

東京大学大学院 学生員 桑野 二郎
工学部 正 員 石原 研而
大学院 学生員 李 宏徹

◇えがき◇

土構造物の耐震性を評価する方法として、静的応力解析、動的応答解析と室内試験とを組み合わせ、地震時の残留変形を予測する事を試みた。解析対象として、図1のような断面を持つアースダムを用いた。

動的応答解析の結果より、偏差応力 $(\sigma_v - \sigma_v)/2$ とせん断応力 τ_{vh} が、ほぼ比例関係を保ち変化し、従って、動的な主応力方向が変化しない事、さらに、 $\tau_{xy} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ と $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ もほぼ比例関係を保つ事が分かった。これらの結果を用いると、地震時にける堤体内の応力状態は、室内試験において、セル圧一定の下で、軸応力とせん断応力を同時に載荷すれば再現できる事になる^{(1),(2)}。この事を示したのが図3であり、(a)原位置応力から(b)で $\beta = \text{const.}$ を経て、(c)実験時の応力 $(\alpha = \text{const.}, \sigma_1 = \sigma_{1d}, \tau_{11} = \tau_{1d})$ への変換を表わしている。ここでは、(c)の応力状態を適用した実験結果と、その結果からダムの残留変形について考察してみる。

◇実験◇

突き固めて所定の含水比、密度に作製した供試体を、中空ねじり単純せん断試験装置内で、 $\sigma_m = (\sigma_a + \sigma_r)/2 = 98 \text{ kN/m}^2$, $(\sigma_a - \sigma_r)/(\sigma_a + \sigma_r) = 0.0, 0.2, 0.4$, $2\tau_i/(\sigma_a + \sigma_r) = 0.0, 0.2$ の静的応力状態で圧密した後、軸力とせん断力に同じ波形を用いて、同時に載荷した。ここで、 $\sigma_{1d} > 0$ とは、 τ_d が最大の時圧縮力が、 $\sigma_{1d} < 0$ とは引張力が作用する事を意味する。

図3に結果の一例として、せん断応力比 τ_d/σ_m とせん断応力 τ_d の関係を示した。(a)は $\tau_i/\sigma_m = 0.0$ の場合であるが、 τ_d は正に大きく卓越しているにも係わらず、せん断ひずみは逆に負の方向へと蓄積している。これは、 $\tau_a > 0$ の時に $\sigma_{1d} > 0$ 、 $\tau_d < 0$ の時に $\sigma_{1d} < 0$ であり、瞬間応力比 $2\tau_d/(\sigma_a + \sigma_r + \sigma_{1d})$

は、 $\tau_d < 0$ の時の効果が卓越するからではないかと思われる。一方、(b)は初期せん断 τ_i が存在する場合であるが、今度は、せん断ひずみは、初期せん断の方向に蓄積している。従って図4のような、動的応力比 τ_d/σ_m と残留せん断ひずみの関係が得られる。ここで、 γ_{res0} とは、軸力だけを載荷した時の残留せん断ひずみの値であるが、図4にも示したように、初期せん断 τ_i が加わっている場合には、軸力の

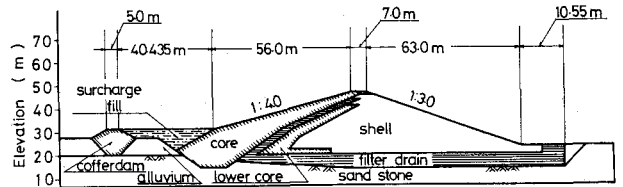


図1 ダムの断面図

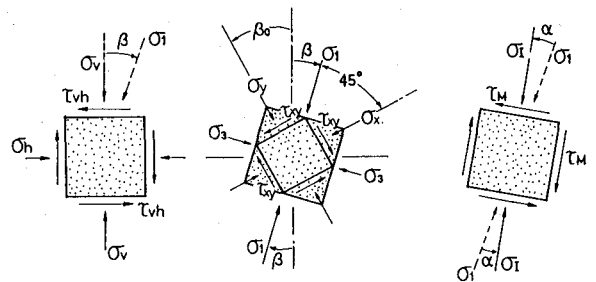
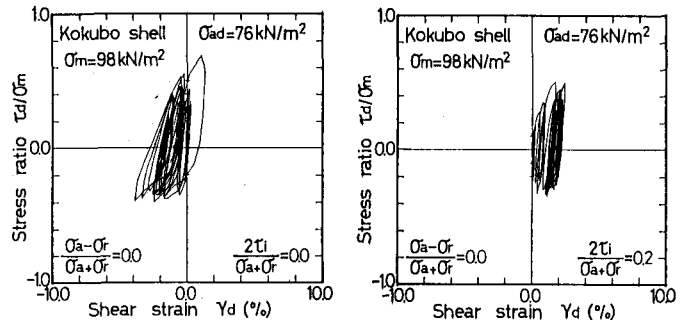


図2 原位置要素から室内実験要素への変換



(a) $\tau_i/\sigma_m = 0.0$

(b) $\tau_i/\sigma_m = 0.2$

図3 せん断応力比 τ_d/σ_m とせん断ひずみ

みを載荷しても、 τ_i と同じ方向に Y_{res} が生じる。

さて、 σ_{ad} が正に大きく卓越する場合は、以上述べたようになるが、一般的には、図5($\sigma_{ad}=0$)のような傾向を示す。即ち、 τ_i が正に大きく卓越していても、 $\tau_i=0$ の時は Y_{res} は生じにくい。しかし、 τ_i が加わると、その方向に明らかに Y_{res} が生じ、 τ_i が大きいほど、 Y_{res} も生じやすい。この傾向は、これまでの研究と一致する。また、 $\sigma_{ad}<0$ の時は、より一層 τ_i が生じやすくなっている。 E_{ares} は図6に示したように、初期偏差応力が大きいほど、大きな値を生じる。図7は、 $E_{ares} \sim E_{res}$ の関係であるが、 $\sigma_{ad}=76 \text{ kN/m}^2$ 以外の場合も、このような直線関係が得られる。

◇ひずみポテンシャルと変形予測◇

図4～図7のような関係を用いると、各要素の応力状態に対応した残留ひずみポテンシャルが得られる。図8は、偏差ひずみ($E_v - E_h$)とせん断ひずみ Y_{vh} のうち、1%を超える要素と、その方向を示したものであるが、下流側に変形を生じる事が予想される。

変形予測の方法としては、地震前と地震後の E_v , E_h , Y_{vh} から $(E_v - E_h)$ と $(E_v + E_h)$ をそれぞれについて求め、前後のひずみの比を、shear modulus $M_0 = E/2(1+\nu)$, bulk modulus $M_b = E/2(1+\nu)(1-2\nu)$ の低下のパラメータとして、地震後の M_0 , M_b を求め、再び静的解析を行なう事により、地震前の変位量との差を地震によって生じた残留変形とする事を考えている。

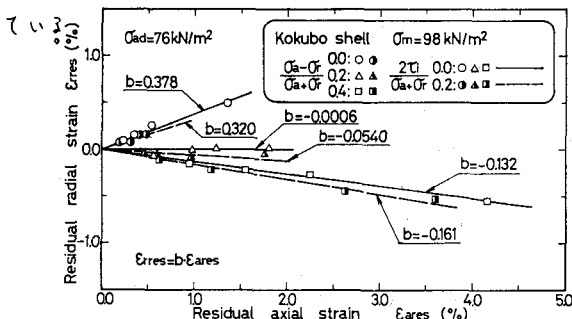


図7 残留軸ひずみ～残留側方ひずみ ($\sigma_{ad}=76 \text{ kN/m}^2$)

◇参考文献◇

- (1) 桑野, 石原, 李, 矢飼; “地震によるアースダムの残留変形予測” 第19回土質工学研究発表会, 1984
- (2) Ishihara; “Soil Response in Cyclic Loading Induced by Earthquakes, Traffic and Waves” 7th Asian Regional Conference on SMFE, 1983

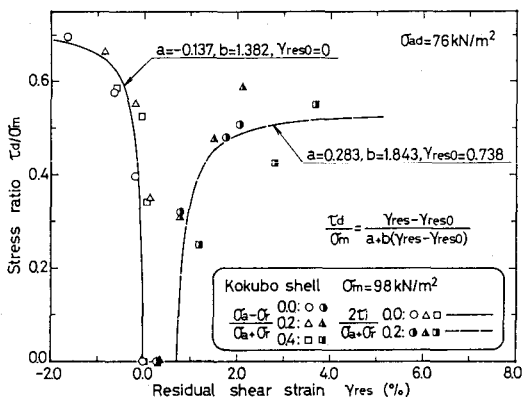


図4 動的応力比～残留せん断ひずみ ($\sigma_{ad}=76 \text{ kN/m}^2$)

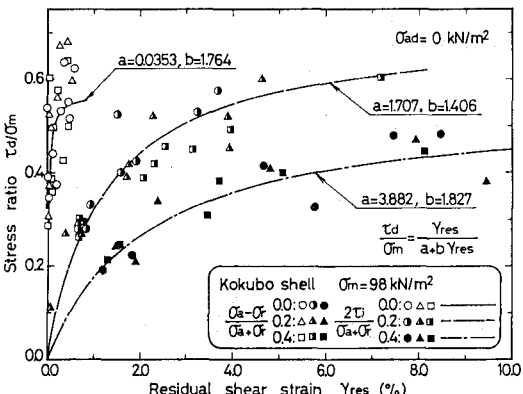


図5 動的応力比～残留せん断ひずみ ($\sigma_{ad}=0 \text{ kN/m}^2$)

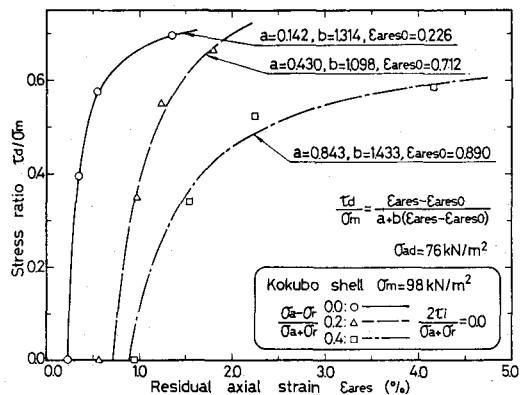


図6 動的応力比～残留軸ひずみ ($\sigma_{ad}=76 \text{ kN/m}^2$)

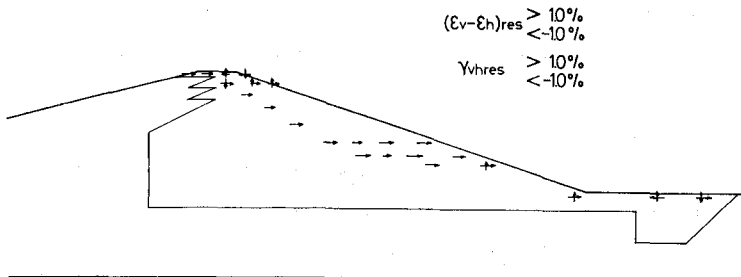


図8 ひずみポテンシャルとその方向 (1.0%以上の部分)