

3.6 コンクリートダム地震時終局耐力評価に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水工研究グループ（ダム構造物）

研究担当者：山口嘉一、岩下友也、佐々木晋

【要旨】

レベル2地震動に対する重力式コンクリートダムの耐震性能の照査において、堤体に生じた引張亀裂が上下流面に貫通した場合には、堤体の上部分断ブロックの安定性の詳細な検討による照査が必要とされている。本研究は、地震動によるコンクリートダム堤体の亀裂貫通により堤体が分断したことを想定して、分断後の堤体の上部ブロックの地震時挙動を把握することを目的として、あらかじめ2つに分断させたダム形状の模型試験体に対して、貯水を考慮した状態において振動実験を実施した。上部ブロックの動的挙動を把握するとともに、上部ブロックに作用する動的荷重（慣性力、動水圧、分断面に作用する揚圧力）について分析を行った。

キーワード：重力式コンクリートダム、大規模地震、振動実験、終局耐力、耐震性

1. はじめに

国土交通省では、大規模地震による地震動に対するダムの耐震性能の照査方法を体系的に示した「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説」¹⁾を2005年3月に策定し、現在直轄ダム等において試行している。同指針（案）では、ダム本体の照査は、①ダムの貯水機能が維持されること、及び、②生じた損傷が修復可能な範囲にとどまることの2点を確認することとしている。上記①に対して、コンクリートダムでは損傷過程を考慮した地震応答解析を実施し、生じる損傷が限定的であることを確認する。特に、重力式コンクリートダムでは、一般に引張破壊に対する条件が最も厳しくなり、引張破壊については、上下流面間に連続する引張亀裂の発生によって堤体の分断が生じていなければ①の条件は満足することとしている。しかし、同指針（案）解説¹⁾にも、引張亀裂が堤体を上下流間に連続することとなったとしても、その上部の堤体ブロック全体が不安定化しなければ、①は満足できると考えられることとしているため、地震応答解析で亀裂が上下流間に連続した場合には、追加的により詳細な検討項目として亀裂分断後のダム堤体の終局的耐力の評価を行う必要がある。

平成20年度は、地震動によるコンクリートダム堤体の亀裂貫通分断後の上部ブロックの動的挙動を把握することを目的として、分断した後の重力式コンクリートダムを模擬したダム形状の模型試験体を用いて振動実験を行った。

2. 実験概要

地震動によるコンクリートダムの分断ブロックの地震時の終局的な安定性を評価するためには、その分断ブロックの動的挙動を実現象として把握し、解明していく必要がある。そこで、堤高100m級のダムを想定した、1/200縮尺の模型試験体（堤高50cm）を作製し、振動台を用いた模型振動実験を実施した。

振動実験は、独立行政法人土木研究所の3次元大型振動台施設（テーブル寸法8m×8m）（写真-1）を使用した。振動台の上に水槽（内寸：長さ1.25m×幅0.5m×高さ0.8m）を設置し、その中にあらかじめ分断させたダム形状のモルタル模型試験体を分断面の凹凸が重なるように設置した（写真-2）。また、試験体の上流側に貯水した状態で（水深45cm）、正弦波を入力して振動加振した。なお、上流側の貯水位については、図-1に示すように貯水が試験体の分断面を通じて下流に流れ漏れるため、給水ゾーンから貯水ゾーンに加振中も常にポンプ給水をし、給水ゾーンと貯水ゾーンの隔壁から常にオーバーフローさせることにより、貯水位を一定に保つようにした。

3. 試験体

3.1 試験体の諸元

模型振動実験で使用した試験体の寸法は、堤高500mm×上下流方向長さ318mm×奥行厚さ300mmとし、上流面勾配は鉛直、下流面勾配は1:0.8とした。

3.2 試験体の作製方法

ダムコンクリートの粗骨材最大寸法は80～150mm

3.6 コンクリートダム地震時終局耐力評価に関する研究

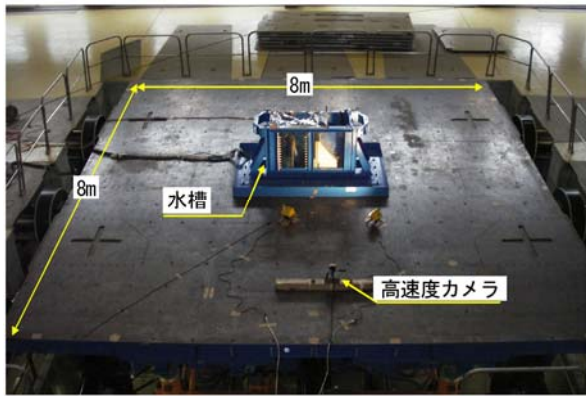


写真-1 振動実験全景

表-1 試験体製作配合

単体量 (kg/m ³)			混和剤 (%)	
水	セメント	細骨材	高性能減水剤	AE 剤
W	C	S		
255.7	393.4	1581.9	2.5	0.025

表-2 試験体の材料物性値

材齢 (日)	単位容積質量 (t/m ³)	静弾性係数 (N/mm ²)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)
7	1.935	16,667	7.52
14	1.963	18,933	18.1
28	1.942	22,533	24.4



写真-2 試験体を入れた水槽

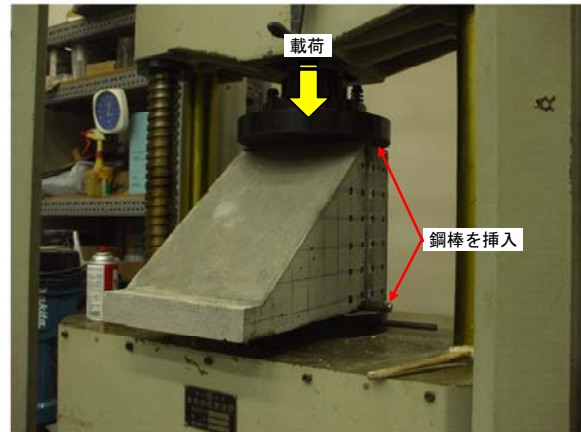


写真-3 試験体の分断方法

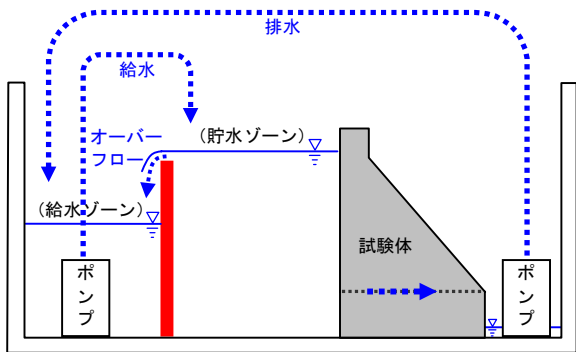


図-1 水槽模式図

が一般的である。そこで、分断面の性状に大きく影響を及ぼすと考えられる試験体作製に使用する骨材の粒径については、模型の縮尺と同様の 150mm に対して 1/200 倍の 0.75mm の細骨材を最大粒径としたモルタルを使用するものとした。試験体作製に使用したモルタルの配合を表-1 に示す。なお、使用した材料は、セメント（早強ポルトランドセメント）、細骨材（笠間産砕砂）、混和剤（高性能減水剤：レオビルド 4000、AE 減水剤：ポゾリスマイクロエア No. 202）である。

作製した試験体と同配合のモルタルで作製した試験体の材料物性値を表-2 に示す。

試験体は 2 層に分けて打設し、打設面から分断させた。1 層目（層厚 100mm）を打設し、ワイヤーブラシにより表面に浮いたレイタンスを除去（グリーンカットに相当）して、表面を粗にする。1 層目打設から 1 日後に表面に剥離剤を塗布し、2 層目（層厚 400mm）を打設し、2 層目打設から 7 日後に試験体を分断した。

分断方法については、試験体の底部から 100mm の位置の周面にあらかじめノッチを作製し、ノッチに円柱鋼棒を挿入して線状の圧縮荷重をすることにより、試験体を割裂分断させた（写真-3）。

試験体分断面の状況を写真-4 に示す。目視による観察を行ったところ、実験で使用する試験体は全て、分断面の凹凸度合いが同程度であった。分断面に作用する揚圧力を計測するため、水圧計を試験体下部ブロックの上流側、中央、下流側の 3 箇所に埋設した。なお、試験体上部ブロック上流面には、動水圧計測のため水圧計を写真-5 のように埋設設置した。

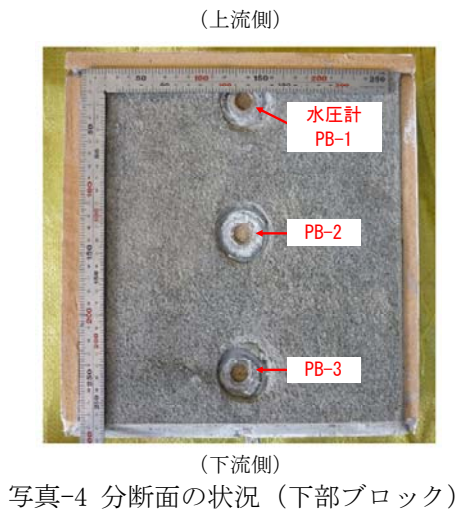


写真-4 分断面の状況 (下部ブロック)

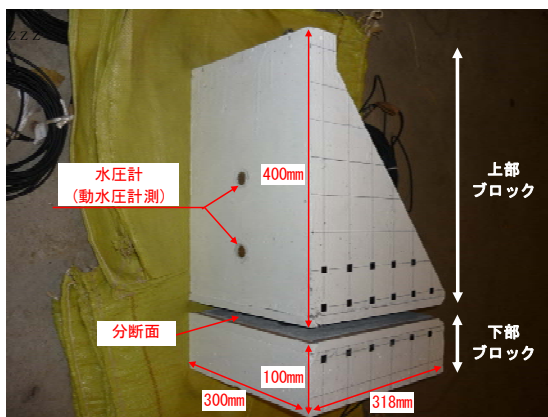


写真-5 分断後の試験体写真

3.3 分断面の性状

試験体分断面の摩擦抵抗の度合いをみるため静的一面せん断試験を行った。表-3及び図-2に一面せん断試験結果を示す。モルタル試験体のせん断摩擦角は 37.1° となり、コンクリート試験体よりも、純せん断強度及びせん断摩擦角が非常に小さいことが確認できる。

4. 振動実験の方法

4.1 実験方法と条件

4.1.1 試験体の止水対策

試験体のノッチ部からの漏水を防ぐために、上流面、左右岸面の3方向については、ノッチ部は木材で埋戻しをした。

試験体の下部ブロックは水槽に固定し、上部ブロックについては分断面以外の場所で拘束がない状態にするため、試験体側面と水槽との間に片側5mm程度の隙間を設けた。そこで、試験体側面からの漏水を出来る限り防ぐ対策として、0.45mm厚の塩化ビニール製シートを、試験体上流面から水槽にかけて、

表-3 一面せん断試験結果一覧

種類	骨材最大寸法 (mm)	目標圧縮強度 (N/m ²)	純せん断強度 (N/mm ²)	せん断摩擦角 (°)
モルタル試験体	0.6 (細骨材)	20	0.07	37.1
【参考】※ コンクリート供試体	割裂		40 (粗骨材)	0.26
	打継	1.15		54.4
	打継+モルタル	0.34		67.0

※) コンクリート供試体

【想定した条件】

割裂：堤体コンクリートの任意箇所から亀裂が発生し分断したと想定したモデル

打継：水平打継目より亀裂が発生し分断したと想定したモデルで、打継面処理とし、グリーンカットを施したもの

打継+モルタル：水平打継目より亀裂が発生し貫通したと想定したモデルで、打継面処理としてグリーンカット後にモルタルを敷いたもの

【実際の分断面状況】

「割裂」モデルは、粗骨材が分断面に出現しており、他ケースに比べて凹凸が大きい状態であるのに対し、「打継」及び「打継+モルタル」モデルは、粗骨材は分断面に出現せず、凹凸は「割裂」モデルほど大きくない。

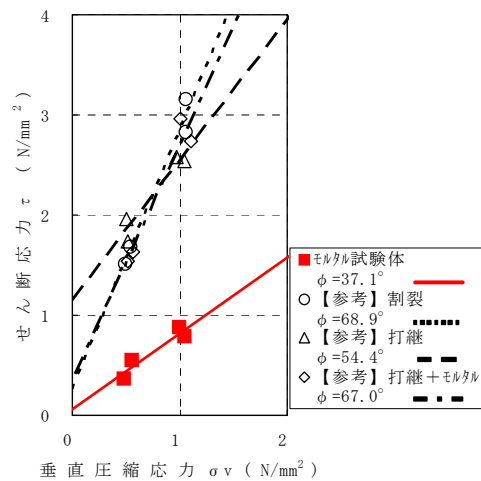


図-2 一面せん断試験結果図

試験体上部ブロックの挙動を阻害することのないよう、たるみをもたせて貼り付けた。さらに、分断面隅角部には天然ゴム製のシートをたるませた状態で貼付け、試験体側面からの止水と上部ブロックの自由な挙動性を兼ね備えるようにした。なお、下部ブロックには発泡性の止水ゴムを貼り、分断面部以外の箇所からの試験体側面からの漏水を出来る限り抑えるようにした (図-3)。

4.1.2 加振条件

入力振動加振は正弦波を使用し、振動数は5Hzで継続時間は一定振幅振動20秒と前後のテーパー5秒を含む合計30秒とした。

加振はステップ加振とし、加振ステップ毎に入力波の正弦波振幅をほぼ100galずつ段階的に増加させていった。ステップ加振は上部ブロックの滑動が生じ、変位が100mm程度に達するまで続けた。図-4に実験に使用した入力水平加速度時刻歴の例を示

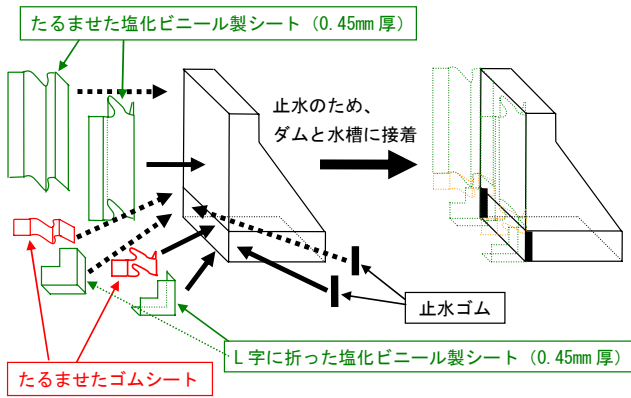


図-3 止水方法

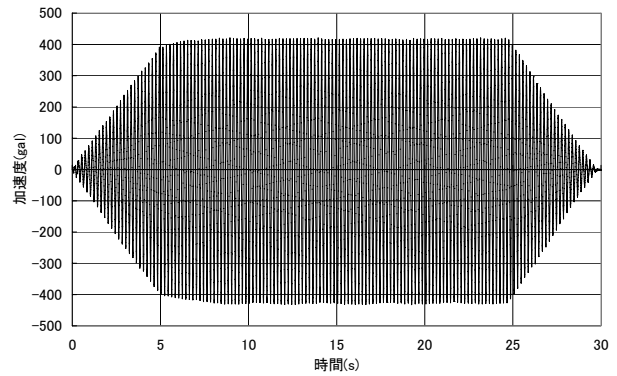


図-4 入力加速度時刻歴の一例
(計測位置：振動台中央部)

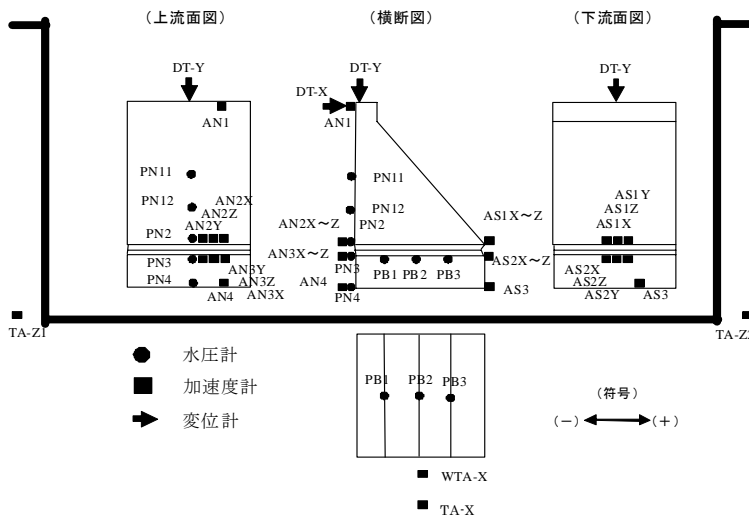


図-5 計測機器配置図

計測項目	名称	方向	設置位置
加速度	TA-X	上下流	振動台(中央)
加速度	WTA-X	上下流	水槽底盤(中央)
加速度	TA-Z1	鉛直	振動台(上流側)
加速度	TA-Z2	鉛直	振動台(下流側)
加速度	AN-4	上下流	下部ブロック上流面下部
加速度	AS-3	上下流	下部ブロック下流面下部
加速度	AN-1	上下流	上部ブロック上流面天端
加速度	AN-2X AN-2Y AN-2Z	上下流 ダム軸 鉛直	上部ブロック上流面 断面周辺
加速度	AN-3X AN-3Y AN-3Z	上下流 ダム軸 鉛直	下部ブロック上流面 断面周辺
加速度	AS-1X AS-1Y AS-1Z	上下流 ダム軸 鉛直	上部ブロック下流面 断面周辺
加速度	AS-2X AS-2Y AS-2Z	上下流 ダム軸 鉛直	下部ブロック下流面 断面周辺
水平変位	DT-X	上下流	上部ブロック上流面天端
鉛直変位	DT-Y	鉛直	上部ブロック上流面天端
静水圧	PN-2	ダム軸	上部ブロック上流面分断部
静水圧	PN-3	ダム軸	下部ブロック上流面分断部
静水圧	PN-4	ダム軸	下部ブロック上流面下部
動水圧	PN-11	上下流	上部ブロック上流面中央部
動水圧	PN-12	上下流	上部ブロック上流面下部
揚圧力	PB-1	鉛直	断面面上流部
揚圧力	PB-2	鉛直	断面面中央部
揚圧力	PB-3	鉛直	断面面下流部

す。なお、実験は同じ条件で3ケース(ケース①、②、③)実施した。

4.1.3 計測方法

計測機器の配置図を図-5に示す。加速度については、分断面周辺において3方向(上下流方向、ダム軸方向、鉛直方向)計測した。水中における試験体の変位計測については、防水型の変位計ではないため、水の影響が比較的少ない天端部にのみ標準タイプの変位計(計測可能範囲:水平方向(DT-X)20mm、鉛直方向(DT-Y)2mm)を設置した(写真-1)。また、分断面周辺部の変位計測は、標点(「■」マーク:写真-5参照)の動的挙動を高速カメラの映像を追跡解析し変位を算定した。高速カメラは、水槽から約2m離れた位置に設置(写真-1)し、1秒あたり240コマで撮影した。

静水圧及び動水圧を計測するために、供試体上流

面に水圧計を5ヶ所設置した。また、分断面に作用する揚圧力を計測するために、下部ブロックの分断面に水圧計を3ヶ所設置した。なお、水圧計については、定格容量50kPa(水深5m相当)の間隙水圧計を使用した。

5. 実験結果

5.1 滑動時の加振ステップ

実験は、入力波の正弦波振幅をほぼ100galずつ段階的に増加させ、上部ブロックが下流側に大きく滑動するまで加振した。上部ブロックの滑動前と滑動後における高速カメラの映像写真を図-6に示す。また、各実験ケースにおける加振ステップ毎の試験体下部ブロックの加速度をまとめると、図-7に示すとおりである。下部ブロック加速度(正弦波振幅)が500gal~800gal程度で上部ブロックが下流側に

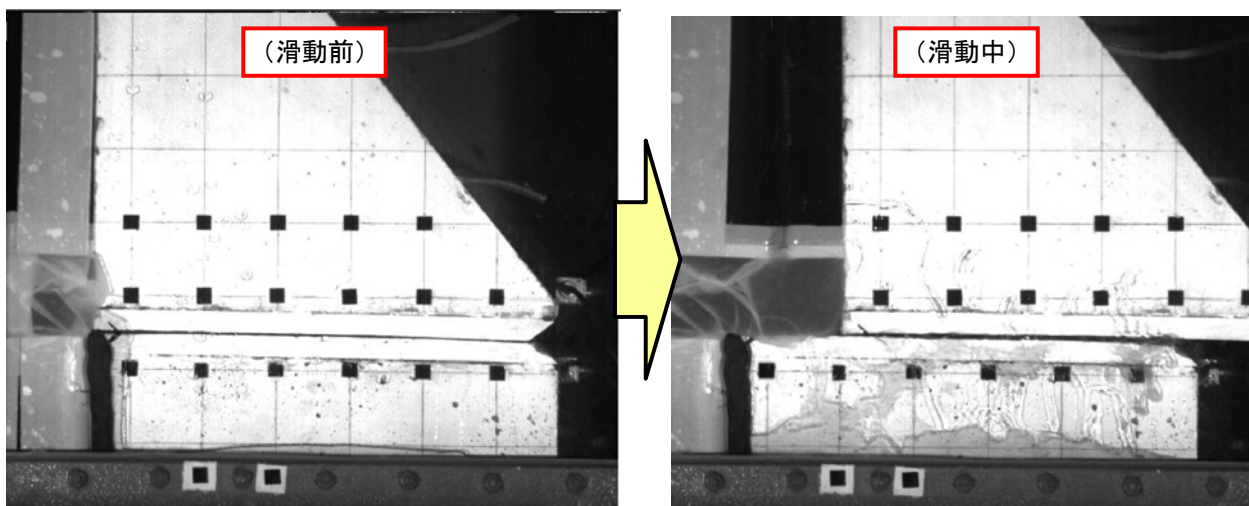


図-6 上部ブロックの滑動前及び滑動中の高速度カメラの映像

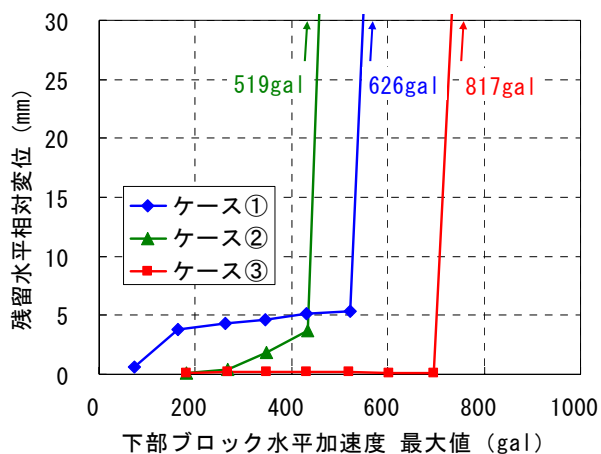


図-7 下部ブロック水平加速度と残留水平相対変位

大きく変位し滑動した。

5.2 上部ブロックの挙動

上部ブロックの挙動については、ケース③（最終加振ステップ：入力加速度振幅 817gal）の滑動時の挙動について分析した。

図-8に、ケース③の下部ブロック水平加速度時刻歴と、上部ブロックの下部ブロックに対する相対変位時刻歴を示す。ここに、AN-4は下部ブロック上流面に設置した加速度計（水平 X 方向）であり、DT-X（水平 X 方向）、DT-Y（鉛直 Y 方向）は上部ブロックの天端に設置した変位計である。

図-8のうち、上部ブロックが下流側に滑動し大きく変位する前後の 13.1～14.1sec（1秒間）のデータを抽出したものを図-9に示す。ここに、DH-X、DH-Y1、DH-Y2 は高速度カメラ追跡解析により算定した、下部ブロックに対する上部ブロックの相対変位であ

る。DH-X は上流頂部の水平相対変位、DH-Y1 は上流側の鉛直相対変位、DH-Y2 は下流側の鉛直相対変位を示す。DH-X<DT-X となる場合、上部ブロックが下流側に傾いている状態であり、DH-X>DT-X となる場合は、上部ブロックが上流側に傾いている状態であることを表している。また、DT-X=DH-X となる場合は、上部ブロックが上下流どちらにも傾いていない（元に戻る）状態であることを表している。ここで、上部ブロックが下流側に傾いたあとと元に戻る挙動を「Ⅰ（水色ハッチング部）」、上部ブロックが上流側に傾いたあとと元に戻る挙動を「Ⅱ（緑色ハッチング部）」とし、上部ブロックが下流側に滑動する挙動を「Ⅲ（赤色ハッチング部）」とした。なお、これら挙動「Ⅰ」～「Ⅲ」の区分境界は、DH-X=DT-X となる時、つまり上部ブロックがどちらにも傾いていない（元に戻る）状態としている。以下に、上部ブロックの挙動に関して図-9 を使って時系列的に考察する。

【「ロッキング挙動」(~13.63 秒)】

13.42～13.57 秒においては、DH-X<DT-X となっており、上部ブロックが下流側に傾いている（挙動「Ⅰ」）。

13.57～13.63 秒においては、DH-X>DT-X となっており、上部ブロックが上流側に傾いている（挙動「Ⅱ」）。また、DT-X と DH-X の差の絶対値は、13.42～13.57 秒における挙動「Ⅰ」よりも小さいことから、上部ブロックは上流側よりも下流側に傾きやすくなっていると考えられる。

以上をまとめると、13.63 秒までは、上部ブロックが下流側に傾いて戻り（挙動「Ⅰ」）、上流側に傾いて元に戻る（挙動「Ⅱ」）という挙動を繰り返して

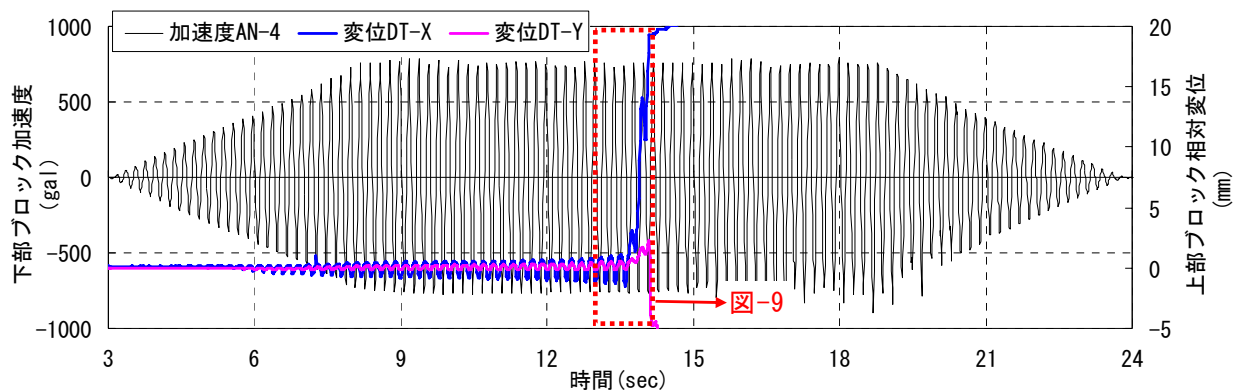


図-8 下部ブロック水平加速度時刻歴 (第10加振ステップ時)

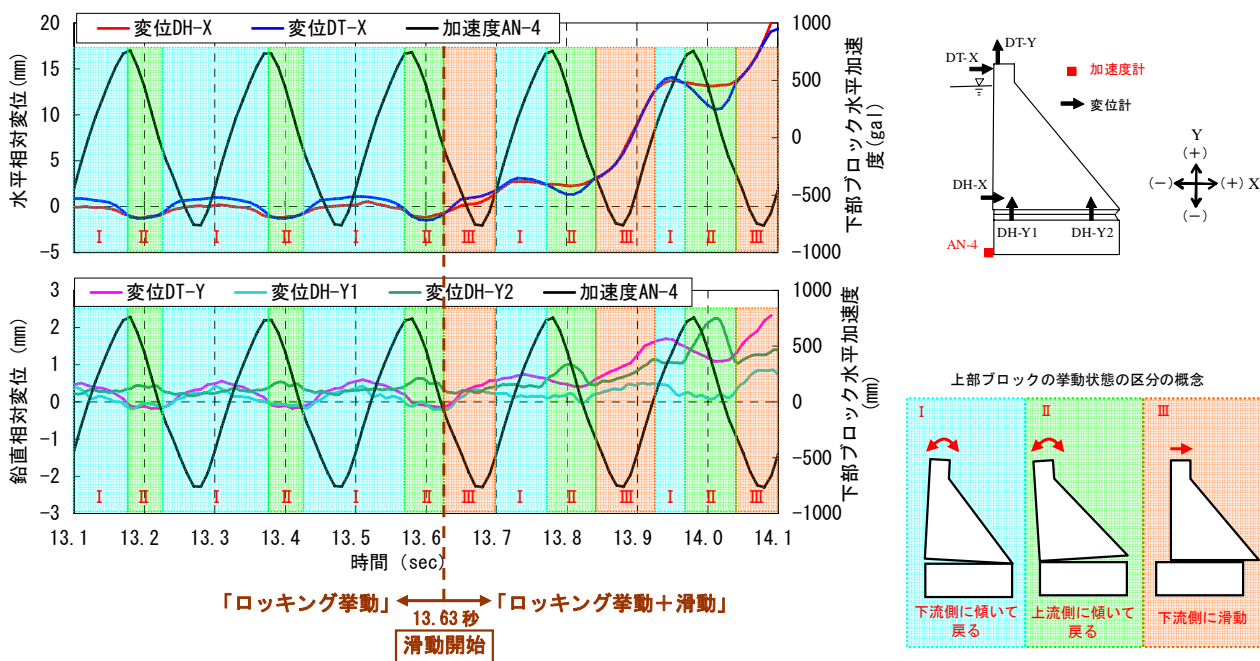


図-9 下部ブロック水平加速度時刻歴 (滑動前後)

いる。

【「ロッキング挙動+滑動」(13.63秒～)】

13.63～13.70秒においては、DH-X並びにDT-Xが大きく増加、つまり上部ブロックが滑動を始め、かつDH-X<DT-Xとなっていることから、上部ブロックが下流側に傾きながら下流側に滑動している(挙動「III」)。

13.70～13.77秒においては、水平変位がDH-X<DT-Xとなっていることから、上部ブロックは下流側に傾いている(挙動「I」)。また、DT-XとDH-Xの差は、13.63秒以前における挙動「I」よりも小さくなっていることから、「ロッキング挙動」時における挙動「I」よりも上部ブロックの下流側への傾き角度が小さくなっているものと考えられる。

13.77～13.83秒においては、DH-X>DT-Xとなっ

おり、上部ブロックが上流側に傾いている(挙動「II」)。また、DT-XとDH-Xの差は、13.63秒以前における挙動「II」よりも大きくなっていることから、「ロッキング挙動」時における挙動「I」よりも上部ブロックの上流側への傾き角度が大きくなっているものと考えられる。

13.83～13.92秒においては、DH-X並びにDT-Xが大きく増加しており、上部ブロックが下流側に滑動している(挙動「III」)。ここでは、高速度カメラ追跡解析の精度(1mm程度)を考慮すると、変位からは明確な状況を確認することはできないが、これも上部ブロックが下流側にわずかに傾きながら滑動しているものと考えられる。この現象は、後述するが、分断面に作用する揚圧力の値が滑動開始時に瞬間的に負圧になっている(図-11)ことから確認できる。

以上をまとめると、13.63 秒以降については、上部ブロックはロッキング挙動をしながら下流側に大きく滑動している。

全体的な傾向として、「ロッキング挙動」時の挙動「Ⅰ」と「Ⅱ」および「ロッキング挙動+滑動」時の挙動「Ⅰ」と「Ⅱ」について DH-X と DT-X の大小関係をみると、「ロッキング挙動」時には、上部ブロックが下流側に大きめに傾くものに対して、「ロッキング挙動+滑動」時の挙動「Ⅰ」及び挙動「Ⅲ」においては上部ブロックの下流側への傾き度合いが小さくなっており、逆に挙動「Ⅱ」においては、上流側への傾き度合いが大きくなっていることが確認できる。

また、13.63 秒以降について鉛直変位 (DT-Y、DH-Y1、DH-Y2) が全体的に 1~2mm 上方に増加していることが確認できる。これは、「ロッキング挙動+滑動」時には、上部ブロックが分断面のかみ合わせを乗り越えながら下流側に滑動するため、上部ブロックが鉛直上方に変位しているものと考えられる。

5.3 上部ブロックに作用する動的荷重

加振中の上部ブロックに作用する荷重は、上部ブロックの自重、慣性力(下部ブロックの水平加速度)、静水圧、動水圧、分断面に作用する揚圧力である(図-10)。なお、本実験における入力加振の方向は水平一方向で制御したが、使用した振動台は 3 次元振動台であるため、振動台において鉛直加速度が計測された。しかし、下部ブロック鉛直加速度振幅は水平加速度振幅の 5%未満であることから、鉛直方向慣性力は上部ブロックに作用する荷重として考慮しないものとした。

上部ブロックに作用する動的荷重(下部ブロック水平加速度、動水圧、分断面に作用する揚圧力)の時刻歴を図-11 に示す。なお、上部ブロックの水平変位と鉛直変位の時刻歴を【D】に示した。各荷重について、以下に考察する。

5.3.1 慣性力(下部ブロック加速度)

図-11 の【A】に下部ブロック水平加速度時刻歴を示す。「ロッキング挙動」時の 13.42~13.63 秒において、下部ブロック水平加速度が「負」の方向(下流→上流)に作用している時間帯(13.42~13.53 秒)と、そこから「正」の方向(上流→下流)に最大となるまでの間(13.53~13.57 秒)は、上部ブロックが下流側に傾いてまた元に戻る挙動「Ⅰ」となる。また、下部ブロック水平加速度が「正」の方向に最大となる時から加速度が 0 になるまでの間(13.57

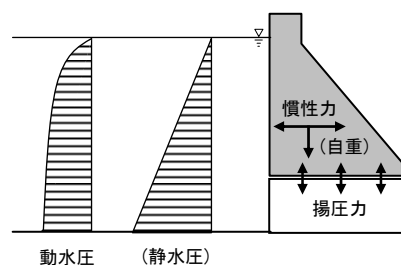


図-10 上部ブロックに作用する荷重

~13.63 秒) は、上部ブロックが上流側に傾いてまた元に戻る挙動「Ⅱ」となっている。

「ロッキング挙動+滑動」時の 13.63~13.70 秒において、上部ブロックが下流側に大きく滑動するのは、下部ブロック水平加速度が「負」の方向に作用し、上部ブロックの慣性力が「正」の方向に作用するときである。具体的には、上部ブロックに慣性力が「正」の方向(下流方向)に作用することにより、上部ブロックが下流側に傾き、傾いた瞬間に分断面表面における細骨材等のひっかかりがなくなる等のきっかけにより、上部ブロックが下流側に滑動するものと考えられる。一方、下部ブロック水平加速度が「正」の方向に作用するときは、上部ブロックに「負」の方向(上流方向)の慣性力が作用するが、静水圧と逆方向となるため「負」の方向への滑動は生じず、上部ブロックの挙動は「ロッキング挙動」と同様であるが、挙動「Ⅱ」においては、より上流に傾きが大きくなっている。

5.3.2 動水圧

図-11 の【B】の図に、上部ブロック上流面に作用する動水圧の時刻歴を示す。動水圧と下部ブロック水平加速度の関係について、図-11 の【A】と【B】をみると、動水圧は下部ブロック水平加速度と同位相であり、下部ブロック水平加速度が「負」の方向に最大となったときに、動水圧が正圧で最大となっている。また、下部ブロック水平加速度と上部ブロックの挙動の関係については、5.3.1 慣性力(下部ブロック加速度)に述べたとおり、下部ブロック水平加速度が「負」の方向に最大となったときに上部ブロックが下流側に傾くあるいは下流側に滑動する傾向が確認できる。

以上のことから、動水圧と上部ブロック挙動の関係について、動水圧が大きくなったときに上部ブロックが下流側に傾くあるいは下流側に滑動する傾向があり、動水圧の作用が上部ブロックのロッキングや滑動を助長させていることが分かる。

なお、「ロッキング挙動」時と「ロッキング挙動+

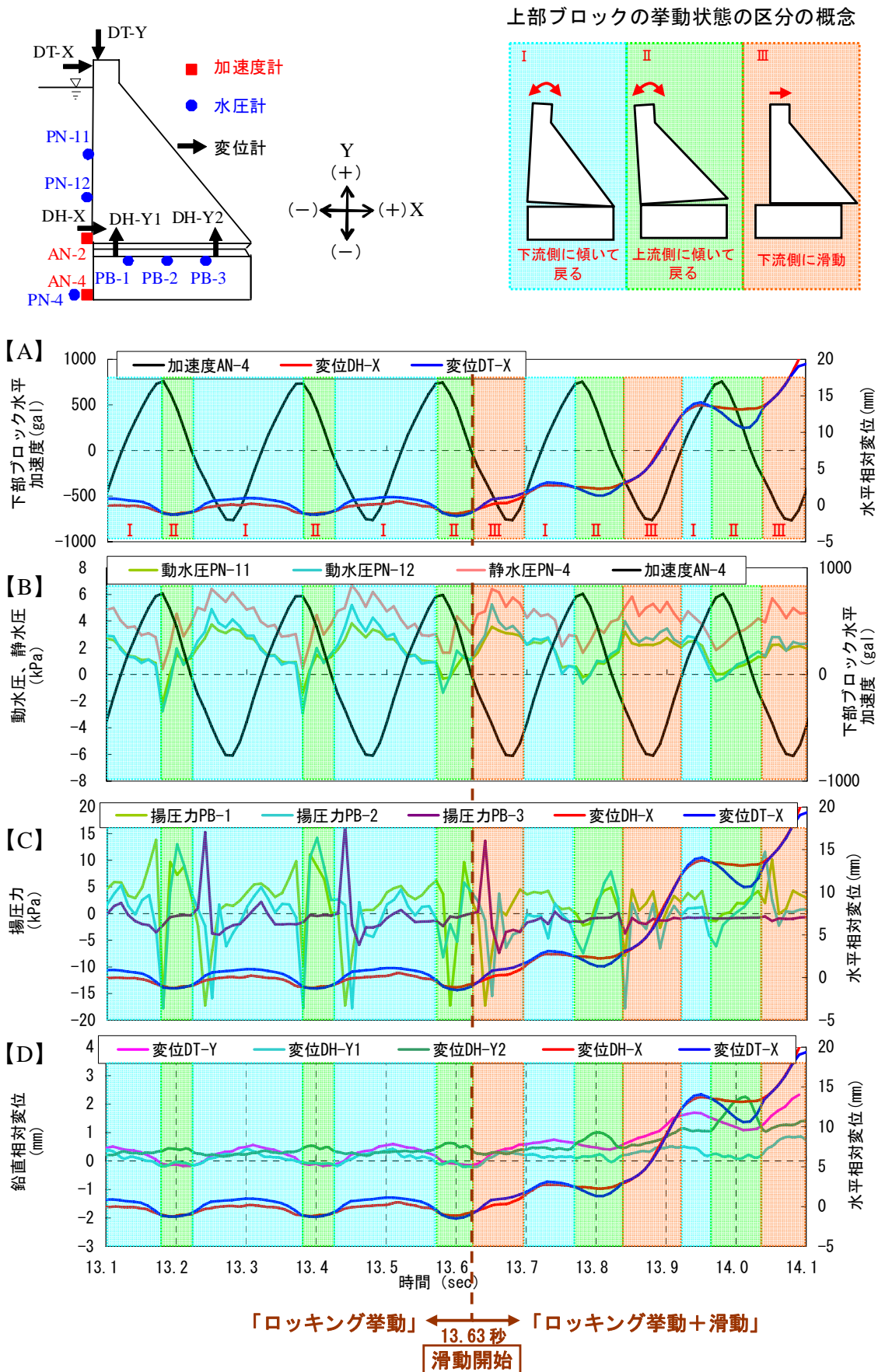


図-11 上部ブロック滑動前後の計測値の時刻歴 (ケース③最終加振ステップ)

滑動」時における動水圧の値を比較すると、上部ブロックが下流側に滑動するにつれて動水圧の値が小さくなっている。図-11【B】に示した静水圧時刻歴(PN-4)でも動水圧のピークが減少している時に静水圧ピークも減少している。これは、上部ブロックが下流側に滑動することで、貯水ゾーン(図-1)の容積が急激に大きくなり、ポンプ注水が間に合わずに貯水位の安定化ができなくなって、貯水位が低下してしまったため、静水圧が小さくなるとともに動水圧も小さくなったものと考えられる(図-11【B】)。「ロッキング挙動」時(13.63秒以前)よりも「ロッキング挙動+滑動」時(13.63秒以降)の方が、挙動「Ⅱ」においてDT-Xの値がDH-Xの値を下回る割合が大きくなる(上部ブロックが上流側に傾く度合いが大きくなる)現象は、上述した静水圧、動水圧の低下が原因であると考えられる。

5.3.3 揚圧力

図-11の【C】に、分断面に作用する揚圧力時刻歴を示す。写真-4に示すようにPB-1は分断面上流部、PB-2は分断面中央部、PB-3は分断面下流部に設置した水圧計である。

「ロッキング挙動」時(13.6秒以前)において、上部ブロックが上流側に傾き始めた瞬間(分断面下流側が開口する瞬間)(13.38秒)に、PB-1およびPB-2が負に最大(最大負圧)となり、傾いた上部ブロックが元に戻る瞬間(分断面下流側が閉じる瞬間)(13.40秒)に正に最大となっている。

初めて滑動した13.63~13.70秒においては、 $DH-X > DT-X$ となっていることから、上部ブロックは下流側に傾きながら滑動するため、上部ブロックが傾く瞬間(13.63秒)に、揚圧力(PB-1、PB-2)が瞬間的に負圧になっていることが確認できる。次に慣性力が下流方向に作用し滑動した13.84~13.92秒においては、滑動の始め(13.83~13.85秒)に揚圧力が負圧になっている。それは、最初の滑動(13.63~13.70秒)とは異なり、分断面のかみ合わせが浅い(図-11【D】において、上部ブロックの上下流側の両側の鉛直相対変位が1mm程度上方に変位していることから推察できる)ため、上部ブロックがわずかに下流側に傾いている。また、負圧になった後(13.67~13.70秒、13.85~13.92秒)は、揚圧力は概ね正圧になっており、上部ブロックを鉛直上向きに押し上げる作用をしているため、揚圧力が上部ブロックの滑動を助長する状態となっていることが確認できる。

なお、「ロッキング挙動+滑動」時は、「ロッキン

グ挙動」時よりも、最も下流側の分断面に設置した水圧計PB-3の値の変動幅が小さくなっている。これは、「ロッキング挙動+滑動」時においては、上部ブロックが下流側に傾く際の分断面上流側の開口変位が小さくなるため、分断面に入り込む水量が少なくなるとともに、上部ブロックが上流側に傾く際の分断面下流側の開口変位が大きくなるため水圧計(PB-3)に空気が接触しやすくなったためであると考えられる。

6. まとめ

平成20年度は、大地震により、重力式コンクリートダム堤体に亀裂が貫通し、分断したことを想定し、分断後のダムの地震時安定性を評価するため、堤体上部ブロックの動的挙動を把握することを目的として、ダム形状のモルタル試験体を用いた模型振動実験を行った。試験結果をまとめると以下のとおりである。

- ・ 正弦波のステップ加振した結果、上部ブロックが下流側に大きく滑動変位したときの下部ブロック水平加速度(入力加速度)は、概ね500gal~800gal程度であった。
- ・ 上部ブロックの挙動について、滑動が生じる前のロッキング時においては、「上流側にやや傾いては元に戻り、下流側に傾いては元に戻る」といった挙動が確認された。
- ・ 上部ブロックが下流側に滑動し、大きく変位する際の挙動については、「上部ブロックが上流側に傾いて元に戻った直後に、上部ブロックが下流側に傾きながら滑動し、滑動が停止(相対変位が0)したあと上流側にやや傾いて元に戻る」一連の挙動が確認された。なお、滑動開始時には、上部ブロックが下流に傾いた瞬間に、分断面表面におけるひっかかりがなくなる等のきっかけによって、上部ブロックが下流側に滑動するものと考えられる。
- ・ 上部ブロックに作用する下部ブロック水平加速度(慣性力)や上部ブロック上流面に作用する動水圧が、上部ブロックのロッキング挙動や下流側への滑動を助長させる。
- ・ 上部ブロックの滑動開始時において、下流側に傾いた瞬間に揚圧力に負圧が大きく発生するが、その後の滑動中には揚圧力は概ね正圧となり、上部ブロックを鉛直上向きに押し上げる作用をしており、滑動を助長させている。

今後は、重力式コンクリートダムの分断を想定した堤体ブロックの変位挙動をシミュレートする個別要素法による数値解析手法を用いて、本実験で確認できたコンクリートダム上部ブロックの振動時の挙動分析結果をもとに、数値解析手法の開発を進めていく。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説，2005. 3.

EVALUATION OF ULTIMATE LIMIT RESISTANCE OF CONCRETE GRAVITY DAMS AGAINST LARGE EARTHQUAKES

Abstract : Concerning the seismic performance evaluation of concrete gravity dams for Level 2 earthquake motions, that is equivalent to Maximum Credible Earthquake, when continuous tensile cracks between the upstream and downstream faces are assumed, further studies on ultimate seismic resistance of the dam need to be conducted. The purpose of this research is to establish an evaluation method of ultimate limit resistance of concrete gravity dams. The studies include analyses to confirm the stability of the upper block of the concrete dam body separated. The shaking table tests for the test models, the shape of which is that of a concrete dam, were conducted in order to make an observation of dynamic behaviors of the upper block of a concrete dam.

Key words : concrete gravity dam, large earthquake, shaking table test, seismic evaluation