

程度に設定) を想定し、円形すべり面スライス法によりスマートガビオン敷設にともなう安全率 F_s の変化を調べた。スマートガビオンはアンカーなどを用いて固定する構造ではないため、鉛直下向きの上載荷重（表面荷重）としてモデル化している。図-19 に、ため池堤の高さ、スマートガビオンの厚さおよび震度係数の条件を組み合わせた 8 ケースについて F_s をまとめる。総じて、スマートガビオンを敷設することにより斜面安定性が劣悪化することはないと判断できる。地震時には押え盛土的な効果により F_s の低下を抑えることができそうであるが、これは上記の表面荷重としてのモデル化の結果に基づくものであり、地震時に作用すると想定される横方向慣性力を考慮すると必ずしも实际的である点に注意しなければならない。

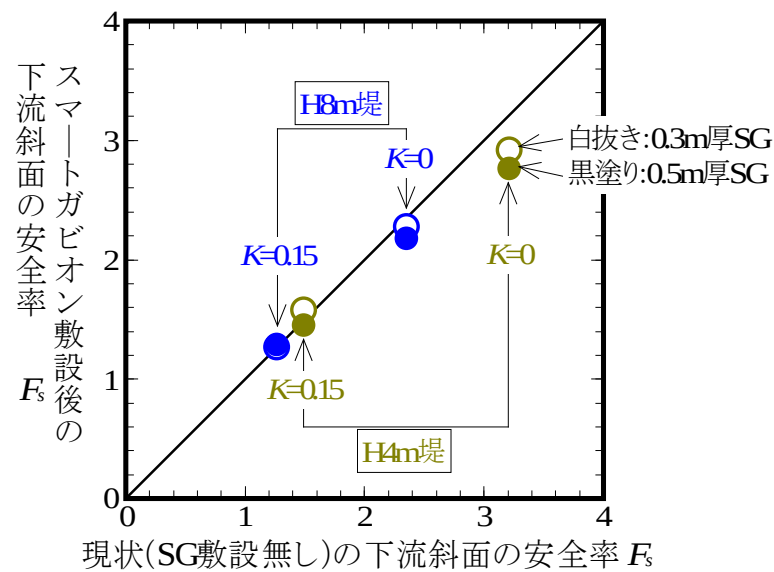


図-19 スマートガビオン敷設にともなう安全率の変化

3)ため池堤の応力変形挙動

スマートガビオンの敷設によって堤体内にモビライズされる主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_m$ を、破壊時の最大主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と比べることにより、応力度に基づく要素安全率 F_s^e を通して、堤体内の局所的な安全性を評価した。図-20に、弾性FEM解析による応力分布から算定した、スマートガビオン敷設にともなう要素安全率の変化量 ΔF_s^e を示す。スマートガビオンの自重は鉛直方向の表面荷重として作用させた。土の自重および震度法に相当する水平方向慣性力は、それぞれ、節点荷重ベクトルの y 方向成分および一律下流方向に向け x 方向成分に分配した。スマートガビオンの敷設により F_s^e が低下するが、その範囲はスマートガビオン直下の斜面表層部に限定される。地震時には、表面荷重が押え盛土的な働きをして、この斜面表層部における安全性の低下を抑えることがわかる。

下流斜面に生じる変位を図-21に示す。堤体土の弾性係数は、 N 値との関係から $2,100\text{kN/m}^2$ に設定した。沈下量は堤頂ブリンクで $0.02\sim 0.04\text{m}$ （堤高比で $0.25\sim 0.5\%$ ）とわずかであり、ため池の管理運営に支障をきたすものではないことを確認できた。

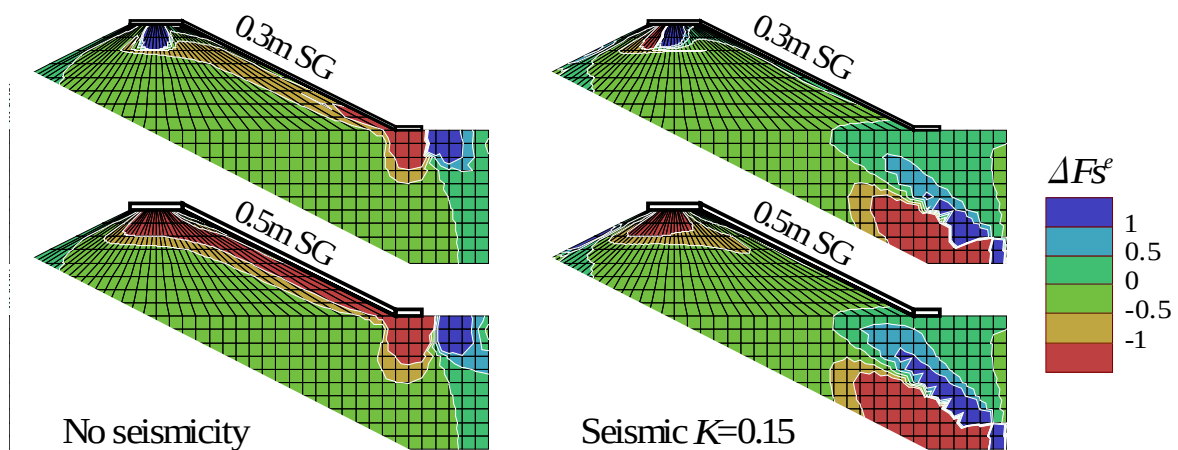


図-20 スマートガビオン敷設にともなう要素安全率の変化

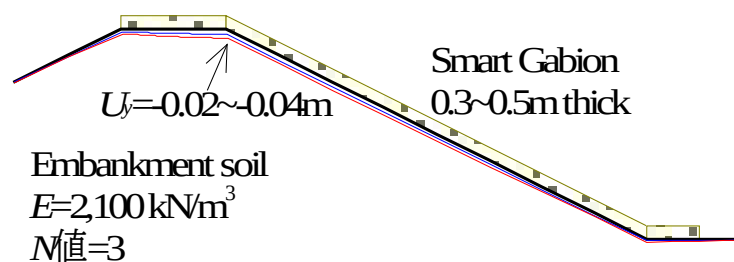
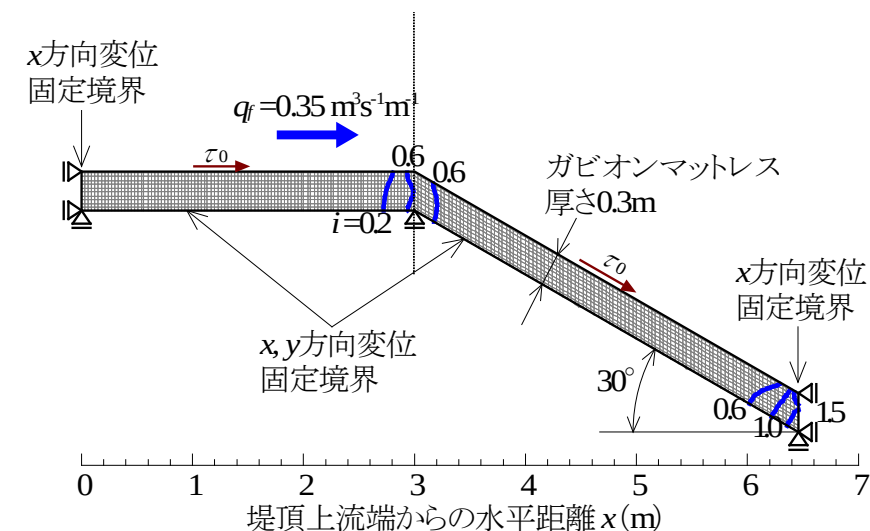


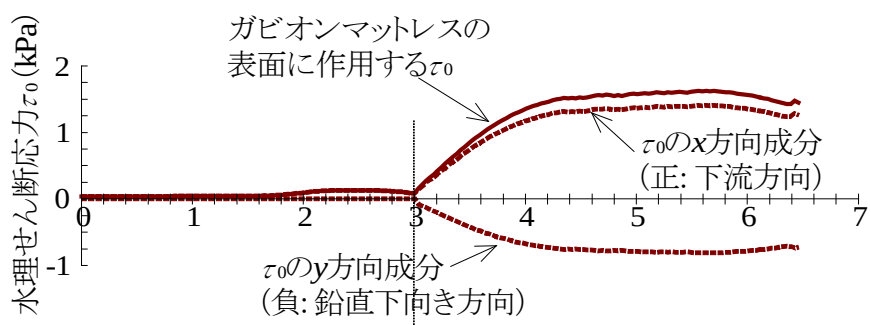
図-21 スマートガビオン敷設にともなう堤体表面変位

4)スマートガビオンの表層すべり安定性の照査

斜面勾配 30° の堤体を対象に、その有限要素モデルを図-22(a)に示す。堤頂から斜面にかけての鉄線かご柵石詰め層の底面は水平方向 x と鉛直方向 y の両変位が固定された境界面、そして堤頂部の上流端面および斜面先の下流端面は x 方向の変位のみが固定された境界面とする。前者の境界条件の設定により、鉄線かご柵石詰め層底面に隣接する有限要素内に生じる x 、 y 方向直応力とせん断応力を介して、堤体表面に沿ったすべり力 S およびすべり抵抗 R を算定でき、それらの比である安全率 $F_s=R/S$ から、スマートガビオンの滑動に対する安全性を照査できる。一方、後者のように境界条件を設定すれば、上下流端面に隣接する有限要素内の応力分布から、 x 方向の変位が生じないようにするために必要な水平荷重を算定でき、これにより、上流および下流ガビオンアンカーのサイズを決定できる。ここで、上流ガビオンアンカーは、同図に併記するように、構造部位としてランアウト（迫り出し）と呼称される。下流ガビオンアンカーは、下流エプロンを兼ねる構造部位である



(a) 応力変形解析のための有限要素モデル, ならびに越水時に生じるガビオンマットレス内の動水勾配 i の分布



(b) ガビオンマットレスの表面に作用する水理せん断応力 τ_0

図-22 スマートガビオンの表層滑動に対する安全性に影響を及ぼす(a)石詰め層内の動水勾配分布および(b)その天端表面に作用する掃流力。応力変形解析のための有限要素網と境界条件を合わせて(a)に示す。(堤体斜面勾配 30° について)

様式 1

上述の 3 つの力のうち 1 つ目の浮力が作用した状態での鉄線かご砕石詰め層の水中単位体積重量は、D100~200 mm の玉石を用いた 8 件の室内水路実験における測定値に基づき、それらの平均として表-1 のように設定し、これを鉛直下方向に働く物体力とした。2 つ目の浸透力は、図-22(a)に示す動水勾配に基づき、有限要素内で生じている流速の方向に準じて、x 方向および y 方向の物体力として算定した。3 つ目の掃流力 τ_0 は、流れに直交する断面におけるスルーフローとオーバーフローの平均流速の差が、鉄線かご砕石詰め層の表面に作用して生じる。この平均流速の差を石詰め層の表面を流下する速度 v とすると、 τ_0 は式(1)と(2)を用いて算定できる。

$$\tau_0 = \rho_w C_f v^2 \quad (1a)$$

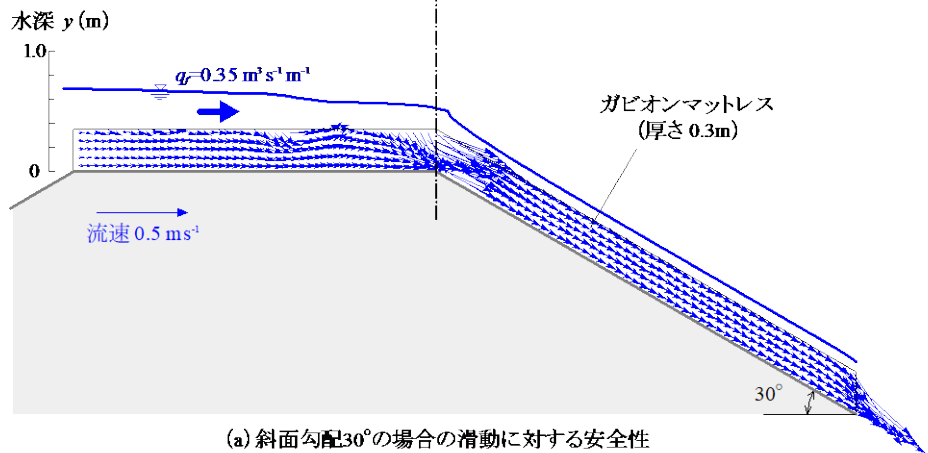
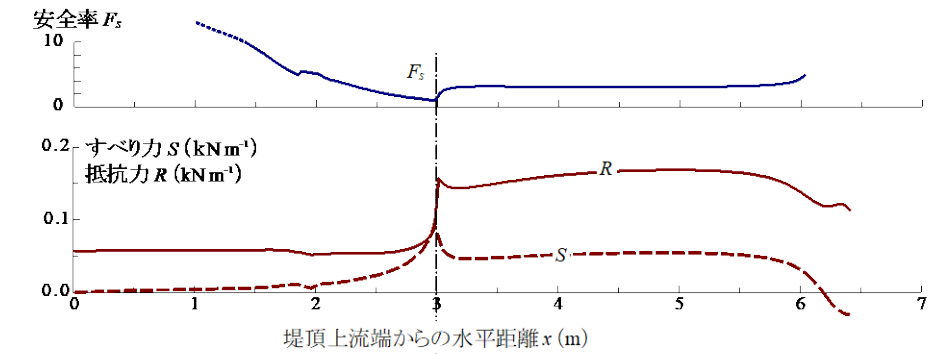
$$C_f = \frac{n^2 g}{R^{1/3}} \quad (1b)$$

ここで ρ_w は水の密度、 C_f は抵抗係数（無次元）、 n はマンニングの粗度係数、 R は径深そして g は重力加速度である。これを図-22(b)に実線で示す。応力変形解析では、この掃流力を表面力として鉄線かご砕石詰め層の表面に載荷することになる。その x 方向と y 方向の成分は、図-22(b)の破線のようになる。このうち y 方向成分をみると、水平状の堤頂部では当然ゼロであったものが、斜面部に入ると、鉛直下向きの力となって作用するようになる。つまり、掃流力による表面力は、斜面部では鉄線かご砕石詰め層を押さえつけて、すべり抵抗を大きくする方向に働くことになる。

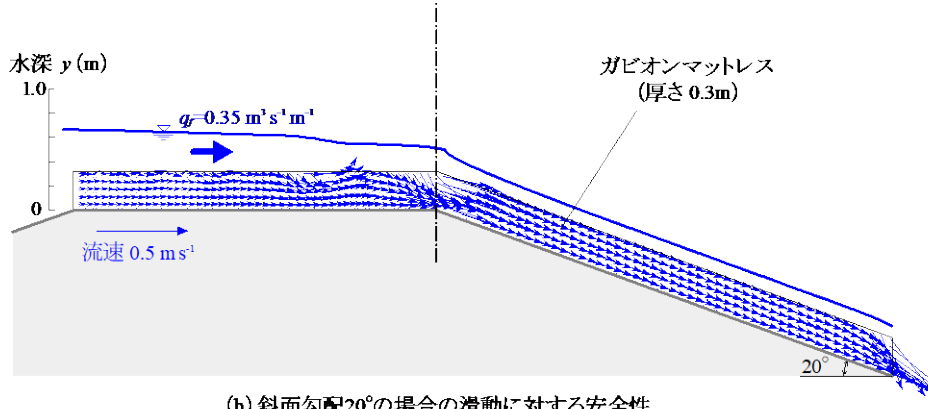
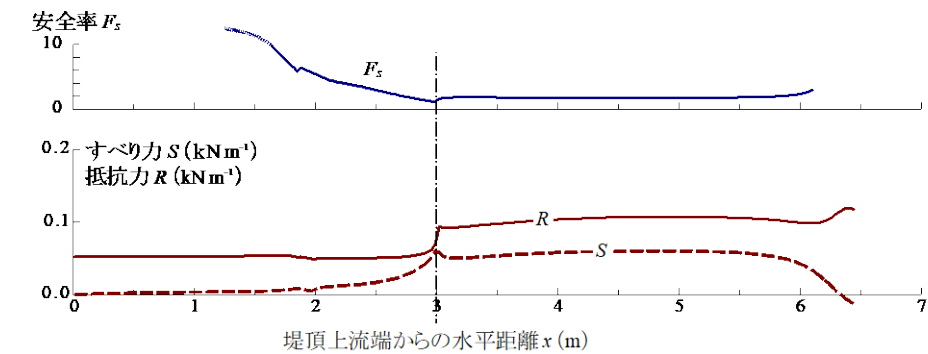
上記の 3 つの力を作用させた応力変形解析に基づき、滑動に対する安全性照査の結果を図-23 に示す。ここで、 S は、ガビオンマットレスの底面に接する有限要素内で生じたせん断応力に単位奥行き長を持つ要素辺長を乗じて、 R は、要素内の直応力とせん断応力の堤体表面に直交する成分とを合算して垂直応力とし、これにガビオンマットレスと堤体土との間の摩擦係数 μ および要素辺長を乗じて算定した。後述のバックホウを用いた引張りせん断試験に基づき $\mu = 0.6$ に設定した。

図-23 より、斜面勾配 20°、30°のいずれにおいても、堤頂部の下流側区間で F_s が低下している。これは、図-22 で示したように、堤頂部のスルーフローが波打ちながら斜面部に飛び込むように流れる際、ブリンク直前で生じる上向き方向の流れがすべり抵抗力に関わる垂直応力を減じるために生じたものである。その結果、この区間は相対的にリスクな状況になるが、斜面部で掃流による表面力がガビオンマットレスを押さえつけ R を大きくする方向に働くため、 F_s は回復し、全体として滑動に対する安全性は十分に確保されるようになる。図-23 の(a)と(b)を比べると、上記の掃流による押さえつけが小さくなる分、斜面勾配 20°の方で滑動に対する安全性が相対的にあまり高くはならない。

いずれにしても、堤頂部上流端面と斜面部下流端面における水平変位固定条件が確実に保証されれば、想定される最大の単位越水量のもと、斜面勾配 20° ~ 30°の標準的なため池堤体では、表層滑動に対するリスクはなく、ガビオンマットレスは構造物として健全に機能すると判断できる。



(a) 斜面勾配30°の場合の滑動に対する安全性



(b) 斜面勾配20°の場合の滑動に対する安全性

図-23 自重と浮力，浸透力および掃流力を考慮した応力変形解析からえられたガビオンマットレスに作用するすべり力 S とすべり抵抗 R ，ならびに R/S で算定した安全率 F_s 。(最下段の水面形・流速分布の図 17(a) と (b) に同じ.)

(2) せん断抵抗係数の現地測定試験

1) 概要・目的

表層すべり解析法では、計算法そのものは一層単純なものであるが、重要な計算パラメータである不織布ジオテキスタイル（以下ジオテキスタイルと略称する）を挟んだ形での石詰め層と地盤土との間のせん断抵抗係数（摩擦係数 μ ）について調べた事例は確認できなかった。護岸設計では、石詰め層と地盤土との間の直接の μ として 0.65 が推奨されている。スマートガビオンの敷設に際しては、腐植土を鋤取りしたあと、購入土を締固めながら整地整形を行う必要がある。強度管理した締固め地盤を準備し、バックホウを用いて引張せん断試験を実施した。

2) 試験方法

1m 正方形で厚さ 0.3m の鉄線かご枠に D100～200mm の玉石を秤量しながら投入して詰めたのち、石詰めかご枠の背面に鋼材アングル治具を配置しこれに側面からワイヤロープを掛け、バックホウで引っ張った（図-24）。石詰めかご枠が動き出した時点ですべりせん断とし、引張荷重を鉄線かご枠の設置面積 1m^2 で除して引張せん断応力 τ を、またその時の上載荷重を接地面積で除して直応力 σ_n を求めた。続いて、石詰めかご枠の天端に鉄板ウェイトを置き、引張せん断試験を繰り返した。上載荷重として、自重、鉄板ウェイト 1 枚加算および 2 枚加算で得られた 3 点の測定値（ σ_n 、 τ ）を、原点を通る直線で回帰し、その傾きとして μ を求めた。砂質細粒土と砂混じりシルト（高液性限界）を用い、コーン貫入抵抗 q_c が 50kN/m^2 程度の柔らかい状態から、 $250\sim 500\text{kN/m}^2$ に締め固めた状態の地盤土とした。ジオテキスタイルとして 2 点の市販製品（商品名ステラフェルトおよび FP シート）を用いた。ジオテキスタイルを敷かないケースを含め、これらの試験因子を組み合わせると計 12 ケースの測定を行った。

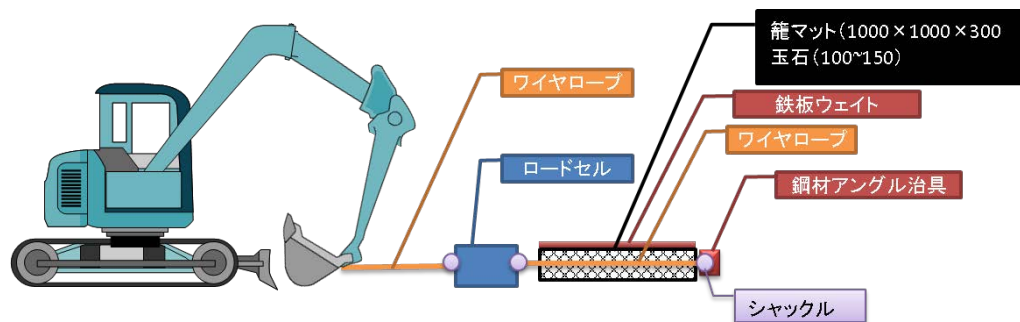


図-24 試験器具の取付状況（側面図）



写真-4 試験状況写真

3) 試験結果

ジオテキスタイルの種類および地盤強度の違いによる μ の因子効果に有意なものは認められなかった。図-25 から、ジオテキスタイルを敷かずに石詰めかご枠と地盤土との間で直接せん断を行った試験ケースでは、全体的にみてジオテキスタイルを敷いた 11 ケースの μ より大きめの値を出している。前者の 1 ケースのみであるので断定できないが、傾向として、ジオテキスタイルを敷くことにより、石詰めかご枠と地盤土との間の摩擦抵抗が小さくなるようである。このジオテキスタイルを敷かないケースを含め全 12 点の μ の値は、x2 適合検定によると、偏りはなく正規分布に沙汰がうとみなせるので、95% 信頼区間の下限值をとって、摩擦係数として $\mu=0.6$ を設定した。

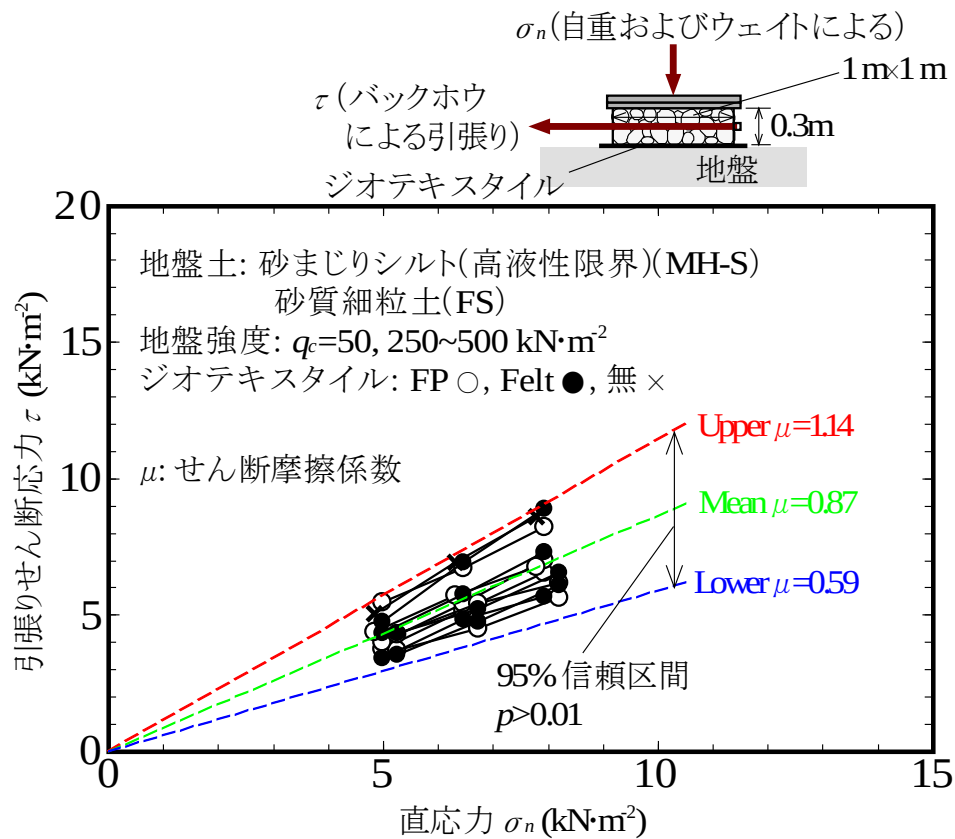


図-25 現地引張せん断試験により得られたスマートガビオンによる
 載荷を受ける不織布ジオテキスタイルと土の間の摩擦係数

1. 7 [C]スマートガビオンの敷設工法の研究開発/実証試験

スマートガビオンの構造安定性や水理挙動、水食防止機能の各種課題検討を通して、おおむね技術設計フローが固まったことから、実装化に向け、小規模ため池を対象に試験施工を実施した。ここでは、試験設計計画策定から試験施工完了までを示す。

1. 7. 1 スマートガビオンの設計

(1) 設計洪水流量と越水流量の算定

これまで、国内において、越水補強工は、その工種はもちろん設計・施工技術についてほとんど議論されてきておらず、参照できる施工事例はない。このため、表-2 に示すため池を選定したうえ、具体的な技術設計を進めた。このため池は地元了解が得られたもので、流域面積 0.139km^2 の小規模な古い谷池である。土地改良事業設計指針に従い算定した設計洪水流量は表-3 となる。洪水吐の流下能力が見込めず、洪水流がそのまま堤体を越えると想定すると、単位堤頂長あたりの越水流量は $0.094\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ となる。

表-2 スマートガビオンの設計・施工に向けて選定下ため池諸元

築造年	明治時代
型式	均一型(粘性土)・谷池
天端幅 (m)	3.5
堤高 (m)	3.75
堤頂長 (m)	30.8
法勾配	上流 29.1° 、下流 29.3°
流域面積 (km^2)	0.1390
設計洪水流量 (m^3/s)	2.891
単位堤頂長あたりの越水流量 ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)	0.094

表-3 設計洪水流量と越水流量の算定

	A 項流量	C 項流量
洪水到達時間 t_p (min)	44.2	46.1
有効降雨強度 r_e (mm/h)	62.4	55.3
洪水ピーク流量 (m^3/s)	2.409	2.135
設計洪水流量 (m^3/s)		2.891
単位堤頂当たりの越水流量		0.094

(2) スマートガビオンの表層すべり掃流に対する安全性の照査

越水流れは、その一部が石詰め層内を流れることにより流速が大幅に低減されるものの、堤体表面土に接して土粒子の侵食をもたらす水理せん断応力はまだ大きい。このため、スマートガビオンでは、越水流れによる堤体表面土の侵食を確実に防ぐため、堤体表面にジオテキスタイルの水食防止マットを敷設し、これを鉄線かご枠石詰め層で被覆圧着する構造とする。したがって、鉄線かご枠石詰め層は、構造的に安定して被覆圧着できるよう、堤体斜面に沿って、表層すべり（滑動）を起こすことなく、かつ掃流（粒子の転動や跳躍移動）に対して安定したものでなければならない。

表層すべりに対する安全性は、石詰め層の厚さ（石詰め層の重量）、越水深（粒径・粒形に関係した石詰め層の透水性と石詰め層表面の粗度係数の2つの要因によって決まる）に伴う、浮力、石詰め層内の流れに伴う浸透力、並びに石詰め層と斜面土との間のせん断摩擦係数 μ に左右される。これにより、表層すべりに対する安全性は、石詰め層の厚さと使用する石礫粒子の粒径・粒形の組合せに対する設計試算の過程で照査されることになる。設計試算によって決定した石詰め層の諸元を表-4に示す。厚さは0.3mとし、越水深さは、石詰め層の諸元の流れに対する浸透流解析と層表面の上を流れる不等流（場所的に流量が変化する流れ）の数値積分計算とを連結した越水流れの水理解析を用いて算定した。その結果、石詰め層表面に作用して生じる水理せん断応力は小さく、滑りを助長することはないと判断した。以上を勘案して、表層すべりに対する安全率を算定すると図-26のように1.32となり安全性を確認できた。ここで、 μ はバックホウを用いた現場引張試験により測定し0.89とした。これらの一連の安全性の照査では、堤頂に敷設した石詰め層が、斜面下り方向のすべり力に対するカウンターバランスとして機能するとした。

掃流に対する安全性は、傾斜水路（斜長 4.0m、幅 0.5m、傾斜角 20° と 30°）を用いて、先に想定した越水流量を大幅に上回る 0.35 m³/s/m を再現した越水試験を実施し確認した。護岸設計に用いられる構造モデルにより逆算した無次元限界掃流力は0.25以上であり、鉄線かご枠により掃流に対する安全性が確実に保証されることを明らかにした。

表-4 設計試算により決定した石詰め層の諸元

石詰め層諸元	厚さ 0.3m
	嵩単位体積重量 $\gamma_t=16.624$ (kN/m ³)
石材	均一型(粘性土)・谷池
越水流れ水深	石詰め層内の流れ 0.3m (直交方向)
	石詰め層上の流れ 0.03m (直交方向)

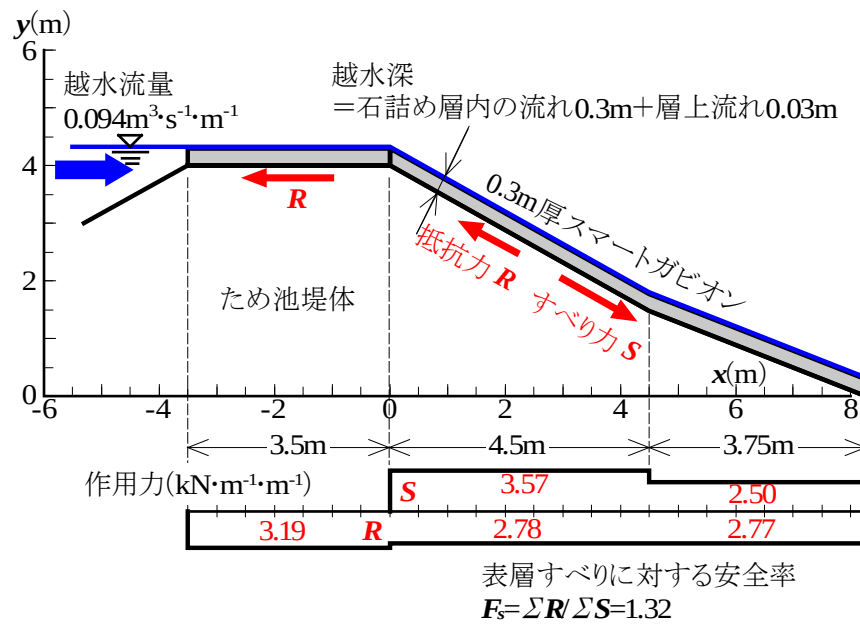


図-26 越水時の表層すべりに対する安全性の照査

(3) スマートガビオンのすべり安定性および堤体変位の照査

厚さ 0.3m の石詰め層の場合、堤体表面に 5kN/m^2 程度の鉛直荷重が作用するため、スマートガビオンの施工に伴う堤体斜面の滑り安全性と堤体の変位挙動を定量評価しておく必要がある。まず、斜面すべりの安全性を円形すべり面スライス法により検討した。図-27 のように、平常時と地震時（設計震度 0.15）において安全率が大きく低下することではなく、すべり面の大きさと位置にもほとんど違いはない。次いで、弾性応力解析により算定した堤体沈下量を図-28 に示す。解析に用いた変形係数は、SWS 試験で測定した堤体の換算 N 値より推定した。沈下量は堤頂の下流縁近傍で、0.03m、堤高比で 0.85%とわずかであり、ため池の管理運営に支障をきたすものではないことが確認された。

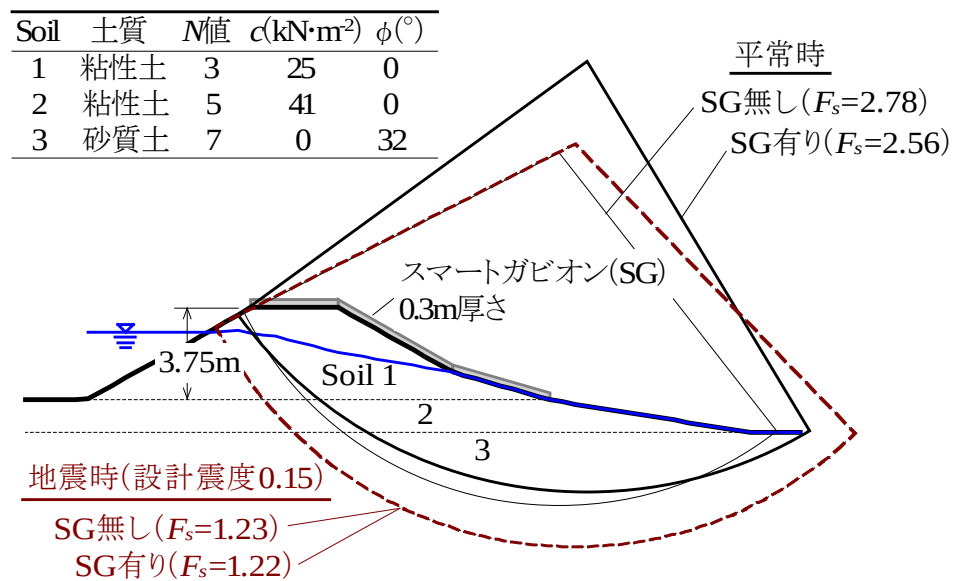


図-27 スマートガビオン敷設に伴う斜面滑り安全率の変化

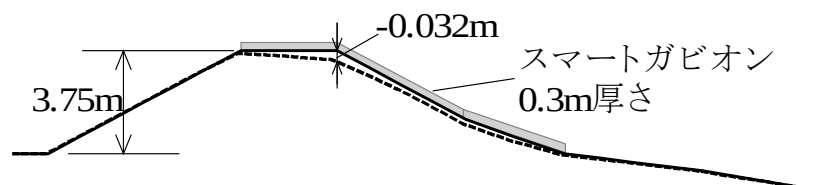


図-28 スマートガビオン敷設に伴う堤体沈下量

(4) スマートガビオンの水食防止機能の照査

1) 概要・目的

越水流れの水理解析より、石詰め層を取る流れの流量流速は 0.5m/s 程度と算定された。石礫粒子間の間隙を縫う流れの実流速はそれより数倍大きく $1\sim 2\text{m/s}$ 程度になると推定され、それが直接斜面土を流下すれば土壌侵食が起きる可能性がある。このため、石詰め層と斜面土との間にジオテキスタイルを敷設し、流下水の直接の作用を遮断して斜面土の水食を防止する必要がある。これを水食防止マットと呼ぶこととし、上記の流速を再現した室内傾斜水路実験により、斜面土に対する水食防止効果を検証することを目的とした。

2) 水食防止効果を調べるための水路実験の条件

実験は図-29 に示すような、長さ 4m 、傾斜 30° （ため池堤の標準的な法面勾配）のアクリル製水路によった。不等流計算に基づき等流状態が確保できる区間を設定し、この区間に、あらかじめ土を突き固めたソイルボックスを取り付けた。水路全長に水食防止マットを敷設して、約 30 分間流下させ、次いでマットを取外して土表面が露呈した状態で同程度の速度で流下させ、水食程度を比較した。水食防止マットには、市販製品の調査に基づき、標準的な使用として厚さ 1cm 、透水係数 $1\times 10^{-3}\text{m/s}$ 程度を有するジオテキスタイルを用いた。土羽土として用いられる砂混じりシルト（MH、細粒分 86%、砂分 14%、 $w_{opt}=46.0\%$ 、 $\rho_{dmax}=1.111\text{g/cm}^3$ ）を用い、強締め、中締めおよび緩締めのソイルボックスを作成して実験を行った。表-5 に実験条件を示す。加えて、土羽打ちなど整地・整形時に起きやすい斜面土表面の施工傷（窪みや切削穴など）の影響を調べるため、ソイルボックス上流端から 40cm の位置に $L40\times W30\times D25$ の円錐台状の窪み穴を穿ち、これを上記の大きな流速流れにさらした。

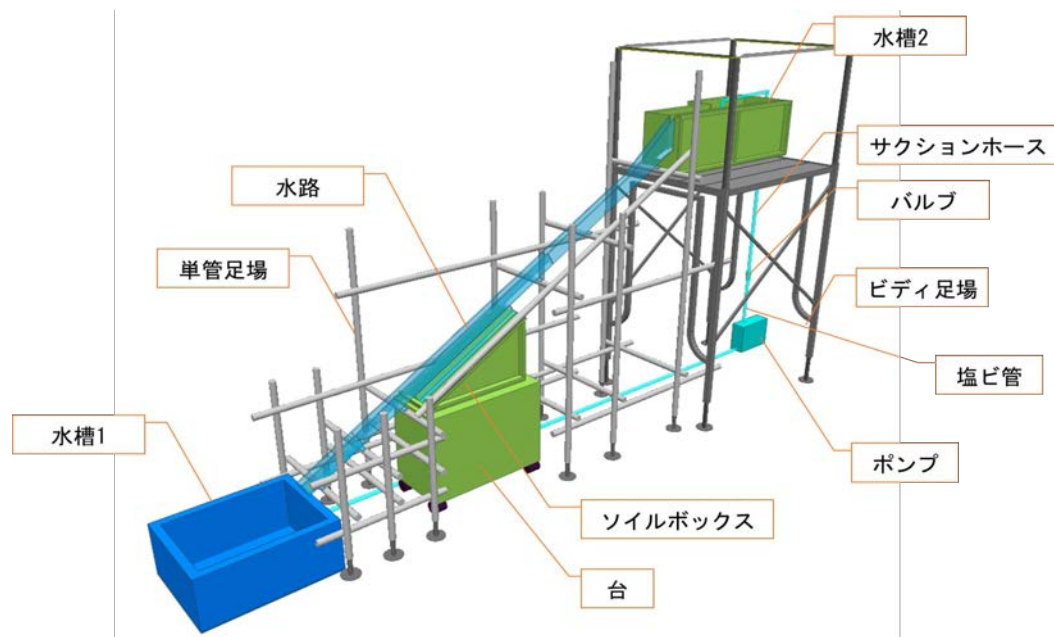


図-29 水食防止効果を調べるための水路実験装置

表-5 水食防止効果検証のための実験条件

土の締固め度	流速	マットの有無
<u>水食防止マットによる水食防止効果検証</u>		
D=100% 強締め	流速一定 1.5 m/s	有・無
D=95% 中締め	流速一定 1.5 m/s	有・無
D=85% 緩締め	流速一定 1.5 m/s	有・無
<u>損傷窪みに対する水食防止効果検証</u>		
D=92% 中締め	流速漸増 削孔有	有

3) 実験結果・まとめ

図-30 に、締固め時の土表面位置を基準にして、水食防止マットを敷設して流下させた場合およびマットを取り外して土表面を直接流下させた場合の平均水食深 ξ を比べる。マットが敷設されていない場合、水流の作用によりたたく間に水食が始まり土壌流失に至ったが、マットが敷設されていればこれらは確実に防止された。水食防止マットを浸透して下る流れの速さはマット上の流れに比べ圧倒的に小さいため、効果的に水食防止が発揮されたことになる。マットを通る浸透流れの速さは斜面の傾斜角とマットの透水係数によって一元的に決まるため、マット上の流れの速度にかかわらず水食防止マットの効果は安定的に機能するものと考えられる。これを確認するため、水路の流下速度を2～3.5 m/s に上げて、約 40 分間、中締めおよび緩締めのソイルボックスを供試したが、水食が起きることは全くなかった。また、損傷窪みに対する水食防止効果検証では、密着したマットに遮断されて、この窪み穴に水流が集まり水食のトリガーになるようなことはなく、安定した水食防止の機能が保たれることが確認できた（図-31）。この水路実験で確認できた材料条件から、水食防止マットは厚さ 0.01m 程度、透水係数 1×10^{-3} m/s 程度あれば良いと判断された。

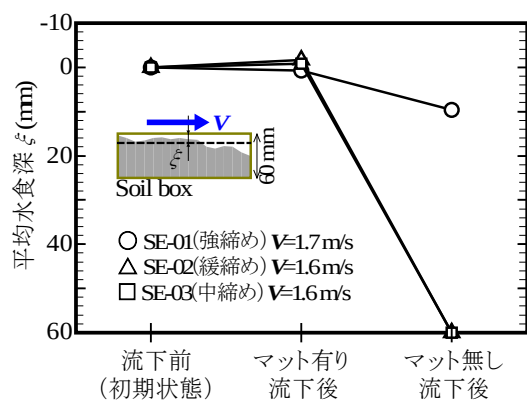


図-30 水食防止マットによる水食防止効果の結果

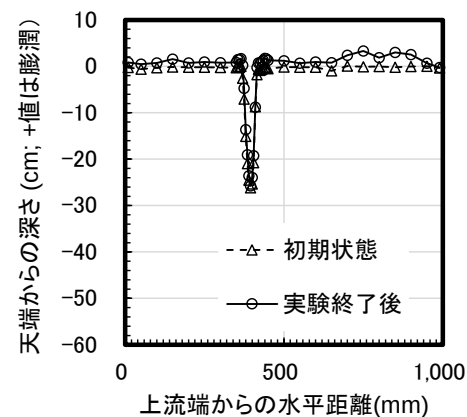


図-31 実験前後の土表面の比較

1. 7. 2 スマートガビオンの施工

(1) 概要

現場条件を考慮したスマートガビオンの設計が固まったことから、小規模ため池を対象に試験施工を実施した。ここでは、試験施工計画策定から試験施工完了までの流れを示したのち、試験施工で得られた知見を記す。

(2) 試験施工での検証項目

試験施工では、試験箇所において下記に示す内容を検証した。

○試験結果と実施工の関係についての検証

- ①堤体天端と法面の除根と法面整形の確認（土と水食防止シートに不純物の残りや、不自然な凹凸がないか確認）
- ②水食防止シートと法面の密着手法の確認
- ③スマートガビオンのせん断抵抗性についての確認

○施工能力の検証

- ④カゴマットの構造、組立方法、設置順序が妥当であったかどうかの確認
- ⑤水食防止シートの敷設方法、敷設順序が妥当であったかどうかの確認
- ⑥使用バックホウの施工能力と人力による石詰め施工能力の確認

(3) 試験施工での現場条件

試験施工箇所を選定したため池は、新潟県長岡市に位置しており、以下に主要な現場条件を示す。

- ①稲作が盛んな地域であるため、灌漑期中の施工は難しい。
- ②日本有数の豪雪地区であるため、11月中旬頃から降雪が予想される。
- ③堤体の天端幅および管理道路幅が 3.5m である。
- ④玉石の採取場所から試験施工箇所までの往路が約 40km である。

(4) 試験施工計画立案上の課題

前述の①'と②'に関しては、灌漑期終了の 10 月から降雪が見込まれる 11 月中旬までに施工を完了させることが課題となる。③'では堤体天端幅および管理道路幅 3.5m で施工できるバックホウの選定が課題となる。④'では往路の距離が施工の進捗に影響を及ぼすことから、玉石の搬入方法が課題となる。

(5) 試験施工計画での対処方法

①'、②'では計画工程表を作成して 1 ヶ月で作業が完了できるように施工計画を立てた。③'では幅 3.5m で作業可能な 0.25m³級のバックホウを選定して作業をすることとした。④'では試験施工箇所の近隣に集積ヤードを確保し、集積ヤードに玉石を一旦集積し、試験施工箇所まで小運搬する計画とした。

(6) 鉄線かご枠石詰め層の構造仕様

鉄線かご枠石詰め層の厚さを 0.3m、使用材料は粒形 D100～200mm の粗石（玉石）とした。かご枠の敷設面積は約 200m²である。堤体斜面では勾配が変化し平面的に扇形となることから、籠枠の底網が重なり側網に開きが生じる。このため、地上レーザースキ

ャナ（以下 LS と略称する）による精密地形測量に基づき図-32 に示すように、鉄線かご枠の適切な配置割付図を準備するとともに、斜面勾配の変化点における側壁の開きはコイル線で補強する構造（図-33）とした。

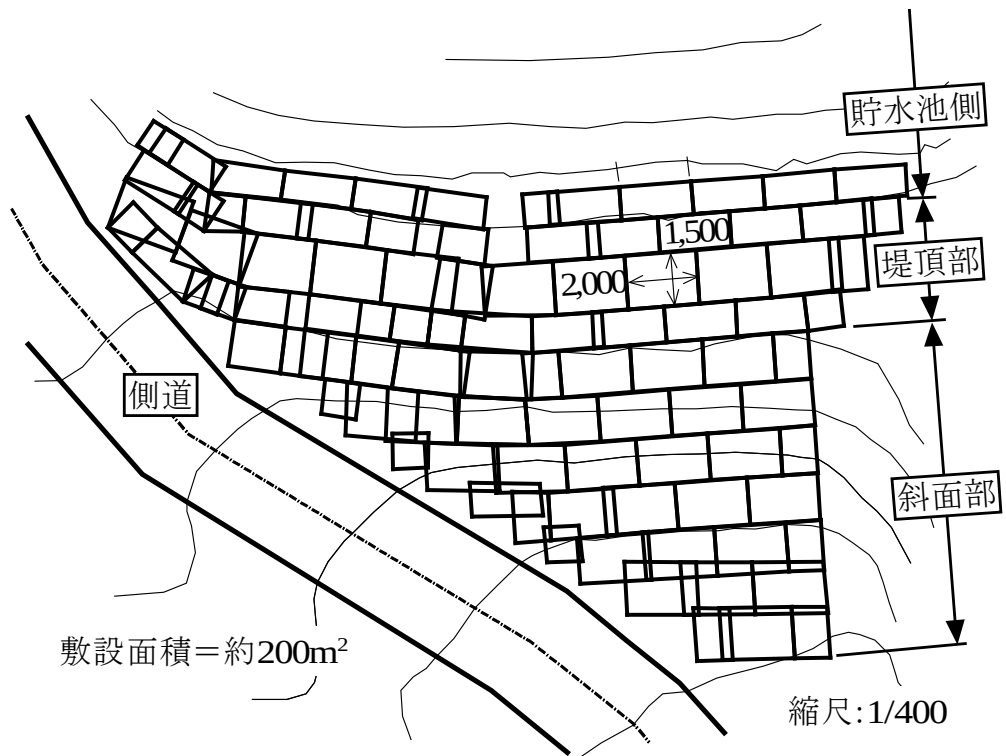


図-32 鉄線かご枠の配置割付図

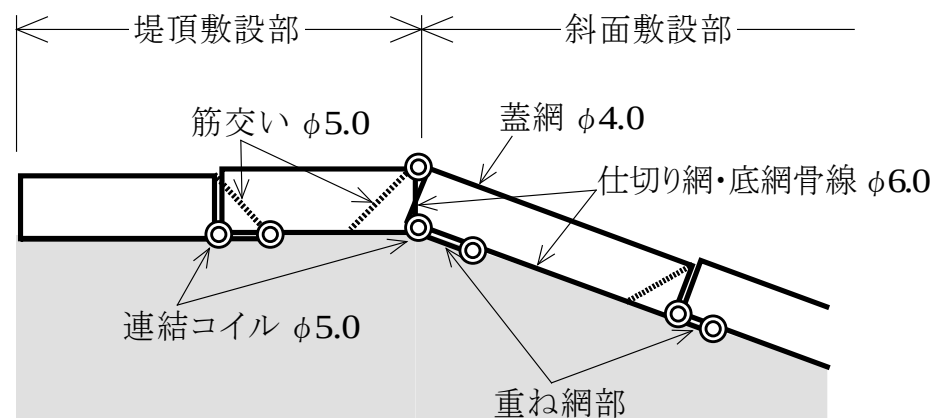


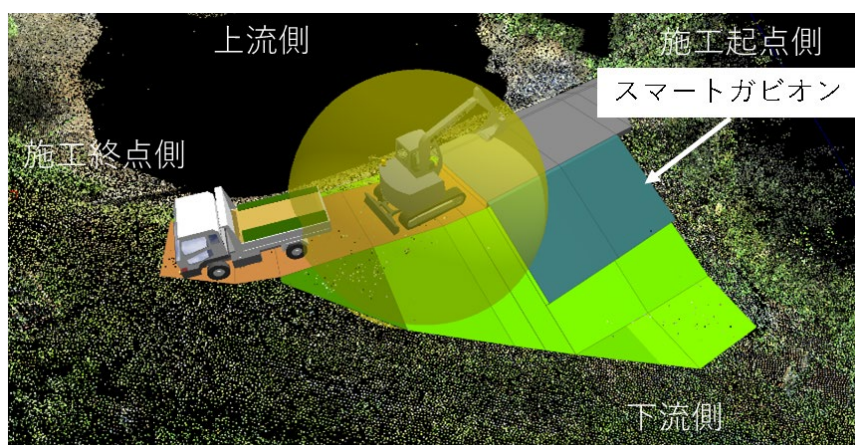
図-33 堤頂部と斜面部との鉄線かご枠の連結

(7) 施工計画と施工フロー

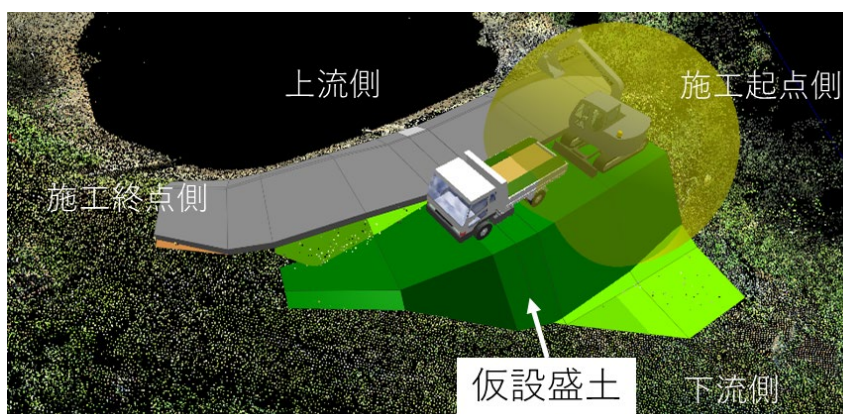
施工計画を立案する際のバックホウと堤体との位置関係、施工ステップなどの確認には図-34 に示すように 3 次元設計データを用いた。施工計画の立案では、(a) 案 A のため池天端上の施工起点側からスマートガビオンを敷設していく計画と、(b) 案 B のため池下流斜面側に仮設盛土を造成後、スマートガビオンを敷設していく計画の 2 つを立案した。最終的には、仮設盛土の造成にかかる作業日数と作業効率の観点から案 A を採択し、試験施工を行った。

スマートガビオンの施工では、特殊な手順は必要としない。まず初めに仮設工で仮設道路を設置し、次に堤体斜面の鋤取り・整形を行い、水食防止マットを敷設し、鉄線かご枠に玉石をバックホウで投入して人力で石詰め作業を行った（図-35）。

試験施工では、堤体が小規模で斜面長が短いため、堤頂にバックホウ（0.25m³ 級、作業半径約 6m）を乗り入れて斜面上の鉄線かご枠に玉石を投入するようにした。ただし、図-34 (b) の用に堤体が高く堤頂からの作業が困難・危険な場合には、下流斜面側にアプローチ盛土を造成し、ここにバックホウを乗り入れて一連の作業を行うなどの対応策が必要である。



(a) 案 A：ため池天端上で後退しながら敷設する計画



(b) 案 B：下流斜面側に仮設盛土を造成して敷設する

図-34 3次元データを用いた施工方法の検討



図-35 施工フロー

(8) 試験施工での確認検討項目についての評価

① 堤体天端と法面の除根と法面整形の確認

LS による堤体測量の結果や現地での観察から、想定していたよりも腐植土が堆積していることが確認されたが、落ち葉などが堆積した表面および雑草などの鋤取りを実施して、不純物を取り除くことができた。その後の、盛土法面の転圧・整形につながり、堤体の防草にも貢献できると考える。

② 水食防止シートと法面の密着手法の確認

水食防止シートは、不要な裁断を行わず敷設することができた。水食防止シートの重ね代を 10cm とし、水食防止シートの表面をバーナーで加熱し表面を軽く溶かした状態で重ね合わせたことで、水食防止シートを一体化させることができた。盛土表面との密着については、水食防止シートに 1m 間隔で留め具を打込固定することで対策を実施した。また、水食防止シートは貯水池側を上流として、上流側を上側、下流側を下側になるように重ねた。

③ スマートガビオンのせん断抵抗性についての確認

盛土転圧・整形後にポータブルコーン貫入試験を実施して、所定の強度になっているか確認した。局所沈下が起きる際の降伏応力は、極限支持力に対し 2~3 の安全率を見込むと、石詰め層の自重によって生じる鉛直応力 5.0kN/m^2 程度の一軸圧縮強度を持つ必要があった。ポータブルコーン貫入試験により石詰め層自重による上載载荷以上の強度を確認した結果を図-36 に示す。

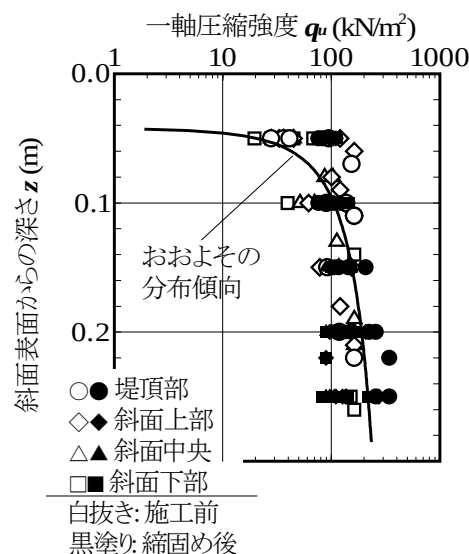


図-36 表層土の深さ方向の強度

④ カゴマットの構造、組立方法、設置順序が妥当であったかどうかの確認

案 A (ため池天端上で後退しながら敷設する計画) と案 B (下流斜面側に仮設盛土を造成して敷設する計画) の 2 計画を策定し、関係者間で協議を行った。協議の結果、案 A を採用したが、その場合、かごマットの自重により施工途中でかごマットの下方変位を起こす可能性があった。かごマットの設置と石詰めは安全を考慮して、天端側

のかごマットの石詰めを優先して実施したことで、安全に敷設を行うことができた。

⑤水食防止シートの敷設方法、敷設順序が妥当であったかどうかの確認

不要な裁断せずに、堤体表面に密着させながら敷設することができた。

⑥使用バックホウの施工能力と人力による石詰めの施工能力の確認

堤体天端幅 3.5m という現場条件であったが、案 A を採用しバックホウ 0.25m³ 級で適切に盛土整形を行うことができた。案 B のアプローチ盛土を造成する場合、ワンサイズ大きいバックホウが必要であった。割付計画に従ってバックホウでかごマットを設置し、大まかに石詰めを行い、人力で不足している箇所および隙間に玉石を詰め直した。バックホウで作業できる範囲が限られており、堤体天端上と法尻側からの設置となったため、作業効率は若干低下した。

(9) 実施工程および直接工事費

敷設面積 200m² に対し、作業員 4 名およびバックホウオペレータ 1 名の編成で、搬入道路整備などの仮設準備に 2 日間、法面鋤取り・整形に 5 日間、スマートガビオン敷設に 11 日間、後片付けに 2 日間の工程で試験施工を進めることができた。休・祝日を含めた全日程は 1 ヶ月で、稲作終了後から降雪が始まる前までの短期間で施工することができた。直接工事費は表-6 に示すとおりである。堤体掘削を伴う洪水吐の拡幅改修工事あるいは更新工事に比べ、経費縮減が可能であることが確認できた。

表-6 直接工事費（施工面積 A=200.0m²）

種別	細別	単位：千円
人件費		1,300
材料費	かご枠	2,000
	玉石	900
	シート	100
	その他	100
	小計	3,100
機械費		300
合計		4,700

(10) 今後の課題とその対応策

今回の試験施工では、既設堤体に大規模な掘削や盛土を行うことなく、スマートガビオンを施工することができた。一方で、現況ため池の形状にあわせて製品を加工する必要がある、勾配変化点での施工管理が煩雑になる課題も見つかった。

対応策として、現況ため池の法勾配を 1:2 の一定勾配に整形することも検討する必要がある。堤体に新たに盛土を行う範囲も増えるが、ポータブルコーン貫入試験を用いて盛土強度を適切に管理すれば、局所沈下を防止しながらの施工が可能と考える。