

中国南水北調西線プロジェクト基礎調査報告書

**Report on the Basic Investigation for
the West Route Scheme of South-to-North
Water Transfer Project**

笹川日中友好基金

THE SASAKAWA JAPAN-CHINA FRIENDSHIP FUND

中国南水北調西線プロジェクト基礎調査報告書

責任者	崔	雲昊
作成者	談	英武
	劉	新
編 集	崔	雲昊
	楊	素珍
校 正	蔣	孔武

中国華北水利水電学院

1999年7月

目 次

前言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 笹川日中友好基金室長 窪田 新一

一、 南水北調西線プロジェクト基礎調査報告書・・・・・・・・・・

中国華北水利水電学院

概 要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1~4
1. 供水の範囲と主目的・・・・・・・・・・・・・・・・	1
2. 黄河及び受水区の水資源枯渇の現状・・・・・・・・	2
3. 引水区の概況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5
4. 引水区からの可能な引水量・・・・・・・・・・・・・・・・	8
5. 引水工事案・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	12
6. 環境に与える影響・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
7. 国民経済効果についての評価・・・・・・・・・・・・・・・・	22
8. 社会効果についての評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	27
9. 前期開発案開発についての提案・・・・・・・・・・・・・・・・	31
10. 結語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	32

二、 南水北調西線プロジェクト工事諸条件に関する研究報告書・・・・・・・・

笹川日中友好基金 囑託派遣研究員 前原 勇雄

1. 期間・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	36
2. 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	36
3. 研究討論 前言・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	36
4. 研究討論 本論概要の1 地質上の問題点・・・・・・・・	39
5. 研究討論 本論概要の2 単洞トンネルか複洞トンネルか?・・	43
6. 研究討論 本論概要の3 TBM採用上の問題点・・・・・・・・	44
7. 研究討論 本論概要の4 総コストの試算・・・・・・・・	45
8. 後書き・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	46
添付1. 西線計画概略工事費・・・・・・・・・・・・・・・・	47
添付2. 図書目録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	48
添付3. コピー目録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	49
添付4. GPS測量の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	51

三、 Report on the Basic Investigation for the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project

North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power

1.	The Preface	53
2.	The Background	53
3.	A Simple Introduction to the SNWT Project in China	55
4.	The New Development in the Research of West Route	57

四、 Report on the Basic Investigation for the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project

Isao Maehara

1.	Period	64
2.	Purpose	64
3.	Introduction	65
4.	Discussion1: Several Points on Geology	68
5.	Discussion2: Single or Multi Tunnel?	76
6.	Discussion3: Problems with Using TBM	77
7.	Discussion4: Estimation of Total Cost	78
8.	Acknowledgements	80
	Appendix I: List of Reference Books	82
	Appendix II: List of Photo Copies of Reference Papers	85
	Appendix III: Commentary on GPS Summary	88
	Appendix IV: The Estimated Construction Expenses of the West Route Scheme	91
	Appendix V: The Examples of Estimated Construction Expenses	92

前言

本調査報告書は、中国のいわゆる南水北調計画の西線計画に関する基礎調査の報告書であります。その構成は中国側と日本側の報告の双方から成っています。

黄河の渇水が引き起こしている流域の灌漑用水、飲料水の不足という深刻な問題を解決するため、作成されてきた南水北調計画(揚子江の水を黄河に引き上げる)は、資金と技術の問題が隘路となって実現の運びとなっていません。本報告書は、この問題解決の一助として、中国華北水利水電学院や日本の専門家に西線計画実現の可能性調査を委託し、それをまとめたものです。調査結果は西線計画実現の可能性に関する初期段階の基礎調査として、水利部の黄河委員会や中国政府に報告するとともに、国際機関、日本の企業、研究教育機関にも中国語、英語、日本語で提供するものです。

日本国内においては、南水北調西線研究会を開催し、その成果を委託先と黄河委員会の研究者に提供し、基礎調査の方法論や技術を実践的に提供することができました。また、調査の結果を日本での国際建設技術協会の定期セミナーにおいて発表し、大きな反響を得ました。尚、南水北調計画は、東線、中線、西線の3計画があり、中でもこの西線計画は海拔 3000~4000メートルの高地での100メートル以上のトンネル工事であり、日本のトンネル開削技術の活用がなければ実現は不可能と報告されているものであります。

本調査報告書は、まさに基礎的な段階のものであり、今後のこの計画が実施に向けて動き出すときの初期資料と言うべきものであります。関係者、専門家諸兄のご研究の一助となることがあれば、これに勝る幸せはありません。ご批判、ご叱正をお待ちいたしております。

笹川日中友好基金事業室

窪田 新一

2000.3.31

概 要

中国においては水土資源の地域分布は著しくバランスを欠いている。南部には水が多く土地が少ない。それに対して北部には水が少なく土地が多い。南部の各河川の合計水量は中国の水資源全体の 81% を占め、耕地は中国の耕地全体面積の 36% を占める。それに対して北部の河川の合計水量は中国の水資源全体の 19% を占め、耕地は中国の耕地全体面積の 64% を占める。中国の社会の発展と国民経済の発展に伴ってますます深刻化する北部の渇水状況は深刻化している。それは著しく国民経済の発展を制約するものとなっている。南水北調プロジェクトは中国の北部の旱魃と渇水の問題を根本的に解決する道である。

長年にわたる調査研究により東線、中線、西線の三線による長江の水を黄河に引流する布局を形成している。三プロジェクトはそれぞれの地理条件と所在区域の標高により供水範囲と役割分担が異なり、相互に代替ができず補完の関係にある。三プロジェクトは南水北調プロジェクトの全体構成となっている。

南水北調西線プロジェクトは長江上流の主流と支流から黄河の上流に引水し、長江と黄河の両流域をまたがる巨大なプロジェクトである。西線プロジェクトは中国の黄河の渇水状況と西北地区の旱魃と渇水の状況を解決する重要な戦略措置である。

黄河上中流に位置する青海省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、陝西省、山西省の 6 省（自治区）は黄土高原、鄂爾多斯高原、内蒙古高原、青蔵高原の内陸地区に属し、ほとんど海洋性季節風からの影響を受けないため気候が乾燥で降水量が少ない。大部分の地区は年間平均降水量が 400mm 以下でしかも蒸発量が 1000mm 以上であり、産水係数は $8.7 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ しかなく全国平均数値の $1/3$ しかない。その中に寧夏回族自治区と内蒙古自治区は更に産水係数が少なくそれぞれ $1.9 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ と $4.4 \text{ 万 m}^3/\text{km}^2$ しかなく、中国における産水係数の一番少ない地区であり、旱魃地区または半旱魃地区に属する。黄河上中流の蘭州～三門峽までの黄河流域の陝西省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、山西省の一人平均の水量が 320 m^3 しかなく、黄河流域全体の一人平均水量 593 m^3 の 54% に相当し、中国全国の一人平均水量の 2600 m^3 の 12% に相当する。

水資源の過不足により水土流失と土地の荒漠化は進み、環境への汚染は深刻化していく。経済と人口と環境及び資源のアンバランスは長期化になり、自然災害の頻発要因となっている。旱魃年は農作物の大幅減産をもたらしただけでなく、都市の工業用水と生活用水、農村住民と家畜の飲用水も非常に困難である。気象部門が 1950 年～1974 年の災害性気候を分析した結果によると、この 25 年間に黄河上中流の黄土高原は旱魃が 17 回発生し、平均 1.5 年に 1 回旱魃に見舞われ、そのうち大旱魃が 9 回であり、平均 2.5 年に 1 回大旱魃に見舞われたと判明した。1965 年に陝西省北部と山西省西北部に大旱魃が発生し山西省の被災面積が 2600 万畝に達している。陝西省榆林地区の 1000 万畝の耕地がほぼ未収穫であった。水は人類の生存と発展にとって重要な資源であり、水があれば緑州があり、水がなければ土地が荒漠になる。これらの地区にとって水資源は重要な役割と特別な価値を有する。

黄河の上中流地区は独特な資源優位を有し、経済発展のいい条件に恵まれている。これらの地区は土地が広く耕地として開墾できる土地の面積は 2 億畝あり、中国の未開墾土地面積全体の 20%を占める。そして牧草地は約 20 億畝あり、中国牧草地全体面積の 45%を占める。これらの未開墾地は中国の潜在的な開墾可能な耕地である。これらの地区には光熱資源は豊富で希少な農作物と経済作物と希少な動植物がある。エネルギー資源は豊富であり、黄河の上中流地区には上流の水力発電のエネルギー源と、中流の石炭、石油、天然ガス等のエネルギー源を中心とするエネルギーの産業基地はほぼ形成している。鉱産物資源は非常に豊富で金、銀、銅、鉄、アルミ、ニッケルなどの金属鉱産物と非鉄鉱産物は中国において非常に重要な位置を占めている。地理的に中国の腹心地に位置し、通過貿易と国際市場への進出に有利である。これらは中国の 21 世紀の大規模的開発にとって重要な資源であり、中国の重工業、エネルギー産業、非鉄金属と黒色金属、化学産業、建材産業の重要な基地であり、そして中国の交通アクセスの中継地と観光地でもある。

中華人民共和国建国 50 年来、黄河上中流地域の社会経済は目覚ましい発展を遂げ、一定の経済的基盤が整え、技術的にも実力を持つようになってきている。しかし東部の発達地域と比較して経済発展の速度と水準はまだ相対的に低い。黄河上中流地域は漢民族、チベット族、回族、蒙古族等の多民族の集住地であり、気候が乾燥で土地が広い割に人口が少ない。そして交通と通信などのインフラ整備は遅れており、長期以来クローズの状態にあった。特に一部の地区は極貧地区に属し、立ち後れが目立つ。特にここ数年来、東西の差はますます拡大しつつある。

中国の経済発展の戦略目標は、今世紀末までに一人平均の GNP が 1980 年現在の 2 倍に、国民生活が小康水準に達し、2010 年に GNP が 2000 年の倍に達して 21 世紀の半ば頃に基本的に現代化を実現し、国民生活を豊かにすることである。中国共産党中央委員会はこの戦略目標を実現するために西部の発展を加速し、そして中西部の未発達地区を開墾し、少数民族の居住区、貧困地区の貧困脱却と裕福化及び経済発展への離陸を支援して東西の差を縮小する方向へ努力する方針を打ち出した。この方針は黄河上中流地区の発展を加速するためにいいチャンスを与えた。しかし経済を発展させるためには水資源が必要不可欠であり、水資源は西北地区の開発を加速するには特別な意義を持っている。

黄河は西北地区と華北地区の重要な水源地である。長年来、黄河の天然径流量が 580 億 m^3 である。1987 年に国務院は黄河水量の使用枠を配分した。砂を海に運ぶために必要な一定の水量以外に黄河の供水量は 370 億 m^3 しかない。現在黄河の水資源不足は非常に深刻な問題となっている。節水すれば水資源の利用度を高めることができるが、将来のことを考えれば、節水は限度がある。2030 年の不足水量は 150 億 m^3 だと予測している。全面的に節水してもこの深刻な水不足の状況を改善することができない。根本的な方法としては、豊富な長江水の一部を黄河へ引水して黄河の水不足分を補足することである。

南水北調西線プロジェクトは早くからも研究を重ねてきた。

1952 年に黄河水利委員会は通天河から黄河への引水案を検討しつつきてきた。1952 年 10 月、故毛沢東主席は黄河水利委員会の責任者から通天河の水を黄河に引水する構想を聞いた後に「南に水が多く北に水が少ないが可能であれば水を借りても悪くない。」と指示した。

1958 年～1961 年に水利部黄河水利委員会は、中国科学院などの部門の協力下で南水北

調西線プロジェクトの大掛りの探査を行い、怒江、瀾滄江、通天河、雅砻江及び大渡河などから黄河に引水する構想を提出した。1978年～1985年に黄河水利委員会は4回にわたって西線の探査を実施した。

1987年に中国国家計画委員会は、西線プロジェクトを「第7回5カ年計画」の超前期研究テーマとして計画し、研究を行った。その後「第8回5カ年計画」の継続計画に組み入れた。1995年（1996年まで延期）に南水北調西線プロジェクトの総合研究報告書の提出を要請した。10年間かかって超前期の研究を完成する企画である。主に比較的確実な基本資料をもとに西線引水工事の可能性と合理性の実証に重点を置いた。

この要請に従い、黄河水利委員会は探査、測量、企画、設計などに関する専門家と技術者を数百人動員して引水区と近隣地区の40万km²区域範囲で高海拔、寒冷気候、酸欠などの悪自然環境と戦いながら大規模な測量、地質探査、地震探査、水文気象、社会環境などの基礎調査を行った。

中国国家計画委員会は、西線を強化するため地質鉱産部、国家地震局、国家測量局、中国科学院、長江水利委員会、四川省国土局、国家計画委員会国土規劃研究所及び青海省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、陝西省、山西省の6省（自治区）の計画委員会と水利庁との共同作業を行った。共同作業の参加者は1000人にのぼり、実際に現場の探査と測量に携わった人数が500人にものぼった。

この10年間に通天河、雅砻江、大渡河の引水予定地での大量な探査と測量を完成した。具体的に航空撮影フィルム6.8万km²、1:5000、1:10000、1:50000の地形図5万km²、1:10000～1:100000の工事地質図1.8万km²、1:100000の地質遠隔検査図5.9万km²、1:500000の地質遠隔検査図14.6万km²、1:200000の区域地質調査5.6万km²、1:500000の区域地質構造調査39万km²、1:50000の地震基本震度確認図19万km²を完成した。これらの基礎作業の相当な部分は国家調査の空白を補った。西線プロジェクトのために基礎資料を提供しただけではなく長江の上流地区と西北地区の開発と建設にとって非常に有用な資料を提供した。

黄河水利委員会は1989年に「南水北調西線プロジェクトの初歩的研究報告書」を提出した。同報告書はこの30年間作業の成果をまとめ、引水予定地を明確した。通天河から100億m³、雅砻江と大渡河からそれぞれ50億m³、三河から合計200億m³を引水する案を提出し、次の段階の研究と企画に大枠を提示した。水利部はこの報告書をもとに「南水北調西線プロジェクト超前期作業任務書」を編成することに同意した。1992年9月に水利部は黄河水利委員会の「雅砻江引水プロジェクト計画研究報告書」を審査したうえ認可した。1995年下半期、通天河、雅砻江、大渡河から引水の企画と研究はほぼ完成し、まとめの段階に入り、総合報告書の作成に着手した。

1995年9月1日に水利部は国務院第71回総理弁公会議の紀要を通達し、「東線、中線、西線の案をともに検討すべくどの案も切り捨ててはいけない」という指示に従い、南水北調プロジェクトの実証を行うよう指示した。水利部は南水北調プロジェクトの東線、中線、西線の三工事の実証要綱を通達して実証の指導思想と基本原則及び主要内容を明確に指示した。

水利部は南水北調プロジェクト実証委員会を設立し、国内の専門家119名からなる専門家グループを構成して南水北調プロジェクトの西線プロジェクトに関する専門別の8部の

実証報告書に対する審査と論証を行った。1996年1月に国家計画委員会「国家南水北調プロジェクト審査委員会」に「南水北調西線プロジェクト論証報告書」を提出した。「国家南水北調プロジェクト審査委員会」は、1996年3月から6月まで同報告書に対して審査を行った。一連の論証と審査を通じて東線、中線、西線の三工事はそれぞれの供水範囲があり、相互に代替できず、相互に補完する関係にあり、北部の渇水問題を解決するためにこの三工事とも必要不可欠で実施しなければならないと判断した。南水北調プロジェクトの実施順としては中線、東線、西線だと決めた。専門家達は南水北調西線プロジェクトの前期作業を加速し、できれば短期間内に引水プロジェクトの企画を完成すると同時に間断なく第1期工事の feasibility study を行い、適時に工事開始の条件を整えなければならない」と指示した。

「南水北調西線プロジェクト論証報告書」をもとに、専門家達の論証と審査意見を集めて「南水北調西線プロジェクト総合企画研究報告書」を編成した。研究の結果、雅砻江長須～恰給弄（黄河支溝）の自然流下法案を前期開発案として推薦した。同案では年間引水量が45億 m^3 でダムの高さが175mで、輸水路全体が131kmのトンネルになっている。1995年第3四半期の価格水準で計算すれば、静態投資推定額は293.04億 m^3 元で平均投資額は6.5元/ m^3 である。

2010水平年に45億 m^3 の水を黄河に引水し、黄河受水区の経済利益から引水区の損失をマイナスして平均経済効果は2.5元/ m^3 である。

2030水平年に145億 m^3 の水を黄河に引水し、黄河の受水区の経済利益とから引水区の損失をマイナスして平均経済利益は3元/ m^3 である。

1. 供水の範囲と主目的

南水北調西線プロジェクトは長江上流の主流と支流の水を黄河の上流へ引流し、長江と黄河の両流域をまたがる巨大な工事である。このプロジェクトは黄河の水資源不足と中国の西北地区の旱魃と渇水状況を解決するための重要な戦略措置である。

南水北調西線プロジェクトは 40 年間にわたる研究に基づいてまとめた「黄河の治理開発計画」、「長江流域の総合利用計画」、1987 年の国家計画委員会の「南水北調西線プロジェクトの超前期作業に関する決定」、「南水北調プロジェクト論証要綱」はいずれも西線プロジェクトの供水範囲は西北地区だということは明白である。

供水の主目的は西北地区の渇水状況を解決し黄河の治理開発を促進することである。

供水の範囲は青海省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、陝西省、山西省等の 6 省（自治区）の渇水地区である。政府の統一指揮下に黄河の断流の頻繁発生の下流地区に適時に供水して燃眉の急を解決することである。

供水の対象は都市生活用水と工業用水及び農林牧畜業用水である。

2. 黄河及び受水区の水資源枯渇の現状

2.1. 黄河及び受水区の水資源の利用現状

2.1.1. 黄河の水資源の利用現状

黄河の主流域は全長 5464 kmで流域面積が 79.5 万km²である。西は青藏高原に位置し、北は砂漠と隣接し、南は長江流域と隣接し、東は黄淮海平原を通過する。

黄河の特徴のその 1 は、黄河流域の面積が上中流地区に集中し下流の数百キロの河床は地面の上にあることである。

黄河の特徴のその 2 は、黄河流域の大部分の地区が旱魃または半旱魃地区にあり、黄河の水が少なく砂が多いことである。

長年来、黄河の年間平均径流量は 580 億m³でその中に約 200 億m³の水量が砂を海に運ぶ水量であるため黄河の供水量が 370 億m³しかない。1987 年～1991 年に黄河の供水量は黄河径流量の 278～334 億m³、年平均 306 億m³をつかった。そのうち 1988 年～1990 年の年間平均使用量が 310 億m³である。回帰水量と河床の引水条件を考慮に入れば実際の使用量が 400 億m³を超え、河径流量の約 70%を占めた。国内と海外の大河の水資源の利用状況と比べれば水資源の開発利用は非常に高いレベルにあると言える。

入海の径流量をみると、利津水文観測所の年間平均径流量は 1950 年～1959 年に 480 億m³、1960 年～1969 年に 492 億m³で、1970 年～1979 年に 311 億m³、1980 年～1989 年に 286 億m³で、1990 年～1994 年に 184 億m³である。入海水量は低減の傾向を示している。

黄河の水量分布は期間的に、場所的に不均一である。中流の主流区間は貯水と引水の機能がなく工業と農業の用水が絶えず増加することによって水の需給が逼迫している。一部の地区は水源の危機に瀕し、特に 1972 年～1995 年間に 18 年間も黄河の下流に断流が発生した。

1991 年～1995 年に黄河下流は年々断流が発生し、累計断流日数は 357 日間であり、年平均 71 日間の断流があった。1995 年に黄河下流の利津河流域に 122 日間も続く断流が発生し、発生流域は上流の河南省にも及んだ。これは従来になかったことで、下流の工業生産と農業生産及び水環境に悪い影響を与えている。

2.1.2. 受水区の水資源利用現状についての分析

黄河の上中流に位置する青海省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、陝西省、山西省の 6 省（自治区）の黄河流域と関連の地区は受水区で、受水面積が 72.8 万km²である。

受水区の大部の年間降水量が 400 mm以下であり、しかも年内の各時期の降水量の分布も不均一である。一部の地区は「10 年に 9 年が旱魃」といわれる地区に属している。

1988 年～1993 年の「黄河用水公報」によると、黄河上流地区の年間の平均水消費量が 132 億m³に達し、黄河の水量使用分配枠を超えた。陝西省と山西省をまたがる黄河の北の

主流は地勢が高いうえ貯水と引水の機能に欠けるため通過水量の利用は困難であり、渇水量も同じ程度である。陝西省と山西省を流れる主要な支流である渭河と汾河の水の需給も逼迫している。1970 年以来渭河の華県水文観測所は毎年 4～6 月の最少流量が 1～2 m³/s しかなく汾河の中下流の渇水区はほぼ断流の状態にある。

受水区内の多くの都市は水源が不足して地下水も過剰採取の状態にある。例えば蘭州、銀川、包頭、太原、運城、西安、宝鷄等の都市には大小の地下漏斗を形成し、一部の地区は地面沈下がひどい。太原市は 100 mm 沈下した面積が 108 km²に達し、西安市は 50 mm 沈下の面積が 151 km²に達している。

受水区の需給をバランスする水量は 342.7 億m³であり、そのうちの 327.3 億m³（河径流量 257.3 億m³、地下水量 70.0 億m³）を供給することができるが、渇水量全体の 58%の 15.4 億m³が不足している。

2.2. 黄河及び受水区水資源の枯渇度に関する分析と予測

2010 年と 2030 年の二つの水平年に対して黄河流域の水資源開発と利用状況を予測する。

2.2.1. 予測の原則

(1) 黄河流域の経済発展の現状と黄河上中流と下流の流域の差異とバランスについての分析

(2) 国民経済全体の発展戦略と指導方針を国家の関連政策と結び付けて経済の成長率と人口の成長率を予測する。同時に西部地区の経済発展を加速させるために一定の時期において受水区の経済成長率は下流地区よりやや高いと予測している。

(3) 黄河流域の発展計画と 2010 年、2030 年の水力発電所の建設計画と結び付けて水供給の能力を高める。

(4) 技術の進歩と節水の措置を考慮して各業界の用水枠と用水量は減少傾向にある。

(5) 黄河流域以外の用水は国務院が規定した数値に基づいて考慮する。

2.2.2. 予測の方法

1990 年の黄河流域の人口数、工業と農業への供水と用水の現状を基に 2010 年と 2030 年の人口数と工業生産と農業生産の増加率と需水量及び流域以外への供水量を予測して水資源の需給のバランスを計算する。

黄河流域の関係指標：

①. 人口数

1990 年 10064 万人、2010 年 13019 万人、2030 年 14107 万人。

②. 工業総生産

1990 年 1328.3 億元、2010 年 7871.5 億元、2030 年 15912.7 億元。

③. 農地の灌漑面積

1990 年 8978 万畝、2010 年 11603 万畝、2030 年 12769 万畝。

④. 家畜数

1990 年 7683 万頭、2030 年 12341 万頭。

2.2.3.予測の結果

2010 年に、黄河流域と関連地区の不足水量が 69 億 m^3 であり、そのうち受水区の渇水が 41 億 m^3 である。

2030 年に、黄河流域と関連地区の不足水量が 154 億 m^3 であり、そのうち受水区の不足水量が 99 億 m^3 である。

需水量に関する予測は社会、経済、資源、環境など諸分野に関わっており、不確実な要素が多い。予測の結果、今後 30 年～40 年以内に黄河の水需給が逼迫し、水資源不足の状況は相当深刻なものだと判断している。

3. 引水区の概況

3.1. 地勢

南水北調西線プロジェクトは長江上流の通天河とその支流の雅砻江、大渡河の源から引水するプロジェクトである。

引水区は青蔵高原の東南部、北緯 31° 30′ ~ 35° 30′、東経 93° 00′ ~ 103° 30′ の範囲内にあり、面積が 47.6 万 km² で、工事に直接にかかわる面積は 29.1 万 km² である。バヤンカラ山は長江流域の区間と黄河流域の区間の分水嶺である。予定引水ダム、輸水路と動力用発電所はバヤンカラ山の両側にあり、工事に関わる地区は引水工事区という。

バヤンカラ山以北の黄河の地勢は海拔 3800~4600m にあり、バヤンカラ山以南の通天河、雅砻江、大渡河の地勢は海拔 3500~4500 m にある。バヤンカラ山の南側の長江水系の河床は北側の黄河の河床より 80~450m 高い。

3.2. 水文気象

3.2.1. 気候の特徴

(1) 太陽の輻射が強く年間の日照時間は 2500~2700 時間で太陽エネルギーは豊富である。四季の区別がなく通常冬半年（11 月から翌年 4 月まで）と夏半年（5 月から 10 月まで）と言われている。冬季が長く寒い夏が短く涼しい。平均気温は -4.9℃ ~ 3.3℃ である。通常、海拔が高くなるのに伴い、平均気温が下がり、海拔が 100m 高くなると、気温が 0.7℃ 低くなる。そしてその他の条件が同じであれば緯度が北に 1 度移動すると、平均気温が 1.2℃ 低くなる。

(2) 海拔が 3000~4500m の地区においては地面気圧は大体 600~700hpa であり、海上平面気圧の約 60% に相当する。空気中の酸素含有量は海上平面の 72~60% に相当し、海拔が 1000m 高くなると、酸素含有量が 10% 減少する。

(3) 引水地区の年間降水量は北から南へ、西から東へと漸増する。南部の年間降水量は 600 mm で、北からバヤンカラ山の南麓までは 500 mm となり、東部の大渡河の発源地は 700 mm で、更に西の通天河あたりは 500 mm となる。年間蒸発量が 1000 mm 以上である。

3.2.2. 暴雨と洪水

通天河流域、雅砻江、大渡河の上流地区に基本的に暴雨がなく泥石流もほとんど発生しない。河中の土砂量が少ない。

金沙江、雅砻江、大渡河の中下流の洪水は主に暴雨によるものである。洪水はピークが低く量が大きく経過期間が長いなどの特徴を有する。

3.3. 区域内の地質

南水北調西線プロジェクトの区域は、バヤンカラ山の東部と南部に位置する。青蔵高原の地質区に対して地質構造は活発な現代的活動は見られない。地殻は基本的に安定している。

工事区の岩質は主に三迭系浅変質砂岩と板岩が多く比較的硬質または硬質な岩石が多い。力学的性質は比較的優れている。局部には火成岩体には輝緑輝長岩と花崗閃長岩がある。

長年の凍土は高山の頂上部に限って発育しており、工事の中心地またはトンネルなどの建築物の安全に脅かすことはない。なお水文地質条件は相対的に単純である。総じて西線引水工事区内の地質条件は複雑ではあるが地質条件は相対的によく工事の安全性は保障されている。

予定引水ダムと輸水路は大体震度 7~8 の地震帯に位置している。

3.3.1. 主要工事の地質上の問題点

- (1) 区内の構造安定性
- (2) 活断層及び地震
- (3) 湧き水
- (4) 地応力と山はね
- (5) 高温地層
- (6) 凍土

3.3.2. 天然建築材

塊石が豊富であるが防滲土材が普遍的に不足している。

3.4. 社会と経済状況

3.4.1. 人口分布

引水工事区 47.6 万 km^2 範囲内の総人口数は 102 万人があり、平均 2.1 人/ km^2 であり、最少が 0.42 人/ km^2 である。チベット族が総人口数の 90%以上を占める。

3.4.2. 社会形態

チベット族はラマ教を信仰し、区内にチベット族のラマ教寺院が多い。宗教はチベット族の日常生産と生活に与える影響が大きい。

3.4.3. 経済状況

土地が広く土地資源が豊富で草地在り 31 万 km^2 で総面積の 66%を占める。経済は牧畜業を主としている。

県下町には小型の建材工場、農業機械修理工場、畜産品の加工工場などがある。各県にそれぞれ一つ以上の小型水力発電所がある。

探査を通じて初歩的に砂金、鉄、石炭、石膏などの埋蔵物があると判明した。

3.4.4. 交通

区内の交通手段は著しく立ち遅れている。現在区外へのアクセスは主に四川省～青海省、四川～チベット、青海省～チベットの国道に頼っている。自治州と県の間には道路でつながり、一部の県と郷の間に枝線の道路でつながっている。

以上で説明したように、西線引水工事区内は、以下のような特徴を有する。①.3000～4000 mの高海拔地に位置し、気候が寒冷で酸素が足りなく気圧が低い。②.人口が少なく平均 2.1 人/km²の人口密度である。交通が不便で経済と文化は立ち遅れている。③.少数民族の集中地であり、独自の宗教信仰と独特な習俗を有する。④.工業と農業の基礎が弱く水資源の利用度が低いため水資源開発の潜在的可能性が大きい。⑤.工事の地質条件としては有利と不利の条件がある。

4. 引水区からの可能な引水量

4.1. 引水河と引水ダム予定地の選定

可能な引水量と工事の規模は合理的な範囲内に抑えるべきで通天河歇馬～直門達、雅砻江宜牛～仁青里、大渡河灯塔～斜爾梁を重点に引水流域として計画と研究を進めている。黄河と対応する河床の距離は 100～160 km であり、可能な引水量はそれぞれ 50～100 億 m^3 と 30～50 億 m^3 と 20～50 億 m^3 である。三河の最大の合計引水量は 200 億 m^3 である。

4.2. 引水予定ダムの年間径流量

4.2.1. 年間径流量の推定値

引水河の下流に水文観測所がある。通天河直門達水文観測所は 1957 年から 1987 年まで 30 年間の実測データを保有している。雅砻江甘孜水文観測所は 1956 年から 1987 年まで 29 年間の実測データを保有している。大渡河足木足水文観測所は、1959 年から 1987 年まで 28 年間の実測データを保有している。

三水文観測所の時系列の実測水文データを利用して面積指数法により九つの予定引水ダムの年間流量を試算した（表 4-1）。

4.2.2. 参考となる水文実測データの照合

三水文観測所の実測データの信憑性を確認したうえで参考基準にするため、1992 年に黄河水利委員会は四川省水文水資源探查測定局と青海省水利水文所と共同で直門達、甘孜、足木足の三つの水文観測所に対して設立以来のすべての観測データを 1 年かかって照合を完了した。その結果、実測データは信頼できるデータであり、工事計画を作成する際に利用できるデータだという結論が出た。

4.2.3. 温波観測専門の水文観測所の設立

(1) 通天河の治家、同加、聯葉の 3 つの引水予定ダムの集水面積はそれぞれ直門達水文観測所の集水面積の 91%～95% を占めるため三引水予定ダムの径流量精度は許容誤差範囲内にあると判断している。

(2) 大渡河の斜爾梁ダム予定地の集水面積は足木足水文観測所の集水面積の 80% を占めている。ある程度の誤差があるかも知れないが、斜爾梁ダムの計画引水量は同引水予定ダムの経年平均径流量の 83% を占めるため推定径流量値の誤差は引水量に影響しない。

(3) 雅砻江温波と長須ダムの集水面積は、それぞれ甘孜集水面積の 60.4% と 67.2% を占める。1991 年黄河水利委員会は四川省水文水資源探查測定局に雅砻江の温波ダム建設予定地に専用の水文観測所の設置を依頼した。1992 年 1 月 1 日から水文観測を開始した。1992 年から 1994 年までの 3 年間の径流量の実測データによれば温波水文観測所の径流量の変

化は甘孜とほぼ一致だと判明した。

表 4-1 通天河・雅砻江・大渡河の各引水予定ダムの年間径流量

河名	ダム・水 文観測所	集水面積 (km ²)	経年平均径 流量 (億m ³)	C v	C s / C v	異なる周波数 P (%) の設計 年間径流量 (億m ³)					
						10	25	50	75	90	95
通 天 河	直門達	137704	124	0.28	2	170	147	120	98	81.8	73.2
	聯葉	130879	110	0.28	2	151	129	107	86.9	72.6	64.9
	同加	130120	109	0.28	2	149	128	106	86.1	71.9	64.3
	治家	125197	99.3	0.29	2	138	117	96.3	78.4	64.5	57.6
	歇馬	106683	68.5	0.3	2	95.9	81	66.4	53.4	43.8	38.4
雅 砻 江	甘孜	32935	88.4	0.19	2	110	99.4	87.5	76.9	68.2	62.8
	仁青里	25850	64.1	0.19	2	80.1	71.8	63.5	55.8	49.4	45.5
	長須	22110	52.1	0.19	2	65.1	58.4	51.6	45.3	40.1	37.0
	温波	19910	45.1	0.2	2	56.8	50.8	44.6	38.8	33.8	31.6
	宜牛	15000	31.1	0.2	2	39.2	35	30.8	26.7	23.3	21.8
大 渡 河	足木足	19896	75.4	0.15	2	90.5	82.7	74.6	69.7	61.1	58.1
	斜爾柔	15766	59.6	0.15	2	71.5	65.4	59.0	53.6	48.3	45.9

4.3. 引水河の水資源の利用

4.3.1. 水資源利用の現状

三河の水量は豊富である。経年平均径流量からみると、通天河直門達水文観測所は 124 億m³であるが、金沙江渡し場の水文観測所は 570 億m³があり、雅砻江の入り江は 604 億m³であり、大渡河銅子街水文観測所は 470 億m³である。

1990 年現在の用水状況をみると、雅砻江流域 10.7 億m³、通天河流域 3348 万m³、大渡河流域 7.5 億m³である。主要な用水地区は中下流、特に下流または入り江に集中している。

4.3.2. 推定需水量

(1) 雅砻江

1990 年 10.73 億m³、2010 年 19.21 億m³、2030 年 33.42 億m³。

(2) 通天河

1990 年 3348 万m³、2030 年 1.68 億m³。

(3) 大渡河

1990 年 7.5 億m³、2030 年 32.64 億m³。

4.3.3. 引水後の径流量の変化についての予測

三河の引水量は各河径流量に占める比率は小さく下流の水需要量は限られている。引水量に 2030 年の推定水需要量を加えると、河の水量は余り、通天河直門達水文観測所 22.31

億 m^3 、雅砻江 525.58 億 m^3 、大渡河 387.36 億 m^3 （表 4-2）の水量が余る。従って引水後の各河の径流量は基本的に変化がない。通天河の水量は直門達の径流量に占める比率が比較的に大きい、通天河の工業・農業用水が少ないう下流の渡し場の水文観測所に基本的に影響がない。

表 4-2 引水後の径流変化量推定

項目	河名	通天河	雅砻江	大渡河
経年平均径流量（億 m^3 ）		124	604	470
引水量（億 m^3 ）		100	45	50
河径流量に占める引水量の割合（％）		80.6	7.5	10.6
余った水量（億 m^3 ）		24	559	420
2010 年時点の需要水量（億 m^3 ）			(19.21)	
2030 年時点の需要水量（億 m^3 ）		1.69	33.42	32.64
2030 年時点の河道水量（億 m^3 ）		22.31	525.58	387.36

4.4. 可能な引水量

4.4.1. 可能な引水量

可能な引水量は、主に引水工事の規模、ダムのコントロール方式、引水ダム上流の用水量、ダムの水蒸発量と漏れ量及び引水が中下流に与える影響などを考慮して各引水予定ダムの可能な引水量（表 4-3）を試算した。計画の可能な引水量は通天河 55～100 億 m^3 、雅江 40～45 億 m^3 、大渡河 50 億 m^3 、合計で 145～195 億 m^3 である。最大の可能な引水量は 195 億 m^3 で研究段階に試算した 200 億 m^3 より 5 億 m^3 少ない。

4.4.2. 引水量がダム予定地の在来水量に占める比率

通天河からの引水量は 100 億 m^3 で同ダム予定地来水量の 92%を占める。雅砻江からの引水量は 45 億 m^3 で、長須ダムの在来水量の 86%を占める。大渡河からの引水量は 50 億 m^3 で、斜爾桑ダム予定地の来水量の 84%を占める。三河の引水量は引水ダムの在来水量の 80～92%を占める。

以上のことについて二つの「有限」と二つの「量が大きい」が言える。すなわち引水予定ダムの可能な引水量が有限だということ、ダム近くの下流の用水量が有限だということと言える。引水予定ダムからの可能な引水量は有限であることとはできるだけ北へ多く引水する必要があることを意味している。ダム予定地近くの下流の用水は有限であるとは、用水と環境の要素を考慮して引水ダム予定地で多く引水することによる影響は有限であることを意味している。そして二つの「量が大きい」ことは、西北地区の渇水量が大きくできるだけ多く引水すべきで三河の水量が大きく可能な引水量が大きいことを意味している。二つの「量が大きい」ことは中国全体の大局から着目していることであり、二つの「有限」とは具体案と可能性から考慮していることである。引水量が予定引水ダムの在来水量に占

める比率が大きいことは可能であり、合理である。

表 4-3 三河の各引水ダム予定地の可能な引水量

河名	引水 ダム 予定地	引水方法	経年平均 径流量 (億m ³) W	工事規模			損失量が 水量 (億m ³)	上流用水 量 (億m ³)	可能な 引水量 (億m ³)	計画可能 な引水量 (億m ³)	Wに占 める 計画引 水量 の比率 (%)
				ダム高さ (m)	ダム容量 (億m ³)	ダム面積 (km ²)					
通天河	聯葉	聯葉自然流下 法	110	348	324	336	2.68	1.05	106.27	100	91
	同加	同加聯合自然 流下法	109	302	324	400	2.73	1.03	105.24	100	92
	治家	治家ポンプ吸 い上げ法	99.3	190	239	350	2.35	0.90	96.05	90	91
	歌馬	歌馬自然流下 法	68.5	206	820	1400	11.67	0.48	56.35	55	80
雅孝江	長須	長須自然流下 法	52.1	175	134	255	2.46	0.42	49.22	45	86
		長須ポンプ吸 い上げ法	52.1	167	108	225	2.05	0.42	49.63	45	86
	温波	温波自然流下 法	45.1	152	184	328	2.41		42.69	40	89
大渡河	斜尔	斜尔柔ポンプ 吸い上げ法	59.6	296	90	99	0.71	0.62	58.27	50	84

5. 引水工事案

5.1. 引水線路

河流域の引水区間と黄河の地形条件と地質条件により初歩的に通天河、雅砻江、大渡河流域の 7 つの引水ダム予定地を選定し、規模と形の異なるいくつかの引水案を比較した。ポンプ吸い上げ法と自然流下法の 2 引水方式を選出した。

5.1.1. 自然流下法

(1). 通天河の歇馬～扎陵湖の自然流下法の区間（歇～扎線と略す）

歇馬ダム予定地は、海拔が 4160m でダムの高さが 206m である。歇馬ダムから引水する場合年間引水量は 55 億 m^3 で、黄河の扎陵湖口の上窟泥 4298m のところから黄河に入る。全長 183 km のうちトンネルが 181 km である。この引水区間は通天河より黄河に一番近く落差が小さい場所に設置しダムの高さが低く経路が短くてすむという特徴がある。ダムの容量と水面積が大きくそれぞれ 820 億 m^3 と 1400 km^2 であり、貯水時間が長く、蒸発損失量が大きい。

(2). 通天河の聯葉～建設の自然流下法の区間（聯～建線と略す）

聯葉ダム予定地は海拔が 3790m でダムの高さが 348m である。聯葉ダムからの年間 100 億 m^3 を引水して黄河ダム建設予定地の下流の 3997m のところから黄河に入る。区間全長は 268 km ですべてトンネルとなっている。これは直接に黄河に入る自然流下法の区間である。可能な引水量が大きく高いダムを建設する必要がある。トンネルの平均被りは 510m 位で段階別の施工は難しい。

(3). 通天河の同加～雅砻江～黄河の自然流下法の区間（同～雅～黄線と略す）

同加ダム予定地は海拔が 3860m でダムの高さが 302m である。同加ダムから年間 100 億 m^3 を引水し、最初に雅砻江長須ダム内に引水するがこの区間を同～雅区間という。長須ダムから黄河に引水する区間を雅～黄区間という。全長 289 km のうち同～雅区間が 158 km で雅～黄区間が 131 km ですべてはトンネルとなっている。この区間の可能な引水量が多く悪い地形と地質条件の地帯を避けられ、段階的に工事を進める条件が良い。しかし引水は雅砻江工事の前期開発を前提にしなければならない。そのうえ工事の全体規模が大きい。

(4). 雅砻江の温波～黄河の自然流下法の区間（温～黄線と略す）

温波ダムは海拔が 3890m でダムの高さが 152m である。温波ダムから引水して年間引 40 億 m^3 を引水して黄河の建設ダムの下流 3960m のところから黄河に入る。区間全長が 126.5 km のうちトンネルが 123m である。ダムの低い区間は短いが活動断裂帯を通過するためトンネルの局部は地震発生の恐れがある不安定区である。

(5). 雅砻江の長須～恰給弄の自然流下法の区間（長～恰線と略す）

長須ダム予定地は、海拔 3795m でダムの高さが 175m である。長須ダムから引水し、年間 45 億 m^3 を引水して黄河の恰給弄 3880m のところで黄河に入る。区間全長が 131 km で、すべてトンネルである。この区間は地形的に黄河に一番近く一番低いところを利用していためダムが低くてすみ、可能な引水量が大きく全体は安定またはほぼ安定の地区にある。

5.1.2.ポンプ吸い上げ法の区間

(1). 通天河の治家～多曲のポンプ吸い上げ法の区間（治～多線と略す）

治家ダムは海拔が 3990mでダムの高さが 190mである。治家ダムから引水し年間引水量が 90 億 m^3 である。黄河支流の多曲 4440mのところから黄河に入る。そこで 2 段のポンプハウスと揚程 447m、容量 252 万 kw の発電所を建設し、年間電力消費量は 124.6 億 m^3 kw · h の予定である。区間全長は 108 kmのうちトンネルが 104 kmであり、この区間の引水量が多く、工事の地質条件がいい。しかし海拔が高く建設と利用条件が悪い。

(2). 雅砻江の長須～達日河のポンプ吸い上げ法の区間（長～達線と略す）

長須ダムは海拔が 3795mでダムの高さが 167mである。長須ダムから引水し年間引水量が 45 億 m^3 である。黄河支流の達日河 4280mで黄河に入る。そこで 2 段のポンプハウスと揚程 416m、容量 127 万 kw の発電所を建設し、年間電力消費量は 61.4 億 m^3 kw · h の予定である。区間全長は 62 kmのうちトンネルが 60 kmである。ダムが低く、揚程が低く動力負荷が小さいという特徴があり、安定区域に属するが可能な引水量が少ない。

(3). 大渡河の斜爾柔～賈曲のポンプ吸い上げ法の区間（斜～賈線と略す）

斜爾柔ダムは、海拔 2920mで、ダムの高さが 296mである。斜爾柔ダムから引水し、年間引水量が 50 億 m^3 で、黄河支流の賈曲 3540mのところから黄河に入る。そこで 3 段のポンプハウスと揚程 458m、発電能力 125 万 kw の発電所を建設し、年間電力消費量 71 億 m^3 kw · h の予定である。区間全長は 30 kmのうちトンネルが 28.5 kmである。工事の地質条件が良く最長の開削距離は 12.8 kmで海拔が低く気候がよく施工と管理に有利である。引水に関する 8 案に関する特性指標を表 5-1 と表 5-2 を参照されたい。

表 5-1 自然流下法案の総合指標

項目	通天河			雅砻江	
	歌～扎	同～雅～黄	聯～建	温～黄	長～恰
引水ダム	歌馬	同加	聯葉	温波	長須
ダム水揚高度 (m)	4347.6	4116	4088	4010	3933
黄河に入る高度 (m)	4298	3880	3997	3960	3880
年間引水量 (億 m^3)	55	100	100	40	45
引水時期 (月)	10	10	10	10	10
最高ダム (m)	206	302	348	152	175
通常高水位 (m)	4356	4152	4128	4032	3960
通常高水位ダム貯水面積 (km 2)	1400	400	336	328	255
ダム合計容量 (億 m^3)	819.7	324.2	324.1	184	134
利用不能のダム容量 (億 m^3)	715	189	203.6	129	68
調節可能のダム容量 (億 m^3)	104.7	135.2	120.5	55	66
線路全長 (km)	183.1	288.9	267.9	126.5	131.0
トンネル全長 (km)	181	288.7	267.7	123	131
最長トンネルの長さ (km)	181	131	243.8	123	131
トンネルの型	円形	円形	円形	円形	円形
トンネルの直径 (m)	11.3	10.2	10.2	9.1	9.5
渡溝の長さ (km)		0.165			
露出溝の長さ (km)	2.1		0.19	3.5	
土石総量 (万 m^3)	8912.6	13505.9	11691.7	3235.2	5454.8
コンクリート総量 (万 m^3)	631.36	1213.25	1123.46	312.09	369.42
単位引水工事業	0.017	0.015	0.013	0.009	0.013

5.2 施工の地質条件

5.2.1 ダムの地質条件

(1) ダムの地層は主として三迭系、四迭系の地層である。岩層に属しているのは聯葉ダムのみで堅固な花崗閃長岩である。その他のダムは砂岩、板岩、砂板岩の相互層であり、岩体は堅固または半堅固の岩石に属し、ダム建設材としての一般の技術要求を満たすことができる。

(2) 河床の被覆層の厚さは比較的薄く 20m以下の被覆層が多く基礎の作業量が相対的に少ない。

(3) 傾斜の砂岩、板岩は、層状の岩層を成している。傾斜の角度は地面の傾斜度より大きいところが多く岸の傾斜とダムの基礎の滑り止めには有利である。

(4) 砂石、石の量が多く質も良いが防滲土材が不足している。

(5) 各ダムとも地震 7 度、8 度の区域にある。

(6) 地質、地形条件は 200m高さのダムの建設に適している。

(7) 地質面の問題点としては一部のダム建設地の断裂構造が複雑で褶曲がひどい。また一部のダムでは山梁が薄いため防滲の問題もある。

5.2.2. 沿線の地質条件

(1) 輸水路沿線の露出地層は主として三迭系と第四系である。岩性としては主に砂岩、板岩、砂板岩の相互層である。局部は花崗閃長岩と輝緑輝長岩体がある。

(2) 岩体の強度としては砂岩と板岩の耐圧強度は $600\sim 1000 \text{ km/cm}^2$ で変形係数は $5\sim 30 \times 10^4 \text{ km/cm}^2$ であり、堅固または半堅固の岩石類に属している。

(3) 輸水路の方向と区域応力軸の方向は一致に近いかまたは角度が小さい。全体的には輸水トンネルの囲岩は比較的優れた応力状態にある。

(4) 輸水トンネルは山体の基礎岩に深く埋められており、一番被りの深いところは 1000 mに達している。施工時に山はねが発生する恐れがある。砂岩と板岩の地層は険しい傾斜の層状岩石の硬質岩層に属しているため岩体全体は崩れる恐れがなく、安定性が良い。しかし岩層間の隙間は発達しているため岩体の多くは分断され、局部の岩体が不安定であることは避けられない。

(5) 輸水路の方向は断層の線形方向に大角度で交わっており、比較的短距離で主要な断層破碎帯を通過することができ、地下洞・室の囲岩に有利である。

(6) 輸水路の多くは地震の基本震度 7~8 区域内にあり、一部の輸水路は震度 9 の地域を通過する。

(7) 主な地質上の問題としては通過の大断裂帯が多く個別の断裂帯は新世の活動断裂帯たせということである。そして局部に湧き水、地熱、山はねが存在する可能性がある。

表 5-2 ポンプ吸い上げ案の総合指標

案 項目	案		
	通天河	雅砻江	大渡河
	治～多	長～達	斜～賈
引水ダム	治家	長須	斜爾
ダム水揚高度 (m)	4140	3920	3160
黄河に入る高度 (m)	4440	4280	3540
年間引水量 (億m ³)	90	45	50
引水時期 (月)	8	8	10
最高ダムの高さ (m)	90	167	296
通常高水位 (m)	4170	3952	3200
通常高水位ダム貯水面積 (km ²)	350	225	99
ダム合計容量 (億m ³)	238.5	108	90
利用不能のダム容量 (億m ³)	135	50	55
調節可能のダム容量 (億m ³)	103.5	58	35
水路全長 (km)	108.2	62.2	29.8
トンネル全長 (km)	104.2	60	28.5
最長トンネルの長さ (km)	30.3	26	12.8
トンネルの型	円形	城門穴型	城門穴型
トンネルの直径 (m)	10.9	7×10.5	7.2×9.04
渡溝の長さ (km)	2.52	1	0.36
露出溝の長さ (km)	1.44	1.2	0.9
ポンプ吸い上げ設計水揚高度 (m)	447	416	458.2
発電設備容量 (万kW)	251.8	127	125.4
年間電力消費量 (万kW・h)	124.6	61.4	71.02
土石総量 (万m ³)	3823.2	4826.3	4657.4
コンクリート総量 (万m ³)	369.84	285.05	139.14
単位工事量	0.005	0.011	0.01
単位電力消費量 (万kW・h/m ³)	1.38	36	1.42

5.3.工事量と投資推定予算額

5.3.1.工事量

工事の大枠の設定及び各案のデータに基づいて各引水案の工事量を算出し、そしてそれに基づいて投資額を推定する。各案の工事量は表 5-3 で示す。

段階別の作業計画と工事区の実況状況によりデータ分析と計算及び実地のサンプリング調査を結び付ける方法で各案のダム建設を伴う水没物のリストを表 5-4 で示す。

表 5-3 引水案別の引水量

案 項目	通天河				雅砻江			大渡河
	歌～扎	治～多	同～雅～黄	聯～建	温～黄	長～達	長～恰	斜～賈
工事土量 (万m ³)	666.01	318.28	502.51	555.44	255.52	474.36	359.42	344.75
石工事量 (万m ³)	557.98	282.22	219.06	206.79	254.01	490.28	281.40	473.26
トンネル採掘石量 (万m ³)	2295.97	1253.47	5770.24	5485.25	1031.08	594.54	1207.89	260.46
量石工事量 (万m ³)	5392.62	1969.21	7014.09	5444.26	1694.60	3267.16	3606.13	3578.94
流し込みコンクリートの使用量 (万m ³)	41.49	64.72	45.13	27.06	49.52	123.12	83.51	65.06
セグメントのコンクリート使用量 (万m ³)	589.87	305.12	1168.20	1096.4	262.57	161.92	258.91	74.08
鉄筋使用量 (万t)	22.80	13.10	50.34	46.31	12.42	12.80	16.19	8.83
金属構造 (t)	1447	7061	3587	2599	1152	8219	1061	21159
機械電機設備 (t)		36344				10610		11985

表 5-4 引水案別の水没物リスト

N o.	案 別 項 目	通天河				雅 砦 江				大渡河
		歇～扎 自然流 下法	治～多 ポンプ 吸い上 げ法	同～雅～黄 自然流下法	聯～建 自然流 下法	温～黄 自然流下 法	長～恰 自然流 下法	長～黄 自然流 下法	長～達 ポンプ 吸い上 げ法	斜～賈 ポンプ吸 い上げ法
一	通常貯水水位 (m)	4356	4170	4152	4128	4032	3960	4022	3952	3200
二	遷移人口数 (人)	751	382	671	1752	5480	2279	6600	2279	1496
三	利用可能な土地 (万 k m ²)									
1	草場 (万 k m ²)	1060	303.6	367.9	333.3	256	192	394	172	23.6
2	山林 (万 k m ²)	/	0.6	8.9	8.4		/	/	/	71.8
3	耕地 (万 k m ²)	/	/	/	3.1	/	/	/	/	3.6
四	家屋 (軒)	294	543	1304	165.9	/	670	1420	470	801
五	主要道路 (km)					730				
1	簡易道路 (km)	0	27	81.5	68.5		5	45	2	0
2	土路 (km)	32	64	58	47	34	62	125	60	168
六	橋梁 (脚)	0	2	3	4	90	3	8	3	41
七	電話線 (km)	0	45	40	0	7	48	135	41	19
八	小型水力発電所 (基)					130				
1	発電所設備容量 (KW)		100							
2	送電線 (km)		10							
九	寺院									
1	軒数	0	0	3	4	4	5	7	4	6
2	寺院名			酒当貢巴	夏永貢巴	宜牛寺	温波寺	温波寺	温波寺	中安寺
				夏日貢巴	酒档貢巴	直岬寺	熱納寺	熱納寺	熱納寺	日格達寺
				巴干貢巴	夏日貢巴	蒙沙貢巴	則慶寺	洞果貢巴	塔爾木寺	
					巴干貢巴	塔須寺	直岬寺	直岬寺	則慶寺	梁門提寺
								蒙沙貢巴		安木做
								塔須寺		湊德隆窪寺
								則慶寺		

5.3.2. 投資推定予算額

計算規定に従い、1995 年下半期の価格水準を基準にし、そして成都市の主要建築材の市場価格に基づいて運賃、雑費、保険などの諸費も計算に加える。その他の材料は同期の価格水準を参考する。投資推定額は表 5-5 で示す。

8 案の静態投資額は 254.05～1020.97 億円で、年間引水量と結びつけて計算すると、平均投資額は 5.08～10.21/元m³である (表 5-6)。

5.4. 工事案に対する評価

通天河について最初に 4 案が出た。歇～扎線は海拔が高く可能な引水量が少ない。治～多線はポンプ吸い上げで行う場合電力使用量が大きいという運営管理上の問題は比較的が多い。聯～建線はダムが高く沿線の地質条件と施工条件が比較的が悪い。比較した結果同～雅～黄線は可能な引水量が多く、沿線の地質条件と施工条件が比較的に好いという結論が出た。

雅砦江については、最初に 3 案が出た。温～黄線は可能な引水量が少なく震度 9 度位の

高地震度の地区を通過する。長～達線はポンプ吸い上げ式ではあるが電力供給及び運営管理上の問題がある。長～恰線は可能な引水量が多く地質条件と施工条件が好い。

大渡河については斜～賈線だけである。

総合的に分析して通天河の同～雅～黄線の自然流下法と雅砻江の長～恰の自然流下法と大渡河の斜～賈のポンプ吸い上げ法は三河を代表するだと判断した。

表 5-5 南水北調西線プロジェクト推定投資額

項目	通天河				雅砻江			大渡河
	同～雅～黄 自然流下法	聯～建 自然流下法	治～多 ポンプ吸 い上げ法	歇～札 自然流下 法	長～達 ポンプ吸 い上げ法	長～恰 自然流下法	温～黄 自然流下法	
第1部分 建設工事	5098343	5177023	1265680	931632	1260458	1049226	600763	
第2部分 機械電気設備と 据え付け工事	3000	3000	271316	3000	122018	3000	3000	138011
第3部分 金属構造設備据え 付け工事	6824	4904	10957	2848	13053	2060	2276	32356
第4部分 仮設工事	936658	953728	247647	395982	272656	535606	532691	134941
第5部分 水没補償費	4452	4827	3439	6016	2094	2735	7648	4556
第6部分 その他の費用	3214023	3138032	828822	1646716	610432	860149	730183	344365
1～6部分合計	9263300	9281514	2627862	4666229	1951885	2664008	2325024	1254992
基本準備費	926330	928151	262786	466623	195189	266401	232502	125499
静態総投資総額	10189630	10209665	2890648	5135852	2147074	2930409	2557526	1380491
ポンプ吸い上げ式の動力発電 所投資額			2335000		1212000			1160000
動力用発電所込静態総投資額			5225648		3359074			2540491

表 5-6 静態投資額と引水量

河名	案別	投資額 (億円)	年間引水量 (億m ³)	m ³ 当たり投資額 (円)
通天河	同～雅～黄自然流下法	1018.96	100	10.18
	聯～建自然流下法	1020.97	100	10.21
	歇～札自然流下法	513.29	55	9.33
	治～多ポンプ吸い上げ法	522.56	90	5.81
雅砻江	長～恰自然流下法	293.04	45	6.51
	温～黄自然流下法	255.75	40	6.39
	長～達ポンプ吸い上げ法	335.91	45	7.47
大渡河	斜～賈ポンプ吸い上げ法	254.05	50	5.08

5.5. 引水・貯水工事

黄河の龍羊峽ダムと劉家峽ダムと大柳樹ダムは相当な引水と貯水の能力を有する。龍羊峽ダムの上流で引水・貯水ダムを建設する可能な場所がある。45 億m³立方、100 億m³立方の場合まず龍羊峽ダムと劉家峽ダムと大柳樹ダムを利用して引水と貯水ができるが引水量が100 億m³立方を超えると、これらのダムは満足できるか否かは更に検討する必要がある。出来ないと判断する場合新しい引水・貯水ダムの建設は必要である。従って西線プロジェクトの引水と貯水の問題は解決できると言えよう。

5.6 小結

(1) 工事案

通天河、雅砻江、大渡河の三河の数多くの引水案から比較的によい引水案 8 案は上がった。そのうち通天河については 4 案、雅砻江については 3 案、大渡河については 1 案である。また引水方式については自然流下法 5 案、ポンプ吸い上げ法 3 案である。三河の代表的な案としては通天河の同～雅～黄の自然流下法、雅砻江の長～恰の自然流下法、大渡河の斜～賈ポンプ吸い上げ法の 3 案を選定した。

(2) 長トンネル工事の布局

雅砻江の長～恰の自然流下法を代表とする。輸水トンネルは 131 km でバヤンカラ山を通過する場合最大の被りが約 1000m で最小が 40m である。初歩的に 15 の立て坑を考慮しており、合計深さは 5530m で最深の立て坑が 480m である。8 つの支洞があり、全長 16.7 km で最長が 2600m である。支洞の間隔は 5～20 km で、最大間隔は 28 km である。

(3) 高海拔と寒冷地区における被りの深い長トンネルとダム建設の技術可能性

中国国内と海外の資料によれば酸欠の寒冷地区においてダムの建設条件が特に困難であるにも関わらず、コンクリートプレート表面の石積み式のダムの建設は技術的には可能である。そして 200m 以上または 300m までのコンクリートプレート表面の石積み式のダムはまだ前例がなく何とも言えないが一部の重大な技術問題を検討する必要がある。明らかにダムの形も比較してみる必要がある。

長トンネルの施工技術の進歩が速いもので現在の科学技術のレベルと将来の発展方向からみれば、長トンネルの施工は技術的に可能である。しかし 100 km 位のトンネルは当今世界で最長のトンネルで施工は難しい。従って地質探査と研究の進展に伴い、輸水の最適な線路を選出してトンネルの採掘距離を短縮しなければならない。

(4) 引水・貯水工事

45 億 m^3 と 100 億 m^3 を黄河に引水し、黄河流域の現有のダムで引水と貯水を行うことができる。しかし 100 億 m^3 以上を黄河に引水する場合現有のダムでの引水と貯水ができるか否かは再検討する必要がある。新しい引水と貯水ダムを建設する場合、龍羊峽ダムの上流でダム建設予定地を選べばいい。

(5) 所要投資額

1995 年の価格水準で計算する場合 8 案の投資額は 254 億元～1020 億元であり、 m^3 あたりの投資額は 5.08 元～10.21 元である。

6. 環境に与える影響

6.1. 引水区の自然環境への影響

総合的な分析では、引水後区内の気候を局部に改善し、区内の人口の生存条件と土地の開発条件を改善する利点がある。しかしダム建設は人口の遷移を伴うもので、特に少数民族の人口の遷移に慎重に対応しなければならない。そして引水後のダム下流の径流量は減少し下流の水質と水生物等に一定の影響を与える。

6.2. 受水区の自然環境への影響

6.2.1. 受水区の乾燥な自然環境

農作物の生長に必要とする 80%保証率の年間降水量を主要指標とし、この降水量と対応する乾燥度を補助指標として黄河流域の乾燥度について早魃区、半早魃区、半湿やや早魃区、半早魃区、半湿やや乾燥区、半湿区の 5 区域に区分する（表 6-1）。これによると、黄河上中流の 6 省（自治区）の大部は早魃と半早魃区に属することが分かる。

表 6-1 黄河流域の農地の早魃度区分

類別	区 分	主要指標	補助指標
		80%保証率の年間降水量 (mm)	乾燥度
I	早魃区	<200	>3.5
II	半早魃区やや早魃区	200~250	3.0~3.49
III	半早魃区	250~400	1.6~2.99
IV	半湿区やや早魃区	400~500	1.3~1.59
V	半湿区	500~600	1.0~1.29

6.2.2. 受水区の自然環境への影響

分析では西線から早魃と半早魃区に引水すると、受水区の自然環境の改善効果は明らかである。

- (1) 引水後、植被が増え、農業の生態環境が改善できる。
 - ① 植物の成長と地表植被の増加に有利であり、農業の生態環境の改善に有利である。
 - ② 森林の被覆率が高まる。
 - ③ 土壌の有機物が増える。
- (2) 引水による環境の改善効果と河治理の向上効果
 - ① 水土の保持に利し治理は強化する。
 - ② 土地の砂漠化に歯止めがかけられる。
 - ③ 自然災害の発生は少なくなる。
 - ④ 河の径流量が増え、水環境は改善する。

6.3. 引水河の中下流の環境への影響

6.3.1. 水力発電への影響

長江流域の水力発電資源は非常に豊富である。理論値で計算した潜在的発電能力は 2.68 億 KW である。開発可能な水力資源は 1.97 億 KW で、年間発電量が 1 億 274 万 KW・h である。

「長江流域総合利用計画要点報告書」によると、三河の主流から長江葛洲ダムまで階段式の中枢発電所 69 所を建設する予定で、発電設備のり合計容量は 1.3 億 KW で、年間発電量は 6800 万 KW・h である。

69 の階段式の発電所には雅砻江の二灘ダム、大渡河の~~怒~~咀ダム、銅街子ダム、長江主流の三峡ダム、葛洲ダムの 5 発電所が建設中である。

2010 年に雅 江から 45 億 m^3 を引水する場合、建設中の二灘と三峡及び葛洲ダムの 3 ダムに影響する。建設予定中のダムは雅砻江の錦屏Ⅱ級、桐子林、金沙江の溪落渡の 6 の階段式の発電所の総容量は 3853.5 万 KW・h である。

2030 年に完成予定の階段式の発電所は、雅砻江両河口～桐子林の区間に 11 所、大渡河に 6 所、金沙江と長江主流に 8 所がある。上記 25 の階段式の発電所の総容量は 8721.5 万 KW・h である。

長期計画では 2050 年に引水区域内の 69 の階段式の発電所はすべて完成する予定である。現在 2010 年と 2030 年の中期、長期（2050 年）までの全体計画として主流域に建設する予定の階段式ダムの引水能力は以下の通りである。

2010 年まで先行開発の雅砻江から 45 億 m^3 を引水し、発電容量の損失が 105.6 万 KW で、保証出力損失が 51.3 万 KW で、年間発電量損失が 51.7 億 KW・h である。それぞれ引水前の 2.7%、2.9%、2.4%を占める。

2030 年まで、三河から 195 億 m^3 を引水し、発電容量の損失が 670.72 万 KW で、保証出力損失が 310.9 万 KW で、年間発電量損失が 442 億 KW・h である。それぞれ引水前の 7.7%、7.6%、9.1%を占める。

2050 年まで、引水ダム下流の階段式の発電所はすべて完成し、195 億 m^3 を引水し、発電容量の損失が 1838.87 万 KW で、保証出力損失が 844.1 万 KW で、年間発電量損失が 1154.77 億 KW・h である。それぞれ引水前の 14.0%、13.7%、15.7%を占める。

引水後長江流域の階段式の発電所に与える影響についての分析は長江流域に階段式の発電所の建設を仮定したうえの分析で、ダムの指標と運営方式が一定だという仮定下の計算である。従って如何に不利の要素を克服し、有効な措置をとるかは更に検討する必要がある。

6.3.2. 工業用水と農業用水への影響

45 億 m^3 、100 億 m^3 、145 億 m^3 、195 億 m^3 をそれぞれ引水する場合、宜賓近くの李庄水文観測所の年間径流量 2300 億 m^3 の 2.0%、4.3%、6.3%、8.5%を占める。現在も将来も長江主流の李庄からの下流域の工業用水と農業用水への供給は影響が少ない。李庄から上流の渡し場から宜賓までの流域で西線プロジェクトを実施し、145 億 m^3 を引水する場合、

河の年間径流量はなお 1200 億 m^3 がある。同地区の今後の需水量は 200 億 m^3 を上回ることがなく、しかも需水量の多くは支流にあるため、主流流域の径流量は十分に流域沿岸の需水量を満足することができる。引水は同流域の工業用水と農業用水に影響がないという結論が出た。

6.3.3. 木材漂流への影響

(1) 金沙江

石鼓、巧家の両断面から引水後木材の年間漂流量を下回るのは 1 年間でそれ以外は計画漂流量を満足することができる。

(2) 雅砻江

雅砻江の下流の木材漂流に影響しないが、雅砻江の上流の沙堆～妥坝溝流域については 29 年間に 13 年間に影響する。年間影響量は 0.1 万 m^3 から 8.9 万 m^3 までで、沙堆の年間計画漂流量の 15.2 万 m^3 の 0.7%～58.6%を占める。

妥坝溝～雅江溝流域については、29 年間に 2 年間の影響がある。年間影響量が 0.2 万 m^3 ～1.7 万 m^3 で、妥坝溝の年間計画漂流量の 34.2 万 m^3 の 0.6%～5.0%を占める。

(3) 大渡河

足木足から下流の木材漂流に影響がないが、足木足流域の漂流に与える影響が大きい。そのうち木爾甲溝口～俊磨入り江 83km の区間に木材の正常漂流ができなくなり、木材の輸送方法を別途に考えなければならない。

これらの分析によると、引水後の数年間に流域の木材漂流に一定の影響があり、特に大渡河の源の足木足から上流の 83km の区間に影響が大きく、別途に運輸方法を講じる必要がある。

6.3.4. 水運への影響

総合分析の結果引水は下流の水路運輸に影響がない。下流に行けば行くほど天然径流量が多くなり、そして水力発電所の建設に伴い、径流量の調節ができるため水路運輸に影響がない。

以上の分析で判明できるように、引水は引水ダムから下流の階段式の発電所に一定の影響がある。雅砻江から 45 億 m^3 を引水する場合、2010 年に完成予定の 6 の階段式の発電所に影響し、発電設備容量の損失が 105.6 万 KW で、保証出力の損失が 51.3 万 KW で、年間発電量損失が 51.7 億 KW であり、それぞれ引水前の 2.7%、2.9%、2.4%を占める。2030 年に完成予定の 25 の階段式の発電所に影響し、発電設備容量の損失が 670.72 万 KW で、保証出力の損失が 310.9 万 KW で、年間発電量損失が 442 億 KW であり、それぞれ引水前の 7.7%、7.6%、9.1%を占める。

2030 年に下流の工業と農業の需水量が河流域の径流量に占める量が少なく引水は工業用水と農業用水に基本的に影響しないと分析している。

2030 年に引水によって流域のいくつかの区間に木材漂流量に一定の影響を与える。

2030 年に三峡等の階段式水力発電所の完成に伴い、引水による水路運輸への影響がなくなると分析している。

引水は早魃と半早魃地区の生態環境が改善でき、明らかな環境効果がある。

7. 国民経済効果についての評価環境

計画に基づき、西線プロジェクトの代表的な工事案に対して初歩的に国民経済効果評価を行った。

7.1 評価案と評価方法

7.1.1. 評価案

国民経済効果評価案は代表 3 案を基本案とし、そして 2030 年を設計水平年として西北部の経済発展に伴う引水工事の逼迫度を考慮して引水量 45 億 m^3 の 2010 年を一番近い水平年とする。

7.1.2. 主要なデータと根拠

国民経済評価は主に国家計画委員会と建設部が 1993 年に交付した「建設工事の経済評価方法とデータ」（以下、「方法とデータ」と略す）、水利部が 1994 年に公布した「水利建設工事の経済評価規範」（以下、規範と略す）等の技術処理の諸規定に従う。

利用する主要なデータ：

(1) 価格と価格水準

「方法とデータ」に従い、工事費と工事の経済効果は一律に「影価格」を利用し、1995 年第 3 四半期の価格水準に依拠する。

(2) 社会現金換算率を 12%とする。

(3) 計算の対象期間

工事期については長～恰自然流下法案を 9 年とし、斜～費ポンプ吸い上げ法を 12 年とし、同～雅～黄の自然流下法案を 14 年とする。主工事の運営期間を 50 年間とする。そのうち運営初年度の工事の経済効果を 50%、2 年目から 6 年まで毎年 10%を遡増し、6 年目に経済効果の設計値に達し、正常運営期に入ると仮定する。

(4) 計算の基準年と基準点

計算の基準年は工事の第 1 年として基準点は第 1 年の年初とする。

表 7.1 年間経済効果値各案比較

年次	案別	灌漑効果 (億元)	都市供水効果 (億元)	発電効果 (億元)	合計 (億元)	総合単位経済効果 (元/ m^3)
2010 年水平年	45 億 m^3	26.21	69.68	43.47	139.36	3.10
2030 年水平年	45 億 m^3	29.58	139.30	43.52	212.40	4.72
	50 億 m^3	34.49	148.03	46.92	229.44	4.59
	145 億 m^3	126.11	361.64	128.97	616.72	4.25

7.2. 受水区の経済効果

引水は受水区にもたらす経済利益は主に農業灌漑用水の増加と都市工業用水と生活用水の増加と黄河流域の階段式の発電所の発電能力の増強等である。45 億 m^3 を引水する場合生活用水 25 億 m^3 、農業用水 20 億 m^3 であり、それぞれ引水量の 55.6%と 44.4%を占める。50 億 m^3 を引水する場合、生活用水が 27 億 m^3 で、農業用水が 23 億 m^3 で、それぞれ引水量の 54%と 46%を占める。145 億 m^3 を引水する場合、生活用水が 65.4%、農業用水が 79.6 億 m^3 であり、それぞれ 45%と 55%を占める。引水による灌漑用水と都市用水及び発電能力の増加の経済効果についての各案の数値は表 7-1 に示している。

2010 年に、45 億 m^3 を黄河に引水する場合、灌漑増益が 26.21 億元で、都市用水増益が 69.68 億元で発電増益が 43.47 億元で、合計 139.36 億元の増益であり、平均 m^3 増益が 3.10 元である。

2030 年に、145 億 m^3 を黄河に引水する場合、灌漑増益が 126.11 億元で、都市用水増益が 361.64 億元で、発電増益が 128.97 億元で、合計 616.72 億元の増益であり、平均 m^3 当たり増益が 4.25 元である。

7.3. 引水区の経済損失

2010 年に、長江の主流と支流の建設済みと建設中の発電所は長江の主流に 3 所と、雅 江の主流に 3 所がある。2030 年に、長江主流の建設済みと建設中の発電所は長江の主流に 8 所と、雅 江の主流に 11 所と、大渡河主流に 5 所がある。

2010 年に、引水 45 億 m^3 の場合、保証出力の損失量が 51.3 万KWで、発電損失量が 51.7 億KW・hである。

2030 年に、引水 145 億 m^3 の場合、保証出力の損失量が 282.0 万KWで、発電損失量が 370.6 億KW・hである。

定量で計算できる引水後の経済損失は、階段式発電損失と木材漂流の経済損失がある。

発電損失量を代替費用法で計算する場合、西北の石炭基地に坑口発電所を建設して長江の上流に送電する代替工事の年間発電損失と換算したものである。

木材漂流の損失額については、漂流できなくなる木材をトラックに積んで陸運によって下流の漂流場所まで運び、再び河に入れて漂流する方法の場合、道路の改築工事費、運送手段の確立、再び河に入れて漂流するまでの人件費等を年間経費と年間運営費に換算して漂流の年間損失額を計算する。

これらの方法で計算した年間経済損失値は表 7-2 で示す。

表 7-2 案別の経済損失額の明細

年次	案別	発電年間損失額 (億円)	木材漂流年間損失額 (億円)	合計 (億円)
2010 年水平年	45 億m ³	24.49	0.32	24.81
2030 年水平年	45 億m ³	74.05	0.32	74.37
	50 億m ³	23.60	0.21	23.81
	145 億m ³	141.53	0.32	141.85

2010 年に、45 億m³を黄河に引水する場合、発電損失が 24.49 億円で、木材漂流損失が 0.32 億円で、合計 24.81 億円である。

2030 年に、145 億m³を黄河に引水する場合、発電損失が 141.53 億円で、木材漂流損失が 0.32 億円で、合計 141.85 億円である。

7.4. 引水工事の総費用

引水工事の総費用は工事投資費と年間運営費と更新改造費を含む。工事投資費には主工事とポンプ吸い上げ法の動力用電力と関連工事投資費を含む。工事投資額は表 7-3 に示している。

表 7-3 投資額明細表 (単位：億円)

年次	案別	主工事	ポンプ 電源	サブ工事			合 計
				灌漑工事	都市工事	小計	
2010 水平年	45 億m ³	263.44		66.04	107.0	173.04	436.48
2030 水平年	45 億m ³	263.44		68.44	132.0	200.44	463.88
	50 億m ³	125.89	108.5	79.12	142.0	221.12	455.51
	145 億m ³	1180.5		296.3	348.5	644.80	1825.30

2010 年に、45 億m³を引水する場合、主工事投資額が 263.44 億円、関連工事投資額が 173.04 億円、合計 436.48 億円である。

2030 年に、145 億m³を引水する場合、主工事投資額が 1180.50 億円で、関連工事投資額が 644.8 億円で、合計 1825.3 億円である。

年間運営費は主工事と関連工事別に計算している。主工事の年間運営費は投資比率または分析計算によって計算する。関連工事の運営費は関連工事投資額の 2%で計算する。

設備更新改造費は主に金属構造と機械電気設備を含むが、更新改造は工事の第 26 年目から計算する。

2010 年に 45 億m³を引水する場合、設備更新改造費 0.496 億円、2030 年に 145 億m³を引水する場合、設備更新改造費 1.46 億円と計算している。

7.5. 国民経済評価

7.5.1. 国民経済評価指標

経済効果と経済損失と所要費用に関する各案の計算に基づき、案別の国民経済評価の主要指標を表 7-4 で示す。

表 7.4 国民経済評価指標

年次	案別	内部経済収益率 (%)	現金換算値 (億元)	経済効果費用比
2010 水平年	45 億m ³	14.28	63.52	1.27
2030 水平年	45 億m ³	14.99	92.30	1.37
	50 億m ³	19.63	192.49	2.00
	145 億m ³	12.95	52.15	1.11

上記の国民経済評価指標を見れば、工事の経済内部収益率は、2010 年に、45 億m³を引水する場合、14.28%で、2030 年に 145 億m³を引水する場合、12.95%である。共に政府規定の社会現金換算率 12%より多い。経済の正味価値はゼロより大きく、経済効果費用比は 1 より大きい。従って西線プロジェクトは国民経済効果があり、経済的に合理だと説明できる。

7.5.2. 感度分析

評価指標に対して不確実な要素の影響を分析するために以下の要素を仮定して計算結果に与える影響を計算した。

- (1) 投資の増加 10%
- (2) 経済効果の減少 10%
- (3) 設計規模に達する時間が 10 年遅れる。
- (4) 投資の増加、且つ経済効果の減少を双方向 10%フロート。

感度分析の結果 45 億m³、50 億m³を引水する案はまだ経済にプラスの効果があるが、145 億m³を引水する案は、内部収益率は 12%より低いが、11.1%~11.96%があり、一定のリスク回避能力があるとの計算結果が得られる。

7.5.3. まとめ

上記の各分析と各計算をまとめて、2010 年に 45 億m³を引水すると、2030 年に 145 億m³を引水する場合引水区の経済損失額と受水区の経済効果値の計算は下記の通りになる。

2010 年引水 45 億m³の経済効果値：

年間農業灌漑用水増加の経済効果（灌漑面積 432 万畝増）	26.21 億元
年間都市生活用水と工業用水増加の経済効果	69.68 億元

年間発電量増加の経済効果	
（保証出力 120 万 kw 増、発電量 102.8 億 kw ・ h）	43.47 億元
合計年間経済効果値	139.36 億元
2010 年 45 億m ³ を引水する場合の定量可能な経済損失値：	
年間発電量損失量が	
（保証出力損失 51.3 kw 増、発電量損失 51.7 億 kw ・ h）	24.49 億元
年間木材漂流不能による損失	0.32 億元
合計年間経済損失	24.81 億元

上記の数字により黄河の発電収益が引水区の発電損失より大きいことは、2010 年に黄河に建設済みの階段式の水力発電所及びダムの水量調節能力と貯水能力が長江より大きいためである。

2010 年に、経済効果 139.36 億元／年から経済損失 24.81 億元／年をマイナスすれば 114.55 億元／年となり、平均m³の長江水を黄河に引水する年間経済効果は 2.55 元/m³である。

2030 年 145 億m ³ を引水する場合の経済効果値：	
年間農業灌漑用水増加の経済効果（灌漑面積 1921 万畝増）	126.11 億元
年間都市生活用水と工業用水増加の経済効果	361.64 億元
年間発電量増加の経済効果	
（保証出力 350 万 kw 増、発電量 309.91 億 kw ・ h）	128.97 億元
合計年間経済効果値	616.72 億元
2030 年 145 億m ³ を引水する場合の定量可能な経済損失値：	
年間発電量損失	
（保証出力損失 282kw 増、発電量損失 370.6 億 kw ・ h）	141.53 億元
年間木材漂流不能による損失	0.32 億元
合計年間経済損失	141.84 億元

上記の数字により黄河の発電収益は引水区の発電損失にほぼ接近しており、長江の階段式の発電所の建設に伴い、引水区の発電損失がは黄河の発電による収益より大きくなる。

2030 年に、経済効果が 616.72 億元／年から経済損失 141.85 億元／年をマイナスして 474.87 億元／年となり、長江水を黄河に引水する年間経済効果は 3.27 元/m³である。

8. 社会効果についての評価

8.1. 受水区の社会効果

8.1.1. 西北地区の経済発展の促進と東西部の差の短縮

中国共産党中央委員会第 14 回全国大会において、江沢民は「第 9 回 5 力年計画から中西部地区の経済発展をより一層重視し、地域差の拡大を抑え、その差を短縮するよう努力しなければならない」と明確に指示した。

西部地区の経済の離陸は、水資源の不足に制約され、土地、鉱産、エネルギーなどの資源の優位は十分に発揮できない。西線プロジェクトは西北部地区の開発のために良好な基礎条件を提供することができ、東西部の差を縮め、中国经济全体の協調で安定的な発展を図るために重要な戦略的意義を持つ。

8.1.2. 資源の優位性で全国の経済発展を支援

受水区の鉱産資源が豊富で、中国の重要なエネルギー産業、原材料産業、重化学産業の基地である。受水区の多くの鉱産資源は中国の資源全体において絶対的な優勢を有する。

受水区のエネルギー産業、原材料産業、重化学産業等の優位産業は、水の消費量が多い産業で水資源への依存度が高い。これらの産業の規模の拡大は水資源が制約条件となっている。西線プロジェクト完了後、エネルギー産業と原材料産業の発展により中国全体経済の高度成長を支えることになる。

8.1.3. 土地の生産性向上と区内の食料需給をバランス

西線プロジェクトは、農業用水が 109 億 m^3 増、灌漑面積が 2662 万亩増、食糧生産 1168 万トン増になり、区内の食糧の需給をバランスする効果がある。

8.1.4. 雇用の増加と失業人口の減少

西線プロジェクト実施後、区内の産業の発展と、新しい鉱山と工場の建設が進み、これらの新しい工業と鉱産企業を囲んで新しい町ができ、サービス業も育成でき、都市化が進むだろう。推計によると、工業総生産の増加は直接に数百万人を雇用することができ、失業人口の減少につながる。

8.1.5. 生活環境の改善と国民健康水準の向上

19.4 億 m^3 の都市と農村の生活用水を提供することによって都市と農村の住民の生活用水を解決する。受水区の一部の地区の人間と畜生の飲用水不足と、水中のフッ素含有量が高い等の問題を基本的に解決できる。

水があれば、植林によって気候の調節と衛生条件及び生活環境の改善ができ、受水区の国民の健康水準を高めることができる。

8.1.6.西部への東部と中部の人口移動に有利

大規模の土地開発と工業と鉱業生産の快速発展によりサービス業も大きく伸び、各次元の人材が必要とする。市場メカニズムの働きにより「経済移民」のプロセスは自然に起こり、東部の沿海地区の人口増加の圧力は低減する。

8.2 引水区の社会効果と社会影響

8.2.1. 社会効果

(1) 交通の発展と交通網の形成

西線プロジェクトの実施に伴い、区内に工事資材を運輸するために道路の新設と増設、鉄道とのアクセスのために大量の資金が投入し、効率的な交通運輸網が建設しなければならない。工事資材を運輸するためだけではなく地元経済の発展につながるだろう。

(2) 少数民族居住地の経済発展と民族団結の促進

西線プロジェクトの実施により区内に千億元近くの資金は投入される。専門家達は工事費の20%~30%が工事関係者の基本消費に転化すると分析している。これらの消費は区内の経済発展を促進し、牧畜業、鉱業、運輸業、観光業、飲食業を育成し、少数民族地区の経済発展を牽引して人民生活水準を向上させ、民族の団結を一層安定させる。

(3) 大規模の工事を伴う新興都市の形成

西線プロジェクトは、区内の経済発展を牽引するだけではなくそれに伴って交通、エネルギー、通信、医療等のインフラは整備し、工事を中心にして新興都市が形成する。

(4) 農林牧畜業の促進と発達した農林牧畜業の基礎作り

引水工事に伴い、人工草場の引水灌漑にいい条件を提供し、人工草場と植林が発展する。そして下流の水で水力発電所を建設し、牧畜製品の加工業と木材加工業を発展するし、農林牧畜業の発展にいい基礎を提供することができる。

(5) 観光資源の開発と観光業の振興

両大河を跨る西線プロジェクトの建設により高原に新しい風景が増え、交通と生活条件は改善する。それは観光業の発展にいい条件を提供する。工事区的环境を利用して水上競技、釣り、狩猟、民族ショー、工事景観等の観光プログラムを提供し、区内の観光業を発展させる。

(6) 少数民族地区の教育と科学技術の発展

西線プロジェクトの実施により大量の人材と技術と商品と情報をもたらす。中国の発達地区から有形と無形な文明が導入し、西線プロジェクトの実施に伴って草原の奥まで広がっていく。学校教育、短期コース、技能訓練等の教育を通じて区内のために人材を育成して文化と科学技術の水準を向上し、この広い処女地の繁栄と発達を促進する。

8.2.2. 社会影響

引水区は少数民族の居住地にある。文化と宗教及び風習の違いにより禁忌が多い。特に寺院と宗教施設の水没は少数民族の宗教信仰に関わってくる。

そして引水は下流の木材漂流と発電所に損失をもたらすため具体的な補償方法を検討しなければならない。

8.3. 関係省（自治区）からの意見と提案

8.3.1. 受水区からの意見と提案

受水区の6省（自治区）は南水北調西線プロジェクトに対して終始積極的に支持している。

1992年に、青海省は南水北調西線プロジェクト前期の企画研究を加速するよう青政（1992）92号通達にて国務院に要請した。青海省は、従来通りに全力をあげて様々なサービスに努め、水利部黄河水利委員会が日程通りに前期作業を完成するように支持し、西線プロジェクトに貢献したいと表した。

1994年3月に、山西省人民政府は、積極的に南水北調西線プロジェクトを支持し、前期作業を早く進め、南水北調西線プロジェクトが早く着工するよう晋政（1994）75号通達により国務院に要請した。

1994年7月に、寧夏回族自治区政府は、西北と華北地区の経済建設に適するように南水北調西線プロジェクトの前期作業を早く実施して西線を早く着工するための新しい措置を講じるよう国務院に要請した。

1995年8月に、青海省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、陝西省、山西省の6省（自治区）を含む「黄河経済協調区」責任者の第8回会議は早急に南水北調西線プロジェクトを実施するように国務院に要請した。そして国務院で南水北調西線プロジェクトの指導グループを設立して専門的に南水北調西線プロジェクトの指導に当たり、各分野、各部門間の関係を協調することと、西線プロジェクトの前期作業を速めて、早く前期作業を完成するように前期の予算を増やして南水北調西線プロジェクトの早期着工を実現するように条件を作らなければならないと要請した。

1996年4月に、陝西省政府は陝政字（1996）21号通達により、西線プロジェクトの Feasibility Study を「第9回5カ年計画」に乗せて西線プロジェクトの早期実施のために条件を作るように国務院に要請した。

8.3.2. 引水区からの反応

青海省は引水区であり、受水区でもある。青海省は西線プロジェクトを非常に賛成し、支持している。中国の経済改革と対外開放以来、青海省の経済基盤は増強し、交通と通信条件は大きく改善した。各民族は団結し、社会は安定しているため高海拔における施工に経験豊かな水利施工人材がたくさんあり、西線プロジェクトを保証する施工部隊を保証することができる。

四川省国土局は、1990年6月、1995年8月に、西線プロジェクトが四川省への影響に関する分析報告書の中で、南水北調プロジェクトは全国の水資源をバランスして子孫の世代までに続く巨大な水利工事である。水資源全体をみれば、南部の水資源が豊富で、北部の水資源が貧弱している。南部から北部へと引水できれば、北部に巨大な経済利益をもたらすことができるが、南部の水資源の利用にそれほど影響がない。引水は流域の水力発電の開発、木材漂流、水路運輸、工業と農業生産、生態環境等に不利な影響をもたらす。それに対してこの大工事の建設に区内の国民経済と社会発展に無視できないメリットをもたら

らす。これらのメリットとデメリットは工事の計画段階において技術と経済の内容として必要不可欠だと論述した。四川省政府の関係部門は西線プロジェクトが西北地区の渇水を緩和する戦略的工事で水源区にある四川省は大局に着目し、積極的に支持するが渇水期の取水量を少目に、あるいは取水しないように要望した。

以上のように、南水北調西線プロジェクトの社会効果は明らかであり、国土資源の開発、経済の発展、民族の団結、社会の安定、生態環境の改善及び中国の総合国力の向上等にとって重要な役割を有する。

南水北調西線プロジェクトに関して黄河の上流と中流に位置する青海省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、陝西省、山西省の6省（自治区）はすでにいずれの形を通じて国務院、国家計画委員会、水利部に自らの意見と提案を出した。そして全国人民代表大会、政治協商会議においても南水北調西線プロジェクトの前期工事を早く着工し、早く引水を実現するよう多くの提案を提出した。

9. 前期開発案

同～雅～黄の自然流下法、長～恰の自然流下法、斜～賈のポンプ吸い上げ法の三案に対して総合的に比較し、分析した結果、雅砻江の長～恰の自然流下法を前期開発案とする初歩的な意見があった。その理由として

(1) 自然流下法は比較的有利である。ポンプ吸い上げ法の場合、電供給は難しく引水経路も複雑である。そして人跡稀少な青蔵高原での管理が難しい。従って大渡河の斜～賈のポンプ吸い上げ法は前期開発案として適しない。

(2) 長～恰の自然流下法と同～雅～黄自然流下法と比べれば、長～恰の自然流下法は明らかに優位である。同案はダム高は同加ダムより 127m 低く、一本のトンネルの長さは、同～雅～黄の自然流下法より 158 km 短い。静態投資総額は同～雅～の三分の一である。そして工事の規模と技術難易度の面においては長～恰の自然流下法は相対的に有利である。西線プロジェクトのような複雑な工事は単純の工事から複雑な工事へと進めるべきで、単純で難度の低い工事を突破口にして経験を蓄積してから拡大していくべきである。従って雅砻江の長～恰の自然流下法を前期工事開発案として比較的有利である。

(3) 長～恰の自然流下法の主要利点：

①. 引水の水量が適度である。計画引水量は 45 億 m^3 で、黄河の上流と中流の受水区の需水量に適している。

②. 社会環境、気候条件、交通及び工事建設の条件は相対的に良い。

③. 自然流下法は地元の環境条件に適している。

④. 工事の規模が適度で施工方式が単純で施工しやすい。

⑤. 工事費は 293.04 億元で、国家財政の負担できる範囲内にある。

⑥. 通天河のポンプ吸い上げ法を第 1 期工事にして引水量を増やすために基礎を作る。

しかし、同案は、超前期工事のために初歩的に企画した水路で、現段階の分析では有利である。同案の輸水トンネルが 131 km があり、世界で一番長いトンネルである。そして酸欠寒冷地区に位置しているため、施工は非常に難しい。なお地下の地質状況はまだ不透明な部分があり、まだたくさんの作業が残っている。従って引水案を再調整する必要がある。できれば輸水トンネルをできるだけ短かくしダムを低くして技術的に実行できる案にすべきである。

10. 結語

10.1. 南水北調西線プロジェクトは必要不可欠

南水北調西線プロジェクトの供水範囲は西北地区と華北一部に位置する青海省、甘肅省、寧夏回族自治区、内蒙古自治区、陝西省、山西省の6省（自治区）の黄河流域地区及びその関連の地区である。これらの供水区は土地が広く資源が豊富で、中国におけるエネルギー産業、原材料産業、重化学産業の重要な基地である。農業生産と土地資源開発の潜在的な可能性が非常に大きい。黄河は、西北と華北地区の重要な水源であるが、水資源が著しく不足している。現在の推計では2010年に、黄河は69億 m^3 の水が不足し、上流と中流の6省（自治区）は合計41億 m^3 の水が不足する。2030年に黄河は513.7億 m^3 の水が不足し、上流と中流の6省（自治区）は合計99億 m^3 の水が不足する。水不足は工業生産と農業生産及び人民生活水準の向上を著しく制約している。西北地区の水不足を根本的に解決するには西線プロジェクトに頼るしかない。東西部の社会と経済発展の差を縮小するため、そして中国の現代化の戦略目標を実現するため、西線プロジェクトは必要不可欠である。

10.2. 可能な引水量

初歩的に分析した結果、三河の可能な引水量は195億 m^3 である。雅砻江からの引水量が45億 m^3 で、河口の年間平均径流量604億 m^3 の7.5%を占める。大渡河からの引水量が50億 m^3 で、銅子街水文観測所の年間平均径流量470億 m^3 の10.6%を占める。通天河からの引水量が100億 m^3 で、それぞれ通天河と金沙江渡口の年間平均径流量124億 m^3 、570億 m^3 の80.6%と17.5%を占める。三河から合計195億 m^3 の水量を引水し、長江主流の李庄水文観測所（宜賓）と宜昌水文観測所の年間径流量の7.8%と3.9%を占める。

三河の引水量は、それぞれ引水ダムの年間径流量の86%と84%と92%を占め、比率は比較的に大きい。西北地区の渇水状況の厳しさと取水河の水量が多いことを考慮して引水ダムからより多く引水することにした。適度規模の引水ダムからの引水量はは限られ、そして引水ダムに隣接する下流の水量も限られているため、より多く取水しても不利の影響は少ない。従って取水量が引水ダム水量に占める比率は比較的に大きいことは合理的な案だと言える。

10.3. 西線プロジェクト案が技術的に実施可能

雅江は、長～恰の自然流下法を代表案とし、ダムの高度が175mで、トンネル長が131km、最長の支洞が28kmである。通天河は同～雅～黄の自然流下法を代表案とし、ダムの高度が302mで、同～雅までのトンネル長が157.7km、雅～黄までのトンネル長が131kmで合計288.7kmである。大渡河は斜～賈のポンプ吸い上げ法を代表案とし、ダムの高度が296mでトンネル長が28.5km、ポンプ吸い上げ法の揚程が458m、年間所用電力が71億 kwh である。

高海拔と寒冷地区のダム建設技術と長トンネルの施工技術の可能性について検討した。

初歩的な研究結果としては、200m以下のコンクリートプレート表面の積み石のダムを建設するには同地区の特定の環境による特殊な問題と技術困難がある。中国国内のダム建設の経験と技術水準では乗り越えない問題がないと判断した。問題は長いトンネルの開削である。長いトンネルの開削の成功例を見れば、中国国内では「大渡河から陝西省への導水トンネル」は全長 76 kmで、一番長い施工距離が 15.7 kmである。海外ではイギリス海峡の海底トンネルが全長 38 kmである。これらの建設経験はいずれ参考になるものである。現在、長いトンネルの開削技術の進展が早く、開削機械も非常に進んでいる。高度の機械化と専門化の施工が可能で、速度も早く品質もよい。長いトンネルの通気、破碎帯の通過、わき水の処理、山はねなどに対処する有効な技術的措置がある。従って現代的な科学技術水準と将来の発展から見て、長いトンネルの開削は技術的には可能である。

10.4. 推定工事費

雅砻江の長～恰の自然流下法、大渡河の斜～賈のポンプ吸い上げ法、通天河の同～雅～黄の自然流下法を代表案とする。

1995年価格水準に基づく3案の静態工事費、それぞれ293.04億元、254.05億元、1018.96億元で合計額1566.05億元である。

10.5. 引水の経済効果及び影響

西線プロジェクトは水資源の再配分工事である。引水時に西北地区の渇水状況を考慮しなければならないが、取水河への影響も考慮しなければならない。そしてそれによって生じた損失の補償措置をとらなければならない。

(1) 経済効果

2010年に、45億 m^3 の水を黄河に引水した後に、工業用水と都市生活用水、農業灌漑用水、黄河上流の階段式の発電所などの総合経済効果は139.36億元である。

2030年に、145億 m^3 の水を黄河に引水した後に、工業用水と都市の生活用水、農業灌漑用水、黄河上流の階段式の発電所などの総合経済効果は616.72億元である。

社会効果と環境のメリットも明らかである。引水は西北地区の豊富な資源の開発と西北地区の経済発展を促進して東西部の差を縮小する。そして民族団結と社会の安定、中国全体の経済発展の促進に重要な戦略的意義を持っている。引水によって植物被覆面積の増加、水土の流失と土地の砂漠化進展の抑制、生活と生産環境の改善及び生態環境の良性循環の促進に有利である。

(2) デメリット

引水は、雅砻江流域、大渡河流域、通天河流域及び長江主流には不利の影響を与える。引水は、一部の流域の木材漂流に一定の影響がある。しかし工業用水と農業用水及び水路運輸に対してはほぼ影響がない。そして生態環境についても大きな不利の要素が見あたらない。大きなデメリットとしては三河及び下流の長江主流で建設予定中の発電所の発電出力と電力供給に損失を与える。

計量できる経済損失は以下の通りである。

2010年に、45億 m^3 の水を黄河に引水した後に、雅砻江及び下流の長江主流に発電損失、木材漂流損失の合計額は24.81億元と推定できる。

2030年に、145億 m^3 の水を黄河に引水した後に、雅砻江及び下流の長江主流に発電損失、木材漂流損失の合計額は、141.85億元と推定できる。

(3) 経済の総合効果

2010年に、45億 m^3 の水を黄河に引水した後に、総合経済効果は114.55億元で、平均経済効果は2.5元/ m^3 である。

2030年に、145億 m^3 の水を黄河に引水した後に、総合経済効果は474.87億元で、平均経済効果は3.3元/ m^3 である。

10.6. 工事の前期開発案

地形、地質条件、地震の発生予測、引水方式、工事の規模及び環境と交通等の諸要素を考慮して工事の前期開発案として雅砻江長～恰の自然流下法を選定した。同案は、ダム高175mでトンネル長が131kmで、作業の進展に伴い、同案は、施工トンネル距離の短縮とダムの高度の低下という方向へと整備していく。

10.7. 引水の特徴

三河の引水は、河によって段階別実施する。単純工事を先に、難工事を後に実施する。小さいことからスタートし、経験を積み重ねてから逐次に北への引水量を増加する。西線プロジェクトの施工区は海拔4000mに位置し、土地が広く人跡がまばらである。大型ダムを建設する場合、水没損失が少ないため社会面の問題が相対的に少ない。長須ダムの設計容量は134億 m^3 で、影響をうける人口は2000人位である。第1期工事の水が黄河に引水した後に、現有の大型ダムで引水と貯水することができる。黄河の上流にあるため高所からの供水範囲は広い。そして源の水であるため良質である。同時に西線プロジェクトは青藏高原にあるため寒冷で酸欠がひどく交通も不便で地質条件が複雑であるため施工が難しい。

10.8. 今後の主要作業

(1) 三河から可能な引水量を更に正確に計算する必要がある。雅砻江の温波専門水文観測所で継続的に観測する必要がある。

(2) 西線プロジェクト施工区の地質条件が複雑であるため引水ダム所在地と輸水路の重要な工事地の地質を更に探査し、研究する必要がある。

(3) 工事案における引水ダム予定地と輸水路について更に分析し、実証しなければならない。雅砻江の長～恰の自然流下法を改善して整備しなければならない。

(4) 引水が生態環境に対する影響の諸要素についての研究を行わなければならない。

(5) 受水区の渇水状況と需給関係を更に研究する必要がある。

(6) 高いダム、被りの深いトンネル等の重要な施工技術の問題を専門な課題として研究し実証しなければならない。

西線プロジェクトは、中国の西北地区の渇水状況を解決する唯一で実行可能な方法である。黄河の下流にはすでに連年に断流が発生した。西線プロジェクトによって黄河に引水する場合必要に応じて下流の断流の燃眉の急を解決することができる。10年間にわたる

企画研究と論証を通じてひしひしと西線プロジェクトの必要性和逼迫性を感じている。西線プロジェクトは切実に実施可能で、有望なプロジェクトである。現在、西線プロジェクトの前期開発案は従来の計画より早く実施することになるが前期の作業を急いで行わなければならない。西部の経済発展の要請に対応できるようにできるだけ短期間に西線プロジェクトの企画を完成し間断なく第一期工事の Feasibility Study を行い、前期作業のテンポを速めなければならない。

南水北調西線プロジェクト工事諸条件に関する
研究報告書

笹川日中友好基金事業室
中国派遣囑託研究員
前 原 勇 雄
1999年11月

1999.11.5 改訂 1999.11.19

於 華北水利水電学院

南水北調西線工程研究討論

笹川日中友好基金事業室

中国派遣 囑託員

前原 勇雄

報告書

1. 期間 1999.10.17~11.7 (華北水利水電学院滞在期間 10.18~11.6)

2. 目的

中国に於いて、華北水利水電学院地質学教室崔雲昊教授を中心に題記西線工程の、導水トンネル(tunnel)計画基礎調査研究が行われている。この研究に参加し、トンネル工事に関する日本の技術、事例等を披瀝し、討論し、西線計画研究の一助とすることを目的としている。

笹川日中友好基金は、既に、小松製作所 宮川俊彦氏、福井大学地質学教室 田中幸哉教授等を中国へ派遣したり、或いは中国側研究者を日本へ迎えて、有益な討論会や見学会を行ったりして来ている。

今回は トンネル 工事に関するフイージビリティスタディー (feasibility study) を行い、議論検討を更に進め、より具体的な領域を目指したものであった。

3. 研究討論 前言

3-1 前提条件

今回の訪中に先立ち、1999.8.31~9.4 事前調査の目的で当学院を訪問し、中国側各位の意向を聴取し、以下の4項目につき特に関心がある旨を承知していた。

(1) 地質上の問題

- 活断層、特にその挙動についての調査方法
- 断層、或いは断層擾乱地帯の出水対策、突破対策
- 地圧力、山はね〔岩爆〕対策 最大土被り 800m
- 高地温対策
- 有毒ガス(gas)等の対策

(2) 単洞或いは複洞トンネル(tunnel)の選択問題

全長 131?×10mφ 単洞計画の可否

(3) TBM 採用上の問題点

(4) 総コスト(cost)の試算検討

3-2 日本国での事前準備

3-1 項に示した中国側の関心に基き、笹川日中友好基金事業室窪田室長の了解の上、日本で出版されている資料として、計 15 冊の技術専門書、及び実工事経験談を購入した。更にトンネル工事に関連する学会誌、技術雑誌を調査し、適切と思われる部分をコピー(copy)し、収集した。計 17 件

○添付 図書目録参照

以上は何れも日本語であり、中国側で誰もがすらすらと読めるものではない。しかし、技術書であるので、図面、表、グラフ、写真、日本語中の漢字を頼れば、おおよその意は読みとってもらえるだろうし、重要な箇所だと判断すれば、日本語の詳しい人に翻訳してもらえばよいことだと思ひ、躊躇しなかった。

現に、私は西線計画の中国語レポート(report)を辞書を片手に、この2ヶ月間でほぼ読解するようになったと信じている。肯定-否定、未来-現在-過去、漢字の意味を取り違え誤解する、等の危険性は承知している。私の場合、中国にとっての外国語を翻訳してある部分は漢字の意味だけでは全く理解できないので苦労しているが、それが地名や人名や商品名と推定できたら、たちまち安堵すると云った具合である。

トンネル工事とは科学、技術、生産管理及び経済に亘る総合事業であり、技術面に絞っても広範囲の要目がある。よって、事前に、トンネル工事に関する要目の見落としがないように整理したチェックリスト (check list)を作成した。この中から先に挙げた4項目に関する部分を中国研究者の求めに応じて論議すればよいと判断したからである。

更にこのリストには、華北学院に贈呈する図書類及び学術雑誌コピーに整理番号を附し、これらを参照する際の便を図るため、関連する要目に添えて整理番号、表題、ページ(page)等を記入しておいた。

○添付 Feasibility Study 検討要目 参照

尚、この検討要目は崔教授の手配により直ちに中国語に翻訳されていた。

4. 研究討論 本論概要の1 地質上の問題点

4-1-1 活断層、特にその挙動についての調査方法

日本でも関東地方（東京、横浜を中心とする一帯）は過去に何度も大震災に見舞われており、現在でも気象庁、地質調査部等の公の機関を中心に精密測量が行われている。これは地震予知が主目的であり、活断層を特定して観測している訳ではないようである。房総、三浦、伊豆など半島先端区域の昇降量、変位量を測定して、プレートテクトニクス(plate tectonics)理論による、プレート(plate)の沈み込み（日本海溝と北米プレート、フィリッピン(Philippine)プレート）と大陸プレート（日本列島が乗っている）端の引きずり込み、そして限度を超えると跳ね上がる現象が巨大地震であるとして、監視している由である。

活断層とは有史以来（この2000年位か？）活動したことの証拠が認められるものを指していると理解している。日本でも後から調査したら（例えば地震の後）年間**?動いていた計算になる、とは聞いた事があるが、ただいま現在年間**?動いている断層がこれだと明示された例を知らない。専門家に聞いてみる必要はあると考えている。

例えば青函トンネルでは工事のための調査開始以来(30年以上昔だと推定する)同様の心配をして、津軽海峡を挟んで精密測量を行っているが有意の変位は観測されていない由である。

○参考資料⑩

○追記 11.9 帰国報告のため笹川記念会館を訪れたところ、丁度、科学技術庁主催の活断層調査成果報告会が国際ホールにて開催されていた。事務局（財）地震予知総合研究振興会地震調査研究センター（〒101-0064 東京都千代田区 猿楽町 1-5-18 千代田本社ビル 5F)の渡辺氏に事情を話して、中国の研究者へ送ってやりたいので資料が欲しいと願った所、快く予稿集を1部渡してくれた。早速航空便にて崔教授宛に送付した。下記

第3回

活断層調査成果報告会

予稿集

日程：平成11年11月8・9日

場所：笹川記念会館国際ホール

平成11年11月

科学技術庁

4-1-2 地震とトンネル

地震とトンネルの関連から言えば、地下トンネル内では地表に比較して遙かに影響が少ないとされている。先般の阪神淡路地震に於いても神戸市近郊は、新幹線トンネル、地下鉄トンネル、国道トンネル、その他のトンネルが数多く存在するが、地上の構築物の被害に比べ被害は零に近かったと云われる。トンネルの地表への開口部に少しの土砂の崩落、或いは断層横断部分の内壁にクラック(crack)が部分的に発生したところがいくつか見られた、との報告を見たことがある程度である。

私自身の鉾山坑内経験によると、休憩時間中など機械が停止し静かな状況の時、遠雷のような“ぐおーん”と云う響きを何度か聞いた事がある。すぐ地上に電話してみると“今地震があった、かなり揺れた”と云った具合で、地下では全く振動を感じなかったものである。

○参考資料 参③、⑩p194

断層がトンネルを横断している箇所があっても通常は安定しており、支保内壁に異常は認められない。もし、地震に際してこの断層が動くとするれば、どのように頑丈な支保内壁であっても、間違いなく破壊する筈である。仮にトンネル全断面が食い違うような大きな断層変位であっても、しばらくの間の余震が治まれば、現場へ接近し、修復工事が可能であると考えている。縦断勾配の変位など困難な問題もあり得るが打開可能であると信じている。

4-1-3 GPS測量について

人工衛星の信号から地表の測定点の位置を三次元的に±20?以内の精度で測定可能な手法が、最近商業ベース(base)で行うことが出来るようになって来ている。高さの誤差を無視し、そして平面位置の誤差を±10m程度で我慢するとすればリアルタイム(real time)で測定可能である。日本でも自動車に乗せて使う、云謂る“カー ナビゲーション システム”(car navigation system)が15万円位で売り出されており、大変便利である。

専用的高级なシステムで時間をかけて(数時間)測定し、コンピューター(computer)にかけて解析すれば、上記の精度で測定が可能となる由である。商業ベースで請け負うチームが日米欧に存在する。

○参考資料 ⑩ ⑪

○添付 GPS概要解説 ⑩⑪の原理的な部分を抜き書きしたもの

GPS測量は西線計画では相当に有効であると考えられるが、注意しなければならない点がある。高度(標高)の測定に使用する際は、地球の準拋楕円体やジオイド[Geoid 地球重力等ポテンシャル(potential)面]等と厳密な関係があり、地球物理学、測地学、測量学の専門家の助言のもとに行わなければ大きな判断誤りを侵すことになる。

この面から云えば、従来手法の水準測量技法により、きめ細かく測定を行うと問題が少ないので、縦断線形設定には、こちらを採用すべきであると思う。

4-1-4 ジオデメーター(geode meter) について

レーザー(laser)光を利用して距離を極めて正確に測定する機器がある。これはリアルタイム(real time)で測定可能である由である。移動可能であるので、十分考慮の余地がある。

4-1-5 空中写真について

人工衛星写真を含め、空中写真が容易に入手可能な時代になってきている。西線計画でも分解能 1m の衛星写真の利用価値が高いはずである。米国の民間衛星イコノスに依頼すれば、11? ×11 ?範囲を 350,000 円で請け負うとされており、合計 500 万円の資金で分解能(識別可能物件の大きさ) 1m の写真を西線計画 131km 全線に沿って購入可能であると思われる。

現地踏査で見落としていた様な断層や断層擾乱地帯、崩落地帯などを発見する事ができる。

○添付 参考資料 空中写真について

7-1 断層或いは断層擾乱地帯の出水対策、突破対策

4-2-1

出水対策の第一は事前の地質調査で出水の可能性大の箇所を推定しておくことである。

次に、掘削作業中は常に先進ボーリング(boring)を最低でも 20m 以上先行させて、滞水層、亀裂、破碎帯を事前に発見することである。先進ボーリングは実施していた、然し、出水事故に遭った。この様な例は極めて多い。自然の千変万化の事実を証明するものであり、持田氏が著書の中で、先進ボーリングに依っても 50%位しか判らないと慨嘆している。人智を尽くしてボーリングの情報を慎重に読みとる、としか云い様が無いところでもある。

出水危険箇所を発見したならば、水抜きボーリングを多数設け、事前に地下水を抜き取ってうことである。Deep Well ,Well Point 等の積極的な水抜き工法もある。

滞水量が大であったり、出水量の減少傾向が見られないとなれば、水抜きのみでは不可能であるから、止水剤を数多くのボーリング孔より圧入し、不透水帯を予定トンネルの前面及び周りに形成する止水工法を採用することになる。

この件については、持参した参考資料に数多くの例が記載されておりご参照願うことにする。

○参考資料 ④、⑦、⑩、参⑪、参⑫

4-2-2 突破工法

TBMは或る程度の出水であれば稼働可能であり、また自らの能力で密閉掘削が可能のように事前に設計製作することもできる。然し、擾乱地帯、軟弱岩地帯には無力である。よって事前に回避坑へ追い込んでおき、先進導坑掘削工法、ベンチカット(bench cut)工法等、他工法に一時切り替えて、悪岩盤地帯を、TBMの通過可能な断面で完成させた後、カッター停止の姿でTBMを通過させるのが最良の選択であろう。

TBMが完全な止水機能を持ち、強引に破碎帯を突破する手段も考えたくなくなるが、岩盤破片

が大きく、ずり出し装置を通過できない様な場合、カッターヘッド(cutter head)を傷めることになり、立ち往生の可能性が極めて高くなる。こうなればまず止水工事を行ってから、危険を冒してTBMの前面に人間が入り、対策を取らざるを得なくなり、決して好ましいことではない。

止水ダム (dam)の件

出水の最悪の事態に備えて、トンネル中途にダム (balk head) を設けるのも一案である。

私の鉱山時代、海底炭鉱であるが故に設置が義務づけられており、事実このダムを利用して、出水が他鉱区へ流れ込むのを防止することが、辛うじて出来た実経験がある。

○添付資料 三池炭鉱 宮の浦坑 出水事故説明図

出水量の件

はっきりしている記録では、日本の場合 800?(ton) /分 が最高である。この時は坑口より流出し、下流の人家を押し流してしまった由である。青函トンネルでは80?/分の記録がある。この時は出水箇所が作業坑であったので土嚢や袋入りセメントで臨時のダムを3回も後退しながら人海戦術で築き、出水を本坑へ一時流し込み、時間を稼いで、排水ポンプを増強して凌いだ由である。

時間がたてば出水量が10~20%まで低下することが多い。これは地中に水が自由の状態では貯まっていたものが、一時に流れ出すからであり、貯水量が底をつくと浸透して来る水だけになるからである。

○参考資料 ⑩

4-2-3 山はね(岩爆)対策

私の鉱山時代 400~500m の地下現場で静かな時間に カタカタ! カタカタ! と何処かで音がするのを常に聞いていた。これは岩盤内で小クラック(crack)が発生している音であると云う事であった。クラック発生と同時に空気が侵入し反響するので、あの様に相当に大きく聞こえると云うのである。石炭鉱山では突出(とっしゅつ)事故~石炭層から爆発的に大量のメタンガス(methane gas)が粉碎された石炭を伴って吹き出し、大事故になる~については沢山の事例があるが、岩爆については事故例を知らなかった。

中国ではしばしば事故にまで連なる由であり、日本で文献を調査した処、上越新幹線工事で相当な例があったとのことである。新たな面が発破により生じてから1~2時間で治まるようであり、発破後切羽面へすぐ近寄らない、直ちに吹き付けコンクリート(concrete)をする。或いは金網、合成繊維網を張るなどである。坑道の深さに依ってはと云うよりは、岩種によって状況が異なり、乾燥した硬岩で多く、濡れた岩ではほとんど発生しない由である。

○参考文献 ④ ①

何れにせよ日本では、はじけた破片が遠くまで飛んで行ったり、薄くはげ落ちた岩～最大で日本の畳程度のものだと云う～で打撃を受けたりして、死傷者を出したりする例が少ない様である。西線計画では主な掘削はTBMで実施する方向であるから、岩爆対策はより容易であると考えている。

4-2-4 高地温対策

一般に地温は深さ 30～40m について1℃上昇すると云われる。仮に 800m の被りがあるとすれば、 $800\text{m}/30\text{m}\times 1^\circ\text{C}=27^\circ\text{C}$ 平均気温 10℃として 37℃機械類の発熱、岩盤中の金属類の酸化熱等を考慮すれば、中日何れの国に於いても法規に触れることになりかねない。

大量の空気を送って冷やすのが普通である。高冷地であるから冷たい谷川の水を坑内へ導き、熱交換器で吹き込む空気を冷やすのも一手段である。昔、日本の別子銅山で見たことがある。熱交換器の出入り口の温度差が具体的に何度℃であったか覚えていないが、湿度低下の効果も加わり、体感としては相当な効果があったと記憶している。

坑内温度に関して云えば温水の湧出が一番厄介だとされている。断熱被覆の排水パイプ(pipe)などの使用が必要になる。

空気の冷却効果の計算は、上記の水温、岩盤の熱伝導度、通気量、湿度など、いくつか仮定し、エンタルピーの発想で一応は可能であるが、何れにせよ大量の空気を循環させることであり、3-3 に述べた報告書にも風速、風量、漏風について試算してある。

大量の空気の冷却効果が如何に大であるか 参⑨に実例がある。

○参考資料 ⑥、参考⑨

4-2-5 有毒ガス(gas)等の対策

3-3 中国新報告書にも言及してあり、深く討論しなかった。中生代の変成質堆積岩を主とした地層であるからメタンガス(methane gas)や炭塵の爆発はほとんどあり得ないし、圧気工法に起因する酸欠空気も圧気工法を採用しない限り問題はないと思う。但し、全く無警戒であってはならないし、通気が相当時間停止するような場合、危険な状態になることは云うまでもない。鉱山で断気状況の旧坑や採掘準備坑道に、不用心に或いは誤って侵入し死亡した例は多い。井戸浚えをしようとして中に入った人が昏倒し、慌てて助けに入った次の人も死んだなどと、新聞などで時には報道される事故もある。

5 研究討論 本論概要の2 単洞トンネルか複洞トンネルか？

5-1 3-3 中国新報告を読んで見て、世界に多分例のない単洞計画ではあるが単洞トンネル案を推したい。

理由

(1) 計画では立て坑が8本ある。これで行けば通気上問題のある、掘進工事中の純単洞の状況は最長でも9以下。勿論この様な例を私はまだ知らない。

然し、有効断面 10mφあれば風量確保の手段がいろいろ考えられる。空気を圧縮して体積を低下させて送る方法も考えてよい。切羽先端で放出すれば、断熱膨張効果で冷たい

空気になるわけであるが、一方坑内の空気を圧縮することにもなるので、戻り空気はかえって暑くなるのかも知れない。熱力学の専門家の検討をお願いしたいところである。

(2) ずり(渣)の搬出、資材の搬入についても 10mφが威力を発揮する。この内空断面は日本の新幹線単洞複線断面である青函トンネルより大きい。長距離ベルトコンベヤー(belt conveyor)と複線鉄路が共存可能であり、運搬作業ロジスティクス(logistics)が極めて楽に組み立てられる。

(3) 異常出水対策に関して云えば、地下遊水槽を考えてもよい。危険な滞水帯が予想される部分の近くに数千トン位の時間稼ぎの貯水槽を事前に設けるのも作戦である。人命の安全という意味で検討すべき条件であると考えている。

6 研究討論 本論概要の3 TBM採用上の問題点

6-1

10mφ以上の山岳TBMの本格的な実例は世界中でまだ無いと思う。仮にあったとしてもこれほどの長距離ではない。然し、軟弱地盤対応のシールド(shield)掘進の例では、既に日本では何度も成功している。多分世界中でもいくつか実例があるだろうと思っている。推定するに、日米欧の名のあるメーカー(maker)なら掘進機製作への立候補に尻込みはしないであろう。

6-2

TBMは岩盤条件にうまく合致すれば大きな能力を発揮するものである。これは既にユーロトンネル(Euro Tunnel) 工事で実証されている。

然し、弱点も沢山持っている。水付き断層破碎帯や水付き軟弱地帯の場合、致命的な欠陥をさらけ出してしまふものである。この意味からも、事前の地質調査、岩種、断層破碎帯等の確認の重要性を何度叫んでも不足することはない。私のチーム(team)も過去にTBMの使用を途中で諦めて、分解しトンネルから引き出した苦い経験を持っている。

参②を、是非とも翻訳して、今後中国サイドでTBMを担当する方々に読んで戴きたいと思っている。日本の悪条件のTBM工事を体験している権威の、TBMに関する展望をまとめている参考資料である。

○参考資料 参②

西線計画では、セグメントを使用する方針となっている。TBMを上手に設計すれば、相当な悪条件であっても突破可能であると思う。然し、限度を超える悪条件が予想される場合は躊躇無く、一時他工法に切り替える心構えが必要である。

世界に例のない長距離掘削であるから、切削刃、軸受け材、止水材等摩損が多い部分は、安全に、簡単に交換可能とするよう、メーカー設計陣と十分な共同研究が必要である。

6-3 セグメント(segment)について

第一回目の訪問の際、セグメントの価格が掘進機の価格の何倍にもなってしまうと承知しているので、セグメントの使用には首を傾げたものであった。完工後の維持補修や分岐

点の支保設計等の点でもあまり有利ではないと考えた。

一方、掘進作業の高能率、安全性から見れば、セグメント使用の方が比較にならないほど有利である。特にセグメント使用に魅力があるのは、過去のTBMの失敗例の多くがグリッパー(gripper)～TBMの外周方向へシュー(shoe)を押し出して岩壁に押しつけて、TBMの自重、切削のためのカッターヘッド回転の反力受け、或いはTBM自身の前進の際の反力受け～の部分、水付き軟岩、断層擾乱地帯では全く無力であり、結果はTBMが立ち往生していたからである。この点バックアンカー(back anchor)としてセグメントがしっかり支えてくれる訳であり、安心である。グリッパー シュー を備えているような設計を採用しているとしても、これに頼らない推進方法に臨機応変に切り替えることにより、軟弱地帯に対処することがより容易となる。グリッパー部の心配がなければ、TBM前面对策に集中可能であり、心強い訳である。

セグメントは鉄筋を使用するので、十分なコンクリート(concrete)の被りを確保しなければ、10年、20年後に鉄筋の錆によってコンクリートが破損することになる。事前の設計検討と、製作の際の正確な鉄筋位置の設定、w/c(水セメント比)を始めとする正確な配合の良質なコンクリートの使用が重要である。

7. 研究討論 概要の4 総コスト(cost)の試算

これが最も責任重大であり、現在程度の資料では正確な予想は当然困難である。まして現場作業に於いて、地質の予想外の状況変化(一般に悪条件側に傾く)等があるので、更に困難である。3-3新報告書の試算の中で、やはり不確定条件のもとで割り増しを行っている。

$$\text{予想総コスト} = \text{オリジナル(original)試算} \times (1 + \alpha) \quad \alpha \approx 0.5$$

依って、 α と云う安全率を念頭に置いて、私個人の責任と発想で試算した。日本の通常の箇所と云う前提条件であり、西線計画地域のような、僻地、高所、寒冷地などの条件はないものとした。結果を見てみると私の試算の方が少々高くなった。見積もりの条件が全く同じとは云えないので、単純に比較はできないが、セグメントの影響が大きいと思う。

○添付資料 西線計画 概略工費 1999.11.3 試算 前原

7-2 3-3新報告書にある試算についての感想

7-1-1 セグメントの価格が低すぎる様に思われる

400～450 kg/cm^2 の圧縮強度のコンクリートは、日本では粗骨材、細骨材ともに相当に高価であるからかも知れないが、中国の試算価格は低すぎると判断している。コンクリートの品質上の問題もあるので、これはもう一度見直した方がよいと思う。

日本でも、所謂生コンクリート(圧縮強度180～240 kg/cm^2)の価格は8,000円/ m^3 位から入手可能ではあるが、これは一般建築、一般土木の現場打設用コンクリートであり到底セグメントに求められている強度に届かない。従って、日本の感度で言えば、商業ベースではとても採算がとれない価格である。中国の専門実務家に検討してもらった方がよいと思う。

7-1-2 中国試算の鉄筋量が私の試算より遙かに多い

この表に出ている鋼材量はセグメント用鉄筋であるとするとは何倍かの量となる。私の試算では31万トン程度であり、その他の鋼材量を含んでいるとしても多すぎるのではないかと思う。

一般にコンクリート製品は鉄筋の降伏が先に発生する様に設計する。日本の土木、建築に関する示方書でもその様に定めている。鉄筋コンクリートの強度を上げるためには、鉄筋の量だけ多くすれば良いというものでもない。セグメントの場合全重量の5~10%であり、試算では7%を用いた。鉄骨コンクリートとしての強度設計もあり得るが、その場合でもやはり鋼材量としては多すぎるのではないかと思う。

7-2 TBMの価格について

最新の制御技術の情報が私に不足しているし、将来の進歩も十分あり得るので、この辺のコストについては少々不安である。メーカーの発想、判断にも依るが、機械の価格がそれほど大きく変わることはないと思う。

8. 後書き

前回の訪問を含めると4週間ほどの間、学院のいろいろの方にお世話になった。以下にお名前を記しお礼を申し上げることにする。勿論お名前を伺う余地の無かった多くの皆様にも厚くお礼申し上げる次第である。

華北水利水电学院	院長	雷 克昌 教授
"	副院长	趙 中扱 "
"	地質学教室	崔 雲昊 "
"	岩土工程系	陳 南祥 "
"	岩石工程系	劉 漢東 "
動力系	陳 徳新 "	"
"	人事処外事	張 梅娟 Mrs.
"	"	聶 夢曦 "
"	经济管理系辦公室	董 華 Mis.
"	外語部	張 郁華 副教授
"	基礎部	李 広栄 "
"	外語部	楊 浩美 "
"	車両担当	田 聚慶 Mr.
"		孫 緒金 教授
河南省大学	日本語研究会理事長	王 鉄橋 教授
黄河水利委員会	外事部辦公室	袁 中群 Mrs.
江河賓館	客室担当	王 双傑 Mis.
"	"	劉 風梅 "
"	宴室担当	郭 曉華 "

1999.11.3

前原

西線計画概略工費

導水トンネル 延長 131km×掘削 11.10mφ×有効 10mφ×勾配 1/3,000

項目	内 訳	金額 (単位億円)	参考金額 (中国試算)
TBM	11mφ×(本体+後続設備)=1,200ton 8台×150万円/ton 組立費含む 注!日本国内価格 海外、指導員常駐なら+20~30%	144	150
掘削費	20人/5m×131km×8万円/人 工賃、動力、機械損料、補修費、管理費 etc.	420	690
セグメント	10mφ×0.45mt×1.5mw×9P コンクリート 14 m 3/m×1.2万円/m 3 鉄筋 2,310kg/m×40円/kg ボルト類 50kg/m×150円/kg シール材 2,000円/m 加工費=上記小計×1.5倍 =40.74万円/m	890	238
グラウト 材	3.5 m 3/m×1.5倍×2万円/m 3 掘削径 11.1m	14	12
附属 設備	ベルトコンベヤー、換気設備、鉄道、通信 etc. 15億円×8区画	120	247
立坑 横坑	30億円×11カ所 詳細未定につき算出根拠なし	330	—
合 計	注!以下不含 ○TBM設備、セグメント等重量物運搬費 ○西線計画特有の高所、遠隔、寒冷条件	1,918 (174,400万\$) 146万円/m	1,337 (121,504万\$)

以上

1999.10.1 改訂 1999.11.19

図書目録

華北水利水電学院にて行う、南水北調西線工程フィージビリティースタディー用資料として、笹川平和財団が事前に購入し、上記学院に寄贈する書籍類。計 17 冊

- | | | | |
|------------------------|--------------------|-----|-----------|
| 1. トンネル標準示方書 | (山岳工法編) | 同解説 | 土木学会 |
| 2. " " | (シールド工法編) | " | " |
| 3. " " | (開削工法編) | " | " |
| 4. トンネルライブラリー | 5. 山岳トンネルの補助工法 | | |
| " | | | |
| 5. " | 7. 山岳トンネルの立て坑と斜坑 | | " |
| 6. トンネルの地質調査と岩盤計測 | | | " |
| 7. トンネルに於ける調査計測の評価と利用 | | | " |
| 8. 泥水加圧シールド工法 | 栗原和夫 | | 鹿島出版会 |
| 9. 地下水入門 | | | 地盤工学会 |
| 10. GPS測量と基線解析の手引き | 土屋淳 今給いれ哲朗 | | 日本測量協会 |
| 11. 実務者のためのGPS測量 | 佐田達典 | | " |
| 12. 建設省土木工事積算基準 | 平成 11 年度版 | | 土木工事積算研究会 |
| 13. 建設物価 | 10 月号 | | 建設物価調査会 |
| 14. 青函トンネル物語 | | | 吉井書店 |
| 15. ドーバー海峡を鉄道が走る | 宇賀克夫 | | あすなろ書房 |
| 16. 青函トンネルから英仏海峡トンネルへ | 持田豊 | | 中公新書 |
| ×17. トンネル工学 | 粕谷逸男 | | 共立出版 |
| ×18. 技術者のための水利学 | 佐藤清一 | | 森北出版 |
| ×19. 採鉱採炭ハンドブック | 佐山総平 | | 朝倉書店 |
| ×20. 鉱山保安ハンドブック | 山田 穰 | | 朝倉書店 |
| 21. 第3回 活断層調査成果報告会 予稿集 | 平成 11 年 11 月 8・9 日 | | 科学技術庁 |

1999.11.19.追記. 上記図書 NO.17~20 は一般の参考書であり、現在絶版となっている。華北水利水電学院の図書館にも、中国の学術参考書として類似の図書類が蔵書されている。討議に際して必要があればと思い、私物を持参した。然し、坑内ダムの説明に使用した程度であったので日本へ持ち帰った。

以上

コピー目録

学術雑誌から参考部分を複写

1. トンネル技術者のための応用地質入門 (1)～(3) 大島洋志 他
トンネルと地下 no.30-3 1999/3～no.30-7 1999/7
2. TBMは日本の地質を克服できるか (1)～(3) 西松裕
" no.29-3 1998/3～no.29-5 1998/5
3. 岩盤空洞の地震時挙動観測と考察 浜田政則 他
土木学会誌 no.341 1984/1
4. アルプストンネルに日本の技術 北川修三 他 トンネルと地下 no.29-4
1998/4
5. 建設・保守管理へのフィードバック(1)～(4) 変状事例からみた提案
今木甚一郎 他 トンネルと地下 no.29-5 1998/5 ～ no.29-8 1998/8
6. 土かぶり大きいトンネルの支保設計に関する一考察 真下英人
トンネルと地下 no.30-2 1999/2
7. 比較的良好な地山での支保工の役割に関する実験的研究 中田雅博 他
土木学会誌 no.523/?-43, 85-95, 1999/6
8. 岩盤地下空洞の地下水に関する実験的研究 伊藤 洋 他
土木学会誌 no.342, 1984/2
9. 小断面トンネルにおける地熱対策 青荷導水トンネル 大坪義昭 他
トンネルと地下 no.30-6 1999/6
10. 新鮮花崗岩における大断面トンネル支保構造の検証 第二名神高速道路栗東トンネル
新田 洋 他 トンネルと地下 no.30-1 1999/1
11. 土砂に埋まった湖北トンネル
予想を超える破砕帯と高水圧によりクイックサンド現象が発生
太田 宏 NIKKEI CONSTRUCTION 1999.5.14
12. SFRC 覆工で収束しない変位に対抗 東北新幹線 岩手トンネル女鹿工区
奥村皓一他 トンネルと地下 no.29-5 1998/5

- 12-2. 中央構造線に近接した監期線の施工 松山自動車道 大頭トンネル
石井憲一 他 トンネルと地下 no.29-5 1998/5
13. 標高 1,790m から 450m の立坑を掘削 一般国道 158 号 安房トンネル換気立坑
丹野弘 他 トンネルと地下 no.29-8 1998/8
14. 環状 7 号線直下での地中接合および二段式シールド分離 環 7 東海松原橋 管路新設工事
大塚正博 他 トンネルと地下 no.29-1 1998/1
15. 軟弱中硬岩に挑むブームカッターシールド機 星野 彰
シールド工事講習会
16. 国内初の大型自由断面掘削機による効率的掘削 高規格 127 号富津・館山道路
竹岡第一 トンネル
中川誠 他 トンネルと地下 no.29-12 1998/12
17. 山岳トンネルの変状発生機構とその対策 朝倉俊弘
トンネルと地下 no.30-6 1999/6

以 上

G P S 測量の概要

土屋淳 今給黎哲郎 日本測量協会版 (自) “G P S 測量と基線解析の手引き” による

1. G P S ~Global Positioning System

2. 地表面上の測点の位置を目的に応じた方法で測定すれば相当な高精度で3次元的に測定可能なシステムである。例えば、自動車や船の位置は平面的に10m位の誤差があっても不自由はないとすれば、ほぼ瞬間的に測定する。この様な場合高さに関しては誤差が極めて大きい。

3. 精密測定の手法を用いれば±数mm~20mmの精度が可能である。測定所要時間数時間以上、測定データのコンピューター処理を要し、リアルタイムの測定は出来ない。

任意の基準点を設けて、数十km程度のネットワークを組み、それから各測点間の相対位置を求める様な測定には高精度が得られ適している。

4. 人工衛星を地球上等分布軌道に24個配置しており、その内の4ヶの衛星の電波を受信して測定する。山、谷、構築物等による障害がなければ、地球上の何処であっても、24時間常に4ヶ以上の衛星電波を、晴雨に関わらず受信可能である。

5. 3次元的に測定可能とは、WGS-84(World Geodetic System1984)と称する地球準拠楕円体に関する値であり、ジオイドとは原理的に直接の関係はないので、標高測量に使用する際は注意しなければならない。

6. 高精度測量に用いる“静的干渉測位”の測定原理は電波天文学で行われている、パルサーや準星の位置測定と同じく、電波の干渉現象を利用している。

人工衛星は正確な軌道条件で運行している。そして極めて正確な時計を内蔵しており、各衛星の電波は完全に同調している。従って地表の位置(特に2点以上の測点の相対位置)を高精度に求めることが出来る。

7. 理論的には3ヶの衛星電波で測定が可能と思われるが、受信機側の時計の不確かさを補正するために4ヶの衛星電波を使用している由である。このためのコンピューターソフトはメーカー各社独自のものであり、地球潮汐現象の補正や相対性理論上の補正も加えるなどしており、詳細を解説するのは困難であると述べている。

8. 今回の西線計画に於いて、活断層の挙動を測定することだけを目的とするならば、各測点間の相対変化を調べればよいので、1年くらいの間隔で数年間調査すれば然るべき成果が得られると判断する。

標高及びトンネルの縦断線形設定にも利用するとすれば、5項に言及した通り、ジオイドとの関連を注意しなければならない。尚現場付近のジオイドは-40m(ブーゲー異常)位と参考図か

らは読みとられる。但し、参考書 50p の図に使用している準拋楕円体の詳細は記載されていないので不明である。最適地球楕円体 IUGG 勧告 1967 (IUGG=International Union of Geodesy and Geophysical) かも知れないが確認の必要がある。

9. 仮にジオイドが-40m であるとしても、人工衛星とは無関係である従来手法の水準測量でピッチを細かく実施すれば、水準線は自動的にジオイドに追随する筈であるから、ジオイドの急変がない限り、トンネルの基本的な性能には影響は少ないと考えている。

10. 参考書 p59 に、GPS と水準測量 (即ちジオイド基準) の差が 15km 間で 70cm 位出ている例示があり、トンネルの縦断線形設定に際しては、地球物理学、測地学、測量学の専門家の助力が必要であると考えられる。

11. GPS 測量の機器メーカー、ソフトメーカー、測定実施チームは日本では幾つかあるようである。欧米の国でも商業ベースで行うチームがあると推定する。

以上

**Report on the Basic Investigation for
the West Route Scheme of South-to-North
Water Transfer Project**

**North China Institute Water Conservancy
and Hydroelectric Power
1999.7**

1. The Preface

Supported by the State Bureau of Foreign Experts, the Reconnaissance and Designing Institute under The Yellow River Conservancy Commission(YRCC) and the Sasakawa Japan China Friendship Fund under the Sasakawa Peace Foundation, Jointly the important achievements has obtained through the many-sided bid, the project 《The Research on Deep covered, long tunnels in West Route Scheme of South-to-north Water Transfer Project 》 that carried out by Chinese and Japanese experts. Invited by Shinichi Kubota(窪田新一), head of Japanese-Chinese Friendship Fund department, A group of 2 Chinese scholars headed by Professor Lei Kechang is going to Japan to further counterchange the research achievements. This report is written to make the Japanese scholars comprehend the progress in West Route Scheme of South-to-north Water Transfer(SNWT) Project.

The institutional of origin is as follows:

- 1) Concerned documents from the Bureau of South-to-north Water Transfer under the Ministry of Water Conservancy (MWC) ;
- 2) Concerned documents from the Reconnaissance and Designing Institute under (YRCC), Which is a subordinate of the Ministry of Water Conservancy;
- 3)Two research reports made by the National South-to-north Water Transfer Project Research Center under North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power;
- 4) The research report made by professor Russell G. Clough, who comes from Stanford University, USA;
- 5) The essay from Japanese tunnel expert Mr.Qianyan Yongxiong(前原勇雄);
- 6) The concerned articles from published newspapers in China;
- 7) Material downloaded from Internet.

2. The Background

The United Nations organization alarms time and again that we are facing pressing water resource shortage. The whole world will suffer from the threaten of water shortage, Along with the increasing of population , the quickly development of economy and the greenhouse effect, the water shortage will become serious, the disputes concerning water will become boiling, so there is a saying that the 21 century is a century of water.

The contamination of the whole valley of the Huahe River in China is more and more serious. The zero flow in Yellow River is becoming worse, the duration of cutout is increasing year by year, the year 1997 witnessed the longest main stream cutout in history: a totally dry period of 282 days, while the zero flow river sect goes further into upriver, from Shandong Province to west of Kaifong city, the dry up river bed is 700km long; the beginning of the zero flow comes earlier each year, from May or

June move to February or March. In 1998, a record-breaking flood took place in the Yangtse River valley. As the actuate of the exploiture of west part of China, in 21 Century the water shortage in north China will become more pressing. This problem attracted attention both from the Central Government and our Party. To settle the problem many measures were adopted. The State Department held the national water conservancy meeting, which is the first time science the foundation of the country that a meeting convoked by the State Department under the theme of water conservancy. this meeting makes clear that water conservancy is a basic industry in national economy (1995.3.20, People's Daily). In the same year, the State Planning Commission demonstrated all-sided the SNWT project (1995.11.25, People's Daily). The demonstration includes: the reasonable water supply scope, how serious is the water shortage in water import area, the amount of transferable water from water export area, the technology feasibility of different water transfer schemes, project quantities and investment, operating expense and environment effects appraisal, economic evaluation, evaluation of society and national economy endurance for the project and the scheme to be actualized in the near future. Among them, the last one is the keystone, the conclusion is: because of their different water supply scope and functions respectively, the north, middle and west water transfer scheme can not be replaced by each other.

In the beginnings of 1999, the Chinese Communist Party Central Committee Political Bureau member, central secretariat secretary, vice premier of State Council Wen Jiabao attended the informal discussion with the academicians from the Chinese Academy of Sciencer and Chinese Academy of Engineer, they discussed mainly the water resources (1999.01.20 , People's Daily) . The Chinese Academy of Engineer ratified to start the research item 《 The State Stratagem of develop Sustaining water resources》 , the SNWT is included in this item. 1999.3.9, on the second plenary meeting of the 9th session of the Political Consultancy Conference, 11 commissioners addressed the meeting on important state economic problems. 4 of them talked about water resources, Mr. Han Yingxuan emphasized the SNWT project, He suggested that the SNWT project be implemented as early as possible, so as to ultimately resolve the water shortage in north China. For this purpose, he further suggested that:

- 1) In light of the construction of Three Gorge project, the State Council should create the west route water transfer corresponding institution, it's main functions are to establish policies in the SNWT project and harmonize the relationship between different departments in government and different district that the water transfer project involves;
- 2) Backed up by the big-and-middle-sized power station situated up upstream of the Yellow River, A head office for exploitation of western water transfer route should be jointly constructed by Ministry of Water Conservancy, Head office of Elictric Power and the provinces or districts that benefited in the water transfer project. it will take charge in implement of the SNWT project, in the rolling open up of water conservancy and hydroelectric power and environment governing in the construction ;
- 3) Suggesting that the following potencies award to the head office of western water transfer route: water transfer authority, the exploitation of water conservancy and hydroelectric power along the Yellow River valley and the might of financing. These will guarantee the trouble-free operation of the rolling development along the Yellow

River.

On March 30 the same year, People's Daily published 《 water conservation and water resources protection is an important national policy 》, It is written by Wang Shucheng, Minister of Water Conservancy Ministry. In the essay he pointed out when referring to the settlement of water resources shortage problems, that the water shortage in north China and zero-flow of the Yellow River should be researched and solved, and the demonstrates of the SNWT project should be accomplished so as to make a good foundation for implementation of the SNWT project.

In November the same year, a meeting on SNWT project was held in Beijing, academicians from both the Chinese Academy of Sciercer and the Chinese Academy of Engineer took part in the meeting.

All the facts mentioned above make it clear that since 1995, especially in 1999, SNWT project become a popular subject of talking both in the court and the commonalty in China. The central government takes the project as the most important measure to solve the water resource shortage in the north China. To carry the west water transfer route into execution is imperative.

3. A Simple Introduction to the SNWT Project in China

The SNWT project in China is an ultra-large type, inter-basin water transfer project, Water is transferred from the Yangtse River to the Yellow River. There are three routes in the project, they are eastern, middle and western route. The target of the project is to optimize the distribution of water resources in China, replenishing the water shortage in the Yellow River valley and make up the great gap of water shortage and avoid the loss from draught in Beijing, Tianjing, north China and northwestern district. It will assuring and promote the economic development of north district, the development of the Yellow River, improve ecology environment. It has a very important economy influence and a long-term political impact in continues, fast and healthy development of the whole nation's economy, in society stabilization and in national long period of peace and safety etc.

3.1 The East Route

The east route intake water from Yangtse River, intake position is in Jiangdu county near Yanzhou city, water is transferred along the Beijing-Hangzhou Grand Canal and its parallel river course. It is gradually pumped higher to the north, via Hongzhe Lake, Luoma Lake, Nansi Lake and Donpin Lake, and traverse the Yellow River near Weishan, after that the water flows automatically. Along Weiling Canal, South Canal to Tianjing, the main stem is 1150km long, 651km lies south of the Yellow River; 9km is tunnel traverse the Yellow River and 490km lies north of the Yellow River, its water supply scope involves Jianshu, Anhei, Shandong, Hebei, Tianjing 5

districts. The difference in elevation between the highest point at Donping Lake impounded level and the intake water level is 90m, 13 pumping stations will be built, total pumping head is 65m.

The construction of east route chiefly includes water transfer engineering, water storage project and power supply project. Water transfer project includes strand project, pumping pivotal building, the tunnel traverse the Yellow River.

Water storage project is chiefly to reinforce Hongche Lake , Luoma Lake , Nansi Lake and Dongpinghu Lake etc on the south of the Yellow River. To extend the Tuanbewa that situated to the north of Tiangjing city and the Qianqingwa in Hebei province, and newly build the Dalangwa and Langwa in Hebei province. All the project mentioned above, including the Beida harbor reservoir, the total water shortage capacity is 9.1 billion m³, the quantities in the construction is 780 million m³, concrete used up to 53 billion m³, increased pumping capacity is 920 thousand kW, about 1300km electricity transmission line will be built.

3.2 The Middle Route

The middle route of the SNWT project intake water from the Danjiangkou reservoir situated on the Hanjiang River, which is a tributary of Yangtse River. Water transferred along the Tangbaihe River and the western edge of Huanhuaihai plain (east side of Funiou Mountain and Taihang Mountain), stride over the Yangtse River, Haihe River, Yellow River valleys, the water transferred will flow automatically to Beijing and Tianjin. The main target of the project is to supply water for the city domestic and industrial usage, giving attention to agricultural and other demand, it's water supply scope separately belongs to Beijing, Tianjing, Hebei province, Henan province and Hubei province.

The middle route project is mainly composed by 2 parts, the construction in the water intake area and water transfer engineering. The construction in the water intake area can be separated into continued construction of Danjiangkou Reservoir and the compensation project along the middle and lower part of the Hanjiang valley. The continued construction of Danjiangkou Reservoir is mainly to heightening the dam of the reservoir, this will involve the dealing of the problems in submerged district. The compensation project chiefly is to solve the possible unfavorable influence that the water transfer project bring about to the agriculture and shipping in the lower part of the Hanjiang valley. According to the real impact, some junction may need to be built and a water transfer project to carry water from the Yangtse to Hanjiang is expected, some of the sluice gate should be rebuilt and enlarged and some navigation pass should be regulated. Water transfer project includes the trunk canal and Tianjin trunk canal and the project to cross the Yellow River. The trunk canal is 1243.6km long, the Tianjin trunk canal is 143.6km long, the tunnel stride through Yellow River is 7km long, it composed by 2 tunnels, their cross-section is round, the diameter is 8.5m or so. The designed water transfer ability is 500m³/s.

According to heightening the dam scheme, the middle route project will first construct the partly compensates works in the downstream of the Hanjiang River. At

fulfillment about 45 billion m³ water can be transferred. The major project quantity of excavates is about 600 million m³, the stonework excavates is about 60 million m³, the cubic meter of earth and stone fills up is 230 million m³, about 15200 thousand m³ of concrete is used, 7180 thousand m³ of cement is used in tunnel lining, the reinforcing steel needed is about 700 thousand tons.

3.3 The West Route

The west route of SNWT project intake water from upstream of main tributary of Yangtse River and translate to upstream of the Yellow River. According to the west route scheme, reservoirs should be built on the upstream of Tontianhe River, Yalongjiang River and Daduhe River, water transfer tunnel will dug through the Bayankala Mountain, the dividing ridge between Yangtse and the Yellow River, so that water can flow into the Yellow River. Yearly average water transfer quantity is 14.5 – 19.5 billion m³. Among them 5.5 - 10 billion m³ from Tontianhe River, 4 – 4.5 billion m³ from Yalongjiang River, 5 billion m³ from Daduhe River. The major aim of west route engineering is supply water for the domestic and industrial usage, make-up the gap of water demand in agriculture, forestry and livestock production in six districts, they are Qinghai, Ganshu, Ninxia, Inner Mongolia, Shanxi and Shaanxi. They all situate along the upstream of the Yellow River, the other target is to promote the economic development in the Yellow River valley.

The topography geology circumstance along the west route is complicated, the elevation is 3000 - 4000m, weather is very cold and air there is oxygen-deficient.

The water surface altitude at the water intake dam locations is 80-450m lower than that at the outlet into the Yellow River, so, the construction of high dam and digging of overlength tunnel is needed in the west route project, the dams' height will be 150-300m, while the length of the tunnel will be 30-160km. Whether the geographical circumstance, or the depth, length and diameter dimension of tunnel is rare in the world, thus there will be a lot of technique difficult problems in the unearthing and building of the tunnels, these problems should be studied and solved.

4. The New Development in the Research of West Route

4.1 The Research Work Accomplished by the Re-connaissance and Designing Institute under YRCC

The research work of the west route of SNWT project began in the early 50's of 20

century, during the 30 years from 1960-1980, the YRCC and other units have gone on large-scale surveying; In 1982 the exceed prior planning research began, it finished in 1996 , the whole exceed prior planning took 10 years, in the same year began the program stage, according to the time schedule, 《 The West Route Scheme of South-to-north Water Transfer Project Program Report》 should be submitted in 2000. In 1999, the report is just under speeding-up to be completed.

4.1.1 Fulfil the Special Subject Report

- 1) The analyses of the hydrology meteorological phenomena reports: chiefly replenishing completes the runoff, flood and meteorological phenomena of the keystones along the Da-Jia water transfer line;
- 2) Transferable water quantity analysis: it's mainly replenishing the transferable water quantity in Da-Jia line;
- 3) The report on analysis of the unfavorable influence in the water transfer: mainly on the influence on the generated electricity of replenishing the combined adjust of exported water of the three rivers;
- 4) The project scheme : replenishing the keystones and layout of Da - Jia water transfer line;
- 5) Investing estimates and the report on construction;
- 6) The present condition and long-rang perspective into water resources of the Yellow River, this was completed on the research report 《 the important problem of the Huanghe River and countermeasure 》 ;
- 7) The analysis on the water transfer benefit;
- 8) The analysis of the power supply for the pumping station.

4.1.2 Field Operation

- 1) A surveying team was organized to reconnaissance survey the Da - Jia water transfer line and appraise the dam location, the team submitted a report of feasibility of the project program.
- 2) Many geology reconnaissance works have been done, including the indoor interpretation of the remotely-sensed image of the route and certification of the remotely-sensed image in the open field. 1/5000 surveying and mapping was carried out on Dukehe River Upper Duke dam location, Marqu Yartan dam location and Arkehe Keke dam location, probe drilling were proceeded both in upper Duke and Yartang, the drilled aperture in Upper Duke is 100m in depth, while the aperture in Yartang is 60m.
- 3) 2 hydrological station were established on the second tree farm on the Dukehe River and Banma county on the Marqu River, the 2 station went into work on May 1st 1999, the main task of the station is to confirm the exportable water amount.

4.1.3 Other Works

- 1) 2 reports were written for the Chinese Academy of Engineer, one is 《the West route of South-to north water transfer Project》 and the second is 《the Discription of the Zero-flow on the Yellow River》 , these reports is written by the research group of 《 northern water resources and South-to-north Water Transfer》
- 2) Worked out 《the South-to-north Water transfer project in the 10th Five-year Plan》;

- 3) Finished the 1 / 5000 topographic map of Upper Duke, Yartang, Keke, Duosong and Dorgen Dam locations, 85km² district was surveyed;
- 4) Telefilm and multi-medium has been made.

4.2 The research achievement produced by the National SNWT Research Center under North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power and foreign experts

4.2.1 Research Work of the Chinese Expert

Commissioned by the Reconnaissance and Designing Institute under YRCC, since 1997, the SNWT Research Center is charged with research work 《The Research on Deep covered, long tunnels in West Route Scheme of South-to-north Water Transfer Project 》, mainly there are 2 targets in the research:

- 1) Technical economy comparison between single tunnel and twin tunnel design, complete the single and twin tunnel design of Chang-Cha auto-flow line, make a technique feasibility demonstration on some key problems, fulfil cost-effectiveness analysis between the investment of single tunnel and twin tunnel design, and put forward recommendation opinion.
- 2) Measures of technique that may be taken in tunnelling through several special geology zones along Chang-Cha line; including measures in tunnelling through active broken course zones and broken course zones, in tunnelling through high crustal stress zones, and in facing the out-gush in underground construction etc.

In 1998 the research center submitted two reports. they are 《The Technique Measures to Be Taken in Tunnelling Through Special Geology Zones in Construct the Deep Covered, long tunnels along the Chang -Cha line》, and 《The Cost-effectiveness Analysis Between the Investment of Single and Twin Deep Covered long tunnel's Design in Chang-Cha line》. The former has gone on a thoroughly analyzing on the geology condition in the construction area, and puts forward the measures to tunnelling through active broken course zones and broken course zones. On the basis of the hydrology geology condition data, analyzed and classified the groundwater that possibly encounter in the construction of tunnel, and has put forward the prevention Technique measure when out-gush encountered in the construction; Especially a profound research has been made in rock burst forecasting, after comparing and analyzing deferent theory of rock burst forecasting, the grey method of best approximation and classification model used to forecast rock bursts has been put forward, this is important innovation in the rock burst forecasting theory, it has cast off from traditional rock burst forecasting theory, it can forecast rock burst possibility without any supposition. On the basis of this theory, the rock burst possibility along Chan-Cha line has been confirmed, and the rock burst intensity is between degree 1-2, that is between weak rock burst and the medium rock burst. A database of rock burst

examples has been established. In the second report, detailed technical economy analysis were given on the following: layout of the single and twin tunnel line, the dimension of the cross-section, lining cutting thickness, excavating scheme, muck removal design, ventilations and abstraction of water in the tunnel etc, and recommending single tunnel scheme as the best design.

When checking and accepting the report, the trust unit pointed out that the content is full and accurate, and material used in it is rich, the report has accomplished theory combining with reality, and the achievements is practical; The structure of the report is reasonably, and the discuss levels are clear, the conclusion is definite. It is valuable for the research work of deep covered long tunnels in the west route of SNWT, and this achievement is in leading level in the same problem researches at home.

To raise the level of this research work, The subject research center invited American and Japanese experts to China to take part in the jointly studying at deferent time, the foreign experts have submitted the research report successively , their work makes this research achieve the level advanced in the world.

4.2.2 The Research Work of American Expert

Under the approval of the State Foreign Expert Bureau, from August 10, 1998 to August 30, 1998, Professor Russell G. Clough, a consulting professor of civil engineering from Stanford University, USA, went to China to do a jointly research work with the experts of the Water Transfer Center. Mr. Clough submitted his report 《The Research Report on Construction of West Route Tunnels in SNWT Project》 .

Professor Clough's report researched the fault belt and broken course zones, water-gust (the groundwater dashed forward), rock burst, single and twin tunnel designs in the west route tunnelling project. When touching upon the fault broken course zones and water-gust, the report bring forward the technical measures such as surpassing drilling, grouting and draining off groundwater etc; Professor Clough thinks that the rock burst is a serious problem when tunnelling with TBM, to prevent the rock from bursting he suggest TBM should do it best to tunnel on continuously on a stable speed when there exists a rock-burst risk. This is also a good method to tunnel through the broken course zone. On selection of tunnel diameter, his recommendation is single tunnel with diameter of 10m, he dropped the design of twin tunnel with diameter of 7m; he suggested that the length of the section that every working face to tunnel had better not to surpass 30km, so a tunnel of 131km had better to be divided into 4 or 5 working faces. Using of conveyer belt should d to transport waste rock debris is a good method. Driving should excavate from lower ground to higher parts. He also talked about engaging skilled workers and machinists at a higher salary, and often do some preventive servicing on the equipments, these step will greatly reduce the cost of project.

To estimate the expenditure on the tunnel, Prof. Clough put forward the curve that shows the relation between the length of the tunnel and its expense. generally speaking, with the prolonging of tunnel, the costs of driving per meter reduces; tunnels at the length of 4 - 6km take the highest cost, when the tunnel is 20km long, the cost will descend, and this is a useful method in tunnelling cost estimation.

4.2.3 The Research Work of Japanese Expert

At the early stage undertaking the subject entrusted by the Designing Institute of the YRCC, we got acquainted with Myakawa Toshihiko from Konatsu Ltd. Jana, He is bound upon the friendship and intercommunion between Japan and China, by his over and again efforts, Shinichi Kubota, head of Japan China Friendship Fund department under the Sasakawa Peace Foundation, actively sponsor the research subject, he contacted 3 Japanese experts 岗崎登(who did not embarking), Yukiya Tanaka (田中幸哉, prof. Of Fukui University), tunnelling expert Mr. Qianyan Yongxiong (前原勇雄) to come to China for a jointly research. Mr. 前原 is a learned tunnel

Expert, his practice experience is very rich, he went on a large number of preparation work, including the compiling of 《The Study abstraction of Chan-Cha line auto-flow design in SNWT project》, his work made a good foundation for the jointly research, and has carried a large number of related books and material. For this subject he came to China twice to discuss the subject with Chinese experts, in his second visit, he stayed in China for 3 weeks, from Oct.17,1999 to Nov.6, and has finally submitted

《The Study and Discuss Report on West Route of SNWT Project》, the report reaches 15 pages.

Mr. 前原's research report is fruitful, its content is rich and detailed, the report both has very deep theory and very strong practicality, it is a material of one in a thousand for China scholars to learn. His report make this research achieve the international advanced level.

The geology problems and dealing methods that Mr. 前原's report discussed includes active broken course, fault broken belt, high crustal stress(rock burst), geo-thermal and the subterranean toxic gas; The report also approaches the single and twin tunnel design in the west route project, the employment of TBM and the budgets of funds etc.

The active faultage is one of the major geology problem that Mr. 前原's report discussed, in his report he has listed the examples in Japan. After his return to Japan, He mailed to us the 《The Collected Works of the 3rd Report Meeting on Active Broken Course Investigation Achievement》. In Mr. 前原's report, the science method of how to use GPS measure the active broken course is amply introduced, how to read and diagnosis the satellite photograph to recognize the active broken course along the west water transfer route. The countermeasure on fault belt and water-gust in broken course zones, He pointed out that firstly the investigation of geology should be done, using various technique and method to seal water or drain off the groundwater, and the measured of how to use TBM tunnel smoothly through broken course zone is also discussed. The west water transfer route goes through many magmatic rock area (black granite and green gabbro), the underground temperature is also high here, and some metamorphic rock stratum maybe hold poisonous gas, all the problems mentioned above is clearly discussed in Mr. 前原's report. When referred to the choice of single or twin tunnel design in the west water transfer project, Mr. 前原 approves of the single tunnel scheme that China expert recommends, and this is identical with the opinion of the US expert. Owing to the fact that the Chan-Cha water transfer line reaches 131km, consider all the aspects of the project, such as time limit, funds, equipment, carries, ventilates, muck removal, water-gushes and communication

etc, a long cave should be divided into short ones, construct the tunnel in sections. Mr. 前原 pointed out that in view of the special geographical features and geology condition of the west route tunnel, effort should be made to study the protect shield of TBM, the cutting blade, materials to make the shafting bearing, and stagnating water material etc.

As to the budgets of west route project, Mr.前原 has gone on a careful trial to calculate, though Chinese, American and Japanese experts all are refers the real circumstance of their own country, the result is very approximate. This result has provided an important support for the design of west water transfer route.

The Budgets of Chan-Cha water transfer ling in West Route Project Made by Chinese, American and Japanese Experts

Nationality	budges of Chan-Cha line	Compared with the budge made by Chinese expert
Chinese(RMB)	¥ 14.522 billion	100%
US(\$)	\$1.863 billion (¥ 15.463 billion)	106.5%
Japanese(yen)	191.8 billion (¥ 14.577 billion)	100.4%

* according to the present rate of exchange, 1\$=8.3 ¥ 100yen=7.6 ¥

4.3 The Mechanical Bureau under Ministry of Water Conservancy

A large number of mechanical equipment of water conservation in the construction of SNWT project. The research by the experts of Mechanical Bureau under MWC points out that the weather, geology and topographical features and geological structure stratum etc respectively has its own characteristic in the east water route, middle route and west route. So the mechanical equipment used in the construction can not be all the same. In the article 《 SNWT project construction and prospect in the mechanical equipment needed》, (China Water conservancy newspaper, 1999.12.16, 48 issues of economic weekly, a signed article), the authorities of the bureau pointed out that owing to the fact that the west route project construction place is in high elevation, the weather is cold and the air there is oxygen-deficient. The general machinery equipment that use fuel oil or gas as dynamic force such as transport vehicle, excavator, bulldozer, diesel engine, loader and the scraper etc, the fuil will not burnt completely. This reduces equipment power output, further more carbon grain will be produced, this in turn will exacerbate abrade of the equipment and reduce service life of the mechanical equipment. So, to study how to improve the performance of general machinery equipment so as to adapt the high elevation district condition, for example, how to improve the engine, is the problem that must be studied and settled.

There are a large number of tunnels in the west route project, the full face driving machine(TBM) will be adapted in the tunnelling. In consideration of the deep cover of the tunnels (400-800m), the length of the tunnel (tunnel in the Chan-Cha water transfer line is 131km long) and the complicated geology condition (there are many broken course zones and they are quite wide, water-gust, high earth temperature, high crustal stress and poisonous gas etc), the TBM used there should be specially equipped. When working in good conditions, open fuselage TBM can be used, in the complicated work conditions, single protection shield, double protection shield or Multi- protection shield TBM should be used. The key techniques of TBM includes: the blade plate and blade fasting tools system, cutter design and material nature, the big tooth circle and mechanical bearing that strut the knife plate revolves. The geology detection system in front of the working face; Some hydraulic pressure component and automatic control systems . The TBM that used in some special

geology belts in west route should consider the following factor:

- a. Can smoothly tunnelling through the larger fault belt and broken course zone;
- B. Can deal with Big water-gust belt;
- C. Can pass through the high crustal stress and high ground temperature zone;
- D. Possess the surpass drilling and grouting ability;
- E. Possess the surpassing geology detection device etc.

Discussion on the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project
at North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power

**Report on the Basic Investigation for
the West Route Scheme of the South-to-North
Water Transfer Project**

Mahara Isao, Consignee

The Sasakawa Japan-China Friendship Fund

1999.11

November 5, 1999

November 11, 1999 revised

Discussion on the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project
at North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power

Report on the Basic Investigation for
the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project

Mahara Isao, Consignee

The Sasakawa Japan-China Friendship Fund

1. Period

October 17 to November 17, 1999 (visited North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power from October 18 to November 6).

2. Purpose

The basic investigation and research on the water transfer tunnel for the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project is being conducted in China, led by Professor Cui Yunhao of the North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power. The purpose of my trip to China is to participate in and assist the research by

introducing and discussing Japanese technology and real examples on tunnel construction.

The Sasakawa Japan-China Friendship Fund arranged discussion meetings and field trips by sending Miyakawa Toshihiko of Komatsu Ltd. and Dr. Tanaka Yukiya of Fukui University to China, and inviting Chinese researchers to Japan.

This discussion was aimed at providing a more detailed and concrete feasibility study of the tunnel construction.

3. Introduction

3.1. Prior Condition

During August 31 and September 4, 1999, I visited the North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power for an advance investigation. In interviews with Chinese researchers, I learned that they were specially interested in the following topics.

a. Geological Problems

- * Investigating methods on active fault and its movement;
- * Countermeasures for gush problem of fault or areas with fault disturbance;
- * Countermeasures for crust stress and rock burst problem;
- * Countermeasures for high temperature stratum problem;
- * Countermeasures for poisonous gas.

b. Choice of Single or Multiple Tunnel

The possibility of a single tunnel of 131km x 10m ϕ .

c. Controversial Points on TBM

d. Examination on total cost

3.2. Preparation in Japan

Based on the above concerns, with the permission of the director of the Sasakawa Japan-China Friendship Fund, Kubota Shinichi, I bought 15 technical Japanese reference books. In addition, I also collected photo copies of 17 issues from academic journals related to tunnel construction. (See Appendix I and II)

The above references are all in Japanese, which not all Chinese-side members can read fluently. However, because they are technical references, it is not too difficult to understand their basic meaning with the assistance of maps, tables, graphs, pictures, and Chinese characters. They can have the most important parts translated if needed.

As for myself, with the help of dictionaries two months' effort, I believe that I can mostly understand the Chinese report on the project. There are dangers of misunderstanding affirmation and negation, future tense, present tense, and past tense, and the meaning of Chinese characters. In my case, it is specially difficult to understand foreign words translated into Chinese.

Tunnel construction is a comprehensive undertaking of science, technology, production management and economy. It is a wide field even if only concentrating on technology. Therefore, to avoid any mistakes on issues related to tunnel construction, I made a check list in advance. And I planned to discuss the above mentioned four topics with the Chinese researchers as they required.

In addition, to make it more convenient to use, I put the references with the related items on the list.

This list was translated into Chinese according to Professor Cui's arrangement.

3.3 Regarding the New Material From Chinese Side

"Research on Tunnels for the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project: Comparative Research on the Technology and Cost of Single and Multiple Tunnels for

the Chang-Qia line," National South-to-North Water Transfer Project Research Center under North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, February, 1999.

I received the above report as soon as I arrived at the institute.

In this report, disposition plans for both single and multiple tunnel, size comparisons of tunnel diameter, segment design, cut-and-cover section, and ventilation and drainage problems were concretely discussed. Construction cost was also estimated. It was concluded that it is better to build single tunnel.

If I had read this report before I visited China, I would have had a better focus on the Japanese side reference materials.

In the report, 8 vertical shafts, 3 construction tunnels, and 8 construction districts were planned. Their position, height, expected sections, and the style of connection with the main tunnel were clearly shown. Furthermore, transportation, ventilation, segments, countermeasures for poisonous gas, and power problems were discussed. The expected cost and possible overruns were also estimated.

Although with further investigation the plan may have to change a little, the report is considered to represent the design for the tunnel construction.

In tunnel construction, to ascertain the geological conditions ahead of time is a major proposition that will affect the safety and efficiency of construction. Therefore, advance investigation is very important. A test should be conducted where possible to gather underground information.

Because of the existence of the excellent report mentioned above, when I explained the current situation and the references of the Japanese side, I ignored the general items and only focused on the four items of most concern. During the discussion, every item was discussed back and forth. Here, they will be reported in the order of the prior conditions mentioned in 3.1.

The main members of the Chinese side discussion group include: Professor Lei Kechang, President of the North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power; Professor Cui Yunhao, Director of the Geology Department, the North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power; Professor Chen Nanxiang, Rock and Earth Engineering Department, the North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power; Professor Wang Tieqiao (interpreter), Chief Director of the Japanese Language Research Association, Henan University.

4. Discussion 1: Several Points on Geology

4.1. Investigation Method for Active Faults and Their Movement

4.1.1

In Japan, the Kanto Area (centered on the Tokyo and Yokohama areas) had several big earthquakes, and now, led by the Meteorological Agency and the Geological Survey Bureau, public organizations are constantly conducting accurate surveys. The purpose of the surveys is earthquake prediction. It is not specifically for surveying active faults. According to plate tectonics theory, if the sinking of a plate (the trench of the sea of Japan, North America plate, and Philippine plate), or the cramping of a mainland plate (on which Japanese archipelago is located) exceeds certain limits, a major earthquake occurs. So, through surveying and determining the amount of up and down movement and the amount of displacement in the peninsula area of Boso, Miura, and Izu, the movement is closely watched.

Active faults are those for which there is historical evidence of activity. In Japan it is often noted after the fact that the fault line moved so many mm, but there has never been an example in which a moving fault line has been definitively measured.

For example, since the investigation for the construction of Seikan Tunnel started, over 30 years ago, because of worries about an active fault, an accurate survey has been conducted around Tsugaru Strait, but no displacement has been found.

* See reference book 16.

* In retrospect (November 9):

I visited the Sasakawa Hall to report on this trip. Public lectures on survey results of active faults happened to be held by the Science and Technology Agency in the international hall. After talking with Mr. Watanabe of the executive office, he kindly gave me a set of the lecture manuscripts to send to the Chinese researchers. I immediately sent them to Professor Cui by airmail. The manuscript is as follows:

Manuscripts for
The Third Public Lectures on
The Result of Surveys on Active Fault
Date: November 8 & 9, 1999
Place: Sasakawa Hall, International Hall
November, 1999
The Science and Technology Agency

4.1.2 Earthquakes and Tunnels

As for the relation between earthquakes and tunnels, compared to the surface, underground tunnels are much less affected by earthquakes. For example, in the suburbs of Kobe there are many tunnels, such as bullet train tunnels, subway tunnels, national highway tunnels, but it is said that during the Kobe Earthquake there was almost no damage to the tunnels compared to ground facilities. Only some collapsed earth at the surface opening, and cracks on the inner walls were reported.

In my own experience, during breaks in a mine pit, I have heard sounds like thunder from far away on several occasions. As soon as it happened, I called the ground and was told

that there was an earthquake. The vibration was not felt underground.

* See reference book 16 (p 194), and reference 3.

The part of tunnel which crosses a fault line is usually stable, and no extraordinary places on the supporting internal wall can be found. If the fault line moves when there is an earthquake, the supporting internal wall will be destroyed no matter how strong it may be. But even when the tunnel crosses a big fault displacement, it is possible to approach the site and conduct restoration construction after the earthquake. A difficult situation such as vertical displacement is also possible, but I believe it can be resolved.

4.1.3 About GPS Measurement

A method to measure the three-dimensional position of a testing site on surface within 20 mm was developed and is used in business using signals from satellites. Real time testing is possible if error in height can be ignored and horizontal error within 10 m is acceptable. In Japan, GPS is used for automobiles (where it is called a car navigation system) and sold for about 150,000 yen. It is very convenient.

Therefore, with a special high quality system and several hours, it is possible to make the accurate measurements mentioned above. There are contracting teams in business in Japan, US, and European countries.

*See reference book 10, and 11.

*Appendix III: Commentary on GPS Summary (abstract of principle part from reference book 10 and 11)

GPS measurement is considered to be very efficient for the West Route Scheme, but there are several points that we have to pay attention to. When it is used to measure altitude, since it is rigidly related to the shape of the earth, which is close to an ellipse and geoid, without the help of specialists in geophysics, geodetics, and topographical survey, the judgements may be mistaken.

With this in mind, since there are fewer problems using the traditional method of level survey to conduct detailed measurements, the traditional method should be used for setting up vertical position.

4.1.4 About the Geode Meter

These is an instrument which uses lasers to measure distance with extremely accuracy. With it, it is possible to conduct real time measurements. Since it is portable, there is plenty of scope for consideration.

4.1.5 About Aerial Photographs

It is now very easy to get aerial photographs, including those from satellites. Satellite photographs accurate to 1 m should be very useful for the West Route Scheme. Using the American private satellite Econos, a 11 km x 11km range can be made for 350,000 yen. Therefore, the photographs accurate to 1 meter for the whole West Route Scheme (131 km) can be done by a total of 5,000,000 yen.

With satellite photographs, various kinds of faults, areas with fault disturbance, and areas with collapse, which may be missed in a field survey, can be found.

*See reference on aerial photographs

4.2. Countermeasures for gush problem on faults or areas with fault disturbance

4.2.1

The first countermeasure for gush problems is to estimate the most likely gush site through prior geological surveys.

Second, during the construction the lead boring should be at least 20 meters ahead to discover water layers, cracks, or broken layers in advance. There are many examples in which even with lead boring, gush accidents still happened. This is evidence that the nature changes endlessly. Mochida deplored in his book the fact that leading boring can only get 50% of the information. But, what we can do is just try our best to read the information from boring carefully.

If a possible gush site is discovered, we can set up several borings to remove the water. There are some aggressive methods, such as deep well and well point, to remove water.

If the amount of water is too large, and there is no tendency to reduce, it will not work to try to remove the water. In this case, we should push water stopping materials into many boring slits, and form a waterproof area in front of and around the planned tunnel.

*See reference book 4, 7, 16, and reference 11, and 12.

4.2.2. Breaking Through Methods

TBM can be used in the case of a certain amount of gush, and can also be designed to conduct airtight boring by its own power. However, it is not useful in a disturbance area or weak rock area. Therefore, in these areas it is the best to change to bench cut method, guiding drift method, and other methods until it gets to the area where we can use TBM.

TBM is often considered a method that can perfectly stop water and break through broken

zone. However, when the piece of broken bedrock is too big, and the lifting equipment can not pass through, the cutterhead can be broken, and the possibility of being stuck is very high. When this kind of situation happens, there is no choice but to take the danger to send a person in front of the TBM after the water stop construction, and try to solve the problem. It is not a desirable situation.

Water Stopping Dam

To be prepared for the worst gush, one method is to set up bulk head in the middle of tunnels.

When I was working in mines, it was required to set bulk heads in submarine coal mines. We had the experience of having prevented the water pouring into other mine lot.

The Amount of Water

In Japan, the largest recorded amount was 800 tons per minute. In that case, water flow out from the tunnel and the houses at lower course were swept away. The Seikan Tunnel had a record of 80 tons per minute. At that time, the gush spot happened be to in the working drift, several temporary dams were built with sandbags, the water was temporarily led to the main tunnel and then was removed by enhanced draining pumps.

With the pass of time, in most cases, the amount of water will reduce to 10 to 20 percent. This is because water is stored underground in a free condition, when it flows out the storage reaches the bottom, and only the percolated water left.

* See reference book 16.

4.2.3 Countermeasures for rock burst problem

When I was working at mines 400 to 500 meters underground, during the quiet periods I would often hear cracking noises. This was the sound of small crack developing in the rock bed. When cracks occurred air entered the rock bed and reverberated loudly. For coal mines, spur accidents (a huge amount of methane gas bursting out from coal layers with broken coal) often happened, but I did not know any examples of rock burst accident.

Since the rock burst problem is often connected to accidents in China, I did some research on reference materials in Japan, and found that a similar example happened at Joetsu Bullet train construction. One or two hours after the new surface is created by blasting and things have settled down, concrete is sprayed before drawing near the surface. Or metal netting or Synthetic fiber netting is placed over the surface.

Rather than the depth of the shaft, it is the type of rock that causes condition to vary, rock burst occurs more often in dried hard rock, and rarely occurs in wet rock.

* See reference book 4, and 1.

In Japan, there are few cases in which death or injury occur through flying broken pieces or falling rocks (which are not larger than a Japanese tatami mat). Because most digging in the West Route Scheme will make use mainly of TBM, rock burst countermeasures should be rather easy.

4.2.4 High Temperature Stratum Countermeasures

Generally, it is said that ground temperature rises 1 °C per 30 to 40 meters. For example, if the layer is 800 meters, $800\text{m}/30\text{m} \times 1\text{ }^{\circ}\text{C} = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$, and the atmospheric temperature is 10 °C, then the temperature should be 37 °C. If you add to this the heat produced by machines and the oxidization of metals in the rock bed, then the temperature will exceed legal working limits in

both China and Japan.

Usually, large amounts of air are used for cooling. In high altitude areas, one method is to use the cold water from valley rivers which can be led into shafts to cool the air through use of a heat exchange device. In the past I have this used at a copper mine in Japan. I cannot remember exactly what the temperature difference between the input and out exits of the heat exchange device was, but including the effect of lowering the humidity I recall feeling that it was very effective.

As for the temperature within the shaft, the gush of hot water is the most dangerous. It is necessary to use such things as heat protected drainage pipes.

It is possible to calculate the effectiveness of using air for cooling by the concept of enthalpy, assuming the above mentioned water temperature, conductivity rate of the rock bed, the amount of air circulation, humidity etc. In any case, a large amount of air is circulated, in the report mentioned in 3.3, wind speed, quantity of airflow, and escaped air were estimated.

In reference paper 9 there is an actual example of just how large the cooling effect of large amount of air is.

* See reference book 6, and reference paper 9.

4.2.5 Poisonous Gas Countermeasures

This issue was mentioned in the report cited in 3.3, but was not thoroughly discussed. Since this stratum is composed primarily of metamorphic rocks of the Mesozoic era, there is almost no possibility of exploding methane gas or coal dust. The problem of lacking of Oxygen, caused by air pressure method, will not happen as long as the air pressure method is not used. However, we should not let our guard down, if the air circulation has been stopped for a certain amount of time, it will be very dangerous. There are many examples of death

caused by carelessness or mistakes, for example, when people enter old shafts or shafts being built where the air circulation stopped.

5. Discussion 2: Single or Multi Tunnel?

5.1.

When I read the report mentioned in 3.3, I thought I would like to recommend the single tunnel plan, although there was perhaps no other example like it in the world. The reasons are as follows.

(1) There are 8 vertical shafts planned. In which case, while under construction the actual single tunnel with air circulation problems will be no longer than 9 kilometers. Of course, I do not know anything about this kind of example yet. However, if the effective cross section is 10 meters (diameter), there are several possible ways to guarantee the air circulation quantity. One possibility is to compress the air, decreasing its volume and circulate it. If released at the edge of the working face, through the adiabatic expansion effect it will become cold air. However, the air within the tunnel will also be compressed, therefore, the returning air will probably become hotter. It is necessary to discuss this with a thermodynamic specialist.

(2) Also, as for the removal of slag and the sending in of supplies, 10 meters (diameter) is quite effective. This open inner cross section is bigger than the bullet train single tunnel multi-line cross section of the Seikan Tunnel. Long distance belt conveyors and multi-line railways can be used together. Transport work logistics can be accomplished extremely easily.

(3) Concerning countermeasures for abnormal gush, underground water tanks should be useful. The plan is to prepare water tanks of several thousand ton capacity near areas where dangerous water zones are predicted in order to buy time in an emergency. This should be

considered a necessary condition for human safety.

6. Discussion 3: Problems with Using TBM

6.1.

There is yet no example in the world of actual use of mountain TBM of 10 meters (diameter) and above. Even if there had been one, there is none of such a long distance. However, there are already many successful examples in Japan of using shields to cope with weak ground. There are probably many of these examples in the world. Well-known Japanese, American or European makers will not hesitate to be candidates for making such digging equipment.

6.2.

If TBM coincides with the condition of rock bed, it can bring its ability into full play. This has been proved in the construction of Euro Tunnel.

However, TBM also has many weak points. In the case of a zone with fault line with water, or a zone of weak ground with water, its fatal defects will be exposed. Therefore, the importance of the geological survey cannot be too much stressed, nor can confirmation of the kind of rock and fault line zones. At past, my team had bitter experience of giving up the use of TBM and it was decomposed and pulled out of tunnel.

I hope reference paper 2 will be translated so people on the Chinese side who will take charge of the TBM can read it. It is an authoritative reference with the real experience of TBM construction under bad conditions in Japan, and it also has a future prospectus of TBM.

* See reference paper 2.

It is planned to use segments in the West Route Scheme. If TBM is well designed, even if the condition is quite bad, it is still possible to break through. However, if the conditions are

expected to exceed limits, it is necessary to be prepared to change to other methods without hesitation.

Since it is a unprecedented long distance digging, it is necessary to do a joint study with the maker's design team, and make the change of the consumption parts such as cutter, bearing material, and water stop material safe and easy.

6.3. About Segments

When I first visited China, I learned that the price of a segment was several times that of a digging machine, therefore, I debated for using segment. It is also not favorable for later maintenance or the supporting design for diverging points.

However, as for the high efficiency of digging work and safety, the use of segments is without question more profitable. The special attractive part of using segments is that many TBM failures were due to the gripper, and segments can work as a back anchor and support it steadily. Even in cases where the plan calls for the use of a gripper shoe, when faced with a weak zone, it is easier to change to a method that does not rely on it. If there is no need to worry about this one aspect of the gripper, it is possible to concentrate on countermeasures for the TBM front face.

Segments make use of reinforcing rods so it is necessary to make sure that there is enough concrete cover, otherwise 10 or 20 years later there is the possibility that the rods will rust and the concrete will be damaged. It is important to examine the design plans before hand, to make sure of the positioning of the rods when they are placed, and use quality concrete, making sure of the water to concrete ration.

7. Discussion 4: Estimation of Total Cost

This is a most important point and based on the material currently available it is very difficult to estimate. Moreover there can be unexpected changes on site (usually tending towards negative situations) thus making estimates even more difficult. Within the estimates mentioned in the report in 3-3, cost increases due to uncertain conditions were considered.

$$\text{Estimate of total cost} = \text{original estimates} \times (1 + \alpha) \quad \alpha \doteq 0.5$$

Therefore, while keeping in mind α as a safety margin, I have made my own estimate. My estimate was based on the average Japanese site, in which conditions found in the West Route Scheme such as remoteness, high altitude and extreme cold are not found. Looking at the results, my estimate was a bit higher. Because the conditions are not exactly the same, a simple comparison is not possible, but I believe that the influence of the use of segments is large.

* See Appendix IV: The Estimated Construction Expenses of the West Route Scheme

7.1. Impressions of the estimates in the report mentioned in 3.3.

7.1.1 The segment price is too low.

It may just be that in Japan aggregates together are very expensive but, for concrete for which the compressive strength is from 400 to 450 kg/cm², the Chinese estimate is too low. Because there are also problems concerning the quality of concrete, this should be looked at once again.

Even in Japan, so-called raw concrete (compressive strength 180–240 kg/cm²) can be obtained for 8,000 yen/m³. However, this is concrete for use in regular construction. It is not nearly strong enough for use in segments. Therefore, from a Japanese business point of view,

this is a price for which no profit can be made. It would be best to have a Chinese specialist examine this.

7.1.2 The number of reinforcing rods called for in the Chinese estimate is much more than in my estimate.

If the amount of steel called for in this chart is for segment reinforcing rods, it is many times more than my estimate. My estimate calls for 310,000 tons. Even if including other steel amounts, the Chinese estimate is too much.

Normally, concrete products are designed so that the reinforcing rods submit before hand. Japanese construction manuals follow this. One cannot increase the strength of reinforced concrete simply by increasing the number of reinforcing rods. For segments the total amount is 5-10%, the estimate calls for 7%. A strong design using steel frame concrete is also possible, but even in that the amount of steel called for is too large.

7.2 The price of TBM

I am a little uncertain about this estimate because I am not updated on the latest technology. Though it depends on make, the price for a machine should not vary too much.

8. Acknowledgements

During the four weeks I have stayed at the North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power (including the first visit), I was helped by many people. I would like to express my gratitude to them (see the following list). I also would like to thank all the people whom I did not even have the chance to know their names.

The North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power:

President	Professor Lei Kechang
vice President	Professor Zhao Zhongji
Department of Geology	Professor Cui Yunhao
Department of Rock and Earth Engineering	Professor Chen Nanxiang
Department of Rock Engineering	Professor Liu Handong
Power Department	Professor Chen Dexin
Foreign Affairs Office, Personnel Division	Ms. Zhang Meijuan
Foreign Affairs Office, Personnel Division	Ms. Nie Mengxi
Office of Economics and Management Department	Ms. Dong Hua
Foreign Language Division	Associate Professor Zhang Yuhua
Foreign Language Division	Associate Professor Yang Haomei
General Education Division	Associate Professor Li Guangrong
Driver	Mr. Tian Juqing
	Professor Sun Xujin

Henan University:

Chief Director of the Japanese Language Research Association

Professor Wang Tieqiao

The Committee of Yellow River Water Conservancy

Foreign Affairs Office

Ms. Yuan Zhongqun

Jianghe Guesthouse

Department of Guest Room

Ms. Wang Shuangjie

Ms. Liu Fengmei

Department of Dinner Hall

Ms. Guo Xiaohua

October 1, 1999

November 19, 1999 revised

Appendix I: List of Reference Books

References for the feasibility study on the West Route Scheme of the South-to-North Water Transfer Project at North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Sasakawa Peace Foundation bought the following books (totally 17 books).

1. *Tunnel Standards: Volume on Mountain Construction Method (Tonneru Hyojun Shiho Sho: Sangaku Koho Hen)*, Doboku Gakkai.
2. *Tunnel Standards: Volume on Shield Construction Method (Tonneru Hyojyun Shiho Sho: Shirudo Koho Hen)*, Doboku Gakkai.
3. *Tunnel Standards: Volume on Cut-out and Cover Method (Tonneru Hyojyun Shiho Sho: Kaishaku Koho Hen)*, Doboku Gakkai.
4. *Tunnel Library 5: Supplemental Construction Method for Mountain Tunnels (Tonneru Liburari 5: Sangaku Tonneru no Hojo Koho)*, Doboku Gakkai.
5. *Tunnel Library 7: Vertical and Diagonal Mountain Tunnel Shafts (Tonneru Liburari 7: Sangaku Tonneru no Tateko to Shako)*, Doboku Gakkai.
6. *Tunnel Geological Surveys and Rock Bed Measurements (Tonneru no Chishitsu Chosa to Ganban Keisoku)*, Doboku Gakkai.
7. *The Use and Evaluation of Surveys and Measurements of Tunnels (Tonneru ni okeru Chosa Keisoku no Hyoka to Riyo)*, Doboku Gakkai.
8. *Liquid Mud Pressure Shield Construction Method (Doromizu Kaatsu Sirudo Koho)*, Kurihara Katsuo, Kashima Shuppankai.

9. *Introduction to Underground Water (Chikasui Nyumon)*, Chiban Kogakukai.
10. *Manual for GPS Measurements and Base Line Analysis (GPS Sokuryo to Kisen Kaiseiki no Tebiki)*, Tsuchiya Jun and Imakirei Tetsuro, Nihon Sokuryo Kyokai.
11. *GPS Measurement for Practitioners (Jitsumusha no Tame no GPS Sokuryo)*, Sada Tatsunori, Nihon Sokuryo Kyokai.
12. *Ministry of Construction Integration Guidelines for Engineering Works 1999 (Kensetsusho Dommoku Koji Sekisan Kijun: Hesei 11 Nendo Ban)*, Dommoku Koji Sekisan Kenkyukai.
13. *Construction Prices: October Issue (Kensetsu Bukka: 10 Gatsu Gou)*, Kensetsu Bukka Chosakai.
14. *The Story of Seikan Tunnel (Seikan Tonneru Monogatari)*, Yoshii Shoten.
15. *Dover Channel Railroad (Doba Kaikyou wo Tetsudo ga Hashiru)*, Uga Katsuo, Asunaro Shobo.
16. *From the Seikan Tunnel to the England-France Channel Tunnel (Seikan Tonneru kara Eibutsu Kaikyo Tonneru he)*, Mochida Yutaka, Chuko Shinsho.
- X 17. *The Study of Tunnel Construction (Tonneru Kogaku)*, Kasuya Itsuo, Kyoritsu Shuppan.
- X 18. *Irrigation Studies for Technicians (Gijutsusha no Tame no Suirigaku)*, Sato Seiichi, Morikita Shuppan.
- X 19. *Mining and Coal Mining Handbook (Saiko Saitan Handobukku)*, Sayama Sohei, Asakura Shoten.
- X 20. *Mountain Mining Safety Handbook (Kosan Hoan Handobukku)*, Yamata Minoru, Asakura Shoten.
21. *Manuscripts for The Third Public Lectures on The Result of Surveys on Active Fault (Dai 3 Kai Katsudanso Chosa Seika Houkokukai Yokoushu)*, Kagaku Gijutsu Cho.

* In retrospect (November 19):

Book no. 17--20 are general reference books, and are out of print now. There are also some similar books in Chinese at the library of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power. I thought it might be useful for the discussion, and brought my own copy to China. However, they were only used for explain the underground dam, so I brought the back with me.

Appendix II: List of Photo Copies of Reference Papers

I made photo copies of the following reference papers from academic journals.

1. "Introductory Applied Geology for Tunnel Technicians (Tonneru Gijutsusha no Tame no Oyo Chishitsu Nyumon)" (1) - (3), Oshima Hiroshi and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 30-3 (March 1999) - no. 30-7 (July 1999).
2. "Can TBM Overcome Japanese Geology? (TBM wa Nihon no Chishitsu wo Kokufuku Dekiru ka)" (1) - (3), Nishimatsu Yuichi, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-3 (March 1998) - no. 29-5 (May 1998).
3. "Survey and Examination of the Movement of Rock Bed Cavem During Earthquakes (Ganban Kudo no Jishinji Kyodo Kansoku to Kosa)," Hamada Masanori and others, *Journal of the Civil Engineering Association (Doboku Gakkaishi)*, no. 341(January 1984).
4. "Japanese Technology and the Alps Tunnel (Arupusu Tonneru ni Nihon no Gijutsu)," Kitakawa Shuzo and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-4 (April 1998).
5. "Feedback from Construction and Maintenance Management (1) - (4): Suggestions from Example of Accidents (Kensetsu, Hosyukanri he no Fidobakku (1) - (4): Henjo Jirei kara Mita Teian)," Imaki Jinichiro and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-5 (May 1998) - no. 29-8 (August 1998).
6. "An Examination of Supportive Design for Tunnels with Large Earth Covering (Do kaburi ga Oki Tonneru no Shiho Sekkei ni Kansuru Ichi Kosa)," Mashita Hideto, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 30-2 (February 1999)

7. "Practical Research on the Role of Supportive Construction in Places of Comparatively Good Condition (Hikakuteki Ryokona Chiyama de no Shihoko no Yakuwari ni Kansuru Jikkenteki Kenkyu)," Nakata Masahiro and others, *Journal of the Civil Engineering Association (Doboku Gakkaishi)*, no. 523/VI-43, 85-95 (June 1999).
8. "Practical Research on Underground Water in Rock Bed Caverns (Ganban Chika Kudo no Chikasui ni Kansuru Jikkenteki Kenkyu)," Ito Hiroshi and others, *Journal of the Civil Engineering Association (Doboku Gakkaishi)*, no. 342 (February 1984).
9. "Terrestrial Heat Countermeasures in Small Section Tunnels (Sho Danmen Tonneru ni okeru Chinetsu Taisaku: Aoni Dosui Tonneru)," Otsubo Yoshiaki and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 30-6 (June 1999).
10. "Examination of Large Section Tunnel Supportive Structures in Fresh Granite (Shinsen Kakogan ni okeru Dai Danmen Tonneru Shiho Kozo no Kensho: Dai ni Meishin Kosoku Doro Ritto Tonneru)," Nita Hiroshi and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 30-1 (January 1999).
11. "Kohoku Tunnel Buried in Earth and Sand: The Occurance of Quicksand Caused by Broken Layers and High Water Pressure which exceeded expectations (Dosha ni Umatta Kohoku Tonneru: Yoso wo Koeru Hasuitai to Kosuiatsu ni yori Kuikkusando Gensho ga Hassei)," Oda Hiroshi, *Nikkei Construction*, May 14, 1999.
12. "Opposing none Convergent Displacement with SFRC (SFRC Fukuko de Shusoku Shinai Heni ni Taiko: Tohoku Shinkansen Iwate Tonneru Mejika Koku)," Okumura Koichi and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-5 (May 1998).
- 12-2. "The Construction of the Second Segment Approaching the Main Structure Line (Choo Kozosen ni Kinsetsu Shita II Ki Sen no Shiko: Matsuyama Jidoshado, Ozu Tonneru)," Ishii Kenichi and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-5 (May 1998).

13. "Digging a 450m Vertical Shaft from 1,790 meters above Sea Level (Hyoko 1,790m kara 450m no Rikko wo Kussaku: Ippan Kokudo 158 go Abo Tonneru Kanki Riko)," Tanno Hiroshi and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-8 (August 1998).
14. "The Separation of the Underground Connection and Double Layer Shield Directly Under Route 7 (Kanjo 7 go Sen Chokka de no Chicho Setsugo oyobi Nidanshiki Shirudo Bunri: Kan 7 Tokai Matsubarahashi Kanro Shinsetsu Koji)," Otsuka Masahiro and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-1 (January 1998).
15. "Challenging Soft to Medium Hard Rock with the Boom Cutter Shield Machine (Nanjaku Chukogan ni Idomu Bumu Katta Shirudo Ki)," Hoshino Akira, Shield Construction Training Meeting (Shirudo Koji Koshukai).
16. "Efficient Digging with the First Large-scale Free Section Digging Machine in Japan (Kokunai Hatsu no Ogata Jiyu Danmen Kussakuki ni yoru Koritsuteki Kussaku: Kokikaku 127 go Tomitsu, Tateyama Doro Chikuoka Daiichi Tonneru)," Nakagawa Makoto and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-12 (December 1998).
17. "The Structure of the Occurrence of Accidents in Mountain Tunnels and Their Countermeasures (Sangaku Tonneru no Henjo Hassei Kiko to sono Taisaku)," Asakura Toshihiro, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 30-6 (June 1999).

October 21, 1999

November 19, 1999 revised

Appendix III: Commentary on GPS Summary

Tsuchiya Jun and Imakirei Tetsuro, *Manual for GPS Measurements and Base Line Analysis*
(*GPS Sokuryo to Kisen Kaiseki no Tebiki*), Nihon Sokuryo Kyokai.

1. GPS - Global Positioning System
2. GPS is a system which allows for highly accurate 3-dimensional measurement of the Earth's surface. For example, if 10 meters error is permissible for cars and boats, it is capable of nearly instantaneous measurement. In such cases, the margin of error in measuring height is quite large.
3. If precision methods are employed accuracy to within plus or minus 20mm is possible. This requires several hours for measuring and the use of a computer for measurement data. Realtime measurement is impossible. By employing a discrete standard point, building a network every few kilometers, and determining the distance between individual measuring points, highly accurate measurements are possible.
4. There are 24 satellites in orbit. Measurements are made using the radio waves from four of these. Excluding possible interference from mountains, valleys, buildings, etc, there can always be four satellites in position, rain or shine, sending radio-waves 24 hours a day.
5. 3-Dimensional measurement is related to the WGS-84 (World Geodetic System 1984) value (related to the earth's oval shape), when measuring at sea level one must be careful since it is not in principle directly related to a geoid.
6. The "static interference measurement" measurement principle used in high accuracy

measurements is used in radio-wave astronomy. Just as with measuring the position of pulsars or quasars, it uses radio-wave interference.

Satellites travel in correct orbital conditions. They have extremely accurate clocks within them, and each satellite's radio-wave are in perfect harmony. Therefore, terrestrial positions can be determined with high accuracy (especially when the relative positions of more than two target points are used).

7. Theoretically it is possible to measure with the radio-waves from three satellites but, in order to revise cases where the receiver mechanism's clock is not correct, the radio-waves of four satellites are used. The computer software for this varies with the maker, including corrections for tides and the theory of relativity, therefore it is difficult to decode in detail.

8. As for the West Route Scheme, if measuring only the movement of active fault lines, it will suffice to measure the relative distance between individual points. If measured yearly for a number of years it should produce necessary results.

If used for high altitude measurements or for the positioning of tunnel vertical lines, as mention in 5 above, one must take into account the geoid. From the map we can read that the geoid at the site is approximately -40 meters. However, the chart on page 50 does not include oval-detail so it is unclear. It is possible that the IUGG 1967 (International Union of Geodesy and Geophysical) is used but that must be checked.

9. Even taking the geoid to be -40 meters, if the standard measurement method used up to now is used, and detailed pitch put into effect, the standard will follow the geoid and, barring any sudden changes in the geoid, should not have any effect on the basic functions of the tunnel.

10. On page 59 of this book, there is an example in which the difference between GPS and (geoid) standard measurement is 70cm for 15km. It will be necessary to enlist the aid of experts in geophysics, geodesy, and topography when it comes time to place the tunnel vertical lines.

11. There are numerous GPS device makers, software makers, and measurement teams in Japan. They are also available in the West.

Appendix IV: The Estimated Construction Expenses of the West Route Scheme

Water Transfer Tunnel

Long 131km x Internal Diameter 11.10m x Effective Diameter 10m x Gradient 1/3,000

Items	Breakdown	Estimated Expenses (billion yen)	Chinese-side Estimated Expenses
TBM	11m ϕ x (body+attached equipment)=1,200 ton 8 x 1,500,000yen/ton (price in Japan, +20~30% for abroad including instructor)	14.4	15
Digging Expenses	20person x 131km x 80,000yen/person (including wage, power, management, etc.)	42	69
Segment	10m ϕ x 0.45mt x 1.5mw x 9p concrete 14m ³ /m x 12,000yen/m ³ reinforcing rods 2,310kg/m x 40yen/kg bolts 50kg/m x 150yen/kg seal material 2,000yen/m processing costs = total x 1.5 = 407,400yen/m	89	23.8
Ground Material	3.5m ³ /m x 1.5 x 20,000yen/m ³ (internal diameter 11.1m)	1.4	1.2
Attached Equipment	Belt conveyer, ventilation system, railroad, etc. 1.5 billion yen x 8 area	12	24.7
Shafts & pits	3 billion yen x 11	33	-
Total	Not including: •shipping costs for TBM, etc. •conditions of remoteness, high altitude and extreme cold.	191.8 (\$1,744 million)	133.7 (\$1,215.04 million)

October 22, 1999

November 19, 1999 revised

Appendix V: The Examples of Estimated Construction Expenses

Estimated Total Expenses

* Seikan Tunnel, Japan

230 billion yen (estimated in 1997) (attached equipment included)

cf. *From the Seikan Tunnel to the England-France Channel Tunnel (Seikan Tonneru kara Eibutsu Kaikyo Tonneru he)*, Mochida Yutaka, Chuko Shinsho.

* Euro Tunnel, England and France

1,600 billion yen (estimated in 1986) (including international terminal equipments, carriages for exclusive use, etc.)

cf. *Dover Channel Railroad (Doba Kaikyou wo Tetsudo ga Hashiru)*, Uga Katsuo, Asunaro Shobo.

* Alps Tunnel (plan)

300 billion yen+ α (estimated in 1998) (Investigation expense 50 billion yen included)

cf. "Japanese Technology and the Alps Tunnel (Arupusu Tonneru ni Nihon no Gijutsu)," Kitakawa Shuzo and others, *Tunnel and Underground (Tonneru to Chika)*, no. 29-4.

* Chang-Qia Tunnel

14.5-17.5 billion RMB yuan (203-245 billion yen) (estimated in 1989)

West Route Scheme

10.1-15.5 billion RMB yuan (132.3-204.9 billion yen) (estimated in Feb., 1999)

Other Examples of Expenses

* Geological Survey Expense

cf. *Tunnel Geological Surveys and Rock Bed Measurements (Tonneru no Chishitsu Chosa to Ganban Keisoku)*, Doboku Gakkai, p. 5, table 1.5.1.

* Aerial Photographs

cf. *Tunnel Geological Surveys and Rock Bed Measurements (Tonneru no Chishitsu Chosa to Ganban Keisoku)*, Doboku Gakkai, p.12, table 2.2.2.

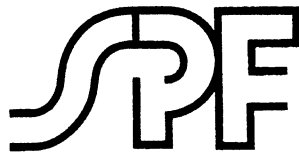
* Private Satellite Photographs

Econos → Mitsubishi Corporation → Japan Space Imaging			(accurate to 1 m)
Photographs in stock	1km ²	Black-and-white	5,500 yen
		color	7,000 yen
New photographs	11km x 11km		350,000 yen

* General construction integration

cf. *Ministry of Construction Integration Guidelines for Engineering Works 1999 (Kensetsusho Dommoku Koji Sekisan Kijun: Hesei 11 Nendo Ban)*, Dommoku Koji Sekisan Kenkyukai.
Construction Prices: October Issue (Kensetsu Bukka: 10 Gatsu Gou), Kensetsu Bukka Chosakai.

発行



笹川平和財団
笹川日中友好基金