

# 論文 ベトナムにおけるコンクリート施工リスク評価システムの構築に関する調査研究

PHAN Quy Thanh\*1・野口 貴文\*2

**要旨:** 海外プロジェクトにおいては、施工時のリスク管理が極めて複雑な問題となっている。本調査（第1回調査）ではコンクリートの施工に起因する不具合の発生確率とその対処費用に関する実際のデータを収集するためにアンケート調査を行った。調査結果として、どの施工障害・不具合の発生率が高いのかを把握でき、イベントツリー解析によりリスクカーブを作成し、リスクカーブの感度を分析することで施工リスク低減策を立案した。本研究は、ベトナムにおけるコンクリート構造物の長寿命化、ライフサイクルコストの低減策立案の際、施工計画外に生じる事象を予め想定できる基礎資料となる。

**キーワード:** コンクリート, 施工リスク評価, ベトナム, リスクカーブ, イベントツリー解析法

## 1. はじめに

海外プロジェクトにおいては、施工時のリスク管理が極めて複雑な問題となっている。ベトナムで 2007 年 9 月 26 日に、ODA による開発途上国建設プロジェクトとして建設中のカントー橋 (Can Tho Bridge) のアプローチ支間において、架設中の鉄筋コンクリート箱桁が二径間にわたり 25m 程の高さから崩落した。この事故は死者 54 名、負傷者 80 名の大惨事となってしまった。カントー橋は日本の建設会社 3 社の JV が工事を担当しており、2008 年末に完成する予定だった。このような状況を踏まえ、筆者の研究では 3 回の調査を行い、ベトナムにおけるコンクリート施工リスクの発生確率、損害額、型枠支保工の事故発生要因・事故防止対策等を定量的に把握した上で、それを基にベトナムにおける「コンクリート構造物の施工リスク評価システム」の構築を最終目的としている。本論文では、第 1 回調査において施工リスクの発生確率および損害額の調査結果について検討を行った。

## 2. 第 1 回調査の概要

本調査では「ベトナムにおけるコンクリート構造物の施工リスク評価システム」を構築することを目的としてコンクリートの施工に起因する不具合の発生確率とその対処費用に関する実際のデータを収集するために、2008 年 11 月から 12 月にかけて筆者とベトナム国立ダナン大学工学系研究科の PHAN QUANG XUNG 教授および TRAN VAN NAM 准教授との共同研究としてベトナム現地に滞在し、ベトナム建設協会 (VIFCEA)、ベトナムコンクリート協会 (VCA)、ベトナム建築協会 (VAA) の 3 協会を通じて、その参加建設関連各社の現場所長経験者に、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を参考に作成した図-1 に示すような内容を含むアンケート用紙を送付または直接手渡し、アンケート回答協力を依頼した。

## 3. 考察方法概要

### 3. 1 確率論的リスク評価手法及び新たな公式提案

確率論的リスク評価手法として下記の式を使用した。

$$R_i = P_i \times C_i \quad (1)$$

Ri: 各施工障害・不具合 i のリスク定量的評価値

Pi: 各施工障害・不具合 i の発生確率、あるいは未然防止率

Ci: 各施工障害・不具合の発生した場合の損害額、あるいは未然防止のための事前対処費

本研究はリスク評価に当たって、評価値をより正確に得るため下記の様な式を提案した。

$$P_i^s = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \frac{x_j}{y_j} \quad (s=1, 2, 3, 4) \quad (2)$$

P<sub>i</sub><sup>1</sup>: 事前対処したが、発生した不具合等発生率 (Case 1)

P<sub>i</sub><sup>2</sup>: 事前対処しなかったため、発生した不具合等発生率 (Case 2)

P<sub>i</sub><sup>3</sup>: 事前対処したため、発生しなかった不具合等未然防止率 (Case 3)

P<sub>i</sub><sup>4</sup>: 事前対処しなかったため、発生しなかった不具合等非発生率 (Case 4)

N<sub>i</sub>: 施工障害・不具合 i の有効回答者数

x<sub>j</sub>: N<sub>i</sub> 人中の回答者 j の不具合等経験工事数、あるいは未然防止工事数

y<sub>j</sub>: 回答者 j の従事工事数

\*1 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻大学院生 修士 (工学) (正会員)

\*2 東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻准教授 博士 (工学) (正会員)

### アンケート内容の概略

本アンケートは五つの設問で構成され、全ての内容は A4 の 6 枚にて作成された。下記は箇条書きとして何を聞いたかを示す。

Q1. 回答者及び在籍中の会社・機関の情報把握

Q1-1. 会社・機関の主な事業内容

Q1-2. 会社・機関の 2007 年度の完工高

Q1-3. 会社・機関の設立年

Q1-4. 会社・機関の従業員数と技術士数

Q1-5. 従事・経験・関係で最も多い構造物の種類

Q1-6.

- 土木・建築に関わる従事年数及び工事数
- Q1-5 に選んだ構造物の従事年数
- Q1-5 に選んだ構造物の従事工事数

Q2. 施工リスクにあたってリスクの発生及び大きさに最も影響を与える問題点(表-3 を参照)

- 施工現場の近隣問題 (騒音防止, 粉飛び防止, 環境問題等)
- 施工条件と現場との乖離
- 建設材料管理困難 (盗難・適切倉庫が無い等)
- 天気による悪影響
- 安全性に関する諸問題 (事故管理・事故防止設備・備品不足等)
- 工期に関する諸問題 (工期が追っていたので工事施工確認不足)
- その他

Q3.

- Q1-5 で選んだ構造物種類が対象で、表-1 に示した不具合・施工障害等を経験した工事に対して、事前対処費用と事後措置費用及び経験した工事回数
- 費用は発生した費用の総額と請負金額に対する対処費用の比 (%) で表し、複数回経験した場合はその平均
- 表-1 に示した全ての施工障害・不具合に対し、「事前対処したが、発生した」、「事前対処しなかったので、発生した」、「事前対処したので、発生しなかった」、「事前対処しなかったが、発生しなかった」の 4 つのケースを分けて聞いた

Q4. 訴訟 (損害賠償, 調停, 示談等) になった不具合等の事例

Q5. ベトナムにおけるコンクリート工事施工にあたって不具合未然防止・リスク発生率低減策に関して取り組むべき問題点

\*アンケートの詳細内容に関しては下記のサイトに記載されている。

日本語版: <http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/phan/jp.html>

ベトナム語版: <http://bme.t.u-tokyo.ac.jp/phan/vn.html>

図-1 アンケートの内容概略

$$C_i^s = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} w_j \quad (s=1, 2, 3, 4) \quad (3)$$

$C_i^1$ : 事前対処したが、発生した不具合等発生の前対処費用+事後措置費 (Case 1)

$C_i^2$ : 事前対処しなかったので、発生した不具合等の事後措置費 (Case 2)

$C_i^3$ : 事前対処したので、発生しなかった不具合の前対処費用 (Case 3)

$C_i^4$ : 事前対処しなかったが、発生しなかった不具合対処費用=0 (Case 4)

従って、リスク定量的評価値  $R_n$  は以下の式で求める。

$$R_n = P_i^s \times C_i^s \quad (n=1, 2, 3, 4) \quad (4)$$

### 3.2 イベントツリー解析法の概

本研究ではコンクリート構造物の機能・性能に大きく関わる 26 種類のリスク要因と施工障害を抽出し、表-1 に示した。第 1 回目のアンケートで調査した合計 26 の施工障害・不具合のそれぞれの発生が工事現場において独立であると仮定して、各施工障害・不具合  $i$  の発生をイベントと見なおし、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ものである。各イベント  $i$  の分岐には、当該施工障害・不具合  $i$  の「事前対処したが、発生した」、「事前対処しなかったが、発生した」、「事前対処したが、発生しなかった」、「事前対処しなかったが、発生しなかった」の4つの分岐を想定し、各々の分岐に対する分岐確率を与える。同時に、各イベントの分岐に対して施工障害事前対処費用・事後措置費用を付随させ、合計  $4^{26}$  通りのイベントシーケンスの結果として得られる施工障害全体損害額（事前対処費と事後

措置費の総和）、ならびにそれに対応して分岐確率をすべて掛け合わせて得られる発生確率  $P$  を求める。これより、それぞれのイベントシーケンスにおける全体損害額を数値の高いものから順番に並べ、番号  $i$  を付し、対応した発生確率  $P_i$  も並べ替えた上で、以下に示すように超過確率  $P'_i$  を求める。

$$P'_i = P_i \quad ; \quad P'_i = 1 - (1 - P'_{i-1})(1 - P_i) \quad (5)$$

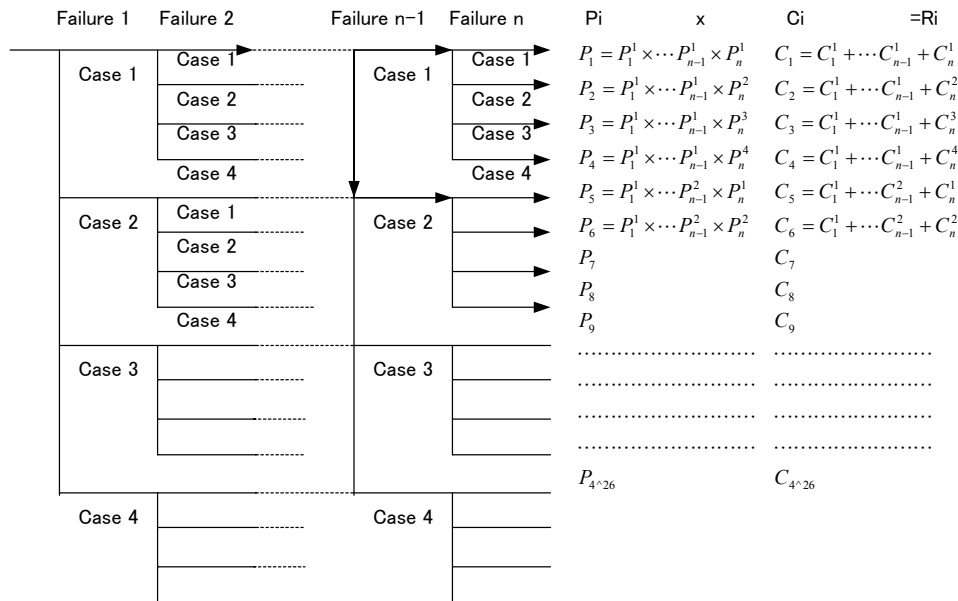


図-2 イベントツリー解析法の概要

表-1 不具合・施工障害等の種類

コンクリート供給不安 定 F1	運搬中コンクリート凝結 F2	指定工法適用不能 F3	圧送不能 F4	かぶり厚さの不足 F5
定着長不足・継手の不 良 F6	圧接部破断 F7	配筋の誤り F8	鉄筋加工精度の 不良 F9	引渡し前ひび割れ F10
引渡し後ひび割れ F11	温度応力ひび割れ F12	充填不良 F13	強度不足 F14	漏水 F15
鉄筋腐食 F16	設計値を超えるたわみ F17	構造物崩落 F18	コールドジョイ ント F19	不等沈下 F20
出来形不良 F21	型枠の破壊 F22	凝結異常 F23	仕上げ不良 F24	上記以外の不具合 F25 上記以外の不具合 F26

#### 4. アンケート回収結果

アンケート回収結果を表-2に示すが、アンケートの全配布数 240 件の 34.6% に相当する 83 件の回答を得た。本調査では、ベトナム建設協会 (VIFCEA)、ベトナムコンクリート協会 (VCA)、ベトナム建築協会 (VAA) の協力を得てアンケート用紙を配布した。今回の調査では、当該施工障害・不具合のイベントツリーの作成において「事前対処したが、発生した」、「事前対処しなかったが、発生した」、「事前対処したが、発生しなかった」、「事前対処しなかったが、発生しなかった」の4つの分岐を想定し、これらすべての回答を求めたため、回答者に大きな負担を強いることになり、回答率の低下につながってしまったと考えられる。

「事前対処したが、発生した」、「事前対処しなかったが、発生した」、「事前対処したが、発生しなかった」、「事前対処しなかったが、発生しなかった」の4つの分岐を想定し、これらすべての回答を求めたため、回答者に大きな負担を強いることになり、回答率の低下につながってしまったと考えられる。

構造物ごとの回収割合を図-3に示す。構造物ごとの回収率を見ると、住宅についての回収率が高く全体の50%以上を占めた。この結果より、ベトナムにおける建設関連業者はほとんど住宅に関連する事業に携わっており、住宅以外の構造物である高層ビル、トンネル、橋、

ダム等の建設の経験が少ないことが分かる。このことはすなわち、ベトナムにおける大型建設プロジェクトのほとんどは、日系、韓国系、中国系および欧米系の建設会社によって請け負われていることを意味する。

### 5. 考察

表-3 に示すとおり、施工リスク及びそれを左右する品質を考える際に、最も悪影響を与える問題点は現場での「建設材料管理困難」であることが明らかになった。表-3 に示すように、「建設材料管理困難」を第1位の要因とする回答は19名であり、第2位とする回答数の18名を加えた合計で考えると、「建設材料管理困難」は最も悪影響を与える問題点と考えられる。現地調査で撮影した写真-1は、施工現場での材料保管が不適切のため鋼製型枠が錆び、その型枠が使用された床スラブに錆の模様が現れた例である。ベトナムでは、盗難事件の多発による構造物の性能低下と施工事故の発生は、頻繁にニュースなどで報道されている一例として、以下の日本語サイト<sup>3)</sup>には「ベトナム南部 VUNG TAU 省の各工業団地の工場や倉庫、工事現場などから建設資材・設備が盗難されると伴い材料不足が構造物の性能低下にまで至ることの記事」である。

また、本調査で現地の現場責任者に直接ヒアリングを行った結果とアンケートの設問 Q5「回答者にとってリスク低減策に取り組むべき問題点」に対する回答者からにより現場資材管理又は盗難防止問題に関する意見が多数であり、その中で盗難された後、材料再調達が困難のため材料を補給せずに構造物を造ってしまったという懸念な意見も多数である。ベトナムでは、現場で建設材料の倉庫を使用する習慣があまりないので、建設材料はそのまま現場の室外に置いてあり、材料の品質が低下することが多く見られる。また、まともな倉庫がないため盗難の事件が多発し、材料不足となり、構造物の性能低下をきたして施工事故に繋がる可能性が高いと考えられる。これは、ベトナムでの構造物の早期劣化および性能低下にもつながり、ライフサイクルコストの増加をも生じさせるものと推測される。

図-4 に、事前対処したが発生した (n=1)、事前対処しなかったので発生した (n=2)、事前対処したので発生しなかった (n=3) 不具合のリスク定量的評価値  $R_n$  (式(4)) を比較して示す。事前対処しなかったので発生した (n=2) に着目すると、未然防止策があるものに対して損害額は遥かに大きいことが分かる。この結果より、ベトナムではリスク発生の未然防止策を講じることに積極的に取り組んでいない様子が見受けられる。

図-5 において、全構造物の不具合発生率に着目すると、発生確率が15%以上の不具合は圧送不能、かぶり厚さの

不足、配筋の誤り、引渡し前ひび割れ、引渡し後ひび割れ、充填不良、強度不足、漏水、鉄筋腐食、設計値を超えるたわみ、コールドジョイント、不等沈下、出来形不良、仕上げ不良であり、その中で、もっとも発生確率が高い不具合は F16 (鉄筋腐食、24%) であった。

施工リスク定量的評価値 R を表す図-6 においても、特に F10, F11 および F16 のリスク値は非常に高く、第1回調査のアンケートの設問 Q.5「リスク低減策に取り組むべき問題点」に対する回答として、「打込み」、「締固め不良」、「不適切な養生」、「材料選定・管理の不良」が多く寄せられており、それらが鉄筋腐食 (F16) 及びひび割れ発生 (F10, F11) の主な要因であると考えられる。

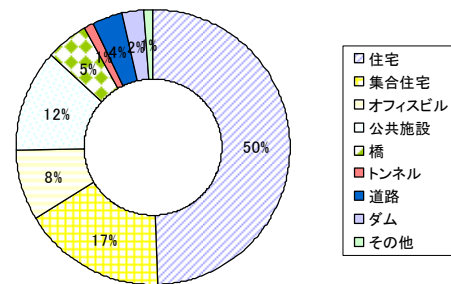


図-3 構造物ごとの回収割合

表-2 アンケートの回収結果

依頼先団体名	配布部数	有効回収部数	割合%
ベトナム建設協会 (VIFCEA)	90	32	36
ベトナム建築協会(VAA)	60	21	35
ベトナムコンクリート協会(VCA)	70	19	27
その他のコンクリート関連会社	20	11	55
<b>計</b>	<b>240</b>	<b>83</b>	<b>35</b>
未回収・不有効回答部数		<b>157</b>	



写真-1 倉庫がない為型枠錆びによる天井錆び

表-3 リスクの発生及び大きさに与える問題点

原因・問題点	1位の頻度	2位の頻度	3位の頻度
施工現場の近隣問題（騒音防止，粉飛び防止，環境問題等）	20	14	10
施工条件と現場との乖離	19	15	19
建設材料管理困難（盗難・適切倉庫が無い等）	<u>19</u>	<u>18</u>	15
天気による悪影響	5	11	9
安全性に関する諸問題（事故管理・事故防止設備・備品不足等）	9	15	13
工期に関する諸問題（工期が追っていたので工事施工確認不足）	9	8	10
その他	2	2	7

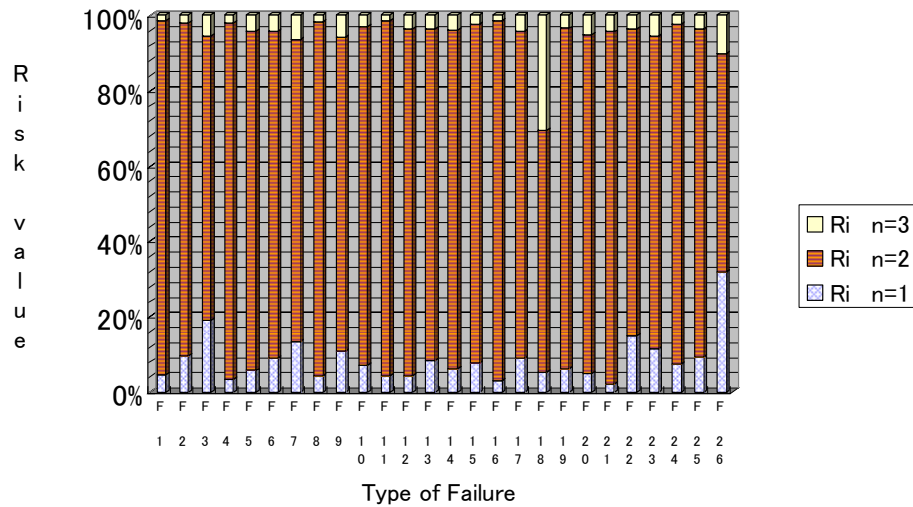


図-4 事前対処あり (n=1, 3) と事前対処なし (n=2) の比較

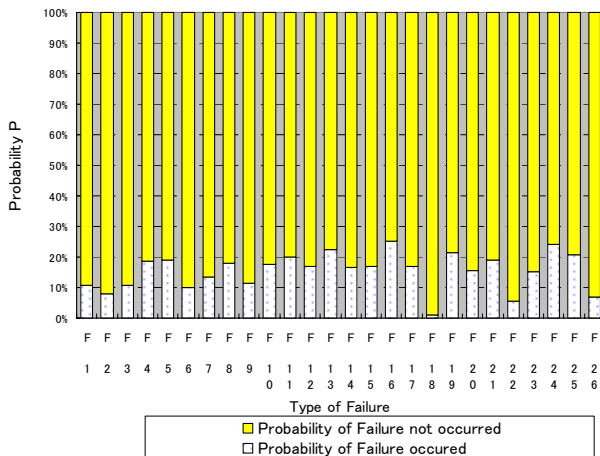


図-5 全構造物に対する不具合  $F_i$  の発生率

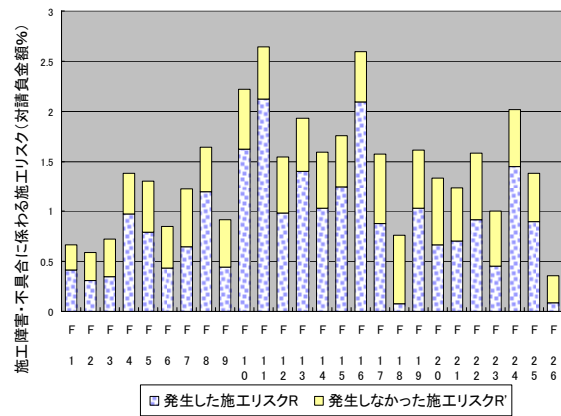


図-6 全構造物に対する不具合  $F_i$  の施工リスク R

住宅における全体損害額の超過確率をプロットした曲線（リスクカーブ）に対する技術員数の違いの影響を見るために図-7および図-8に示す。図中には点線で期待値も示している。両図より、損失の小さい不具合・施工障害の発生確率が高くなっているが、損失の大きな不具合・施工障害についても無視できない発生確率を示しており、リスクを評価する上では、損失も発生確率も大

きい最優先すべき不具合・施工障害があると考えられる。このようにリスクを評価するにあたり、期待値のみならず、損失とその超過発生確率の関係（リスクカーブ）を把握することが重要である。また、イベントツリー解析法（ETA）においては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、ならびに施工障害・不具合損害額は変化し、ETAにより得られるリスクカーブも変

化となる。一例として他の施工条件はまったく同様で技術員数だけが異なる場合、損害額を10%とすると、技術員数25名～45名の場合、超過確率は0.18であり、又は技術員数60名～100名の場合、超過確率は0.2となっている。つまり、請負金額が10億VNDの住宅工事の場合には全体損害が1億VNDを超える確率に対して、技術員数25名～45名の場合は0.18、技術員数60名～100名の場合は0.2ということになる。このようにリスクカーブを評価するにあたり、この場合は施工リスクを低減するためには技術員数が多いという請負者を単に選択することだけではないことを明らかになった。要するに、このようなリスクカーブの感度（シークエンス）を分析することで当該施工リスクを低減するために必要とする施工条件を明らかにすることができる。

## 6. まとめ及び今後の課題

今回の調査結果を基に、以下の結論を得た。

- 今回の調査結果としてはどの施工障害・不具合の発生率が高いかを把握できた。
- 施工現場の材料管理において適切な倉庫がないため構造物の特性低下及び施工事故に繋がる可能性が高いことが分かった。
- イベントツリー解析法の基礎データである各不具合・施工障害の発生確率及び全体損害額を把握することができた。
- ETAより得られるリスクカーブの感度を分析することは施工リスク評価に基づく対策に繋がる必要不可欠な作業である。

これらの不具合が万一生じた場合に発生要因の調査並びにどのように対応すれば効果的かに関して日本と比較しながら取り組むのは今後の研究課題と考えられる。

ベトナムにおいて建設資材の品質、建設施工会社の技術レベルなどは日本と比較してはるかに劣っている。予め施工計画を立てても、一貫して計画の通りに工事が進むことがほとんどなく、施工計画を常に見直し、変更しながら施工が行われるのが一般的なことである。さらに、コンクリートの設計基準・指標、施工法もまだ確実に実施されていない現状も見られる。そのため、ベトナムで鉄筋コンクリート構造物を構築する過程においては、様々なリスクが存在している。施工過程で生じるリスク

には、工期の遅延や大きな事故に結びつく可能性もあり、実際にカントー橋崩落のような大惨事も発生してしまった。ベトナムにおける近年の建設の状況を考えると、施工時のリスクを低減することは極めて重要と考えられ、本研究はベトナムにおけるコンクリート構造物の長寿命化、ライフサイクルコストの低減策立案の際、施工計画外に生じた事象が予め想定できる基礎資料となれば幸いである。

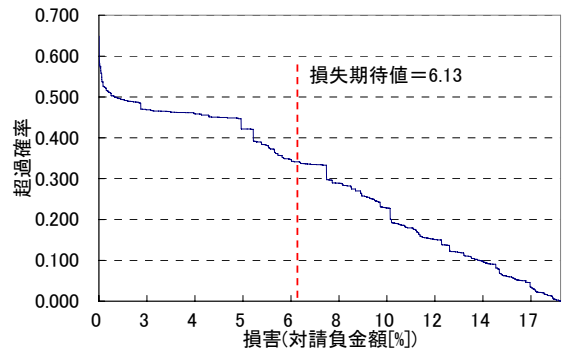


図-7 リスクカーブ 施工条件 技術員数 25～45名

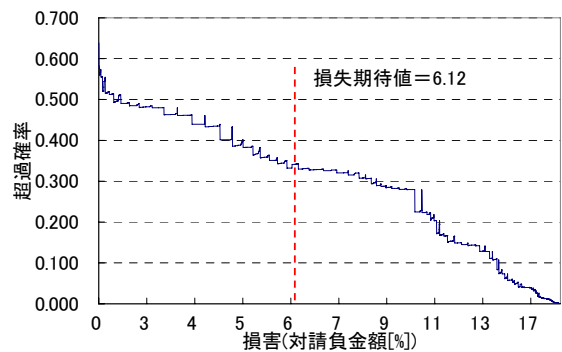


図-8 リスクカーブ 施工条件 技術員数 60～100名

## 参考文献

- 1) JCI・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 報告書 2008年1月
- 2) JCI・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
- 3) <http://www.viet-jo.com/news/social/080731081832.html>