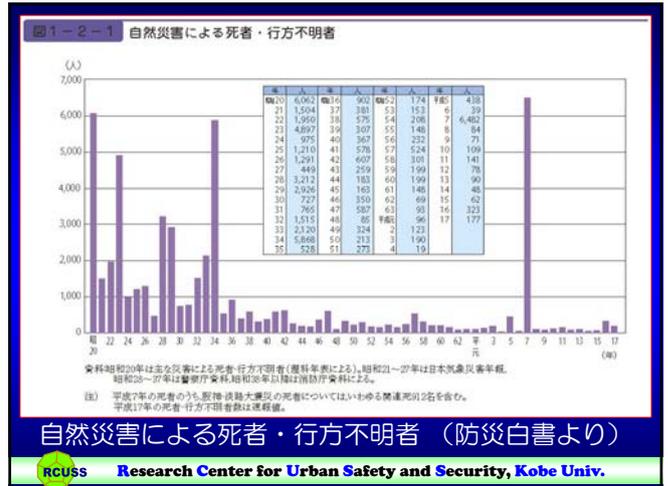


最終講義 平成20年2月5日

# 斜面防災・減災の過去・現在・未来

自然科学先端融合研究環  
都市安全研究センター  
沖村 孝

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.



## 第1世代の斜面研究

戦後～1960年頃まで

自然災害多発時代

斜面研究は、土木工学、地質学、地形学等の個別研究分野の応用課題として扱われていた

災害防止ではなく、現象の理解・解明が目的

各分野の交流はほとんどなかった

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 当時の土木学会全国大会のキーワード

昭和45年

第II部門

波動・砕波、波の打ち上げ、越流・波力および消波工、漂砂・海浜変形・河口閉塞、流出、水文統計・計画、掃流砂・浮遊流砂、河口変動・粗度・洗掘、乱流と噴流・不定流、局所流・発電水力、**漫溢流**

第III部門

杭・矢板、岩盤・砂の変形・強度、地盤の動的性質、粘土の変形・強度、施工、トンネル・土圧、土質改良・施工、土性・特殊土、圧密・沈下・地下水、**支持力・斜面**

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 当時の土質工学会研究発表会のキーワード

昭和45年

調査、土圧、支持力、透水、圧密、土の性質（静的、動的）、**斜面**、締め固め、地盤改良、クイ、試験法、強度

斜面部門はせん断強度定数・安定計算が主流

盛土斜面（均質・等方、不連続面なし）

災害ではなく、現象の理解・解明の研究が多く総合的（多面的）な研究成果の発表がなかった

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 第2世代の斜面研究

1960年前後～1980年代前半

災害対策基本法の施行（昭和35年）

自然斜面を対象（複雑な境界条件）

斜面研究を各研究分野の複合・境界領域とみなし、総合的な研究に移行

自然災害科学総合研究班主導の時代

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 第2世代当時の斜面災害状況

○都市的開発が山麓や急傾斜地に及び、造成工事に伴う人的災害が多発していた

○昭和37年宅地造成等規制法施行

○昭和42年災害の教訓：急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律（高さ5m以上、傾斜30度以上、被災対象家屋5戸以上の斜面を急傾斜地崩壊防止区域と指定し、防災工事を行う。平成9年度で86,651箇所指定、整備率は平成14年度末で33%）

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

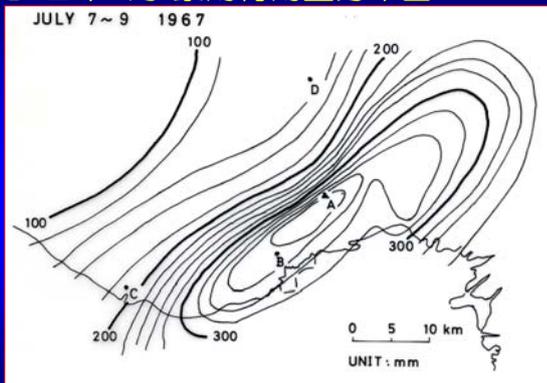
## 昭和42年豪雨による六甲山系の災害

昭和42年7月9日（日曜日）に発生

当時：大学院1年生

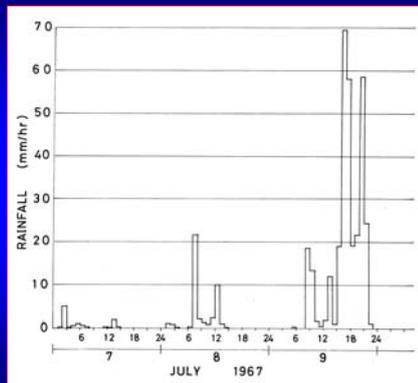
RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

### 昭和42年7月 豪雨総雨量分布図



RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

### 昭和42年7月 豪雨降雨強度分布図



RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

### 被災写真



宇治川の惨状

都賀川  
六甲ケーブル駅

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

### 住吉川五助ダムの 昭和42年7月豪雨災害の前後写真



豪雨後

豪雨前

12万立方メートルの  
土砂を貯留

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

### 昭和13年・36年・42年の被災状況

	昭和13年7月	昭和36年6月	昭和42年7月
死者 行方不明者	671 人	28 人	90 人
家屋被害	流失 1410 戸	流失 11 戸	全壊流失 363 戸
	埋没 854 戸		半壊 361 戸
	倒壊 2213 戸	全半壊 388 戸	
	半壊 6440 戸		
全壊	2658 戸	140 戸	367 戸
家屋浸水	床上 22940 戸	床上 2989 戸	床上 7819 戸
	床下 56712 戸	床下 16380 戸	床下 29762 戸

注) 昭和13年7月、昭和42年7月の被害は六甲三十年史から、昭和36年6月の被害は昭和36年梅雨前線豪雨による災害概況から抜粋

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

### 田中教授から受けた研究方針

- ・フィールド第一優先
- ・地質や地形を含めた多面的な見方
- ・第3世代の斜面研究を先取り

数多くの現場を経験することができた

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 当時行った研究（1）

### 空中写真を用いた崩壊分布図作成

- ・縮尺1/10,000に記入
- ・崩壊総数(3,755箇所)の把握
- ・水系網を用いた崩壊地形立地解析  
(沖村・泰永：1979~1982)

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 当時行った研究（2）

### 現地調査・模型実験の実施

- ・崩壊地地形調査
- ・山中式土壌硬度計による貫入試験
- ・ジェット噴流による耐侵食性調査
- ・マサ土模型実験による崩壊原因の研究

崩壊メカニズムとして、浸透流による土中の  
地中侵食（パイピング）を考え、侵食に対し  
て弱い場所から崩壊が発生

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 当時のわが国の自然災害科学の研究

- 1960年：自然災害科学総合研究班が発足  
自然災害研究の企画調整、突発災害  
調査の組織、自然災害研究者のネット  
ワーク構築・維持
- 1963年：科学研究費特定研究に自然災害科学の研究  
領域が設定される
- 1964年：第1回自然災害科学総合シンポジウム開催

総合研究を目指していた

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 自然災害科学総合シンポジウム における発表分野

地盤災害、河川災害、沿岸・海岸災害、  
台風・集中豪雨災害、地震動災害、地震  
予知、農林災害、雪氷災害、噴火予知

第1世代の異なる研究分野が一堂に会して  
発表会を実施

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## さらに 大災害発生時の突発災害調査の実施

- 大災害ごとに組織された
- 多くの現場を知る機会となった
- それぞれの専門分野からの見解が多く、  
総合討論されることが少なかった

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 科学研究費特別研究の発足

- 科学研究費の特別枠として1972年に設定  
され、一般公募研究に加えて、計画研究が  
発足した
- これは総合研究を目指して、10人程度の研  
究チームを組み、3カ年の研究を行うもの

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 田中茂先生の特別研究チーム体制

研究課題：山くずれと地形・地質の関連性に関する研究

研究期間：昭和48年4月～昭和51年3月

研究チーム：土木（水工学、土質力学）、地質、地球物理、地形、植物生態学

（15名）

わが国で初めての総合的研究であったが、情報交換的な場が多かった（共著論文が少なかった）

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 第2世代当時の崩壊調査の問題点

- 崩壊地のみでの調査で、非崩壊地の調査ができていなかった。崩壊地の場所は前提・既知条件であり、崩壊地内の局所条件の調査が多かった
- 崩壊面積率は大崩壊の事例でも10%を越えることない。90%が非崩壊地で、得られた局所条件を活用する手法が欠落していた
- 崩壊の原因は推定できても、その成果は将来の崩壊危険度予測には活用できなかった

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 田中特別研究で得られた成果

六甲山系の土層構造の研究

（田中・沖村：1980）

この研究で、「潜在崩土層」の定義ができた

予知・予測の研究の道具が完成した

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 第3世代の斜面研究

1980年代前半～阪神・淡路大震災

斜面災害防止研究そのものが目的になる  
土質工学会で斜面部門が独立

多くの危険場所の予知や、危険時刻の予測  
手法が提案される

その目的は、災害の防止

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 自然災害科学総合研究班の衰退

- 研究班の枠内で総合的な研究ができなかった
- 毎年多発する自然災害に対して、適切な提案・提言ができなかった
- このため、科学研究費による支援体制も縮小していった

1987年：重点領域研究部門に移行

1999年：自然災害科学総合研究班の解消、  
自然災害科学研究連絡委員会発足

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 要因の統合化

- 従来、個別に専門領域で行われていた研究が、総合的に評価されるようになってきた

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 新しい学会の発足

1981年3月：日本自然災害学会設立

1986年12月：地域安全学会設立

1999年4月：日本災害情報学会設立

災害防止研究の進展

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 危険度判定の研究例

崩壊発生場所の予知

(点数法、統計的解析、擬似物理モデル、物理モデルなど)



RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 要因に着目する方法

○スコア法による危険斜面判定法

- ・急傾斜地崩壊危険区域の危険度判定法 (1983)

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

(a) 急傾斜地崩壊危険区域危険度判定基準

要 因	点数		備考
	自然斜面	人工斜面	
高さ	10m以上	7	7
傾斜度	10m未満	3	3
	45°以上	1	1
	45°未満	0	0
オーバーハング	有	3	3
	無	0	0
表土層の厚さ	0.5m以上	1	1
	0.5m以下	0	0
湧水等	有	1	1
	無	0	0
崩壊	有	3	3
	無	0	0
急傾斜地崩壊防止	満足	0	0
工事の技術的基準	不満足	3	3
構造物の異常	有	3	3
	無	0	0

(注) 人為的工事によって各要因による危険が消滅しているものについてはその要因をないものとし0点とする。

(b) 急傾斜地危険度採点区分

ランク	点数		備考
	自然斜面	人工斜面	
A	9点以上	15点以上	危険度 大
B	6点~8点	9点~14点	中
C	5点以下	8点以下	小

急傾斜地崩壊危険区域危険度判定表

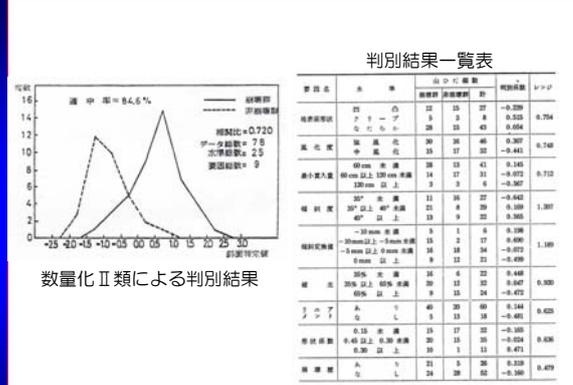
RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 要因に着目する方法

○統計的手法による判別分析 (沖村・杉本：1979)

- ・数量化Ⅱ類による方法
- 未崩壊データが必要になる

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

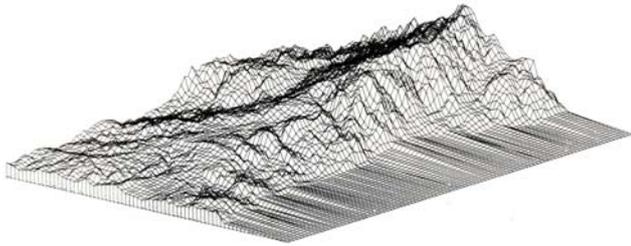


数量化Ⅱ類による方法 (沖村・杉本：1979)

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 数値地形モデルの導入

初めての数値地形モデルの作成は六甲山系を対象に200m格子間隔で作成（十川：1982）

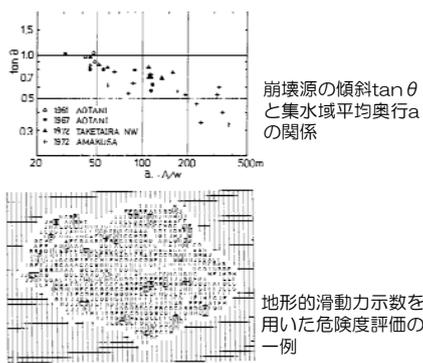


RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 地形情報による方法

- 地形的滑動力示数（羽田野誠一：1974）による方法
  - ・数値地形モデルを用いた方法（沖村・中川：1988）

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.



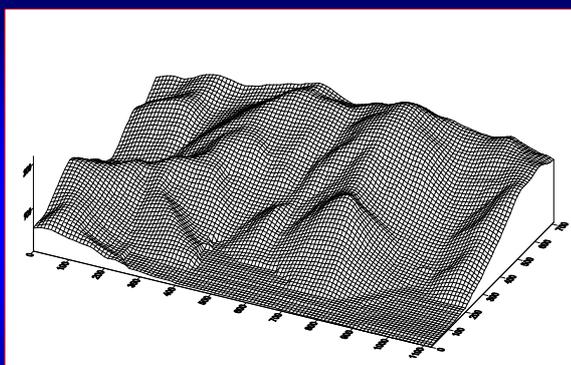
地形的滑動力示数による方法

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 地形と集水モデルによる方法

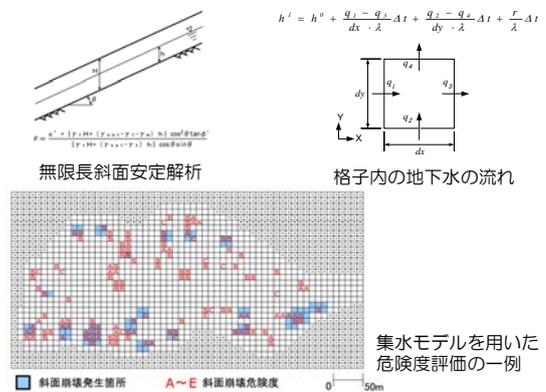
- 数値地形モデルに潜在崩土層厚を導入した雨水の飽和浸透流解析（沖村・市川：1985）

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.



ブロックダイアグラム（10mDEMから作成）

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.



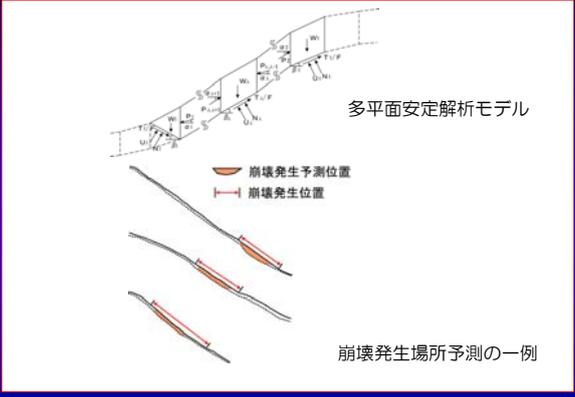
地形と集水モデルによる方法

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 断面情報による方法

○縦断面情報と潜在崩土層厚による多平面安定解析 (沖村：1983)

○集水モデルと組み合わせた方法 (沖村：1987)



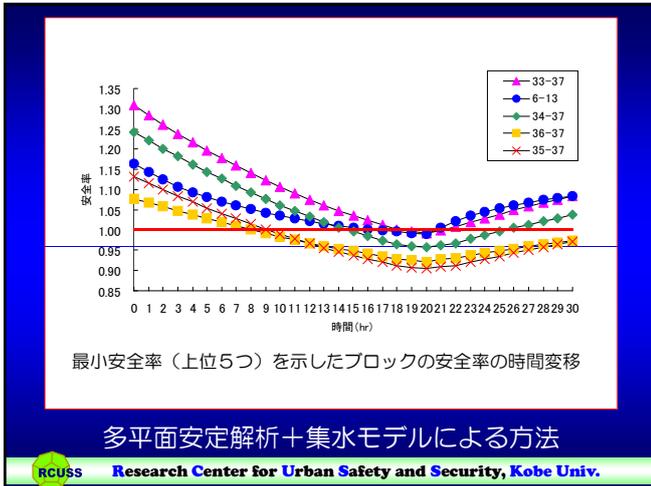
多平面安定解析モデル

崩壊発生予測位置  
崩壊発生位置

崩壊発生場所予測の一例

多平面安定解析による方法 (沖村：1983)

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.



## 危険度判定の研究例

崩壊発生時刻の予測

(総降雨量、有効雨量、降雨強度と総降雨量、タンクモデルなど)



## 降雨のみを情報とする手法 (その1)

○観測結果を活用する方法

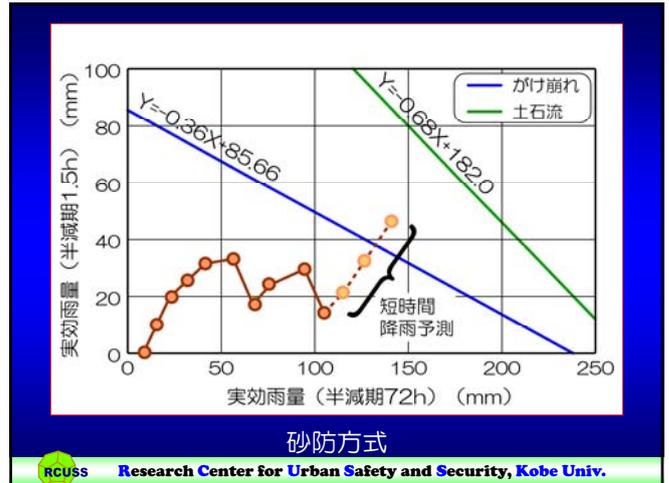
- ・総降雨量で危険度を判定：国道方式 (昭和43年8月飛騨川バス転落事故 (死者104名) を契機に導入された)

## 大阪府・兵庫県下の国道の異常気象時通行規制区間

県名	線路名	区間	延長(km)	規制雨量(mm)
大阪府	25	柏原市国分東桑町(亀ノ瀬)	1.4	200
	26	泉南郡岬町深日~泉南郡岬町孝子	3.6	250
	165	柏原市田辺~柏原市旭ヶ丘	0.7	200
兵庫県	2	赤穂市西有年~赤穂郡上郡梨ヶ原	6	200
	9	養父郡関宮町関宮~美方郡村岡町福岡	5.7	200
	28	津名郡津名町塩尾~洲本市安乎町平安浦	1.8	160
	28	洲本市中川原町厚浜~洲本市炬ノ口	2.9	160
	29	宍粟郡波賀町原~宍粟郡波賀町戸倉	12.5	160
	29	宍粟郡波賀町戸倉	3.2	200
	176	西宮市塩瀬町名塩~西宮市塩瀬町生瀬	2.4	160

## 降雨のみを情報とする手法(その2)

- 観測結果と短時間予測予報を活用する方法
  - ・有効降雨強度と有効総降雨量で危険度を判定：砂防方式（1984）

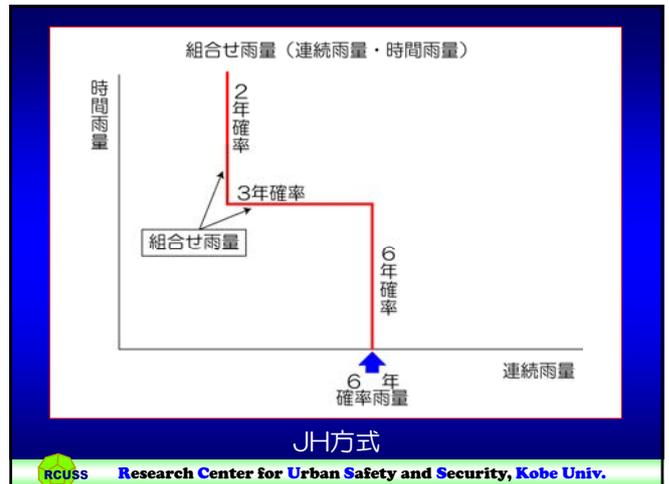


RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 降雨のみを情報とする手法(その3)

- 確率降雨量を活用する方法
  - ・時間雨量は3年確率、総降雨量は6年確率と2年確率雨量で危険度を判定：JH方式（2001）

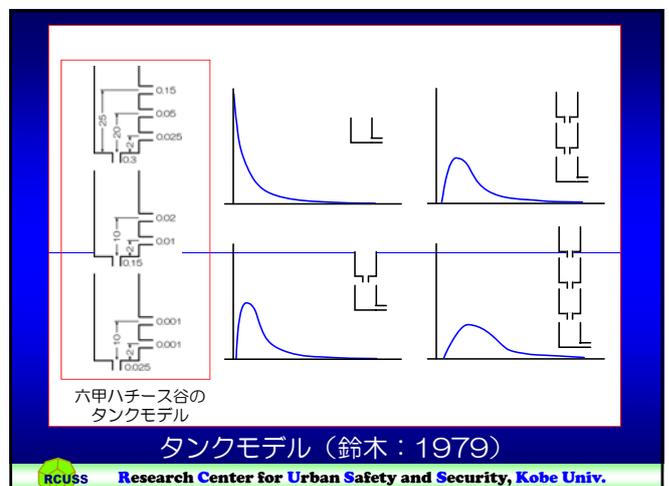


RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

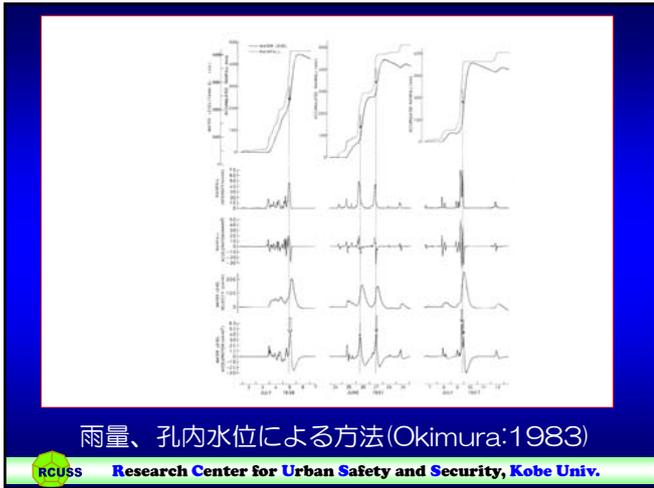
## 降雨を入力としたタンクモデルによる方法

- 鈴木雅一ほか（1979）の方法
- 降雨と孔内水位の関係を表すタンクモデルを作成（Okimura:1983）
- 気象庁からの短時間降雨予報を活用すれば事前に危険状況が把握できる



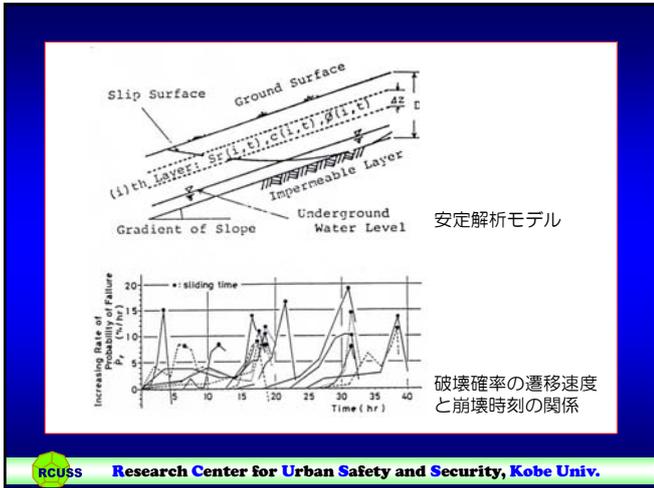
RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.



### 降雨を入力とした不飽和浸透解析による方法

- 松尾稔ほか（1981）の方法
  - ・素因と誘因を初めて同時に考えた手法
  - ・崩壊場所は事前に仮定している



### 阪神・淡路大震災の出現

- 防災研究に大きなインパクトを与えた
- 災害を未然防ぐ「防災」の考え方は、基本的な解決にならない
- 災害は何処でも、いつでも起きる可能性がある
- 起きるかもしれない災害の被災を少なくする視点の研究も必要になってきた
- 「減災」の研究が始まった

## 第4世代の斜面研究

阪神・淡路大震災～現在

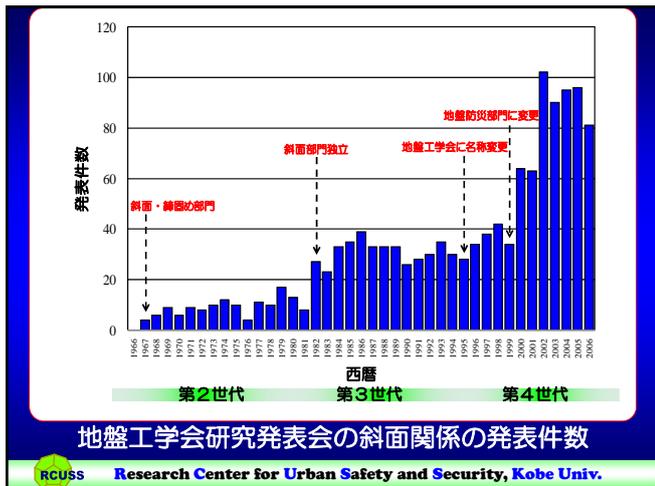
土質工学会から地盤工学会へ（1995）

防災に加えて、減災の視点が加わる

### 自然災害科学総合研究班のその後

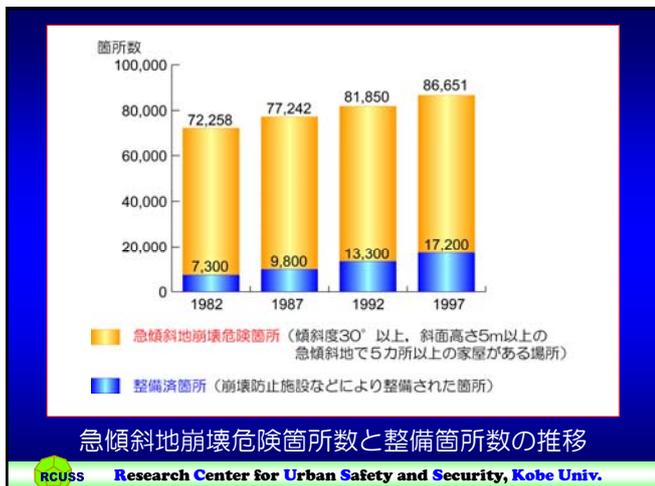
- 1987年：科学研究費重点領域研究に移行
- 1999年：自然災害科学総合研究班の解消、自然災害科学研究連絡委員会発足
- 2001年：自然災害研究連絡協議会から自然災害研究協議会へ（従前の目的に加えて、自然災害研究の重点的・計画的推進）

都市安全研究センターも協議会に参画



## 斜面災害の減災の研究

- 従来は防災構造物を構築し、復旧や防災を行ってきた
- しかし、急傾斜地の場合、整備率は平成14年度末で33%、しかも山麓や急傾斜地の崖下での開発により保全対象戸数が増大し、結果的に急傾斜地崩壊防止区域が増大、工事が追いつかない状況になっている
- 「防災」がいつまでも達成できない

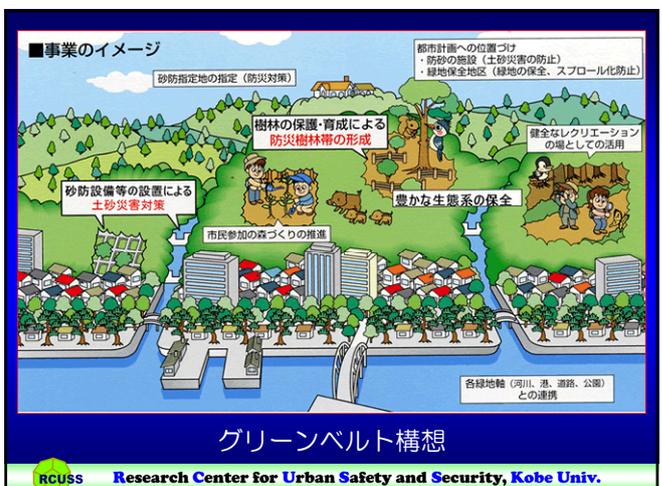


## 新しい斜面防災

- 従来の斜面防災：
- ・ 行為の規制
  - ・ 防災構造物の施工
- 新しい斜面防災：
- ・ 防災空間の創造
  - ・ リスクマネジメントの導入

## 防災空間の創造

- グリーンベルト構想の提案 (1995)
- 土砂災害警戒区域等における土砂災害の防止に関する法律の施行 (土砂新法) (2001)

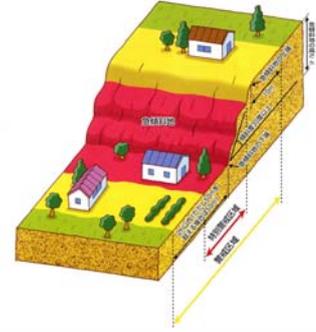


## 土砂新法

- 従来の法律は、構造物を作るための法律であったのに対して、この法律は避難により人命を守ることを謳った法律である
- 崩れてから直す場合と違って、崩れる前に避難をすることによって命を守る減災を達成
- 復旧には危険場所の予知は不要であるが、避難は危険場所を予知し、危険時刻を予測することが必要になってくる

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 急傾斜地の崩壊 ※傾斜度が30度以上である土地が崩壊する自然現象



急傾斜地の崩壊

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 土砂新法における危険度予知・予測の現状

- 高さ5m以上、傾斜30度以上の斜面が全て崩れるものとの大前提がある
- これに社会条件を加えて、土砂災害特別警戒区域、土砂災害警戒区域が定められている
- 解析的に求められないパラメータは、過去の経験値が使われている
- 結果的に、大きな区域設定となる可能性がある

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## リスクマネジメントの導入

減災には警戒避難が重要となる

どの時点で、自主避難をするか、あるいは避難勧告を発令するか

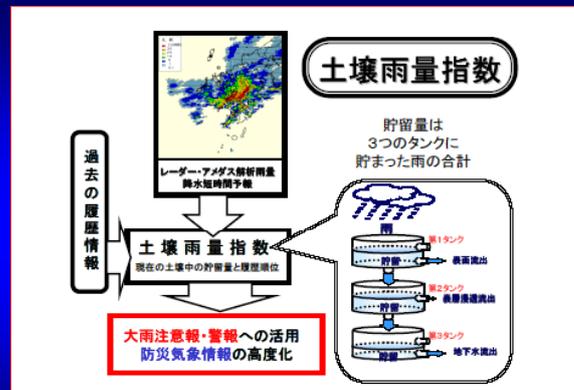
危険時刻の予測が重要となる

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 降雨を入力としたタンクモデルによる方法

- 土壌雨量指数の方法（気象庁：2000）

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

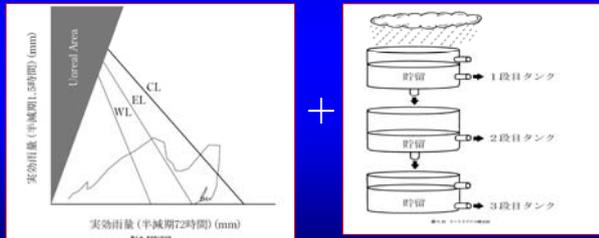


土壌雨量指数

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

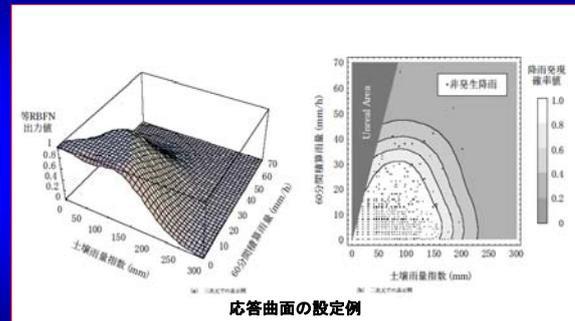
## 最近の方法

○砂防方式と土壌雨量指数の併用  
(2005)



RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 連携案：地域における降雨出現確率



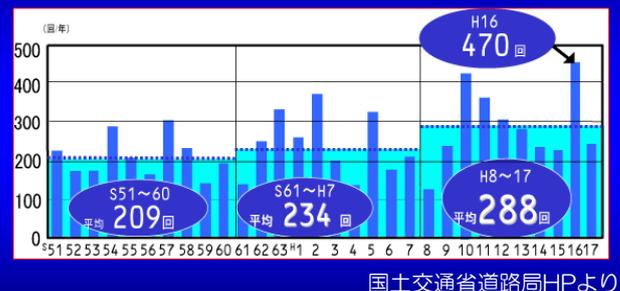
RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 近年の豪雨条件の変化

- 増大する降雨強度
- 従来の経験が役に立つか？

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 時間雨量50mmの出現頻度の変化



国土交通省道路局HPより

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 予知・予測には物理モデルの導入を

### 課題

- 境界条件の把握（地形、表土層厚）
- 外力設定の問題（降雨、地震）
- 斜面安定解析の問題（飽和か不飽和か）など

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## リアルタイムに予測する方法 (物理モデルによる予知・予測の補完)

- 光ファイバーセンサーによる方法(2003)
  - ・地表面変位、地中ひずみ、亀裂変位、吹き付け表面温度等を計測
- 温度、雨量、サクションによる方法
  - ・北村良介ほか(2003)

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## 第5世代の斜面研究

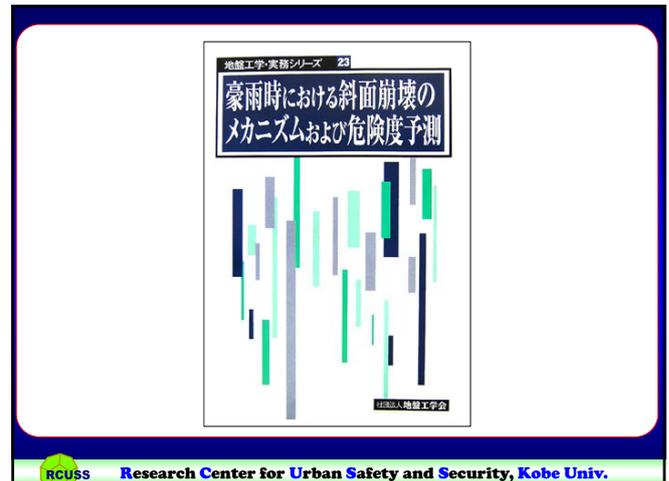
現在～

斜面災害に備え、あるいは場合によっては回避しながら、私たちが生き長らえるための提案

	斜面崩壊	災害	外力の変化
第1世代	盛土斜面 現象理解		
第2世代	自然斜面 原因究明		
第3世代		防災	予知・予測
第4世代		阪神・淡路大震災の出現	
第5世代		減災	
第5世代	現象の理解 学術的課題	斜面を 長持ちさせる	信頼できる 避難体制
			備える 共生的安全

### (1)これから解決すべき学術的課題 (現象の理解)

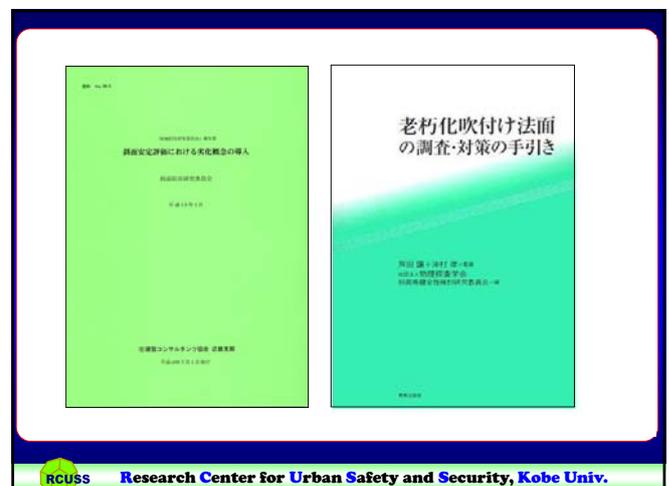
- 変形解析と対策工法の開発  
変形許容型対策工の開発
  - 流下・堆積モデルの開発  
警戒・避難区域の設定モデルの開発
  - 不飽和モデルの開発  
危険度予測信頼度の向上
- など



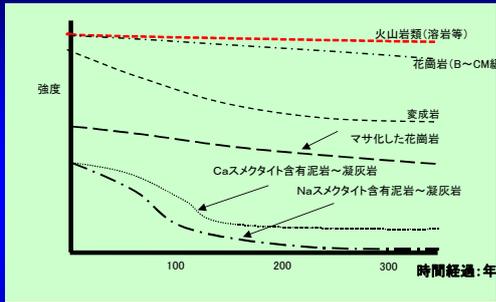
### (2)斜面を安全に長持ちさせるための 課題 (防災の10カ年計画)

- 斜面の維持管理  
壊れる前に補修を
- 劣化概念の導入  
斜面性能設計の推進
- ライフサイクルコスト  
限られた予算の有効活用

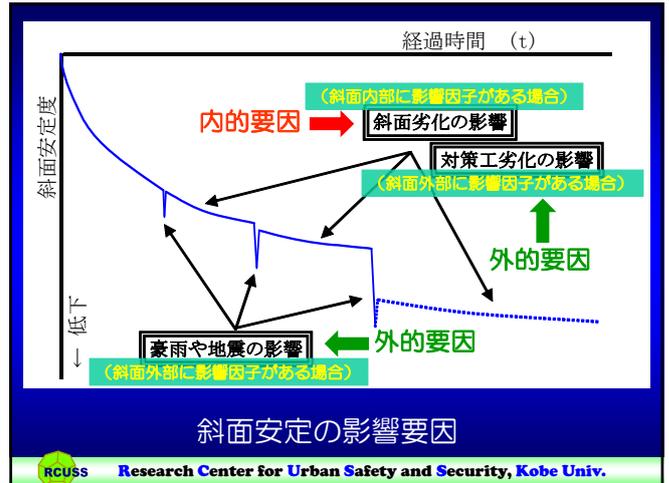
未崩壊斜面の危険度予知・予測は未経験



### 劣化概念の導入



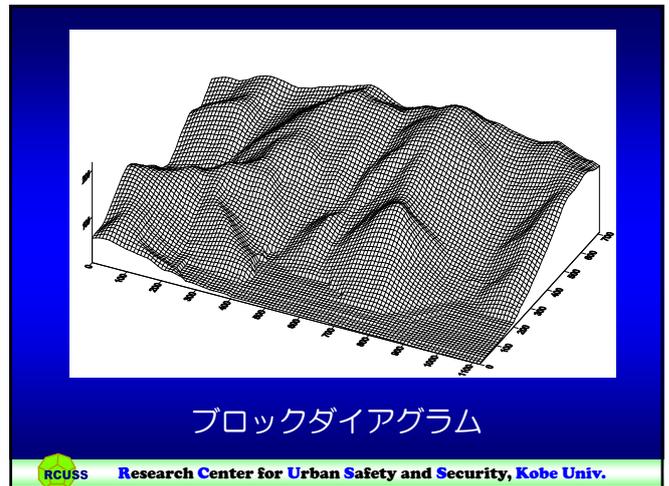
建設コンサルタンツ協会近畿支部  
斜面防災研究委員会の成果の一部



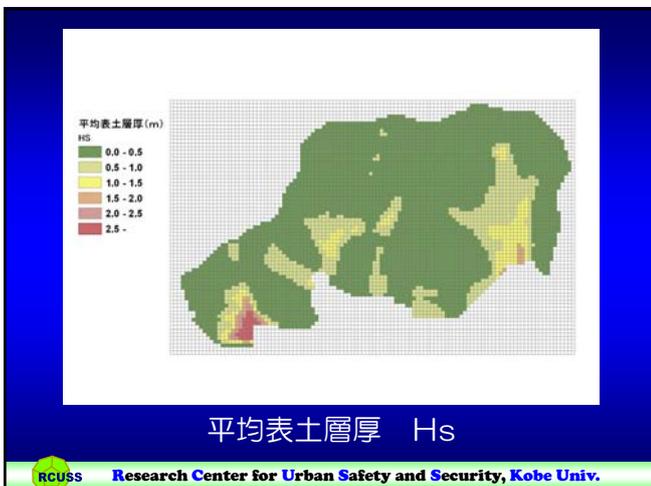
斜面安定の影響要因

### (3) 信頼できる避難体制の確立 (減災の5カ年計画)

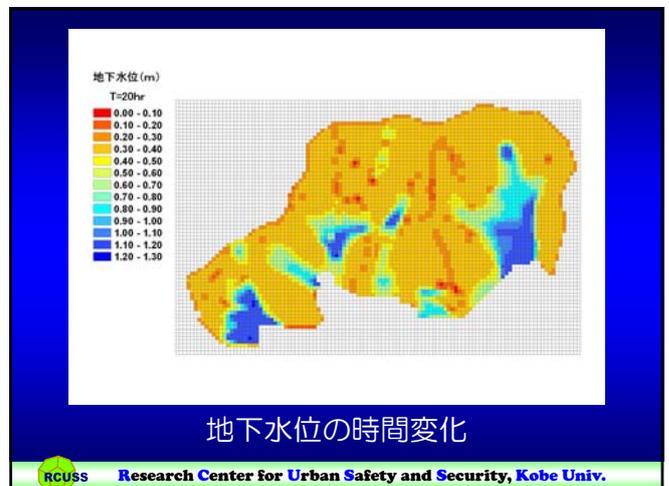
- 降雨予測の高信頼度化の活用  
1kmメッシュ、短時間降雨予測
- リアルタイムハザードマップの構築  
降雨を入力した物理モデルによる危険度  
予知・予測
- モニタリング手法の開発  
現地情報の把握、物理モデルへの入力
- 情報伝達手法とリスク認知  
住民の避難があって、初めて目的が達成



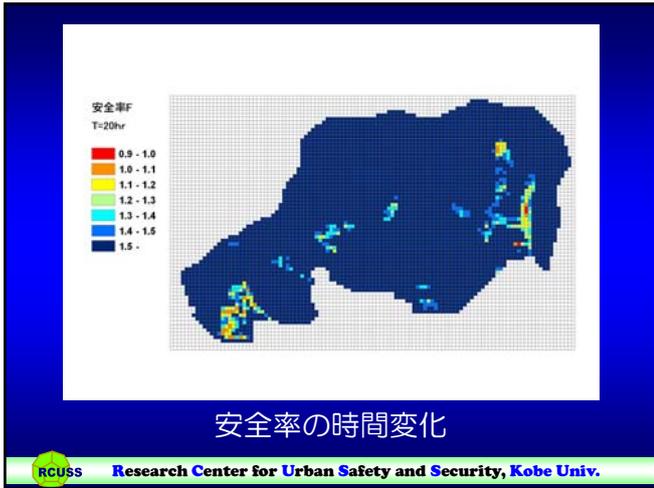
ブロックダイアグラム



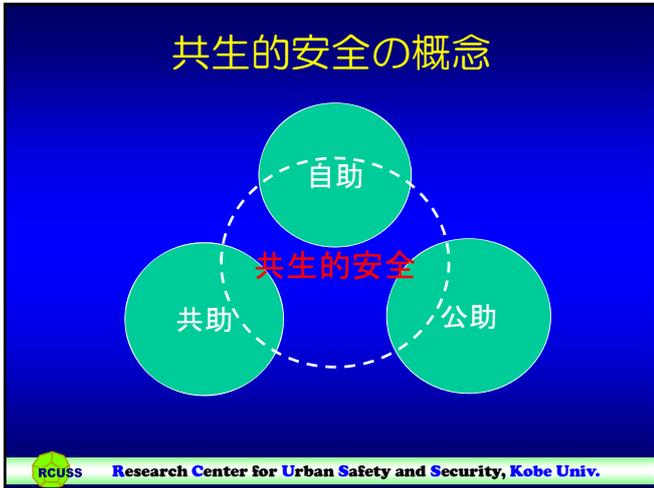
平均表土層厚 Hs



地下水位の時間変化



- ### (4) 共生的安全により備える (降雨の変化・将来の地震に対して)
- 減災のための災害文化の育成  
リーダー育成、メモリアルイベント
  - 防災教育  
被災体験の共有化、避難訓練
  - 共生、絆による減災の発信  
自主防災組織、避難場所、防災対策工の施工など個人で達成できない防災・減災に対応
  - 共生的安全  
地域・都市・国・地球の空間で、個人・住民・公との共生
- RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.



	斜面崩壊	災害	外力の変化
第1世代	知ること		
第2世代	総合的な理解		
第3世代	防災 阪神・淡路大震災の出現		
第4世代	減災		
第5世代	現象の理解 学術的課題	斜面を 長持ちさせる	信頼できる 避難体制 備える 共生的安全

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.

## ご静聴、ありがとうございました

長い間、多くの皆様に本当にお世話になりました。  
ありがとうございました。

RCUSS Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ.