

# 研究展望

## 河川と自然災害

### NATURAL DISASTER CONCERNING RIVERS'

石原安雄\*

By Yasuo ISHIHARA

#### 1. はじめに

豪雨災害、地震災害、海岸災害、都市災害、公共土木災害など災害がつく言葉は非常に多い。しかし、それらの表現法に定まったきまりがない。豪雨災害、地震災害は、それぞれ豪雨によって生起する災害、地震によって生起する災害を意味しており、災害を起こす素因を示した表現である。海岸災害、都市災害は、それぞれ海岸で起こる災害、都市で起こる災害を意味して、災害が起こる場所を表わした表現である。また、公共土木災害は公共土木施設が受ける災害を意味しており、被災物を示した表現といえる。

ところで「河川災害と自然災害」というのが与えられた課題名であるが、自然災害を異常な自然の営力によって惹起される災害であるとする、河川災害が何を意味しているかはなほ曖昧である。河川災害といったときの河川の意味として、河川区域における災害、河川流による災害、河川流路が受ける災害といったような意味が包含されているように思われる。一般に、災害に関する研究を展望するときには使用する言葉をかなり明確に定義しておかないと、ともすると土木構造物に関する研究即災害工学の研究ということにもなりかねない。そこで、本文は「河川と自然災害」ということにして、河川に関連した自然災害について話題を進めていくことにする。

#### 2. 河川における自然災害と対策

自然災害は異常な自然の営力と社会の耐力とが不均衡に相接するところに発生する。もちろん、(自然の営力)>(社会の耐力)である。この定義に従えば、河川における自然災害の素因は豪雨、豪雪であり、ときとして強風も含まれる。強風は樹木を倒して流木の原因を作り、豪雪は融雪出水の原因となるが、本文では豪雨についてのみ述べることにする。

さて、豪雨そのものも異常な自然の営力であるが、それに引き続いて、あるいはそれによって惹起される現象には、①山腹から溪谷部にかけて生起する斜面侵食、山腹崩壊、土石流、②溪谷および河道部で生起する河床洗掘、河床上昇、河岸崩壊、河道の蛇行、③沖積地で起こる洪水氾濫とそれに伴う地物の流亡と土砂堆積、などがある。

これに対して人間社会は諸種の方策によって災害を防止し、または軽減しようとしている。それらは構造的対策と非構造的対策に分けられる。構造的対策には、上記の営力の①、②、③のそれぞれに対応して、①砂防工、②護岸工、水制工、床固め工、③洪水調節池、捷水路、放水路、河川堤防、などがあり、非構造的対策としては、洪水予報、避難、救助、および復旧などが用意されている。

河川における自然の営力と社会の耐力は上述のようであるが、それぞれの対応関係はほぼ表-1のようである。表中、山地部と流路部の欄では、各自然の営力に対抗する社会の耐力が相対して記してある。また平地部の欄では、自然の営力として、洪水氾濫があると地物の流亡や土砂の堆積があるということを列記の形で示し、社会の

\* 正会員 工博 豊橋技術科学大学教授 建設工学系  
(〒441 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1)

Keywords: natural disaster, flooding, fault tree, protection

表一 河川における自然の営力と社会の耐力

地区	自然の営力	社会の耐力
山地部	斜面侵食 山腹崩壊 土石流	山腹砂防工・溪流砂防工 崩壊防止工・溪流砂防工 溪流砂防工
流路部	河床変動 河岸侵食 蛇行	床固め工（流路工） 護岸工・水制工 護岸・水制・捷水路
平地部	洪水氾濫 地物流亡 土砂堆積	洪水調節池・河川堤防 洪水予報・避難・救助 災害復旧

耐力として、洪水調節池・河川堤防といった構造物的対策と洪水予報・避難・救助、災害復旧といった非構造物的対策が総合的に対応していることを破線で分けた形で示してある。こうした対応関係は不変のものではなく、時代とともに変遷する。たとえば、土石流という自然現象は昔からあり、非常に恐ろしいものとして認識されていたが、昔は過去の経験から、土石流が来襲するおそれがある地域からできるだけ離れて居住していたようである。しかし、私権の主張と災害文化（disaster sub-culture）の不足から危険地域にも居住するようになり、土石流災害が顕在してきた。また、洪水氾濫に伴う災害事象についても、昔の農村では可能な限り高台に居住地を定め、氾濫常襲地区は水田等の農耕地として利用していたので、洪水氾濫時の主要な災害は農産物被害と河岸侵食等による土地の流亡であった。護岸・水制はこれに対する対策であるが、今日でもなお重要な災害問題である。しかし今日では、護岸・水制が整備され、河川堤防が築造されて外水氾濫ということがまれな事象となり、安全性が向上したため、特に都市域においては低平地といえども土地利用が高度化し、資産が蓄積されて新しい形の災害事象が生起するようになった。すなわち、整備水準の低い堤内地河川の氾濫をも含めて内水氾濫による災害が顕在化するとともに、最も恐ろしい超過洪水時の外水氾濫による災害が壊滅的なものになりかねない情勢となってきた。

### 3. 自然災害の認識

表一に記した構造物は、破壊的な自然の営力に対抗するための構造物であり、それぞれ災害防止についての目的をもっている。たとえば、護岸は河岸侵食による土地の流亡を防ぐことを目的としており、河川堤防は洪水氾濫の防止が目的である。

ところで、洪水時の災害の素因である豪雨の規模に上限があるだろうか。地点雨量の日本記録は世界の記録の6~8割程度であり、また、大水害時には气象台始まって以来の豪雨であったとの報道をしばしば聞くように、その上限を推定することができない。そのために現在の

治山計画、治水計画では、過去の豪雨記録を確率統計学的に処理して、定められた年超過確率の大雨を基準として対策をたて、構造物を設計している。したがって、設計基準の外力（大雨）をこえた外力によって、たとえば、護岸が崩れて河岸が決壊しても、また堤防が決壊して外水氾濫が起きても、それはやむを得ないと考えざるを得ないのである。さらにいえば、護岸が一部崩れても河岸決壊までには至らず、また堤防の一部が崩れても外水氾濫が起これないならば、そのときの護岸や堤防は災害防止という役目を立派に果たしたというべきで、護岸や堤防の一部の崩れは災害ではなく名誉ある損傷というべきであろう。

河川には表一に示した災害防止のための構造物のほか、利益を目的とした水利施設や橋脚などの構造物が建設されている。これらの河川構造物もその設計時には設計外力を定め、安全率を考慮して造られているはずである。したがって、設計外力をこえる外力によって、構造物の機能が失われたり、構造物そのものが損傷しても、やむを得ないことである。設計外力以下で被害ができるようであれば、そこにそれまでに未経験の現象や予見し得なかった事象が生じた場合を除いて、設計者、施工者の未熟のためといわざるを得ない。

このようにみえてくると、河川における自然災害は、設計外力以上の異常豪雨時に堤内が受ける災害、河川構造物が受ける災害、さらに未経験で予見し得ない事象が起こったときに発生する災害を意味することになる。

河川における災害の素因である大雨は、現在のところ人為的に制御することができず、しかもその上限を確定することができない。換言すると、大雨の降り方は自然現象として素直に受けとめなければならない。そうした状況下での災害対策としては、少なくとも構造物対策は、ある規模の大雨を対象として計画し、築造することになるので、そこに存在する社会において自然災害が生起することは常に覚悟しなければならないのである。さらに大規模な豪雨によって大出水が生じ、堤防が越水破堤を起こして大きな洪水氾濫が発生した場合と、夕立のような大雨によって道路側溝が溢水して道路が水浸しになった場合とを比較してみよう。前者は河川堤防の設計基準である計画高水流量を超える出水があったため、後者は排水路の設計基準である確率降雨を超える大雨があったために起こったことで、いずれも計画時の設計外力を超える自然の営力による災害であって、自然災害というべきである。しかし、社会へ与えた影響という視点からすると大きな差がある。すなわち、前者では人命の損失、資産の大きな損失および社会活動の停止など大きな損失が発生するだろうが、後者では道路交通の一時的遮断といった軽微な損失が発生するだけであろう。

ところで、災害対策基本法は、第1条に「この法律は、国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護するため、……」と規定し、河川法は、第1条に、「この法律は、河川について、洪水、高潮等による災害の発生が防止され、河川が適正に利用され、及び流水の正常な機能が維持されるようにこれを総合的に管理することにより、国土の保全と開発に寄与し、もって公共の安全を保持し、かつ公共の福祉を増進することを目的とする」としている。いずれも国民の生命、身体および財産を自然の異常な営力から保護することを主要な目的としており、住民の大多数の共通認識も同じであろう。すなわち、防災の第一の目標が上述のようであるところから、多数の人命、身体および財産が被災する災害を大災害 (major disaster) とよぶことにする<sup>1)</sup>。一方、社会が発展し、大災害に対する安全性が高まってくると、道路交通のような都市活動や生活機能の保全という要望が高まってくる。都市には、毎日の生活や都市活動を支えるために、いろいろの施設や設備が設けられており、それらは大災害を起こすような大きな自然の営力よりも小さい営力によって被害を受けることが多い。それは、利便性、経済性から低い防災基準で設置されているものが多いため、この種の災害を小災害 (minor disaster) とよぶことにする。小災害とはいえ、高度化、高密度化した都市中枢部で起こるならば、損失は莫大なものとなる場合も想定されることはいうまでもない。

一般に研究の目的は対象としている事象の実態解明と普遍的法則性の追究であるといわれる。しかし、いまは自然災害についての研究を対象としているので、災害の防止・軽減を目標としているはずである。したがって、少なくともその研究の成果がどんな災害に貢献するものであるか、たとえば大災害に貢献するものか、あるいは小災害に貢献するものかを意識しておくべきである。

#### 4. 河川における自然災害の発生

これまでの議論によって、河川における自然災害としては、

- ① 治山、治水計画の設計基準をこえる大規模な豪雨によって堤内地が受ける災害
- ② 治山や治水のための防災施設を除くいわゆる河川構造物がその設計外力以上の出水によって受ける災害
- ③ 設計基準より小規模の豪雨時であっても、経験したことがなく、また予見し得ない異常な現象に伴って生ずる災害

の3種類のことを意味すべきである。人間の過失や手抜きのために発生した災害は、それがたとえ大災害であっても、自然災害とはいえないのである。また、①の条件

の豪雨時に護岸、水制、床固め等の一部が破損しても、堤内地に被害が発生しておらないなら、そのときはここでいう自然災害ではなく、名誉ある損傷として補修すべきである。

①の部類はさらに河岸崩壊による堤内地の流亡、土石流など土砂がかかっているものと洪水氾濫による堤内地浸水という氾濫水がかかっているものとに分けられるが、これらはいわば河川における主要な自然災害事象であるので以節以降であらためて述べる。③の部類はいわば人知の不足によるものということができ、①、②の問題を検討するときに必ず考慮に入れなければならないものである。たとえば、後述するように、河川堤防の決壊を取り扱うとき、その原因がいわゆる超過洪水で越水破堤したときも、設計基準以下の洪水ではあるが、まったく予期せざる洗掘力が働いてのり面崩壊をきたして破堤したときも、いずれの場合も自然災害と考慮して取り扱うわけである。

さて、②の部類の自然災害を、橋脚被害の場合を例として、システムの故障の因果関係を階層構造としてとらえるときに利用される fault tree (故障木といい、以下では FT と略記する) によって表現したものが図-1 である。図中、円で囲んだものが基本事象であり、OR で示した記号はその下位に示されている事象のいずれかのものが生起すれば上位の事象が起こることを示している。すなわち、橋脚の被害は、設計外力をこえるような破壊力を生ずる超過洪水のときと、洪水としては超過洪水ではないが、いろいろの努力にもかかわらず現象の理解が十分でなく、予期せざる異常な局所流が発生したり、あるいは床固め工が完全でなくて破壊されたりして、橋脚の周辺が洗掘されたときに発生するのである。取水塔や河道内にたてられている送電鉄塔などについても、自然災害に関する FT が図-1 と同形のものとなることは容易に理解できよう。

次に、この FT 図に基づいて、豪雨という事象の発

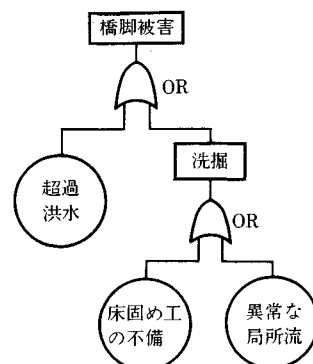


図-1 橋脚被害の fault tree

生と橋脚に被害発生という結末との関係をシステム図で示したものが図-2である。図-1では基本事象がすべてOR記号で結ばれているので、どの基本事象が起ころても橋脚被害という事象が発生することになる。したがってこの場合の防災システムは直列システムで表現されるわけである。すなわち、豪雨がいったとき橋脚が被害を受けないためには、豪雨規模があまり大きくなく超

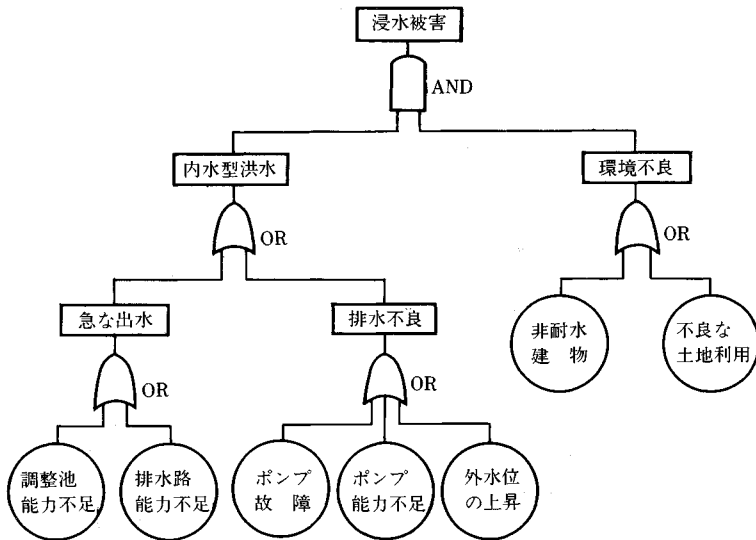


図-2 橋脚被害の防災システム

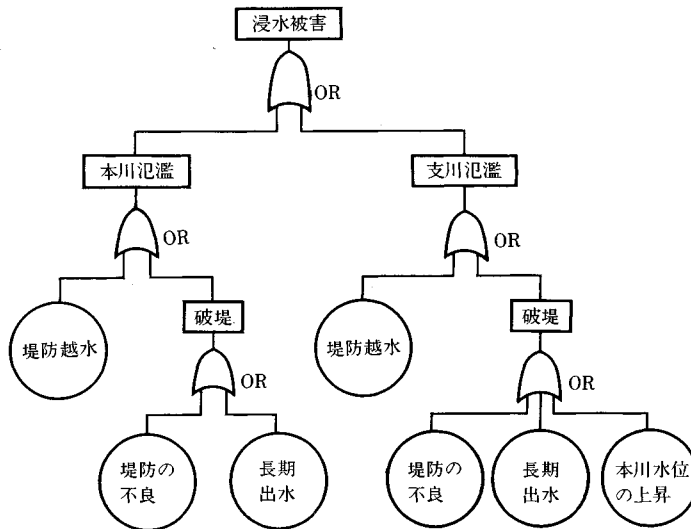
過洪水とならず、しかも設計時に考えていた流況以外の未知の異常な局所流が発生して思わぬ局所洗掘が発生せず、さらに床固めを破壊するような異常な流体破壊力が働かないことが必要条件であり、そのうちの1つの事象でも起これば橋脚被害を覚悟しなければならないのである。

### 5. 氾濫災害の発生システム

超過洪水とは河川の洪水防御対策の基本となる基本高水をはこえる規模の洪水を意味している。今日わが国の社会は河川堤防で直接防備されて、洪水の侵入を防ぐべく



(a) 内水型浸水



(b) 外水型浸水

図-3 浸水被害の fault tree

構造的対策が講じられている。したがって、超過洪水時の災害は、表一1にも示されているように、主に平地部で問題となり、また、氾濫災害で典型的な物質侵入型災害であり、前節で述べた④の部類に属する自然災害である。

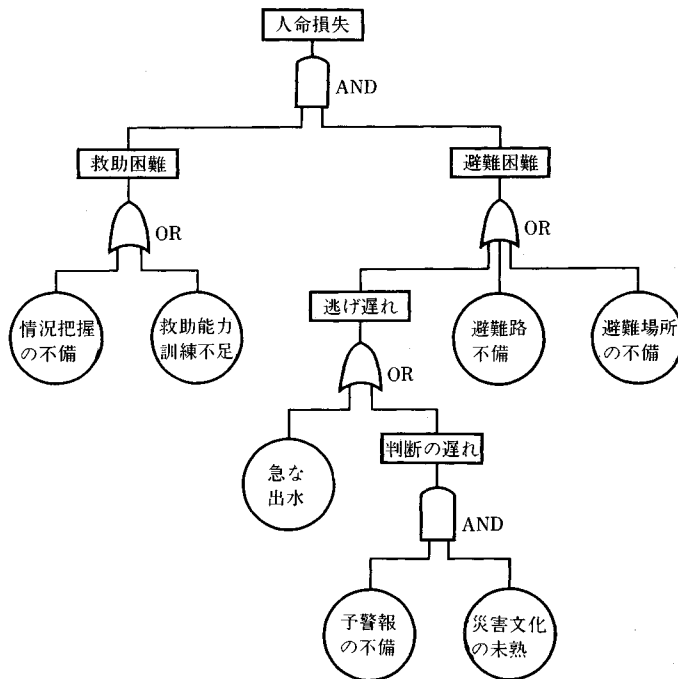
洪水のとき社会活動、生活の場への水の侵入をFTで示したものが、図一3(a), (b)である<sup>2)</sup>。図中円で囲んだ事象は基本事象を示し、ORの記号は前述のようにその下位に示されている事象のいずれかが発生すれば上位の事象が生起すること、またANDの記号はその下位に示されている事象のすべてのものが同時に発生したときにのみ上位の事象が生起することを意味している。

図一3(a)は内水氾濫災害の場合で、計画対象降雨をこえる規模の大雨があって、調節池の容量が不足する場合、あるいは排水路の排水能力が不足している場合のいずれの場合でも急な出水が生じ、一方、それほど大規模な大雨でなくても、思わぬ排水ポンプの故障、降雨の予期せざる時間分布等によるポンプ能力の不足、または外水位の急激上昇のいずれかが起こると堤内地で排水不良を生じ、この排水不良か、上述の急な出水のいずれかが起こると内水型の洪水ということになる。しかし、住民側で、内水問題に対して適切な土地利用がはかられているか、あるいは、地下鉄、建物等の耐水性が保証されるような設備が整備されていると、その中で住民の生活活動に対する環境は良好な状態で維持されるはずであ

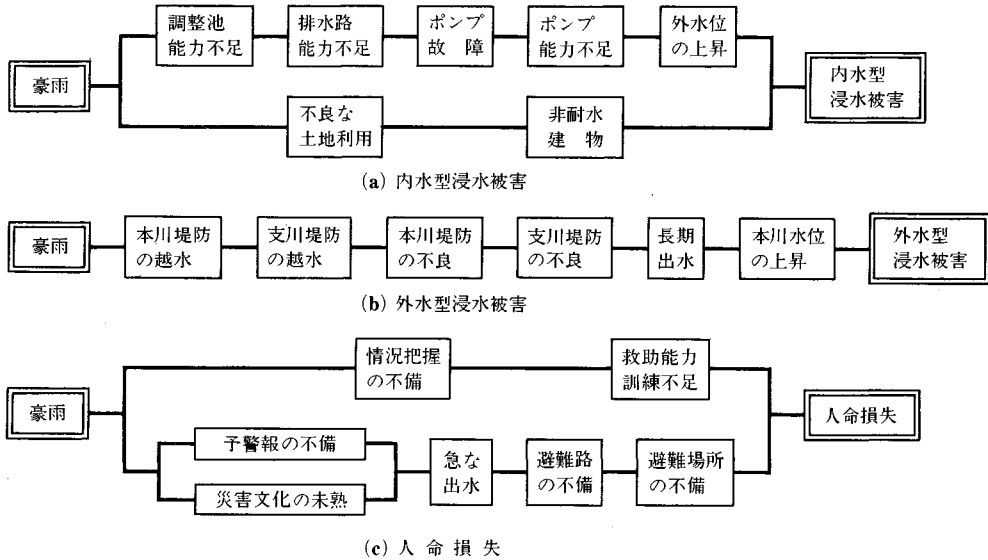
る。よって、この図では、深刻な浸水被害は環境不良の地区に内水型洪水が生じた場合に起こることを示している。これは、通常内水型洪水による被害は前述の意味での小災害であって、ここでいう浸水被害を都市機能の損失ということを対象としたためである。もし、内水型洪水即大災害と考えるときは、次に述べる外水型浸水と同様に考えるべきである。

次に、図一3(b)は外水氾濫災害の場合である。この場合には、外水に対する最終の防護施設は河川堤防であるので、本川、支川とも豪雨の規模が非常に大きくて堤防を越水するような出水があるか、堤防が完全でなかったり出水期間が異常に長かったりして(予期せざる事象が起こって)堤防が決壊するかしたときには、外水型氾濫となるが、そうしたことが本川で起こっても支川で起こっても浸水被害が発生することとなる。

さらに、人命を守るという観点からの非構造的対策には退避や避難、および救助がある。すなわち、このときのFTは図一4のようなになる。予警報システムの不備と住民の災害文化の未熟さが共存したときに待避の判断が遅れて逃げ遅れということになり、一方、予期できないような急な出水のときにも逃げ遅れということになる。また、避難路や避難場所が不備のときも、結局のところ避難ができないことになる。一方、たとえ避難ができない場合が生じたとしても、良く訓練され、良い装備をもった救助組織が正確かつ迅速に状況を把握して救助



図一4 人命損失の fault tree



図—5 洪水氾濫に対する防災システム

活動をするならば人命は助かるはずである。

これらの FT において注目すべきことは、構造的 (ハードな) 対策にかかわる故障 (図中の丸の中で示した事象) は、上位の階層の事象と OR 記号で結ばれているということである。換言すると、ある階層の事象のいずれのものが起こっても上位の階層の事象が生起するということである。これに対して非構造的 (ソフトな) 対策にかかわる故障は上位の階層の事象と AND 記号で結ばれる部分を含んでいる。換言すると、下位の事象が同時に起こらなければ上位の事象は生起しない部分を含んでいるということである。

以上によって、河川において生起する災害の要因の因果関係が明らかになったわけであるが、この結果から、豪雨と内水型浸水被害、豪雨と外水型浸水被害、および豪雨と人命損失との関係をシステム図で示すと、図—5 (a), (b), (c) となる。すなわち、たとえば、図—3(a) の内水型浸水被害の FT 図では最後の最上位の階層とその下位の階層とが AND 記号で結ばれており、他はすべて OR 記号で結ばれているので、この場合のシステム図は 2 つの直列のサブシステムをもつ並列システムとなる。他の場合も同様で、結局、図—5(a), (b), (c) のようになる。これらのシステム図は、豪雨があったとき、直列システムで結ばれている場合には四角で囲まれている基本事象のうち 1 つでも生起すれば右端の事象が起り、もし並列システムで結ばれている場合には並列システムを構成しているサブシステムの 1 つでも満足に機能しておれば右端の事象は起らないことを示している。したがって、ここで記した基本事象が内水型浸水被害、外水型浸水被害および人命損失という災害事象にど

のようにかかわっているかを明確に読み取ることができるのである。

## 6. 土砂災害の発生システム

河川における自然災害のうちの土砂災害は、表—1 で記したように河川の山地部と流路部で起る。そして最近の豪雨災害に際して最も多くの人命の損失をもたらすものである。山腹崩壊によって家屋が土砂に埋没したり、土石流が家屋を直撃して流失させたり埋没してしまったりする形態の災害事象である。河川におけるもう 1 つの重大な土砂災害は河岸崩壊による地物の流亡である。これらの河川における土砂災害は 4. で述べた①の部類に属する自然災害である。山腹崩壊は地すべりなどとともに別に論じられるのが賢明であると思われるので、ここでは、土石流と河岸崩壊にかかわる課題について述べる。

土石流が発生して社会の生活・生産の場に侵入して災害を起こすときの FT が図—6 である。1950 年代まではその発生から流下・氾濫までの機構がほとんど未知であったが、今日では土石流氾濫を防ごうとする防災施設が建設されるようになったが、図—6 はそのような場合での FT 図である。すなわち、防災計画時に計画基準とした土石を超える規模の土石流が生起したとき、あるいは、万全を尽したつもりではあるがどこかに不備があったり、または未知の異常な現象が起こったりして防災施設が破壊されたときに土石流氾濫が発生するのである。次に、河岸崩壊の FT は図—7 である。すなわち、計画基準を上回る規模の洪水のとき、あるいはそれほど大きな洪水時ではないが、護岸・水制に未知の弱点があったり、または異常な洗掘力といったようなそれまで

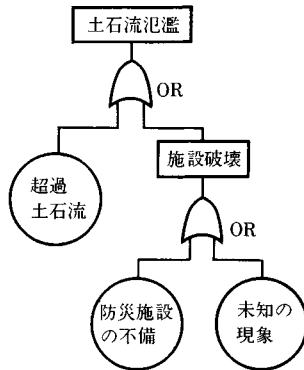


図-6 土石流氾濫の fault tree

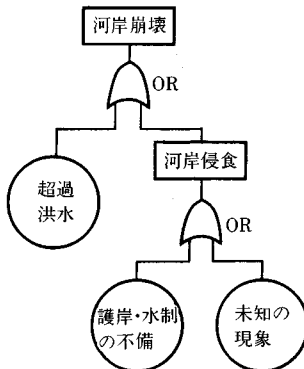


図-7 河岸崩壊の fault tree

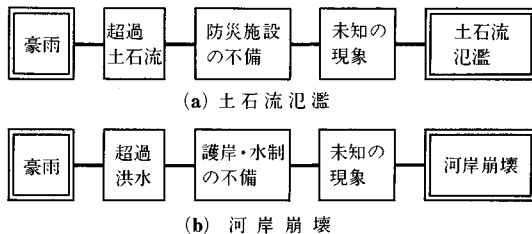


図-8 土砂災害に対する防災システム

未知であったような現象が生起して河岸侵食が起り、河岸崩壊が発生するのである。

さて、図-6および図-7のFT図をみると、すべてOR記号で結ばれていることがわかる。両図とも構造的(ハードな)対策を対象としており、図-1や図-3(b)の場合と同様であるので、豪雨があったとき、土石流氾濫が起こるシステム、および河岸崩壊が起こるシステムは、それぞれ図-8(a)および(b)で与えられる。両方のシステムとも直列システムであるので、中間の要素のうちどの事象が生起しても右端の事象が生起することとなる。

土砂災害の場合の人命損失問題はどうか。前述したように、最近の豪雨災害の発生時に最も重要な課

題であるが、この場合のFTは図-4で与えられる。すなわち、異常事態の発生を予知し避難ができるようにし、かつ優秀な救助・救援の組織があり十分な活動ができる態勢を整えておれば、人命損失は防げるはずである。

### 7. 各基本事象に関する研究

以上、FT図によって河川における自然災害の発生過程を解析したが、これらの解析によって各基本事象が自然災害の発生にどのように関係しているかを明確に知ることができる。たとえば、図-5(b)の外水型浸水被害に関する防災システムをみると直列システムであるので、図中の基本事象のどれが生起しても外水型浸水被害が発生することになる。また、堤防は年数を経れば弱体化するだろうが、豪雨はいつ起こるか不確定である。したがって、堤防の防災機能の低下は許されない。そこで、常に堤防を管理、点検し、ときには更新して、所用の機能が維持されているようにしておかなければならないといえるのである。

このような分析は本文の主な目的ではないのでこれ以上の議論は行わないが、各種の防災対策が合理的に行われるかどうかは各基本事象が十分に研究され理解されているかどうかによることはいうまでもない。そこで、以下では各基本事象に関する研究と将来の展望について概観することとする。ただし、橋脚被害と内水型浸水被害は他の場合とは被害の様相が若干異なるので後で述べることにする。

#### (1) 超過洪水、超過土石流のときに起こる自然災害

ここでいう超過とは、構造的防災対策の計画時に基準とした洪水あるいは土石流をこえる規模のという意味である。まず、図-3(b)の外水型浸水被害の場合、本川氾濫、あるいは支川氾濫のいずれが生起しても浸水被害が発生するので、それぞれ別個に考えてよい。

本川に超過洪水が起こると、それは堤防の設計で対象とした洪水より大きいということであるから、堤防の防災機能をこえた外力が働くことになる。堤防の主要な防災機能は氾濫防止であるから、結局、越水氾濫が起こることになる。越水氾濫が生起したとき、すでに設計対象の洪水の大きさまでは氾濫を起さなかったのであるから堤防が決壊してもやむを得ないという考え方と、堤防決壊は大災害につながるので越水のみで決壊しないようにすべきであるという考え方があろう。これは河川堤防の防災機能をどう考えるかということである。昭和62年3月に河川審議会が超過洪水対策について答申を出したが、さらに研究すべき多くの問題を含んでいる。このことに関連して、越水の規模と堤防決壊との関係が明確になっていることが必要であり、このことについては土木研究所で行われた実験的研究のほかにはほとんど研究

されていない。さらに、特に堤防が決壊した場合の堤内地への氾濫水の流入条件は浸水被害を決める重要な要件となる。このことについて、生起する支配断面の位置と条件についての研究や局所洗掘が発生する場合の実験的研究など若干の研究はあるものの研究すべき多くの問題が残されている。支川に超過洪水が起こったときもこれとまったく同じである。

次に、図—6の土石流氾濫の場合についてみてみよう。河道を流れる洪水流と比較して土石流そのものについての理解度はまだ低い。30年前には土石流というのは山津波とも鉄砲水ともいわれていたが、その実態をみた研究者はほとんどなかったのである。しかし最近の研究の成果はめざましく、現実の土石流を映画やビデオで見ることができ、また、その発生から流動流下過程、そして停止に至るまで、一応解析されるまでに至った。しかし、土石流災害の構造的対策としては砂防ダムや導流壁があるが、若干の研究はあるものの未解明の点が多い。こうした防災施設の第1の防災機能が何であるかが明示できないので、図—6では一般的に超過土石流が発生すると土石流氾濫が起こるとしているのである。したがって、土石流による自然災害の防止軽減を目的とするならば、土石流そのものの研究を深めるとともに、構造的対策の研究をも進めるべきである。すなわち、土石流のもつどんな性質に対抗するかについて検討したうえで、防災施設のあり方について研究する必要がある。防災施設が具備すべき防災機能が明確になれば、上述の超過洪水時の堤防越水のように、超過土石流時の基本事象を具体的に示すことができ、あらためてFTを描いて防災システムの解析を進めることができるようになるはずである。

最後に、図—7に河岸崩壊の場合の構造的防災対策は護岸・水制である。護岸・水制は堤防とともに歴史は古いが、それらの防災機能は必ずしも明確ではない。護岸は崩壊から河岸を保護するための補強工と考えることができるが、洪水時の水流のどんな破壊力をどんな抵抗力をもって護岸が設計されているか明示しにくいのが現状である。水制についても同様である。そのため、図—6の場合と同様に、一般的に超過洪水があると河岸崩壊が発生するという表現としているのである。超過洪水時には河岸崩壊が起こるのはやむを得ないのであるが、どこまで崩壊するのか、局所的観点からだけでなく、流路の自然の変動というより大きなスケールからの研究も望まれる。

## (2) 非超過洪水、非超過土石流のときに起こる自然災害

まず、図—3(b)において外水型浸水被害が計画基準以下の洪水のときに発生するのは、本川については、人

知を尽したにもかかわらず堤防に不良箇所がある場合か、堤防設計時に考慮しなかったような長期間継続した出水がある場合である。また、支川については、本川の場合と同様の意味で、堤防に不良箇所がある場合か、長期出水がある場合、または本川水位が異常に上昇し背水効果を受ける場合に破堤が発生する。長期出水、本川水位の異常上昇による背水効果など、洪水という異常事態では往々にして予期しない事象が発生するものである。したがって、洪水時のいろいろの現象を歴史的に、また全国的に調査研究して、どこまでを堤防設計にとり入れるべきかを検討しておくことが重要である。また、人知を尽くしても不備な点が残ることもやむを得ないことであるので、通常の構造物の設計施工と同様に、従来にも増して洪水時の諸現象をよく理解したうえで、完璧な設計施工ができるように努力を怠ってはならない。

次に、図—6の土石流氾濫の場合については、構造的防災対策そのものの研究が必要であるので、非超過土石流時といってもどの程度の土石流かが明示できないのが現状である。土石流そのものに関する研究は最近急速に進展しつつあるが、構造的防災対策、換言すると防災施設とのからみでの研究はほとんど行われていない。最近の豪雨災害時の人命損失の中で、土石流災害によるものがかなりの割合を占めているという事実からしても、こうした研究の飛躍的発展が望まれる。

図—7の河岸崩壊に関しては、前述したように護岸、水制の防災機能が必ずしも明確ではない。多くの経験に基づいて護岸、水制がつくられているので、予期せざる現象が生起して護岸が崩れ河岸崩壊を起こすことがある。わが国の河川をみると、護岸が延々とつくられ、水制も重点的に設置されている。護岸、水制そのものの洪水に対する耐久力といったものを重点的に研究することは、河岸の崩壊災害を防止軽減するうえで大きく貢献するだろう。

## (3) 人命損失

図—4の人命損失についてのFT図において、基本事象の1つに急な出水とあるのは出水現象を対象としたためであって、これを予期せざる異常事態の急な出現とすれば自然災害全般にもそのまま適用できる。さて、人命損失の防災システムは図—5(c)で示されているが、前述したように並列システムであるので、片方のサブシステムがだめでも他方のサブシステムが機能しておれば、システムは正常に保たれる。このことは人命を救うという観点からして非常に重要な意味をもっている。

ところで、人命損失のFT図中の基本事象のうち、避難に関するものとしては、異常事態の急な出現、予警報の不備、災害文化の未熟、避難路の不備、避難場所の不備がある。異常事態の急な出現に関しては、異常現象



の理解を深め、常に観測して異常事態の出現に備えておらなければならない。予警報の不備に関しては、豪雨予知、出水予知、土石流発生予知、河岸崩壊発生予知、など常に調査研究を怠らないことが重要である。災害文化の未熟に関しては、地域住民の自然災害についての教育、訓練や地域住民の経験則の積み重ねにつとめ、緊急事態を察知する能力の向上を計ることが重要である。避難路の不備、避難場所の不備に関しては、災害発生時の状態、たとえば氾濫水の挙動、土石流氾濫の様相などを予測して、危険の少ない避難ができるようにしなければならない。

次に、救助に関するものとしては、情況把握の困難と救助能力・訓練の不足がある。情況把握の困難に関しては、通信機器の利用、ヘリコプターの利用など被害情況の迅速にして正確な把握が可能なるようあらゆる手段の利用を考えておくことが肝要である。救助能力・訓練の不足については、日頃から救援救助組織を用意し、十分な資材と能力をもつように努めることが重要である。

研究面からすれば、異常な自然現象の直前予知、防災施設の破壊の直前予知、防災施設破壊後の災害状況の予測などを推進することが必要である。

#### (4) 橋脚などの自然災害と内水型浸水災害

橋脚や取水塔などの施設が受ける自然災害であるが、橋脚被害の場合のFTが図-1である。取水塔の場合もまったく同じFT図となる。自然災害は、設計基準の洪水より大規模の洪水が発生した場合か、予期せざる不備が床固め工にあったり、あるいは異常な局所流が発生したりした場合に生起する。被害は局所洗掘によるものと考えられるが、従来から局所洗掘に関する研究が多数行われ、床固めの設計に実用されている。しかし、超過洪水時の洗掘、時として現われる異常な局所洗掘についての研究を継続発展させる必要があるが、この場合、護岸水制のところでも述べたが、流路変動というもう少し大きなスケールの事象との関連についても研究する必要がある。

次に、内水型浸水被害の場合のFTは図-3(a)であるが、問題は地内に降った雨水の排水に関するものであるから小災害といえる。内水型洪水が起こるのは、要するに排水能力の不足や排水施設の不備があった場合である。内水型浸水被害が生起する場合は、主に低平地で都市化が進んだ地域である。したがって、豪雨があったときにどのような形態で水が集まってくるが、換言すると都市化による出水形態の変化を正しく推算することができ

れば、合理的な排水計画をたてることができる。また、地区内の比較的高いところに重要な施設をつくったり、あるいは浸水のおそれがあるところの建物には氾濫水の侵入防止装置を設置したりしておけば、浸水被害は起こらない。よって、耐水装置ないしは氾濫水の侵入防止法の研究が必要である。

## 8. おわりに

以上、河川における自然災害について、そのとらえ方と研究の重要性について述べた。個々の課題の研究の現状については、水理委員会の研究小委員会の報告書、水理公式集など、多くの印刷物がある。また、課題ごとの研究内容を調べようとするれば、科学文献に関するデータベースを利用することができる。

本文で述べたことは、自然災害に重点をおいて、まず自然災害をどのように認識するか、そうした自然災害はどのように発生するか、防災システムの特長はどうか、自然災害の防止軽減に直接役立つ研究は何か、ということである。豪雨の最大規模ないしは上限を確定することが困難であり、それはかなり大きいことが予想されることから、各種の防災施設は中間の規模の豪雨を計画基準とせざるを得ないという現実がある。したがって、計画基準以下の豪雨であるが予期せざる異常な事象が起こる場合、あるいは、計画基準をこえる大規模の豪雨がある場合に災害が発生することになる。そのうえ、豪雨による河川における自然災害に対してはほとんど構造的防災施設で対抗している。よって、計画基準をどのように選ぶかによって災害の様相がかなり異なってくる。基準が低ければ災害の発生頻度は多いが住民の災害文化は発達するだろうし、基準が高ければ災害の発生頻度は少ないが、災害文化は発達せずに堤内地の資産が多くなって、超過洪水時の被害は莫大なものとなる。こうした意味からも計画基準となる豪雨についていろいろの面から研究することが必要であることを、おわりにあたって、強調したい。

#### 参 考 文 献

- 1) 石原安雄・大沢 胖・伯野元彦：都市の変容と自然災害、日本学術振興会、pp. 3~14, 1986. 9. 1.
- 2) 石原安雄：洪水災害防止における FAIL-SAFE と SAFE-FAIL、京大防災研究所年報、31-B、pp. 369~377, 1988. 4.

(1990. 10. 1・受付)