

技術的マッチングと性能規定型発注方式の経済的価値*

TECHNOLOGICAL MATHCHING AND VALUE OF PERFORMANCE-BASED CONTRACTS*

大西正光**・小路泰広***・小林潔司****

by Masamitsu ONISHI**, Yasuhiro SHOJI***, Kiyoshi KOBAYASHI****

1. はじめに

公共工事の品質確保および効率化が重点課題として位置づけられる中、公共工事の入札制度に関するさまざまな取り組みが行われている。その中で、性能規定型発注方式（以下、性能発注）の有効性について、多くの検討が積み重ねられている。従来の公共工事では、発注者が契約書において、構造物の材料、寸法、工法、設計法など仕様を規定するような仕様規定型発注方式（以下、仕様発注と呼ぶ）が採用されてきた。これに対して、性能発注では、契約書において完成物の性能のみが規定されており、請負者は契約における性能規定を満足する範囲の中で、構造物の仕様を自由に決定することができる。性能発注では、請負者は発注者が要求する性能水準を満足する限りにおいて、自由に仕様を決定できるため、請負者が新技術を導入できる裁量の範囲が拡大する。性能発注の導入により、請負者の新技術導入を促進し、公共工事の効率化を図ることが期待されている。

性能発注は、これまでに舗装、橋梁、港湾、空港等の工事で導入されている。契約書における性能規定の方法や性能試験の方法については、近年も各分野で活発に検討されているが、性能発注が一般に普及したとは言い難い状況にある。しかし、性能規定や試験方法の標準化が進み、性能発注の実施するインフラが整えば、性能発注による発注者側の負担は今後軽減され、一般的に普及する可能性がある。一方で、民間企業の技術革新への誘因は、企業が直面する市場環境に影響を受けることが指摘されている¹⁾。したがって、性能発注により請負業者の新技術の開発が促されるといった結論は、必ずしも自明ではない。性能発注が請負業者の技術開発インセンティブに与える影響を議論するためには、請負業者の技術的特性や取り巻く建設市場の環境を明確化して、分析しな

ければならない。

以上の問題意識に基づき、本研究では2つの請負業者が存在する建設市場において行われる入札ゲームを定式化し、請負業者が新技術を開発したときに獲得できる利潤の帰着構造を明確化する。さらに、明らかになった利潤の帰着構造が請負業者の技術開発の誘因に与える影響を明らかにする。以下、**2.**では、性能発注導入に伴う本質的問題点を明らかにし、本研究の分析の枠組みを明らかにする。**3.**では基本モデルを定式化し、仕様発注と性能発注の本質的な相違点を明確にする。その上で、性能発注が工事の技術的ニーズと請負業者の持つ技術をマッチングさせる機能を有することを指摘し、請負業者の技術開発に対する誘因について分析する。**4.**では、新技術には技術的不確実性が付随することに着目し、請負業者のモラルハザードが生じるケースを分析する。さらに、審査機関が実施する性能試験が果たす役割も明らかにする。最後に、**5.**では、本研究を取りまとめるとともに、本研究の限界と今後の課題について整理する。

2. 本研究の基本的考え方

(1) 既存の研究概要

建設マネジメントの分野においては、舗装や港湾施設等の構造物について、有効な性能規定のための指標やその試験方法について研究が蓄積されつつある²⁾⁻⁴⁾。また、性能を規定するための根本的な概念を整理した研究も蓄積されている⁵⁾。これらの研究蓄積により、今後、さまざまな構造物において性能発注の導入が可能になりつつある。また、性能規定および試験方法に関する妥当性を定量的に評価することは、発注方式を現実決定する際に、極めて重要な情報であることは言うまでもない。

性能発注を新しい入札契約方式という観点から、その効果について理論的な分析を試みた研究も蓄積されている。大西ら⁶⁾は、性能規定型契約が不完備契約にならざるを得ないことを指摘した上で、性能照査による立証可能性が担保されていない限り、性能発注が機能しないことを指摘している。また、石ら⁷⁾は、インフラ資産の維持管理のための性能規定型契約モデルを定式化し、異時点間での動学的なペイオフ外部性が生じる前提条件のも

*キーワード：性能規定、新技術、マッチング

**正会員 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 助教
(〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL/FAX 075-383-3224)

***正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター 地震防災研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1 TEL/FAX 029-864-3244)

****フェロー会員 京都大学経営管理大学院 教授
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL/FAX 075-383-3222)

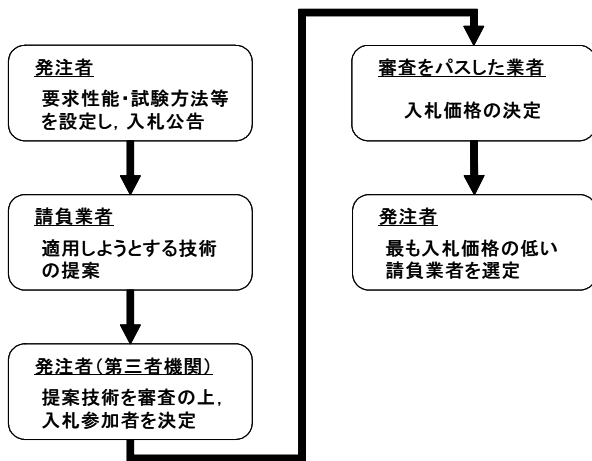


図-1 性能発注の入札・契約手続きフロー

とで、長期契約を結ぶ効果について指摘している。しかし、これらの研究は、性能発注が建設業の新技术開発の誘因に対する影響を分析したものでない。

一方で、建設業は他業種と比較して新技术開発が低調であることが指摘されてきた。例えば、渡辺ら⁸⁾は、建設業における特許1件あたりの特許収入額（特許獲得指数）が、全産業と比較して半分以下にとどまっていることを指摘している。このような状況を背景として、新技术開発の促進という観点から、各種の入札契約方式が提案されている。例えば、性能発注は設計VE（Value Engineering）とも密接に関連している。VE提案は、完成物の品質を確保しながら、コスト削減を行う設計方法について請負業者が提案し、コスト削減を行った対価を獲得できる仕組みである。伊藤⁹⁾は、VE提案が形骸化している現状を報告しており、今後、より性能発注への移行を加速すべきであるという提言を行っている。

入札契約方式が変われば、建設市場における競争条件が変わる。このように市場条件が企業の技術開発に与える影響については、すでに膨大な研究が蓄積されている¹⁾。ここでは、知的財産権による一時的独占利潤を獲得することを目的とした動学的な新技术開発競争モデルが提案されている^{10) - 13)}。しかし、建設工事は単品生産であり、寡占市場を対象した動学的競争モデルを適用できない。建設市場の入札契約方式が建設業界における技術革新に及ぼす影響を分析するためには、請負業者が有する技術的特性と入札を通じた利潤帰着構造を明らかにすることが重要である。筆者らの知る限り、性能発注による入札が請負業者の入札戦略に及ぼす影響を明示的に考慮した上で、請負業者の技術開発に対する誘因に関して、理論的に分析した研究事例は存在しない。

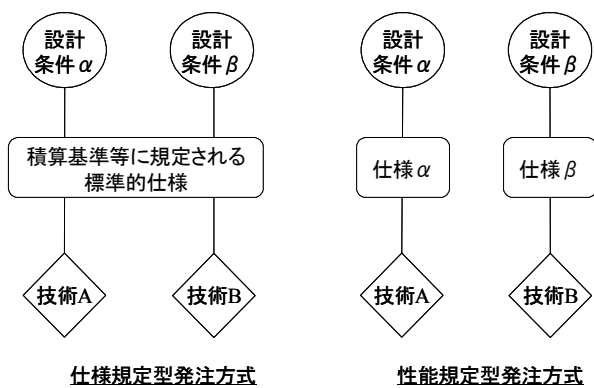
(2) 性能発注の概要

性能発注による入札手続きの典型例は、図-1のように示される。まず、発注者は、実施案件で必要となる施

設の要求性能を決定し競争入札を公示する。その後、競争入札に参加しようとする応札者は、要求性能を満たすことが可能な技術を発注者に提案する。応札者の技術提案を受けて、発注者、学識経験者を含めた第三者メンバーで構成される審査会あるいは発注者が認定した審査機関などを通じて、提案された技術を審査する。審査によって、提案された技術により確実に要求性能を満たすことができない、あるいは相当の確率で要求性能が満たされない可能性があると判定されれば、当該の応札者は以降の入札プロセスに進むことができない。しかし、提案された技術が審査に合格したとしても、新技术の導入により要求性能が確実に満足されることを保証するわけではない。審査をパスした応札者は、審査を受けた技術を採用することを前提に入札価格を決定する。その結果、最も低い価格を入札した応札者が選定業者となる。

性能発注の場合、応札者が工法・材料等の技術を発注者側に提案する形を取るため、必ず技術提案型となる。ただし、VE（Value Engineering）提案方式のように、仕様発注の場合でも技術提案型のケースもあり得る。この場合、民間企業が発注者に対して技術を提案するが、仕様発注の場合、最終的には発注者が仕様を決定する。したがって、技術提案が行われたとしても、技術の採用決定は発注者の権限となる。この違いは重要である。繰り返しになるが、性能発注では、失敗する確率が高い技術の採用を排除するだけであり、発注者が工事において使用される技術を選択するわけではない。技術は入札メカニズムを通じて決定される。また、総合評価方式も発注者が技術選択を行わない点で性能発注と同様の性質を有している。ただし、性能発注では、要求性能を満たす限りにおいて、全ての技術はコストのみで差別化されるのに対して、総合評価方式では環境や安全対策といった効果も評価した上で技術を差別化する点で異なる。

一般的に、土木工事には一品生産という特徴があり、工事を行う環境（設計条件）が極めて多様である。設計条件が異なれば、必要とされる技術特性も異なる。一方で、各請負業者が保有する専門的知見はさまざまであり、それぞれに得意な技術分野がある。この概念を明確化するために、図-2に示すような模式化を行ってみる。設計条件 α という工事では、技術Bよりも技術Aによる工事の方が費用効率的である。一方、設計条件 β という工事では、技術Aよりも技術Bによる工事の方が費用効率的となる。すなわち、設計条件ごとに相性がよい技術が存在しており、工事を効率的に実施するためには、工事の設計条件ごとに技術のマッチングが市場全体の効率性に影響を与える。請負業者は一般的に他社と比較して比較優位な技術を有している。したがって、さまざまな設計条件の工事が存在する中で、各工事の設計条件にもっとも適切な技術を有する請負業者を選定することが



図－2 設計条件に応じた技術コーディネーション

望ましい。しかし、請負業者が技術力を発揮できるようになるためには、それに対応した材料、工法、詳細設計が選択できる仕組みを具備しなければならない。本研究では、性能発注により、このような技術的マッチングが可能となる点に着目する。

(3) 発注形態と技術的選択

性能発注の契約構造を明らかにするために、性能発注と仕様発注の契約上の相違点について考察する。仕様発注では、発注者が完成物の仕様をあらかじめ決定する。入札参加者は発注者から提示された仕様に忠実にしたがって施設を完成させることのみが要求される。ここで、仕様とは、いわゆる設計図面のみならず、施設を完成させるために用いられる工法や材料も含まれる。したがって、仕様の決定は、施設を完成させるための技術の決定であり、仕様発注は、請負業者に新技術を適用する裁量を与えないスキームである。これに対して性能発注では、発注者は入札時点で仕様を決定する代わりに、完成物に要求する性能水準（要求性能）を決定する。したがって、仕様発注とは異なり、請負業者は完成物が要求性能を満たす限りにおいて、自由に仕様（技術）を選択できる裁量を与えられる。仕様発注では発注者が技術を選択するが、性能発注では請負業者が技術を選択する。したがって、性能発注の経済的価値を分析するには「なぜ技術を選択する主体が問題なのか」という問いに答えることが重要な課題となる。

仕様規定では、発注者が工事に用いられる技術を選択してきた。このような仕様発注が長期にわたって採用されてきた背景には、発注者が技術選択を行うことに一定の合理性が存在してきたことがあげられる。発注者が技術を選択する仕様発注の下では、技術の開発や選択が他主体との競争環境において行われない。したがって、発注者は「なぜ当該工事にこれだけの予算額が必要か」を明確にすることが最も重要な任務となる。予算執行の合理性を明確に説明するためには、あらかじめ定められたルールに則って、積算を行うことが合理的となる。その

積算のルールが現行の積算基準であり、そこでは材料や工法といった採用されるべき技術がすでに定められている。採用されるべき技術は、これまでに経験と実績が豊富に蓄積されており、多岐にわたる設計条件のもとで、性能を確保されることが保証されている。それゆえ、積算基準で定められる材料や工法は標準的な仕様としての地位を確保することになる。その結果、財政がそれほど逼迫していない時代では、発注者の立場からすれば、常に標準的な技術を前提として予算を請求すれば、実施予定のすべての工事を遂行することができる。いわば、仕様は行政組織の説明責任ルールとしての役割を果たしている、もちろん、慈善的な発注者を前提とすれば、設計条件ごとに適切な技術を適用することも可能である。しかし、行政組織のインハウスエンジニアが、新技術を開発し、利用可能な技術について完全な知識を網羅することは現実的に困難である。さらに、新技術を採用する場合には、技術特性に関して多くの情報が欠如しており、不確実性が伴う。技術的な不確実性が存在する下で、発注者が設計条件を明確にし、ある新技術を選択することの合理性について説明可能（accountable）な形であるという役割を果たすことは困難である。したがって、発注者が説明責任を果たすという目的を遂行するためには、すべての工事に共通する標準的な仕様を定め、請負業者に新技術を適用する裁量を与えないことが合理的となる。

(4) 本研究の分析目的

本研究では、仕様発注契約モデル、性能発注契約モデルという2つの契約モデルを定式化する。仕様発注契約モデルを用いて、仕様発注では請負業者に設計条件に応じた適切な技術を開発するための十分なインセンティブを与えることに限界があることを指摘する。その上で、性能発注では、採用される技術の選択が入札メカニズムというルールの下で、自ずとマッチングが形成されることが期待されることを指摘する。このとき、技術的情報が請負業者の間で分散的に存在している場合でも、適切な入札メカニズムで設計条件にもっとも適切な技術が選択されることが保証される。さらに、それぞれの請負業者が自らの得意な技術分野において工事を行うことが均衡状態として保証されれば、その技術的優位性を確保するために、得意とする技術分野に特化して技術の開発を行う誘因を与える。以下、3.では、性能発注における技術選択メカニズムをモデル化し、性能発注が生み出す価値について明確化する。

ただし、性能発注でも請負業者と発注者の間に技術的不確実性に関する情報の非対称性があれば、必ずしもこのマッチングメカニズムが機能する保証はない。新技術が採用される場合には、過去の実績や経験がないために、完成物が実際に要求性能を満たすかどうかは不確実とな

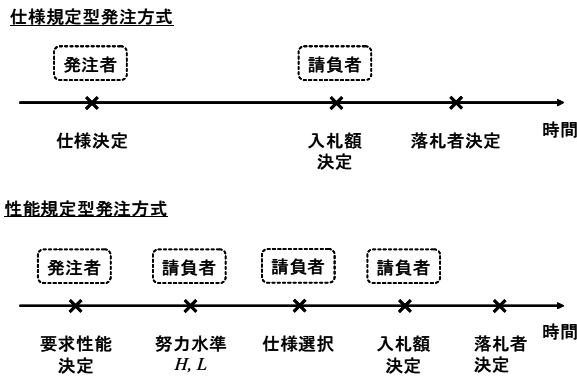


図-3 意思決定の時間的順序

らざるを得ない。土木工事の完成物が社会基盤であることを考えれば、要求性能が満たされない場合の社会的影響は広範にわたり、請負業者がその社会的損失のすべてを負担することは不可能である。このようなケースで技術的不確実性に関する情報の非対称性が存在すれば、建設コストを過剰に削減し、技術的信頼性が低い技術を採用しようとするモラルハザード行動が生じる可能性がある。したがって、審査機関による性能試験はこのようなモラルハザードによる落札を阻止する役割を果たすことが期待される。モラルハザードが生じることによる非効率と審査機関の役割については、4. で明らかにする。

3. 基本モデル

(1) モデル化の前提条件

いま、発注者が図-3に示す順序で、設計条件が異なる2つの工事を対象として、競争入札により請負業者を選定する状況を考えよう。2つの異なる設計条件を便宜的にそれぞれ α, β と表す。2つの工事は同一の建設市場(請負業者のグループ)において入札が公募される。建設市場には、リスク中立的な2つの請負業者が存在しており、便宜的にそれぞれ A, B と表す。本モデルでは、2つの工事の入札プロセスが実施されるタイミングは本質的ではない。仮に、2つの工事の入札プロセスが同時並行に実施されたとしても、請負業者は2つの工事を同時に実施できると考える。

仕様発注による入札が実施されれば、それぞれの工事の仕様は発注者によって選択される。一方、性能発注による入札が実施されれば、発注者は当該工事に対して要求性能を決定するのみで、請負業者がそれぞれの専門的知見を活かした技術を前提とした仕様を自由に選択できると考える。仕様発注のもとで、請負業者が従来型の技術を採用するとき、請負業者 A, B には技術力の差がないものとして、要する建設コストはともに \bar{C} であると考え。一方、請負業者 A は設計条件 α を施工するために必要な専門的知見を有しており、請負業者 B

は設計条件 β を施工するために必要な専門的知見を有していると考え。さらに、請負業者が自ら仕様を自由に選択することができれば、請負業者が有する専門的知見を活かすことが可能にあり、建設コストを縮減するために新技術の開発努力をすることができると考える。

モデルを可能な限り簡単化するために、請負業者 i ($i = A, B$)は新技術開発のための離散的な努力水準 $e_i = \{H, L\}$ を選択すると考える。ただし、 $e_i = H$ は請負業者 i が努力することを示し、 $e_i = L$ は請負業者 i が努力しないことを示す。土木工事の場合、工事ごとによって求められる工夫が異なる一品生産という特性がある。したがって、請負業者の建設コスト削減努力は、1つの工事ごとに行われると考える。工事1つあたりのコスト削減努力にかかる請負業者 i ($i = A, B$)の努力費用を ξ_i と表す。一方、努力しない場合の努力費用は0と基準化する。このとき、請負業者 i は、建設コスト削減の努力を行えば、従来型の技術を採用したときの建設コスト \bar{C} と比較して ΔC_i^e だけ確実に建設コストを削減することができる。いま、2つの請負業者が努力した際の努力費用は同一であり、

$$\xi_A = \xi_B = \xi \quad (1)$$

を仮定する。

また、請負業者 A は設計条件 α の工事に対して請負業者 B よりも専門的知識を多く有しており、同一の努力費用に対して、より効率的な技術を開発することができる。対称的に、請負業者 B は設計条件 β の工事に対して請負業者 A よりも専門的知識を多く有しており、同一の努力費用に対して、より効率的な技術を開発できると考える。すなわち、

$$\Delta C_A^\alpha > \Delta C_B^\alpha \quad (2a)$$

$$\Delta C_B^\beta > \Delta C_A^\beta \quad (2b)$$

が成立すると仮定する。

性能発注の下での請負業者の建設コスト削減努力に関する意思決定問題を、入札より前の段階でone-shot型の戦略型ゲームとして定式化する。努力の成果であるコスト削減額には不確実性はないと考える。入札に参加する請負業者は他の入札参加者が工事を実施したときにかかるコスト情報について知っており、コスト情報は共有知識となっているものとする。したがって、一般的な入札モデルで導出される対称的バイジアンナッシュ均衡の概念ではなく、必ず最も低いコストで工事を完成させることができる業者が工事を落札する。仮に、複数の入札者が最も低い価格を提示した場合には、その価格の入札者は等確率で確率的に落札が決定すると考える。以上の前提条件の下で、請負業者の入札戦略及び技術開発努力の意思決定構造を分析する。

表-1 設計条件 α の工事の期待利得表

設計条件 α		請負業者B	
		H	L
請負業者A	H	$(\Delta C_A^\alpha - \Delta C_B^\alpha - \varepsilon - \xi, -\xi)$	$(\Delta C_A^\alpha - \varepsilon - \xi, 0)$
	L	$(0, \Delta C_B^\alpha - \varepsilon - \xi)$	$(0, 0)$

(2) 仕様発注モデルと均衡入札戦略

性能発注導入の効果を示すためのベンチマークとして、仕様発注による入札が実施されたときの入札均衡戦略を示す。仕様発注では、発注者により採用すべき工法が決められているために、請負業者は新技術を採用することが不可能である。したがって、設計条件が α, β の両方の工事で、請負業者A, Bの建設コストはともに \bar{C} となる。したがって、2つの工事ともに、請負業者はゼロ利潤となるように入札額 $b_i = \bar{C}$ を設定する。2つの請負業者の入札額が同一の場合、両者ともに落札できる確率は $1/2$ である。したがって、請負業者 i ($i = A, B$)の期待利潤 π_i^α は、以下のように導かれる。

$$\pi_A^\alpha = \pi_B^\alpha = 0 \quad \text{for } i = A, B \quad (3)$$

(3) 性能発注モデル

設計条件 α の工事入札プロセスにおける2つの請負業者の入札戦略及び努力水準を分析する。請負業者は入札を通じて獲得できる期待利潤を勘案して、コスト削減努力ゲームの戦略を決定する。実行可能なコスト削減戦略の組合せ $(e_A, e_B) = (L, L), (L, H), (H, L), (H, H)$ に対して定義される期待利潤を求め、戦略型ゲーム利得行列を導出する。設計条件 β の工事入札プロセスも、同様に定式化できる。

a) $(e_A, e_B) = (L, L)$ のとき 請負業者A, Bともに建設に必要なコストは \bar{C} である。したがって、請負業者A, Bともには入札額を $b_A^\alpha = b_B^\alpha = \bar{C}$ と設定し、確率 $1/2$ で工事を受注する。このとき、請負業者AとBの期待利潤は、以下のように導かれる。

$$\pi_A^\alpha(L, L) = \frac{1}{2}(b_A^\alpha - \bar{C}) = 0 \quad (4a)$$

$$\pi_B^\alpha(L, L) = \frac{1}{2}(b_B^\alpha - \bar{C}) = 0 \quad (4b)$$

b) $(e_A, e_B) = (H, L)$ のとき 請負業者Aの建設コストは $\bar{C} - \Delta C_A^\alpha$ 、請負業者Bの建設コストは \bar{C} である。したがって、請負業者Aは入札額を $b_A^\alpha = \bar{C} - \varepsilon$ とすることにより、確実に落札することができる。ただし、 ε は正の値をとる微小項である。このとき、請負業者AとBの期待利潤は、以下のように導かれる。

$$\pi_A^\alpha(H, L) = b_A^\alpha - (\bar{C} - \Delta C_A^\alpha) - \xi$$

表-2 設計条件 β の工事の期待利得表

設計条件 β		請負業者B	
		H	L
請負業者A	H	$(-\xi, \Delta C_B^\beta - \Delta C_A^\beta - \varepsilon - \xi)$	$(0, \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \xi)$
	L	$(\Delta C_A^\beta - \varepsilon - \xi, 0)$	$(0, 0)$

$$= \Delta C_A^\alpha - \varepsilon - \xi \quad (5a)$$

$$\pi_B^\alpha(H, L) = 0 \quad (5b)$$

c) $(e_A, e_B) = (L, H)$ のとき 請負業者Aの建設コストは \bar{C} 、請負業者Bの建設コストは $\bar{C} - \Delta C_B^\beta$ である。したがって、請負業者Bは入札額を $b_B^\beta = \bar{C} - \varepsilon$ とすることにより、確実に落札することができる。このとき、請負業者AとBの期待利潤は、以下のように導かれる。

$$\pi_A^\alpha(L, H) = 0 \quad (6a)$$

$$\begin{aligned} \pi_B^\alpha(L, H) &= b_B^\beta - (\bar{C} - \Delta C_B^\beta) - \xi \\ &= \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \xi \end{aligned} \quad (6b)$$

d) $(e_A, e_B) = (H, H)$ のとき 請負業者Aの建設コストは $\bar{C} - \Delta C_A^\alpha$ 、請負業者Bの建設コストは $\bar{C} - \Delta C_B^\beta$ である。したがって、請負業者Aは入札額を $b_A^\alpha = \bar{C} - \Delta C_B^\beta - \varepsilon$ とすることにより、確実に落札することができる。このとき、請負業者AとBの期待利潤は、以下のように導かれる。

$$\begin{aligned} \pi_A^\alpha(H, H) &= b_A^\alpha - (\bar{C} - \Delta C_A^\alpha) - \xi \\ &= \Delta C_A^\alpha - \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \xi \end{aligned} \quad (7a)$$

$$\pi_B^\alpha(H, H) = -\xi \quad (7b)$$

以上の請負業者AとBの期待利潤を整理すると、表-1に示す利得行列表が得られる。この戦略型ゲームのナッシュ均衡戦略 (e_A^*, e_B^*) は、

$$(e_A^*, e_B^*) = (H, L) \quad (8)$$

と導かれる。また、設計条件 β の工事における請負業者AとBの期待利潤を整理すると、表-2に示す利得行列表が得られる。この戦略型ゲームのナッシュ均衡戦略 (e_A^*, e_B^*) は、

$$(e_A^*, e_B^*) = (L, H) \quad (9)$$

と導かれ、分析の結論は次の命題1として導かれる。

命題1 性能発注の下で、請負業者Aは、設計条件 α の工事について建設コスト削減努力を行い、設計条件 β の工事については努力しない。逆に、請負業者Bは、設計条件 β の工事について建設コスト削減努力を行うが、設計条件 α の工事については努力しない。

仕様発注の場合には、発注者が適用する工法や材料といった技術を規定するために、請負業者が新たな技術を開発し建設コストを削減するという代替案さえ存在しない。さらに、請負業者が有する専門的知見は活用されず、技術力の差をコストに反映することができない。その結果、各請負業者の入札額は極めて近い値となり、落札者も確率的に決まるケースが多くなる。これに対して、性能発注では請負業者が仕様を決定できることから新技術を開発することによって建設コストを削減することが可能になる。命題1で注目すべき点は、設計条件 α の工事では、請負業者Aが比較優位な技術分野に特化して技術開発を行えば、必ず工事を落札することができる。しかし、請負業者Bは比較劣位な技術的ニーズのある設計条件 α のような工事に技術開発努力は行わない。一方で、請負業者Bは設計条件 β の工事では、請負業者Aに対して比較優位な技術分野で確実に工事を落札することができる。現実の建設工事で直面する設計条件は、極めて多岐にわたる。設計条件が異なれば、必要な専門的知見も異なる。性能発注を導入すれば、当該工事の設計条件に対して、もっとも専門的能力や技術力を有する請負業者が選択されることにある。性能発注は、請負業者に自らが得意とする技術分野でコスト削減の誘因を与え、その工事にもっとも相性の良い業者を選択できるという意味で、工事と請負業者の技術のマッチングを実現するメカニズムを内在していると言える。

4. モラルハザードと審査機関の役割

(1) モデル化の前提条件

3.のモデルでは、性能発注がそれぞれの請負業者が持つ専門的知見の強みを活かすことを可能にし、新技術開発を促進する効果が期待できることを指摘した。しかし、従来型の技術に関しては、多くの実績が蓄積されているため、要求未達リスクは極めて小さいのに対して、新技術に関する実績は少ないために、要求性能未達リスクが少なからず存在する。3.では、このような技術的不確実性について考慮しなかった。技術的不確実性が存在する場合には、新技術の導入には、その技術導入による建設費用の削減効果と性能未達リスクによって生じる社会的損失の両方を考慮しなければならない。さらに、新技術の信頼性についての情報が請負業者の私的情報であるときには、信頼性の低い技術を導入しようとするモラルハザードが生じる可能性がある。

モラルハザードは、請負業者に性能未達リスクによって生じる損失額について損害賠償を請求し、損失を内部化させることによって回避することができる。しかし、土木工事が対象とする技術は、社会基盤としての役割を果たす。いったん要求水準未達リスクが発生すれば、極

表-3 モラルハザードを考慮した設計条件 β の工事の期待利得表

設計条件 β		請負業者B	
		H	L
請負業者A	H	$(-\xi, \Delta C_B^\beta - \Delta C_A^\beta - \varepsilon - \xi)$	$(0, \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \xi)$
	L	$(\Delta C_A^\beta - \varepsilon - \xi, 0)$	$(0, 0)$
	M	$(\Delta C_A^{\beta M} - \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \lambda_A^{\beta M} T, -\xi)$	$(\Delta C_A^{\beta M} - \varepsilon - \lambda_A^{\beta M} T, 0)$

めて広範な影響が生じる可能性がある。そのため、すべての社会的損失を民間企業に請求することは実務上困難とならざるを得ない。このとき、請負業者に、性能未達リスクによる社会的損失を完全に内部化させることができず、経済的インセンティブによるモラルハザードの抑止には限界が生じる。このような、モラルハザードが生じるケースを分析するために、3.で定式化した性能発注モデルに技術的不確実性を考慮し、請負業者に請求できる賠償額に上限があるという制約を追加する。性能未達リスクが生じたときに請負業者に請求できる賠償額の上限を T と表す。

さらに、請負業者Aは設計条件 β の工事に対して費用 ξ を費やすことで、建設コストを $\Delta C_A^{\beta M}$ を削減するが、要求性能を確率 $\lambda_A^{\beta M}$ で満たさない技術を確実に開発することができる。請負業者Aのこのような開発戦略をモラルハザード戦略と呼び $e_A = M$ と表す。両方の工事ともに、要求性能の未達リスクが生じた場合には、大きさ D の社会的損失が発生する。ここで、

$$\Delta C_B^\beta < \Delta C_A^{\beta M} \quad (10a)$$

$$\Delta C_B^\beta > \Delta C_A^{\beta M} - \lambda_A^{\beta M} D \quad (10b)$$

を仮定する。ただし、式(10a)は、建設コストだけを比較すれば、請負業者Aは請負業者Bと比較して低いコストで施工可能である。しかし、式(10b)性能未達リスクに伴う期待社会的費用を考慮すれば、請負業者Bが施工の方が社会的に効率的であることを示している。また、

$$D > T \quad (11)$$

を仮定し、要求性能未達に伴う社会的損失 D を請負業者に全額損害賠償を請求し負担させることができないと考える。これによって、請負業者は生じる社会的損失をすべて内部化できないため、モラルハザードが生じる状況を想定している。

(2) 均衡解の導出

設計条件 β の工事の入札プロセスにおけるナッシュ均衡解を導出する。本ケースにおいても、3.(3)と同様に利得行列を定義できる。ここでは、請負業者Aがモラ

ルハザード戦略を採用した場合を考え、戦略の組合せが $(e_A, e_B) = (M, H), (M, L)$ の場合における各請負業者の期待利潤を求める。

a) $(e_A, e_B) = (M, H)$ のとき 請負業者 A が落札した場合に業者 A が負担する期待費用は、性能未達に伴う期待損害賠償額も含めて $\bar{C} - \Delta C_A^{\beta M} + \lambda_A^{\beta M} L$ である。一方、請負業者 B が負担する費用は、 $\bar{C} - \Delta C_B^{\beta}$ である。

$$\begin{aligned} \bar{C} - \Delta C_A^{\beta} + \lambda_A^{\beta M} T &< \bar{C} - \Delta C_B^{\beta} \\ \Leftrightarrow \Delta C_B^{\beta} &< \Delta C_A^{\beta M} - \lambda_A^{\beta M} T \end{aligned} \quad (12)$$

が成立しているとき、請負業者 A は入札額を $b_A^{\beta} = \bar{C} - \Delta C_B^{\beta} - \varepsilon$ と設定することにより、必ず工事を受注することができ、正の期待利潤を獲得する。このとき、請負業者 A と B の期待利潤は、以下のように導かれる。

$$\begin{aligned} \pi_A^{\beta}(M, H) &= b_A^{\beta} - (\bar{C} - \Delta C_A^{\beta M} + \lambda_A^{\beta M} T) \\ &= \Delta C_A^{\beta M} - \Delta C_B^{\beta} - \varepsilon - \lambda_A^{\beta M} T \end{aligned} \quad (13a)$$

$$\pi_B^{\beta}(M, H) = -\varepsilon \quad (13b)$$

b) $(e_A, e_B) = (M, L)$ のとき 請負業者 A が落札したときの期待費用は $\bar{C} - \Delta C_A^{\beta} + \lambda_A^{\beta M} L$ 、請負業者 B が落札したときの期待費用は \bar{C} である。(12) が成立しているとき、請負業者 A は入札額を $b_A^{\beta} = \bar{C} - \varepsilon$ と設定すれば、必ず工事を受注することができ、正の期待利潤を獲得する。したがって、業者 A と B の期待利潤は、以下のように導かれる。

$$\begin{aligned} \pi_A^{\beta}(M, L) &= b_A^{\beta} - (\bar{C} - \Delta C_A^{\beta M} + \lambda_A^{\beta M} T) \\ &= \Delta C_A^{\beta M} - \varepsilon - \lambda_A^{\beta M} T \end{aligned} \quad (14a)$$

$$\pi_B^{\beta}(M, L) = 0 \quad (14b)$$

以上の期待利潤を整理すると、表-3のように表される。以上のモデルのナッシュ均衡解は $(e_A^*, e_B^*) = (M, L)$ となり、以下の命題2が導かれる。

命題2 請負業者 A が信頼性の低い技術を導入するモラルハザードが生じるときには、請負業者 B に社会的に望ましい建設コスト削減努力の誘因を与えられない。

3. で示した性能発注モデルでは、入札に参加する請負業者が開発する新技術の信頼性が高いことを前提に、建設コストを比較して落札者を決定する。その結果、請負業者に得意分野での技術開発努力の誘因を与えることができる。しかし現実には、新技術はこれまでの実績もなく、適用によって要求性能を達成できるかは確率的にならざるを得ない。

一般的に、請負業者は自らが開発した技術の信頼性について、最も知識を有している一方で、発注者が特段の審査なく、技術の信頼性について正しい情報を獲得する

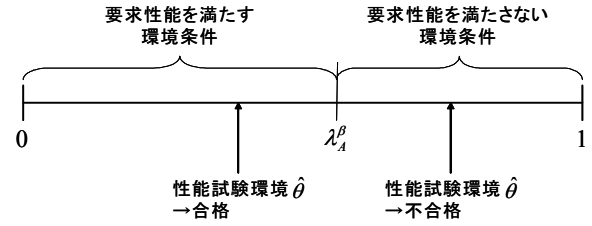


図-5 技術的不確実性と性能試験の役割

ことは不可能である。このような情報の非対称性があつたとしても、請負業者が性能未達によって発生するすべての社会的損失をカバーしなければならない場合、請負業者自身が信頼性の低い技術を採用することはない。しかし、土木施設のような社会基盤が対象であれば、発生した社会的損失は広範にわたるために、請負業者は自らが及ぼすすべての影響を考慮に入れて、新技術を採用するわけではない。単純な性能発注による入札では、高い技術的信頼性を担保することができない。したがって、「安かろう悪かろう」といった技術が採用される結果となる。このようなモラルハザードが生じるとき、当該工事にもっとも必要な専門的知見を有する請負業者が工事を受注できない。その結果、請負業者に適切な新技術開発の誘因さえも失われる。

(3) 審査機関の役割

性能発注による入札では、結果的に入札額のみで落札者が決定するために、信頼性の低い技術が採用される可能性がある。この場合、真に専門的知見を有する技術力のある業者に対して、新技術を開発する誘因が阻害される可能性がある。このような社会的非効率なケースを排除するために、審査機関が実施する性能試験の役割について指摘する。性能試験の意義について明確化するために、次のように技術的不確実性を定義する。

ある技術の下で施工された完成物が要求性能を満たすかどうかは、完成物が直面する環境条件に依存する。建設工事で完成物が直面する環境条件を事前に知ることは不可能である。したがって、環境条件を $[0, 1]$ の1次元線分上で定義される確率変数 θ で表す。確率変数 θ は $[0, 1]$ 上で一様分布していると仮定する。 θ が1に近づくほど、厳しいあるいは想定することが困難なハザードが生じた状態であると考えられる。このとき、請負業者 B が開発した新技術の場合には、 $[0, 1]$ 上の任意の点に対して、要求性能を満たす。しかし、請負業者 A が設計条件 β の工事に対して開発した新技術は、真の環境条件が $\theta \in [0, \theta_A^{\beta M}]$ のときには要求性能を満たすが、 $\theta \in (\theta_A^{\beta M}, 1]$ のときには要求性能を満たさない。このとき、要求性能未達リスクが発生する確率は、

$$\lambda_A^{\beta M} = 1 - \theta_A^{\beta M} \quad (15)$$

表一 4 性能審査モデルの設計条件 β の工事の期待利得表

設計条件 β		請負業者B	
		H	L
請負業者A	H	$(-\xi, \Delta C_B^\beta - \Delta C_A^\beta - \varepsilon - \xi)$	$(0, \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \xi)$
	L	$(\Delta C_A^\beta - \varepsilon - \xi, 0)$	$(0, 0)$
	M	$(-\xi, \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \xi)$	$(0, \Delta C_B^\beta - \varepsilon - \xi)$

で表される。閾値 $\theta_A^{\beta M}$ は、請負業者Aと請負業者Bは知っているが、性能試験を実施しない段階では発注者のみ知らない。

審査機関は、ある環境条件 $\hat{\theta}$ を前提として性能試験を実施する。このとき、 $\theta_A^\beta \geq \hat{\theta}$ であれば性能試験に合格し、 $\theta_A^\beta < \hat{\theta}$ であれば、性能試験に合格できないと考える。請負業者は性能試験が行われる環境条件 $\hat{\theta}$ を知っている。したがって、 $1 - \lambda_A^\beta \geq \hat{\theta}$ なる技術を有する請負業者Aは、性能試験に合格できることをあらかじめ知っている。式(10b)と(12)の成立条件は、

$$\frac{\Delta C_A^{\beta M} - \Delta C_B}{D} < \lambda_A^{\beta M} < \frac{\Delta C_A^{\beta M} - \Delta C_B}{L} \quad (16)$$

であり、式(16)を満たす新技術を有する請負業者Aを入札に参加させないことでモラルハザードを排除することができる。性能試験が前提とする環境条件 $\hat{\theta}$ を

$$\lambda_A^{\beta M} < \frac{\Delta C_A^{\beta M} - \Delta C_B}{D} \\ \Leftrightarrow \theta_A^{\beta M} > 1 - \frac{\Delta C_A^{\beta M} - \Delta C_B}{D} = \hat{\theta} \quad (17)$$

と設定しよう。このとき、請負業者Aは必ず審査を合格することができず、信頼性の低い技術の導入を前提とした入札への参加を阻止することができる。ただし、請負業者Aが性能審査に合格できないときでも、従来型の技術によって施工することを前提とすれば、入札に参加できると考える。このとき、戦略型ゲームの構造は、表一5のように修正される。

以上のモデルのナッシュ均衡解は $(e_A^*, e_B^*) = (H, L)$ となる。以下の命題3が導かれる。

命題3 適切な環境条件 $\hat{\theta}$ で性能試験を実施するとき、請負業者Aが信頼性の低い技術を導入するモラルハザードを排除し、請負業者Bに建設コスト削減努力の誘因を付与することができる。

命題3に示すように、性能試験の実施により、命題2で指摘したような企業のモラルハザード行動を排除することが可能にある。性能試験の実施は単に性能未達リスクをあらかじめ軽減するだけでなく、当該工事の設計

条件に必要な専門的知見を有する業者を選定し、新技術開発の努力を促すことが重要である。ここで、式(17)で示すように、モラルハザード行動を排除するために性能試験が前提とする環境条件は、1) 性能未達による社会的費用D、2) 請負業者Aがモラルハザード行動を取るときのコスト削減額、3) 請負業者Bのコスト削減額を必要とする。しかし、審査機関が入札参加前に行う請負業者の真のコスト情報を知ることは不可能である。したがって、実務的には、当該工事においてモラルハザードが発生する可能性に関する発注者あるいは審査機関の主観的信念と性能未達による社会的費用を考慮しながら、妥当と思われる試験方法を採用していると考えられる。

(4) 政策的示唆

以上の分析から得られた政策的示唆について、以下にとりまとめておく。仕様発注のもとで、発注者が新技術を採用する理由について建設工事ごとに説明責任を果たすことは実務的に不可能である。その結果、発注者にとって、すべての工事に対して(必ずしもコスト効率的ではない)標準的な技術を前提とした仕様を定めることが合理的となる。したがって、仕様発注では、請負業者は新技術を採用する裁量を持たない。したがって、請負業者は仮に新技術を開発したとしても、すぐにその技術を採用することは困難であった。このとき、請負業者が新技術を開発する誘因は極めて小さくなる。

これに対して、性能発注は入札(市場)メカニズムによって判明する技術的情報に基づいて技術選択を行うというルールを定めることに他ならない。これにより、発注者が新技術を採用するための説明責任から解放されることになる。その結果、性能発注は、工事ごとに異なる技術的ニーズに最も効率的に応えることができる請負業者が選択されることを保証する。ただし、入札メカニズムだけでは、請負業者が有する技術のコスト情報のみで業者選定が行われる。そのため、請負業者は技術の信頼性が低い技術を導入し、コスト削減を行うモラルハザードがある場合には、技術審査が適切な環境条件を前提として実施されることが重要である。

本研究では、性能発注が建設工事ごとに技術的ニーズが異なるために、技術的ニーズとその技術分野を得意とする請負業者をマッチングさせることによる経済的效果について指摘した。このようなマッチングは、請負業者間の技術を差別化させ、市場における技術的多様性が今後増大していくものと考えられる。そのため、発注者側は性能発注対象の工事ごとに、どのような専門的技術が必要かを明確化して、請負業者が数多く存在する発注情報の中で効率的に入札すべき工事を見極めることが可能な情報共有システムが必要となる。そのためには、多様化した技術を体系立てて、整理することも必要となる。

国土交通省は平成18年8月から新技術情報提供システム (New Technology Information System; NETIS) を整備、本格稼働している。NETISの整備によって、多岐にわたる利用可能な技術が体系立ててデータベース化されている。今後、このような情報技術により、技術的マッチングが容易に行われる仕組みを構築させることができれば、性能発注の効率性が向上することが可能になると考える。しかし、前述したように、現場の設計条件は極めて多様であるために、開発された新技術の有用性を実験室だけで確認することが難しい。新技術の有用性は実際の工事での実績を重ねることによってのみ確認される。したがって、性能発注の導入にあたっては、新技術の性能や特性に関して事後評価を実施するとともに、事後情報を蓄積することが重要である。

5. おわりに

本研究では建設市場における仕様発注契約、性能発注契約ゲームを定式化し、発注形態が請負業者の新技術導入に対するインセンティブやモラルハザードに対する誘因に及ぼす影響を分析した。特に、建設工事は単品生産であり、工事ごとに求められる専門的技術ニーズが異なる。性能発注は、請負業者に工法や材料といった仕様を決定する権利を与える。その結果、性能発注は、工事ごとに異なる技術的ニーズとそれに最も応える請負業者をマッチングさせるメカニズムを有していることを理論的に明らかにした。さらに、性能発注のマッチングメカニズムが機能すれば、請負業者の技術開発が促進されることも明らかになった。しかし、請負業者が技術的信頼性が低い技術を導入し、過度に建設コストを削減するようなモラルハザードが生じる可能性がある場合には、マッチングメカニズムが機能しない可能性がある。このとき、性能試験がこのようなモラルハザードを阻止する役割を果たすことを指摘した。以上、本研究で明らかになった知見は、本研究の前提条件の下でのみ成立する事項である。性能発注に関しては、今後多側面から分析する必要がある。本研究で残された課題として、第1に、性能未達に伴うリスク分担スキームの考え方について明らかにする必要がある点を指摘しておく。本研究では、請負業者のモラルハザードを指摘したが、現実には、性能未達によるリスクの負担が、新技術導入を抑制している要因となっていることが指摘されている¹⁴⁾。第2に、技術審査の結果に不確実性が存在する可能性が存在することを指摘しておきたい。技術審査の結果には不確実性が介在する。このため、新技術の信頼性を技術審査のみによって完全に把握することは困難である。新技術の信頼性に関わる情報は、実際の工事の適用事例によってのみ獲得できる。このように、新技術を工事に適用する際には、

新技術に関する追加情報を獲得できるという価値が存在している。このような情報の価値を考慮した官民のリスク分担スキームについても今後分析する必要がある。

参考文献

- 1) 秋本耕二：技術革新と経済構造，九州大学出版会，2001.
- 2) 河野広隆，古賀裕久：コンクリート構造物の規準類の性能規定化と検査のあり方に関する考察，土木学会論文集，No.651/VI-47，pp.1-10，2000.
- 3) 吉本正浩，阿南健一，大塚正博，小泉淳：地中送電用シールドトンネルの性能規定と限界状態設計法による照査，土木学会論文集，No.764/III-67，pp.255-274，2004.
- 4) 吉田武：性能規定化された技術基準の下での舗装の性能評価法の枠組み，土木学会論文集，No.767/V-64，pp.279-284，2004.
- 5) 猪熊明：土木分野における性能規定化に関する基礎的考察，土木学会論文集，No.651/VI-47，pp.163-168，2000.
- 6) 大西正光，小路泰広，小林潔司：性能規定型発注方式における耐震性向上のインセンティブ確保，第35回土木計画学研究発表会講演概要集，2007.
- 7) 石磊，大西正光，小林潔司：ペイオフ外部性と性能規定型維持管理契約，土木学会論文集D，Vol.63，No.3，pp.344-359，2007.
- 8) 渡辺崇弘，小澤一雅：統計データを用いた建設技術開発の分析，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集第6部，pp.219-220，2004.
- 9) 伊藤弘之：設計VEの活用・普及方策に関する一考察，建設マネジメント論文集，Vol.14，pp.207-214，2007.
- 10) Dasgupta, P. and J. Stiglitz: Uncertainty, industrial structure and the speed of R&D, *Bell Journal of Economics*, Vol.11, No.1, pp.1-28, 1980.
- 11) Loury, G.C.: Market structure and innovation, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.93, pp.395-410, 1979.
- 12) Lee, T. and L.L. Wilde: Market structure and innovation; a reformulation, *Quarterly Journal of Economics*, Vol.94, pp.429-436, 1980.
- 13) Reinganam, J.F.: Dynamic games of innovation, *Journal of Economic Theory*, Vol.25, pp.21-41, 1981.
- 14) 建設経済研究所：建設経済レポート「日本経済と公共投資」－新たな経済成長めざす社会資本整備－，No.44，2005.

本研究では建設市場における仕様発注契約, 性能発注契約ゲームを定式化し, 発注形態が請負業者の新技术導入に対するインセンティブやモラルハザードに対する誘因に及ぼす影響を分析した. その結果, 性能発注は, 工事ごとに異なる技術的ニーズとそれに最も応える請負業者をマッチングさせるメカニズムを有していることを理論的に明らかにした. さらに, 請負業者の技術開発が促進されることも明らかになった. また, 性能試験が信頼性を犠牲にした過度な建設コスト削減に対する請負業者のモラルハザードを阻止する役割を指摘した.

TECHNOLOGICAL MATHCHING AND VALUE OF PERFORMANCE-BASED CONTRACTS*

By Masamitsu ONISHI**, Yasuhiro SHOJI***, Kiyoshi KOBAYASHI****,

In this paper, a performance-based contract model is developed to analyze the effect of the PB contract in procuring public projects on the contractors' incentives for technological innovation and for moral hazard. Considering the variety of technical needs of construction works, we have pointed out that the PB contract fosters the matching the technical needs of each work and the contractor endow-proven that such a mathichg mechanism motivates the contractor to develop new technologies. Moreover, we have pointed out that the role of performance tests in preventing the contractors' moral hazard for excess cost saving by introducing unreliable new technology.
