

フィルダム堤体改修時（補強・嵩上げ）のゾーニングパターンの事例研究

Case Study on Zoning Pattern in Rehabilitation of Old Fill-type Dam Embankments

福島 伸二（ふくしま しんじ）

㈱フジタ 土木本部 主席コンサルタント

谷 茂（たに しげる）

㈱農研機構 農村工学研究所 部長

五ノ井 淳（ごのい じゅん）

㈱フジタ 土木本部 担当課長

北島 明（きたじま あきら）

㈱フジタ 技術センター 主任研究員

1. はじめに

築造年代の古いフィルダムは全国に約1700～1800箇所あるとされており、その多くは堤体が老朽化して断面不足や漏水により地震時や豪雨時における安定性が不足し、早急な改修が必要となっている。また、既存のフィルダムの中には、最近の水需要の増加や多様化により、貯水容量の拡大が求められている事例も多い。一方、貯水池内には長年の間に堆積した底泥土や土砂により貯水容量の減少や水質悪化など、本来果たすべき貯水性能が低下して機能回復が求められる事例も多い。以上のような状況から、老朽化したフィルダムは堤体の補強や漏水防止、貯水容量を増加させるための堤体嵩上げなどの改修事例が増えつつある。

これまでに実施されたフィルダムの堤体改修の事例調査結果^{1),2)}によると、既設堤体に新たに補強や漏水防止のための腹付け盛土あるいは押え盛土、貯水容量拡大のための嵩上げ盛土を築造するなど、目的により改修規模が様々である。そこで、本稿では、これまでの堤体改修の経験を今後の参考にするために、改修事例の堤体ゾーニングパターンを既設堤体の堤高に対する改修規模によりおおよそ分類し、その特徴について報告する。

2. 堤体改修が小規模な事例

小規模な堤体改修は、図-1に概念的に示すように、嵩上げ高 H_R が既設堤体の堤高 H_0 に比較して余裕高を確保する程度と小さい場合（ $H_R \leq H_0$ ）で、既設堤体をほぼそのまま活用し、その上流側に漏水防止のためのコアゾーンと補強のためのシェルゾーン（あるいはランダムゾーン）を、既設堤体下流側にシェルゾーンを腹付けるゾーニングパターンが基本である。理由は、堤体上流側に断面不足が生じて補強が必要な場合が多いこと、漏水防止を堤体上流側で行うことが効果的なためであろう。

典型的な事例として、図-2の倉

橋ダム（2000）、図-3の大正池（2002）などがある。各事例のゾーニングパターンに共通して言えることは、堤体上流側の腹付けはコアゾーンを含むため、これに使用する遮水性を有する築堤土の強度が小さい場合が多く、堤体の安定性を確保するために法面勾配を緩くし、かつせん断抵抗を確保するために小段やランダムゾーンの幅を広くするなどの対策がとられている。結果として、築堤土が大量に必要となる、新設堤体が池敷内に入る割合が多くなり貯水容量を減少させるだけでなく、場外処分が必要な底泥土が大量に発生してしまうことになる。

3. 堤体改修が中規模な事例

中規模な堤体改修は H_R が H_0 に比較して同程度か、あるいは小さい場合（ $H_R \leq H_0$ ）で、図-4に概念的に

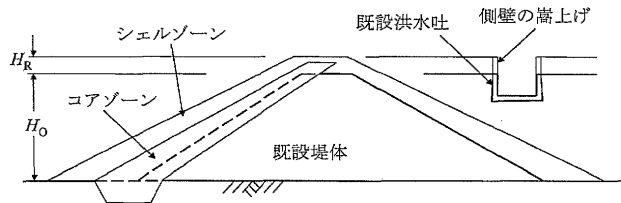


図-1 改修が小規模な場合のゾーニングパターン（ $H_R < H_0$ ）

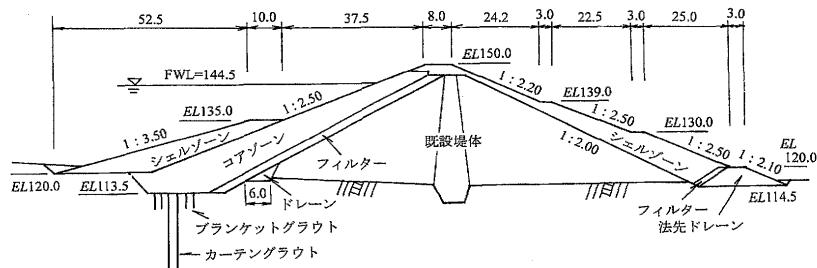


図-2 倉橋ダムの改修後の標準堤体断面（2000）

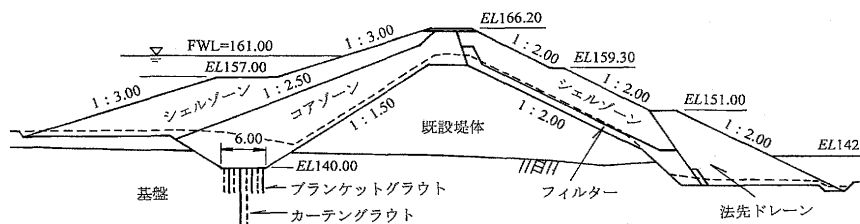


図-3 大正池の改修後の標準堤体断面（2002）

示すように、既設堤体の強度や遮水性をかなり期待し、表層部を一部掘削するなどして活用し、嵩上げ部を既設堤体の下流側に載せた腹付け型のゾーンニングパターンが採用されている。嵩上げ部は入手可能な築堤土が有する強度と遮水性にも関係するが、 H_R がある程度大きい場合、あるいは強度に優れた築堤土と遮水性に優れた築堤土のそれぞれを確保できた場合にはコアゾーンとシェルゾーンのように機能別にゾーンニングしている。一方、 H_R が小さい場合や、強度の優れた築堤土が確保できない場合には嵩上げ部を均一型としてすべて同じ築堤土により築造するのが普通のようなのである。典型的な事例として、嵩上げ部を均一型とした図一5の雨煙内ダム（1978）、ゾーン型とした図一6の杵臼ダム（施工中）などがある。

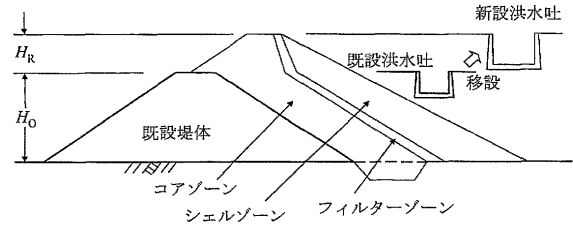
改修目的が貯水容量の増大のための嵩上げとなる場合には、堤体下流側に嵩上げ堤体を築造するゾーンニングパターンが一般的となる。理由は、既設堤体を仮締切り堤として活用できることから、貯水しながらの改修が可能で、池内に堆積した底泥土などの場外処分が必要な不良土が発生しないためと考えられる。

4. 堤体改修が大規模な事例

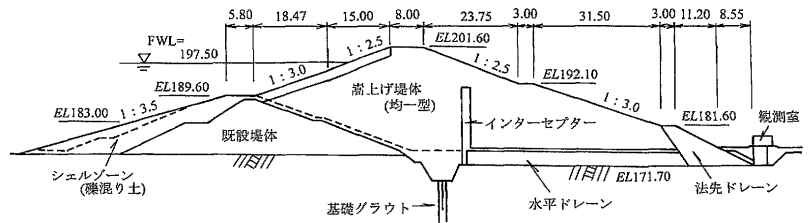
規模の大きい堤体改修は、 H_R が H_0 と同程度かこれよりより大きい場合（ $H_R \geq H_0$ ）で、嵩上げにより既設堤体や基礎地盤に新たに加わる土圧や浸透水圧が高くなることから、図一7に概念的に示すように、既設堤体を強度や遮水性に期待せずに仮締切り堤程度の活用にとどめ、嵩上げ部を独立した中央コア型堤体として築造するゾーンニングパターンとなる。独立型堤体の築造は下流側に新設堤体のための広い用地や、コアゾーン、あるいはシェルゾーンの機能に応じた遮水性、あるいは強度に優れた大量の築堤土が必要となってくる。

典型的な事例として、図一8の満濃池（1959）、図一9の永池ダム（1996）、図一10の山王海ダム（2001）などがある。

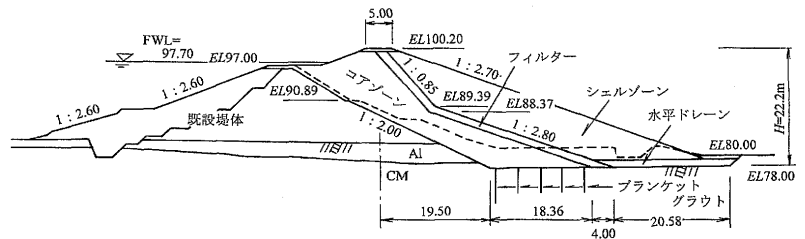
以上の事例とは全く逆に既設堤体の上流側に独立した中央コア型堤体を築造して嵩上げをした事例として図一11の殿川ダム（荻田調整池、1966）がある。殿川ダムは既設堤体の状況が不明であるが、池敷内に既設堤体よりも大きい独立した堤体を築造した珍しい事例といえる。なぜなら、堤体基礎となる池敷掘削により場外処分が必要な底泥土の大量発生と貯水容量の減少を伴うからである。殿川ダムの場合は、堤体下流側の地形が末広がりであるため、この部



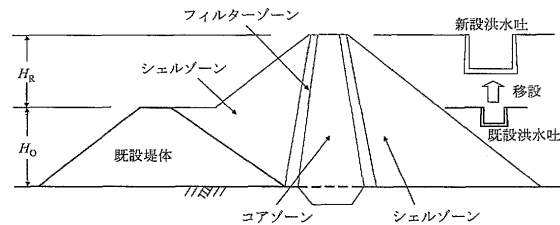
図一4 改修が中規模な場合のゾーンニングパターン ($H_R \leq H_0$)



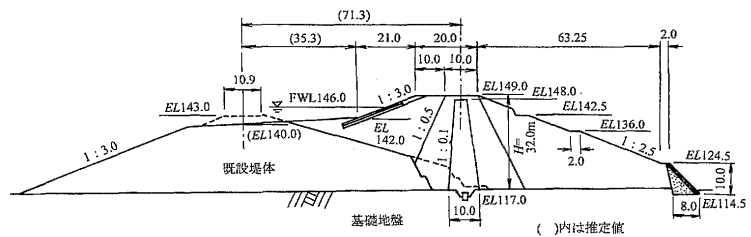
図一5 雨煙内ダムの改修後の標準堤体断面（1978）



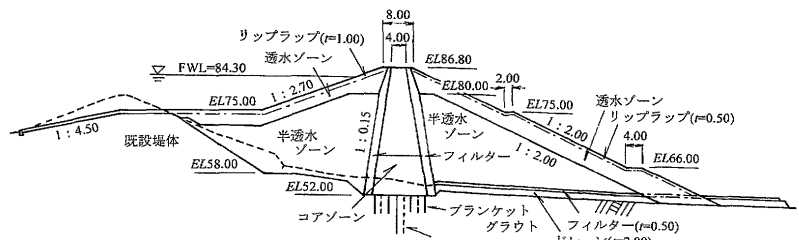
図一6 杵臼ダムの改修後の標準堤体断面（施工中）



図一7 改修が大規模な場合のゾーンニングパターン ($H_R \geq H_0$)



図一8 満濃池の改修後の標準堤体断面（1959）



図一9 永池ダムの改修後の標準堤体断面（1996）

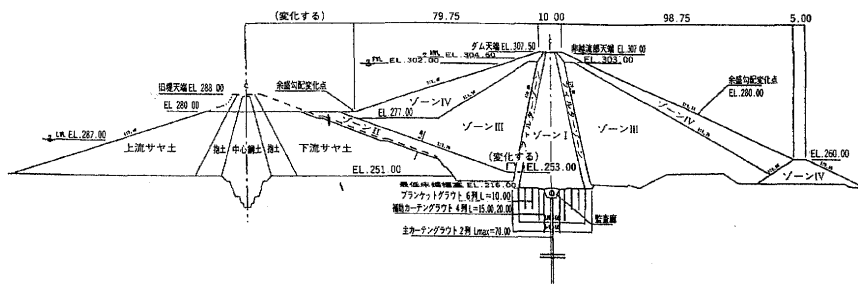


図-10 山王海ダムの改修後の標準堤体断面 (2001)

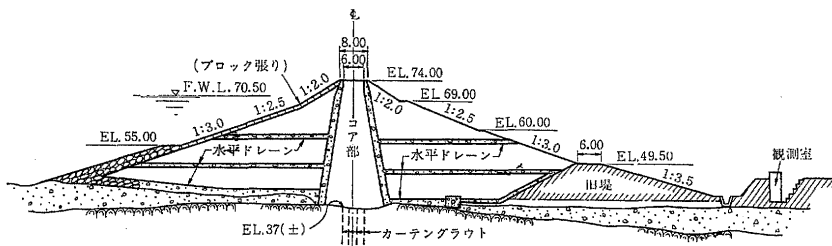


図-11 殿川ダム（刈田調整池）の改修後の標準堤体断面 (1966)

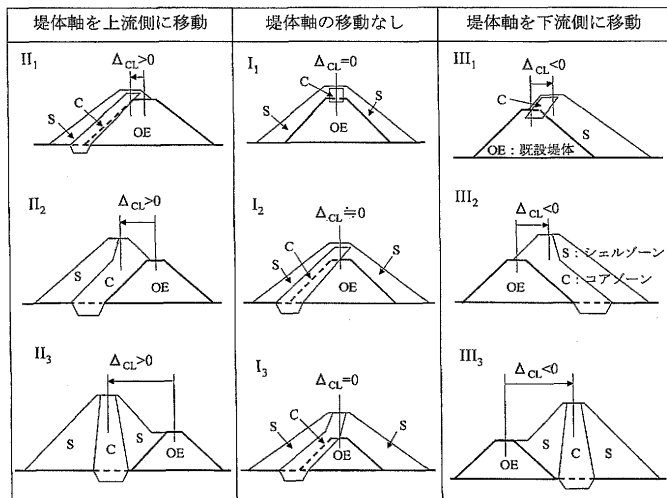


図-12 フィルダム堤体の改修規模と堤体軸移動方向によるゾーニングパターン

分に新堤を築造すると大量の築堤土が必要になってしまふからと思われる。

5. ゾーニングパターンの分類

以上見てきたように、改修事例で採用された嵩上げ部のゾーニングパターンは改修規模によりある程度分類することができた。ここでは、さらに既設堤体に対して堤体軸に移動がない場合 ($\Delta_{CL} = 0$)、堤体上流側へ移動する場合 ($\Delta_{CL} > 0$)、あるいは下流側へ移動する場合 ($\Delta_{CL} < 0$) の3種類に分け、改修規模と Δ_{CL} を関連させて嵩上げ部のゾーニングパターン进行分类すると図-12に示すようになる。図中の OE は既設堤体、C はコアゾーン、S はシェルゾーンである。

5.1 堤体軸移動がないゾーニングパターン

ゾーニングパターン I は $\Delta_{CL} = 0$ となるように、堤体上流側にコアゾーンあるいはシェルゾーンを、堤体下流側にシェルゾーンを築造するというように、上・下流側

にはほぼ対称的に腹付けるもので、改修規模が $I_1 \rightarrow I_2 \rightarrow I_3$ へと大きくなってゆくものである。

パターン I_1 は既設堤体のコアゾーンを堤体直上にそのまま延長して、その上・下流側にはほぼ対称的にシェルゾーンを腹付けるもので、既設のコアゾーンの遮水性が確実に期待できる場合に限定される。

パターン I_2 はパターン I_1 よりも規模が大きく、既設堤体の遮水性に期待せずに、上流側を掘り込んでコアゾーンとシェルゾーンを腹付け、下流側にシェルゾーンを腹付けるゾーニングパターンである。

パターン I_3 はパターン I_2 をさらに規模を大きくした嵩上げで、パターン I_2 のコアゾーンを、 $\Delta_{CL} = 0$ となるように直上にそのまま延長して上・下流側にシェルゾーンを築造するか、あるいは既設堤体を中央部に封じ込めるように均一型で築造するゾーニングパターンである。図-3の大正池は $\Delta_{CL} = 0$ となるように、コアゾーンを堤体上流側から堤体軸に沿って延長し、かつ上・下側にシェルゾーンを腹付けていることから、パターン I_3 の典型的な事例といえる。

5.2 堤体軸移動が上流側のゾーニングパターン

ゾーニングパターン II は $\Delta_{CL} > 0$ となるように、堤体上流側に嵩上げ堤体を腹付ける小規模なパターン II_1 から、独立した堤体を築造する

大規模なパターン II_3 まであり、 $II_1 \rightarrow II_2 \rightarrow II_3$ へと改修規模が大きくなる。

パターン II_1 の堤体改修は既設堤体の上流側にコアゾーンとシェルゾーンを腹付けるもので、パターン I_2 における既設堤体の掘削量が少ない場合に相当する。図-2の倉橋ダムは下流側にシェルゾーンを腹付けているものの、パターン II_1 に属する事例である。

パターン II_2 はパターン II_1 の既設堤体の安定性をある程度期待して改修規模を大きくしたものである。

パターン II_3 は既設堤体の安定性と遮水性を全く期待しないで、上流側に独立した中央コア型堤体を新たに築造するものである。図-11の殿川ダムがこのゾーニングパターンの典型的な事例である。

パターン II_2 や II_3 は、新堤体が築造される池敷から場外処分が必要となる底泥土が大量に発生することを考慮すると特殊なパターンといえよう。

5.3 堤体軸移動が下流側のゾーニングパターン

ゾーニングパターン III は、パターン I を間に置いてパターン II の対極にあるもので、 $\Delta_{CL} < 0$ となるように既設堤体の下流側に嵩上げ堤体を全面的に載せて築造したもので、改修規模が $III_1 \rightarrow III_2 \rightarrow III_3$ へと大きくなる。

パターン III_1 は既設堤体下流側に腹付ける最も小規模な嵩上げパターンで、コアゾーンを既設堤体の遮水性を期待して延長するもので、新たに増加する水圧が低い小規模な嵩上げに限定されよう。

パターン III_2 は既設堤体の安定性はある程度期待するものの、遮水性を期待しないで活用するもので、嵩上げ堤体をコアゾーンだけの均一型か、あるいはコアゾーンとシェルゾーンに区分したゾーン型としたもので、図-5の雨煙内ダム、図-6の杵臼ダムなど事例が多い。

パターン III_3 は既設堤体の安定性と遮水性の両方をほとんど期待しないで仮締切り堤程度としてのみ活用し、独立した中央コア型堤体を新たに築造するものである。この嵩上げパターンには図-8の満濃池、図-9の永池ダム、図-10の山王海ダムなどがある。

5.4 改修規模とゾーニングパターンの関係

改修事例を嵩上げ比 H_R/H_0 と堤体軸の上・下流側への移動方向 Δ_{CL} により、図-12に示したゾーニングパターンにより分類した結果を表-1にまとめて示す。表から、堤体改修規模とゾーニングパターンの関係は目安として以下のように分類することができる。

(a) 小規模な堤体改修

改修事例における嵩上げ比はおおよそ $H_R/H_0 = 0.02 \sim 0.20$ の範囲にあり、嵩上げはパターン I_2 か I_3 、あるいはパターン II_1 となることが多い。

(b) 中規模な堤体改修

改修事例における嵩上げ比はおおよそ $H_R/H_0 = 0.20 \sim 0.80$ の範囲にあり、嵩上げはパターン III_2 が多い。

(c) 大規模な堤体改修

改修事例における嵩上げ比はおおよそ $H_R/H_0 = 0.50 \sim 2.00$ の範囲にあり、嵩上げはパターン III_3 が多い。

H_R/H_0 の値に幅があるのは、ゾーニングパターンが改修規模により一律に決まるのではなく、既設堤体に期待できる強度レベルや遮水性レベル、使用する築堤土の種類や強度・遮水特性、基礎地盤の支持力・水理的安定性、現地の地形・地質条件などを総合的に検討して決められるものだからである。

表-1 主な改修事例における嵩上げ特性

改修規模	ダム名 (完成年)	改修後 堤体 $H(m)$	改修前の堤体		嵩上げ比 H_R/H_0	ゾーニング パターン
			$H_0(m)$	$H_R(m)$		
小規模	蛭沢ダム(1994)	23.5	22.0	0.5	0.02	I_2 (II_1)
	倉橋ダム(2000)	36.5	31.5	1.5	0.05	II_1
	大正池(2002)	26.2	19.0	5.0	0.26	I_3 (I_2)
	山口貯水池(2002)	33.5	32.5	1.0	0.03	I_1
	宿の沢ダム(2002)	26.0	18.6	1.8	0.08	II_2
	村山下ダム(施工中)	33.3	32.6	0.7	0.02	III_1
中規模	雨煙内ダム(1978)	26.8	14.6	12.0	0.82	III_2
	大谷内ダム(1990)	23.2	15.0	4.5	0.30	III_2
	白川ダム(1996)	30.0	25.5	4.5	0.18	III_2
	狭山池ダム(2001)	18.5	14.5	1.0	0.07	III_2
	杵臼ダム(施工中)	22.2	18.7	3.2	0.17	III_2
	満濃池(1959)	32.0	26.0	6.0	0.23	III_3
大規模	殿川ダム(1996)	37.0	12.5	24.5	1.96	III_3
	大川ダム(1988)	49.2	33.7	15.5	0.46	III_1 (I_2)
	黒谷ダム(1989)	43.9	30.4	9.9	0.33	III_3
	永池ダム(1996)	34.8	17.0	7.6	0.45	III_3
	山王海ダム(2001)	61.5	37.0	19.5	0.53	III_3

6. あとがき

本稿は、今後の老朽化フィルダムの堤体改修を効率的に実施するのに参考になるように、我が国で実施された代表的な老朽化フィルダムの堤体嵩上げ事例のゾーニングパターンを改修規模と堤体軸の上・下流側への移動方向により分類し、それぞれの特徴について整理したものである。嵩上げ堤体のゾーニングパターンは改修規模により以下のように3種類に分類できる。

小規模な堤体嵩上げは堤体の補強や漏水防止を目的とするもので、嵩上げ比がおおよそ $H_R/H_0 = 0.02 \sim 0.20$ の範囲にある。ゾーニングパターンは既設堤体の上流側にコア・シェルゾーン、下流側にシェルゾーンを築造し、堤体軸を移動させないパターン I_2 か I_3 、上流側に移動させたパターン II_1 が多い。

中・大規模な堤体嵩上げは貯水容量の拡大を目的として、堤体軸を下流側に移動させるのが一般的で、嵩上げが大規模であるほど既設堤体の活用程度が低くなり、ゾーニングパターンが腹付け型から独立した堤体型へと移行する。すなわち、中規模な堤体嵩上げは、嵩上げ比がおおよそ $H_R/H_0 = 0.20 \sim 0.80$ の範囲にあり、ゾーニングパターンは既設堤体下流側への腹付け型堤体のパターン III_2 が多い。大規模な堤体嵩上げは、嵩上げ比がおおよそ $H_R/H_0 = 0.50 \sim 1.00$ の範囲にあり、ゾーニングパターンは独立した中央コア型堤体のパターン III_3 が多い。

参 考 文 献

- 1) 谷 茂・福島伸二：老朽化フィルダムの堤体改修（補強・漏水防止・嵩上げ）の事例調査，ダム工学，Vol. 17, No. 1, pp. 5~26, 2007.
- 2) 福島伸二・谷 茂：老朽化フィルダムの堤体嵩上げ時のゾーニングパターンの事例研究，水と土，第153号，pp. 26~41, 2008.

(原稿受理 2008.8.26)