

招待論文

建設分野におけるリスク工学の適用性とその展望

THE SCOPE ON THE APPLICABILITY OF RISK ENGINEERING THEORY FOR CIVIL ENGINEERING FIELD

大津宏康

Hiroyasu OHTSU

正会員 博士 (工学) 京都大学大学院助教授 工学研究科
(〒 606-8501 京都市左京区吉田本町)

Key Words : *risk, financial engineering, oversea construction project, PFI, maintenance*

本論文では、建設市場の縮小等の建設業を取り巻く昨今の厳しい社会環境の下で、建設分野が新たな方向に進む上での、リスク工学という新しい考え方の適用性とその展望について述べるものである。ここで取り上げるリスク工学とは、昨今注目されつつある金融工学の根幹をなす理論であり、リスクを定量的な指標として取り上げ、その評価・対応について議論するものである。具体的には、本論文では建設市場の縮小に対する方策として、海外建設プロジェクトの受注拡大、PFIに代表される民間資本導入による公共事業の推進、構造物の維持・補修に関する市場の拡大という3つの方策を対象とし、これらの方策を推進することに関連するリスク要因を明示するとともに、その対応策についても言及する。

1. はじめに

日本における建設投資は、図-1に示すようにバブル期の84兆円をピークとして、現状では60兆円以下に減少している¹⁾。また、この減少傾向は、今後とも継続し将来的にはバブル発生前の50兆円以下まで縮小すると予測されている。また、これまでは建設投資の主要部分を占めてきた公共投資も、現状での財政難に加えて今後の少子・高齢化社会での税収減のため、足らざるものを建設するという従来型建設需要の拡大には繋がらないと指摘されている。

現状では、この建設市場の縮小に対する方策が数多く提案されているが、以下のようなものがその代表的なものとして挙げられるであろう。

- ① 海外建設プロジェクトの受注拡大
- ② PFIに代表される民間資本導入による効率的な公共事業の推進

③ 構造物の維持・補修に関する市場の拡大

これらの対応策は、いずれも従来の建設分野では必要とはされていなかった考え方やすなわち、リスクあるいはリスクマネジメントという概念を導入することが必要になるものと考えられる。

例えば、①の海外建設プロジェクトの受注に関連しては、建設プロジェクトに一般的に内包されているリスク要因に加えて、海外プロジェクトではさらに外的なリスク要因として、政治に関連する不確定要素ならびに、マクロ経済的に関連する不確実な要因についても検討を加えることが重要な検討課題となる。また、②のPFI方式の導入に関連しては、従来は発注者である公共団体が原則的に負ってきたプロジェクト全体(完工・操業)のリスクが、プロジェクト会社、EPC(Engineering Procurement Construction)コントラクターおよびOM(Operation and Maintenance)コントラクターにより負担されることになるため、プロジェクト自体のリスク評価および対応が重要な検討課題となる。さらに、③の構造物の維持・補修に関連しては、構造物の性能の低下あるいは劣化という極めて不確実性の高い現象に対して、そのリスクを評価すると共に、適切なリスク対応を図ることが重要な検討課題となる。

したがって、上記の事項を要約すれば、企画・調査・設計・施工・運営という建設事業の全般をリスクというキーワードで体系化することが必要となるものと考えられる。なお、ここで留意すべきことは、リスクに曝されるのは、発注者だけではなく、プロジェクト

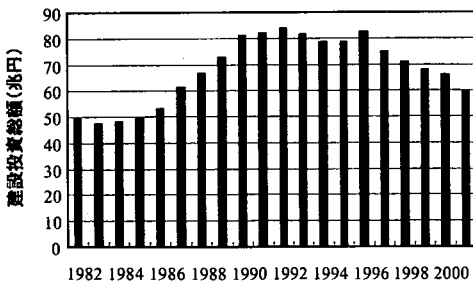


図-1 日本における建設投資の推移¹⁾

トの参加者となるコンサルタントおよび請負者も対象者として含まれることである。

ただし、ここで留意すべき事項は、これまでの工学分野では、このようなリスクに関する認識が技術者に必ずしも十分には浸透していないことである。

ここで、リスクという言葉は、フランス語の *risqué* という言葉から派生したものであり、17世紀頃から保険市場での危険性を表す指標として用いられ始め、18世紀に英単語として辞書にも初めて登録されたものである²⁾。つまり、リスクという言葉は、本来経済用語として用いられてきたものであり、その後他の様々な分野でも援用されるようになってきた背景がある。その言葉が他の分野へと派生してきた過程で、それぞれの分野毎で異なる使い方がされてきたため、現状ではリスクについて様々な定義が存在する。例えば、武井³⁾によれば、リスクについては、以下のような様々な意味で使用されていると指摘されている。

- 損失の可能性
- 損失の確率
- 損失の状態（ペリル）
- 危険な状態（ハザード）
- 損害や損失に曝されている財産・人
- 潜在的な損失
- 実際の損失と予想した損失の変動
- 不確実性

このリスクに対する認識が、建設関連の技術者の間で成熟していないことが、①～③に示すような新たな建設市場の拡大を図る方策を推進する上で、重大な支障となる危険性がある。

それでは、何故これまでリスクに関する概念が技術者に十分には浸透して来なかったと考えられるであろうか。この疑問について答えるために、以下にまず経済動向からの考察について述べるものとする。

例えば、図-2の模式図に示すように、経済がかなりの率で単調に成長を続ける場合にはリスクという概念は発生しない。これは、ある時点から Δt 年後の予測値がばらつきを有していたとしても、最も悲観的な数値であっても現状を上回っている場合に相当すると考えられる。この場合には、たとえ借金をしても投資を行うことが収益を上げる最善の方法であり、リスクに代表される危険要素を全く想定する必要はない。これが、日本では高度経済成長期あるいはバブル経済期に相当し、また海外では1997年のタイバブル崩壊前の東アジア及び東南アジアの経済状況に相当する。したがって、日本及びアジア諸国では、これまでにリスクと言う概念が普及しにくい社会環境にあったと推察される。

これに対して、昨今のような急速な経済成長が期待

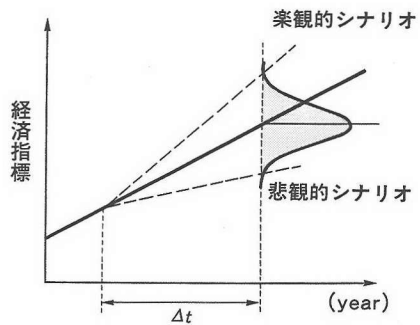


図-2 経済予測の概念 (模式図)

できない経済状況では、投資に対して常に最も悲観的な数値が出現することへの危険要素を想定すること、およびそれに対する対応策を想定することが必要となる。これは、例えば日本に比べて既に緩やかな経済成長段階へと移行を遂げていた欧米諸国の経済状況、及びバブル経済崩壊以後の日本の経済状況に相当する。したがって、このような社会背景から、昨今日本においても欧米諸国と同様に、リスクという概念が必要となってきたものと推察される。

上記のように、現状の日本は、社会および経済の状況が成熟期に入り、欧米型リスク管理社会へと移行したという認識することがまず肝要である。その上で、経済状況およびマーケットの動向に強く影響を受ける建設産業も、成熟型社会の到来についての認識を持ち、これまでの経済は無限に成長するという、リスクという概念とは無関係な体質から脱却することが不可欠となる。このためには、建設関連分野の技術者が、修得すべき教育内容自体も経済動向に連動して自ずと変化するはずである。

このような観点から、本論文では、建設市場の縮小等の建設業を取り巻く昨今の厳しい社会環境の下で、建設分野が新たな方向に進む上での、リスク工学という新しい考え方の適用性とその展望について述べるものである。ここで取り上げるリスク工学とは、昨今注目されつつある金融工学の根幹をなすものであり、リスクを定量的な指標として取り上げ、その評価・対応について議論するものである。

具体的には、①の方策については、海外建設プロジェクトにおいて発生することが想定される様々なリスク要因を示し、その中でもカントリーリスク・マーケットリスクに対するリスクファイナンスの考え方の導入策について紹介する。

次に、②の方策については、調達方式の変更に伴い発注者と請負者の間でのリスク分担方法が、どのように変化するかを明示すると共に、その具体的な例として地盤リスクを取り上げ、地盤リスクの評価方法につ

いて紹介する。

さらに、③の方策については、構造物の維持・補修の事例としてトンネル構造物を取り上げ、その不確実な劣化過程を、金融分野で取り扱われている幾何学的ブラウン運動としてモデル化し、その劣化過程に対してリアルオプションの考え方を導入して最適な補修方法を戦略的に立案する方策について紹介する。

最後に、以上の具体的事例に対する議論に加えて、今後の建設分野におけるリスク工学の適用性および展望について検討を加える。

2. 海外建設プロジェクトにおけるリスク管理

(1) 日本企業の海外建設工事受注に関する現状

日本企業による海外工事受注額は、図-3に示すように、過去10年で約1兆円を平均値として推移している。なお、同図に示す受注額の推移において、1997年以降受注額が減少しているが、これは日本企業が受注した工事の大部分が東南アジアでの物件であるため、タイバブル崩壊後の当地域での経済不況を反映したものである。

ここで、図-3に示す海外工事受注額において注目すべきことは、図-1に示した国内の建設投資の変動とは無関係に、ほぼ1兆円程度の受注額で推移していることである。また、表-1に示すように、大手建設会社の総売上高に占める国外売上比は、4～15%程度に過ぎない。この数値は、日本のエンジニアリング企業と際立った相違を示している。さらに、この数値を海外企業と比較すると、エンジニアリング企業を含んではいるが、表-1に示すように、日本の数値はヨーロッパ・アメリカだけでなく東アジアの建設会社での総受注高に占める国外売上比に比べて、著しく低いものとなっている。

これらデータより、従来の日本の建設業は必ずしも海外工事の受注に対して積極的に取り組んでいたとは言えないであろう。この理由は、これまで日本国内において十分な受注環境が整っていたことに加えて、後述するように海外工事においては日本の商慣習と異なる様々なカントリーリスク・マーケットリスクが存在するため、そのプロジェクトの推進に大きな課題があったことによるものと推察される。しかし、1.において述べたように、今後国内の建設マーケットが縮小することが想定されることから、その対応策として海外工事受注に対して、これまで以上に積極的に取り組む必要が高まるものと推察される。このことは、既に社会資本整備が成熟期へと移行している、ヨーロッパ・アメリカでの建設会社が、国内市場の減少に対応する

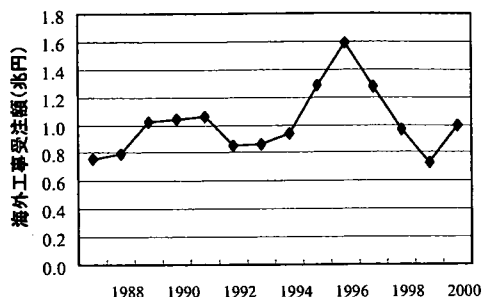


図-3 日本企業の海外工事受注高の推移¹⁾

表-1 各国主要建設企業の国外売上比率

企業名	売上総額(A) (百万ドル)	国外売上(B) (百万ドル)	(B)/(A) (%)
【ヨーロッパ】			
Bouygues (France)	12,517.0	5,280.0	42.2
SGE (France)	9,348.0	3,359.0	35.9
Skanska (Sweden)	6,939.0	4,825.0	69.5
Hochtief (Germany)	6,914.0	3,312.0	47.9
HBG (Holland)	4,697.0	3,540.0	75.4
【アメリカ】			
Bechtel*	9,771.0	6,022.0	61.6
Fluor Danile*	9,640.0	5,343.0	55.4
Foster Wheeler*	3,072.1	2,204.8	71.8
【日本】			
Taisei	13,238.0	540.0	4.1
Obayashi	11,775.0	1,733.0	14.7
Shimizu	11,285.7	984.4	8.7
Kajima	11,190.0	1,415.0	12.6
Chiyoda*	2,602.0	1,890.0	72.6
JGC*	2,466.0	2,054.0	83.3
【その他】			
China State Const. (China)	4,693.3	1,360.0	29.0
Hyundai (Korea)	4,169.0	1,847.0	44.3
Odebrecht (Brasil)	2,612.0	1,247.0	47.7

(参考文献4よりの抜粋)

注) * はエンジニアリング企業を表す。

ために、近年海外市場での受注を拡大させていることから明らかであろう。

(2) 海外建設プロジェクトにおけるリスク要因の事例

建設プロジェクトには、内包されている数多くのリスク要因の中からの、支配的な要因の抽出および対応策の立案が重要となるが、海外特に開発途上国の建設プロジェクトでは、さらに外的なリスク要因として、

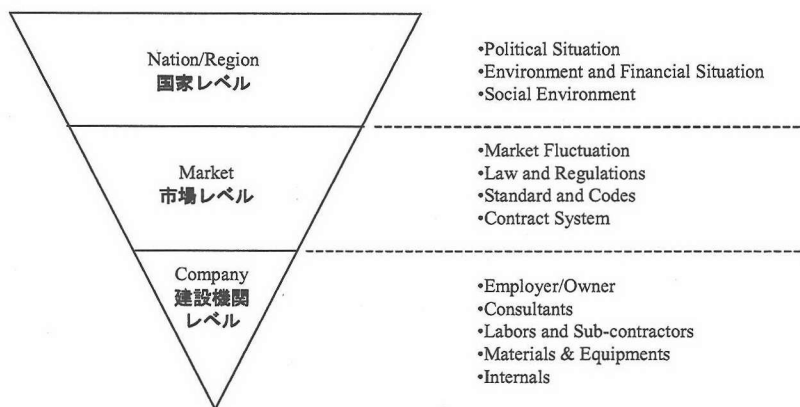


図-4 海外プロジェクトでのリスク要因の分類

表-2 海外建設プロジェクトにおけるリスク要因とその分類

国家レベル	建設市場レベル	建設機関レベル
政治状況 戦争, 市民暴動, 一貫性のない政策, 選挙	市場変動 建設市場の急激な拡大・縮小	実施母体 不明確な要求, 財源不足
環境・財政状況 GNPの減少, 利率変動, 税率上昇, インフレ	法律・規制関連 複雑な許認可過程, 矛盾した仲裁体系, 輸出入の制限	コンサルタント 不明確な詳細設計, 請負者との施行方法の相互理解の欠如
		下請け業者 労働意欲の欠如, ストライキ
社会環境 文化伝統の違い, 治安状態, 贈収賄	基準・規格 設計・施工基準の不完備, 安全管理基準の不完備, 汚染・公害基準の不完備	資材・装備 資材・装備の欠如
		内在的なもの 人材不足, 他の事業の影響, 契約図書の不備・不完全
	請負システム 請負形態の不完備, 契約管理技術の不足	

政治に関連する不確定要素ならびにマクロ経済に関連する不確定要素についても検討を加えることが必要となる⁹⁾。

海外建設プロジェクトでのリスクマネジメントについては、近年具体的プロジェクトを対象とした事例研究が報告されつつある^{6),7)}。これらの研究事例の特徴は、一般的に用いられているリスクマネジメント手法で取り扱われるプロジェクトに起因するリスク要因に加えて、図-4に示すような国家レベルのリスク要因(カントリーリスク)、市場レベルのリスク要因(マーケットリスク)等をその上位の要因として考慮することである。図-4に示した第一次階層のリスク要因を

より具体的な項目にするために、既往の文献調査結果に基づき、請負者の観点からの第二次階層のリスク要因を分析した結果を表-2に示す。

ただし、表-2に示すすべてのリスク要因について対応策を想定することは現実的ではない。すなわち、この段階で対象とするプロジェクトの特性に応じて、特に重要であると推測されるリスク要因を絞りこむための作業が必要となる。これが、建設マネジメントでのリスク評価に相当する。

現実の海外建設プロジェクトの事例として、OECD(海外経済協力基金)の円借款案件25件^{8),9),10)}を対象として、リスク要因の分析を行う。ここで対象とした

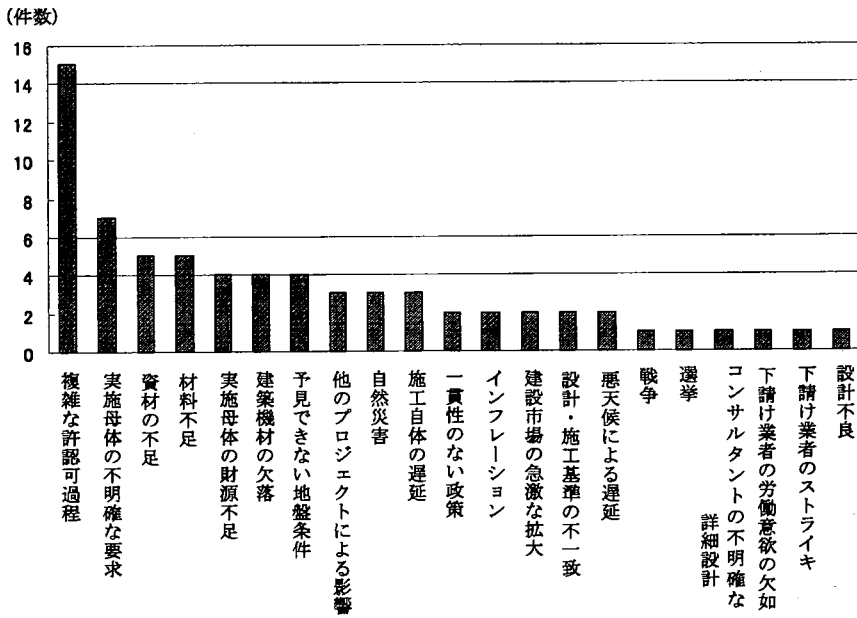


図-5 円借款プロジェクトの事後評価結果に基づくリスク要因の抽出結果

案件について、施工場所は韓国、中国、フィリピン、タイ、インドネシア、スリランカ、ヨルダン、エジプト、シリア、モーリシャス、ブラジル、コスタリカであり、プロジェクトの種類は土木工事が主体である。

これらの円借款事業については、OECDにより当初の融資計画に対する事後評価として、工期・工費変動およびその変動が生じた理由について報告されている。この事後評価結果に示されたプロジェクトの中で、工期の遅延が生じた案件に着目し、遅延の生じた理由を表-2に示したリスク要因に対して、複数要因抽出可として分類した結果を図-5に示す。なお、同図に示す結果では、対象物件がいずれも日本からの円借款物件であるため、表-2に示した国家レベルでの典型的なリスク要因となる為替変動等のマクロ経済に関連する事項を取り挙げていないことに留意されたい。

同図に示す結果で、件数の多かったリスク要因は以下のように要約される。

- ・複雑な許認可過程
- ・実施母体の不明確な要求
- ・資材・装備の不足
- ・材料不足

この内、資機材の不足については、請負者の調達に関わるものであり、施工状況に応じた現地の納入業者からの購入計画を立案することで対処可能となる要因である。

一方、複雑な許認可過程および実施母体の不明確な

要求による遅れは、請負者によるものではなく、ホストカントリーの政府機関により引き起こされるものである。例えば、複雑な許認可過程による遅れに相当する事項は、土地収容の遅れ、工事許可申請等の内部手続きの遅れあるいは財源確保の遅れ等であり、施工開始の遅延だけでなく、施工期間自体の遅延も引き起こしている。また、実施母体の不明確な要求も、実施母体の意志決定に関する問題により施工期間の遅延が生じるものである。

これらの実施母体の意志決定に関係するものは、本来開発途上国の実施母体が回避を試みればできたものであると解釈される。しかし、このような工事の遅延を引き起こすリスク要因についての対応策を契約段階で明示することは不可能である。このように、契約段階ですべての条件が明らかに出来ないため、建設プロジェクトは不完備契約とならざるを得ない側面を有している。実際には、こうした開発途上国での実施母体の意思決定に関わる損失については、欧米の請負者と開発途上国の実施母体の間で紛争が頻発していることの原因ともなっている。

(3) 海外建設プロジェクトにおけるリスクファイナンス手法の事例

海外建設プロジェクトを実施する上では、前述のように様々なリスク要因に対処することが必要となる。ここで、リスク要因に対処すること、すなわちリスク対応は、以下の2つの方策に区分される。

① リスクコントロール
② リスクファイナンス

①のリスクコントロールは、リスク自体の発生を制御することを意味する。一方、②のリスクファイナンスは、想定される損失に対して、保険でのリスク転嫁を図ること、あるいはプロジェクトへの入札価格に対してリスクプレミアムを付加すること等を意味する。

図-5に示した各リスク要因の内、上位にランクされる要因については、ローカルカンパニーあるいはローカルスタッフに対応を任せることにより、リスクを制御することが可能であると推察される。しかし、一般的には、市場レベルの多くのリスク要因については、リスクコントロールのみでは対応不可能であり、リスクファイナンス手法の適用が不可欠であると推察される。特に、表-2に示した国家レベルでの典型的なリスク要因となる為替変動等のマクロ経済に関連する事項については、リスクファイナンス手法の適用が不可欠である。

このような課題に対する方策として、例えばZhi⁹⁾は、発注者との元請契約において数量精算契約を行い、現地の下請け業者とはランプサム契約によりリスク転嫁を図ることが有効な方策であると指摘している。このような方策も、広義でのリスクファイナンス手法の一例として挙げられるであろう。しかし、海外建設プロジェクトを対象としたリスクファイナンス手法は未だ確立されておらず、様々な方法が提案されると共に試行されているのが現状である。そこで、本研究では、これまでに提案されている各方法の内でも一般的であると考えられる、プロジェクトへの入札価格に対してリスクプレミアムを付加する方法について、以下に要約して示す。

現状での、リスクプレミアムの設定方法の基本となる指標は、各国のマクロ経済状況の評価に基づく、いわゆる格付け結果が最も一般的である。表-3は、その一例として、THE HANDBOOK OF COUNTRY RISK 2002¹¹⁾での、G7諸国および、ASEAN+2(韓国・中国)各国を対象として、短期的および中期的な経済状況について、それぞれ7ランクおよび6ランクに格付け分類した結果を抜粋して示したものである。

同表に基づき、リスクプレミアムを設定する場合には、ランク毎に幅のある値を設定することになる。これに対して、近年金融工学の知見を用いて、具体的な数値としてリスクプレミアムを算定する方法も提案されている。その事例として、Pollio¹²⁾により提案された、マクロ経済のボラティリティに起因する、マーケットリスクに対するプレミアムを評価する手法が挙げられる。

表-3 各国のマクロ経済に関連する格付け評価結果

国名	Short-term	Medium-term
1) G-7諸国		
日本	A ₂	Very low risk
アメリカ	A ₁	Very low risk
ドイツ	A ₁	Very low risk
フランス	A ₁	Very low risk
イギリス	A ₁	Very low risk
カナダ	A ₁	Very low risk
イタリア	A ₂	Very low risk
2) ASEAN+2 (ブルネイは除く)		
韓国	A ₂	Low risk
中国	A ₃	Low risk
カンボジア	D	Very high risk
インドネシア	C	Very high risk
ラオス	C	High risk
マレーシア	A ₂	Low risk
ミャンマー	C	Very high risk
フィリピン	A ₄	Quite high risk
シンガポール	A ₂	Very low risk
タイ	A ₃	Quite low risk
ベトナム	C	High risk

注) 評価分類

・ Short-term (7ランク)

A₁, A₂, A₃, A₄, B, C, D

・ Medium-term (6ランク)

Very low risk, Low risk, Quite low risk,

Quite high risk, High risk, Very high risk

この評価モデルの特徴は、金融工学で適用されるCAPM法における危険資産を、海外投資と見なすことである。この条件から、β-CAPM法の基本式は次式のように表される。

$$E[r_i] - r_f = \beta_i (E[r_m] - r_f) \quad (1)$$

$$\beta_i = \frac{\text{Cov}[r_i, r_m]}{\text{Var}[r_m]}$$

ここに、 r_i は危険資産*i*すなわち海外のある国*i*での資産の収益率、 r_f は投資者が所属する国(以下国内と称す)でのリスクフリー率、 r_m は国内の市場収益率、 β_i は線形化係数である。

また、線形化係数 β_i は、その定義から次式のように表される。

$$\beta_i = \frac{\rho_{im} \sigma_i \sigma_m}{\sigma_m^2} = \rho_i \frac{\sigma_i}{\sigma_m} \quad (2)$$

ここに、 σ_m は市場リスク、 σ_i は海外のある国*i*での国内の市場リスク、 ρ_i は海外のある国*i*と国内の株式市場とのボラティリティの相関係数である。

表-4 マーケットのリスクに対するプレミアムの算定結果

国名 <i>i</i>	ボラティリティー α	β	相関係数 ρ_i	リスクプレミアム $r_{premium}$
アルゼンチン	54.74	5.65	0.32	9.96
ブラジル	53.75	5.55	0.40	12.21
インド	29.95	3.09	0.03	0.51
タイ	30.91	3.19	0.23	4.02
フィリピン	32.05	3.31	0.22	4.02
アメリカ合衆国	9.70	1.00	1.00	5.50

したがって、海外のある国に資産を投入する場合のリスクプレミアム $r_{premium}$ は次式のように表される。

$$r_{premium} = r_f + \beta_i \times \rho_i \times R_{market} \quad (3)$$

ここで、 R_{market} は国内市場での市場リスクプレミアムを表す。

式(3)に、以下に示す Pollio により示されたアメリカのマーケットでの値を代入する。

- ・市場リスク $\sigma_m = 9.7\%$
- ・リスクフリー率 $r_f = 6.0\%$
- ・市場リスクプレミアム： $R_{market} = 5.5\%$

さらに、アルゼンチン・ブラジル・インド・タイ・フィリピンのマーケット指数を代入した結果を、表-4に要約して示す。同表に示すように、開発途上国の株価指数は、一般にアメリカ・日本等の先進国のマーケットとの相関係数が小さいことが知られている。このため、開発途上国に投資を行う場合に想定すべきリスクプレミアムは、ボラティリティー比は大きくなるが、相関係数により全般に数%と比較的小きな値に抑えられる。つまり、この β -CAPM 法に準拠してリスクプレミアムを算出すると、ボラティリティー比の 1/3~1/4 程度に低減されることとなる。

式(1)~式(3)に示した金融工学に基づく数学モデルを援用した検討結果は、開発途上国特有の経済状況を反映し大局的観点からリスク評価する上で、有効な情報を提供できる可能性があることを示唆している。

なお、本節で示したようなリスクファイナンス技術は、現状では金融機関、シンクタンク、あるいは総合商社が取り扱う範疇のものとされている。しかし、建設業が海外での受注を拡大するためには、欧米の建設業を同様に、建設分野のエンジニア自身がリスクファイナンス技術を身に付けることが、今後不可欠な課題になるものと推察される。

3. PFI 方式による公共事業の推進におけるリスク管理

(1) PFI 事業の背景

1990 年頃までは、多くの先進国や途上国では、道

路、鉄道、電力、水道、通信などのインフラ事業は歴史的に国家機関や公企業が開発にあたってきた。特に途上国においては、国の返済保証により世界銀行（世銀）や 2 国間援助ローンを用いたインフラ開発が進められてきた。インフラ開発が経済発展の基盤整備であるとする考えにより、インフラ事業の財務の健全化よりは、プロジェクトを開発することが国家機関そして援助側機関で優先されてきた。このような仕組みでは、当該政府と世銀等融資機関の判断で比較的速やかに開発を進められた点で評価できる一方、需要を大きく見積もったり、経済効果を過大評価する性向により、健全な財務体質を有する公企業が存立し得ないケースを多く招いた。

こうした理由で IMF や世銀は途上国経済開発のための融資にあたっては、当該国経済の「構造調整 (structural adjustment)」の必要性を強調するようになった。すなわち、可能な限り電力料金などを市場に委ね自由化すること、また事業破綻のリスクを到底受容できない民間に事業経営を任せる（民営化）などの政策を融資の条件 (conditionality) とするようになった。民営化には、公的機関がプロジェクト・ローンの直接の借り手にならないため、長期債務の低減につながる効用も期待される。

しかし、例えば水力発電所のような場合、河川などの土地やダムなどの土着資産を民間（とりわけ外国企業）に委ねることを限定するため、一定期間のみの排他的事業開発・運営権 (concession) を与え、最終的にプラントごと国に返還 (transfer) する仕組みが考案された。ここに BOT (Build, Operate, Transfer) の発端をみることが出来る。この変形として BOO (Build, Own, Operate) のスキームがある。電力 BOT はトルコのオザル首相が最初に提唱し 1988 年から試みが始まった。

これまでに、アジア地区では数多くの民活型建設プロジェクトとして実施されている。図-6 および表-5 は、その事例として、1985 年~1998 年の間に、アジア 12 ヶ国で実施された 87 の PFI 方式による建設プロジェクトについて、そのプロジェクト実施国の分類

表-5 PFI方式による建設プロジェクトの国別分類¹³⁾

Country Group	Sampled Asian countries
High income economies	香港 (4), オーストラリア (4), 台湾 (1)
Upper-middle income economies	マレーシア (11)
Lower-middle income economies	インドネシア (5), フィリピン (17), タイ (7)
Low income economies	中国 (17), パキスタン (8), ベトナム (5), インド (6), ネパール (2)

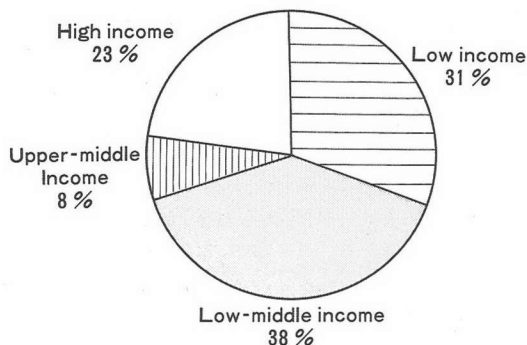


図-6 PFI方式による建設プロジェクトの事例¹³⁾

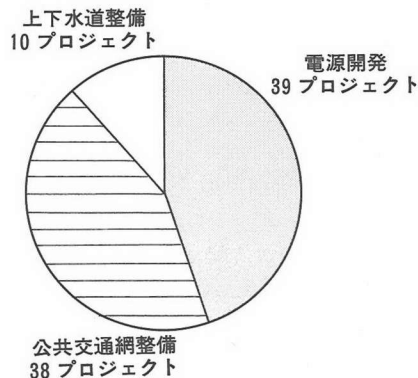


図-7 PFI方式による建設プロジェクトの内訳¹³⁾

を示したものである¹³⁾。なお、同図表に示したプロジェクトの内容は、図-7に示すように電力開発事業39プロジェクト、公共交通網整備事業39プロジェクト、および上下水道整備事業10プロジェクトである。

ここで、注目すべきことは、PFI方式による建設プロジェクトは、香港あるいはオーストラリアのような先進国だけではなく、世界銀行による経済指標分類でLow income countryに分類されるネパール、ベトナムにおいても推進されていることである。また、図-7に示すように、電力開発・公共交通網整備・上下水道整備のようなキャッシュフローの見込まれるプロジェクトは、PFI方式で推進することが世界銀行等の方針となっている。このため、PFIに代表される民間資本導入による公共事業を推進する上での必要となるリスク管理技術は、2.において述べた海外建設プロジェクトの受注の拡大を図るためにも必要となるものと推察される。

(2) PFIのリスク管理

PFI方式を導入した場合には、プロジェクト推進のための基本的構造が、従来は発注者と請負者との二者で成立していたのに対して、公共団体から権限を委譲されるプロジェクト会社 (Single Purpose Company, SPC), EPC (Engineering Procurement Construction) コントラクター, OM (Operation and Maintenance) コントラクター, 金融機関および、下請負者 (建設・据付等) 等の様々な参加者により構成される

ものとなる¹⁴⁾。また、従来の発注方式では、公共団体が原則的に負ってきたプロジェクト全体 (完工・操業) のリスクが、原則的にはプロジェクト会社, EPC コントラクターおよびOM コントラクターにより負担されることになるため、プロジェクト自体のリスク評価および対応が重要な検討課題となる。

ここで、現状ではPFI方式のプロジェクトのリスクマネジメントに関する研究としては、主としてプロジェクトの事業評価としての採算性を議論するため、操業後のファイナンス・リスクに対する評価および対応についての検討が報告されつつある¹⁵⁾。しかし、採算性を論じる上での初期条件となる、完工までに要する建設費に含まれるリスクについての検討は必ずしも十分とはいえない。現実には、(1)に示したアジア地区でのPFI方式による建設プロジェクトにおいても、表-6に示すように全87件中14事例で何らかのトラブルが発生している。同表に示すように、そのトラブルが発生した原因の多くは、図-4に示したリスク構造図で上位に位置付けられる、国家レベル・市場レベルでのリスク要因に区分されるものとなっている。すなわち、ここに示したアジア地区の事例においては、現状ではPFI方式による建設プロジェクトのプロジェクトレベルでの完工までに要する建設費に含まれるリスクについては顕在化していないものと解釈される。

これに対して、日本国内でのPFI方式による建設

表-6 トラブルの発生した PFI 方式による建設プロジェクトの事例¹³⁾

プロジェクト名	金額 (百万ドル)	Main Concessionaires	現 状	課題分類
(a) タイ				
Second Stage Highway	1,000	熊谷組	没 収	法 律
Bangkok Sky Strain	1,800	SCN-Lavaline	中 止	政 治
Wlavored Rail/Road Project	3,200	Hopewell	延 期	財 政
Don Muang Tollway	416	Dykerhoff & Widman	供用中	経 済
Bangkok Transit System	880	Tanayoung & Oarsons	遅 延	環 境
(b) インド				
Mangalore Power	2,800	Congentrix	遅 延	環 境
Dabhol Power	2,500	Enron	遅 延	社 会
(c) マレーシア				
Putra LRT2	880	Renong	遅 延	技 術
Second Crossing Road	570	Renong	供用中	政 治
Pantai Expressway	240	Renong	延 期	運 営
(d) パキスタン				
Hub Powe	1,500	National Power & Xenol Ind.	供用中	政治/法律
(e) 中 国				
Guangzhou-Zhuhai Highway	1,200	Hopewell	供用中	運 営
Shajio Power	1,100	Hopewell	供用中	政 治
(f) インドネシア				
Jati B Power	1,770	Hopewell	遅 延	経済/物理

プロジェクトにおいては、表-6に示すようなリスク要因が顕在化することは想定しにくいことから、プロジェクトレベルでの完工までに要する建設費に含まれるリスク要因が顕在化する危険性があると推察される。中でも、建設工事で対象とする地下の地盤・岩盤の幾何学的および力学的条件の不確実性に起因するリスク（以下地盤リスクと称する）が、その代表的な要因となる危険性がある。ただし、地盤リスクは、建設費用および建設工期に多大な影響を与えるリスク要因であるにも関わらず、これまでに十分な検討がなされているとはいいがたい。

この理由は、従来の日本での建設契約では、地盤リスクによる変動は、原則的にはディープポケットを持つ公共団体等の発注者により負担されてきたことによると推察される。すなわち、地盤リスクのような予見することが困難なリスク要因に起因する設計変更は、数量精算や新工種単価設定がなされることで、請負者のリスクが基本的には回避されてきた。ただし、これは、発注者である公共団体の財務体力が大きいため、精算数量が当初契約数量より増大しても、その増額精算が可能な環境にあったことに留意する必要がある。

これに対して、PFI方式での発注者となるプロジェクト会社が、定量化することが困難な予期しない地盤条件に起因する地盤リスクを負担することは、スポンサーおよび金融機関からの出融資が単独プロジェクトのみに限定されるプロジェクト・ファイナンスの枠組みでは、プロジェクトの実行可能性にかかわる。このため、建設段階で発生する地盤リスクは、その建設契約の構造から、プロジェクト会社からEPCコントラクターへ、そしてEPCコントラクターから建設・据付等の下請負者へと分配・転嫁されることになる。

しかし、これまでの建設プロジェクトを対象としたリスク分析に関する事例研究¹⁶⁾にも示されているように、リスク分担能力の低いプロジェクト参加者への不適切なリスク分配・転嫁は、新たなリスク連鎖を引き起こし、プロジェクトを遂行する上で重大な支障となる危険性を含んでいる。PFI方式のプロジェクトでは、プロジェクト会社およびEPCコントラクターは、従来の公共団体に比べてリスク分担能力の低いプロジェクト参加者であるため、両者の間での地盤リスクの分配ルールは、極めて慎重に立案する必要がある。

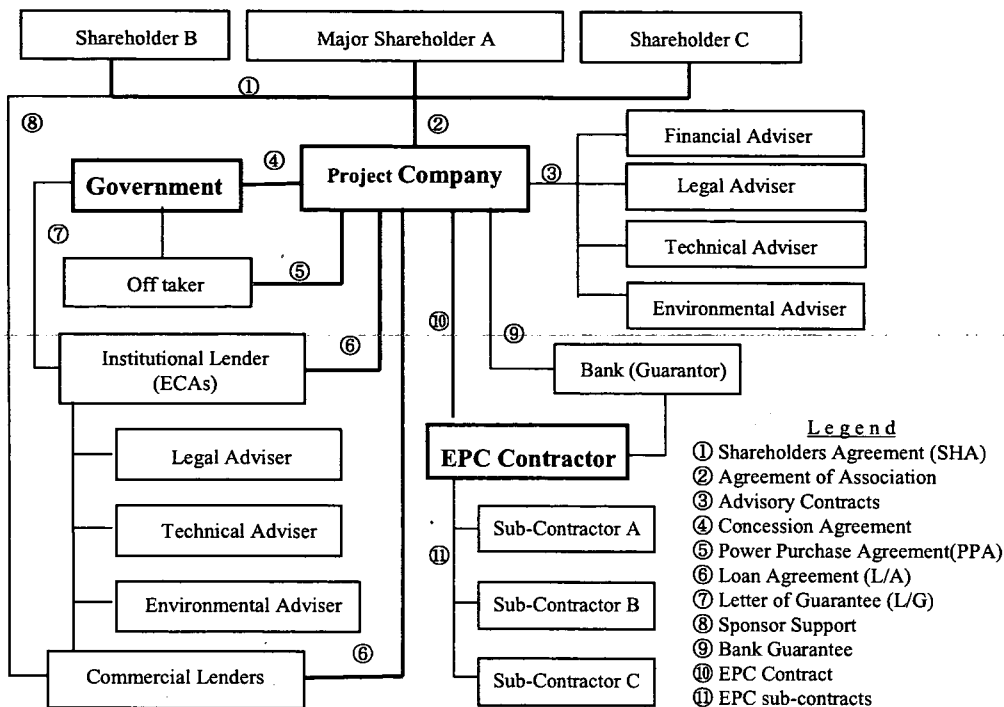


図-8 PFI方式による建設プロジェクトの契約形態例

PFI方式を導入した場合には、図-8に示すようにプロジェクト推進のための基本的構造が、従来は発注者と請負者との二者で成り立っていたのに対して、公共団体から権限を委譲されるプロジェクト会社 (Single Purpose Company, SPC), EPCコントラクター、金融機関および、下請負者 (建設・据付等) 等の様々な参加者により構成されるものとなる。また、従来の発注方式では、公共団体が原則的に負ってきたプロジェクト全体 (完工・操業) のリスクが、原則的にはプロジェクト会社、EPCコントラクターおよびOMコントラクターにより負担されることになるため、プロジェクト自体のリスク評価および対応が重要な検討課題となる。次に、図-8に示す実施形態での主要な契約としては、以下の契約が挙げられる。

- 1) 政府機関とプロジェクト会社の間で締結されるコンセッション契約 (図-8の④)
- 2) プロジェクト会社と金融機関 (レンダー) の間で締結される Loan Agreement (図-8の⑥)
- 3) プロジェクト会社と EPC コントラクターの間で締結される EPC 契約 (図-8の⑩)
- 4) EPC コントラクターと下請け会社との間で締結される建設・据付等に関する契約 (図-8の⑪)

また、PFI方式でのプロジェクトでは、これまでのコーポレート・ファイナンスに代わり、プロジェク

ト・ファイナンスが検討される。プロジェクト・ファイナンスでは、投資家に加え金融関係者も貸し手責任を負うことになるため、事業投資家および金融関係者は、プロジェクト会社が、プロジェクトが内包するリスクを厳しく評価し、キャッシュフロー・モデルに基づき配当収益率やデットサービスカバーレシオ (DSCR) 等の事業収益性に関わる指標を正確に算出することを要求することになる。仮に、プロジェクトが内包するリスクが大きく、その事業収益性に不確実性が多い場合には、プロジェクト・ファイナンスによる融資が決定されないケースも想定される。

このような課題に対して、詳細設計および建設工事をあわせて分担することで合理的にプロジェクトのリスク管理する方策として、プロジェクト会社と EPC コントラクターの間に EPC/ターンキー契約が締結されることになる。なお、この EPC/ターンキー契約の下では、プロジェクト会社のリスクが EPC コントラクターへと転嫁されることになるため、EPC コントラクターがプロジェクトの最大のリスク分担者になるケースがあることに留意する必要がある。このような枠組みの下では、技術者に要求される知識は、従来の設計・施工のみに特化したものではなく、多岐に渡るものとなるはずである。

(3) 地盤リスク分担に関する考察

一般に、地盤・岩盤を対象とした建設工事では、地盤リスクは予見することが困難なリスク要因として認識されているが、このリスク要因への対応は、以下のように大別される。

- ・調査工事（ボーリング調査・地盤試験等）
- ・施工段階での設計変更（数量精算）

なお、従来調査工事は発注者の負担により実施されるため、調査工事は地盤リスクの回避策と認識されることが多いが、ここではプロジェクトの地盤条件に関する不確定要素を減じるという解釈の下で、調査工事をリスク対応の一方策として取り上げる。

地盤リスクに起因する変動額、 ΔP を発注者と請負者の両者が分担するという仮定条件の下で、それぞれの変動額の負担額すなわちリスク分担は、以下のように表される⁹⁾。

1) 発注者の負担額

$$\Delta P_o \cong (1 - \alpha^*) \Delta P \quad (4)$$

2) 請負者の分担額

$$\Delta P_c \cong \alpha^* \Delta P \quad (5)$$

ここに、 α^* は全地盤リスク要因に対する平均的なリスク分配率を表し、0 から 1 の間の値となる。

式(4)～式(5)に示す関係で、EPC/ターンキー契約¹⁷⁾ (EPC 契約と称す) および数量精算契約 (RM 契約と称す) での、最も簡単な場合のリスク分配は次のように表される。すなわち、請負者のリスク分担が大きい EPC 契約では分配率 α^* は 1.0 に近くなり、一方請負者のリスク分担が小さくなる RM 契約では分配率 α^* が 0.0 に近くなる。もちろん、変動額、 ΔP は多様なリスク要因によるコスト変動の集合であるため、上記のような単純な関係にはならない。なお、実際には、ここに示す 2 つの方式を何らかの形に修正した契約方式が採用されるケースが多いが、どのような契約を用いたとしても、平均的なリスク分配率 α^* は 0 と 1 の間となるため、ここに示す議論の基本思想は変化しない。

したがって、地盤リスクはいずれの契約方式を用いた場合にも、発注者と請負者によって負担されるものであり、そして PFI 方式を導入することにより請負者のリスク分配率 α^* が大きくなるだけである。このため、地盤リスクに起因する変動額、 ΔP 自体を低減することが根本的な解決方法となる。このためには、地盤調査の精度を高めることはもちろんのこと、設計・施工両面からは発注者・請負者共に地盤リスク評価の新しい試みが必要不可欠な事項となる。

(4) PFI 方式の建設プロジェクトにおける地盤リスクの取り扱い

地盤リスクに対する対応の基本は、ボーリング調査および試験等による地盤・岩盤調査である。いうまでもなく、地盤・岩盤調査費用は、従来の公共工事では実施母体の公共団体により負担されてきた。PFI 方式のプロジェクトでは、様々な実施形態となることが予測されるが、この調査に係わる費用は原則的にはプロジェクト会社により負担される。

ただし、一般に地下の地盤条件は、空間的分布特性等に代表される多くの不確実な要素を含んでいる。これに対して、実際にボーリング調査結果より得られるデータは点情報の集積である。このため、その点情報の単純な内挿あるいは外挿により推定される地盤条件の信頼性には課題があることは、これまでも認識はされてきた。

ここで、調査より得られる地盤条件の信頼性について考察する。先にも述べたように、地盤条件は本来地盤の幾何学特性（地層分布・層厚等）および、力学的特性（変形性・強度特性等）については変動幅を有するはずである。この変動幅を有することを認めた場合には、設計結果に基づく建設コストも幅を有する値となる。例えば、模式的に図-9 の 1) に示すように、発注者により実施された初期の調査結果から推定される建設コストは、本来平均値 μ_F と標準偏差 σ_F を有するものになると推察される。なお、図-9 では議論を明確にするために、建設コストを正規分布モデルとして例示した。もちろん、実際のコスト分布はより複雑なものになると推定されるが、調査段階の地盤リスクを定量化する方策に関する、ここでの議論の基本思想は変化しない。

つまり、従来の建設プロジェクトでの設計およびコスト推定は、平均値 μ_F のみを用いて検討がなされ、その変動幅（標準偏差 σ_F と等価）について議論されることは極めて稀であった。しかし、PFI 方式では、発注者となるプロジェクト会社は、地盤リスクに起因するコストの変動幅を議論することが不可欠となる。例えば、平均値 μ_F まわりの変動幅（金融工学で定義されるアップサイドリスクと等価）を建設コストの予備費として設定することが、必ずしも十分に技術的な知識を有していない、出資者および金融関係者に地盤リスクに関する合意を得る上で最も有効な情報になると推定される。

次に、地盤調査の信頼性と、調査費との関係について考察する。いうまでもなく、調査費用を掛けることで、地盤調査の信頼性を高めることは可能となるが、民間であるプロジェクト会社では、どの程度の費用を調査に割り当てるかが極めて重要になる。

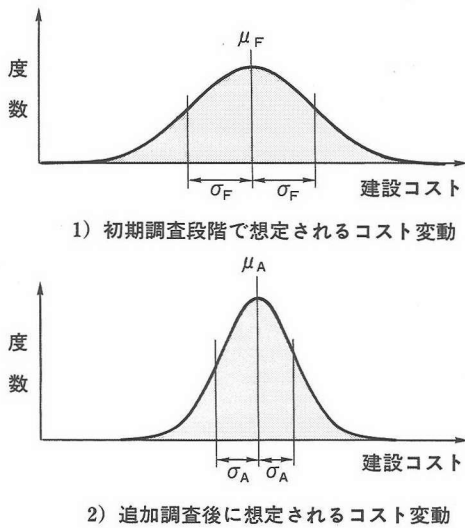


図-9 調査結果から推定されるコスト変動（模式図）

ここで、追加調査を実施することにより、想定される建設コストのアップサイドリスクが減少すると仮定する。議論を明確にするため、追加調査後に想定されるコスト変動が、模式的に図-9の2)に示すように、平均値 μ_A および標準偏差 σ_A でモデル化されると仮定すれば、 σ_F と σ_A について以下の関係が成り立つものと推察される。

$$\begin{aligned} \sigma_F &\geq \sigma_A \\ B &= \sigma_F - \sigma_A \end{aligned} \quad (6)$$

ここに、 B は追加調査を実施することによる建設コストの変動幅の低減量すなわち便益を表す。したがって、追加調査の投資対効果を考える場合には、理論的には便益 B と追加調査に必要な費用との大小関係から、詳細設計の有効性が示されることになる。

したがって、PFI方式による建設プロジェクトでの地盤リスクを評価するためには、図-9および式(6)に示すような表現が可能となる。地盤条件の変動に関する平均値および、そのまわりの変動幅を定量化する手法を適用することが不可欠な事項となる。

その具体的な方法としては、地盤条件に含まれる不確実性を確率モデルし、図-10に示すようにその量に基づき算定される建設コストのリスク（標準偏差 σ あるいはバリューアットリスク VaR）-期待値平面にプロットする、金融工学理論を援用する手法が挙げられる¹⁸⁾。このような手法を用いることにより、建設コストの分布量および調査コストの妥当性について検討可能となる。

このような観点から、PFI方式による建設プロジェクトを推進するためには、建設分野のエンジニアがリスク工学に関する技術に習得し、建設コストおよび調

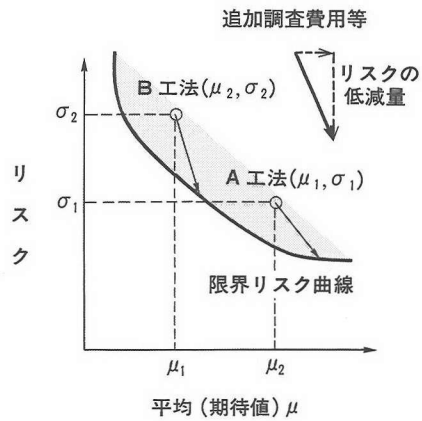


図-10 地盤リスク評価の模式図

査費用に関する費用対効果に関する認識を高めることが、今後不可欠な課題になるものと推察される。

4. 構造物の維持・補修の市場拡大に関するリスク管理

(1) 維持・補修に関する現状

図-11に1991年度の日本と、EU諸国での建設投資額とその内訳の比較を示す。同図に示すように、日本での建設投資は図抜けた数値となっている。この資料はバブル経済時に相当するために、全体の投資額の中で土木のシェアが30%を占めており、公共投資に代表される土木部門が好況を呈している。

これに対して、すでに経済成長が頭打ちになっているEU諸国で注目すべき点は、土木のシェアを維持管理に要する投資が上回っていることである。つまり、すでにインフラストラクチャーの整備がほぼ完了しているEU諸国では、「ものを作る」ことより「ものを使うこと、あるいはものを維持する」ことへと建設投資の方向がシフトしたものと解釈される。言うまでもなく、こうした傾向は、先進国では当然の帰結と考えられるであろう。

このような観点から、現在我が国では、社会基盤構造物をいかに存続させるかが最重要課題となっている。このような社会情勢の下で、昨今では土木構造物の建設・維持・補修・更新を含めて、その費用・便益を総合的に評価する方法論として、土木構造物のアセットマネジメントという概念が着目されるようになってきた。そのアセットマネジメントという概念において、その中枢部分となるのが、土木構造物の劣化特性評価、およびその対策評価技術である。こうした技術を実際問題に適用するためには、土木構造物の性能、機能水準の現在状態の規定、および劣化に伴う将来の

日 本：83.0兆円（1991年統計）

西欧15ヶ国：108.2兆円（1991年統計）

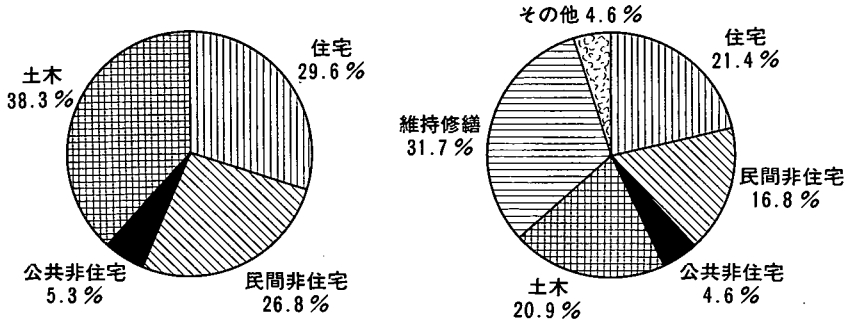


図-11 日本とEU諸国の建設投資内訳の比較

表-7 道路構造物を構成するコンポーネント・材料

コンポーネント	サブコンポーネント	構成材料
橋 梁	上部工	コンクリート メタル
	下部工（橋脚）	コンクリート メタル
	下部工（基礎）	地盤／基礎工
路 面	路面舗装	コンクリート アスファルト
	路床	路盤材料
	基礎地盤	地 盤
トンネル	覆工	コンクリート
	背面地山	地 盤

状態を予測する技術を高度化させる必要がある。加えて維持管理を行う上では、土木構造物の性能や機能水準の劣化をモニタリングしながら、費用対効果の評価を含めて適切なタイミングで補修することが重要な課題となっている。しかし、土木構造物の劣化過程は非常に複雑で不確実性が伴うために、構造物の状態予測手法は未だ確立されていない。このため、この分野においても、その劣化過程の不確実性を考慮する手法として、リスク工学の適用性に関する検討がなされるに至っている。

(2) リスク評価・対応に関する課題

(1)に述べた土木構造物のアセットマネジメントという概念が、現状で適用されつつあるのは、道路構造物である。言うまでもなく、道路構造物とは、橋梁・路面・トンネルという各コンポーネントから構成されるものである。さらに、各コンポーネントを、材料で分類すれば表-7に示すように分類される。

現状では、橋梁・路面・トンネルという各コンポーネントに対して、その劣化特性を考慮した維持・補修・更新問題に関して、リスク工学の概念を適用した研究成果が報告されつつある。

ここで、これらの研究内容について整理すれば、その特徴は以下のように分類されるであろう。

- ① 構造物を構成する材料の劣化特性に関する幾何学的ブラウン運動によるモデル化
- ② 維持・補修に対する費用の最適手法としてのライフサイクルコストLCCの概念の適用
- ③ ①のライフサイクルコストLCCの概念に代わり、アセットの社会的便益変動の不確実性を考慮したリアルオプション理論¹⁹⁾の適用

ここで、①の構造物を構成する材料の劣化特性に関するブラウン運動によるモデル化とは、金融工学分野において、不確実性を伴う株価の変動を表現する、以下の確率微分方程式に準ずるものとして表現するものである。

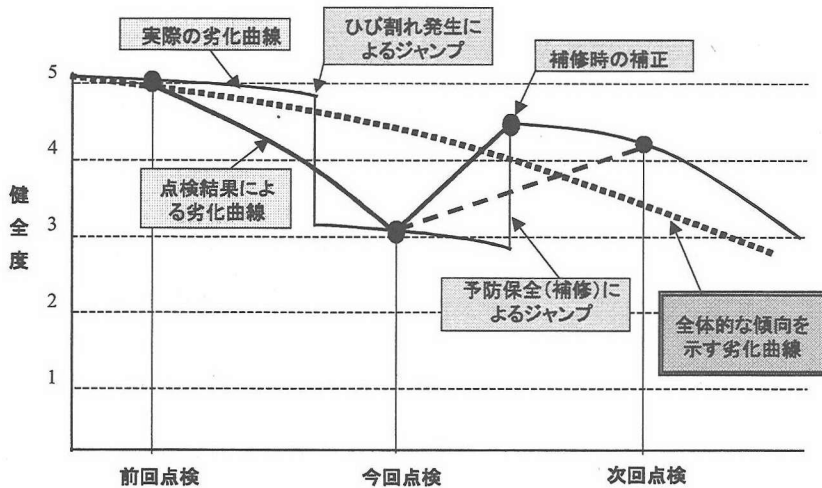


図-12 トンネル覆工の劣化過程のモデル化に関するモデル図

$$dS(t) = \mu S(t)dt + \sigma S(t)dW_1(t) \quad (7)$$

ここで、 $S(t)$ は性能の指標、 μ は性能の平均劣化率、 σ は自然的劣化の分散の程度を表すパラメータ（ボラティリティ）を表す。また、 $dW(t)$ は偶発的な確率変動に支配される標準ブラウン運動を表し、以下の確率過程に従う。

- ・ $W_1(t)$ は連続であり $W_1(0)=0$ である
- ・ $W_1(t)$ は正規分布 $N(0, t)$ に従う。
- ・ 増分 $W_1(s+t) - W_1(s)$ は正規分布 $N(0, t)$ に従い、時刻 s までの $W_1(t)$ の履歴とは独立である。

もちろん、式(7)に示す材料の劣化特性が、幾何学的ブラウン運動によりモデル化されるというのは、大きな仮定条件である。しかし、現状では不確実性の大きい材料の劣化特性に関する点検結果が得られていないことによるものである。したがって、今後土木構造物の点検データが収集されることにより、そのモデル化の妥当性についての検討が待たれる所である。

次に、材料の劣化特性を幾何学的ブラウン運動によりモデル化し、②の維持・補修に対する費用の最適化手法としてのライフサイクルコスト LCC の概念を適用した研究の代表事例としては、栗野ら²⁰⁾の研究および、田村・小林²¹⁾の研究を挙げられる。

これらの両研究は、いずれも道路舗装を対象とし、式(7)での性能の指標性能の指標 $S(t)$ に対して MCI を適用して、その維持・補修に対する費用の最適化手法について論じたものである。なお、両研究においては、劣化過程を表現する式が、厳密な数学的表現として式(7)と多少異なることに留意する必要がある。ただし、いずれのモデル化も、トレンド項と不確実性を表すボラティリティ項の和として表現しているため、ここでの数学的モデル化に関する分類の枠組みは変化

しない。

両理論の特徴は、性能指標を表す式(7)の確率微分方程式を離散化し、モンテカルロシミュレーションによるサンプルパスおよび、期待値パスに基づくライフサイクルコストの比較から、簡便な維持・補修ルールの下での意思決定問題について論じていることである。また、これらの研究は、現状では予算一定条件等の実務的な制約条件を課した条件下での最適解の算定のような意思決定手法としての拡張が図られつつある。

また、Yasuda ら²²⁾は、トンネルの維持補修問題を対象として、その点検結果に基づいてモンテカルロシミュレーションを用いて将来予測をし、さらにリアルオプション理論を適用することで意思決定問題として定式化する手法を提案している。具体的には、図-12に示すように、実際に想定される各トンネル覆工パネルの劣化過程に対して、その健全度指標の平均的な劣化過程が幾何学的ブラウン運動に従うと仮定するものである。

ここで、トンネルの維持補修問題は、上述の道路舗装に比較して、より複雑な問題と位置付けられる。その理由は、これまでに十分な点検がなされてこなかったことに加えて、以下のような課題を挙げることができる。

- ① 調査・設計・施工時の記録が残っていない。
- ② 変状の初期値の記録がない。
- ③ 覆工表面の変状と変状原因の相関不明である。
- ④ 点検員により評価にばらつきが生じる場合がある。
- ⑤ 点検結果の定量評価がなく、対策工選定、時期設定が不明確である。

⑥ トンネルに関しては、容易に取り替えると言うことが不可能である。

Yasudaら²²⁾の研究は、上記のような課題を踏まえ、トンネルの維持補修問題に対する、金融工学理論に基づく、リアルオプション理論を援用したプロトモデルの開発と位置付けられる。

ここで、リアルオプション理論とは、不確実性の高い事業環境下での経営の持つ選択権（オプション）のことをいう。金融オプション（Financial Option）に対して、金融資産以外の実物資産（Real Asset）に対するオプションであることからリアルオプションと呼ばれている。従来、事業者は費用便益分析（B/C）や純現在価値（NPV）などを用いて事業を評価してきたが、それらの手法では長期にわたり費用が変動するような不確実性を含む投資の場合、効率的な投資であるかは不明であった。また、NPV法では当初の計画を実行するという仮定の下で事業が評価されてきたが、リアルオプション分析では、不確実性を考慮した上で、延期・中止などの選択肢を事業者に提供し、事業を評価できるという利点がある。

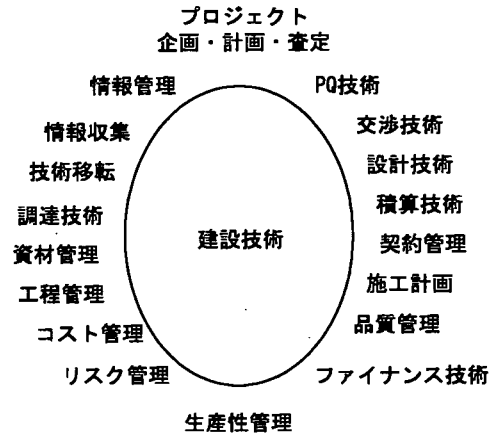
したがって、トンネルの維持管理においても、覆工の性能水準に関する劣化過程を同モデルで表現できれば、劣化過程を補修・更新で制御することが可能となり、維持管理の戦略的な意思決定を求めることが可能となる。

言うまでもなく、このYasudaらの研究を含め、本章で示したリスク工学理論を維持管理手法へ応用する取り組みは、いずれもその劣化過程のモデル化に強く依存する特性を有している。したがって、これらの手法がアセットマネジメントの要素技術として適用するためには、今後の土木構造物の点検結果を集積することで、その劣化過程のモデル化に関する妥当性の検証が、必要不可欠な検討課題となる。

ただし、今後既設構造物の維持・補修・更新に対するニーズは確実に増加することから、本章で述べたようリスク工学理論に基づき、その投資対効果を考慮した戦略的な意思決定法の確立は、土木構造物のアセットマネジメントにおけるコア技術となることが期待される。

5. まとめ

本研究では、建設市場の縮小等の建設業を取り巻く昨今の厳しい社会環境の下で、建設分野が新たな方向に進む上での、リスク工学という新しい考え方の適用性とその展望について述べた。具体的には、海外建設プロジェクトの受注拡大、PFIに代表される民間資本



注) 参考文献23に筆者が加筆

図-13 建設プロジェクトにおいて必要となる要素技術

導入による公共事業の推進、構造物の維持・補修に関する市場の拡大という3つの方策を対象とし、これらの方策を推進することに関連するリスク要因を明示するとともに、その対応策についても言及した。

この結果として、示した事項は以下のように要約される。

- ・本研究で示したようなリスク工学に関する技術は、現状では金融機関、シンクタンク、あるいは総合商社が取り扱う範疇のものであり、建設分野へ適用する取り組みは未だ初期段階にある。
- ・しかし、建設業が厳しい社会環境の下で、建設分野が新たな方向に進むためには、建設分野のエンジニア自身が、図-13に示すように、従来型の建設工事に関連する要素技術に加えて、リスク管理およびファイナンス技術を身に付けることが、今後不可欠な課題になる。

したがって、このような状況で求められる技術者像とは、従来のEngineering（工学）に加えて、Accounting（会計）およびMarketing（企画・経営）に関する能力も有する、Engineers with Market Mind（市場感覚を有する技術者）になるものと推察される。このためには、建設分野に関連する産官学の3者が連携し、新しい技術者教育モデルを早急に立案することが、今後不可欠な課題になる。

謝辞：本研究を取りまとめるにあたり、貴重な議論をいただいた京都大学教授小林潔司氏、大本俊彦コンサルタント大本俊彦氏、電源開発尾ノ井芳樹氏および、パシフィックコンサルタンツ安田亨氏に感謝します。

参考文献

- 1) 社団法人日本建設業団体連合会・社団法人日本土木工業協会・社団法人建設業協会：2002 建設業ハンドブック，2002.
- 2) Flanagan, R. and Norman, G.: Risk Management and Construction, Blackwell Science, 1993.
- 3) 武井 聡：リスクマネジメント総論，中央経済社，2000.
- 4) 青木 諒治：建設産業の国際化—その現状とグローバル化に向けての過大—，サマースクール 2002 in Tokyo 講演テキスト集，pp. 1-14, 2002.
- 5) 宇野 安：海外プロジェクトにおけるリスクマネジメント，土木学会誌，Vol. 85, pp. 41-47, 2000.
- 6) Zhi, H.: Risk Management for Overseas Construction Projects, International Journal of Projects Management, Vol. 13, No. 14, pp. 231-237, 1995.
- 7) Shen, L. Y., George, W. C. Wu, and Catherine S. K. Ng: Risk Assessment for Construction Joint Ventures in China, Journal of Construction Engineering and Management, Volume 127, Issue 1, pp. 76-81, 2001.
- 8) 海外経済協力基金開発援助研究所：円借款案件事後評価報告書 1998, 1998.
- 9) 海外経済協力基金開発援助研究所：円借款案件事後評価報告書 1999—上巻，1999.
- 10) 海外経済協力基金開発援助研究所：円借款案件事後評価報告書 1999—下巻，1999.
- 11) Coface: THE HANDBOOK OF COUNTRY RISK 2002, Coface and Kogan Page Limited, 2002.
- 12) Pollio, G.: International Project Analysis & Financing, The University of Michigan Press, 1999.
- 13) Kwak, Y. H.: Analyzing Asian Infrastructure Development Privatization Market, ASCE, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 128, No. 2, pp. 110-116, 2002.
- 14) 大津宏康，尾ノ井芳樹：BOT 事業のプロジェクト・マネジメント—水力発電ケースとして—，土木学会建設マネジメント発表会講演概要集，pp. 159-162, 2001.
- 15) 織田澤利守，小林潔司：海外プロジェクトにおけるリスク分担と利潤構造，土木学会建設マネジメント発表会講演概要集，pp. 175-178, 2001.
- 16) Pipattanapiwong, J. and Watanabe, T.: Multi-party Risk Management Process (MRMP) for A Construction Project Financed by An International Lender, Proceeding of Construction Engineering and Management Symposium 2000 (CEMS 2000), pp. 85-92, 2000.
- 17) FIDIC: Conditions of Contract for EPC Turnkey Projects, First Edition, 1999.
- 18) 大津宏康，尾ノ井芳樹，大西有三，李圭太：建設プロジェクトにおける地盤リスク評価に関する一策について，第 20 回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，pp. 155-158, 2002.
- 19) 森谷千風彦：ブラック・ショールズモデル，東洋経済社，2000.
- 20) 粟野盛光，小林潔司，渡辺晴彦：不確実性下における最適補修投資ルール，土木学会論文集 No. 707/IV-50, pp. 1-14, 2001.
- 21) 田村謙介，小林潔司：不確実性下における道路舗装の修繕ルールに関する研究，土木計画学研究・論文集，No. 18(1), pp. 97-107, 2001.
- 22) Yasuda, T., Ohtsu, H. and Ohnishi, Y.: Development of Strategic Tunnel Maintenance System Based on The Application of Risk, Proc. Of Probabilistics in GeoTechnics: Technical and Economic Risk Estimation, Graz, Austria, pp. 137-144, 2002.
- 23) 草柳俊二：国際建設プロジェクトのマネジメントシステム構築のための基礎研究，土木学会論文報告集，No. 546/VI-32, pp. 101-112, 1996.

(2000.12.4 受付)

In this paper, the scope of the applicability of risk engineering theory for civil engineering field was discussed. Firstly, the methodology associated with the risk assessment and the risk management of the oversea construction projects was investigated. Secondly, the basic concept associated with rational evaluation of geotechnical risk in PFI construction projects was investigated. Thirdly, the strategic maintenance methodology was investigated. Finally, risk theory based on financial engineering has the great possibility to be an fundamental method of asset management in civil engineering field.