

V-99

海水管ダクトの地震時挙動に関する実証実験

電力中央研究所 正会員 遠藤達巳

電力中央研究所 正会員 青柳征夫

1. はじめに

原子力発電所・鉄筋コンクリート屋外重要土木構造物では、設計において一般構造物に比べ極めて大きな地震力を想定するなど、通常の構造物とは異なる限界状態を設定して設計を行う必要がある。これらの構造物の設計に限界状態設計法の考え方を適用し、合理的な設計を行うためには、構造物の地震時の実挙動ならびに構造系としての様々な限界状態を把握することが急務となっている。

このため、屋外重要土木構造物に位置づけられ、地中に埋設される海水管ダクトについて、従来の設計法による構造物の安全裕度ならびに地震時の挙動を実験的に把握することを目的として、2種類の海水管ダクトについて、縮尺モデルを用いた静的破壊実験を行った。また、当所で開発した構造解析手法の適用性を検証するため、実験の数値シミュレーションを行った。本報告は、これらの結果を取りまとめたものである。

表1 試験体の概要および載荷方法

	モデル1	モデル2
形式	1連海水管ダクト	2連海水管ダクト
設計地震荷重	静的震度法	応答変位法 (土木学会試験設計 ¹⁾)
設計法	許容応力度設計法	限界状態設計法
載荷形態	〈第1ステップ〉 設計荷重と相似形 〈第2ステップ〉 地震時設計荷重以上 地震時水平荷重のみ増分	地震時設計荷重以上 地震時増分荷重のみ増加（水平・鉛直） (その他の荷重は一定に保持)
全体変形	側壁の曲げ変形卓越	ラーメンのせん断変形卓越

2. 実験概要

実験に供した試験体は、実構造物を1/2に縮尺した1連モデル（モデル1）と2連モデル（モデル2）の2種類である。図1および図2にその形状・寸法および載荷荷重形状を示した。各試験体の設計に用いた地震荷重の算定法ならびに載荷方法を表1に示した。載荷においては、設計荷重と等価な多点集中荷重を加力した。

3. 実験結果

1) 破壊モードと終局耐力

モデル1：図3に示すように、第1ステップは設計荷重の2.7倍の荷重まで載荷した。その段階では鉄筋は降伏しなかった。第2ステップでは、側壁中央の鉄筋降伏した後、設計荷重の約3倍の荷重でその部分がほぼ終局状態に至った。

モデル2：図4に示すように、上床版端部で鉄筋が降伏した後、隔壁、側壁の隅角部の順で鉄筋が降伏した。その後、隔壁の接合部、上床版隅角部、底版隅角部の順でコンクリート圧縮部の部分的な圧壊が生じて最大耐力に至った。その時の地震時増分荷重は設計荷重の約4.4倍であった。

2) ひびわれ・変形状

モデル1：図5に示すように、上床版及び底版では軸力レベルが高いので、第2ステップでも、ひびわれは発生せず、側壁のみにひびわれが集中する結果となった。この結果、図3で示したように側壁中央変位が卓越する結果となった。また、第1ステップでは載荷形態上各部材に大きな軸力がかかることになるため、第2ステップに比べ非常に小さい変形となっている。

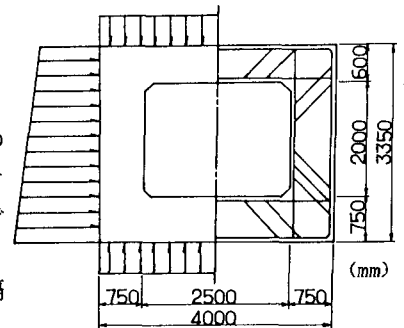


図1 試験体の形状寸法・載荷荷重（モデル1）

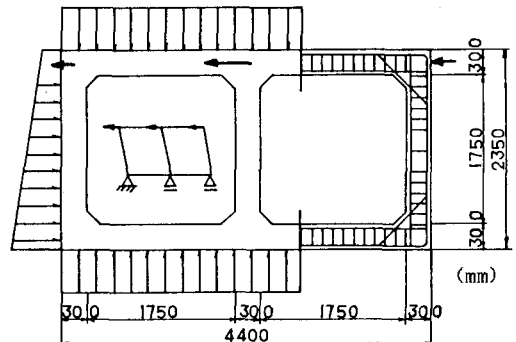


図2 試験体の形状寸法・載荷荷重（モデル2）

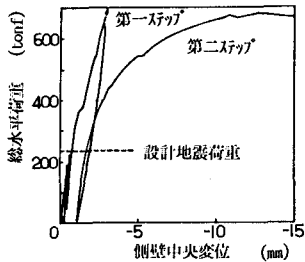


図3 荷重変位関係（モデル1）

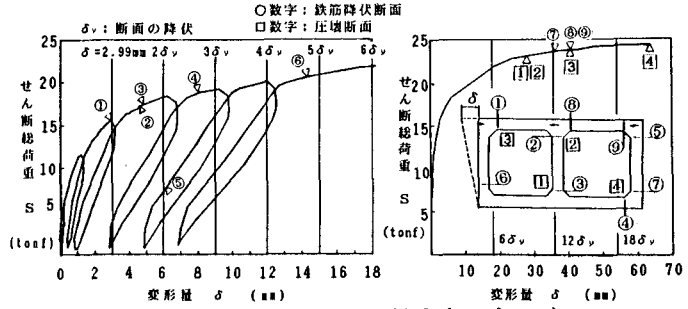


図4 荷重変位関係（モデル2）

モデル2：図6に示すように、全てのひびわれは隅角部に集中する結果となった。上床版端部の鉄筋が降伏した時点の頂部水平変位を、部材の降伏変位(δ_v)と考えた場合、最大耐力時の変位は21 δ_v であり、十分な塑性変形能力を有していることが検証された。

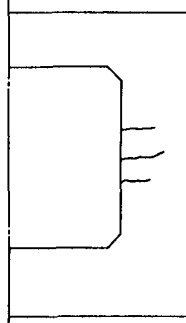


図5 ひびわれパターン（モデル1：設計荷重4倍時）

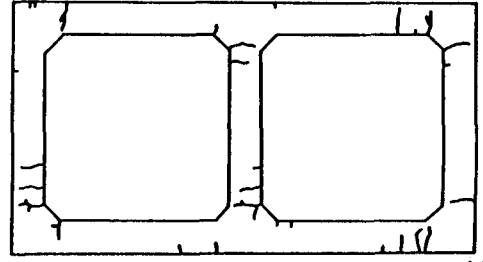


図6 ひびわれパターン（モデル2：4 δ_v 時）

3) 実験結果の評価

・静的震度法による荷重の場合ならびに実際の地震時挙動により近い応答変位法により計算した荷重を設計荷重とした場合、両モデルとも設計に対して十分な安全裕度を有していると判断される。

・地震荷重算定法が異なる両モデルは、破壊モード、変形ひびわれ性状とも全く異なるため、構造系の限界状態が大きく異なることに注意しなければならないことが判明した。

・地震荷重算定法が異なる両モデルは、破壊モード、変形ひびわれ性状とも全く異なるため、構造系の限界状態が大きく異なることに注意しなければならないことが判明した。

・本実験データは、新示方書で示されている構造系の限界状態の定性的・定量的評価を行う上で重要な資料となると考えられる。

4. 実験の数値シミュレーション

1) 解析概要

本解析手法は、Smeared Cracking Modelを用いた2次元非線形FEM解析であり、コンクリートをソリッド要素、鉄筋を線要素、鉄筋とコンクリート間の付着を付着要素でモデル化している。

2) 解析結果

モデル1の曲げモーメント分布の解析結果を図7に示した。図中には、弾性解析および骨組解析の計算結果を併せて示した。本解析手法を用いることにより実験では明確に把握できないモーメントの再配分ならびに隅角部の剛域の影響を定量的に評価できることが判った。

非線形解析手法を適用することによって、原子力発電所・海水管ダクトのように、非常に大きな地震力が想定されるマッシブな構造物の合理的な設計が可能であると考えられる。

【参考文献】土木学会『原子力発電所地質・地盤の調査・試験法及び地盤の耐震安定性の評価手法 第6編 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価 例示設計編』 昭和60年8月

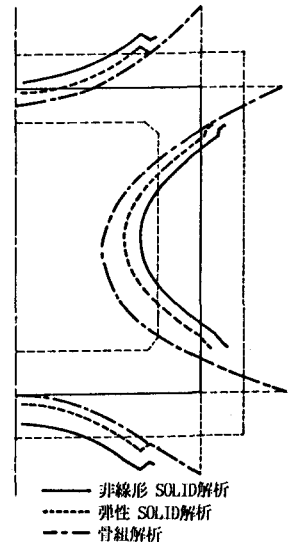


図7 曲げモーメント解析結果（モデル1：設計荷重4倍時）