

報文集

平成24年度

第24号

一般社団法人 北海道土地改良設計技術協会

報文集 第24号 目次

北海道の畑圃場の排水不良要因と改善策に関する一考察.....	1
	相馬 尅之・常松 哲
泥炭農地の長期沈下の機構解明のための調査手法について.....	9
	中山 政博
ダムの耐震設計について.....	19
	渡部 大輔
肥培かんがい施設整備による効果検証について.....	31
	廣永 行亮
事業計画時におけるオオタカへの配慮の取り組み ―排水路整備における配慮事項について―.....	39
	石田 恭弘
寒冷地における開水路目地補修工法の試験施工に向けた検討.....	47
	藤田 修・石田 康晴

北海道の畑圃場の排水不良要因と改善策に関する一考察

相馬 尅之・常松 哲

1. はじめに

近年、局所的な集中豪雨に由来する畑地の湿害が頻発しており、作物生育や収量はもちろんのこと、収穫作業の遅延による品質低下をも引き起こす事態となっている。

畑地の排水は地表排水と地下排水から組み立てられるが、傾斜畑の場合には農地保全の視点から地下排水の比重を高くする必要がある。北海道内の畑圃場においては、これまで農地開発事業や圃場整備事業、農地再編パイロット事業などの数多くの土地改良事業を通じて農地の排水対策が講じられ、吸水渠と集水渠の組合せから成る暗渠排水および明渠排水が整備されてきた。しかし、地下排水の整備水準が高くなってきたにも関わらず依然として畑地の排水不良が問題視され、暗渠排水の機能発現の向上が叫ばれているのが実状である。

筆者らは本報文において、このような畑地の排水不良を引き起こす要因として北海道の畑作で慣行的に行われている「耕耘管理」を取り上げた。すなわち、北海道における慣行的な耕耘管理は畑圃場の表層（耕耘管理土層）中に常に難透水性の耕盤層を形成し¹⁾、暗渠排水の機能発現を阻害するとともに作物の根系形成を妨げて生育・収量を低下させる原因になっていると考えられるからである。耕耘管理の問題は「営農の範疇」に属することから土地改良事業の対象からは除外されているが、これが畑圃場の排水不良要因の1つになっている現状を鑑みると、慣行的な耕耘管理の抜本的な見直しに向けた普及啓発は、基盤整備の効果の適正発現と持続を図る上で極めて重要であると考えられる。

2. 慣行的な耕耘管理によって形成された畑圃場の物理的構造

1) 畑圃場の物理的構造

一般に団粒構造をもつ農地土壤には様々なサイズの間隙が形成されており、水はけ・水もちという物理的機能を発現して土壤中に空気と水の共存状態をつくって食料資源となる作物に対して根系の活動の場を提供している。一方で作物は、光合成による有機物合成に不可欠な水を確保するために間隙中に根系を形成するが、根系の拡大（根張り）や茎葉への水輸送には呼吸代謝によるエネルギー獲得に空気が必要とする。すなわち、作物の根系の活動には間隙中に常に空気と水が存在していなければならないことになる。

水はけを担うのはmmサイズの団粒間のマクロ間隙であり、水もちは μm サイズの団粒間のミクロ間隙が担っている（図-1参照）。土壤の物理的機能の

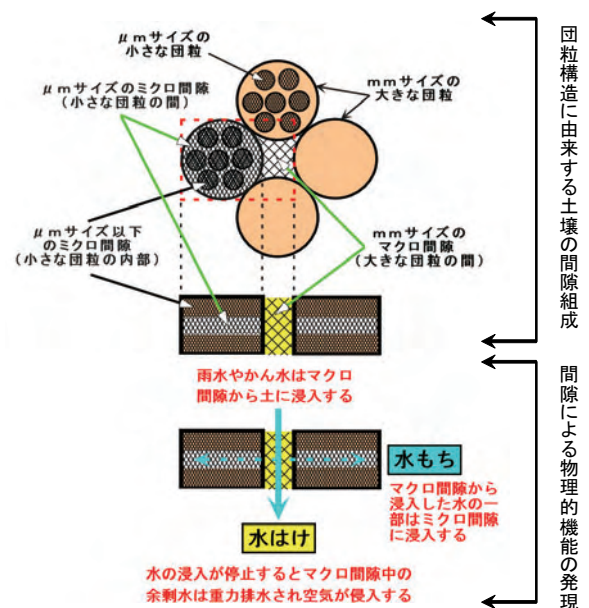


図-1 団粒構造をもつ土壌の間隙組成と物理的機能（文献1）の図1を修正）

発現には、このようなマクロ間隙とミクロ間隙から成る土壌の間隙組成が大きく関与していると言える。そこで間隙組成、およびこれと関連する飽和度（含水量）や飽和透水係数、乾燥密度などを指標として、根群域における土壌の物理的機能（水はけ・水もち）

の発現状況の良否を評価したものを農地の「物理的構造」と言う²⁾。

畑圃場の物理的構造の一例を図-2に示すが、図-2では間隙量を V_p/M_s (cm^3/g) で表示し、間隙組成のマクロ間隙とミクロ間隙の区分には24時間容水

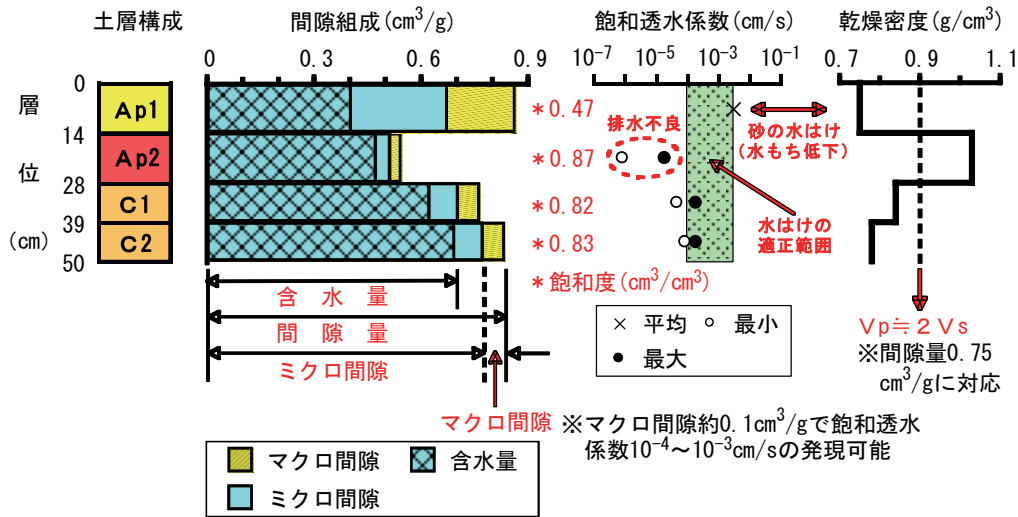


図-2 畑圃場の物理的構造の一例（小清水町）

量（ほぼ圃場容水量に相当）を用いた²⁾。また水はけの指標となる飽和透水係数についてはその適正範囲を $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$ のオーダーで規定したが、これは農地の冠水時間が24時間を超えると畑作物の生育

に支障を来すことを考慮したからである。飽和透水係数とマクロ間隙の間には図-3のような傾向が認められ³⁾、マクロ間隙が約 $0.1 \text{cm}^3/\text{g}$ ($0.05 \sim 0.15 \text{cm}^3/\text{g}$) で上述の水はけが確保できることが判る。団粒構造の緻密度の指標である乾燥密度は間隙量と逆相関関係にあり、 $V_p \approx V_s$ の間隙量の少ない土壌（間隙量約 $0.4 \text{cm}^3/\text{g}$ ）の乾燥密度は $1.3 \text{g}/\text{cm}^3$ 程度、 $V_p \approx 2 V_s$ となる間隙量の多い土壌（間隙量約 $0.8 \text{cm}^3/\text{g}$ ）の乾燥密度は $0.9 \text{g}/\text{cm}^3$ 程度であり、後者は黒ボク土の上限基準値として利用されている。

土壌のタイプにより間隙量は大きく変動するが（黒ボク土を含む粘性土の間隙量はおよそ $0.4 \sim 1.6 \text{cm}^3/\text{g}$ ）、間隙量の多少に関わらず土壌が適正な水はけを発現するためには、上述の約 $0.1 \text{cm}^3/\text{g}$ 程度のマクロ間隙が必要であると言うことは重要である。すなわち、間隙量が少ない土壌でもマクロ間隙が約 $0.1 \text{cm}^3/\text{g}$ 必要であるということは、ミクロ間隙がその分少なくなるために必然的に水もちが低下するからである。それゆえ、農地が適正な水もちを維持す

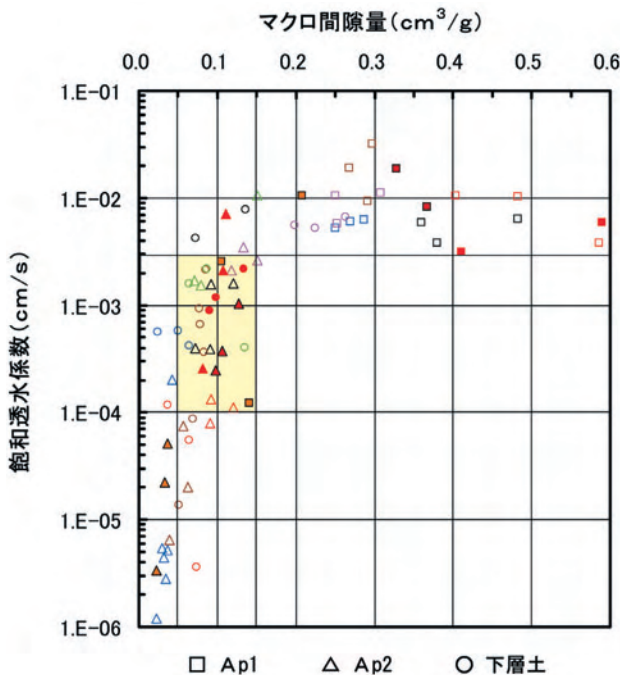


図-3 マクロ間隙量と飽和透水係数の関係

るためには、根張りの拡大による利用可能なマイクロ間隙の増大、もしくは畑地かんがいの導入による有効水分の補給を図る必要がある。

2) 慣行的な耕耘管理による畑圃場の物理的構造の劣悪化

耕耘管理とは、前作の営農管理工程で変動（多くの場合圧縮により縮小）した表層土壌の間隙を耕起・砕土などを通じて再構成することであり、物理的機能（水はけ・水もち）の適正発現を促すことによって播種・定植後の作物の良好な初期生育（発芽・活着・根系形成）を確保することを目的としている。耕耘管理は、土壌を切削・分割する「耕起」の工程と分割された土塊（レキと言う）を破碎・細分化する「砕土」の工程から成る。本州府県ではロータリ耕（浅耕）による「攪拌耕起・砕土」の1工程管理が主流であるが、北海道ではプラウ耕（深耕）による「反転耕起」と、ロータリ耕による「攪拌砕土」の2工程管理が広く普及している。

前作の営農管理で圧縮された表層に対する「耕起」の目的は「砕土」を容易にするためであるから、現行の耕耘管理は必然的に「過度の砕土」にならざるを得ない。「過度の砕土」は農業機械の踏圧による土壌圧縮を促進する原因となるはずであるが（後述）、一方で播種・定植の場となる畝の膨軟化を良しとして推奨する雰囲気が強かったために、圧縮と膨軟化を繰り返す営農管理が毎年行ってきたのである。

図-2は、慣行的な耕耘管理によって形成された小清水町の黒ボク土畑の物理的構造であり、ロータリ攪拌砕土後のものである。土層構成はAp1層とAp2層から成る耕耘管理土層（Ap層）の下層にC1層、C2層が続くが、これらは全て同一母材から生成した土壌（黒ボク土）である。Ap1層はロータリ耕深、Ap2層はロータリ耕深とプラウ耕深の間、C1層およびC2層は耕耘管理の影響を受けていない下層土である。母材の素材特性を表す下層土の間隙量を基にすると、Ap1層の間隙量はやや多いがAp2層は著しく少なく堅密化している。また

マクロ間隙が適正量である下層土に対して、Ap1層は下層土よりも非常に多くなり（約3倍）、Ap2層は逆に極端に少なくなっている（約1/3）。さらにマクロ間隙の量に対応して、下層土の飽和透水係数は適正範囲にあるものの、Ap1層は適正範囲の上限近くにまで増大し、黒ボク土であるにもかかわらず砂の水はけに近づいている。一方、Ap2層の飽和透水係数は適正範囲の下限から大きく低下し、「難透水性」と判定される状況にある。Ap2層の堅密化の原因が農業機械の踏圧による土壌圧縮（人為）であるところから、Ap2層を「難透水性の耕盤層」ともいう³⁾。

慣行的な耕耘管理の工程は、一般に収穫後の「プラウ反転耕起」（秋起こしとも言う）と播種・定植前の「ロータリ攪拌砕土」から成り、後者の工程でAp層の土層分化が生じる。Ap層の土層分化の実体は、以下のように理解できる。

- ① 作付前のロータリ攪拌砕土によって、ロータリ耕深のAp層（Ap1層）の間隙量が著しく増加し、とくにマクロ間隙の増加が顕著である（ $0.2\text{cm}^3/\text{g}$ 以上になることが多い）。
- ② このロータリ耕深のAp1層は、ロータリ耕深～プラウ耕深の間のAp層すなわち難透水性の耕盤層「Ap2層」とは間隙組成が極端に異なり、この時点でAp層はAp1層とAp2層に区分される⁴⁾。

Ap1層はマクロ間隙が非常に増加したため（これを膨軟化と言っているが「過度の砕土」に言い換えるべきである）、砂に匹敵する水はけの発現（図-3参照）、により水もちが阻害されて飽和度が著しく低下する（図-2ではAp1層の飽和度は $0.47\text{cm}^3/\text{cm}^3$ にまで低下している）。マクロ間隙が著しく増加した膨軟なAp1層は圧縮性が極めて大きくなり、攪拌砕土後の営農管理において農業機械の踏圧による土壌圧縮を繰り返し受けるためにマクロ間隙の縮小・水はけの低下が進行する。その結果、作付による変動はあるものの、収穫段階のAp1層は下層のAp2層と同様の難透水性の耕盤層に変わっている。

すなわち、Ap層全体が耕盤層になったことになるが、これを農業機械の大型化に伴う耕盤層の拡大と誤解した向きもある。しかし実体は、「過度の砕土」を受けたAp1層の土壤圧縮が新たな耕盤層を形成し、既存のAp2層にプラスされたに過ぎない。

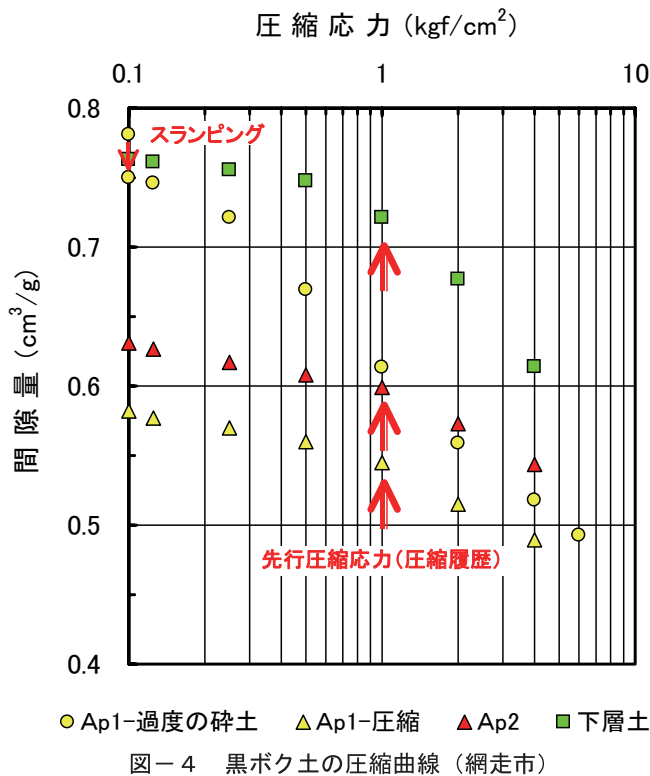


図-4は網走市の黒ボク土畑から採取した乱さない土壌の圧縮曲線（間隙量と圧縮応力の関係）を示したものであり、供試体の初期水分は24時間含水量に調整した。間隙量がほぼ同じ攪拌砕土後のAp1層（Ap1-過度の砕土）と下層土を比べると、Ap1層の方が圧縮性が極めて大きく、また土壌の強度の指標である先行圧縮応力が非常に小さい。Ap1層ではスランピング（水の浸入・排水だけで間隙が減少することで「過度の砕土」による団粒構造の破壊が引き金になる）が起こって0.2kgf/cm²程度の先行圧縮応力が認められるが、ほとんど強度ゼロに等しい。これに対して下層土は、耕盤層であるAp2層や収穫段階のAp1層（Ap1-圧縮）と同じ1kgf/cm²程度の先行圧縮応力を持ち、安定した団粒構造を維持している。なお、図-4における耕盤層の先

行圧縮応力から、当該圃場における農業機械の踏圧は1kgf/cm²程度と推察される。

次に、慣行的な耕耘管理による難透水性の耕盤層「Ap2層」の存在が、圃場整備などで実施された暗渠排水の機能発現を妨げ、湿害を誘発した事例を紹介する。図-5に十勝地域で湿害からの脱却を目指

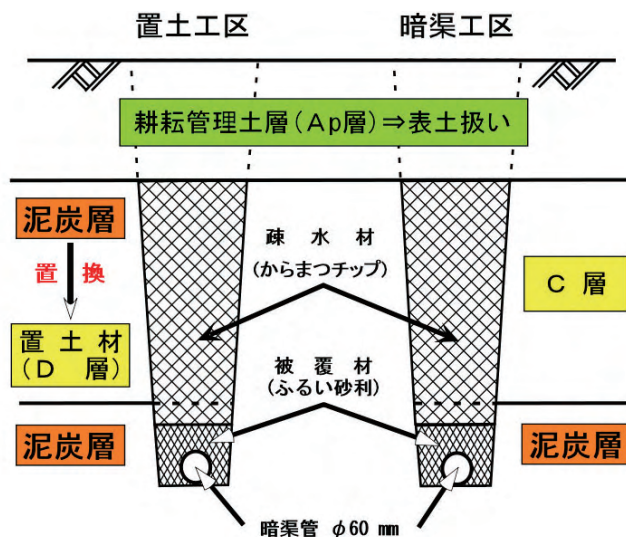


図-5 農地保全工における基本的な土層構成（文献5）の図3を修正）

して実施された国営総合農地防災事業における農地保全工施工畑の土層構成を示すが、泥炭層の出現深度により施工法が「置土工」と「暗渠排水工」に分かれている⁵⁾。図-6は過年度施工畑の物理的構造の一例であるが、両区ともに前述の難透水性の耕盤層「Ap2層」が存在しており、これが暗渠排水の機能発現を阻害したため平成18年には湿害を再発につながったものと思われる。これは土地改良事業で施工される排水不良対策に関連した農地整備工に対して、慣行的な耕耘管理がそれらの効果発現を妨げている一例であるが、北海道内には多く見受けられる問題でもある。従来、施工効果の是非に関する議論から「慣行的な耕耘管理」が省かれてきた背景には「営農の範疇」という視点が関与していたと推察されるが、昨今の畑圃場の排水不良をみると、そうとばかりは言っていられない状況に達しているので

はないだろうか。

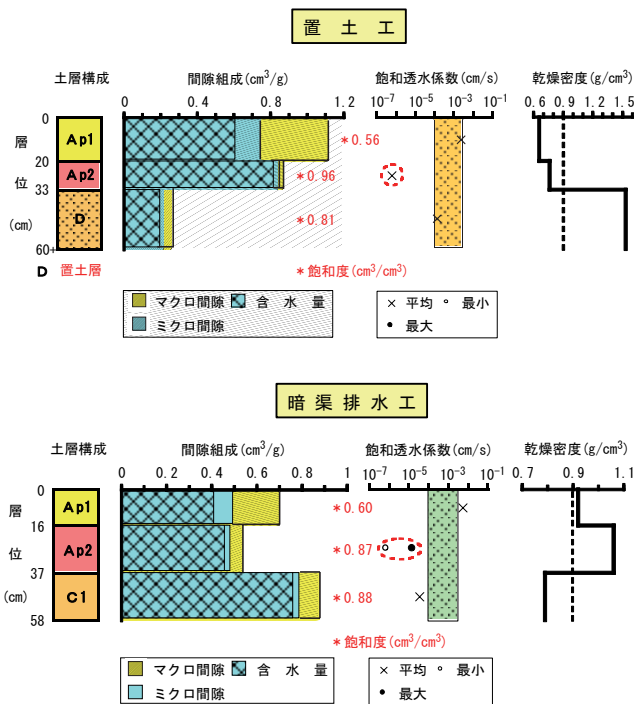


図-6 農地保全工施工畑の物理的構造

3. 畑圃場の物理的構造の改善—低速心破による排水不良要因の解消

これまでに述べてきたように、北海道の畑圃場が抱える物理的構造の問題点（欠陥）は、根群域土層中に難透水性の耕盤層「Ap2層」が常に存在していることであり、これは慣行的な耕耘管理と密接に関連している。すなわち、収穫後に行われている耕耘管理「プラウ反転耕起」は、Ap層全体が難透水性の耕盤層になったものを単に反転するだけでなく、営農管理の過程を通じて常にAp層中に難透水性の耕盤層「Ap2層」を保存するからである。その結果、作物の根張りが妨げられて生育・収量に支障を来すとともに、暗渠排水の機能発現が損なわれることにより畑圃場の排水不良をもたらされ、ひいては土地改良事業の効果を下げってしまう。それゆえ、「営農の範疇」の問題として避けられない状況にきていると思われる。

難透水性の耕盤層をつくる直接的な原因は「過度の砕土」に誘発された土壤圧縮であるが、地下水位などの問題を除くと畑圃場の排水不良の間接的な原

因としては、慣行的な耕耘管理の「プラウ反転耕起」による難透水性の耕盤層「Ap2層」の保存があげられる。従って、まずは排水不良要因となる「Ap2層」の水はけを改善して物理的構造の修復を図ることが肝要であり、同時に「Ap2層」を保存する耕耘管理「プラウ反転耕起」を排除する必要がある。

1) 低速心破による難透水性の耕盤層「Ap2層」の水はけの改善

Ap2層が難透水性を示す原因は、水はけを担うマクロ間隙が $0.05\text{cm}^3/\text{g}$ 未満に縮小したからである。従って、Ap2層に約 $0.1\text{cm}^3/\text{g}$ 程度のマクロ間隙を再生する必要がある（図-3参照）、通常はサブソイラやパンブレーカー、チゼルプラウなどを用いた心土破碎により行う。これまで破碎帯の形成による耕盤層の膨軟化を重視するあまり、施工機械の性能は問題とされても、効果に対する心土破碎の施工速度や施工時期に関する具体的な指示はほとんどなかった。一般に農地土壌のコンシステンシー（外力による変形・流動の水分依存性）は「塑性」を示し、施工速度や土壤水分の影響を強く受ける。施工速度が高速、もしくは土壤水分が高い場合、心土破碎の際に塑性流動が生じるために形成された亀裂が閉塞しマクロ間隙の再生につながらなくなる恐れがある。心土破碎による亀裂形成が塑性変形で進行し適量のマクロ間隙を再生するには、施工速度は低速で、しかも土壤水分が相対的に少ない時期に施工すべきである。すなわち心土破碎の施工速度に関しては時速 2km 以下（これを「低速心破」という¹⁾）、北海道における施工適期としては比較的乾燥傾向の春期と夏期の麦の収穫時期が推奨される。

北海道では収穫後の秋期に心土破碎を行う場合が多いが、相対的に土壤水分が多いために塑性流動により亀裂が閉塞し効果が現れにくいこと、よしんばマクロ間隙が再生されたとしても春期に融雪水の浸入を促進して地温上昇や圃場の乾燥化を妨げることなどから避けるべきと考える。

図-2の畑圃場において、チゼル間隔 $60\sim 70\text{cm}$ の3連のサブソイラを用いて低速心破を実施した後の

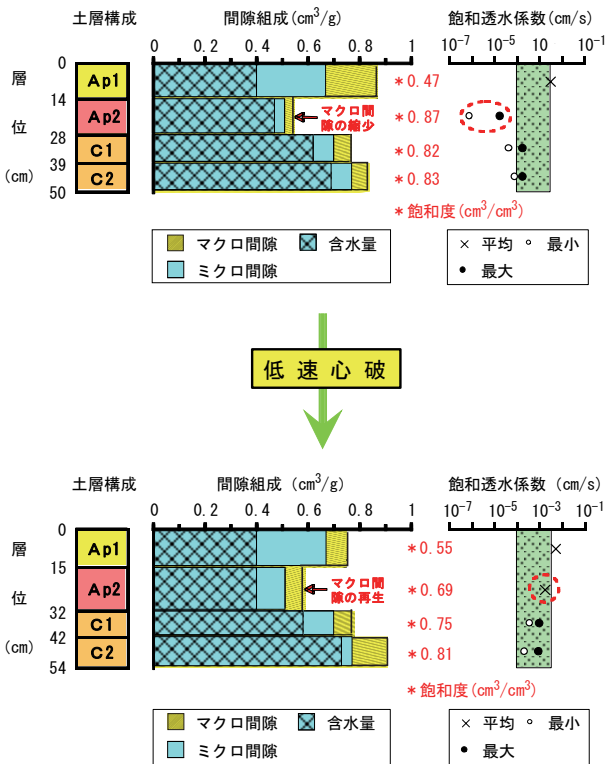


図-7 低速心破による耕盤層「Ap2層」のマクロ間隙の再生

物理的構造を施工前と比較したものが図-7である。なお、低速心破の耕深は当該圃場で使用した(ボトム)プラウの耕深にほぼ対応している。

低速心破により、難透水性の耕盤層「Ap2層」

に適正量のマクロ間隙が再生され、水はけが改善されたことが飽和透水性係数に現れている。低速心破を適期に行うことにより、マクロ間隙の再生効果が長期にわたって持続することが確認されているが(10年以上)、その理由は再生されたマクロ間隙が根張りによって保護されるからである。言い換えると、低速心破により再生されたマクロ間隙を根張りによって保護されることを考慮するならば、低速心破の施工適期は直後の作付(緑肥を含む)が可能な時期になる。

2) 畑圃場における土壌管理法「省耕起」

低速心破によって難透水性の耕盤層「Ap2層」にマクロ間隙を再生したとしても、その後の耕耘管理「プラウ反転耕起」が続く限り営農管理の過程で形成された耕盤層の反転置換は避けられないため、作付のたびに低速心破が必要となる。それにも関わらずプラウ反転耕起が行われてきた背景には、雑草対策や収穫残渣の鋤き込みによる有機物の補給などの効用(?)を説く普及指導があったからである。ここではこれらに対する反論は行わないが、難透水性の耕盤層「Ap2層」が常に存在する物理的構造を維持することによって、作物生育の面では根系形成の場がAp1層に制限され、また基盤整備の面で

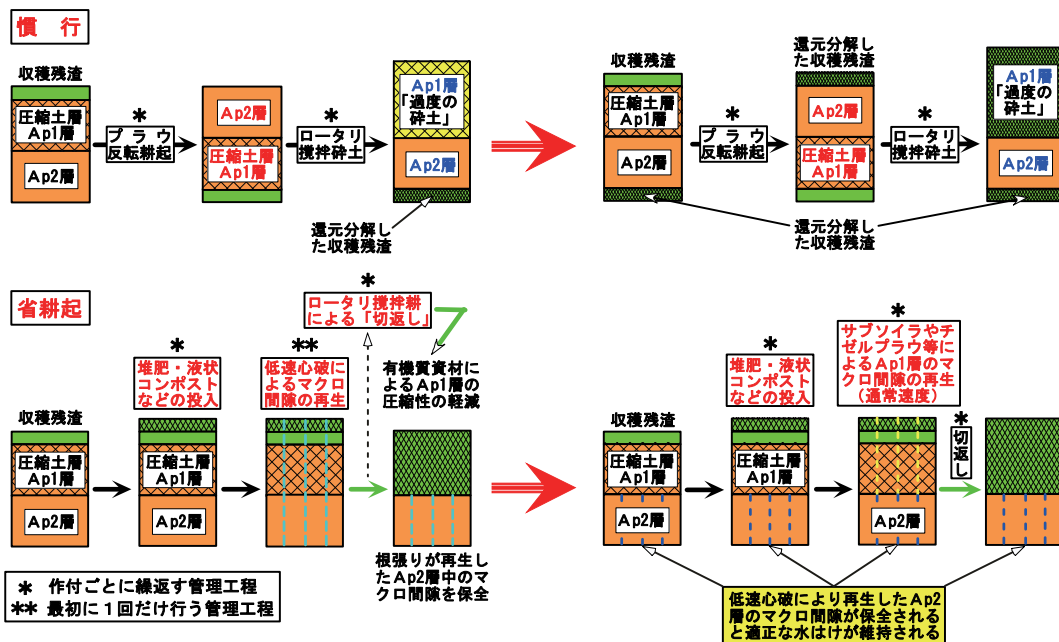


図-8 土壌管理法「省耕起」の基本工程
(文献1)の図3を修正)

は暗渠排水の機能発現が妨げられて生産性の向上が著しく阻害されてきたことから、「プラウ反転耕起」を是認できる余地は全くないと思われる。

そこで、北海道の畑圃場の劣悪な物理的構造を修復し、排水不良からの脱却はもとより作物の根系形成の適正化と生産性の向上を図るために、土壤管理法「省耕起」を提案する次第である¹⁾⁵⁾。

土壤管理法「省耕起」の骨子は、①耕耘管理から「プラウ反転耕起」を省き、②既存の難透水性の耕盤層「Ap2層」に対してプラウ耕深の低速心破を実施し、③播種・定植後の根張りの適正化によってマクロ間隙を保全するなどから成る。図-8に、慣行的な耕耘管理に対応させて、省耕起の基本工程を示す。

プラウ反転耕起を省く省耕起の場合、収穫残渣は表層の圧縮されたAp1層に鋤込むことになり、収穫残渣の有機物分解を促進するためには堆肥や液状コンポストなどの「微生物資材」を併用すると効果的である。また、投入後のロータリ耕による攪拌混和（切返し）の際にはAp1層の通気性が不可欠であり、最初はプラウ耕深の低速心破によって再生されたマクロ間隙の通気性を利用できるが、2回目以降は圧縮されたAp1層のみに対するマクロ間隙の再生が必要となる。ただし、収穫残渣等の鋤込み（有機物分解）に必要な通気性の確保が目的であるから、Ap1層に対するマクロ間隙の再生では施工速度が低速である必要はない。ちなみに、図-7に示した畑圃場の低速心破は最初の1回のみであり、その後の管理は「省耕起」を継続したようである。

現状では省耕起においても、依然として播種・定植前の耕耘管理「ロータリ攪拌砕土・整地」は必要であろうから、例え収穫残渣等の有機物の鋤き込みによってAp1層の圧縮性がいくぶん軽減されるとしても、「過度の砕土」を回避する耕耘管理が望ましい。

4. おわりに

本報文では、畑圃場の排水不良をもたらす多くの要因のうち、これまで基盤整備の分野では取り上げられることがなかった「営農の範疇」に関わる要因、すなわち北海道の畑作における慣行的な耕耘管理「プラウ反転耕起・ロータリ攪拌砕土」を取り上げた。慣行的な耕耘管理によって発生する排水不良は、耕耘管理土層中に保存される難透水性の耕盤層「Ap2層」に起因するものであり、排水対策として実施されている暗渠排水の機能発現を妨げる要因となっている。

ここで提案した土壤管理法「省耕起」は営農レベルで徐々に導入されつつあるが、サブソイラやパンブレーカーなどによる「低速心破」についても、暗渠排水工や土壌の攪乱を伴う農地土工の場面において農地保全あるいは生産性の向上という観点から積極的に適用されることを願うものである。

(株)イーエス総合研究所)

参考文献

- 1) 相馬尅之：静かなブーム「省耕起」とは、ニューカントリー、690、15～17（2011）
- 2) 藤内尚幸・相馬尅之：北海道の畑圃場の物理的構造と改善方法、農業農村工学会誌、80、466～467（2012）
- 3) 藤内尚幸・相馬尅之：北海道の畑圃場の物理的構造の問題点と対策、第59回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、44～47（2010）
- 4) 相馬尅之・山口敏樹：北海道の農地土壌の物理的構造の特徴、第56回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、100～105（2007）
- 5) 川瀬康成・中川輝雄・長尾賀津也・相馬尅之：生産基盤「農地」の機能回復と圃場管理—国営総合農地防災事業「下浦幌地区」の取り組み、第56回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、94～99（2007）

泥炭農地の長期沈下の機構解明のための調査手法について

中山 政博

はじめに

本調査は、独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所が行っている、「泥炭農地の長期沈下の機構解明」の一環として、道北の泥炭農地を対象に現地調査・試験が実施されているものであり、地下水位・水質・牧草収量・温室効果ガス等についての調査が行われている。

筆者は、寒地土木研究所の指導の下、これらの現地作業を担当する機会に恵まれたので、一連の調査

手法及び作業を通して得られた留意点について紹介する。

1. 調査概要

(1) 調査スケジュール

本調査は表-1に示すように、6月中旬から11月上旬までの5ヶ月間に地下水位調査、沈下板測量が、水質調査、収量調査、草丈調査、及びガス採取を実施した。

表-1 調査スケジュール

項目	6月			7月			8月			9月			10月			11月	作業回数	数量	
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬			
1) 地下水位調査																			
① 自記水位計データ回収		●								●							●	3	86箇所
2) 沈下量計測																			
① 仮GPS測量		●																1	1箇所
② 沈下板水準測量		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●			15	6箇所
ロッド付け替え後測量			●															1	6箇所
③ 地下水位観測孔測量							●											1	82箇所
3) 水質調査																			
① 採水作業			●		●		●		●		●		●		●			5	7箇所
② 水質分析																			37検体
4) 草丈調査		●	●		●		●	●		●		●		●				7	23箇所
5) 収量調査			●						●									2	23箇所
6) ガス計測作業																			
① ガス採取地点整備			●		●		●		●		●		●		●			5	12箇所
② ガス採取			●		●		●		●		●		●		●			5	12箇所
③ データ回収			●		●		●		●		●		●		●			5	12箇所
④ ガス分析			●		●		●		●		●		●		●			5	32台
⑤ データ整理			●		●		●		●		●		●		●			5	一式
7) 牧草刈り払い			●						●									2	

(2) 調査ほ場

調査ほ場は、道北の大規模草地に位置し、図-1に示すとおり170m×200mの範囲に、地下水位観測孔、沈下板等が設置されている状態で調査を開始した（継続調査であるため、機器設置は実施していない）。

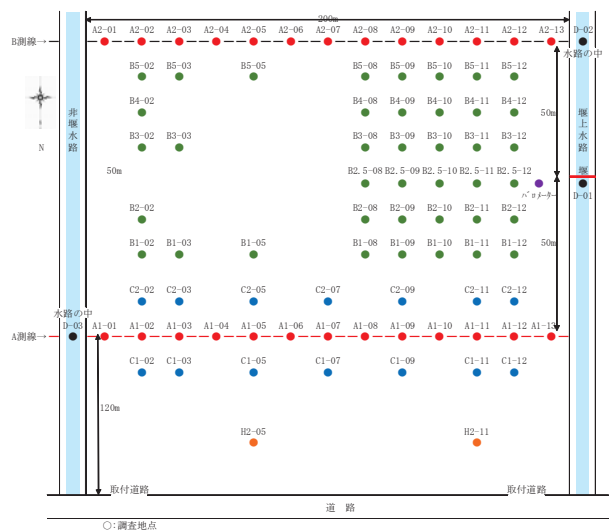


図-1 地下水位調査位置

2. 調査手法及び留意点

(1) 地下水位調査

地下水位調査は、地下水位の変化とほ場の沈下の関係を明らかにするために行うものであり、図-1



図-2 ハンディターミナル

に示した箇所に深さ2.0mの観測孔が85箇所が設置されている。各々の観測孔には、自記水位計が前年度から設置されている。また、気圧測定用のバロメーターが1箇所設置されている。この自記水位計のデータを、ハンディターミナルを用いて現地で回収し、データ回収後再設置を行った。調査回数は5ヶ月間で3回であり、1つの自記水位計には2ヶ月分程度のデータが記録されており回収に時間がかかることから、作業員二人でほぼ1日の作業量となった。パソコンでのデータ回収は経験済みであったが、ハンディターミナルは初めてであり、調査開始前の現地打ち合わせ時に、操作方法を確認し、社内においても操作の練習を行うことで、回収時のミスを防ぐこととした。

データ回収時には、自記水位計の補足データとして、ミリオン水位計による地下水位観測を行うとともに、コンベックスによる塩ビ管地表露出部分高を計測した。

自記水位計は、ワイヤーでつり下げているため、希にワイヤーの留め具が劣化し落下している場合もあった。水位計観測孔は2.0m程度なので、自記記録計が落下していた場合はポールを利用した手作りの回収器具を用いて回収し、補修して再設置した。



図-3 落下回収ポール



図-4 上：自記記録計回収、中：ミリオン水位計による計測、下：コンベックスによる観測孔計測

(2) 沈下量計測

① 仮BM GPS測量

沈下量を把握するため、隣接するH-1ほ場に設置されている仮BM標高をGPS測量により標高を精査した。この仮BMの標高を、以降の沈下板測量や地下水位観測孔標高測量の基礎とした。

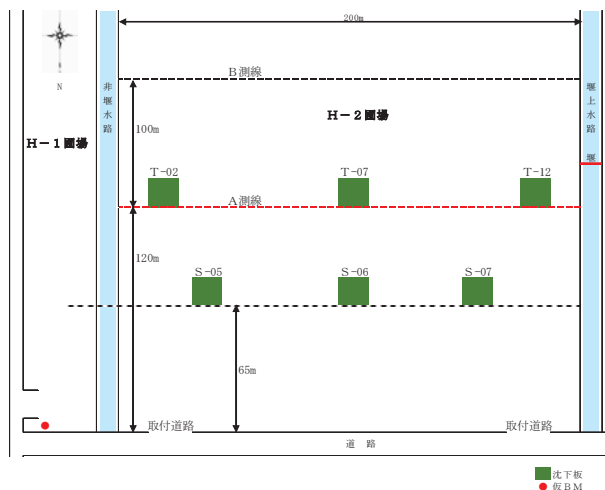


図-5 仮BM及び沈下板計測位置



② 沈下板及び地下水位観測孔測量

H-2ほ場に設置されている沈下板6箇所の高さを測量した。調査位置は図-5のとおりである。沈下板測量は、6月中旬より10月下旬までの各旬1回行った。ただし、6月下旬までの測量時は、冬季用延長ロッド（長ロッド）が設置されており、その高さを測量し、7月以降は短ロッドに交換後の測量を行った。6月下旬の測量は長ロッド、短ロッド交換のため、交換日に長・短ロッド両方の測量を実施した。

沈下板は0.5m×0.5m程度の板にロッドを垂直に取り付けたものであり、表土と泥炭層の境目に設置されている。このため、計測時は沈下板の設置範囲を避けて立ち、ロッド頂部にスタッフを乗せて計測した。

地下水位観測孔85箇所の標高は調査期間内に1回実施した。



図-6 上から：沈下板、スタッフ設置、長ロッド、短ロッド

(3) 水質調査

調査圃場内（H-2）の7箇所において、排水路及び暗渠より採水し、さらに、暗渠採水時には流出量調査を実施した。調査位置は図-7（★）のとお

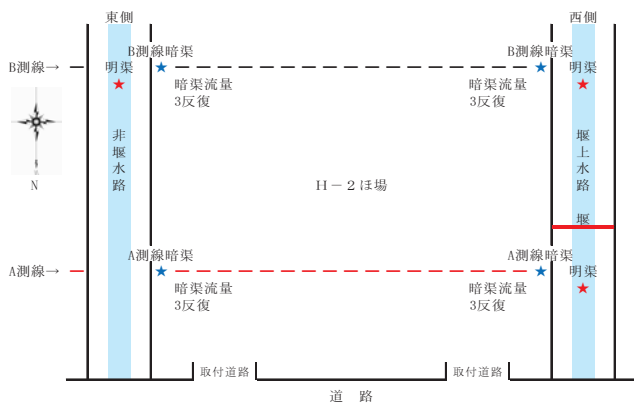


図-7 水質調査位置



りである。

暗渠排水の流出量は、メスシリンダーとストップウォッチにより3回測定しその平均流量を算出した。



図-8 左：排水路採取状況、上：pH分析、下：DO、EC測定

排水路、暗渠ともpH・DO・ECの3項目については 行った。現地において測定し、その他の6項目は室内分析を

表-2 水質分析項目

項目	分析方法	
pH	ガラス電極法	現地において測
DO	隔膜式ガルバニ電極法	
EC	電気伝導度計	
T-N	紫外吸光光度法	
T-P	ペルオキシ二酸化カリウム分解吸光光度法	
Fe	フレイム原子吸光法	
D-Fe	フレイム原子吸光法	
Fe ²⁺	フェナントロリン吸光光度法	
COD	過マンガン酸カリウム酸性法	

暗渠流出量の調査では、調査前の降雨状況や場内地下水水位の状況により、指定の暗渠からの流出が

見込めない場合に備えて、補足用の暗渠位置を確認した。

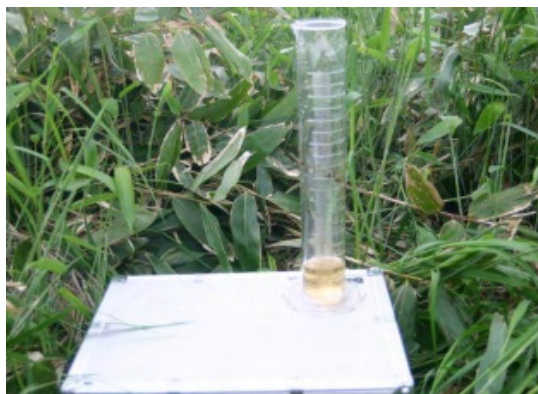


図-9 上：暗渠排水採取状況、下：暗渠流出量

(4) 草丈調査・収量調査

地下水水位が牧草収量に及ぼす影響を把握するため、草丈調査、収量調査を実施した。調査位置は図-10のとおりである。

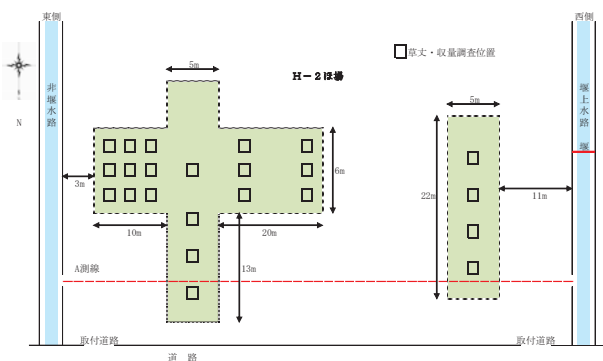


図-10 草丈・収量調査位置

① 草丈調査

調査ほ場の指定された23箇所において、草丈を各地点10個体測定した。測定はスタッフを用いて、地際より最長葉の先端までを測定した。なお、1番草刈り取り時、2番草刈り時の2回は、収量調査と合わせて行った。

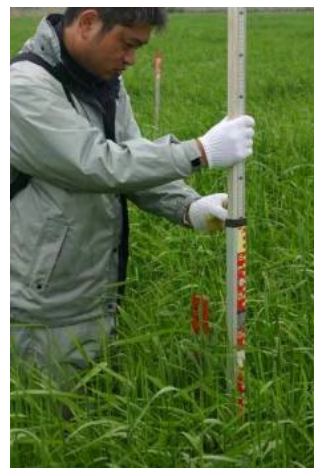


図-11 草丈調査状況

② 収量調査

草丈調査と同じ23箇所で行った。1箇所当り0.5m×0.5mの方形枠を用い、枠内の牧草を地際から約5cmの刈高で収穫した。



図-12 収量調査

収穫後の牧草は、チモシー、その他イネ科牧草、マメ科牧草、雑草に分類し、写真撮影した後、それぞれの生草重量を測定した。また、その他イネ科牧草及び雑草については、その作物名を明らかにした。

草種等の判定は収量に影響するため、注意が必要である。したがって、区分が不明確な場合は、ほ場でサンプルを集め、普及センターに持ち込み、確認して精度を高めた。

収穫後は生草重量測定後、収穫量のうち約300gを70℃で48時間通風乾燥した後、乾物重を測定し乾物率を求めた。生草重量が300g以下の場合は、全量を70℃で48時間通風乾燥した後、乾物重を測定し乾物率を求めた。

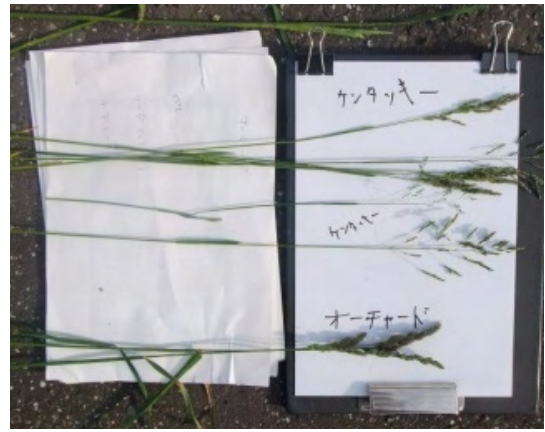


図-13 左：草種区分、右：普及センターでの草種確認



図-14 左：生草重量計測、右：通風乾燥、下：乾物重計測

(5) ガス計測

過年度までは、西側の排水路に堰を設け、ほ場の東西で地下水位を変化させた上で、温室効果ガス(二酸化炭素 CO_2 、メタン CH_4 、亜酸化窒素 N_2O)の計測を行ったが、本調査時は堰が撤去された状態、すなわち両排水路とも通常の流量の状態で行った。

① 作業全般に関する工程

ガス計測は毎月1回実施した。現地作業は2日間(1日目に準備作業、2日目にガス採取)で、ガス分析(ガスクロマトグラフィー)には3日間を要した。表-3に月毎の作業内容及び期間を示す。

表-3 ガス採取調査スケジュール

項目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
6月	/	/	/	/	/	/	/	/	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日
7月	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日		
8月	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水		
9月	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	
10月	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土	日	月		

注：打=打合せ、準備=データ回収前日の準備、採取=ガス採取とデータ回収、分析=試験室でのガス分析、
 : デ=データ及び写真整理、取=取りまとめ

② 現地における調査前日の準備

調査ほ場内のガス採取を行う指定箇所は東側（非堰水路側）と西側（堰上水路側）の2箇所であり、各々には金属製の台座(縦0.3m×横0.3m)が6台設置されていることから、全部で12箇所となる。調査位置は図-15のとおりである。

台座は、植生の有無によるガス揮散量の違いを把握するため、ア：牧草の根（ルートマット）を除去した3箇所（nr）と、イ：牧草の根を残した3箇所（r）の2パターンである。

ガス採取の間隔は1ヶ月毎であるため、1ヶ月の間に（nr）はコケが繁茂し、（r）は牧草が生長する。このため、ガス採取の前日に、台座内の地表面植生を除去する必要がある、（nr）はカッターを用いてコケを削るように取り除き、（r）は草丈1cm程度まで刈り込んだ。最後に地温データを計測するため、自記温度計を設置し前日の準備は終了となる。



図-16 上：（nr）の整備前、中：（nr）の整備後、下：（r）の整備状況

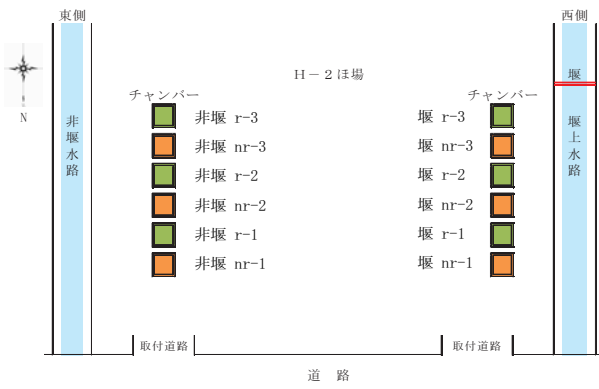


図-15 ガス調査位置

③ 調査前準備

ガス採取に必要な機材を準備する必要がある。採取用のバイアル瓶とテドラーパックは、真空状態にする必要があるため、バイアル瓶は寒地土木研究所実験棟において真空化作業を行い、テドラーパックは社内にて三方コック付シリンジにより手作業で真空にした。



図-17 バイアル瓶の真空化

④ ガス採取手法

指定されている箇所においてアクリル製チャンバー(縦0.3m×横0.3m×高0.2m)を用いてガス採取を行った。

チャンバーを台座上に設置する前に、台座受け皿部に水道水を半分程度まで注ぎ込み、チャンバー内外の環境を遮断した。

ガス採取間隔は、チャンバーを台座に設置した直後(0分)、10分後、20分後、40分後、60分後である。一連の作業は、同一日の午前9時スタートと午後1時スタートの2回実施した。



図-18 台座受皿部給水

ガス採取は、1人で3台を担当し、n-1を9:00(チャンバー設置直後)、移動してn-2を9:03に採取、また移動してn-3を9:06に採取するというように6分間の間に連続して行う。次の採取は9:10、9:13、9:16ということとなり、これを20分、40分、60分の各スタート時に繰り返すこととなる。初回の調査時には、採取に手間取り採取時間のズレが生じたこともあり、失敗を防ぐためには事前の予行練習が必要である。



図-19 ガス採取状況

ガス採取は、三方コック付シリンジを用いてチャンバー上部の採取口から吸引し、テドラーパックに220ml(CO₂分析用)注入、バイアル瓶に30ml(CH₄、N₂O分析用)圧入した。(バイアル瓶容量は15ml)

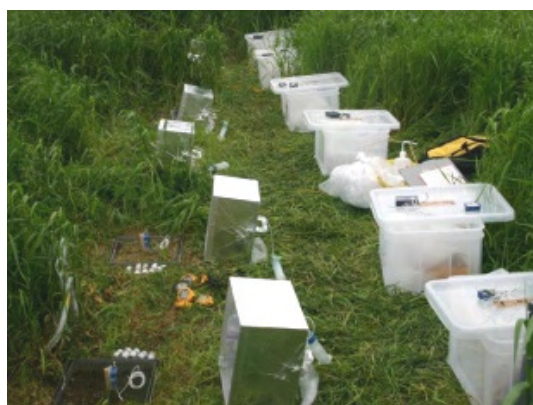


図-20 ガス採取位置全景

ガス採取終了後、自記温度計で計測したチャンバー内気温及び前日に設置しておいた地温計を回収した。また、ガス採取箇所近傍の地下水位と土壤水分張力

(pF) を測定するためのセンサーが設置されており、ガス採取作業終了後は毎回、観測機器を交換しデータを回収した。



図-21 観測機器交換

なお、ガス分析する際は、毎日標準ガスを3回程度分析し、基準値内の分析結果が得られるか確認作業を行ってからサンプルを分析した。



図-23 バイアル瓶より採取

⑤ ガス分析作業

ガス濃度の分析では、テドラーパックに注入したサンプルは、採取当日に赤外線ガス分析計を用いてCO₂濃度を分析し、記録した。



図-22 赤外線ガス分析装置

バイアル瓶に圧入したガスサンプルは、採取後5日以内に寒地土木研究所実験棟に設置されているガスクロマトグラフィーにてN₂O濃度とCH₄濃度を分析し、記録した。

1回当たりの検体数はCO₂が72検体、N₂OとCH₄が120検体である。

ガスクロマトグラフィー分析する際、CH₄は空気より軽いいため、注射針を下に向け本体に注入し、N₂Oは空気より重いため、注射針を上に向けガスクロマトグラフィー分析機本体に速やかに注入するなど、気体の特性に注意することが重要である。



図-24 ガスクロマトグラフィー

3. 牧草の刈り取り

調査ほ場の草地維持のため、牧草刈り取りを行った。作業は、東側、及び西側の収量調査箇所、地下水位観測孔等の塩ビ管、及びその他各種計測機器周り、さらに、調査圃場の取付道路側からB測線までの範囲について、一番草及び二番草の収量調査後に行った。

収量調査箇所、及び塩ビ管等の計測機器周りは肩掛式刈り払い機で行い、収量調査箇所については刈り払い後、人力による集草作業を実施している。収量調査箇所、及び塩ビ管等の計測機器周り以外は、ディスクモアによる刈り払いを行い、集草、収穫は実施していない。



図-25 観測機器周り刈払作業



図-26 ディスクモアによる刈取り

おわりに

泥炭農地の長期沈下のメカニズム解明のためには、このような多岐に渡る調査が必要であるとともに、1シーズン中の調査は再現が不可能であるため、その実施に際しては細心の注意を要する。一般に、現地調査や試験の場合、想定外の事象に対処しなければならない場面が多分に起きるが、今回の調査では、過年度調査の経緯からその留意点を活用することで、大きな問題点に遭遇することなく、順調に調査を終えることができた。本稿が、今後の調査等に活用されれば幸いである。

また、今回は調査対象外であったが、泥炭農地の長期沈下を調査する手法として、泥炭土壌の分解度、地耐力の検証といった調査も考えられ、多種の調査に参加することにより、泥炭農地の構造、沈下機構等のさらに理解を深めたい。

(株環境保全サイエンス)

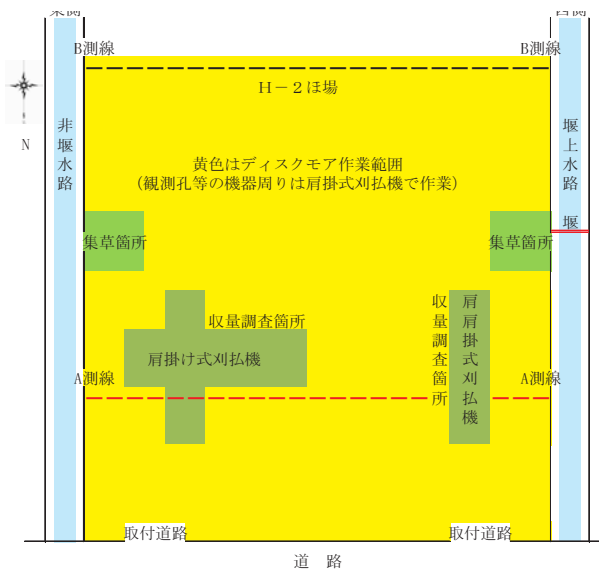


図-27 草刈り位置

ダムの耐震設計について

渡部 大輔

1. はじめに

土木・建築構造物に対する耐震設計手法に関する技術の高度化が進展し、大規模・重要構造物であるダムにおいても、従来の設計手法に加えてレベル2地震動による安全性評価手法が確立しつつある。一方、農業用ダムにおいては1995年の兵庫県南部地震、2008年の岩手・宮城内陸地震、さらに記憶に新しい2011年3月11日発生の東北地方太平洋沖地震などの際、大規模な地震動を受けたことにより、堤体や貯水池の一部に変状が生じた例や、施工年代の古いダムが決壊し、人命が失われた等の被害が報告されている。

このような背景から、ダムの地震時における安全性に対する社会的な要請が高まっており、ストックマネジメントによる施設の機能保全・長寿命化への取組の一環として、既設ダムの安全性評価についても定量的な取組みが実施されることとなった。

本稿では、今後本格的に実施される「ダムの耐震性能照査」について、設計手法の変遷、地震動・耐震設計に関する基本事項及び具体的な耐震照査の手順について概説する。

2. ダムの耐震設計手法の変遷

ダムの設計における地震荷重については従来、静的震度法によることとしてきた⁽²⁾。

(地震慣性力) = (設計震度) × (すべり土塊の自重)

この考え方は、1915(大正4)年に佐野利器博士が震災予防調査会報告で提案されたもので、建築物や橋の耐震設計に適用された後、コンクリートダム、港湾構造物、斜面・土構造物の安定性検討にまで用いられるようになった。その後、地域別・地盤別係数、構造物の重要度・構成材料による割増し等が導

入されてきたが、基本的な考え方は変わらなかった。

農業用ダムにおいても、戦後制定された土地改良事業計画設計基準(コンクリートダム:1952年、アースダム:1956年)で震度法による耐震設計の考え方が明記され、現在まで運用されてきた。設計基準に基づき建設されたダムで壊滅的な被害が発生した事例はなく、一定の安全性を有していると判断できるものの、以下のような課題も指摘されていた⁽²⁾。

- ① 短時間のうちに方向・大きさが変化する地震力を水平一方向の静的荷重に置き換えることの不合理性
- ② フィル材料に作用する繰返し応力による強度低下及びひずみや弾性特性等の変化が考慮されないこと
- ③ 地盤の振動特性の影響を強く受けるフィルダムにおいて、地盤の卓越周期等の条件が考慮されないこと

これに対し、最近の計測・解析技術の向上、各地の地震データが蓄積されてきたことと併せ、ダム施設において「動的解析法」による安全性評価手法の導入が検討され、2005年3月に「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)」⁽³⁾が国土交通省より発表され、運用開始された。この指針の骨子は以下のとおりである。

- レベル2地震動をダム毎に設定すること。
- 動的解析による照査を基本とすること。
- 照査すべき耐震性能は、ある程度の損傷が生じることを想定した上で、①貯水機能が維持されること、②生じた損傷が修復可能な範囲にとどまること、と設定すること。

今後本格化する農業用ダムにおける耐震照査(1)

も、基本的には上記の耐震性能に対する検証を行うこととなる。

3. 耐震照査に関する基本事項

3-1 耐震性能目標

(1) 地震動の定義

レベル1地震動：ダム供用期間中に1～2度発生する確率をもつ中規模の地震動

レベル2地震動：ダム地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動

(2) 耐震性能を満足すると判断される条件

求められる耐震性能はダムの型式によって異なり、代表的な「フィルダム」及び「重力式コンクリートダム」に関しては以下のとおりである。

表1 耐震性能目標

	レベル1地震動	レベル2地震動
フィルダム	①地震時に堤体にすべりが発生しない(すべり安全率 ≥ 1.2)	①堤体にすべりが発生しても鉛直変位量が許容値(通常1.0m)以下である。 ②地震後に浸透破壊を引き起こす恐れがない。 ③液状化による著しい強度低下が発生しないか、発生しても局所的なものにとどまる(土質基礎の場合)
重力式コンクリートダム	①地震時に堤体底面に引張応力が発生しない(ミドルサード) ②地震時に堤体が活動しない(ヘニー式によるせん断摩擦安全率 ≥ 4) ③堤体内に発生する最大圧縮応力が許容値以下である。	①堤体を上下流に貫通するクラックを生じない。 ②堤体内に圧縮破壊やせん断破壊が生じない、もしくは生じても局所的にとどまる。

3-2 地震動に関連する用語の説明

動的解析を用いた耐震照査を行う場合、その前提となる地震動に関連する基本的な用語を理解しておく必要がある。

(1) 地震波の観測

地面で観測される地震波は、地盤によってその地震波の振幅や周期が変化する。また、同じ地震波であっても、施設の構造・規模によっても揺れ方が異なる。ダムに地震波の観測には通常、加速度計が用いられる。



図1 加速度計(例)

構造物はそれぞれ揺れやすい振動の周期を持ち、それを構造物の固有周期と言う。地震波が固有周期と一致した場合に共振が起こり、大きく揺れるため、地震波の中に含まれる波の周期を把握することが重要となる。なお、近年地震による被害想定において着目される「長周期地震動」は高層ビル等に大きな影響をもたらす周期の長い(2～10秒以上)波である。

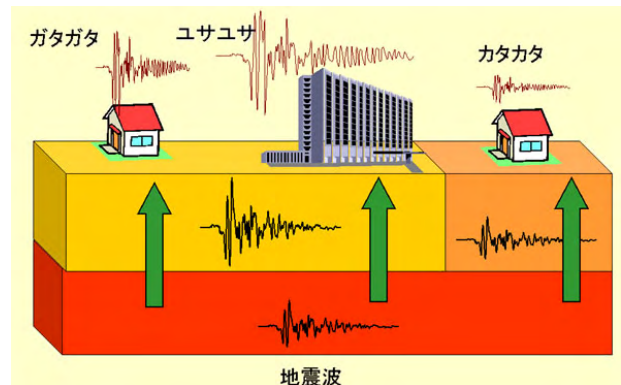


図2 地震波のイメージ⁽⁸⁾

(2) 地震波の特徴を分析する

① フーリエ・スペクトル

地震波を様々な周期の震動の集まりをとらえ、周期毎の地震波の強さに分解して表現したものをフーリエ・スペクトルという。加速度計で記録された波形を数値処理(フーリエ変換)して分析する。

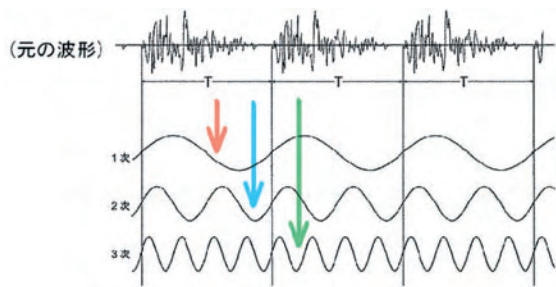


図3 フーリエ変換のイメージ⁽⁹⁾

分析結果から、観測された地震波のうち、振幅の大きな波の周期（卓越周期）を判断できる。

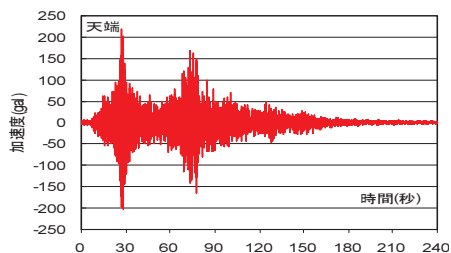


図4 ダムの地震波形（加速度）の例⁽⁶⁾

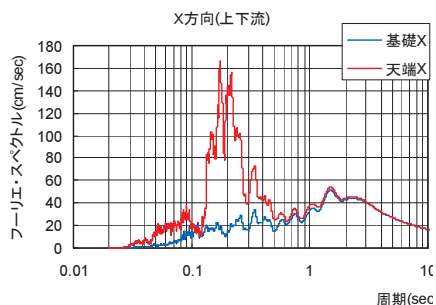


図5 フーリエ・スペクトルの例
（図4の波形をもとに作成）

② 加速度応答スペクトル

地震波によって構造物がどのように振る舞うかを知る方法として、さまざまな固有周期、減衰定数を持つ1質点・1自由度系の構造物が、ある地震波にさらされたときの最大応答値をスペクトルで表したものを「応答スペクトル」という。

これにより、当該地点における地震波によって、構造物の材料・規模に応じてどのような影響（応答）を受けるかを判断することが可能となる。

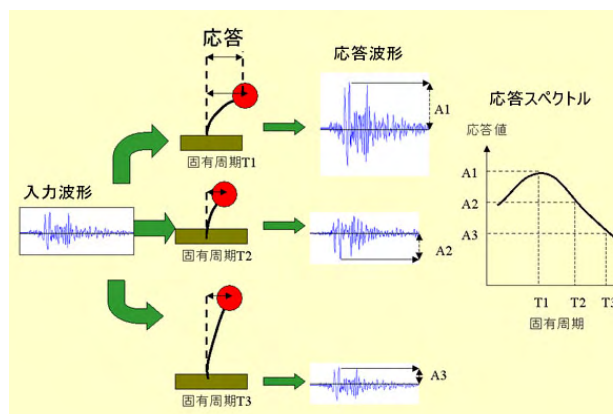


図6 加速度応答スペクトルのイメージ⁽⁸⁾

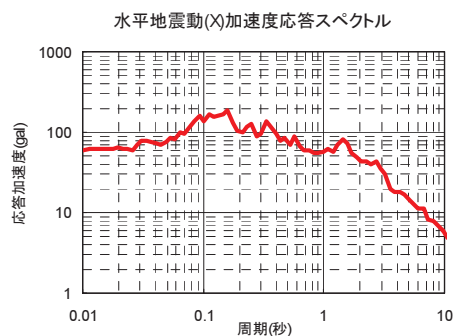


図7 加速度応答スペクトルの例
（図4の波形をもとに作成）

ダムで観測される地震波は、基礎地盤の弾性波速度、地形条件、断層からの距離・方向など様々な要因により場所毎に異なる特性を有する。このため、耐震照査の条件となる「レベル2地震動」の設定においては、できるだけ当該ダム地点での地震波形を分析して、入力地震動の特性に反映させることが重要である。また、堤体の基礎と天端に地震計を設置している場合、両者の波形分析結果を対比して、堤体の固有周期を推定することも可能である。

（3）震度階の決め方

施設の耐震性能に関して、「この構造物は震度〇までは安全」、「加速度〇〇galでも安全」といった表現がなされることがある。

地震動の強さを表すものの1つに「震度(気象庁が発表する数字であり、構造物の設計に用いる水平

震度とは異なるため注意が必要)」がある。震度観測は、以前は体感で行われていたが、現在は観測された加速度波形より計算した計測震度が公表されている。

計測震度の計算には、加速度の大きさの他に揺れの周期や継続時間が考慮されるため、最大加速度が大きい場所が震度も大きくなるとは限らない。また観測点の地盤や地形などによって異なる。

地震波の周期と最大加速度を計測震度と関連付けたものを以下に示す。同じ加速度でも構造物の固有周期によって計測震度に差があるため、冒頭の表現(「〇〇まで安全)」に対する答えを一概に決めることは難しく、個別ダムで想定した地震動に対する安全性評価結果をもとに判定する必要がある。

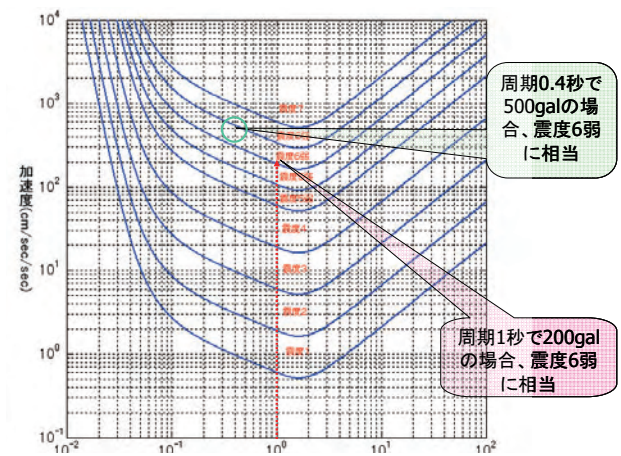


図8 周期および加速度と震度(理論値)の関係⁽⁸⁾
(均一な周期の振動が数秒間継続した場合)

4. 耐震照査の方法

4-1 作業の手順

ダムの耐震照査の作業手順は「耐震性能照査に用いるレベル2地震動の設定」を行ったのち、「ダム本体の耐震性能照査」を実施する。この手順に沿って検討手法を説明する。

4-2 レベル2地震動の作成

レベル2地震動は、「現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動」として定義されており、耐震性能照査においては、

ダム地点で発生する地震動を、

- ダム地点周辺で発生した過去の地震が、再度発生した場合
- ダム周辺の活断層や海洋プレートを起源とする地震が発生した場合

の2つの観点から整理し、ダム地点でのレベル2地震動を設定する必要がある。

この手法として、①経験的方法、②半経験的方法、③理論的方法の3種類があるが、実用上は「①経験的方法」を用いる。

「経験的手法」とは、距離減衰式等、過去に発生した地震の多数のダムでの観測値を統計的に分析したデータをもとに、当該ダム地点における加速度応答スペクトルを推定する方法であり、その際の基礎資料として、断層位置、断層距離をモデル化した「断層パラメータ」を個別に設定する必要がある。

想定地震については、以下の2タイプから最大規模となるものを選定する。各々の特徴を以下に示す。

- ① 内陸活断層に起因する地震：内陸の比較的浅いところで発生する地殻内の地震。プレート内部で蓄積されたひずみが断層の活動によって解放されることにより生じる。1995年の兵庫県南部地震が代表例。
- ② プレート境界地震：日本付近では、太平洋側で海洋プレートが陸のプレートの下に沈み込んでいるため、陸のプレート先端部の跳ね上がりよる地震が生じる。太平洋岸の海域で発生する巨大地震はほとんどがこのタイプであり、地震の発生間隔は内陸活断層よりも短い。また、地震規模が大きくなると断層面の破壊が広範囲にわたるため、継続時間が長くなる特徴がある。2011年の東北地方太平洋沖地震、十勝沖の地震、東海・東南海・南海(南海トラフ)の地震等が代表例。



図9 日本周辺のプレート境界⁽⁸⁾

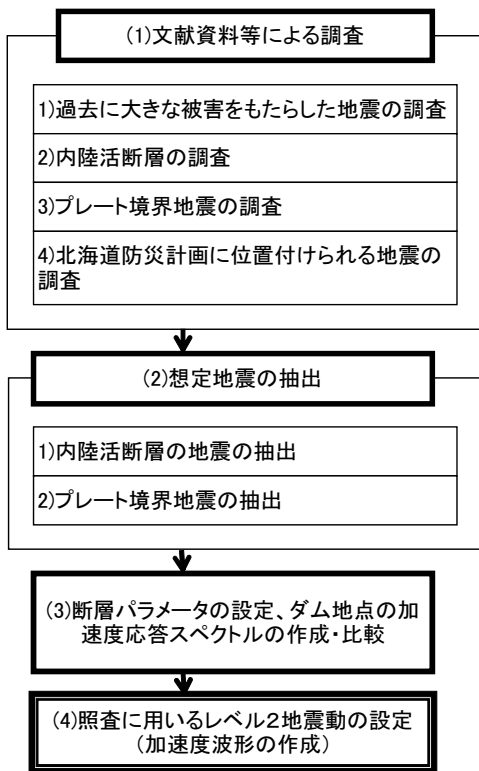


図10 レベル2地震動作成手順

(1) 文献資料による調査

文献調査の一例として、北海道地域防災計画から
①過去に被害をもたらした地震、②道内の想定地震の震源分布（内陸活断層、プレート境界）に関する資料を示す。実務においては、このほかに下記の文献・資料を含め広範囲の調査を行う。

- ・新編 日本の活断層
- ・活断層詳細デジタルマップ

- ・主要98断層
- ・活断層データベース
- ・中央防災会議報告書 等

北海道に被害をもたらした地震の震央分布図（1923年8月1日～2011年⁽⁹⁾）

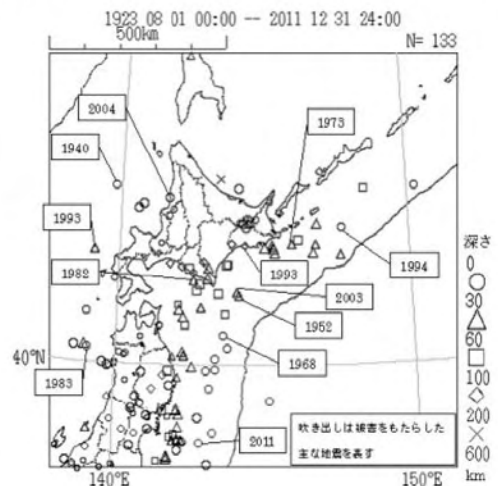


図11 北海道に被害をもたらした地震⁽¹⁰⁾
（震央分布図：1923年～2011年）

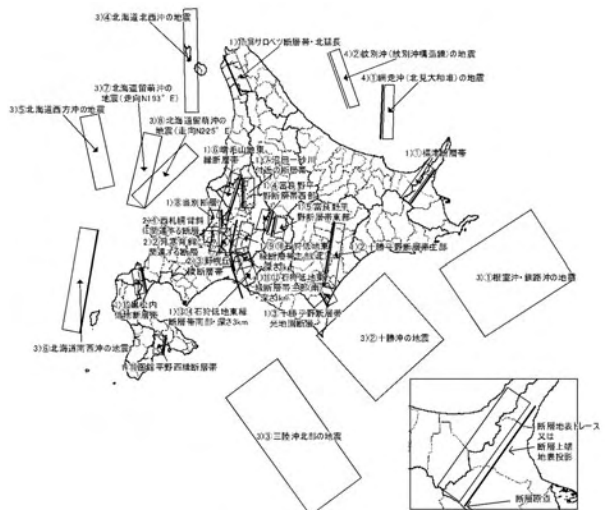


図12 道内の想定地震（内陸、海洋）位置図⁽¹⁰⁾

(2) 想定地震の抽出

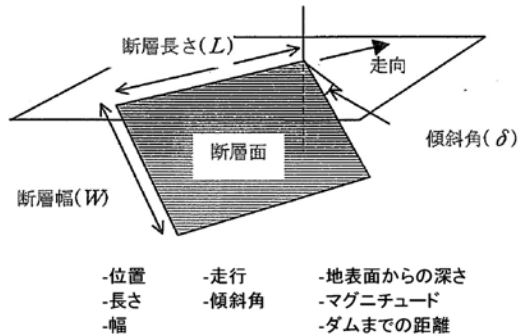
① 一次選定：内陸型については、文献の信頼度も考慮し、『主要98断層帯』に該当するものは全て、また、これ以外は確実度の高い（『新編日本の活断層』で確実度Ⅰ、Ⅱ相当）もの、断層長の長い（10km以上）ものを中心に選定する。一方、海洋プレートは、対象数が限られているため全てを選定する。

② 二次選定：一次選定した断層等のパラメータ

を基に、「ダム距離減衰式」から最大加速度100 gal以上となる地震を選定する。なお、「ダム距離減衰式」は国土交通省の指針（H20見直し版）に基づくパラメータを採用する。

(3) 断層パラメータの設定・ダム地点の加速度応答スペクトルの作成・比較

抽出した想定地震について、以下のような「断層モデル」に基づき、ダム地点（緯度・経度）からの距離を与えることによって加速度応答スペクトルを作成して最大のものを抽出する。算定に必要なパラメータは国土技術政策総合研究所のホームページで公開されている。



最短距離式

$$\log S_d(T) = C_m(T)M + C_b(T)H_c - C_d(T)\log\{R + 0.334\exp(0.653M)\} + C_o(T)$$

等価震源距離式

$$\log S_d(T) = C_m(T)M + C_b(T)H_c - C_d(T)X_{eq} - \log X_{eq} + C_o(T)$$

ここに、

T:固有周期

S_d:水平方向2成分の平均応答スペクトル

M:断層で発生する地震の規模(気象庁マグニチュード)

H_c:断層面中心の地表からの深さ(ただし、100kmを超える場合は100kmとする)

R:断層面までの最短距離

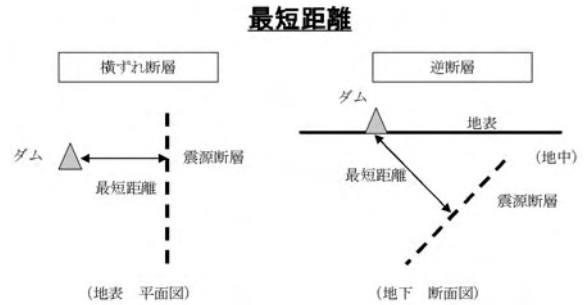
X_{eq}:等価震源距離

C_m(T)、C_k(T)、C_d(T)、C₀(T):回帰係数

※この4つのパラメータが必要

※断層面までの距離を算定するには断層のモデル化が必要

図13 断層のモデル化（概念図）



等価震源距離

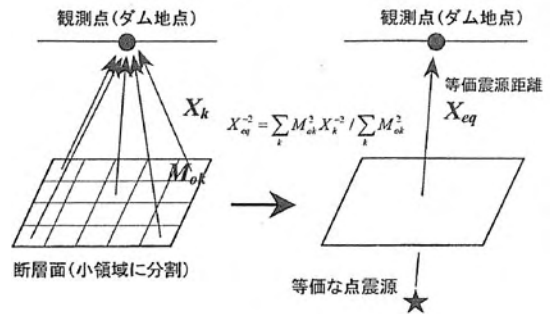


図14 断層のモデル化（距離の算定）

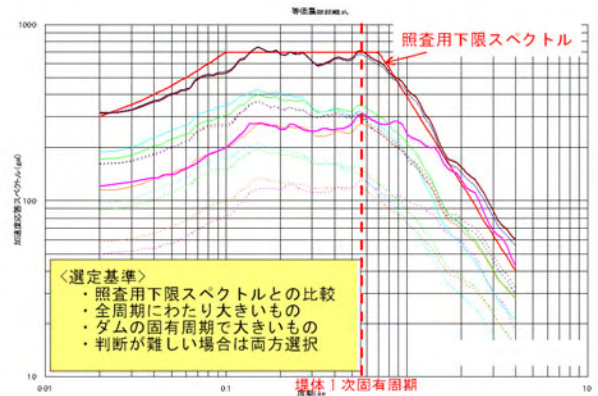


図15 加速度応答スペクトルの作成例

なお、図15に示している「照査用下限スペクトル」はマグニチュードM6.5相当の直下型地震を想定したものである。一般的にM6.5以下の地震では地表面に断層の痕跡が現れないとされていることから、全国いずれの地点でも起こりうる最低の地震規模をレベル2地震動として設定するため、内陸直下型地震については、選定した断層から想定される地震規模が小さい場合でも、必ず照査用下限スペクトル以上の強さの地震を設定する。

(4) 照査に用いるレベル2地震動の設定

以上の検討から、ダム地点におけるレベル2地震動の加速度応答スペクトル（目標スペクトル）が設定されるが、これには位相の要素が含まれていない。このため、原種波形をもとにダム地点の波形を作成する。

原種波形は、①当該ダムまたは近傍での過去の地震波形を用いる方法、②類似するダム型式・地盤条件・地震特性（内陸／海洋）で過去に得られた波形

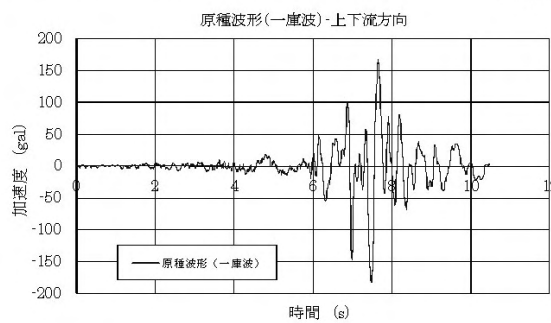
を用いる方法 のいずれかを選定する。

②の原種波形の例（内陸、海洋）を以下に示す。

原種波形（位相特性）と加速度応答スペクトル（振幅特性）の両者を満たす加速度波形を作成する。算定手法はフーリエ変換・フーリエ逆変換を繰り返し、目標とする応答スペクトルとの差が一定の誤差の範囲以内に入るまで試行計算を行って決定する。

内陸型地震

一庫波



海洋プレート型地震

浦河波

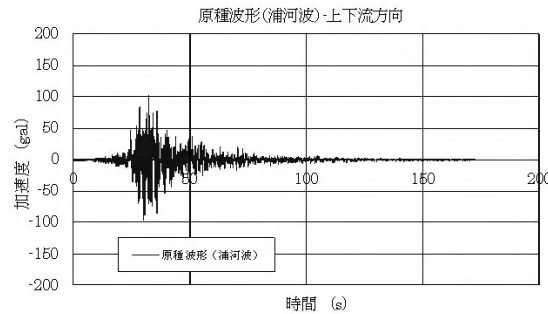


図16 原種波形の例

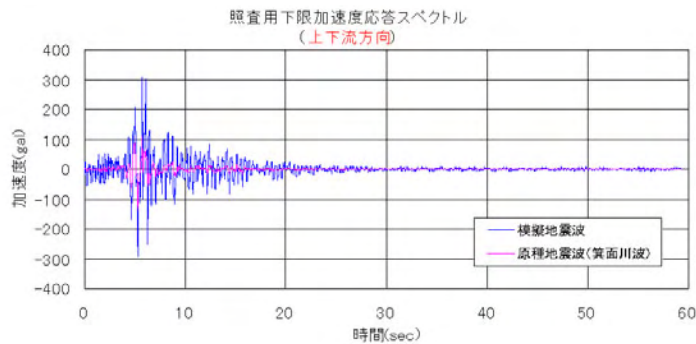


図17 決定したL2地震動

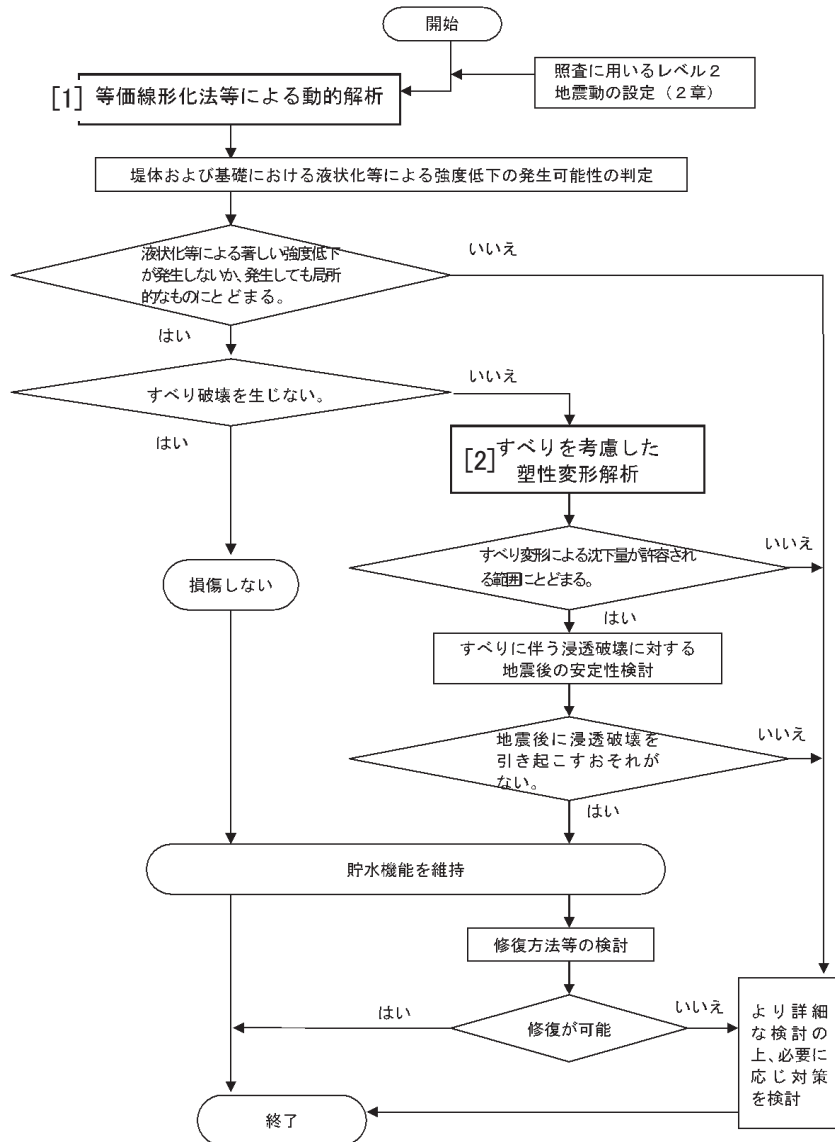
4-3 ダム本体の耐震性能照査

耐震性能照査は、「国営造成農業用ダム耐震性能

照査マニュアル」⁽¹⁾ 及び「大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料」⁽³⁾ 従って実施する。

(1) フィルダムの照査

○照査フロー

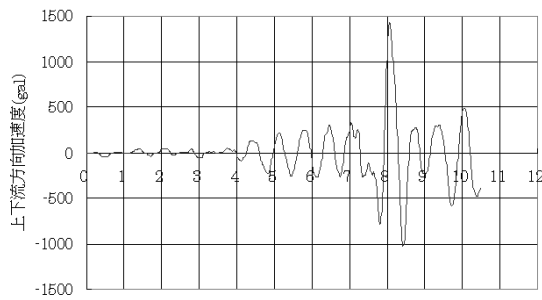
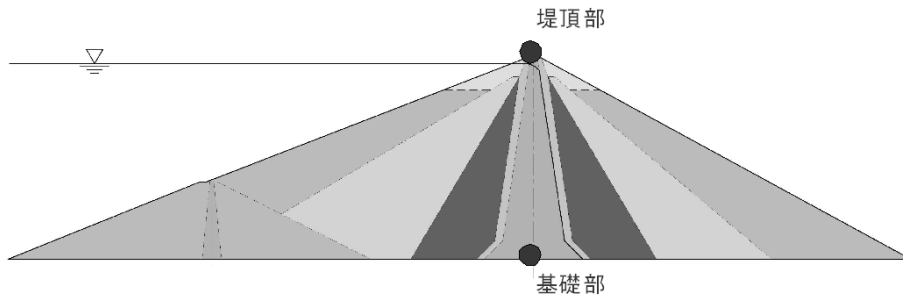


○フィルダムの照査に必要な物性値

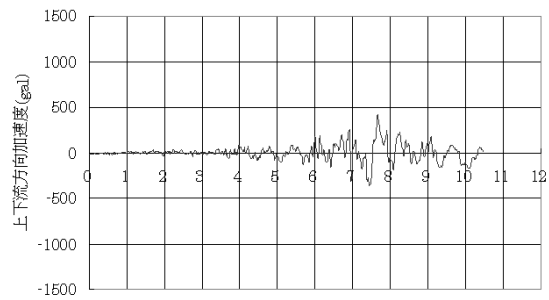
基礎、堤体の条件によって適用が異なる場合がある。

項目	単位	対象*1			解析段階*4		設定方法*6			
		堤体*2			基礎岩盤	[1]等価線形動的*5	[2]塑性すべり変形	施工実績	試験値	文献値
コア	フィルタ	ロック								
<一般物理特性>										
湿潤重量	$\gamma t(kN/m^3)$	○	○	○	○	○	○	○	○	△
飽和重量	$\gamma sat(kN/m^3)$	○	○	○	○	○	○	○	○	△
<静的変形特性>										
弾性係数	E (kPa)	○	○	○	—	○	○	○	○	△
ポアソン比	ν	○	○	○	—	○	○	○	○	△
<強度特性>										
粘着力	c(kPa)	○	○*3	○*3	—	●	●	○	○	△
内部摩擦角	$\phi(^{\circ})$	○	○*3	○*3	—	●	●	○	○	△
<動の変形特性>										
初期せん断剛性	Go(MPa)	○	○	○	—	○	○	—	—	○
動ポアソン比		○沢田式			—	○	○	—	—	○
G/Goひずみ依存性	ft(MPa)	○双曲線モデル			—	○	○	—	—	○
等価逸散減衰	h (%)	15%			—	○	○	—	—	○

(注) *1: 解析に必要な物性値を示す。フィルダムは堤体のみモデル化、または基礎岩盤の自重を考慮せずモデル化する。
 *2: 堤体材料はゾーン毎に物性値を設定する。
 *3: 強度特性のうち動的解析時のフィルター、ロックは指数型の定数を用いる。
 *4: 使用する時点の区分: 「○: 解析時」、「●: 評価時」、「—: 使用しない」
 *5: 等価線形化法による動的解析に先立ち、堤体盛立・湛水に伴う堤体内応力状態を設定するため、初期応力解析を実施。
 *6: 物性値設定方法について、「○: 望ましい」、「△: やむを得ない場合・簡易的な評価の場合」、「—: 通常は用いない」



堤頂部水平方向加速度応答値

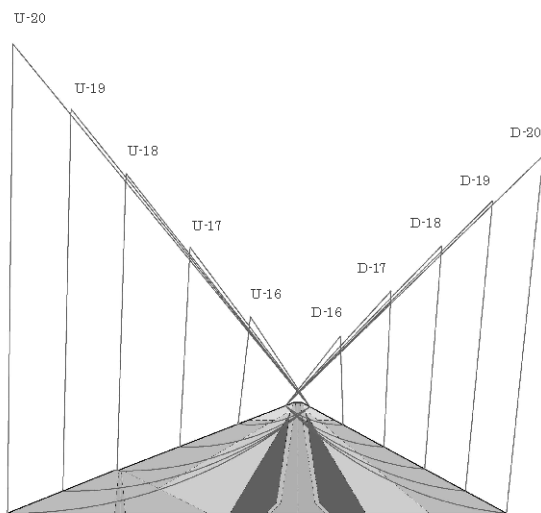


基礎部水平方向加速度応答値

(入力地震動)

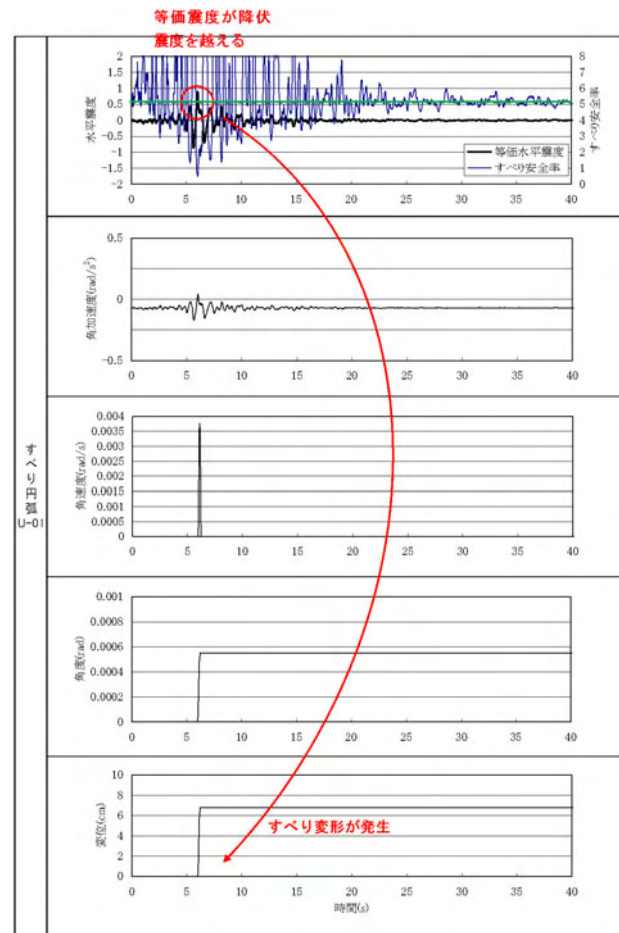
すべり円弧形状

すべり面は予め設定する.



すべり変形が発生する場合、沈下量が1 m以内であれば余裕高の範囲内にあり貯水機能は確保されるものと判断する。

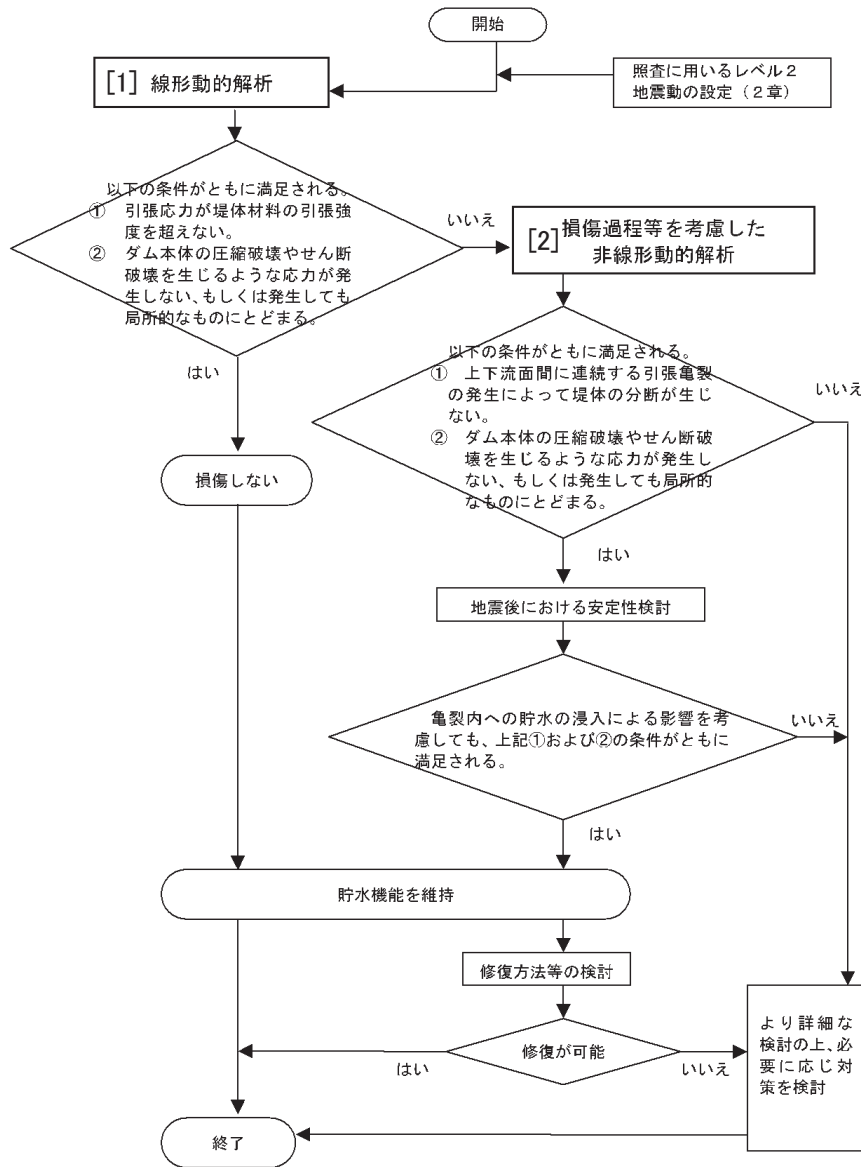
図18 フィルダム耐震性能照査 (アウトプットのイメージ)



すべり変形解析の例

(2) 重力式コンクリートダムへの照査

○照査フロー



○コンクリートダムの照査に必要な物性値

項目	単位	対象 *1			解析段階 *2		設定方法 *3		
		堤体	基礎岩盤	貯水	[1]線形動的	[2]損傷非線形動的	設計値・施工実績	試験値	文献値
単位体積重量	γ (kN/m ³)	○	○	○	○	○	○	○	△
弾性係数	E (MPa)	○	○	—	○	○	○	○	△
ポアソン比	ν	○	○	—	○	○	○	○	△
減衰定数	h (%)	○	○	—	○	○	—	—	○
圧縮強度	f_c (MPa)	○	—	—	●	●	○	○	△
引張強度	f_t (MPa)	○	—	—	●	●	○	○	△
せん断強度	τ_o (MPa)	—	○	—	●	●	○	○	△
摩擦係数	f	—	○	—	●	●	○	○	△
引張軟化開始応力	f_t (MPa)	○	—	—	—	○	—	—	○
破壊エネルギー	Gf(N/m)	○	—	—	—	○	—	—	○

(注) *1: 解析に必要な物性値を示す。

*2: 使用する時点の区分: 「○: 解析時」、「●: 評価時」、「—: 使用しない」

*3: 物性値設定方法について、「○: 望ましい」、「△: やむを得ない場合・簡易的な評価の場合」、「—: 通常は用いない」

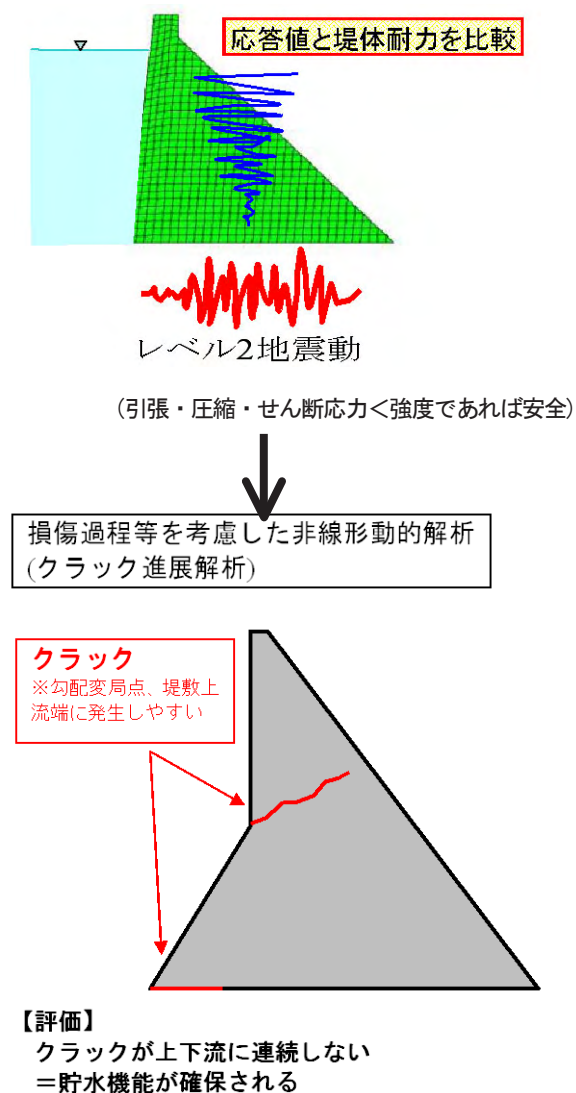


図19 コンクリートダム耐震性能照査
(アウトプットのイメージ)⁽¹⁾

5 おわりに

本年3月に閣議決定した土地改良長期計画において、2011年3月の東日本大震災の教訓を踏まえ、土地改良施設の耐震強化を推進する方針が打ち出された。これに伴い、全て国営造成農業用ダムを対象に、機能診断と併せてレベル2地震動に対する耐震性能照査を行って、総合的な安全性評価を実施することとなった。

本稿では、地震動評価に関する基本事項及び代表的なダム型式であるロックフィルダム、重力式コンクリートダムに対する耐震性能の概要を述べてきたが、農業用ダムの特徴として、土質材料で構成され

たアースダムが多数築造されていること、また施工年代が古いダムでは、設計・施工時の情報が十分に残っておらず、照査に必要な物性値が得られないケースがある等の課題が生じることが考えられる。

また、昨年3月の地震を契機として想定地震動の規模や地震波形設定に関する部分の見直しが行われる可能性もある。今後、具体的な検討地区での実績・課題点を蓄積すると共に、最新の情報を反映した検討を行い、受益者のみならず地域住民への安心を確保できるような手法の確立に努めていく必要があると考える。

(株)三祐コンサルタンツ

参考文献

- (1) 農林水産省農村振興局：国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル、2012.3
- (2) 農林水産省農村振興局：土地改良事業計画設計基準 設計「ダム」、2003.4
- (3) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説。2005.3
- (4) 国土技術政策総合研究所：大規模地震に対するダムの耐震性能照査に関する資料及びインターネット公開資料、2005.3及び2010
- (5) 財団法人ダム技術センター：多目的ダムの建設、2005.6
- (6) 社団法人農業農村工学会：農業用ダム保全管理技術検討調査業務報告書、2012.3
- (7) 土木研究会：土木技術資料、1978.4
- (8) 気象庁HP：地震動に関する基礎知識
- (9) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門、1994.5、鹿島出版会
- (10) 北海道地域防災計画(地震・津波防災計画編)、2012.6

肥培かんがい施設整備による効果検証について

廣永 行亮

1. はじめに

別海町は、北海道の東部に位置し、冷涼な気象条件と広大な土地資源を背景として、昭和30年代から新酪農村建設事業など国家プロジェクトによる酪農基盤が整備され、現在では我が国を代表する大規模酪農地帯として発展してきた。しかし、用水施設においては、乳牛飼養頭数の増加等の規模拡大に伴い、労働時間の増加などから、水需要が短時間に集中する事となり、用水不足が生じ適正なかんがいが行われていない状況となった。また、降雨時に土砂及び肥料成分等の流出による、河川、湖沼などの水質悪化が懸念される状況にある。そのため、国営環境保全型かんがい排水事業別海南部地区、別海西部地区では、家畜ふん尿の農地への効率的かつ適正な還元による土地生産性の向上と、地域環境への負荷軽減を目的とした肥培かんがい施設の整備を行っている。

本報では、これまで実施した調査によって明らかとなった、肥培かんがい施設整備による牧草増収効果、経営経費節減効果、その他効果としての雑草種子発芽抑制効果等について紹介する。

2. 肥培かんがいシステムの概要

図-1に別海南部地区および別海西部地区で整備されている肥培かんがい施設の概要を示す。なお、別海南部地区は平成18年度から、別海西部地区は平成20年度から、施設整備が開始されている。

牛舎から排出されたふん尿は、流入口で3倍程度に希釈（ふん尿：水=1：2）され、調整槽へ圧送ポンプ等により搬送される。この搬送されたふん尿（スラリー）は調整槽で、ブローポンプによって攪拌、均質に調整された後、縦型スラリーポンプで配水調整槽へ移送される。配水調整槽に貯留されたスラリーは、主にスラリータンカーでは場に散布する。

また、別海南部地区と別海西部地区では図-2に示すように、調整槽には多槽式と単槽式の2タイプがあり、牧場の牛舎形式、敷料の有無や投入されるふん尿の性状によっていずれかのタイプが導入される。

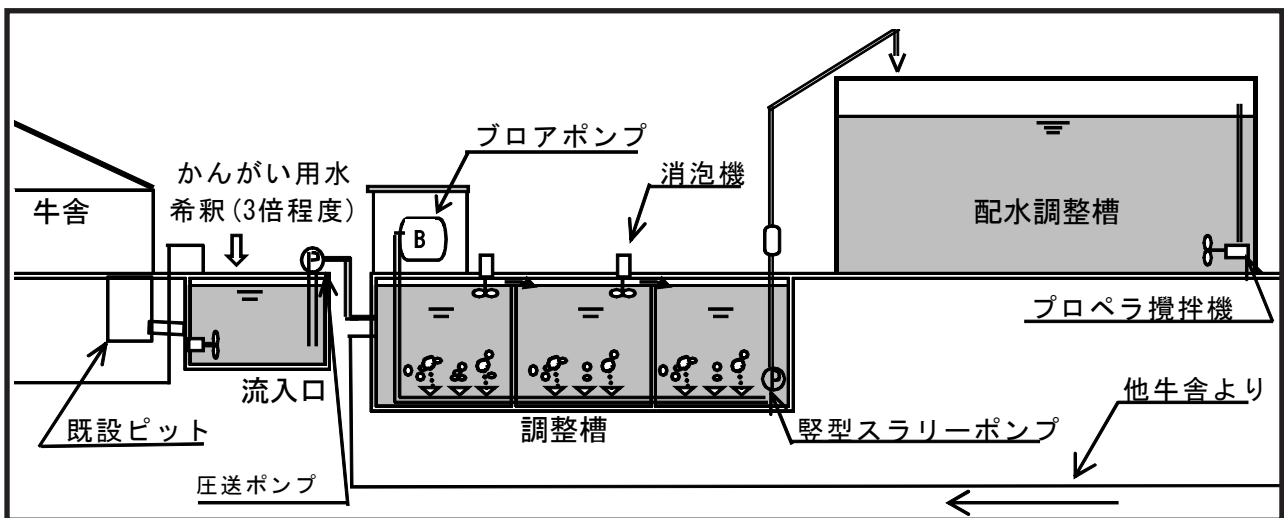


図-1 肥培かんがい施設の概要

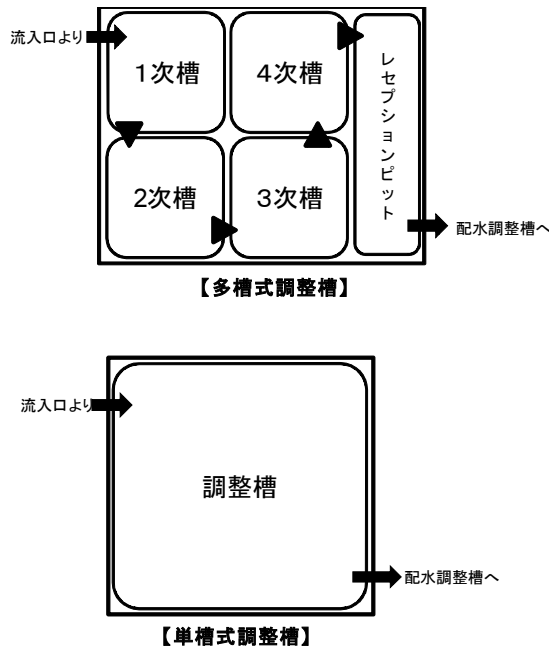


図-2 多槽式、単槽式調整槽のふん尿の流れ

3. 腐熟スラリー散布による牧草増収効果

3-1. 試験区の設定および調査内容

肥培かんがい施設で加水および調整処理されたスラリーの散布効果を明らかにするために、無調整スラリー区、希釈スラリー区および希釈+調整スラリー区の3試験区を設定した。調査項目として牧草収量に加え、土壌への浸透性を比較するため、アンモニア揮散量及び土壌中の無機態窒素の動態を実施した。各試験区の施肥量は北海道施肥標準¹⁾に準じ、不足成分量は化学肥料にて補った。

3-2. アンモニア揮散量調査

春のスラリー散布後のアンモニア態窒素揮散量の推移を図-3に示す。無調整スラリーのアンモニア態窒素揮散量は、散布後12時間で19.3kg/ha、24時間後で23.4kg/ha、72時間後で25.5kg/haに達した。これに対し、希釈スラリーおよび希釈+調整スラリーは、12時間後でそれぞれ5.4kg/ha、5.0kg/ha、24時間後で11.0kg/ha、9.3kg/ha、72時間後で12.2kg/ha、10.5kg/haと無調整スラリーに比べ少ない揮散量であった。このことから、適切な処理を施すことでアンモニア態窒素の揮散を抑制することが出来ると判断された。

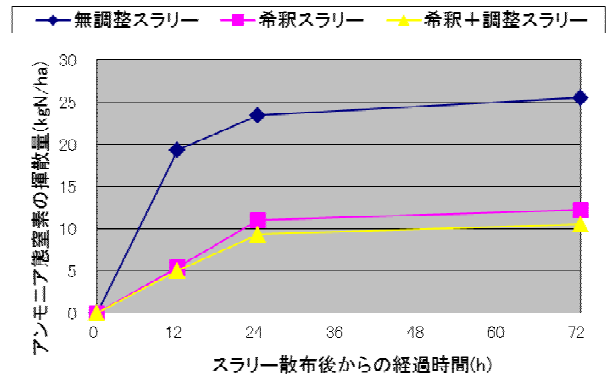


図-3 散布直後のアンモニア揮散量

3-3. 土壌中における無機態窒素量

図-4に1番草刈取り後にスラリー散布した土壌中(深度5cm)の無機態窒素量を示す。なお、ここで述べる無機態窒素量とは、アンモニア態窒素と硝酸態窒素の合計量である。無調整スラリー区での無機態窒素量は80.1mg/kgであるのに対し、希釈スラリー区では110.7mg/kg、希釈+調整スラリー区では133.9mg/kgとなった。また、土壌深度50cmの無機態窒素量は試験区間に大きな差は認められなかった。

この結果から、スラリーは希釈、調整処理を行うことで速やかな土壌浸透が可能になることが示された。

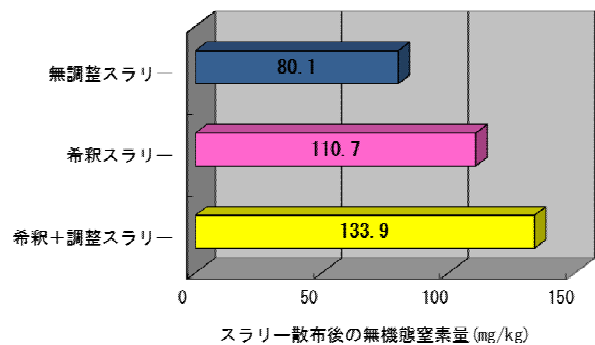


図-4 土壌中(深度5cm)の無機態窒素

3-4. 牧草収量調査

1番草の生収量調査結果を図-5に示す。生草収量は、希釈スラリー区および希釈+調整スラリー区が無調整スラリー区に比べ高く、無調整スラリー区の収量を100とすると、希釈スラリー区が108、希釈+調整スラリー区が109となった。希釈スラリー区および希釈+調整スラリー区では、スラリー施用後のアンモニア態窒素の揮散量が少なく、無機態窒素

が土壤中に速やかに浸透するという結果を示していた。このために、牧草が無機態窒素を多く吸収し、牧草生育が良好となった結果、生草収量が増加したものと判断された。

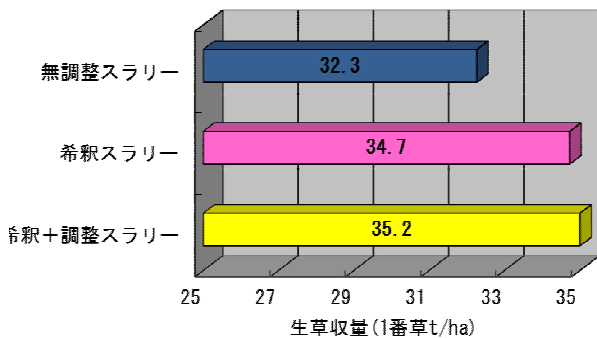


図-5 牧草収量調査結果

4. 経営経費削減効果

肥培かんがい施設導入前後の牧場において牧草収量調査等を実施し、経営経費の変化を比較することで肥培かんがい施設の導入効果を検討した。

4-1. 牧草収量調査

施設導入前7ほ場（A～G）と導入後2ほ場（H、I）における生草収量を図-6に示す。なお、施設導入前は、農家慣行による無調整スラリーと化学肥料の施用で、導入後は希釈調整スラリーを事業計画に基づく量を散布したほ場である。

生草収量は、導入後が導入前より多い傾向にあり、それぞれの平均では導入後が46.4t/ha、導入前が37.6t/haであった。

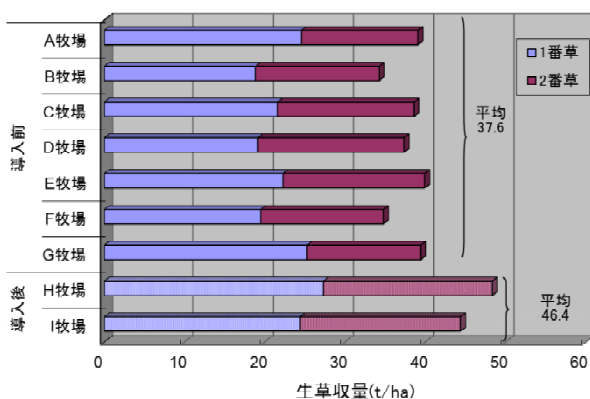


図-6 牧草収量調査結果

4-2. 経営経費調査

肥培施設導入による化学肥料費節減及びふん尿処理に係わるランニングコスト(電気料金、水道料金)について検討した。

(1) 化学肥料費の節減

肥培かんがい施設の導入による化学肥料費の節減は、事業効果確認のため、事業計画に基づいてスラリー散布した場合の施肥標準量に不足する量を補足する化学肥料費から算出した。なお、導入前の化学肥料費については、スラリー散布量を事業計画量の21%とし、不足成分を化学肥料で補った場合の費用とした。表-1に化学肥料費を示す。

施設導入によるスラリー散布で、導入後の化学肥料費(約29千円/ha)は、導入前(約35千円/ha)より、およそ6千円/ha削減された。これは、事業計画の節減額(約5千円/ha)を上回っており、事業計画で想定した効果は充分確保されることを確認した。

表-1 化学肥料費

	化学肥料費 (円/ha)			
	春	1番草後	2番草後	合計
導入前	11,579	11,875	11,599	35,052
導入後	9,301	10,708	9,395	29,403

(2) 肥培かんがい施設のランニングコスト

肥培かんがい施設のランニングコストとして、施設導入前後におけるふん尿処理に係わる電気料金を比較した。ここでは、施設導入によってホイールローダやトラクタ等の稼働時間が大きく変化しないものと見なし、燃料費(軽油等)については考慮していない。

施設導入前は、牛舎のふん尿は尿溜めに自然流下し、尿溜めからPT0式のスラリーポンプによって貯留ピットへ搬出される。ほ場への散布は、貯留ピットから尿溜めに戻してスラリーポンプ(PT0式)でスラリースプレッダへ積み込まれる。このような処理のため、施設導入前はふん尿処理に係わる電気料金が発生しない。

一方、導入後は流入口のスラリーポンプ、調整槽のブローポンプ、消泡機およびスラリーポンプ等があるため、電気料金が発生する。

前述の I 牧場における月当たりの電気料金を表-2に示す。I 牧場では、日当たり10時間の調整を実施しており、低圧時間帯電力で夜間運転を多く設定した場合（夜間7、昼間3時間）およそ4万8千円/月（約57万円/年）の電気料金となった。

表-2 ふん尿処理に係わる電気料金（施設導入後）

月間電気料金		
区 分	金額	備 考
基本料金	¥29,671	(1ヶ月当り)
従量料金	昼間運転 ¥8,565	(1ヶ月を30日として)
	夜間運転 ¥9,446	
電気料金	¥47,681	(1ヶ月を30日として)

※北海道電力電気供給約款を参考に算出（低圧時間帯別電力）

また、肥培かんがい施設において希釈する場合の水道料金を算出した。表-4に I 牧場のふん尿発生量と希釈に伴う水道料金を示す。希釈量は、I 牧場の飼養頭数が78頭であることと、聞き取りによる各月の舎飼い時間を参考に発生するふん尿量を算出し、これの3倍希釈量（ふん尿の倍量）として求めた。水道料金は、希釈量に別海町の水道料金単価88円/tを乗じて算出した。

表-3 ふん尿量と希釈量および水道料金

月	舎飼い時間 (h/日)	ふん尿量* (t/月)	希釈量** (t/月)	水道料金*** (円/月)
1月	24	120.9	241.8	21,278
2月	24	109.2	218.4	19,219
3月	24	120.9	241.8	21,278
4月	24	117.0	234.0	20,592
5月	16	80.6	161.2	14,186
6月	16	78.0	156.0	13,728
7月	16	80.6	161.2	14,186
8月	7	35.3	70.5	6,206
9月	16	78.0	156.0	13,728
10月	16	80.6	161.2	14,186
11月	16	78.0	156.0	13,728
12月	24	120.9	241.8	21,278
合計		1100.0	2199.9	193,593

*ふん尿量は、飼養頭数78頭として。

**希釈量は、3倍希釈（ふん尿の倍量）とした場合。

***水道料金は、加水量×単価（88円/t）として。

(3) 経営経費比較

表-4に肥培施設導入前後における経営経費とスラリーの散布効果を示す。比較は、ha当たりの化学肥料費、生乳生産額およびふん尿処理に係わるランニングコスト（電気料金、水道料金）から、検討した。

ここで、ランニングコストについては、(2)で求めた I 牧場の電気料金57万円/年と、水道料金19.4万円/年を I 牧場の耕作面積76haで除して用いた。

なお、生乳生産額については、事業計画において、牧草3.7kgで生乳1kgが生産できるとされていることと、生乳単価が道内平均で69.2円/kg（平成19年単価）であることから、これらの値を用いて算出した。この結果、肥培かんがい施設での電気料金が約57万円/年（7,529円/ha）、水道料金が約19.4万円/年（2,547円/ha）必要であっても、化学肥料の削減費と牧草増収による生乳生産額の増加により、年間15.9万円/haの導入効果があると試算された。

表-4 1ha当たりの経営経費とスラリー散布効果

	化学肥料費 A (円/ha)	生乳生産額* B (円/ha)	ランニングコスト		便宜上の利益 E=B-A-C-D (円/ha)	スラリー 散布効果 便宜上の利益の差 (円/ha)
			電気料金 C (円/ha)	水道料金 D (円/ha)		
導入前	35,052	704,005	0	0	668,953	158,750
導入後	29,403	867,182	7,529	2,547	827,703	

*生乳生産額；牧草3.7kgで生乳1kgを生産できるとして算出。

5. 肥培かんがい施設導入における多目的効果

(雑草種子発芽抑制効果)

これまで、家畜ふん尿の堆肥化処理や嫌気性発酵処理過程における雑草種子の不活性化の試験はあるが、好気性発酵における肥培かんがい施設での調査はない。そこで、肥培かんがい施設導入による多目的効果として、施設での処理過程における雑草種子の発芽抑制効果について調査した。

5-1. 供試種子

供試種子は、永年草地で問題となる雑草のうち雑草害の強さ順位が1位²⁾のエゾノギシギシ (*Rumex obtusifolius* L.) とした。試験に用いる種子は、別海町内の採草地で平成19年11月に採取したものである。なお、種子は、採取後直ちに冷蔵させ一時休眠状態で保存していたものであり、調査前に内花被片を取り除き、大きさ・形・色の類似したものを選別し調査に供することとした。

5-2. 調査方法

雑草種子発芽抑制効果試験は、木村ら³⁾の試験方法に基づき、図-7に示すフローチャートに従い実施した。

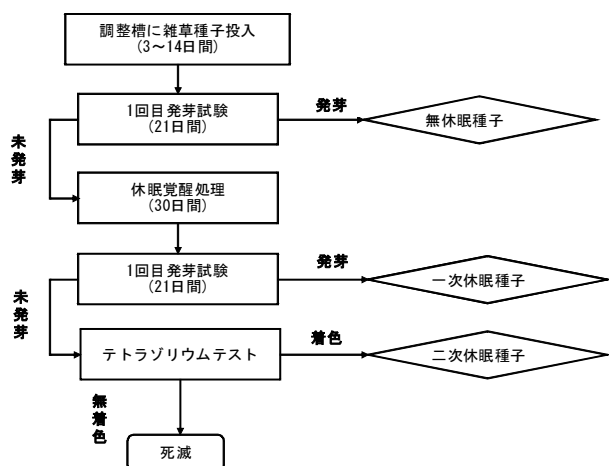


図-7 実施手順

(1) 試験区の設定

試験は平成20~21年にI~IIIの3牧場(3施設)で実施した。なお、I~II牧場は多槽式、III牧場は

単槽式の施設(図-2参照)である。これら施設において、希釈、調整中の調整槽に種子を投入する「調整区」と未調整のふん尿(120Lのポリバケツにスラリーを入れて静置)に種子を投入した「対照区」をそれぞれ設けた。

各牧場での雑草種子のスラリーへの浸漬状況を表-5に示す。なお、平成20年の調査はIおよびII牧場で行ったため、いずれも多槽式の調整槽での試験で、最も液温の高い槽に14日間の浸漬であった。この方法では、実際の施設でのスラリーの流れと異なり、最も高い液温に14日間浸漬されたことになった。そこで、21年度調査は、多槽式(I牧場)の調整槽で実際のふん尿処理過程と同様に1~4次槽を通過するよう種子を浸漬した(1次槽;3日、2次槽;3日、3次槽;4日、4次槽;4日)。また、単槽式(III牧場)の調整槽で試験を実施し、あわせて3日、7日、10日間の浸漬を行い、滞留日数と種子の死滅度合いについて検討した。さらに、秋~冬期の液温が低下した状態でも試験を実施し、液温と死滅種子率の関係について検討した。

ここでは、多槽式の調整槽の一つの槽に14日間浸漬した場合および単槽式の槽に浸漬した場合を単槽処理、多槽式調整槽の1~4次槽を通過するようにした場合を多槽処理として検討した。

表-5 試験概要

牧場	スラリーへの種子浸漬概要	
	H20年	H21年
I牧場 (多槽式)	最高温槽で14日間 (夏、冬) (単槽処理)	1~4次槽で合計14日間 (夏、冬) (多槽処理)
II牧場 (多槽式)	最高温槽で14日間 (夏、冬) (単槽処理)	
III牧場 (単槽式)		調整槽で3、7、10、14日間 (夏、冬) (単槽処理)

(2) 発芽試験

滞留日数(3~14日間)が経過した種子を取り出し蒸留水、エタノール、蒸留水の順で洗浄した。その後、直径9cmのプラスチック製シャーレのろ紙上に100粒ずつ置床し、温度を20~25℃に保ち、1回目発芽試験を行った。

1回目発芽試験終了後の発芽しなかった種子は休眠もしくは死滅の状態であり、休眠覚醒のためにビニール袋でシャーレを包み休眠覚醒処理として冷蔵庫に30日間保存した。休眠覚醒処理後、再び1回目発芽試験と同条件で2回目発芽試験（21日間）を行い、発芽しなかった種子に対しテトラゾリウムテスト（TTC試験）を行い、種子の生死を判別した。

5-3. 調査結果

(1) 液温と死滅率

表-6、図-8に14日間浸漬した場合の各試験時のスラリー液温平均値と死滅種子率を示す。なお、図中に示した多槽処理（凡例；□）のうち死滅収支率が99%であった時の液温は、実際に通過した槽の液温を平均した値であり、浸漬時の各槽の液温は1次槽（3日間）；28.6℃、2次槽（3日間）；32.9℃、3次槽（4日間）；33.5℃、4次槽（4日間）；29.0℃であった。

雑草種子は、温度や菌による発酵過程によって、炭水化物、タンパク質および脂質が分解されると、不活性化を起こすとされている³⁾。本試験では、スラリー液温が30℃未満では死滅種子率にばらつきがあり安全性が十分でないが、30℃以上であれば死滅種子率が95%以上となり、液温の上昇が雑草種子死滅の指標に成り得ると考えられた。

表-6 各試験の死滅率と温度

年	時期	牧場	区	無休眠種子率 (%)	一次休眠種子率 (%)	二次休眠種子率 (%)	死滅種子率 (%)	液温 (°C)	備考
H20	夏	I 牧場	対照区	69.4	4.8	0.4	25.4	23.4	-
			調整区	0	0	0	100	33.4	単槽処理
		II 牧場	対照区	57.8	7.6	1.2	33.4	22.1	-
			調整区	0	0	0	100	40.2	単槽処理
	秋	I 牧場	対照区	84	0.2	0.2	15.6	7.9	-
			調整区	8.6	0.8	0.6	90	27.3	単槽処理
II 牧場	対照区	83.2	0.6	0	16.2	11.6	-		
	調整区	55.8	0.4	0	43.8	24.0	単槽処理		
H21	夏	I 牧場	対照区	84.8	0.6	0	14.6	19.7	-
			調整区	1	0	0	99	31.0	多槽処理
		III 牧場	対照区	52.6	16.8	0	30.6	18.8	-
			調整区	5	0	0	95	34.6	単槽処理
	秋	I 牧場	対照区	70.8	0.2	0.2	28.8	2.1	-
			調整区	70.4	1	0.2	28.4	27.0	多槽処理
III 牧場	対照区	87.0	0.2	0	12.8	1.9	-		
	調整区	64.0	1	0.2	34.8	26.2	単槽処理		

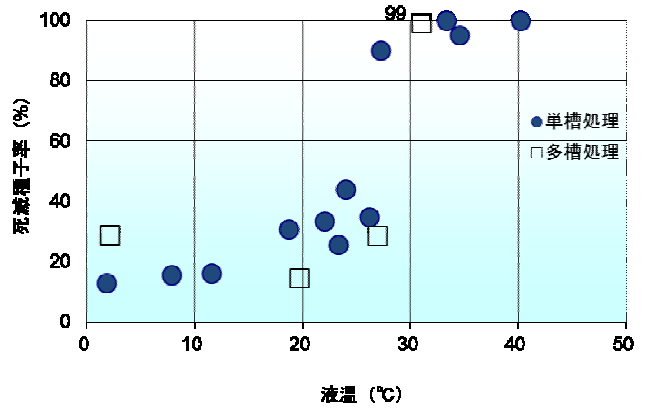


図-8 液温と死滅種子率の関係

(2) 浸漬（滞留）日数と死滅率

図-9に単槽処理で3～14日間雑草種子を浸漬させたときの死滅種子率を示す。スラリー液温の平均は夏調査が概ね35℃で、秋調査が27℃であり、対照区は夏調査が19℃、秋調査が3℃であった。

スラリー液温が30℃未満であった夏調査の対照区、秋調査の対照区と調査区の死滅種子率は滞留日数に関係なく低かった。一方、スラリー液温が30℃以上であった夏調査の調整区は、滞留日数が長いほど死滅種子率も増加し、滞留日数が10日間以上であれば、90%以上の死滅種子率であった。

本地区における調整槽の滞留日数は設計上14日で、実際にはそれ以上滞留している場合がほとんどであることから、液温を30℃以上に保っていれば雑草種子の不活性効果があると判断できた。

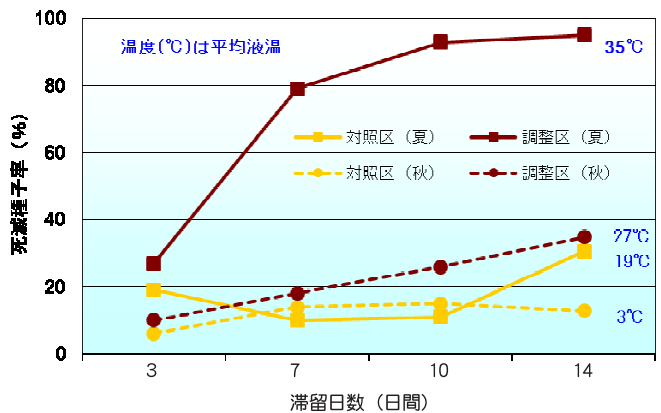


図-9 浸漬日数と死滅種子率の関係

5. 現況のスラリー性状

前述のように、スラリーを希釈し、調整することで適正に処理し、土壌への浸透性も良好となって牧草への肥料成分の吸収が良くなり、牧草の増収や化学肥料の節減等が期待できた。

そこで、平成23年度の調査では、現況のスラリー調整を踏まえた状況毎に施肥成分換算について検討した。

5-1. 攪拌強度とスラリー性状

過年度の環境保全型農業推進調査等⁴⁾によると、スラリーは液温が30℃以上になると、腐熟し散布に適した状態になることが示されている。

平成23年度8月に任意に選定した別海南部および西部地区の施設から採取したスラリーの液温と攪拌強度（スラリー1 m³3当りに対するブローポンプでの攪拌量m³）の関係を図-10に示す。これによると、液温が30℃以下で、腐熟に達していない施設もみられた。これらの施設については、希釈不足による攪拌効率の低下と攪拌不足によることが要因と考えられた。特に、施設導入後、間もない施設では、散布に適した攪拌時間などについて試行を繰り返しており、現状ではスラリーの調整が不足している施設もみられた。

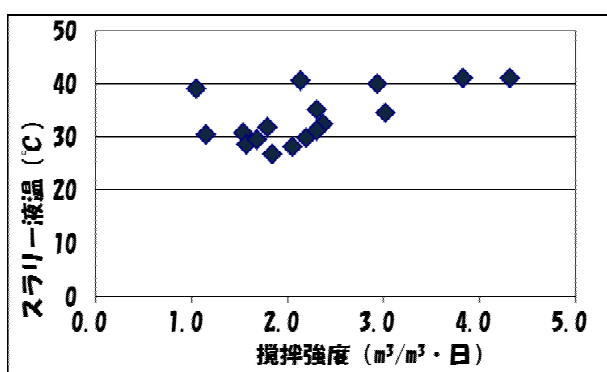


図-10 スラリー液温と攪拌強度

5-2. スラリー中の肥料成分の変化

スラリー中の肥料成分（窒素、リン酸、カリウム）のうち、窒素は堆肥化処理過程や調整処理などによりアンモニア態窒素となり大気中に放出する場合は

ある。しかし、肥培かんがい施設ではアンモニアを含む水蒸気として発生しても、調整槽が密閉されているため水蒸気は水滴として落ち、スラリーに戻ることが推察された⁴⁾。また、リン酸とカリウムは攪拌、調整処理での変化は少なく、飼養形態、飼養条件によって変動する⁵⁾とされている。

5-3. スラリーの肥料価値

各肥培かんがい施設におけるスラリーの調整具合とスラリーの肥料価値について検討した。前述のとおり、ふん尿および肥培かんがい施設で処理されたスラリーの成分（窒素、リン酸、カリ）は、各施設で異なっている。したがって、ここでは牧草に利用可能な成分量を算出するため、北海道施肥ガイド¹⁾に示されている肥効率（基準肥効率、品質の補正係数、施用時期の補正係数）の値を使用した。また、この値に市販の化学肥料（単肥；尿素、ダブリン、塩加）単価を乗じてスラリーの肥料換算費（円/t）とした。

図-11にスラリー液温（調整割合）と肥料換算費の関係を示す。

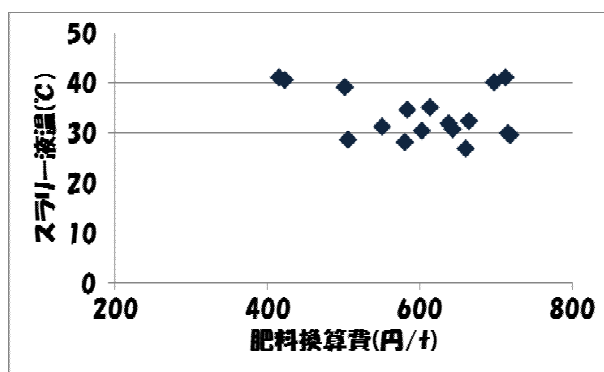


図-11 スラリー液温と肥料換算費

スラリー液温（調整具合）と肥料換算費には、明瞭な関係がみられなかった。これは、各農家のスラリー成分が違っており、スラリーの調整具合の相違による肥料価値を評価することが困難なことを示している。また、前述の肥効率や補正係数のうち、スラリーの状態を評価するものとして、品質の補正係数があるが、アンモニア態窒素量の違いにより3段

階（表－7）に分かれているのみであり、未調整あるいは調整スラリーによる牧草への吸収量が評価されていないことが要因のひとつとして考えられる。

表－7 品質による補正係数

乾物当りNH ₄ -N(%)	3.5%～	1.5～3.5	～1.5
品質による補正係数	1.2	1.0	0.8

また、前述したように、無調整スラリーと希釈＋調整スラリーの散布において、窒素の揮散量や土壌への浸透量の違いによって牧草収量に差が現れることが明らかであった。これらのことから、スラリー調整具合の違いによる牧草への肥効程度について検討し、肥料価値の相違を明らかにすることが必要であると考えられる。

6. まとめと課題の抽出

これまで述べたように、肥培かんがい施設の導入効果として、牧草増収効果、経営経費節減効果および多目的効果として雑草種子発芽抑制等が示された。一方、導入間もない肥培かんがい施設のスラリー液温から判断すると、散布に不十分な状態であるものも散見された。これらのことから、スラリーを効率的に調整し、有効に活用していくためには、関係機関と連携し、適正な管理方法（希釈量、調整時間）の提示が必要である。さらに、散布に適した状況に管理されたスラリーの優位性を明らかにすることで、スラリーの調整（希釈、均質な攪拌調整）に必要な経費やスラリー散布時間の増加などについて理解を求めることが必要となる。そのために、調整具合の異なるスラリーの牧草への吸収量の差（肥効率）を明確にすることが必要である。

最後に、本報をまとめるにあたり、多大なご協力を頂いた釧路開発建設部根室農業事務所、並びに関係各位に厚くお礼申し上げます。

（株）ズコーシャ

参考文献

- 1) 北海道農政部道産食品安全室：北海道施肥ガイド（2002）
- 2) 農業技術普及協会（1982）北海道の牧草栽培技術〈基礎編〉
- 3) 木村義彰・梅津一孝・高畑英彦（1994）メタン発酵処理がエゾノギンギシ（*Rumex obtusifolius* L.）種子の生存率に及ぼす影響．日草誌40:165－170
- 4) 北海道開発局釧路開発建設部：平成21年度 別海南部地区外1地区 環境保全型農業推進調査等業務 報告書
- 5) (株)北海道土地改良設計技術協会：スラリーかんがい（スラリイゲーシヨ）その理論と実際

事業計画時におけるオオタカへの配慮の取り組み

－排水路整備における配慮事項について－

石田 恭弘

1. はじめに

土地改良法が平成13年に改正され、環境との調和への配慮が事業実施の原則となった。農業農村整備事業では、工事に伴う環境への影響を把握するために、事業実施にあたり環境調査（生物調査、水質調査等）を実施し、動植物の生息状況を踏まえ、環境配慮方針を検討し、環境との調和に配慮した事業計画を作成している。

排水路整備の調査計画時に実施した生物調査では、オオタカの営巣を確認した。本報文では、オオタカの確認状況、貴重性・生態、工事の影響範囲、これらをもとに策定した「配慮事項」の事例を紹介する。

2. 調査概要

調査地は河川流域に拓けた農業地帯である。生物調査は、排水路工事により、影響を受ける範囲の動植物を対象とし、鳥類、魚類、両生類・爬虫類、昆虫類、底生動物、植物について平成23年に実施した。

3. 鳥類調査の結果

3-1 オオタカの日撃

平成23年8月23、25日の調査では、①餌乞い鳴きを行う幼鳥、②トビへの攻撃を行う成鳥、をそれぞれ確認した。調査から、オオタカ的生活サイクルの内「巣外育雛期」（巣立ち後から幼鳥独立の一時期）と判断し、防風林を巣外育雛の場として利用していると判断した（表-1）。

3-2 オオタカの営巣の確認

9月13日の調査では、8月にオオタカを確認した箇所付近である防風林中央部にタカ類の皿巣を確認した（写真-1）。巣直下の林床にオオタカの卵殻

を確認したことから、本巢の利用種は「オオタカ」とであると判断した。また、林床にタカ類の食痕（鳥類の骨、羽根）、ペリット（不消化の吐出物（採餌内容は鳥類））を確認し（写真-2）、巣上には青葉を搬入した痕跡を確認した。8月と9月の調査結果から、本巢では、今季オオタカが営巣し、幼鳥が少なくとも1個体巣立って繁殖に成功したものと判断した。

表-1 オオタカの確認状況（平成23年）

確認日	個体数	齢	確認状況
8/23	1	幼鳥	防風林（ハンノキ）内において、餌乞い鳴きを行う。
8/25	1	幼鳥	
8/25	1	成鳥	防風林林縁に位置する送電線の鉄塔に止まるトビに対し、防風林から飛び出して攻撃（排他行動）を行う。



写真-1 オオタカの巣



写真-2 ペリット、食痕、卵殻

4. 課題

オオタカ営巣調査で確認した営巣木は、整備対象の排水路から約300mの距離にある。このため、「オオタカに対する配慮対策の検討」が必要となった。

配慮対策の検討にあたっての課題は、以下の3点であった。

- ① オオタカについて把握する。
- ② 保全対策範囲を設定する。
- ③ 配慮事項を示す。

4-1 オオタカについて

1) 貴重性

オオタカは、「絶滅のおそれのある野生動植物の種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。また、環境省レッドリスト¹⁾では準絶滅危惧 (NT)、北海道レッドデータブック²⁾では絶滅危急種 (VU) にそれぞれ指定され、「絶滅の危機が増大している種」とされており、重要種と呼ばれる。オオタカ等の猛禽類は、生態系ピラミッドの頂点 (食物連鎖の頂点である高次消費者) に位置する (図-1)。

「北海道の猛禽類」³⁾ では、「オオタカは開発事業による生息地の消失・改変の影響を受けやすく、環境変化の指標種であると考えられている」と報告している。

2) 生態

「北海道の猛禽類」によると、次の報告がある。

- ・オオタカは、日本では北海道、本州で繁殖し、冬季には全国で越冬する。
- ・低山地の森林を生息環境とし、北海道では、低平地の農耕地でも生息繁殖が確認されており、防風林帯等で営巣している事例も多い。
- ・繁殖については、オオタカの営巣地周辺における確認頻度が高くなるのが3月中旬頃で、産卵が開始される4月下旬頃までが求愛・造巣期であると考えられる。

- ・観察事例では、産卵開始日は4月下旬～5月上旬頃で、孵化日は6月上旬～中旬である。6月上旬～7月下旬頃が巣内育雛期にあたる (図-2)。

また、年度、地域による格差があるものの7月中に巣立ちが確認される事例が多い。



出展：図鑑 日本のワシタカ類1955

写真-3 オオタカ

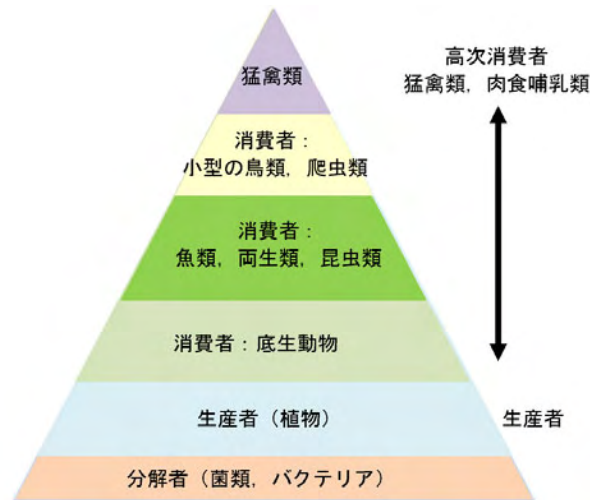


図-1 生態系ピラミッドにおけるオオタカの位置

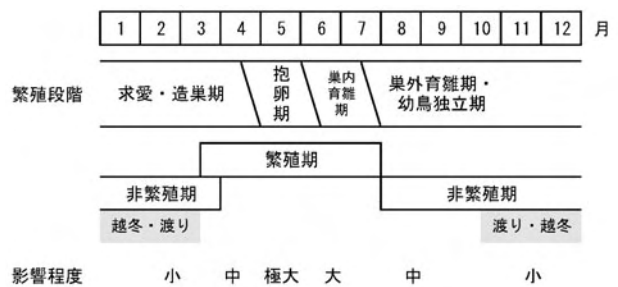


図-2 北海道におけるオオタカの生活サイクル⁴⁾

「猛禽類保護の進め方」⁴⁾では、繁殖ステージを次のように定義している。

○繁殖期：「求愛行動が見られてから、幼鳥が独立するまでの期間」とする。一般的には広い意味の繁殖期となり、以下、i～vまでの期間である。

○営巣期：「巣材の運搬開始から幼鳥の巣立ちまでの間」とする。一般的には狭い意味の繁殖期となる。基本的には以下ii～ivまでの区間。iが含まれる場合もある（表－2）。

「猛禽類保護の進め方」では、鳥類の外部からの刺激に対する反応について、一般には、繁殖期が敏感な時期で、その中でも抱卵期が最も敏感な時期といわれており、場所（巣やその他の重要な場所からの距離）や外部からの刺激により、敏感の程度は変わると報告している。

表－2 営巣期

i 求愛期	つがいで飛行や波状飛行によるディスプレイ等の求愛行動に特徴付けられるつがいの形成の時期で、巣材の運搬開始までの間
ii 造巣期	巣材の運搬開始から産卵まで
iii 抱卵期	産卵から孵化まで
iv 巣内育雛期	孵化から巣立ちまで
v 巣外育雛・家族期	巣立ちから独立まで

注) 求愛と造巣は一連の行動であり、求愛期と造巣期の境界が明らかに区別できない場合も多い。

4－2 オオタカに対する保全対策範囲

配慮対策の検討では、保全対策範囲の設定が課題となる。表－3は、各種文献・資料によるオオタカの保護・配慮範囲について整理したものである。

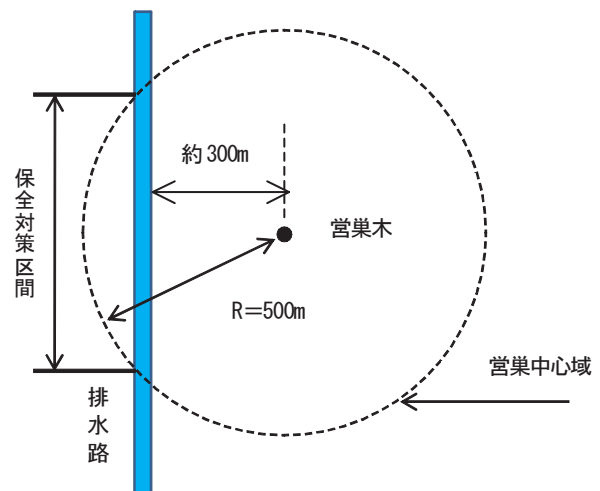
「猛禽類保護の進め方」では、営巣中心域は12～36ha程度と記載している。文献では面積（12～36ha）の記載だけであるため、円と想定し、営巣中心域：半径約200～340mと考えた。

「オオタカの営巣地における森林施業」では、森

林施業における間伐とその他の事業の場合について記載している。その他事業の工種については、具体的記載がないことから、排水路整備はその他事業に該当すると考え、「繁殖巣周辺12～36haは使用可能な巣とともに保存し・・・」の記載から、36haの円と想定し、繁殖巣周辺：半径200～340mと考えた。

「クマタカ・オオタカ生息森林の取り扱い方針について」では、営巣中心域は営巣木から半径250m、「北海道の猛禽類では営巣中心域は半径200～340m、とそれぞれ示されている。

以上、各種文献、工事事例をまとめると、保護・配慮の範囲は営巣木を中心として半径200～500mとなる。なお、最終的な保護・配慮の範囲は、学識経験者の助言・指導を踏まえ営巣中心域を営巣木から半径500mとした。工事の保全対策範囲は半径500m以内に該当する排水路を設定した（図－3）。



図－3 オオタカに対する保全対策範囲

表-3 各種文献・資料によるオオタカの保護・配慮範囲

文献・資料	影響範囲	記載内容
<p>猛禽類保護の進め方⁴⁾ 出展：環境庁自然保護局野生生物課 平成8年8月</p>	<p>営巣中心域： 200～340m</p>	<p>「過去の事例等に基づく平均的な目安としては、営巣中心域は12～36ha程度（代替巣も含めて2～3巣が含まれることが望ましい）以内」との記載がある。</p> <p>※36haの円とした半径：$R2=360000/\pi$, $R=338.6m\div 340m$</p>
<p>クマタカ・オオタカ生息森林の取扱い方針について⁵⁾ 出展：北海道森林管理局、平成19年3月28日</p>	<p>営巣中心域： 250m</p>	<p>営巣木保護区域の設定 営巣中心域：営巣期に施業上特に配慮を要する区域として、営巣木から半径250m以内、高利用域：営巣木から半径2km以内の区域</p>
<p>オオタカの営巣地における森林施業⁶⁾ 出展：(社)日本林業技術協会1998. 7. 31</p>	<p>間伐 繁殖巣周辺： 400m</p> <p>その他事業 繁殖巣周辺： 200～340m</p> <p>※営巣中心域との記載はない</p>	<p>間伐を実行する場合、その他の事業にあたって、など複数の場合について留意事項を記載している。</p> <p>間伐を実行する際に留意すべき要点として、間伐実行対象林分内外に繁殖中の巣がある場合は、繁殖巣から半径400m以内は繁殖期を避けて間伐を実施する。</p> <p>間伐以外の事業の計画・実行・運用における配慮事項として、皆伐の際は、当面、繁殖巣周辺12～36haは使用可能な複数の巣とともに保存し、・・・</p> <p>※36haの円とした半径：$R2=360000/\pi$, $R=338.6m\div 340m$ 植栽、枝打ち、下刈り、ツル切りの作業は、繁殖巣周辺400m以内は繁殖期を避ける。</p>
<p>北海道の猛禽類³⁾ 出展：北海道猛禽類研究会、2009年11月</p>	<p>営巣中心域： 200～340m</p>	<p>保護管理区域として、営巣中心域：営巣木及び古巣周辺で営巣に適した林相をもつひとまとまりの区域、範囲の目安：12～36ha（半径200～340m程度）、保全対策：営巣木より半径50m以内は、営巣の障害となる木やつる類以外は伐採しない。</p>
<p>広域農道知多半島地区におけるオオタカの営巣に配慮した工事の施工について⁸⁾ 出展：水と土 第158号 2009</p>	<p>営巣中心域： 340m</p>	<p>営巣木を中心とする半径340mの範囲について保全対策を実施（モニタリング調査から推定した営巣中心域を参考として決定）</p>
<p>千歳道路事務所における環境配慮への取り組み 一道路工事におけるオオタカへの配慮について⁸⁾ 出展：平成21年度 北海道開発技術研究発表会</p>	<p>巣から500m ※営巣中心域との記載はない</p>	<p>オオタカに配慮した工事計画について、3つに区分した配慮検討区域の設定について記載している。</p> <p>過年度調査結果をもとにオオタカが繁殖活動をする上で重要なエリアを抽出し、営巣環境や採餌環境の保全を目的とした配慮検討区域を設定している。</p> <p>A区域として営巣環境・主要な採餌環境の保全を目的として設定したエリア（目安：巣から500mの範囲）</p>

※文献には記載がない。200～340mは12～36haを円とした時の半径

営巣中心域：猛禽類保護の進め方⁵⁾では、以下の定義をしている。営巣木および古巣周辺で、営巣に適した林相を持つひとまとまりの区域（営巣地）、給餌物の解体場所、ねぐら、監視のためのとまり場所、巣外育雛期に幼鳥が利用する場所を含む、広義の営巣地として一体的に扱われるべき区域

4-3 オオタカへの配慮事項

「クマタカ・オオタカ生息森林の取り扱い方針について」⁹⁾、「北海道の猛禽類」⁹⁾等を参考として、「オオタカ繁殖に関する一般的配慮事項」と「本調査地におけるオオタカ繁殖地への配慮事項」を示す。

1) オオタカ繁殖に関する一般的配慮事項

(1) 施工前における繁殖モニタリング調査の実施

施工前に当該エリアにおける調査を実施し、その結果や学識経験者へのヒアリング結果を踏まえて以下の対策を実施することが望ましい。なお、踏査における営巣木の特定は、調査の影響を考慮して、オオタカの巣内育雛の中期である6月中旬以降とする。ただし、巣立ち時期（7月上旬～中旬）は除く。

(2) 工事制限時期の設定

繁殖期のうち、求愛・造巣期～巣内育雛期までの期間（以下、営巣期）は、人の接近や工事によって、営巣放棄や繁殖失敗（卵やヒナの死亡、外敵からの捕食）を招く可能性がある。このため、特に注意が必要な時期である。また、巣立ちから分散までの巣外育雛期間は、巣立った幼鳥が営巣木近辺にて親の養護を受けるが、幼鳥は飛行能力が拙く、危機回避能力が低いため、引き続き注意が必要な期間となる。外部観察もしくは巣の踏査によって、繁殖が確認された場合もしくは繁殖の可能性が示唆された場合には、繁殖期〔3月下旬～8月：求愛造巣期～巣外育雛期〕における工事制限が必要と判断する。制限区域は観察状況や環境要素、学識経験者の指導・助言をもとに設定する。

(3) 配慮区域内における保全対策

【営巣中心域-1】：営巣木（もしくは営巣の可能性が高い箇所）から半径50m以内

- ・営巣木から半径50mの範囲においては、原則的に環境改変不可とし、営巣期における人の接近や作業を繁殖確認の調査を除いて禁止する。
- ・営巣はしていないが、巣が確認されている木に

ついても、基本的に営巣木と同じ扱いとする。

- ・営巣期については、立ち入りを控えるとともに、極力騒音や振動の発生防止に努める。
- ・作業道は、原則として新たに設置しない。

【営巣中心域-2】：営巣木（もしくは営巣の可能性が高い箇所）、巣外育雛域から半径250～500m以内

- ・営巣期（オオタカの場合3月下旬～7月中旬頃）においては、既設道路を除いて立ち入りを控えるとともに、できるだけ、騒音、振動、粉じんの発生防止に努める。
- ・工事用道路については、繁殖期において車両の通行速度を5～20km/h以下とする（営巣期は営巣木から、巣外育雛期は幼鳥利用域から半径250～500mのエリア）。速度については、花山らの報告¹⁰⁾によれば、営巣林周辺で土砂運搬作業時にトラックに対するオオタカの威嚇行動が確認され、作業を休止し威嚇声の収束確認後、速度を5km/hr程度かつ作業間隔を長くした結果、威嚇行動が確認されなかった。また、幼鳥の成長に伴い、トラックの走行速度を5～20km/hとしたが、トラックに対する威嚇行動は確認されなかったとの記載がある。繁殖期における車両速度はこの事例を参考とした。
- ・樹木の伐採は択伐および間伐を原則とする。皆伐を行うことが必要な場合には、伐区面積を1ha以下とする。また、営巣期には実施しない。
- ・つがいの利用する巣が複数ある場合は、それぞれの巣がある林分の分断化を避ける。
- ・幼鳥の巣立ち以降は、繁殖状況の経過を見つつ、段階的に施工を開始する。

(4) 繁殖期における全般的な配慮

【作業にあたっての留意事項】

- ・低騒音、低振動の機材を導入し、施工時の騒音振動をできるだけ抑える。
- ・クラクションや、ダンプの土砂運搬時における荷台のアオリの打ち下ろし作業を原則禁止し、

突発的な騒音をできるだけ避ける。

- ・夜間照明をできるだけ使用しない（工事の早期撤収。特に営巣中心域内）。
- ・営巣箇所周辺や個体を注視しない。
- ・工事車両の低速走行〔設定速度20km/h以下〕に努め、ホコリ、音を立てない。

2) 本調査地におけるオオタカ繁殖地への配慮事項

オオタカの巣は、改修予定の排水路から最短で約300mの距離である。今季繁殖が成功していること、経年的な利用が推測される巣であることから、本巣もしくは本営巣林（防風林）では、次年度においてもオオタカが繁殖する可能性が高いと判断した。

本排水路は、①林縁部に位置する。また、排水路は、②植生が連続し餌となる小動物が生息する。オオタカは、林縁や農耕地において植生が連続する排水路沿いの環境をハンティングエリアとすることが多く、排水路整備の影響が懸念される。そこで、排水路整備における配慮対策を以下に示す。

(1) 時期的注意点

- ・営巣期のうち、求愛造巣期（3月下旬～4月下旬頃）については少しの要因によっても営巣放棄を招く恐れがある。
- ・営巣期のうち、抱卵期～巣内育雛期の初期（4月下旬頃～6月中旬頃）は影響程度が高く、人の立ち入りや工事によって営巣放棄や、繁殖失敗を招く危険性が特に高い。
- ・巣立ちの時期（7月初旬～中旬頃）は、営巣地への不意な立ち入りによって、巣立ち直前もしくは直後の幼鳥に対して、羽折れ等の事故を防ぐ招く恐れが高い。
- ・巣外育雛期（7月初旬～9月初旬頃）については、幼鳥の飛行能力が低く、危機回避能力や危険を察知する能力が低いため、交通事故等への配慮が必要である。
- ・繁殖時期は、年によって差があるため、現地調査結果を考慮する。

(2) 配慮区域について

- ・営巣期における営巣中心域は、学識経験者の指導・助言を踏まえ営巣木から半径500mを基本とする。ただし、モニタリング調査を実施し、繁殖（および繁殖の可能性）の有無、営巣木の位置（および営巣が示唆される箇所）を把握し、個体の動向等から状況に応じて設定する。
- ・営巣木を変更する可能性があることや、繁殖が実施されない、あるいは工事の影響がなくても途中で失敗する可能性があるため、繁殖確認調査を実施し、確定する。
- ・モニタリング調査によって、ハンティングエリア等のつがいにとって重要なエリアが判明した際は、配慮区域を適宜拡大して設定する。

(3) 工事における配慮事項

- ・工事の開始は、ヒナに幼羽がはえて自己の体温調節が可能となる時期（オオタカでは6月中旬頃）以降とすることが望ましく、この際、営巣木から遠い箇所から段階的に施工する。また、本格的な工8月中旬以降とする。
- ・6月中旬～7月までの営巣期（巣立ちまで）については、営巣木から半径500mでは、通行車両の低速運行（5～20km/h以下）を実施するほか、粉じん発生を抑制する。
- ・工事については、低騒音、低振動に努め、突発的な騒音（クラクション、ダンプの土砂運搬時における荷台のアオリの打ち下ろし等）を原則禁止とする。
- ・個体や巣の方向を注視しない。

5. おわりに

猛禽類は、生態系ピラミッドの頂点に位置する高次消費者であることから地域の生態系の指標となる。また、重要種の営巣が確認された場合には、工事における配慮が重要となる。

配慮対策の検討では、工事の影響範囲について、文献をもとに、営巣木を中心に200～500mと考えた。

最終的には学識経験者の指導・助言を踏まえ営巣木から半径500mとし、保全対策区間を設定した。

なお、工事の影響範囲は、①オオタカの個体差、②営巣環境、等の影響を受ける。とくに、オオタカは個体差が大きく、営巣地周辺における工事作業、農作業機械の走行に対する反応は多様である。このため、より適切な保全対策を実施するには、モニタリング調査によるデータの蓄積が必要と考える。

(内外エンジニアリング北海道(株))

参考文献

- 1) 日本の絶滅のおそれのある野生生物の種のリスト 環境省、(2006)
- 2) 北海道の希少野生生物 北海道レッドデータブック2001」 北海道、(2001)
- 3) 北海道の猛禽類 2009年版 (2009.11) 北海道猛禽類研究会」
- 4) 猛禽類保護の進め方 環境庁自然保護局野生生物課 平成8年8月
- 5) クマタカ・オオタカ生息森林の取り扱い方針について 平成19年 北海道森林管理局
- 6) オオタカの営巣地における森林施業 (社)日本林業技術協会、pp. 98, 99 (1998)
- 7) 広域農道知多半島地区におけるオオタカの営巣に配慮した工事の施工について 水と土 158, pp. 33, 34 (2009)
- 8) 本田卓巳、島田武、児玉浩文：千歳道路事務所における環境配慮への取り組み ―道路工事におけるオオタカへの配慮について― 平成20年度 北海道開発技術研究発表会
- 9) 花山知志、島崎正美、井深幹剛：河川工事におけるオオタカの繁殖に配慮した事例について、平成19年度 北海道開発技術研究発表会

寒冷地における開水路目地補修工法の試験施工に向けた検討

藤田 修・石田 康晴

I. はじめに

近年、コンクリート開水路の機能保全対策として老朽化した用水路の改修が進められており、補修実績・事例は多く散見される。一方、凍結融解による目地の劣化や損傷の補修は安価で耐用年数の短い材料を使用した簡便な工法により繰り返し行われて、労力と経費を費やしている実情にある。

積雪寒冷地の開水路は、目地部で生ずる凍結等により、集中的に劣化や損傷を受ける。これは目地部に異質材料を使用するために発生する、水路壁面や天端等の凹凸が誘因の一つとされており、極力コンクリート開水路と同質材料によって目地補修を行うことが出来れば、こうした点についての改善が可能となる。

本報ではこのような背景から、材質や工法の異なる3種の目地補修工法を選び、目地機能の「止水性」、「変形追従性」、凍結融解の特性である繰り返し作用

に対する「ひび割れ抵抗性」への適用性を検証することにした。

今後、これらの目地補修工法については試験施工を行って、実際積雪寒冷地への適用についての検証を行う計画であり、それらに用いるための材料や詳細な施工方法、さらにはモニタリング方法についても検討した。その検討内容を報告する。

II. 積雪寒冷地の開水路の目地の劣化状況

1. 現地の水路諸元等

目地補修工法の検討は、国営かんがい排水事業天塩川上流地区にて施工された下士別幹線用水路の222m区間（昭和48年施工）、剣和幹線用水路（昭和49年施工）の200m区間について行った。士別市に位置する下士別幹線用水路はL型ブロック水路であり、和寒町に位置する剣和幹線用水路は現場打ち鉄筋コンクリートフルーム水路である。

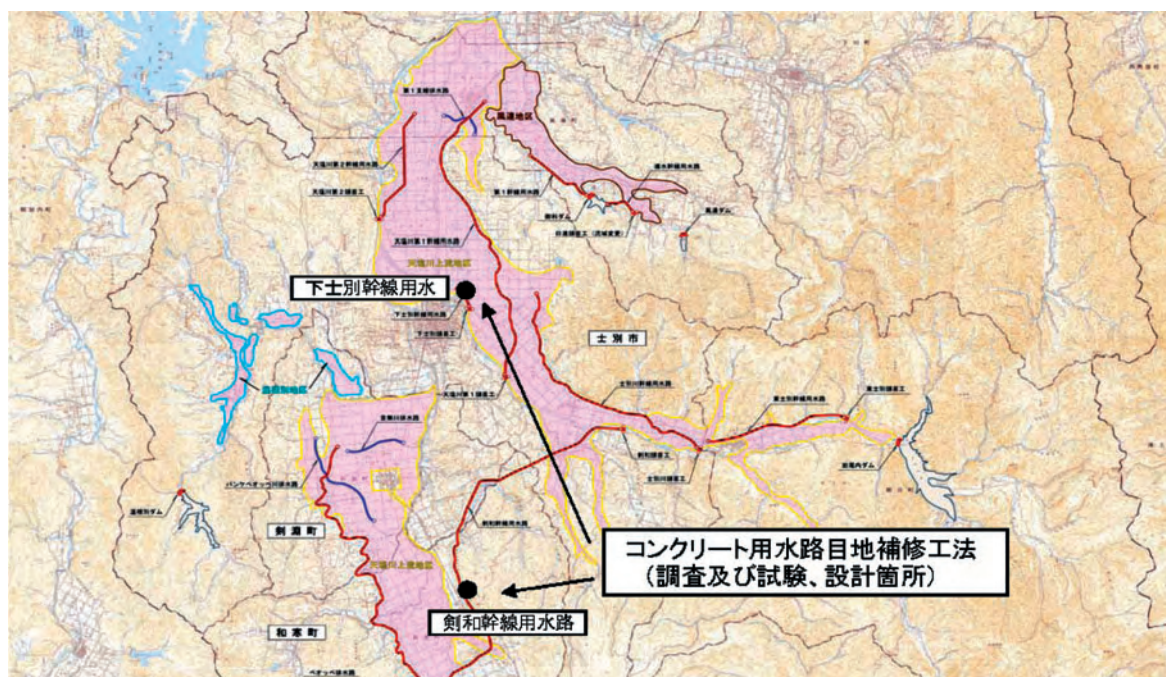
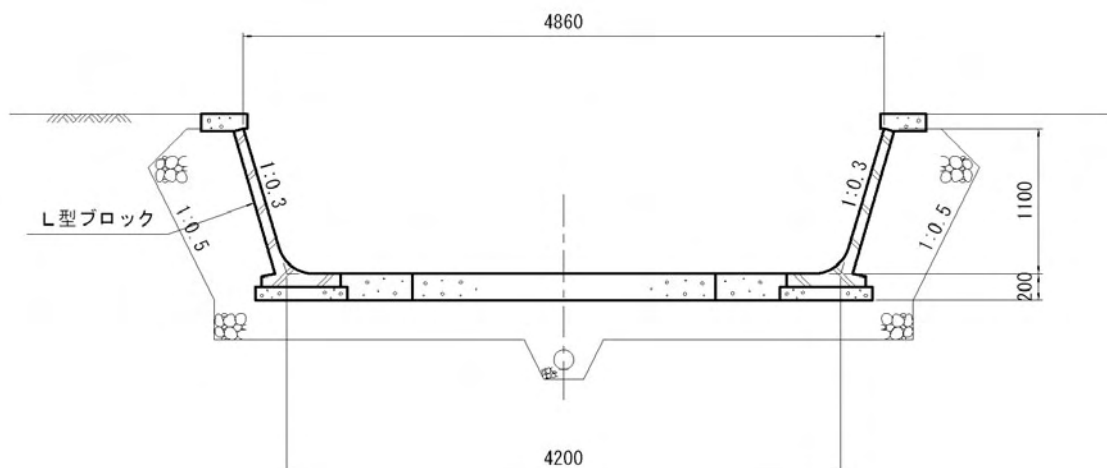
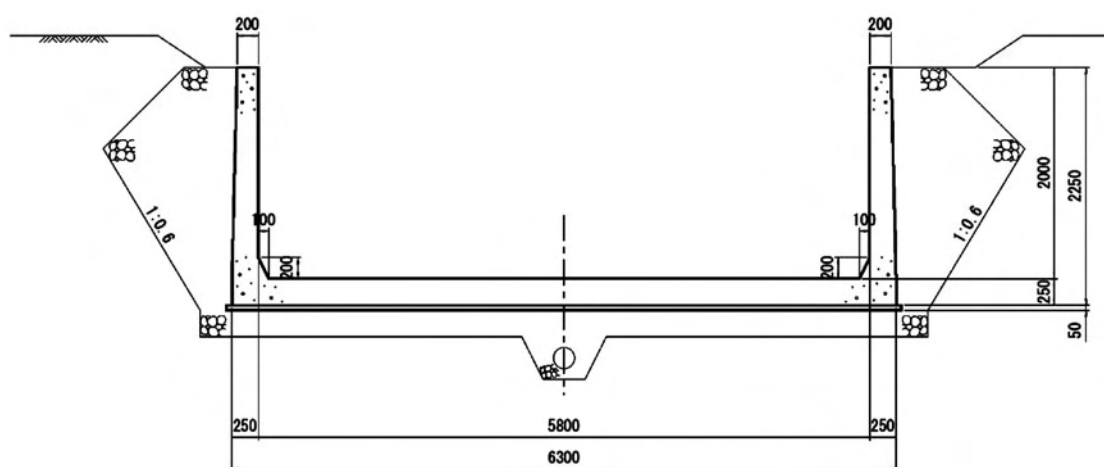


図-1 用水路位置図（下士別幹線用水路及び剣和幹線用水路）



図－2 水路断面図（下士別幹線用水路及び剣和幹線用水路）



図－3 水路断面図（剣和幹線用水路）

下士別幹線用水路が位置する士別市、剣和幹線用水路が位置する和寒町ともに最近10ヵ年での最低気温は -28°C 以下となっており、最深積雪が100cmを超えるなど、北海道内でも有数の厳寒地である。

2. 目地の劣化状況

検討対象となる開水路について、以下の各調査に基づいてその劣化状況を把握した。

- ・近接目視調査による、ひび割れ、材料劣化、変形・歪み、目地の変状・劣化の調査。
 - ・シュミットハンマーによる、コンクリートの圧縮強度試験。
 - ・ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中酸化深さ試験方法による、中酸化深さ調査。
- 調査結果を整理すると、以下のとおりとなる。

① 下士別幹線用水路

下士別幹線用水路では、水路躯体の特段の変形・歪み等は確認されなかったが、二次製品のために現場打ちフルームの側壁に比べて鉄筋の被りが浅いことを誘因に、一部スパンで鉄筋の露出と発錆が確認された。

また、伸縮目地1ヵ所について凍害による伸縮目地充填材の剥離・欠落が確認されたものの、モルタル目地は全線良好な状態であり、ひび割れ等も確認されなかった。

コンクリートの推定圧縮強度は $30.6\sim 37.6\text{N}/\text{mm}^2$ であり、特に強度的な問題はない。

中性化残り深さは $21.5\sim 33.0\text{mm}$ であり、十分な中性化残り深さである。



写真-1 鉄筋の露出



写真-2 目地の欠落



写真-3 コンクリート圧縮強度試験



写真-4 中性化深さ調査

② 剣和幹線用水路

剣和幹線用水路では、南向き面の側壁天端で顕著な凍害が確認され、スケーリングや微細なひび割れが発達し、スケーリング部位はコンクリートが浮いており、エフロレッセンスが析出していることから、天端から水が浸入しているものと考えられる。

また、調査対象伸縮目地52カ所中9カ所でひび割れが確認されており、いずれも用水路天端の凍害に起因して水の浸入しやすい目地部でひ

び割れが発生していた。特にひび割れ幅が大きいカ所では防水性が損なわれ、ひび割れの進行が懸念された。

コンクリートの推定圧縮強度は $15.9 \sim 31.4 \text{ N/mm}^2$ と、設計基準強度 ($\sigma_{ck} = 21 \text{ N/mm}^2$) 以下の値を示した地点が3カ所あり、凍害によるひび割れの影響が懸念される。

中性化残り深さは $23.7 \sim 67.6 \text{ mm}$ であり、十分な中性化残り深さである。



写真-5 凍害によるひび割れ



写真-6 目地部のひび割れ



写真-7 コンクリート圧縮強度試験



写真-8 中性化深さ調査

Ⅲ. 目地補修工法の比較検討

目地補修工法には様々な材料を用いた工法があり、

一般的には図-1に示す工法が用いられている。

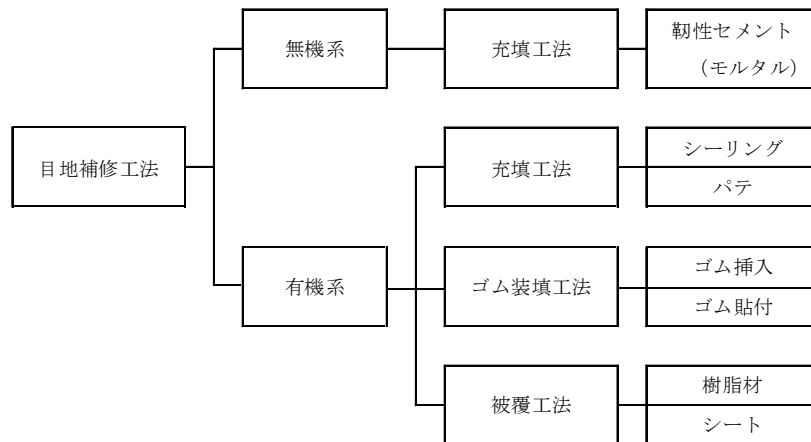


図-4 目地補修工法の分類

積雪寒冷地での目地の補修にあたっては、水路目地部の伸縮や変位に目地材が追従し、水の浸入を許すことなく、剥離・欠落やひび割れなどを繰り返して発生させることのない性能が要求される。

本検討では水路軸方向のコンクリート伸縮に対応できる工法の中から、代表的な工法として無機系のモルタル充填を行う充填工法、有機系のゴムの挿入もしくは貼付によるゴム装填工法、有機系の樹脂塗布による被覆工法を選定した。

その特徴は、以下のとおりである。

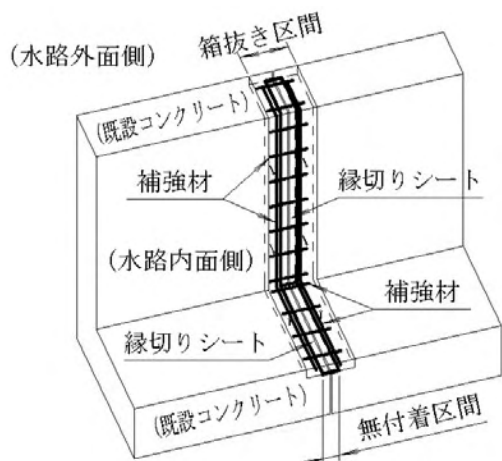
1. 充填工法（韌性セメント工法）

韌性セメント工法は、主として既設水路のひび割れや水路全体の一体的な補修に採用されてきた、鋼材に匹敵する引張、曲げ変形性能を有する「高韌性セメント複合材料」により目地部を補修する工法で

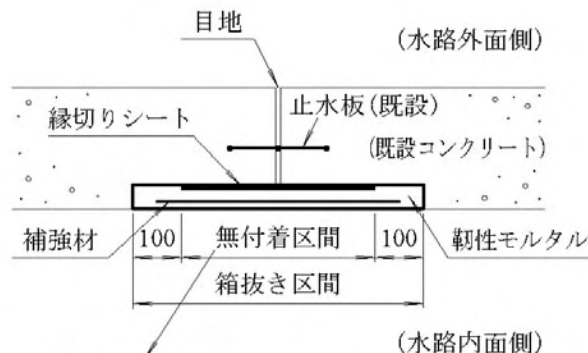
ある。高韌性セメント複合材料はセメントと高強度の有機系繊維で構成され、引張力に対して微細なひび割れを発生しながら変形し、温度変化による目地部の伸縮に対して追従する。

本工法は、高強度なために目地補修後の維持管理が軽減される可能性があるが、従来から既設水路のひび割れや目地部をまたいで水路を一体的、全体的に内面補修することに採用されてきており、目地部のみへの施工事例は積雪寒冷地ではない。

特に積雪寒冷地では、温度変化による伸縮に追従するために設ける無付着区間が施工時の気温が低いと長くなり、韌性セメントを充填する目地部の箱抜き規模も大きくなる。また韌性セメント厚を確保する上では、コンクリートのはつり部分が大きくなるために、部材厚が薄く北海道での施工実績の多いL型ブロック水路への適合に課題がある。



概略図



※無付着区間長は、温度変化による伸縮量から決定する。

断面図

図-5 韌性セメント工法

2. ゴム装填工法

ゴム装填工法は、エチレンプロピレンゴムなどの変形特性の優れたゴム材を、目地部を箱抜きして差し込み（ゴム挿入工法）、目地部にハンマーで打ち込み（ゴム貼付工法）して、水路躯体の伸縮によって目地材に変形が生じても目地材の変形特性によって伸縮に追従し、高耐久性、高止水性を発揮させよ

うとするものである。

装填したゴム材に変状が無ければ基本的に維持管理費が軽減される可能性があるが、水路コンクリートのはつりや切り込みの精度が目地機能に大きく影響し、特に積雪寒冷地ではゴム挿入工法にあっては確実な水処理が必要になるなど、厳密な施工管理が重要となる。

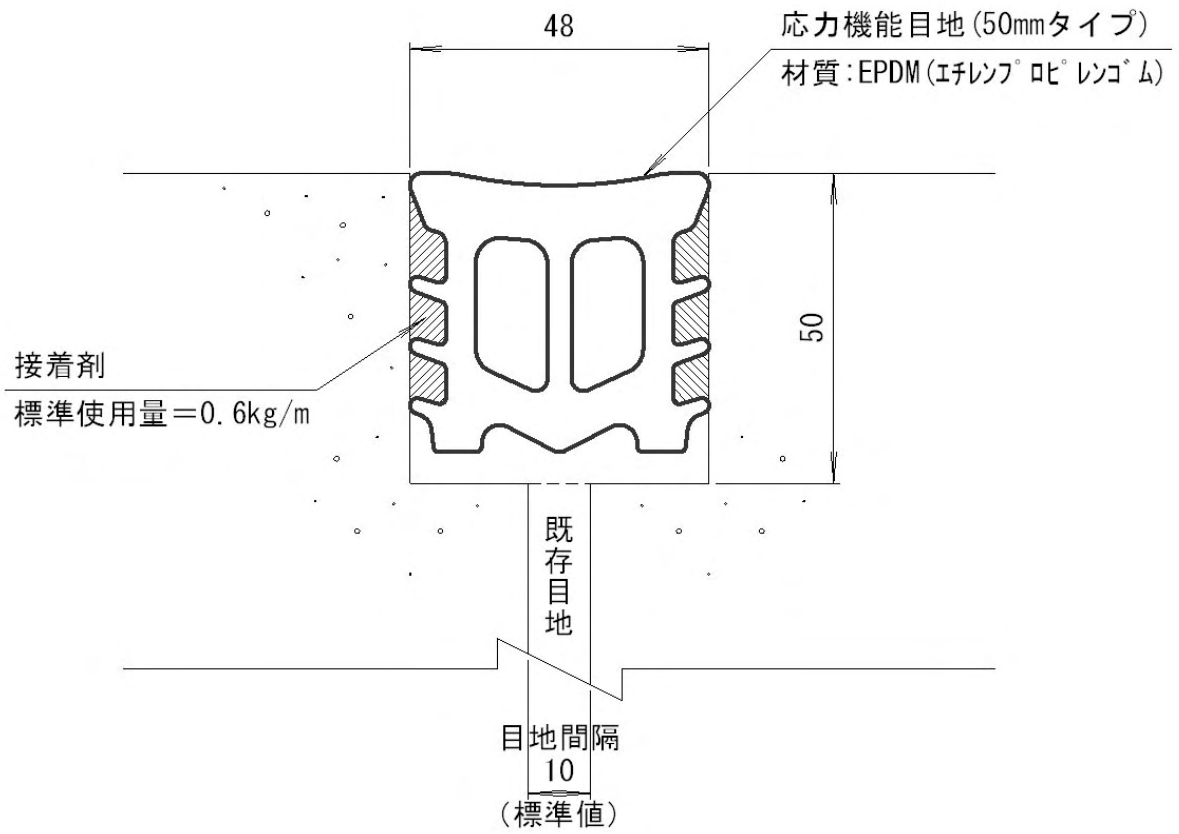


図-6 ゴム充填工法 (ゴム挿入工法)

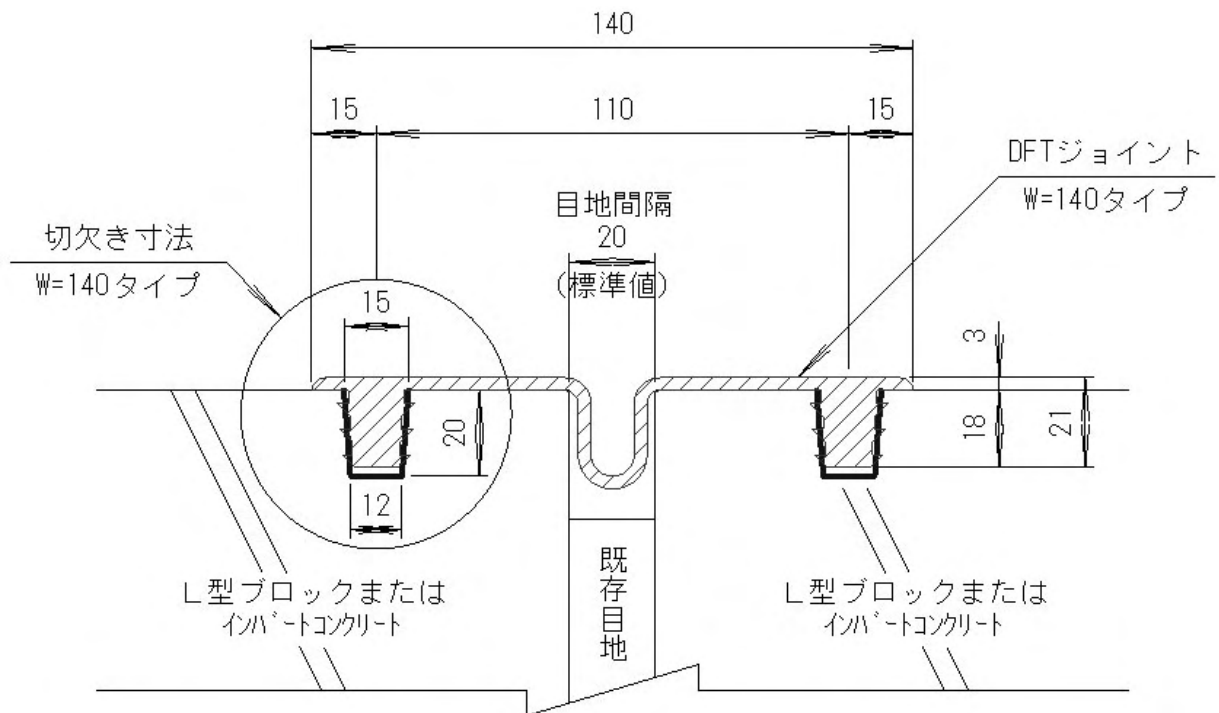


図-7 ゴム充填工法 (ゴム貼付工法)

3. 被覆工法

被覆工法は、収縮目地の上から塗布型の樹脂（弾性エポキシ樹脂、ポリウレタ樹脂など）を塗布して水路躯体との一体化を図り、長期にわたってコンクリートの伸縮に追従する。

下土別幹線用水路及び剣和幹線用水路を管理する

「てしおがわ土地改良区区域内」においても施工が容易なことから実績が多いが、ゴム装填工法と同様の理由で厳密な施工管理が重要となるほか、定期的に表面保護の耐候性被覆材を塗布するなどの維持管理が必要である。

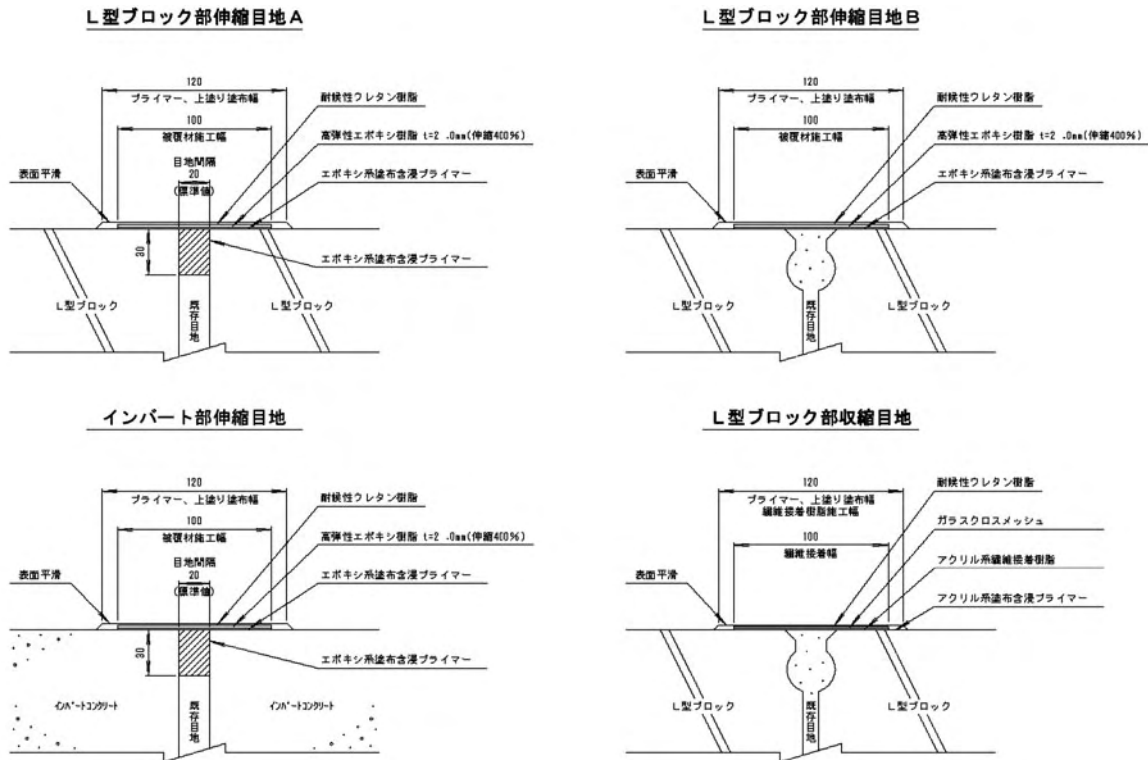


図-8 被覆工法（弾性エポキシ樹脂）

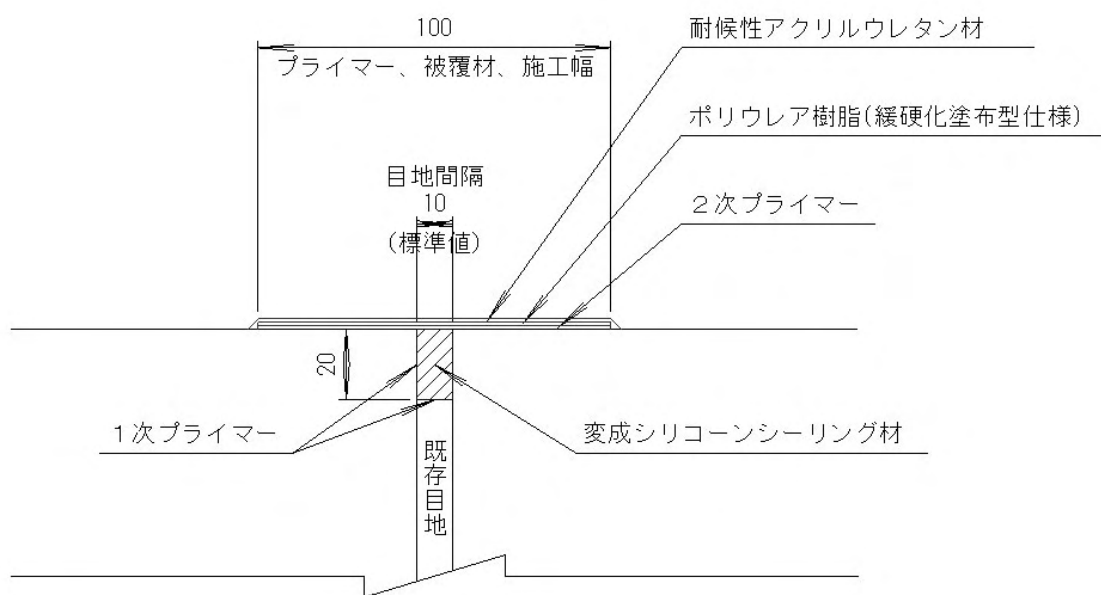


図-9 被覆工法（ポリウレタ樹脂）

各工法の特徴から検討した、下士別幹線用水路、 適用方法を整理し、表－1に示す。
 剣和幹線用水路のそれぞれに対する目地補修工法の

表－1 目地補修工法の適用方法

工 法	下士別幹線（L型ブロック）	剣和幹線（現場打ちフルーム）
靱性セメント 充填工法	部材厚が薄く、箱抜き幅が広いとL型ブロックの構造強度に支障をきたすため、既設目地モルタル部をはつた後に充填して対応する。	目地部の箱抜きにより対応する。
ゴム装填工法	部材厚が薄く箱抜き等に不適なため、ゴムジョイントを目地部に打ち込むゴム貼付工法で対応する。	施設規模が大きく重要度も高いことから、目地部を箱抜きし、対候性、耐熱性、耐寒性に優れたエチレンプロピレンゴム製の目地を差し込む挿入工法で対応する。
被覆工法	土地改良区での施工実績が多く一般的な、弾性エポキシ樹脂塗布工法で対応する。	現場打ちフルーム水路での弾性エポキシ樹脂塗布目地補修事例は少なく、施設重要度も加味し、高伸縮シーリング材を充填して高耐久性緩硬化塗布型ポリウレタ樹脂の塗布工法で対応する。

積雪寒冷地での目地補修工法の選定にあたっては、これらの設計条件をベースに、施工費、施工性、維持管理費、実耐用年数等を実際に現地にて施工した上で確認・整理し、工事費だけではなく、比較的長いタイムスパンでの機能保全コストを勘案して検討する必要がある。

IV. 補修工法の試験施工とモニタリング

選定した目地補修工法は、積雪寒冷地で長期の耐用年数を見込める場合には機能保全コストが安価となる。ただし、積雪寒冷地での施工実績が少ない靱性セメント工法やゴム挿入工法は、他の工法と同一条件下での劣化状況と耐用年数の検証が必要である。

特に靱性セメント工法は既設コンクリートと靱性セメントとの境界面の密着性がその機能の維持のために重要となるが、伸縮を繰り返す目地部において、箱抜き部だけへの充填で機能維持を実証した事例はない。

このため、実施予定である実際の水路における試験施工を行うために、各工法の耐用年数、変状の有

無、機能維持の状態を確認するためのモニタリング計画も併せて検討した。

モニタリングは、「施工時」、「冬期低温時」、「夏期高温時」、「かんがい終了落水後」での水路の変位を測定するとともに、漏水・流入水の有無、使用材料のひび割れの有無、既設コンクリートとの付着状況、目地周縁コンクリートの欠損・劣化の有無などを確認する計画とした。

各目地補修工法において、モニタリングに際して留意すべき事項は以下のとおりである。

① 靱性セメント充填工法

- ・靱性セメント（モルタル）のひび割れの状況を目視により確認する。
ひび割れが確認された場合は、詳細調査を実施する。
- ・既設コンクリートとの付着状況を目視により確認する。（剥離箇所の有無）
- ・無付着区間にたわみや反り上がりが目視により確認する。
- ・目地の周縁コンクリートに欠損、劣化がない

か目視により確認する。

② ゴム装填工法（ゴム挿入工法）

- ・エチレンプロピレンゴム製の目地材に損傷がないか目視により確認する。
- ・既設コンクリートとの接着状況を目視により確認する。
- ・目地の周縁コンクリートに欠損、劣化がないか目視により確認する。
- ・目地周辺のコンクリートにひび割れが発生していないか目視により確認する。

ひび割れが確認された場合は、詳細調査を実施する。

③ ゴム装填工法（ゴム貼付工法）

- ・ゴム製目地材に損傷がないか目視により確認する。
- ・ゴム製目地材に浮きがないか（くさびの設置状態に問題がないか）目視により確認する。
- ・目地周辺のコンクリートにひび割れが発生していないか目視により確認する。

ひび割れが確認された場合は、詳細調査を実施する。

④ 被覆工法

- ・シーリング材にひび割れがないか目視により確認する。
- ・既設コンクリートとシーリング材との境界にひび割れがないか目視により確認する。

V. おわりに

下士別幹線及び剣和幹線における各目地補修工法の試験施工については、平成24年度施工予定である。

また、モニタリングの実施により、設計手法、施工性、施工管理方法、耐用年数、機能保全コスト等を検証し、従来から施工実績の多い被覆工法との比較によって積雪寒冷地への適合性を検討することが必要である。

(株)農土コンサル

引用文献

- 1) 農業水産部農業計画課ほか：寒冷地における水路の劣化と保全、北海道開発技術研究発表会指定課題（2009）
- 2) 鹿島建設株式会社ほか：高靱性セメント複合材料を用いた水路構造物の補修・補強工法の開発（2007）

報 文 集 第24号

平成24年 9月30日

編 集 (一社)北海道土地改良設計技術協会

広報委員会 明田川洪志・松崎 吉昭・館野 健悦・小澤 榮一
林 嘉章・古田 彰・川尻 智之・山岸 晴見
源 秀夫

発 行 (一社)北海道土地改良設計技術協会

〒060-0807 札幌市北区北7条西6丁目NDビル8階
電 話 (011)726-6038 F A X (011)717-6111

印刷 (株)三誠社 電話 (011)622-9211



●表紙写真●

第26回「豊かな農村づくり」写真展
北の農村フォトコンテスト応募作品

「ソバの畑」

－芦別市－

藪 伸一 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association