

## 委員会報告 コンクリート施工におけるリスク要因の発生確率調査研究委員会

山本 泰彦\*1・十河 茂幸\*2・牛島 栄\*3・野口 貴文\*4・中村 敏治\*5・庄司 学\*6

**要旨：**橋梁上部工，橋梁下部工，中高層 RC 集合住宅およびボックスカルバートのコンクリート工事における各種の不具合，または施工障害に限定して，それらの発生確率，発生要因，対処方法，対処費用等に関する実態を，実務技術者を対象としたアンケートにより調査し，コンクリート施工に対するリスクマネジメントシステム構築のための基礎資料を収集・整理するとともに，アンケート結果に考察を加えた。また，収集した基礎情報を用いてコンクリート施工のリスク評価を行う手法を提示し，アンケートで対象とした各種構造物の施工プロセスにおけるリスク評価を試みた。

**キーワード：**コンクリート構造物，施工，不具合，リスク評価，リスクマネジメント

### 1. はじめに

平成 16 年度で活動を終えた「コンクリート構造物のリスクマネジメント研究委員会」では，ア) リスクに関する研究の現状調査，イ) 構造物の計画・設計・施工・維持管理のすべてのフェーズにおけるリスクの洗い出し，ウ) 契約や入札の方式が相違する場合のリスク要因と対策に関する考察，エ) 調査・設計段階および施工段階におけるリスクとその要因の分析，オ) 構造物の地震と材料劣化によるリスクとリスク評価の枠組みの検討などを行い，コンクリート構造物の建設に係わる一連の過程にリスクマネジメントの概念を適用するための大枠に関する基礎情報を得た。また，可能な項目についてはそのリスク評価までを行うケーススタディーも実施した<sup>1)</sup>。

しかし，構造物の性能に重大な影響を及ぼす調査・設計段階および施工段階のリスクに関しては，それらの要因のフォールトツリー (FT) は作成したものの，特に施工時における不具合等の発生確率が明らかでないため，リスクマネジメントシステムの構築というレベルには至ら

なかった。また，施工時の不具合等の発生確率は契約，入札，維持管理のリスクマネジメントにも大きな影響を及ぼすことが判明した。

そこで，本研究委員会では，コンクリートの施工時における各種の不具合や施工障害等のリスク要因に限定して，それらの発生要因，発生確率のほか，事前および事後の対処の有無や費用などに関する実態を調査し，コンクリート構造物のリスクマネジメントシステム構築のための基礎資料を収集・整理・提供することを主目的にした調査研究活動を行った。ただし，不具合等の発生確率や対処費用等は構造物の種類によっても大きく相違するので，構造物としては橋梁上部工，橋梁下部工，中高層 RC 集合住宅およびボックスカルバートを対象にした。また，得られた基礎資料を使って，コンクリート施工のリスク評価の手法を提示するとともに，対象とした構造物の施工リスクの評価を試みた。なお，不具合等の実態調査は，豊富な実務経験を有する技術者に対するアンケートにより行った。

この報告は，上記した本委員会の調査研究活

\*1 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 名誉教授 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 (株)ティーネットジャパン CS 事業本部 技師長 工博 (正会員)

\*4 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)

\*5 大成建設(株) 技術センター建築技術研究所建築技術開発部 博士 (工学)

\*6 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 講師 工博 (正会員)

表－１ 研究委員会構成

委員長	山本 泰彦	筑波大学大学院				
副委員長	十河 茂幸	(株)大林組				
幹事長	牛島 栄	(株)ティーネットジャパン				
幹 事	庄司 学	筑波大学大学院	柿沢 忠弘	(株)竹中工務店		
	近松 竜一	(株)大林組	中村 敏治	大成建設(株)		
	野口 貴文	東京大学大学院	府川 徹	大成建設(株)		
委 員	上田 英明	青木あすなろ建設(株)	太田 達見	清水建設(株)		
	加藤 佳孝	東京大学大学院	河野 広隆	京都大学大学院		
	坂井 吾郎	鹿島建設(株)	鮫島 貴裕	筑波大学大学院		
	菅家 和明	戸田建設(株)	杉山 律	(株)間組		
	高橋 雄司	(独)建築研究所	谷口 秀明	三井住友建設(株)		
	徳光 卓	(株)富士ピーエス	富田 正浩	西松建設(株)		
	中村 孝明	(株)篠塚研究所	舟橋 政司	前田建設工業(株)		
	宮本 文穂	山口大学大学院	水谷 守	(株)モダンエンジニアリング		
	柳田 克巳	鹿島建設(株)		アンドデザイン		
	事務局	大野 一昭				

動の成果の概要を紹介したものである。

本研究委員会の活動期間は 2005 年 4 月から 2007 年 3 月までの 2 年間であり、WG1（施工リスク発生確率の調査、主査：野口貴文、副査：府川 徹）、WG2（施工リスク対応、主査：中村敏治、副査：牛島 栄）、WG3（施工リスク評価、主査：庄司 学、副査：近松竜一）の 3 つの WG での検討を中心として活動を行った。表－1 に研究委員会構成を示す。

## 2. 研究委員会報告書の構成

研究委員会報告書の構成は、全 6 章と添付資料から構成される予定である。1 章では、本委員会の目的を、本委員会に先立つ「コンクリート構造物のリスクマネジメント研究委員会」の成果を踏まえ、本研究委員会に用いる用語を整理して述べる。2 章では、施工リスク調査のためのアンケート調査の目的や調査方法に関して、どのように施工リスクと関連して、調査結果を施工リスク発生確率として算定させるかを述べる。3 章では、アンケート調査結果の概要に関して、施工リスク要因の発生確率や施工リスクによってもたらされる損失額に関して述べる。4 章では、施工リスクの現状と施工リスクの評

価手法に関して、施工リスクの抽出方法やイベントツリー分析（ET）について述べ、リスク評価手法などを提案する。5 章では、施工リスクの対応方法に関して、回避・低減、損害保険、今後の課題としての品確法や品質保証などと合わせ施工リスクの幾つかの具体的事例に関して述べる。6 章では、施工リスク要因を施工のプロセスからフォールトツリー（FT）を作成し、次にその FT からイベントツリー（ET）を作成して発生確率を把握するプロトタイプ施工リスク評価システムを構築した内容を紹介する。添付資料では、アンケート調査結果の概要を取りまとめている。また、この分野における今後の課題なども合わせて記述する。

本研究委員会の活動により、コンクリート施工における様々なリスクの考え方が整理され、完成品とは言えないまでも、前委員会からの課題であったコンクリート施工におけるリスクマネジメントシステムの一応の形態を提示できた。また、コンクリート構造物の計画、設計、維持管理の各段階におけるリスクマネジメントシステム構築のための最小限の基礎情報を得ることができたと思われる。なお、詳細は研究委員会報告書を参照されたい。

表－２ 本研究委員会の報告で用いる用語の定義

<p><b>リスク</b>： 将来における不確かな損失，あるいは不利益とその発生確率の組合せ。</p> <p><b>施工リスク</b>： コンクリート構造物の性能・機能，周辺環境，工期および労働安全等の観点から施工時に考慮しなければならない項目に関する経済損失とその発生率，あるいは発生確率との組合せ。</p> <p>具体的には，後述する不具合発生率 <math>f_i</math> と不具合対処費用 <math>\bar{C}_i</math> の積，あるいは施工障害発生率 <math>f_i</math> と施工障害対処費用 <math>\bar{C}_i</math> で定義する。さらに，後述する不具合未然防止率 <math>f_i'</math> と事前対処費用 <math>\bar{C}_i'</math> の積，あるいは施工障害未然防止率 <math>f_i'</math> と事前対処費用 <math>\bar{C}_i'</math> の積も施工リスクの定義に含める。</p> <p><b>従事工事数</b>： アンケート回答対象構造物の施工に従事した工事の数。不具合発生率，不具合未然防止率の算出において母数（分母）となる。</p> <p><b>不具合経験工事数</b>： アンケート回答対象構造物の施工において，不具合を経験した工事の数。不具合発生率の算出において分子となる。</p> <p><b>事前対処実施工事数</b>： アンケート回答対象構造物の施工において，事前に対処を行った結果，不具合を未然に防止することができた工事の数。不具合未然防止率の算出において分子となる。</p> <p><b>フォールトツリー分析</b>： 起こりうる不具合・施工障害などから出発して，どのような条件がそろったら当該不具合・施工障害などが起こりうるかということを遡って考えていく分析方法である。本報告書のアンケート調査においては，起こりうる不具合・施工障害の直下のツリーに位置する直接的な独立した要因を抽出し，その発生頻度を問う方法を採用している。</p> <p><b>リスク対応</b>： 想定されるリスクに対し，保有，回避，低減，移転のいずれか，あるいは複数組合せた対策を施す行為。</p> <p><b>リスク保有</b>： 主として発生確率が高いが損害額の小さい領域，損害額が大きいが発生確率の低い領域にあるリスクに対してなされるリスク対応で，結果として生じる損害額を受容する。</p> <p><b>リスク回避</b>： 発生確率も損害額も大きく，想定されるリスクが大きくなる場合のリスク対応で，リスクが発生する行為そのものを止めたり，全く別の方法に替えてリスクそのものを回避するリスク対応である。</p> <p><b>リスク低減</b>： 想定されるリスクの発生確率，損害額，またはその両方を低減する対策を施すリスク対応。</p> <p><b>リスク移転</b>： 発生確率は小さいものの，損害額が非常に大きい場合になされるリスク対応で，保険等によりリスクの一部あるいは全部を移転する。</p>
--

### 3. 本研究委員会報告で用いる用語

本研究委員会の報告で用いる用語のうち，代表的なものの定義をまとめて表－２に示した。

### 4. アンケート調査

#### 4.1 アンケートの概要

施工リスク要因を把握するためのアンケート調査は，（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 協会を通じて，その参画企業 352 社（複数の協会に所属している会社も含まれるため，数字は延べ数）に送付し，協力を依頼した。「現場の所長経験者，あるいはこれと同等の職責と現場経験を有する技術者」1名の回答を1件として，（社）日本土木工業協会および（社）建築業協

会の参画企業については各社5件ずつ，（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参画企業については各社2件ずつの総計 920 件の回答を予定して実施し，回収件数 474 件，回収率 51.5%であった。アンケートは，各協会に対して平成 18 年 7 月 25 日付で送付し，約 1 ヶ月半後の平成 18 年 9 月 8 日までに回収がなされるように依頼した。

アンケートは，施工リスク要因として検討された 22 項目（詳細は 4.2 で述べる）に関して，橋梁上部工，橋梁下部工，中高層 RC 集合住宅およびボックスカルバートのコンクリート工事における各種の不具合または施工障害に限定して，施工リスクの評価を行う上で有用な基礎データを得ること，アンケート回答者の負担にならない形式であるように配慮して作成した。

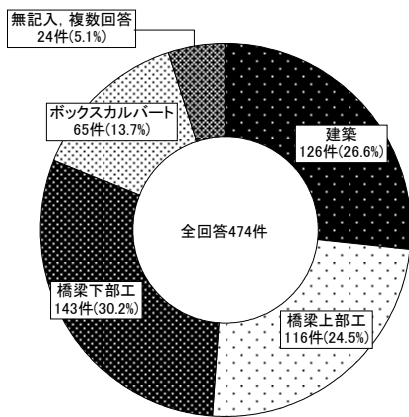


図-1 構造物別に見たアンケート回答件数

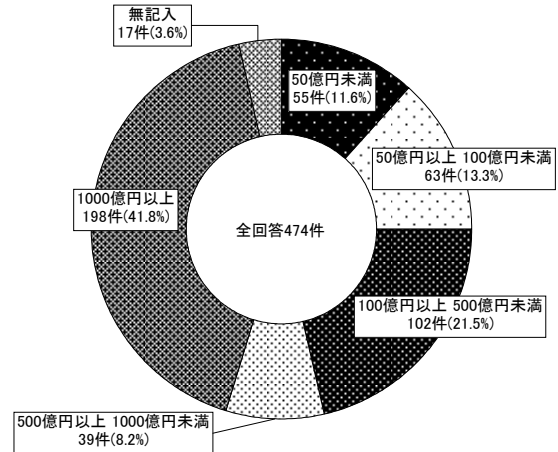


図-2 完工高別に見たアンケート回答件数

## 4.2 結果の概要

構造物の種類と企業の完工高に着目し、アンケート結果をまとめたものが図-1と図-2である。アンケートの対象とした4種類の構造物に対し、ボックスカルバートの回答件数が他の構造物よりも若干少ないが、概ね同程度の回答件数を得ている。また、企業の完工高に着目すれば、1000億円以上と500億円未満の比率がほぼ一致しており、アンケートの集計結果が大規模工事や規模の大きな建設会社に偏ることなく、コンクリート工事に携わる業界やその工種の全般的な傾向を示しているものと考えられる。

## 5. 施工障害・不具合の発生率・未然防止率

### 5.1 発生しやすい施工障害・不具合

構造物の種類および不具合事象ごとの不具合経験工事数を図-3に示す。「強度不足」、「鉄筋腐食」および「コンクリートの凝結異常」といった不具合は、すべての構造物を合わせても10件前後であるが、「配筋作業実行不能」、「かぶり厚さ不足」、「配筋の誤り」、「ひび割れ」、「充てん不良」、「漏水」、「コールドジョイント」および「仕上げ不良」といった不具合は150件程度以上とかなり多い結果が得られた。

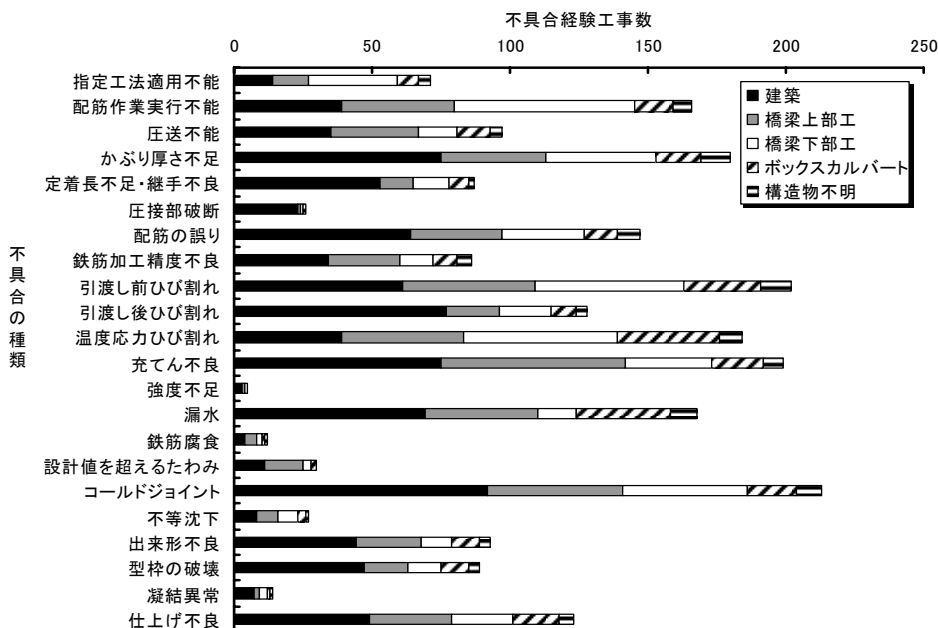


図-3 不具合経験工事数

## 5.2 施工障害・不具合の発生原因

紙面の都合上、22 項目の施工障害・不具合のすべてについてその発生原因を示すことは難しいので、ここでは、代表的な施工障害・不具合として中高層 RC 集合住宅における「配筋作業実行不能」を例にとって、その発生原因を示す。図-4 に示すように、「配筋作業実行不能」という施工障害が発生した原因として、「配筋図不良」が圧倒的に多い結果となった。これは、構造図と鉄筋加工図の不一致などによるものと考えられる。一般に中高層 RC 集合住宅では、階数を稼ぐ意味で梁背を抑える傾向があり、そのため無理な構造設計になることが多く、水周りの段差部における鉄筋の納まりが十分に検討されていないなどが原因として想定される。

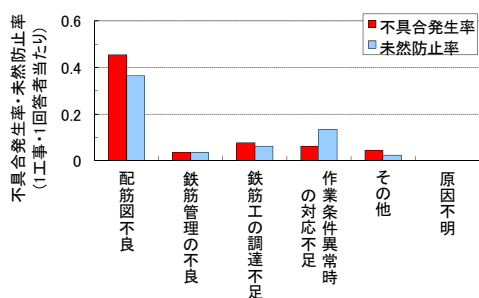


図-4 配筋作業実行不能の要因別発生率

## 5.3 未然防止率と発生率との関係

事前対策を講じて施工障害・不具合の発生を未然に防止した未然防止率と事前対策の有無にかかわらず施工障害・不具合に至った不具合発生率との関係をグラフに表すと、図-5 に示す (a), (b), (c), (d) の 4 種類に分類できる。(a) は、当該施工障害・不具合に対して事前対処の方法がない、または事前対処が成功してい

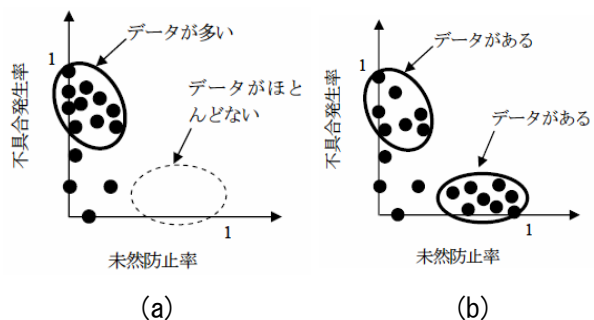


図-5 不具合発生率と未然防止率との関係の4つの分類

ないことを示しており、今後当該施工障害・不具合を未然に防止できる技術開発を行う必要があること、または別の方法を採用する必要があることを示唆している。(b) は、当該施工障害・不具合に対しては効果的な事前対処の方法があるものの、事前対処がなされていない場合があることを示しており、当該施工障害・不具合の発生が予想される場合には、効果的な事前対処を採用する必要があることを示唆している。(c) は、当該施工障害・不具合は重要でなく、かつその発生も稀であることを示しており、通常は無視してもよい施工障害・不具合であるが、状況によっては事前対処を実施する必要があるかもしれないことを示唆している。(d) は、当該施工障害・不具合は事前対処が必要なものとして認識され、現在、効果的な事前対処が実施されていることを示しており、現行の対応を採り続ければよいことを示唆している。

ここでは紙面の都合上、橋梁上部工における「引き渡し前に生じたひび割れ」を例にとって、図-6 に未然防止率と不具合発生率との関係を示す。橋梁上部工では、未然防止率が高く事前対処が有効な場合も存在するが、ひび割れを未然防止できず不具合発生率が高い場合が多く見

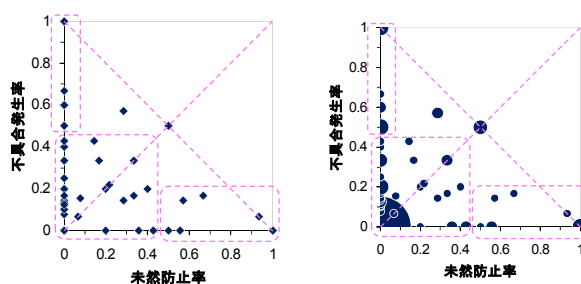


図-6 未然防止率と不具合発生率

受けられる。このことは、事前対策によって不具合発生率を低減することは可能なので、確実に事前対策を実施することが重要であることを示唆している。

#### 5.4 従事年数・完工高の影響

コンクリート構造物において施工障害・不具合の発生を抑制できるかどうかは、工事担当者の経験（同じ種別の工事に従事した年数）や請負企業の技術レベル（完工高）にも依存すると考えられる。ここでは、「かぶり厚さ不足」および「コールドジョイント」を例にとり、施工障害・不具合の発生率に及ぼす従事年数および完工高の影響を図-7および図-8に示す。従事年数が10年未満では、「かぶり厚さ不足」の発生率は0.25~0.3であるが、従事年数が10年を超えると0.16程度に減少している。一方、未然防止率は10年以上になると0.1未満から約0.15に増えており、従事年数が増えるほど事前対策が実施される傾向が伺える。また、完工高に関わらず、「コールドジョイント」の未然防止率は0.1以下であるが、不具合発生率は完工高1000億円以上の企業が高くなっている。これは、完工高の大きい大企業は、大型工事あるいは複雑な工事を実施することが多く、その結果、不具合発生率が高くなると考えられる。

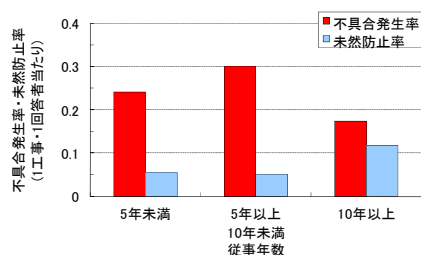


図-7 従事年数とかぶり厚さ不足の関係

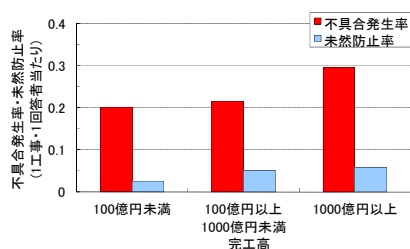


図-8 完工高とコールドジョイントの関係

#### 5.5 損失額

##### (1) 各不具合が損害額に及ぼす影響

アンケートから得られた各不具合・施工障害に対する対処費用（対請負金額 [%]）を、中高層RC集合住宅と橋梁上部工について、図-9、図-10に示す。ここで述べる対処費用とは事前対処費用（不具合の発生を予測して事前に対応した時の費用）、不具合対処費用（不具合が発生した後に対処した費用）の両方を含んだ費用である。

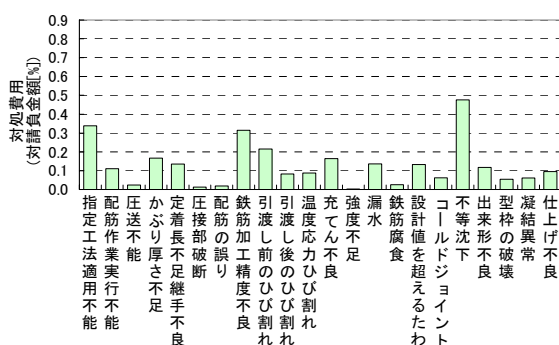


図-9 中高層RC集合住宅の対処費用

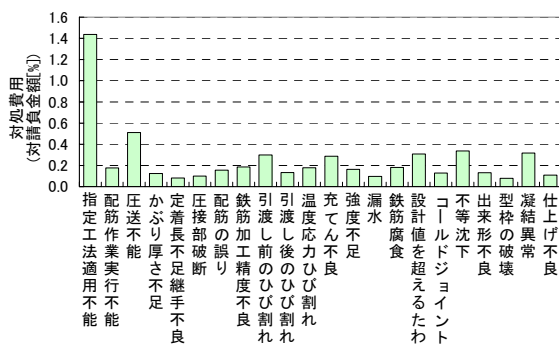


図-10 橋梁上部工の対処費用

中高層RC集合住宅における対処費用は、不等沈下(0.48%)、指定工法適用不能(0.34%)、鉄筋加工精度不足(0.32%)の順で大きい。集合住宅は最近では軟弱な地盤にも建設される事が多く、設計で対応されていなければ、現場での対処費用はかなり大きくなると言える。指定工法適用不能についても同様のことが言える。

一方、橋梁上部工では、指定工法適用不能

(1.44%)が最も多く、次いで圧送不能(0.51%)、不等沈下(0.34%)である。圧送不能の対処費用が大きくなったのは、中高層RC集合住宅に比べコンクリート量が非常に多いことや配管長さも非常に長いことから、閉塞した時の被害が大きいためと考えられる。

ここでは割愛したが、橋梁下部工では指定工法適用不能(2.96%)、鉄筋腐食(2.35%)が多く、ボックスカルバートでは配筋作業実行不能と漏水(共に0.74%)が多く、それぞれの構造の特徴が表れている。

なお、土木構造物に比べ、中高層RC集合住宅の対処費用の値が小さいのは、設備工事費や内装・仕上げ費が請負金額に含まれるため、コンクリート工事費の割合が小さくなったためであると考えられる。

## (2) 対処時期が損害額に及ぼす影響

中高層RC集合住宅と橋梁上部工について、事前対処費用と不具合対処費用を比較して、図-11および図-12に示す。

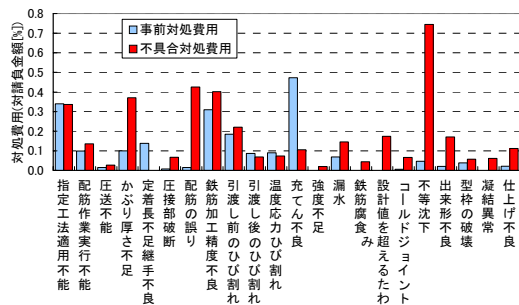


図-11 中高層RC集合住宅の事前対処費用および不具合対処費用

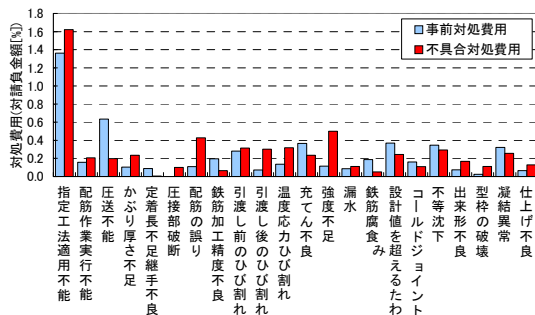


図-12 橋梁上部工の事前対処費用および不具合対処費用

中高層RC集合住宅の事前対処費用は、大半の不具合で不具合対処費用と同等か、それ以下となっている。事前対処を行うことで施工リスクを改善できることを示唆している。充てん不足は不具合対処費用に比べ、事前対処費用が5倍近くにもなっている。図-9に示す充てん不足の対処費用が小さいことから、事前対処を行うケースは少なく、事後に対応した方が得策であると判断しているのかもしれない。また、対処費用が最も大きかった不等沈下の事前対策費用は非常に少なく、事前対処するケースが少ないか、あるいは適切な事前対処ができていないものと考えられる。

橋梁上部工では、事前対処費用の方が不具合対処費用を上回るケースが半数程度ある。単純に、事前対処によって施工リスクを下げることができるとは言いがたい。対処費用が2番目に多かった圧送不能を見ると、事前対処費用と対処費用が同程度の値となっている。これは、不具合が発生してから対処する方が安価であるにも関わらず、圧送不能を生じさせないように対処していることを示しており、対処費用のみでなく別の判断が関わっているものと考えられる。このような現象は他の土木構造物の調査結果にも見られ、経済性が優先される民間建物(中高層RC集合住宅もその1つ)と違い、公共な構造物を対象とする場合の特徴と考えられる。

## 6. 施工リスク評価

### 6.1 施工リスク評価手法の枠組み

図-13には、本研究委員会が提案する施工リスク評価手法の枠組みを示す。本提案手法の利用者は、施工案件の意思決定に直接関わる施工者を想定している。具体的には、現場所長を筆頭とするコンクリート工事の施工や品質管理の責任を担う現場主任などの担当者である。

施工リスク評価の目的は、当該施工に関わる不具合・施工障害の発生を事前に防止・低減するための対策に資する判断材料を提供すること

である。本提案手法は、図-13 に示すように5つのフェーズで構成される。

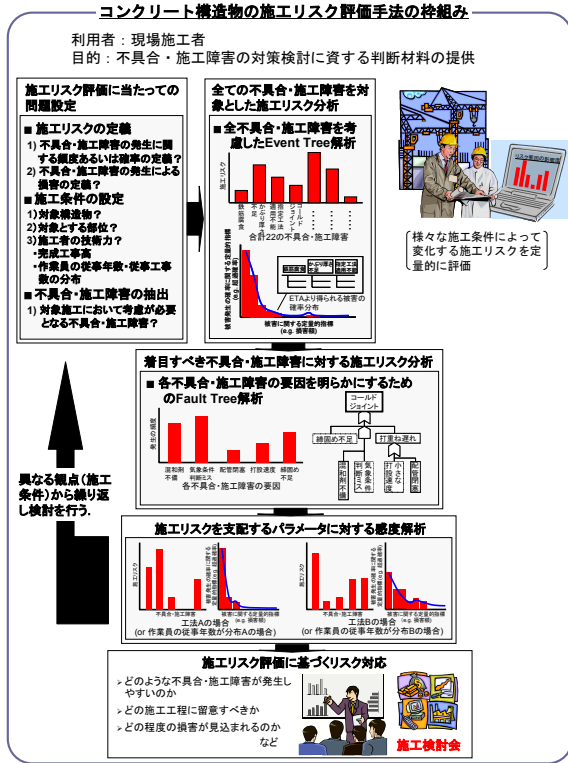


図-13 施工リスク評価の提案手法の枠組み

本提案手法の適用に際しては、第1に、当該施工に係わる問題設定を行い、施工リスク評価の対象を明確にする必要がある。その際には、施工者の問題設定に応じて、不具合・施工障害 $i$ の発生に関する頻度、あるいは確率を表わす指標とそれらの損害を表わす指標とをそれぞれ定義し、「施工リスク」を適宜定義する必要がある。ここでは、施工リスク $R_i$ を、1施工者（1施工現場）当たりの不具合・施工障害 $i$ の平均発生率 $\bar{f}_i$ （以下、不具合発生率、ならびに施工障害発生率）とそれらの1件当たりの重み付き平均損害額 $\bar{c}_i$ （以下、不具合対処費用、ならびに施工障害対処費用）との積として定義し、不具合・施工障害 $i$ の発生から生じる1施工者当たりの平均費用と解釈する。さらに、事前対処による不具合・施工障害 $i$ の未然防止率 $\bar{f}'_i$ （以下、不具合未然防止率、ならびに施工障害未然防止率）とそれらに係わる事前対処費用の重み

付き平均値 $\bar{c}'_i$ （以下、事前対処費用）との積を施工リスク $R'_i$ の定義に含める。これは、不具合・施工障害 $i$ に対する事前対処の平均費用を意味するが、施工者にとって事前対処による経済負担も施工管理の枠組みの中の1つの施工リスクと解釈できるためである。

次に、当該施工に係わる施工条件を明確にする必要がある。コンクリート構造物の種別、構造部材の部位、工法、作業員の質、施工時期、環境条件、現場周辺条件等が重要な施工条件となる。さらに、このような施工条件の設定とともに、当該施工において考慮すべき不具合・施工障害を抽出する必要がある。ここでは、先述したようにコンクリート構造物の性能・機能に係わる合計22の不具合・施工障害を取り扱っている。

このような施工リスク評価に当たっての問題設定を踏まえ、第2には、当該施工に係わるすべての不具合・施工障害を対象とした施工リスク分析を行う。前述した合計22の不具合・施工障害の発生が1施工において独立であると仮定して、それらの発生をイベントと見なし、それらの波及（propagation）、あるいはシーケンス（sequence）をEvent Tree解析（以下、ETA）によって明らかにする。各イベント $i$ の分岐には、当該不具合・施工障害 $i$ の発生、当該不具合・施工障害 $i$ の事前対処による未然防止および当該不具合・施工障害 $i$ の未発生との3つの分岐を想定し、1施工現場に対するそれらの相対的な頻度を各々の分岐の分岐確率と見なす。同時に、不具合対処費用、ならびに施工障害対処費用および事前対処費用を各イベントの分岐に付随させ、合計 $3^{22}$ 通りのイベントシーケンスの結果として得られるそれらの総和（以下、全体損害額）とその発生確率との関係性を明らかにする。この関係性を図示した曲線はリスクカーブと呼ばれる。これより、施工リスク評価において考慮すべきすべての不具合・施工障害に係わる全体損害額の規模とその発生確率を施



工者に定量的に示すことができ、1 件の施工案件に対する損害全体の最大値や期待値等を知ることができる。

ETA においては各イベント  $i$  の分岐確率が異なったものとなるが、これは各イベント  $i$  の発生要因となる施工工程（作業）に原因がある。このような観点から、第 3 に各イベント  $i$  の発生要因となる施工工程を明らかにするための Fault Tree 解析（以下、FTA）を行う。これより、不具合・施工障害  $i$  の発生に影響を及ぼす施工工程を明らかにすることができ、効果的な事前対策を施工工程の絡みから具体的にイメージすることが可能となる。

ETA や FTA より得られる情報はいずれも、先述したある特定の施工条件に対応した情報であり、当該施工現場の現状を示している。したがって、施工条件が異なれば、ETA における各イベント  $i$  の分岐確率、ならびにそれに付随した費用は変化し、リスクカーブは変化する。このようなリスクカーブの感度（sensitivity）を分析することで施工リスクを低減するために必要となる施工条件を明らかにすることができる。たとえば、1) 別の工法の選択、2) 経験豊かな作業員の採用、3) 施工時期の変更、等の代替案の中から施工リスクの低減に最も有効な事前対策を明らかにすることができる。このような施工リスクを支配するパラメータに対する感度解析は、後述するリスク対応に繋がる重要な作業である。

また、FTA によって得られた情報に基づき、各不具合・施工障害の発生を低減する事前対策の実施を想定して、ETA のイベントの分岐確率を変化させ、リスクカーブの変化を分析することができる。これより、不具合・施工障害の発生要因となる施工工程に対する事前対策の有効性や効率性を定量的に示すことができる。これも前述した所与の施工条件に対する感度分析と同様に、リスクカーブに対する感度分析と位置づけることができる。

以上、本提案手法から得られる施工リスクに係わる情報を実際の工事などにおける施工検討会等の意思決定の局面において活用し、効果的なリスク対応を実施することが可能となる。

## 6.2 施工リスク評価の事例

ここでは、紙面の都合上、中高層 RC 集合住宅の不具合・施工障害に係わる施工リスク評価事例を示す。

図-14 には、中高層 RC 集合住宅の不具合・施工障害に関する施工リスク  $R_i$ （図中では、施工リスクと表記）を示す。なお、施工リスク 0.5%とは、請負金額が 10 億円の工事において、ある不具合・施工障害の発生から生じる対処に 500 万円（0.05 億円）の平均費用が発生することを意味する。

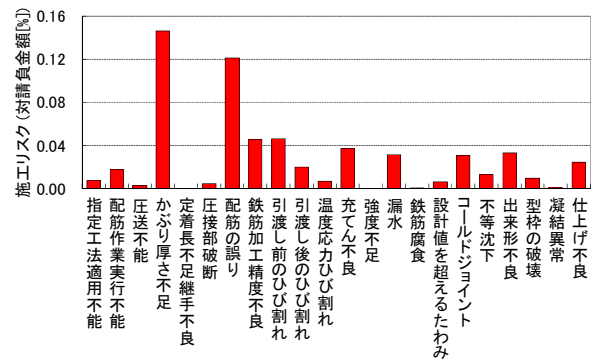


図-14 RC 集合住宅の不具合・施工障害に関する施工リスク

不具合・施工障害に関する施工リスク  $R_i$  は、高い方から順に、かぶり厚さ不足、配筋の誤り、引渡し前のひび割れ、鉄筋加工精度不良、充てん不良となっている。これらはいずれも鉄筋工事に関連する不具合であり、鉄筋に起因した不具合が発生した場合には、その後の手直し（補修）に多大な費用がかかることを意味している。すなわち、その際にはコンクリートのはつり、鉄筋の台直し、あるいは新たな鉄筋への盛換え、断面修復等の様々な作業を伴うことが施工リスクを高くする要因になると考えられる。

図-15 には、中高層 RC 集合住宅の不具合・

施工障害の事前対処に関する施工リスク  $R'_i$  (図中では、同様に施工リスクと表記) を示す。なお、施工リスク 0.5%とは、請負金額が 10 億円の工事において、ある不具合・施工障害に係わる事前対処に 500 万円 (0.05 億円) の平均費用が発生することを意味する。

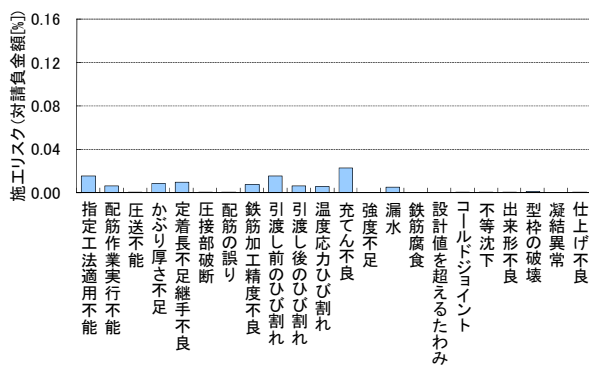
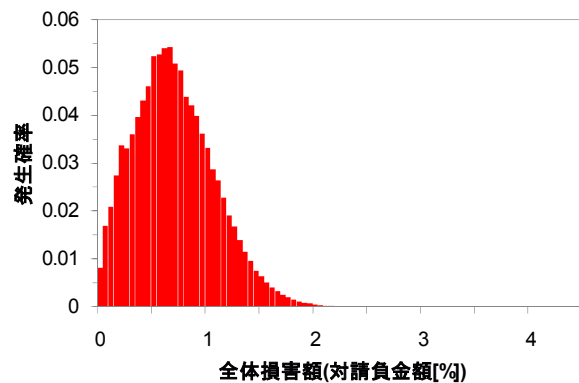


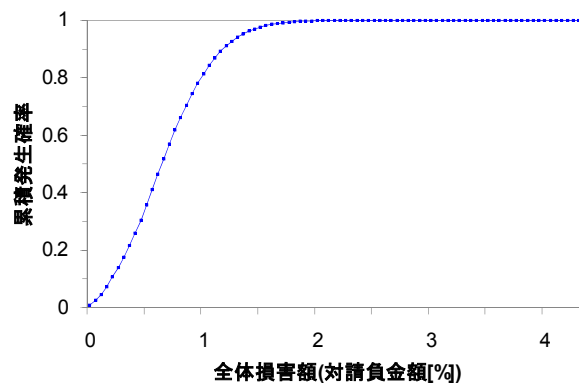
図-15 RC 集合住宅の不具合・施工障害の事前対処に関する施工リスク

不具合・施工障害の事前対処に関する施工リスク  $R'_i$  は、高い順に、充てん不良、引渡し前のひび割れ、指定工法適用不能、定着長不足・継手不足、かぶり厚さ不足、鉄筋加工精度不良となっており、それらの中でも充てん不良が約 0.023%と、他に比べて高くなっている。換言すれば、中高層 RC 集合住宅の施工において、多くの施工現場で充てん不良が発生しないように事前対処に努めていることがうかがえる。これは、RC 集合住宅には、階段手摺り部や壁開口部下等の充てん不良が発生しやすい箇所が多いため、経験的にこれらの部位の施工に何らかの事前対処を施したことの現れと推定される。図-16 には、中高層 RC 集合住宅の不具合・施工障害に関する全体損害額のリスクカーブを示す。これによれば、全体損害額 0.7%の近傍に発生確率のピークが見られ、これよりも全体損害額が高くなるとその発生確率は漸減し、全体損害額が約 2.2%でほぼ 0 に収束している。累積発生確率の観点からは全体損害額は約 2.2%でほぼ 1.0 に収束する。全体損害額が最大となるの

はこれ以降の 4.35%であるが、その際には  $3.40 \times 10^{-24}$  と極めて低い発生確率を示す。また、全体損害額の期待値は請負金額の 0.72%となる。これらの数値はいずれも、RC 集合住宅の施工時においてすべての不具合・施工障害を考慮した場合の施工リスクの目安にすることができる。



(a) 全体損害額と発生確率の関係



(b) 全体損害額の累積発生確率の関係

図-16 RC 集合住宅の不具合・施工障害に関する全体損害額のリスクカーブ

## 7. 施工リスク対応

### 7.1 リスク対応の一般的な考え方

リスクに対する対応としては、大別して、「保有」、「回避」、「低減」、「移転」の方法がある。この4つの対応の関係を図-17に示す。

このうち、「保有」は特に対策を講じない場合であり、これも1つの対応である。なお、ここで言う「対策を講じない」とは、無関心であることを示しているのではなく、特に対策を講

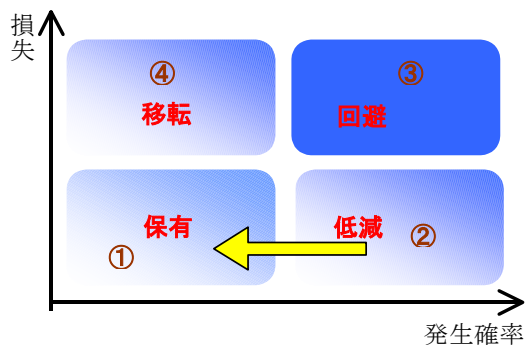


図-17 施工リスクの領域と対応の概念図

じなくとも発生する損害に対し対応可能である状態にあることを言う（図中、①の領域）。本章で解説するリスク対応は、最終的な対応がこの「保有」となるべく行う対処方法である。

「低減」は予測されるリスクが図中②の領域、すなわち予測される損失は小さいものの、不具合等の発生確率が大きい領域にある場合の対応で、不具合等の発生確率を小さくする対策を講じて、「保有」できるリスク（図中①）に移行させる対応である。コンクリート工事において、事前にリスクを把握し対処する対策は、ほとんどの場合この「低減」対応と言える。

「回避」は予測されるリスクが図中③の領域、すなわち不具合の発生確率も損失も大きい領域にある場合の対応で、基本的にこの領域の不具合は回避すべき内容のものである。コンクリート工事に於ける不具合は、ほとんどの場合「回避」に該当しないと考えられるが、たとえばアンケート調査項目の「Q1 指定工法適用不能」の対処として「iii 代替工法に変更した」場合などが該当する。

「移転」は予測されるリスクが図中④の領域、すなわち発生確率は小さいものの、発生した場合の損失が大きい場合の対応である。これは、稀にしか発生しない不具合等に対し対策費を投じて対策をするよりも、このような損失が発生した時には、第三者に損失を肩代わりしてもらうものである。代表的な方法として、損害保険が考えられる。

なお、今後自己責任が強く求められる現在の社会情勢を鑑みると、「回避」、「移転」によるリスク対応が多くなると考えられる。「低減」で行われる対策は、品質管理項目とその対策に重複するところ大であり、本論では割愛し、「移転」に関する調査結果を報告する。

## 7.2 移転

リスク移転として行われる一般的な手法は保険付保や銀行等からの借入金などである。ここでは、リスク移転において最もよく使用されるリスクファイナンスである保険について述べる。

建設工事に関連する保険は、使用される時期によって工事中の保険と工事完成後の保険に分かれ、さらに工事中の保険は、建築工事を対象とする「建設工事保険」、土木工事を対象とする「土木工事保険」に大別される。そのほか、法律上の損害賠償責任を負担することによって被る請負業者の損害を補償する「請負業者賠償責任保険」、鋼構造物を主体とする組立工事を対象とするものや付帯工事（電気工事、衛生工事、空調設備など）のみを施工する工事を対象とした「組立保険」がある。

一方、工事後の保険については、「瑕疵担保保険（瑕疵担保保証）」、「土木構造物保険」、「生産物賠償保険」等がある。「瑕疵担保保険」については、現状では住宅についての瑕疵保証制度があるほか、一部の専門工事業者団体による瑕疵保証制度が運営されている。また、公共工事では、公共工事履行保証証券（履行ボンド）の特約として瑕疵担保が付されたものが商品化されている。

これらの中で工事中の主な保険である「建設工事保険」、「土木工事保険」について、損害保険会社（9社）のホームページおよび損害保険、再保険会社へのヒアリングによって保険対象範囲を調査した結果、下記項目に該当する損害・費用については補てんされないことがわかった。

- 1) 故意・重過失による損害

- 2) 地震, 風・雨等の漏入, 寒気・氷等による損害
- 3) 戦争・暴動等による損害
- 4) 目的の性質, または瑕疵等の損害
- 5) 設計・施工・製作の欠陥の除去費用
- 6) 湧水の止水・排水費用

上記項目は「損害が不測 (Unforeseeable), かつ突発的 (Accidental) な事故によるもの」ではないと判断されたもので, 本論で対象としているコンクリート工事における不具合については, 1), 4), 5) の項目に該当し, 保険の対象外となる。

本研究委員会報告で対象とする施工リスクが保険の対象となるための課題検討において, 国土交通省でまとめられた「瑕疵保証のあり方に関する研究会」<sup>2)</sup>を参考にした。これによると, 次の6項目を, コンクリート構造物の施工リスクが今後, 保険の対象となるための条件, あるいは保証業務が事業として成立するための条件とみなしても良いと考えられる。

- 1) 発注者と請負者の片務的な甲乙関係の改善
- 2) 工事目的物別の保証対象とすべき瑕疵の定義や認定方法の明確化
- 3) 発注者, 請負者, 保証人の3者が納得する紛争処理のスキームの準備
- 4) 保証主体がリスク算定をするために必要となるデータの整備
- 5) 瑕疵保証制度を健全に保つための措置
- 6) 保証人が保有する保証枠や再保険の問題の解決

特に, 4) の項目に示すように, 施工リスク算定手法の確立と算定のためのデータ (発生確率, 損害額) の更なる充実が求められるとともに, 保険業界との密な情報交換が必要と考えられる。

## 8. まとめ

平成 16 年度で活動を終えた, 「コンクリート構造物のリスクマネジメント研究委員会」(平

成 15・16 年度実施) では, コンクリート構造物の調査・設計・施工・維持の段階におけるリスク要因を洗い出して, リスク評価を行う枠組みを構築し, 益々重要となるリスクマネジメントの概念を適用する考え方を整理した。

本研究委員会ではこの成果を受け, 施工時の各種要因にリスクに限定して, その発生確率について実務技術者へのアンケートを実施して, 施工リスクの発生確率を把握評価し, 施工リスクの対応が実際にどのように行われているかに関しても, 実務技術者の経験工事内容や経験年数, 所属する組織の規模などに着目して, アンケート結果を整理し, 施工リスクに関する傾向を把握した。その成果を基に, 施工リスク評価システムのプロトタイプモデルを提案した。

さらに, 施工リスクの対応策として, 保険制度に関する調査, ISO 品質マネジメント制度の運用の課題, 公共工物品質確保制度と技術検査の現状と課題, 施工不具合のいくつかの事例なども合わせて記述されることになっている。

信頼性の高いコンクリート構造物を構築するために, 施工段階で発生する施工リスクを理解し, いかに回避・低減するかを実施することの重要性や強い職業倫理観を併せ持つ技術者として切磋琢磨することが極めて重要である。

本研究委員会の報告書が施工リスクの評価検討する場合の一助となれば誠に幸いである。

末筆となりましたが, 本研究委員会の活動に献身的に尽力して頂いた委員各位に厚く感謝申し上げます。さらに, 本研究委員会の成果の根幹を形成するアンケートに積極的, かつ真摯に御協力頂きました多くの協会, 企業, 建設技術者の方々に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) (社) 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) 国土交通省総合政策局建設業課報告書 (2005 年 8 月)