

2.4 地質

2.4.1 既往調査

転龍湾ダム地点の調査は、これまでに神華集団有限責任公司により黄河水利委員会黄河上中游管理局計画設計研究院に業務委託し、「転龍湾ダム計画段階工事地質調査(1989)」、「窟野河転龍湾水利中軸計画段階工事地質補充調査(1994)」が行われ、1994年10月に「窟野河転龍湾ダムプロジェクト計画報告: Pre-F/S」が提出され、水利部の技術審査を通過している。

今回の地形・地質・ダム材料調査は、上記した調査結果をもとに調査計画を立案し、現地踏査、地表弾性波探査、ボーリング(boring)調査、材料調査等を実施した。

2.4.2 調査内容

今回実施した地形・地質・ダム材料調査は、ダムサイト(dam site)地質調査、ダムサイト弾性波探査、ダム材料調査からなり、下記の表 2.4.1 の体制で調査を実施した。

表 2.4.1 地質調査内容

調 査 内 容		実 施 体 制
地形測量	貯水池補足測量 (縮尺 1:10,000)	中国側実施
	ダムサイト地形測量 (縮尺 1:1,000)	現地再委託
ダムサイト地質調査 (ボーリング 6 孔)		現地再委託
ダムサイト弾性波探査 (7 測線)		中国側実施、日本側技術指導
ダム材料調査 (岩石、砂礫、土質材料)		現地再委託

ダムサイト地質調査、ダムサイト弾性波探査の実施位置を図 2.4.6 に、ダム材料調査の実施位置を図 2.4.7, 図 2.4.8 に示す。

2.4.3 地形・地質

(1) 広域の地形・地質

陝西省北部から内蒙古自治区にかけての神府東勝鉅区は、オルドス高原(Ordos plateau)の東南部を占め、黄土高原の北縁、毛烏素砂漠の東縁に位置している。オルドス高原は黄河の大屈曲と万里の長城に囲まれたところにあり、地質的には古期の堆積性構造盆地として知られ、先カンブリア(Precambrian)時代の安定地塊を基盤として陸生の中生層が、断層や褶曲運動を受けず数千mの厚さでほぼ水平に堆積している。この陸生の中生層は石炭層を多く含み、地下浅いとこに厚く安定した石炭層が分布し、地質構造も単純で開発や利用も容易であることから、オルドス高原は別名“石炭の海”とも呼ばれている。オルド

ス高原の標準地質層序および地質略図を図 2.4.9 に示す。

(2) 貯水池周辺の地形・地質

転龍湾ダム建設予定地点は、黄河の支流である窟野河上流の東烏蘭木倫河と西烏蘭木倫河の合流地点に位置し、内蒙古自治区伊金霍洛旗の管轄に属し、伊旗県庁の東南約 25km の地点である。貯水池周辺は毛烏素砂漠と黄土高原の境界付近にあり、毛烏素砂漠東南端部に位置し、風砂により浸食波状地形をなしている。高原部の標高は 1,300m～1,350m 程度で、河床部の標高はダム軸付近で標高 1,185m、貯水池上流部で 1,250m である。貯水池周辺では、東烏蘭木倫河の左岸部と西烏蘭木倫河の右岸部では植林作業による砂丘の固定化がかなり進んでいるが、両河川に挟まれた丘陵部では砂丘化が著しい。

貯水池周辺の地質は、下位よりジュラ紀(Jurassic)の堆積岩である安定組、白亜紀の堆積岩である伊金霍洛組及び新第三紀鮮新世の堆積岩が分布し、これらの地層を覆って第四系の風積堆積物(砂丘)が分布している。また、河床部には第四系の段丘堆積物及び河流堆積物が分布している。

ジュラ紀の安定組は砂岩を主体とする地層で、西南西に数度傾斜している程度で、断層や褶曲構造は認められない。ダムサイトの右岸部、左岸部の一部及び烏蘭木倫河支流の河谷部に露出が見られるが、多くは風積堆積物に覆われて露出していない。白亜紀の伊金霍洛組は斜交葉理構造が顕著な砂岩からなり、安定組と同様に西南西に数度傾斜する程度で、断層や褶曲構造は認められない。安定組とは基底礫岩を伴う不整合関係で接し、西烏蘭木倫河ではダムサイトの上流約 3.5km から上流側に、東烏蘭木倫河ではダムサイトの上流約 7.5km から上流側に分布するが、多くは風積堆積物に覆われており、露出は限られている。鮮新世の堆積岩は暗紅色の泥岩からなり、転龍湾駅周辺の支流の河谷部にわずかに分布する程度である。

貯水池周辺の地質平面図を図 2.4.10 に示すとともに、地質層序表を表 2.4.9 に示す。

なお、貯水池周辺は前述した通り地質的に非常に安定した地域にあり、中国地震局(1990)の「1/4,000,000 中国地震強度区域分布図」によると、基本地震震度はVI(日本の基準ではIVに相当する)としている。関係機関による聞き取り調査でも周辺に活構造は確認されない。

(3) ダム地点の地形・地質

ダム地点は東、西烏蘭木倫河の合流点の下流約 100m に位置し、川幅が 170～200m と調査地周辺でもっとも狭く、ダム建設地として良好な地形を有している。右岸側には基盤岩が露出し、高さ約 100m、傾斜 70° 前後の急崖をなしている。左岸側にはほぼ東西に細長く延びる薄い山稜が舌状に延び、計画ダム軸付近では山稜底部の幅は約 250m で、東側に向かって徐々にその幅を広げている。舌状の山稜先端部には一部基盤岩の露出が見ら

れるが、多くは風成砂に覆われ、砂丘状を呈している。

ダム地点の地質は、ジュラ紀の堆積岩を基盤岩として、これを覆って第四系の風積堆積物や河流堆積物等が分布している。ジュラ紀の地層は前述したようにほぼ水平に堆積しており、断層、褶曲は確認されない。

ジュラ紀の地層は延安組、直羅組、安定組に区分することができる。延安組は直羅組の下位層で、河床標高より概ね 70m 以深に分布する。砂岩を主体とする地層で、夾炭層を挟在している。直羅組は安定組の下位層で、河床標高より概ね 10m 以深に分布する。砂岩、泥灰岩を主体とする地層で、多数の薄い夾炭層を挟在している。安定組は砂岩と泥質岩からなり、下位より砂岩卓越層（第 1 段）、泥質岩卓越層（第 2 段）、砂岩層（第 3 段）、砂岩・泥質岩互層（第 4 段）に細分することができる。

第四系は、後期更新世の薩拉烏蘇組、完新世の風積堆積物、埋没段丘堆積物、沖積段丘堆積物、河流堆積物に区分される。薩拉烏蘇組は上部更新統の河川堆積物と考えられている地層で、ダム建設地の左右岸の尾根部に小規模に分布している。黄土色の中～粗粒砂からなり、層厚は 0～2m である。風積堆積物は当地の流動砂丘を形成している堆積物で、表層付近では中粒砂からなるが、数 cm 掘り下げると淘汰良好な細粒～極細粒砂からなる。右岸側では主に尾根部付近に分布するが、左岸側では左岸先端部を除き丘陵全体を覆って分布し、最大 70m 程度の層厚を有する。沖積段丘堆積物は現河床より数 m 高い位置に平坦面を形成する堆積物で、主に砂層からなり、一部に礫層を伴っている。河流堆積物は現河床を形成している堆積物で主に砂層からなり、一部礫層を伴っている。想定ダム軸付近では標高 1,180m 付近を基底面として 5 m 程度の層厚を有している。埋没段丘堆積物は左岸側に風積堆積物に覆われて分布し、Br-3、4、5、6 孔で確認される。本層は礫層、砂層からなり、標高 1,180m 付近を基底面とし、5～10m の層厚を有している。河流堆積物の分布標高とほぼ同じであり、比較的最近の河道堆積物と考えられる。

今回の調査結果及び既存の調査をもとに作成した地質平面図、地質断面図を図 2.4.11～図 2.4.16 に示すとともに、地質層序表を表 2.4.10 に示す。

2.4.4 ダム基礎としての地盤状況

(1) 地形・地質状況

ダム建設予定地近傍の地表踏査並びにボーリング結果からダム基礎としての地形・地質状況をまとめると、以下のようになる。

1) 地形

ダムサイトの川幅は 170～200m と狭く、ダムサイト下流 32km の大規模炭田開発地である大柳塔より上流では最も川幅が狭く、ダムサイトとして良好な地形を有している。

右岸側では、高さ約 100m、傾斜 70° 前後の急崖をなしており、基盤岩が露出し、ている。また、急崖ではダム軸の上下流で基盤岩を削って 2 本の支沢があり、年間を通じて流水している。ダム構築上の右岸側の地形的検討課題としては、ダムアバット部としては急すぎる急崖の地形処理、2 本の沢部の水処理があげられる。

左岸部では、ほぼ東西に細長く伸びる薄い山稜が舌状に伸び、計画ダム軸付近では山稜底部の幅は約 250m で、東側に向かって徐々にその幅を広げている。舌状の山稜先端部には一部基盤岩の露出が見られるが、多くは風成砂に覆われ、砂丘状を呈している。後述するが、ボーリング調査結果によれば、左岸部では舌状の山稜先端部のみに基盤岩が島状に分布し、多くは風積堆積物が厚く堆積し、河床部から約 2 km 先まで基盤岩は河床レベル以下に分布することが判明した。ダム構築上、この風積堆積物の処理が大きな問題点としてあげられる。

2) 地質

地表踏査並びにボーリング結果をもとにダム基礎としての地質状況をまとめると以下のようなになる。

(右岸部)

右岸部では、図 2.4.11 の地質平面図に示すように 70° 近い斜面部にはジュラ紀の安定組が露出し、尾根部に薄く風積堆積物が分布する程度である。安定組はジュラ紀の地層であるにも係わらず、安定地塊上に堆積した堆積物のため、堆積後の続成作用が弱く、いわゆる軟岩に属し、斜面部では凍結融解作用や乾湿繰り返し作用により風化が進行し、小規模な崩壊が断続的に続いている。尾根部付近で実施した既往のボーリング結果 (T01 孔) によれば、着岩後 10m 程度風化部が認められる。ダム構築上、斜面の安定及びアバット部処理のため、斜面部の傾斜を緩くする必要があると考えられる。

(河床部)

河床部では、ボーリング調査 (Br-1,2、T02 孔) の結果、河流堆積物が約 5m の厚さで堆積していることが判明した。コンクリートダム (concrete dam) の場合、これら河流堆積物をすべて除去する必要がある。フィルダム (fill dam)、アースダム (earth dam) の場合、コア材 (core materials) 以外の部分で河流堆積物を除去するかどうか、今後の検討課題である。基盤岩部では、ボーリング調査の結果、風化部が 0~8m の厚さで分布することが明らかになった。これら風化部についても、透水性や力学性を考慮してどのように処理するかどうか、今後検討していく必要がある。

(左岸部)

左岸部では、既存ボーリング調査 (T03 孔) により埋没段丘堆積物の存在が知られていた。今回のボーリング調査 (Br-3~Br-6 孔) の結果、埋没段丘堆積物は予想以上に広く分布することが明らかになった。既存の探鉱ボーリングのデータを加えて

基盤岩の上限面等高線を作成すると、図 2.4.17 となる。同図をもとに堤高標高を 1,245.5m (堤高 57m) とした場合の概略の堤長を求めると約 3,200m となり、当初予定していた 870m に比べて 3.5 の長さとなる。左岸部では基盤岩の上位に分布する埋没段丘堆積物並びに風積堆積物の処理方法について十分検討する必要がある。基盤岩についてみると、埋没段丘堆積物下に分布する部分についてはほとんど風化していないが、ほぼ東西に細長く伸びる薄い山稜が舌状に伸びる山稜先端部に分布する島状の部分については、Br-4 孔で約 17m 風化が進行していることが判明した。山稜先端部については、今後ダム構築上どう処理していくか十分検討する必要がある。

いずれにしても、左岸部については、中国側 Pre-F/S 段階の調査と大幅な相違があることが判明した。今後、ダム軸の変更やダム成立性を含めて十分な調査を行っていく必要がある。

(地質構造ほか)

ダムサイト付近に分布する基盤岩は、前述したようにほぼ水平に堆積しており、断層は確認されない。また、露頭状況やボーリングコアから判断すると、割れ目はほとんど認められない。

また、調査地は前述したように“石炭の海”と呼ばれ、基盤岩に石炭層を挟在している。中国側 Pre-F/S のよれば、ダムサイトに分布する石炭層は、河床下 137~265m に 1m 以上の採掘可能な石炭層が 5~7 層分布し、全体で 11.8m の層厚を有しているとしている。将来、この石炭層を開発すると、ダム底の陥没などが想定される。今後、石炭層開発に伴う影響について検討していく必要がある。

(2) 地表弾性波探査

地表弾性波探査は、S-1~S-7 の 7 測線について計 5,060m の探査を実施した。探査位置を図 2.4.6 に示す。

1) 探査仕様

地表弾性波探査の探査仕様を下記に示す。

地表弾性波探査仕様

- ・受振点間隔：5m
- ・発振点間隔：55~60m
- ・振 源：爆薬 (ダイナマイト、薬量 0.15~4.5kg)
- ・使用受振器：28Hz

2) 探査結果

地表弾性波探査解析結果を図 2.4.12~図 2.4.16 の地質断面図に表示する。

ダムサイトの弾性波速度は、第 1~第 4 速度層に区分される。速度層区分と地質と

の関係を表 2.4.2 に示す。

表 2.4.2 速度層区分と地質との関係

速度層名	速度分布範囲 (km/sec)	層厚 (m)	地質との関係
第 1 速度層	0.12~0.54	0~3	地表部の表土に相当する。
第 2 速度層	0.37~0.76	1~43	風積堆積物に相当する。
第 3 速度層	1.25~2.30	1~22	河流堆積物、埋没段丘堆積物、基盤岩の風化部に相当する。
第 4 速度層	2.54~3.38	—	基盤岩の新鮮岩に相当する。

上記したように弾性波速度は、4 層に区分され、概ね地質区分に対応している。速度層のうち、第 1 速度層と第 2 速度層の速度値をみると、第 1 速度層の最大速度値が第 2 速度層の最小速度値を上回っている。これは、速度層が探査測線によって異なること、とりわけ、河床部分の表層の一部には砂礫を伴っていることに起因していると判断される。また、第 4 速度層は調査地の基盤速度層を示している。各測線の測線長から判断すると、第 4 速度層は深度 100~200m 程度までの速度を表しているとも考えられる。

(3) 岩石・岩盤物性

ダムサイトで掘削したボーリング孔及びボーリングコア(boring core)を利用して孔内水平載荷試験並びに室内岩石試験を実施した。試験は表 2.4.11 に示すように「水利発電工事岩石試験規定」に準拠して実施した。

孔内水平載荷試験結果を表 2.4.12 に示すと共に、室内岩石試験結果を表 2.4.13 に示す。

1) 孔内水平載荷試験

孔内水平載荷試験は、岩盤を対象に岩石試験と対応する形で Br-1~Br-6 孔の 6 孔について計 24 箇所試験を実施した。地層、岩相別にみた深度相関図(着岩からの深度)及び地層、岩相別に整理した試験結果を表 2.4.3 に示す。

表 2.4.3 孔内水平載荷試験結果

地層名	岩石名	試験 個数	変形係数(Gpa)		
			平均値	最小値	最大値
安定組	泥岩	2	0.78	0.22	1.34
	砂岩	3	0.10	0.07	0.12
直羅組	泥岩	13	1.86	0.06	3.65
	砂岩	6	1.44	0.25	2.89

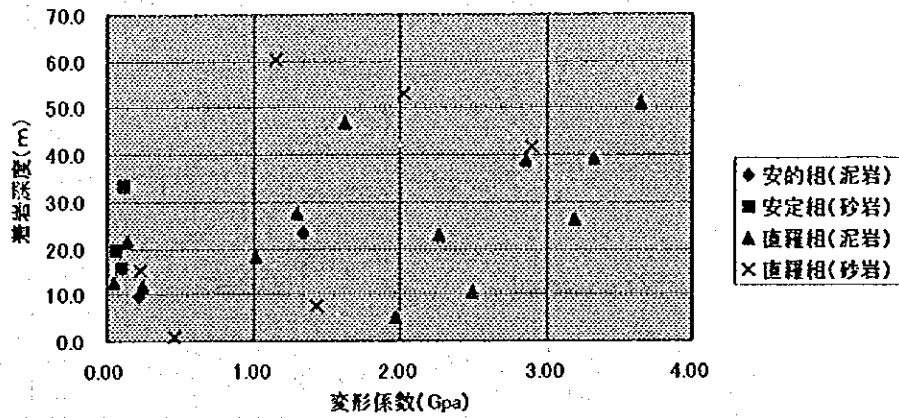


図 2.4.1 着岩深度と変形係数 (水平載荷試験)

上記の図 2.4.1 から、基盤岩の変形特性は次のようにまとめられる。

- ・地層別に見ると、直羅組が安定組に比べて高い値を示す。これは、直羅組が安定組に比べて古い地層であり、かつ、安定組は概ね河床部より上位に分布し、直羅組が河床部下に分布するためと考えられる。

- ・岩相別にみると、泥岩に比べて砂岩の変形係数が低い。特に、安定組の砂岩は平均変形係数が 0.10Gpa とかなり低い値を示す。

着岩後の深度と変形係数の関係を見ると、Br-4 孔の一部を除き新鮮岩で試験を実施しているが、安定組の砂岩を除き概ね深度相関が認められる。地層・岩相別にみた変形係数がばらつくのは、深度相関などによるものと考えられる。

2) 室内岩石試験

室内岩石試験は、Br-1~Br-6 孔の 6 孔について計 24 箇所試験を実施した。地層、岩相別に整理した試験結果及び一軸圧縮強度 (自然) と深度 (着岩からの深度) の関係を図 2.4.2 に示す。

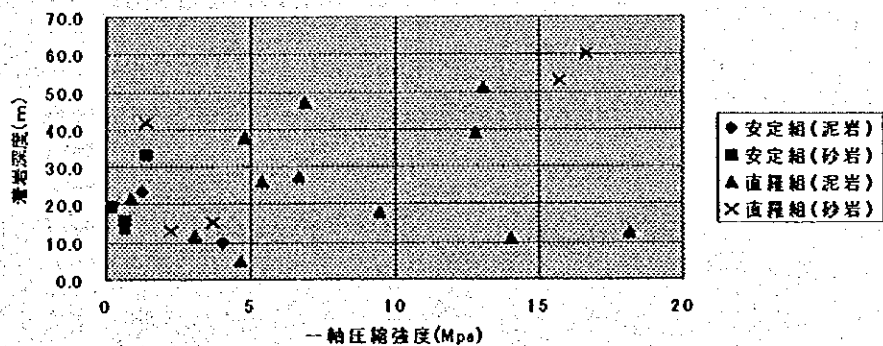


図 2.4.2 着岩からの深度と一軸圧縮強度

表 2.4.4 室内岩石試験結果

地層名	岩石名	試験 個数	区 分	単位体積 重 量	有 効 間隙率	一 軸 圧縮強度 (乾燥)	一 軸 圧縮強度 (自然)	静弾性 係 数 (乾燥)	静弾性 係 数 (自然)
				(Mpa)	(%)	(Mpa)	(Mpa)	(Gpa)	(Gpa)
安定組	泥岩	2	平均値	2.22	27.0	4.1	2.7	2.32	0.41
			最大値	2.22	29.4	4.8	4.1	3.35	0.68
			最小値	2.22	24.5	3.4	1.3	1.28	0.14
	砂岩	3	平均値	2.09	24.6	4.9	0.8	2.53	0.37
			最大値	2.19	26.9	10.4	1.4	3.07	0.51
			最小値	2.04	20.5	1.7	0.2	2.08	0.18
直羅組	泥岩	13	平均値	2.29	21.8	17.8	7.8	2.74	0.81
			最大値	2.36	32.1	32.2	18.2	3.73	1.76
			最小値	2.05	15.8	1.4	0.7	1.41	0.08
	砂岩	6	平均値	2.25	23.4	24.1	8.0	5.14	1.29
			最大値	2.41	30.0	37.0	16.7	9.73	3.27
			最小値	2.04	16.0	7.2	1.4	1.66	0.15

注) 直羅組(砂岩)における自然状態の一軸強度、静弾性係数は5試料の値から求めた。

上記の表 2.4.4 から、基盤岩の岩石特性をまとめると以下のようなになる。

- ・ 単位体積重量の地層・岩相別に見た平均値は、 $2.09\sim 2.29\text{g/cm}^3$ の範囲にあり、砂岩、泥岩ともに安定組に比べて直羅組のほうが大きな値を示す。また、安定組の砂岩は、 2.09g/cm^3 と他の地層、岩相に比べてやや低い値を示す。
- ・ 自然状態の一軸圧縮強度は、 $0.8\sim 8.0\text{Mpa}$ の範囲にあり、直羅組(砂岩) ≒ 直羅組(泥岩) ≫ 安定組(泥岩) > 安定組(砂岩) となる。直羅組に比べて安定組の強度がかなり低い値を示す。
- ・ 自然状態の一軸圧縮強度は、直羅組の砂岩に深度効果が認められるものの、他の地層、岩相については、深度相関は認められない。
- ・ 一軸圧縮強度は、いずれの地層、岩相も自然状態に比べて乾燥状態の強度が大きくなっている。後述する岩石材料試験によれば、強制湿潤状態では安定組並びに直羅組の砂岩、泥岩ともに崩壊して試験が実施できない状況にある。また、粘土鉱物としてモンモリロナイト(monmorillonite)、カオリナイト(kaolinite)、緑泥石が確認されている。ダムサイトに分布する直羅組、安定組は乾湿繰り返しや水浸に極めて弱い岩石と考えられる。
- ・ 自然状態の静弾性係数は、平均値で $0.37\sim 1.29\text{Gpa}$ の範囲にあり、直羅組(砂岩) > 直羅組(泥岩) ≫ 安定組(泥岩) ≒ 安定組(砂岩) となる。孔内水平載荷試験では安定組の砂岩が著しく低い値を示したが、岩石状態では安定組の静弾性係数は全体に低いものの、砂岩と泥岩では特に著しい差異は認められない。

3) まとめ

今回、ダムサイトに分布する基礎岩盤について孔内水平載荷試験ならびに室内岩石試験を実施し、物理・力学特性の検討を行った。上述したように一軸圧縮強度はいずれの地層、岩相も平均値で 10Mpa 以下であり、いわゆる“軟岩”に分類される。孔内水平載荷試験による変形係数、室内岩石試験による静弾性係数も軟岩に相当する値を示している。特に、安定組は直羅組に比べて低い値を示し、砂岩の一軸圧縮強度の平均値は 0.8Mpa とかなり低い値を示している。従って、ダム形式は、基本的にはフィルダム形式になると考えられる。

基礎岩盤は、地質の項で記述したように割れ目がほとんど認められず、室内岩石試験で十分その特性を把握することが可能である。軟岩では三軸状態と一軸状態で強度特性が異なり、一軸状態では真の強度特性を把握できない場合が多いことを考慮して、今後、土被り加重を考慮した三軸圧縮試験等を実施して変形ならびに強度特性を明らかにし、ダム構築に伴う沈下、すべり等について検討していく必要がある。

また、基礎岩盤は、上述したように水浸や乾湿繰り返しに弱い岩盤と考えられる。基礎掘削の検討にあたっては、この点を十分配慮する必要がある。

なお、試験結果は上述したようにならばらついた値となった。これは、岩盤本来のばらつきのほか、孔内水平載荷試験については試験機器の調整不足、室内岩石試験についてはボーリングコアの保管状況の悪さが一因となっていると考えられる。本格調査にあたっては、ボーリングコアの管理等に十分配慮していく必要がある。

(4) 透水性

ダム基礎岩盤の透水性を把握するため、風化岩については現場透水試験を、新鮮岩についてはルジオン(Lugeon)試験を実施した。試験方法を表 2.4.10 に示す。試験結果は表 2.4.14 に一覧表として示すほか、図 2.4.12～図 2.4.16 の地質断面図に示す。なお、中国側 Pre-F/S では、基礎岩の透水試験が中国式の透水試験で実施されている。このため、この透水試験結果をルジオン値に換算してこれらの図表に表示した。

1) 風化岩の透水性

風化岩の透水試験は Br-1～Br-6 孔で合わせて 6 回試験を実施した。透水係数は $9.6E-03 \sim 8.0E-04 \text{cm/sec}$ の範囲にあり、緩んだ砂層に相当する透水性を有している。

2) 新鮮岩の透水性

新鮮岩の透水試験は Br-1～Br-6 孔で合わせて 37 回試験を実施した。既存資料を含めて基礎岩盤の透水性をまとめると表 2.4.5 のようになる。

表 2.4.5 基礎岩盤の透水性

位 置	ボーリング孔	透 水 性	
		透水性	限界圧力
右岸部	T01	深度 15.8m まで 10 ルジオン以上、 15.8m 以深 2 ルジオン以下 (着岩 1.50m)	不明 (中国式透水試験)
河床部	Br-1	深度 25m まで 6.3~20 ルジオン以上 25m 以深 1 ルジオン以下 (着岩 2.85m)	1 ルジオン以下の部分 では、0.4~0.6Mpa
	Br-2	深度 24m まで 20 ルジオン以上 24m 以深 1 ルジオン以下 (着岩 4.72m)	深度 29m 以深、概ね 1 Mpa 以上
	T02	深度 13m 以深で試験を実施し、概 ね 1 ルジオン以下 (着岩 5.37m)	不明 (中国式透水試験)
左岸部	Br-3	深度 90~95m で試験を実施したが、 孔壁状況が悪く、試験データ得 られず	不明
	Br-4	深度 20.55~25.55m は 20 ルジオン 以上、他の区間は 1 ルジオン以下~ 3 ルジオン、35.55m 以深 1 ルジオン 以下 (着岩 9.55m)	1 ルジオン以下の部分 では概ね 1 Mpa 以上、 35.55m より上位は 0.35 ~0.95Mpa
	Br-5	深度 58.5m より試験を実施し、1 ルジオン以下 (着岩 55.18m)	1 Mpa 以上
	Br-6	66.14~70.00m で試験を実施し、1 ルジオン以下 (着岩 64.14m)	1 Mpa 以上
	T03	深度 27.4m 以深で試験を実施し、 1 ルジオン以下 (着岩 26.21m)	不明 (中国式透水試験)

河床部、右岸、左岸にわけて、新鮮岩の透水性をまとめると以下のようなになる。

(河床部)

河床部では Br-1,2、T02 の 3 孔で透水試験が実施されている。既往の T02 孔では全深度で 1 ルジオン以下であるが、今回の 2 孔では深度 24~25m まで 6.3~20 ルジオン以上の透水性を有する。河床部における浅所のルジオン値はばらつく可能性がある。データの少ない現時点では、深度 25m 付近までカーテングラウト (curtain grouting) 等の基礎処理が必要とみるべきと考えられる。

(右岸部)

右岸部では既往の T01 孔の 1 孔で透水試験が実施されている。深度 15.8m まで 10 ルジオン以上で、それ以深は 1 ルジオン以下となっている。風化の薄い河床部では概ね着岩後 20m 付近まで高透水となっていることから判断すると、20m 程度カーテングラウト等の基礎処理が必要となる可能性がある。

(左岸部)

左岸部では、Br-3～Br-6 孔、T03 孔の 5 孔で透水試験が実施されている。埋没段丘堆積物が河床レベル付近までみられる Br-5,6 孔、T03 孔では着岩後すぐに 1 ルジオン以下の値を示すが、左岸舌状部に島状に岩盤が分布する Br-4 孔では、全体では 1 ルジオン以下～3 ルジオンを示すが、深度 20.55～25.55m では 20 ルジオン以上を示す。島状に岩盤が分布する部分では応力解放等により差別風化が進んでいる可能性がある。今後、ダム構築上この部分をどう処理するかを検討するため、今後追加試験を実施する必要がある。

また、これまでの試験結果によれば、埋没段丘堆積物分布地域のルジオン値は 1 ルジオン以下を示すが、埋没段丘堆積物は「2.4.3(3)ダム地点の地形・地質」で記述したように、最近の河道堆積物である可能性があり、基盤岩の透水性は現河床部と同じ状況である可能性がある。資料の少ない現時点では、河床部と同様に深度 25m 付近までカーテングラウト等の基礎処理が必要とみるべきと考えられる。

(限界圧力)

今回のルジオン試験結果によれば、1 ルジオン以下の大部分では限界圧力が 1 Mpa 以上を示すが、Br-1 孔のように限界圧力が 0.4～0.6Mpa の区間も認められる。基礎岩盤は前述したようにいわゆる“軟岩”であり、グラウト時の加圧によっては岩盤を破壊する可能性がある。今後、限界圧力に注意を払った試験を実施し、グラウト注入圧力の検討を行っていく必要がある。

(5) 地下水位

ダムサイトの地下水状況を把握するため、ボーリング終了後に一部の孔について孔内水位測定を実施した。前述の A-A'-A'' 地質断面図 (図 2.4.12) に推定地下水位面を示すほか、表 2.4.6 に孔内水位測定結果を示す。

表 2.4.6 孔内水位測定結果

孔名	位置	孔内水位深度	孔内水位標高	備考
Br-1	河床部	0.00m	1186.93m	
Br-2	河床部	0.00m	1186.32m	
Br-3	左岸部	----	----	測定記録なし
Br-4	左岸部	14.78m	1210.87m	
Br-5	左岸部	47.78m	1190.01m	
Br-6	左岸部	53.86m	1190.88m	
T0-1	右岸部			記入なし
T0-2	河床部	深度 54m 以深湧水、下位層の炭層の影響とする。		
T0-3	左岸部			記入なし

(右岸部)

右岸部で実施した T0-1 孔の孔内水位の記録は得られていないが、右岸部にみられる沢部ではかなり上流から河川水が認められ、地下水位は比較的高い標高に分布するものと考えられる。

(河床部)

河床部で実施された TO-2 孔では、深度 54m 以深で湧水及びガスの発生が確認されている。中国側 Pre-FS 報告書では、地中深くに分布する炭層の影響によるもので、ダム構築上問題はないとしているが、今後、湧水区間の間隙水圧測定、ガス分析等を実施してダム構築上問題がないかどうか、さらに検討していく必要がある。

(左岸部)

左岸部では、基盤岩露出地域である舌状に延びる山稜先端部では地表下約 15m に地下水位が確認されるが、埋没段丘が分布する区間では、埋没段丘堆積物の上位に分布する風積堆積物の透水性が良好なため（次章参照）、河床レベルからせいぜい 10m 程度上位に地下水位がみられる程度である。埋没段丘分布地域の遮水が大きな問題点として挙げられる。

(6) 室内土質試験

風積堆積物の透水性ならびにダム材料使用可能性を検討するため、標準貫入試験時に採取した試料を用いて室内土質試験（物理試験）を実施した。試験方法を表 2.4.11 に示すとともに、試験結果を表 2.4.15 に示す。

1) 透水性

粒度分析は河流堆積物で 1 試料、風積堆積物で 39 試料実施した。河流堆積物の粒径加積曲線及び風積堆積物の平均値の粒径加積曲線を図 2.4.3 に示す。クレーガー (creager) による 20% 径 D₂₀ から透水係数を求めると、土質的には極微粒砂～微粒砂に分類され、両地層ともに E-04cm/sec に近い E-03cm/sec 程度の透水係数が得られる。

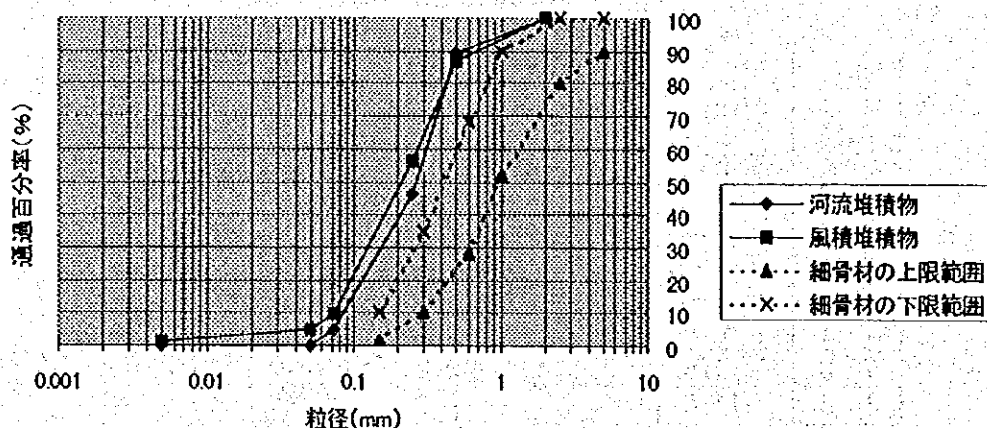


図 2.4.3 風積堆積物の粒度分布

2) ダム材料としての適応性

粒度分析結果をもとに、コンクリート(concrete)細骨材としての適応性を検討した。下図に示すように、両地層の粒径加積曲線はコンクリート細骨材の一般的範囲より細粒側に大きくずれている。河流堆積物ならびに風積堆積物はコンクリート細骨材としての利用は、現地にて粒度調整をおこなわない限り、利用不可能と考えられる。

2.4.5 ダム材料

ダム材料試験は、土質材料、砂礫材料、岩石材料について試験を実施した。それぞれの材料の試験方法を表 2.4.16 に示す。試料採取位置は、図 2.4.7(1)～図 2.4.7(6)に示すとおりである。

(1) 岩石材料

ダムサイトに分布する地層はジュラ紀以降の地層であり、いずれも軟岩～未固結層に相当する。ダムサイトから半径 50km の範囲においても三疊紀以降の地層で硬岩に相当する岩石は分布しない。このため、ダムサイトに分布する基盤岩の風化部、新鮮部（ボーリングコアを利用）およびダムサイトの下流約 25km 地点で石炭の露天掘りが実施されている補連塔の掘削ずりを用いてダム材料としての可能性を検討するため、岩石材料試験を実施した。試験結果を表 2.4.17 にまとめて示す。

試験結果について、その概要をまとめると以下のようになる。

- ・単位体積重量は自然状態あるいは湿潤状態で平均値を比較すると、補連塔(2.43g/cm^3) > 風化岩(2.18g/cm^3) ≒ 新鮮岩(2.15g/cm^3)となる。有効間隙率についても同様な傾向で、補連塔(15.0%) > 風化岩(23.4%) ≒ 新鮮岩(23.4%)となる。
- ・一軸圧縮強度は、いずれも強制湿潤状態で崩壊してデータを得ることができなかった。
- ・ロサンゼルス(Los Angeles)式耐久性試験結果によれば、いずれも摩耗率が 50%以上である。
- ・耐久性試験後の篩 (1.7mm) 通過分の粒度試験結果によれば、シルト(silt)分以下が 13～86%あり、砂岩部分を除くと 38～86%である。試験によりかなり細粒状になっている。
- ・風化岩については、耐久性試験後の試料を用いて透水試験を実施した。いずれも透水係数は $E-07\text{cm/sec}$ 級の値を示し、難透水の値を示す。
- ・粘土鉱物をみると、カオリナイト、モンモリロナイト、緑泥石が認められる。

一般に、ロックフィルダム(rock fill dam)の透水性材料あるいは半透水性材料の望ましい材質としては以下の点があげられる。

透水性材料（ロック材料）

- ①新鮮・堅硬で、割れ目が少なく、比重が大きいこと
- ②風化作用に対する耐久性が大きいこと
- ③盛り立てた場合、大きなせん断抵抗をもち、また浸透水の自由な排水が妨げられないこと
- ④大小の（粒径）が適当に混入しており、粒度分布が良いこと

半透水性材料（フィルター材及びトランジション材）

- ①堅硬で、施工時の粒度変化が少ないこと
- ②使用目的に応じ、所用の排水性とせん断強度を有していること
- ③粒度分布が適当で、締め固め施工が容易なこと
- ④有機物を含まないこと

今回の試験結果は、上述した望ましい材質に適合しているとは言い難い。しかしながら、最近のダム施工事例をみると、日本では知多調整地ダム（堤高 21m）、岩坂ダム（堤高 31.7m）等で、海外では英国の Balderhead ダム（堤高 47.1m）等で軟岩を材料としたフィルダムが施工されており、決してダム材料として否定されるものではない。今後、十分な材料試験、現地転圧試験等を実施して利用可能性について検討していく必要がある。

なお、中国の既存地質図によれば、透水性材料あるいは半透水性材料として好ましい材質と考えられる硬岩は、ダムサイト東方約 100km の黄河の西側に古生層が分布し、大屈曲する黄河の外側には深成岩等が分布している。ダムサイトに分布する岩石は、捨石張り材（リップラップ材）としては確実に利用できないこと、今後の試験によっては岩石材料としても利用できない可能性があり、岩石材料の候補地として、これらの地域についても、今後検討していく必要がある。

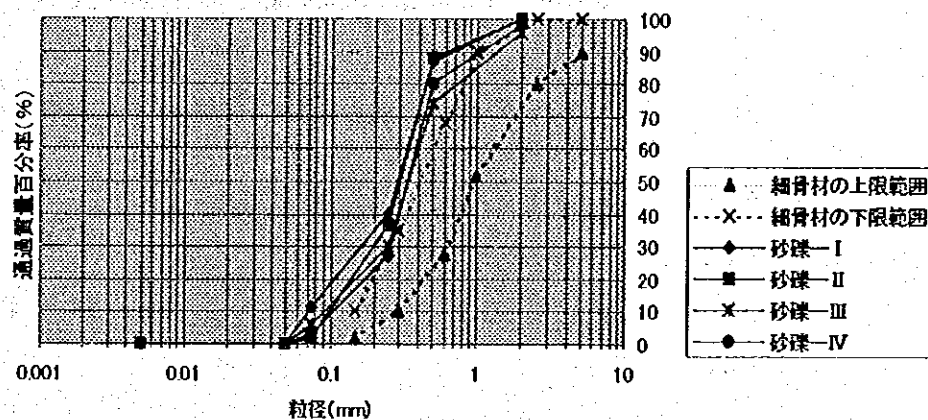
(2) 砂礫材料

砂礫材料は、中国側 Pre-F/S によればダムサイト近傍の沖積段丘堆積物や河流堆積物が想定されている。今回の地表踏査の結果、ダムサイトの上流約 3.5km 西烏蘭木倫河沿いには、ジュラ紀の地層と白亜紀の地層が不整合関係で接し、白亜紀の地層の最下部には基底礫岩が 10m 程度の層厚で分布し、基底礫岩の崩壊により、この付近の沖積段丘堆積物中には、礫層が比較的多く含まれていること、東烏蘭木倫河やダムサイト下流では沖積段丘堆積物中には礫層がほとんど含まれないことが明らかになった。このため、砂礫材料調査地点としては、ダムサイトからダムサイト上流 3.5km までの西烏蘭木倫河沿いの沖積段丘堆積物分布地域とし、7箇所のピットを掘削し試料を採取するとともに、4箇所の露頭から試料を採取し、砂礫材料調査を実施した。試験結果をまとめて表 2.4.18 に示す。

(砂材料)

砂材料については、砂礫—I～砂礫—IVで合計 14 点試験を実施した。試験結果の概要をまとめると、以下のようになる。

- ・土粒子の比重はほぼ一定で、2.64～2.68 の範囲にある。特に地区によって差異は認められない。
- ・現場密度試験による単位体積重量は $1.59\sim 1.99\text{g/cm}^3$ の範囲でばらついた値となった。これは、地下水位との関係でばらついたもので、地下水位以下では 1.95g/cm^3 程度と判断される。
- ・有機物含有量、水溶性成分含量はほとんどなく、この点に関しての問題はない。
- ・粒度分布については、地点毎の平均をとり、粒径加積曲線は下図のようになる。同図中には、一般的な細骨材の粒径加積曲線も示した。同図によれば、砂礫—I～砂礫—IVの粒径加積曲線は概ね一致しており、一般的なコンクリート細骨材の下限範囲よりやや細粒といえる。
- ・次に、フィルター材としての適性について検討する。フィルター材は隣接する堤体ゾーンに対して透水性の漸移的な関係を持たせる必要があり、日本では、遮水材料との



あれば、所要のコンクリートの品質が得られるとしている。比重的に見ても問題はないと考えられる。

- ・中国水利部では、コンクリート骨材の基準（SDJ17-78）として砂分の現場密度 $> 1.5\text{g/cm}^3$ 、砂分の比重 > 2.55 、礫分の現場密度 $> 1.6\text{g/cm}^3$ 、礫分の比重 > 2.6 、吸水率 $< 2.5\%$ 等をあげている。今回の試験結果は、この基準をいずれも満足している。
- ・礫材料の粒度分布の平均値を、日本における一般的な透水性材料の粒径加積曲線にプロットしたものを下記の図 2.4.5 に示す。礫材料の粒径加積曲線は、日本の一般的な透水性材料に比べて細粒と言える。

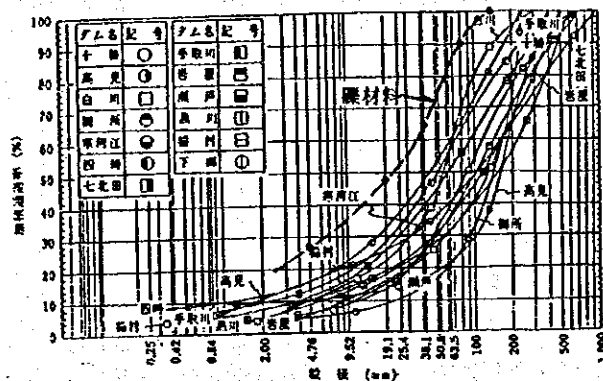


図 2.4.5 礫材料の粒径加積曲線

(材料の賦存量)

各地点の地質状況ならびに賦存量をまとめると、表 2.4.7 のようになる。なお、賦存量の算定にあたっては、いずれの地点でもピット調査では基盤岩が確認されておらず、層厚 5m として賦存量を算定した。

表 2.4.7 砂礫材料の分賦存量

地点	分布面積 (km ²)	賦存量 (m ³)			地質状況
		全体	礫材料	砂材料	
砂礫-I	0.34	1,700,000	0	1,700,000	露頭、試掘坑ともほとんど砂からなる。礫材料は期待できない。
砂礫-II	0.37	1,850,000	37,000	1,813,000	露頭では、礫層が全体の 20%程度を占める。試掘坑掘削では、礫層はわずかに分布する程度である。礫材料としては、全体の 2%程度と見積もる。
砂礫-III	0.64	3,200,000	64,000	3,136,000	

砂礫一Ⅳ	0.87	4,350,000	217,500	4,132,500	露頭では、礫層が全体の20%程度を占める。ピット掘削では、礫層は所々に分布する。礫材料としては、全体の5%程度と見積もる。
------	------	-----------	---------	-----------	---------------------------------------------------------------

上記の表 2.4.7 に示すとおり、砂材料は全体にやや細粒ではあるが十分な賦存量が期待される。これに対し、礫材料は砂礫一Ⅳ地点で 200,000m³ 程度期待されるほかは、わずかである。今回調査した地点でダム材料を採取する場合、コンクリート粗骨材、コンクリート細骨材、半透水性材料、遮水材料のブレンド（混合）材等が考えられるが、いずれにしても篩分けにより使用せざるを得ない。なお、今回の調査では岩石材料試験を含めて透水性材料の目処をたてることができなかった。砂礫材料調査としては、沖積段丘堆積物を対象に砂礫材料の調査を実施したが、前述したように、この付近はジュラ系と白亜系の境界に位置し、白亜系の最下部に層厚 10m 程度の基底礫岩が分布している、基底礫岩は主に深成岩類あるいは変成岩類の概ね 20cm 以下の円礫～亜円礫からなり、混礫率は 50%程度で、固結度が低い。礫は十分な強度を有しており、透水性材料あるは半透水性材料としてこの基底礫岩を利用することも一案と考えられる。

(3) 土質材料

フィルダムの遮水材料を目的として土一Ⅰ～土一Ⅴの 5 地点について土質材料試験を実施した。各地点の状況を表 2.4.8 に示すとともに、既往資料を含めて試験結果一覧表を表 2.4.19 に示す。

表 2.4.8 土質遮水材料候補地

地点名	サイトからの距離	地 質	分布面積	層 厚 (m)	賦存量 (m ³)	備 考
土一Ⅰ	7 km	中期更新統 シルト～粘土	2.27km	20～28	5,670,000	層厚 25m と して計算
土一Ⅱ	30km	中期更新統 粘土（石灰質ノジュール*を含）	3.57km	10～32	7,140,000	層厚 20m と して計算
土一Ⅲ	18km	中期更新統 粘土（石灰質ノジュールを含）	2.19km	15～20	3,940,000	層厚 18m と して計算
土一Ⅳ	16km	中期更新統 粘土	2.96km	10～15 以上	4,440,000	層厚 15m と して計算
土一Ⅴ	3.5km	中期更新統 シルト（石灰質ノジュールを含）	0.86km	10～20 以上	1,290,000	層厚 15m と して計算

* ノジュール（固塊・瘤塊, nodule）：コンクリーション（concretion）

遮水材料の望ましい条件は下記のようにあり、一般には（ ）に示すような材料がよく用いられている。

- ・ 所要の遮水性が得られること（シルト分以下含有量 10～25%程度、粘土分 5%以上）
- ・ 密度、せん断強度が大きいこと（適度に礫分を含む）
- ・ 圧密量および施工中に発生する間隙水圧が小さいこと
- ・ 浸透破壊に対する抵抗性が大きいこと
- ・ 水に飽和しても軟泥化を起こさず、膨張、収縮性のないこと（塑性指数が適度に大きいこと）
- ・ 有機物や化学変化により材料を劣化させるような物質をふくまないこと
- ・ 施工が容易であること

上記の条件を参考に、試験結果の概要をまとめると以下のようなになる。

- ・ 土一I～土一Vのシルト分以下の含有量は、それぞれの地点の平均値では 69～95%であり、シルト分以下含有量が 10～25%の目安に比べてかなり多い。粘土分含有量は土一Vの平均値が 6%となるほかは、粘土分含有量の目安である 5%以上を大きく上回っている。
- ・ いずれの地点も砂分以上の含有量がわずかであり、かつ、礫分を含んでいないので粒度分布は悪いと言える。せん断強度の不足が予想される。
- ・ 有機物含有量は多くて 0.05%であり、問題はない。
- ・ 粘土鉱物をみると、ほとんどに膨潤性を有するモンモリロナイトがわずかに含まれている。今後、膨潤性について検討する必要がある。

上記したように、いずれの地点も細粒分を多く含み遮水性に問題のない材料と考えられるが、砂分以上の含有率が極端に少なく、せん断強度的に問題があることが判明した。これらの地点の土質材料を遮水材料として使用する場合、多少の粗粒材料とブレンドする改良工法も推奨される。なお、賦存量は上表に示すとおりであり、十分な量が確保できるものと考えられる。

(4) 岩石材料と砂礫材料の追加調査

前述の通り、岩石材料及び砂礫材料候補については材質に多少難点がある為、第 4 次現地調査時(1999 年 10 月)に採取可能範囲を拡大し追加調査を行った。結果は下記の通り。

1) 岩石材料

転龍湾ダム予定地点より東南方向、約 35km 地点（運搬距離約 49km）の新廟郷にかなり良質と思われる花崗岩質の原石山候補地を踏査した。現在鉄道用バラスト(ballast)生産を主目的とした小規模な砕石プラントが稼働している。踏査結果及び

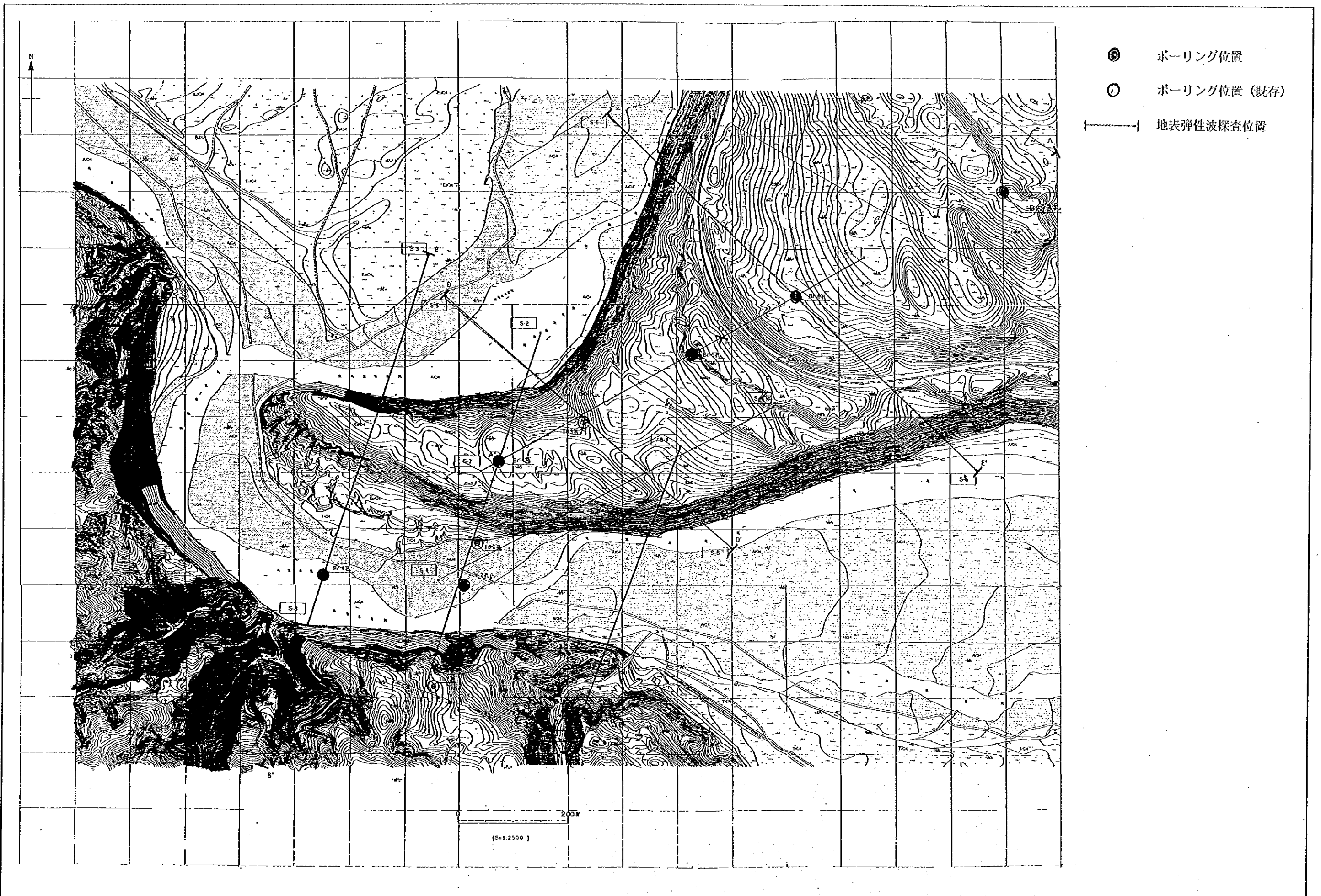
プラントで実施した岩石材料試験結果、更に顕微鏡観察結果より下記の通り有望な硬質岩石材料と判明した。

- ・顕微鏡観察による岩石鑑定より当原石は石英・斜長石・黒雲母・アルカリ長石を主成分鉱物とした完晶質な花崗石質組織を有し、岩石全体が弱熱変成作用と弱い圧力を受けている。石英閃緑岩或いは細粒花崗岩と称される岩種である。
- ・単体体積重量は 2.87g/cm^3 、一軸圧縮強度は自然状態で 82.1Mpa 、湿潤状態で 79.8Mpa 、ロサンゼルス式耐久性試験による摩耗率は 24.6% とコンクリート骨材の標準規定値以上である。
- ・割れ目の間隔は粗であり、大塊での採掘も可能であり捨石張り材（リップラップ材）としても使用可能である。
- ・現在採掘している原石山は 4万 m^3 以上の採取可能量と推定されるが、同種の原石山がこの地点より更に東南方向約 15km に存在し、十分な賦存量が期待できる。

2) 砂礫材料

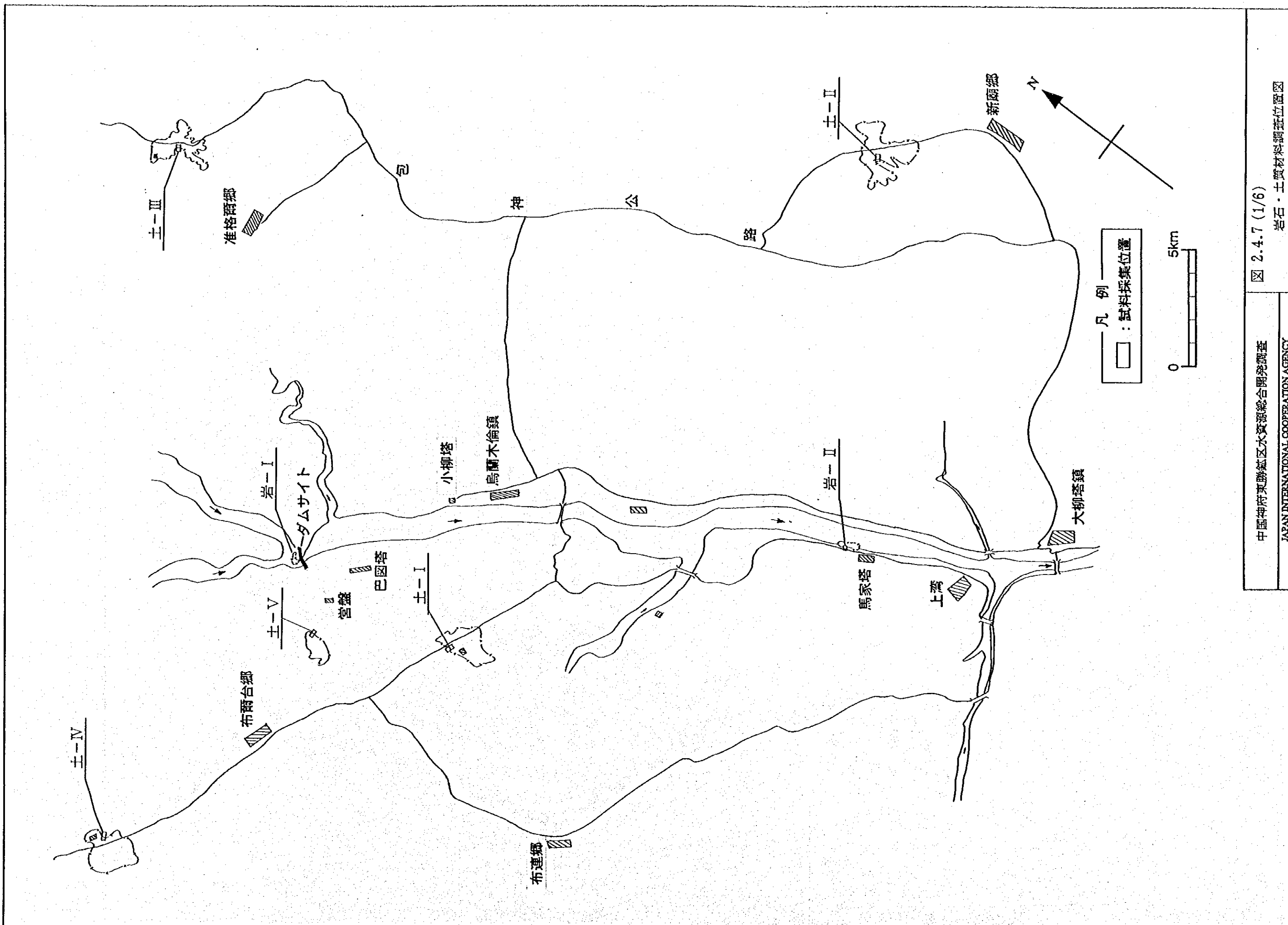
烏蘭木倫河沿いに転龍湾ダム地点より約 20km 下流の補連塔付近に礫分の多い沖積段丘堆積物層（層厚約 1m ）の存在が確認された。地質的にはダム上流採取候補地と類似しており、礫分が多い分、フィルター材用としても粒度分布が良く、篩い分けによる粒度調節も必要としないので効率の良い砂礫採取地として推奨される。コンクリート骨材としても粗骨材が効率良く利用出来るので優位な土取場と言える。

第 2.4 章 添付図



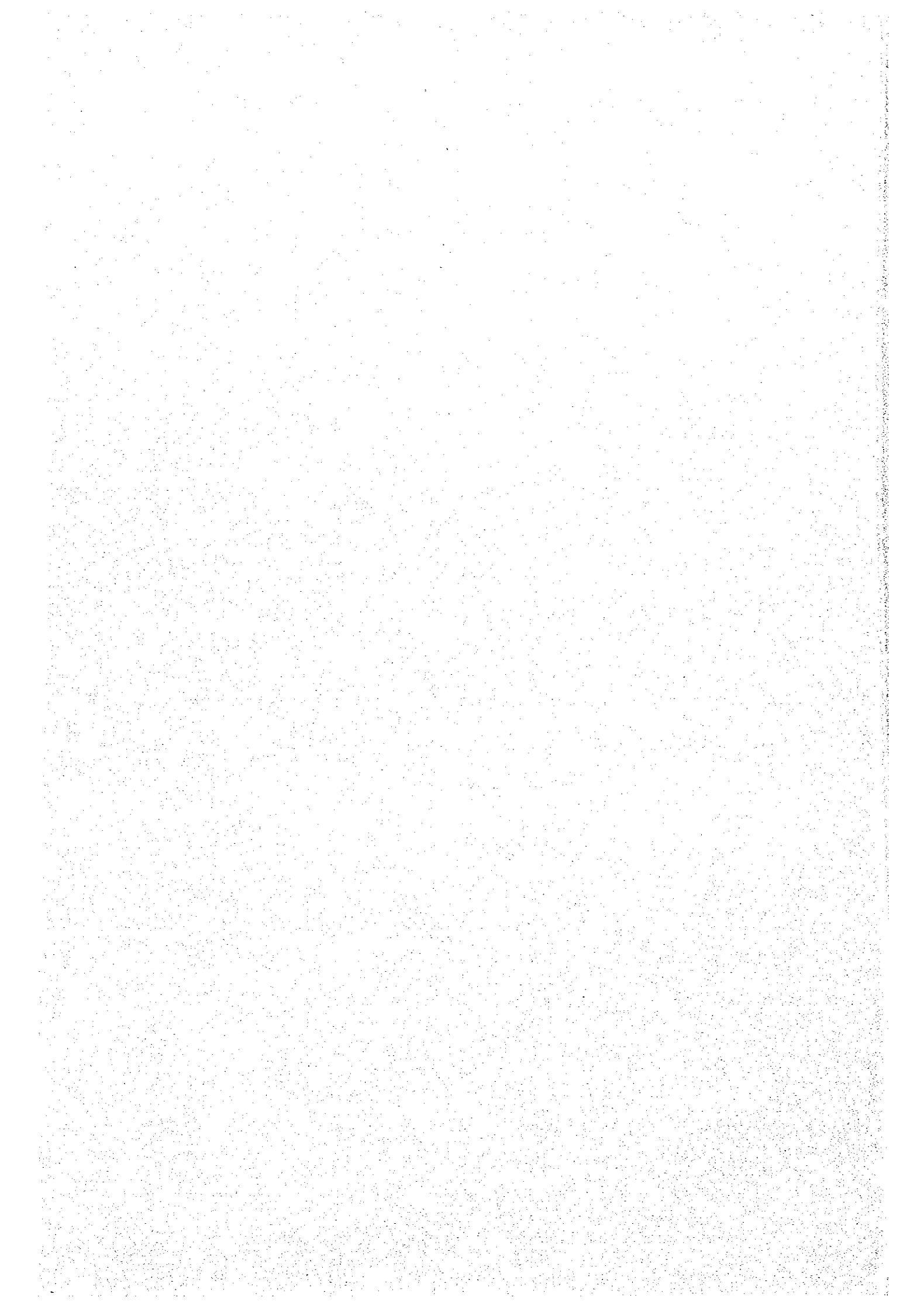
中国神府東勝鉱区水資源総合開発調査
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 2.4.6
 ダムサイト地質・弾性波探査実施位置図



中國神農架聯誼區水資源綜合開發調查
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

圖 2.4.7 (1/6)
岩石・土質材料調查位置圖



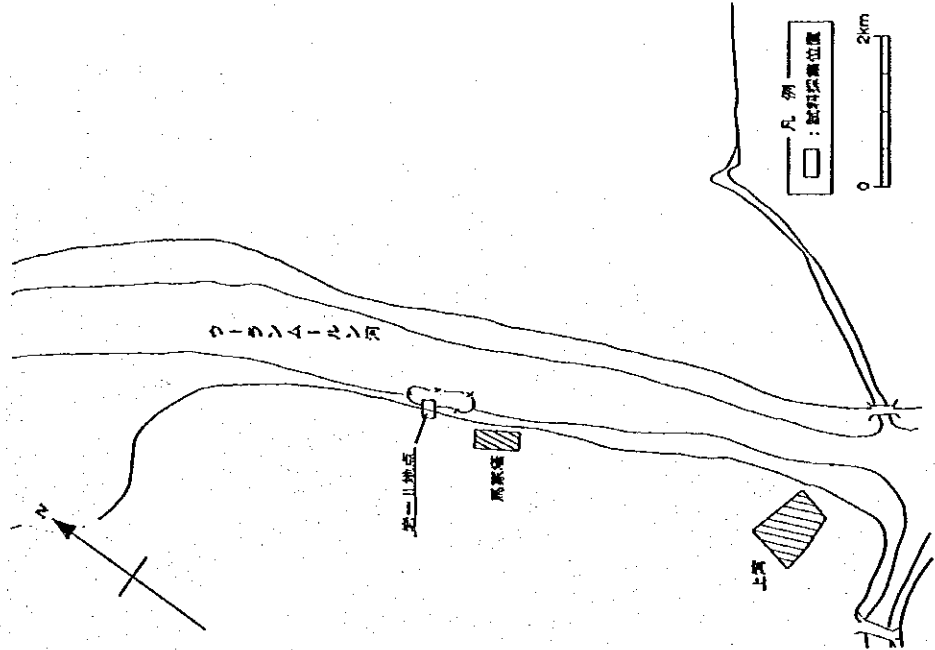


図 2.4.7 (2/6) 岩石・土質材料詳細調査位置図 (岩-I, V地点)

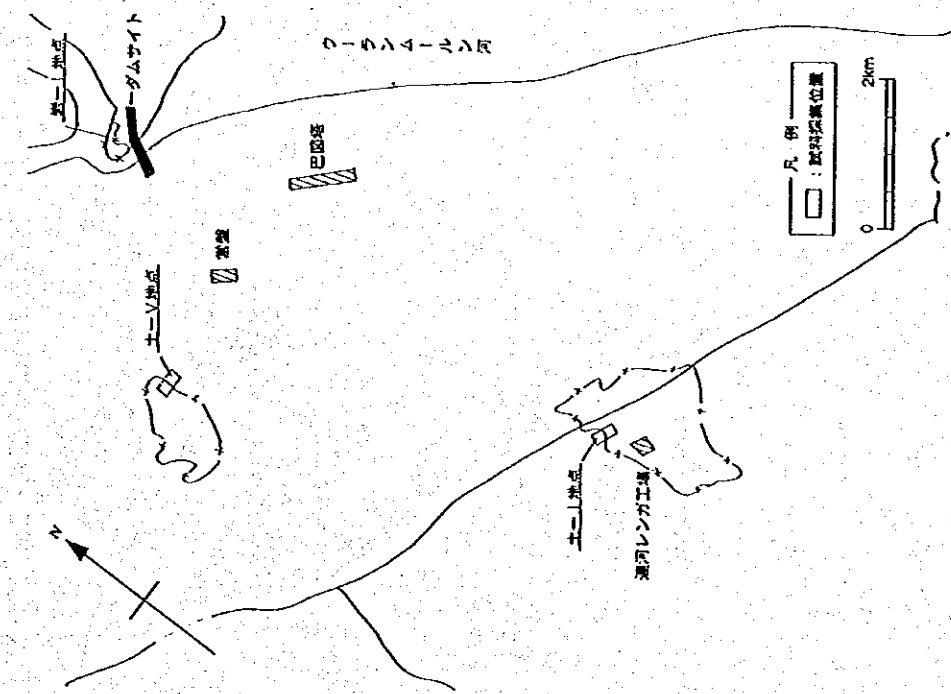


図 2.4.7 (3/6) 岩石・土質材料詳細調査位置図 (岩-II地点)

中国神戸東灘区水資源総合開発調査

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 2.4.7(2/6)(3/6)

岩石・土質材料詳細調査位置図

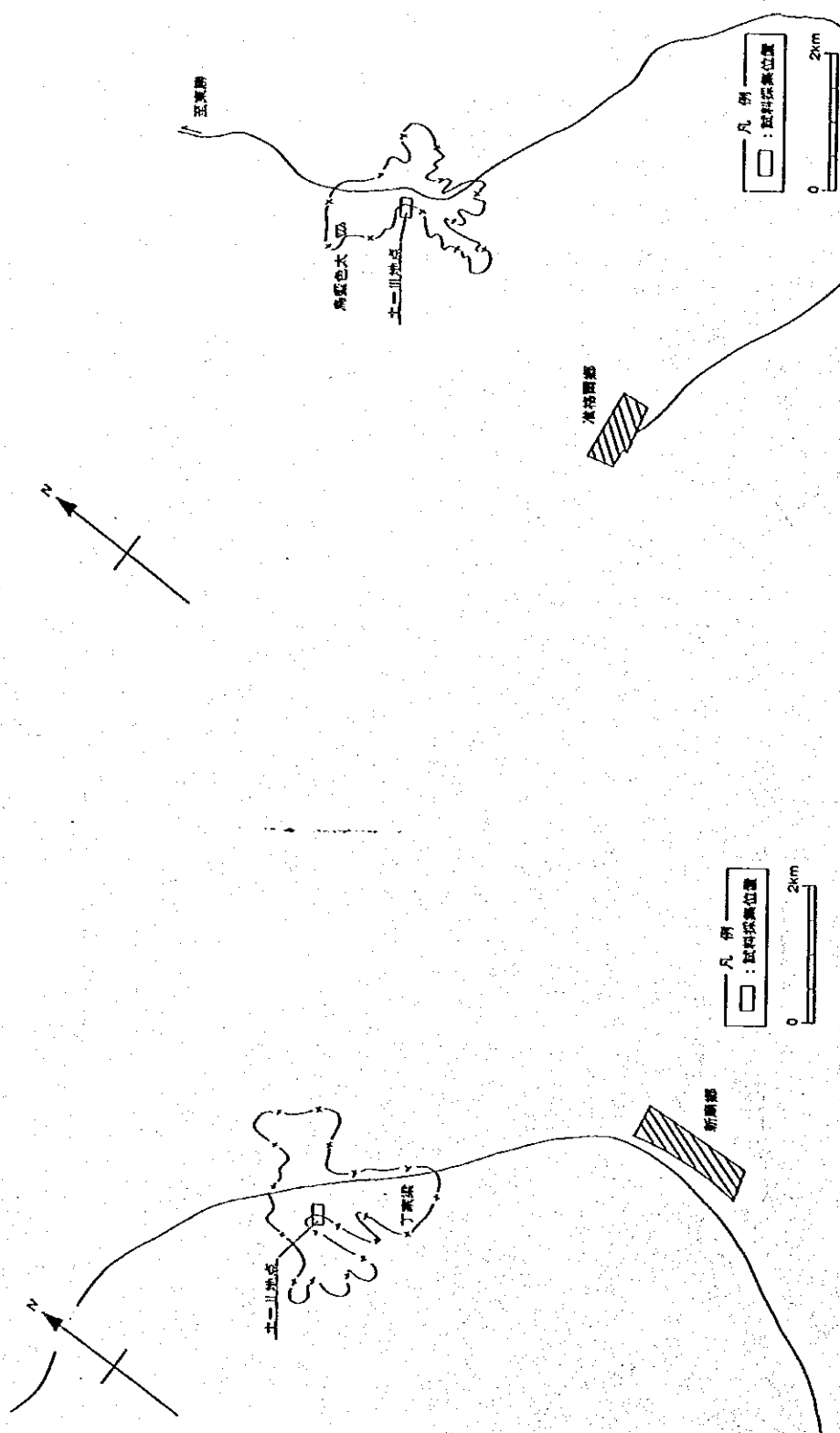


图 2.4.7 (4/6) 岩石・土質材料詳細調査位置图 (土-II 地点)

图 2.4.7 (5/6) 岩石・土質材料詳細調査位置图 (土-III 地点)

中国神府東勝鋁区水資源総合開発調査
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

图 2.4.7(4/6)(5/6)

岩石・土質材料詳細調査位置图

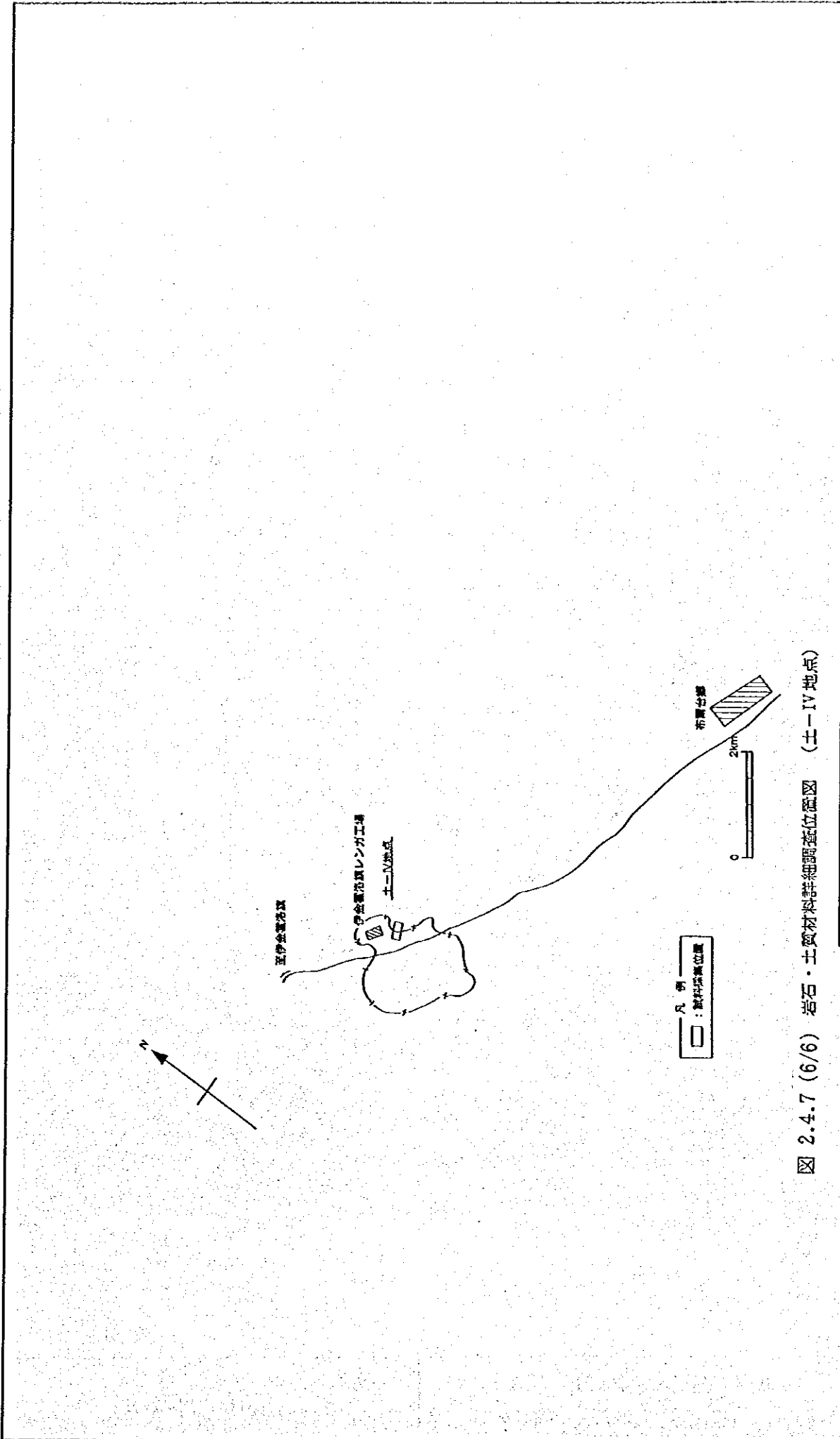
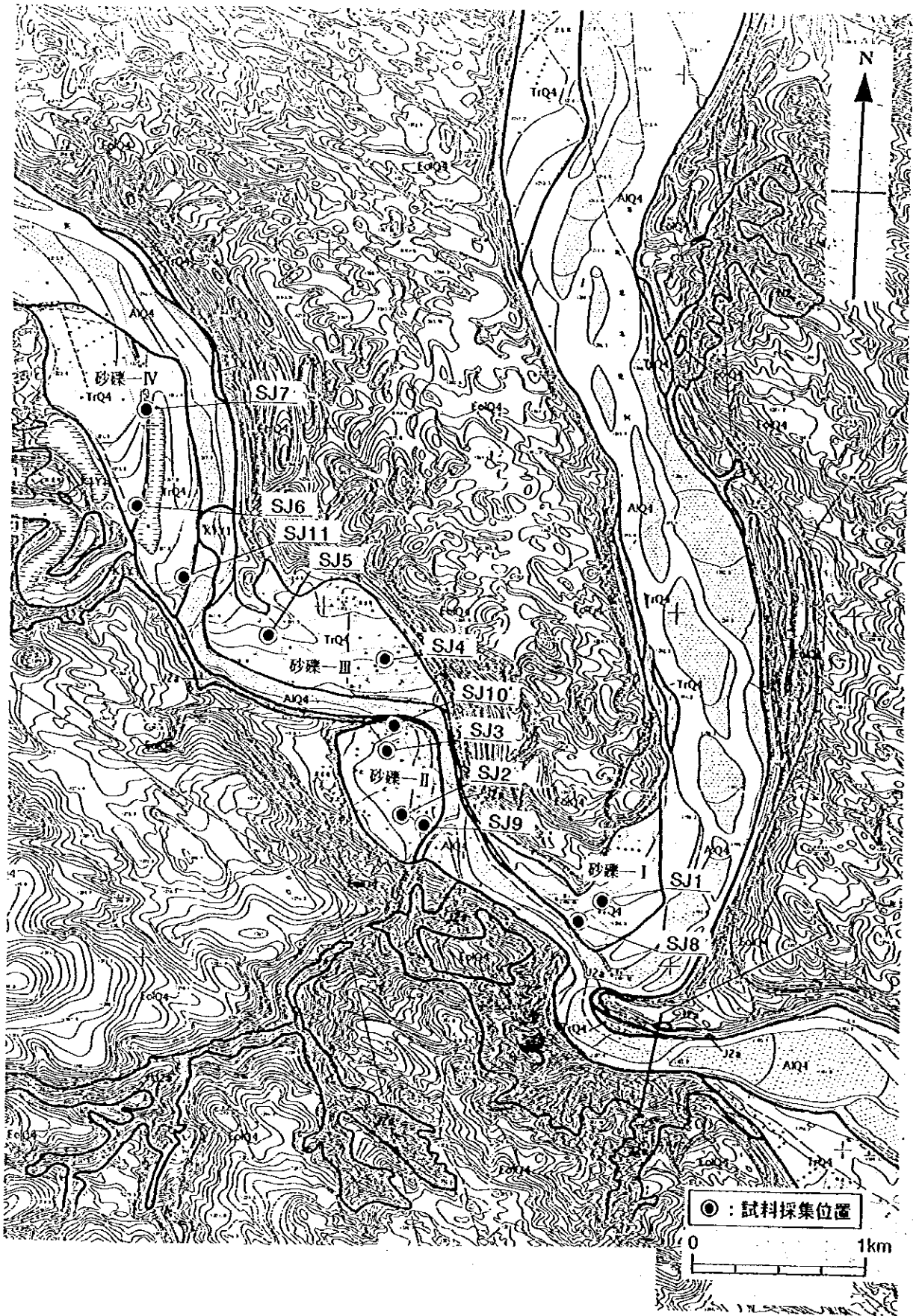


図 2.4.7 (6/6) 岩石・土質材料詳細調査位置図 (土-IV 地点)

中国神戸東灘区水資源総合開発調査
 JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 2.4.7(6/6)
 岩石・土質材料詳細調査位置図



中国神府東勝鉅区水資源総合開発調査

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

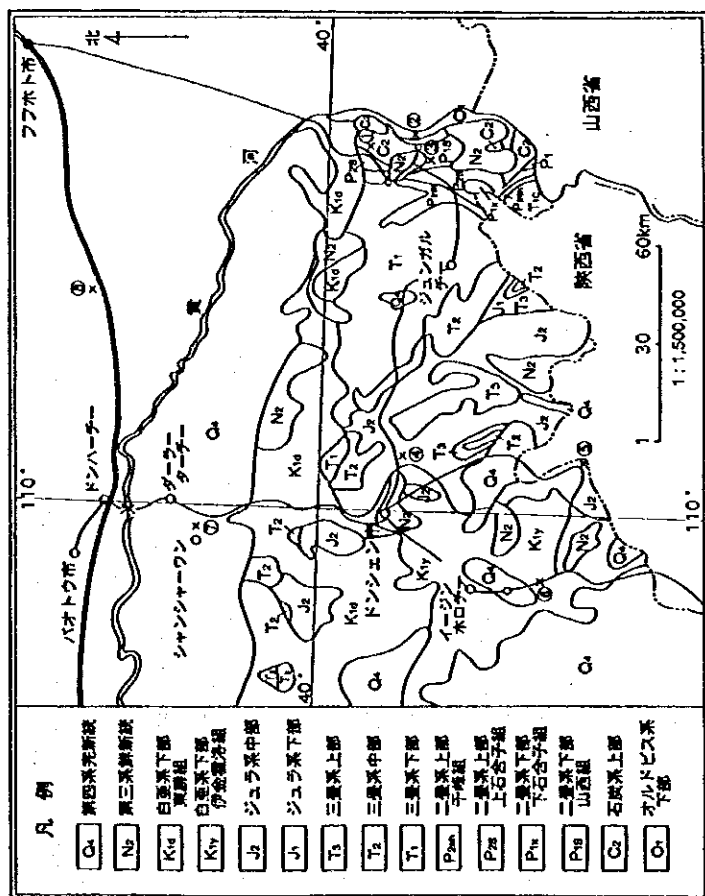
図 2.4.8

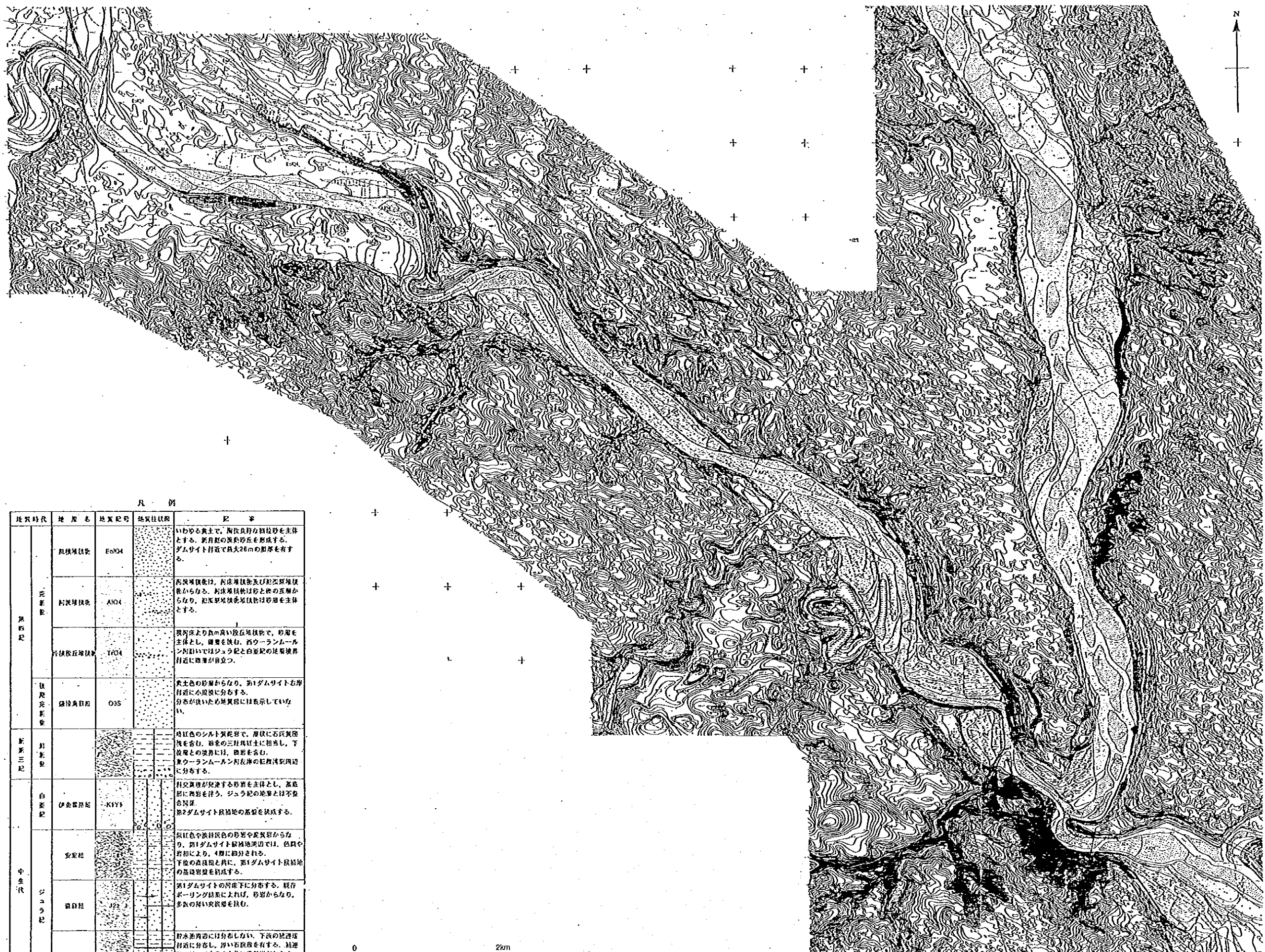
砂礫材料調査位置図

オルドス高原周辺域における標準層序

新代区分	地層名 (層名)	地層名 (漢字)	地層名 (英語)
第四系	Q ₄	第四系	(O ₄)
第三系	N ₃	第三系	(O ₃)
中生界	J ₃	ジュラ系下部	(N ₃)
	J ₂	ジュラ系中部	
	J ₁	ジュラ系上部	
	T ₃	三畳系下部	
	T ₂	三畳系中部	
	T ₁	三畳系上部	
	P _{3n}	二疊系下部	
	P _{3m}	二疊系中部	
	P _{3u}	二疊系上部	
	P _{2n}	石炭系下部	
	P _{2m}	石炭系中部	
	P _{2u}	石炭系上部	
古生界	O ₁	オルドビス系下部	

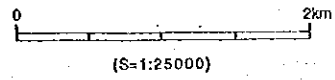
● 実層 〰️ 不整合 〰️ 平行不整合 〰️ 整合





凡 例

地質時代	地 層 名	地質記号	地質柱状図	記 号
第四紀	扇状地堆積物	Es04	[Symbol]	いわゆる黄土で、陶代頁岩の粗粒砂を主体とする。新月形の黄土砂丘を形成する。ダムサイト付近で最大26mの厚さを有する。
	河床堆積物	As04	[Symbol]	西沢川堆積物、西沢川堆積物及び紀高川堆積物からなる。河床堆積物は砂と泥の互層からなり、紀高川堆積物堆積物は砂層を主体とする。
	扇状地丘堆積物	Tf04	[Symbol]	河床より高い扇状地堆積物で、砂層を主体とし、礫層を挟む。西ウーラムールン川沿いでジュウ紀と白雲紀の延長境界付近に礫層が自立す。
	後期更新世	扇状地	Os3	黄土色の砂層からなり、第1ダムサイト右岸付近に小規模に分布する。分布が狭いため地質図には表示していない。
新第三紀	白雲紀	[Symbol]	[Symbol]	暗紅色のシルト質泥岩で、層状に石炭質層を含み、前部の三日月頁岩に相当し、下部層との境界には、礫層を含む。東ウーラムールン川左岸の紀高川河川沿いに分布する。
	白雲紀	Kiyf	[Symbol]	斜交葉理が発達する砂岩を主体とし、基底部に礫層を伴う。ジュウ紀の地層とは不整合関係。第2ダムサイト堆積物の基盤を構成する。
中生代	白雲紀	[Symbol]	[Symbol]	灰白色や淡黄色の砂岩や泥岩からなり、第1ダムサイト堆積物地層では、色相や岩相により、4層に細分される。下部の直積層と共に、第1ダムサイト堆積物の基盤岩盤を構成する。
	ジュウ紀	[Symbol]	[Symbol]	第1ダムサイトの河床下に分布する。観音ボーリング結果によれば、砂岩からなり、多数の細かい炭層を挟む。
	白雲紀	[Symbol]	[Symbol]	貯水池周辺には分布しない。下流の地層境界付近に分布し、厚い石炭層を有する。高層部では、石炭層の上位に泥質岩が分布する。わずかに砂岩もみられる。



中国神府東勝鎭区水資源総合開発調査
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

図 2.4.10 貯水池周辺の地質平面図

