

土木研究所資料

八右衛門沢水理模型実験報告書(II)

昭和62年3月

建設省土木研究所
砂防部砂防研究室

Copyright © (1987) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

八右衛門沢水理模型実験報告書(II)

砂防研究室室長 矢澤昭夫
研究員 原 義文
大場 章

要 旨

本資料は、昭和60年度に引き続き八右衛門沢における砂防施設配置計画を検討するために行なわれた水理模型実験と土石流氾濫シミュレーション計算の概要と結果を取りまとめたものである。八右衛門沢は、建設省松本砂防工事事務所管内の上高地地区にあり、土石流扇状地内に砂防施設を計画している。水理模型実験では、過去の土石流氾濫を再現できる水理諸量について再度詳しく検討を行ないスリットダム、床固工と導流堤を組み合わせた施設配置案を提案した。この施設配置案は、自然状態では扇頂部から扇状地全体に大きく広がる土石流を導流堤にて河道中央に導流させつつ、床固工および導流堤上流に土砂を堆積させるという内容のものである。また、土石流氾濫シミュレーション計算では、この施設配置の妥当性について検討を行なった。

キーワード；水理模型実験，土石流対策，扇状地対策，砂防計画，導流堤

は じ め に

本報告書は、北陸地方建設局松本砂防工事事務所の依頼を受け、昭和61年度に土木研究所砂防研究室が実施した「八右衛門沢水理模型実験」の結果をとりまとめたものである。

八右衛門沢には現在、扇状地内に3基の床固工と1基のスリットダム（パイプ林）、上流の支溪内には8基の導流堤と1基の砂防ダム（棒ダム）が施工され、土石流を安全に下流まで流下させようとしている。しかし、八右衛門沢は計画されている土石流の規模が大きく、現在の施設では十分とは言えない。

そこで、想定される土石流を扇状地内で減勢、堆積させ、保全対象である宿泊施設、道路の被害を最小限にとどめるための導流堤計画が策定されている。この導流堤計画を含めた八右衛門沢扇状地の全体計画検討のための水理模型実験を、昭和60年、昭和61年度の2ケ年にわたって行なった。なお、八右衛門沢は、中部山岳国立公園の上高地地区内に位置し、施工できる施設の規模や形状が制限されており、限られた条件の中での施設効果の検討となった。

昭和60年度は、1/50模型の製作と昭和50年、54年の災害の再現実験および、再現実験結果を踏まえた現況施設、計画施設の効果検討実験を一通り行なった。その結果、土砂の氾濫範囲等から、現地で発生した土石流による土砂の氾濫を当該模型である程度再現できることと、現在、計画されている計画施設配置案の基本的な妥当性が確認された。しかし一方、土石流形態と土砂流形態で与える土砂量の割合および、その時の流量、さらに、上流左右支溪からの土石流流入の割合等土砂流出パターンの違いにより、扇状地内での土砂の氾濫形状が著しく異なることがわかり、土砂流出パターンの詳細な検討の必要性が確認された。

そこで、昭和61年度は、昭和50年、54年の災害の氾濫形状を元に土砂流出パターンの詳細な検討を行なうとともに、想定される土砂流出に、安全かつ効果的な施設配置の検討を水理模型実験で行なった。実験で得られた施設配置案の妥当性を土石流氾濫シミュレーション計算によって確認した。なお、昭和61年度実験では、より新しい地形図により昭和60年度に製作した扇状地地形の一部修正、改造を行なっている。

本実験では、建設省松本砂防工事事務所と非常に密に連絡をとりながら進めることができたため、現地条件を十分に反映した結果が得られたものと思う。

建設省土木研究所 砂防研究室
室 長 矢沢 昭夫
研究員 原 義文
大場 章

目 次

はじめに

1. 模型実験の概要	1
1.1 昭和61年度の検討課題と実験目的	1
1.2 模型の諸元	4
1.3 施設配置の検討手順	4
1.4 実験条件と実験ケース	6
1.5 実験方法と測定項目	19
2. 模型実験の結果と考察	20
2.1 実験結果の考察	20
2.1.1 流量および土砂流出パターンの検討結果	20
2.2 昭和50年, 昭和54年災害の再現実験結果	20
2.2.1 昭和50年災害の再現実験結果	20
2.2.2 昭和54年災害の再現実験結果	21
2.3 現況施設の効果の検討および計画施設の必要性	27
2.3.1 実験ケース8, 9, 10の土石流通水時の流況	32
2.3.2 実験ケース8, 9, 10の後続流の流況	32
2.4 計画施設の効果の検討および問題点	40
2.4.1 計画施設の効果	40
2.4.2 計画施設の問題点	47
2.4.3 計画施設の改良	47
2.5 最終案の実験結果	64
3. 土石流氾濫シミュレーション計算	65
3.1 土石流氾濫シミュレーション計算の目的	65
3.2 土石流氾濫シミュレーションモデル	65
3.3 土石流氾濫シミュレーション計算の概要	66
3.3.1 計算取り入れ範囲およびメッシュ間隔	66
3.3.2 土石流対策施設の入力方法	66
3.3.3 計算ケースおよび計算に用いた水理条件	67
3.4 計算結果	67
3.4.1 昭和50年災害のシミュレーション計算結果	67
3.4.2 昭和54年災害のシミュレーション計算結果	72
3.4.3 計画案の検討実験のシミュレーション結果	77
3.4.4 最終案の検討実験のシミュレーション計算結果	77
3.5 土石流氾濫シミュレーション計算結果のまとめ	82
4. まとめと提言	88
5. おわりに	89

資料集	流況平面図		91
	流向写真集		133
	洗掘堆積平面図		145

1. 模型実験の概要

1.1 昭和 61 年度の検討課題と実験目的

八右衛門沢は、土石流扇状地地形を呈しており、扇状地全体に土砂の流出、氾濫の危険性がある。これまでも、昭和 50 年、昭和 54 年に大規模な土石流が発生し、主要県道の上高地公園線を寸断し、近隣の宿泊施設に土砂が流れ込むなど多くの観光客を危険に曝した。このため、昭和 50 年災害を契機に砂防事業が行なわれ、これまでに 3 基の床固工と 2 基の砂防ダムおよび 8 基の導流堤が設置されているが、現在の施設では十分とは言えず、現在さらに安全度の高い施設が計画されている。しかし、施設計画作成時に必要な、計画されている土石流の扇状地内での氾濫、堆積形状が机上では正確に把握できないことや、八右衛門沢が中部山岳国立公園上高地地区に位置し、環境面から構造物の配置や形状に制約があるなどの点から、机上で施設配置計画を決定することが難しい。そこで、最適な施設配置計画を決定する基礎資料を得ることを目的に、昭和 60 年度から水理模型実験を行なっている。なお、八右衛門沢の流域の概要および過去の災害の概要、現況施設の状況については、八右衛門沢水理模型実験報告書(I)に記されているので参照する。図-1 に示した白抜きの施設も含めた施設配置が現計画案である。黒塗りの現況施設の他に、下流 1～6 号導流堤を配置し、横方向への氾濫を防ぎつつ土砂を堆積させるというものである。但し、施設構造の制約および扇面勾配が急なことから、堅固な高い構造物を建設し積極的に土砂堆積をさせることはできず、土石流を停止、堆積させる機能より河道中央へ導流させる機能を主とし、土砂堆積機能は導流の結果として現われることになる。構造物に制約があり扇面がある程度利用できるという条件下では、現計画案が基本的に妥当な計画であると考えられる。

昭和 60 年度では、八右衛門沢の模型を製作し、過去に発生した土石流災害の再現実験、現況施設の効果の検討および危険度の判定、計画施設の効果の検討を実施し、八右衛門沢における昭和 50 年、54 年災害および計画されている土石流災害の傾向把握を行った。その結果、土砂の氾濫範囲等から昭和 50 年、昭和 54 年災害時の土石流による土砂の氾濫を当該模型である程度再現できることと、現在計画されている計画施設の必要性および、施設配置案の基本的な妥当性が確認された。しかし一方、昭和 60 年度の実験では、いくつかの問題を抱えているため、昭和 61 年度では、次のような検討、修正および改良等を行なってから実験を実施している。

(1) 模型床と現地地形の相違（左右支溪および左右支溪の合流点付近）

昭和 60 年度は、昭和 50 年、54 年災の再現を主目的にしていたため、昭和 49 年に実施された横断測量結果（河道部）および平面図（河道部外）を用いて模型を製作した。しかし、この平面図は実測により得られたものではなく、災害前後の平面図、空中写真の判読および現地地形の調査結果から、土石流の氾濫に大きく影響する右支溪の河道部と合流点付近の地形が大きく異なることがわかった。

そこで、昭和 54 年に実測して得られている平面図と昭和 49 年の平面図を比較するとともに、災害前後の空中写真の判読、現地調査結果を用いて、地形の変化や現在の扇状地地形を捉え、図-1 に示す範囲の模型床の改造を行なった。

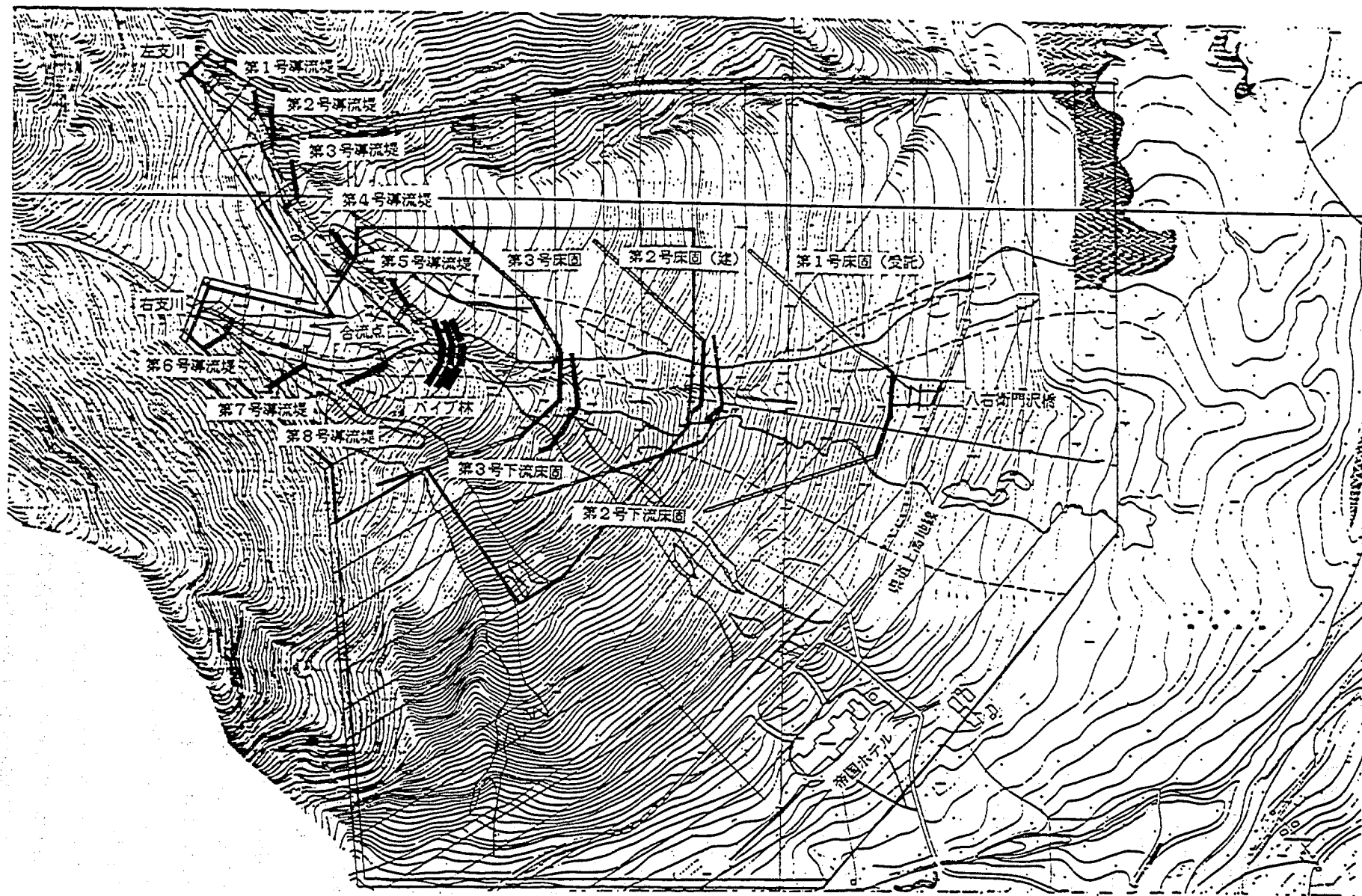


図-1 模型取り入れ範囲及び改造範囲

(2) パイプ林設置高の誤り

昭和60年度の実験では、施設構造図の不備によりパイプ林を現地より10m程度高く設置していたため、土石流の首振り現象を顕著にさせ土砂の氾濫範囲を広げる結果となり、適確なパイプ林の効果の把握ができなかった。

本年は、パイプ林の設置高を再度確認し、正確に設置してパイプ林の効果の検討を行なった。

(3) 土砂流入パターンの検討

昭和60年度の実験から、左右支溪の土石流の土砂流入パターン（土石流と後続流の土砂流入割合）によってその流下、氾濫堆積形状が大きく変化することがわかり想定する土石流のパターンの詳細な検討の必要性が再認識された。また、土石流形態で流下、氾濫する範囲も現地の土石流氾濫痕跡に比べ、かなり狭いことがわかった。しかし、これらの災害時の土砂流入パターンに関する資料は得られておらず推定することは難しいため、以下の検討を行なうとともに再度災害時の土石流氾濫再現実験を行なって土砂流入パターンを決めることとした。

① 土石流と後続流の土砂流入割合

昭和50年、54年の土石流災害時の土砂流入パターンを推定する詳細なデータが無いので、これまでに得られている観測データを $20\text{m}^3/\text{s}$ を目安にピーク流出と後続流に区分することにより土石流の全流出とピーク時の流出量の比を調べ、土石流の流出パターンを検討した。その結果、図-2に示すように土石流全流出土砂量中にピーク時の流量が占める割合は、10%~90%と広範囲に分布しているが、焼岳で70%~80%付近が多いことから、実験を行なう際の土石流と後続流の土砂配分を7:3および8:2として実験を行なった。ただし、左右支溪の土砂流入割合は推定できないので、左右支溪の土砂配分を変化させて再現実験を行ない、検討することとした。なお、土石流と後続流の流入割合を実験でも確認するために、土石流と後続流の流入割合を1:1とした実験も合わせて行なっている。

② 土石流発生時の流量

昭和60年度の実験では昭和50年、54年災害の再現実験を行なう際、土石流は災害時の雨量データから求められた流量を用いて行なっていたが、前述のように土砂および流水の氾濫範囲は比較的一致するものの、土石流形態で土砂が流下する範囲が現地調査結果より上流に限られている。そこで、八右衛門沢の現地調査を再度行なって、河床の土砂堆積状態や立木に残る土石

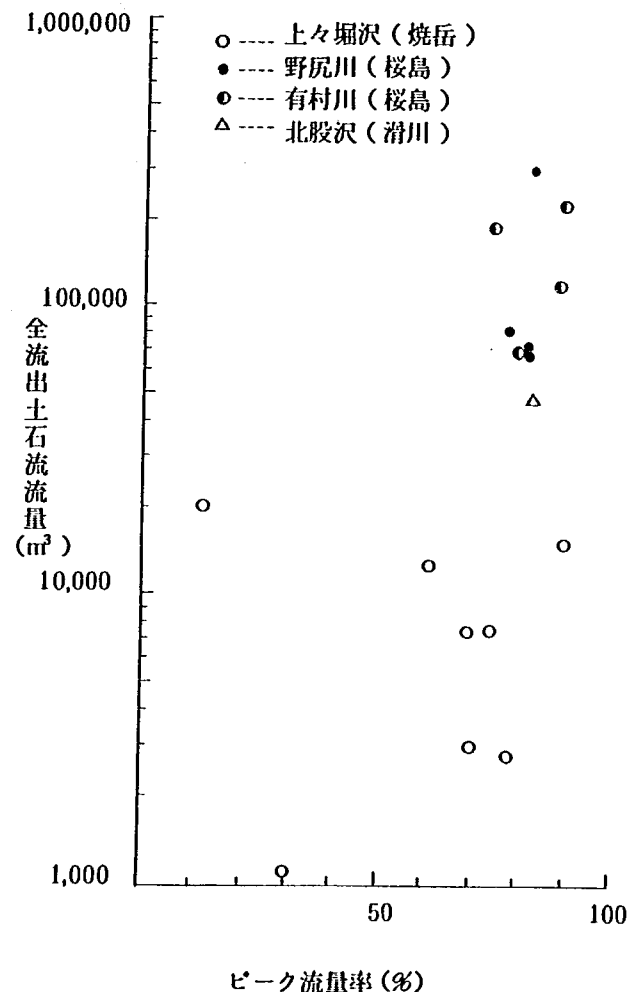


図-2 土石流の全流出量とピーク時の流出量の比

流の痕跡を確めた。その結果、昭和50年、54年災害時に流入した土砂が土石流形態で流下した範囲は、1号床固工から2号床固工間までおよんでおり（写真－1参照）、本年度は土石流発生時の流量を変化させて、昭和50年、54年災害を再現する流量（今後八右衛門沢で発生する土石流の流入形態も合わせて検討する。）の検討を行なうこととした。



写真－1 2号床固工右岸袖上流部の土砂堆積状況（土石流堆積物と思われる）

本年度は、以上のように昭和60年度に残された課題の検討を行ない、その結果を踏まえて、八右衛門沢で想定される土砂流出に、安全かつ効果的な施設配置の検討を水理模型実験により得ることを目的に実施したものである。なお、模型実験から得られた施設配置の妥当性を確認するために、土石流氾濫シミュレーション計算も合わせて行なっている。

1.2 模型の諸元

(1) 模型の取り入れ範囲

模型は、昭和60年度に八右衛門沢の扇状地全体を取り入れて製作した模型を、1部改造して用いた。模型取り入れ範囲および模型床の改造範囲を図－1に示す。

(2) 模型縮尺

模型の縮尺は、鉛直、水平方向ともに1/50で製作されており、実験に用いる諸量はフルードの相似則により決定した。表－1に、模型諸量の実物値に対する縮率を示す。

1.3 施設配置の検討手順

八右衛門沢の施設配置の検討実験は、次の手順で行なった。

① 昭和60年度の実験で残された課題の検討

地形および土砂流出パターンの検討

（他の溪流で過去に発生した土石流観測を整理して、1土石流の全流出土砂量とピーク流量の比を求めた。）

↓

表-1 フルード相似則による諸量の縮率

諸 量		次 元 (L - F - T)	縮 尺	
			比	縮 尺
幾何学的な量	水平成分 (X)	L	X_r	1 : 50
	鉛直成分 (h)	L	H_r	1 : 50
	勾 配 (h/x)	-	$H_r \cdot X_r^{-1}$	1 : 1
	面 積 (A)	L^2	$H_r \cdot X_r$	1 : 2,500
	体 積 (V ₀)	L^3	$H_r \cdot X_r^2$	1 : 125,000
水理学的な諸量	フルード数 (F _r)	-	1	1 : 1
	流 速 (V)	$L \cdot T^{-1}$	$H_r^{1/2}$	1 : 7.07
	流 量 (Q)	$L^3 \cdot T^{-1}$	$X_r \cdot H_r^{3/2}$	1 : 17,677.7
	時 間 (T)	T	$X_r \cdot H_r^{-1/2}$	1 : 7.07
	圧力の強さ (P)	$F \cdot L^{-2}$	H_r	1 : 50
	相度係数 (n)	$L^{-1/3} \cdot T$	$H_r^{2/3} \cdot X_r^{-1/2}$	1 : 1.92
	流量係数 (C)	-	1	1 : 1
	掃 流 力 (τ)	$F \cdot L^{-2}$	H_r	1 : 50
	エネルギー (E)	$F \cdot L$	H_r^4	1 : 6,250,000
	運 動 量 (m·V)	$F \cdot T$	$H_r^{1/2}$	1 : 883,882

② 模型床の改造

↓

③ 昭和 50 年, 54 年災害の再現実験

(八右衛門沢における土砂流出パターンの検討および再現性の確認)

↓

④ 現況施設の効果の検討 (計画施設の必要性の検討)

↓

⑤ 計画施設の効果の検討および改良

↓

⑥ 最終案の検討

↓

⑦ 土石流氾濫シミュレーション計算による検討

↓

⑧ 最終案の提案と施工に当たっての注意事項の確認

1.4 実験条件と実験ケース

(1) 実験条件

① 流 量

実験に用いた流量を表-2に示す。土石流の発生流量は、昭和50年、昭和54年災害の再現実験では、昭和50年災害時の雨量資料を用いて求められた流量を1倍と2倍に変化させて、現況施設実験および計画施設の検討実験では、100年確率雨量を用いて求められた流量を、再現実験の結果から2倍にして実験を行なった。後続流流量は、昭和60年度の実験で合理式で求められる流量の $\frac{1}{2}$ とした時に、土砂の流出形態および氾濫範囲から適当である、という結論が得られていることから、本年も同様の値を用いて実験を行なった。

表-2 各実験の水理条件

		右支土砂量		左支土砂量		総土砂量 (m^3)	右支流量		左支流量		適 要
		土石流 (m^3)	後続流 (m^3)	土石流 (m^3)	後続流 (m^3)		土石流 (m^3/s)	後続流 (m^3/s)	土石流 (m^3/s)	後続流 (m^3/s)	
昭和50年災害	右支:左支=2:1 流量 1倍	46,000	15,300	23,000	7,700	92,000	17.3	8.7	21.5	10.8	昭和50年災を再現できる水理条件を求める
	右支:左支=1:2 流量 2倍	46,000	15,300	23,000	7,700	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	
	右支:左支=1:2 流量 1倍	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	17.3	8.7	21.5	10.8	
	右支:左支=1:2 流量 2倍	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	
計画土砂流出	右支:左支=2:1 流量 2倍	64,000	15,100	25,600	6,400	107,500	48.6	12.2	60.6	15.2	計画案の検討
	右支:左支=1:2 流量 2倍	28,800	7,200	57,200	14,300	107,500	48.6	12.2	60.6	15.2	最終案の安全性の確認を行うため、左右支溪の土砂配分を変える。
	右支:左支=2:1 流量 2倍	32,000	3,600	12,800	7,150	53,750	48.6	12.2	60.6	15.2	中小出水時の土砂流出に対する検討

② 土 砂 量

土砂量は、昭和50年、昭和54年災害の再現実験では、昭和50年災害時に流出した土砂量の正確な値が不明なため、昭和54年災害時の生産土砂量 $92,000\text{m}^3$ (真値は、 $55,200\text{m}^3$)を、現況施設実験および計画施設の検討実験では、昭和54年災害時の土砂量を計画規模に引き伸ばして(昭和54年災害時の土砂量は、50年確率に相当している)求められた値を左右支溪に割り振って用いた。左右支溪の土砂配分は、再現実験では、災害時のデータが無いことから右支:左支=2:1および1:2と変化させて行なった。現況施設実験および計画施設の検討実験では、現地調査の結果から右支溪は現在河床に多くの不安定土砂を保有し、左支溪はほとんど見られ

ないことから、土砂配分を右支：左支＝2：1としてほとんどの実験を行なった。なお、将来左右支溪の土砂流出割合が逆になる場合も考えられるので、右支：左支＝1：2の実験も行なっている。

給砂は、土石流と後続流の土砂流出割合の検討結果から、土石流：後続流の比を7：3から8：2で実験を行なった。

③ 河床の状態

左右支溪の上流部は、基岩が浅く溪床幅も約10m程度で一定となっていることから、便宜上土石流を発生させ易い二次元水路とした。水路は、左右支溪とも水路区間に相当する河床勾配が約18～20度であるため、20度に設定して実験を行なった。

左右支溪の溪床は、耐侵食性の強いベントナイトを用いて河床を固定し、その上に不安定土砂を敷き均した。

合流点から下流の河床は、現在の河道および周辺部（横断測量の実施範囲）を移動床とした。その他の扇状地面については、植性が多く粗度が大きいと考えられたため、河床材料に用いた土砂をセメントペーストで張り付けた固定床とした。

④ 河床材料

河床材料は、昭和60年度に松本砂防工事事務所が実施した河床材料調査および、現地表面礫径観察の結果を基に、図－3に示す最大粒径 $d_{max}=3.0\text{ m}$ （模型値＝6 cm）、平均粒径 $d_m=0.21\text{ m}$ （模型値＝0.4 cm）の土砂を実験に用いた。なお、給砂材料は、河床材料と同一の物を用いた。

(2) 実験ケース

実験は、全部で20ケース行なった。各実験ケース毎の水理条件を表－3に、実験目的および施設配置、改造内容を表－4に、施設設置状況を図－4～12に示した。

各ケースの実験条件は、次のような考えをもとに設定した。

① 実験ケース1～6

実験ケース1～4では、昭和50年災害を再現する水理条件を求めるために、左右支溪の土砂流入割合を1：2および2：1とし、土石流発生流量を災害時の雨量データから求めた流量の1倍と2倍に変化させて実験を行なった。

実験ケース5では、土石流と後続流の流入割合を検討するために、後続流がどのように土石流堆積物を洗掘し、土砂の氾濫範囲を広めるのかを検討した。

実験ケース6では、ケース1～4の結果から昭和50年災害を再現するための条件は、土砂流入割合が右支＝1：2、流量は2倍とした実験（ケース4）が総合的に考えて、最も土砂の流出形態が良く再現されていたので、条件をこれと同じにして再現実験を行ない土砂の氾濫、堆積高の測定を行なうとともに相以性の検証を行なった。

② 実験ケース7（施設配置は、図－5参照）

昭和54年当時現地に設置されていた施設を模型上に設置し、条件をケース6と同様として、昭和54年災害の再現実験を行なった。

③ 実験ケース8，9，10（施設配置は、図－6，7参照）

実験ケース8，10では現況施設に計画の土砂量を右支：左支＝2：1として、実験ケース9

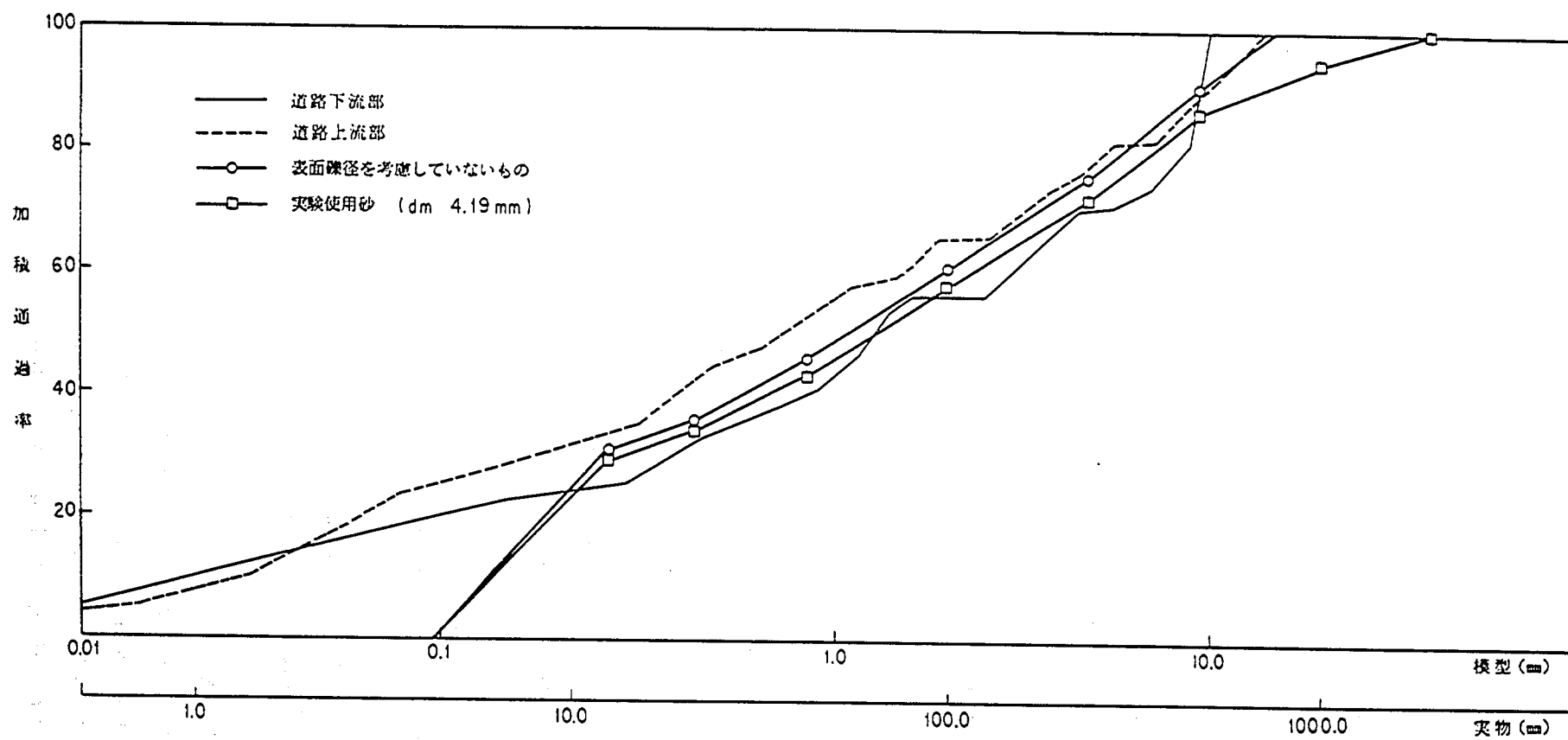


図-3 八右衛門沢粒度曲線図

表-3-1 各実験ケース毎の水利条件一覧表

CASE	目 的	条 件	右支土砂量		左支土砂量		総土砂量 (m^3)	右支流量		左支流量		発生順位
			土石流 (m^3)	後続流 (m^3)	土石流 (m^3)	後続流 (m^3)		土石流 (m^3/s)	後続流 (m^3/s)	土石流 (m^3/s)	後続流 (m^3/s)	
1	50年災再現	・土砂量 右:左=2:1 ・後続流 1/2 (ピーク流量の) ・流量 1 倍 ・CD=50%	46,000	15,300	23,000	7,700	92,000	17.3	8.7	21.5	10.8	右→右→左→後
2		・土砂量 右:左=2:1 ・後続流 1/2 (ピーク流量の) ・流量 2 倍 ・CD=50%	46,000	15,300	23,000	7,700	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	右→右→左→後
3		・土砂量 右:左=1:2 ・後続流 1/2 (ピーク流量の) ・流量 1 倍 ・CD=50%	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	17.3	8.7	21.5	10.8	左→左→右→後
4		・土砂量 右:左=1:2 ・後続流 1/2 (ピーク流量の) ・流量 2 倍 ・CD=50%	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	左→左→右→後
5		・土砂量 右:左=1:1 ・後続流継続時間 2倍 ・土石流:後続流=1:1	23,000	23,000	23,000	23,000	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	左→右→後→後
⑥		・土砂量 右:左=1:2 ・後続流 1/2 (ピーク流量の) ・流量 2 倍 ・CD=50%	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	左→左→右→後
⑦	54年災再現	・土砂量 右:左=1:2 ・後続流 1/2 (ピーク流量の) ・流量 2 倍 ・CD=50%	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	左→左→右→後
8	現況施設	・計画Ⅰ:土砂流出調査結果の土砂配分は 右支:左支=2:1で後続流量が全体の 20% のもの	60,400	15,100	25,600	6,400	107,500	48.6	12.2	60.6	15.2	右→右→左→後
⑨		・計画Ⅰ:土砂流出調査結果の土砂配分を 右支:左支=1:2と変え、後続流が全 体の20% のもの	25,600	6,400	60,400	15,100	107,500	48.6	12.2	60.6	15.2	左→左→右→後

表-3-2

CASE	目 的	条 件	右支土砂量		左支土砂量		総土砂量 (m^3)	右支流量		左支流量		発生順位
			土石流 (m^3)	後続流 (m^3)	土石流 (m^3)	後続流 (m^3)		土石流 (m/s)	後続流 (m/s)	土石流 (m/s)	後続流 (m/s)	
⑩	現況施設	・計画Ⅰ：土砂流出調査結果の土砂配分は 右支：左支=2:1で後続流量が全体の 体の20% のもの	64,000	15,100	25,600	6,400	107,500	48.6	12.2	60.6	15.2	右→左→右→後
11	計画施設											
12	計画施設の 改良											
13												
14												
15												
⑪	最終案	CASE-17 は、水理条件を計画Ⅰと同じとするが 土石流一波目は、左右支渠同時で与える。	28,800	7,200	57,200	14,300	53,750					左→右→左→後
17												
18		・計画土砂流出Ⅱ：土砂配分は右支：左支=1:2 で後続流量が全体の20% のもの										
⑬												
20		・計画土砂流出Ⅲ：中小出水を想定したもので 計画土砂配分の1/2 の土砂量とする。										
		32,000	3,600	28,600	7,150							右→左→右→後

表-4-1 実験目的および施設配置

CASE NO	実 験 目 的		施 設 配 置
Case-1	50年災の再現	・ 右支、左支溪からの流出土砂が、扇状地にどのように氾濫、堆積するか、その特性を検討する。水理条件（流量、土砂量）は、50年災害時のデータがないことから54年災害の値を用いた。 ・ 右支：左支の土砂配分は、計画土砂調査の結果から右支：左支 = 2 : 1 というデータがあるが、50年災害時の空中写真を見ると、帝国ホテル方向へ流下した土石流は、左支から流出した土砂の影響が大きいことと、左支からの流出土砂が右支よりも多かったのではないかと考えられるため、右支：左支の土砂配分を再度検討するために、1 : 2および2 : 1と変化させて実験を行なう。 ・ 実験に用いた流量は50年災害時の計算ピーク流量を基本とするが、この流量では土石流が下流まで到達せず現地の土石流痕跡と一致しないため、流量を2倍にした場合についての検討も行なう。（Case-2, 4） ・ 土石流流下後に後続流が長時間継続した場合の、土石流堆積物の二次流出および、下流河道の氾濫の拡大状況を検討する。（Case-5） ・ Case 1～4の実験結果から、50年災害時の土砂および流水の氾濫形態が最も良く再現できる水理条件は、流量が2倍で右支：左支の土砂配分が1:2（Case-4の実験条件）であることがわかった。そこで、Case-4と同じ水理条件で再現実験を行ない、氾濫した土砂の堆積高の測定と再現性を確認した。	・ 施設配置状況を図-4 に示す。 ・ 50年災害時の状態（無施設）
Case-6			
Case-7	54年災の再現	・ 54年災害の再現実験 ・ 54年当時に設置されたい施設を設置し、54年災害の再現実験を行なう。ただし、実験条件は、50年災害の再現実験と同条件とする。	・ 施設配置状況を図-5 に示す。 ・ 54年当時設置されていた施設を設置
Case-8	現況施設の検討	・ 昭和54年災害の再現実験で、現況施設では合流点部での土砂および流水の氾濫を防止できないことがわかったので、現況施設の他に下流3号、6号導流堤を新に設置し計画土砂流出Iを与え、現況施設の効果、問題点及び計画施設の必要性を検討する。	・ 施設配置状況を図-6 に示す。 ・ 現況施設の他に3号床固工左右岸に下流3号、6号導流堤を設置する。
Case-9		・ Case 8と同様の施設配置で、左右支溪の土砂配分を左支：右支 = 1 : 2に変えた計画土砂流出Iを与え、施設配置の問題点の把握を行なう。	
Case-10		・ Case 8, 9 の施設配置に下流2号導流堤を加え、計画土砂流出Iに対する効果および問題点の把握を行なう。	

表-4-2

CASE NO	実 験 目 的		施 設 配 置
Case-11	計画施設 の検討	・計画施設の問題点の把握を行なう。 ・現況施設の検討実験結果から、合流点部の氾濫は、下流3号、6号導流堤を設置しただけでは防止できないことがわかったため、事務所計画施設（下流1～6号導流堤）の他に2基の導流堤を新に設置した。 ① 9号導流堤：左支溪より氾濫した土砂及び流水を再び本川に導くために設置する。 ② 下流7号導流堤：合流点部に堆積した土砂により後続流の流れは左右に流向を変えられ、右岸方向に向かう流れは3号床固工を越流し氾濫してしまうので、この流れを河道内に導くために設置する。	・施設配置状況を図-8に示す。 ・左支溪の左岸側の尾根地形(N03～N08)を、54年に作成された平面図に基づき模型上に再現した。 ・1～3号床固工の兩岸に導流堤を設置する。 ・1号床固工下流及び県道橋部の河床は現況とした。 ・9号導流堤（長さ66m）、下流7号導流堤（長さ60m）を設置する。導流堤上流面は、法勾配 1:1で盛土を行なう。
Case-12		・下流7号導流堤の長さの検討 ・下流8号導流堤の位置及び長さの検討	・施設配置状況を図-9に示す。 ・10号導流堤を下流端より30m撤去し、長さ30mにする。 ・1号床固工上流右岸側に、下流8号導流堤を設置する。（長さ70m）
Case-13	計画施設の 確認	・下流7号導流堤の長さの検討 ・3号床固工下流の縦断侵食を防止する3号下流副床固工の検討	・施設配置状況を図-10に示す。 ・10号導流堤を60mに延長する。 ・3号床固工下流に縦侵食防止の3号副床固工を設置する。
Case-14		・3号床固工左岸側嵩上げ部の撤去 嵩上げすることにより、流水を右岸方向へ向けることになり好ましくないため現況にもどす（Case11で設置した部分）。 ・3号下流床固工右岸袖の一部撤去 右岸袖を尾根まで延長すると、この尾根より右岸側に越流した流水および土砂は、2号右岸導流堤をも越流し帝国ホテル方向へ氾濫してしまうため、現況にもどす。	・施設配置状況を図-11に示す。 ・3号床固工左岸側の嵩上げ部を現況にもどす。 ・3号下流床固工右岸袖の延長部分を撤去し、現況にもどす。 ・2号床固工右岸の下流2号導流堤と既設袖との張り付け部を2m嵩上げする。 ・1号床固工右岸導流堤の設置位置および設置延長の変更
Case-15		・下流7号導流堤の延長の検討 ・下流2号導流堤の設置高の検討 ・八右衛門沢橋下流の氾濫状況の検討	・施設配置状況を図-12に示す。 ・パイプ林右岸側の下流7号導流堤を20m延長し、80mにする。 ・下流2号右岸導流堤の一部を改良する。 ・八右衛門沢橋下流を河道整正する。（図一参照）

表-4-3

CASE NO	実 験 目 的		施 設 配 置
Case-16	最終施設案 の検討およ び安全性の 確認	・計画土砂流出Ⅰに対する最終施設案の検討。	・施設配置はCase-15と同形状(図-12参照)である。
Case-17		・計画土砂流出Ⅰの土砂を、第一波目の土石流を右支、左支同時に与えた場合の検討。	
Case-18		・計画土砂流出Ⅱ(左支の方が多い計画土砂配分で、後続流量が全体の20%のもの)を与えた場合の検討。	
Case-19			
Case-20		・計画土砂流出Ⅲ(中小出水を想定したもので計画土砂配分の1/2の土砂量のもの)を与えた場合の検討。	

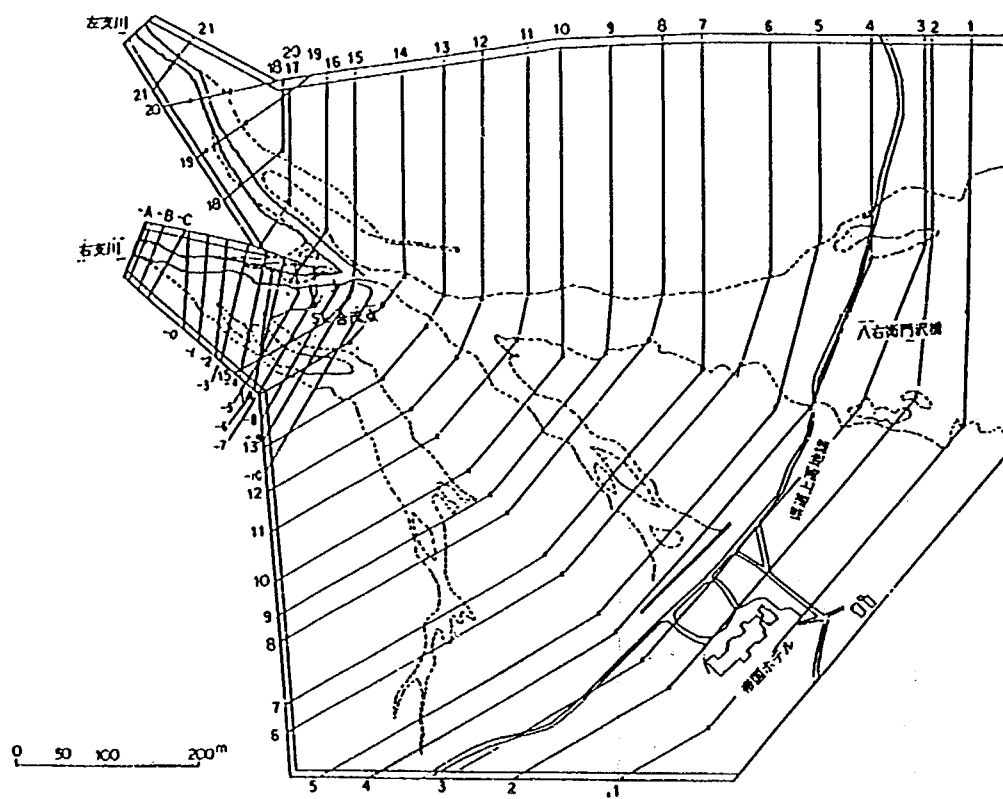


図-4 施設配置状況 (CASE-1~6)

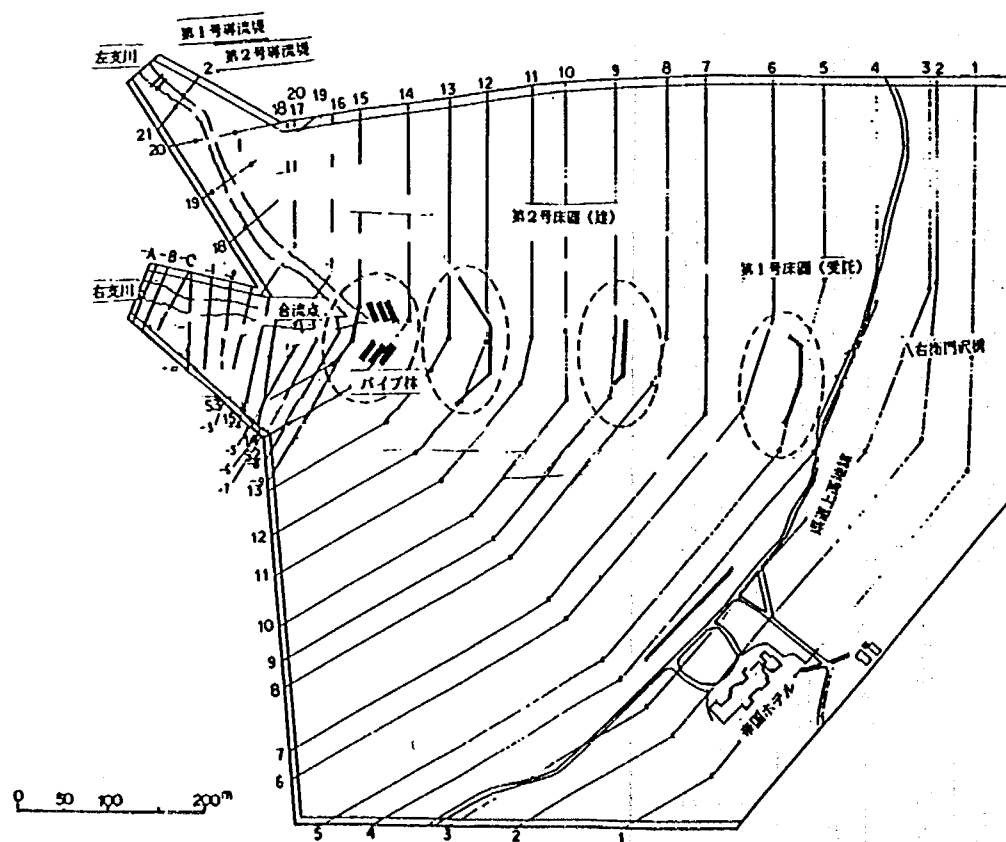


図-5 施設配置状況 (CASE-7)

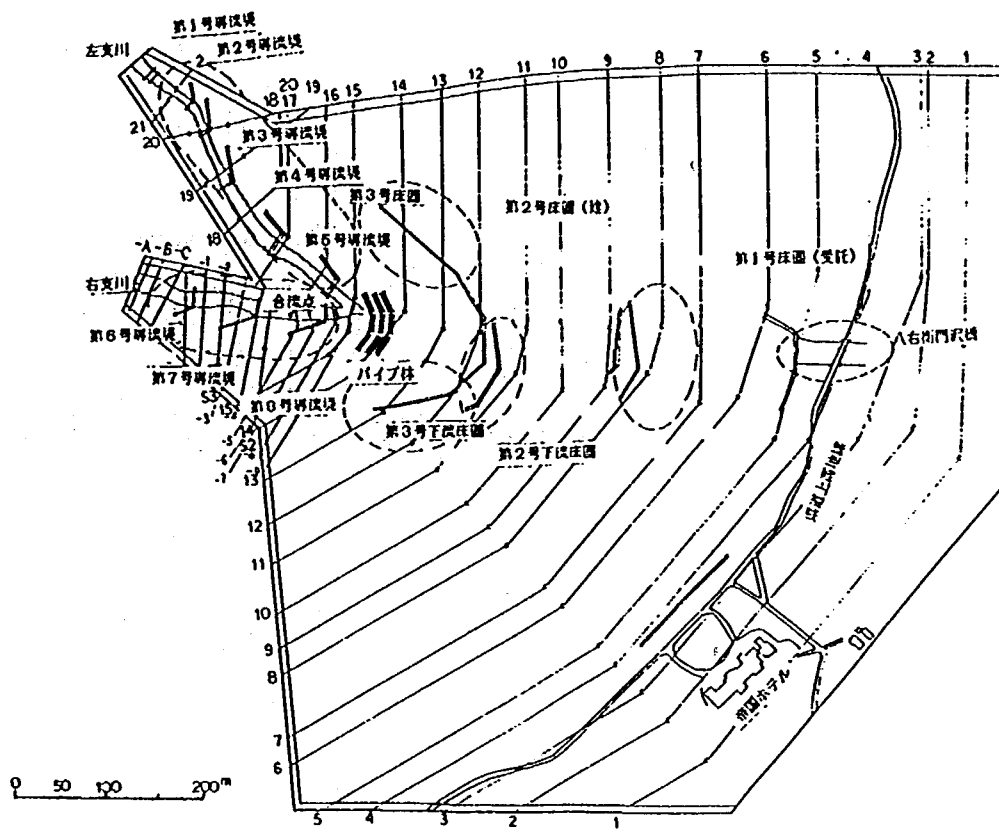


図-6 施設配置状況 (CASE-8, 9)

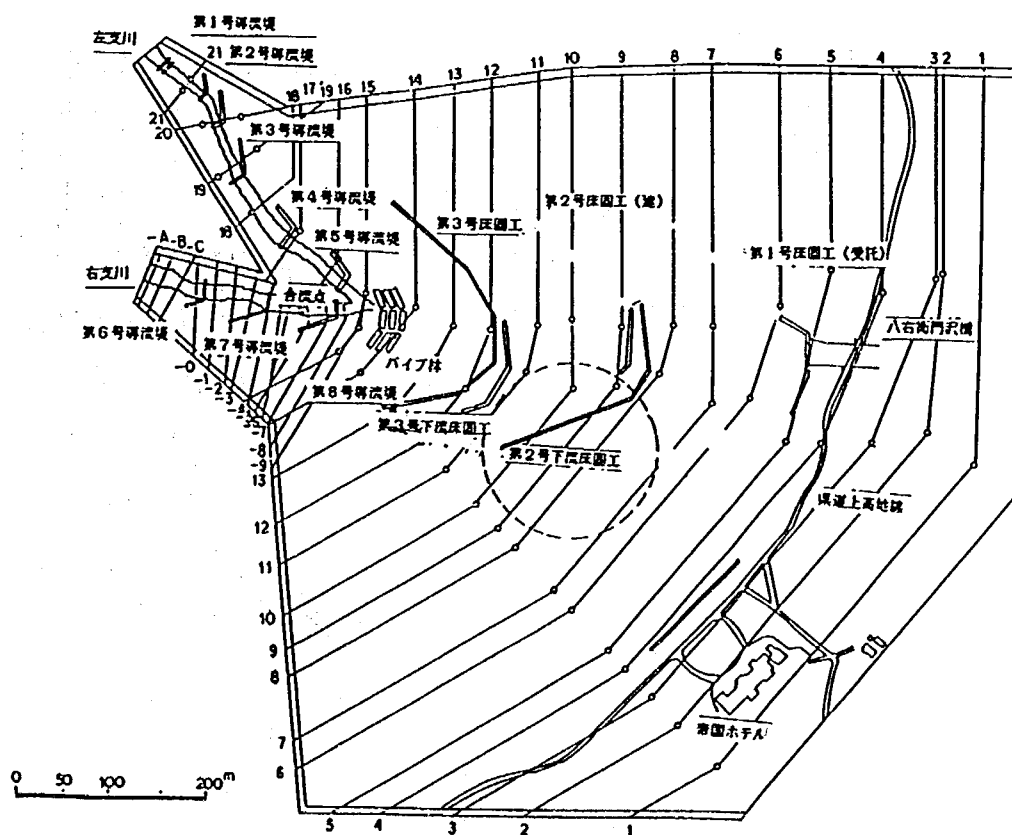


図-7 施設配置状況 (CASE-10)

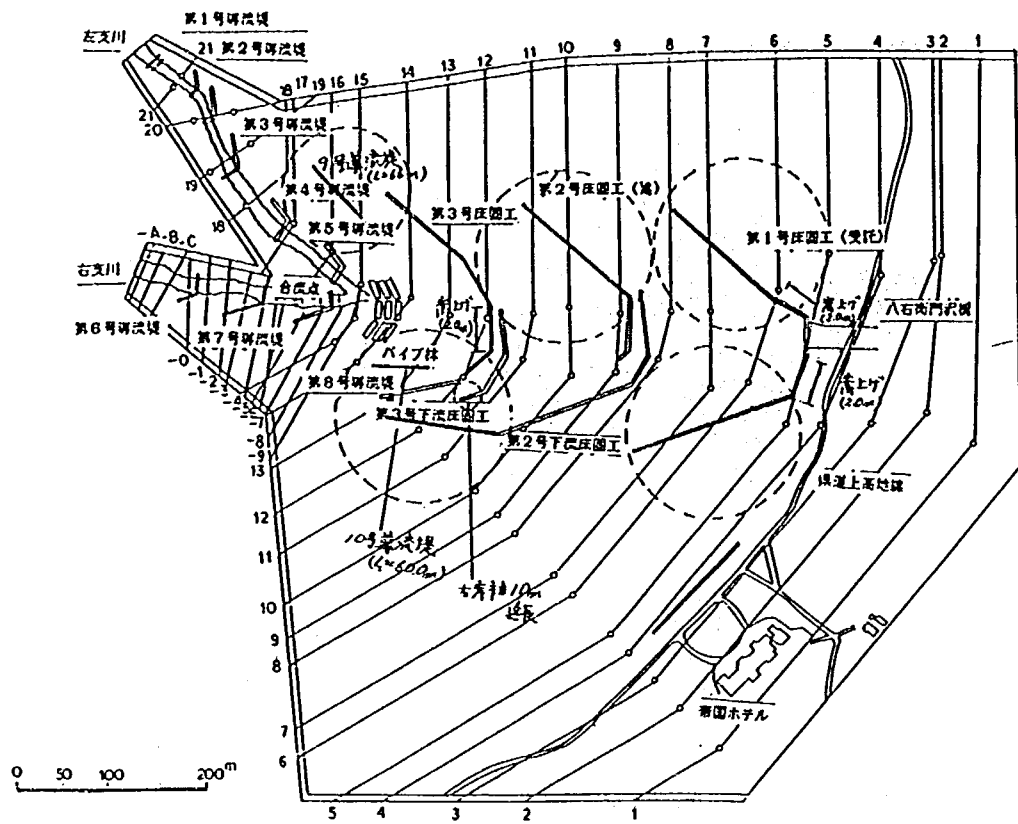


図-8 施設配置状況 (CASE-11)

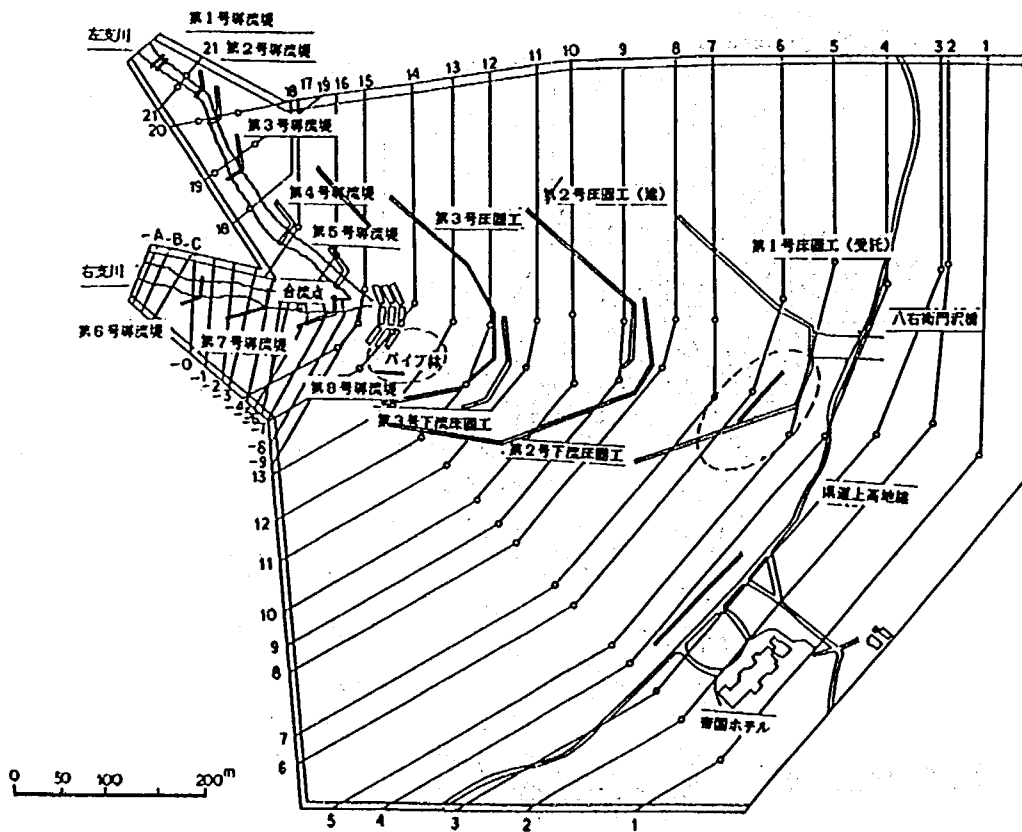


図-9 施設配置状況 (CASE-12)

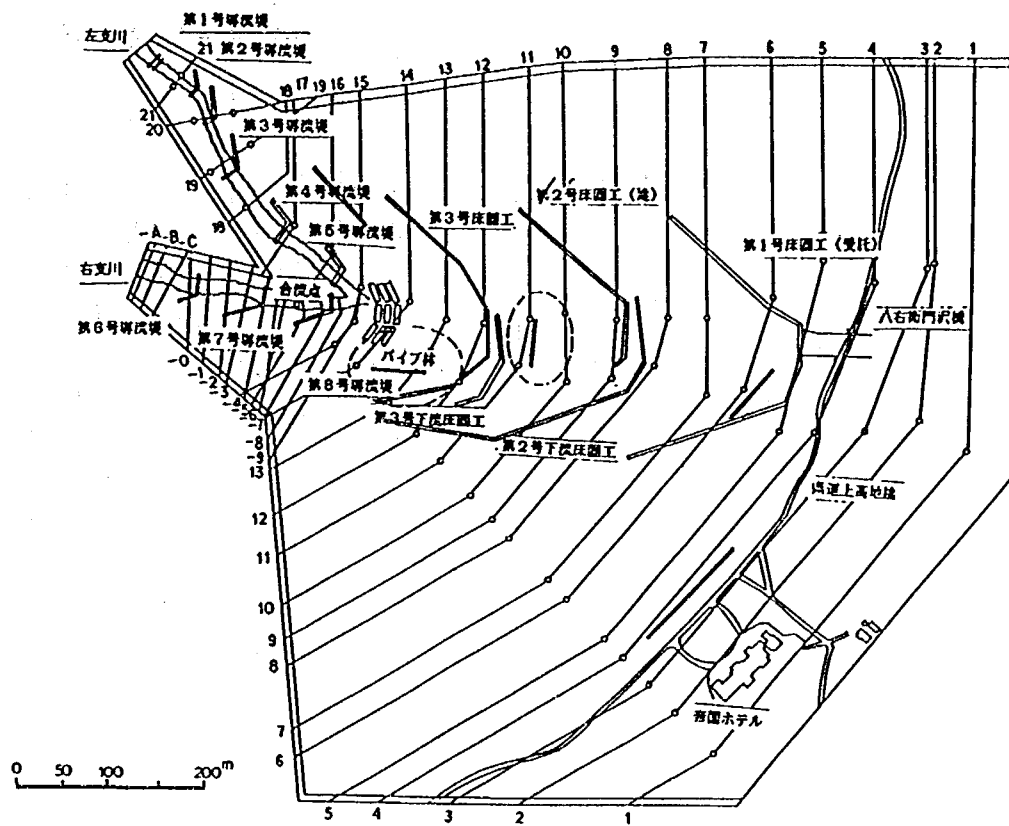


図-10 施設配置状況 (CASE-13)

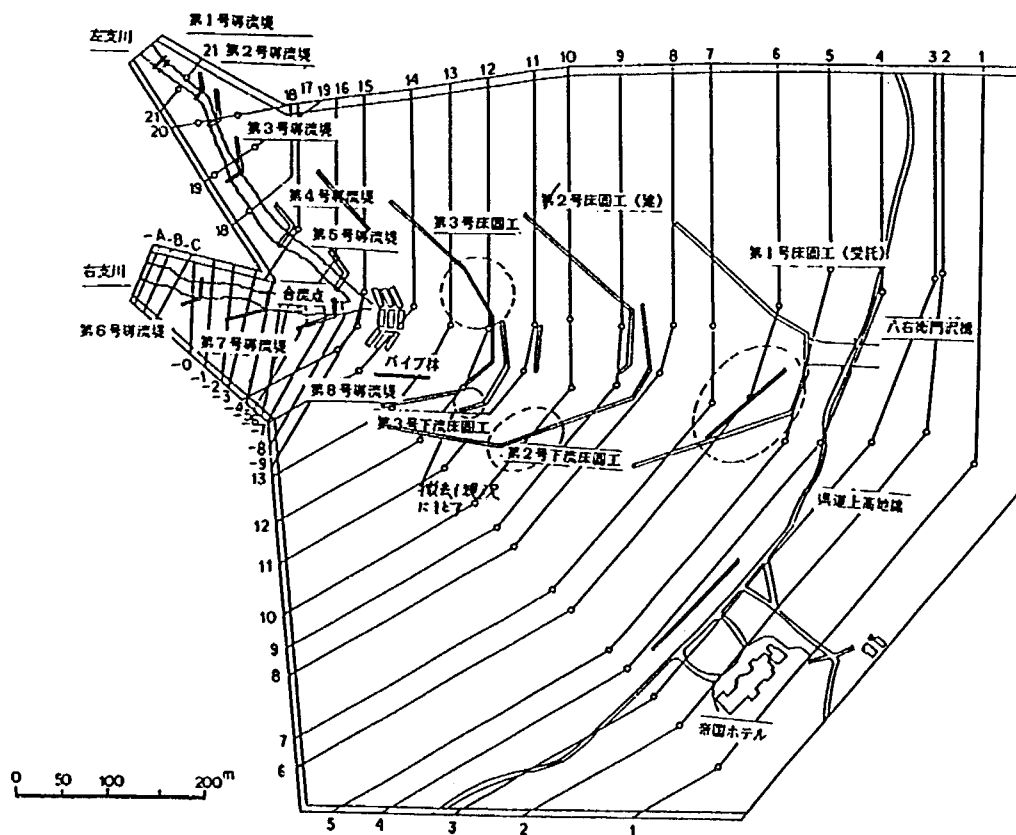


図-11 施設配置状況 (CASE-14)

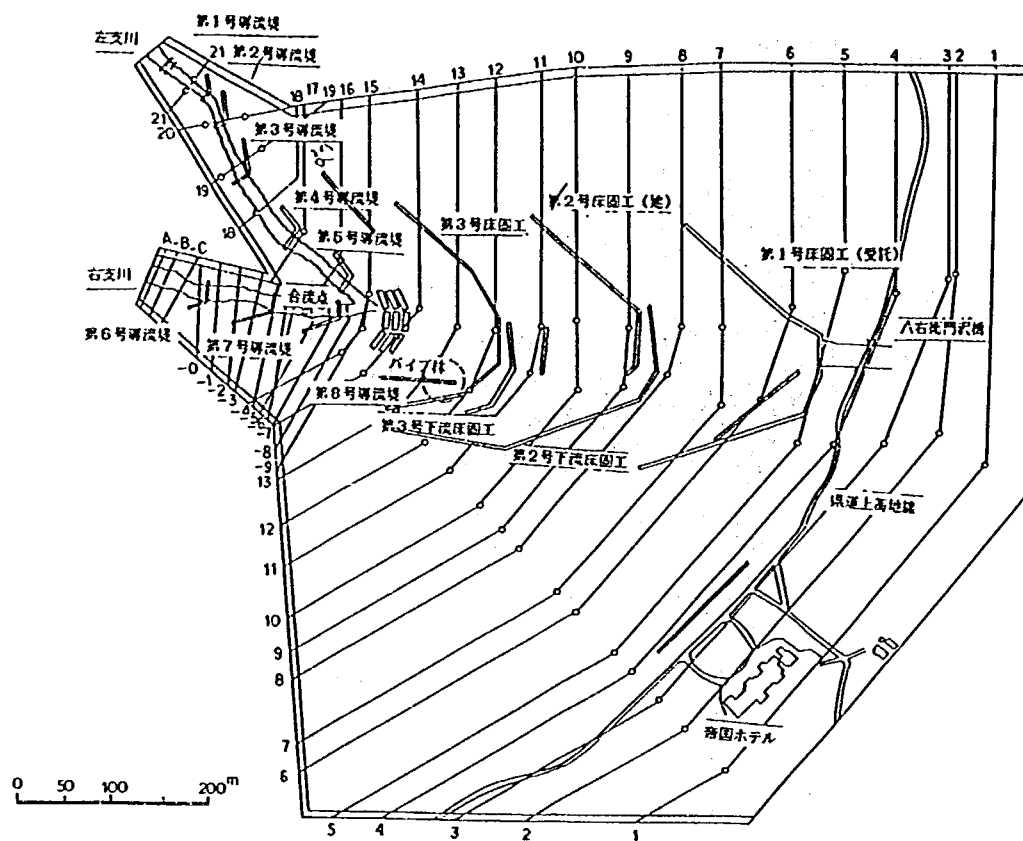


図-12 施設配置状況 (CASE-15~20)

では、現況施設に計画の土砂量を右支：左支＝１：２として与えて、現況施設の効果の検討および問題点の把握を行なった。

④ 実験ケース 11（施設配置は、図－ 8 参照）

実験ケース 11 では、計画案に計画の土砂量を与えて、計画施設の効果および問題点の把握を行なった。

⑤ 実験ケース 12 ～ 15（施設配置は、図－ 9 ～ 12 参照）

実験ケース 12 ～ 15 では、実験ケース 11 の結果を元に計画案の改良を行ない、改良施設の効果を検討した。

⑥ 実験ケース 16 ～ 20（施設配置は、図－ 12 参照）

実験ケース 16 ～ 20 では、改良を行なった最適施設に対して土砂流入パターンを変えて実験を行ない、その結果および安全性の検討を行なった。

1.5 実験方法と測定項目

(1) 実験方法

扇状地内の河床は、昭和50年、昭和54年災害の再現実験においては昭和49年の測量結果に基づいて、また、現況実験、計画実験においては、現況の河床を再現して整形し、上流の二次元水路は、予め土砂を敷き均した後、ポンプで給水して土石流を発生させて実験を行なった。給砂は、上流の二次元水路内に予め敷き均した土砂が流出した後、水路上流端より河床材料と同一の土砂を与えた。なお、実験開始は、二次元水路で発生した土石流が模型始端に達した時点とした。

(2) 測定項目

① 流況観察、測定

土石流の氾濫、堆積の範囲、堆積厚さ、流向および河床の変動状況、八右衛門沢の土石流の流動特性、過去の災害の特性、既設構造物および計画構造物の問題点等について観察、測定を行ない、必要に応じて写真撮影した。

② 流向測定

実験中の土石流の氾濫状況および、後続流の流向、河床の変動状況を観察するため、35 mm モータードライブカメラ 3 台を用いて、1 ケース当たり 12 回以上の写真撮影を行なった。

③ 流況撮影

実験中の土石流の流下、堆積状況および後続流の流向の時間的な変化を捉えるために、VTR カメラ 1 台を用いて模型末端より流況を撮影した。

④ 河床高測定

土石流通水後および後続流通水後に、河床の横断変化および土砂の氾濫堆積形状を捉えるために、河道内および扇状地上の横断形状をスケールを用いて測定した。

測定結果は、通水前の河床高との差を表わした洗掘堆積平面図に整理した。

⑤ 土砂氾濫範囲の測定

土石流通水後および実験終了後に、土砂と流水の氾濫範囲を定量的に測定した。測定結果は、平面図に氾濫範囲、土砂堆積厚さ等を整理した。

2. 模型実験の結果と考察

2.1 実験結果の考察

2.1.1 流量および土砂流出パターンの検討結果

昭和50年、54年災害の再現実験および、今後八右衛門沢に発生する土石流の土砂流出パターンを検討するために、土石流を発生させる流量は合理式で得られる値の1倍と2倍、土砂配分を右支：左支＝1：2および2：1で実験を行なった。その結果、土石流発生流量を1倍とした場合、土砂の氾濫範囲は比較的一致するが、土砂が土石流形態で流出、氾濫する範囲は、右支土石流がNo.12付近まで、左支土石流は谷出口付近でほとんど土砂が堆積し、合流点まで達しておらず現地調査の結果と比較するとかなり狭い。また、帝国ホテル方向への土砂氾濫範囲も氾濫実績より狭いと思われる。一方、流量を合理式で得られる値の2倍とした場合は、右支溪上流石右岸側からの土砂氾濫や、土石流がNo.9付近まで流出するなど現地調査結果により近く、土砂の氾濫範囲もほぼ再現されていることから昭和50年、54年災害の再現実験および、現況、計画施設検討の各実験に用いる土石流の発生流量は、合理式の2倍を与えることとした。

後続流の流量は、前述のように昭和60年度実験の結果から合理式で求められる流量の $\frac{1}{2}$ とした。土石流と後続流の流入割合については、過去の土石流の観測データを整理した結果、1土石流でピーク流量が全流出流量中に占める割合は、7～8割であった。また、昭和50年災害の再現実験において、土石流と後続流の流入割合を検討するために土石流と後続流の流入割合を1：1として行なったが、後続流が多く土砂を下流まで流出させるため、実験後の土砂氾濫範囲は50年災害の氾濫実績よりもかなり広くなり、昭和50年災害を再現できていないことから、土石流と後続流の流出割合を土石流：後続流＝7：3および8：2として実験を行なうこととした。

左右支溪の土砂流入割合は、昭和50年災害の基現実験の結果（実験ケース1～4）から、昭和50年災害の土砂の氾濫範囲については、右支：左支＝2：1とした実験ケース2の場合が全体的な氾濫形状は最もよく再現されていたが、土石流形態で流出する土砂の氾濫範囲や帝国ホテル方向への土砂氾濫については、右支：左支＝1：2とした実験ケース4の方が現地調査の結果により近い。さらに本実験の目的が、八右衛門沢で発生する土石流の扇状地上の流出、氾濫状況を捉え、その土石流を安全に下流へ流下させる施設配置を求めることにあるので、土石流形態で流出する範囲を最もよく再現できる条件である右支：左支＝1：2で昭和50年災害の再現実験を行なった。

2.2 昭和50年、昭和54年災害の再現実験結果

2.2.1 昭和50年災害の再現実験結果

(1) 実験条件と災害の再現性

実験条件を、土石流発生流量は合理式で求められる流量の2倍、後続流発生流量は合理式で求められる流量の $\frac{1}{2}$ 、左右支溪の土砂流入割合を右支：左支＝1：2、土石流と後続流の流入割合

を7:3とすることによって、図-13および写真-2に示すように土石流の流出範囲、土砂の氾濫範囲等からみて、ほぼ昭和50年災害を再現できたと考える。

(2) 実験結果

昭和50年災害の再現実験から、次のことが明かとなった。

- ① 扇状地内の土砂の流動形態は、地形条件（特に溪床勾配）によって規制される。
- ② 左支溪の土石流は、通水開始直後はほとんどの土砂が谷出口から合流点の間で堆積し流水のみが下流に流出するため、その堆積土砂によって土石流後半では写真-3に示すように左支溪左岸側への氾濫が著しく、流水はそのまま流下し上高地湿地帯まで到達する。河道部を流下する流水は、合流点のNa 15付近からNa 10区間において、流路幅約15m程度で河床を洗掘しながら流下し、上高地湿地帯まで達する。また、現河道を流下する流水の一部は、写真-4に示すようにNa 12～Na 13付近から帝国ホテル側に氾濫（流水のみ）するほか、河床勾配の変化点であるNa 10付近で流水が大きく拡散するため、扇状地下流の氾濫範囲が大きくなってしまう。
- ③ 右支溪の土石流は、写真-5に示すように発生直後に右支溪のNa-1～-2区間の右岸側から一部が溢れ、その土砂は右支溪右岸側にある谷沿いに流下しNa 11付近に堆積する。
河道沿いに流下した土石流は合流点で堆積し、遡上および洗掘を繰り返しながら左支溪の土石流によって作られたガリー谷内を流下し堆積域を広め、その堆積土砂によって写真-6に示すように右支溪の流れが流向を帝国ホテル側へ向けられ氾濫する。しかし、帝国ホテルまで達する土砂は少なく、そのほとんどが流水のみである。また、右支溪の土石流が左支溪の土石流によって洗掘されたガリー谷内を流下するため、土砂が土石流形態で流下する範囲はNa 9付近までである。
- ④ 後続流の通水開始直後では、写真-7に示すように左支溪の流水は左支河道内および合流点に堆積した土砂によりその流向を変えられ、Na 19およびNa 16地点より左岸側に氾濫する。また、右支溪の流水も合流点部に堆積した土砂によりその流向を右岸側に変えられ、合流点の堆積土砂を洗掘しながらNa 15付近から帝国ホテル側へ氾濫する。その後、左右支溪の流水は流向を小さく左右（首振りを起こして）に変えながら合流点に堆積した土砂を洗掘し、除々にその流れを河道内に移していく。
- ⑤ 八右衛門沢橋は、土石流流下時に上流の河床が洗掘されて流出してきた土砂によってクリアランスが無くなり、流水および土砂が氾濫する（写真-8）。

2.2.2 昭和54年災害の再現実験結果

(1) 実験条件と災害の再現性

昭和54年災害の再現実験は、図-5に示す施設を設置し昭和50年災害の再現実験と同じ水理条件で行なったが、図-14および写真-9から帝国ホテル方向への土砂の氾濫が過大に表われた点を除けば、その他の土砂氾濫範囲等からみて昭和54年災害はほぼ再現されていると思われる。

(2) 実験結果

昭和54年災害の再現実験から、次のことが明かとなった。

- ① 扇状地内の土砂の流動形態は、地形条件（特に溪床勾配）によって規制される。
- ② 左支土石流1回目では、土石流は合流点まで到達せず、左支溪内で堆積し、昭和50年災害の

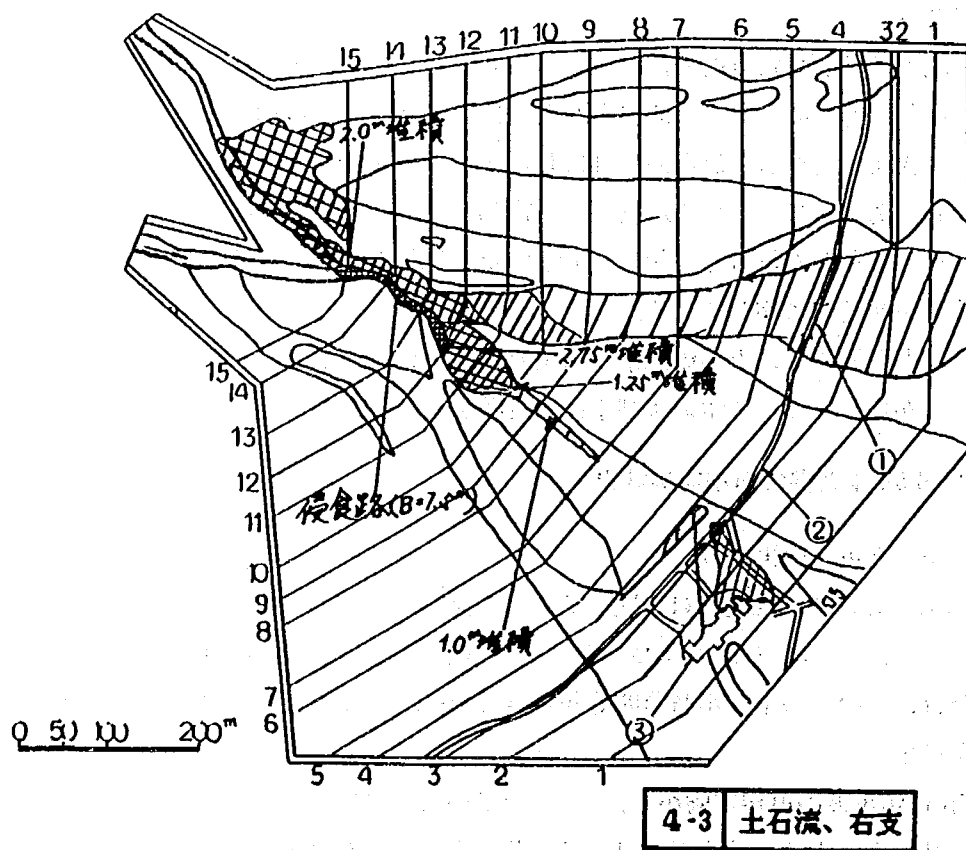
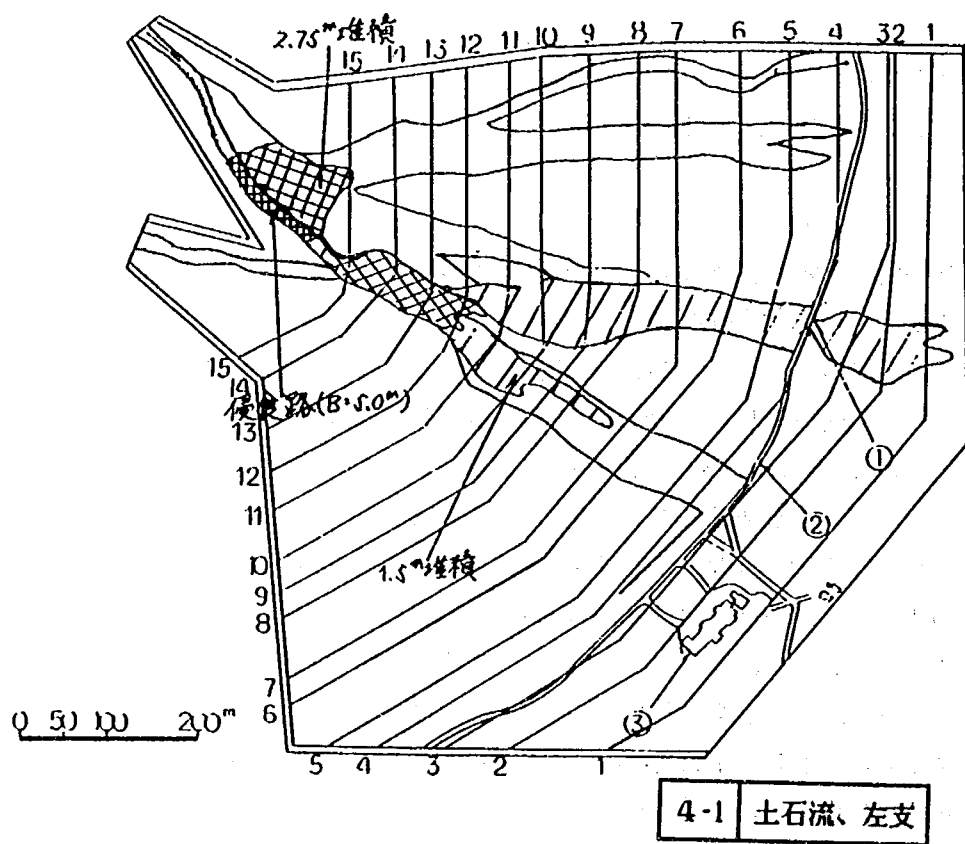
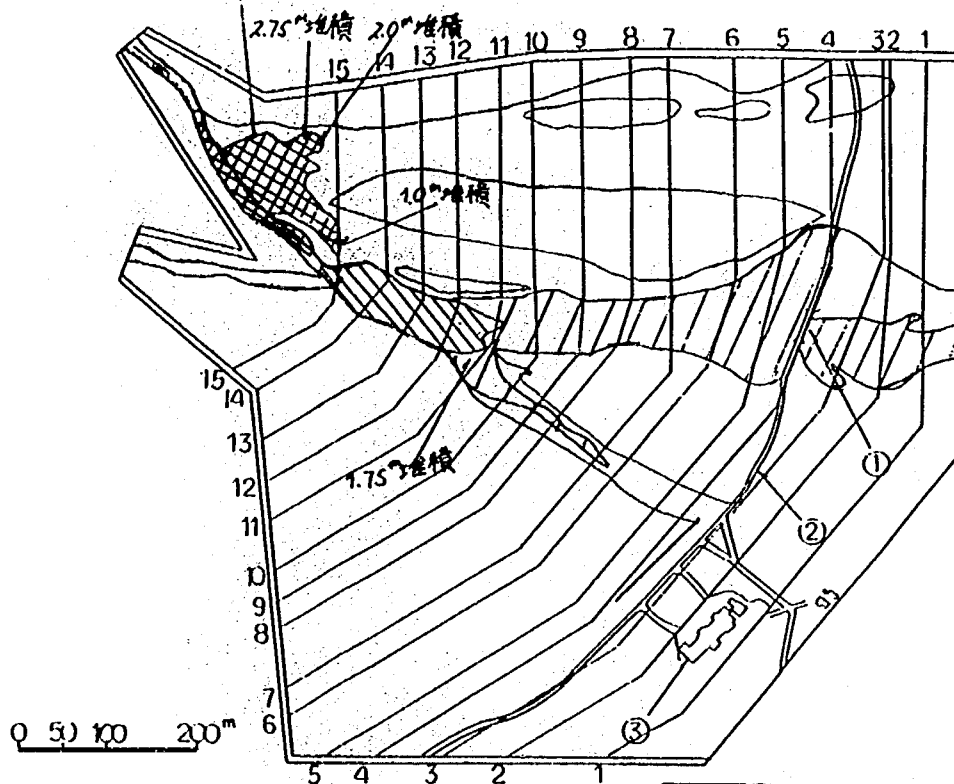
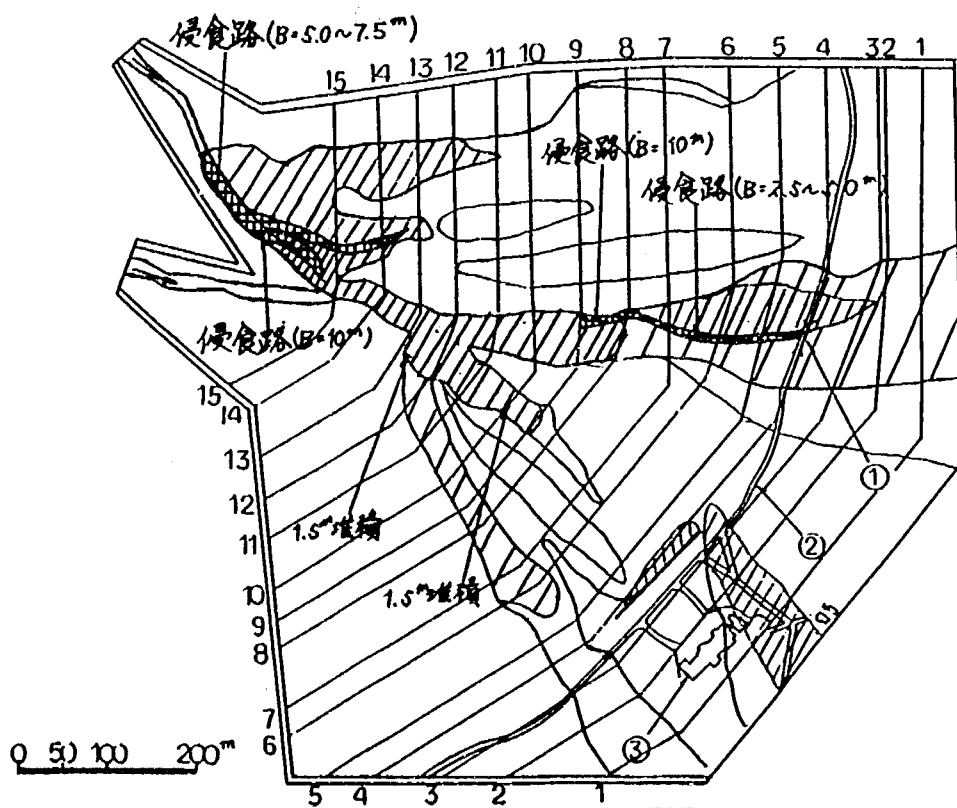


図-13 流況観察平面図 (CASE-4)

左支土石流の大半が左岸寄りに泥上げし堆積する。



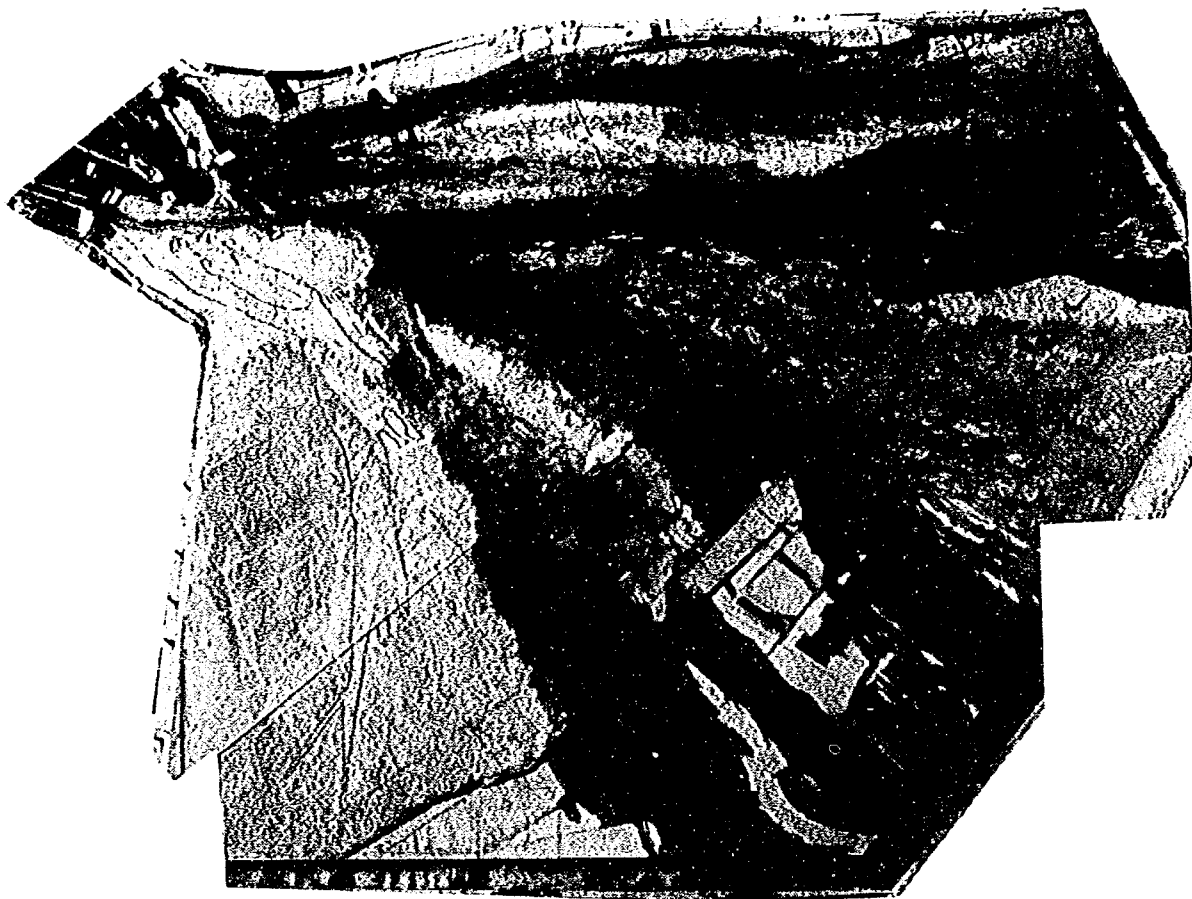
4-2 土石流、左支



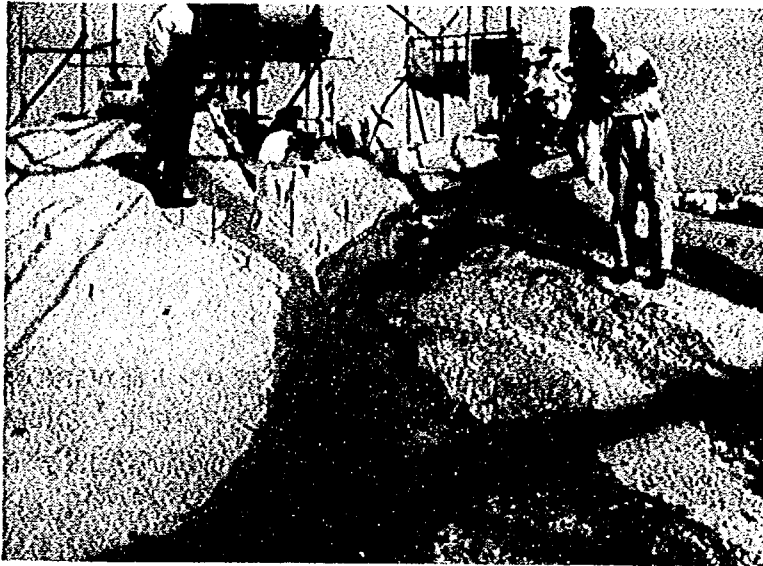
4-4 後続流、右支、左支

- ①八右衛門橋
- ②県道上高地線
- ③帝国ホテル

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



写真－2 後続流通水中の土砂および流水の氾濫状況
(CASE－4 昭和50年災再現実験)



写真－3

左支土石流は，ほとんどの土砂が左支溪内に堆積し，流水が左岸側に氾濫する。



写真－4

左支土石流の帝国ホテル方向への氾濫およびNo.10付近に堆積した土砂による氾濫範囲の増長状況



写真－5

右支溪No.1～2区間の土石流氾濫状況



写真-6

右支土石流は、フロント部が合流点に堆積するため土石流後半、その流れは右岸側に変えられ、帝国ホテル方向へ氾濫する。



写真-7

後続流通水開始直後の、左右支溪の流水の流況状況



写真-8

県道橋部の流水の氾濫状況

再現実験と同様に左岸側へ氾濫する。2回目では、1回目の土石流が左支溪内に堆積し河床が上昇しているため、土石流は左支溪河道の左岸沿いを流下しNo 14 地点まで到達する。この流れが生じるために、写真－10 に示すように3号床固工の左岸袖を土石流が越流し、さらに3号床固工左岸袖に当たった流水は、その流向を右岸方向へ向けられ2号床固工の右岸側を通り（2号床固工右岸袖の越流も生じる。）帝国ホテル方向へ氾濫する。河道内を流下する流れは、2号床固工付近に扇状地状に堆積した土砂によって2号床固工上流で大きく左右に拡散されるため、これより下流の扇状地での流水および土砂の氾濫範囲が大きくなってしまう。

- ③ 右支土石流は、フロント部が合流点に堆積し、首振りを生じながら扇状地状に堆積していく。土石流後半では、合流点部に堆積した土石流フロント部の土砂によってその流れは流向を右岸方向へ変えられるため、3号床固工右岸側より氾濫する。左岸側へ氾濫する流水および土砂は、No 15 ～No 7 区間では現河道左岸側の地形によってその氾濫形状を規制され、左支溪No 19 地点から氾濫した流れを除き、大きく河道外に氾濫しない。

河道内を流下する土石流は、3号床固工によって河床勾配が緩められていることと、合流点部に設置されたパイプ林によりその流れが減勢されるために、3号床固工上流に堆積し、昭和50年災害の再現実験に比べ流下および氾濫範囲が狭くなっている。

- ④ 土石流通水時は、ほとんどの土砂が3号床固工上流に氾濫、堆積してしまうために、写真－11 に示すように3号床固工下流では約3 mの局所洗掘を受ける。

- ⑤ 後続流通水時は、写真－12 に示すように右支溪の流れは合流点部に堆積した土砂により右岸側へ、左支溪の流れは左支溪河道内に堆積した土砂により左岸側にその流向を変えられるために、合流点下流では現河道内を流下する流水は少なく河道外に大きく氾濫する。

左支後続流は、除々に左支溪内に堆積した土砂によってその流れを左岸側に向けられるために、左岸側に氾濫する傾向は変わらない。

昭和50年災害の再現実験の結果から、昭和60年度の実験と同様に帝国ホテル方向への氾濫は、右支溪が危険度の高さに左支溪を大きく卓越していることが明かとなった。さらに、これらの実験を行なうことによって、左支溪部における土石流の土砂堆積が、後続流通水時の扇状地下流の土砂および流水の氾濫範囲を広める原因となっており、右支溪も一度土石流が河道外（右岸側）に氾濫するとその地形から見て土砂および流水の氾濫範囲が極端に大きくなる可能性があり、現在現地の左右支溪内に設置されている導流堤が必要かつ重要であると思われる。

左右支溪から流出する土石流は合流点部に大きく堆積し、その土砂が左右支溪の後続流の流向を大きく左右に変へ、扇状地下流部の土砂および流水の氾濫範囲を広める1原因となっているので、これらの流れを河道外に氾濫することを防ぐために、3号床固工および2号床固工の袖を延長する必要性も伺える。

2.3 現況施設の効果の検討および計画施設の必要性

現況施設の計画土砂流出に対する効果および問題点を把握するために、現況施設に計画の土砂を与えて実験を行なった。ただし、昭和54年災害の再現実験結果から、後続流通水時に生じる合流点部の左右岸への氾濫は、パイプ林および3号床固工を現形状としたまま実験を行なっても防止できないことが明白なため、実験検討の効率化を考え3号床固工および2号床固工右岸に導流堤を計画案に従

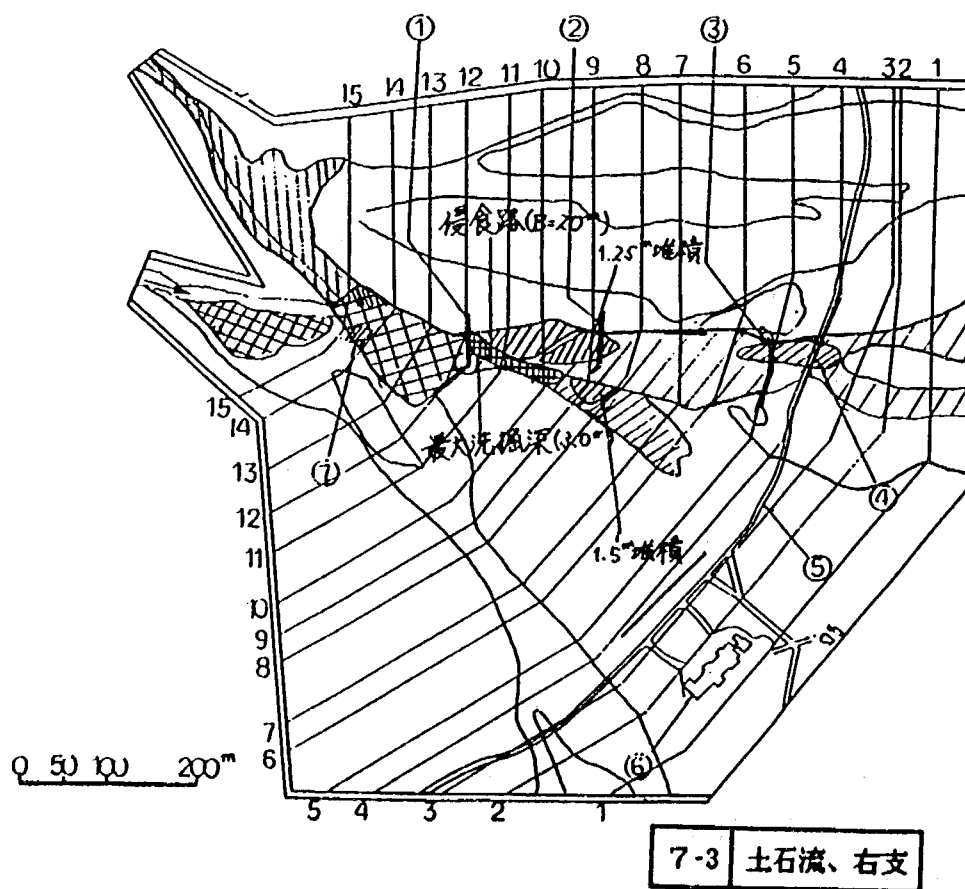
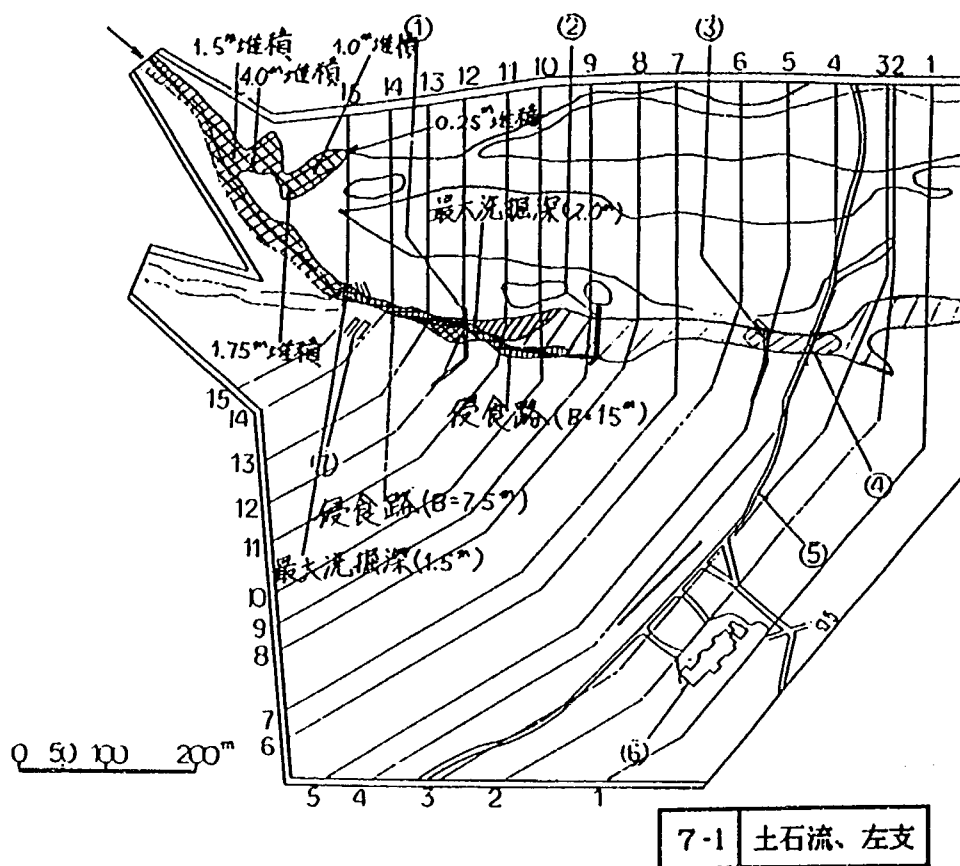
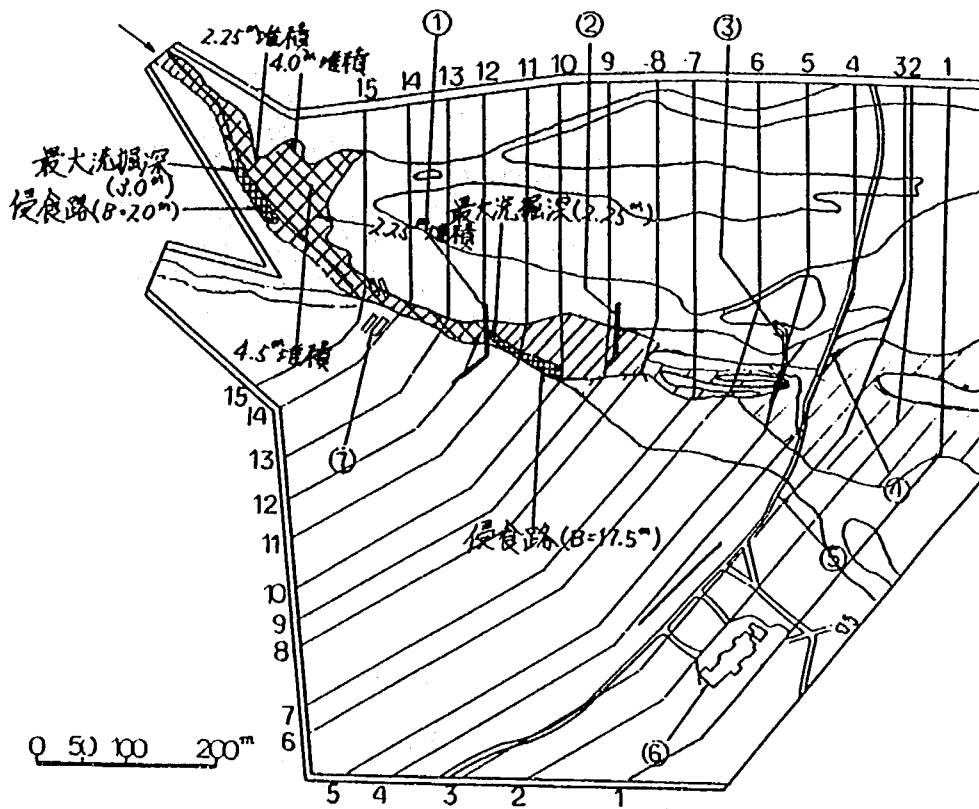
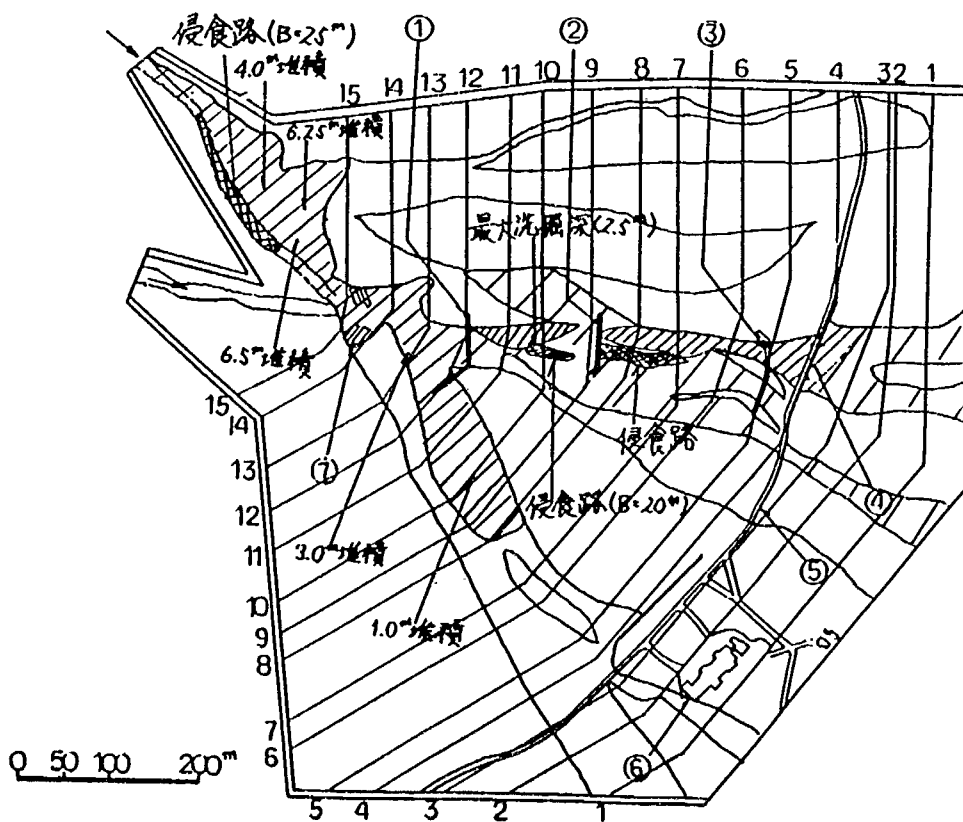


图-14 流況觀察平面图(CASE-7)



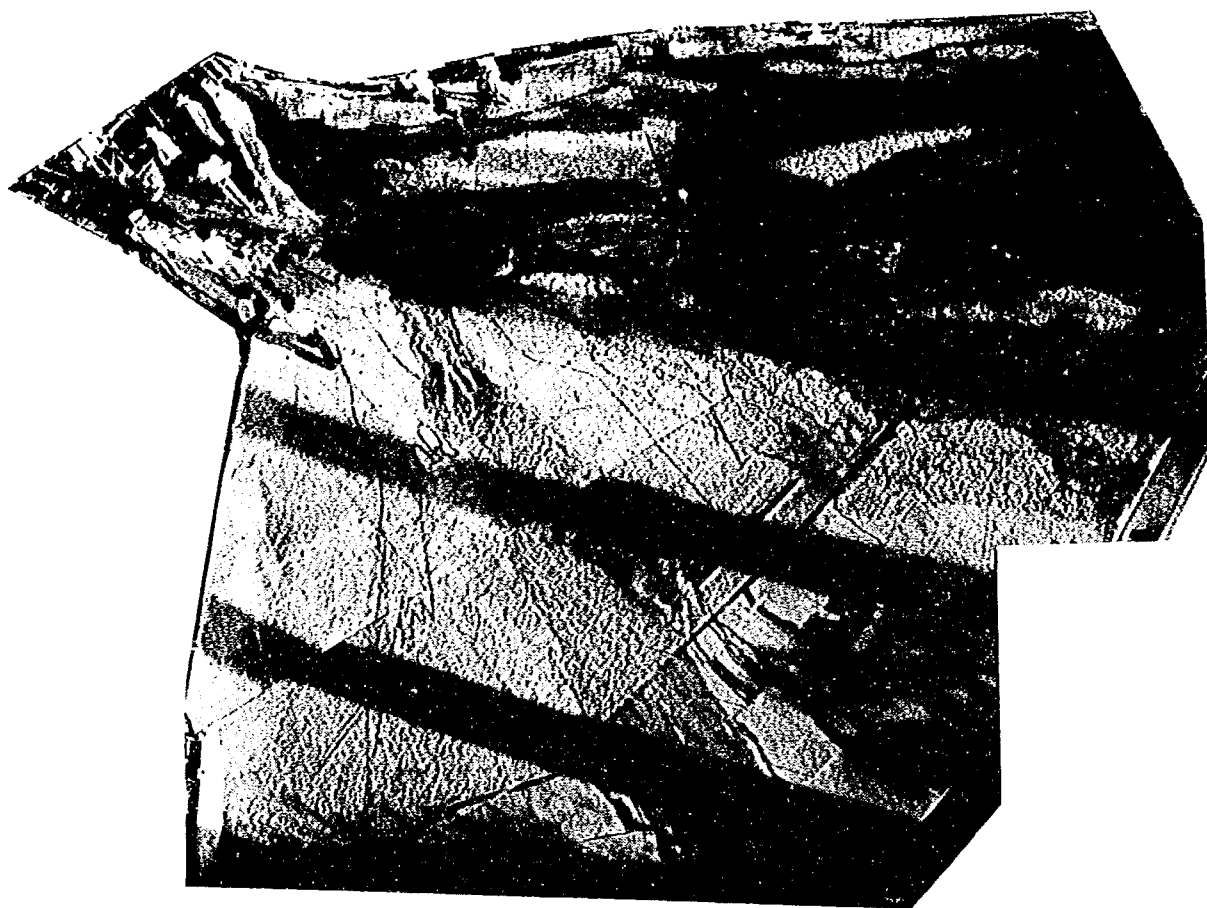
7-2 土石流、左支



7-4 後続流、右支、左支

- ①第3号床固工
- ②第2号床固工
- ③第1号床固工
- ④八右衛門橋
- ⑤県道上高地線
- ⑥帝国ホテル
- ⑦パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



写真－9 後続流通水中の土砂および流水の氾濫状況
(CASE－7 昭和54年災害再現実験)



写真-10

左支左岸側を流下してきた流水は、
3号床固工左岸袖に当たりその流向
を右岸側に変えられ、帝国ホテル方
向へ氾濫する。

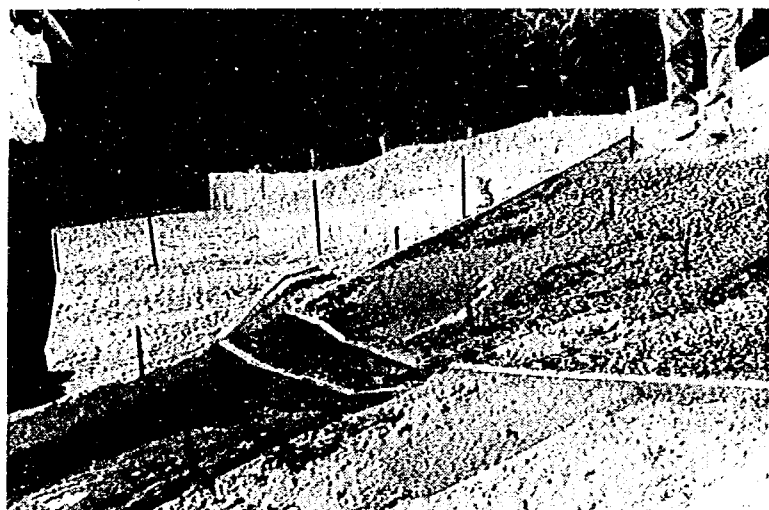


写真-11

3号床固工下流の局所洗掘状況



写真-12

左右支溪の後続流の流況状況

って増設して、導流堤の効果の把握も同時に行なった。(図-6, 7 参照)

実験は、左右支溪の土砂配分を右支：左支＝2：1（実験ケース8, 10）および1：2（実験ケース9）として行なっている。これら3ケースの実験結果は、図-15, 16, 17に示すように後続流の流況を除き土石流の流下、氾濫堆積状況等の傾向がほぼ一致していたので、土石流通水時の実験結果をまとめて記述する。

2.3.1 実験ケース8, 9, 10の土石流通水時の流況

- ① 左支溪は、河道内に多くの土砂が堆積するため3号および4号導流堤の上流端から少量の土砂および流水が氾濫したが、写真-13, 14に示すように左右支溪の導流堤とも土石流の流向制御の効果を十分に発揮し、河道外への氾濫を防止している。
- ② 右支土石流は、フロントが合流点に堆積し河道中央部のパイプ林が土砂に埋まる。その後右支土石流は、左右に首振りを起こしながら堆積範囲を広げるが、パイプ林によって土石流の堆積範囲が狭められるため、その堆積土砂によって流れは流向を右岸側に変えられ、写真-15に示すように3号床固工右岸の既設の袖部を越流し、帝国ホテル方向への土砂の氾濫は生じない。
- ③ 3号床固工下流では、土石流通水中に3号床固工下流へ土砂がほとんど流出しないため、5m程度の局所洗掘を受ける。また、3号床固工下流の河床は深さ3m、幅20m程度で侵食され、その洗掘土砂が2号床固工付近に堆積するため、この土砂堆積によって流水は左右へ大きく拡散され、1号床固工左右岸袖部外を流下し氾濫する。
- ④ 県道橋付近は、写真-16に示すように土石流通水時に2号～1号床固工間の河床が洗掘され流出した土砂が堆積するため、県道橋のクリアランスがなくなり、流水は県道橋を越流し氾濫する。

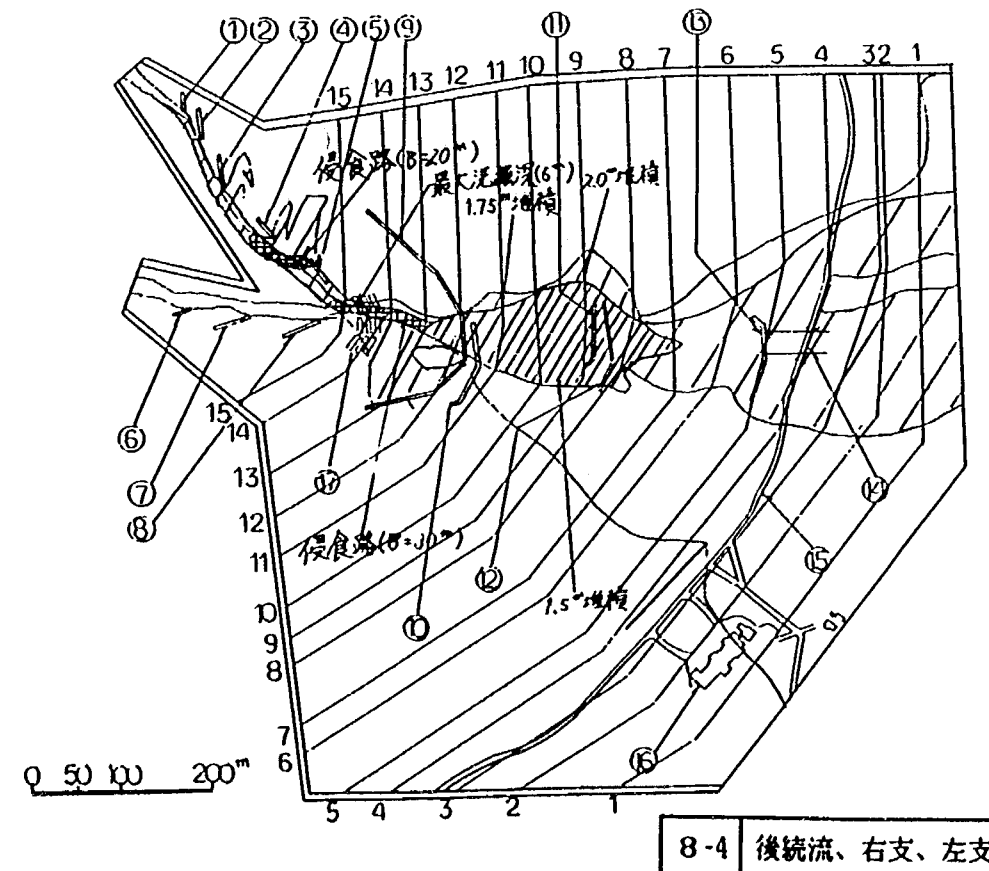
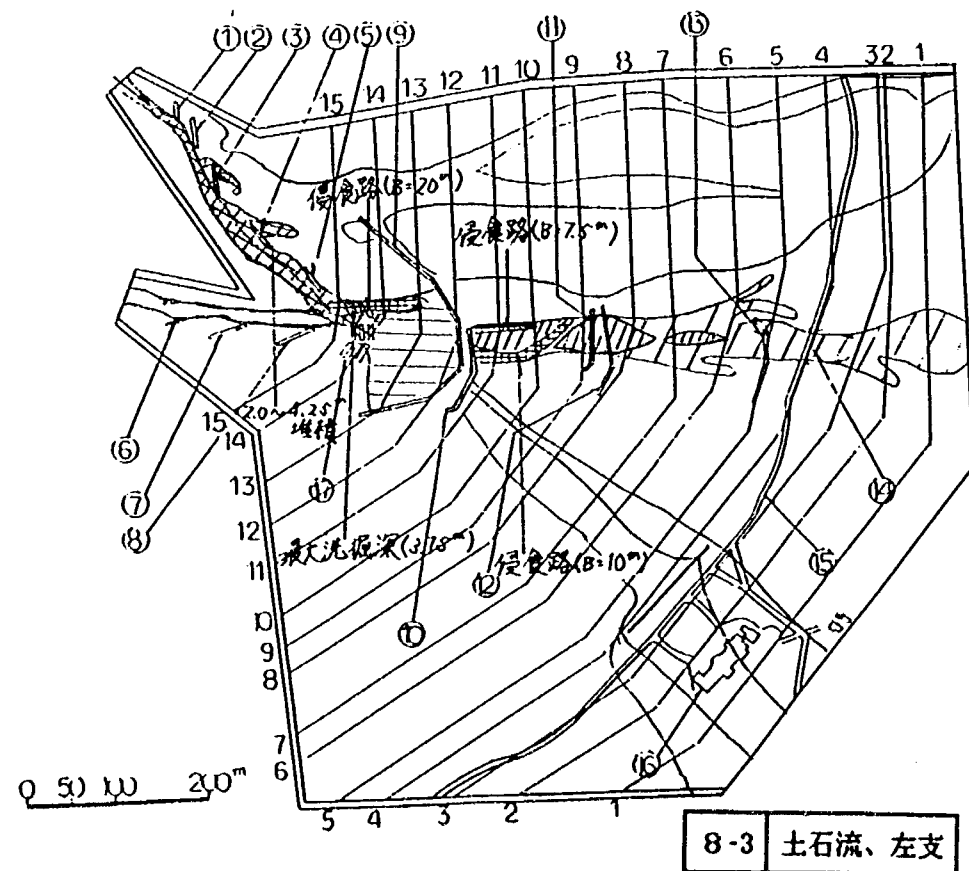
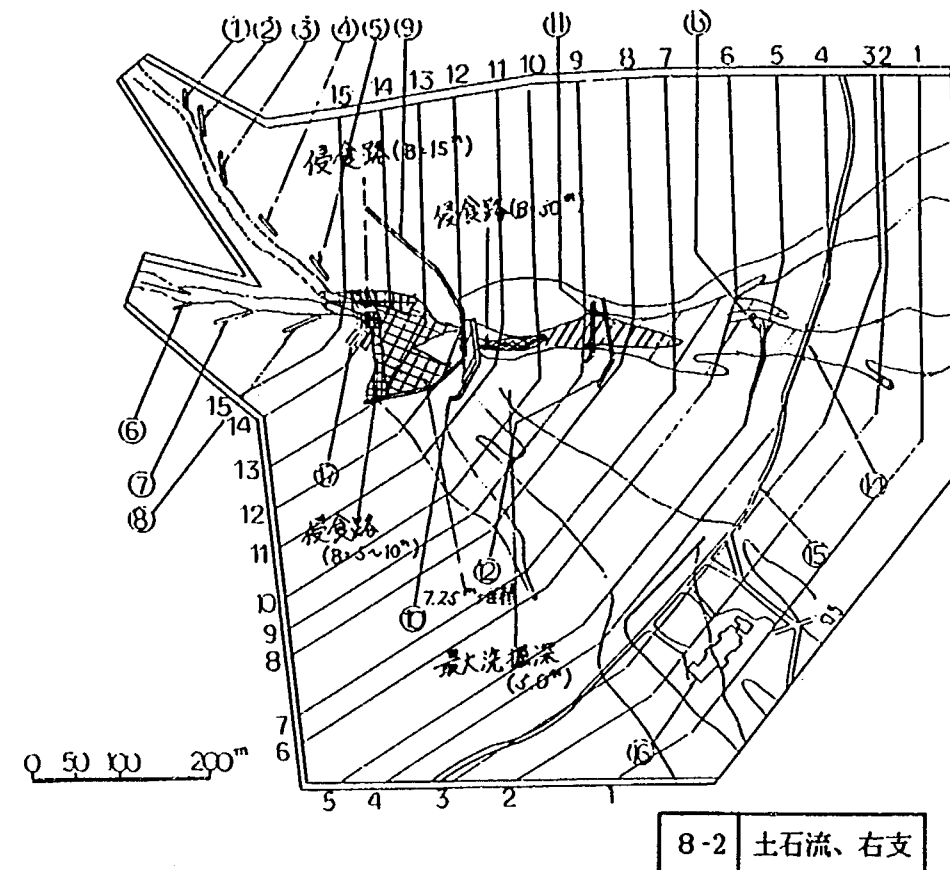
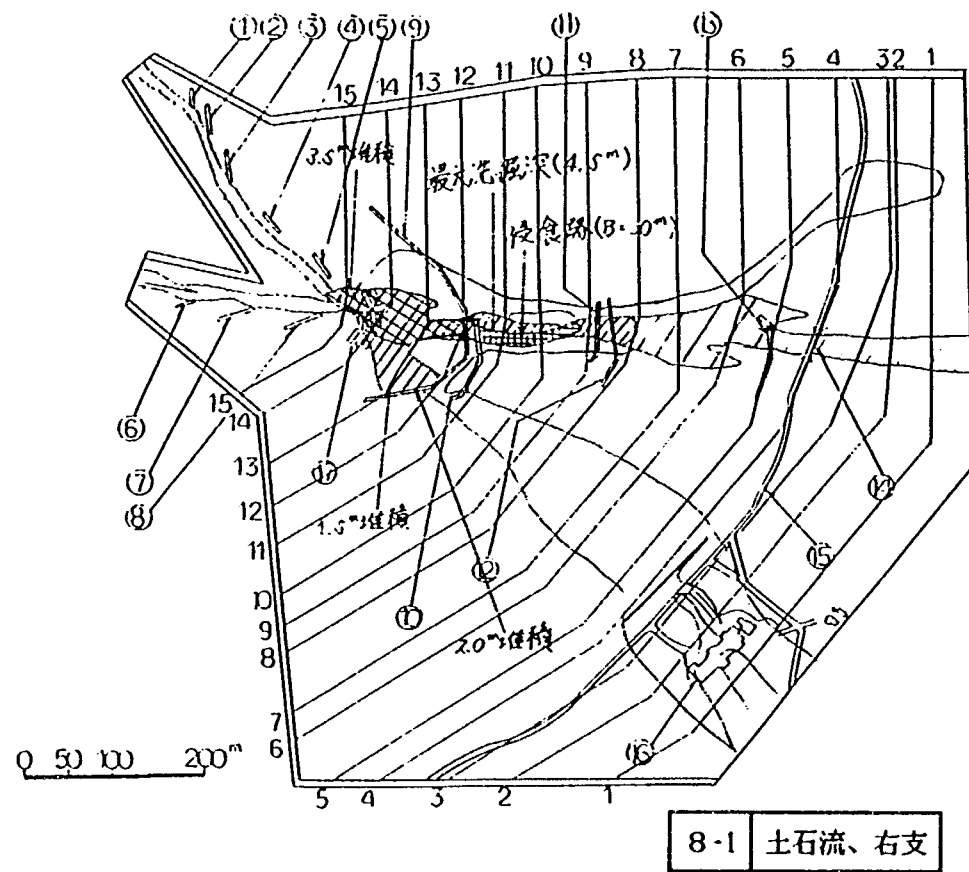
2.3.2 実験ケース8, 9, 10の後続流の流況

(1) 実験ケース8

- ① 左右支溪の後続流は、通水開始直後合流点右岸側に片寄って堆積した土砂によってその流向を左岸側に変えられ、3号床固工左岸袖（既設部）を越流し現河道左岸側にある谷を流れ、2号床固工付近に小さな扇状地を形成する。流水は、この地点で左右に拡散されるため、下流部での氾濫範囲が広がる。
- ② その後合流点部に堆積した土砂は、後続流によって洗掘され左右支溪の流れは徐々に河道中央部を流れるようになる。後続流が合流点中央部を流れるようになると、後続流によって洗掘され流出した合流点部の堆積土砂が2号床固工付近に扇状地状に堆積するため、写真-17に示すように扇頂部（No13）で流水が左右に大きく拡散され、氾濫範囲を広める。

(2) 実験ケース9

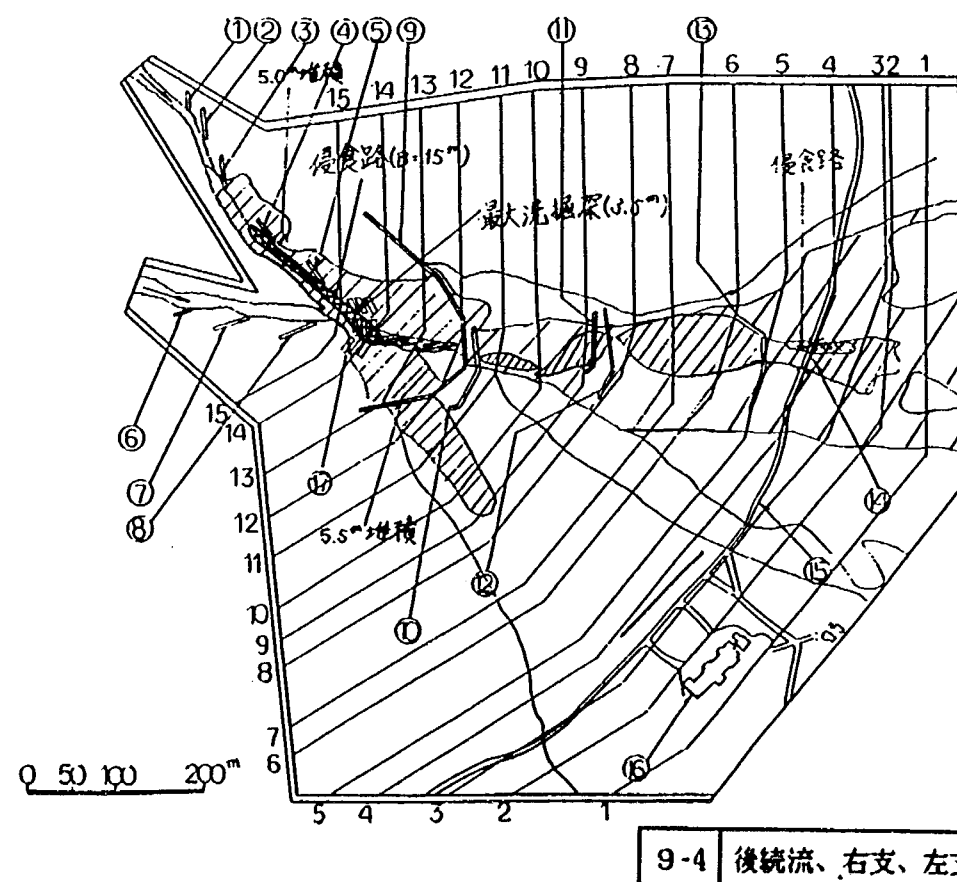
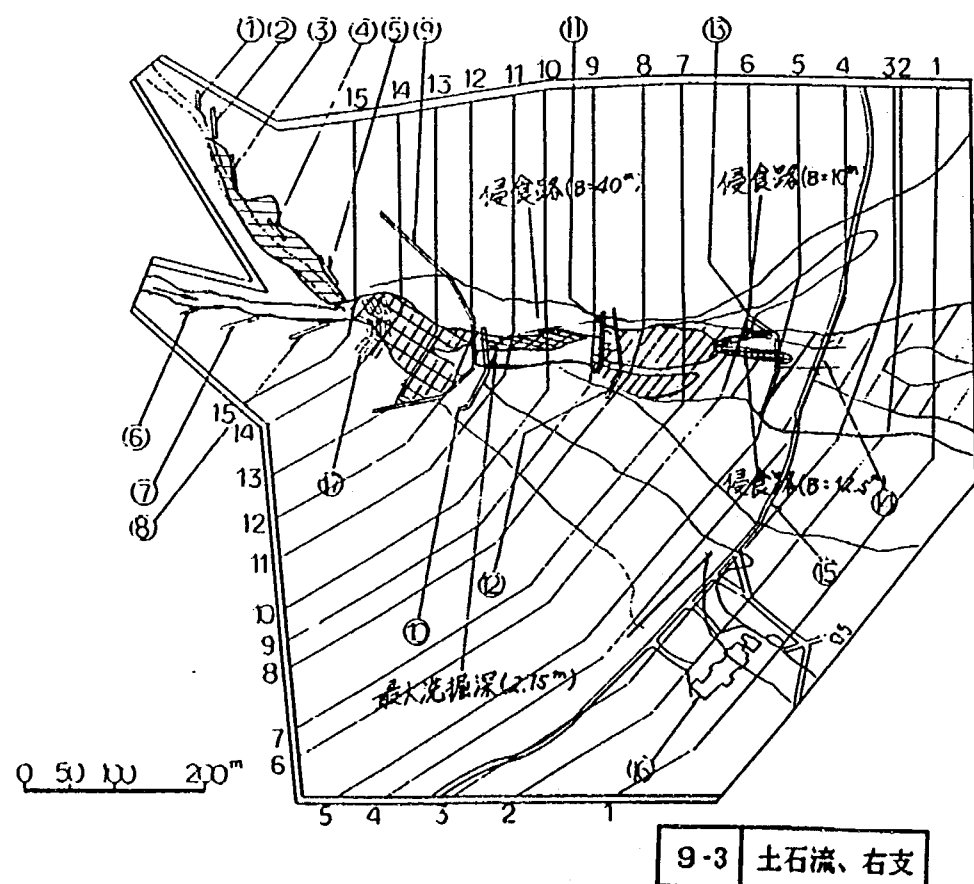
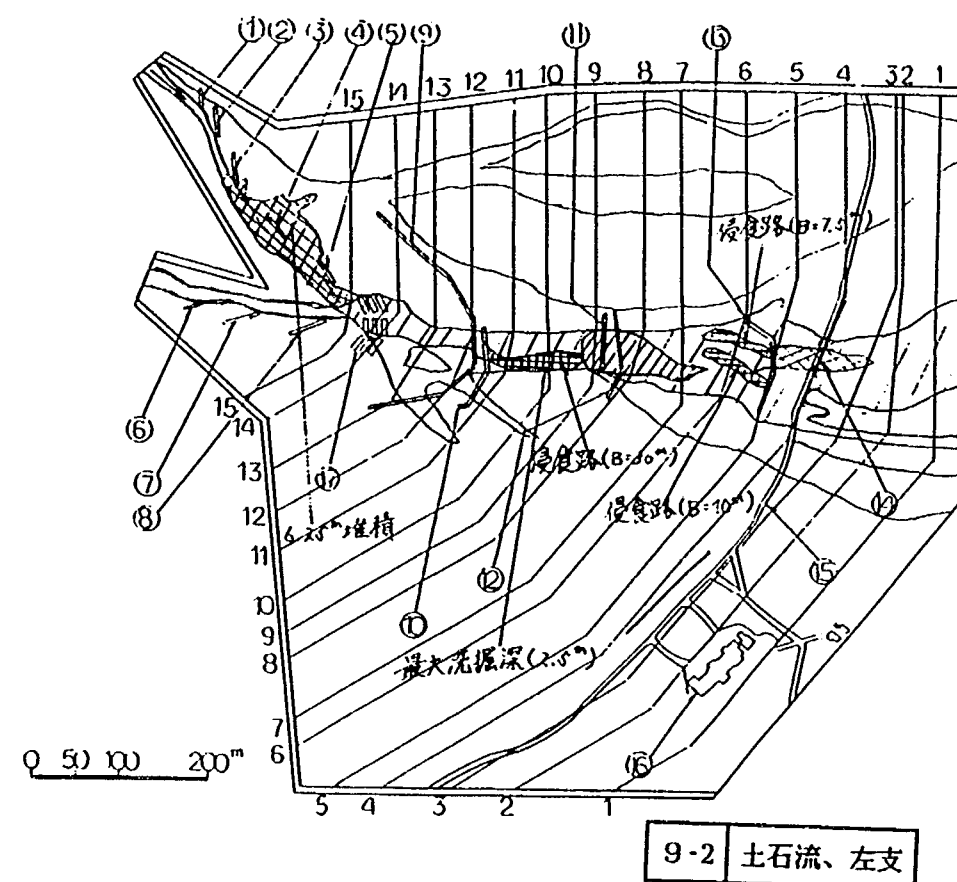
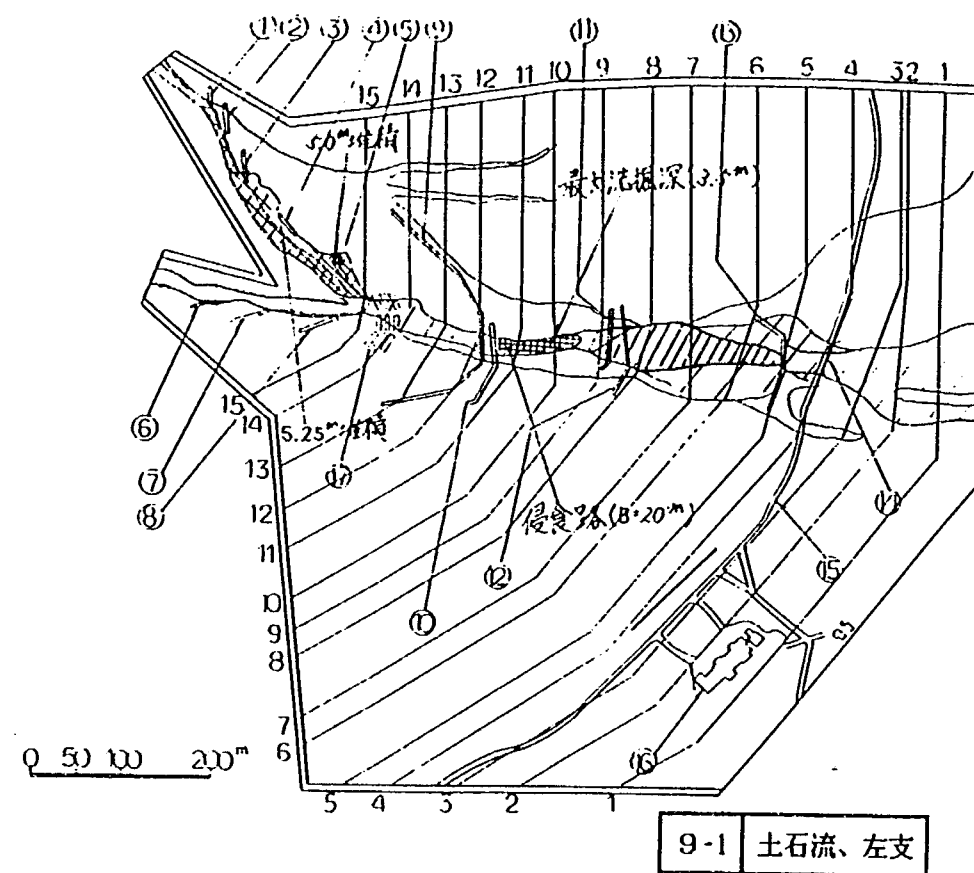
- ① 後続流は、左右支溪とも通水開始直後は合流点部に堆積した土砂によってその流向を右岸側に変えられ、3号床固工右岸袖を越流して帝国ホテル方向へ氾濫する（写真-18参照）。これは、3号床固工上流部が土石流通水時にほぼ袖天端高程度まで堆砂（満砂の状態）し、後続流通水時に流出する土砂に対する空容量が無くなってしまうためである。
- ② 後続流通水開始から5分後頃より、左右支溪の後続流はさらに右岸側を流向を変えるため、



- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

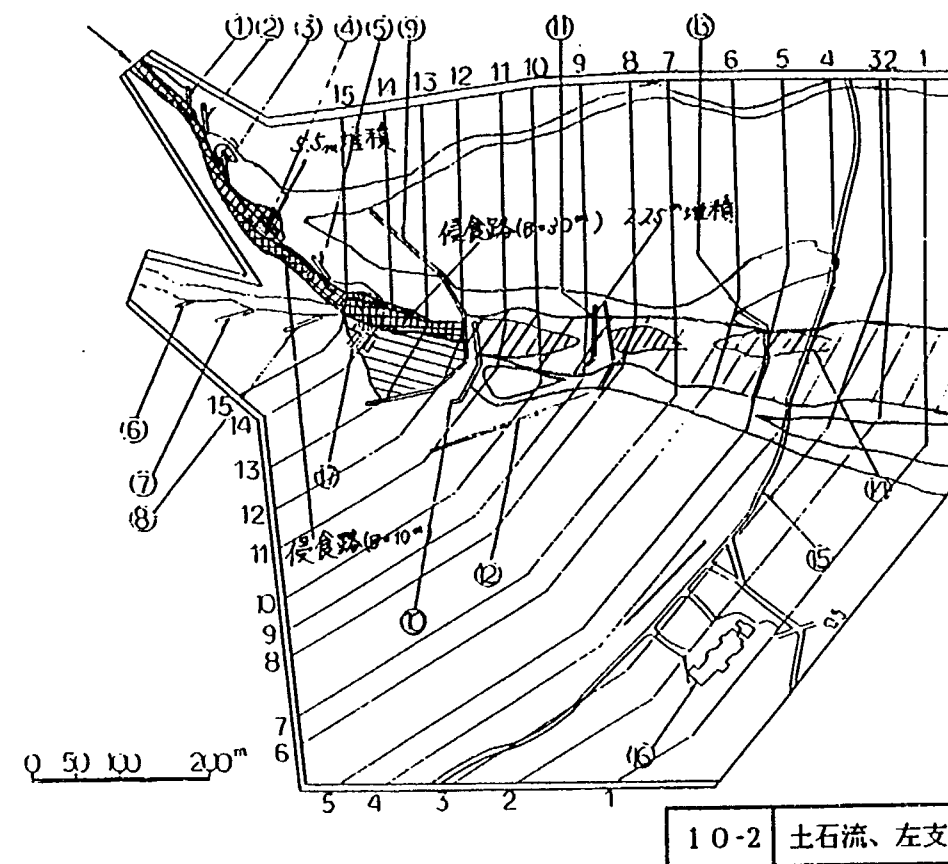
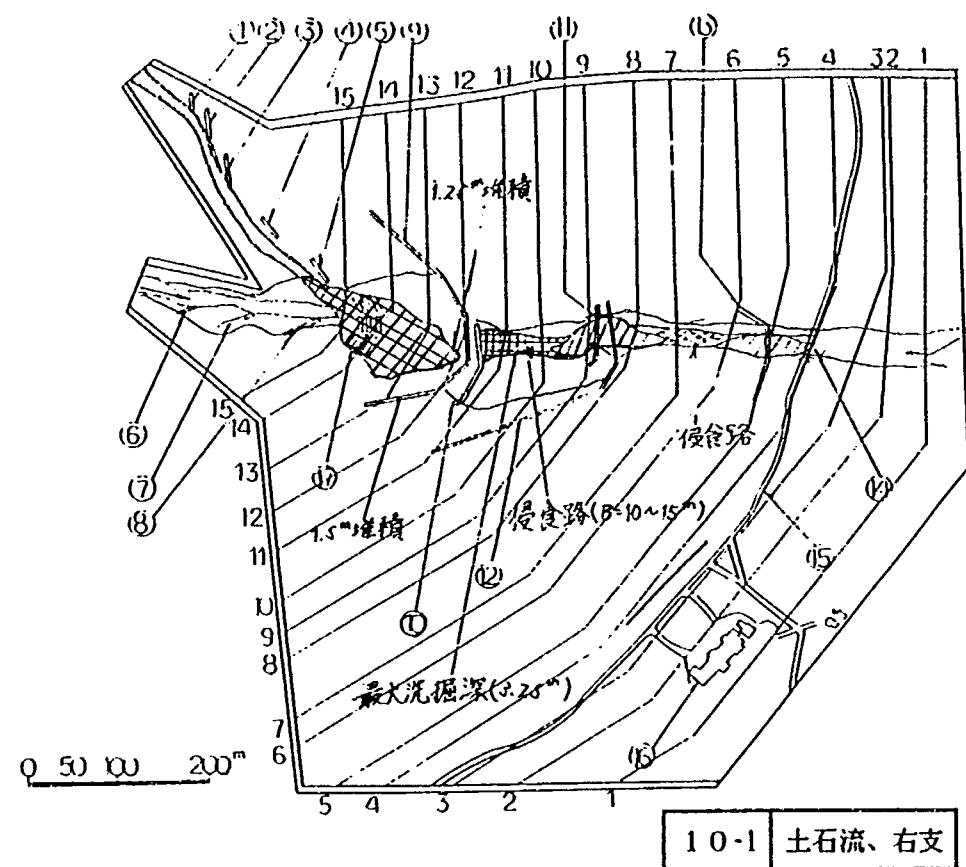
図-15 流況観察平面図(CASE-8)



- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

図-16 流況観察平面図(CASE-9)



- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- ▨ 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

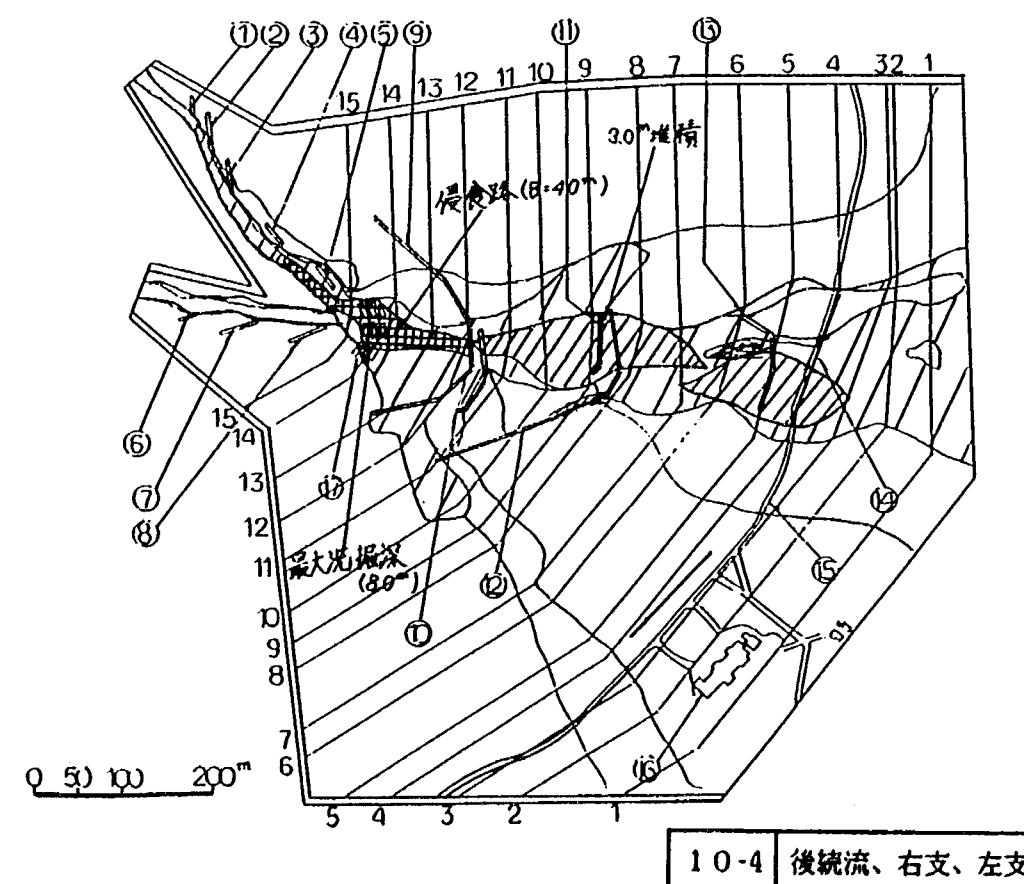
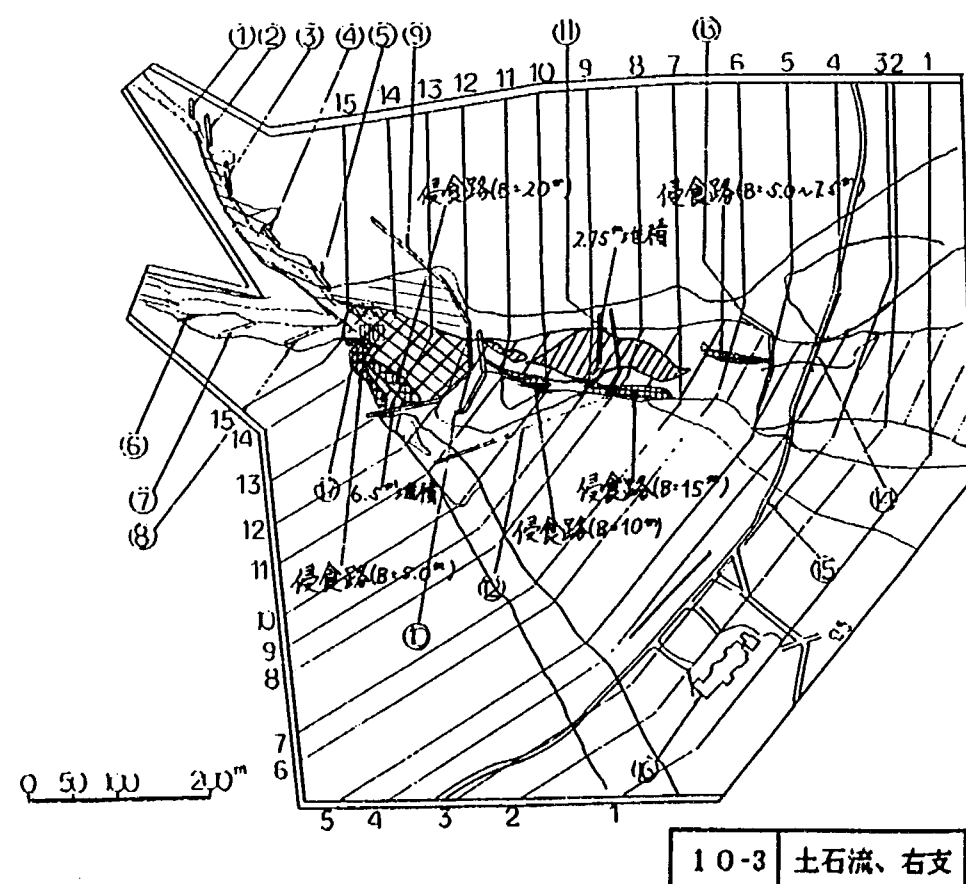


図-17 流況観察平面図 (CASE-10)

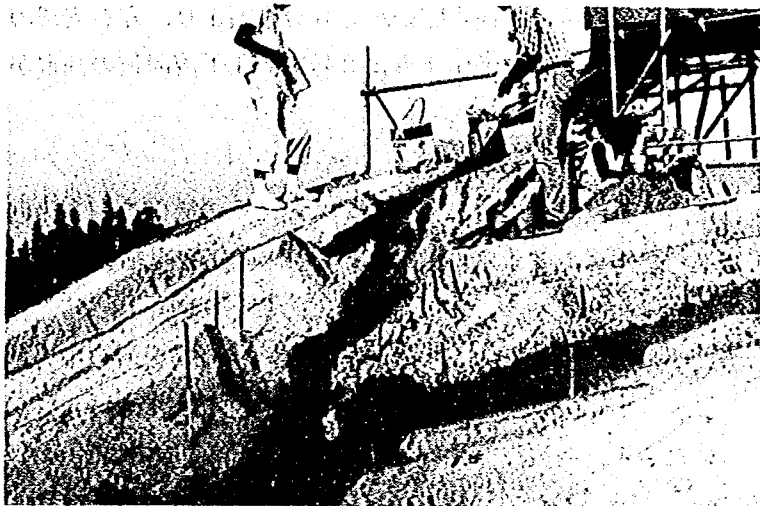


写真-13

右支右岸側に設置した導流堤はその効果を發揮し、土石流の氾濫を防止している。

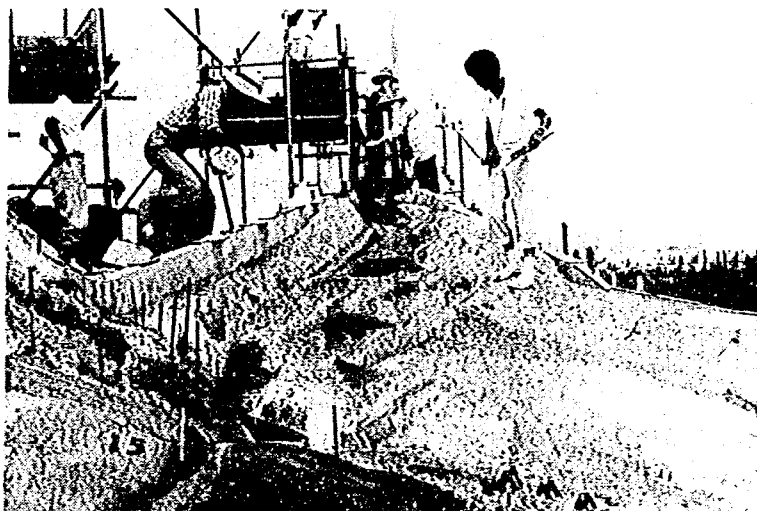


写真-14

左支左岸側に設置した導流堤は少量の土砂及び流水が左支左岸側に氾濫するが、その効果を發揮し土石流の氾濫を防止している。



写真-15

3号床固右岸袖の越水状況

帝国ホテル方向への氾濫は無くなる。さらに、後続流通水開始から8分後頃より、左右支溪の後続流は河道中央部を流れるようになり、写真-19に示すように3号床固工下流河道の洗掘が埋め戻される。

(3) 実験ケース 10

① 後続通水開始直後左右支溪の流れは、合流点部に堆積した土砂によってその流向を左右方向に変えられ、右支後続流は3号床固工右岸側に氾濫する。しかし、2号床固工右岸袖の延長を行っていたため、その流れは帝国ホテルを直撃することはない。(写真-20参照)。

② その後左右支溪の後続流は、合流点部に堆積した土砂を洗掘しながらその流れを河道中央部に変えていく。

③ 後続流が河道中央部を流れるようになると、合流点部に堆積していた土砂が下流に流出し、2号～3号床固工間に大きく扇状地状に堆積するため、河道を流下してきた流水は3号床固工(堆積土砂の扇頂部)付近で大きく左右へ拡散し、これより下流の氾濫を大きくしている。

現況施設に計画の土砂量を与えて実験を行なった結果、土石流形態の土砂流出に対しては、左右支溪内に設置した導流堤形土石流の流向を制御し、さらに、パイプ林、床固工も扇状地下流への土砂流出を防止する等、これらの施設はその効果を十分発揮していると思われる。しかし、現況施設では土石形態で流出する土砂の氾濫は防げるものの、後続流流下時の土砂および流水の河道外への氾濫は防止できなかった。これは、扇状地上流での土石流の氾濫を抑える要のパイプ林および3号床固工の設置箇所が地形の制約によって堆砂容量が少ないのに反して、八右衛門沢で計画されている土石流の規模が大きく、さらに、パイプ林は河床勾配の変化点に設置されており、土砂が堆積しやすく、堆砂容量以上の土砂を堆積させてしまう(広く拡散させて堆積させることができない)ため、これらの現況施設は土石流通水時に流出する土砂で満砂状態となり、後続流による土砂の流出を防げないものと思われる。

この対策として、合流点部に新に設置する構造物(3号床固工左右岸に設ける導流堤)の計画高を大きくすることが考えられるが、合流点部に設置する高い構造物は、土石流の直撃を受け破壊される可能性が高いことと、扇頂部で河床を上昇させることは、扇頂部における左右への土砂氾濫を促すことになり、結果的に左右に設置する導流堤の規模を大きくせざるを得ないことが明白であること等から考えて、この案は得策ではないと判断した。したがって、合流点部では土石流形態で流出する土砂をある程度減勢、堆積させて、後続流によってパイプ林および3号床固工を越流して流下する流水と土砂は、計画案通りその下流(2号、1号床固工の左右岸)に導流堤を設置して河道内へ導流することが望ましいと思われる。また、これらの導流堤を設置すれば、2号および1号床固工の上流に生じる扇状地状の土砂堆積により流水が拡散され河道外に氾濫する流れも河道内に導流することができ、その氾濫をも防止することができるとと思われる。

2.4 計画施設の効果の検討および問題点

2.4.1 計画施設の効果

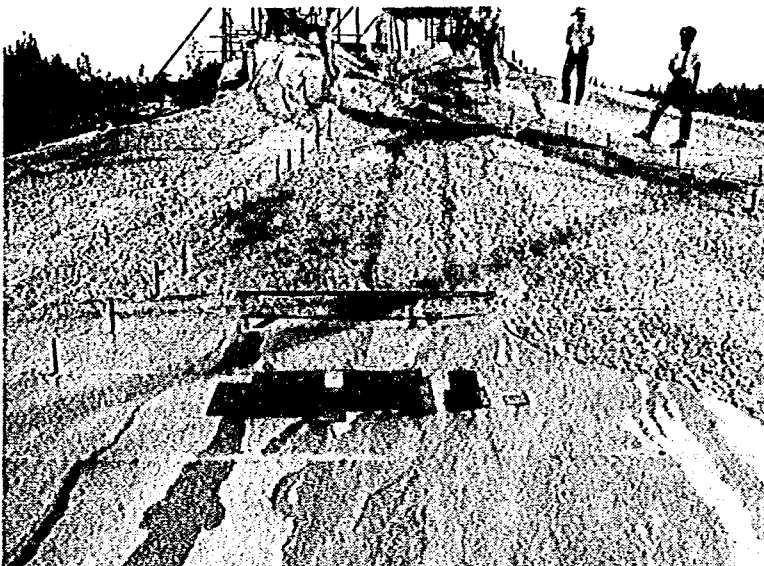
実験ケース8～10の結果から、左支溪の3号～4号導流堤間および合流点右岸側からの土砂および流水の氾濫は、計画案の施設を設置しても防げないことが明らかなので、実験ケース11では、図



写真－16
県道橋部の流水の氾濫状況



写真－17
後続流流況状況および2号床固工上流に堆積した土砂による流水の氾濫範囲の増長状況



写真－18
3号床固工右岸袖および導流堤部の越流状況



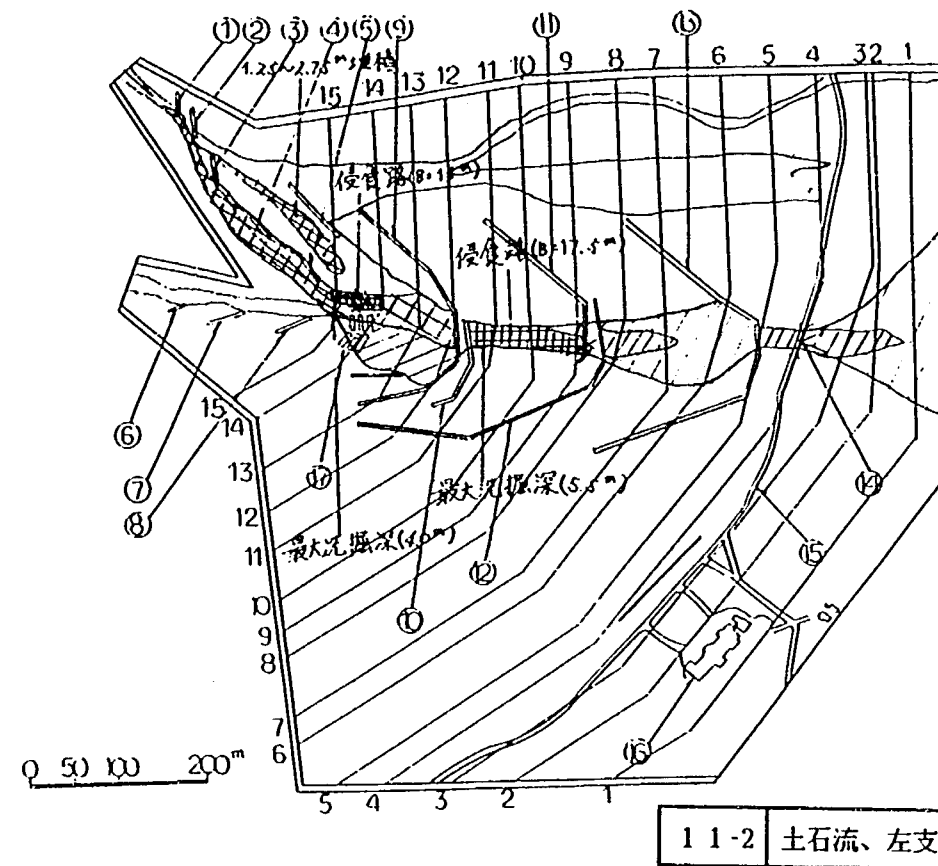
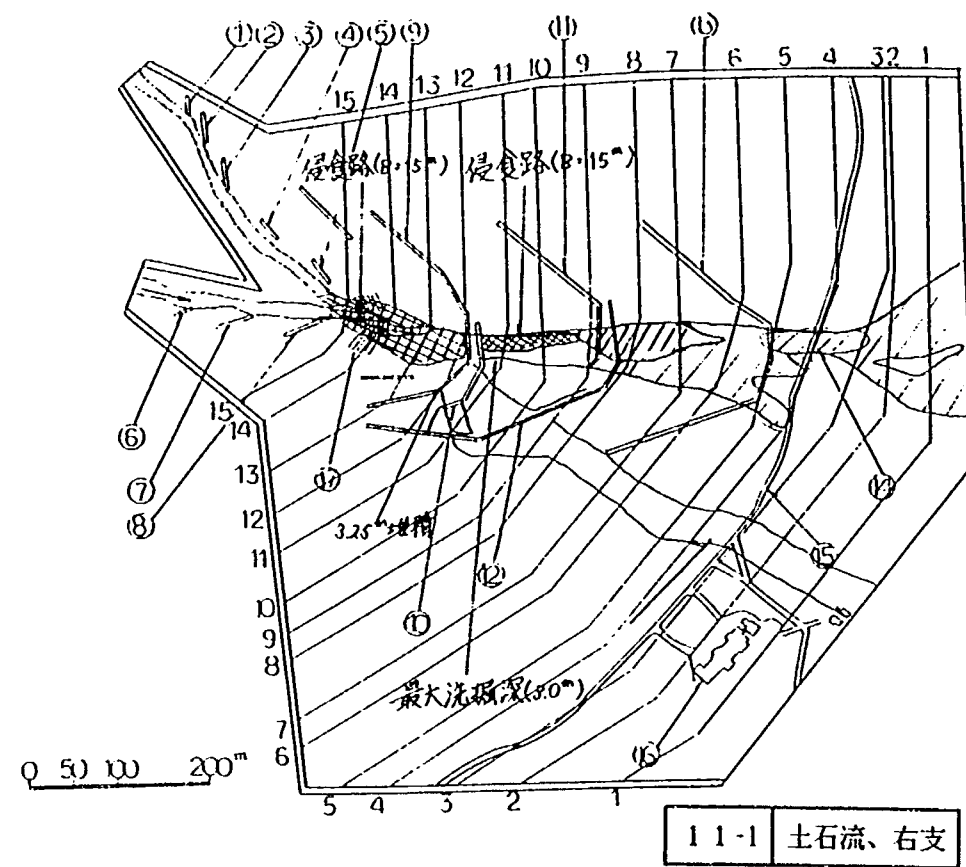
写真-19

後続流が合流点部に堆積した土砂を洗掘しながら流下するために、3号床固工下流の局所洗掘が埋め戻される。



写真-20

後続流通時、3号床固工右岸部を越流した流水は、2号床固工右岸導流堤によって河道へ導流されるため、帝国ホテルを直撃する流れは生じない。



- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

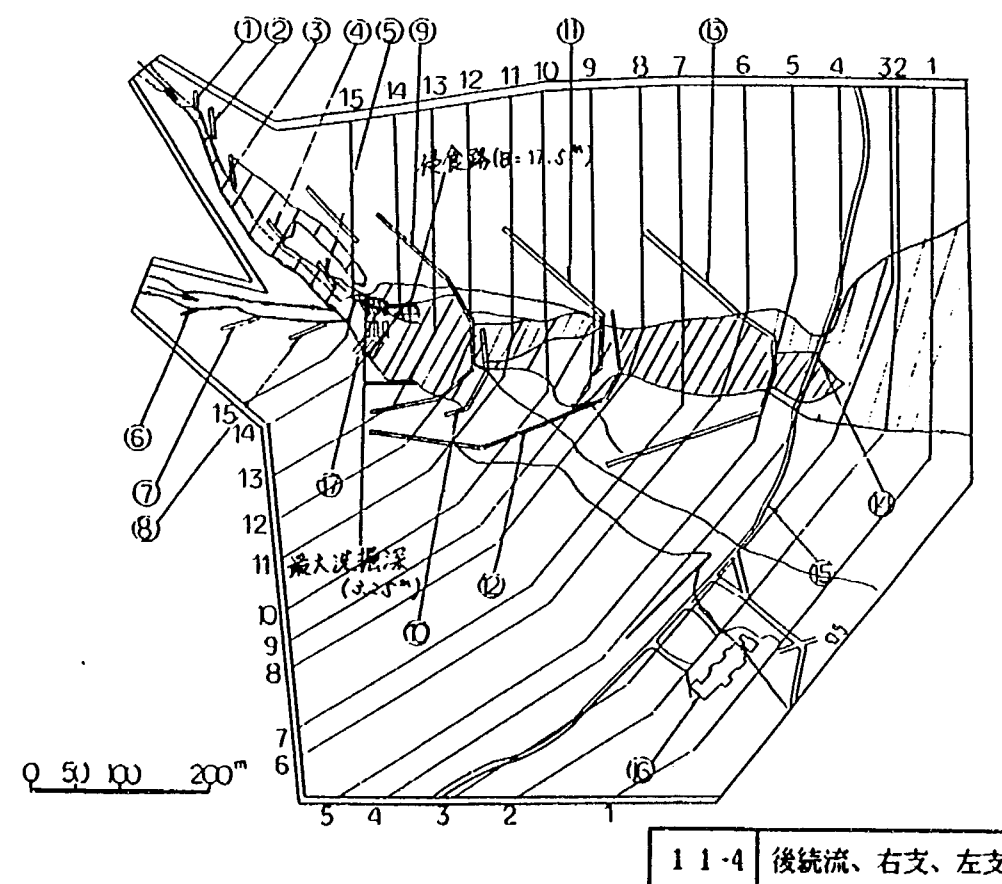
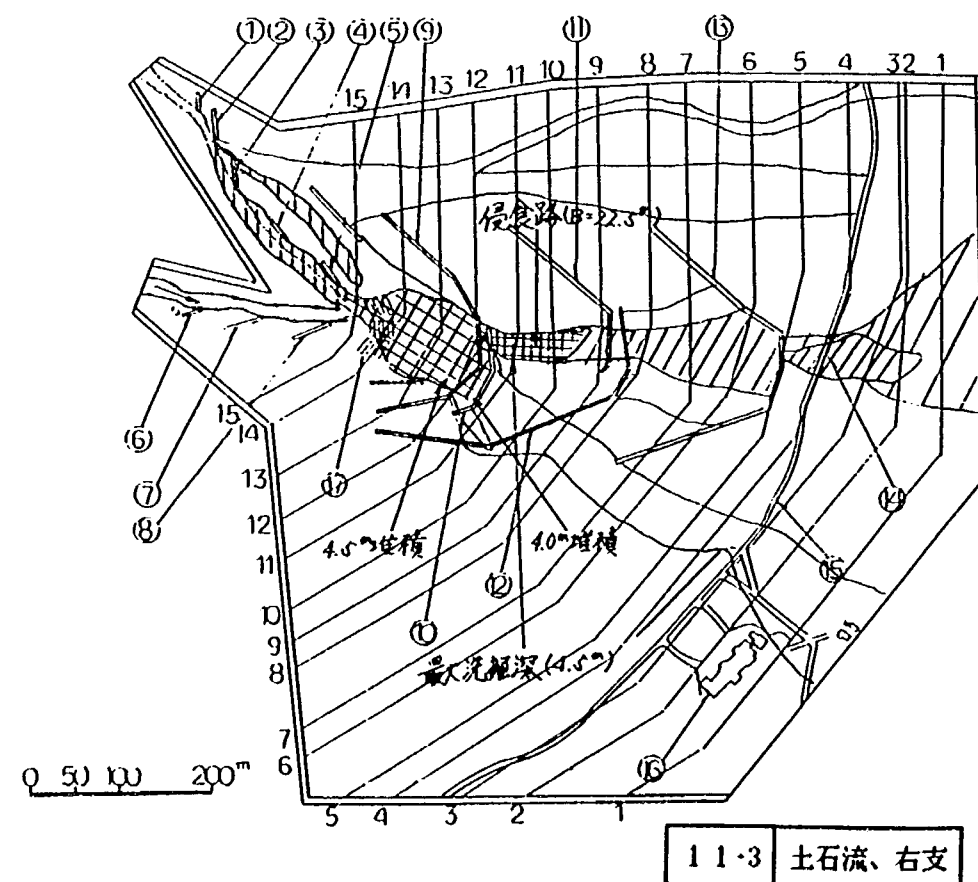


図-18 流況観察平面図(CASE-11)



写真-21

土石流通水中は、土砂が3号床固工上流に堆積し流水のみが3号床固工下流に流出するため、3号床固工下流では5～6mの局所洗掘を受ける



写真-22

左支左岸側に設置した導流堤は、左支より氾濫した土石流を効果的に河道に導流するが、延長が短じかったために少量の土砂及び流水が下流へ氾濫する。

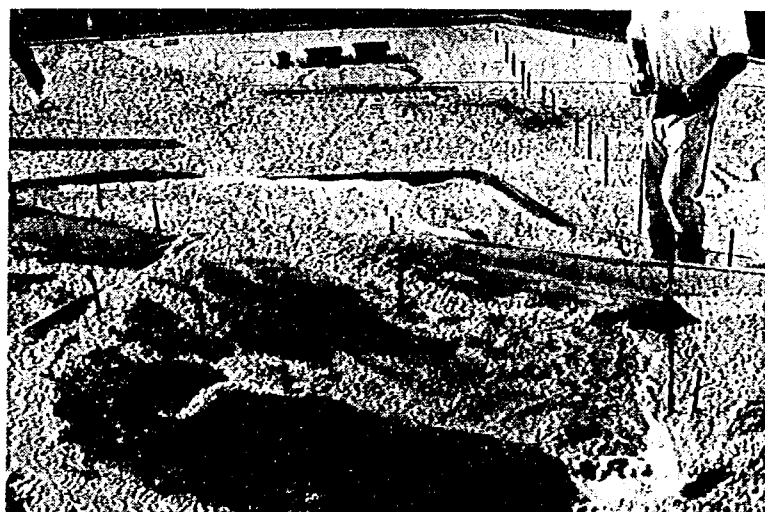


写真-23

3号床固工右岸袖を越流した流水は、2号床固工おも越流し、帝国ホテル方向に氾濫する。

－10に示すようにさらに、左支溪左岸側およびパイプ林右岸側に新たに導流堤を設置して実験を行なった。実験結果を図－18に、流況観察結果を以下に示す。

① 土石流通水時は、パイプ林の土砂堆積高が10m程度となりスリットが埋没するなどほとんどの土砂が合流点部（3号床固工上流）および左支溪内に堆積し、その下流には土砂が流出しないため、3号床固工下流では写真－21に示すように最大5～6m程度の局所洗掘を受ける。

② 左支左岸側に新に設置した9号導流堤は、写真－22に示すように左支溪より氾濫した土砂および流水を効果的に現河道内に導くことができたが、その設置延長が短かったことと、左支溪左側の尾根を模型上に再現していなかったために、3号導流堤地点より氾濫した土石流は9号導流堤の上流部を流れてしまい、少量の土砂および流水が河道外に氾濫する。

パイプ林右岸側に設置した導流堤は、写真－23に示すように合流点右岸側への氾濫は防止できるが、設置延長が短かったために完全に流れを現河道内に導流することができず、流水が3号床固工右岸袖を0.5～1.0mの水深で越流し、2号床固工の右岸導流堤おも越流して帝国ホテル方向へ氾濫する。

③ 土石流通水時に、3号床固工下流の河床が洗掘されることにより下流に流出した土砂は、2号床固工付近に堆積（2m程度）し流水を拡散させるため、1号床固工右岸袖部から流水が氾濫する。

④ 3号床固工左岸側は、既設部の嵩上げと新に下流6号流堤の設置を行なったため、左支溪河道より氾濫した流水をほぼ現河道へ導流でき、また、嵩上げ部を越流した流水も2号床固工左岸側に設置した下流5号導流堤によって河道内に導流され、現河道左側への氾濫は防止されている。

⑤ 1号床固工下流の河道は、2号～1号床固工間の河床が洗掘されて流出した土砂によって土石流通水時に土砂堆積が2m程度となり、県道橋の床盤高までおよぶ。

⑥ 後続流通水時は、通水直後、合流点部に堆積した土砂によって左右支溪の流水が流向を変えられ、左支後続流は左岸側を、右支後続流は右岸側を流下する。左支後続流は、左支溪内および3号～1号床固工左岸側の導流堤によって流向を制御され河道外への氾濫は生じない。右支後続流は、下流8号導流堤によって流向を制御され合流点右岸へは氾濫しないが、その流れは土石流通水時と同じように、3号床固工右岸袖を越流して帝国ホテル側に氾濫する（写真－24参照）。

⑦ 1号床固工右岸袖は現河道に対して垂直に作られている（コンターラインと平行に作られている）ため、写真－25に示すように2号床固工地点に堆積した土砂によって拡散された流水が袖部に当たり、水深0.2～0.3mで越流し氾濫する。

⑧ 1号床固工下流の河道は、上流から流出してきた土砂が堆積し流下断面が减小するために土砂および流水が氾濫する。

⑨ 後続流通水後の土砂および流水の氾濫範囲は、図－18に示すように新たに設置された各施設によって、現況施設設置時に比べかなり狭められている。

2.4.2 計画施設の問題点

(1) 左支3号～4号導流堤間からの土石流の氾濫

左支土石流は、フロント部が5号導流堤地点に堆積し、その後は堆積面上が生じて、5号～3号導流堤間に多くの土砂が堆積するため、3号～4号導流堤間から土石流が氾濫する（写真-22参照）。この流れは、合流点下流の現河道部の河床が左岸側よりも高いという地形的な原因から、現河道に戻ることなく上高地湿地帯まで流下する。またこの氾濫は、左支溪左岸側にある尾根が模型に取り入れられていなかったため、過大に表われている。

(2) 合流点右岸側と帝国ホテル側への土砂および土石流の氾濫

左右支溪合流点部（パイプ林上流）に土石流のフロントが堆積するため、土石流後半や後続流前半では、左右支溪の流水が左右方向に大きくその流向を変えられる。

これにより、流向が右岸側に向った場合、3号床固工右岸袖部を越流して合流点右岸側および帝国ホテル方向に氾濫する（写真-23、24参照）。また、3号下流床固工の右岸袖を15m延長する計画としているが、この部分の延長を行なうと3号上流床固工を越流してきた流水が、地形によって現河道方向とは逆の方向へ流れてしまうため、その流水は下流2号導流堤を越流してしまう。しかし、流水が左岸側に向かった場合は、3号～1号床固工左岸側に設置した導流堤によって河道内に戻され、河道外に氾濫することはない。

(3) 3号～2号床固工間の河床の洗掘

3号～2号床固工間の河床は、土石流通水時、土砂が3号床固工上流に堆積し流水のみが下流に流出するために、3号床固工下流で6m程度の局所洗掘を受ける（写真-21参照）

(4) 3号床固工の形状および左岸既設袖部の嵩上げによる1号床固工右岸袖部からの氾濫

八右衛門沢に設置されている床固工は、流出して来る土石流を効率良く広範囲に堆積させる目的で、その方向を交互に左右に振った配置としている。そのため、3号床固工は僅かではあるが、右岸側に向いている。また、計画案で既設の左岸袖を2m嵩上げたことにより、図-19に示すように3号床固工左岸袖沿いに流下する流水はその流向を右岸側に変えられ、1号床固工右岸袖部に流水が当たりこの地点で流水が袖を越流し氾濫する。また、この地点からの流水の氾濫は、3号～2号床固工間の土砂堆積により、流水が右岸側に向けられることによっても生じる。

2.4.3 計画施設の改良

(1) 左支3号～4号導流堤間からの土石流の氾濫の対策

左支溪の地形をみると、模型取り入れ範囲上流端から扇状地が大きく左岸側に広がりながら形成されているために、横断形状は左岸側が低くなっており、左支溪の土石流は左岸側に氾濫しやすいと言えます。また、土石流が河道外に氾濫してしまうとそのまま扇状地下流まで流下してしまう。

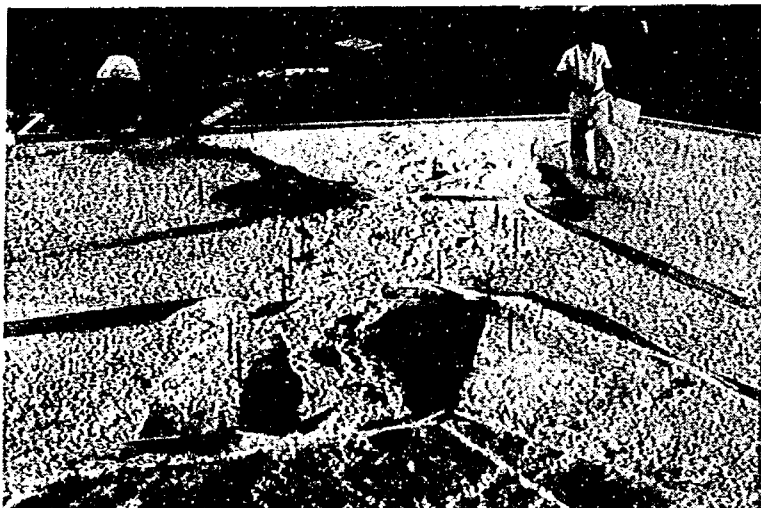
この流れを現河道に導流するために9号導流堤を設置したが、実験ケース11では前述の地形条件と、左支溪左岸沿いにある尾根地形を模型に取り入れていなかったために上流側から少量の土石流が氾濫してしまった。そこで、その尾根地形を模型に取り入れ実験を行なった。その結果、3号～4号導流堤間から氾濫した流水は、9号導流堤間から氾濫した流水は、9号導流堤とその尾根により現河道に導流されてその氾濫は防止できた。



写真－24

後続流況状況

構造物によって現河道左岸側への氾濫は防止されているが、右岸側では導流堤を流水が越水し、帝国ホテル方向へ氾濫する。



写真－25

1号床固工右岸袖部の越水状況

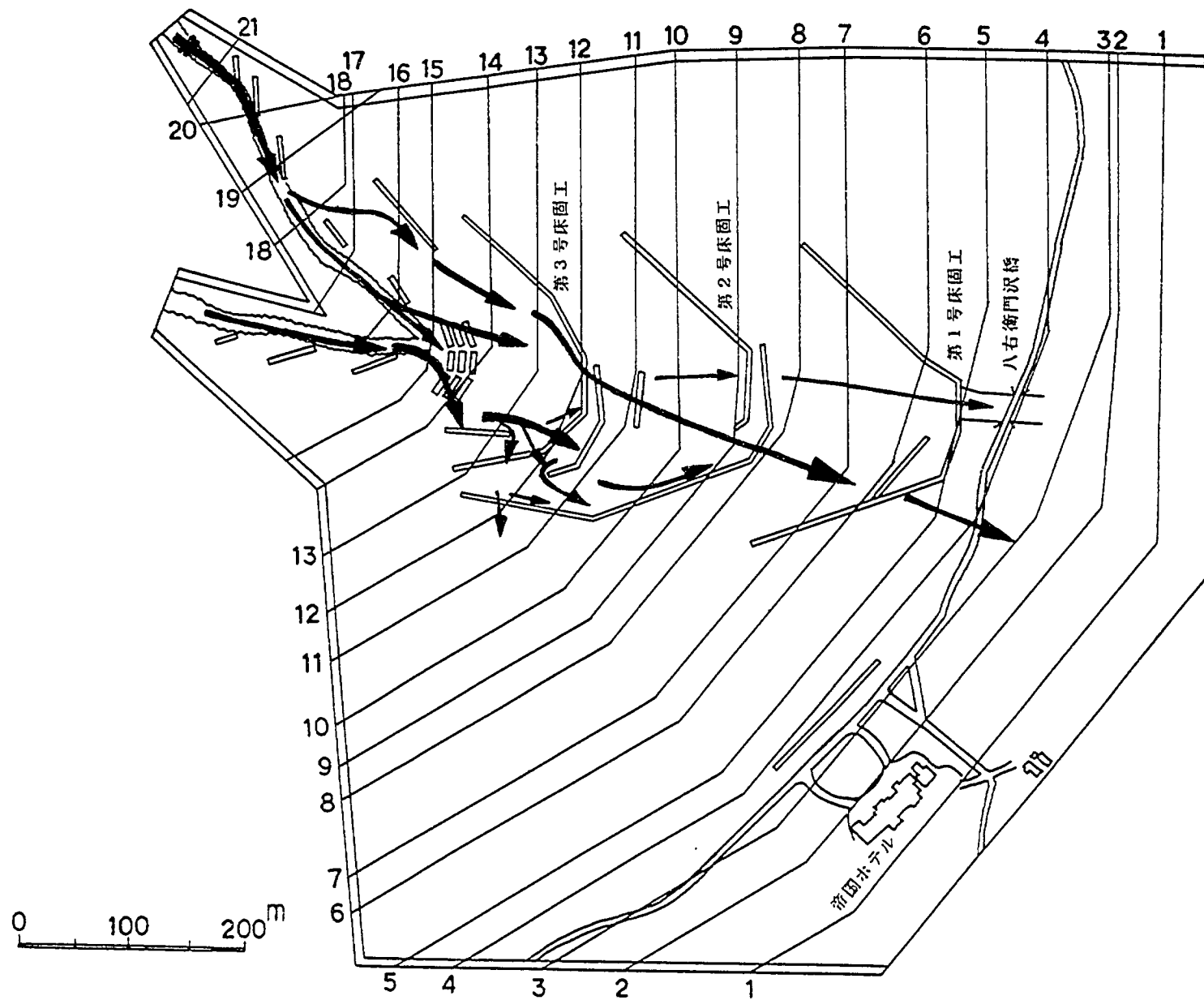


図-19 流況平面図(矢線の太さは、流水の集中度を示す。)

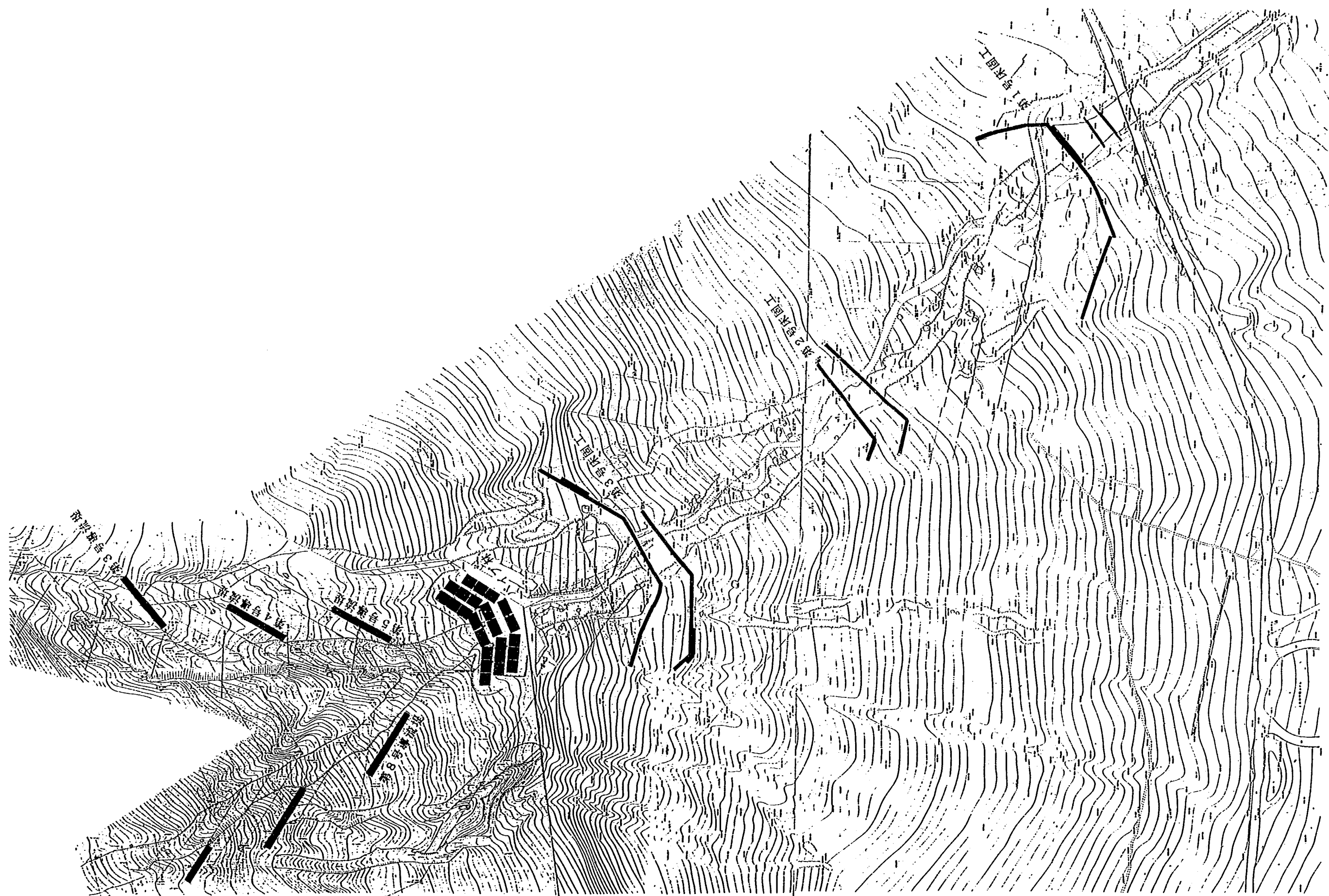


図-20 八右衛門沢扇状地平面図

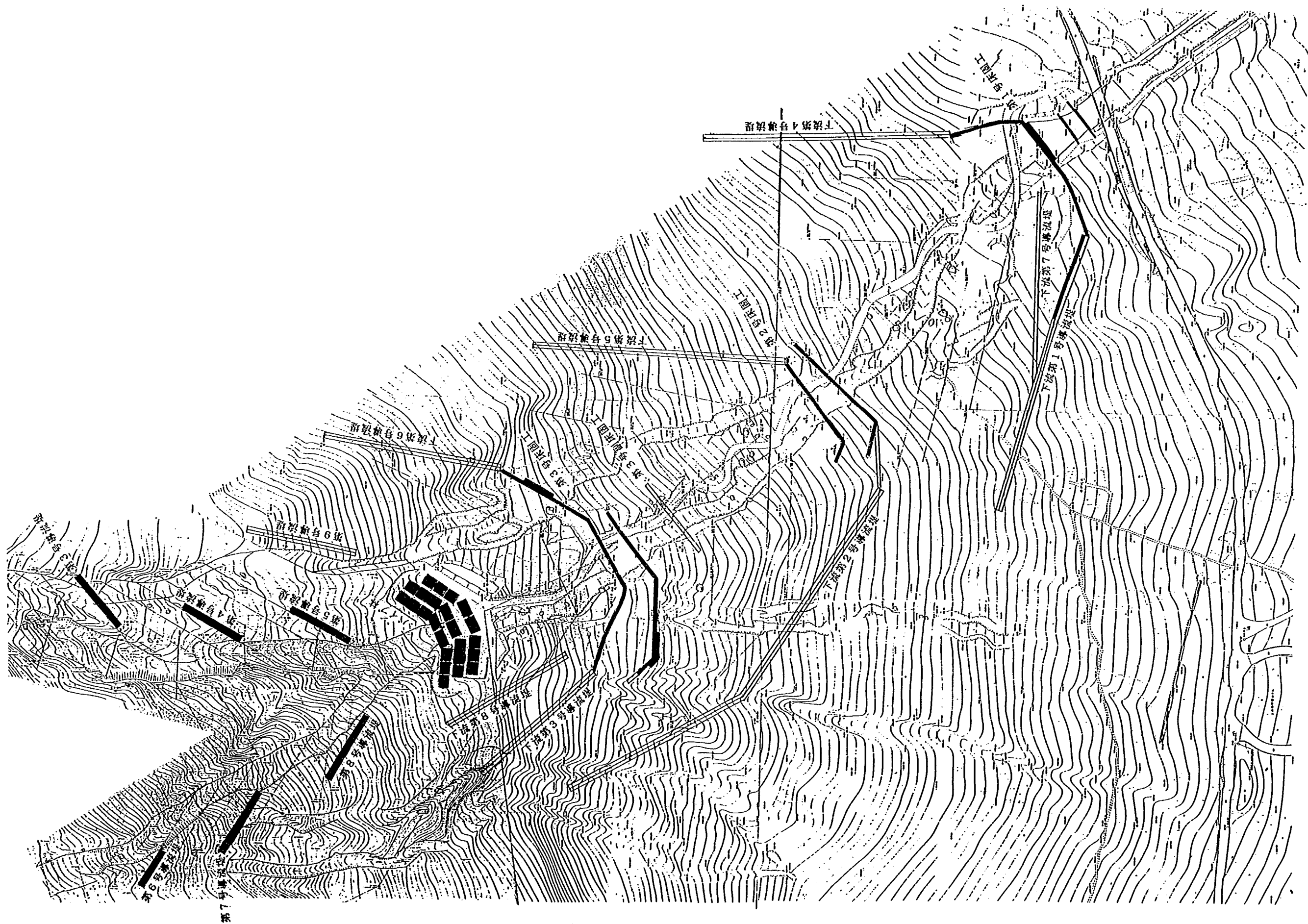


図-21 計画施設および新たに設置した施設

(2) 合流点右岸側と帝国ホテル側への土砂および土石流の氾濫の対策

合流点右岸側および帝国ホテル側への氾濫は、図-20に示すように八右衛門沢扇状の地形（八右衛門沢は、明確な扇状地地形を示しており、右支沢右岸側が谷地形となっていることと、現河道部の地盤が最も高く左右岸側にいくにつれ低くなっている。）と、合流点部に堆積する土石流によって後続流が左右岸側にその流向を変えられるために生じているものである。

この流れを河道中央部に導流するために、計画案は3号、2号床固工の右岸袖を図-21に示すように延長する計画としている。しかし、3号床固工右岸袖は谷の中に設置することになり、構造物の高さを活かすことができず堆砂容量が少なく、土石流後半および後続流流下時に3号床固工上流部が満砂状態となり、土石流が氾濫してしまう。

この流れを河道内に導流するためにパイプ林右岸側に下流8号導流堤を設置するとともに、3号下流床固工の右岸袖の延長を中止した。この下流8号導流堤を設置したことと3号下流床固工の右岸袖の延長を中止したことにより、少量の土砂および流水が3号床固工右岸袖を越流するが、その流れは、2号床固工右岸袖によって現河道に導流され、合流点右岸側と帝国ホテル側への氾濫は防止される。

(3) 3号～2号床固工間の洗掘の対策

3号～2号床固工間の河床の洗掘は、土石流により流出してきた土砂が3号床固工の上流部に堆積し、流水のみがその下流に流出するために生じたものである。この河床洗掘は床固工の破壊等を招くので、3号～2号固工間に新に横工を計画した。

これまでの実験結果から、2号～1号床固工間では土石流通水時に大きな河床洗掘は生じておらず、この区間の現河床勾配が土石流中の流水のみが流れる際の動的安定勾配に近いものと考えられた。そこで、2号～1号床固工間の現河床勾配を参考にして、3号～2号床固工に図-21、22に示す位置に横工を設置した。

その結果、3号～2号床固工間の河床の洗掘は軽減されたが、3号床固工下流の局所的な洗掘は防止できなかった。この局所洗掘は、横工をかなり密に入れても防止することはできないと考えられ、前庭保護工等の別途対策を考えることが必要である。

(4) 3号床固工の形状および左岸既設袖部の嵩上げによる1号床固工右岸袖部からの氾濫

1号床固工右岸袖部の流水の越水は、3号床固工の形状および左岸袖の嵩上げにより流水が右岸側に流向を変えられるために生じているものであるが、図-19に示すように3号床固工左岸袖の嵩上げによる影響が大きいと言える。

また、この地点では流水が越水してもその下流には下流5号導流堤を新に設置するために、嵩上げを中止したことにより流水の氾濫範囲が構造物害におよぶことはないと考えられた。したがって、3号床固工左岸袖の嵩上げは行なわないこととした。さらにこの地点からの氾濫は、3号～2号床固工間に堆積する土砂により流水が右岸側に向けられることによって生じるので、これを防ぐために2号床固工の右岸袖の嵩上げと、1号床固工右岸袖に図-23に示す導流堤を設置した。（この地点からの氾濫は、1号床固工の既設部がコンターラインに添って設置されているために、氾濫地点に流水が集中しない場合でも流水の堰き上げが生じて氾濫する恐れがあるため、3号床固工左岸袖の嵩上げを中止し2号床固工右岸袖を嵩上げしても、下流7号導流堤を設置することが必要である。）

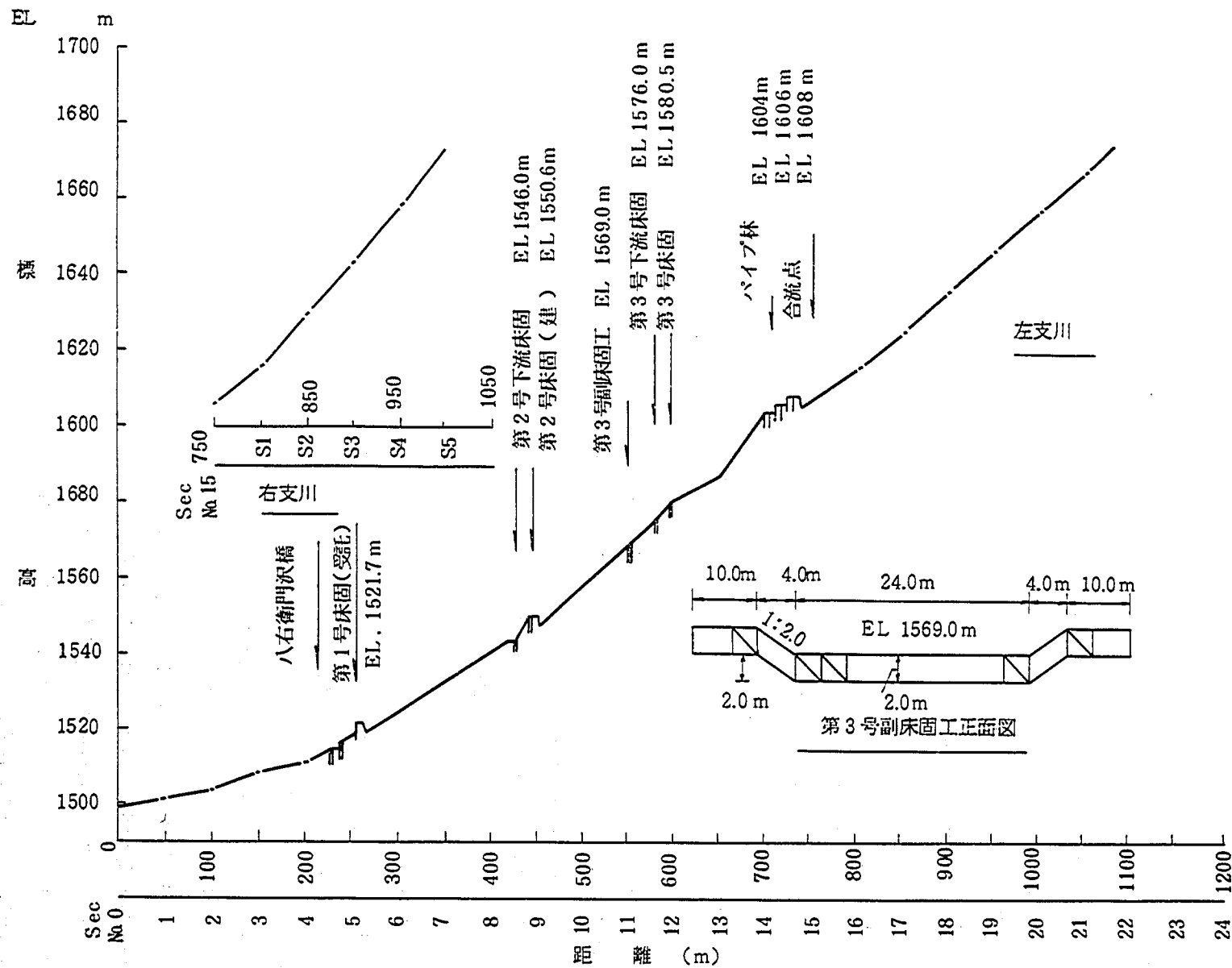


図 - 22 第3号副床固工設置図および正面図

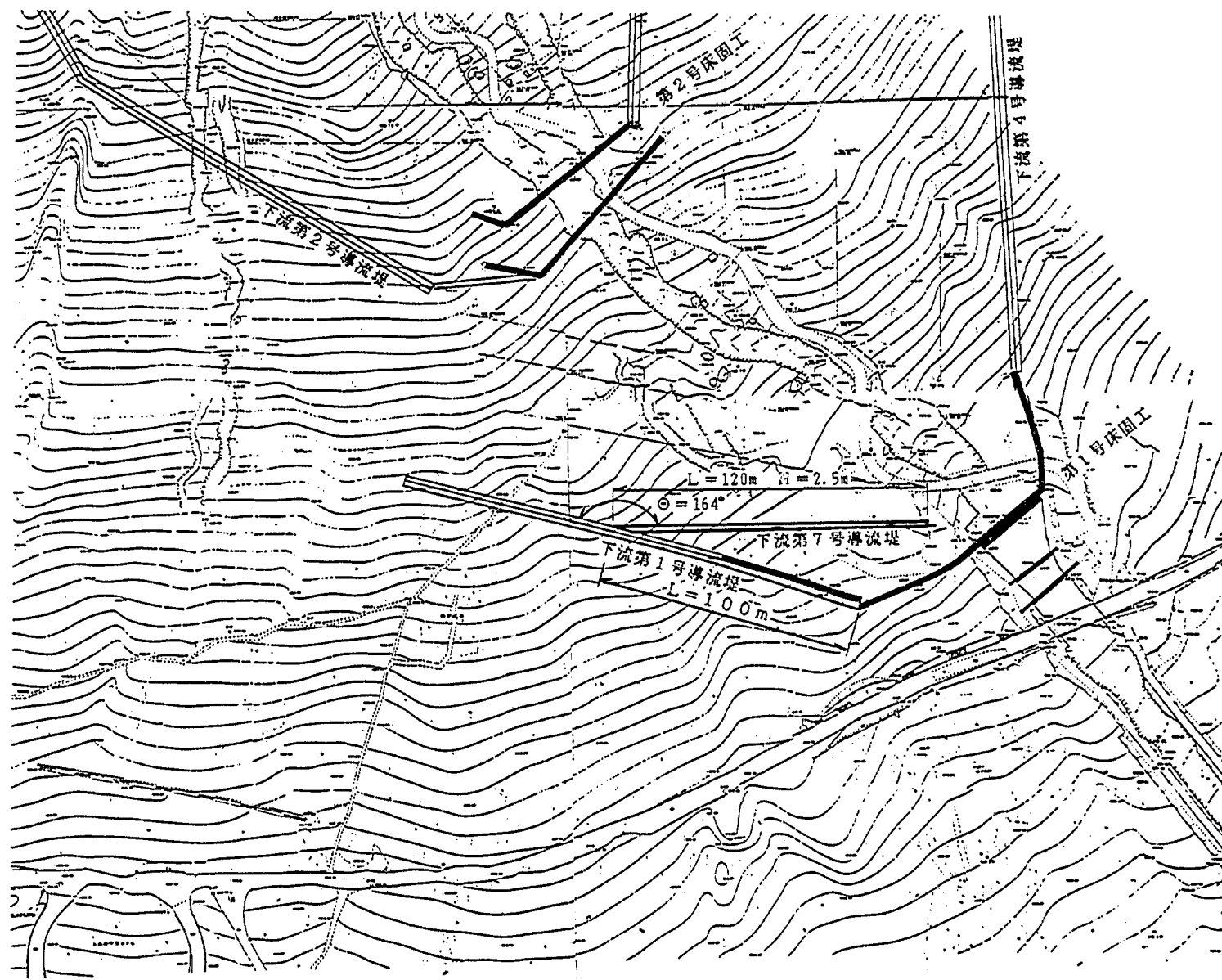


图-23 下流7号导流堤设置平面图

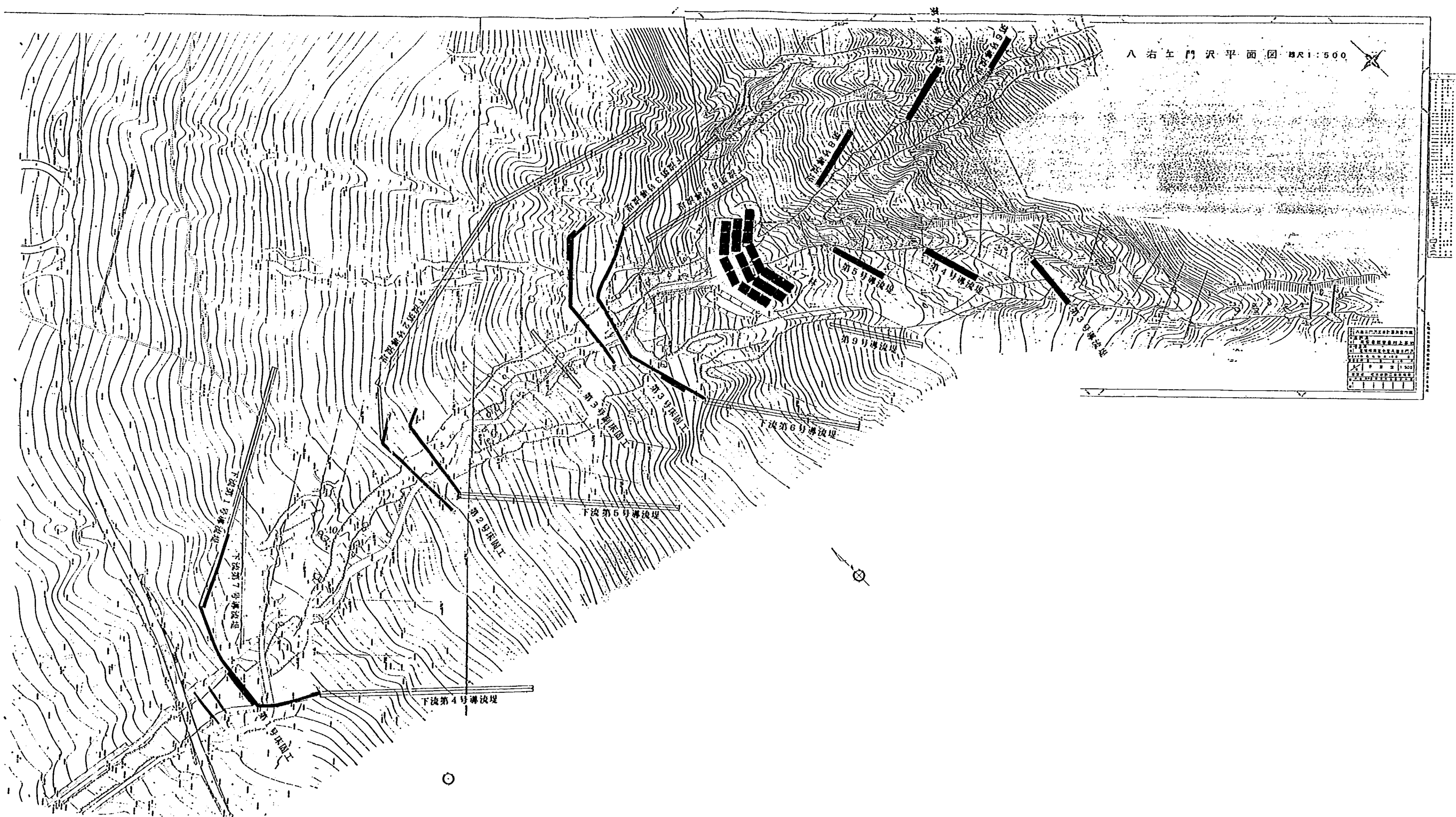
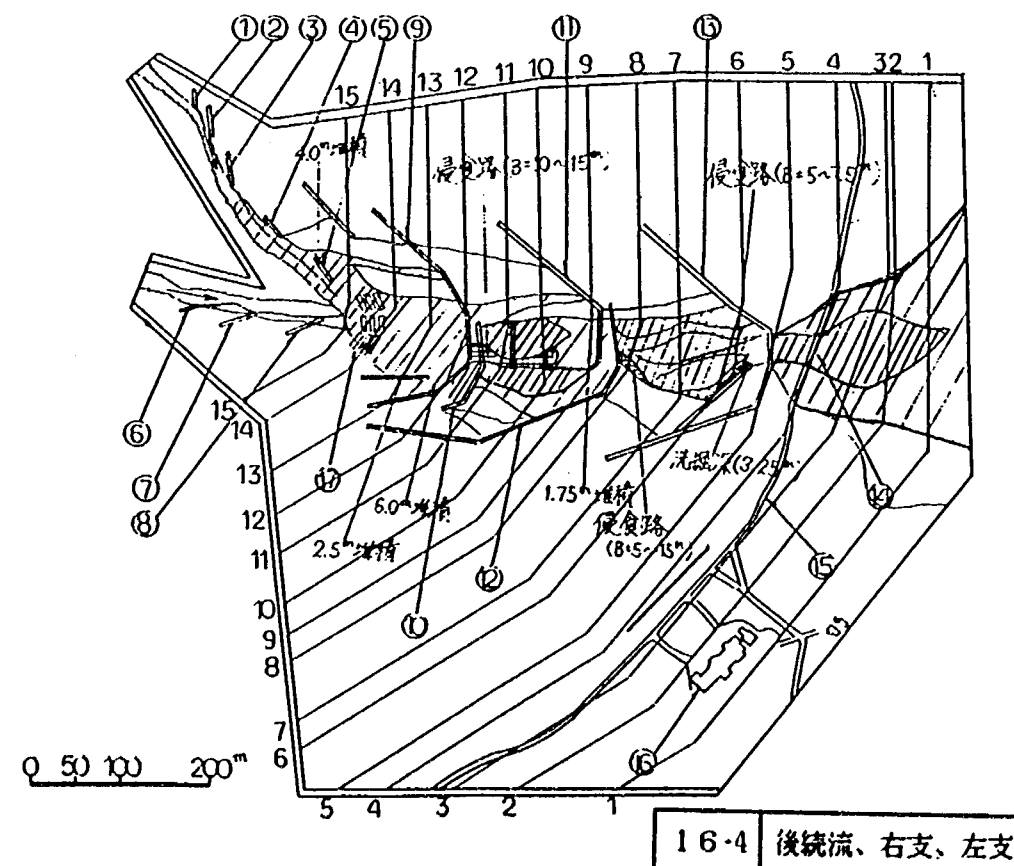
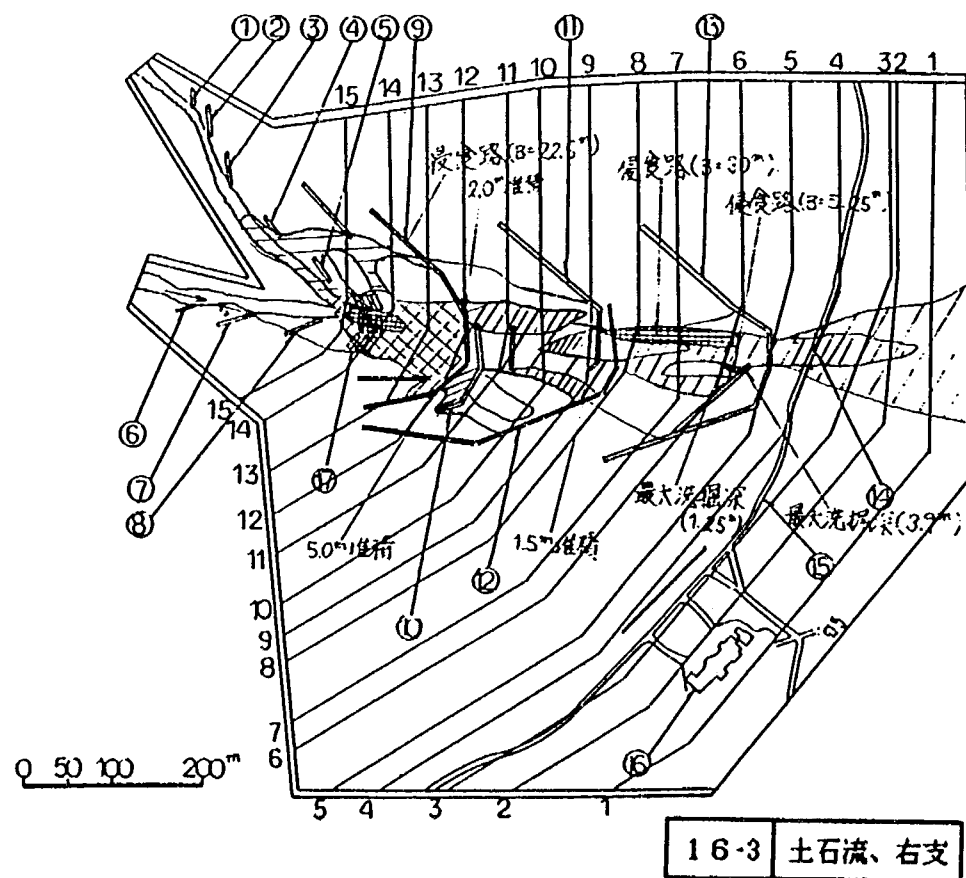
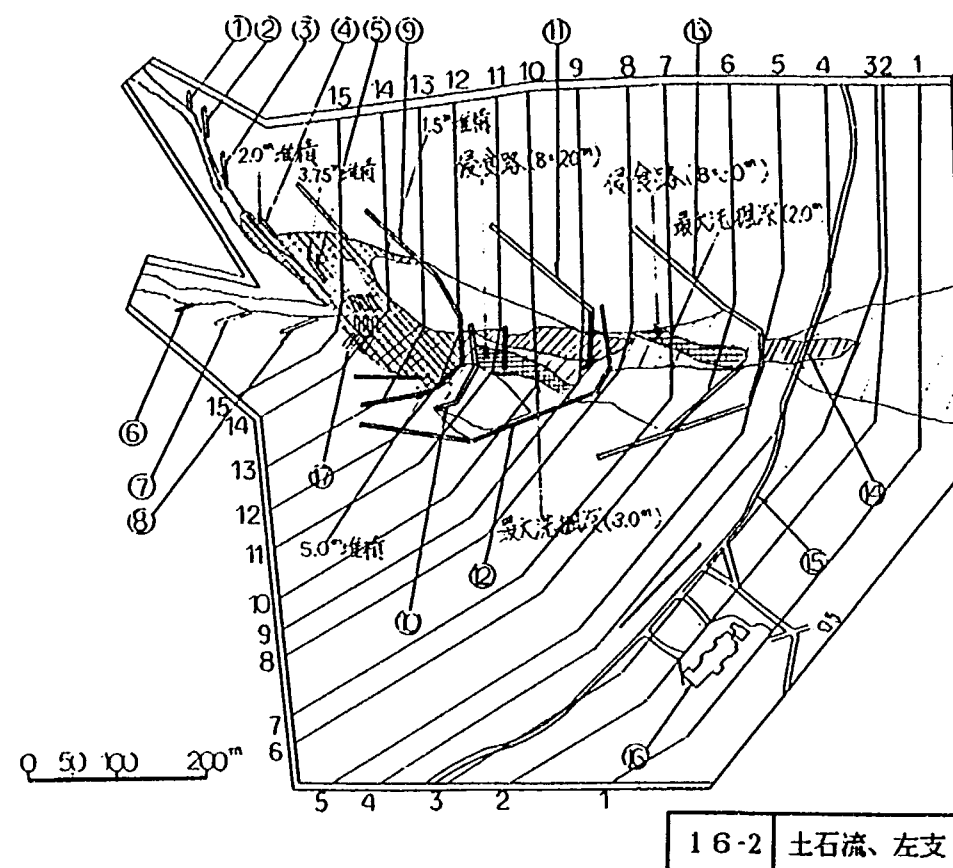
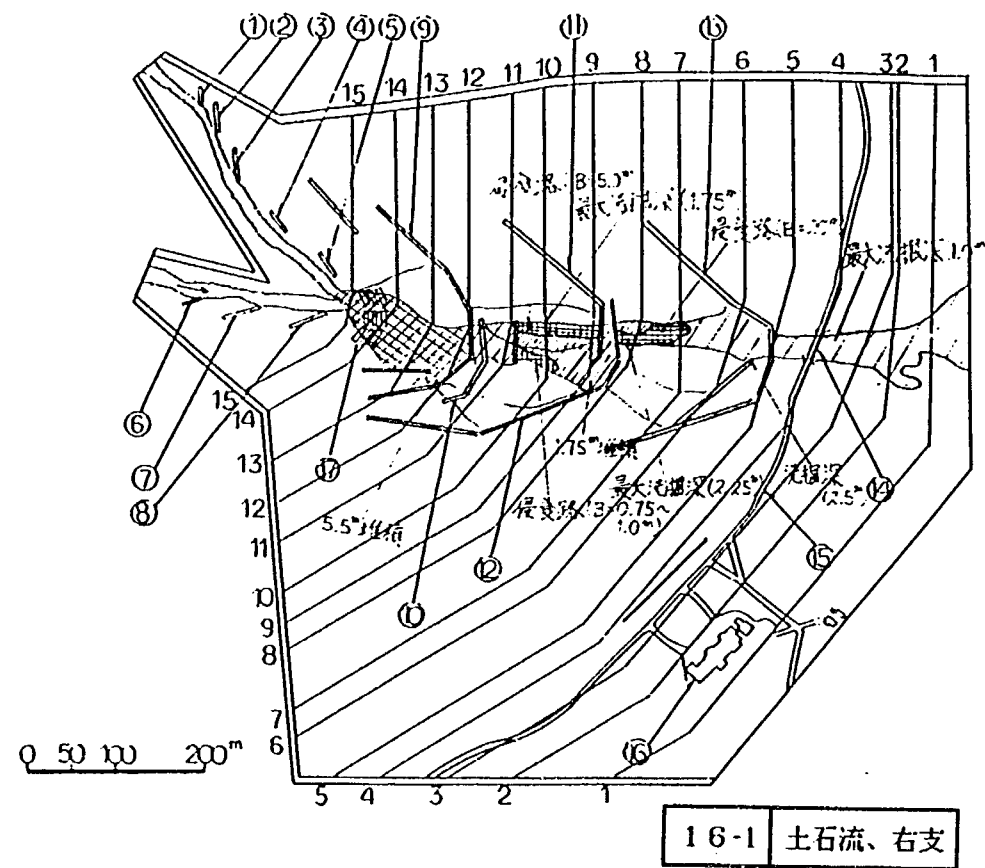


図-24 施設配置最終案



- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

図-25 流況観察平面図(CASE-16)

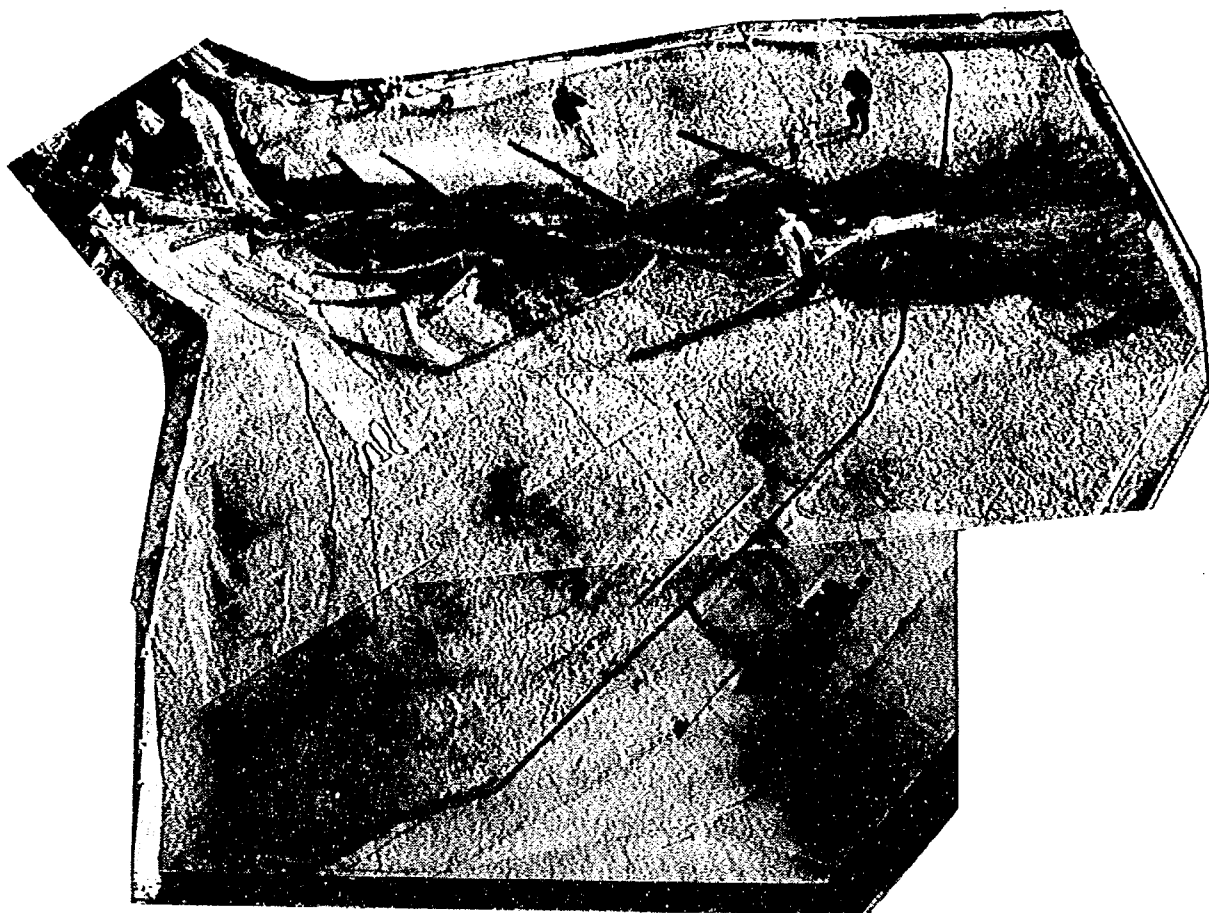


写真-26 施設配置最終案の後続流況状況

2.5 最終案の実験結果

これまでに行なった実験結果から、八右衛門沢で計画されている土砂流出に対して必要と思われる施設配置の諸元を図-24に示す様に決定し、計画土砂を与えて実験を行ない効果および安全性の確認を行なった。実験結果を図-25に、流況観察結果を以下に示す。

- ① 右支溪の導流堤は、その効果を十分に発揮し河道外への土砂の氾濫を防止している。また、左支溪の導流堤も少量の土砂および流水が4号～5号導流堤間から河道外へ流出するが、9号導流堤および下流6号導流堤によって河道内に導流され、現河道左岸側への氾濫は防止されている。
- ② 土石流通水時、土砂および流水の河道外への氾濫が床固工と導流堤によって防止され、これらの流水が全て1号床固工下流まで到着するために、県道橋付近では河道の土砂堆積が著しく、土砂および流水が氾濫し県道橋も流出してしまう。
- ③ 土石流通水時は、土石流がほぼ3号床固工上流部に堆積してその下流に流出する土砂が少ないために、2号下流床固工下流で2.5 m、1号床固工右岸に設置した下流7号導流堤下流端で1.7 m程度の局所洗掘が生じる。
- ④ 後続流通水時では、写真-26に示すように左支溪河道内の土砂堆積による5号導流地点からの氾濫や、3号～2号床固工間に扇状地状に堆積した土砂によって左右方向に拡散された流れも、各構造物によってその流向を制御され河道外に氾濫することはない。

最終案の効果の検討および安全性の確認実験の結果から、八右衛門沢で計画されている土砂流出に対しては、図-24に示す施設を設置すれば発生した土石流を扇状地内まで氾濫することなく導流できる。また、扇状地内においても、土砂をある程度減勢、堆積させて下流へ流出する土砂量を減少させ土砂および流水を河道外に氾濫させることなく下流まで流下させることができる。さらに、水理条件（左右支溪の土砂流出割合等）、土砂流入パターンを変えて行なった実験においても、土砂および流水の河道外への氾濫は生じていないことから、八右衛門沢で計画されている土砂流出に対しては、図-24に示す施設を配置すればその氾濫を防止できると思われる。

3. 土石流氾濫シミュレーション計算

3.1 土石流氾濫シミュレーション計算の目的

土石流の氾濫堆積の詳しい検討には、模型実験のみでなく計算結果も合わせて結論付けることが確実な方法である。

ここでは、土石流氾濫シミュレーション計算を、模型実験結果の検証および実験より得られた施設配置最終案の妥当性を確認するために行なった。

3.2 土石流氾濫シミュレーションモデル

土石流氾濫シミュレーション計算に用いたモデルを以下に示す。

なお、詳細については、土木研究所資料第2392号「土石流氾濫シミュレーションモデルによる土石流対策工の効果評価に関する研究」にとりまとめている。

x 方向の運動方程式

y 方向の運動方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial (M \cdot u)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (M \cdot v)}{\partial y} = -g \cdot h \cdot \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{F_x}{r} \quad (1) \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial (N \cdot u)}{\partial x} + \beta \frac{\partial (N \cdot v)}{\partial y} = -g \cdot h \cdot \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{F_y}{r} \quad (2)$$

水の連続式

砂れきの連続式

$$\frac{\partial}{\partial t} ((1 - Cd) \cdot h) + (1 - C*) \cdot \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial qx}{\partial x} + \frac{\partial qy}{\partial y} = 0 \quad (3) \quad \frac{\partial}{\partial t} (Cd \cdot h) + C* \cdot \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial q\beta x}{\partial x} + \frac{\partial q\beta y}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

ここに、 M ： x 方向の流量フラックス、 N ： y 方向の流量フラックス、 u ： x 方向の平均流速、 v ： y 方向の摩擦抵抗、 Cd ：土石流に含まれる砂れきの容積濃度、 h ：流動深、 $C*$ ：堆積層の砂れきの容積濃度、 z ：河床高、 qx 、 qy ：それぞれ x 及び y 方向のみの単位幅当たりの流量、 $q\beta x$ 、 $q\beta y$ ：それぞれ x 及び y 方向の砂れきのみの単位幅当たり（流砂量）

式(1)、(2)の摩擦抵抗は、クーロン摩擦項に流体運動による摩擦項を付加して

$$F_x = (\sigma - n\rho) \cdot h \cdot g \cdot cdn \cdot \cos\theta_x \cdot \tan\alpha + k \cdot \frac{D}{d} \cdot u^2 \quad (5) \quad F_y = (\sigma - n\rho) \cdot h \cdot g \cdot cdn \cdot \cos\theta_y \cdot \tan\alpha + k \cdot \frac{D}{d} \cdot v^2 \quad (6)$$

とした。ここに σ ：砂れきの密度、 $n\rho$ ：土石流中の微細砂の影響で増加する水のみかけの密度、 cdn ：土石流中で浮遊せず、クーロン摩擦に寄与する粒子の容積密度、 θ_x 、 θ_y ：それぞれ x 及び y 方向の堆積域の勾配、 D ：堆積域の粗度高さ、 d ：土石流の代表粒径、 α ：砂れきの衝突条件に基づく角度、 k ：流体抵抗に関する定数。

(1)～(4)式をリープフロッグ法により差分化し、解を求めた。

土砂濃度は、流送形態を勾配によって土石流と土砂流に区分し、次式によって算定した。

土石流：

土砂流：

$$Cd = \frac{\tan\theta}{(\sigma/\rho - 1)(\tan\phi - \tan\theta)} \quad (7) \quad Cd = \frac{15.0 \cdot \tan^2\theta / (\sigma/\rho - 1)}{1 + 15.0 \cdot \tan^2\theta / (\sigma/\rho - 1)} \quad (8)$$

ここに、 ϕ : 砂れきの内部摩擦角である(7)と式(8)の領域区分は、

$$\tan \theta = \frac{C_*(\sigma - \rho)}{C_*(\sigma - \rho) + \rho(1 - \lambda^{-1})} \tan \phi \quad (9)$$

で与える。ここに、 λ : 実験実数である。

3.3 土石流氾濫シミュレーション計算の概要

3.3.1 計算取り入れ範囲およびメッシュ間隔

計算の取り入れ範囲は、模型の取り入れ範囲と同様とした。また、扇状地地盤データは、計算取り入れ範囲を $10\text{m} \times 10\text{m}$ のメッシュを切り読み取った。

3.3.2 土石流対策施設の入力方法

八右衛門沢において土石流対策施設としては、

- ① 床固工
- ② 導流堤
- ③ 砂防ダム
- ④ 鋼製スリットダム

また、構造物以外では、

- ⑤ 河道掘削(県道橋下流)

以上のものが上げられる。

これらの施設の座標と標高をデータとして入力する際、本シミュレーションモデルを用いる場合以下に示す問題点が考えられる。

- (1) 本計算では、メッシュ幅を 10m としているが、⑤以外の施設は、天端幅およびスリット部外径を表現し得ない。また、現実問題としてメッシュ幅を施設に合わせることは、座標(地盤データ)読み取り、入力、計算時間等の面から困難である。
- (2) ①～⑤の全ての施設について、X軸またはY軸に斜交する場合は、直線として表現できない。そこで、本計算に取り入れた施設の中から具体的な表現法の例として図-26に導流堤の表現方法を示す。
- (3) (1)と同様な問題点として、川幅がメッシュ間隔よりも狭い場合は、メッシュ幅によって川幅が規制される。本計算では、扇状地上はどこでも氾濫する可能性があるため、特に河道という区分はしなかったが、河道掘削を表現するとき問題となる。
- (4) ④の鋼製スリットダムは、堰き上げが起こると考えられるが、模型実験でスリットダムは、堰き上げ効果は、土石流に対してそれほど明瞭に見られず、合流点部での土石流の堤積は、むしろスリットダムの基礎により河床勾配が緩くなった影響が強いものと考えられた。そこで、スリットダムについては、その基礎部天端の標高のみを地盤高として入力した。

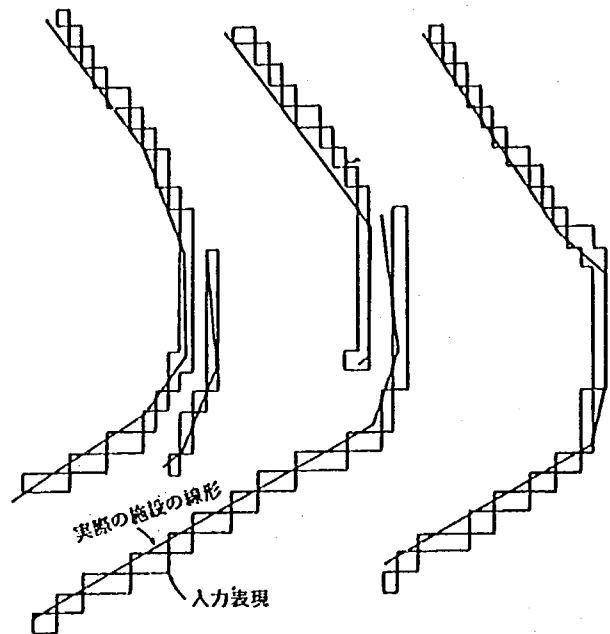


図-26 導流堤と床固工の入力表現

3.3.3 計算ケースおよび計算に用いた水理条件

計算に用いた水理条件は、各計算ケースに対応する模型実験ケースと同様の値を用いた。計算ケースおよび水理条件を表－5に示す。また、扇状地全体は、元河床より洗掘されない固定床としている。

表－5 土石流氾濫シミュレーション計算条件

計算ケース (該当模型 実験 ケース)	右支土砂量		左支土砂量		総土砂量 (m^3)	右支流量		左支流量		発生順位
	土石流 (m^3)	後続流 (m^3)	土石流 (m^3)	後続流 (m^3)		土石流 (m^3/s)	後続流 (m^3/s)	土石流 (m^3/s)	後続流 (m^3/s)	
ケース1 (模型実験 ケース4)	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	左→左→右→後
ケース2 (模型実験 ケース7)	23,000	7,700	46,000	15,300	92,000	34.6	8.7	43.0	10.8	左→左→右→後
ケース3 (模型実験 ケース11)	60,400	15,100	25,600	6,400	107,500	48.6	12.2	60.6	15.2	右→右→左→後
ケース4 (模型実験 ケース16)	60,400	15,100	25,600	6,400	107,500	48.6	12.2	60.6	15.2	右→右→左→後

3.4 計算結果

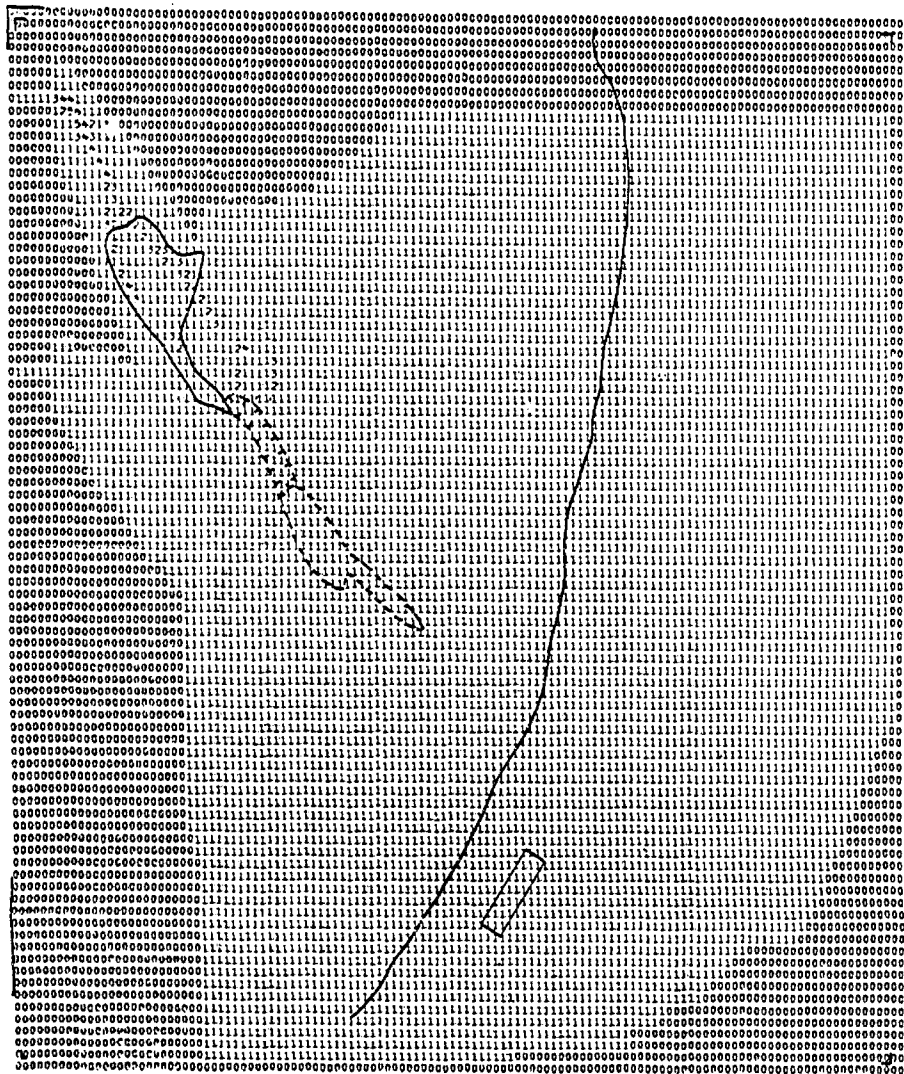
3.4.1 昭和50年災害のシミュレーション計算結果

昭和50年災害のシミュレーション計算は、模型実験ケース4の条件を用いて行なった。計算結果を図－27～34に示す。

① 左支土石流は、図－27, 29に示すように左支溪内の河道、特に谷出口付近に多く堆積し、この土砂堆積が原因と思われる左支溪左支溪左岸側への氾濫も模型実験結果と同様に生じている。しかし、左支溪谷出口付近の土砂堆積は、模型実験結果に比べその堆積深および範囲がかなり過大に表われており、それとは逆に、左支溪下流および、帝国ホテル方向への氾濫範囲が狭くなっている。これは、プログラムの制約上左支土石流を左支溪左岸側からX軸方向に流入させていることと、模型実験において帝国ホテル方向への氾濫した土砂は、1波目の土石流堆積物および現河床が洗掘されて流出したものであり、本計算では河床を固定床としていたために、元河床が洗掘されずその下流へ流出する土砂量が減少したためと思われる。

流水の氾濫範囲は、図－28, 30に示すように左支溪左岸側への氾濫が実験結果に比べ幾らか狭いことを除けば、流水の氾濫地点および氾濫形状はほぼ模型実験結果が再現されている。

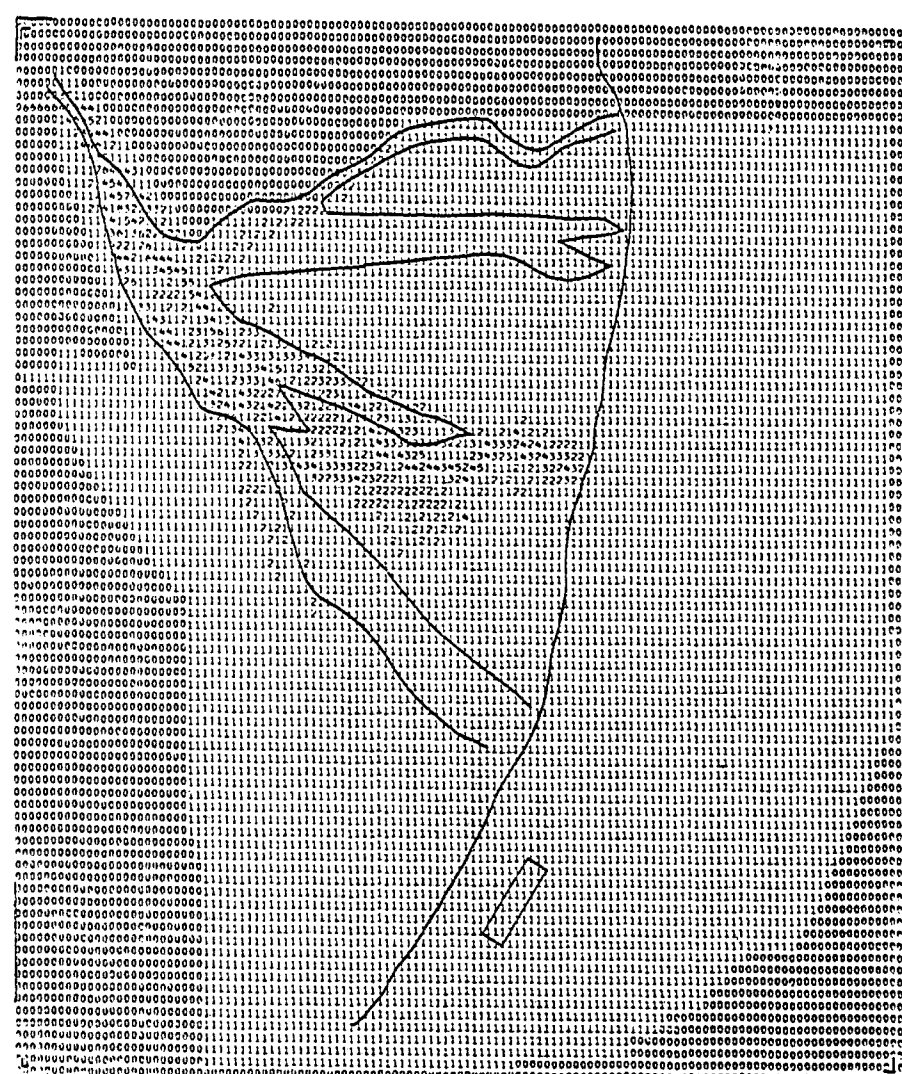
② 右支土石流は、図－31に示すように実験では生じなかった右支溪河道内に堆積しながら、河



凡例

土砂堆積高 1 : 0 m 6 : 6.0 m 模型実験結果 —— 土石流堆積 範囲
 2 : 0.5 m 7 : 8.0 m 範围
 3 : 1.0 m 8 : 10.0 m 範围
 4 : 2.0 m 9 : 20.0 m 範围
 5 : 4.0 m 10 : 40.0 m 範围

図-27 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-4-1)



凡例

水位 1 : 0 m 6 : 1.0 m 模型実験結果 —— 流水氾濫範围
 2 : 0.01 m 7 : 1.5 m 範围
 3 : 0.05 m 8 : 2.0 m 範围
 4 : 0.1 m 9 : 4.0 m 範围
 5 : 0.5 m 10 : 10.0 m 範围

図-28 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-4-1)

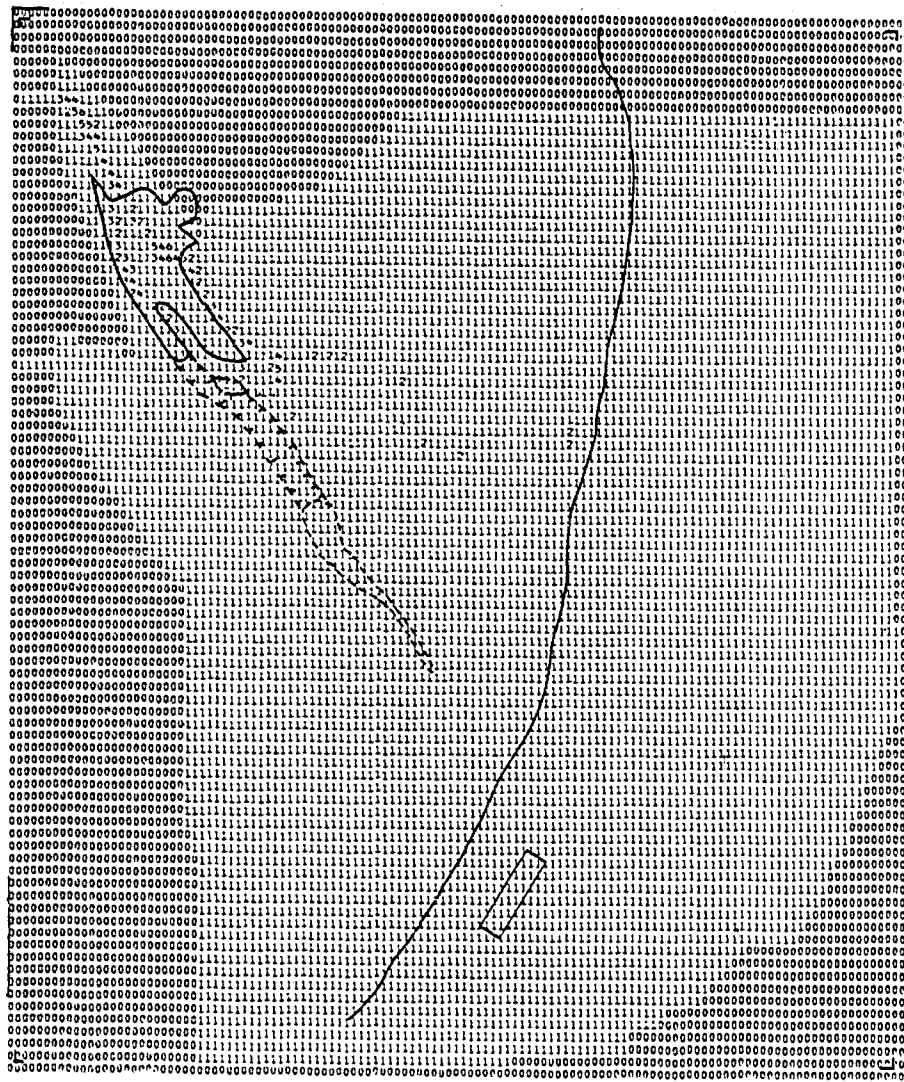


図-29 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-4-2)

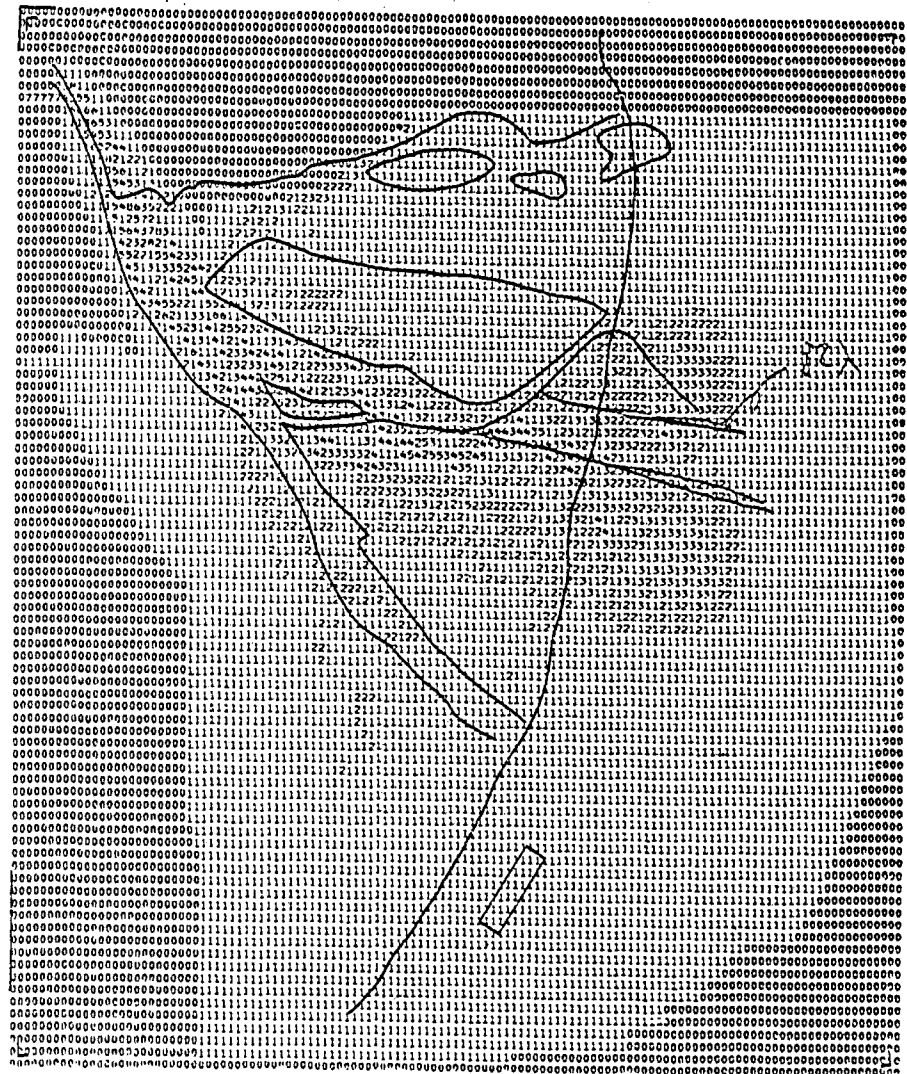


図-30 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-4-2)

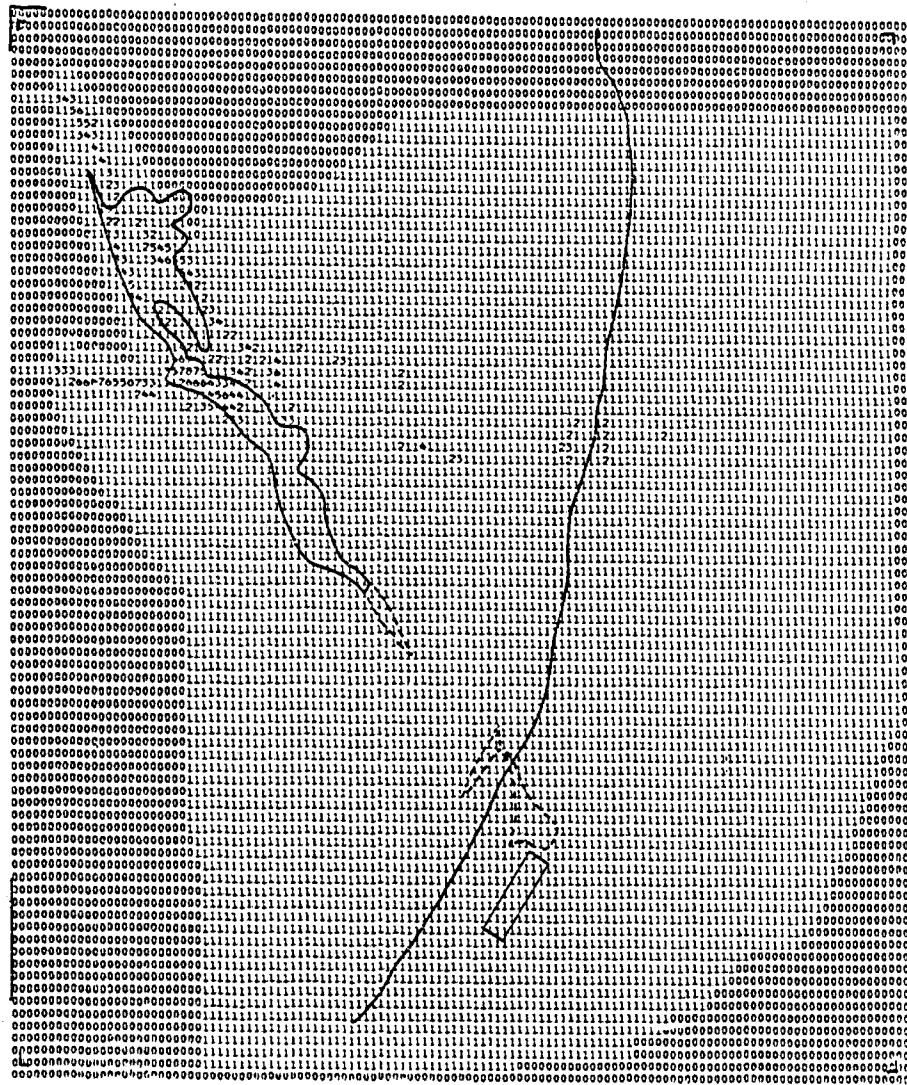


図-31 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-4-3)

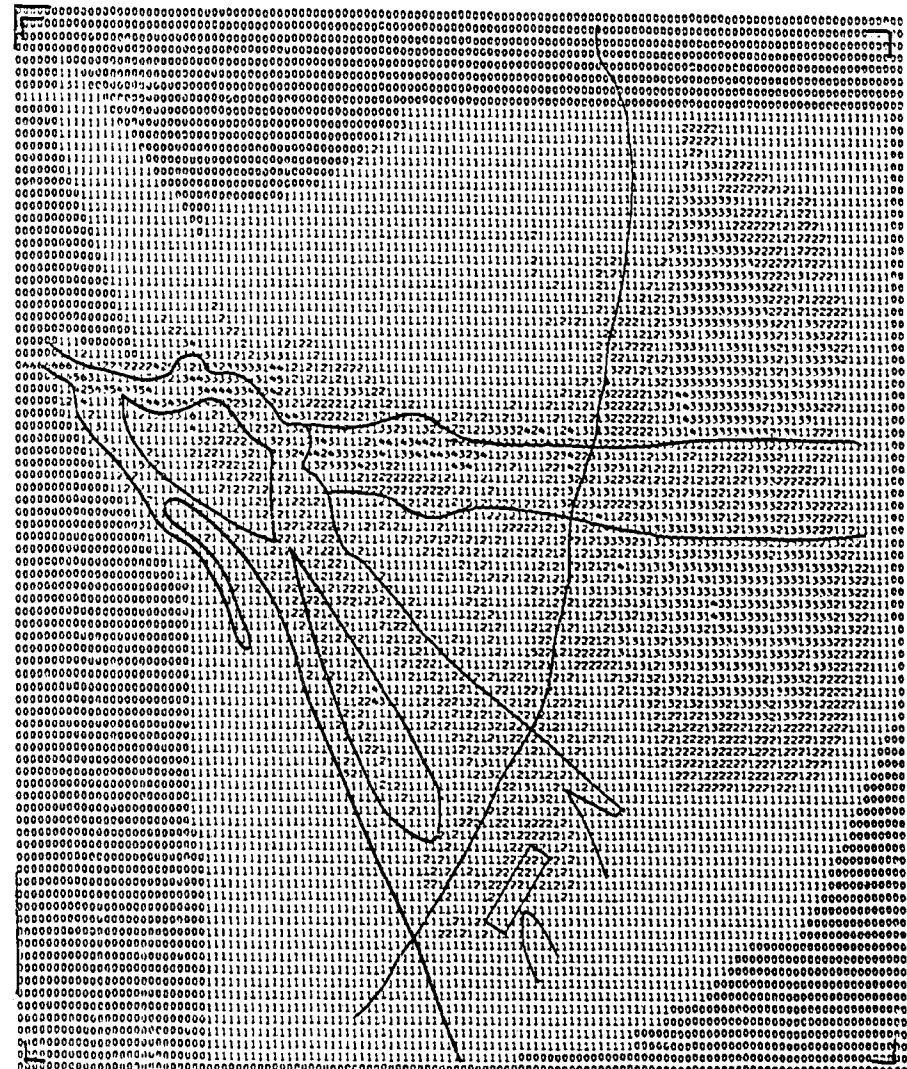


図-32 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-4-3)

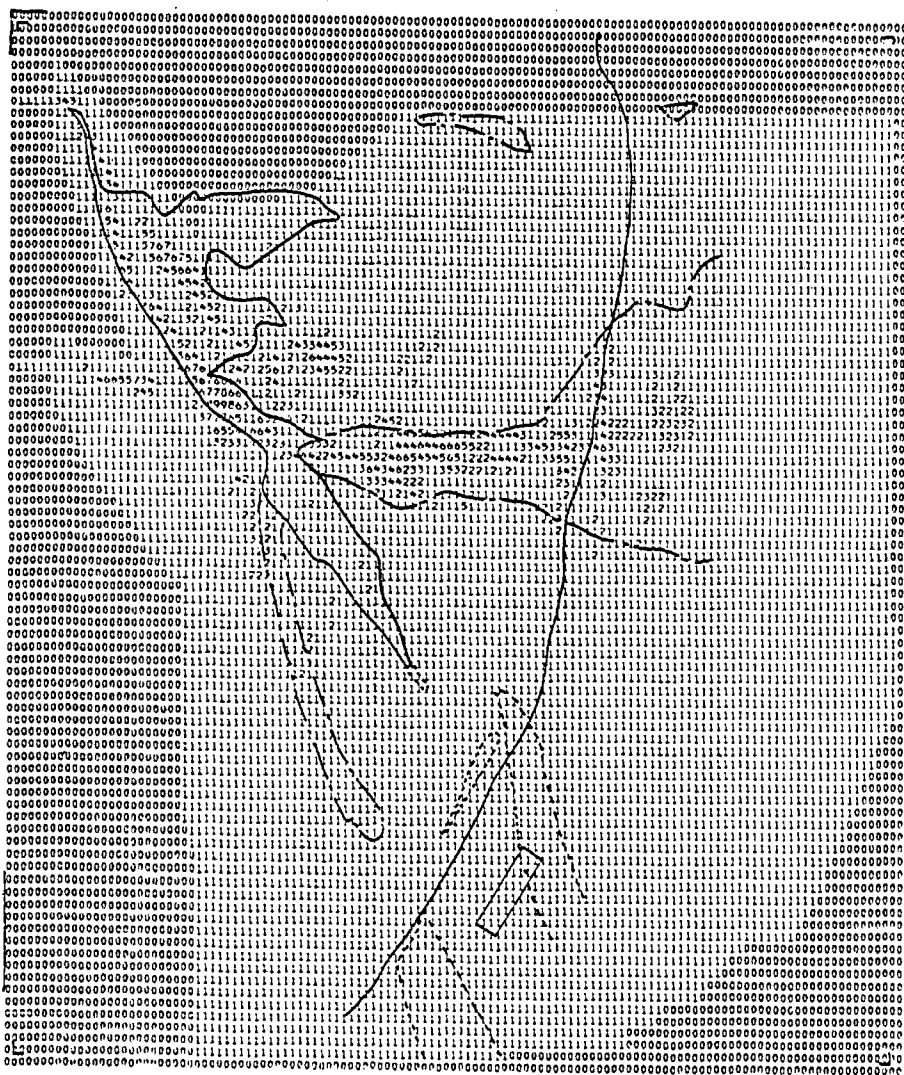


図-33 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-4-4)

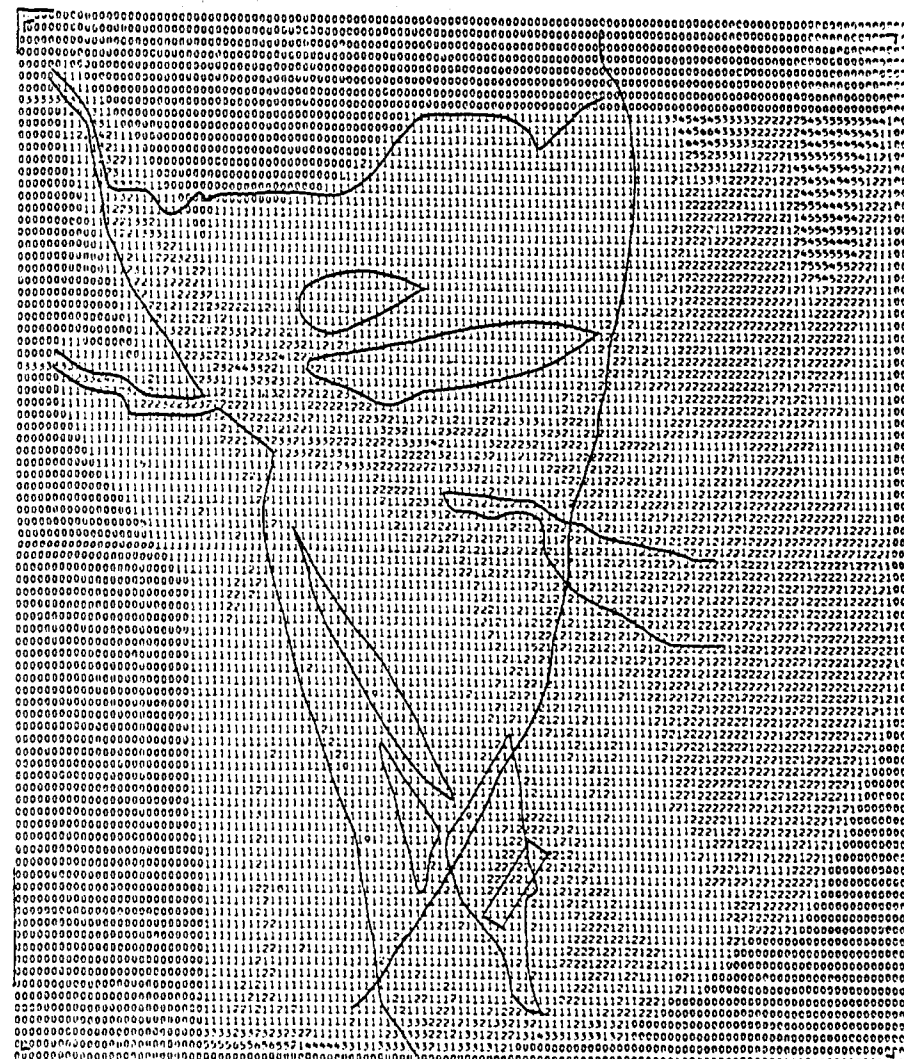


図-34 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-4-4)

道を流下し合流点から右支溪河道内に多く堆積する。しかし、河道内の土砂堆積が多いのに対して、右支右岸側に河道を溢れて氾濫する範囲が狭い。この右支溪河道内の土砂堆積は、本土石氾濫シミュレーションモデルで用いている土砂濃度式が一定勾配とした場合の濃度式であるため、右支溪河道の細かな河床勾配の変化がただちにその地点の掃流能力に影響し、土砂が堆積したものである。

流水の氾濫範囲は、図－32 に示すように右支溪右岸側および帝国ホテル方向への氾濫が良く再現されており、全体的な氾濫形状もほぼ模型実験結果に一致している。

- ③ 図－29, 31 に示すように土石流通水時における下流河道での土砂の堆積が、計算では再現されていない。模型実験で生じたこの土砂堆積は、左右支溪の土石流により流出した土砂が堆積したのではなく、合流点下流の河床（移動床）が洗掘されることによって流出した土砂が堆積したものである。しかし、計算では前述のように扇状地全体を元河床が洗掘されることはない固定床と見なしていたため、土石流の土砂が堆積し流水のみが下流河道に流出しても、その流れは河床を洗掘することなく流下するからである。

- ④ 後続流通水後では、図－33 と 34 に示す合流点部（右支溪下流部を含めて）での土砂および流水の氾濫が著しい。また、左支溪左岸側への流水の氾濫も再現されていないが、その他は氾濫地点および氾濫形状ともに実験結果を良く再現していると思われる。

模型実験とシミュレーション計算結果の比較結果から、土砂および流水の氾濫傾向、形状が良く一致しており、保全対象の安全性を確かめるという点からも昭和50年災害をよく再現していると思われる。

3.4.2 昭和54年災害のシミュレーション計算結果

昭和54年災害のシミュレーション計算は、模型実験ケース7の条件を用いて行なった。結果を図－35～42 に示す。

- ① 左支土石流は、図－35 と 37 に示すように左支溪上流の土砂堆積が過大なことと、左支溪左岸側に氾濫した流れを一部再現できなかったことを除けば、土石流の氾濫範囲は良く再現されている。
- ② 右支土石流により流出する土砂は、図－39 に示すように右支溪河道内および合流点部にそのほとんどが堆積する。また、図－40 に示すように帝国ホテル方向への氾濫は流水のみであり土砂の氾濫は生じていない。しかし、扇状地下流における流水の氾濫範囲が過大に表われていることを除けば、氾濫傾向等からはほぼ判断して再現されていると思われる。
- ③ 土石流通水後の土砂の流出、堆積状況を見てみると、扇状地上を固定床として計算を行なっていたため、昭和50年災害のシミュレーション計算結果と同様、下流河道での氾濫状況が再現されていない。
- ④ 後続流通水後の土砂の氾濫状況を見てみると、図－41, 42 に示すように右支溪下流部および左支溪河道内の土砂堆積が過大であることと、扇状地下流部での土砂の氾濫範囲が狭いのを除けば、土砂および流水の氾濫傾向はほぼ一致している。

昭和50年、54年災害の再現実験のシミュレーション計算結果から、これらの計算結果と模型実験結果は良く一致していると言える。また、このシミュレーションモデルで八右衛門沢に発生する土石

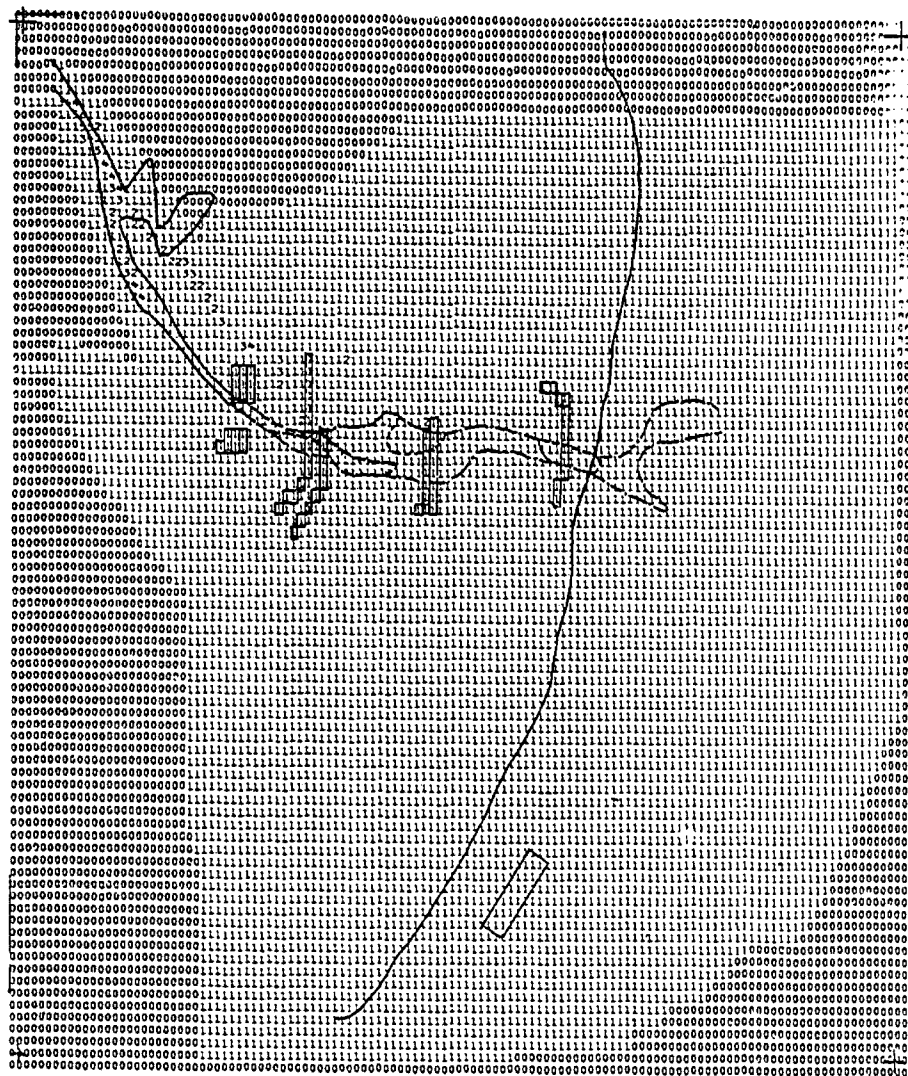


図-35 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-7-1)

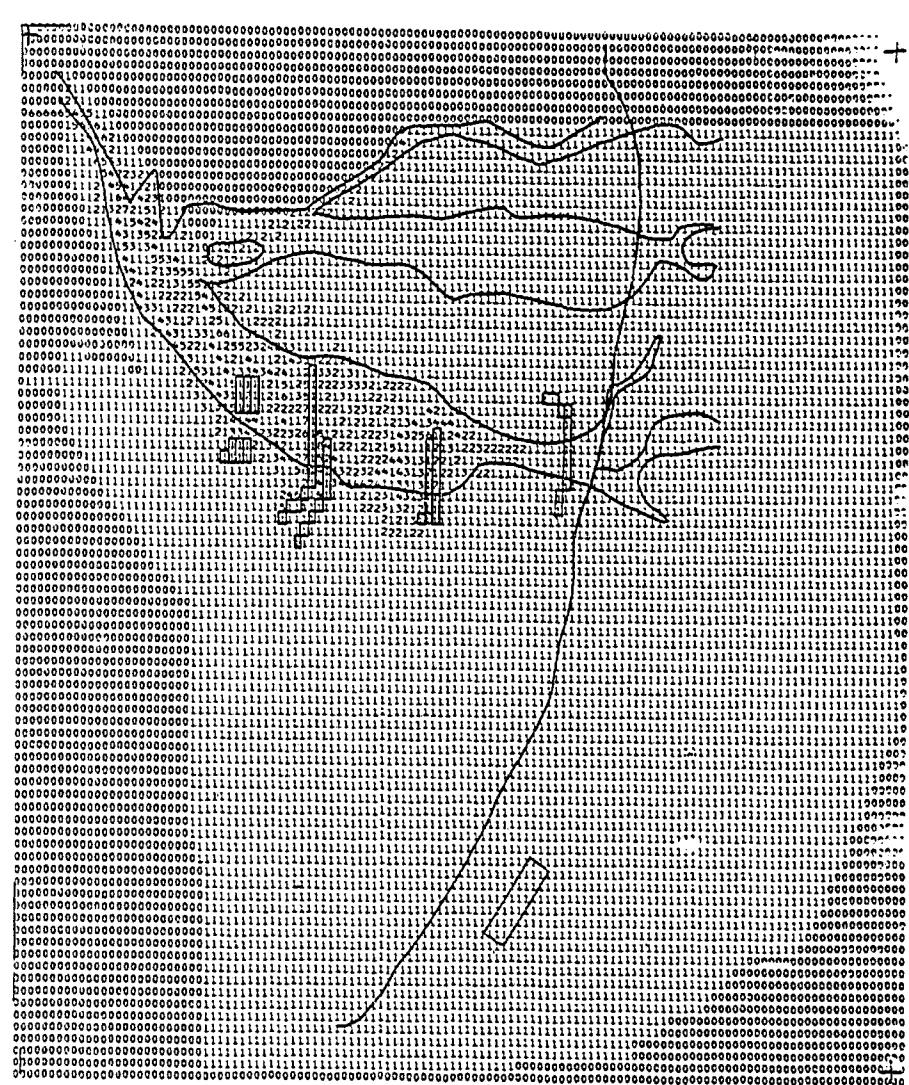


図-36 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-7-1)

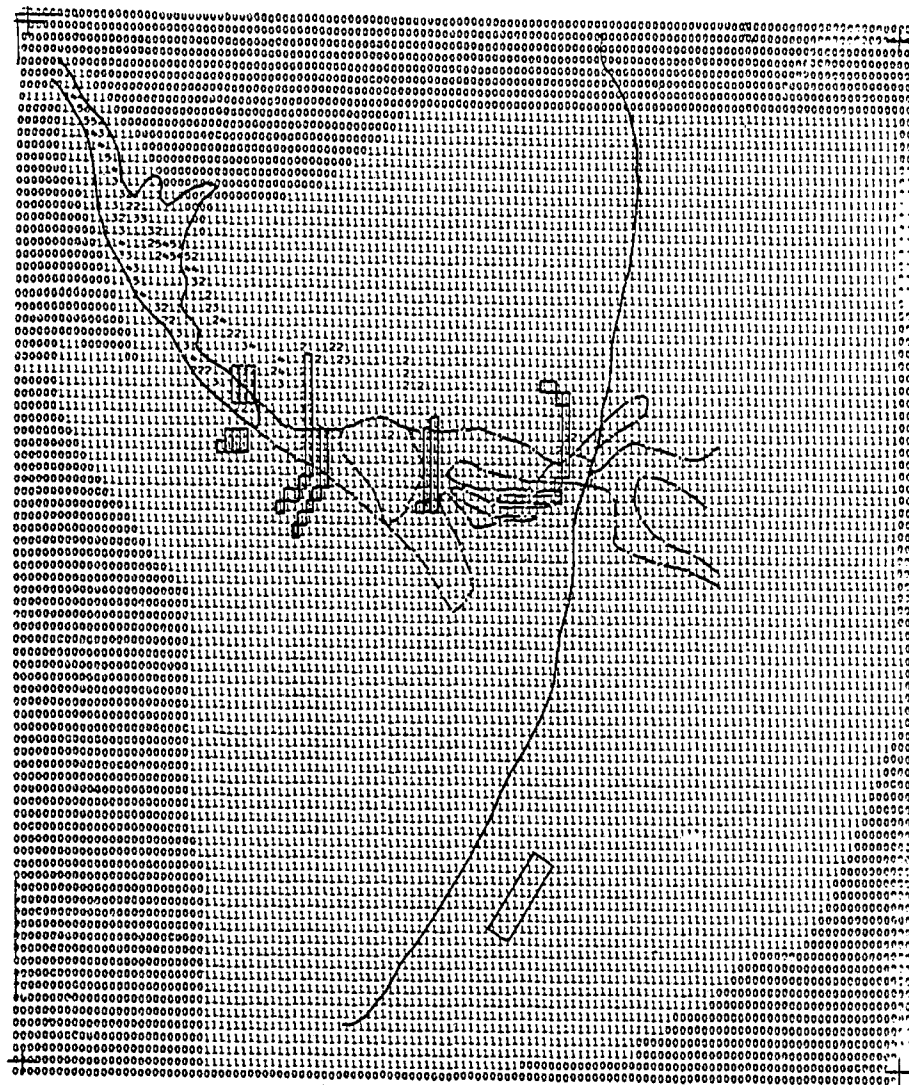


図-37 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-7-2)

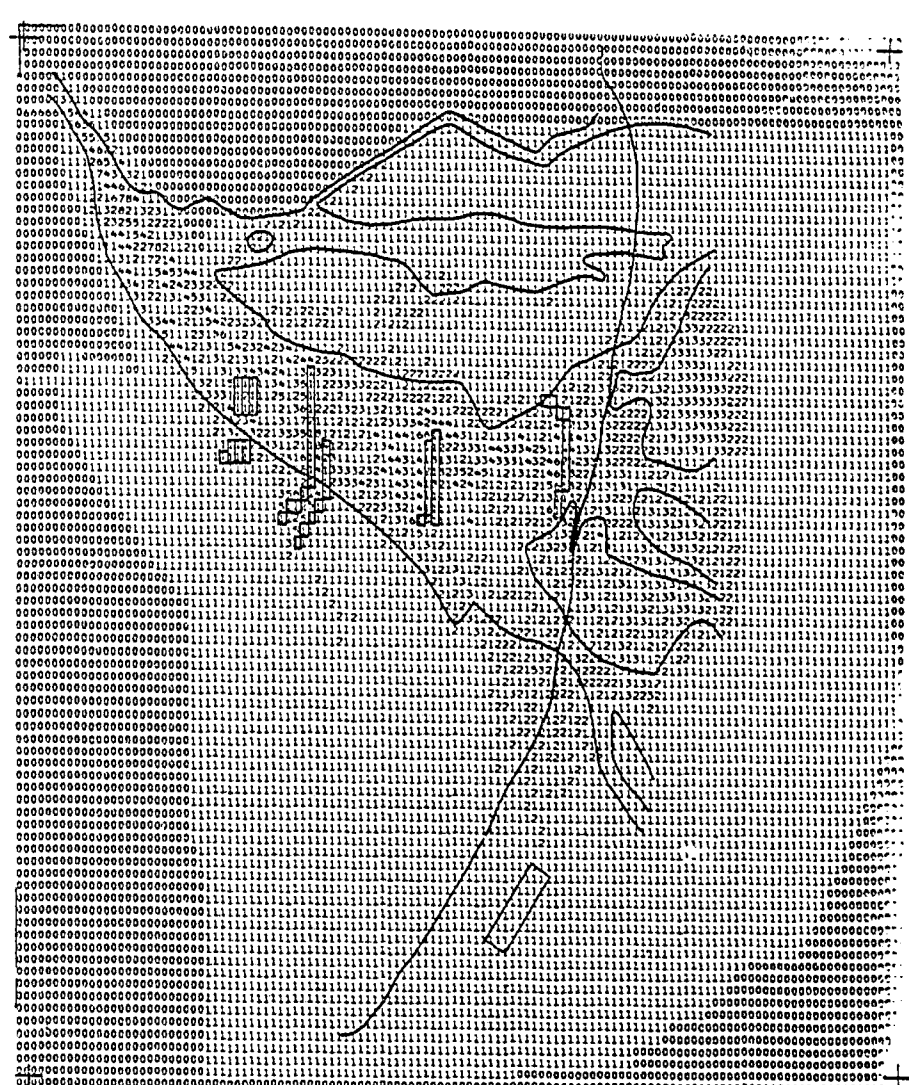


図-38 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-7-2)

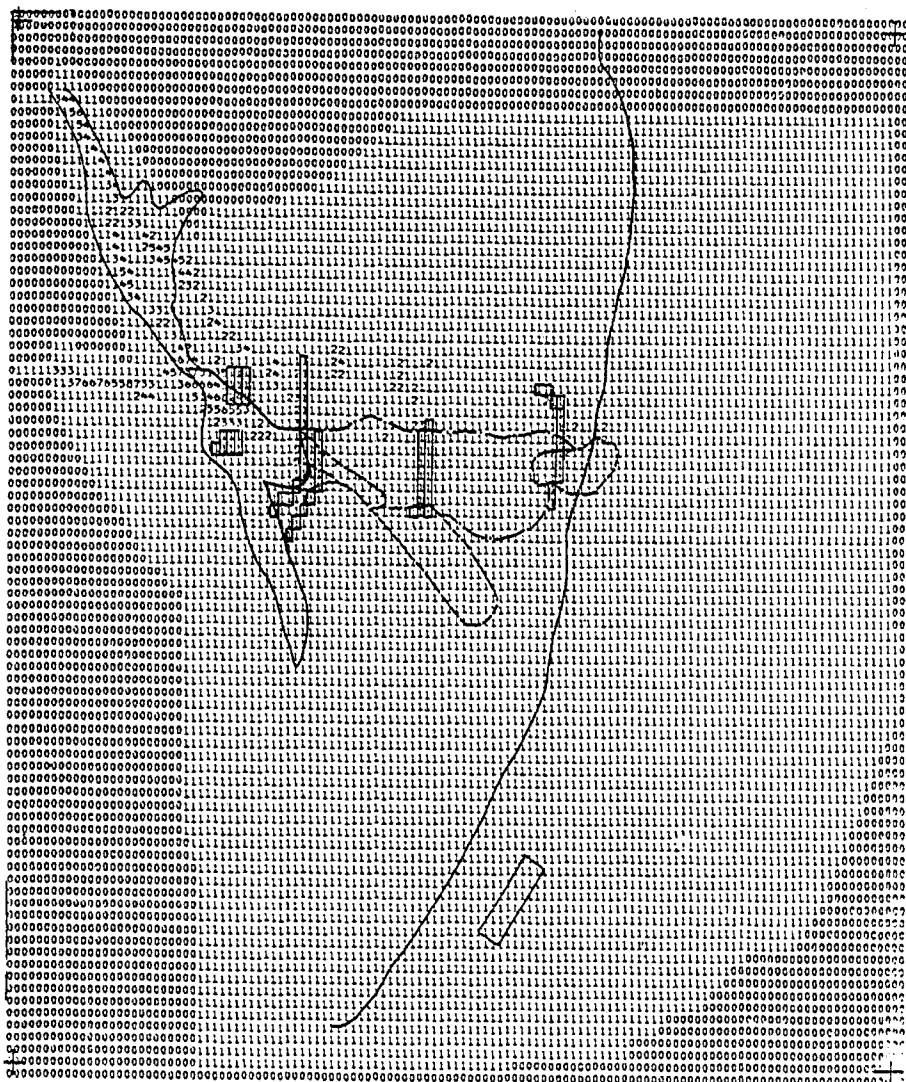


図-39 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-7-3)

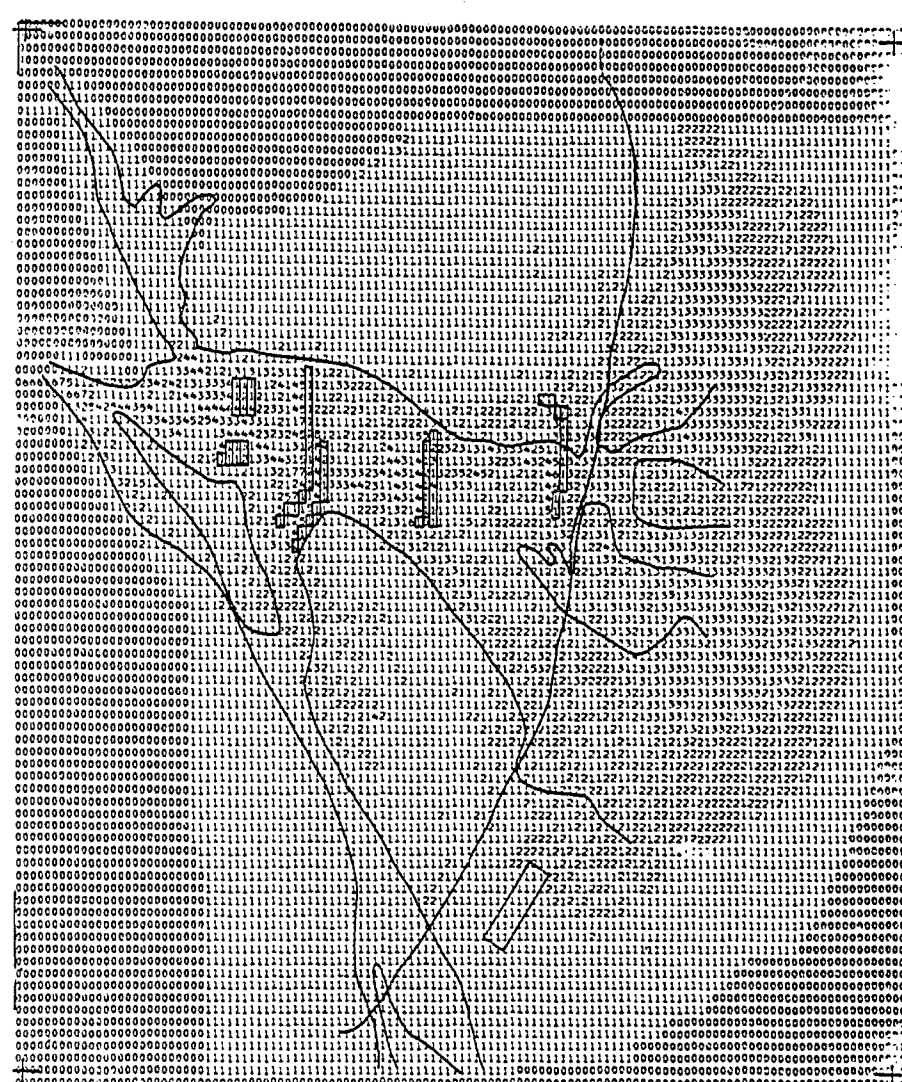


図-40 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-7-3)

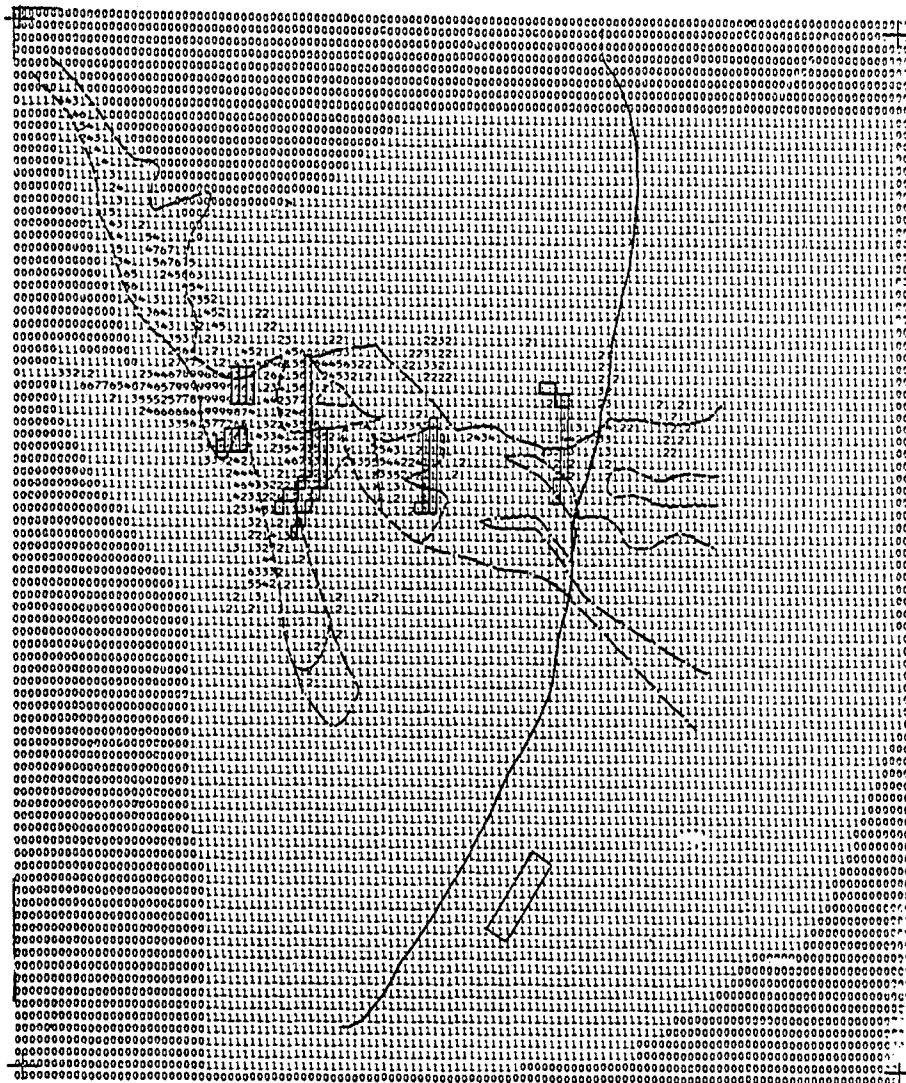


図-41 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-7-4)

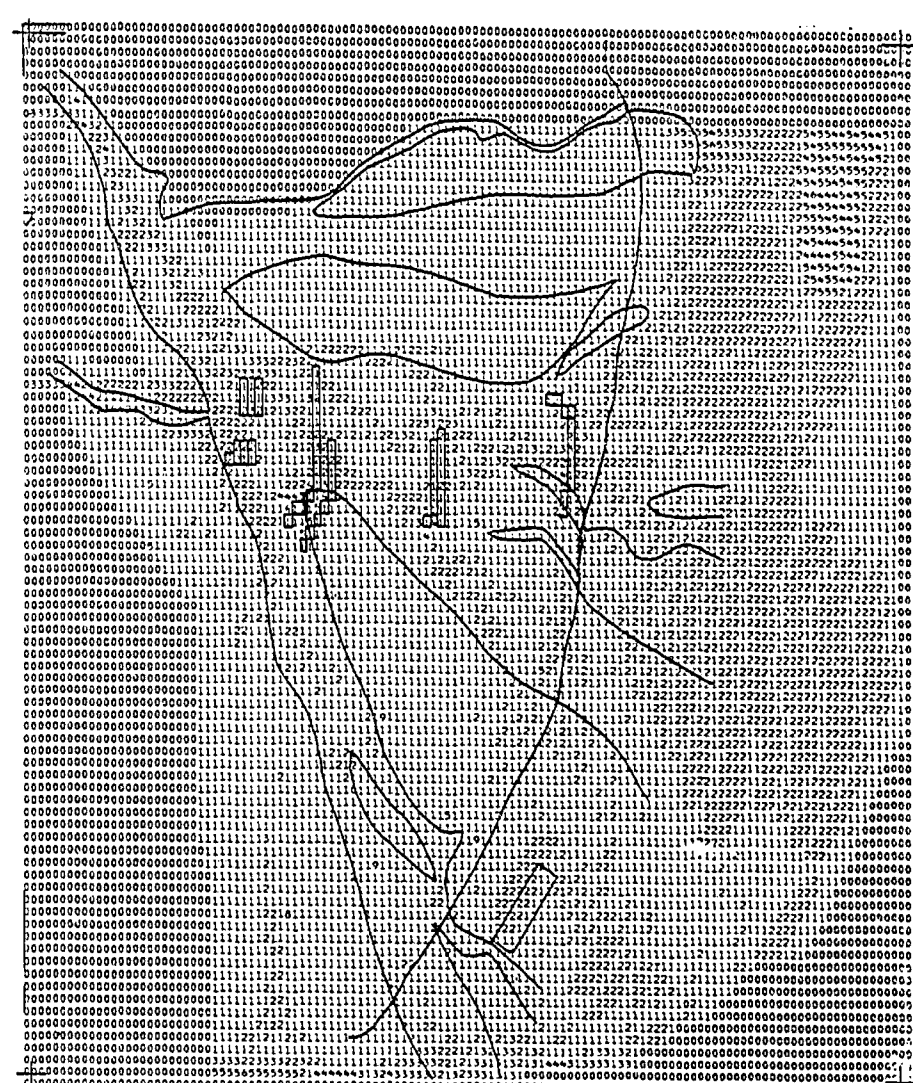


図-42 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-7-4)

流の氾濫形態をほぼ再現できると思われる。また、これらの結果から、左右支溪部における土石流の氾濫の危険性が高く、下流河道部では土砂および流水の拡散によりその氾濫範囲がさらに大きく広がられていることから、これらの流れを河道内に導流する構造物（導流堤）の必要性を示唆していると思われる。

3.4.3 計画案の検討実験のシミュレーション結果

計画案の検討実験のシミュレーション計算は、模型実験ケース 11 の条件を用いて行なった。結果を、図-43～50に示す

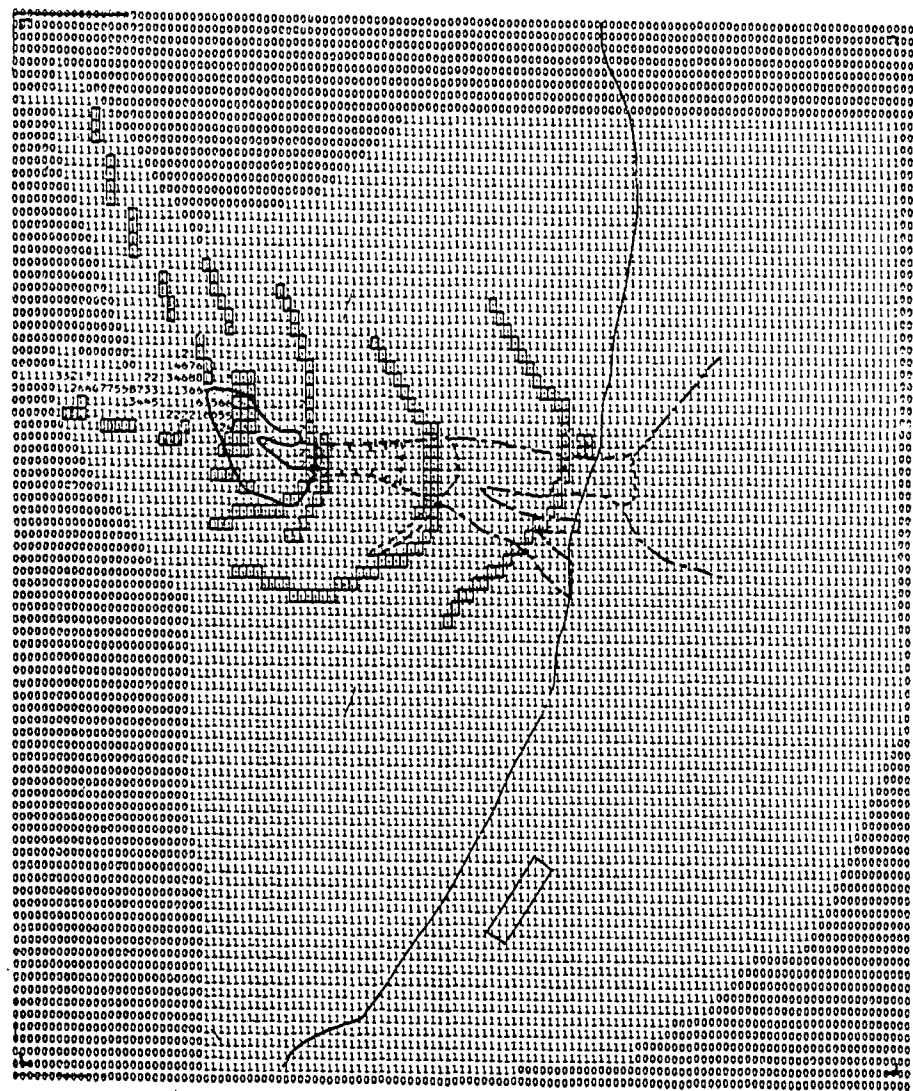
- ① 図-43, 47に示すように右支土石流は、右支溪河道内および合流点部に堆積し、3号床固工下流に流出する土砂はほとんどない。流水は、少量が導流堤間からもれて右支右岸側に水深20m程度で氾濫している。この原因は、河道内に土石流の土砂が堆積し、河床を上昇させるために生じているものと思われる。また、この地点での流水の氾濫は、土石流2波目でも水深20cm程度で生じるが、その氾濫範囲は大きく変らない。
- ② 左支土石流は、図-45, 46に示すように導流堤によりその流向を制御されほぼ左支溪河道内を流下するが、少量の流水が9号導流堤の上流を通過し氾濫している。左支溪河道内を流下する土石流は、合流点部に堆積している右支土石流の土砂を一部洗掘しながら、3号床固付近まで土砂の堆積範囲を広げる。左支土石流通水時の流水は2号床固工上流で大きく拡散し、その流れが1号床固工左右岸の導流堤および袖部に当たり、右岸の下流第1号導流堤を水深5cm程度で越流している。
- ③ 後続流通水時は、3号床固工上流に堆積していた土砂が後続流によって洗掘され3号および2号床固工上流に大きく拡散堆積する。しかし、実験結果に比べ2号床固工の下流まで流出する土砂は少ない。

流水の流下状況を図-50より見てみると、右支溪右岸側から極少量の流水が氾濫している。また、1号床固工部では、左支土石流通水時と同様に2号床固工付近で拡散した流水が袖および導流堤を水深20cm程度で越流している。また、1号床固工下流の流水の氾濫は、左右岸にかなり広範囲におよんでいる。これは、1号床固工下流の地形による影響が大きい（緩勾配であるため）と思われるが、1号床固工左右岸の袖部を流水が越流することもその氾濫範囲を広める原因となっていると思われる。

3.4.4 最終案の検討実験のシミュレーション計算結果

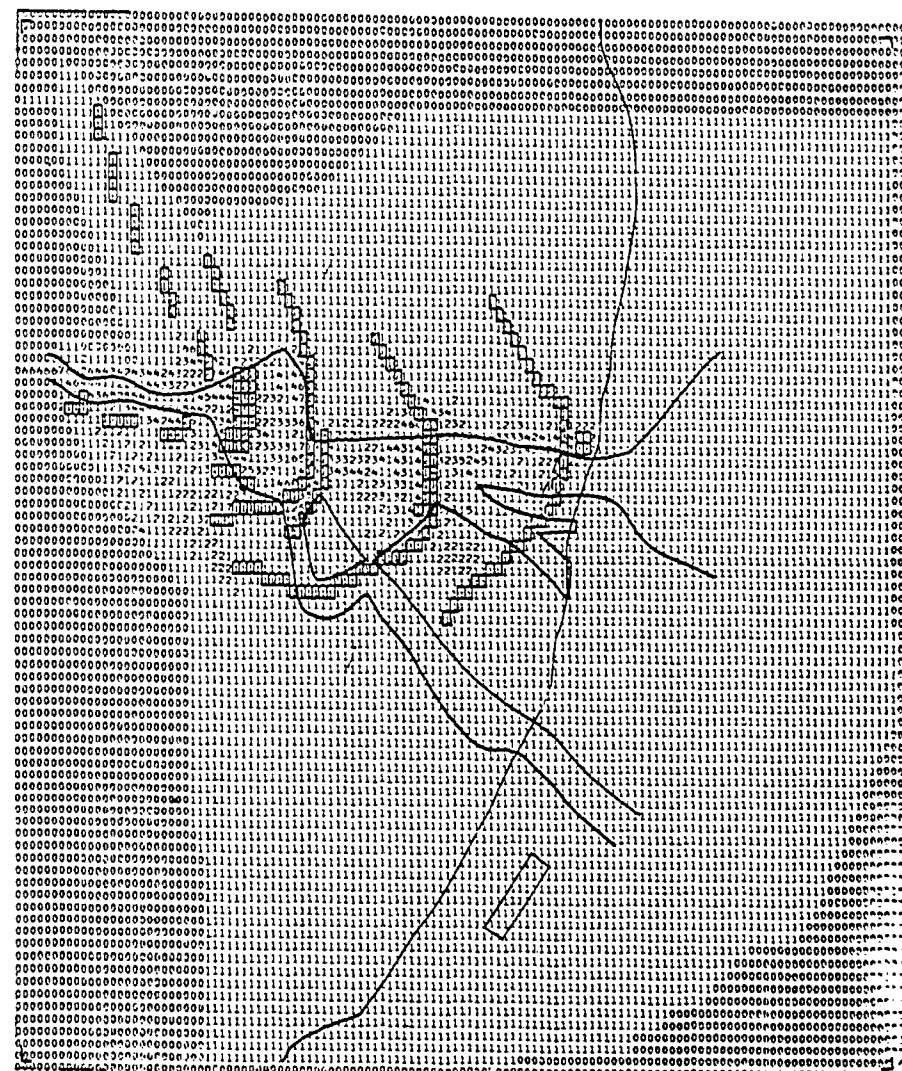
最終案の検討実験のシミュレーションは、模型実験ケース 16 の条件で行なった。計算結果を、図-51～58に示す。

- ① 右支土石流は、事務所計画案の検討時と同様に3号床固工から右支溪河道内にかけて堆積し、この河床上昇にともなって右支溪右岸側に少量の流水が導流堤間を通過して氾濫している。
- ② 土石流通水時は、図-51, 53, 55に示すように実験結果と同様に左右支溪の土石流がほぼ3号床固工上流に堆積する。右支土石流は、少量ではあるが流水が右支右岸側に氾濫（水深20cm程度）している。この氾濫は、模型実験では生じていない。
- ③ 右支土石流2波目では、さらに合流点から右支溪河道にかけての土砂堆積が大きくなり右支



凡例
 土砂堆積高 1 : 0 m 6 : 6.0 m 模型実験結果 ——— 土石流堆積範囲 ——— 土砂移動範囲
 2 : 0.5 m 7 : 8.0 m
 3 : 1.0 m 8 : 10.0 m
 4 : 2.0 m 9 : 20.0 m
 5 : 4.0 m
 ----- 土砂堆積範囲 TTTT 洗掘範囲

図-43 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-11-1)



凡例
 水位 1 : 0 m 6 : 1.0 m 模型実験結果 ——— 流水氾濫範囲
 2 : 0.01 m 7 : 1.5 m
 3 : 0.05 m 8 : 2.0 m
 4 : 0.1 m 9 : 4.0 m
 5 : 0.5 m

図-44 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-11-1)

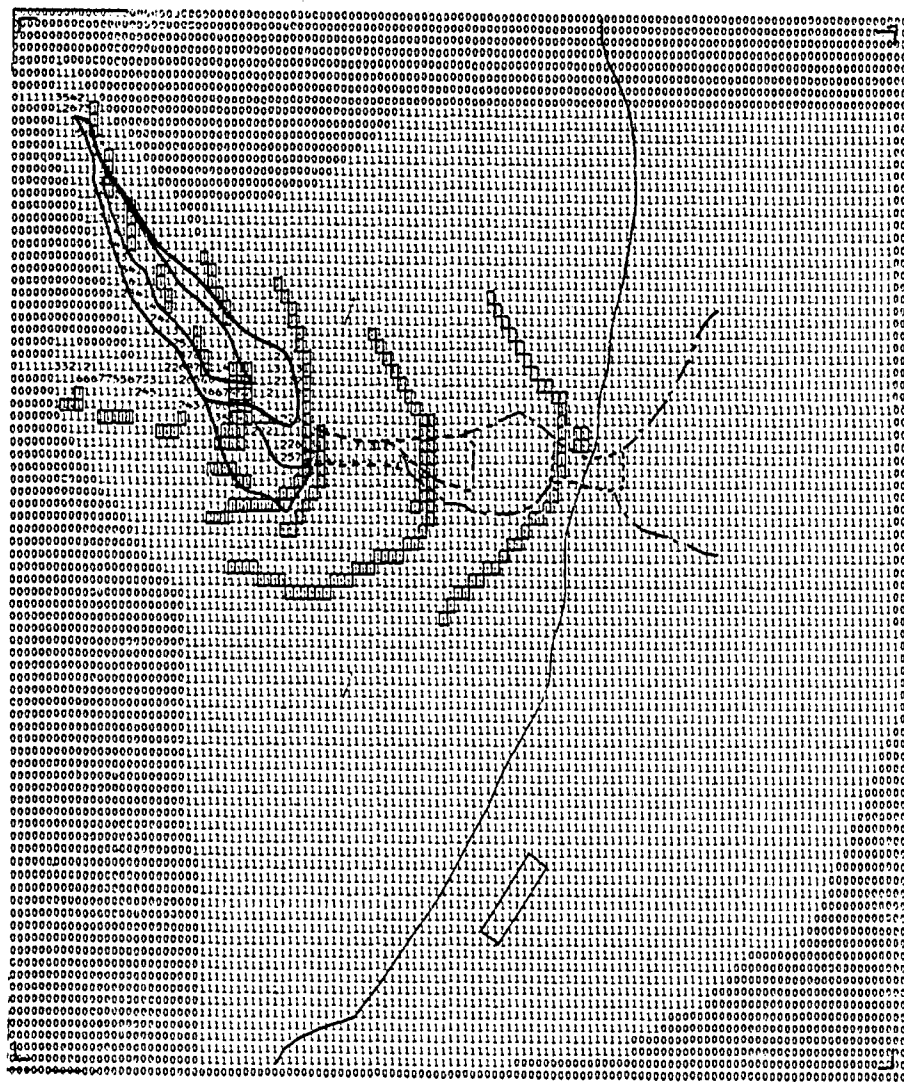


図-45 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-11-2)

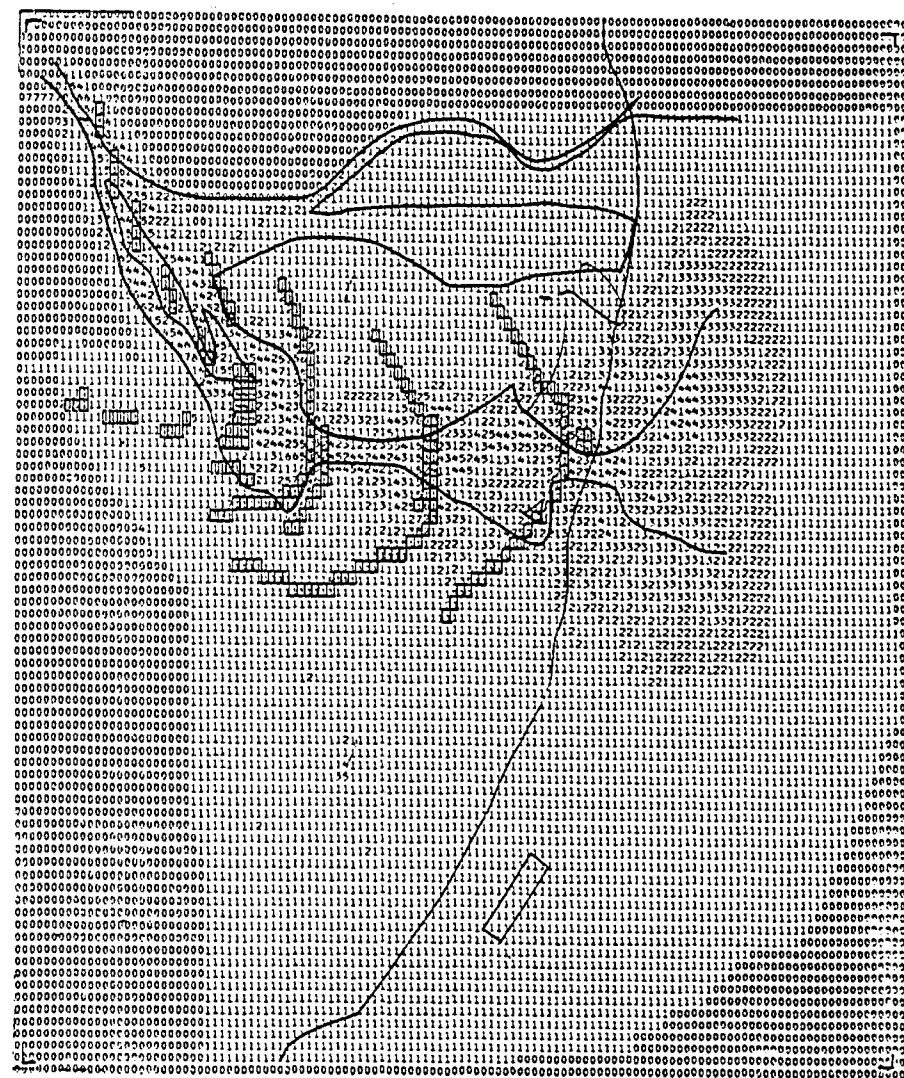


図-46 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-11-2)

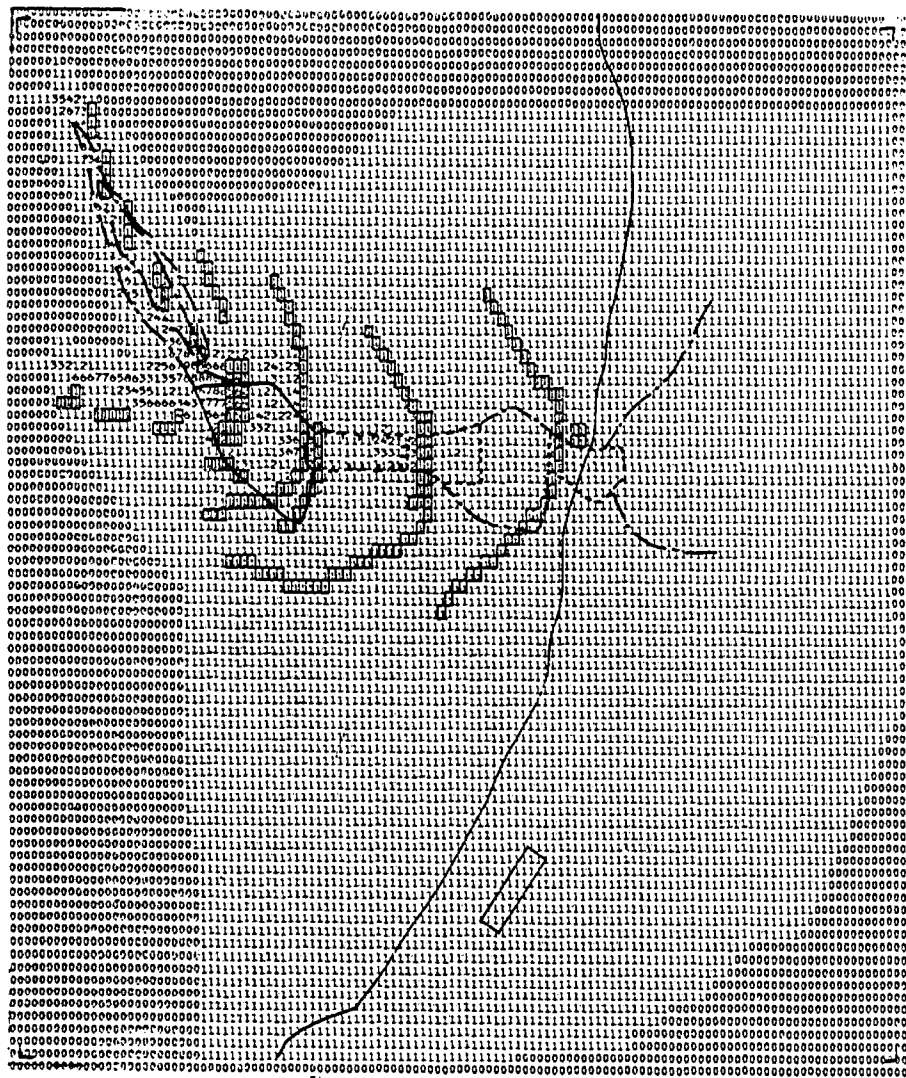


図-47 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-11-3)

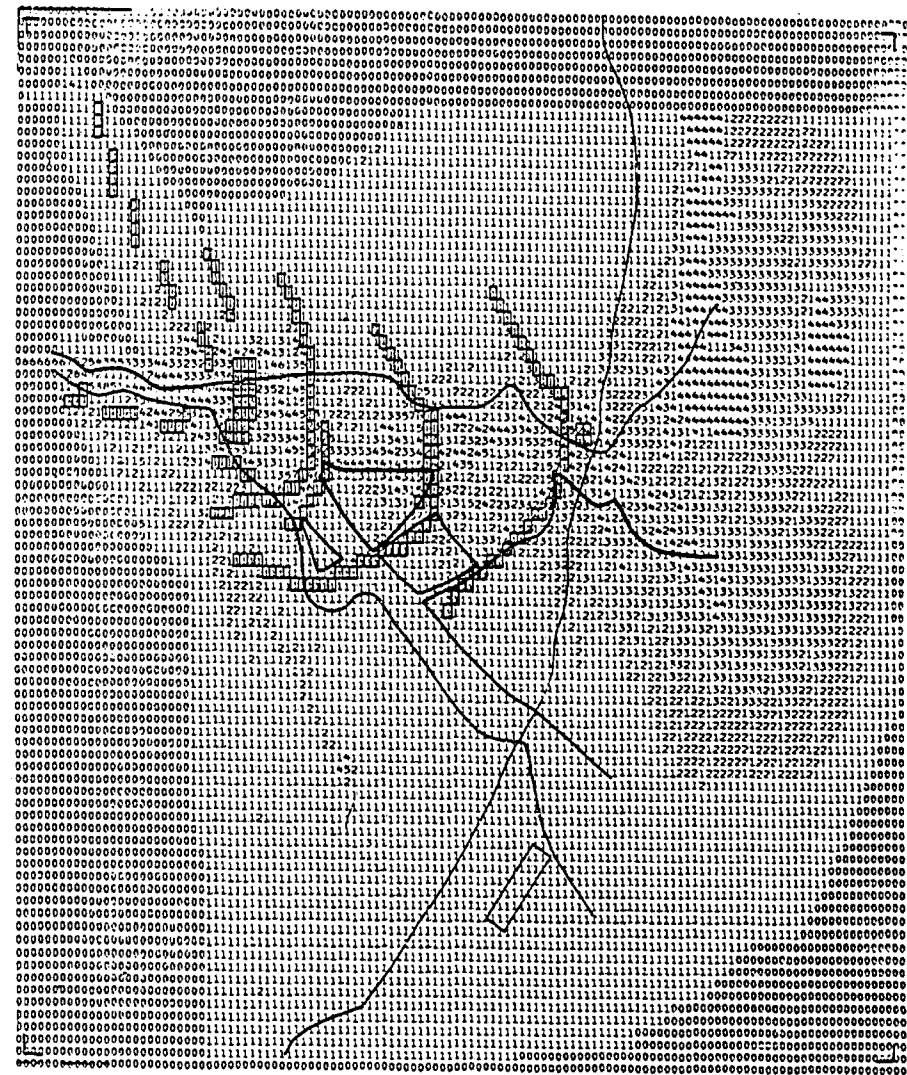


図-48 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-11-3)

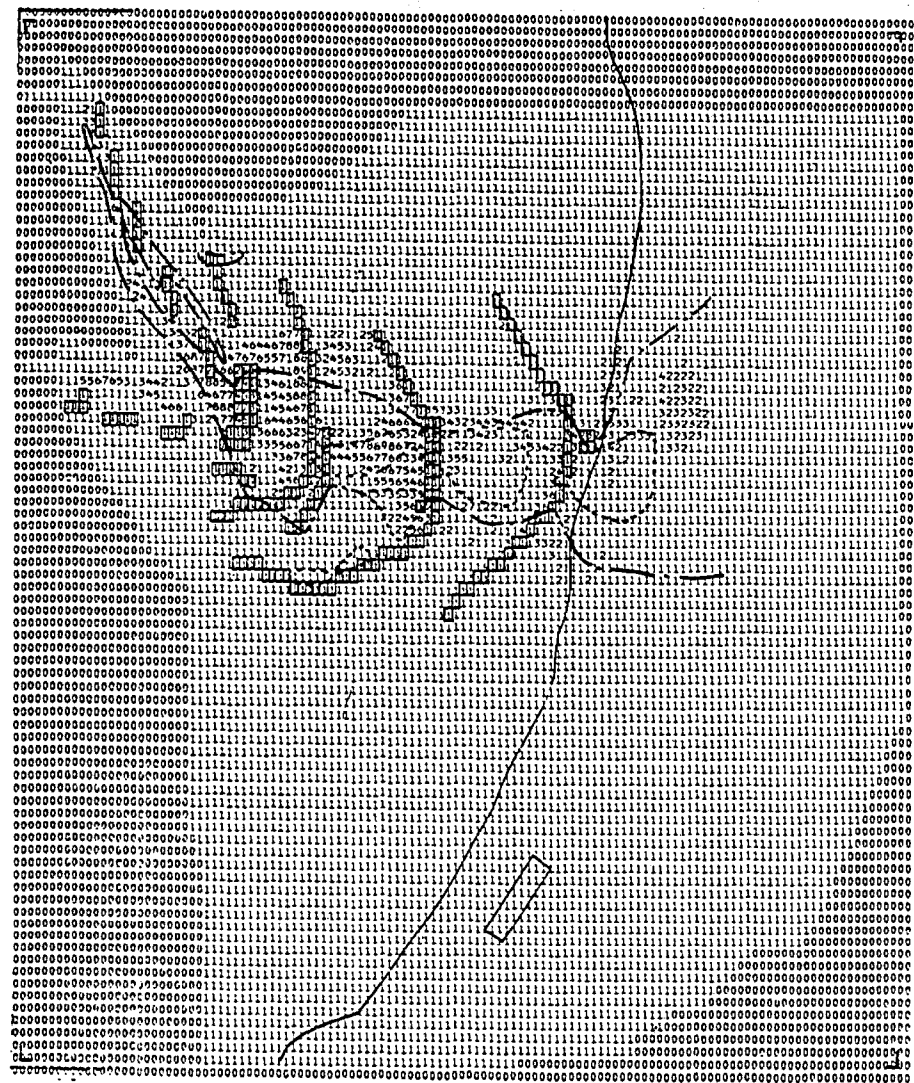


図-49 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-11-4)

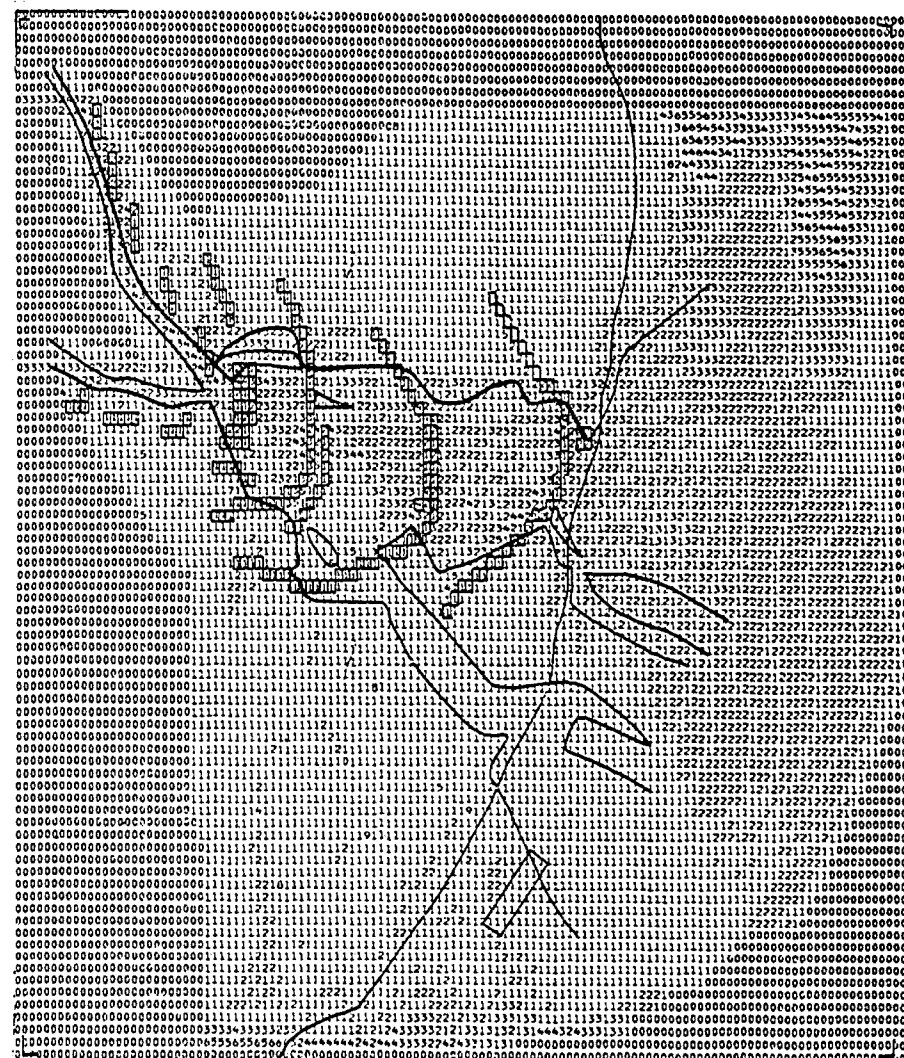


図-50 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-11-4)

溪右岸側への流水の氾濫も大きくなる。しかし、その量は少なく、流水は県道まで達していない。

④ 1号床固工左右岸袖部の越流は、事務所計画案の検討時と同様に左支土石流通水時から生じている。このため、1号床固工下流の流水の氾濫が広範囲におよんでいる。

⑤ 後続流通水時は、3号床固工上流に堆積していた土砂が後続流によって洗掘され3号および2号床固工上流に大きく拡散、堆積する。しかし、2号床固工の下流まで流出する土砂は少ない。

流水の流下状況を図-58より見てみると、右支溪右岸側から極少量の流水が氾濫している。

また、1号床固工部では、左支土石流通水時と同様に2号床固工付近で拡散した流水が、袖部および下流1号導流堤を水深20cm程度で越流している。

1号床固工下流の流水の氾濫は、土石流通水時に比べその氾濫範囲はほぼ変化がない。

3.5 土石流氾濫シミュレーション計算結果のまとめ

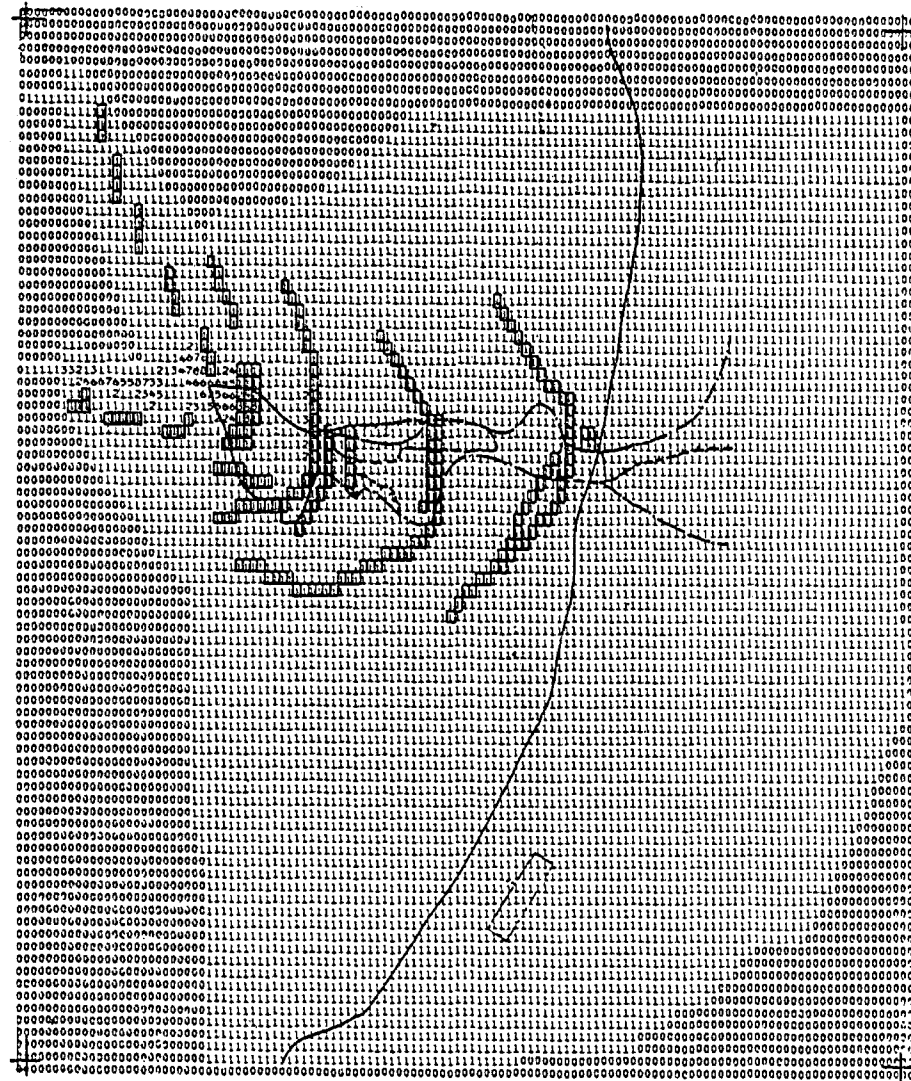
以上の検討から、シミュレーション計算結果は、昭和50、54年災害の土石流氾濫実績および模型実験で得られた土石流の氾濫形状等を良く再現している。また、八右衛門沢で計画されている土砂流出に対して模型実験から得られた施設を扇状地内に設置すれば、その土砂を河道外に氾濫させることなく流下させることができ、その施設配置の妥当性が確認された。しかし、模型実験では生じていない流水の氾濫がシミュレーション計算において生じた。

一点目は、上流右支支溪右岸導流の間からの少量の氾濫である。これは、左右支溪合流点での土砂堆積が右支溪内を上流に遡上し、右支溪の河床を著しく高めるために生じたものである。模型実験では、合流点部の堆積は計算ほど上流に影響を与えず、流水の氾濫も生じていない。この原因として考えられることは、模型実験の場合、与える土石流の土砂濃度を一定にすることが難しく、観察結果から実験で与えた土石流は、前半に濃度が高く後半小さくなっているのではないと思われる。また、前述のように本シミュレーション計算においている土砂濃度式は、一定勾配の河道を流下する土石流に対応したものであり、右支溪のように河床勾配が著しく変化している場合は、その変化が直ちに土石流の土砂濃度（流送可能土砂濃度）に影響してしまい。結果的に右支溪河道内に土砂堆積が生じたものと思われる。

そこで、実際に発生する現実の土石流が、模型実験結果のどちらの傾向となるかが問題となる。これまでに観測されている実際の土石流の流下状況は、比較的勾配が変化してもそれまでの慣性力等が効いてかなり緩い勾配まで土石流形態で流下していることから、模型実験の結果に近いのではないかと考える。

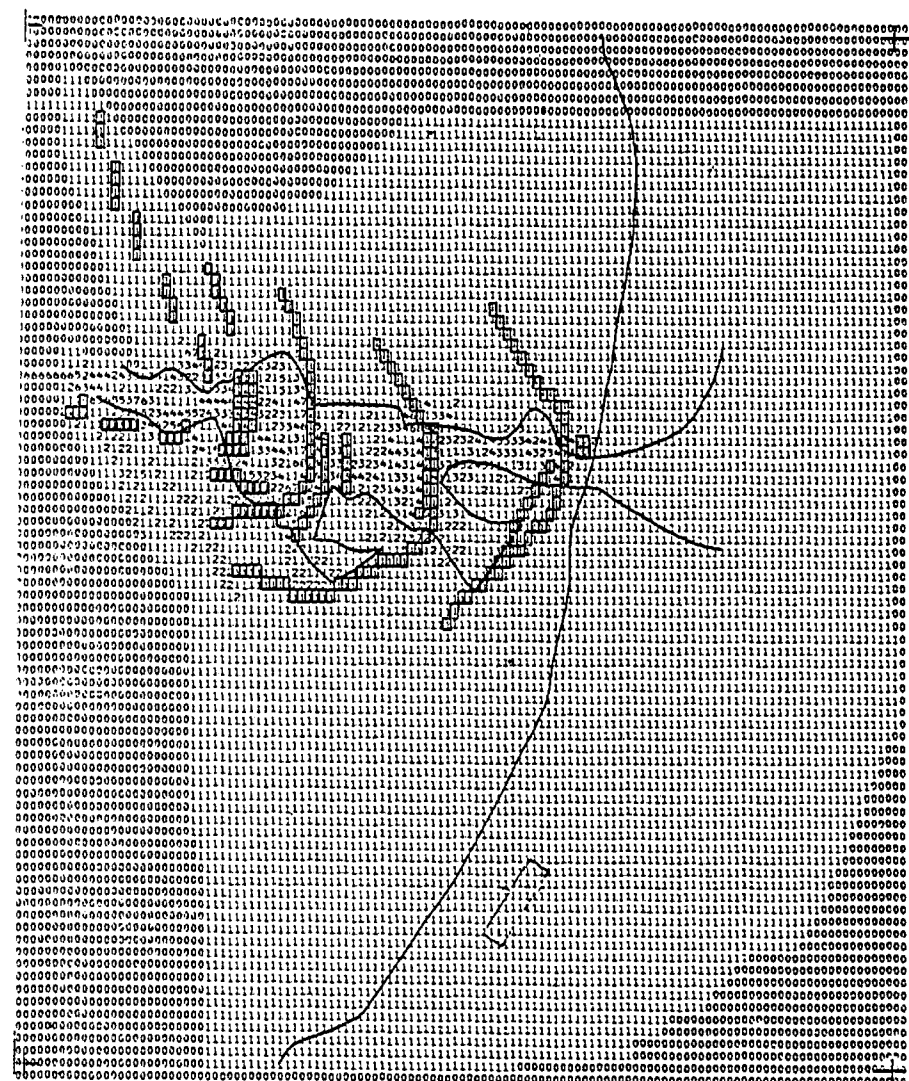
そこで、実際に発生する現実の土石流が、模研実験結果か計算結果のどちらの傾向となるかが問題となる。これまでに観測されている実際の土石流の流下状況は、比較的勾配が変化してもそれまでの慣性力等が効いてかなり緩い勾配まで土石流形態で流下していることから、模型実験の結果に近いのではないかと考えられる。

二点目は、1号床固工左右岸の導流堤の越水である。この地点の越水は、本シミュレーション計算において、扇状地の初期河床を洗掘されることはない固定床としていたために生じたものと思われる。1号床固工地点の流況および実験中の河床変化の観察結果から、模型実験では土石流通水時に土砂はほぼ3号床工の上流に堆積してしまい流水のひがその下流に流下するため、1号床固工地点の河床は洗掘を受け河道が形成される。後続流通水時は、3号床固工上流に堆積していた土砂が下流に流出し



凡例
土砂堆積高 1 : 0 m 6 : 6.0 m 模型実験結果 —— 土石流堆積 範 囲
2 : 0.5 m 7 : 8.0 m 範 囲
3 : 1.0 m 8 : 10.0 m 範 囲
4 : 2.0 m 9 : 20.0 m 範 囲
5 : 4.0 m

図-51 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-16-1)



凡例
水位 1 : 0 m 6 : 1.0 m 模型実験結果 —— 流水氾濫範 囲
2 : 0.01 m 7 : 1.5 m 範 囲
3 : 0.05 m 8 : 2.0 m 範 囲
4 : 0.1 m 9 : 4.0 m 範 囲
5 : 0.5 m

図-52 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-16-1)

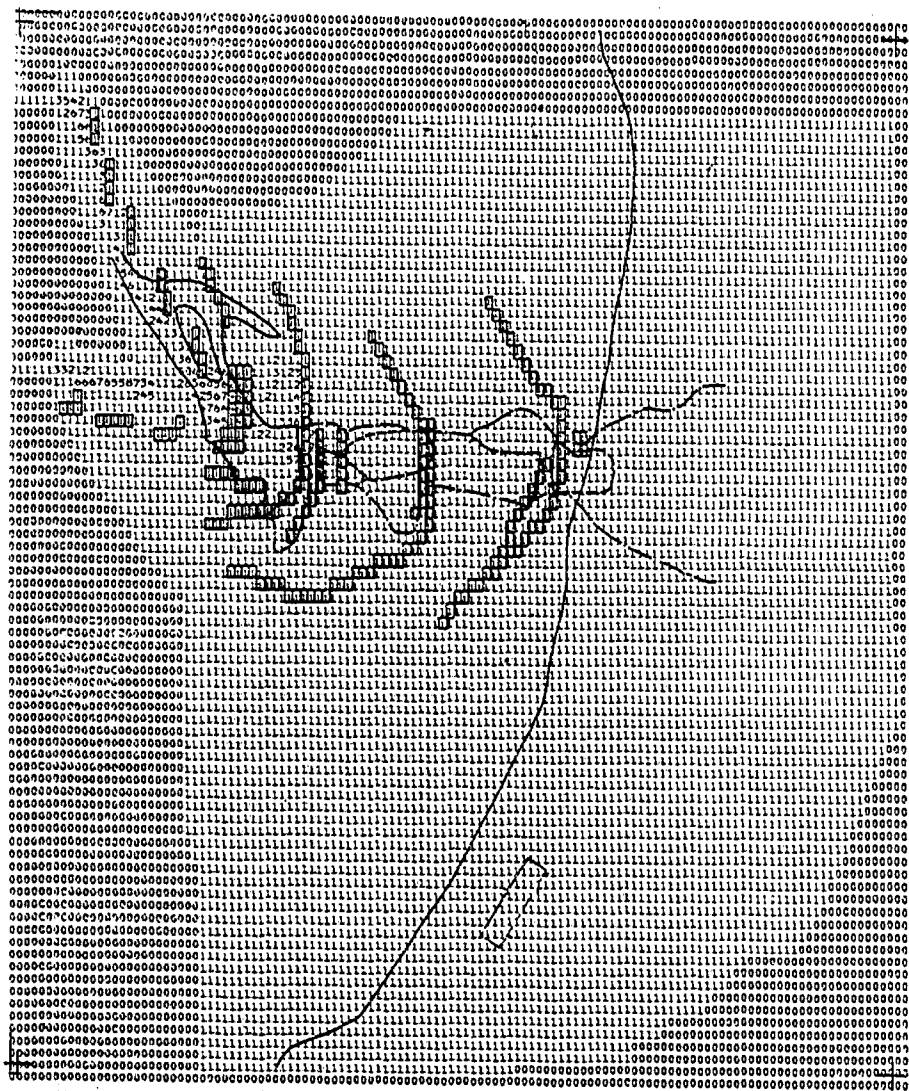


図-53 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-16-2)

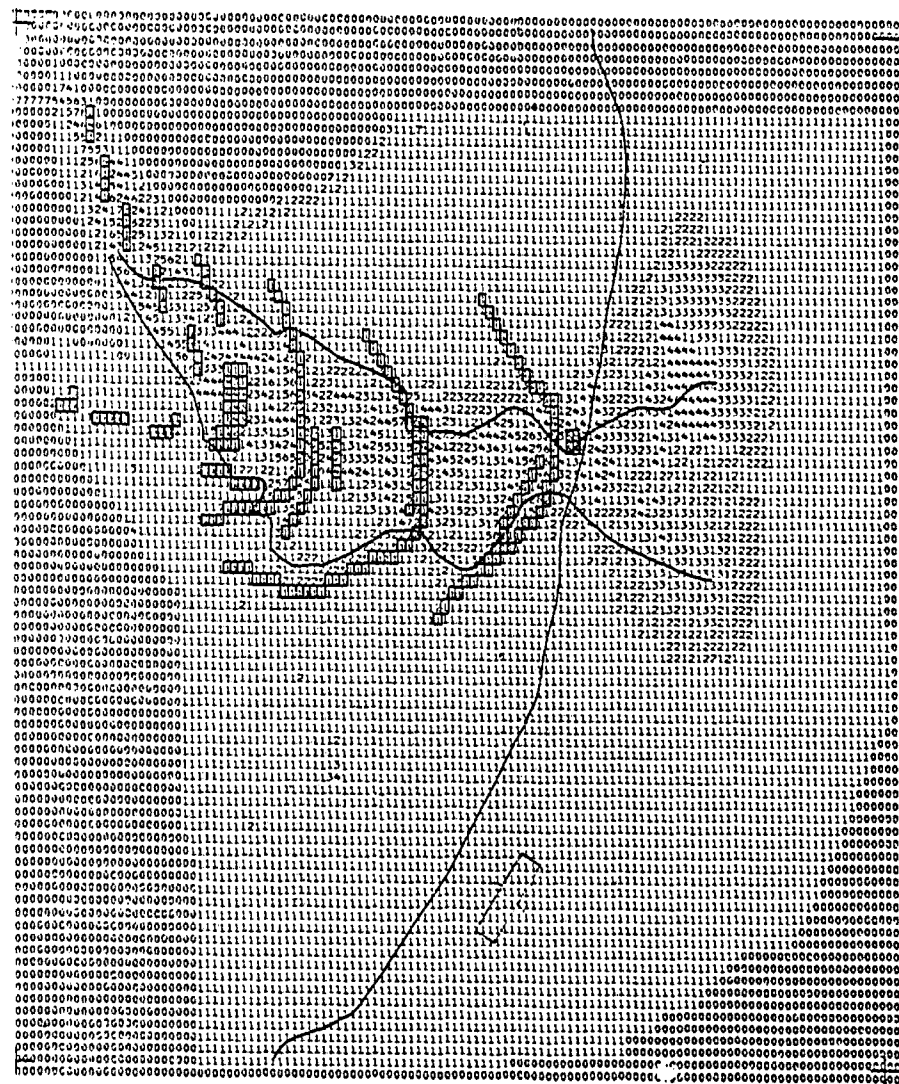


図-54 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-16-2)

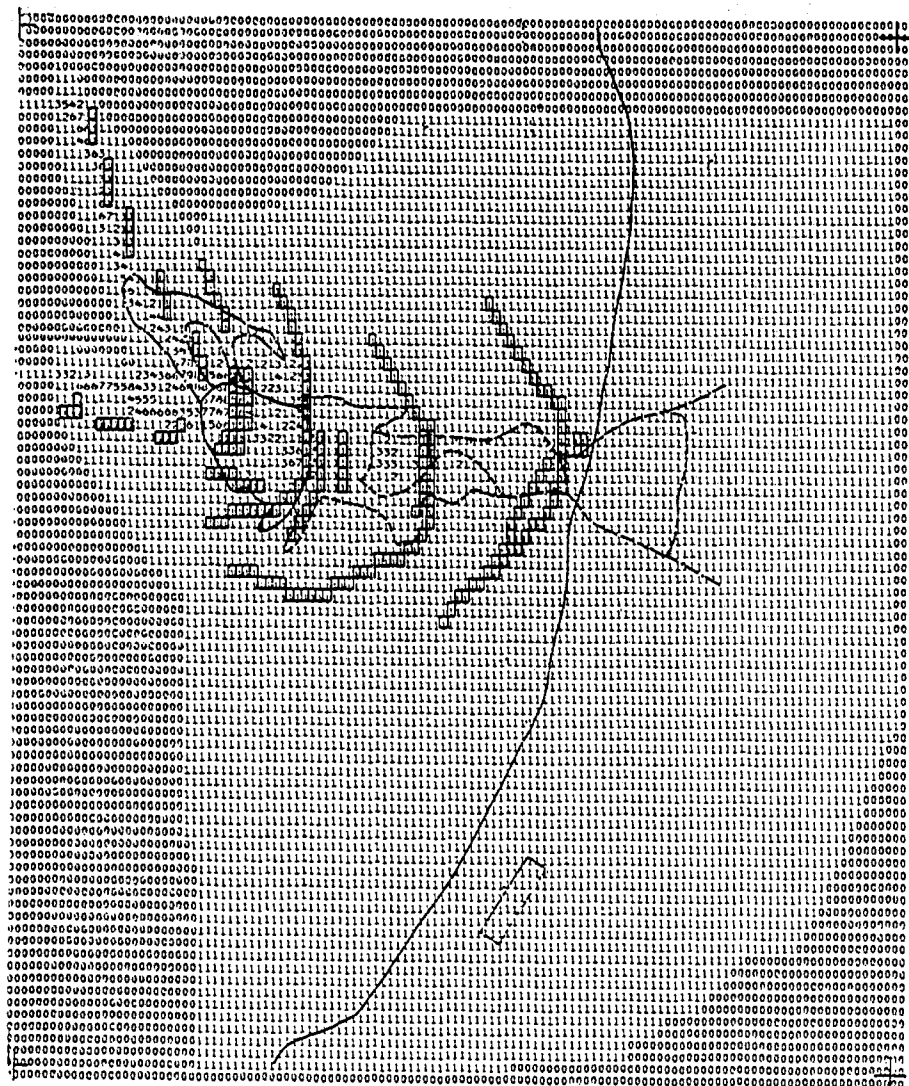


図-55 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-16-3)

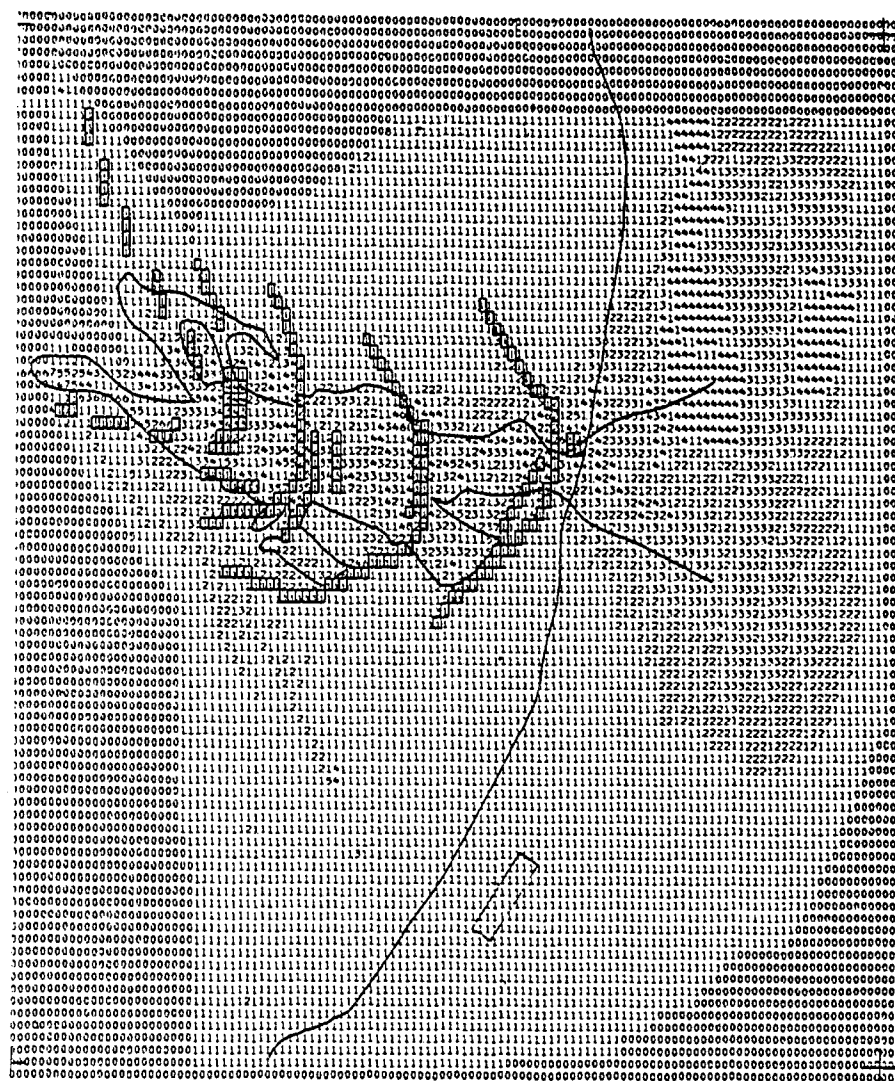


図-56 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-16-3)

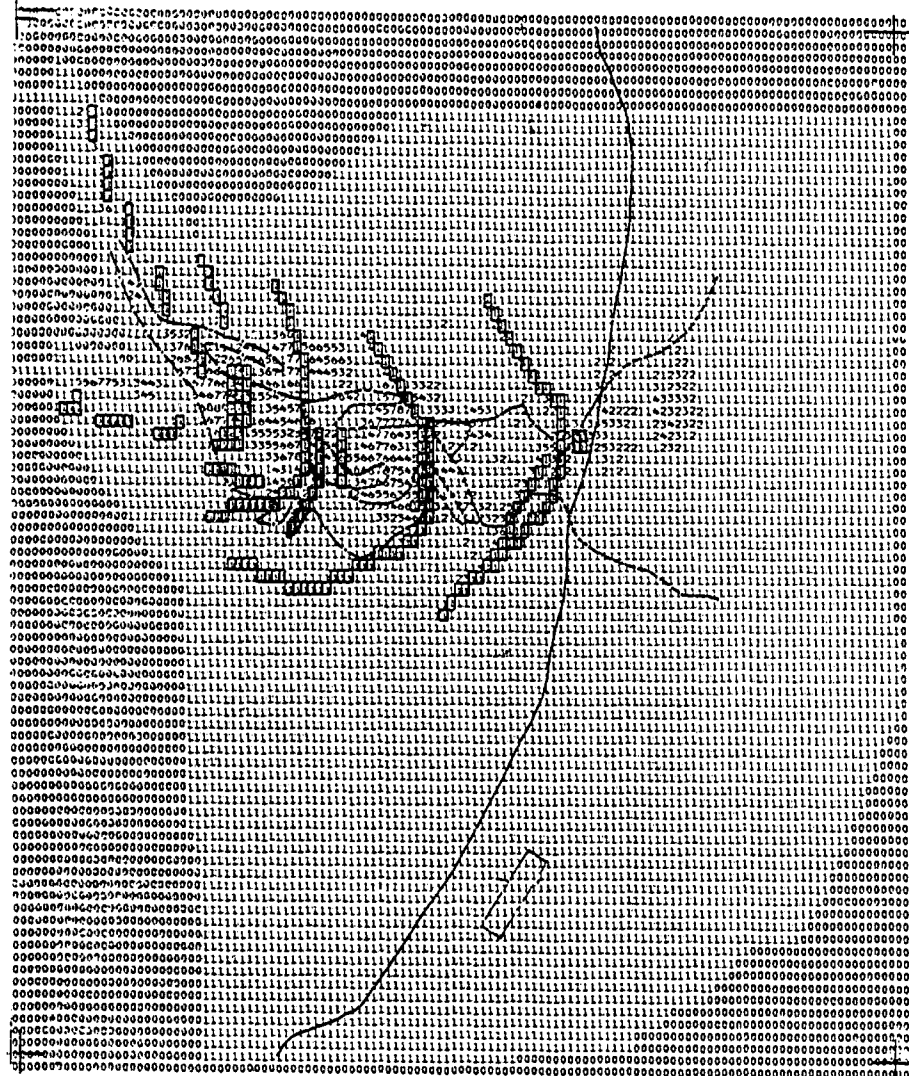


図-57 シミュレーション計算による土砂堆積 (CASE-16-4)

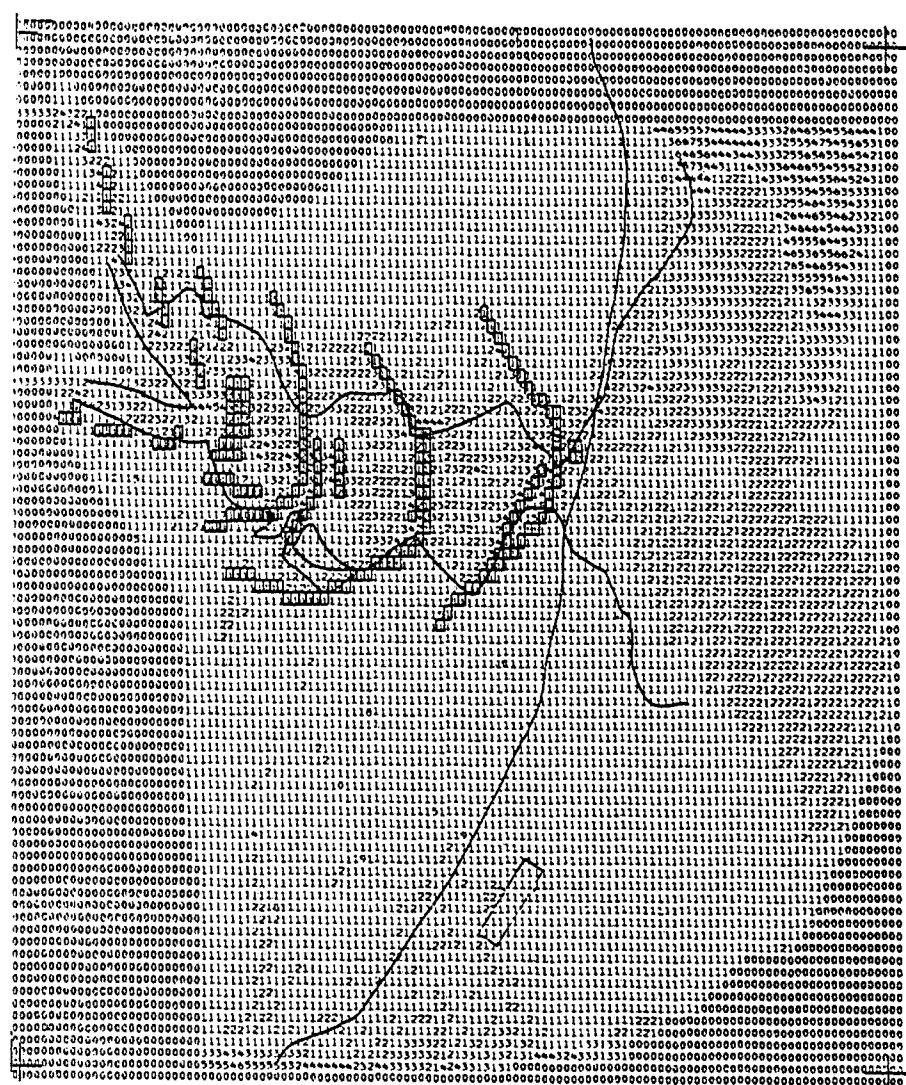


図-58 シミュレーション計算による流水の氾濫 (CASE-16-4)

1号床固工地点の河床も幾らかは上昇するが、土石流通水時に形成された河道内を流水が集中して流れるためこの地点での流水の氾濫は生じなかった。しかし、本計算では、元河床を固定床としていたため1号床固工地点の河床洗掘は表現することができず河床上昇のみが表現され、さらに1号床固工が扇状地の等高線と平行に設置されていることと相まって、流水は床固工袖によって堰き上げられ越流したものである。これらのことを判断すると、実際の土石流発生時は、計算より模型実験結果に近い流況になると考えられる。

4. ま と め と 提 言

八右衛門沢で計画されている土石流を、河道外に氾濫させることなく安全に下流まで流出させるための施設配置を得るために、八右衛門沢扇状地模型を用いて実験を行なうとともに、土石流氾濫シミュレーション計算も行なうと、実験より得られた施設配置最終案の妥当性の確認を行なった。その結果、当初計画施設の他に以下の施設が必要であることがわかった。実験により得られた施設配置案を図-24に示す。

- (1) 左支溪の3号～4号導流堤間から流出する土石流および後続流の氾濫を防止するため9号導流堤を設置する。
 - (2) 左右支溪の合流点は河床勾配の大きな変化点であり、地形も左右に大きく広がっているため土石流が堆積しやすく、また、その堆積土砂が後続流を左右方向に大きく流向を変えるため、パイプ林右岸側に下流8号導流堤を設置する必要がある。
 - (3) 3号床固工左岸袖の既設部の嵩上げを行なうと、袖部に当たった流水が右岸側に流向を変え、2号および1号床固工右岸袖も越流し流水が氾濫してしまうため嵩上げは行なわない。また、3号下流床固工の右岸部の延長は行なわない。
 - (4) 2号床固工右岸袖の既設部との接合部は、既設の天端高に摺り付ける計画としている。後続流によって流出した土砂が3号～2号床固工間に扇状地状に堆積し、流水が大きく左右へ拡散するため、流水が2号および1号床固工右岸袖を越流して氾濫してしまうため、この摺付部は既設より2m高く設置した方がよい。
 - (5) 1号床固工右岸袖の既設部は、等高線に平行に作られており流水の導流効果が小さく、2号床固工付近の土砂堆積によって右岸側に向けられた流水が当たることにより、土砂堆積と流水の堰き上げが生じて越流するために、この流れを河道中央部に導く下流7号導流堤が必要である。
- また、計画案作成時および現地施工、河床管理に際しては、次の点に留意する必要がある。
- (1) 左右支溪内導流堤および合流点部の構造物は、土石流の直撃を受けやすく、また、土石流の氾濫を防止する上で重要な施設であり、これが土石流によって破壊されることがないように土石流に対する強度および、下流部の洗掘対策の検討を行なう必要がある。
 - (2) 計画案の実験結果より、合流点右岸側に氾濫する土石流は近隣の宿泊施設に大きな被害を与える恐れがあり、下流2, 3, 8号導流堤を早急に設置する必要がある。
 - (3) ここに提案した計画案は、現在の河床を初期河床として検討しているため、土石流等により河床が上昇した場合は、除石を行なう必要がある。特に、1号床固工上流については流水をスムーズに流下させる必要があり、流水が河道中央部を流下しやすいような河道整形を行なうことが望ましい。
 - (4) 1号床固工下流部については、流出土砂濃度および、河床変動を考慮した河道計画および、県道橋の改良等を含めた路線計画の検討が必要。

5. おわりに

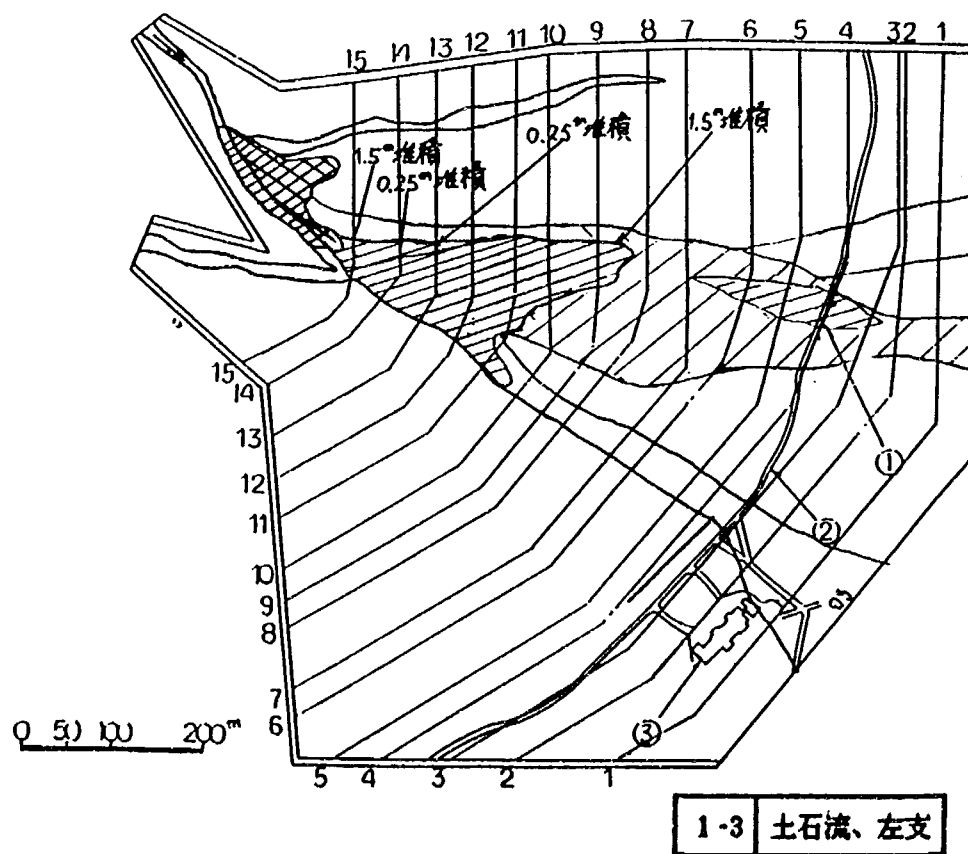
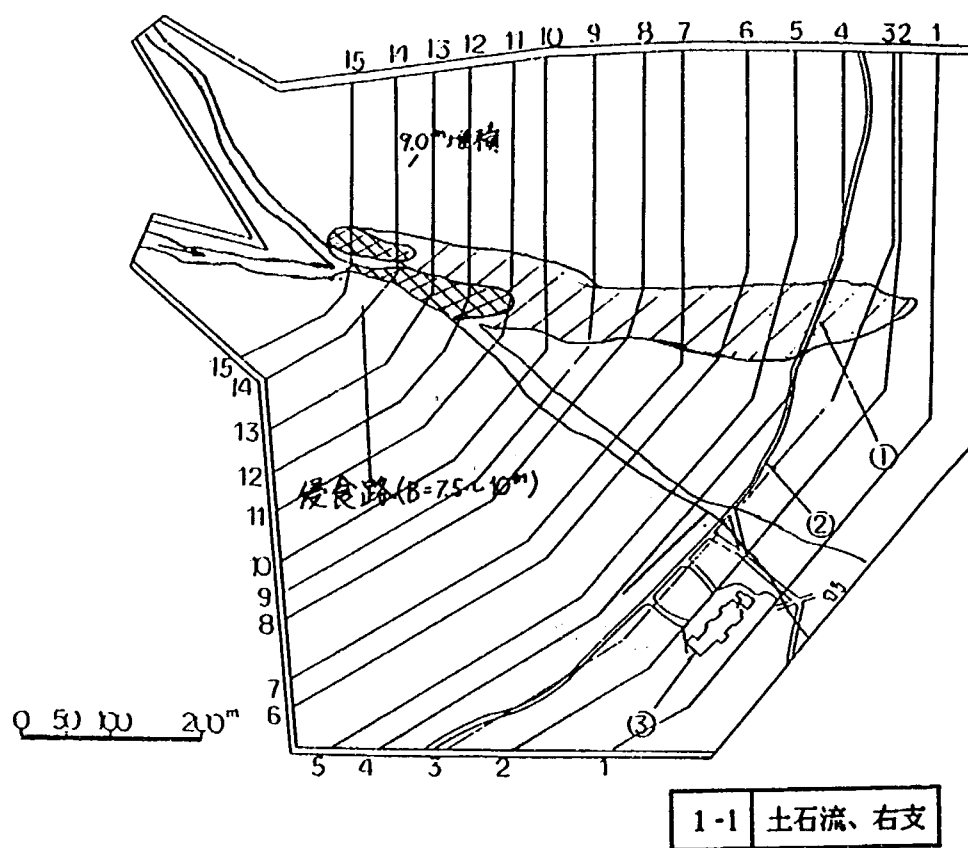
八右衛門沢で計画されている土石流を、河道外に氾濫させることなく安全に下流まで流出させるためには、図-24に示す構施設が必要であることがわかった。

左右支溪の導流堤および各床固工の袖は、土石流の氾濫を効果的に防止できる。しかし、これらの構造物は国立公園内の特別地区という制限でコンクリート構造物ではない、構造となるため土石流が直撃した場合は、破壊されることがないように、構造物の土石流に対する強度の検討が必要である。また、一部の構造物は土石流が越流する計画となるため、床固工下流の局所洗掘と合わせて、越流に対する強度検討も考える必要がある。さらに、工事を行なうに際しては、左右支溪および扇状地河道の河床状況等の実態把握を行ない、実験結果と合わせて総合的に判断を下す事が望まれる。

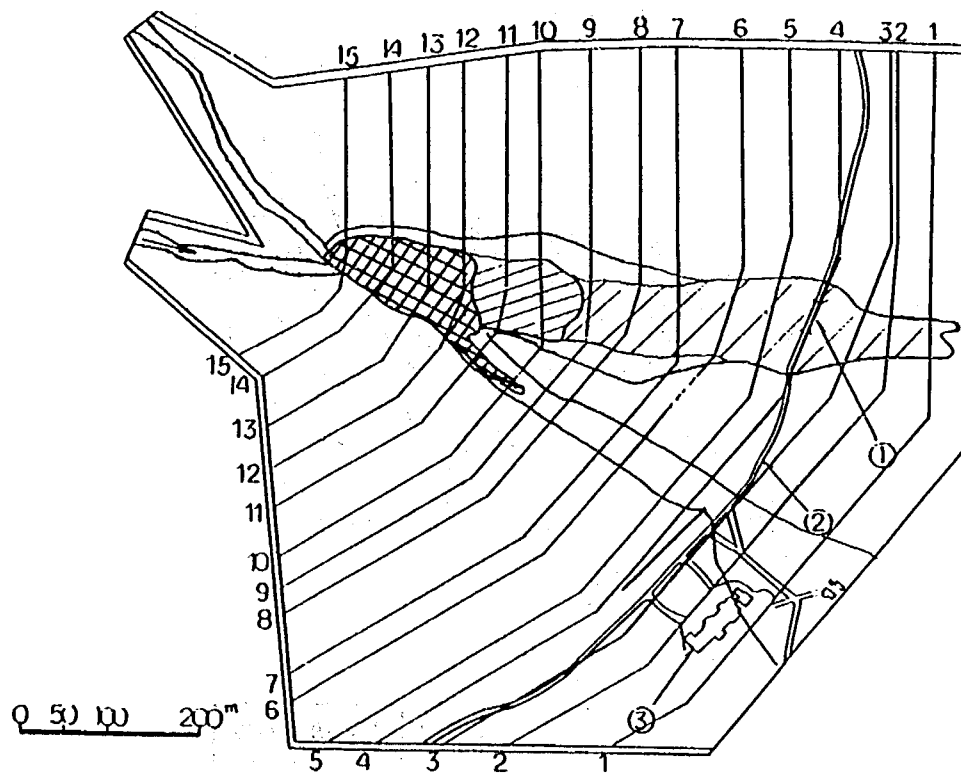
最後に、実験のための基礎資料の提供等の御協力を頂いた建設省北陸地方建設局松本砂防工事事務所の方々に厚くお礼申し上げます。

資 料 集

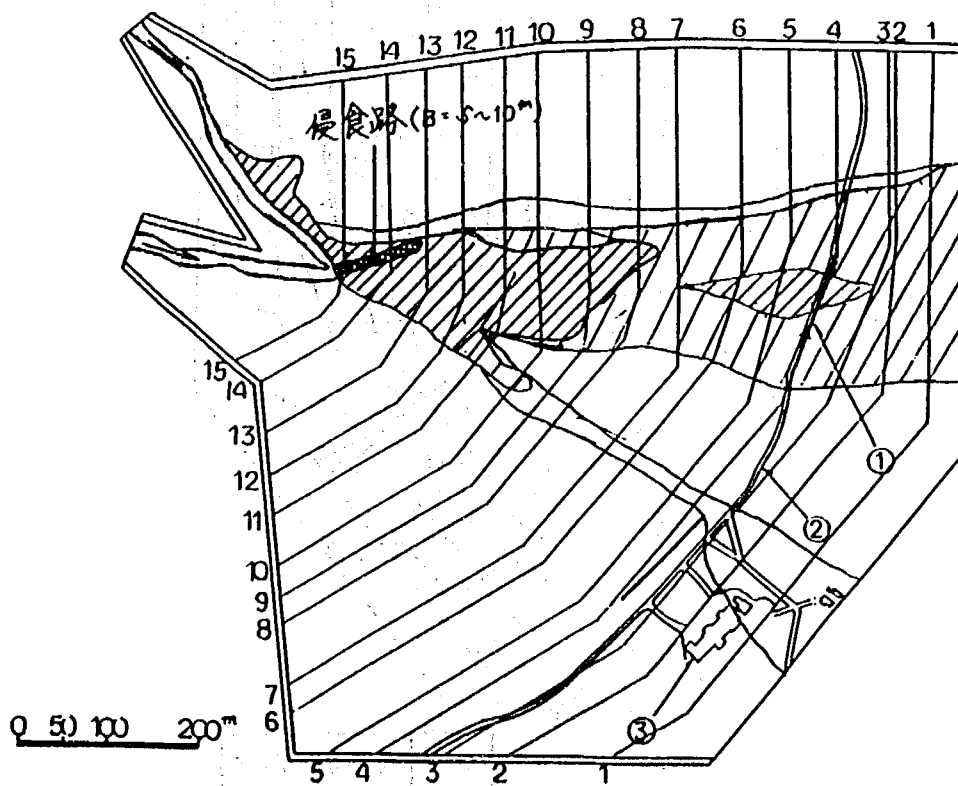
流況平面図



流況觀察平面図 (CASE-1)



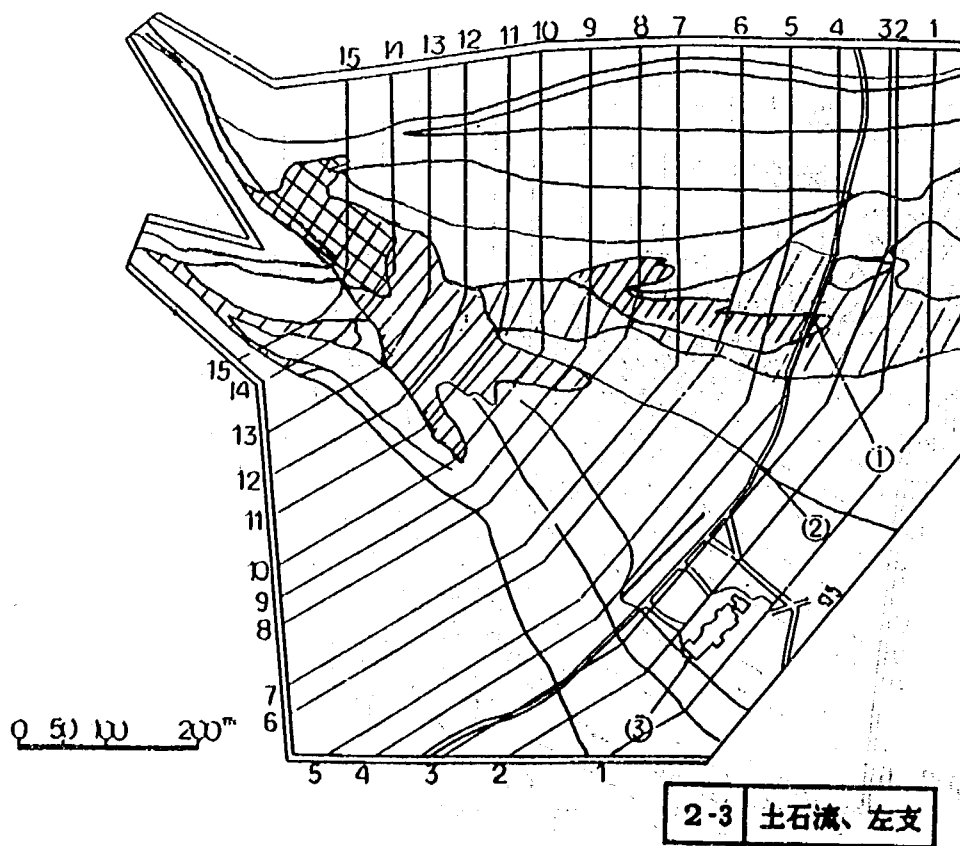
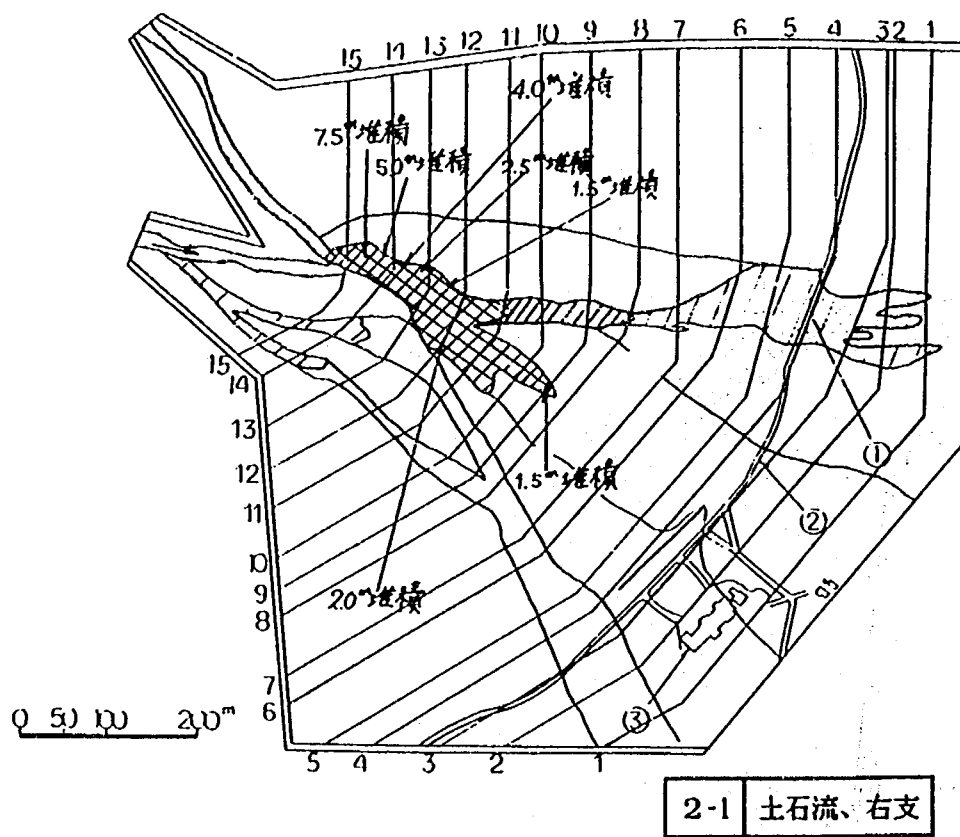
1-2 土石流、右支



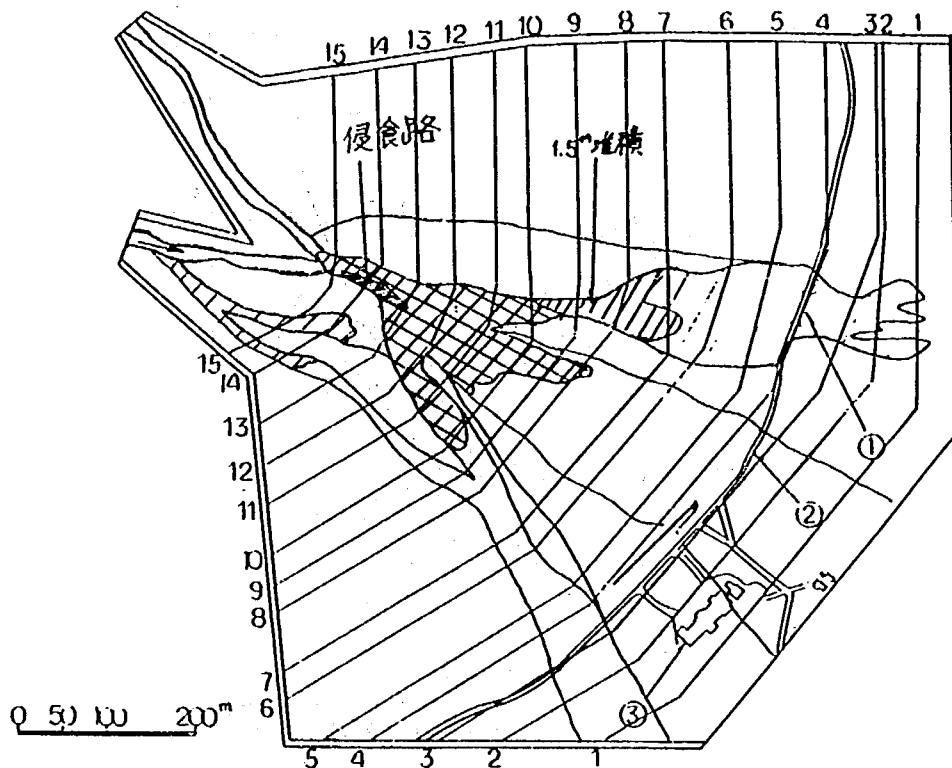
- ①八右衛門橋
- ②県道上高地線
- ③帝国ホテル

1-4 後続流、右支、左支

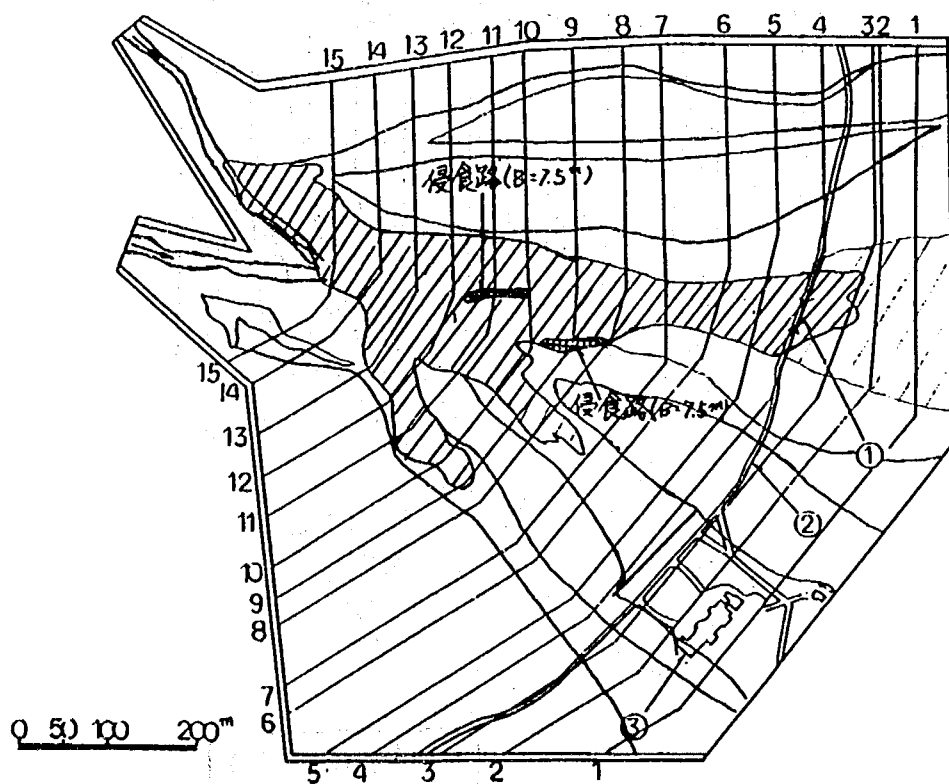
- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



流況觀察平面図 (CASE-2)



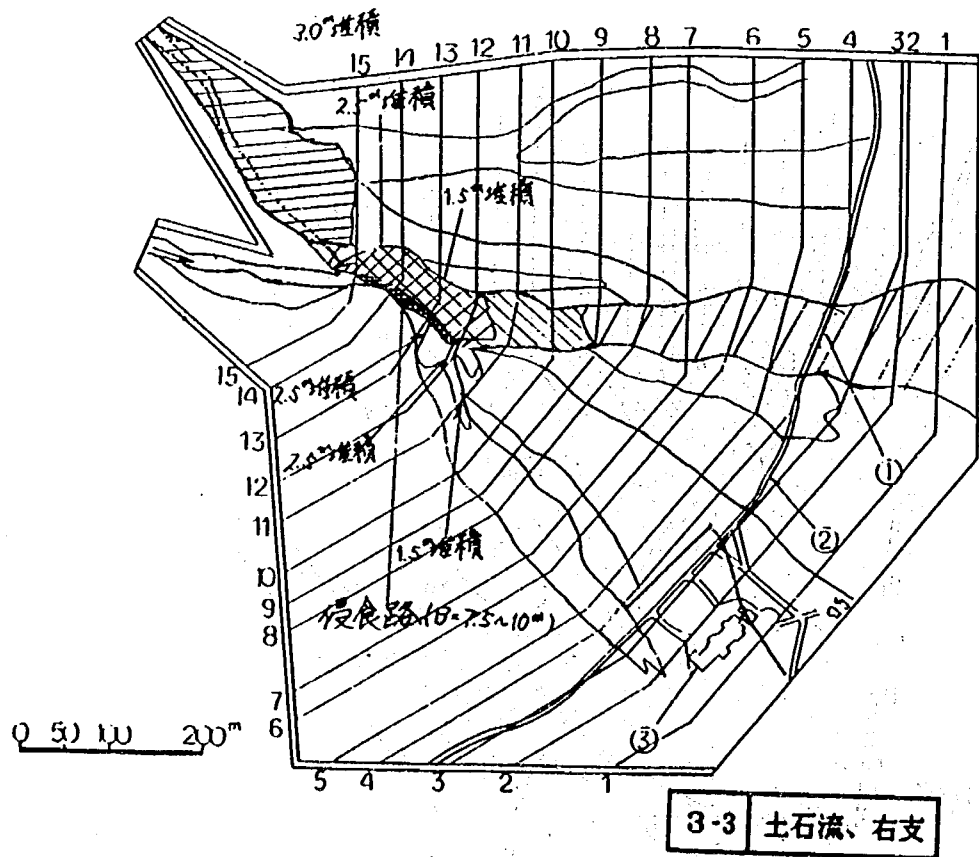
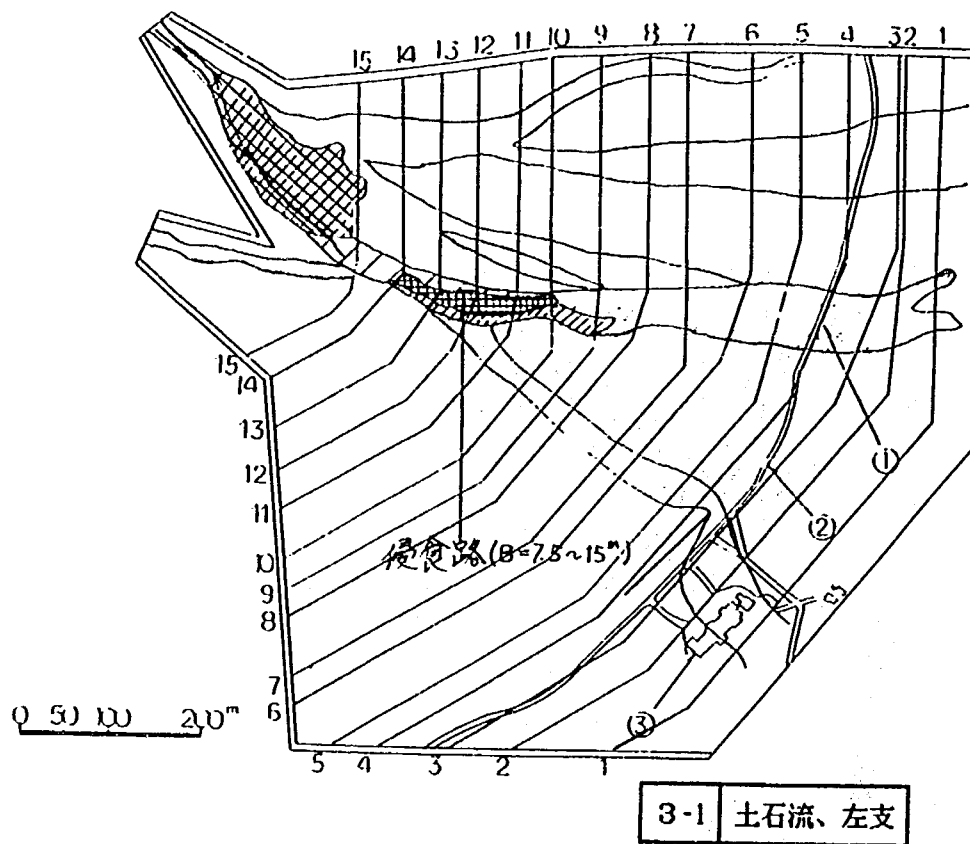
2-2 土石流、右支



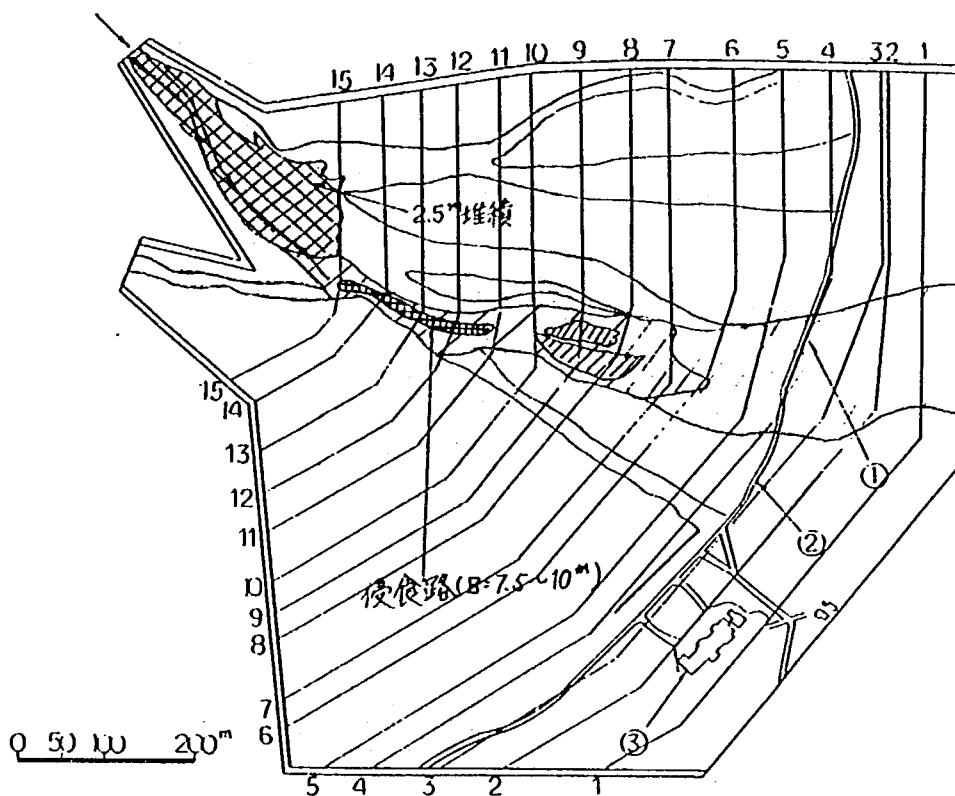
2-4 後続流、右支、左支

- ①八右衛門橋
- ②県道上高地線
- ③帝国ホテル

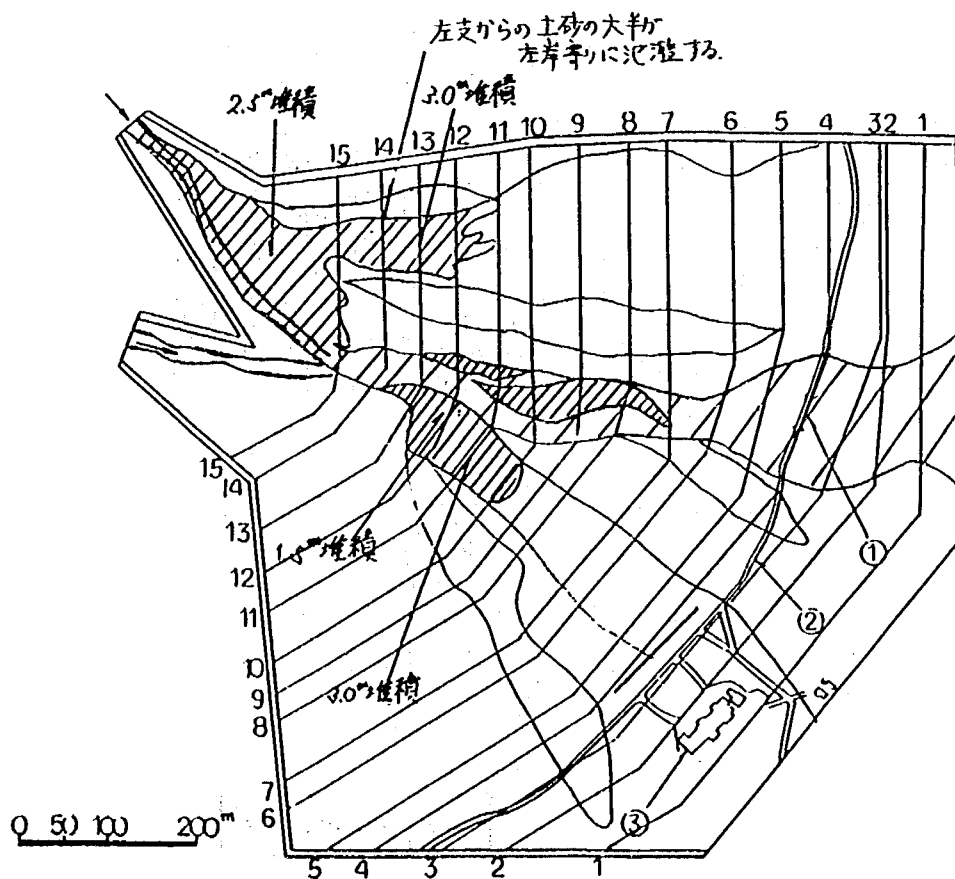
- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



流況觀察平面図 (CASE-3)



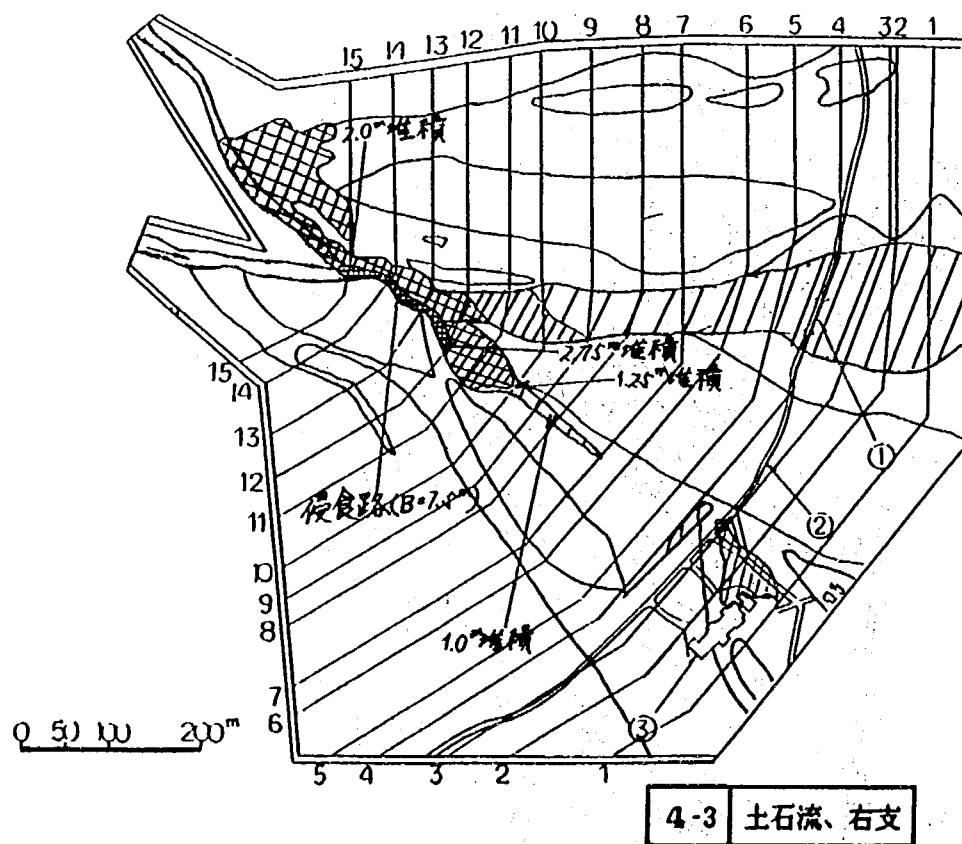
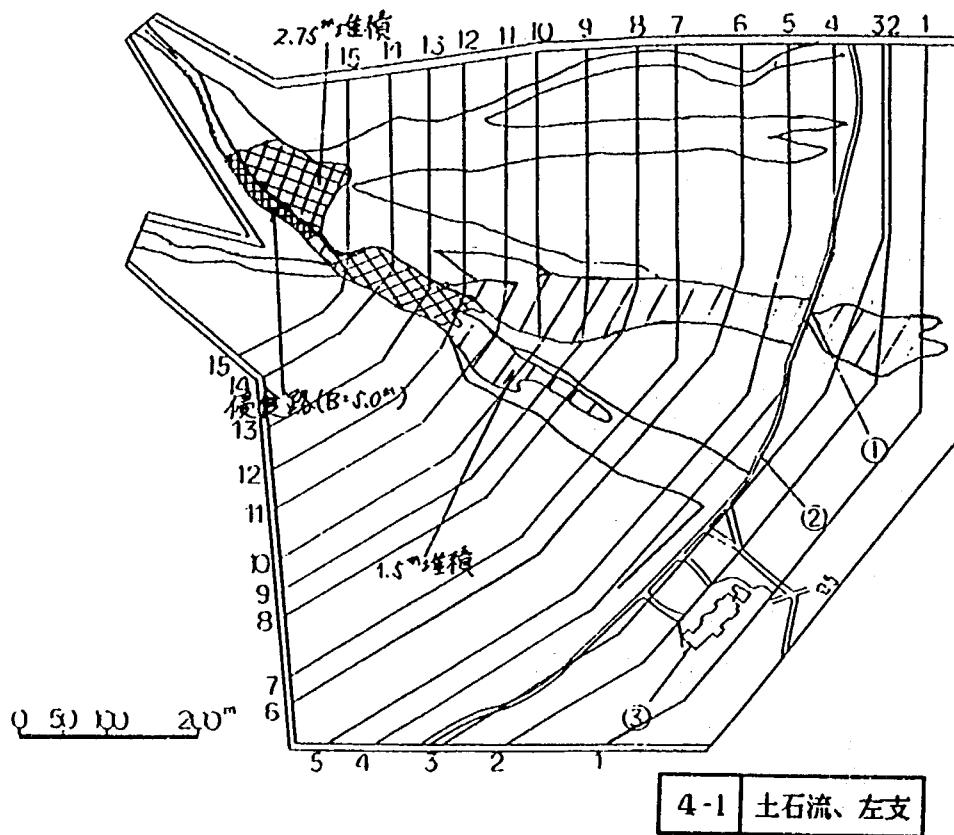
3-2 土石流、左支



3-4 後続流、右支、左支

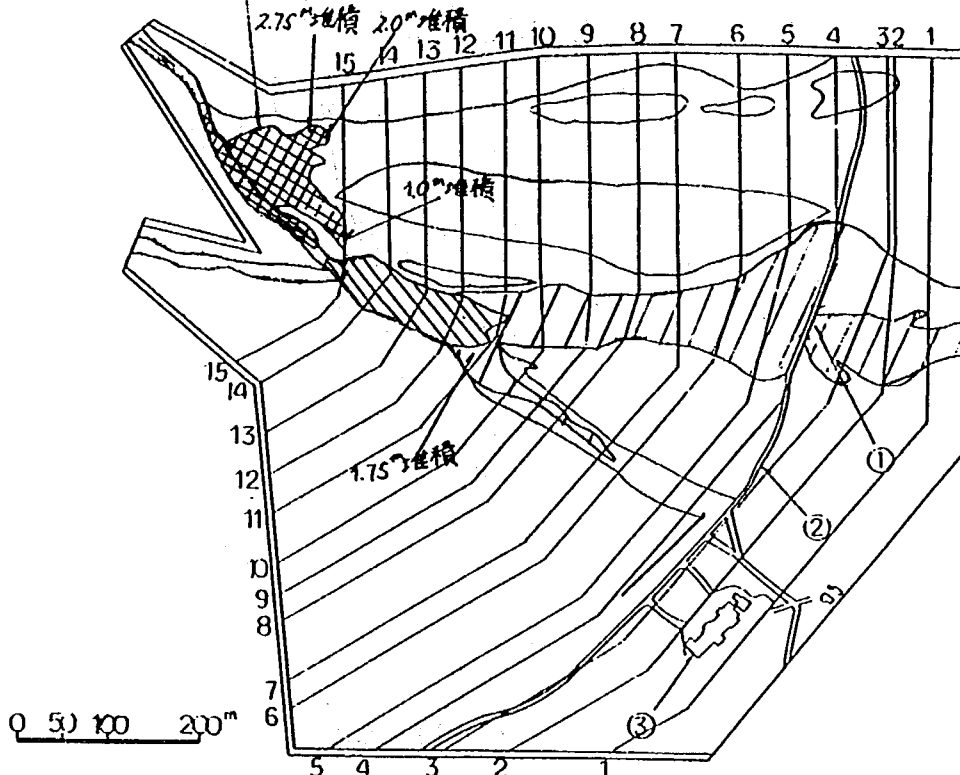
- ①八右衛門橋
- ②県道上高地線
- ③帝国ホテル

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

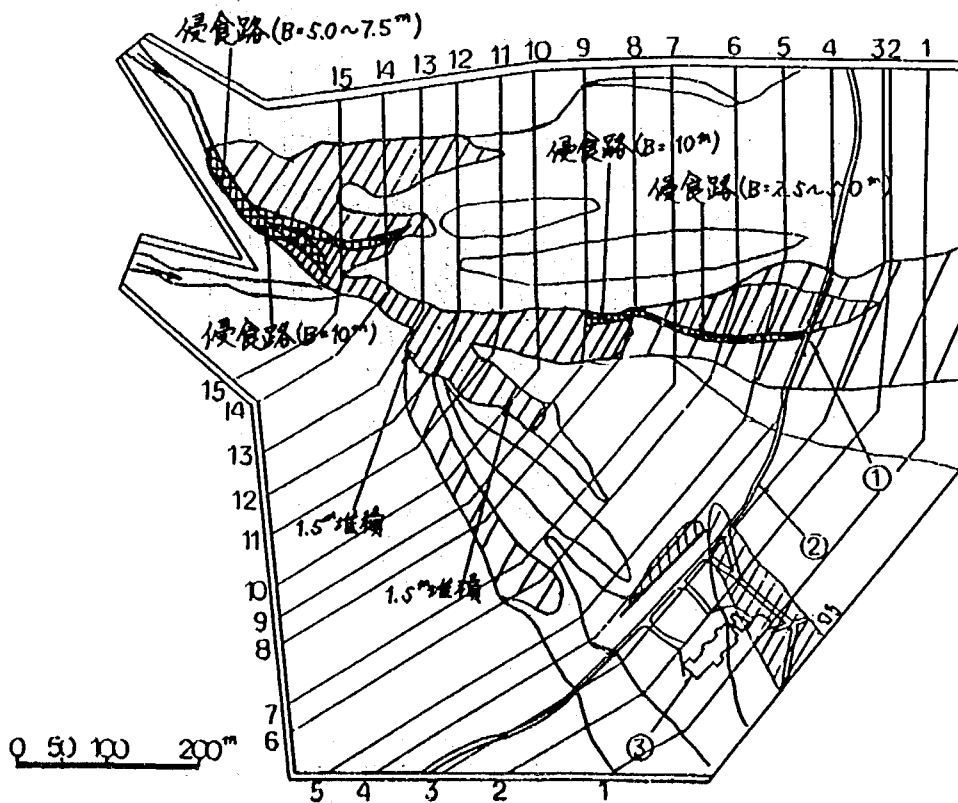


流況観察平面図 (CASE-4)

左支土石流の大半が左岸岸りに泥滞し堆積する。



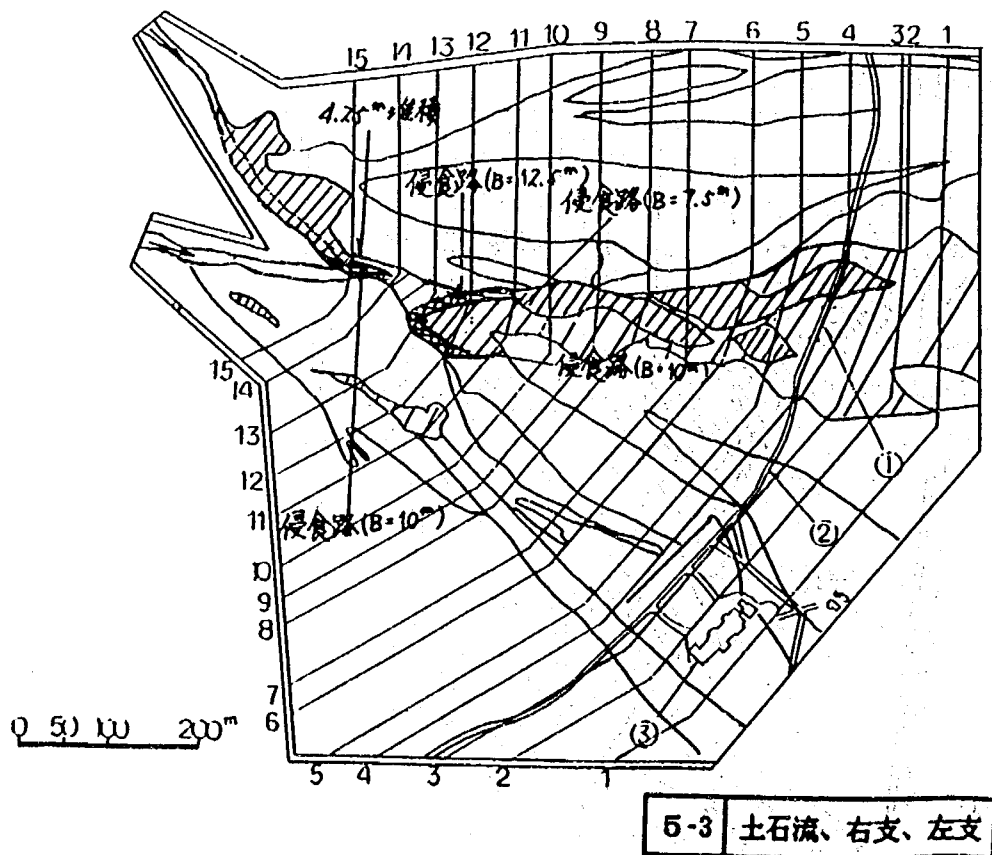
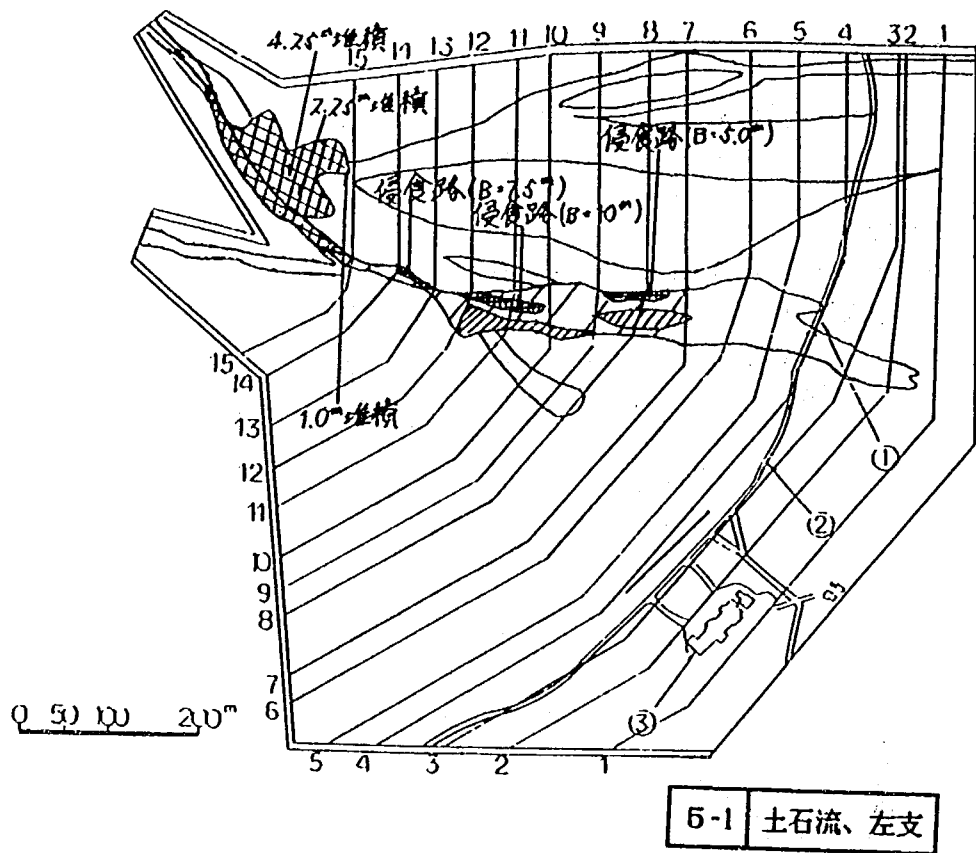
4-2 土石流、左支



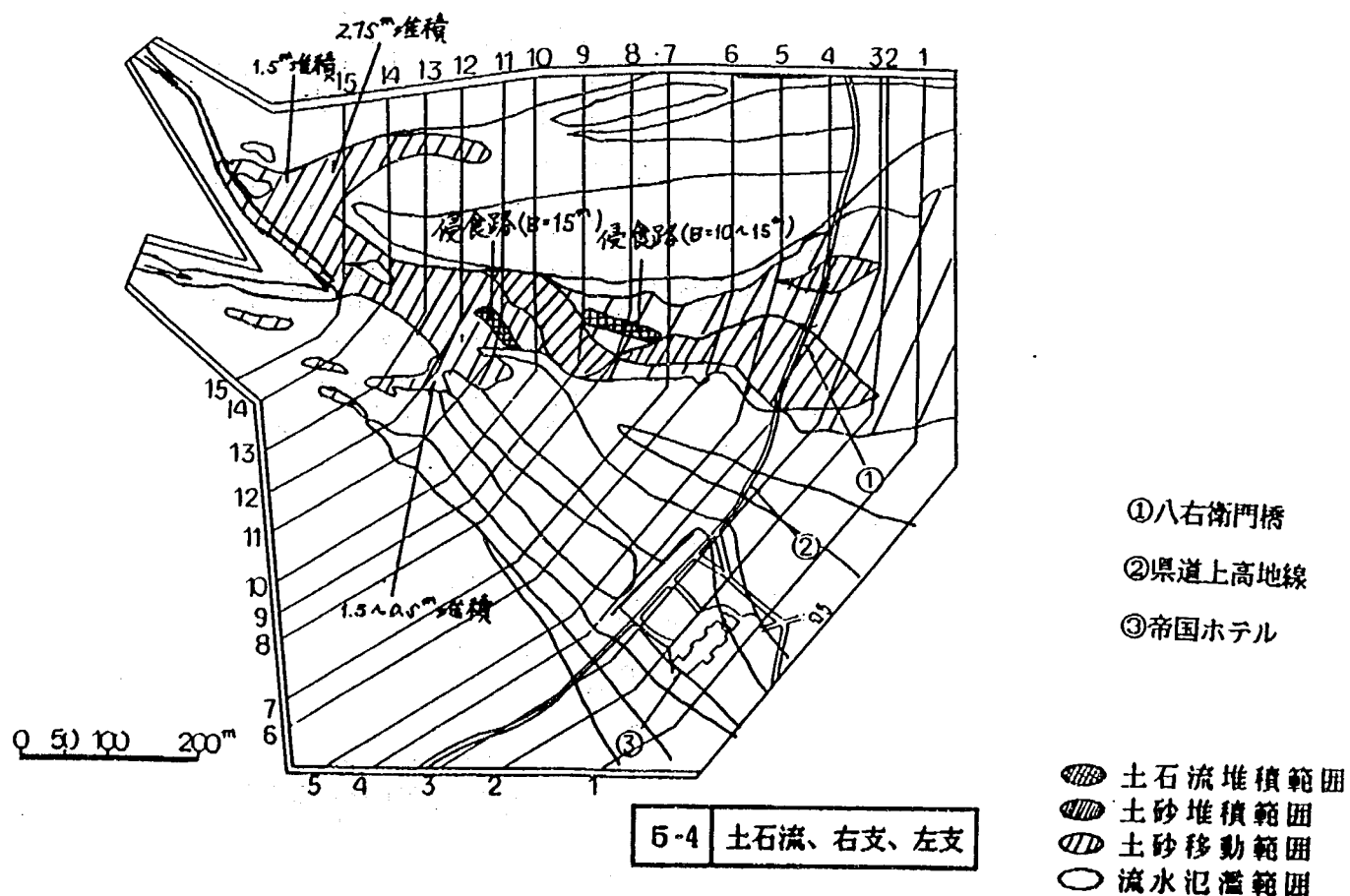
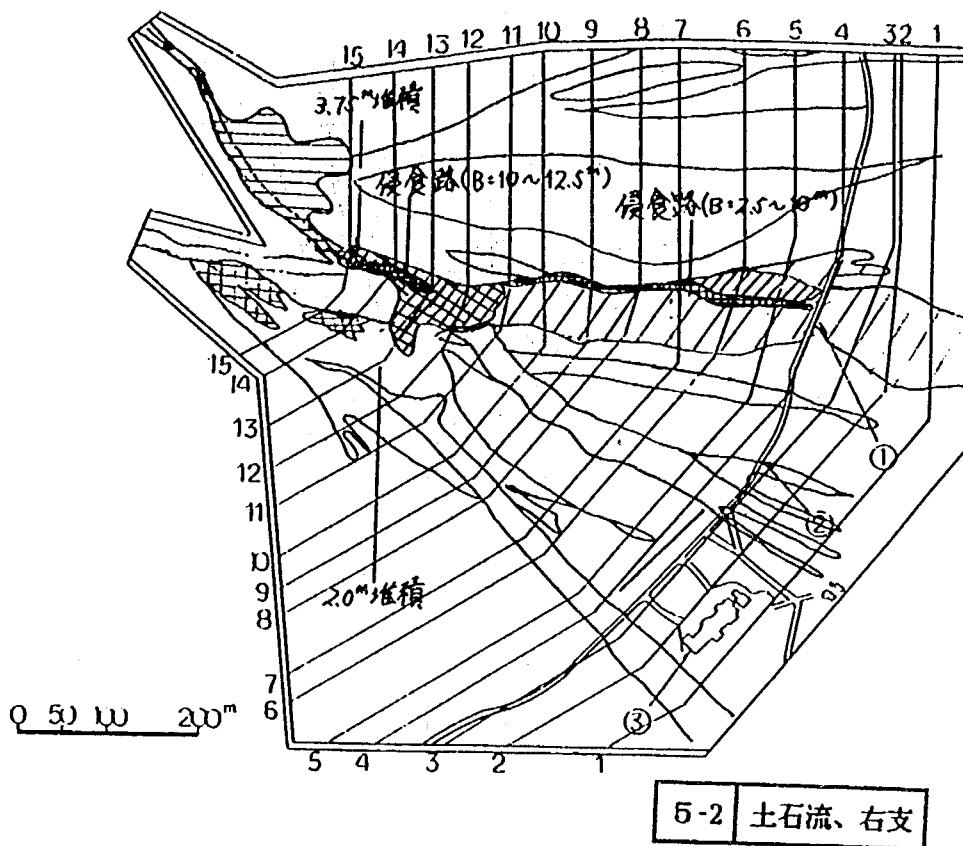
4-4 後続流、右支、左支

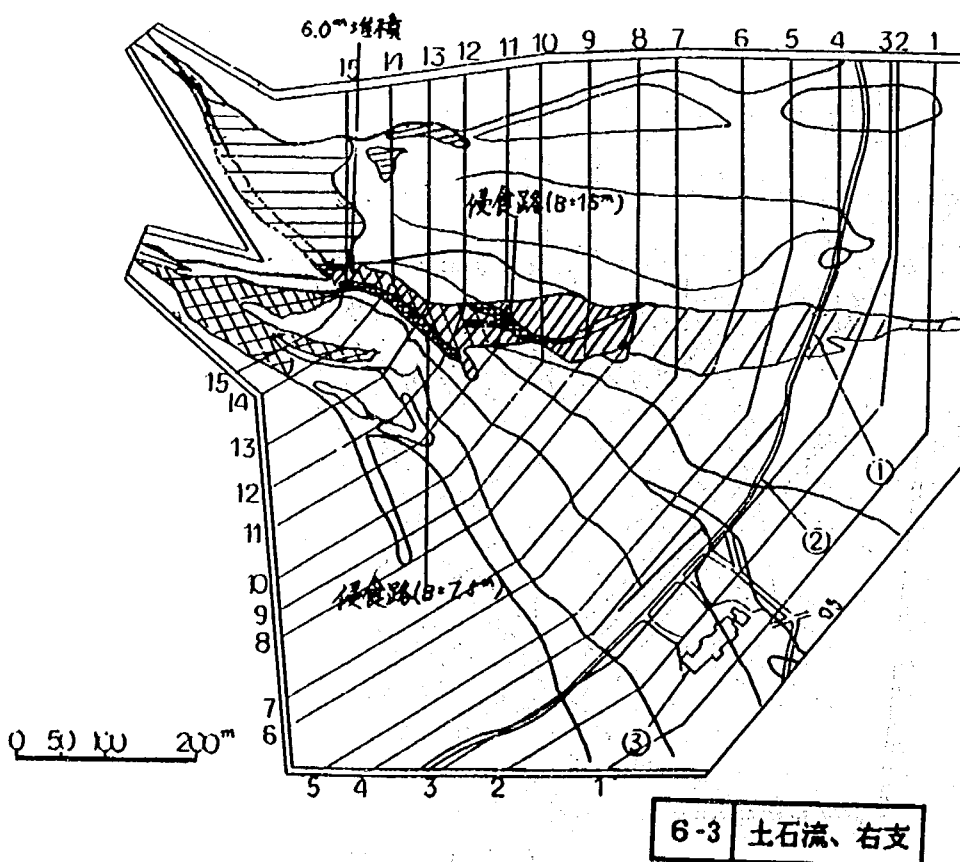
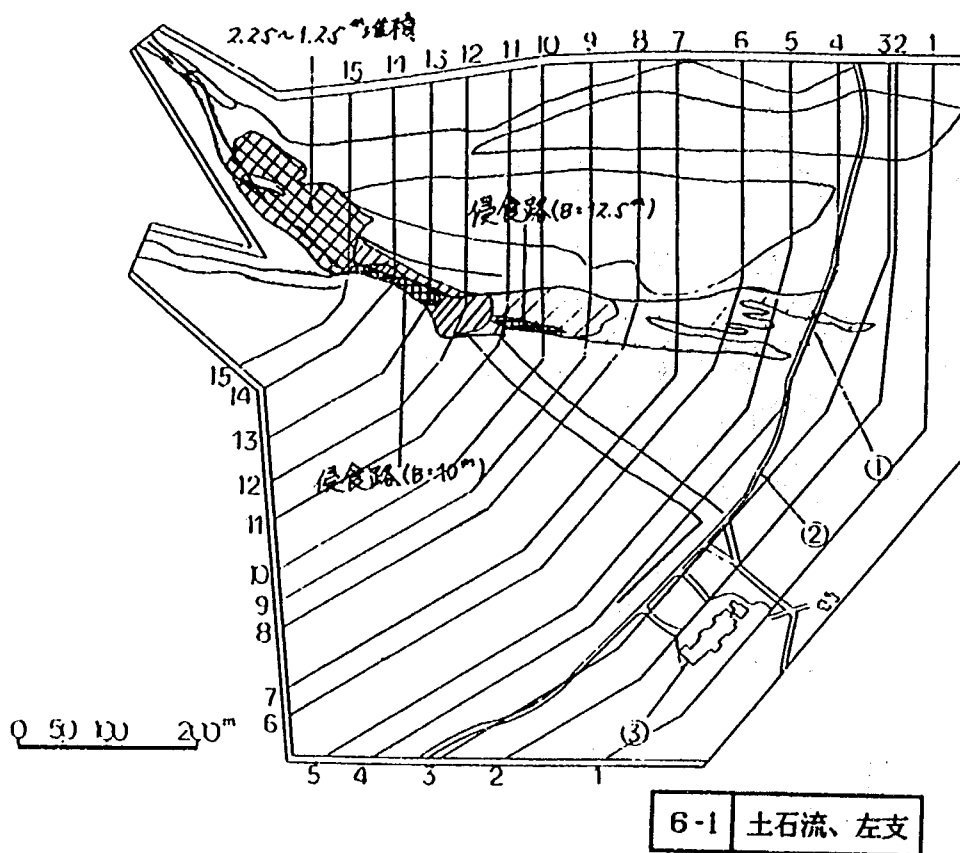
- ①八右衛門橋
- ②県道上高地線
- ③帝国ホテル

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

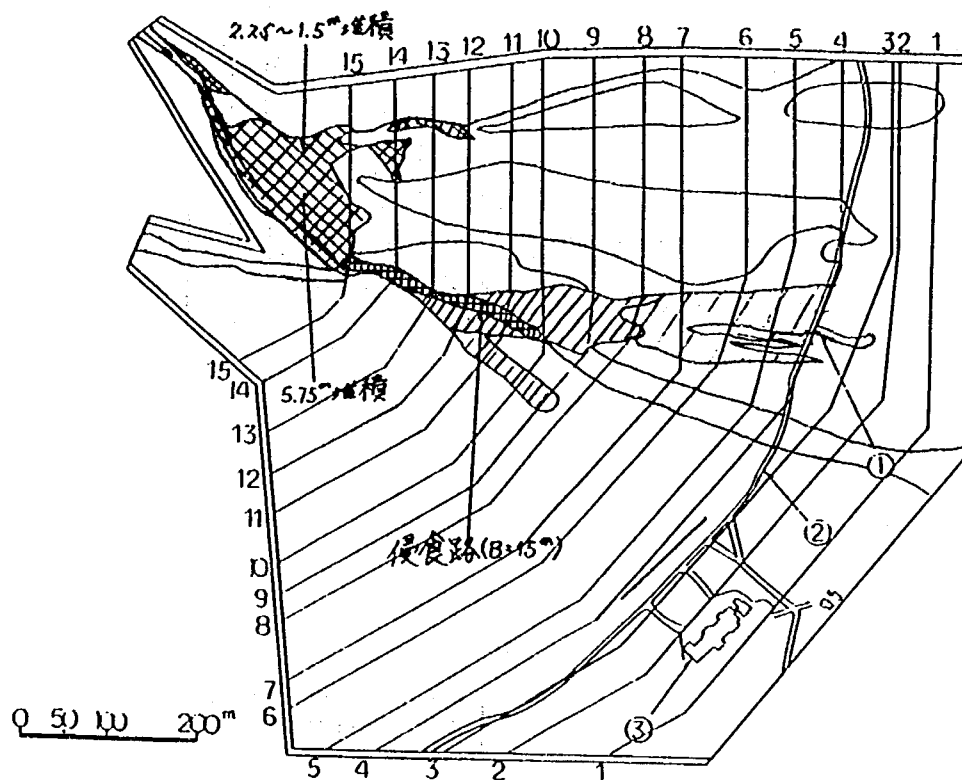


流況觀察平面圖 (CASE-5)

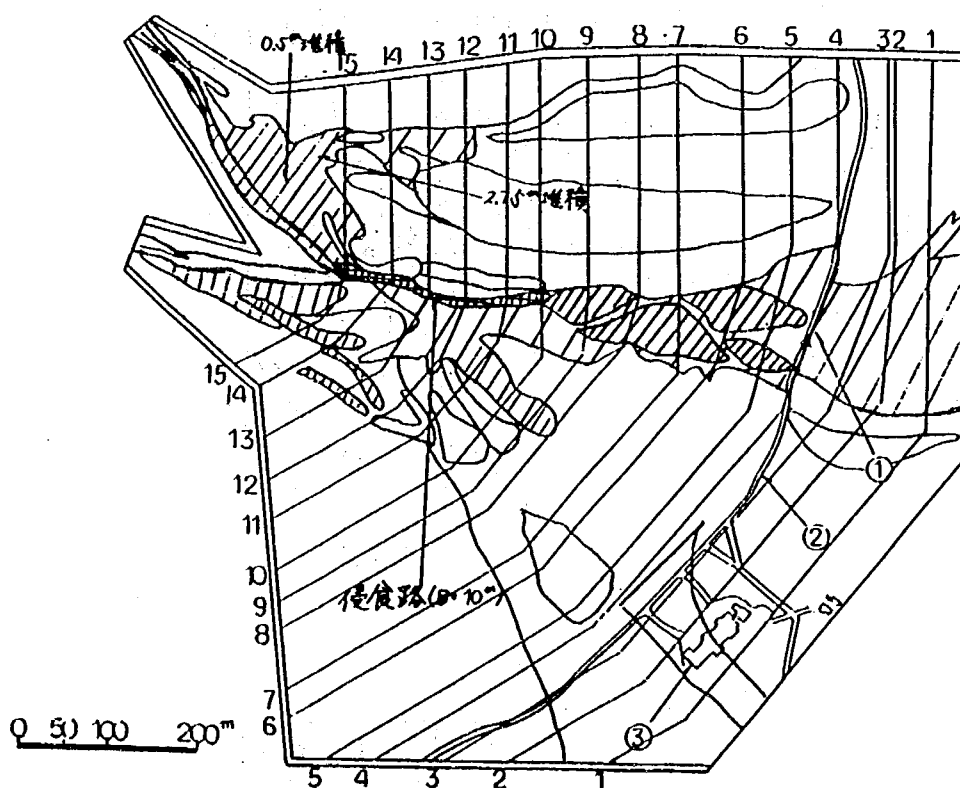




流況觀察平面図 (CASE-6)



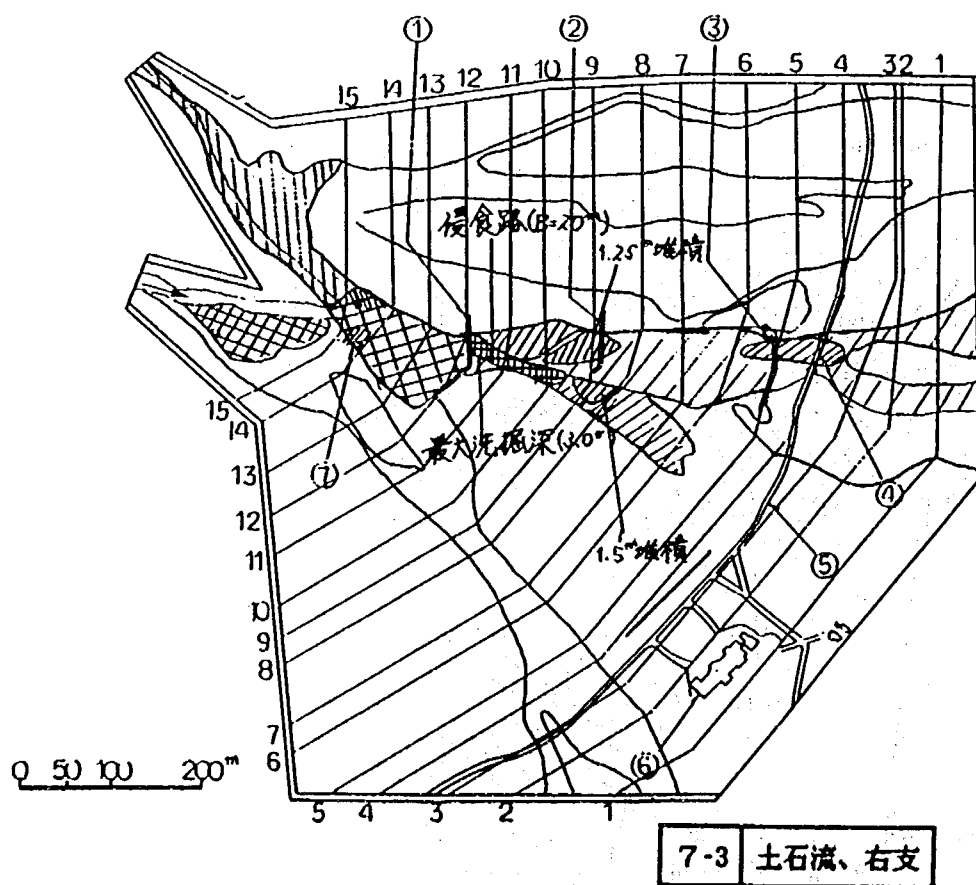
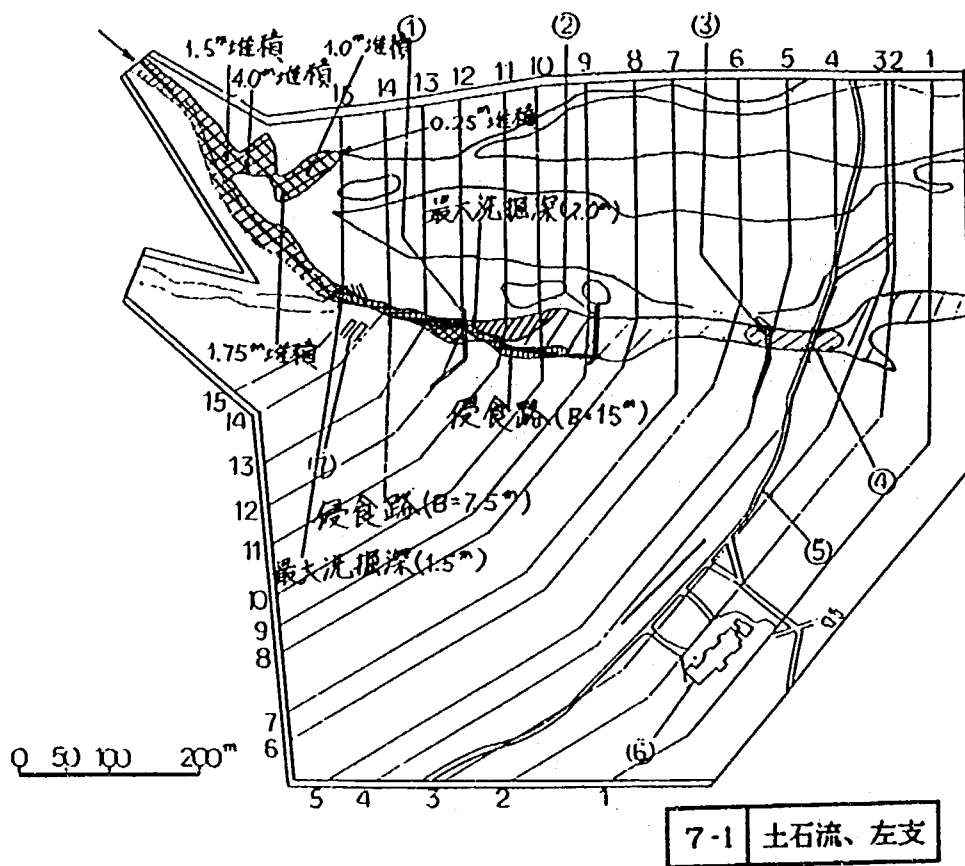
6-2 土石流、左支



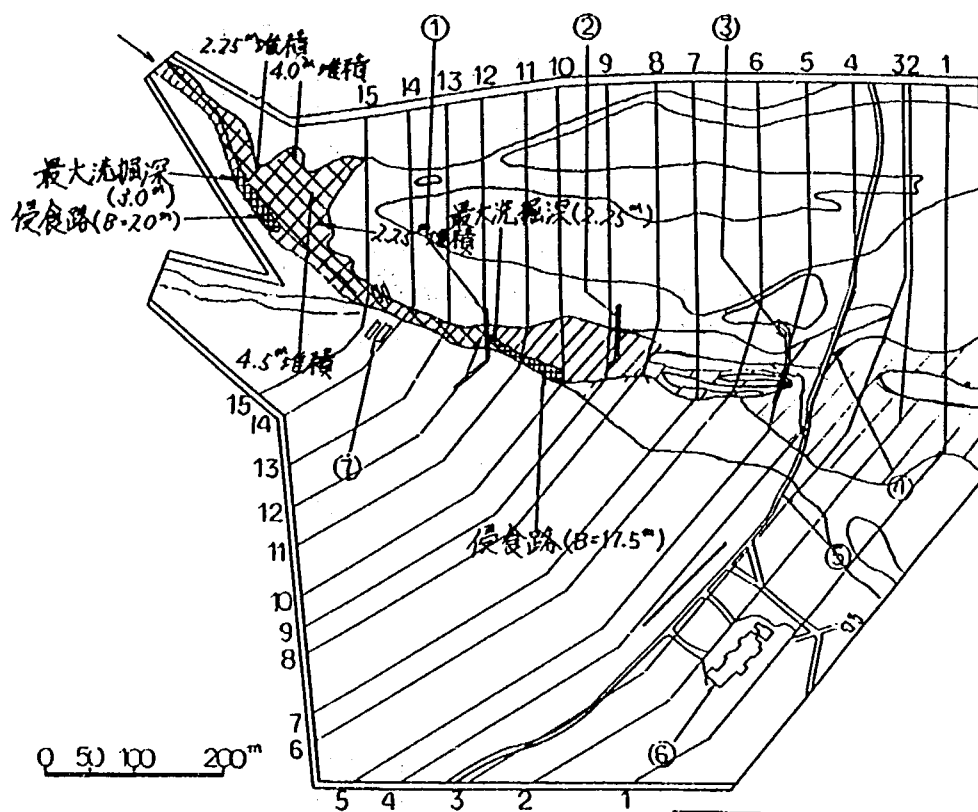
6-4 後続流、右支、左支

- ①八右衛門橋
- ②県道上高地線
- ③帝国ホテル

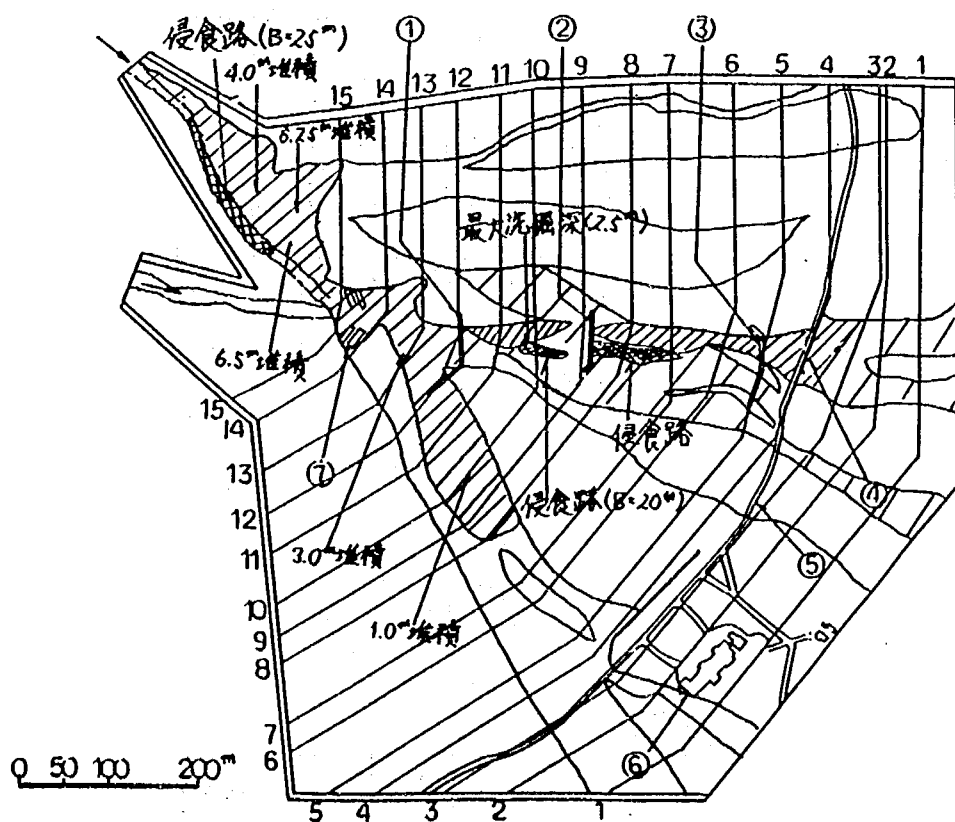
- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



流況觀察平面図 (CASE-7)



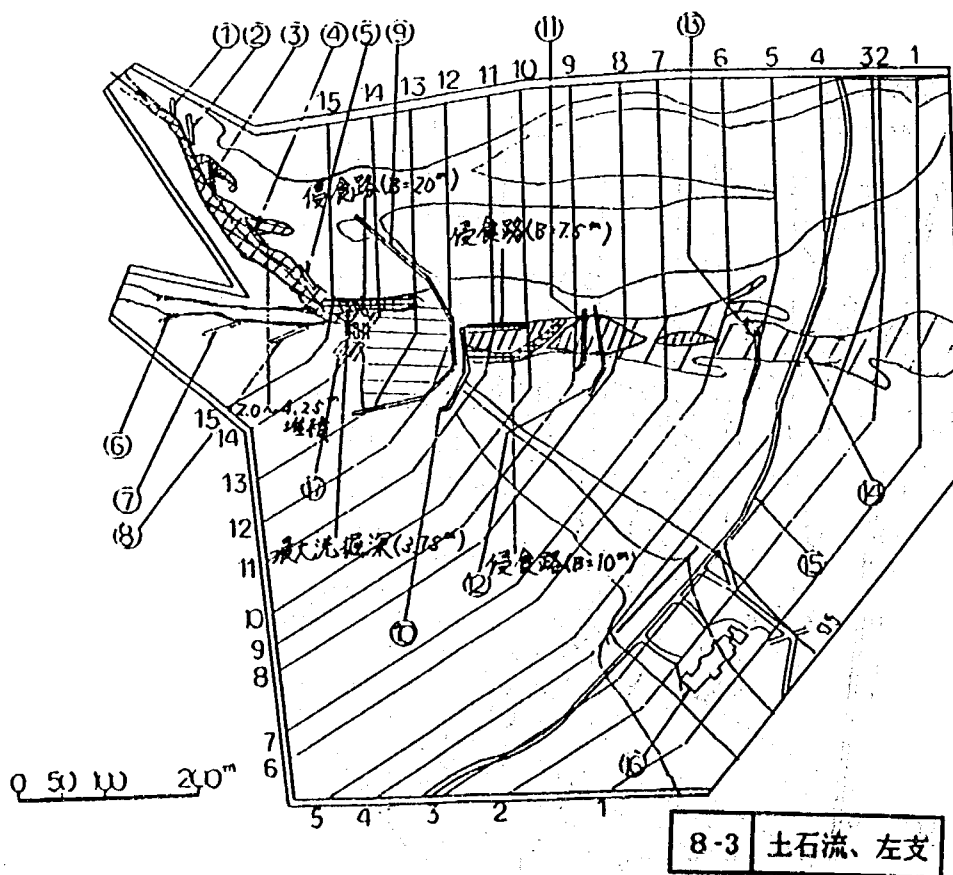
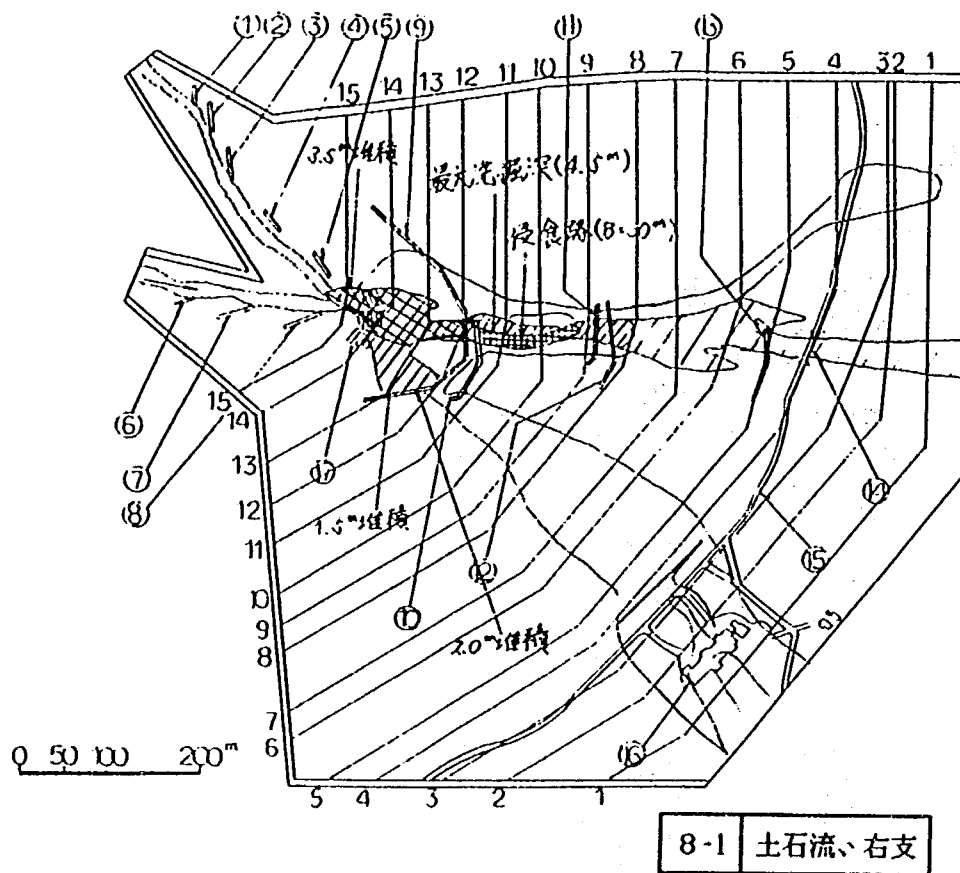
7-2 土石流、左支



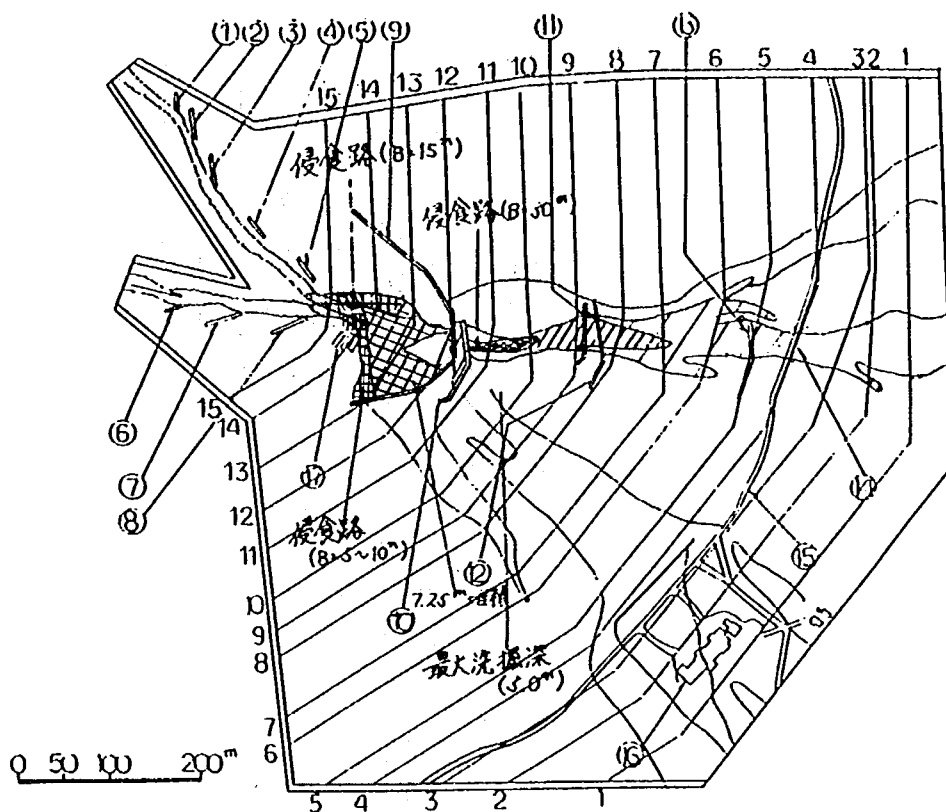
7-4 後続流、右支、左支

- ①第3号床固工
- ②第2号床固工
- ③第1号床固工
- ④八右衛門橋
- ⑤県道上高地線
- ⑥帝国ホテル
- ⑦パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

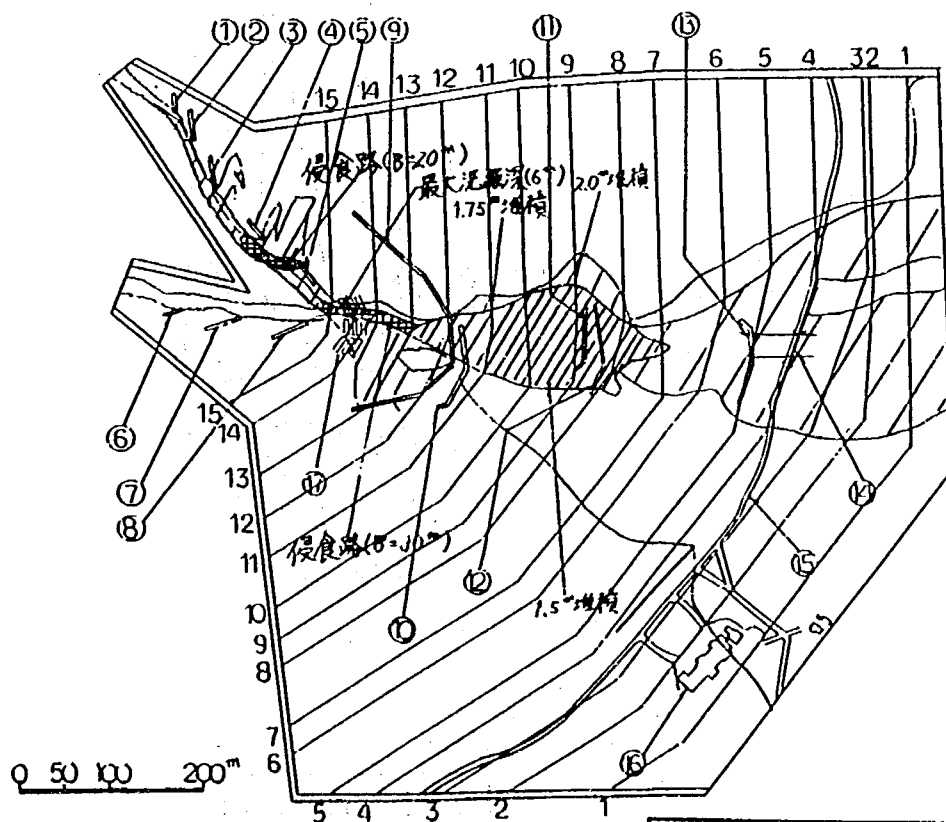


流況観察平面図 (CASE-8)



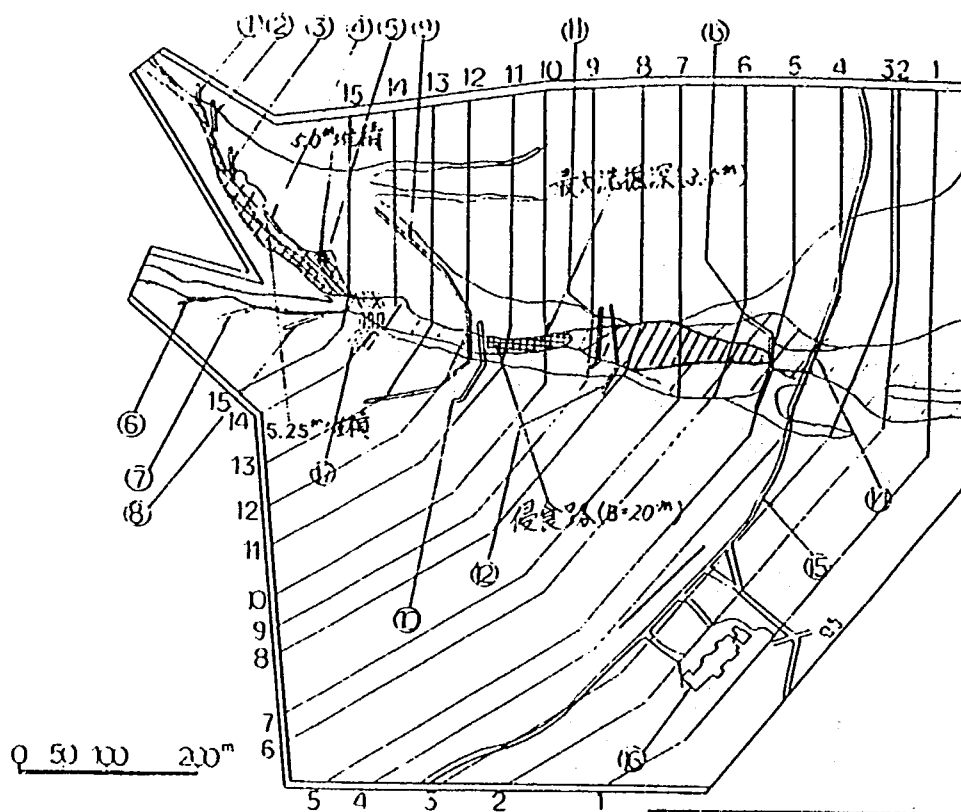
8-2 土石流、右支

- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

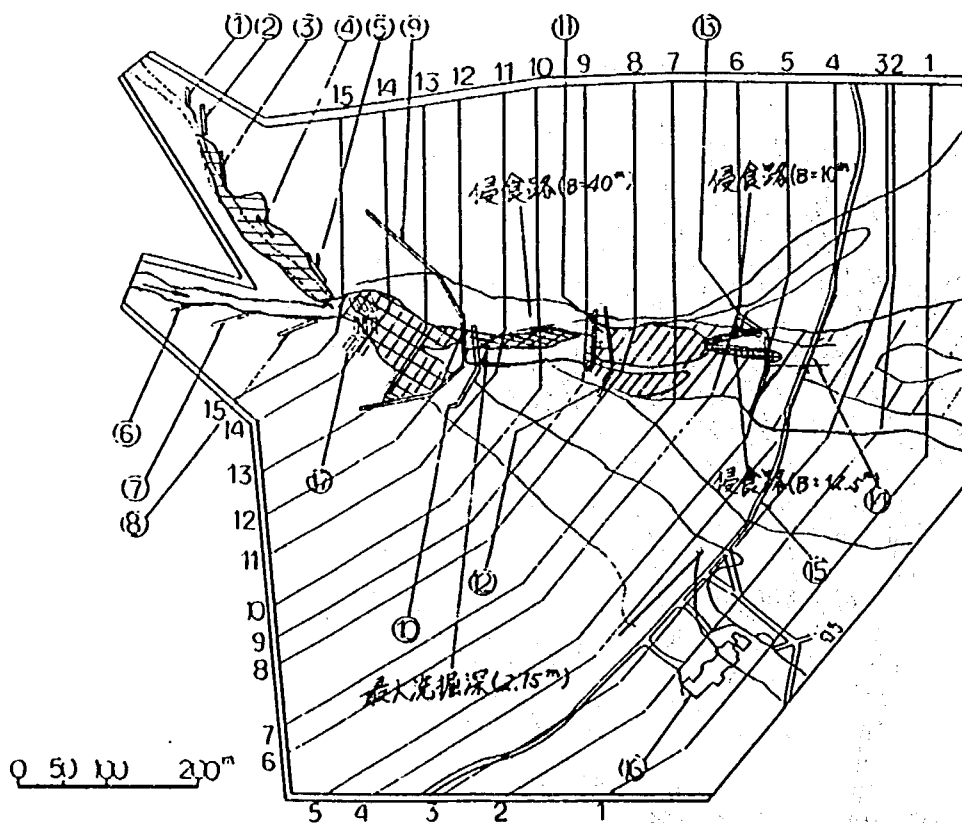


8-4 後続流、右支、左支

- 土石流堆積範圍
- 土砂堆積範圍
- 土砂移動範圍
- 流水氾濫範圍

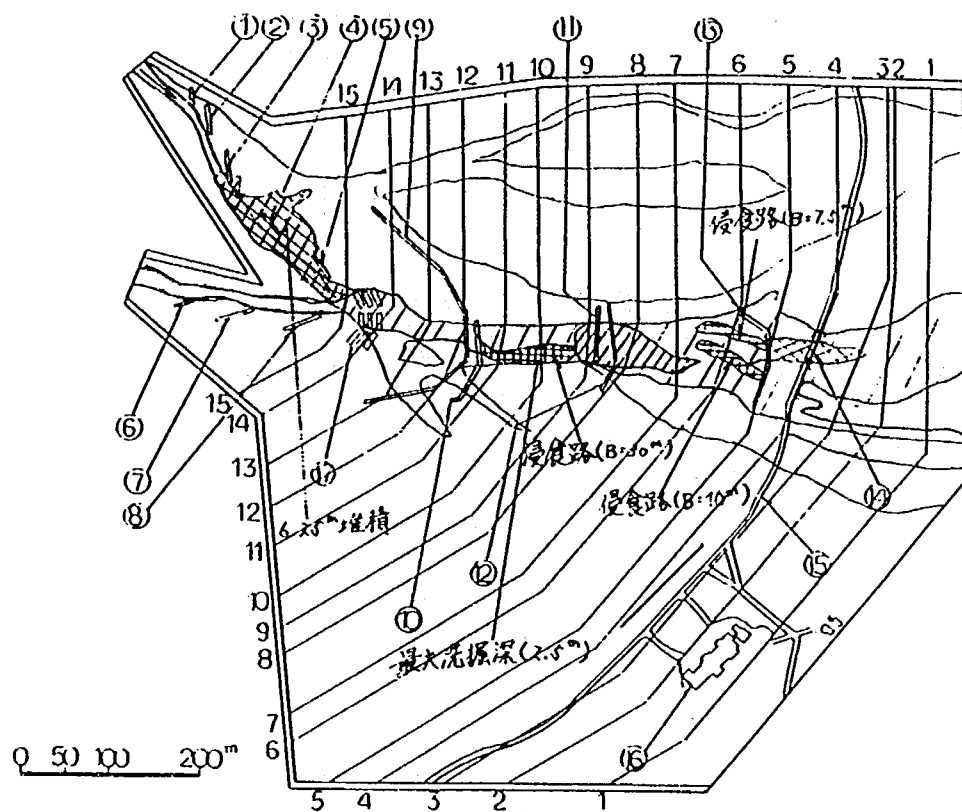


9-1 土石流、左支



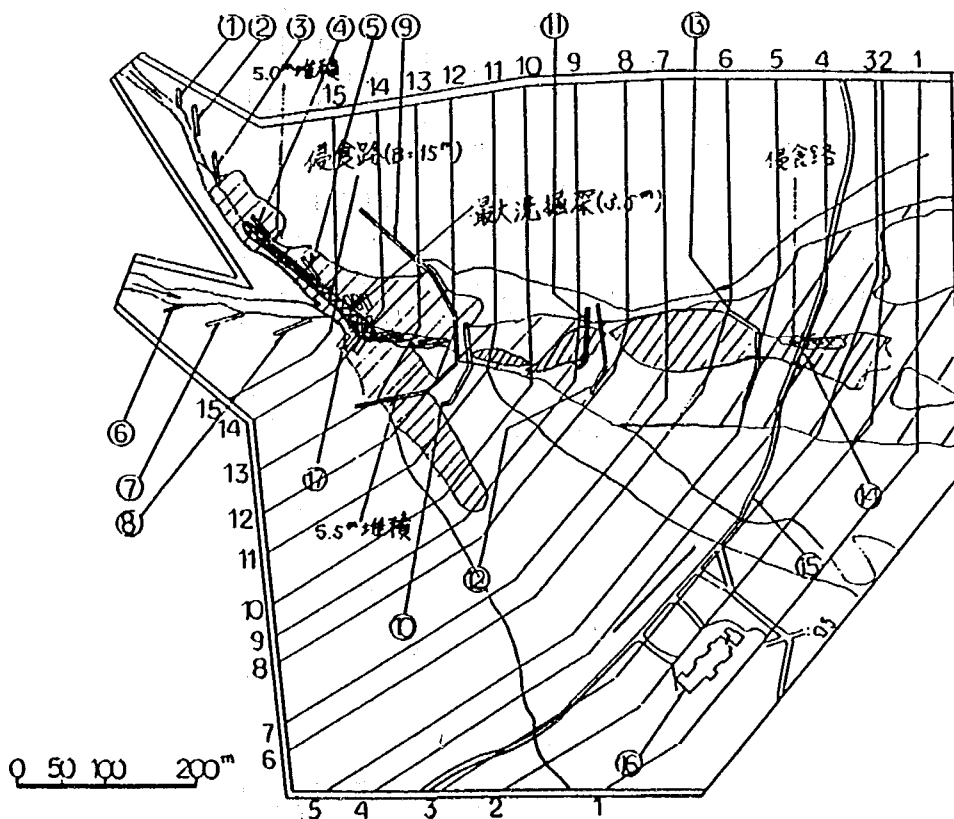
9-3 土石流、右支

流況觀察平面図 (CASE-9)



9-2 土石流、左支

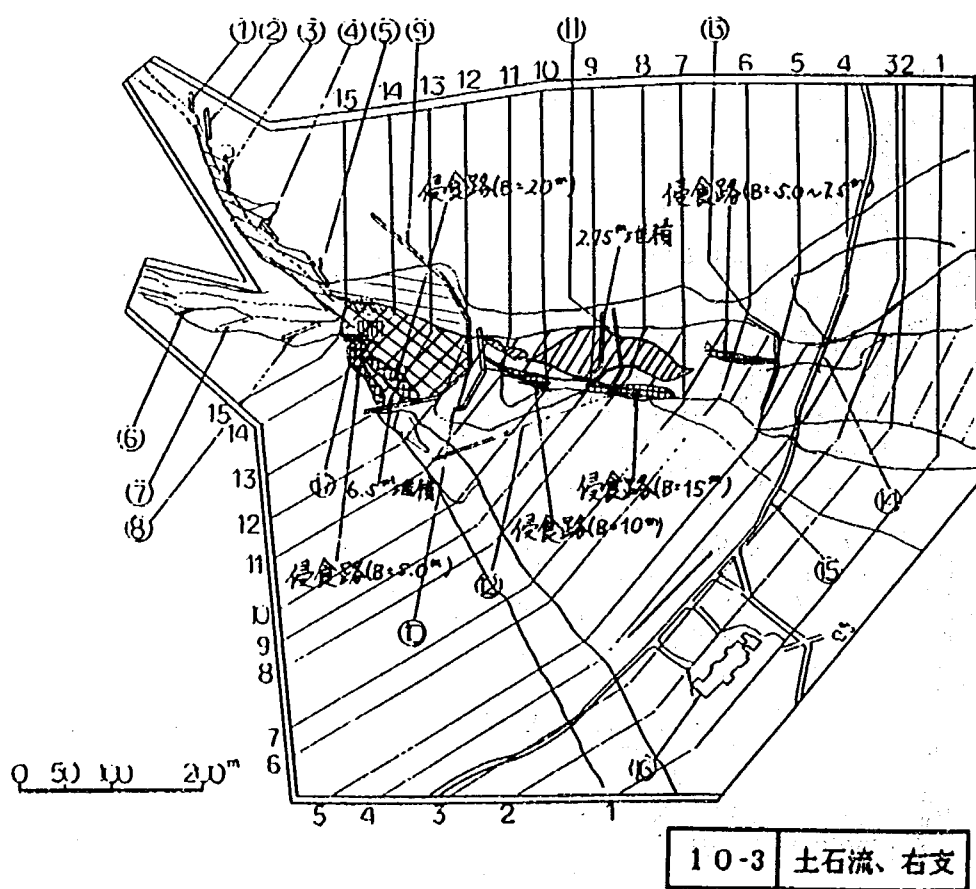
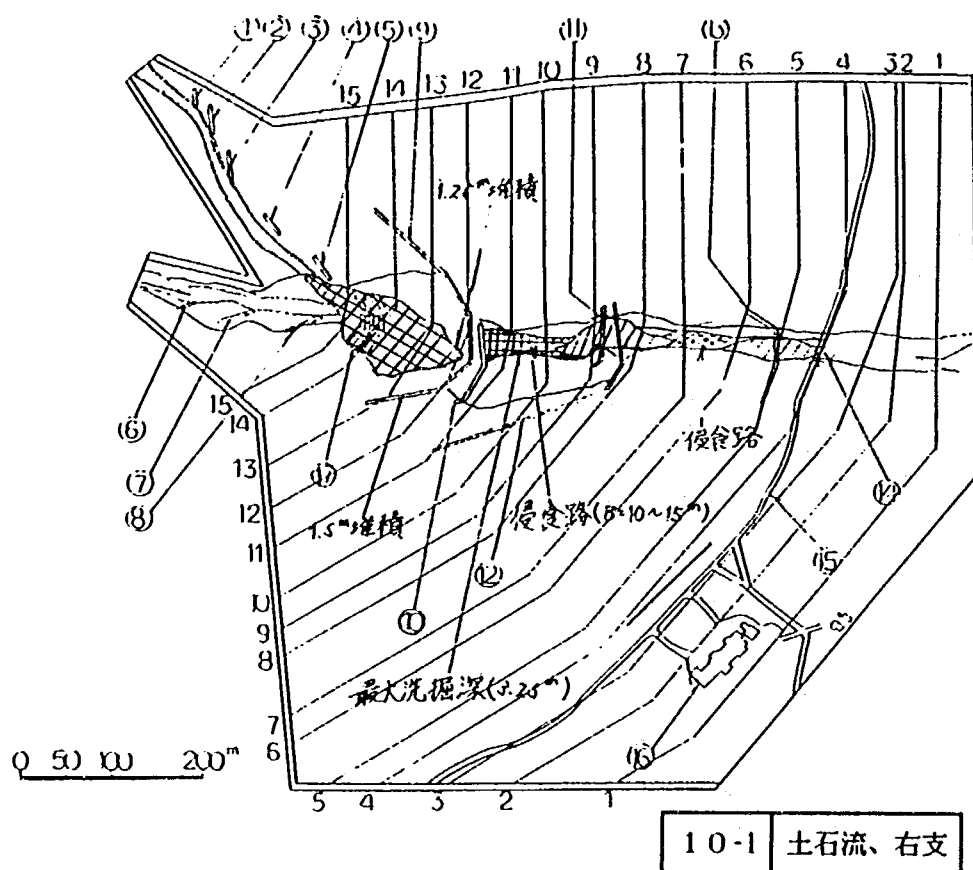
- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤



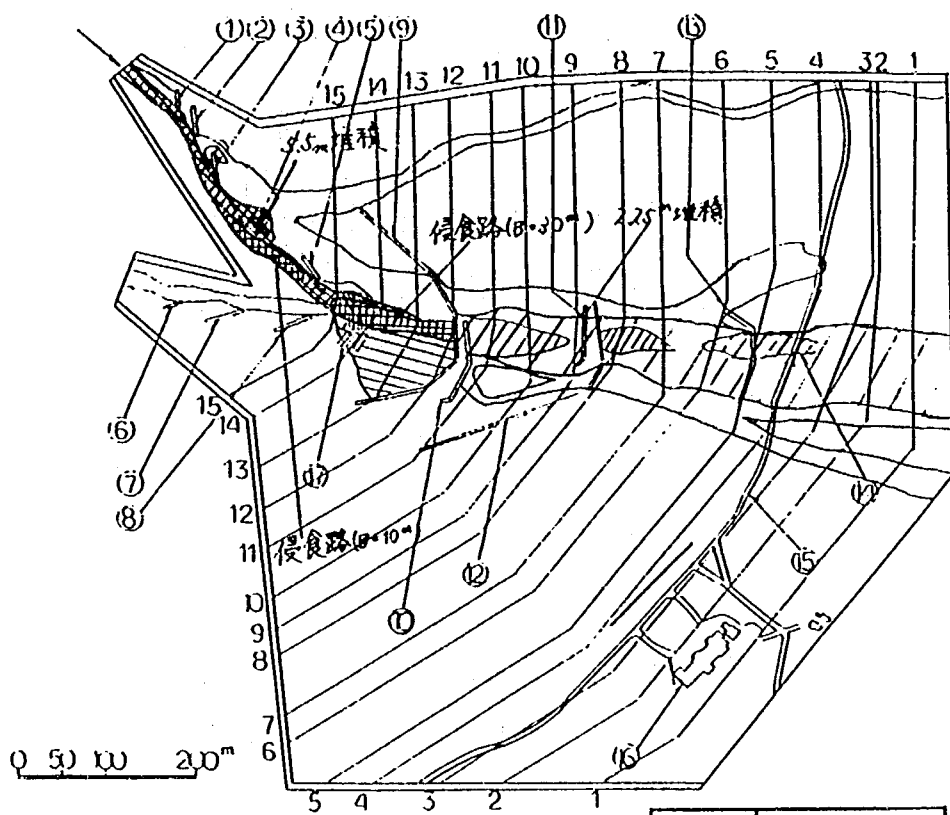
9-4 後続流、右支、左支

- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

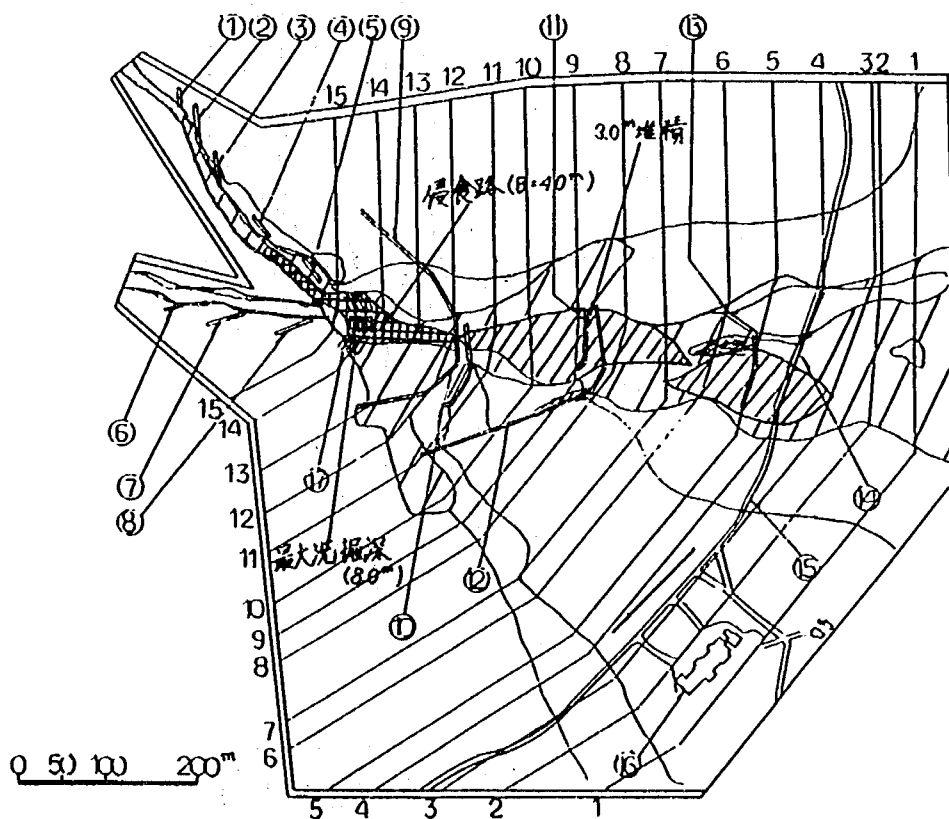


流況觀察平面図 (CASE-10)



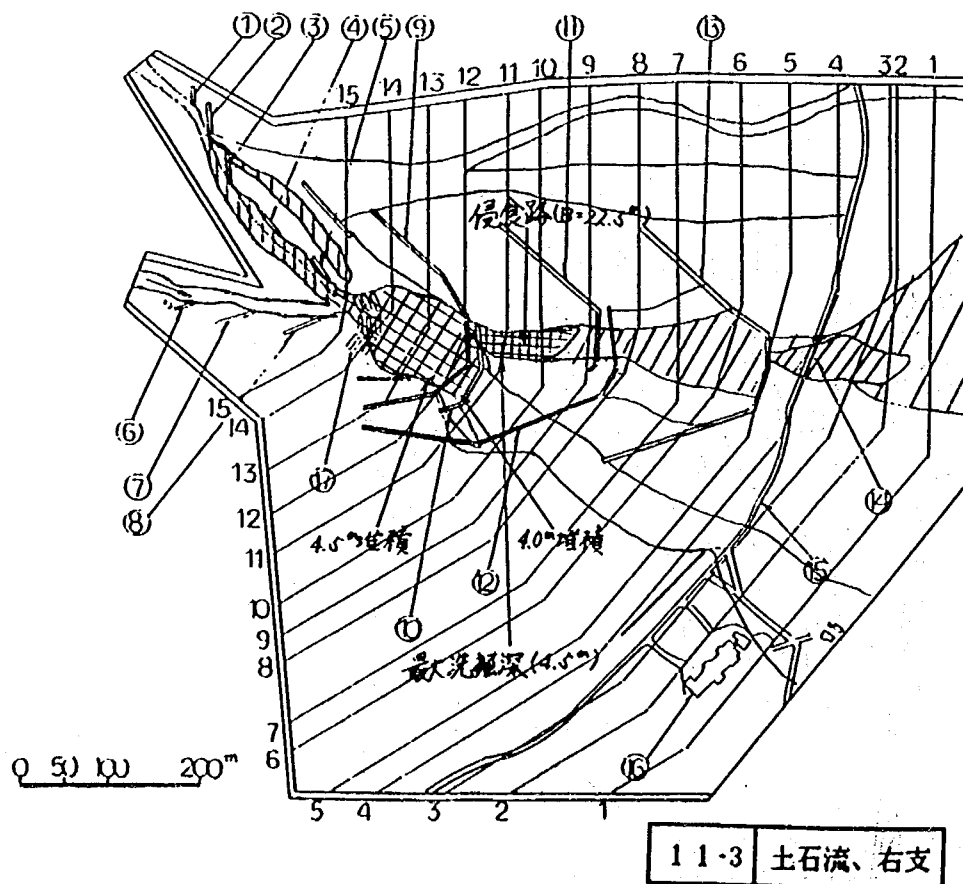
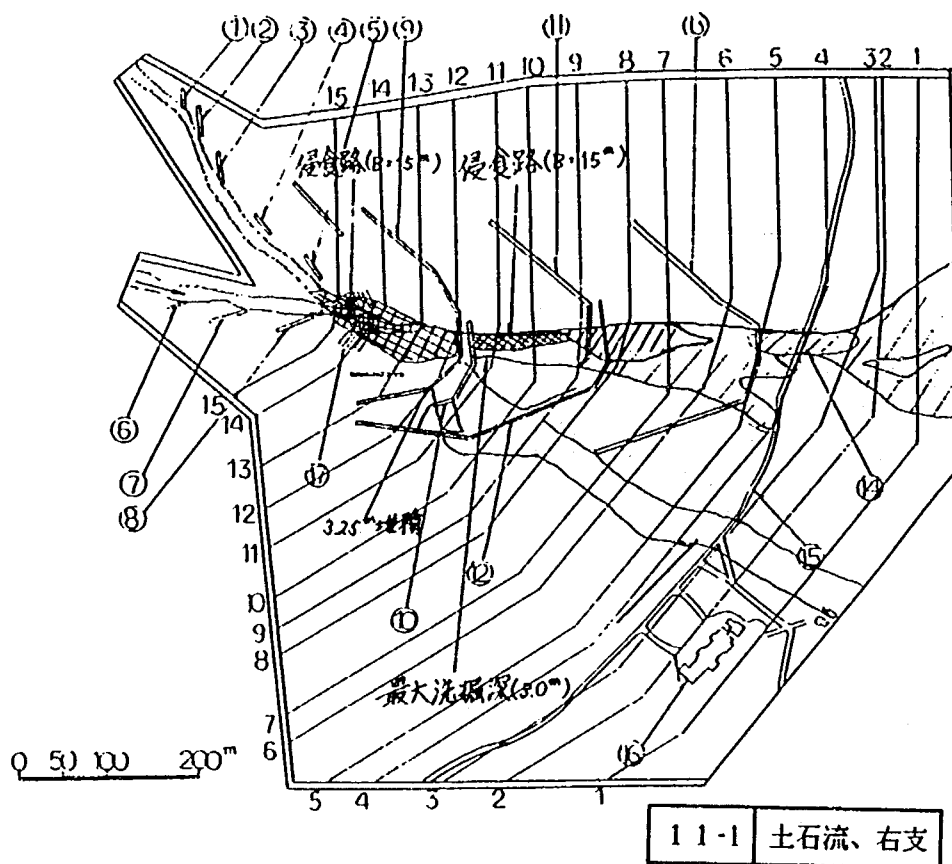
10-2 土石流、左支

- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

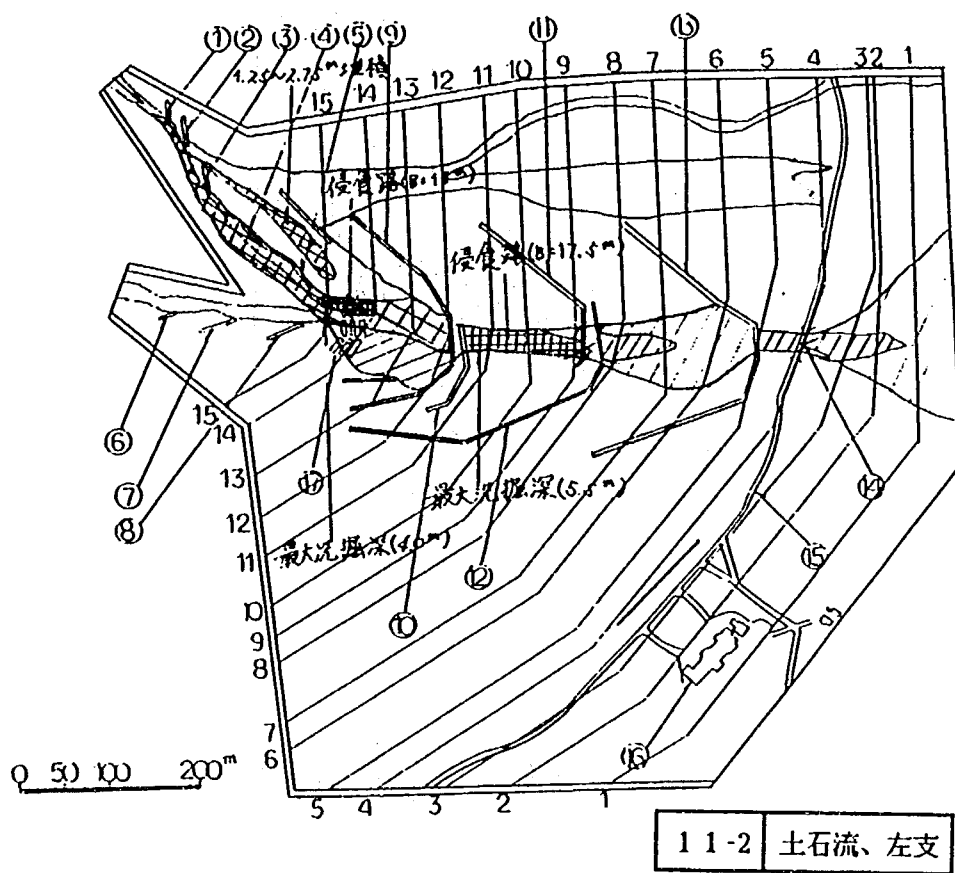


10-4 後続流、右支、左支

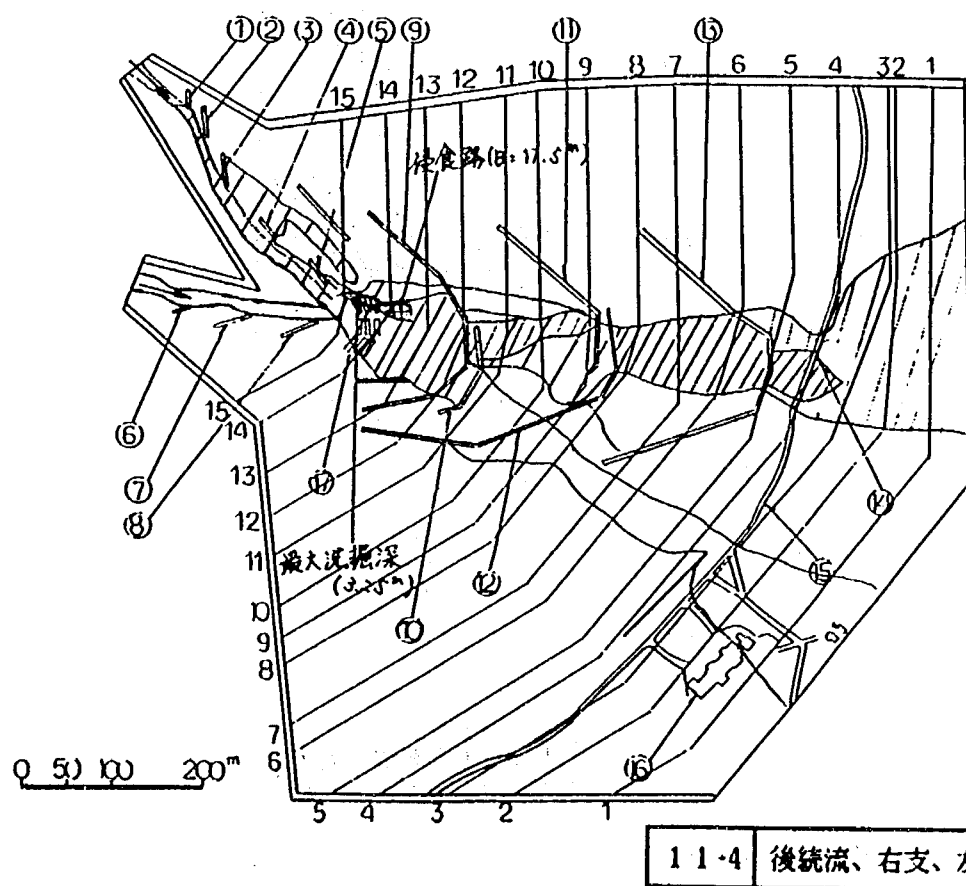
- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



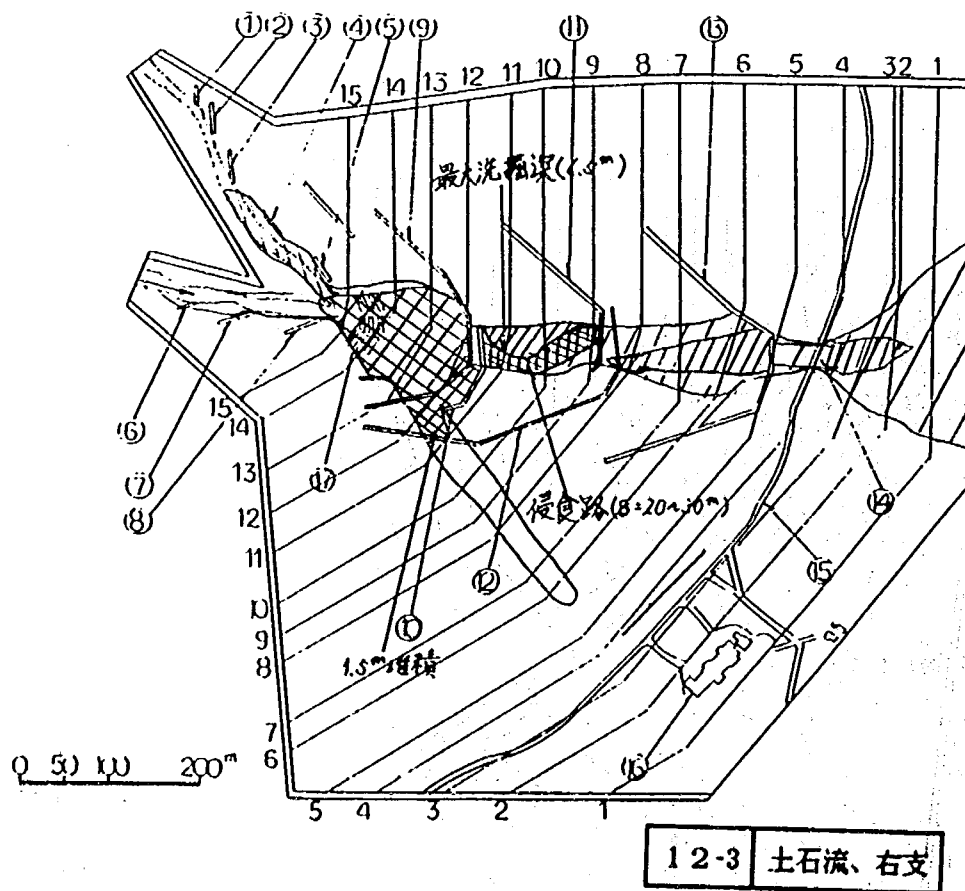
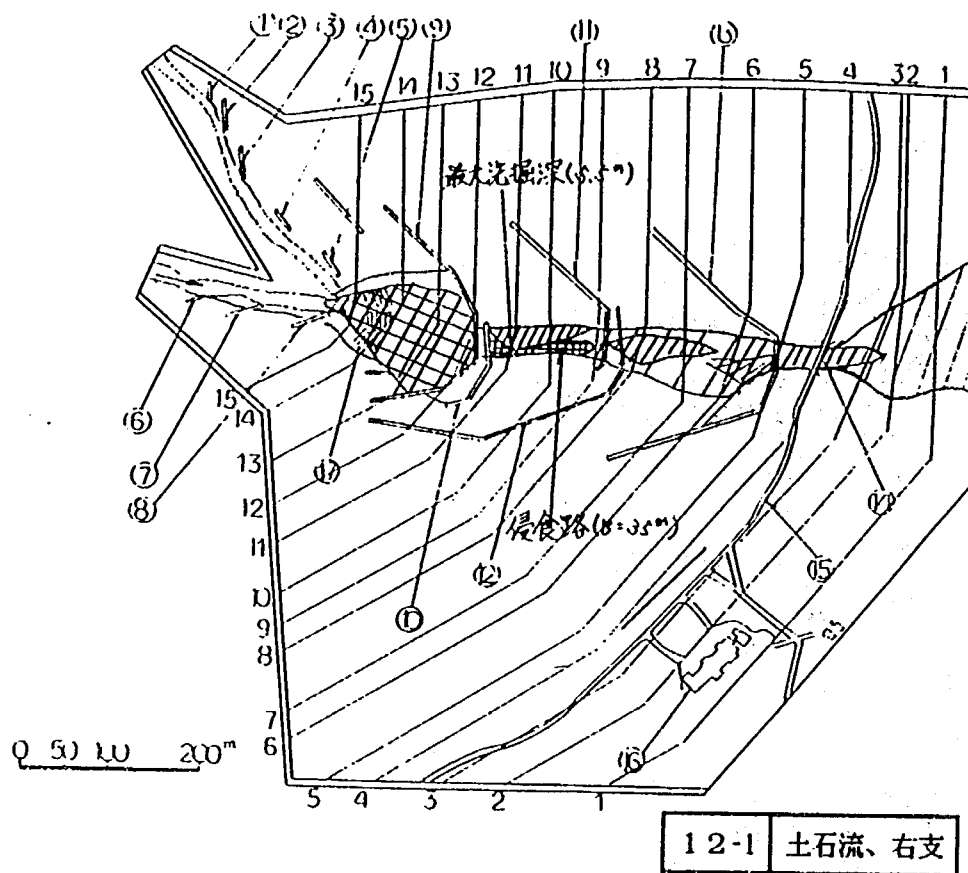
流況觀察平面図(CASE-11)



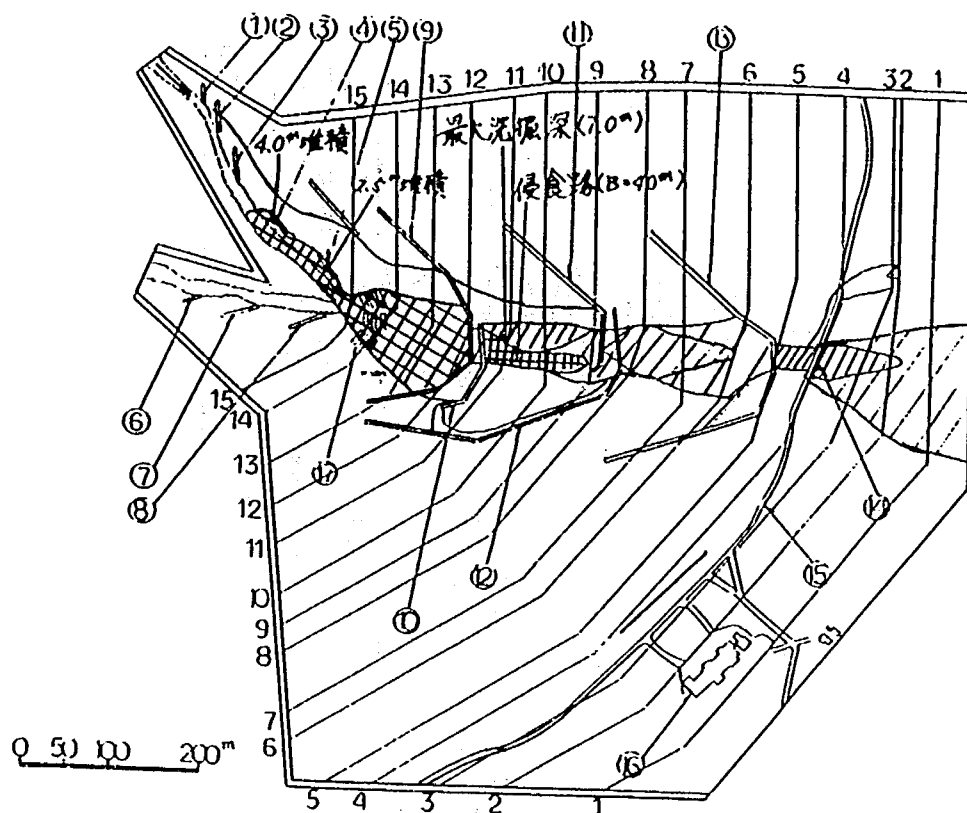
- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林



- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

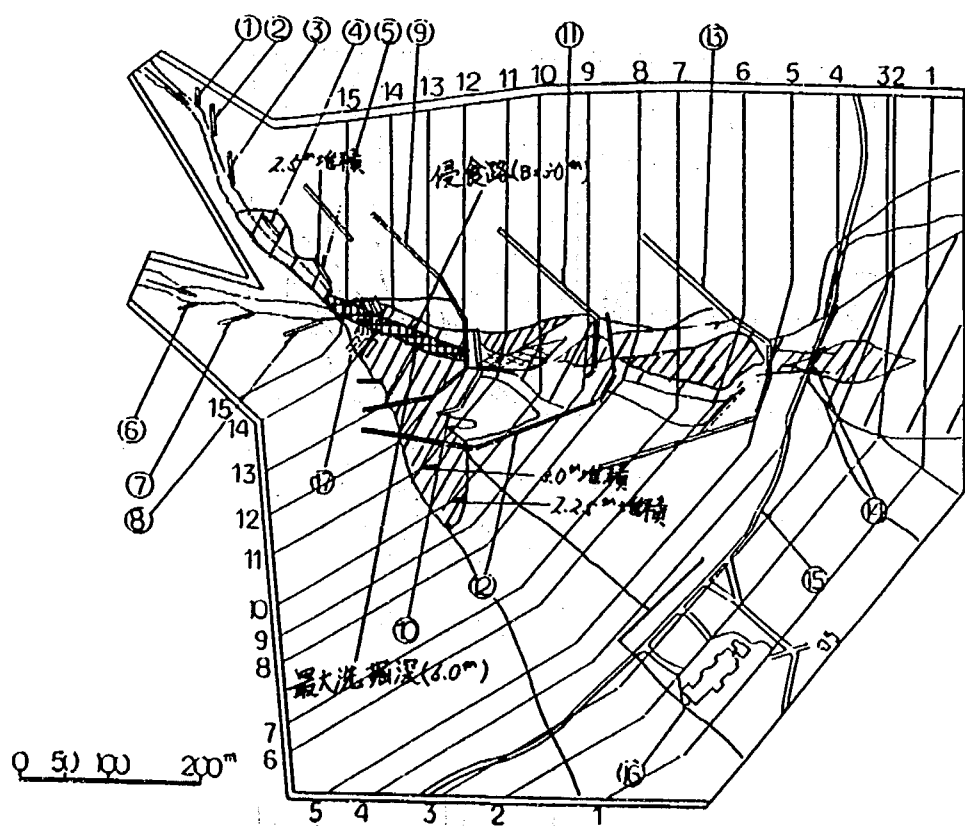


流況観察平面図 (CASE-12)



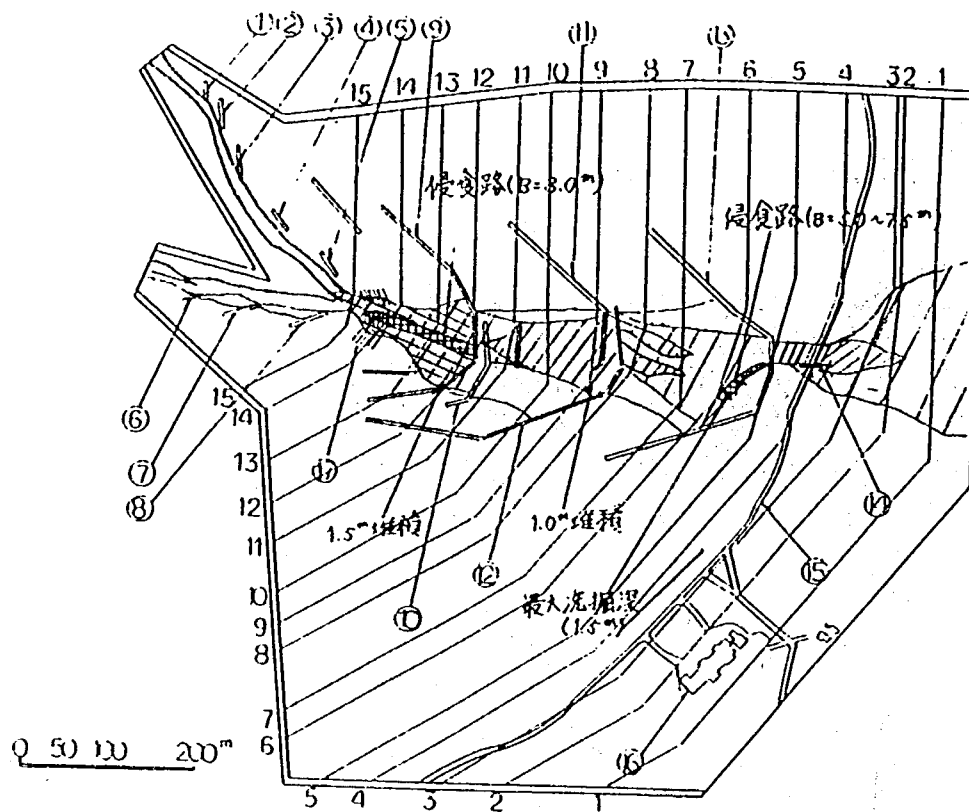
12-2 土石流、左支

- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

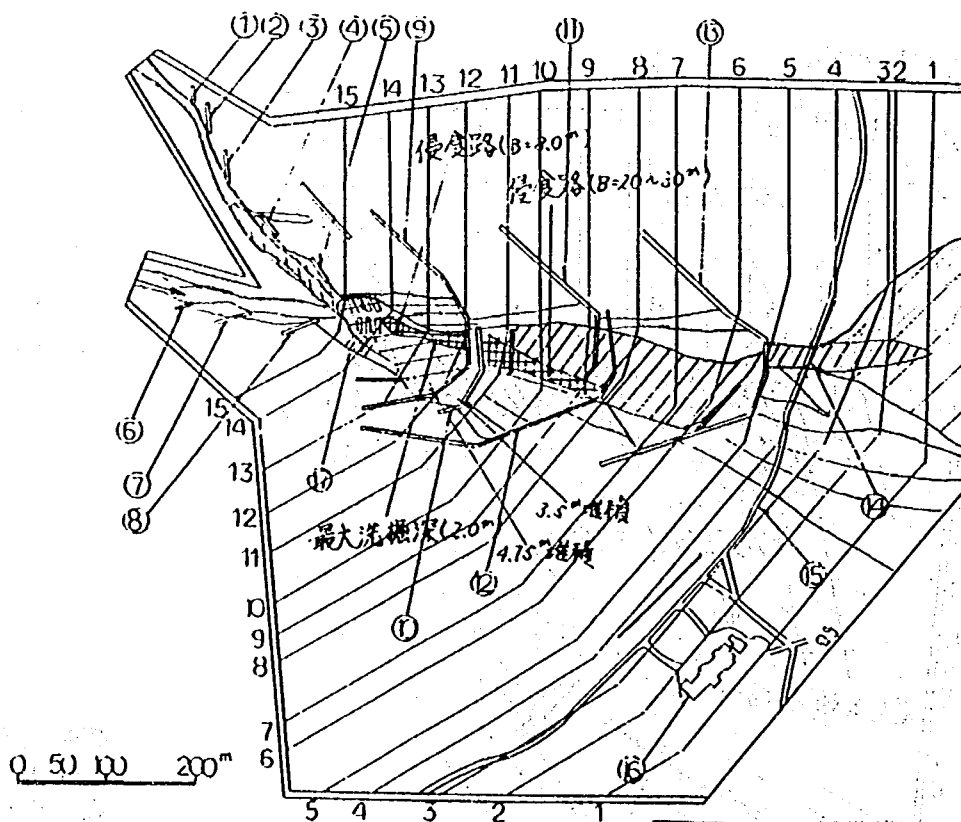


12-4 後続流、右支、左支

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

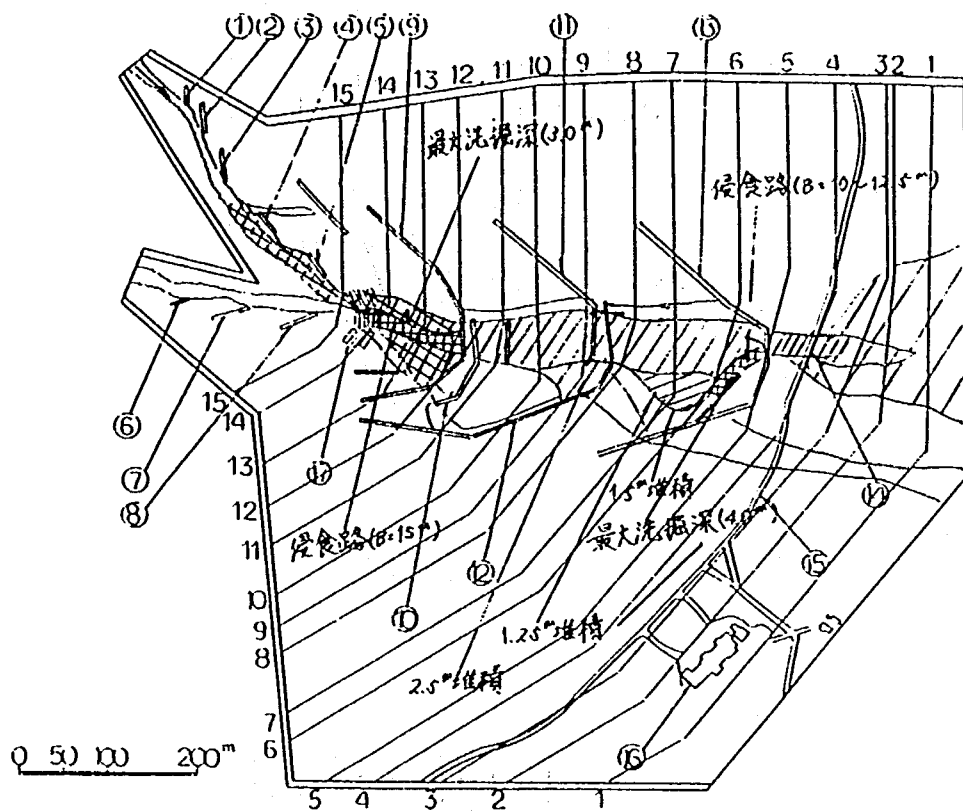


13-1 土石流、右支



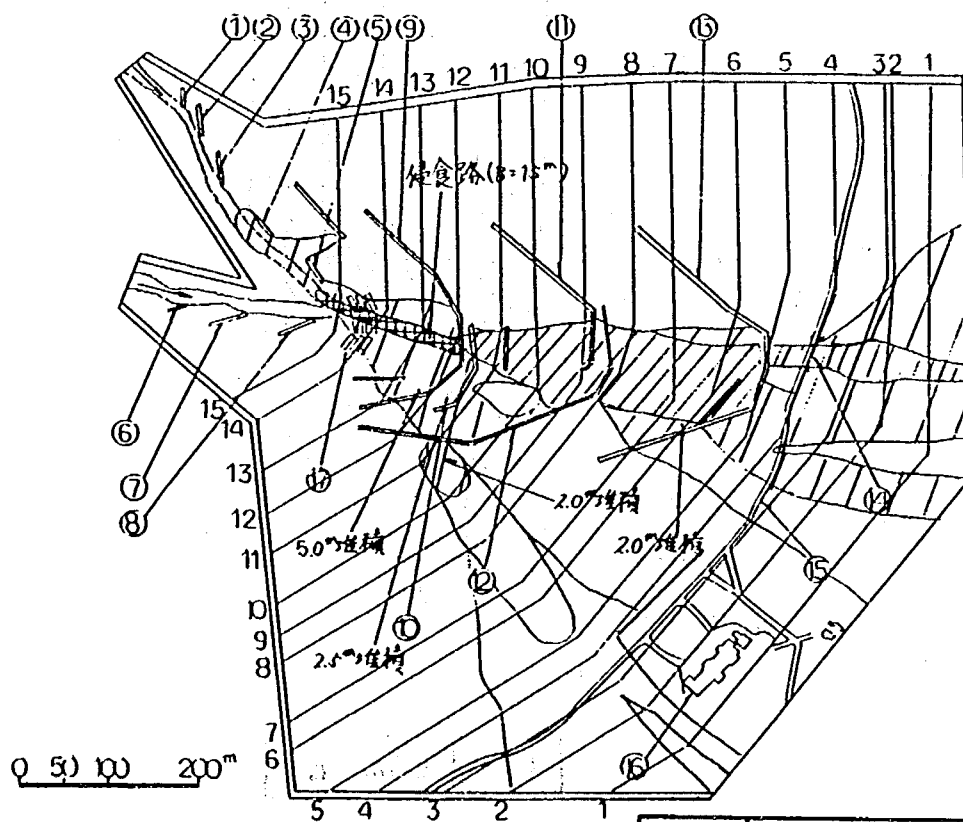
13-3 土石流、右支

流況觀察平面図(CASE-13)



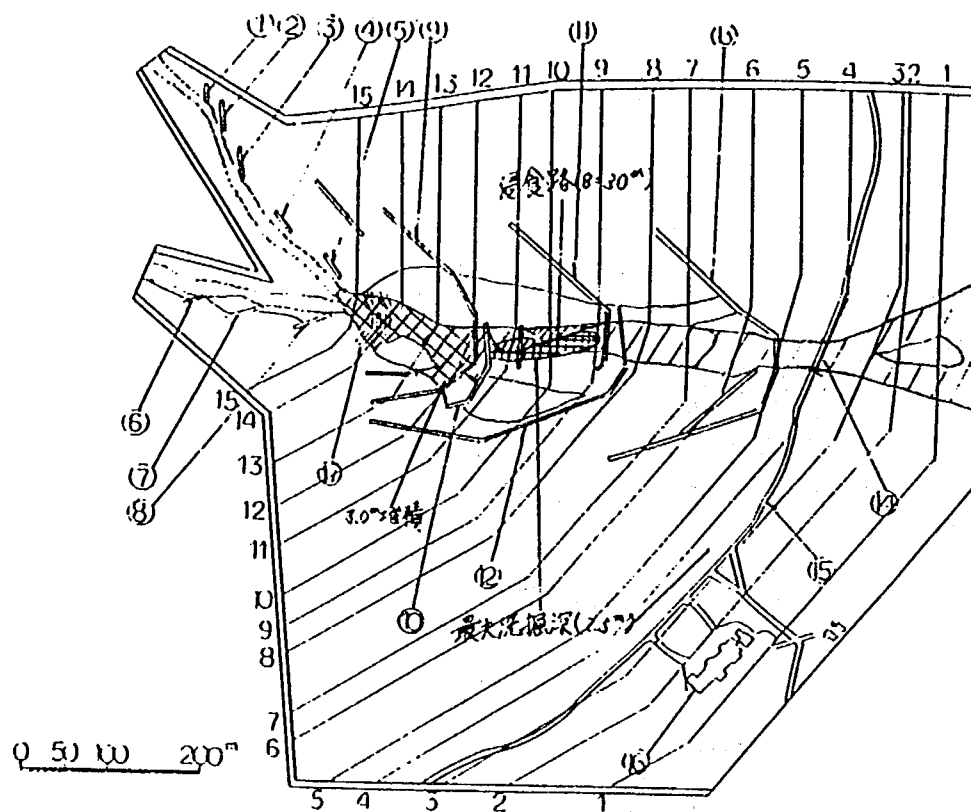
13-2 土石流、左支

- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

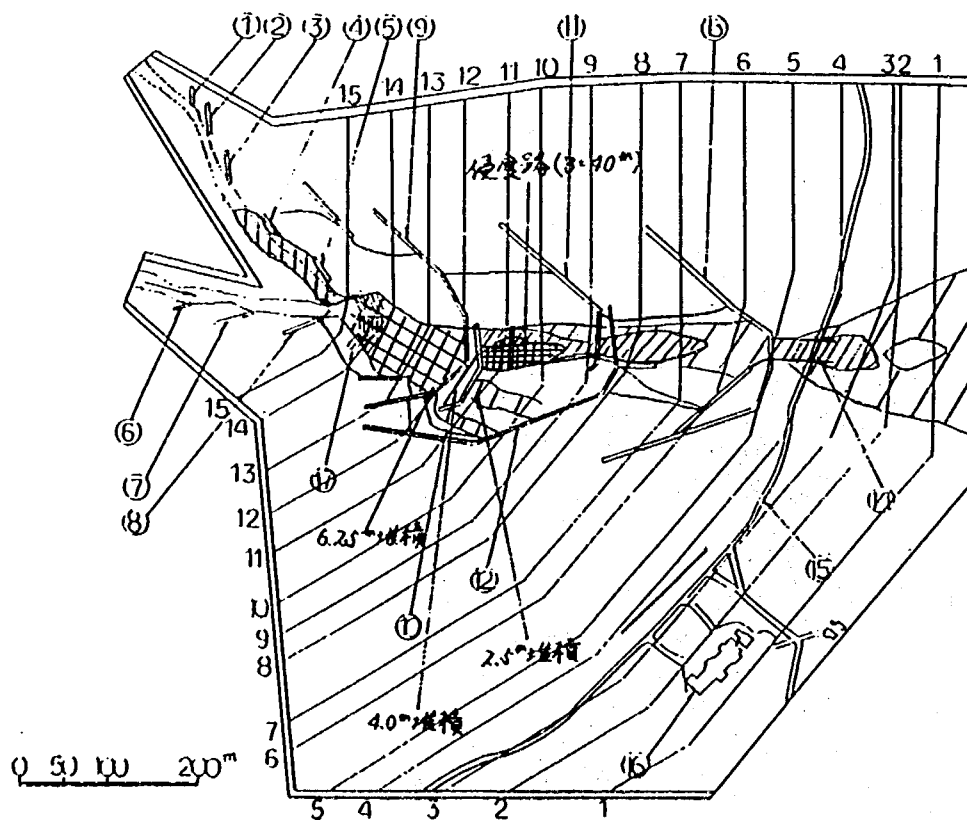


13-4 後続流、右支、左支

- 土石流堆積範圍
- 土砂堆積範圍
- 土砂移動範圍
- 流水氾濫範圍

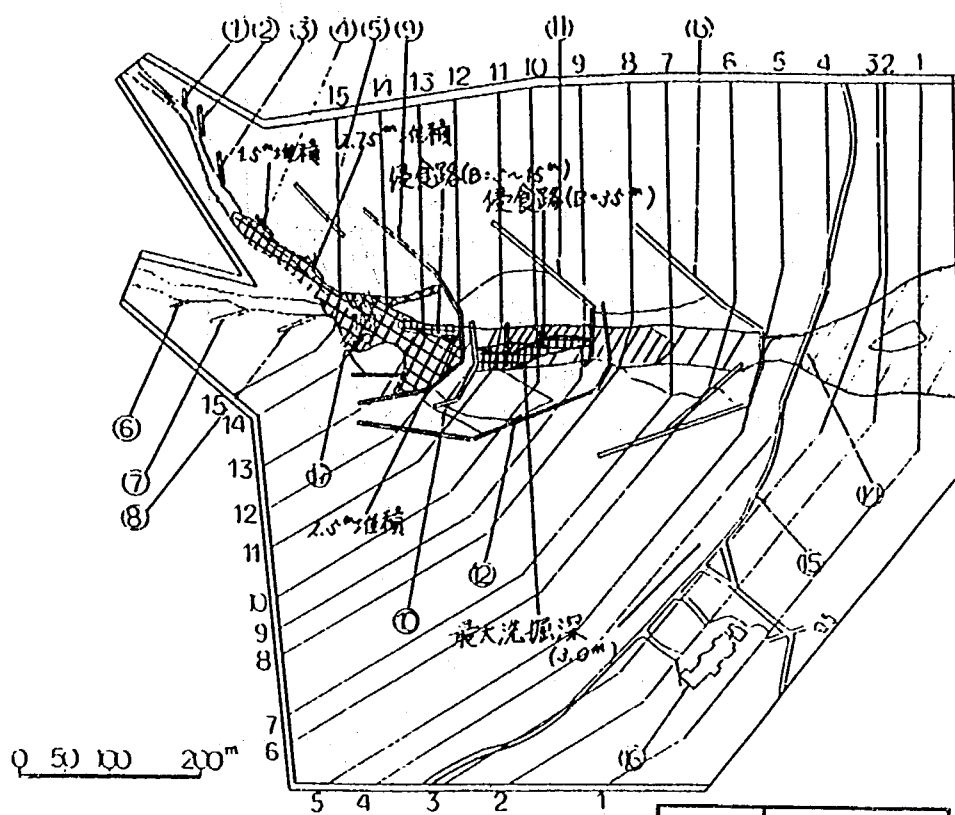


14-1 土石流、右支



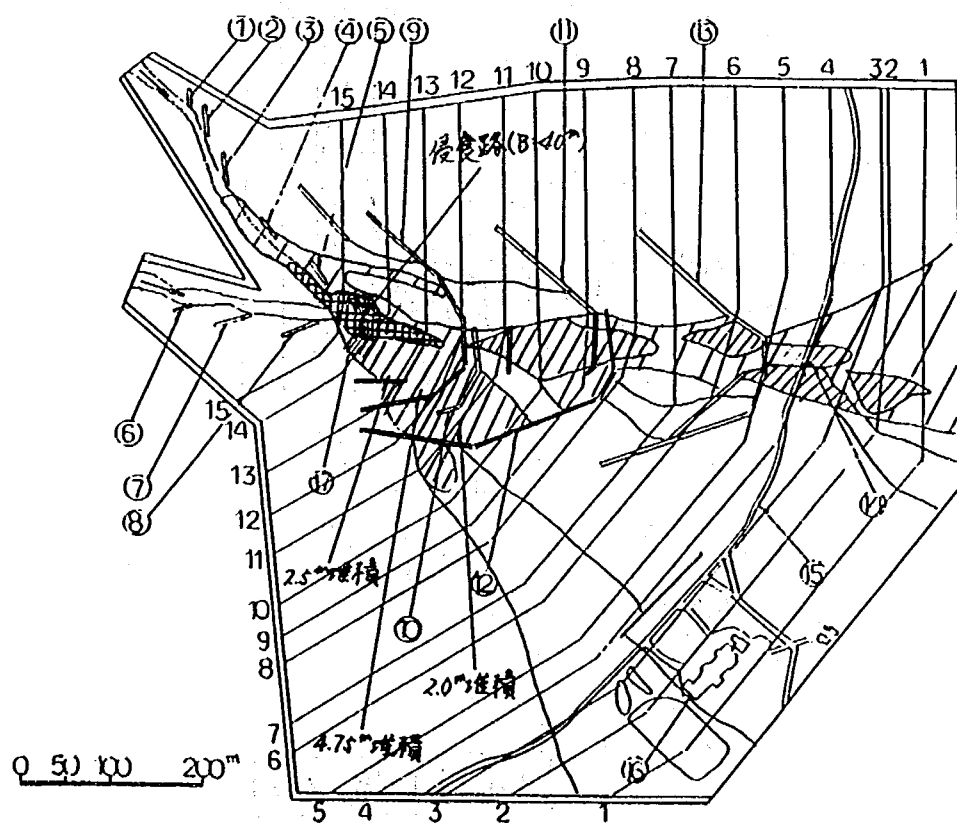
14-3 土石流、右支

流況觀察平面圖 (CASE-14)



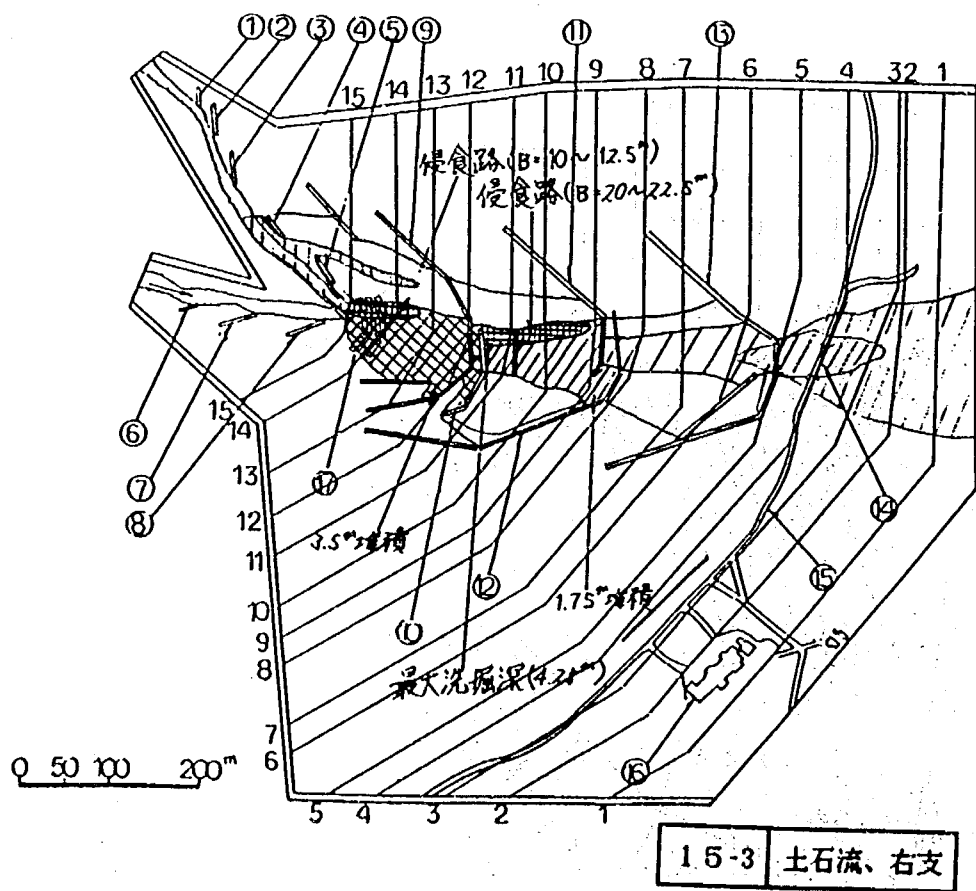
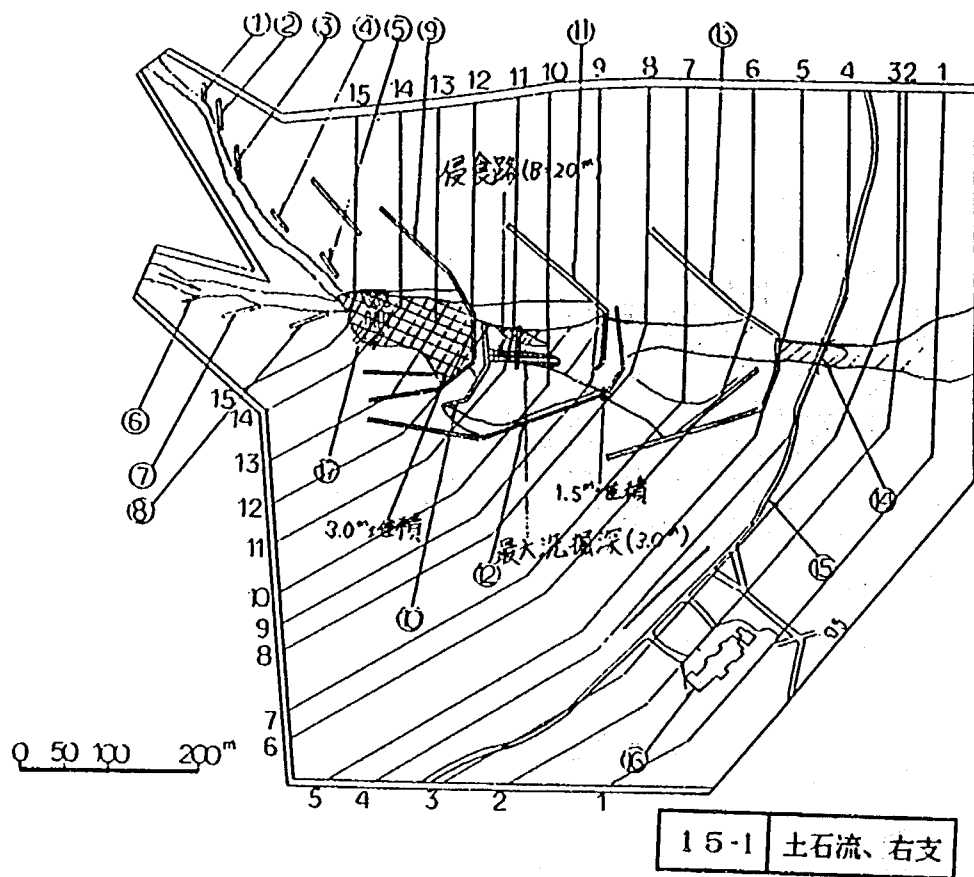
14-2 土石流、左支

- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

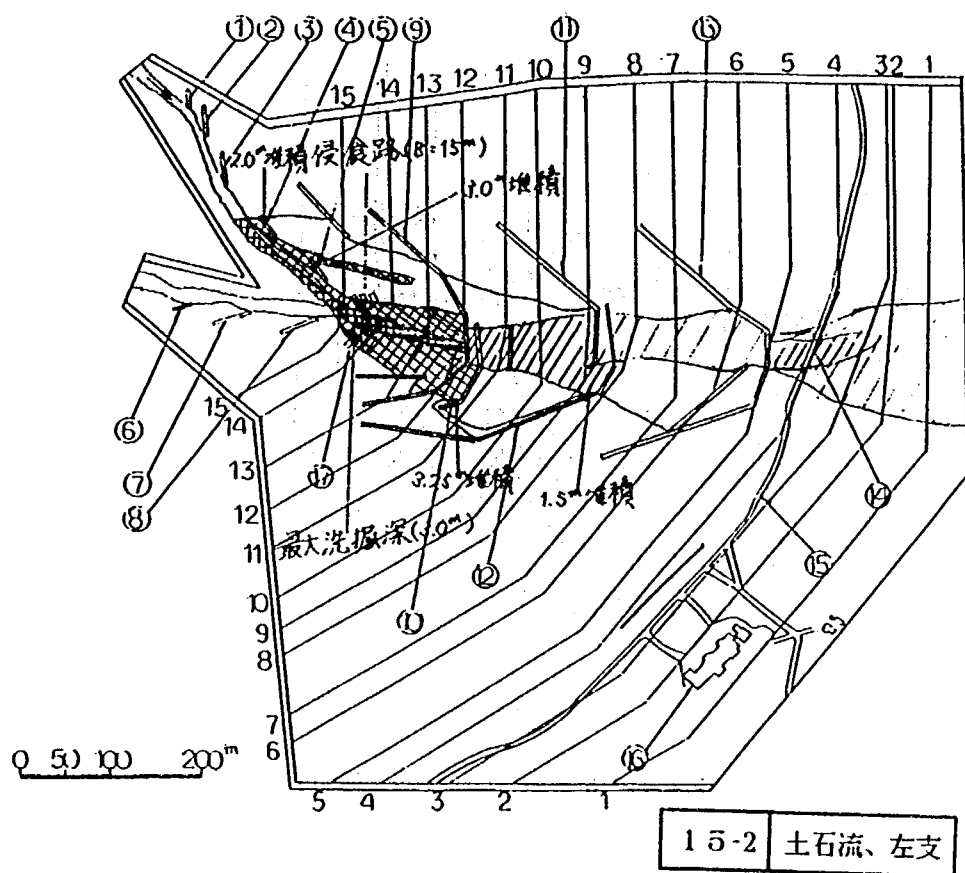


14-4 後続流、右支、左支

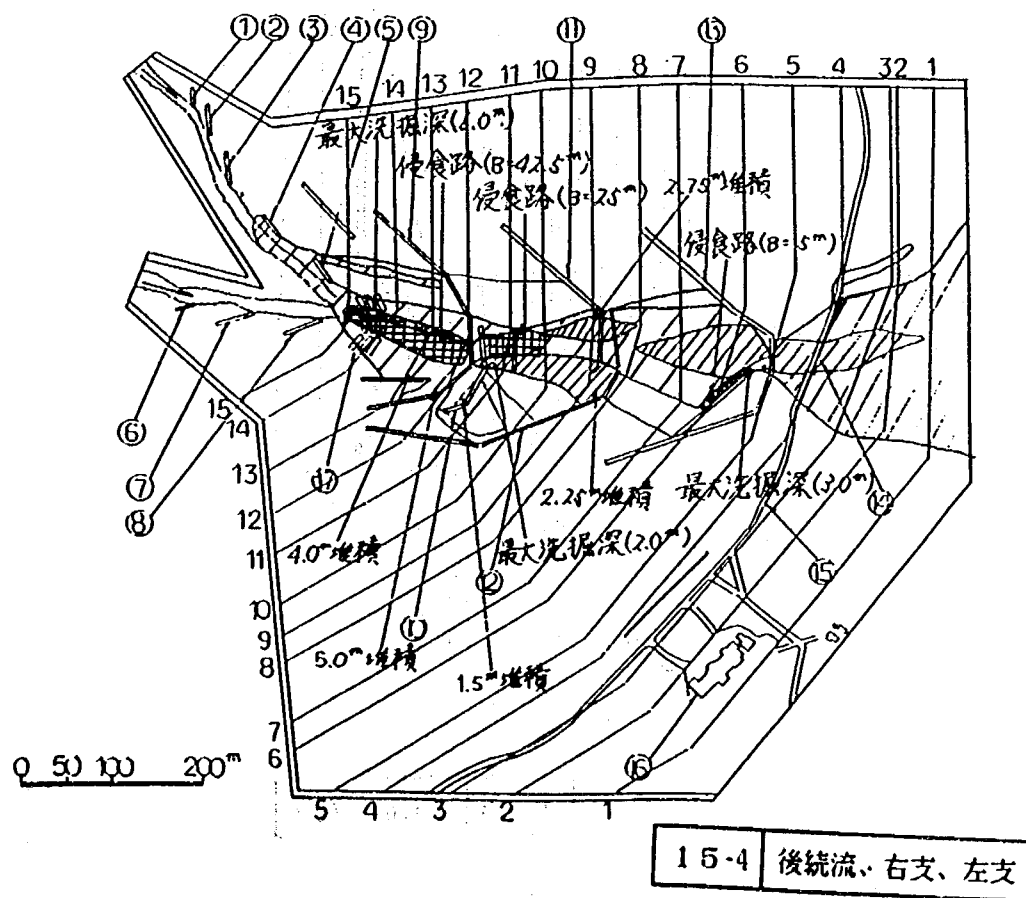
- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



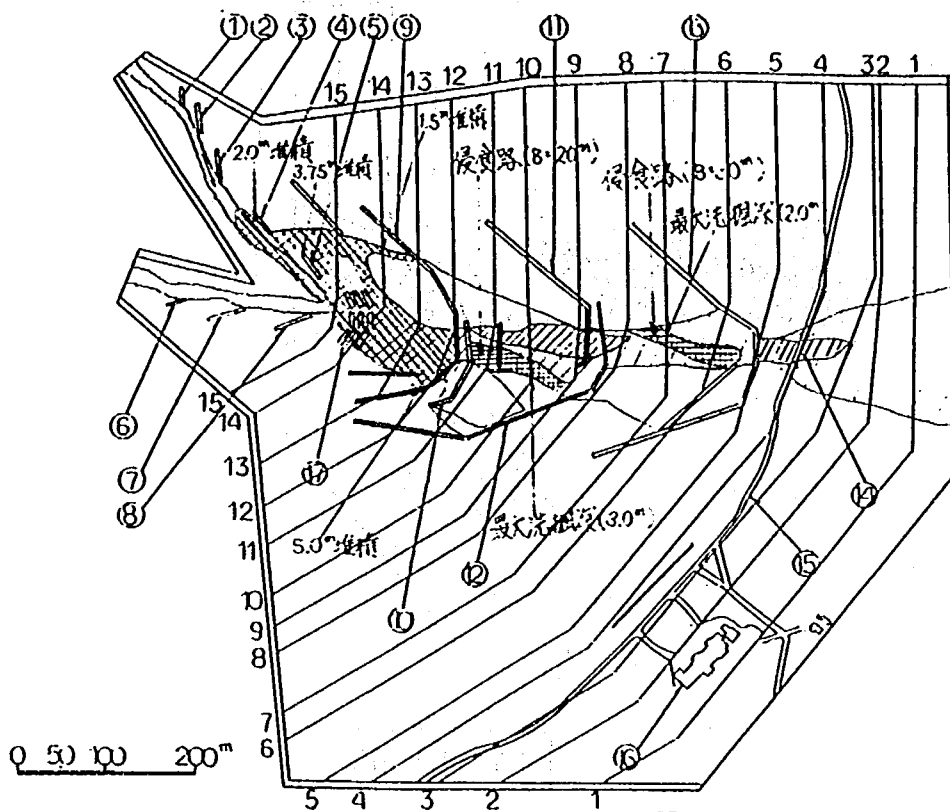
流況觀察平面図 (CASE-15)



- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

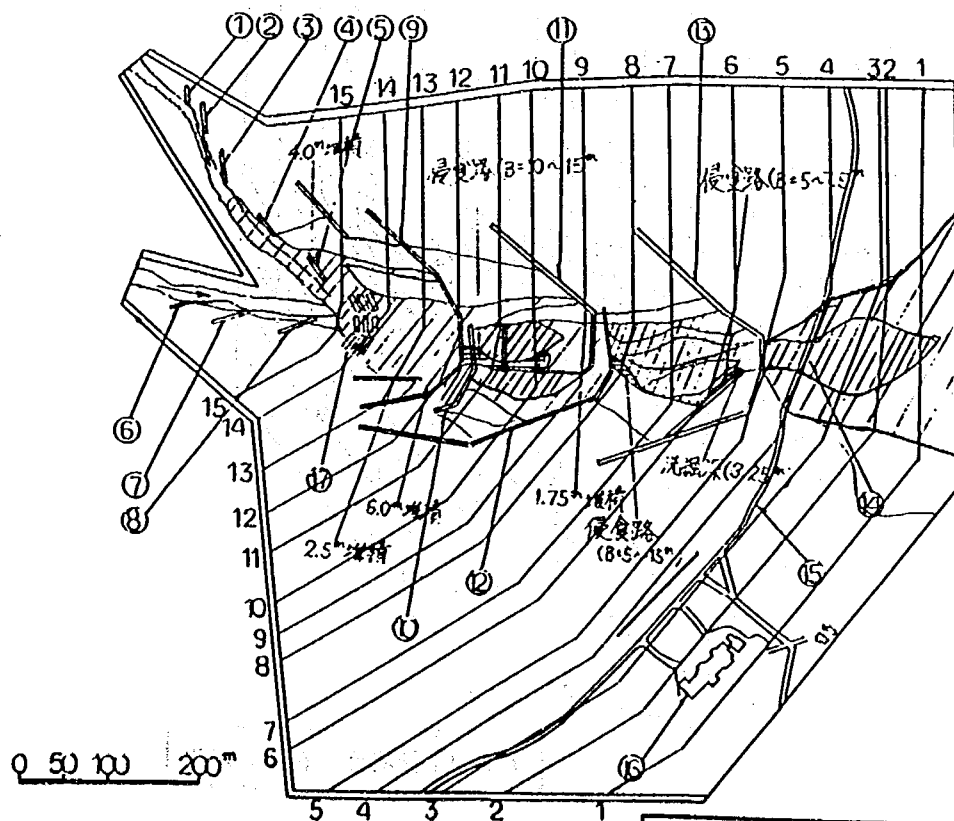


- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲



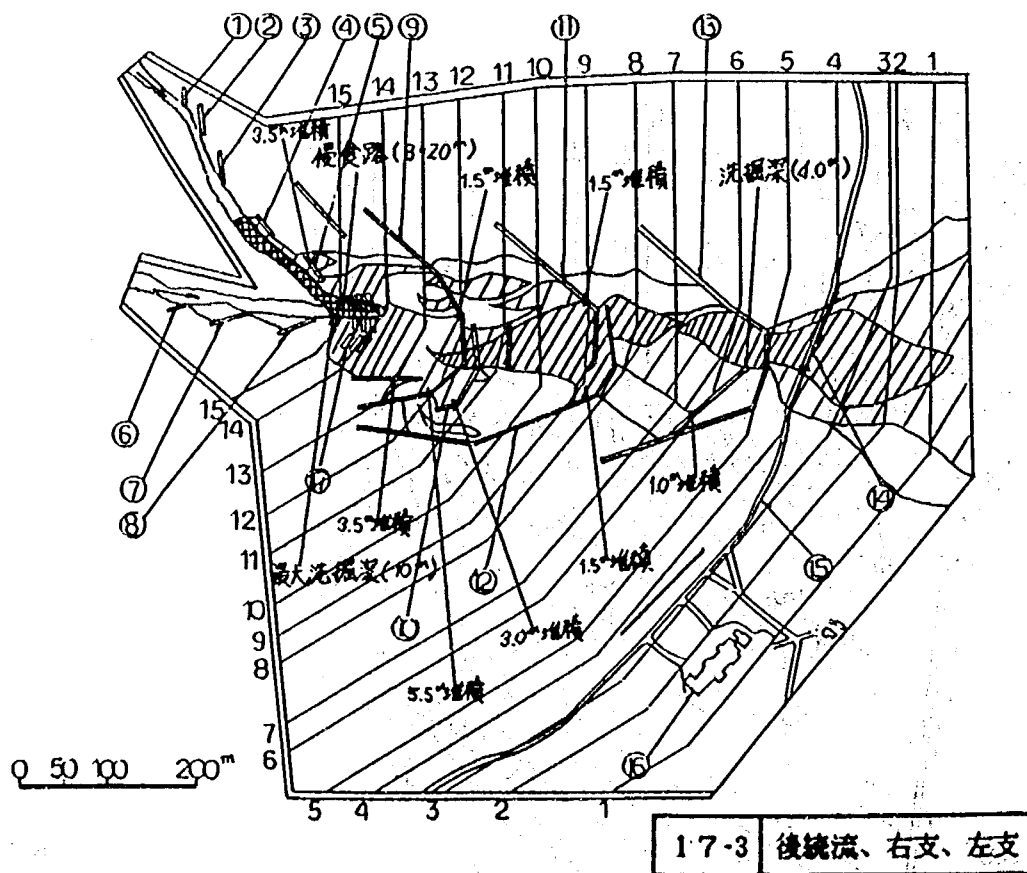
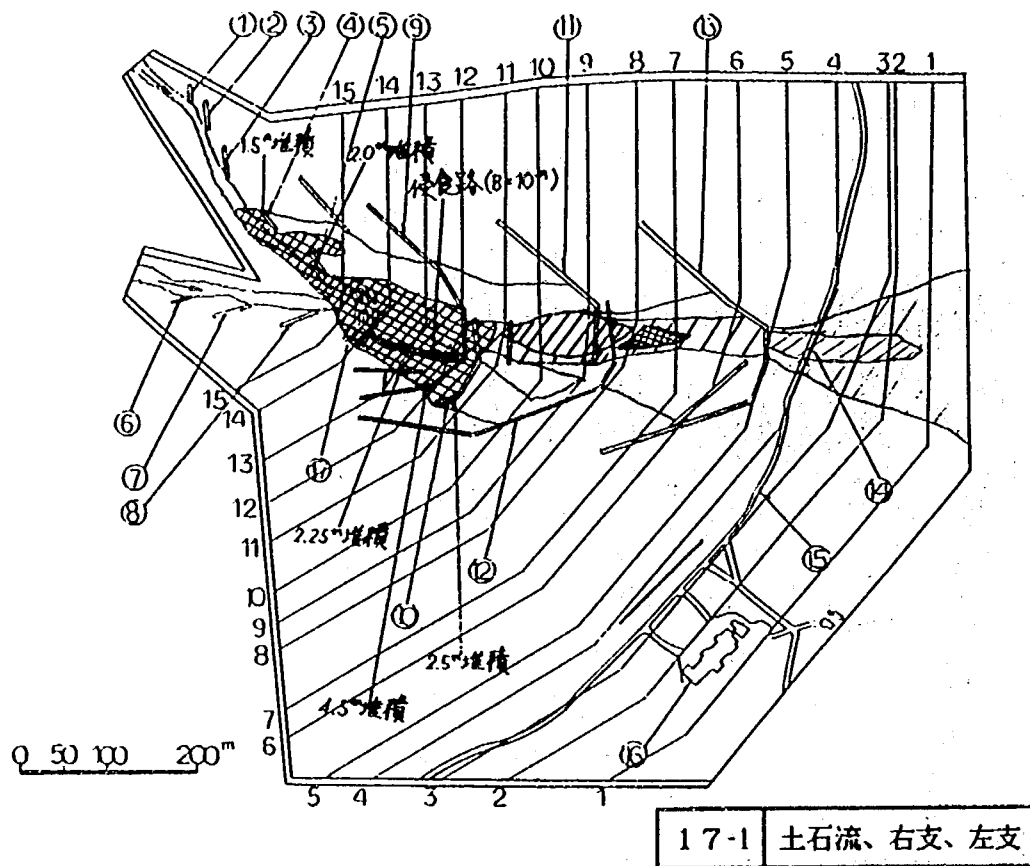
16-2 土石流、左支

- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

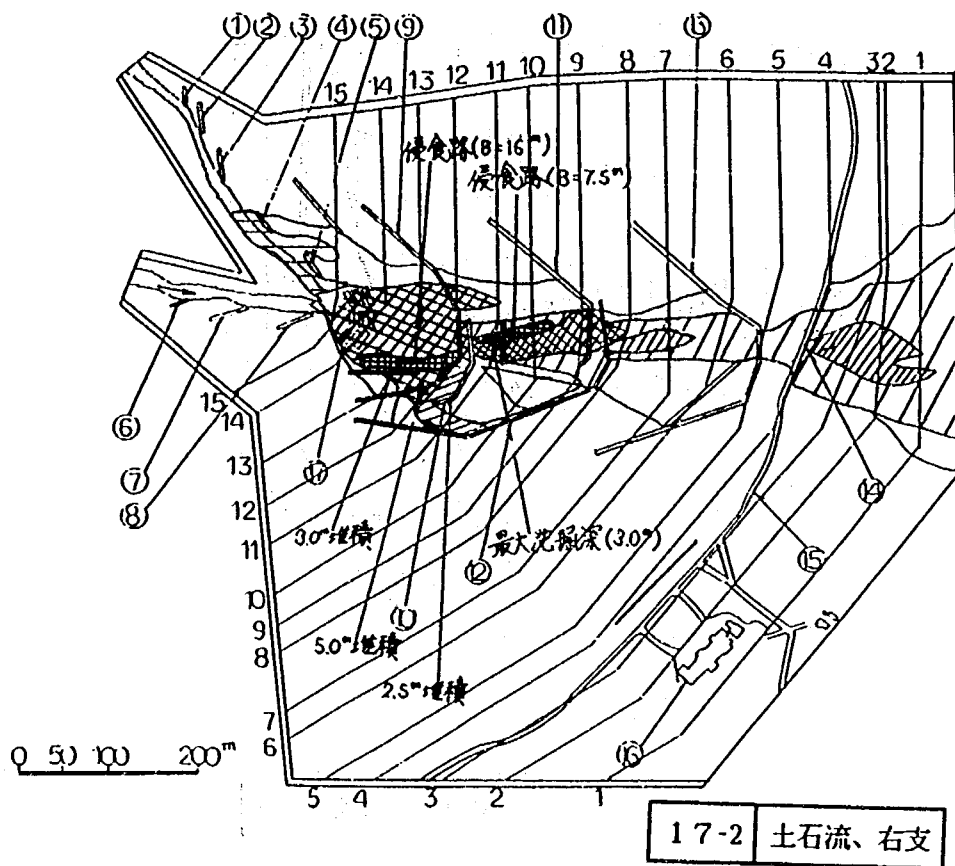


16-4 後続流、右支、左支

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

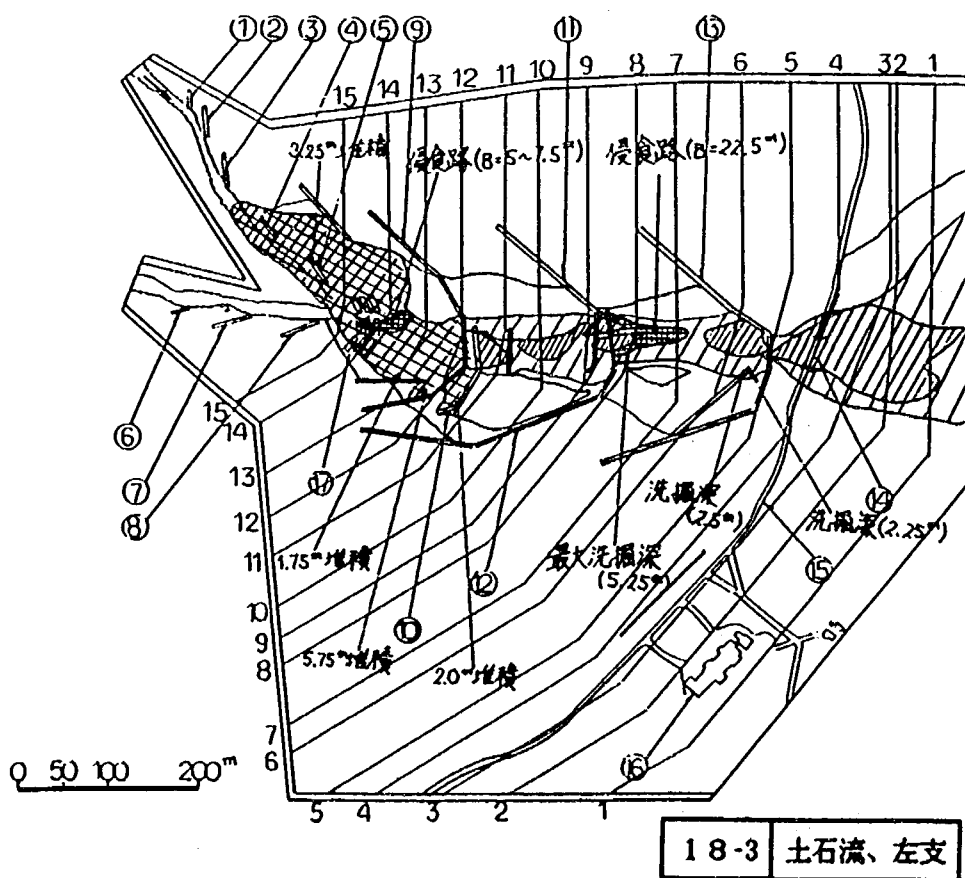
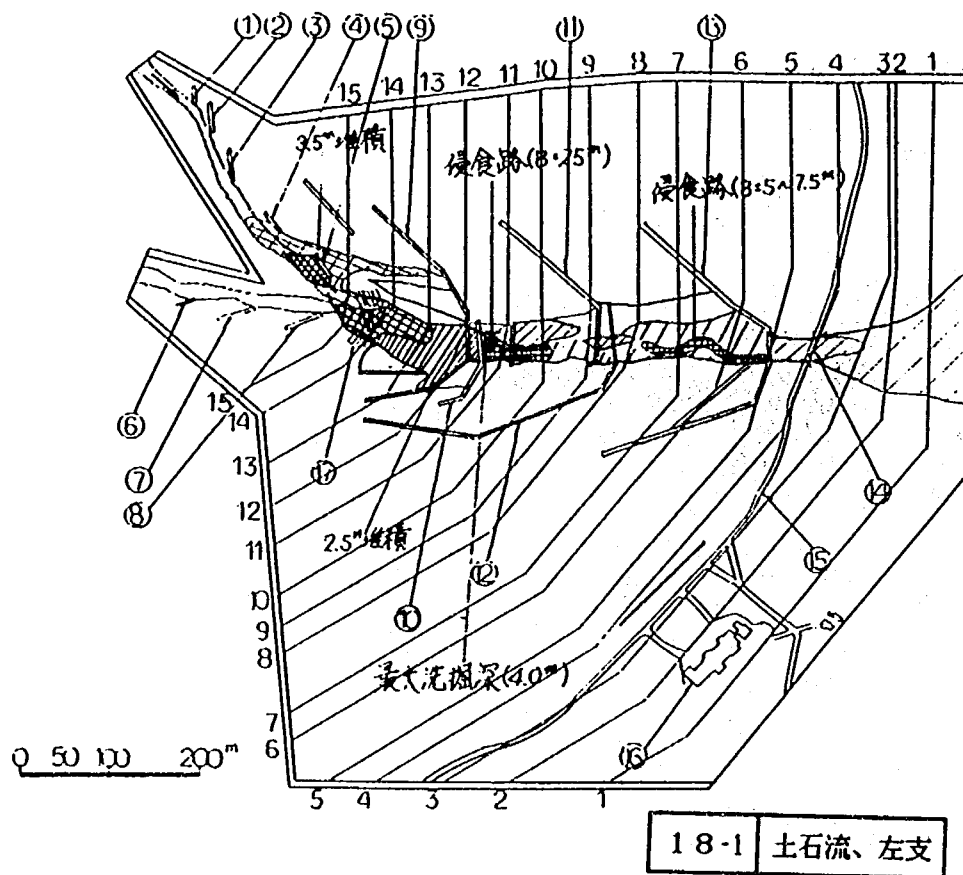


流況觀察平面圖 (CASE-17)

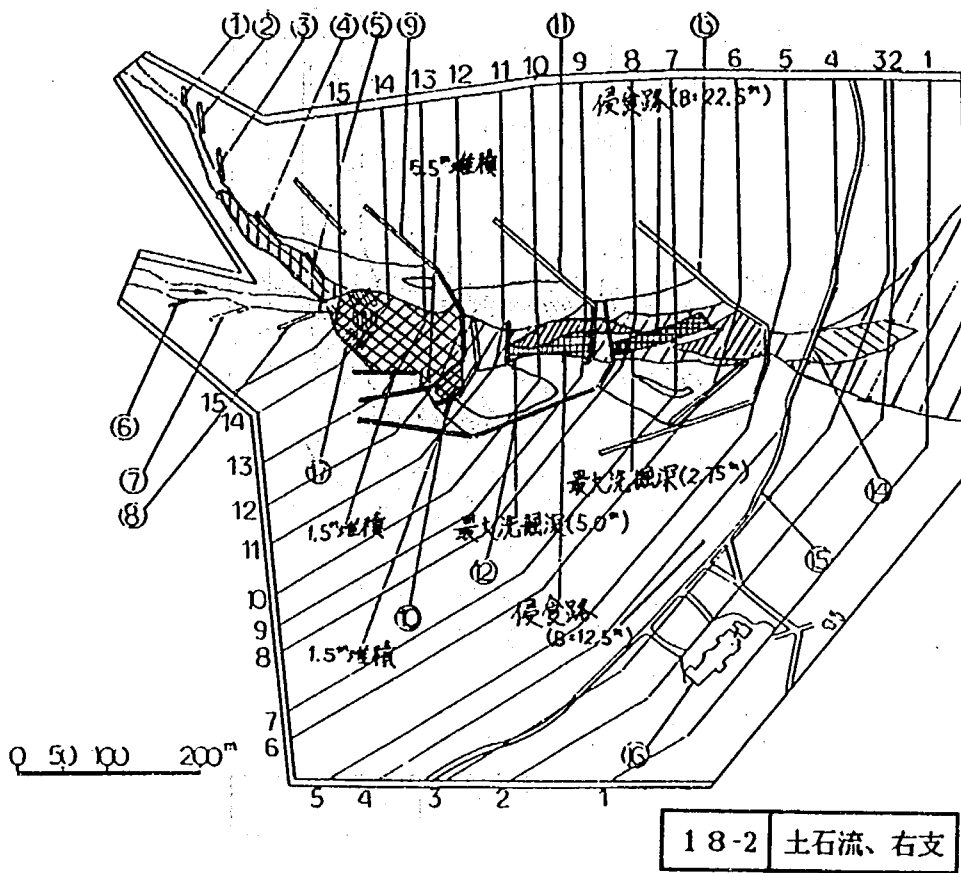


- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林

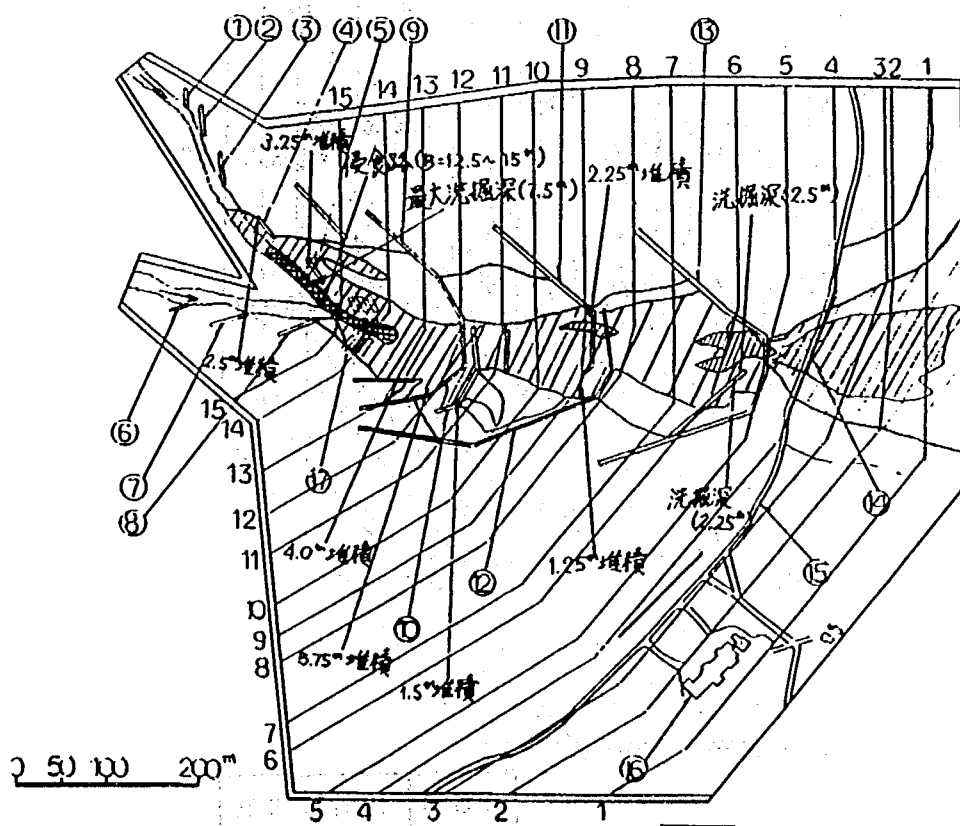
- 土石流堆積範圍
- 土砂堆積範圍
- 土砂移動範圍
- 流水氾濫範圍



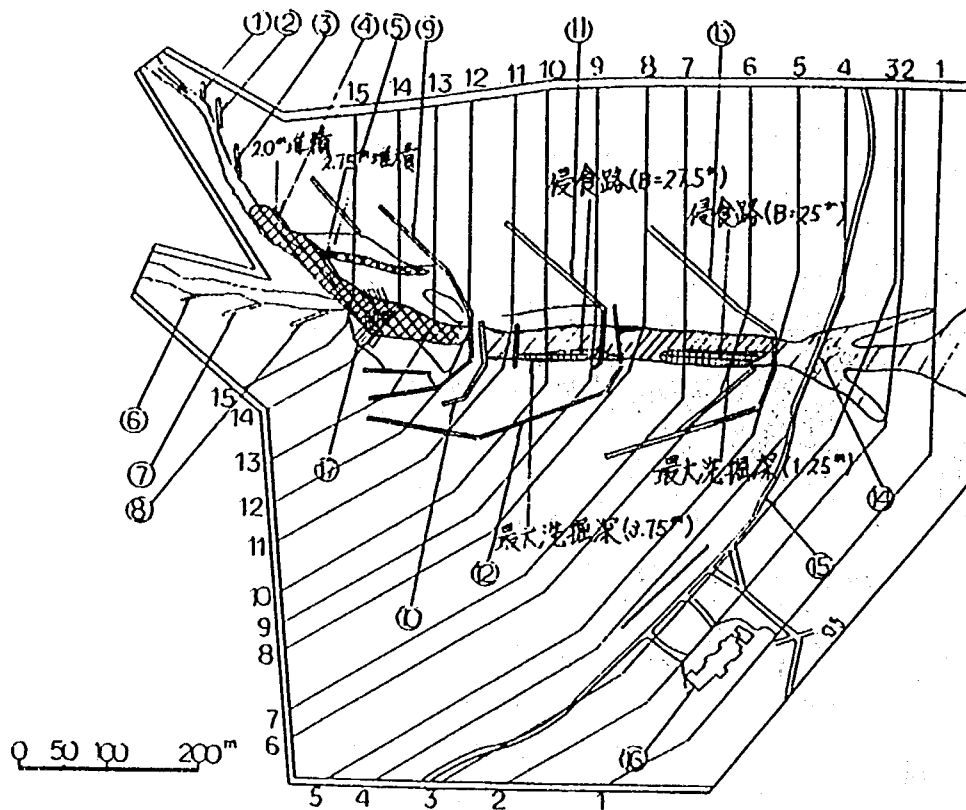
流況觀察平面図 (CASE-18)



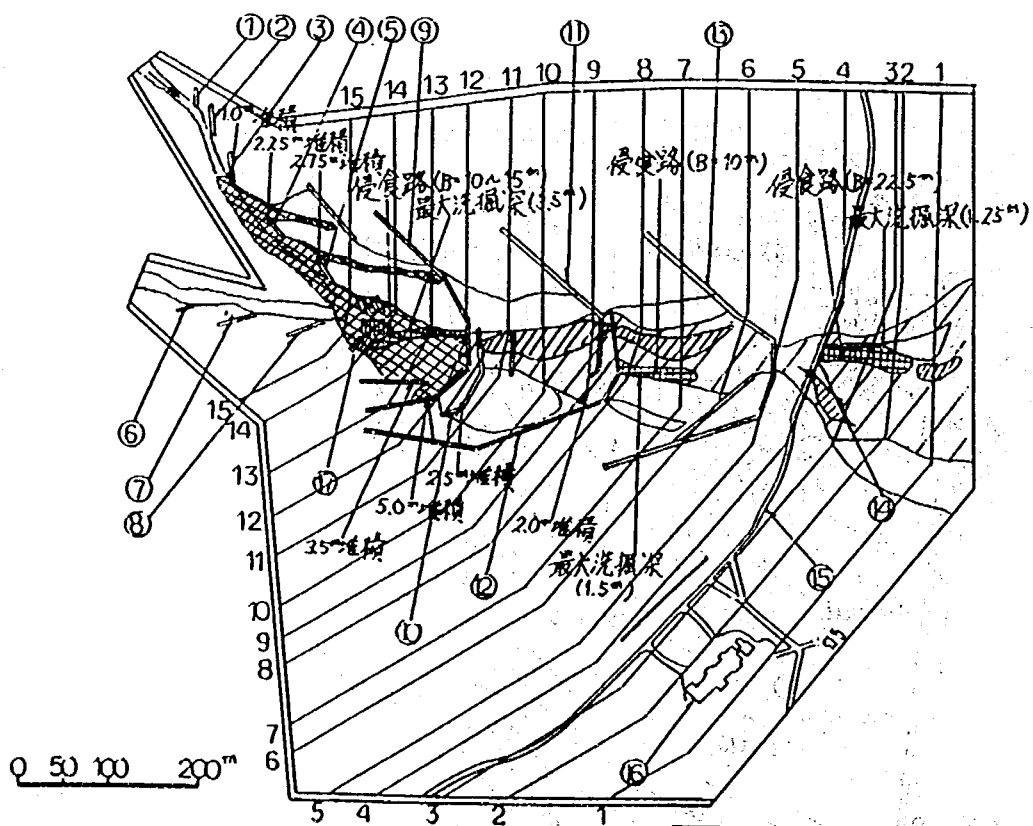
- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林



- 土石流堆積範囲
- 土石流移動範囲
- 流水氾濫範囲

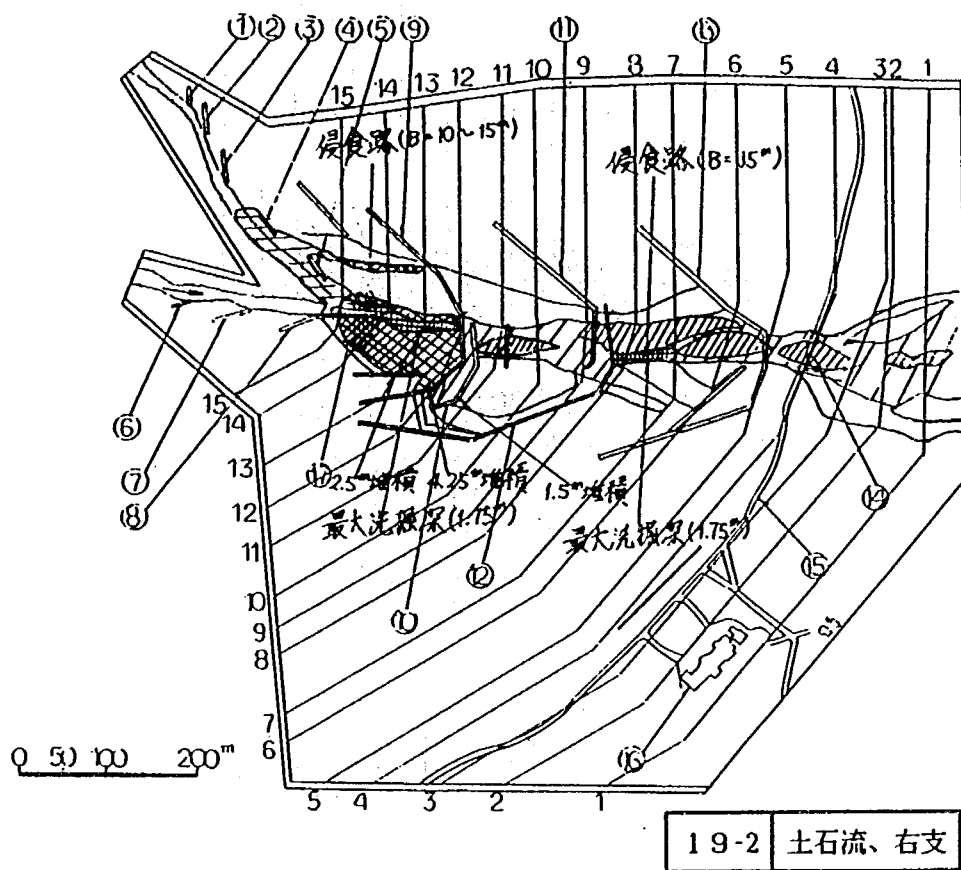


19-1 土石流、左支

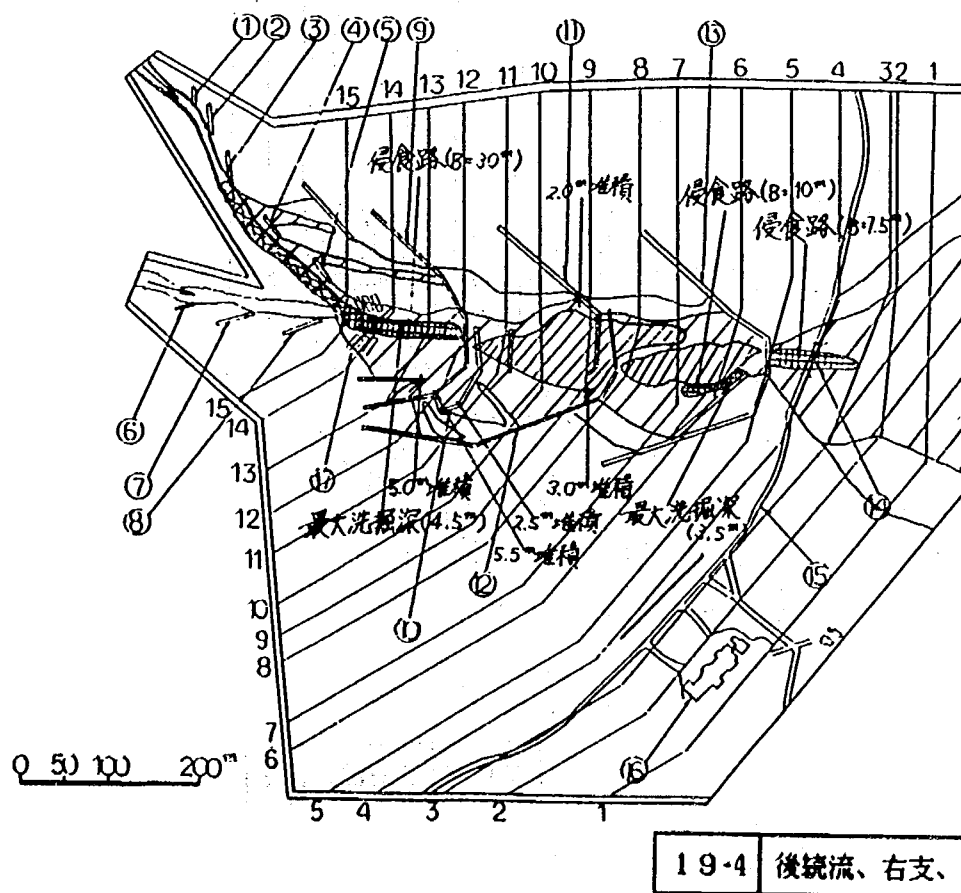


19-3 土石流、左支

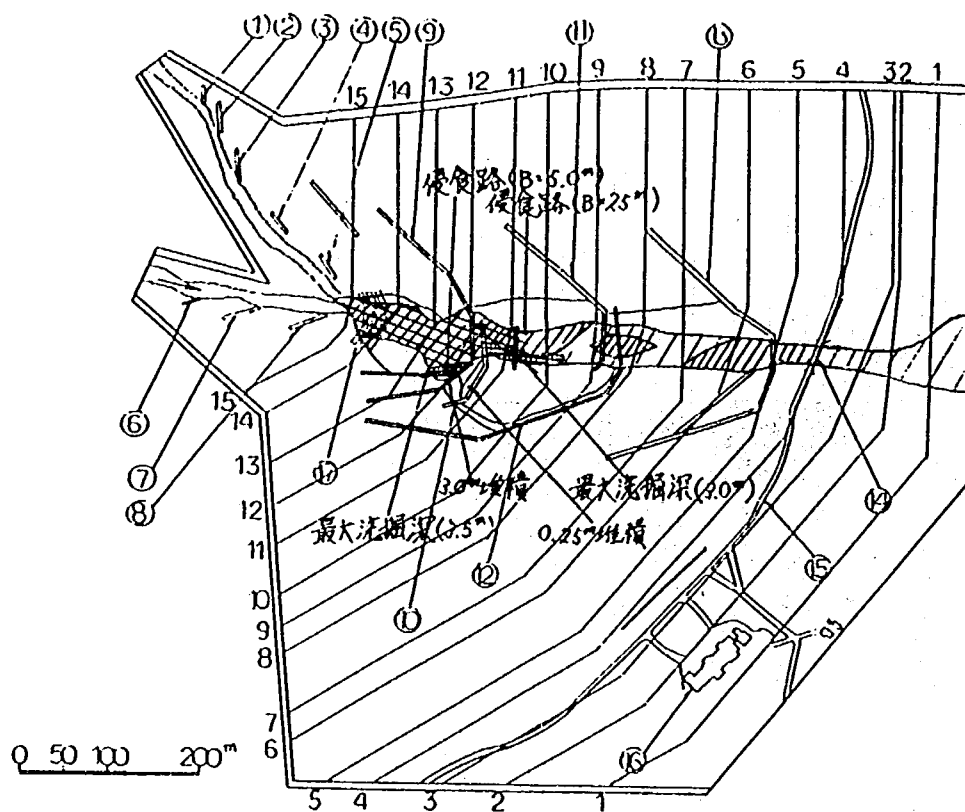
流況觀察平面図 (CASE-19)



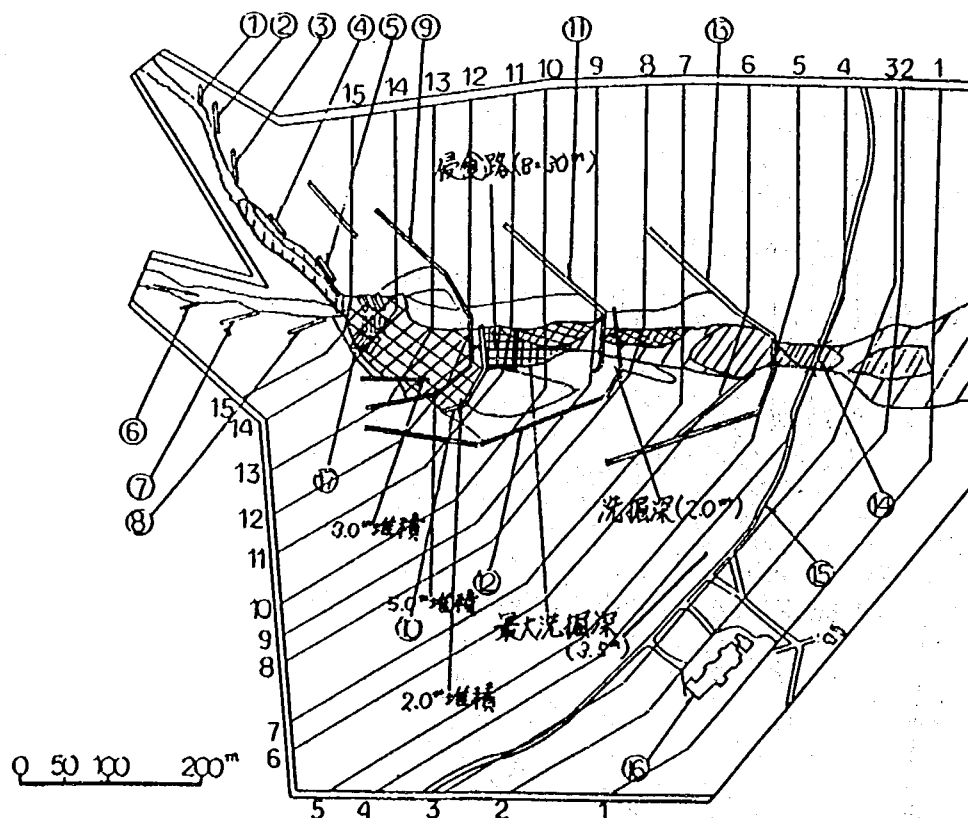
- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林



- ①土石流堆積範圍
- ②土砂堆積範圍
- ③土砂移動範圍
- ④流水氾濫範圍

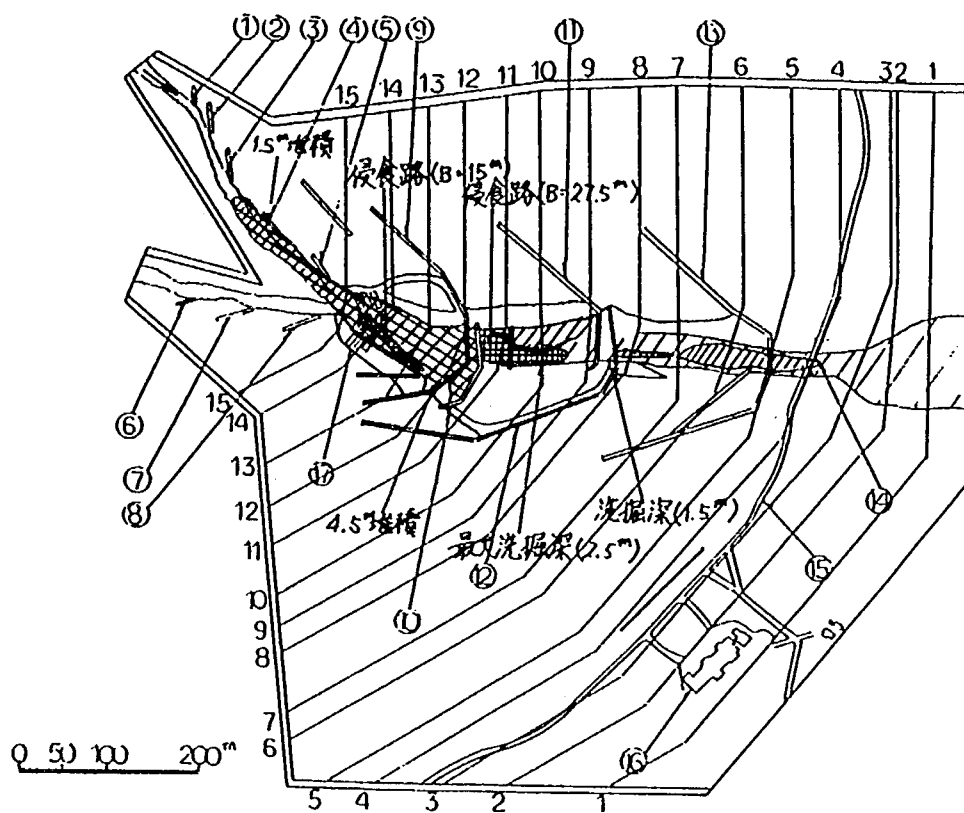


20-1 土石流、右支



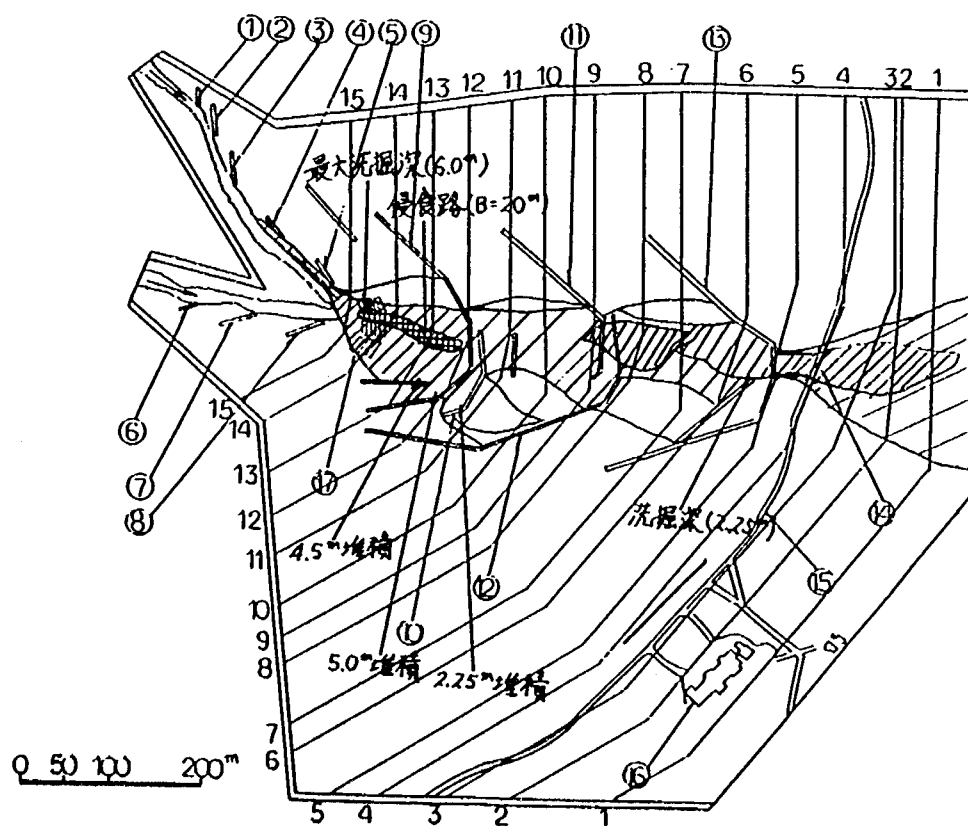
20-3 土石流、右支

流況觀察平面圖 (CASE-20)



20-2 土石流、左支

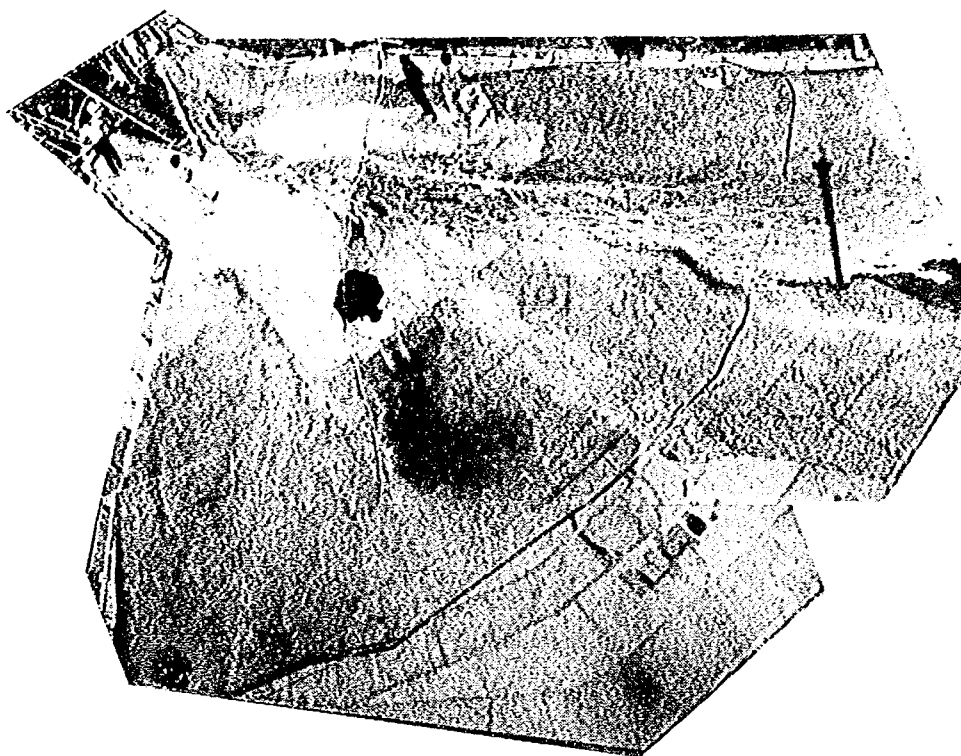
- ①第1号導流堤
- ②第2号導流堤
- ③第3号導流堤
- ④第4号導流堤
- ⑤第5号導流堤
- ⑥第6号導流堤
- ⑦第7号導流堤
- ⑧第8号導流堤
- ⑨第3号床固工
- ⑩第3号下流床固工
- ⑪第2号床固工
- ⑫第2号下流床固工
- ⑬第1号床固工
- ⑭八右衛門橋
- ⑮県道上高地線
- ⑯帝国ホテル
- ⑰パイプ林



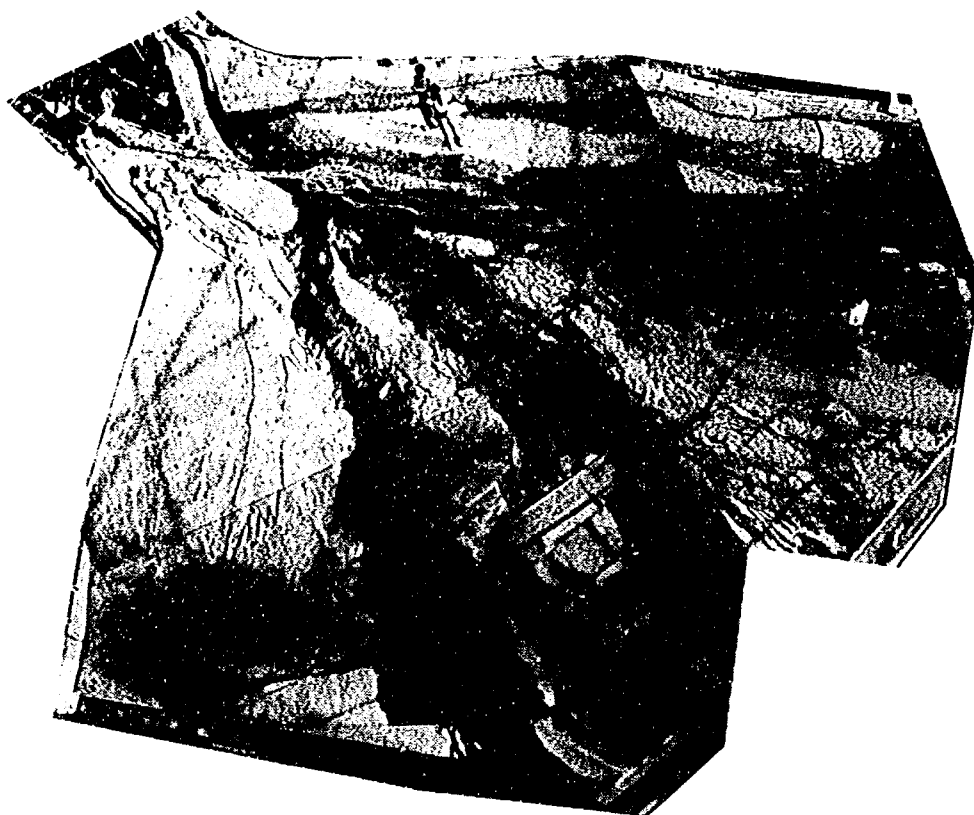
20-4 後続流、右支、左支

- 土石流堆積範囲
- 土砂堆積範囲
- 土砂移動範囲
- 流水氾濫範囲

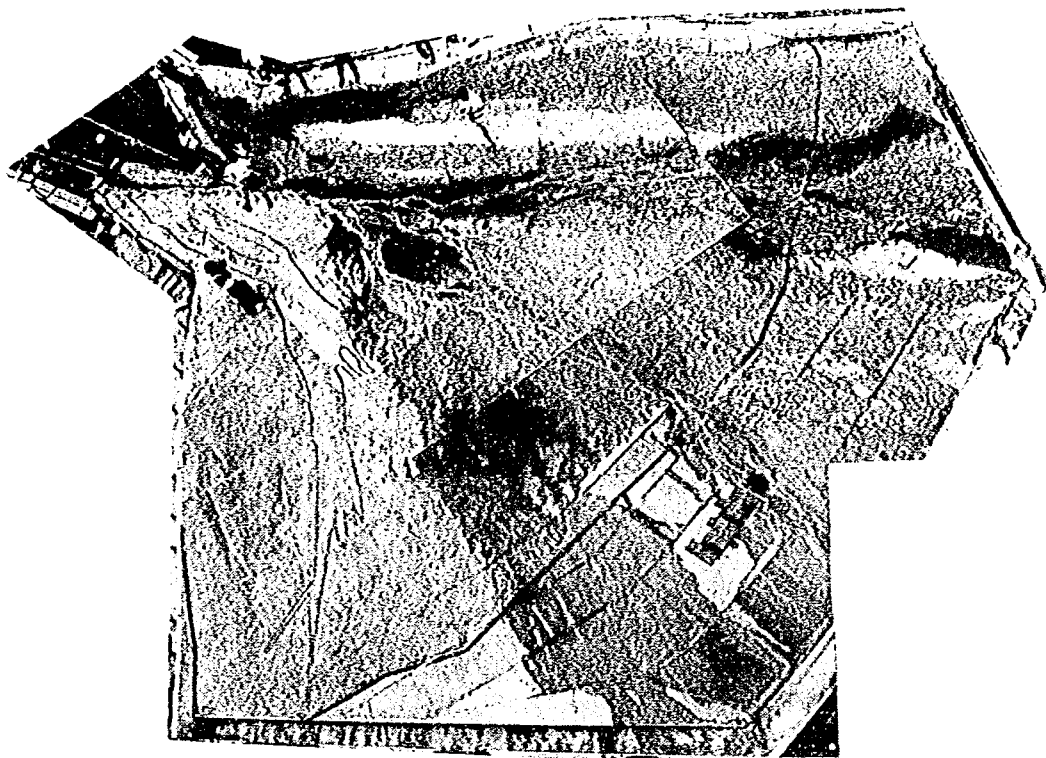
流 向 写 真 集



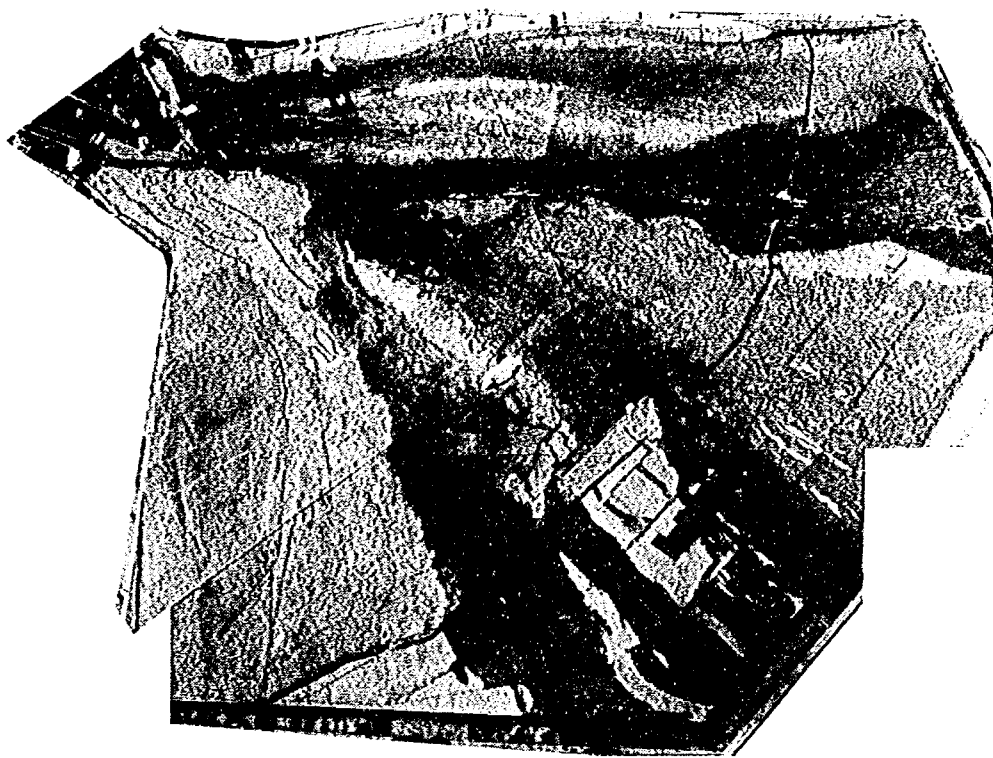
CASE-1-4 後続流，右支，左支同時；10分後



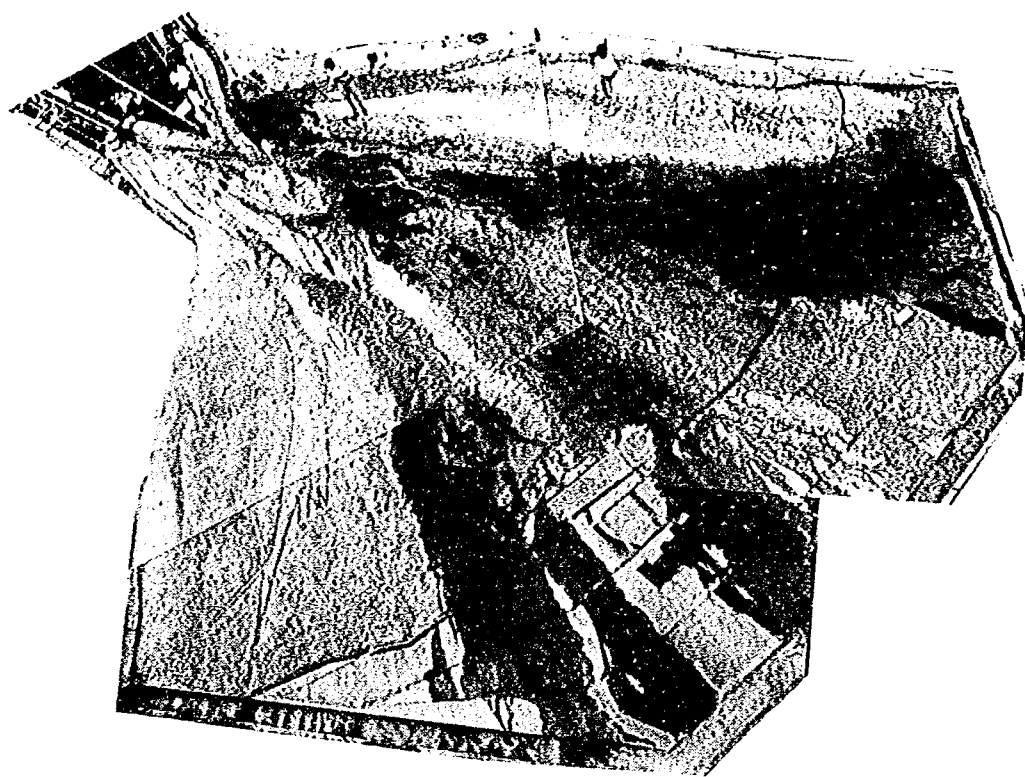
CASE-2-4 後続流，右支，左支同時；流下後



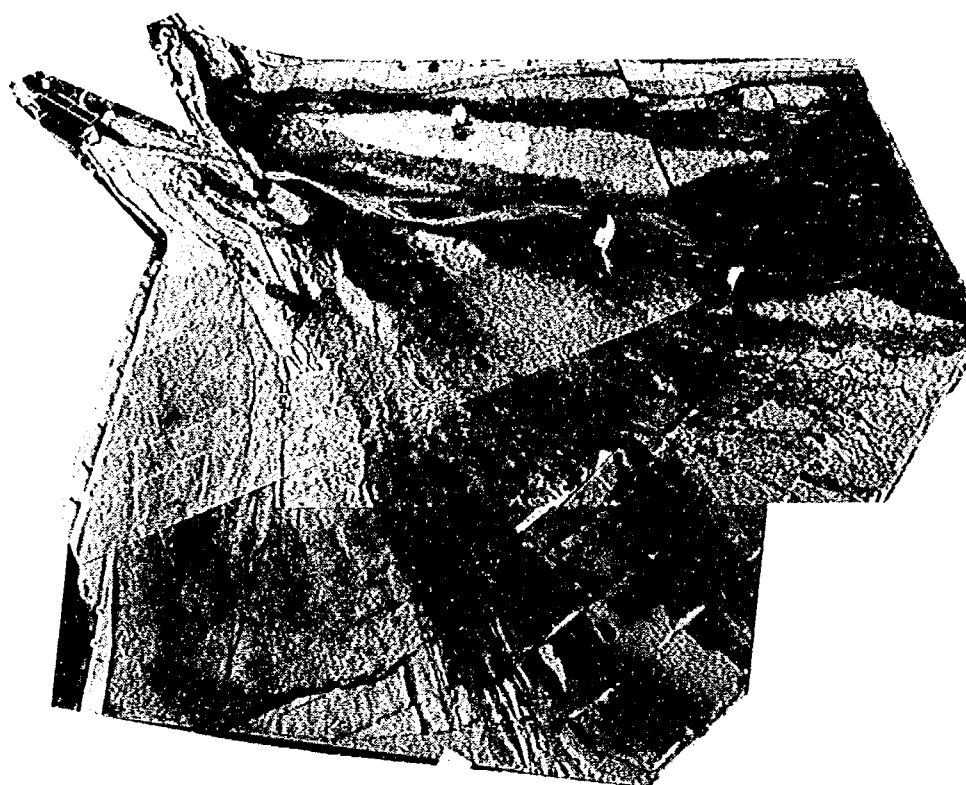
CASE-3-4 後続流, 右支, 左支同時; 10分後



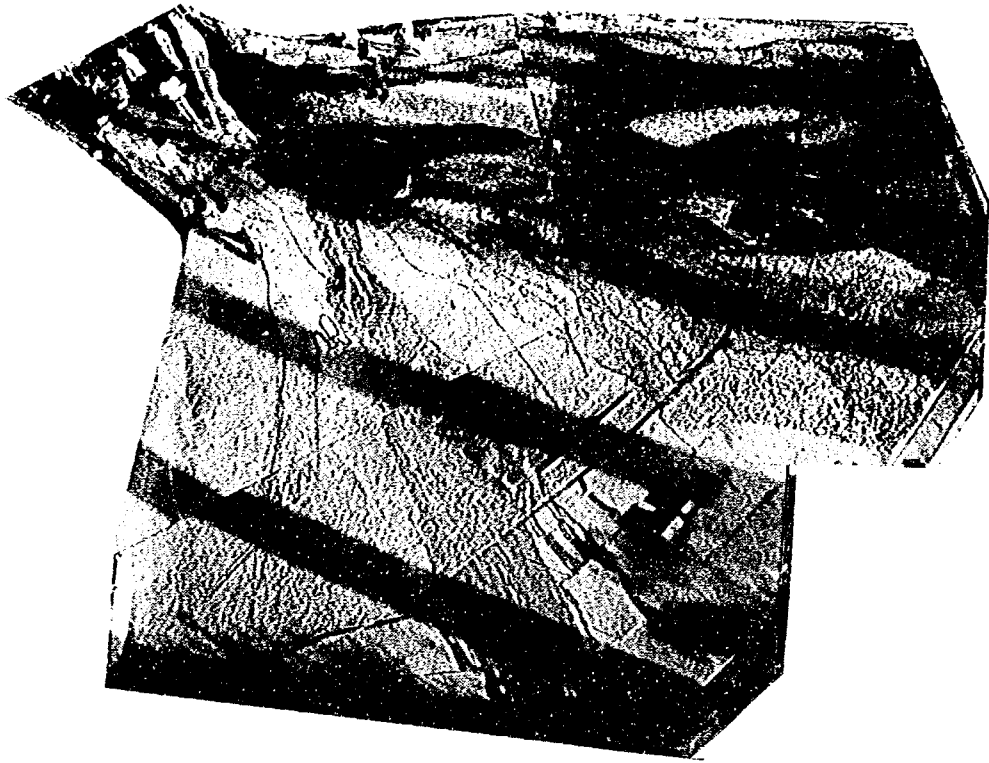
CASE-4-4 後続流, 右支, 左支同時; 10分後



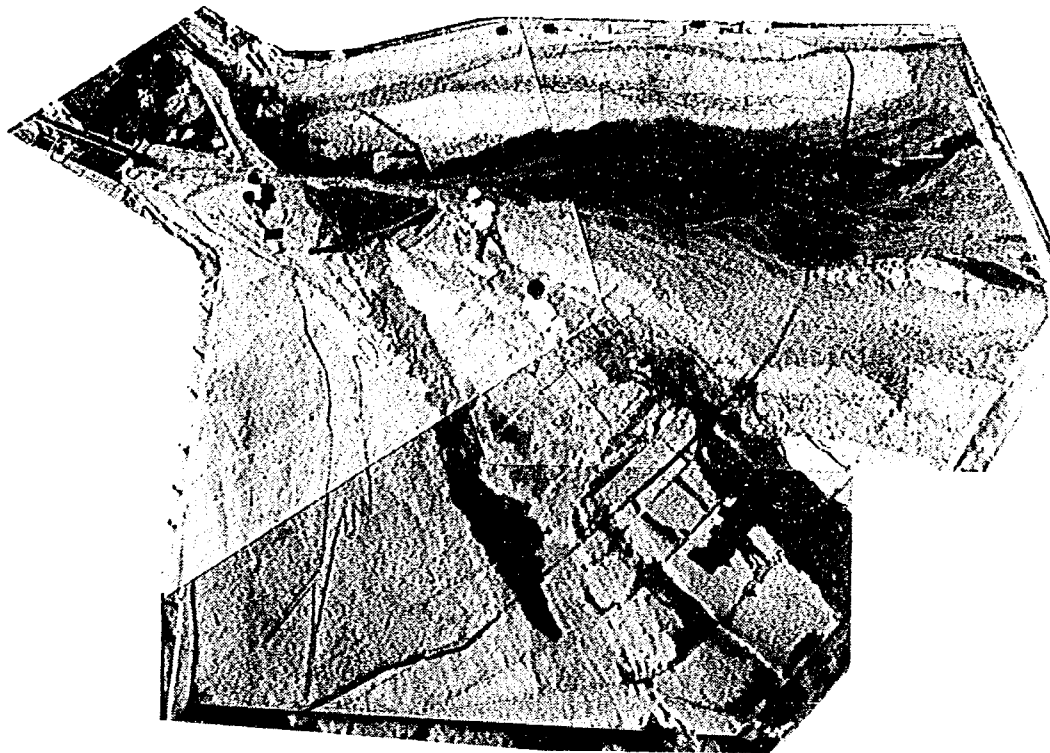
CASE-5-4 後続流，右支，左支同時；流下後



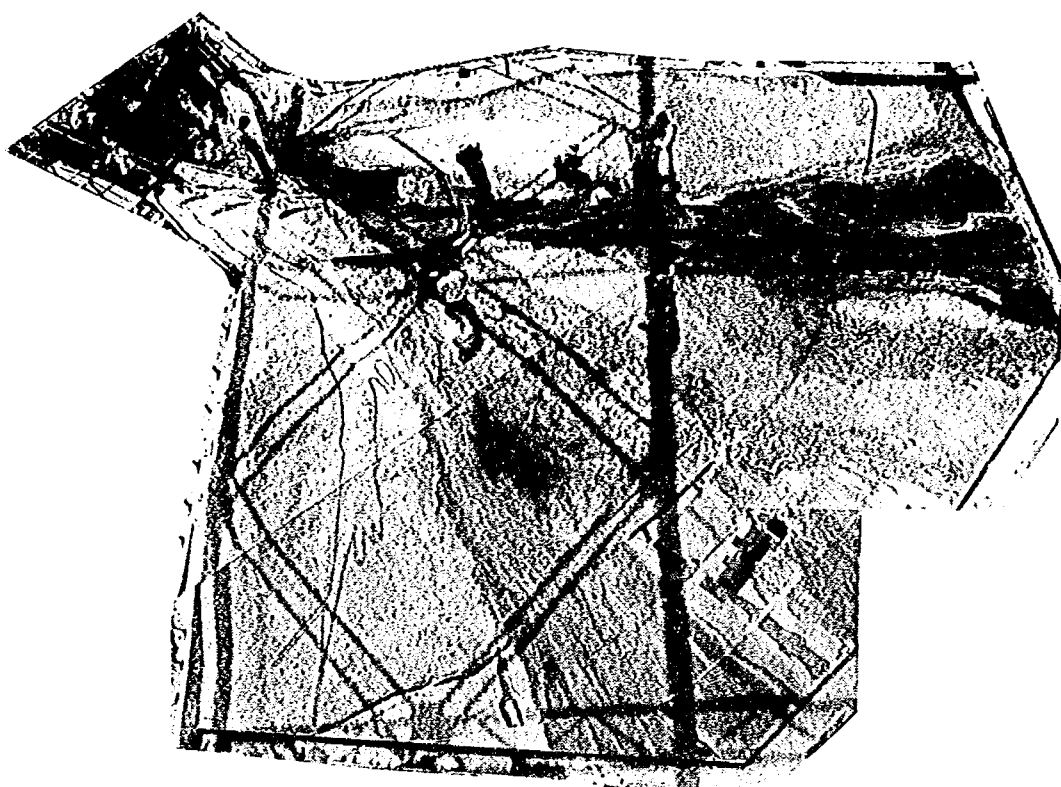
CASE-6-4 後続流，右支，左支同時；9分後



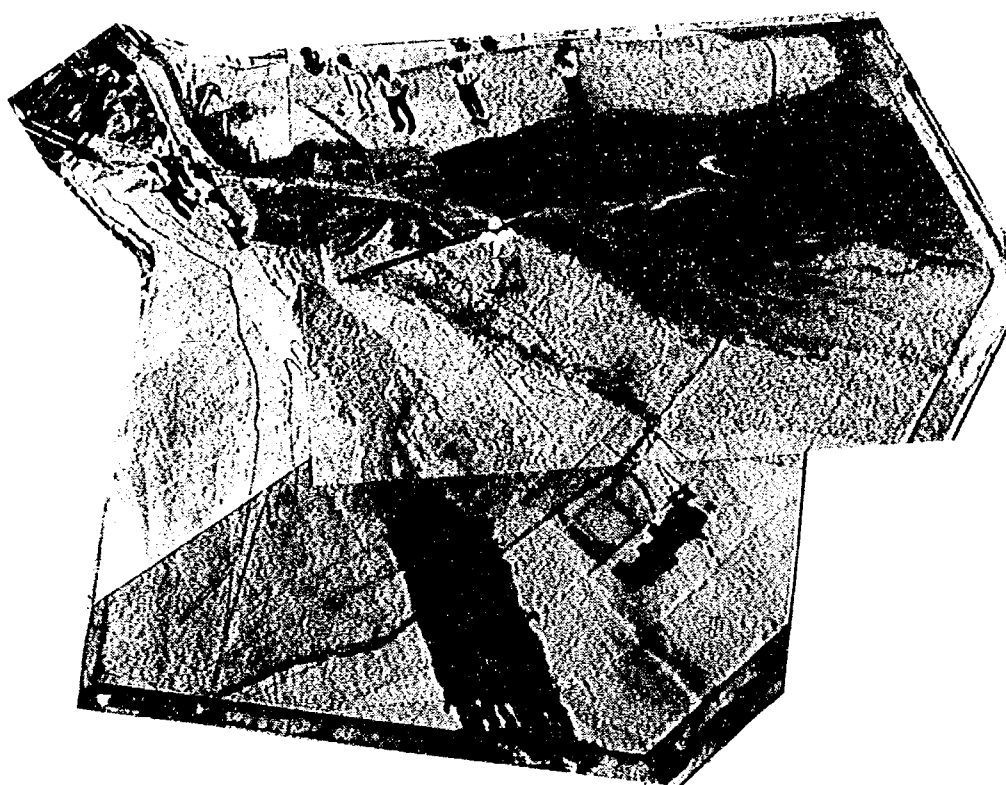
CASE-7-4 後続流，右支，左支同時；6分後



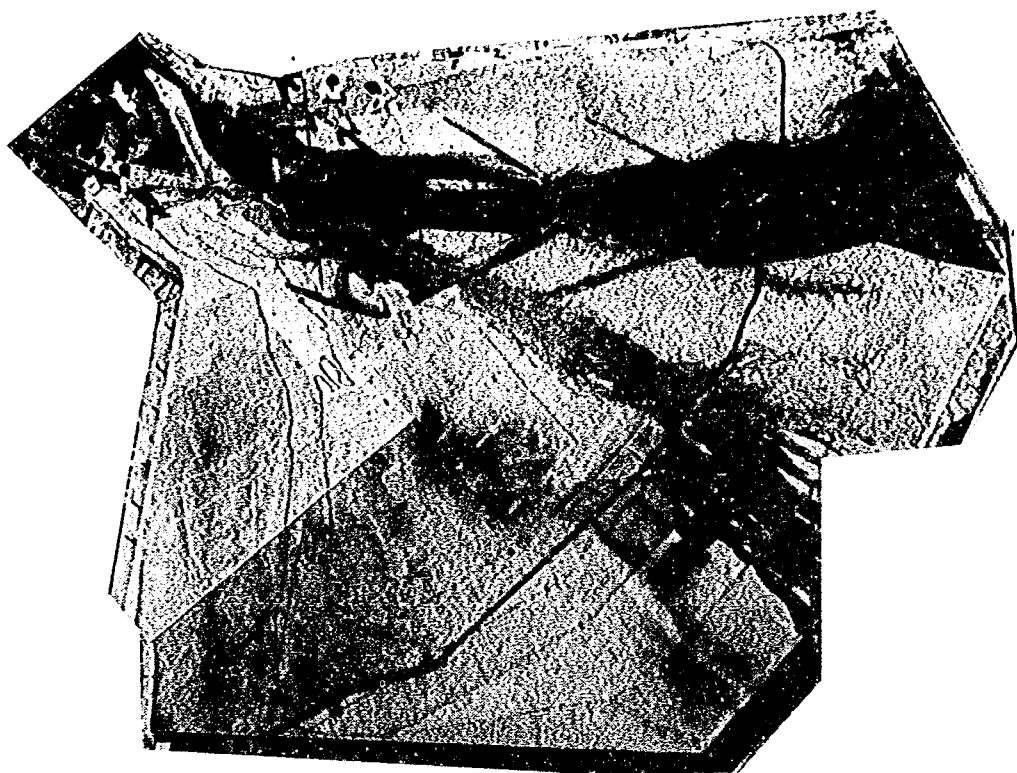
CASE-8-4 後続流，右支，左支同時



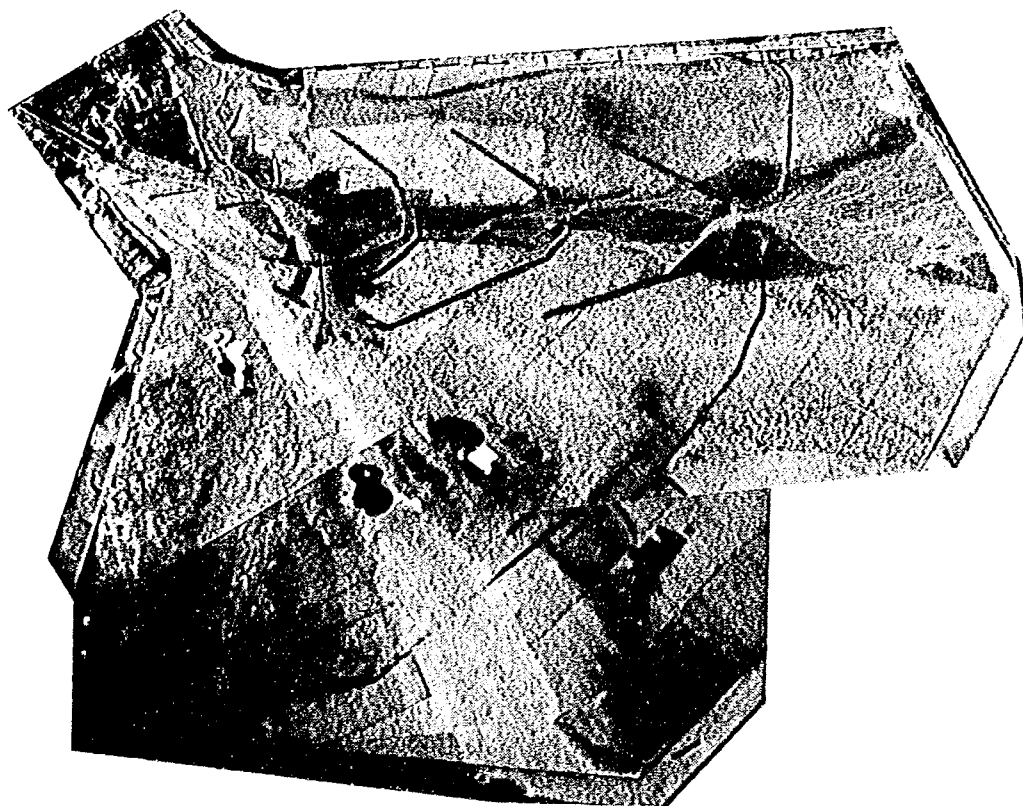
CASE-9-4 後続流，右支，左支同時；6分後



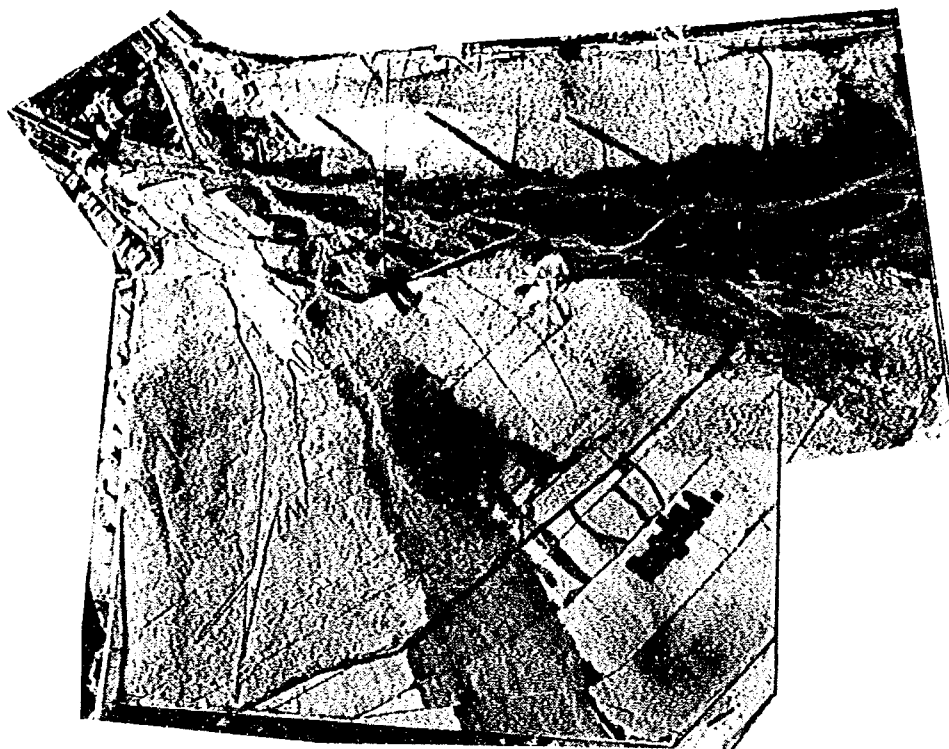
CASE-10-4 後続流，右支，左支；流下後



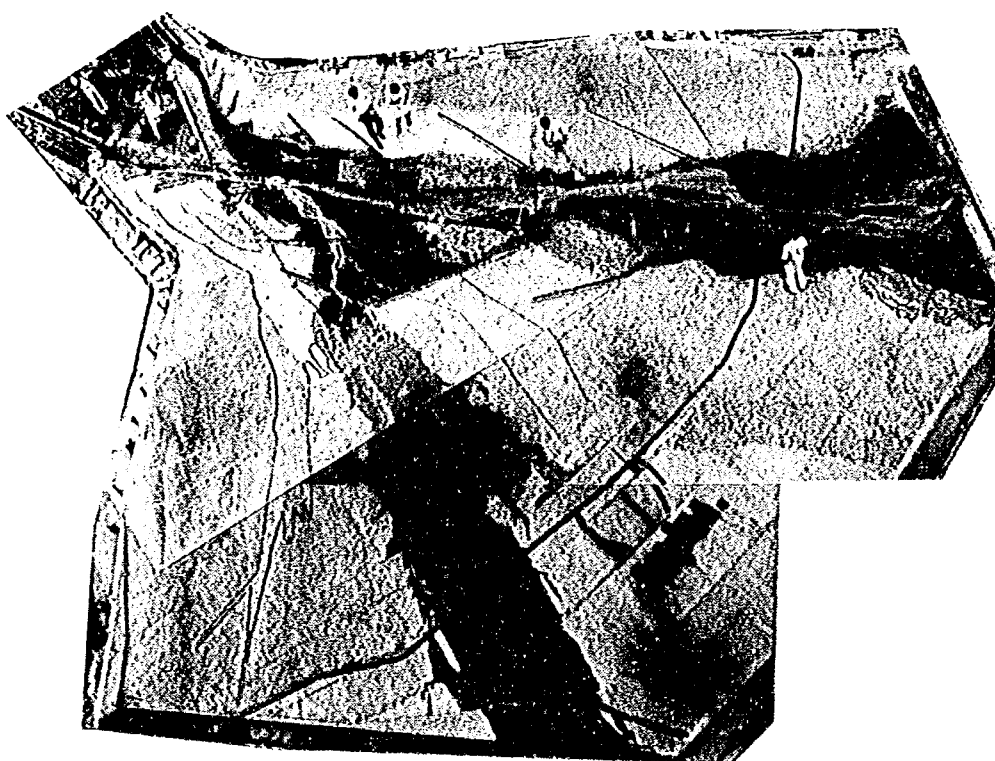
CASE-11-4 後続流，右支，左支同時；3分後



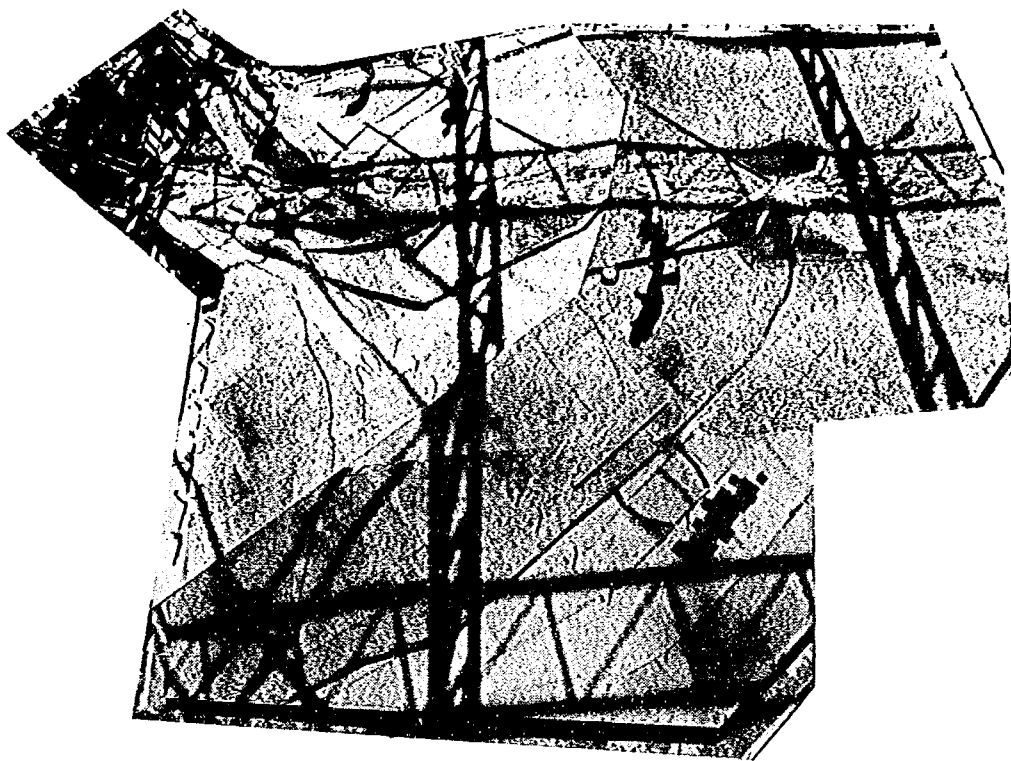
CASE-12-4 後続流，右支，左支同時；9分後



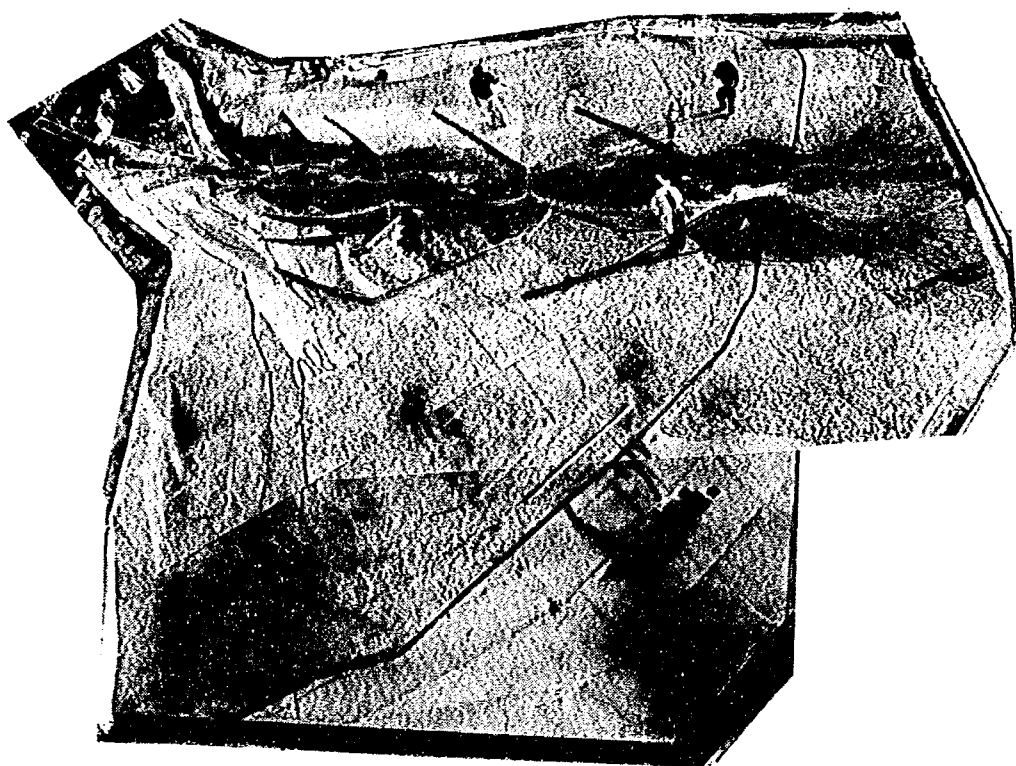
CASE-13-4 後続流, 右支, 左支同時; 9分



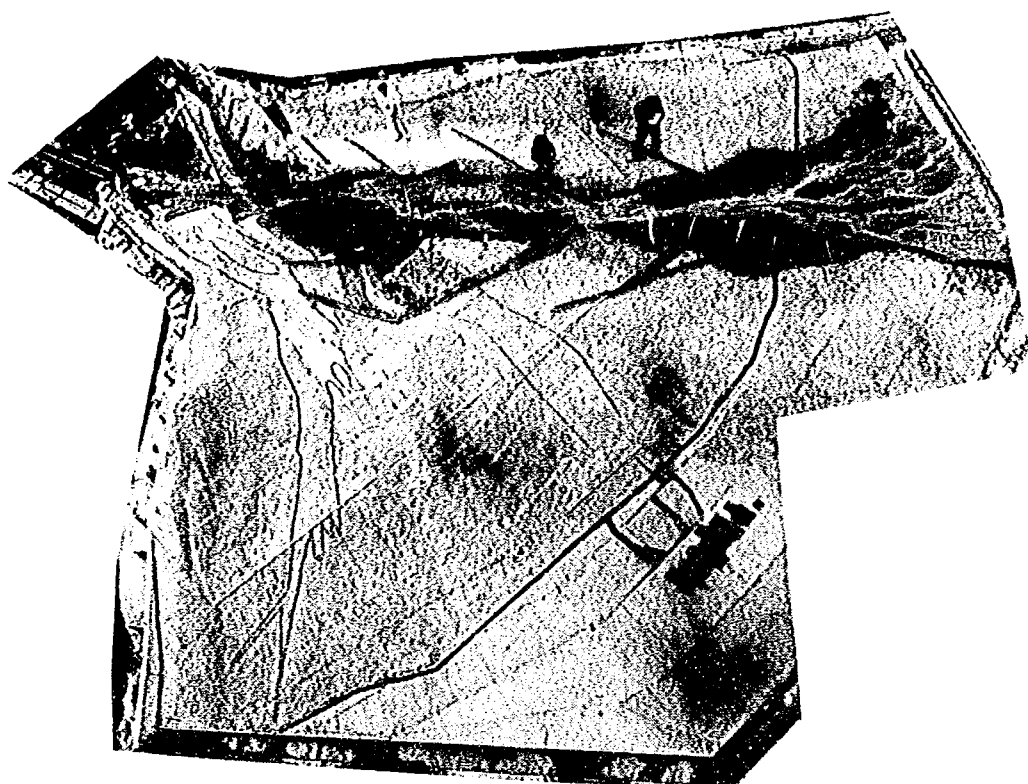
CASE-14-4 後続流, 右支, 左支同時; 6分後



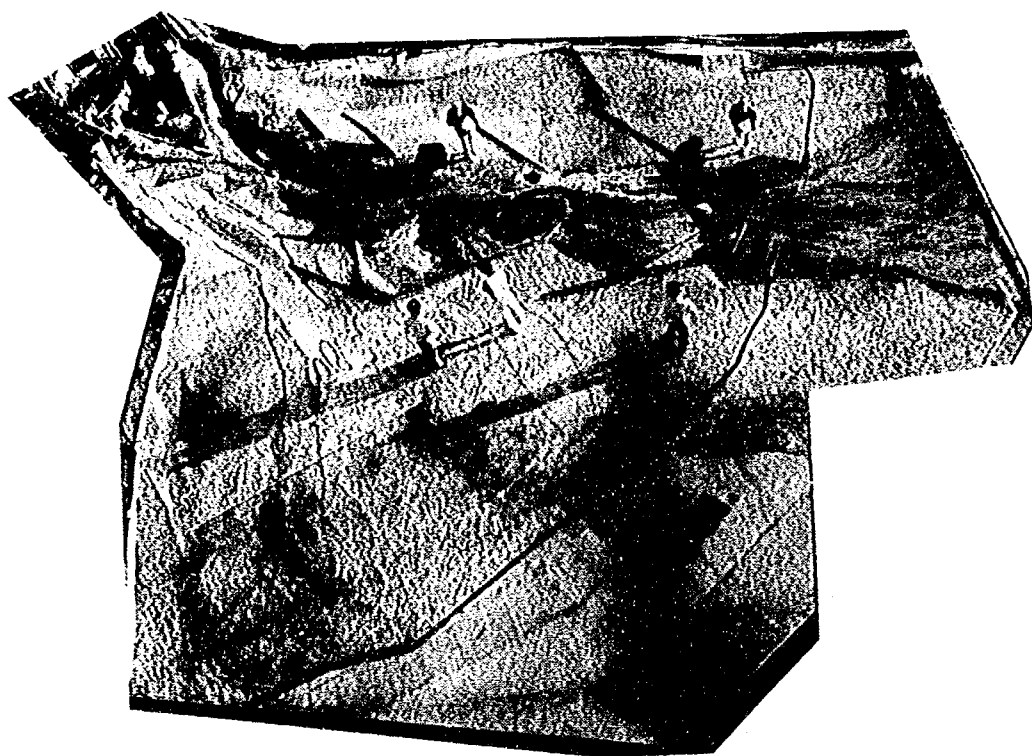
CASE-15-4 後続流，右支，左支同時；流下後



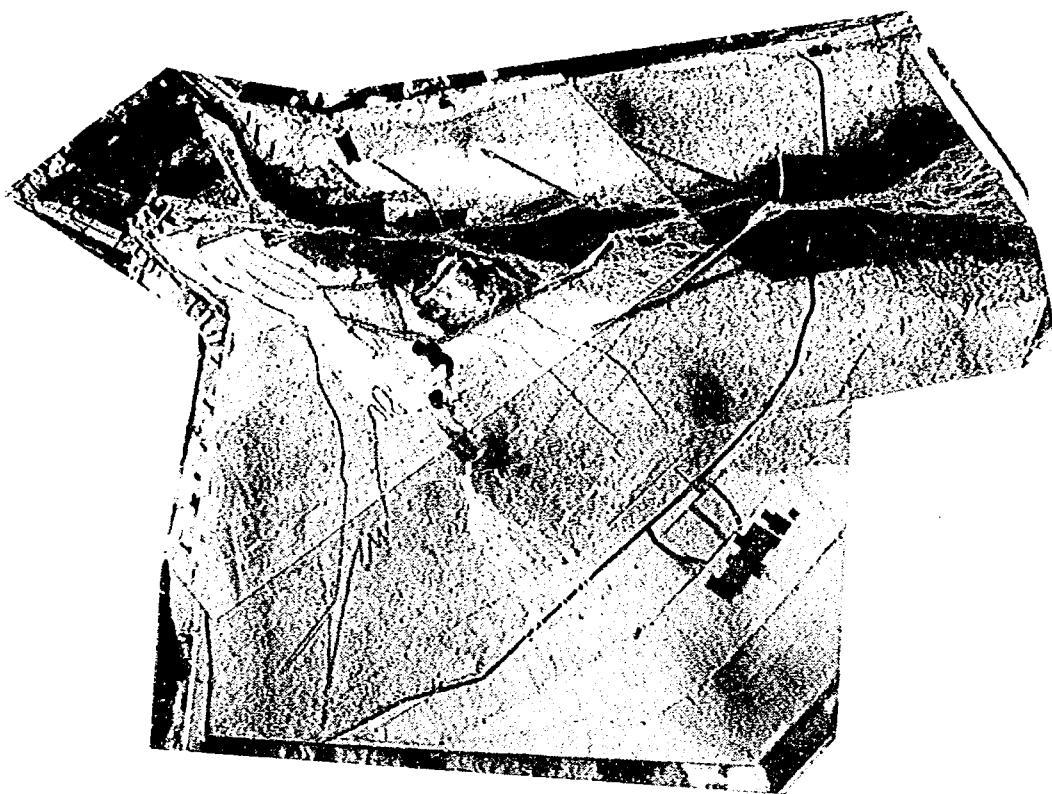
CASE-16-4 後続流，右支，左支同時；9分後



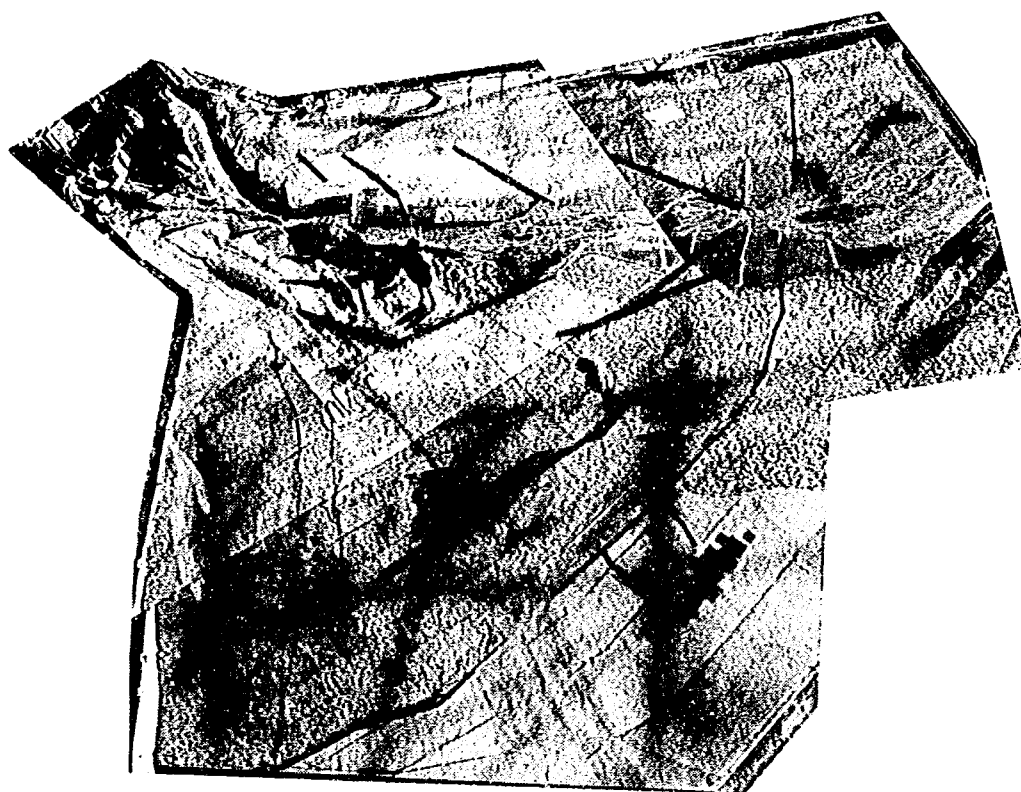
CASE-17-3 後続流, 右支, 左支同時; 3分後



CASE-18-4 後続流, 右支, 左支同時; 6分後

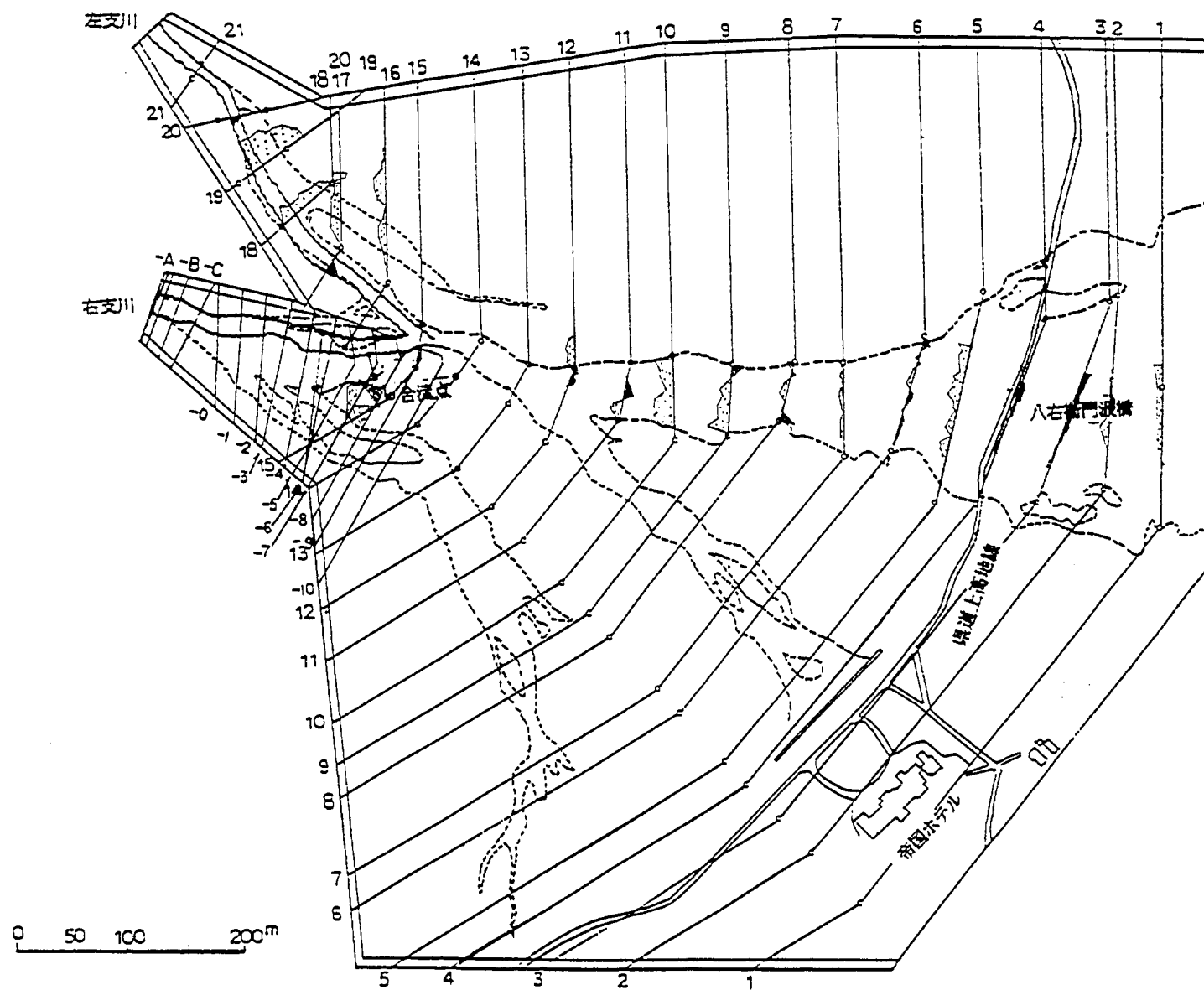


CASE-19-4 後続流，右支，左支同時；流下後

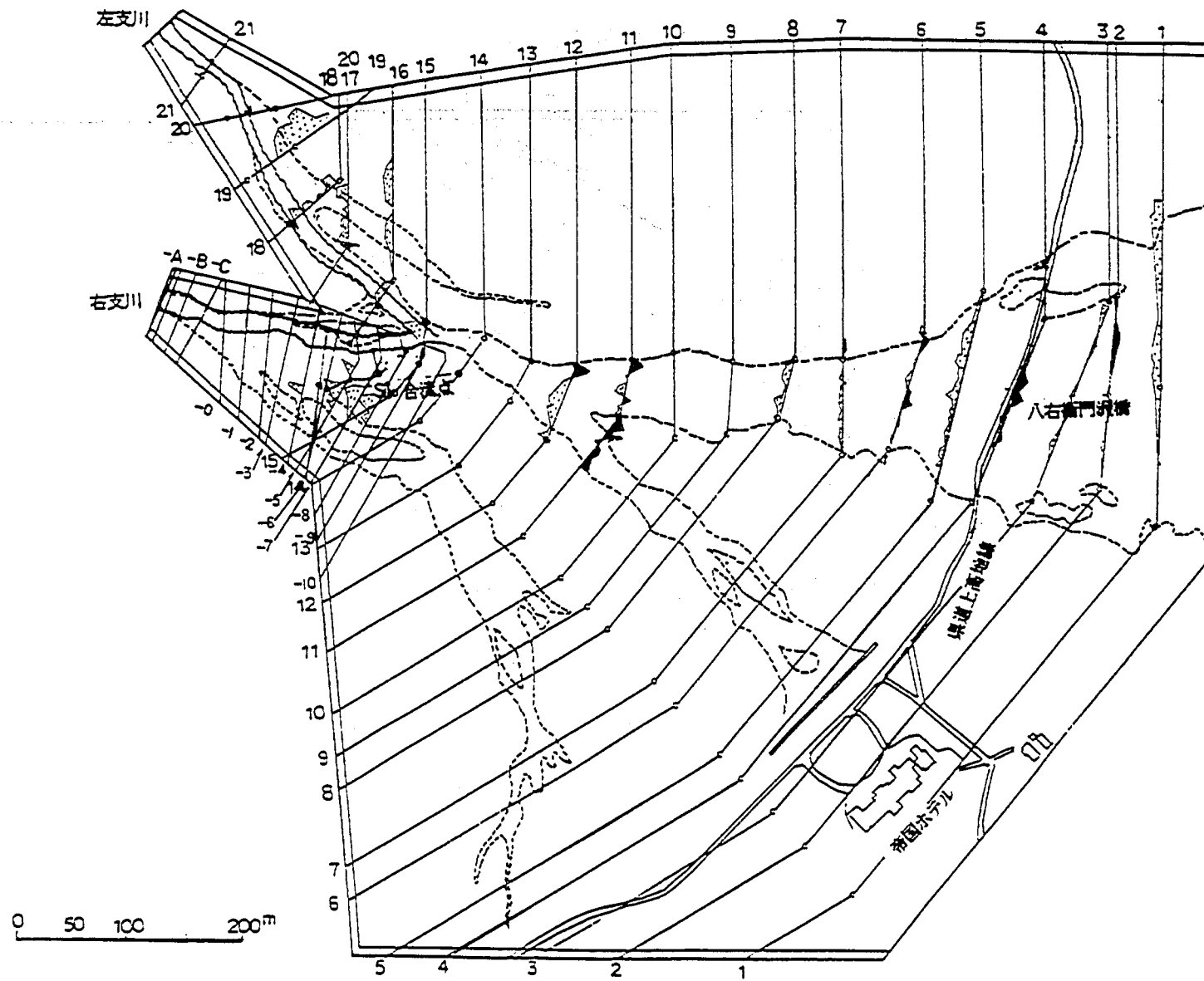


CASE-20-4 後続流，右支，左支同時；5分後

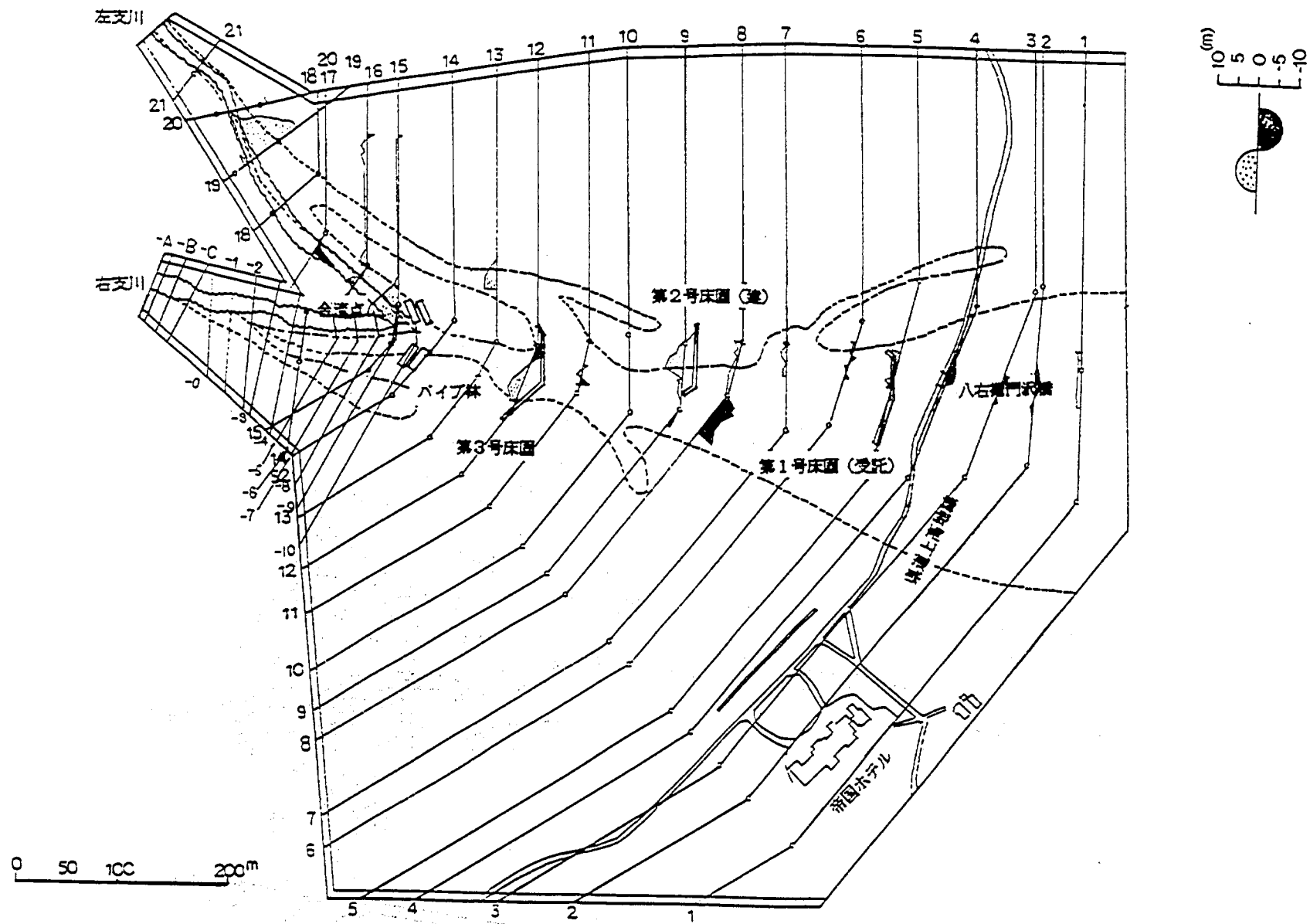
洗掘堆積平面図



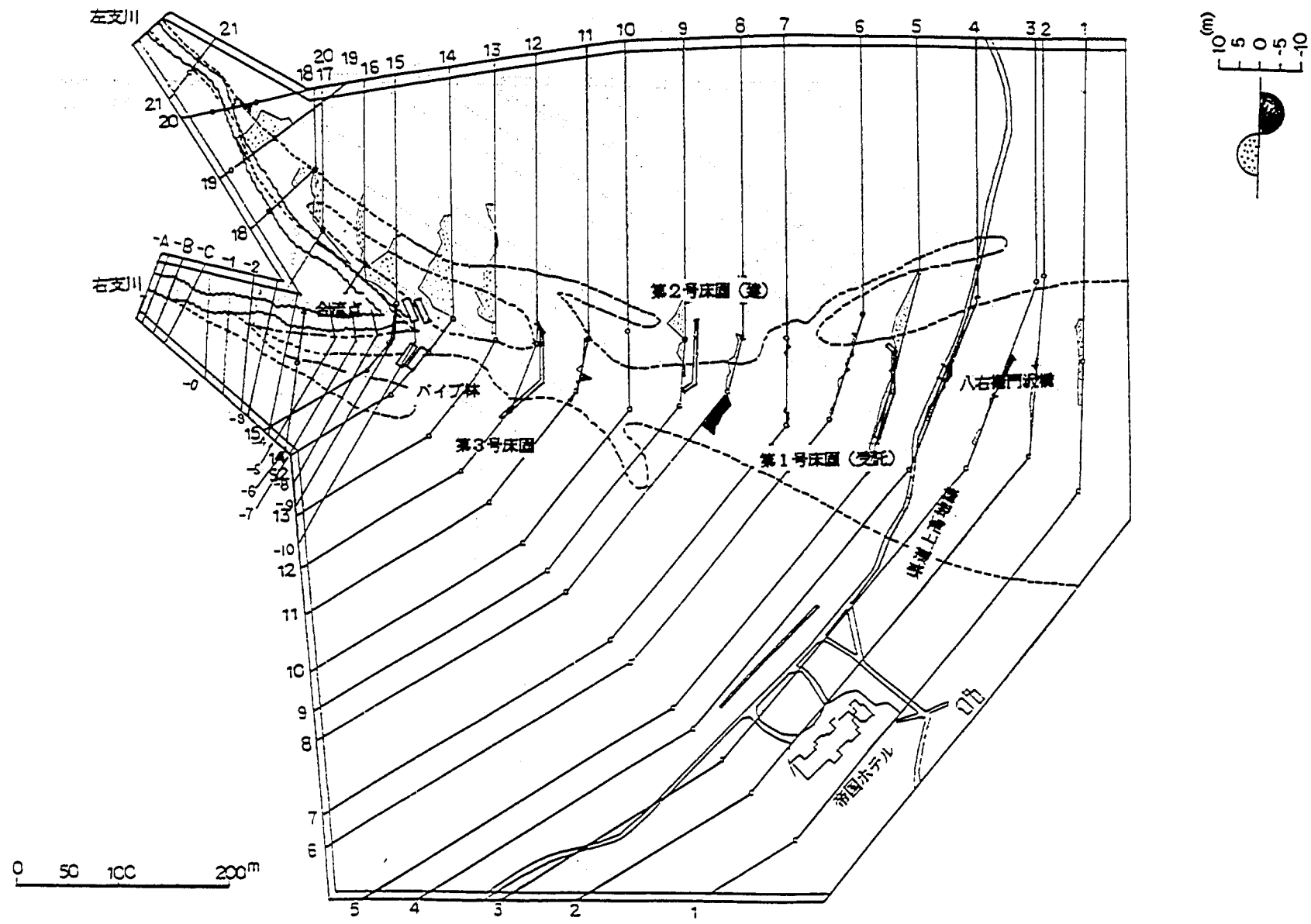
洗掘堆積平面図 (CASE-6-3)



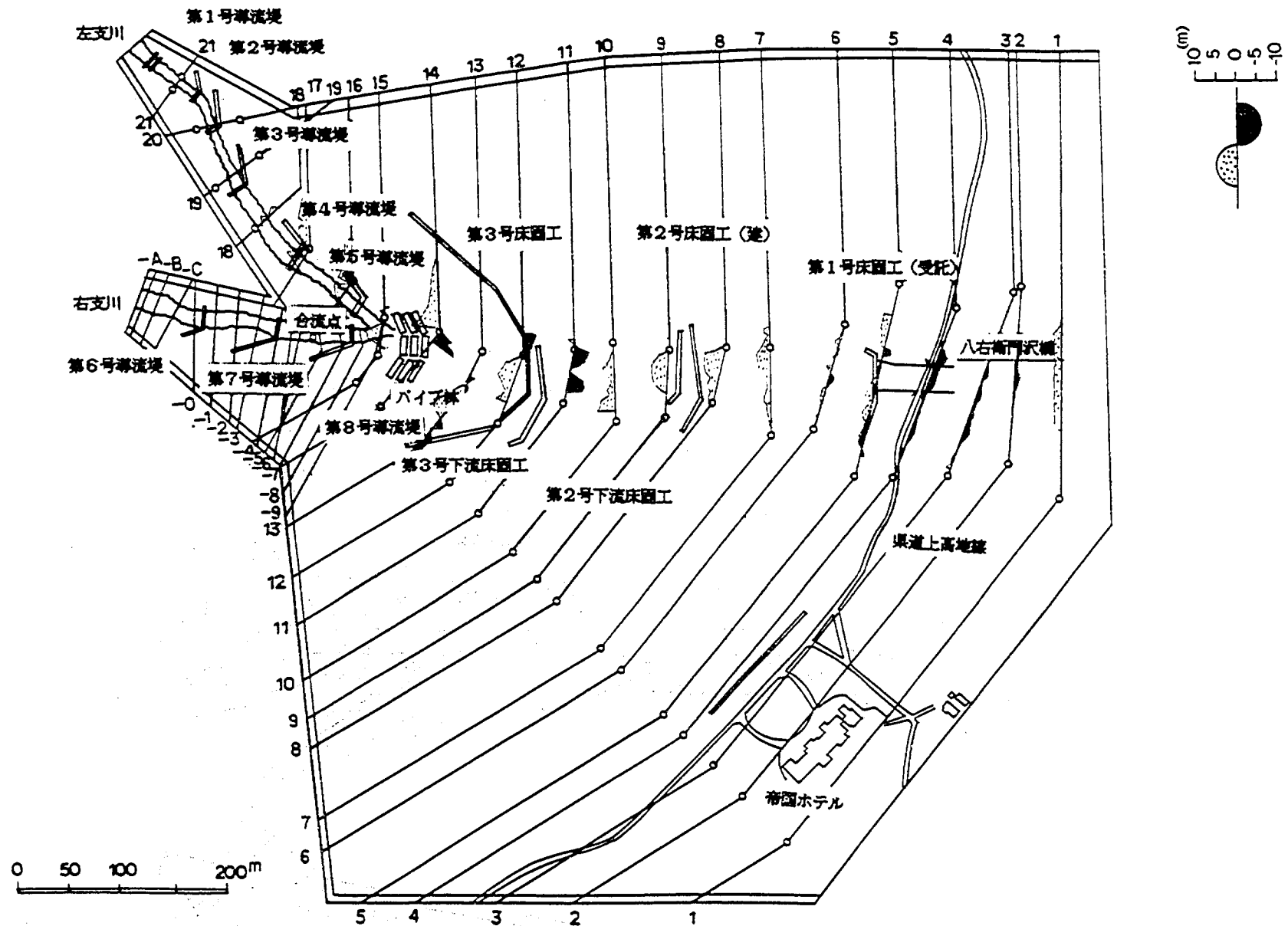
洗掘堆積平面図 (CASE-6-4)



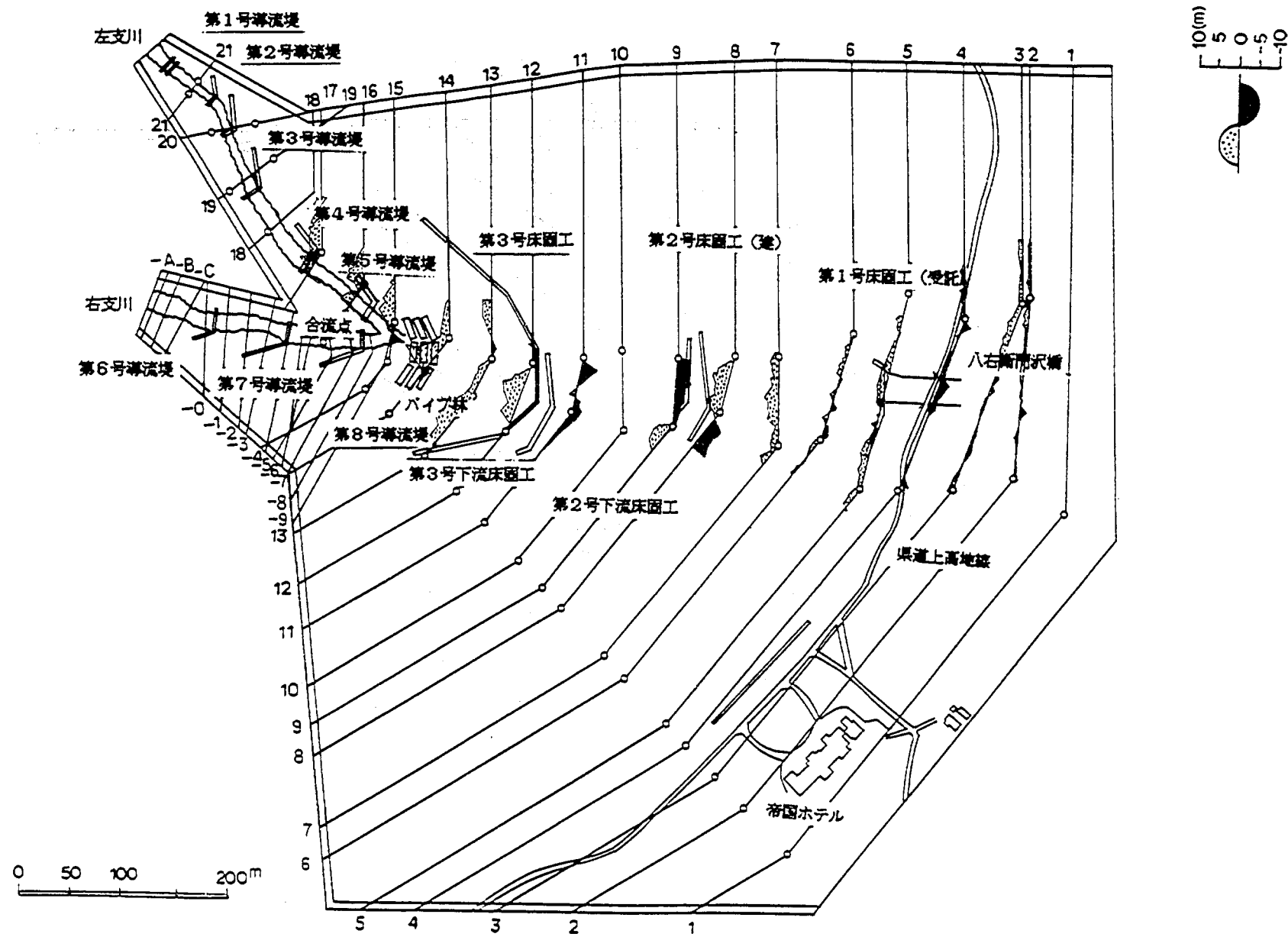
洗掘堆積平面図 (CASE-7-3)



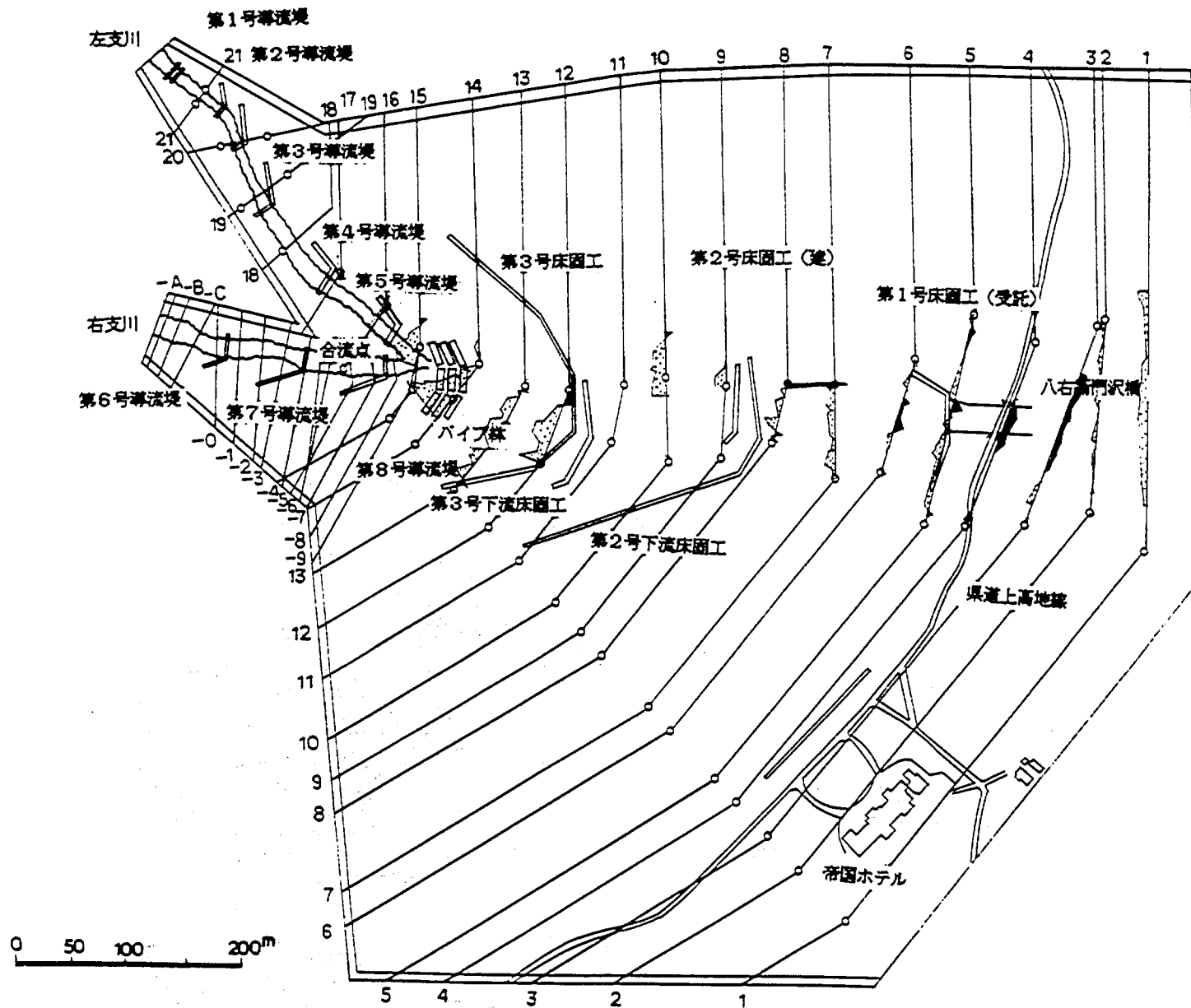
洗掘堆積平面図 (CASE-7-4)



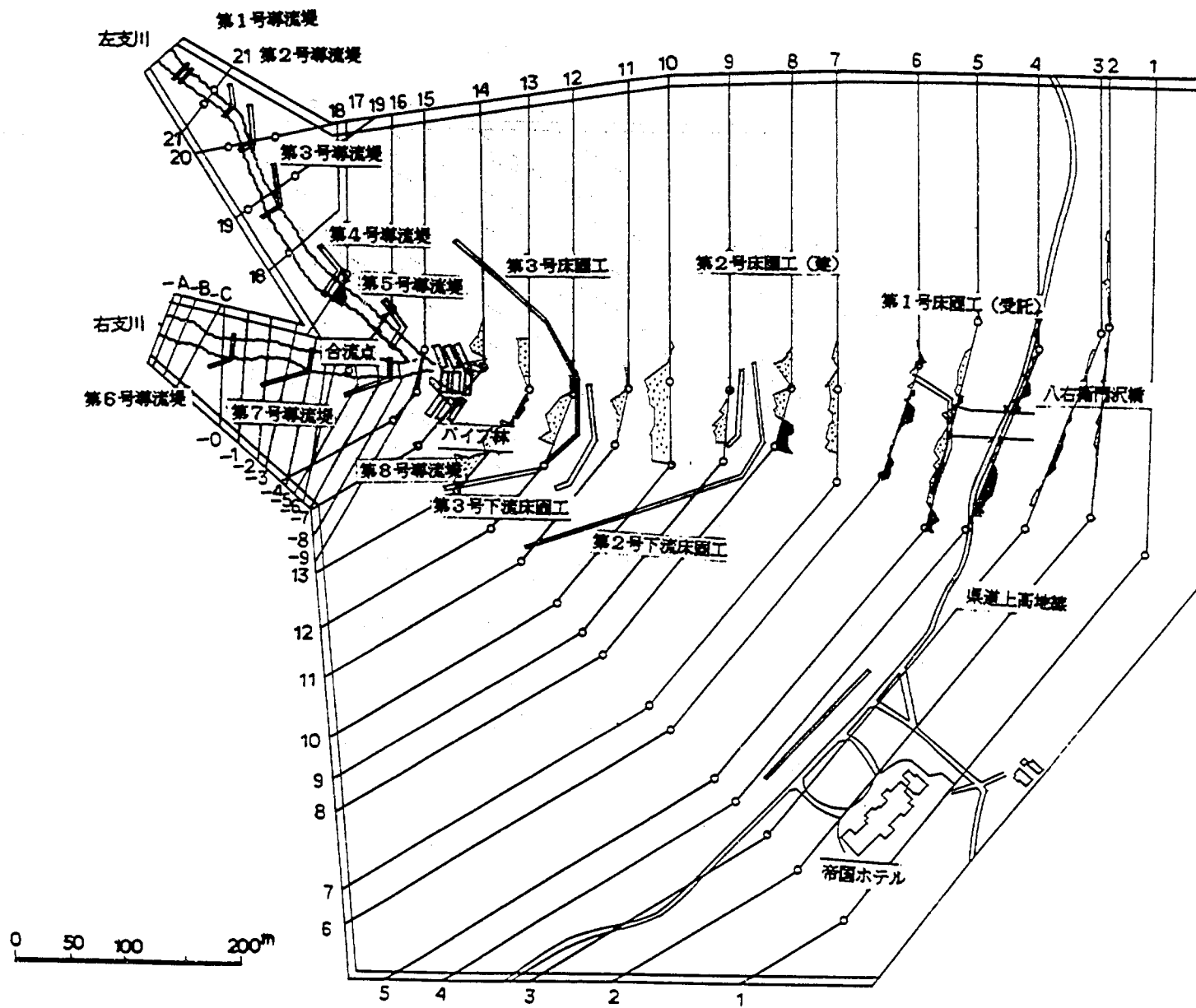
洗掘堆積平面図 (CASE-9-3)



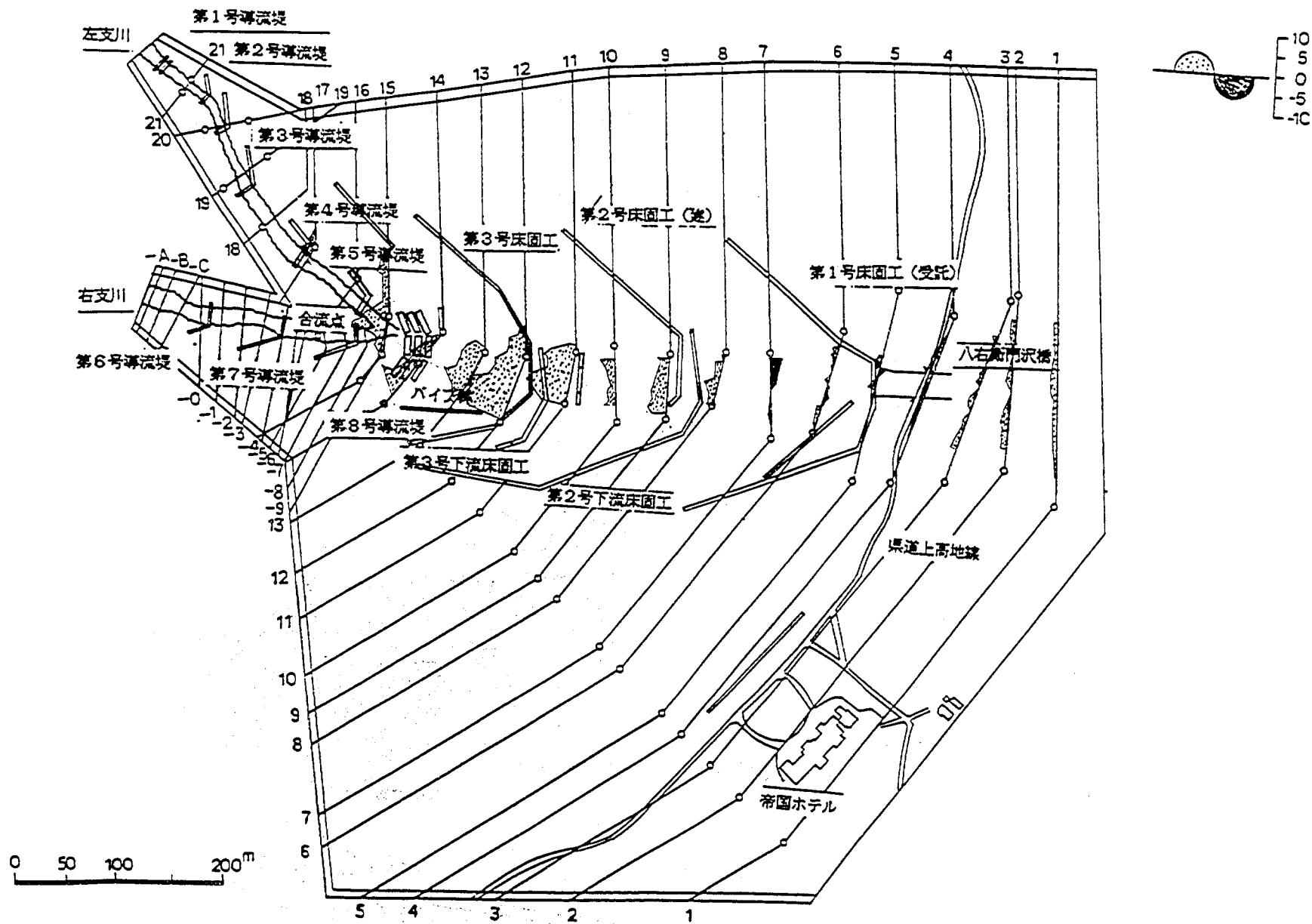
洗掘堆積平面図 (CASE-9-4)



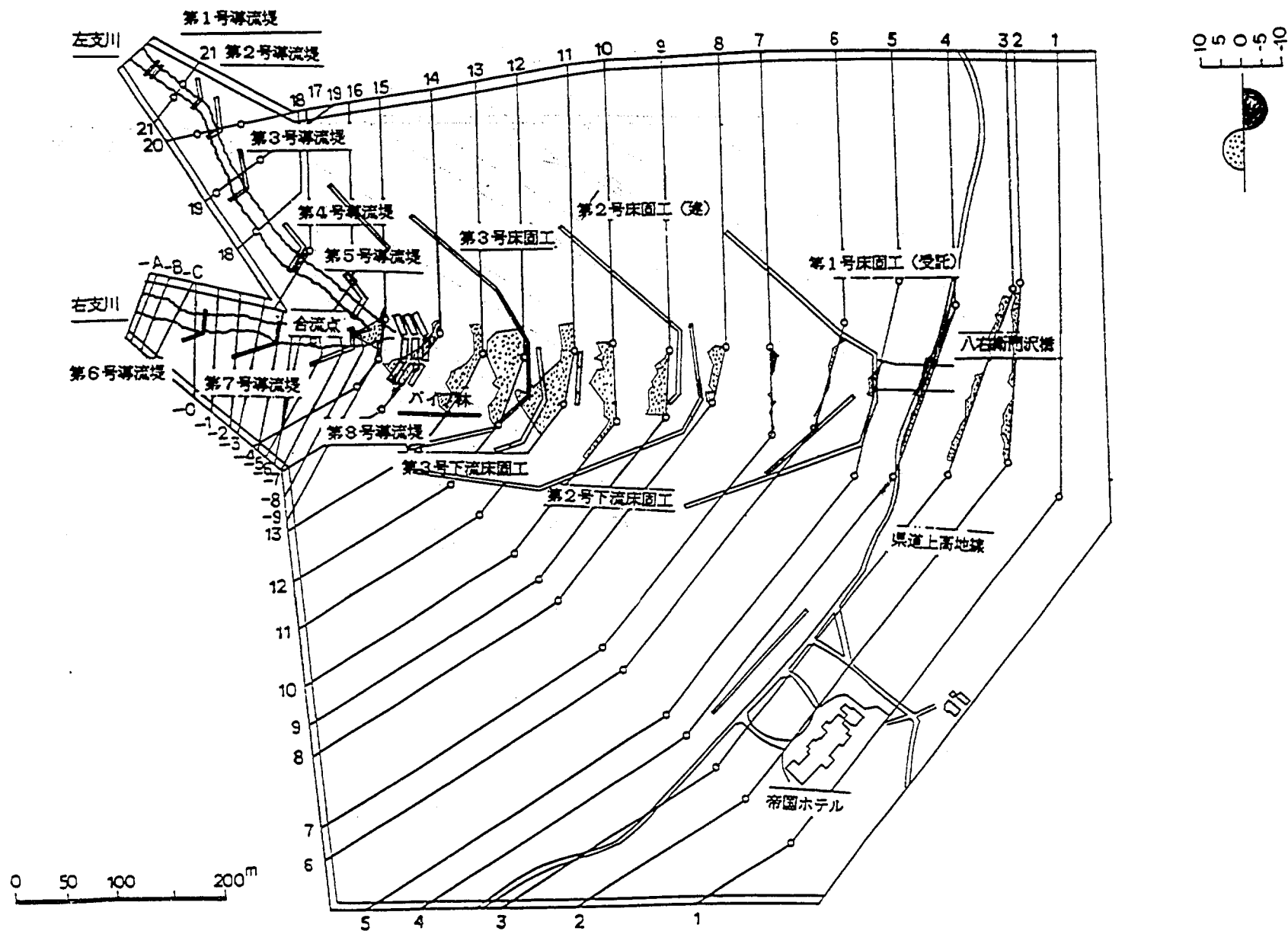
洗掘堆積平面図 (CASE-10-3)



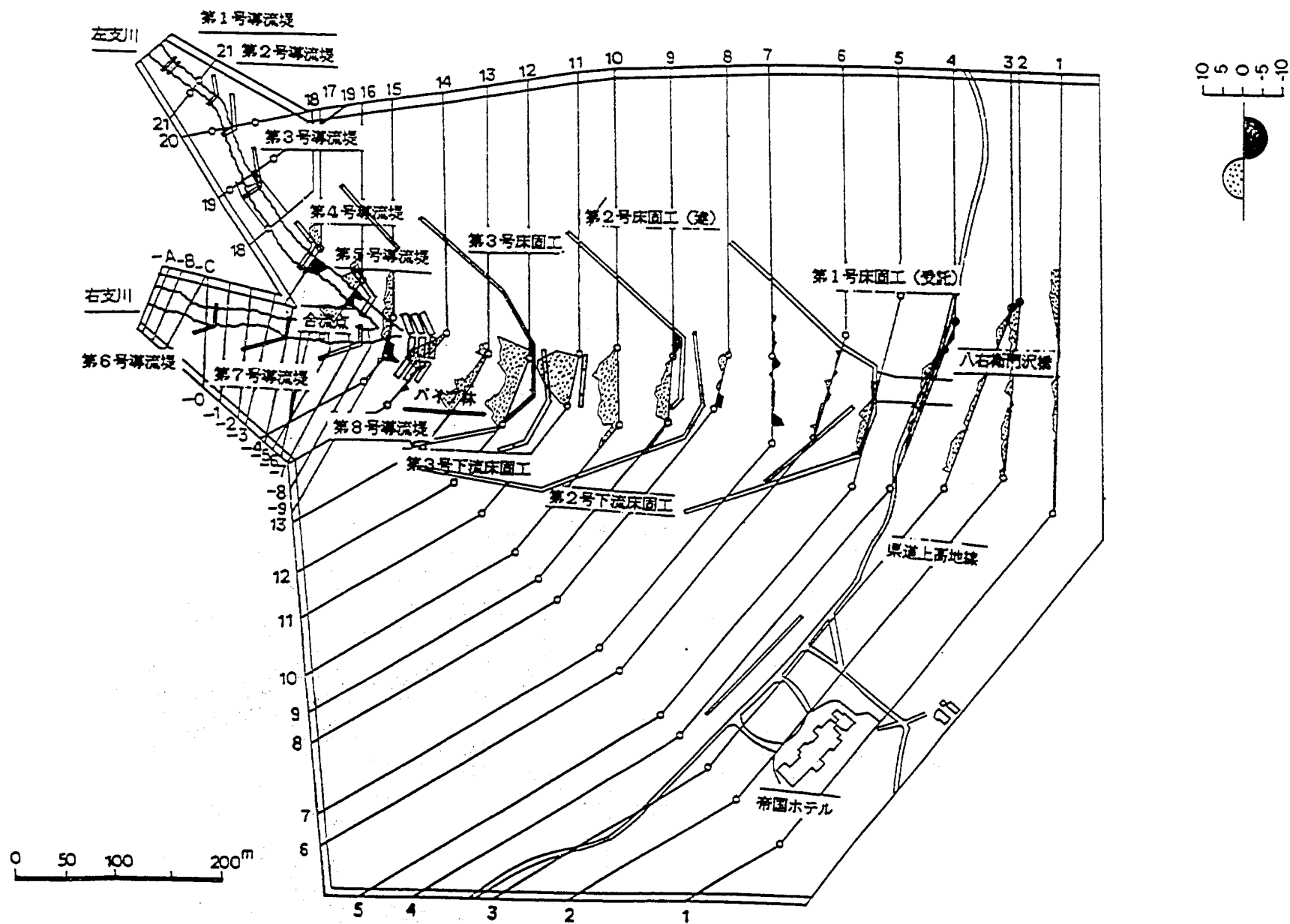
洗掘堆積平面図 (CASE-10-4)



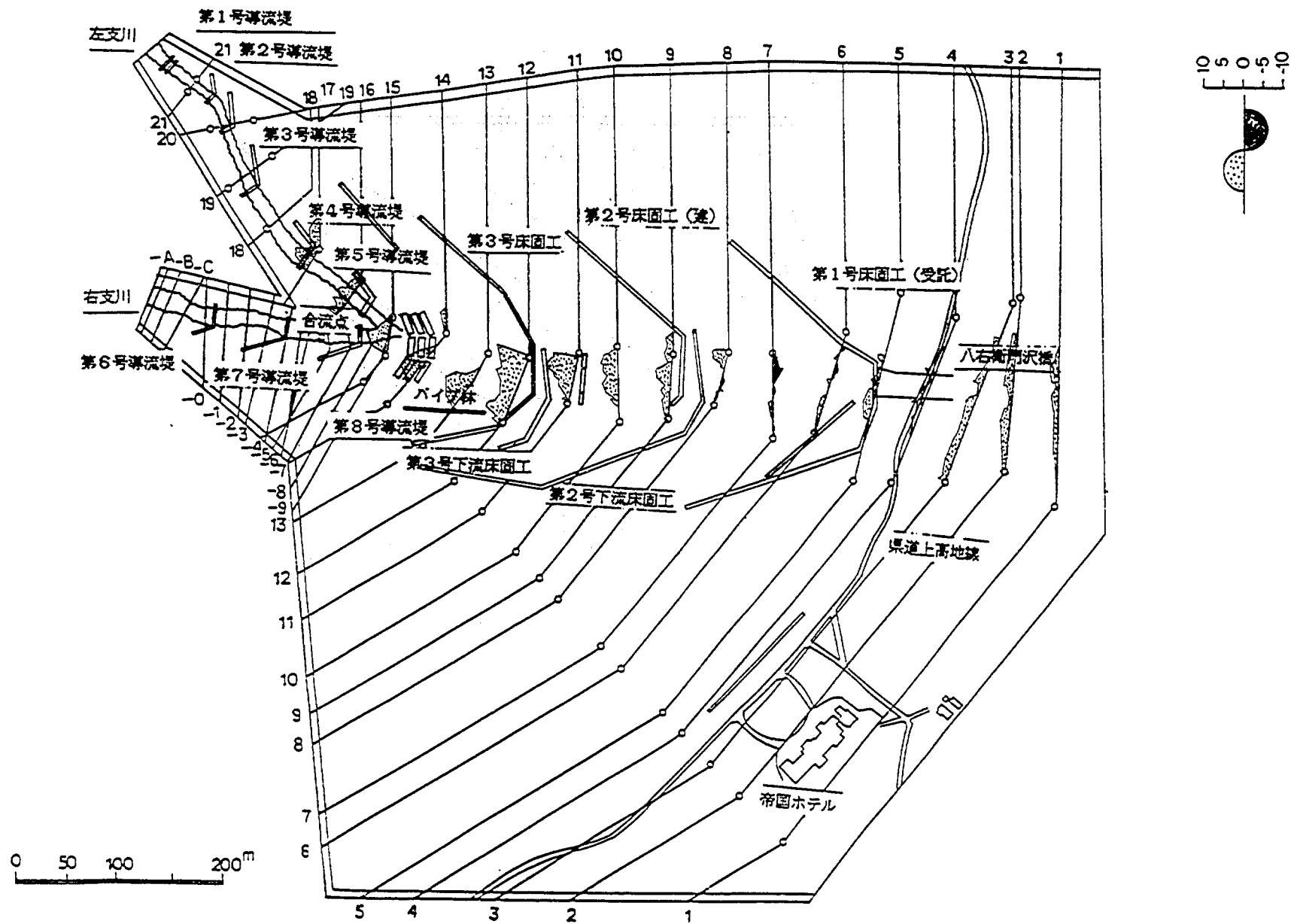
洗掘堆積平面図 (CASE-16-3)



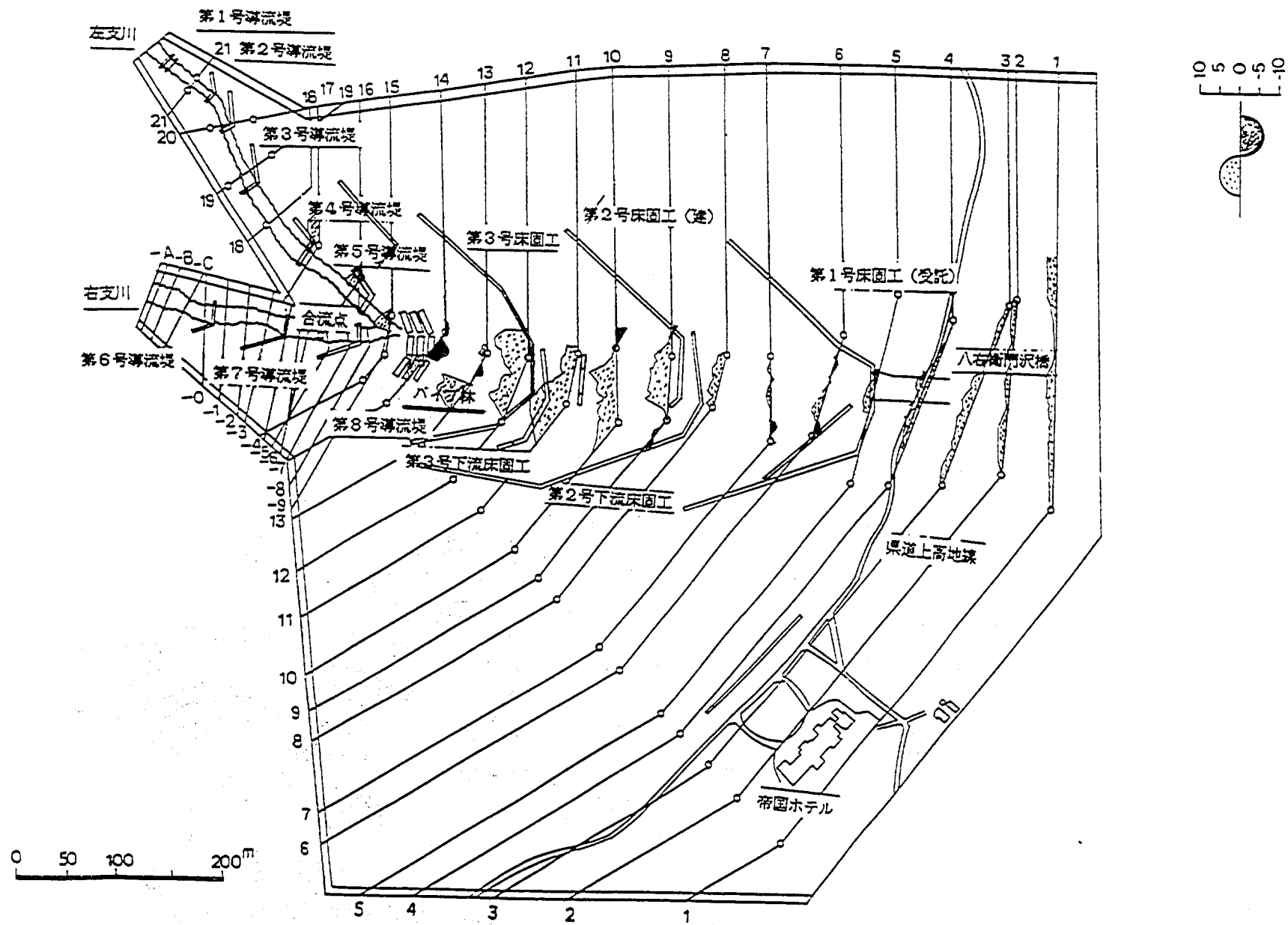
洗掘堆積平面図 (CASE-16-4)



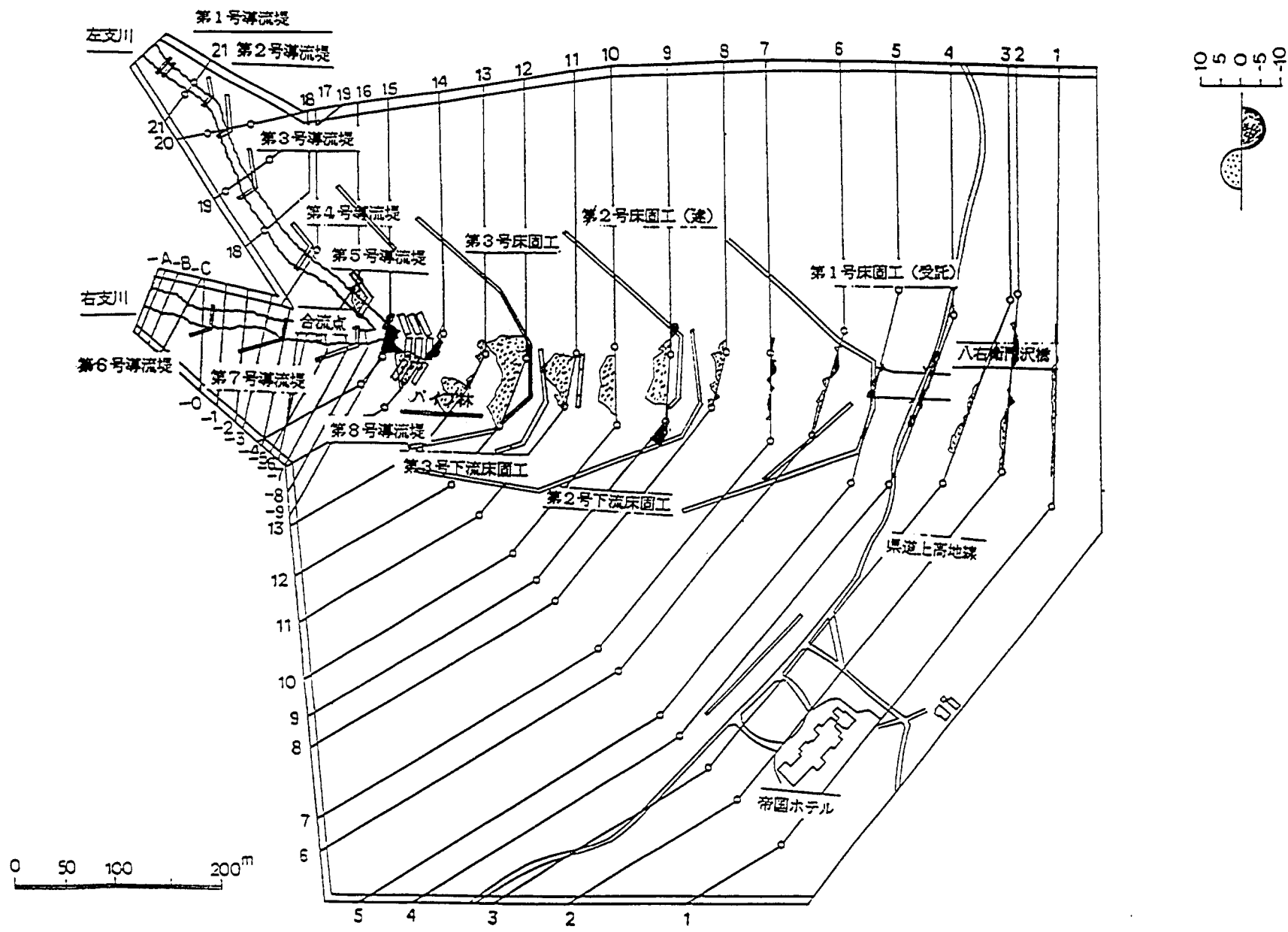
洗掘堆積平面図 (CASE-18-4)



洗掘堆積平面図 (CASE-19-3)



洗掘堆積平面図 (CASE-19-4)



洗掘堆積平面図 (CASE-20-4)

八右衛門沢水理模型
実験報告書(II)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2471号
昭和62年3月(1987)
建設省土木研究所砂防部砂防研究室 矢澤昭夫
原 義文
大場 章

要 旨 本資料は、昭和60年度に引き続き八右衛門沢における砂防施設配置計画を検討するために行なわれた水理模型実験と土石流氾濫シミュレーション計算の概要と結果を取りまとめたものである。八右衛門沢は、建設省松本砂防工事事務所管内の上高地地区にあり、土石流扇状地内に砂防施設を計画している。水理模型実験では、過去の土石流氾濫を再現できる水理諸量について再度詳しく検討を行ないスリットダム、床固工と導流堤を組み合わせた施設配置案を提案した。この施設配置案は、自然状態では扇頂部から扇状地全体に大きく広がる土石流を導流堤にて河道中央に導流させつつ、床固工および導流堤上流に土砂を堆積させるという内容のものである。また、土石流氾濫シミュレーション計算では、この施設配置の妥当性について検討を行なった。

キーワード：水理模型実験，土石流対策，扇状地対策，砂防計画，導流堤

郵便はがき

いは40
つて切
下手を
さ

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一
建設省土木研究所
砂防研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第 2471号

八右衛門沢水理模型実験報告書(II)
部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印