

# 嵩上げされた傾斜型コアが アースダムの浸透特性および動的特性に 及ぼす影響に関する基礎的研究

李 永学<sup>1</sup>・川口 潤<sup>2</sup>・魚谷 真基<sup>3</sup>・常田 賢一<sup>4</sup>・秦 吉弥<sup>5</sup>

<sup>1</sup>大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: younghak\_lee@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>2</sup>大阪大学 工学部 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: jkawaguchi@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>3</sup>学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: muotani@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: hata@civil.eng.osaka-u.ac.jp

韓国では将来的に水不足が危惧されており、現在、農業用アースダムの嵩上げが活発化している。一方、韓国では近年になって有感地震の発生頻度が高まりつつある。そのため、嵩上げされたコア構造によるアースダムの透水性および耐震性の検証が必要である。しかし、嵩上げコアの構造は画一的であるとともに、中小規模のアースダムの耐震設計は、震度法による安定性評価に留まっているのが現状である。そこで、本研究では、基礎的検討として、傾斜型コアによる嵩上げアースダムである韓国の鶏龍貯水池を基本モデルとし、嵩上げコア構造としてコア体積に着目し、4種類のコア体積に関して、非定常浸透流解析および正弦波入力による動的解析を実施した。そして、嵩上げコア構造の体積が浸潤線およびコア内のせん断応力に及ぼす影響を明らかにした。

**Key Words :** earth dam, heightened core, seepage analysis, dynamic analysis, shear stress

## 1. はじめに

韓国では、国土の地形的な問題から新たなダムによる水資源の確保が難しいことや、年間降雨量が6月から9月に集中し、季節による降雨量の偏りが大きいことから、将来的に水不足が起こることが危惧されている<sup>1)</sup>。このような背景から、韓国では、2010年から2015年にかけて全国110ヶ所の農業用貯水池における堤防の嵩上げが実施される予定である<sup>2)</sup>。対象貯水池のほとんどは、コア、盛土、フィルターから構成されるゾーン型アースダムであり、継足されるコアの構造については、22ヶ所が傾斜型コア、40ヶ所が垂直型コアである。

一方、日本でも近年、台風や異常気象による洪水・渇水の問題を解決あるいは軽減する目的で、北海道夕張郡の杵臼ダム(2009年竣工)<sup>3)</sup>、大阪府和泉市の光明池副堤(2011年竣工)<sup>4)</sup>、および新潟県柏崎市の川内ダムの嵩上げ(2013年竣工)<sup>5)</sup>などで、アースダムの嵩上げが実施されている。

ここで、一般に傾斜型コアは、下流側斜面のみの拡幅により上部方向へコアを延ばすため、垂直型コアよりも容易に嵩上げ高さが確保できるとされている。しかし、傾斜型コアでは、嵩上げ盛土部の不同沈下などによる継足コアへの影響およびそれによる浸透特性の変化など、垂直型コアに比べて構造的な課題が多いとされている<sup>6)</sup>。

さらに、韓国における有感地震の年間発生回数の推移(マグニチュード別)を図-1に示すが、近年になって有感地震の頻度が増加している<sup>7)</sup>。そのため、嵩上げダムについても耐震性能の向上が急務である。しかし、韓国においてもダムの耐震設計は考慮されているものの、貯水池のような中小規模ダムの耐震設計は、震度法による安定性の評価に留まっており、継足コア構造の詳細な挙動の把握のためには、動的解析等の実施が必要不可欠である。

すなわち、アースダムの嵩上げにおいては、嵩上げされるコア構造が浸透特性および耐震性に及ぼす影響を明らかにするとともに、最適なコア構造の設

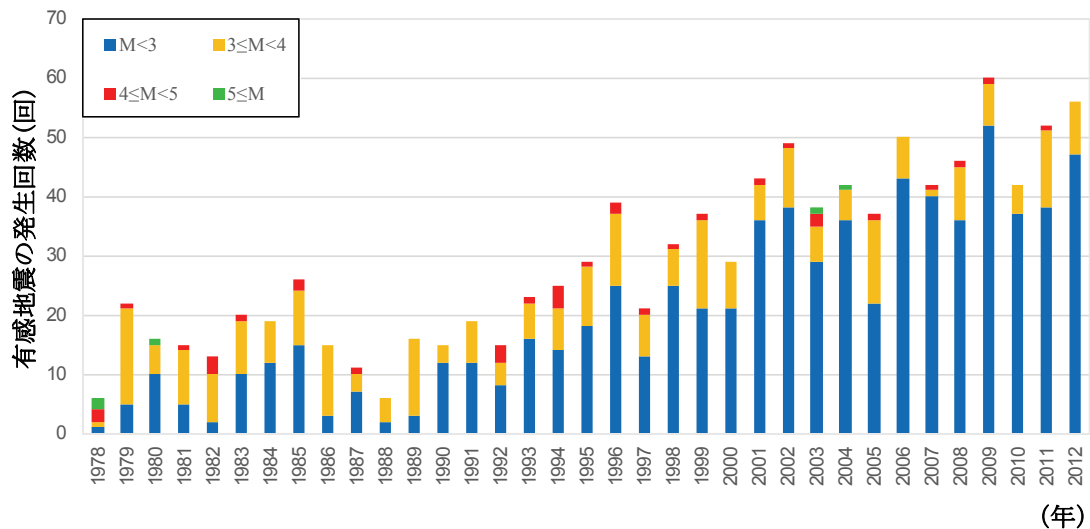


図-1 韓国における有感地震の年間発生回数の推移

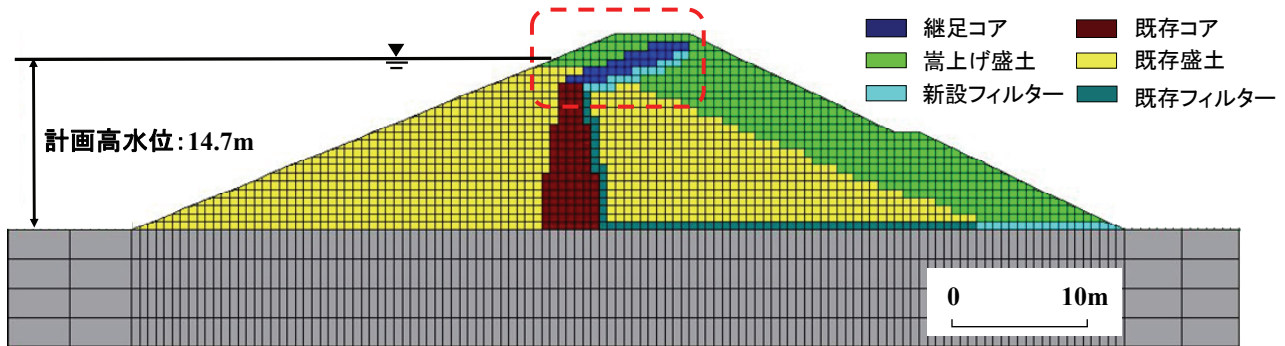


図-2 堤体の FEM のモデル

表-1 鶏龍貯水池の諸元

| 諸元      | 嵩上げ前                      | 嵩上げ後                      |
|---------|---------------------------|---------------------------|
| 型式      | 中央コア型アースフィルダム             |                           |
| 堤高      | 14.30 m                   | 17.10 m                   |
| 堤頂標高    | 60.49 m                   | 64.40 m                   |
| 堤頂長     | 288 m                     | 300 m                     |
| 堤頂幅     | 6.00 m                    | 6.00 m                    |
| 計画高水位標高 | 60.95 m                   | 62.00 m                   |
| 満水位標高   | 59.43 m                   | 61.00 m                   |
| 有効貯水量   | 34,124,100 m <sup>3</sup> | 47,177,300 m <sup>3</sup> |

計法を確立することが必要である。

上述した背景を踏まえ、本研究では、嵩上げコア構造が透水性および動的特性に及ぼす影響に関する基礎的な研究として、韓国において嵩上げ事業がなされている鶏龍市の北西部に位置する鶏龍貯水池をモデルとして、嵩上げ時の継足コアの体積の影響に着目し基礎的な検討を行った。

なお、韓国における傾斜型コア接続による嵩上げ事業の大部分は、施行方法と堤体高さが類似しており<sup>8)</sup>、嵩上げが実施されているゾーン型アースダムのうち、堤体の基礎的なデータの入手の容易さや、室内試験のための試料の運搬を考慮した際に、研究拠点から比較的アクセス性に優れていたため、鶏龍貯水池を研究対象に選択した。

## 2. 浸透流解析

本検討では、まず、VG Flow 2D(Forum8社製)の解析コードを用いて浸透流FEM解析を行い、堤体内での浸潤線の変化を検討した。鶏龍貯水池の諸元を表-1に、堤体のモデル図を図-2に示す。本研究では浸透流解析および動的解析ともに、図-2中に矩形の破線で示した範囲、すなわち嵩上げ堤体のコア境界部を中心とする堤頂付近での挙動に着目した。その拡大図を図-3に示す。また図-3に示すように、本研究では、浸透流解析および動的解析ともに、コアの体積を4種類で変化したパラメトリックスタディを実施した。

ここで、既存コアと継足コアの接続方法は、既存コアの天端幅に合わせて継足コアを接続するCase-1のモデルを基本ケースとして、既存コアの下流側側面に触れている部分(盛土部分とフィルター部分)を下方向へそれぞれ0.7m(Case-2)、1.4m(Case-3)、2.1m(Case-4)の深さまで掘削した後、それぞれ掘削した位置まで継足コアの体積を拡大したコア構造を模擬した。ここで、コアの体積は各ケースにおいてCase-1で2,205m<sup>3</sup>、Case-2で2,940m<sup>3</sup>、Case-3で3,675m<sup>3</sup>およびCase-4で4,851m<sup>3</sup>となる。コア部分のメッシュ形状は、FEM解析における誤差を最小化する

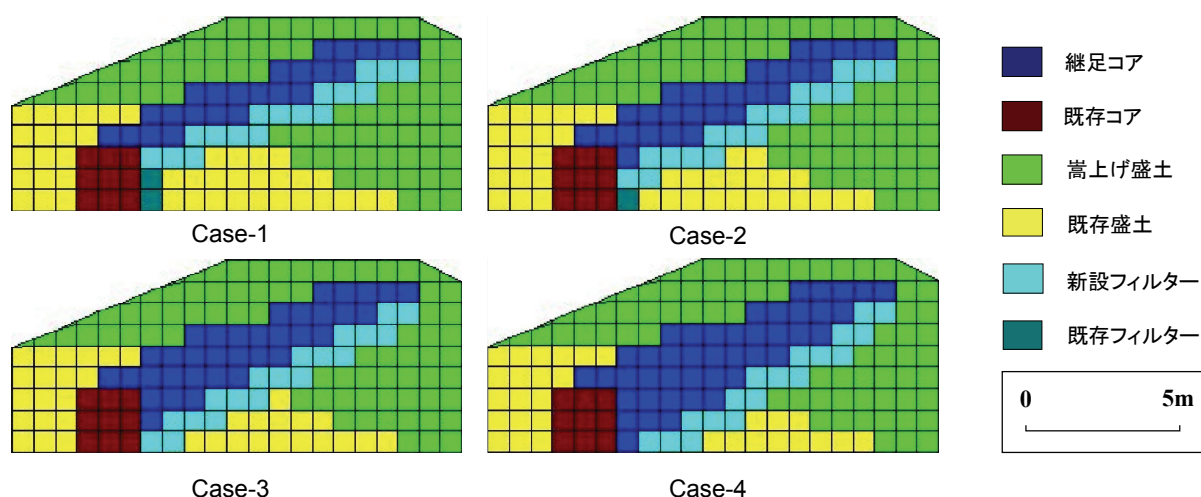


図-3 ケース別の着目サイト付近の拡大図

表-2 浸透流解析における入力地盤パラメーター

| 材料      | 透水係数 $k$ (m/s) | 不飽和状態での土壌水分特性      |                    |                |       |
|---------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|-------|
|         |                | 残留体積含水率 $\theta_r$ | 飽和体積含水率 $\theta_s$ | $\alpha$ (1/m) | $n$   |
| 既存盛土    | 2.00E-06       | 0.221              | 0.565              | 1.470          | 6.656 |
| 嵩上げ盛土   | 5.75E-07       | 0.221              | 0.565              | 1.470          | 6.656 |
| 既存コア    | 2.33E-07       | 0.078              | 0.535              | 4.760          | 1.248 |
| 継足コア    | 3.11E-08       | 0.078              | 0.535              | 4.760          | 1.248 |
| 既存フィルター | 1.00E-05       | 0.000              | 0.365              | 5.478          | 1.629 |
| 新設フィルター | 5.45E-05       | 0.000              | 0.365              | 5.748          | 1.629 |
| 基礎地盤    | 5.00E-11       | 0.078              | 0.535              | 4.760          | 1.248 |

るため、全て1辺0.7mの格子を基本形状とした。したがって、図-3のように、コアなどはメッシュの寸法・形状に合わせた階段状の形状になっているが、コアの施工精度等から影響は小さいと見なした。

#### (1) 入力地盤パラメーター

浸透流解析に際して用いた鶏龍貯水池の地盤パラメーターを表-2に示す。基礎地盤は現場でグラウチングなどの処理を行うため、不透水層と仮定した。嵩上げ部分(コア、盛土およびフィルター)の透水係数は実際に現場および室内実験で得られたデータを使用している。一方、既存部分は築堤から50年が経過しており、盛土内の細粒分が水中に流出している等の原因から、各材料の透水係数の値が上昇していると推測される。そのため既存盛土材料については、比較的最近建設された韓国の農業用アースダム4箇所におけるそれぞれの盛土材料の透水係数<sup>9)</sup>を平均化した値を使用した。

また、既存コア材料は、ダムの老朽化試験に関する既往の研究<sup>10)</sup>を参考に、韓国の農業用アースダム3箇所(上述した5箇所とは別のアースダム)における透水係数の変化記録に基づき、50年前に記録された鶏龍貯水池におけるコア材料の透水係数と比較して、その透水係数を仮定した。既存フィルター材料は、韓国におけるダムの設計基準<sup>11)</sup>を参考にして透水係数を仮定した。また、各材料の水分特性曲線には、

それぞれ代表的な水分特性曲線<sup>12)</sup>を準用した。具体的には、既存コア、継足コアおよび基礎地盤には粘土の代表的な水分特性曲線を、既存盛土と嵩上げ盛土には砂質土の代表的な水分特性曲線を、そして既存フィルターと新設フィルターには砂の代表的な水分特性曲線を準用した。

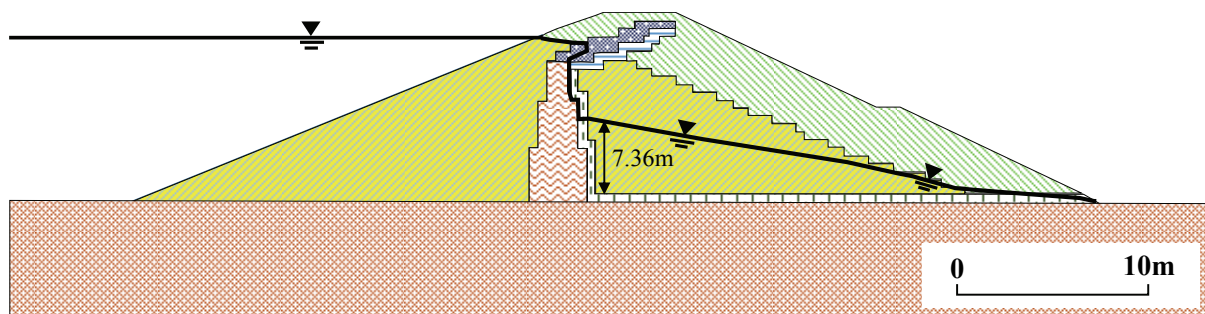
#### (2) 数値解析条件

上流側での水位変化は、堤体における浸潤線・飽和度・間隙水圧・漏水量等に関係し、堤体の安定性に影響を及ぼす。本検討における浸透流解析では、上流側の水位変動における不飽和堤体の挙動を分析するために、非定常解析を採用した。

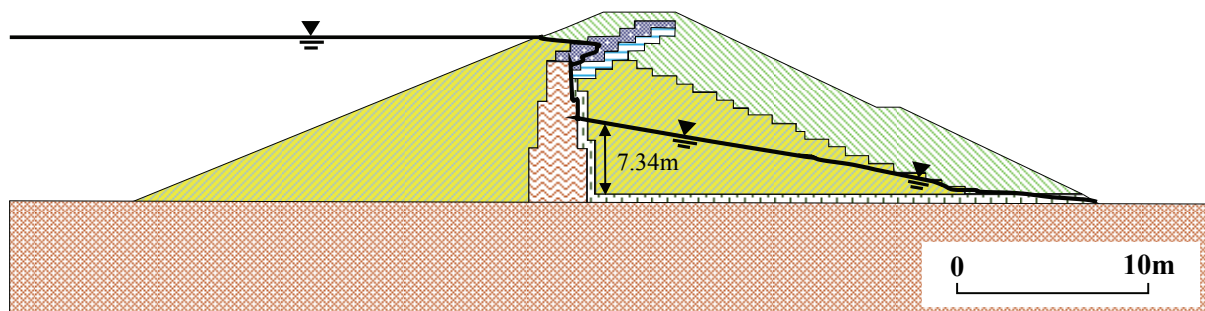
堤体は不飽和状態であると仮定し、また、上流側の水位を低水位(6.8m)から計画高水位(14.7m)まで10日間で上昇させ、堤体内の浸潤線の位置が安定するまで、計画高水位の状態を維持した。

#### (3) 解析による算定結果

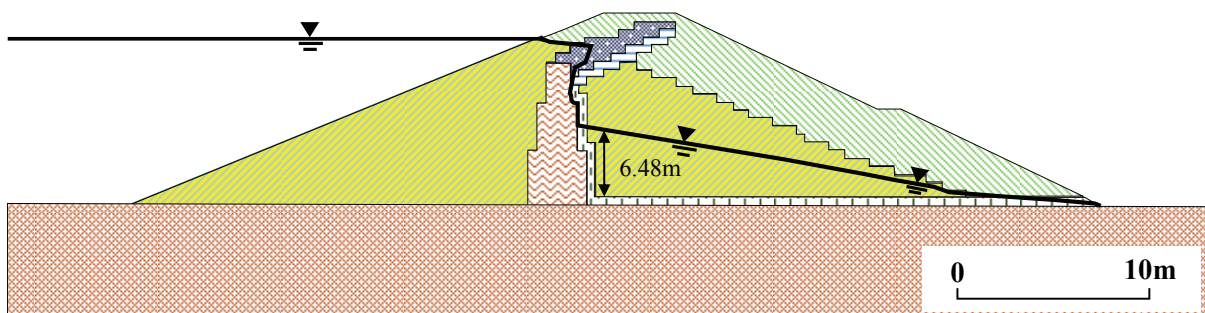
図-4に、解析結果によるケース別の浸潤線図を示す。また、既存コアの下流側側面に位置する垂直フィルターを超えた直後の浸潤線の高さを表-3に示す。解析の結果、浸潤線はCase-1で最も高くなり、Case-4で最も低くなった。すなわち、継足コアの体積の増加に伴い、遮水性が向上するために、コアの下流側での浸潤線が全体的に低下することが



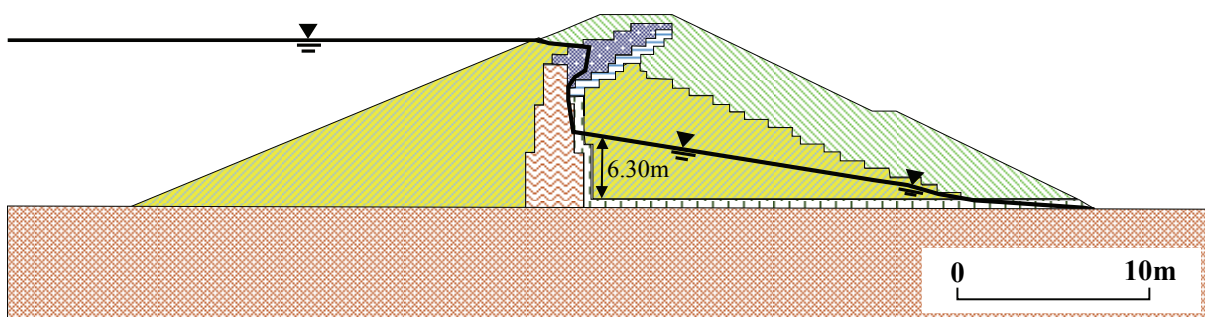
(a) Case-1



(b) Case-2



(c) Case-3



(d) Case-4

図-4 各ケースにおける堤体内の浸潤線

表-3 ケース別の解析結果

| ケース番号  | 継足コアの体積              | 下流側での浸潤線高さ |
|--------|----------------------|------------|
| Case-1 | 2,205 m <sup>3</sup> | 7.36 m     |
| Case-2 | 2,940 m <sup>3</sup> | 7.34 m     |
| Case-3 | 3,675 m <sup>3</sup> | 6.48 m     |
| Case-4 | 4,851 m <sup>3</sup> | 6.30 m     |

判明した。しかしながら、浸潤線高さは、最高値 (Case-1)と最低値(Case-4)との差が約 1m であり、

ケース間における変化は僅かである。なお、いずれのケースにおいても、上流側水位が計画高水位に達してから約 933 日後に堤体内の浸潤線の位置が安定する結果が得られた。

### 3. 動的解析

嵩上げされた傾斜型コアが堤体の動的特性に及ぼ

表-4 動的解析における入力地盤パラメーター

| 材料      | 粘着力<br>c (kPa) | 内部摩擦角<br>$\phi$ (deg.) | 湿潤重量<br>$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 飽和単位重量<br>$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | ポアソン比<br>$\nu$ | せん断弾性係数<br>Go (kPa) | 弾性係数<br>E (kPa) | 構成則      |
|---------|----------------|------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|---------------------|-----------------|----------|
| 既存盛土    | 31.00          | 30                     | 19.70                                   | 21.02                                         | 0.35           | 1.06E+05            | 2.46E+05        | 修正R-Oモデル |
| 嵩上げ盛土   | 16.70          | 24                     | 18.25                                   | 19.42                                         | 0.35           | 1.06E+05            | 2.46E+05        |          |
| 既存コア    | 26.00          | 12                     | 19.28                                   | 21.38                                         | 0.45           | 9.00E+04            | 2.20E+05        |          |
| 継足コア    | 34.30          | 9                      | 17.65                                   | 19.57                                         | 0.45           | 9.00E+04            | 2.20E+05        |          |
| 既存フィルター | 0.00           | 33                     | 18.63                                   | 19.63                                         | 0.33           | 1.06E+05            | 2.46E+05        |          |
| 新設フィルター | 0.00           | 33                     | 18.63                                   | 19.63                                         | 0.33           | 1.06E+05            | 2.46E+05        |          |
| 捨石      | 0.00           | 45                     | 22.56                                   | 22.56                                         | 0.23           | 7.22E+05            | 1.61E+06        | 弾性モデル    |
| 基礎地盤    | 18.19          | 35                     | 20.62                                   | 22.00                                         | 0.30           | 2.61E+06            | 6.00E+06        |          |

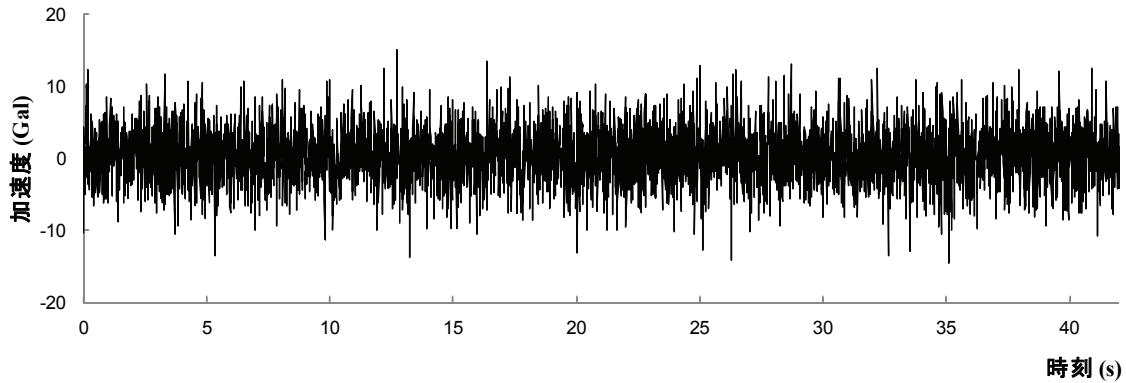


図-5 ホワイトノイズ波形

す影響を評価する上で、その要因の1つとして継足コアに働く拘束圧が考えられる。一般に、拘束圧の増加に伴い、せん断抵抗力は増加するとされる。したがって本研究では、継足コアの影響が直接的に評価できる堤体内のせん断応力分布に着目した。

2.の浸透流解析の結果を踏まえ、各ケースで得られた浸潤線(図-4参照)をインターフェイスとして、既存コアと継足コアの境界部に着目し、そのサイトにおける正弦波入力時のせん断応力分布を動的FEM解析を用いて評価した。堤体内の各材料に解析コードはUWLC(Froum8社製)を用い、上述した4ケースについて解析を実施した。

### (1) 入力地盤パラメーター

堤体内の材料の各物性値は、嵩上げ前の物性値と嵩上げ後の物性値に分けられる。前者に分類されるのは、既存盛土、既存コア、既存フィルターの物性値であり、後者は嵩上げ盛土、継足コア、新設フィルターの物性値である。堤体におけるせん断による復元力特性には修正Ramberg-Osgoodモデル<sup>13)</sup>を用いた。また、基礎地盤には弾性モデルを適用した。

ここで、動的解析に際し入力した堤体のパラメーターを表-4に示す。嵩上げ前の粘着力、内部摩擦角、湿潤単位体積重量および飽和単位体積重量については、韓国農漁村公社で実施した鶏龍貯水池の非圧密非排水せん断試験データ<sup>14)</sup>を使用した。嵩上げ後の物性値は、現場から盛土材料とコア材料を採取して室内試験により得られたデータを使用した。また、フィルター材料と捨石材料の物性値、および各材料のポアソン比は、鶏龍貯水池の嵩上げ後の安定性の評価についての先行研究<sup>15)</sup>からデータを引用した。鶏龍貯水池の堤体におけるせん断波速度およびせん

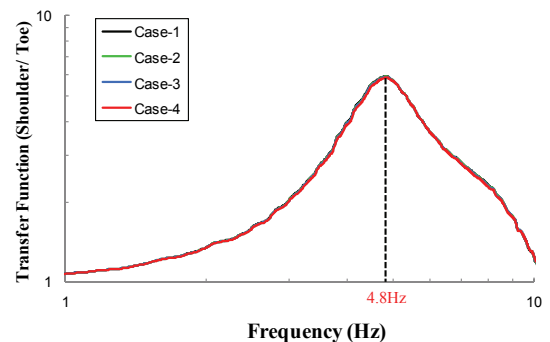


図-6 伝達関数を用いた固有周波数の評価

断弾性係数に関するデータは記録されていないため、それらについてはダム規模・形式・堤体の高さが類似した日本のダム実績<sup>16)</sup>を参考にして算出した。同じく鶏龍貯水池では、各材料の動的変形特性( $G/G_0$ ,  $h \sim \gamma$ 曲線)に関する知見も得られておらず、本研究は基礎的な検討であるため、堤体の全材料(盛土、コア、フィルター、捨石)の動的変形特性について、佐藤により同定された日本のアースダムにおける地震観測記録に基づく変形特性<sup>17)</sup>を適用した。

### (2) 数値解析条件

境界条件は、初期応力解析において底面を固定支点、側面を鉛直ローラー支点とし、動的解析においては底面および側面ともに粘性境界とした。また地震が堤体に作用した時の貯水による動水圧については、Westergaardの付加質量法<sup>18)</sup>を採用した。地震作用時の付加質量 $m_w$ は上流側の法面の各節点に作用する。

### (3) 入力地震動

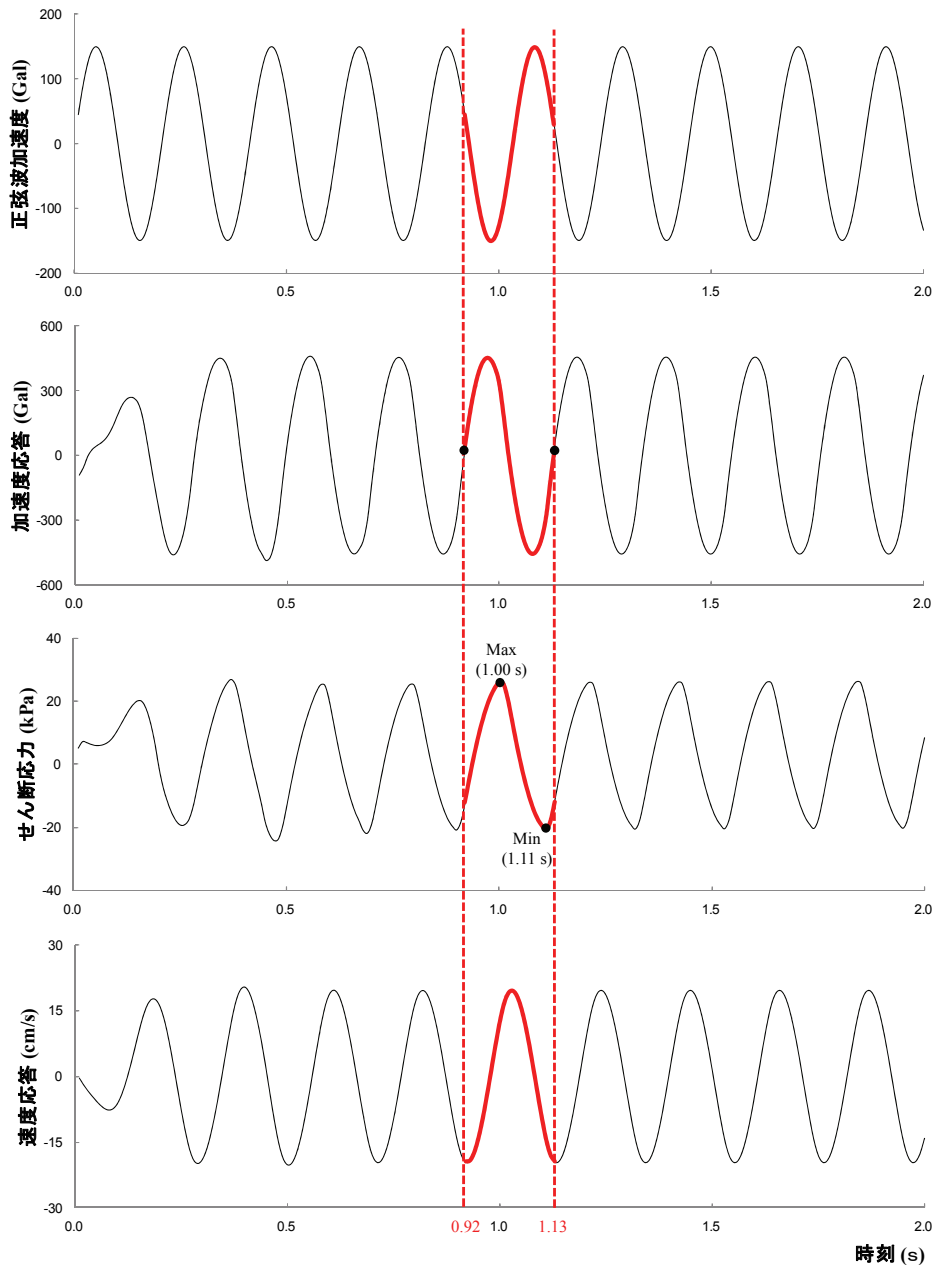


図-7 Case-1における着目サイト(コア境界部)の応答時刻歴

韓国における耐震設計の基準<sup>19)</sup>によれば、鶏龍貯水池の設計水平震度は0.1584となる。本研究の動的解析では、基礎的な検討のために正弦波入力としたが、その入力周期は動的応答が顕著に把握できるダム固有周期付近とした。そのため、堤体の固有周期等を予め把握しておくのが望ましい。

そこで、動的解析の実施に先立ち、解析モデルに対してホワイトノイズ波(図-5)を入力し、堤体の固有周期を評価した。具体的には、法尻に対する法肩(ともに下流側)の伝達関数を算定し、そのピーク周波数に基づいて固有周波数を評価した。その際ホワイトノイズ波の最大加速度PGAは、設計水平震度0.1584を勘案して、1/10相当の15Galとした。図-6に伝達関数の算定結果を示す。図-6に示すように、4つのケースの継足コア構造のアースダム全てで固有周波数が約4.8Hz、すなわち固有周期は約0.21秒で

ある。

ここで、アースダムにおける堤高と固有周期を関係づけた経験式である岡本の式<sup>20)</sup>によれば、鶏龍貯水池の堤体(高さ16.8m)は固有周期が0.02~0.28秒と推定される。したがって、本検討により算出された固有周期約0.21秒はこの範囲に収まるため、岡本の経験式と調和的であることが確認された。

図-6に示す各ケースにおける固有周期の平均より、入力する正弦波の周期は0.21秒とし、振幅は設計水平震度相当の150Galとした。また、正弦波の入力時間は41秒(≒40.96秒)とした。

#### (4) 解析結果

動的解析を実施した結果を図-7、図-8および図-9に示す。図-7は、Case-1において正弦波を入力した際の着目サイト(コア境界部：図-8のCase-1参

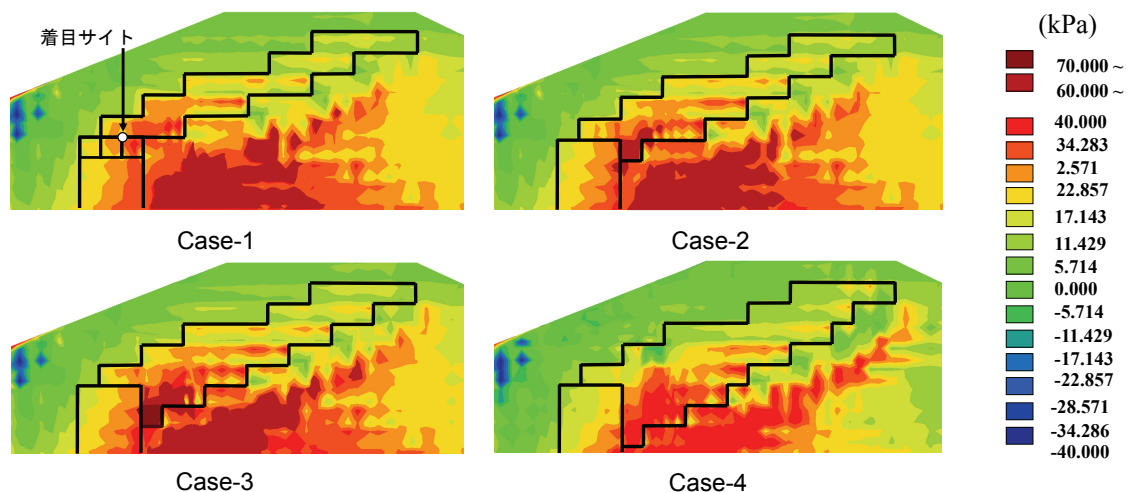


図-8 下流側方向に応答する際の着目サイト付近におけるせん断応力分布

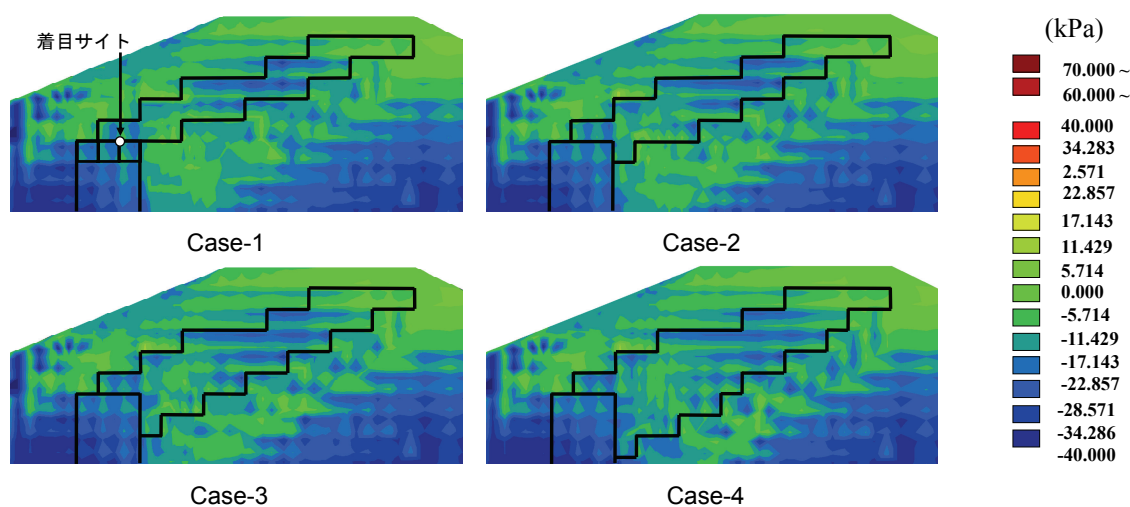


図-9 上流側方向に応答する際の着目サイト付近におけるせん断応力分布

照)における加速度応答, 速度応答, およびせん断応力応答の変化について, それぞれの時間変化(入力開始から2秒間)を表わしたグラフである。

また, 図-7中に示すように, 加速度応答グラフの5つ目の波について1周期(0.21秒)の間での着目サイトにおけるせん断応力の最大応答値を検討した。具体的には, 正弦波入力開始の0.92秒後から1.13秒後までの0.21秒間に発生するせん断応力を0.01秒ごとに探査し, 堤体が下流側方向に応答する時間断面(加速度応答値が正)と上流側方向に応答する時間断面(加速度応答値が負)の2パターンに分類して, 時間断面での着目サイトにおけるせん断応力の最大応答値とその時間断面を評価した。その結果, 図-7中に示すように, 着目サイトにおけるせん断応力の応答値は, 下流側方向に応答する際には1.00秒で最大, また上流側方向に応答する際には1.11秒で最小となった。

同様の検討をCase-2, Case-3, Case-4においても実施した。図-8および図-9は, せん断応力の最大応答値が発生した時間断面における着目サイト付近の応力分布を示したものである。図-8および図-9に

示すように, 継足コアの体積が増加するにつれて, コア境界部でのせん断応力は減少する傾向にあり, Case-4で最小となった。

堤体が下流側方向に応答する際の着目サイト付近でのせん断応力分布(図-8)は全体的に正の値, また上流側方向に応答する際の分布(図-9)は全体的に負の値が得られた。この理由として, 継足コアの拘束効果が考えられる。継足コアは下流側法面に向かって伸びているため, 堤体が上流側方向へ応答する際には継足コアに拘束圧が働き, 下流側方向へ応答する際と比較すると, コア境界部分付近のせん断応力が低下すると推察できる。

#### 4. まとめ

本研究では, アースダムの高上げに伴う継足コア構造の浸透特性および動的特性の影響に関する基礎的研究として, 韓国の鶏龍貯水池を基本モデルとして, 浸透流解析および正弦波入力による動的解析を行った。本研究では, 継足コアの構造要因として,

その規模(体積)に着目し、4種類の継足コアによるパラメトリックスタディを実施した。得られた知見は、以下の通りである。

- (1) 上流側水位が計画高水位に達した時のアースダム嵩上げ堤体内部において、継足コアの体積が大きくなるほど浸潤線の位置は低下するが、その変化は僅か(1m程度)であり、堤体の安定性に及ぼす影響は小さい。
- (2) 継足コアの体積の増加に伴う堤体の固有周期の変化はごく僅かである。
- (3) 嵩上げコア境界部における正弦波入力時の動的特性(せん断応力)は、継足コアの体積の増加に伴い減少する。

以上から、嵩上げ時の継足コアの体積の増加に伴って、漏水等の浸透性が改善されるとともに、地震時の動的応答が抑制される可能性が得られたが、他方、継足コアの体積の増加は、施工性あるいは工事費に関わるので、設計のための継足コア構造の最適化法について、今後、検討が必要である。

さらに、地震波形の入力、継足コアの体積以外の構造要因の影響などについて、今後、研究を進め、嵩上げアースダムの継足コア構造の設計法の確立を図る予定である。

**謝辞：**(公社)韓国農漁村公社から、本研究で解析に用いた現場調査データ及び基礎資料等貴重なデータを提供して頂きました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) The Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM): Water Vision2006~2020 Report, pp.8-11, 2006.
- 2) Korea Rural Community Corporation (KRC) : Korea Public Information Disclosure System, ([https://www.open.go.kr/pa/html/eng\\_main.htm](https://www.open.go.kr/pa/html/eng_main.htm)), 2013 [in Korean], 最終閲覧日：2013年9月19日
- 3) 山田昌臣：杵臼ダム嵩上げの設計と施工，ダム日本，No.785，pp.13-28，2010.
- 4) 大阪府：建設事業評価，内部評価案件(事前評価)，(<http://www.pref.osaka.jp/gyokaku/jizenhyoka/index.html>), 2006, 最終閲覧日：2013年9月19日.
- 5) 新潟県柏崎市：平成23年度柏崎市公営企業の概要，(<http://www.city.kashiwazaki.niigata.jp/detail/1072053743.html>), 2011, 最終閲覧日：2013年9月19日.
- 6) Karbor-e- shyadeh, A. H. and Soroush, A.: A comparison between seismic behaviors of earth dams with inclined and vertical clay cores- a numerical analysis approach, *Proc. of 14th World Conference on Earthquake Engineering*, CD-ROM, 2008.
- 7) Korea Meteorological Administration (KMA) , Earthquakes Trends of Korea, (<http://www.kma.go.kr/weather/earthquake/domestictrend.jsp>), 最終閲覧日：2013年9月19日.
- 8) The Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(MLTM): Master Plan for the Four Major Rivers, pp.159-162, 2009.
- 9) Kim, M.H., Lee, D.W.: Safety evaluations of reservoir embankment by instrument system, *Jour. of Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol.50, No.2, pp. 37-44, 2009 [in Korean with English abstract].
- 10) Kim, S.H.: Research on the characteristics of aging effect in dam core material and hydraulic fracturing in homogenous dams by dismantling and investigating a real dam, *Korea Advanced Institute of Science and Technology (Master's Thesis)*, pp.112, 2011 [in Korean with English abstract].
- 11) Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries (MFAFF): Rural Agricultural Water Resource Information System, (<http://rawris.ekr.or.kr/RawrisMIS/Default.aspx>) 2013 [in Korean], 最終閲覧日：2013年9月19日.
- 12) 西垣誠，竹下祐二：室内及び原位置における不飽和浸透特性の試験及び調査法に関する研究，岡山大学工学部土木工学科，1993.
- 13) 龍岡文夫：地盤工学における今日の課題 古典理論・設計法・土の物性関連，土木学会総会特別講演，2006.
- 14) Korea Rural Community Corporation (KRC) : Guidelines for Precision Safety Inspections of Dam, (<http://eng.ekr.or.kr/Kenpub/index.krc> ), 2005 [in Korean], 最終閲覧日：2013年9月19日.
- 15) Lee, D.W., Lee, K.S. and Lee, Y.H.: Seepage Analysis of Agricultural Reservoir due to Raising Embankment, *CNU Journal of Agricultural Science*, Vol.38, No. 3, pp.493-504, 2011 [in Korean with English abstract].
- 16) 岡本大樹，吉久寧：長期間安定経過しているアースフィルダムの耐震性の検討，水資源機構，農業農村工学会全国大会講演要旨集，pp.636~637，2008.
- 17) 佐藤信光，曾田英揮，太田垣 晃一郎：実測地震記録による既設ダム堤体の動的特性および物性値の推定と適用，ダム技術，No.321，pp.40-47，2013.
- 18) Westergaard, H.M.: Water pressure on dams during earthquake, *American society of civil engineers transactions*, No.1835, pp.418-433, 1931.
- 19) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) : Guidelines for Dam Design 2011, Korea Water Resource Association, 2011 [in Korean].
- 20) S. Okamoto.: Introduction to Earthquake Engineering. University of Tokyo Press, 1973.

(2013. 9. 19受付)

PRELIMINARY STUDY ON EFFECTS OF HEIGHTENED CORE STRUCTURE  
ON SEEPAGE AND DYNAMIC CHARACTERISTICS  
OF HEIGHTENED EARTH DAM

Younghak LEE, Jun KAWAGUCHI, Masaki UOTANI,  
Ken-ichi TOKIDA and Yoshiya HATA

In Korea, the heightening projects of the reservoir dams have been performed for the future security of water resource to prevent the disasters such as flood, drought and so on. In addition, the consideration on the safety of heightened reservoir dam is required as the frequency of earthquakes increases in recent years. Therefore, this study was carried out about the hybrid analyses with seepage flow and dynamic response to evaluate the real heightened reservoir dam, and it analyzed the distribution of the shear stress inside of the core boundary as the seepage line changes. As a result, the distribution of the shear stress at the core boundary is gradually reduced by increased the core volume, it indicates that the hazard of heightened reservoir dam can be minimized under seismic condition.