

老朽化フィルダムの堤体改修の事例調査

谷 茂*・福島伸二**

目 次			
緒 言	1	設計・施工上の留意点	18
堤体改修を必要とする要因	3	1 既設堤体の活用	18
堤体軸を移動させない改修形式	3	2 築堤材料の確保と掘削発生土の流用・処分 ...	18
1 堤体の補強と漏水防止を目的とした改修事例	4	3 法面勾配	19
.....	4	4 付帯構造物の改修に関する問題	19
2 貯水容量増加のための堤体嵩上げの事例	5	5 堤体下流側用地の確保	19
堤体軸を上流側に移動させた改修形式	7	6 施工中の貯水条件	19
1 堤体の補強あるいは漏水防止のための改修事例	8	7 基礎地盤の水利的安定性と止水処理	20
.....	8	8 既設・新設堤体の接触部の処理	20
2 堤体嵩上げの改修事例	8	9 法面保護工	20
堤体軸を下流側に移動させた改修形式	10	砕・転圧盛土工法による堤体改修の検討	20
1 小規模な貯水容量増加のための嵩上げの事例	11	1 砕・転圧盛土工法の概要とその特徴	20
.....	11	2 堤体の補強と漏水防止	21
2 大規模な貯水容量増加のための嵩上げの事例	14	3 貯水容量増加のための堤体嵩上げ	21
.....	14	結 言	22
3 堤体補強のための小規模な嵩上げの事例 ...	16	参考文献	22
		Summary	24

緒 言

堤高H 15mで1945年以前に築造された築造年代の古い農業用フィルダムは全国に約1,048箇所あるとされている^{1)・2)}。これらの多くは、堤体が老朽化して波浪侵食や経年劣化により断面不足になっていたり、あるいは堤体や基礎地盤からの漏水によりパイピングの進行の危険があるものもある。また、設計基準が制定される前に築造されていることから、地震力を考慮していないために地震時の安定性が十分でないものもあることが想定される。

特に、このようなフィルダムが中央防災会議の想定した東海地震、宮城県沖の地震等の大規模地震の発生が予想されている地域に立地する場合には早急な耐震補強が求められる。Fig.1は、東海+東南海+南海地震が発生した場合の中央防災会議による震度分布予想図を示したものであるが、震度6以上の地区に限っても多くの農業

用フィルダムが位置している。設計基準に基づいて設計されていなくとも、過去の地震被害の調査から耐震性は必ずしも低いとは言えないが、今後は耐震性についての照査が必要と考えられる。一方、最近の水需要の多様化や増加により貯水容量の増加が求められている事例も多いが、この問題を早急かつ経済的に解決するには新規にダムを建設するよりも既設ダムを嵩上げするのが有効な場合もある。底泥土や土砂が貯水池内に堆積し貯水容量の減少や水質悪化の原因になり、本来果たすべき貯水機能が低下するので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の多くは堤体の補強や漏水防止、嵩上げが必要となっていることがわかる。

老朽化した堤高H<15mのフィルダム(ため池)では昔からこの種の改修が繰り返し行われてきた。最近ではため池についての技術指針³⁾が整備され改修の調査・設計や施工についての手法や配慮すべき基本的事項が示され、改修の目的や規模、立地条件等が個々のため池で異なる場合でも、共通の考え方で改修できるようになっている。一方、設計基準(ダム)⁴⁾では「フィルダムの再開発」という項目で改修について若干述べられている。

ここでは老朽化したフィルダム堤体の補強や漏水防

*企画管理部防災研究調整役

**株式会社 フジタ

平成19年3月12日受理

キーワード：農業用フィルダム，堤体改修，補強，漏水防止，嵩上げ，長期供用

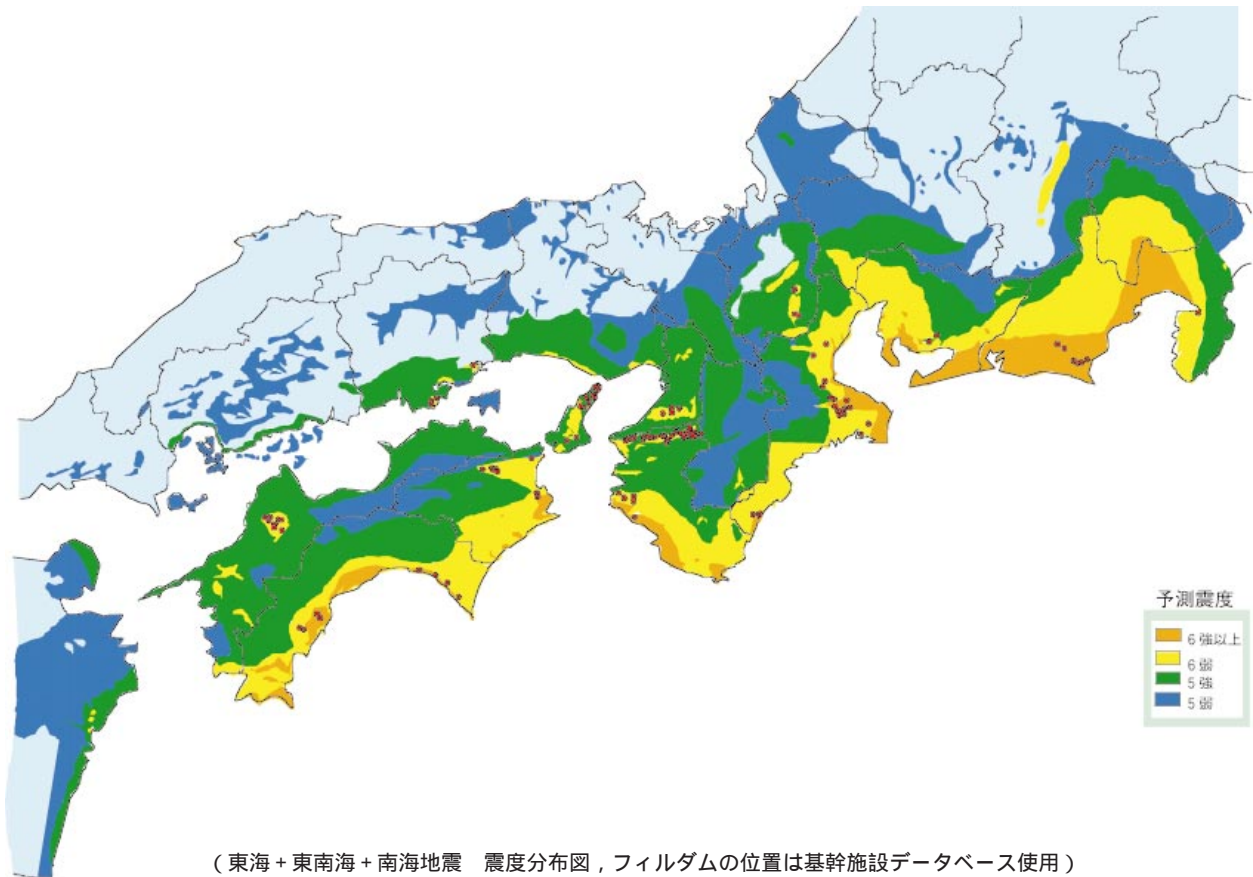


Fig.1 大規模地震動が想定される地域と老朽化フィルダムの位置 (震度6以上で1945年以前に作られたフィルダム)
Location of fill-dam constructed before 1945

Table 1 改修された老朽化フィルダムの一覧
List of repaired fill-dam

ダム名	築造年	改修年	堤高 (m) 改修前	堤高 (m) 改修後	総貯水量 (m ³) 改修前	総貯水量 (m ³) 改修後	改修 の型式
蛭沢ダム		1994	23.5	23.5		2,075,000	I 2-a
山倉ダム	1964	2004	22.5	22.5		4,900,000	I 2-c
LAKE SHERBURNEダム		1982	26.0	30.6			I 1
PACTOLAダム		1987	67.0	81.5			I 1
大正池	1924	2001	19.0	26.2	211,000	272,000	I 2-c
光明池	1936	1983	27.0	27.0		3,696,000	II 1-a
山口貯水池	1934	2002	35.0	35.0		20,649,000	II 1-b
宿の沢ダム	1952	2003	18.6	27.6		1,210,000	II 1-a
倉橋ダム	1957	2000	31.0	36.5	1,714,000	1,900,000	II 1-c
殿川ダム		1966	12.5	37.0		1,250,000	II 3
雨煙内ダム	1929	1986	14.6	26.8	4,320,000	6,750,000	II 2
大谷地ダム		1991	17.7	23.2		1,206,000	II 2
杵臼ダム	1926	2007 完成予定	18.7	25.5	279,000	514,000	II 3
SULPHUR CREEK池		1988	15.5	25.3			II 2
黒谷ダム	1931	1989	30.8	43.6	630,000	1,334,000	II 3
白川ダム	1932	1996	25.5	30.0	862,000	1,560,000	II 2
狭山池	600 前後	2001	17.1	18.5	1,800,000	2,800,000	II 2
村山下貯水池	1927	2008 完成予定	32.6	33.3	12,148,000	—	III 1
TRONERASダム		1992	38.0	41.0			III 1
永池ダム		1996	17.8	34.8		608,000	II 3
山王海ダム	1953	2001	37.4	61.5	959,400	3,840,000	II 1
CHOLLASダム							III 1
STEVENS CREEKダム			36.0	39.3			III 1

止,あるいは嵩上げの事例調査を行い,各事例で採用された堤体断面構成の特性やその技術的課題について検討し,さらにいくつかの事例については実地調査も実施し,堤体改修に対する基本的な考え方や設計・施工上の留意点について報告するものである。

今後の老朽化フィルダムの改修の際の設計上の参考となれば幸いである。

堤体改修を必要とする要因

フィルダムの堤体改修が必要な理由として以下のような要因が考えられる。老朽化したフィルダムは堤体の断面不足,漏水,あるいは大規模地震動が想定される場合には,安定性が十分でなく,早急な堤体の補強や漏水防止が必要な例が多い。旧基準で築造された堤体は洪水容量や余裕高が不足し現行基準に合致するように堤体嵩上げが必要である。堤体下流域の市街化が進行し,より高い安定性や洪水調節機能が求められている。用水需要の増加やその内容の多様化には貯水容量増加のための堤体嵩上げが必要である。貯水池に堆積した底泥土や土砂が貯水容量の減少や水質悪化の原因となる場合にはこれらの浚渫除去が必要である。

いずれにせよ,堤体改修は既設堤体の補強や漏水防止のための腹付け盛土あるいは押え盛土,貯水容量増加のための嵩上げ盛土を新たに築造することになるが,その目的に応じて可能な限り既設堤体を活用する必要がある。例えば,改修目的が堤体の補強や漏水防止であれば,改修規模が小さく改修による新設堤体を含む堤体全体の中で既設堤体が果たす役割は大きい。これに対して,貯水容量や洪水調節量の増加のための堤体嵩上げは改修規模が大きく,堤体全体に占める既設堤体の規模や役割が少ないので,新設堤体部の役割が相対的に高くなる。

既設堤体の改修は,新規の堤体築造の場合と多くの共通点を有しているが,改修の目的,既設堤体に期待できる安定性や遮水性の程度,基礎地盤が有する支持力・止水特性,使用可能な築堤材料の強度・遮水性,施工中の貯水条件などを考慮して堤体の断面構造を決定しなければならない。

今回調査した改修フィルダムの一覧をTable 1に示す。以下調査したフィルダムの改修形式として堤体軸の移動量 Δ_{CL} (既設堤体軸を中心に新設堤体軸の上流側への移動をプラスとする)により堤体軸を移動させないで改修 ($\Delta_{CL}=0$, 形式), 上流側に移動させて改修 ($\Delta_{CL}>0$, 形式), 下流側に移動させて改修 ($\Delta_{CL}<0$, 形式)の三つに分類して,各改修形式における堤体断面構造の特徴とその事例について検討する。

堤体軸を移動させない改修形式

堤体軸を移動させない改修形式 ($\Delta_{CL}=0$) は,堤頂面

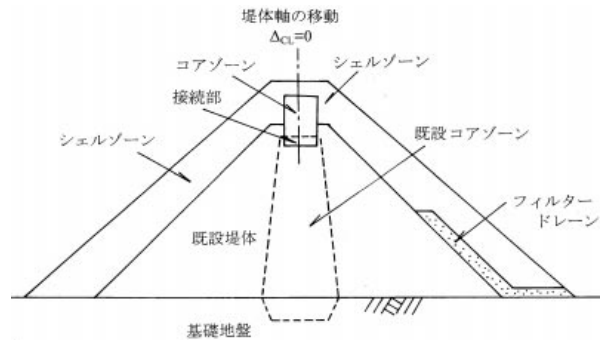


Fig. 2 堤体軸を移動させない改修形式 1
Rehabilitation type fixed the dam axis 1

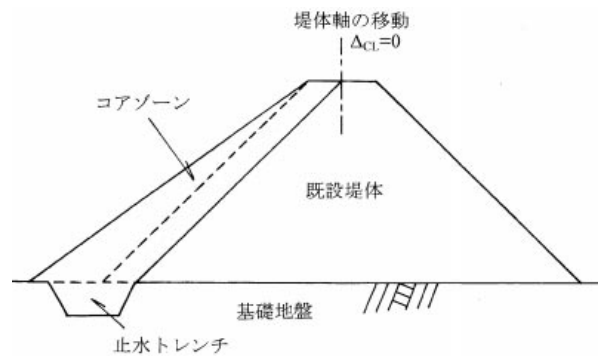


Fig.3 (a) 堤体軸を移動させない改修形式 2-a
Rehabilitation type fixed the dam axis 2-a

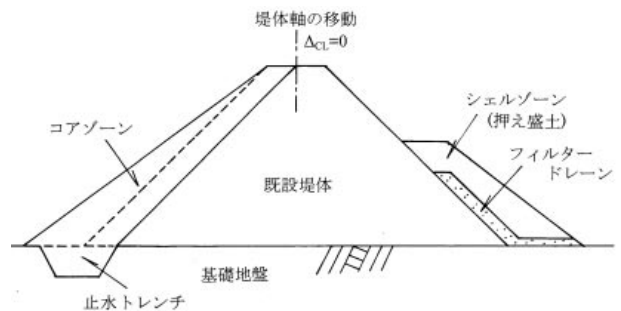


Fig.3 (b) 堤体軸を移動させない改修形式 2-b
Rehabilitation type fixed the dam axis 2-b

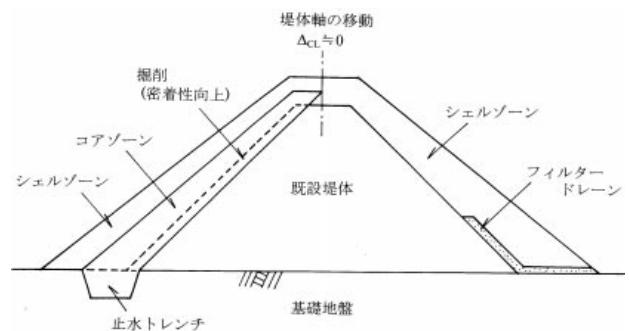


Fig.3 (c) 堤体軸を移動させない改修形式 2-c
Rehabilitation type fixed the dam axis 2-c

が道路として利用されているなどして堤体軸を変更できない場合に採用され,既設堤体の上・下流側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,あるいは

嵩上げのための盛土を築造するもので、以下のように大きく三つに分けられる。

改修形式₁は小規模な堤体嵩上げを行う場合に採用され、既設堤体の遮水性が嵩上げによる浸透水圧の増加に対して十分確保されている場合にFig.2に概念的に示すように既設堤体内のコアゾーンをそのまま延長する形で嵩上げを行うものである。

改修形式₂は主に堤体の補強や漏水防止が目的の場合に採用され、既設堤体に期待できる安定性と遮水性の程度に応じて以下に示す3種類が考えられる。形式_{2-a}は堤体下流側の安定性が確保され、Fig.3 (a)に示すように、既設堤体上流側に経年劣化した表層部分を堤体軸が移動しないように深く掘削除去して、遮水と補強を兼ねたコアゾーンを築造するものである。形式_{2-b}と_{2-c}は、Fig.3 (b)とFig.3 (c)にそれぞれ示すように、既設堤体下流側に期待できる安定性の程度に応じて、押え盛土や腹付け盛土からなるシェルゾーンを築造するものである。これらの改修方法はため池において前刃金工法として採用されている方法と同じ考え方によるものといえる³⁾。

形式₁、_{2-b}、_{2-c}は、下流側の堤体を補強する

ためには新たな用地を確保することが必要であり、また既設堤体と新設のシェルゾーンの間浸透水の浸潤面を低下させ下流側法面に現れないようにするためのフィルタドレーンを設けなければならない。改修形式₁は小規模な堤体嵩上げを行う場合に採用され、既設堤体の遮水性が嵩上げによる浸透水圧の増加に対して十分確保されている場合に、Fig.2に概念的に示すように、既設堤体内のコアゾーンをそのまま延長する形で嵩上げを行うものである。

1 堤体の補強と漏水防止を目的とした改修事例

形式_{2-a}により堤体の補強あるいは漏水防止を実施した事例として蛭沢池 (H=23.5m, 1994年完成)⁵⁾があり、施工は灌漑期には用水供給を維持することや積雪地域での土工事であるなどの厳しい制約条件で実施された。

蛭沢ダムは、Fig.4に示す標準断面のように、既設堤体下流側を表層部分だけ掘削して置換え盛土した程度でそのまま活用し、堤体上流側に緩勾配 (1:3.5) の傾斜コアゾーンを築造したものである。傾斜コアゾーンは既設堤体が遮水性に不足していたものの安定していたの

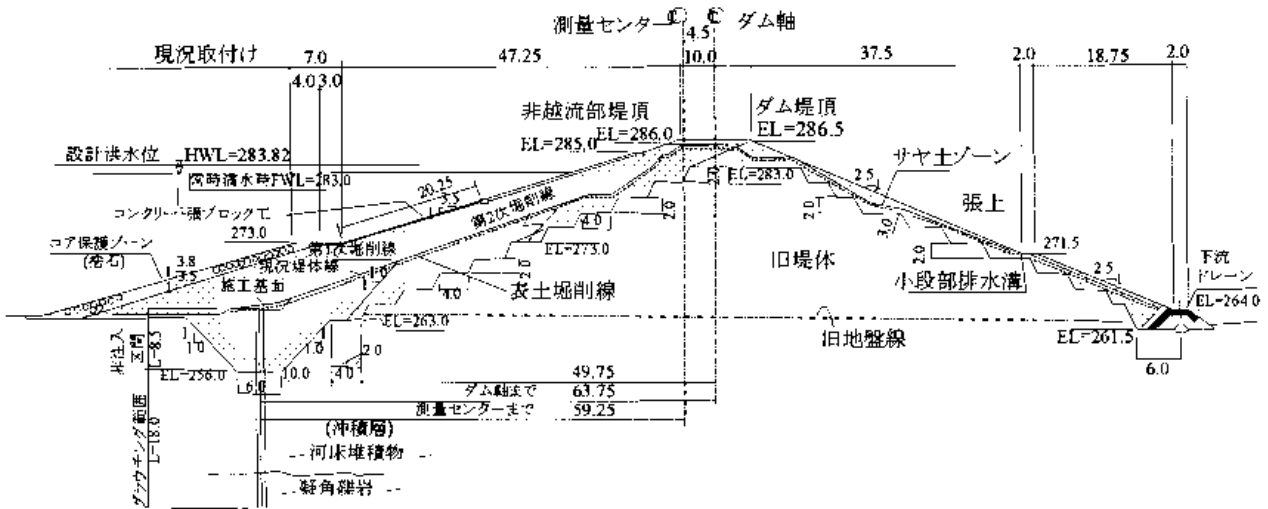


Fig.4 蛭沢ダムの改修 (H=23.5m, 1994年)⁵⁾

Cross section of Birusawa dam (H=23.5m, 1994)

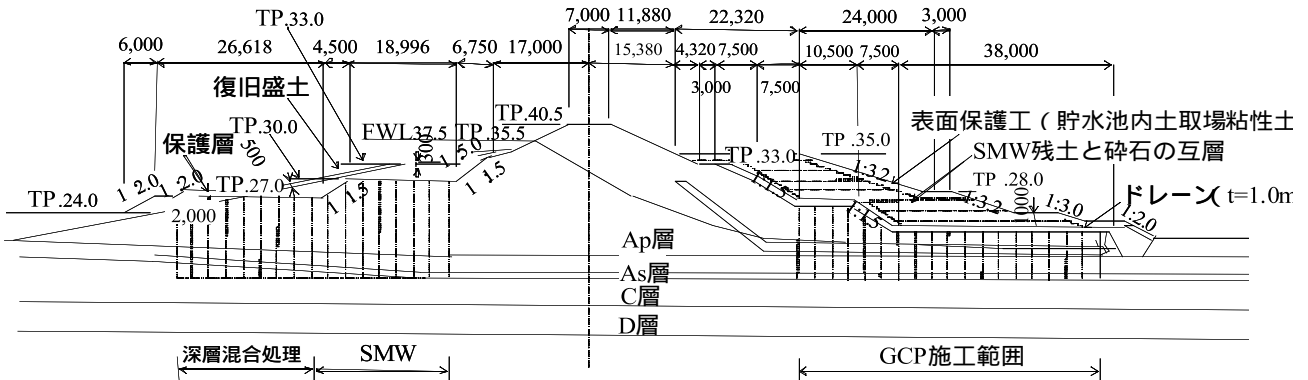


Fig.5 山倉ダムの改修 (H=22.5m, 2004年)⁶⁾

Cross section of Yamakura dam (H=22.5m, 2004)



Fig.6 蛭沢ダムの改修事例
Upstream view of Birusawa dam



Fig.7 山倉ダムの改修事例
Upstream view of Yamakura dam

で、堤体上流側の表層部を深く掘削除去して堤体軸の移動がないようにして、小段を付けて押え盛土的に築造したものである。また、堤体上流側の法面は小段より下面を捨石により、上面を張ブロックにより保護している。基礎地盤は表層部に止水性に欠ける部分があったことから、約8.5m掘込んだ止水トレンチから深さ18mまでをグラウチングによる止水処理を施している。なお、傾斜コアゾーンが幅で小段があるにもかかわらず緩勾配となっているのは、既設堤体の遮水性に期待できないことと築堤材料の強度が低いためと推定される。また、幅広の止水トレンチの採用は浸透路長を長くするためと思われる。Fig. 6は改修後の状況を示したものである。

山倉ダム (H=22.5m, 2004年)⁶⁾ は工業用水専用の貯水池で、下流域周辺の市街化の進行により高い堤体安定性が求められたことから、Fig.5に示す標準断面のように、形式₂-cに近い形式より堤体の補強と上・下流側堤体法先部の基礎地盤に液状化防止対策を施した事例である。上流側基礎地盤の改良は遮水性が低下しないように深層混合杭とSMW杭を格子状に打設し、下流側基礎地盤の改良は浸潤面が上昇しないようにグラベルパイルを千鳥状に約1.3m間隔で打設した。また、堤体下流側

には堤体補強と基礎地盤の液状化抵抗を高める上載圧負荷用の押え盛土を地盤改良工事により発生した泥土と購入砕石を互層にして築造している。ここでは、築堤材料の外部からの搬入と工事により発生する捨土の外部への搬出を最小限にするために、地盤改良に伴って発生した残土は堤体下流側の補強用の押え盛土に使用して場内で処分している。Fig.7に山倉ダムの改修後の堤体上流側の状況を示す。

2 貯水容量増加のための堤体高上げの事例

堤体軸を変えないで堤体高上げを行うには、既設堤体をそのまま内部に包み込むように高上げすることになるが、既設堤体が高上げに伴う上載圧の増加に対して過大な沈下やせん断変形が生じない強度を有していることが必要である。したがって、この形式における高上げは、既設堤体は築造後数十年の経過により安定化しているものの、締固め程度が新基準に適合していないことや経年劣化している可能性を考えると、大規模なものには適していない。

形式₁による改修事例は、我が国では小規模なため池では小規模な貯水容量の増加を目的とした高上げとしてよく見られるが、フィルダムでは少ないようである。これに対して、海外では、遮水材に土質材料ではなくジオシンセティックスを使用した事例として次の2例がある。

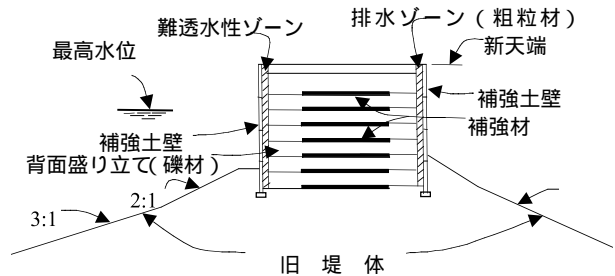


Fig.8 Lake Sherburneダムの改修 (H=26.0 30.6m, 1982年)⁷⁾
Cross section of Lake Sherburne dam (H=26.0 30.6m, 1982)

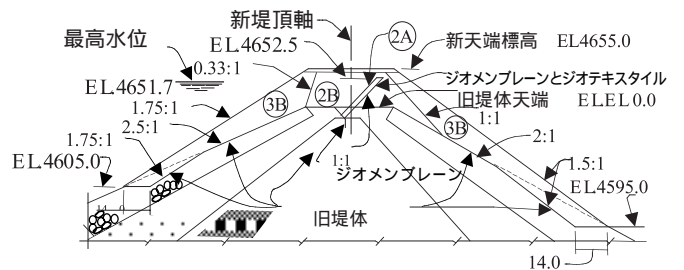


Fig.9 Pactolaダムの改修 (H=67.0 81.5m, 1987年)⁷⁾
Cross section of Pactola dam (H=67.0 81.5m, 1987)

Lake Sherburne (H=26.0 30.6m, 1982年)⁷⁾ は、Fig.8に高上げ部だけの標準断面を示すように、洪水調整容量を増加させるために既設堤体の堤頂面に約1.5m掘り込んで高さ6mの補強土壁盛土を築造し、実質で約4.6mの高上げを行った事例である。補強土壁盛土は、上流側を

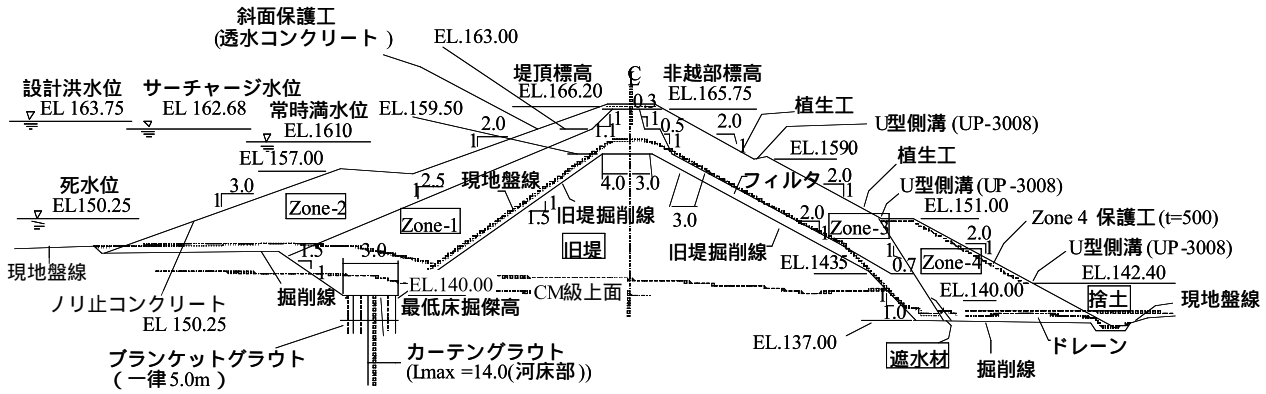


Fig.10 大正池の改修 (H=19.0 26.2m, 2001年)⁸⁾
 Cross section of Taisyo-ike dam (H=19.0 26.2m, 2001)

ジオメンブレンにより遮水し、下流側には礫材を配置して排水性を確保してエポキシ樹脂でコーティングした金属製補強材が腐食しにくいようにしてある。補強土壁盛土が載る既設堤体には嵩上げ補強盛土の荷重が局部的に作用するため、既設堤体がその上載荷重に対して十分耐えられ、かつ有害な沈下が生じないだけの強度が必要される。

Pactolaダム (H=67.0 81.5m, 1987年)⁷⁾ は洪水調節容量増加のための嵩上げの事例であるが、Fig.9に嵩上げ部だけの標準断面を示すように、既設堤体のコアゾーン内部からジオメンブレンを水平に敷いて嵩上げ盛土を強度に優れた礫質土により築造し、約14.5mの堤体嵩上げを行ったものである。ジオメンブレンは礫質土の角ばった粒子から保護するために不織布と引張強度の大きいジオテキスタイルを重ね合わせて使用している。

これら二つの事例は堤頂部だけで改修できるので貯水したままで堤体嵩上げができることや、遮水材にジオメンブレンを使用していることから、築堤材料は遮水性を必要とせず、強度に優れた礫質土のみを選択できることから、より急勾配法面を採用でき、かつ少ない築堤材料量での堤体嵩上げが可能であるなどの利点がある。

大正池 (H=19.0 26.2m, 2001年)⁸⁾ は形式 2-cにより洪水調節量を増加させるために約5mの嵩上げをした事例で、Fig.10に示す標準断面のように、既設堤体をほぼそのまま残し、堤体上流側に幅広の傾斜コアゾーンと幅広の小段をもつ押え盛土的なシェルランダムゾーンを、堤体下流側に既設堤体との間にフィルタードレーンを挟んで腹付け盛土的なシェルゾーンをそれぞれ築造している。下流側には浸潤面を低下させるために既設堤体とシェルゾーン間にフィルターゾーンを配置し、洪水吐き部と止水トレンチ部の掘削土を築堤材料として使用している。

堤体構造は既設堤体の上・下流側に傾斜コアゾーンとシェルゾーンを配置しているが、既設堤体と各ゾーンの築堤材料に大差はなくほぼ均一型になっている。基礎地盤は亀裂性岩盤で十分な遮水性が期待できないことが

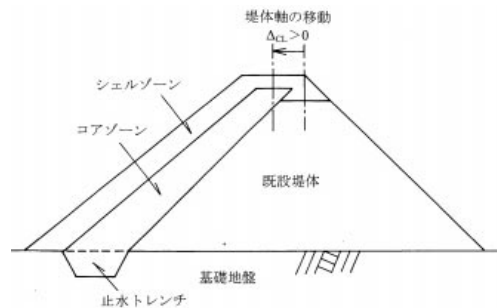


Fig.11 (a) 堤体軸を上流側に移動させた改修形式 2-a
 Rehabilitation type moved the dam axis to upstream side 2-a

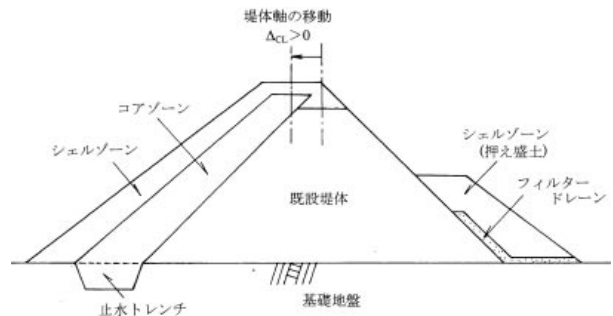


Fig.11 (b) 堤体軸を移動させない改修形式 2-b
 Rehabilitation type moved the dam axis to upstream side 2-b

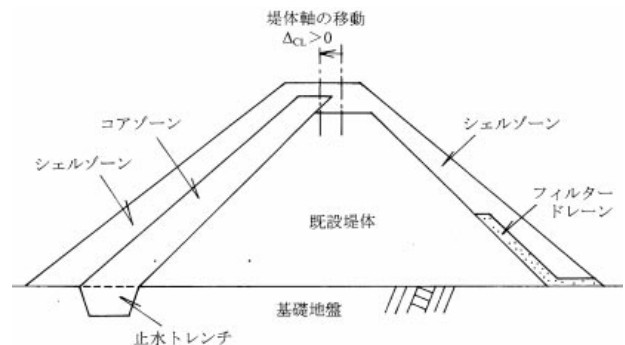


Fig.11 (c) 堤体軸を移動させない改修形式 2-c
 Rehabilitation type moved the dam axis to upstream side 2-c

ら、グラウチングにより最大1.4mの深さまでを止水処理している。なお、堤体上・下流側に小段付きのシェルゾーンとしたのは既設堤体の安定性に問題があることが主因であるが、特に上流側を幅広小段付きシェルゾーンとしたのは築堤材料の強度が低くとも水位急低下時に小段下層部が不安定化しないようにするためと思われる。

堤体軸を上流側に移動させた改修形式

堤体軸を上流側に移動させて改修を行う改修形式 ($c_L > 0$) は下流側に用地が確保できないか、あるいは限定される場合に、既設堤体前面に堤体補強や漏水防止のための腹付け盛土、小規模な嵩上げ堤体の築造に適した形式 $_1$ 、あるいは中・大規模な嵩上げ堤体の築造に適した $_2$ と $_3$ に分かれる。この形式は既設堤体の遮水性が期待できなくとも確実に遮水できる利点があるが、新設堤体の大部分が池敷内に入ることになり貯水容量が減少することや、堤体基礎の池敷掘削により築堤材料として流用不可能な底泥土のような不良土が大量に発生することが課題となる。

改修形式 $_1$ は Fig.11 に概念的に示すように $c_L=0$ 条件での改修形式 $_2 - a, b, c$ に似ているが、堤体上流側に堤体軸を移動させて遮水のためのコアゾーンと堤体補強

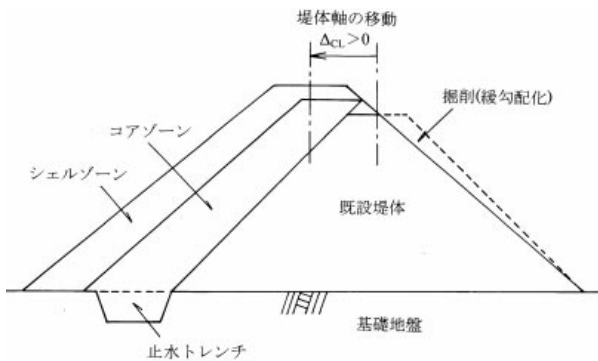


Fig.12 (a) 下流側法面を掘削により緩勾配化して補強
Reinforcement of downstream embankment by cutting at gentle slope

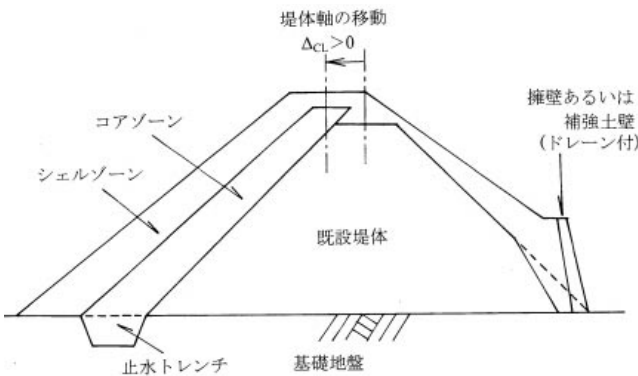


Fig.12 (b) 下流側法面を擁壁あるいは補強土壁を設けて補強
Reinforcement by downstream embankment by the retaining wall or the reinforced earth wall

のためのシェルゾーンを築造し、既設堤体に期待できる安定性の程度に応じて下流側に必要に応じてフィルタードレーンを配置して、無補強の場合の $_1 - a$, 押え盛土によるシェルゾーンを築造する $_1 - b$, 腹付け盛土によるシェルゾーンを築造する $_1 - c$ に分かれる。この形式の改修方法は、前節の $_2$ 形式の場合と同様に、ため池において前刃金工法として採用されている方法と同じ考え方によるものである³⁾。

改修形式 $_1 - b$ と $_1 - c$ は堤体下流側を補強するためには新たな用地を必要とするが、これが不可能な場合には Fig.12 (a) に示すように堤体下流側法面を掘削により、緩勾配化して安定性を確保して改修するか、あるいは Fig.12 (b) に示すように擁壁や補強盛土により法先部を嵩上げて下流側法面を緩勾配で腹付け盛土して改修することが考えられる。

改修形式 $_2$ は既設堤体が嵩上げに応じて必要な遮水性を期待できない場合に、Fig.13 に示すように既設堤体前面に傾斜コアゾーンとシェルゾーンからなる嵩上げ堤体をゾーン型として築堤するか、すべてコアゾーンだけからなる均一型として築造するものである。この形式は嵩上げ部に占めるコアゾーンの割合が高く堤体の安定性を得るために法面勾配を緩くする必要のあることから、一般的には大規模な嵩上げには向いていない。

改修形式 $_3$ は貯水容量を大幅に増加させるような大規模な嵩上げに採用され、Fig.14 に示すように、既設堤

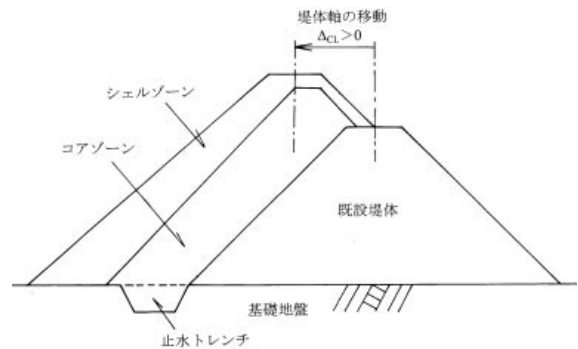


Fig.13 堤体軸を上流側に移動させた改修形式 $_2$
Rehabilitation type moved the dam axis to upstream side $_2$

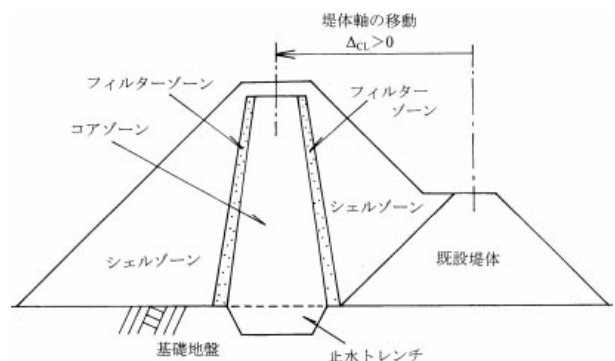


Fig.14 堤体軸を上流側に移動させた改修形式 $_3$
Rehabilitation type moved the dam axis to upstream side $_3$

体をほとんど活用しないで、その前面に安定性と遮水性を単独で有する全く別のゾーン型堤体を築造するものである。このような大規模な堤体嵩上げは貯水位上昇により基礎地盤に作用する浸透水圧が大幅に増加するため、これに対応した遮水性や水理的安定性を確保するための基礎地盤へのグラウチング処理の検討も必要となる。

1 堤体の補強あるいは漏水防止のための改修事例

光明池 (H=23m, 1983年)^{9)~13)}は昭和5年に着工し昭和14年に完成した堤高H=22.5mのアースダムで、50年以上の経過により堤体の老朽化や周辺の市街化が進行しより高い堤体安定性が求められてきたことから形式 1-a により堤体の補強と漏水防止を行った事例である。光明池は、Fig.15に示す標準断面のように、堤体上流側に表層部を平均幅約10mで掘削除去してから補強と漏水防止のために小段付きの傾斜コアゾーンを築造し、堤体下流側法先に浸潤面を低下させるためのドレーンを設置している。築堤材料には池上流域の池敷を掘削した粘性土を、ダムサイト付近に確保された土取り場からの良質土を加えて粒度調整して使用した。傾斜コアゾーンの基礎部は厚く堆積していた底泥土をポンプ浚渫船により掘削除去し、既設堤体土に石灰(ケミコライム)と粒調砕石を混合した改良土により置き換えた。また、浚渫した底泥土はポンプ搬送により池内上流部にある古い別の貯水池内に捨土処分している。

山口貯水池 (H=35.0m, 2002年)^{14)~16)}は約70年前に築造された上水道専用の貯水池である。現在のようなダムの設計基準もなかったことにより耐震性が不足していたが、震災時でも水道システムを維持する必要があることや、堤体直下流まで市街化が進行していたことを考慮して、L2型地震動を対象に耐震補強を行った。堤体の耐震補強は形式 1-b)により、既設堤体をそのまま活用して、Fig.16に示す標準断面のように、上流側に腹付け盛土を、下流側にフィルタードレーンを挟んだ押え盛土を築造して行った。築堤材料には池敷掘削による関東ロームに施工機械のトラフィカビリティーを確保するために砕石(c-40)を20%の加えた混合土を利用した。堤

体上流面は余裕高部分を栗石詰めブロックにより、貯水面を張ブロックによりそれぞれ保護している。なお、山口貯水池では、使用した築堤材料が遮水性は満足するが、強度がやや小さいために、堤体の安定勾配が緩くなり(上流側1:3.80, 下流側1:3.0), 補強のための新たに要する築堤材料97万m³(堤体積が140 237万m³へと約1.7倍に増加)と下流側に新たな広い用地を必要としたようである。Fig.17に山口貯水池の改修後の堤体上流側の状況を示す。

2 堤体嵩上げの改修事例

宿の沢ダム (H=18.6 26.0m, 2000年)¹⁷⁾は過去に豪

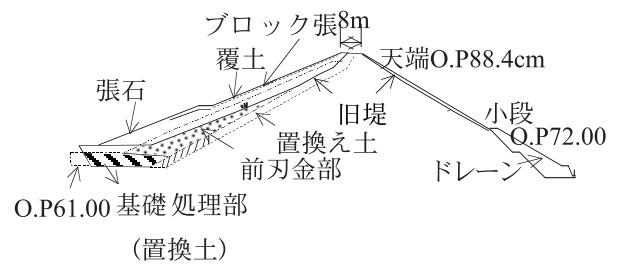


Fig.15 光明池の改修 (H=27.0m, 1983年)^{9)~13)}
Cross section of Koumyou-ike dam (H=27.0m, 1983)



Fig.17 山口貯水池の改修後の堤体上流側の状況
Upstream view of Yamaguchi reservoir dam

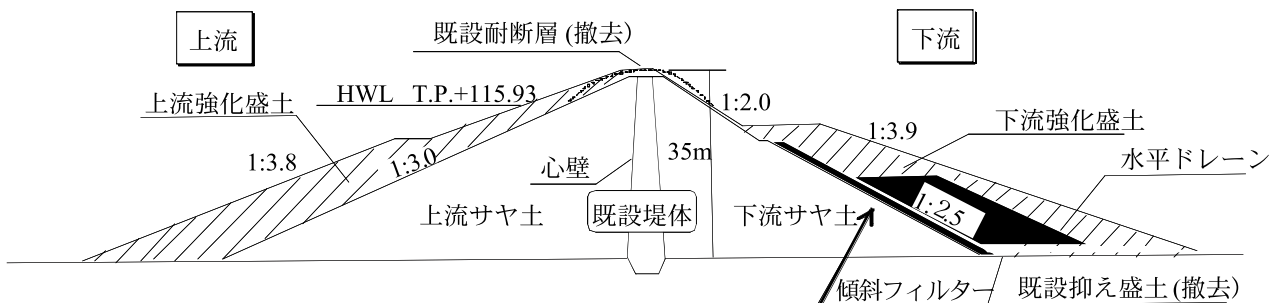


Fig.16 山口貯水池の改修 (H=35.0m, 2002年)^{14)~16)}
Cross section of Yamaguchi reservoir dam (H=35.0m, 2002)

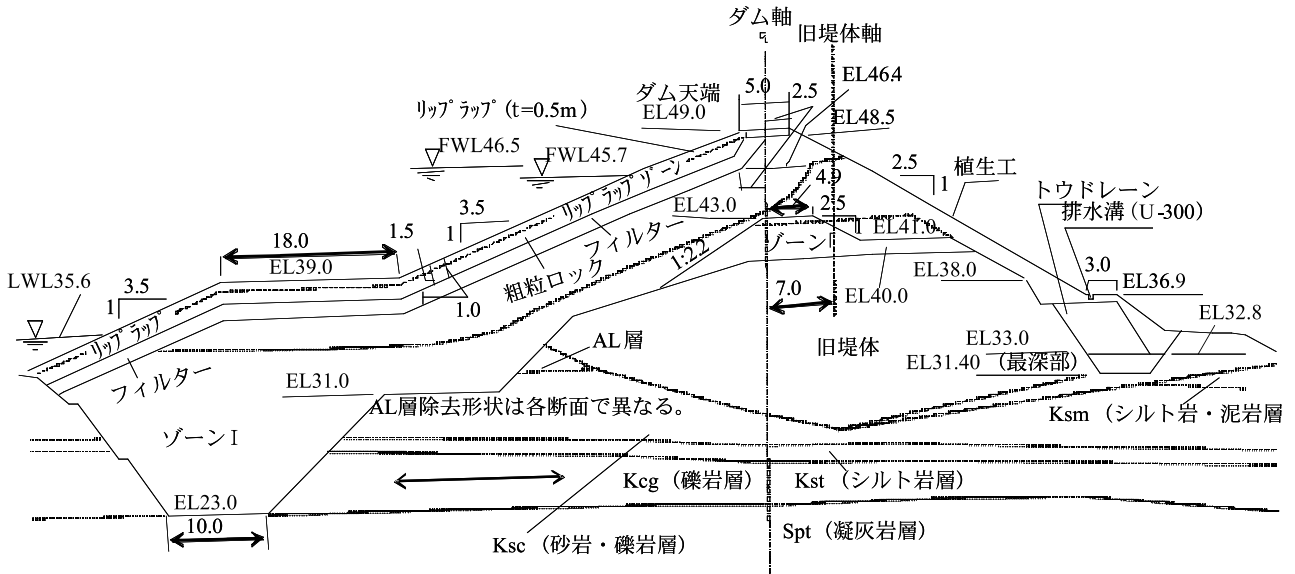


Fig.18 宿の沢ダムの改修 (H=18.6 26.0m, 2003年)¹⁷⁾
 Cross section of Syukunosawa dam (H=18.6 26.0m, 2003)

雨や地震により被災したため高上げ (H=13.0 18.6m) を含む2度の復旧工事が実施されていたが、水需要の増加に応じるために約9mの堤体高上げによる貯水容量の増加と堤体の漏水防止を行った事例である。改修は既設堤体が比較的良好な状態であったことから過去の地震により被災した堤体上層部のみを除去してそのまま活用し、Fig.18に示す標準断面のように、形式 1-a)により堤体上流側だけに幅広の小段をもつ傾斜コアゾーンを築造したものである。築堤材料にはダムサイト付近に確保された土取り場から入手したローム質土と凝灰岩系砂質土の混合土を使用した。これは既設堤体とほぼ同じ性質であり改修後の堤体は均一型に近い堤体となっている。堤体の下流側法先には浸透水を排水させるためと、浸潤面を低下させるためのドレーン工を設置している。上流側法面の全面には購入材による安山岩による捨石とフィルターからなる保護層を施している。

また、基礎地盤は平均的に比較的高い止水性を有していたことからグラウチングの止水処理は行っていないが、幅広の止水トレンチとして浸透路長を大きくとっている。なお、傾斜コアゾーンに1:3.5の緩い勾配でありながら幅広の小段を設けているが、これは強度面で期待できないローム質土を使用していることと、堤体高上げにより左岸側に必要になった副堤にコアゾーンをスムーズに接続するためにコアゾーン外側に堤体補強用のシェルゾーンを設けることができなかったためと思われる。Fig.19に宿の沢ダムの改修後の堤体上流側の状況を示す。

倉橋ダム (H=31.0 36.5m, 2000年)¹⁸⁾は昭和14年に着工し、太平洋戦争中に中断があったものの一部の計画変更を経て昭和26年に完成した中央コア型フィルダムであるが、集中豪雨による被害や老朽化が著しいことから洪水調節機能を付加するために形式 1-c)により約5m

の高上げを行った事例である。既設堤体は下流側ランダムゾーンにやや粗粒分が多いものの、各ゾーンの築堤材料に粒度分布に大差がなくほぼ均一型で、かなり緩んだ状態にあり遮水性も期待できない状態にあった。改修は、Fig.20に示す標準断面のように、堤体上流側に堤体高上げにより増加する浸透水圧に対して確実に遮水性を確保できる幅広の傾斜コアゾーンと堤体補強のために押え盛土によるランダムゾーンを築造し、堤体下流側に堤体補強のための二つの小段をもつ腹付け盛土的なランダムゾーンを築造している。傾斜コアゾーンは既設堤体内に納まるように既設堤体表層部を深く掘削除去してから置換え盛土をして築造し、ランダムゾーンは池敷内の土取り場からの築堤材料と洪水吐きや止水トレンチの掘削土により築造している。

堤体上流側法面はコンクリート格子砕石詰めにより保護し、法先ドレーンは既設堤体のリップラップ材を流用



Fig.19 宿の沢ダムの改修後の堤体上流側の状況
 Upstream view of Syukunosawa dam

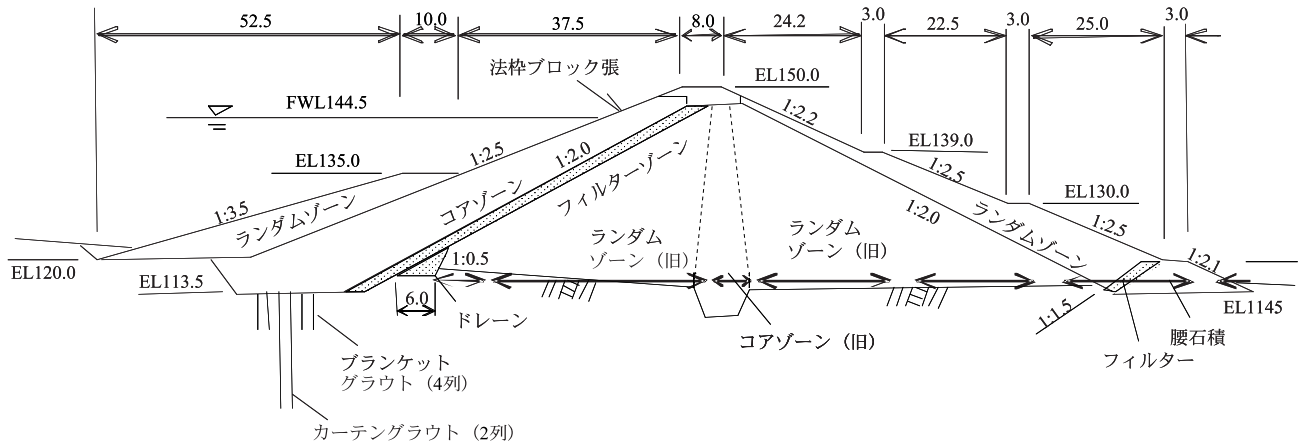


Fig.20 倉橋ダムの改修 (H=31.0 36.5m, 2000年)¹⁸⁾
 Cross section of Kurahashi dam (H=31.0 36.5m, 2000)

して築造した。また、基礎地盤はやや高い透水層の部分だけを幅広に掘り込んだ止水トレンチから最大26mの深さまでグラウチングにより止水処理を行った。なお、幅広の止水トレンチの採用は基礎地盤のグラウチングによる止水処理が部分的であるため浸透路長を大きくして動水勾配を低下させるためと思われる。Fig.21には倉橋ダムの改修後の堤体上流側の状況を示す。

形式₃の改修事例としてはFig.22に示す殿川ダム (H=37.0m, 1966年)^{19), 20)}があり、工業用水を供給するために貯水容量の増加を目的に既設堤体前面の池敷に中央コア型の嵩上げ堤体を築造した事例である。築堤材料には粘土やシルト質粘土を用いたため、施工中の過剰間隙水圧の消散と圧密促進のために3層の水平ドレーンを配置している。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堤体を築造した珍しい事例といえる。なぜなら、もとの池敷を堤体基礎とするための掘削により築堤材料に流用不能な底泥土のような不良土が大量に発生し、その処分が難しいからである。おそらく、堤体下流側に堤体付近まで市街化が進行して用地確保ができなかった、あるいは堤体下流側が未広

りな地形で新堤築造に大量の築堤材料量が必要になるなどの理由があったものと想像される。

堤体軸を下流側に移動させた改修形式

堤体軸を下流側に移動させる改修形式 ($c_L < 0$) は、



Fig.21 倉橋ダムの改修後の堤体上流側の状況
 Upstream view of Kurahashi dam

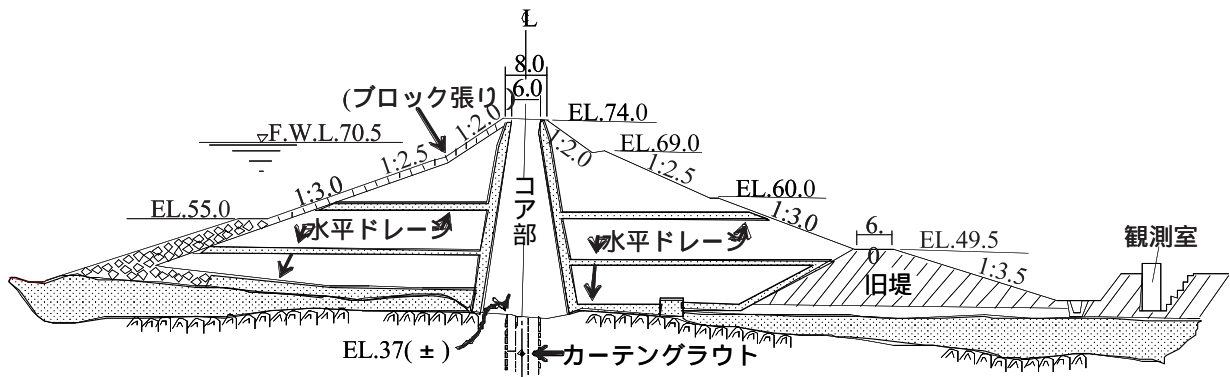


Fig.22 殿川ダムの改修 (H=37.0m, 1966年)^{19), 20)}
 Cross section of Tanokawa dam (H=37.0m, 1966)

前節で述べた形式₁~₃の場合と全く逆に下流側の既設堤体背面に嵩上げを行う場合であり、既設堤体に期待できる安定性や遮水性の程度や嵩上げ規模に応じて示す三つの改修形式がある。

改修形式₁は、Fig.23に示すように、既設堤体が十分な遮水性を有している場合に、既設堤体をそのまま活用して、既設のコアゾーンを新設堤体まで延長して背面に嵩上げ堤体を築造するものである。この改修形式は、上流側法先部の基礎掘削がなく貯水したままで嵩上げが可能であるが、既設堤体のコアゾーンを活用しており大幅な貯水容量増加による浸透水圧には対応できないことから小規模な嵩上げに限定されよう。

改修形式₂は既設堤体の遮水性に期待が持たない場合に採用されるもので、Fig.24に示すように、既設堤体背面に傾斜コアゾーンとシェルゾーンからなるゾーン型か、あるいはすべてコアゾーンからなる均一型の嵩上げ堤体を築造するものである。なお、堤体嵩上げではなく、堤体下流側だけの補強を行う場合にはコアゾーンを省いてシェルゾーンのみを築造するが、これは形式₁に含まれるものとする。

改修形式₃は貯水容量を大幅に増加させるような大規模な嵩上げに採用されるもので、Fig.25に示すように、既設堤体を仮締切り堤としてのみ活用し、堤体背面に安定性と遮水性を単独で有する中央コア型堤体を

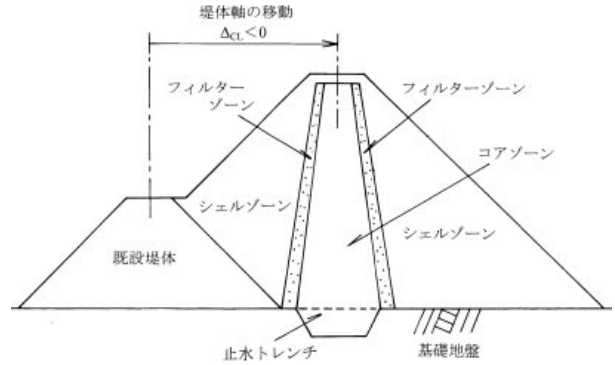


Fig.25 堤体軸を下流側に移動させた改修形式₃
Rehabilitation type moved the dam axis to downstream side₃

築造するものである。大規模な堤体嵩上げに対応した既設堤体や基礎地盤に作用する浸透水圧の増加に対応した遮水性や水理的安定性を確保することが必要で、基礎地盤へのグラウチング処理の検討が必要なのは前章で述べた形式₃の場合と同様である。

1 小規模な貯水容量増加のための嵩上げ事例

改修形式₁に属する事例は老朽化した堤体では確実な遮水性が期待できない場合が多いことから適用例がないようである。

改修形式₂のうち、既設堤体背面に均一型により堤体嵩上げをした事例として以下に示す四つがある。

雨煙内ダム (H=14.6 26.8m, 1986年)²²⁾は昭和4年に堤高H=11mで築造された中央コア型フィルダムを昭和8年にさらに3.6m嵩上げされたものであるが、さらにFig.26に標準断面を示すように、貯水容量を増加させるために堤体背面に表層部約1m部分を剥ぎ取ってから12mの嵩上げを行った事例である。既設堤体はゾーン間の築堤材料に差が少なく均一型に近い状態にあった。嵩上げ堤体は、堤体上流側の表層部を掘削除去してから砂礫質土により押え盛土をして安定化させ、堤体背面に粘性土により均一型として築造された。堤体内には浸透水の浸潤面を低下させるために鉛直フィルタードレーンを配置し、これを法先ドレーンに接続させている。基礎地盤は嵩上げ堤体の上流側底面に設けた止水トレンチから最大深さ10mまでグラウチングにより止水処理をしている。Fig.28に雨煙内ダムの改修後の堤体上流側の状況を示す。

大谷地ダム (H=17.7 23.2m, 1991年)²²⁾は貯水容量を約3倍に増加させるために、Fig.27に示す標準断面のように、既設堤体背面に均一型の約5.5mの堤体嵩上げを行った事例である。既設堤体は堤長が約1800mと長い掘り込み型の全周型堤体のため、池側に堤体を築造すると嵩上げをしても効率的に貯水容量を増加できないことから堤体背面に嵩上げ盛土を築造したものである。施工は豪雪地帯のため年間のうち5月から10月までの6ヶ月間のみ可能である、また貯水池は非灌漑期の9月中旬から12月中旬の間だけが空にできるという制約条件下で行

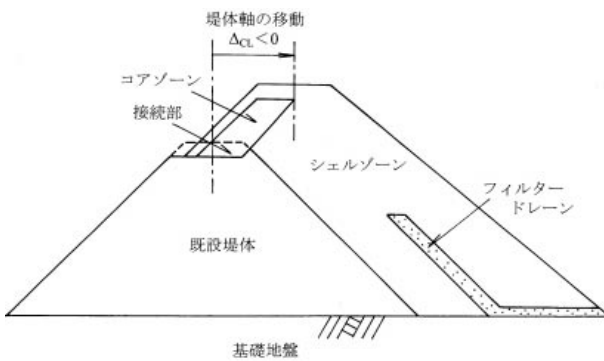


Fig.23 堤体軸を下流側に移動させた改修形式₁
Rehabilitation type moved the dam axis to downstream side₁

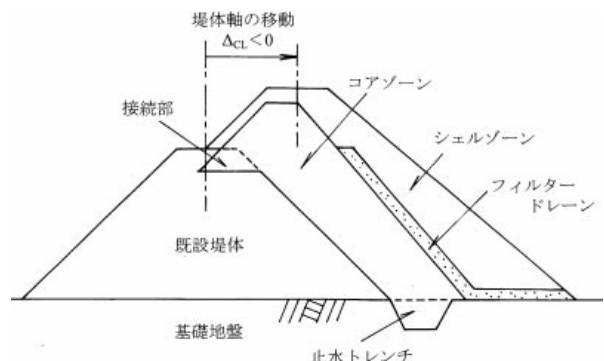


Fig.24 堤体軸を下流側に移動させた改修形式₂
Rehabilitation type moved the dam axis to downstream side₂

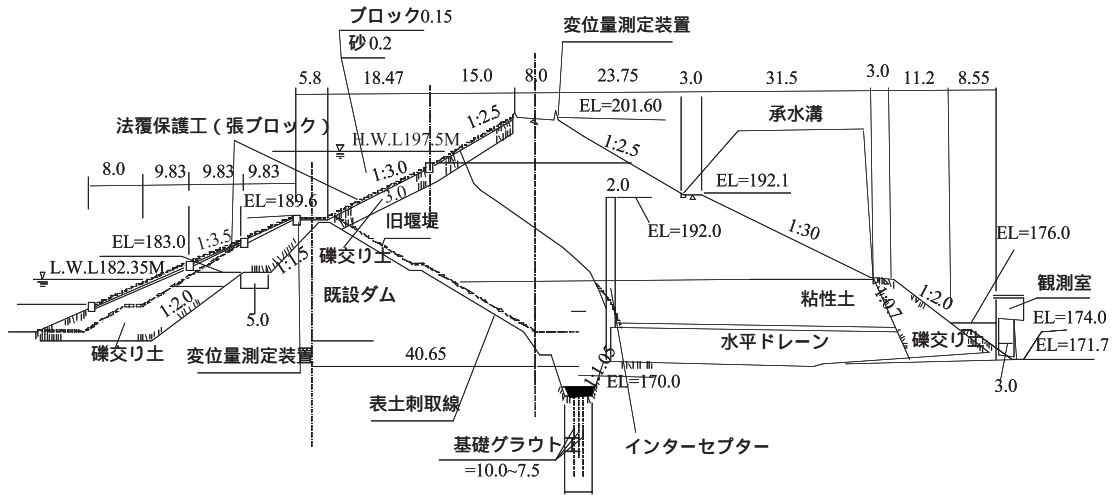


Fig.26 雨煙内ダムの改修 (H=14.6 26.8m, 1986年)²¹⁾
 Cross section of Uen-rai dam (H=14.6 26.8m, 1986)

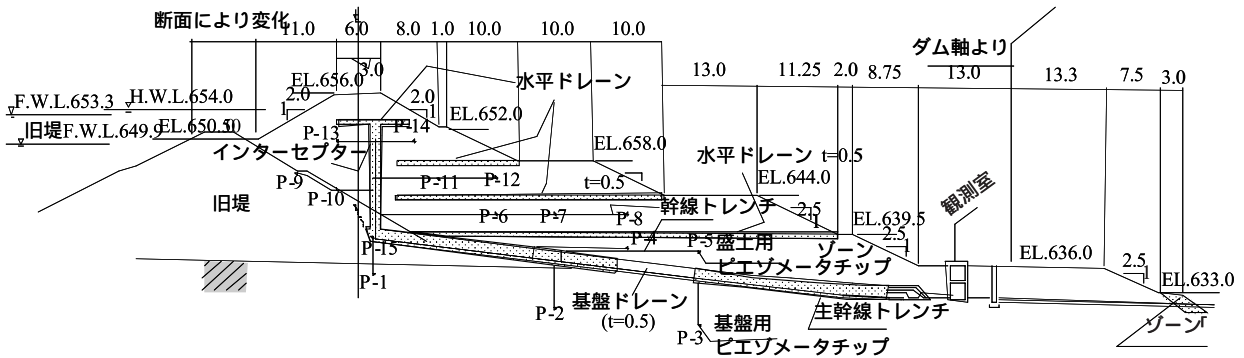


Fig.27 大谷地ダムの改修 (H=17.7 23.2m, 1991年)²²⁾
 Cross section of Oiyachi dam (H=17.7 23.2m, 1991)



Fig.28 雨煙内ダムの改修後の堤体上流側の状況
 Upstream view of Uen-rai dam

われた。築堤材料は高含水比で軟弱なロームを使用したため、築堤中に生じた過剰間隙水圧を消散させるために水平ブランケットを最大4層配置し、さらに幅広の小段を最大3段設置して堤体の安定性を確保している。

白川ダム (H=25.5 30.m, 1996年)²³⁾ は昭和8年に

築造された均一型フィルダムであるが、下流域の市街化の進行により必要になった洪水調節機能を付加させるために堤体高上げをした事例である。堤体高上げは、Fig.29に示す標準断面のように、既設堤体が漏水もなく上・下流側とも安定した良好な状態にあったことから、

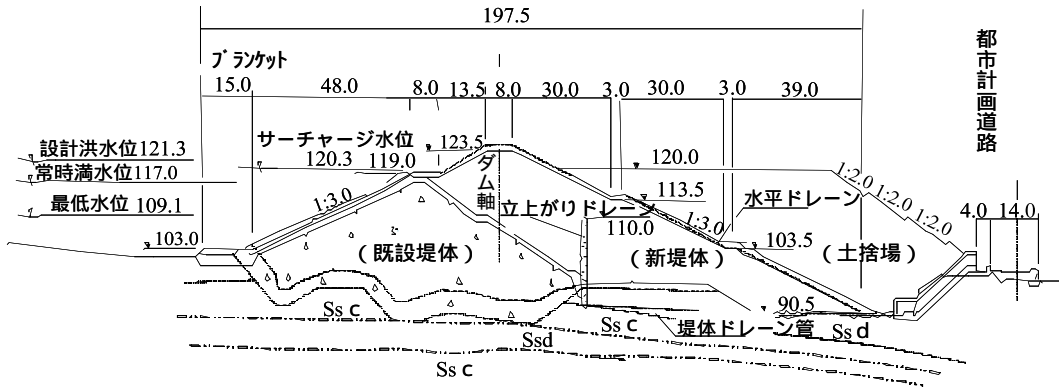


Fig.29 白川ダムの改修 (H=25.5 30.0m, 1996年)²³⁾
 Cross section of Shirakawa dam (H=25.5 30.0m, 1996)



Fig.30 白川ダムの改修後の堤体上下流側の状況を示す
 Upstream view of Shirakawa dam

既設・新設堤体を一体化させるために均一型として改修したものである。築堤材料は貯水池内の中央部に突き出た尾根部や洪水吐き部の掘削発生土を使用している。改修後の堤体は既設堤体の堤頂面を小段として、これより上層の嵩上げ部は洪水調節容量に相当する一時的な貯水部分ということでコアゾーンのような確実な遮水性部を配置していないことに特徴がある。また、下流側には浸潤線を低下させるための鉛直ドレーンを配置している。Fig.30に白川ダムの改修後の堤体上流側の状況を示す。

狭山池 (H=17.1 18.5m, 2001年)^{24)~25)}は過去に数々

の決壊や改修を経ている日本最古のフィルダムで、Fig.31に示す標準断面のように、平均で約1.1mの堤体嵩上げと池底約3mの掘削により洪水調節容量を増加させた事例である。狭山池では、施工中でも灌漑機能を維持する必要から池敷掘削などの大半の工事を非灌漑期に実施したが、本堤体の築造や洪水吐き改築の施工が一年を通じてできるように二段のタイロッドで鋼矢板を固定した幅10~12mの二重締切り堤を築造してドライエリアを確保した。既設堤体は安定性に問題があったため、堤体上流側に補強と遮水のために押え盛土的な傾斜コアゾーンを池敷掘削土のうち砂質粘性土により築造し、堤体下流側に嵩上げ盛土を池敷と洪水吐き部から掘削した砂質土により築造した。

基礎地盤は砂礫層と粘土層の水平互層からなりやや高い透水性を示すことから、基礎地盤への浸透水対策としたブランクットを堤体下流側に幅約100mにわたって施工した。下流側ブランクットの利点は、基礎浸透水による揚圧力対策となる押え盛土の築造に、堤体築造に使用できない池敷掘削土約17万³の残土処分地として利用できることである(押え盛土上の用地は公園等のオープンスペースとして利用)。

形式₂に属し既設堤体背面に傾斜コアゾーンとシェルゾーンからなるゾーン型堤体により嵩上げた事例として、現在施工中の杵臼ダム (H= 18.7 25.5m, 2007年完成予定)²⁷⁾があり、Fig.32にその標準断面を示す。杵

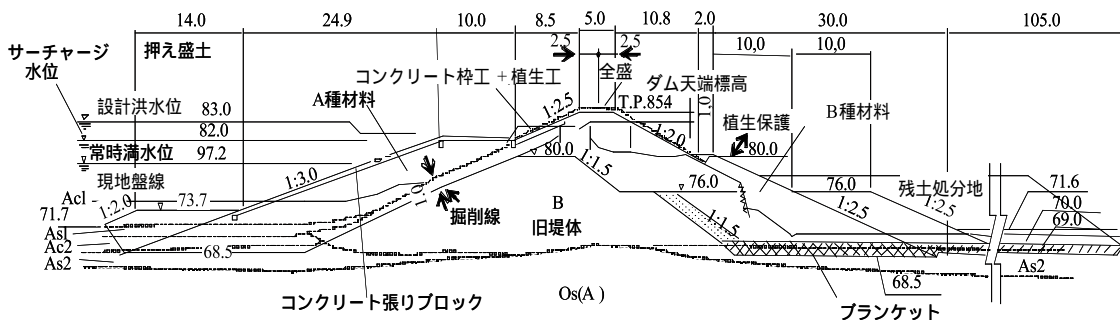


Fig.31 狭山池の改修 (H=17.1 18.5m, 2001年)^{24)~25)}
 Cross section of Sayama-ike dam (H=17.1 18.5m, 2001)

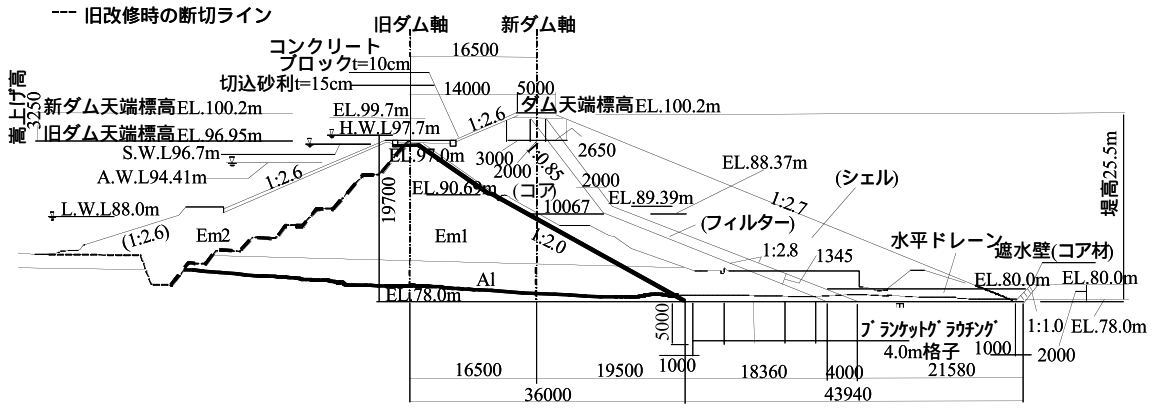


Fig.33 杵臼ダムの既設堤体と嵩上げ予定位置の状況
 Upstream view of Kine-usu dam

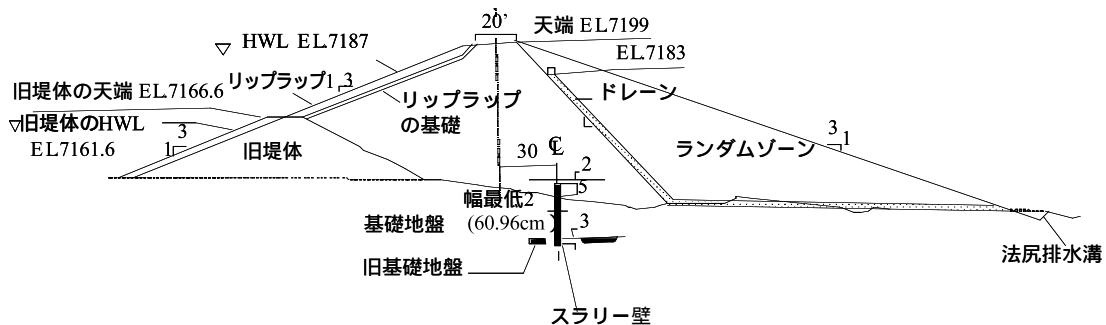
杵臼ダムは既設堤体が概ね良好な遮水性を有しているものの、嵩上げ堤体に対して確実な遮水性を確保させるために既設堤体背面にコアゾーン、フィルターゾーン、そしてシェルゾーンを築造している。基礎地盤は表層部に高透水性部があったことからブランケットグラウチングを施してコアゾーン底面と基礎地盤を密着させて止水処理を行っている。Fig.33に杵臼ダムの既設堤体とその下流側の嵩上げ予定位置の状況を示す。

形式₂による海外の改修事例はSulphur Creek池 (H=15.5 25.3m, 1988年)²⁸⁾があり、もともとH=13.7mから15.5mまで嵩上げされていた堤体を、さらに貯水容量を増加させるためにFig.34標準断面を示すように約10m嵩上げしたものである。新設堤体のコアゾーン底面中央部にセメントベントナイトからなる止水壁を設けて基礎地盤の止水性を確保し、かつコアゾーンと下流側堤体の安定性を受け持つシェルゾーンとの間には浸透水の浸潤面を低下させるためのドレーンが配置されている。

2 大規模な貯水容量増加のための嵩上げ事例

改修形式₃により大規模な嵩上げをした事例として次に紹介する3例がある。

黒谷ダム (H=30.8 43.6m, 1989年)²⁹⁾は昭和10年に築造された中央コア型フィルダムであるが、灌漑用水の安定供給と洪水機能の付加を目的とした貯水容量を増加させるための堤体嵩上げを行った事例である。既設堤体は十分な遮水性のあるコアゾーンとこれより粗粒分を多く含む築堤材料によるランダムゾーンからなるが、各ゾーンともに築堤材料に大差がなく均一型に近い構造となっていた。しかし、既設堤体は、全体的に締固め状態が低く堤体嵩上げによる有害な圧縮沈下の可能性が懸念されたので、堤頂部を傾斜状に掘削除去して安定化させた



仮締切り堤として活用しただけで、堤体軸を下流に大きく移動させて、Fig.35に示す標準断面のように、既設堤体背面に中央コア型の嵩上げ堤体を築造した。基礎地盤はダム基礎としては良好であったが、一部に透水性の高い部分あったことから、コアゾーン底面から最大深さ25mまでをグラウチングによる止水処理を施している。

永池ダム (H=17.8 34.8 m, 1996年)³⁰⁾は三つの重ね池の最上流部にあたる既設ため池を洪水調節機能を付加して防災ダムとして改修したものである。改修は、Fig.36に示す標準断面のように、既設堤体の安定性や遮水性が堤体嵩上げによる浸透水圧増加に対応できないことから、堤体軸を下流に大きく移動させて中央コア型堤体を新設し、かつ既設堤体上流側を掘削により緩勾配化

して安定化させている。コアゾーンは貯水池上流左岸側傾斜地の土取り場から入手した風化安山岩系の築堤材料により、半透水ゾーンはダムサイト付近に確保した土取り場からの築堤材料と洪水吐き部などの掘削土により、また透水ゾーンは土取り場や洪水吐き部を掘削した安山岩系の岩砕・岩塊によりそれぞれ築造した。基礎地盤はダム基礎として強度上の問題はなかったが、浸透水量の抑制と浸透経路を長くして動水勾配を低下させるために止水トレンチから深さ約10mまでをカーテングラウチングにより止水処理を実施した。

山王海ダム (H=37.4 61.5m, 2001年)^{31)~34)}は昭和27年に築造された灌漑用ダムであるが、用水需要の増加に対処するために堤体嵩上げを行った事例である。既設

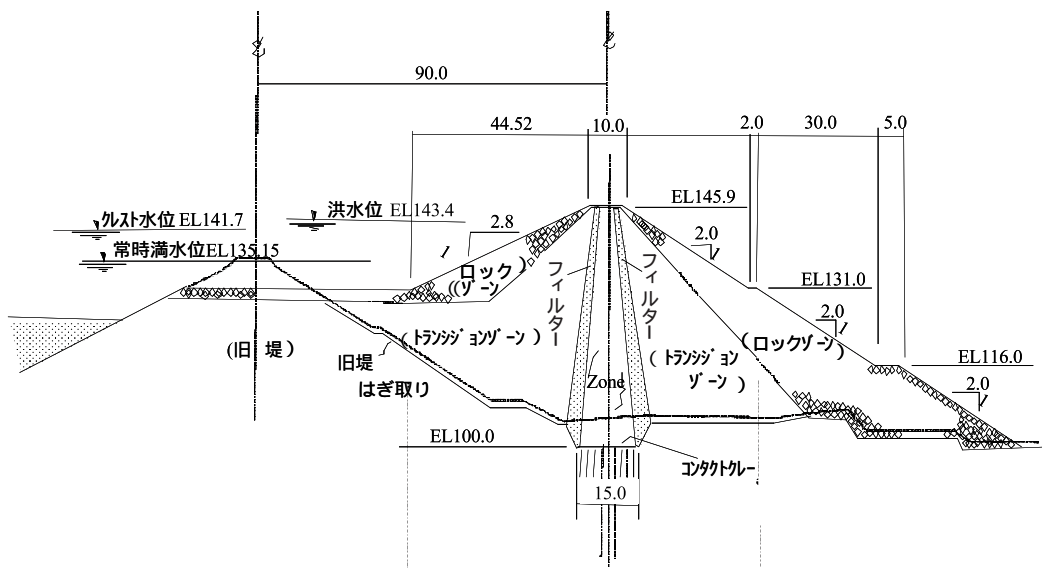


Fig.35 黒谷ダムの改修 (H=30.8 43.6 m, 1989年)²⁹⁾
Cross section of Kurotani dam (H=30.8 43.6m, 1989)

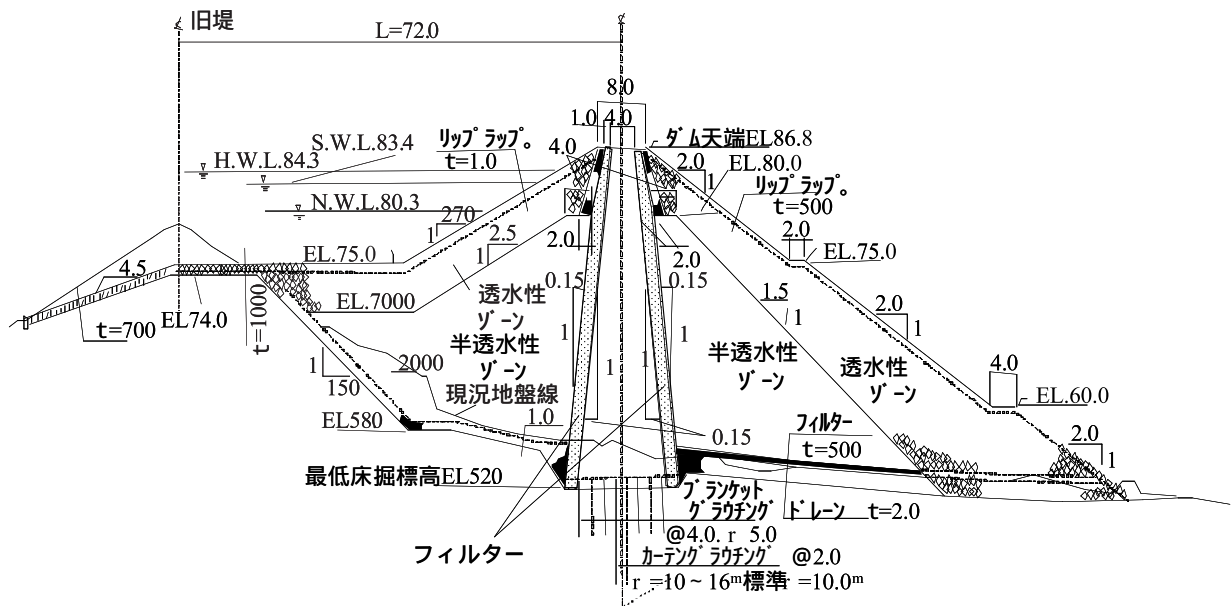
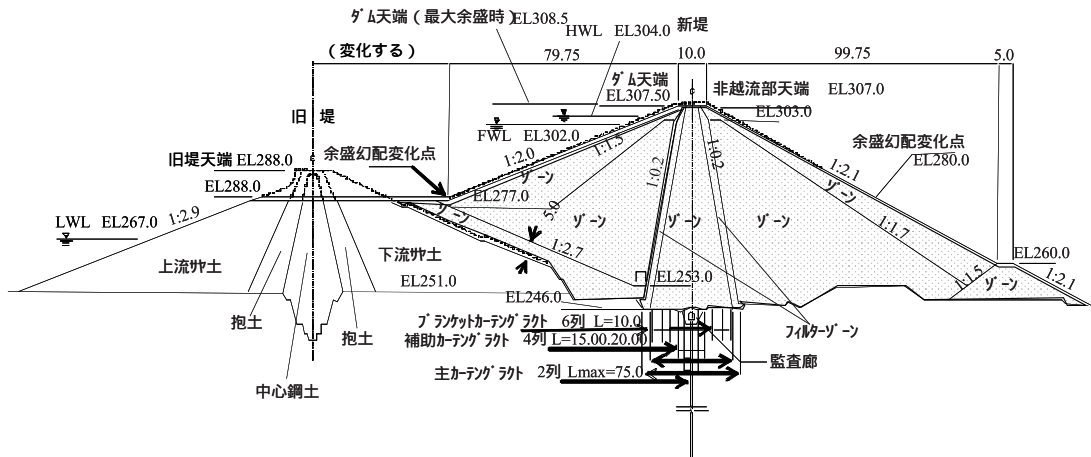


Fig.36 永池ダムの改修 (H=17.8 34.8 m, 1996年)³⁰⁾
Cross section of Nagaike dam (H=17.8 34.8 m, 1996)

Fig.37 山王海ダムの改修 (H=37.4 61.5m, 2001年)³¹⁻³⁴⁾

Cross section of San-noukai dam (H=37.4 61.5m, 2001)

堤体は中央コア型フィルダムであるが、コアゾーンとランダムゾーン（抱土・鞘土）ともに大差ない築堤材料から築造されており均一型に近い状態にあった。改修は、既設堤体が調査の結果から大規模な嵩上げに対して十分な安定性と遮水性に期待ができなかったこと、施工期間中でも用水供給を維持する必要があったことから、既設堤体を仮締切り堤としてだけ活用することとし、Fig.37に示す標準断面のように、堤体背面に単独で堤体安定性と遮水性をもつ中央コア型の嵩上げ堤体を築造したものである。嵩上げ堤体は中央コア部をゾーン、既設堤体との間に緩衝機能をもつゾーン、嵩上げ堤体の安定化機能を受け持つゾーンとゾーンからなり、ゾーンはダムサイト付近に確保した土取り場から入手したローム質土にダムサイト上流の河床砂礫土を合わせた混合土により、ゾーンは池敷を掘削した河床砂礫により、ゾーンは洪水吐き部や池敷からの掘削土により、ゾーンは近くで築造中の葛丸ダムに使用していたロック材によりそれぞれ築造された。なお、山王海ダムの堤体構造は黒谷ダムや永池ダムと同様の中央コア型としたが、これは嵩上げ規模が大きく堤高H=50mを超えるために必要になった監査廊を配置しやすいことも理由のひとつと考えられる。また、新設の嵩上げ堤体は規模が大きく、良質な築堤材料により築造されたため、既設堤体との間に強度や変形性に大きな差が生じるので、これを緩和させるための緩衝ゾーンを設けている。

3 堤体補強のための小規模な嵩上げの事例

これまでに築造されている堤体下流側の法面勾配は上流側に比較すると平均で5分程度急な場合が多いとされているが³⁵⁾、形式₁はこのような場合に堤体下流側だけを補強するのに適している。これは堤体上流側の安定性が確保され、かつ下流側に用地を確保できる場合には貯水しながら堤体背面だけで補強できる利点がある。

村山下貯水池 (H=32.6 33.3m, 2008年完成予定)³⁶⁾は現在施工中であるが、Fig.38に標準断面を示すように、

既設堤体の下流側のみを腹付け盛土をして形式₁により耐震補強をした事例である。既設堤体はコアゾーンとランダムゾーンのようにゾーニングされているものの両ゾーンともに同様な築堤材料からなり均一型に近い状態にあった。村山下貯水池は改修工事施工中でも用水供給を維持する必要があったが、堤体上流側の安定性は確保されていたことから問題とならなかった。ここで特徴的なのは、下流側の用地不足を克服するためにFig.38に示した補強盛土壁工法を採用して、下流側法面を緩勾配化して安定性を確保したことである。堤体下流側の補強は既設堤体との間にフィルタードレーンを配置し、補強盛土背面から既設堤体からの掘削土に購入した砕石や砕砂を混合して粒度調整土により腹付け盛土を築造し、堤頂部の3mだけを地震時の加速度増幅に耐えられるようにセメント改良土により築造している。海外では以下に示すような事例がある。

Troneras ダム (H=38.0 41.0m, 1992年)³⁷⁾は洪水調整容量を増加させるためにFig.39に示す標準断面のように約3mの嵩上げを行った事例で、新設堤体はシルト質砂により築造したことから、施工中に生じる過剰間隙水圧を消散させるための3層の水平排水ブランケットを配置している。

Chollas ダム³⁸⁾は堤体下流側付近の粘土質砂層からなる基礎地盤が地震時に液状化する可能性があったことから、Fig.40に示す標準断面のように、基礎地盤を掘削除去し、幅広の腹付け盛土を築造して補強した事例である。既設堤体と腹付け盛土の間には、浸潤面を低下させるために、頂部位置を貯水位と同じにした1.8m幅のチムニードレーンが配置されている。

STEVENS CREEKダム (H=36.0 39.3 m)³⁹⁾は堤体の地震時の安定性が確保できない場合の事例で、Fig.41に標準断面を示すように、堤体上流側に補強のために押え盛土、下流側に腹付け盛土を築造して耐震補強としたものである。

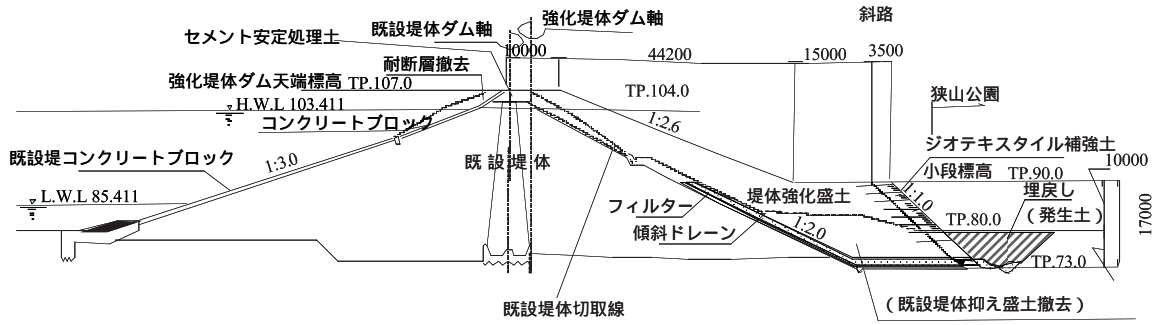


Fig.38 村山下貯水池の改修 (H=32.6 33.3m, 2008年完成予定)³⁶⁾
 Cross section of Murayama-sita dam (H=32.6 33.3m, 2008 (under construction))

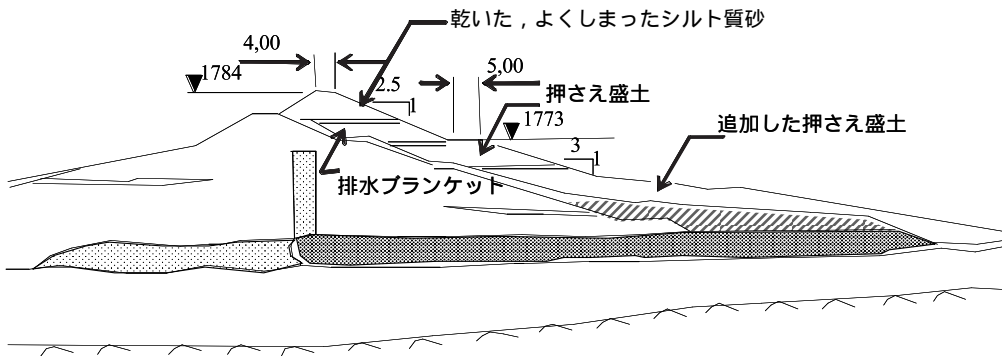


Fig.39 Tronera ダムの改修 (H=38.0 41.0m, 1992年)³⁷⁾
 Cross section of Tronera dam (H=38.0 41.0m, 1992)

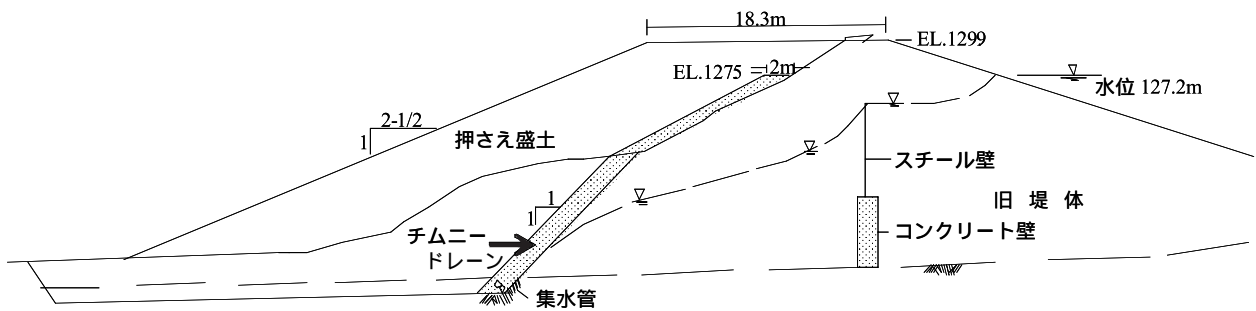


Fig.40 Chollas ダムの改修³⁸⁾
 Cross section of Chollas dam

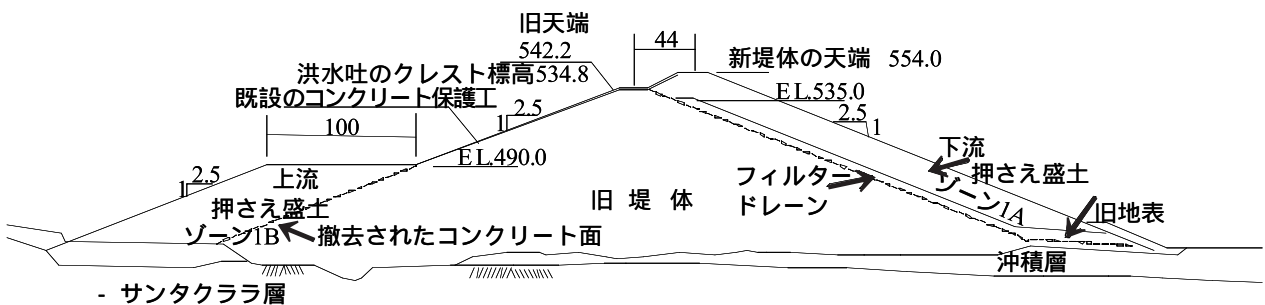


Fig.41 Stevens Creek (H=36.0 39.3m) ダムの改修³⁹⁾
 Cross section of Stevens Creek dam (H=36.0 39.3m)

設計・施工上の留意点

改修された老朽化フィルダムにおける既設堤体は、これまでに見てきたように、均一型あるいは中央コア型であっても各ゾーン間の築堤材料に大差なく均一型に近い断面構成をしているものがほとんどである。これは、築造年代が古いほど、ダムサイト付近で経済的に入手できる築堤材料のうち、遮水性を得やすい細粒分が多いものをコアゾーンに、残りをシェルゾーン(ランダムゾーン)に配分して使用することを基本とし、近年のフィルダムのように各ゾーンの機能に応じて粒度や強度を明確に区分して築堤材料を配置しなかったからであろう。このため、中央コア型であってもコアゾーンとその両側ゾーンの間にはフィルターゾーンが配置されていないのがほとんどである。

小規模なフィルダムであるため池 ($H < 15\text{m}$) は昔から堤体補強や嵩上げが繰り返し行われてきており豊富な経験を有しているが、堤体のほとんどが均一型であるため、そこで採用された改修技術はフィルダムの改修にも参考になるものと思われる。特に、改修規模が小さい堤体の補強や漏水防止はため池で採用されている方法と多くの共通点がある。しかし、改修規模が大きい堤体嵩上げでは、嵩上げに伴う浸透水圧の増加に対して既設堤体の安定性や遮水性が期待できない場合、あるいは基礎地盤の水理的安定性に不安が残るなどの課題がある。この場合には新規にフィルダムを築造する場合を参考にして嵩上げに適した経済的、かつ効率的な改修技術の確立が必要であろう。

フィルダムの堤体改修は対象となる個々のダムにおける既設堤体が有する安定性や遮水性、基礎地盤条件、その置かれた周辺の地形や流域特性、貯水池条件などに規定される特有の制約条件を反映させて行う必要があり、平均的な議論をすることが難しいが、以上の改修事例の調査結果から既設堤体の補強や漏水防止、あるいは嵩上げを行うときに考慮された設計・施工上の留意点について述べたい。

1 既設堤体の活用

堤体改修を経済的かつ効率的に実施するには既設堤体をうまく活用することが重要であるが、その活用する程度は改修目的により異なる。既設堤体の補強や漏水防止を行う際には、既設堤体が有する安定性と遮水性に応じて、表層部の劣化した部分を除去するなど整形してからコアゾーンやシェルゾーンを築造することになるが、既設堤体を積極的に活用することが前提となる(蛭沢ダム、大正池、宿の沢ダム、倉橋ダムなど)。これに対して、貯水容量増加を目的とした堤体嵩上げでは、既設堤体の活用程度は既設堤体に期待できる安定性や遮水性よりも嵩上げ規模により異なる。嵩上げ規模が既設堤体の堤高と同程度かそれ以下の場合には、既設堤体を改修後の堤

体の一部として活用するが(雨煙内ダム、大谷地池、白川ダムなど)、嵩上げ規模が既設堤体の堤高以上の規模になると仮締切り堤程度の部分的活用にとどめられている(黒谷ダム、永池ダム、山王海ダムなど)。

既設堤体は改修による新設堤体と築造時期が異なるが、単に時間的に異なるだけでなく築造時に適用された設計基準や施工技術が異なっており⁴⁰⁾、近年に築造された堤体に比較すると締固め程度が低い場合が多い。また、既設堤体は築堤当時の設計・施工に関する資料が少ないか、あるいは散逸してしまったために、堤体と基礎地盤に関する力学的・水理的な情報を入手しにくいことが多い。したがって、改修による新設堤体は既設堤体や基礎地盤が有している強度・水理的安定性を正確に把握し、それに依りて断面構成を検討しなければならない。既設堤体が活用するのに値しない程度の安定性や遮水性状態であれば完全に撤去してしまうことも選択肢の一つとして考えられる(御料ダム⁴¹⁾など)。

既設堤体は改修工事に伴って表層法面などを部分的に掘削した状態、あるいは止水トレンチを掘削した状態が最も危険な状態になるが、安全施工のためには施工中の既設堤体の安定性についても十分な配慮が必要となる。

2 築堤材料の確保と掘削発生土の流用・処分

堤体改修では所要の強度や遮水性を有する築堤材料をダム近傍で確保しなければならないが、必要とされる築堤材料量が改修規模や改修形式により大きく異なる。改修規模が堤体補強や漏水防止のように小さい場合には、池敷内等のダムサイト内の土取場からの築堤材料だけで足りることが多い(狭山池、山口貯水池、白川ダムなど)。特に、洪水吐き部や止水トレンチ部からの掘削は必要とされる築堤材料に占める割合は新規工事に比較すると相対的に高く、かつ岩盤まで掘り下げるのでシェルゾーンに流用できる比較的良質な築堤材料が入手できる。これに対して、改修規模が貯水容量の大幅な増加のための堤体嵩上げのように大きい場合には、大量の築堤材料を必要とし、ダムサイト内だけからの入手では不足し、さらにダムサイト外に土取り場を確保する必要がある(黒谷ダム、永池ダム、山王海ダムなど)。入手可能な築堤材料のうち遮水性を有するものはコアゾーンに、それ以外の粗粒土はシェルゾーンに配分して使い分けることになるが、シェルゾーンに使用する築堤材料は可能な限り改修工事に伴ってダムサイト内で発生する土を流用することにし、築堤材料の強度特性が均一でない場合でもランダムゾーンとして使用し、場外からの築堤材料入量を最小限に抑えることが重要である。

築堤材料として流用不能な不良土が改修規模や改修形式に応じて発生することになるが、土捨て場の確保が難しくなっている最近の状況を考えると、不良土の場外処分が大きな問題となる。堤体上流側を補強や漏水防止を行う場合、特に堤体軸を上流側に移動させる $c_L > 0$

による改修では、堤体付近の池敷掘削が必要になる築堤材料に流用しにくい底泥土が大量に発生する(蛭沢ダム、大正池、光明池、山口貯水池、宿の沢ダム、倉橋ダムなど)。 $c_L > 0$ で改修規模が大きい形式₃により改修した殿川ダムでは大量の底泥土が発生したものと思われる。底泥土は一般に高含水な超軟弱粘性土であるが、土捨て処分するためには運搬可能な状態までセメント等の固化材を添加するなどして改良が必要となる。

ダムサイト外からの築堤材料の搬入や、流用不能な発生土のダムサイト外処分のための搬出は大量のダンプ運搬を伴うが、ダンプ運搬は排気ガス、騒音・振動や渋滞などの交通障害を発生させるなど近隣に及ぼす環境負荷を考えると、市街化がある程度進んだ地域にあるフィルダム(例えば、山倉ダム、山口貯水池、村山下貯水池など)ではほとんど不可能になってきている。このような場合には、改修に必要な築堤材料はダムサイト内で確保する、築堤材料に流用不能な不良土はダムサイト内で処分することが原則的に必要になってくるものと思われる。例えば、光明池や山倉ダムでは発生した底泥土は場内で捨土処分している。

3 法面勾配

堤体の補強や漏水防止の場合には堤体上流側に傾斜コアゾーンを築造した事例が多いが(蛭沢ダム、大正池、宿の沢ダムなど)、特に遮水性が期待できない既設堤体を嵩上げする場合には浸透水圧の増加に対して十分な遮水性を確保するために幅広のコアゾーンが採用されることになる。コアゾーンには遮水性に優れた築堤材料が使用されるが、このような土は強度が低いためにすべり面がコアゾーン内を長く通るようになるので、堤体の安定性を確保するには法面勾配を緩くする必要があり。コアゾーンの法面勾配を緩くした場合には、改修に大量の築堤材料量が必要になること、貯水容量の減少を招いてしまうことを考慮しておかなければならない。

堤体の法面勾配は安定計算により決定されるが、計算結果には築堤材料の強度パラメータのうち粘着力の影響が大きく、粘着力は正確に評価される必要がある。しかしながら、砂や粘性土のような教科書的に理想的な土質材料の粘着力は有効応力状態において非常に小さいか、あるいは試験精度からするとゼロとみなせるものと思われる。これに対して、フィルダムで使用される築堤材料は砂や粘性土よりも粗粒分が多く、粒子破碎も無視できないような土質材料であり、締め固めた時の粘着力は圧密あるいはせん断中の粒子破碎や土粒子間のかみ合せ効果などの影響により砂や粘土よりも大きな粘着力が発揮されると考える方が自然な場合が多い。築堤材料の粘着力は三軸圧縮試験により精度よく調べることは容易ではないが、試験精度上から考えて安易に粘着力をゼロとすると、安定計算による法面勾配が非現実的になってしまうことが見受けられる。合理的な堤体改修を実施するに

は、既設堤体や基礎地盤の強度や遮水性の正確な調査法の確立と同時に、築堤材料の粘着力を精度よく求められる強度試験法の確立も必要と思われる。

4 付帯構造物の改修に関する問題

洪水吐き、取水施設などの付帯構造物の改修は、堤体の補強あるいは漏水防止の場合と、貯水容量増加のための堤体嵩上げの場合とで取扱いが異なる。

堤体の補強や漏水防止の場合には堤体嵩上げ量が少ないので、既設の洪水吐きや取水施設は可能な限り活用することが原則となる。しかしながら、洪水吐きが新基準に合致していない、あるいは必要とされる取水容量に不足する場合には、洪水吐きや取水施設も改築する必要があるが、その場合には既設のものを撤去した位置に拡幅するなどして活用することが多い。

これに対して、貯水容量増加のための堤体嵩上げでは、洪水吐きでは既設のものを撤去して、新しい貯水位付近の標高の高い場所に所定の容量をもつように新設することになる。また、取水施設は改修後の堤体の配置や規模により、新たに位置選定をして新設することになる。したがって、改修による新設堤体の位置決定には新設する洪水吐きや取水施設の配置も考慮して総合的に決めなければならない。

なお、付帯構造物の工事費が全体工事費に占める割合は、新規にフィルダムを建設する場合でも高いが、堤体工事が部分的である改修工事では全体工事に占める割合が相対的に高くなるため、その位置選定には掘削が必要な築堤材料量以上に増加しないようにするなど十分な検討が要求される。

5 堤体下流側用地の確保

一般に、フィルダムでは下流側法面が上流側よりも急勾配で築造されていることが多く(平均で0.5割程度急とされている)³⁾、下流側法面の補強が必要となる場合が多い。堤体下流側を補強するには押え盛土や腹付け盛土からなるシェルゾーンを築造することになるが、このためには堤体下流側に新たな用地が必要となってくる。

平地に設けられたフィルダムでは堤体下流側付近まで市街化が進行しているのが見受けられるが(山倉ダム、村山下貯水池など)、このような場合には下流側に新たな用地が確保できないかあるいは限定されるので、堤体軸を上流側に移動させて、既設堤体を切り取って緩勾配にするか、補強土壁工法により法先部を嵩上げする(村山下貯水池)などして補強しなければならない。なお、下流側用地を確保する必要性は次の施工中の貯水条件も関係している。

6 施工中の貯水条件

フィルダムは老朽化していても供用中であるのが普通であり、改修中であっても用水供給を維持しなければな

らないことも少なくない(山王海ダム、村山下貯水など)。また、灌漑期間だけに用水供給を維持する必要があることもある(蛭沢ダム、狭山池、大谷地池など)。このような制約条件は新規のフィルダムの建設ではなく、改修工事に特有のものである。

堤体下流側だけで改修が可能な場合には、既設堤体は仮締切り堤として貯水したまま形式₁~₃を基本とした改修を行うことになる(山倉ダム、狭山池、山王海ダム、村山貯水池など)。これに対して、施工中に用水供給が必要で、かつ堤体上流側の改修も必要な場合には、池内に仮締切り堤を設けて部分的に貯水をしながら、既設堤体とその上流側の仮締切り堤の間の池敷部はドライエリアとしなければならない(狭山池、山口貯水池など)。なお、池内に貯水する必要がある場合には、池敷内を掘削発生土の仮置きヤードとして、あるいは複数の築堤材料の混合ヤードなどに使用できないことになり、改修工事実施上の制約になることにも配慮しなければならない。

7 基礎地盤の水理的安定性と止水処理

基礎地盤は自然に形成されたものであるため強度や透水性が均一な状態にあることはまれで、改修後の堤体を貯水圧に対して十分な強度と水理的安定性をもつように軟弱部の除去のような基礎処理あるいは止水処理を行うことが基本となるが、改修規模にも関係する。止水処理はコアゾーン底部を基礎地盤内の不透水域まで掘り込んだ止水トレンチにより行うが、不透水域が深い場合には止水トレンチ底面からグラウチングによる止水処理を行う必要がある。改修規模が小さい場合には止水トレンチの幅を広くして浸透経路を長くして動水勾配を小さくすることで対処できる場合もある(宿の沢ダム)。堤体嵩上げのように改修規模が大きい場合は増加する浸透水圧が大きいため、グラウチングによる止水処理が採用されることが多い(雨煙内ダム、黒谷ダム、永池ダム、山王海ダム)。改修規模にかかわらず、基礎地盤の止水性が著しく不良な場合には幅広の止水トレンチとグラウチング処理を併用することになる(蛭沢ダム、大正池、倉橋ダムなど)。

8 既設・新設堤体の接触部の処理

既設堤体と改修による新設堤体は、堤体の補強や漏水防止、あるいは嵩上げなどの改修目的に関係なく一体化させることが重要であり、新旧堤体境界面の施工は慎重に行われなければならない。既設堤体は築造後の経年変化により全体的に安定化してはいるが、表層部は強度劣化して緩んだ状態にある場合が多い。このため、既設堤体表層部の緩み部分は掘削除去して、新鮮な堤体面に新設堤体を密着させなければならないが、改修規模からすると次のことがいえよう。

改修規模が小さい堤体の補強や漏水防止の場合には、新設堤体は築堤材料には既設堤体と大差のない築堤材料

により築造されることが多いので、既設堤体表層の劣化部分を除去するだけで、新設の堤体を密着させることは可能と思われる。一方、貯水容量増加のための嵩上げのように新設堤体の規模が大きい場合には、嵩上げ堤体は良質な築堤材料により築造される必要があるため、既設堤体との間に強度や変形性に大きな差が生じないようにこれらの中間の性質をもつ築堤材料による緩衝ゾーンを設けることも検討しなければならない(山王海ダム)。

9 法面保護工

改修後の堤体上流側法面は波浪侵食、貯水位低下時の表層土の流失や気象作用による劣化を防止するために保護工を設ける必要があるが、変形に対する追従性が良いなどの理由から捨石工や張石工が理想的である。しかし、改修規模が小さい場合には土取り場規模も小さく捨石材に適した新鮮な岩石を入手しにくいと、張ブロックやコンクリート法枠石詰工などを用いることが多い(山口貯水池、蛭沢ダムなど)。宿の沢ダムのように捨石を購入して保護工とした例もある。一方、改修規模が大きい場合には大量の築堤材料を必要とするため、本格的な規模の土取り場が必要となるので捨石材を入手しやすく、捨石工による保護工を採用しやすい(黒谷ダム、永池ダム、山王海ダム)。

砕・転圧盛土工法による堤体改修の検討

筆者らは、老朽化したフィルダムの場合と共通した問題を抱える老朽化したため池の堤体改修を対象として、堤体改修と底泥土の除去処分を同時に達成できる砕・転圧盛土工法を開発している^{42)~45)}。この工法は池内に堆積した底泥土にセメント系固化材を加えて所要の強度を有する築堤材料を人工的に製造できるので急勾配での改修が可能などの利点を有している。老朽化したフィルダムは堤高 $H=30\text{m}$ 未満の比較的小規模なものが大部分であり、ため池と同じように均一型かあるいはこれに近い堤体構造をしており、ため池で採用される改修法がそのまま適用できると考えられる。そこで、以下にフィルダムの堤体改修への砕・転圧盛土工法の適用性について述べる。

1 砕・転圧盛土工法の概要とその特徴

砕・転圧盛土工法は、Fig.42に概念的に示すように、ため池やフィルダムの堤体改修と池内の底泥土の除去処分を同時に達成するために、底泥土をセメント系固化材により土質改良して所要の強度と遮水性を有する築堤材料に製造して堤体の補強や漏水防止のための築堤を行うものである。この築堤は一定期間 t_0 だけ固化させた底泥土(これを初期固化土という)を規定の最大粒径 D_{max} で解砕して、さらにこれを通常の築堤材料と同様に均一に撒出し、一定層厚に敷均してから転圧して1層毎に行う

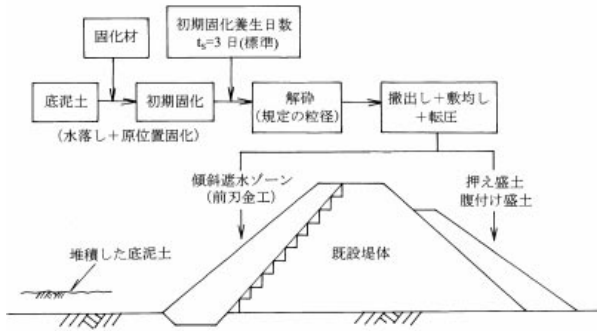


Fig.42 砕・転圧盛土工法概念

Concept of embankment method using cement-mixed muddy soil

(これを砕・転圧土という)。

砕・転圧土は初期固化期間 t_s と解砕・転圧後の期間 t_c を合わせた $t_s + t_c$ が全養生期間になるが、 t_s は解砕・転圧後の再固化強度に影響する。また D_{max} は遮水性と強度の両方に影響し、 D_{max} の大きい砕・転圧土ほど強度が大きく、透水係数も大きくなる。このため、砕・転圧土により所要の強度と遮水性を有する堤体を築造するには t_s や D_{max} を適切に管理することが必要であり、この点が一般の土質改良工と異なる点である。

従来、単なる底泥土の固化処理土(ここでいう初期固化土)は強度を固化材添加量 w_c の加減により容易に制御できるが、通常の築堤材料に比較して破壊ひずみが小さく脆性的なひずみ軟化型の応力～ひずみ特性にあるため、既設堤体との間の極端な強度や変形性の相違に起因するクラックが生じやすく貯水用の堤体には使用できなかった。砕・転圧盛土工法は、このような固化処理土を築堤材料として使用する場合の問題点を、初期固化させた底泥土を固化途中中に解砕して通常の築堤材料と同様に転圧して築堤すると、再固化時の応力～ひずみ特性が通常の築堤材料と同じひずみ硬化型になる性質を利用して既設堤体との密着性(なじみ)を良くしたものである。

砕・転圧盛土工法は堤体改修と底泥土の除去処分を同時に達成でき、所要の強度を有する築堤材料を人工的に製造できることから急勾配法面での改修ができるなどの優れた利点を有している。老朽化したフィルダムは堤高 $H=30\text{m}$ 未満の比較的小規模なものが大部分であり、ため池と同じように均一型かあるいはこれに近い堤体構造をしており、ため池で採用される改修法がそのまま適用できるものと考えられる。筆者らは、老朽化したフィルダムの堤体改修にこの工法を適用するための設計法や、固化処理した底泥土による新設堤体と既設堤体との間に極端な強度や変形性の差が生じないような堤体構造(ゾーニングパターン)を提案してきた⁴⁶⁾。

砕・転圧土は固化材添加量により強度を人工的に制御でき、その強度成分は主に粘着力から構成される築堤材料であり、堤体の耐震性向上など補強のために有効である。フィルダムの既設堤体は一般にため池の場合と比較するとしっかりしているため、砕・転圧土からなる新設

堤体が通常の築堤材料から既設堤体との極端な剛性差が生じにくく、砕・転圧土の目標強度を高く設定できるなど有利性があるものと考えられる。

2 堤体の補強と漏水防止

改修目的が堤体の補強や漏水防止であれば、改修規模が小さく、改修により増築された新設堤体を含む堤体全体の中で既設堤体が果たす役割は大きい。そして、改修形式は堤体軸の移動量により分類することが可能であるが、堤体の補強や漏水防止を行う場合は堤体軸を移動させないか、あるいは上流側に移動させる改修形式が一般的である。これは、堤体上流側が侵食等による断面不足が生じているなどして補強が必要とされること、漏水防止は既設堤体の上流側で行うことが有効であることなどが主な理由である。

堤体上流側に傾斜コアゾーンを築造して堤体補強と漏水防止を行うのに通常の築堤材料を用いる場合には、強度の低い遮水性に優れた築堤材料を主体的に用いることになるので堤体安定のために法面勾配を緩くするので、大量の築堤材料が必要となる、貯水容量が減少するなどの問題が生じる。

これに対して、固化材量を加減することにより強度を人工的に制御できる砕・転圧盛土工法では、漏水防止に必要なコアゾーン幅を確保できれば、フィルダムとして適切な勾配をもつようにコアゾーンとその上流外側や堤体下流側に配置したシェルゾーンの形状を決め、これらに使用する際、転圧土を堤体安定に必要な強度を有するように製造することで土工量を最小限に抑えての改修が可能であり、これまで提案してきたゾーニングが基本となる。

3 貯水容量増加のための堤体高上げ

貯水容量や洪水調節量の増加のための堤体高上げは改修規模が大きく、堤体全体に占める既設堤体の規模や役割が少ないので、新設堤体部の役割が相対的に高くなる。

また、堤体高上げを行う場合には堤体軸を下流側に移動させる改修形式が、貯水しながらの改修が可能、池内に堆積した底泥土などの築堤材料に流用不能な不良土が発生しないなどの理由から適しているようである。堤体高上げは大量の築堤材料を必要とするが、通常の築堤材料による改修では築堤材料をダムサイト内から入手するだけでは不足し、ダムサイト外に土取り場を確保する必要がある。

これに対して、砕・転圧盛土工法による高上げでは池内に堆積した底泥土を砕・転圧土としてコアゾーンあるいはシェルゾーンに使用し、工事に伴う掘削発生土のうち軟弱土は砕・転圧土としてシェルゾーンに、固化処理せずとも使用可能な発生土はそのままシェルゾーンに使用するなど、全体の土工量を抑制した改修が可能である。こうすることで、高上げに必要な築堤材料、主に外部か

らの搬入量を大幅に減らすことが可能となる。

結 言

本報告はこれまでの実施された改修事例において採用された堤体断面構造やこれを決めるまでに考慮した各種条件を調査し、新旧堤体断面を堤体軸の上・下流側への移動量により分類し、堤体改修時の基本的な考え方や設計・施工上の留意点について検討したものである。古いフィルダムでは公表された十分な資料が得られないものもあったが、得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 改修事例における既設堤体は均一型か、あるいは中央コア型であっても各ゾーン間で築堤材料に差異が少なく均一型に近い断面構成をしているものがほとんどである。このため、均一な堤体からなるため池 ($H < 15\text{m}$) で実施されている改修技術がフィルダムの改修にも参考になると思われる。特に、改修規模が小さい堤体の補強や漏水防止ではため池で採用されている方法と多くの共通点がある。
- (2) 改修形式は堤体軸の移動量により分類することが可能であるが、堤体の補強や漏水防止を行う場合は堤体軸を移動させないか、あるいは上流側に移動させる改修形式が一般的である。これは、堤体上流側が侵食等による断面不足が生じているなどして補強が必要とされること、漏水防止は堤体前面で行うことが堤体安定上からも有効であることなどが理由であろう。また、堤体嵩上げを行う場合には堤体軸を下流側に移動させる改修形式が、貯水しながらの改修が可能、池内に堆積した底泥土などの築堤材料に流用不能な不良土が発生しないなどの理由から適しているようである。
- (3) 堤体改修の目的が補強や漏水防止のように堤体上流側に傾斜コアゾーンを築造した場合には、強度の低い遮水用の築堤材料を用いることになるので堤体安定のためには法面勾配を緩くすることが必要になる。この場合には大量の築堤材料が必要となる、貯水容量が減少する、築堤材料に流用できない不良土が発生しやすいなどの問題を考慮しなければならない。
- (4) 改修目的が貯水容量の大幅な増加のための堤体嵩上げでは大量の築堤材料が必要となるが、築堤材料はダムサイト内だけからの入手では不足し、ダムサイト外に土取り場を確保する必要がある。また、既設堤体が嵩上げに伴って増加する浸透水圧に対して安定性と遮水性が確保されていることを慎重に検討しなければならない。
- (5) 改修工事はダムサイト外からの築堤材料の搬入や、流用不能な発生土のダムサイト外処分のための搬出には大量の土砂運搬に伴うが、これは交通障害の発生など近隣に及ぼす環境負荷を考えると市街化があ

る程度進んだ地域では安全対策など課題が多い。したがって、山間地以外の改修では、改修に必要な築堤材料はダムサイト内で確保、築堤材料に流用不能な不良土はダムサイト内で出来るだけ処分することが必要である。砕・転圧盛土工法はこのような改修では有用な工法となる。

参考文献

- 1) 谷 茂 (1989): 溜池の話あれこれ, 農業土木学会誌, Vol.57, No.12, pp.2-4
- 2) (財) 日本農業土木総合研究所 (1981): 農業用ダム施設適正管理に係るデータ分析手法の研究等業務
- 3) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修 (2006): 土地改良事業設計指針「ため池整備」, 農業土木学会
- 4) 農林水産省農村振興局監修 (2003): 土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」技術書〔フィルダム編〕, 農業土木学会
- 5) (独) 農研機構 農村工学研究所所蔵: 蛭沢ダムに関する内部資料
- 6) 渡邊秀敏・萩原茂雄 (2004): 地盤改良工法による山倉ダム耐震性強化工事, 工業用水, 第544号, pp.14-36
- 7) Engemoen, W. O. (1993): Using Innovative Technologies and Geosynthetics in Embankment Dam Rehabilitations, American Society of Civil Engineers, "Geotechnical Practice in Dam Rehabilitation", Geotechnical Special Publication No.35, pp.928-946
- 8) (独) 農研機構 農村工学研究所所蔵: 大正池に関する内部資料
- 9) 中谷三男・桑原孝雄・藤田敏雄・田坂 章 (1985): 光明池の改修に伴う諸問題 () - 改修前の堤体の状況 -, 農業土木学会誌, Vol.53, No.4, pp.27-32
- 10) 中谷三男・桑原孝雄・小山修平・藤田敏雄・田坂章 (1985): 光明池の改修に伴う諸問題 () - 刃金用土の基本的特性 -, 農業土木学会誌, Vol.53, No.6, pp.17-22
- 11) 中谷三男・桑原孝雄・小山修平・藤田敏雄・田坂章 (1985): 光明池の改修に伴う諸問題 () - 盛土試験 -, 農業土木学会誌, Vol.53, No.12, pp.33-38
- 12) 中谷三男・桑原孝雄・小山修平・藤田敏雄・田坂章 (1986): 光明池の改修に伴う諸問題 () - 本堤改修工事 -, 農業土木学会誌, Vol.54, No.8, pp.25-30
- 13) 桑原孝雄・中谷三男・小山修平・石黒 覚 (1987): 光明池の改修に伴う諸問題 () - 改修効果 -, 農業土木学会誌, Vol.55, No.12, pp.11-16
- 14) 田口 靖・高田 武・田原 功 (2001): 山口貯水池堤体強化工事について, ダム日本, No.681, pp.25-35
- 15) 山田 廣 (2003): 自然環境と調和した世界初の既

- 設アースダムにおけるレベル 2 対応の耐震強化 山口貯水池における堤強化工事, 水道協会雑誌, Vol.72, No.10, pp.87-97
- 16) 佐々木史郎・村山 眞 (2005): 既設アースダムの耐震強化工事 - 山口貯水池堤体強化工事 -, ダム技術, No.227, No.8, pp.112-120
- 17) (独) 農研機構 農村工学研究所所蔵: 宿の沢ダムに関する内部資料
- 18) (独) 農研機構 農村工学研究所所蔵: 倉橋ダムに関する内部資料
- 19) 中西信隆・大根義男 (1966): 苅田調整池の設計と施工 (設計編), 土と基礎, Vol.14, No.7, pp.3-10
- 20) 中西信隆・大根義男 (1967): 苅田調整池の設計と施工 (施工編), 土と基礎, Vol.15, No.3, pp.11-18
- 21) 農業水利ダム集大成編集委員会編 (1984): 農業水利ダム集大成, 第 1 巻, 第 編 設計, 3.2 堤体設計, 1. 雨煙内ダム (嵩上げ) の調査と設計, (株) 公共事業通信社, pp.771-777
- 22) (独) 農研機構 農村工学研究所所蔵: 大谷地池に関する内部資料
- 23) 亀田正彦 (1994): 白川ダムの設計・施工について, ダム日本, No.601, pp.27-38
- 24) 藤田健二 (1994): 狭山ダムの施工計画について, ダム日本, No.596, pp.37-51
- 25) 田河勝一・木村昌弘・西田恵次 (1995): 狭山池ダム工事について, ダム技術, No.108, pp.87-93
- 26) 金盛 弥・安藤雅成・清水 洋・木村雅弘・西園恵次 (1996): 狭山池ダム嵩上げ事業について, 大ダム, No.154, pp.31-36
- 27) 北海道空知支庁「きねうす写真日記」: <http://kineusu-dam.seesaa.net/>
- 28) Bischoff, J. A. and Obemeyer, J. R. (1993): Design Considerations for Raising Existing Dams for Increased Storage, American Society of Civil Engineers, "Geotechnical Practice in Dam Rehabilitation", Geotechnical Special Publication No.35, pp.174-187
- 29) (独) 農研機構 農村工学研究所所蔵: 黒谷ダムに関する内部資料
- 30) (独) 農研機構 農村工学研究所所蔵: 永池ダムに関する内部資料
- 31) 木村 勝・渡辺和眞 (1994): 山王海ダムかさ上げの技術的課題, 農業土木学会誌, Vol.62, No.5, pp.31-36
- 32) 豊島弘三・森山信弘 (1997): 山王海ダムの再開発 - ロックフィルダムの嵩上げ -, ダム日本, No.629, pp.27-47
- 33) 都築慶剛 (2001): 山王海ダムの再開発 (嵩上げ) について - ゾーン型ロックフィルダム -, ダム日本, No.676, pp.39-70
- 34) 都築慶剛 (2001): 山王海ダムの嵩上げによる再開発について, 農業土木学会誌, Vol.69, No.6, pp.21-26
- 35) 農林水産省農村振興局監修 (2003): 土地改良事業計画設計基準・設計「ダム」, 技術書〔フィルダム編〕, 農業土木学会, pp. -55- -56
- 36) 村山 眞・江藤 等・森岡昌昭 (2005): 既設アースフィルダムの耐震強化と耐震性照査 - 東京都水道局村山下貯水池 -, 第16回ダム工学研究発表会講演会, pp.33-36
- 37) Villegas, F. (1993): Remedial Works at Troneras and Miraflores Dams in Colombia, American Society of Civil Engineers, "Geotechnical Practice in Dam Rehabilitation", Geotechnical Special Publication No.35, pp.688-702
- 38) Gwallin, J. E. (1993): Seismic Safety Modification of an Old Earthfill Dam, American Society of Civil Engineers, "Geotechnical Practice in Dam Rehabilitation", Geotechnical Special Publication No.35, pp.1029-1042
- 39) Habbitt, D. M. : Improving Seismic Safety of Dams in California, American Society of Civil Engineers, "Geotechnical Practice in Dam Rehabilitation", Geotechnical Special Publication No.35, pp.365-385, 1993
- 40) 山口喜一 (2001): フィルダムの嵩上げ事例と調査・設計上の留意点, 土木技術資料Vol.43, pp.10-11
- 41) 農業水利ダム集大成編集委員会編 (1984): 農業水利ダム集大成, 第 1 巻, 第 編 予察・予備設計, 2.2 ダムタイプの決定, 7. 御料ダム, (株) 公共事業通信社, pp.89-96
- 42) 福島伸二・石黒和男・北島 明・池田康博・酒巻克之・谷 茂 (2000): 固化処理したため池底泥土の盛土材への適用性の研究, 土木学会論文集, No.666/-53, pp.99-116
- 43) 福島伸二・石黒和男・北島 明・谷 茂・池田康博・酒巻克之 (2001): 固化処理したため池底泥土の堤体盛土材への適用性確認のための現場実証試験, 土木学会論文集, No.680/-55, pp.269-284
- 44) 福島伸二・北島 明・谷 茂・石黒和男 (2002): 固化処理した底泥土を砕・転圧した築堤材料の目標強度設定・配合試験法と施工管理法の提案, 土木学会論文集, No.715/-60, pp.165-178
- 45) 谷 茂・福島伸二・北島 明・酒巻克之 (2004): 砕・転圧盛土工法設計・施工法について, 農業工学研究所技報, 第202号, pp.141-182
- 46) 福島伸二・谷 茂・北島 明・西本浩司 (2006): 固化処理底泥土を用いた老朽化フィルダムの堤体補強における設計法の提案, ダム工学, Vol.16, No.1, pp.20-29

Investigations in Rehabilitation Technique for Old Embankment Dams

TANI Shigeru and FUKUSHIMA Shinji

Summary

We were investigated the case histories in the rehabilitation of the existing embankment dams for improved the safety or prevented the leakage of embankment, and raising the existing embankment dams for increased the storage.

This paper presents a general considerations of the factors to be considered in designing and constructing for the rehabilitation of the existing embankment dams. The zoning of the embankment in rehabilitation of old fill-dam is depend on the stability and permeability of the existing dam embankment, the strength and permeability characteristics of embankment soil, the capacity and seepage characteristics of bedrock foundation, the conditions in the configuration of the location of the dam, and so on.

Keywords : old embankment dam, rehabilitation