

老朽ため池の設計と施工についての覚え書

(株) ケーシック 有 岡 武 彦

私は大阪府下のため池について、35年余の間に50箇所以上の改修に携わる機会を得ました。その間に経験したことや、設計や施工について考えたことなどを反省も込めて述べさせていただい、諸兄のご意見やご指導がいただければ幸いと思ひます。

I. 新設フィルダムとため池の基本的な違い

新設フィルダムはため池に較べ大規模なものが多いようですが、そのような視点とは別に、ため池と大きく異なる点があります。それは基礎部分について言えます。新設ダムの場合は、地質・土質調査を行った結果、適所と思われるところに築造するわけですが、弱点と思われる部分が残る場合は、弱い部分を取り除いたり、置換したり、あるいはグラウト等により、支持力、止水性等を改良した上にダムが造られています。

しかし、ため池の場合は明治時代の末期に造られた物でも概ね百年、江戸時代の初期のものでは既に四百年余が経過していますが、機械力の無かった時代に造られた堤体の基礎は、新設ダムのような大規模な基礎処理が行われていないのが一般的です。しかし反面、築造から永い時間が経過していることに特徴があります。

II. ため池の特徴

ため池も、堤体の築造に当っては、新設ダムと同様谷を締切り築堤されますが、(谷の幅が広が

り、堤体が上流に対し凹字状に湾曲し長くなっているものもあります。) 基礎については、地表上の植生を取り除き、表土の極く軟い部分ぐらいを取除いた上に造られているものがほとんどだと言えます。(地域によっては、堤体中央部で刃金土をかなり深く基礎に貫入させている例もあります。) 谷は大旨、後期洪積層が隆起・摺曲などした結果生じた凹凸の凹部の底部に沖積層が堆積している形が多いと思われますが、上述したように大規模な基礎処理をしていない場合は、堤体と洪積層との間に堆積層を挿んでいる場合が多くあります。

しかし、ため池は造られた後永い時間を経ているので、その間に繰り返し貯水による飽和や浸透、地震やそれによる間隙水圧の上昇、暴風雨等自然による多くの洗浄を受けています。そうした場合、築造場所や構造が適切でない場合、堤体は破損を繰り返すことになりますが、それらは先人達の努力、工夫により修復がなされ、それらを繰り返すことによって、より安全なかたちへと進化をとげてきました。しかし、いくら修復をしても安全なものになり得なかったものは、今はため池としての姿をとどめてはいないのです。したがつて、ため池としての機能を維持しつつ現存しているため池については、現在の堤体に陥没、辻り等の致命的な欠点を持っていないものは、今の構造が、その場所での堤体の安定した形を示しているのだと言えます。安全性の担保については、大規

模な洪水吐の場合等は、安全確認のために、よく水理模型実験等が行われますが、ため池の堤体については、实物による永年の現地実験が行われた結果として堤体が現存し、安全が確認されている姿なのだとと言えます。しかし堤体は、永年の間に波浪により侵食されてたり、浸透水により止水性が低下していたり、現代の安全基準から見て余裕高や堤頂幅が不足していること等も事実なのですから、不足するそれらのものを補うように改修設計を行い、現在持っている安全性を損わないよう改修施工を行えば、再び安全な堤体が得られるのではないかと考えます。又基礎や堤体も永い時間の経過により圧密が進行し、安定した状態となっているはずですので、このことも留意する必要があります。

III. 改修の方向性

昭和 57 年に農林水産省構造改善局から出された「老朽ため池整備便覧」、発展整備された土地改良事業設計指針「ため池整備」(平成 18 年 2 月)には全国の改修ため池の実例から、「傾斜遮水ゾーン型ため池」の「標準断面」、「標準寸法表」が示され、便覧では力学的安全についても安全率の試算例が検証として示され、府県の設計指針等も、これらをベースにして標準断面等を示しています。したがって、これらを標準として考えることはもちろんのですが、今一度、現在安定を保っている現地の形状についても評価する必要があると思います。また基礎についても、現在築堤がなされている堤体下の基礎地盤については、既にほぼ圧密も終了し安定状態に入っているはずですから、改修する堤体も、出来ることならこの範囲を外さないことが、安定性を低下させない要因の一つだと思います。さらに、基礎や堤体については、圧密による安定性はもちろんですが、粘着力については、一度掘り起し、土を緩めると再転圧して

も、元の応力に復元するのにはかなりの時間を要しますので、施工に当っては、基礎や旧堤体の不必要的堀削は極力避け、施工によって生じる荷重の解放や過乾燥、力学的アンバランスによる土中の乱れなどを生じさせないよう心掛けて、施工手順、工法、管理を行うことも留意点の一つです。

V. 現況の確認

改修設計を行うに当っては堤体やダムサイトの測量、ボーリングによる地質調査、土質試験などが行われますが、新設ダムの場合に比べ新たに得られる調査データは非常に少ないものです。このことはやはり、経年したため池が基本的には構造的に安定しているとの認識から出ている考え方ではないかと思われますが、体験的な手法を少し述べたいと思います。

1. 堤体基礎地盤や線形について

上述したように特に地辺りや陥没がなく、現存し利用されているため池は、現在の形に不足している要因があるとしても安全なわけですから、現状の認識から始めます。

まず堤体を含むため池全体を見ることが出来る 1 / 2500 程度の地形図を取り寄せて、現在の堤体が築造される以前の谷の形状を推察して見ます。谷筋の方向、ダムサイトの地形、等高線の間隔等を見ます。ダムサイトで等高線間隔が狭く凸状の部分は尾根状で固い部分、凹状で等高線間隔が広い部分は堆積物があり、地山からの湧水もあり、軟弱であることが予想される部分です。谷筋の中央部の最も深いと思われる部分には基部の洪積層と堤体との間に沖積層が介在する可能性が高い所です。両岸の地山の勾配から谷の中央部や凹部の形状を推察することもできます。対岸の地山部の凹凸もそのような視点で谷筋を見極め、ボーリング資料に加えて堤体基礎の推定に役立てるべ

きです。堤体の線形にも注意が必要です。特別な事情がなければ堤体は谷の両側の凸（尾根）状となつた最狭部を最短距離で結ぶように堤体を造るはずです。それと異なる場合は何らかの事情が有つたはずだと考え、基礎の状況を推察することが出来ます。例えば堤軸が屈曲している場合は、最短距離を結ぶ線上に弱い地層等が有り、それを避けた場合が多くそうなっています。くの字型に曲っているようなら、谷筋に直交する形で造られている部分は谷の最深部を締切った堤、谷筋と直交しない所は、そこに低い丘状の隆起等があり、それをベースに嵩上げ築造等をした堤である、等と推定出来ます。したがつて堤体の線形については、特に必要がなければ現在の線形を踏襲することがベターであると思われます。「すっきりするから」などの単純な理由から、安易に線形を変えないことも合理的で安全な改修を行う視点の一つと思います。又、外法の漏水についても、法尻の地盤上に浸出が部分的に見られるようなら、基礎は軟弱なものではなく、逆に良好な地盤がその部分で上昇していて、浸透水が、押し上げられている場合もありますので注意を要します。

2. 改修による貯水量の減少

堤体を改修することにより、上流側に堤体積が増し、貯水量が減少する場合が多くあります。水利権利者との協議に於て、認識しておく視点があります。それは貯水量の減少がそのままかんがい水量の減少そのものではないということです。水稻をため池だけでかんがいする場合、一般に水深にして 2500 ミリ程の水が要ると言われています。しかし、かんがい期には降雨がありますので、それを差引くと約 1800 ミリ程の水が要るわけです。ということは、ごく普通のため池の平均水深が 1.8m 程とすると、池だけで農地をかんがいするには、農地と同じ水面積の池が要ることになります

が、一般には農地面積の方が池の面積よりはるかに大きいものです。その事は、その池が何回も回転利用されているか、他の水源が有ることを示しています。まず、その認識を持って説明、協議をすることが必要です。

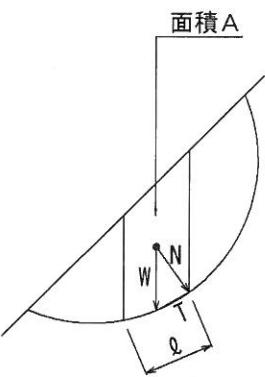
3. 刃金土基礎地盤高の決定

国の指針等にも堤体の標準図表等が示されていますが、池水を落し基礎部分を掘削すると、その部分は高含水比でドロドロ、標準図表と照らしても、そのまま当てはめにくくて現状把握にとまどうことがあります。府県により差があるようですが、N 値 20 以上が望ましく、10 以上の場合は耐力試験を行うこと等と規定しているところもありますが、私が経験した例では、余程深くまで掘削しないと N 値 20 以上の値が得られず、掘削の困難、崩壊の危険、掘削残土の多量処分や用土の確保など難問も多く生じたため、次のことを考えました。現存する堤体の基礎は、地盤が永年の貯水で飽和していることもあります、なかなか大きい N 値は得がたいものです。私の経験では 20 以上あったのは 1 箇所だけで、非常に深い位置は別として 3~10 程度の例がほとんどでした。しかし、それでも今まで堤体は安全を保ってきたわけです。実際、阪神淡路大震災（兵庫県南部地震）の時でも、各所の地震計の数値例からも、大阪府の多くのため池は、（レベル 1）以上の地震動を受けたはずですが、大きく被災した例を聞きません。少なくとも 1.0 以上の安全率があったのです。したがつて、現地の堤体の安全状態を評価するならば、そして施工が支障なく出来、止水性が確保出来るならば、N 値が 3~10 の地盤上でも、浅い刃金土の根入りによる改修が可能と考えられます。

堤体の円弧滑り面法による安全率を求める式を、考え方を理解するため簡略したかたちで示すと、安全率は

$FS = \frac{\sum C' \cdot l + \sum N \cdot \tan \phi}{\sum T}$ であらわされますが、この式中粘着力 C' を含む項は $C' \cdot l$ であらわされ、平面図上で言えば C と長さ l との積ですが、他の項の N や T は、2乗で算出される面積 A に単位重量をかけた数値をベースにした数値と $\tan \phi$ との積になります。すなわち、このことから堤高の低い場合は一乗の要素を持つ粘着力を含む項が安全率に影響する

ことが大きく、堤高が高いと、二乗の要素を含む内部摩擦角を含む項が安全率に影響することが大きいと言えます。したがって堤高の低い堤の場合は、現状の堤体が安全を保っているのであれば、例え基礎部分の N 値が低くても粘着力の有る、止水性の有る地層で、正常な施工が可能であれば、基礎地盤となり得ることが示唆されます。もちろん計画した断面については、安定計算を行うことにより安全性を確認することが必要です。ため池の堤高については、大阪府の例では府下のため池の内 89% のため池が堤高 10m 以下ありますので、こうした N 値の低い層にでも刃金土の基礎地盤を決め得る池も多く有ると思われます。



4. 低い N 値の層での刃金土の基礎

土質が粘性で粘着力を持つことが不可欠の条件ですが、施工可能ということでは、コーン指数で $qc = 50\text{KN/m}^2$ あれば、下部の三層程を人力、バイブロランマ等による施工によれば、(施工のテクニックは必要です)、基礎地盤としての採用が可能ですが、次の工夫が必要です。

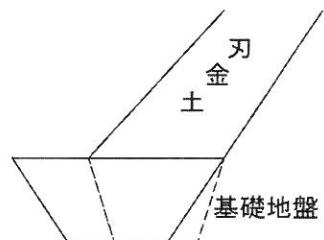
a. 刃金土の根入れ部の堤体側の勾配をきつくしない。

a 図の破線のように掘削線を立てずに、実線のように緩くする。

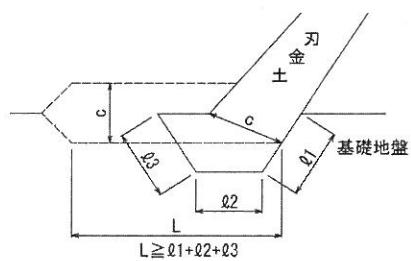
b. 基礎地盤が粘性土で深さによる変化が少い場合は、施工による刃金土と基礎地盤との間の止水性を確保するため b 図の破線の形状とし、刃金土と基礎地盤との間の浸透路長が短くならないようにします。

c. 基礎部に軟弱な浸透層がある場合は c 図のように「不透水性水平プランケット」を設けることで施工中の崩落の回避、土工量、経費の低減、工期の短縮に有効となります。堤高が高かつたり軟弱な透水層が厚い場合は、地震による液状化についての検討が必要です。なおこの場合はプランケットの位置が、従来の堤敷範囲から外れますが、これはあらかじめプランケットを施工する箇所をプランケット厚さだ

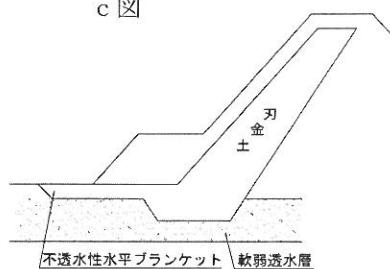
a 図



b 図



c 図



け掘削し、施工前後の重量が変化しないよう配慮します。さらに、ブランケットと刃金土はいずれも粘性土による盛土であるため、施工後の多少の沈下にたいしても追随性を持ち、止水性を確保出来ます。又この場合、ブランケットを良質な用土により厚さ1m程に、刃金土施工に先行して仕上げると、仮設道路として使用することも可能となります。

なおこれらのことは、大阪府に対し提案を行い、大阪府の「新ため池改修指針」の中にも反映され、実施例もあります。

池内のしゅん渫にも配慮が必要です。堆積している泥土は自然堆積のブランケットとして、漏水防止に役立っている場合もあり、堤体の滑動に対するカウンターウエイトとして有効である場合も多いので、堤体の予想される円形滑り面より十分上流で行うとか、池底の止水性の低下に配慮すること等が必要です。

5. 施工上の配慮

施工上計画的な配慮をすることが、工期の遵守や品質の確保に非常に大きな効果があります。

a. 落水について

使われているため池の改修工事の工期は大体10～3月の6ヶ月間です。かんがい期終了後の速やかな落水が不可欠ですが、養魚をしていて、落水についての理解がなければ、年末近くまで掛ってしまうことも多く有ります。平年の貯水、落水時期、利用方法、貯水開始の猶余期間などよく確かめて、計画調査をしている段階で速やかな対応が出来る体制作りをしておくことが大切です。又落水しても池底に少しばかりの水を残す場合がありますが、これは池底の泥土層を含む水深の貯水が残っているのと同じ事になります。速やかに、取水設備の施工年であれば、呑口を取り壊し、釜場を作り最低部で

の排水が可能なようにして、さらには泥土の上を敷板に乗ったり、鋤簾等を使ったりしてでも、池底を乾燥さすための溝を設ける等積極的な排水を工夫すると、早期に施工場所の乾燥化が図れます。

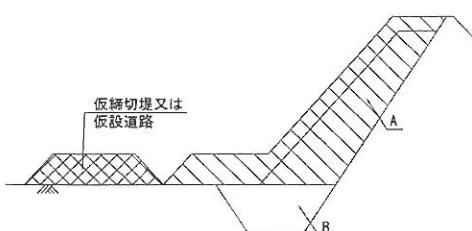
b. 工期配分について

最近は季節毎の天候が定まりにくくなっていますが、例年は10、11月頃は雨が少なく、2～4月は菜種梅雨といわれるよう雨の日が多いので、基本的には12月までにため池の基礎地盤より低い部分の施工を終え、年明け後は降雨後も速やかに盛土工事が再開出来るよう、一日の盛土終了後は必ず転圧を終え、池側に緩い勾配をつけて仕上げ、降雨後直ちに工事再開が出来るよう、又積雪が予想される場合は、シートにより保護するなどの対策を講じれば、降雨による工期の遅延を防ぐことが出来ます。

c. 掘 削

掘削を行う場合は、堤体横断図等をよく見て、力学的バランスを崩さないよう配慮します。堤体上流側の仮締切堤や仮設道路をカウンターウエイトとして利用することも一方方法ですが、刃金土床堀り部の掘削は、底部まで一気に掘削すると、旧堤体が崩壊する危険が大きくなります。まずd図のA部を全延長掘削した後に、B部を小ブロックに分け掘削し、その日の内にその部分の盛土を完了させすることが非常に有効です。

d図



d. 床掘部の排水

池底の床掘部が完全にドライな状態になることはまず有りません。設計段階から掘削底面に

緩い勾配が付けられるよう配慮し、掘削部の一部に仮の小穴の釜場を設け、ポータブルポンプで排水しながら盛土を行い、施工ブロック、ステージ毎に小穴を移動、上昇させながら、その都度用済みの穴を埋めながら施工します。穴は堤体から遠い位置に設けますが、埋戻しは投入した土に水を含ませないために、あらかじめ粘性土で団子状の塊を作り、投入後直ちに転圧をします。止むを得ない場合は、穴を碎石等で充てんし、ドレンパイプを入れておき後でグラウトを行う方法もありますが、作業の自由性もあり、前者の方が好ましいと思います。

e. 刃金土の転圧

N値の低い基礎を採用した場合は床付け部が、堅固なドライな状態でない場合が多いのですが、この場合は人力 + バイブロランマにより転圧します。ランマを転圧箇所に置いたままかけると、そのままでは沈み込んでいくので、二人掛けでランマを抱え、ひきずるようにして転圧し、その層を三層程くり返すと、ローラによる転圧が可能な状態になります。軟弱であるからといって、撤き出し厚を厚くすると、何層重ねても堅固な状態にならないので、困難でも確実に実施することが必要です。それと施工箇所をきれいなドライな状態に保つことは困難なので、転圧は、まず、速やかに一次転圧を行います。用土を撤き出した後、土粒子の間に水が浸透しないよう、直ちに足で踏むとか、バックホウのバケットの背で押すとか、速やかに土を押さえ土粒子の空隙を少くするための一次時転圧を行った後、引き続き本格的に二次転圧を実施すれば、確実な転圧結果が得られます。また転圧については、ローラの補助として、端部などはランマで転圧しますが、この比率を大きくすると実現不可能な計画となります。例えば一日に $200m^3$ 施工する刃金土の 30% をランマで

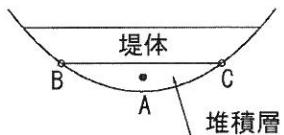
転圧する計画とすると、一日 $60m^3$ のランマ転圧が必要となり、所要のランマ台数は 10 台程になります。現場では不可能な組合せとなります。旧堤体の掘削断面を一断面づつ単独に見ずに、少々作業土量が増えても、旧堤体と刃金土の接続面などが出来るだけ直線に近い形になり、タイヤローラ等による転圧で、タイヤが旧堤の際まで乗れるよう配慮すると、ランマによる転圧はほんの補助程度となり、現場に合った施工方法となります。転圧の方向が堤軸と平行に行えることも止水性、施工性にとって大きなメリットとなります。堤高の割に堤長の短い場合 ($L = 50m$ 以内程度) も注意が必要です。この場合は、堤体内に取水設備、余水吐等の施設を設ける計画であれば、施工手順によつては、盛土に多くの接続部が生じたり、転圧延長の短さから転圧方向が上下流方向になること等で、施工が不均一となり、品質が低下して漏水の原因となります。取水設備の統合、余水吐と取水設備の兼用化等を検討し、転圧延長を長く取れるように工夫して、盛土品質の確保をはかることが大切です。

f. その他設計上の工夫

イ) 堤体内に設置されていた古い底樋管が木樋である場合等は、旧樋管は谷の最深部の非常に深い位置の堆積層の上に造られている場合が多いようです。この場合は、底樋管の腐食を防ぐため、落水しても底樋が水没しているようにとの配慮からそうなっているのですが、改修後は鉄筋コンクリート製になるわけです。堤体上流側の池底最低部の水が取れさえすれば、コンクリートの樋管が落水時に空気中に曝されても支障がないのですから、以前のように深い位置での設置は必要ではありません。

e 図の A の位置にあったものを地元と協議

e 図



して（最初は反対・抵抗されます）B 又は C の位置に移設すると安定した基礎地盤上の構造物となり、うまくすれば外法の水路延長の短縮なども可能になり、基礎処理工も不要となって、経費の節減にもなります。

口) 古い底樋管は木をくりぬいたり、石を組合せて造られていたりしますが、底樋管からの漏水は昔からの課題です。昔の人は「粘り刃金」などと言って、壁土のようにこねた粘性土でまず底樋管を巻立てておいて、その上で堤体の盛土を行っていました。それは現代においても「コンタクトクレー」として施工に用いられている工法に整合します。すなわち一般刃金土よりは粘土・シルト分の多い用土を許容範囲内で含水比を高くして、あらかじめ堤体左右岸の岩着部や、余水吐、底樋管の埋戻しや盛土に先立ち施工して、盛土と性格の異なる材質の物との密着性、止水性の確保を図るもので、土は同じ転圧回数なら含水比の高い方が透水係数が小さくなります。盛土の含水比の許容範囲内の湿潤側で転圧すれば、乾燥側で施工するより著しく透水係数が小さくなりますので、堤高の低いため池の場合は、この含水比範囲での施工は非常に好ましい結果をもたらします。またそうした施工の方が施工後的小さな盛土の動きに対しても追随性が高く、柔軟に対応します。

ハ) 刃金用土は粘土・シルト分が 30% 以上あり、土粒子の比重、不純物の混入が少いことなどの条件を満足すれば使用できるのですが、目視や手に取っての感覚をよく知っておくべきです。粘土・シルト分 30% 含有の土を実

際に見るとかなり砂質っぽく見えます。一見粘性土だと感覚的に思われる土は 50 ~ 70% 程度も微粒子を含んでいる場合が多いので、実際に確認しておくことが大切です。微粒子が少なく止水性が無いのではと思われる土でも、試験をして見れば意外と微粒子を含んでいるものです。又含水状態によっても外見は大きく異なります。砂質のものでは非常に含水比が高いと思っても 10% 程度だったり、微粒子を含んでいないと感じても乾燥してくると微粒子が浮かびあがってくるものです。状態の異なる外見で騙されてはいけないです。

二) 特殊な水利慣行を持つ池もあります。親池が満水した後、嵩上げをしないと子池への送水路に水が乗らない池とか、満水面から一尺分だけは苗代水として、水利役員でなくとも水利権者なら自由に取水出来る池とか、満水した時ののみ一回だけ、池上流側の水田に水が入る「つかり田」等地区毎の特性もあるわけですから、「国の規準だ」等と言って一方的に決め付けずに地元の要望に耳を傾けてみる必要もあると思います。

その他永年の間に見聞きし、体験したこと、試行したことなど、まだまだ書き尽くせませんがこれ以上は冗長にもなりますので、このあたりで筆を置き、諸兄のご批判をお待ちします。

なお、ここで述べさせていただいたことは、大阪府在職中に委員として編纂に参加した大阪府の「ため池施工の手引」（平成 3 年）にも反映されています。

(追記)

以上述べさせていただいたことは、主に経験によるものですが、近年、平成 7 年の兵庫県南部地

震、平成19年の能登半島地震、新潟中部地震、平成20年の岩手・宮城県地震など大規模な地震が頻発するようになり、安全に対する世論の要求も、又それに応えようとする設計のあり方にも変化が出てきました。

ため池の堤体の地震に対する安全性については、土地改良事業計画の手引き「土地改良施設耐震設計の手引き」H.16年3月、では（レベル1）の地震動に対し「円弧すべり法」による検証を行うよう示していますが、改修に必要な所要の特性を持つ堤体用土の入手困難など課題が多く残されています。今後の堤体の改修については、そのような適性を持つ刃金用土の入手困難、掘削泥土の処分場の不足など、状況の変る社会の中での対応が難しくなってきていますが、それらの難題にも十分対応し得る画期的な方法として、既にご存知の方も多いとは思いますが、ため池の底泥土を活

用した「碎・転圧盛土工法」が（独）農研機構農業工学研究所等により開発され、施工例も報告されておりますのでご紹介をさせていただきます。工法の概略をご説明しますと、この方法は池内の底泥土をセメント系固化材により固化処理して、所要の強度と遮水性を有する築堤土として活用するもので、まず一定時間だけ固化させた底泥土を規定の最大粒径で解碎して、再転圧することで従来の改良土の欠点を補った改良土として築堤に用いて改修後の堤体に所要の強度と遮水性を与え、かつ底泥土も同時に処分出来る工法です。

設計法の詳細については「水と土」2009No.156、No.157に「碎・転圧盛土工法による老朽フィルダムの堤体設計法」(1) 同 (2) として、福島伸二、谷茂、北島明、五ノ井淳の報文がありましたので、記載しておきます。

