

1. はしがき

昭和51年6月の山梨県東部地震(表-1)によって、震源から約16kmにある当社ハツ沢発電所の水圧鉄管ロッカー支承のピンが破損した。幸にして、発電に支障はなく、鉄管本体にも何ら被害はなかったが、ピン破損事故の原因究明と耐震対策の検討を試みたので、報告する。なお、鉄管路の地質は、上層がクワッキーな粘板岩、下層が凝灰岩であり、関東大地震の際には、それらの地層の接触面で滑着を生じ、水圧鉄管は少なからぬ被害をこうまっている。

2. ロッカー支承部の被害状況

被害を受けた水圧鉄管の概要および被害状況を図-1～3に示す。ピンの破断した箇所は合計10箇所あり、破断していない箇所もほとんど上皿と受け皿のズレあるいはピンの曲がり等の損傷を受けている。破断したピンについて、断面積および材料強度等よりピン破断時の水平力を求めると1本あたり6.8tonとなる。なお、ピンの材質はSF-45であり、破断したピンの材料試験を行なったが、欠損は認められなかった。

3. 水圧鉄管の地震応答解析

(1) 力学モデルの設定

地震応答解析を行なうにあたって、次のような仮定を設ける。

- i) 振動モデルは図-4に示すような線型多質点系モデルとする。
- ii) アンカーブロックは基礎に岩着し、また、水圧鉄管はアンカーブロックに剛結しているものとする。
- iii) ロッカー支承部については、せん断剛性を評価してバネで置換する。
- iv) ロッカー支承の基礎は均一な弾性地盤内にあるとして、水平方向地盤反力を等価なバネで置換する。
- v) 振動モデルにおいて伸縮継手部はヒンデと仮定する。
- vi) 減衰定数は、水圧鉄管において2%、地盤において10%見込む。
- vii) 基礎における入力地震波はすべて同一位相とする。

以上のような力学モデルに対し、モーダルアナリシス法を用いて応答解析を行なう。

(2) 入力地震波

入力地震波として当社技術開発研究所が横須賀の基礎層(固結シルト層)において測定した山梨県東部地震

表-1 山梨県東部地震の概要

発生日時	昭和51年6月16日7'36'
震源の位置	北緯 35°30' 東経 138°59'
震源の深さ	20 km
マグニチュード	5.5
各地の震度	東京, 河口湖 } ..... IV 三島 } 横浜, 甲府 ..... III

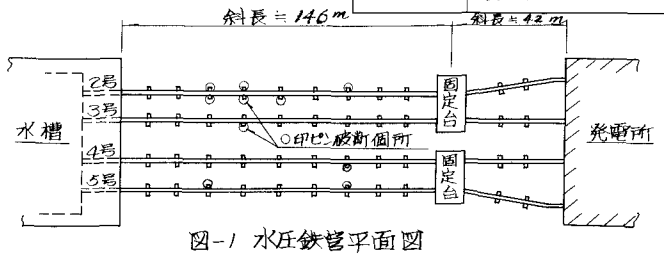


図-1 水圧鉄管平面図

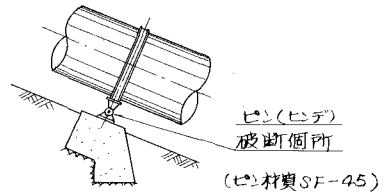


図-2 ロッカー支承概要図

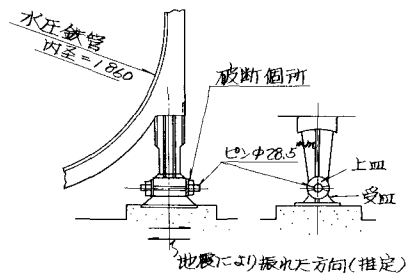
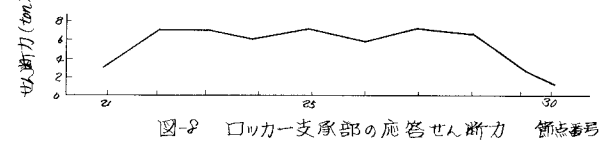
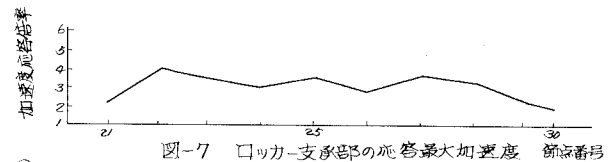
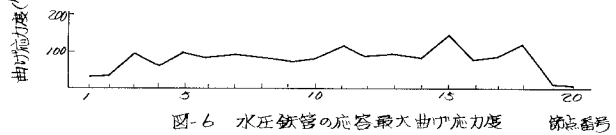
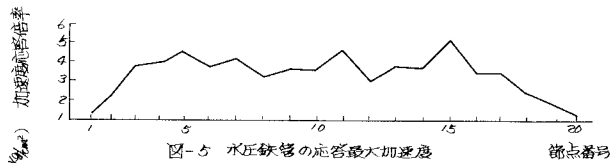
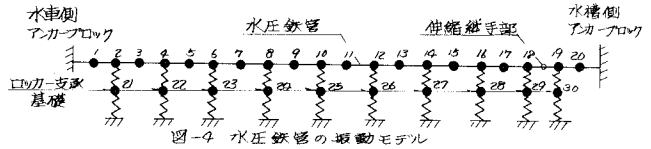


図-3 ロッカー支承詳細図

NS波を適用し、水圧鉄管の管軸と直角方向に入力する。最大加速度については、各種の推定式による計算結果および総懸所付近の震動状況等を勘案し、気象庁発表による当地の震度(IV)に対応する最大加速度の上限值80 gal を採用する。

(3) 地震応答解析結果

山梨県東部地震に対する水圧鉄管の応答解析結果を図-5~9に示す。図-5,7は水圧鉄管およびロッカー-支承各部における応答値であり、図-6,8はそれらに対応させて表わした各部の断面力である。また、図-9は、図-4に示した振動モデルのアンカーブロック間隔およびロッカー-支承間隔を種々変えて計算をし、応答値との関係を調べたものである。以上の結果より、水圧鉄管の地震時挙動を考察すると以下のようななる。



- i) 水圧鉄管は、アンカーブロック付近を除いてほぼ同様な挙動をしており、伸縮継手部の影響は顕著でない。解析の対象とした鉄管について云えば、応答加速度は支承上部において基礎加速度の3~4倍(240~320 gal)、中間部において4~5倍(320~400 gal)とかなり大きな値を示した。これは、振動モデルの一次固有周期が0.125 secであり、また入力地震波の応答スペクトルが周期0.13 sec.付近でピークを示していることから、水圧鉄管の振動性状が共振状態に近いものであったものと推察できよう。
- ii) 図-8に示した各ロッカー-支承部の応答せん断力のうち、6.8 ton以上となったものは、22, 23, 25, 27, 28の5節点であり、これは実際の被害状況と傾向的には一致する。これよりピンに作用した地震力を推定すると最大7.2 tonとなる。
- iii) 水圧鉄管の地震応答はアンカーブロック間隔より中間支承の最大間隔に大きく影響される(図-9参照)。
- iv) 水圧鉄管の地震時曲げ応力度は最大で128 kg/cm²であり、鉄管自体に問題は生じないと考えられる。

5. 事故原因の推定と耐震対策

今回の事故の直接的な原因は、地震による応答加速度が設計震度(0.15G)の約2倍の0.3G程度となったことであるが、その背景となる要因を推定すると、①、ロッカー-支承間隔が広いこと、地震応答が大きくなったこと、②、被害を受けた水圧鉄管の振動特性と山梨県東部地震の周波数特性から、水圧鉄管が共振に近い状態であったこと、などが挙げられる。また、被害を受けた水圧鉄管については、耐震対策としてロッカー-支承のピンのネジ径および材質を変更し、基礎で100 gal程度の地震に対して十分耐え得るように補修を行なう。

(参考文献) 土木学会編 「地震応答解析と実例」

