

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及び日・越の比較に関する調査研究

DEVELOPMENT OF RISK ASSESSMENT SYSTEM FOR CONCRETE STRUCTURES CONSTRUCTION IN VIETNAM AND COMPARISON BETWEEN JAPAN & VIETNAM

PHAN Quy Thanh¹・野口 貴文²

¹工修 東京大学大学院工学系研究科 建築学専攻 博士課程 (E-mail: phan@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

²工博 東京大学大学院工学系研究科 建築学専攻 准教授 (E-mail: noguchi@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

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。本研究ではベトナム現地で計3回の研究調査を行い、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、発生要因、低減策並びに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することに注力し、それを基にベトナムで適用できる「コンクリート構造物の施工リスク評価システム」の構築を目的とした。本稿は第1回調査結果に基づきイベントツリー解析法により数ケースのリスクカーブを作成し、リスクカーブの感度を分析すると共に日本とベトナムを比較し、ベトナムにおけるコンクリート施工リスクは全体的に日本より4倍以上であり、特に「鉄筋腐食」の不具合は深刻な問題であることが分かった。

キーワード： イベントツリー手法、コンクリート構造物、施工リスク評価システム
リスクカーブ、日・越の比較

1. はじめに

1.1. 研究の背景と目的

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。最近、ODAによる開発途上国建設プロジェクトの事例として、ベトナムで2007年9月26日に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程の高さから崩落事故で死者54名、負傷者80名の大惨事となった。カントー橋は日本の建設会社の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。

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殆どなく、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生じている。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る。

このようなベトナムにおけるコンクリート構造物施工リスク管理の状況を踏まえ、本研究ではベトナム現地で計3回の研究調査を行い、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、発生要因、低減策並びに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することに注力し、それを基にベトナムで適用できる「コンクリート構造物の施工リスク評価システム」の構築を目的とした。本稿は第1回調査の結果を検討した上、イベントツリー解析法により数ケースのリスクカーブを作成し、コンクリート施工時のリスクについて日本とベトナムとの比較を行った。

1.2. 研究方法・計画

本研究では「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、型枠支保工の事故発生要因・事故防止対策等を収集するために、実際の施工に携わっている建設関連各社の現場所長経験者、あるいはこれと同級の職責と現

場経験を有する方を対象としてアンケート・ヒアリング調査を以下の 3 回行い、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、その参加企業・個人にアンケートを送付または直接手渡し、アンケートへの回答および直接ヒアリングへの対応に対する協力を依頼した。

● 第 1 回調査

調査実施時期：2008 年 11 月初旬～12 月下旬

調査目的：ベトナムにおけるコンクリート施工時、不具合発生率・損害額等に関する調査

● 第 2 回調査

調査実施時期：2009 年 7 月下旬～8 月下旬

調査目的：ベトナムにおける型枠支保工の事故発生要因及びコンクリート品質管理の調査

● 第 3 回調査

調査実施時期：2010 年 7 月下旬～8 月中旬

調査目的：ベトナムでのコンクリート施工時において発生確率あるいは損失額の高い不具合・施工障害に対する発生要因とリスク低減策に関する調査

1.3. リスク評価システムの概要

本研究で提案した施工リスク評価システムの概要を Fig. 1 に示す。本研究では、アンケート・ヒアリング調査結果に基づき、施工障害・不具合が損害額に及ぼす影響を検討し、金融工学に良く使用されているイベントツリー解析手法 (Event Tree Analysis, 略称 ETA)、フォールトツリー解析手法 (Fault Tree Analysis, 略称 FTA)、および RISK MAP (ISO/IEC Guide 51) を利用し、ベトナムにおけるコンクリート構造物のコンクリート施工リスクを評価し、施工リスクを低減するための方策を示すとともに、ベトナムにおいてコンクリート施工時に生じる施工障害・不具合に関するデータベースを初めて構築し、それを基に ETA によってリスクカーブを作成し、ケーススタディー的に検討した。本稿はステップ②までに取り組んだ内容であり、ステップ⑥「許容可能なリスクは達成されたか？」に関してはステップ④のリスクマップの分析結果によって「どの施工リスクが受けられない領域に属する」が分かり、ステップ⑧「ことなる観点 (施工条件) から繰り返し検討を行う」というステップは調査結果に基づいた「請負者の技術員の数・経験年数, 経験工事数, 対象構造物等」の入力パラメータを変更し、ステ

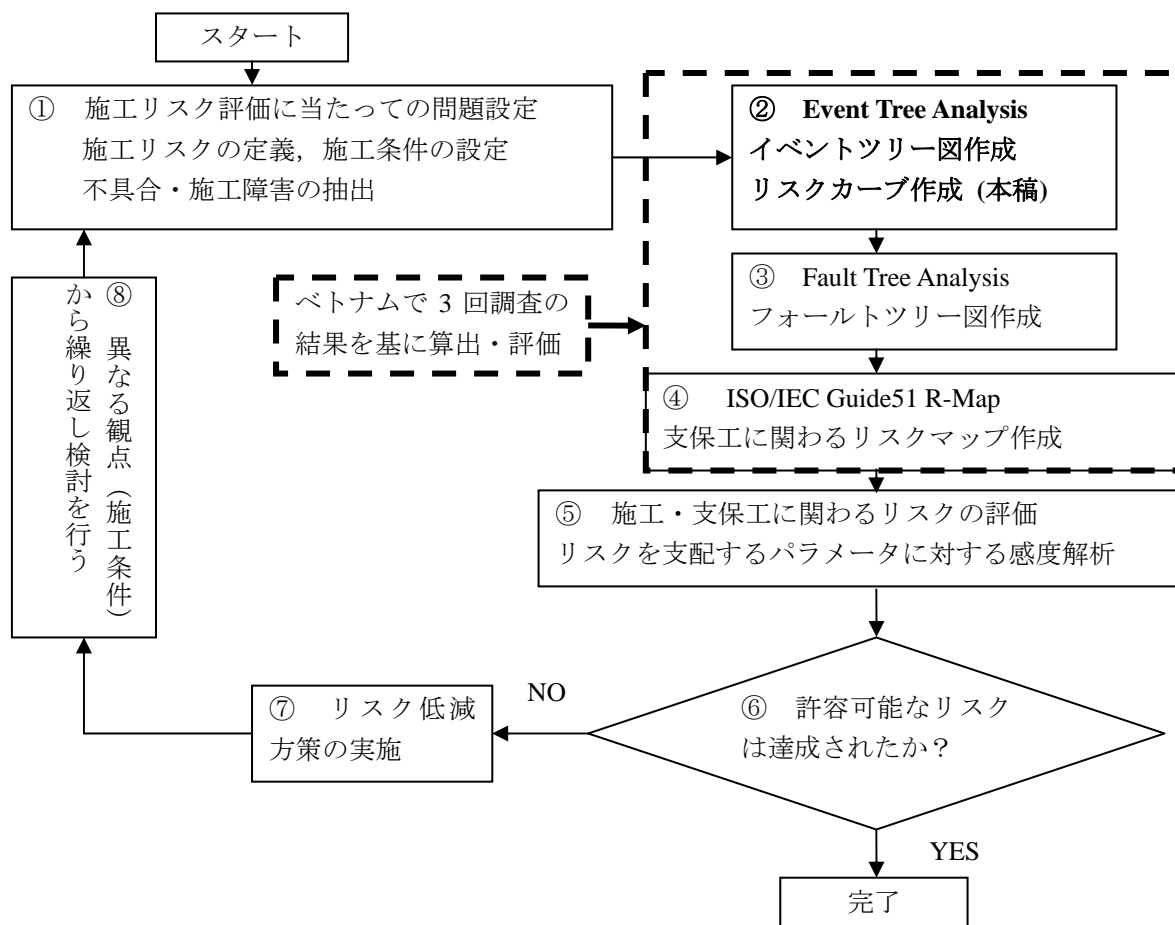


Fig. 1 リスク評価システム

ップ② (ETA), ステップ③ (FTA)およびステップ④ (R-map) を繰り返し算出するというプロセスである。

2. 第1回調査概要

2.1. 調査方法

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、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。アンケートの内容は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。その内容の概要を Fig. 2 に示す。

2.2. 考察方法概要³⁾⁴⁾

2.2.1. 施工リスク定義&確率論的リスク評価手法

リスク事象が起きても損失の種類や不利益の大きさは、置かれている立場によって異なる。また、リスク対策の方法や管理できる範囲（できること、できないこと）についても、置かれている立場によって異なることになる。このためリスクマネジ

メントでは、だれの視点、どこまでの範囲、といった枠組みに関する事前の設定が非常に重要となる。そして、限られた現実的な選択肢の中で効率的な対策を見出すことがリスクマネジメントの目標となる。

本研究ではベトナムにおけるコンクリート施工リスク評価に関する研究で、ベトナムでの初めての研究であり、土木・建築の業界の観点で考え、コンクリートの性能・機能に悪い影響を及ぼす施工リスク並びに型枠支保工の不具合を評価対象範囲にした。本研究の「施工リスク」は施工中・施工後の過程において要求されたコンクリート構造物の性能・機能の未達成に起因する不具合・施工障害による事前対処・事後措置の経済負担を対象に、その発生確率と経済負担との積の総和を施工リスクと定義した。

確率論的リスク評価手法として下記の式を使用した。²⁾

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

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

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 (Table 3 を参照)

Q3. Q1-5 で選んだ構造物種類が対象で、Table 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
- Table 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>

Fig.2 アンケートの内容概略

Table 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

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ような式を提案した。

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

P_i^1 : 事前対処したが、発生した不具合等発生率 (Case 1)

P_i^2 : 事前対処しなかったため、発生した不具合発生率 (Case 2)

P_i^3 : 事前対処したので、発生しなかった不具合等未然防止率 (Case 3)

P_i^4 : 事前対処しなかったが、発生しなかった不具合等非発生率 (Case 4)

N_i : 施工障害・不具合 i の有効回答者数

x_j : N_i 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_j : 回答者 j の従事工事数

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

C_i^1 : 事前対処したが、発生した不具合等発生率の事前対処費+事後措置費 (Case 1)

C_i^2 : 事前対処しなかったため、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事前対処費 (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=0 (Case 4)

w_j : N_i 人中の回答者 j が経験した不具合発生, あるいは未然防止の事前対処費+事後措置費
従って, リスク定量的評価値 R_i^s は以下の式で求める。

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

なお, 定量化のプロセスにおいて今回の調査で収集したデータをどのように代入値として使用したかを以下に示す。

式(1)はリスク定量化(発生確率と損害の積)として一般的に使われている式である。式(2)に関しては, N_i は施工障害・不具合 i に関してアンケート回答が有効な回答者数であり, x_j は N_i 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であり, y_j は回答者 j の従事工事数である。式(2)の右辺 x_j/y_j は回答者 j の不具合発生率あるいは不具合未然防止率を表している。つまり, 式(2)は施工障害・不具合 i に関して 1 工事現場に当たり発生確率の平均値を算出するための式である。本研究はイベントツリー図 (Fig.3) に示した分岐確率を式(2)に基づいて算出し, 各分岐確率に対して分岐損失を式(3)で計算した。

2.2.2. イベントツリー解析法の概要

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た。その内容を Table 1 に示す。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。Fig. 3 を示すとおり, 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ため, 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 4²⁶ 通りのイベントシ

ークエ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．

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

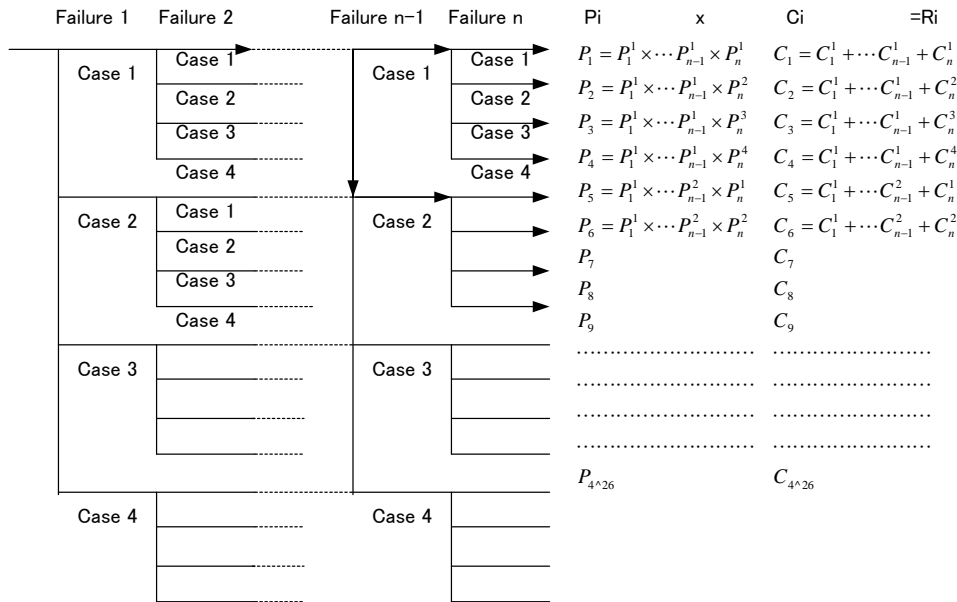


Fig. 3 イベントツリー解析法の概要

2.3. アンケート回収結果

アンケート回収結果を Table 2 に示す．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」，「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 Fig. 4 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．

2.4. 考察

Table 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．Table 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 Fig. 5 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，日本語サイト⁵⁾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う材料不足が構造物の性能低下を及ぼす．」という記載がある．

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。なお、Table 3 に着目すると「施工条件と現場との乖離」も重要な課題と考えられたが、アンケート調査結果の以外（ベトナムの施工時の事情、ウェブサイト等）による情報を基に「建設材料管理困難」を中心に考察を行った。

Fig. 6 に、事前対処したが発生した (s=1)、事前対処しなかったで発生した (s=2)、事前対処しなかったで発生しなかった (s=3) 不具合のリスク定量的評価値 R_i (式(4)) を比較して示す。事前対処しなかったで発生した (s=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。

Fig. 7 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 Fig. 8 においても、特に引渡し前ひび割れ (F10)、引渡し後ひび割れ (F11) および鉄筋腐食 (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。

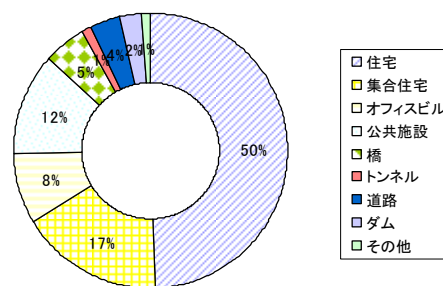


Fig. 4 構造物ごとの回収割合

Table 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
計	240	83	35
未回収・不有効回答部数		157	

Table 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)	19	18	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



Fig. 5 現場での材料保管倉庫がない為型枠錆びによる天井錆び

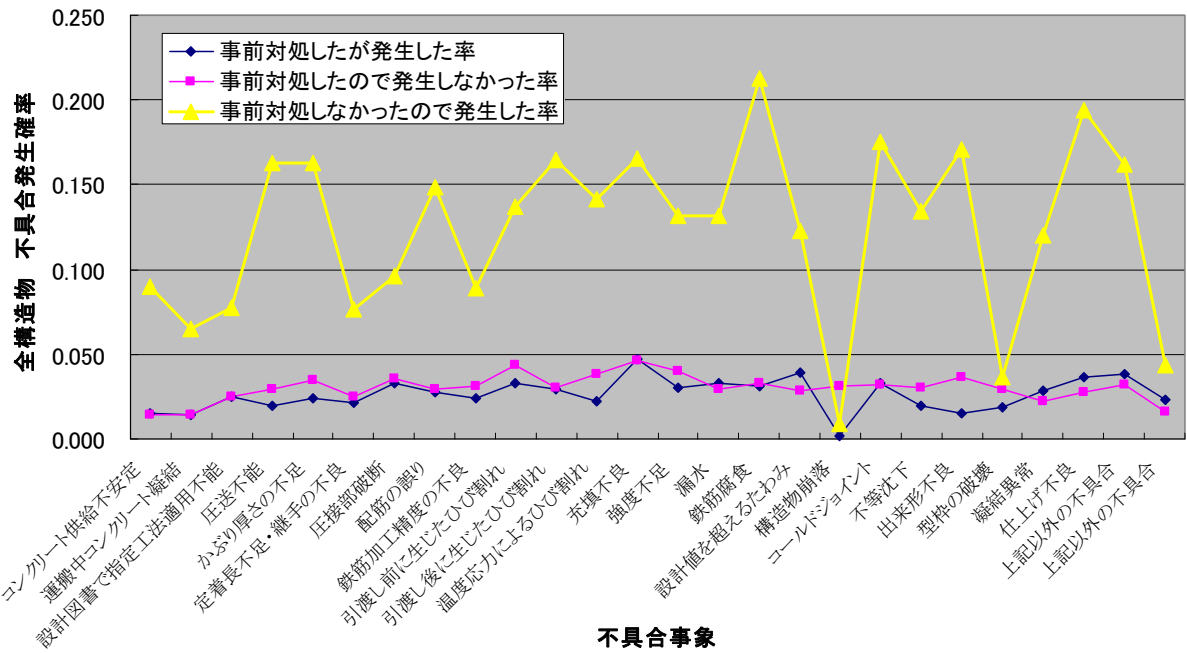


Fig. 6 事前対処ありと事前対処なしの比較

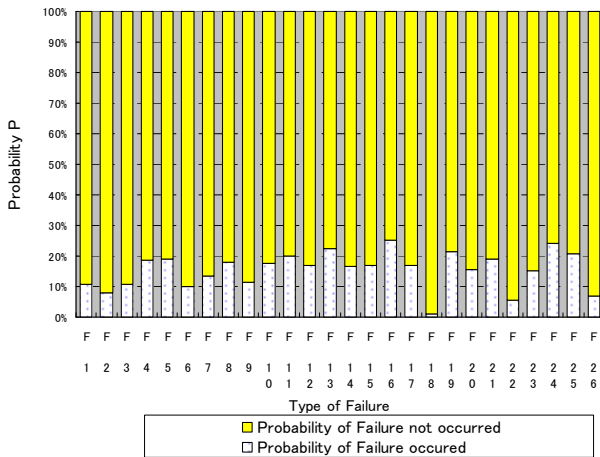


Fig. 7 全構造物に対する不具合 F_i の発生率

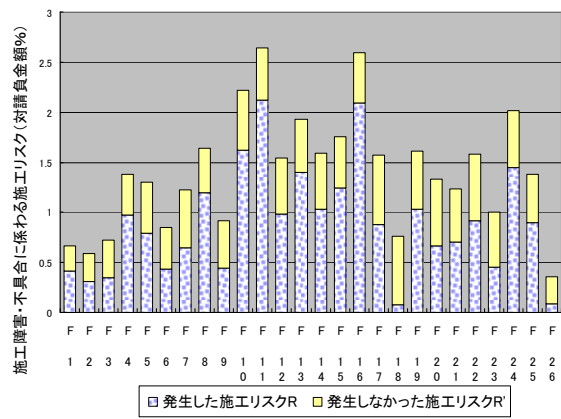


Fig. 8 全構造物に対する不具合 F_i の施工リスク R

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 Fig. 9 および Fig. 10 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 5% とすると, 技術員数 25 名~45 名の場合, 超過確率は 0.42 であり, 又は技術員数 60 名~100 名の場合, 超過確率は 0.38 となっている. つまり, 請負金額が 100 億 VND の住宅工事の場合には全体損害が 5 億 VND を超える確率に対して, 技術員数 25 名~45 名の場合は 0.42, 技術員数 60 名~100 名の場合は 0.38 ということになる.

その他のリスクカーブ感度分析として Fig. 11 に施工条件と請負者の条件を 4 ケースあげて全ての構造物に対する施工のリスクカーブを示す. Fig. 12 は施工条件と請負者の条件を 3 ケースあげて「住宅」に対する施工のリスクカーブを示したものである. 全ての構造物に対する施工のリスクカーブ感度分析の際 (Fig. 11), 技術者 100 名以上のケースは 50 名未満のケースと比べて 100 名以上のケースの方が高い結果に興味深く, 技術者が多いのになぜリスクが高いのかについて調査時のヒアリングとアンケートの回答者の意見の結果によると, 技術者が 100 名以上の会社はベトナムでかなり大規模な会社と見なされ受注案件も多数となる. そのため, 一つ当たりの工事を担当する技術者の数は中小建設会社より少なくなり, 大型案件においては施工リスクが高くなる. 一方, 構造物が住宅の場合 (Fig. 12), 会社の規模が大きいほどリスクが少なくなる傾向がある. これはベトナムでは戦後, 多くの大手建設企業は住宅建設業者から始まり住宅建設に関するノウハウを培ってきたことが要因と考えられる.

以上のことから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単に技術員数が多い請負者を選択することだけでは解決しないことが明らかになった. 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.

3. 日・越の比較

日本におけるコンクリート施工リスクの調査は, 日本コンクリート工学協会 (JCI) が既に行った. 他のアジア地域の施工リスクを明確にし, 良好な品質のコンクリート構造物を構築することに資することが最終目標であり, ベトナムはその目的達成のため

の最初の対象で, この後, ベトナム以外にも調査対象を拡大していくことを目指す. 本節は日・越におけるコンクリート施工の際, 不具合発生確率, 損害, リスクに関して比較した.

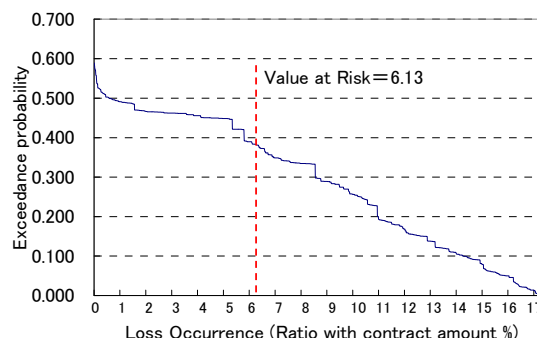


Fig. 9 リスクカーブ 施工条件 技術員数 25~45 名

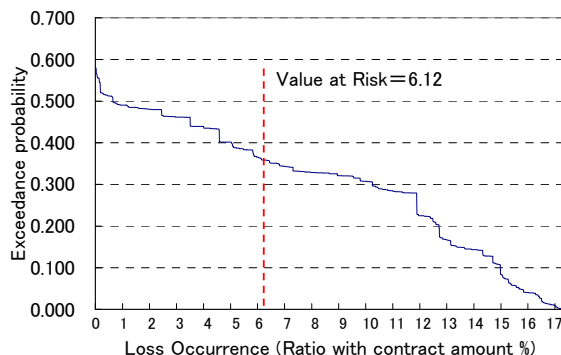


Fig. 10 リスクカーブ 施工条件 技術員数 60~100 名

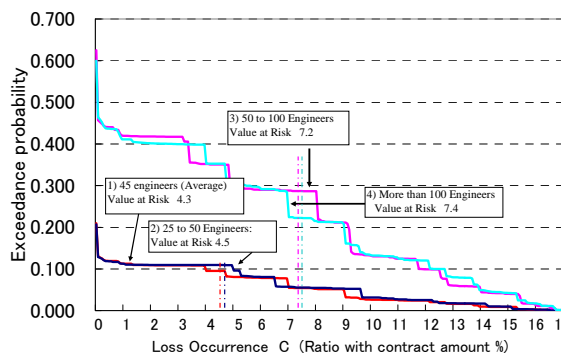


Fig. 11 リスクカーブ 全構造物 技術員数 4 ケース比較

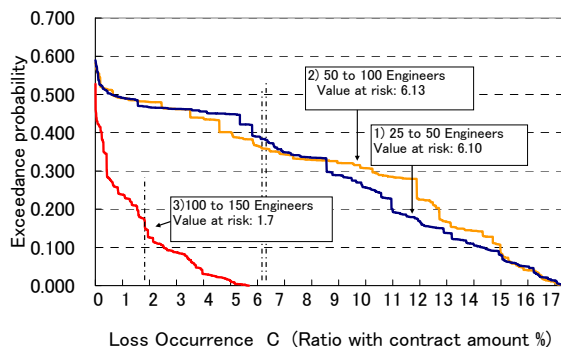


Fig. 12 リスクカーブ 住宅 技術員数 3 ケース比較

Fig. 13 において、「圧接部破断」、「強度不足」、「鉄筋腐食」、「設計値を超えるたわみ」、「不等沈下」の不具合発生確率に着目すると、日本と比べ、ベトナムの方が発生確率は高く、特に「鉄筋腐食」の発生確率は遥かに高いことが分かった。「かぶり不足」、「不適切な養生」、「材料管理の不良」というのは「鉄筋腐食」の主な要因である。その中で、調査のヒアリング結果によるとベトナムの場合は要因として最も考えられるのは材料管理の不良だと考えられる。Fig. 5 に示す現場での材料管理実状に関する写真の通り、ベトナムにおける建設現場の材料管理は非常に悪く、鉄筋組み立て前から鉄筋表面に酸や塩化物イオンが付着することが多いので鉄筋腐食が生じやすくなる。

Fig. 14 に、全構造物に対する施工障害・不具合の損害費用を示す。全体的にベトナムでの不具合の損害は日本より高く、損害額（事前対処費用と事後措置費用の合計金額）が工事の請負金額の 8%以上にもなる不具合は「引渡し前のひび割れ」、「引渡し後のひび割れ」、鉄筋腐食、「型枠の破壊」であった。一方、日本の場合、工事の請負金額に対する施工障害の損害額の比率は 2%以下である。この比較結果より、ベトナムでは施工障害・不具合の発生に当たって、事前対処と事後措置の対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。

各施工障害・不具合の損害と発生確率の積による施工リスク定量的評価値 R を算出したものを Fig. 15 に示す。日本における各不具合の施工リスクは全体的に 0.2 以下の値であり、それに対してベトナムでは施工リスクは全体的に 0.8 以上で日本の 4 倍と分かった。特に、施工リスクが 1.5 以上の不具合は「引渡し前のひび割れ」、「引渡し後のひび割れ」と「鉄筋腐食」であった。ベトナムにおける調査時、ヒアリング結果により、「引渡し前のひび割れ」の原因は乾燥収縮によるものが大半であり、乾燥収縮の発生原因としては型枠の資材不足のために型枠の存置期間を短くし、工期が迫っているために生期間も短縮

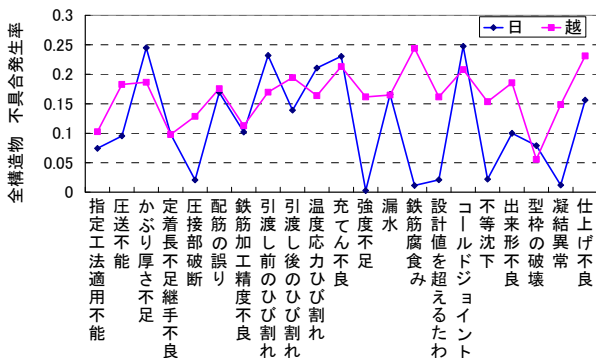


Fig. 13 全構造物に対する不具合発生確率 日・越の比較

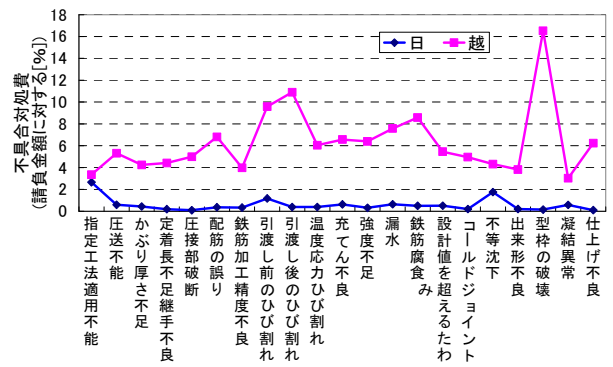


Fig. 14 全構造物に対する不具合損害額 日・越の比較

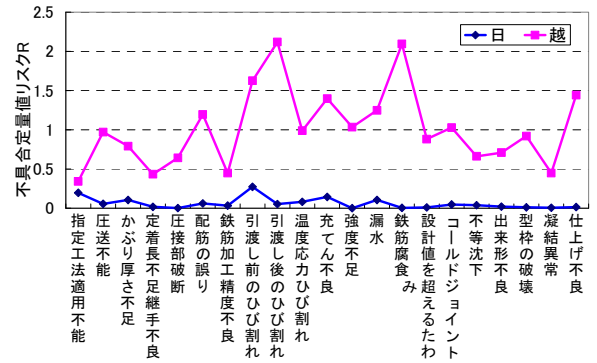


Fig. 15 全構造物に対する不具合のリスク 日・越の比較

せざる得ないことであった。また、「引渡し後のひび割れ」に関してはヒアリングの結果により主な原因としては鋼材腐食によるかぶりコンクリートのひび割れであることが分かった。ベトナムでは海に近く、飛塩の問題によるもの且つコンクリートに使用する水と砂は塩分が含まれるケースが多いことにより塩害が鋼材腐食の主な原因として考えられる。

4. まとめ・今後の課題

今回の調査結果を基に、以下の結論を得た。

- 今回の調査結果からどの施工障害・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性能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。
- 施工リスクを低減するためには技術員数が多い請負者を単に選択することだけでは解決しないことが明らかになった。但し、住宅の場合は技術者 100 名以上を有する企業による施工リスクは低い。
- 日本と比べ、ベトナムにおけるコンクリート施工リスクは全体的に日本より 4 倍以上であり、特に「鉄筋腐食」の不具合は深刻な問題

であることが分かった。

不具合を生じさせたことを公表することは、無記名のアンケートとはいえ技術者にとっては正直に答えられない場合も考えられた。このような状況で、発生確率と損害額を正確に把握できるのかとの懸念もあり、アンケートの限界を感じるようになった。そのことは、アンケート結果の一部に表われ、整合性が取れない回答も少なくなかった。ともあれ、明らかに矛盾のある結果を排除するだけで整理をすることとした。さらに、今回の調査はベトナムでの初めての調査であり、結果として有効回答部は 83 部 (35%) しか取れなかった。今後、ベトナムにおけるアンケート調査研究に当たって、回収率の向上を目的として取り組むことが重要と考えられる。

また、リスク評価の再現性に関しては、リスク評価自体の持つ複雑性であり⁶⁾、再現性を求めるということは起こり得ない。例えば、プリオンが分からないと評価できないので、プリオンの専門家が集まった。一方、実験は、繰り返しの中で仮説を証明していくもの。要素を1つ変えて実験をやり、結果が変わればその仮説の証明を終えるというプロセスを繰り返す。ある意味単純であるが、リスク評価のような複雑系とはまったく相容れない分野であり、リスク評価は実験科学の対極にあると思われる。実験科学の根拠は再現性である。一方、リスク評価は1回しかできない。評価してしまえば影響力を持ち、結果を変えてしまう。つまり、1回だけのものであるだと考える。

ベトナムにおける近年の建設の状況を考えると、施工障害損害額を最小化する事前対応のあり方を検討すると共に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る。本研究が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を予め想定することを可能にするための基礎資料となれば幸いである。

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) PHAN Quy Thanh, Takafumi Noguchi, 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, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, 2010, pp. 1361-1366
- 4) PHAN Quy Thanh, Takafumi Noguchi, Development of Risk assessment system for Sustainable Concrete Structures with Construction Management in Vietnam, International Conference on Sustainable Building Asia (2010) pp. 287-292
- 5) <http://www.viet-jo.com/news/social/080731081832.html>
- 6) <http://gakkie.tumblr.com/post/152338300/2-1>

DEVELOPMENT OF RISK ASSESSMENT SYSTEM FOR CONCRETE STRUCTURES CONSTRUCTION IN VIETNAM AND COMPARISON BETWEEN JAPAN & VIETNAM

PHAN Quy Thanh¹, Takafumi NOGUCHI²

¹M.Eng. PhD. Candidate Department of Architecture, The University of Tokyo (E-mail: phan@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

²Dr.Eng. Associate Professor Department of Architecture, The University of Tokyo (E-mail: nogucchi@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp)

Risk management for overseas construction projects has become an extremely important subject. Based on the situation, "Development of Risk assessment system for Concrete Structures Construction in Vietnam" has been conducted. This research content three research investigations to collect actual data concerning the probability & cost of occurred failure, the factor of the accident related formwork and methods for reduce & deal with the failure in concrete construction in Vietnam. This paper presents the first investigation process and result. As the result of the first investigation, Event Tree Analysis was conducted by using some case of risk curves to identify and evaluate the sequence of events in the failures. Comparison was done between the results in Vietnam and those in Japan. As the result, mostly risk in concrete construction in Vietnam is 4 times higher than those in Japan.

Key Words: *Event Tree Analysis, Concrete Construction, Risk Assessment system, Risk curve, Comparison of Japan and Vietnam*