

遠心振動台実験結果を利用したロックフィルダムの地震時残留変形量計算法

芝浦工業大学 正会員 ○岡本 敏郎

1. はじめに

ロックフィルダムの地震時の沈下についてこれまで検討をし(Okamoto:1999、岡本:2001、Okamoto:2004) 施工方法や築造年代に着目すると、1970 年前後を境にして施工方法が変化しており、またダムの沈下量の実測値も小さくなってきていることがわかった。しかし、沈下量そのものの評価と予測は十分ではなかった(岡本:2001、Okamoto:2004)。ここでは、地震時に生じる沈下量を推定する方法に関し、遠心振動台実験結果(Okamoto:2004)を使って求める方法について述べる(Okamoto:2005)。

2. 遠心振動台実験による残留変形および沈下率と基礎の最大加速度の関係

(1) 実験と実測との関係: 50G の遠心加速度下での振動台実験結果(Okamoto:2004)を図1のように整理した。すなわち、入力波形を箕面川のような直下型とサイン10波の2種、堤体の密度を密な場合と緩い場合の2種として、沈下率と基礎最大加速度との関係を示した。上記の条件は、残留変形が生じ難い場合と生じ易い場合を考慮して設定している。実験の結果は、実ダムの観測の結果をほぼ網羅できる。

(2) 天端沈下率と基礎の最大加速度の関係: 上記遠心振動台

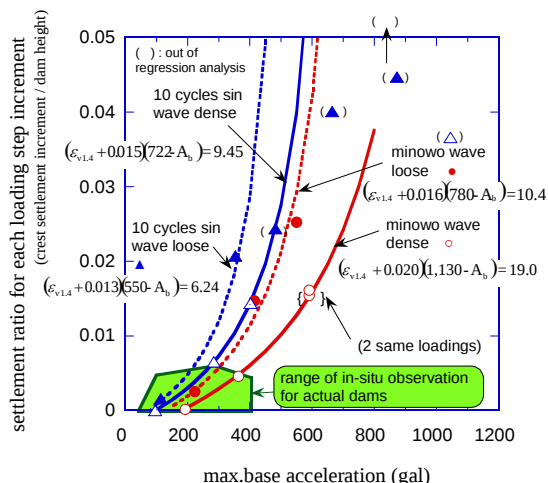


図1 50Gの遠心加速度下での振動台実験結果

実験での堤体の斜面勾配は1:1.4であるので、このときの天

端沈下をダム高さで除した沈下率を $\varepsilon_{v1.4}$

とし、基礎の最大加速度を A_b とする。ここで、沈下率と基礎最大加速度との関係を双曲線と仮定すると、表1のようになり、図1の中に計算結果を記した。沈下

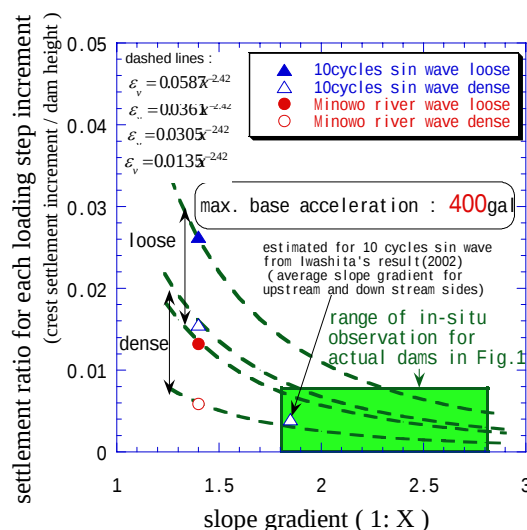
率と基礎最大加速度との計算結果は、基礎の最大加速度として600gal程度まで実験結果とのよい相関が得られ、実際のダムの安定性を検討する際の対象となる範囲内にある(Okamoto:2005)。

3. 堤体の斜面勾配を考慮した残留変形評価

(1) 基礎の加速度を一定とした場合の実測と実験値の評価: 実測のダムの勾配はまちまちであり、遠心振動台実験では堤体の斜面勾配は1:1.4としたので、斜面勾配を考慮した残留変形評価は検討し難い。そこで、基礎の最大加速度を一定として検討する(Okamoto:2005)。まず、図1における $A_b = 400\text{gal}$ の断面を考える。その結果は図2に示したように、遠心振動台実験の結果は図1の曲線上にあり、この値を読み取ることによって図2の横軸1:1.4の位置にプロットされる。上記遠心振動台実験での堤体の斜面勾配は1:1.4という限定された範囲であるの

表1 遠心実験における天端沈下率と基礎最大加速度

	サイン10波(繰返し載荷型)	箕面川波(直下型)
緩い場合	$(\varepsilon_{v1.4} + 0.013)(550 - A_b) = 6.24$	$(\varepsilon_{v1.4} + 0.016)(780 - A_b) = 10.4$
密な場合	$(\varepsilon_{v1.4} + 0.015)(722 - A_b) = 9.45$	$(\varepsilon_{v1.4} + 0.020)(1,130 - A_b) = 19.0$

図2 基礎の加速度を一定とした場合の斜面勾配と沈下の関係 $A_b = 400\text{gal}$

キーワード ロックフィル, 地震時残留変形, 遠心振動台実験, 計算法

連絡先 〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5 TEL.03-5859-8360

で、より広範囲での勾配での関係を得るために、実際のダムで観測された結果を利用して、残留沈下と斜面勾配との関係を定式化する。実測値はロックフィルダムの斜面勾配が 1:1.8~2.8 に分布し、かつ上下流側で異なる勾配となっている。堤体材料がほぼ同じであるため、上下流の一方の勾配が小さければ片方も小さいといえるので、上下流斜面の平均勾配を採用し、かつ斜面勾配が 1:1.8~2.8 に分布したときの残留天端沈下量を求める。そうすると、図 2 に示した分布領域が実際のダムの沈下となる。

(2) 基礎の加速度を一定とした場合の斜面勾配と沈下の関係：天端沈下率と斜面勾配の関係がベ

き関数で表示できるとすると、 $\varepsilon_v = a \cdot x^b$ よって $\varepsilon_v / \varepsilon_{v1.4} = (x/1.4)^b$ 斜面勾配が 1:1.8~2.8 に分布する実測の値をほぼ網羅するようにし、かつ遠心振動台実験の結果を通るようにすると、 $b = -2.42$ と a の値が求められる。 $\varepsilon_v = \varepsilon_{v1.4}(x/1.4)^b$ として具体的に求めた結果を表 2 に示し、計算結果は図 2 中に示した。遠心振動台実験と実測値との整合は良い。

(3) 天端沈下率・基礎の最大加速度・堤体の密度・斜面勾配関係：(1) により $\varepsilon_{v1.4}$ を求め、(2)

において仮定した $\varepsilon_v = \varepsilon_{v1.4}(x/1.4)^b$ に代入することにより、任意の天端沈下率 ε_v が求められる。この結果を表 3 に示す。この表では基礎の最大加速度・斜面勾配の影響が考慮されており、地震波形・堤体の密度についてはそれぞれ 2 種類のケースについて示している。これらの関係を使って $A_b = 200 \text{ gal}$ のときに適用した結果を図 4 に示した。これにより、上記で述べてきた、地震波形・堤体の密度・斜面勾配を考慮した、残留沈下と基礎の最大加速度との関係を得ることにより、残留変形の評価が可能となった。

(4) 地震特性の影響：入力波形は、箕面川のような直下型と、サイン 10 波による繰り返し载荷の 2 種について、これまで検討してきた。入力波形の影響はもちろん簡単ではないが、これまでの議論では共振するようなことはほとんど考慮してい

ないし、詳細な検討では地震応答を考慮すべきではある。しかしながら、(3) までに求めてきた関係はこれまでの実測結果を評価できるものであるし、遠心実験結果も整合よく評価できるものである。このため、おおまかな天端沈下を推定する場合には有用と考える。入力波形の影響については、マグニチュードとの関係で大まかに示すのが好ましいとも言えるので、表 3 に示したような値を参考として示した。

4. おわりに：検討の対象とした遠心振動台実験は、地震波形・斜面勾配・堤体の密度に関して、堤体の沈下が最も大きい場合と最も小さい場合を考慮して実施したものであり、これまでの実測結果との整合も良い。この結果から、基礎の最大加速度と沈下の関係を求め、さらに斜面勾配との関係を導くことにより、およそその天端沈下率と基礎の最大加速度・地震特性・堤体の密度・斜面勾配関係を導いた。

参考文献：Okamoto, T. : Seismic stability evaluation and criteria of rockfill dam basing on residual deformation, proc. of 16th ICSMGE) 2005.9 Okamoto, T. : Recent trend for earthquake induced residual settlement of rockfill dam and some consideration of affecting factors, proc. of 4th IC on Dam Engineering New Developments in Dam Engineering, Balkema, pp.704-716, 2004.10 Okamoto, T., Y.Uchida, S.Tsuruta, Y.Hoshino and T.Matsuda : 13th WCEE, 2004.8 岡本敏郎：既設ロックフィルダムで観測された地震時残留沈下に関する最近の傾向と影響要因の考察、第 46 回地盤工学シンポジウム論文集 pp. 65- 70、地盤工学会、2001.11 Okamoto, T. : Evaluation of measured vertical and horizontal residual deformation at crest of rockfill dam under earthquake, proc. of IS on Slope Stability Engineering (IS-Shikoku), pp.631- 636, 1999.11

表 2 天端沈下率と斜面勾配の関係 勾配：(1 : x)

	サイン 10 波 (繰返し载荷型)	箕面川波 (直下型)
緩い場合	$\varepsilon_v = 0.059x^{-2.42}$	$\varepsilon_v = 0.030x^{-2.42}$
密な場合	$\varepsilon_v = 0.035x^{-2.42}$	$\varepsilon_v = 0.013x^{-2.42}$

表 3 天端沈下率・基礎の最大加速度・地震波形・堤体の密度・斜面勾配関係

	サイン 10 波 (繰返し载荷型) $M \approx 8-9$	箕面川波 (直下型) $M \approx 6.5-7$
緩い場合	$\varepsilon_v = \{6.24/(550 - A_b) - 0.013\} \cdot (1.4/x)^{2.42}$	$\varepsilon_v = \{10.4/(780 - A_b) - 0.016\} \cdot (1.4/x)^{2.42}$
密な場合	$\varepsilon_v = \{9.45/(720 - A_b) - 0.015\} \cdot (1.4/x)^{2.42}$	$\varepsilon_v = \{19.0/(1,130 - A_b) - 0.020\} \cdot (1.4/x)^{2.42}$

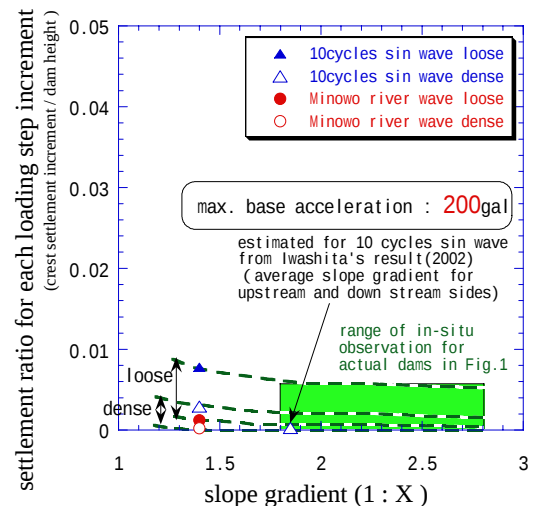


図 4 基礎の加速度を一定とした場合の斜面勾配と沈下の関係 $A_b = 200 \text{ gal}$