

技術開発コスト可視化の試み

工学院大学建築学部建築学科 教授／博士（工学） 遠藤 和義

① イノベーティブな現場よ何処に

国土交通省の建設労働需給調査によれば、2015年1月の8職種計の需給状況は、全国平均で1.1%の不足となっている。東日本大震災からの復興の本格化以来、我が国の建築工事現場では、型枠工、鉄筋工を始めとする技能労働者の不足が常態化し、それによる工事費の上昇や工期遅れも発生している。

バブル経済期にも同様の状況はあったが、当時、業界は省力化や工期短縮に熱心で、大手ゼネコン各社は、こぞって全天候・全自動型のビル建設システムの開発などに取り組んだ。これらは、いくつかの実施プロジェクトで、工期短縮だけでなく、品質、安全等の改善にも貢献した。

また、その頃から本格的に始まった超高層RC造集合住宅の建設工事では、基準階を工区分割することによって、作業の並行化、繰り返しによる経験効果増、労務や揚重機の稼働の平準化などによって工期短縮に挑戦した。それを支える、大型プレキャストコンクリート部材や大型鋼製型枠の多用、スラブ型枠と梁型枠を一体化し、ジャッキのアップ・ダウンで移設可能なフライングショアなどのハード技術の進化で、現場は一気に機械化、システム化した。

一方、労務についても、手待ち解消による稼働率向上を目指した多能工の育成などに、ゼネコン自らが取り組んだ。

その後、そうした工夫の一部は、在来工法化して定着したものの、建設市場の縮小に伴う工事費のデフレ現象の中で、その多くがコスト高を理由に現場から消えていった。東日本大震災の直前には、技能労働者の賃金水準の低迷を背景に、ハード技術の先祖返りも目についた。

② 超高速施工でキャッシュも素早く

その一方、海外では、超高速施工に挑む建設企業群が現れている。読者の中には、中国の遠大科技集団（Broad Group）による施工過程のムービー¹⁾を見られた方も多いであろう。彼らが湖南省長沙市で建設した15階建ての「アークホテル」は、現場作業を6日間（24時間連続稼働）で終えている。同社は、上海万博のパビリオンの空調設備などを手がけた企業で、設備のダクトや配管をスラブ内に収めたプレファブ化を得意としている。我々の常識からすると、そのスピードは荒唐無稽にも映るが、速さを競う背景が何かあるはずである。

建築プロジェクトは、固有の企画－設計－施工－運用－売却・解体という時間の経過とともにキャッシュフローを生じさせる。例えば、オーナーからみて、施工段階は建設会社に発注するので工事費としてキャッシュが出ていくキャッシュアウト、運用段階には賃貸などの事業によってキャッシュが入ってくるキャッシュインが生じる。

そのキャッシュの価値は、現在からみて、発生するタイミングによって変化する。例えば、1年後に受け取る100万円を現時点で評価した「現在価値」は、100万円より小さくなる。現在価値は、 $100万円 \div (1 + i)$ で求まる。iはその間の金利である。もし、金利iが5%であれば、1年後の100万円の価値は、 $100万円 \div (1 + 0.05) = 95.2万円$ 、2年後は、 $100万円 \div (1 + 0.05)^2 = 90.7万円$ 、n年後は、 $100万円 \div (1 + 0.05)^n$ で求まり、この割り引かれたキャッシュフローをDCF (Discounted Cash Flow) と呼ぶ。そして、プロジェクト期間中のDCFの総和が正味現在価値 (NPV: Net Present Value) となる。NPVはiが大きいほど、その現在価値を小さくする。中国のように経済発展過程にある市場のiは一般に大きく、キャッシュも素早く動かす必要がある。

本稿では、Endo他の成果²⁾を引いて、工期短縮がプロジェクトのNPVにもたらす効果をモデルを用いて可視化する。

③ プロジェクトのモデル

モデルとするプロジェクトは、東京都内に立地する中高層の新築の賃貸マンションである。施工に要する標準的な工期は、日本建設産業職員労働組合協議会の提言³⁾などを参考に20ヵ月とした。工事費は、JBCI⁴⁾を参考に、250,000円/㎡とした。70㎡の賃貸面積に対する賃貸料は、賃貸住宅情報誌などから250,000円/月とした。

なお、本稿で用いる貨幣価値は、工事費を100

として表現した。工期短縮工法の採用によって、プロジェクトは図1に示すように、標準的な工期20ヵ月から15ヵ月、10ヵ月、5ヵ月へと短縮されるものとし、それに対応したキャッシュフローを設定した。なお、工期短縮工法を採用しても、工事費は一定とした。

プロジェクトの各段階の概要について以下に記す。

① 設計段階

このプロジェクトでは計算の単純化のため、設計施工一貫をイメージしている。設計期間は6ヵ月とし、設計料は工事費(100)の10%とした。設計業務は、設計段階の間、毎月一定の速度で進捗し、設計者はその費用を毎月均等に支出する。オーナーは設計図書の完成時に設計料を設計者に支払う。設計者の売上高総利益率は6.5%とする。よって、プロジェクト期間中の金利(期中金利)0%の場合、設計完了時点における、設計者のNPVは0.65、設計者の費用は9.35(1.56/月)となる。

② 工事段階

ゼネコンの売上高総利益率は6.5%とする。設計段階と同様に、期中金利が0%ならば、ゼネコンのNPVは6.5となる。オーナーはゼネコンに対して工事費を以下の3回に分けて支払う。

- ・着工時：オーナーはゼネコンに工事費の30%を支払う。
- ・工期の2/3経過時：オーナーはゼネコンに工事

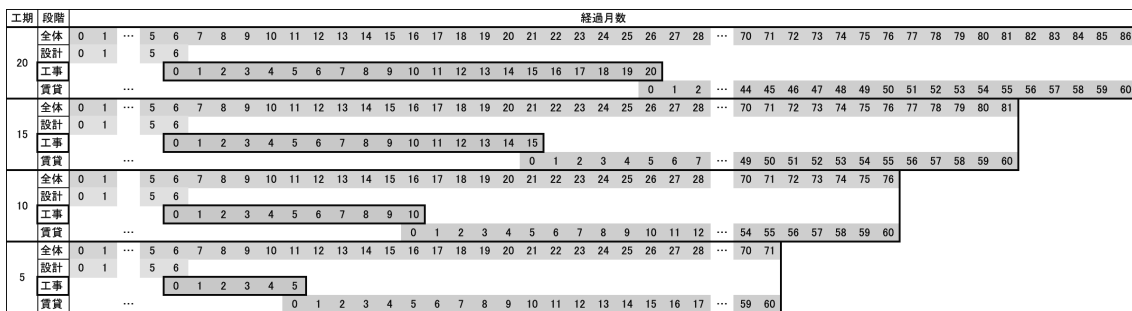


図1 プロジェクトのモデル化

費の30%を支払う。

- ・竣工時：オーナーはゼネコンに工事費の40%を支払う。

この支払条件は、一般的な実態に基づいて設定した。なお、ゼネコンは工期中、下請、材料供給業者等にその費用を均等に支払う。

③ 賃貸段階

賃貸期間は60ヵ月とする。基本は満室での運用を想定するが、空室リスクの想定については後述する。なお、入居者がオーナーに対して提供する長期低利融資と見なすことのできる敷金や保証金については、煩雑を避けるため考慮していない。

④ 残存価値の評価

この賃貸マンションの残存価値は、20年後に0になると仮定し、その間、毎月定額で減価する。賃貸段階の60ヵ月目にその残存価値をキャッシュインとして処理する。

4 シミュレーションの概要

このシミュレーションでは、このプロジェクトに工期短縮工法が採用された場合のNPVの変化を、三つの観点で評価する。なお、NPVに影響する期中金利は、年利の1/12で求めた月利を毎月のキャッシュフローの割引に適用する。

- ①ゼネコンにとって、早く工事費を受け取ることの効果。
- ②オーナーにとって、賃貸段階を早く開始するこ

との効果。

- ③オーナーにとって、賃貸段階の空室リスクを抑制することの効果。

③について補足すると、オーナーがプロジェクトのために金融機関から借り入れする際、金融機関はその資金回収期間（貸付額÷毎期の賃貸料）を一般的に重視する。プロジェクトの環境は、時間の経過とともに変化するので、当初の事業計画に対する結果も、時間の経過によって「ばらつき」が大きくなる。このモデルでは、市場環境変化による稼働率のばらつきをリスク要因とし、NPVに対する影響を評価する。

5 期中金利を考慮しない場合

まず、シミュレーションのベースとなる工期5ヵ月、期中金利0%のキャッシュフローの計算結果を図2に示した。このプロジェクトの設計者+ゼネコンのNPVは7.15 (=110×6.5%)である。この条件におけるオーナーのNPVは50.71となる。期中金利を考慮しなければ、工期の長短によるオーナーと設計者+ゼネコンのNPVに、差は生じない。

本来、NPVはプロジェクト終了時の結果を評価するものであるが、図3には、経過時点における設計者+ゼネコンとオーナー各々のキャッシュの状態の推移を示した。もし、オーナーがプロジェクトを賃貸段階の途中で中止する場合は、その時点での残存価値をキャッシュインとして扱い、結果としてのNPVを再計算する必要がある。

		経過月数																	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	69	70	71
全体		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	69	70	71
設計段階		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	69	70	71
工事段階								0	1	2	3	4	5						
賃貸段階													0	1	2	...	58	59	60
オーナー	キャッシュイン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	1.43	...	1.43	1.43	76.43
	キャッシュアウト	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-40.00	0.00	0.00	-30.00	0.00	-40.00	0.00	0.00	...	0.00	0.00	0.00
	キャッシュフロー	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-40.00	0.00	0.00	-30.00	0.00	-40.00	1.43	1.43	...	1.43	1.43	76.43
	DCF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-40.00	0.00	0.00	-30.00	0.00	-40.00	1.43	1.43	...	1.43	1.43	76.43
	NPV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-40.00	-40.00	-40.00	-70.00	-70.00	-110.00	-108.57	-107.14	...	-27.14	-25.71	50.71	
設計者+ゼネコン	キャッシュイン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	30.00	0.00	40.00							
	キャッシュアウト	0.00	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70						
	キャッシュフロー	0.00	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	38.44	-18.70	-18.70	11.30	-18.70	21.30						
	DCF	0.00	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	38.44	-18.70	-18.70	11.30	-18.70	21.30						
	NPV	0.00	-1.56	-3.12	-4.68	-6.23	-7.79	30.65	11.95	-6.75	4.55	-14.15	7.15						

図2 キャッシュフローの計算結果（工期5ヵ月、期中金利0%）

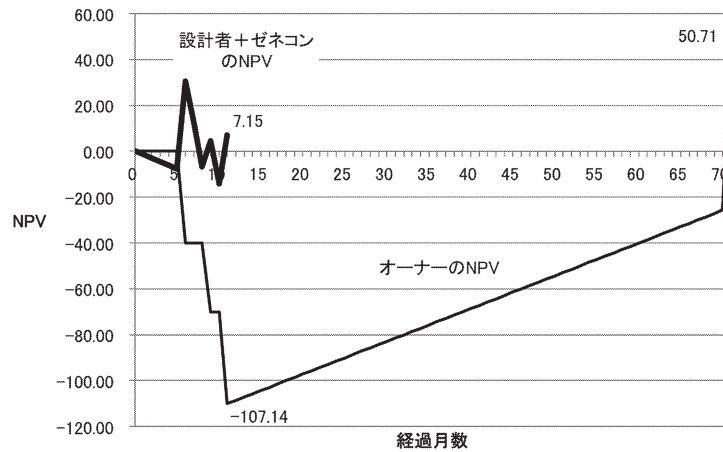


図3 NPVの推移(工期5ヵ月、期中金利0%)

6 期中金利を考慮した場合のNPVの変化

図4は、図2と同じ設定で、期中金利を年利10%として得た結果である。設計者+ゼネコンのNPVは、7.15(期中金利0%)から6.55(期中金利10%)に低下する。一方、同様にオーナーの

NPVをみると、50.71から0.57へと相対的に大きく落ちる。NPVに対する期中金利の影響は、長い賃貸段階を抱えるオーナーに強く現れる。

図5では、オーナーのNPVについて、工期を5ヵ月から20ヵ月、期中金利を0%から20%まで変化させた結果を示した。すでに述べたよう

		経過月数																	
全体		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	69	70	71
設計段階		0	1	2	3	4	5	6											
工事段階									0	1	2	3	4	5					
賃貸段階													0	1	2	...	58	59	60
オーナー	キャッシュイン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	76.43
	キャッシュアウト	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-40.00	0.00	0.00	-30.00	0.00	-40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	キャッシュフロー	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-40.00	0.00	0.00	-30.00	0.00	-40.00	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	76.43
	DCF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-38.06	0.00	0.00	-27.84	0.00	-36.51	1.29	1.28	0.81	0.81	0.80	42.40
設計者+ゼネコン	NPV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-38.06	-38.06	-38.06	-65.90	-65.90	-102.41	-101.12	-99.83	-43.44	-42.63	-41.83	0.57	
	キャッシュイン	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.00	0.00	0.00	30.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	キャッシュアウト	0.00	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-1.56	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	-18.70	
	DCF	0.00	-1.55	-1.53	-1.52	-1.51	-1.49	36.57	-17.64	-17.50	10.49	-17.21	19.44						
設計者+ゼネコン	NPV	0.00	-1.55	-3.08	-4.60	-6.11	-7.60	28.97	11.33	-6.17	4.32	-12.89	6.55						

図4 キャッシュフローの計算結果(工期5ヵ月、期中金利10%)

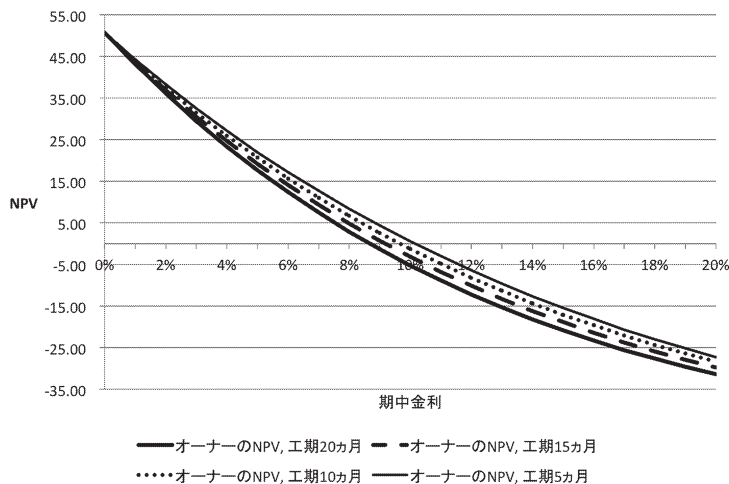


図5 オーナーのNPVの変化とIRR(工期5、10、15、20ヵ月、期中金利0~20%)

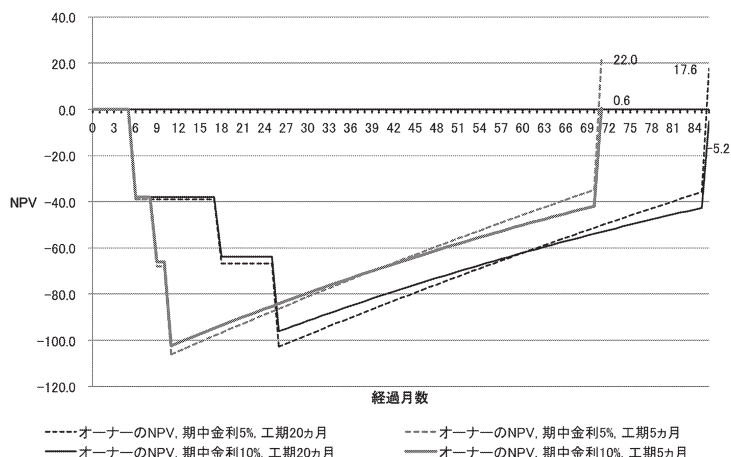


図6 オーナーのNPVの推移 (工期5、20ヵ月、期中金利5、10%)

に、期中金利が高くなるとNPVは低下する。ここで、NPVが0になる期中金利、すなわちX軸との交点の値を内部収益率 (IRR: Internal Return Ratio) と呼んでいる。IRRは、それが期中金利よりも高ければ、このプロジェクトに投資する意味があり、その逆であれば投資不適という判断に用いられる。工期20ヵ月のIRRは工期5ヵ月のそれよりも約1.8%小さい。

図6は、図3同様に、オーナーのNPVについて、工期5ヵ月と20ヵ月、期中金利5%と10%の場合の推移を示したものである。期中金利が高いと、工事段階におけるオーナーのマイナスのキャッシュフローの現在価値も小さく評価されるが、賃貸段階の家賃収入による資本回収でNPVは逆転し、残存価値の評価で比較的大きな差が生じる。期中金利10%の場合、工期5ヵ月のNPVは0.6のプラスとなるが、工期20ヵ月では-5.2で投資不適となる。

7 空室のリスクを考慮した結果

すでに述べたように、ここまでのシミュレーションでは、家賃収入は満室の状態を想定した。しかしながら、賃貸マンションの経営では、避けがたい入居者の入れ替わりによって発生する空室のリスクを考慮する必要がある。一般に、築年数

の増は、そのリスクを大きくする傾向がある。

ここでは、Oracle Crystal Ball (OCB) を使用してそのリスクの定量化を試みる。OCBはモンテカルロ法を用いたシミュレーションソフトウェアである。Excelに組み込んで使用し、難解な確率論の理解がなくとも、ユーザーフレンドリーに様々な確率事象やリスクをビジュアル化できる。モンテカルロ法とは、カジノで有名な「モンテカルロ」に因んで命名されたもので、モデル化した事象に対して、乱数を用いたランダム実験を多数繰り返し、解や法則を近似的に求める方法である。

このプロジェクトの賃貸段階における稼働率の確率分布は、図7に示す正規分布 (平均: 95%、標準偏差: 15%) と仮定した。標準偏差は、初期値15%から86ヵ月目の30%まで、毎月均等に増

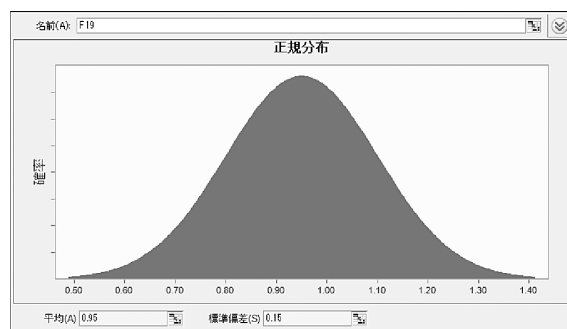


図7 空室率の確率分布の例 (空室率の平均95%、標準偏差15%)

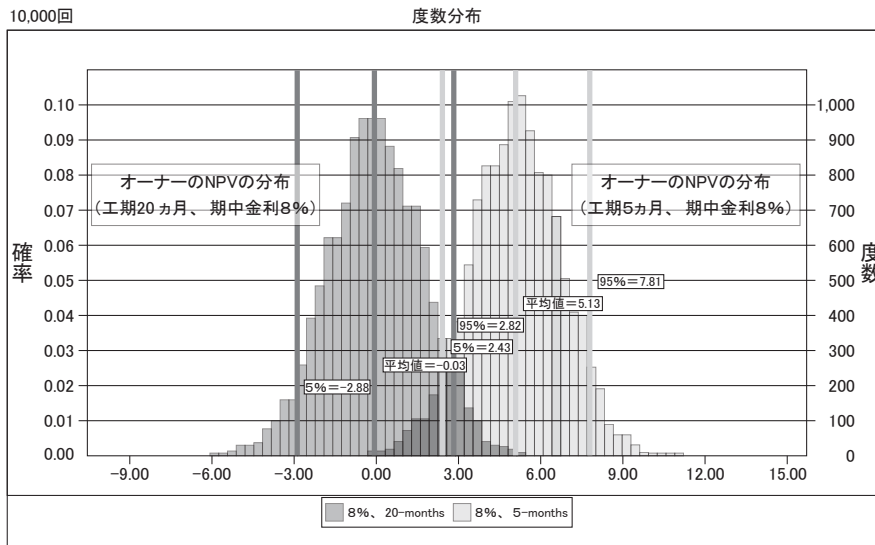


図8 オーナーのNPVの分布の比較（工期5、20 ヲ月、期中金利8%）

加する。これは当初の事業計画に基づいた稼働率が時間の経過によって「ばらつく」現象をモデル化している。当然、ここでは、経営上のリスクとなるマイナス側へのばらつきに注目する。

図8は、上記の稼働率の設定で、中国のような経済成長過程にある市場で現実的な期中金利8%の場合についてシミュレーションしたものである。工期20 ヲ月のプロジェクトのNPVでは、50%程度マイナスになる可能性があるのに対し、工期5 ヲ月のプロジェクトのNPVでは、マイナスとなる可能性をほぼ排除できる結果となった。

8 NPV増を原資とした技術開発の循環

本稿では、革新的な工法の導入による工期短縮が、プロジェクトのNPVを増やし、事業のリスクも低減するという結果をごく簡単なモデルを用いて導いた。工期短縮だけでなく、安全・安心、高品質や環境負荷低減などを実現する技術も、シナリオ次第でプロジェクトのNPV増に貢献するはずである。その実現に必要な研究開発コストは、ゼネコンやオーナーのNPVの増加を原資として循環させなければならない。当然、単一プロジェクトから研究コストを捻出するのはは

実的でない。それは、視野を海外にも広げ、マーケティングに基づいたプロジェクトの受注見込みによって、研究開発内容とそのコストをバランスさせる必要がある。オーナーと建設業界のパートナーシップによって、技術開発を持続させることは、単純なコスト競争から双方を解放する可能性がある。

(参考文献)

- 1) 遠大科技集団のホームページ、<http://en.broad.com/video.html?6>
- 2) Kazuyoshi Endo, Thomas Bock, Thomas Linner, Rapid return on investment by innovative methods in construction visualized by cash flow model, Creative Construction Conference 2013, Budapest, Hungary, 2013.7
- 3) 日本建設産業職員労働組合協議会、日建協が考える標準工期とは、<http://nikkenkyo.jp/download/teigen/2012.09hyojun-kouki.pdf>, 2012.9
- 4) (一財) 建設物価調査会、ジャパン・ビルディング・コスト・インフォメーション (JBCI) 2012、2012