

地下ダム止水壁の地震時挙動の検討

住友建設（株）技術研究所 正会員 三上 博
 同 上 技術研究所 正会員 上原 精治
 同 上 土木本部 原田 次夫
 同 上 ダム室 箱田 富士夫

1. はじめに

地下水を地層間隙中に貯留することを目的として建設される地下ダム止水壁は、一般に延長数百m～数千mの連続した薄壁状長大地下構造物である。これまでの構造物の動的問題を取り扱った研究事例は無く、地震時挙動については不明である。今回第一段階として、単純な構造系モデルを想定し、解析的検討から、その地震時挙動を概略明らかにすることを試みた。以下その結果について報告する。

2. 予測される耐震上の問題点

埋設管路、海底トンネル等の長尺な線状地下構造物では、地震動が見かけ上位相差を伴って軸方向に伝達することにより、曲げや軸力が発生し、その影響把握は耐震設計上の重要な検討事項である。地下ダム止水壁も、そのダム軸方向の長さが地震動伝達時の見かけ上の波長（数百m程度）と比較して影響を無視しえない規模であるため、同様の問題が生じる可能性がある。さらに、深さ方向に数十mの広がりをもつ面状構造物であるため、鉛直方向の地盤変位分布差が同時に影響し、3次元的で複雑な地震時挙動が予測される。

3. 解析モデルおよび解析方法

ダム軸方向に無限に連続する直線状止水壁（深さ $d=45\text{m}$ 、壁厚 $t=0.8\text{m}$ 、弾性係数 $E=2.7 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$ ）が、層厚50mの均一地盤（ $E=5000 \text{kgf/cm}^2$ ）中に設けられたモデルを検討対象とした。止水壁材質はコンクリート、地盤条件としては多孔質の琉球石灰岩程度を想定した。モデルに対して様々な平面入射角 θ_{in} （図-1参照）で地震動が軸方向に位相差を伴い入射した場合の、止水壁に生じる地震時ひずみを算定した。

解析は、応答変位法による線形計算で行った。止水壁本体はシェル要素でモデル化し、周辺地盤は各節点に取り付けた軸バネおよびせん断バネで表現した（図-1）。各バネの先端から、その位置での地盤変位を与え、止水壁に生じるひずみを求めた。なお、解析モデルの全長は1/2波長分の長さ（ $L=400/\text{COS}\theta_{in}$ ）とし、無限連続性と等価な境界条件をモデル両側端に設定した。壁下端と基盤の結合はピン条件とした。

地盤の変位は、見かけ上の波長 $L=800\text{m}$ の正弦波で伝達するものとし、SH波による地盤振動を考え、深さ方向には正弦波の1/4波長の変位分布を考えた。地表面での最大水平変位量は、5.14cmを与えた。これは地盤の固有周期を $T=1.0$ 秒とした場合、最大水平加速度 $0.3G$ （ G は重力加速度）に相当する。

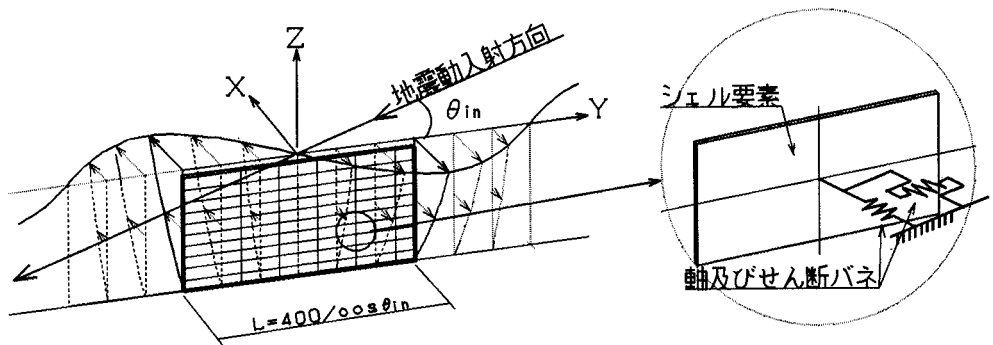


図-1 解析モデル概念図

4. 解析結果

(1) 止水壁のひずみ分布

地震動入射角度が $\theta_{in}=45$ 度の場合の解析結果例を示す。図-2、図-3は、壁体に生じるひずみ成分のうち、特にその値が大きい2成分の分布を取りあげたものである。図-2は、壁体のダム軸(Y)方向の軸ひずみ成分 ϵ_y の分布を示したものである。振動の節に相当するモデルの中央部分の上縁を中心として、軸ひずみの大きな領域が生じている。その最大値は $\epsilon_y=9.2 \times 10^{-5}$ 程度である。一方、図-3は面内方向(YZ面)のせん断ひずみ成分 γ_{yz} の分布である。モデル端部(振動腹部)から壁体深さ分(45m)程度内側の下縁(基盤との界面)に、ひずみの大きな領域が見られる。ひずみの最大値は $\gamma_{yz}=49.0 \times 10^{-5}$ 程度であった。壁体に生じるこれら2成分のひずみはその大きさから見て、耐震検討上無視できないレベルと考えられる。

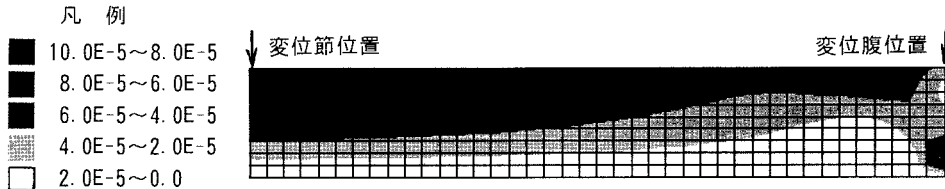


図-2 軸ひずみ ϵ_y 分布(地震動入射角 $\theta_{in}=45$ 度)

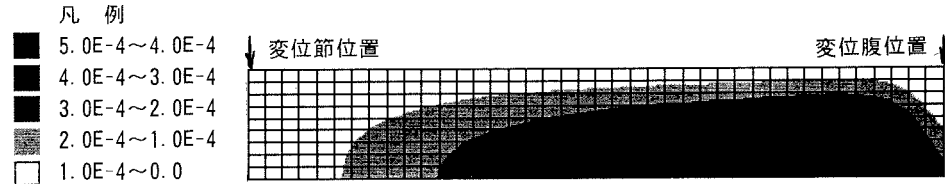
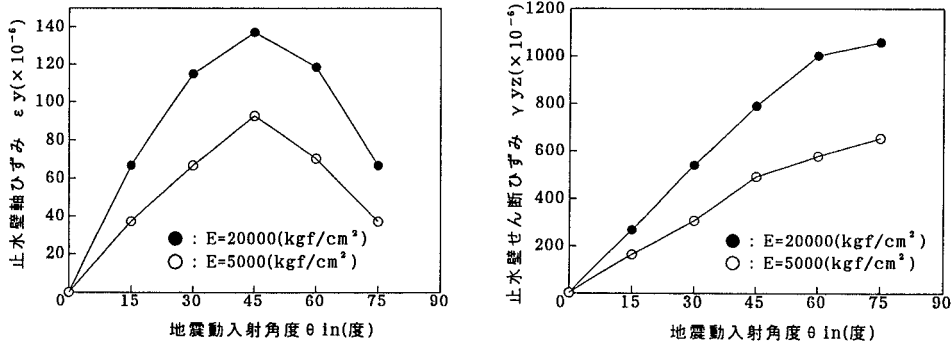


図-3 せん断ひずみ γ_{yz} 分布(地震動入射角 $\theta_{in}=45$ 度)

(2) 地震動入射角度と壁体ひずみの関係

図-4-(a)および(b)は、それぞれ地震動入射角度と壁体に生じる最大軸ひずみ ϵ_y 及び最大せん断ひずみ γ_{yz} の関係を示すものである(図中には、地盤弾性係数 $E=20000\text{kgf/cm}^2$ の場合の結果も付記する)。軸ひずみは入射角度 45° で最大値を示し、またせん断ひずみは入射角度の増加に伴い一様に増加している。



(a)軸ひずみ ϵ_y

(b)せん断ひずみ γ_{yz}

図-4 地震動入射角度 θ_{in} と壁体最大ひずみの関係

5. まとめ

- (1) 地下ダム止水壁には、地震動の伝達位相差によって、かなりの軸ひずみ及び面内せん断ひずみが生じる可能性がある。
- (2) 壁体に生じるダム軸方向ひずみは、地震動入射角度が45度の場合最大となり、面内せん断ひずみは90度に近い場合最大となる。

以上、概略の検討結果を示したが、さらに詳細な検討が必要と思われるため、止水壁の剛性、軸方向長さ、平面的折れ曲がり形状、基盤との固定条件等の種々の影響を考えた検討を進めている。