2．下部ダムの漏水防止対策に関する調査

2．下部ダムの漏水防止対策に関する調査

頁

2.1　概　要 …… Ⅱ－2-1

2.2　水　文 …… Ⅱ－2-2

2.2.1　流域の概要 …… Ⅱ－2-2

2.2.2　気象観測所および測水所 …… Ⅱ－2-4

2.2.3　気　象 …… Ⅱ－2-4

(1)　降　雨 …… Ⅱ－2-5

(2)　気　温 …… Ⅱ－2-5

(3)　湿　度 …… Ⅱ－2-5

(4)　蒸　発 …… Ⅱ－2-6

(5)　風向と風速 …… Ⅱ－2-6

(6)　大 気 圧 …… Ⅱ－2-6

2.2.4　流　量 …… Ⅱ－2-6

(1)　流 入 量 …… Ⅱ－2-7

(2)　白 河 堡 …… Ⅱ－2-7

2.2.5　洪　水 …… Ⅱ－2-7

(1)　計画洪水量 …… Ⅱ－2-8

(2)　計画洪水流入量と貯水池計画水位 …… Ⅱ－2-8

2.2.6　流入土砂量と貯水池堆砂 …… Ⅱ－2-9

(1)　流入土砂量 …… Ⅱ－2-10

(2)　貯水池堆砂 …… Ⅱ－2-10

2.3　地　質 …… Ⅱ－2-24

2.3.1　一　般 …… Ⅱ－2-24

2.3.2　十三陵貯水池の地質 …… Ⅱ－2-24

(1)　地　形 …… Ⅱ－2-24

(2)　地　質 …… Ⅱ－2-25

(3)　水 理 地 質 …… Ⅱ－2-27

(4)　考　察 …… Ⅱ－2-29

2.3.3　上流締切ダム基礎の地質 …… Ⅱ－2-31
(1)　地　形 …… Ⅱ－2-31
(2)　地　質 …… Ⅱ－2-31
(3)　考　察 …… Ⅱ－2-33
2.3.4　下部調整池の保水性 …… Ⅱ－2-33
2.4　十三陵貯水池の経緯と現状分析 …… Ⅱ－2-45
2.4.1　一　般 …… Ⅱ－2-45
2.4.2　十三陵ダム …… Ⅱ－2-46
(1)　ダムの諸元 …… Ⅱ－2-46
(2)　建設及び漏水防止対策 …… Ⅱ－2-47
(3)　貯水池運用実績 …… Ⅱ－2-49
2.4.3　貯水池の漏水に関する現状分析 …… Ⅱ－2-49
(1)　貯水位及び地下水位に基づく試算 …… Ⅱ－2-50
(2)　水収支バランスに基づく試算 …… Ⅱ－2-50
2.4.4　白河保導水路 …… Ⅱ－2-52
2.5　揚水発電所下部調整池 …… Ⅱ－2-71
2.5.1　一　般 …… Ⅱ－2-71
2.5.2　調整容量確保のための対策 …… Ⅱ－2-72
(1)　旧河道の漏水防止対策 …… Ⅱ－2-72
(2)　白川保導水路による補給 …… Ⅱ－2-75
2.5.3　基本設計に関する技術評価 …… Ⅱ－2-77
(1)　一　般 …… Ⅱ－2-77
(2)　上流締切ダム …… Ⅱ－2-77
(3)　基礎処理の設計 …… Ⅱ－2-80
2.5.4　下部調整池の運用 …… Ⅱ－2-84
2.6　ま と め …… Ⅱ－2-101

2　下部ダムの漏水防止対策に関する調査

2.1　概　　要

十三陵用揚水発電計画は燕山山脈南麓、海河水系楡河北支東沙河上流部の既設十三陵貯水池を下部調整池として利用する。

十三陵ダム地点は海河水系東沙河の最上流に位置し、徳生口、錐石口、上下口の三本の小河川が貯水池上流で合流しており、河床堆積層は60～100mの厚さで堆積し、平常時には河川水の大部分が伏流している。また、貯水池上流端には貯水池と直交して東西方向に幅1㎞以上の旧可道の存在が確認されており、貯水池の流入水のかなりの量が伏流して西側へ流れている。

十三陵ダムからの漏水は1958年の建設直後からダム基礎部で確認され、当初は長さ300mの上流側ブランケットを施工したのみであった。その後、10年ほどの貯水池運用、観測を経て、漏水の過程と各水位における漏水量を分析した結果、漏水原因の大部分は十三陵ダムの基礎部及び上流旧河道からのものであることが確認された。しかし、旧河道の処理は河床堆積層の厚さが100mにも達し、その幅も広く完全な止水は困難との判断から、先ず、十三陵ダムの基礎処理をコンクリート連続地中壁により1969年12月から実施し、1970年にこの工事は完成した。

この修復工事によりダム基礎からの漏水問題は解決したが、1980年からの渇水の継続により、貯水池は枯渇状態となった。一方、北京北西部の官庁ダムへの水の補給、延慶山地区への灌漑用水の供給目的として延慶県の東北部に建設を進めていた白河堡ダムは1983年に完成し、その後十三陵ダムの景観保持のためにこの水路を延長し補給水路は1987年に完成し、必要に応じ最大4.3㎥/sの十三陵ダムへの水の供給を開始した。しかしながら、十三陵貯水池水位低下の原因は上流西部の大宮門旧河道の河床堆積層からの浸透流による漏水がその大半を占めていることが、その後の調査によって確認された。

このような状況のもとで、十三陵貯水池を揚水計画の下部調整池として使う場合、調整池の抜本的な漏水対策を行う必要がある。揚水計画では中国側の調査、検討の結果として十三陵ダム上流1,500mの地点に、新たに高さ約9mの上流締切ダムを築造し、基礎岩盤に達するコンクリート連続地中壁で旧河道への漏水を防止することによって、揚水下池の機能を確保することにしている。また、予想される調整池からの蒸発、その他の損失など下部調整池の機能を確実に保証するため、白河堡ダムからの

補給水路を締切ダムまで延長し、最大4.3㎥/sの補給を適宜行うこととしている。

今回は、中国側でこれまでに実施した調査の結果と漏水対策、及び下部調整池の機能の確保などの妥当性について調査、分析を行うものである。

なお、今回の揚水計画では十三陵貯水池はこれまでの灌漑用水の供給を中止し、揚水発電、洪水調節および周辺のリゾート開発の一環としての観光等を主目的とすることとしている。

2.2 水　文

2.2.1 流域の概要

十三陵揚水発電計画・下池の河川は、天津市内を流れ渤海湾に注ぐ海河水系の永定河に合流する温楡河（北京市郊外の北部より東側を経て東南に流れている）が沙河鎮町付近にて、東沙河、北沙河、および南沙河の３河川に分かれ、その東沙河の最上流、東沙溝に位置する。この付近は、華北平原の北部西端に当り、山塊が最初に出現する地点である。北京市街から貯水池までの距離は、北北西に約40km、昌平町より５kmと都会に近く、周囲の山とダム湖によって景勝地となっておりレストラン等の設備もあって市民の憩いの場所となっている。

流域面積は223km²である。水源地は八達嶺、燕羽山等の軍都山系で山の斜面は急峻をなし、岩盤が露出して植生も貧弱である。耕地は河に沿って若干あり、流域下流の丘陵に囲まれた標高80～120mには3000haの耕地がある。

その丘陵山麓には古い杉木立に囲まれて明の十三陵が散在している。

上流域の河川は、十三陵貯水池の直上流、七孔橋付近で徳勝口溝と錐石口溝が合流し、錐石口溝は下流から老君堂溝、上下口溝の河川を左岸側より合流している。なお、七孔橋付近の右岸方向に旧河道の厚い砂礫層が大宮門を経て北沙河流域に続いており、河川水のほとんどが伏流している。（図－Ⅱ.2.2-1 参照。）

海河水系流域は北運河、永定河、大清河、子牙河、および南運河の５大河川と山東省内の徒駭河、馬頰河からなる。５大河川と300余の支流は河北省の大部分、北京、天津両直轄市のすべて、さらに山東、山西、内蒙古などの省、自治区の一部におよんでおり、全流域の面積は265,000km²で、山間地と平原がそれぞれ半分を占めている。

水源地は燕山、太行山、五台山、恒山および黄土高原である。上流の山間部には支流が多く傾斜が大で、流路は短く流れが急である。中流部は土砂が河床に堆積し、河床が河岸より高くなり、地形は平坦で川の流れは緩やかである。

下流部の地形は低く窪んで河道が狭く、海への出口も狭い。このようにして、上流と下流の間の排水能力の差が数十倍、ときには100～200倍にもなる。

海河流域の気候の特徴は、年降雨量の分布がきわめて不均等で、その多くは夏と秋に集中することである。特に7、8月の降雨量は、ときには年降雨量の60～70%を占める。上流の山地では、しばしば豪雨におそわれるので、そのたびに洪水が上流からもたらす大量の土砂が溢れだし下流ではその排水が間に合わず、土砂は堤防を破って流れ出し、洪水となって災害をおよぼす。しかし春には、しばしば強風が吹くが雨は少なく、水枯れのため水無川になることさえある。また、井戸は枯れていて厳しい干ばつが発生する。なお、凹地が多いので、長い間広範囲にわたり土地のアルカリ化が著しく進み、春は一面真っ白（アルカリ化）、夏は見渡す限り水また水で、耕地に苗は育たず苦境が続いた。

これまで、歴代の支配者も「川を治める」と宣言してきたが新中国成立まで不安定であった。

1963年、中国の指導者・毛沢東は、「必ず海河を制御しよう」と呼び掛け、海河流域の多数の人々が次々に海河制御の一大闘争を行い大きな成果を得た。

その主な事業の内容は次のとおりである。

(1) 洪水防御による利水事業

上流の山地部に大・中型のダム80余、小型のダム1,500余が建設され、山地部の洪水貯水力を高めると同時に、ダムの洪水の調節機能を利用し、灌漑、発電、船運および水産業などの事業を発展させ、多目的効果を発揮させた。

(2) 幹線河川の浚渫と掘削

河川を浚渫してその土砂を堤防の築堤にあて、河川流下に支障をきたす狭窄部を開削し排水能力を高めた。なお、用水路、橋および水門を整備して排水と灌漑を結合させる水利系統を建設した。

(3) 治水の新計画

当初の海河改修工事に引き続いて、治水、利水および土壌保全事業を推進するものである。

(注：現代中国地理－その自然と人間－　黄就順編著　抜粋)

2.2.2 気象観測所および測水所

十三陵揚水発電計画地点の流域内における水文観測所は、図－Ⅱ.2.2-2に示すとおりである。雨量観測所７地点、井儿溝、鉄炉子、瓦廟、碓臼峪、徳勝口水庫、上口村および碓臼石、気象観測所は上池のために設置した上寺の１地点が存在するが、いずれも観測期間が短かい。

信頼できる最寄りの観測所としては、下部調整池より南西５kmにある昌平気象観測所がある。観測は観測開始1955年より現在まで継続して実施しており、充分に信頼出来る記録がある。

測水所は錐石口溝の錐石口に設置されており、流域面積56km²、1984年６月よりの観測開始である。

2.2.3 気　　象

中国は広大な面積と複雑な地形ではあるが、主な特色はつぎの通りである。

冬の季節風は、シベリア・モンゴルから吹き、北風あるいは偏北風が卓越する。

中国に吹く風が、季節に伴って規則的に変化するのは、非常に明瞭である。

平均的には、９月に南風あるいは偏南風が、北風あるいは偏北風へと移り変わり冷たい空気の季節となる。１月は、北から進出してきた冷たい空気の勢力が最も強い月で、夏の季節風も強く、完全に湿った暑い空気によって支配される。

中国の気候は、著しく大陸性で気温の変化が激しく、一般的に各地の気温の年較差は南から北へ、沿海から内陸に向かって大きくなり、また低地から山地に向かって小さくなる。そして、南から北に行くにしたがって年較差の増加が顕著である。

降雨量の分布はきわめて不均等であり、ほぼ南東から北西に向かって低減する。降雨量は華南が華北よりも多く、山地が平原よりも多い。降雨は大部分の地域で夏に集中し、冬の降雨はきわめて少なく、四川省、雲南省、華北、内蒙古、東北、西北地方では７月、８月が多雨の月である。これは主として、熱帯海洋上の温かく

湿った空気が中国に入り込んだのち、北から冷たい空気と出会ってできる前線が次第に南から北に移動し、それにつれて降雨量が多い月も、しだいに南から北に移るからである。なお、年降雨量の変動が極めて大きいことも特徴であり、北京では最多、最小年の差は約7倍である。

十三陵揚水発電計画地点の流域も、大陸気候の特色をもった地域である。

(1) 降　雨

河川流域は燕羽山の南側に位置しており、昌平気象観測所・標高74.9mの降雨量は夏の季節風が熱帯の温かい湿った空気を送り込む7月、8月の2ヶ月間に集中し、年間平均降雨量574.8mmの60%以上に達する。

また、6月から9月の4ヶ月間には年間降雨量の80%以上となる。月最大降雨量の変動は大きく、35年間の最大年間降雨量 1,002.5mm（1956年）と最小年間降雨量318.0mm（1984年）の絶対変異率は3.2である。（表－Ⅱ.2.2-1、図－Ⅱ.2.2-3参照。）

昌平、北京の平均月別降雨量を次表に示す。

（単位：mm）

観測所名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月
昌　平	2.5	5.5	8.8	17.0	25.8	73.0	184.9
北　京	3.0	7.4	8.7	19.4	33.1	77.9	192.9

観測所名	8月	9月	10月	11月	12月	年計	統計期間
昌　平	179.2	49.7	21.0	6.0	1.5	574.8	1955～89
北　京	212.3	57.1	24.1	6.7	2.6	645.2	1951～80

(2) 気　温

昌平気象観測所の平均年間気温は11.7℃である。最高気温は1961年6月10日に40.3℃を観測している。最低気温は1962年2月24日に-19.6℃を観測した（平均月別気温は表－Ⅱ.2.2-2参照）。

(3) 湿　度

昌平気象観測所の平均年間相対湿度は55%である。月別最高湿度は8月に78%、月別最低湿度は1月に36%を記録している（平均月別相対湿度は表－Ⅱ.2.2-2参照）。

(4) 蒸　発

昌平気象観測所において小型の蒸発皿（直径20cm）による観測結果の平均年間蒸発量は2,002.2mmである。最高年間蒸発量は2,698.6mmであり、最低年間蒸発量は1,660.2mmである。月別平均の最高蒸発量298.0mmは5月に発生し、最低蒸発量76.2mmは12月に発生している（平均月別蒸発量は表－Ⅱ.2.2-2参照）。

(5) 風向と風速

昌平気象観測所における風向は年間を通して北西風が強く、北西風によって最大風速23.0m/sも観測している。平均年間風速は4.5m/sである。

(6) 大 気 圧

昌平気象観測所における平均年間大気圧は 1,008.7mbである。月別平均の最高大気圧は 1,019.1mbで1月に起り、最低大気圧は 995.2mbで7月に起る。
（平均月別大気圧は表－Ⅱ.2.2-2参照）。

2.2.4 流　　量

河川流量は、2.2.1流域の概要の海河水系流域で述べた特色を持っている。本計画の流域にしても、年降雨量の分布が極めて不均等で、その多くは夏に集中することである。特に7，8月の降雨量は年間の60～70%を占める。洪水は上流からの大量の土砂をもたらし、十三陵貯水池末端の七孔橋付近にはこれらの砂礫が堆積しており、流量が少ない時は伏流し表面水として流下しない。

なお、十三陵貯水池の上流端付近の旧河道は、北沙河の最東部の支川虎峪溝流域に属しており、伏流した水は旧河道へ流出する。また、十三陵貯水池の貯溜水も漏水として旧河道に伏流する。ちなみに、十三陵貯水池の上流端付近から南西に、北沙河流域の中流部である昌平町と南口鎮の間を経て、さらに南西に延びた幅7～8km、長さ約25kmの扇状地域での河川は砂礫が堆積し河川の水は通常伏流して流れ

ている。従って、十三陵貯水池に流入する河川流量は上流部において旧河道に漏水して少ないため、貯水池流入量の補給を目的に白河の上流、白河堡より流域変更して七孔橋直上流に注水する施設を1984年10月にほぼ完成して使用したが、1987年に最終完成した。白河堡導水は、今後、既設ダム上流1,500m地点に締切ダムが築造されると、同ダムまで水路を延長し、貯水池容量が不足時に直接池に導水する。

(1) 流 入 量

十三陵貯水池の流域223km²の流量は、信頼できる測水所がないので直接的には不明である。

従って、流域の長期資料のある昌平雨量記録より間接的に求めることとし、最寄りの河川で流量と降雨量の関係が良い懐河の懐柔地点より想定している。平均年間流入量は「可行性研究報告1988年9月」によれば31MCM㎥である。流域の暦年月別流量を表－Ⅱ.2.2-3、図－Ⅱ.2.2-4に示す。

なお、貯水池への流入実績は2.4.2(3)貯水池運用実績、参照。

今後、既設十三陵ダム上流1,500m地点に堤頂標高90mの締切りダムを築造すると締切り内の貯水池（揚水発電の下部調整池）への流入量は、内部池水位が締切り上流水位より低い場合には締切りダムの左岸に設けられた送水門により上流より注水し、また揚水発電の渇水期運用下池水位89.5mに不足する場合には白河堡の導水路により注水する。なお揚水発電運用によって上部調整池流域（面積は小さい）の降雨量も流入する。

(2) 白 河 堡

2.4.4および2.5.2(2)白河堡導水路並びに白河堡導水路による補給の項参照。

2.2.5 洪　　水

十三陵貯水池の計画洪水量は、歴史的な背景よりの推定および国内河川の洪水記録解析からの見直しによって求めた。

下流に対する洪水調節は、洪水波形の容量を推定して貯水池の水位上昇を考慮した自然貯溜（サーチャージ）により行なっている。

なお、揚水発電計画の下部調整池として十三陵貯水池に上流締切りダムを築造し

た場合においても洪水時の貯水池計画水位は変わらない。

以下は「可行性研究報告（1988年9月、水利電力部北京勘測設計院）」に準じている。

(1) 計画洪水量

徳勝口溝のダム地点付近での洪水調査による原計画は、1890年（清王朝時代、光緒18年）の洪水が100年間の最大のものと考慮され、推定の洪水量は2,000㎥/sである。第2位の洪水は1929年と1939年におき、その推定洪水量は1,200㎥/sである。しかし、「光緒昌平州志」によれば1607年（明朝時代、万暦35年）に記録された洪水が史上最大のものであると記述されている。

1890年の洪水が1607年以降の第2位のものと考えた場合は、その再来周期は150～200年であり、1929年と1939年に起きた洪水の再来周期は30～50年である。

1963年8月、海河流域に起きた洪水の後、水文資料が北京市水利勘測設計院によって検討され、設計洪水確率が2％から1％に、異常洪水確率は 0.5％から0.1％に変更された。また、洪水吐は新しい基準に応じて拡張された。

1975年8月に、河南省で大災害の洪水が起きた。計画洪水量は、北京市水利勘測設計院によって再検討され変更された。

原計画とその後の見直しされた値を次表に示す。

確率別・計画洪水量の原計画と見直し値

確率 P ％	計画洪水量 ㎥/s 原計画	見直し値 (1964)	見直し値 (1976)
0.05	—	—	3,970
0.1	—	3,200	3,520
0.5	2,200	2,300	—
1.0	1,750	2,200	2,200
2.0	1,350	1,800	—

(2) 計画洪水流入量と貯水池計画水位

原計画洪水による流入量は、種々の洪水波形の発生確率より1日および3日間の洪水流入量について最寄りの河川の流量係数を参照して求めた。

また、前節同様に1964年および1976年に水文資料の再検討を行なった結果を以下に示す。

確率別・原計画洪水流入量

確率	最大24時間		最大3日間	
P %	降雨量(mm)	流入量 (SCM)	降雨量(mm)	流入量 (SCM)
0.1	—	—	—	—
0.5	360	507.0	560	620.0
1.0	320	430.0	480	520.0
2.0	275	308.0	410	445.0

確率別・計画洪水流入量の修正

確率	1964年 最大24時間		1964年 最大3日間		1976年 最大24時間	
P %	降雨量 (mm)	流入量 (SCM)	降雨量 (mm)	流入量 (SCM)	降雨量 (mm)	流入量 (SCM)
0.1	610	1,057.0	830	1,380.0	562	957.0
0.5	465	755.0	635	975.0	—	—
1.0	405	636.0	552	809.0	—	—
2.0	343	515.0	468	652.0	—	—

1976年の再検討の最終結果は、確率0.1%の異常洪水量の増加と、24時間の最大流入量が減少した。これらの結果を踏まえた、貯水池の洪水調節と計画水位は次表に示す通りである。

洪水量別・洪水調整と貯水池計画水位

項目	単位	設計洪水量 (1 %)	異常洪水量Ⅰ (0.1 %)	異常洪水量Ⅱ (0.05 %)
洪水量	m³/s	2,200	3,520	3,970
最大放流量	m³/s	557	895	1,035
計画洪水位	m	98.10	101.23	102.24

2.2.6 流入土砂量と貯水池堆砂

海河水系流域で述べているように流域の特徴として、7月、8月に年間の降雨量が集中して上流から大量の土砂を下流にもたらす。

十三陵貯水池の流域では、貯水池末端付近で地形が開け上流諸河川が合流していることもあって砂礫が堆積している。

流入土砂量と貯水池堆砂については「十三陵貯水蓄能電站・可行性研究報告」（1988年9月水利電力部北京勘測設計院）に準ずるが、貯水池堆砂は上流の締切りダム築造によって締切り内の貯水池には多く堆砂しない。

(1) 流入土砂量

東沙河流域の十三陵貯水池付近の流入土砂量記録は無い。

従って、北京地区の浸蝕係数と最寄り河川流域記録より求め、年間の流入土砂量は次の要素による95.6×10^3 ㎥と推定した。

流域面積	223 ㎢
浸蝕係数	500 t／㎢
掃 流 量	浸蝕係数×0.2
土砂単位重量	1.4 t／㎥

種々の計算期間における堆砂量を次表に示す。

期 間 別 の 堆 砂 量

期　　間	1987～2005	1987～2015	1985～2035
堆 砂 量 (SCM)	1,816.4	2,772.4	4,684.4

(2) 貯水池堆砂

貯水池の堆砂は湛水開始の時点ですでに多少の堆砂が生じているが、当初の堆砂計算によると、貯水池の背水長4～5㎞、河床勾配が 4.4%程度と大きく、なお水位変動が大きいことから、貯水池終端付近より河床に一定勾配で帯状に堆積するものとした。（図－Ⅱ.2.2-5参照。）

しかし、揚水発電計画の下部調整池は、現在の十三陵貯水池上流 1,500mに堤頂標高90m（ダム高さ約9m）の締切りダムが存在する事になり、主な堆砂は締切りダムの上流に生じて下池内には一部浮遊砂のみが堆砂するものと考えられる。

表－II.2.2-1　昌平気象観測所・暦年月別降雨量

（単位：mm）

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年計
1955	0.0	0.1	11.9	9.8	81.4	28.4	190.2	388.0	118.3	67.8	8.7	1.1	905.7
1956	0.1	8.8	8.7	8.8	19.9	305.6	180.6	353.3	70.8	35.4	10.8	0.0	1,002.5
1957	8.9	7.3	8.3	16.8	2.2	73.2	115.8	133.0	21.1	0.0	13.5	0.0	400.1
1958	5.1	0.0	5.0	13.1	11.9	41.1	329.1	94.4	118.7	21.9	5.2	3.2	648.7
1959	0.0	16.0	25.4	3.5	1.9	30.4	138.9	257.5	76.0	17.0	0.5	0.3	567.4
1960	8.5	5.4	5.0	1.7	10.2	68.6	385.5	86.6	70.7	12.9	2.5	0.3	657.9
1961	2.1	4.0	20.9	8.7	7.7	24.2	156.6	73.8	107.1	11.7	8.9	0.9	426.6
1962	3.5	13.8	1.9	7.0	25.0	73.2	198.0	28.8	27.3	0.2	3.0	0.0	381.7
1963	0.3	0.3	17.4	28.6	59.2	32.6	172.2	358.8	13.1	5.7	2.8	0.0	691.0
1964	2.5	4.8	9.5	107.0	10.6	31.0	134.0	326.4	60.3	25.7	0.0	0.0	711.8
1965	0.0	1.8	0.0	17.8	11.1	60.0	83.6	84.2	70.0	11.5	6.7	0.0	346.7
1966	1.2	8.7	15.6	2.8	33.6	26.1	133.9	306.9	11.8	8.9	0.0	0.6	550.1
1967	2.4	6.5	9.1	21.2	25.2	126.8	227.7	213.1	27.1	13.1	1.3	0.0	673.5
1968	1.1	0.3	1.4	10.8	1.6	18.2	167.6	66.3	83.5	60.0	7.4	4.9	423.1
1969	0.6	3.2	19.1	32.8	30.9	59.4	328.8	278.9	100.2	17.3	8.6	0.1	879.9
1970	0.7	6.9	7.0	10.0	47.7	43.8	157.8	83.4	15.1	62.1	0.0	0.0	434.5
1971	0.0	4.9	27.5	11.3	13.2	103.0	173.1	120.3	41.5	7.8	3.9	0.0	506.5
1972	12.9	8.4	0.7	9.0	9.3	64.8	150.2	28.3	91.0	19.2	12.6	0.0	406.4
1973	20.6	5.3	15.0	10.0	23.0	115.7	280.9	284.6	55.2	28.9	7.9	0.0	847.1
1974	0.5	1.3	7.0	2.5	31.5	20.6	446.0	194.7	49.4	4.5	1.6	4.3	763.9
1975	0.2	2.7	3.1	0.0	8.3	45.8	87.7	273.7	17.1	0.5	19.4	0.6	459.1
1976	0.0	9.6	7.3	2.2	0.3	138.4	183.5	171.6	23.5	60.6	6.1	0.5	603.6
1977	0.3	0.1	7.5	11.9	42.2	168.3	317.9	145.7	5.3	94.6	3.3	7.1	804.2
1978	0.0	5.2	4.5	4.3	101.3	70.2	94.1	225.5	79.5	9.9	7.2	4.9	606.6
1979	0.0	25.2	8.5	39.7	22.4	106.2	150.2	139.3	8.9	7.5	2.0	4.7	514.6
1980	0.0	8.6	13.5	12.5	34.3	77.7	13.5	129.2	24.5	43.3	0.2	7.0	364.3
1981	2.4	5.8	1.5	7.1	26.7	36.1	174.9	103.3	36.5	15.9	14.6	0.1	424.9
1982	0.0	1.4	0.5	4.0	13.8	100.1	245.4	162.1	11.1	11.1	3.6	0.0	553.1
1983	0.0	1.6	10.6	66.4	17.7	52.3	52.3	182.9	25.3	14.2	2.3	0.0	425.6
1984	0.0	0.4	0.9	22.8	38.7	52.9	48.2	101.3	34.7	10.4	6.9	0.8	318.0
1985	1.3	10.1	1.8	17.5	45.1	20.2	216.0	246.4	13.2	2.2	1.7	0.3	575.8
1986	0.2	6.5	10.9	0.0	11.7	121.6	160.7	126.6	95.0	8.9	5.3	3.1	550.5
1987	4.7	4.8	9.4	28.2	44.7	134.4	92.1	173.3	29.7	4.6	27.3	7.1	560.3
1988	0.5	2.2	11.9	5.7	17.6	44.0	238.3	282.5	27.0	13.7	0.0	0.8	644.2
1989	6.6	0.0	0.0	41.1	22.0	38.9	245.6	46.2	80.2	4.4	4.2	0.5	489.7
平均	2.5	5.5	8.8	17.0	25.8	73.0	184.9	179.2	49.7	21.0	6.0	1.5	574.8
最大	20.6	25.2	27.5	107.0	101.3	305.6	446.0	388.0	118.7	94.6	27.3	7.1	1,002.5
最小	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	18.2	13.5	28.3	5.3	0.0	0.0	0.0	318.0

表－Ⅱ.2.2-2　昌平気象観測所・月別平均気象記録

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平　均
気　温（℃）	-4.1	-2.1	4.9	13.3	20.0	24.1	25.8	24.4	19.6	12.7	4.4	-2.3	11.7
湿　度（%）	36.0	43.0	46.0	46.0	50.0	60.0	76.0	78.0	67.0	60.0	53.0	42.0	54.8
蒸発量（mm）	78.2	83.6	165.9	250.0	298.0	274.6	197.9	167.9	168.6	147.0	94.9	76.2	166.9 (2,002.8)
大気圧（mb）	1,019.1	1,017.9	1,012.7	1,006.9	1,001.3	997.0	995.2	999.3	1,006.5	1,012.8	1,016.8	1,018.7	1,008.7

注：(　　)は合計

（参考）北京・月別平均気象記録

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平　均
気　温（℃）	-4.6	-2.0	4.4	13.2	19.9	24.2	25.9	24.4	19.4	12.5	4.0	-2.4	12.5
湿　度（%）	44.0	49.0	51.0	51.0	54.0	62.0	78.0	81.0	72.0	66.0	61.0	51.0	60.0

表－Ⅱ.2.2-3　十三陵貯水池・暦年月別流入量（その１）

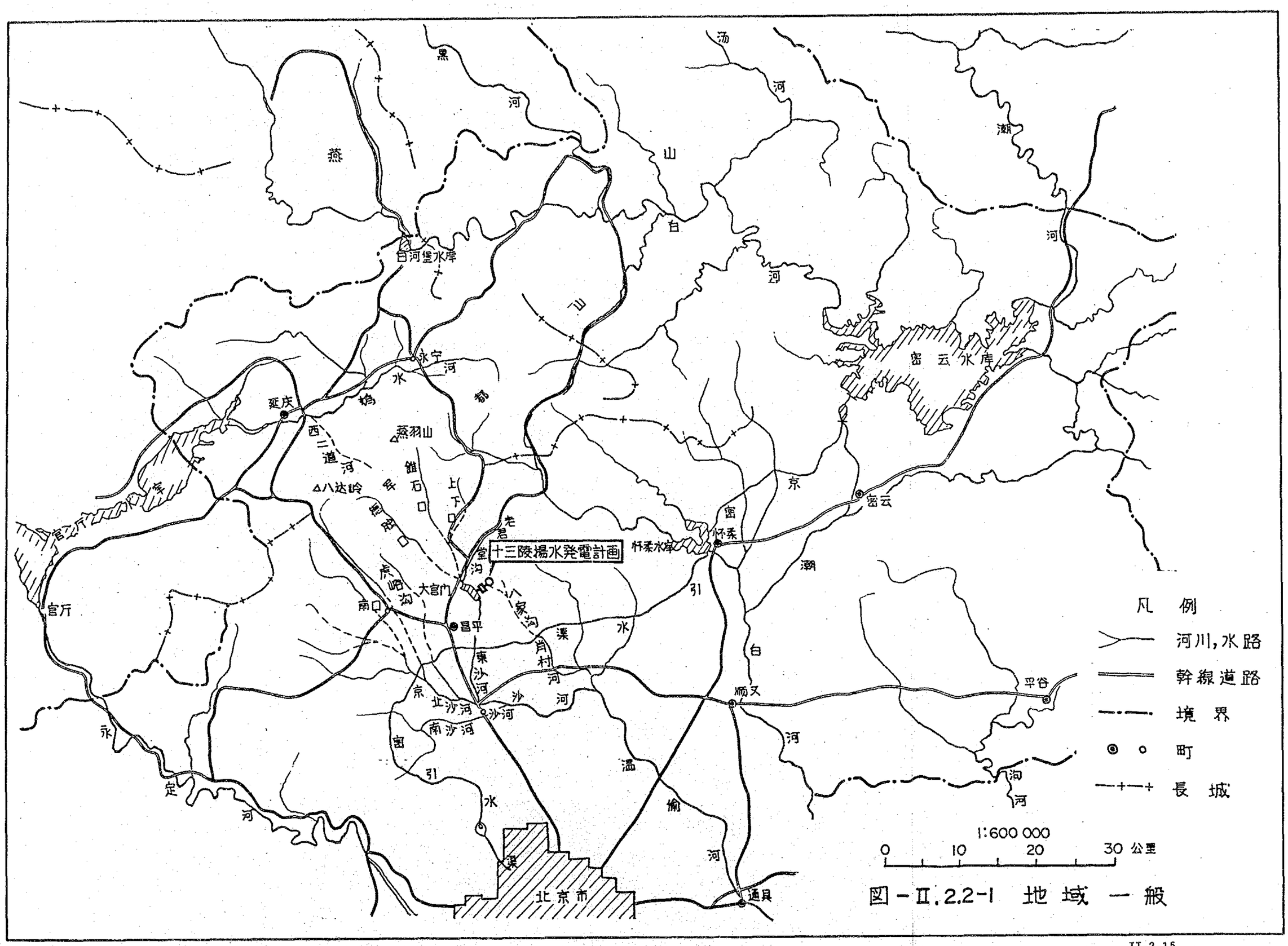
（単位：ＳＣＭ）

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年 計	m³/s
1971	104.0	601.1	124.0	870.0	1,390.0	1,800.0	6,890.0	5,160.0	2,261.0	850.0	660.0	40.0	20,750.0	0.7
1972	137.0	57.0	161.0	48.0	89.0	1,065.0	2,970.0	2,324.0	791.0	371.0	57.0	0.0	8,070.0	0.3
1973	1,085.0	447.0	1,276.0	383.0	702.0	8,424.0	23,486.0	18,380.0	6,254.0	2,936.0	447.0	0.0	63,820.0	2.0
1974	45.0	225.0	405.0	135.0	2,384.0	1,709.0	27,480.0	8,366.0	3,508.0	180.0	225.0	315.0	44,977.0	1.4
1975	42.0	84.0	195.0	0.0	780.0	2,199.0	3,035.0	6,334.0	571.0	0.0	654.0	28.0	13,922.0	0.4
1976	0.0	830.0	542.0	72.0	72.0	4,003.0	14,300.0	9,350.0	2,130.0	4,368.0	361.0	72.0	36,100.0	1.1
1977	171.0	114.0	399.0	628.0	4,280.0	11,240.0	21,910.0	10,620.0	514.0	6,563.0	171.0	457.0	57,067.0	1.8
1978	0.0	285.0	321.0	678.0	3,104.0	3,390.0	8,956.0	12,950.0	4,638.0	642.0	285.0	428.0	35,677.0	1.1
1979	0.0	984.0	807.0	1,841.0	807.0	5,145.0	6,633.0	7,117.0	530.0	378.0	76.0	303.0	24,621.0	0.8
1980	2.0	35.0	128.0	106.0	250.0	421.0	154.0	848.0	87.0	91.0	2.0	46.0	2,170.0	0.1
1981	102.0	591.0	122.0	856.0	1,365.0	1,753.0	7,666.0	5,075.0	2,221.0	836.0	652.0	41.0	21,280.0	0.7
1982	0.0	82.0	0.0	571.0	1,428.0	6,162.0	22,080.0	9,019.0	612.0	775.0	82.0	0.0	40,811.0	1.3
1983	53.0	40.0	214.0	1,603.0	735.0	1,296.0	2,418.0	5,584.0	802.0	521.0	94.0	0.0	13,360.0	0.4
1984	2.0	31.0	116.0	96.0	225.0	380.0	139.0	766.0	79.0	82.0	2.0	41.0	1,959.0	0.1
1985	54.0	73.0	821.0	503.0	200.0	124.0	1,870.0	2,180.0	1,160.0	349.0	383.0	353.0	8,070.0	0.3
平　均	119.8	298.6	375.4	559.3	1,187.4	3,274.1	9,999.1	6,938.2	1,743.9	1,262.8	276.7	141.6	26,176.9	0.8
最　大	1,085.0	984.0	1,276.0	1,841.0	4,280.0	11,240.0	27,480.0	18,380.0	6,254.0	6,563.0	660.0	457.0	63,820.0	2.0
最　小	0.0	31.0	0.0	0.0	72.0	124.0	139.0	766.0	79.0	0.0	2.0	0.0	1,959.0	0.1

表－Ⅱ.2.2-3　十三陵貯水池・暦年月別流入量（推定値）（その２）

（単位：㎥／s－d）

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年　計
1971	1.20	6.96	1.44	10.07	16.09	20.83	79.75	59.72	26.17	9.84	7.64	0.46	240.16
1972	1.59	0.66	1.86	0.56	1.03	12.33	34.38	26.90	9.16	4.29	0.66	0.00	93.40
1973	12.56	5.17	14.77	4.43	8.13	97.50	271.83	212.73	72.38	33.98	5.17	0.00	738.66
1974	0.52	2.60	4.69	1.56	27.59	19.78	318.06	96.83	40.60	2.08	2.60	3.65	520.57
1975	0.49	0.97	2.26	0.00	9.03	25.45	35.13	73.31	6.61	0.00	7.57	0.32	161.13
1976	0.00	9.61	6.27	0.83	0.83	46.33	165.51	108.22	24.65	50.56	4.18	0.83	417.82
1977	1.98	1.32	4.62	7.27	49.54	130.09	253.59	122.92	5.95	75.96	1.98	5.29	660.50
1978	0.00	3.30	3.72	7.85	35.93	39.24	103.66	149.88	53.68	7.43	3.30	4.95	412.93
1979	0.00	11.39	9.34	21.31	9.34	59.55	76.77	82.37	6.13	4.37	0.88	3.51	284.97
1980	0.02	0.41	1.48	1.23	2.89	4.87	1.78	9.81	1.01	1.05	0.02	0.53	25.12
1981	1.18	6.84	1.41	9.91	15.80	20.29	88.73	58.74	25.71	9.68	7.55	0.47	246.30
1982	0.00	0.95	0.00	6.61	16.53	71.32	255.56	104.39	7.08	8.97	0.95	0.00	742.35
1983	0.61	0.46	2.48	18.55	8.51	15.00	27.99	64.63	9.28	6.03	1.09	0.00	154.63
1984	0.02	0.36	1.34	1.11	2.60	4.40	1.61	8.87	0.91	0.95	0.02	0.47	22.67
1985	0.63	0.84	9.50	5.82	2.31	1.44	21.64	25.23	13.43	4.04	4.43	4.09	93.40
平　均	1.39	3.46	4.34	6.47	13.74	37.89	115.73	80.30	20.18	14.62	3.20	1.64	302.97
㎥／sec	0.04	0.12	0.14	0.22	0.44	1.26	3.73	2.59	0.67	0.47	0.11	0.05	0.83


燕
黑
河
山
汤
河
潮
河
台
河
白河堡水庫
永宁
河
水
延庆
燕羽山
西
二
道
河
八达岭
上
下
口
十三陵揚水発電計画
大宮門
南口
昌平
官厅
永
定
河
東
沙
河
北沙河
沙河
南沙河
京
密云
密云水庫
怀柔
怀柔水庫
白
河
顺义
平谷
通县
北京市
凡 例
河川,水路
幹線道路
境 界
町
長 城
1:600 000
0 10 20 30 公里

図－II.2.2-1 地域一般

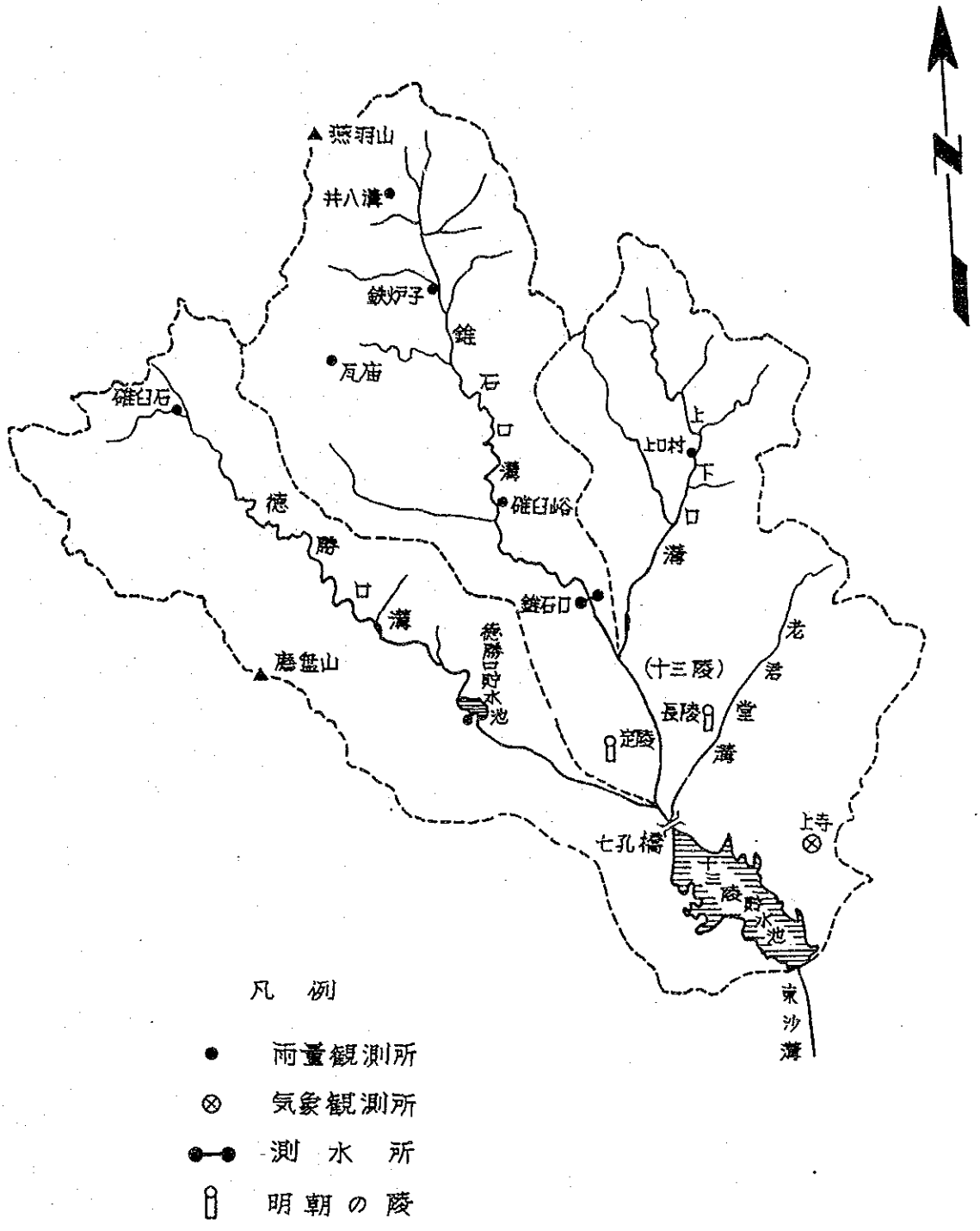
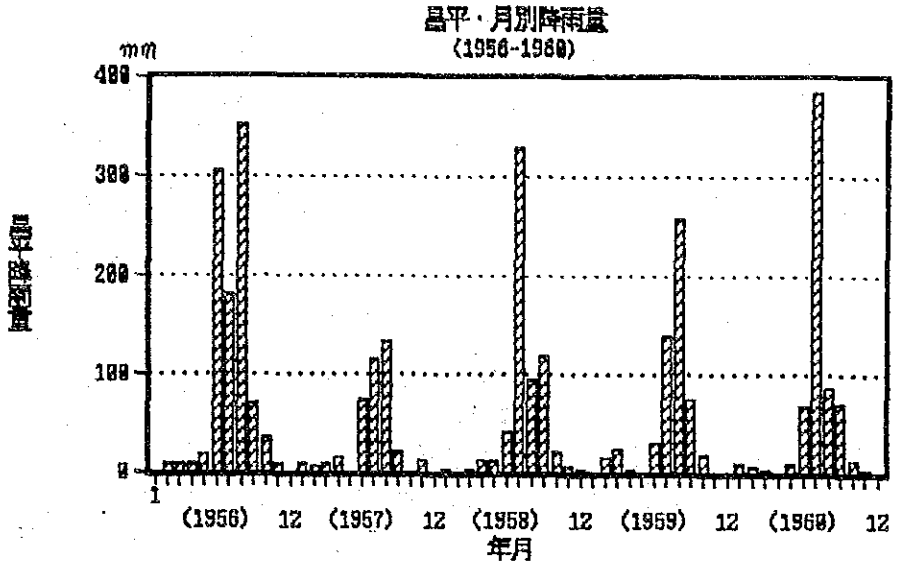
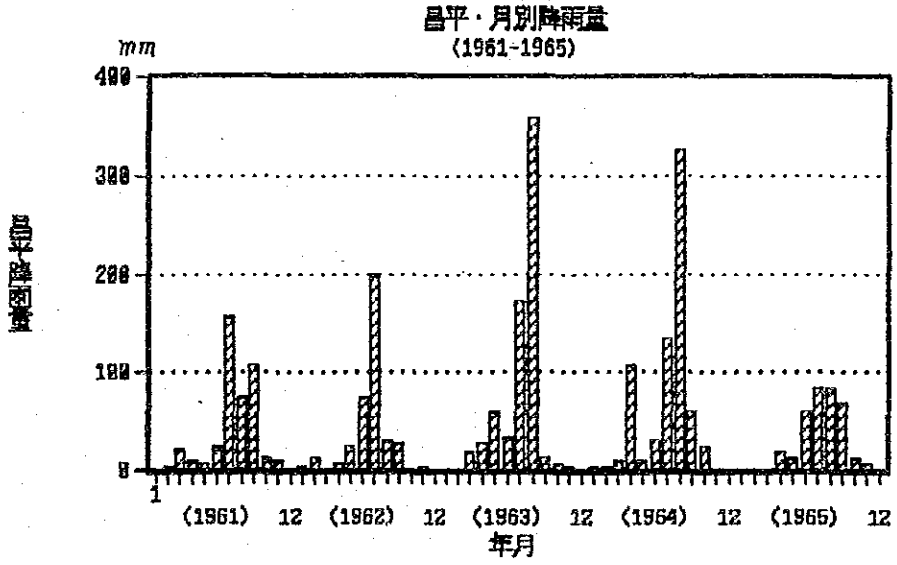
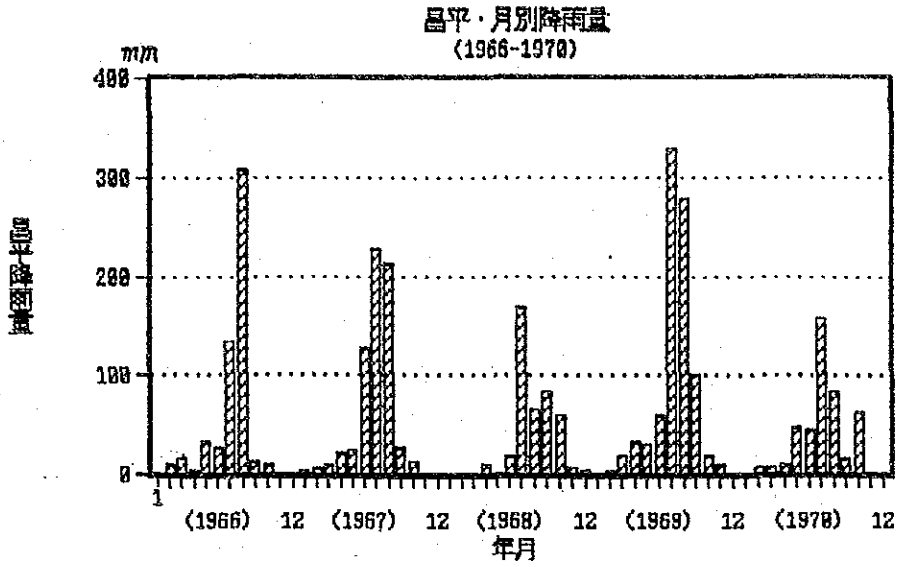


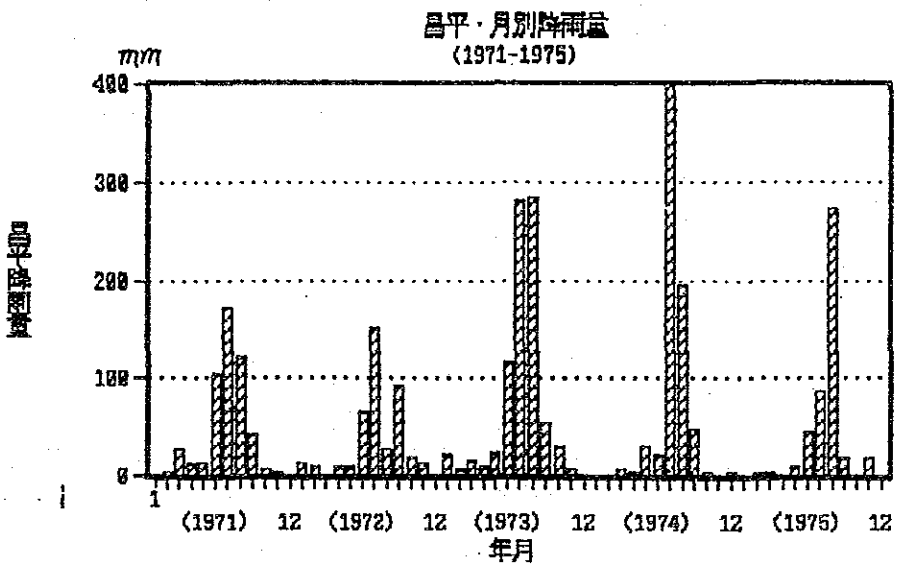
図-II.2.2-2　十三陵貯水池流域の水文観測所位置



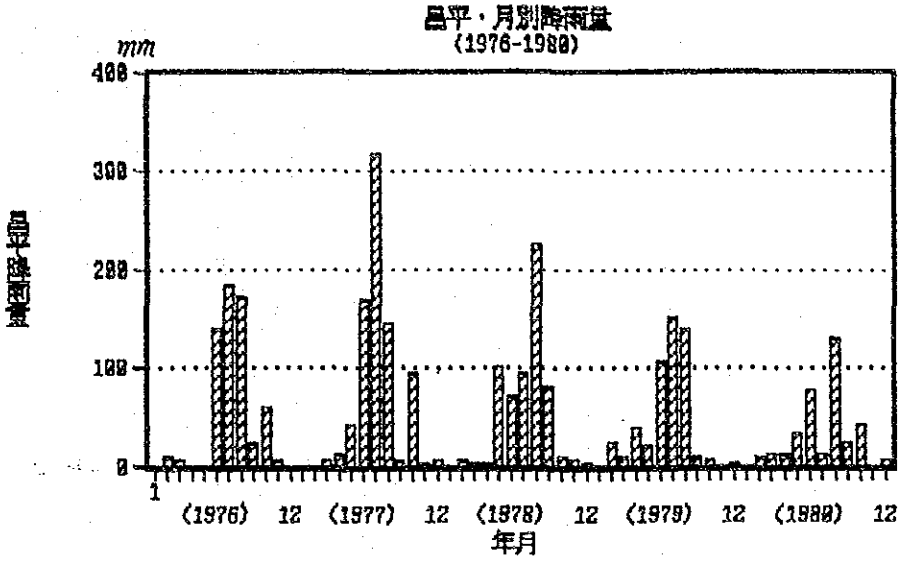


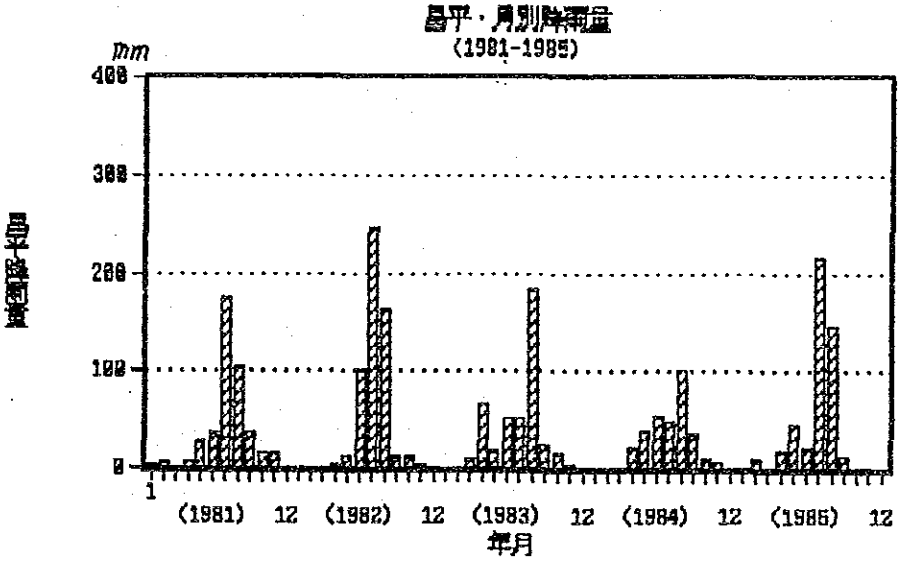
図－Ⅱ.2.2－3　昌平気象観測所・歴年月別降雨量（その 1）



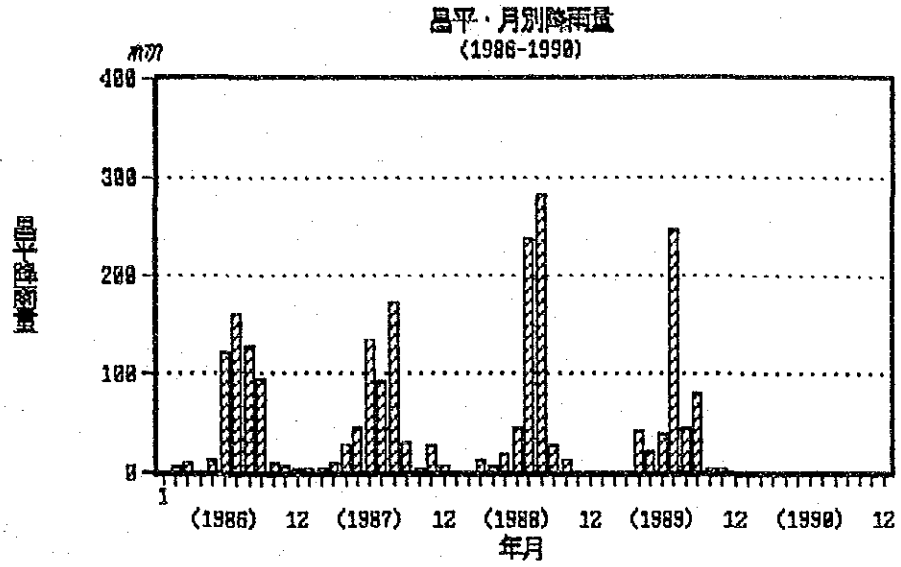


図－Ⅱ.2.2－3　昌平気象観測所・歴年月別降雨量（その 2）

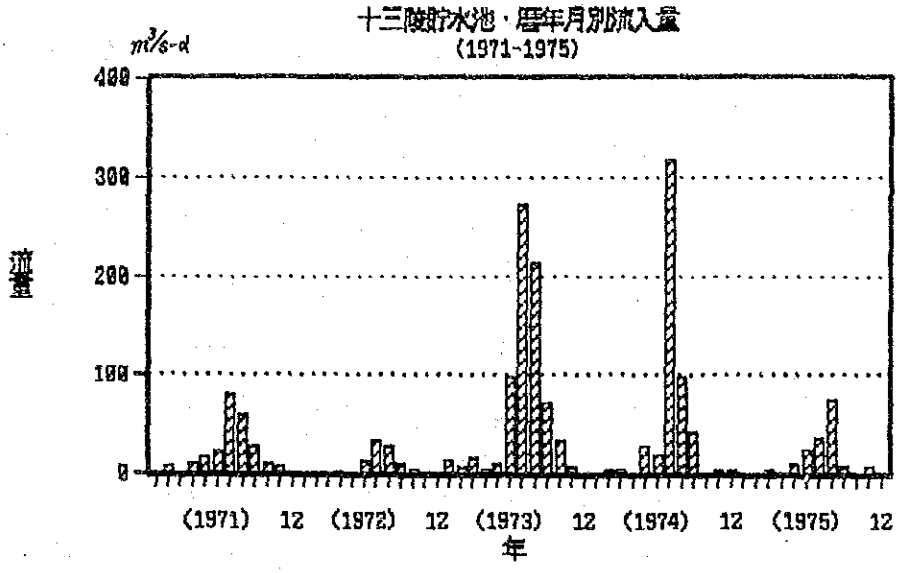


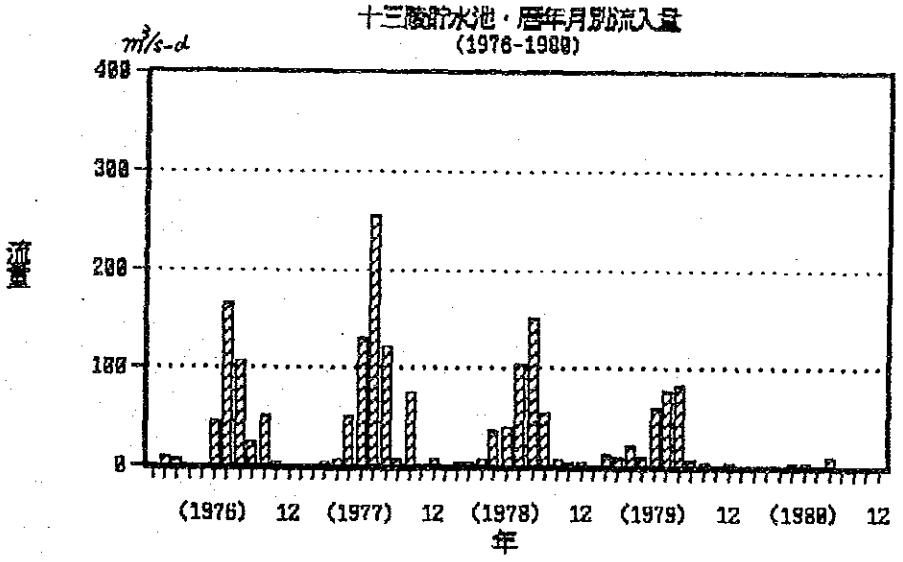


図－Ⅱ.2.2－3　昌平気象観測所・歴年月別降雨量（その 3）

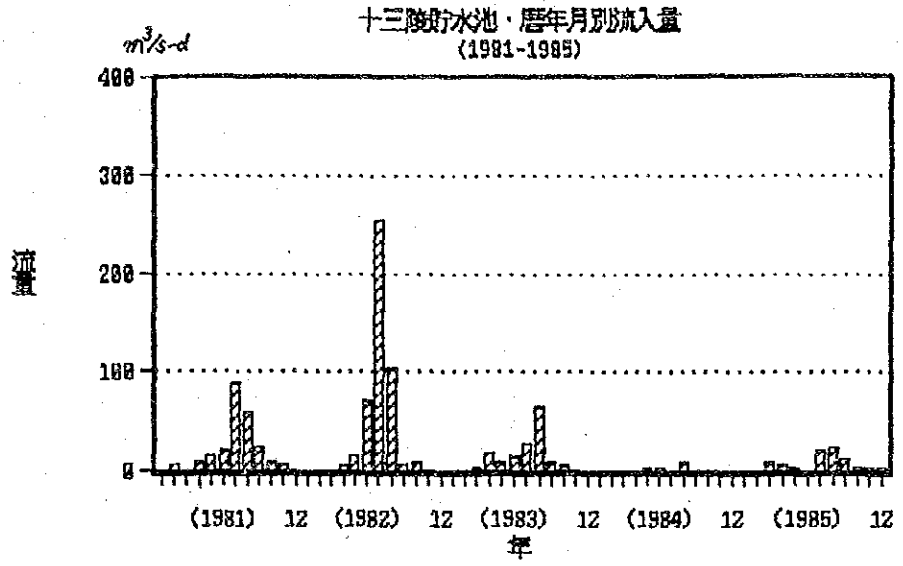


図－Ⅱ.2.2－3　昌平気象観測所・歴年月別降雨量（その 4）





図－Ⅱ.2.2－4　十三陵貯水池・歴年月別流入量（その 1）



図－Ⅱ.2.2－4　十三陵貯水池・歴年月別流入量（その 2）

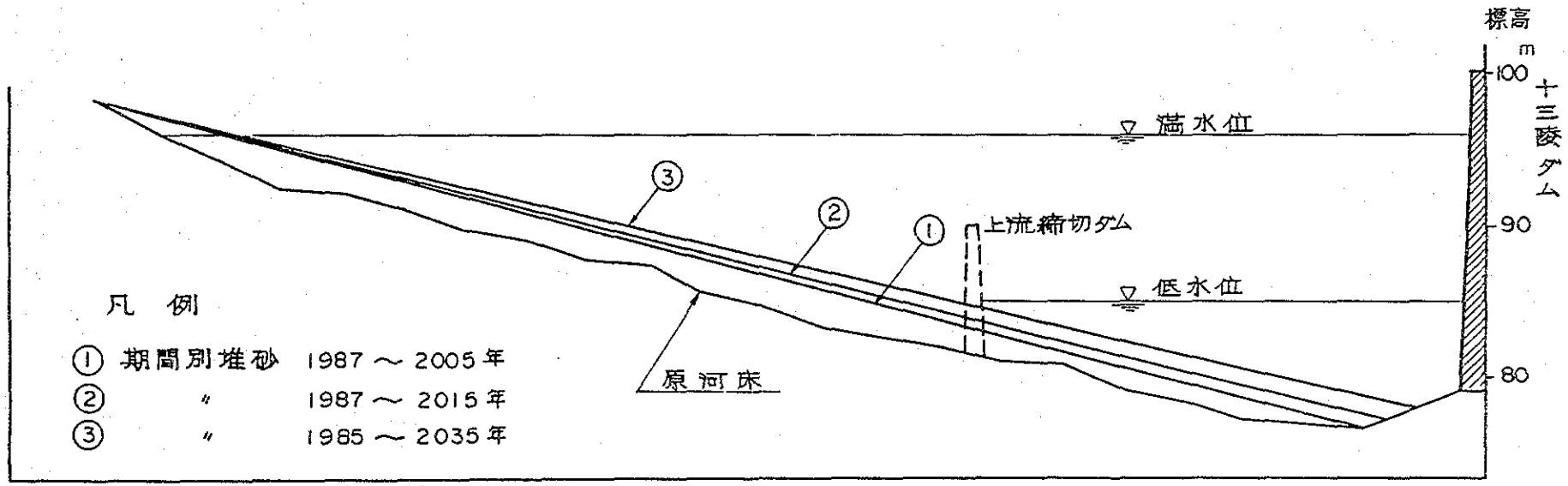


図-Ⅱ.2.2-5 十三陵貯水池 想定堆砂

2.3 地　質

2.3.1 一　般

下部調整池して利用される既設の十三陵貯水池は、1958年の建設直後から漏水があり、その対策として1969－1970年に十三陵ダム基礎にコンクリー地中壁が施工された。その結果、ダム基礎からの漏水の問題は解決し、1974年にはEL.97.28mの貯水位を確保することができた。しかしながら、その後1980年以降つづいた渇水とダム基礎以外からの漏水が原因となり、貯水位は著しく低下してる。この漏水の原因と対策を検討するため、表－Ⅱ.2.3-1に示す地質調査工事が実施され、中国側は貯水池上流部の七孔橋から大宮門にかけての旧河道部の砂礫層が漏水の原因となっていると結論している。

本項は、主として中国側から提供された地質資料、地下水資料に基づき、現地踏査の結果も加えて、下部調整池周辺の地質、地下水状態を検討したものである。

2.3.2 十三陵貯水池の地質

(1) 地　形

下部調整池となる十三陵貯水池は、東北東から西南西方向に延びる軍都山地と、その南側に広がる華北平原との境界部にある、周りを比較的低い山と残丘に囲まれた十三陵盆地内に位置している。貯水池は北西から南東方向にのびており、満水位標高89.8mでの長さは約3.5km、幅は約1.5kmである。

十三陵盆地は、貯水池上流端の七孔橋付近を中心とし、直径約5kmの広がりを持ち、標高90～120mの洪積台地と沖積平野からなっている。盆地の北部から東部にかけては標高200～800mの山地が取り囲み、南部と西部には標高200～300mの残丘が点在している。盆地内を北西から南東方向に流れる東沙河と、七孔橋から大宮門にかけて南南西方向にのびる旧河道が盆地からの南方への出口となっている。

旧河道の幅は、七孔橋近くの大宝山から翠花山にかけては約2500m、その下流側の大宮門付近では約 900mとなっており、上流から下流に向かって狭くなっている。

貯水池の上流にあたる盆地北部には、東沙河の支流である徳勝口、錐石口、上下口、老君堂などが集まっており、それらの流水は流量の多い時は地表水として流れ、通常は伏流水となって盆地内へと流れ込んでいる。

(2) 地　質

(a) 一般地質

貯水池周辺には、図－Ⅱ.2.3-1に示すように、先カンブリア時代の薊県紀、青白口紀の砂岩、頁岩、石灰岩、古生代カンブリア紀の石灰岩、中生代ジュラ紀の礫岩、安山岩類と、これら基盤岩類をおおう第四紀層が分布している。

（ｉ）基盤岩類

基盤岩類は東沙河にほぼ直交し、下流側へ傾斜するN40～60° E，30～50° SEの走向、傾斜をなし、北西から南東方向に向かって、順次新しい時代の地層が分布している。

① 薊県系

薊県系は時代の古い順に、苦灰岩からなるＪＸw3 層、苦灰岩質石灰岩からなるＪＸw4 層、粘板岩・頁岩からなるＪＸｈ層、そして苦灰岩質石灰岩からなるＪＸｔ層に分けられる。これらの地層は、十三陵盆地北西端付近から、貯水池中流部にあたる大宝山と半壁山の中間付近まで広範に分布している。

② 青白口系

青白口系は時代の古い順に、頁岩・細粒砂岩からなるＱＮｘ層、石英砂岩からなるＱＮｃ層、苦灰岩質石灰岩からなるＱＮｊ層に分けられる。これらの地層は、薊県系の南東側から半壁山にかけて分布している。ＱＮｊ層の苦灰岩質石灰岩には、地表踏査の観察の結果では、溶食空隙はほとんど観察されない。

③ カンブリア系

カンブリア系は時代の古い順に、石灰岩（豹皮状）からなるC1 層、鮪状石灰岩からなるC2 層、苦灰岩質石灰岩からなるC3 層にわけられる。

本層は青白口系の南東側に分布している。さらに南東側に分布するジュラ系とは不整合で接するため、その境界は不規則なものとなっており、貯

水池右岸（南西側）では約70mの厚さで分布するのみであるが、左岸側（北東側）では比較的広く分布しており、地下発電所地点ではジュラ系の下部に広く分布していることが確認されている。

地表踏査の結果では、貯水池右岸のC1 層中に溶食空隙が観察される。この空隙は、層理面と平行でかつ、北西から南東方向に発達している。

④ ジュラ系

ジュラ系は、凝灰質礫岩からなるJ2j層と、安山岩質礫岩、安山岩、複成礫岩からなるJ2t層に分けられる。本層は半壁山の南東側から十三陵ダムにかけて広く分布している。

（ii）第四紀層

貯水池周辺、すなわち十三陵盆地内の第四紀層は、主として沖積層の河床堆積物からなり、一部に、洪積層及び崖錐堆積物が分布している。

① 河床堆積物

河床堆積物は、十三陵ダムの位置する東沙河沿いと、七孔橋から大宮門にかけて延びる旧河道沿いに広く分布している。河床堆積物の厚さは、全体に厚く大宮門で約104m，十三陵ダム地点，上流締切予定地点で約60mに達している。

河床堆積物は、主として、径1～30cmの花崗岩，砂岩，安山岩等の礫と、中～粗砂から構成される砂礫からなり、レンズ状または層状の粘土～シルト層を挟在している。しかしながら東沙河沿いの上流締切ダム地点と旧河道の大宮門地点では、その堆積状態が若干異なっている。上流締切ダム地点で明らかにされた河床堆積物の堆積状態は、図－Ⅱ.2.3-2に示すように最下部に厚さ約20mの砂礫層、その上に厚さ15～20mのシルト層（レンズ状の砂～砂礫層を挟在）そして、最上部に厚さ約15mの砂礫層が分布している。上流締切ダム地点の約1.5km下流に位置する十三陵ダム基礎の河床堆積物もこれとほぼ同じ分布をしている。一方、旧河道の大宮門地点、及び大宝山から翠花山へかけての地点では、河床堆積物は、図－Ⅱ.2.3-3及び4に示すように砂礫層を主とし、レンズ状のシルト層を不規則な形で挟在しており、上流締切ダム地点のような層状構造は示していない。河床砂礫の下の基盤岩の標高は、図－Ⅱ.2.3-5の岩盤等高線に示すように、十三

陵ダム地点でEL.20m、上流締切ダム予定地点でEL.25m、大宮門地点でEL.-10m、七孔橋付近でEL.-35mとなっており、十三陵盆地中央部の七孔橋付近で最も深くなっている。現在の河川である東沙河も旧河道部も、上流側に向かって基盤がやや低くなっている。また、旧河道部と東沙河の基盤の標高を比較すると、旧河道の基盤の方が約30m深くなっている。

② 洪 積 層

洪積層は、盆地周辺部で、標高 110～130 mの洪積台地を構成しており、礫質土及びシルトからなる。

③ 崖錐堆積物

崖錐堆積物は、主として貯水池の西部－南西部に点在する残丘の周囲に発達しており、礫混じりのシルトからなる。

(b) 構 造 地 質

十三陵貯水池周辺に分布する地層は、N40～60° E，30～50° SEの走向、傾斜をなして分布しており、局部的な小褶曲はあるものの大きくは、南東側（下流側）に傾斜した単斜構造をなしている。

断層は、北東ないし北北東方向の逆断層、北西方向の正断層を主とするが、東沙河沿いには大きな断層は確認されていない。

(3) 水 理 地 質

(a) 透 水 性

（ｉ）河床堆積物

河床堆積物の透水性は、砂礫層については揚水試験で、粘土～シルト層については室内透水試験で求められている。上流締切ダム予定地点で実施された試験結果を表－Ⅱ.2.3-2に示す。この結果によると、河床堆積物の砂礫層は上部砂礫層で$K=1.7\sim2.3\times10^{-1}$cm/s、下部砂礫層で$K=3.5-4.6\times10^{-2}$cm/sと大きな透水性係数をしめしている。一方、これらの中間にある粘土～シルト層は$K=3.5\times10^{-7}-5.8\times10^{-4}$cm/s（平均$1.2\times10^{-6}$cm/sec）と非常に小さな透水係数となっている。一般に、砂礫層の透水性はその粒度組成によって変化するが、本地点の調査ボーリングの結果では、砂礫層の粒度組成は東沙河でも旧河道部でもほぼ同じであり、その透水性もほぼ同じであ

ると考えられる。

（ii）基盤岩類

基盤岩類については、上流締切ダム予定地点で実施された透水試験の結果から、単位吸水量ω（ l/min.m.m）は頁岩がω＝ 0.013～0.06、石英砂岩がω＝0.12～2.04、石灰岩がω＝0.56～5.06という値がそれぞれ得られている。

石英砂岩と石灰岩で、部分的にやや大きな透水性を示しているが、これらは、表層部の風化、および局部的な亀裂の影響によるものと考えられ、全体としては比較的透水性の小さな岩盤となっている。

(b) 地 下 水

（i）第四紀層の地下水

地下水位の観測は、貯水池の上流部から旧河道部の大宮門付近まで、69ヵ所の観測点（ボーリング孔および井戸）で実施されている。

1986年６月から1988年12月までの代表的な観測点における地下水位の経時変化と貯水位の変化を図－Ⅱ.2.3-6に示す。これによると、貯水池上流左岸にある 325孔では、観測期間を通じて貯水位より８～15m高い、ほぼ一定の地下水位を保っている。一方、旧河道部に位置する観－33、観－41、観－10および 302孔の地下水位は、ほとんどの期間、貯水位より低く、また貯水位に連動した変化をしている。また、これらの地下水位は、貯水池上流部（観－33）から旧河道部に沿って（観測－41、10）順次低くなり、大宮門(302孔)付近で最も低くなっている。このことは、図－Ⅱ.2.3-7及び8に示す1987年２月と、1988年12月の地下水位等高線により明確に表れている。1987年２月は最も貯水位が低い時期（貯水位約78m）にあたり、1988年12月は少し貯水位が回復している時期（貯水位84m）にあたるが、いずれの時期の地下水位等高線でも、貯水池上流の徳勝口および上下口から大宮門方向への旧河道沿いの地下水の流れと、貯水池から旧河道へ向かう地下水の流れがみられる。

（ii）基盤岩の地下水

基盤岩中での地下水位の観測は、貯水池左岸側の放水路経過地、および地下発電所地点の調査ボーリング５孔、９孔、18孔、19孔で実施されている。この地点では、図－Ⅱ.2.3-9に示すように、地表部から地下発電所地点にか

けてジュラ紀の礫岩が広く分布しているが、この下部には安山岩が薄く分布し、さらにその下にはＦ４断層を境界としてカンブリア紀の石灰岩が広がっている。

上記観測孔のうち、５孔、９孔、19孔はＦ４断層下部のカンブリア紀の石灰岩まで達しているが、18孔はＦ４断層上部の安山岩までしか掘削されていない。

1981年から1984年の５孔、９孔の地下水位と貯水位の変化、1987年から1989年の18孔、19孔の地下水位と貯水位の変化を図－Ⅱ.2.3-10 に示す。

この図から分かるように、石灰岩にまで達している観測孔５孔、９孔、19孔の地下水位は、貯水位よりやや高い時とやや低い時があるが、平均的にはほぼ同じある。また、地下水位の変化の仕方は貯水位と明らかに連動している。一方、Ｆ４断層上部の安山岩にまでしか達していない観測孔18孔の地下水位は、貯水位および19孔の地下水位より約20m高くなっており、地下水位の変化の仕方も降雨量に関係している。

５孔、９孔、18孔を通る地質断面および18孔、19孔を通る断面における1984年７月10日、1988年８月５日の地下水位を図－Ⅱ.2.3-9に示す。この二つの時期では、地下水位は貯水池から左岸側（東側）へ向かって僅かに下がっていく傾向にある。

(4) 考　察

十三陵貯水池からの主要な漏水経路については、十三陵ダム基礎からの漏水、堆積物で埋積された旧河道からの漏水、および基盤岩類からの漏水の三つの経路が考えられる。このうち、十三陵ダム基礎からの漏水については、2.4.2で述べるように、1969～1970年に施工されたダム基礎の地中壁により漏水は止まり、その後もこの状態は変化していないものと判断される。従って、ここでは旧河道からの漏水と、基盤岩類からの漏水の可能性について考察する。

(a) 旧河道からの漏水

旧河道の地質、水理地質状態は以下のようにまとめられる。

（ｉ）旧河道は、貯水池上流端七孔橋付近から南南西方向に伸び、大宮門付近を通って、温楡河の支流である北沙河上流部付近に達しており、七孔橋近くの大宝山から翠花山に至るところで幅約2500m、基盤までの深さ約 150m、大宮門付近で幅約 900m、基盤までの深さ約 104mとなっている。

（ii）旧河道の基盤の標高は、大宮門付近でEL. －10mとなっており、東沙河の十三陵ダム地点での基盤標高より約30m低くなっている。また、旧河道に堆積している河床堆積物の厚さは、大宮門付近で 104mに達する。

（iii）河床堆積物は主として、径１－30cmの礫と中～粗砂で構成される砂礫層からなり、レンズ状の粘土～シルト層を挾在する。砂礫層の透水性係数はK＝2×10^{-1}～4×10^{-2}cm/sであり、大きな透水性をもっている。

（iv）旧河道部を含む河床堆積物中の地下水位は、貯水位と連動した変化をしており、河床堆積物が大きな透水性をもっていることを裏付けている。

（ｖ）地下水位等高線は、貯水池上流の徳勝口および上下口から旧河道へ向かう地下水の流れと、貯水池から旧河道へ向かう地下水の流れが存在している事を示している。

以上述べたように、旧河道部の砂礫層は大きな透水性を持ち、その分布範囲も非常に大きい。また、地下水観測の結果、貯水池から旧河道へ向かう地下水の流れがあることも確認されており、十三陵貯水池から旧河道の砂礫層を通ってかなりの量の水が漏水しているものと判断される。尚、漏水量の算定については2.4.3の項で述べる。

(b) 基盤岩類からの漏水

十三陵貯水池地域に分布する基盤岩類のうち、貯水池からの漏水の原因となる可能性のあるものは、貯水池上流部に分布する薊県紀の石灰岩、苦灰岩、上流締切ダム予定地点付近に分布する青白口紀の苦灰岩質石灰岩、およびカンブリア紀の石灰岩である。

（ｉ）薊県紀の石灰質岩石

薊県紀の石灰質岩石については溶食空隙の発達程度などに関する情報が少なく、十三陵貯水池からの漏水にどの程度関与しているのか現状では判断することは難しい。しかしながら、揚水計画の下部調整池は上流締切ダムと十三陵ダムとの間に作られることになっており、上流締切ダムの上流域にのみ

分布する鮎県紀の石灰質岩石は、下部調整池を対象として考えた場合には漏水の原因とはならない。

（ii）青白口紀の苦灰岩質石灰岩

青白口紀の苦灰岩質石灰岩には、溶食空隙はほとんど発達せず、その分布範囲も狭いことから、ここからの漏水はほとんどないものと判断される。

（iii）カンブリア紀の石灰岩

カンブリア紀の石灰岩には、溶食空隙がいくらか観察される。またすでに述べたように、この石灰岩が深部に分布する貯水池左岸では、地下発電所地点付近まで地下水位は貯水位とほぼ同じであり、その変化も貯水位に連動している。

これらのことは、この付近の石灰岩が比較的大きな透水性を持っていることを示唆している。しかしながら、貯水池から発電所地点にかけての地下水の動水勾配は最大でも約0.2%と小さく、また逆向きの動水勾配（発電所側から貯水池側へ傾斜）を示す期間がかなりある事から考えると、この付近の基盤岩類からの漏水はたとえあったとしても、その量は、第四紀層からの漏水量に比べかなり小さなものであると考えられる。

2.3.3 上流締切ダム地点の地質

(1) 地 形

上流締切ダム地点は、既設十三陵貯水池の中流部に位置し、計画満水位標高（EL.89.5m）での谷幅が約1,000mのU字谷を形成している。

ダム右岸は半壁山の北東側に位置しており、傾斜約45°の比較的急峻な斜面からなり、岩盤が露出している。特に、ダム軸の直上流部では、高さ10～30mの垂直な崖となっている。一方、ダム左岸は峠山の西側に位置し、傾斜約30°の比較的ゆるやかな斜面となっており、崖錐堆積物に覆われている。

(2) 地 質

ダム地点は、図－Ⅱ.2.3-1、図－Ⅱ.2.3-2に示すように、青白口紀の石英砂岩、苦灰岩質石灰岩、カンブリア紀の石灰岩、ジュラ紀の凝灰角礫岩と、これら基盤岩類をおおう厚い表層堆積物からなる。基盤岩類は、ダム軸と低角度で交差し下流側へ傾斜するN40°E、30～45°SEの走向、傾斜をなして分布している。

(a) 基盤岩類

ダム地点に最も広く分布しているのは、青白口紀のQNC層である。この地層は灰白色の石英砂岩と赤紫色の頁岩からなり、ダム右岸から左岸河床部にかけて広く分布しており、全体の層厚は約110mである。青白口紀のQNJ層は灰色を呈する苦灰岩質石灰岩からなり、ダム左岸河床部付近に分布している。さらにその左岸側には、カンブリア紀の石灰岩（C1層）が分布している。ジュラ紀の安山岩質凝灰角礫岩（J2t層）は最も左岸側に分布しており、下部のカンブリア紀の石灰岩とは不整合で接している。

各地層境界には断層が発達していることが多く、また岩盤の表層 2～5mの区間は強く風化している。

(b) 表層堆積物

表層堆積物としては、厚さ約60mに達する沖積層の河床堆積物が広く分布している。また、左岸河床部の一部と左岸斜面には、礫混じりのシルトからなる洪積層および崖錐堆積物が分布している。

河床堆積物は、下部砂礫層、中部シルト層、および上部砂礫層の三層に分けられる。

（i）下部砂礫層：　礫径0.3～30cmの花崗岩、砂岩、安山岩等の礫と、中～粗砂からなる砂礫層で、一部にレンズ状のシルト層を挟在している。礫量は一般に10～20%であるが、部分的には50%以上となる。また最大の礫径は1.2mに達している。この層の平均的な厚さは約20mで、標高45～50m以下に分布している。

（ii）中部シルト層：　粘土および礫を含むシルト層で部分的にレンズ状の砂層を挟在している。シルト層に含まれる礫は、径0.3～1cmのものが多く、その量は5～10%である。このシルト層の厚さは15～20mである。

（iii）上部砂礫層：　下部砂礫層とほぼ同じ性状をしており、一部にレンズ状のシルト層、砂層を挟在している。この層の厚さは平均15mである。

(3) 考 察

下部調整池の必要水位を確保するため、上流締切ダムとして堤高９ｍのフィルタイプダムが計画されている。

ダム基礎は、厚さ約60ｍの河床堆積物からなる。今までに実施された地質調査の結果によれば、河床堆積物はよく締まった砂礫層を主としている。また、河床堆積物の中央部には礫混じりのシルト層が15～20ｍの厚さで分布しているが、その変形性は大きくない。従って、計画規模のダム基礎として、地耐力、変形性の点で特に問題ないものと判断される。

ダム基礎の透水性に関しては“2.3.2(3)水理地質”の所で述べたように、砂礫層は$K=2\times10^{-1}\sim4\times10^{-2}$cm/sと透水性が高いが、基盤岩類は表層２～５ｍの強風化層と局部的に亀裂の多い個所を除けば、全体に透水性は低い。従って、河床砂礫と基盤岩の強風化層に対する遮水処理が必要と考えられる。

2.3.4 下部調整池の保水性

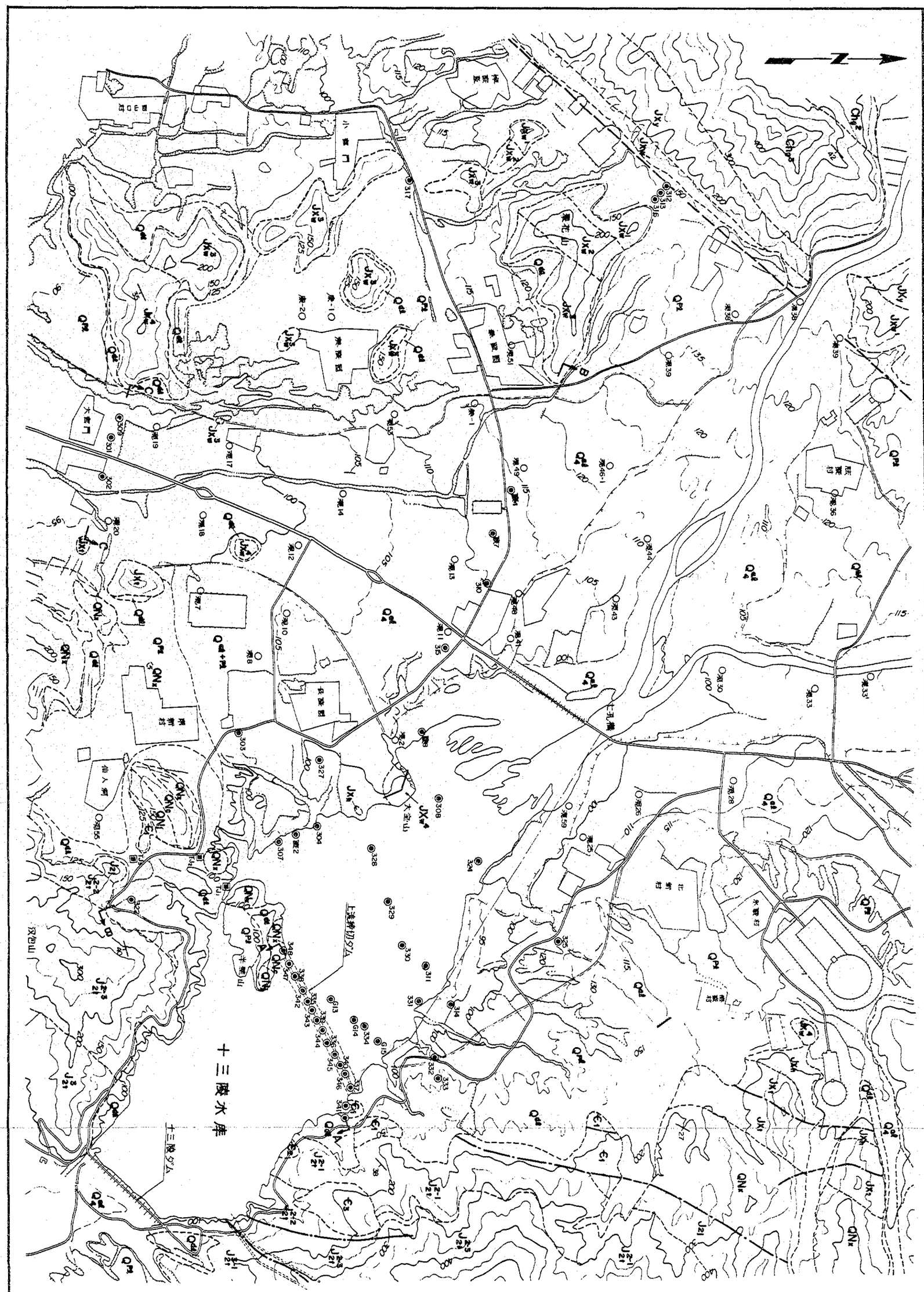
十三陵貯水池からの漏水は、“2.3.2十三陵貯水池の地質”で述べたように、旧河道の河床砂礫が原因となっているものと判断される。したがって、上流締切ダムにより河床砂礫からの漏水を止めれば、下部調整池の保水性は基本的には確保されるものと考えられる。しかしながら、調整池左岸上流部から地下発電所下部にかけて分布するカンブリア紀の石灰岩からの漏水を完全には否定しきれない。現在までの地質および地下水資料から判断する限り、その量は大きなものではなく、現計画に支障をきたすものではないと考えられるが、今後、継続的な地下水位観測を行い、下部調整池の湛水前と湛水後の地下水位の変化を把握しておく必要があるもの思われる。

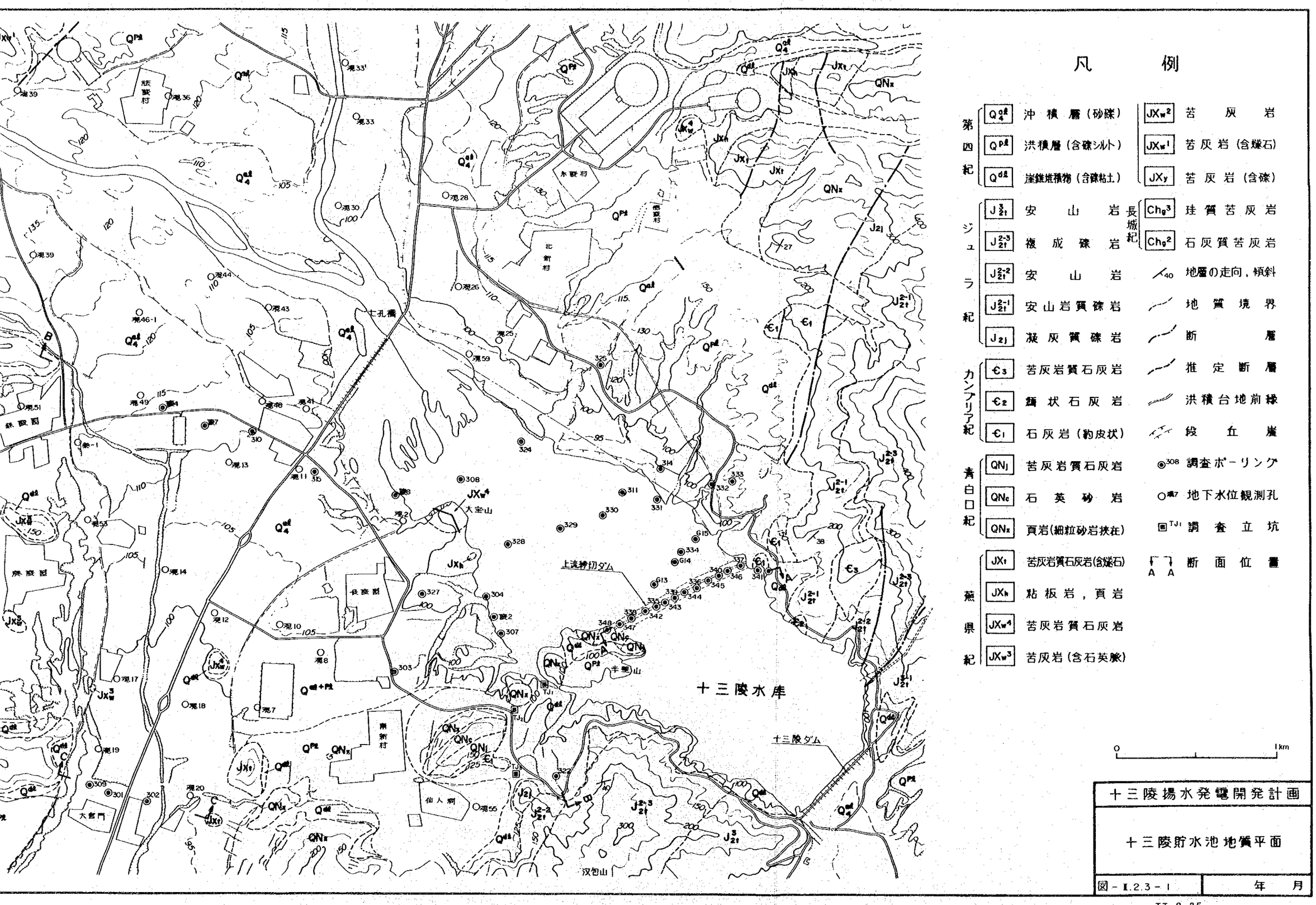
表－Ⅱ.2.3-1 下部調整池地質調査工事一覧

実施年	工事内容
１９５９年	調査ボーリング　12孔
１９６９－ １９７０年	調査ボーリング　８孔(452m)，揚水試験 地質図作成（縮尺１／１万）
１９７９年	調査ボーリング　１孔
１９８１－ １９８９年	調査ボーリング　46孔（2930m），揚水試験　９孔 注水試験　14孔、地質図作成（縮尺１／１万） 物理探査、地下水位観測

表－Ⅱ.2.3-2 河床堆積物透水試験結果

地層	試験方法	透水係数（cm/s）
上部砂礫層	揚水試験	$1.7 \sim 2.3 \times 10^{-1}$
中部粘性土層	室内試験	$3.5 \times 10^{-7} \sim 5.8 \times 10^{-4}$（平均$1.2 \times 10^{-6}$）
下部砂礫層	揚水試験	$3.5 \sim 4.6 \times 10^{-2}$


十三陵水庫
十三陵ダム
上流幹切ダム
大室山
大室門
小室門
長陵
定陵
昭陵
献陵
康陵
永陵
泰陵
裕陵
茂陵
思陵
十三陵
仙人洞
花園村
米家村
十孔橋
N

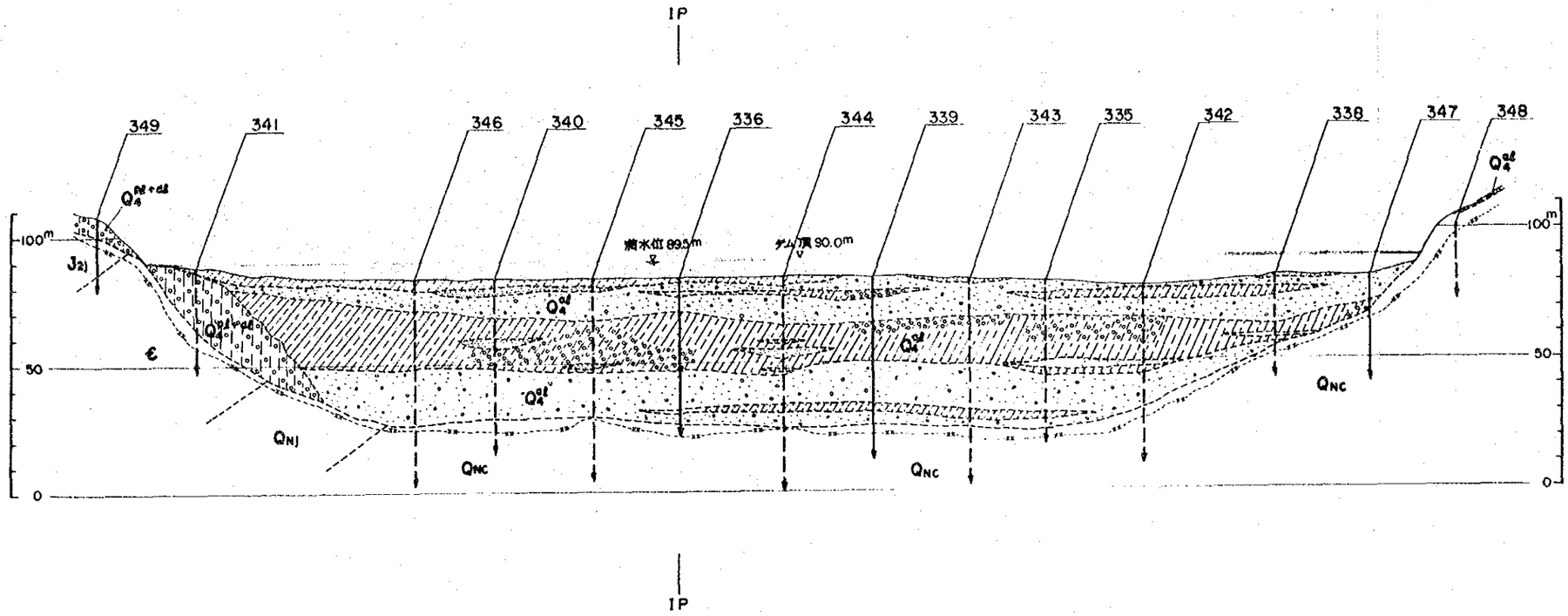


十三陵揚水発電開発計画

十三陵貯水池地質平面

図－I.2.3－1　　年　月

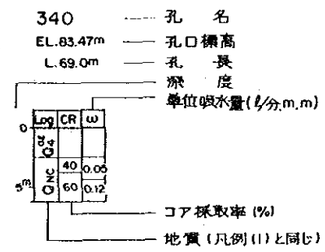
A－A 断面

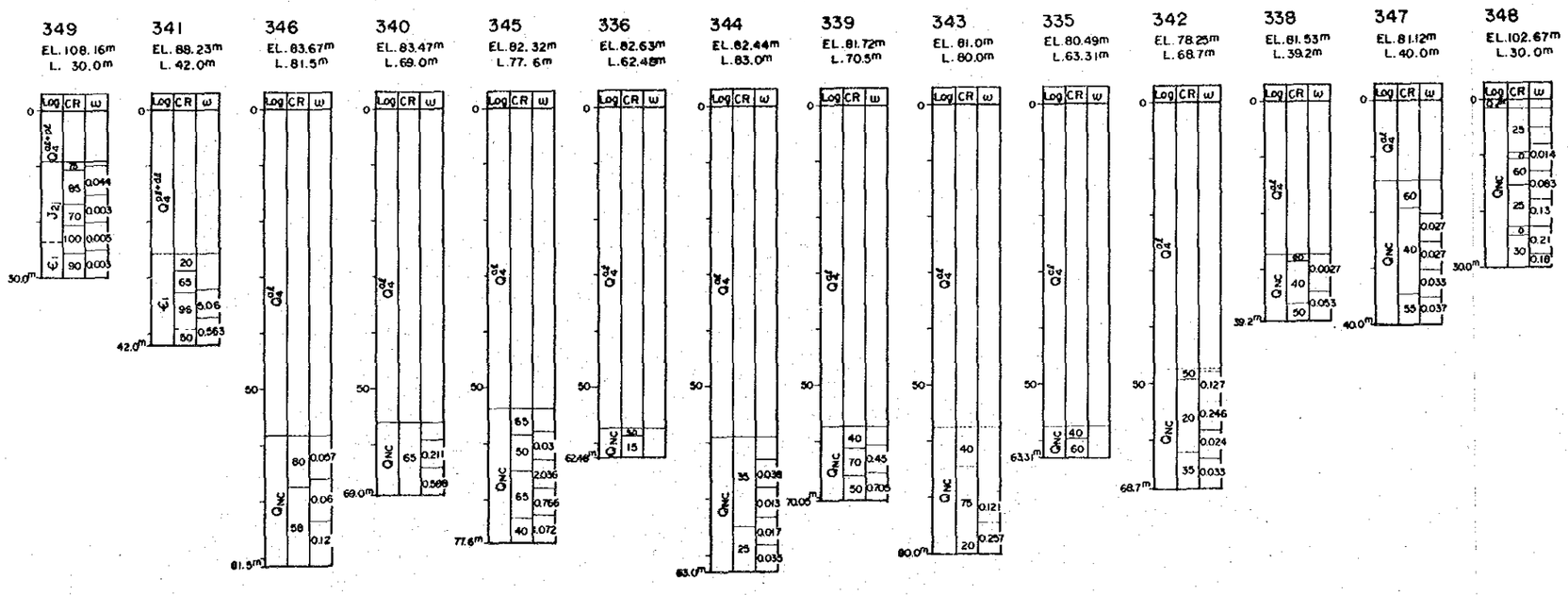


凡例 (1)(断面図)

- Q_4^{al} 沖積層・細粒土
- Q_4^{al} 沖積層・粘土，シルト
- Q_4^{al} 沖積層・シルト(礫を含む)
- Q_4^{al} 沖積層・砂
- Q_4^{al} 沖積層・砂礫
- Q_4^{pl+dl} 洪積層・風化残留土，崖錐堆積物(礫を含むシルト)
- J2) 凝灰角礫岩
- €1 石灰岩(豹皮状)
- QNJ 苦灰岩質石灰岩
- QNC 石英砂岩(頁岩挟在)
- 地質境界
- 強風化下限
- 孔名 調査ボーリング(破線は投影)

凡例 (2)(ボーリング柱状図)



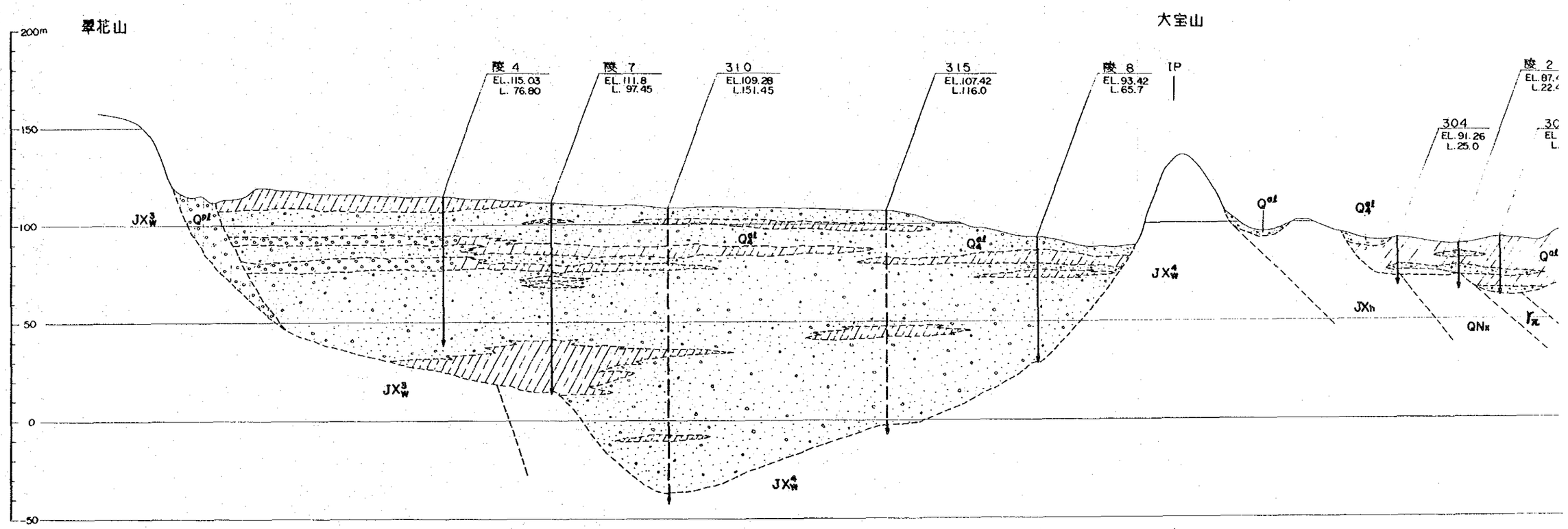


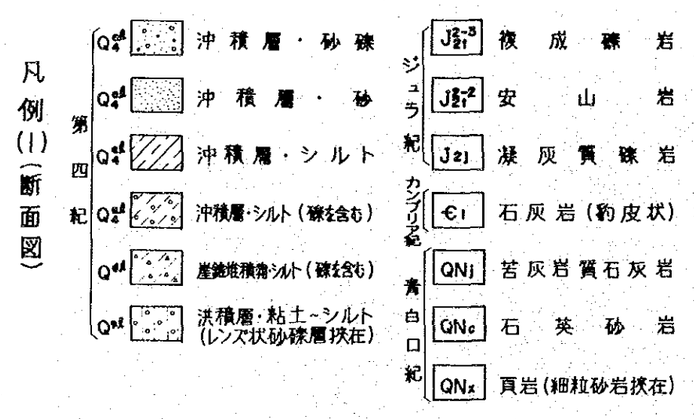
(鉛直) 0 — 100m

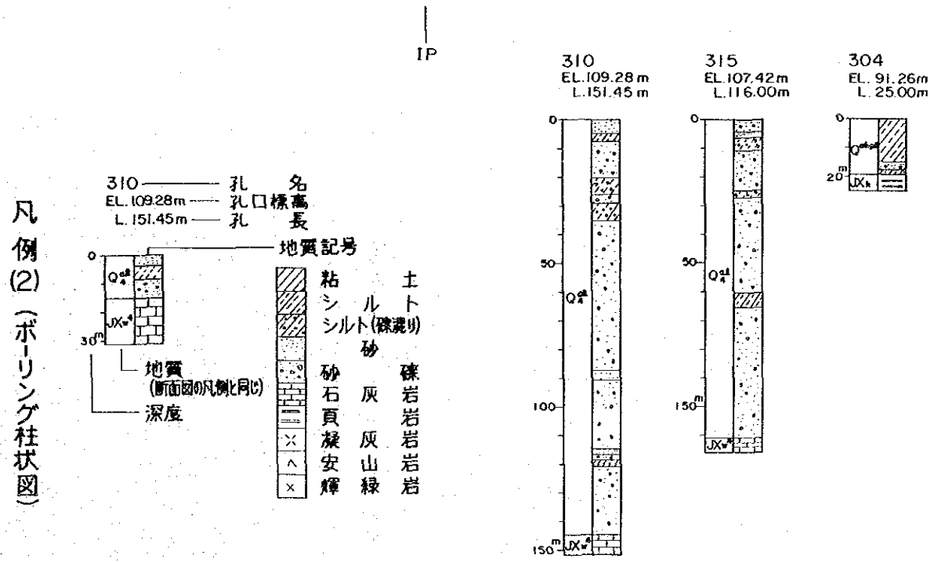
(水平) 0 — 200m

十三陵揚水発電開発計画	
下部調整池上流締切ダム 地質断面(A－A断面)	
図－II.2.3－2	年　月

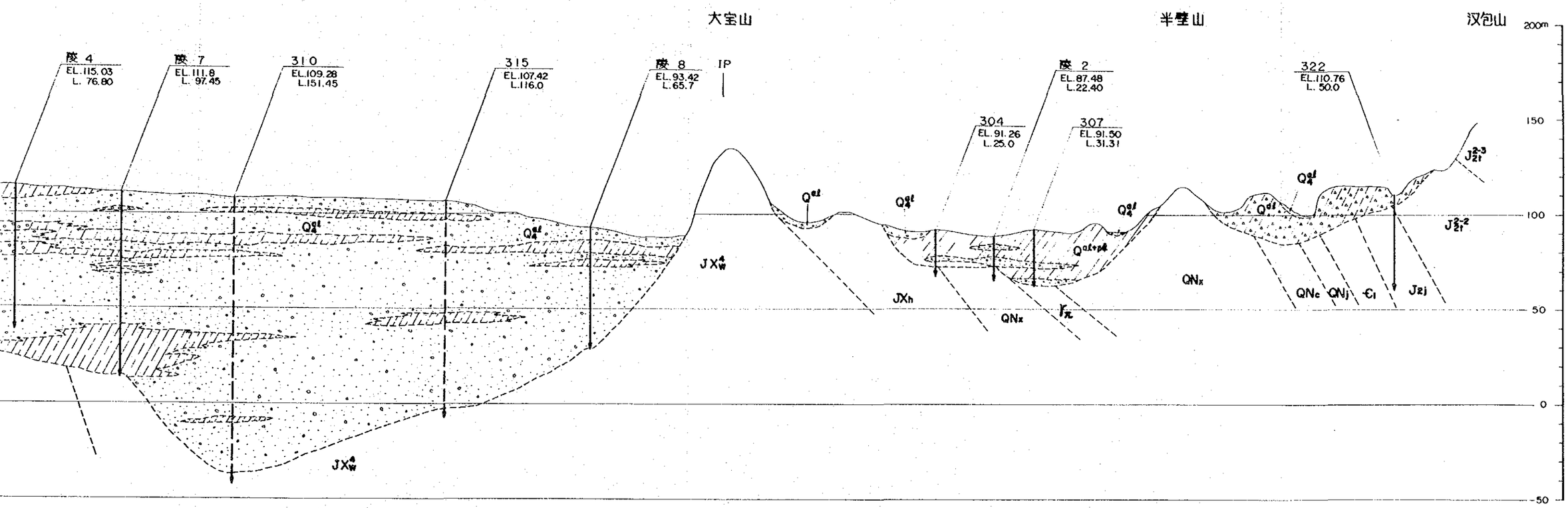
B－B 断 面

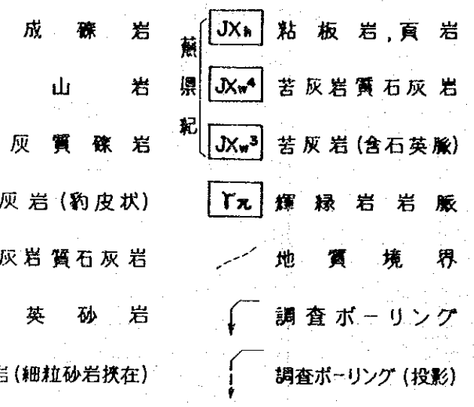

翠花山
大宝山
200m
150
100
50
0
-50
陵 4
EL.115.03
L. 76.80
陵 7
EL.111.8
L. 97.45
310
EL.109.28
L.151.45
315
EL.107.42
L.116.0
陵 8
EL.93.42
L.65.7
IP
304
EL.91.26
L.25.0
陵 2
EL.87.
L.22.
JX$_w^3$
JX$_w^4$
JXh
QNx
γπ
Q$_4^{al}$
Q$_4^{pl}$
Q$_4^{el}$

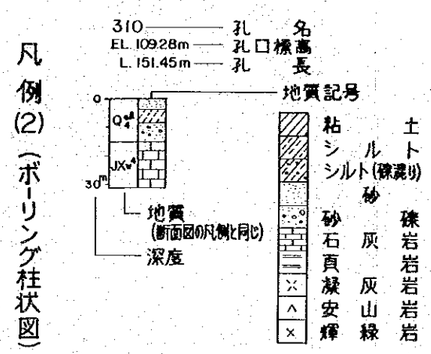

凡例(1)(断面図)
第四紀
Q$_4^{al}$ 沖積層・砂礫
Q$_4^{al}$ 沖積層・砂
Q$_4^{al}$ 沖積層・シルト
Q$_4^{al}$ 沖積層・シルト(礫を含む)
Q$_4^{dl}$ 崖錐堆積物シルト(礫を含む)
Q$_4^{el}$ 洪積層・粘土～シルト(レンズ状砂礫層挟在)
ジュラ紀
J$_{21}^{2-3}$ 複成礫岩
J$_{21}^{2-2}$ 安山岩
J$_{21}$ 凝灰質礫岩
カンブリア紀
€$_1$ 石灰岩(豹皮状)
青白口紀
QNj 苦灰岩質石灰岩
QNc 石英砂岩
QNx 頁岩(細粒砂岩挟在)
蓮華紀
JXh 粘板岩,頁岩
JX$_w^4$ 苦灰岩質石灰岩
JX$_w^3$ 苦灰岩(含石英脈)
γπ 輝緑岩岩脈
地質境界
調査ボーリング
調査ボーリング(投影)

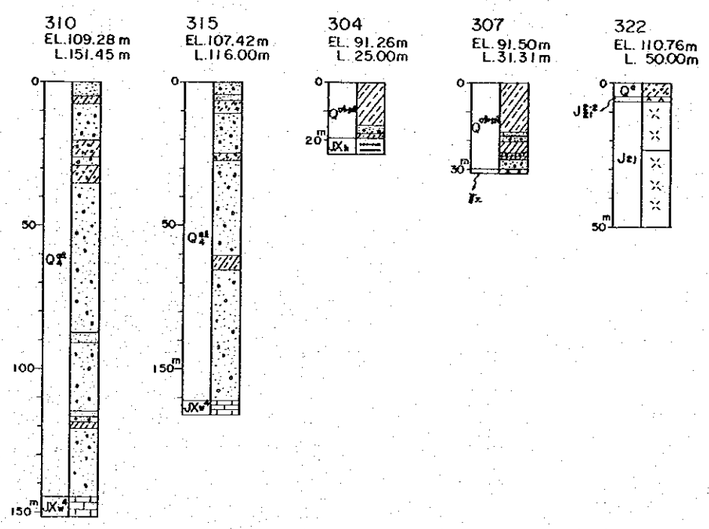

凡例(2)(ボーリング柱状図)
310 孔名
EL.109.28m 孔口標高
L.151.45m 孔長
地質記号
地質(断面図の凡例と同じ)
深度
粘土
シルト
シルト(礫混り)
砂
砂礫
石灰岩
頁岩
凝灰岩
安山岩
輝緑岩
IP
310
EL.109.28 m
L.151.45 m
315
EL.107.42m
L.116.00m
304
EL. 91.26m
L. 25.00m

B－B 断 面







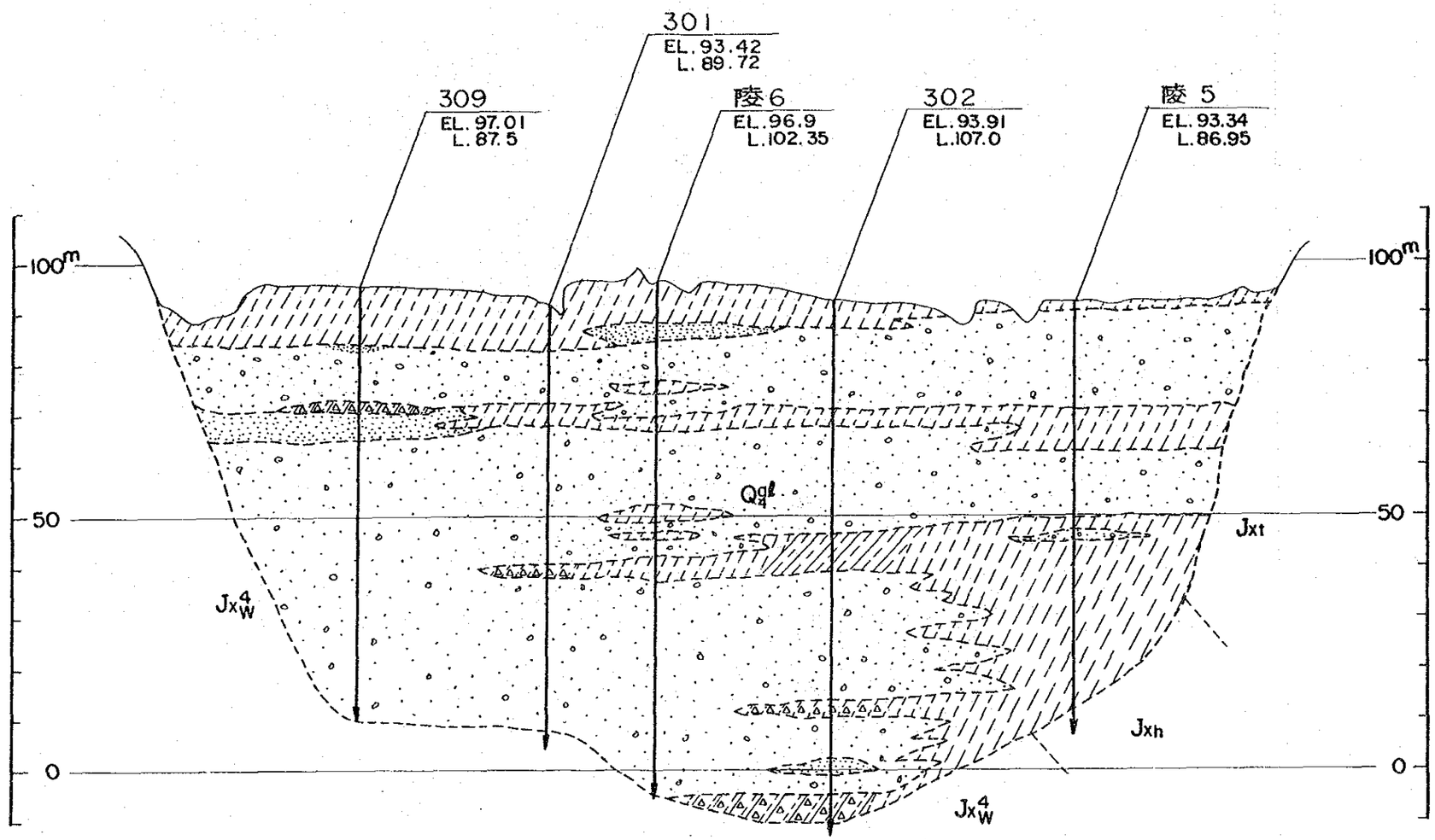


（鉛 直） 0 100m

（水 平） 0 500m

十三陵揚水発電開発計画	
旧河道翠花山－大宝山地質断面 （B － B 断 面）	
図－II.2.3－3	年 月

C－C 断面



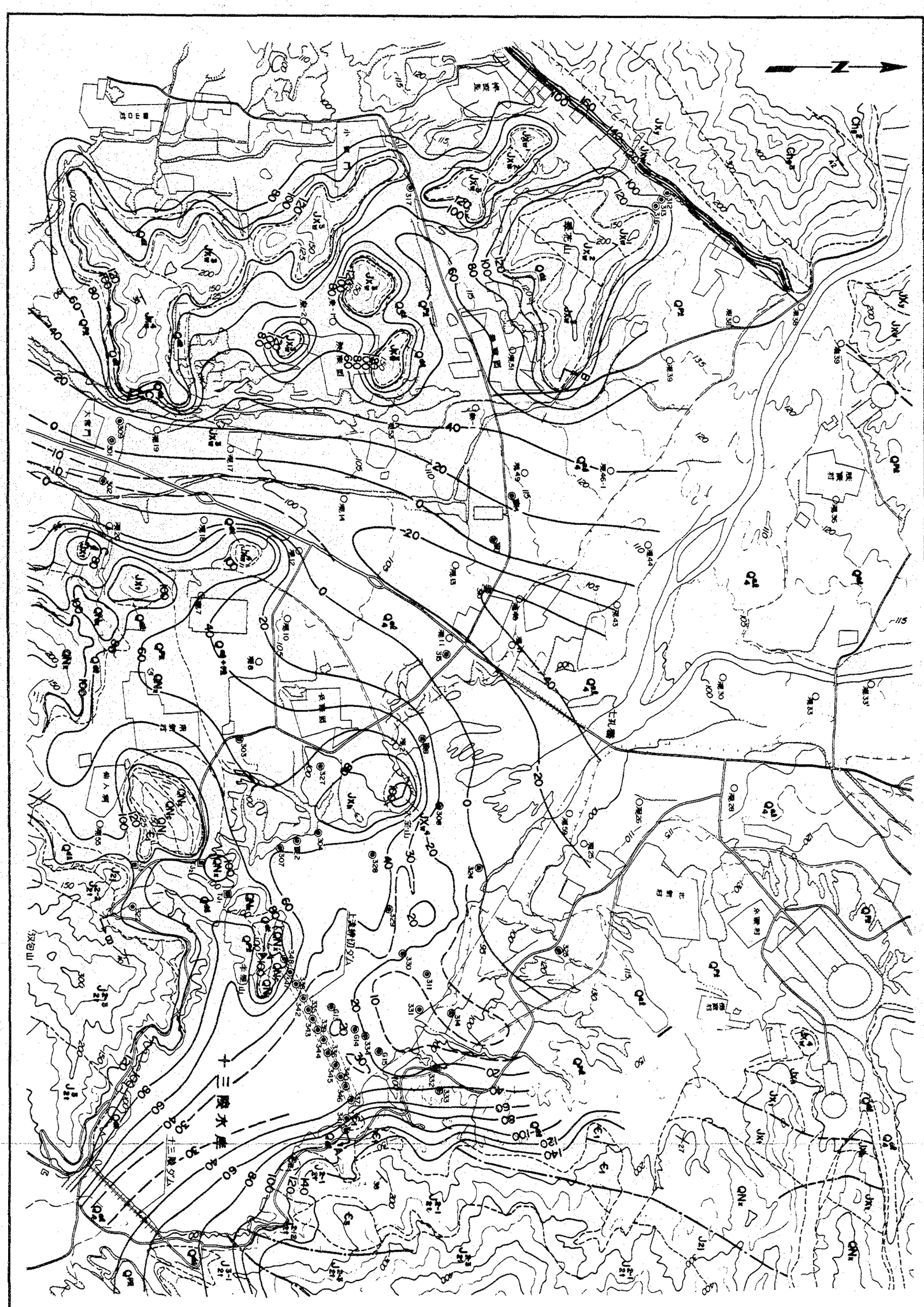
凡 例

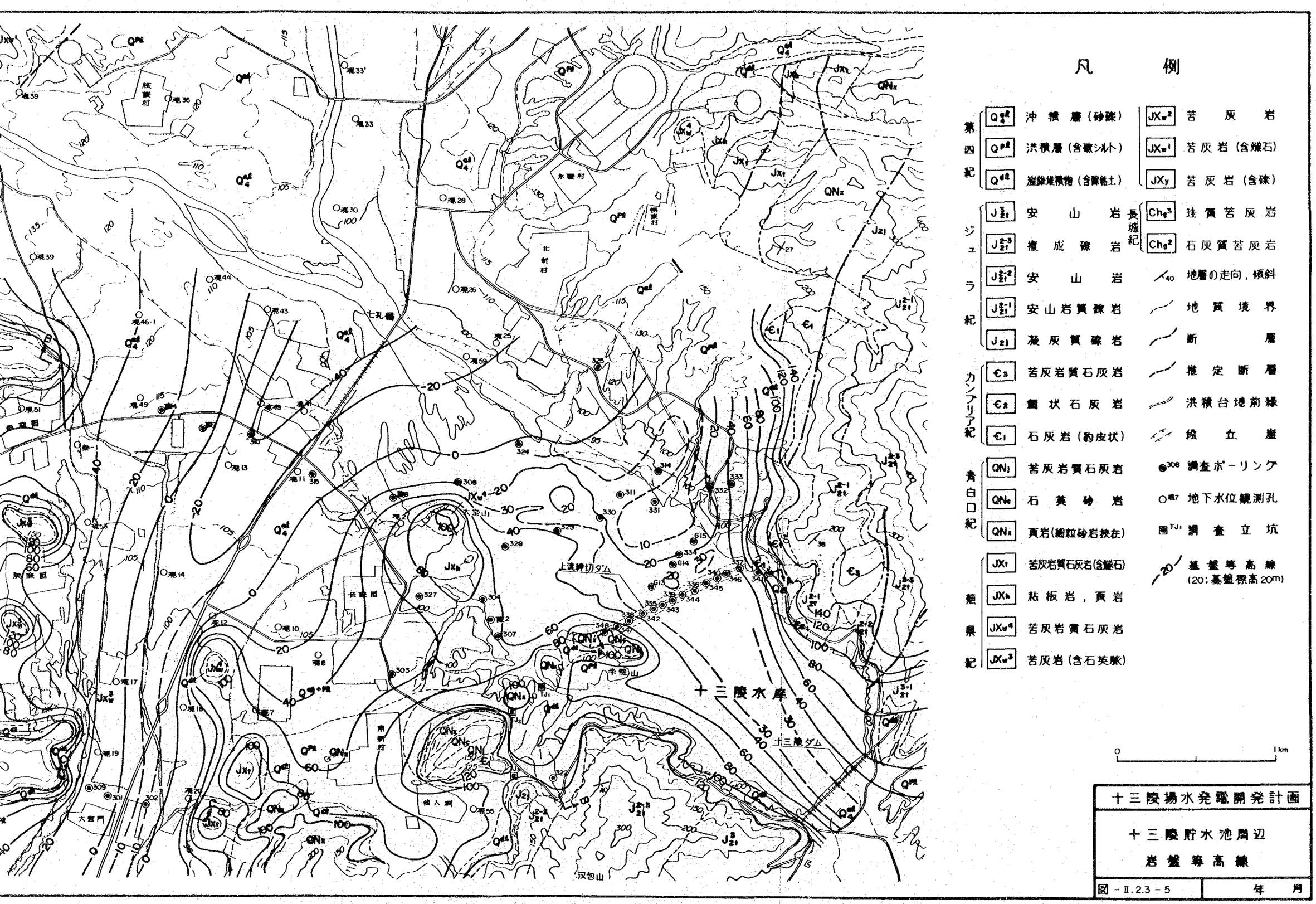
- Q_4^{al} 沖積層シルト
- Q_4^{al} 沖積層シルト（礫を含む）
- Q_4^{al} 沖積層・砂質シルト
- Q_4^{al} 沖積層・砂質シルト（礫を含む）
- Q_4^{al} 沖積層・砂
- Q_4^{al} 沖積層・砂礫
- Jxt 苦灰岩質石灰岩
- Jxh 粘板岩・頁岩
- Jxw^4 苦灰岩質石灰岩
- 調査ボーリング

（鉛直）0 ― 50m

（水平）0 ― 200m

十三陵揚水発電開発計画	
旧河道大宮門地質断面 （C－C 断面）	
図－Ⅱ.2.3－4	年 月


十三湖水库
上海村
N



十三陵揚水発電開発計画

十三陵貯水池周辺
岩盤等高線

図－Ⅱ.2.3－5　　年　月

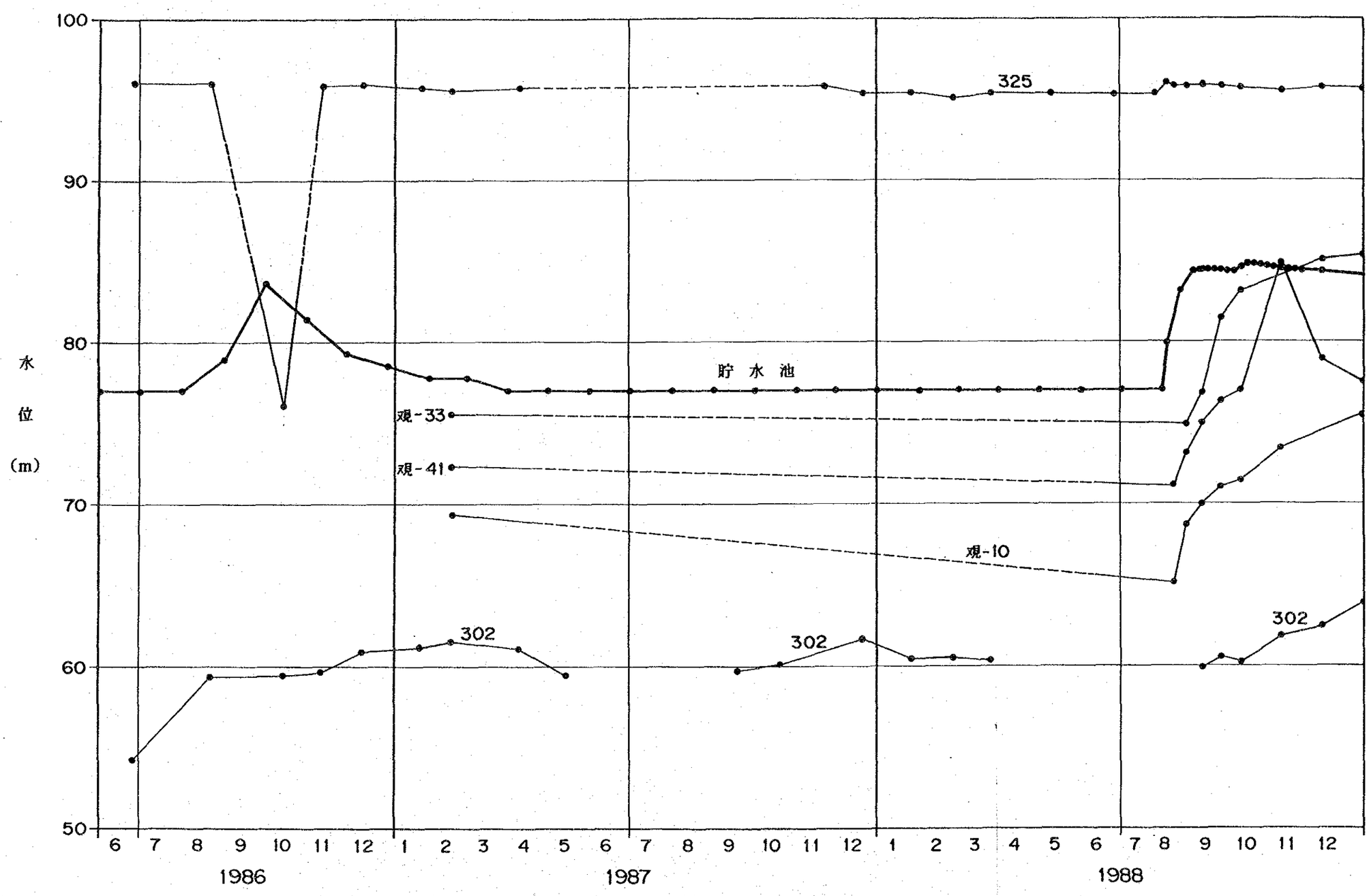
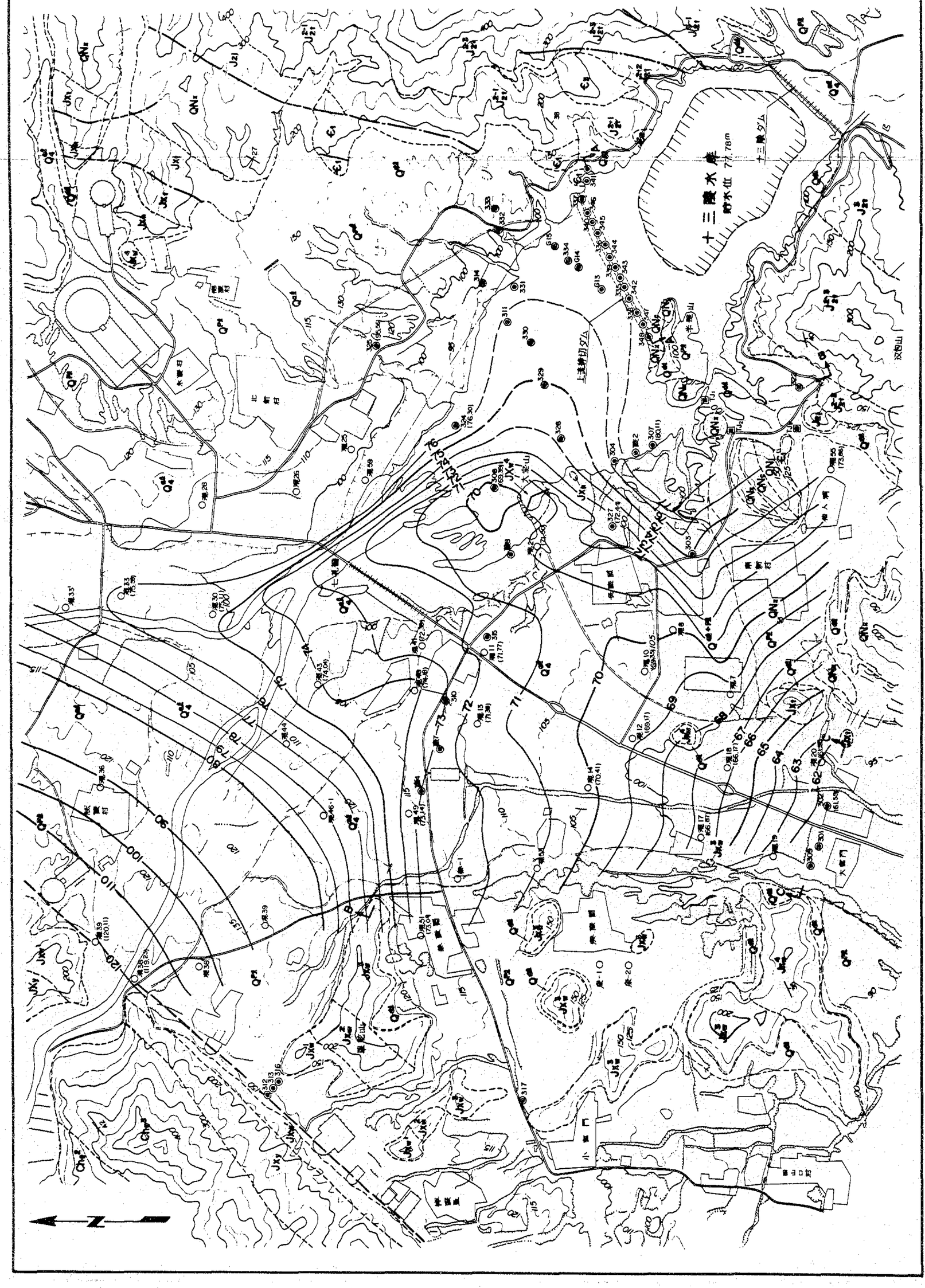
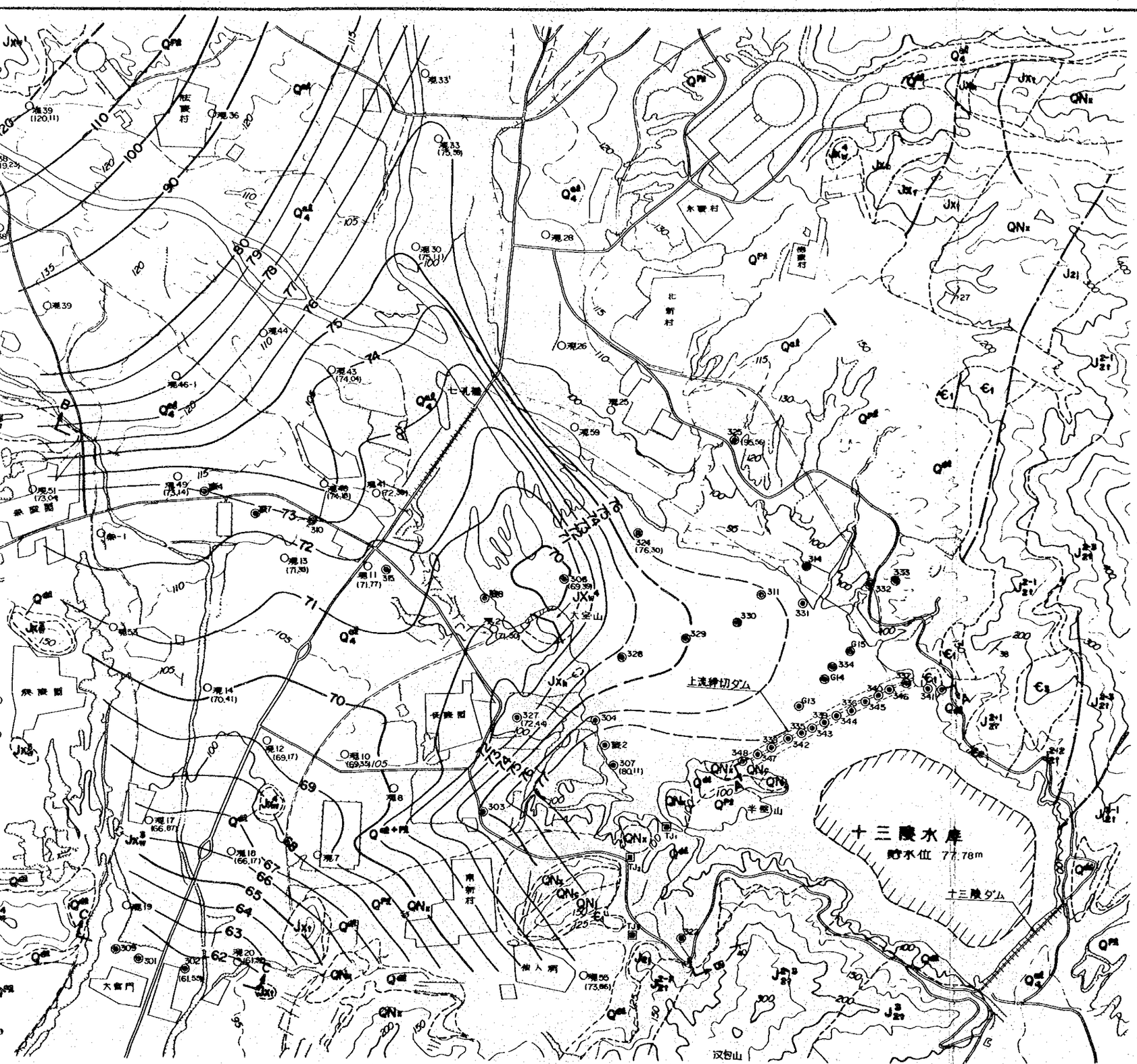


図-Ⅱ.2.3-6　十三陵貯水池周辺地下水位経時変化図


十三陵水庫
貯水位 77.78m
十三陵ダム
上流神切ダム
大至山
米面山
N



凡　例

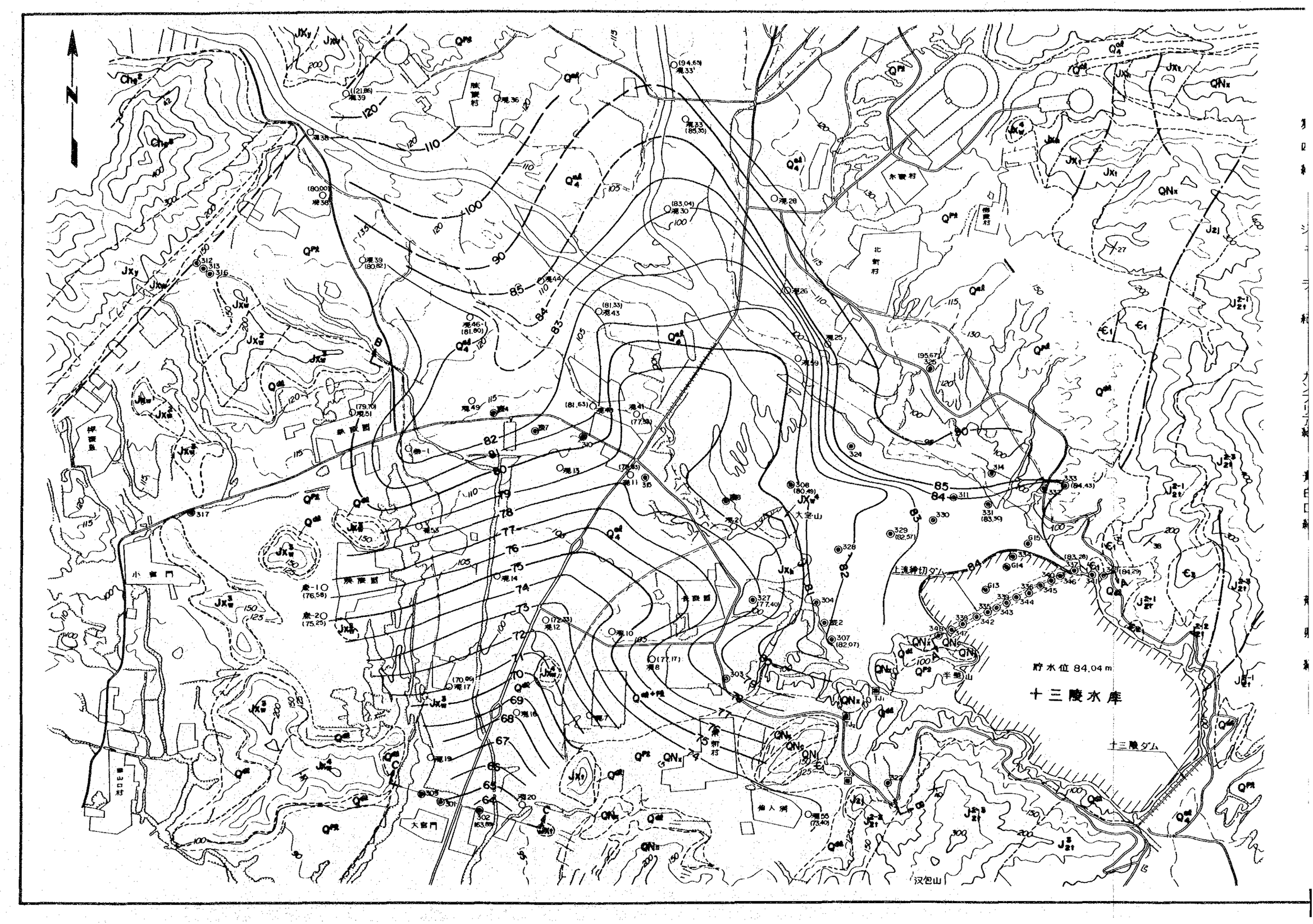
第四紀	Q_4^{al}	沖積層（砂礫）		JX_w^2	苦灰岩
	Q^{pl}	洪積層（含礫シルト）		JX_w^1	苦灰岩（含燐石）
	Q^{dl}	崖錐堆積物（含礫粘土）		JX_y	苦灰岩（含礫）
ジュラ紀	J_{21}^{3}	安山岩	長城紀	Ch_e^3	珪質苦灰岩
	J_{21}^{2-3}	複成礫岩		Ch_e^2	石灰質苦灰岩
	J_{21}^{2-2}	安山岩		40	地層の走向，傾斜
	J_{21}^{2-1}	安山岩質礫岩			地質境界
	J_{21}	凝灰質礫岩			断層
カンブリア紀	$€_3$	苦灰岩質石灰岩			推定断層
	$€_2$	鱗状石灰岩			洪積台地前縁
	$€_1$	石灰岩（豹皮状）			段丘崖
青白口紀	QN_1	苦灰岩質石灰岩		308	調査ボーリング
	QN_c	石英砂岩		井7	地下水位観測孔
	QN_n	頁岩（細粒砂岩挟在）		TJ1	調査立坑
燕県紀	JX_t	苦灰岩質石灰岩（含燐石）		70	地下水位等高線（70：標高70m）1987年2月18日時点
	JX_h	粘板岩，頁岩		井10 (69.35)	地下水位観測孔及び地下水位
	JX_w^4	苦灰岩質石灰岩			湛水域（推定）
	JX_w^3	苦灰岩（含石英脈）			

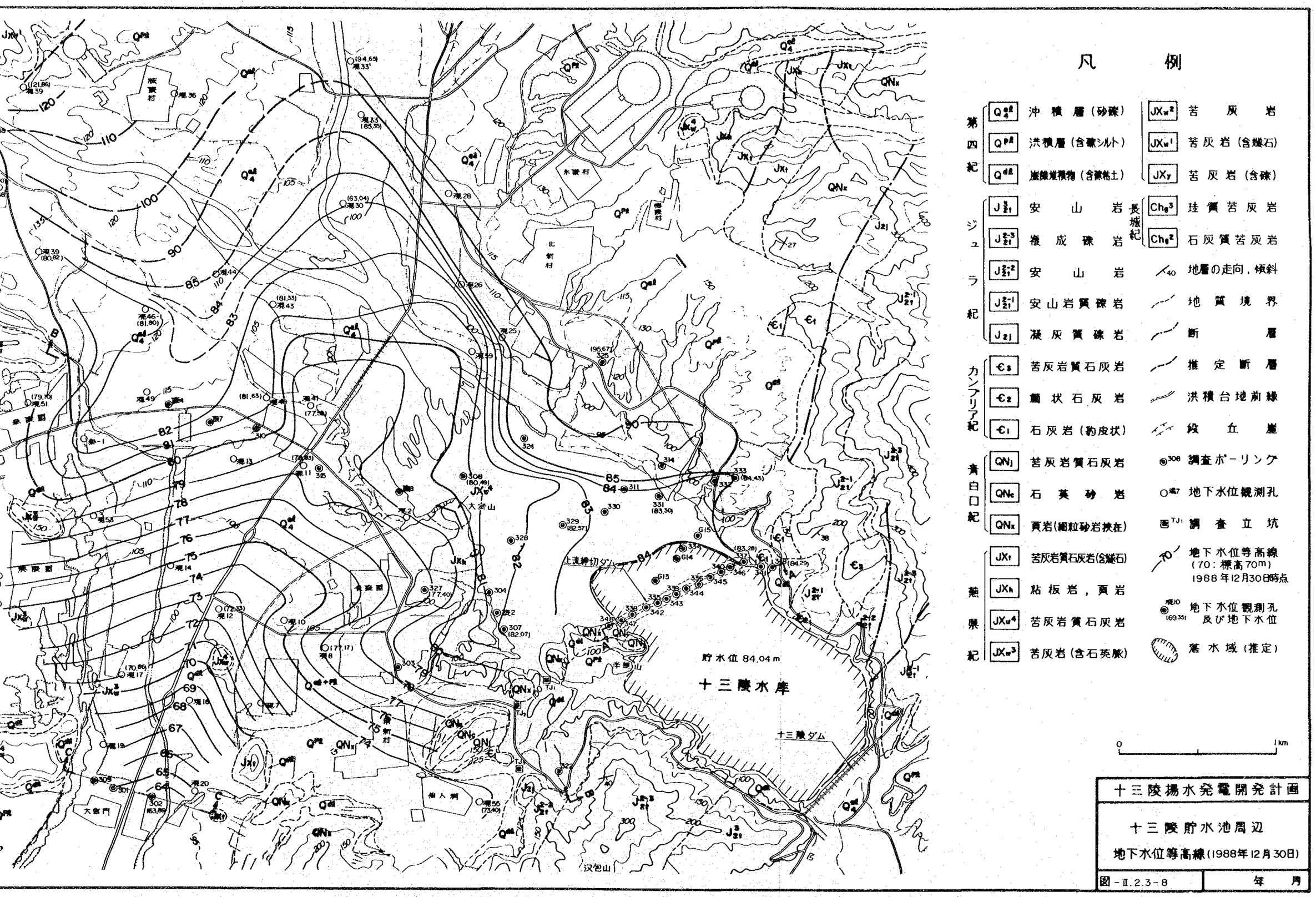
十三陵揚水発電開発計画

十三陵貯水池周辺

地下水位等高線（1987年 2月18日）

図－II.2.3－7　　年　月


十三陵水庫
貯水位 84.04 m
十三陵ダム
上流締切ダム
大宮山
半壁山
汉包山
大宮門
小宮門
北新村
永陵村
昭陵村
長陵村
定陵村
康陵村
仙人洞

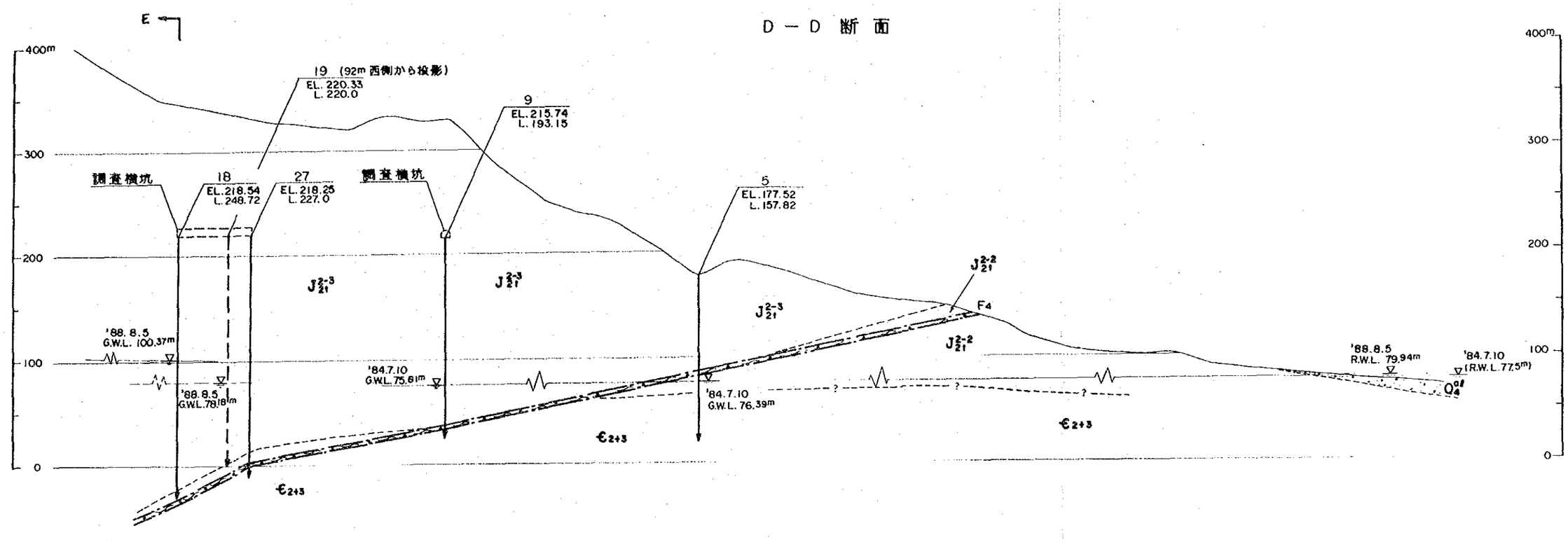


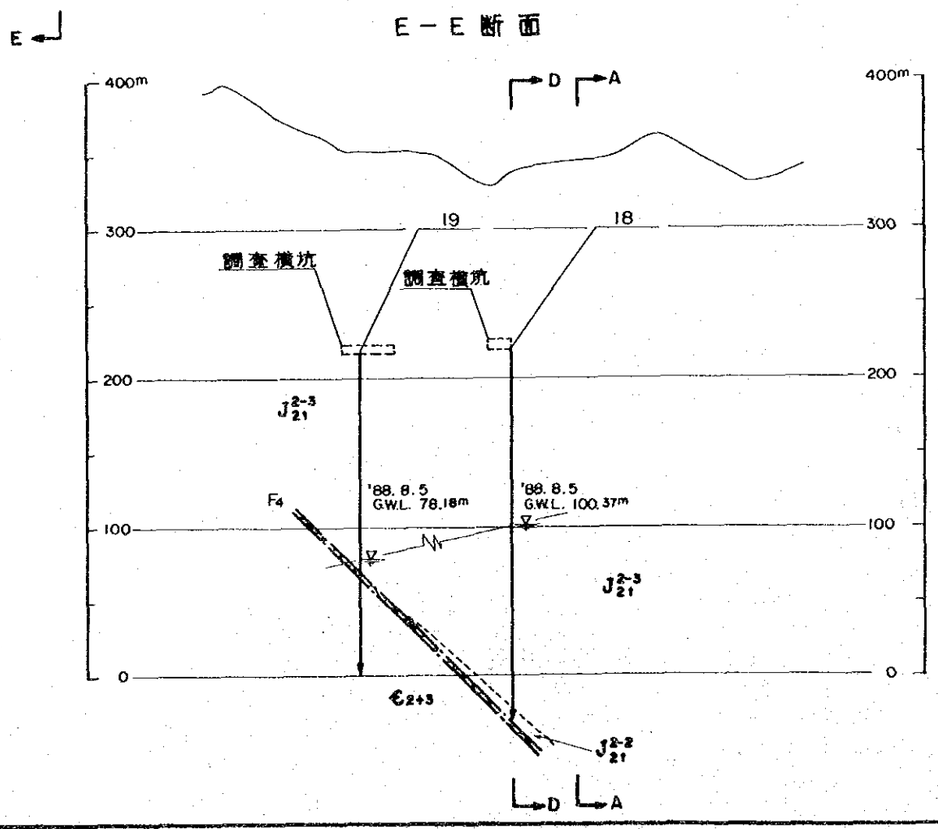
十三陵揚水発電開発計画

十三陵貯水池周辺

地下水位等高線（1988年12月30日）

図－II.2.3－8　　年　月





凡　例

Q_4^{al}	沖積層	孔名	調査ボーリング
J_{21}^{2-3}	複成礫岩	孔名	調査ボーリング(投影)
J_{21}^{2-2}	安山岩		推定地下水位線
$€_{2+3}$	石灰岩（顆状）		孔内水位
	地質境界		'84.7.10；測定年月日
	地質境界(不確実な境界)		G. W. L.；孔内水位(m)
	断層破砕帯		R. W. L；貯水位(m)

0　200m

〈注〉 断面位置は，発電所，水路地質平面に示す．

〈注〉 '84年7月10日の貯水位は '84年7月1日と8月1日の貯水位から推定

十三陵揚水発電開発計画

十三陵貯水池左岸地質断面
(D－D，E－E 断面)

図－II.2.3－9　　年　月

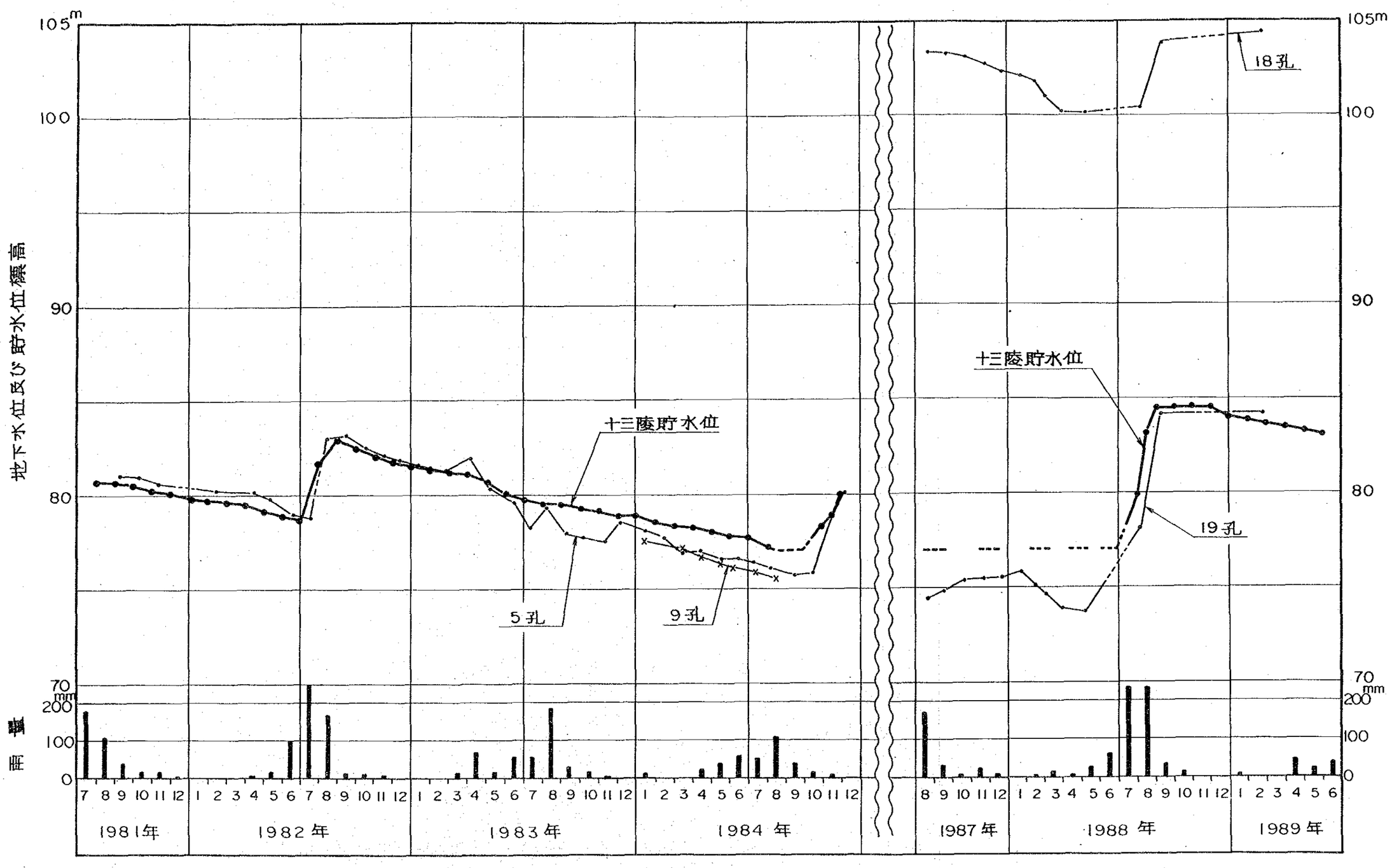


図-Ⅱ.2.3-10　十三陵貯水池左岸地下水位経時変化