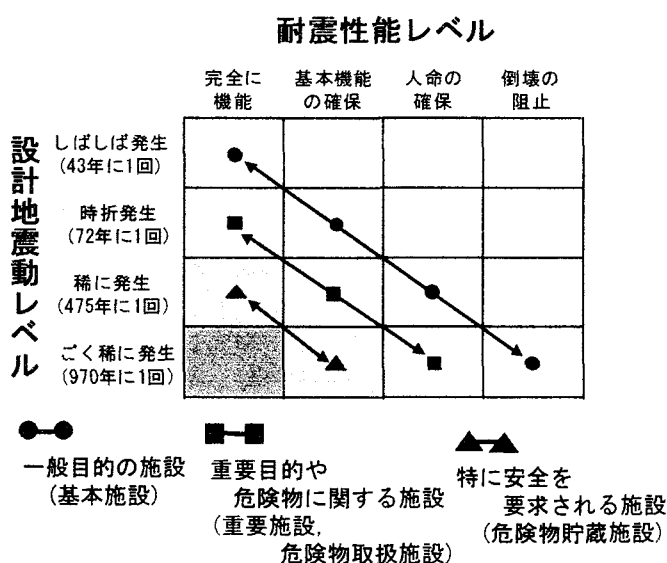


性能発注における構造物耐震化の契約方法に関する一考察

鳥取大学大学院 学生会員 ○野田 亮
 鳥取大学工学部 正会員 横松宗太
 鳥取大学工学部 正会員 喜多秀行

1. はじめに

1999年に日本に導入されたPFI (Private Finance Initiative)は、公共施設等の建設、維持管理、運営等を民間企業の資金、経営能力及び技術的能力を活用して行う新しい公共施設調達の手法である。現在、このPFIでは性能発注方式によって施設を発注する方法が注目されている。性能発注方式は従来までの仕様発注方式と異なり、新技術の採用を容易にする。このため、仕様発注方式では政府と企業の間で仕様や技術に関して契約が結ばれるのに対し、性能発注方式では実現する性能に関して契約が結ばれる。しかしながら、その性能の有効性を政府が事前に検証できない新技術が採用される場合がある。性能発注方式による新技術の検証方法は幾つか考案されている。しかしながら、耐震性能等は実際に大規模地震が起こるまで施設が要求された性能を有しているのか確認することはできない。そのことを利用して、受注者は自らの利潤を最大化するなどの独自の目的によって十分な耐震化投資を行わない可能性がある。すなわち政府と受注者の間の情報の非対称性によって、受注者にモラルハザードが発生する。PFIの契約は受注者の耐震化投資を誘導するように設定されなければならない。

図1. VISION 2000 パフォーマンス・マトリックス¹⁾

代表的な性能設計で利用される SEAOC によって開発された VISION 2000 のパフォーマンス・マトリックス(以下 PM)では、4段階の地震動レベルに対して、施設に要求する耐震性能を指定している。日本でも同様の方法が適用されている。これに対して PFI における受注者への支払いに関しては、一般的には入札時点で一定の額が決定し、実現した性能には依存しない方法がとられている。本研究では受注者のモラルハザードを考慮し、PM タイプの性能発注方式を対象とした最適な契約方法について分析する。

2. モデル

本研究では政府が企業に適切な耐震性能を有した施設を発注する問題を考察する。モデルの簡単化のため性能 ε は金銭単位で表せるものとする。また、企業が行う耐震化投資水準を x (金銭単位)で表す。企業が耐震化投資 x を選択したとき、地震時に ε の性能水準が実現するときの確率密度関数を $f(\varepsilon|x)$ で表す。 $f(\varepsilon|x)$ は単調尤度比条件、凸性の条件を満たすものとする。施設が完全に機能しているときの性能を ε_0 、完全に損壊して全く機能しないときの性能を 0 とし、地震発生時に政府が施設に要求する耐震性能を ε_1 で表す ($0 \leq \varepsilon_1 \leq \varepsilon_0$)。

政府が企業に提示する報酬を $\Omega = (w_0, w_1, w_2)$ とする。地震が発生しなかったときの報酬を w_0 、地震発生後に施設が ε_1 以上の性能を発揮したときの報酬を w_1 、 ε_1 未満の性能を発揮したときの報酬を w_2 で表す。政府の期待利潤 $E\pi(\Omega, x)$ と企業の期待効用 $EU(\Omega, x)$ を以下のように表す。

$$E\pi(\Omega, x) = (1 - \mu)(\varepsilon_0 - w_0) + \mu \left\{ \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_0} (\varepsilon - w_1) f(\varepsilon|x) d\varepsilon + \int_0^{\varepsilon_1} (\varepsilon - w_2) f(\varepsilon|x) d\varepsilon \right\}$$

$$EU(\Omega, x) = (1 - \mu)U(w_0) + \mu \left\{ U(w_1) \int_{\varepsilon_1}^{\varepsilon_0} f(\varepsilon|x) d\varepsilon + U(w_2) \int_0^{\varepsilon_1} f(\varepsilon|x) d\varepsilon \right\} - x$$

μ は地震発生確率を表し、 $U(w_i) (i=0,1,2)$ は企業の危険回避型効用関数を表す。両式の第一項は地震が発生し

なかったときの利潤または効用を示し、第二項と第三項は地震発生時に施設が要求した性能を有していたときと有していなかったときの利潤または効用を示す。

政府が企業の技術に関して完全な知識を有するときには従来の仕様発注方式が可能である。したがって、仕様発注問題は x に関して契約を結ぶ問題となり、以下のように表される。

$$\max_{\Omega, x} E\pi(\Omega, x) \quad \text{subject to } EU(\Omega, x) \geq \bar{U}$$

$\bar{U}$ は企業に保証する効用水準である。これより最適契約 (Ω^0, x^0) を得る。 $\Omega^0 = (\bar{w}, \bar{w}, \bar{w})$ すなわち非状況依存的な報酬を設定することが望ましい。すなわち仕様発注方式は入札時点に一定の額の報酬 $\bar{w}$ が決定する公共入札に適しているといえる。

これに対して性能発注方式では政府が耐震化投資水準 x ではなく実現する ε について契約を結ぶ。性能発注問題は以下のように表される。

$$\max_{\Omega} E\pi(\Omega, x) \quad \text{subject to } EU(\Omega, x) \geq \bar{U} \\ x \in \arg \max_{x'} EU(\Omega, x') \quad (1)$$

(1)式は政府が提示する報酬 Ω の下で、企業が自らの期待効用が最大になる x を選択するという誘因両立性条件である。上の問題は以下の代替問題と等価となる。

$$\max_{\Omega, x} E\pi(\Omega, x) \quad \text{subject to } EU(\Omega, x) \geq \bar{U} \\ EU_x(\Omega, x) \geq 0$$

紙面の制約上、1 階の最適条件の記述は省略する。これより最適報酬 Ω^1 とその下での企業の耐震化投資水準 x^{1*} を得る。性能発注方式における最適報酬 Ω^1 は以下の関係を満足する。

$$w_1 > w_0 > w_2 \quad (2)$$

すなわち、地震時に性能 ε_1 を発揮した場合は w_0 よりも大きな報酬を支払い、一方で発揮しなかった場合は罰金等を科す報酬を設定することが望ましい。

3. 数値計算

性能発注方式では報酬 Ω の w_0, w_1, w_2 の間に(2)式のような関係が成立することが明らかになった。一方、発注される施設の震災地における重要度は機能や用途によって様々である。ここでは数値計算を通じて施設に要求される性能 ε_1 の変化に応じて最適な報酬 Ω^* がどのように変化するかを分析する。

確率密度関数 $f(\varepsilon|x)$ と企業の危険回避型効用関数

$U(w_i)(i=0,1,2)$ を以下のように特定化する。

$$f(\varepsilon|x) = 2\varepsilon(1 - e^{-x}) + e^{-x}$$

$$U(w_i) = \ln w_i \quad (i = 0, 1, 2)$$

また、 $\varepsilon_0 = 1$ とする。図 2 に性能 $\varepsilon_1 (0 \leq \varepsilon_1 \leq \varepsilon_0)$ と最適報酬 Ω^* の関係を示す。

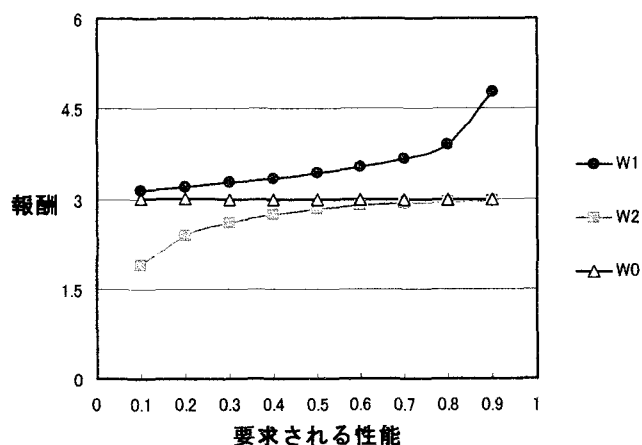


図 2. 要求される性能と報酬の関係

図 2 より、要求される性能 ε_1 が比較的低い施設においては地震発生時に ε_1 を満たさなかった場合の罰金を増加させ、要求される性能 ε_1 が比較的高い施設においては実現した ε_1 に応じて報酬を増加させることが望ましいということが明らかになった。つまり施設の重要度が高くなれば、罰金を科すことよりも報酬 w_1 の設定によって企業の耐震化投資インセンティブをコントロールすることが効果的である。また、政府の利潤を極力増加させるために w_1 の増加と同時に w_0 は減少させることが合理的となる結果が得られた。以上より、より多い報酬を与える方法と罰金を科す方法を施設の重要度によって区別することで企業の耐震化投資インセンティブを高めることが可能であることが示された。

4. おわりに

本研究は性能発注における受注者のモラルハザードの問題について検討し、政府の提示する最適な契約方法を明らかにした。なお、本数値事例では耐震化投資水準 x は要求される性能 ε_1 に関して変化しないという結果が得られた。今後は特定化する関数を変化させ、最適契約の下での企業の耐震化投資水準 x の変化について調べる予定である。

1) カリフォルニア構造技術者協会(SEAOC), 1995