

インドにおける用水路灌漑技術の確立過程

ーガンガー用水路建造を中心にー

(その一)

正会員 大東文化大学教授 多田 博一

DEVELOPMENT OF CANAL IRRIGATION TECHNOLOGY IN INDIA —A CASE STUDY OF THE CONSTRUCTION OF THE UPPER GANGES CANAL—

概要

1757年のブラッシーの戦いに勝利を得、インドの植民地化に乗り出したイギリス東インド会社は、1801-03年にガンガー河とヤムナー河の中・上流地方を獲得した。会社は財政基盤を確固たるものにするために、先ず最初に地租査定のための地籍調査・慣行調査を実施した。その過程でインド農民が営々として行っている井戸からの揚水灌漑や小河川からの分水灌漑の実態に触れ、また14世紀に建造されたヤムナー河から分水する用水路の遺構を発見し、インド農業における人工灌漑の重要性を認識するようになった。干魃の体験がその重要性をさらに強く印象づけた。こうして、(1) 悲惨な飢饉から民衆を守るという人道的動機、(2) 消極的には、干魃による地租の減収と救済事業への出費による政府支出の増加を防ぐこと、積極的には、灌漑により耕地を拡大し地租収入の増大を図ること、という経済的動機、(3) ムガル王朝に代わるインドの統治者としての威信と正当性の誇示、という政治的動機、が一体となって、東インド会社は北インドにおける用水路灌漑の整備に着手することになった。しかし、本国のイギリスにおいては、water meadow(主として、霜害から牧草を守るために小河川から分水して行う灌水)以外に灌漑らしい灌漑は行われていなかった。用水路灌漑の工事に実際に携わることになったイギリス工兵将校たちには、大規模な灌漑に関する経験も知識も欠けていた。そこで、かれらは先ず在来の灌漑用水路の修復・拡張で経験を積むことになった。こうして西ヤムナー用水路(1817年着工、1825年通水、幹線延長 347マイル)、東ヤムナー用水路(1823年着工、1830年通水、幹線延長 129マイル)が取り上げられた。干害防止、農業生産の安定・増大の面におけるそれらの効果は目覚ましいものであった。そこで、東インド会社は植民地統治者の威信をかけて、北インド最大の河川であるガンガー河から分水する用水路(1842年着工、1854年通水、幹線延長 440マイル)工事に着手することになった。当時、世界最大の灌漑用水路工事であったために、幾多の失敗を余儀なくされた。(海外土木、インド、灌漑)

1. 計画立案過程

(1) 取水地点の選定

ガンガー河の水を灌漑に利用しようという考えを最初に抱いたのは、フィーローズ・シャー用水路の修復に功績を挙げた工兵将校J. コルヴィン(生没年1794-1871年)であっただけでなく、かれは1836年にインドを離任、イギリスに帰国するに際し、用水路長官職をかれから引き継いだ砲兵将校P. T. コートリー(生没年1802-71年)に対し、ガンガー用水路の可能性を探るための測量に着手するようにと勧告した。コートリーは東ヤムナー用水路を修復した後、デヘラ・ドゥーン地方においていくつかの小規模用水路を建設した経験を持ち、当時の東インド会社軍事局の将校たちのなかでは、数少ない灌漑専門家の一人であると見なされていた。かれは1836年11月に早速測量を開始した。

最初に取り掛かったのは、取水地点の選定であった。東ヤムナー用水路の取水は、ヤムナー河の分流ブデ

ィー・ヤムナー川が本流に合流する近くに設けられていた。この経験に基づいて、ガンガー河の旧河道であるバンガンガーと本流の合流する地点が、東ヤムナー用水路の取水地ファイザーバードに似ていたの、そこが取水に適するものと、コートリーは考えた。こうして、バンガンガーの近くのバードシャープル村が、水準測量の出発点に選ばれた。そこで取り入れた水を、西カリ・ナディ川の近くにあるランブル村まで導いて、そこから下流の地方を灌漑する計画であった。いつ頃建造されたかは詳かでないが、西カリ・ナディ川を水源とするムハンマド・アブー・カーン用水路の遺構が存在していた。それにヒントを得て、そこに貯水池を建造し、灌漑水源とする計画が、工兵将校H・デビュード（生没年1800-43 年）によって、すでに提案されていた。コートリーはコルヴィンによって示唆されたガンガー用水路をデビュードの計画に合体させようと考えたわけである。だが、実際に測量を行った結果、バードシャープル村の方がランブル村よりも高いことが明らかになり、この計画は挫折することになった。

そこで、コートリーはバードシャープル村よりさらに上流に位置するヒンドゥー教の聖地ハルドワールの近くに取水地点を設定することを提案した。この近くでは、シワリク丘陵の狭い河谷を抜け出たガンガー河の水流が一挙に河幅を広げ、いくつかに分流に分かれ、その間に島や中洲が点在していた。その分流の一つがハルドワールの上手約2.25マイルのところで分かれ、ハルドワールの町並みに沿って流れ、約1.5 マイル下手の町カンカルで再び本流に合っていた。ガンガー河の河道は変動が激しいにも関わらず、この分流は比較的安定しており、全流量のほぼ三分の一を運んでいた。ハルドワールとカンカルの住民はこの分流から水路を引いて、飲用、家事、精米、製粉、菜園灌漑などの目的のために水を利用していた。また、ヒンドゥー教の司祭たちは、沐浴場に安定した流量を確保することに関心を抱いていた。

このように、将来のガンガー用水路の取水地点の選定は、在来の水利用のあり方に大きな影響を受けたのであった。

(2) 1840年調査報告書

1837-38 年にインド北西部を中心に発生した大飢饉が、ガンガー用水路計画の実現を促進することになった。この飢饉では約80万人の人命が失われたといわれる。飢饉の影響を受けた地域から徴収されるべき地税総額の約半分（483 万ルピー）が、取立不能で免除された。また、救済事業が組織され、それに会社政府から177 万ルピーが支出された。その他の諸費用を合わせて、飢饉のための東インド会社政府の負担額は、1000万ルピーに達したと、報告されている。すでに、通水していた東・西ヤムナー用水路は、種々の欠陥にも関わらず、この干魃時に用水路沿いの村々に灌漑用水を供給し、飢饉防御の効果を発揮した。灌漑地面積が拡大し、灌漑料収入も増加した。

このような状況を眼のあたりにした総督オークランド（在任1836-42 年）は、コートリーの提案を承認し、新しい予定路線の通過するハルドワールとルールキーの間の地方の測量を命じ、数千ルピーの支出を許可した。コートリーは1839年12月に調査を始め、1840年 6月30日に最初の報告書を提出した。

ハルドワールからルールキーに至る地帯は、カーディルと呼ばれるガンガー河沿いの低地で、東北をシワリク丘陵、東南から南を草地または自然堤防、そして南から東にかけてはガンガー河に囲まれた三角州地帯であった。それはシワリク丘陵から流れ出る排水川によって、3つの流域に区分されていた。ハルドワールでガンガー河から分水する用水路は、それらの排水川と直角に交差しなければならなかった。もっとも大きい排水川であるソラニ川を、煉瓦製水路橋で越えるものとして、この部分の用水路建造費用が約 100万ルピーと見積もられた。コートリーは同年 8月15日に、ルールキーから下手の幹線用水路 255マイル、支線用水路75マイル、幹線用水路を舟運可能にするための構造物の建造を含む補足報告書を提出した。その費用は、

159万ルピーと推定されていた。費用総額 259万ルピーに対し、東・西ヤムナー用水路と同じ平均収益率 10%を上げるものとされていた。詳しい測定結果はなかったが、予定取水量は7000立方フィート/秒と推定された。

会社政府はこの計画書を全面的に支持し、1841年 4月 3日付け覚え書きにおいて、取締役会に対し、その採用を勧告した。当時の北西州準知事ロバートソンも総督オークランドに、早期着工を勧める公信を送っていた。取締役会は1841年 9月 1日付け公信でもって、この事業計画を認可した。そのなかで、財政上の利益を考慮しないわけではないけれども、それ以上に悲惨な飢饉から民衆を守るという人道的目的を達成し、同時にインド政府の評価を高めること、という政治的意図が明らかにされている。

(3) 東インド会社軍事局調査委員会報告書

取締役会の公信を受領した後、インド政府軍事局は11月21日付け命令でもって、工兵少佐F・アボット（生没年1805-92 年）を委員長とし、工兵大尉W・バーカー（生没年1808-81 年）とコートリーを委員とする委員会を発足させた。この委員会に命じられたことは、現地に赴いて、コートリーの提案した事業計画が実際のものかどうか、その成功の可能性があるかどうか、また着手するとしたら、当初の工事規模をどの程度にしたらいのか、といった点について勧告することであった。また、特に、つぎの3点については詳細な報告を求められた。(1) 可能な限り多くの水量を分水した場合のガンガー河舟運に対する影響、(2) 用水路をアラハバードまで延長した場合の費用、および(3) 事業の収益見込。当時、ガンガー河はカルカッタと内陸部をつなぐ輸送の大動脈であり、アラハバードはガンガー河とヤムナー河の合流点に位置する重要な舟運港市であった。鉄道がまだ発達せず、また1839年にカルカッタからデリーまで開通した大幹線道路による陸上輸送も能率的でなかったために、交易ならびに軍事移動にとってガンガー河の役割が非常に大きかった。ガンガー河の水を灌漑用に分水することにより、その輸送に支障を来すのではないか、という危惧が、上の委員会の任命となって現れたわけである。

この委員会の報告書は、1842年 2月 7日に提出された。そのなかで、舟運に対する影響に関しては、つぎのように論じている。すでに機能している東・西ヤムナー用水路の場合、乾季にはヤムナー河のほとんど全水量が取水されている。それにも関わらず、砂利底の河道から浸透した伏流水と、アーグラに至るまでの沿岸地帯から流入する排水が合わさって、取水地点から260 マイル下流のアーグラでは舟運可能な水量になっている。これから類推して、ガンガー河の場合にも、取水予定地点のハルドワール近郊のカンカルで、乾季の推定水量8000立方フィート/秒のうち、6750立方フィートを灌漑のために分水しても、カンブルから下手の舟運には何らの支障も生じないであろう。グルムクティ・ガートからカンブルまでの間は、大型の船の運航が不可能ではないにしても、不便にはなろう。したがって、カンカルからカンブルまでの間の幹線用水路は、舟運可能な設計にしなければならない。

ハルドワールからルールキーにいたるガンガー河低地の横断については、ソラニ川に水路橋を建造する比較的直線的な路線と、多くの小規模な排水川と交差しながらシワリク丘陵の麓に沿って迂回する路線について、別々の経費見積が作成された。用水路はアラハバードまで延長される予定であった。前者の場合の費用総額は 723万ルピー、後者は 595万ルピーと見積もられた。水車使用料、通行料、雑収入を除いて、灌漑による収入だけで年間 149万ルピーと推定された。

いずれの路線を採用するか決定を待つ間にも、両方に共通する箇所では直ちに煉瓦製造、幹・支線の分岐点の構造物などの準備作業に取り掛かるようにと、委員会は勧告した。

以上のような委員会勧告にしたがって、北西州政府は1842年 2月25日に着工の命令を発し、 4月16日にカンカルにおいて用水路掘削の鉄入れが行われた。

(4) 建設工事の中断

ところが、オークランドに代わって総督に就任したエレンバラ卿（在任1842-44 年）は、灌漑に関する理解がなく、1842年 4月29日付けで軍事局を通じて、工事の中止を命じた。さらに、 6月21日付けで民事局を通じて、事業計画の依拠すべき科学的・財政的問題をさらに調査するまで、すべての支出を停止する、と通

達してきた。これに対し、北西州政府は強硬に抗議し、9月17日に年間20万ルピーの支出が承認されることになった。インド政府のこのような政策変更が、何に起因したのかは明らかでない。第一に考えられるのは、アフガン戦争による軍事費負担の増大である。つぎは、エレンバラ卿が新任早々で、これまでの経緯をよく理解していなかったことである。北西州準知事J・トマソン（在任 1842-52 年）が1844年 2月10日付けの公信において、用水路工事の遅滞に抗議したのに対し、エレンバラ卿はこう答えている。「この事業計画が承認され、建設費が与えられたのは、舟運用運河を造る目的からである。灌漑は第二義的な目的である。第一の目的に水が充当された後、余分な水が第二の目的に用いられることになっていた。」三番目の理由は、東・西ヤムナー用水路沿いの地帯の多くの箇所、湛水に起因すると考えられる衛生状態の悪化が生じたことであった。西ヤムナー用水路の近くに位置するイギリス軍の重要な駐屯地カルナルでは、事態が深刻で、駐屯地が移転されるほどになっていた。

1844年 7月に総督はエレンバラ卿からハーディング（在任1844-48 年）に替わったが、ガンガー用水路工事をめぐる状況は好転しなかった。しかし、この間にも乏しい予算でもって、測量は細々と続けられ、1844年末にはカンブル、アラハバードまで、ほぼ全線の水準測量が完了した。この測量結果を基にして、コートリーは1845年 2月12日にガンカー用水路事業の完全な計画書を作成し、インド政府に提出した。

(5) 1845年調査報告書概要

この報告書においては、3つの計画案が示されていた。

第一案：幹線用水路の勾配は12-24インチ／マイルとする。北部での急勾配を調節するために、落差工と閘門を設ける。アラハバードでヤムナー河と合流する地点には、閘門を付けて、舟の昇降の便を図る。カンブルとファテプル県との境界に至るまでの幹線用水路には、効率的な灌漑用施設を付ける。ファテプル支線用水路の延長は 160マイル、ブランドシャハル支線は70マイル、エターワー支線は 172マイル、カンブル支線は43.5マイルとする。総工費は1023.7万ルピー。

第二案：第一案と異なるところは、幹線用水路をカンブルとファテプル県の境界からさらにアラハバードまで延ばす点にある。ヤムナー河と合流する地点には、閘門を設けた貯水池を造る。カンブル灌漑用水路をカンブルの市街まで延ばし、末端の水はその近くでバンドゥ川と合する湿地または支流に入れる。さもないと、バンドゥ川がガンガー河と合流する地点に向かう灌漑用水路の補水に用いる。総工費 970.4万ルピー。

第三案：第一案との違いは、舟運可能な用水路をカンブルの市街の方向に延ばし、そこで南に転じ、カネ川の合流点の反対側のところでヤムナー河と合流させる。カンブル用水路は舟運可能なものにし、ガンガー河との合流点に閘門を設ける。ガンガー河とバンドゥ川との合流点に向かう灌漑用支線を付ける。総工費 934万ルピー。

コートリー自身は、第三案を支持していた。そして、灌漑を第一義とするか、それとも舟運を主要目的にするか、という点については、「ドアーブ（二つの河に挟まれた地帯の意で、ここではガンガー河とヤムナー河に挟まれた地帯をいう）で利用できる水はすべて、農民に属すべきである」として、灌漑を第一目的にすることを主張していた。

上記の計画書を提出した後、健康を害していたコートリーは賜暇をとり、イギリスに一時帰国することになった。その前に、かれはカルカットでハーディング総督に会い、ガンガー用水路建造計画に反対する理由を質したようである。それに対し、総督は2つの理由を挙げた。第一は、ガンガー河の舟運に対する悪影響。これについては、コートリーは1842年の委員会報告書の議論を援用して、反論したものと思われる。第二には、灌漑の導入に伴い、マラリヤが蔓延することになるのではないか、という危惧であった。この問題に関しては、コートリーに十分な情報がなかったように思われる。

(6) 医事委員会報告書

1845 年11月にインド政府は、第二の問題を調査する委員会を任命した。委員長は工兵少佐バーカー、委員はベンガル医務班のデンプスターと工兵中尉 H. ユール（生没年1820-89 年）であった。この委員会の調査は1845-46 年のスィク戦争によって一時中断されたが、1847年までに完了し、同年 3月 3日に報告書が提出された。その結論は、東・西ヤムナー用水路沿いの村々の住民の健康状態は、土壌の質と排水のいかんにかかっている、ということであった。したがって、用水路路線を適正に設定し、灌漑の仕方を正しく規制して、自然排水を阻害しなければ問題は無いとして、つぎのように勧告した。

- i. ガンガー用水路を可能な限り、「土の中」に保つこと。すなわち、用水路の平常水位を地表面よりも低くすること。
- ii. 築堤に必要とされる土は、排水の容易なところを除いては、用水路の外側から掘り取らないこと。
- iii. 幹線・支線用水路ともに、できるだけ分水線に沿うようにし、自然排水を妨げないこと。自然排水川を横断することが避けられない場合には、他の排水方法を考案すること。
- iv. 配水路または橋へのアプローチが排水川を横切る時は、石造の排水口を付けること。
- v. 私的取水路は認めず、灌漑は常に公共の配水路からなされること。
- vi. 軍隊駐屯地の半径 5マイル以内、および原住民の大きな町の半径 2マイル以内での灌漑を禁止すること。
- vii. 用水路堤の清掃に際しては、刈り取った草を腐敗するままに放置せず、直ちに燃すこと。
- viii. 自然条件によりマラリヤの発生しやすい地域では、灌漑を全面的に禁止すること。

この勧告には、灌漑についての経験も知識ももたずに、在来の東・西ヤムナー用水路を修復・利用したイギリス人技術者たちが、その後で、自然排水の阻害による湛水地の形成によってもたらされた弊害に直面した苦い経験が生かされ、教訓とされていることが読み取れる。

(7) 建設工事の本格的開始

この報告書を受理したインド政府は、1847年 5月 1日付けで、北西州政府に対しガンガー用水路の建造に直ちに着工するよう命令を発した。コートリーの後を継いでガンガー用水路建造の責任者になっていたバーカーは、インド政府の求めに応じて、施工の原則をつぎのようにまとめた。

- i. 用水路の主たる目的は灌漑であり、それを損なわない限りで、舟運の便を図ること。
- ii. 施設は可能な限り完全かつ堅固なものにすること。
- iii. 1847 年の医事委員会の勧告を採用すること。
- iv. 利用可能なところでは、水力を機械動力として用いること。
- v. 用水路用地の取得にあたっては、東・西ヤムナー用水路の場合を同じく、貯水池や林地のための土地を確保すること。

バーカーはさらに詳細な施工指示書を作成して、工事の円滑な進捗を図った。

その間に、コートリーはイギリス本国において、当時最新の工学、水利学、土木などに関する書籍を収集したり、スコットランドのカレドニア運河を見学したりして、新しい知識の吸収に努めていた。かれは1847 年 8月末にインドに帰任する旅についた。その途次、イタリアに 6週間立ち寄り、当時ヨーロッパでもっとも進んだ灌漑施設をもつといわれていた、北イタリアのポー河沿岸の地方を中心に、視察旅行を試みている。さらに、エジプトでは、ナイル河デルタにフランス人が建設した堰を見学した。1847年12月14日にボンベイに上陸したコートリーは、翌年 1月11日にバーカーに替わって、ガンガー用水路建造責任者の職務に復帰した。

コートリーの不在の間、およびコートリーの復職後2年間の工事の経験、掘削工事の過程で明らかになった土壌の質、雨量や諸河川の流水量の観測、幹・支線用水路路線設定予定地の詳細な測量に基づいて、事業計画にいくつか大きな変更・改善が加えられた。これらを考慮に入れて、事業開始の1832年から完成予定時

の1853年 6月30日までの総工費（施設建設費，人件費，経常補修費，その他）は，今や1561万ルピーと見積もられた。

2. 事業計画の概要

(1) 取水量と幹・支線用水路

1850年 9月15日にコートリーが提出した最終報告書によれば，幹・支線用水路の路線設定および用水量配分の計画は，図1，2の通りである。

取水地点ハルドワールから主たる支線の分岐するナヌーンまでの，幹線用水路の延長は 180マイルであった。取水量は6750立方フィート／秒と計画された。途中，50マイル地点でファテガル支線（延長 155マイル，用水量1240立方フィート／秒），110マイル地点でブランドシャハル支線（延長65マイル，用水量 520立方フィート／秒），そして 145マイル地点でブランドシャハル支線と同じ規模のコエル支線，が分岐することになっていた。180マイル地点では，ほぼ同規模のカンプル支線（延長 170マイル，用水量1610立方フィート／秒）とエターワー支線（延長 180マイル，用水量1640立方フィート／秒）に二分される計画であった。幹・支線の合計延長は 815マイルにおよんだ。

幹線用水路から支線が順次分岐するにつれて，用水量が減少する。それに応じて，用水路の規模も小さくなるように設計されていた。頭首工からファテガル支線が分岐する地点までの幹線用水路の底部の幅は 140フィート，堤防高は15フィート，舟運のための牽引道までの高さは12フィートとされた。ファテガル支線とブランドシャハル支線の分岐点までの区間では，それぞれが 130，14，11フィートに減少した。ブランドシャハル支線から下手では，それぞれ 110，13，10フィート，ナヌーンでは80，12，10フィートになった。カンプル支線の出発点では，底部幅80，堤防高10，牽引道高 8フィートであったが，その末端では20，10，6 フィートに減少された。

図1 ガンガー用水路計画図

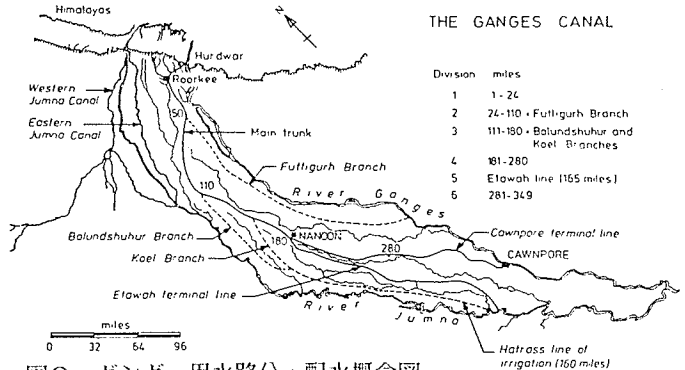
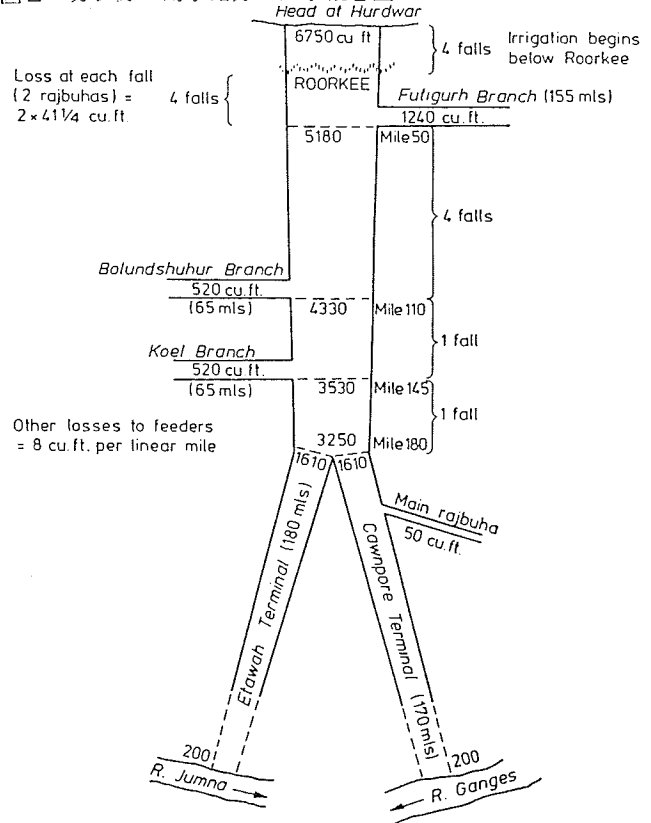


図2 ガンガー用水路分・配水概念図



出所：図1，2ともにJ. Brown, "Sir Proby Cautley (1802-1871); A Pioneer of Indian Irrigation," *History of Technology*, 3rd. Annual Volume, London, 1978, pp.59,66.

(2) 頭首工からルールキーまでの区間

ハルドワールの北 2.5マイルの地点で、ガンガー河の右岸から支流が分岐していた。本流と平行に、聖なる沐浴場の傍らを過ぎ、ハルドワールの街の建物の下を流れ下り、30-40マイル下手で本流に合流していた。この支流の上手に、木製桼、籠、石などを用いる在来工法による一時的な頭首工が設けられ、毎秒6750立方フィート/秒の水が分水された。頭首工は毎年雨季明けに大々的に補修されなければならなかった。取水はハルドワールの南 1.5マイルのミアブルで人工の水路に導き入れられた(以下、図3、4参照)。

ミアブルに最初の煉瓦・石造施設が建造されることになっていた。その第一は、ガンガー河の支流を横断する堰堤である。水門を付けた幅10フィートの開口部38と溢流部が付けられており、全体で雨季のガンガー河の洪水を本流に落

とすために幅 517フィートの余水吐けをもっていた。第二は、用水路床を横断する橋付き制水工であった。それには用水路への取水を制御する機器を付けた幅20フィートの開口部が10あり、水路幅は 200フィートであった。堰堤と橋は、長い煉瓦・石造護岸で繋がれた。反対側の岸にも、同じような護岸が施され、沐浴場も設置されることになっていた。

ミアブルから始まる人工用水路の最大難関は、亜ヒマラヤ山脈からガンガー河の西側河谷に流出し、用水路と直角に交差する排水川の処理の仕方であった。これらの排水川は、大きく3つの水系にまとまっていた。ブトリ、ラトム、およびソラニ川である。ブトリ川は、多くの小川に分かれており、制御はさほど難しくない。問題は、ラトム川とソラニ川であった。

ミアブルから発する人工用水路は、横断面で、底部は幅 140フィート。上部幅は掘削の深さによって異なるが、約 200フィート。路床の勾配は、1マイルにつき18インチ (1/10000)である。その後、約 6.5マイルほどの区間は、いくつかの排水川をダムまたは取水口・排水口で処理して渡り、バハドゥラバード落差工を経て、ブトリ川に入る。この落差工は東ヤムナー用水路のものと似ているけれども、規模ははるかに大きい。この落差工の上手3/4 マイルのところで幹線用水路から分かれている小水路に閘門が付けられており、筏や舟の運航に供される。この小水路は落差工の下手1/4 マイルの地点で、幹線水路に合流する。

バハドゥラバード落差工を過ぎてからは、用水路はブトリ川とその多数の支流の流れている低地を横断する。ブトリ川の横断には、10フィートの開口部10と両翼の溢流堤でもって、130フィートの余水吐け口をもつダムが設計された。小さい川は、一方の岸に取り入れ口を、他方の岸に排出口を付けることで処理された。

図3 ガンガー用水路北部図

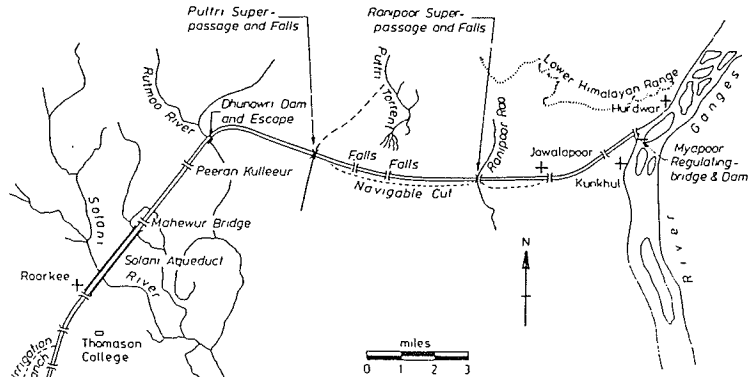
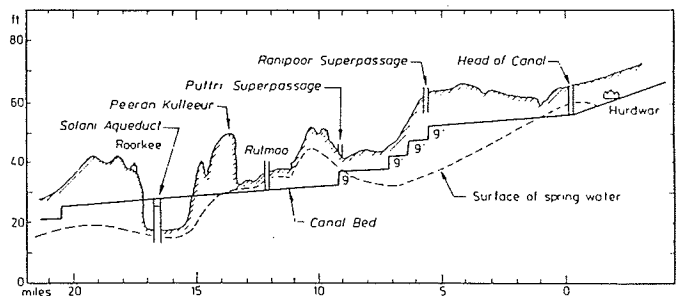


図4 ガンガー用水路北部断面図



出所: Op. cit., pp.56, 57.

ブトリ川谷の終点で、用水路はドゥノウラ落差工でもってラトム川の水準に下がる。最初の設計では、この川を横断するのに、10フィート幅の開口部40と用水路への給水を保つための水門を付けたダムが予定されていた。しかし、1844年の洪水の結果、施設の拡張が必要であると判断された。ラトム・ダムの新しい設計は、10フィート幅の開口部40、100フィート幅の翼開口部2、両翼溢流堤からなるようにされた。こうして余水吐けは800フィートほどになった。洪水時のラトム川の水を遮断するために、ミアブルにおけると同じような、用水路を横切って橋付き制水工が取り付けられた。

ラトム川谷とソラニ川谷とは、幅2マイルにわたる高台地で分けられていた。そこは、深さ最大37フィートも掘られた用水路が通り抜ける。バジュヘリ村で、用水路はソラニ川谷に入る。この地点で、その幅は1万1680フィート、すなわち約2マイル1/4あり、用水路床は一挙に地面よりも高くなり、土盛り水路橋の大工事が始まる。

ここでの工事は、つぎのようなものである。地表よりも平均約16フィート1/2高めた土盛り基礎。その底部幅は350フィート、上部幅は290フィート。この土盛り基礎の上に、上部幅30フィート、深さ12フィートの用水路堤が築造される。この用水路堤はソラニ川の北約2マイル1/2にわたり、階段状に付けられた煉瓦・石造の擁壁でもって水の作用から保護される。

ソラニ川自体は煉瓦・石造水路橋で横断される。これはこの種の施設としては、インド最大であるだけでなく、その規模からいって当時世界でももっとも注目すべきものの一つである。ソラニ水路橋の延長は920フィート。その余水吐け口は750フィート。50フィート間隔のアーチ型橋桁15からできている。アーチ幅は192フィート、厚さ5フィート。その形は高さ8フィートの円状の一部である。橋脚は川床底20フィートに埋められた煉瓦・石造基礎の上に立つ。その基礎は4つの井戸状穴で繋がれた、幅20フィートの立方体である。現地人が井戸を掘る時と同じ仕方、沈められた。橋脚はアーチの始まるところで、厚さ10フィート、高さ12フィート1/2。構造物の川底からの高さは、38フィートである。水路橋をわたる用水路の幅は85フィートの2本の別々の水路からできている。側壁の厚さ8フィート、深さ12フィートで、水深は10フィートを予定。その後、約3/4マイルの土盛り水路橋が、煉瓦・石造構造物をルールキーの高台地に繋いでいる。

ハルドワールからルールキーまでの用水路の総工事費は約30万ポンドであり、そのうち約半分の15万8000ポンドが水路橋建造費で占められると見積もられた。

(3) ルールキーの下手の用水路工事

ルールキーを過ぎると、用水路工事の難所はほとんどなくなった。最初に分岐する支線用水路は、ファティガルである。頭首工から約50マイル下手地点で分かれ、延長155マイル、用水量1240立方フィート/秒である。頭首工から110マイル地点で分かれる二番目のブランドシャール支線は、延長65マイル、用水量520立方フィート。145マイル地点で分岐する第三のコエル支線は、延長65マイル、用水量520立方フィート。180マイル地点で用水量1610立方フィートずつの、延長180マイルのエターワー支線と延長170マイルのカンブル支線に二分された。カンブル支線は、ガンガー河と用水路との間の舟運用連絡水路であり、カンブルには一連の閘門を取り付け、運航を容易にすることになった。幹・支線用水路合わせて815マイルにおよんでいた。

幹線、支線ともに舟運にも利用されるので、その沿線の地域の商業も、農業と同じく用水路から利益を得ることになる。用水路兩岸の渡り往來のために、2-3マイル毎に橋が架けられる。給水制御、事務用員の便宜、水車の施設が、必要なところに設置される。兩岸の用水路敷地内に林地が造成される。東ヤムナー用水路で成功したように、接ぎ木によるマンゴー園が造られる。各支線がその割り当て水量を取るにつれて、用水路の横断面がしだいに小さくなるように、設計されていたことはすでに見た通りである。

全体を通じて、用水路の両側傾斜は高さの1.5倍の基礎をもち、用水路床の勾配は平均で1マイルにつき

12-15インチ(18/00000-24/00000)であった。

(4) 収支見込

灌漑目的のための水の配分は、政府役人の監督の下で、専ら主水路によって行われる。幹線用水路からも、支線用水路からも、私的水路を直接引くことは認めない。政府が、幹・支線用水路だけでなく、主要配水路、すなわちラージバーハーを建造するものとして、ガンガー用水路全体の最大限費用は 150万ポンドと見積もられた。これに対して、1立方フィートの水が 218エーカーを灌漑することができるとして、年間灌漑能力は 147万1500エーカーと予想された。これに基づいて、ガンガー用水路の直接的収益は、つぎのように推定された。

ガンガー用水路の収支見積

(ポンド)

収入		維持管理費	
直接的収入	163,850	経常修理費・	
水利料	147,150	事務所維持費	40,000
水車使用料	10,000	既存部局の増加費用	10,000
通行料	6,000		
雑収入	700		
間接的収入			
地租増加分	239,040		
計	402,890	計	50,000
純収入	352,890 (総工費 150ポンドの23.5%)		

参考文献：

基本的資料としては、

Cautley, P. T., Report on the Ganges Canal Works, from Their Commencement until the Opening of the Canal in 1854, 3 vols., London, 1860.

Medley, J. G., Irrigation Works, 2nd ed., Roorkee, 1873 (Thomason Civil Engineering College Manuals no.10)

Nicholas, J. R. C., "Agricultural Engineering in India," Engineering, 1888.

最近の研究文献では、

Brown, Joyce, "Sir Proby Cautley (1802-1971): A Pioneer of Indian Irrigation," in A. R. Hall and N. Smith, ed., History of Technology, 3rd Annual Volume, 1978, London, 1978, pp. 35-89.

do. "A Memoir of Colonel Sir Proby Cautley, F. R. S., 1802-1871; Engineer and Palaeontologist," Notes and Records of the Royal Society of London, vol.34, no.2, Mar. 1980, pp.185-225.

Stone, Ian, Canal Irrigation in British India; Perspectives on Technological Change in a Peasant Economy, Cambridge, 1984.

Whitcome, E., Agrarian Conditions in Northern India, vol.1; The United Provinces under British Rule, 1860-1900, Berkeley, 1972.

do. "Irrigation," in D. Kumar, ed., The Cambridge Economic History of India, vol.2; c. 1757-c.1970, Cambridge, 1983, pp.677-737.