

既設アースフィルダムの耐震補強工事

山口貯水池堤体強化工事

田原 功

TAHARA Isao
正会員

東京都水道局 建設部 設計第一課 施設耐震化対策担当係長

東京都水道局山口貯水池は、東京都武蔵村山市、瑞穂町、埼玉県所沢市、入間市にまたがる水道専用の貯水池であり、ダム堤体は1934（昭和9）年に完成した堤高35m、堤頂長691m、堤体積140万 m^3 、有効貯水量1953万 m^3 の日本最大級のアースフィルダムである。山口貯水池は堤体直下まで市街化が進行し、また、東京都民の重要な水がめであるため、既設堤体上下流側に補強盛土（上流側53万 m^3 、下流側44万 m^3 ）を築造する耐震補強工事を施工中である。本文では、世界的にも例を見ないアースフィルダム耐震補強工事の設計・施工について報告する。

堤体強化工事の経緯

山口貯水池の原水は、多摩川の羽村堰・小作堰から取水し、村山貯水池と一体として運用している（図-1）。

両貯水池から東村山浄水場、境浄水場および朝霞浄水場へは、自然流下で原水の供給を行うことができ、また、東村山浄水場と境浄水場から都心への水道水の送水も自然流下で行うことが可能であるため、震災対策上も



図-1 多摩川系原水運用概念図

非常に重要な施設である。さらに、堤体直下まで市街化が進行している現状を踏まえ、耐震性をより一層強化させるため、堤体強化工事を実施することとした。

堤体強化工法の検討

本堤体強化工事は、前例のない工事であるため、ダム等に関する専門家で構成する、「山口貯水池堤体強化技術検討委員会」を設置し、堤体強化方法の検討を行った。

現堤体および基礎地盤の遮水性・水理的安定性に問題はなく、断面不足と浸潤面の高いことに起因して安定性が低いため、堤体強化工法は、断面の増厚によりすべり抵抗を高める方法、浸潤面を下げ有効応力を増しせん断抵抗を高める方法、およびこれらの組合せによる工法として次の5案を抽出し、比較検討を行った。

- (1) A案 単純押え盛土
- (2) B案 表面土質遮水壁
- (3) C案 表面人工遮水壁
- (4) D案 単純押え盛土+下流傾斜ドレーン
- (5) E案 単純押え盛土+鉛直ドレーン

この5案について、盛土量の確保、変形追従性、点検・補修の容易さ、施工の確実性、工期、経済性等を比較要因として検討を行い、「D案：単純押え盛土+下流傾斜ドレーン」工法が適切であると判断した。堤体強化工法検討の比較表を表1に示す。

補強盛土量は97万 m^3 、ドレーン部の土量は5万 m^3 である。既設の堤体積は140万 m^3 であることから、堤体強化工事完成後の堤体積は、242万 m^3 となる。

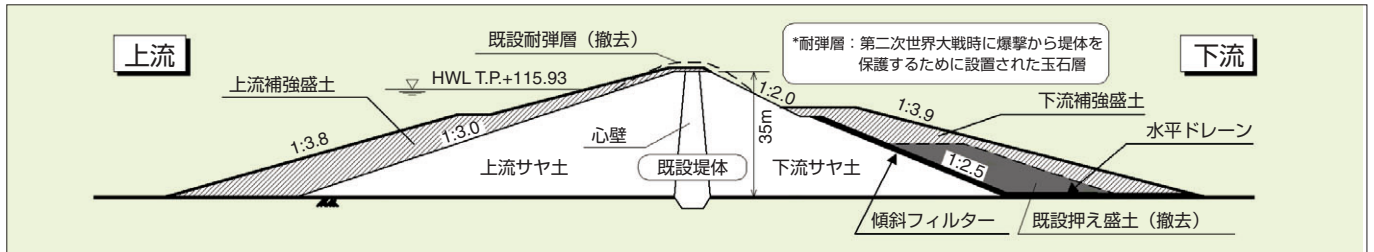


図-2 山口貯水池堤体強化断面図

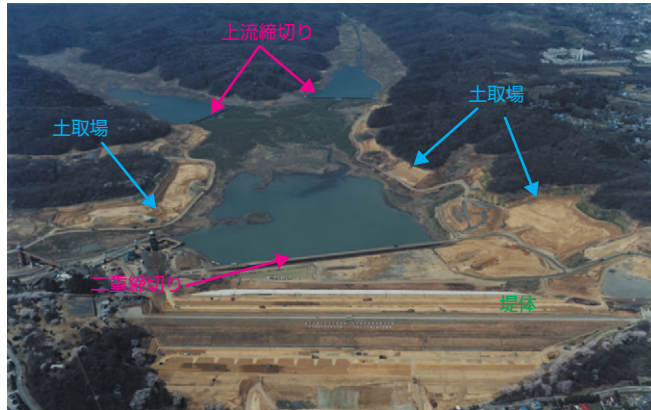


写真-1 施工中の山口貯水池全景 (2001年4月撮影)

動的解析による耐震性の照査

『水道施設耐震工法指針・解説』では、「施設の供用期間中に1~2回発生する確率を有する地震動をレベル1, 発生する確率は低いが大きな地震動をレベル2」と定義している。既往文献ならびに地震危険度解析結果や貯水池南西約5kmに立川断層(第四紀断層)が存在することを考慮し、震度法で設計した断面について、レベル1(安政江戸地震(M 6.9, 直下型))地震動およびレベル2(南関東地震(M 7.9, 海溝型), 立川断層による地震(M 7.1, 近傍直下型))地震動を対象とし、「動的解析」による照査を行った。

堤体のすべり安全率は1.0以上とし、残留変形量はレベル1で「補修を必要としない程度の変形」、レベル2で「軽微な補修で対応可能な程度の変形」を目標とした。

強化後の堤体の耐震性は、各々の地震動に対しすべり安全率は1.0以上で、すべり変形は生じず、地震後の天端の沈下量はレベル1, レベル2とも最大10cm未満であり、強化後の堤体は目標とする耐震性を満足した。

堤体強化工事の施工

準備工事

堤体強化工事に先立ち、堤体上流側に工事区域を確保するため、二重締切りを設置した。また、貯水池に依存する動植物に配慮し、貯水池の上流部2か所に仮締切りを設置して工事中の水面面積をより多く確保した。3か所の合計水面面積は、常時満水時の約6分の1である。

山口貯水池は完成から60年以上が経過しているため、二重締切りにより確保した工事区域には軟弱な土砂が平均で約2m(約12万m³)堆積しており、人間の歩行も困

表-1 堤体強化工法の比較

検討要因	堤体強化工法				
	A案	B案	C案	D案	E案
盛土量の確保	×	○	◎	△	○
変形追従性	○	○	×	○	○
点検・補修の容易さ	○	△	×	○	○
施工の確実性	◎	△	△	◎	△
工期	×	△	×	○	○
経済性	×	○	×	○	△
総合評価	△	○	×	◎	△

難であった。このため、セメント系固化剤により原位置で混合改良処理を行い、重機の走行が可能な強度を確保し、掘削土は補強盛土仮置場の造成材として再利用した。補強盛土材料

補強盛土材は、貯水池内に分布する多摩ローム、芋窪礫層を対象とした室内試験の結果、密度およびせん断強度・賦存量等から芋窪礫層が使用可能と判断した。

補強盛土材の採取については、貯水池周辺の豊かな自然環境を保全するため、貯水池林の伐採を行わず、貯水池満水位以下(湖底)からの採取とした。

なお、芋窪礫層単独では、トラフィカビリティーが十分に確保できないため、碎石(C-40)を20%混合することとした。補強盛土材料の粒径加積曲線を図-3に、締固め曲線を図-4に示す。

補強盛土の盛立

補強盛土の転圧仕様については、仕上り厚さ(20cmと30cm)、転圧機械(21t級タンピングローラーと10t級振動ローラー)、転圧回数をパラメーターとして現場転圧試験(6~10回)を実施した。この結果、仕上り厚さ20cmでは密度およびコーン指数のばらつきは小さいが、仕上り厚さ30cmではばらつきが大きく、転圧回数を多くしても改善効果が小さかった。転圧機械については、振動ローラーの方が若干高い乾燥密度を確保できた。また、転圧回数については三軸圧縮試験結果に差は見られず、所要の強度は確保できていた。これに基づき、仕上り厚さ20cm、転圧機械10t級振動ローラー、転圧回数6回と決定した。

盛立速度については、既設ダムの実績、山口貯水池堤体形状・材料特性を考慮し、月平均で盛立高さ1.5m程度が上限であると判断し、盛立計画を策定した。

既設堤体の機能維持

既設フィルダムの耐震強化工事特有の技術的課題とし

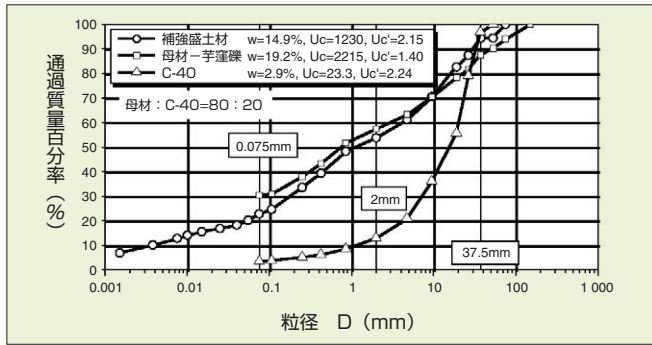


図-3 補強盛土材料の粒径加積曲線

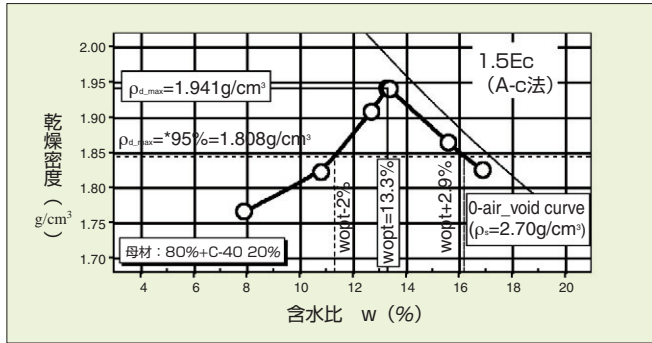


図-4 補強盛土材料の締固め曲線

て、既設堤体のダム機能確保があげられる。本工事では、既設下流押え盛土撤去(高さ12m)と基礎掘削(深さ5m)によって既設堤体が一時的に不安定な状態に移ること、既設堤体および補強盛土は難透水性材料であり補強盛土盛立時の過剰間隙水圧によって両者の安定性が一時的に低下すること等が予想された。このため、十分な事前検討および施工中の既設堤体挙動の把握が重要である。そこで、動態観測とFEM解析を組み合わせた情報化施工管理を実施した。図-5に情報化施工フローを示す。

まず、既設堤体を対象に、原地盤調査で実績が多いRIコーン調査および不攪乱資料による土質試験等を施工開始時に実施した。調査結果から飽和度を算出すると、上下流サヤ土および心壁は全領域で90~100%となり、施工時の安定性検討では完全飽和状態にモデル化した。

既設下流押え盛土撤去時の安定性検討は、施工ステップとすべり安全率の関係把握を目的とした円形すべり検討と変形挙動の予測を目的としたFEM解析を行った。

補強盛土盛立時については、既設堤体および補強盛土の間隙水圧発生率とすべり安全率の関係を求めた。この結果、既設堤体および補強盛土とも、間隙水圧発生率60%以下であればすべり安全率1.2以上確保できることがわかった。そこで、間隙水圧発生率60%を管理基準値とした。

動態観測は6種類、計116個の計測器により主計測断面3断面、副計測断面2断面の計5断面で実施した。この一例として、施工中の堤体中央断面における既設堤体上流サヤ土間隙水圧観測結果の一部を図-6に示す。

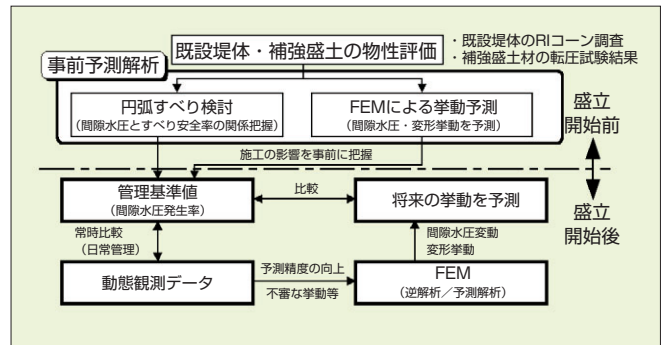


図-5 情報化施工フロー

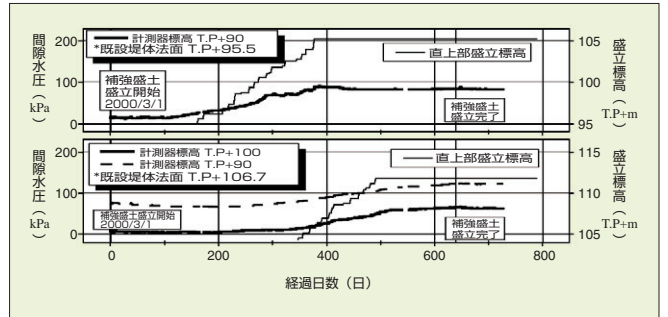


図-6 既設堤体上流サヤ間隙水圧観測結果

環境への配慮

山口貯水池の流域のほとんどは、当局で水源涵養林として管理している。このため、都心に程近いにもかかわらず豊かな自然が残されており、オオタカをはじめ、ミズナラやミソコウジュなど多数の貴重な動植物が生息している。このため、事前に環境影響調査を実施するとともに、工事期間中の継続監視および保全対策を行っている。

実施した保全対策は、ミズナラ移植、ミソコウジュ移植、ショウリョウバッタモドキ移植、マツムシ移植、トウキョウサンショウウオ移植調査、ゲンジボタル移植調査、魚類確保・放流、等である。

特に、オオタカは「絶滅のおそれのある野生動植物の保存に関する法律」で国内希少野生動植物種に指定されているため、専門家によるモニタリング調査を週1回実施している。この結果を基に必要に応じ、工事区域や工事工程等の調整を行うとともに、オオタカへ与える影響を最小限にするための施工方法について専門家からアドバイスを受けている。

工事における配慮が功を奏し、工事着手以来5年連続してオオタカが繁殖し、現在山口貯水池の周辺も含めて3つがいのオオタカが確認されている。

山口貯水池から村山下貯水池へ

本年1月に補強盛土の盛立が、また、6月には堤体上流側の工事が終了し、7月から試験湛水を開始した。試験湛水における観測結果にも特に異常はなく順調に推移している。山口貯水池堤体強化工事は11月に竣工する。本工事での経験を生かし、引続き村山下貯水池堤体強化工事を実施する予定である。