

大阪大学 工学部 正員 ○室田 明
近畿大学 理工学部正員 江藤 剛治

1. はじめに

現在の大阪市内河川の洪水・高潮防御体制は、防潮堤・防潮水門・ポンプ・矢板護岸・防潮鉄扉などの防御施設を連ねさせて防御する大ブロック方式（いわば大規模の輪中方式）を採用している。それにもかかわらず、個々の施設が設計時の安全率でとらえられているだけで、関連するすべての施設を一つの総合的なシステムとみなしての危険度評価は行われていない。そこで、トータルシステムの危険度評価を行なう場合には、以下の2段階が必要である。

(1) ある外力のもとで、個々のサブシステムの正常・異常の組合せに対して、トータルシステムとして異常がおこるかを判定するために、トータルシステムをサブシステムで表示する。

(2) 個々のサブシステムの危険度評価を行なう。

これができる、あとは簡単な信頼度計算でトータルシステムの危険度を算出できるはずである。

以上のような観点から筆者らは判別関数を用いたトータルシステムのサブ・システムによる表現法、サブ・システムの危険度評価のための Fault Tree の作成などを試みたのでここに報告する次第である。

2. 都市河川における危険度の事前評価にともなう問題点と本研究の概要

次節ではトータルシステムのサブ・システムによる表現について述べている。具体的にはサブ・システムの正常・異常の組合せの状態に対して浸水が起るかを判定するために総合的なシステムを構成する手法について述べている。原子炉・航空機の場合のようにシステム不備のうちそれを構成する機器・系統の機械的故障が大部分を占めるようなものでは、トータルシステムの構成も Event Tree の手法を使て、容易に行なえるし、システムが外力の変化に伴って変化することも少ない。また設計段階からシステムという概念でとらえているため直列システムと数少ない代替システムからなる簡単なシステムで表現できるし、トータルシステムの異常につながると思われるシーケンスのみを残していく、いわゆる filtering も簡単に行なえる。一方、この研究の対象となる防御施設はほとんど独立して設計されているため filtering も難しく、また外力の種類・強度によって全システムのサブ・システムによる表示も逐一異なるものになる。しかも、他の施設の正常・異常の状態が敏感に影響してくるため Event Tree の手法でシステムを構成することは難しい。たとえばあまり大きくない洪水に対しては、いくつかのサブ・システムに同時に異常がおこった場合のみ浸水がおこると思える。この場合は並列システムとして表示される。また計画洪水に近い洪水に対しては、サブ・システムのうち一つにでも異常があればすぐに浸水がおこると思える。この場合は直列システムとして表示される。したがってその間の中間的な洪水に対しては、直列・並列システムが混在した複雑なシステムになると考えられる。この場合、各施設の間には水位という交通の関係があるので、それを利用してシステムを構成することが可能である。つまりある外力に対して施設の正常・異常の状態のいろいろな組合せに対して、そのつど不定流計算を行えば、浸水がおこりうるシステムの構成も可能である。しかし施設の数が増すにつれてその正常・異常の組合せの数も飛躍的に増大するため、全ケースについて不定流計算を行なうことは不可能である。本研究では判別関数法の適用により十分の信頼度を保持しつつ計算ケースを大巾に減らして、被害をもたらす具体的なシステムの構成を自動的に行なう方法を検討したのでこれについて述べている。第4節では、サブ・システムの危険度評価について述べている。ここでは世界で初めて原子力発電所のあらゆる範囲の事故についてリスクの定量的な評価を行なう、フランスムッセン報告にならって Fault Tree の考えをとり施設の不備を引き起こす原因事象を従来の資料・経験などからその危険度を推定できるところまでブレイクダウンしていく手法を採用している。

3. トータルシステムのサブ・システムによる表現

関係するすべてのサブ・システムの正常・異常の組合せに対して逐一トータルシステムの不定流シミュレーションを行なえば、トータルシステムの正常・異常の判定が原理的には可能となる。しかしながらこれは実際上不可能である。たとえば50のサブ・システムがある場合、その正常・異常の組合せは $2^{50} = 1.125 \times 10^{15}$ となる。ここで判別関数法を用い、説明変数として外力強度・各サブ・システムの正常・異常の状態(正常なら0, 異常なら1を与える)を考え、トータル・システムの正常・異常を判別することにすれば、ほとんどの組合せは完全にトータルシステムが正常あるいは異常のどちらかに属し、その境界付近のみが正常・異常の混在した領域となることが予想される。この場合はランダムに抽出されたそれほど多くない個数の組合せに対して、判別関数形を可変しておき、判別関数値の境界値付近のみを徹底的に探索すればよいことになる。図-2のような河道に対して、トータルシステムの異常を流域のどこかが浸水することと定義した場合の線形判別関数による分離の例を図-1に示す。

4. Fault Treeによるサブ・システムの危険度評価

1) Fault Tree: 例として「水門を閉鎖できない」という事象について考えてみる。「水門を閉鎖できない」という事象は、機械的な故障の場合と閉鎖決定のおくれ、連絡の不備などの人的な要因でおこる場合の二つが考えられる。このどちらの場合がおこっても水門を閉鎖することはできないから、この両者はORの関係でTop eventと結ばれる。以下一つのTop eventを引き起こす原因事象を列挙しそれらの事象をさらに追求していき結局、スイッチの故障などのように従来の資料・工学的経験などから、その値が推定できるところまでブレイクダウンして行く。以上の考え方に従って当該トータルシステムのブレイクダウンを行なった。紙数の関係で全体のテーブルは講演時に示す。

Yの値と不定流Simulation結果の対応(境界付近)

(水門を閉鎖しない場合)

○: トータルシステム正常

×: 異常

(374ケース中、境界値付近の94ケースを示す)

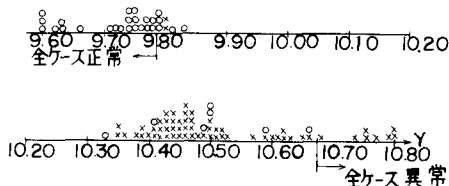


図-1

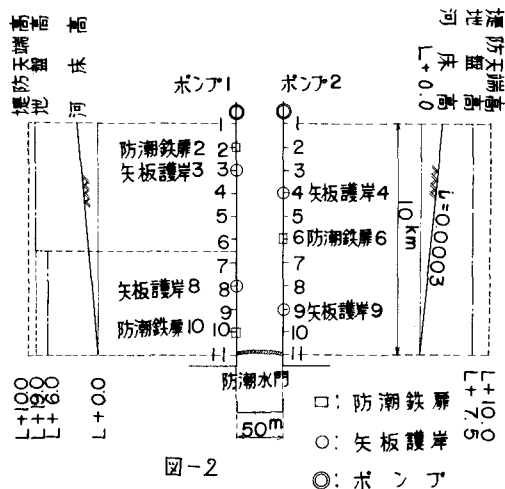


図-2

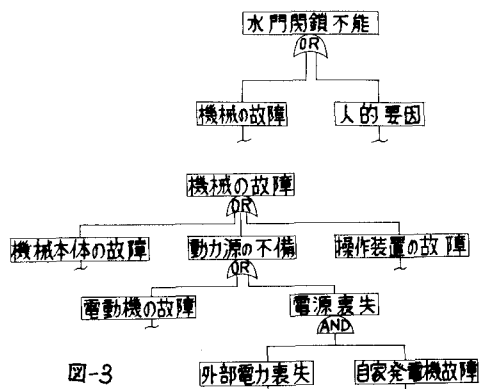


図-3

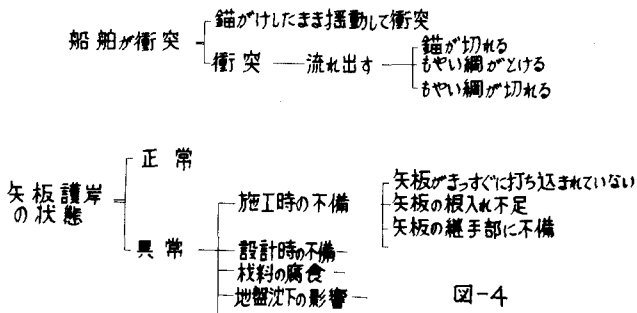


図-4