

新たな想定に対処した道内防災基盤の確立に向けて

昨年11月19日、札幌市のかでる2・7で北海道産学官研究フォーラムと北海道GIS・GPS研究会の主催する防災・減災対策空間情報活用セミナー「新たな想定に対処した道内防災基盤の確立に向けて」が開催されました。

セミナーでは、北海道大学大学院工学研究院都市防災学研究室岡田成幸教授の基調講演「地震防災にみる情報把握と北海道の減災対策」、パネルディスカッションのパネラーの講演—北海道開発局建設部道路維持課原久弥道路保全対策官の「道路管理における防災と地理空間情報の活用」、北海道開発局建設部河川管理課時岡真治河川情報管理官の「河川管理における防災と地理空間情報の活用」、国土院永山透北海道地方測量部長の「基盤地図・電子国土Webによる防災情報提供と情報共有」の後、北海道大学大学院文学研究科橋本雄一教授をコーディネーターとしてパネルディスカッションが行われました。

ここでは、北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会委員であり、同専門委員会に設置された「地震防災対策における減災目標策定ワーキンググループ」座長である岡田成幸教授の講演内容を紹介します。

基調講演

地震防災にみる情報把握と北海道の減災対策 防災の考え方



岡田 成幸 氏
北海道大学大学院工学研究院建築都市空間デザイン部門都市防災学研究室教授

防災とは、リスクを制御・管理することです。では、リスクとは何かというと、「望ましくない事象の不確実さの程度及びその結果の大きさの程度」をいいます。日本語では危険度と言いますが、その事象の発生頻度×影響程度になります。つまり、

リスクとは単位時間当たりの損失レベルと定義されます。地震の場合、東日本大震災の場合1,000年に1回という発生頻度になり、発生頻度はゼロに近くなり、リスクは小さくなりますが、無視できるかというところはいきません。リスクというのは起こる前の危険度を扱うので、起こってしまったからは危機という言葉になります。危機管理（Crisis Management）には、発生頻度という言葉は入ってきません。起こったものに対してどう対処していくかということになります。災害が起こる前をリスク管理、災害が起こった後を危機管理といいます。

リスクマネジメントでは、発生確率を縦軸、被害規模を横軸にとりますが、発生確率や被害規模を小さくすることを減災といいます。減災には、被害規模を小さくする「リスク軽減」と発生確率を下げる「リスク予防」の二つのやり方があります。発生確率が小さく被害規模が大きい災害は、市場経済に乗ってきません。そこで、こうしたものはリスク転嫁して、金銭による補償に切り替える（保険）という考えになります。

リスクコントロールには、①リスク回避（例えば遷都）、②発生の確率を抑えるリスク予防（防潮堤や建物の耐震化）、③損傷の程度を下げるリスク軽減（防火帯、避難場所の準備）の三つがあり、リスクファイナンスには、①リスク転嫁（保険）と②リスク保有（事前復旧計画、災害準備金積立）の二つがあります。

災害においては、発災対応型の事前準備が発災時の危機管理の巧拙を決定してしまいます。例えば、ダムなどは大雨が降ると減災になるのですが、降らないと無駄と言われてしまいます。確率の考え方によって無駄なことをやったのか、それとも先見の明を持って対策を取ったのかということを決めてしまうので、防災リーダーにはリスクに対する哲学が求められます。

時間軸についてももう少し詳しく見ていきます。災害が発生する前は「事前対策 (Risk management)」で、起こった後は「事後対策 (Crisis management)」になりますが、災害時の緊急地震速報などの「最中対応 (Real time management)」もあります。事前対策には予防型と軽減型があり、事後対策 (危機管理) も緊急対策と救援 (物資や人を送り込む) や復旧や復興があります。復興は、より良い状態にしていこうとするものです。復興予防型というのは、公共投資 (ハード型対策) に相当し、災害に対する抵抗力を高める対策ということになります。発災対応から復旧に至る過程で元の状態にいかに戻すか (回復力) は、ソフト型の対策になります。

私は、防災の三思考軸として、時間軸、因果軸、主導レベル軸で考えていくことが必要だと思います。そして、災害の局面では、個人ベース、世帯ベース、コミュニティベース、行政ベースがありますが、個人においては生命を守る自助、いったん災害が落ち着いてからの救助などの共助、さらに復旧、復興という公助があります。この三つで防災の流れが出来上がっているのです。

次に、地震の原因について考えてみます。地震というのは、断層ができて、そこから波が出て、柔らかい地表面で増幅されて地面を大きく動かします。地面を大きく動かすところをハザードといいます。地震動 (震度分布) は、断層に関する項目、波が伝播する (アテニュレーション) 項目、地盤増幅 (グランドアンプリケーション) 項目の三つが重なってハザードを形成しています。地震の揺れを抑えるためには、このうちのどれかを小さくすればいいわけです。さらに、この上

に人が作った建物や施設、地域、国があるわけですが、そうしたものの地震に対する弱さをバルナロビリティ (Vulnerability) といいます。この分布も問題となってきます。こうしたものが損傷程度を決めるのです。こうして分解すると、どこを頑張れば災害が小さくなるかが見えてくるのです。

この中で地盤増幅の部分は、建築や土木工学が担当します。ここは液状化対策や土を入れ替える、人口地盤にするという基礎の部分になります。

次に、バルナロビリティ (もののぜい弱さ) の部分は、建物を耐震化するという建築工学の仕事になります。次に、ポピュレーションは人口や建物の分布になりますが、これも都市工学になりますから建築工学の分野になります。ハザードは制御不能となります。ただし、断層を想定することで、ハザードの予測ができます。これをハザードマップと言いますが、地震対策に使われています。また、直前予測として緊急地震速報を配信できるようになりました。制御ではないのですが、大きな波が来る前に逃げる、システムを止めるということに使えます。このように因果関係を見ることによって、どの分野にどういう人が関わっているかを知ることが出来ます。建築はバルナロビリティとポピュレーションの分野を担当します。

建築工学からの災害制御の方法

私は、建築とは空間の創造であると講義では教えています。古代のローマ人はどのようにして紀元前に大空間を作り出したのでしょうか。当時の建築材料は石でしたが、その重力との戦いが建築工学の主テーマでした。材料に加わる力 (応力) は、軸方向力、^{せん断}剪断力、曲げモーメントの三つの力になりますので、それに耐える必要があります。石は圧縮強度だけは非常に強いのですが、この圧縮力のみで耐える構造が模索されました。例えば、アーチ構造ですが、これも圧縮力しかかかっていないので重さに耐えられるのですが、このアーチを連続させて (ヴォールト) いるのが、ローマ時代から引き継がれる教会建築物です。これを交差させるものを交差ヴォールトといいます。このアーチ構造にも問題点があります。足を広げると横方向に広

Seismic Risk (地震被害) の制御

Hazard = Seismicity × Attenuation × Ground Amplification

Damage Impact = Hazard × Vulnerability × Population

- 制御可能: Ground Amplification → 建築・土木工学
- 制御可能: Vulnerability, Population → 建築工学
- 制御不能: Hazard
- 事前評価: Seismicity → Hazard Map (地震想定)
- 直前予測: Attenuation → Nowcast (緊急地震速報)

がってしまう（スラスト）のです。これを処理するために控え壁（バットレス）、ピクナル（尖塔）、飛梁（フライングバットレス）などの構造が作られました。

ところが、日本の場合は地震の多発地域のため横方向の力が働きます。柱は地震が起こると剪断破壊によってバツテンに壊れます。これは軸線に沿って剪断力が発生し、破壊（滑り）の方向は圧縮（引張）軸の斜め方向に生じるためです。石は圧縮には強いのですが、剪断には弱いので瞬間的に壊れてしまいます。剪断破壊が起こるとどうなるかという、重量を支持できずに層破壊を起こして一気につぶれてしまいます。建物の場合、その階自体がなくなってしまうので、非常に危険です。建物を作る際には耐震的に強く作るか、柔らかくするか、すなわち、エネルギーを吸収する柔構造と力に対して力で守る剛構造のどちらかになります。大きい構造物になると壁ばかりで無駄が多いので、高い建物は長周期の柔構造の建物になります。木造の場合は、柔構造にするとお金がかかりすぎるので剛構造にします。それから、免震、制震という考え方もあります。波が建物に入ってくる前に逃がしてしまうのが免震構造で、エネルギーを違う方向に吸収するのが制震になります。耐震、免震、制震の三つの考え方があり、柔構造、剛構造は耐震の考え方になります。

鉄筋コンクリートは、引っ張りに弱いコンクリートと圧縮に弱い鉄筋を組み合わせたハイブリッド構造になっています。日本の場合は、アーチ構造でなく、柱があって梁があるラーメン構造が多いのです。また、壁構造というものがあります。耐震上は、壁構造の方が強いようです。よく見るのは、2階、3階を壁構造にして、1階部分をラーメン構造にしたものです。1階部分はお店や駐車場であったりします。壁部分は強いのですが、柱部分は変形してしまいます。ただ、津波の波がやってくると、壁でも簡単にひっくり返ってしまいます。波は逃すためにピロティ構造（1階がラーメン構造）の方がいいというのです。

建物の強さは、耐震診断値で評価されます。この値が1.0より大きいと安心できます。1.0未満は危ない建物に、0.5未満は危険な建物になります。日本の平均

は0.65で、半分は0.5以下の非常に危険な建物となっています。国としてはこれを耐震化しようということで、これが国の耐震戦略になっています。

国の防災戦略とその問題点

国の防災戦略は、災害に後付けする形で法律を整備していっています。1923年の関東大震災があつて翌年に耐震の規制がかけられました。48年の福井地震の後に建築基準法、59年の伊勢湾台風の後には災害対策基本法、68年の十勝沖地震の後78年に大規模地震対策特別措置法ができ、地震予知によってリスク回避を頑張りましょうということになりました。ところが、95年阪神淡路大震災が起こって、予知はできないということでリスク予防やリスク軽減を重視するように方向転換されます。予知は、地震の規模、起こる場所、発生の時間の三つがわかって「地震予知」と言いますが、地震学情報のみでは確実な予知は難しいと言えます。

災害	対策法規
1923年関東大震災	1924年市街地建築物法改正
1948年福井地震	1950年建築基準法
1959年伊勢湾台風	1961年災害対策基本法
1968年十勝沖地震	1971年大都市震災対策推進要綱
	1978年大規模地震対策特別措置法 (地震予知による防災対策：リスク回避)
1995年阪神淡路大震災	2003年東海地震対策大綱 (予知を否定し工学的減災対策： リスク予防+リスク軽減)

地震予知は難しいですが、地震想定はハード対策で耐震規定の目標値になります。地震発生後の避難対策で、何人がどこからやってくるのか、どうやってそれを想定するかは、どういう地震であるかによって決まってくるので、地震を想定してシナリオを作ることによってソフト的な対策に役立ちます。つまり、対策の目標像として、①被害の最大値を評価することによってハード対策を行い、②被害シナリオの想定によってソフト対策を行います。

北海道においては、31の地震を想定しています。地

震の被害想定をするためにはいろいろなパラメーターを決めていかななくてはなりませんから、193の地震動パターンを考えました。まず想定値（耐震基準）を考えて、そのX倍の強度の建物を作ります。それ以上の強い地震が来たら想定外となってしまいます。シナリオに関しても、空間分布、被害分布、時間連鎖、被害連鎖等について対応戦略を考えるのですが、違うパターンが発生したら想定外になります。次に、断層モデルの簡略化とそこから派生する問題点について考えます。断層のパラメーターが少し違うだけで、震度分布が大きく変わります。また、断層はモデル化が難しく、揺れの評価は確定できません。防災工学的な考えでは、さまざまな地震動パターンを考慮し、それぞれのパターンに対応することが重要になってきます。

札幌市においても想定直下地震を考えました。東西南北それぞれにおいて、また全域がやられるパターン、中央区だけがやられるパターンが出てきました。私の方では、それぞれに対してどのような対策が必要かを札幌市に対して提案しました。つまり、多重対策（予防型対策+発生対応型対策）が必要なのです。国は、例えば東海地震では2005～2014年の10年に人的被害軽減戦略として住宅の耐震化率を75%から90%にすることで、死者数を3,500人に半減するなどの具体的な目標を立てて取り組んでいます。その根拠となるのが、耐震改修促進法です。ただ、現状では非常に使いづらいものになっていますので、私どもは改正案を札幌市に提案しています。



次に、人的被害を算出するメカニズムについてです。現状における人的被害推定式はハザードマップをもとに被害率関数をかけて算出するのですが、現状の人的被害評価式（致死率関数）は単なる被害想定であり、保険医療からの要望に全く答えられていません。つまり、死者発生メカニズムが考慮されていないために、死者低減対策には使えません。当研究室では、負傷数予測モデルを作成することによって、救助行為や医療行為といった直後の医療関係の人的資源配分マネジメントに生かすことができるように配慮しています。

北海道防災会議で検討している地域性の問題

北海道は島として圧倒的に広く、人口密度が小さい（薄い）という特色があります。札幌圏に一極集中しているため、札幌がやられてしまうと大きく影響を受けてしまいます。産業構造上も第2種危険市町村といって、普段から情報を他都市に頼っていて、災害時には孤立する市町村が多いのです。首都圏などでは人口集中が問題になりますが、北海道の場合は過疎が問題になります。次に問題なのが、交通アクセスです。一般道は簡単に使えなくなるので、災害時に一番頼りになるのは高速道路ですが、ここがぜい弱です。東日本大震災でも後方支援型の被災自治体の対応が重要でした。北海道の場合は大きな災害の場合は道外に支援を頼らざるを得ないのですが、その場合でも30万人以上の市では専門的な業務支援が可能ですが、それ以下では支援開始も遅く十分な支援も期待できません。道内では札幌、旭川、函館だけです。被災地への陸路は途絶される可能性も大きく、港湾は液状化により使用不可能となる可能性も大きいのです。札幌圏が被災した場合、道外からの支援に頼らざるを得ませんが、その場合どうしたらいいかは今後考えていかななくてはならない問題です。交通アクセスの高規格化とネットワーク化の早期実現の必要性が大きいと言えます。

（北海道産学官研究フォーラム・北海道GIS・GPS研究会
事務局長:藤原達也）