

特別講演Ⅱ

コンクリート構造物の品質と性能に関するリスクマネジメント

筑波大学名誉教授 山本泰彦

1. まえがき

わが国では、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、供用中は所有者あるいは管理者がこれに対処するものと一般には考えられている。ただし、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が追求されることもある。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、告発、賠償なども稀ではない。

一方、近年におけるわが国の建設分野の動向に注目すると、コンクリート構造物の設計・施工に対して性能規定を適用する考え方が徐々に導入されつつあり、発注についても要求性能だけを指定する性能発注方式への移行が検討されている。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高まると同時に、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る性能を確実に保証しなければならない義務と責任が生じる。これは、構造物の完成後における品質・性能に対する全ての工事関係者の責任分担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係わる者にとっては、要求性能と経済性を勘案しながら担当者責任を果たすための方策が必要になると考えられる。

日本コンクリート工学協会に2回に分けて設置されたコンクリート構造物のリスクに関する研究委員会では、品質保証を行う場合や担当者責任を果たす場合は常に何らかのリスクを考慮する必要があることに着目し、上述した課題や問題点に合理的、かつ効果的に対応する手法として、金融・投資を中心とした分野の経営管理手法の1つとして急速に普及してきていた「リスクマネジメント」の手法の適用性について検討してきた。この活動の中では、リスクマネジメントに関する一般情報の収集・整理、わが国における建設分野における発注・契約の現状と問題点に関する分析などの基礎的情報を整理する作業を実施するとともに、コンクリート構造物の計画から供用までの一連のプロセスを対象にして、それぞれのプロセスで考慮すべきリスク要因の洗い出し、現時点での知見と情報に基づくリスク処理の方法に関する検討、地震災害などの一部の事象を対象としたリスク評価のケーススタディーなどを行った¹⁾。また、コンクリート施工に対しては、不具合等の発生頻度、手直し費用、その他に関する実情をアンケートにより調査し、この調査で得た情報に基づき、現時点におけるわが国のコンクリート施工に係わるリスクを評価するための独自のリスク評価システムを作成・提示した²⁾。

本文では、最初にリスクおよびリスクマネジメントについて概説し、次いで、上記研究委員会の成果のうち、構造物の機能・性能に及ぼすコンクリート施工のリスクに関する部分の概要を紹介する。

2. リスクとリスクマネジメント

「リスク」という言葉は、それぞれの人の立場や分野で色々な意味で使われており、例えば、「危険な事象」そのものを意味する用語として使用している分野(例:社会心理学)がある。これに対し、経営や金融の分野では「何らかの原因により、ペリル(事故)が発生する可能性」という旧来の第一義

的な意味に加え、「(経営) 活動の結果の不確実性」も含めた用語として定義し、企業の経済活動等の結果として「損をするか得をするか分からない(=損失と利益の双方の可能性がある)」という性格のリスク(=投機的リスク)も含めている。一方、建設分野と関連する災害リスクや環境リスクの学問分野では、「ペリルによる損失が発生するか否か」という視点に立った第一義的な意味でのリスク(=純粹リスク)のみを対象にし、「事象の発生確率と損失との積」をリスクと定義している。ここで、コンクリート構造物の品質と性能に係わるリスクを考えると、所要の品質性能を満足していない状況がペリル(事故)であり、この場合のペリルは災害リスクと同種のものであると言える。そこで、本文で扱うリスクについても、その定量的評価を行う部分では事象の発生確率と損害(額)の積を意味する用語として用いる。ただし、その他の部分では、他の分野におけると同様に、「発生する可能性があるペリル、損害あるいは不利益」の意味にも使用することにする。なお、前記の定義の中にある、ペリルを発生させる「何らかの原因」が「リスク要因」と呼ばれている。

一方、リスクマネジメントとは、危機的状況に陥らないことを目的として、活動や事業等を包圍している様々なリスクを低減あるいは管理することをいう。この定義に従えば、従来の産業分野の活動や事業等においても、危機的状況に陥らないことが最も優先されるのが一般であるので、担当者の主観的あるいは思考的な考察と判断によってリスクマネジメントは行われてきたと言える。しかし、リスクに関する情報が十分に整備されていないこれまでの状況の下では、リスクマネジメントの信頼性あるいは効果は、当然のことながら、劣っていたと考えられる。これとは逆に、リスクとその要因が特定され、かつ、リスク解析に必要な精度の良い数値情報が整っている場合には、当該事業等に係わる人、物、環境、費用等に波及する様々なリスクを対象にして、リスクの分析および評価を行い、全てのリスク要因による損失が容認できる範囲に収まるように、それぞれのリスク対策(回避、低減、転嫁あるいは保有)を合理的、かつ、戦略的に定めることも可能になる。

リスクは将来の不確かな事象による損害であるので、これを現時点で観測することはできないし、また、選定した管理方式による効果を見ることもできない。したがって、リスクマネジメントを効果的に実施するためには、何らかのモデルやツールを使い、リスク対策の効果を数値化して示すことが重要となる。この数値化が実現されれば、リスク対策の妥当性や優劣に関する判断材料を関係者間で共有できるので、意思決定をスムーズに行い得るだけでなく、より多くの理解を得ることができる。また、将来においてリスク対策の結果が判明した時点では、対策の妥当性を検証できると同時に、問題が生じた場合の原因と責任を明確にすることも容易となる。このリスク対策の結果が判明した時点における知見や情報(課題の抽出・整理)もきわめて重要であり、リスクマネジメントの効果を高めていくためには、図-1に示した「リスクの顕在化」から「課題の抽出・整理」までを1つの循環として捉え、この循環で得た知見等を次のステップのリスクマネジメントに役立てることが重要である。すなわち、リスクを定量化し共有できる情報として管理することにより、リスクマネジメントに関する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のである。

なお、次章以降に示すJCIの委員会活動の成果は、図-1の循環で言えば、新規テーマに着手して、課題の抽出・整理と新しいリスク評価システムの骨組みの検討を行った程度の段階のものである。

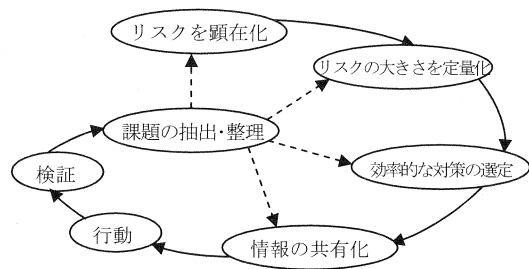


図-1 リスクマネジメントにおける情報と知の循環

3. コンクリート構造物の施工時のリスク

3.1 施工計画および施工管理とリスク

図-2に、コンクリート構造物の事前調査を含む施工計画および施工工程の一般的な流れを示した。

施工者が請け負った工事の事前調査を実施し、施工計画を立て、また、施工中に工程、予算、品質、安全、その他の項目の管理を行う目的は、要求された機能性能を有する構造物を定められた期間内に、安全、かつ、経済的に造ることにあると言える。また、近年は、工事中に周辺環境に悪影響が及ばないことも重要な事項になってきており、この点も常に配慮しておく必要がある。これらの目的および配慮すべき事項が1つでも達成できない場合には、短期的あるいは長期的に見て、当初の目論見と相違する何らかの損失が発生する。この当初の目論見あるいは期待と相違する損失がリスクであり、施工計画の作成や施工工程等の管理は、このリスクを回避あるいは低減するための行為とも言える。換言すれば、施

工者は、これまでの工事においても、施工に次のように大別したリスクが係わっていることを認識しており、それらに何らかの対応を行ってきているのである。

- ①機能・性能に係わるリスク： 構造物の位置、形状寸法、強度・耐久性、美観等
- ②安全に係わるリスク： 工事関係者の安全、第三者に対する安全
- ③工期に係わるリスク： 工期遅延
- ④環境に係わるリスク： 周辺環境（周辺の地盤、地下水、構造物、大気、騒音・振動、景観等）

しかしながら、上記①～④に大別されたそれぞれの範疇には更に具体的な複数のリスクが存在し、個々の具体的なリスクには、図-2に示した施工計画および施工の各段階の様々な行為が影響を及ぼす。例えば、表-1は機能・性能の範疇に属する各種のリスクとそれらの要因との関係に関し、関連するもの同士を○印で示したものであるが、リスク要因は施工のあらゆる段階に存在すること、1つのミスが機能・性能に関する多数のリスクに係わりをもっていること等が理解できるであろう。また、表-1は機能・性能に係わる全てのリスクと全てのリスク要因との関係を示したのではなく、両者の影響度合いも、構造物の種類、工事の規模や条件、その他によって相違する。このため、これまでのようにリスクに関する定量的情報が乏しい条件下では、工事に係わるリスク、それらのリスク要因と影響度合い等を現場技術者が自分の経験や実績に応じて判断・推定せざるを得ず、実際にも「経験的なリスクマネジメント」を行ってきたと言える。ただし、経験的なリスクマネジメントであっても、それが豊かな経験や実績に基づき、かつ、道義的に問題なく行われている場合には、一般には、良好なリスク低減策あるいはリスク回避策が検討・適用されてきていると思われる。



図-2 施工計画および施工の流れ

表-1 機能・性能に関するリスクとリスク要因の例

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	材 料 の 品 質	鉄 筋 量 ・ か ぶり	ひ び 割 れ 幅	平 滑 性	色	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		○	○	○	○	○	○		○

3.2 構造物の機能・性能に係わるコンクリート施工のリスクとリスク要因

施工者の立場からのリスクとしては、前節で記したような、①機能・性能に係わるリスク、②安全に係わるリスク、③工期に係わるリスク、④環境に係わるリスク等の受注後のリスクのほか、⑤入札・契約に係わるリスクもある。しかし、本節以降では、①の「構造物の機能・性能に係わるリスク」のみを対象にしていくことにする。また、施工時のリスクを考慮の対象とするので、「構造物の設計は適切に行われている」との前提に立って記述する。

構造物の機能・性能に係わるリスクだけを考えても、多岐にわたるリスクがあり、それらに様々なリスク要因が関わっていることを前節で述べた(表-1)。このような状況の下で、コンクリート施工で考慮すべきリスクとリスク要因を漏れなく特定する方策としては、従来の施工計画書の内容を参考にする方法がある。すなわち、施工計画書に記載されている施工計画作成時の具体的なチェック項目(管理項目)および施工時の具体的な管理項目とそれらの管理方法を参照あるいは列挙し、その中から、目的とする項目に係わる管理項目(リスク要因)および管理に不備がある場合に発生する障害または不具合(リスク)を抽出・選定・整理する方法である。

表-2は、上記の方法により、機能・性能に係わる主要な管理項目を「事前調査・確認」、「施工計画」、「施工」および「検査・試験」の4つのステージに分類して抽出・整理し、それぞれの管理項目に対し、発生する可能性のある障害(不具合)を併記したものである。後者の発生障害については、施工期間中に発生する障害と、竣工後に発生する障害の2つに分けて整理した。これは、リスク評価のた

表-2 機能・性能に係わるリスク要因と発生障害

ステージ	管理大目	管理項目 (リスク要因)	発生障害 (発生する不具合)	
			施工期間中	竣工後
事前調査	設計図書 の確認	図書間の整合性	間違った形状・寸法、使用材料、配筋などによる障害	
		仕様書の確認	適切でない調達、施工および品質管理による障害	
	施工条件 の調査	交通状況	生コン車の到着遅延に起因する障害	
		気候・気象	降雨、高温、低温によるコンクリートの品質低下	
施工計画	施工方法 の検討	仮設計画	クレーンが有効にあるいは効率良く使用できない	
		型枠・支保工計画	打設時に型枠崩壊	
		鉄筋加工計画	鉄筋間隔・鉄筋定着長等の不足	
		ひび割れ対策	早期ひび割れ、過大ひび割れ、不都合箇所でのひび割れ発生	
		打設計画	ジャンカ、未充填部、コールドジョイントの発生	
	品質管理 計画	品質目標	不適合あるいは不良の見過ごし	
品質管理体制		不適合あるいは不良の改善が不十分であることに起因する障害		
施工	鉄筋工事	鉄筋の種類		ひび割れ、過大たわみ
		鉄筋量		ひび割れ、過大たわみ
		配筋方向		ひび割れ
		定着位置・定着長		ひび割れ、過大たわみ
		鉄筋間隔	ジャンカ、未充填部	
		かぶり		ひび割れ
	型枠工事	形状・寸法	出来形不良、目違い等	
		セパレータの位置・数	せき板のはらみ、型枠の破れ	
		型枠固定状況	型枠の破れ	
		はらみ防止対策	型枠のはらみ	
		型枠存置期間	ひび割れ	
	支保工	箇所・本数	過大たわみ、型枠崩壊	
		座屈止め	型枠崩壊	
		固定状況	過大たわみ、型枠崩壊	
		撤去時期	ひび割れ、過大たわみ	
	コンクリート工事	調達・発注		過大ひび割れ、過大たわみ
		ポンプ工法対応		ひび割れ等 (←配筋乱れ)
		打込み高さ	ジャンカ、ブリーディング	
		打設間隔	コールドジョイント	
		締固め	ジャンカ、未充填部	
		養生	過大ひび割れ、	
検査 試験	ワーカビリティ 強度管理	受入れ検査	ジャンカ等、ブリーディング	
		コンクリート強度		過大ひび割れ、過大たわみ
		鉄筋圧接部強度		過大ひび割れ、過大たわみ

めに設定する損害額が障害の発生時期によって大きな違いが生じるためである。たとえば、障害としてひび割れを考えた場合、施工中に発生したひび割れに対しては足場・職人・材料等の手配は容易であるが、竣工後に対応する場合は、足場等の手配のみならず、仕上げ材の撤去・復旧、施工時間帯の制約等があり、施工中より多額の費用を見込む必要がある。

3.3 リスクの定量的評価方法

予期されるリスクに対して合理的、かつ、客観的に対応するためには、それらを定量的に評価する手法が必要となる。前述したように、建設関連分野では、リスク (R) は、リスクを生じさせる事象の発生確率 (P) とリスクが顕在化した場合の損失 (C) との積で表すのが一般的となっている。

$$R = P \cdot C \quad (1)$$

発生確率Pはその事象の起こりやすさや発生頻度を示すものであり、損失Cはその事象が発生した後の補修、施工のやり直し、賠償等に要する費用 (損害額) である。

コンクリート施工に内在するリスクは様々であり、また、それらに多数の要因が関係しているため、発生する様々なリスクの発生確率と損害を直接評価することは非常に困難である。このような場合のリスク評価に用いられる手法の1つにイベントツリーがある。

図-3に簡単なイベントツリーの一例を示す。この例では、互いに独立したリスク要因として、出来形不良、ひび割れ、工期遅延の3つを考え、それぞれのリスク要因の影響の様式 (イベント) を、有り、無しの2種類としている。また、各イベントの発生確率 (分岐確率) を各リスク要因の列に示した数値のように仮定している。このイベントツリーでは、リスクの帰結は全部で8種類となり、それぞれのリスク (帰結) に対する発生確率は各経路のすべての分岐確率を掛け合わせた値 (右側数値群の第1列の値) となる。各リスクによる損失を第2列目のように設定すると、各リスクの値は (1) 式により第3列目の値となる。8つのリスク総和がこの例における施工リスクの期待値となる。

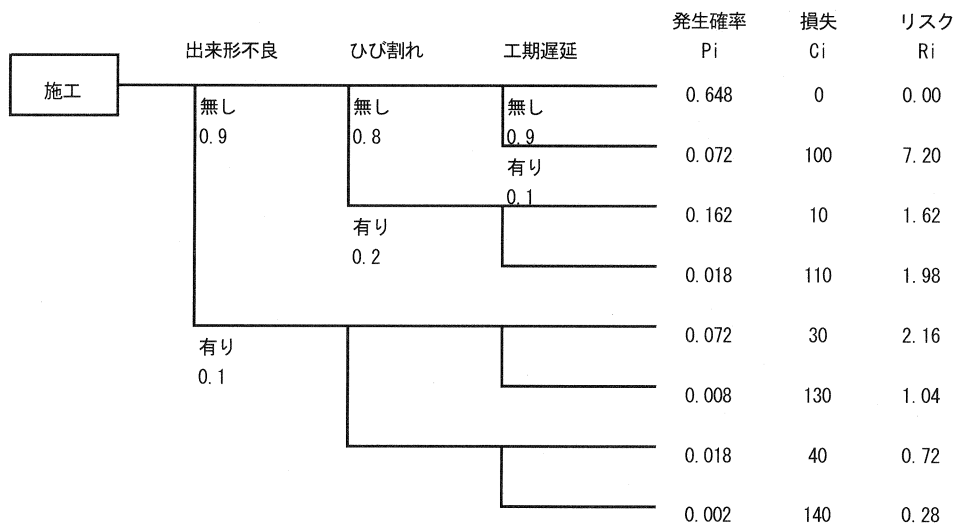


図-3 イベントツリーの例

図-4は、図-3のイベントツリー解析により計算された損失の発生確率分布を示したものである。この例では、全体としてのリスク形態は損失の小さい方に偏っているが、損失の大きなリスク形態のものも無視できない確率で発生している。このようにリスクを評価するに当たっては、単に期待値のみならず、損失とその発生確率の関係（損失の確率分布）を把握しておく必要があり、また、損失の累積確率（非超過確率）も算出しておくことが望ましい。このことは、竣工後5年程度までの比較的短い期間内に顕在化するリスクが問題となるコンクリート施工に係わるリスクの場合には特に重要であると思われる。

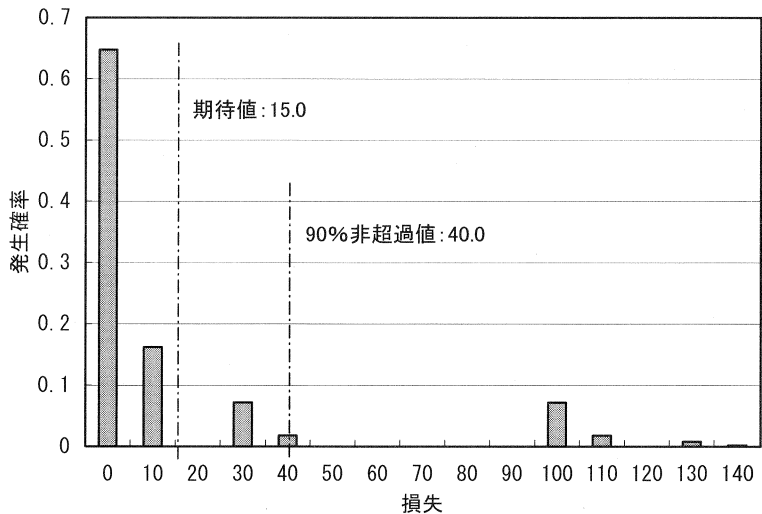


図-4 損失の確率分布

3.4 機能・性能に係わるコンクリート施工リスク評価システム

コンクリートの施工においては、不具合や事故の発生防止、性能・品質の確保等を目的として、施工者が定めた施工管理項目に対して、施工者が適当と判断した水準の“自主的な管理・検査”を行っているのが一般である。この実態を考えると、不具合等の発生確率や不具合等への対処費用（損害）は、問題が顕在化する可能性、自主的な確認・検査の有無および確認・検査結果に基づく対処の有無に大きく依存し、これらがリスク要因となる。

図-5は、上記の考えに基づき、不具合等に関連する管理項目に対して作成したイベントツリーである。この図では、当該管理項目が独立であると仮定し、それぞれの分岐で各リスク要因の分岐確率を適用する一般的なイベントツリーを示しているが、例えば、「問題顕在化の可能性なし」のルートを経るものであれば、「検査・確認」と「対処」のイベントに拘らず、不具合等の問題は発生しない。このような考えを適用すると、図-5の帰結は3つに集約され、イベントツリーは図-6のように簡略化できる。なお、図-6におけるそれぞれの被害の発生確率には、当該被害に至るまでのルートの分岐確率が考慮されていることに注意する必要がある。

機能・性能に係わるコンクリート施工リスク評価システムを作成する場合には、まず、前記の表-2中に管理項目（リスク要因）と記された欄の個々の項目に対し、それぞれが独立と考えて、図-6のイベントツリーを適用し、「損害無し」、「修正損害」、「補修損害」等の帰結モードの発生確率を求める。

ただし、このレベルのイベントツリーでは、リスク要因が「検査・確認」と「対処」の2つのみ、また、帰結モードが「損害なし」と「補修損害」の2つになる管理項目もある。次いで、これらの管理項目が、表-2中の「管理大目の項目」を管理項目とするイベントツリーのリスク要因となるようなイベントツリーを作成し、この各分岐に上記のイベントツリーを結合させる。この操作を表-2の列の左方向に順次適用し、「施工」を管理項目とし、ステージの列の4項目がリスク要因となるような形態にしたものがコンクリート施工のリスクを評価するシステムとなる。

上記のように構築されるシステムを用いて施工リスクを評価するためには、システム末端に位置しているイベントツリー、すなわち、表-2中の管理項目（リスク要因）と記された列の各項目のイベントツリーの各分岐における分岐確率のほか、全てのルートの帰結に対する被害額等に関する適切な数値が必要になる。

リスクマネジメントでは、施工リスク評価システムを利用して、リスクの大きな要因を特定するとともに、これに対する有効な対策費用とリスク低減効果を比較して効果的な対策を選定する。

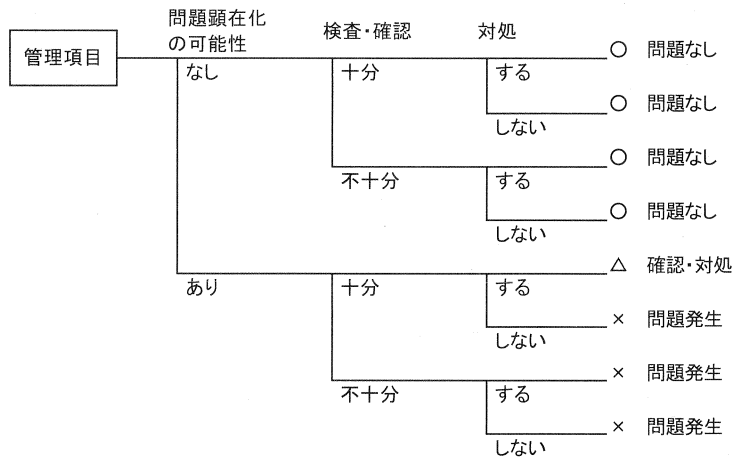


図-5 各管理項目を独立と仮定した場合のイベントツリー

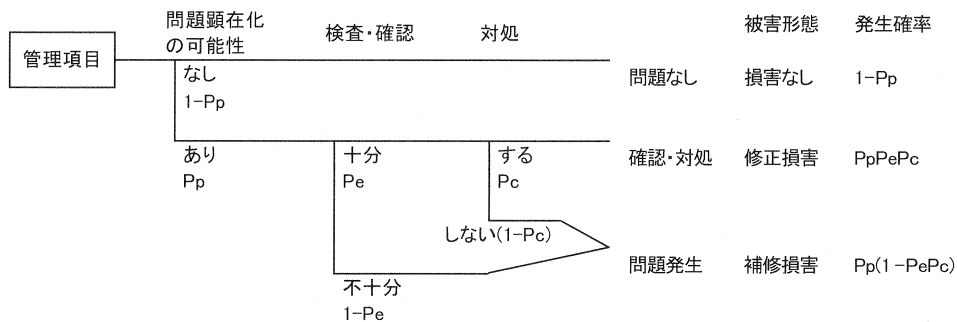


図-6 帰結を考えたイベントツリーと各被害形態の発生確率

4. 主要な不具合等を対象としたコンクリート施工のリスク評価

前章で示したコンクリート施工リスク評価システムを完成させるためにはきわめて多くの情報を必要とする。そこで、現時点でも構築可能な施工リスク評価システムの作製を目的として、コンクリート構造物の機能・性能に及ぼす主要な不具合および施工障害として 22 項目を選び、これらの発生確率、発生原因、事前および事後の対処の有無と費用等に関する情報をアンケート調査によって収集した。アンケートは、現場の所長あるいはこれとほぼ同等の地位と経験を有する技術者に、過去約 10 年間に最も長い期間従事した橋梁上部工、橋梁下部工、中高層 RC 集合住宅あるいはボックスカルバートの何れか1種類の工事について回答を求める形式にした。アンケート調査は、(社)日本土木工業協会、(社)建築業協会、(社)プレストレストコンクリート建設業協会および 47 都道府県建設業協会の4協会の協力を得て実施し、合計 474 件の回答を得た。

本章では、橋梁上部工に関する 116 件 (有効な数: 104 件) のアンケート結果およびこのアンケートで得た情報を使用して試みたコンクリート施工のリスク評価の結果を紹介する。

4.1 アンケート結果

図-7 は、選定した 22 項目の個々の施工障害あるいは不具合に対し、それらによる損害を低減あるいは防止するために、橋梁上部工のコンクリート工事前に何らかの事前対処を行って不具合の発生と防いだ工事の割合 (未然防止率) および事前対処の有無に拘らず不具合等が発生した工事の割合を示したものである。この図より、橋梁上部工のコンクリート工事における不具合等に関しては、「充てん不足」が最も多く、以下、「引渡し前のひび割れ」、「温度応力ひび割れ」、「かぶり厚さ不足」および「コールドジョイント」の順に多く、「配筋作業実行不能」および「配筋の誤り」も相対的に多いことが多く認められる。

一方、不具合等の未然防止率の高いものは、「圧送不能」、「温度応力ひび割れ」および「配筋作業実

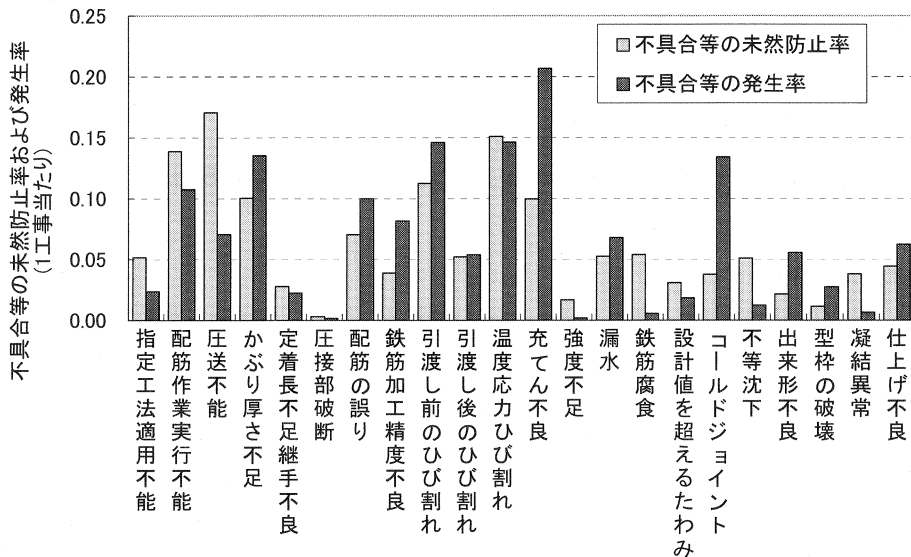


図-7 橋梁下部工のコンクリート工事における不具合等の未然防止率および発生率

行不能」になっており、「引渡し前のひび割れ」、「かぶり厚さ不足」および「充てん不良」も多い。橋梁上部工の工事では、これらの不具合に対する施工者の関心が高いことを示唆していると考えられる。

未然防止率が高く、かつ、発生率の低い項目は、事前対策による不具合等の防止あるいは低減が有効になっているものと考えられ、これに属する代表的なものとしては「圧送不能」がある。

図-8は、橋梁上部工の不具合等への事前対処費と事後対処費（請負金額に対する割合）に関するアンケート結果を示したものである。この図より、「指定工法適用不能」に対する対処費用が事前、事後とも高く、特に事後の対処費用が請負金額の2%弱にまで及んでいることが認められる。また、ごく一部の例外を除き、一般的に、事前対処費に比べ事後の対処費の方が大きい傾向も認められる。この後者の傾向が強い項目としては、「充てん不良」、「不等沈下」、「かぶり厚さ不足」、「引渡し後のひび割れ」、「強度不足」、「配筋の誤り」等がある。

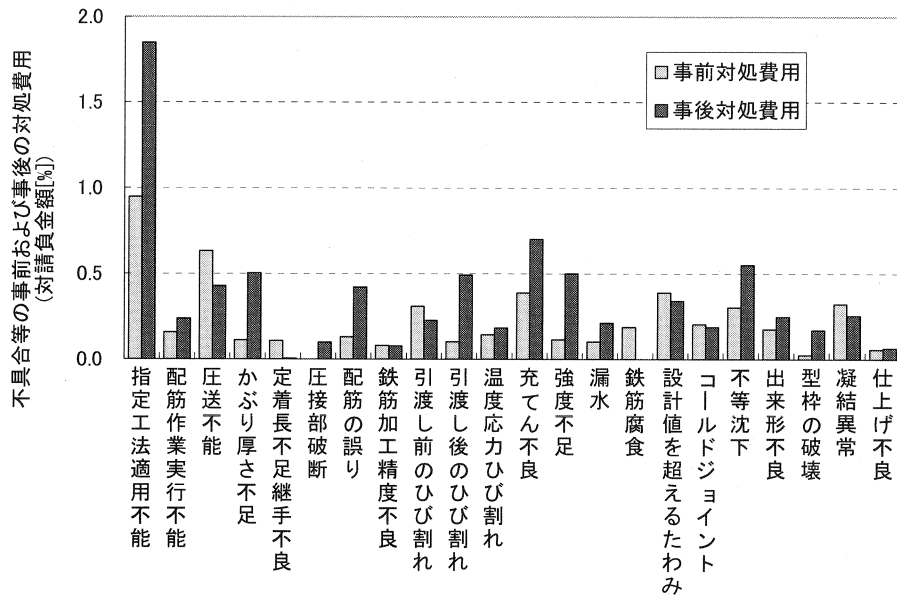


図-8 橋梁下部工のコンクリート工事における不具合等の平均的な対策費用

4.2 施工リスク評価

リスクの観点からは、不具合等への事後の対処費用だけでなく、事前対処費用もリスクである。これに基づき、不具合等の未然防止率とそれに伴う経済損失の積を事前対処に係わる施工リスク、不具合等の発生率とそれらへの事後対処費用の積を事後対処に係わる施工リスクと考え、各不具合等に対する事前および事後の施工リスクを図-9に示した。

事前対処に係わる施工リスクとしては、「圧送不能」が請負金額の約0.1%と最も高く、次いで「指定工法適用不能」が約0.05%となっている。「圧送不能」については、前述した施工障害未然防止率と事前対処費用がともに相対的に高いことが原因している。これに対して、「指定工法適用不能」は、施工障害未然防止率としては低い(図-7参照)ものの、事前対処費用が他の項目に比べて著しく高い(図-8参照)ため、事前対処に係わる施工リスクが高い結果となっている。

一方、事後処理に係わる施工リスクに関しては、「充てん不良」が際立って高く、次いで、「かぶり

厚さ不足」が高い。これらの不具合の施工リスクが高い理由は、不具合発生率と事後対処費用がともに大きいことにある。これに対し、図-7において事後の発生率が高かった「引渡し前のひび割れ」、「引渡し後のひび割れ」、「コールドジョイント」等の場合は、施工リスクが予想外に小さくなっている。これは、これらの不具合への対処費用が現時点では少ないことに原因している。

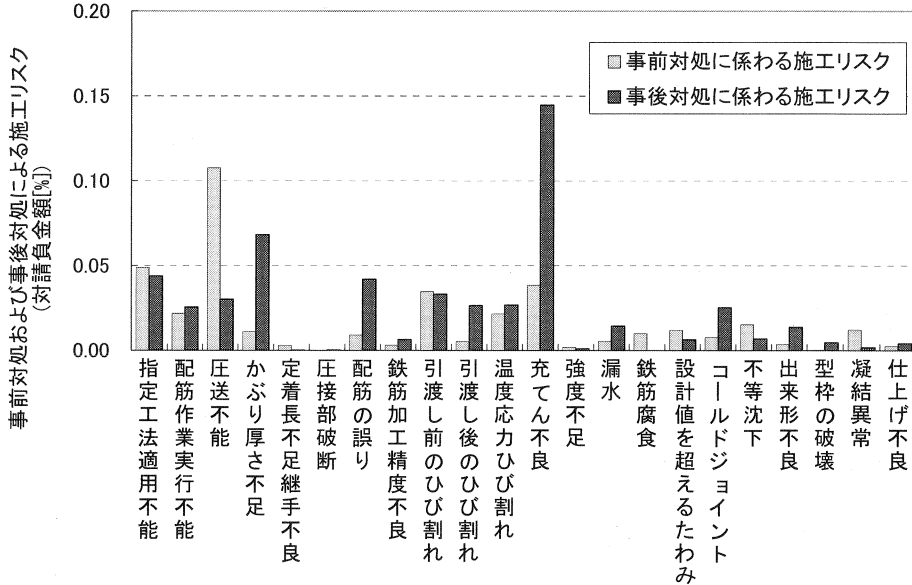


図-9 橋梁下部工のコンクリート工事における施工リスク

次に、アンケートで対象とした 22 種類の不具合および施工障害を図-5 に示すようなイベントツリーのリスク要因として考えて、イベントツリー解析を行った。具体的には、各不具合等の発生が 1 つの施工において独立であると仮定して、各不具合の発生に関する状況と対応をイベントと見なし、それらの波及あるいはシークエンスをイベントツリー解析で調べた。各イベントには、①当該不具合等の発生、②事前対処による当該不具合等の未然防止、および③当該不具合等の未発生、の 3 つの分岐を設け、各分岐においては 3 個のイベントの相対頻度の和が 100%となる分岐確率を与えた。また、当該不具合の発生による損害額と当該不具合の未然防止に係わる事前対処費用を各イベントの分岐に付随させ、合計 3²² 通りのイベントシークエンスを経た個々の経路の結果に対する「不具合等に係わる損害額 (=事後対処費用) と事前対処費用の総和 (以下、全体損害額という)」、ならびに「当該経路の結果に至る確率 (発生確率) を求めた。

図-10 は、橋梁上部工を対象として、上記のようなイベントツリーにおける個々の帰結の全体損害額と発生率との関係を棒グラフで表わした損害発生率分布である。また、図-11 は、図-10 の縦軸を累積発生率に変えた、全体損害の累積確率分布曲線 (リスクカーブ) である。これらの図より、全体損害が請負金額の 3% を超える範囲では全体損害はほぼ 0 に収束していることが認められる。ただし、発生確率は極めて小さいが請負金額の 8.45% に及ぶ多大な損害が発生する可能性もある。

一方、損害の期待値は、請負金額の約 0.90% となっている。この数値は、必ずしも大きい値ではないが、一般には無視できない数値であると言えるであろう。

5. コンクリート施工リスクへの対応

リスクへの対応は、一般に「保有」, 「回避」, 「低減」, 「移転」の4種類に大別されている。対応策の選択基準は、一般に図-12の概念図によっている。

「保有」は特に対策を講じない対応であるが、無関心であることではなく、特に対策を講じなくても発生する損害に対応可能である場合に選択される。

「低減」は、予測される損害は小さいが、不具合等の発生確率が大きい領域にある場合に選択され、不具合等の発生確率を小さくする対策を講じて、リスクを「保有可能なリスク」(図中①)に移行させる対応である。事前のリスク評価結果に基づいて施工計画を作成し、施工中に品質管理や検査を行っている通常の行為は、ほとんどの場合に「リスク低減」を目的とした対応であると言える。

「回避」は、不具合の発生確率および損害の双方が非常に大きい場合に選択される対応で、具体的には、設計、工法、材料、その他の根本的な事項を変更するなどして、当該リスクを全面的に避ける。

「移転」は、予測されるリスクの発生確率は小さいが、発生した場合の損害が大きい場合に適した対応である。具体的には、稀にしか発生しない不具合等に対して特に対策費を投じて対応するよりも、損害が発生した時に第三者に損害を肩代わりしてもらうのが得策な場合に選択される。この場合に損害を肩代わりするものとしては、損害保険が考えられる。

しかしながら、工事中の保険である「建設工事保険」および「土木工事保険」では、「設計・施工・製作の欠陥の除去」(＝不具合等への対処)は保険の対象外となっており、また、コンクリート施工のリスクを移転できる損害保険は現時点では商品化されていない。

6. あとがき

リスクマネジメントの手法をコンクリート構造物の建設に適用することを試みたJCIの委員会活動の成果を中心に紹介した。コンクリート施工のリスクは、現時点では小さいが、製造者責任が厳しく問われる状況の下では相当に大きくなると予想される。本稿が、品質保証や説明責任の要求が強まりつつあるこれからの時代への対応策を検討する際の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリスクマネジメント研究委員会報告書、2005年9月
- 2) 日本コンクリート工学協会：施工リスク研究委員会報告書(仮称)、2007年10月

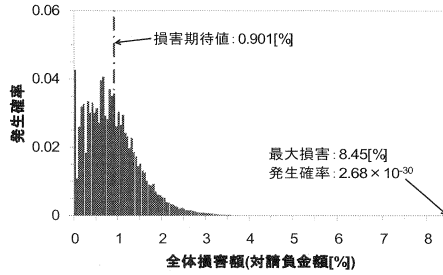


図-10 全体損害額と発生率の分布

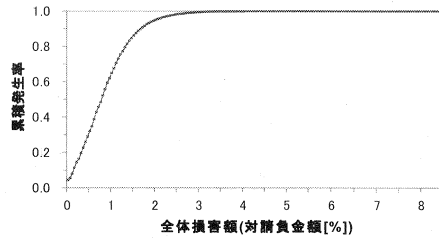


図-11 全体損害額と累積発生率の関係

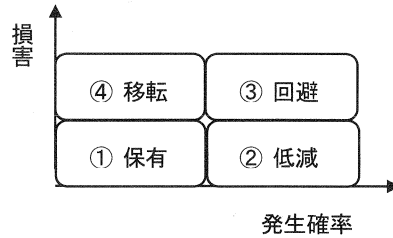


図-12 リスク対応策の選択(概念図)