

特集：強靱な国土の実現を目指した土木技術

地震に対するハード・ソフト両面からの強靱化技術

日下部毅明・運上茂樹

1. はじめに

地震への備えの基本として、ハード対策の重要性は常に高いが、東日本大震災を経験し、政府において南海トラフ巨大地震等への対策の方向性が検討された今、ハード対策だけで巨大地震に最適に備えることが出来ないことは既に常識と言える。

国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター（以下、国総研危機Cと略す）と独立行政法人土木研究所地震関係研究グループ（以下、土研地震関係Gと略す）では、密に情報共有しながら地震・耐震分野のハード面の対応とともに、地震発生時の対応力を高めるソフト面の研究も実施している。本報文では国総研危機Cと土研地震関係Gが実施する、ハード・ソフト両面から地震に対し強靱化に貢献する技術について、全体的な研究の方向性および体系を示す。その上で、最新の状況として、この中からいくつかの重要課題について具体的内容を紹介する。

2. 研究の方向性

2.1 地震対策の方向性

内閣府「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」の報告では『最大クラスの津波に対しては、被害の最小化を主眼とする「減災」の考え方にに基づき、海岸保全施設等のハード対策と、ハザードマップ整備などの避難を中心とするソフト対策を組み合わせる実施』としている。「国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画中間とりまとめ」（平成25年8月22日）も内閣府が想定する最大規模の地震に対し、国土交通省の総力を挙げて取り組むべき対策として、応急活動計画と戦略的に推進する対策の2本立てとし、この方向性を鮮明に示している。昨今の国総研危機Cおよび土研地震関係Gにおける地震関係の研究もまた、この方向性を意識しハード・ソフト両面からの事前の効果的対策の実施、

ならびに発災後の対応を支援することに資する研究を重要視している。

2.2 研究の体系と強靱化への貢献

表-1に国総研危機Cおよび土研地震関係Gの主要な地震関係の研究テーマを総括する。これらの研究が地震に対する強靱さの向上にハード・ソフト両面からどのように貢献するか、研究カテゴリーと成果の関係を示したものが図-1である。

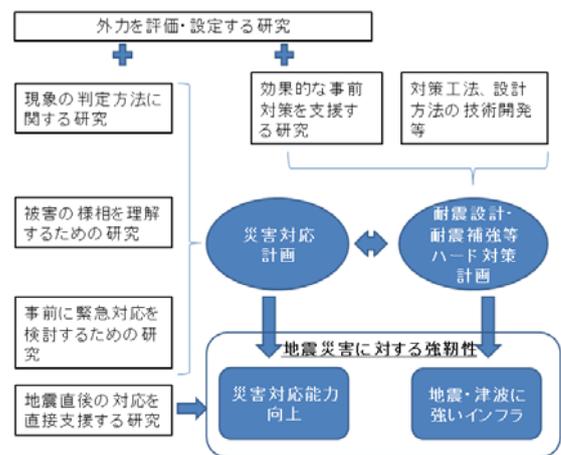


図-1 研究カテゴリーと成果の関係

災害に対し強靱性を高めるということは、ハードの脆弱性をできるだけ低減することと、災害対応の能力を高めることである。図-1に示した研究体系があれば、外力を評価し、その上で被害の様相の理解および施設等の被災可能性の評価ができる。これによって効果的な耐震対策の計画が立案され、適切な工法によって計画を実施でき、災害対応についても施設の対策レベルと今後の計画に応じて見直すことができる。さらに地震直後の対応も新しい技術によって改善される。このような形で研究成果が適切に活用されるよう、国総研危機Cおよび土研地震関係Gでは研究を進めている。

以上が国総研危機Cならびに土研地震関係Gが実施する研究のカテゴリーと関係の概観である。表-1の研究を全て紹介することはできないので、以下からは、話題性を踏まえていくつかの研究を拾い上げ、最新の状況について情報を提供する。

Technologies to improve resilience of the national land and society against earthquakes

表-1 国総研危機Cおよび土研地震関係Gの地震関係研究テーマ

研究の分類	研究テーマ名	研究の狙い	~H24	H25	H26	H27	
国総研危機C	外力を提供する研究	巨大地震に対する設計地震動の検討	設計地震動の改定必要性および改定案を提示する。				
		南海トラフ巨大地震の道路構造物被害想定に使用する地震動・津波に関する調査	道路構造物の耐震・耐波性評価に用いる地震動・津波特性を提示する。				
		道路橋に作用する津波外力の検討	設計に用いる津波作用を提示する。				
	被害の様相を理解するための研究	道路の地震後の通行可能性評価に関する調査	地震後の道路橋の通行障害を迅速・面的かつ遠隔に把握する手法の実用化				
		超過外力と複合的自然災害に対する危機管理に関する研究 注: 河川研究部と分担して実施	従来想定外とされてきたような低頻度激甚災害に対しても機能不全に陥らない靱性の高い危機管理方策と基幹防災施設の整備・管理のあり方を提案する。				
	事前に緊急対応を検討するための研究	大規模津波に対して減災を実現する道路管理に関する調査	道路管理における大規模津波に対する体制の整備				
		道路の啓開、復旧に関する調査	発災後の各道路の啓開、復旧の目標時間を明らかにする。				
効果的な事前対策を支援する研究	大規模地震に備えた効率的な事前対策に関する調査	道路被害の長期化を防ぎ、1日も早い生活・経済の復興を図る耐震対策の効果的実施					
地震直後の対応を直接支援する研究	大規模広域地震被害の即時推測技術に関する研究	地震直後に主に道路網の被害を推定し、意志決定に役立つ情報を提供する。					
土研地震関係G	現象の判定方法に関する研究	液状化判定法の高精度化に関する研究	液状化発生要因(地質・地形情報や細粒含有率等)を解明し、液状化判定法の高精度化を図る。				
		津波の影響を受ける橋の挙動と抵抗特性に関する研究	津波に対する橋の挙動メカニズムを明らかにし、津波の影響の軽減対策を提案する。				
	対策工法、設計方法の技術開発等	性能目標に応じた橋の地震時限界状態の設定法に関する研究	破壊特性を考慮した耐震主部材の抵抗特性の評価法を明らかにし、性能目標に応じた限界状態の設定法と評価法、応急復旧工法、耐震補強技術を提案する。				
		道路橋基礎の耐震性能評価手法の高度化に関する研究	橋梁基礎の地震時挙動を解明し、挙動の推定方法、限界状態の設定方法、耐震性能の評価手法を提案する。				
		山岳トンネルの耐震対策の選定手法に関する研究	耐震対策効果のメカニズムを解明し、耐震性能に応じた限界状態の設定法、耐震対策の選定手法を提案する。				
		地盤変状の影響を受ける道路橋の耐震安全対策技術に関する研究	地震時に不安定となりやすい地盤条件の判定手法、道路橋の耐震安全性評価手法を提案する。				
		降雨の影響を考慮した道路土工構造物の耐震設計・耐震補強技術に関する研究	道路土工構造物の地震時挙動に及ぼす降雨等の影響の解明し、耐震設計法、耐震補強法を提案する。				

3. 国総研危機Cの研究から

3.1 紹介する研究テーマ

ここでは、被害の様相を理解するための研究として「超過外力と複合的自然災害に対する危機管理」に関する研究を、地震直後の対応を直接支援する研究として「大規模広域地震被害の即時推測技術」に関する研究を紹介する。

3.2 超過外力と複合的自然災害に対する危機管理

想定外を無くすることは、東日本大震災後特に重要視されている。本研究は超過外力を含む災害の発生シナリオの構築手法と危機管理方策を提案しようとしている。研究成果は使い易いツールとして提供する。これによって超過外力・複合的自然現象を考慮した災害リスクを網羅的に抽出したシナリオが構築でき、リスクを確実に管理し、災害対応が継続的に改善されるようになる。

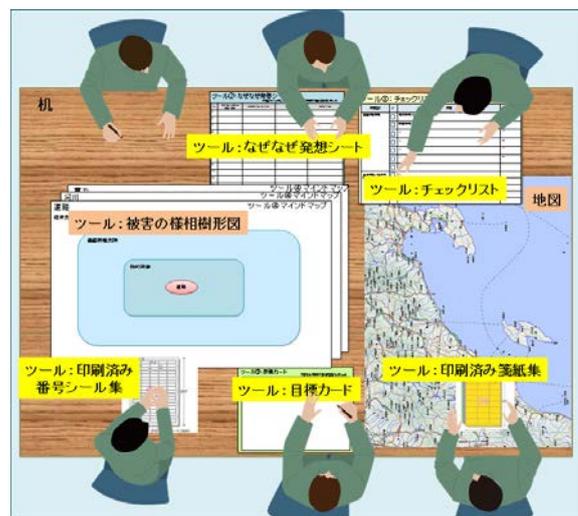


図-2 ツールを活用した検討状況のイメージ

図-2はツールを用いた検討状況のイメージである。検討は分野毎のグループで地図と被害様相の樹形図を用いたブレインストーミングと議論に

よって、考慮すべき被害と様相を網羅的に具体化する。ツールによって検討およびその経過・結果を記録する作業を効率化する。災害事例に基づき用意された、キーワード、チェックリストによって、質の高い結果とその活用を保証しようとしている。活用場面は、現場等において災害対策を検討する本格的な場面と、災害に対し理解を高め、防災対応力を高めるための演習場面となる。

3.3 大規模広域地震被害の即時推測技術

災害が巨大であるほど、状況に応じ迅速な意志決定をし、人・機材を適切に投入することが重要である。その一方で、被災状況の把握は難しくなる。本技術は地震発生後速やかに地震動分布を推定し、それに基づき土研地震関係Gの研究成果も活用し施設等被害を推定し、この情報を、災害対応のフェーズに応じ意志決定者等にとって有益な情報に加工し、適時に提供することを目標としている（図-3）。過年度までは地震動分布の評価方法および被災の推定方法の開発・改良が進められた。本年度は情報を適時に送るための改善および情報の提供内容を検討している。目下、利用者との対話によって完成度を高めようとしている。

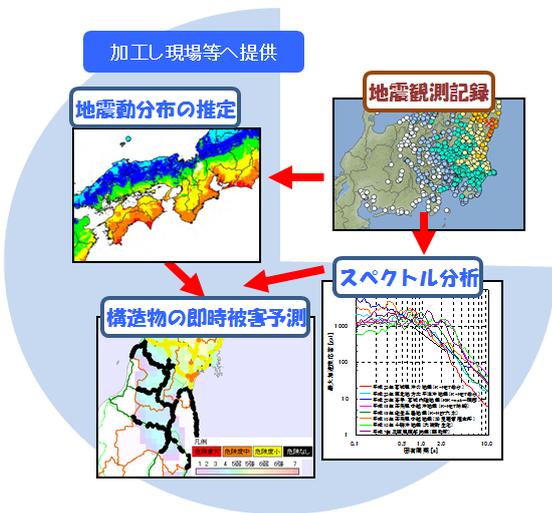


図-3 即時震害予測等の情報提供

4. 土研地震関係Gの研究から

4.1 プロジェクト研究「耐震性能を基盤とした多様な構造物の機能確保に関する研究」

本研究は、プロジェクト研究として実施しているものであり、図-4 に示すように種々の構造物から構成されるシステムとしての機能を確保す

るために、「耐震性能」を基盤とした耐震設計法・耐震補強法の開発を目的としている¹⁾。同時に、平成 23 年東日本大震災を含む近年の地震被害の特徴を踏まえ、早急な対応が求められている耐震技術の開発を行うものである。本研究では、対象とするインフラ構造物に対し、地震時挙動を解明するとともに、耐震性能に応じた耐震設計法の開発を行い、その成果を道路橋示方書を始めとする技術基準類の策定に提案し、現場の実務での活用を目指している。

表-1には、本研究で対象とする橋、土工、トンネル、ダムといったインフラ構造物のうち、道路構造物に関する課題について示している。これらの一連の研究の中で、ここでは、国総研危機Cと土研地震関係Gが、外力評価と構造設計法という観点で連携しながら実施している津波と液状化に関する研究について示す。

4.2 津波の影響軽減に対する取組み

東日本大震災では、津波による橋梁の被害が多数発生した。被害の中には、上部構造が完全に流出し、緊急輸送路としての機能を速やかに回復させることが難しかった事例も見られた。発生が予測されている南海トラフ巨大地震では大規模な津波の襲来の可能性が指摘されており、このような津波によって橋梁が受ける影響とその対策に関する研究が急務となっている。



図-4 道路システムとしての機能確保を目指す技術開発

本研究では、津波による上部構造の流出メカニズムを解明するとともに、津波に対する橋の抵抗特性の評価手法および主として既設橋を対象とした津波作用の軽減対策の開発を行っている。これまで、実橋梁の特徴を模した模型水路実験（図-

5) を行い、津波によって橋に作用する圧力や支承部の反力について検討を進めている。結果の一例を図-6に示すが、津波によって水平力のみならず、下流側の支承部に大きな上揚力が発生することを明らかにしている。これらのデータをもとに、津波の速度と橋梁部材に作用する圧力の関係を定量化し、影響の軽減方策の提案を行っていく予定である。実際の対策計画の立案においては、国総研危機Cが研究中の津波外力の評価手法が本研究と併せて活用される。



図-5 津波実験装置

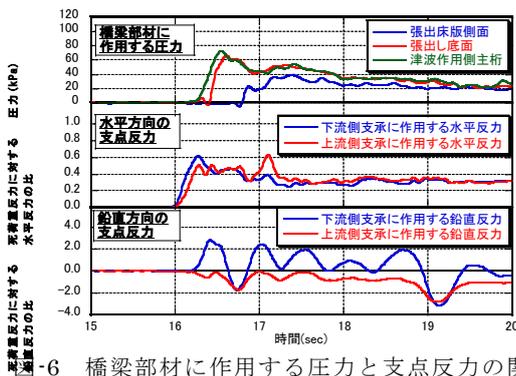


図-6 橋梁部材に作用する圧力と支点反力の関係

4.3 液状化に対する取組み

東日本大震災において発生した広域的かつ重大な液状化被害は社会的に大きな影響を及ぼした。これまで、液状化被害の調査・分析とともに、液状化の判定手法の検証等を行ってきた。図-7は現行の液状化判定法の精度を示したものである。

各ポイントは地震動強度と地盤条件が明らかな箇所を示し、推定式よりも上方の領域は液状化すると判定され、下方はしないと判定される領域である。これによれば、液状化の発生を見逃した事例はなかったが、噴砂等の液状化の痕跡が確認されないにもかかわらず液状化すると判定される箇所が数多く確認される。こうした事実を踏まえ、本研究では、液状化に対する各種構造物の耐震性能をより合理的に評価し、被害を受ける可能性の

高い構造物の的確な抽出に寄与すべく、液状化判定法の高精度化を目指している。地震動の継続時間の影響、細粒分の影響、造成年代の影響等の評価について、実測データの蓄積を図りながら検討を進めている。

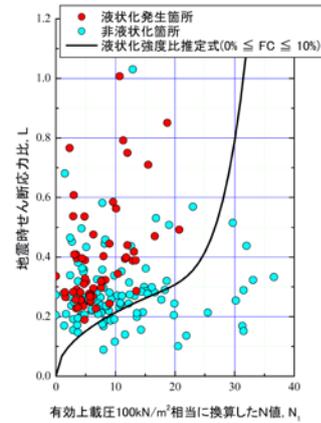


図-7 現行の液状化判定法の精度

5. まとめ

国総研危機Cおよび土研地震関係Gにおける地震に対するハード・ソフト両面からの強靱化技術について、研究動向を全般的に、そして代表例を個別に見た。各研究が整合性を持ちながら強靱化に貢献するよう、関係研究室、関係チームと適宜情報交換や研究方針に関する議論等を行うなどしつつ、更に現場との連携についても、より強めてゆきたい。

参考文献

- 1) 土木研究所：
http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/project/2012/project2012_03.html

日下部毅明



国土交通省国土技術政策
総合研究所危機管理技術
研究センター地震災害研
究官
Takaaki KUSAKABE

運上茂樹



(独)土木研究所構造物メン
テナンス研究センター耐震
研究監、博(工)
Dr. Shigeki Unjoh