

コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムの破壊性状に関する 基礎的研究 III

——表面遮水壁ロックフィルダムの破壊性状に及ぼす鉛直地震動の影響——

Fundamental Research on Failure of Concrete-faced Rockfill Dam (III)

——The Effect of Vertical Vibration on Failure of Concrete-faced Rockfill Dam——

田 村 重四郎*・孔 憲 京**・小長井 一 男**・羅 休**
Choshiro TAMURA, Xian Jing KONG, Kazuo KONAGAI and Xiu LUO

1. ま え が き

前報^{1),2)}では、水平加振を受ける表面遮水壁ダム模型の破壊性状を検討したが、震源域では、鉛直方向の地震動が水平動と同程度の強さのレベルに達することがあるから、表面遮水壁ダムの地震時の安定性を検討する上で鉛直動の影響を解明しておくことは重要である。ここでは2次元振動台上に築造された模型を水平、鉛直両方向に同時に加振して得た動的挙動、破壊過程について報告する。

2. 実験の内容と方法

表面遮水壁ダムの破壊性状に及ぼす上下動の影響を調べるために、砕石で築造した3次元模型の振動破壊実験を実施した。模型の高さは60 cmで上・下流法面勾配は同一で1:1.4、天端幅8 cm、堤頂長230 cmで、前報¹⁾の実験番号206-207, 210-211, 403-404である。模型は振動台上に据えられ正弦波で加振された。水平方向と鉛直方向の加速度の比を1:0.54に保ちながら、模型に表層滑りが発生するまで振幅を増加し、いったん振動台を停止した後、再び振幅ゼロから表面遮水壁に亀裂が生じるまで振幅を上げていくような制御をパーソナルコンピュータを用いて行った。鉛直と水平の加振振動数はともに10 Hzであり、水平・鉛直方向の加振の位相差は0°(同位相:加振方向は上流法面にほぼ平行)の場合と180°(逆位相:加振方向は下流法面にほぼ平行)の場合を設定した。

3. 実験結果および検討

3.1 堤体初期破壊

堤体の破壊形状は、水平方向および鉛直方向の加振の位相差による差異は認められず、水平方向にのみ加振し

た場合と同様に、ほぼ提高の3/4以上の下流法面での表層滑りから始まることがわかった。表層滑りが始まる振動台の水平および鉛直方向の加速度は、位相差0°の場合にはそれぞれ275 galおよび170 galであり、位相差が180°の場合には345 galと185 galであった。図-1は表層滑り開始時の位相差0°と位相差180°の場合の加速度波形であり、細い線が水平、太い線が鉛直方向である。図中の加速度の正值は、水平の場合下流方向、鉛直の場合上方向を示している。堤体内の各測点での水平方向と鉛直方向の加速度がほぼ同時に極大あるいは極小値を示し、各測点間では位相のずれがほとんど認められない。表層滑り開始時の堤体内部の加速度分布を図-2に示す。位相差0°の場合と位相差180°の場合では、加速度の分布の形状にほとんど差がなく、堤頂加速度と振動台加速度の倍率は水平で約1.3-1.35、鉛直で約1.1-1.15である。水平にのみ加振した場合の表層滑り開始の加速度分布(前報²⁾図-3)と比べて、位相差を0°とした場合には下流法面での破壊が低目の水平加速度で始まるのに対し、位相差を180°とした場合には大きな差異が認められない。位相差が0°の場合で振動台が最も下流の位置にあるときは、慣性力は下流法面に対し斜め外上向きに作用して崩壊を促進するのに対し、位相差が180°の場合には下流法面に対し斜め外下向きに作用し、崩壊を促進することにはならないからである。いずれの場合でも、上流法面の崩壊は遮水壁によって拘束されているため発生しにくい。遮水壁のない下流法面の鉛直方向加振による安定性の低下は、上述のように、鉛直方向の加速度が170 galの場合、水平方向加速度が275 galで表層が滑り始めることで示される。水平方向のみの加振の場合にくらべ65~70 gal低下していることを意味する。別の実験³⁾によれば、法面の安定に与える鉛直方向の加速度の影響は水平方向の約1/3であるとの結果がある。この結果を本実験にそのまま適用すれば、水平加速度は約57 gal減少することが推測されるのであり、本実験結果とかなりよく

*東京大学名誉教授

**東京大学生産技術研究所 第1部

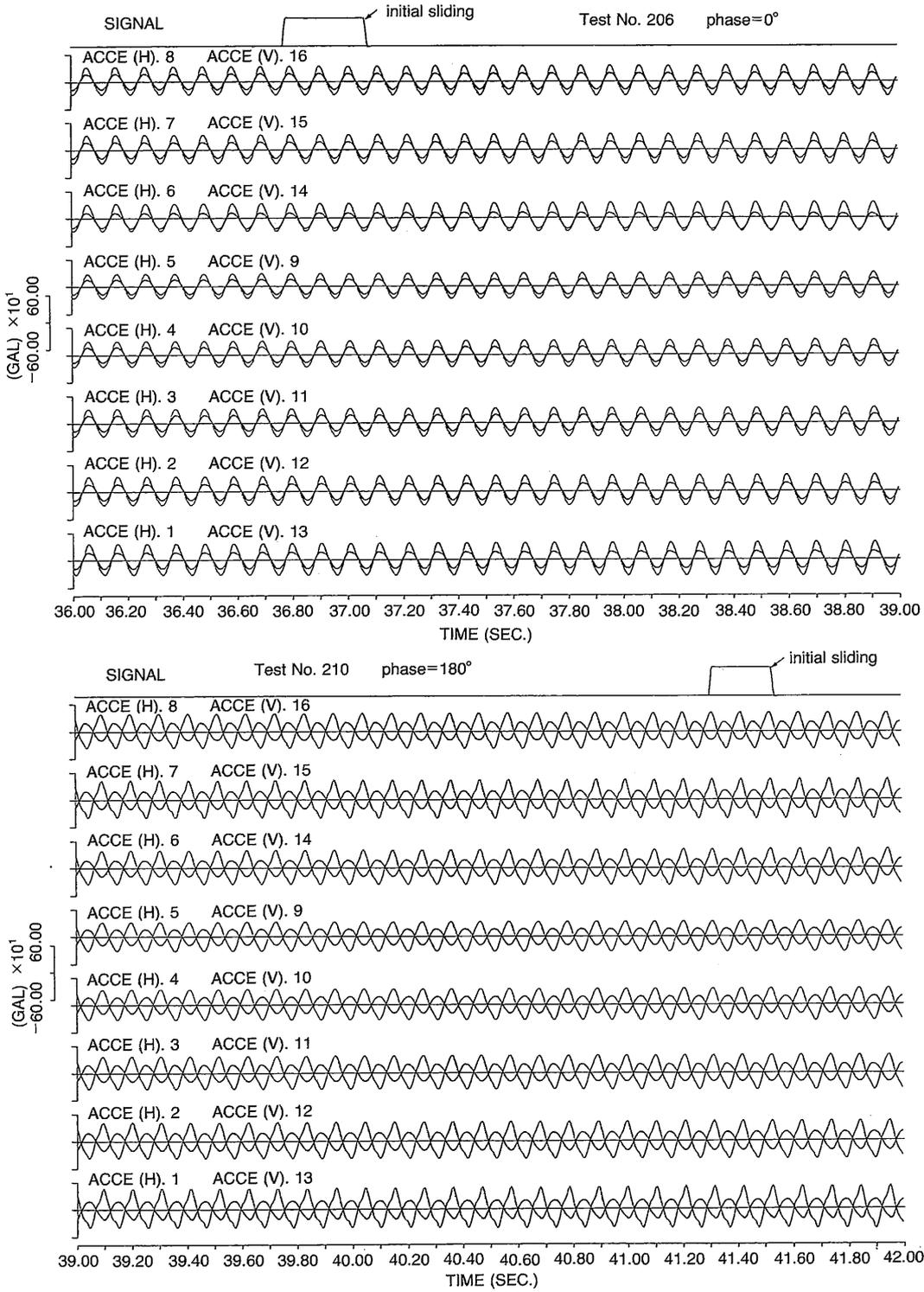


図-1 表層滑り開始時の提体内の加速度波形

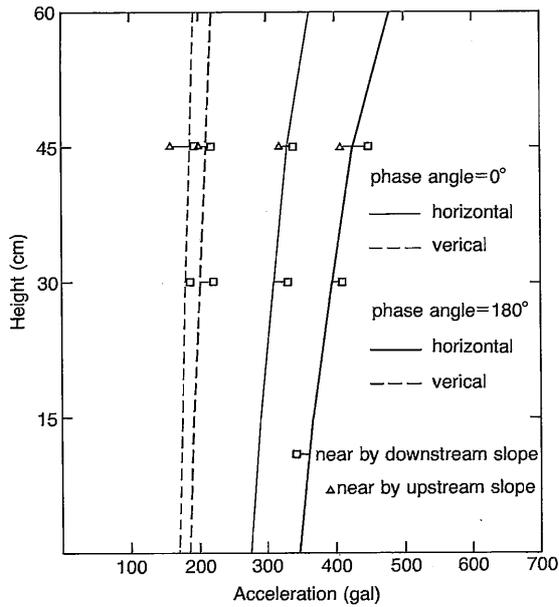


図-2 位相をパラメータとした表層滑り開始時加速度分布

合うことがわかる。位相差 0° の場合の滑り開始の加速度は 180° の場合の滑り開始の加速度の約 $0.75 \sim 0.8$ 倍である。

3.2 加振方向と遮水壁のひずみ状態

図-3 に遮水壁表面のひずみの時刻歴を示す。この図では引張を正、圧縮を負にとっている。各測点のひずみは、ほぼ同時に圧縮あるいは引張の極大値を示している。図-3 と図-1 を比較すると、水平、鉛直の加振加速度の位相差が 0° の場合も 180° の場合も、鉛直加速度の向きに関わらず、水平加速度が正のピークを示す時点で、遮水壁が圧縮状態になる。すなわち、ダム堤体に作用する水平加速度によって遮水壁のひずみ状態が大きく支配されていて、動的ひずみは水平加速度が下流へ向く場合、遮水壁は圧縮され、反対に加速度が上流へ向く場合に、遮水壁は引張状態になっている。

3.3 遮水壁のひずみ分布

振動台の加速度が増加する過程における遮水壁のひず

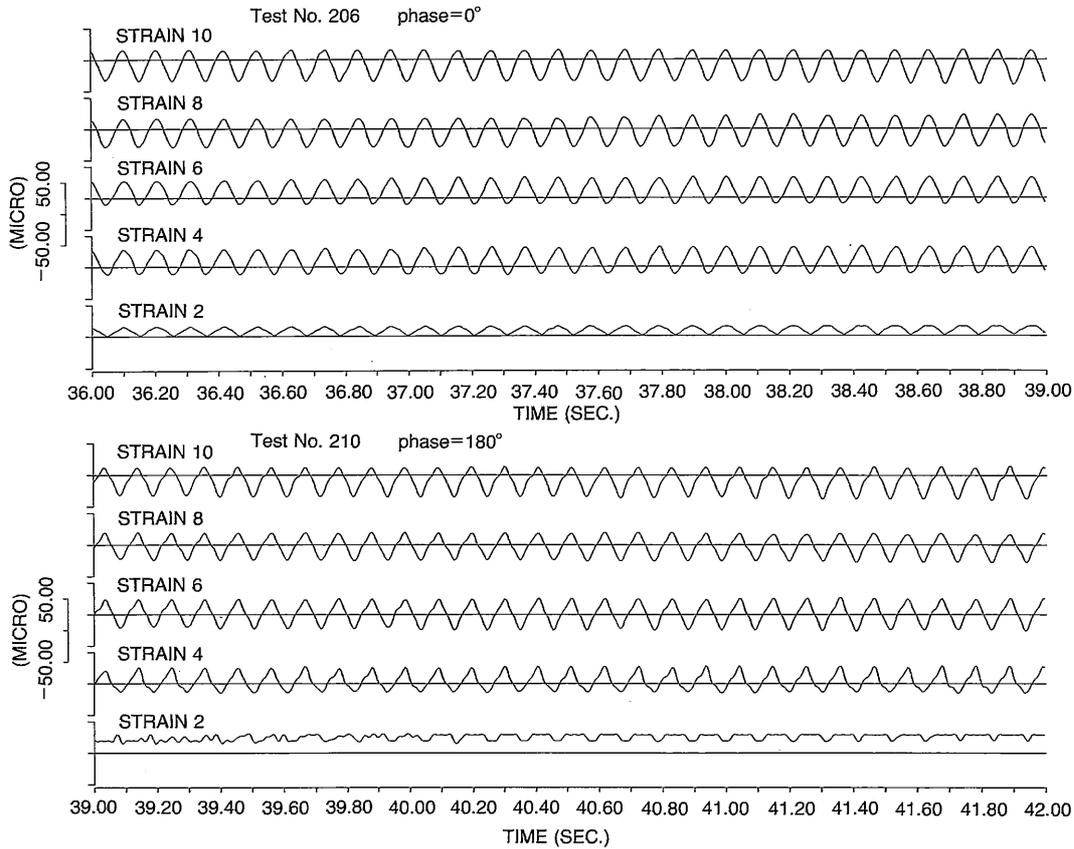
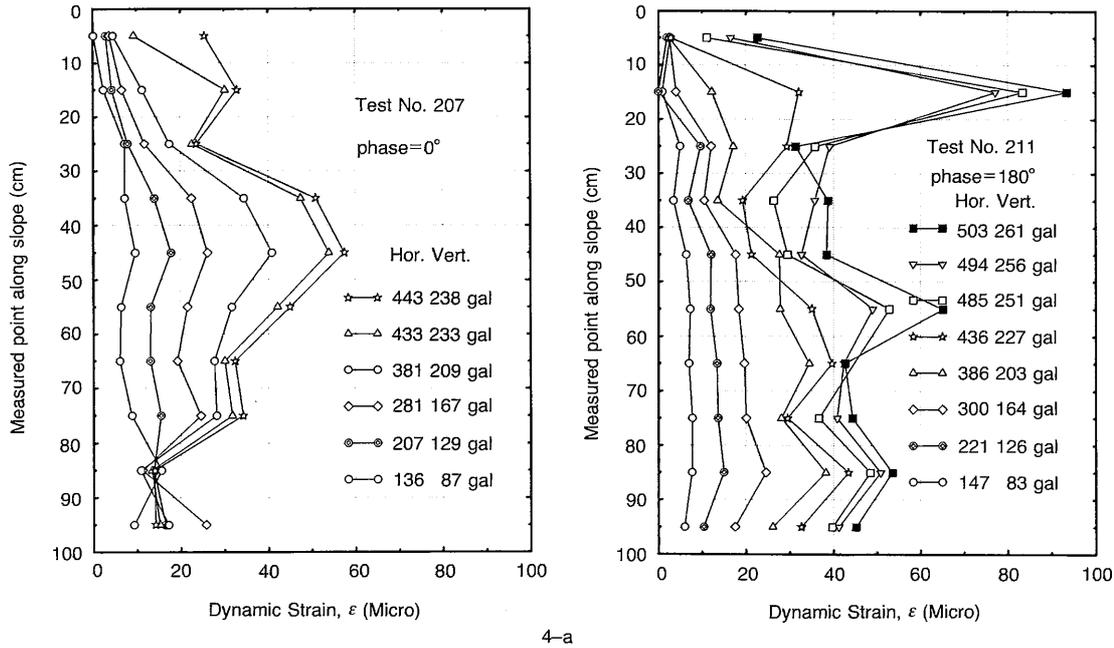
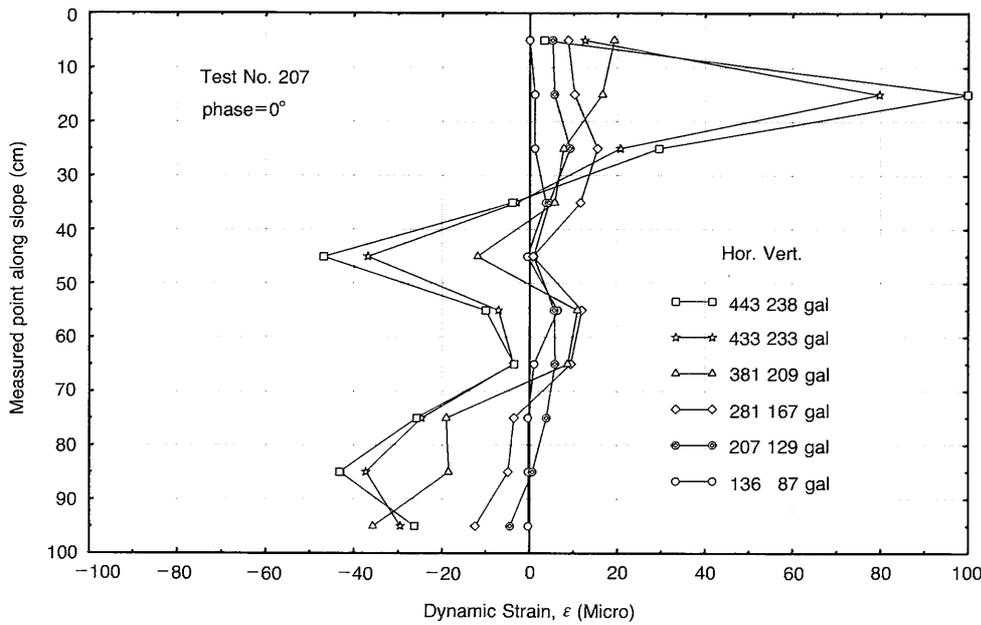


図-3 表層滑り開始時近辺における遮水壁のひずみと位相の関係

研 究 速 報



4-a

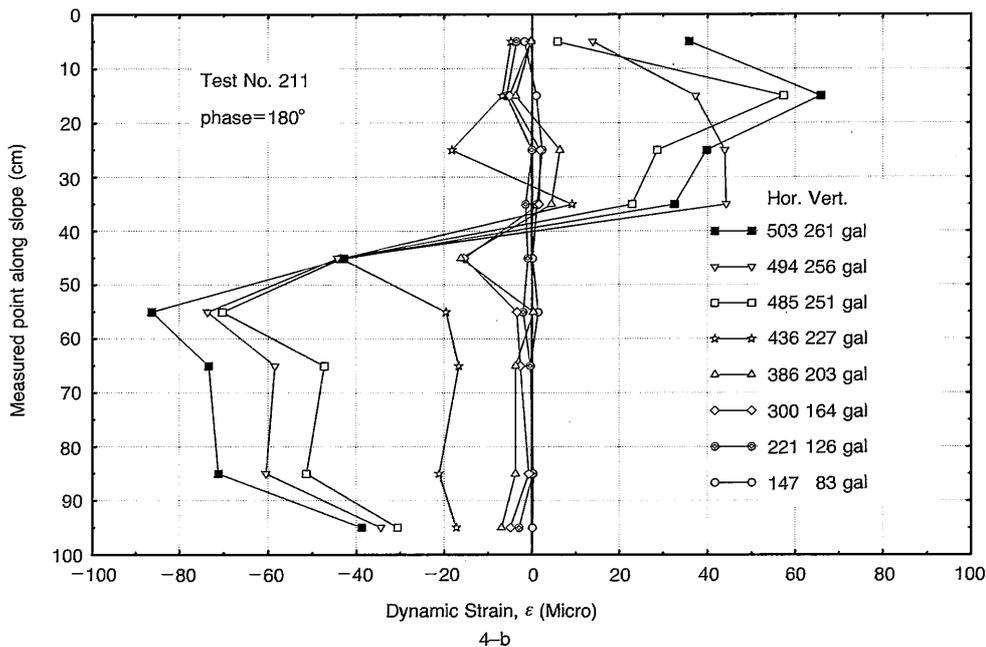


4-b

み分布の変化を図-4に示す。図-4(a),(b)はそれぞれ加振加速度をパラメータとして示したひずみの動的成分および静的成分の分布である。

図-4(a)に見られるように動ひずみは遮水壁の中央部から下部にかけて大きく、前報²⁾で述べた水平方向のみの加振の場合のひずみの時刻歴にかなり類似した傾向を示し、ひずみの分布についても似ていることがわかる。また図-4(b)に示されている静的ひずみも水平加振の場合と類

水平方向と鉛直方向の加振の位相差が180°の場合、図



4-b 図-4 遮水壁のひずみの分布比較

- (a)動的ひずみ
 - 同位相の場合
 - 逆位相の場合
- (b)静的ひずみ
 - 同位相の場合
 - 逆位相の場合

似していることが認められる。位相差が 0° の場合、動ひずみは加速度の増加とともに中央部分が相対的に増加する傾向があり、また静ひずみについては遮水壁の下半部でかなり変化の激しいものになっている。この性状についてさらに検討する必要があると考えられる。

下流法面崩落により堤頂高が低下し、遮水壁上部が片持梁状に露出し、遮水壁上部のひずみが急激に増加する。図-4(b)に示されているように、静的ひずみは遮水壁の上部で引張、中・下部で圧力となっている、この変化点はほぼ一定であるが、位相 180° の場合が幾分下方に移っていることがわかる。位相差が 180° と 0° の場合を比較すると前者が安定した分布をしているのに対し、後者は変化の激しい分布を示しているが、表層滑り発生前の段階で述べたように、さらに検討がいるであろう。いずれの場合も表面滑り発生時点までは遮水壁のひずみに特に系統立った変化は現われていないと考えてよいであろう。

3.4 堤体最終破壊

堤体が破壊（表層滑り）を始めてから、遮水壁に亀裂が発生するまでの破壊過程は、水平のみの加振で観測されたものと酷似している。同位相加振の場合、水平加速

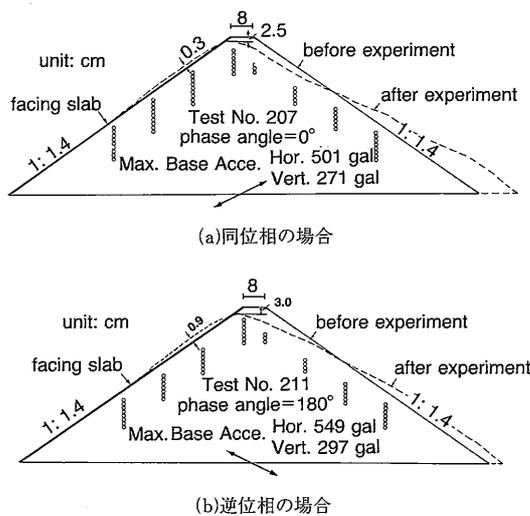


図-5 中央断面の最終破壊形状

度が500 gal に達すると亀裂が発生するのに対し、逆位相加振の場合、水平加速度が550 gal に達した時点で亀裂が発生する。図-5 は実験終了後の堤体中央断面の破壊形状であり、図-6 は表面遮水壁の亀裂分布である。

研究速報

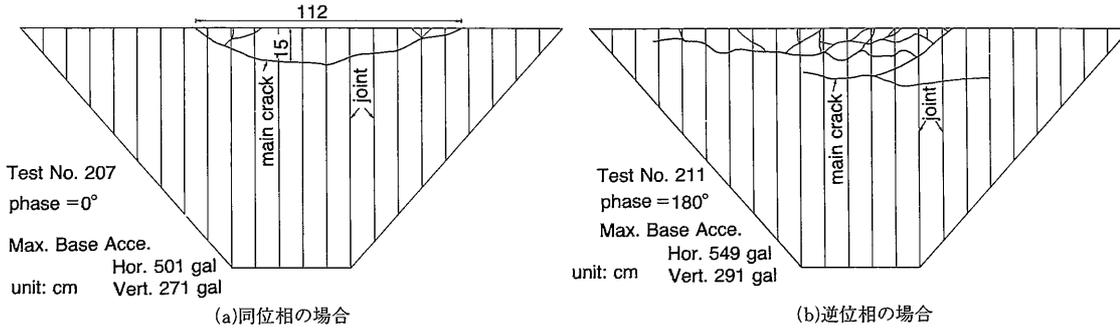


図-6 表面遮水壁の亀裂分布

同位相加振の場合の破壊後の断面は、同じ形の模型を水平方向にのみ加振した場合の断面形状とよく似ているが、逆位相の加振による破壊後の断面形状は下流勾配が1:1.8の模型を水平方向にのみ加振した場合のものと類似している。これは、逆位相で加振した場合は、下流面の勾配が緩い場合と同様に下流法面が滑りにくいため、滑り発生時の加振加速度が増すことになり、上流面のはらみ出しが大きくなるためと考えられる。下流法面に滑落して堆積した碎石は堤高の3/4の所までに達し、同位相で加振した時の様子とかなり違っている。遮水壁の亀裂については、同位相の場合には、この発生位置と広がりが水平のみの加振時のものに似ている。逆位相の加振の場合、亀裂がより広範囲に広がっているのは、上流面のはらみ出し(外凸)が大きいことに関連しているものと思われる。

4. ま と め

水平・鉛直方向に同時に加振した場合の表面遮水壁ダム模型の破壊実験結果から、下流法面の安定性および遮水壁のひずみ分布に及ぼす鉛直地震動の影響を検討した。得られた知見を要約すると以下のようなになる。

(1) 水平・鉛直両方向に同時に加振した時の表面遮水壁ダム模型の破壊過程とその状態は、水平方向にのみ加振した場合のものと似ている。堤体の破壊は下流側法面の表層滑りから始まり、これによる堤頂部の低下に引き

続いて遮水壁の上部に亀裂が発生する。

(2) 鉛直方向にも水平方向と同位相で加振する場合、下流側法面の安定性は低下する。同様に逆位相で加振した場合には、下流側法面は滑りにくくなる。この実験では加振の位相を変えることによる破壊加速度の増加の割合はおよそ20~25%である。

(3) 遮水壁のひずみは水平方向の加振加速度に強く支配され、鉛直方向の加速度の影響は比較的小さい。遮水壁のない下流法面の表面滑りが始まる加振レベル近傍になると、遮水壁の下部で静的な圧縮ひずみが発生し、上部では曲げ変形によると見られる静的な引張ひずみが生じ、加速度の増加とともにこれらのひずみは増大する。これに重畳する動的なひずみも加速度の増加とともに増し、上部の引張ひずみは遮水壁の破壊直前に急激に増大する。
(1992年3月11日受理)

参 考 文 献

- 1) 田村重四郎, 孔憲京, 小長井一男, 羅休, コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムの破壊性状に関する基礎的研究Ⅰ—型式が異なるロックフィルダムの破壊実験—
- 2) 田村重四郎, 孔憲京, 小長井一男, 羅休, コンクリート表面遮水壁型ロックフィルダムの破壊性状に関する基礎的研究Ⅱ—表面遮水壁ロックフィルダムの破壊性状に及ぼす断面形状の影響—
- 3) Shunzo Okamoto, Choshiro Tamura, Katsuyuki Kato and Jun Dong: Study on Effect of Vertical Ground Motion on Stability of Fill Dams, Proc. 9th WCEE, 1989