

水圧吸引式ダム堆砂対策の開発

MHS（マルチ・ホール・サクション）排砂管工法

本 多 将 人・片 山 裕 之

ダム貯水池に堆砂する土砂の問題は古くからの課題であるが、総合土砂管理の観点から堆積土砂の下流還元が検討されており、環境にも配慮した方策が求められている。堆積土砂の除去は浚渫などの機械掘削で可能であるが、下流還元の場合の環境的インパクトを考えると洪水時に安全かつ確実に稼働可能な方策が望まれる。その一つとして検討されている手法に水圧吸引式の土砂排除方法(HSRS)がある。本稿では、著者らが技術開発を進めてきたHSRSを利用したダム堆砂対策について紹介する。

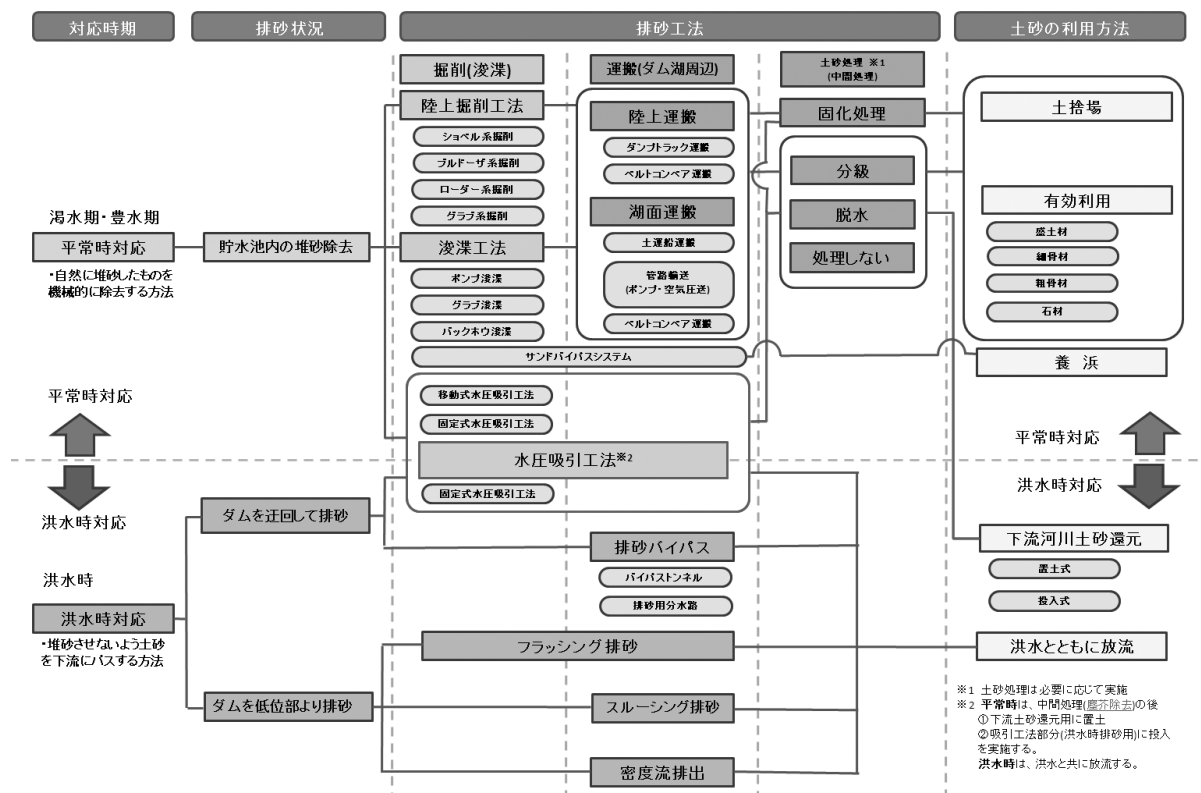
キーワード：ダム堆砂、総合土砂管理、水圧吸引式土砂排除システム、排砂管、HSRS

1. はじめに

日本の国土は、未だ造山活動を続けており地形が急峻である上、降水量が3,000 mm/年に及ぶ地域がある。そのため、土砂生産強度は莫大で、ダムの比堆砂量は $1,000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ に及ぶものがある。日本のダム計画では一般に100年分の堆砂量を見込んでいるもの

の、ダム建設から数十年が経過し、相当量の土砂がダムに堆積している事例が見られる。ダムの堆砂対策は、貯水池機能の維持・向上のみならず、上流河床の上昇、下流河床の低下や海岸線の後退、生物環境への影響などの観点からも重要である。いくつかのダムでは、本格的に堆砂対策の検討を始めている。

ダム貯水池における堆砂対策は、貯水池内への土砂



図—1 主要なダム排砂工法の分類と利用方法

流入防止策として貯砂ダム、流入土砂を迂回させる排砂バイパストンネルがあり、貯水池内に流入した土砂の排出方策としては機械掘削に代表される浚渫、排砂ゲートからの排砂（フラッシング）、密度流排砂などが考えられるが、他に水压差を用いた土砂吸引排除システム（Hydro Suction sediment Removal Systems：HSRS）がある（図—1）。HSRSとは、管内外の圧力差で吸引力を発生させ、管に設けられた吸引口から水とともに土砂を吸引・排除し、管路により土砂輸送を行うものである。

著者らが所属する一般社団法人ダム水源地土砂対策技術研究会（略称、土砂研）は、HSRSの一つである固定式排砂管による土砂吸引排除システムの開発を行ってきた。本稿は、HSRSの簡単な説明と本工法の開発状況を報告するものである。

2. HSRS による管路土砂輸送

HSRSには、吸引口を埋設しておく固定式排砂管を利用した方法（固定式）と、土砂吸引口の部分を移動させる方法（移動式）の大きく2種類に分類される。総合土砂管理の観点からダムの堆積土砂を下流還元することが検討されており、その場合、下流環境へのインパクトを考え洪水時の稼働となるが安全かつ確実な稼働が必要となる。移動式は従来の浚渫技術であり堆砂表面からの吸引であるため障害物回避が比較的簡易である半面、洪水時に作業船を浮かべるため作業安全性の確保が重要となる。一方、固定式は事前に吸引管を埋設しておくため洪水時の湖面での作業がないが、堆積土砂の固結による吸引不能、高濃度や障害物等による吸引口や管路内の閉塞対策が課題となる。各方式とも課題があるが、水位差以外の動力も使用可能であるため、ダム貯水池だけでなく河道や海岸域などの水頭差が確保できない場所など適用範囲の拡大が期待できる技術である。

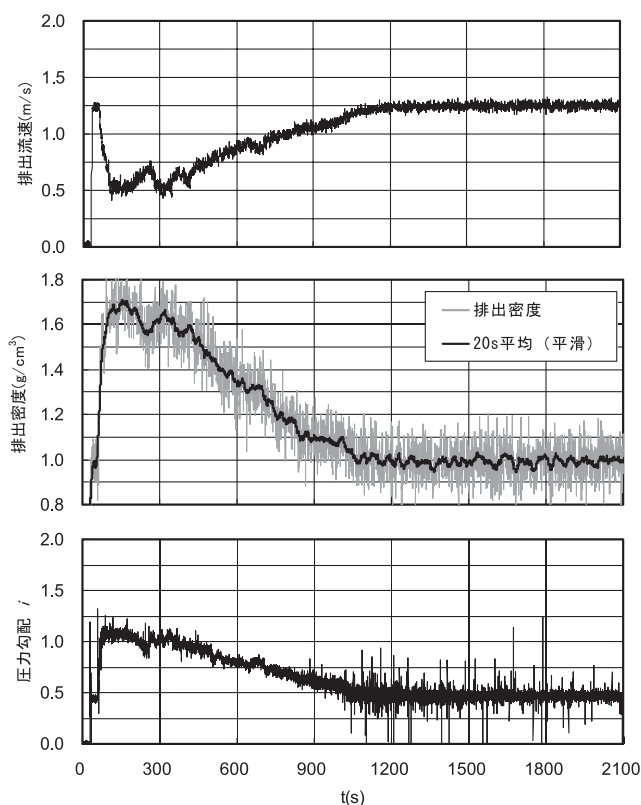
HSRSによる土砂吸引の課題を吸引過程で整理すると、①集砂や堆積土砂の性状に関する課題、②土砂を吸引口から吸引する過程の現象の把握、③吸引した土砂を管路輸送する機能の把握、④下流河川への放流および下流環境に与える影響と効果の把握、が課題であると考えている。今までの検討で得られた土砂排除機能としては、③の管路の土砂輸送機能で輸送能力の上限が規定され、①あるいは②の条件によって能力が決定されることが考えられる。

筆者らは、過去にポンプ動力の浚渫も加えた種々の実験データを収集して土砂輸送能力、管内流動形態、

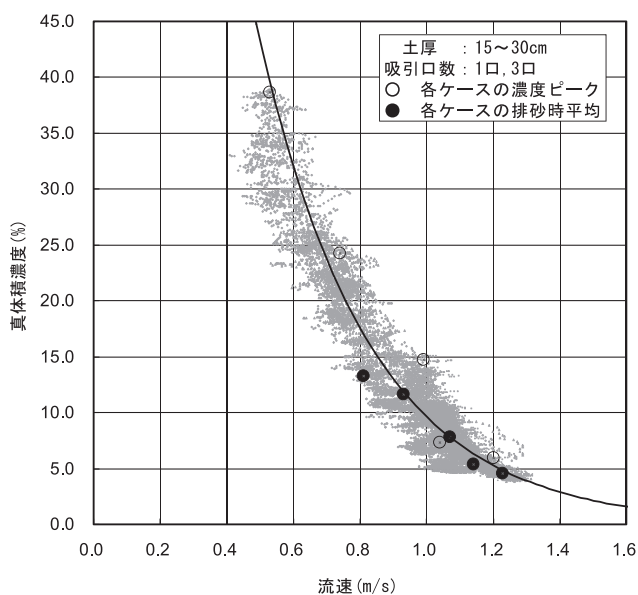
動力、吸口形状などの違いが排砂量に及ぼす影響について検討している。また同時に管内流動形態の指標としての限界流速式の適用性についても考察を加えている。ここでは埋設固定型の吸引方式の特徴について紹介する。

埋設固定型の室内吸引実験データの一例を示す（図—2）。特徴としては、排砂初期に高濃度ピークが見られ（Phase1）、その後緩やかに濃度が低下していき低濃度の定常排砂状態（Phase2）に落ち着いているのが分かる。また、高濃度時には圧力損失が大きくなり、その影響で管内流速も大きく低下している。これはPhase1では吸引口周辺の土砂を吸引するため能力に応じた土砂が管内に流入するが、その後は吸引口周辺にできた空隙に崩壊・沈降してくる上部の土砂を吸引するため、吸引口への土砂供給が能力より少ないものと考えられる。このケースを含め数ケースの流速と濃度時系列データのスカッタープロットを示した（図—3）。これから高濃度となると流速が低下することが明らかであり、両者に高い相関があることがわかる。

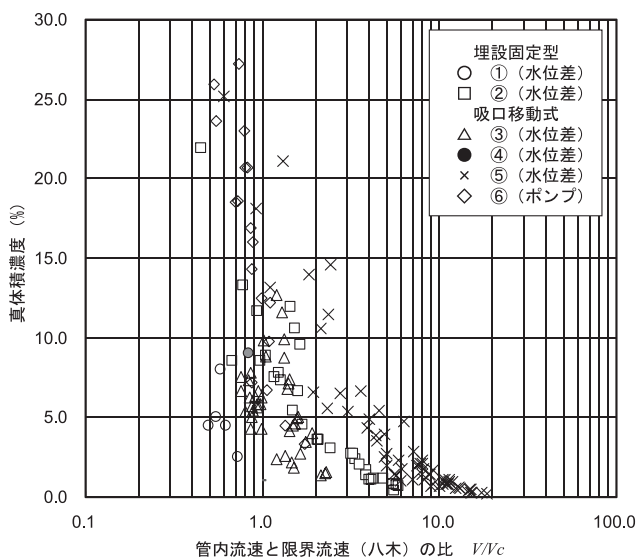
管路土砂輸送では、管路閉塞を生じない指標として限界流速があり、種々の式が提案されている。既往の実験データを用いて八木の限界流速式を用い、平均的な管内流速と限界流速との比と、土砂濃度の関係を



図—2 固定式吸引工法（水平埋設型）の流速、密度、圧力勾配の変化例



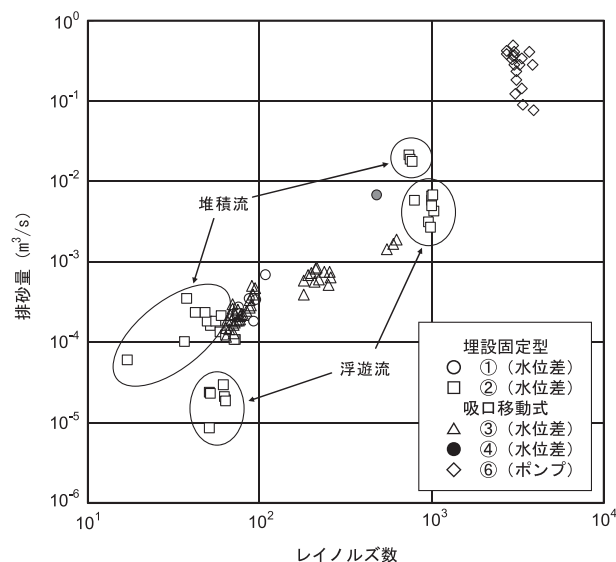
図一三 固定式吸引工法（水平埋設型）の流速と濃度の相関例



図一四 流速と限界流速との比と濃度の関係

整理したところ、若干のばらつきはあるものの概ね比が1～2を下回ると高濃度となる傾向が見られた（図一四）。管内流速が限界流速以下となると、輸送能力は低下するが、流動形態が褶動流あるいは堆積流となることにより下層に高濃度層が生じる。この影響で濃度が高くなっているものと考えられるが、水平管における二層流の濃度計測精度にも留意する必要がある。

次に、HSRSによる土砂輸送能力について、代表的なパラメータとしてフルード数、レイノルズ数、および流速に着目し、排砂量との関係を調べた。その結果、レイノルズ数と排砂量の相関係数が一番高く、管内の土砂流動形態が堆積流と考えられるケースは上側に、浮遊流と考えられるケースは下側に分布する傾向が確



図一五 レイノルズ数と排砂量の関係

認され、流動状態による分布が見られた（図一五）。逆に吸引形式（固定式と移動式）による違いは明確には見られず、流動形態に応じて吸引口に土砂輸送能力に応じた十分な土砂供給がある場合は褶動・堆積流のような不均質流となり、吸引口への土砂供給が、例えば埋設固定型のように周辺の土砂崩壊や沈降に支配される不十分の場合は浮遊流となる可能性が高いと考えている。

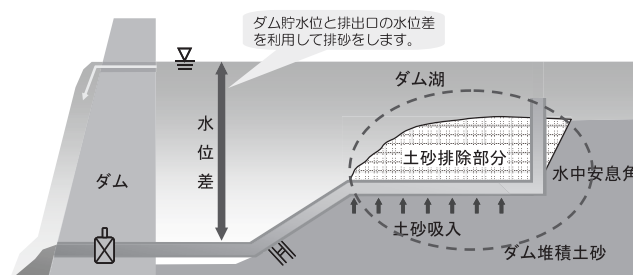
3. HSRS を利用した工法開発

(1) 水平埋設型の水圧吸引式土砂排除工法の開発

土砂研では平成13年度から環境へのインパクトを考慮してHSRSの検討を開始した。

平成13年度は、その中でも課題の多い堆砂を吸入する部分（吸引）について、室内模型実験により検討を行い、現在開発している工法の原因となる吸引管を水平に埋設する水圧吸引土砂排除工法を提案した。

平成14年度は、平成13年度の補足実験を行い、吸入理論モデルを検討するための基礎データを取得するとともに、管内閉塞回避や吸入範囲拡大方策について

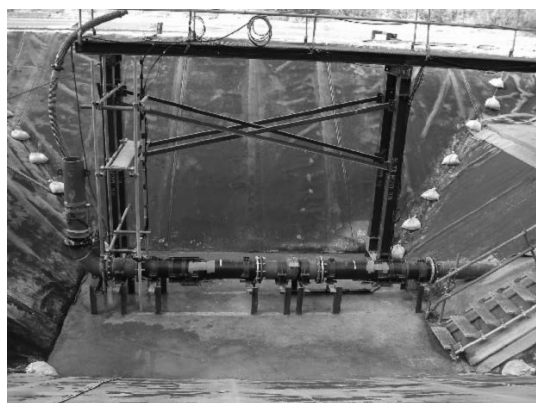


図一六 水平埋設型の土砂吸引排除工法概念図

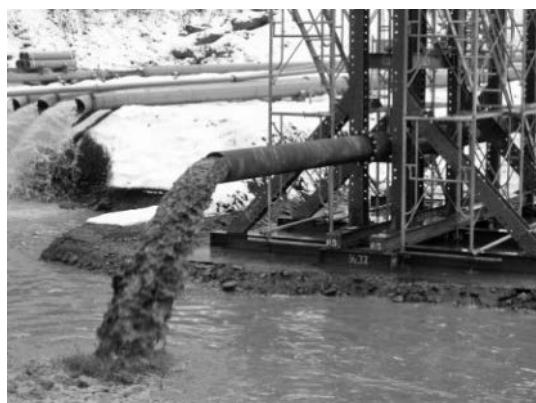
も実験による検討を行った。

平成 15 年度からは、管内閉塞回避の補助機能として上流部に吸水口を付加したタイプを MHS 排砂管工法（図—6）と名付け、その土砂吸入メカニズム理論の構築をするとともに、現地適用に向けた基本的検討として、吸入範囲拡大方策となる吸砂口の開閉制御や吸砂口付近の高圧水噴射の有効性を確認した。また室内実験結果より、吸引部の損失を考慮した 1 次元管路の水理モデルを構築した。

さらに実際の貯水池への適用性を高めるため、平成 16 年度には長野県の天竜川水系三峰川にある美和ダム湖内にて、美和ダムの堆積土砂を対象とした現地スケールの排砂実験を実施し、その適用性を確認した（写真—1, 2）。これらの成果を整理し、貯水池の状況、排砂管の敷設レイアウト、使用できる水位差、堆積土砂の土質性状などの基本的条件による概略設計手法を確立した。



写真—1 実験池内の吸引部の様子



写真—2 排出の様子（排出口）

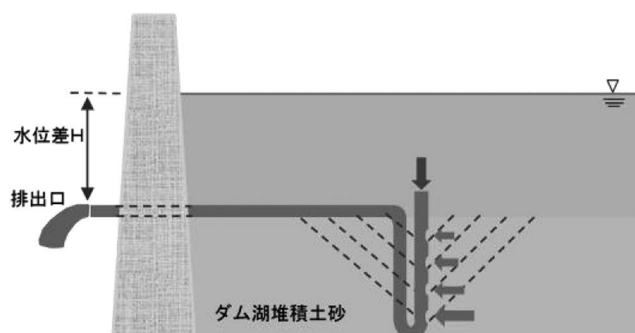
(2) 水平埋設型の改良

MHS 排砂管工法は、吸引により出来た間隙に管上方の土砂が浸透流により崩され流入してくることを期待するものだが、平成 19 年に参加した現地実証実験において、地盤条件や吸引土砂が高土厚になると、アー

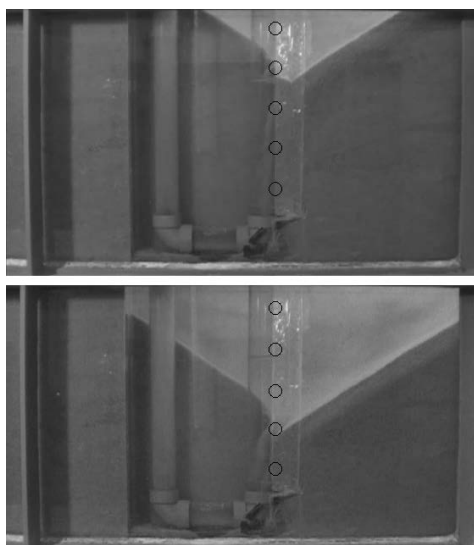
チアクションが生じることにより管上方の堆積土砂が自立し崩れてこないことが課題となった。

そこで平成 21 年度より、吸引土砂が高土厚の場合にも土砂崩壊を促進し安定した吸引を可能とするため、吸引口を鉛直方向に配置することにより各吸引孔が分担する吸引土厚を薄くした鉛直埋設吸引管排砂工法（以下、鉛直型）を提案している（図—7）。平成 21 年度は、鉛直型の珪砂を対象とした小規模吸引実験を実施し、吸引口を鉛直に配置した吸引管で、表層に近い吸引孔から順次、標高の低い吸引孔へと吸引が移行し、アーチアクション対策として機能することを確認した（写真—3）。この工法が水平埋設型と比べ有利な点としては、①高土厚を何層かに分けて吸引できる、②管内流の方向と土砂の流入方向が同じで吸引時の抵抗が少ない、③鉛直吸引管沿いに水道が形成されても土砂を崩す方向に作用する、などが挙げられる。

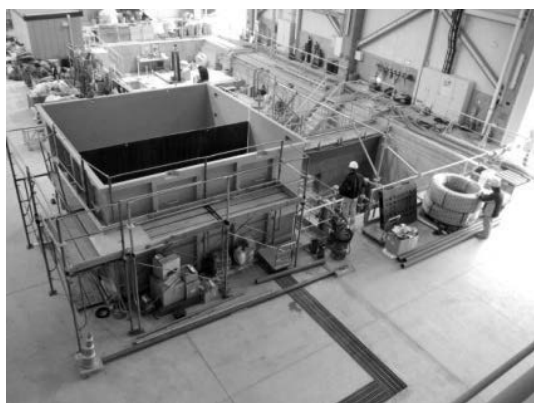
その後、排砂実験のスケール効果と実ダムへの適用性を確認するため、中規模室内排砂実験を実施した（写真—4, 5）。実ダム堆積土砂では砂分だけでなくシルトの混入も多くなり、吸引に対する抵抗が大きくなる。その対策として、連続した吸引口を堆積面表層



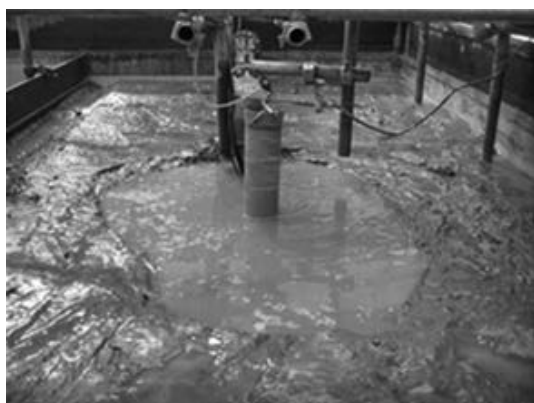
図—7 鉛直埋設型吸引工法の概要



写真—3 鉛直埋設型吸引工法の吸引状況



写真—4 中規模吸引実験施設



写真—5 改良吸引部による排砂後地形（中規模実験）

まで設けることで、細粒分が多く透水性の低い土砂でも表層の開放された吸引部からの流れによるせん断力で、表層土砂から吸引が進行することを確認した。また同吸引形式を用いた小規模吸引実験にて、細粒分(シルト成分)の混入率をパラメータとした吸引実験を実施しており、現在、結果の整理を進めているところである。

4. おわりに

本稿では、筆者らがダム堆砂対策としてHSRSの開発を行う過程で得てきた知見の一部と開発状況を紹介したものである。HSRSを適用する場合、土砂性状の影響が大きく、実用化を図るためには対象となる個々のダム堆積土砂性状に対する適用について検討をする必要があり、今後もこの技術がダム堆砂対策として実用化されるよう鋭意研究を進めるつもりである。なお、土砂研の活動については<http://doshaken.com/>を参照して頂ければ幸いである。

J C M A

《参考文献》

- 1) 片山裕之・田島芳満 (2013)：水圧吸引方式の土砂管路輸送技術，混相流，第27巻，No.3，pp.282-289.
- 2) 片山裕之・福濱方哉・荒川興一 (2013)：鉛直埋設吸引管排砂工法の実験的検討，土木学会論文集B1（水工学），第57巻，p. I_1081-I_1086.
- 3) 中島秀義・片山裕之・田島芳満 (2005)：マルチホールサクション排砂管工法の開発と現況，土砂管理とダムに関する国際シンポジウム論文集，pp.175-182.
- 4) 片山裕之・田島芳満 (2007)：水圧吸引土砂排除システムの土砂流送機能について，河川技術論文集，第13巻，pp.393-398.

【筆者紹介】

本多 将人（ほんだ まさと）
東亜建設工業(株)
土木事業本部 設計部
設計部長



片山 裕之（かたやま ひろゆき）
五洋建設(株)
技術研究所 土木技術開発部
担当部長

