型式	:	安部工業所式 PS コンクリート平底円筒型タンク
寸法	:	$\phi 5.5\text{m} \times \text{H}6.0\text{m} \times \text{t}10\text{cm}$
コンクリート	:	設計基準強度 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ (標準養生 4 週強度 $508\text{kg}/\text{cm}^2$)
縦方向緊張材	:	PC 鋼棒 A 種 1 号 17ϕ 36 本 (緊張力 10.85)
円周方向緊張材	:	PC 鋼線 $SWPC7A-9.3\phi$ 25 段 (緊張力 10.85)

タンク内に各々注水することにより、次の 4 段階を実施した。

(1) 注水率 0% の場合

正弦波スイープ加振	:	共振点 軸方向 7.18Hz 周方向 8.19Hz
正弦波定常加振	:	共振点 軸方向 18Hz 周方向 21Hz

(2) 注水率 50% の場合

正弦波スイープ加振	:	共振点 8.5Hz 18Hz 21Hz
正弦波定常加振	:	共振点 17Hz 20Hz 30Hz

(3) 注水率 100%の場合

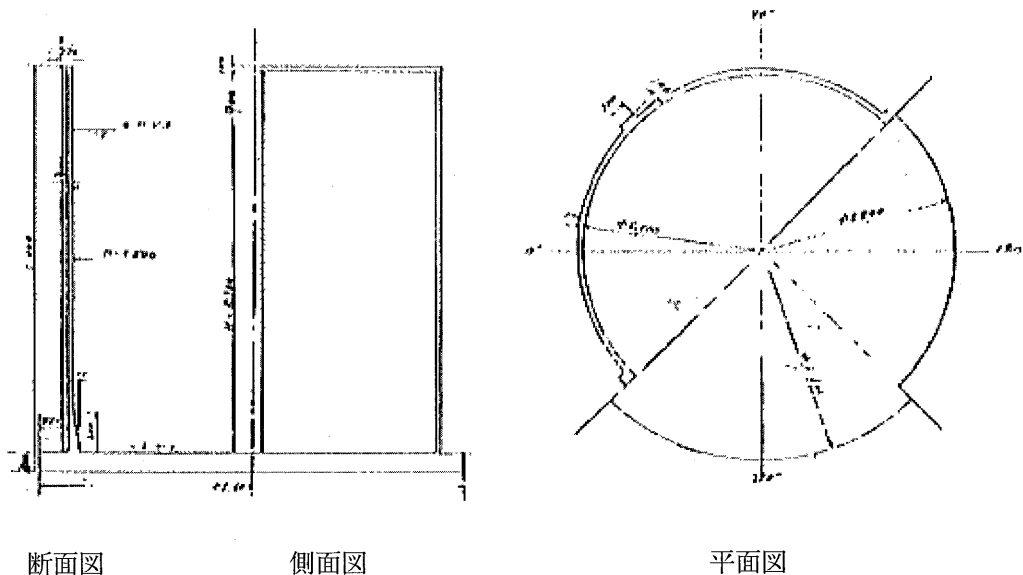
正弦波スイープ加振	: 共振点	2.5Hz 15Hz 20Hz
正弦波定常加振	: 共振点	3Hz 9Hz 12Hz 14Hz 17Hz 22Hz
模擬地震 (EL-Centro)	: 共振点	12.5Hz 15Hz 24Hz

(4) スロッシングの場合

注水率 50%	: 共振点	0.4Hz
注水率 100%	: 共振点	0.4Hz 0.9Hz

3 主な結果

- (1) 構造物の設計荷重として、地震波の最大加速度 300gal を使用しているが、今回の実験では、この設計条件より苛酷な外乱条件である定常波加振 300gal に対して全ての部分で弾性範囲の応答しか示さず、十分な耐震安全性が確認されたことは、鋼製の同種タンクに比し同等以上の性能を有していると判断された。
- (2) 水を使用してスロッシングの影響を考察したが、最大波高は 50 数センチに達することが確認されたが、この値は今回の供試体の直径、水深のほぼ 1 割ほどであった。



耐震性評価に関する研究

1977 年 1 月 ～ 1977 年 5 月

防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 実物一層鉄筋コンクリートボックスラーメンの弾塑性挙動を調べる。
- (2) 亀裂の入った供試体に腰壁、垂壁を取り付け補強効果を調べる。

2 供試体および実験条件

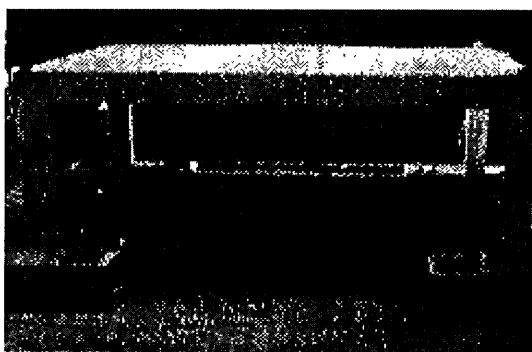
加振方向 8m、加振直角方向 6m のボックスラーメンで柱は 45cm 角、梁は 60cm × 35cm の断面であり、スラブ重量は 60ton である。

補強の腰壁は高さ 1m、厚さ 15cm である。垂壁も同じ大きさであり、ラーメンへの腰壁、垂壁の固定は鉄筋を溶接するだけである

- (1) 加振方法
 - ・ 正弦波
 - ・ 変位ステップ
 - ・ 地震波
- (2) 計測方法
 - ・ 鉄筋の軸歪
 - ・ スラブ変位
 - ・ スラブ加速度以上の項目をアナログデータレコーダーに収録した。

3 主な結果

- (1) 正弦波で共振曲線を求める加振を行なった段階で、供試体にヒビが入ってしまい、弾性域の共振曲線を求めるのは、加振のたびに固有振動数が変化し困難である。
- (2) ステップ加振から固有振動数をみると、地震波加振の後には 4.5Hz から 3Hz に落ちている。この加振の後、垂壁、腰壁を取り付けて同様の加振を行なったが、補強効果はほとんど見られなかった。
- (3) 亀裂の入った鉄筋コンクリートラーメンはバイリニアール復元力特性で表現できる。



液化瓦斯貯蔵用 PS - 二重殻タンクの振動特性に関する研究

1977年6月～1977年12月

株式会社石井鉄工所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

前回の実験では、外槽のみについて実験を行ないその耐震安全性を確認した。今回の実験ではこれに金属内槽を設置し、槽間をパーライトで充填し、かつ屋根骨を加えた状態において、各項目を調査する。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体の仕様

型式 : 二重殻貯槽
(外槽:PS コンクリート)
(内槽:鋼製)
寸法 : 外槽 $\phi 5.5\text{m} \times \text{H}6.0\text{m} \times \text{t}10\text{cm}$
内槽 $\phi 4.3\text{m} \times \text{H}5.0\text{m} \times \text{t}2.3\text{mm}$

(2) 実験方法

PS コンクリート外槽の中に金属内槽を設置したことから予備観測を実施し金属内槽の共振点を計測した。

1) 予備観測

内槽頂部及び底部に常時微動計を設置し、内槽の共振点を推定した。16Hz、23Hz 及び 27Hz を得た。

2) 注水率 0% の場合

定常不規則波加振	: 伝達関数推定のための入力波としては不適當
正弦波定常加振	: 内槽の共振点 29Hz
模擬地震波 (EL-C entro) 加振	: 内・外槽等の共振点 35Hz

3) 注水率 100% の場合

衝撃波加振	: 内槽の共振点 7.62Hz
定常不規則波加振	: 共振点 7.5Hz
正弦波掃引加振	: 内槽の共振点 5.5Hz
正弦波定常加振	: スロッシング振動実験
模擬地震波加振	: 振動による破壊なし

3 主な結果

- (1) プレストレス力を導入したコンクリート製タンクは二度の実験によってもひび割れの発生はなく、十分な耐震安全性を有していることが確認された。
- (2) 前回の実験から半年以上の経過でも供試体に導入した緊張力は低下しておらず、定着方法、施工法共に妥当であることが再確認された。

FRP 製組立式パネル水槽の耐震性能に関する研究

1977年8月1日～1977年8月15日

ブリヂストンタイヤ株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

FRP 製パネル水槽の耐震性に関し、水槽本体の振動特性の把握、水との連成振動の解析、スロッシングの解析、地震応答と耐震強度の把握等により、耐震計算法の実用化を目的とした。

2 供試体および実験条件

供試体は1mのFRP製パネルを鋼製ボルトにて鋼製架台上に据え付けた角型水槽。

サイズ: 3m × 5m × H3.5m (52.5m³)
重量: 本体 2000kg、架台 6000kg
構造: ブレースとタイロッドの併用方式
水位: 半水(H1.3m)、満水(H2.5m)

(1) 加振方法

加振方向としては、長軸と短軸の2方向を行ない、水位は、各々、空、半水、満水の3水位で実験を行なった。

(2) 波形

ステップ波、正弦波、地震波(エルセントロ、八戸波) フロアレスポンス

(3) 計測方法

各部の応力、変位、加速度応答及び変動水位を測定するため、各ピックアップを取り付け、アナログデータレコーダーに記録した。

(4) データ解析

データ解析は、次の項目を重点に行なった。

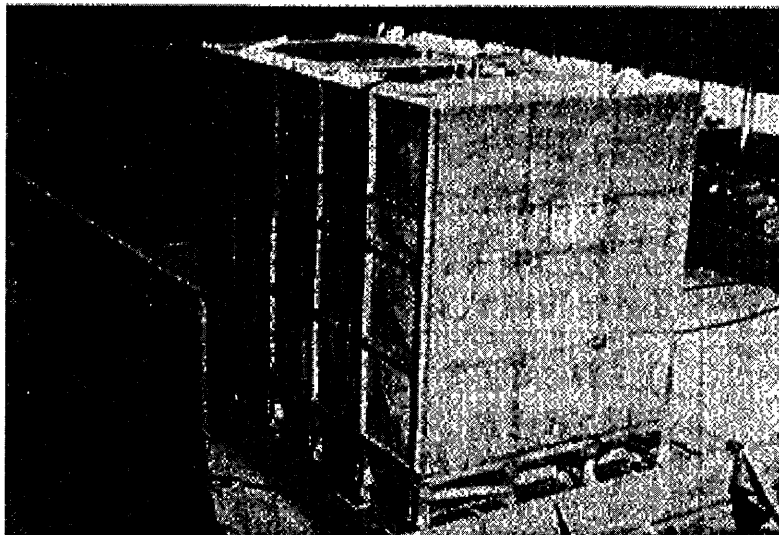
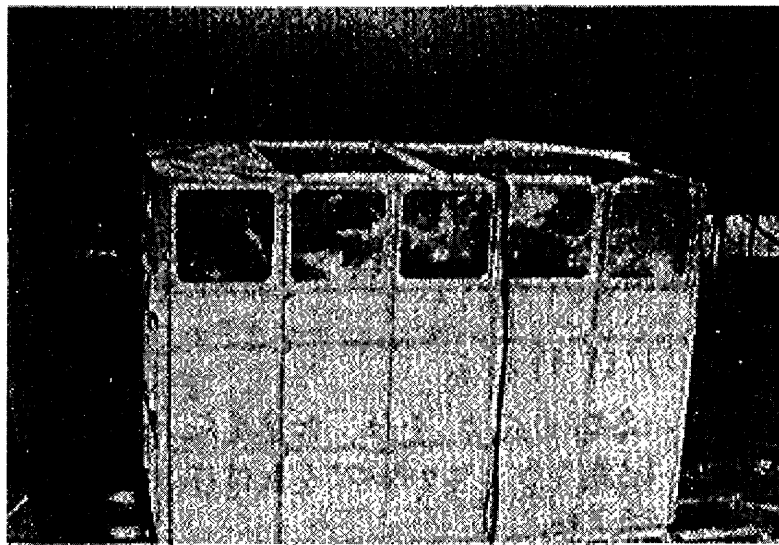
- ・ 供試体の振動特性の解析
- ・ 加速度及び変位応答特性の解析
- ・ 変動水位分布の解析
- ・ 周波数応答特性の解析
- ・ 各部応力分布の解析

(5) 理論解析

主に周波数応答特性に関し、モデルとデータとの対比を行なった。

3 主な結果

- (1) 正弦波及び実地震波に対する動的応答特性が把握できたため、修正震度法による静的耐震計算が可能となり、設計の効率が大幅に改善された。
- (2) スロッシングの消波装置の性能確認ができた。



グローブボックスの耐震性に関する研究

1977年10月～1978年3月

動力炉・核燃料開発事業団東海事業所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

現状でのグローブボックスの耐震性の評価及び補強策の検討

2 供試体および実験条件

供試体は一次フィルター、ダクトを持つベース付グローブボックスである。

グローブボックスは1065×2064×2586 mm 3基と、1065 mm 角の1基からなり、その接合はステンレス型鋼間にネオプレンゴムを介して、ボルトにて接合される。振動台上に、建屋模擬フレームを設置し、実験を行なった。また建屋模擬フレームの上部、下部に柱材を挿入して、ボックスの補強策について検討した。

(1) 加振方法

グローブボックスの短辺及び長辺の水平方向加振

入力地震波 : 地震観測波及び人工地震波

最大加速度 : 100,200,300,400 ガル入力

(2) 計測方法

各部の加速度 : 歪タイプ加速度計

各部の歪 : 動歪計

代表点の変位 : 光学式変位計

気密測定 : リークディテクター

(3) データ解析

- ・ 加速度振動モード
- ・ 各部材応力
- ・ 代表点の相対変位
- ・ 気密位置のチェック

(4) 理論解析

別途実施したが固有値の対応は良かった

3 主な結果

- (1) 現状でのグローブボックスの耐震性及び補強効果が評価された。実験データにより、現有グローブボックスの補強を行なった。
- (2) 新しいグローブボックスの製作及び据付についての指針が得られた。



給水タンクの耐震研究

1977年11月15日～1977年12月3日

三菱樹脂エンジニアリング株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 実物 48 トン鉄パネルタンクにて内部補強構造(タイロッド方式、プレス方式)の違いによる振動特性を調べる。
- (2) タンク内の水量の違いによる振動特性を調べる。
- (3) 加振方向に対する受圧面の違いによる振動特性を調べる。
- (4) タンクのスロッシング現象を調べる。
- (5) タンクの固有振動数にて加速度を増加し、また地震波形加振にて耐震強度を確認する。

2 供試体および実験条件

供試体は□1mのパネルをボルト結合し、内部をタイロッド、またはプレスにて補強した鋼板製組み立て式の角型水槽である。タンクサイズは巾3m×長さ4m×高さ4mで満水時48トン、缶体重量4.6トンである。鋼板の厚みは天井2.3mm^t、側板上1、2段3.2mm^t、3段4.5mm^t、4段、底パネル6.0mm^tの構成部材である。

内部構造

- 第1 供試体 : 対面同士を SUS304 丸棒にて締結したタイロッド方式
第2 供試体 : 直角面を構成する側壁同士を締結したプレス方式
側壁と底板を SUS アングルにて締結したプレス方式

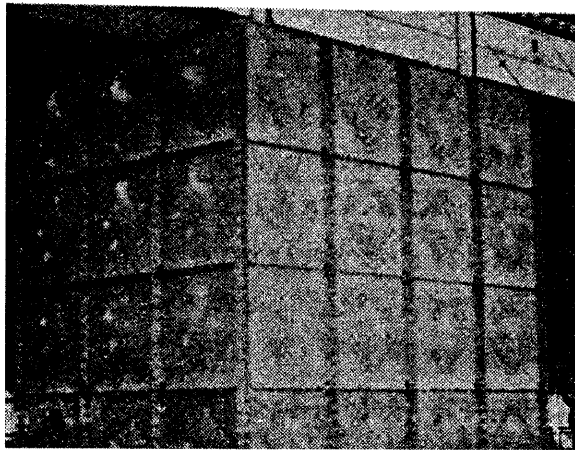
スロッシング現象の確認のため、最上段巾1m×長さ3mについては、透明PVC板にて水の挙動を観察できるようにした。

- (1) 加振方法(ステップ波加振による自由振動)
 - ・ 1968 年十勝沖地震時、八戸港湾で記録された波形
 - ・ エルセントロ波
- (2) 計測方法
 - ・ 加速度
 - ・ パネルの歪
 - ・ ボルトの歪
 - ・ 内部補強材の歪
 - ・ 受圧面に作用する動水圧
 - ・ 変位について行ない、電磁オシログラフ、アナログデータレコーダーに記録した。

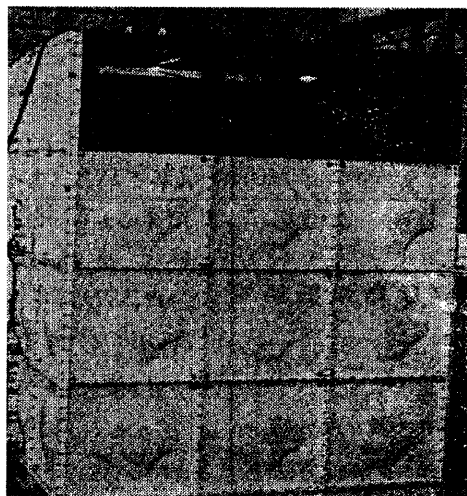
- (3) データ解析
- ・ スペクトル解析
 - ・ 振動モード解析

3 主な結果

- (1) 振動による動水圧については、Housner 理論と測定データを比較し、ほぼ満足しうる水圧が求められることがわかり、これによって、タンク構造体を設計する際の設計動水圧が得られることがわかった。
- (2) プレス構造にすることによって、板振動を抑えることができる。その為、固有振動数で正弦波 1.0G 加振しても、充分強度を保持しうることがわかった。



供試体全景



スロッシング実験 1 次共振 : 0.5Hz

大型振動台による鉄筋コンクリート造ラーメンの耐震実験

1978年2月～1978年6月

防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 実物1層鉄筋コンクリートボックスラーメンの弾塑性振動挙動を調べる。(第1供試体)
- (2) 亀裂の入った鉄筋コンクリートラーメンに腰壁、垂壁を取り付けその補強効果を調べる。(第2供試体)

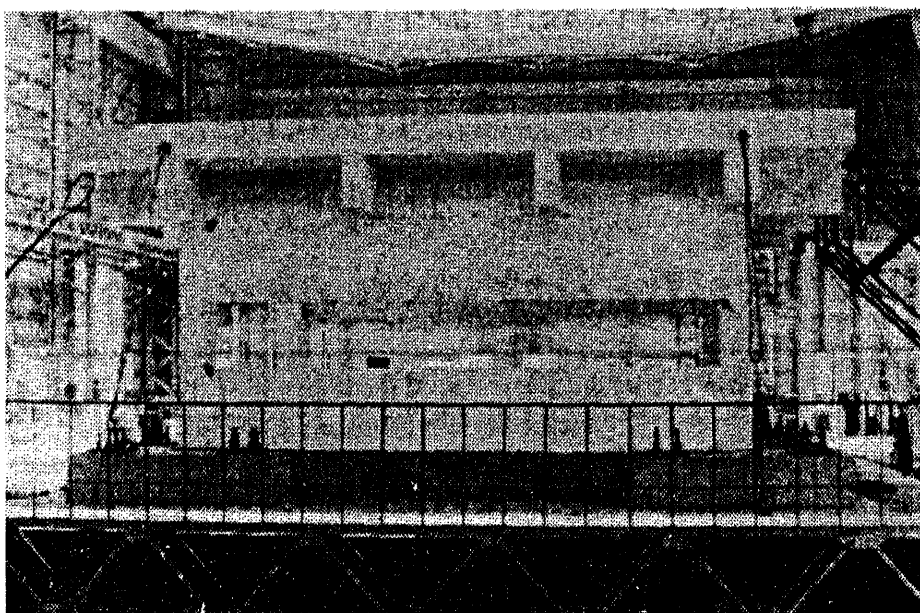
2 供試体および実験条件

- (1) 第1供試体
加振方向8m、加振直角方向6m、高さ4.4mの鉄筋コンクリート製。全重量は約200トン、屋根スラブ重量は130tonである。
- (2) 第2供試体
第1供試体実験後、亀裂、ひび割れをエポキシ樹脂を充填、補強し、垂壁、腰壁を加振方向内に取り付け、PC鋼棒により柱と垂壁、腰壁を締めつけた。

加振 : ステップ波加振による自由振動、常時微動
計測 : 加速度、鉄筋歪み、基礎と供試体の相対変位
データ解析 : スペクトル、ランニングスペクトル、履歴曲線

3 主な結果

- (1) 復元力特性は peak oriented と origin oriented の合わさった trilinear の履歴を示す。
- (2) 減衰定数は加振中に変化する。一定の減衰定数で computer simulation を行なう場合は塑性に入ってから減衰値を用いるべきであり、この値は5%である。
- (3) 後から補強のためにつけた壁はほとんど建物の剛性を上げるのには効果がない。



河川堤防の模型振動実験及び構造物周辺の 液状化に関する振動実験

1978年7月～1978年8月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 地震時に於ける河川堤防の安定性の検討
- (2) 地震時に於ける特殊堤防の周辺地盤の挙動の把握
- (3) 地震時に於ける堀割道路周辺地盤の液状化の検討
- (4) 軟弱粘土地盤及び盛土の地震時挙動の検討

2 供試体および実験条件

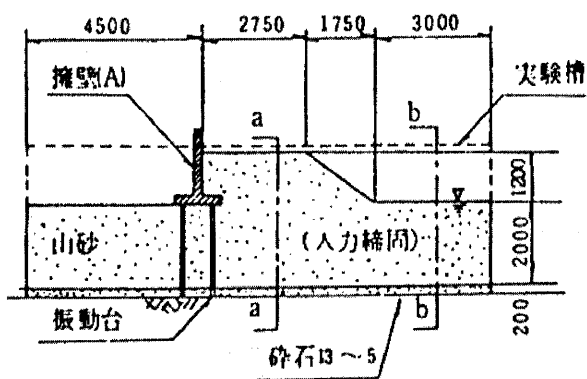
- | | | | |
|---|---|----------|---------|
| a | : | 模型 A, A' | 特殊堤防 |
| b | : | 模型 B, C | 河川堤防 |
| c | : | 模型 D | 堀割道路構造物 |
| d | : | 模型 E, E' | 軟弱粘土 |

・ a、b、c の地盤及び盛土材料は山砂、1層仕上がり厚を 20cm とし、ランマー及び足踏みにより締固め後に所定の水位まで注水を行なった。

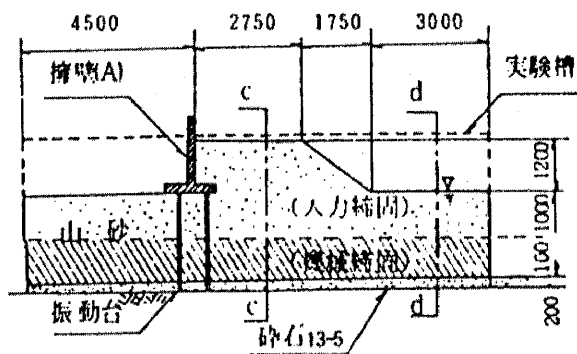
・ d はカオリンと水を適度な混合比で攪はんし、これを実験土槽に流し込んだ。

3 主な結果

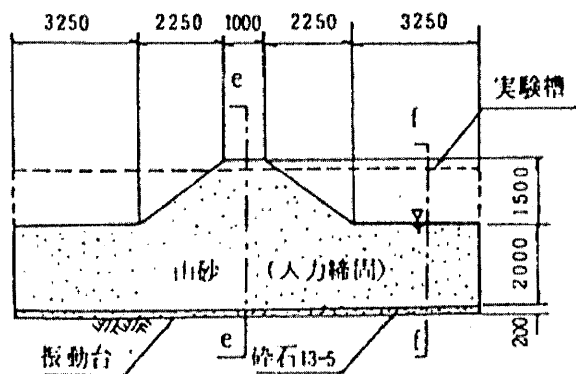
- (1) 模型 B では表層付近で滑べり破壊を生じたが、これは盛土が高いことによる拘束圧の増加、のり面付近のせん断力の増加によるものと考えられる。解析結果によれば、100al の加速度の場合、計算値は実験値と比較的良く一致している。
- (2) 模型 D では地盤表面付近が最初に液状化し、次に堀割道路直下が液状化し、徐々に地盤の深い地点に広がっていく様子が観測された。



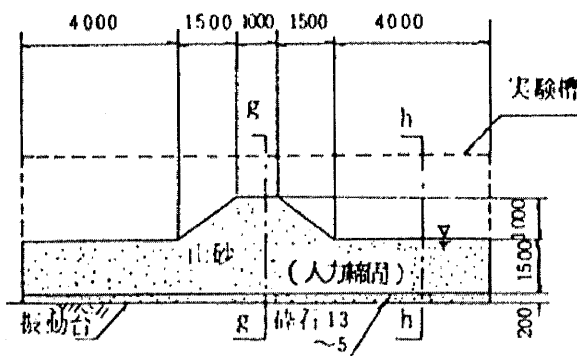
模型 A



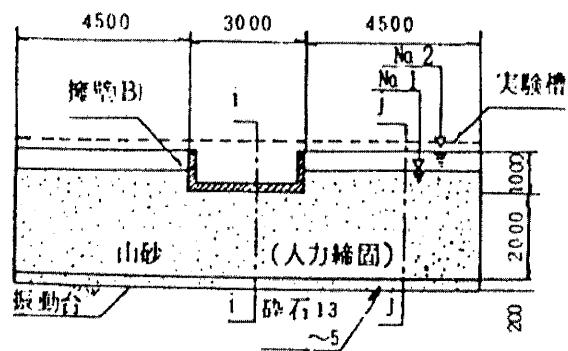
模型 A'



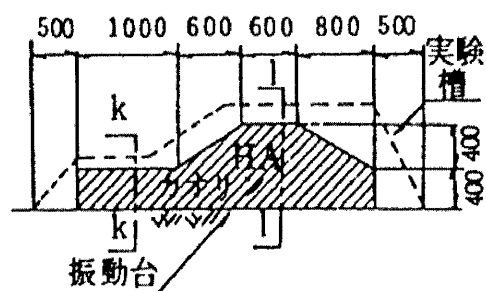
模型 B



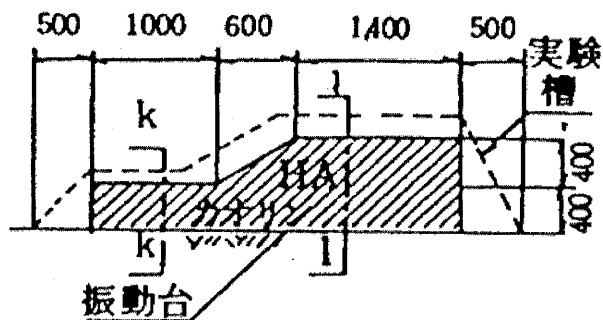
模型 C



模型 D1,2



模型 E1



模型 E'2

フィルダムの動的破壊機構の研究

1978年11月～1978年12月

電源開発株式会社土木試験所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) フィルダムの動的破壊機構を堤体の崩壊性状及び材料の動的性質の両面から追求し、動的破壊の要因を定量的に解明する資料を得る。
- (2) 模型ダムの寸法効果、形状効果に対する定性的検討を行なう。

2 供試体および実験条件

模型形状は、振動台上に $12\text{m} \times 6\text{m} \times 1.5\text{m}$ の鋼製砂箱を設け、この内部に勾配 $1:2.0$ 、 $1:2.5$ の模型を3通り製作した。模型材料は $\phi 40$ 、 150mm 採石を使用し、模型中心、内部及び表面に各種検出器を配置した。模型体積は約 90m^3 、 180t である。

(1) 加振方法

1) 掃引試験

周波数範囲 : $0.5 \sim 20\text{Hz}$ 、 0.5Hz ピッチ
加速度 : 100gal 、 200gal 、 300gal (全振幅)
加振方向 : 水平(上下流方向)

2) 破壊試験

一定周波数(5.0Hz)の正弦波形で、加速度振幅を 100gal (全振幅)刻みに増大し、破壊まで測定記録した。

3) 地震波による加振

昭和43年5月16日の十勝沖地震($M=7.9$)の際、青森県八戸市(東北電力八戸観測所)で観測された実際の地震記録を最大 300gal に縮小し、模型Ⅱに適用した。

(2) 計測方法

模型表面及び内部に加速度計、土圧計、鋼板に張り付けたヒズミゲージを配置した。他に接点式変位検出器も同時配置し、破壊実験時におけるロックの移動点をパネル板に点滅方式で表示した。又、堤体の表面を標高別に着色し、表面の形状変化を 16mm 、 8mm 撮影機に記録した。なお検出時からのデータの記録は、電磁オシログラフに記録した。

(3) データ解析

模型材料及び模型形状の違いによる堤体の振動性状と崩壊性状について比較を行なった。又電源開発(株)の振動台を使用して $1/4$ 模型の振動実験を行ない、寸法効果について検討を行なった。

3 主な結果

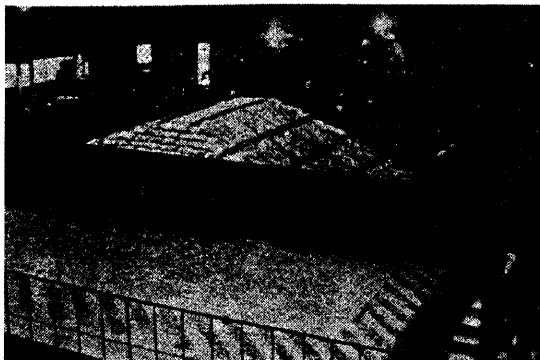
今回の実験は、これまで電源開発(株)で行なってきた片方面、両方面模型及び三次元模型の成果をふまえて実施したものであり、これまでにあまり例のない大型模型実験となり、実物ダムに比較的近付いた実験結果を得た。



模型Ⅰ $\phi 100 \sim 150\text{mm}$



模型Ⅱ $\phi 100 \sim 150\text{mm}$
基礎は提体と同じ材料を使用



模型Ⅲ $100 \sim 150\text{mm} 70\%$ $\phi 40 \sim 60\text{mm} 30\%$

セキスイハウス・レンガ壁耐震実験

1979年1月～1979年3月

積水ハウス株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

建物の強震時の動的挙動ならびに構造各部の応答性状を把握して、その耐震安全性を確認するとともに、今後の設計に対する資料を得る。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 供試体 I
1F 10m × 7m、2F 6m × 4m、延体面積 94m²の実大モデル、外壁はマルをサンドイッチパネル。
- ・ 供試体 II
供試体 I の外壁を外し、1 階にはレンガ壁を積んだもの、2 階は、一部現場ほう付仕上げ。

(2) 加振方法

実験 I	宮城県沖、八戸港湾、El Centro	:	max 500gal
	El Centro、宮城県沖	:	max 300gal
実験 II	El Centro	:	max 100,300,350gal

入力地震波は以上の通りであるが、これで顕著な損傷が見られなかったので 3.5Hz 定常波 300gal まで加振し、この時点で屋根瓦の一部が脱落したので加振を終了した。

(3) 計測方法

- ・ 加速度
サーボ型加速度変換器、振動台上と建物各部
- ・ ひずみ
水平ブレース、鉛直ブレース
- ・ 変位
2F 床面、軒先の水平変位、層間変位、計測結果はすべてデータレコーダーに収録した。

建物の固有振動特性については、自由振動実験、共振実験、ランダム波実験、(ローパスフィルターで高周波成分を除いた) から固有振動数、減衰定数について考察した。

供試体の地震応答には、非構造部材の剛性が強く影響するが、耐力壁の剛性と基礎にして、ねじりを無視した 2 質点モデルの弾性応答解析と実験結果を比較した。

3 主な結果

- (1) 実験 I、II ともランダム波実験では内外装、構造体ともほとんど損傷がなかった。
- (2) 非構造材が負担する層せん断力はかなり大きく、通常の仕様で全せん断力の 1/3、レンガ壁仕様で 2/3 程度を負担している。

168kV 真空遮断器 VCB 耐震試験

1979 年 8 月 5 日 ~ 1979 年 8 月 10 日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

電力用遮断器について

- (1) 0.3G 3 波共振
- (2) 実地震波 (エルセントロ、宮城沖)

実験によりその耐震性と振動挙動を調べる。

2 供試体および実験条件

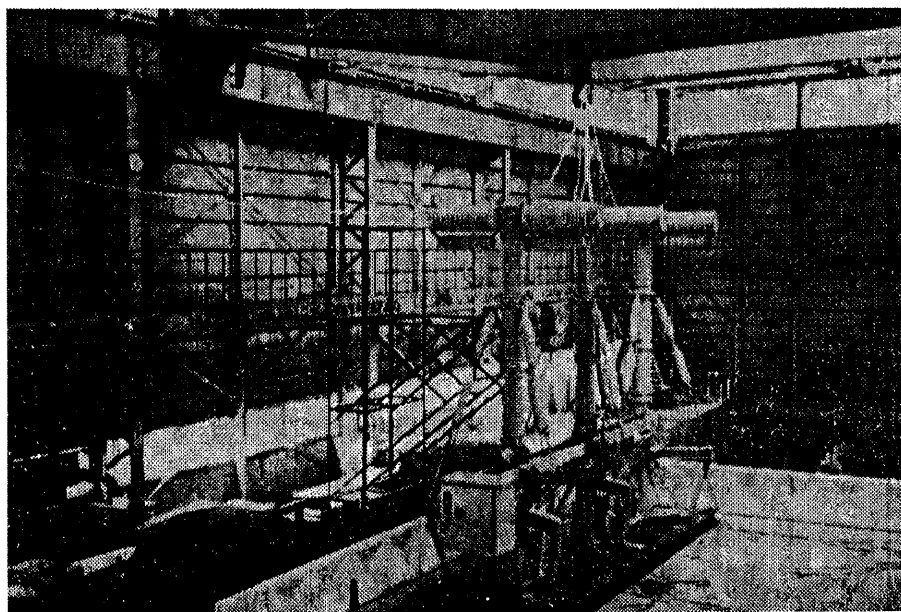
長さ : 7750mm	巾 : 3047mm
高さ : 6280mm	重量 : 6700kg

共通架台上に各相毎に配した支持碍管と、その上に T 形配置された遮断器部碍管を有し、各極柱を 3 本のステー碍管で支持した、168kV 碍子形真空遮断器。

- (1) 加振方法
遮断器の前後・左右方向に対して
 - ・ 加振台より 0.5mm 程度のステップ入力を加えて、共振振動数、及び減衰定数の目安をつける。
 - ・ 0.03G 程度で加振振動数 0.2Hz おきに 5~10Hz の範囲で、正弦波加振して、各方向の共振振動数を求める。
- (2) 計測方法
 - (1) の試験で求められた共振振動数の近傍で 0.2Hz おきに 0.3G 3 波共振試験、更に、宮城沖、エルセントロ地震の実地震波により、加振した時の遮断器各部の加速度、歪量の測定をデータレコーダ及び電磁オシロにて行なう。
- (3) 理論解析法
各実験について、供試器各部の静的限界歪量に対する加振時の最大応答歪量から、安全性を定量化した。

3 主な結果

- (1) 共振振動数、応答特性及び安全性を定量的に把握するとともに、0.3G 3波共振及び実地震波(宮城沖、エルセントロ地震)に対して十分な耐震強度を有することが、実証できた。
- (2) 一連の耐震試験後において構造的に、又電気特性的に何ら異常のないことが確認できた。



168kV 写真しゃ断器 実験状況写真

FRP パネルタンクの耐震実験

1979 年 8 月 20 日 ～ 1979 年 12 月 15 日

三菱樹脂株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) タンク機種 (3 機種)、タンクサイズの違いによる振動特性を調べる。
- (2) タンク内の水量の違いによる振動特性を調べる。
- (3) 各種振動数にてタンクの振動特性を調べる。
- (4) タンクのスロッシング現象を調べる。
- (5) 正弦波 1.0G 加振並びに地震波形にてタンクの耐震強度を把握する。
- (6) 内部補強構造 (タイロッド方式、プレス方式) の違いによる振動特性を調べる。

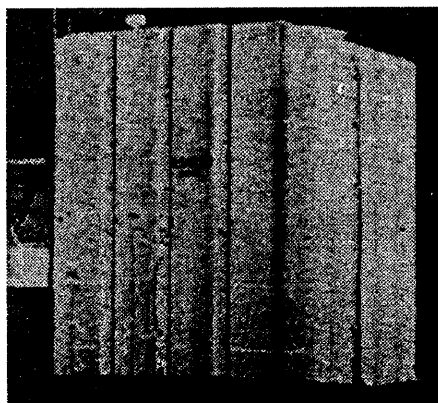
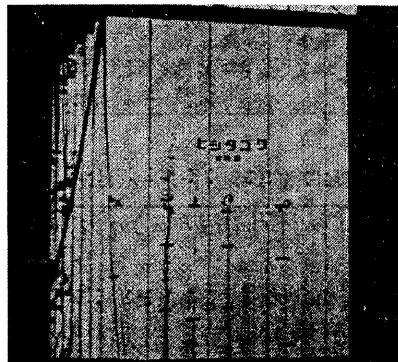
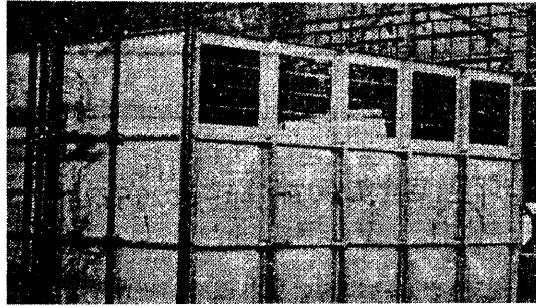
2 供試体および実験条件

	第 1 供試体	第 2 供試体	第 3 供試体
サイズ	巾 3m × 長さ 5m × 高さ 3m	巾 2m × 長さ 3m × 高さ 3m	巾 2m × 長さ 3m × 高さ 3m
重量	満水時 45t、缶体重量 2.2t	満水時 18t、缶体重量 1.3t	満水時 18t、缶体重量 1.3t
受圧面	3m × 3m	3m × 3m	3m × 3m
構造	□ 1m のパネルをボルト結合 FRP 製組立式角型水槽	ウレタンとのサンドイッチ 一体型 FRP 接着角型水槽	FRP 単板構造 一体型 FRP 接着角型水槽
内部	タイロッド及びプレス補強	側壁どうしを締結、または 側壁と底板を締結	タイロッドとプレスの組合せ
その他	最上段は透明 PVC 板 固定プレスは底板側で固定	側壁 □ 100ss41 角パイプ被覆 固定プレスは底板側で固定	側壁は 500mm 巾で扇形形状 固定プレスは底板側で固定

- (1) 加振方法
ステップ波加振による自由振動
地震波形は、1978 年宮城県沖地震波とエルセントロ波
- (2) 計測方法
 - ・ 加速度
 - ・ パネルの歪
 - ・ 内部、外部補強材の歪
 - ・ 受圧面に作用する動水圧
 - ・ 受圧面と直角な面に作用する動水圧
 - ・ 変位
 電磁オシログラフ、アナログデータレコーダーに記録した。
- (3) データ解析法
スペクトル解析、振動モード解析

3 主な結果

- (1) 振動による動水圧については、Housner 理論と測定データを比較し、ほぼ満足しうる水圧が求められることがわかり、これによって、タンク構造体を設計する際の設計動水圧が得られることがわかった。
- (2) スペクトル解析により、建物とタンクとの相関を求めタンクの耐震安全性に対する指標とすることができた。



スチール棚の耐震実験

1979年8月22日～1976年12月15日

日本ファイリング株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

スチール棚(移動棚を含む供試体9種13台)の耐震性について、

- (1) 棚が各々の振動でどのような挙動を示すか
- (2) どのような水平力で荷が落下するか
- (3) 耐震対策を施したものの効果
- (4) 同対策を外した場合の耐震性

等について検討する。

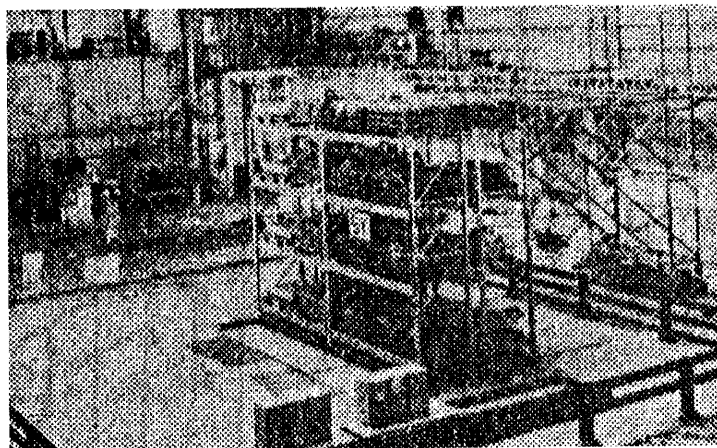
2 供試体および実験条件

- ・パレットラック：高さ4000mm、積載荷重25600kg
- ・機械式移動棚：高さ2250mm、間口4500mm、荷重合計6300kg

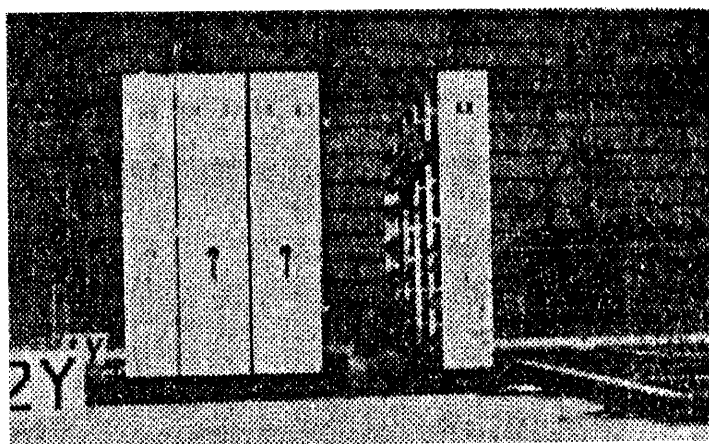
- (1) 加振方法
水平方向のみ
加振波形は、正弦波、加速度一定 Sweep、宮城県沖地震波(東北大学工学部 9F 記録波)
- (2) 計測
加速度、応力
デジタルデータレコーダーに記録した。
- (3) 解析
応答倍率を算出し、またプロッタにより波形(ランダム)を描かせた。

3 主な結果

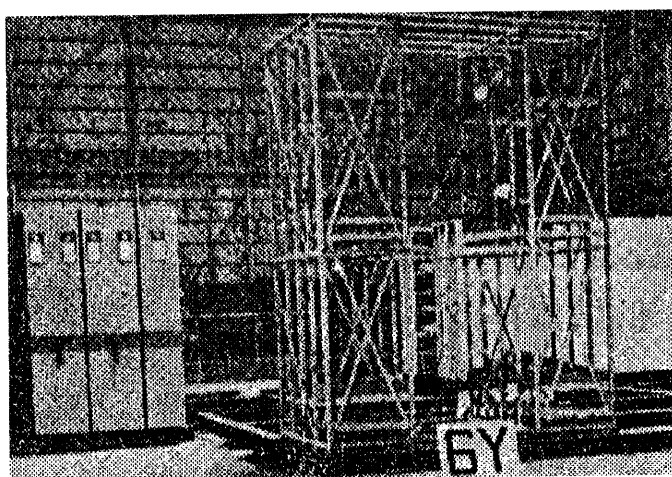
解析に手間取ったが、当初の成果は十分得た。



パレットラック



機械式移動棚



多数の供試体を同時に加振

プレストレスコンクリート原子炉格納容器耐震実験

1979 年 10 月 ～ 1980 年 3 月

株式会社大林組技術研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

PCCV1/30 モデルを用いて耐震安全性の検証を行ない、理論解析法の確立を行なうため

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 円筒形、頂部半球ドーム形
- ・ 高さ 2204mm、内径 1434mm、壁厚 50mm
- ・ 各縦方向 プレストレス 逆U テンドン方式
- ・ 円周方向 プレストレス ワイヤーワインデンブ方式
- ・ 鉛による付加重量取り付け (総計 22.6t)

(2) 加振方法

微入力による定常正弦波	: 共振曲線
模擬地震動 2 種類	: 弾性応答
エンベロップ正弦波	: 非弾性応答
模擬地震動	: 非弾性応答
正弦波	: 破壊

(3) 計測方法

- ・ 加速度 (40 点)、変位 (6 点)、鉄筋歪 (24 点)、テンドン張力 (8 点)
- ・ データレコーダーに記録

(4) データ解析方法

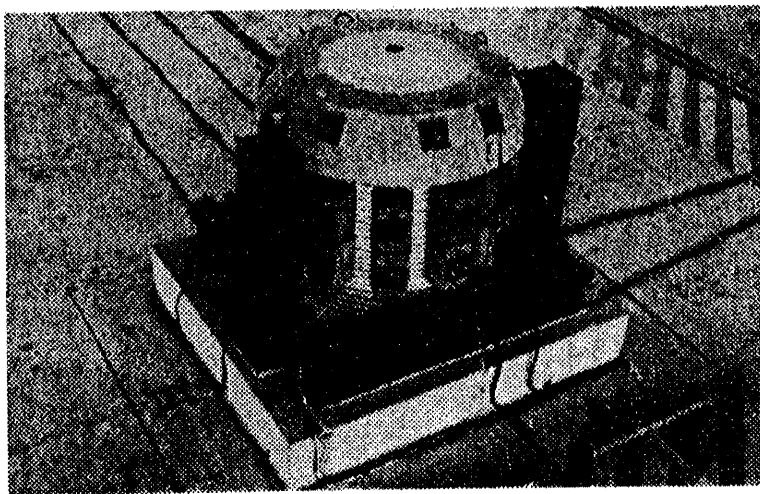
- ・ スペクトル解析
- ・ 応答時刻歴
- ・ 応答最大値

(5) 理論解析法

多質点曲げ、せん断系による弾塑応答を行ない、時刻歴応答のシミュレーション解析

3 主な結果

- (1) 破壊状況を振動実験により確認し、その破壊モードは別途行なった静的実験と良く対応した。
- (2) 終局耐力が計算通りであり、設計用耐力に対し約 1.8 倍の安全性があることが確認された。
- (3) 弾塑性応答解析法の妥当性が検証された。



FRP 製タンクの耐震強度の研究

1980 年 5 月 19 日 ～ 1980 年 5 月 31 日

積水工事株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) FRP パネル水槽の内部補強方式の相違による動的特性の調査
- (2) ブレース補強方式水槽の耐震強度の確認

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 水槽寸法 $4\text{m} \times 4\text{m} \times 3.5\text{m}^H$ 、本体重量 2690kg、満水位 2.7m
- ・ 本体構成パネル寸法 $1\text{m} \times 1\text{m}$
- ・ 両面 FRP、間にプラスチックフォームをはさんだサンドイッチ構造
- ・ 架台は、 500mm^H の H 鋼を施設、その上に 150mm^h の水槽専用架台を敷いた
- ・ 第 1 供試体は、丸棒による平行ステー補強方式
- ・ 第 2 供試体は、アングルによるブレース補強方式

(2) 加振方法

- ・ 第 1 供試体：1mmp-p ステップ波、正弦波、エルセントロ波
- ・ 第 2 供試体：1mmp-p ステップ波、正弦波、エルセントロ波、宮城県沖実地震波

(3) データ解析方法

- ・ 最大値のアウトプット、FFT によるスペクトル解析

・固有振動数は、簡単なモデルとの比較

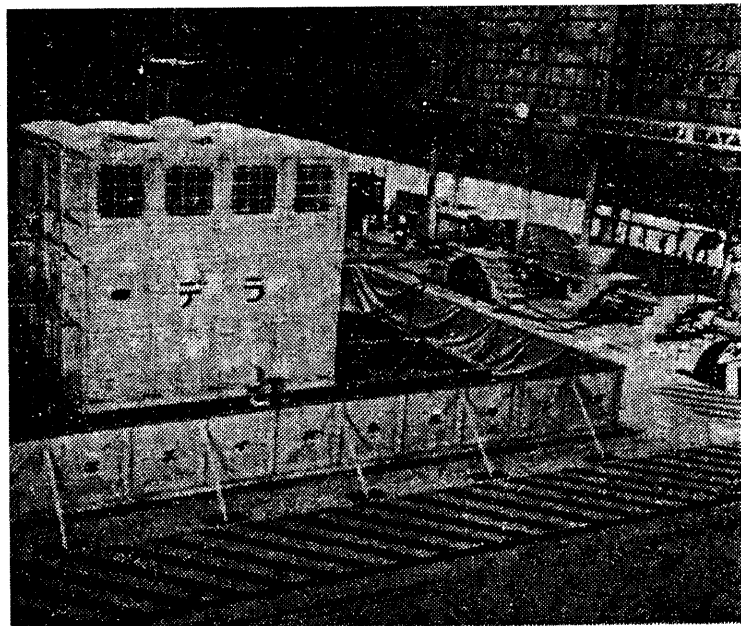
・応答最大値

(4) 理論解析法

応力は、“FRP 水槽構造設計計算法” との比較

3 主な結果

- (1) 水槽の場合、水の重量が大きいために、すぐ固有振動数が低下し、共振域に入ってしまうことより、本体の剛性を高める為の有効な方法が確認できた。
- (2) 実務上は、一質点モデルで固有振動数を求めることができることを確認した。



液体と弾性体の連成振動に関する研究

1980 年 6 月 16 日 ～ 1980 年 6 月 17 日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

屋根付円筒水槽の振動性状を調べる。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 高さ 1.5m、直径 1.27m、厚さ 2mm の透明塩化ビニール製の屋根付水槽
- ・ 水槽側壁は厚さ 20mm の底板に固定
- ・ 屋根は厚さ 10mm の板で直径 60cm の穴があいている

(2) 加振方法

- ・ 正弦波、ランダム波 (エルセントロ N-S) で行ない、固有振動数、振動モードを求めた。
- ・ 水位は、0%、20%、50%、80%

(3) 計測方法

水圧、加速度をデジタルデータレコーダーに記録

(4) データ解析方法

- ・ ランダム波は FFT で、正弦波はフーリエ解析により加振振動数成分を取り出し共振曲線を求めた。
- ・ 固有振動数

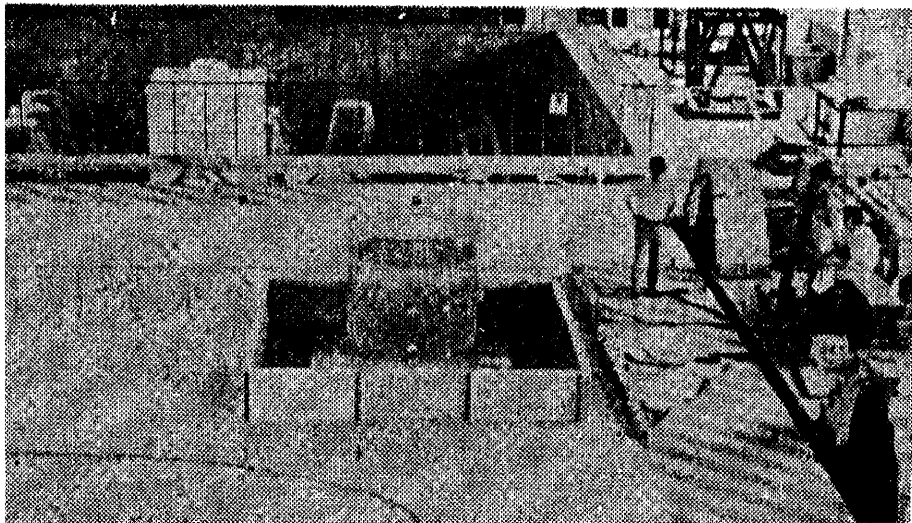
水位	0%	:	17Hz
	20%	:	14Hz
	50%	:	10Hz
	80%	:	8Hz

(5) 理論解析法

仮定モード法により実験値との一致は見られなかった。

3 主な結果

- (1) 円周方向の振動モードはタンク中央の高さで見ると、 $\cos \theta$ のモード、 $\cos 5\theta$ (水位 80%) のモードが表れた。
- (2) 共振時に加振振動数の2倍の振動数が発生する現象が現れ、その円周モードは偶数似であった。
- (3) 円筒タンクには非線形振動が生じることがわかった。



土構造物の動的特性調査

1980 年 7 月 ～ 1980 年 8 月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

比較的ゆるい砂質地盤の地震時液状化対策として、発生した間隙水圧を速やかに消散させる工法としての砕石ドレーンの適用性を明らかにする。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 長さ 12m、深さ 3.5m、幅 2m の鋼製の箱、この中に厚さ 3m の山砂を巻き出し締め固めた。
- ・ 砕石ドレーンは 5 号及び 7 号。
- ・ 堀割道路模型は、鉄筋コンクリート製の箱。

(2) 加振方法

共振実験 : 20gal、1～24Hz の正弦波
破壊実験 : 20gal、5Hz の正弦波で 60 秒間水平加振

(3) 計測方法

加速度	: 地盤、ドレーン、堀割道路模型	17ヶ所
間隙水圧	: 地盤、ドレーン	36ヶ所
変位	: 堀割道路模型	2ヶ所

以上の項目をデジタルレコーダーで同時記録した。

(4) データ解析方法

加速度	: 鉛直分布
間隙水圧	: 時間経過、鉛直分布、水平分布
変位	: 堀割道路の経時変化等

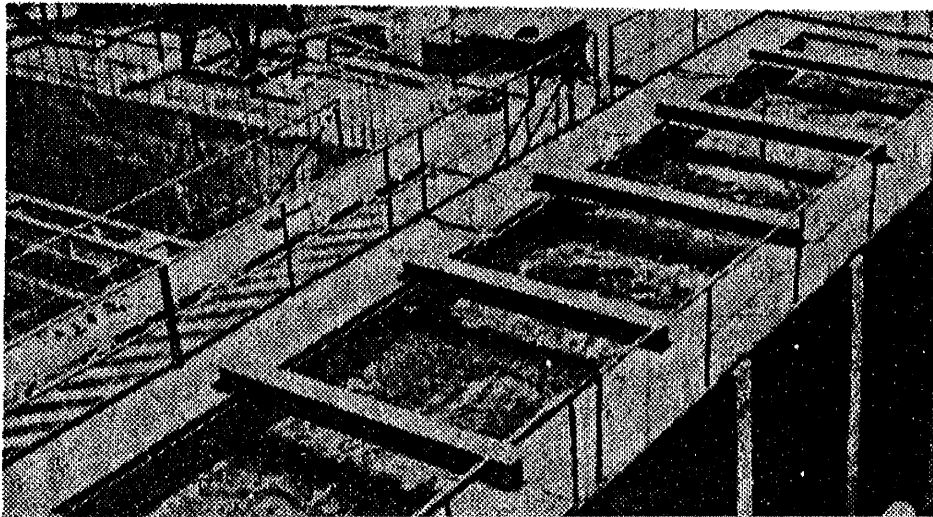
以上を、大型電子計算機で計算し、X-Y プロッタで図化した。

(5) 理論解析法

- ・ FEM 解析

3 主な結果

- (1) 碎石ドレーン中心から 50cm までは採石ドレーンにより、間隙水圧の上昇が軽減された。
- (2) 加振終了後の間隙水圧の消数は採石ドレーンによって促進される。
- (3) 碎石ドレーンを堀割道路の下に設置することによって場圧力を大きく軽減でき、液状化対策として効果が大きい。



碎石ドレーンからの排水状況

自動倉庫の耐震実験

1981 年 1 月 8 日 ～ 1981 年 1 月 24 日

社団法人日本産業機械工業会 防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 立体自動倉庫(ラック構造)の振動性状を調べる(第1 供試体)
- (2) ラックに格納された格納物の振動に対する安定性を調べる(第2 供試体)

2 供試体および実験条件

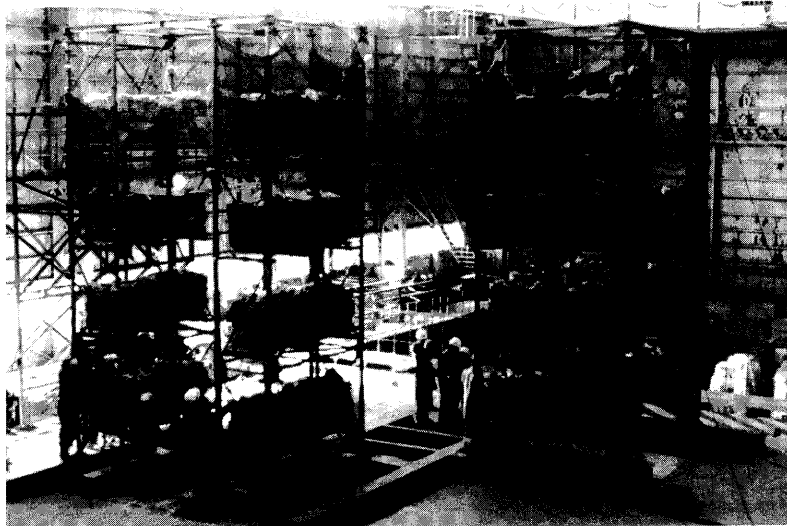
- (1) 供試体
 - ・ 第1 供試体：加振方向、及び加振直角方向に高さ 7m のラックを配置し、ボックスパレットを格納した
 - ・ 第2 供試体：ラックの規模は第1 供試体の 1/2 とし、木製パレットの上にカートンケースを格納した
- (2) 加振方法
 - 正弦波掃引、変位ステップ波、振動台急停止の振動試験を行ない、供試体の固有値の計測を行なった。
 - ・ EL CENTRO-NS
 - ・ TAFT-EW
 - ・ 宮城県沖 NS
- (3) 計測方法
 - ・ 加速度(第1 供試体、第2 供試体)
 - ・ 鉄骨歪(第1 供試体)
 - ・ 相対変位(第1 供試体)アナログ及びデジタルレコーダーに記録した。
- (4) データ解析方法
 - ・ 応答スペクトル
 - ・ フーリエスペクトル
 - ・ 応答シミュレーション

格納物の落下現象は 300 ガルの入力加速度から発生した。

3 主な結果

- (1) 地震時にはラックと格納物の間に荷の滑り現象が発生し、これが地震エネルギーを吸収することとなり、入力加速度を大きくしても応答加速度は伸びていないことが判明した。これを等価減衰として評価するならば 15～20%の数値になることも明らかとなった。

- (2) 格納物の落下についてはその対象となる位置での応答加速度が700ガル程度から落下現象が生じることが確認された。



液体と弾性体の連成振動に関する研究

1981 年 6 月 ～ 1981 年 6 月

防災科学技術研究所

1 実験の目的

水槽の固定度の相違による振動性状の変化ををみる。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

直径 1.8m、高さ 1.4m、厚さ 2.5mm の FRP 屋根付円筒水槽で、水槽は架台に 8 本のおさえ金具を用い、均等の間隔で固定。

(2) 加振方法

正弦波、変位ステップ波、ランダム波で行ない、水位は、0%、20%、50%、80% まで行なった。

(3) 計測方法

加速度、水圧、歪をデジタルデータレコーダーに記録

(4) データ解析方法

ランダム波は FFT で、正弦波はフーリエ解析により加振振動数成分を取り出し共振曲線を求めた。

固有振動数は各水位時とも 3～4 回表れた。

(4) 理論解析法

仮定モード法のモデルに架台の回転を加えて行なった。

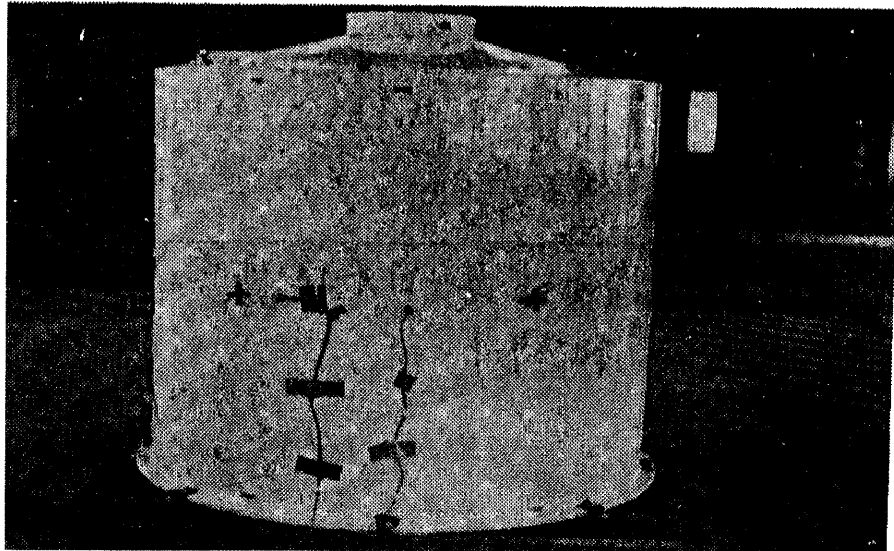
3 主な結果

(1) 円周方向振動モードは $\cos \theta$ のものはほとんどなく、波数の大きいもののがかなりみられ、特に $\cos 7\theta$ のものが明確に現れ、また、加振振動数の 2 倍の振動数成分が現れている。

(2) 水槽の台への固定度を下げると、共振曲線の第 1 のピークの振動数および振幅が下がった。つまり、固定法の微妙な相違により、水槽の振動性状は大きく変化する。

(3) 共振曲線の第 1 のピークの固有振動数は、実験値と合わせることができた。

- (4) 円周方向波数の大きいモードについては、固有振動数はほぼ合わすことができたが、ピークの値については実験値を説明できなかった。



堀割道路の耐震実験

1981 年 7 月 ～ 1981 年 8 月

建設省土木研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

砂質地盤に設置された半地下式道路構造物(以下、堀割道路という)に対して、地震時に周辺地盤が液状化した時の排水工法のひとつである採石ドレーン工法の有効性を明らかにする。

2 供試体および実験条件

長さ 12m、深さ 3.5m、幅 2m の鋼製の箱、この中に厚さ 3m の山砂を巻き出し締め固めた。

採石ドレーンは 5 号及び 7 号。

堀割道路模型は、鉄筋コンクリート製の箱型。

これらを二次元模型となるように配置した。

(1) 加振方法

共振実験 : 20gal、1～24Hz の正弦波で振動数を断続的に変化させる

破壊実験 : 150gal、2Hz の正弦波で 30 秒間水平加振

(2) 計測方法

加速度 : 地盤、ドレーン、堀割道路模型 17ヶ所

間隙水圧 : 地盤、ドレーン 40ヶ所

変位 : 堀割道路模型、地盤表面 4ヶ所

土圧 : 堀割道路模型 2ヶ所

以上の項目をデジタルレコーダーで同時記録した。

(3) データ解析方法

加速度 : 鉛直分布

間隙水圧 : 時間経過、鉛直分布、水平分布

変位 : 堀割道路の経時変化、堀割道路模型に作用する土圧

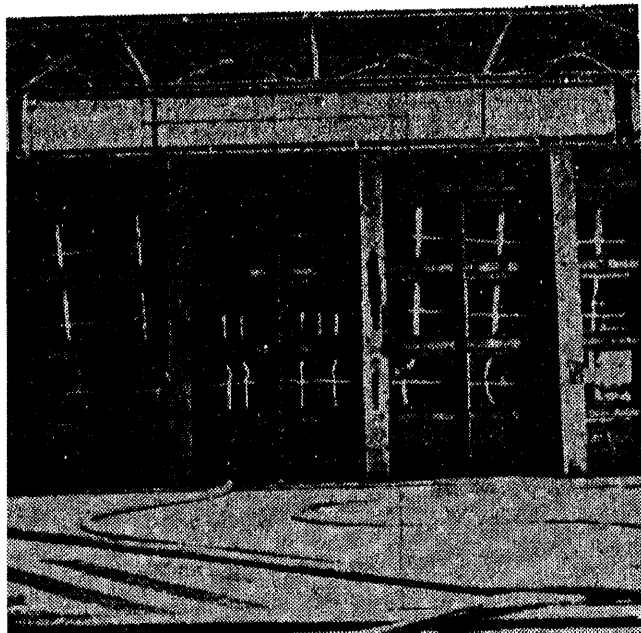
以上を、大型電子計算機で計算し、X-Y プロッタで図化した。

(4) 理論解析法

FEM 解析

3 主な結果

- (1) 採石ドレーンを堀割道路下部に設置することにより場圧力を軽減でき、周辺地盤が液状化した時の浮上量を小さくすることができる。
- (2) 間隙水圧の発生、消散を考慮したFEM解析によって模型地盤の液状化の挙動をよく再現できる。



中央上部が堀割道路

高圧ガス製造施設に係る塔の振動実験

1981 年 8 月 ～ 1981 年 10 月

高圧ガス保安協会 防災科学技術研究所

1 実験の目的

高圧ガスの製造施設における鋼製塔を対象とし、地震に対する耐震性を一連の実験により求め、既存施設の耐震安全性の評価式を導く。

2 供試体および実験条件

塔の基本型は本体がスカート部で支持され、スカート下部はコンプレッションリングを介して鉄筋コンクリート基礎に支持される。

(1) 予備実験

塔の弾性振動把握及び計測系、制御系の状態の確認

1) 自由振動実験

振動台固定状態での自由振動
振動台油圧浮上時の自由振動

2) 共振実験

3) 実地震波による弾性範囲加振実験

破壊実験に先立ち、制御系、計測系の動作をチェックするための試し加振

(2) 破壊実験 (本実験)

1) 実地震波 (実時間記録) の修正波による加振実験

実地震波として EL Centro 1940 NS 成分、Taft 1952 EW 成分、八戸 1968 NS 成分の 3 種を用いた

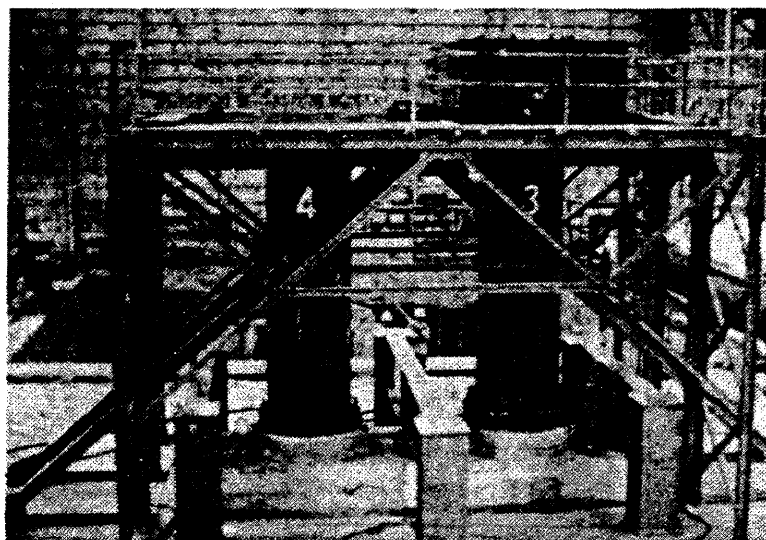
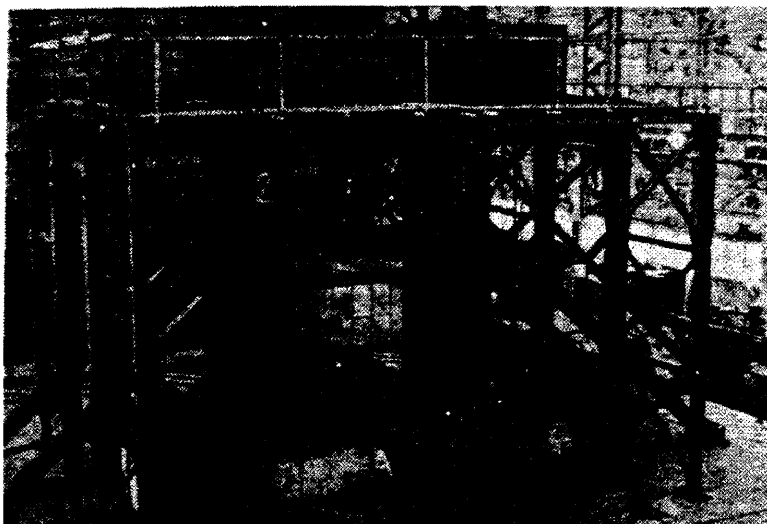
2) 正弦波加振実験

歪の固有周期近傍で加振

3 主な結果

(1) 鋼製塔の地震時の耐荷機構を調べ、アンカーボルトの降伏、スカート部の座屈を伴う塑性変形によって、地震入力エネルギーのかなりの部分が吸収されることが明らかとなった。

(2) アンカーボルトが降伏すると基礎コンクリート上面には集中的な圧縮反力が生じ、また、スカート部も応力集中にさらされることになるが、これによる新たな破壊モードは今回の実験においては認められなかった。



消防用設備等の耐震性能に関する研究

1981 年 10 月 ～ 1981 年 11 月

自治省消防庁予防救急課 防災科学技術研究所

1 実験の目的

消防用設備等の加圧送水装置廻り及び非常電源専用受電設備の振動性状を確認調査する。

2 供試体および実験条件

(1) 消火ポンプユニット

ポンプは単段うず巻ポンプ 80×65 FSFF65.5($1000^{\ell}/_{min} \times 20m \times 5.5kw$)
1 式 $2700^{\ell}/_{m}$ 容量のもの

(2) 6000V 開放型 受変電設備

3 主な結果

(1) 受変電設備

従来の施工法に現在まで各所で行なわれている新しい耐震設計、施工法に準じた措置を講じた設備であれば十分な耐震性能を有することが推定できる。なお、従来の施工法に関し、今後検討を加えるべき事項は次の通りである。

1) PCT(取引用変成器)

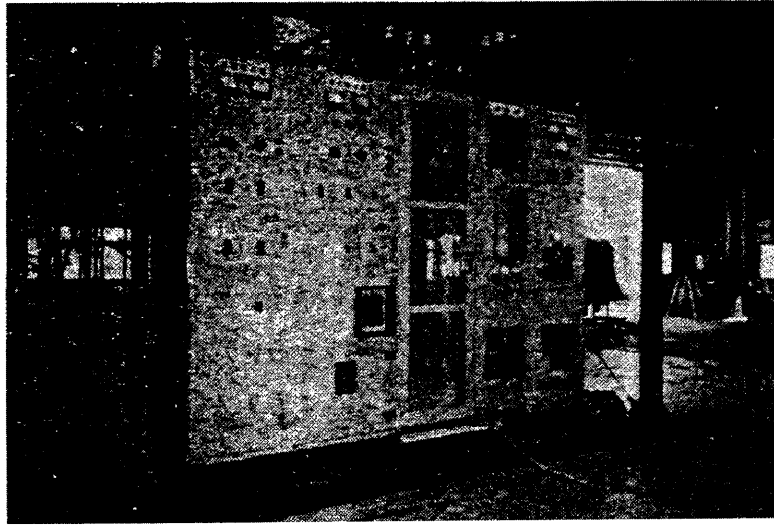
吊り下げ支持のほかに支持補強を行なう必要があること

2) PCS(プライマリーカットアウトスイッチ)

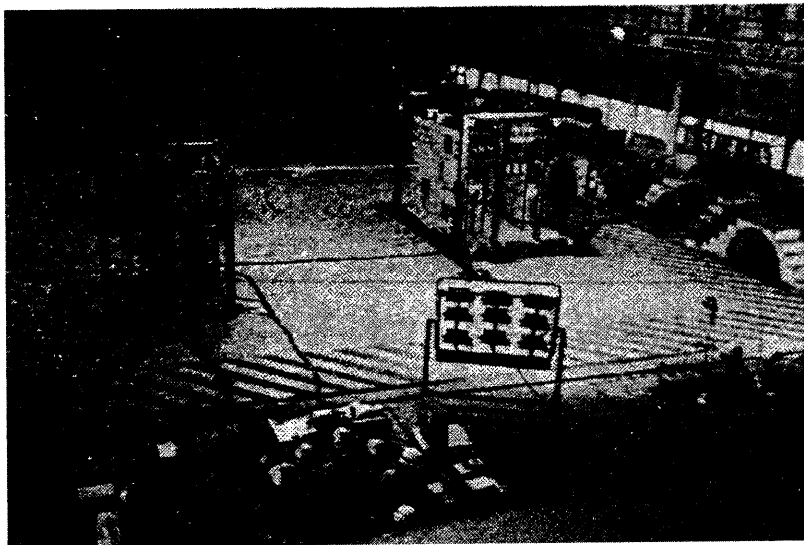
標準的余部ハンガーによる取付法は避けること

(2) 加圧送水装置

現在、(財)日本消防設備安全センター認定品相当の加圧送水装置は、地下階、1 階に設置された場合十分な耐震性を有すると判定できる。又、高層階に設置された場合にも基礎アンカーボルトが十分な耐力を有するならば耐震性が有ると判定できる。



受変電設備



実験状況

高性能強震計開発試作

1981 年 11 月 17 日 ～ 1981 年 11 月 18 日

気象庁気象研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

試作した強震計の総合性能試験

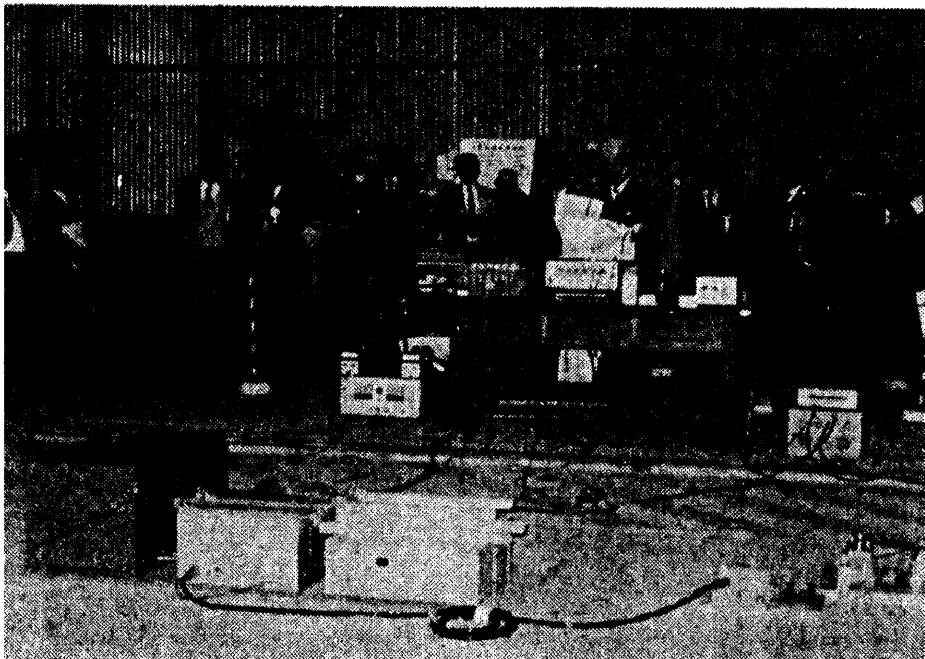
2 供試体および実験条件

(1) 正弦波加振 (周波数、振幅を変更)

(2) 不規則波形 (強震波形) 加振

3 主な結果

強震計システムの総合加振試験を終了し、このシステムに振動障害のないことが判明した。



液体配管の振動実験

1982年3月1日～1982年3月31日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

液体配管に生じる地震時動水圧、特に共振現象を調べ、管系に与える影響について検討する。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

SGP300A(外径318.5mm、肉厚6.9mm)、全長40m
設定静圧5kgf/cm²、支持10点(剛2、ハンド2、スライド6)

(2) 実験条件

実験は空水時及び満水加圧時の各条件で行ない、一部比較のために満水流水時の加振も行なった。
加圧実験は満水後にエア抜きのための流水及び加振などを行なった後、静圧5kgf/cm²までポンプにより加圧し、エア抜き弁を閉じて加振した。

1) 加振方法

正弦波スイープ、ステップ波、地震波

2) 計測方法

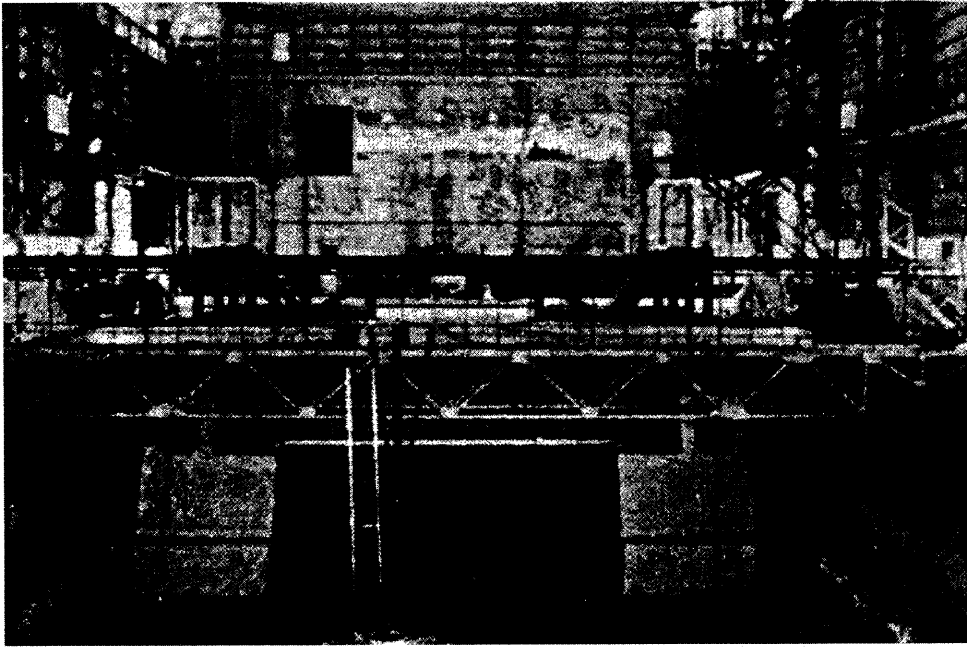
水圧 : 管軸に沿い管軸高さの位置で10点とする
加速度 : 軸方向(加速度)、上下方向、横方向
歪 : 両端及び中央の周歪、東西2ヶ所の断面の軸歪及び曲げ歪

3) 理論解析法

管 - 液柱 - サポート系の共振性状を調べた。

3 主な結果

液柱を含む加圧密閉管には鋭い共振性を生ずることが確認され、また共振時負圧の進行が管系の振動に大きな影響を与えることがわかった。



強震計の振動及び耐震実験

1982年7月26日～1982年7月31日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

高密度強震観測に使用する速度型強震計の特性試験及び耐震試験を目的とする。

2 供試体および実験条件

振動台上に速度型強震計(検出部 VS-315 型、記録部 SAMTAC-15)を4台設置して、加振実験を行った。

(1) 加振方法

1) 特性試験

低レベル(1kine 程度)の正弦波を用い、0.02Hz から 5Hz まで 1/3 oct. ステップで加振

2) 耐震試験

2Hz、30kine で 30 秒加振

(2) 計測方法

構内データ伝送用回線にマイクロコンピュータ(8ch A/D 付)と ACOS-700 を接続して、オンライン計測を行なった。

(3) データ解析法

多次元スペクトル密度関数を推定することより、速度型強震計の周波数伝達特性を推定した。これは、実験前に、ACOS-700 へプログラムを用意し、上記計測と連動させて行なった。

3 主な結果

速度型強震計の特性(周波数特性、分解能及び横感度特性)を得た。

空積み遮へいブロック壁の耐震実験

1982 年 8 月 2 日 ～ 1982 年 9 月 25 日

株式会社竹中工務店技術研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

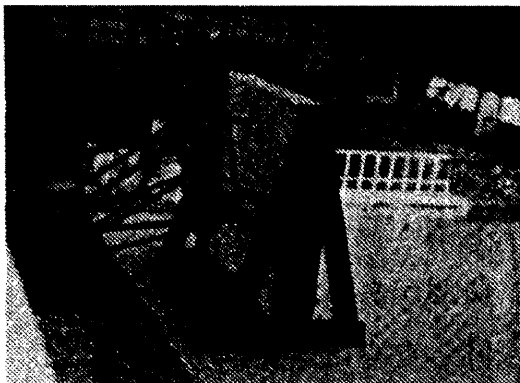
空積みされたブロック壁の耐震性に関する資料は少なく、又その機構上、理論解析や静的試験によりその耐震安全性を把握するのが難しいので、振動台による動的試験を行なった。

2 供試体および実験条件

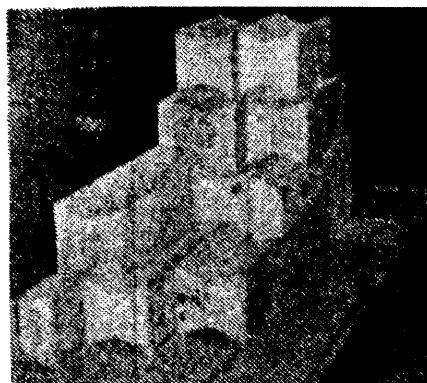
写真参照

3 主な結果

- (1) 振動台の最大加速度が 2300gal の時でも、壁面ブロック 336 個に対して、28 個に軽微な損傷がみられる程度で、相当耐震的に余裕のある工法であることが確認された。
- (2) 空積みのため、幾何学的な非線形性が強く現れるのではないかと予想されたが、結果はある程度振幅が大きくなると、四辺固定の通常の板のモード形状に近くなることも分かった。



試験体全景



空積みブロック加工見本

軟弱地盤の振動性状に関する研究 (水槽等の振動特性実験)

1982年10月～1982年12月

防災科学技術研究所

1 実験の目的

建築設備として用いられている FRP 製水槽の耐震性を実験により検討する。

2 供試体および実験条件

(1) 円筒タンク

- ・直径 1.3m、高さ 1.5m、板厚さ 1.5mm、塩ビ製
- ・直径 2.0m、高さ 1.3m、板厚さ 2mm、FRP 製
- ・直径 2.0m、高さ 2.0m、板厚さ 3mm、FRP 製

(2) 長方形タンク

- ・ L3m × W4m × H3m FRP 製パネル
- ・ L3m × W4m × H3m FRP 製ブレス補強パネル
- ・ L1m × W4m × H3m FRP 製パネル
- ・ L2m × W2m × H2m FRP 製パネル架台付

(3) 球形

- ・ 直径 1.86m FRP 製架台付

3 主な結果

共振状態で加振して、壊すことを試みた。円筒タンクは、無破壊だったが長方形タンクは壁側にキレツを入れることが出来た。球形は転倒した。

ガラス固化パッケージ貯蔵ピット耐震評価試験

1982 年 12 月 1 日 ～ 1982 年 12 月 20 日

動力炉・核燃料開発事業団 石川島播磨重工業株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

貯蔵ピットについての振動特性を把握すること。および地震遭遇時の健全性の検証を目的とする。

- (1) 5 段積み固化パッケージを対象とした耐震評価試験
- (2) 非線形耐震解析
- (3) 非線形解析の基礎データを得るための固化パッケージ 1 体を対象とした基礎実験

2 供試体および実験条件

固化パッケージ

- ・外径 430mm、肉厚 10mm、高さ 1345mm
- ・重量 480kg/体 (ガラス固体を含む) 数量 5 体

貯蔵ピット

- ・外径 558.8mm、肉厚 16mm、全長 6765mm
- ・数量 3 体 (クリアランス 3 種類)

振動試験用架構

- ・全高 6795mm、主要部材 H-250 × 250 × 9 × 14

試験体全重量 30t

- (1) 加振方法
自由振動試験では、パルス波を入力して固有周期と減衰定数を把握する。

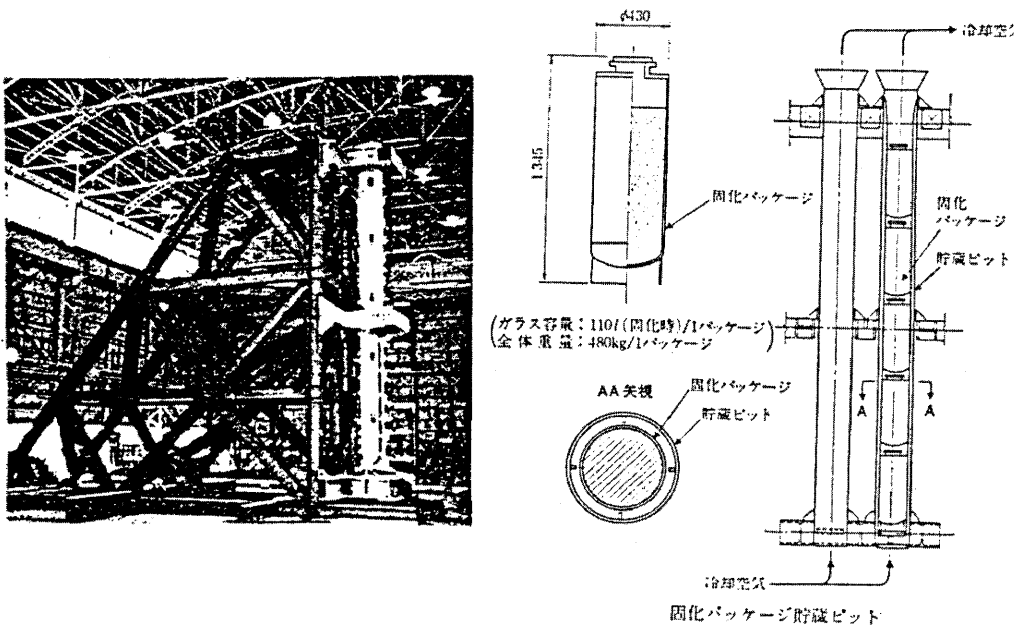
- 1) 正弦波掃引試験
30～1Hz 近傍まで一定速度 (0.05Hz/s) で変化
100gal(1m/s²)、300gal(3m/s²)、500gal(5m/s²)

- 2) 地震波試験
El Centro 波 (NS 成分)、Taft 波 (EW 成分)
東海-2 波 (NS 成分)、東海-2 波 (EW 成分)
300gal(3m/s²)～1000gal(10m/s²) まで実施

- (2) 計測方法
タイプ I - 荷重および加速度
タイプ II - ひずみ

3 主な結果

- (1) 減衰定数は、クリアランスの大小によらず15~20%とかなり大きな減衰を示した。
- (2) ピットとキャニスタの系全体としての1次固有振動数は、クリアランスによる差が多少あるが、2Hz 前後である。
- (3) 地震波試験結果から、入力レベルによらず(入力レベルを一定とした場合)クリアランスが大きくなるに従い荷重応答量は、明瞭に増加することが示された。
- (4) 地震波4波のうち同一レベルで見ると、全般的傾向として、El Centro 波(NS成分)が最も大きな応答量を示した。次がTaft 波(EW成分)、東海-2 波(EW成分)、東海-2 波(NS成分)の順である。これは、El Centro 波(NS成分)の場合、他の地震波に比べて大きな低周波成分を有していることよりピット、固化パッケージの系としての固有振動数(2Hz 近傍)と合致しやすいこと、および振動時の応答変位量が大きくなることにより、固化パッケージの移動量が大きく、このため、ピットに衝突しやすく大きな値がでたものと考えられる。
- (5) 振動試験終了後の外観検査の結果、貯蔵ピットおよび固化パッケージについて損傷は見られなかった。
- (6) 非線形解析結果と実験結果とを比較した結果、ほぼ一致を見た。このことより本研究で検討した解析モデルおよび解析手法は、貯蔵ピットの振動挙動推定に適用できることが示された。



FRP2m パネル水槽の耐震実験

1983 年 7 月 4 日 ～ 1983 年 8 月 15 日

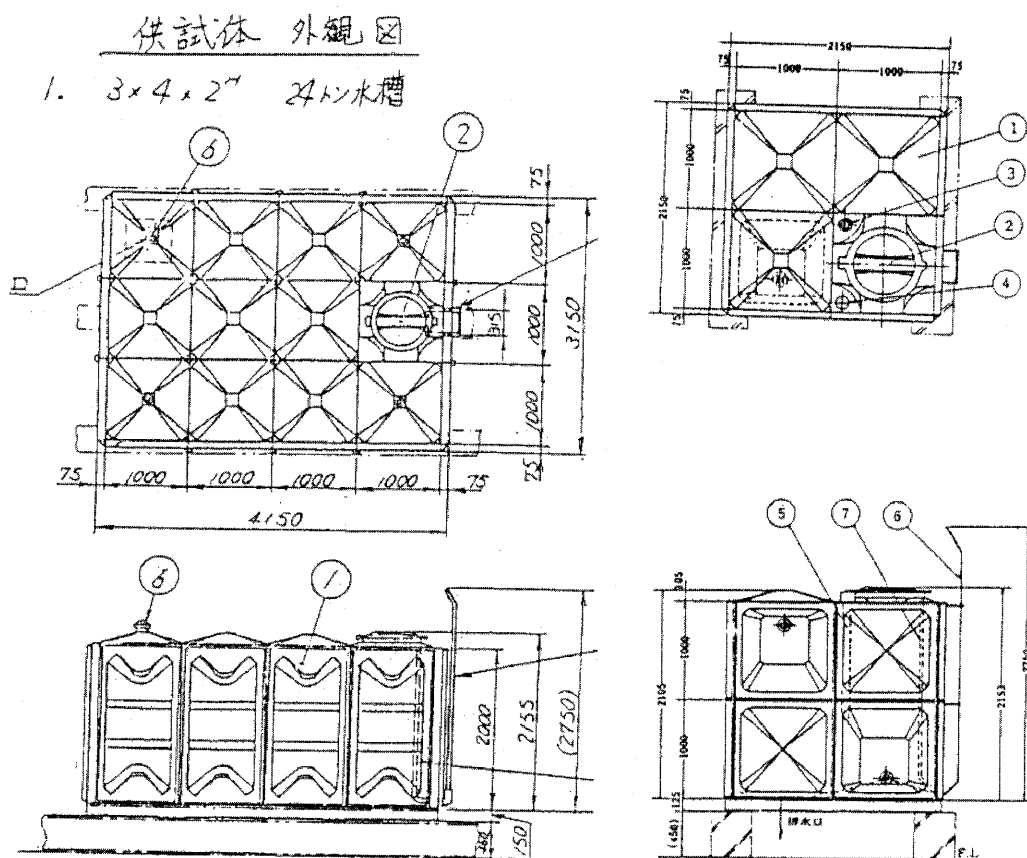
ブリヂストンタイヤ株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

本実験は、補強のない長方形水槽に対し、振動台を用い、水槽の動的挙動を把握し、さらに破壊まで至らしめ、動的破壊特性を得ることを目的としている。

2 供試体および実験条件

図の通りである。



3 主な結果

$2 \times 4 \times 2^H$ の水槽は 5.5Hz、1G の加振で天井が裂け、天井と壁側が分離した。激的な破壊であったが水は洩れなかった。

配管系の振動実験 (総合振動実験)

1983年7月～1983年9月

財団法人原子力工学試験センター 防災科学技術研究所

1 実験の目的

配管系の振動特性(固有振動、振動モード、減衰定数等)及び応答特性を明らかにすることにより解析条件、モデル化の方法、解析手法の総合的検討を行なう。

2 供試体および実験条件

下記項目について設計を行ない、それに基づき試験体を製作する。

- (1) PWR、BWRプラントの配管系のルート及びサポートに関する調査
- (2) 配管～サポート系モデルの設計
- (3) 加振入力を選定
- (4) 計測法の設計

モデル

口径 : 8B(ϕ 216.3)
肉厚 : Sch.80 (t12.7)
配管長 : 59.5m
保温材 : シリカライト (75mm厚)
管内水 : あり
材質 : STS42

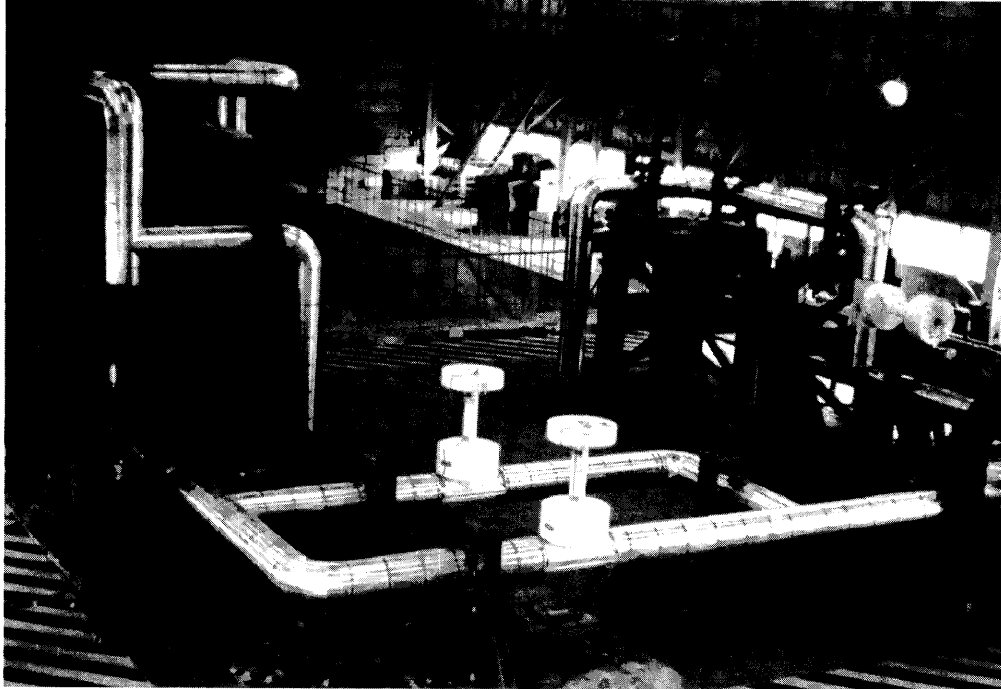
解析

- (1) 線形解析
固有解析法 サブスペース法
応答解析法 床応答スペクトル法、直接積分法
- (2) 非線形解析
応答解析法 床応答スペクトル法、直接積分法

3 主な結果

- (1) 実機の配管系の支持装置がギャップ及び摩擦を有するため、配管系の振動特性及び応答特性が非線形的な挙動を示すことが確認された。

- (2) 応答加速度や反力が衝突の影響により一部線形解析結果より大きくなるものの、応答応力については全般的に見て安全であることがわかった。



66kV 用ガス絶縁開閉装置の耐震性に関する研究

1984年8月22日～1984年10月31日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

ガス絶縁開閉装置を振動台により低加速度加振、地震波加振を行ない、装置の耐震性能検証を確認するとともに、開閉装置の耐震設計への基礎資料を得る。

2 供試体および実験条件

・ 供試体は 66/77kV、800/1200A、25kA のガス絶縁開閉装置

・ 装置一体を大型振動台上の鉄骨架台に設置

・ 装置の前後方向、左右方向について実験する

(1) 加振方法

共振点探索、3 波擬共振実験、模擬地震波加振実験

(2) 計測方法

装置主要部の加速度、歪

主要部の変位は加速度記録を数値積分で求めた。

3 主な結果

(1) 実験に用いた開閉装置では架台上部の振動については一質点系でモデル化できることが判明した。

(2) 前後方向振動では固有振動数 7.6Hz、減衰定数 3～3.5%、左右方向振動では固有振動数 12.2Hz、減衰定数 3%が妥当な値として得られた。

(3) 他の各部の応答倍率は、架台上部の応答倍率を 1.5 倍することで、ほぼ安全側に見積もることが可能である。

配管減衰特性に関する振動試験

1984 年 9 月 5 日 ～ 1984 年 11 月 30 日

株式会社東芝 防災科学技術研究所

1 実験の目的

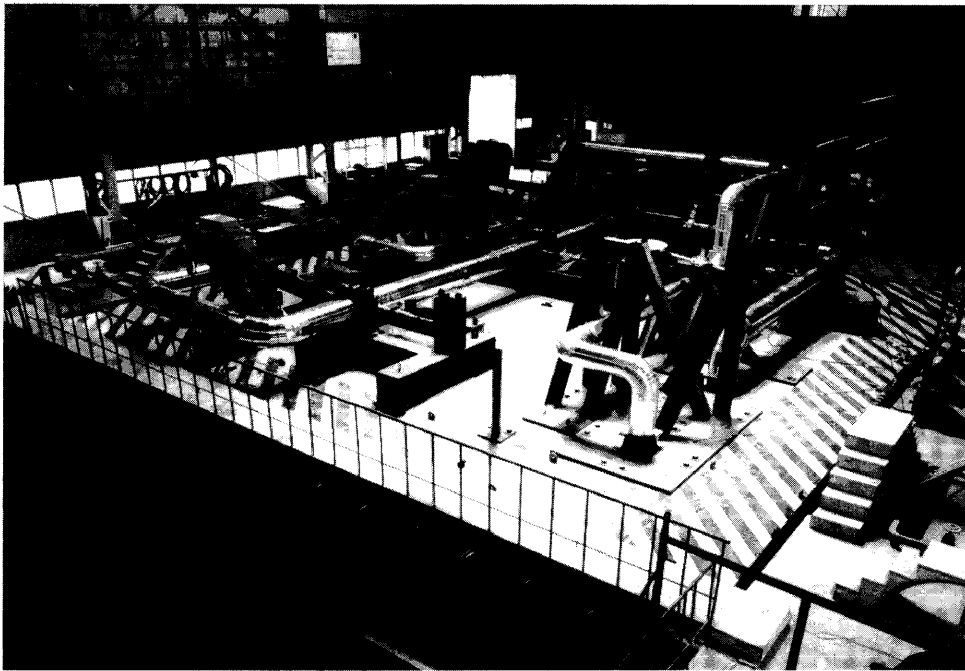
原子力発電所の配管の合理的な設計を図るため、大型振動台による実機規模の立体配管系の振動試験を行ない、大振幅時の配管系の減衰特性を把握する。

2 供試体および実験条件

- (1) 供試体は中口系の立体形状を有する配管系
口径 10B、肉厚 9.3mm の配管 (全長 46.5m)
口径 6B、肉厚 7.1mm の配管 (全長 27.0m)
支持条件は架構レストレイント、スナッパ、ハンガー、ロッドレストレイント
- (2) 加振方法
正弦波掃引、正弦波定常ステップ加振

3 主な結果

- (1) 配管系の減衰定数は変位に対してほぼ一定となる傾向を有し、基準値 (設計用減衰定数) を十分上回るものとなっている。
- (2) 配管区分ⅠとⅡ(これは配管系に含まれる支持点の数によって規定されている) の減衰定数は、1 次モードについては差は認められず、2 次モードについては、Ⅰに属する配管系の方がⅡの区分に属するものより大きな値を与える。
- (3) 配管系の減衰定数は、従来の小変位時に対して得られた傾向と一致し、変位の増大によっても、減衰定数は一定の傾向を持つことが認められた。
- (4) 配管系減衰定数のばらつきは、従来の試験データと同程度である。



天井走行型パワーマニプレータの耐震性に関する研究

1984 年 10 月 29 日 ～ 1984 年 11 月 1 日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

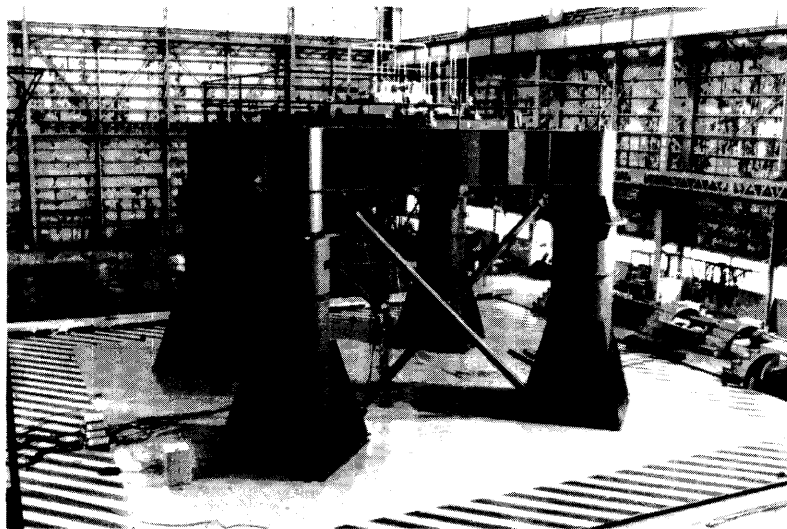
原子力施設において核燃料物質等を取り扱う各種のマニプレータが用いられているが、近年その規模が大型化する傾向にある。この為、大型振動台による実機規模のパワーマニプレータの振動実験を行ない、その耐震性を確認する。

2 供試体および実験条件

- ・ 高さ約 6m の架構に巾約 4m の走行ブリッジおよびキャリアを搭載
- ・ マニプレータ本体のテレスコフレーム、テレスコチューブおよびパワースレーブを設置
- ・ 地震時の構造的な安全性、ワークの安定性を確認する為に地震波等を用いる
- ・ 「テレビカメラによる動的位置計測法」を応用しスレーブ先端の 3 次元変位を測定

3 主な結果

全体変形は比較的小さく、スリップその他による減衰効果が大きいこと等の知見が得られた。



弾性負荷時の振動台特性の測定

1984年12月～1985年3月

防災科学技術研究所

1 実験の目的

1層弾性負荷を有する振動台の特性を求める。

2 供試体および実験条件

96tonの重りを有する1層鉄骨フレーム(6m×6m)を振動台上に組み立て、振動台を各種状態(浮上、油圧印加等)にし、インパルスハンマー法により特性を取った。



3 主な結果

振動台の状態変化による系の相違は、大きなものではない。

機器配管系の耐震安全裕度の評価確認に関する研究

1982 年 ～ 1987 年

防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

原子力プラント配管系の耐震安全裕度の評価を目的としたものであるが、特に多入力を受ける配管系の応答挙動を実験的に調べ、既往の解析手法の評価検討を行なう計画で進めている。

2 供試体および実験条件

59 年度は試験装置の本体である反力架構、振動台 (4 台) 等の製作を行ない、また加振機 (No.3) を購入し 3 入力の加振が行なえるようになった。

(1) 全体仕様

加振方式	多層・多入力加振
加振方向	水平 1 方向
加振機数	4 台 (4 相)
加振機取り付け可能位置	水平 $2 \times 2 \times$ 上下 4=16 個所
制御	電気油圧サーボ
制御モード	変位または荷重フィードバック
加振力	各 10 トン
変位	$\pm 15\text{cm}$ (定格)
速度	$\pm 20\text{cm/s}$ (同期運転時)
振動数範囲	0-30Hz
加振波形	正弦波、地震波

(2) 加振試験

3 入力無载荷の条件で行ない、各単独の加振機-振動板限界性能試験でほぼ予定通りの結果が得られた。また架構自体の加振方向固有振動数も 40Hz 以上でほぼ所期の値が得られた。

3 主な結果

問題点として、架構全体と床 (大型振動台) を含む全系のロッキングが 16Hz 付近で顕著に現れた。また加振機-振動板系の油柱共振と思われる振動が 25Hz 付近で大きく現れ、架構を通じての連成、波形の歪を生じた。これらについては各加振機への補正入力などによりその影響を低減させることが必要である。

長大斜面の安定性に関する研究

1985年10月3日～1986年2月28日

電源開発株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

フィルダムの破壊のメカニズムを解明するために、大粒径の材料による大型震動模型実験を実施し、盛立斜面の飽和時(水中)における動的安定性に関する研究を行なうこと。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

1) 模型槽

12m×6m×2.3m(約17t)の鋼製の箱で模型槽底面に5cm×5cm程度の滑べり止めを取り付ける。

2) 模型ダム(高さ2m、長さ6m)

(模型I) 勾配1:1.5、重量約89t、貯水位1.75m

(模型II) 勾配1:2.0、重量約111t、貯水位1.75m

(模型III) 勾配1:2.5、重量約145t、貯水位1.75m

(2) 加振方法

定常加振(7Hz～40Hz)のSweep正弦波、入力加速度レベルは25gal、50gal

地震波加振(十勝沖地震で八戸で観測された地震波)、入力レベル150gal

破壊実験(一定振動数10Hz)の正弦波、入力レベル25gal～500gal

(3) 計測方法

加速度計

土圧計

歪計

間隙水圧計

音波変位計

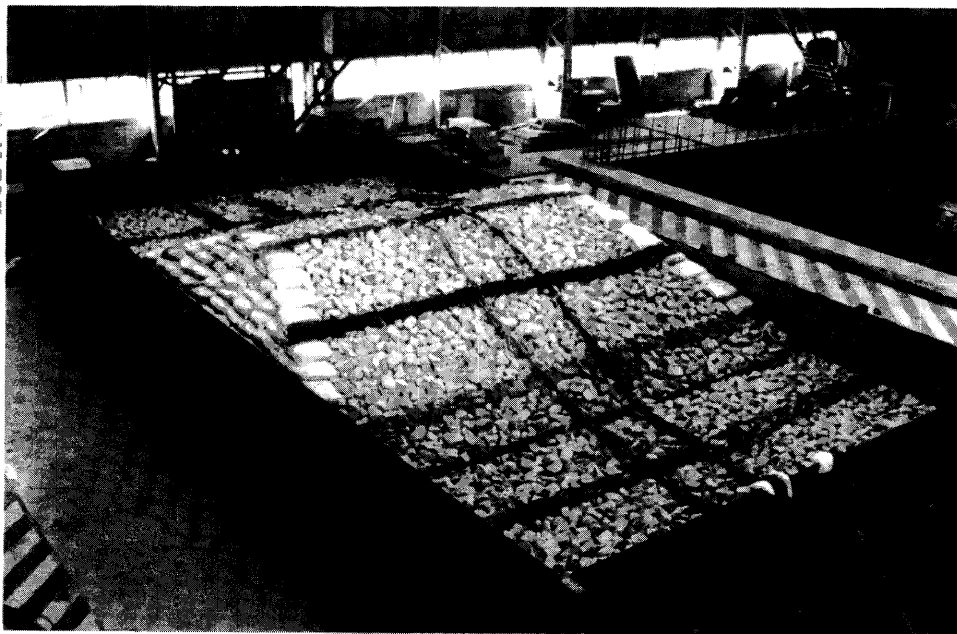
3 主な結果

- (1) 定常加振実験で得られた貯水時の模型ダムの固有振動数は各模型とも約9Hzで殆んど模型差はないが、ダム天端の応答加速度はダム勾配がゆるやかな程増加する傾向を示す。模型IIIの応答加速度は模型Iの約1.5倍であった。

- (2) 地震波加振実験結果では、各模型ダムの卓越振動数、ダム天端の応答加速度に有意の差はなかった。入力加速度 150 gal に対し、応答加速度は 380～400gal で、応答倍率は 2.5～2.7 倍であった。
- (3) 破壊実験による各模型の破壊開始加速度は下表の如くであった。ここで破壊開始加速度は加速度応答曲線で加速度応答が急激に変化した時の入力加速度としている。

模型	貯水位	破壊開始加速度	
		上流斜面	下流斜面
模型Ⅰ	1.75m	170gal	240gal
模型Ⅱ	1.75m	210gal	282gal
模型Ⅲ	1.75m	125gal	174gal

- (4) 全ての実験が終了した後の模型ダムの破壊性状はダム勾配の急な程ダム天端の沈下、模型材料の移動量も大きくなっている。ダム天端の沈下を比較すると 38cm(模型Ⅰ)、22cm(模型Ⅱ)、14cm(模型Ⅲ) である。



FRP 仕様冷却塔の耐震強度に関する研究

1985年12月25日～1986年2月28日

空研工業株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

最近大規模地震に対する空調設備の耐震性が問題にされ、技術革新から新しい空調方式が採用されるようになった。本研究では近年用いられたFRP製水槽を有する冷却塔の耐震強度を調べ、空調設備の耐震向上を図るものである。

2 供試体および実験条件

(1) 冷却塔

- ・ 高さ3m×長さ4.5m×幅3.5mの長方形
- ・ 軽量鉄骨で、屋根面には冷却用のファン、 $0.3m^3$ 程度の容量の水槽が2ヶ所
- ・ 下部は全面水槽、中央部に深い部分がある
- ・ 下部水槽の深さは浅い部分で20cm、深い部分で40cm程度
- ・ 内部の上部、下部水槽の間は充填材で満たされている
- ・ 満水時で約3.5トン。

(2) 加振方法

変位ステップ波

正弦波

地震波(1978年宮城県沖地震の仙台国鉄のN-S成分波、1940年のエルセントロN-S成分波)

(3) 計測方法

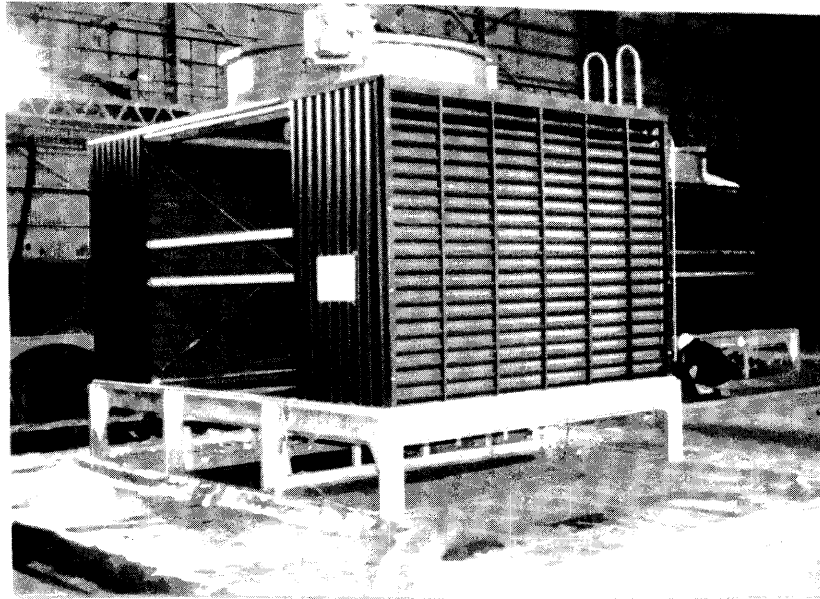
加速度計、歪ゲージ、ビデオによる記録

(4) スペクトル解析

3 主な結果

- (1) 冷却塔の全体としての固有振動数は7Hz～9Hzにあり、減衰定数は2%～3%であることがわかった。
- (2) 500ガル以上の正弦波、地震波加振に於いても、FRP製水槽部およびその他の部分に損傷は見られなかった。

- (3) 水の挙動が激しいのは 3Hz 程度で加振したときの水面のボイリング現象であった。
- (4) この種の冷却塔の構造体については、耐震的に見て十分な強度を有していると判断できる。



6.6kV 縮小型開閉装置の耐震性に関する研究

1985年12月28日～1986年2月28日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

高圧配電施設において多く用いられるようになってきた縮小型開閉装置は機械的可動部を有し、固定が少なくガタなどもあるため振動挙動が明確でない点がある。このため振動台実験により地震応答挙動を調べ耐震性を検討する。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

「搬送結合装置」、「主変2次」、「母線連絡」、「所内」、「配電線」の各電力盤を連結したものに電力ケーブルの一部をつなぎこんだ。

高さ1.3m、奥行1.3m、幅3m余で全重量3.5トンである。

(2) 試験

前後方向、左右方向の各設置状態で固定部のみ、固定部可動部一体(挿入位置、断路位置)の組み合わせ6ケースについて行なう。

(3) 入力

正弦波スイープ3波共振波

地震波(エルセントロNS、宮城沖仙台住友NS)



3 主な結果

- (1) 応答曲線はほぼ単峰型で3～17Hzであるが盤ごとに異なるので相互の連成の有無について検討する必要がある。
- (2) 減衰は実際の使用状態である固定部可動部一体(挿入位置)の場合、加振方向によって差がある。設計値2%は安全側にあることがわかった。
- (3) 盤別の比較では、「所内盤」が応答曲線において他と特に異なる挙動(ピークが2個ある等)を示し、また歪および応答変位も他の盤よりかなり大きかった。重心が高いことが原因の1つと思われる。
- (4) 歪その他の応答量は全般的に実験前の予想を下まわっており、耐震安全性はほぼ確認された。

大型振動台制御精度に関する研究

1986年2月～1986年3月

防災科学技術研究所

1 実験の目的

弾性負荷を用いた振動台試験と、その弾性負荷を地盤上に設置し、振動台加振および実地震による応答計測を実施し、振動台上及び地盤上の弾性負荷の動特性を明らかにすることを目標としている。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

鉄骨造二層フレーム、6m × 6m の一スパンモデル

柱材	一層目	BH-300 × 200 × 12 × 19
	二層目	BH-300 × 160 × 9 × 12
梁材	一層目 X 方向	H-588 × 300 × 12 × 20
	一層目 Y 方向	H-450 × 200 × 9 × 14
	二層目 X 方向	H-488 × 300 × 11 × 18
	二層目 Y 方向	H-400 × 200 × 8 × 13

両層両方向共 L 材のブレースを有している

2 階スラブ上と屋上には一辺が約 1.6m のコンクリートブロックを 8 個 (合計重量約 50ton) が載荷されている



(2) 振動台加振による固有振動数

X 方向	2.8Hz
Y 方向	4.3Hz
ねじれ	9.4Hz

(3) 鉄筋コンクリート造基礎上に二層フレームを移設し振動台を加振した固有振動数

X 方向	2.1Hz
Y 方向	3.55Hz
ねじれ	6.9Hz

低振動数側に固有値が移動し、基礎の固定度の差が明瞭に観察された

3 主な結果

供試体(前述の二層フレーム)の屋上の応答値は、試験結果と5%程度の差であり、今後モデル化の決定精度を高めれば十分工学的に使用可能な手法である。

機器配管系の耐震安全裕度の評価確認に関する研究 (多入力応答実験)

1986 年

防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

本研究は原子力プラント配管系の耐震安全裕度評価を目的としたものであるが、特に多入力を受ける配管系の応答挙動を実験的に調べ、既往の解析手法の評価検討を行なうものである。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 主管に 8B 管、分岐管に 4B 管、4 台の振動板にまたがって設置した立体管モデルで全長約 20m
- ・ 材質は STS42
- ・ 支持方法は 3m 前後の間隔で架構式レストレイント、メカニカルスナバを用いた
- ・ 本供試体は、規模の小さな実物と考えて設計した

(2) 加振実験

- 1) 満水非圧条件および加圧条件 (150kg/cm^2)
- 2) 支持方法の差異 (スナバのある場合、ない場合)
- 3) 支持部の熱膨張ギャップの有無
- 4) 大型振動台 (床) による全体加振実験
- 5) ほぼ全部のサポートを外した柔構造モデル実験

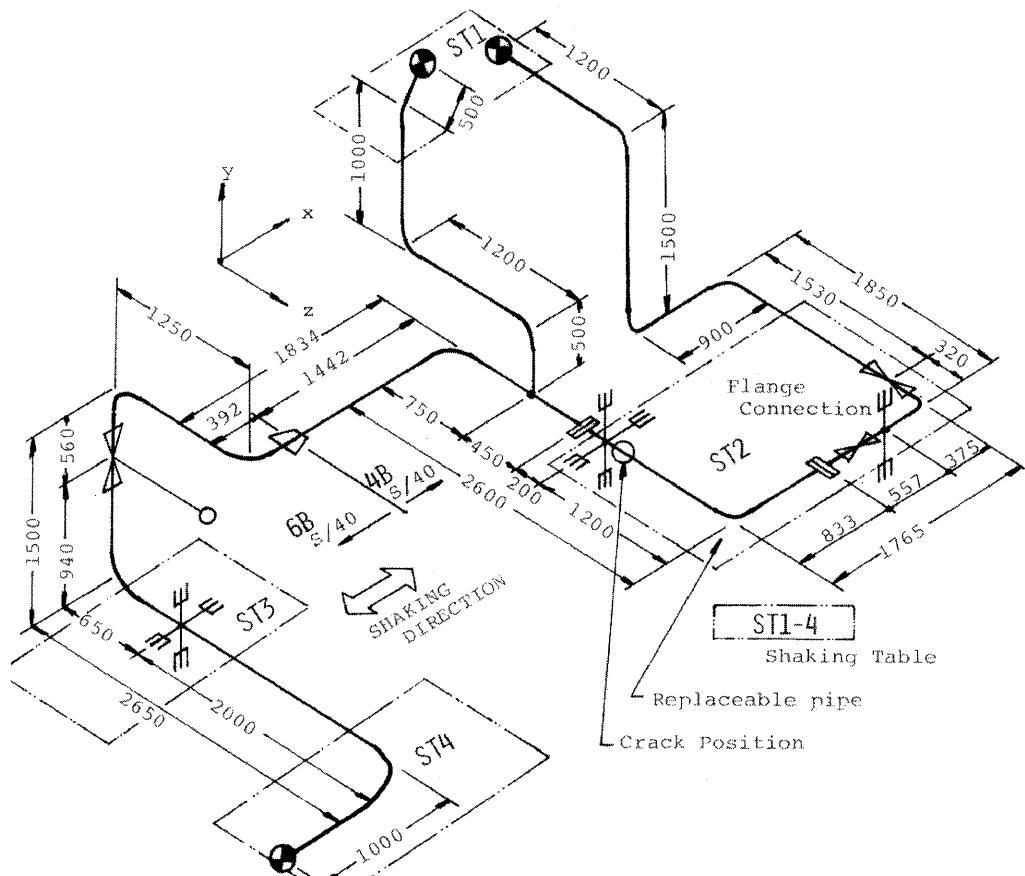
これらの実験はいずれも、静的な多相入力による応答試験、動的多入力正弦波加振、地震波多入力加振の手順で行なった。

地震波は原子炉建屋床応答波 (4 位置での計算波) を用いた。

3 主な結果

- (1) 正弦波多入力加振では予備実験と同様、位相による応答の差が顕著で、地震波加振でも同様の点を確認した。

- (2) 多入力応答解析法による地震応答シミュレーション結果と、4入力による実験結果は比較的良好な一致が見られ、解析法の有効性が検証できた。
- (3) 加圧条件と満水非圧条件で応答量に顕著な差異は生じていない。但し応力歪等の細部は未検討である。内圧変動は最大 $\pm 6\text{kg/cm}^2$ 程度であった。
- (4) 正弦波加振では支持部のギャップと摩擦による非線形挙動はかなり顕著でジャンプ現象なども見られた。
- (5) 応力的には、レストレイント付近の配管部、エルボ側面、レデューサ部などが大きい応答を示したが、最大曲げ応力は 18kg/cm^2 程度で軸力を含めても塑性域には達していない。



機器配管系の耐震安全裕度の評価確認に関する研究 (立体配管の振動破損実験)

1986 年

防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

本実験は、立体配管系の一部に劣化による脆弱部(クラック)がある場合を想定し、地震による動的応答から、破損漏洩に至る過程と破損荷重及び破損形態を評価するために行った。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

供試体は、多入力実験で用いた配管系をそのまま用いた。脆弱部は、レストレインと付近の応力的に厳しい部位とし、破損のつどL型部を交換できるようにした。

(2) クラック条件

クラックありの試験体を4体、クラック無しの試験体を1体作成した。限界に近い脆弱部を想定し、

1) 配管内面のクラックが連結し、全周クラックとみなせる状態になって入る場合

2) 発生したクラックが対向位置で深さ方向に進み、半月状クラック対を形成した場合

の2タイプを想定した。この状況の設定は、あらかじめ試験体のクラック加工(放電加工)により行った。

(3) 加振

正弦波及び模擬地震波を用いて、多入力加振による破壊実験を行った。実験は、各波で繰り返し加振し、破損が発生するまで反復した。

3 主な結果

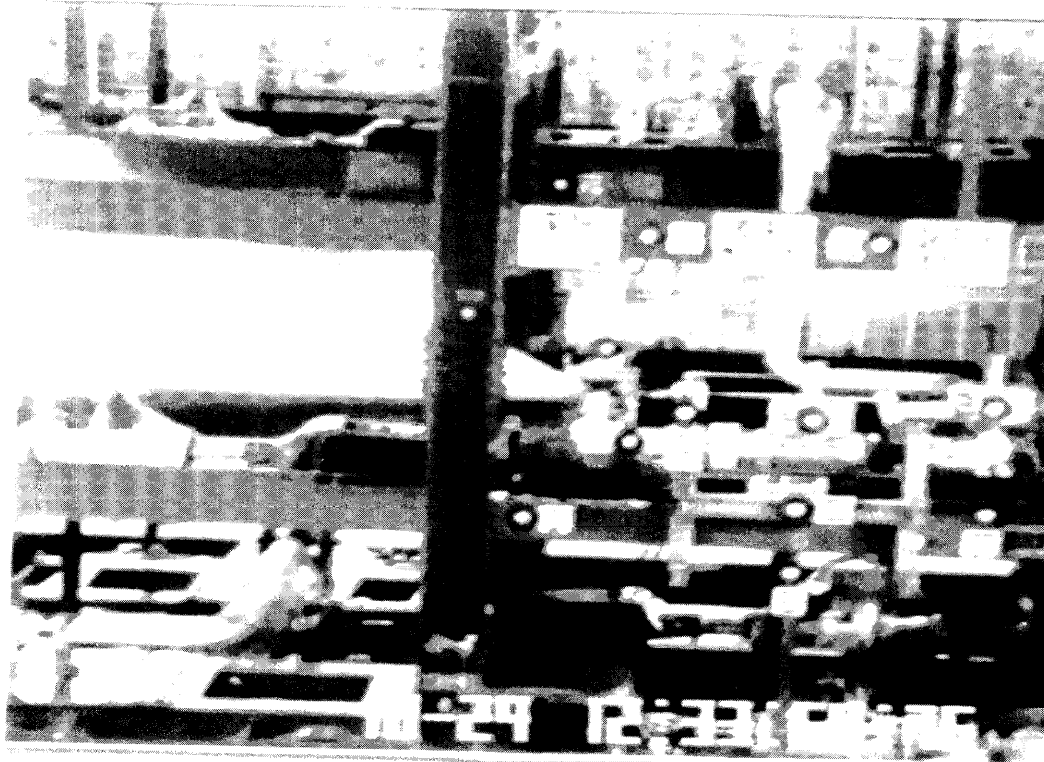
(1) 部分クラックモデル及び全周クラックモデルは、いずれもほぼ同程度の入力レベル、繰り返し数で亀裂貫通に至った。

(2) 亀裂貫通後、部分クラックモデルは内圧除荷に至り、他方全周クラックモデルはギロチン破断に至った。この結果は、実断面応力基準による評価と定性的にはほぼ対応したが、定量的にはかなりの差異が見られた。

(3) 地震波加振と正弦波加振を比べてみると、荷重レベル/サイクル数の分布に差異があるが、マクロ的にみた破損状況はほぼ同様であった。

- (4) 健全な試験体 (A-2) ではかなり多数回の加振を要したが、エルボ部に軸方向亀裂を生じ、これが貫通して漏洩破損となった。亀裂は、加工痕に沿って発生し、内面から外面へと進展した。また顕著ではないが、ラチェッティングによる膨れを生じた。

試験番号	クラック	内圧 (kgf/cm ²)	入力波	結果
A-1	無し	0 - 150	正弦波、地震波	弾性応答実験
B-1	30 度 2、深さ 0.75t	150	正弦波 8Hz, 10 秒	第 4 回加振時に漏洩、 内圧低下は 30kgf/cm ² 程度
B-2	同上	150	模擬地震波	第 5 回加振時に漏洩、 内圧低下は 100kgf/cm ² 程度
C-1	全周、深さ 0.5t	150	正弦波 8Hz, 10 秒	第 4 回加振時に漏洩破断
C-2	同上	150	模擬地震波	第 7 回加振時に漏洩破断
A-2	無し	150	正弦波 8Hz, 10 秒	第 13 回加振時にエルボ部漏洩破損



(ケース C-1 漏洩破損状況)

FRP パネル式水槽の振動実験

1986 年 8 月 19 日 ～ 1986 年 10 月 31 日

株式会社 INAX 防災科学技術研究所

1 実験の目的

内部に鉄板を有する FRP パネルで組み立てられた長方形水槽の振動強度を検討することを目的とする。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 高さ 2m、長さ 4m、幅 3m の長方形
- ・ 天井板と底板は 1m 角の FRP 製パネル
- ・ 側板は 2m × 1m の FRP 製パネルで、ボルト構造
- ・ 側板パネルは周囲のリブの他に、パネル面内にもリブを 2 本有する

(2) 加振実験

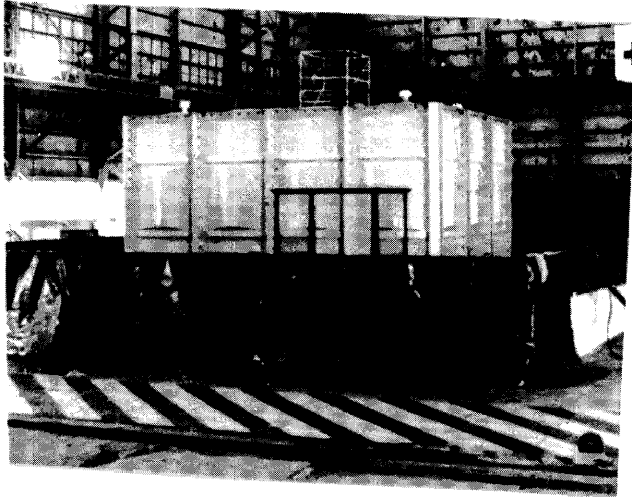
- ・ 変位ステップ波
- ・ 地震波 (エルセントロ N-S、宮城沖仙台国鉄ビル N-S)
- ・ 正弦波
- ・ 水位 90%では、400 ガルまでの加振を行なう

3 主な結果

水位	固有振動数	減衰定数
0%	10Hz	3%
50%	7.1Hz	3%
90%	4.3Hz	3.5%

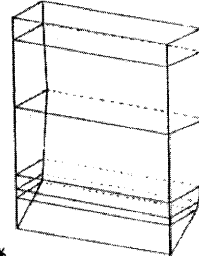
- (1) 振動モードは、パネル部の変形に加えて、水槽の鉄骨架台部の変形が大きく生じているのがわかり、この振動系には架台の影響が強く含まれていたと推定される。

(2) 本水槽は地震波の 400 ガルまでの加振に対し、何ら損傷を生じなかった。



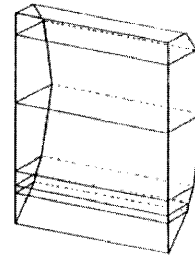
水量 50%

HIYAGI



水量 90%

HIYAGI



NUCEF 施設モックアップ模擬炉心タンクスロッシング試験

1987年1月13日～1987年3月16日

日本原子力研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

NUCEF の臨界実験装置は、溶液燃料を用いるため地震時の溶液面形状の変化に起因する核的反応度を、解析により求めておくことが装置の安全評価上必要である。

そのため、本試験では大型耐震実験装置により、その核的反応度の解析に資するため、地震と液面変化との相関性に関するデータを得ることを目的とする。

2 供試体および実験条件

- (1) 正弦波加振試験
正弦波を用いて加振し、スロッシングの固有振動数を求めるとともに、最大波高及び波形の時間的変化を計測する。
- (2) 模擬地震波及び実地震波加振
炉心タンクに安全板が挿入された状態での内容液のスロッシング挙動を確認するために、円筒タンク供試体 (600 ϕ) にステンレス製安全板 (260^W × 3^t × 1450^L) を2枚取り付け。安全板の上端と下端は固定し、安全板の間隔を 240mm として設定した。

3 主な結果

- (1) 液面の動揺状況
液面の振動モードは、タンクのセンターラインに対して逆対称なモードのみ生じ、対象モードは生じない。また、地震波加振試験においても、液面の動揺状況はほぼ一次モードの線形分布が支配的であり、タンクのセンターラインに対して逆対象分布となる。
溶液の液位の高さは、液面の動揺状況にほとんど影響しないといえる。
- (2) 最大波高
地震時の液面の最大波高は、地震波の特性により異なるが、 S_1 地震波に対して 600 ϕ 円筒の場合最大 23cm、円環タンク (1000 ϕ /450 ϕ) の場合最大 13cm、1000 ϕ 円筒タンクの場合最大 20cm となる。
- (3) 円環タンクのスロッシング防止板の効果
スロッシング防止板を周方向4ヶ所に底面から 15cm までの位置まで取り付けると、溶液はスロッシング防止板で仕切られた各々のセクションの中で、他のセクションと無関係に独立して動揺することがわかった。
- (4) 減衰定数 0% として線形理論より求めた液面の波形分布は、実験の際の揺動状況を十分シミュレートしているといえることが判明した。

円筒模型の振動座屈実験

1987 年 5 月 25 日 ～ 1987 年 7 月 31 日

三菱重工業株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

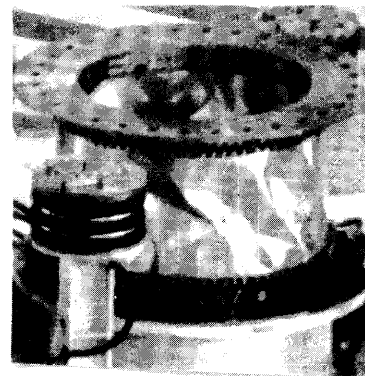
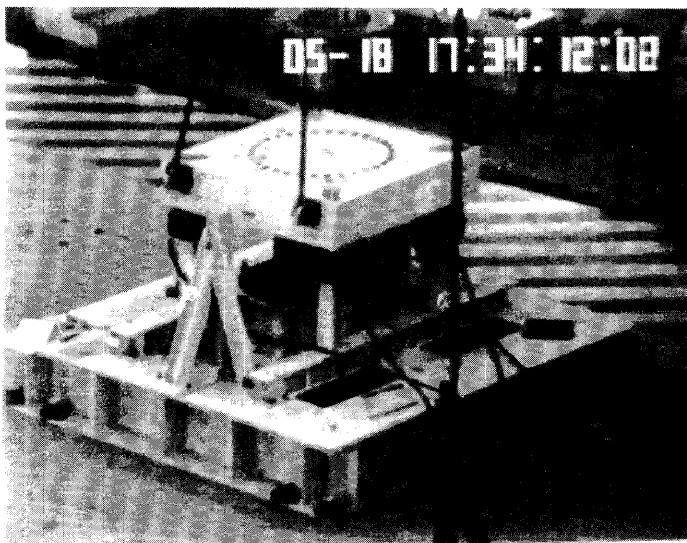
円筒の振動座屈荷重と座屈モードおよび荷重変位特性の入力地震動の違いによる相違を調べる。

2 供試体および実験条件

供試体 : 直径 60cm、高さ 30cm、板厚 1.2～1.6mm のアルミ製の円筒を 10 個以上
負荷荷重 : 3.5～5 トン、水平剛性のほとんどない空気バネで支持
固有振動数 : 20Hz 程度
時間軸 : 1/3 に縮小
入力波 : 1940 年エルセントロ、1978 年宮城県沖仙台東北大、人工地震波

3 主な結果

- (1) 振動台が供試体により揺さられる割合を、供試体無の時からの変動比で見ると 0.8 から 1.6(スペクトル比で) あった。これらは 10Hz 以上の成分であり、他の振動台に比べこの比が 1.0 に近いことから、大型振動台の有効性が明らかになった。
- (2) 円筒にせん断タイプの座屈をほぼ予備実験に基づく計算値で行なうことができた。



グローブボックス耐震安全性実証試験

1987年5月27日～1988年2月8日

三井造船株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

グローブボックスの地震時の閉じ込め機能および構造機能の健全性を実証する。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 幅3m×高さ3.65m×奥行1mの実規模
- ・ 据え付け状態として建物の壁からの架構を設ける
- ・ 遮蔽無し型と重遮蔽型の2種で、それぞれが独立に設置される場合及びダクトにて連結された場合について実施

(2) 入力地震波形

- ・ グローブボックスは2階に設置される場合について、S1、S2(各々近地、遠地地震の双方)地震波を作成
- ・ フロン R12 ガスにより微加圧状態で、実験を実施

3 主な結果

- (1) 遮蔽無、重遮蔽供試体の双方とも、もともと供試体は耐震設計 B クラスで設計されたものであるにも関わらず、S2 地震に対しても、天井から壁支持を取ることににより、構造は十分な強度を有していることが判明した。しかし、自立型とした場合は、一部規格降伏応力に達する部位もあった。従って、大型グローブボックスについては、建物の壁から支持を取る構造とすることが必要条件であると言える。
- (2) 遮蔽無供試体については、今回の実験の全ての条件について、閉じ込め機能は健全であった。
- (3) 重遮蔽供試体では S2 地震による加振で、一部ラージポート部から空気漏れが計測されたが、その漏洩率は微小であり、性能に直接影響を与える程とは考えられない。
- (4) 上記の漏れに対処するために、ラージポートの止め方を改良することが望ましいと考える。その方法として、トグルクランプ方式から、スタッドボルト方式にすることで、容易に対処できると判断される。

機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究 (流体配管実験)

1987年8月17日～1987年10月31日

防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

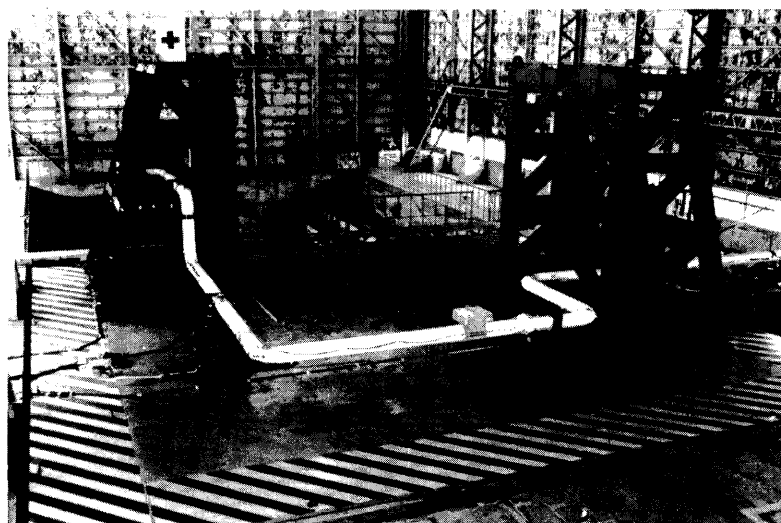
曲がり部を持つ配管系と流体の連成地震応答、境界条件による差異等を検討する。

2 供試体および実験条件

- ・ 配管系モデルは、全長約 40m、外径 267.4mm、肉厚 6.6mm の炭素鋼管
- ・ 内圧 0～500 kPa
- ・ 配管系固有振動数(1次) 約 6Hz
- ・ 流体固有振動数(両端閉、1次) 約 15Hz
- ・ 配管変位は、ビデオカメラを用いたリアルタイム手法により計測した。

3 主な結果

- (1) 配管系端部の流体的境界条件を変えるだけで系の地震応答はかなり異なること(配管と流体の動的連成)が確認された。
- (2) 応答レベルが高い場合、流体のハンマリングを生じ、配管系に衝撃応答をもたらす場合があることが確認された。
- (3) ビデオカメラを用いたリアルタイム計測手法の有効性を確認できた。



機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究 (容器実験)

1987年8月17日～1987年10月31日

防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

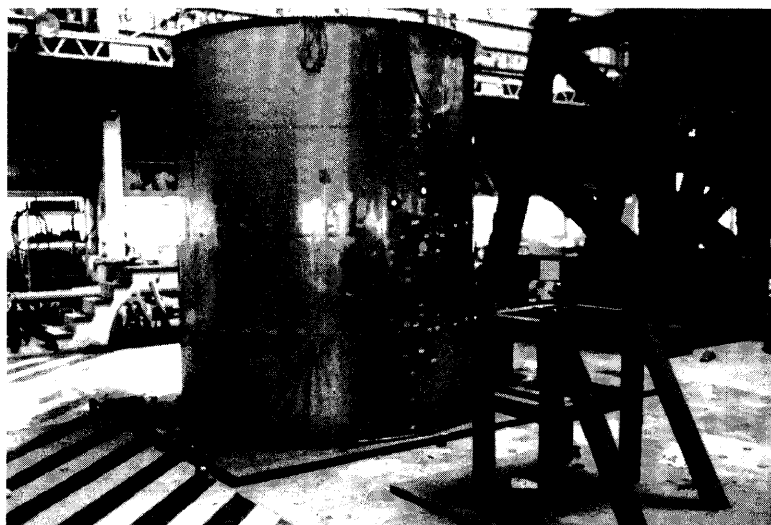
容器に取り付けられている配管を模擬的に考慮した実験を行ない、全体の振動特性が配管などの付加物及び容器の水位などの条件によってどのように変わるかを検討する。

2 供試体および実験条件

- ・ 容器モデルは、高さ3m、直径2.4m、肉厚1.5mmのステンレス薄肉円筒容器
- ・ 側壁には模擬配管(バネ質量モデル)を取り付ける台座を数ヶ所設ける
- ・ 容器底板は、6mm厚、上部には9mm厚のリングを設ける
- ・ 水位は、0%、40%、80%
- ・ 入力波は正弦波、地震波

3 主な結果

- (1) 模擬配管の振動(共振など)は取り付け部を中心とした容器壁面の変形挙動にかなり影響することが確認された。
- (2) 容器内水位を増減すると取り付け模擬配管の固有振動数が変わること、すなわち水位が接続配管系の応答に影響しうることが確認された。



再処理施設臨界安全性実証試験に使用する装置の安全停止系 耐震性能試験

1987 年 11 月 2 日 ～ 1987 年 12 月 12 日

日本原子力研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

STACY 及び TRACY(いずれも日本原子力研究所が設計を計画している臨界実験用の小型原子炉) の炉心タンクまわりの実機模擬供試体を作製し、その耐震性能確認試験を実施する。

2 供試体および実験条件

- ・ 入力地震波は、実機プラットホーム 2F の応答波、S2 地震波
- ・ 計測は、加速度、変位、歪、安全棒の落下時間

3 主な結果

- (1) いずれの供試体も全ての加振条件の下で、応答は弾性範囲に収まり、十分な耐震性能を有していることが確認された。
- (2) 下記の値は機能上要求される落下時間 (STACY の場合 1.35 秒以内、TRACY の場合 1.50 秒以内) を十分下まわっている。従って、両供試体ともに構造安全性、機能安全性について、十分な性能を有していることが確認された。

落下時間		
	STACY の安全棒	TRACY の調整トランジェット棒
スクラム設定値に対応する時刻で 落下させた場合	1.01 秒	0.61 秒
最大加速度が発生した時点で 落下させた場合	1.24 秒	0.61 秒

原子炉建屋耐震壁の弾塑性試験(減衰性能試験)

1988年1月16日～1988年2月20日

鹿島建設技術研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

原子炉建屋の弾塑性試験の耐震壁の減衰性能に関する基礎資料を得て、地震応答解析に用いる減衰定数と復元力特性について検討する。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ コンクリート圧縮強度 : 240kg/cm^2 (コンクリートは最大粒径5mmのマイクロコンクリートとする。)
- ・ 鉄筋 : D3 45 ダブル千鳥(縦・横共)、 $P_w=1.2\%$
- ・ 軸方向応力度 : $16/9\text{kg f/cm}^2$
- ・ 壁部分は、ウェブ $3.0\text{cm} \times 120\text{cm}$ 、フランジ $4.0\text{cm} \times 85\text{cm}$ 、加力高さ 96cm 、内法高さ 81cm
- ・ 加力スラブは $2.4\text{m} \times 3.0\text{m} \times 0.3\text{m}$ で、この上に合計 30t の錘りをセットし、頂部重量は 35t 、一次固有周期は 9.17Hz

(2) 入力波

スイープ波を使用し、波数は10～15波

3 主な結果

- (1) 形状・配筋が全く同一の4体の供試体に、同様の加振ステップを経て加力しても、応答は見かけ上異なるものとなる。
- (2) ひびわれ破壊性状はウェブの全面に斜めせん断ひびわれが発生し、4体の供試体で同様であったことが判明した。このような現象は静的加力では実現しにくく、動的加力による実験によってのみ実現が可能となるものである。

機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究

1989 年 2 月 22 日 ～ 1989 年 3 月 29 日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

容器と配管系の構造的、流体的連成を伴った地震応答挙動を把握し、理論解析の手法を検証するとともに、破損実験により連成系のクリティカルポイント、破損モードを確認すること。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 容器モデルは下部スカート支持の自立型とし、アンカーボルト、ベースプレートを通じて振動台に固定
- ・ 容器寸法は直径 2.3m、高さ 3.6、肉厚 6mm
- ・ 配管 (SGP、6 インチ、肉厚 5mm) の送出側 (A) は流体連成を強調したモデルとし全長約 29m、戻り側 (B) は構造連成に主眼をおき全長約 18m の立体配管

(2) 地震応答実験

- ・ 水位をパラメータとして応答変位、加速度、圧力等を計測
- ・ 入力波は正弦波、ランダム波、各種地震波

(3) 配管支持部破損実験

入力は S2 修正波を用い振動台ピーク加速度は約 1G

(4) 全系破損実験

S2 修正波を用い振動台ピーク加速度は約 2G、満水加圧は 5kg/cm^2

3 主な結果

(1) 地震応答実験

	配管 A	配管 B	容器
満水時の一次固有振動数	3.7Hz	6Hz	5.5Hz
配管内流体の固有振動数	9.6Hz	17Hz	

- ・ 配管と流体の動的連成が生ずること、また応答レベルが高い場合、流体のハンマリングを生じ、配管系に衝撃応答をもたらす場合があることが確認された。この衝撃は減衰しつつ容器ノズル部まで伝播している。
- ・ 容器に配管を接続すると容器の一次固有振動数が低下すること (空水時では 1Hz 程度)、また水量が増えるとその影響が小さくなることが確認された。

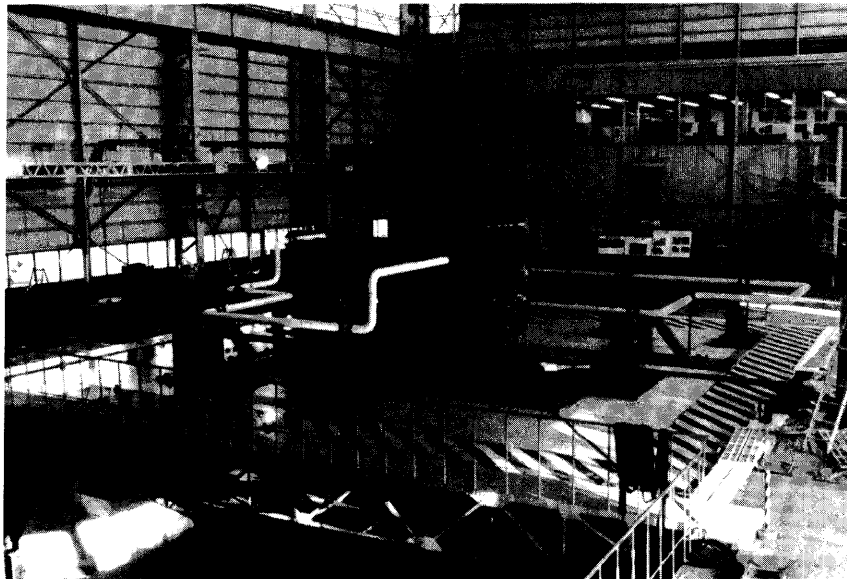
- ・ 容器内のスロッシングにより、容器上部の下がり管内の空気が排除され、内圧が容器水位に相当する程度低下する現象が確認された。
- ・ 満水条件の場合、容器上のエア抜き弁を解放した場合と閉じた場合で配管系の応答にかなり顕著な差異が生ずること、他方容器自体の応答にはあまり影響しないことが確認された。

(2) 配管支持部破損実験

23 体の破損試験を行ない、ほぼ予定通りの破断を示した。破断後の挙動は入力波に依存するが、破断後配管の変位、歪等が顕著に進行することはなかった。

(3) 全系破損実験

アンカーボルト、支持部と容器本体の接合部、支持スカート、配管エルボ、ノズルの上下位置など耐震上クリティカルとされている点すべてにおいて塑性化を含む損傷が確認されたが、内部液体の漏洩は全く生じなかった。



機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究

1989年4月1日～1989年4月28日 10月1日～12月26日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

機器配管系要素の動的破壊試験を行い、強度及び破壊モードの確認、実験手法の評価を行う。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・エルボ供試体(12体)は、エルボ本体の両側に直管(炭素鋼)を溶接した全長約2mのL型モデルで、材質はステンレス鋼SUS304、6インチ径、Sch40(肉厚7.1mm)
- ・ノズル供試体(1体)は実大容器(直径2.4m)壁の一部(中心角 30°)を取り出した模擬容器壁にノズル及び直管を溶接。容器(肉厚12mm、SS41材)、配管部(STS42材、6インチ、肉厚7.1mm)、ノズル(S35C、6インチ)
- ・クラック配管供試体(2体)は約2mの直管(4インチ、STS42材)に部分ノッチ($30^{\circ} \times 2$ 箇所、深さ75%、ノッチ幅0.5mm)及び全周ノッチ(深さ50%)を付加したもの

(2) 実験方法

- ・入力波は共振正弦波

エルボ供試体 4～5Hz

ノズル供試体 3～4Hz

クラック供試体 4Hz

- ・最大加速度は供試体が繰り返し、塑性歪を受けるレベル以上とする(最大で5G)
- ・1回の加振は、10秒程度(地震動主要部継続時間)以上
- ・内圧は80～160 kgf/cm²(エルボ、クラック)、10kgf/cm²(ノズル)

3 主な結果

(1) 配管エルボの応答と損傷に関する実験

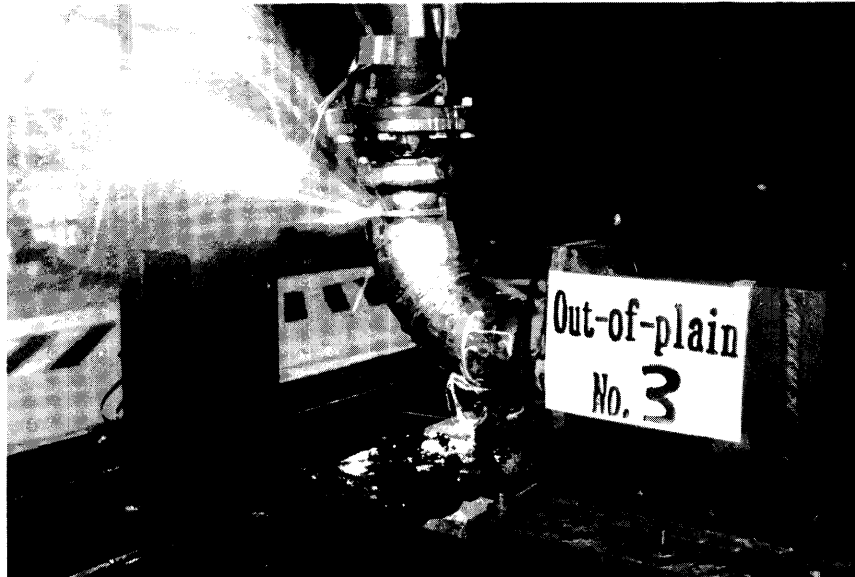
ステンレスエルボは、初期のラチェッティングによる塑性化進展の後、きわめて顕著な硬化特性を示すこと、このため、エルボを含む配管の主たる破損モードは、直管との溶接部の低サイクル疲労破損であることが知られた。エルボ本体の軸方向破損は加振サイクル数の多い疲労破損で1例のみ生じ、また塑性座屈は全く生じなかった。

(2) 容器ノズルの損傷実験

内圧によるラチェッティングの発生が確認された。破損は計算上予測された最大応力位置付近で生じ、周方向クラック伝播による破損モードが確認された。また、シェルの外縁部の破損はなく、部分モデルによるノズル破損実験法の有効性を確認できた。

(3) クラック配管の動的損傷に関する実験

荷重条件が厳しかったため比較的少ない繰り返し荷重により、破損漏洩に至ったが、不安定破壊を生ずることはなかった。



計算機システムの耐震実験

1989年6月9日～1989年7月2日

富士通株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

コンピュータを中心とする情報処理システムの大地震時の機能維持及び耐震安全性の評価確認、計算機システムへの地震入力を低減する耐震施策の有効性を確認する

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 大型汎用計算機システム (水冷 CPU 本体及び I/O 関連機器、通信用機器、震源装置、空調装置を含め全重量約 10ton)
- ・ 大型 MTL (Magnetic Tape Library) 装置 (重量 7ton)
- ・ 幅 1～2m、奥行き 0.8m、高さ 1～2m

(2) 実験方法

- ・ 加振は低レベル正弦波スイープ (1～10Hz)
- ・ 地震波はエルセントロ、タフト
- ・ 最大加速度は 0.1～1G

(3) 計測

- ・ 各部加速度、計測ペンによる供試体の移動軌跡の計測
- ・ 加速度記録はデジタルで磁気テープに記録

3 主な結果

(1) 構造的挙動

1G 近い入力レベルでも構造的な健全性が損なわれるような変形、損傷は生じなかった。ただし、下部固定のシステムではラックの変形がやや大きく生じている。また、下部免震のシステムではスリップによる移動量が比較的大きくケーブルトレイや床カーペットなどとの干渉が生じた場合もあった。これらについてさらに有効な改善を行なうことにより、計算機システムの耐震性が一層向上するものと考えられる。

(2) 動的機能

計算機システムの稼働状態における実験では、動的機能の維持に支障のあるような結果を生じなかった。また、MTL 装置の場合、機械的な稼働部が重要な要素であるがこれについても機能障害を生ずるような応答はみられなかった。これらの結果から地震時に構造的な健全性が保持できれば計算機システムの動的機能も確保できると考えられる。

鋼製円筒の振動座屈実験

1989年7月3日～1989年7月15日

三菱重工業株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

円筒構造物(原子炉格納容器、タンク等)の塑性域での地震力による断座屈挙動を調べ、変形と耐力の関係を求める

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

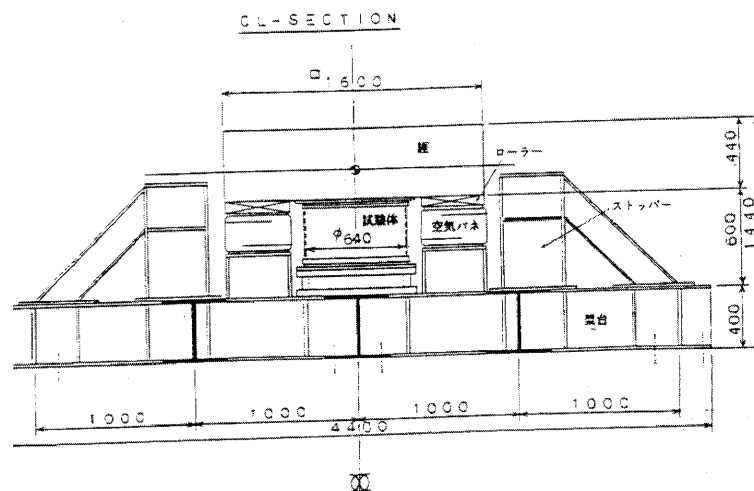
- ・ 鋼製、直径64cm、高さ48cm、板厚1.6mm、錘重9ton
- ・ アルミ製、直径64cm、高さ32cm、板厚1.6mm、錘重4ton

(2) 実験方法

- ・ 入力はランダム波
- ・ 鋼製供試体には、エアークッションに $5\text{kg}/\text{cm}^2$ の圧力を加える

3 主な結果

振動台が供試体により揺すられる割合を、供試体無の時から変動比で見ると0.8～1.6(スペクトル比)であった。これらは10Hz以上の成分であり、他の振動台に比べこの比が1.0に近いことから大型振動台の有効性が明らかになった。さらに円筒にせん断タイプの座屈をほぼ予備実験に基づく計算値で行なうことができた。



実物基礎を用いた構造物と地盤の動的相互作用に関する 実験的研究

1989年7月17日～1990年3月20日

マサチューセッツ工科大学 防災科学技術研究所

1 実験の目的

大型振動台が更新されその性能が改善されたのにもない、基礎も補強されることとなり、この補強工事は、振動台を加振できる状態で行なわれるため、工事による基礎形状変化に合わせた基礎と周辺地盤の振動台加振測定を実施し、基礎形状変化による応答の変化をとらえる。

2 供試体および実験条件

基礎掘り出しは建物外部フーチングについて行ない、4ヶ所にシートパイルで土止めを行なった。シートパイルは深さ11mまで打ち込まれ、根切りは7.5mまで行なった。腹起こしは地表下1mと4mの位置に回され、両端は基礎バットレスにボルトで固定され、さらにアースアンカーでもシートパイルを固定している。

(1) 基礎応答測定

- ・ 第1回 工事着工直前
- ・ 第2回 基礎掘出時
- ・ 第3回 コンクリート増し打ち時
- ・ 第4回 半埋め戻し時
- ・ 第5回 全埋め戻しシートパイル引き抜き前

(2) 基礎地盤の測定

- ・ 速度帰還型加速度計
- ・ 変位型常時微動計

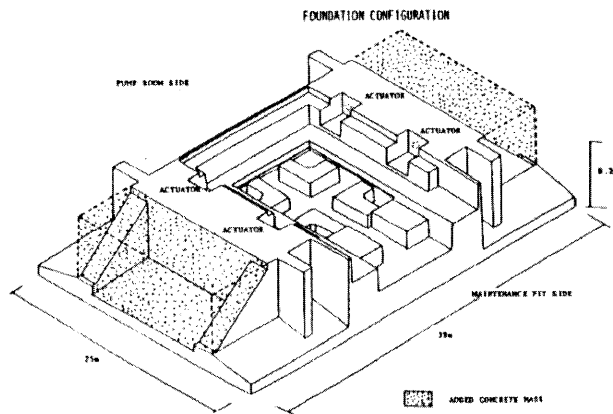
(3) 振動台

- ・ 加振機差圧、加速度、速度、変位を記録
- ・ 正弦波(連続スイープ、ステップスイープ、100GAL、200GAL、500GAL、1Hz40Hz、適宜選択)
- ・ 変位ステップ波(2mm、5mm、8mm)

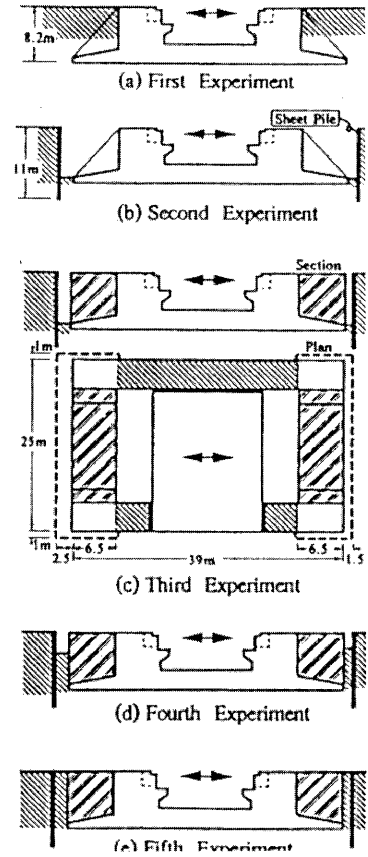
3 主な結果

- (1) 振動台基礎応答の経年変化はほとんど無視できる。
- (2) フーチング上の埋め戻し土は基礎応答を低減させるのに効果的である。
- (3) 増し打ちコンクリートの質量増加はロッキング振動の減衰を低下させている。

- (4) 根切り (トレンチと見ることもできる) は基礎近傍地盤の振動を低減する。
- (5) 基礎の変形は無視できるものではない。



基礎概要



測定ケース説明図

変形パネル構造による 3 階建て住宅の耐震実験

1990 年 4 月 16 日 ～ 1990 年 6 月 15 日

トヨタ自動車株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

鉄骨造 3 階建て実大構造体の地震に対する構造耐力を検討する。

2 供試体および実験条件

(1) 固有周期測定

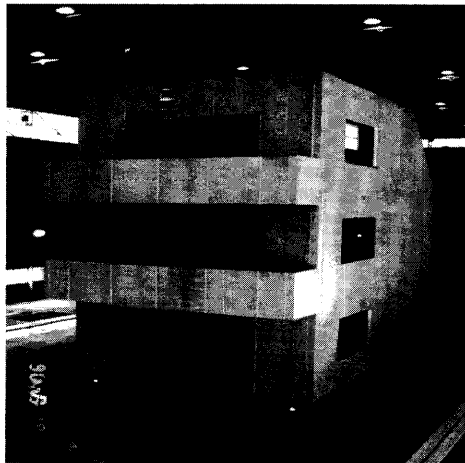
- ・ 鉄骨工事終了後
- ・ 外壁、サッシュ、シール工事終了後
- ・ 内装工事終了後

(2) 振動実験

- ・ サイン波
想定した波形を入力し固有周期、振動モード及び減衰性状を測定
- ・ ランダム波 (エルセントロ NS 成分等)
入力最大加速度の大小によって小地震、中地震、大地震に分類し加力後の各部の変形状態を確認

3 主な結果

- (1) 最大加振レベル 500gal においても構造上破壊しなかった事は、二次的な災害を除けば人命を確保できる事を証明したもので、本架構体の健全性を実証できた。
- (2) 本架構体に加わるせん断力は、加振レベル 400～500gal において横ばいの傾向を示し 500gal において 2.58t であり、静的実験によって得られた 2.71t とほぼ一致した。この事により本架構は実大構面内で最大級の地震を受けても、架構体に加わるせん断力は一定値以上には入力せず、十分なエネルギー吸収能力を有することが判明した。
- (3) 地震力がせん断力に準じた挙動を示した事により、本架構体のエネルギー吸収により建物への地震入力が抑えられたと考えられる。



大型装置 (MTL) の耐震実験

1990年6月25日～1990年7月7日

富士通株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

大型 MTL 装置の改良にともない、機能維持及び耐震安全性等の評価確認を行なう。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 幅 1.6m、奥行き 1.6m、高さ 1.8m 程度を単体及び 3 個体連結
- ・ 重量 3.4ton(3 個体連結)



(2) 測定方法

- ・ 加速度計による計測

(3) 実験方法

- ・ 共振点検索
加振加速度は 200gal 及び 400gal、加振周波数は 3Hz～60Hz
- ・ 模擬地震波加振実験
エルセントロ (1940 年、NS 成分) 及びタフト (1952 年、EW 成分)
- ・ 実加振方法
スイープ加振、地震波加振

(4) 解析方法

- ・ 正弦波加振による応答波形のプロットから、共振周波数を求めた

3 主な結果

大型 MTL 装置は、機械的な稼働部が重要な要素であるが、1G 近い入力レベルでも機能障害を生ずるような応答は見られなかった。特に、前回の実験で問題点として残ったカートリッジの落下等の不具合は、完全に改良されていた。

共振周波数は、約 6Hz であった。

規格名	加振波形	振動加速度	装置の状態
CN	正弦波	200gal	安定稼働
		400gal	機械的変形、破損なし
NTT	地震波	980gal	機械的変形、破損なし

実物基礎を用いた構造物と地盤の動的相互作用に関する研究

1990年7月9日～1990年8月10日

マサチューセッツ工科大学 防災科学技術研究所

1 実験の目的

大型耐震基礎改造後の基礎並びに周辺地盤の振動性状を調べる。

2 供試体および実験条件

振動台基礎上、西 35m、50m、100m 地点に上下、加振方向ピックアップを設置、振動台を加振 (1Hz～20Hz まで 0.2Hz きざみ) し、共振曲線を得た。

3 主な結果

コンクリートを増打することにより質量が増し、ロッキングの減衰定数が低下するのが確認された。

動的機器の耐震支持法に関する研究

1990 年 9 月 3 日 ～ 1990 年 9 月 28 日

東京都立大学 いわき明星大学 防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

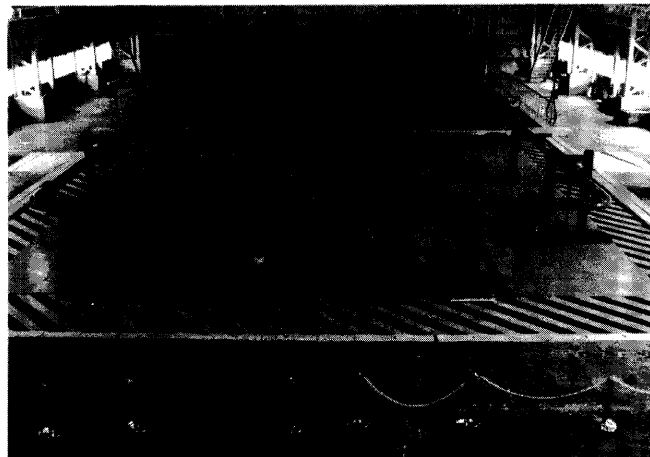
機器配管系の地震応答に対する非線形支持部 (摩擦、ギャップ等) の影響の振動論的解明と、実用的手法の提案。

2 供試体および実験条件

	材質	その他
配管本体	SGP	外径 216mm 内径 200A 管厚 5.8mm
支持架構 1・3	SS41	
支持架構 2	S45C	
摺動シュー	S45C	
摺動プレート	SS41	

3 主な結果

- (1) 時刻歴応答では、配管が支持架構上で摺動・停止を繰り返すような摩擦系に特有の挙動を示すことが確認された。また、履歴曲線でも、その形状が摩擦系に特有の長方形に近い形状となることが明らかとなった。
- (2) 周波数応答特性からは、配管-支持架構間に摺動が生ずると、振動数が低下することが明らかになった。
- (3) 集中モデルによる簡単な計算法が、実験結果をよく追従することが示され、より複雑な系への適用のための基礎データを得た。



275KV コンデンサ形計器用変圧器の耐震実験

1990年10月22日～1990年10月29日

日新電機株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

耐震強度を向上したコンデンサ形計器用変圧器が、関東大震災級の大地震に遭遇しても十分な強度であることを破壊実験によって確認する。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 幅1m、奥行き1m、高さ8m、重量3ton、上部の4.6mは、がいし。

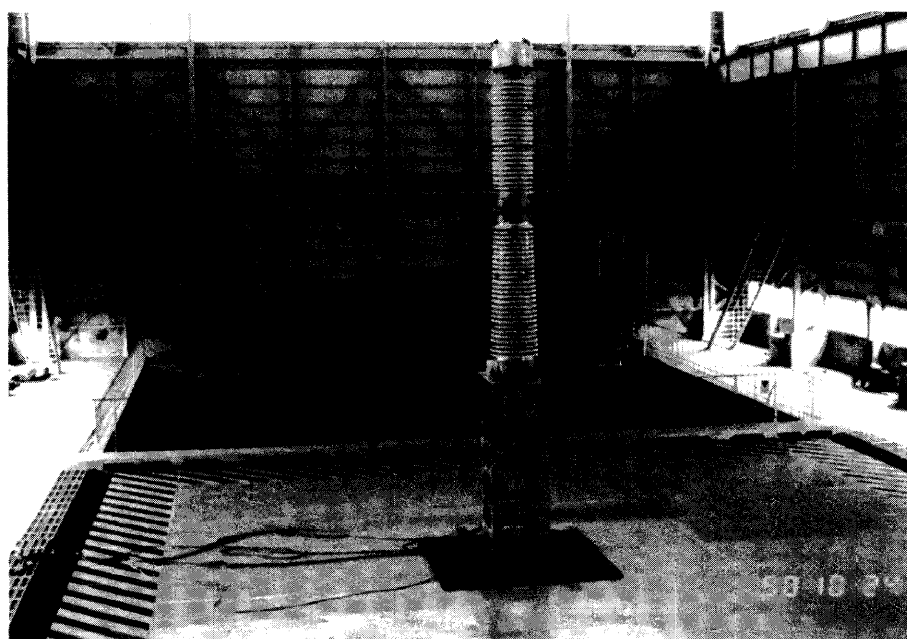
(2) 測定項目

- ・ 加速度計による計測 (5ヶ所、G1～G5)
- ・ 歪ゲージによる計測 (9ヶ所、S1～S9)

3 主な結果

- (1) 実地震波加振及び共振正弦3波加振において、供試体の各部には異常が認められず十分な強度であることが確認できた。
- (2) 共振正弦3波加振では、振動台の限界性能まで加振を実施したが、供試体の破壊にはいたらなかった。これは、振動台の限界性能の向上、また、大加速度加振では供試体と振動台とでスリップによる移動量が比較的大きく生じたことも破壊にいたらなかった原因の一つと考えられる。これらについて有効な改善を行なうことにより、破壊実験が可能ではないかと思われる。

耐震強度のまとめ			
項目	碍管部安全率	各部の異常の有無	PD 頭部変位の最大値 (片側)
El.Centro 地震波	5.0	無し	
宮城県沖 (八戸) 地震波	6.0	無し	
共振正弦3波突印 0.3G	2.0	無し	10.5cm
共振正弦3波突印 0.79G(0.6G 目標)	1.26	無し	19.2cm
共振正弦3波突印 1.01G(1.0G 目標)	1.17	無し	21.2cm
共振正弦3波突印 1.41G(1.2G 目標)	1.10	無し	25.1cm



機器配管系支持部及び結合部の耐震性評価に関する研究

1990年11月5日～1990年12月20日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

- (1) 地震時の配管内実働流体の挙動評価 (流速及び各種液柱長さ、境界条件の影響評価)
 - ・ 圧力変動 (配管軸方向振動との連成)
 - ・ 配管への起振力
 - ・ 負圧等の異常挙動
- (2) 地震と流体過渡挙動の混合による配管応力の評価
 - ・ 荷重－地震 (強震動)
 - ・ 荷重－流体過渡挙動 (ポンプ急停、急発) 等の組合せを考える

2 供試体および実験条件

- (1) 配管
 - ・ 口径 150A、SGP、5mmt
 - ・ 全長 約 41m (給水及び戻りのホース、弁類を含む)
 - ・ 支持 架構式アンカー、ロッドレストレイント
- (2) ポンプ
 - ・ 形式 片吸込渦巻ポンプ (荏原 150 × 125FS 型)
 - ・ 出力 45kW
 - ・ 吐出量 0 at 55m(head) 5.5m/min at 27.5m
- (3) 流送用装備品
 - ・ 貯水タンク (振動台外、自由液面、エアによる加圧)
 - ・ 可とう配管 貯水タンク給水側及び戻り側、各 3m
 - ・ 弁 ポンプ給水側、ポンプ吐出側、戻り配管

3 主な結果

- (1) 流体条件と応答特性
 - ・ 流体柱の長さが (バルブ開閉など) 変わると流体固有振動が変わり、その振動数によっては配管構造系の応答にきわめて顕著な影響をもたらし得ることが示された。

- ・ 系の内圧が低い場合、流体の圧力応答に非線形挙動を生じ、配管の地震応答にも一定の影響を与えた。

(2) 流速条件と応答特性

- ・ 配管内の流れにより、地震応答の減衰効果が増加することが確認された。流速の大小による減衰特性の差異等については今後の検討が必要である。



デジタル制御精度確認試験

1991年2月25日～1991年3月26日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

振動台デジタル制御の有効性を調べる。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 高さ3.6m、重さ25tonの1層鉄骨フレーム

(2) 実験方法

- ・ 第1回 鉄骨柱弾性(10Hz以上)
- ・ 第2回 鉄骨柱破壊(アナログ)
- ・ 第3回 鉄骨柱破壊(デジタル)
- ・ 第4回 鉄筋コンクリート柱破壊(帯筋 $\phi 280$)
- ・ 第5回 鉄筋コンクリート柱破壊(帯筋 $\phi 170$)
- ・ 第6回 鉄筋コンクリート柱破壊(帯筋 $\phi 50$)

3 主な結果

供試体を崩すことができたが、アナログ加振の方がデジタル加振より良い波形がでた。



耐震性評価に関する研究 (大型振動台の制御特性に関する研究)

1991 年 4 月 1 日 ～ 1991 年 5 月 2 日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

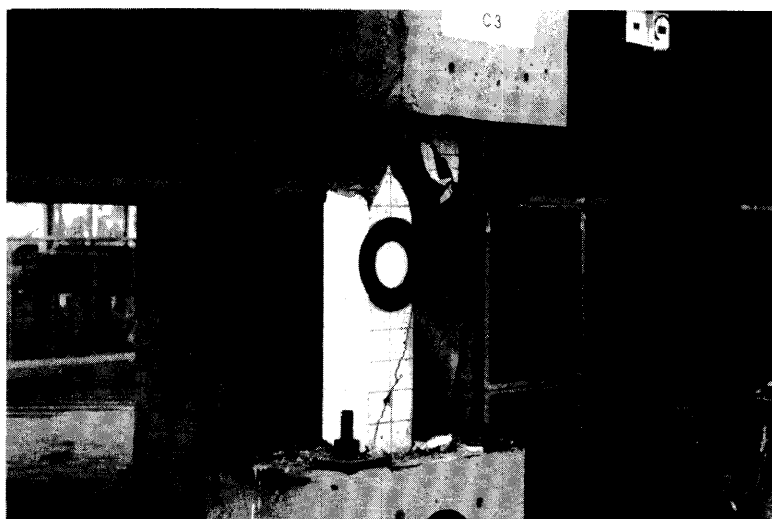
平成 2 年度導入したデジタル制御を破壊実験に適用し、デジタル制御の適用性を検討する。併せて、破壊実験に用いた鉄筋コンクリート柱のせん断補強の効果を実験的に調べる。

2 供試体および実験条件

- ・ 振動台上に約 28ton の 1 層フレームを製作し、その鉄筋コンクリート柱のせん断補強の間隔を 50mm、110mm、170mm、280mm と変えて実験した。
- ・ 鉄筋コンクリート柱は 13cm 角、長さ 85cm。
- ・ 加振はデジタル制御とアナログ制御を交互に用い、1968 年十勝沖八戸 E-W を 500 ガル目標で行なった。

3 主な結果

- (1) デジタル制御は高周波の特性が良いが、ノイズが増える。適用にはいっそうの努力が必要である。
- (2) 鉄筋コンクリートの柱については、せん断補強筋の効果が動的な面からも確認できた。



薄肉大口径配管における液体と配管の連成振動に関する研究

1991年5月7日～1991年6月7日

東京大学生産技術研究所 石川島播磨重工業株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

地震時における薄肉大口径配管における液体と配管の連成振動の発生を試験的に確認する。

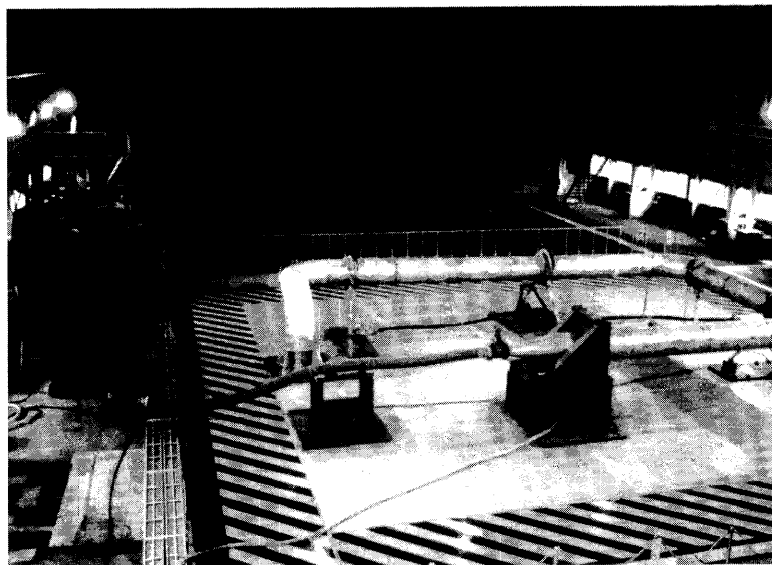
- (1) 薄肉大口径における液柱の共振振動数の変化
- (2) 配管系の固有振動数と液柱の固有振動数が一致する場合(配管構造系の振動と液柱系の振動が連成する場合の配管系)の地震応答に与える液柱の影響

2 供試体および実験条件

- ・ 配管口径 558.8mm(550A)
- ・ 肉厚 9.5mm
- ・ 長さ 20m
- ・ 材質 SUS304

3 主な結果

- (1) 液体と配管の連成振動は、レデューサ、フレキシブルチューブにより明確には確認できなかった。
- (2) 液体の影響によりエルボ部に、高周波の振動が発生する。
- (3) 管軸方向の振動が卓越するモードの共振振動数は、解析結果より高くなることもある。



免震型プラントの実用化研究 (中規模振動台試験)

1991 年 6 月 10 日 ~ 1991 年 8 月 3 日

株式会社竹中工務店 防災科学技術研究所

1 実験の目的

免震システムの耐震安全裕度評価に資するため、

- (1) 積層ゴム破断時の応答挙動把握
- (2) 免震層終局域を対象とした応答解析手法確立のためのデータ蓄積

の 2 項目を目的とし、免震型 FBR 原子炉建屋模型についての振動台加振試験を行なう。

2 供試体および実験条件

供試体は、実大規模の $1/\sqrt{26.7}$ の縮小モデルで、免震装置は天然ゴム系積層ゴムのみとし、ダンパーは用いない。

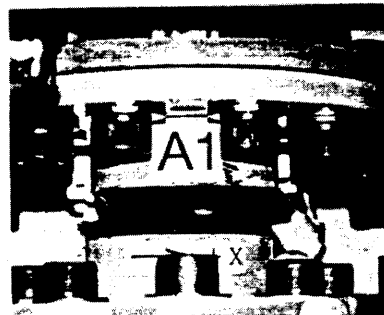
- (1) 免震要素 (積層ゴム)
 - ・ 定格荷重 0.7ton のものを $5 \times 5 = 25$ 体配置
 - ・ 面厚 $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 、直径 6cm、ゴム層 $0.1\text{cm} \times 8 \text{層} = 0.8\text{cm}$
- (2) 上部構造
 - ・ 鉄筋コンクリート製の剛体とし、その重心高さと基礎幅の比は 1:4 とする
 - ・ 総重量 17.5ton、寸法 $3.2\text{m} \times 3.2\text{m} \times 1.5\text{m}$ (高さ)、重心高さ 0.8m

3 主な結果

- (1) 積層ゴムの破断要因としては、せん断歪が支配的である。
- (2) 動的な破断時せん断歪は、静的加力による積層ゴム単体の破断時せん断歪より約 10% 大きい。したがって、静的加力試験結果より動的な破断を推定することは、安全側の評価となる。
- (3) 一部の積層ゴムの破断が起因となり、連鎖反動的に全数の積層ゴムが破断することはない。



全体写真



破断した積層ゴム

動的機器の耐震支持法に関する研究 (支持部にガタ特性を有する配管系構造物の振動実験)

1991年8月5日～1991年9月14日

東京都立大学 いわき明星大学 防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

実機相当の配管供試体を用いて加振実験を行ない、ガタ特性が介在する配管-架構系の応答特性ならびに非線形による応答低減効果を把握し、耐震設計への基礎データを得る。

2 供試体および実験条件

主要寸法および材質

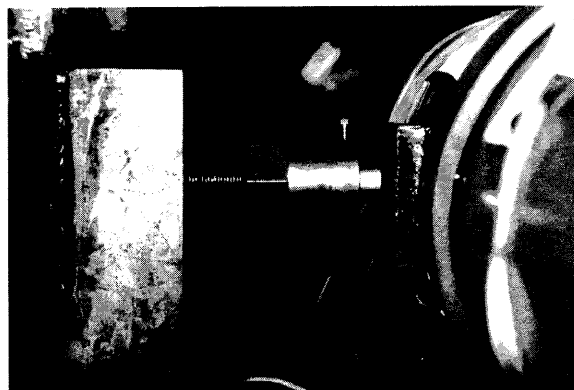
	材質	備考
配管	SGP	外径:216mm 内径:200A 管厚:5.8mm
支持架構 1、3	SS41	
支持架構 2	S45C	

GAP 量 4mm、8mm

入力波 ランダム波、実地震波、正弦掃引波

3 主な結果

- (1) 時刻歴波形では、配管がガイドに衝突する時にスパイク上の加速度が生じ、その衝突波が直管部に伝播していることが確認された。
- (2) 周波数応答特性では、配管がガイドに衝突すると、高周波数帯域でパワースペクトルの値が一様に増加する傾向にあることが明らかになった。
- (3) 変位応答に着目し、応答低減係数を定義して非線形特性による応答低減効果を定量的に評価した結果、ガタ部の配管ばかりでなく直管部においても、応答は低減されることが明らかとなった。



基礎地盤の動的応答実験

1991 年 9 月 24 日 ～ 1991 年 9 月 27 日

防災科学技術研究所

1 実験の目的

大型耐震実験装置基礎周辺の地盤振動を、アレーを密にして計測し、基礎工事直後の測定と比較する。

2 供試体および実験条件

大型耐震実験装置

西側に測線を 100m 張り、35m、50m、62.5m、75m、100m に上下、加振方向ピットアップを設置し、正弦波加振を行ない共振曲線をとった。(1Hz～20Hz、0.2Hz きざみ)

3 主な結果

基礎工事直後の記録と顕著な相違は、見られなかった。

72/84kV タンク形ガス遮断器の耐震実験

1991年9月16日～1991年9月20日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

72/84kV タンク形ガス遮断器を加振台により共振正弦3波加振及び実地震波加振を行ない、遮断器の耐震性能検証を確認するとともに、遮断器の耐震設計への基礎資料を得る。

2 供試体および実験条件

- ・長さ 3825mm、幅 2000mm、高さ 3485mm、重量 2.9ton
- ・加速度 (加速度計による計測 12ヶ所)
- ・歪 (歪ゲージによる計測 24ヶ所)

3 主な結果

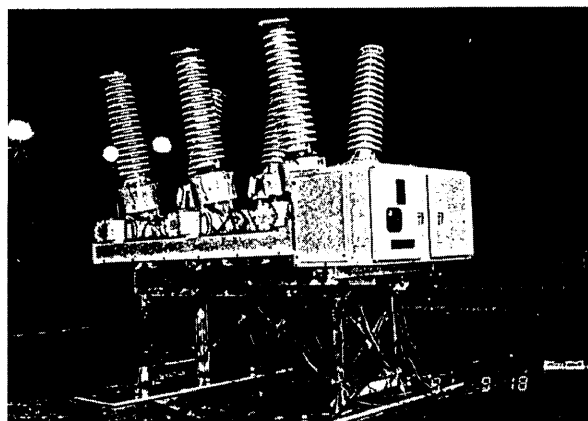
- (1) 共振点の検索から共振点は、長辺、短辺方向共、5.8Hz 付近が共振点であった。
- (2) 耐震強度結果より、共振正弦3波及び実地震波加振において、供試体の各部には異常が認められず十分な強度であることが確認できた。

耐震強度結果

項目		共振正弦3波突印 (0.3G)	宮城県沖地震波 (0.3G、EW成分)
安全率	碍管部	5.6	24.3
	タンク部	2.5	9.9
	架台脚部	13.2	66.0
各部の異常の有無		無し	無し

安全率=許容応力/最大発生応力

各材質の許容応力値は、JEAG5003-1980「電気設備の耐震対策指針」に規定されている値を採用した。



72/84kV ガス絶縁開閉装置の耐震実験

1991 年 11 月 25 日 ～ 1991 年 11 月 29 日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

72/84kV ガス絶縁開閉装置を加振台により共振正弦 3 波加振及び実地震波加振を行ない、遮断器の耐震性能検証を確認するとともに、遮断器の耐震設計への基礎資料を得る。

2 供試体および実験条件

- ・ 長さ 3800mm、幅 1000mm、高さ 3000mm、重量 6.5ton
- ・ 加速度 (加速度計による計測 12ヶ所)
- ・ 歪 (歪ゲージによる計測 33ヶ所)

3 主な結果

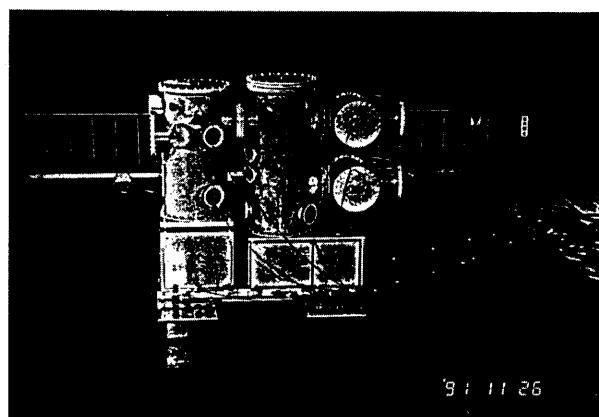
- (1) 共振点の検索から共振点は、長辺方向で 10.4Hz、短辺方向で 5.6Hz 付近が共振点であった。
- (2) 耐震強度結果より、共振正弦 3 波加振及び実地震波加振において、供試体の各部には異常が認められず十分な強度であることが確認できた。

耐震強度結果

項目		共振正弦 3 波突印 (0.3G)	宮城県沖地震波 (0.3G、EW 成分)
安全率	架台脚基部	2.3	10.2
	タンク、フランジ部	12.3	112
	ベース取付ボルト部	4.3	5.7
各部の異常の有無		無し	無し

安全率=許容応力/最大発生応力

各材質の許容応力値は、JEAG5003-1980「電気設備の耐震対策指針」に規定されている値を採用した。



84kV 調相設備用 GIS の耐震実験

1991年10月14日～1991年10月17日

日新電機株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

耐震強度を向上した84kV 調相設備用 GIS(ガス絶縁開閉装置)を加振台により実加振を行ない、開閉装置の耐震性能検証を確認するとともに、耐震設計への基礎資料を得る。

2 供試体および実験条件

- ・ 幅3.2m、奥行き2.3m、高さ3.8m、重量6ton
- ・ 加速度 : 加速度計による計測 (5ヶ所)
- ・ 歪 : 歪ゲージによる計測 (30ヶ所)
- ・ 加振方向 : 左右方向(X)、前後方向(Y)の2方向

3 主な結果

- (1) 共振点の検索から共振点は、左右方向(X)は11.9Hz付近、前後方向(Y)は7.0Hz付近が共振点であった。
- (2) 正弦3波擬共振加振から共振周波数地点の加速度波形の減衰定数を求めたところ、前後方向(Y)では3%から4%の範囲であった。
- (3) 共振正弦3波加振及び実地震波加振において、供試体の各部には異常が認められず十分な強度であることが確認できた。
- (4) 本GISの耐震強度は仕様を充分満足することを確認した。

項目		実験結果	解析結果	
			モデルⅠ	モデルⅡ
固有周波数 (Hz)	(X方向)	11.9	8.1	11.5
	(Y方向)	7.0	6.5	7.1
脚部に対する安全率 (倍)	(X方向)	5.7	1.9	4.6
	(Y方向)	2.9	1.2	1.4
加速度 応答倍数 (倍)	(X方向)	11	7.1	6.8
	(Y方向)	23	7.3	6.5

ビデオカメラを用いた供試体変位測定法の研究

1992 年 1 月 10 日 ～ 1992 年 1 月 31 日

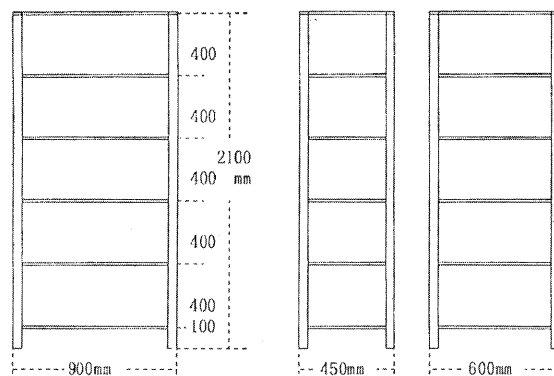
防災科学技術研究所

1 実験の目的

ビデオカメラを用いてビデオ画像から動的応答変位を計測する手法を試みる。

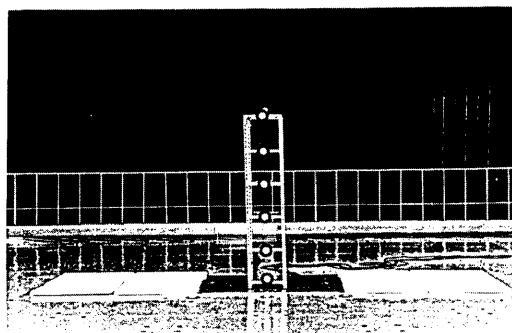
2 供試体および実験条件

- ・ 軽量棚
- ・ 加速度計 : 5 点 (供試体 4 点、振動台 1 点)
- ・ ターゲット : 14 点 (供試体 9 点、振動台 5 点)
- ・ 変位計 : 1 点 (振動台)



正面図

実験 側面図



液状化地盤中の杭の挙動に関する研究

1992年4月1日～1992年4月30日

建設省建築研究所 東京ソイルリサーチ株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

軟弱地盤帯の構造物建設には、杭基礎が用いられる。軟弱地盤は液状化の危険性をはらんでおり、地震液状化時の杭の挙動を研究することは、防災対策並びに耐震設計の観点から重要である。現状の杭設計において、液状化した部分は地盤がなくなり、空中に杭が出たとして扱っている。これは液状化現象の複雑さに起因したものである。このため液状化地盤における杭基礎の耐震性に関し、多くの研究がなされてきた。これらは遠心載荷装置の中の超小型振動台実験、2m角程度の土槽の振動台実験が主であり、小型模型実験であるため実物との対応が問題となる。

このような問題を解決するためには実物大の実験が望まれ、本研究は実物実験のパイロット実験として行なう。

2 供試体および実験条件

- ・ 2m角のせん断土槽に各種計器を取付、加速度、間隙水圧、杭歪、杭作用圧、変形を測定する
- ・ 実験(5回)、予備実験(1回)
- ・ 砂は霞ヶ浦の砂で、水洗いをしたもの
- ・ 加振波形は0.5～15Hzのランダム波、第1回は100GAL、その他は150GAL
- ・ 第4回から建物模型に水平張力(4回:3kgf、5回:2kgf、6回:1kgf)を掛ける

模型の諸元		第1回 (4/6)	第2回 (4/10)	第3回 (4/16)	第4回 (4/22)	第5回 (4/28)
地盤模型	試験前密度(乾燥密度) g/cm^2	1.488	1.495	1.490	1.489	1.492
	試験後密度(乾燥密度) g/cm^2	1.495	1.503	1.495	1.498	1.500
	試験前含水比 %	26.4	28.7	27.2	27.8	26.9
	試験前S波速度 m/sec	86	118	80	96	92
	地震後S波速度 m/sec	132	132	128	128	135
	試験前相対密度 D %	37.8	40.1	38.5	38.3	39.2
	試験後相対密度 D %	39.7	42.2	40.1	40.9	41.2
杭模型	建物模型重量 kg	12.4	12.4	12.4	12.4	12.4
	水平載荷時水平抵抗 mm/kg (弾性領域)	0.414	0.432	0.412	0.408	0.413

振動台試験での模型の諸元

3 主な結果

- (1) 建物下部の杭に挟まれた部分は間隙水圧の上昇が鈍く、逸散も遅い。

- (2) 液状化を起こすと土槽のスロッシングが起き、ほぼその周期で振動する。
- (3) 浅い所ほど液状化を起こしやすい。



液状化写真

安全板耐震モックアップ試験

1992年5月11日～1992年5月22日

日本原子力研究所 三井造船株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

燃料サイクル安全工学施設 (NUCEF) に設置される定常臨界実験装置 (STACY) の非均質炉心タンクに取付けられる安全板駆動装置は、設計上想定される最大の地震 (S1 地震) 時においても 1.5 秒以内に炉心内に安全板を挿入できなければならない。

本実験は、実物大供試体の加振試験を行ない上記要求性能を確認することを目的とする。

2 供試体および実験条件

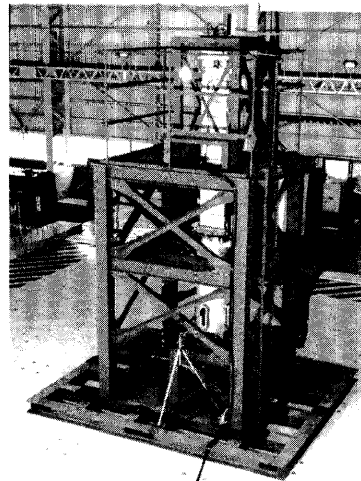
	材質	主要寸法
炉心タンク	SUS304	$596^{OD} \times 1500^L \times 3t$
安全板	SUS304L、Cd	$380^W \times 1975^L \times 3t$
支持架構	SS41	

炉心タンク：空、満水
入 力 波：正弦掃引波、S1 地震応答波

3 主な結果

- ・ 1 次固有振動数：13.6Hz
- ・ 最大応答加速度：1060gal
- ・ 安全板落下時間：Max 0.67sec

炉心タンク、安全板駆動装置は十分な耐震強度を有するとともに、炉心タンクの「空」「満水」に拘らず、安全板は所定の機能 (落下時間 1.5 秒以内) を満足することが確認された。



補機冷却水設備冷却塔ファンの地震時機能維持の 評価の振動実験

1992 年 5 月 25 日 ～ 1992 年 5 月 30 日

バブコック日立株式会社 新日本レイキ株式会社
株式会社日立製作所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

実機相当の冷却塔ファンの供試体を用いて加振実験を行ない、地震時及び地震後の動的機能維持を評価することを目的とする。

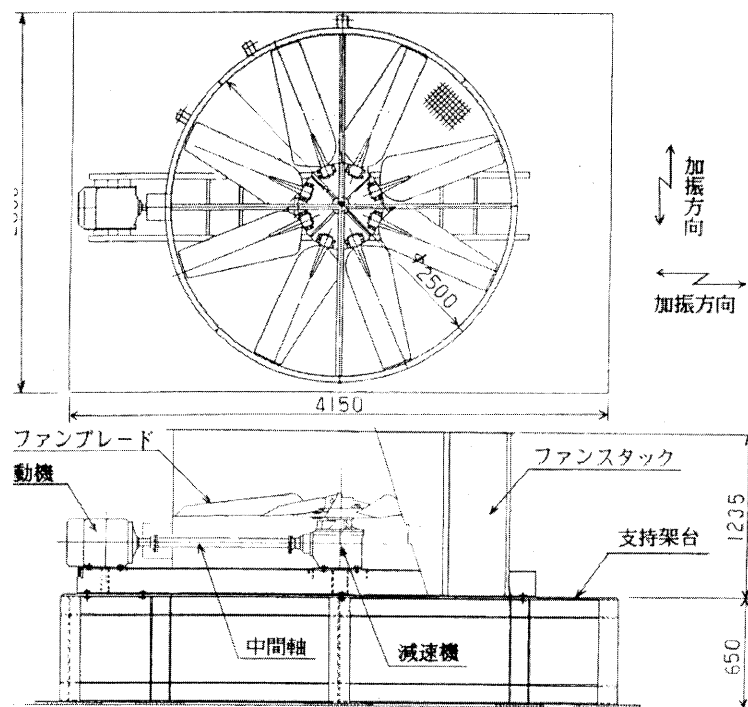
2 供試体および実験条件

	材質	備考
冷却塔ファン	AC7A-F	口 径：φ2500mm 減速機：スパイラルベベルギア 電動機：15kw
支持架台	SS400	

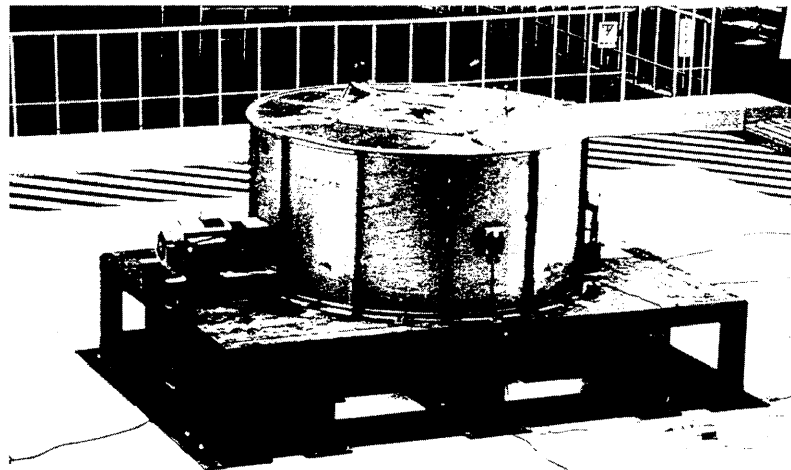
入力地震波：正弦波 (最大応答加速度 885.1gal、継続時間 41sec、
時間きざみ 0.01sec)

3 主な結果

- (1) 供試体の振動特性試験結果から、冷却塔ファンは十分に剛な構造であることが確認された。
- (2) 停止時及び運転時実証試験の結果、電動機及びファンの回転数、並びに電動機の電流・電圧は加振中及び加振後において正常であり、ファンブレードとスタックのクリアランスも十分に確保され、冷却塔ファンは、 S_2 地震時及び地震後においてその動的機能を維持することを確認した。さらに、運転時の耐震裕度試験の結果から、1.7G 相当の加振力を受けた場合においても、機能が正常であることを確認した。
- (3) 試験後の減速内部部品の分解点検、試験時の目視検査及び静ひずみ測定結果から、各部品の異常は認められず、加振後においても構造上健全であることを確認した。



供試体の形状及び寸法



供試体の全景

ビデオカメラを用いた供試体変位測定法の研究

1992 年 7 月 1 日 ～ 1992 年 7 月 10 日

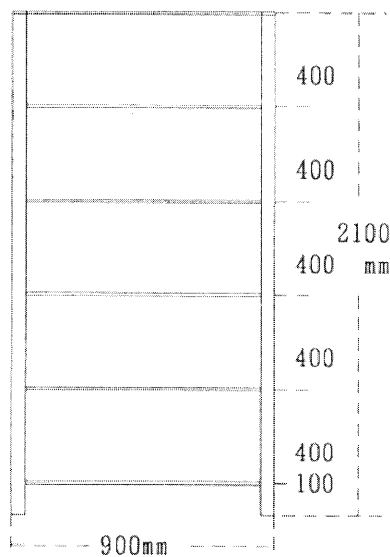
防災科学技術研究所

1 実験の目的

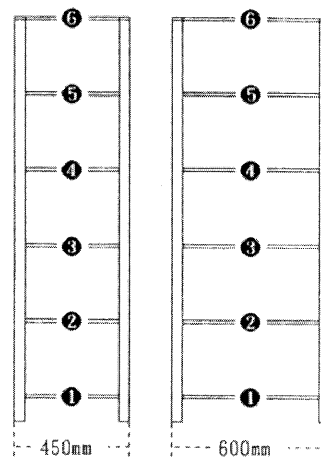
ビデオカメラを用いてビデオ画像から動的応答変位を計測する手法を試みる。

2 供試体および実験条件

- ・ 軽量棚
- ・ ターゲット : 14 点 (供試体 9 点、振動台 5 点)
- ・ 加速度計 : 5 点 (供試体 4 点、振動台 1 点)
- ・ 変位計 : 1 点 (振動台)
- ・ 速度計 : 1 点 (振動台)
- ・ 加速度計 : 1 点 (振動台)



軽量棚正面図



側面図

動的機器の耐震支持法に関する研究

(支持部にガタ・摩擦を有する配管系構造物の振動実験)

1992年7月15日～1992年8月31日

東京都立大学 いわき明星大学
防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

ガタと摩擦が介在する配管系の振動実験を行ない、非線形による振動挙動や地震応答低減効果を明らかにする。さらに、これらの結果を踏まえ、耐震設計の立場から、ガタや摩擦などの非線形現象を簡便に扱う方法を考察する。

2 供試体および実験条件

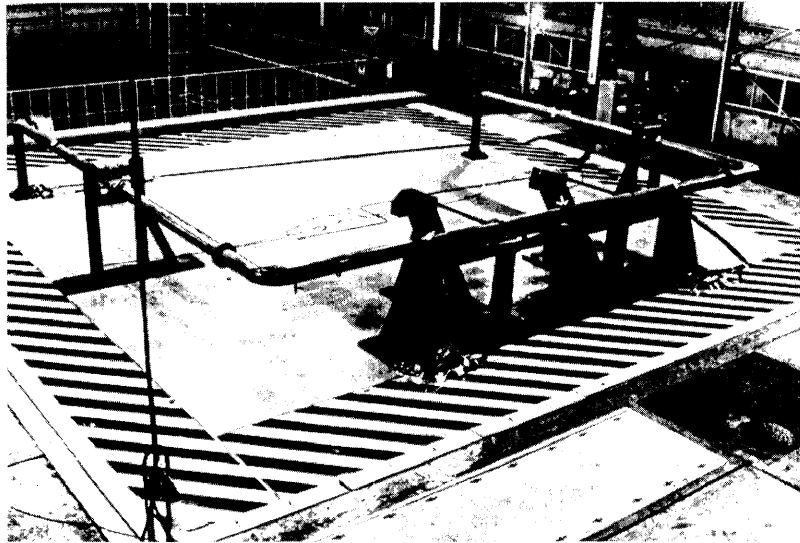
主要寸法および材質

	材質	備考
配管	配管用炭素鋼鋼管	全長：30 m 外径：216.3mm 管厚：5.8mm
支持架構	軟鋼	

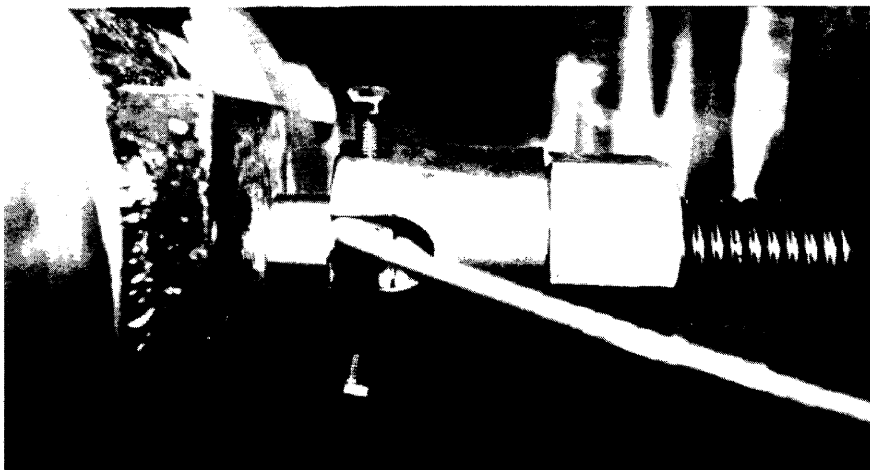
摺動シュー：軟鋼
プレート：軟鋼、テフロン
GAP量：4mm、8mm
入力波：ランダム波、模擬地震波、実地震波、正弦掃引波

3 主な結果

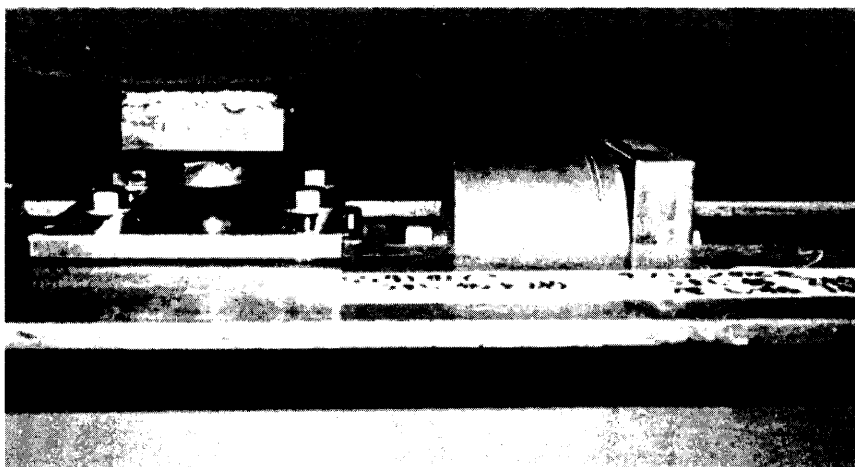
- (1) 系の応答特性を把握するために、パワースペクトルを求めたところ、以下のことがわかった。
 - ・ 直管部では、摺動時に生じる1次モードのスペクトルのピークが鈍化しており、摩擦による減衰効果が顕著である。
 - ・ ガタ部では、衝突により新たな入力系に加わるため、スペクトル値は衝突頻度が高くなるにつれて広い周波数範囲に渡って増加する。
- (2) 応答低減係数 β を用いて非線形現象による応答低減効果を定量的に評価し、以下のことが明らかになった。
 - ・ 摩擦が介在する系では、入力レベルの増加に伴い β の値は減少し、ガタのみが介在する系では逆に増加する傾向にある。
 - ・ ガタ・摩擦が併存する系では、本実験で行なった入力レベルの範囲内では、摩擦による応答低減効果が支配的となる。
 - ・ 衝突によるエネルギーの散逸は少なく、ガタ系の場合には変位の拘束による応答低減効果が支配的となる。
- (3) 配管の1次モード、最大変位応答に注目し、ガタや摩擦による減衰効果を等価粘性減衰の形でFEMモデルに導入した結果、実験結果と比較的良好一致することが明らかとなった。



供試体全景



ガタ部



摩擦部

大口径 SUS 配管のラチェッティング強度試験

1992年9月1日～1992年9月30日

横浜国立大学 石川島播磨重工業株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

エルボを含む配管モデルを大型振動台を用いて加振し、ラチェット挙動の発生から最終的な亀裂貫通に至るまでのエルボの破壊形態について調べる。

2 供試体および実験条件

- ・ 口径：550A (558.8mm)
- ・ 板厚：Sch.20 (9.5mm)
- ・ 材質：SUS304
- ・ エルボ部分は水圧 ($P=40\text{kg/cm}^2$) により 11kgf/mm^2 の静的応力を発生させ、モデルの共振振動数での正弦波加振を行なう
- ・ 加振レベルは約 800gal
- ・ 亀裂貫通までの累積ひずみを計測する



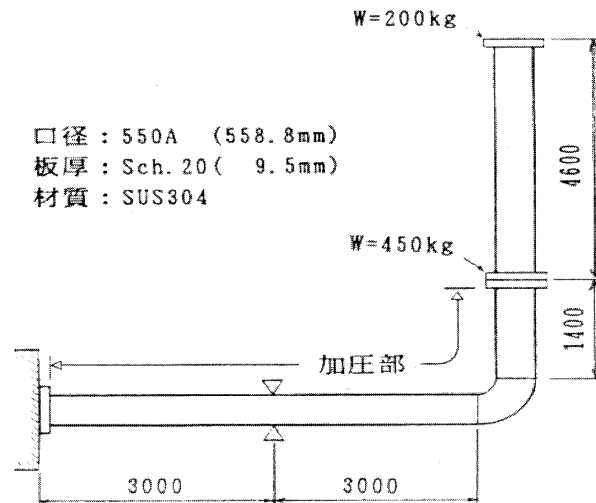
配管モデル

3 主な結果

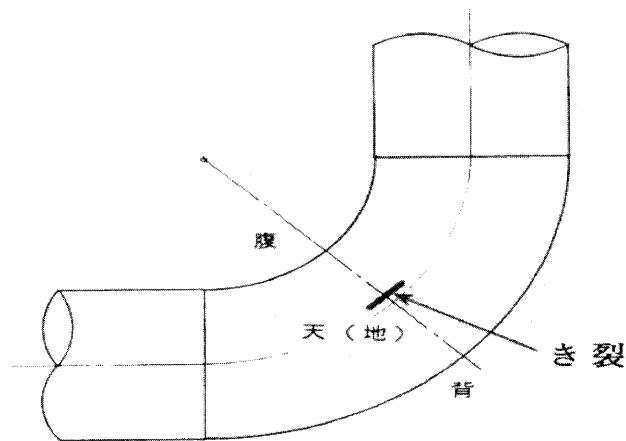
- (1) ひずみ分布
エルボ 45° 断面の天地位置付近でのひずみが最大となった。線形加振時のひずみ分布と比較して全体の分布状態は天地位置付近以外は酷似しており、ラチェットの進行が局部的に進み、その他の部分のひずみ状態は変化しにくいことが明らかになった。
- (2) ひずみ進展挙動
エルボ 45° 断面周方向ひずみの時刻歴波形は、エルボ天地位置でのひずみ振幅が卓越して大きく、加振サイクルとともに全断面でひずみが進展してラチェットを生じている。

(3) ひずみ進展と破損状態

亀裂はエルボ 45° 断面天地位置よりもやや内側 (エルボ中心側) で貫通し、貫通部付近に多数の未貫通の微小亀裂が見られた。外表面より内表面の方が多くの微小亀裂がより広範囲に生じており、内表面に生じた複数の微小亀裂のいくつかが外表面に向かって成長し、外表面の微小亀裂と結びついて貫通したと推定される。ひずみは初期の加振ケースでの進展率が高く、その後鈍化しており、材料の硬化がひずみ進展に影響していると考えられる。



配管モデルの形状



き裂発生位置

免震型プラント配管インターフェイス部確証試験

1992年10月5日～1992年10月30日

石川島播磨重工業株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

免震型 FBR プラントにおける免震建屋 (原子炉建屋)、非免震建屋 (タービン建屋) 間に配置される渡り配管は、地震時に免震建屋側からは大きな相対変位が、また非免震建屋からは慣性力が負荷される。高温・高圧の主蒸気系の渡り配管は地震時の建屋間相対変位を吸収するための柔軟性と、慣性力に対する防振効果を共に満足することが必要である。このため配管系は柔構造とし、適切な防振装置を適用することにより、設計上成立する見通しを得た。しかしながら、大変位吸収を行なう柔構造配管系の振動特性、地震応答特性は、既往の試験・研究で必ずしも解明されてはいない。本試験は、上述の対応により成立の見通しを得た主蒸気系渡り配管の耐震性の確証を目的とする。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 実機配管系の 1/2 スケールの相似体で、免震建屋モデルは約 20 トンの慣性重量をスライド機構、積層ゴム、ダッシュポットで支持する構造。
- ・ 配管サイズは 8B、S160、材料は実機配管と同じ改良 9Cr 鋼とする。
- ・ 防振装置は線形なコイルスプリングと速度比例減衰型のオイルダンパの組み合わせとした。

(2) 実験内容

- ・ 静的加力試験
油圧ジャッキを用いて免震建屋モデルに最大 300mm の強制変位を与え、配管各部の変位、ひずみを計測した。
- ・ 正弦波加振試験
振動台を 0.5～20Hz の範囲で掃引速度加振し、周波数応答関数を計測し、配管の共振振動数、減衰比を求めた。また掃引加振方向及び加振水準による振動特性の依存性も検証した。
- ・ 地震波加振試験
S1、S2 地震波による加振を行ない、配管各部の加速度、変位、ひずみ等の応答を計測した。また入力加速度水準に対する配管応答の線形性も検証した。

3 主な結果

(1) 静的加力試験

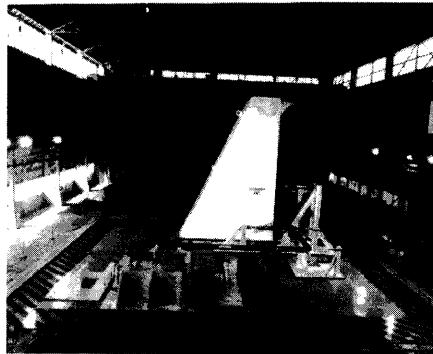
配管はほぼ線形的な挙動を示すことを確認した。また別途実施した静解析の結果と、良く一致することを確認した。

(2) 正弦波加振試験

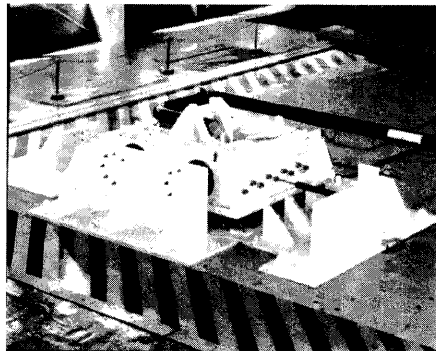
掃引加振方向及び加振水準による配管振動特性の依存性は小さく、ほぼ線形的な振動特性を示すことを確認した。また別途実施した複素固有値解析の結果と、共振振動数、減衰比ともに良く一致することを確認した。

(3) 地震波加振試験

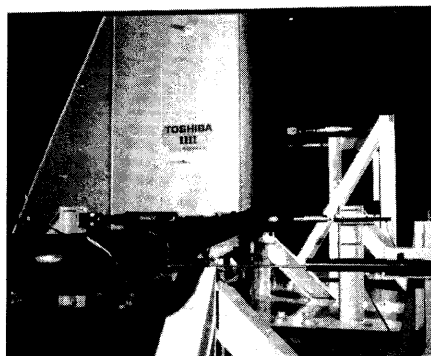
入力加速度に対する配管地震応答挙動はほぼ線形的であることを確認した。また別途実施した直接積分法を用いた時刻歴応答解析の結果と、良く一致することを確認した。試験では、S2 地震の1.25 倍までの加振を行ない、配管の相対変位吸収性能と配管及び防振装置の構造上、機能上の健全性を確認した。



試験体外観



免震建屋モデル近傍



防振装置近傍

開発途上国に対する住宅建設技術移転に関する研究 (枠組組積造の構造性能に関する研究)

1992年11月1日～1992年11月30日

建設省建築研究所 財団法人日本建築防災協会
防災科学技術研究所

1 実験の目的

組積造建築物の耐震性能を把握することを目的として、振動台実験により枠組組積造(鉄筋コンクリートの柱・はりとならぎの壁から構成される)の破壊形式及び組積壁内の補強効果について検討した。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

供試体	れんが壁内の水平補強筋 (モルタル目地内)	鉄筋コンクリート柱部分の鉄筋	
		主筋(柱軸方向の鉄筋)	せん断補強筋(フープ筋)
M-D Nov.12	D4 シングル通し 水平目地全段 19 段	4D8	D3-@45
I-D Nov.19	無補強	4D8	D3-@45
H-D Nov.26	無補強	4D4	D3-@45

I-D：基準モデル

H-D：壁が無補強で柱に主筋量が少ないモデル

M-D：壁に補強されたモデル

(2) 実験内容

- ・ 供試体(同一モデルを2体)の上部に約30tonfの重りを積載し、下部から地震動を入力する
- ・ 入力地震動は1968年十勝沖地震の八戸港湾のEW成分
- ・ 最大加速度約1000galを目標とし、時間軸を0.7倍に縮小した波形

3 主な結果

(1) M-D 試験体

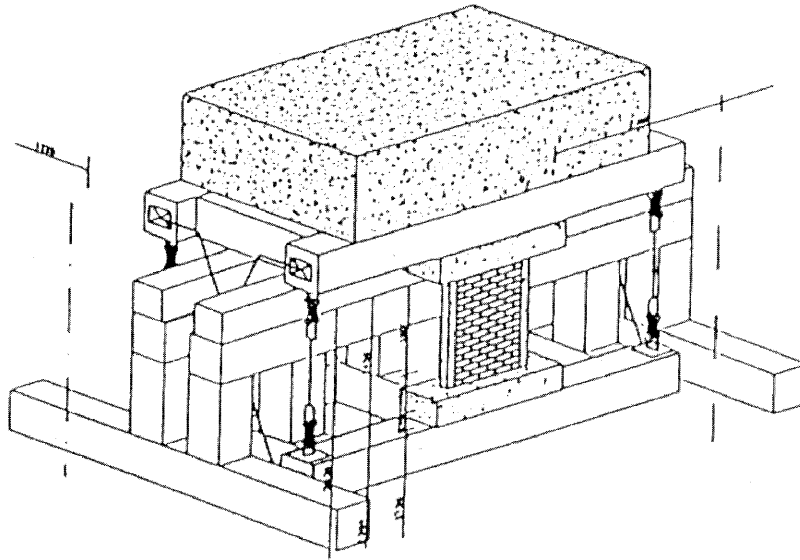
組積壁にせん断ひび割れが発生するが、ひび割れ幅は小さく、地震入力終了後も鉛直支持能力は健在であった。曲げモーメントによる被害が柱脚に見られる。

(2) I-D 試験体

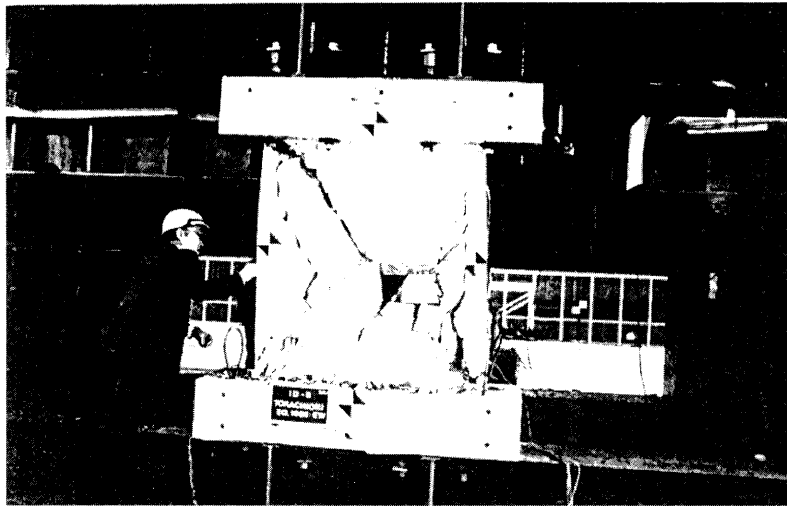
組積壁にせん断ひび割れ(X型)が発生し、そのひび割れが柱に達することにより柱頭・柱脚が破壊した。この結果供試体は鉛直力を支持できなくなり、地震入力途中で崩壊した。

(3) H-D 試験体

組積壁の下端部に浮き上がりが発生(この時柱の主筋が破断した可能性がある)した後、壁に斜めひび割れや水平ひび割れ(目地に沿ったひび割れ)が発生し、その直後柱頭・柱脚の破壊とともに鉛直力を支えられなくなり崩壊した。



実験装置



破壊状況 (I - D 試験体)

強震動による鉄筋コンクリート構造物の破壊に関する研究

1992年12月1日～1993年2月28日

東急建設株式会社 東京大学生産技術研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

実物大の鉄筋コンクリート柱の振動台破壊実験を行ない、その崩壊過程、大変形領域に於ける荷重-変形特性を調べる。

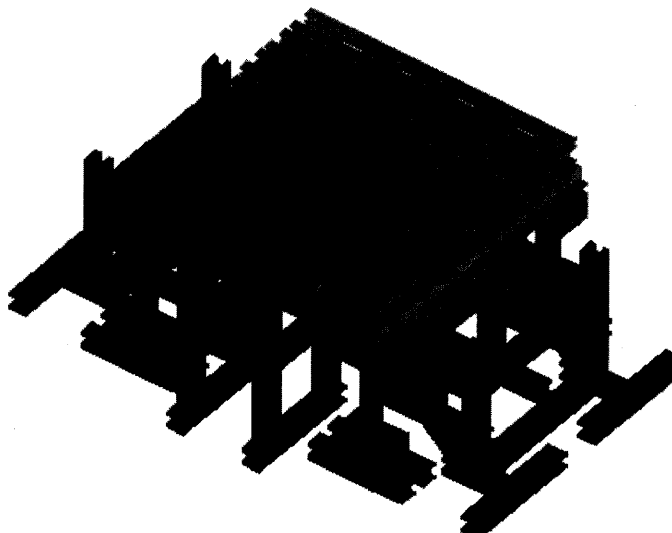
2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 1層ボックスフレームで、4本の柱部分だけが鉄筋コンクリートで、他の部分はすべて鉄骨製
- ・ 屋根はH型鋼と鉄塊ブロックで組み立てられ、重量は103ton

(2) 実験内容

- ・ 強震記録は1968年十勝沖八戸EW
- ・ 第1回は目標600gal、フープ筋@10cm、第2回は目標400gal、フープ筋@40cm



DYNAMIC COLLAPSE TEST OF ACTUAL RC COLUMNS

3 主な結果

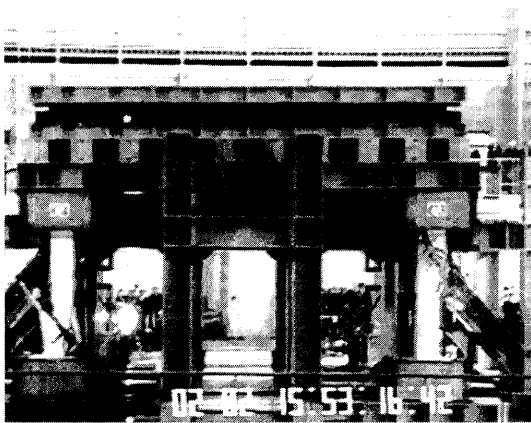
(1) 固有振動数・粘性減衰の変化

第1回の緊急停止加振の前後の比較から

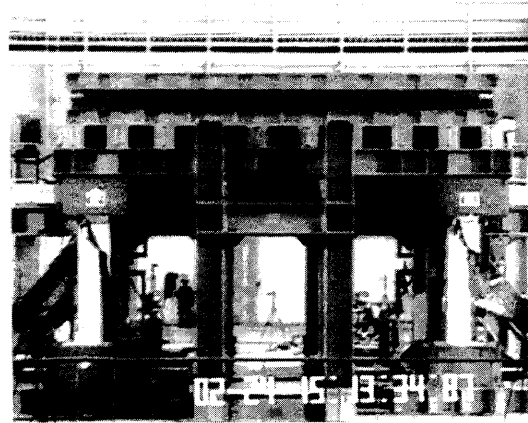
初期状態	4.2Hz	1.6%	$c=4\pi m \times 0.0672$
亀裂状態	3.2Hz	2.9%	$c=4\pi m \times 0.0928$

(2) 加速度-変形曲線

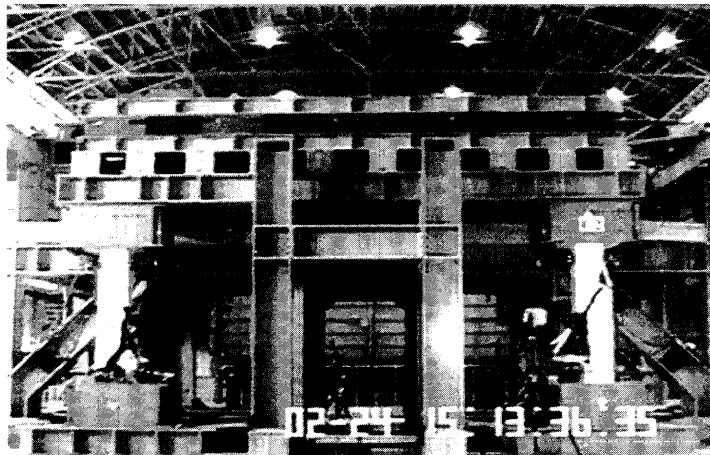
- ・ 第1回：鉄筋コンクリートに見られる Peak Oriented のループであるが、第3勾配は負勾配と推定される。
- ・ 第2回：ループを画く前に崩壊しており、最大強度は $103\text{ton} \times 0.8G = 82.4\text{ton}$ と推測される。



第1回北側構面



第2回北側構面



第2回南側構面

機器配管系の応答・損傷の制御に関する研究

1993年3月1日～1993年3月31日

石川島播磨重工業株式会社 横浜国立大学 防災科学技術研究所

1 実験の目的

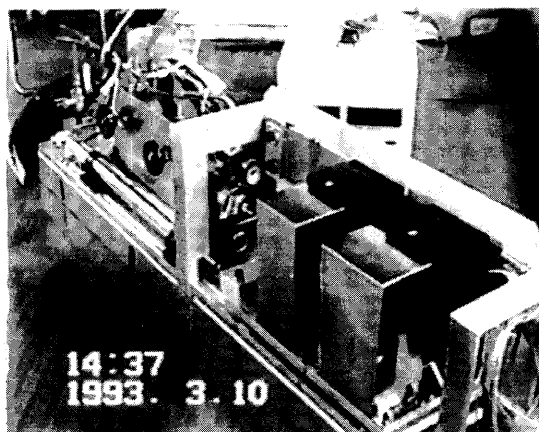
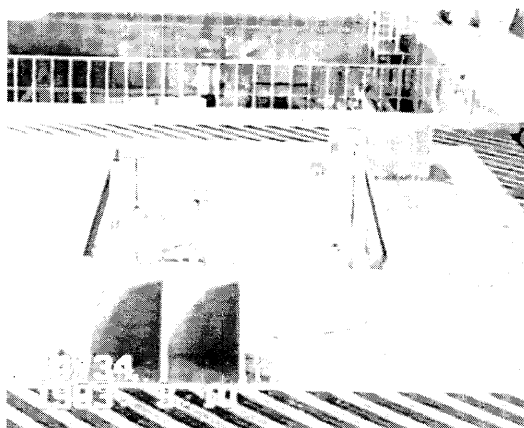
地震時の配管の振動を、制震要素(ダイナミックダンパ、以下ダンパとする)を用いて低減、制御する手法を開発する。

本実験では、空気バネ-磁気ダンパ方式のデバイスを試作、実大配管に搭載して振動実験を行ない、各種条件でのダンパの動的挙動と制振性能を評価し、開発上の問題点を明らかにする。

また、将来的には能動型(または準能動型)のデバイスの開発を考え、このための開発課題についても本実験をもとに検討を加える。

2 供試体および実験条件

- (1) 単体試験(ダンパおよび配管系)
- (2) ダンパ付き配管系の制振実験(その1、5Hz モデル)
- (3) ダンパ付き配管系の制振実験(その2、7Hz モデル)



3 主な結果

試作した配管制震用ダンパを用いて実験を行った結果、応答低減率は正弦波加震で1/15程度であった。正弦波に対するチューニング最適条件をそのまま用いた場合の地震波、ランダム波応答試験では、波形に依存するが1/2ないし1/3程度の低減率であった。地震波に対する低減率についてはさらに改善する必要がある。

改良グローブボックスの閉じ込め性能確認試験

1993 年 4 月 15 日 ～ 1993 年 6 月 25 日

株式会社東芝 三井造船株式会社 防災科学技術研究所

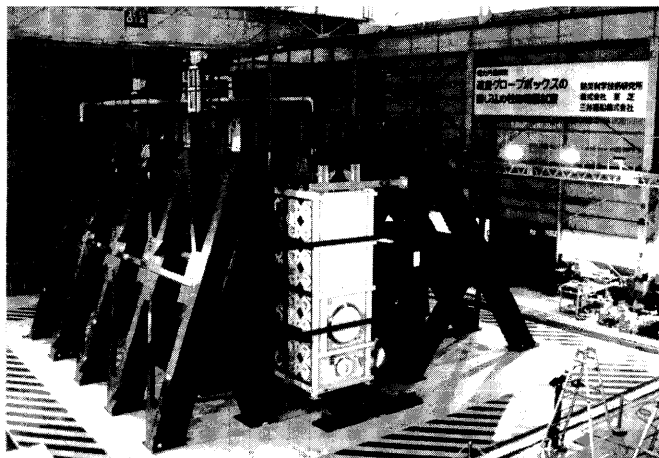
1 実験の目的

実用再処理施設に設置される予定のグローブボックスの実物大供試体を加振することにより、保守・補修性向上のための構造変更部及び給排気系を含めたグローブボックスの地震時の閉じ込め機能と構造強度の健全性を確認することを目的としたものである。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 独立型遮蔽体付グローブボックス (長さ 8m、高さ 4m、奥行 1.2m)
- ・ 従来型遮蔽体付グローブボックス (長さ 4m、高さ 3.5m、奥行 1m)
- ・ 据え置き状態として建物の天井及び壁からの支持条件を実現するための架構 (幅 10.5m、奥行 10m、高さ 6m) を設け、それぞれに給排気系も設けている。



試験風景 (独立型遮蔽体付グローブボックス)

(2) 試験項目及び実験条件

- ・ 振動特性試験
正弦波掃引加振試験により振動特性 (固有振動数、振動モード等) を把握した。
- ・ 閉じ込め機能確認試験
供試体内部を加圧 (+60mmH₂O) して再処理施設建屋の S_1 、 S_2 床応答波による加振後にハロゲンリーク検査を実施して閉じ込め機能を確認した。
- ・ 負圧維持機能確認試験
給排気系により供試体内部を負圧 (-30mmH₂O) として、 S_1 床応答波による加振を実施した。

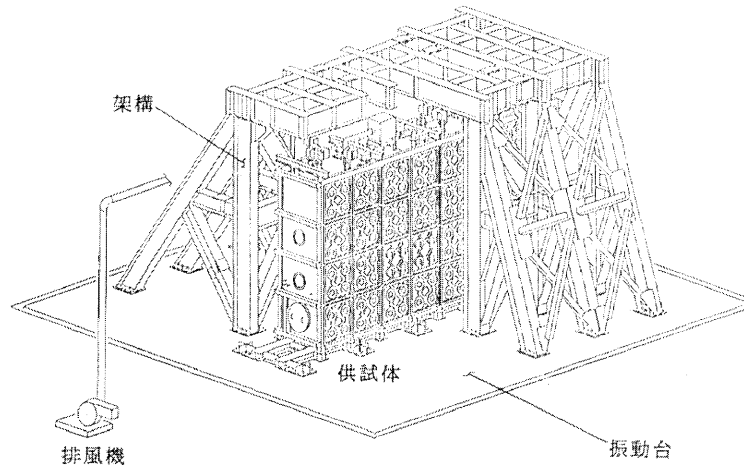
閉じ込め機能特性試験

供試体内部を加圧 (+60mmH₂O) し、供試体固有振動数付近の正弦波による加振で閉じ込め機能に関する特性データを取得した。

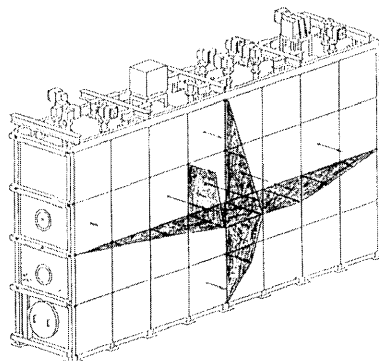
3 主な結果

- (1) グローブボックスの主振動モードはパネルの面振動であり固有値は約 10Hz であった。
- (2) S_1 、 S_2 及び $2S_2$ の加振において、保守・補修性向上の観点から行なった構造変更部分に関し、漏洩量は計測限度以下であった。
- (3) S_1 加振中でもグローブボックスの負圧状態が維持されることがわかった。
- (4) S_1 、 S_2 及び $2S_2$ の加振において、グローブボックスの破損はなく、構造は健全であった。

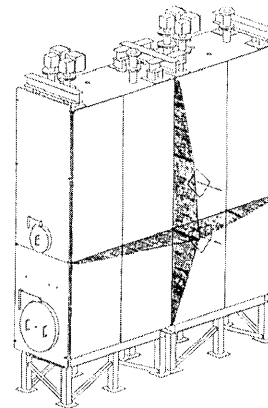
なお、本加振試験は、十電力並びに原燃株式会社による電力共通研究として実施された。



試験装置概念図



独立型遮蔽体付グローブボックス
1次 (10.2Hz)



従来型遮蔽体付グローブボックス
1次 (10.8Hz)

液状化地盤における杭基礎の地震抵抗に関する研究

1993 年 6 月 26 日 ～ 1993 年 7 月 31 日

Wayne State 大学 防災科学技術研究所

1 実験の目的

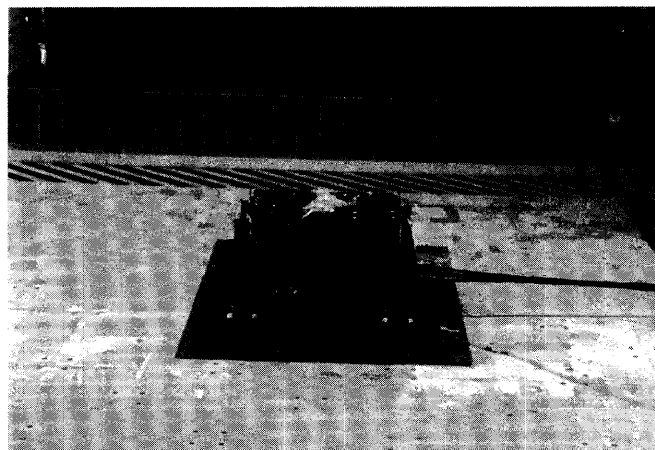
飽和砂層地盤模型を振動台上に作成し、これに埋設した模型杭の動的挙動を詳細に調べる。

2 供試体および実験条件

- 飽和砂層 : 長さ 2m、高さ 1m、奥行 1m
- 杭基礎 : 基礎模型 (27.8cm × 17.8cm × 8.3cm、重量 12.4kg)
杭模型 (長さ 91.7cm、幅 5cm、厚さ 0.6cm の鋼板 2 本)
- 入力波 : 正弦波、ランダム波、地震波

3 主な結果

- (1) 振動台上で砂地盤の液状化現象を繰り返し再現することが可能であった。これは同種の大型実験を行なうための実験手法の確立につながる。
- (2) 液状化過程における砂の杭に対する反力特性は、従来考えられていたより複雑であることがわかった。たとえば、間隙水圧の上昇につれて、砂は剛性を失うが、粘性が増加し、杭の横荷重に対抗することができる。また、間隙水圧が逸散しはじめると、砂のダイレイタンスが杭の横抵抗を維持する事などがわかった。



支持部に非線形特性を有する配管系構造物の振動実験

1993年8月1日～1993年8月31日

東京都立大学 いわき明星大学
 防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

ガタ、摩擦が介在する配管-架構系の振動実験を行ない、非線形現象による振動挙動や配管-架構の連性運動を明らかにする。また、地震応答の低減効果を定量的に評価し、耐震設計への基礎データとする。

2 供試体および実験条件

主要寸法および材質

	材質	寸法
配管	配管用炭素鋼鋼管	全長：30m、外径：216.3mm、管厚：5.8mm
支持架構	軟鋼	

摺動シュー ： 軟鋼
 プレート ： 軟鋼、テフロン
 GAP 量 ： 4mm, 8mm
 入力波 ： ランダム波、模擬地震波、実地震波、正弦掃引波

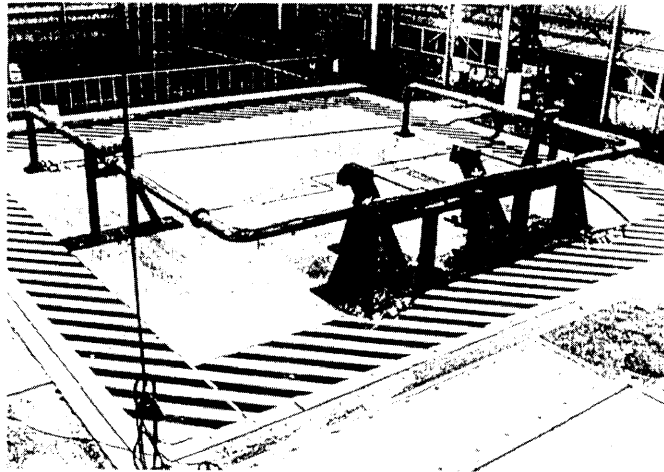
系のパラメータ

		固有振動数	減衰比
配管	GAP=0	4.1[Hz]	0.7[%]
	GAP=∞	4.7[Hz]	0.5[%]
支持架構	剛構造	35.9[Hz]	3.3[%]
	柔軟構造 A	8.8[Hz]	0.7[%]
	柔軟構造 B	7.2[Hz]	0.8[%]

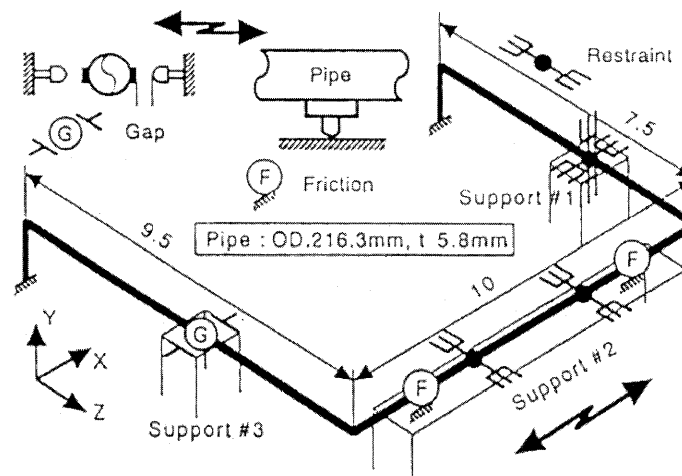
3 主な結果

ガタや摩擦による応答低減効果を応答低減係数 β を用いて定量的に評価した結果、以下のことがわかった。

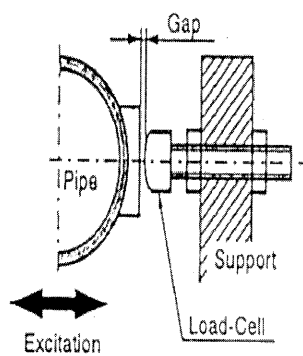
- (1) 摩擦が介在する系では、入力レベルの増加に伴い β の値は減少し、ガタのみが介在する系では逆に増加する。
- (2) ガタ・摩擦系では、本実験で行なった入力レベルの範囲内では摩擦による効果が支配的となる。
- (3) 架構による比較を行なったところ、架構が柔軟構造の場合には入力レベルによる β の値の変動は少ない。
- (4) 本実験で行なった入力レベルの範囲内では、常に摺動している入力レベルでは架構の違いによる応答低減効果の差は小さい。



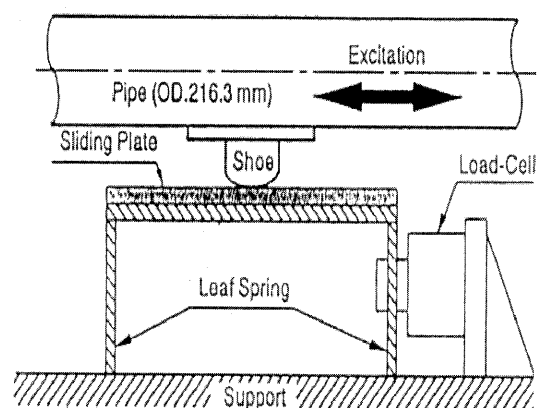
供試体全景



供試体の形状および寸法



ガタ部の略図



摩擦部の略図

伸縮式移動観覧席の耐震実験

1993年9月1日～1993年9月22日

愛知株式会社 株式会社日本システム設計 防災科学技術研究所

1 実験の目的

近年多目的ホールに多く導入される移動式観覧席の地震時の挙動及び耐震安全性について実験を行なう。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

間口寸法 6500mm × 奥行寸法 14500mm × 高さ 4500mm(展開時)

主要寸法および材質

名称	材質	主要寸法
床	アルミニウム及びアルミニウム合金押し出し材	
支柱	一般構造用角形鋼管 STKR400	□-100 × 50 × 3.2t
すじかい	一般構造用角形鋼管 STKR400	□-50 × 50 × 3.2t
ライザー (梁材)	一般構造用軽量形鋼 SSC400	c-150 × 50 × 20 × 3.2t
その他	一般構造用圧延鋼 SS400	

(2) 実験条件

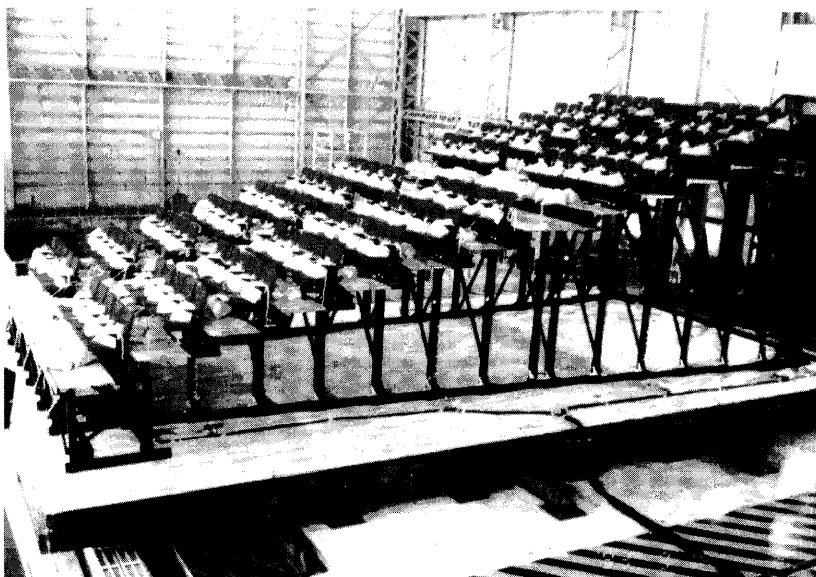
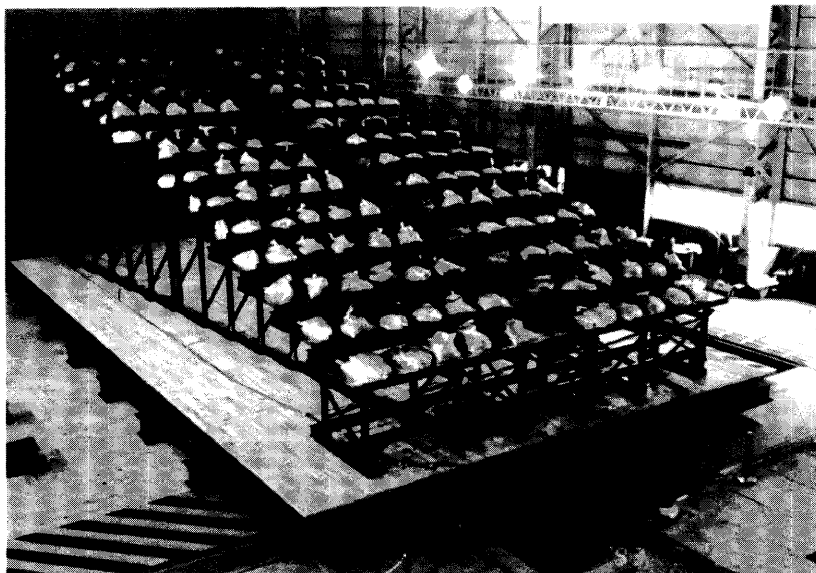
伸縮方向 (X 方向) 及び伸縮方向と直角方向 (Y 方向) について加振する。

- ・ STEP 波加振：STEP 波 (振幅 2mm、間隔 30 秒) で加振する。
- ・ sin 波 SWEEP 加振：最大加振速度 (100gal 及び 200gal) を一定に保ち、加振振動数を 0.5Hz から 15Hz まで変化させる。
- ・ 地震波加振：EL SENTRO NS、HACHINOHE NS、HACHINOHE EW、TOKYOU101 NS について行なう。(200gal 及び 500gal)
- ・ 共振 sin 波加振：STEP 波加振より得た固有振動数の sin 波を用いて、加振加速度を 100gal から 1000gal まで 50gal 間隔で増加させる。

3 主な結果

STEP 波加振	:	固有振動数	X 方向 1.67Hz、Y 方向 4.82Hz
sin 波 SWEEP 加振	:	加速度応答倍率	X 方向 2.7～20 倍、Y 方向 3.2～3.4 倍
地震波加振	:	加速度応答倍率	脚部 X 方向 2.7～20 倍、Y 方向 1.1～8.5 倍
		上部	X 方向 1.4～10 倍、Y 方向 0.9～2.4 倍
		最大歪み	X 方向 789 μ 、Y 方向 299 μ (弾性限度歪み 1148 μ)
共振 sin 波加振	:	加速度応答倍率	脚部 X 方向 2.0～25 倍、Y 方向 0.4～5.7 倍
		上部	X 方向 1.0～7.8 倍、Y 方向 0.8～2.4 倍
		最大歪み	X 方向 789 μ 、Y 方向 299 μ (弾性限度歪み 1148 μ)

全試験を通じて、Y 方向においては、試験体は脚部の車輪が床面との摩擦によって若干摩耗した他は異常は認められず、又、X 方向においては、接合部のいくつかは破断したがその後の振動性状に変化はなく崩壊しなかったことから、想定される地震波入力に対して十分な構造安全性を有していると判断できる。



開発途上国に対する住宅建設技術移転に関する研究(その2)

1993年10月1日～1993年10月31日

建設省建築研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

開発途上国で数多く建設されている構造の形態は、組積造(れんが、石等を積み上げて壁を造り上げる)であるが、国の社会的条件や耐震技術の不備等の理由から地震時における被害が大きくなる。本研究では組積造建築物の耐震性能を把握することを目的として、振動台実験により枠組組積造(鉄筋コンクリートの柱・はりとなれんがの壁から構成される)の破壊形式及び組積壁内の補強効果について検討した。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

試験体名称	鉄筋コンクリート柱の補強		れんが壁の補強 (モルタル目地内)
	主筋 (主筋比)	せん断補強筋 (せん断補強筋比)	
IDM	4D10 (2.16)	D4 - @40 (0.63)	なし
KDM	4D10 (2.16)	D4 - @40 (0.63)	上端から5段、下端から5段、 柱側の壁を補強(D4)

(鉄筋の寸法はmm、鉄筋比は%である)

- ・メキシコレんがの壁を2本の柱で拘束する
- ・実物に対する寸法の相似比は1/2である

(2) 実験内容

- ・供試体の上部に約30tonfの重りを積載し、下部から地震動を入力する
- ・入力地震動は1968年十勝沖地震の八戸港湾のEW成分
- ・最大加速度約1000galを目標とし、時間軸を0.7倍に縮小した波形

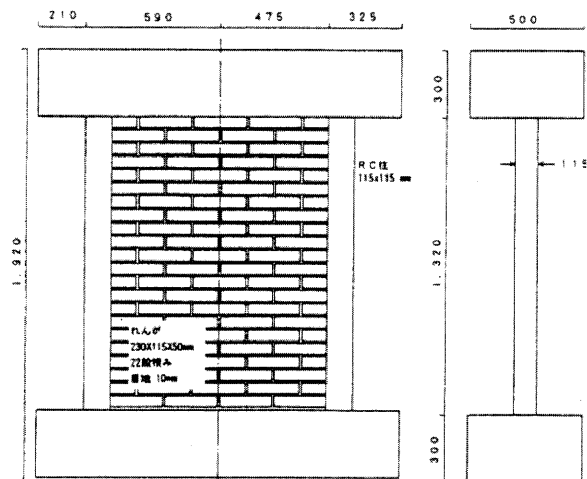
3 主な結果

(1) KDM 試験体

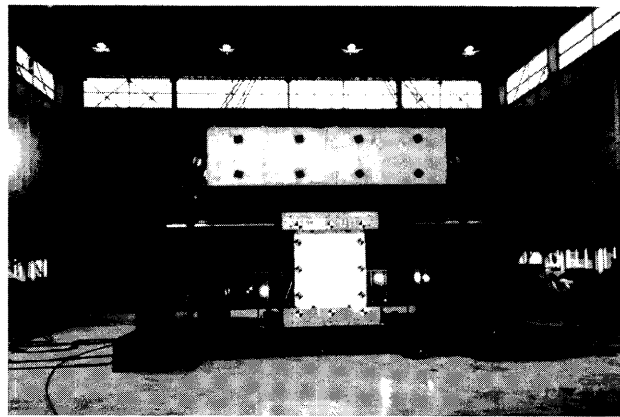
組積壁にせん断ひび割れが発生するが、ひび割れ幅は小さく、地震入力終了後も鉛直支持能力は健在であった。曲げモーメントによる被害が柱脚に見られる。

(2) IDM 試験体

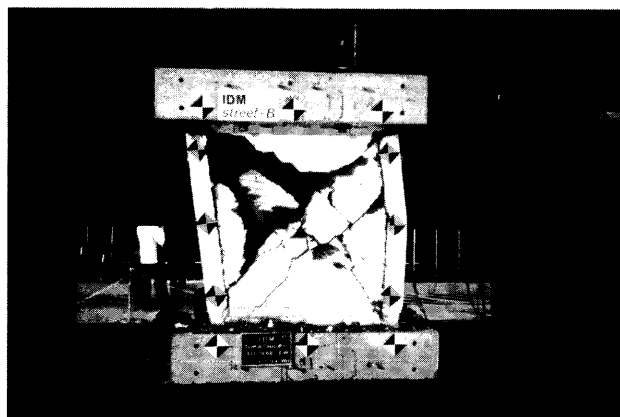
組積壁にせん断ひび割れ(X型)が発生し、そのひび割れが柱に達することにより柱頭・柱脚が破壊した。この結果供試体は鉛直力を支持できなくなり、地震入力途中で崩壊した。



枠組組積造試験体



実験装置全景



破壊状況 (IDM 試験体)

機器配管系の応答・損傷の制御に関する研究

1993年4月1日～1993年4月14日

1993年11月1日～1993年12月28日

横浜国立大学 Argonne 研究所 石川島播磨重工業株式会社
株式会社ブリヂストン 防災科学技術研究所

1 実験の目的

地震による配管系および容器の応答を低減する手法の開発、およびその評価のための基礎実験を行なう。

- (1) 基礎的な平面配管モデルにダイナミックダンパを搭載し、地震による応答低減特性を把握する。
- (2) 容器の応答低減法の開発につながる基礎実験として、液体の粘性がスロッシングにおよぼす影響、およびスロッシングによるタンク屋根・壁へのインパクト荷重を把握する。

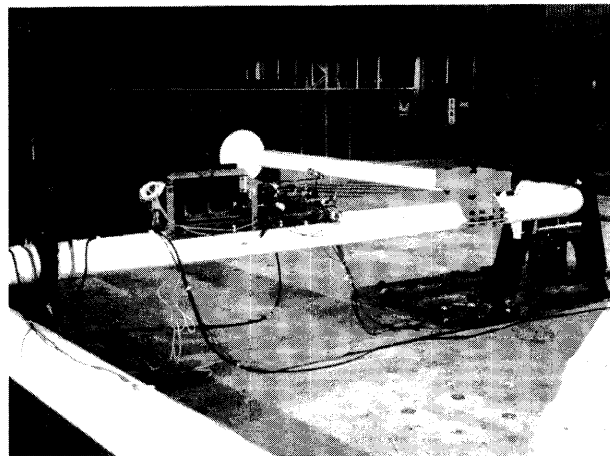
2 供試体および実験条件

- (1) 配管系モデル
平面 Z 型、炭素鋼管 SGP、口径 150A、全長 12m、1 次 4.7Hz
ダイナミックダンパ
バネ要素：定コイルバネ + 可変空気シリンダバネ
減衰要素：電磁石型磁気ダンパ
- (2) 容器モデル
小型円筒タンク：アクリル製、直径 80cm、高さ 60cm
大型円筒タンク：スチール製、直径 240cm、高さ 200cm
矩形タンク ：FRP パネル製、長さ 5m、幅 3m、高さ 2m
内容液 ：シリコンオイル及びドリルメイト溶液を使用し、粘度は 1、10、200、1000cp とした。

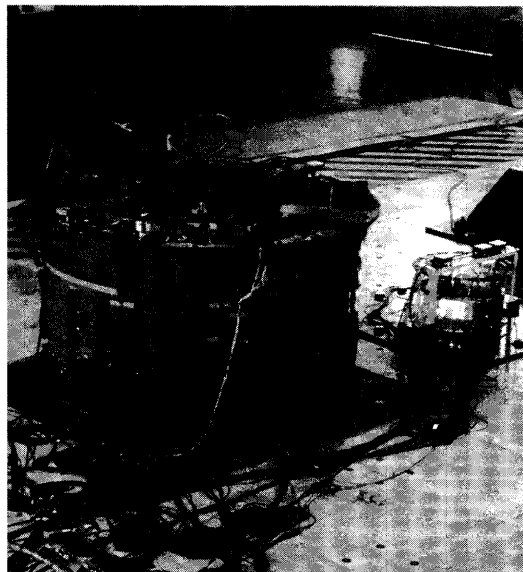
3 主な結果

- (1) 配管系モデル実験
 - ・ 前年度実験以後、ダンパの減衰特性などの改善を行なった結果、摩擦等不確定要素の影響は小さくなり、波形、応答曲線ともにかなり改善された。
 - ・ 応答低減率は正弦波加振で 1/10 程度、地震波・ランダム波では波形に依存するが 1/2 ないし 1/3 程度でさらに改善が必要であることがわかった。
- (2) 容器モデル実験

- ・ 粘度が増加するにしたがって固有振動数は下がる。しかしその割合は非常に小さい。
- ・ 粘度の増加とともに減衰は大きくなり応答波高は下がることが確認された。円筒タンクの減衰比は、200cp 程度までの粘度では Case の理論値に比較的近い値が得られた。
- ・ スロッシングの減衰比はほぼ同じ粘度を持つシリコンオイルとドリルメイト溶液で相違があり、流体の物性による影響を評価する必要がある。
- ・ 屋根インパクトの衝撃性と負圧は粘度及び入力波による変動が顕著である。矩形タンクではこれによりタンク屋根の損傷が実際に起こることを確認した。



配管系モデルおよびダイナミックダンパ



容器モデル (小型および大型円筒)

500kV ガス絶縁 CT 耐震実験

1994年1月5日～1994年1月15日

日新電機株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

500kV ガス絶縁 CT の耐震性能を確認するとともに、当該機器の耐震設計法確立のためのデータを
得ることを目的とする。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

- ・ 500kV ガス絶縁 CT
- ・ 重量約 3000kg、高さ 6075mm、碍管部にはノンセラミック碍管 (FRP 円筒 + シリコンゴム) を
使用

(2) 実験条件

- ・ 正弦波掃引
- ・ 共振周波数近傍の正弦波 0.25G
- ・ 最大加速度 0.3G 程度の自然地震波 (El Centro、宮城沖)

3 主な結果

(1) 正弦波掃引

共振周波数 : 1.4Hz
応答倍数 (頂部) : 18 倍

(2) 正弦波 0.28G(1.4Hz)

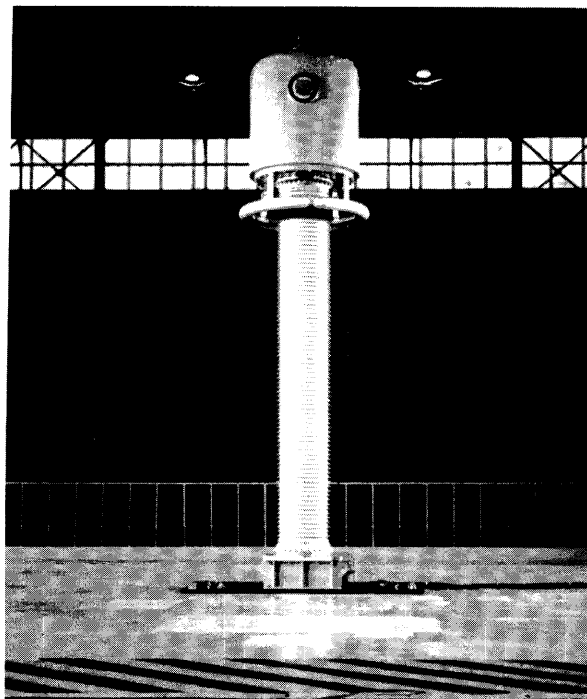
最大加速度 (頂部) : 2.03G
応答倍数 (頂部) : 7.3 倍
減衰定数 : 3.6%
最大歪量 : 10733 μ
最大発生応力 : 1503kg/cm²

(3) 自然地震波

大型耐震実験施設利用実験概要集

	El Centro	宮城沖
入力最大加速度	0.28G	0.34G
最大加速度 (頂部)	0.89G	1.31G
最大歪量	3851 μ	6102 μ
最大発生応力	539kg/cm ²	854kg/cm ²

500kV ガス絶縁 CT の耐震性能及びノンセラミック碍管の諸データが確認できた。



供試体全景

強震動による鉄筋コンクリート構造物の破壊に関する研究

1994年1月16日～1994年3月31日

東急建設株式会社技術研究所 株式会社奥村組
株式会社青木建設 防災科学技術研究所

1 実験の目的

3層からなる鉄筋コンクリート構造物の供試体を製作し、大型振動台を用いて破壊実験を行ない、想定した破壊形状が実際に生じるか検討を行なう。

鉄筋コンクリート構造物の地震時の建物の崩壊被害の究明、その対策、ならびに鉄筋コンクリート構造物の耐震設計に役立てることを目的としている。

2 供試体および実験条件

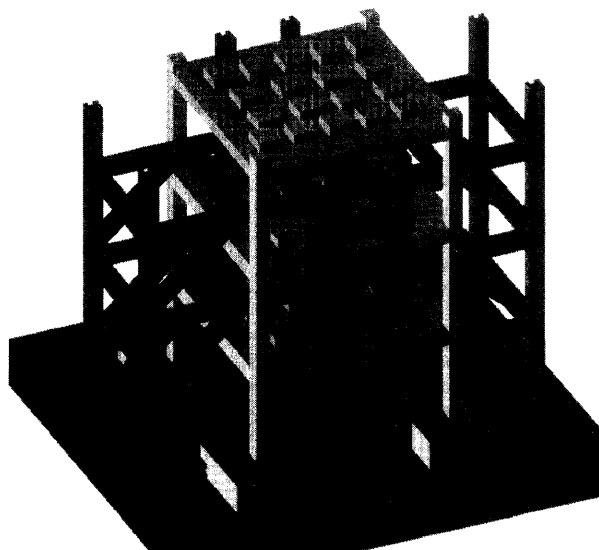
(1) 供試体

3層1スパン×1スパン鉄筋コンクリート構造模型(安全フレーム付)

供試体寸法	:	6000mm(W) × 6000mm(D) × 3000mm(H) × 3層 最高高さ 10200mm
供試体各層重量	:	39ton
供試体基礎部重量	:	58ton
安全フレーム寸法	:	10000mm(W) × 8000mm(D) × 9900mm(H) (主要材 H400 及び BH450)
安全フレーム重量	:	80ton
総重量	:	255ton

(2) 実験条件

加振波形は 1968 年十勝沖地震の八戸 EW 600GAL 等



深層地下空洞及び内部構造物の振動挙動に関する研究

1993 年 12 月 1 日 ～ 1993 年 12 月 20 日

動力炉・核燃料開発事業団 防災科学技術研究所

1 実験の目的

高レベル放射性廃棄物の「地層処分」における、人工バリアシステムの地震動による影響を実験的に解明し、地震動解析手法の開発を行ない、地中における人工バリアシステムの長期挙動を評価する手法を確立する。

2 試験体および実験条件

(1) 試験体

1) 模擬試験体

緩衝材にベントナイトを用いた実験を行なうために、可視化した供試体を製作し、オーバーパックの振動挙動を直接観察するとともに、実験手法の確認、基本データの取得を行なった。

- ・ 拘束容器 (天然バリアに相当する)

直径 300mm × 長さ 700mm の円筒形で密封型、肉厚 15mm のアクリル材で、補強材としてステンレス鋼を使用。

- ・ 模擬オーバーパック

直径 100mm × 長さ 200mm の円筒形、炭素鋼材で重量 12kg。

- ・ 模擬緩衝材

比重 0.97(25 °c の時)、硬度 18、無色透明のシリコンゴム。

2) 小型試験体

緩衝材にベントナイトを用いて、工学規模の 1/10 スケールのモデルを製作した。

- ・ 拘束容器 (天然バリアに相当する)

直径 300mm × 長さ 700mm の円筒形で密封型、SUS 304 材で胴板厚 6.5mm。

- ・ 模擬オーバーパック (模擬供試体と同じ)

- ・ 模擬緩衝材

材質は粉末ベントナイト (クニゲル V1)

(2) 実験方法

小型振動台 (2 次元継ぎ手加振装置) を使用し、水平方向及び鉛直方向の振動実験を行なった。

1) 実験 1 : ベントナイトを充填密度 0.9 にし、注水前と注水後の振動実験。

2) 実験 2 : ベントナイトを充填密度 0.8 にし、注水後の振動実験。

3) 実験3：ベントナイトを充填密度0.8にし、充填する時に水を加える振動実験。

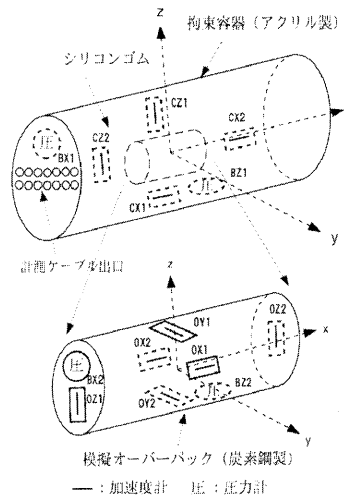
3 主な結果

(1) 模擬試験体

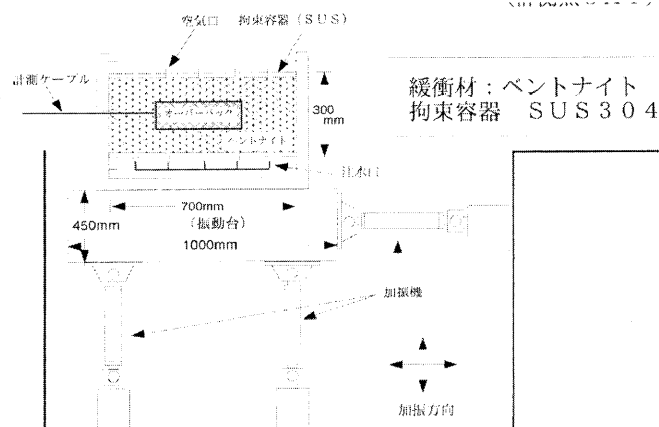
- ・ 加振周波数帯を10Hz～60Hz または 60Hz～10Hz としても共振曲線に変化はなかった。このことから本モデルは、摩擦やギャップなど強い非線形特性を示す要素はないと考えられる。
- ・ 加振加速度が大きくなるに従って応答倍率が減少した。このことから加振加速度が小さい時に、より強い共振特性を示した。

(2) 小型試験体

現在実験中である。



模擬試験体のセンサー配置図



小型試験体の振動台設置状況図

磁気テープライブラリ装置の耐震実験

1993 年 9 月 23 日 ～ 1993 年 11 月 30 日

富士通株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

大地震時の磁気テープライブラリ装置の機能維持及び耐震安全性等の評価確認を行なうことを目的とする。

2 試験体および実験条件

(1) 供試体

磁気テープライブラリ装置：幅 12m、奥行き 2.2m、高さ 1.8m、重量約 6ton

(2) 測定項目

加速度計による計測 (13ヶ所) を行ない、測定データはアナログペンレコーダーに記録。

(3) 実験方法

1) 共振点検索

・ 低レベル正弦波を連続的に周波数を変えながら数十秒程度加振し、各部の共振周波数及び応答倍率を求める。

・ 加振周波数：3Hz～60Hz～3Hz

・ 加振加速度：100gal、200gal、400gal

・ 加振時間：100gal - 600 秒、200gal,400gal - 240 秒

2) 模擬地震波加振実験

・ エルセントロ 1940 年 NS

・ タフト 1952 年 EW

3) 実加振実験

・ スイープ加振

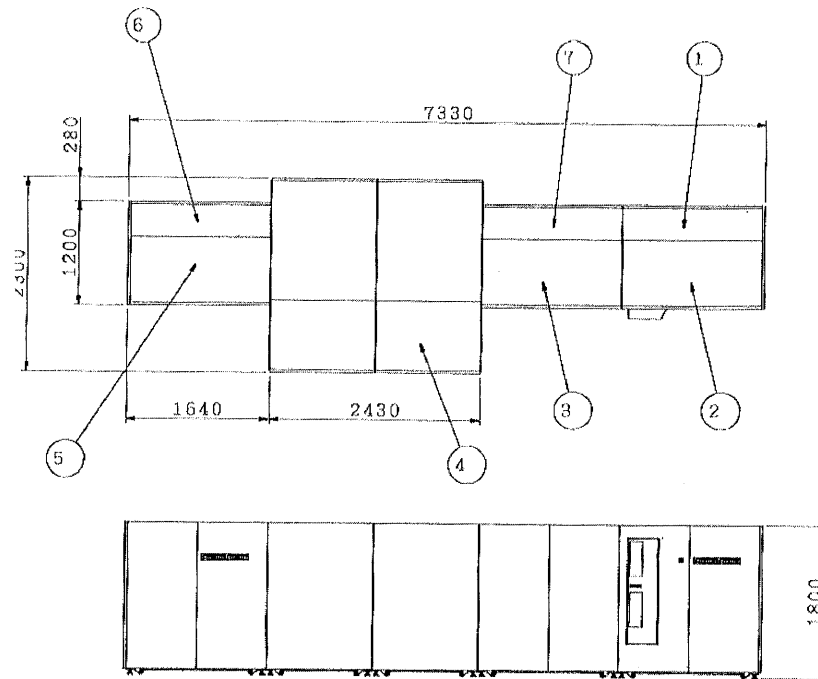
・ 地震波加振

(4) データ解析

正弦波加振による応答波形から各部の共振周波数、応答倍率及び位相を求めた。

3 主な結果

今回の実験の場合、機械的な稼働部が重要な要素であるが、機械的な稼働部はいずれの加振においても異常は認められなかった。しかし、長手方向の加振では、入力波エルセントロ NS、980gal 及び 800gal、また、入力波タフト EW、980gal で MT カートリッジの落下があった。



F6455 モデル 21BE 試験体外形図

番号	名称	重量 (kg)
1	F6455A2	380
2	F6455A31	625
3	F6455C50 (番号7の重さを含む)	1300
4	F6455EA4	2376
5	F6455B30	562
6	F6455B2	200
7	F6455C4	

テールアルメ補強土擁壁の地震時特性に関する振動実験

1994 年 4 月 15 日 ～ 1994 年 7 月 25 日

建設省建築研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

テールアルメ補強土擁壁に作用する地震時土圧、補強材や盛土材料に働く力および補強土擁壁の変形挙動を調べ、地震時の内的安定に関する設計法を検討することを目的とする。

2 供試体および実験条件

表1 セン断土槽と実験体の主要寸法および構造

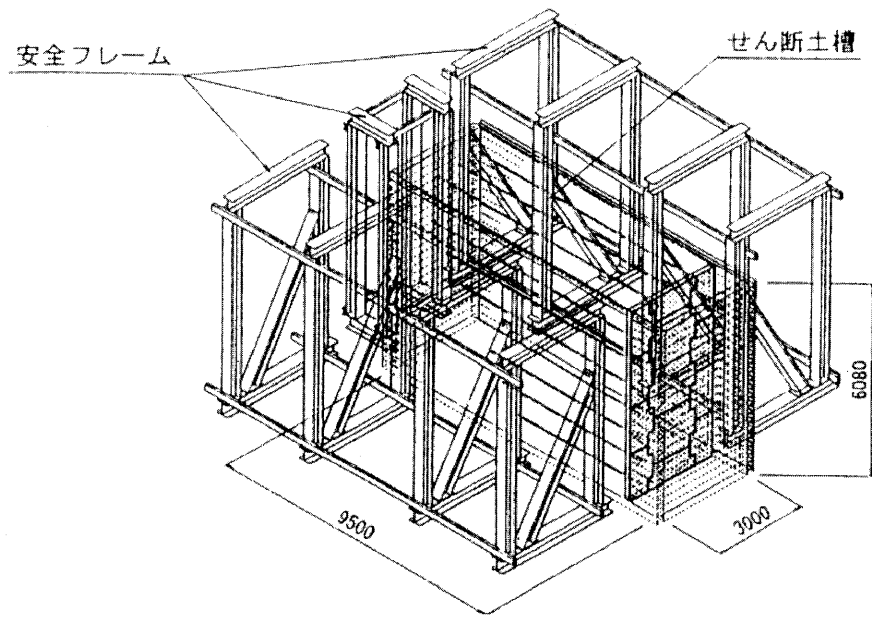
	寸法	構造
せん断土槽	長さ 10000mm 高さ 6080mm 幅 3500mm	H250 の H 型鋼フレームを 23 段積み上げた積層構造で、各フレーム間には、自由にせん断変形を許すようにローラーを配置している。
試験体	長さ 8500mm 高さ 6000mm 幅 3000mm	試験体は壁面材、補強材、盛土材料より構成されている。 補強材の長さは、引拔けに対する安全率を長期 2.0, 短期 1.2 として決めている。 (盛土材料) シルト質砂 (SM), $F_c = 19\%$, $U_c = 5.1$

表2 主な加振条件

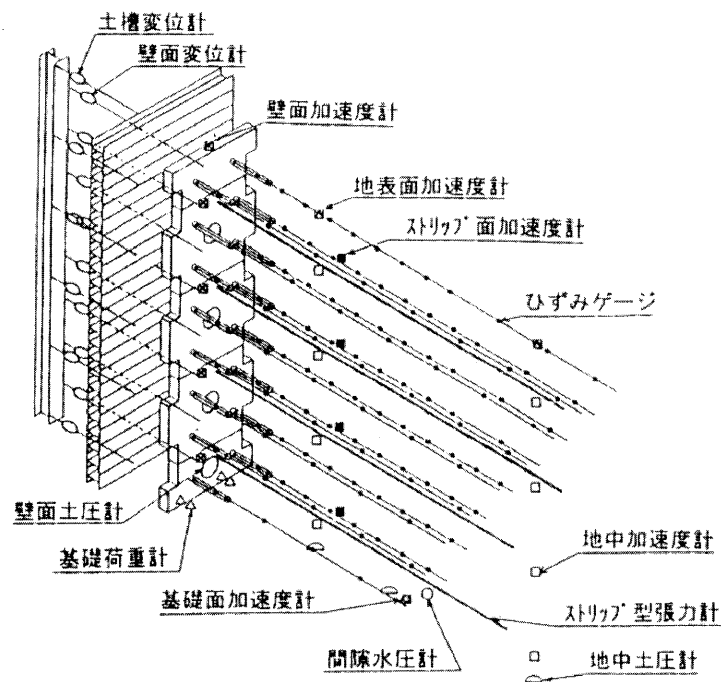
盛土高さ	スイープ加振		正弦波加振		地震波加振	
	周波数	入力加速度	周波数	入力加速度	周波数	入力加速度
6m	1Hz	47gal	2Hz	24gal	TAFT EW	113gal
	}			}		}
	10Hz			176gal		220gal

3 主な結果

- (1) テールアルメ補強土擁壁では、加振時に壁面材、補強材および盛土材料が一体となって挙動し、各部材間の位相のズレはない。
- (2) 補強材に作用する引張力から算出した加振時の土圧増加量は、地表面からの深さに比例するほぼ三角形分布を示す。
- (3) 補強材に作用する引張力の増分率と地盤内加速度との関係は、盛土高さに関係なくほぼ同様の傾向を示し、地盤内加速度 200gal に対して常時のおよそ 1.7 倍程度となる。
- (4) 補強土擁壁の変形挙動をみると、入力加速度 150gal(地表面加速度 550gal) に対して一次のモードで盛土側、前面側ともにほぼ同様に変形し、地表面の最大変位量は 10mm 程度である。



実験装置の概要



計測器の配置図

深層地下空洞及び内部構造物の振動挙動に関する研究

1994 年 8 月 7 日 ～ 1994 年 8 月 31 日

1994 年 12 月 7 日 ～ 1994 年 12 月 25 日

動力炉・核燃料開発事業団 防災科学技術研究所

1 実験の目的

高レベル放射性廃棄物の「地層処分」における、人工バリアシステムの地震動による影響を実験的に解明し、地震動影響解析手法の開発を行ない、地中における人工バリアシステムの長期挙動を評価する手法を確立する。

2 試験体および実験条件

- (1) 中型試験体 (オーバーパックを横置きに埋設した時を想定した状態)
試験体は、実物大の 1/5 スケールのモデルを製作した。

1) 拘束容器 (天然バリアに相当する)

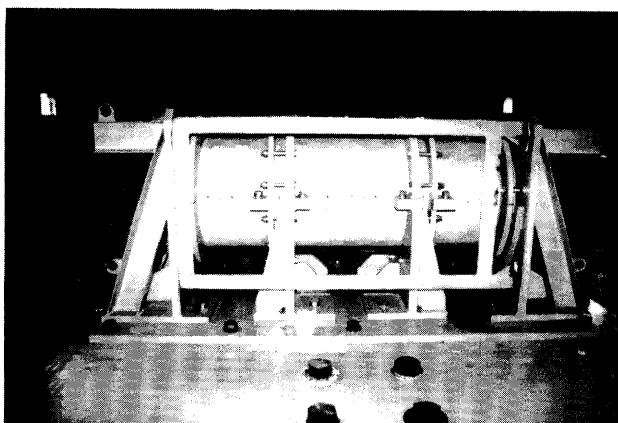
- ・ 形状 : 円筒形で密封型
- ・ 材質 : アクリル (補強部分はステンレス鋼)
- ・ 寸法 : 直径 600mm (内径 560mm) × 長さ 1400mm
- ・ 胴版厚 : 20mm

2) 模擬オーバーパック

- ・ 形状 : 円筒形
- ・ 材質 : 炭素鋼
- ・ 寸法 : 直径 200mm × 長さ 400mm
- ・ 重量 : 約 96kg

3) 緩衝材

- ・ 材質 : ケイ砂 (5 号)、粉末ベントナイト (クニゲル V1)



試験体全景

(2) 予備実験

緩衝材はケイ砂を用いて、計測方法の確認のための予備実験を行なった。
ケイ砂は、乾燥状態の時と水を含んだ状態での2ケースの振動実験を行なった。

(3) 本実験

緩衝材は粉末ベントナイトを用いて、オーバーパックの振動挙動の計測を行なった。
ベントナイトは、乾燥状態(乾燥密度0.85)での振動実験を行なった。

(4) 計測

計測は、オーバーパック及びベントナイト中に加速度計、土圧計及び間隙水圧計を設置して計測を行なった。

・加速度計 : 10ヶ所

・土圧計 : 4ヶ所

・間隙水圧計 : 2ヶ所

(5) 入力波

正弦掃引波

実地震波

3 主な結果

加振加速度が大きくなるに従って、固有振動数及び応答倍率が小さくなった。このことから、顕著な非線形特性(ソフトスプリング)であることがわかった。

加振加速度 (gal)	固有振動数 (HZ)		応答倍率	
	OX1	OX2	OX1	OX2
50	35.1	35.1	4.8	4.7
100	26.8	27.9	3.7	3.7
200	23.3	23.3	3.3	3.3
300	21.4	21.4	2.8	2.8

ベントナイト充填時の固有振動数

スロッシング実験時の振動台制御特性に関する研究 (ワームタンクモデルの振動実験)

1994 年 9 月 1 日 ～ 1994 年 9 月 20 日

防災科学技術研究所 石川島播磨重工業株式会社

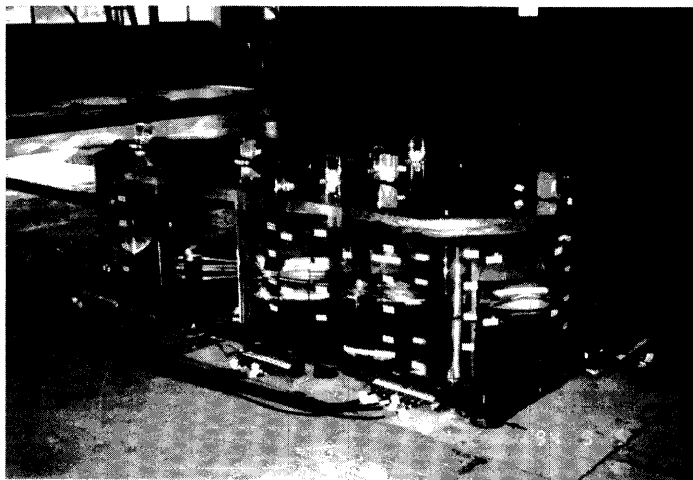
1 実験の目的

加振によるスロッシング停止法のための基礎研究を行なう。本年度は、その準備として、特殊形状のタンクを用いて、スロッシングの特性(固有値および減衰特性など)を調べる。

2 試験体および実験条件

円筒を組み合わせた形のタンクモデルを対象としたスロッシング実験を行なった。

長さ	: 2601mm(内面)
巾	: 990mm(内面)
高さ	: 656mm
材質	: アクリル(タンク本体および天板)、材木(ベースプレート)
肉厚	: 5mm(本体、天板)、12mm(ベースプレート)



ワームタンクモデル

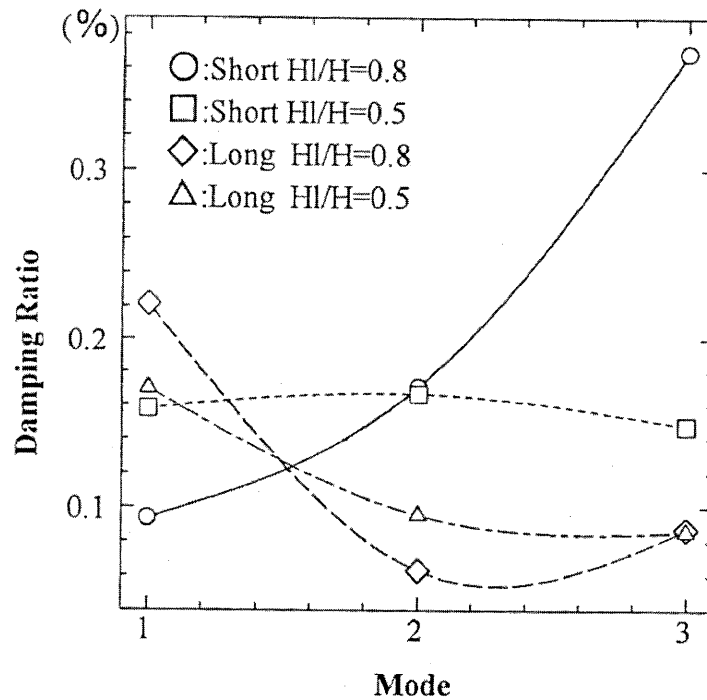
3 主な結果

- (1) 短手方向のスロッシング固有振動数は、外接近似の矩形タンクの固有振動数および円筒部 1 個を取り出した円筒タンクの固有振動数のほぼ中間的な値を示した。一方、長手方向のスロッシング固有振動数は低次では矩形タンク近似がほぼあてはまり、5 次以上になると 1Hz 程度の差異を生じた。

- (2) 本タンクのスロッシングの減衰は、短手方向については、高次ほど減衰が大きくなる通常の傾向を示しているが、長手方向については1次の減衰が大きく、2次以上の減衰がそれに比べて小さい、従って、応答曲線では1次に比べ、2次以上の方が大きいという結果が得られた。

長手方向スロッシングの固有振動数 (水位 80%の場合)

mode	worm tank	rectangular tank	cylindrical tank
1st	0.90Hz	0.86Hz	0.93Hz
2nd	1.56Hz	1.54Hz	1.64Hz
3rd	2.05Hz	1.99Hz	2.07Hz
4th	2.40Hz	2.35Hz	
5th	2.72Hz	2.66Hz	



スロッシングの減衰に関する実験結果
(長手および短手方向、水位 50%および 80%)

高減衰積層ゴムを用いた免震構造の振動台実験 (高減衰積層ゴム支承の効果の定量的把握)

1994 年 9 月 21 日 ～ 1994 年 10 月 6 日

東京大学生産技術研究所 財団法人電力中央研究所
株式会社ブリヂストン 防災科学技術研究所

1 実験の目的

構造物の免震装置に用いる高減衰積層ゴム支承の動的特性を評価するため工学規模の振動台実験を行ない、その免震効果を定量的に把握することを目的としている。本実験は、

- (1) 実験Ⅰ：高減衰積層ゴムの荷重履歴効果が免震性能に及ぼす影響の評価
 - (2) 実験Ⅱ：新材料高減衰積層ゴムについて(1)と同様の評価
 - (3) 実験Ⅲ：道路橋免震設計マニュアル(案)に準じて設計した免震支承の効果確認
- 以上3つの実験から成っている。

2 試験体および実験条件

(1) 供試体

	実験Ⅰ	実験Ⅱ	実験Ⅲ
ゴム材料	HDR401	新ゴム材料*1	HDR401
ゴム厚	$1.3 \times 31 \text{ 層} = 40.3(\text{mm})$	$1.3 \times 31 \text{ 層} = 40.3(\text{mm})$	$4.0 \times 10 \text{ 層} = 40.0(\text{mm})$
銅板	$0.6 \times 30 \text{ 層} = 18.0(\text{mm})$	$0.6 \times 30 \text{ 層} = 18.0(\text{mm})$	$3.1 \times 9 \text{ 層} = 27.9(\text{mm})$

(2) 実験条件

項目	積層ゴムの状態	実験条件
実験Ⅰ、Ⅱ	未変形	設計用地震波*2S1 × 1 回
	-	静的加力 200% × 4 サイクル
	200%ひずみ経験	設計用地震波*2S1 × 3 回
	未変形	設計用地震波*2S2 × 1 回
実験Ⅲ	-	静的加力 200% × 4 サイクル
	200%ひずみ経験	設計用地震波*2S2 × 3 回
	未変形	震度法レベル*3L1 × 1 回
	-	保耐法レベル*3L1 × 1 回
	-	震度法レベル*3L1 × 1 回

*1 荷重履歴効果を従来の HDR401 より小さくしたタイプの高減衰ゴム材料を指している。

*2 電力中央研究所で用いている原子力設計用の地震波 S1、S2 を指している。

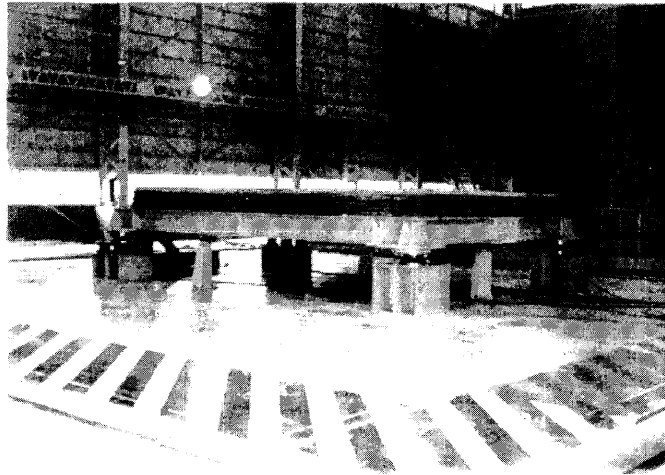
*3 道路橋の免震設計マニュアル(案)で用いられている震度法レベル L1、地震時保有水平耐力法レベル L2 を指している。

3 主な結果

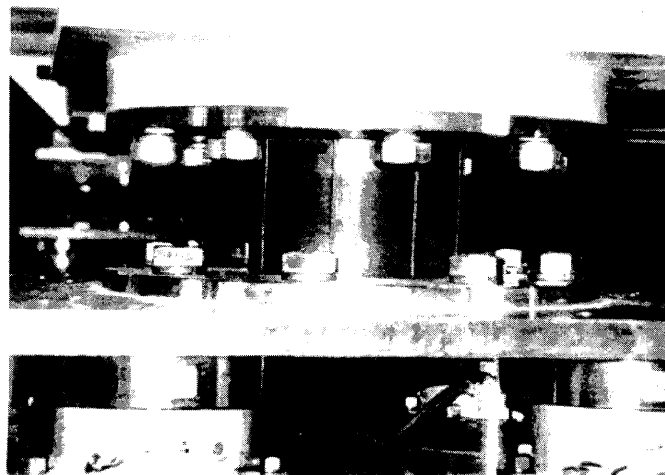
実験Ⅰ、実験Ⅱに関しては現在データ整理中である。

また、実験Ⅲ：道路橋の免震設計マニュアル(案)に準じて設計した高減衰積層ゴム支承を用いた実験より以下のことが確認された。

- (1) 震度法レベル、地震時保有水平耐力レベルともに実験での水平震度が設計水平震度より低く押さえられており、期待通りの免震効果を得ることができた。
- (2) 免震設計法では、震度法レベルでの減衰効果による震度の低減は見込んでいないが、実験結果から高減衰積層ゴム支承は、減衰効果による震度の低減を起こしている可能性がある。
- (3) 高減衰積層ゴム支承は、復元力特性が荷重履歴の影響を受けるため、初期変形時に比較し、大変形後の剛性は低くなり長周期化している。高減衰積層ゴム支承には、復元力特性に荷重履歴依存性があるものの、免震支承を設計する場合、この点は大きな障害にはなっていないことが確認できた。



実験風景



高減衰積層ゴム支承 (HDR401)

液状化地盤における構造物の動的破壊機構に関する研究

1994 年 10 月 7 日 ~ 1994 年 10 月 31 日

Wayne State 大学 建設省建築研究所 防災科学技術研究所

1 実験の目的

軟弱地盤に構造物を建築する場合は沈下対策とともに液状化対策のために杭基礎を使う場合が多い。この杭の液状化地盤における動的挙動をとらえ、耐震設計の基礎的な資料を得ることを目的とした。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

長さ 2m、奥行き 1m、高さ 1m のせん断土槽を大型振動台に設置し、中に杭模型を入れ、飽和砂でせん断土槽を満たした。

(2) 実験条件

各加振後に締った砂層にパイプを差し込み水を循環させゆるぎの飽和砂層を再生させた。砂層の変位の計測。

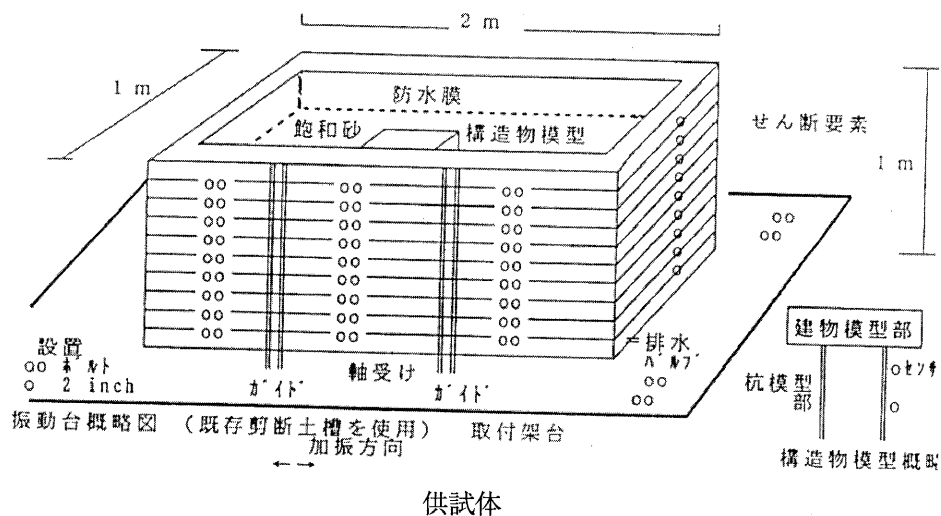
10cp 程度のグリセリンを使って実験しデータを取る。

主にランダム波を入力する。

3 主な結果

(1) 今回試作した地盤変位計は地盤変位をとらえている。

(2) 10cp 程度の粘性では過剰間隙水位の逸散に水との明確な相違は見られなかった。



機器配管系の応答・損傷の制御に関する研究 (立体配管系モデルの制震実験)

1994年11月1日～1994年11月25日

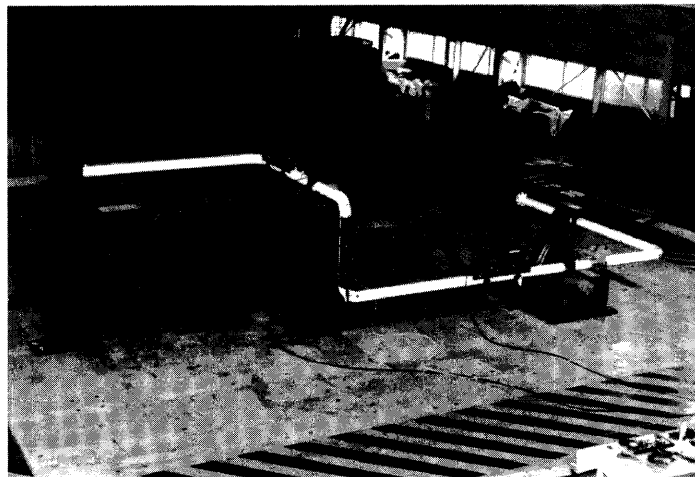
防災科学技術研究所 横浜国立大学 石川島播磨重工業株式会社

1 実験の目的

配管に搭載するダイナミックダンパ型の制震装置を試作し、その有用性を確認することを目的としている。本年度は、配管系の3次モードまでを対象とし、3台の制震装置を組み込んだモデルを用い、複数振動モードの制震実験を行なった。

2 供試体および実験条件

- ・ 立体Zを組み合わせた形の配管モデルを対象に、3台の制震装置を製作した。
- ・ 配管口径は150A、全長は約25m。
- ・ 両端をアンカーとし、中間ではロッドレストレイントで支持した。
- ・ ダンパは、昨年使用したものとはほぼ同様の構成。
- ・ バネ要素には、コイルバネ(平均剛性を担う)と空気バネ(変動分)。
- ・ 減衰要素には永久磁石による磁気減衰を用い、銅版の厚さにより減衰量の変更ができるようにした。
- ・ ダンパの配置は、X、Y、Z各方向に1台ずつとする。

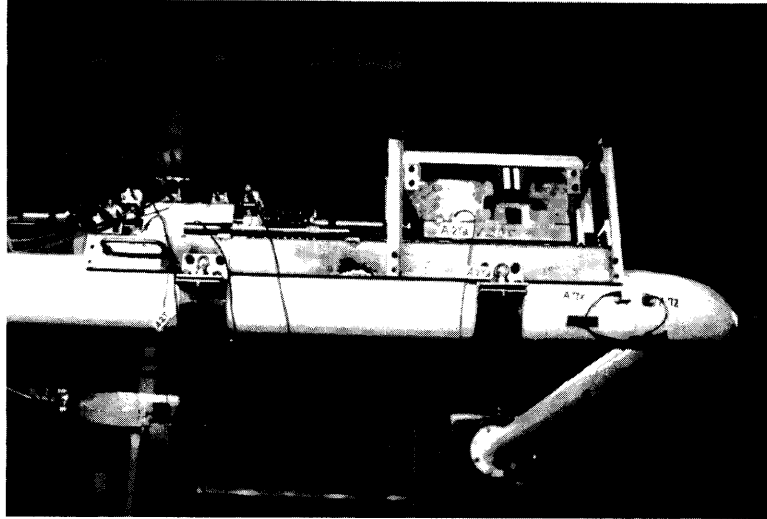


ダンパを搭載した配管系モデル

3 主な結果

- (1) 正弦波スイープ加振の場合は、ダンパ自体がかなり重いため、搭載することにより振動特性の変化が大きかったが、各モードとも1/3程度の減衰効果がみられた。
- (2) 地震波加振の場合は、低減効果はやや悪く、1/2程度であった。

- (3) 減衰および剛性のチューニングが、十分ではなかったが一定の低減効果が確認された。今後、チューニング方法の改善、小型化を進める必要があることがわかった。



配管上のダンパの設置状況

72/84kV ガス絶縁開閉装置の耐震実験

1994年11月26日～1994年12月6日

株式会社明電舎 防災科学技術研究所

1 実験の目的

72/84kV ガス絶縁開閉装置を加振台により共振正弦3波加振及び実地震波加振を行ない、開閉装置の耐震性能検証を確認するとともに、開閉装置の耐震設計への基礎資料を得る。

2 供試体および実験条件

(1) 受電線ユニット

- ・長さ4000mm、幅2400mm、高さ3700mm、重量5ton
- ・加速度(加速度計による計測 13ヶ所)
- ・歪 (歪ゲージによる計測 21ヶ所)

(2) 送電線ユニット 2Bay

- ・長さ5000mm、幅3000mm、高さ3300mm、重量18ton
- ・加速度(加速度計による計測 13ヶ所)
- ・歪 (歪ゲージによる計測 64ヶ所)

3 主な結果

(1) 受電線ユニットについて

- ・共振点の検索から共振点は、長辺方向で8.4Hz、短辺方向で6.8Hz 付近が共振点であった。
- ・耐震実験結果より、共振正弦3波加振及び実地震波加振において、供試体の各部には異常が認められず十分な強度であることが確認できた。

耐震実験結果

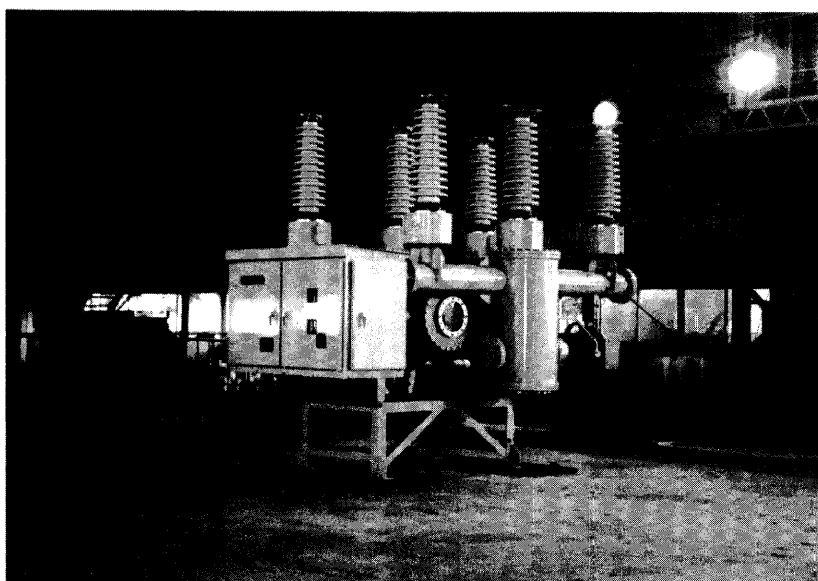
項目		共振正弦3波突印 (0.3G)		宮城県沖地震波 (0.3G、EW成分)	
		長辺	短辺	長辺	短辺
加速度(G)	ブッシング頂部	3.5	5.3	0.9	1.1
応力 (N/mm ²)	ブッシング管路	54	58	17	18
	架台	33	27	15	12
各部の異常の有無		無し	無し	無し	無し

(2) 送電線ユニットについて

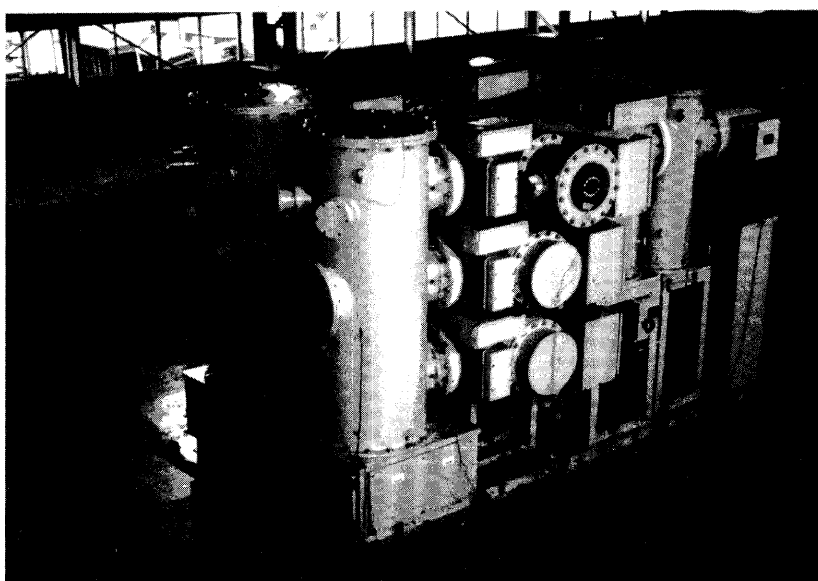
- ・共振点の検索から共振点は、長辺方向で7.8Hz、短辺方向で5.8Hz 付近が共振点であった。
- ・耐震実験結果より、共振正弦3波加振および実地震波加振において、供試体の各部には異常が認められず十分な強度であることが確認できた。

耐震実験結果

項目		共振正弦 3 波突印 (0.3G)		宮城県沖地震波 (0.3G、EW 成分)	
		長辺	短辺	長辺	短辺
加速度 (G)	GCB タンク上部	2.1	1.7	0.7	0.7
応力 (N/mm ²)	GCB 架台	47	48	26	32
	着脱管路部ボルト	86	66	45	34
各部の異常の有無		無し	無し	無し	無し



受電線ユニット実験



送電線ユニット実験

大型ライブラリ装置の耐震試験

1994年12月26日～1995年1月15日

富士通株式会社 防災科学技術研究所

1 実験の目的

大型ライブラリ装置を、装置2方向に対して正弦波、地震波にてそれぞれ加振させ、以下の3点について確認する。

- (1) 正弦波 0.2G において、装置稼働状態が継続できること。
- (2) 正弦波 0.4G において、装置の各部に破壊がないこと。
- (3) 地震波 1.0G フロアレスポンスにおいて、装置に破壊がないこと。

2 供試体および実験条件

加振方向に対して装置長手方向とその直角方向について以下8種類の振動実験を行なう。

項	加振波の種類	加速度	装置状態	加振時間
(1)	正弦波	0.1G	セレクトリストア動作状態	10分(5往復)
(2)	正弦波	0.2G	セレクトリストア動作状態	10分(5往復)
(3)	エルセントロ地動波	0.4G	SERVO ON 状態(休止)	1分
(4)	タフト地動波	0.4G	SERVO ON 状態(休止)	1分
(5)	エルセントロフロアレスポンス(4F/6F)	1.0G	SERVO ON 状態(休止)	1分
(6)	タフトフロアレスポンス(4F/12F)	1.0G	SERVO ON 状態(休止)	1分
(7)	正弦波	0.4G	SERVO ON 状態(休止)	2分(1往復)
(8)	正弦波(タイプレート削減)	0.4G	SERVO ON 状態(休止)	2分(1往復)

装置動作はCPUからよるものではなく、ノートパソコン上から単発なコマンド発行により動作させる。

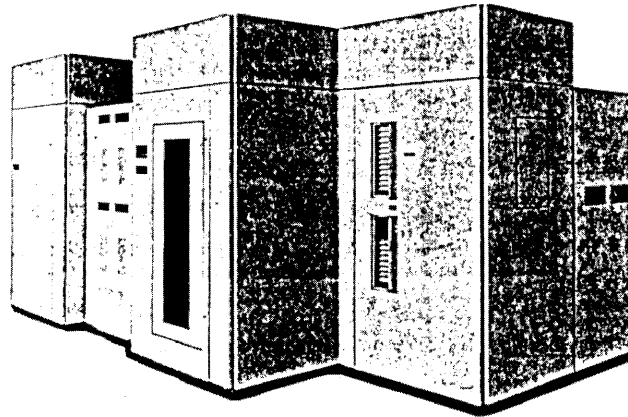
3 主な結果

今回は各ロッカが連結されてることや、ロッカ単体で梁追加等の強化をしているため全体的に強度UPしていることから破壊等の大きな問題はなかった。又、0.2G 正弦波まで CTG(記憶媒体)の落下はなかった。(判定良)

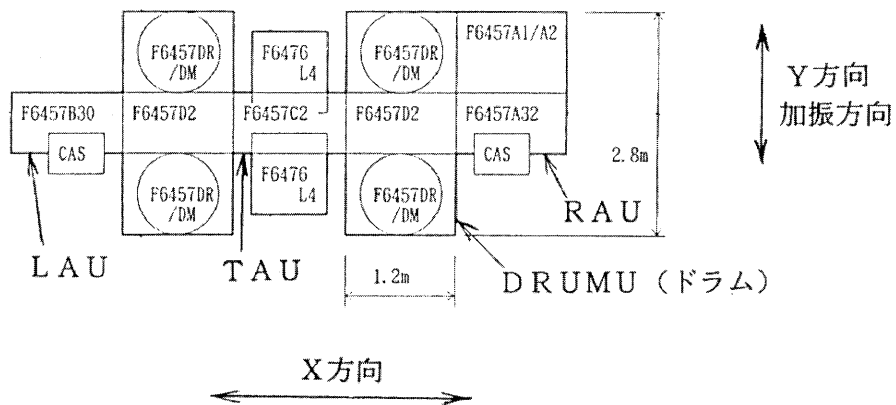
以下に各加振毎に行なった装置のチェックによる詳細結果を列挙する。

- (1) 0.2G 正弦波でムーブエラー(タイムオーバー)発生
→今回 ADR(上位装置)から制御出来なかったためリトライ回数が2回のみ。ADRから制御すれば最小でも6回はリトライするので、これで装置動作が確実に続行出来ると判断する。
- (2) 0.4G 正弦波で小電源(旧版)が故障。最新版数の電源に交換後は異常なし。

- (3) 加振前と加振後の比較で、ロッカの倒れ寸法の測定を行なったが殆んど変化は見られなかった。
(TAU ロックで最大 1.5mm のずれ。測定誤差含む。)
- (4) 相対位置測定 (CTG 保管用棚位置測定) も加振前と後に行なったので、後日主要部の比較を行なったが相対位置寸法もほとんど変化がなかった。(DRUM 上部が一番ずれていたが、最大で X 方向に約 1.3mm、Y 方向に約 0.8mm ずれたが極僅かであり問題ない。)



供試体外観



供試体ロッカ連結図 (背面図)

強震動による鉄筋コンクリート構造物の破壊に関する研究

1995年3月20日

東急建設株式会社技術研究所 株式会社奥村組
株式会社青木建設 防災科学技術研究所

1 実験の目的

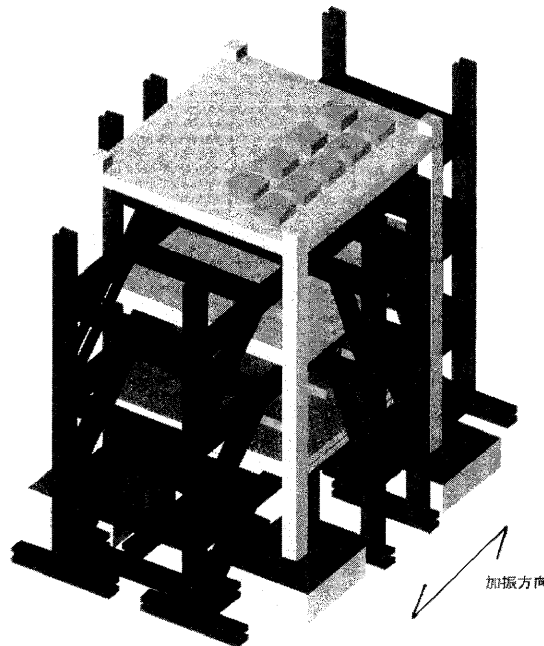
今年度は、昨年実施した実物大規模の鉄筋コンクリート柱4本で構成された1階建て構造物の振動による破壊実験に引き続き、鉄筋コンクリート造3階建てラーメン構造模型の振動実験を実施した。今回の実験は大型の鉄筋コンクリート3層構造物模型を振動台で崩壊させようというものであり、振れを起こすように重りを配置した。

2 供試体および実験条件

(1) 供試体

3層1スパン×1スパン鉄筋コンクリート構造模型(崩壊防止フレーム付)

供試体寸法	: 6000mm(W) × 6000mm(D) × 3000mm(H) × 3層 最高高さ 10200mm
供試体各層重量	: RF 38ton, 3F 33ton, 2F 33ton
供試体基礎部重量	: 58ton
崩壊防止フレーム寸法	: 10000mm(W) × 8000mm(D) × 9900mm(H) (主要材 H400 及び BH450)
崩壊防止フレーム重量	: 80ton
総重量	: 242ton



- (2) 実験条件
加振波形は 1968 年十勝沖地震八戸 EW 350GAL 、1995 年神戸海洋気象台 NS 820GAL

3 主な結果

3 層上部で最大 4 5 c m 程度の変形が生じ、1 5 c m 程度の残留変形が残った。

あとがき

本資料は、防災科学技術研究所の大型耐震実験施設を用いて、これまで行われてきた耐震実験、振動実験の概要を収録したものである。

本施設は、1970年の竣工以来、25年にわたって自体研究、共同研究、受託研究などにより、数多くの耐震実験、振動実験に活用されてきている。この間、機械系の更新と性能向上、基礎の増強、制御系の機能向上、計測システムの拡充などを実施し、実験精度、利用技術の向上を図ってきたが、近年の地震被害の頻発により、耐震実験への関心も高まり、大型振動台利用範囲もさらに拡大する状況にある。

本資料が、これまでの耐震実験をふりかえるとともに、耐震実験の将来を考える上での基礎資料の一つとして役立つことを期待するものである。

なお、概要資料が収集できなかった実験も若干あり、これについては今回掲載できなかったことをお断りしておきたい。また、機械系の更新などを行った年度などは、実験がほとんど行われていないため、掲載件数は少なくなっている。

実験概要の収集整理、コンピュータによる入力、編集等は稲葉智子氏(耐震工学研究室)のご努力によるものであり、記して謝意を表したい。