

付録- 3 偶発作用の考え方

作用因子，作用モデルといった概念分類と並んで，永続・変動・偶発という作用因子の分類も，多くの技術者にとっては馴染みの薄い考え方であろう．定義は本文中に記載されているが，そもそも何故このような分類が必要なのかということから，解説する必要があると思われる．

性能設計体系で最も重要なものの一つは，「説明性」である．照査すべき要求・保有性能の選択，そのための作用や抵抗強度の設計値の選択，応答を求める解析手法の選択など，いろいろな手続の中でそれは必要となる．「永続・変動・偶発」という作用の分類は，この説明性の相違を反映しているといえる．永続と変動の対比は，比較的わかりやすい．「ずっとそこにある（あるいは力が作用している）もの」は把握しやすいし，設計時点での予測も割合に容易である．一般的に「永続作用」は値の変動成分が，継続的な部分に対して小さいものを広く包含している．継続的な成分は必ずしも時系列的に値が恒常的である必要はなく，一定の割合で増加・減少しているものも含めて考える（リラクゼーションなども入る）．トレンドとしての変動性があっても，その傾向がさほどの困難を伴わずに把握出来るのであれば，永続作用とみなしてよい．「変動作用」は，それに対し，値が時々刻々変化し，ときに大きな（悪影響を及ぼす）値の発生の方をする（風，海の波等）ものと，稀にしか現われない（地震等）が，過去の経験や，集積されたデータから，ある程度の確率統計的なモデルの構築が可能で，それによって（確率表現にはなるものの）予測が可能なもの，ということである．構造物にはたらく作用（この指針では，構造物に対して要求されている機能の実現を阻害するものは，皆「作用」の範疇に含めて考えようという立場をとっている）のすべてが，この「永続」か「変動」の範囲に収まってくれるとよいのであるが，こうした説明性の論理から外れる（しかし現実問題として対処が必要な）作用も存在する．それらを総称して「偶発」作用というと考えれば，最も指針作成の際の議論にも近いし，理解もしやすいであろう．

しかしながら，偶発作用を具体的にどう定義するかとなれば，それは難しい問題である．また変動作用との分類の線引きにも困難な点がある．以下そのことについて記述する．

「偶発」作用とは，accidental actions の訳であって，直接的には「事故的な」作用ということになる．重量物（船舶や車両など）や飛来物の構造物への衝突，ロックシェッドへの落石，砂防ダムへの土石流の衝突，爆発などに起因する作用などが，この分類にあてはまるものと，一般的には理解されている．これらもある意味では「確率的」事象なのではあるが，風・波・地震などと違って，日常的な計測体制が確立されているわけでもないし，データをとろうにも現象の作用頻度が小さく，また計測方法も定かではない．確率的なモデル化がしづらく，現象の把握・分析が「事故」発生後の「後追いの」になる傾向がある，といった性格の作用の集まりといえる．一方で，ひとたび現象が発生し，構造物にはたらくことになれば，その影響は大きく，社会的には無視出来ないことも多い．

本指針では，「設計状況」という概念を重視している．どういう作用の組合せを想定して対策を講ずるかは，構造設計の方針決定の出発点ともいえる重要事項である．永続・変動作用の組合せが，設計を支配する主要な要因であり，この偶発作用が副次的であるならば，「事故

的」という文字通りの理解でもよいと思われる。他方、ロックシェッドや砂防ダムにおいては、まさに落石や土石流への対処を目的として設置される構造物なのであって、これらの作用は「主要な設計状況」を構成するといえる。こうした場合、作用の設計値の推定は、現地の状況（「この程度の落石は、ありうることだ」といった判断など）、構造物に要求する機能（「変形は許容するが崩壊は許さない」といったダメージレベルなど）との兼ね合いで、慎重になされなければならない。それは説明責任にもつながる。確率論ベースで、荷重係数をかけて扱うことには馴染みにくいだが、トータルの設計結果が保証する安全性水準は、一般的な構造物と比較して大きく逸脱するものにはならない配慮が必要であろう。

これらのことを考えると、一口に偶発作用といっても、設計で主たるものと従たるものの分類の視点が必要になってくることがわかる。委員会の検討期間内において検討した、「Eurocode1における偶発作用の扱い」の資料では、この作用について「想定されたもの（identified）」と「想定されないもの（un identified）」に区分することが行われている。前者には伝統的な信頼性解析の枠組が相応しいとされ、後者には構造物の強靱性（robustness）の要求などが考慮されることとされている。

すなわち、「設計において主たる位置を占める偶発作用」に、その値の決定の説明性を求める内容と、このEurocode1「想定された偶発作用」が示す内容には、類似性があると考えてよいであろう。Eurocode1の立場は、信頼性の考え方の適用をどこまで求めるか、ということについて大きく踏込んでいるが、この指針の作成作業を含めて、わが国の議論では、その部分には、まだ結論が出ていない。

一方、副次的に想定する偶発作用に対しては、必ずしも主たる作用に対するのと同様の、部材作用効果の算定、耐力との比較といった設計法の枠組みにこだわらず、補助部材の設置などの対応策もあることなども勘案すれば、これは、「想定されないもの（un identified）」との整合性を有しているといえる。「構造物の強靱性の確保」とは、一般に「原因に対して不釣り合いに大きな結果（被害）を招かないような配慮がなされること」である。一種のリスクマネジメント的対応と考えることも出来る。こうした配慮も一つの「設計計画」ということが出来るし、そうした意味での選択肢の幅の広がりも、偶発作用について考察することで得られる意義の一つであろう。

本指針の議論の中で、最も委員の見解が分かれ、議論に多くの時間を費やしたのは極大地震を変動作用ととらえるか、偶発作用ととらえるかの問題であった。「土木・建築にかかる設計の基本」の中では、耐震設計を性能マトリクスの形で考えることを前提としつつ、終局限界状態を照査すべき極大地震には、変動・偶発の、両様の作用の扱いを可能にしている。耐震性能マトリクスの上では、終局限界状態を照査すべき極大地震は、対応する再現期間が極めて長いものと位置づけられることが多いが、わが国で現在注視されている大規模地震には、切迫性があり、長い再現期間（小さい超過確率）というマトリクス上の枠組みと、必ずしも整合しないとされることなどが、その背景にある。

委員会の中での極大地震にかかわる議論の経緯は、下に箇条書きにまとめた項目に含めたが、「本質的には何らかの確率モデルを当てはめ得る、ランダムな現象であると認識しつつも」「現実の問題としては、その扱いがこれまで難しかったことも確かであり」「それゆえ、事実

上は『設計において主たる位置を占める偶発作用』としての扱いが、継続的になされてきたことに十分留意すべきである」「しかしまたその一方で、政府の研究機関等で近年急速に、確率論的扱いが進展しつつあることにも注目すべきである」という形で総意をまとめることとした。その意味で、この偶発作用の議論は、現在進行形で理論整備が進んでいるものである。本指針は、新たな研究の進展に伴う「更新可能性」を、前提として編集されている。この部分の議論は、本指針のこうした性格を、特に必要とするものであるといえるであろう。

【付録：委員会作業中に出された各種の意見】

- ・ 偶発作用 (accidental actions) については、ISO2394 (日本規格協会訳) では「当該構造物が、その基準期間中に、大きな値はおそらく経験しないであろうと思われる作用」と定めている一方、「土木・建築にかかる設計の基本 (平成14年10月国土交通省)」では「確率統計的手法による予測は困難であるが、社会的に無視できない作用」としている。
- ・ 両者の定義はたいへん異なってみえるが、つぶさに考えれば、矛盾するものではない。ISO2394 の定義は「発生頻度の小ささ」を示唆していて、それは利用可能なデータの少なさということであるから、「設計の基本」の「確率統計的手法による予測は困難」という定義と定性的には整合してくる。
- ・ 国際的に認知された ISO の文言は尊重すべきであるが、わが国の状況を鑑みたとき、偶発作用についてはより踏込んだ議論がなされるべきであり、その足がかりとして「設計の基本」の与える定義にも説得力はある。
- ・ 偶発作用は、もともと「よくわからないもの」というニュアンスをもって導入された。
- ・ しかし、文献を調べると、米国における構造物の破壊事例の約60%は、橋脚への船の衝突など、「偶発作用」に分類せざるを得ない原因で起こっている。
- ・ 文字通り、accidental actions = 事故的作用 と考えることも出来る。ロックシェッドへの落石、砂防ダムへの土石流、上記衝突、飛来物、爆発など、この分類にあてはまるのではないか。
- ・ 火災など、大数の法則が適用出来るような場合もあるが、基本的にはデータが手元がないのが前提で、「稀」であるかどうかも含め、頻度についての議論は成り立ちそうにない。
- ・ 落石や爆発などは、「確率」や「頻度」は抜きにして、現地の状況を勘案して「シナリオ」を提示して決めることになる。そのシナリオに説得力がある (極端に非現実的でない) ことだけが求められる。
- ・ 「設計の基本」と ISO2394 の文言の違いの背景には、地震作用への対処の思想の有無が存在する。ISO では地震への具体的言及は ISO3010 に委ねている部分も大きいし、ISO/TC98 の思想が基本的に変動作用対処を中心としていて、偶発作用には重きを置いていない印象がある。
- ・ 「設計の基本」においては、耐震性能マトリクスにおける終局限界状態の照査のところでも、極大地震に対して「変動」「偶発」両様の扱いをすることが可能である扱いになっている。
- ・ 東海・東南海地震を想定すれば、想定すべき地震作用は確率的に小さいものとはいえず、変動作用のみを作用の軸に記述する性能マトリクスの扱いであると、現実的に基本概念との不整合を生じてしまう。地震作用の「シナリオ化」(決定論的扱い)も、前述の落石や爆発など同様のニュアンスでとらえることには、そう不自然さはないのではないか。

- 極大地震についての委員間の見解の対立点：
 - 議論 「データがない」だけで、本質的にはランダム事象であるとも考えられる。その部分を割切って、単純に偶発作用と分類していいかという疑問である
 - 内陸地震は偶発とせざるを得ないとしても、海溝型、特に東海地震などについては、比較的過去の履歴データは充実しているので、変動作用として整理することが可能である。
 - 議論 「データがない」ことは、かなり本質的である。
 - 折衷案 この分類の議論は、荷重組合せのところの意味をもって来るが、仮に変動作用と認識していたとしても、長い再現期間のものには、実質的には偶発作用的扱いをせざるを得ないから、実務的には割切って扱うのでいいのではないか。
- 双方の主張に大きな隔たりがあるわけではない。偶発作用の中に「純然たる事故、シナリオ的に扱わざるを得ない」グループと、「隠された変動性、確率モデルを有する」グループ（地震）があって、後者をどういう扱いにするか、というところで分かれていると理解される。
- 政府の地震調査研究推進本部では、主要 98 活断層の評価を順次進めている。可能な限り各断層で予想される極大地震の長期確率評価も試みているものの、内陸活断層にはその評価が困難なものも少なくないのが現状である。
- ただし当小委員会の議論と平行して確率評価は着実に進行しているので、その状況の推移の如何により、この議論のニュアンスも変化しうるものである。確率評価が社会的に公開される情勢では、当然設計体系もそれを反映させ、説明責任を果たす努力をしなければならない
- 「実質的には偶発作用的扱いをせざるを得ない」ことには、ほぼ一致をみていると思われるが、最初に「偶発」と解釈を固定してしまっただけで、その理解が一人歩きすることは、学問体系として適切ではないのではないか。「本質的には『変動』だが、当面偶発としての扱いをする」というスタート地点がいいのではないか
- ということで、第 編各論の「地震作用」では、設計法に関する最先端の議論を踏まえつつ、「偶発」「変動」についても、そこでの立場を尊重していくこととした。
- 一方、委員会の検討期間内に、Eurocode1 における偶発作用の扱い論じた資料が得られたので、これについて検討した。資料ならびに得られた情報では、
 - 「低い生起確率」= 供用期間中に 10^{-4} 以下が目安、かつ影響が大きく、持続時間が短いものである。
 - 火災・爆発・地新・衝突・洪水・雪崩・地すべりなどが含まれる。さらに原因が明確でない部材の劣化、・ヒューマンエラー・不適切な使用・強い作用への曝露・機械の故障・テロ攻撃なども考えられる。
 - 想定されたもの（identified）と想定されないもの（un identified）に区分。前者には伝統的な信頼性解析の枠組が、後者には構造物の強靱性（robustness）の要求などが考慮される。
 - 対策としては「リスクの低減」と「被害の低減」のそれぞれの範疇に属するものがあるが、すべての偶発作用に対処する方法はない。作用に対して不釣合いに大きな被害を招かないことが肝要（これが強靱性）。構造物の冗長性や非線形性が大きな役割。

- これに対する議論

既存国際標準の尊重ということもあり，基本的にはこの整理に沿って論じるのがよいと考えられる．

「低い生起確率」= 供用期間中に 10^{-4} 以下というのは，あまりこだわる必要はないと思われる．（地震に対して行った議論も重要）．基本的には，「生起確率はよくわからない」「もしかしたら大きいかもしれない」ものであろう．後半の「影響が大きく，また持続時間が短い作用」というのは妥当なくくりと思われる．

基本的には，「信頼性の枠組みにのせず」「構造強靭性を要求する」ことを念頭においてきて，「想定されたもの(identified)と，想定されないもの(unidentified)」の議論はしてこなかった．よって，当委員会の議論は後者である．衝突作用を前者に挙げていることをどう考えるか．

ただ，社会的には「爆発」「衝突」など，大きな偶発作用に対処することを主目的に建設される構造物も存在する．これらに対しては「想定されたもの(identified)」と考えざるを得ないし，そこへの信頼性概念の適用，説明性の確保をどうするかは，今後の課題の一つである．

- 一方で，「土木・建築にかかる設計の基本」でも，「構造強靭性への要求」は，解説に一部触れられているに過ぎず，わが国の設計の「要求性能」としての注意喚起は十分ではない．

- ・ 性能設計への流れの中で、「お仕着せの設計荷重（作用）に対する安全性の照査」から、「信頼性的視点・設計条件への説明責任」という視点への認知度は高まってきた。これにさらに経済的合理性（LCC，費用便益分析，アセットマネジメントなども含む）の視点を加えることも説得力をもってきているといえる。さらに，それに加えて「危機管理的視点」もあってよく，それは今後強調されるべきではないか。
- ・ すなわち，「不測の事態への備え」と，それを具体的に条件設定するための「偶発作用」の枠組である。
- ・ 「土木・建築にかかる設計の基本」での，「確率統計的手法による予測は困難であるが社会的に無視できない作用」という表現には，「行政規格として責任の所在を明確にせよ」というニュアンスが込められている。一般的に性能設計における説明責任のニュアンスとして，この指針の思想とも馴染むものと思われる。