

山岳トンネルにおける性能規定型発注方式について

A basic consideration on order of performance based design for tunnel construction

(株)地崎工業 生産技術部 正会員 須藤敦史 (Atsushi Sutoh)

(株)地崎工業 生産技術部 正会員 田中亮介 (Ryousuke Tanaka)

1. はじめに

本論文は適用が難しいとされる山岳トンネルにおける性能設計・性能規定型発注方式の特徴を概観するとともに¹⁾海外におけるトンネル建設プロジェクトにおいて示された構造物および支保部材への要求性能・機能(性能指示書)の事例を紹介するとともに今後の課題を考察したものである¹⁾。

2. 性能設計とは?

性能設計とはPerformance Based Design が語源であり、導入によって得られる効果は以下である。

- 構造物の性能を一般ユーザーに明示できること
- ISOに代表される国際標準化への対応
- 新技術の公正な導入とコスト低減

ここで公共構造物の設計基準が性能設計に移行している背景は以下に示す1995年に発足したWTO(世界貿易機構)第6条の技術仕様がその基礎となっている。

【第6条技術仕様】

- ・技術仕様が国際貿易に障害をもたらしてはならない
- ・技術仕様は性能を基準とする

すなわち,WTO加盟国(政府)によって調達される土木構造物は基本的に国際規格(ISO)に基づいた設計規格や技術基準等でなければならないことを意味している。

ここで現行の設計法である仕様規定と性能規定の比較を表-1に示す。仕様設計では目標性能を明示できず自由度の低い設計法であるのに対して性能設計では照査方法などの選択が設計者に委ねられている自由度の高い設計法

表-1 仕様規定と性能規定の特徴

	仕様規定	性能規定
目標	概念的	明確
照査方法	規定的	自己選択
責任	公的保証	自己責任
経済性	過大になり易い	最適化が図り易い

である。加えて性能設計は個々の構造物に対する安全指標を統一かつ定量的に評価することが可能であるため設計代替案の絶対比較が実施でき、事業の合意形成や評価などが容易に盛り込める設計手法である。

また、性能規定型の発注方式における特徴として構造物の使用材料や構造形式などを指定する従来の仕様型の発注方式と異なり、当該構造物に必要とされる強度・耐久性など部材などの機能・性能のみを規定するものであり、使用材料や施工方法などについても受注者もしくは施工者からの提案を受け易い設計手法である。

ここで、以下に性能規定型の発注方式における特徴を記述し、従来の仕様設計による発注方式と性能設計による発注方式の概要を図-1に示す。

【長所】

- a) 要求性能を規定できれば、設計や施工にとらわれずに発注できる(発注者)
- b) 施工管理を軽減できる(発注者)
- c) 保有技術が発揮できる(施工者)
- d) コスト縮減・技術開発のインセンティブとなる(施工者)

【課題】

- a) 要求性能の完全な規定には手間が掛かり、加えて難しい構造物もある(発注者)
- b) 規定性能の検査が難しい(発注者)
- c) 不具合リスクが大きい(施工者)

しかし、性能設計の山岳トンネルなどの地下構造物への適用は、周辺地山からの外力など支保部材に作用する荷重が不明確であるなどの理由により難しいとされている。

3. 性能設計の現状

国土交通省では平成14年10月土木・建築にかかる設計の基本²⁾をとりまとめ、わが国の構造物設計にかかわる技術標準におけ

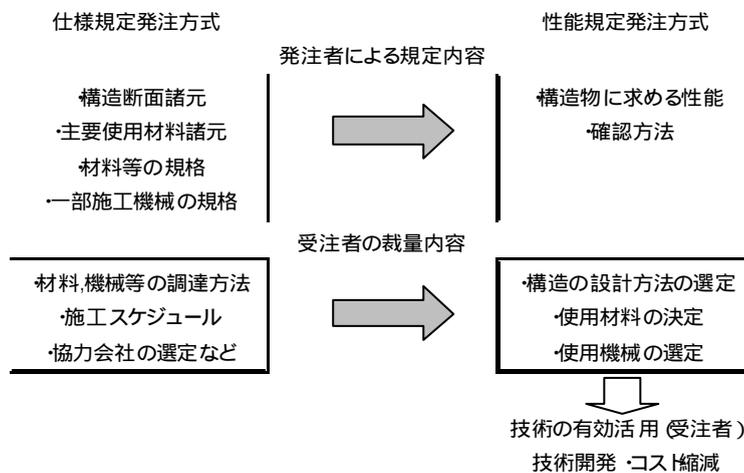


図-1 仕様規定と性能規定の比較

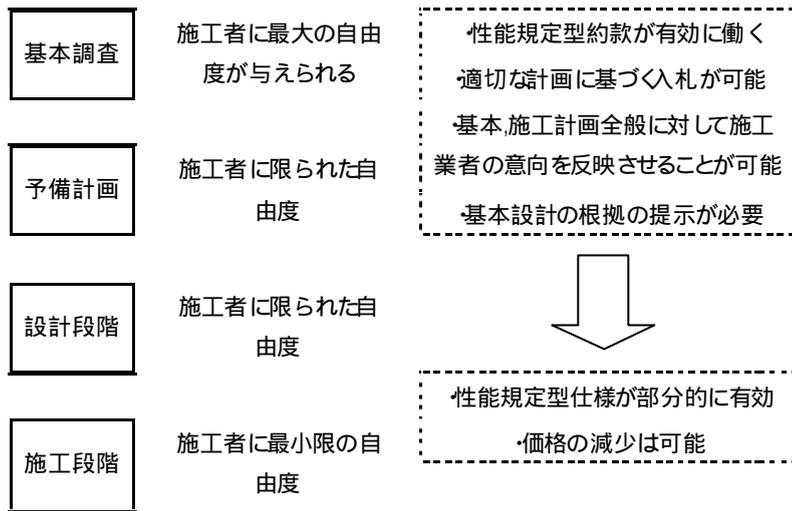


図-2 参加時期と性能規定の効果

る土木・建築の分野を超えた枠組みを策定している。この枠組みの総則では「構造物全般を対象として構造設計に係わる技術標準の策定・改定の基本的方向を示すものである。」

また「構造物の安全性等の基本的要求性能と構造物の性能に影響を及ぼす要因を明示的に扱うことを基本とし要求性能を満たすことの検証方法として信頼性設の考え方を基礎とする。」と記述されている。

したがって、今後わが国の構造物設計手法では性能設計・信頼性設計の採用（考え方の導入）は必須である。

一方、トンネルなどの地盤構造物では荷重が不明確であり、また周辺地盤が荷重と支保部材を兼ねるため構造体の性能規定が難しいなどの理由により、荷重が明確でかつ性能規定しやすい舗装など限られた構造物への適用や採用に留まっているのが現状である。

4. 山岳トンネルにおける性能規定型発注について

山岳トンネルの性能規定型発注方式における契約・施工に関する資料は少ない。そこで海外のトンネル建設プロジェクトで採用された性能規定型の発注方式の事例より性能規定型発注方式における要点の整理を行う^{3),4)}など。

(1)性能規定型の発注方式の流れ

トンネル建設プロジェクトにおける性能規定型発注方式は、まず発注者から基本調査に基づいた周辺地山に関する地質データなどやトンネルの断面構成に関する基本設計(地山等級ごとの掘削方法・支保工形式あるいは覆工厚など)を提示されるとともにトンネルの要求性能を性能指示書に指定される。

これらを参考にして入札参加者は指定されたトンネル構造物の性能を満足するように技術提案を行い合理的な設計・施工・コストに関する資料を見積金額とともに提示して応札するものが一般的な流れである。

また落札者の決定は一般的に学識経験者から構成される技術評価チームによる評価と発注者からの提示図面よ

り標準的な価格評価がなされ決定されている。ここで採点基準(たとえば点数配分や算定式)は事前に公表され、採点結果はすべて公開される。

(2)基本概念・責任分担と入札契約方式 a.基本的な概念と責任の分担

特に北米における性能規定型発注方式では、初期段階から施工者を参加させることにより生産性の向上とコスト削減を図る”Functional Performance Specification”と呼ばれる契約方式を採用しており、その効果は図-2に示すように施工(応札)者のプロジェクトへの参加時期が早いほど多彩に発揮されている。

ここで一般的に性能規定型の発注方式では、発注者のリスクを軽減して請負者にリスクを押し付けるような印象があるが、地質など不確定要因の多いトンネル建設プロジェクトなどでは発注者は地質・岩盤・湧水情報などのすべての提供を保証し(この情報は一般構造物における外力・目標性能のようなもの)施工者は計画・施工についての責任すべてを負うことで双方公平なリスク分担を担うスキームを構成することが特に重要である⁵⁾。

b.契約形態

性能規定発注方式では契約形態“Lump Sum”(総価契約)が基本とされているが、トンネルのような特殊な構造物については、地質・湧水等の不確定要因および様々なりリスクを有しているため総価とともに地山等級ごとの掘削単価(後精算のための)による併用契約がプロジェクトを円滑に進めるために必要である。

また工事代金の支払はプロジェクトの進捗に併せて行われる(1ヶ月~12ヶ月ごとの出来高払い)のが一般的である。

c.従来方式との相違事項

性能規定型の発注において、その契約を最大限に発揮するために以下に示す事項を留意することが必要である。

- 発注者の要求事項が明確であること
- 予備計画劇階などから施工者を参加させる計画に必要な精度の高い(地山状況など)データを提供すること
- 計画・施工に関するリスクは施工者;地質に関するリスクは発注者が負う
- 性能指示は機能・性能面(用途・機能・費用・工期)のみを規定した性能指示性書(発注者が作成)で行われる
- 発注者・設計会社・監査会社・施工者が一体となりプロジェクトを遂行すること

5. 性能規定型の発注について

トンネル建設プロジェクトのような比較的金額の大きな公共事業では国際競争入札が一般的であるが、その細部ではそれぞれの国の諸事情によって若干異なる入札方式が採用されているのが現状である。

ここで性能規定型の発注方式を採用する公共事業は、その規模や金額が比較的大きいため、事業資金・技術面で定められた基準を満足した企業（もしくは企業体）に入札資格を与えている（指名競争入札に近い）のが現状である。

(1) 発注者の提供資料

公募時に発注者が提供した資料は以下である。

a) 基本調査資料

構造物のリストと計画申請用の基本設計

地質および山岳地形の特徴などを記述した報告書および想定湧水量

b) 一般性能指示書（Appendix 参照）⁴⁾

c) トンネル概算費用資料

地山等級別の掘削単価

湧水増加による追加費用

作業休止補償費

d) 特別契約条件（契約変更について）

ここで、施工中に地山等級の変更が伴った場合（発注者が提示した地質や湧水量と異なった場合は監査スタッフと協議）、契約時の地山等級ごとの掘削単価を基本として工事の全体金額が変更される。

(2) 応札者の提供資料

入札時に応札者が提供する資料は以下である。

a) 性能記述書類

過去の実績に基づく施工計画とそれらの根拠となる詳細設計を含む技術提案書

具体的には、提供された地質データに基づき地山条件および湧水量を判断し、掘削方法・地山等級・支保パターン・工程および構造的な変更・VE提案などを計画・設計する。

地山等級別の掘削単価、湧水量増加による追加掘削費用および作業休止補償費

トンネル概算費用の算出根拠資料として提供された様式に単価を記入して提出する。

b) 入札価格

性能記述書類（技術提案書・掘削単価表）に基づいて包括的総価を提出する（総価・単価入札）。

c) 建設プロジェクトにおける資金計画

プロジェクト全体の資金計画とともに入札企業（もしくは企業体）の財務状態の書類を提出する。

(3) 予定価格および落札者の決定

建設プロジェクトの予定価格は基本的にはないが、発注者は計画申請用の基本設計により落札採点用の標準的な価格を設定する。

落札者の決定は、学識経験者から構成される技術評価チームによる評価と発注者からの提示図面より標準的な

価格評価がなされ決定されている。ここで採点基準（たとえば点数配分や算定式）は事前に公表され、採点結果はすべて公開されている。

6. 性能規定型の施工について

契約後のプロジェクトリスクについては工事の契約形態で若干の差異が生じるが、基本的に施工計画を初めとしてあらゆるものについて施工者側にあるが以下に示す事項は協議事項となる。

(1) 地質・湧水に関するリスクおよび設計変更

地質および湧水に関するリスクは基本的に発注者の責任であり、地盤が予想以上に悪い場合や湧水量が予想以上に多い場合など、契約時に提示された条件と実際が異なった場合には、監査スタッフと協議の上変更がなされる。なお、変更協議が進まない場合には、地質調査の専門会社やコンサルティングなどの第三者の審査により判定される。

(2) 要求性能の確認（検査）

施工された構造部材の性能の確認は、通常は発注者の専門家により行われる。具体的には二次覆工前に認可された支保パターン（吹付けコンクリート厚、ロックボルト長さ・本数）と施工状況を検査して承認される。なお規定を満足しない場合には、詳細な規定により補修を行わなければならない。

(3) その他

周辺地山が悪い場合の工事遅延は3ヶ月から6ヶ月程度認められ、遅延に対するペナルティーは契約金額の0.025%/日程度が設定されている。なお施工に関する発注者の各種書類の停滞および指示の遅れは発注者による工事の遅延として工期の延伸となる。

トンネル構造物の保証期間は3年～5年程度設定され、請負金額の5%程度を銀行保証として拠出する。また保障期間に何らかの問題が生じた場合には、補修後さらに保障期間が据え置かれる。期間中に何もなければ保証は終わり、保証金は戻ってくる。ここで双方に意見が対立した場合には、第三者機関によって、原因の審査がなされる。

7. まとめ

性能規定型の発注方式は耐久性やLCCを重視した使用者・利用者の立場に視点を置いた設計・施工計画・管理・維持管理が出来うる発注・契約システムとして山岳トンネルや地下構造物を含めた一般土木構造物に広く採用されるものと考えられる。

【Appendix : 一般性能指示書の記載事例（抜粋）】

1) 一般事項

・地質データの正当性は発注者の責任、トンネル施工方法の選択および施工区分の設定は受注者の責任である。

2) 掘削工程

・掘削工程は受注者が計画し、遅れそうな場合発注者の要請により受注者は短縮を実施する義務がある。

表-A.1 湧水に関する要求性能（ノルウェー）

クラス1	中程度の漏水率:8~16 L/min/100m
クラス2	漏水率:4-8 L/min/100m低い
クラス3	極めて低い漏水率:<4L/min/100m
湧水制御	プレグラウトの実施

3)排水計画

- ・受注者は排水量の予想および実績を記録し、入札資料で申告された基準湧水量と対比すること。また、表-A.1に示す維持監理のための漏水量を要求性能としている事例も見られる。

4)トンネル建設

トンネル掘削

a.トンネル掘削方法

- ・掘削方法（機械、爆破、併用）の選択は、地山状況に適應するように受注者が行い、発破計画は専門家により受注者が行い、発注者の承認を行うこと

b.地山等級分類（上下半別の進行長）

- ・受注者は切羽状況と力学的解析により安全対策を決定し実行すること
- ・地山等級と進行長は発注者の同意が必要であり、変更が必要な時受注者は発注者に証明すること
- ・承認された地山等級は厳守すること

c.支保部材およびその厚さ

受注者によって予め決められる支保部材厚は、内空変形余裕量=0cm、覆工厚さ 30cm、吹付けコンクリート厚さ 15cmの条件を満足すること

d.予想不可能で不可避の地山等級追加および崩落等

以下のような地山等級の増分のみ補償される

- ・インバート・アーチ・側壁の支保されない範囲に発生する場合と崩落体積量つまり空洞幅×1 進行長×平均空洞深さ（30cm）を超える場合

e.切羽および断面検測と処理

- ・切羽は受注者が1 発破ごとに検査、記録すること
- ・作成した記録は発注者に提出すること
- ・吹付けコンクリートは3cm までの断面突出物については覆工コンクリートの最低厚さが 30cm 以上あれば処理する必要はない。

施工方法

a.一般事項

- ・支保工は全体でアーチを形成すること
- 以下に挙げる措置は設計最低限の要求である
- ・地山掘削過程と関連する安全対策、措置時期と保護手段の選択は受注者が自らの責任で静力学的な算定と認可された施工計画・方法に基づいて地山状況や地質調査の結果を考慮して行うこと
 - ・実施された支保工はすべて記録し、記録資料は発注者に提出すること

b.吹付けコンクリート

- ・品質検査の証明は発注者に提出し、添加剤・急結剤の

追加は最小限にし、飲料水保護地域ではアルカリ分の少ないセメント（BE 剤は付加）を使用すること

- ・吹付けコンクリートにひび割れが生じた場合、原因を解明し、状況によって適切な措置をとること（ただし吹付けコンクリートは構造上最低 15cm の厚さを確保）
- ・吹付けコンクリートの構造上最低限の鉄筋はコンクリート用金網を使用する。金網の継ぎ目は両方の網目が一部重なるように使用すること

c.ロックボルト

- ・ロックボルトの定着は、早期に固まるロックボルトモルタルを使用し、遅くとも切羽（中心部）後方 2 進行長分行う。ロックボルトは少なくとも 150kN の耐力を有するものを使用すること
- ・ロックボルトはできうるだけ放射状に設置し、全体の表面配列を考慮し、上、下半部は 3m²つきロックボルト（L=4.00m）1 本とする

覆工コンクリート

a.一般事項

- ・覆工コンクリートは防水性を有し、さらに現状に依じて水圧耐久構造とすること
- ・地下水位が地山内で復元されるので覆工コンクリートは地圧の他に起こりうる最大水圧に対しても算定する。それに依じて目地部も密にかつ水圧に耐えうように形成されること

- ・コンクリートのひび割れを減少されるために、覆工コンクリートと吹付けコンクリートのせん断力を最小限にすること

b.作業区間とコンクリート打設長

- ・覆工コンクリート作業あるいは鉄筋組立て作業は、吹付けコンクリートに対する要求が適切であると証明された後に施工し、最大ブロック長さは防水コンクリートの場合 10.00m、防水シートの最大施工長さは 12.50m。

c.コンクリートに課せられる要求事項

- ・コンクリートは規格を遵守し、坑口部では入口から最低 200m の長さで、高度の凍結抵抗性を持つコンクリートを施工すること

【参考文献】

- 1) 須藤敦史:山岳トンネルにおける性能規定型発注方式の海外事例について、土木学会、構造工学論文集 Vol.52A,pp.119-124,2006.
- 2) 国土交通省:土木・建築にかかる設計の基本,2002,10.
- 3) 五十嵐隆浩,河村巧:ノルウェートンネル調査概要報告、北海道土木技術、トンネル研究委員会、トンネル技術研究発表会論文集,pp.81-92,2005.
- 4) Neubaustrecke Koln-Rhein/Main Brucken und Tunnel(Die Bahn),DB bau Project Gmbh.
- 5) 須藤敦史,河村巧,三上隆:ルウエーに見るトンネル建設プロジェクトにおけるパブリック・プライベート・パートナーシップについて、第60 回年次学術講演会、-302,2005,9.