

フィルダム監査廊の長期モニタリング

Monitoring of the Behavior of Inspection Gallery during
Embankment and Impounding of the Reservoir

浅 野 勇[†] 長 束 勇^{††}
(Isamu ASANO) (Isamu NATSUKA)

I. はじめに

1980年代の前半から、各地で建設されるフィルダムにコンピュータを用いた自動挙動観測システムが設置されるようになった。それまで、紙等にアナログ記録されることが多かった挙動観測データは、ハードディスク等にデジタル記録されるようになり、フィルダムの挙動観測データの量は、飛躍的に増大した¹⁾。

こうした中で、最近ようやく、いままでデータの集積が不十分であった監査廊の打設から試験湛水に至る一連の挙動観測データの集積が進みつつある。

本報告は、未だその挙動パターンが十分明らかにされたとはいえない堤体盛立中から試験湛水期間に至る監査廊の挙動を明らかにする目的で、監査廊に設置された埋設計器の実測データを整理・分析し、その挙動について検討したものである。監査廊の挙動パターンを明らかにしていくことは、監査廊の設計・施工法の確立、その安全管理上極めて意義のあることである。

対象とした監査廊は、東北農政局管内の荒砥沢ダムに設置されたものである。荒砥沢ダムでは、打設初期より監査廊の自動挙動観測がなされており、打設初期から試験湛水期間までの約10年にわたる挙動観測データがデジタルデータとして集積されている。

II. 荒砥沢ダム監査廊の概要

荒砥沢ダムは、堤高74.4m、堤長409mの中心遮水ゾーン型のロックフィルダムである。監査廊はカルバート型で、CM~CH級の比較的良好な基盤

に設置されている。

監査廊の打設は、1986年9月から開始されている。堤体は、1987年4月から盛立開始、1991年10月に盛立完了、1994年3月から湛水を開始し、無事に第一回目の湛水試験を完了している。

III. 盛立中の監査廊の挙動

1. 盛立中の監査廊挙動の概要

堤体盛立期間中の監査廊挙動に影響を与える要因としては、①荷重条件、②温度、湿度などの環境条件、③基盤の境界条件、が考えられる。この中で、盛土期間中の監査廊の挙動に最も影響を及ぼす要因は、監査廊に作用する盛土荷重である。

通常、監査廊横断面の設計は、平面ひずみ条件下での有限要素法による解析結果を用いて行われる。監査廊に作用する盛土荷重の導入方法は、主として、①盛土高から監査廊に作用する堤体荷重を想定し、それを鉛直等分布荷重として監査廊に作用させる方法、②有限要素法による築堤解析結果から求まる応力を直接監査廊に作用させる方法、③有限要素法による築堤解析から求まる変位を監査廊の周辺節点に作用させる方法がある²⁾。しかし、これらの荷重条件の導入法のいずれが妥当であるかは、未だ明らかではない。これは、監査廊に作用する土圧分布に関する実測データが少ないこと、盛土荷重が作用した下での監査廊の挙動が必ずしも明らかでないことが原因としてあげられる。

そこで、今回の報告では、主として盛土荷重の変化による監査廊に設置された埋設計器の挙動について整理し、その期間における監査廊の挙動パターンについて検討した。

[†] 農業工学研究所施設研究室 ^{††} 農業工学研究所土木地質研究室



フィルダム監査廊、挙動観測システム、モニタリング、鉄筋応力計、継ぎ目計

2. 鉄筋応力計の挙動

監査廊に設置される鉄筋計は、鉄筋にひずみゲージを張り付け、耐久性を増すためにその周辺を金属キャップで囲い、金属キャップの中に不活性ガスを封入したものである。このような構造から考えると、鉄筋計から得られる鉄筋応力値は、鉄筋全体に作用する応力ではなく、鉄筋計が設置された位置における局所的な鉄筋応力を計測していると考えられる。また、鉄筋応力値は、設置された位置における環境温度にも大きく影響を受ける³⁾。さらに、一般に、鉄筋応力は鉄筋とコンクリートの付着特性、コンクリートの変形状、鉄筋付近のひび割れの分布などのコンクリートの材料特性の影響を受けると考えるのが妥当である。

以上の考察より、鉄筋計から得られる鉄筋応力値について、下記のように整理し、検討を行った。

- ① 打設初期（監査廊打設から盛土が開始されるまでの期間）は、水和発熱によるコンクリートの温度変化、鉄筋とコンクリートの付着性状、さらに、コンクリートの乾燥収縮、クリープに起因する変形などの変化が大きな期間である。このため、鉄筋応力実測値もこの期間大きく変動し、この変動の要因を特定することは一般に困難である。したがって、この時期における鉄筋応力値の分析では、他の埋設計器の観測結果と比較検討を行うなど慎重な対応が必要である。
- ② 盛立から試験湛水期間に至る期間においては、コンクリートと鉄筋の付着特性も安定し、変化も少ないと考えられる。よって、個々の鉄筋計は異なる付着特性の条件下で、コンクリートと一体となって挙動すると考える。この場合、鉄筋応力値は、鉄筋計の付着状態に応じた鉄筋および周辺コンクリートに生じている応力を定性的に示す指標になり得る。

一方、このような鉄筋応力値が監査廊の構造安全性や耐久性を検査する指標として使えば、鉄筋応力値は、監査廊の品質管理、安全管理上意味のある観測値となる。そのためには、鉄筋応力値と監査廊の構造安全性、耐久性との関係を明らかにし、何らかの許容値を定める必要がある。しかしながら、現在の監査廊の設計における鉄筋の許容応力度は、鉄

筋とコンクリートが一体となって挙動することを前提として計算されており、鉄筋計から得られる鉄筋応力値と直接比較することは難しい。

今後、鉄筋応力値を監査廊の品質管理、安全管理、維持管理の指標として位置づけていくためには、鉄筋とコンクリートの相互作用を取り入れた数値解析技術の開発とともに、鉄筋計から得られる鉄筋応力値の物理的な意味を明確にしていく必要がある。

(1) 監査廊天端内側の鉄筋応力 監査廊天端内側の鉄筋応力を図-1に示す。鉄筋応力値は、打設初

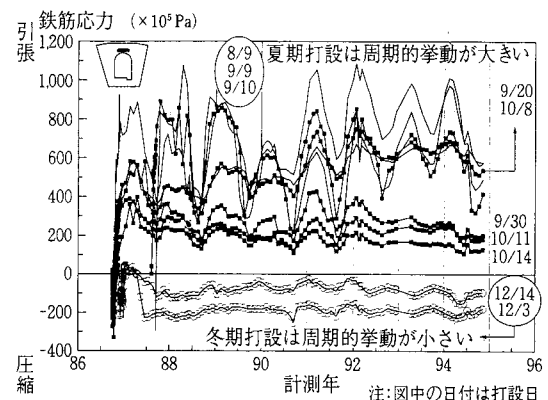


図-1 監査廊天端内側鉄筋応力経時変化

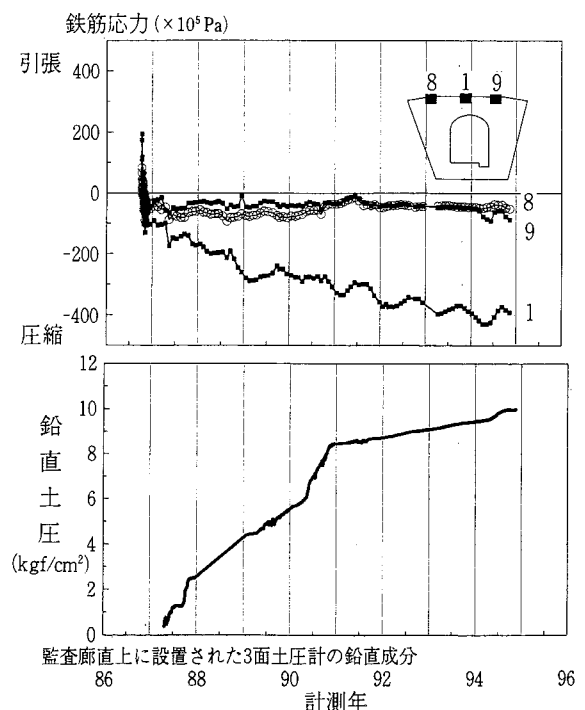


図-2 監査廊天端外側の経時変化

期に大きく引張側に変化し、その後は周期的に変動する。打設初期の変動が大きなものほど、その後の変動幅も大きな傾向にある。また、夏期打設された監査廊ブロックの鉄筋応力の方が、冬期に打設された監査廊ブロックに比べ、打設初期の鉄筋応力変化およびその後の変動幅も大きな傾向にある。

(2) 監査廊天端上下流断面の鉄筋応力 図-2に監査廊上下流断面外側に設置された鉄筋応力観測値の変動を示す。鉄筋計は図中に示すように上下流方向に設置されている。盛土荷重を作用させたときの数値解析によれば、盛土荷重により監査廊の肩部(図中 8, 9 に対応)が基盤方向に引き込まれ、その部分に引張応力が発生する結果を得ている⁴⁾。

ところが、観測結果からは、監査廊天端中央部(測点 1)では、盛土荷重の増加に伴い応力は圧縮側に変化するが、肩部(測点 8, 9)の応力はほとんど変化しない。肩部に引張応力が発生しない理由としては、①荒砥沢ダムの基盤が良好なため監査廊の変形が拘束され、その結果として肩部の引張応力が低減された、②監査廊トレンチのアーチング作用により肩部にかかる土圧が軽減された、等が考えられる。

(3) 監査廊天端断面の鉄筋応力 監査廊天端断面の鉄筋応力変化を図-3に示す。打設初期から盛土開始までの、監査廊が覆土されていない時期に鉄筋応力は大きく変化する。この鉄筋応力の変化が生じるメカニズムは明らかではないが、コンクリートの物性の経時変化に伴い、コンクリートと鉄筋の付着特性等が経時的に変化することも要因の一つと考えられる。また、この時期はコンクリートの温度変化、乾燥収縮等によりコンクリートの変形も大きい時期である。このようなコンクリートの変形によって、鉄筋に新たな鉄筋応力が導入される可能性もある。

覆土後の鉄筋応力は、打設初期にドリフトした鉄筋応力を初期値として周期的に変動する。また、盛土荷重の増加に伴い、天端外側の鉄筋応力は圧縮側に、天端内側の鉄筋応力は引張側に変化する。打設初期の鉄筋応力変化と覆土後の鉄筋応力変化の傾向は大きく異なる。このことは、打設初期の鉄筋応力を発生させる要因と覆土以後における鉄筋応力を発生させる要因とが異なることを示唆する。

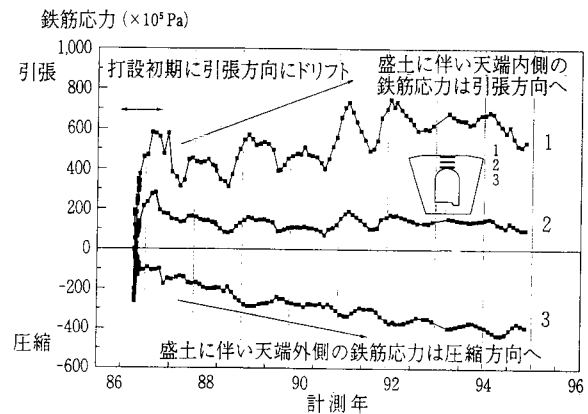


図-3 監査廊天端断面における鉄筋応力変化

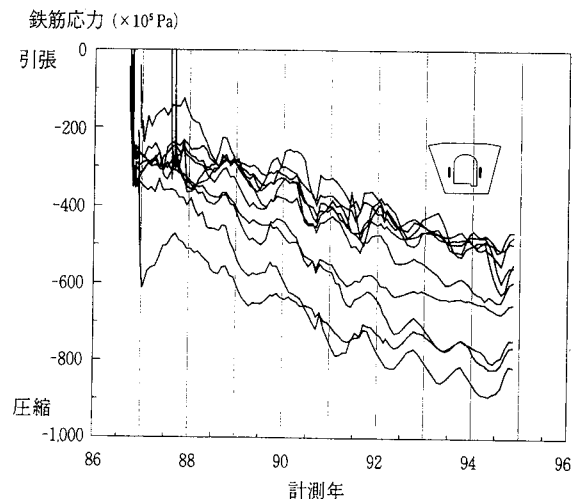


図-4 監査廊側部鉄筋応力値経時変化

(4) 監査廊側部の鉄筋応力 監査廊側部の鉄筋応力経時変化を図-4に示す。堤体荷重を監査廊に作用させた有限要素法解析によると、側部は監査廊の中でも鉛直方向に大きな圧縮応力が発生する位置である⁴⁾。

挙動観測結果においても盛土荷重の増加とともに鉄筋応力は圧縮側に変化する。また、盛土がほぼ完了した 91 年以降も鉄筋応力は圧縮側に緩やかではあるが、変化している。これは、土圧の確実な発生と一致した変化と考えられる。

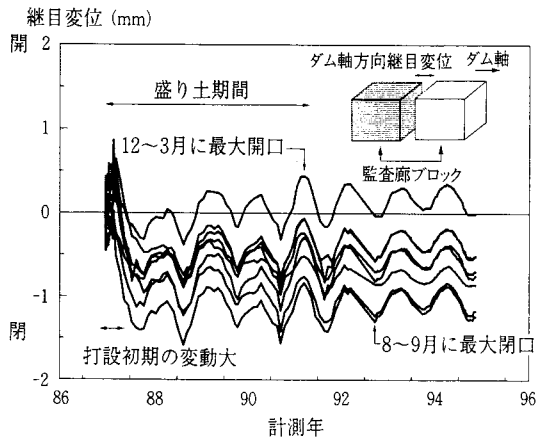


図-5 河床部継目計（ダム軸方向）の経時変化

3. 継目計の挙動

監査廊の継目が著しく開くと、その部分が水みちとなり、漏水の原因となる。したがって、監査廊の継目変位は監査廊の水密性能を評価する指標となり得る。一方、継目変位と監査廊の水密性能との定量的な関係については、未だ未解明な点が多い。たとえば、継目変位の許容値についても定まっていないのが現状である。今後、継目変位のモニタリングにより、監査廊の構造安全性の詳細な評価を行っていくためには、数値解析、室内実験および実測値の整理により、継目変位と監査廊の水密性能との関係を明らかにしていくことが必要である。

(1) 盛立中の継目変位の挙動 河床部に設置された監査廊継目計（ダム軸方向の開口変位を示す）の挙動を図-5に示す。鉄筋計と同様に、覆土が無い打設初期に継目計も大きな変位を示す。また、覆土後は、監査廊のコンクリート温度の期別変化の影響を強く受ける。すなわち、ダム軸方向の開口変位は、夏期（8、9月）に閉じ、冬期（12～3月）に開く傾向を示す。また、これらの周期的変動幅は0.5 mm程度であった。

IV. 湛水試験中の監査廊の挙動

湛水試験期間中に監査廊には堤体荷重に加え水圧荷重が作用する。数値解析結果からは、監査廊に水圧荷重が作用した場合、監査廊に発生する最大引張応力ならびに引張応力域が減少することが報告されている⁴⁾。

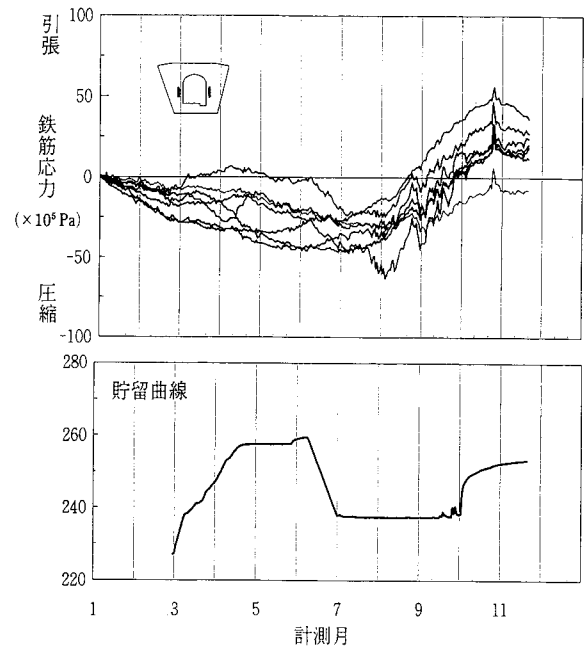


図-6 試験湛水時の監査廊側部鉄筋応力値の経時変化

1. 監査廊側部鉄筋応力の変化

水圧荷重の監査廊に対する影響を見るため、監査廊側部の鉄筋応力変化について検討した。監査廊側部の鉄筋応力に注目した理由は、他の部分に比較して期別の周期的挙動が小さいこと、および数値解析結果から水圧荷重により比較的大きな圧縮応力が導入されると考えられる部分であるからである。

図-6に観測結果を示す。水圧荷重のみの影響を見るために、試験湛水開始直前の1994年1月1日の観測データを初期値として整理した。なお、盛土開始から試験湛水期間直前に至る観測データより、監査廊側部鉄筋応力値の季別変動幅は $-50 \sim 50 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。

一方、試験湛水中の鉄筋応力値の変動幅もほぼこの季別変動幅の範囲であり、特に水圧荷重の影響と思われる鉄筋応力の変化は見られなかった。したがって、水圧荷重による監査廊の応力変化はごく小さく、たとえ発生していたとしても、監査廊の鉄筋応力の季別変動の範囲内であると言える。

2. 継目計の挙動

鉄筋計の挙動の絶対値が小さいことと同様に、継目計においても水圧荷重による影響は、ほとんど見られなかった。しかしながら、今回の結果は比較的基盤条件の良い監査廊の観測結果であり、変形性の

大きな基盤に設置された監査廊などについては、異なった結果を示す可能性も考えられる。

V. ダム供用期間中の挙動観測

ダム供用期間における挙動観測データの整理・分析方法については定まったものがなく、そのデータについても集積途上にある。供用期間中の監査廊は、地震時などの突発的な事態を除けば、荷重・境界条件、環境条件もほぼ一定であり、挙動観測データも安定していくと考えられる。

監査廊の打設初期から湛水試験に至るモニタリングは、監査廊が必要とされる性能を満たしているかどうかを検査する意味合いが強い。一方、供用期間におけるモニタリングは、監査廊の劣化を早期に発見し、その機能を維持するという維持管理の手段という意味合いが強くなる。このような維持管理のためのモニタリングでは、その計測項目も計測方法も自ずから施工管理、安全管理を目的としたモニタリングと異なってくることが予想される。たとえば、コンクリートの耐久性の低下、鉄筋の腐食、監査廊継ぎ目の止水板の劣化などは、現在のモニタリングでは対応が難しい項目である。今後の監査廊の供用期間のモニタリングを考える際には、このような維持管理を目的とした計測システムを確立していくことが望まれる。

VI. 今後の監査廊モニタリング

構造物のモニタリングは、一般的に、構造物に要求される性能や品質がどのように変化していくかを監視するために行われる。モニタリングは、構造物の施工時から、完成後の維持管理に至るまで長期間行われるが、施工時、工事完了時、工事完了後の供用時ごとにその目的は異なると考えられる。それぞれの期間におけるモニタリングの目的は、①施工時には、構造物の品質を確保するため、②工事完了時には、構造物が、構造安全性や耐久性などの要求性能を満たしているか検査するため、③工事完了後の供用期間では、構造物の劣化を監視し、維持管理を行うため、のようにまとめられる⁵⁾。現状の監査廊のモニタリングシステムでは、必ずしも各計器に対するモニタリングの目的が明確ではない。今後は、各計器に対するモニタリングの目的とその必要性を

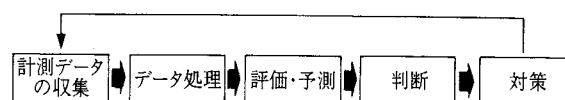


図-7 挙動観測データの流れ

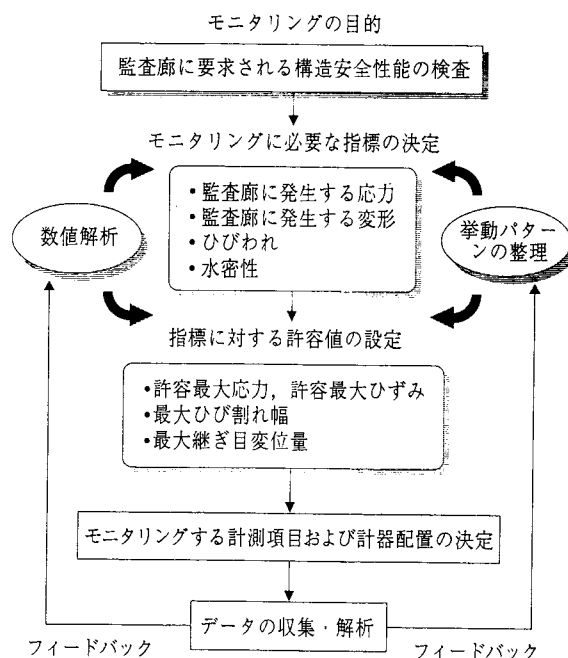


図-8 モニタリングの指標の決定

明確にしていくことが重要であろう。

監査廊のモニタリングシステムにおける挙動観測データ処理の流れを、図-7に示す。この処理の流れは、モニタリングの目的が品質管理でも要求性能の検査でも維持管理でも基本的には変わらない。しかし、本当に重要なのは、モニタリングの目的ごとに何を計測すればよいのか選定することである。すなわち計測データとして何を選び、その計測データがモニタリングの目的とどのように関係し、どのような指標となるか明らかにすることである。図-8に監査廊に要求される構造安全性の検査を目的とした場合の、モニタリングの指標の決定方法を示す。

本来ならば、監査廊に設置されている各計器も、モニタリングの目的と、どのような指標となるべきかを明確にしてから、モニタリングシステムに取り込まれるべきである。たとえば、鉄筋計から得られる鉄筋応力値は、監査廊のどのような要求性能と関係するのかを明確にし、その許容値を明らかにして

初めて、モニタリングの指標として明確な意味を有する。

このようなモニタリングに必要な指標を見出し、定量的に評価するためには、それぞれの構造物の条件に基づき構造物の挙動を追跡することができる数値解析技術の開発が必要不可欠である。しかし、現状では、監査廊の打設から供用期間に至る挙動を正確に把握できる数値解析技術は開発途上であり、完全に満足できるモニタリングの指標や許容値を得ることは難しい。そこで、当面は、数値解析技術を向上させるとともに、各ダムの実測データを比較検討することにより監査廊のモニタリングに必要な指標の絞り込みおよび許容値の設定を行い、その結果を監査廊のモニタリングシステムにフィードバックしていくことが重要であろう。

VII. おわりに

荒砥沢ダムの監査廊の盛立から湛水試験中における監査廊の挙動パターンについて整理した。今後、他ダムについても盛立から湛水試験に至る一連の挙動観測データの分析・整理を行い、この期間における監査廊の挙動パターンについて考察を進めていく予定である。

(謝 辞)

本報告は、東北農政局からの依頼研究の成果を取りまとめたものである。現場計測・観測データの収集に当たりお世話になりました迫川農業水利事業所の皆様に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 浅野 勇・長束 勇・毛利 栄征：農業用ダムの静的挙動観測による新しい安全管理システム，農土誌 64 (3)，pp. 35～40 (1996)
- 2) フィルダム監査廊設計・施工および管理についての検討資料，日本農業土木総合研究所，平成元年3月，pp. 52～63
- 3) 中島賢二郎・野村栄作：鉄筋応力計の温度補正について，水と土，69号，pp. 62～67 (1987)
- 4) 石黒 覚：水利施設構造物における RC 断面の設計に関する研究，京都大学博士論文，pp. 142～170 (1988)
- 5) 平成8年度制定コンクリート標準示法書改訂資料，コンクリートライブラリ 85，土木学会編

[1996. 9. 24. 受稿]

浅野 勇



1963年 東京に生まれる。
1988年 東京農工大学農業工学科卒業
農林水産省入省
農業工学研究所造構部土木材料研究室研究員
1996年 農業工学研究所施設研究室研究員
現在に至る

長束 勇



1951年 滋賀県に生まれる。
1974年 京都大学農学部卒業
農林水産省入省
1980年 筑波大学大学院経営・政策科学研究科終了
1988年 構造改善局設計課課長補佐(設計審査班担当)
1989年 農業工学研究所土木材料研究室長
1996年 農業工学研究所土地質研究室長
現在に至る

お 知 ら せ

第3回農民参加型かんがい管理国際セミナーの開催について (第1報)

主催：世界銀行・(財)日本農業土木総合研究所

1. テーマ 「農民参加型かんがい管理」

7. 日 時 平成9年5月26日(月)～6月1日(日)

3. 場 所 ロイヤルパークホテル

東京都中央区日本橋蛸殻町 2-1-1

4. 問合せ (財)日本農業土木総合研究所 國枝，頼井

☎ 03-3502-1387 FAX 03-3502-1329

E-mail Jiidcmn@magical.egg.or.jp