

ISSN 1346-7328  
国総研資料第 70 号  
平成 15 年 2 月

# 国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No.70

February 2003

## 土石流による家屋被災範囲の設定方法に関する研究

危機管理技術研究センター砂防研究室

寺田秀樹

水野秀明

Research on a Method of Estimating the Range of Debris Flow Damage to Buildings

Erosion and Sediment Control Division

Research Center for Disaster Risk Management

Hideki TERADA

Hideaki MIZUNO

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan

土石流による家屋被災範囲の設定方法に関する研究

寺田秀樹\*

水野秀明\*

Research on a Method of Estimating the Range of Debris Flow Damage to Buildings

Head

Hideki TERADA\*

Senior researcher

Hideaki MIZUNO\*

概要

本研究では、既往の研究成果や過去の土石流災害の記録を参考に、土石流によって家屋が被災すると想定される土地の区域を簡易的に設定する手法を検討した。その手法を過去の土石流災害（16事例）に適用したところ、実際に被災した人家の70%程度は家屋が被災すると想定される土地の区域内に含まれたことが分かった。

キーワード： 土石流、危険区域設定手法、適用

Synopsis

A method of easily predicting the area of land where a debris flow will damage buildings was studied with reference to records of past debris flow disasters, then the method was applied to actual past debris flows (16 cases). In the results, the range of damage to buildings predicted by this method enclosed about 70% of the buildings actually damaged by the debris flows.

Key words: Debris flow, Method for identifying dangerous area, application

---

\* 危機管理技術研究センター砂防研究室  
Erosion and Sediment Control Division, Research Center for Disaster  
Risk Management

## 目次

1.	はじめに	1
2.	土石流による家屋被災範囲の設定方法	2
2.1	対象とする土石流	2
2.2	家屋被災範囲の設定方法	2
2.2.1	家屋被災範囲の定義	2
2.2.2	設定手順	2
2.2.3	基準地点の設定	2
2.2.4	基準地点における土石流のピーク流量の算出	2
2.2.5	土石流の流下経路の設定	3
2.2.6	流体力と耐力の算出	3
2.2.7	家屋被災範囲の図示方法	8
3.	家屋被災範囲を設定する手法の精度	9
3.1	評価方法	9
3.2	適用した災害事例の概要	11
3.3	適用ケースと条件	12
3.4	適用結果	14
3.4.1	適用ケース①	14
3.4.2	適用ケース②	16
3.4.3	適用ケース③	19
4.	まとめ	24
5.	おわりに	25
巻末資料1	家屋被災範囲の設定フロー	26
巻末資料2	家屋被災範囲の設定結果	32
検証ケース①		33
検証ケース②		81
検証ケース③		99

## 1. はじめに

土石流災害を防止・軽減するために対策を講じることは緊急の課題である。土石流によって発生した土砂災害（以後、「土石流災害」と呼ぶ）の件数は平成9年度から平成13年度の5ヵ年で年平均200件に達し、年平均24名の方々が犠牲となっている<sup>1</sup>。そのような被害を防止・軽減する対策には、砂防堰堤等のような構造物によるハードな対策と土石流による危険に対し避難するなどのソフトな対策とがある。これらの対策を組み合わせることで効率的に推進していくことが重要となる。特に、ソフトな対策については、警戒避難体制の整備や一定の開発行為の制限等を行うことによって土砂災害から住民を守ることを目的とした「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」<sup>2</sup>が平成13年4月1日より施行されたところである。

この法律では、土石流等によって建築物の損壊が生じ住民等の身体に危害の生じるおそれのある土地の区域において一定の開発行為の制限や建築物の構造を規制する。そのような土地の区域を設定する溪流には土石流危険溪流が挙げられるが、その数は全国に79,318箇所（平成5年調べ）<sup>3</sup>も存在する。このように膨大な箇所で設定する必要があることを考慮すると、設定方法は簡便な手法であることが望まれる。

しかし、設定された土地の区域内では開発行為の制限等が課せられるため、設定方法は簡便なものであっても、土石流災害の実態に則したもので被害実態を精度良く再現できるものでなければならない。そこで、設定手法を既往の研究成果や過去の土石流災害の記録を参考に検討し、過去の土石流災害に適用して精度を検証することを本研究の目的とする。また、過去の土石流災害への適用に際しては、流出土砂量や土石流の氾濫開始点といった災害実績をなるべく用いることなく、現地調査等で得られる情報を用いる。これは、土石流災害の発生件数が土石流危険溪流の総数に対して少ないことから、全ての土石流危険溪流で災害実績を有しているとは考えにくいためである。なお、本研究では過去の土石流災害に関する記録が整備されていた16事例を対象とした。

設定手法は基本的に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令第2条第2号の規定に基づき国土交通大臣が定める告示」(平成13年3月28日国土交通省告示第332号)に基づくが、その告示に記載されていない土石流の水理量の算出方法については過去の土石流災害の記録を参考に検討する。

<sup>1</sup> 財団法人砂防・地すべり技術センター（2002）：平成13年土砂災害の実態、p.15

<sup>2</sup> 国土交通省砂防部（2001）：土砂災害防止法の施行に当たって、砂防と治水第139号、pp.27-56

<sup>3</sup> 社団法人全国治水砂防協会（2001）：砂防便覧（平成11年度版）、p.655

## 2. 土石流による家屋被災範囲の設定方法

### 2. 1 対象とする土石流

過去に桜島<sup>4</sup>や焼岳<sup>5</sup>で観測された土石流の流量の時間変化を見ると、ピークが30分から1時間といった短い間に1回しか現れない場合や複数回現れたる場合など、ピークが何回生じるのか一概に言えない。また、ピークが複数回現れる場合、最も大きいのが第1波目に現れたり、第2波目以降に現れたりするなど、何波目が最大となるのかという点についても一概に言えない。そこで、本資料では土石流発生時に必ず生じる第1波目に最も大きいピークが生じると想定する。

### 2. 2 家屋被災範囲の設定方法

#### 2. 2. 1 家屋被災範囲の定義

本資料では、土砂災害のおそれのある土地の区域の中で、家屋が被災する土地の区域を「家屋被災範囲」と呼ぶことにし、その範囲は後述する方法で算出した流体力が耐力を上回る土地の区域とする。

2. 2. 2以降で述べる設定手順は本資料で用いたものである。

#### 2. 2. 2 設定手順

家屋被災範囲を設定する手順は大きく分けると5段階から構成される。第一段階では基準地点の設定、第二段階では基準地点における土石流のピーク流量の算出、第三段階では土石流の流下経路の設定、第四段階において流下経路上の地点での流体力と耐力の算出、第五段階において流体力と耐力の比較と家屋被災範囲の図示を行う。

#### 2. 2. 3 基準地点の設定

本資料でいう基準地点とは、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律施行令」(平成13年政令第84号)でいう土石流についての「流水が山麓における扇状の地形の地域に流入する地点」とし、設定方法は第3章で述べる。

#### 2. 2. 4 基準地点における土石流のピーク流量の算出

基準地点における土石流のピーク流量は式(2.1)で算出する。

$$Q_{SP0} = \frac{0.01V_0C_s}{C_{d0}} \quad \dots (2.1)$$

<sup>4</sup> 建設省九州地方建設局大隈工事事務所(1995): 桜島の土石流2、p.30

<sup>5</sup> 諏訪浩(1988): 土石流先端への大岩塊の集中機構、京都大学防災研究所年報第31号B-1、pp.139-151

ここで、 $Q_{SP0}$ ：基準地点における土石流のピーク流量[m<sup>3</sup>/s]、 $V_0$ ：基準地点における土石流により流下する土石等の量（空隙込み）[m<sup>3</sup>]、 $C_*$ ：堆積土砂の容積濃度、 $C_{d0}$ ：基準地点における土石流の土砂濃度である。 $V_0$ は溪床に堆積している溪床堆積土砂量( $Ve'$ )と、対象とする降雨で運搬できる運搬可能土砂量<sup>6</sup>( $Vec$ )を比較して小さい方の値とする。 $Ve'$ は基準地点より上流の溪流での値のうち最も大きい値とする。なお、この場合の溪流とは、基準地点を起点として上流へ一本の線で引ける溪流である。また、 $Vec$ は式(2.2)、(2.3)から算出する。

$$f_r = 0.05 \cdot (\log A - 2.0)^2 + 0.05 \quad \dots (2.2)$$

$$V_{ec} = \frac{10^3 \cdot R_T \cdot A}{1 - \lambda} \left( \frac{C_{d0}}{1 - C_{d0}} \right) f_r \quad \dots (2.3)$$

ここで、 $f_r$ ：流出補正率、 $A$ ：流域面積[km<sup>2</sup>]、 $R_T$ ：24時間雨量[mm/24hrs.]、 $\lambda$ ：空隙率である。また、 $C_{d0}$ は基準地点における土石流の土砂濃度で、式(2.4)で算出する。

$$C_{d0} = \frac{\rho \tan \theta_0}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta_0)} \quad \dots (2.4)$$

ここで、 $\rho$ ：流水の密度[kN/m<sup>3</sup>]、 $\sigma$ ：砂礫の密度[kN/m<sup>3</sup>]、 $\theta_0$ ：基準地点における土地の勾配[度]、 $\phi$ ：砂礫の内部摩擦角[度]である。

### 2.2.5 土石流の流下経路の設定

土石流の流下経路は基準地点より下流において設定する。まず、基準地点の下流の現流路において、2.2.6の方法を用いて算出される土石流のピーク流量を流すために必要な流過能力を有していない断面、及び、外湾部の流路の高さが湾曲による水位上昇を加味した土石流の表面よりも低くなる断面が存在する場合、それらの中から最も上流の地点（ここでは、「氾濫開始点」と呼ぶ）から流心線の接線方向の直線を土石流の流下経路とする。なお、今回収集した資料では災害当時の流路の流過能力を推定できなかったため、土石流の流下経路は原則として現流路の流心線とする。

### 2.2.6 流体力と耐力の算出

土石流の流体力と耐力は土石流の流下経路上に設定した地点（以後、本資料では「計算地点」と呼ぶ）において算出する。本資料では計算地点を、土地の勾配を計測する地点毎に設定する。その間隔は第3章で述べる。

<sup>6</sup> 土石流対策技術指針(案)、平成12年7月、建設省河川局砂防部砂防課

まず、計算地点における土石流の流速と波高を算出する。図-2.1はそれらを算出するフローである。流速と波高は等流計算により求めることとし、その際の横断方向は土石流の流下経路に対して直角の向きとする。このとき、土石流の流速は Manning 型の流速式で近似できるとすれば、式(2.5)のように書ける。

$$U = \frac{1}{n} \cdot h^{2/3} \cdot (\sin \theta)^{1/2} \quad \dots (2.5)$$

ここで、U：土石流の流速[m/s]、n：粗度係数、h：土石流の波高[m]、θ：土地の勾配[度]である。なお、θは当該計算地点とその上流側に所定の水平距離だけ離れた、流下経路上の地点の2地点間で計測する。土石流の波高は式(2.6)により算出する。流下断面は矩形と近似する(図-2.1)。

$$h = \left( \frac{n Q_{SP}}{B (\sin \theta)^{0.5}} \right)^{0.6} \quad \dots (2.6)$$

ここで、Q<sub>SP</sub>：土石流のピーク流量[m<sup>3</sup>/s]、B：土石流の流下幅[m]である。Bの値は基本的に図-2.1に示すように等流計算で求めるが、扇状地上の計算地点では両岸が相当離れている場合が想定されるので、Bの最大値を設定する。図-2.2は過去の土石流災害の実態から推定したBとQ<sub>SP</sub>の関係をプロットしたものである。BとQ<sub>SP</sub>の関係が式(2.7)のようなレジーム型の式で表わすことができる<sup>7</sup>と仮定すると、その係数は表-2.1のようになる。

表-2.1 対象とした溪流名と土石流の諸元及び係数

溪流名	ピーク流量 m <sup>3</sup> /sec	流下幅 m	a
東沢	71.4	35	4.1
中屋洞	18.9	40	9.2
古野川	434.0	18	0.8
笹利川	61.3	35	4.5
中倉川	395.7	25	1.3
布勢川	1225.5	35	1.0
松ヶ沢	60.9	57	7.3
犬間沢	134.4	14	1.2
大櫃沢	78.6	29	3.2
悪谷沢	221.1	80	5.4
河上瀬	235.9	40	2.6
櫃ヶ沢	67.7	27	3.3
井ノ洞	98.4	45	4.5
平均			3.7

<sup>7</sup> 池谷浩(1978)：流路工計画における計画河幅の考え方、新砂防、vol.108、pp.7-13

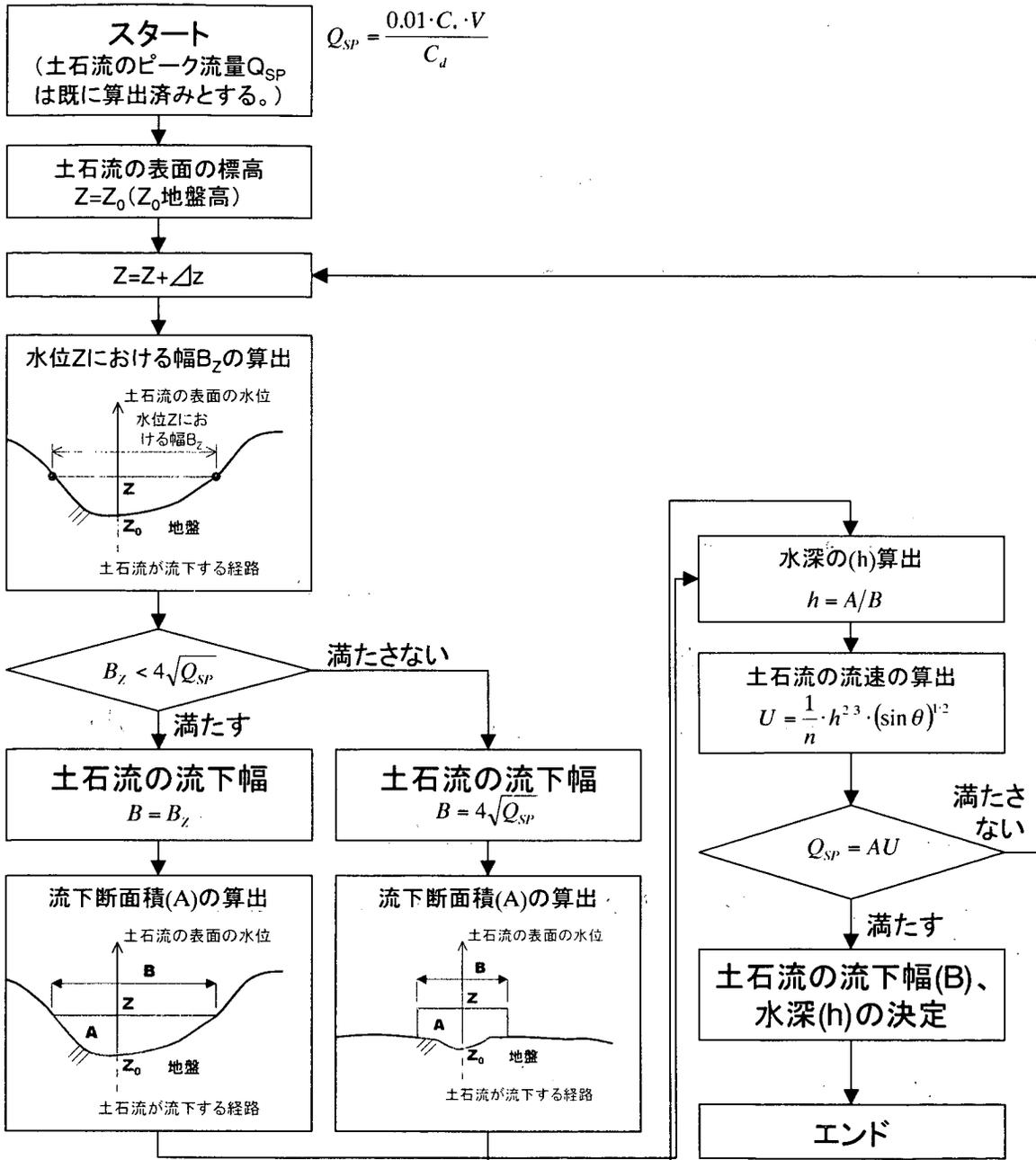


図-2. 1 各計算地点における土石流の流下幅、水深の算出フロー

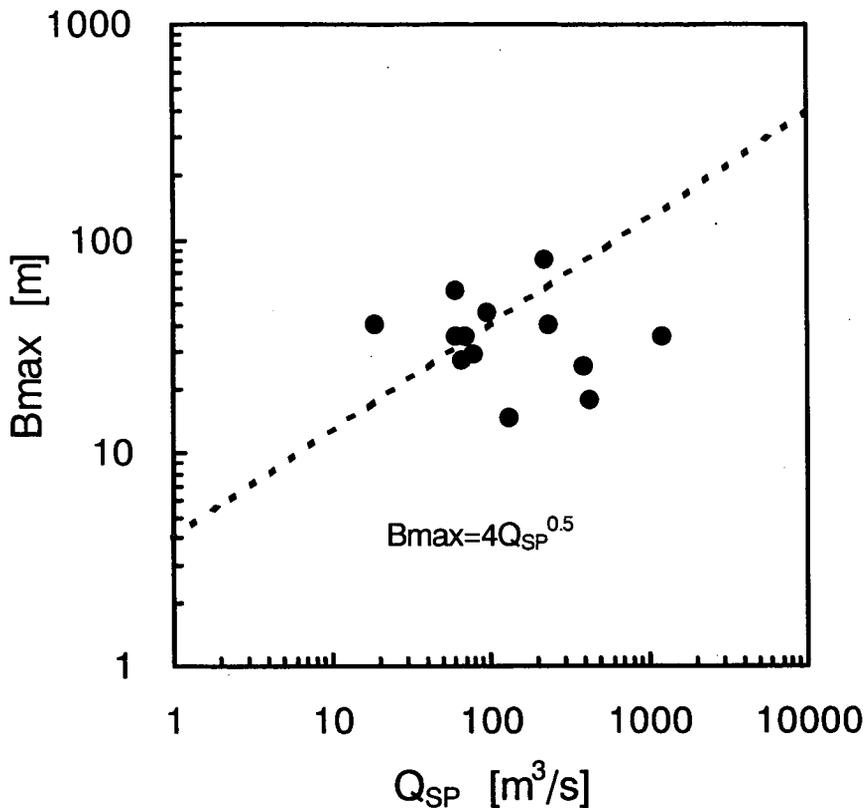


図-2. 2 過去の土石流災害における土石流の流下幅とピーク流量の関係

$$B = a\sqrt{Q_{SP}} \quad \dots (2.7)$$

ここで、 $a$ :係数である。表-2.1から、 $a$ の値の小数第一位を四捨五入して4とし、 $B$ の最大値を式(2.8)とする。

$$B_{\max} = 4\sqrt{Q_{SP}} \quad \dots (2.8)$$

ここで、 $B_{\max}$ :土石流の流下幅の最大値[m]である。なお、 $Q_{SP}$ は東沢・中屋洞・古野川・笹利川・中倉川・布勢川の場合では実際の氾濫開始点を基準地点として式(2.1)により推定し、松ヶ沢・犬間沢・大櫃沢・悪谷沢・河上瀬・櫃ヶ沢・井ノ洞の場合では実際の氾濫開始点の縦横断形状を参考に式(2.9)から推定した。

$$Q_{SP} = \frac{1}{n} \cdot A_{DEB} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad \dots (2.9)$$

ここで、 $n$ :粗度係数、 $A_{DEB}$ :流下断面面積[m<sup>2</sup>]、 $R$ :径深[m]、 $I$ :勾配(=sin $\theta$ 、 $\theta$ :災害での氾濫開始点から上流200mの区間の平均勾配)である。 $A_{DEB}$ は現地の流下痕跡から推定した。

計算地点における  $Q_{SP}$  は式 (2. 10) により算出する。

$$Q_{SP} = \frac{0.01VC_*}{C_d} \quad \dots (2. 10)$$

ここで、 $C_*$  : 堆積土砂の容積濃度、 $C_d$  : 土石流の土砂濃度、 $V$  : 土石流により流下する土石等の量 (空隙込み) [ $m^3$ ] である。 $C_d$  は式 (2. 11) で算出する。

$$C_d = \frac{\rho \tan \theta}{(\sigma - \rho)(\tan \phi - \tan \theta)} \quad \dots (2. 11)$$

一般的に、基準地点は扇頂部に位置すると想定されるので、土石流の流下経路は土石流が堆積する区域であると考えられる。つまり、土砂の堆積を考慮して  $V$  を算出する必要がある。土石流は土砂濃度  $C_d$  で流れることと、土砂は容積濃度  $C_*$  で堆積すると仮定すると、 $Q_{SP}$  は式 (2. 12) のようになる (図-2. 3)。

$$C_{d0} \cdot Q_{SP0} = C_d \cdot Q_{SP} + C_* \cdot (Q_{SP0} - Q_{SP})$$

$$\therefore Q_{SP} = \frac{C_{d0} - C_*}{C_d - C_*} \cdot Q_{SP0} \quad \dots (2. 12)$$

式 (2. 1) と式 (2. 10) を式 (2. 12) に代入して  $V$  について整理すると、式 (2. 13) のようになる。

$$V = \frac{C_* - C_{d0}}{C_* - C_d} \cdot \frac{C_d}{C_{d0}} \cdot V_0 \quad \dots (2. 13)$$

また、計算の対象となる土石流の流下経路は堆積区間になるので、下流に行くにつれて  $Q_{SP}$  が大きくなるのは不自然である。そこで、下流に行くにつれて  $Q_{SP}$  が大きくなりないように式 (2. 13) の計算時についてのみ、ある計算地点 a の土地の勾配  $\theta_a$  が当該地点の上流にある計算地点 b の土地の勾配  $\theta_b$  を上回った場合 ( $\theta_a > \theta_b$ )、 $\theta_a = \theta_b$  とする。

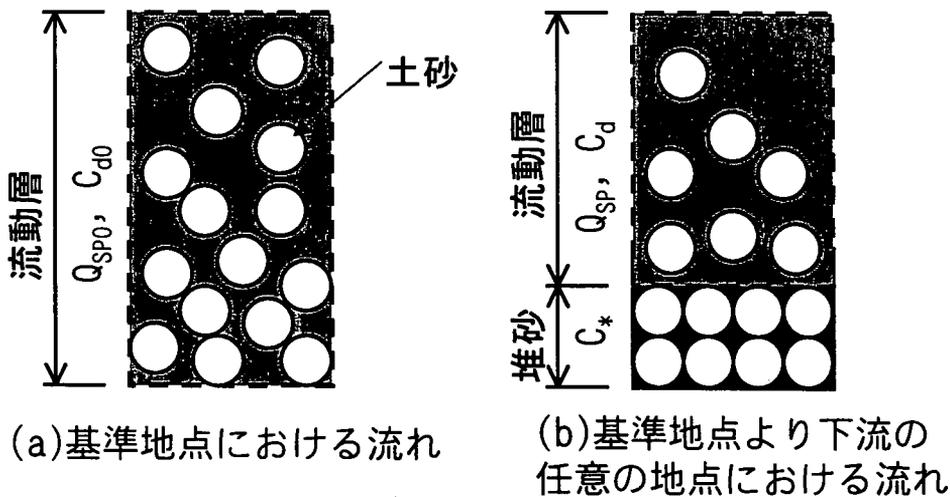


図-2. 3 基準地点及び計算地点における流れの状態

土石流の流体力は式(2.13)に式(2.5)から式(2.13)を用いて算出した $U$ を代入して算出する。

$$F_d = \rho_d U^2 \quad \dots (2.14)$$

ここで、 $F_d$ : 流体力[kN/m<sup>2</sup>]、 $\rho_d$ : 土石流の密度[kN/m<sup>3</sup>]である。土石流の密度は式(2.15)で算出する。

$$\rho_d = \frac{\rho \tan \phi}{\tan \phi - \tan \theta} \quad \dots (2.15)$$

また、家屋の耐力は式(2.16)に式(2.5)から式(2.13)を用いて算出した $h$ を代入して算出する。

$$P = \frac{35.3}{h(5.6-h)} \quad \dots (2.16)$$

ここで、 $P$ : 家屋の耐力[kN/m<sup>2</sup>]である。

#### 2.2.7 家屋被災範囲の図示方法

家屋被災範囲は平面図上に図示する。まず、2.2.6の手法で算出した $F_d$ と $P$ を比較して、式(2.17)を満たす計算地点を抽出する。

$$F_d > P \quad \dots (2.17)$$

次いで、式(2.16)を満たす計算地点において、土石流が流下する幅を土石流の流下経路に対して直交するように直線で平面図上に引く。式(2.17)を満たす計算地点が隣り合う場合に、平面図上に引いた流下幅の左岸・右岸の両端をそれぞれ結ぶ。そのようにして描画した範囲を家屋被災範囲とする。

### 3. 家屋被災範囲を設定する手法の精度

第2章で整理した手法を過去の土石流災害に適用し、その精度を評価する。評価方法は3.1に記載する。評価に際しては、本資料の冒頭でも述べたように土石流災害を経験したことの無い溪流において家屋被災範囲を設定する場合を想定して、地形図上で基準地点を設定し、その地形図と土石流危険溪流カルテに記載された情報から家屋被災範囲を設定する。その結果から手法の精度を評価する。その後、 $V_0$  や基準地点の位置を変化させた際に、手法の精度がどのように変化するかを定性的に整理する。

#### 3.1 評価方法

「被災家屋包含率」と「無被災家屋率」という2つの新しい指標を本資料で定義して、それらの値に基づいて手法の精度を評価する。

被災家屋包含率は、実際の被災家屋（全数）のうち今回設定した家屋被災範囲に含まれた被災家屋の戸数の割合とする。被災家屋は土石流等により被災した建築物のうち、全壊あるいは半壊の状態になった家屋（人家）とする。

また、無被災家屋率は家屋被災範囲に含まれた無被災家屋の戸数を、家屋被災範囲に含まれた全ての建築物の戸数（被災家屋と無被災家屋の合計）で除した値とする。無被災家屋は実際には被災しなかった家屋（人家）とする（図-3.1）。これらの数値に基づいて、被災家屋包含率が高く、無被災家屋率が低くなるほど、精度の高い手法と判断する。

例えば、土石流災害で被災家屋が8戸生じた溪流を対象として、家屋被災範囲を設定した際に、その家屋被災範囲の中に存在する建築物（人家）の数が10戸あったとする。また、家屋被災範囲の中に存在する建築物（人家）の10戸の内訳として、当該土石流災害において、6戸が被災家屋、残り4戸が無被災家屋であったとする。この場合、被災家屋包含率は $6戸 \div 8戸 = 0.75$ （75%）、無被災家屋率は $4戸 \div 10戸 = 0.40$ （40%）となる（図-3.2）。

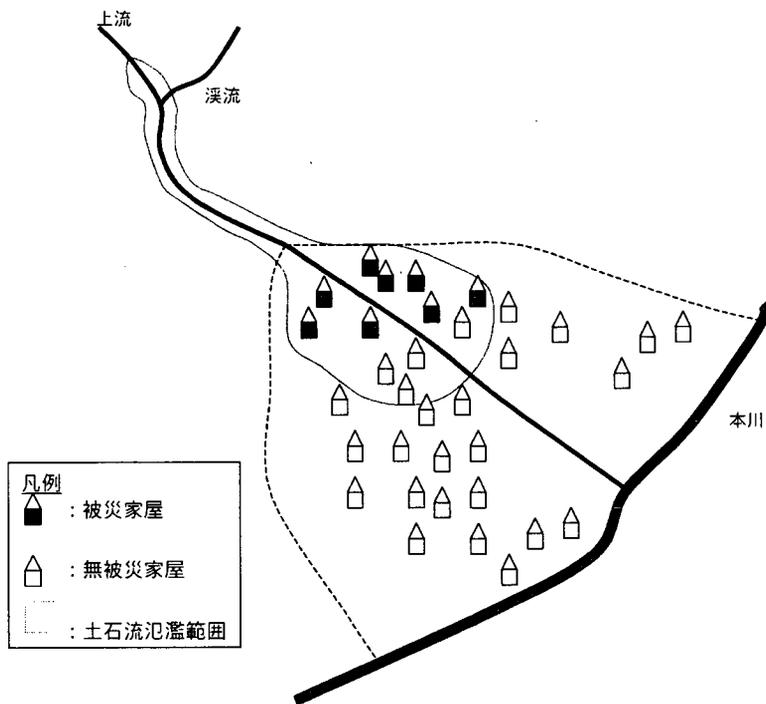


図-3.1 被災家屋と無被災家屋

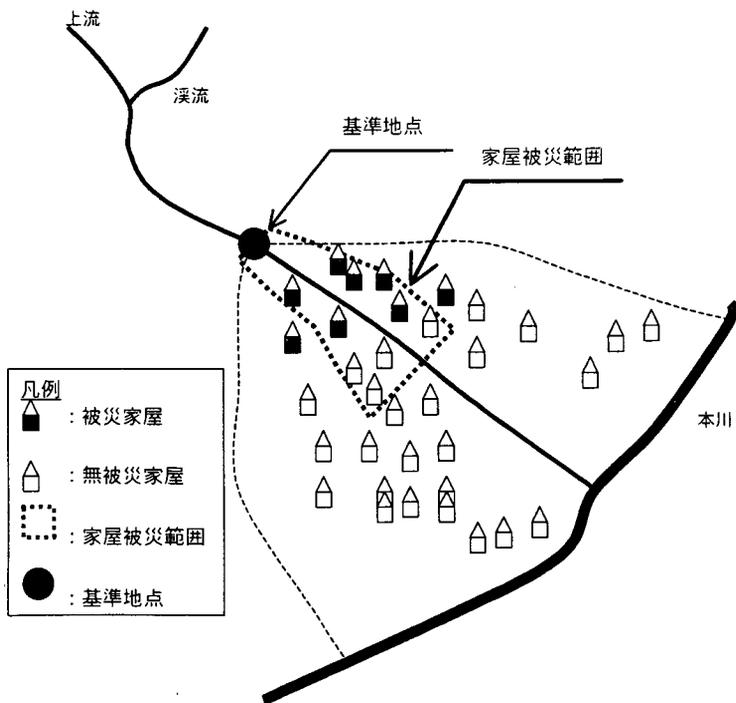


図-3.2 被災家屋包含率と無被災家屋率の計算事例

### 3. 2 適用した災害事例の概要

表-3. 1に今回適用した災害の16事例の流域面積、災害年月日、災害時の流出土砂量等の災害諸元を示す。平成13年度の時点で、下記の全ての溪流は土石流危険溪流であった。

表-3. 1 災害事例

溪流名	流域面積 (km <sup>2</sup> )	災害 年月日	災害実績図 図面縮尺 ※1	災害時 における 流出土砂量 (m <sup>3</sup> )	建築物の戸数					
					全壊			半壊		
					内訳		内訳		内訳	
					人家	人家 以外	人家	人家 以外	人家	人家 以外
A溪流	0.90	H11.08.15	1/2500	5592	1	1	0	1	1	0
B溪流	0.64	H10.08.30	1/2500	15000	0	0	0	2	2	0
C溪流	0.09	H01.09.20	1/2500	1480	5	0	5	2	1	1
D溪流	0.29	H10.09.25	1/5000	4080	1	1	0	1	1	0
E溪流	0.20	H10.10.18	1/1000	2000	1	1	0	1	1	0
F溪流	0.11	H03.07.05	(1/5000)	25000	1	1	0	0	0	0
G溪流	0.07	H02.07.02	1/2500	4700	1	0	1	2	2	0
H溪流	0.07	H05.08.06	1/2500	18500	5	3	2	0	0	0
I溪流	0.04	H05.08.06	1/2500	20000	1	1	0	0	0	0
J溪流	0.20	H07.08.10	(1/2500)	2000	0	0	0	3	3	0
K溪流	0.06	H11.09.22	(1/2500)	3748	1	1	0	2	2	0
L溪流	1.09	H09.07.12	1/10000	96000	2	1	1	1	0	1
M溪流	0.39	H08.08.28	(1/4000)	2300	0	0	0	1	1	0
N溪流	0.10	H09.09.16	1/5000	1450	0	0	0	2	2	0
O溪流	0.09	H09.09.16	(1/2500)	1410	0	0	0	3	3	0
P溪流	0.04	H09.09.16	(1/2500)	3300	0	0	0	1	1	0
					19	10	9	22	20	2

※1 家屋被災範囲を設定するにあたり使用した地形図の縮尺。

※2 全壊、半壊は「災害関連緊急砂防工事等所要見込額報告及び工事計画書について」(昭和62年12月3日、建設省河砂発第63号)の定義とする。

### 3. 3 適用ケースと条件

表-3. 2は適用ケースを示したものである。適用ケース①では、土石流災害の経験のない溪流において被災家屋範囲を設定することを想定して、土石流災害に関する情報を一切使わないで設定した場合の精度を評価する。 $\theta$ を計測する際の2地点間の水平距離が精度に与える影響も合わせて評価する。基準地点は地形図上の谷の出口に設定する。土石流危険溪流カルテに記載された溪床堆積土砂の有無、存在する区間、その厚さ、その幅から $V_e'$ を算出し、同じく記載のある土石流氾濫開始点の勾配の値を $\theta_0$ 、流域面積の値をA、別途収集した資料に記載された24時間雨量の値を $R_T$ として式(2. 2)、(2. 3)、(2. 4)から $V_{ec}$ を算出する。それらの値から $V_0$ を2. 2. 4の手法に基づいて算出する。表-3. 3が $V_0$ を算出した結果である。

適用ケース②では、 $V_0$ に土石流災害時の流出土砂量を用いることで、 $V_0$ が精度に与える影響を評価する。基準地点の位置が同じであれば、 $V_0$ の値を小さくすると $Q_{SP0}$ が小さくなるので、被災家屋包含率は適用ケース①よりも低くなることは容易に想像できる。そこで、 $V_0$ は2. 2. 4の手法に基づいて算出した数値と土石流災害時の流出土砂量を比較して大きい値とする。基準地点は適用ケース①と同じく地形図上の谷の出口に設定する。

適用ケース③では、基準地点の位置が精度に与える影響を評価する。基準地点は実際の土石流氾濫開始点に設定する。 $V_0$ は表-3. 3の数値を用いる。

その他のパラメータは一般的な数値として $n=0.10$ 、 $C_* = 0.6$ 、 $\sigma = 25.51 \text{ kN/m}^3$ 、 $\rho = 11.77 \text{ kN/m}^3$ 、 $\phi = 30^\circ$ 、 $\lambda = 0.4$ と設定し、全ての事例で用いる。なお、収集した資料では土石流災害当時の流路の流過能力を推定できなかったため、適用ケース①、②、③ともに土石流の流下経路は流路沿いと想定する。

表-3. 2 適用ケース

適用 ケース	パラメータの設定方法		
	基準地点の位置	$V_0$ の値	$\theta$ を計測する2地点間の水平距離
①	地形図上の谷の出口	表-3. 3の数値	10m、100m、200m
②	地形図上の谷の出口	表-3. 3の数値と土石流災害時の流出土砂量を比較して大きい値	10m、100m、200m
③	土石流災害時の氾濫開始点	表-3. 3の数値	10m、100m、200m

表-3.3 基準地点における土石流により流下する土石等の量

溪流名	溪床堆積 土砂量 [m <sup>3</sup> ]	流域面積 A[km <sup>2</sup> ]	流出補正率 fr	24時間雨量 R <sub>T</sub> [mm/24hrs.]	土地の勾配 [°]	運搬可能 土砂量 Vec[m <sup>3</sup> ]	基準地点におけ る土石流により流 下する土石等の 量 V <sub>0</sub> [m <sup>3</sup> ]
A溪流	26,460	0.90	0.2745	250.0	8	33,107	26,460
B溪流	13,910	0.64	0.3108	340.8	6	21,643	10,992
C溪流	1,536	0.09	0.5000	310.0	12	20,620	1,536
D溪流	7,700	0.29	0.3720	250.0	6	19,263	7,700
E溪流	4,750	0.20	0.4408	292.8	10	20,819	2,950
F溪流	9,000	0.11	0.4665	399.0	6	9,506	9,000
G溪流	7,000	0.07	0.5000	351.0	6	4,827	4,827
H溪流	2,300	0.07	0.5000	305.7	17	20,934	2,300
I溪流	1,215	0.04	0.5000	305.7	20	11,962	1,215
J溪流	6,150	0.20	0.4142	305.3	8	16,052	6,150
K溪流	3,500	0.06	0.5000	280.0	17	10,957	3,500
L溪流	61,560	1.09	0.2450	247.5	6	25,251	25,251
M溪流	6,634	0.39	0.3254	328.0	6	34,303	6,634
N溪流	3,700	0.10	0.4408	209.0	10	14,900	3,700
O溪流	6,000	0.09	0.5000	292.8	7	6,616	6,000
P溪流	9,600	0.04	0.5000	292.8	10	5,903	5,903

### 3. 4 適用結果

#### 3. 4. 1 適用ケース①

図-3. 3は家屋被災範囲の設定結果の一事例（O溪流の結果）で、それぞれ土地の勾配を計測する際の2地点間の水平距離が10m、100m、200mの場合である。実際の被災家屋は3戸あり、そのうち家屋被災範囲の中に入った被災家屋は1戸（10mの場合）、3戸（100mの場合）、3戸（200mの場合）であったので、被災家屋包含率は33.3%（10mの場合）、100.0%（100mの場合）、100.0%（200mの場合）となった。また、無被災家屋は2戸（10mの場合）、1戸（100mの場合）、1戸（200mの場合）であったので、無被災家屋率は66.7%（10mの場合）、25.0%（100mの場合）、25.0%（200mの場合）となった。このように、被災家屋包含率は3つのケースのうち100mと200mの場合で最も高く、無被災家屋率は3つのケースのうち100mと200mの場合で最も低くなった。

家屋被災範囲の形状を見ると、10mと100mの場合では分離しているが、200mの場合では一つの区域となった。これは $\theta$ の値による影響と考えられる。図-3. 4、3. 5、3. 6はそれぞれ10m、100m、200mの場合における $\theta$ の変化である。 $\theta$ を計測する2地点間の水平距離を短い程、地形図上からの読み取り結果による $\theta$ の値（○印）は計算地点で振動する傾向がある。特に、図-3. 4では、基準地点の直下流で勾配が一旦緩くなったため、その計算地点より下流では、 $V$ （式（2. 13））を算出するための $\theta$ の値（●印）は一定となり、 $U$ は増加傾向、 $h$ は減少傾向となった。その結果、 $F_d$ と $P$ は増加したが、その勾配に対する増加率は $F_d$ の方が大きかったため、所々 $F_d$ が $P$ を上回り、家屋被災範囲が飛び飛びに現れたと考えられる。

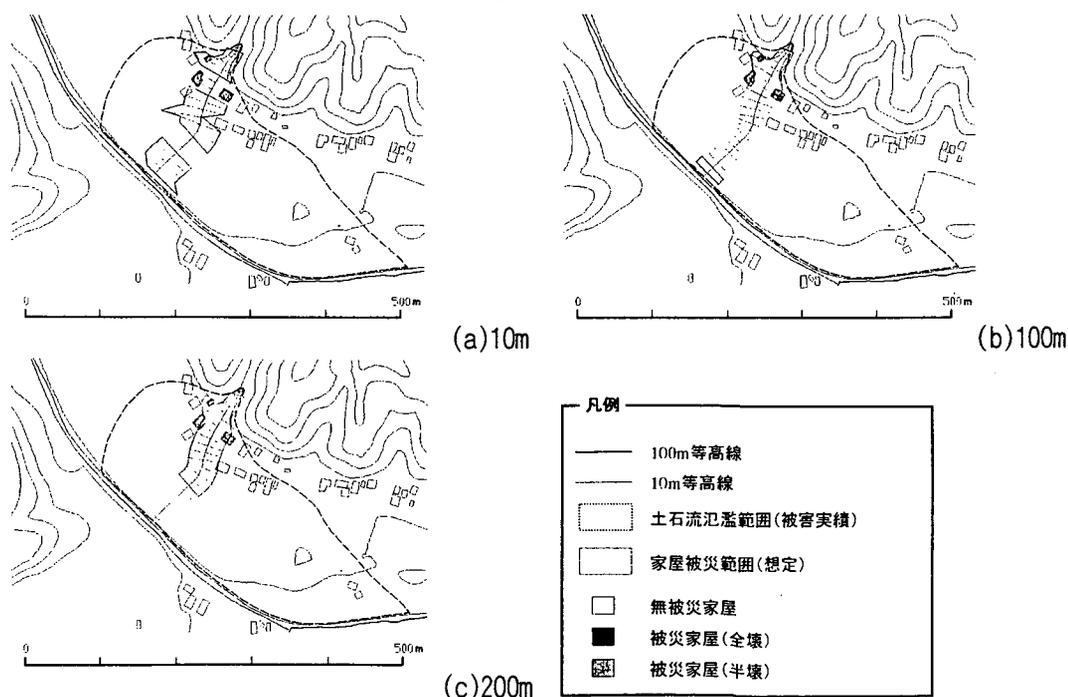


図-3. 3 O溪流における家屋被災範囲

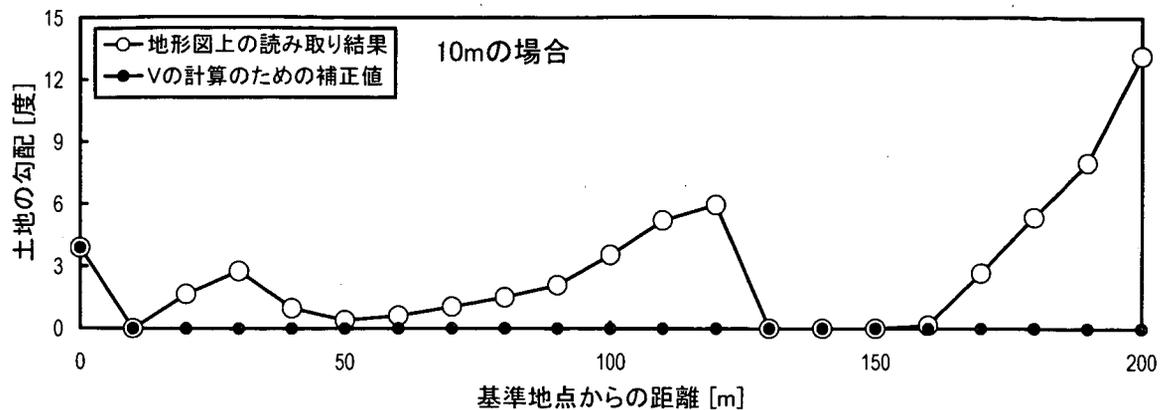


図-3.4 O溪流における土地の勾配の変化 (10mの場合)

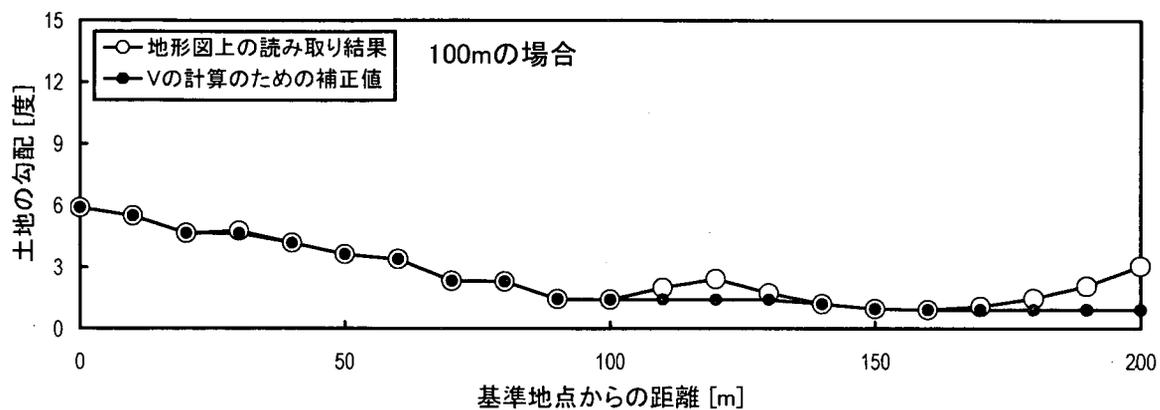


図-3.5 O溪流における土地の勾配の変化 (100mの場合)

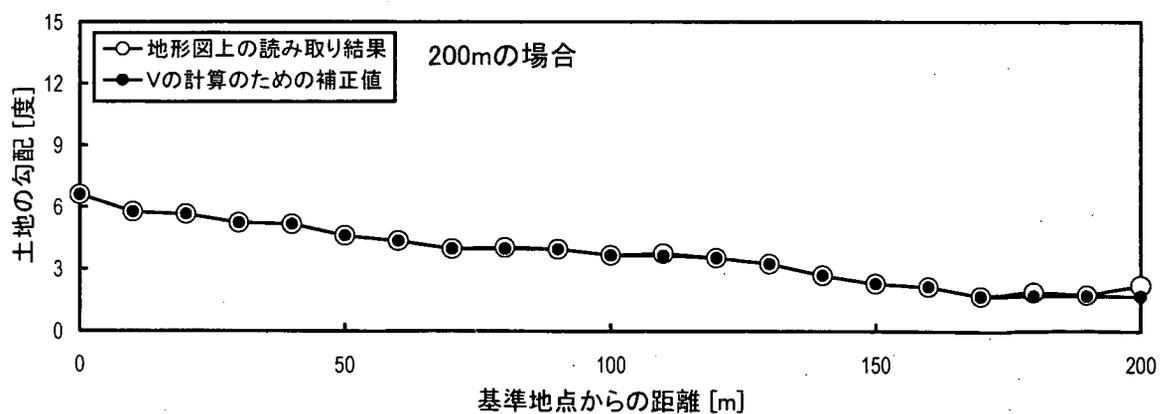


図-3.6 O溪流における土地の勾配の変化 (200mの場合)

表－3. 4 被災家屋包含率と無被災家屋包含率（適用ケース①）

		土地の勾配を計測する際の水平距離[m]														
		10m				100m				200m						
		①/②	内訳		③/④	内訳		⑤/⑥	内訳							
			該当数①	全数②		該当数③	全数④		該当数⑤	全数⑥						
被災家屋包含率	全壊・半壊合計	0.567	17	戸	30	戸	0.667	20	戸	30	戸	0.700	21	戸	30	戸
	全壊	0.400	4	戸	10	戸	0.500	5	戸	10	戸	0.600	6	戸	10	戸
	半壊	0.650	13	戸	20	戸	0.750	15	戸	20	戸	0.750	15	戸	20	戸
無被災家屋率		0.874	118	戸	135	戸	0.780	71	戸	91	戸	0.796	82	戸	103	戸

表－3. 4は16事例の被災家屋と無被災家屋を合計し、被災家屋包含率と無被災家屋率を算出した結果である。表中の「全数」とは実際の被災家屋の総数（合計30戸のうち全壊10戸、半壊20戸）、または、家屋被災範囲に含まれた被災家屋と無被災家屋の合計である。「該当数」とは家屋被災範囲に含まれた被災家屋の総数、または、家屋被災範囲に含まれた無被災家屋の戸数である。被災家屋包含率（全半壊）は高い順に70.0%（200mの場合）、66.7%（100mの場合）、56.7%（10mの場合）の順になった。無被災家屋率は低い順に78.0%（100mの場合）、79.6%（200mの場合）、87.4%（10mの場合）となった。

以上のように、土石流災害での実績値を使わない場合でも、 $\theta$ を計測する2地点間の水平距離を100mから200m程度にすれば、無被災家屋率は80%程度となるものの、被災家屋包含率は70%程度と高いことが分かった。また、 $\theta$ を計測する2地点間の水平距離を200m程度とすれば、家屋被災範囲は飛び飛びに現れずに一つの土地の区域となることが分かった。

### 3. 4. 2 適用ケース②

対象となった事例は16事例中6事例（B溪流、F溪流、H溪流、I溪流、K溪流、L溪流）であった。

図－3. 7はH溪流での設定結果で、 $\theta$ を算出する際の2地点間の水平距離を200mとした場合である。この場合、家屋被災範囲の中に入った被災家屋は3戸あり、被災家屋包含率は100.0%となった。また、無被災家屋は6戸含まれており、無被災家屋率は67.0%となった。図－3. 8は適用ケース①でのH溪流で200mの場合である。適用ケース①と②を比較すると、被災家屋包含率は33.3%から100.0%に高くなり、無被災家屋率は75.0%から67.0%に低くなった。H溪流の場合に限ると、精度は向上したことになる。これは、図－3. 7と図－3. 8の家屋被災範囲を比較すると分かるが、適用ケース②での $V_0(18,500\text{m}^3)$ が適用ケース①での値 $(2,300\text{m}^3)$ より大きくなったことにより、家屋被災範囲が広がり、被災家屋包含率が向上したためである。

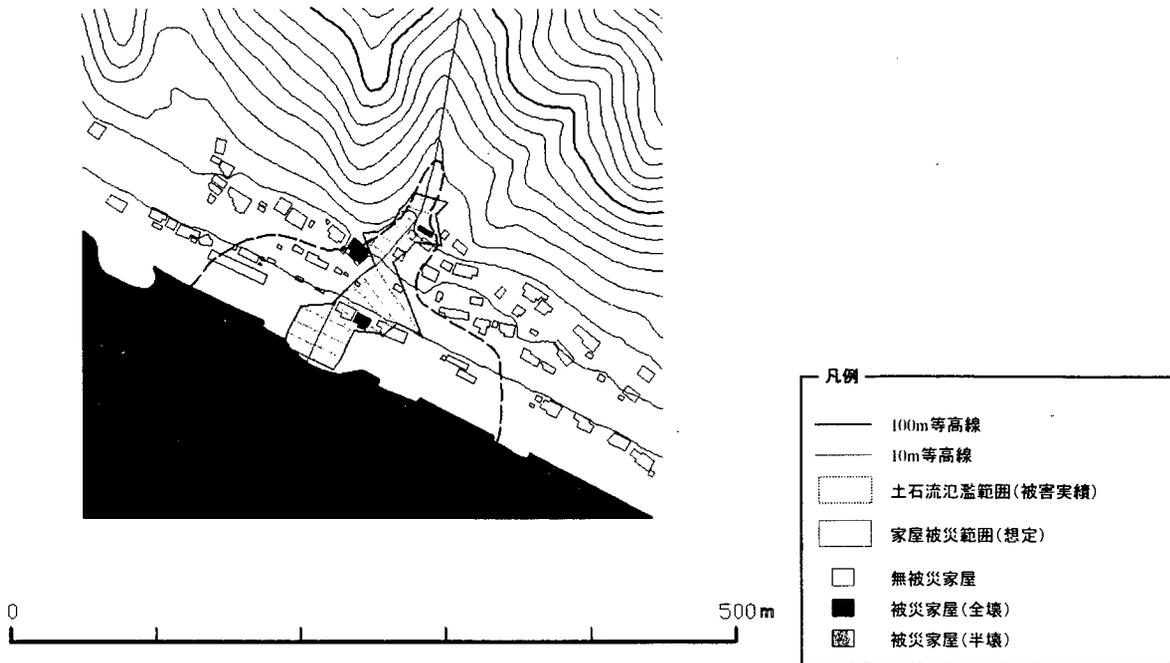


図-3.7 H溪流における家屋被災範囲(適用ケース②、200mの場合)

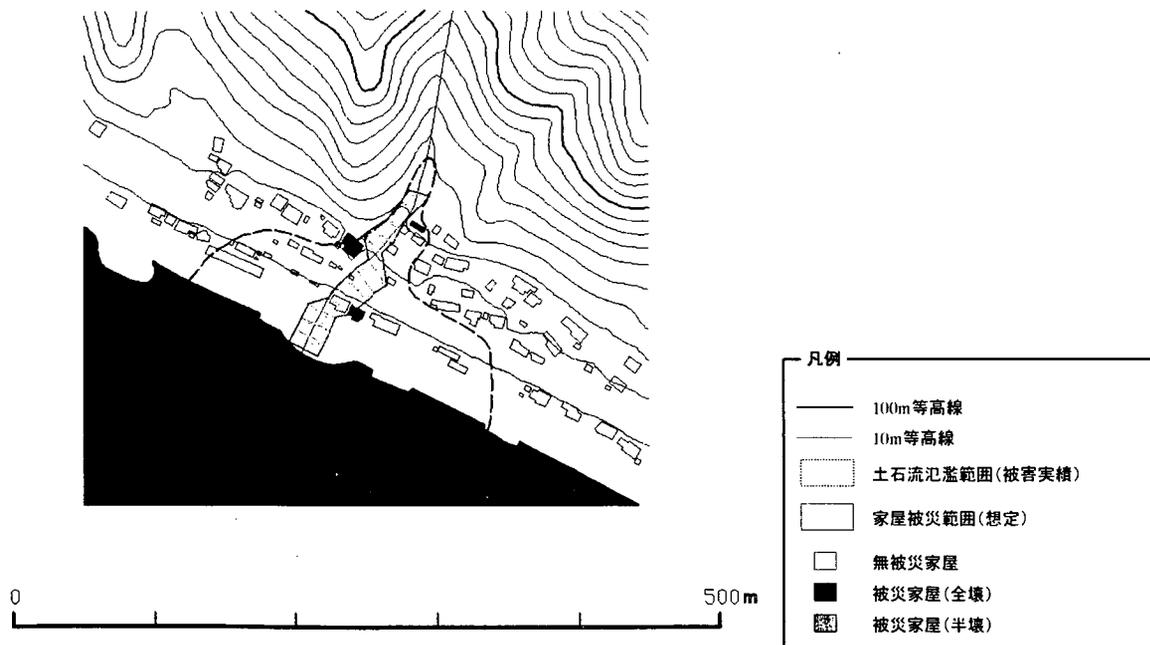


図-3.8 H溪流における家屋被災範囲(適用ケース①、200mの場合)

表-3.5 適用ケース②と適用ケース①の比較

溪流名	10m				100m				200m			
	適用ケース①		適用ケース②		適用ケース①		適用ケース②		適用ケース①		適用ケース②	
	被災家屋包含率	無被災家屋率										
白溪流	0.0% (0/2)	-(0/0)	0.0% (0/2)	-(0/0)	0.0% (0/2)	-(0/0)	0.0% (0/2)	-(0/0)	0.0% (0/2)	-(0/0)	0.0% (0/2)	-(0/0)
F溪流	100.0% (1/1)	95.2% (20/21)	100.0% (1/1)	95.5% (21/22)	100.0% (1/1)	88.9% (8/9)	100.0% (1/1)	95.0% (19/20)	100.0% (1/1)	87.5% (7/8)	100.0% (1/1)	92.3% (12/13)
H溪流	0.0% (0/3)	100.0% (1/1)	33.3% (1/3)	75.0% (3/4)	0.0% (0/3)	100.0% (3/3)	100.0% (3/3)	66.7% (6/9)	33.3% (1/3)	75.0% (3/4)	100.0% (3/3)	66.7% (6/9)
I溪流	0.0% (0/1)	-(0/0)	0.0% (0/1)	-(0/0)	100.0% (1/1)	50.0% (1/2)	100.0% (1/1)	80.0% (4/5)	100.0% (1/1)	50.0% (1/2)	100.0% (1/1)	80.0% (4/5)
K溪流	0.0% (0/3)	-(0/0)	0.0% (0/3)	-(0/0)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)
L溪流	100.0% (1/1)	96.0% (24/25)	100.0% (1/1)	96.2% (25/26)	100.0% (1/1)	83.3% (14/15)	100.0% (1/1)	83.3% (14/15)	100.0% (1/1)	95.2% (20/21)	100.0% (1/1)	95.2% (20/21)
合計	18.2% (2/11)	95.7% (45/47)	27.3% (3/11)	94.2% (49/52)	54.5% (6/11)	82.4% (28/34)	81.8% (9/11)	83.3% (45/54)	63.6% (7/11)	82.5% (33/40)	81.8% (9/11)	83.0% (44/53)

表-3. 6 被災家屋包含率と無被災家屋包含率 (適用ケース②)

		土地の勾配を計測する際の水平距離[m]														
		10m				100m				200m						
		①/②	内訳		③/④	内訳		⑤/⑥	内訳							
			該当数①	全数②		該当数③	全数④		該当数⑤	全数⑥						
被災家屋包含率	全壊・半壊合計	0.600	18	戸	30	戸	0.800	24	戸	30	戸	0.767	23	戸	30	戸
	全壊	0.500	5	戸	10	戸	0.900	9	戸	10	戸	0.800	8	戸	10	戸
	半壊	0.650	13	戸	20	戸	0.750	15	戸	20	戸	0.750	15	戸	20	戸
無被災家屋率		0.871	122	戸	140	戸	0.786	88	戸	112	戸	0.802	93	戸	116	戸

表-3. 5は適用ケース②で家屋被災範囲を設定した6事例の個別の結果である。適用ケース①では6事例のうちB溪流とH溪流を除く4事例で、被災家屋包含率が10m、100m、200mのいずれかの場合で100.0%となっており、被災家屋包含率については改善の余地はない。そこで、B溪流とH溪流について被災家屋包含率を検証ケース①と比較する。溪流Hでは10m、100m、200mいずれの場合でも高くなったが、溪流Bではいずれの場合でも変わらなかった。次に無被災家屋率について検討する。無被災家屋率は6事例とも0.0%より大きいので改善の余地がある。そこで、6事例全てについて無被災家屋率を検証ケース①と比較すると、B溪流とK溪流では変わらず、F溪流・I溪流・L溪流では高くなり、H溪流では低くなった。

表-3. 6は全16事例を集計した適用結果である。検証ケース①と比べると、被災家屋包含率(全半壊)は高い順に80.0%(100mの場合)、76.7%(200mの場合)、60.0%(10mの場合)となった。無被災家屋率は低い順に78.6%(100mの場合)、80.2%(200mの場合)、87.1%(10mの場合)となった。

以上を整理すると、 $V_0$ は2.2.4の方法で算出した値(表-3.3)と土石流災害での流出土砂量の値を比較して大きいほうを用いた場合、家屋被災範囲が広がるため被災家屋包含率が高くなるものの、無被災家屋率も高くなるという傾向があることが分かった。また、 $\theta$ を計測する2地点間の水平距離を長くすると、被災家屋包含率が向上しやすいという傾向が見られた。

### 3.4.3 適用ケース③

土石流災害時の実際の氾濫開始点が地形図上で設定した谷の出口より下流に位置した事例はB溪流、D溪流、M溪流の3溪流で、その他の13溪流は地形図上で設定した谷の出口より上流に位置した。

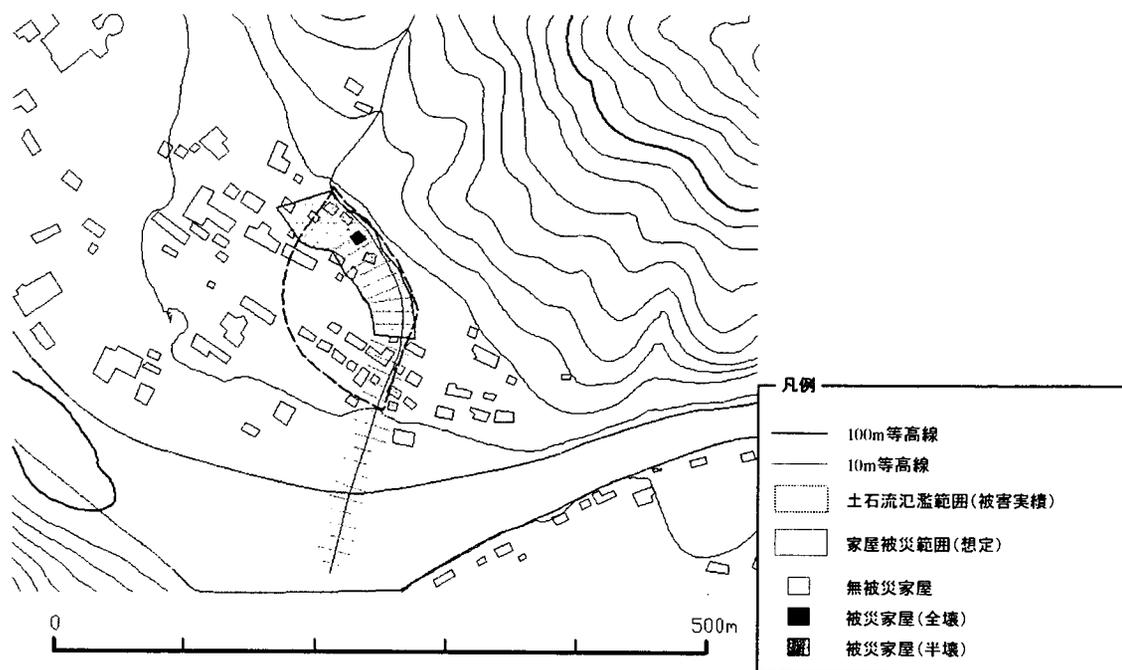


図-3.9 D溪流における家屋被災範囲(適用ケース③、200mの場合)

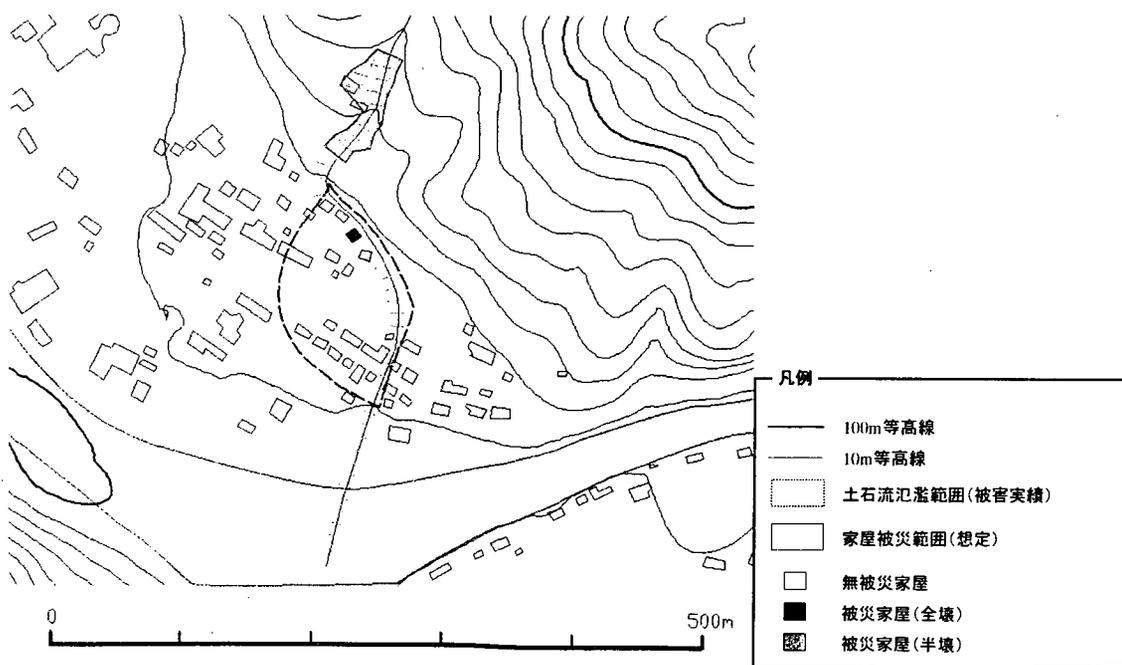


図-3.10 D溪流における家屋被災範囲(適用ケース①、200mの場合)

表-3.7 適用ケース③と適用ケース①の比較 (a:下流、b:上流)

(a)

溪流名	10m				100m				200m			
	適用ケース①		適用ケース③		適用ケース①		適用ケース③		適用ケース①		適用ケース③	
	被災家屋包含率	無被災家屋率	被災家屋包含率	無被災家屋率	被災家屋包含率	無被災家屋率	被災家屋包含率	無被災家屋率	被災家屋包含率	無被災家屋率	被災家屋包含率	無被災家屋率
B溪流	0.0% (0/2)	- (0/0)	0.0% (0/2)	- (0/0)	0.0% (0/2)	- (0/0)	0.0% (0/2)	- (0/0)	0.0% (0/2)	- (0/0)	0.0% (0/2)	- (0/0)
D溪流	100.0% (2/2)	90.9% (20/22)	100.0% (2/2)	92.3% (24/26)	0.0% (0/2)	100.0% (5/5)	100.0% (2/2)	77.8% (7/9)	0.0% (0/2)	100.0% (2/2)	100.0% (2/2)	80.0% (8/10)
M溪流	100.0% (1/1)	93.3% (14/15)	100.0% (1/1)	90.0% (9/10)	0.0% (0/1)	100.0% (14/14)	0.0% (0/1)	100.0% (7/7)	0.0% (0/1)	100.0% (12/12)	0.0% (0/1)	100.0% (11/11)
合計	60.0% (3/5)	91.9% (34/37)	60.0% (3/5)	91.7% (33/36)	0.0% (0/5)	100.0% (19/19)	40.0% (2/5)	87.5% (14/16)	0.0% (0/5)	100.0% (14/14)	40.0% (2/5)	90.5% (19/21)

(b)

溪流名	10m				100m				200m			
	適用ケース①		適用ケース③		適用ケース①		適用ケース③		適用ケース①		適用ケース③	
	被災家屋包含率	無被災家屋率										
A溪流	100.0% (2/2)	81.8% (9/11)	100.0% (2/2)	80.0% (8/10)	100.0% (2/2)	80.0% (8/10)	100.0% (2/2)	83.3% (10/12)	100.0% (2/2)	84.6% (11/13)	100.0% (2/2)	83.3% (10/12)
C溪流	100.0% (1/1)	0.0% (0/1)	0.0% (0/1)	- (0/0)	0.0% (0/1)	- (0/0)	0.0% (0/1)	- (0/0)	0.0% (0/1)	- (0/0)	0.0% (0/1)	- (0/0)
E溪流	0.0% (0/2)	- (0/0)	100.0% (2/2)	33.3% (1/3)	50.0% (1/2)	0.0% (0/1)	50.0% (1/2)	0.0% (0/1)	50.0% (1/2)	75.0% (3/4)	50.0% (1/2)	50.0% (1/2)
F溪流	100.0% (1/1)	95.2% (20/21)	100.0% (1/1)	50.0% (1/2)	100.0% (1/1)	88.9% (8/9)	100.0% (1/1)	0.0% (0/1)	100.0% (1/1)	87.5% (7/8)	100.0% (1/1)	87.5% (7/8)
G溪流	100.0% (2/2)	83.3% (10/12)	100.0% (2/2)	86.7% (13/15)	100.0% (2/2)	81.8% (9/11)	100.0% (2/2)	81.8% (9/11)	100.0% (2/2)	81.8% (9/11)	100.0% (2/2)	81.8% (9/11)
H溪流	0.0% (0/3)	100.0% (1/1)	0.0% (0/3)	100.0% (1/1)	0.0% (0/3)	100.0% (3/3)	0.0% (0/3)	100.0% (1/1)	33.3% (1/3)	75.0% (3/4)	33.3% (1/3)	75.0% (3/4)
I溪流	0.0% (0/1)	- (0/0)	0.0% (0/1)	- (0/0)	100.0% (1/1)	50.0% (1/2)	100.0% (1/1)	50.0% (1/2)	100.0% (1/1)	50.0% (1/2)	100.0% (1/1)	50.0% (1/2)
J溪流	100.0% (3/3)	57.1% (4/7)	0.0% (0/3)	- (0/0)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	25.0% (1/4)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	25.0% (1/4)
K溪流	0.0% (0/3)	- (0/0)	0.0% (0/3)	- (0/0)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	40.0% (2/5)	100.0% (3/3)	25.0% (1/4)
L溪流	100.0% (1/1)	96.0% (24/25)	100.0% (1/1)	88.0% (48/49)	100.0% (1/1)	93.3% (14/15)	100.0% (1/1)	95.8% (23/24)	100.0% (1/1)	95.2% (20/21)	100.0% (1/1)	95.7% (22/23)
N溪流	100.0% (2/2)	80.0% (8/10)	100.0% (2/2)	75.0% (6/8)	100.0% (2/2)	0.0% (0/2)	100.0% (2/2)	0.0% (0/2)	100.0% (2/2)	71.4% (5/7)	100.0% (2/2)	0.0% (0/2)
O溪流	33.3% (1/3)	66.7% (2/3)	0.0% (0/3)	- (0/0)	100.0% (3/3)	25.0% (1/4)	100.0% (3/3)	0.0% (0/3)	100.0% (3/3)	25.0% (1/4)	100.0% (3/3)	0.0% (0/3)
P溪流	100.0% (1/1)	85.7% (6/7)	100.0% (1/1)	75.0% (3/4)	100.0% (1/1)	80.0% (4/5)	100.0% (1/1)	80.0% (4/5)	100.0% (1/1)	80.0% (4/5)	100.0% (1/1)	80.0% (4/5)
合計	56.0% (14/25)	85.7% (84/98)	44.0% (11/25)	88.0% (81/92)	80.0% (20/25)	72.2% (52/72)	80.0% (20/25)	71.8% (51/71)	84.0% (21/25)	76.4% (68/89)	84.0% (21/25)	73.8% (59/80)

基準地点の位置が適用ケース①と比べて下流に位置した事例として、図-3.9にD渓流について適用結果(200mの場合)を示す。家屋被災範囲内に被災家屋が2戸含まれたので、被災家屋包含率は100.0%となった。また、無被災家屋が8戸含まれたので、無被災家屋率は80.0%となった。図-3.10は適用ケース①でのD渓流での適用結果(200mの場合)である。家屋被災範囲内に被災家屋が含まれなかったので、被災家屋包含率は0.0%となった。また、無被災家屋が2戸含まれたので、無被災家屋率は100.0%となった。このように、D渓流では被災家屋包含率が高くなり、無被災家屋率が低くなった。この理由には次のような2点が考えられる。一つは基準地点が適用ケース①と比べて被災家屋の近くなったことである。もう一つは、 $\theta_0$ の値が $4^\circ$ 程度小さくなったため、土石流ピーク流量(式(2.1))と流体力(式(2.15))が大きくなり、家屋被災範囲が広がったためと考えられる。以上のように、精度が向上したと言えるが、無被災家屋の戸数が増加したことにも注意が必要である。

表-3.7は個別の渓流における結果を検証ケース①と比較したものである。基準地点が検証ケース①より下流に位置した事例の中で、被災家屋包含率が高くなった事例はD渓流(100m・200mの場合)で、その他では変わらなかった。無被災家屋率が適用ケース①と比べて高くなった事例はD渓流(10mの場合のみ)であった。逆に無被災家屋率が低くなった事例はD渓流(100m・200mの場合)とM渓流(10mの場合のみ)であった。その他の事例では無被災家屋率は変わらなかった。以上の事例で、被災家屋包含率や無被災家屋率が高くなった理由は、土石流の流下幅が広く、また家屋被災範囲が家屋の存在する範囲まで達したためである。また、無被災家屋率が低くなった理由は、家屋被災範囲が家屋の存在する範囲まで達して実際の被災家屋を包含できたこと、或いは土石流の流下幅が狭くなったためである。

基準地点が検証ケース①より上流に位置した事例の中で、被災家屋包含率が高くなった事例はE渓流(10mの場合のみ)であった。逆に、被災家屋包含率が低くなった事例はC渓流(10mの場合のみ)、J渓流(10mの場合のみ)、O渓流(10mの場合のみ)であった。その他の事例では被災家屋包含率は変わらなかった。また、無被災家屋率が適用ケース①と比べて高くなった事例は、適用ケース①で家屋被災範囲内に人家が含まれなかった事例を除くと、A渓流(100mの場合のみ)、G渓流(10mの場合のみ)、L渓流(10m・100m・200mの場合)であった。逆に、無被災家屋率が低くなった事例はA渓流(10m・200mの場合のみ)、E渓流(200mの場合のみ)、F渓流(10m・100mの場合)、J渓流(100m・200mの場合)、K渓流(200mの場合)、N渓流(10m・200mの場合)、O渓流(100m・200mの場合)、P渓流(10mの場合)であった。以上の事例で、被災家屋包含率や無被災家屋率が高くなった理由は、土石流の流下幅が広がったことと、渓流方向の到達範囲が大きくなり、家屋被災範囲が拡大したためである。一方、被災家屋包含率や無被災家屋率が低くなった理由は、土石流の流下幅が狭く或いは渓流方

向の到達範囲が狭くなったため、家屋被災範囲が縮小したためである。また、被災家屋包含率や無被災家屋率が変わらなかった理由は土石流災害時の氾濫開始点が谷の出口付近にあったため、適用ケース①と③でほとんど差がなかったためである。

このように、基準地点を実際の土石流氾濫開始点とした場合で地形図上の谷の出口より下流にある場合、被災家屋包含率が高くなり、無被災家屋率が低くなる事例があった。一方、上流にある場合、被災家屋包含率が低くなった事例が多く、無被災家屋率が低くなった事例が多かった。

表-3.8は全16事例を集計した適用結果である。検証ケース①と比べると、被災家屋包含率（全半壊）は高い順に76.7%（200mの場合）、73.3%（100mの場合）、46.7%（10mの場合）となった。無被災家屋率は低い順に74.7%（100mの場合）、77.2%（200mの場合）、89.1%（10mの場合）となった。

以上を整理すると、基準地点を土石流災害時の氾濫開始点とした場合、100mと200mでは被災家屋包含率が高く、無被災家屋率が低くなったので、精度は適用ケース①に比べて若干向上した。この場合、家屋被災範囲に含まれた被災家屋の戸数は多くなり、無被災家屋の戸数は少なくなった。10mの場合では、被災家屋包含率が低く、無被災家屋率は高くなったので、精度は向上しなかった。

表-3.8 被災家屋包含率と無被災家屋包含率（適用ケース③）

		土地の勾配を計測する際の水平距離[m]														
		10m				100m				200m						
		①/②	内訳				③/④	内訳				⑤/⑥	内訳			
			該当数①		全数②			該当数③		全数④			該当数⑤		全数⑥	
被災家屋包含率	全壊・半壊合計	0.467	14	戸	30	戸	0.733	22	戸	30	戸	0.767	23	戸	30	戸
	全壊	0.500	5	戸	10	戸	0.600	6	戸	10	戸	0.700	7	戸	10	戸
	半壊	0.450	9	戸	20	戸	0.800	16	戸	20	戸	0.800	16	戸	20	戸
無被災家屋率		0.891	114	戸	128	戸	0.747	65	戸	87	戸	0.772	78	戸	101	戸

## 4. まとめ

本資料では、第2章で示した方法による家屋被災範囲を設定する手法の精度を過去に発生した土石流災害のうち16事例に適用することによって検証した結果を再掲すると以下のようなになる。

- (1) 土石流災害での実績値を使わない場合でも、 $\theta$ を計測する2地点間の水平距離を100mから200m程度にすれば、無被災家屋率は80%程度となるものの、被災家屋包含率は70%程度と高くなることが分かった。
- (2)  $\theta$ を計測する2地点間の水平距離を長くとると、家屋被災範囲は分断された土地の区域となりにくいことが分かった。特に、200m程度とすれば、家屋被災範囲は飛び飛びに現れずに一つの土地の区域となった。
- (3)  $V_0$ の値として2.2.4の方法で算出した値と土石流災害での実際の流出土砂量を比較して大きい値を用いた場合、被災家屋包含率が高くなるが、無被災家屋率も高くなる。
- (4) 基準地点の位置を土石流災害での実際の氾濫開始点に設定した場合で、地形図上の谷の出口より下流側に位置した場合、(1)と比べて、被災家屋包含率が高くなり、無被災家屋率が低くなる傾向が見られた。逆に、上流側に位置した場合、被災家屋包含率は低くなり、無被災家屋率も低くなる傾向が見られた。

以上の結果から、土石流災害を経験していない溪流でも第2章の手法に基づいて家屋被災範囲を設定した場合には、その範囲は比較的精度の良いものであると考えられる。また、土石流災害を経験した溪流では氾濫開始点等の実績を参考に家屋被災範囲を設定すれば、さらに精度を向上させられる。

## 5. おわりに

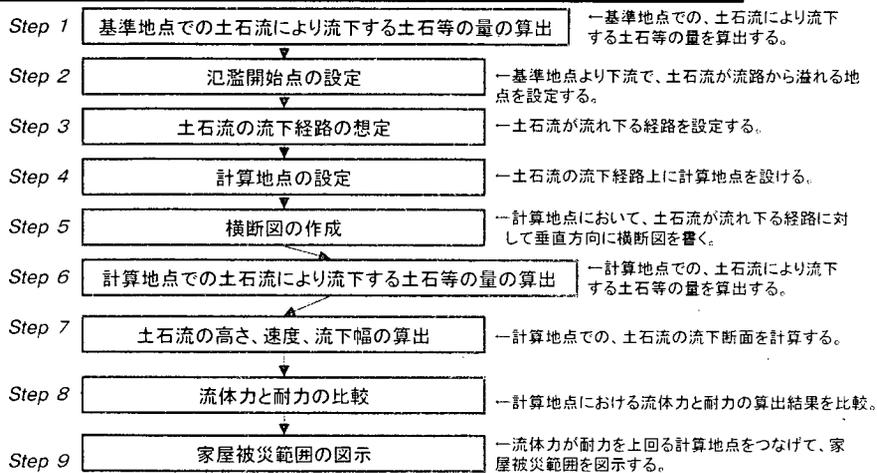
本資料の目的は、現地調査等で得られる情報に基づいて簡便な手法を用いて多数の土石流危険溪流を対象に家屋被災範囲を設定することを念頭に、災害実績を用いることなく家屋被災範囲を設定した場合に、過去の土石流災害での家屋の被災範囲をどの程度包含できるかを検証することであった。検証ケース1の結果から分かるように、土地の勾配を計測する2地点間の水平距離を200m程度とすると、家屋被災範囲は過去の被災家屋の約7割以上を包含したことがわかった。また、災害実績がある場合には基準地点における土石流の流出土砂量を既往資料から推定される値と災害実績の値を比べて大きい値を採用することや、災害実績の土石流氾濫開始点が地形図上の谷の出口より下流側にある場合には基準地点を災害実績の土石流氾濫開始点に設定することにより、被災家屋包含率が高くなるという傾向があり、精度を向上させられることが分かった。ただし、無被災家屋率は7割から8割程度と高いことから、今後は無被災家屋率を低減させて、設定手法の精度をより高いものへと改良する研究が必要である。

最後になりますが、本資料をとりまとめるにあたり、過去の土石流災害に関する資料、および、当該溪流の土石流危険溪流カルテ等の既存資料を快く提供していただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

# 巻末資料 1. 家屋被災範囲の設定フロー

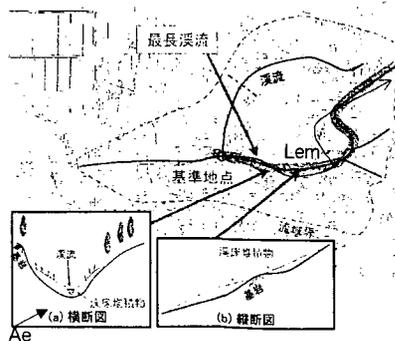
以下は第2章で整理した手法で基準地点の設定後の設定フローである。

## 設定手順



## Step 1 土石流により流下する土石等の量の算出(基準地点)

- 基準地点での土石流により流下する土石等の量の計算  
流出土砂量が最大となる区間(→最長溪流)に堆積している土砂量と  
運搬可能土砂量を比較して小さい土砂量



$$V_{ec} = \frac{10^3 \cdot R_f \cdot A}{1 - \lambda} \left( \frac{C_{d0}}{1 - C_{d0}} \right) f_r$$

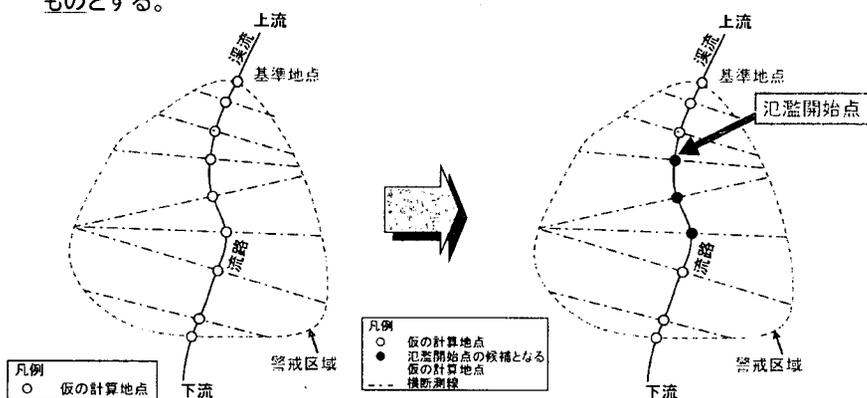
運搬可能土砂量( $V_{ec}$ )

$$V_e' \cong A_e \times L_{me}$$

渓床堆積土砂量( $V_e'$ )

## Step 2 氾濫開始点の設定

- 氾濫開始点は土石流が流路より溢れ始める地点である。
- 氾濫開始点は流下断面不足である仮の計算地点で、かつ、最も上流に位置するものとする。



## Step 2 流下断面不足の判定方法①

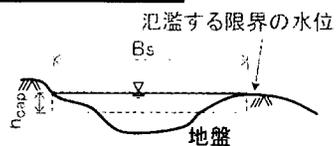
(1) 基準地点より下流の流路沿いに仮の計算地点を設定

(2) 仮の計算地点で、流路に対して垂直方向の横断面図の作成

(3) 仮の計算地点における流下能力( $Q_{CAP}$ )の算出

(4) 仮の計算地点における土石流のピーク流量( $Q_{SP}$ )の算出

(5)  $Q_{CAP} < Q_{SP}$ を満たす仮の計算地点を「氾濫開始点の候補となる仮の計算地点」とする。



※流下断面を矩形に近似して、等流計算する。

$$Q_{CAP} = \frac{B_s}{n} h_{CAP}^{5/3} (\sin \theta)^{1/2}$$

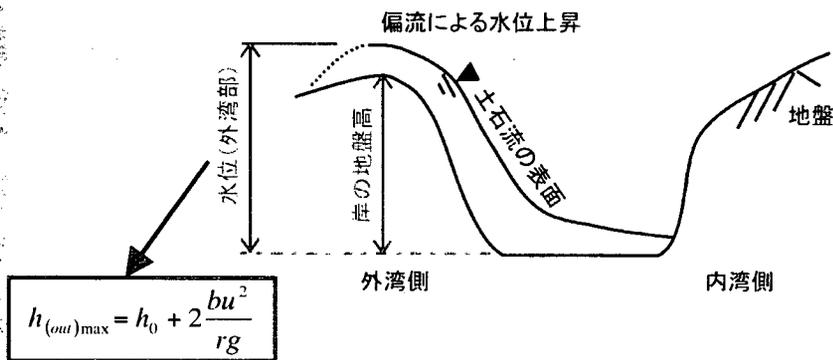
**流下能力**

$$Q_{SP} = \frac{0.01 \cdot V \cdot C_s}{C_d}$$

**土石流のピーク流量**

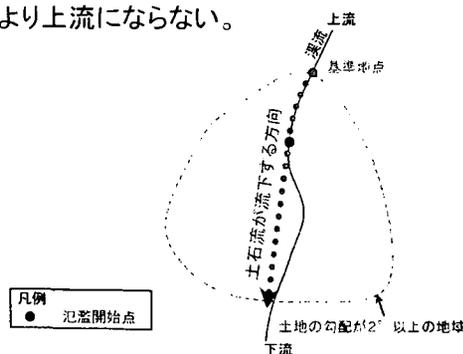
## Step 2 流下断面不足の判定方法②

- 外湾部の水位が岸の地盤高を超える場合、「仮の計算地点」は氾濫開始点の候補となる。



## Step 3 土石流の流下経路の想定

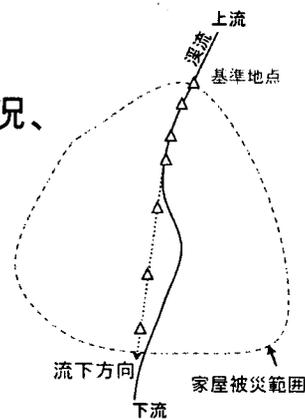
- 土石流の流下経路の考え方は以下の通り。
  - 1) 氾濫開始点より上流側での流下方向は流路沿いとする。
  - 2) 氾濫開始点より下流側での流下方向は、原則として、氾濫開始点での流心線の接線方向(直線)とする。
- 氾濫開始点は基準地点より上流にならない。



## Step 4 計算地点の設定

- 基準地点を含めて土石流の流下経路上に計算地点を設定する。
- 留意点  
流域内の家屋の配置状況、地形を考慮する。

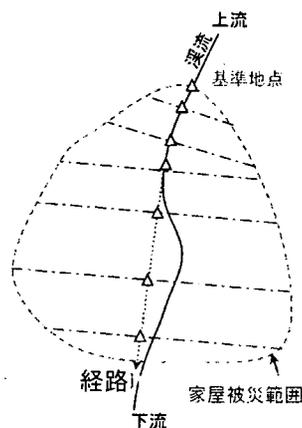
凡例  
△ 計算地点



## Step 5 横断図の作成

- 土石流の流下経路に対して直行するように横断測線を設定する。
- 横断図を作成する。

△ 計算地点  
----- 横断測線

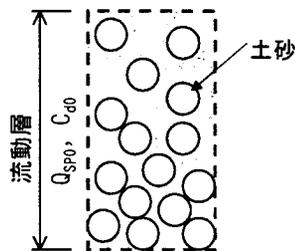


## Step 6 土石流により流下する土石等の量の算出(基準地点下流)

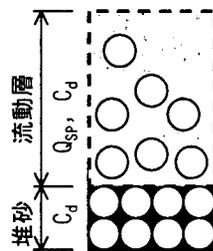
- 計算地点での土石流により流下する土石等の量Vの算出式

$$V = \frac{C_* - C_{d0}}{C_* - C_d} \cdot \frac{C_d}{C_{d0}} \cdot V_0$$

$C_*$ : 堆積土砂の容積濃度  
 $C_d$ : 土石流の土砂濃度  
 $C_{d0}$ : 基準地点における土石流の土砂濃度  
 $V_0$ : 基準地点における土石流により流下する土石等の量



(a) 基準地点における流れ



(b) 基準地点より下流の任意の地点における流れ

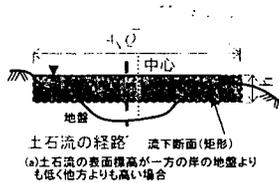
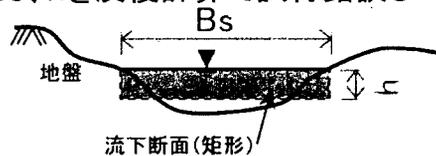
## Step 7 土石流の高さ、速度、流下幅の算出

- 流下断面は次式を満たす  $B_s$ ,  $h$  を反復計算で試行錯誤して見つけ出す。

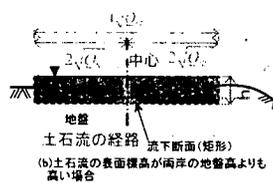
$$Q_{SP} = \frac{B_s}{n} h^{5/3} (\sin \theta)^{1/2}$$

但し、次の条件を満たすこと。

- 土石流の表面幅の最大値 ( $B_s$ ):  $B_s \leq 4\sqrt{Q_{SP}}$  **流下断面**
- 土石流の表面標高が兩岸の地盤高より高い場合は、土石流の経路を挟んで  $2\sqrt{Q_{SP}}$  づつとする。



(a) 土石流の表面標高が一方の岸の地盤よりも低く他方よりも高い場合



(b) 土石流の表面標高が兩岸の地盤よりも高い場合

## Step 8 流体力と耐力の比較

- 土石流により建築物に作用すると想定される力(流体力)

の算出  $F_d = \rho_d U^2$

$F_d$ : 土石流により建築物に作用すると想定される力[kN/m<sup>2</sup>]、 $\rho_d$ : 土石流の密度[t/m<sup>3</sup>]、 $U$ : 流速[m/s]

土石流の密度:  $\rho_d = \frac{\rho \tan \phi}{\tan \phi - \tan \theta}$        $\rho$ : 土石流に含まれる流水の密度[t/m<sup>3</sup>]  
 $\phi$ : 土石流に含まれる土石等の内部摩擦角[度]

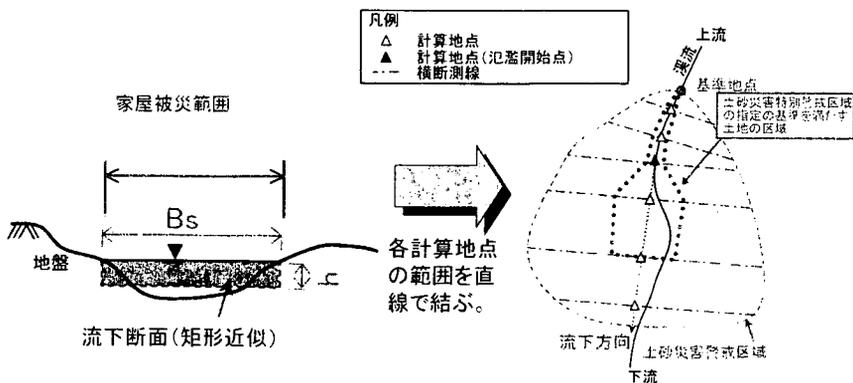
流速:  $U = \frac{1}{n} h^{2/3} (\sin \theta)^{1/2}$        $\theta$ : 土石流が流下する土地の勾配[度]  
 $n$ : 粗度係数

- 通常の建築物の耐力の算出  $P_2 = \frac{35.3}{H_3(5.6 - H_3)}$

$P_2$ : 通常の建築物の耐力[kN/m<sup>2</sup>]、 $H_3$ : 土石流により力が通常の建築物に作用する場合の土石流の高さ[m](=h)

## Step 9 家屋被災範囲の図示

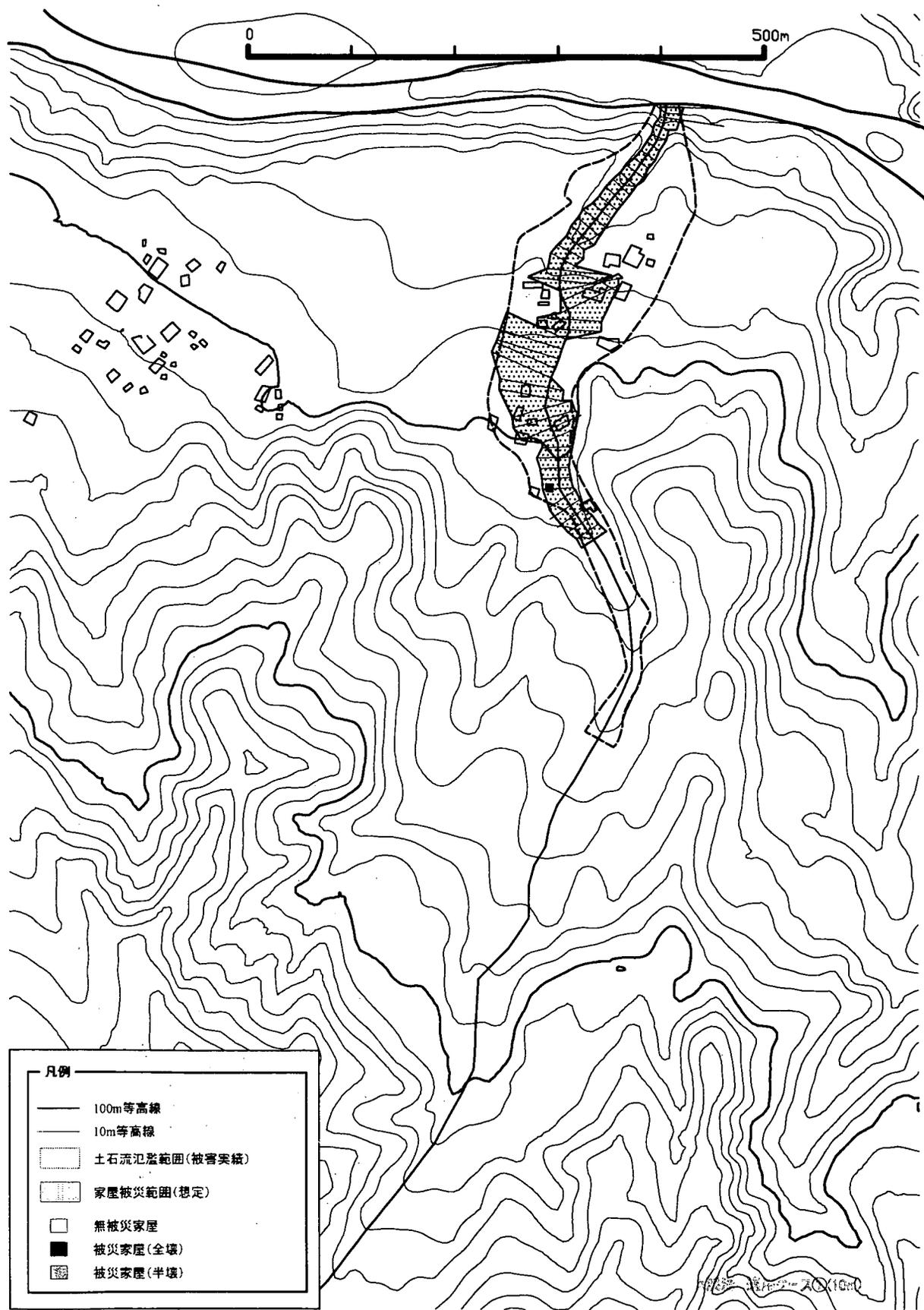
- $F_d \geq P_2$  の場合、土石流の表面の幅の範囲内を家屋被災範囲とする。



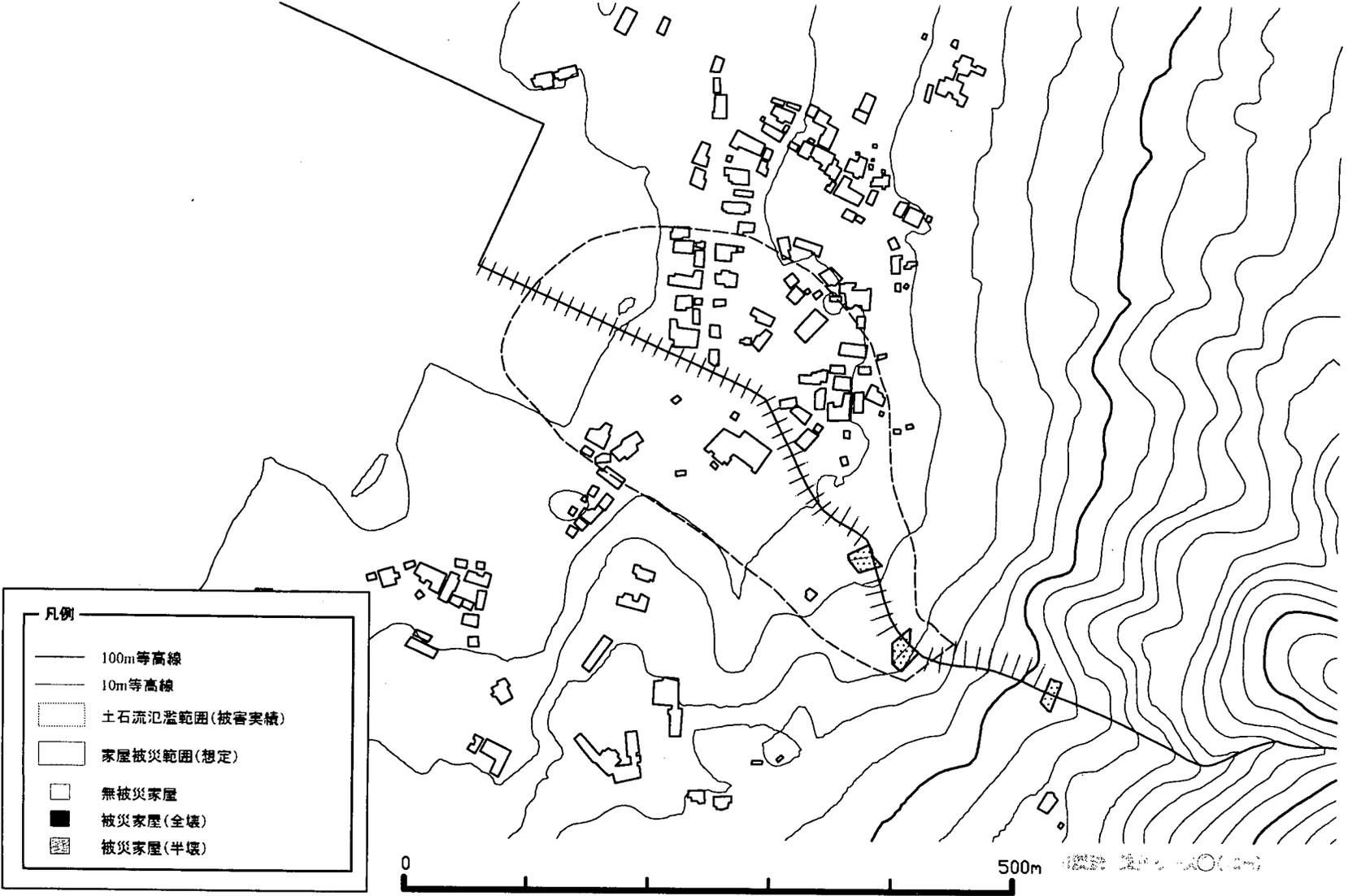
## 巻末資料 2. 家屋被災範囲の設定結果

次頁以降、表-3. 1に示した16事例で設定した家屋被災範囲を示す。

適用ケース① A 溪流 (10m)

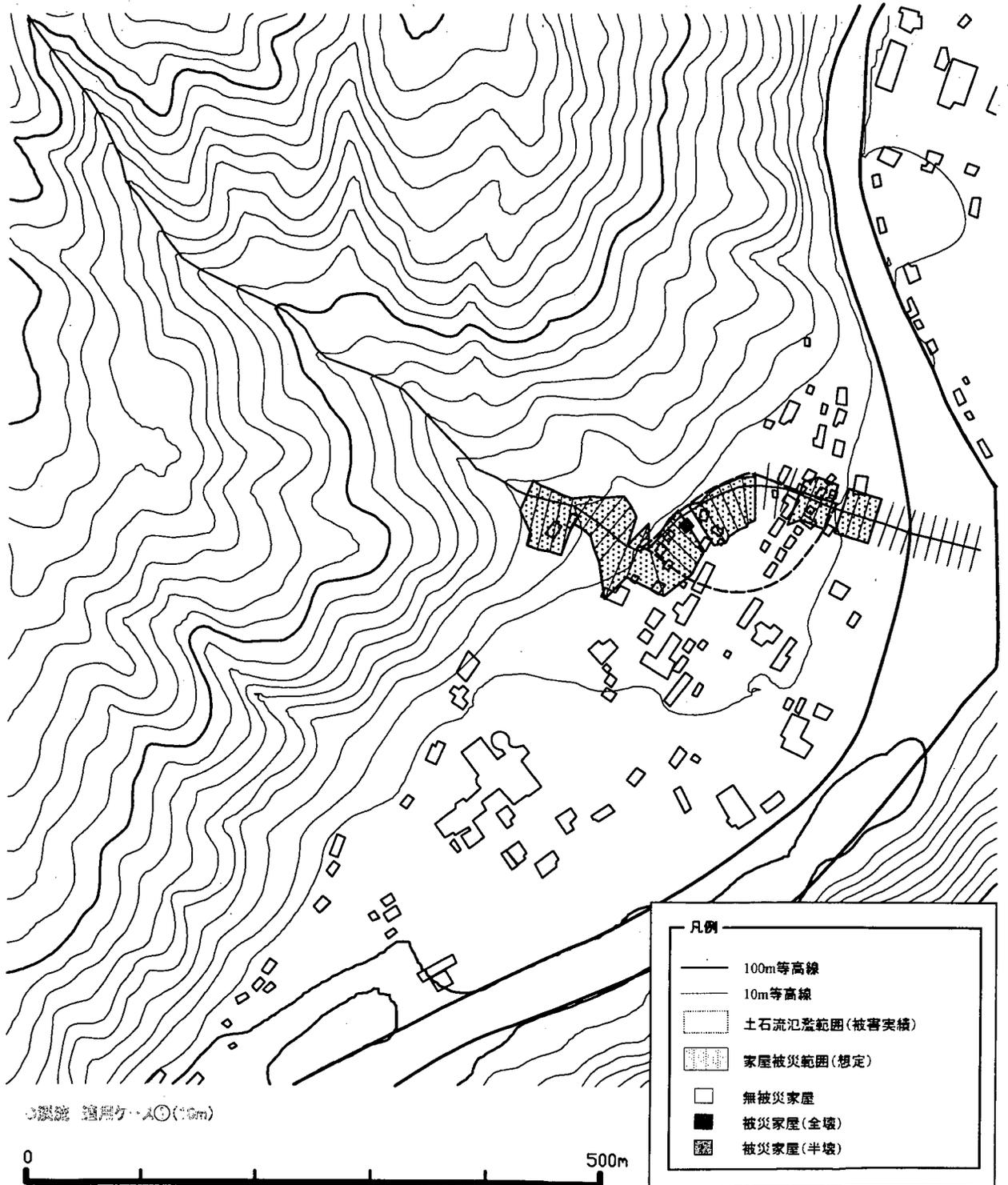


適用ケース① B 溪流 (10m)

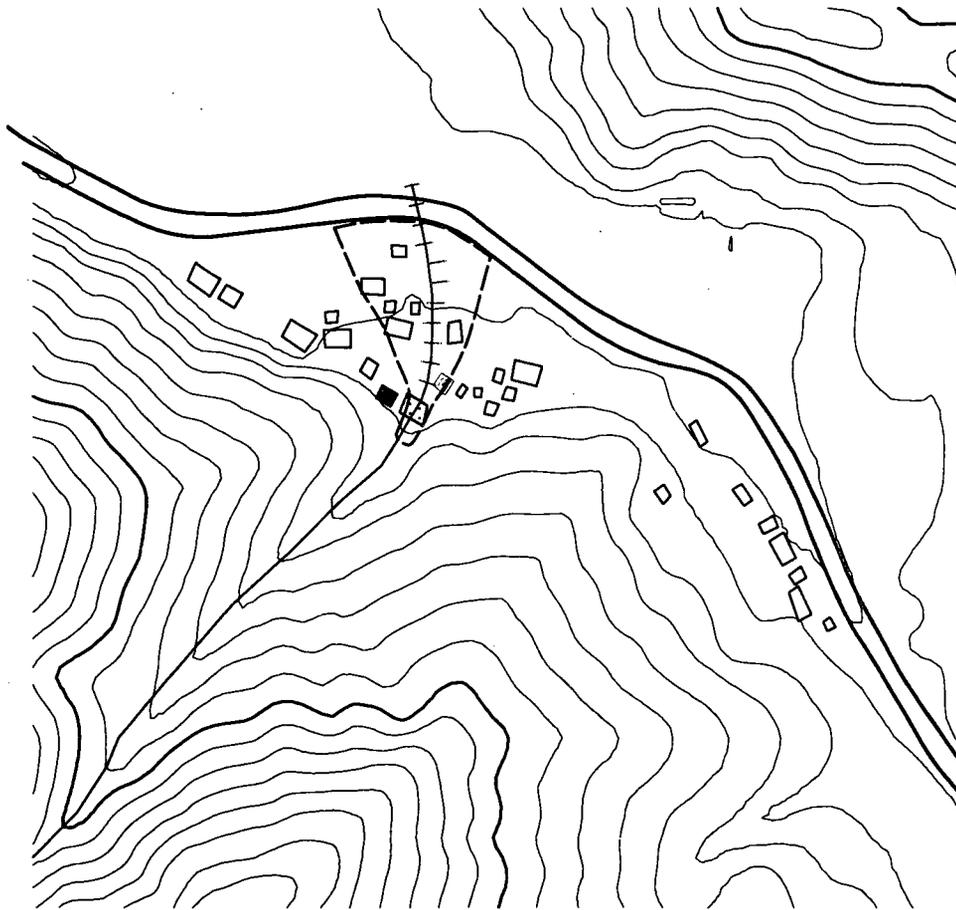




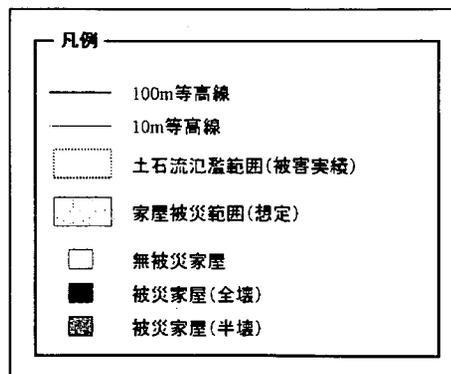
適用ケース① D 溪流 (10m)



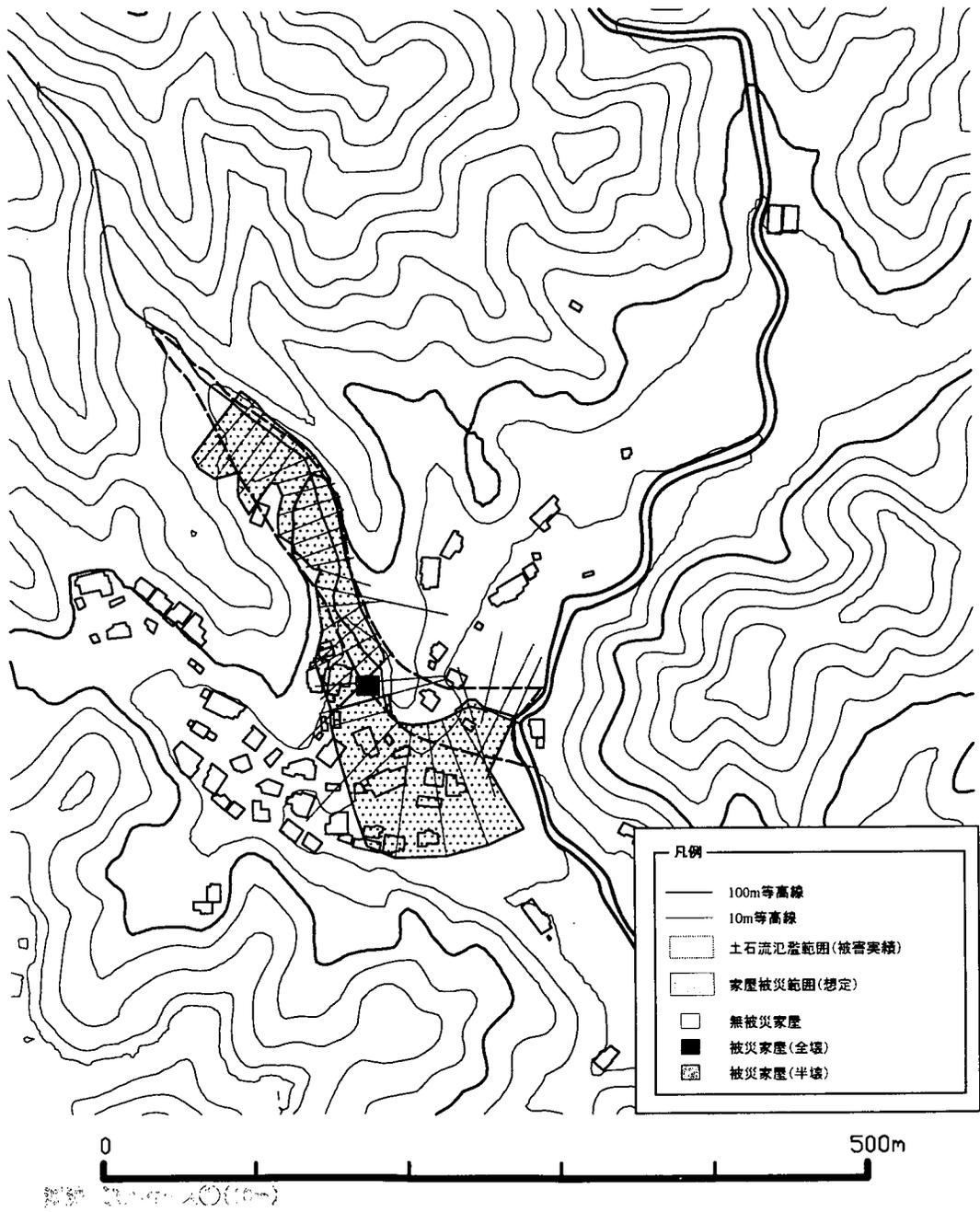
適用ケース① E 溪流 (10m)



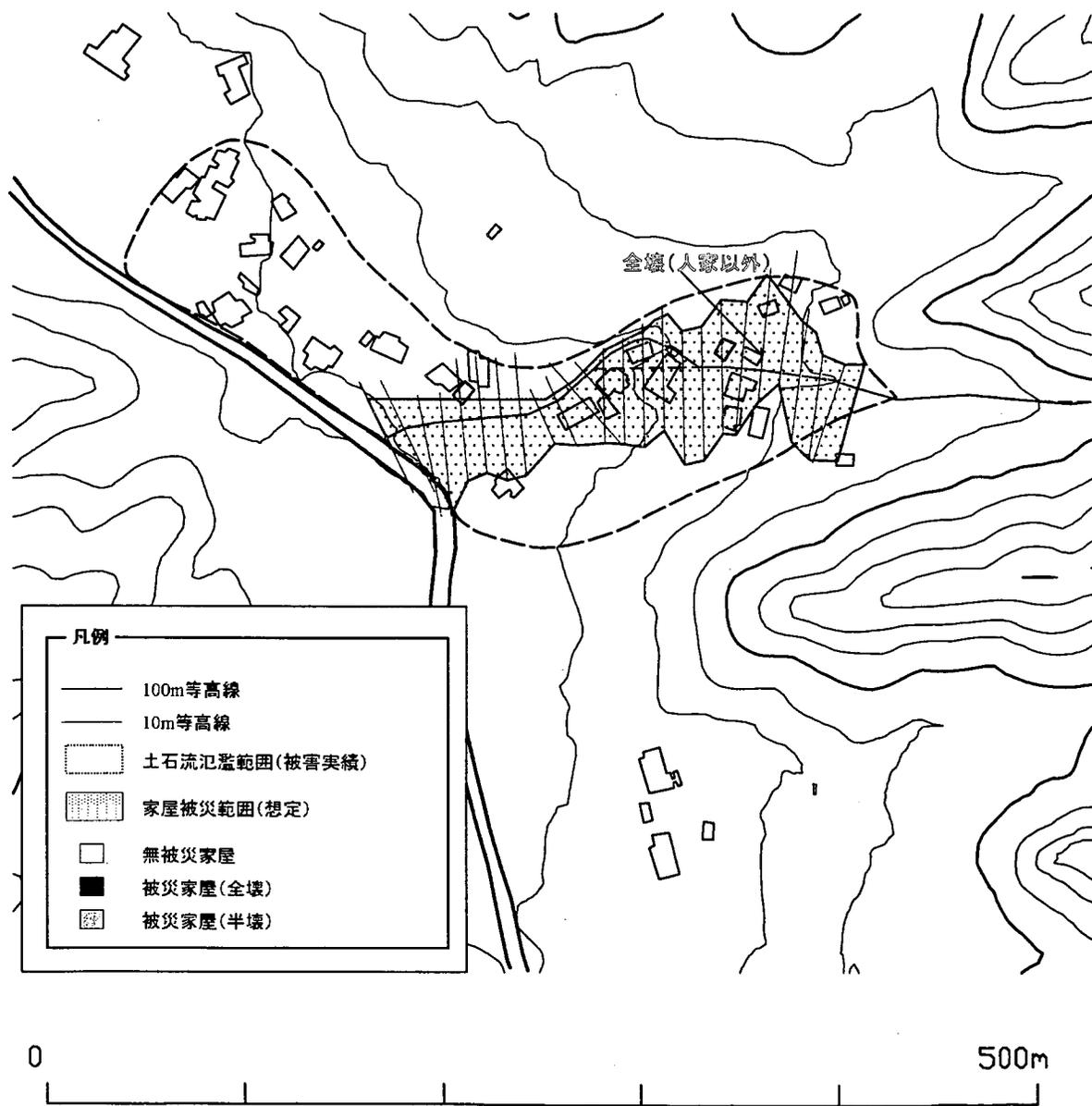
E 溪流 適用ケース①(10m)



適用ケース① F 溪流 (10m)

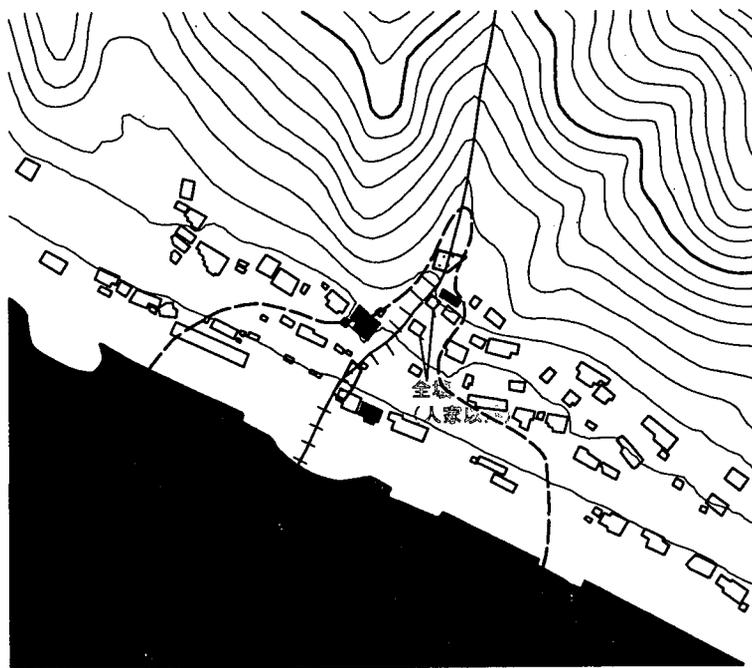


適用ケース① G 溪流 (10m)

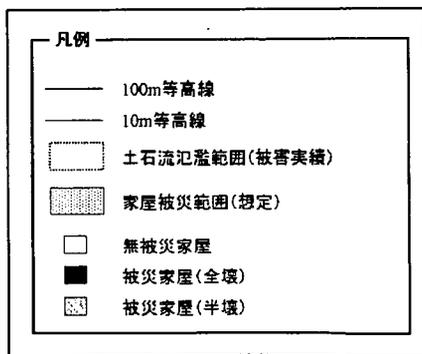


G 溪流 適用ケース①(10m)

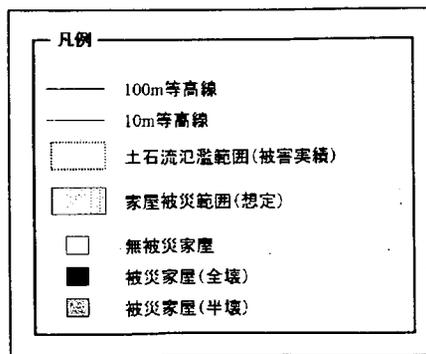
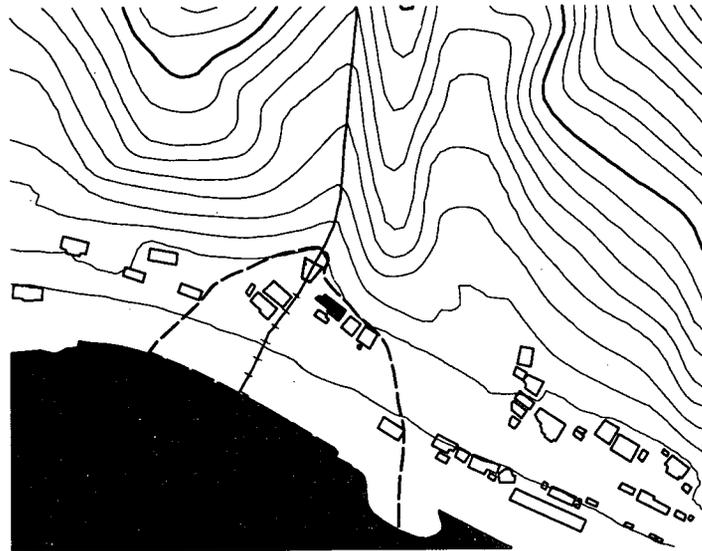
適用ケース① H溪流 (10m)



H溪流 適用ケース①(10m)



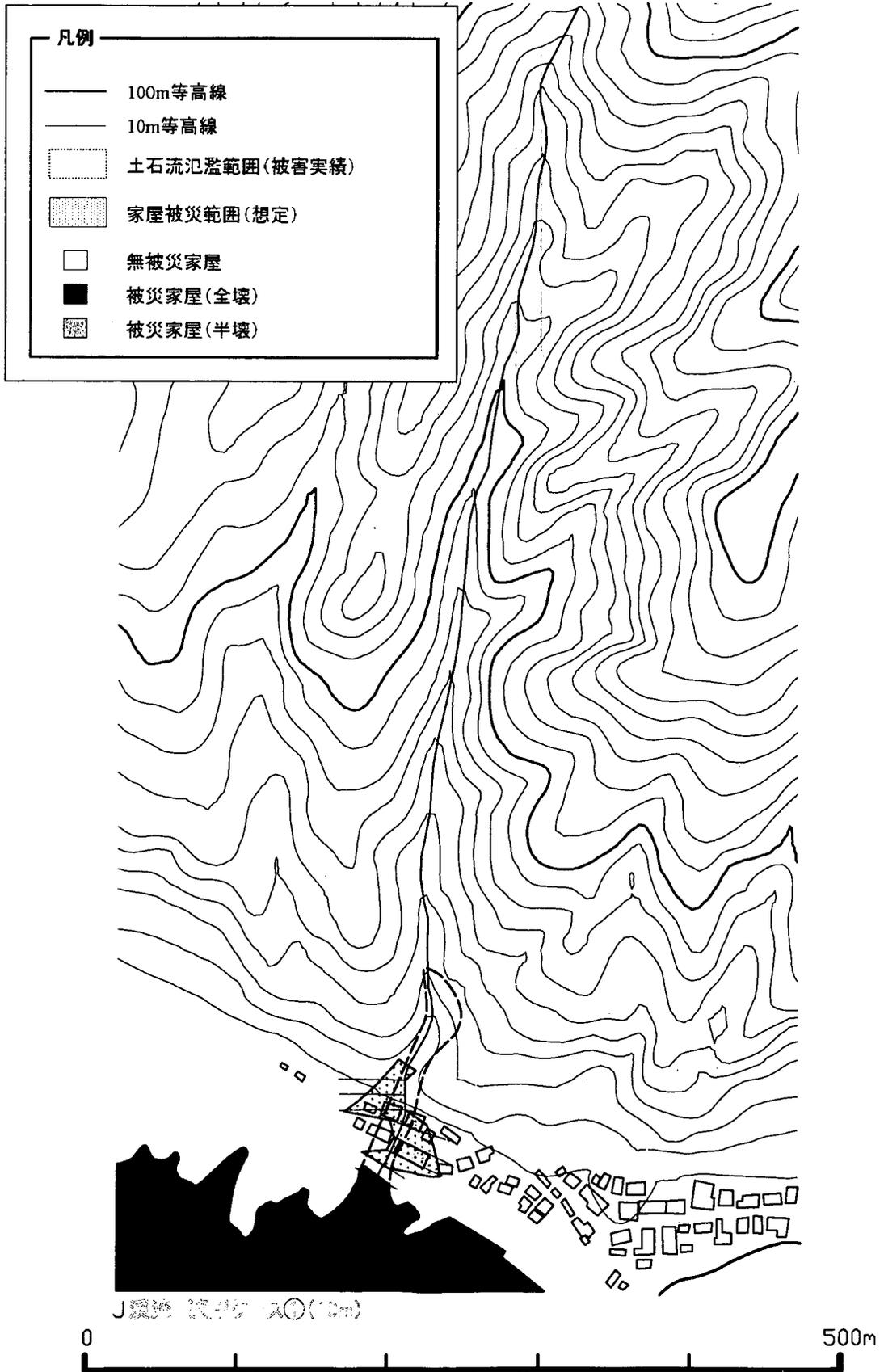
適用ケース① | 溪流 (10m)



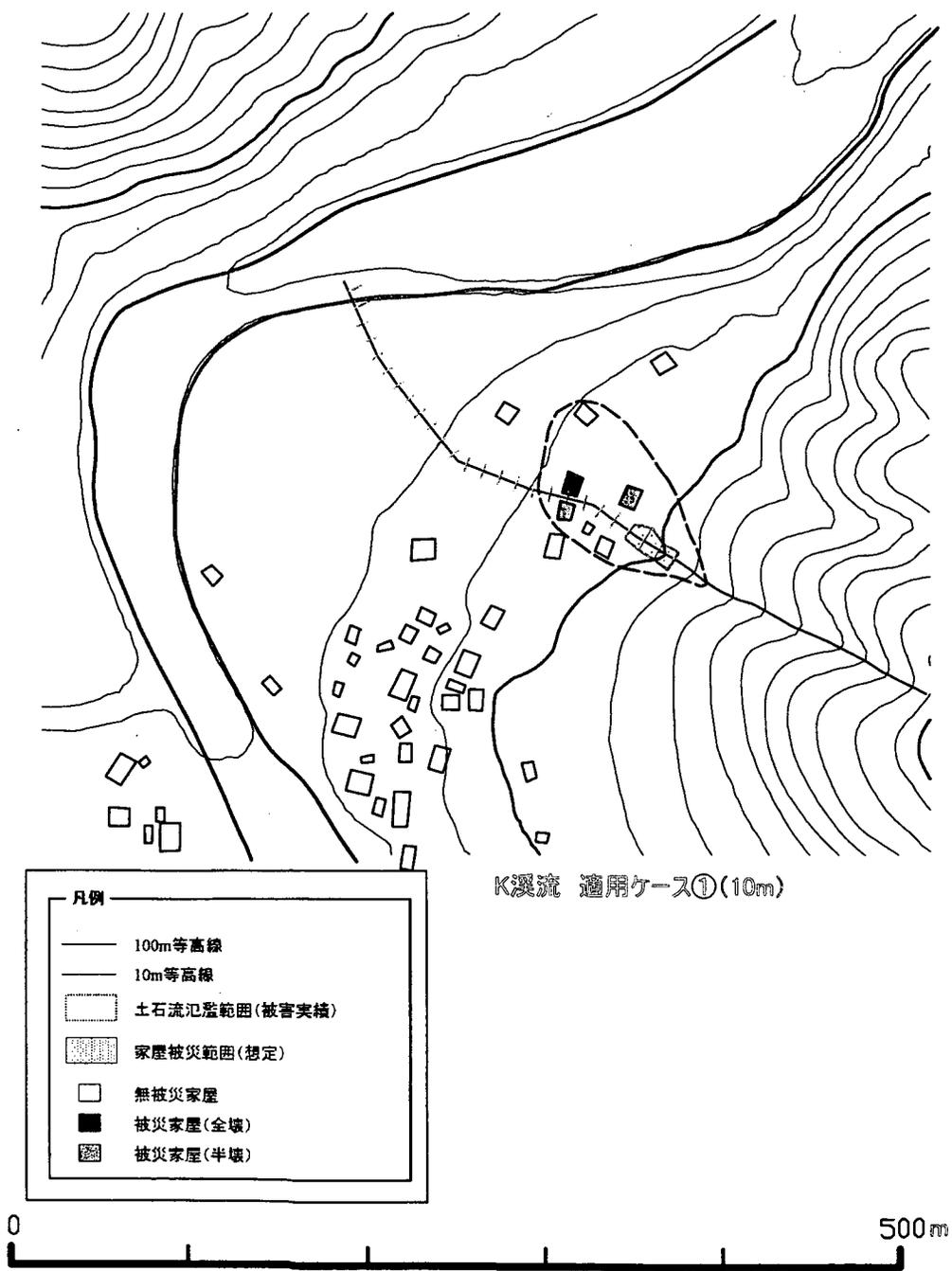
溪流 適用ケース①(10m)



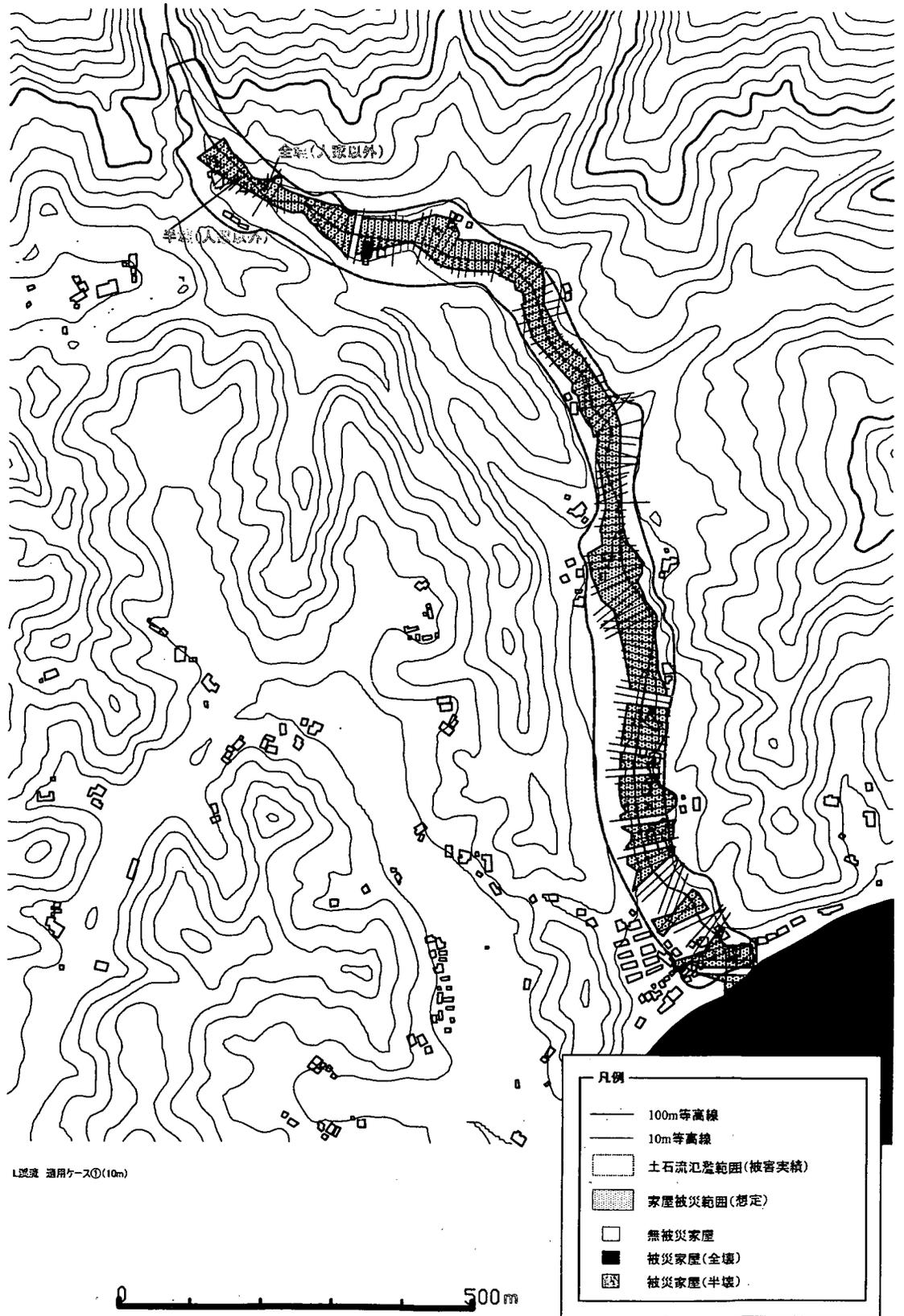
適用ケース① J 溪流 (10m)



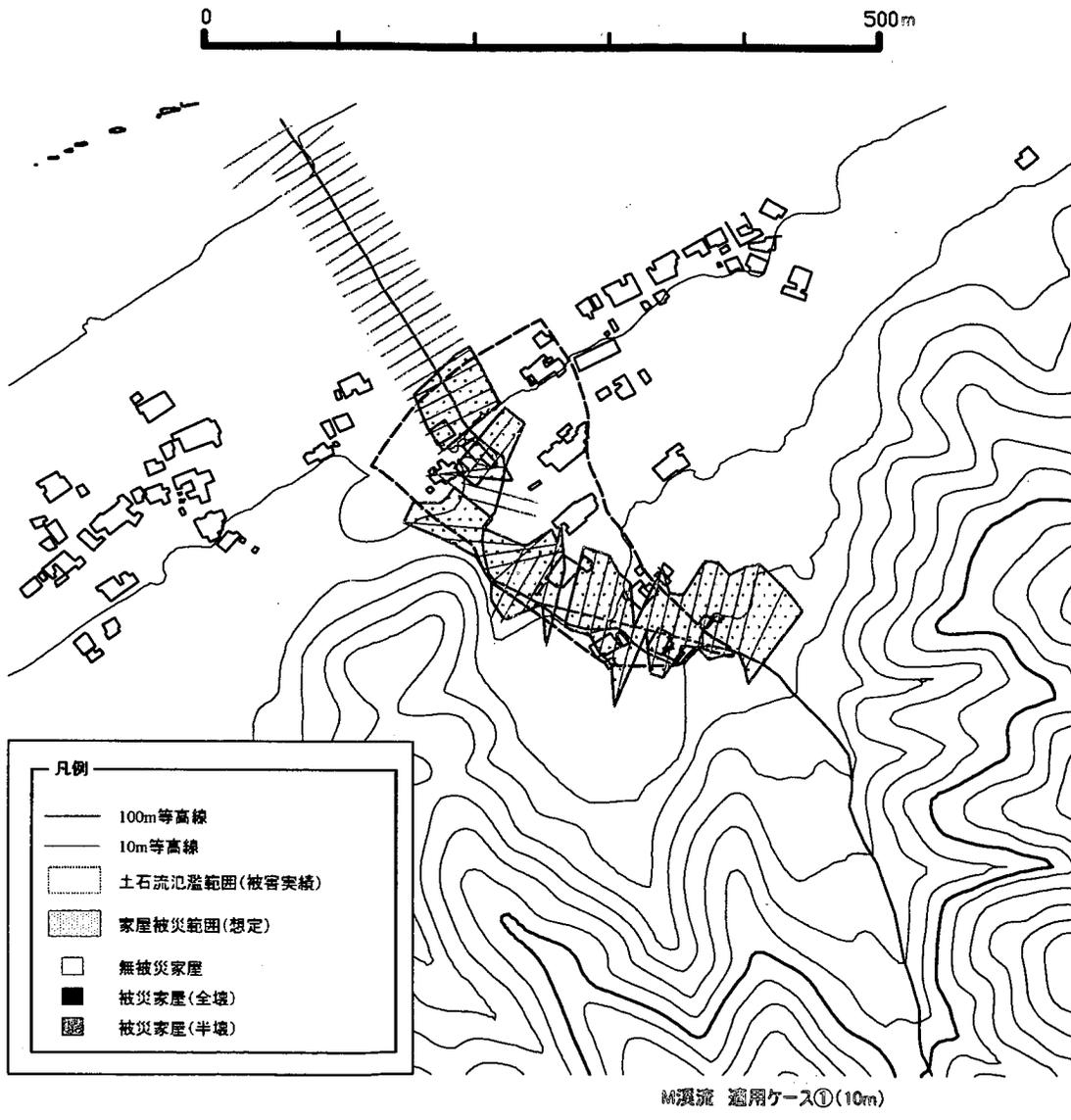
適用ケース① K溪流 (10m)



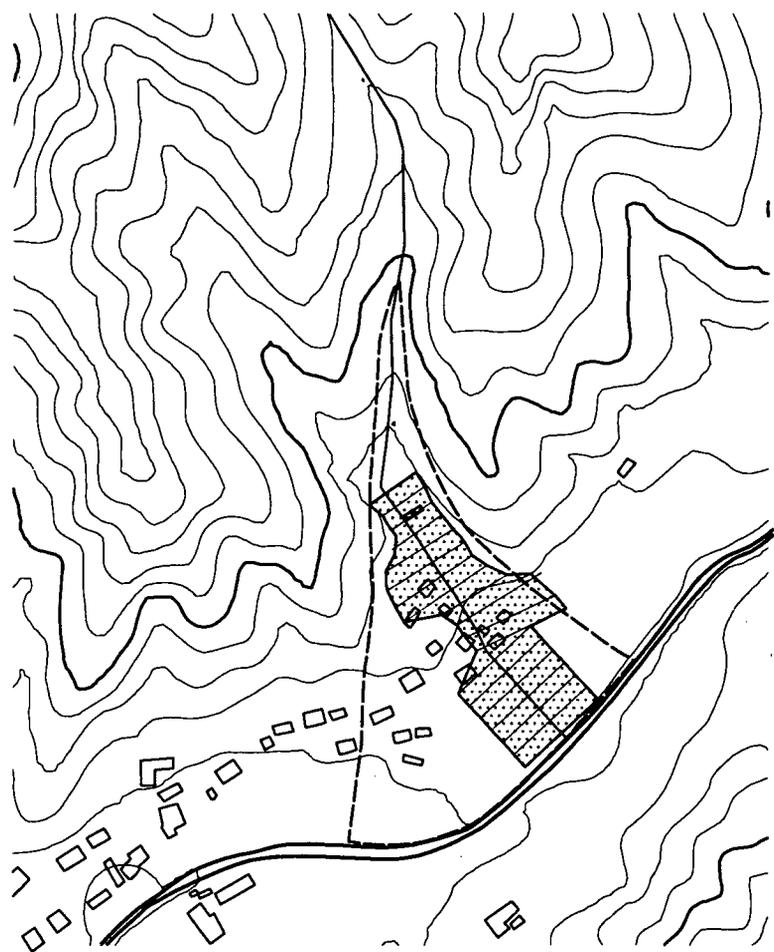
適用ケース① L 溪流 (10m)



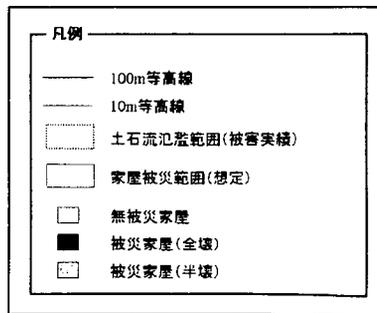
適用ケース① M溪流 (10m)



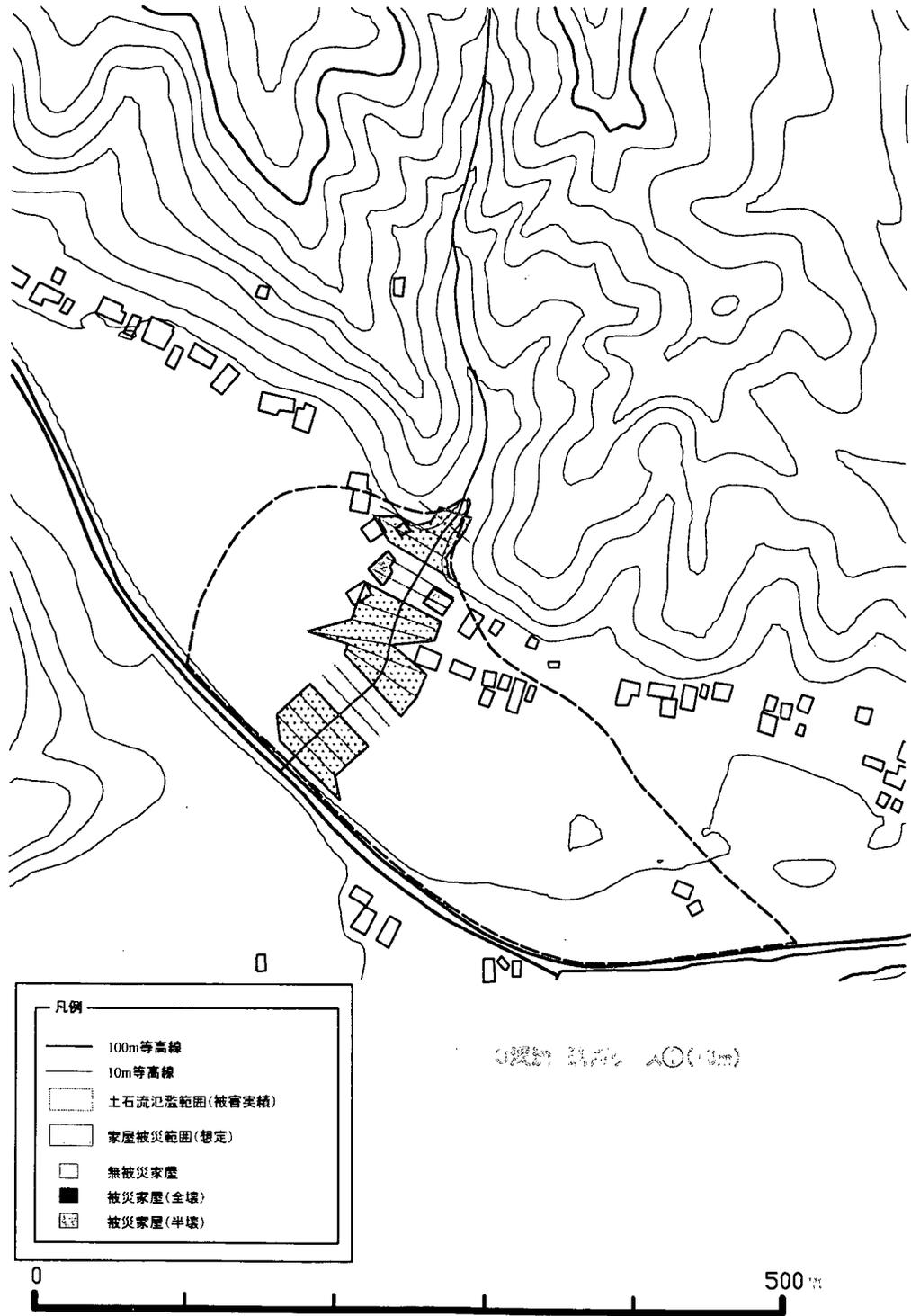
適用ケース① N 溪流 (10m)



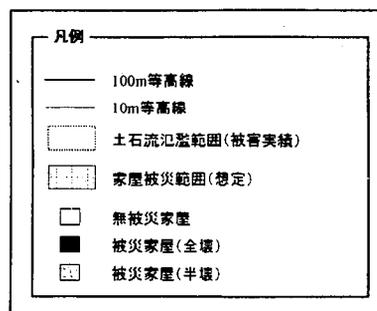
N 溪流 10m



適用ケース① 0 溪流 (10m)



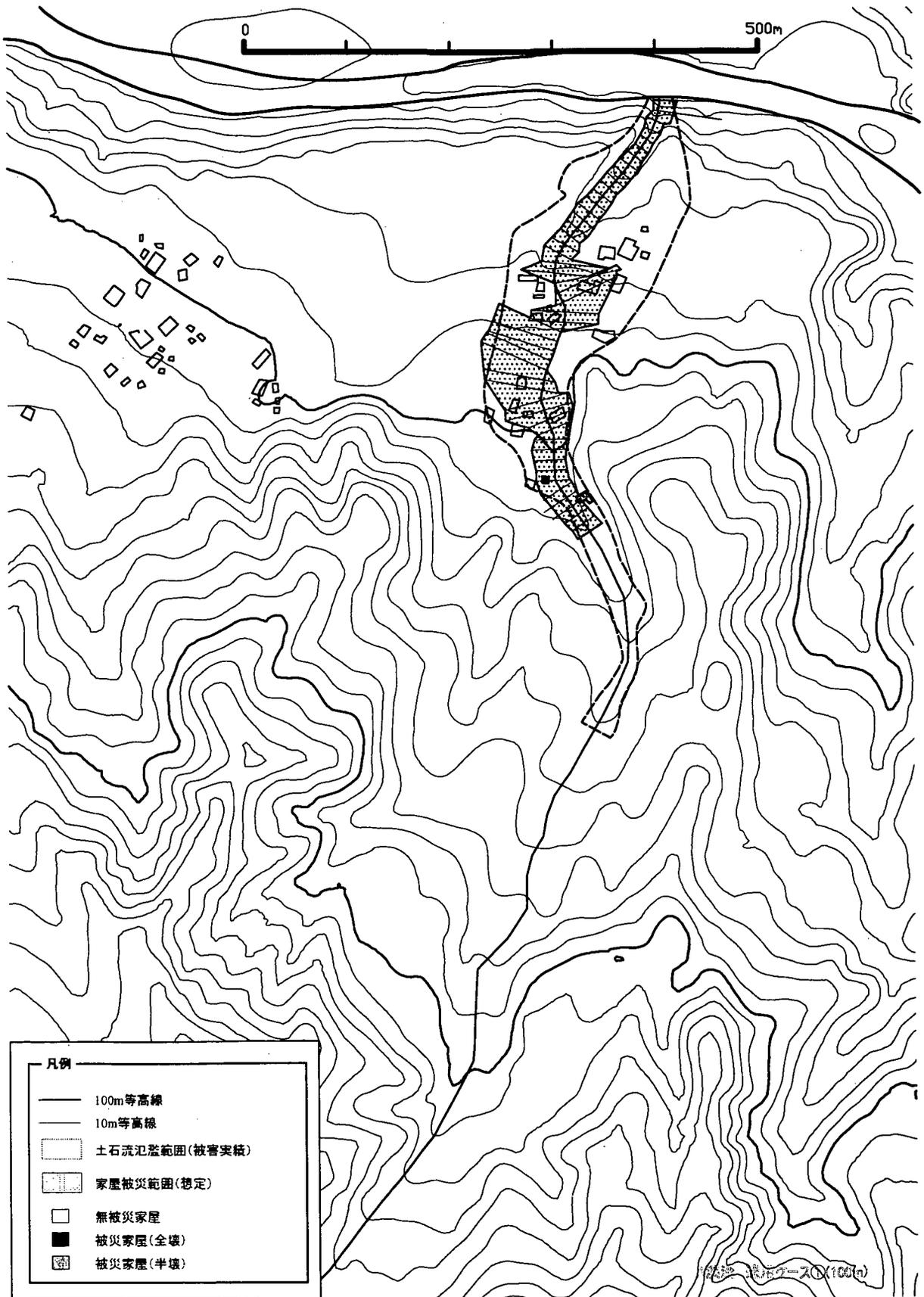
適用ケース① P 溪流 (10m)



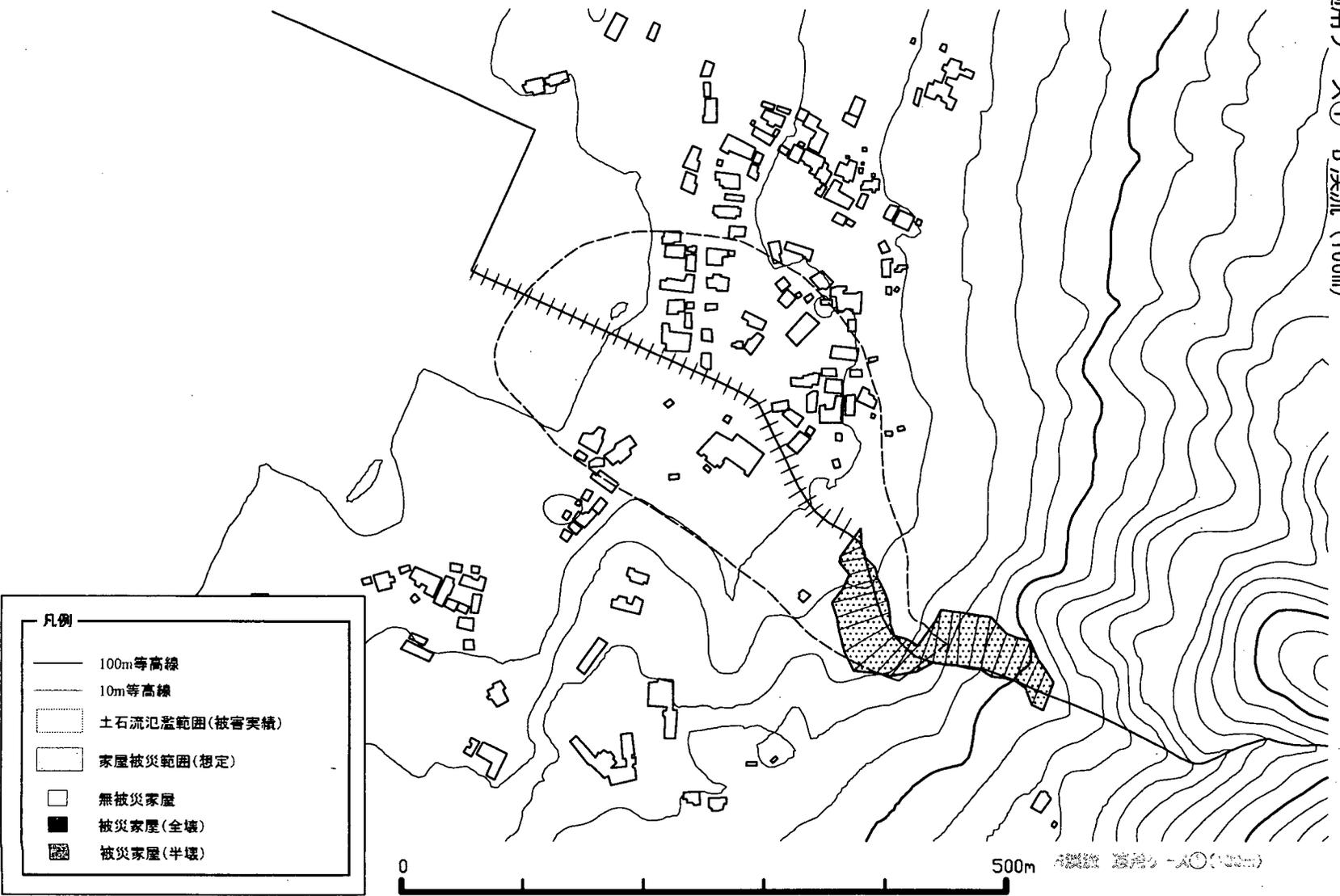
P 溪流 適用ケース①(10m)



適用ケース① A 溪流 (100m)

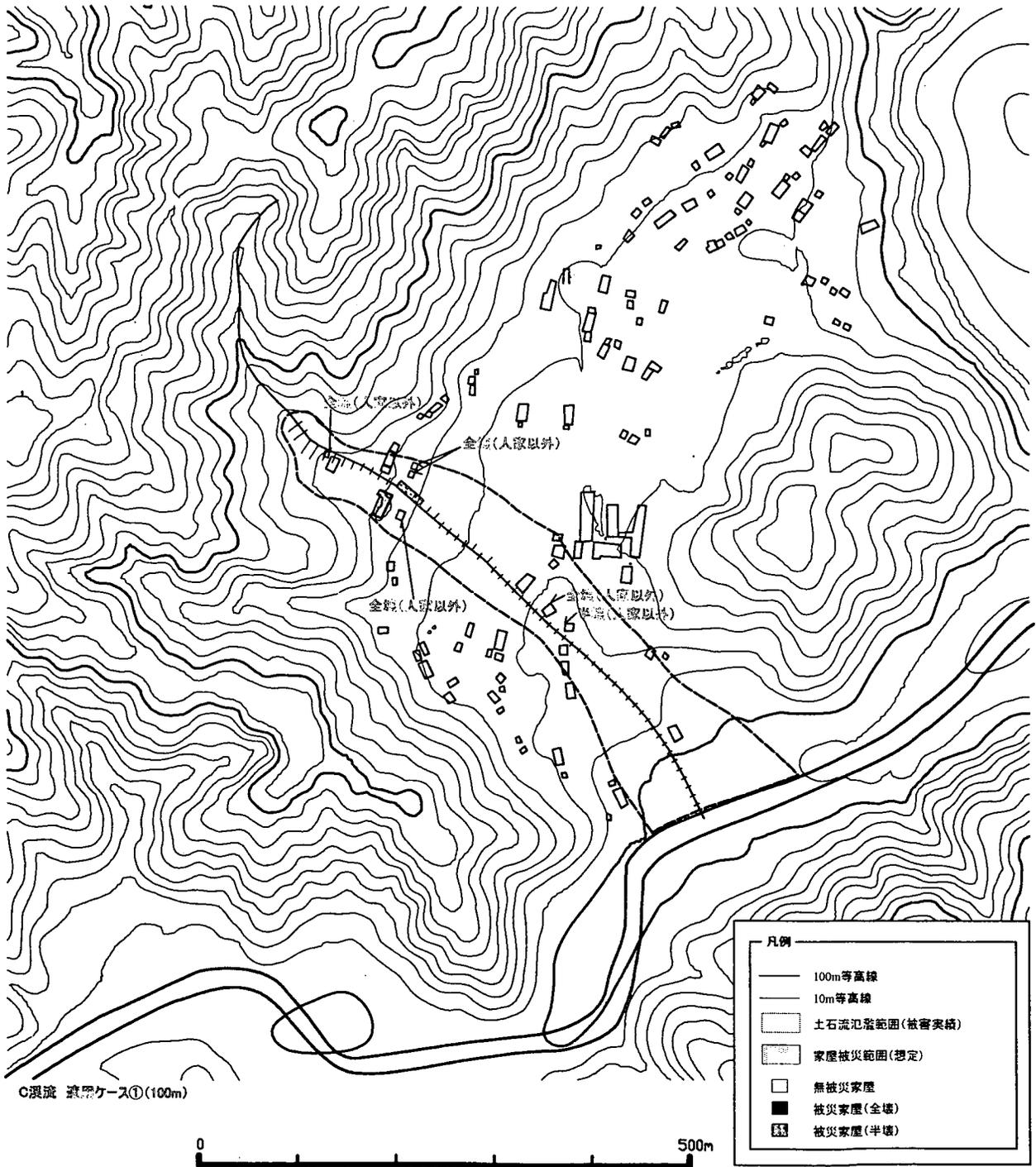


適用ケース① B 溪流 (100m)

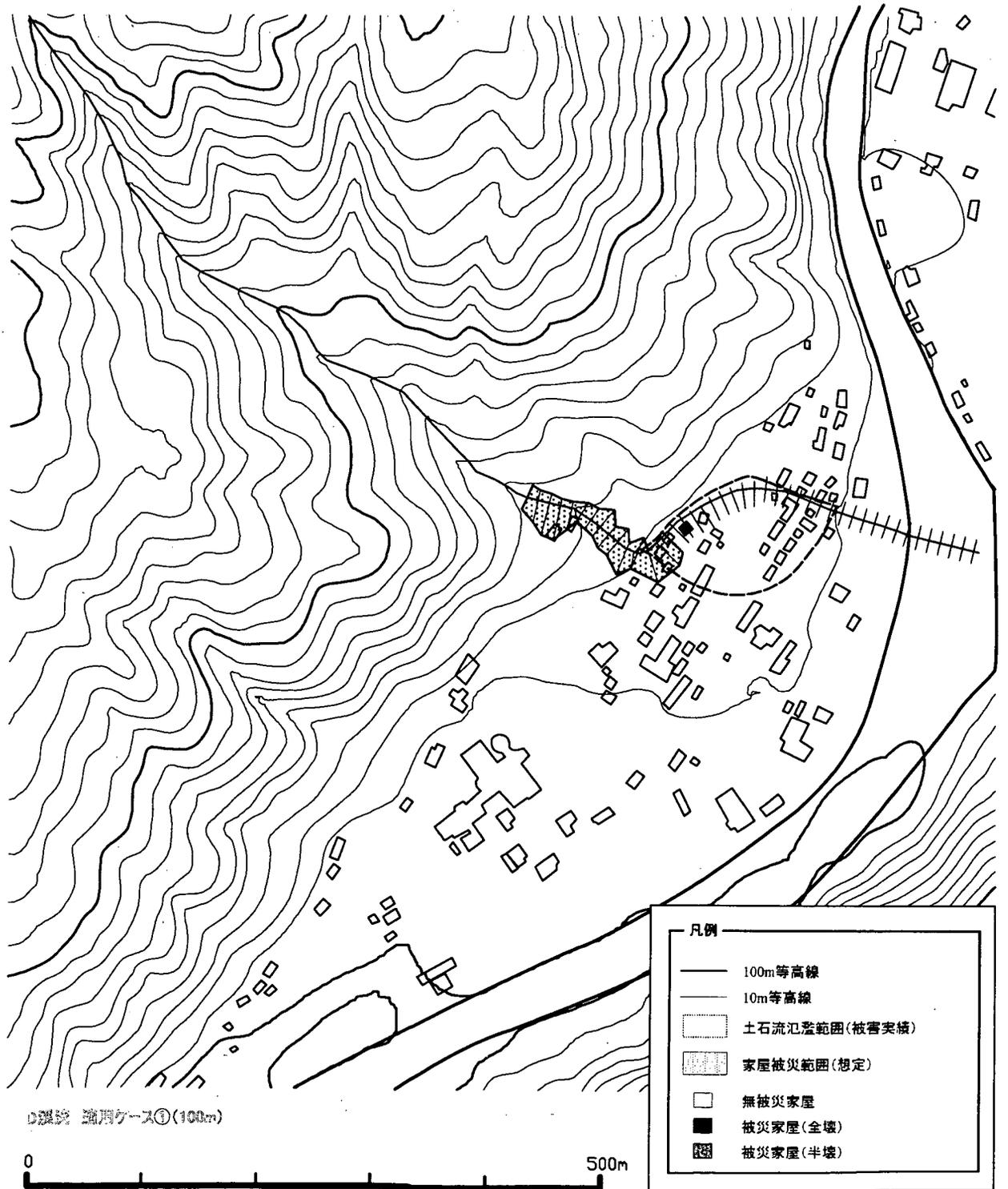


凡例	
— (solid line)	100m 等高線
- - - (dashed line)	10m 等高線
- - - (dashed line with cross-ticks)	土石流氾濫範囲(被害実績)
- - - (solid line with cross-ticks)	家屋被災範囲(想定)
□ (empty)	無被災家屋
■ (solid black)	被災家屋(全壊)
▨ (stippled)	被災家屋(半壊)

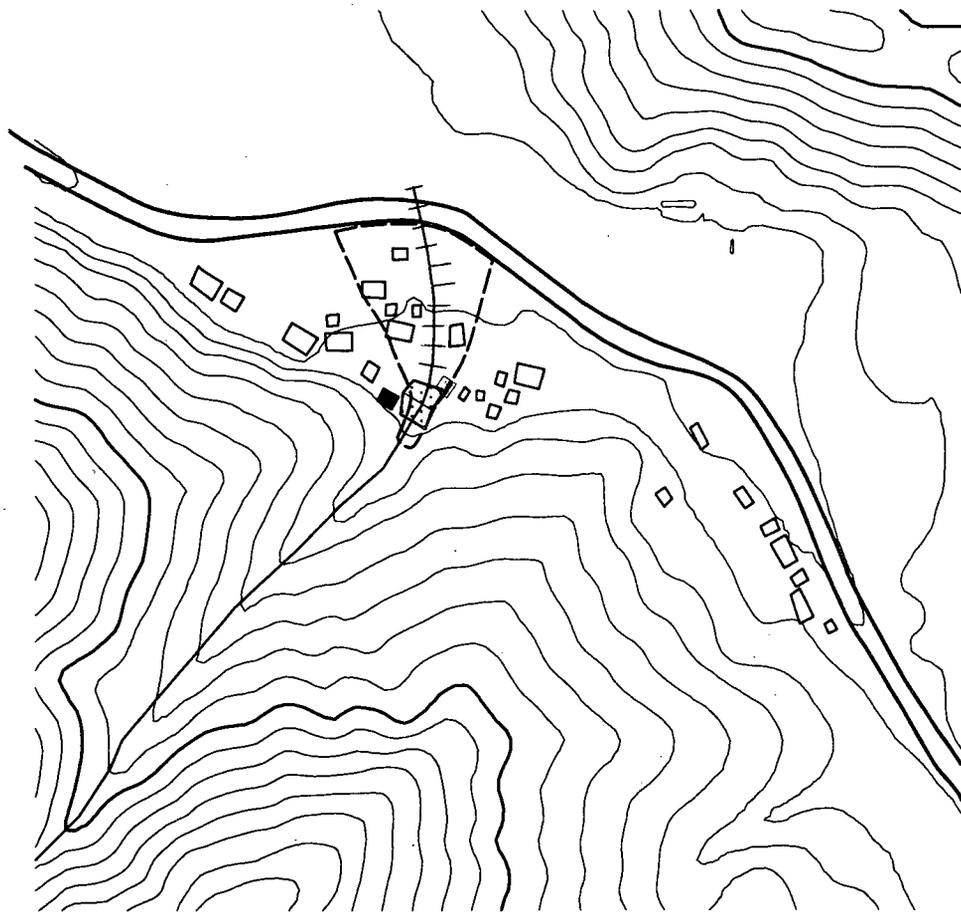
適用ケース① C 溪流 (100m)



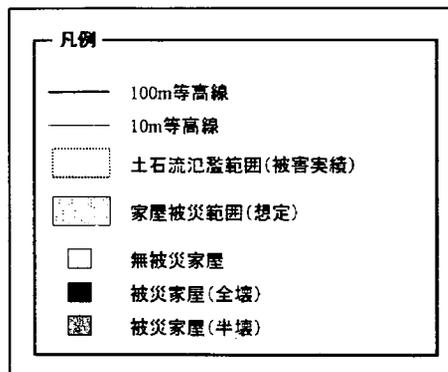
適用ケース① D 溪流 (100m)



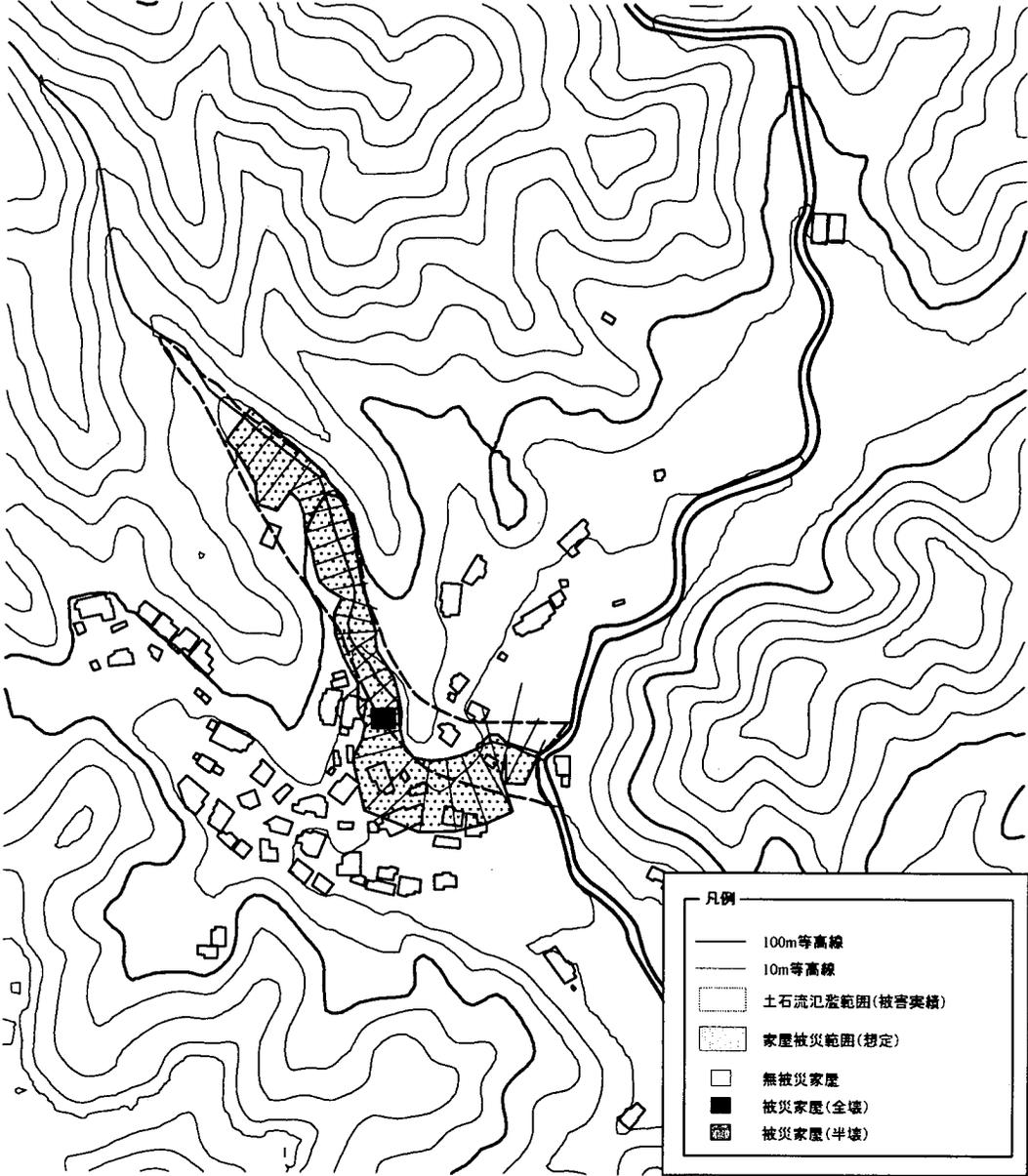
適用ケース① E 溪流 (100m)



E 溪流 適用ケース①(100m)

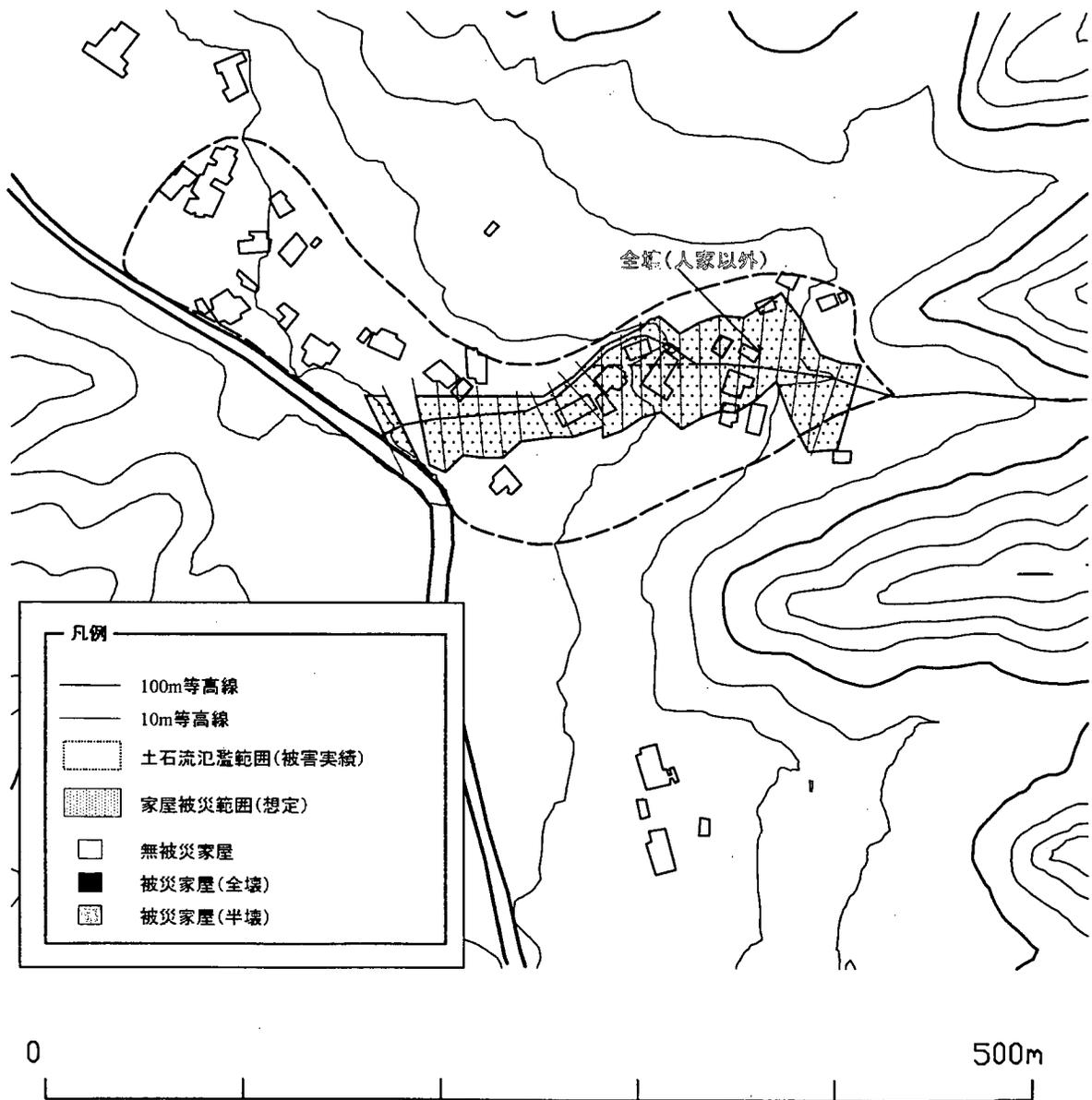


適用ケース① F 溪流 (100m)



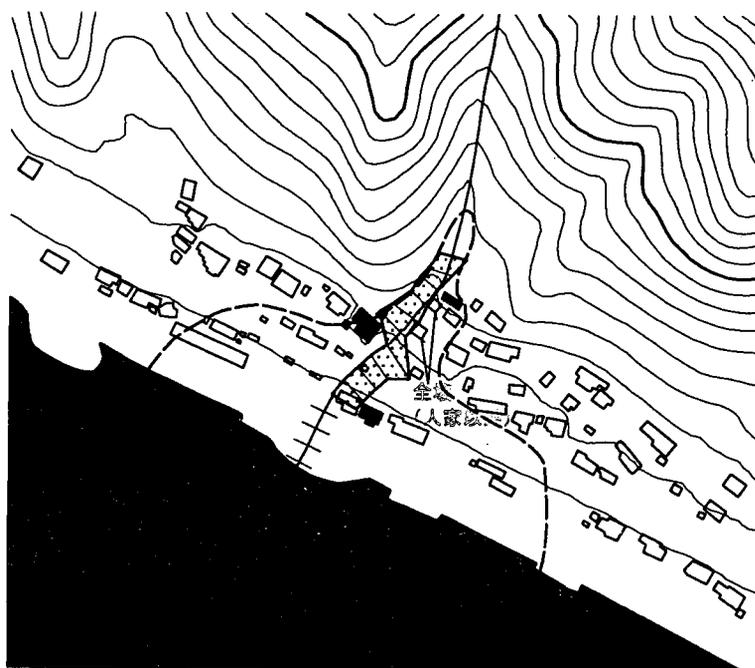
0 500m  
 流域 500m 100m

適用ケース① G 溪流 (100m)

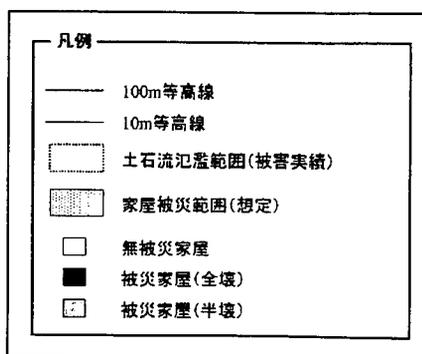


G溪流 適用ケース①(100m)

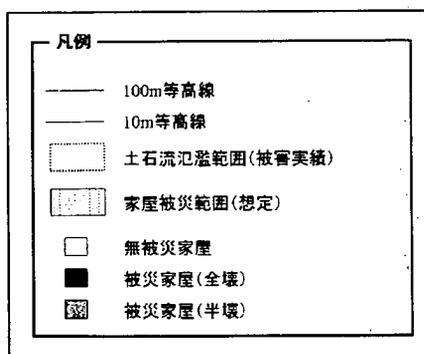
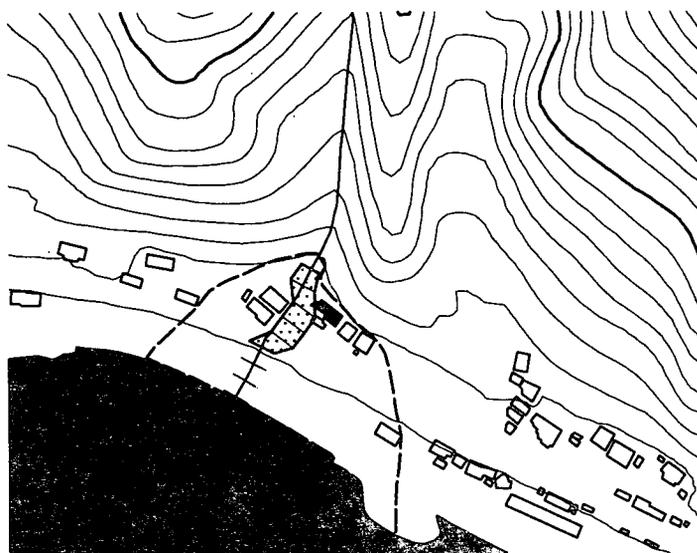
適用ケース① H溪流 (100m)



H溪流 適用ケース①(100m)



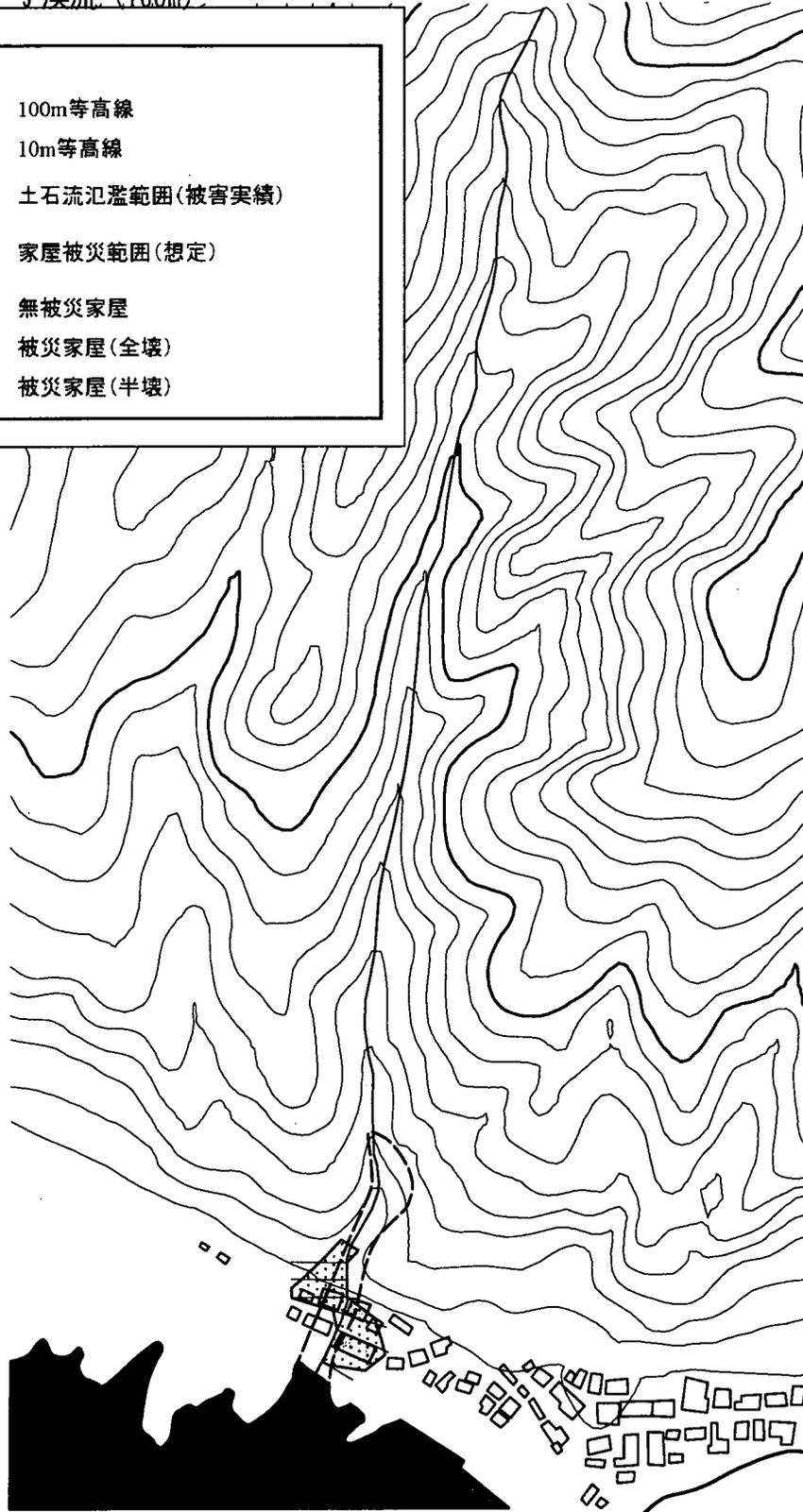
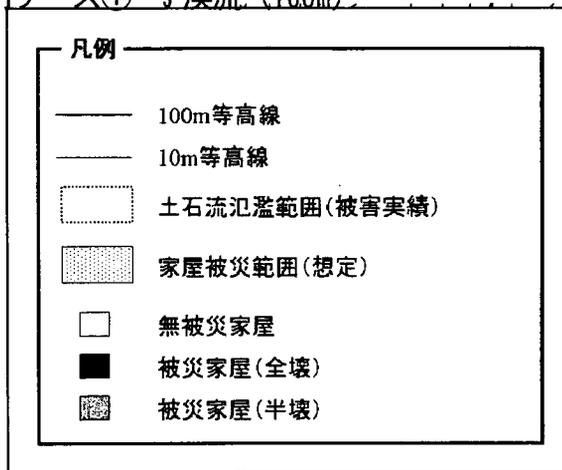
適用ケース① | 溪流 (100m)



浸水 浸水範囲①(100m)



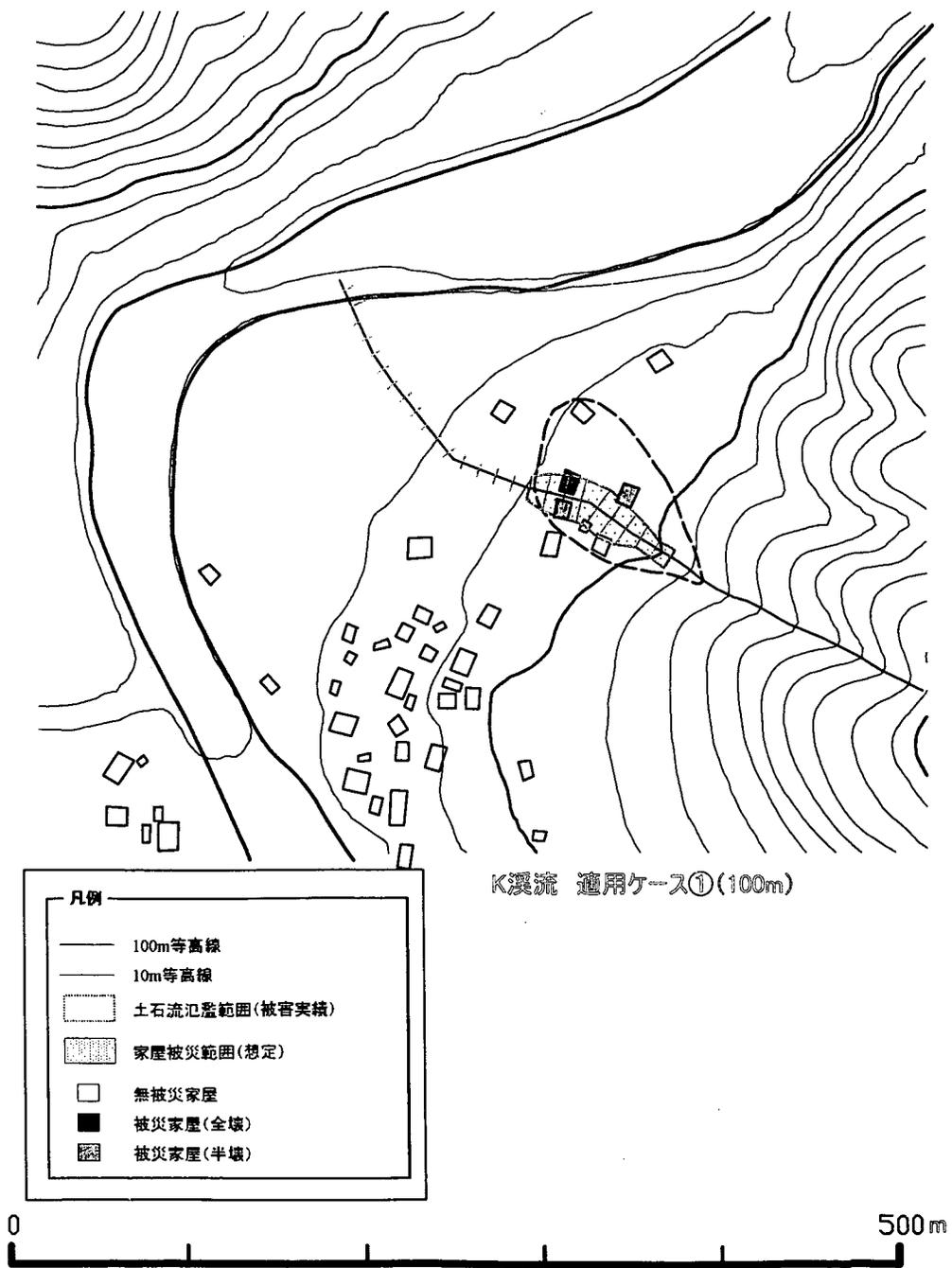
適用ケース① J 溪流 (100m)



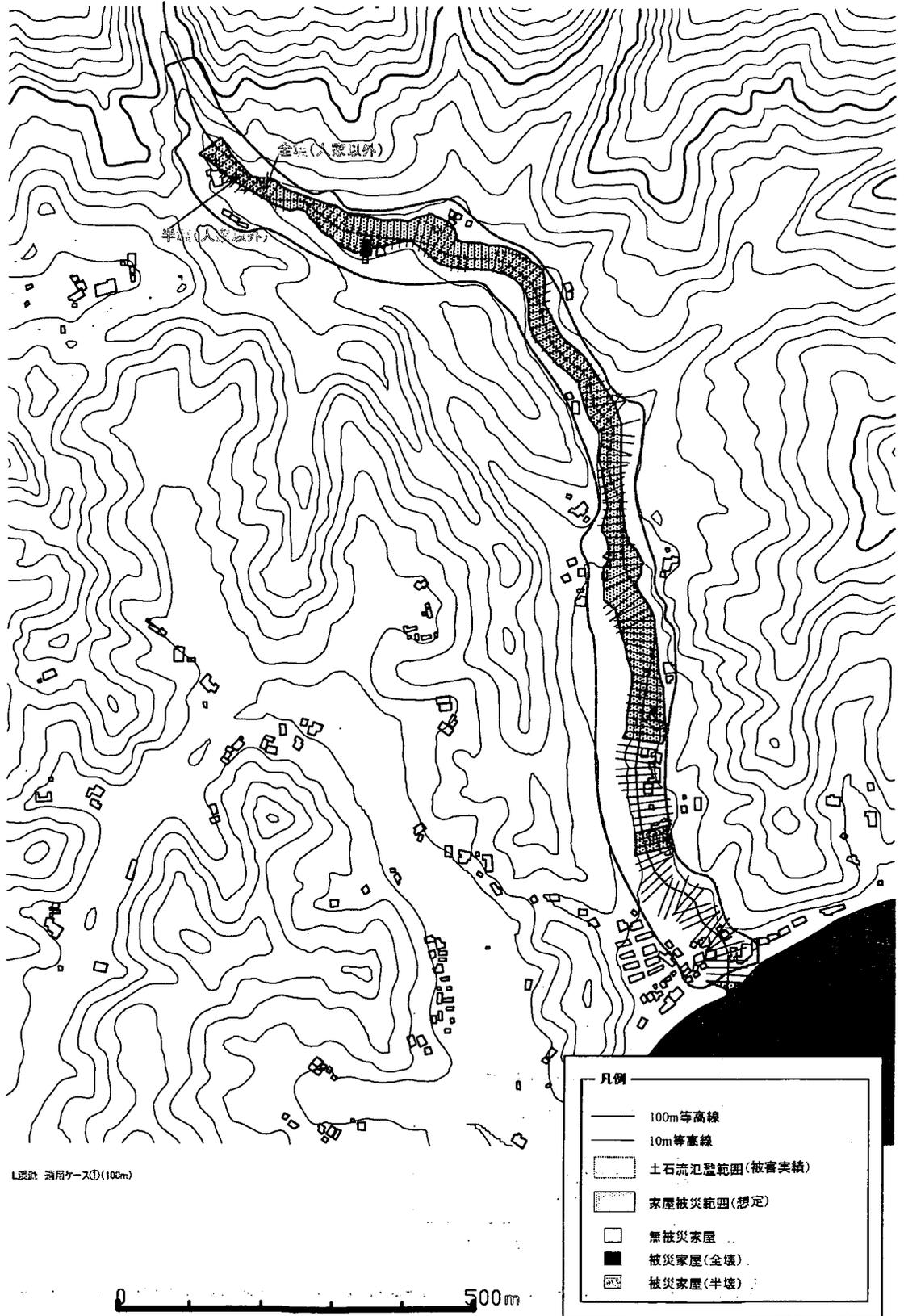
J 溪流 適用ケース①(100m)



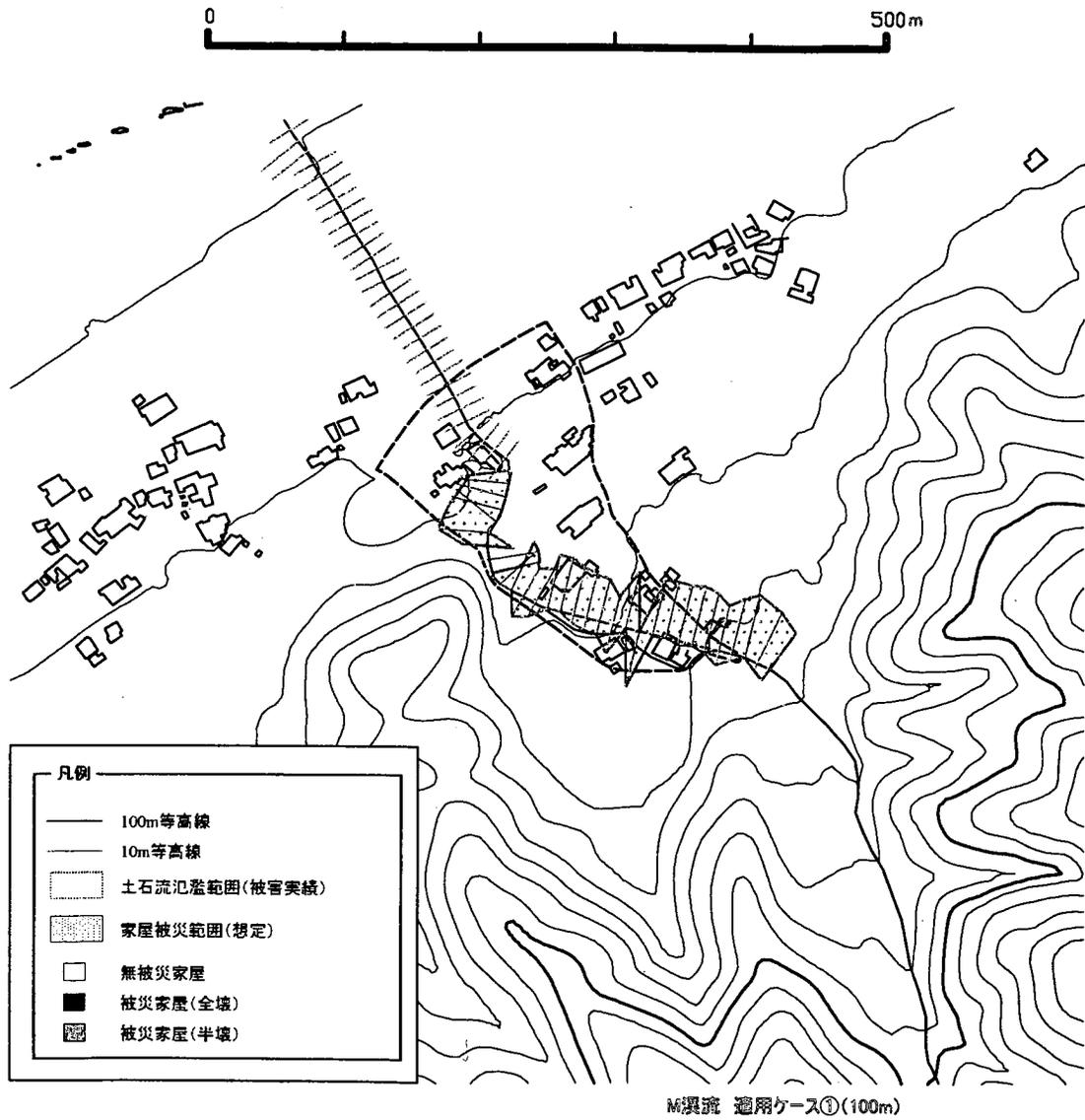
適用ケース① K溪流 (100m)



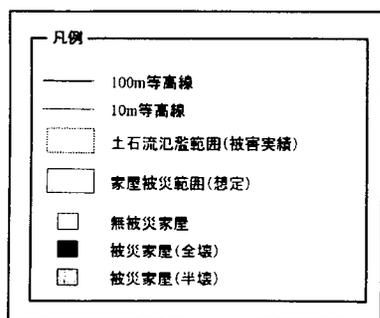
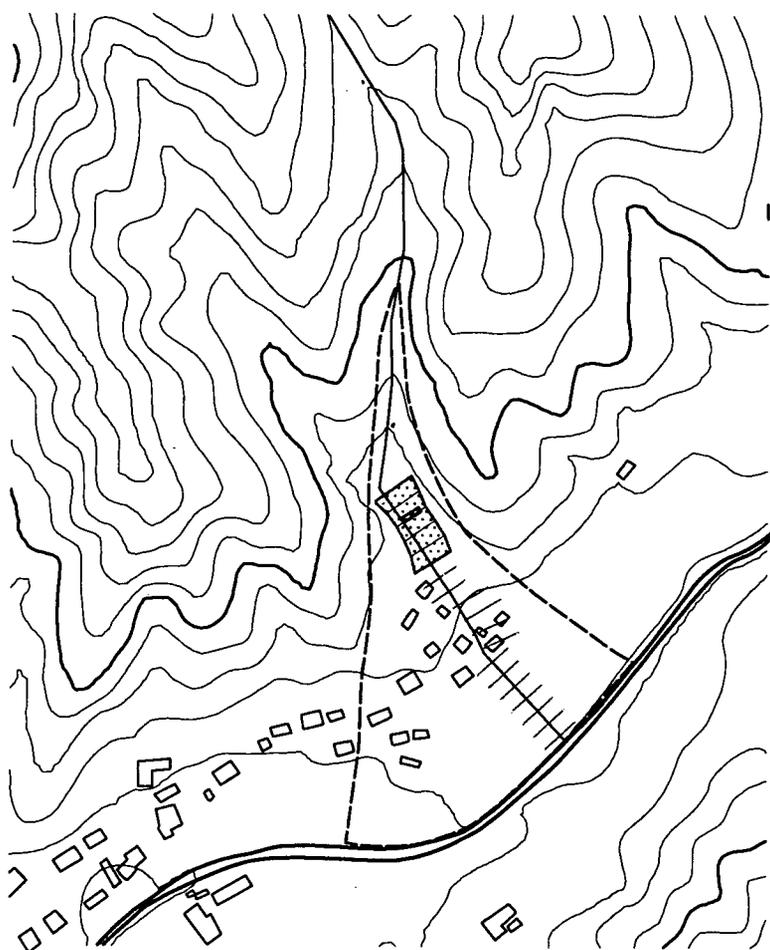
適用ケース① L 溪流 (100m)



適用ケース① M溪流 (100m)



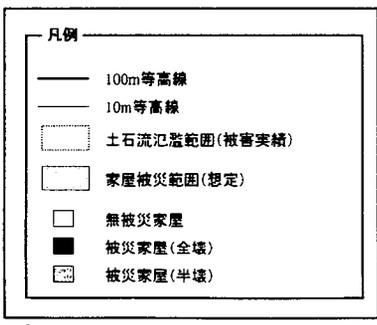
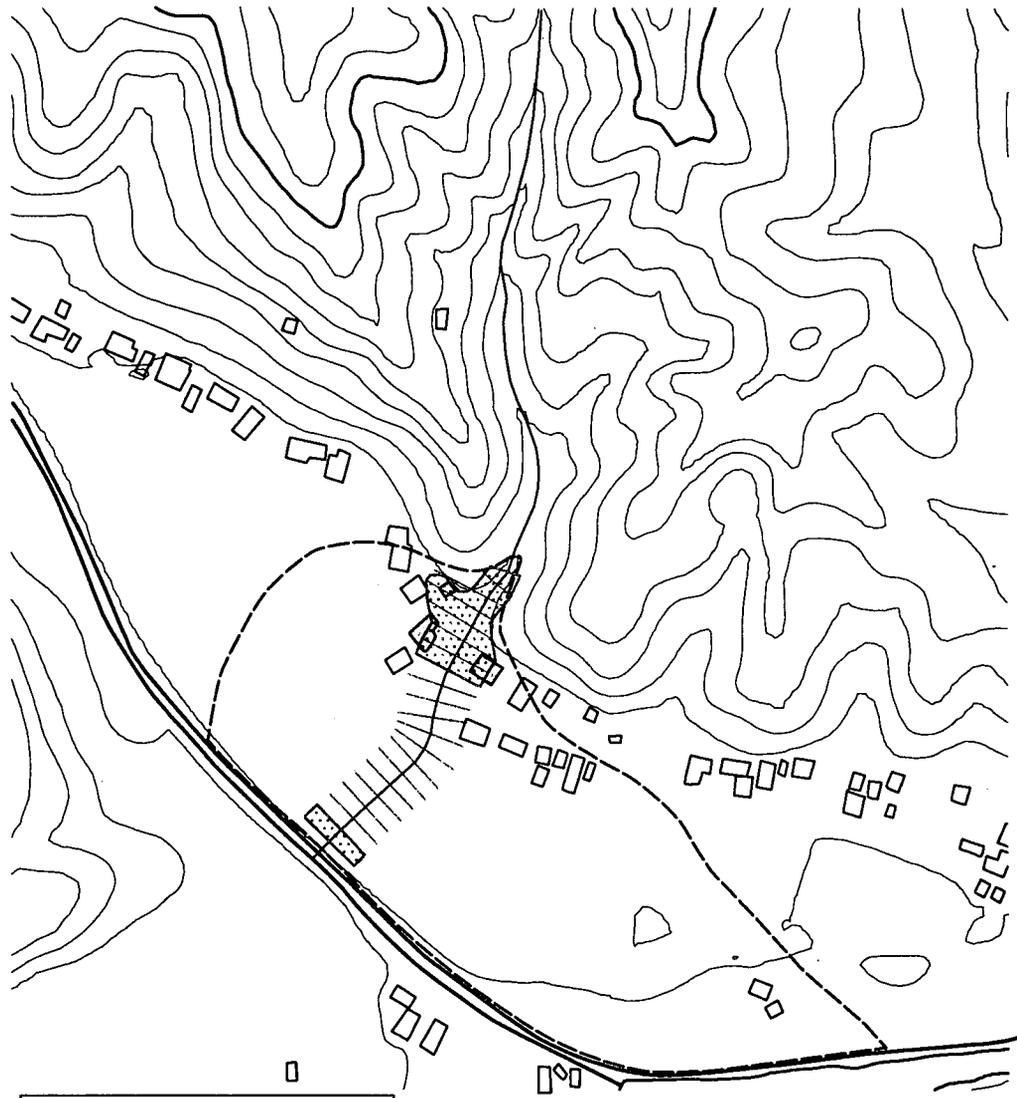
適用ケース① N 溪流 (100m)



①(100m)



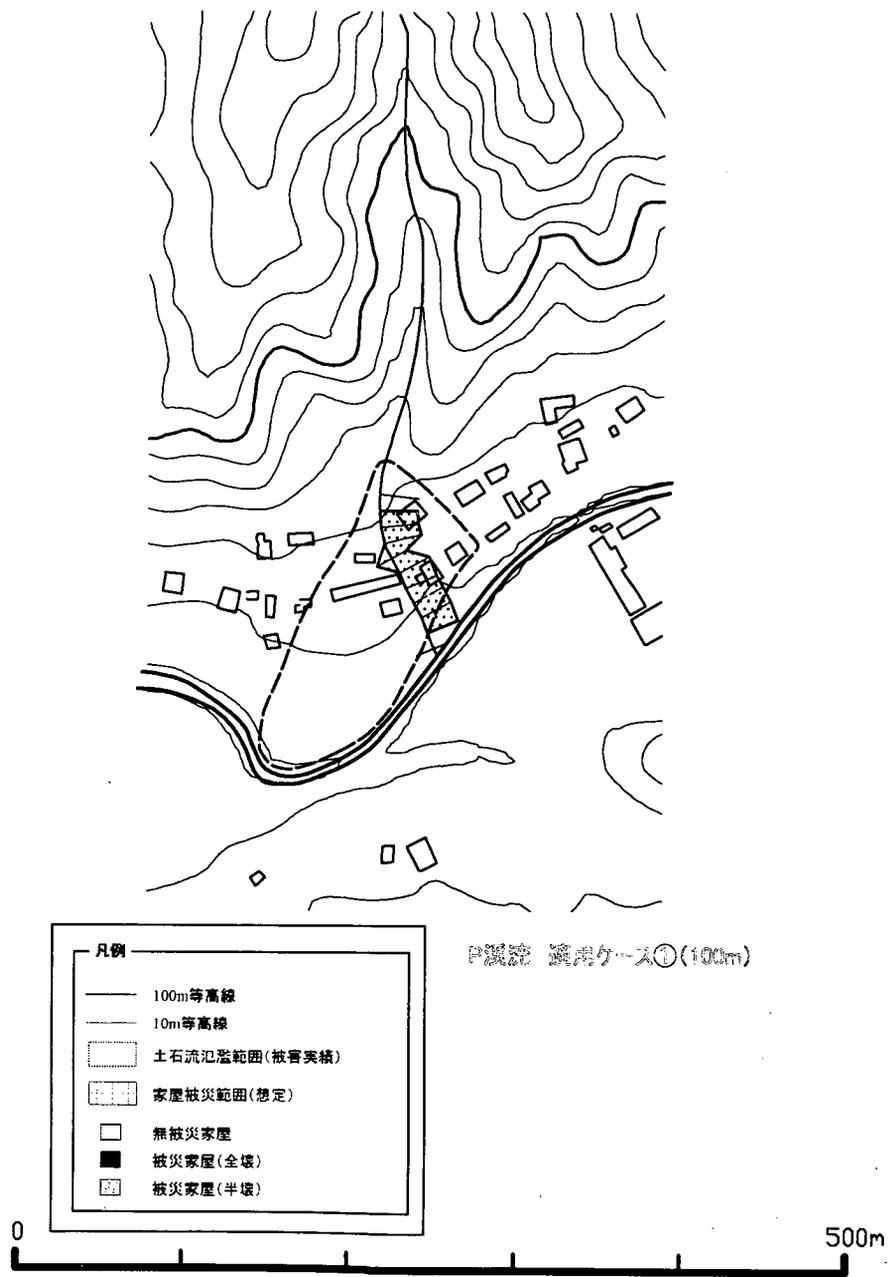
適用ケース① 0 溪流 (100m)



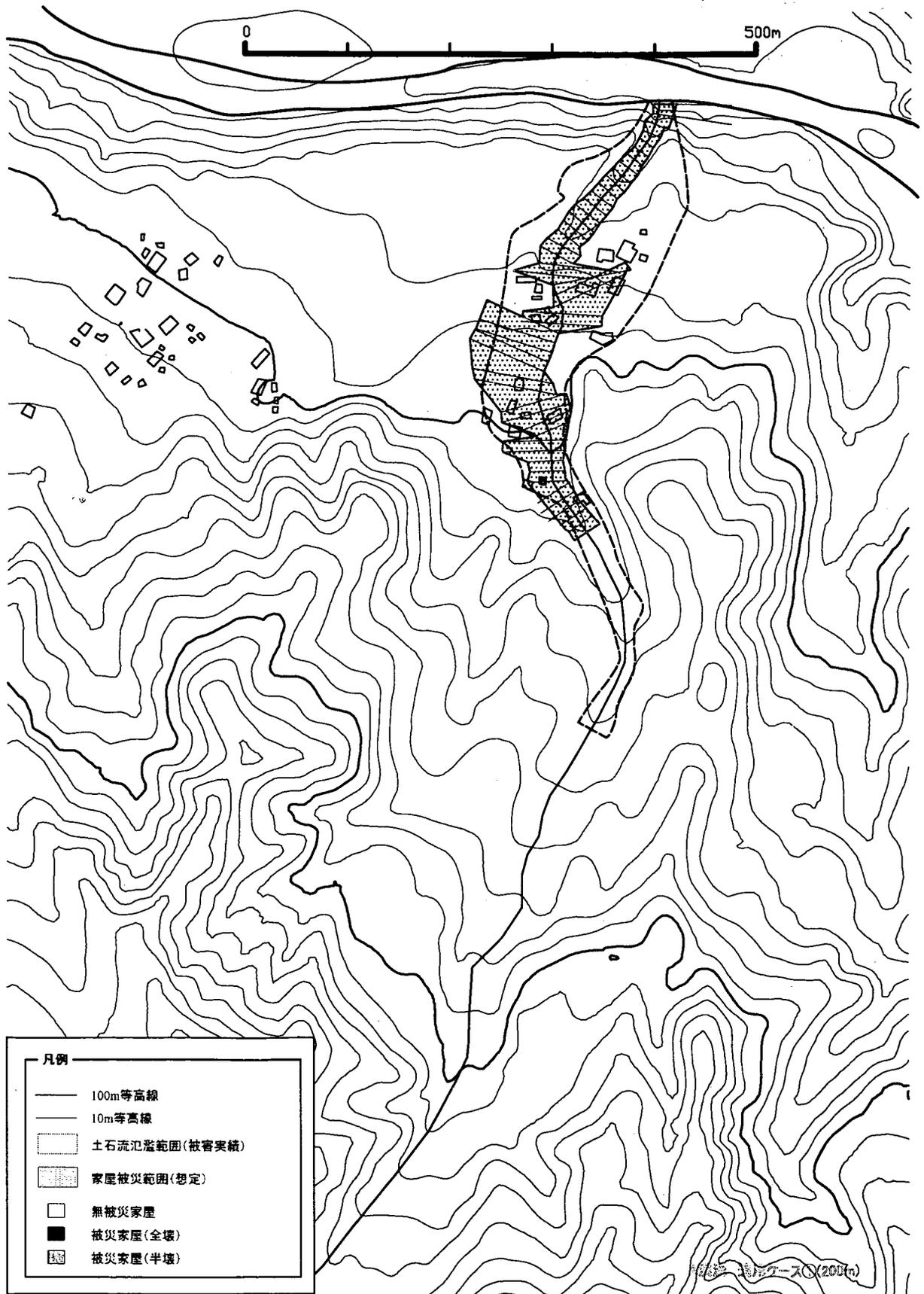
〇 観測地点(100m)



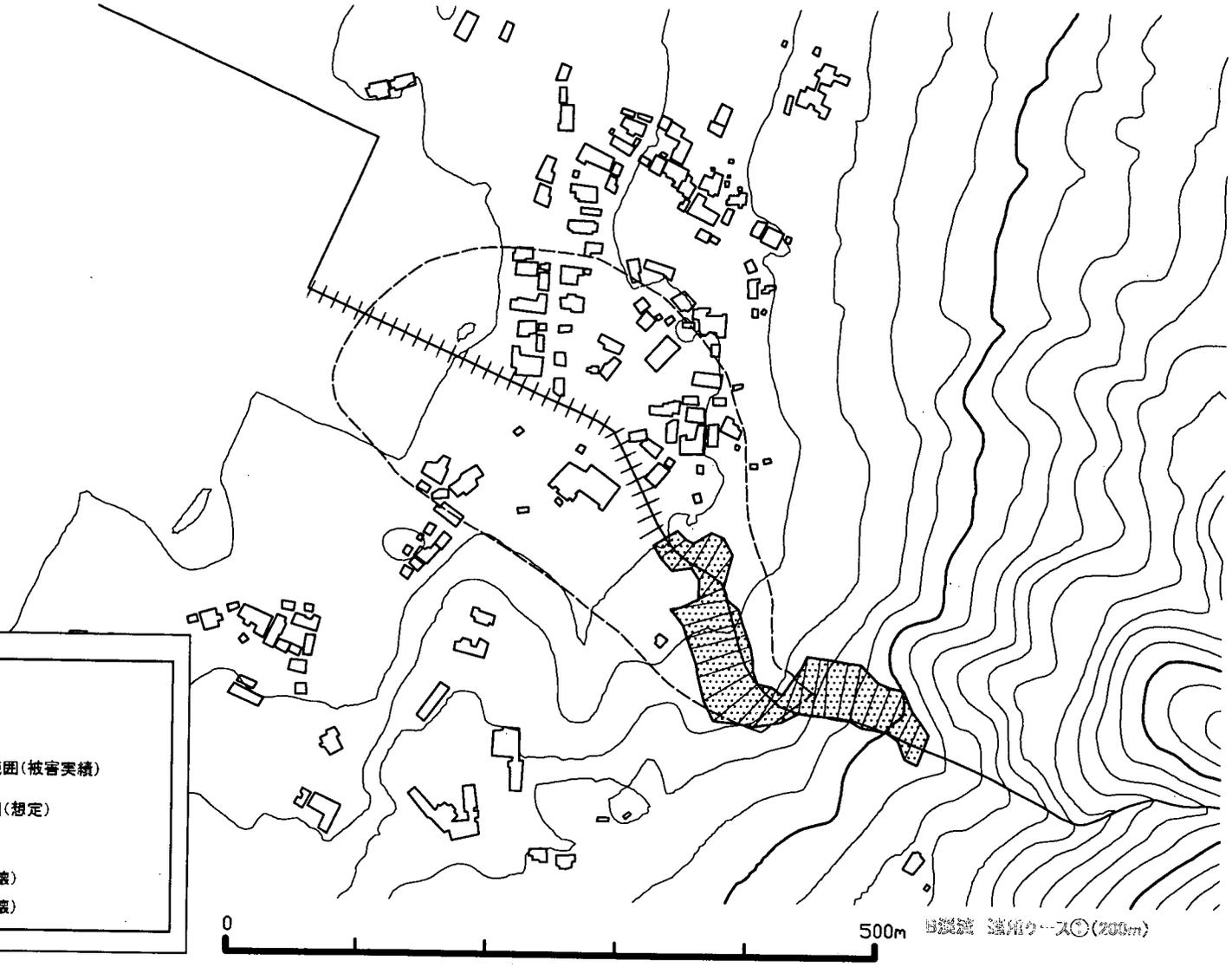
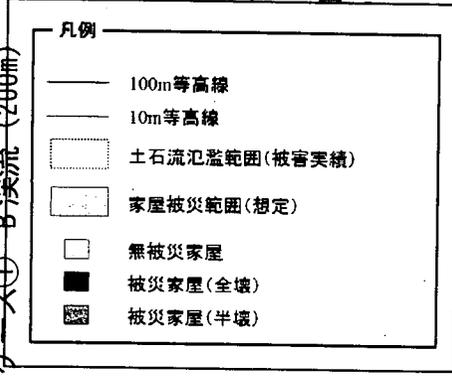
適用ケース① P 溪流 (100m)



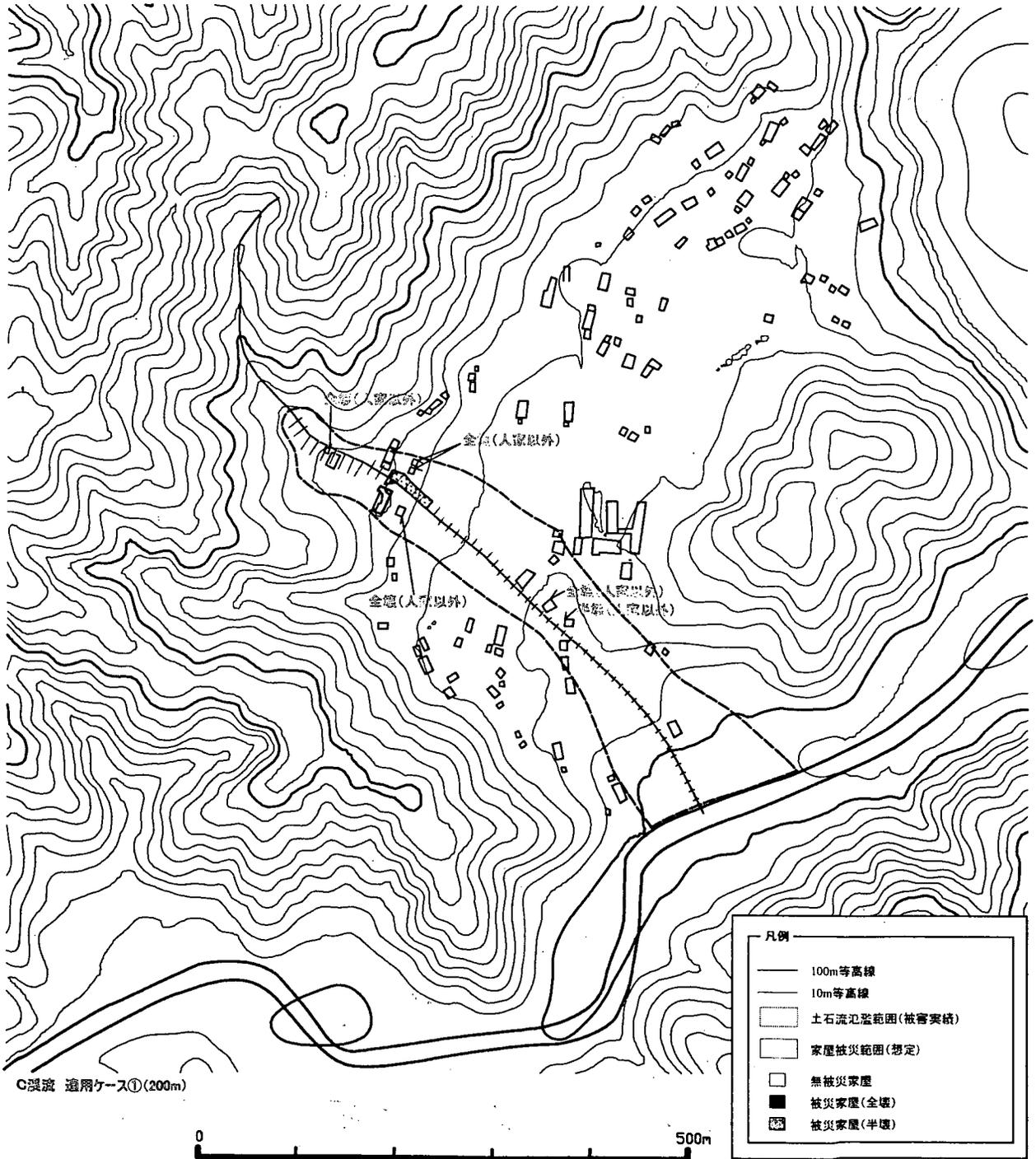
適用ケース① A渓流 (200m)



適用件ノス①B溪流(200m)

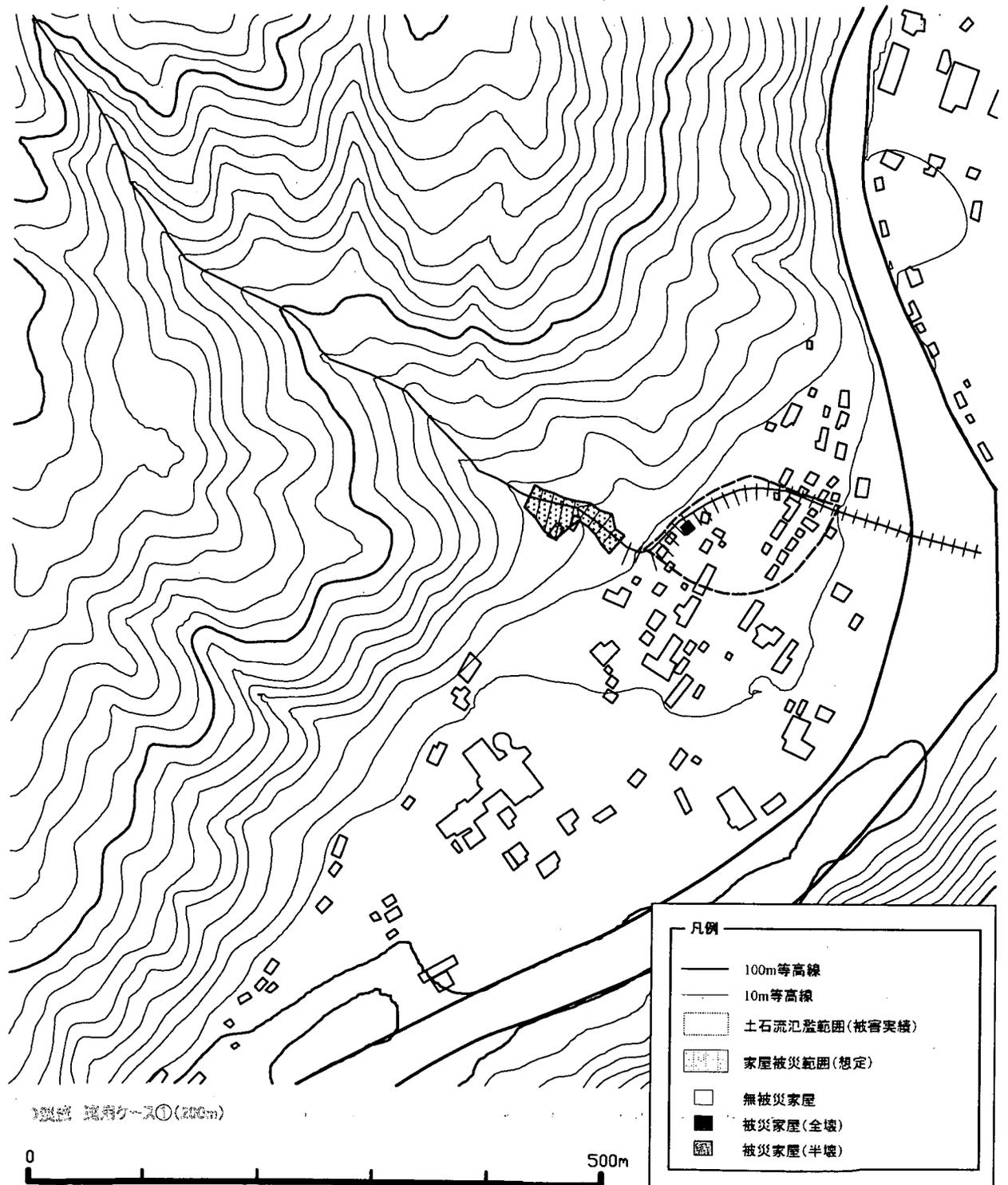


適用ケース① C 溪流 (200m)



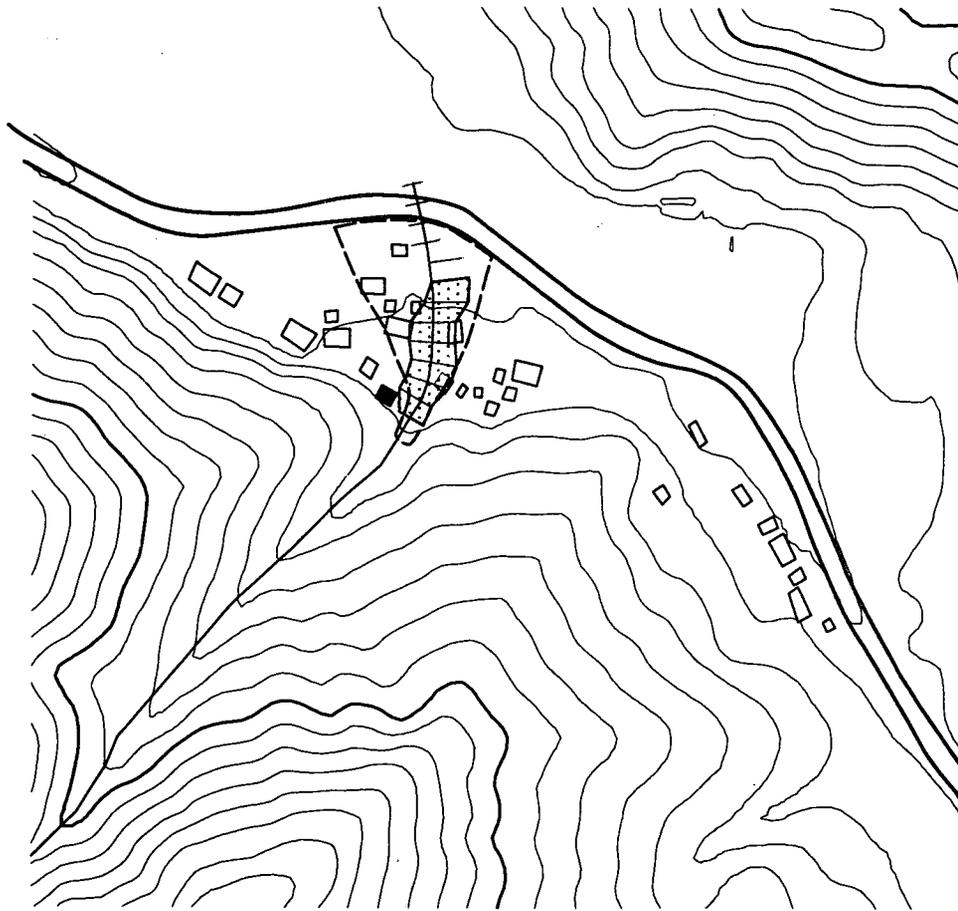
C 溪流 適用ケース① (200m)

適用ケース① D 溪流 (200m)

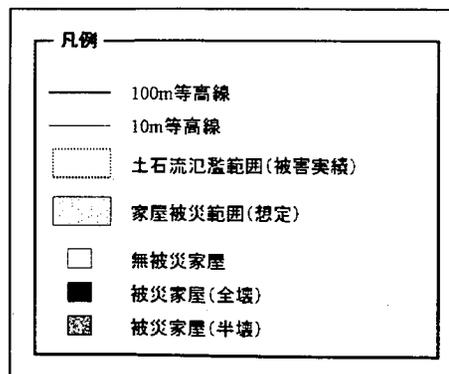


0 500m

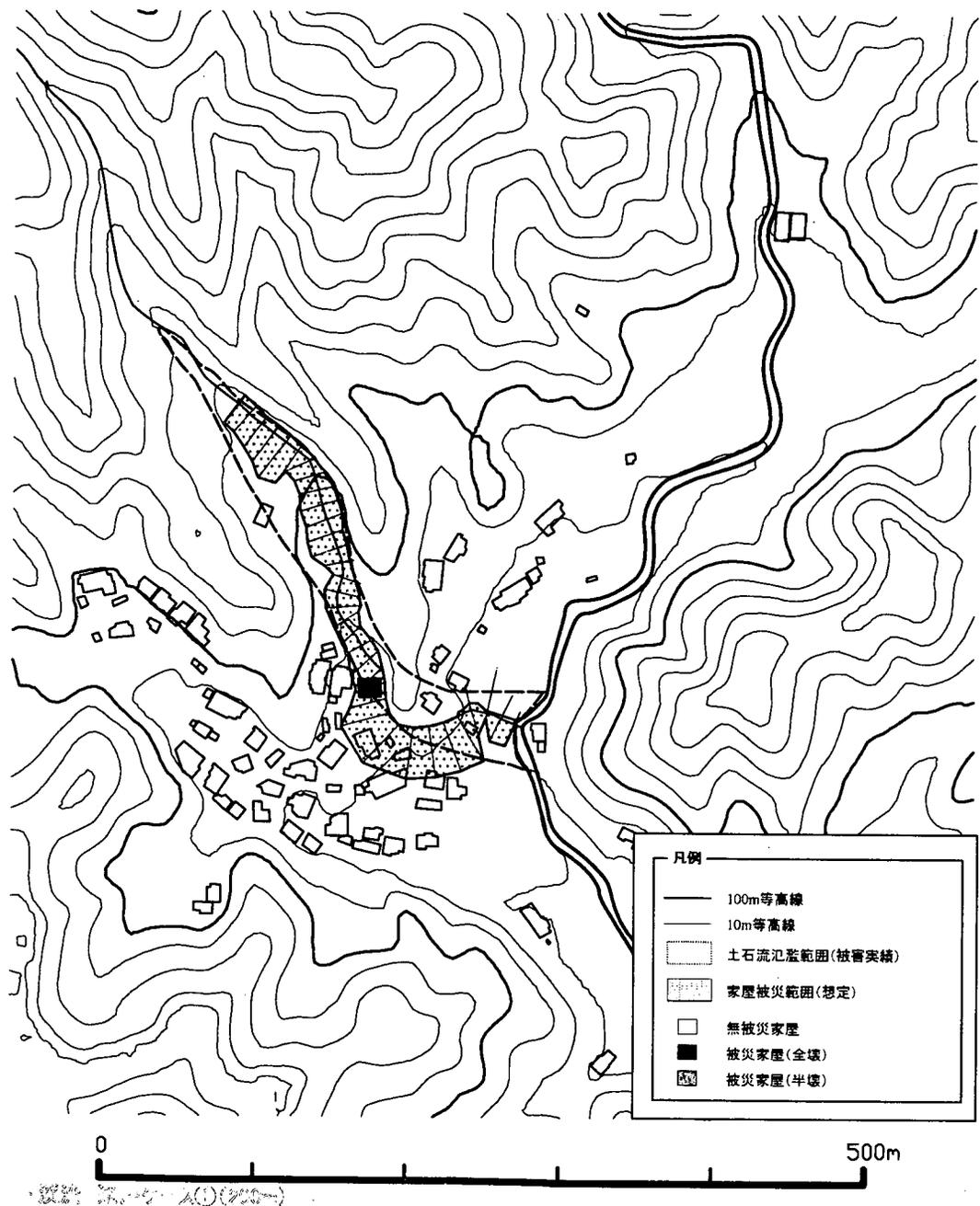
適用ケース① E 溪流 (200m)



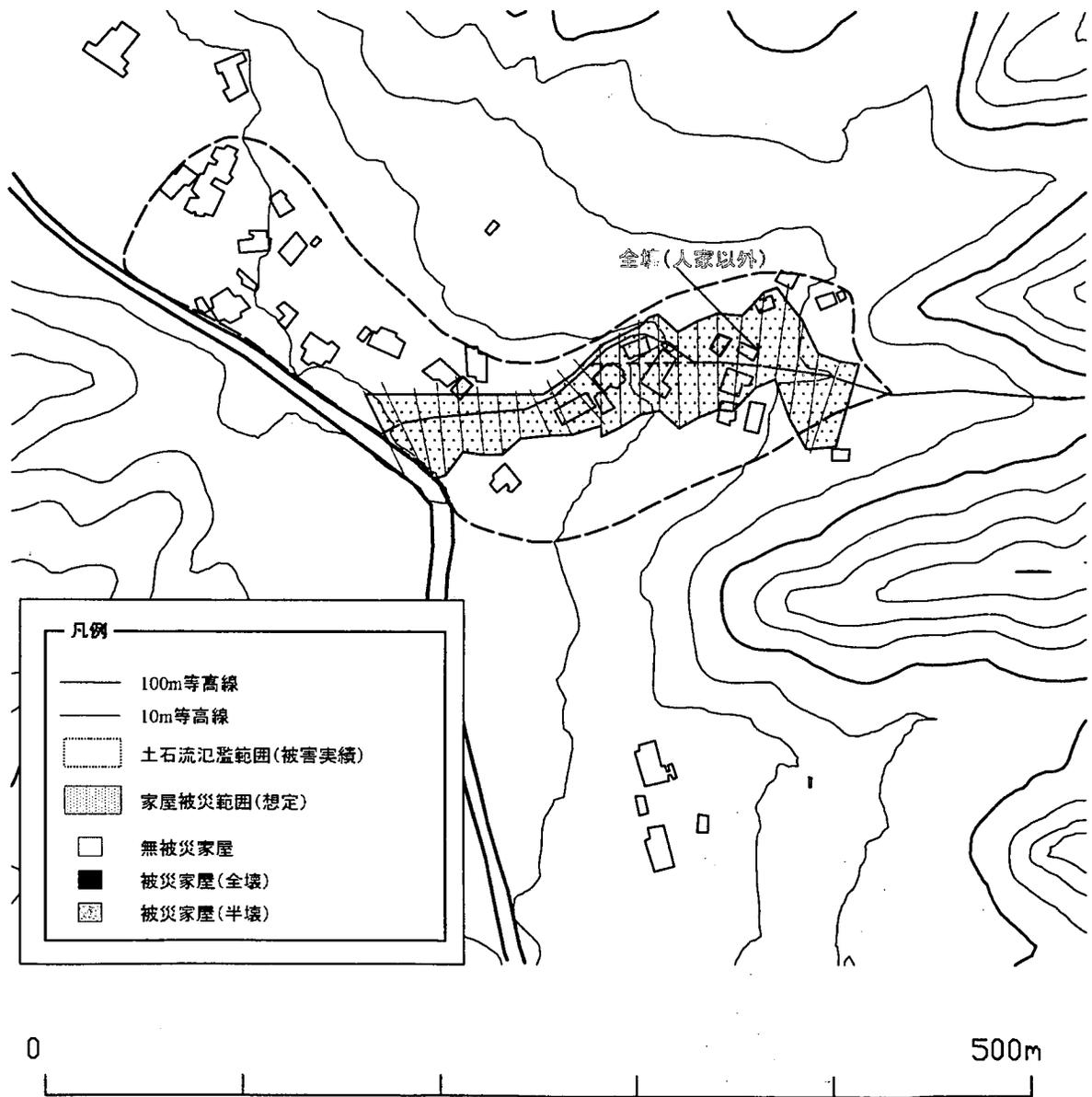
E 溪流 適用ケース①(200m)



適用ケース① F 溪流 (200m)

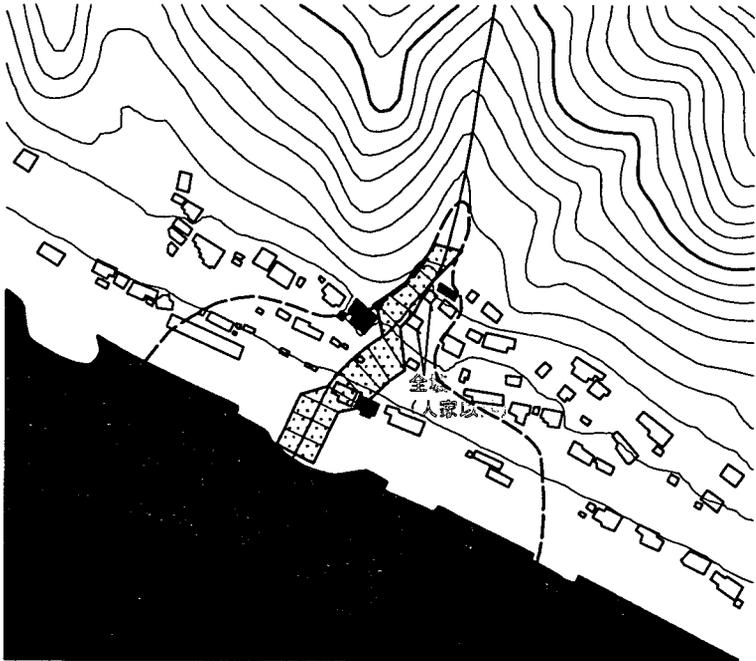


適用ケース① G 溪流 (200m)

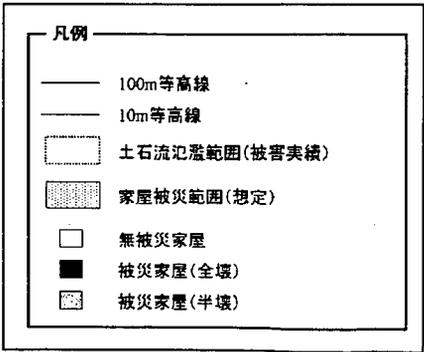


G溪流 適用ケース①(200m)

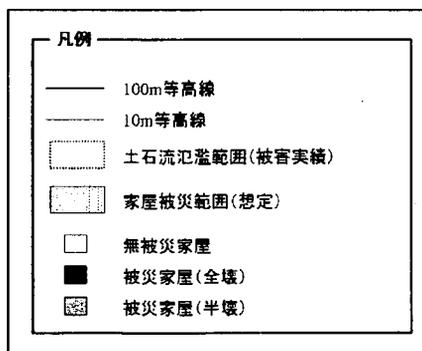
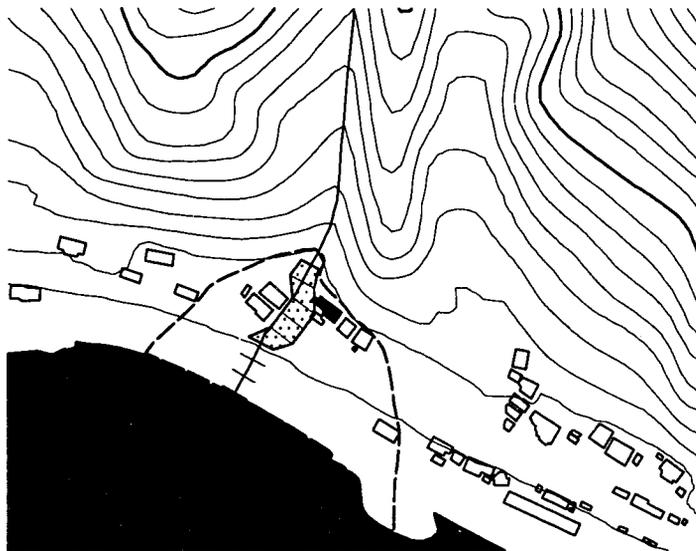
適用ケース① H溪流 (200m)



H溪流 適用ケース①(200m)



適用ケース① 1 溪流 (200m)



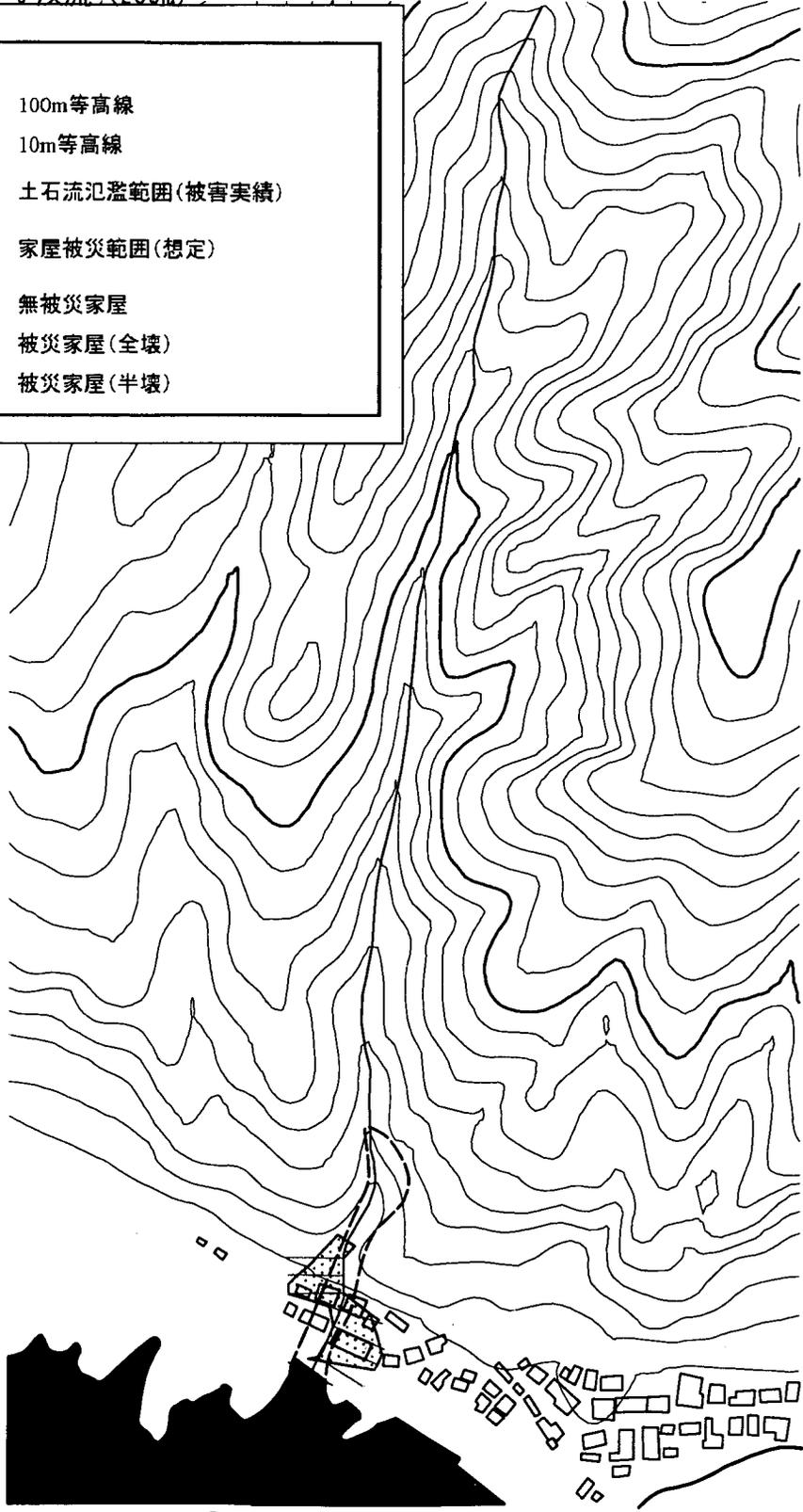
溪流 適用ケース①(200m)



適用ケース① J 溪流 (200m)

凡例

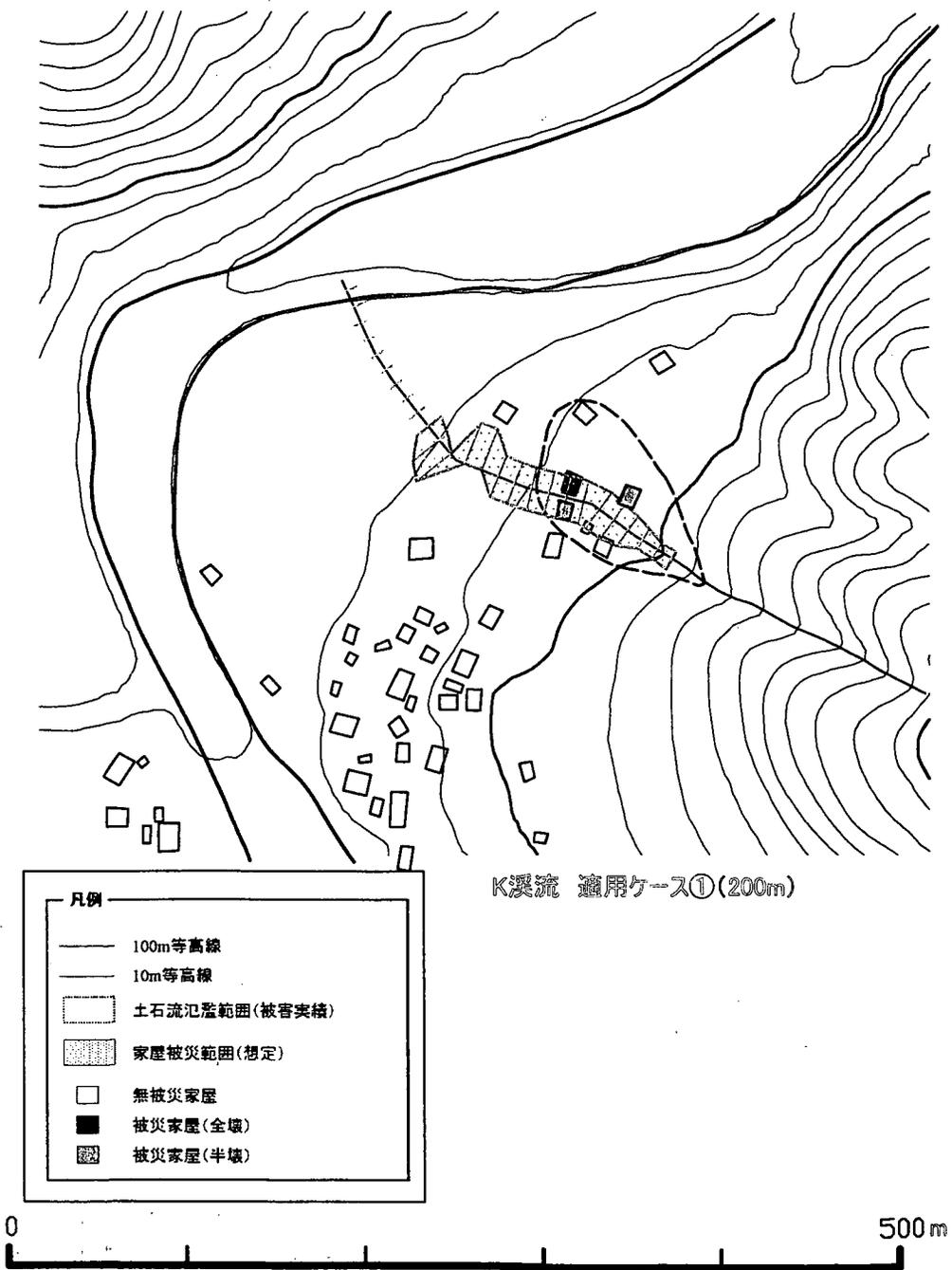
- 100m等高線
- 10m等高線
- ⋯⋯ 土石流氾濫範囲(被害実績)
- ▨ 家屋被災範囲(想定)
- 無被災家屋
- 被災家屋(全壊)
- ▣ 被災家屋(半壊)



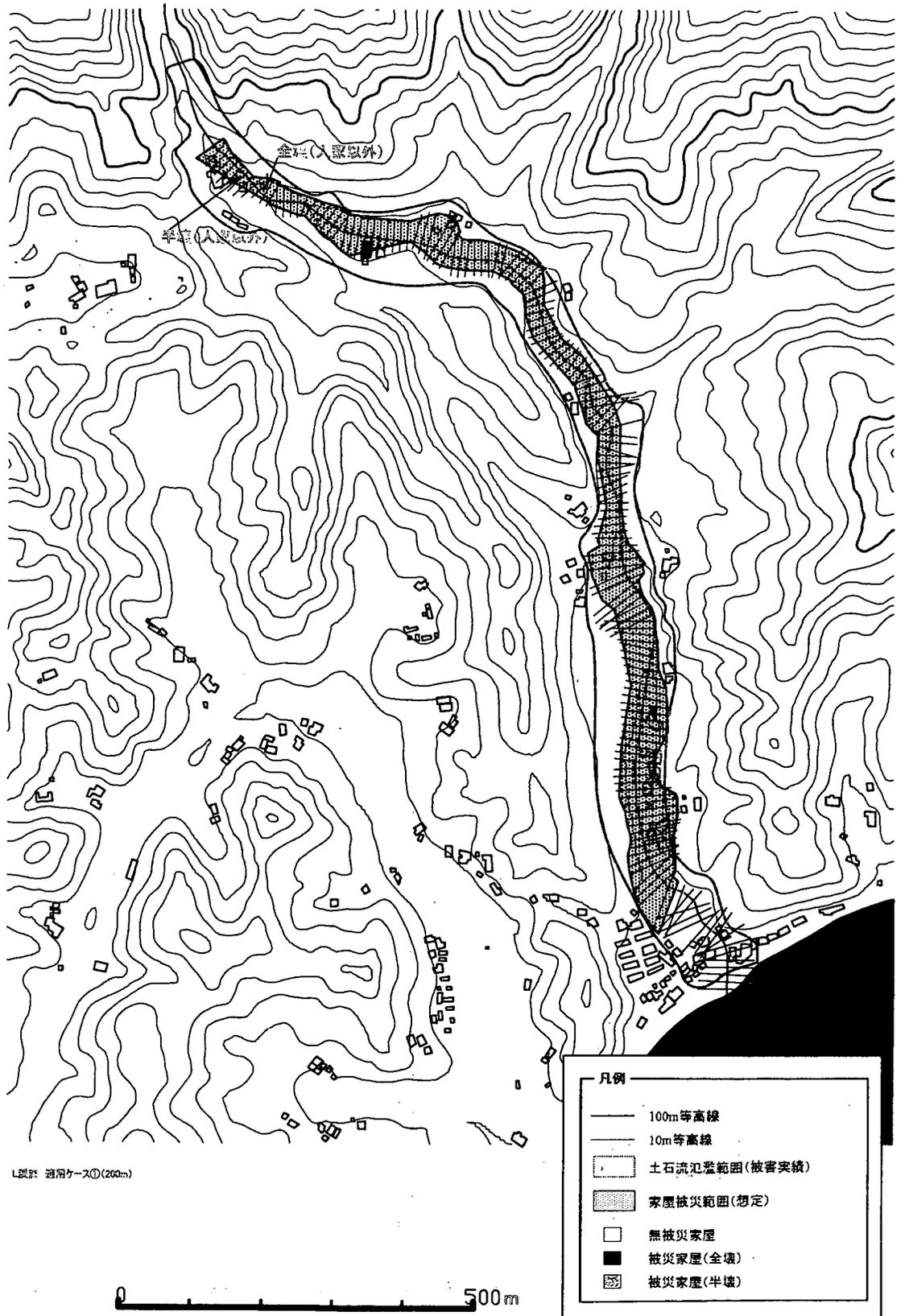
J 溪流 適用ケース①(200m)



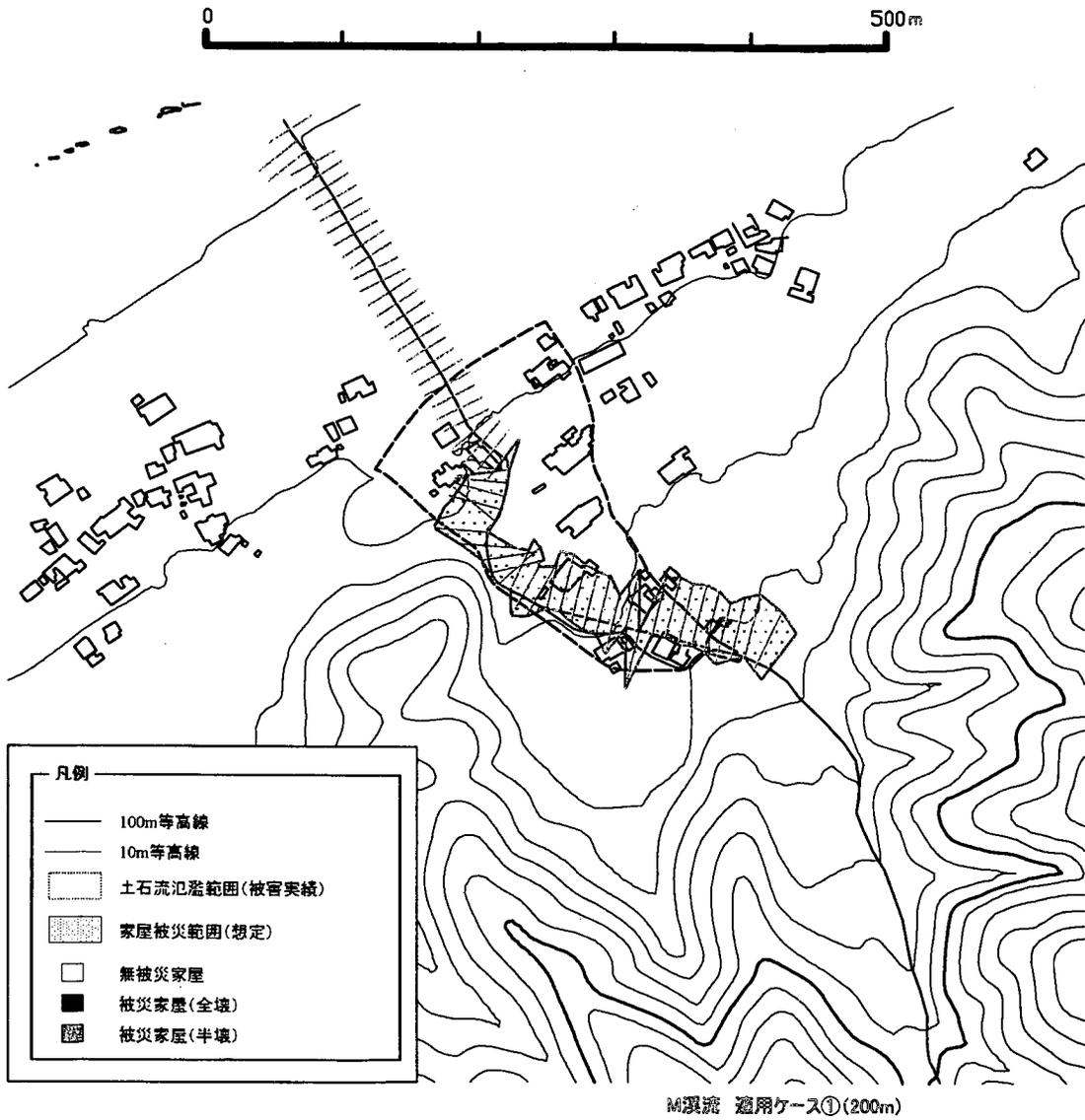
適用ケース① K 溪流 (200m)



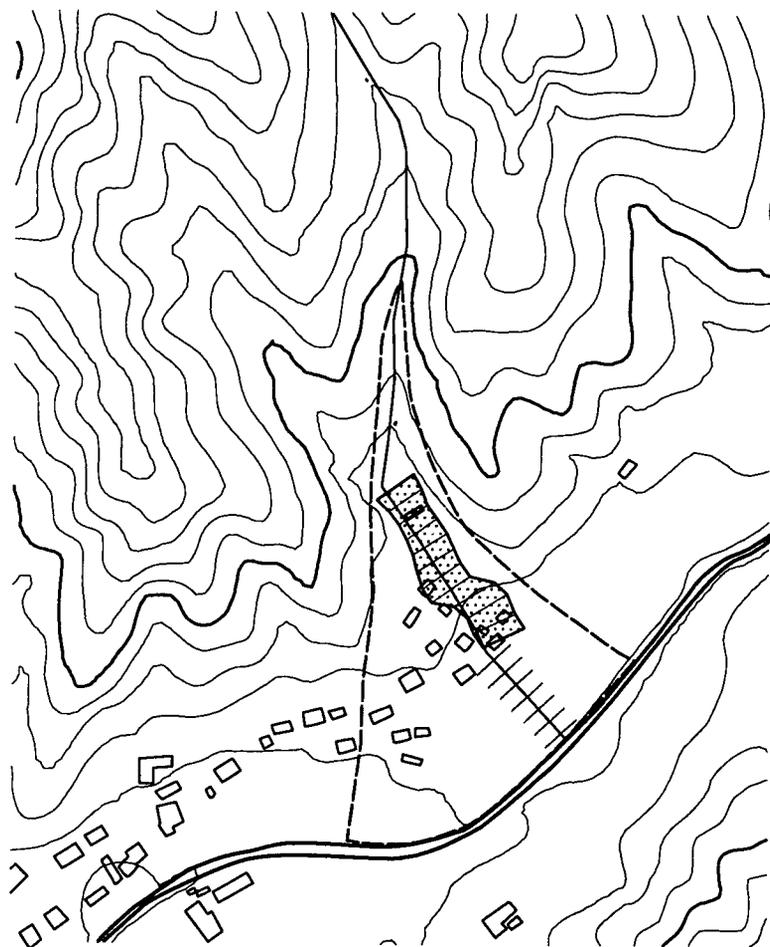
適用ケース① L 溪流 (200m)



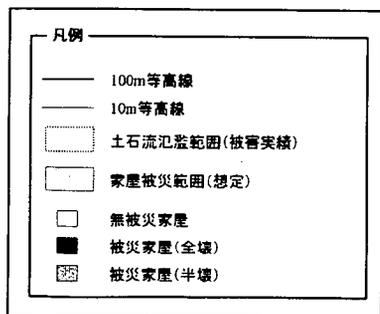
適用ケース① M溪流 (200m)



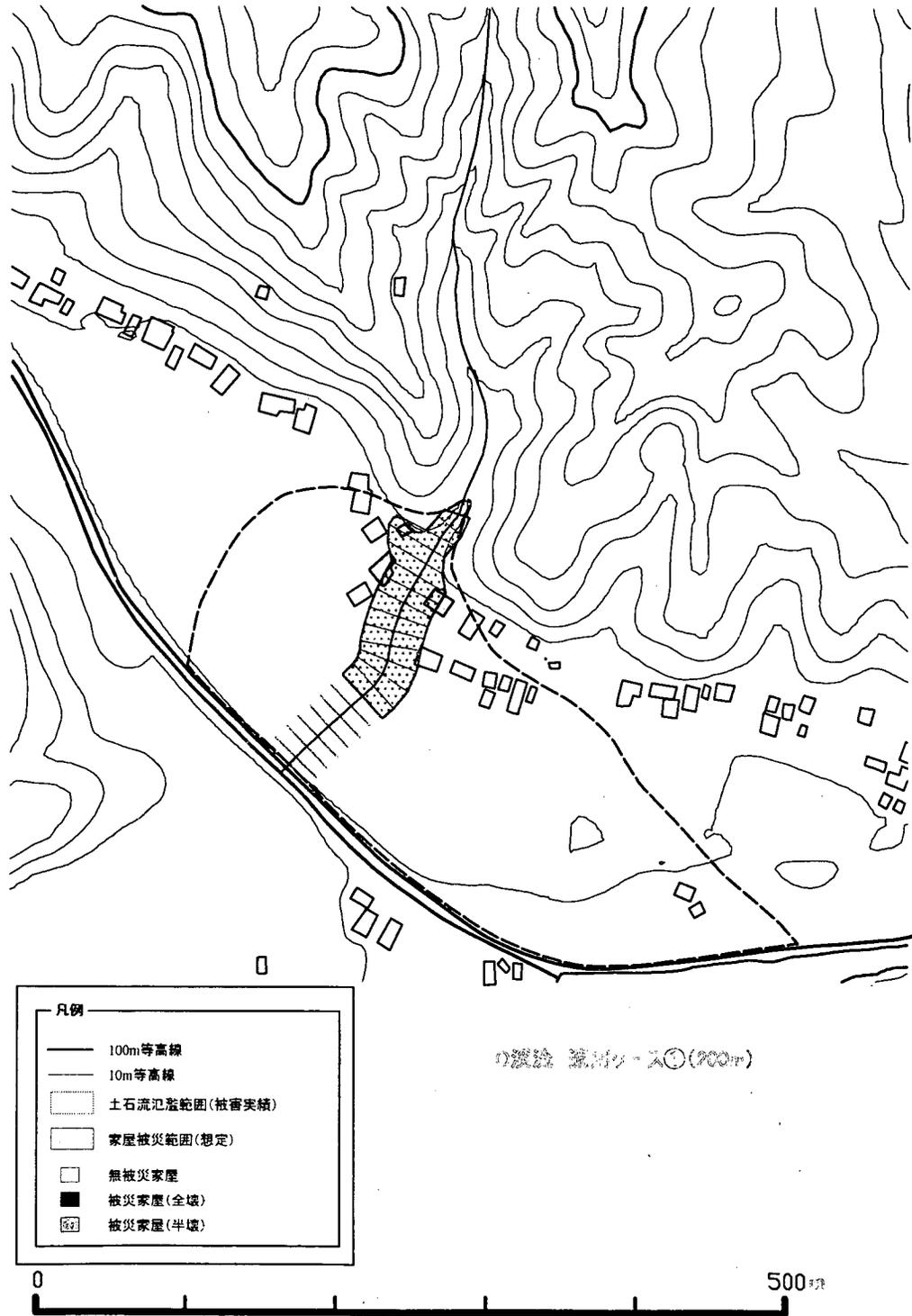
適用ケース① N溪流 (200m)



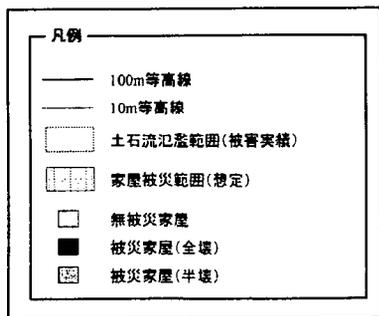
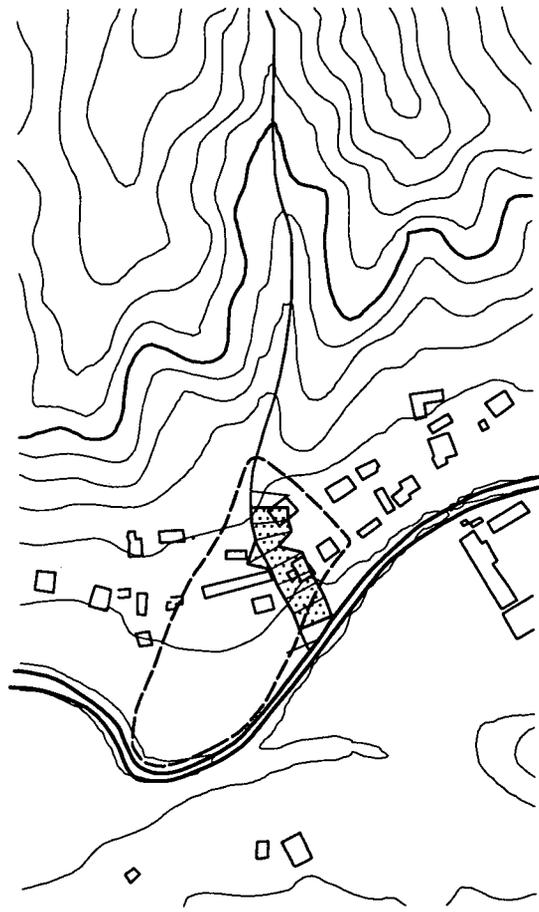
N溪流 適用ケース①(200m)



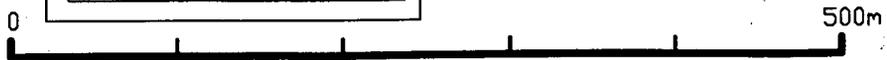
適用ケース① 〇溪流 (200m)



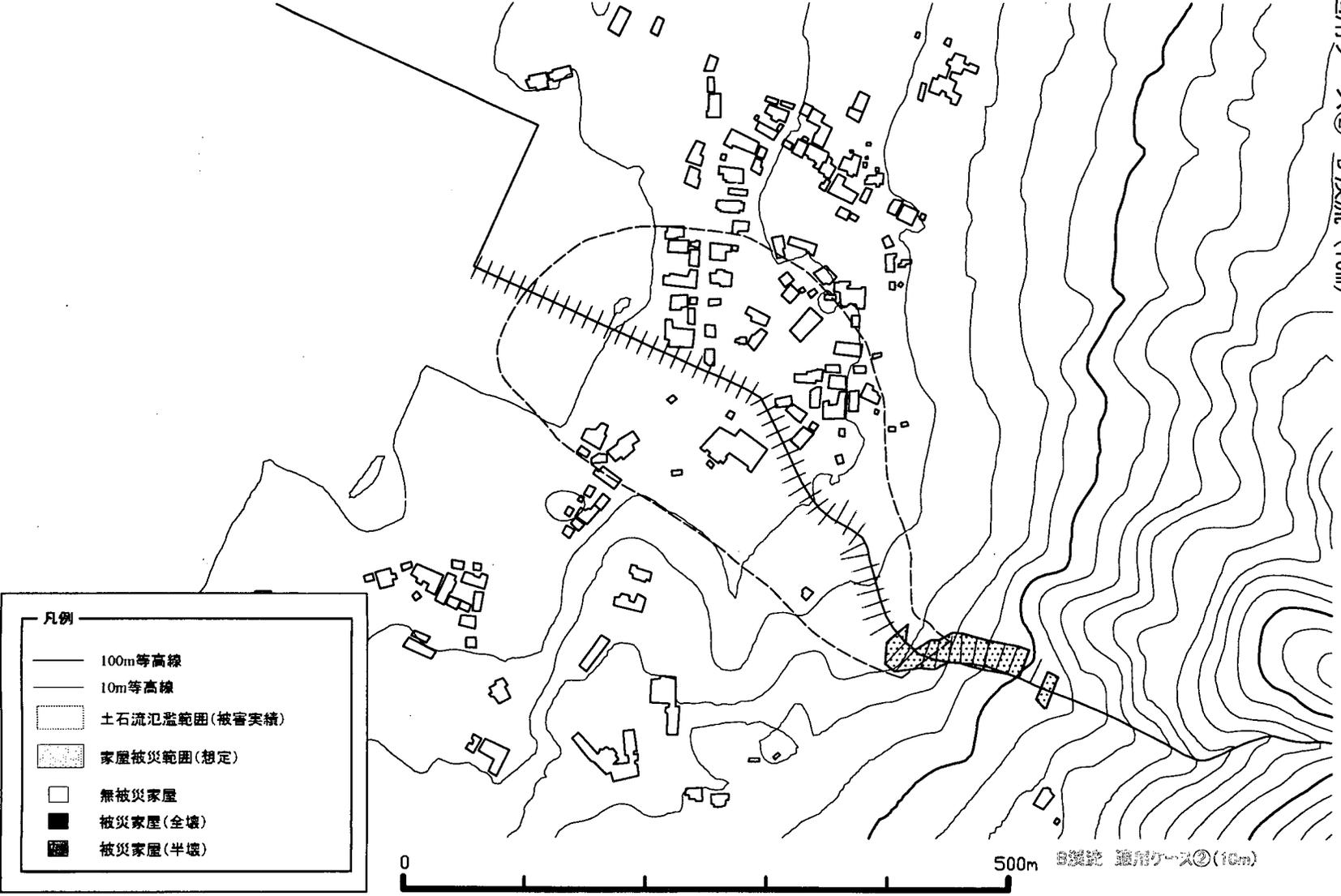
適用ケース① P 溪流 (200m)



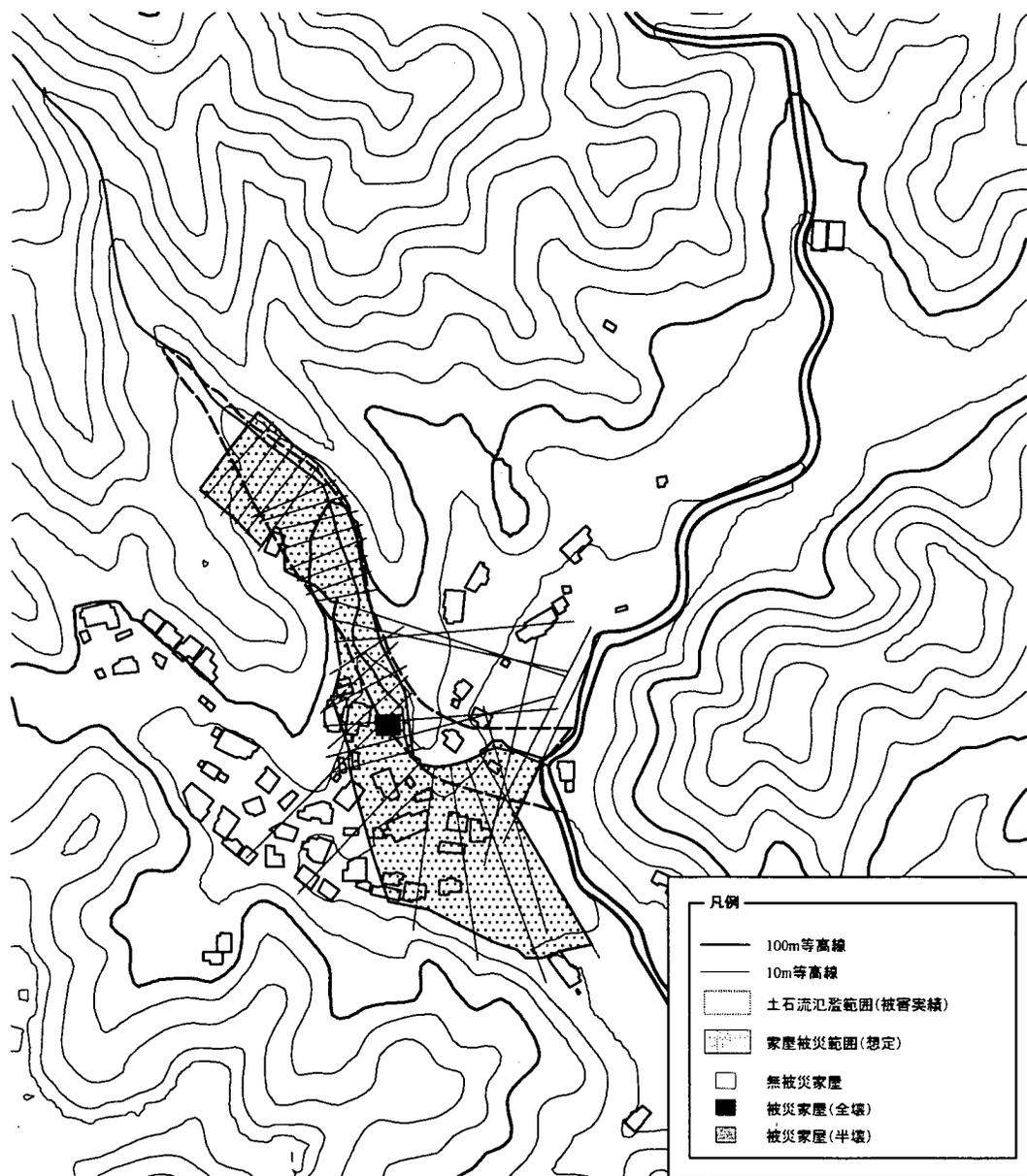
P 溪流 適用ケース①(200m)



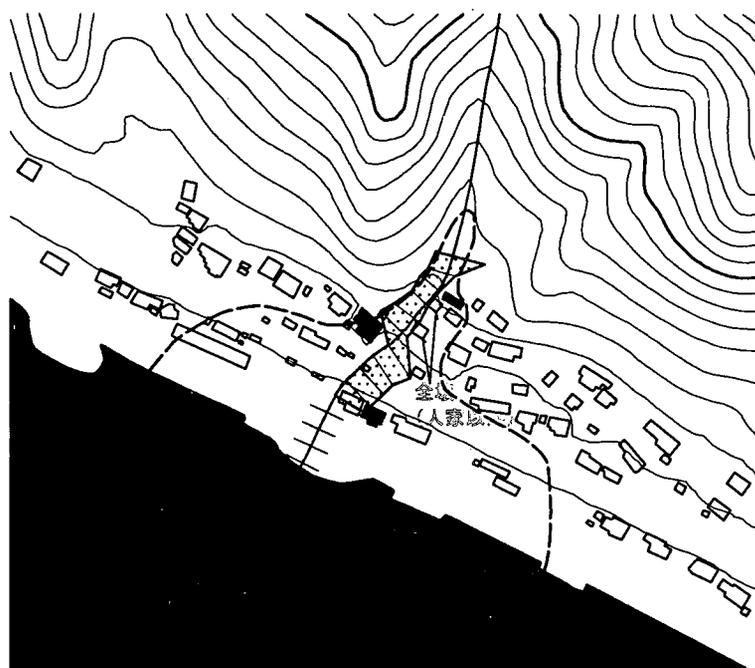
適用ケース② B: 溪流 (10m)



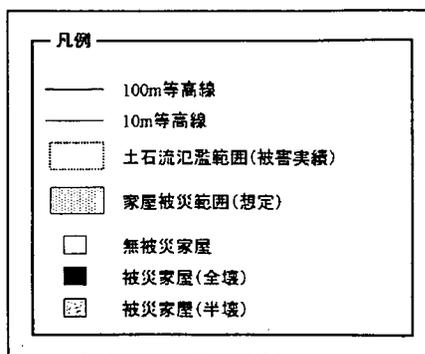
適用ケース② F 溪流 (10m)



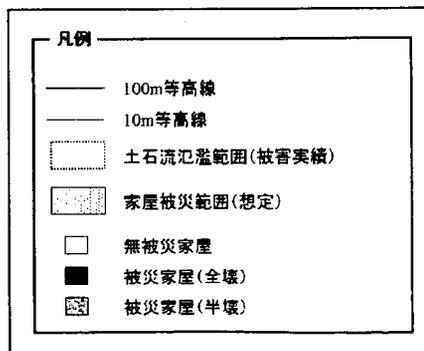
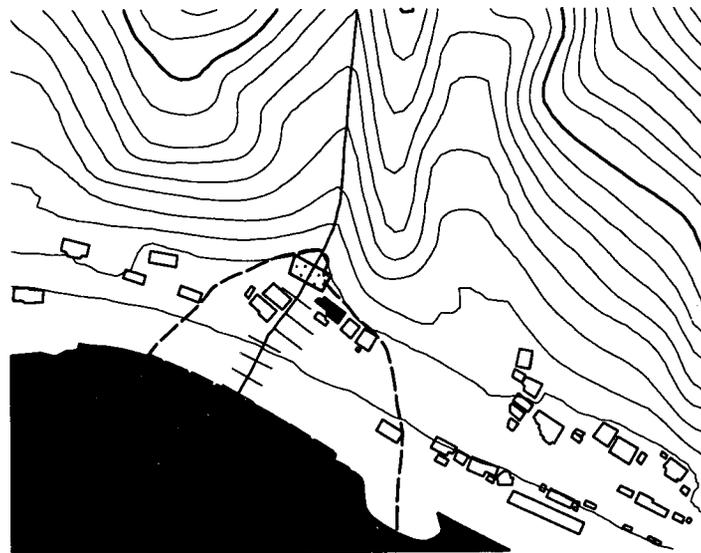
適用ケース② H溪流 (10m)



H溪流 適用ケース②(10m)



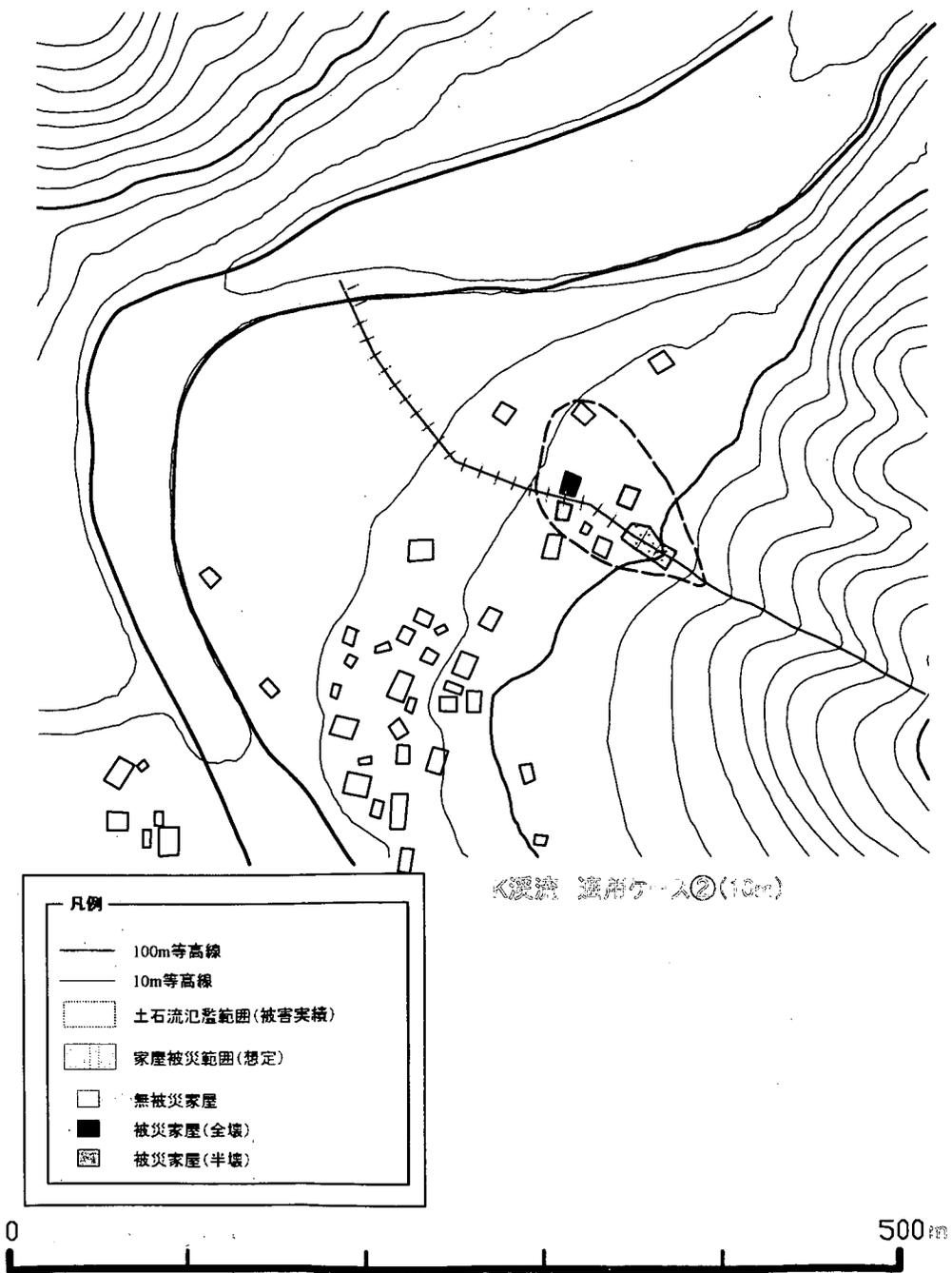
適用ケース② 1 溪流 (10m)



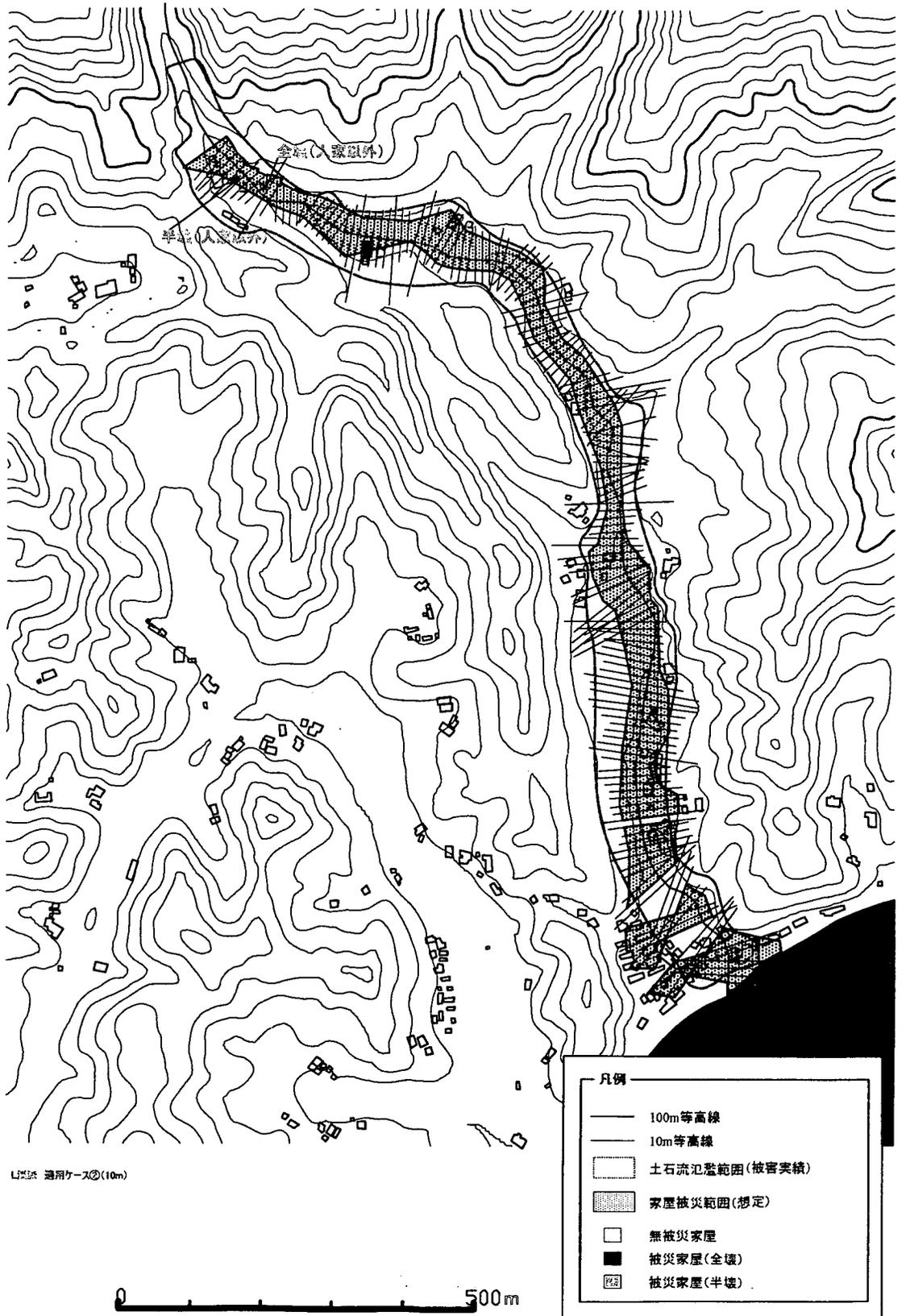
1 溪流 適用ケース②(10m)



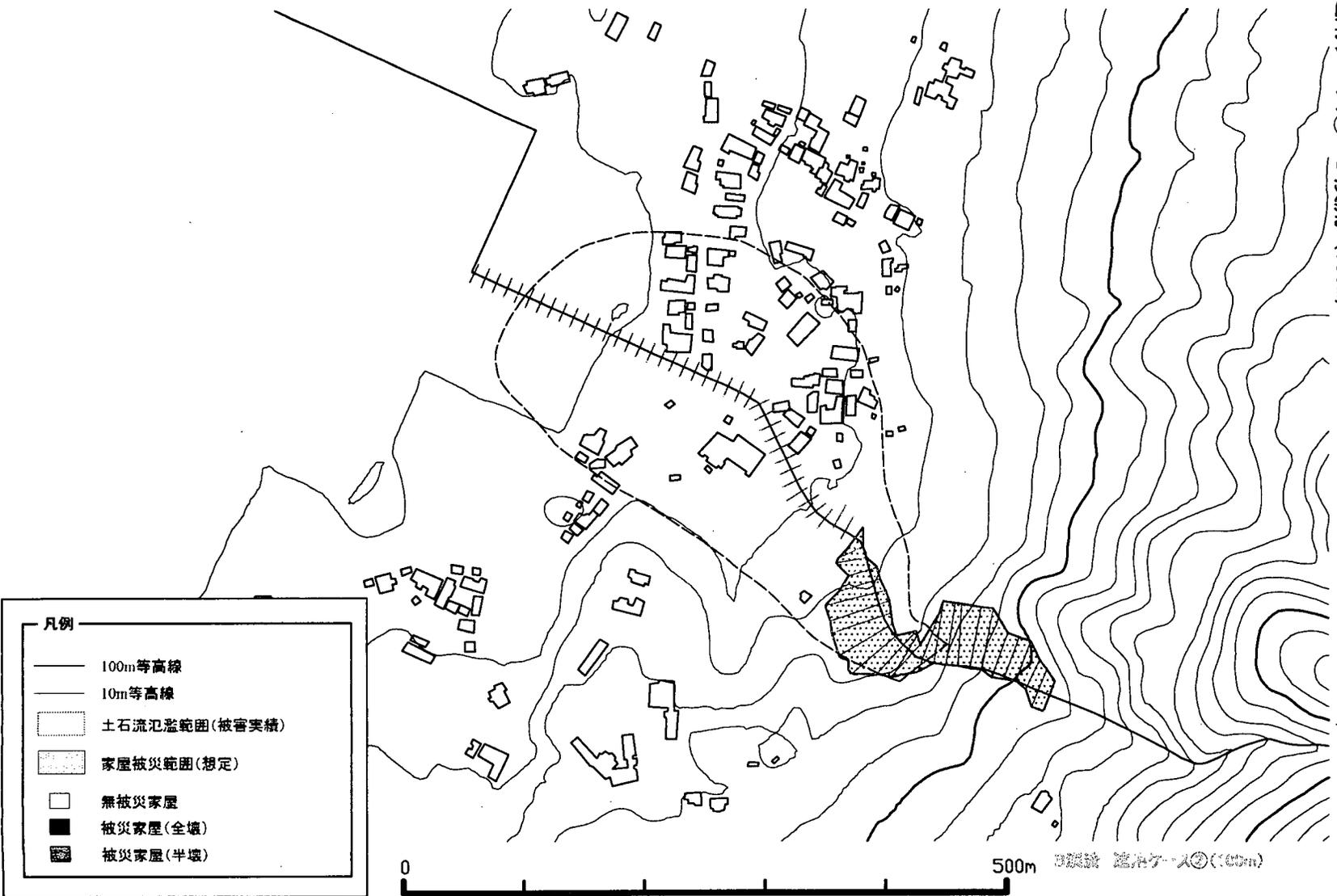
適用ケース② K 溪流 (10m)



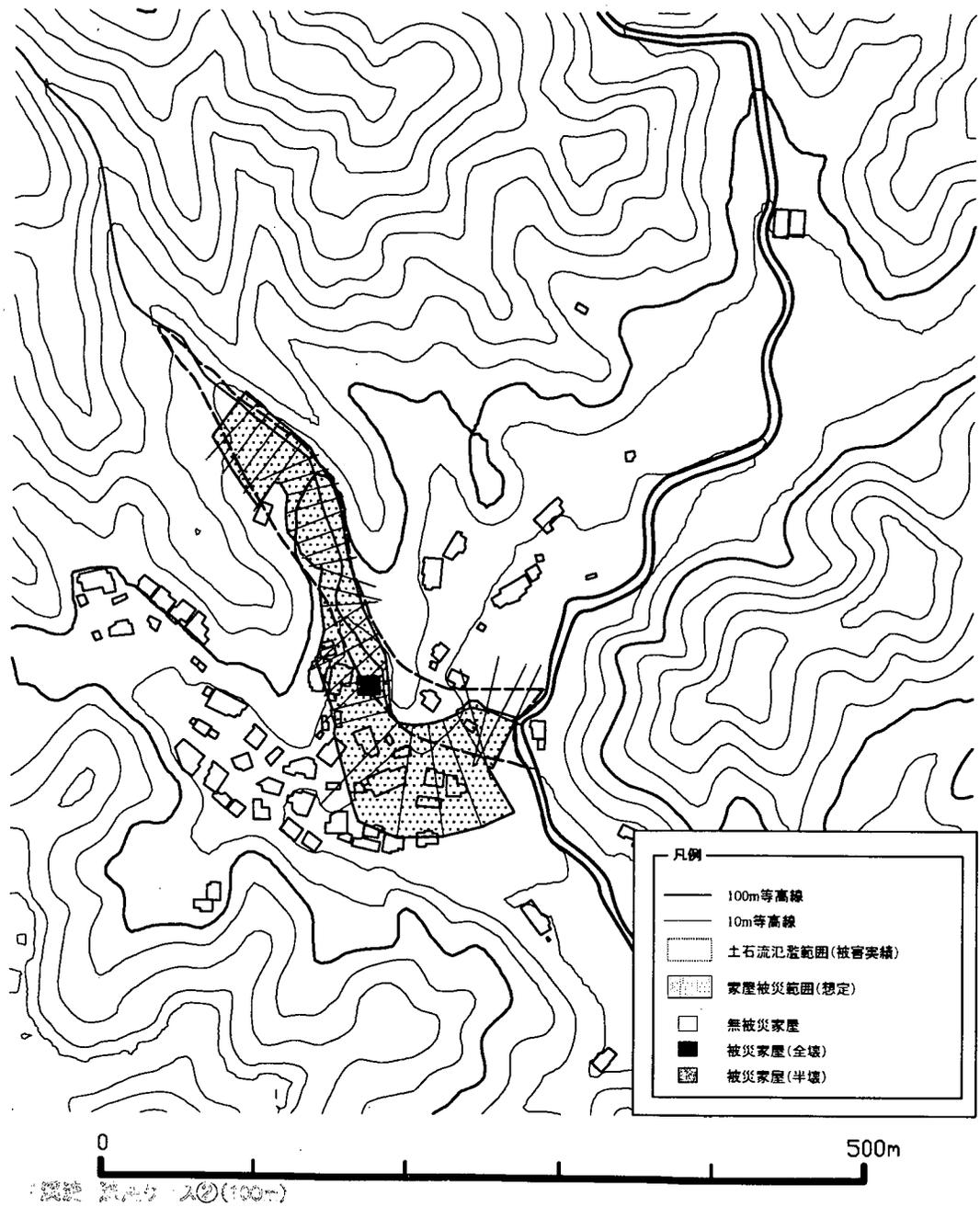
適用ケース② L 溪流 (10m)



適用ケース② B 溪流 (100m)

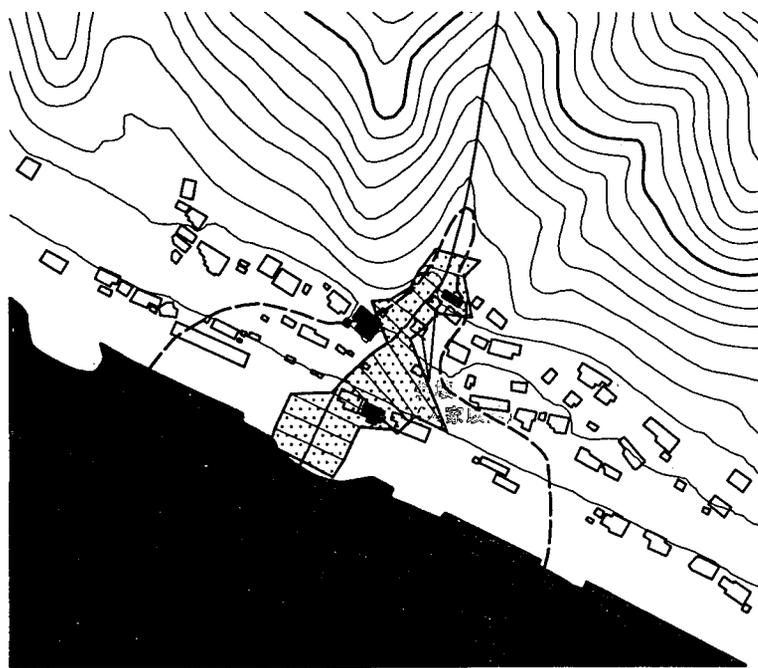


適用ケース② F 溪流 (100m)

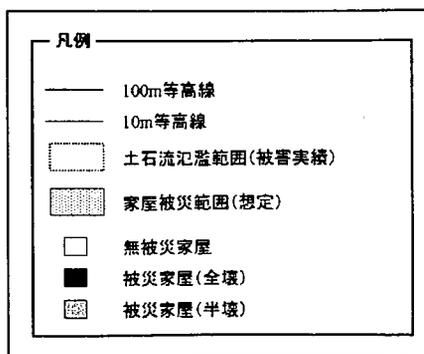


適用ケース② H溪流 (100m)

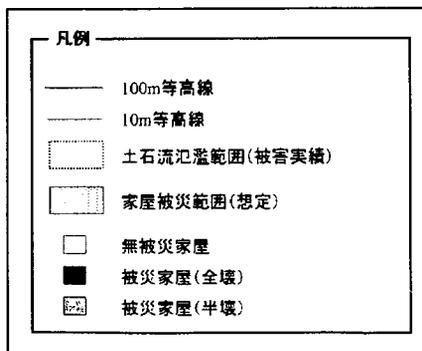
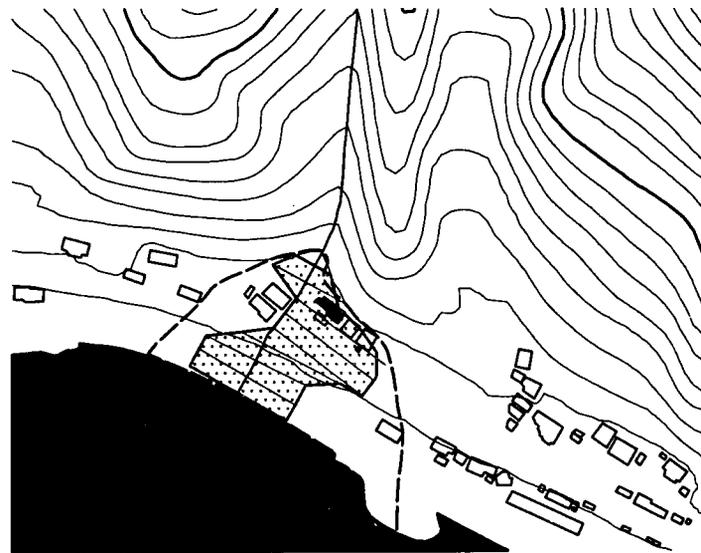
切り方: 上流100m



H溪流 適用ケース②(100m)



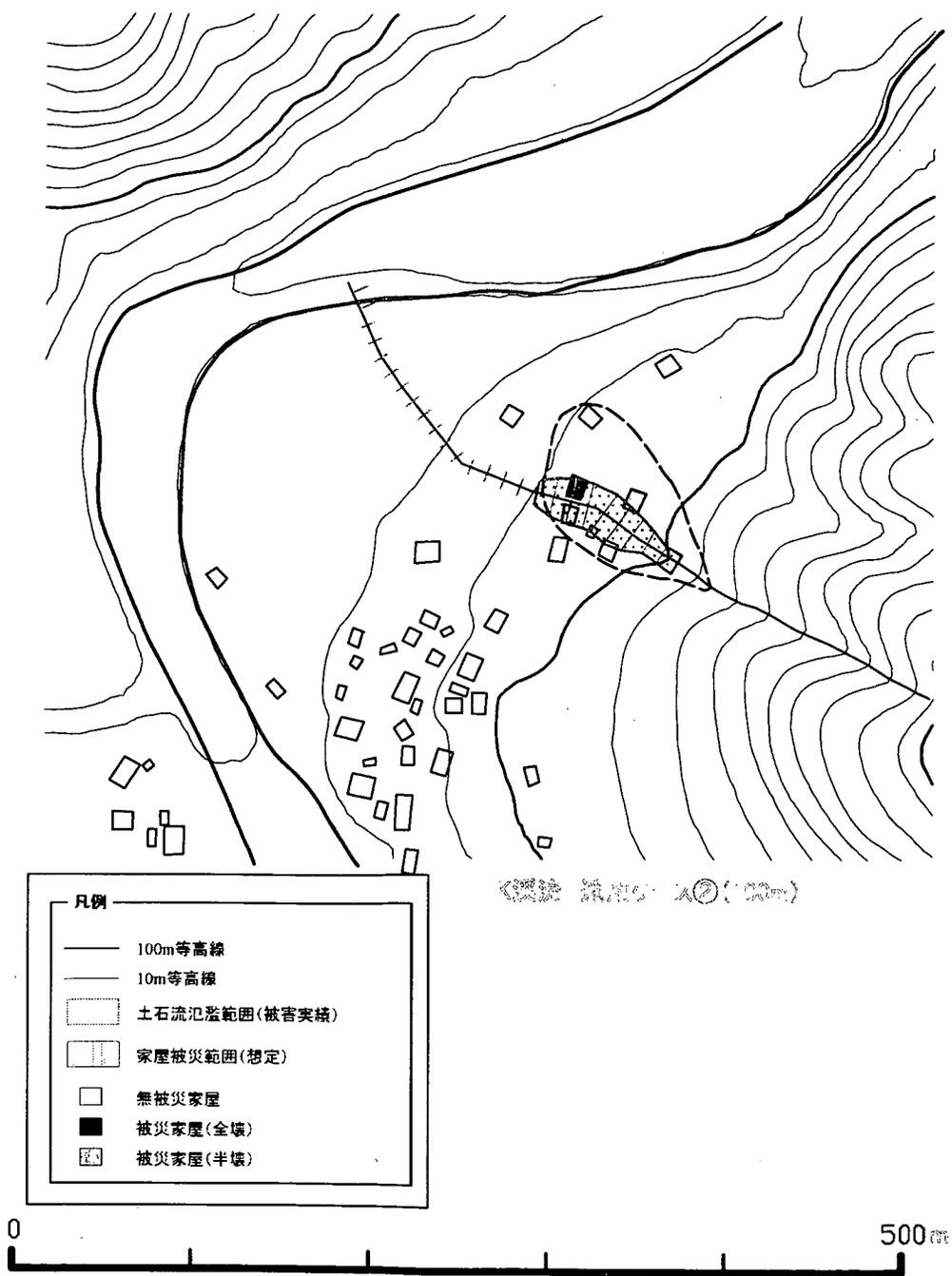
適用ケース② 1 溪流 (100m)



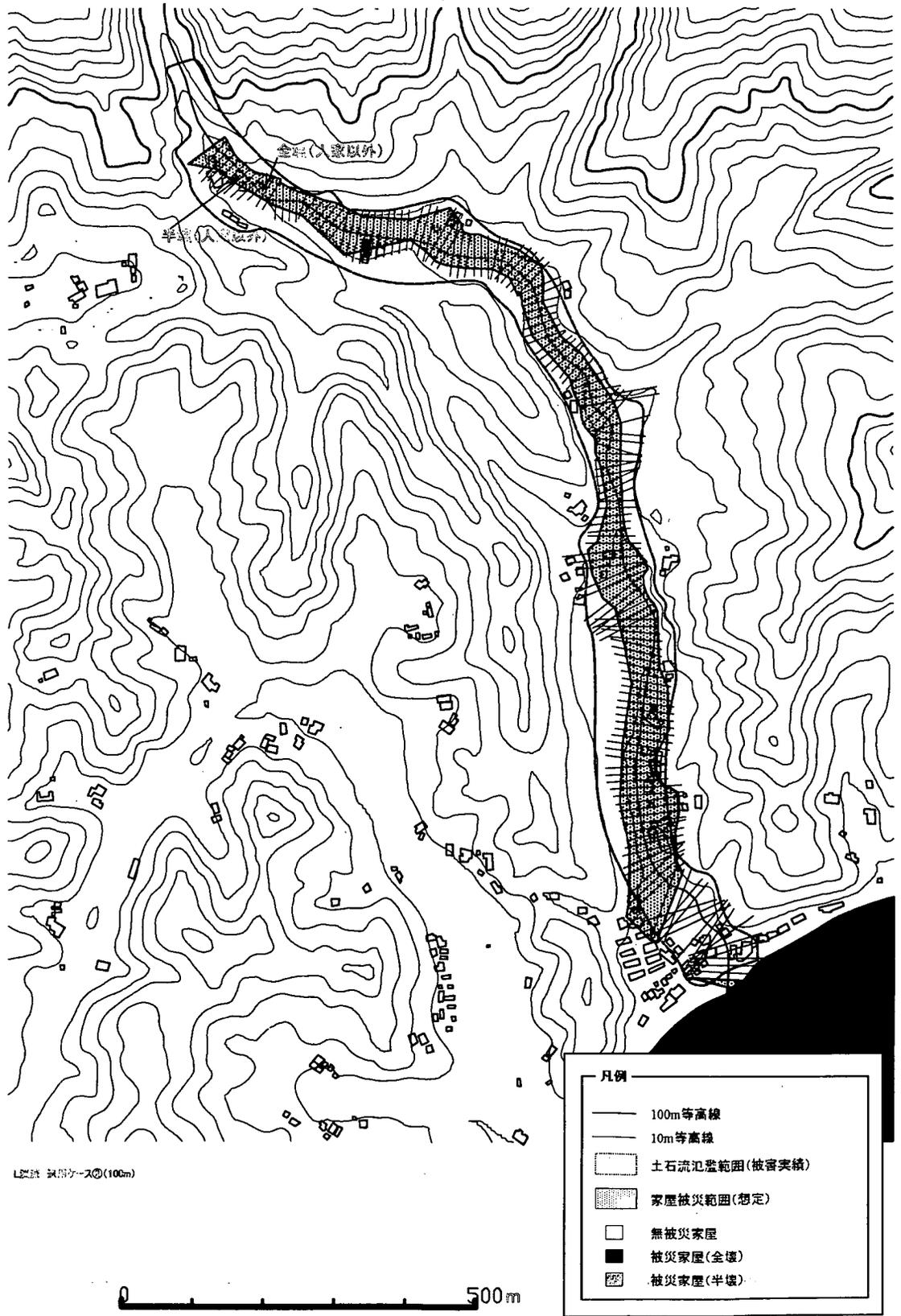
溪流 適用ケース②(100m)



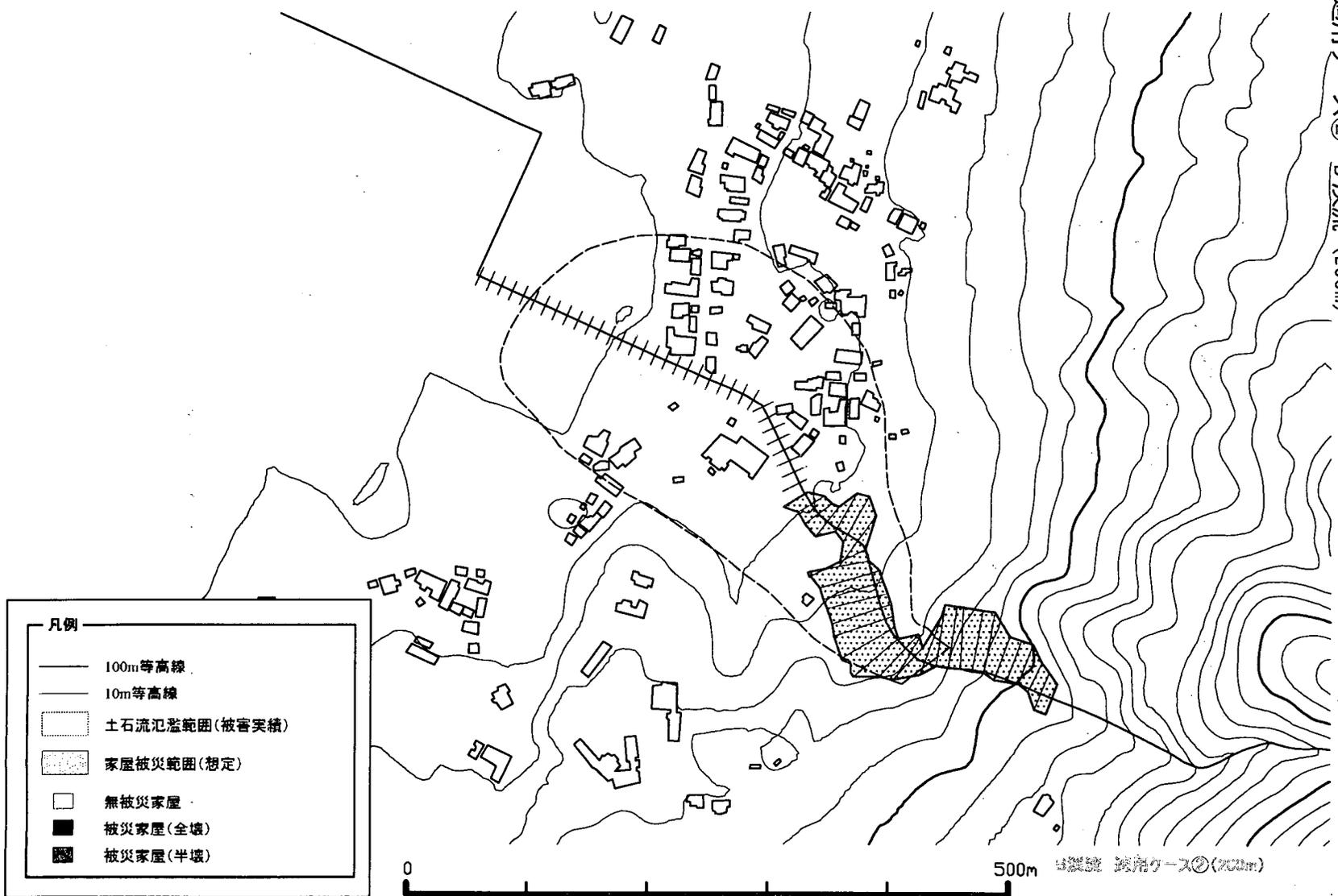
適用ケース② K 溪流 (100m)



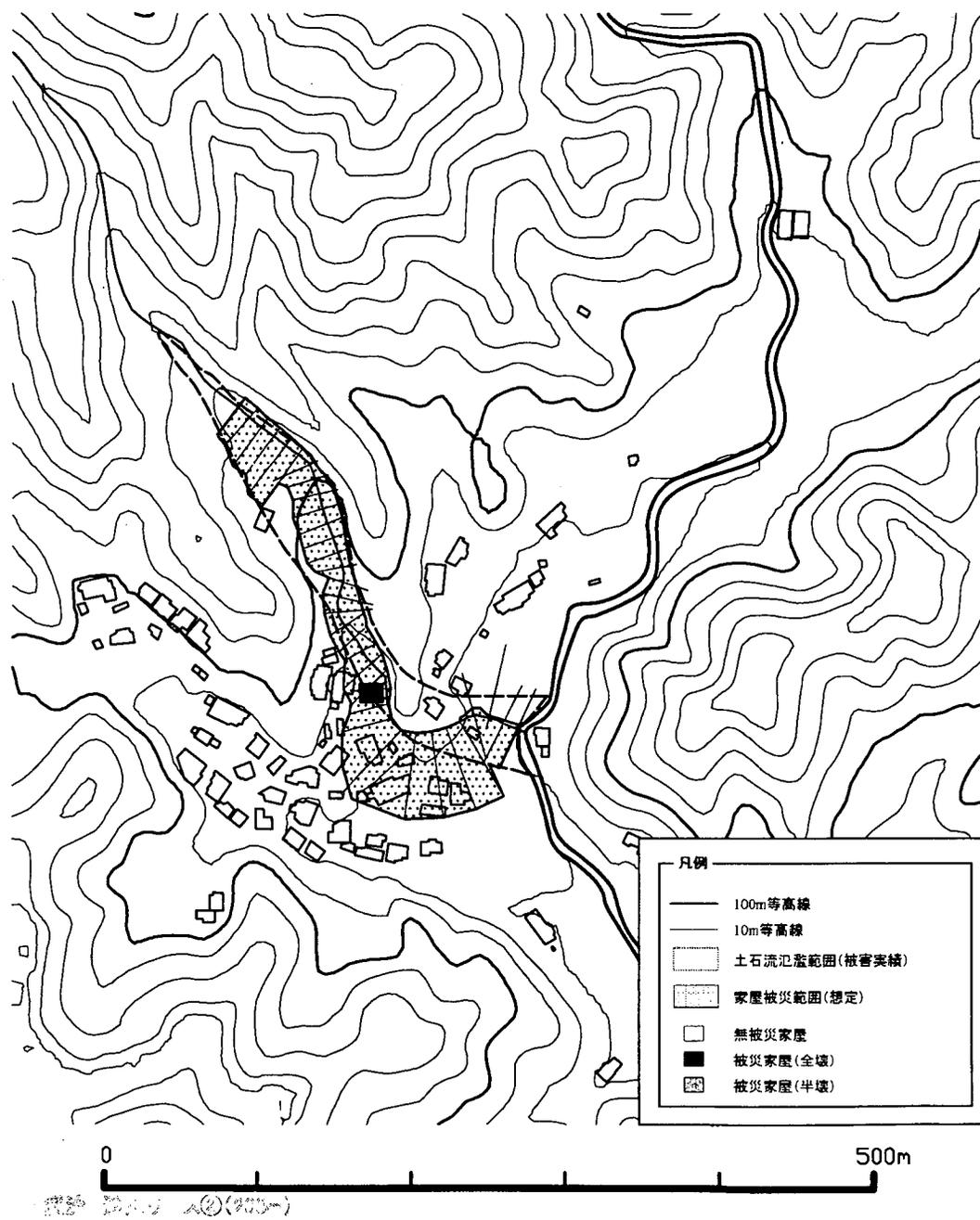
適用ケース② L 溪流 (100m)



適用ケース② B 渓流 (200m)

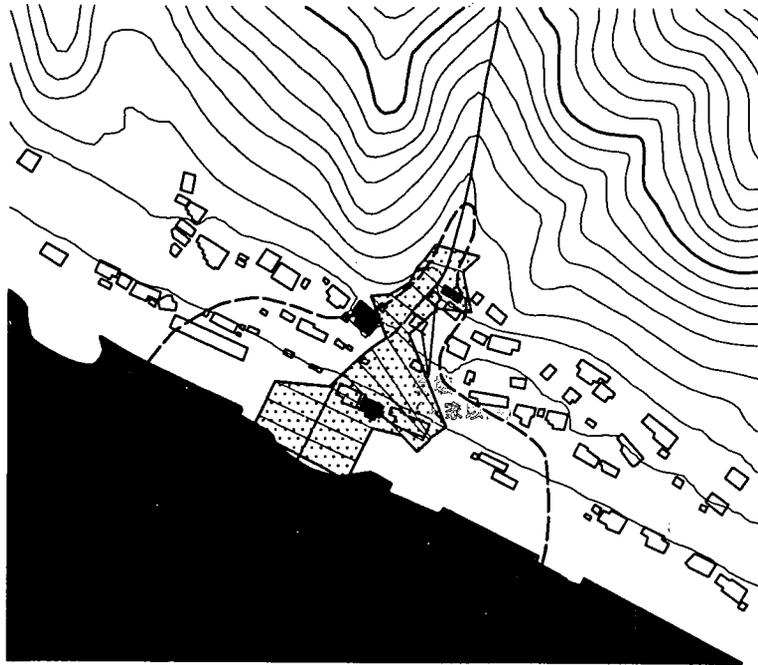


適用ケース② F 溪流 (200m)

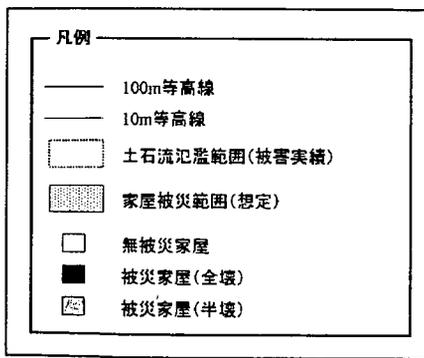


適用ケース② H溪流 (200m)

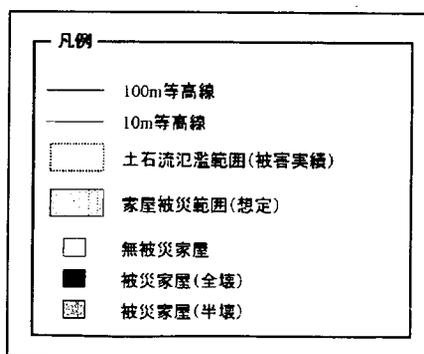
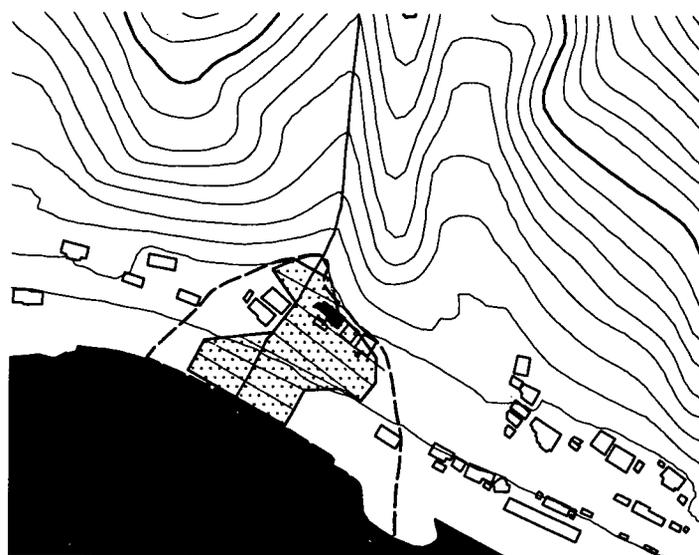
とり方: 上流200m



H溪流 適用ケース②(200m)



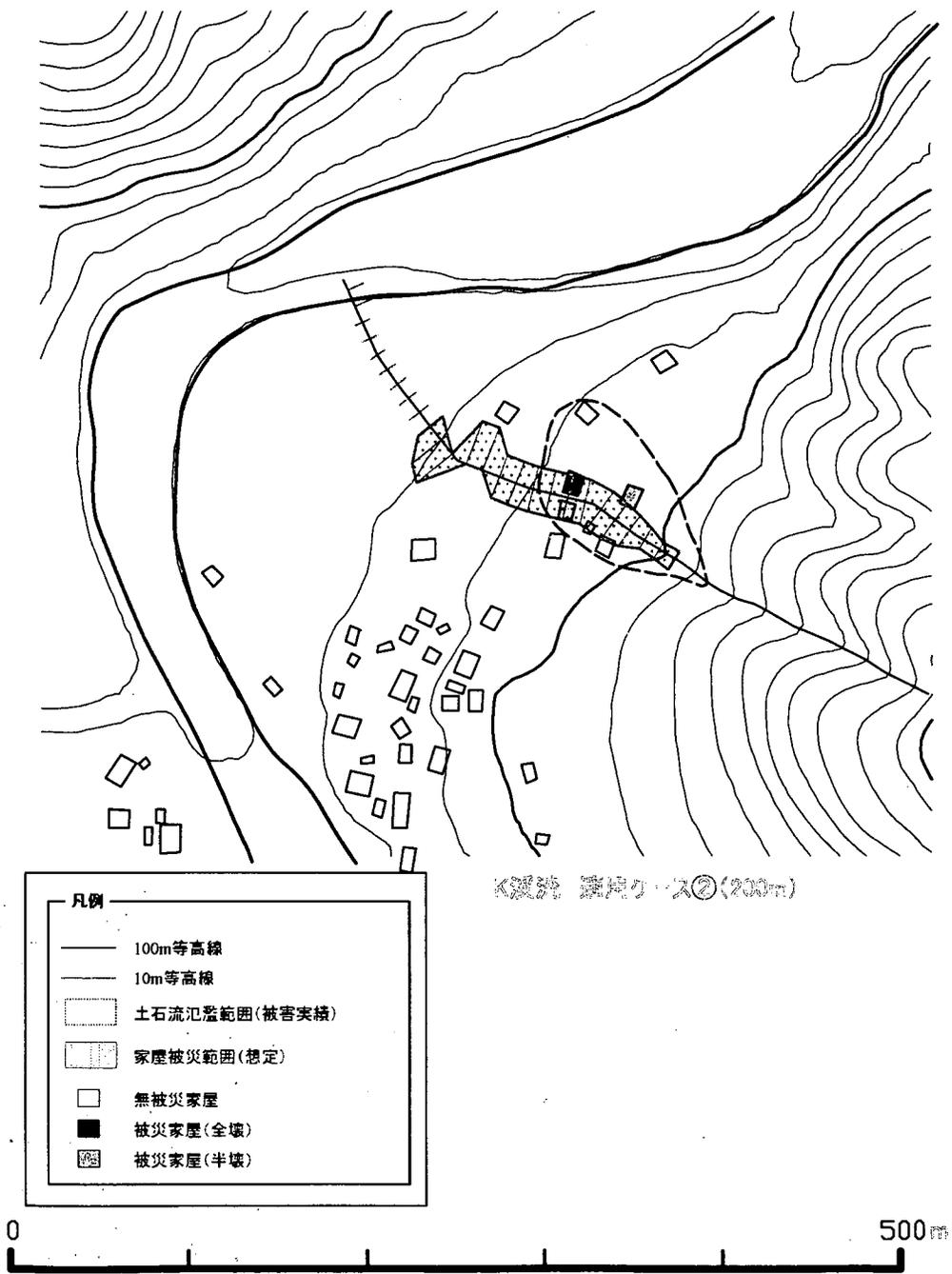
適用ケース② | 溪流 (200m)



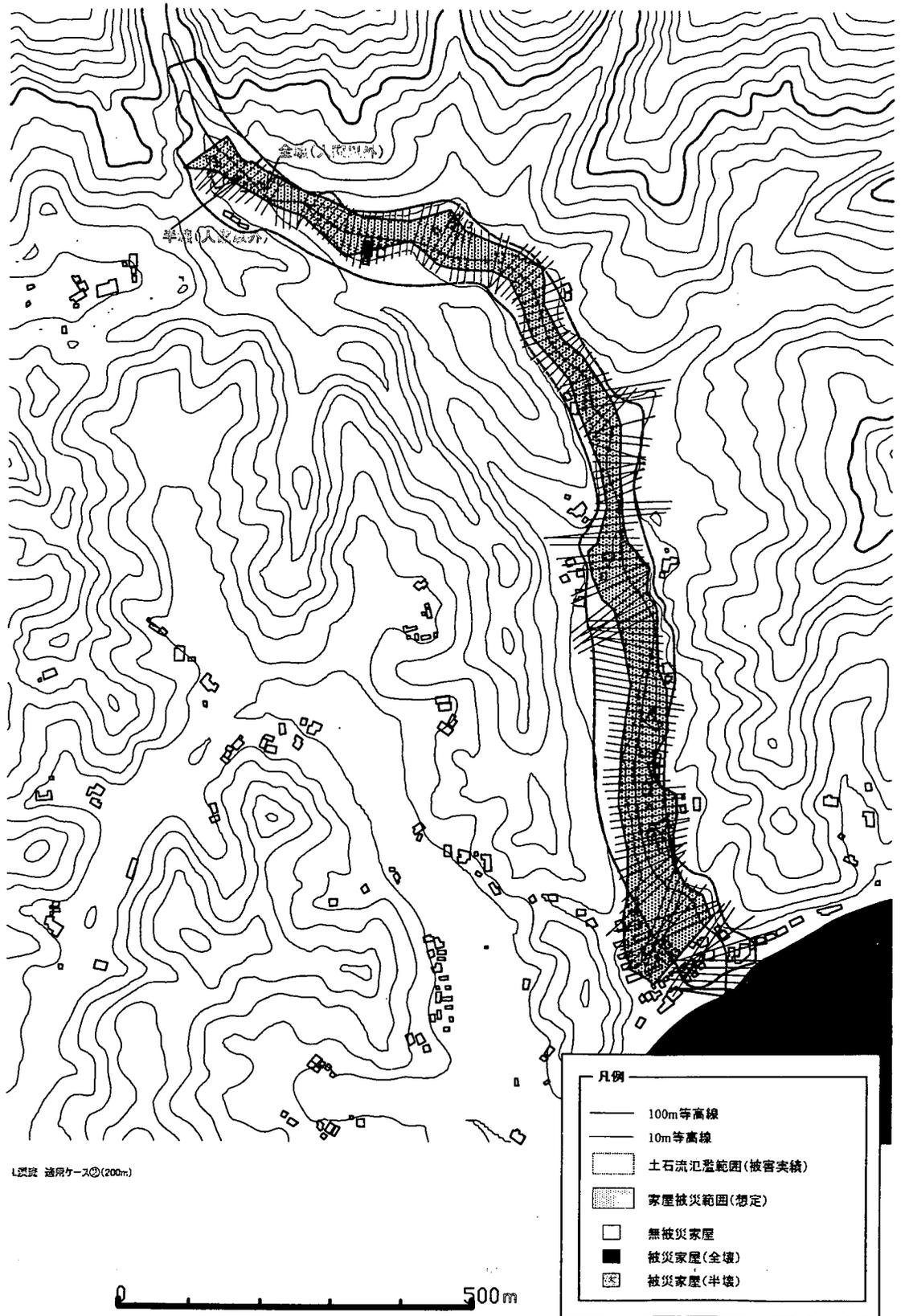
適用ケース② | 溪流 (200m)



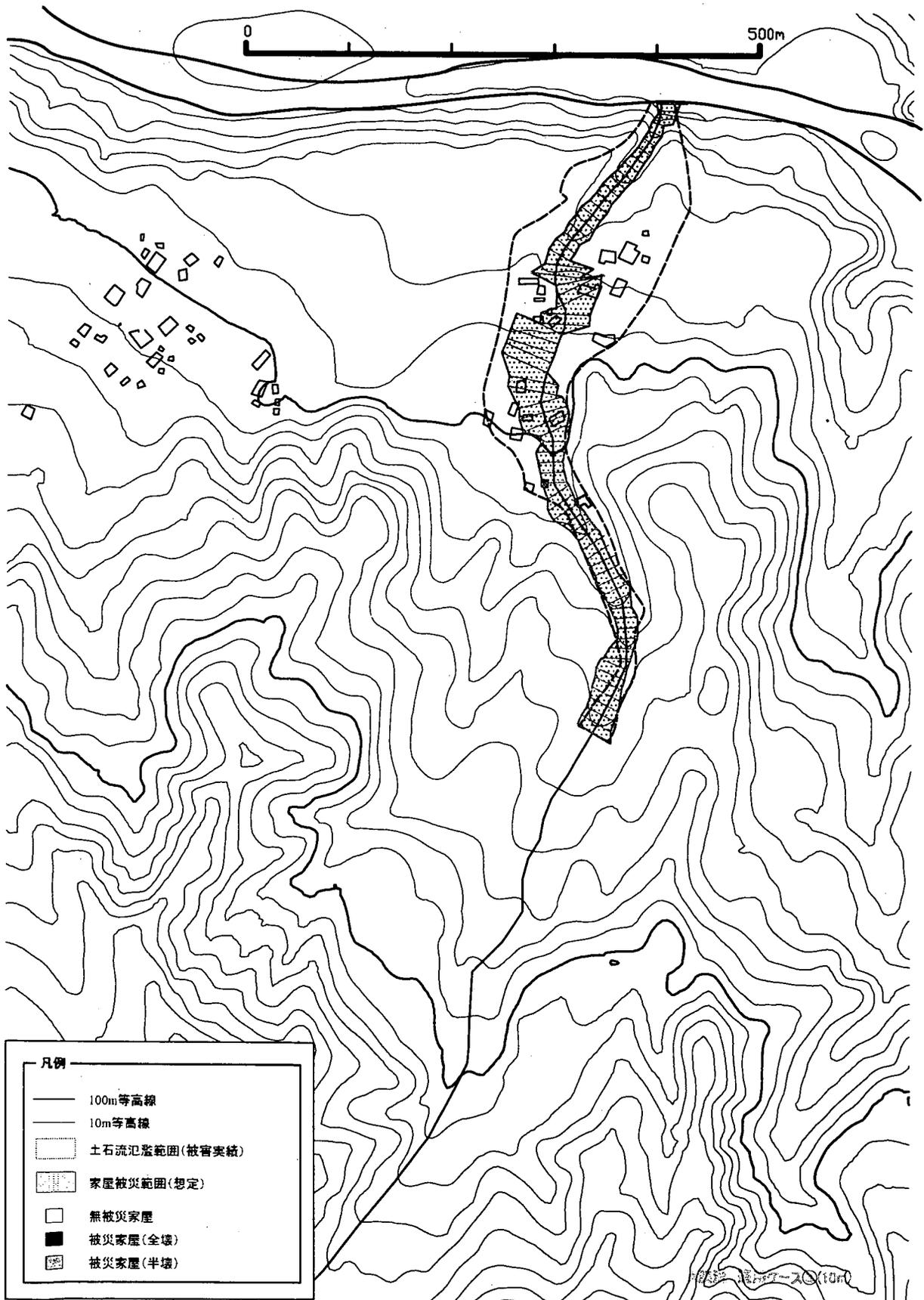
適用ケース② K 溪流 (200m)



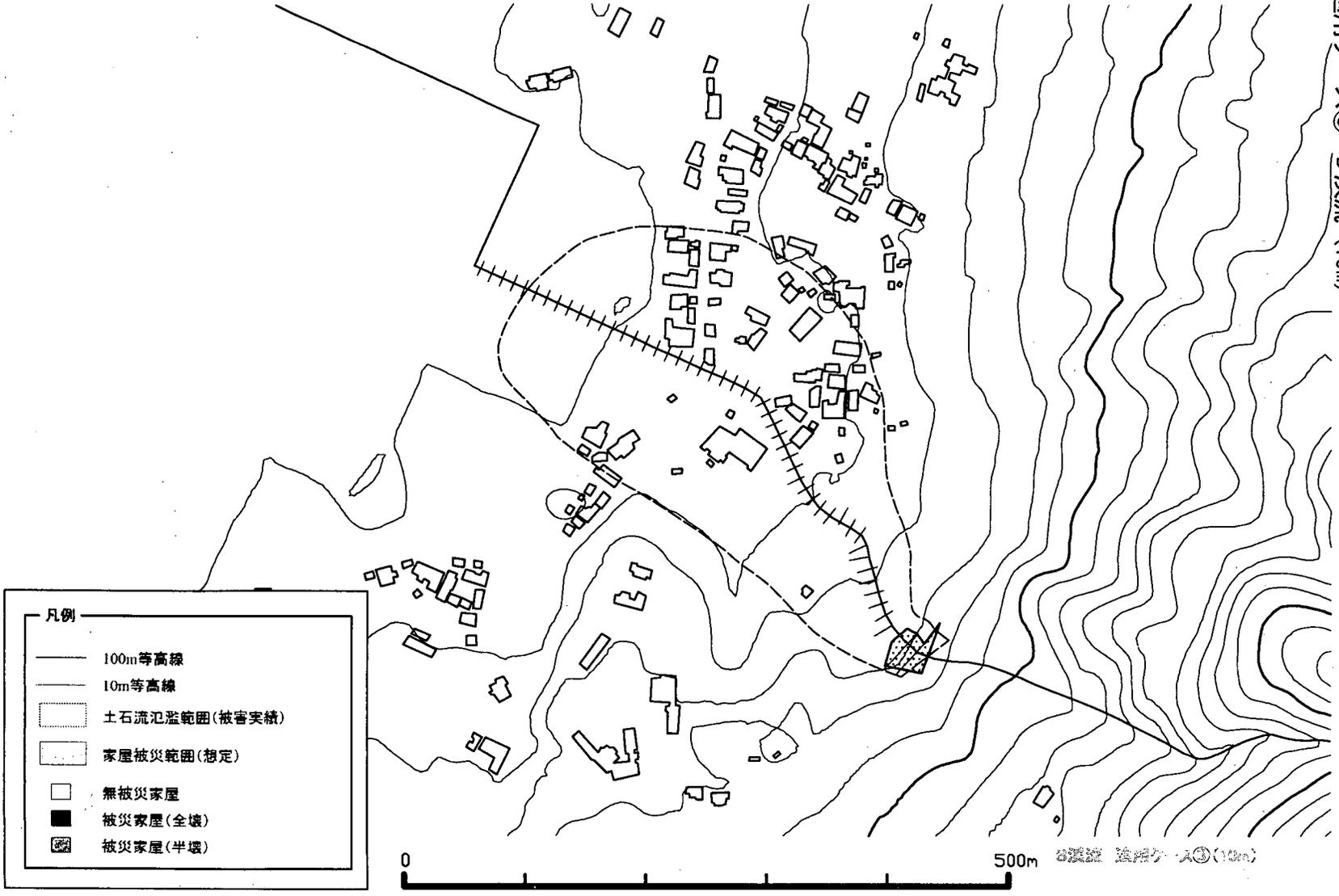
適用ケース② L 溪流 (200m)



適用ケース③ A 溪流 (10m)



適用ケ一又③ B 溪流 (10m)

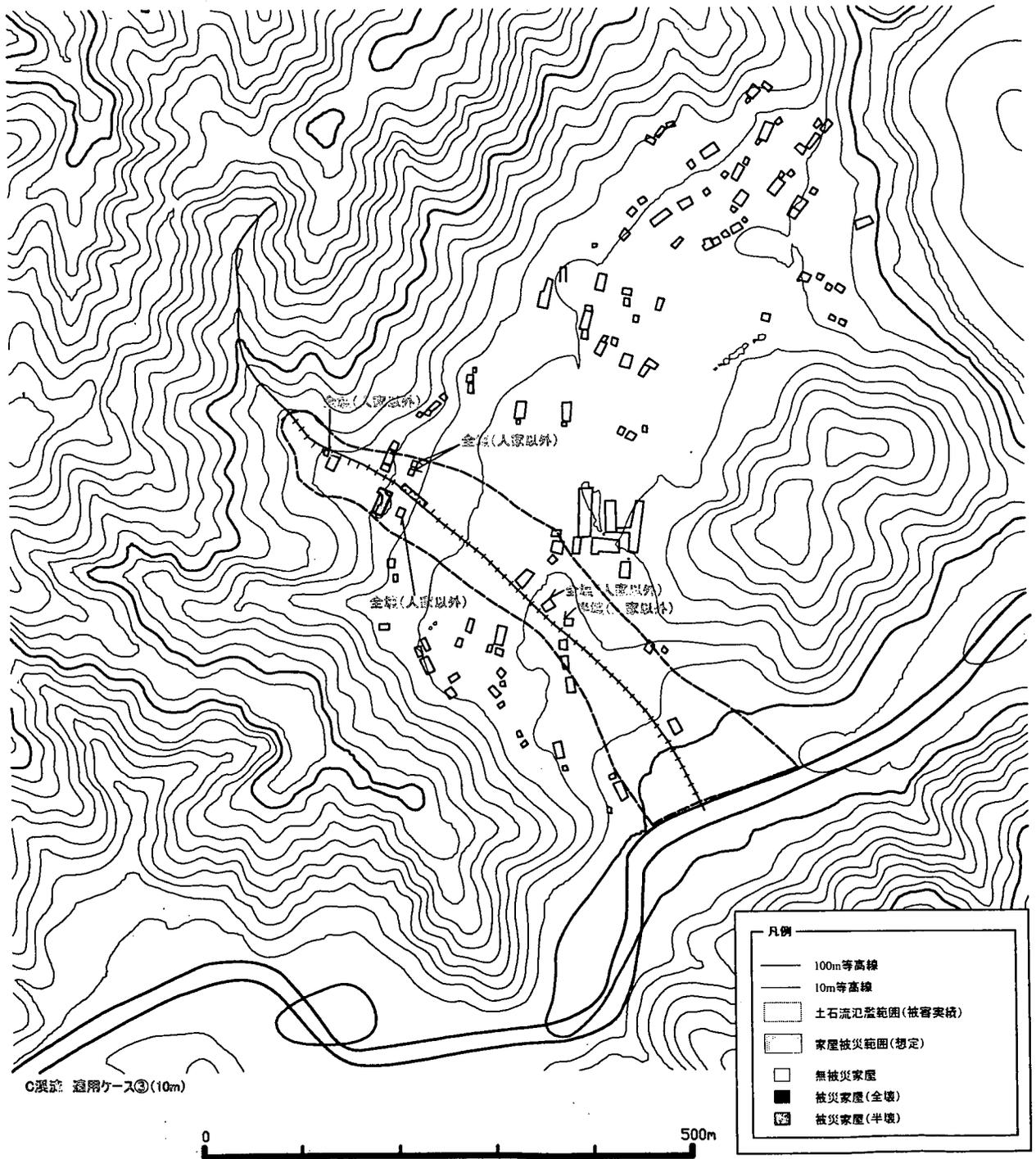


- 凡例
- 100m等高線
  - 10m等高線
  - 土石流氾濫範囲(被害実績)
  - 家屋被災範囲(想定)
  - 無被災家屋
  - 被災家屋(全壊)
  - 被災家屋(半壊)

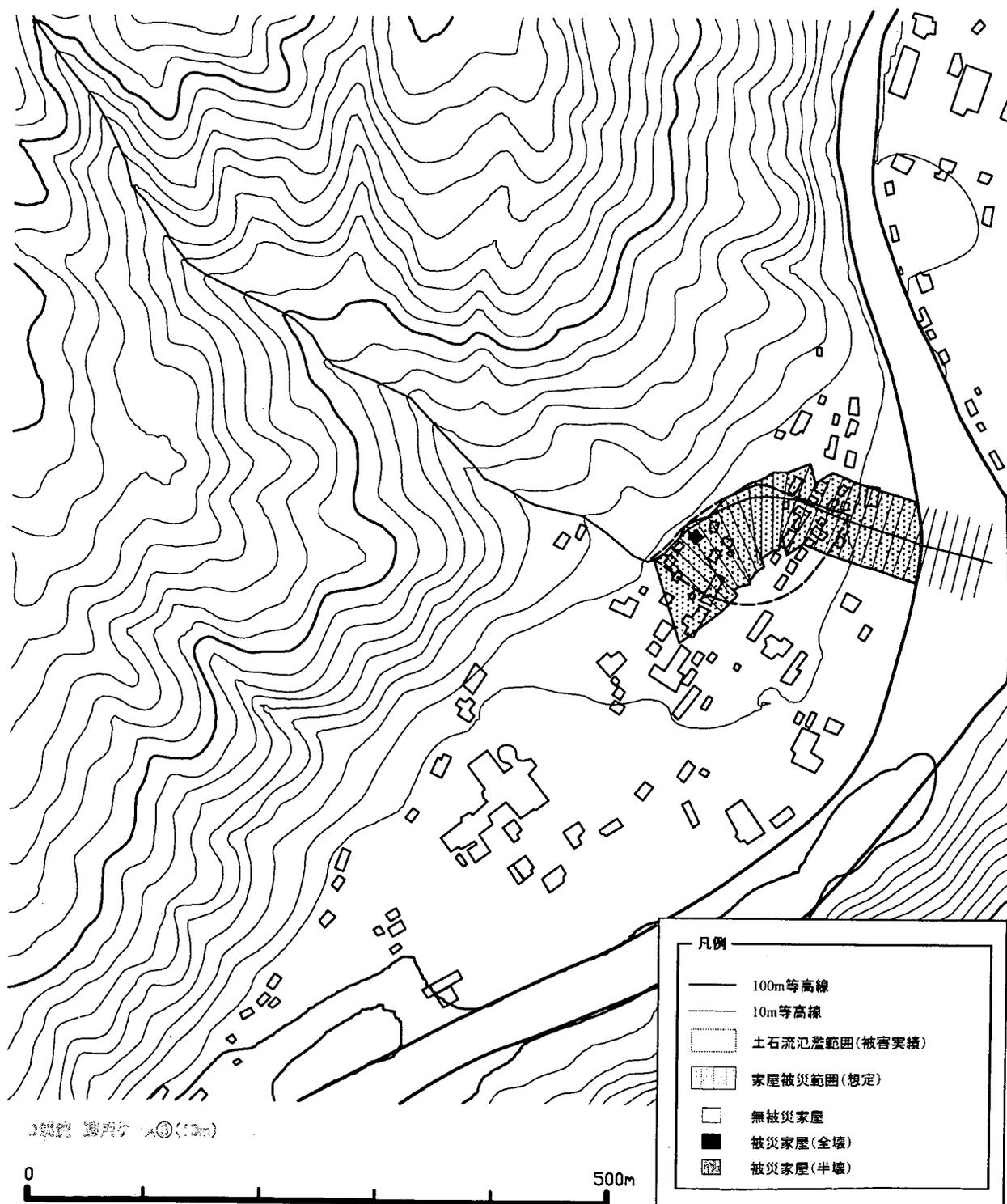
0 500m

適用ケ一又③ B 溪流 (10m)

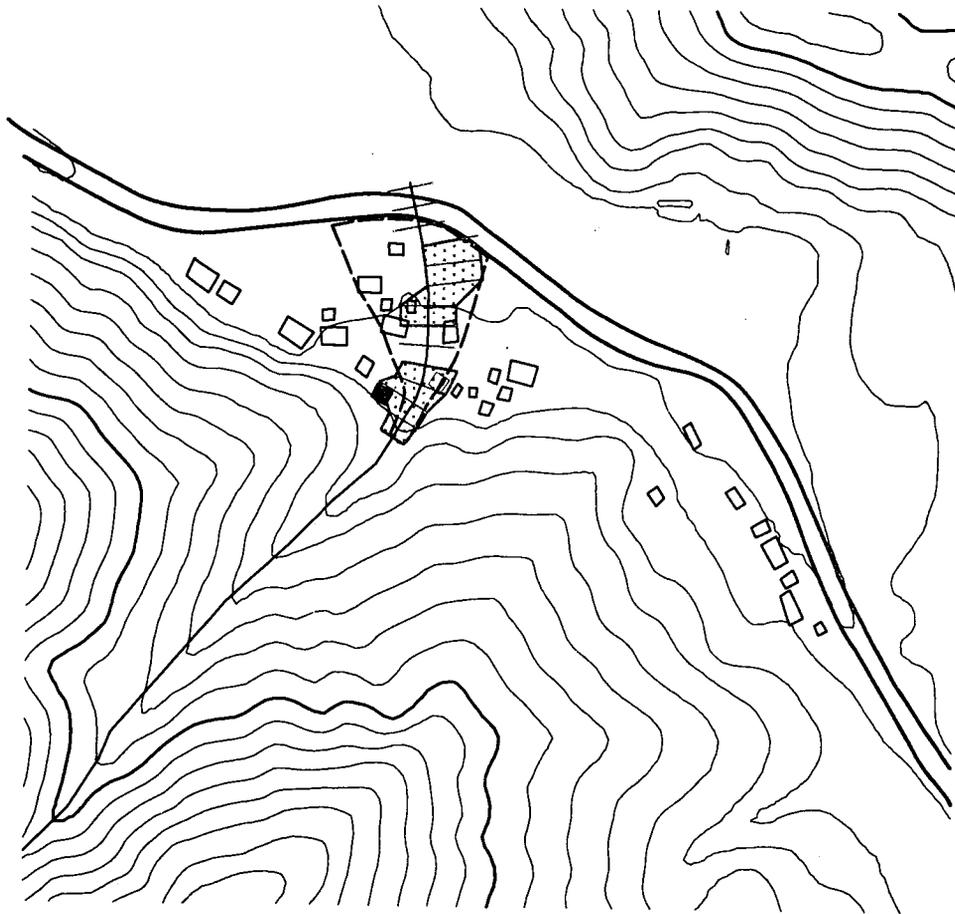
適用ケース③ C溪流 (10m)



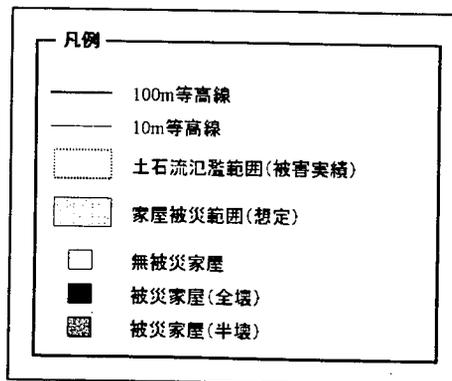
適用ケース③ D 溪流 (10m)



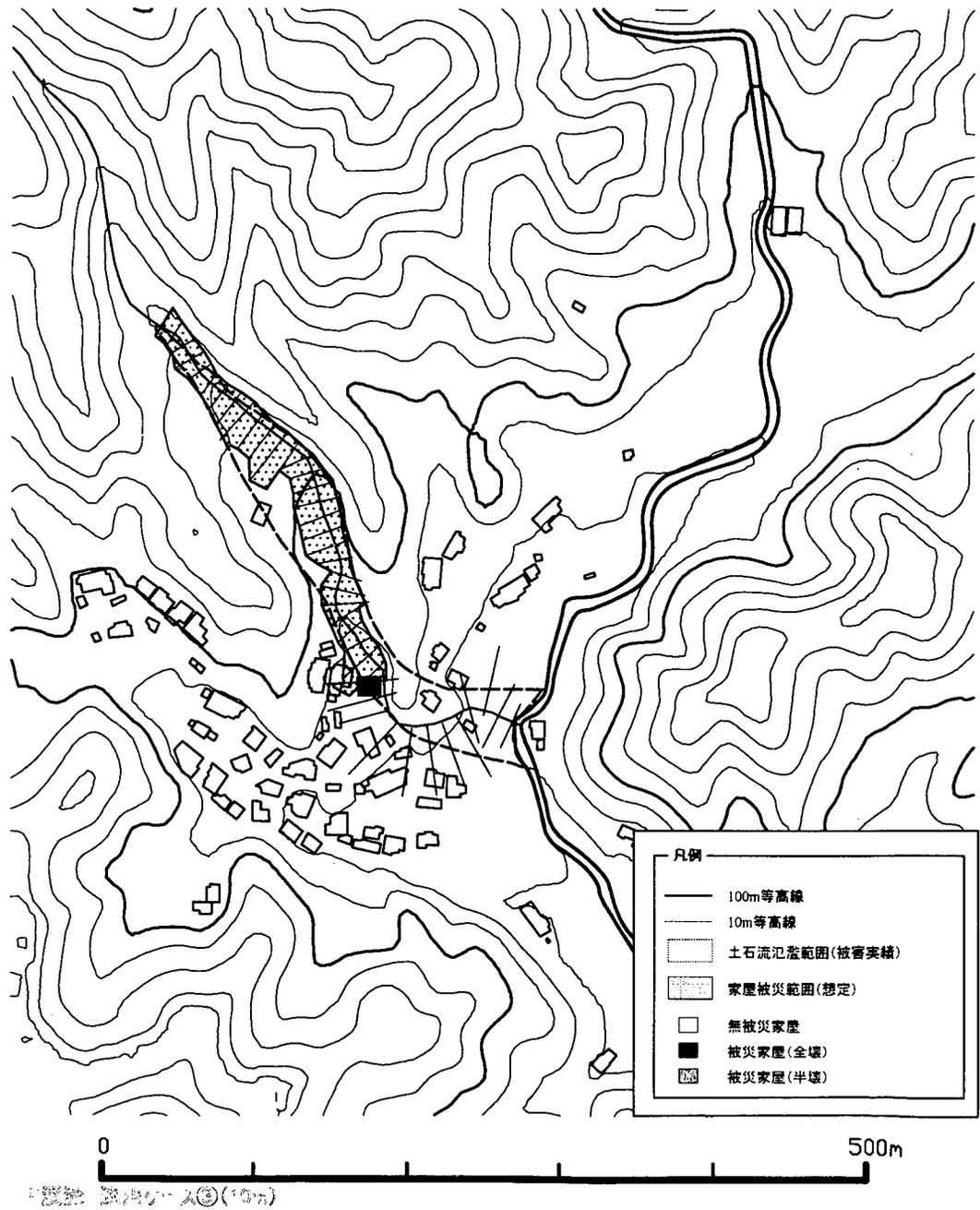
適用ケース③ E 溪流 (10m)



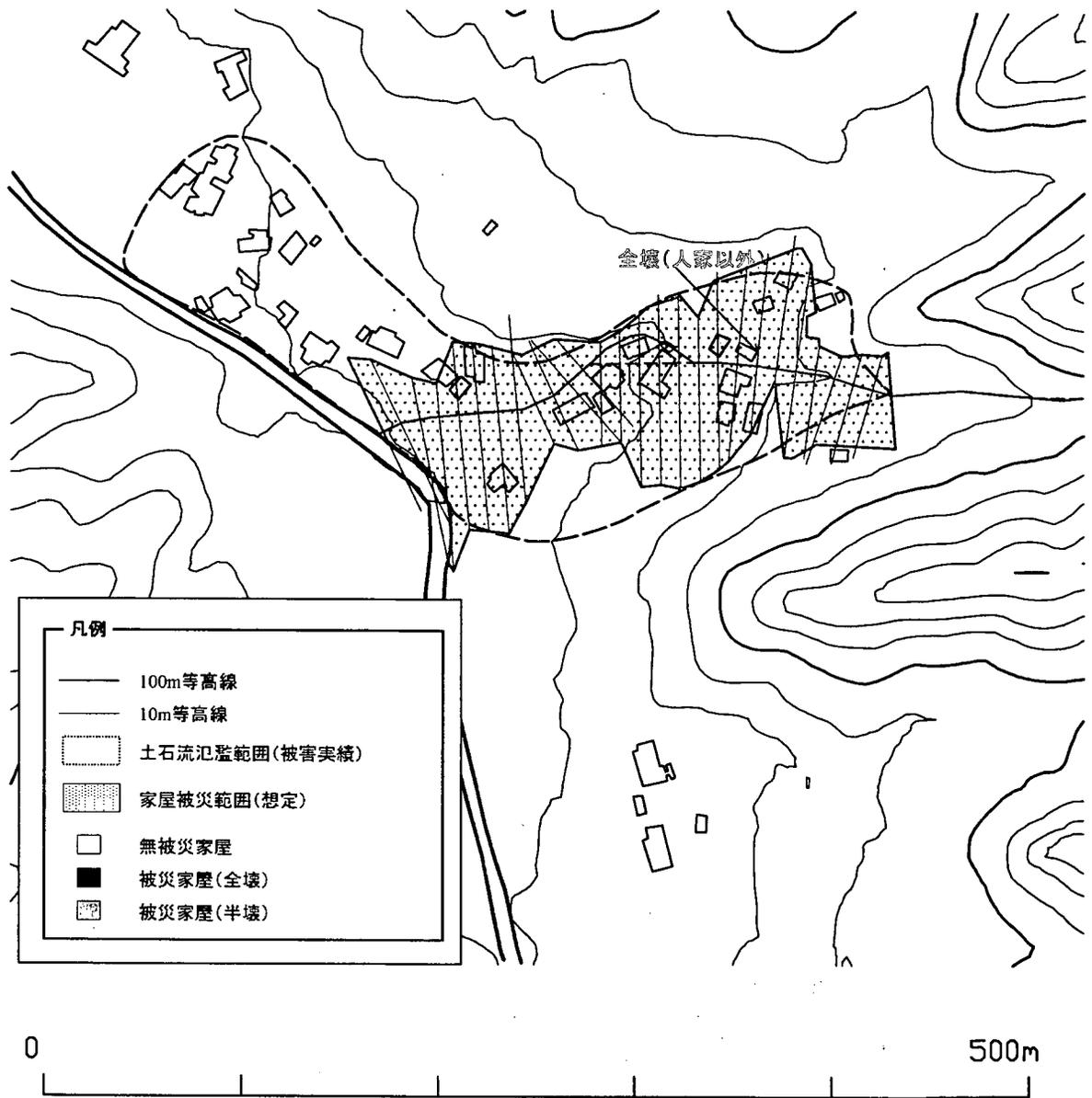
E 溪流 適用ケース③(10m)



適用ケース③ F 溪流 (10m)



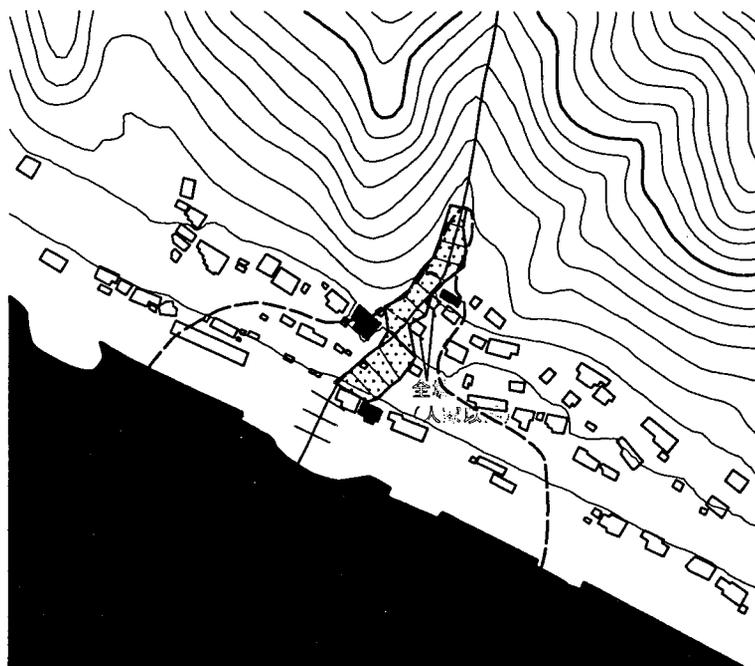
適用ケース③ G 溪流 (10m)



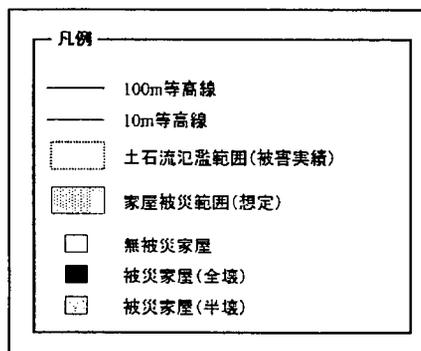
G溪流 適用ケース③(10m)

適用ケース③ H溪流 (10m)

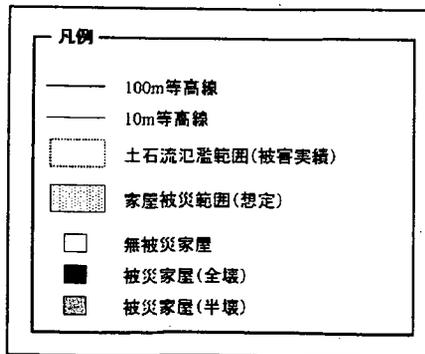
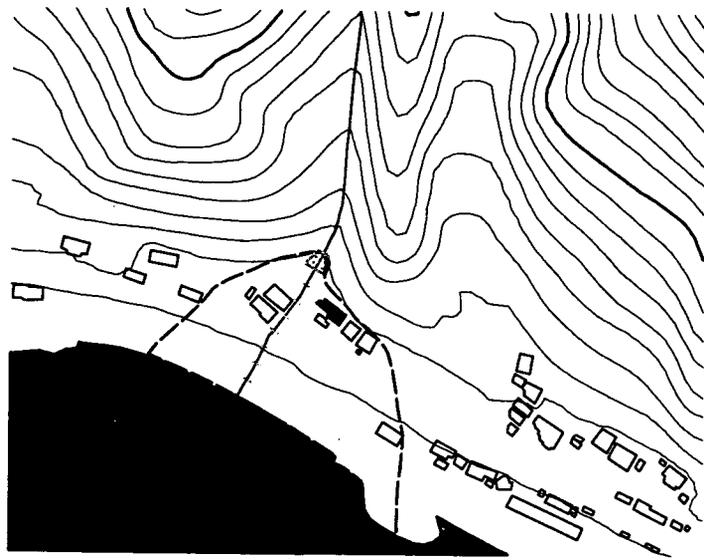
とり方: 上流10m



H溪流 適用ケース③(10m)



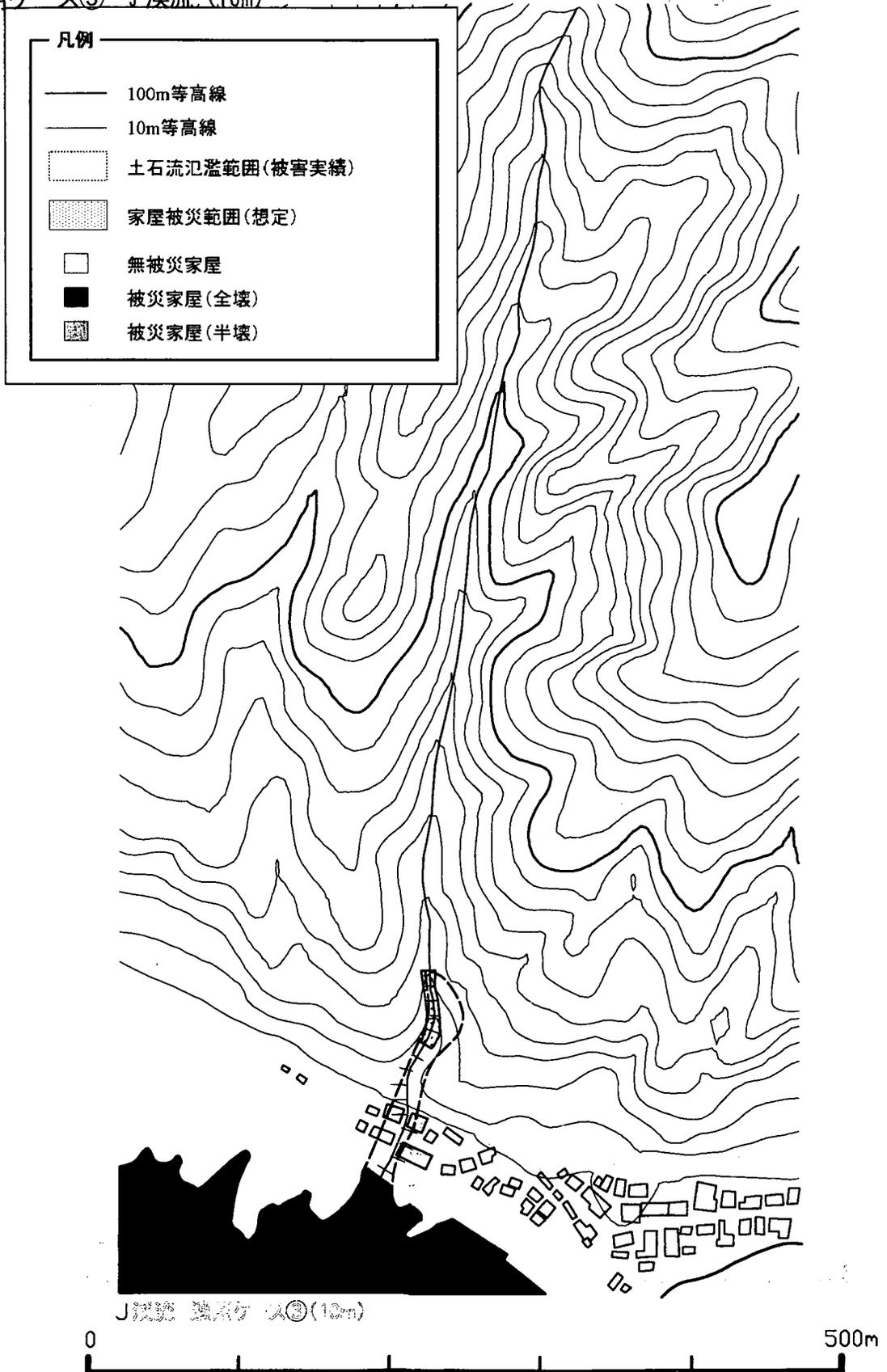
適用ケース③ I 溪流 (10m)



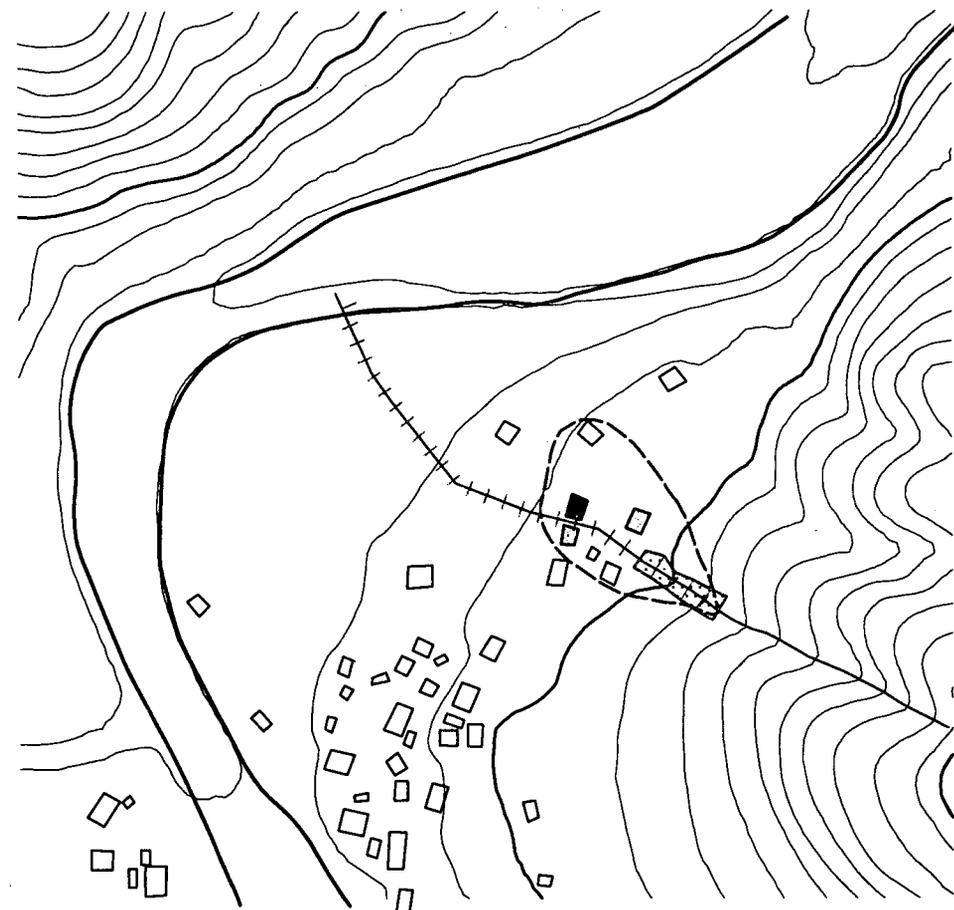
I 溪流 適用ケース③(10m)



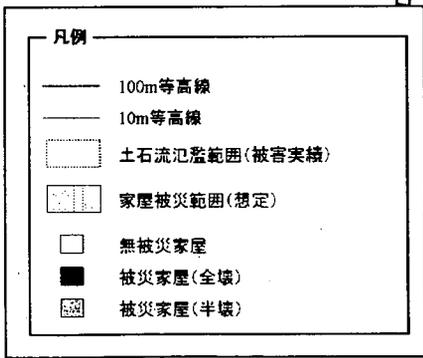
適用ケース③ ↓ 溪流 (10m)



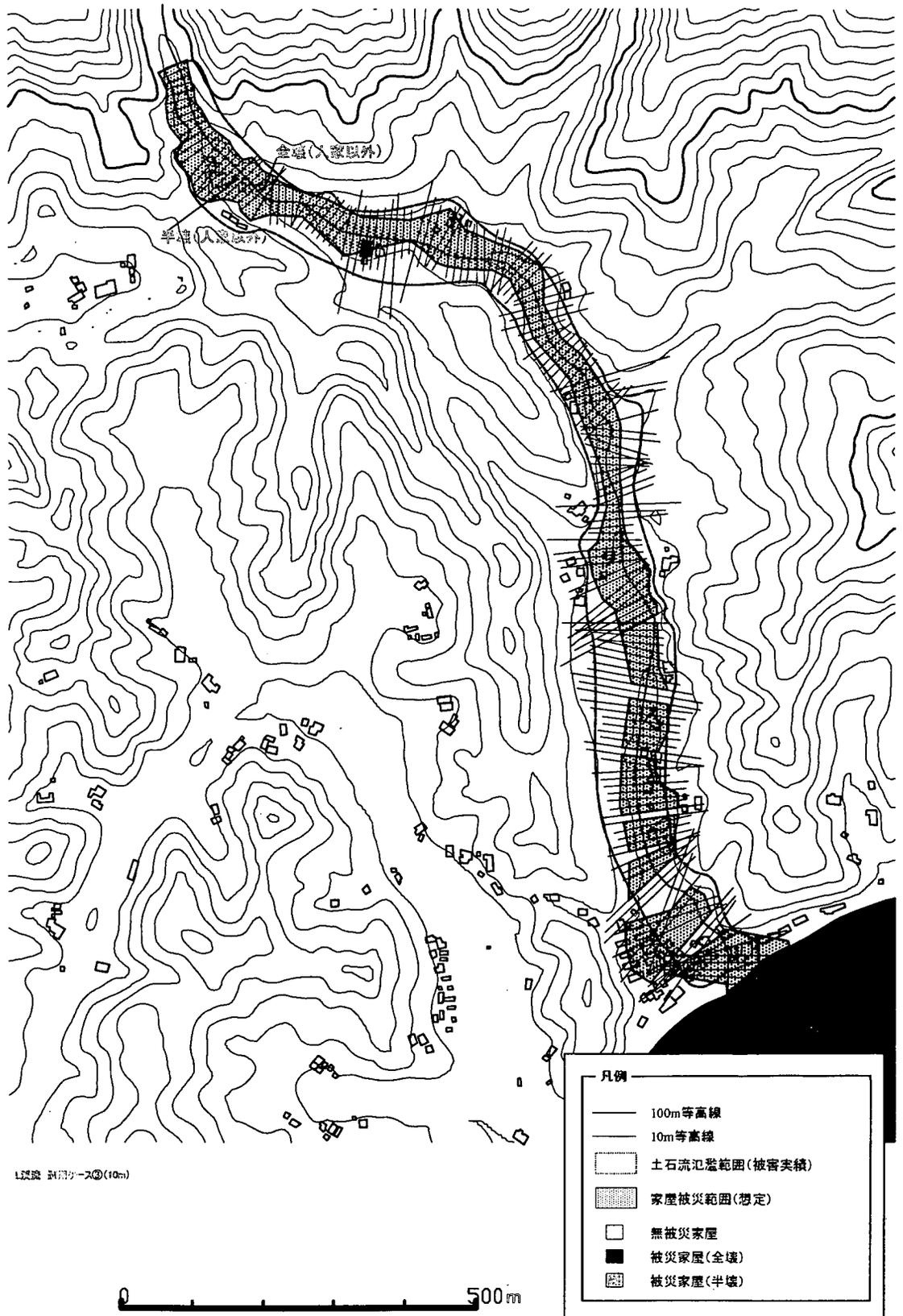
適用ケース③ K溪流 (10m)



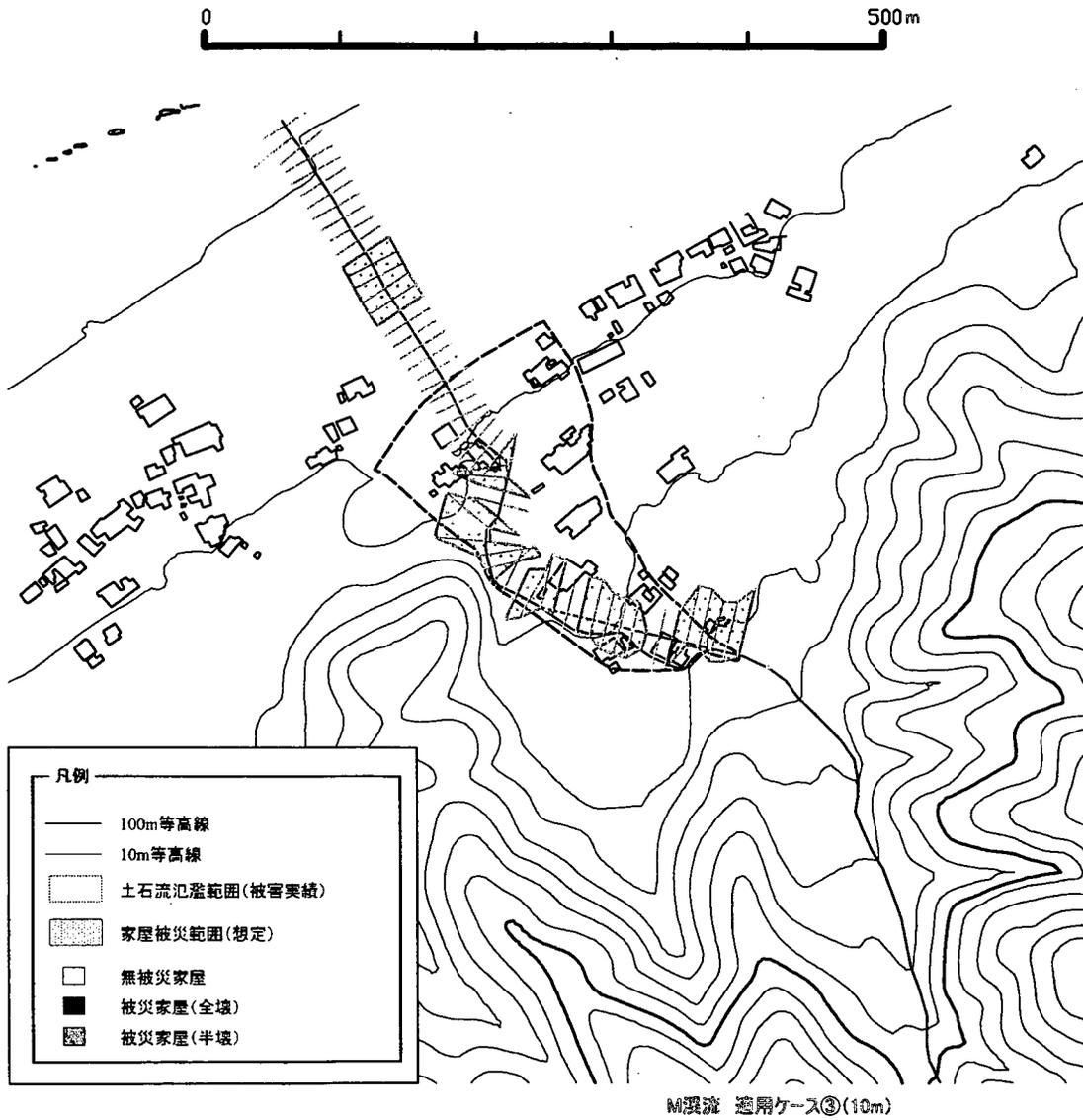
◀溪流 適用ケース③(10m)



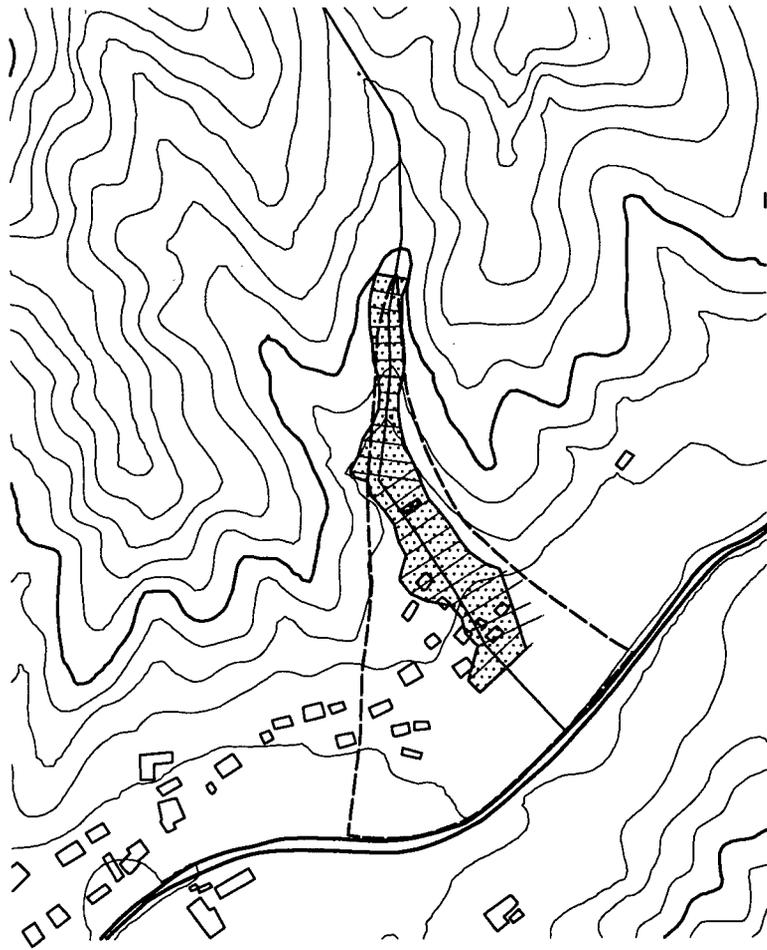
適用ケース③ L溪流 (10m)



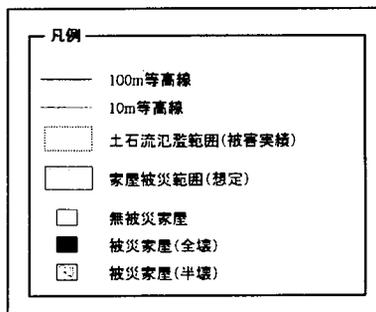
適用ケース③ M溪流 (10m)



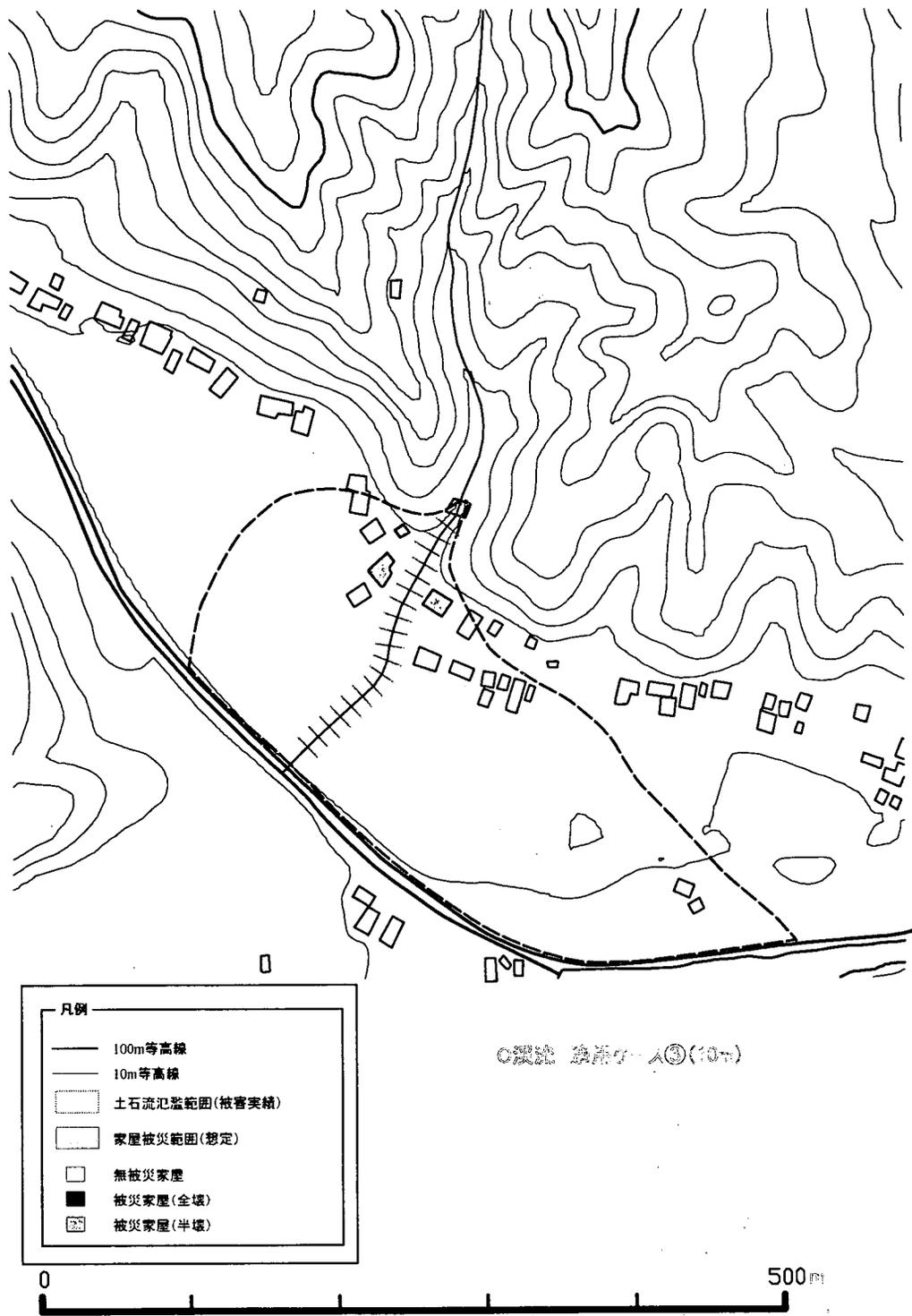
適用ケース③ N 溪流 (10m)



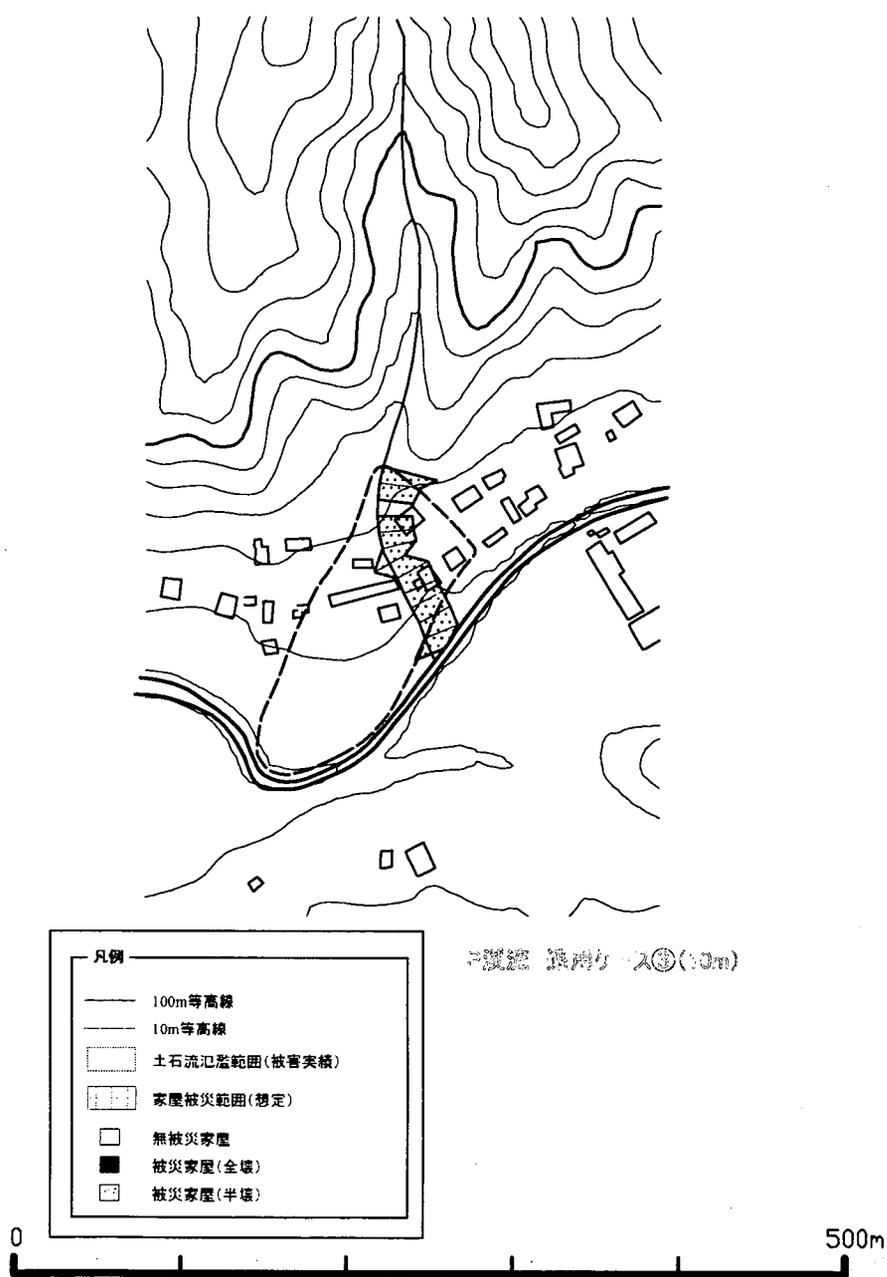
N 溪流 適用ケース③(10m)



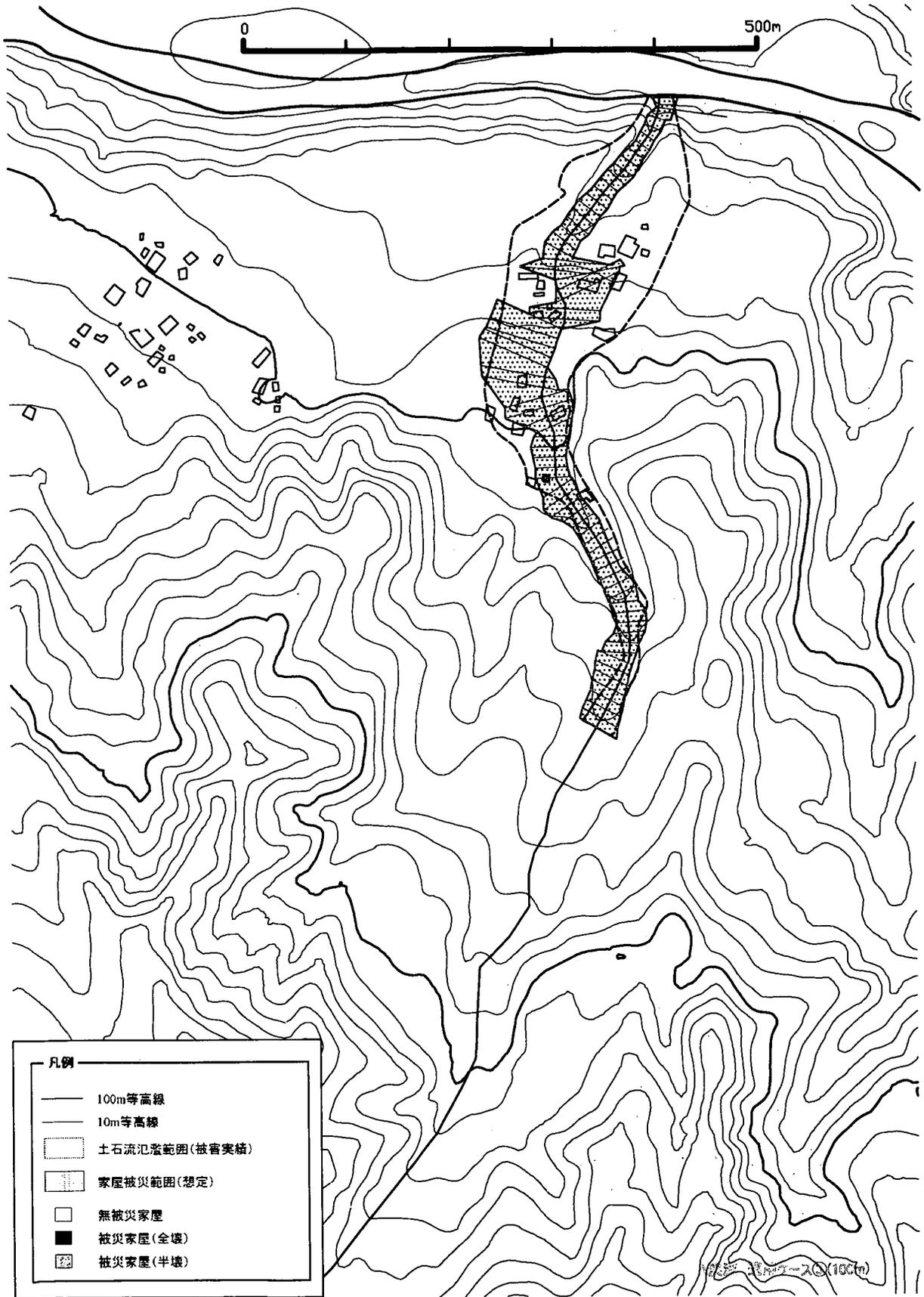
適用ケース③ 0 溪流 (10m)



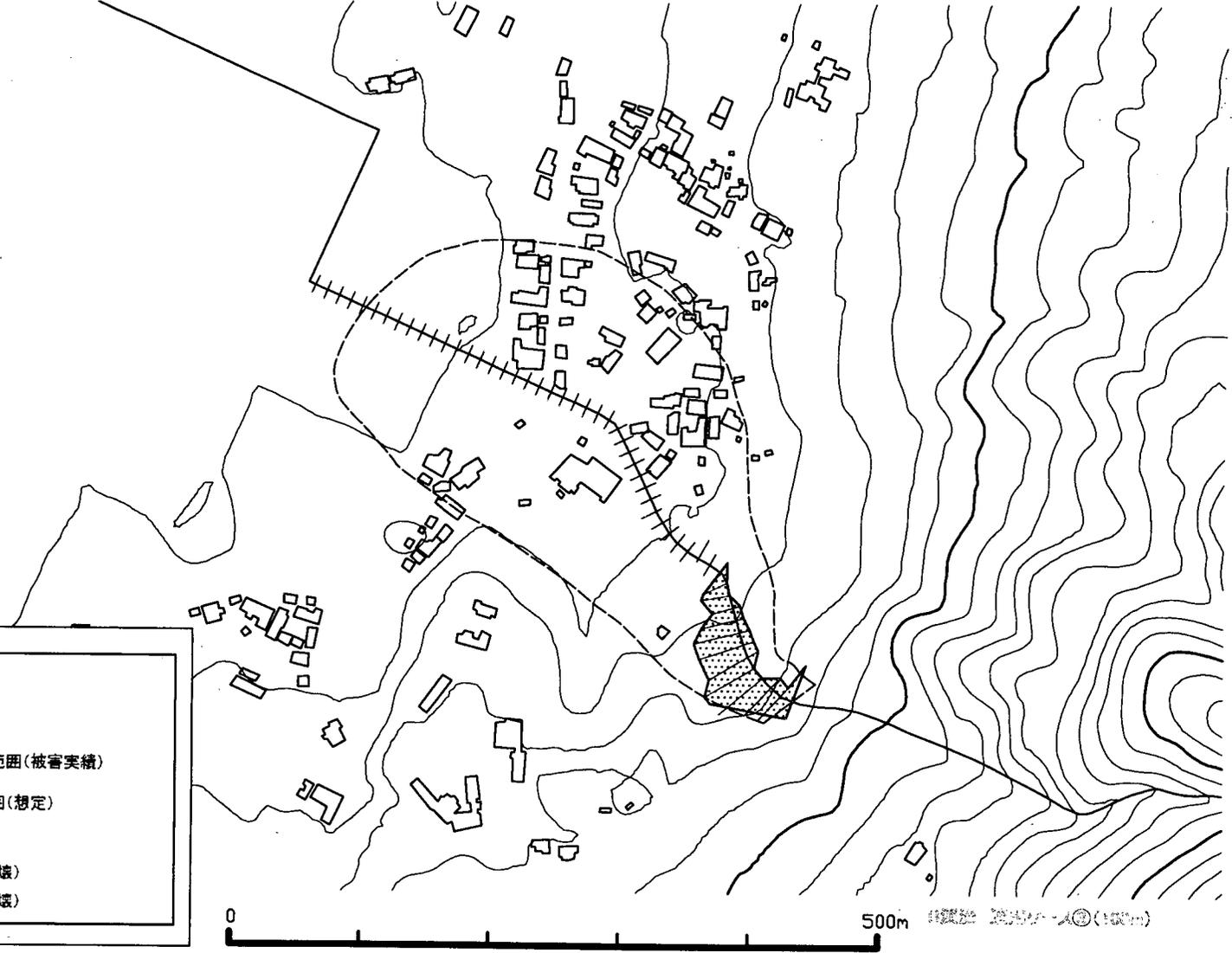
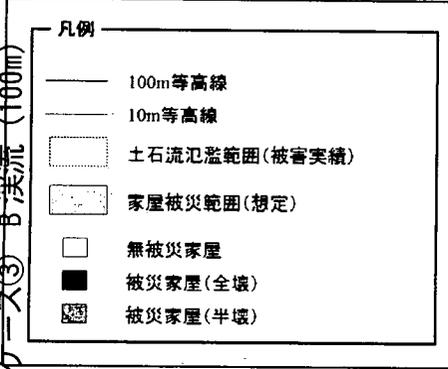
適用ケース③ P 溪流 (10m)



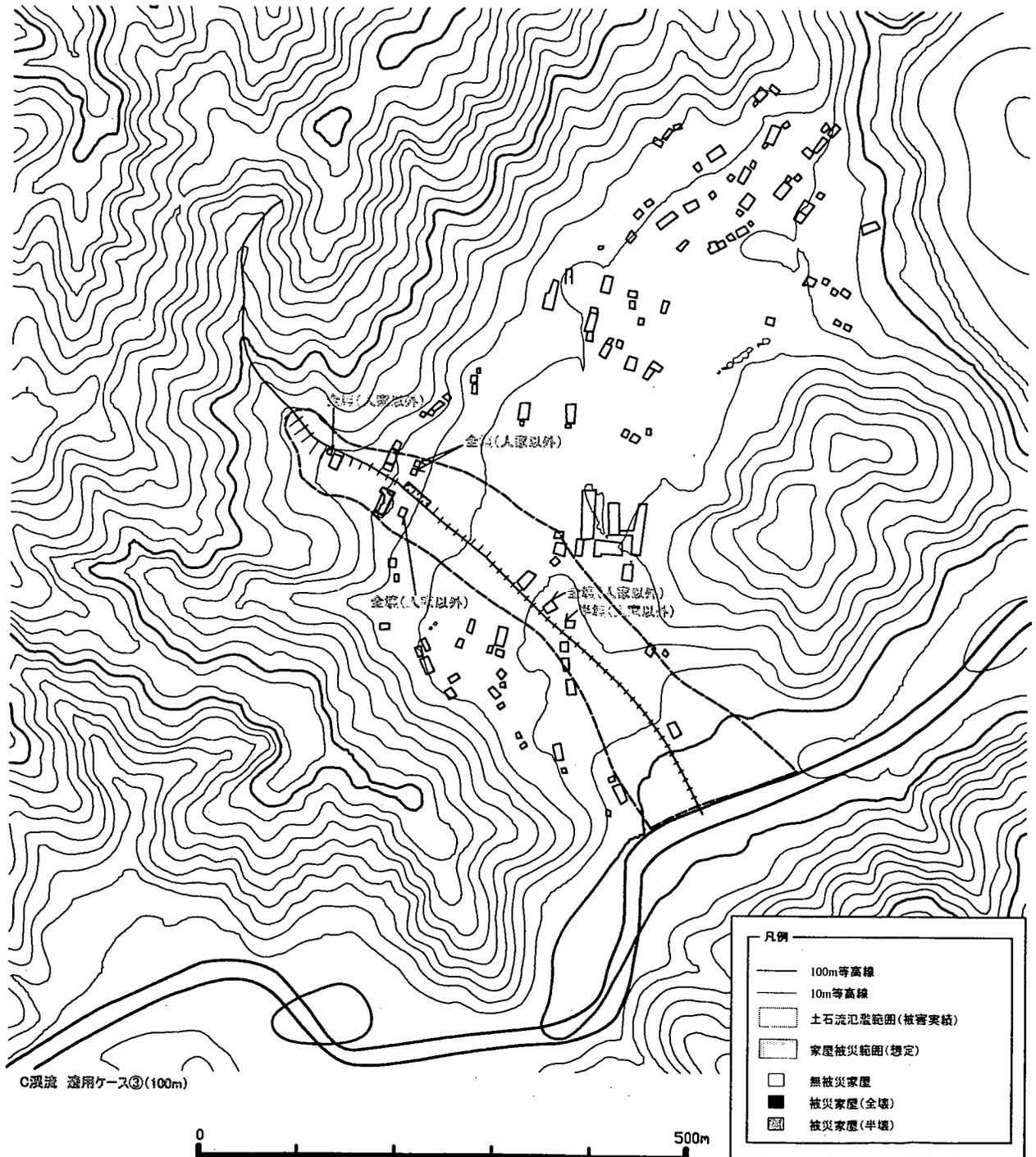
適用ケース③ A 溪流 (100m)



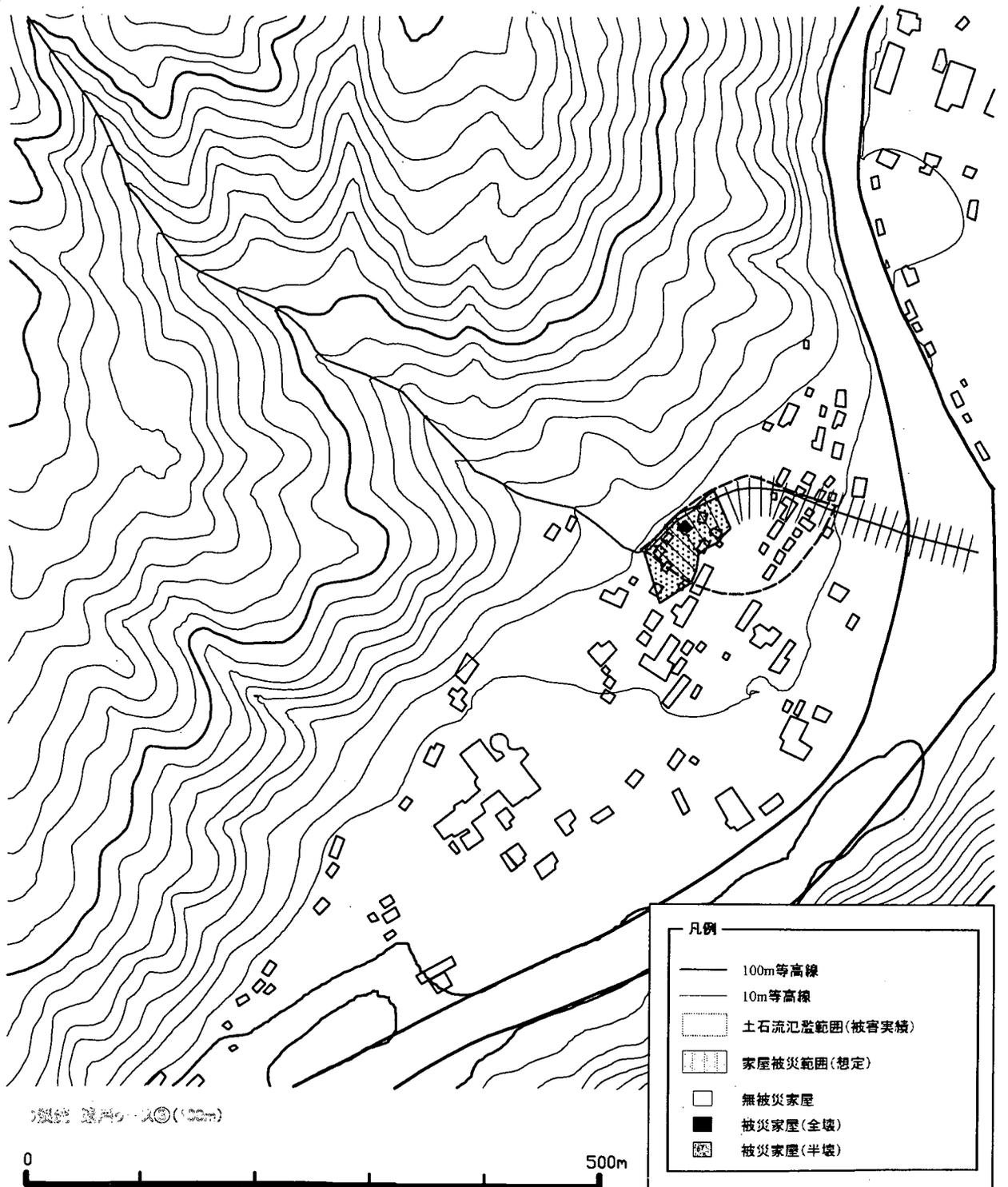
適用ケース③ B 溪流 (100m)



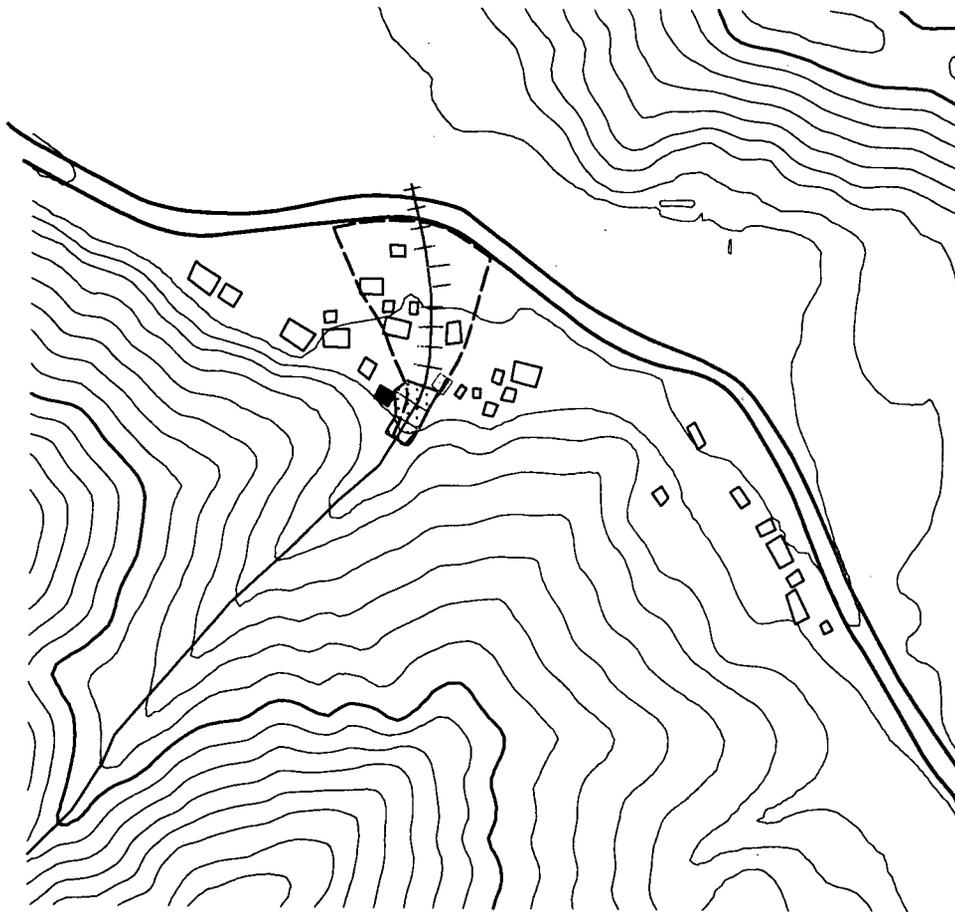
適用ケース③ C溪流 (100m)



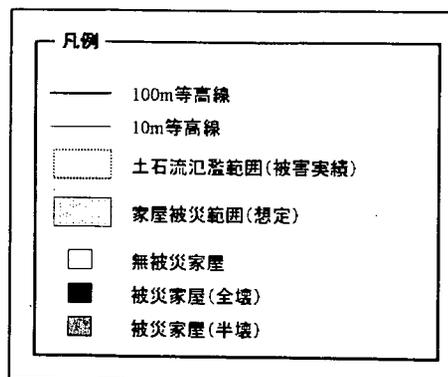
適用ケース③ D 溪流 (100m)



適用ケース③ E 溪流 (100m)



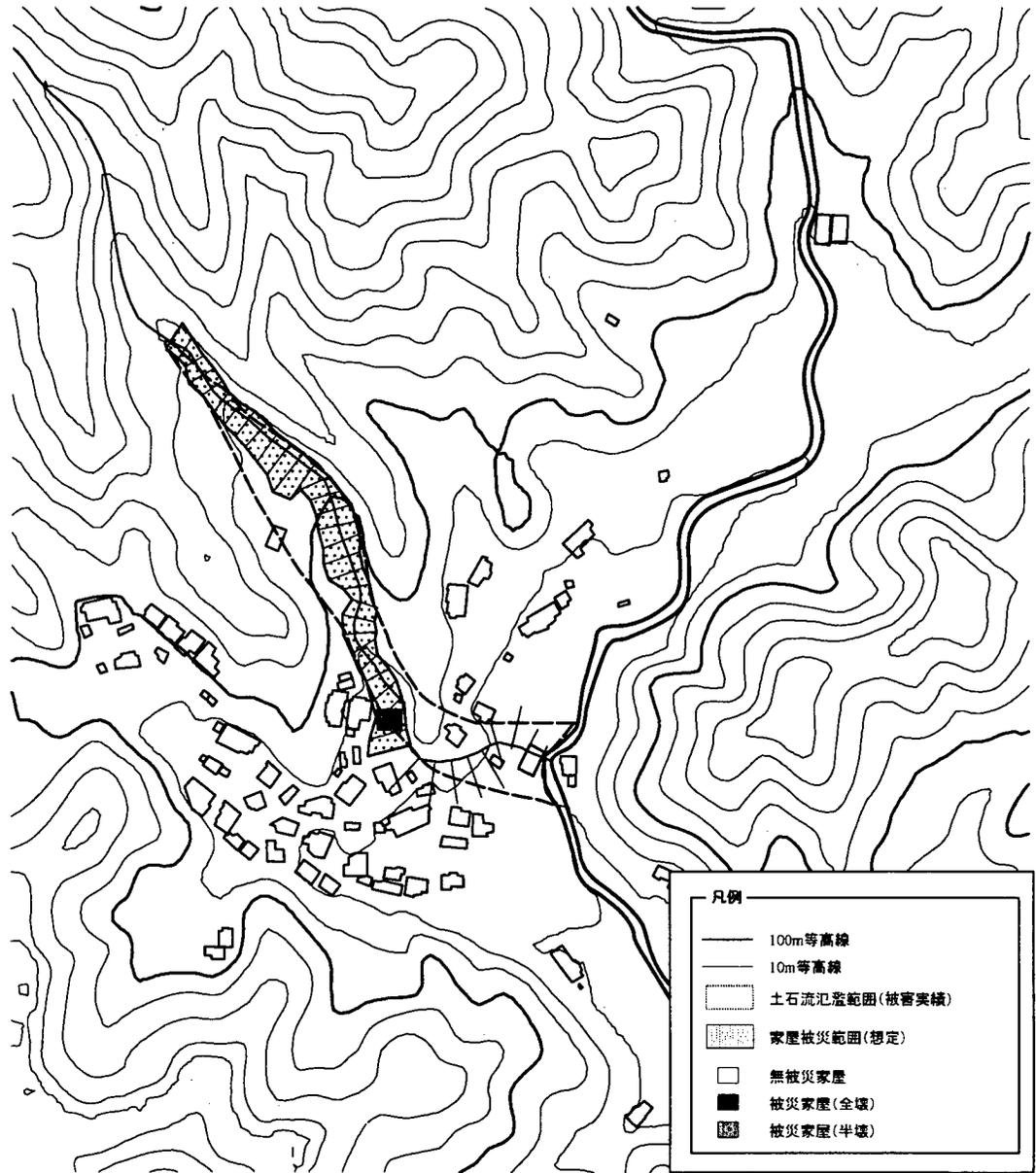
E 溪流 適用ケース③ (100m)



勾配のとり方: 上流100m

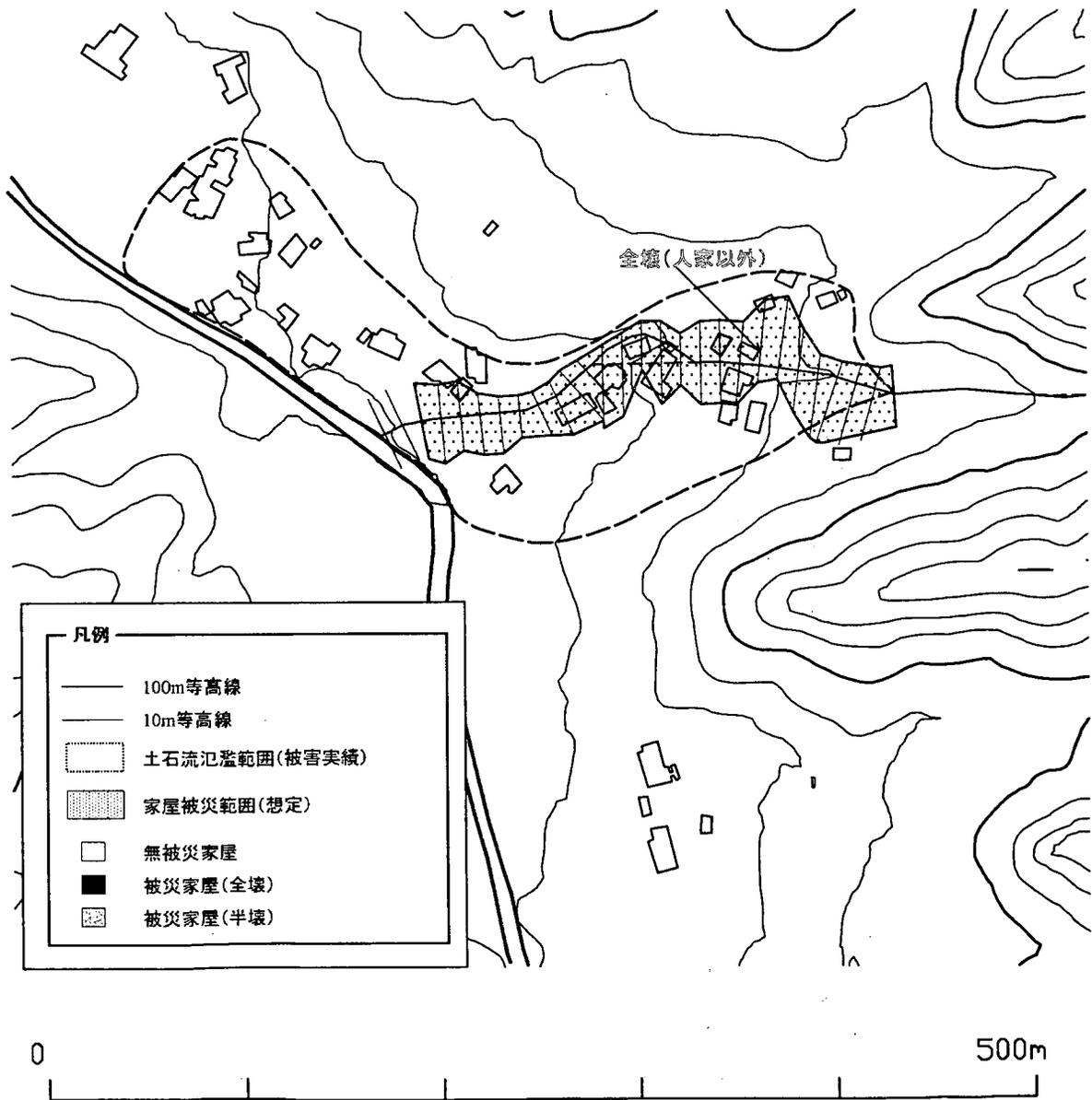


適用ケース③ F 溪流 (100m)



0 500m  
 図説 適用ケース③(100m)

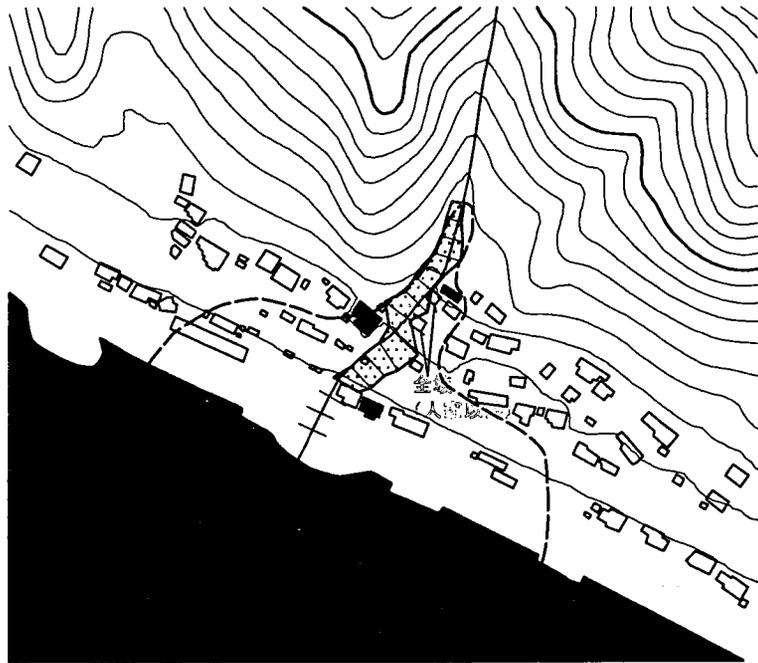
適用ケース③ G 溪流 (100m)



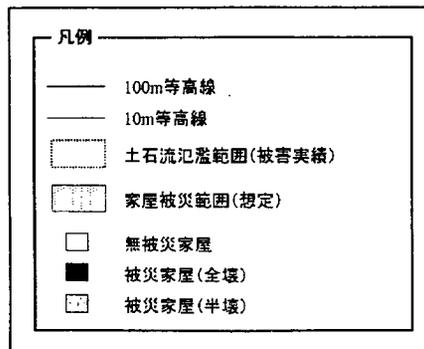
G 溪流 適用ケース③(100m)

適用ケース③ H溪流 (100m)

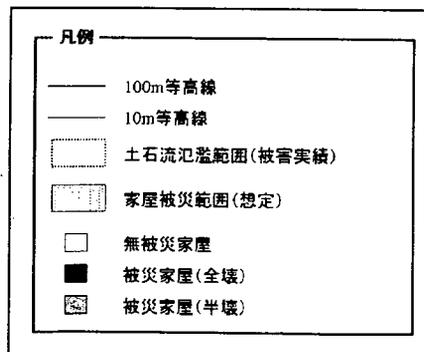
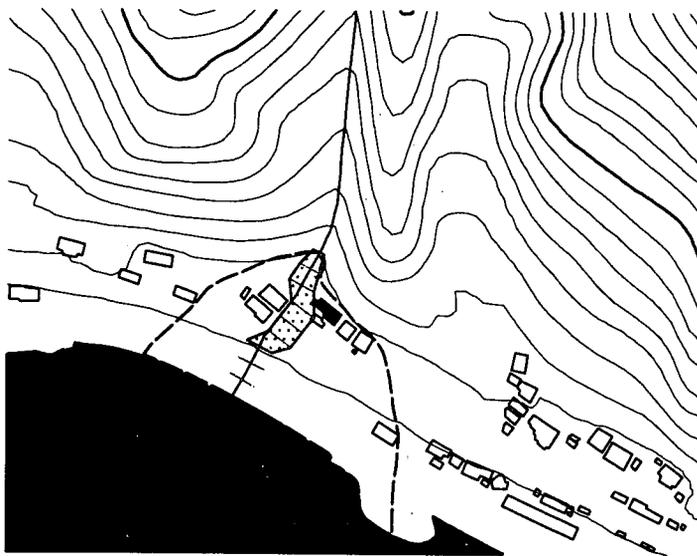
とり方: 上流100m



H溪流 適用ケース③(100m)



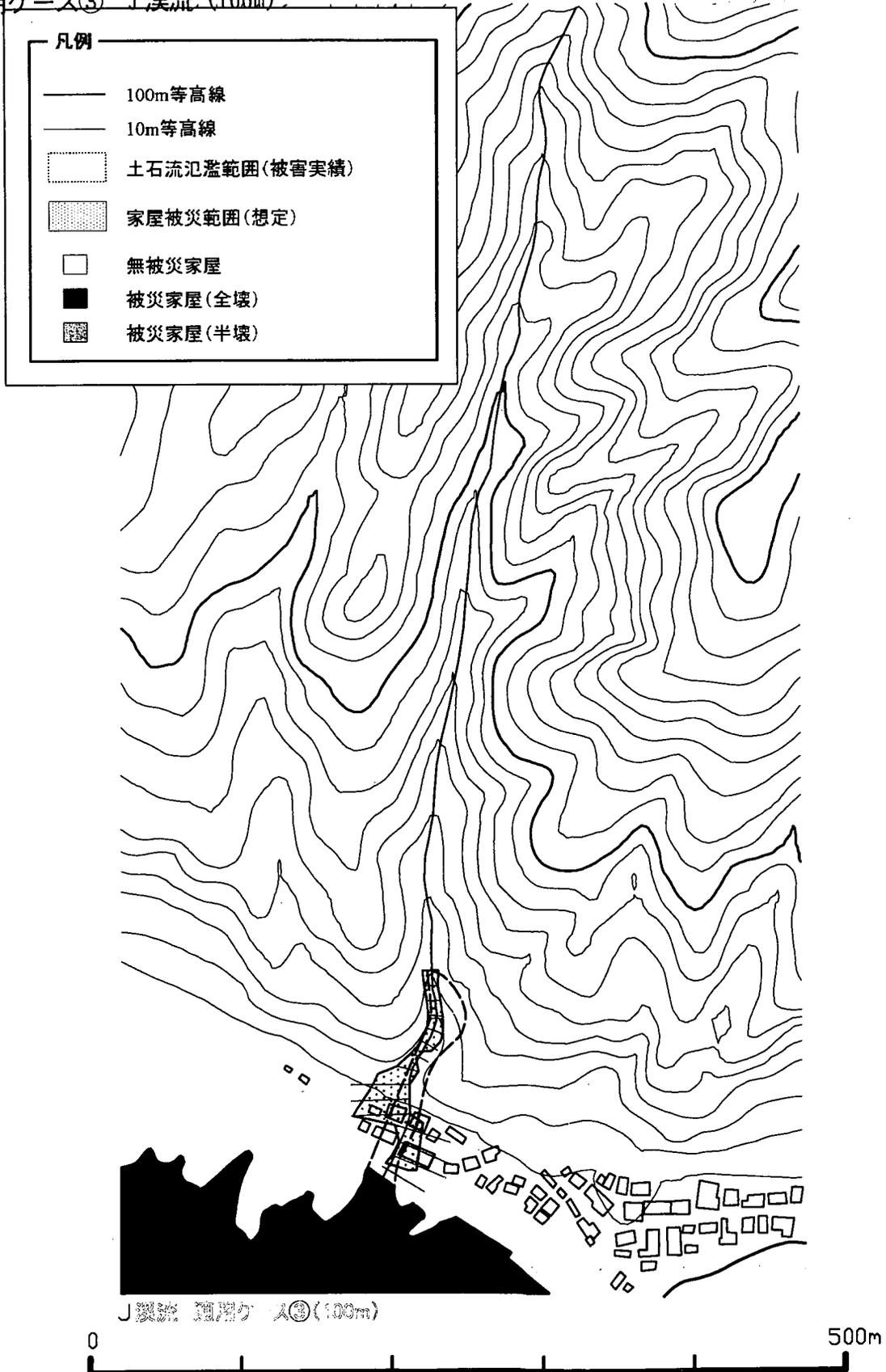
適用ケース③ Ⅰ 溪流 (100m)



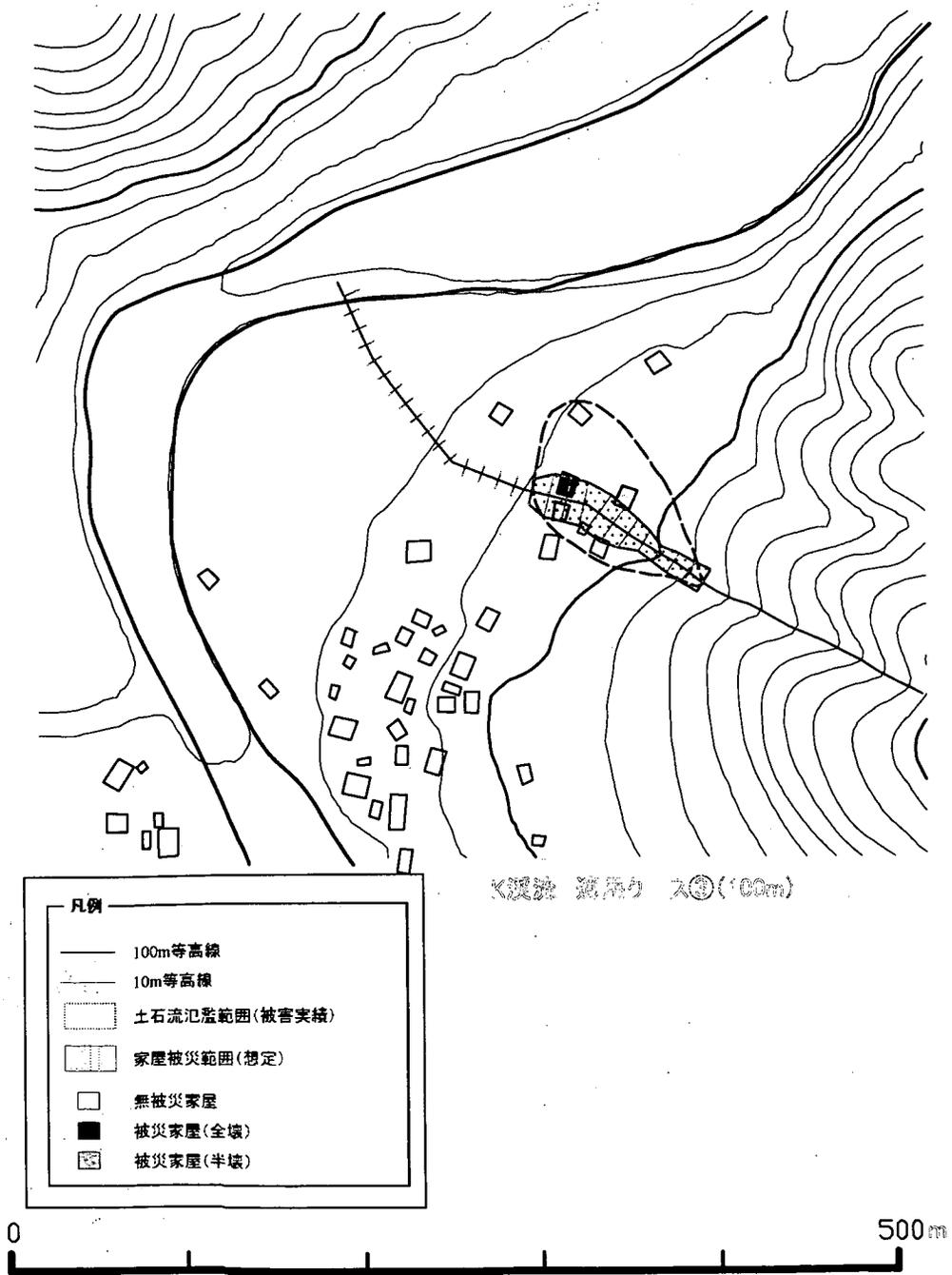
溪流 適用ケース③(100m)



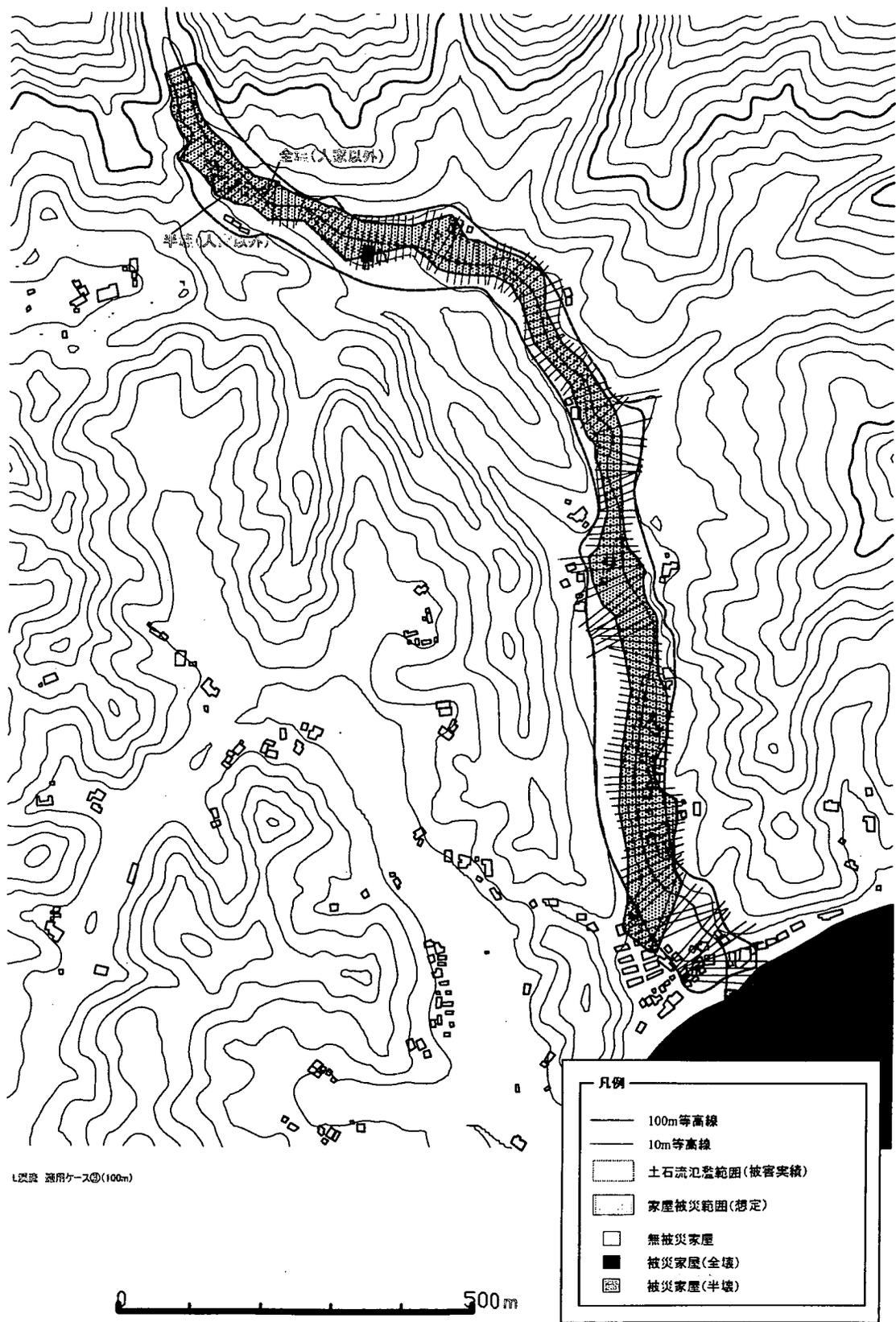
適用ケース③ 下溪流 (100m)



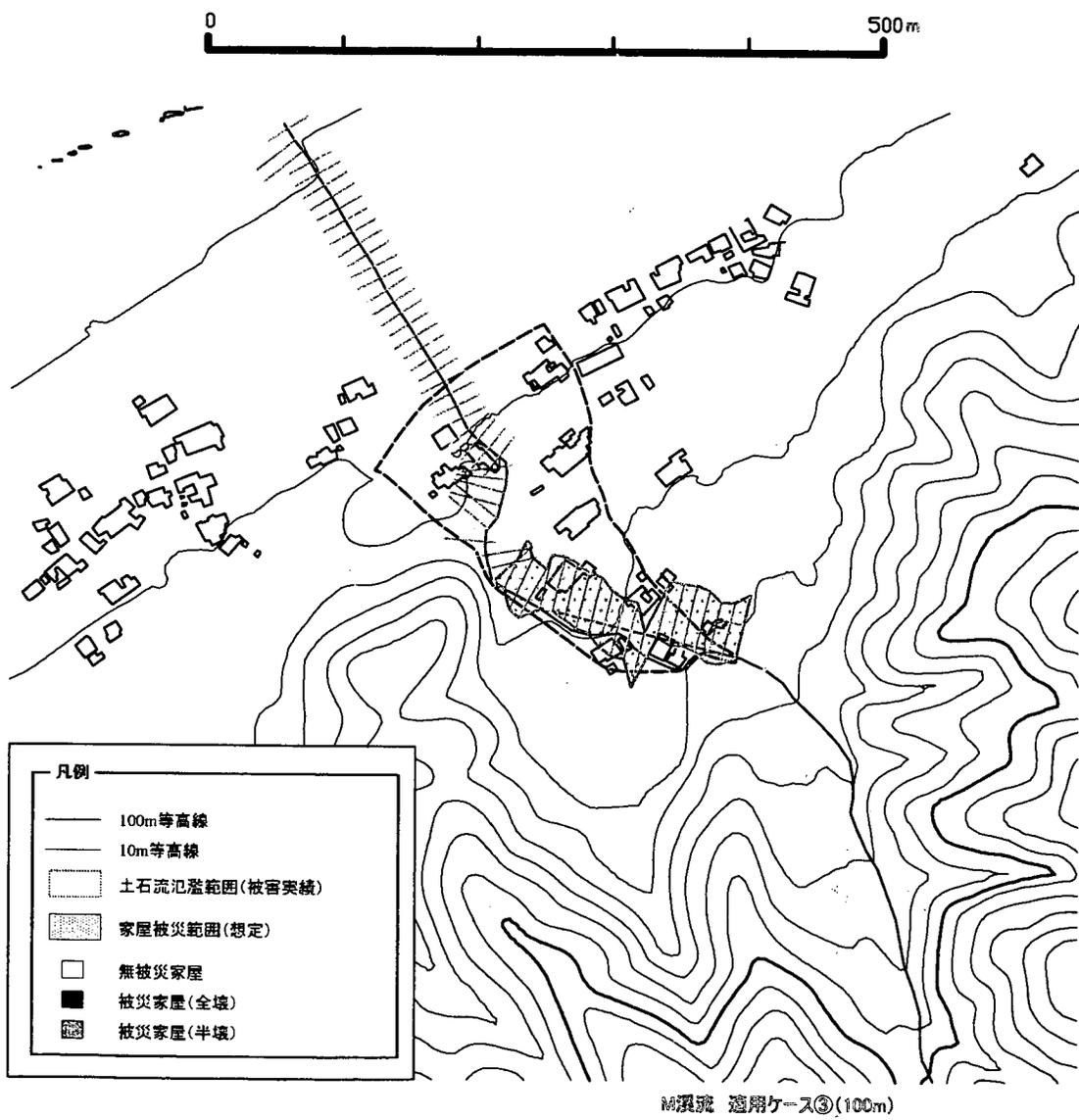
適用ケース③ K溪流 (100m)



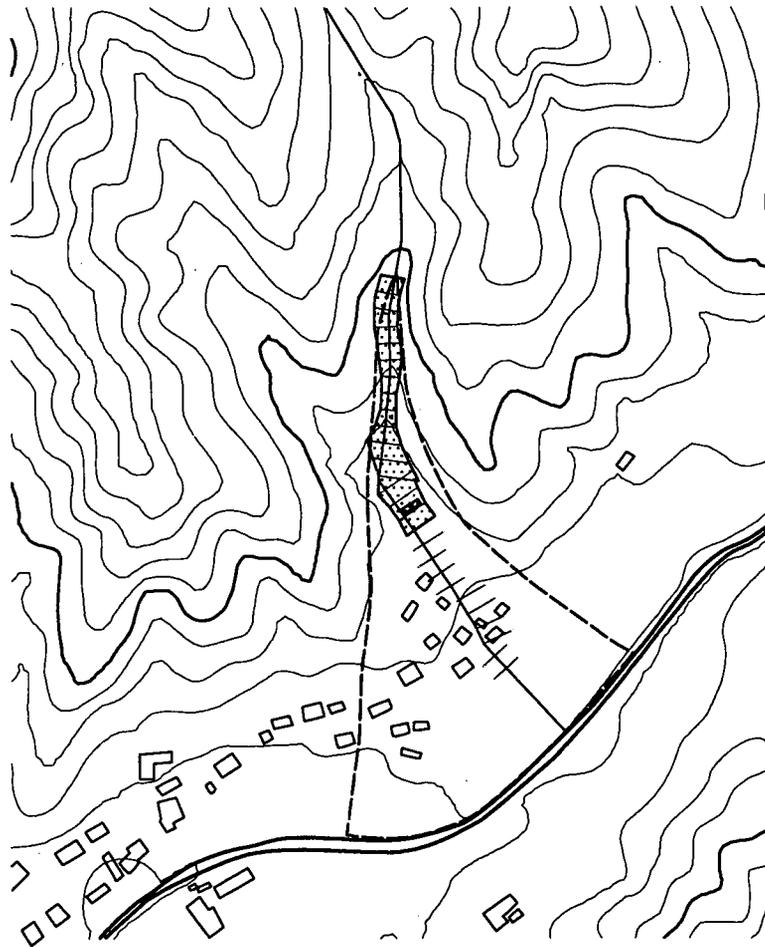
適用ケース③ L 溪流 (100m)



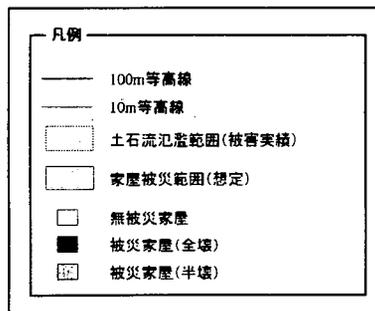
適用ケース③ M溪流 (100m)



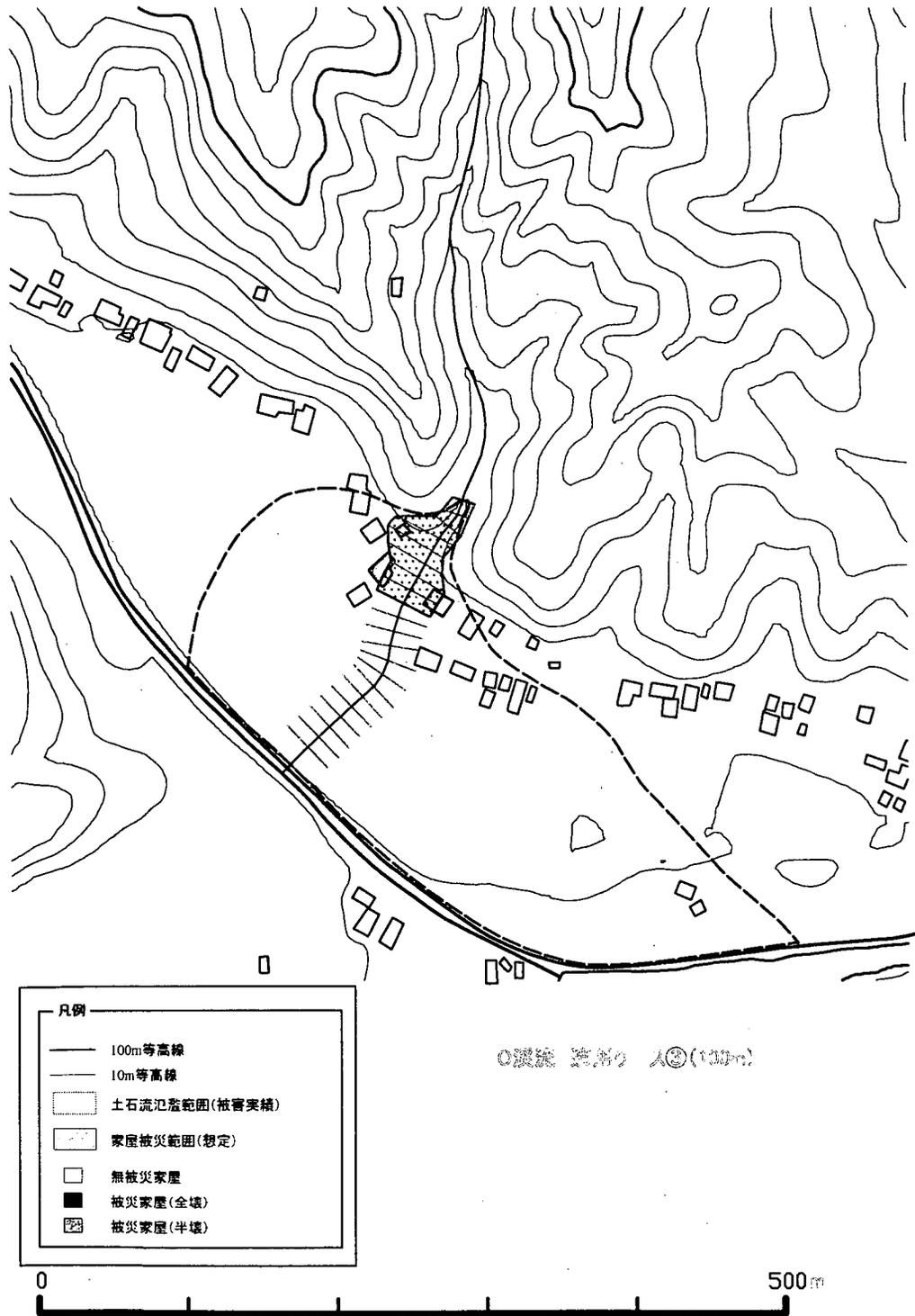
適用ケース③ N 溪流 (100m)



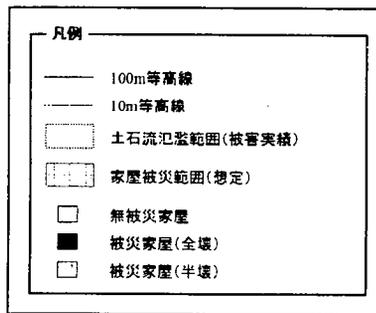
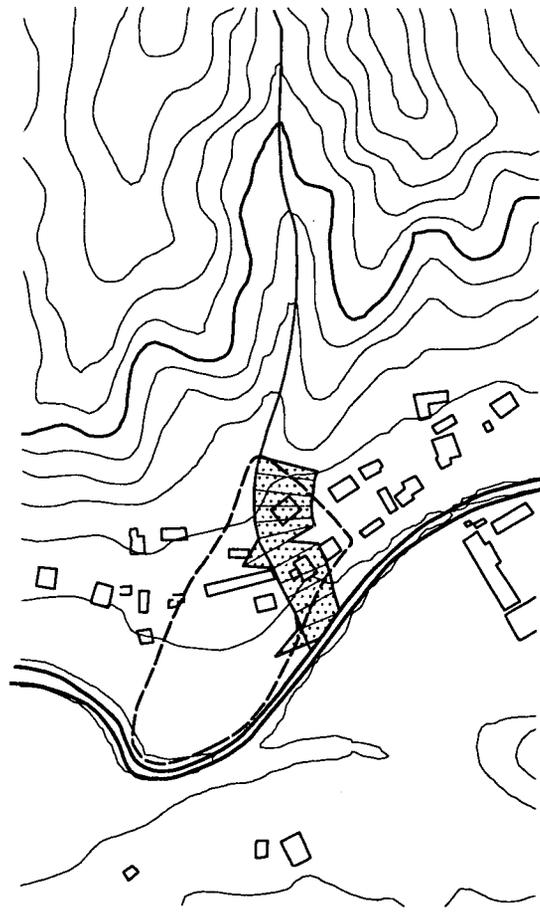
N 溪流 適用ケース③(100m)



適用ケース③ 〇溪流 (100m)



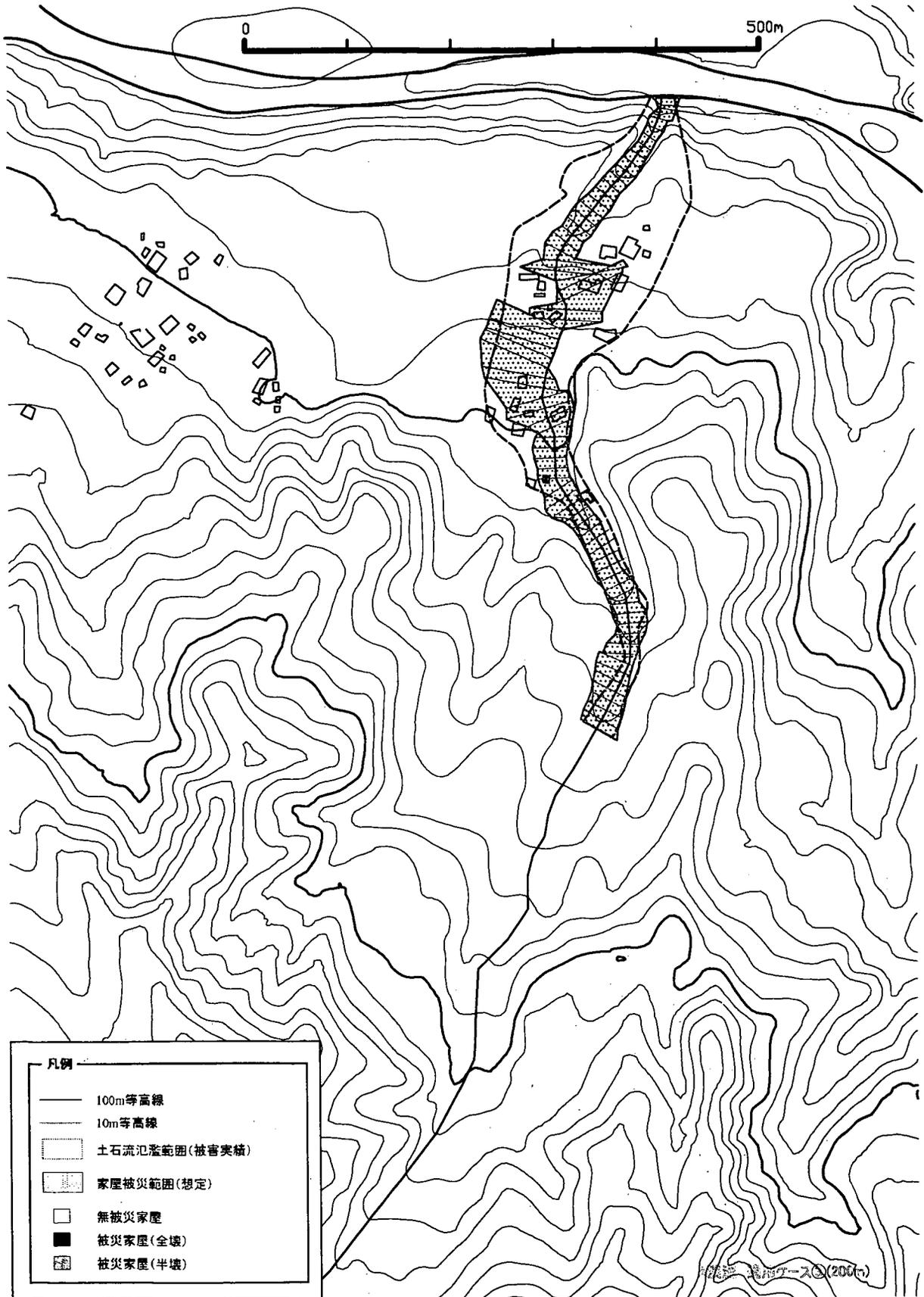
適用ケース③ P 溪流 (100m)



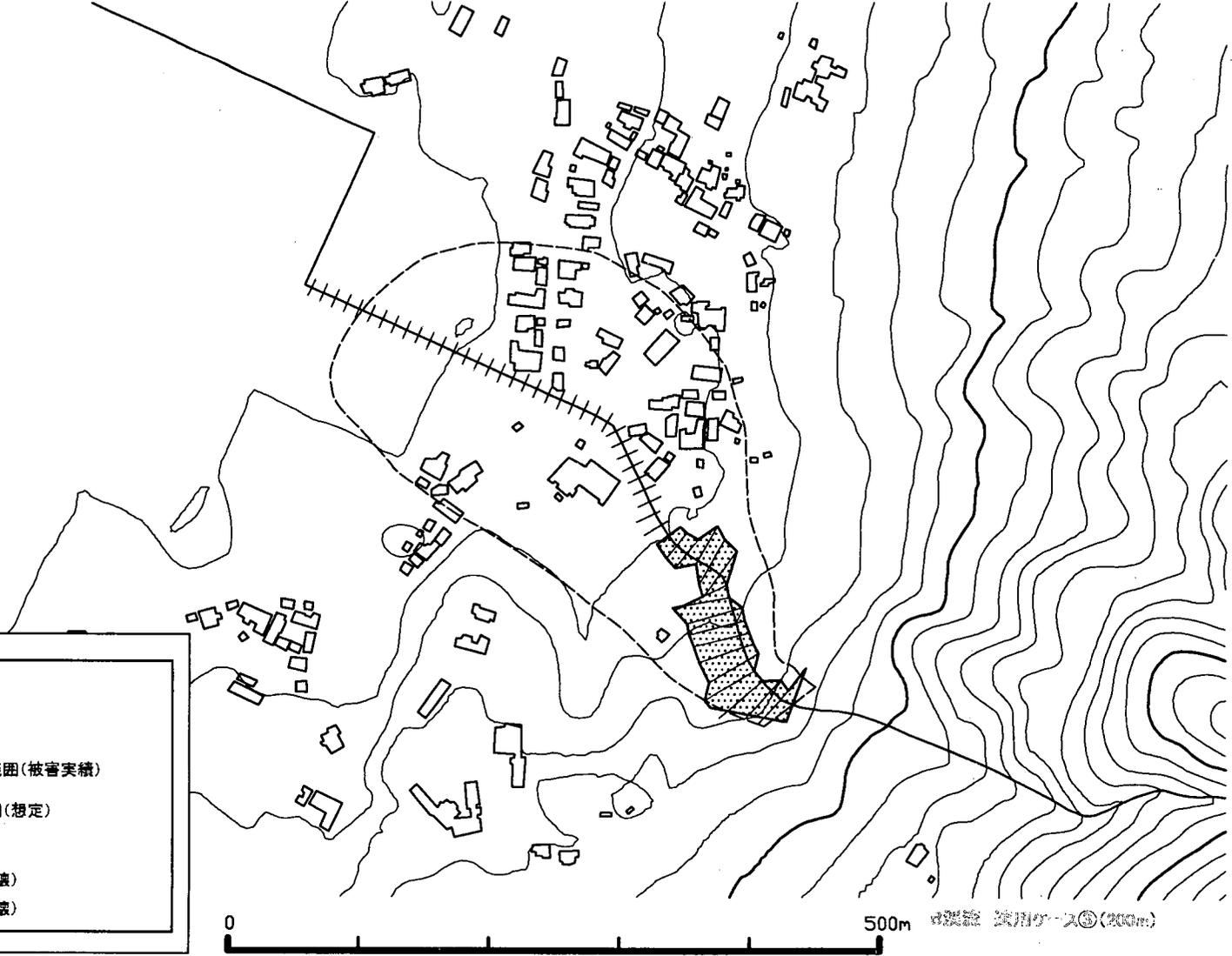
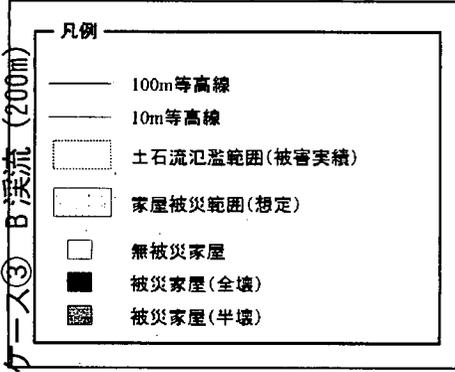
③ P 溪流 適用ケース③(100m)



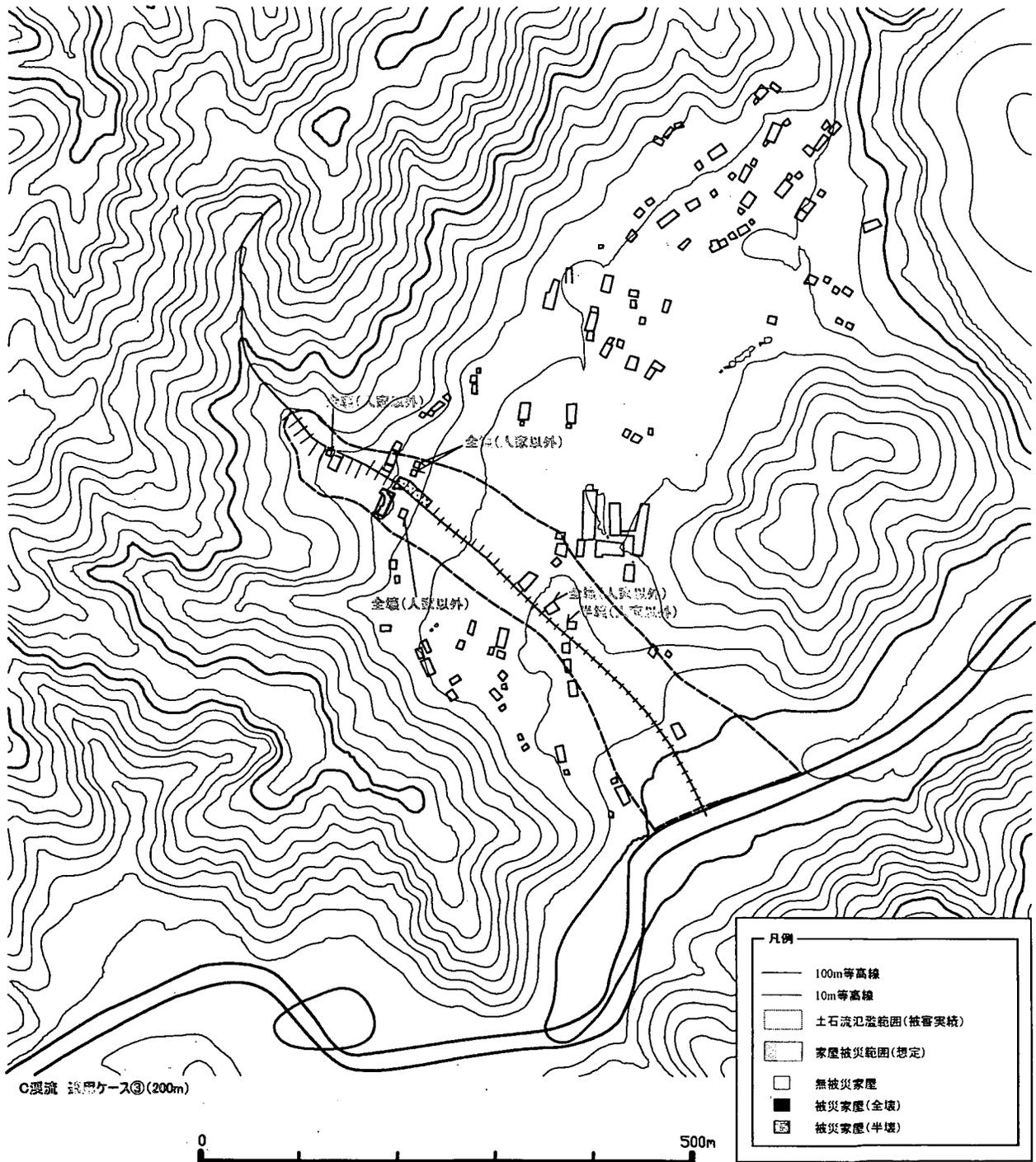
適用ケース③ A 溪流 (200m)



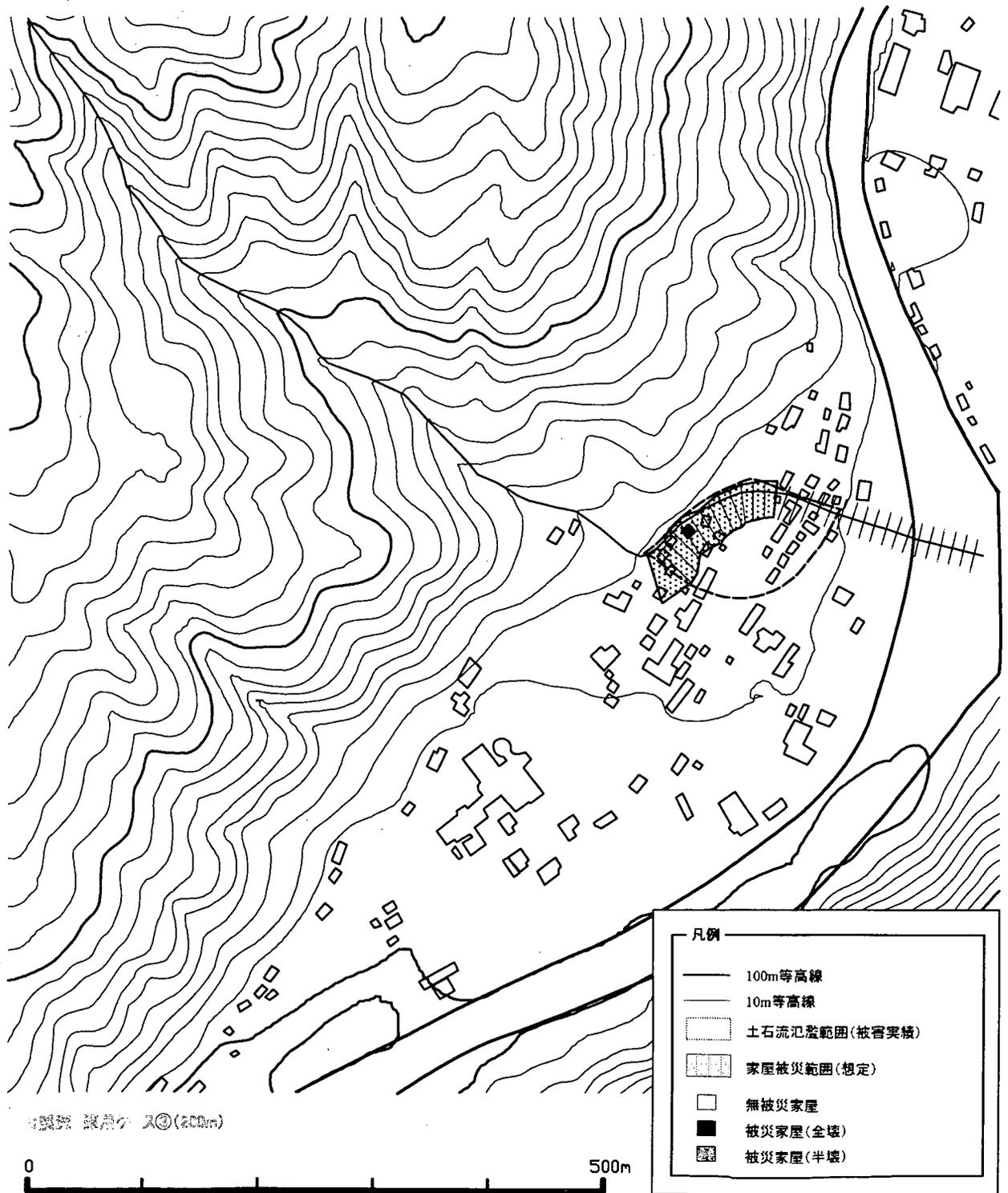
適用①②③ B 溪流 (200m)



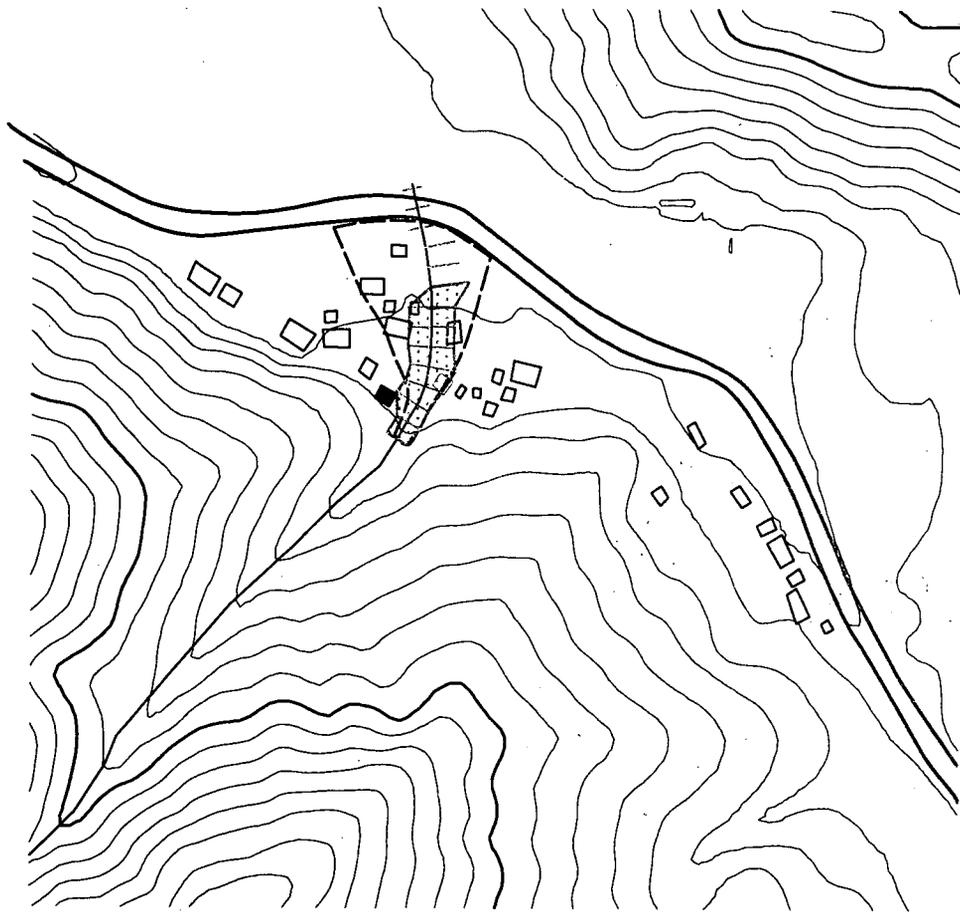
適用ケース③ C 溪流 (200m)



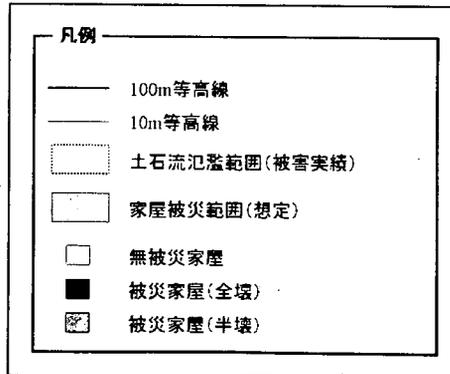
適用ケース③ D 溪流 (200m)



適用ケース③ E 溪流 (200m)



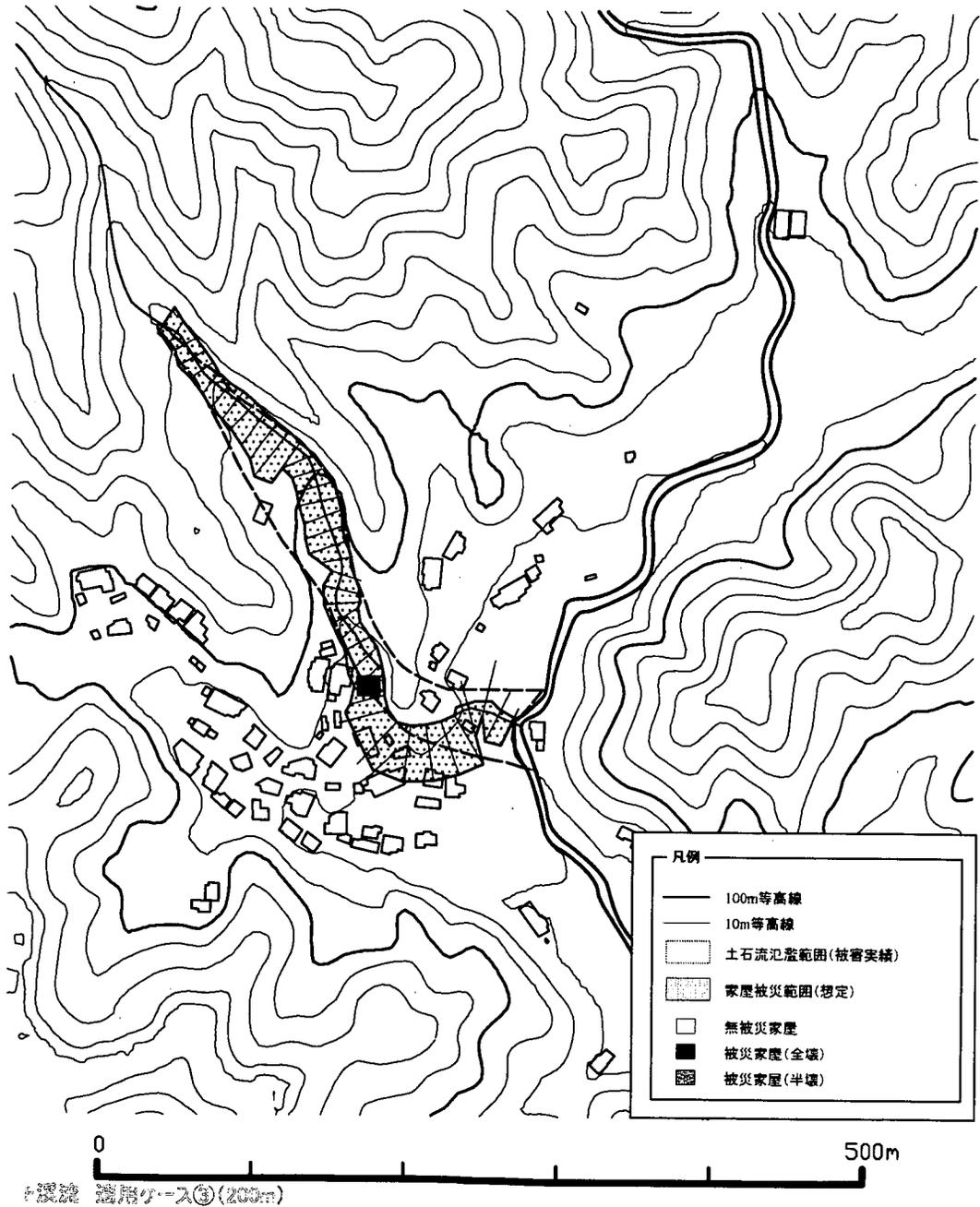
E 溪流 適用ケース③ (200m)



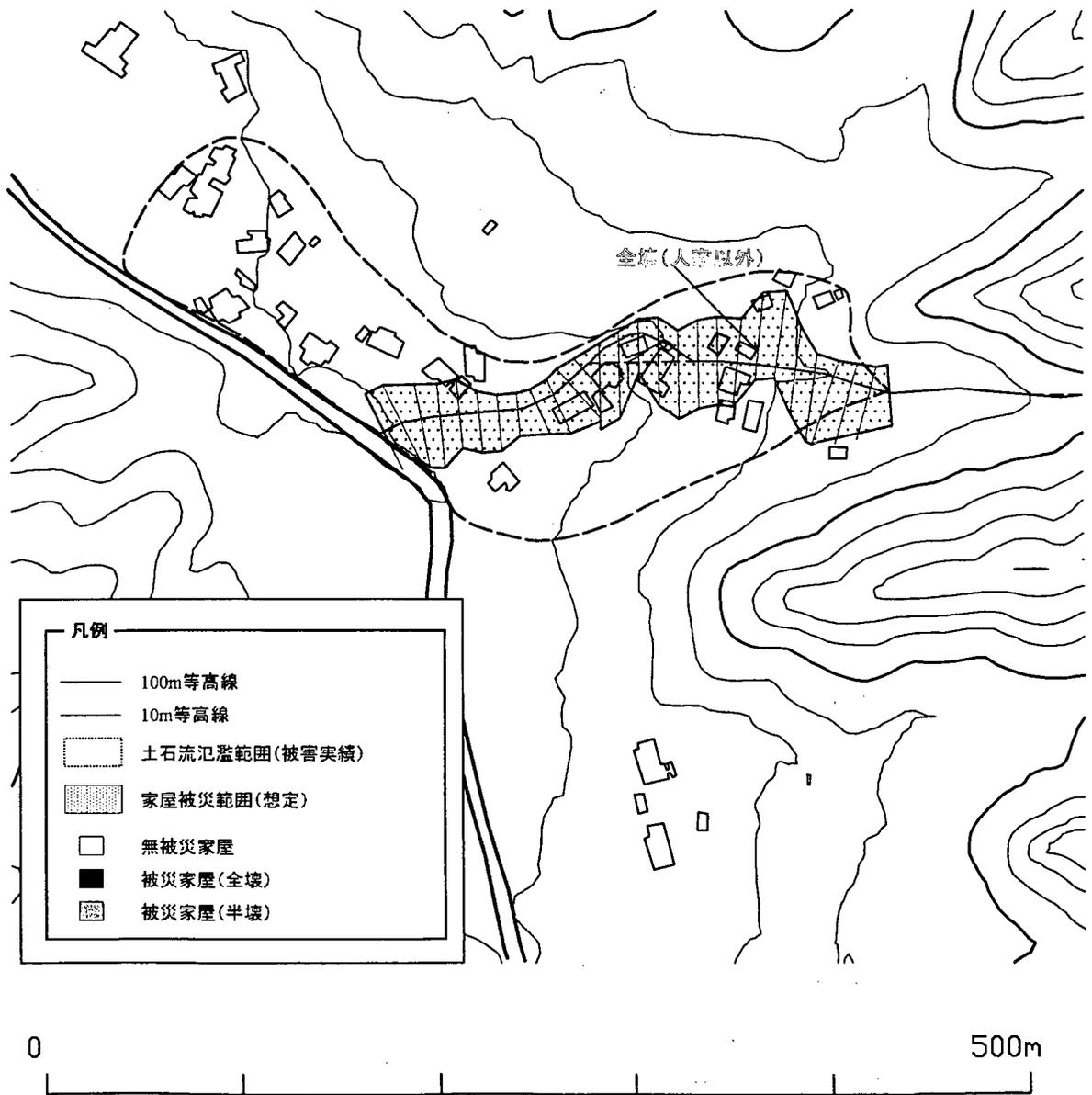
勾配のとり方：E 流200m



適用ケース③ F 溪流 (200m)

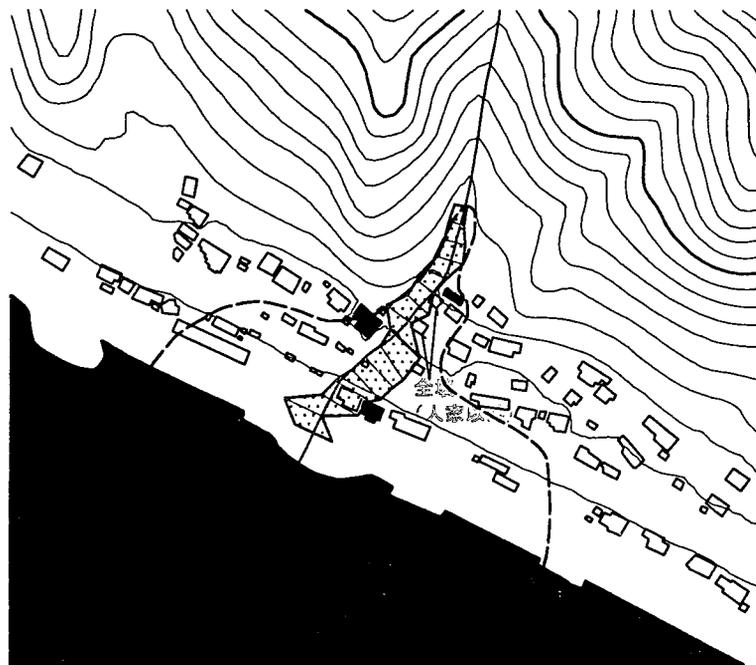


適用ケース③ G 溪流 (200m)

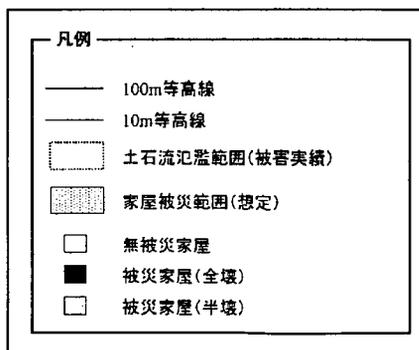


G 溪流 適用ケース③(200m)

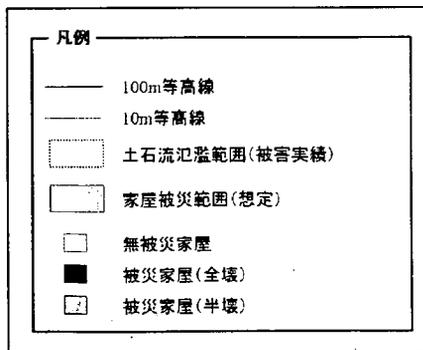
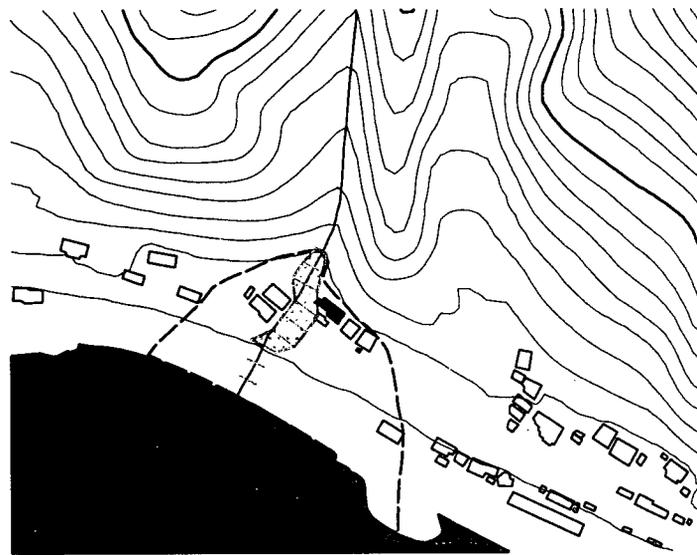
適用ケース③ H溪流 (200m)



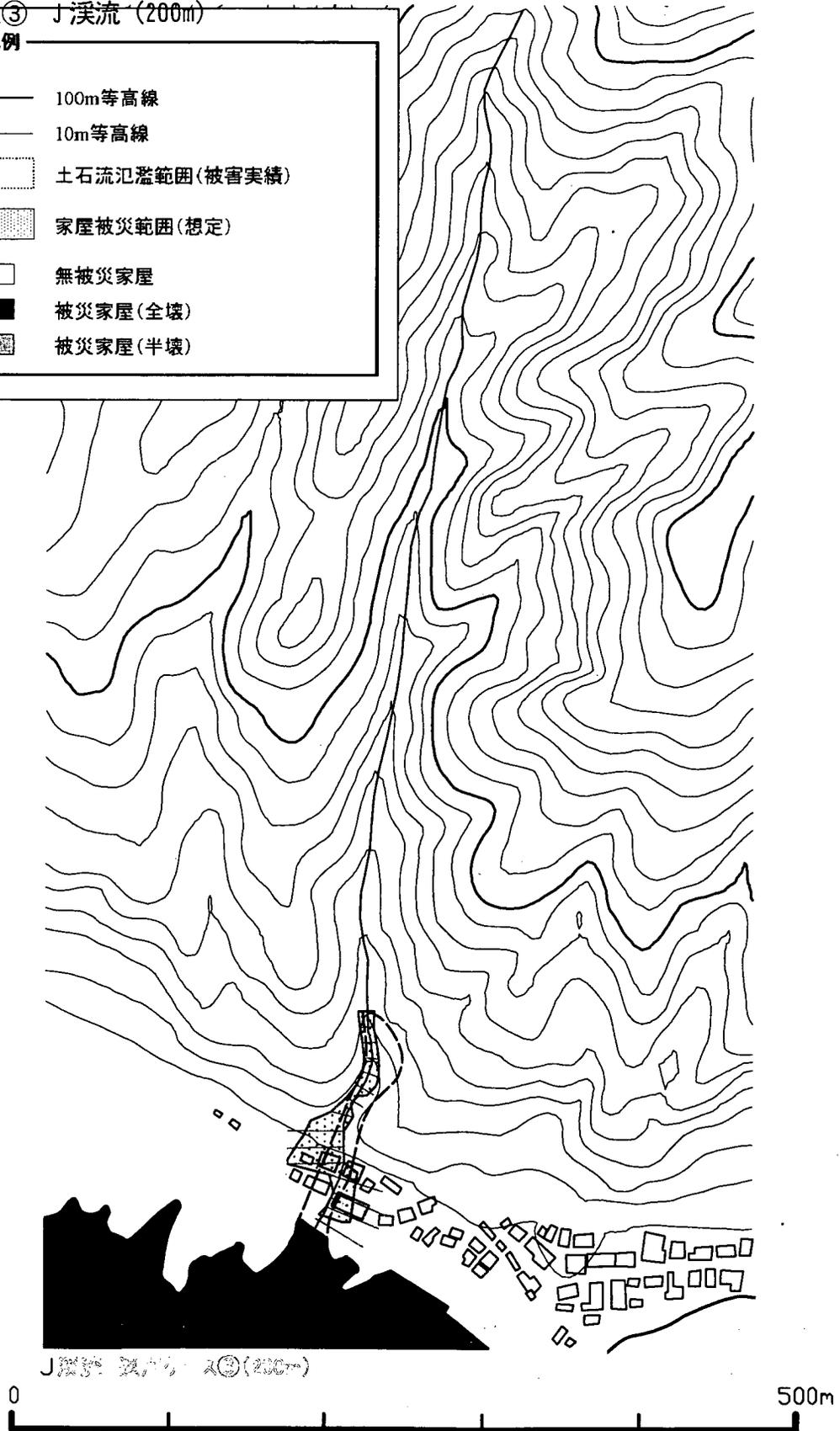
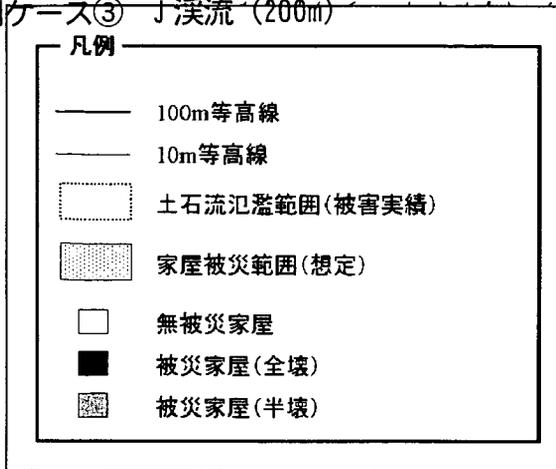
H溪流 適用ケース③(200m)



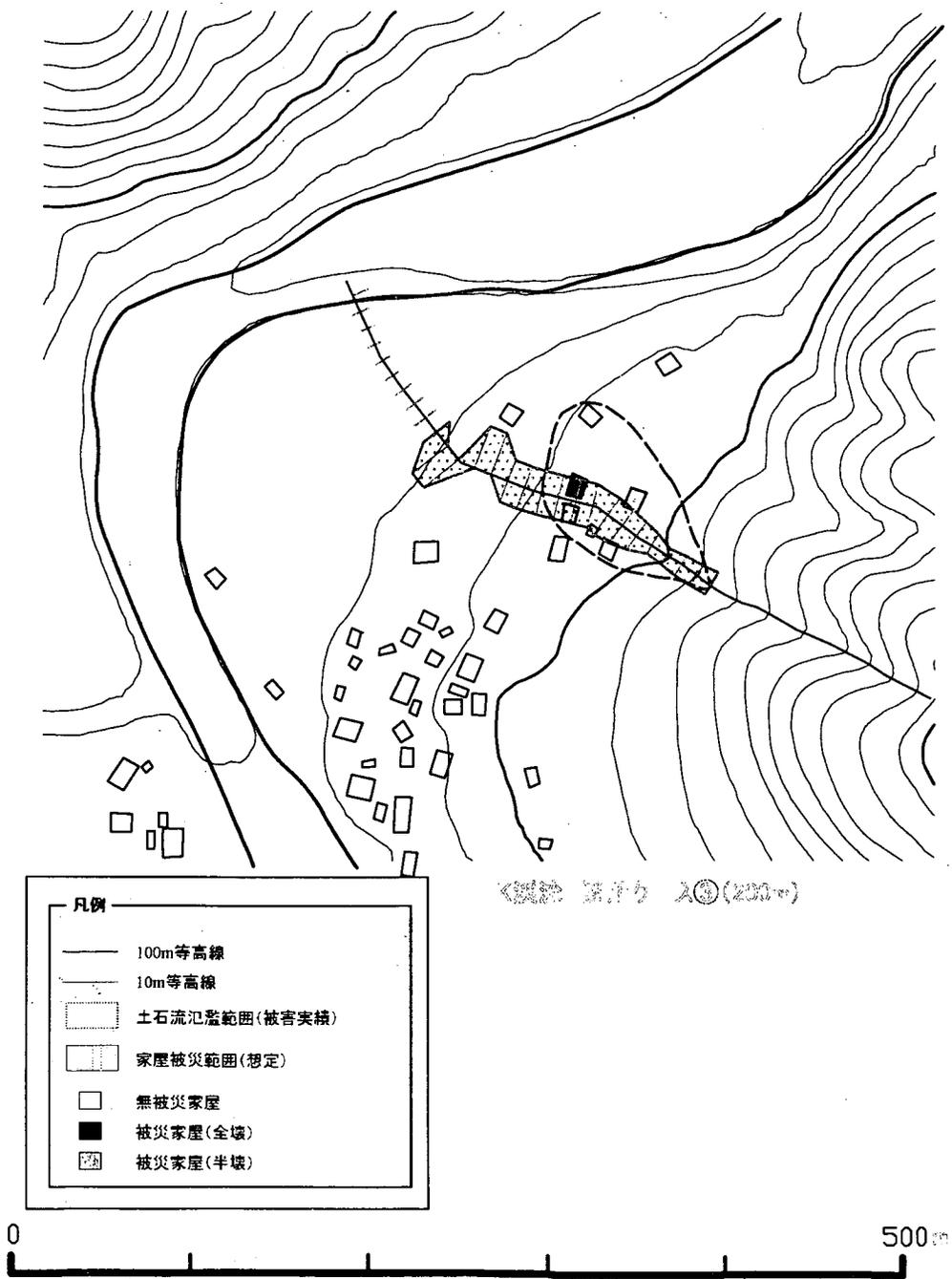
適用ケース③ | 溪流 (200m)



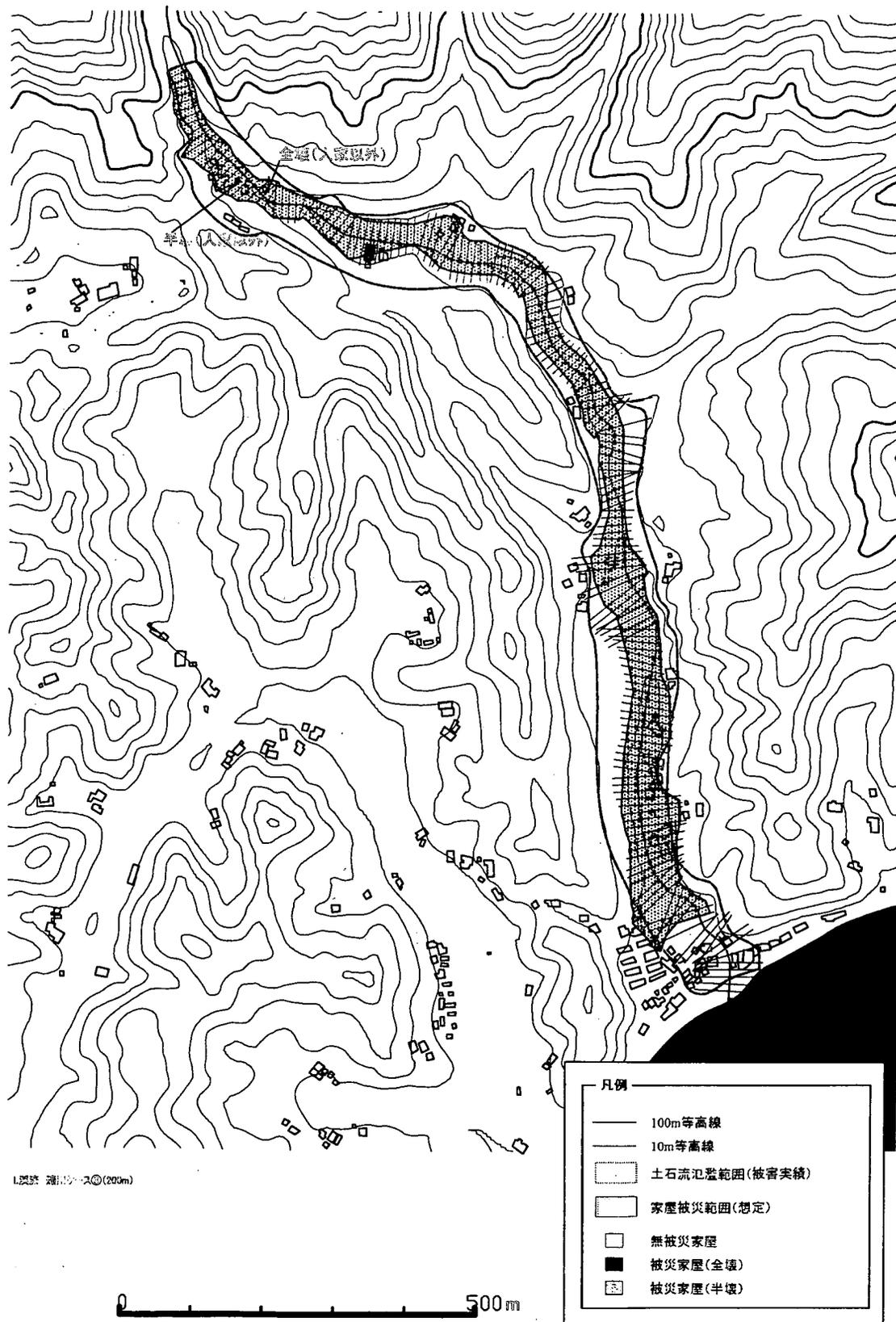
適用ケース③ J 溪流 (200m)



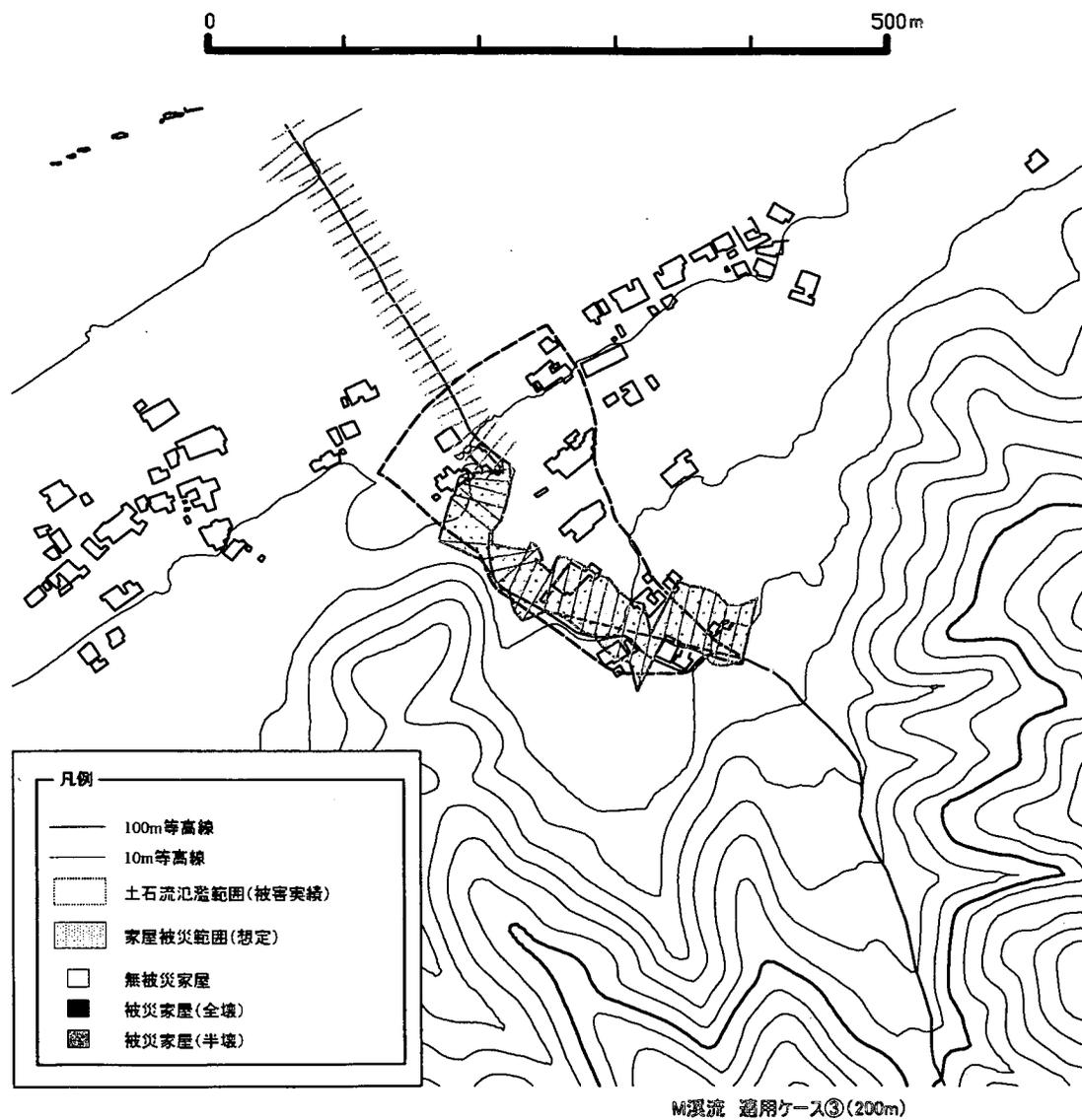
適用ケース③ K 溪流 (200m)



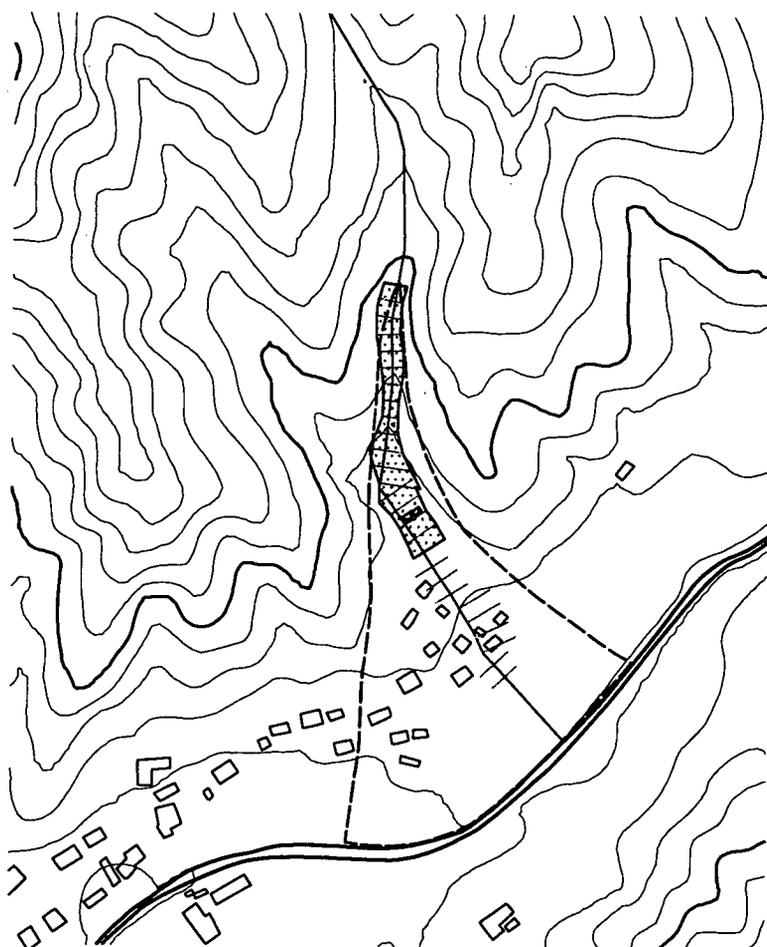
適用ケース③ L 溪流 (200m)



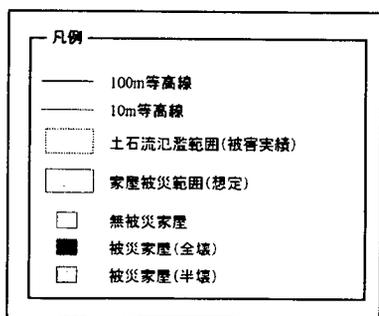
適用ケース③ M溪流 (200m)



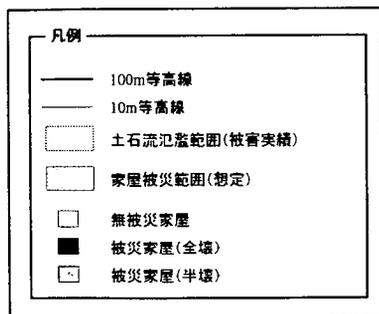
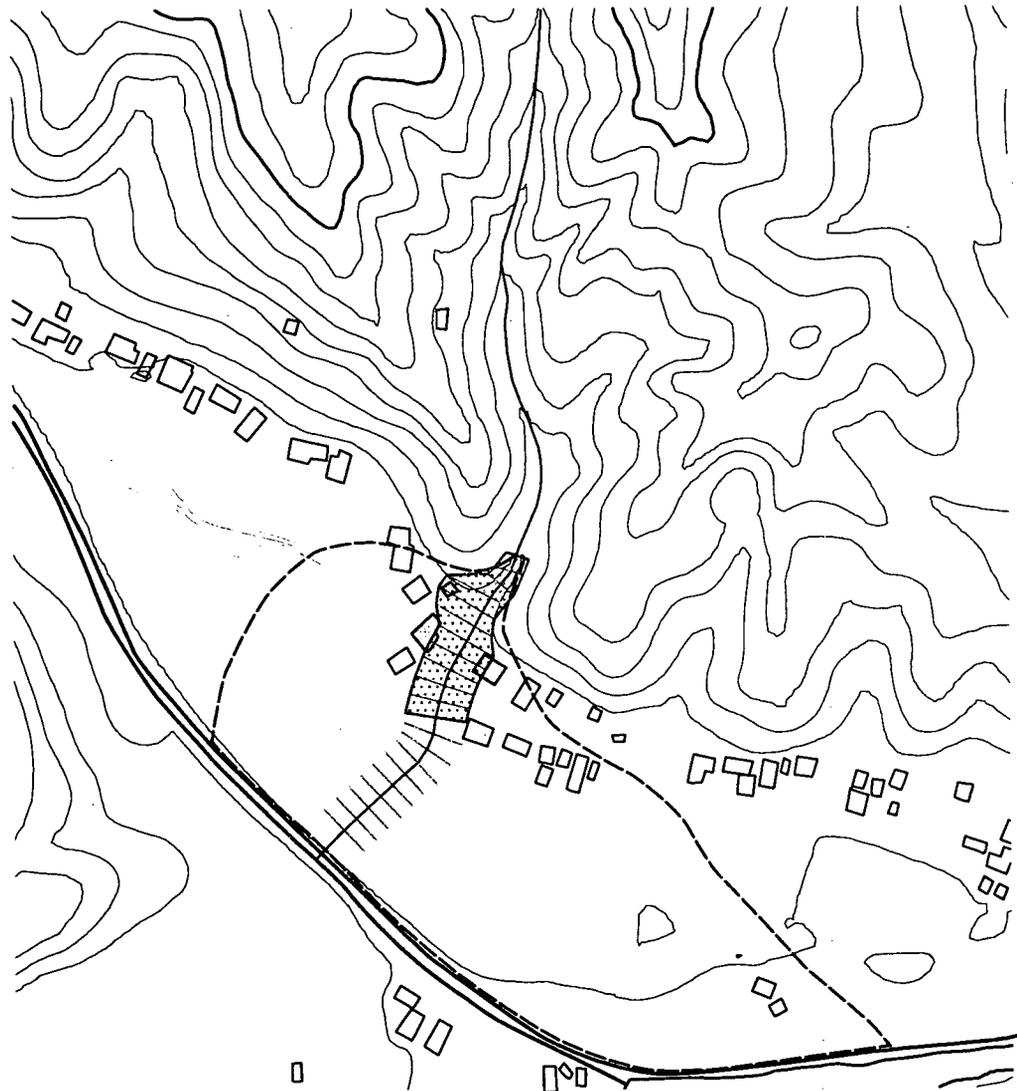
適用ケース③ N 溪流 (200m)



\*観測 2004年10月(200m)



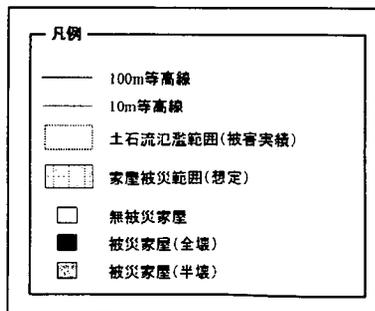
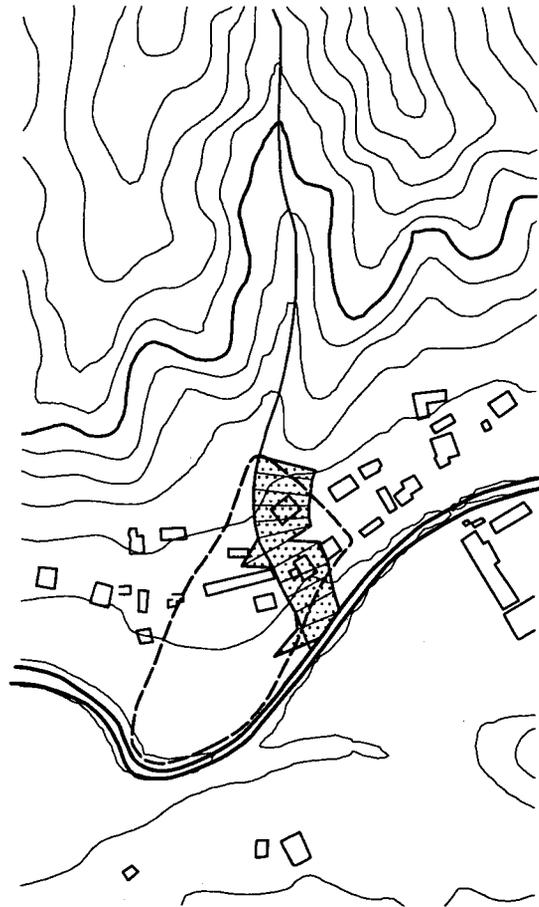
適用ケース③ 0 溪流 (200m)



0 溪流 (200m)



適用ケース③ P 溪流 (200m)



P溪流 適用ケース③(200m)



---

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of N I L I M

No. 70 February 2003

編集・発行 国土技術政策総合研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地

企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675