

## 2.2 流砂

### 2.2.1 浮遊土砂量の流出状況

中国側の調査によれば、窟野河水系の浮遊土砂の流出特性は、①流出が多い、②洪水時に大量の流出がある、③流出が短期間に集中する、④浮遊土砂の粒径が大きい ( $d_{50} > 0.05\text{mm}$ ) である。窟野河水系上流域において日単位の水文観測が長期にわたり実施されているのは、転龍湾ダムサイト下流の王道恒塔、神木の2地点のみである。窟野河水系における水文観測は1950年代の後半から開始されており、中国側から1958年～1997年までの流量、含砂量、雨量データの提供があった。ここでは、神木、王道恒塔の両地点の日流量、日含砂量を整理した。さらに中国側は1998年より2年間転龍湾ダムサイトで水文観測を実施しており、1998年の観測データの提供があったので、そのデータを取りまとめた。

### 2.2.2 日単位の流量及び含砂量

#### (1) 季節変動

表 2.2.1 と表 2.2.2 に 1958 年から 1989 年の期間の王道恒塔と神木における月別流量、含砂量をそれぞれ示す。なお、これらの表では、年間の流量および含砂量を求めるために、欠測のある月のデータはその月のデータのある年の平均値で補填した。また、表 2.2.3 に 1990 年から 1997 年の期間の王道恒塔における月別流量、含砂量を示す。さらに、図 2.2.1、図 2.2.2 に王道恒塔、神木における流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )、含砂量 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) の月別の中間値および標準偏差を示す。神木、王道恒塔の流量の中間値については、年間を通じて 3 月と 8 月にピークが出現し、3 月から 4 月にかけての雪解けと、8 月の降雨による洪水期があることを示している。

#### (2) 多年平均流出量

図 2.2.3 に王道恒塔、神木における流量と含砂量の経年変化を示す。中国側は Pre-F/S において 1958 年から 1989 年までの多年平均流出量をまとめている。そこで、比較のために王道恒塔、神木における多年平均流量、多年平均含砂量を表 2.2.5 に示す。これらの値は中国側の集計値とほぼ一致した。なお、中国側の Pre-F/S レポートによれば、転龍湾ダム地点での平均年間流量は 8,080 万  $\text{m}^3$ 、平均年間含砂量 1,286 万ト (含砂量  $159.5\text{kg}/\text{m}^3$ ) と試算されている。

表 2.2.4 年間流出量、年間含砂量 (1958年-1989年)

| 河川<br>地点 | 烏蘭木倫河                                 |                         | 窟野河                     |
|----------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
|          | 転龍湾ダムサイト                              | 王道恒塔                    | 神木                      |
| 流域面積     | 1,937km <sup>2</sup>                  | 3,839km <sup>2</sup>    | 7,298km <sup>2</sup>    |
| 年間流量     | 8,080 万 m <sup>3</sup> / <sup>*</sup> | 22,664 万 m <sup>3</sup> | 53,568 万 m <sup>3</sup> |
| 年間含砂量    | 1,286 万ト/ <sup>*</sup>                | 2,374 万ト                | 6,719 万ト                |
| 平均含砂量    | 159.5kg/m <sup>3</sup> / <sup>*</sup> | 104.7kg/m <sup>3</sup>  | 125.4kg/m <sup>3</sup>  |

<sup>\*</sup> 中国側の Pre-F/S レポート (推定値)

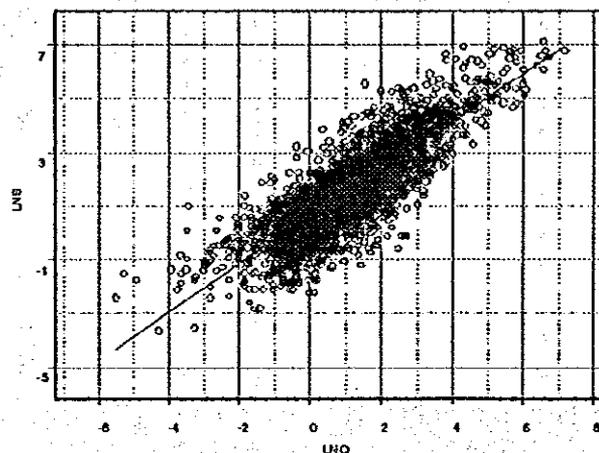
### 2.2.3 流量と浮遊土砂量の回帰式

本調査では転龍湾ダムサイトにおいて 1998 年より 2 年間水文観測を実施しているが、1998 年以前の浮遊土砂量 (含砂量) を推定する必要がある。その際、王道恒塔の浮遊土砂量と流量の関係が参考となるので、王道恒塔における日平均流量と日平均浮遊土砂量の間関係を、1958 年から 1997 年の実測データから求めた。乾季における相関係数は小さく、回帰式は意味を持たない。一方、雨季における相関は比較的高く、6 月、7 月、8 月における日浮遊土砂量と日流量の回帰式と相関図を図 2.2.4 に示す。

日流量-日浮遊土砂量回帰式 (6月~8月の期間)、王道恒塔

$$S=1.846Q^{0.887}$$

Q:流量(m<sup>3</sup>/s)、S:浮遊土砂濃度(kg/m<sup>3</sup>)、相関係数 r=0.6842



S:日平均含砂量 (kg/m<sup>3</sup>)、Q:流量(m<sup>3</sup>/s)

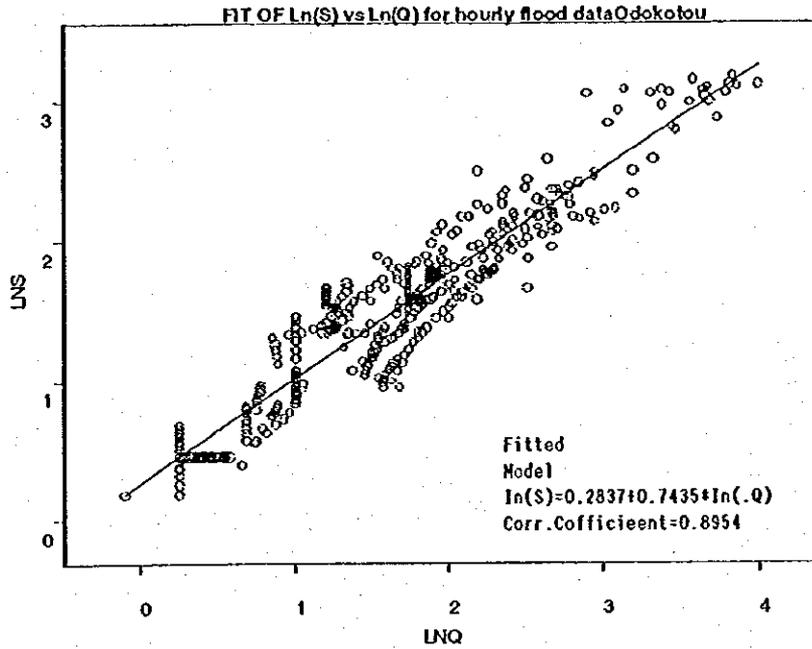
図 2.2.4 日流量と日含砂量の相関 (王道恒塔)

洪水時には 1,000kg/m<sup>3</sup> を越える高濃度の浮遊土砂が流出する。この流出特性を定量的に把握するため、1976 年および 1992 年洪水時のデータを用いて洪水時の時間単位の浮遊土砂量と流量の回帰式を求めた (図 2.2.5 参照)。

時間流量—時間浮遊土砂量回帰式、王道恒塔

$$S=1.328Q^{0.744}$$

Q:流量(m<sup>3</sup>/s)、S:浮遊土砂濃度(kg/m<sup>3</sup>)、相関係数 r=0.90



S:含砂量 (kg/m<sup>3</sup>)、Q:流量(m<sup>3</sup>/s)

図 2.2.5 時間流量と時間含砂量の相関 (王道恒塔)

## 2.2.4 転龍湾ダム地点における浮遊土砂量

### (1) 年間流量および年間浮遊土砂量

表 2.2.4 に転龍湾ダム地点における月別流量、含砂量を示す。年間流量は 5,060 万 m<sup>3</sup>、年間浮遊土砂量は 352 万トである。これは中国側の Pre-F/S の推定値に比べて、年間流量で約 3,000 万 m<sup>3</sup>、年間浮遊土砂量については約 900 万ト少ない値となっている。

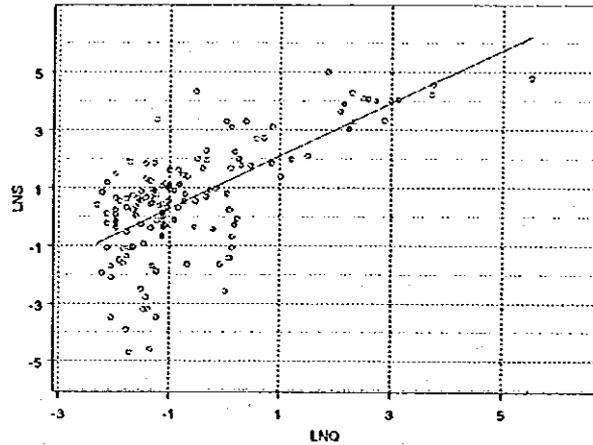
### (2) 流量と浮遊土砂量の回帰式

流量と浮遊土砂量(含砂量)の日単位および時間単位の回帰式を以下の通り求めた(図 2.2.6 及び図 2.2.7)。ただし、転龍湾ダム地点の観測データは 1 年間のみで、回帰式を求めるにはデータが不足している。そのため、この回帰式が転龍湾地点の流出特性を示すとはいえず、特に日単位の回帰式は相関係数 0.470 と低く、回帰式に意味はない。これは、データの分布が小さい流量での範囲に偏りかつその値がばらつくためと考える。

日流量一日浮遊土砂量回帰式 (6月～8月の期間)、転龍湾

$$S=3.238Q^{0.914}$$

Q:流量(m<sup>3</sup>/s)、S:浮遊土砂濃度(kg/m<sup>3</sup>)、相関係数 r=0.47



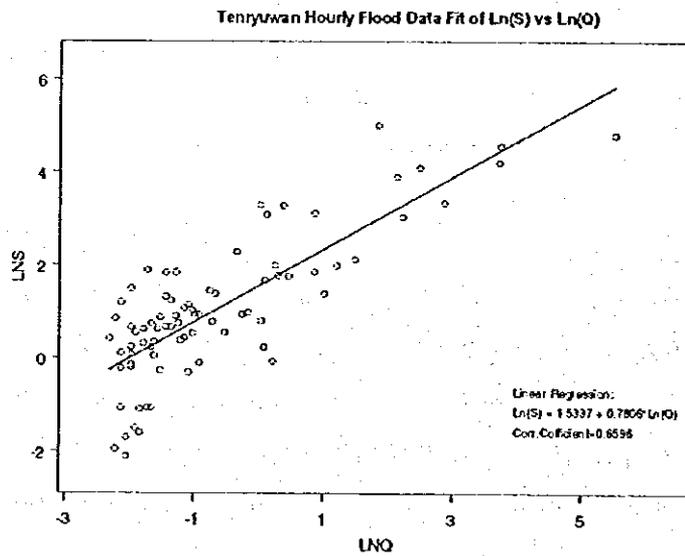
S:含砂量 (kg/m<sup>3</sup>)、Q:流量(m<sup>3</sup>/s)

図 2.2.6 日流量と日含砂量の相関 (転龍湾)

時間流量一日間浮遊土砂量回帰式、転龍湾

$$S=4.589Q^{0.781}$$

Q:流量(m<sup>3</sup>/s)、S:浮遊土砂濃度(kg/m<sup>3</sup>)、相関係数 r=0.66



S:含砂量 (kg/m<sup>3</sup>)、Q:流量(m<sup>3</sup>/s)

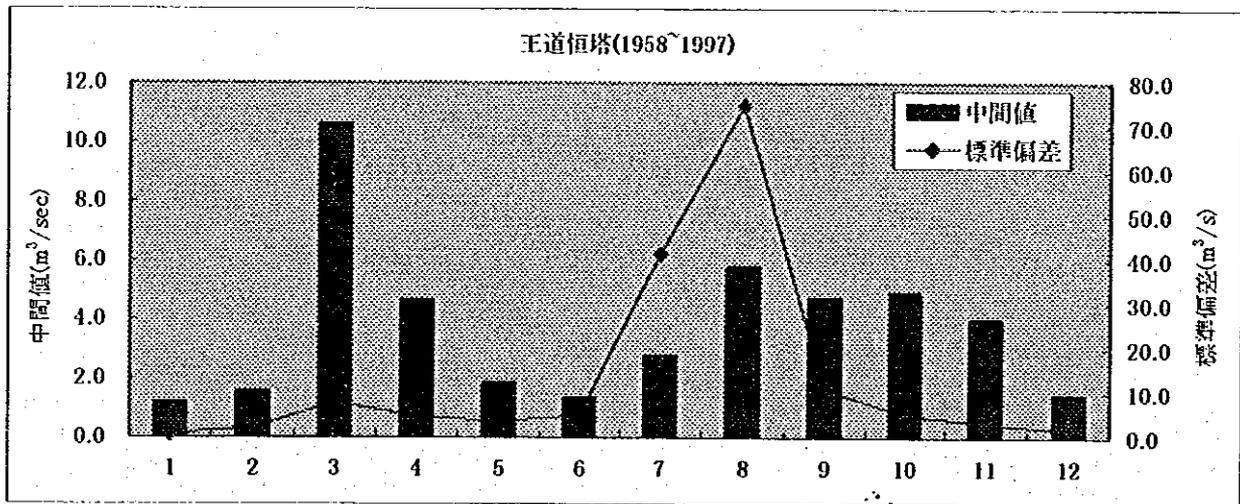
図 2.2.7 時間流量と時間含砂量の相関 (転龍湾)

## 第 2.2 章 添付図

# MEMORANDUM

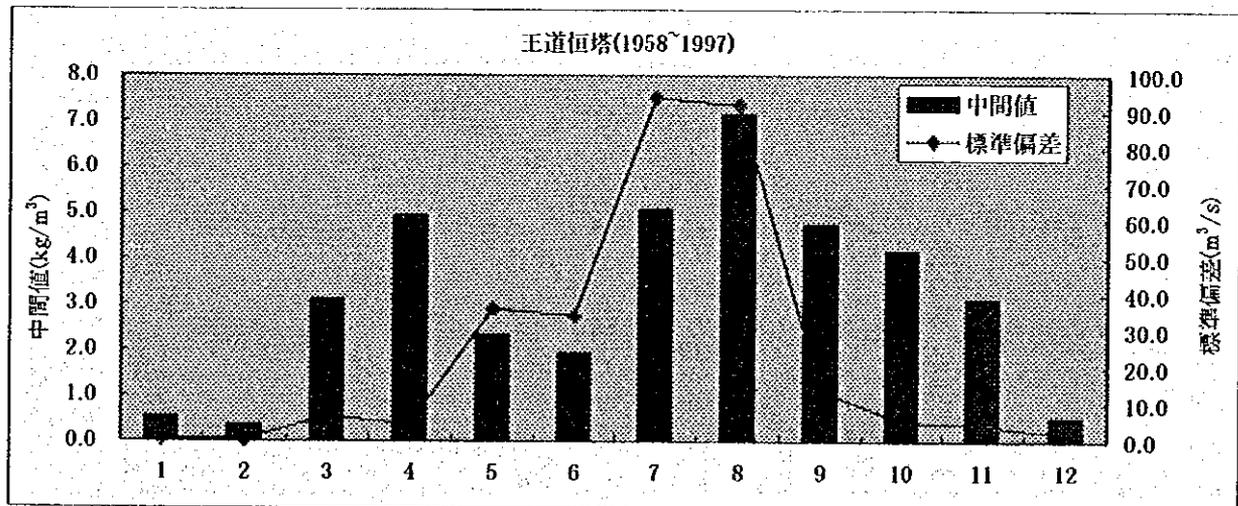
流量

| statistic                   | 1    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7      | 8       | 9      | 10    | 11    | 12   |
|-----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|-------|-------|------|
| No of Data                  | 1150 | 1050  | 1149  | 1140  | 1178  | 1136  | 1136   | 1178    | 1140   | 1178  | 1139  | 1122 |
| Median(m <sup>3</sup> /sec) | 1.18 | 1.55  | 10.60 | 4.64  | 1.82  | 1.35  | 2.76   | 5.75    | 4.70   | 4.89  | 3.98  | 1.42 |
| Stdev                       | 0.71 | 2.14  | 7.87  | 4.80  | 3.59  | 5.05  | 41.48  | 74.74   | 10.78  | 5.07  | 3.21  | 1.56 |
| Average                     | 1.26 | 2.14  | 12.28 | 5.57  | 2.81  | 2.70  | 11.86  | 21.95   | 7.70   | 6.16  | 4.58  | 1.87 |
| Range                       | 4.16 | 20.84 | 47.03 | 70.27 | 64.72 | 79.90 | 792.00 | 1229.94 | 145.96 | 61.40 | 30.90 | 8.53 |
| skewness                    | 1.24 | 3.29  | 0.99  | 3.92  | 7.01  | 7.02  | 9.79   | 8.70    | 6.31   | 3.62  | 2.18  | 1.70 |



含砂量

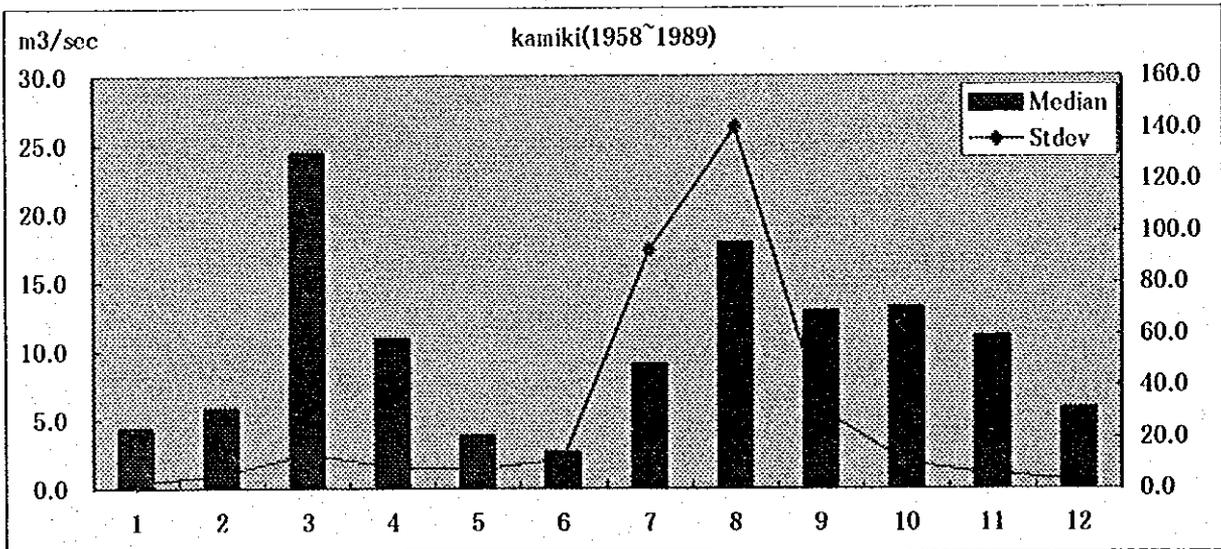
| statistic                   | 1    | 2    | 3     | 4     | 5       | 6      | 7       | 8       | 9      | 10    | 11    | 12    |
|-----------------------------|------|------|-------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|
| No of Data                  | 248  | 227  | 901   | 960   | 992     | 1042   | 1033    | 1085    | 1050   | 1023  | 938   | 186   |
| Median(m <sup>3</sup> /sec) | 0.51 | 0.33 | 3.08  | 4.92  | 2.31    | 1.91   | 5.06    | 7.14    | 4.72   | 4.15  | 3.08  | 0.49  |
| Stdev                       | 0.49 | 0.38 | 6.81  | 4.57  | 36.19   | 34.19  | 94.01   | 91.79   | 13.68  | 5.33  | 4.39  | 1.84  |
| Average                     | 0.62 | 0.48 | 5.91  | 5.92  | 4.87    | 6.01   | 29.77   | 29.80   | 8.26   | 5.12  | 4.38  | 0.86  |
| Range                       | 2.27 | 1.71 | 52.90 | 33.80 | 1119.85 | 810.00 | 1080.00 | 1239.89 | 191.74 | 80.08 | 28.20 | 22.27 |
| Skewness                    | 1.10 | 1.09 | 1.66  | 1.71  | 29.67   | 19.57  | 7.00    | 7.73    | 6.19   | 5.48  | 1.83  | 9.54  |



## GRAND SUMMARY AT KAMIKI

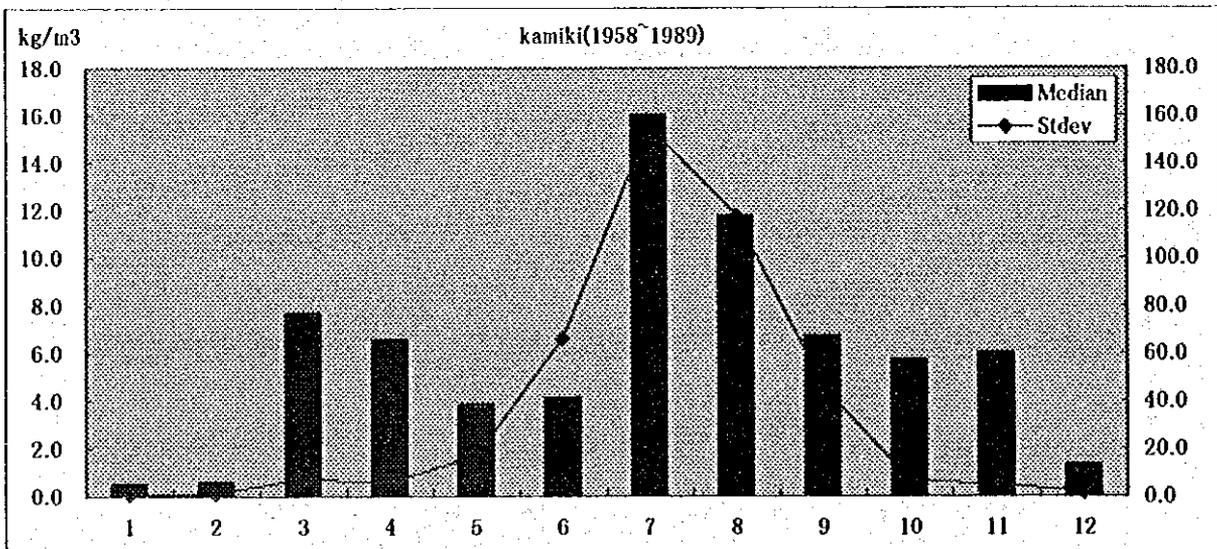
### Dischage Summary

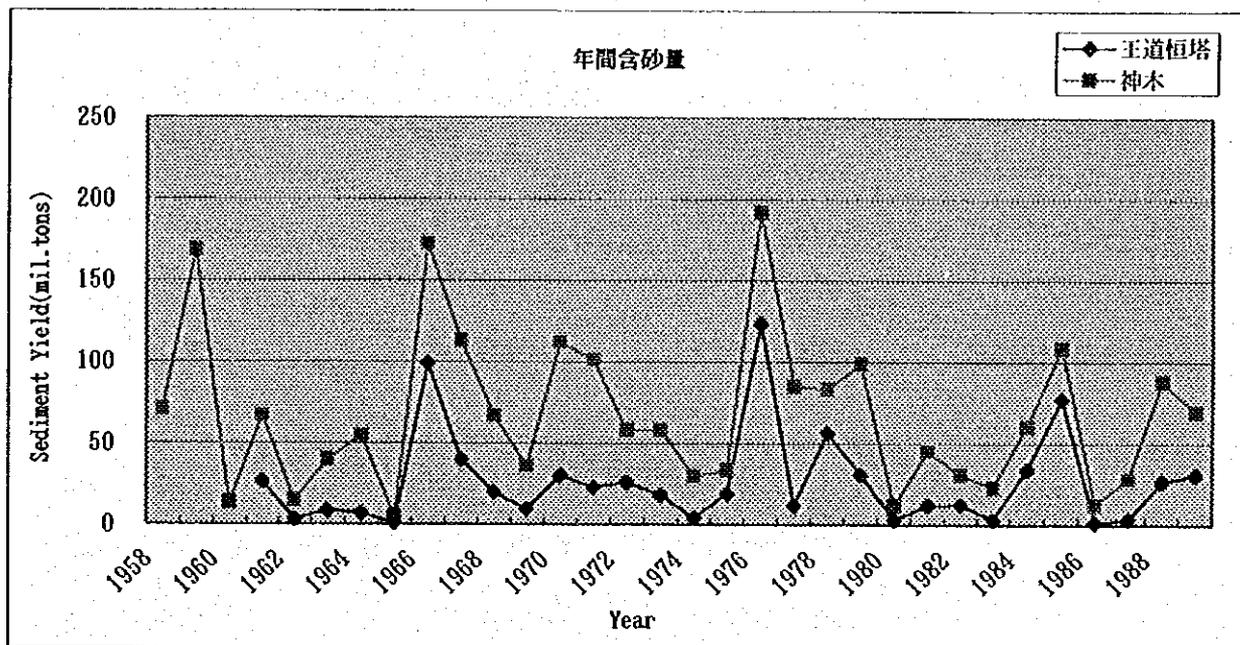
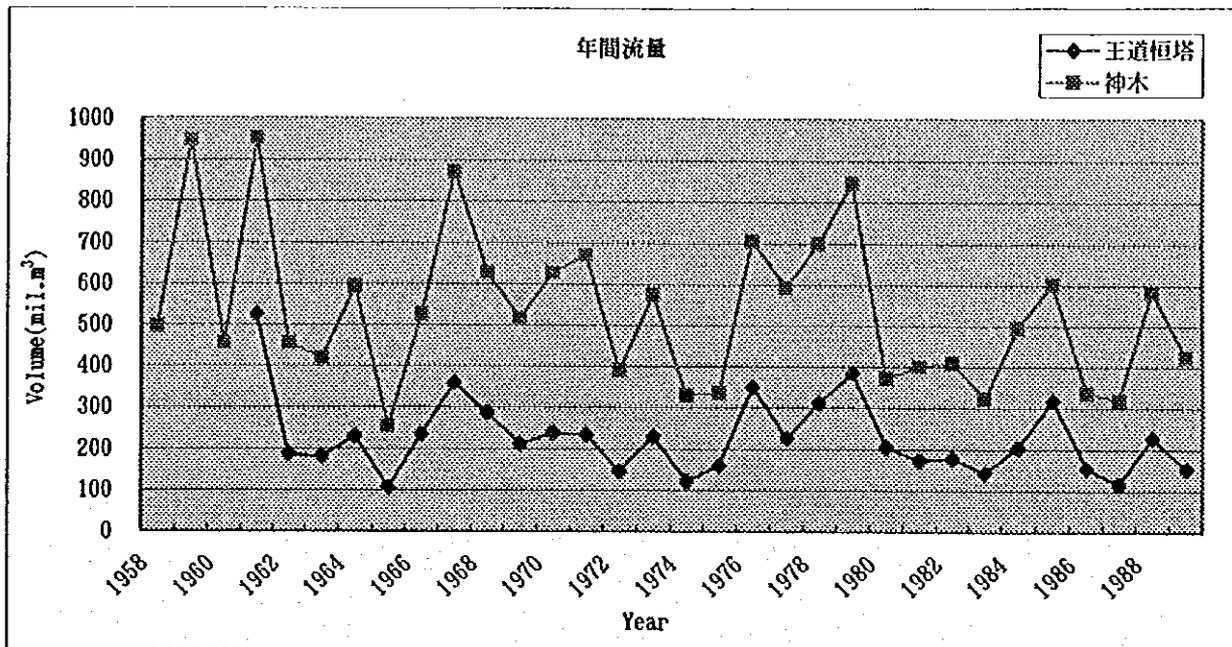
| statistic      | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7       | 8       | 9      | 10     | 11     | 12     |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| No of Data     | 992.00 | 904.00 | 992.00 | 960.00 | 992.00 | 960.00 | 992.00  | 992.00  | 960.00 | 992.00 | 960.00 | 992.00 |
| Median(m3/sec) | 4.37   | 5.82   | 24.40  | 10.90  | 3.84   | 2.61   | 9.05    | 17.85   | 12.90  | 13.10  | 11.10  | 5.80   |
| Average        | 4.85   | 7.52   | 26.89  | 12.87  | 6.05   | 6.41   | 31.20   | 52.12   | 20.65  | 15.21  | 12.06  | 6.52   |
| Stdev          | 1.97   | 5.25   | 13.38  | 8.25   | 7.28   | 11.58  | 92.52   | 140.08  | 30.56  | 10.16  | 5.42   | 3.54   |
| Range          | 10.89  | 33.81  | 79.22  | 73.21  | 81.88  | 126.89 | 1269.90 | 1989.80 | 481.45 | 127.13 | 39.25  | 25.89  |
| Skewness       | 1.05   | 1.80   | 0.89   | 1.75   | 4.20   | 4.84   | 8.52    | 7.35    | 7.29   | 3.89   | 1.23   | 1.49   |



### Suspended Load Summary

| statistic     | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7       | 8       | 9      | 10     | 11     | 12     |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| No of Data    | 651.00 | 601.00 | 929.00 | 900.00 | 930.00 | 900.00 | 929.00  | 929.00  | 900.00 | 930.00 | 623.00 | 620.00 |
| Median(kg/m3) | 0.48   | 0.57   | 7.67   | 6.53   | 3.83   | 4.14   | 16.00   | 11.75   | 6.69   | 5.71   | 5.99   | 1.31   |
| Average       | 0.66   | 0.87   | 8.68   | 7.95   | 7.30   | 21.47  | 82.12   | 59.99   | 17.17  | 6.99   | 6.75   | 1.79   |
| Stdev         | 0.87   | 1.10   | 7.09   | 5.65   | 16.80  | 65.87  | 155.11  | 117.69  | 45.64  | 6.49   | 4.82   | 1.71   |
| Range         | 18.10  | 18.39  | 34.91  | 54.12  | 269.69 | 766.97 | 1160.00 | 1250.00 | 890.96 | 113.40 | 31.86  | 15.39  |
| Skewness      | 12.95  | 8.01   | 0.74   | 2.11   | 9.10   | 7.03   | 3.04    | 3.92    | 10.68  | 6.72   | 1.49   | 2.37   |





|         | Annual Flow(mil.m <sup>3</sup> /year) |        | Yield(Mil.tons/year) |        |
|---------|---------------------------------------|--------|----------------------|--------|
|         | 王道恒塔                                  | 神木     | 王道恒塔                 | 神木     |
| Minimum | 106.40                                | 253.21 | 0.78                 | 5.08   |
| Maximum | 525.03                                | 952.11 | 123.14               | 191.71 |

## 第 2.2 章 添付表

表2.2.1 王道恒塔における月別流量・浮遊土砂量 (1958~1989)

王道恒塔 (1958~1989)

| 年    | 流量<br>浮遊土砂量                    | 1月   | 2月    | 3月    | 4月    | 5月    | 6月    | 7月     | 8月     | 9月    | 10月   | 11月   | 12月   | 合計     |
|------|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1958 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |      |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |
| 1958 | 10 <sup>6</sup> ton            |      |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |
| 1959 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |      |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |
| 1959 | 10 <sup>6</sup> ton            |      |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |
| 1960 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |      |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |
| 1960 | 10 <sup>6</sup> ton            |      |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |        |
| 1961 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.28 | 12.39 | 47.69 | 25.63 | 6.95  | 8.46  | 126.37 | 144.81 | 51.17 | 49.39 | 33.31 | 15.58 | 525.03 |
| 1961 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.28  | 0.14  | 0.35  | 0.36  | 7.20   | 17.15  | 0.50  | 0.14  | 0.09  | 0.00  | 26.21  |
| 1962 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 8.89 | 13.53 | 38.25 | 20.98 | 9.50  | 7.81  | 26.12  | 12.29  | 12.62 | 13.99 | 14.59 | 7.09  | 185.67 |
| 1962 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.18  | 0.17  | 0.05  | 0.08  | 2.12   | 0.18   | 0.10  | 0.10  | 0.11  | 0.00  | 3.10   |
| 1963 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.23 | 6.54  | 42.61 | 16.28 | 15.54 | 15.57 | 24.58  | 17.08  | 11.39 | 11.29 | 10.19 | 4.39  | 178.70 |
| 1963 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.27  | 0.14  | 0.09  | 3.22  | 3.55   | 1.01   | 0.12  | 0.07  | 0.06  | 0.00  | 8.55   |
| 1964 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.24 | 4.19  | 32.94 | 29.44 | 14.71 | 8.99  | 15.60  | 48.16  | 19.80 | 31.36 | 17.22 | 4.42  | 230.09 |
| 1964 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.50  | 0.62  | 0.24  | 0.25  | 0.28   | 3.87   | 0.31  | 0.63  | 0.30  | 0.02  | 7.03   |
| 1965 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 4.72 | 10.77 | 38.97 | 16.02 | 6.91  | 2.54  | 4.61   | 3.03   | 4.45  | 5.91  | 6.40  | 2.07  | 106.40 |
| 1965 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01 | 0.00  | 0.31  | 0.21  | 0.05  | 0.01  | 0.06   | 0.02   | 0.02  | 0.04  | 0.05  | 0.00  | 0.78   |
| 1966 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.73 | 6.55  | 29.17 | 8.35  | 5.18  | 7.76  | 39.21  | 96.66  | 13.05 | 14.98 | 8.43  | 3.86  | 234.94 |
| 1966 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.21  | 0.08  | 0.08  | 3.28  | 17.69  | 77.48  | 0.05  | 0.07  | 0.03  | 0.00  | 98.96  |
| 1967 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2.10 | 2.24  | 31.26 | 12.25 | 14.21 | 3.53  | 45.52  | 133.32 | 55.95 | 26.32 | 27.47 | 4.50  | 358.67 |
| 1967 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.23  | 0.06  | 0.49  | 0.03  | 5.31   | 30.45  | 2.64  | 0.38  | 0.36  | 0.00  | 39.94  |
| 1968 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.23 | 2.27  | 54.74 | 25.42 | 9.13  | 3.53  | 24.33  | 72.30  | 31.41 | 30.07 | 19.42 | 10.76 | 286.60 |
| 1968 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.38  | 0.27  | 0.05  | 0.01  | 1.92   | 16.51  | 0.46  | 0.14  | 0.09  | 0.00  | 19.83  |
| 1969 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.83 | 6.85  | 43.09 | 16.36 | 6.28  | 4.48  | 26.73  | 43.04  | 18.66 | 23.33 | 11.75 | 5.10  | 209.49 |
| 1969 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.28  | 0.14  | 0.35  | 0.02  | 2.35   | 6.14   | 0.29  | 0.14  | 0.09  | 0.00  | 9.80   |
| 1970 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.01 | 5.84  | 28.41 | 29.42 | 11.76 | 10.79 | 8.55   | 86.76  | 16.30 | 17.31 | 12.46 | 7.66  | 238.29 |
| 1970 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.28  | 0.14  | 0.35  | 0.15  | 0.24   | 28.92  | 0.09  | 0.11  | 0.09  | 0.00  | 30.38  |
| 1971 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 5.43 | 7.58  | 43.09 | 18.84 | 8.31  | 10.31 | 68.76  | 15.84  | 20.59 | 13.68 | 14.79 | 5.28  | 232.49 |
| 1971 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.28  | 0.14  | 0.35  | 0.85  | 20.40  | 0.46   | 0.33  | 0.11  | 0.14  | 0.00  | 23.05  |
| 1972 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 5.20 | 4.99  | 37.74 | 11.93 | 6.45  | 5.14  | 34.40  | 11.18  | 9.11  | 9.29  | 7.36  | 3.37  | 146.23 |
| 1972 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.24  | 0.09  | 0.05  | 0.19  | 24.93  | 0.15   | 0.08  | 0.03  | 0.03  | 0.00  | 25.79  |
| 1973 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.05 | 5.02  | 33.07 | 6.73  | 3.85  | 3.43  | 24.22  | 49.78  | 48.18 | 31.20 | 13.30 | 6.25  | 228.09 |
| 1973 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.36  | 0.03  | 0.01  | 0.04  | 7.10   | 6.85   | 3.53  | 0.32  | 0.06  | 0.00  | 18.31  |
| 1974 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2.34 | 2.48  | 30.60 | 12.17 | 6.25  | 3.18  | 25.24  | 6.99   | 10.94 | 9.17  | 9.71  | 2.62  | 121.70 |
| 1974 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.24  | 0.11  | 0.06  | 0.02  | 3.43   | 0.15   | 0.14  | 0.06  | 0.08  | 0.00  | 4.27   |
| 1975 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2.38 | 4.29  | 25.55 | 10.20 | 4.77  | 2.06  | 10.33  | 41.43  | 22.60 | 18.61 | 14.61 | 2.08  | 158.91 |
| 1975 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.26  | 0.09  | 0.02  | 0.01  | 3.20   | 13.58  | 1.05  | 0.48  | 0.18  | 0.00  | 18.87  |
| 1976 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.09 | 6.01  | 24.27 | 15.20 | 2.55  | 2.37  | 42.80  | 193.56 | 29.92 | 19.04 | 7.78  | 4.86  | 349.46 |
| 1976 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.20  | 0.15  | 0.01  | 0.01  | 17.48  | 104.41 | 0.73  | 0.13  | 0.02  | 0.00  | 123.14 |
| 1977 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.04 | 2.39  | 19.43 | 18.80 | 7.83  | 8.19  | 12.11  | 76.29  | 28.51 | 19.68 | 18.84 | 12.61 | 225.73 |
| 1977 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.06  | 0.19  | 0.04  | 0.08  | 0.44   | 10.26  | 0.43  | 0.15  | 0.11  | 0.00  | 11.76  |
| 1978 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.81 | 3.38  | 33.20 | 10.91 | 10.05 | 5.88  | 16.31  | 111.08 | 56.85 | 29.18 | 22.91 | 7.38  | 310.94 |
| 1978 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.38  | 0.08  | 0.29  | 0.04  | 0.96   | 52.97  | 1.22  | 0.15  | 0.10  | 0.00  | 56.17  |
| 1979 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 5.40 | 12.42 | 43.98 | 15.21 | 6.16  | 11.48 | 51.82  | 147.51 | 30.39 | 29.55 | 16.54 | 13.23 | 383.69 |
| 1979 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.26  | 0.09  | 0.02  | 0.11  | 4.81   | 24.47  | 0.45  | 0.22  | 0.09  | 0.00  | 30.51  |
| 1980 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 7.39 | 0.70  | 61.67 | 31.97 | 9.90  | 10.99 | 9.98   | 25.23  | 13.75 | 13.09 | 16.93 | 3.07  | 204.67 |
| 1980 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.57  | 0.30  | 0.04  | 0.09  | 0.41   | 1.23   | 0.17  | 0.11  | 0.16  | 0.00  | 3.09   |
| 1981 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2.06 | 3.17  | 39.87 | 10.21 | 3.88  | 5.10  | 57.18  | 16.96  | 8.45  | 12.94 | 9.35  | 2.55  | 171.71 |
| 1981 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.54  | 0.06  | 0.01  | 0.04  | 10.24  | 0.80   | 0.04  | 0.05  | 0.05  | 0.00  | 11.84  |
| 1982 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 4.07 | 4.31  | 37.59 | 7.94  | 5.01  | 3.01  | 38.83  | 35.57  | 16.61 | 13.65 | 8.30  | 1.39  | 176.28 |
| 1982 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.37  | 0.04  | 0.05  | 0.02  | 6.16   | 5.41   | 0.31  | 0.07  | 0.04  | 0.00  | 12.47  |
| 1983 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 0.90 | 1.79  | 36.76 | 13.78 | 4.67  | 6.58  | 16.52  | 23.35  | 12.51 | 13.89 | 9.19  | 2.65  | 142.57 |
| 1983 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.21  | 0.11  | 0.02  | 0.24  | 0.75   | 1.65   | 0.33  | 0.12  | 0.06  | 0.00  | 3.48   |
| 1984 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.41 | 0.90  | 23.44 | 13.90 | 16.77 | 16.08 | 39.65  | 46.44  | 16.11 | 13.60 | 9.94  | 4.32  | 202.57 |
| 1984 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.21  | 0.19  | 6.55  | 0.31  | 22.40  | 3.74   | 0.12  | 0.05  | 0.03  | 0.00  | 33.60  |
| 1985 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.38 | 2.89  | 22.25 | 10.84 | 11.42 | 4.60  | 15.88  | 181.11 | 31.22 | 21.48 | 11.87 | 1.20  | 316.13 |
| 1985 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.14  | 0.09  | 0.10  | 0.05  | 7.26   | 68.77  | 0.24  | 0.08  | 0.04  | 0.00  | 76.75  |
| 1986 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.58 | 1.80  | 47.89 | 24.02 | 7.96  | 17.77 | 10.55  | 10.56  | 9.55  | 11.31 | 8.87  | 2.18  | 154.04 |
| 1986 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.18  | 0.15  | 0.02  | 0.39  | 0.45   | 0.11   | 0.04  | 0.04  | 0.02  | 0.00  | 1.38   |
| 1987 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2.79 | 3.94  | 21.13 | 12.45 | 3.29  | 8.30  | 7.77   | 28.55  | 8.86  | 8.46  | 8.46  | 1.27  | 115.26 |
| 1987 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.08  | 0.04  | 0.00  | 0.09  | 1.07   | 2.17   | 0.04  | 0.02  | 0.02  | 0.00  | 3.54   |
| 1988 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2.44 | 2.95  | 21.34 | 13.26 | 14.61 | 8.04  | 46.36  | 59.68  | 22.86 | 19.17 | 11.88 | 3.76  | 226.34 |
| 1988 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.28  | 0.14  | 0.35  | 0.36  | 7.20   | 17.15  | 0.50  | 0.14  | 0.09  | 0.00  | 26.21  |
| 1989 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.51 | 1.16  | 25.77 | 13.34 | 5.04  | 6.86  | 43.67  | 24.10  | 9.77  | 9.64  | 6.15  | 4.81  | 151.81 |
| 1989 | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.01  | 0.05  | 0.01  | 0.03  | 29.34  | 1.24   | 0.03  | 0.01  | 0.00  | 0.00  | 30.73  |
| 平均   | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.08 | 4.78  | 33.86 | 15.73 | 7.96  | 7.09  | 30.47  | 58.76  | 21.39 | 18.02 | 12.93 | 5.01  | 226.64 |
| 平均   | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00  | 0.31  | 0.17  | 0.42  | 0.38  | 7.73   | 18.42  | 0.53  | 0.17  | 0.11  | 0.00  | 26.19  |

表2.2.2 神木における月別流量・浮遊土砂量 (1958~1989)

神木(1958~1989)

| 年    | 流量<br>浮遊土砂量                    | 1月    | 2月    | 3月     | 4月    | 5月    | 6月    | 7月     | 8月     | 9月     | 10月   | 11月   | 12月   | 合計     |
|------|--------------------------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| 1958 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 7.26  | 12.04 | 44.85  | 23.94 | 14.30 | 11.58 | 153.43 | 99.32  | 44.49  | 33.16 | 30.07 | 21.85 | 496.29 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00  | 0.01  | 0.39   | 0.30  | 0.17  | 0.59  | 58.37  | 9.23   | 1.33   | 0.34  | 0.27  | 0.07  | 71.07  |
| 1959 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 8.60  | 19.59 | 74.47  | 22.80 | 12.65 | 23.04 | 141.03 | 453.91 | 69.47  | 50.51 | 40.81 | 29.49 | 946.35 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.02  | 0.01  | 0.98   | 0.19  | 0.10  | 1.61  | 61.28  | 101.48 | 1.95   | 0.36  | 0.20  | 0.06  | 168.23 |
| 1960 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 21.55 | 43.73 | 73.53  | 38.11 | 17.87 | 10.21 | 32.74  | 51.85  | 72.06  | 49.34 | 30.50 | 14.25 | 455.75 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.03  | 1.11   | 0.41  | 0.10  | 0.12  | 2.96   | 3.38   | 4.53   | 0.49  | 0.17  | 0.03  | 13.31  |
| 1961 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 9.58  | 18.69 | 88.27  | 40.77 | 12.32 | 15.58 | 230.26 | 222.70 | 131.41 | 88.97 | 62.50 | 31.06 | 952.11 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.70   | 0.34  | 0.35  | 1.60  | 26.02  | 35.23  | 2.30   | 0.35  | 0.25  | 0.04  | 67.21  |
| 1962 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 19.38 | 36.13 | 92.64  | 46.44 | 26.24 | 26.51 | 66.57  | 25.08  | 25.35  | 34.46 | 36.59 | 20.82 | 456.20 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.02  | 0.02  | 0.83   | 0.62  | 0.35  | 1.38  | 9.71   | 0.55   | 0.65   | 0.35  | 0.42  | 0.02  | 14.92  |
| 1963 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 14.21 | 13.64 | 78.43  | 36.30 | 37.93 | 31.69 | 69.59  | 50.47  | 24.78  | 25.69 | 21.74 | 14.41 | 418.87 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.00  | 0.96   | 0.38  | 0.35  | 7.33  | 20.98  | 8.25   | 0.81   | 0.21  | 0.14  | 0.01  | 39.43  |
| 1964 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 11.37 | 10.65 | 71.17  | 54.51 | 37.00 | 19.71 | 41.60  | 172.50 | 56.82  | 59.36 | 41.20 | 16.09 | 591.94 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.01  | 0.88   | 1.03  | 1.16  | 1.33  | 3.40   | 43.60  | 1.88   | 0.97  | 0.46  | 0.05  | 54.77  |
| 1965 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 16.67 | 26.43 | 72.05  | 41.97 | 12.48 | 6.12  | 14.08  | 10.75  | 11.45  | 16.69 | 15.46 | 9.07  | 253.21 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.02  | 0.08  | 0.81   | 0.54  | 0.08  | 0.07  | 1.34   | 1.87   | 0.06   | 0.09  | 0.11  | 0.01  | 5.08   |
| 1966 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 8.92  | 21.69 | 60.23  | 23.46 | 12.52 | 15.63 | 149.78 | 142.42 | 27.95  | 29.40 | 20.56 | 11.39 | 523.94 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.67   | 0.22  | 0.16  | 4.71  | 89.38  | 76.94  | 0.07   | 0.12  | 0.04  | 0.01  | 172.36 |
| 1967 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 6.22  | 7.45  | 70.37  | 26.87 | 22.45 | 5.04  | 89.38  | 362.25 | 151.88 | 61.00 | 52.67 | 16.11 | 871.68 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00  | 0.00  | 0.51   | 0.12  | 0.69  | 0.20  | 14.44  | 79.74  | 15.86  | 0.79  | 0.52  | 0.02  | 112.88 |
| 1968 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 13.52 | 15.10 | 108.62 | 43.77 | 19.00 | 8.00  | 66.96  | 143.18 | 65.40  | 67.64 | 38.17 | 37.85 | 627.22 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.70   | 0.34  | 0.35  | 1.60  | 26.02  | 35.23  | 2.30   | 0.35  | 0.25  | 0.04  | 67.21  |
| 1969 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 15.55 | 15.47 | 93.17  | 38.06 | 18.00 | 8.30  | 85.05  | 101.10 | 48.38  | 50.41 | 29.37 | 12.11 | 514.99 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00  | 0.00  | 0.66   | 0.29  | 0.40  | 0.26  | 15.16  | 16.44  | 2.00   | 0.77  | 0.21  | 0.02  | 36.21  |
| 1970 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 16.11 | 32.84 | 64.15  | 50.92 | 24.81 | 22.29 | 29.72  | 249.41 | 39.19  | 39.61 | 35.78 | 22.18 | 627.02 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.61   | 0.67  | 0.25  | 0.62  | 6.52   | 102.73 | 0.12   | 0.18  | 0.15  | 0.02  | 111.90 |
| 1971 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 20.89 | 20.75 | 86.19  | 42.26 | 16.02 | 21.17 | 228.92 | 59.37  | 70.69  | 42.63 | 39.41 | 22.66 | 670.97 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.01  | 0.43   | 0.37  | 0.09  | 2.02  | 88.59  | 5.82   | 3.00   | 0.28  | 0.47  | 0.07  | 101.17 |
| 1972 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 19.47 | 21.10 | 92.12  | 33.87 | 16.00 | 13.40 | 84.43  | 27.71  | 23.88  | 23.09 | 19.77 | 15.47 | 390.31 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.02  | 0.03  | 1.30   | 0.29  | 0.22  | 2.47  | 52.56  | 0.63   | 0.43   | 0.10  | 0.13  | 0.02  | 58.18  |
| 1973 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 13.80 | 21.63 | 60.64  | 13.77 | 4.94  | 6.73  | 60.02  | 146.23 | 108.66 | 76.89 | 38.73 | 22.07 | 574.12 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.04  | 0.64   | 0.05  | 0.02  | 0.41  | 13.17  | 34.57  | 8.01   | 0.90  | 0.25  | 0.04  | 58.11  |
| 1974 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 12.79 | 14.01 | 56.18  | 36.44 | 15.76 | 3.92  | 91.02  | 20.98  | 22.75  | 20.24 | 26.11 | 9.65  | 329.84 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.39   | 0.40  | 0.20  | 0.05  | 27.02  | 0.96   | 0.40   | 0.14  | 0.22  | 0.03  | 29.84  |
| 1975 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 10.92 | 13.60 | 58.60  | 18.63 | 7.69  | 8.05  | 17.08  | 62.07  | 50.46  | 44.86 | 31.16 | 12.56 | 335.69 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.01  | 0.69   | 0.16  | 0.04  | 0.74  | 5.35   | 21.58  | 3.18   | 1.05  | 0.50  | 0.02  | 33.32  |
| 1976 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 11.20 | 20.24 | 48.49  | 35.82 | 3.75  | 6.44  | 103.82 | 339.72 | 61.24  | 38.55 | 20.83 | 14.77 | 704.88 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.52   | 0.45  | 0.01  | 0.24  | 51.69  | 135.53 | 2.82   | 0.31  | 0.09  | 0.03  | 191.71 |
| 1977 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 8.11  | 6.80  | 73.61  | 33.28 | 13.89 | 29.83 | 36.73  | 229.88 | 58.92  | 40.49 | 34.37 | 26.24 | 592.13 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00  | 0.01  | 0.66   | 0.37  | 0.15  | 7.25  | 6.96   | 67.62  | 1.20   | 0.37  | 0.24  | 0.10  | 84.93  |
| 1978 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 13.26 | 16.42 | 89.11  | 27.32 | 21.05 | 11.43 | 43.00  | 211.33 | 133.34 | 60.83 | 43.86 | 29.18 | 700.14 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00  | 0.01  | 0.80   | 0.26  | 1.28  | 0.14  | 8.91   | 66.97  | 3.71   | 0.39  | 0.25  | 0.05  | 82.78  |
| 1979 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 25.56 | 35.03 | 81.87  | 38.03 | 10.83 | 17.27 | 119.71 | 328.19 | 65.07  | 62.72 | 32.60 | 29.40 | 846.29 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.02  | 0.02  | 0.41   | 0.21  | 0.04  | 0.33  | 19.01  | 75.85  | 1.70   | 0.56  | 0.22  | 0.14  | 98.52  |
| 1980 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 17.69 | 23.05 | 83.15  | 43.96 | 17.88 | 23.41 | 20.29  | 43.83  | 33.44  | 26.66 | 26.95 | 11.01 | 371.31 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.01  | 0.96   | 0.74  | 0.13  | 0.49  | 2.03   | 5.70   | 1.12   | 0.28  | 0.25  | 0.04  | 11.76  |
| 1981 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 10.77 | 15.17 | 79.42  | 16.91 | 3.73  | 8.46  | 138.26 | 44.28  | 18.14  | 30.02 | 23.60 | 11.03 | 399.81 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 1.27   | 0.12  | 0.01  | 0.56  | 38.83  | 3.99   | 0.09   | 0.21  | 0.25  | 0.04  | 45.41  |
| 1982 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 10.01 | 17.95 | 62.66  | 18.65 | 9.57  | 3.67  | 105.00 | 72.31  | 36.89  | 34.90 | 25.82 | 11.62 | 409.04 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.05  | 0.92   | 0.10  | 0.16  | 0.02  | 23.24  | 4.19   | 1.47   | 0.32  | 0.02  | 0.04  | 30.53  |
| 1983 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 9.37  | 11.24 | 65.63  | 35.48 | 13.53 | 13.06 | 30.87  | 60.13  | 22.66  | 26.51 | 21.18 | 12.88 | 322.58 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.81   | 0.48  | 0.50  | 0.62  | 3.28   | 15.49  | 1.68   | 0.21  | 0.12  | 0.04  | 23.25  |
| 1984 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 7.85  | 7.02  | 54.57  | 30.53 | 27.87 | 35.18 | 78.86  | 133.20 | 43.64  | 32.06 | 28.62 | 14.72 | 494.12 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.52   | 0.38  | 2.29  | 2.48  | 39.23  | 13.71  | 1.40   | 0.14  | 0.25  | 0.04  | 60.47  |
| 1985 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 10.32 | 13.94 | 56.18  | 29.49 | 18.48 | 9.76  | 22.95  | 283.62 | 70.10  | 41.45 | 34.64 | 10.74 | 601.66 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.58   | 0.19  | 0.45  | 0.81  | 7.61   | 97.23  | 0.67   | 0.14  | 0.25  | 0.04  | 107.99 |
| 1986 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 10.68 | 11.44 | 90.50  | 50.87 | 15.49 | 43.58 | 25.19  | 18.86  | 16.21  | 23.60 | 22.32 | 7.97  | 336.72 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.45   | 0.39  | 0.07  | 2.98  | 6.77   | 1.40   | 0.12   | 0.09  | 0.25  | 0.04  | 12.59  |
| 1987 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 7.76  | 19.06 | 60.68  | 19.90 | 4.66  | 27.55 | 40.83  | 70.70  | 17.18  | 18.57 | 24.67 | 8.01  | 319.56 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.50   | 0.11  | 0.01  | 2.58  | 9.78   | 14.76  | 0.16   | 0.08  | 0.25  | 0.04  | 28.28  |
| 1988 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 11.31 | 11.52 | 56.86  | 25.70 | 23.85 | 24.67 | 99.72  | 199.22 | 64.57  | 25.62 | 26.45 | 14.01 | 583.49 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.34   | 0.22  | 0.91  | 5.24  | 28.08  | 44.80  | 7.50   | 0.07  | 0.25  | 0.04  | 87.47  |
| 1989 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 14.60 | 14.23 | 56.37  | 28.68 | 6.49  | 20.12 | 156.91 | 30.30  | 26.13  | 27.55 | 23.73 | 18.51 | 423.60 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.45   | 0.17  | 0.01  | 0.27  | 64.92  | 1.98   | 0.96   | 0.16  | 0.25  | 0.04  | 69.23  |
| 平均   | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 12.98 | 18.36 | 72.02  | 33.36 | 16.22 | 16.61 | 83.56  | 139.59 | 53.52  | 40.73 | 31.26 | 17.47 | 535.68 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.01  | 0.02  | 0.70   | 0.34  | 0.35  | 1.60  | 26.02  | 35.23  | 2.30   | 0.35  | 0.24  | 0.04  | 67.19  |

表2.2.3 王道恒塔における月別流量・浮遊土砂量 (1990~1997)

王道恒塔 (1990~1997)

| 年    | 流量<br>浮遊土砂量                    | 1月   | 2月                             | 3月    | 4月    | 5月    | 6月    | 7月    | 8月    | 9月    | 10月   | 11月   | 12月  | 合計     |
|------|--------------------------------|------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|
|      |                                | 1990 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.69  | 5.64  | 34.99 | 12.26 | 4.24  | 2.59  | 35.89 | 14.95 | 23.47 | 7.94 |        |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.09  | 0.05  | 0.01  | 0.00  | 1.05  | 2.85  | 0.93  | 0.02  | 0.00  | 0.00 | 4.99   |
| 1991 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 4.07 | 3.97                           | 24.87 | 13.80 | 8.24  | 17.08 | 51.30 | 4.53  | 1.53  | 2.86  | 4.31  | 4.01 | 140.58 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.09  | 0.06  | 0.02  | 0.95  | 12.96 | 0.02  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00 | 14.09  |
| 1992 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 1.82 | 1.62                           | 14.40 | 6.20  | 5.63  | 4.42  | 36.61 | 89.48 | 16.36 | 8.85  | 10.97 | 8.04 | 204.40 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.04  | 0.01  | 0.01  | 0.00  | 2.98  | 41.59 | 0.05  | 0.01  | 0.01  | 0.00 | 44.70  |
| 1993 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.46 | 7.91                           | 31.82 | 4.72  | 2.62  | 1.67  | 5.10  | 5.28  | 2.56  | 6.50  | 4.27  | 3.93 | 79.85  |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.07  | 0.01  | 0.00  | 0.00  | 0.10  | 0.02  | 0.01  | 0.02  | 0.01  | 0.00 | 0.23   |
| 1994 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 2.97 | 3.11                           | 15.56 | 3.03  | 2.21  | 3.91  | 51.18 | 93.18 | 12.91 | 11.46 | 8.79  | 4.12 | 212.44 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.04  | 0.01  | 0.00  | 0.01  | 22.23 | 27.01 | 0.04  | 0.01  | 0.00  | 0.00 | 49.36  |
| 1995 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 4.75 | 7.62                           | 25.84 | 4.93  | 2.80  | 2.03  | 16.59 | 21.01 | 22.74 | 13.09 | 6.49  | 1.19 | 129.07 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.06  | 0.01  | 0.00  | 0.00  | 0.30  | 0.34  | 0.27  | 0.05  | 0.01  | 0.00 | 1.04   |
| 1996 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.36 | 3.14                           | 24.18 | 10.32 | 2.46  | 3.73  | 36.39 | 74.88 | 6.51  | 8.80  | 4.99  | 4.08 | 182.83 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.05  | 0.06  | 0.00  | 0.00  | 10.45 | 27.63 | 0.01  | 0.01  | 0.00  | 0.00 | 38.21  |
| 1997 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 4.68 | 4.01                           | 18.41 | 14.08 | 12.52 | 5.29  | 8.83  | 6.54  | 2.98  | 5.39  | 4.20  | 2.06 | 88.99  |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.04  | 0.03  | 0.02  | 0.01  | 0.37  | 0.04  | 0.00  | 0.01  | 0.01  | 0.00 | 0.54   |
| 平均   | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 3.60 | 4.63                           | 23.76 | 8.67  | 5.09  | 5.09  | 30.24 | 38.73 | 11.13 | 8.11  | 6.24  | 3.75 | 149.03 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.06  | 0.03  | 0.01  | 0.12  | 6.30  | 12.44 | 0.16  | 0.02  | 0.01  | 0.00 | 19.14  |
| 総平均  | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 6.68 | 9.41                           | 57.62 | 24.40 | 13.06 | 12.19 | 60.70 | 97.49 | 32.52 | 26.13 | 19.17 | 8.76 | 209.86 |
|      | 10 <sup>6</sup> ton            | 0.00 | 0.00                           | 0.37  | 0.20  | 0.43  | 0.51  | 14.04 | 30.86 | 0.70  | 0.18  | 0.12  | 0.00 | 24.67  |

表2.2.4 転龍湾における月別流量・浮遊土砂量 (1998)

転龍湾 (1998)

| 年 | 流量<br>浮遊土砂量         | 1月   | 2月                             | 3月   | 4月   | 5月   | 6月   | 7月   | 8月   | 9月    | 10月  | 11月  | 12月  | 合計   |
|---|---------------------|------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
|   |                     | 1998 | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | 0.00 | 0.31 | 4.98 | 2.47 | 2.76 | 1.51 | 32.73 | 3.29 | 1.30 | 0.67 |      |
|   | 10 <sup>6</sup> ton | 0.00 | 0.00                           | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.09 | 3.23 | 0.09 | 0.01  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 3.52 |



## 2.3 流域の土砂生産状況の把握

### 2.3.1 調査概要

#### (1) 調査目的

転流湾ダム(dam)貯水池の堆砂対策としては、当地の状況を勘案すると、貯水池上流後背地における緑化・植林による土壌保全の他に、貯砂/砂防ダム(dam)の設置が考えられ、現在計画検討が行われている。ダム設置の検討に当たっては、上流域の地表・地形データを解析し、土砂生産の激しい上流支川を把握し、貯砂ダム・砂防ダムの適切な配置と、その効果を定量的に把握する必要がある。

本調査は、衛星リモートセンシング(remote sensing)とGISを活用し、流域の土地被覆を把握し、土砂生産可能性の評価を行った。

#### (2) 調査対象範囲

本調査の対象範囲は、黄河中流域の支流である烏蘭木倫川のうち転流湾ダムサイト(dam site)の上流域(流域面積:約1500km<sup>2</sup>)とする。なお、解析対象範囲は、衛星画像の購入単位である全域画像範囲(180km四方)に含まれる地域である。

### 2.3.2 土砂生産可能性評価手順

図2.3.1に、流域の土砂生産可能性評価の手順を示す。

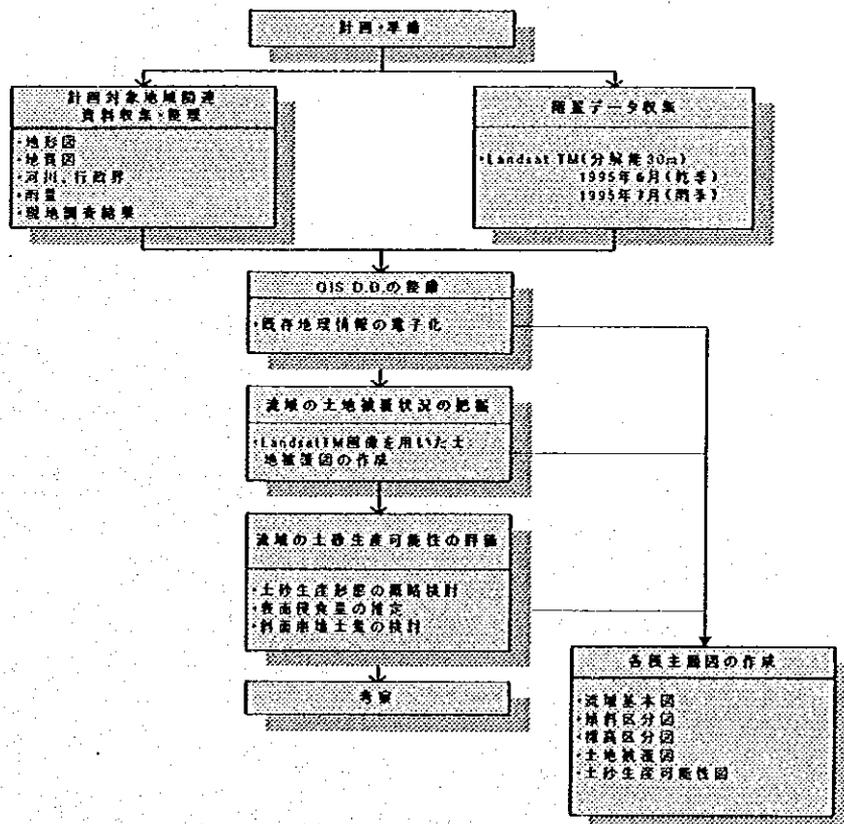


図 2.3.1 衛星画像解析手順

### 2.3.3 GIS D.B.の整備

#### (1)衛星画像の取得

一般に、リモートセンシングによる流域土地被覆状況の把握や土砂生産域の把握を行う場合、広範囲な地域を面的に把握する必要があり、衛星リモートセンシング技術は非常に有効な手法である。

そこで、本調査では、流域の土砂生産状況の把握を行う手法として衛星リモートセンシング技術を導入し、センサ(sensor)の特性、画像解像度、撮影時期、雲量、画質等を勘案して最適な画像を入手し、画像解析を実施した。

表 2.3.1 に、取得した衛星画像の一覧を示す。

表 2.3.1 解析使用画像の一覧

| 衛星      | センサ(sensor) | Path | Row | 観測日        | 雲量 (%) |
|---------|-------------|------|-----|------------|--------|
| Landsat | TM          | 127  | 32  | 1995年6月8日  | 10%    |
| Landsat | TM          | 127  | 32  | 1995年7月26日 | 10%    |

図 2.3.2～図 2.3.5 に、取得した衛星画像のフォールスカラー(false color)画像を示す。

なお、フォールスカラー画像とは、Landsat 画像の Band4(近赤外)、Band3(赤)、Band2(緑)の観測波長帯で構成される画像であり、植生の活力度の高い地域が赤色で表示され、植生がない地域は青色で表示される特徴を持つ。

(2) GIS D.B.の構築

流域の生産土砂量を推定する目的で、表 2.3.2 に示す資料を収集・整理し、GIS D.B.に蓄積した。

表 2.3.2 整備GISデータ(data)

| 情報項目        | 形式 | 縮尺        | 備考                  |
|-------------|----|-----------|---------------------|
| 等高線         | 線  | 1:50,000  | 転龍湾上流流域、等高線間隔：10m   |
|             | 線  | 1:200,000 | 王道恒塔上流流域、等高線間隔：100m |
| 河川          | 線  | 1:50,000  | 転龍湾上流流域             |
|             | 線  | 1:200,000 | 王道恒塔上流流域            |
| 道路          | 線  | 1:50,000  | 王道恒塔上流流域            |
| 流域界         | 面  | -         | 王道恒塔上流流域            |
| 砂防ダム(dam)位置 | 点  | -         | 転龍湾上流流域、既・未設置とも     |
| 水文観測所       | 点  | -         | 転龍湾上流流域、10箇所        |
| 地名          | 文字 | 1:50,000  | 主要地名、河川名称           |

座標系 : Krasovski  
UTM Zone:49

図 2.3.6 に、調査対象範囲の流域基本図（等高線、河川、砂防ダム(dam)位置、水文観測所位置、流域界）を示す。

### 2.3.4 流域の土地被覆状況の把握

一般に、河川に流入する土砂量とその後背流域の土地被覆とは密接な関係があると言われており、流域の土砂生産可能性の評価を検討する場合、地表面の土地被覆状況の把握を行う必要がある。

本項では、2時期の衛星画像を用いて流域の土地被覆状況の把握を行った。

#### (1) 土地被覆図作成手順

本調査では、1995年6月（乾季）と1995年7月（乾季明け直後）の2時期の衛星画像を用いて、転龍湾上流域の土地被覆図を作成した。

土地被覆図の作成手順を、図2.3.7に示す。

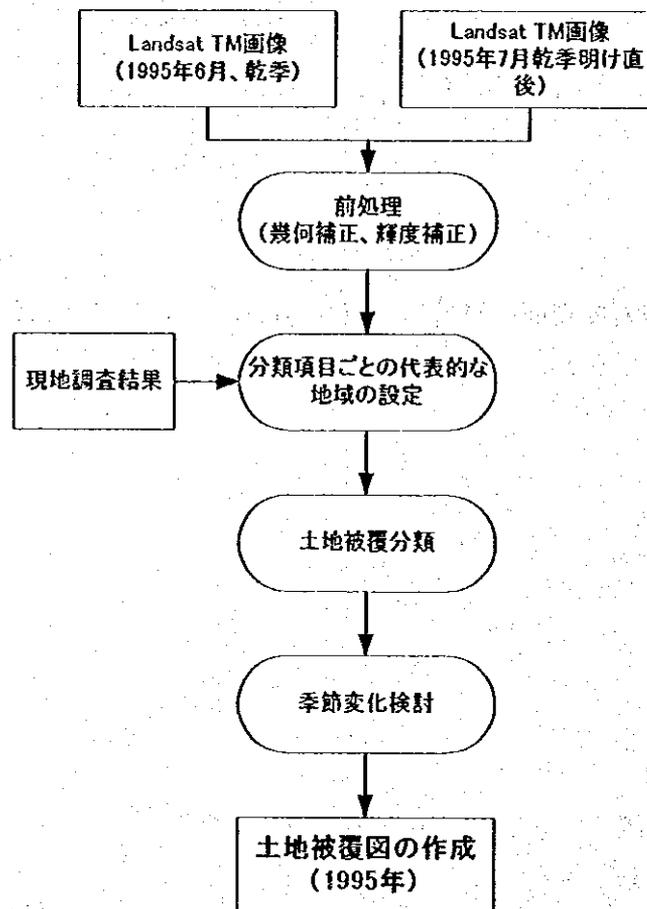


図 2.3.7 土地被覆図作成手順

## (2) 分類項目の選定

始めに一次分類として、分類項目をトゥルーカラー(true color)画像、フォールスカラー(false color)画像、NDVI(正規化植生指標)画像、地形図(図面)より比較検討し、以下の8項目とした。

### 分類項目：

低木林、草地、畑地、少植生域、裸地・崩壊地、市街地、河川・湖沼、湿地植生

図 2.3.8(a)～図 2.3.8(g)に、各土地被覆項目の代表的な現地写真を示す。

現地調査結果を検討すると、当地上流部の荒廃地の特性は、図 2.3.8(f)の現地写真に示すように流域上流部の溪流の側面部では切り立った崖が分布しており、支流流路に沿って多くの斜面崩壊が見られ、当地の主要な土砂生産源となっている。よって、流域の土砂生産量は、崖の深さや支流の密度により強く影響を受けると考えられる。

また、衛星画像と現地調査結果を比較検討した場合、裸地・崩壊地として分類された地域で衛星画像の輝度が低い地域は総じて崖の深い地域である。

よって、衛星画像分類の際に、裸地・崩壊地を輝度により3段階に区分し、分類項目は、以下の10項目と設定した。

### 分類項目：

低木林、畑地、少植生域、裸地・崩壊地(輝度：低)、裸地・崩壊地(輝度：中)、裸地・崩壊地(輝度：高)、市街地、河川・湖沼、湿地植生、草地

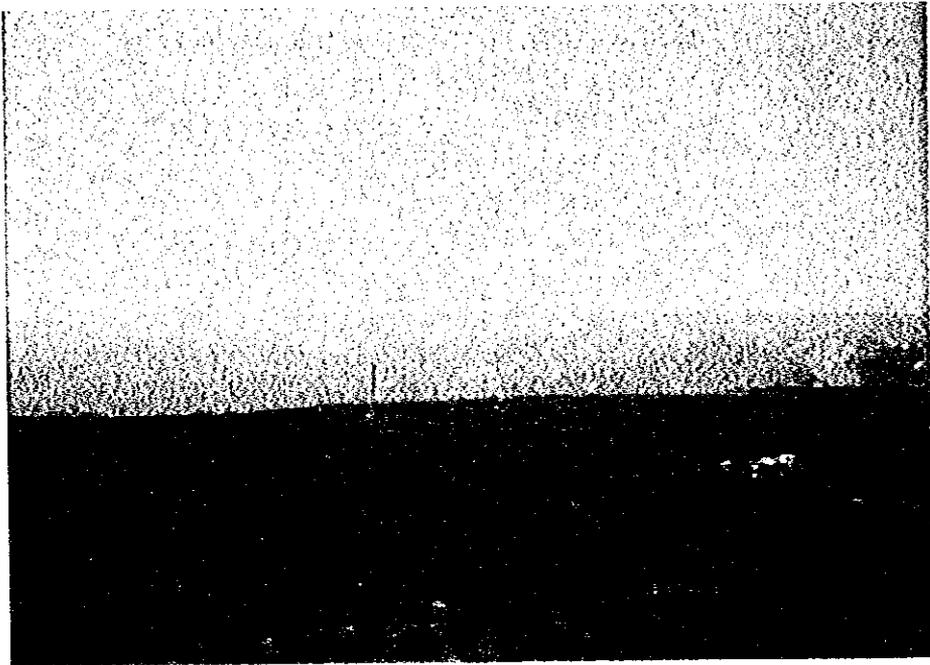


图 2.3.8(a) 現地状况写真 (低木林)



图 2.3.8(b) 現地状况写真 (畑地)

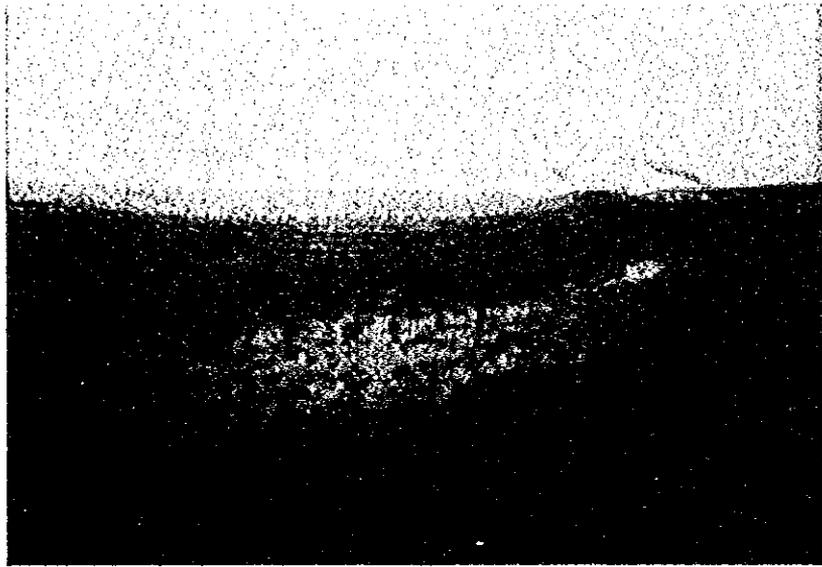


图 2.3.8(c) 現地状況写真 (少植生域)

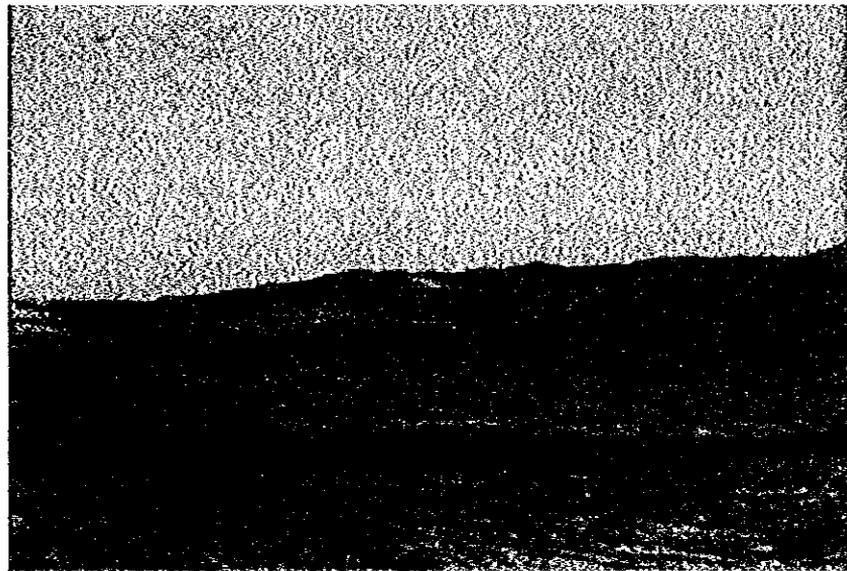


图 2.3.8(d) 現地状況写真 (水域及び湿地植生)

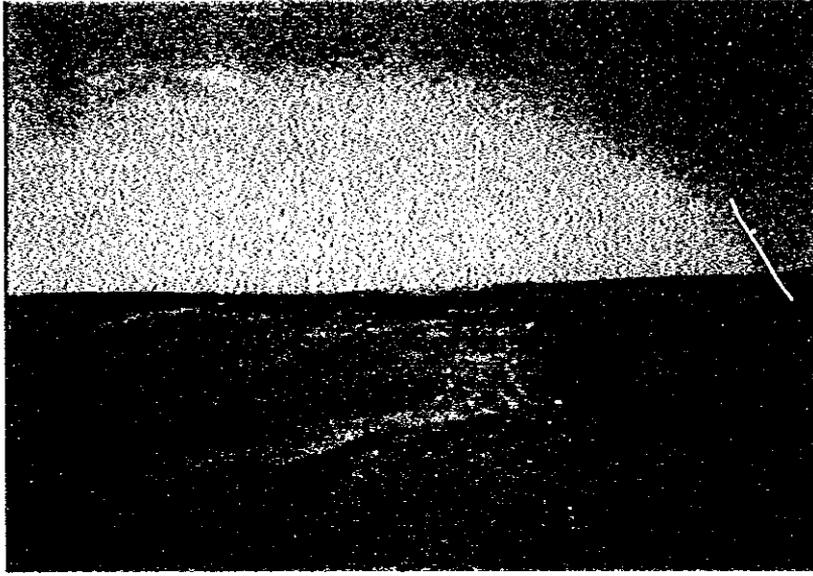


図 2.3.8(c) 現地状況写真 (裸地)

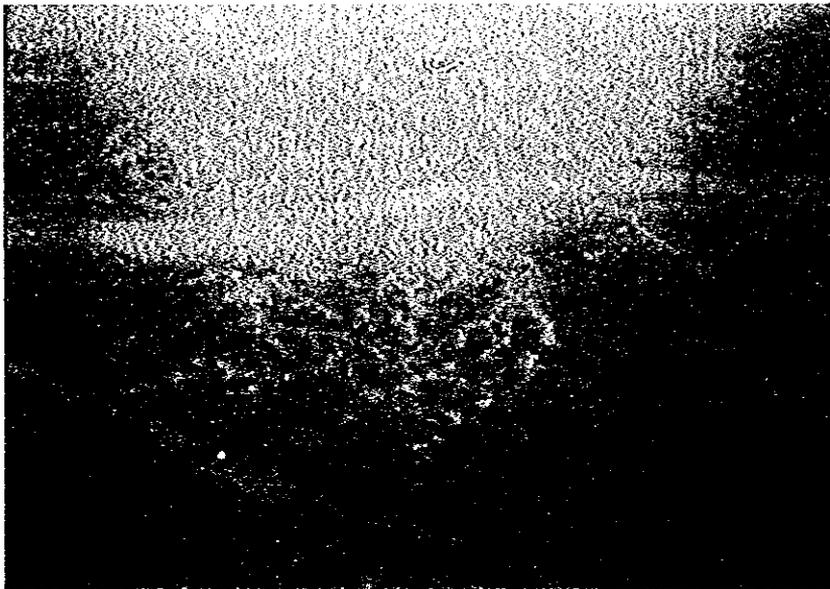


図 2.3.8(f) 現地状況写真 (裸地：西安～包頭上空より撮影)



図 2.3.8(g) 現地状況写真 (市街地)

(3) 土地被覆分類図の作成

1995年6月と1995年7月の2時期の衛星画像を用いて、土地被覆分類を実施した。

なお、上記2時期の土地被覆分類結果は、衛星観測時点(1995年6月8日、1995年7月26日時点)での地表面の被覆状況を表現したものである。したがって、たとえば畑地や水田のように人為的な側面が強い土地被覆項目の場合は、収穫前は植生が繁茂した状況であるものが、収穫後では裸地の状況を呈するように、収穫時期により土地の被覆状況が大きく変化する。

そこで本調査では、6月(乾季)、7月(乾季明け直後)の2時期における各分類項目の土地被覆変化状況を推定し、1995年の土地被覆図を作成した。

図 2.3.9 に、衛星画像より作成した土地被覆分類図を、表 2.3.3 に流域ごとの集計結果を示す。

表 2.3.3 土地被覆分類集計結果

|         | 流域面積     | 低木林                | 畑地                 | 少植生域               | 湿地植生               | 草地                 | 裸地・崩壊地<br>(精度:低)   | 裸地・崩壊地<br>(精度:中)   | 裸地・崩壊地<br>(精度:高)   | 市街地                | 河川・湖沼              |
|---------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|         |          | (km <sup>2</sup> ) |
| a1      | 391.463  | 24.775             | 25.011             | 74.185             | 0.103              | 0.671              | 47.166             | 125.213            | 88.384             | 0.000              | 5.954              |
|         | 面積率      | 6.3%               | 6.4%               | 19.0%              | 0.0%               | 0.2%               | 12.0%              | 32.0%              | 22.6%              | 0.0%               | 1.5%               |
| a2      | 333.893  | 55.388             | 37.922             | 65.520             | 0.267              | 0.837              | 22.990             | 50.603             | 94.893             | 0.043              | 5.429              |
|         | 面積率      | 16.6%              | 11.4%              | 19.6%              | 0.1%               | 0.3%               | 6.9%               | 15.2%              | 28.4%              | 0.0%               | 1.6%               |
| a3      | 161.545  | 14.454             | 16.252             | 39.612             | 0.092              | 0.412              | 16.888             | 33.037             | 32.718             | 0.000              | 3.083              |
|         | 面積率      | 8.9%               | 10.1%              | 24.5%              | 0.1%               | 0.3%               | 10.5%              | 23.5%              | 20.3%              | 0.0%               | 1.9%               |
| a4      | 446.823  | 27.497             | 44.745             | 112.796            | 0.544              | 4.368              | 69.812             | 80.638             | 83.198             | 7.197              | 11.028             |
|         | 面積率      | 6.2%               | 10.0%              | 25.2%              | 0.1%               | 1.0%               | 15.6%              | 18.0%              | 19.7%              | 1.6%               | 2.5%               |
| a5      | 178.680  | 17.122             | 12.083             | 46.250             | 0.141              | 0.493              | 0.049              | 0.560              | 96.080             | 0.000              | 5.903              |
|         | 面積率      | 9.6%               | 6.8%               | 25.9%              | 0.1%               | 0.3%               | 0.0%               | 0.3%               | 53.8%              | 0.0%               | 3.3%               |
| 乾季本流域全体 | 1512.404 | 139.235            | 136.013            | 338.363            | 1.147              | 6.782              | 156.902            | 295.052            | 400.272            | 7.241              | 31.397             |
|         | 面積率      | 9.2%               | 9.0%               | 22.4%              | 0.1%               | 0.4%               | 10.4%              | 19.5%              | 26.5%              | 0.5%               | 2.1%               |

### 2.3.5 流域の土砂生産可能性の評価

#### (1) 土砂生産可能性算出の概念

一般に、斜面崩壊や雨滴による剥離で発生した土砂は、その一部が崖すい性堆積物や崩積土類などの2次堆積物として、新たな緩勾配の地形を形成し、その一部は流域に長い時間をかけて流出することになる。つまり、これらの崩壊や崩壊土砂は、新たに出現した裸地として、侵食や土壌流亡の過程を経て、流出していくことになる。

転龍湾上流域のような流域面積約 1500km<sup>2</sup> の規模をもつ河川での流出土砂量と河床変動についての問題は、河床変動計算や土砂移動数値解析の計算を必要とする。しかし、これらの手法は、多くの流量観測や種々の係数などの検討が必要で、いずれも厳密に再現することは困難に近い。

そこで、本調査では溪流における年間の土砂流出量の考え方を適用する。この考え方は、これらの土砂が定常的に流域に流入し、流水の力により流出するという考え方である。この考え方にに基づき、流域内からの流出土砂量を算定する。

#### (2) 土砂生産可能性評価モデル(model)

土砂生産可能性の算出に当たっては、以下のモデル(model)を使用する。

$$E_{sp} = E_{dem} + E_{gari} \quad \dots\dots\dots (2.3.1)$$

このとき  $E_{sp}$  : 流域生産土砂量

$E_{dem}$  : 表面侵食量

$E_{gari}$  : 斜面崩壊土量

#### (3) 転龍湾上流域での表面侵食量の推定

表面侵食量は、森林、崩壊地、草地などによりその平均的な侵食量を積算し求める方法で、米国山林局がまとめた USLE 式により算出する。

$$E_{dem} = F \times R \times \left(\frac{S}{10}\right)^{0.9} \times \left(\frac{L}{72.6}\right)^{0.35} \times \left(\frac{P}{1.375}\right)^{1.75} \quad \dots\dots\dots (2.3.2)$$

このとき  $E_{dem}$  : 年間侵食量 (inch/year)

F : 基本侵食量 (inch/year)

R : 植生地被係数

S : 勾配 (°)

L : 斜面長 (inch)

P : 2年確率雨量強度 (inch/hour)

今回の解析では、表面侵食量を Landsat の画像と GIS に入力した地形情報により、USLE 式に基づいて算出した。

USLE 式を適用するに当たっての前提条件は以下のとおりである。

1) 土の基本侵食量 F

黄河水利委員会治黄研究組は、黄河中流域における土砂の流出特性について各種の調査を実施しており、調査対象地を含む広域な地域における土砂侵食速度を調査した結果が記載されている。(図 2.3.10)

そこで、土の基本侵食量 (F) については、上記調査により示されている 6000t/year を適用することとした。

なお、USLE 式における F 項は (inch/year) であるため、変換作業として当地における土の基本密度を  $2.5\text{g/cm}^3$  と仮定して、モデル(model)への代入を行った。

その結果、本調査における F 項は、 $2.4\text{mm/year}$  を適用した。

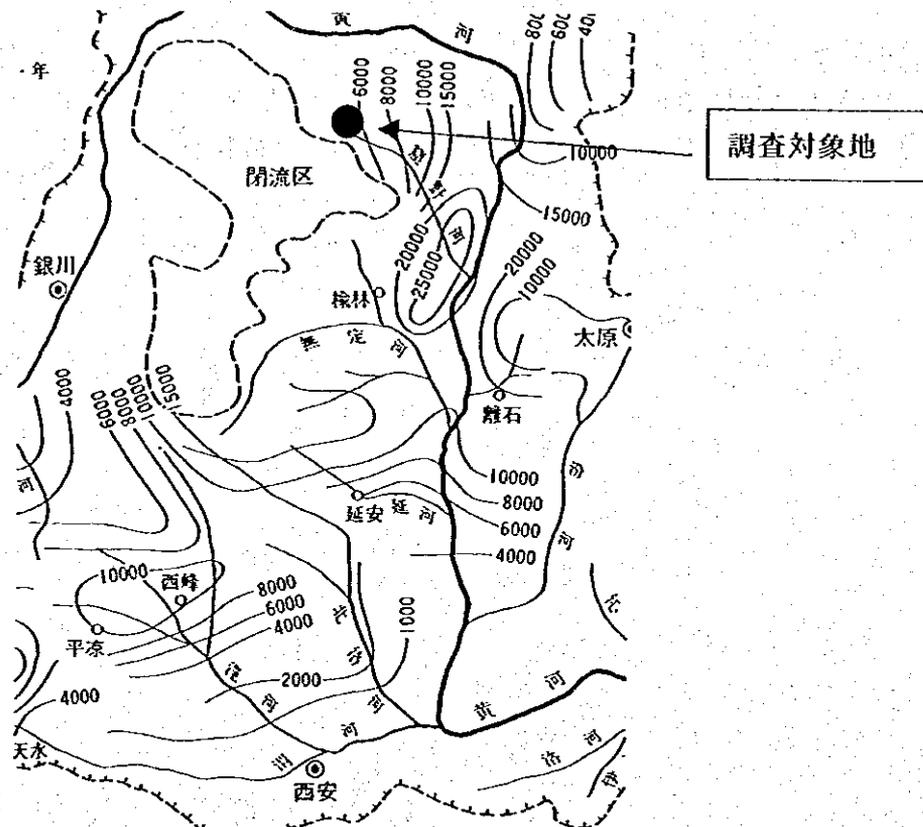


図 2.3.10 黄河中流域における土壌侵食速度

(出典：「黄河の治水と開発」、黄河水利委員会治黄研究組編著、図上の数字の単位は t/year)

### 2) 植生地被係数 R

Morgan は、上記 USLE モデル(model)構築の際に様々な土地被覆上で土壌試験をおこない、地被ごとの係数を設定している。本調査では、衛星画像より作成した土地被覆項目と Morgan が設定した係数表を比較検討し、表 2.3.4 のとおり設定した。

表 2.3.4 土地被覆別植生地被係数

| 土地被覆項目 | 植生地被係数 |
|--------|--------|
| 低木林    | 0.008  |
| 草地     | 0.100  |
| 畑地     | 0.250  |
| 少植生域   | 0.400  |
| 湿地植生   | 0.100  |
| 草地     | 0.100  |
| 裸地・崩壊地 | 1.000  |
| 市街地    | 0.000  |
| 河川・湖沼  | 0.000  |

### 3) 勾配 S

勾配係数 S については、図 2.3.11 に示す手順により設定した。

なお、斜面勾配の格子単位については、Landsat TM 画像と同じ 30 m とした。

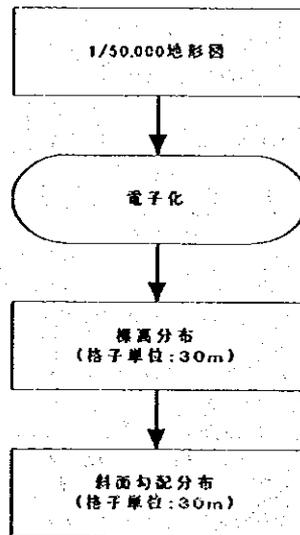


図 2.3.11 斜面勾配算定手順

図 2.3.12 に標高分布を、図 2.3.13 に斜面勾配分布を示す。

4) 斜面長 L

本係数の設定に当たっては、算定根拠が衛星画像や標高分布を含む格子単位で算出するため、格子内の斜面勾配が一定であると仮定して以下の概念により設定した。

斜面長  $L =$  衛星画像の1画素の大きさ (30m) の実質的な斜面長  $30m/\cos(S)$

5) 雨量 P

雨量項 P については、石乞台(転龍湾より 10km 程度下流)に位置する水文観測所で 1998 年に観測された時間単位雨量を入手し算出した。

1998 年の石乞台での最大日雨量は 42.3mm/day であり、このときの最大時間雨量は 17.5mm/hour であった。本調査では、この最大時間雨量(17.5mm/hour)を適用した。

なお、この雨量項(17.5mm/hour)は、ヘイズプロット(Hazen plot)分布図より、2.86 年確率降雨 (65%確率) である。

図 2.3.14 に、USLE 式により算出した土壌侵食分布図を、表 2.3.5 に、集計結果を示す。

表 2.3.5 土壌侵食量 (転龍湾上流域)

| 流域名            | 流域面積<br>(km <sup>2</sup> ) | 1998年<br>( $r=17.5\text{mm/hr}, SP=350\text{万t}$ ) |  |               |
|----------------|----------------------------|--|--|---------------|
|                |                            | 土壌侵食量<br>(m <sup>3</sup> /year)                    | 土壌侵食量<br>(t/year、密度=2.5g/cm <sup>3</sup> ) | 土壌侵食深<br>(mm) |
| a1             | 391                        | 139,685  | 349,213                                    | 0.357         |
| a2             | 334                        | 82,576   | 206,441                                    | 0.247         |
| a3             | 162                        | 44,966   | 112,415                                    | 0.278         |
| a4             | 447                        | 150,713  | 376,783                                    | 0.337         |
| a5             | 179                        | 47,956   | 119,891                                    | 0.268         |
| <b>転龍湾流域全体</b> | <b>1512</b>                | <b>465,897</b>                                     | <b>1,164,744</b>                           | <b>0.308</b>  |

#### (4) 斜面崩壊土量の推定

本項では、支川斜面から風力あるいは雨滴により生産される土砂量についての検討を行う。

図 2.3.15 に、現地調査により得られた支川源頭部での支川模式図を示す。

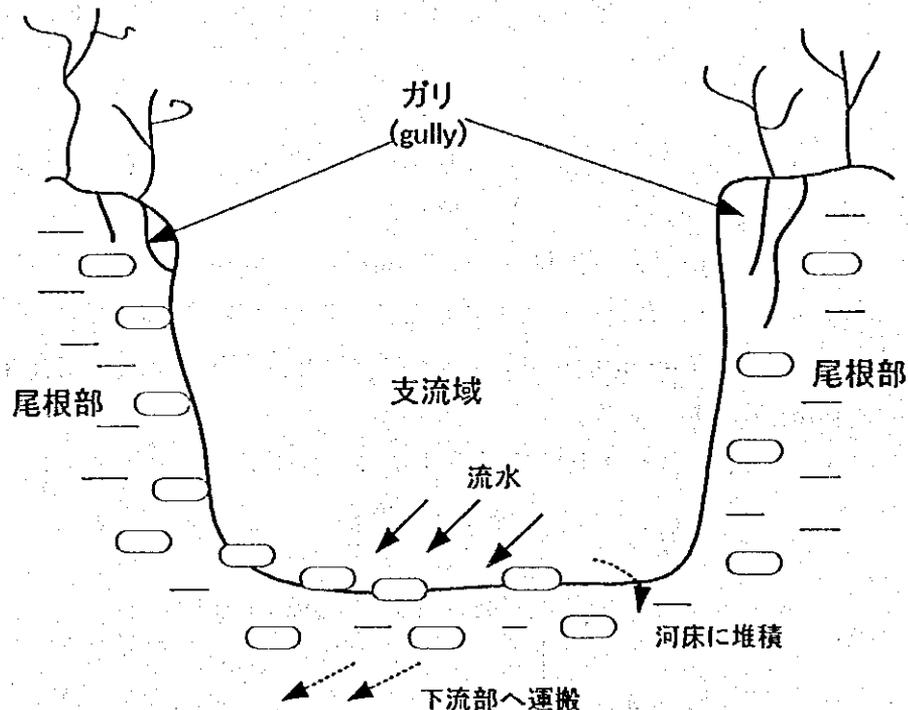


図 2.3.15 現地調査による源頭部支流の状況

短時間に強度の強い降雨が集中した場合での流域の土砂生産の特徴としては、土壌表面の侵食を加速させ、斜面上に地すべり・崩壊を誘発させ、膨大な量の土砂を生産させる。

調査対象流域では、河道の袖部の侵食や斜面に沿って発生した崩壊により、土砂は支流で生産されつづけ、下流部に運搬される特徴をもっている。よって、調査流域の土砂生産量の算定にあたっては、支流が土砂生産量を増加させることは明白であるため、支流の分布密度を反映できるような係数を検討し、土砂量に反映させることが必要である。

現地調査(図 2.3.8(d))によると、支流の大きさは源頭部においては幅が 10~20m 程度である。しかし、衛星画像の分解能は 30m であり、それ以下の大きさである源頭部支流は識別することはできない。

そこで、本調査では、以下に示す手順にて斜面崩壊土量の推定を行う。

- ①輝度別裸地・崩壊地分類結果と、地形図より抽出した支流の密度との関連性を調査し、支流における支川密度係数を算出する。
- ②支川からの土砂生産量算定モデル(model)を構築する。
- ③衛星画像の画素単位での斜面崩壊土量の算定を行う。

図 2.3.16 に、算定モデル(model)の概念図を、図 2.3.17 に、本モデル(model)を使用して算出した斜面崩壊土量分布図を示す。

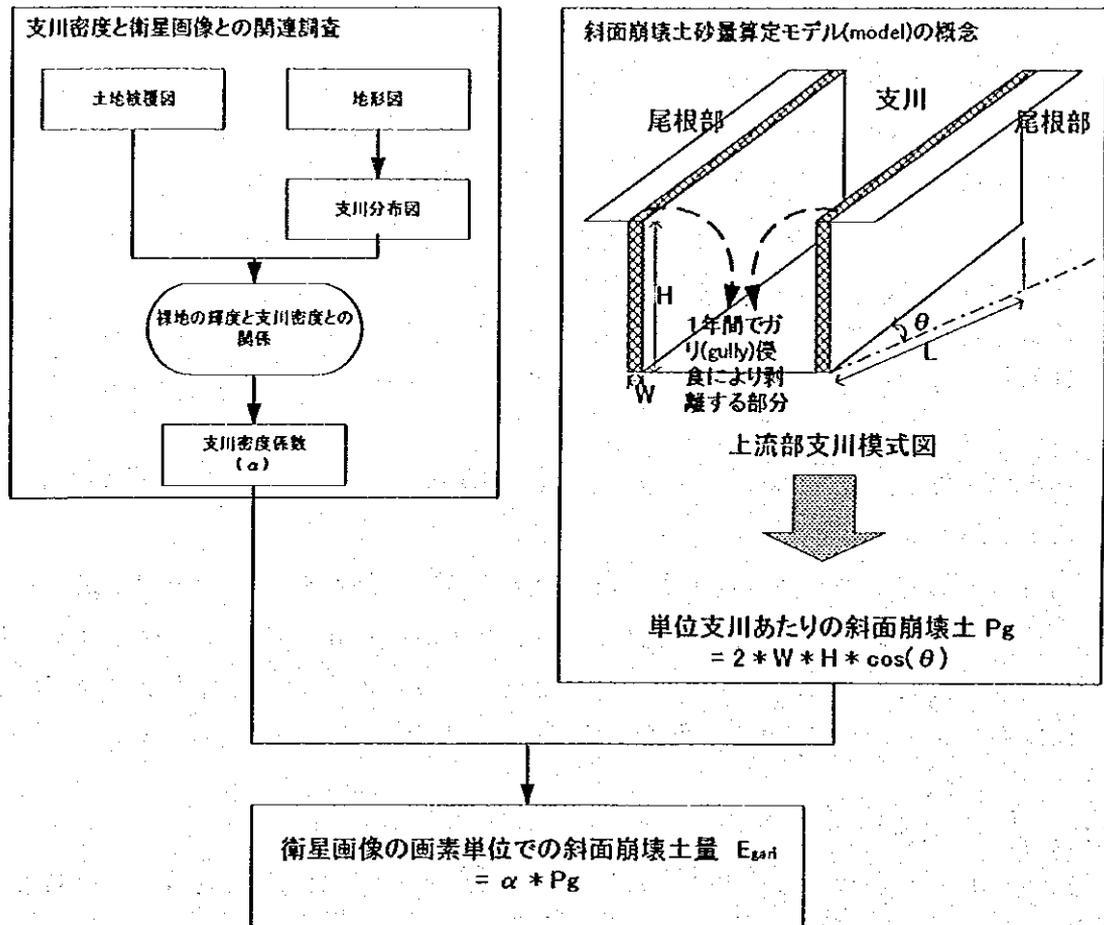


図 2.3.16 衛星画像の画素単位での斜面崩壊土量算定モデル(model)の概念図

### 2.3.6 考察

転龍湾流域の土砂生産の特徴として以下のことがあげられる。

#### (1) 土地被覆状況

- ・ 転龍湾の土地被覆の特徴として、東鳥蘭木倫河、西鳥蘭木倫河の各上流部は支川域でガリ(gully)が発達した裸地、もしくは雑草のような植生の低い地域で構成されており、特に東鳥蘭木倫河上流域では支川密度の高い裸地が広範に分布している。
- ・ 中流部から下流部ではなだらかな丘陵地となっており、そのほとんどが裸地か低草類を中心とした植生の少ない地域となっている。
- ・ 流域に占める裸地の分布面積は、約 850km<sup>2</sup> で転龍湾流域の 55%を占める。さらに、裸地と雑草のような植生の低い地域と合わせると流域の 77%が土砂生産源の分布域であるといえる。
- ・ 低木林面積は、約 139km<sup>2</sup> と流域の 9.2%を占めている。分布域は、a2 流域の鳥蘭木倫河上流部支川域に点在している。
- ・ 調査対象地域では、日本の密生した森林のような土地被覆は現地調査結果より確認することができず、砂柳に代表される低木林が流域に点在する形で植林されている。低木林は、樹冠密度が低い疎な低木林となっている。よって、森林土壌は雨滴による表面侵食を受けやすく、低木林からの土砂生産も比較的多いと考えられる。

#### (2) 土砂生産可能性

- ・ 1998 年の雨量を代入した場合、転龍湾ダム流域全体で 116 万 t/year (土の基本密度を 2.5g/cm<sup>3</sup> として計算) の土砂生産量が見込まれる。なお、この量は流域平均で 0.308mm の侵食量に相当する。
- ・ 転龍湾ダム(dam)流域において土砂生産可能性は、東鳥蘭木倫河上流域の各支川、西鳥蘭木倫河上流～中流域の各支川で、可能性の高い地域となっており、30m格子あたり 2.0mm/year 以上の高い侵食量が見込まれる地域も点在している。
- ・ 土砂生産可能性の高い地域は、ほぼ衛星画像分類で輝度の低い裸地と一致する傾向が見られる。これは、輝度の低い裸地は支川の密度が高く、斜面勾配も急である場合が多いことが原因として考えられる。
- ・ 転龍湾流域の中流部～下流部になだらかに分布している裸地の土砂生産可能性は、侵食量が格子あたり 0.3mm/year 以下と低い地域であり、そこからの土壌流亡はあまり見られない。