フィルダムの嵩上げのための技術的課題と最適設計法

李　永学[1]・常田　賢一[2]

[1,2]大阪大学大学院　地球総合工学専攻　（〒565-0871大阪府吹田市山田丘2-1）

近年の社会基盤施設の長寿命化などの社会的要請に応える姿勢として，既存施設の利・活用がある．例えば，異常気象による洪水，渇水に対して，既存ダムの嵩上げによる貯水容量の増加があるが，韓国では貯水池ダムの嵩上げが実施されつつある．本研究は，既存のフィルダムの嵩上げに付随する技術的課題を提示し，構造安定性，機能確保のための解決策として，新コア・旧コアのジョイント部の拡幅構造を提案する．そして，浸透流解析および地震応答解析により漏水性および耐震性を検証し，拡幅の構造的な有効性を示す．さらに，拡幅に伴うコストアップに対して，漏水を負の便益，漏水損失コストとして評価する方法を提示し、水の価値により拡幅が経済的にも成立することを示し，構造性と経済性から最適化を図る設計法を示す.

キーワード　既存ダムの嵩上げ，コアの拡幅，構造性の評価，経済性の評価

1. まえがき

韓国では，地球温暖化に伴う渇水あるいは洪水に対して，既存のフィルダム，農業用ため池ダム（以下，フィルダム）の嵩上げにより対処するプロジェクトが進行中である．他方，既存インフラの利・活用による長寿命化の流れにある我が国でも，将来，フィルダムなどの嵩上げは想定される．従って，フィルダムの嵩上げに伴う構造的課題を明らかにし，その解決策を検討することが緊要である.

本研究は，嵩上げに際しては，旧コアと新コアのジョイント部（以下，ジョイント部）が構造的，機能的な弱部になることから，旧コアの構造（幅，透水係数）を踏襲するのではなく，ジョイント部の強化のためにその拡幅を提案する．その場合，構造的，機能的な技術課題は，以下の通りであり，課題 1～3 の透水性に対しては非定常浸透流解析により，課題 4 の耐震性に対しては地震応答解析により，ジョイント部の拡幅の有効性を検証する.

課題 1：漏水量の抑制性
課題 2：水位低下時のコア内部の飽和度の残留性
課題 3：新コアの透水係数の影響
課題 4：ジョイント部の耐震性

一方，上記の課題に加えて，ジョイント部の拡幅に伴う工事費の増加に対して，以下の経済的な評価課題にも着目しているのが特徴である.

課題 5：ジョイント部の拡幅による工事費増加に対する経済性の評価

ここで，経済的評価では，漏水による“負の便益”を漏水損失コストとして定義し，拡幅に限った目的初期建設コストと漏水損失コストの合計である目的ライフサイクルコストにより，ジョイント部の拡幅の経済評価法を提示し，水の価格によりジョイント部の拡幅が経済的に成立することを明らかにする.

以上，本研究は，既存のフィルダムの嵩上げに際して，構造安定性および経済性の両視点からジョイント部の拡幅の最適設計法を提示しており，将来の我が国における類似の嵩上げに有益な知見を提示するものである.

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	3,412,410 m^3	4,717,730 m^3

2. 対象フィルダムのモデル

(1) 構造諸元

検討対象は，実際に傾斜型コア構造で嵩上げされた韓国・忠清南道の鶏龍市北西部に位置する鶏龍貯水池である．鶏龍貯水池の諸元を**表-1** に示すが，韓国において嵩上げが既に完了しているゾーン型アースダムのうち，鶏龍貯水池は堤体の基礎的データの入手が容易であったため，検討対象として選定した.

(2) ジョイント部の拡幅

鶏龍貯水池の堤体の FEM モデル図を**図-1** に示す．なお，新設コアの構造は韓国における嵩上げ施工の設計基

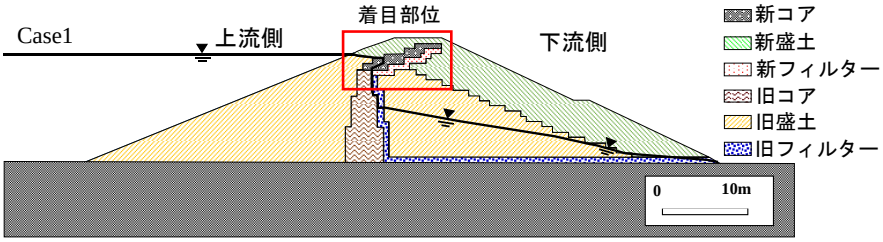


図-1 堤体の FEM モデル

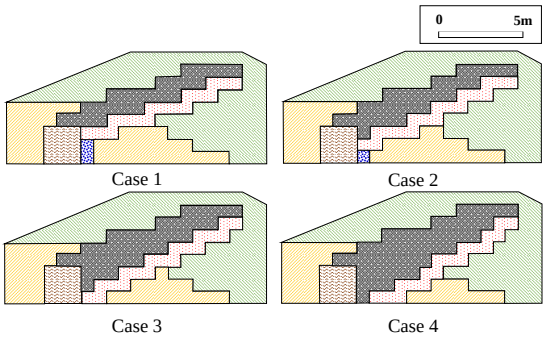


図-2 各ケースにおける着目部位付近の拡大図

準 [1]により決定されているが，嵩上げ後の堤高が 30 m 未満の場合，新コアの幅は 1.5～3.5 m と定められており，鶏龍貯水池での幅は 2 m である．

本研究では，特にジョイント部が構造的な弱部であることに着目して，図-2 に示すように，浸透流解析および地震応答解析ともに，新コアの規模を 4 種類に変化させて，パラメトリックスタディを実施した．ここで，旧コアと新コアの接続方法は，鶏龍貯水池で実施された Case 1 のモデルを基本ケースとして，旧コア天端から下流側側面に接する堤体部分(盛土部分とフィルター部分)を下方へそれぞれ 0.7 m (Case 2)，1.4 m(Case 3)，2.1 m (Case 4)の深さまで掘削した後，新コアの天端の位置と幅は変えないように，新コアを拡大する拡幅構造を模擬した．また，FEM モデルの要素は，浸透(コアやフィルターの狭い幅と関係する透水性)および動的解析における誤差を最小化するため，すべて 1 辺 0.7 m の格子とした．なお，要素規模の影響を確認するため，格子規模を 1 辺 0.35m に細分化した場合も比較計算したが，堤体の浸透量は 1 辺 0.7m 格子の場合と約 3%の差異であったので，本文では 1 辺 0.7 m の格子によるモデルを用いた．

3. 透水性とジョイント部の拡幅の有効性

本章では，動的解析に先立って非定常浸透流解析を行い，堤体内での浸潤線の変化を評価した．

(1) 不飽和浸透流解析

本検討における浸透流解析では，ダム上流側の水位変動による不飽和堤体の挙動を把握するために，非定常解析とした．堤体は不飽和状態であると仮定し，上流側の水位を低水位(6.8 m)から計画高水位(14.7 m)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高水位の状態を維持した．

表-2 使用物性値

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 θ_r	飽和体積含水率 θ_s	α (1/m)	n
旧盛土	2.00×10^{-6}	0.221	0.565	1.470	6.656
新盛土	5.75×10^{-7}	0.221	0.565	1.470	6.656
旧コア	1.14×10^{-7}	0.078	0.535	4.760	1.248
新コア	3.11×10^{-8}	0.078	0.535	4.760	1.248
旧フィルター	1.00×10^{-5}	0.000	0.365	5.478	1.629
新フィルター	5.45×10^{-5}	0.000	0.365	5.748	1.629
基礎地盤	5.00×10^{-11}	0.078	0.535	4.760	1.248

a) 使用物性値

浸透流解析に用いた鶏龍貯水池の堤体材料物性値を表-2 に示す．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鶏龍貯水池の嵩上げ施工現場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，盛土材料とコア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 箇所における各々の盛土材料の透水係数 [2]の平均値を使用した．さらに，既存コア材料は，ダムの老朽化試験に関する既往の研究 [3]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，その透水係数を推定した．

(2) 漏水量の抑制性

本節では，コアの拡幅構造について，パイピングのリスク，新コアの浸透量およびジョイント部での流速を検討した．パイピングの検討では，図-3 に示すように堤体の中心軸から流れる浸透量と下流斜面での動水勾配に着目した．

表-3 に浸透解析の結果を示すが，Case 1 ではパイピングの安全基準 [4]（動水勾配 0.5 以下）を満足している．また，コアの拡幅規模が増加するのに伴い，各 Case での浸透量と動水勾配は徐々に減少することが分かる．

一方，新コア（長さ約 10 m，図-4 参照）を通過する

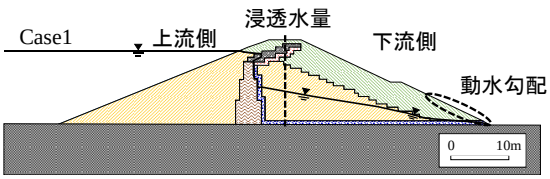


図-3 浸透水量および動水勾配の評価位置

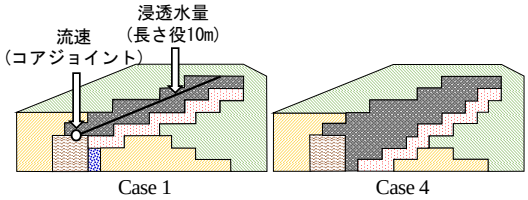


図-4 新コアの浸透量と流速の評価位置

表-3 浸透解析から検討した結果

検討位置	堤体の中心軸	下流斜面	コアジョイント	新コア
項目	浸透水量 (m^2/d)	動水勾配	流速 (m/s)	浸透水量 (m^2/d)
Case 1	1.92×10^{-1}	0.25	6.72×10^{-08}	9.61×10^{-8}
Case 2	1.85×10^{-1}	0.25	6.34×10^{-08}	8.94×10^{-8}
Case 3	1.80×10^{-1}	0.23	4.48×10^{-08}	7.31×10^{-8}
Case 4	1.68×10^{-1}	0.22	3.81×10^{-08}	6.32×10^{-8}

浸透量とジョイント部での流速について，コアの拡幅規模の増加に伴い大幅に減少する．例えば，Case 1 に対して Case 4 は，浸透量は 0.67 倍，流速は 0.56 倍である．

以上から，ジョイント部の拡幅により，浸透に対するパイピング抑制，漏水量の減少による機能向上が図られ，構造的な補強として有効であることが明らかになった．

(3) 水位低下時のコア内部の飽和度の残留性

本節では，水位が低下した状態における，ジョイント部の拡幅規模による飽和度の水準と範囲を検討する．**図-5** は，高水位 (14.7 m)から低水位(6.8 m)で水位が低下した後，水位が約 30 日間一定に維持された時点において，Case 1 と Case 4 を例示として，新コア部の飽和度分布を示す．同図によれば，特に新コア部の飽和度は，Case 4 に示されるように，新コア部の拡幅に伴い，高い飽和度で残留する領域が広くなることが分かる．ここで，乾燥期など，水位が低下した状態において．新コア内部の飽和度が低くなると，地震動などに対して脆弱になる恐れがあるため，高い飽和度の残留は，ジョイント部，新コアの脆弱化の抑制といった構造的安定性の確保が期待できる．この点からも，ジョイント部の拡幅の有効性が示唆される．

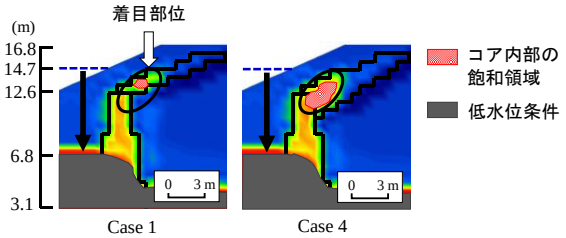


図-5 水位低下時のコア内部の飽和度の残留性

(4) 新コアの透水係数の影響と評価

通常，新コアの透水係数は旧コアのそれ以下にするが，新コアの透水係数は嵩上げの施工費あるいは施工性と関連し，仮に設計条件が緩和できれば，材料の選定の幅が広がり，作業効率の向上が期待できると思われる．そのため，本節では，旧コアに対する新コアの透水係数の変動が漏水量に及ぼす影響を把握し，新コアの透水係数の設計範囲について考察する．

本研究で対象の貯水池ダムを始め，一般的にコアの設計透水係数は 1×10^{-6} m/s 以下とされている．ここで，コアに使用される土の透水係数は，土の特性（粘土の含有率）と締固めに関連し，施工費や施工性に影響する．本文で，新コアの透水係数の範囲の拡大に着目する理由は，次の 2 点である．

(a) 新コアのゾーンは堤体の上段に位置しているので，水圧によるコアへの影響が旧コア部に比べて，比較的小さいこと．

(b) 新コアの設計透水係数が旧コアのそれより大きくとも，貯水池堤体に要求される許容浸透量(例えば，貯水量の 0.05%)を満足すれば，浸透量の増加は或る程度許容できること．

そのため，本研究では，**表-4** に示すように，鶏龍貯水池の旧コアの透水係数(k_{old}：1.14×10^{-7} m/s)を基準として，新コアの透水係数(k_{new})の旧コアの透水係数(k_{old})に対する比率を 0.3，0.5，1，5，10，20，40，60，80 と変化させ，FEM 浸透解析により各比率ごとの浸透量を検討した．

表-4 は，浸透解析における Case1 の場合の透水係数の比率と浸透量の結果である．ここで，縦軸は透水係数の比率が 1 である時の浸透量により，他の比率での浸透量を正規化(以下，正規化浸透量と呼ぶ）した．Case 1 と Case 4 の結果を対比して**図-6** に示す．両図によれば，Type 1(比率 0.3)から Type 3 (比率 1)までと，Type 4 (比率 5)から Type 9 (比率 80)とは，分布傾向が異なる．そのため，本検討の目的である，1 以上の透水係数の比率と正規化浸透量の関係は，Case 1 が破線の log 曲線，Case 4 が実線のそれで近似し，それぞれ式(1a)および(1b)で定式化した．

$$\text{Case 1}: \quad y = 0.0401\ln(x) + 0.9985 \qquad (1a)$$

$$\text{Case 4}: \quad y = 0.0242\ln(x) + 1.0014 \qquad (1b)$$

ここに，y：正規化浸透量，x：透水係数の比率

ここで，例えば，透水係数の比率 1 における浸透量に対して 10%増まで浸透量を許容できるとすると，正規化

表-4 Case 1 における浸透解析の適用条件と結果

Case 1	k_{new} (m/s)	k_{old} (m/s)	比率 $\frac{k_{new}}{k_{old}}$	浸透水量 (m^3/d)	正規化
Type 1	3.11×10^{-8}	1.14×10^{-7}	0.3	58.76	0.98
Type 2	5.70×10^{-8}	1.14×10^{-7}	0.5	59.07	0.99
Type 3	1.14×10^{-7}	1.14×10^{-7}	1	59.82	1.00
Type 4	5.70×10^{-7}	1.14×10^{-7}	5	63.66	1.06
Type 5	1.14×10^{-6}	1.14×10^{-7}	10	65.19	1.09
Type 6	2.28×10^{-6}	1.14×10^{-7}	20	66.67	1.11
Type 7	4.56×10^{-6}	1.14×10^{-7}	40	68.40	1.14
Type 8	6.84×10^{-6}	1.14×10^{-7}	60	69.52	1.16
Type 9	9.12×10^{-6}	1.14×10^{-7}	80	70.58	1.18

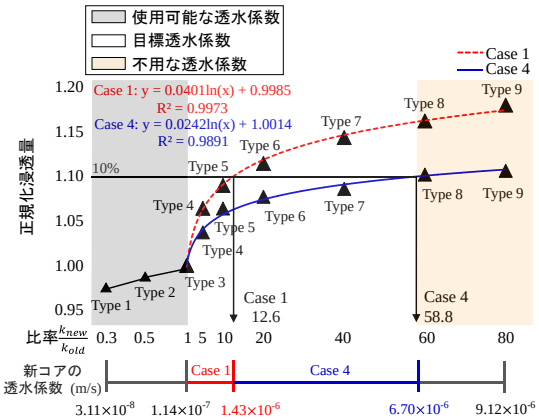


図-6 新コアの透水係数の緩和方法

した浸透量の 1.1 に対する透水係数の比率が求まるが，その比率は 1 より大きいので新コアの透水係数が緩和できることになる．その場合，例えば，図-6 に示すように， Case 1 では，新コアの透水係数は比率が 12.6 の 1.43×10^{-6} m/s まで，Case 4 でのそれは比率が 58.8 の 6.70×10^{-6} m/s まで設計範囲が拡大できる．さらに， Case 1 と Case 4 を比べると，Case 4 が Case 1 より約 4.68 倍まで透水係数を拡大できることが分かる．

以上において，正規化浸透量の上限値は，貯水池の浸透量の許容値（=高水位での全体貯水量の 0.05%以下）を考慮して，5%増(1.05)，10%増(1.1)あるいは 15%増(1.15)などに設定すればよい．

以上から，今後の新コアの施工計画において，正規化浸透量を考慮して嵩上げする新コアの透水係数の緩和すると，コア用に使用できる土の品質条件が現在の基準よりも低くなり，貯水池周辺で利用可能な土取場の領域が増えたり，コア用の締固め車両(ローラーなど)の作業回数が減少され，結果的に新コアの施工で施工期間の短縮および施工性の効率を図ることが期待される．

4. 耐震性とジョイント部の拡幅の有効性

浸透解析で使用した解析モデルを用い，まず，正弦波を入力した動的解析を実施し，その結果を踏まえ，実際にフィルダムで観測された地震波形を入力し，ジョイント部の拡幅構造の耐震性を検討する．

(1) 正弦波入力と作用方法

a) 正弦波による特性

まず，正弦波の入力により，基本的な応答特性を把握した．堤体の地震時応答として，コア形状の影響が直接的に評価できるせん断応力分布に着目しており，検討位置としてジョイント部で発生したせん断応力を対象とした．正弦波の加速度振幅は，設計水平震度 0.1584 で設計されている鶏龍貯水池に基づいて 150 Gal とし，周期は算出したダムの固有周期の 0.16 秒を用いた．

表-5 使用物性値

材料	粘着力 c (kPa)	内部摩擦角φ (deg.)	湿潤重量 γ_t (kN/m³)	飽和単位重量 γ_{sat} (kN/m³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G_0 (kPa)	弾性係数 E (kPa)
旧盛土	31.00	30	19.70	21.02	0.35	1.06×10^5	2.46×10^5
新盛土	16.70	24	18.25	19.42	0.35	1.06×10^5	2.46×10^5
旧コア	26.00	12	19.28	21.38	0.45	9.00×10^4	2.20×10^5
新コア	34.30	9	17.65	19.57	0.45	9.00×10^4	2.20×10^5
旧フィルター	0.00	33	18.63	19.63	0.33	1.06×10^5	2.46×10^5
新フィルター	0.00	33	18.63	19.63	0.33	1.06×10^5	2.46×10^5
捨石	0.00	45	22.56	22.56	0.23	7.22×10^5	1.61×10^6
基礎地盤	18.19	35	20.62	22.00	0.30	2.61×10^6	6.00×10^6

b) 使用物性値

動的解析に際し入力した堤体材料物性値を表-5に示す．基礎データは，農漁村公社によって提供された物性値を使用している．弾性係数は，鶏龍貯水池と規模・形式・堤体の高さが類似した日本のダム実績[9]を参考にして算出した．各材料の動的変形特性(G/G₀，h～γ曲線)は，堤体の全材料(盛土，コア，フィルター，捨石)の動的変形特性に基づき，佐藤ら[7]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動的変形特性を適用した．

c) 解析結果

図-8(a)（後述）に，ジョイント部において生じるせん断応力絶対値の変化を示す．正・負が同じ振幅である正弦波の入力に対して，下流側の応答時と上流側の応答時で堤体あるいはコアのせん断応力に差異があるのは，非対称なコアの構造に起因しているためと推察される．すなわち，新コアは下流側に傾斜しているため，下流側への作用時は新コアが下流側に変形しやすくなる．

(2) 地震動入力と作用方法

入力地震動は，日本における内陸地殻内地震発生時の，フィルダムでの観測波形を適用した．具体的には，権現ダム波(1995 年兵庫県南部地震)[5]，箕面川ダム波(1995 年兵庫県南部地震)[5]，荒砥沢ダム波(2008 年岩手・宮城内陸地震)[6]，石淵ダム波(2008 年岩手・宮城内陸地震)[6]の 4 波形を採用している．なお，本研究では，上述の 4 波形について，それぞれ正転波(採用したオリジナル波形)と反転波(採用波の正負を逆にした波形)を入力している．なお，堤体の動的応答評価は，ジョイント部およびその付近のせん断応力に着目して行った．図-7 に入力地震動の検討位置および解析結果を示す．ここで，地

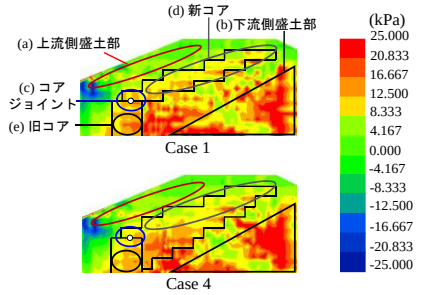
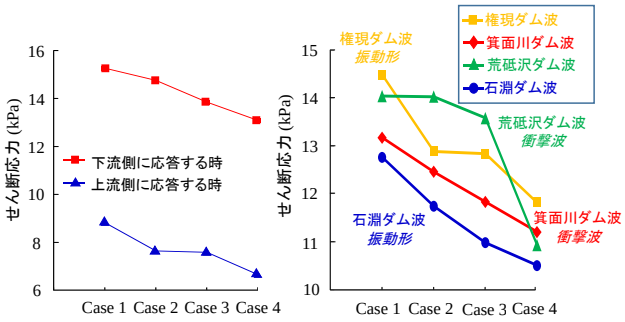


図-7 せん断応力の検討位置および解析結果(権現ダム波)



(a) 正弦波　　(b) 地震動

図-8 ジョイント部のせん断応力の分布

震動の作用方向は，正弦波の解析結果を基づき，正転波および反転波のいずれの場合も，下流側への作用時のせん断応力の分布に着目している．

(3) ジョイント部および周辺堤体の耐震性

解析は全32ケースであるが，本文では権現ダム波(正転波：150 Gal)のCase 1とCase 4の比較を**図-7**に例示する．同図において，上流側盛土部(a)では，せん断応力がごく僅かであり，ジョイント部の拡幅による影響が見られなかった．反面に下流側盛土部(b)に作用するせん断応力は大きく，ジョイント部の拡幅によってせん断応力が少し増加する傾向が見られる．その理由は，傾斜型コアのしたに位置している盛土部がコアの拡幅によって圧縮応力が作用したと考えられる．一方，コア部においては類似なせん断応力の変化が見られた．具体的に，コアジョイントの拡幅によって新・旧コアおよびジョイント部に生じるせん断応力は徐々に減少する傾向が確認された．

特に，本研究で着目しているCase 1～4のジョイント部のせん断応力の分布は，**図-8(b)**に示すように各ダム波形について減少度合いが一定ではないが，ジョイント部の拡幅に伴い，全体的に減少する傾向が分かる．

以上から，ジョイント部の拡幅は，耐震性の向上に有効であることが分かった．

5. ジョイント部の拡幅の経済性の検討

本章では，ジョイント部の拡幅に伴うコストアップに対して，水需要の観点から堤体での漏水量を漏水損失コストとして評価する経済性の評価方法を提示し，それにより経済評価を行うとともに，コアの最適設計法を検討する．

(1) 経済評価の方法

本研究では，式(2)によるジョイント部の拡幅という特定の目的に限ったライフサイクルコストにより経済性の評価を行う方法を提示した．

$$OLCC = OICC + OLC \qquad (2)$$

ここで，OLCC (Objective Life Cycle Cost)は目的ライフサイクルコストである．また，OICC (Objective Initial Construction Cost)は目的初期コストであり，**図-9** の着目部位に関わる施工コスト（材料費＋施工費）である．さらに，漏水は“負の便益”と見なせるが，本文では OLC (Objective Loss Cost)：漏水損失コストとして位置付けて，ライフサイクルコストの 1 つとして考慮することにした．

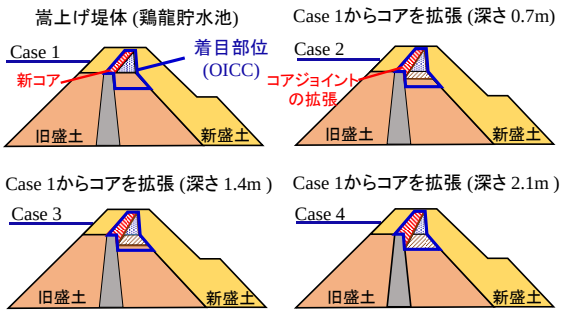


図-9 OICC の推定のために着目した範囲 (色：青い線)

表-6 水の価値(例：韓国，1 ウォン≒0.1 円)

項目	目的	水の価値 (ウォン/m^3)
上水道 (Daejeon City Hall, 2014)	家庭用	560
	一般用	730
	浴用	630
	産業	775
下水道 (Daejeon City Hall, 2014)	家庭用	390
	ビジネス用	450
	商業用	520
	浴用	440
	産業用	490
ダム水 (KWRC., 2014)	河川水	223
	沈降水	313
	精製水	413
	灌漑用	50.3

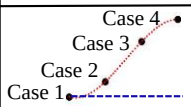
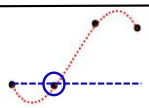
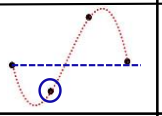
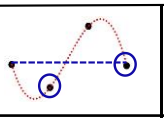
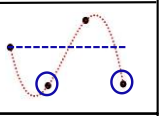
なお，漏水損出コストは，年数の経過による上昇を考慮した水の価値を考慮して，ダムの耐用年数である 60 年間の漏水量に基づいて総漏水損失コストとして算出した．ここで，水の価格は韓国の国家予算処 7)によって 2013 年に設定された物価安定目標 2.5～3.5%の範囲を考慮して，3%を平均物価上昇率とした複利法に拠って各年の水の価格を設定した．

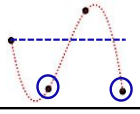
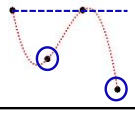
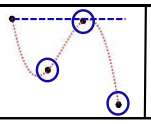
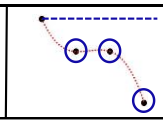
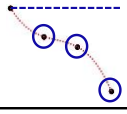
ここで，水の価値は，地域の特色，水管理環境，気象条件などにより変化し，現在(2014 時点)の韓国での水の価値は**表-6** の状況にあるが，将来的には変動する可能性がある．そのため，本研究では，水の価格を変動させて，ジョイント部の拡幅構造の経済性を比較した．

(2) 水の価値によるジョイント部の拡幅の経済性

表-7 は，目的ライフサイクルコスト(OLCC)をジョイント部の拡幅構造 Case 1～Case 4 で比較した結果である．ここで，最適なジョイント部の拡幅規模の判断は，Case 1 の OLCC を基準として，少なくともそれと同一であるか，低額である場合，経済的であると判断した．同表のように，各 Case の OLCC の大小関係は，想定する水の価格により変動する．その際，変動パターンを決定する水の価格の基準値は，132，150，158，168 および 216 ウォン/m^3 である．つまり，132 ウォン/m^3 以下，133-149 ウォン/m^3，150-167 ウォン/m^3，168-215 ウォン/m^3 および 216 ウォン/m^{3}以上の 5 パターンに分けた評価ができ，各パターンでの最適設計の拡幅構造は，それぞれ，Case 1,

表-7 水の価格を考慮した目的ライフサイクルコスト(OLCC)によるジョイント部の拡幅構造の経済比較

水の価値	132 ウォン/m³以下	133-149 ウォン/m³		150-157 ウォン/m³	
各Case間の OLCCの相対比較					
経済的に 最適な順位	-	① Case 2		① Case 2 ② Case 4	

水の価値	158-167 ウォン/m³		168-215 ウォン/m³		216 ウォン/m³以上
各Case間の OLCCの相対比較					
経済的に 最適な順位	① Case 4 ② Case 2		① Case 4 ② Case 2 ③ Case 3		① Case 4 ② Case 3 ③ Case 2

---- Case 1のOLCC

Case 2，Case 2次いでCase 4，Case 4次いでCase 2，Case 4・Case 2・Case 3の順およびCase 4・Case 3・Case 2の順となる．従って，水の価格が 158 ウォン/m³以上であれば，Case 4が経済的にも最適であることになる．

以上から，本文で提案した OLCC によれば，嵩上げあるいは本研究で提案するジョイント部の拡幅に対して，浸透性，耐震性の構造的な最適化に止まらず，経済的な最適化を図ることの可能性が明らかになった．

6. あとがき

以上，フィルダムの嵩上げに伴う技術的課題に対して，提案したジョイント部の拡幅構造の構造性と経済性による評価の結果，以下の知見が得られた．

1) ジョイント部・新コアの拡幅により，パイピング，コアジョイント部の流速および新コアの浸透水量が抑制され，構造的な安定性，機能の向上が図れる．
2) ジョイント部・新コアの拡幅により，水位低下時の新コア内部に残留する飽和度は，旧コアより高く，かつ飽和領域が広くなり，新コアの脆弱化の抑制が図れる．
3) 許容漏水量内において漏水量を緩和することにより，旧コアの透水係数以上での設計が可能となり，新コア材料の選定，施工性の向上が図れる．
4) ジョイント部・新コアの拡幅により，傾斜型コア構造の耐震性の向上が図れる．
5) 提案した漏水損失コストを考慮した目的初期建設コスト(OLCC)によれば，ジョイント部・新コアの拡幅に対して，構造的な最適化のみならず，経済的な最適化が可能になる．それによれば，水の価格により拡幅構造が経済的にも成立する．

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の提供を頂いた．また，経済性および耐震性の評価に際して，大阪大学大学院の貝戸清之准教授，秦吉弥助教，川口 潤君に御指導，御協力を頂いた．記して謝意を表します．

参考文献

1) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) : Guidelines for Dam Design 2011, Korea Water Resource Association, 2011 [in Korean].
2) 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].
3) Kim, SH. 2011. 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*: 112p [in Korean with English abstract].
4) 国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き，JICE, No.111002, 46-47, 2012.
5) 猪股純，安田成夫，金銅将史，佐野貴之，吉岡英貴，川崎秀明，平山大輔，稲垣謙司，永山功，山口嘉一，佐々木隆，冨田尚樹，佐藤弘行，金縄健一：大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料，国土交通省国土技術政策総合研究所資料，No.244, 192p., 2005.
6) 秦吉弥，中村晋，野津厚：本震観測記録を利用した地震動推定手法の精度とその向上策—2008 年岩手・宮城内陸地震における震源域を対象として—，土木学会論文集 A1，Vol.69, No.2, pp.186-205, 2013.
7) National assembly budget office (NABO), 2013. Fiscal Outlook 2013–2017. pp71-75. [in Korean]