

防災技術の現状と今後の展望

若林 修*

1. 災害と防災

災害は、地球の生理現象である。地球もクシャミもすれば、年齢に応じた変化も繰り返す。地表面の話をするれば、造山活動があり、隆起・沈降を繰り返す中、険しい山々は、次第に風水によって角が取れ、丸みを帯び、落ち着くように落ち着いていく。人間の経年変化と酷似している。岩盤崩落や落石は、地球の表面のリラクセーションであり、物が上から下へ落ちるように、川が上流から下流に流れるように、極自然な現象である。災害には、火災や原子炉破壊による被爆等の人的災害もあるが、人間が起こした多くの人への迷惑であり、それらは人為的公害と考え、ここでは除外して話を進める。

人類は今や大きなエネルギーを制御できる能力をもっている。しかし、父なる太陽、母なる地球のエネルギーを前にしては、比較の対象にさえならない。おごることなかれ、すくむことなかれ。相手を知り、己を知らなければ、的確な手は打てない。

人間に都合が悪い地球の生理現象を防ぐことが、防災である。生理現象の発生を抑えることは、地球にとって極々小さな話であれば、少しの間はかなえてもらえるが、それでも大変な費用がかかる。

発生は仕方がないとなると、逃げるか、または立ち向かうしかない。この立ち向かい方が問題である。相手の力は強大であり、時にはこちらの予想を遙かに超えることすら、平気でやってのける。とてもまともに喧嘩できる話ではない。落石や雪崩を例にとれば、怒りを少しは鎮めてもらうか(減勢工)、我々に影響の少ない所を通過いただく(誘導工)ことが望ましい。やむなく受け止める(防護工)場合でも、なるべく勢いの弱まった所で対処するか、クッション等で間接的に受け止める等の工夫が必要となる。

防災で何をやるにしても、都合の悪いことをやたら敵視するのではなく、その存在を素直に認めて、何とか仲良く暮らしていけないか、と協調する姿勢がなければ、やってはいけない。「自然は気まぐれ、でも仲良くしたい」の思いがここにある。人間界でも共通した話ではないか。

人間社会のニーズは、時々刻々と変化する。江戸時代の土木技術は体制維持のためにあり、基幹産業の農業に関する開拓、河川、灌漑技術や築城技術がそれにあたる。それで事足りていた。災害に対しては、神仏に祈るしかなく、それに当たれば、運が悪いとあきらめた。一般人の安全にまで、土木技術は行き渡っていなかったのである。

近代に入っては、国道が整備され、高速道路もでき、新幹線が運行された。一般人に対する安全の確保も、国を挙

げて取り組まれている。道路ができた当時は、便利に、速く通行できること自体に驚嘆の声を上げ、安全確保のために道路が閉鎖されても、仕方がないとあきらめられた。

時代は変わり、今や飽食、物余りの時代である。情報化、スピード化が激しく進む中で、この先の必要とされる安全の水準も、ますます高まっていくだろう。「雨が降ろうが、槍が降ろうが、道路はいつでも速く走りたい。危険と背中合わせの絶景地であろうが、人里離れた豪雪地であろうが、どこでも安全に走りたい」、そんな声が、そこまで聞こえてくる。

わが国の国土は、狭く急峻である。ほとんどが山間地と言ってよく、残されたわずかな生活の場に、人が、車が、うごめいている。災害を回避したくても、逃げ場はそう多くない。安全が強く求められる次世代に、自然の生理現象と協調できる防災技術の果たすべき役割は、決して小さくはない。

2. 現状の防災技術

防災の対象としては、落石、土砂・岩盤崩落、雪崩、洪水、干ばつ、地震、噴火、津波等があるが、ここでは落石と雪崩を対象を絞って話を進める。

2.1 他分野の状況

人間が月に行ってから久しい。最近では、DNAを切り貼りするばかりか、クローン生命の誕生まで手掛けている。なのにこちらは、石がどのように転がり落ちて、構造物にどう影響するのか、に頭を抱えている。残念ながら、防災の研究は途についたばかりと言ってよく、解決すべき難題を数多く抱えている。

防災構造物には、落石防護対策用の覆工であるロックシェッド(写真-1)、雪崩防護対策用の覆工であるスノーシェッド(写真-2)、吹雪・吹溜まり対策用の覆工であるスノーシェルター(写真-3)、雪崩発生源対策用の柵工である雪崩予防柵(写真-4)、落石防護対策用の柵工である落石防護柵(写真-5)などがある。その代表例であるシェッドを語る際には、よく橋梁が引合いに出される。シェッドの主梁と、橋梁の橋桁は、見掛けがよく似ているからである。しかし、内実は大きく異なっている。

橋を設計するのに、いちいち荷重条件を調査する人はいない。橋の荷重は、そもそも人間が作った車両や人間自身の体重であり、積み荷の程度の差こそあれ、ほぼ確定できる。交通量も別途調査が定期的に行われており、それもほぼ確定できる。

橋の荷重で、少し厄介なのは地震であるが、地震エネルギーの上限はおおむね設定されており、その応答について

* Osamu WAKABAYASHI: 日本サミコン(株) 技術部長



写真-1 ロックシェッドの例

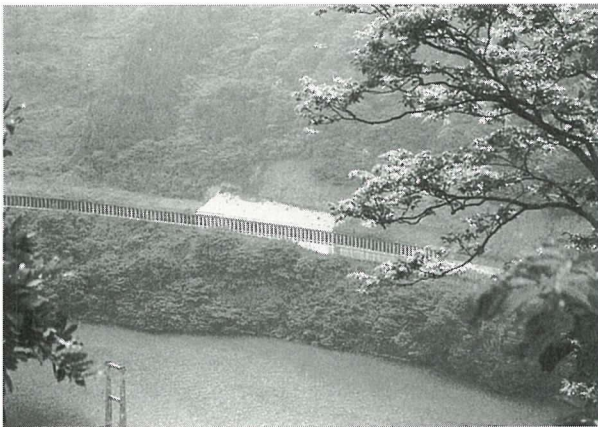


写真-2 スノーシェッドの例

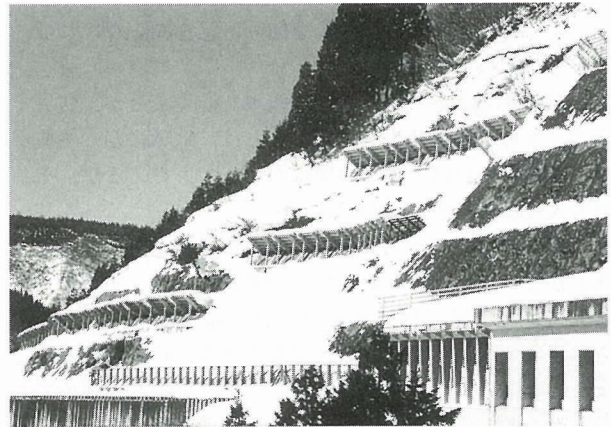


写真-4 雪崩予防柵の例



写真-3 スノーシェルターの例

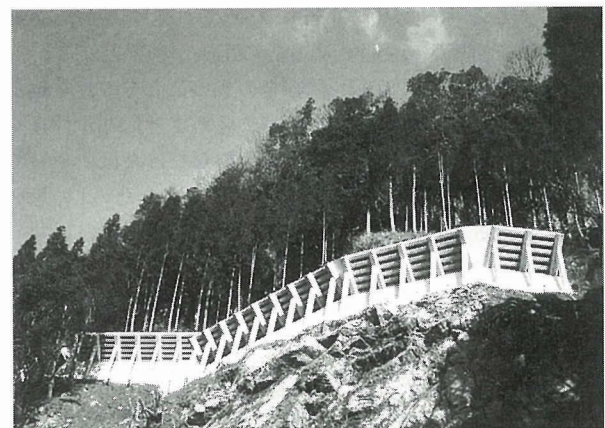


写真-5 落石防護柵の例

も、数値的に求めることができる。
橋の構造設計についても、よく頻発する荷重に対しては

この方法、まれに起こるが影響が大きい大地震については
あの方法というように、すでに個々の設計法が道路橋示方

書等で明示されており、とくに悩む必要はない。

また、橋はポピュラーな構造物であり、世界中に研究者は多く、過去の研究財産も多い。

2.2 防災技術の特徴

防災技術を語るうえで、荷重対象の数値的把握と衝撃問題の解明は不可避である。この2点が、橋梁と大きく異なる点であり、難問題を抱える防災技術の特殊性や、実験等による基礎的研究を回避でき得ない事情を、ご理解いただきたい。

ここでは、分かりやすい例として、荷重の対象を落石と考えて説明を続ける。

(1) 設計の対象となる落石予備物質の調査

どの斜面がどの程度安全であるかという斜面全体に対する評価手法は、いくつかの定量的手法がすでに提案されており、現場で運用されている。

しかし、構造物を計画、設計するには、斜面全体の安全度評価情報だけでは事足りない。当然ながら安全が脅かされるその斜面で、どんな大きさの石が、どこの位置にあるのかを、個々に調べなければならない。人工産物の車両と違って、石の姿、形には大小際限がなく、その斜面ごとに異なった顔をもつ。

結局、構造物を設計するのに一回一回対象斜面の調査を行わねばならず、これを削減、または軽視すれば、設計の結果を削減、軽視することとなり、せっかくの投資が台無しとなりかねない。

設計に直結する斜面の調査手法については、いくつかの提案があるが、現時点では一般的な統一手法とはなっていない。

(2) 落石衝撃の力、エネルギーへの数値化

前項の調査で、設計の対象となる落石予備物質が特定できたと仮定する。ただし、対象が特定できたとしても、構造物に与える影響度合いが特定できたわけではない。

落石を対象とする場合、構造物に直接落石をぶつけては大変なので、ほとんどの場合、砂等を用いたクッション材を構造物に敷設している。クッションは、その効果自体は無論有効であるが、構造物に与える力、エネルギーを知るうえでは、問題をより複雑にしている。

落石衝撃が構造物に与える影響度合の指標の一つとして、力がある。橋梁では、車両等を静的な力に置き換えて設計しているが、落石対策用のロックシェッドでは、落石の載荷速度が大きいため、本来は、動的な衝撃力として設計しなければならない。慣性力や微小時間の影響度合いも考慮する必要がある。落石が自由落下するときは、クッション材の表面に到達するまでは何の問題もないが、クッション材の中を力がどのように伝達し、構造物にどの程度、どの範囲に伝わるのかについては、クッションの材質、厚さや落石の形状等によって異なり、諸説があるところである。また、落石が自由落下せず、斜面を転石するときは、どの程度減衰されて、クッション材のどの位置に到達するかが、新たな問題となる。

落石衝撃のもう一つの指標として、エネルギーがある。落石が自由落下するときは、クッション材表面に到達する直前のエネルギーは容易に把握できるが、クッション材でどの程度吸収されるか、また構造物を支持する地盤、ほか

でどの程度吸収されるのか、数値的評価がまだ難しい状態にある。また、斜面を転石するときは、力の問題と同様に、新たな難問を抱えることとなる。エネルギー評価ができなければ、構造物のじん性の評価はできない。

(3) 構造物の挙動

対象とする落石予備物質が特定でき、かつ構造物に与える衝撃作用が力として、またエネルギーとして数値的に把握できたと仮定する。

曲げモーメント、せん断力、軸力といった発生断面力については、動的応答を考慮し、破壊や許容応力度といった応力レベルの照査については、ひずみ速度効果(構造物のひずみ変化速度が一定以上大きくなった場合、材料の応力-ひずみ関係、強度等が変化する現象)等を考慮しなければならない。

これらの挙動は、次第に解明されつつあるが、重錘落下実験等で検証する場合、先に述べたクッション材の影響が混在してしまうので、一層厄介となっている。

2.3 研究の概況

防災技術の研究は、荷重関連の研究と構造関連の研究に大別できる。どちらも、国内外を問わず、研究者は少なく、日も浅く、研究財産も少ない。

荷重関連の研究について説明を続ける。雪崩の場合、基本はスイスの研究成果によるところが多い。国内の実験的研究としては、昭和35年から43年にかけて、建設省土木研究所(以後、土研と略す)等が数回の人工雪崩実験を行っている。現在、一横断面に対する雪崩の速度はそれなりに推定できる状況にあるが、全体ボリュームとしての評価方法は確立されていないようである。最近では、長岡技術科学大学、金沢大学等で、雪崩のシミュレーションの研究が行われている。

落石荷重関連については、主にクッション材の研究が近年盛んに行われている。土研、北海道開発局・土木研究所(以後、開土研と略す)、室蘭工業大学、金沢大学、各民間研究機関等で、敷砂、三層構造(砂+コンクリート版+発泡スチロール)、発泡スチロール単層、および砂との互層の実験的研究が進められている。

構造関連については、土研、開土研等の国の研究機関、北海道、室蘭工業、防衛、早稲田、山梨、名古屋、金沢、大阪市立、広島、山口、九州等の各大学、および各民間研究機関等で、コンクリート構造や鋼構造を対象として衝撃問題の研究が行われている。

土木学会でも「衝撃問題研究小委員会」が設置され、落石問題も取り上げられている。委員会では、同一サンプルによる実験と解析を行うベンチマークテストを実施し、ロックシェッドの将来設計の提案にも取り組んでいるようである。

プレストレスト・コンクリート建設業協会では、平成5年より土研と共同で研究活動を行っており、じん性の改善や構造系のあり方などを、縮小サイズによる全体構造モデル、および実大サイズによる部分構造モデルの供試体を用いて実験的研究を行っている。

実験的研究の手法は、縮小モデルによる方法と、実大モデルによる方法に大別できる。前者は、相似性の確保等に難点があるが、一つの実験に要する費用は比較的安価で

すむ。後者は、モデルそのものが実物であり、現象の近似は比較的容易であるが、実験設備は大掛かりとなり、一つの実験に要する費用も高価となる。

2.4 現状の設計手法

防災構造物を設計するにあたり、道路橋のような基準となる専用の示方書体系は、いまだ整備されていない。道路に対しては、落石対策便覧、道路防雪便覧が発刊されているが、それらも基本的には、道路橋示方書を準用しているのが現状である。

設計を行うには、設計条件を設定しなければならない。設計条件の設定は、設計の冒頭や設計途中段階で行われているが、その多くは、現在までの技術的研究成果を踏まえた数値を拠り所としているが、雪崩防護擁壁の壁高設定等、一部のものは、経験的目安値が用いられている。

構造物本体の設計については、落石防止ネット類はエネルギーによる照査を行っているが、スノーシェッド、ロックシェッド等その他ほとんどの構造物は、力に対して照査が行われている。力の照査は、衝撃を静荷重に置き換え、許容応力度法により安全度の確認が行われている。したがって、シェッドの現設計では、じん性の改善を反映する手法がなく、衝撃問題としての力の評価も十分に行われているとは言い難い。

3. 今後の展望

3.1 設計方法について

本来、設計とは、起こりうる諸現象を近似的に予測し、ばらつきのある各設定要素に必要な安全率を考慮し、要求される機能を必要最低限の安全度で満たす構造物を創作する行為である。

防災構造物については、先にも述べたとおり、調査、設計の各段階で確定が難しい要素が多く、総じて安全側の構造物となっている例が多い。シェッドがその代表例である。

現場では、「設計はともかくとして、ほんとうはどこまでもつのか」を問う声は多い。設計と現実とのギャップが大きいことの現れである。コスト縮減の中で路線に投資できる費用も限られている。安全側の設計であれば、すべてが許される状況にはない。

上記一連の状況に鑑み、防災構造物の設計に適した方法を推察すれば、以下のとおりとなる。

① 性能照査型設計の導入

② エネルギーと力の2要素による照査

防災構造物が果たすべき機能は、特殊である。シェッドでは、いざとなった場合の生存空間の確保が最大の使命であり、橋梁等の一般構造物とは大きく異なる。要求される性能が明確になれば、何をどこまで用意すればよいかもはっきりし、具体的な目標が定まる。また、仮に構造に不必要な部分があれば、その判別もしやすくなる。性能照査型設計のメリットを最も多く発揮できる構造物の一つに防災構造物があると思われる。

一般に衝撃力を受ける防災構造物は、曲げじん性に富んだものが好ましいと言われている。変形量が大きければ、構造物としてのエネルギー吸収能力が高まるからである。

しかし、構造物が変形するには、その前提として力を伝えなければならない。途中で折れたり、切れたりしては、話が成り立たない。エネルギーによる評価は必要であるが、同時に、せん断等に対する力の照査も必要となる。ちなみに、ロックシェッドでは、全エネルギーの大部分がクッション材等で吸収され、構造物が負担する分は小さいと考えられている。

3.2 製品納入業者に求められること

防災構造物をプレキャスト製品として工場製作する業者に、今後求められると思われる事項には、以下のものが考えられる。

① 構造物が保証できる限界能力(荷重, 耐力, エネルギー, ほか)の明示

② 必要機能の限界までシェイプアップした本体構造の提供

防災事業に携わる技術者として、構造物をできるだけ安全にして提供したいと願う気持ちは大切であるが、どんなものにも大丈夫な構造物を作れるはずはなく、企業の責任の名のもとに、保証できる機能限界値を明示することは、この先とくに必要となってくる。

世の中は、世界的な経済不況にさらされている。公共構造物と言えども、当然ながら資金には限界があり、無駄は許されない。まずスタンダードタイプを用意しよう、それからそれぞれの現場で必要とされる個々の付加機能に対して、いろいろなオプションを用意しようという話である。一昔前の話であるが、アメリカの道路管理者が嘆いた話を思い出す。「道路は十分に整備されていない。でも、そんな金をいったい誰が出すのか!」。「あった方がよい」的な部分があれば、次第に淘汰されていくのではなからうか。

3.3 PC防災技術者に求められる姿勢

「我々は、PC上部工屋である。下部、基礎の話はコンサルタントの話であり、我々は関知しない」。

確かに我々は、PC上部工の専門屋である。しかし、それは我々側の論理であって、顧客側の論理ではない。顧客は、構造物全体としての信頼性を語りたいのであり、極端に言えば、どこが上部工であっても構わない。

テレビを買うのに、ブラウン管の説明ばかりであり、テレビ全体としては知らないと言われれば、どう思うだろうか。何も、コンサルタントの仕事までやろうと言っているわけではない。専門である上部工はもちろん、下部、基礎工との関連や、構造物全体としての評価を語れなければ、顧客の相談相手にはなれない。

防災に関しては、とくにこの影響は大きく、下部、基礎工のみならず、時には調査、維持管理に至る分野にまで踏み込む必要が出てくる。各分野で手法がいまだ明確には確立されていないので、各分野の評価結果が他分野に大きな影響を与えるのは、当然の帰結である。

防災事業に勤しむこれからのPC技術者には、荷重や構造といった専門能力のほかに、下部・基礎工を含んだ構造物全体としての評価や、調査・維持管理を包含した総合的判断を積極的に行おうとする姿勢が必要に思える。

【1998年10月9日受付】