

## 委員会報告 コンクリート構造物のリスクマネジメント研究委員会活動

山本 泰彦<sup>\*1</sup>・十河 茂幸<sup>\*2</sup>・牛島 栄<sup>\*3</sup>・加藤 佳孝<sup>\*4</sup>・野口 貴文<sup>\*5</sup>・庄司 学<sup>\*6</sup>

**要旨**：本研究委員会では、コンクリート構造に関わるリスクについて、経営管理手法の一つである「リスクマネジメント」の手法を導入することを検討した。すなわち、コンクリート構造物の計画から供用までの一連の建設のプロセスを対象として、それぞれの段階において考慮すべきリスク要因の特定と整理、各リスクに対する合理的または実用的な分析・評価の方法とリスク処理手段の検討などを行うとともに、構造物に対する体系的あるいは複合的リスク処理を行う方法についてもケーススタディーを中心とした検討を行い、これらの成果を報告書に取りまとめた。

**キーワード**：コンクリート構造物，リスクマネジメント，計画，契約，施工，維持管理

### 1. はじめに

コンクリート構造物に関わるリスクについては、工事中は施工者が、供用中は所有者や管理者がその責任を負うと一般的に考えられている。しかし、構造物の完成後に生じる各種の不具合、早期劣化、事故、社会的影響等については、構造物の計画・設計・施工とも密接に関連することが多いので、それらの状況や程度によっては工事関係者の責任も追求される。また、わが国では設計者が設計責任を問われる事例は少ないが、米国などでは設計に起因した事故等に対する行政処分や告発なども稀ではない。

近年は、コンクリート構造物の設計・施工に性能規定の考え方が徐々に導入されつつあり、発注も要求性能だけを指定する方式に移行させることが検討されている。このような性能規定あるいは性能発注が適用されると、設計や施工の自由度が広がりそれらの選択の幅も広がる反面、設計者や施工者には構造物に要求された性能を保証する責任が生じる。これは、構造物の

完成後における品質・性能に対する製造者責任が今日より一層明確になることを意味しており、コンクリート工事に関わる者にとっては、要求性能と経済性を勘案しながら製造者責任を果たすための方策の確立が重要な課題となると考えられる。

そこで、本委員会では金融分野を始めとする各分野におけるリスクマネジメントの適用の動向と実態に関する調査研究を行うとともに、調査結果を参考にしてコンクリート構造物を対象とするリスク処理手法の大枠の検討、コンクリート構造物のそれぞれの要求性能に対するリスク要因の特定、FTA (Fault Tree Analysis : 欠陥の木解析) などによるリスク要因の洗い出し等を行った。この他、可能な項目を対象としたリスク評価に関する多くのケーススタディー、わが国における構造物の発注・契約の現状と問題点に関する分析なども試み、これらの検討結果も含めた報告書を作成した。

コンクリート構造物のリスクマネジメントに

\*1 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 教授 Ph.D. 工博 (正会員)

\*2 (株)大林組 技術研究所 副所長 工博 (正会員)

\*3 青木あすなろ建設(株) 技術研究所 副所長 工博 (正会員)

\*4 東京大学 生産技術研究所都市基盤安全工学国際研究センター 講師 工博 (正会員)

\*5 東京大学 大学院工学系研究科建築学専攻 助教授 工博 (正会員)

\*6 筑波大学 大学院システム情報工学科構造エネルギー工学専攻 講師 工博 (正会員)

表-1.1 委員構成

委員長	山本 泰彦	筑波大学			
副委員長	十河 茂幸	大林組			
幹事長	牛島 栄	青木あすなろ建設			
幹事	加藤 佳孝	東京大学	野口 貴文	東京大学	
	庄司 学	筑波大学			
委員	上田 英明	青木あすなろ建設	高橋 雄司	建築研究所	
	上田 孝行	東京工業大学	富田 正浩	西松建設	
	大津 宏康	京都大学	中村 孝明	篠塚研究所	
	河野 広隆	土木研究所	萩原 淳司	りそな総合研究所	
	近藤 一平	イー・アール・エス	中村 敏治	大成建設	
	日下 彰宏	鹿島建設	水谷 守	モダンエンジニアリングアンドデザイン	
	副島 紀代	大林組	宮本 文穂	山口大学	
旧委員	佐々木義裕	鹿島建設	西垣 高史	りそな総合研究所	
	中村 隆憲	りそな総合研究所			
事務局	大野 一昭	日本コンクリート工学協会			(50音順)

関する研究は、耐震リスクに関するものを中心として、堵についたばかりであるのが現状である。本研究委員会の報告書には、計画から供用段階に至るすべての建設事業の執行過程における様々なリスクの考え方が整理されており、今後のこの分野における研究を活性化させる基礎資料と成り得るものと考えている。また、コンクリート構造物の建設などの実務においてリスクマネジメント手法の適用を考える際の参考にもなるであろうと考えられる。

本委員会の活動期間は2003年4月から2005年3月までの2年間であり、WG1（計画から発注までのリスクマネジメント、主査：加藤佳孝）、WG2（受注から竣工までのリスクマネジメント、主査：野口貴文）、WG3（供用・維持管理におけるリスクマネジメント、主査：庄司学）の3つのWGでの検討を中心とした活動を行った。

表-1.1に委員構成を示す。

## 2. 委員会報告書の概要

委員会報告書は全7章から構成されている。1章ではリスクマネジメントの概念をリスクの視点、リスク事象、情報の共有化の観点からまとめた。2章では、日本と米国の社会構造の違いにも触れながら、建設業におけるリスクの対象とリスク管理技術、コンクリート工事におけるリ

スクマネジメントの方法などについて概説した。3章では、リスクマネジメントにおけるリスクコミュニケーションの位置付けを示した。4章では、計画から発注までのリスクマネジメントに関し、公共事業と民間事業におけるリスク分析と評価、入札と契約のリスクと保険の現状、契約リスクの課題などについて示した。5章では、コンクリート構造物の受注後から竣工までのリスクを機能性能、安全、工期および環境に関わる4つのリスクに大別し、それらのリスク要因とケーススタディーを示した。6章では、供用・維持管理におけるリスクマネジメントに関して、社会基盤構造物と建築構造物の分野におけるそれぞれの研究例や評価事例をまとめ、ケーススタディーとして、地震リスクを想定した場合（集合住宅とコンクリート橋）と材料劣化を想定した場合を示した。

## 3. リスクマネジメント

### 3.1 情報の共有化の視点からの概念

リスクは将来の不確かな事象による不利益であるから、現時点で観測することはできない。また、対策による効果を見ることもできない。そこで、何らかのモデルやツールを使い、対策の効果を数値化して示すことが必要となる。これにより対策の妥当性や優劣を関係者間で共有

でき、意思決定をスムーズに進められ、より多くの理解を得ることができる。一方で、将来の時点で結果が判明した場合、対策による効果や結果を定量的に示しておけば、対策の妥当性を検証でき、また問題が発覚すれば、原因と責任を明確にすることが容易となる。これはリスクマネジメントの重要な視点であり、図-3.1に示すように、リスクの顕在化から課題の抽出・整理までを循環として捉え、次のステップに役立てることが重要である。これまでも主観的あるいは思考的な考察によってリスクマネジメントは行われてきたが、リスクを定量化し共有できる情報として管理することで、知の循環が形成されより効果的なマネジメントが可能になる。リスクマネジメントは、利害関係者の間で共有できる情報を合理的かつ客観的に評価し、円滑な意思疎通を助ける情報源としての役割も担う必要がある。

### 3.2 リスクコミュニケーション

リスクコミュニケーションは、「個人・機関・集団間での情報や意見のやりとりの相互作用過程」とであるとされる。この相互作用過程には、①リスクの性質についてのさまざまなメッセージ（リスク・メッセージ）、②リスク・メッセージまたはリスク管理のための法律や制度の整備などに関する、関心や意見および反応を表現するメッセージである。

リスクコミュニケーションを通して社会全体でリスクに関する情報を共有することで、リスク削減につながると考えることができる。その上で、リスクの削減を図ることが出来ないリスクについては社会全体として、リスクを監視していくことになる。リスクマネジメントにおけるリスクコミュニケーションの位置付けを図-3.2に示す。

## 4. 計画から発注までのリスクマネジメント

### 4.1 公共事業のリスク分析と評価

#### (1) 企画の重要性

ムダの典型とされる公共事業の真の問題は、

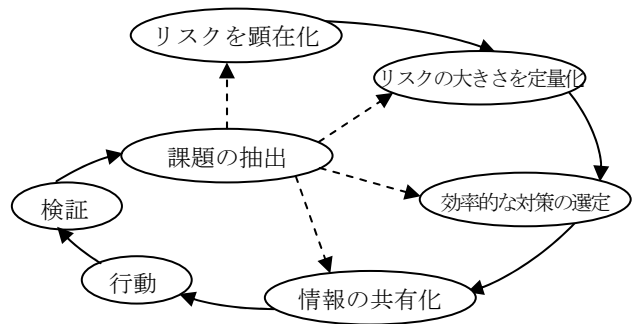


図-3.1 リスクマネジメントにおける情報と知の循環

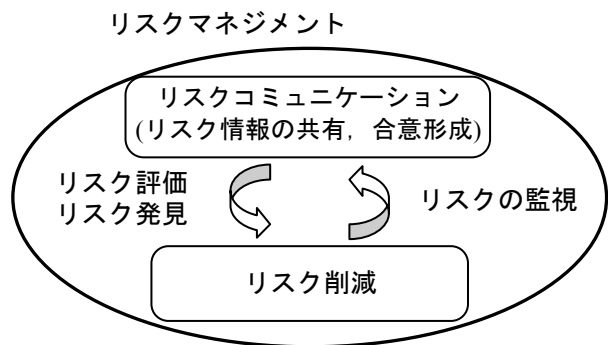


図-3.2 リスクマネジメントにおけるリスクコミュニケーションの位置付け

設計や建設過程にあるのではなく、企画段階の需要予測の見込み違いや、検討不十分、一部の意見のみの採用にある。また、従来は「モノ」を提供することに行政の力点がおかれていたために、施設の運営・維持管理が軽視され、住民ニーズの変化に柔軟に対応できなかったことなどが挙げられる。今後、既存の社会資本をどのようにマネジメントしていくかが大きな課題となり、新たに社会資本を造る場合も含め、ライフサイクル全体を考えた企画が重要である。

#### (2) 公共事業のコントロールの現状

既存の公共事業の運営には、施設のライフサイクルを通して責任部署が変更する、人事異動により担当者ノウハウが身に付かない、運営費用は単年度予算で支出されるため、場当たりの企画が行われるなどの問題点が挙げられる。

しかし、このような状況でも一定の品質の構造物を今まで提供できた背景には、仕様規定、実績重視の技術活用、より安全を見込み過剰な性能を要求、公共契約の片務性の結果として民

間がリスクに対応してきたことによる。これらは同時に、新技術の採用が遅れる、受注者が契約にないリスク対応の対価を受注額に上乗せする等、高コストな公共事業を形成してきた。

現在実施されている入札改革等の内容を巨視的に捉えると、高コストと引換でリスクを民間に押し付けてきた従来の公共事業が、低コスト化するためにリスクを認識しようとする動きとも言える。しかし、検討対象はあくまでも「モノ」を造る範囲が主眼であり、最も重要である企画および建設後の運営・維持管理への対応がなされていないのが、残された課題と言える。

### (3) PFIにおけるコントロール

前述したように、目的と事業の範囲において、現実とずれが生じた既存の公共事業と対照をなすものとして、近年 PFI (Private Finance Initiative) が注目されている。PFI は民間を活用して、公共施設の建設・運営・維持管理等を行う手法であり、その特徴を表-4.1 に示す。しかし、PFI においても依然として企画リスクは残る。住民ニーズの特定は、住民の合意形成と表裏一体であり政治的な事項となる。PFI では、事業者選定委員に住民代表を加えること等で、住民ニーズを事業期間中も常に反映できるが、そのルールを契約時に特定しておくことが重要である。

## 4.2 民間事業におけるリスク分析と評価

### (1) 民間事業の組織・運用の変化

1990 年代の不動産神話の崩壊とともに、硬直化した不動産を有効活用するために、不動産投資に係る諸法の整備、ならびに不動産取引にかかわる税制面の優遇措置が実施された。これにより、民間事業の運用は大きく変化している。不動産の証券化の普及によって、不動産に対する認識の変化と共に管理・運用形態も大きく変化している。その第一は、不動産の所有、管理、利用が完全に分離したことで、これまで曖昧にされてきた様々なリスクが顕在化し、また『誰が誰のためにリスク管理を行うのか』といった責任の所在が明確化されるようになった。

図-4.2 にプロジェクトの基本的な仕組みを、

公共事業（主に PFI）も含め一般的に示す。関与する企業は各々の立場でリスクを負担し、その内容は契約によって保全される。構造物の性能に着目すると、自然災害などの純粋リスクについて、出資者間でどのような負担割合とするか、保険に加入すべきか、構造物の性能レベルの設定、などが計画・契約における課題となる。

### (2) 事業協力者としてのリスクマネジメント

建設会社は、再開発事業の受注を促進するため、事業協力者として、その事業に参画するケースが多い。図-4.3 は、事業参加時点で建設会社が採るべき選択肢を示している。事業協力者として参画する場合には、事前に効果的な選択肢を検討しておくことが重要となる。

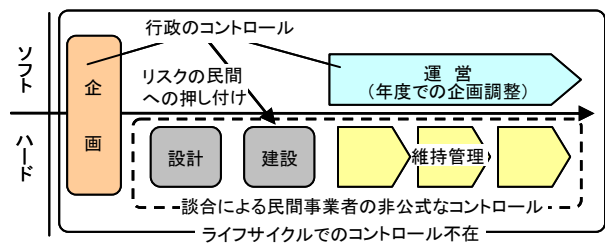


図-4.1 公共事業のコントロール

表-4.1 PFI と既存の公共事業の比較

	PFI	既存の公共事業
目的	行政サービス	建設
範囲	全事業期間	施設等の完成まで、完成後は単年度で運営
リスク	官民の最適な分担	意識されず
発注	性能発注	仕様発注
コントロール	全期間契約に基づく監視	建設期間中仕様とその遵守を検査
行政と民間の関係	対等な事業契約	請負契約
行政の役割	民間の監督	サービスの提供者
行政サービスの提供	民間（特別目的会社）	行政
行政サービスの監視	全期間契約に基づく監視	行政

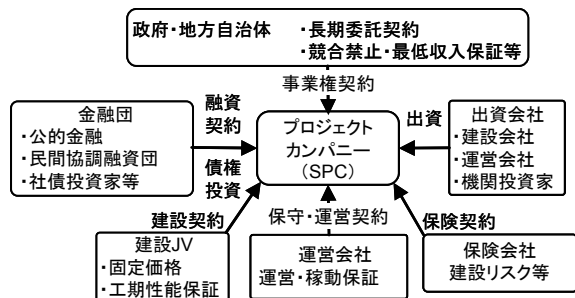


図-4.2 プロジェクトの基本的な仕組み

### 4.3 調査・設計におけるリスク分析と評価

表-4.2 にリスク要因に対応するリスク負担者をまとめた結果の一部を示す。調査・設計の主体者がリスクを負担すべきであるが、トータルの損失が少なくなる場合は、協議の上で負担者を決めることが合理的である。表-4.2 から、設計におけるリスク要因は構造物の性能に直接影響するものが多いが、契約・施工時には顕在化が難しいため、利用者や第三者に損失を及ぼす可能性が高いことがわかる。供用中のリスクの顕在化は影響度が大きく、いわば「取り返しのつかない」事態になる可能性が高いことから、設計照査の重要性が示唆することができる。

表-4.3 に主なリスク対策について示す。リスク対応方法には保有・軽減・回避・移転の4つの方法があるが、対応によって生じる他のリスクとのトレードオフを勘案し、適切な対策を考えることが重要である。

### 4.4 入札・契約におけるリスク分析と評価

#### (1) 入札・契約の概要とリスク

工事特性を考慮した適切な入札方式を活用し、適切な受注者を選定することが入札における基本的な目的であり、裏を返せば、適切な受注者を選定できなければリスクが発生すると言える。その要因は、発注者の能力不足、受注者の技術力を定量的に把握し難い状況などが挙げられる。特に、発注者の能力不足は4.1(2)で記載したように、短期周期の人事異動等が影響している。入札後、受発注者間で契約がなされるが、日本の建設請負契約約款は不完備契約であるため、これを前提として、リスク分担ルールおよび契約変更ルールを明確にしておくことが重要となる。契約変更は、約款上「設計変更」により担保されている。しかし、平成15年に中部地方整備局から「設計図書の照査ガイドライン」が報告されたことから、これまで遵守されてこなかったと考えられる。その要因は、責任範囲が明示されていないことや、4.1(2)で記載した公共契約の片務性などによるものと考えられる。入札・契約は、構造物を建造することの全てに

	事業へ参画	竣工	
早急に売却or運用	第三者との契約	売却	
早急に売却	竣工後第三者に売却	工事遅延等 予定通り	売却 売却できず運用
		工事遅延等, 建設費増加	売却 売却できず運用
	参加時点で第三者と先物取引契約	売却	
	参加時点で第三者とオプション契約	売却	
		行使されず運用	
		売却したが損失発生	
		損失発生, 行使されず運用	
竣工後運用		予定通り	
		工事遅延等, 建設費増加	

図-4.3 建設業者の選択肢

表-4.2 設計段階のリスク負担者

	リスク要因	リスク負担者				備考
		発注者	施工者	利用者	第三者	
設計段階のリスク要因	・材料物性値の把握	◎	○	●	●	C
	・材料物性値のばらつき	◎	○	●	●	C
	・解析手法の選定	◎	●○	●	●	C
	・設計条件の把握	◎	●○	●	●	C
	・設計条件に応じた照査手法の選定	◎	●○	●	●	C
	・性能規定が不十分	◎	●○	●	●	C
	・解析条件の設定	◎	○	●	●	C
	・解析結果の検証	◎	○	●	●	C
	・設計工程の遅延	●◎	●○	●◎	●	D
	・製図過程	◎	●○	●	●	C
	・図面の不具合	◎	●○	●	●	A
	・見過ごすリスク	◎	●○	●	●	C

●：主に被る者，○：現状の負担者，◎：負担すべき者

A：契約条件と異なるリスク，B：ばらつきに起因するリスク，C：構造物が所定の性能を満たさないリスク，D：工期遅延に関するリスク

表-4.3 調査・設計におけるリスク対策

リスク要因	対策	具体的方法	トレードオフ
A. 契約条件と異なるリスク	保有	発生時に再調査し、設計変更	調査費の増大 工期遅延
	軽減	精度良い調査を実施	調査費の増大
B. ばらつきに起因するリスク	軽減	適切な安全係数でリスクを軽減	過剰性能 (コスト増)
C. 構造物が要求性能を満たさないリスク	回避	照査の精度向上	照査の人件費増
	軽減	契約・施工時に顕在化するように十分チェック	人件費増 工期遅延 (手戻り等)
D. 工期遅延に関するリスク	保有 or 軽減	発注者・施工者・利用者でのリスクコミュニケーション	リスクコミュニケーションの費用増大

影響する行為であり、不適切な入札・契約が行われると、工期の遅延、機能・性能不全、コスト

ト増加のリスクが発生する可能性がある。

## (2) 入札・契約のリスク対策

入札・契約のリスク要因は、基本的に以下に示す対策により軽減することが可能である。発注者の能力不足および公共契約の片務性は、CMの活用等に代表される第三者機関を介することで軽減できる。受注者の技術力を定量的に把握するには、平成13年度より実施されている工事成績評価や、ISO14000やその他の企業の技術力を示す資格（コンクリート主任技士、コンクリート診断士等）を有効に活用すればよい。これにより、発注者は受注者が当該工事を実施する能力を有しているか否かを判断できる。不完備契約を前提とした、リスクコミュニケーションも有意義な対策である。また、費用対効果を勘案して保険を活用することも、リスク要因の対策（移転）の一つとして考えられる。

## 5. 受注から竣工までのリスクマネジメント

### 5.1 コンクリート構造物の施工フローとリスク

コンクリート構造物の施工計画から施工に至るまでの概略的な流れは図-5.1に示すようになり、施工時の各段階で生じる「構造物の機能・性能に関わるリスク」、「安全に関わるリスク」および「環境に関わるリスク」とそれらのリスク要因（リスクを発生させる原因）を表-5.1および表-5.2に示す。また、「工期の遅延リスク」に影響を及ぼす要因をフォールトツリーという形で図-5.2に示す。



図-5.1 施工計画および施工の流れ

表-5.1 機能・性能に関わる施工時のリスク

リスク要因	位置		形状		強度・耐久性		美観	
	測量	必要空間確保	部材寸法規格	材料規格	鉄筋量・かぶり規格	ひび割れ幅許容値	平滑性	傾斜・変形
設計図書のミス	○	○	○	○	○	○		
測量ミス	○	○	○					
基準点ミス	○	○	○					
型枠計画ミス			○	○				○
支保工計画ミス			○	○				○
打設計画のミス			○	○		○	○	
配合ミス				○	○	○	○	
材料発注ミス				○	○	○	○	○
材料確認ミス				○	○	○	○	○
型枠施工ミス			○	○				○
支保工施工ミス			○	○			○	○
鉄筋施工ミス				○	○	○		○
打設ミス			○	○	○	○	○	○
打設時の指示・指導不徹底			○	○	○	○	○	○
検査ミス			○	○	○	○	○	○

表-5.2 安全・環境に関わる施工時のリスク

リスク要因	安全		環境						
	関係者	第三者	生活への影響	地盤・地下水	周辺構造物	大気	水質	騒音・振動	景観
設計図書のミス	○	○	○		○				○
測量ミス				○	○				○
基準点ミス				○	○				○
型枠計画ミス	○	○			○				○
支保工計画ミス	○	○							○
打設計画のミス	○	○	○	○	○		○	○	○
配合ミス					○				○
材料発注ミス	○	○	○		○				○
材料確認ミス	○	○	○		○				○
型枠施工ミス	○	○	○		○				○
支保工施工ミス	○	○	○		○				○
鉄筋施工ミス			○	○	○				○
打設ミス	○	○	○	○	○		○	○	○
打設時の指示・指導不徹底	○	○	○	○	○		○	○	○
検査ミス					○				○

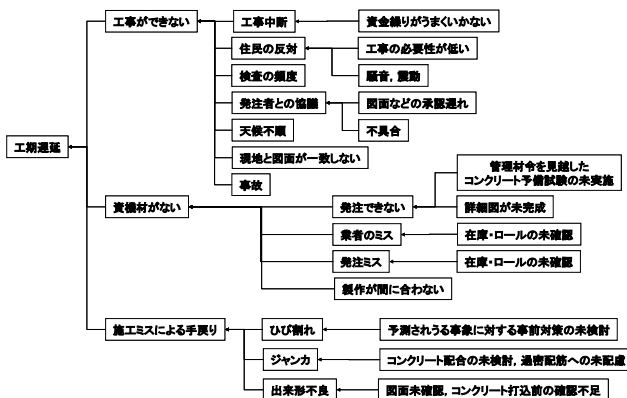


図-5.2 工期遅延に関するフォールトツリー

## 5.2 コンクリート構造物の施工に関わるリスク評価とマネジメント

コンクリート構造物の施工に内在する様々なリスクに対し適切な対応を取るためには、施工に内在するリスクの存在を認識すると共に、これらを定量的に把握する必要がある。リスク(R)は、リスクを発生させる事象の発生確率(P)と発生した場合の損失(C)の積で定量的に評価(R=P・C)するのが一般的である。しかしなが

ら、コンクリート構造物の施工に関わるリスク要因は多岐にわたるため、発生する様々なリスクも多岐にわたる。そのため、様々なリスクの発生確率とその損害を直接評価するのは非常に困難である。これらの評価を行う手段の1つとしてイベントツリーが挙げられる。ここでは、鉄筋コンクリート造集合住宅の施工(主としてコンクリート工事)を対象に、機能・性能に関するリスクのイベントツリーに基づき、リスク

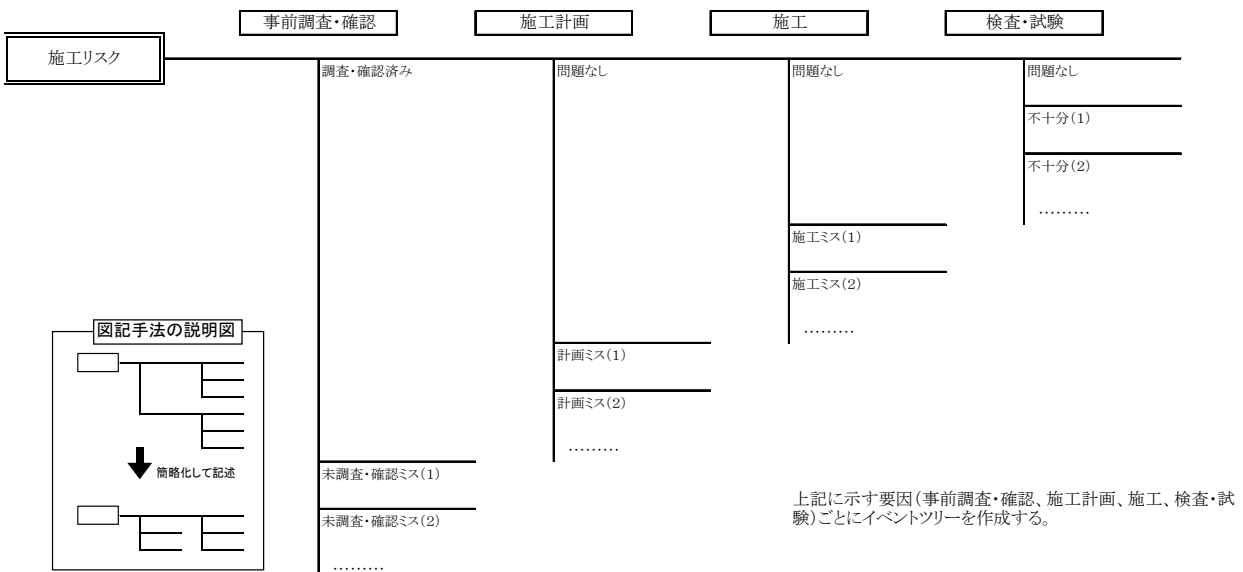


図-5.3 機能・性能リスクのイベントツリー

表-5.3 各損害形態の発生確率と損害額(一例)

注)・全工事費は100億円と仮定した。  
・修正損害は、原則として当該工事費の0.1%と仮定した。

ステージ	管理大目	リスク要因	生起確率		モード	確率	損害額(万円)	備考
事前調査・確認	設計図書確認	整合性	問題が顕在化する	0.100	損害なし	0.9000	0	補修損害の10%
			確認を実施する	0.950	修正損害	0.0903	825	
			問題を処理する	0.950	補修損害	0.0098	8250	
		仕様書	問題が顕在化する	0.100	損害なし	0.9000	0	
			確認を実施する	0.950	修正損害	0.0903	825	
			問題を処理する	0.950	補修損害	0.0098	8250	
	施工条件調査	交通状況	問題が顕在化する	0.100	損害なし	0.9000	0	補修損害の10%
			調査を実施する	0.950	修正損害	0.0903	289	
			問題を処理する	0.950	補修損害	0.0098	2888	
		気候・気象	問題が顕在化する	0.100	損害なし	0.9000	0	
			調査を実施する	0.950	修正損害	0.0903	289	
			問題を処理する	0.950	補修損害	0.0098	2888	
施工計画	各種施工工事計画	仮設計画	不十分である	0.050	損害なし	0.9500	0	
			補修損害	0.0500	3500			
		型枠・支保工計画	不十分である	0.050	損害なし	0.9500	0	
			補修損害	0.0500	3300			
		鉄筋加工計画	不十分である	0.050	損害なし	0.9500	0	
	補修損害		0.0500	2063				
	ひび割れ対策		不十分である	0.050	損害なし	0.9500	0	
	品質管理計画	打設計画	不十分である	0.050	損害なし	0.9500	0	
			補修損害	0.0500	2888			
		品質管理計画	品質目標	設定不十分である	0.050	損害なし	0.9500	
品質管理体制			確立不十分である	0.050	損害なし	0.9500	0	
補修損害			0.0500	8250				

の評価を行い、各リスク要因の寄与率を分析した結果を示す。

施工においては、不具合や事故の発生防止、性能・品質の確保を目的として、施工管理項目（リスク要因にほぼ一致）に対し自主検査・管理を行うのが一般的であり、イベントツリーの作成においても自主的な検査・確認の有無、これに対する適切な対処の有無を考慮する必要がある、イベントツリーは図-5.3 のようになる。これにより、施工者の施工管理に対する意識が評価されることになる。リスク評価に用いた発生確率および被害額の一例を表-5.3 に、リスクの評価結果としてリスクの内訳を図-5.4 に、損害額の確率分布を図-5.5 に、損害額の累積確率（非超過確率）を図-5.6 に示す。これらより、機能・性能に関するリスクに関しては、期待値で見れば全工事費の 0.129%、90%非超過値で見れば全工事費の 0.343%であり、リスクの約 1/2 を施工計画（各種施工工事計画、品質管理計画）が、次いで約 1/4 を施工工事が占めており、リスクを低減させるための第一対策としては施工計画を充実させる必要があることが考えられる。

以上のように、リスクを評価する場合、リスクの期待値を用いることは一方法であるが、リスクのすべてを表したことにはならず、一側面を示したに過ぎない。施工に関するリスク評価の場合、コンクリート構造物を管理する目的で実施する長期間を対象としたリスク評価とは違い、竣工後 5 年程度までの短い期間を対象としたリスク評価であることを考えると、期待値によるリスク評価は望ましくなく、損失の確率分布を把握するとともに、損失の累積確率（非超過確率）を算出することが望ましい。

リスクを低減させる対策には、大別して予防対策と軽減対策がある。予防対策はリスクの発生確率を小さくする対策であり、施工リスクにおいては図面等の事前確認や現地調査の強化などに相当する。軽減対策は損失を小さくする対策であり、施工リスクにおいては発生する問題を予測し、これに対する補修等の対策を事前に

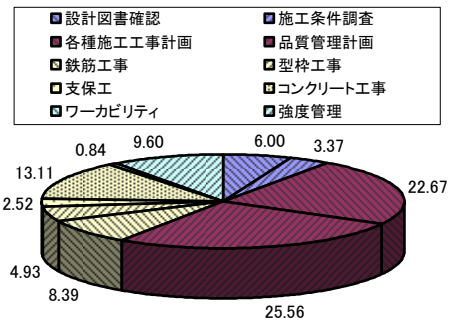


図-5.4 リスクの内訳

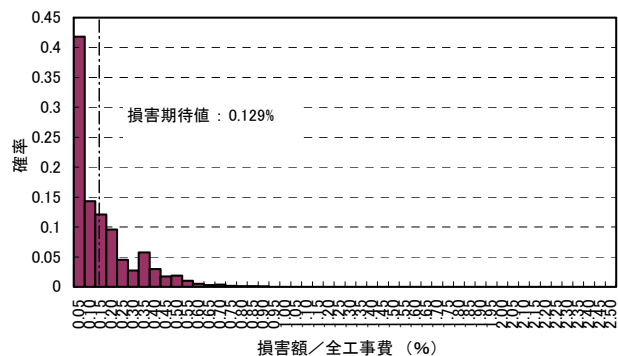


図-5.5 損害額の確率分布

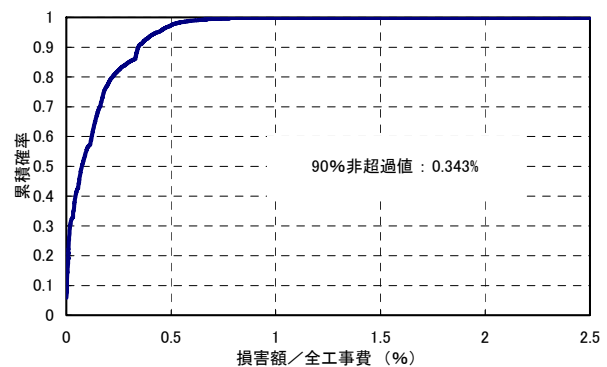


図-5.6 損害額の累積確率（非超過確率）

準備しておくことなどに相当する。

施工における問題・障害の原因は、不注意やチェックミス等による場合が多く、これらに留意することで施工リスクをかなり低減することが可能である。そして、この時の対策費は非常に軽微であることが多い。したがって、施工におけるリスクマネジメントは、リスクの存在を認識することにより、比較的容易に行うことが可能であると言える。



## 6. 供用・維持管理におけるリスクマネジメント

### 6.1 供用・維持管理の際に考慮すべき事象

コンクリート構造物の供用・維持管理において重要となるのは、構造物の経時的な状態変化を想定した上で、将来の状態変化（リスク）を現時点において定量的に予測することによって供用・維持管理（マネジメント）に反映させるということである。この際に考慮すべき事象としては、構造物の供用期間中に構造物の機能を妨げるすべての事象となる。

これらを引き起こす作用としては、1) 自然現象に起因する直接的な作用、2) 自然環境に起因する作用、3) 人為的な側面に起因する作用の大きく 3 種類に分類される。自然現象に起因する直接的な作用としては地震、津波、火山噴火、洪水、強風、積雪等が挙げられ、自然環境に起因する作用としては塩害、凍害、材料劣化等を引き起こす周辺環境の温度・湿度変化や化学的な成分変化が挙げられる。人為的な側面に起因する作用としては火災、爆発、物の衝突、施工管理ミス、破壊行為等である。

このようにコンクリート構造物に対する作用形態は様々であるが、本 WG では、コンクリート構造物の供用・維持管理において支配的な事象となる地震および材料劣化のリスクに焦点を絞り、それらのリスクマネジメントの枠組みを検討した。なお、本分野における既往の研究・評価事例を建築構造物および社会基盤構造物の 2 つの分野に分類してレビューし、それらを踏まえ、以下ではコンクリート構造物の供用・維持管理におけるリスクマネジメントの枠組みを説明する。

### 6.2 供用・維持管理におけるリスクマネジメントの枠組み

#### (1) ハザードの評価

リスクマネジメントの枠組みの中でまず重要となるのは、リスクの定義（対象とする問題の設定）とペリル・ハザードの評価である。ここでは、コンクリート構造物の供用期間における地震および材料劣化による被害の発生可能性を

リスクと考える。ペリルは危険の原因となる起因事象で、地震リスク評価においては地震の発生をペリルとする。ハザードとはペリルの発生によって、対象となる構造物への影響を適切なパラメータを用いて表すものである。地震リスク評価に関しては地震動強さや液状化危険度、斜面崩壊危険度等がハザードである。

ハザード評価の際には、ペリルの偶発性やその他の不確定性を反映したばらつきを考慮しなければならないために、確率・統計的な方法論が必要となる。ハザード評価の代表例としては、確率論的地震ハザード曲線（PSHC: Probabilistic Seismic Hazard Curve）がある。PSHC は、一般に横軸に地震動強さ、縦軸に年間超過確率とした曲線で示される。PSHC により、構造物の対象地点において、最大の地震動が一年間にある大きさを超える確率が明らかになり、リスクアセスメントにおける重要なリスク情報の一つとなる。

#### (2) リスクアセスメント

リスクアセスメントでは、1) リスク分析、2) 感度解析、3) 解析結果の評価の 3 つのステップを踏む必要がある。

リスク分析では、地震および材料劣化に対するコンクリート構造物の抵抗性を適切にモデル化した上で、被害形態を Event Tree (ET) によって抽出する。一方、ハザードに対する構造物の損傷度曲線（フラジリティ曲線、被害関数）を求め、ET 分析と組み合わせることで各々の被害形態の発生確率を算定する。次に、各々の被害形態に起因した損失項目とリスクの負担者の関係を定性的に分析し、損失項目をコストで定量化する必要がある。地震および材料劣化による被害を想定した場合には、構造物の損傷箇所を補修するための直接コストと構造物の機能不全によって生じる間接コストの 2 種類の損失コストが考えられる。ET 分析の結果を踏まえ、被害形態に応じて損失コストを算定し、損失曲線を求める。

以上より、損失曲線とハザード曲線を組み合わせることによって損失コストの超過確率を算

定し、リスクカーブを求める。この際には、リスク分析の過程の中で地震および材料劣化のリスクを評価する際に支配的となる不確実性を抽出し、これらを変動させた場合の感度解析を行ない、リスクカーブに反映させる必要がある。

最終的に、得られたリスクカーブに基づいて、地震および材料劣化によって構造物に被害が発生した場合のリスクを評価し、リスクマネジメントの具体的な対策を実施することになる。なお、リスクの評価に当たっては、リスクに関わる主体者間でリスクの許容値に関して合意形成をはかり、許容値のクライテリアを別途定めておく必要がある。このクライテリアと解析結果を照らし合わせてリスクを評価する。

### (3) リスクマネジメントの対策

一般に、リスクへの対処方法はリスクコントロールとリスクファイナンスに大別できる。リスクコントロールとはリスク自体を回避、軽減するものである。リスクファイナンスとはリスクを移転したり保有したりすることである。

建築構造物の地震リスクを例に挙げると、リスクの回避は取り壊しや建設中止等に相当し、リスクの軽減としては強度・靱性向上、制振（震）、免震等の事前のハードな地震対策に相当する。リスクの移転は地震保険への加入、地震デリバティブの購入、地震リスクの証券化等であり、リスクの保有は自家保険、キャプティブ等である。

リスクファイナンスは、損害発生後に主体者が経済的な補填を受けられるので、主体者の経済的損害は軽減されるが、損害が他者に転嫁されるだけで社会全体としての損害は軽減されない。一方、リスクコントロールによれば主体者のみならず社会全体の損害を回避・軽減できる。建築および社会基盤構造物の地震リスク、材料劣化リスクに関しては経済的損害だけでなく、人的損害の回避・軽減に役立つ。

ただし、リスクコントロールだけでリスクを完全に除去することは難しい。従って、第一にリスクコントロールでリスクを回避・軽減し、

残存リスクをリスクファイナンスでカバーするという考え方が一般的である。例えば、建築構造物の地震リスクに対して、制振（震）を施した上で地震保険に加入するという方法である。

### (4) リスクコミュニケーション

リスクコミュニケーションとは、リスク情報をリスクに関わる主体の間で双方向的にやり取りし、協働作業を通じてリスクマネジメントの対策を実質化していくことである。従って、対象とする事象に対してリスクの負担者を明確にすると同時に、やり取りするリスク情報の質が問われることになる。例えば、民間テナントビルの地震リスクを想定すれば、所有者、管理者と利用者の間、所有者と管理者の間で異なった質のリスク情報がやり取りされる。

リスクの負担者が一体となったリスクコミュニケーションの実践例は他分野において徐々に広がってきており、これらを参考にしながらコンクリート構造物の供用・維持管理に関してもコミュニケーションのあり方を模索する時機にきていると考える。

## 7. むすび

コンクリート構造物の計画・調査設計・契約施工・供用・維持管理における様々のリスクマネジメントの手法に関する調査研究を実施し、建設事業の執行過程におけるリスクの考え方を整理して本報告書に取りまとめた。建設事業の執行に際しての透明性の確保、説明責任、国民の合意形成、品質保証などの要求は今後益々高まると予想され、これらの要求への対応に当たってはリスクマネジメントの導入は不可避のように思われる。本委員会の報告書がこのような対応を検討する場合の一助となれば幸いである。

末筆となりましたが、本委員会の活動に献身的に尽力して下さった委員各位に厚く御礼申し上げます。