

土木工事における要求性能の明確化の手法 -シールド工事を用いた事例検討-

○ 建設省土木研究所 田中 和嗣*

村松 敏光**

持丸 修一***

Kazushi TANAKA Toshimitsu MURAMATSU Shuichi MOCHIMARU

土木分野における性能規定は、近年の国際社会の要求や多様化する公共事業への社会的要求に対応する方法として期待されている。そのため、土木工事の発注における技術仕様を性能規定化する必要がある。技術仕様の性能規定化のためには、土木構造物における要求性能と要求品質のそれぞれについて整理を行い、これらの対応を明確にする必要がある。それに基づき、各土木工事ごとに、要求目的の設定、検査・検証の実施方法等を考慮して、技術仕様に示すべき要求性能を決定することにより技術仕様は性能規定化できる。しかし、土木工事の性能規定のための技術的手法は確立していない。

そこで、既報において、性能規定の技術的手法の確立を目的として、性能と品質の関係について、階層化による概念モデルを示した。

本報は、既報で示した概念モデルに基づく具体的な性能規定化検討の第1段階として、要求性能の整理と明確化の手法を、シールド工事を事例に検討したものである。本検討によって、要求性能の階層化整理により、各等級間の要求性能の関係と、各構成要素の有する要求性能を明確にできることが具体的な事例として示すことができた。また、その結果として、概念モデルの有効性を確認することができた。

Key Words : 性能規定, 要求性能, シールド工事

1. はじめに

土木分野における性能規定は、近年の国際社会の要求や多様化する公共事業への社会的要求に対応する方法として期待されている。現在、建築分野だけでなく、土木分野においても性能規定に関する研究がなされている。

しかし、土木分野における性能規定の検討は、個別の課題に対するものとなっており、技術的手法の確立はなされていない。また、多くの検討は、コンクリート標準示方書や道路橋示方書等の技術基準類の改訂に関するものである。これらの技術基準類は、絶対的な拘束力をもつものではなく、性能規定化されたとしても、よりよい構造物をなるべく安く

つくるための道具として位置づけられるべきものである。性能規定により、国際社会の要求や国内公共工事への要求に対応するためには、土木工事の発注における技術仕様を性能規定化する必要がある。

技術仕様の性能規定化のためには、土木構造物における要求性能と、要求品質により示されていた従来の内容について整理を行い、これらの対応を明確にする必要がある。それに基づき、各土木工事ごとに、要求目的の設定、検査・検証の実施方法等を考慮して、規定すべき要求性能を決定することにより技術仕様は性能規定化できる。その概念を図-1に示す。

そこで、既報において、性能規定の技術的手法の確立を目的として、性能と品質の関係について、階層化による概念モデルを示した⁽¹⁾。本報は、既報で

* 建設省土木研究所材料施工部機械研究室 TEL(0298)-64-4702

** 建設省土木研究所材料施工部機械研究室 TEL(0298)-64-4702

*** 建設省土木研究所材料施工部機械研究室 TEL(0298)-64-4702

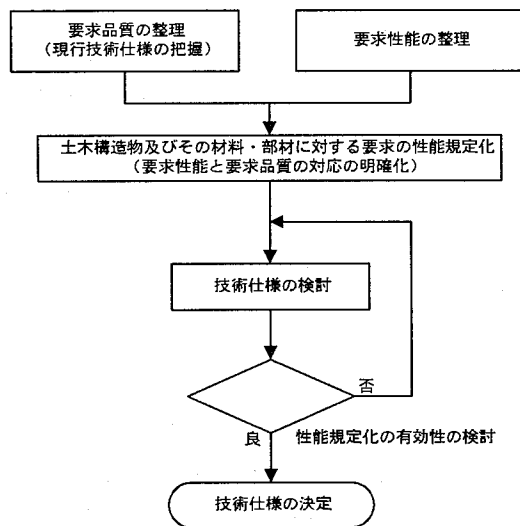


図-1 技術仕様の性能規定化フロー

示した概念モデルについての補足を行いつつ、その有効性の確認と、具体的な性能規定化検討の第1段階として、要求性能の整理と明確化を、シールド工事を事例に検討したものである。

2. 性能規定の基本的考え

(1) 用語の定義

土木分野における「性能」や「性能規定」の概念は、その体系的検討がなされておらず、建築分野と同様に、関係者間の受け取り方に齟齬や誤解等の混乱を生じる恐れを持っている⁽²⁾。そのため、本報においては、既報の性能規定とその関連用語の定義⁽¹⁾を用いることとし、既報を補足して定義の検討根拠を示す。

a) 検討の方針

土木分野における性能規定導入の目的には、国際協定の遵守と、そのための国際規格等との国際整合性の確保がある。また、現在、技術仕様の国際規格としてISO規格が整備されている。そのため、性能規定に関する用語は、性能規定が品質管理の手法であることを考慮して、ISO9000's(品質管理及び品質保証の規格)と、その用語の定義であるISO8402⁽³⁾との整合性を確保されている必要がある。しかし、これらには性能規定に関する定義がない。これらのことから、現在の規格を参考に、その内容の拡張を想定して、性能規定の定義を検討することとする。

また、建築分野の性能規格として、ISO6240⁽⁴⁾があり、性能の定義がなされている。今後、建築分野と土木分野を統合した建設分野としての性能規定の定義を行うことを想定し、ISO6240についても考慮することとする。

さらに、土木工事への円滑な性能規定導入を行うためには、現在の土木工事で用いられている用語をできる限り活用する方がよい。そのため、建設省の設計業務等共通仕様書⁽⁵⁾、土木工事共通仕様書⁽⁶⁾における用語の定義を参考とすることとする。

b) 性能と品質

土木構造物やその材料・部材(以下「構成要素」と総称する)は、その特性として何らかの性能と品質を有している。ISO8402と、それを取り込んだ日本工業規格であるJIS Z 8101⁽⁷⁾、およびISO6240における性能と品質に関する定義は、表-1に示すとおりである。

ISO6240における性能の概念は、平野によって適切な検討が加えられている⁽²⁾。平野は、「性能」を「あるもの」の、ある「使用条件」下における「関連」ニーズを充足するに足りる「挙動」と整理し、ニーズと挙動は、状態(暖かさ等の建築物の室内の状態)を挟んで手段と目的の関係になるととらえている。但し、平野の案では、「もの」が有している性能と、ユーザにより要求されている性能(要求性能)の区別がなく、また、挙動の内容が不明確であるため、性能の定義が品質の定義にもなりうるように思える。一方、ISO8402およびJIS Z 8101は、性能規定の内容を含んでいないために性能と品質の区別がなく、また、ISO8402における品質の定義に代表されるように、品質はニーズに関係する特性全体に限定されている。しかし、性能規定のために、別途、要求性能と要求品質の定義を行うことを考慮すると、この限定の必要性は少ないと考える。これらのことを考慮し、ISO8402やISO6240を基本として定義内容を検討する。

また、構成要素に対する性能と品質を、ユーザの要求(ニーズ)に従って規定したものをそれぞれ「要求性能」と「要求品質」と考える。この時、ISO8402の品質要求事項は、その内容が要求性能と要求品質をあわせて表現したものと考えられることができる。そこで、要求性能と要求品質の定義は、品質要求事項

表-1 ISO等における性能と品質の定義

規格	用語	定義	備考
ISO8402	品質	quality	ある“もの”の明示されたまたは暗黙のニーズを満たす能力に関する特性全体
	品質要求事項	requirements for quality	ある“もの”を具現化し評価できるようにするため、その“もの”の特性に対するニーズを表現したもの。若しくは定量的または定性的に述べた一組の要求事項へのそれらのニーズを変換したもの
	仕様書	specification	要求事項を記述した文書
JIS Z 8101	品質	quality	物品またはサービスが使用目的を満たしているかどうかを決定するための評価の対象となる固有の性質・性能の全体
	品質特性	quality characteristic	品質評価の対象となる性質・性能
	仕様	(technical) specification	材料・製品・工具・設備などについて、要求する特定の形状・製造・寸法・成分・能力・精度・性能・製造方法・試験方法などをさだめたもの。仕様を文書化したものを仕様書という。
ISO6240	性能	performance	用途に関連したある“もの”の挙動(ふるまい)

の定義を基本として検討する。

さらに、性能と品質のそれぞれに対して要求性能と要求品質を規定する行為を、「性能規定」および「品質規定」と考える。但し、品質確保の観点から検査・検証方法を明示する必要があるため、性能規定と品質規定は、それぞれに対応した検査・検証方法についても同時に規定するものとする。また、従来の土木分野における規定を品質規定と考えると、検査・検証を施工プロセスに沿って行うために施工方法を規定していることから、品質規定においては、施工方法についても規定するものとする。

以上のことから、性能規定と品質規定の意味に基づき、「性能」と「品質」と、「要求性能」と「要求品質」の関係概念示すと図-2のようになる。また、各用語を表-3のように定義する。

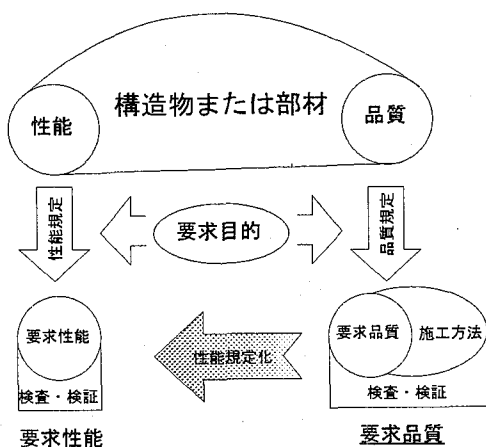


図-2 品質と性能の関係概念

なお、要求性能と要求品質は、広義の意味で、検査・検証方法と施工方法を含めたものとするとしてもできるが、狭義の意味(上記の検討に基づく考え)として定義している。また、「要求品質」と「品質規定」とは、いわゆる「要求仕様」と「仕様規定」のことであるが、あえて「要求仕様」と「仕様規定」と表現していない。これは、ISO8402やJIS Z 8101に「仕様」や「仕様書」の定義があり、土木工事でこれらの用語が同様の意味で用いられていることを考慮し、日本語表記上の無用の誤解を避け、性能規定の概念の説明と実施工への適用を円滑に進めるための配慮である。

c) 検査・検証と照査

性能規定はもとより、品質管理のためには、何らかの検査・検証、照査を実施しなければならない。ISO8402におけるこれらの定義は、表-2のとおりである。また、建設省の設計業務等共通仕様書において、「検査」は、「契約図書に基づき、検査職員が設計業務等の完了を確認することをいう」と定義されており、土木工事共通仕様書において、「工事検査」は、「検査職員が契約書(中略)に基づいて、給付の完了の確認を行うことをいう」とされている。共通仕様書における「検査」は、いわゆる立ち会い検査と書類検査の双方を含んだものとして考えることができる。これらのことから、「検査」と「検証」の定義については、性能規定と品質規定の区別を行いつ

表-2 ISOにおける検査・検証の定義

規格	用語		定義	備考
ISO8402	検査	inspection	ある“もの”の各特性の適合性を確定するために、一つまたはそれ以上の特性を測定、審査、試験またはゲージ合わせをしてその結果を規定要求事項と比較する活動	日本語訳は、ISOとの翻訳協定に従って日本規格協会が翻訳したものである。
	自主検査	self-inspection	作業の実施者が指定された規則に従って行う、その作業の検査	日本語訳は、ISOとの翻訳協定に従って日本規格協会が翻訳したものである。
	検証	verification	規定要求事項が満たされていることを、客観的証拠の調査及び提出によって確認すること。	日本語訳は、ISOとの翻訳協定に従って日本規格協会が翻訳したものである。

つ、ISO8402の定義を準用することが適切であると考ええる。

「照査」については、ISO8402に定義がない。建設省では、詳細設計業務において、「照査」は、「受注者が設計業務の完了までに行う、発注条件、設計の考え方、構造細目等のチェックおよび技術計算等の検算である」としている。ISO8402における自主検査と比較すると、内容に相違があるものの、受注者が行うこととする位置づけは同じである。そこで、これらを参考として、「照査」の定義を検討することは可能である。しかし、「照査」については、コンクリート分野等において別途の定義がなされていることを考慮し、無用な混乱をさけるため、現段階では定義を行わない。

(2) 階層化整理の概念

土木工事の性能規定化の手法として、既報により土木構造物の構成要素の階層化整理の概念を示した(1)。土木構造物の階層性は、内容に多少の差はあるものの、様々な研究において着目されている。例えば、コンクリート分野の検討は、「性能規定化を検討する場合には、(中略)全体のつながりに十分考慮しつつ、それぞれのレベルでの性能指向の規格づくりのあり方を検討する必要がある」とするとともに、「最終的な機能を果たすことになる橋梁や擁壁等、構造物として要求される性能を検討の出発点とすることになる」としている(8)。しかし、階層性の考え方や意味が大きく異なる研究もあるようである。

本報は、既報の概念モデルに基づいた要求性能の検討を示すものであるため、検討の意味を明確にするため、提案した概念モデルでの階層化整理の目的について補足する。

a) 建築分野における“もの”の階層性

建築分野における性能規定の検討において、平野は、挙動をするもの(性能を論じる対象)はコンテキスト次第で建築物全体であったり、建築物の中の特定の部位や部品、構成材料や使用製品等の様々な段階のものとして捉えられる傾向があるとしている(2)。また、性能は、建築物全体が挙動を通じて提供するシステムの性能や、ものの挙動の特性そのものとして示される部位の性能や材料の性能があり、コンテキストによって意味する内容が異なるとしている。性能に着目した概念モデルは、この意味の異なりを区別できるものとする必要があるとの観点から、ニーズに直接対応して挙動する実態(建築物全体やその特定の部位や部品等)のことを機能システムと呼び、機能システム(例えば、架構システム)は、多くの下位の機能システム(例えば、壁や柱等)で構成されており、機能システムの挙動も、より下位の機能システムの挙動の総合されたものであるとするモデルを示している。さらに、建築物を構成する“もの”は、この機能システムの階層構造により整理でき、それぞれについて目的: Objectives (または目標: Goal) と手段: Means (または解: Solutions) が記述できるとしている。

b) 土木分野における階層化整理の目的

建築物と同様に、土木構造物においても、性能や品質を論じる対象は、土木構造物全体やその材料・部材等の様々な段階のものがあ、性能や品質の意味する内容も、その対象によって異なる。そのため、土木分野における性能規定の概念は、これらの意味の異なりを区別できる必要があり、建築分野での階層性検討を参考とすることができる。

しかし、建築分野における性能規定は、消費者

表-3 本報における性能規定に関する用語の定義

用 語	対応英語(参考)	意 味	備 考
性能	performance	目的または要求に関連する、構造物または部材のふるまい	ISO6240/3.3 (The) behaviour (of a product) related to use.
品質	quality	目的または要求に関連する、構造物または部材の定量化できる特性全体。	ISO8402/2.1 totality of characteristics of an entity that bear on its ability to satisfy stated and implied needs
要求性能	requirements for performance	構造物または部材を具現化し評価できるようにするため、その特性として要求されている性能を表現したもの。	
要求品質	requirements for quality	構造物または部材を具現化し評価できるようにするため、その特性として要求されている品質を表現したもの。	ISO8402/2.3 expression of the needs or their translation into a set of quantitatively or qualitatively stated requirements for the characteristics of an entity to enable its realization and examination
性能規定	performance-based standards	性能とその検査・検証方法を取り決める行為	
品質規定	quality-based standards	品質及び施工方法とその検査・検証方法を取り決める行為	
仕様書	specification	要求品質または、要求性能とその検査・検証方法を記述した文書。	ISO8402/3.14 document stating requirements 注) ISO8402/3.14では仕様を示した文書となるが、公共工事における検査・検証の必要性を考慮し、内容を拡大している。
性能規定化	performance-based standardization	要求品質を、その決定理由となった目的または要求に基づき、要求性能に記述し直す行為	
要求目的	requirements for goal	構造物の根元的目的または要求を表現したもの。構造物に要求されている根本的性能を表現したもの NKBレベルシステムにおける要求目的とは異義語	
レベル	level	ある事象のなかの各項目の相対的順位付け。優秀さの程度または比較の意味を表すものではない。等級と同意	
等級	grade	ある事象のなかの各項目の相対的順位付け。優秀さの程度または比較の意味を表すものではない。	ISO8402/2.2 category or rank given to entities having the same functional use but different requirements for quality
検査	inspection	構造物または部材の各特性の適合性を確定するために、1つまたは、それ以上の特性を測定、審査、試験またはゲージ合わせをしてその結果と要求性能または要求品質を比較する活動	ISO8402/2.15 activity such as measuring examining, testing or gauging one or more characteristics of an entity and comparing the results with specified requirements in order to establish whether conformity is achieved for each characteristic
検証	verification	要求性能または要求品質が満たされていることを、客観的証拠の調査および提出によって確認すること。	ISO8402/2.17 confirmation by examination and provision of objective evidence that specified requirements have been fulfilled

(備考) 本定義は、ISO8402「品質管理および品質保証-用語の定義」を考慮しつつ検討中のものである。但し、品質管理および品質保証に対して、性能規定化の概念を導入し、且つ、ISO8402の序文に示されている品質用語を明確にする意図を維持するために、意図的に定義を変更しているものがある。

(非専門家)・設計者(専門家)間の建築物の各種機能に関する合意形成と、消費者の建築物の性能に対する十分な理解を可能とすることに大きな期待があるようである。そのため、土木分野の性能規定の検討は、その目的において建築分野と同様のものもあるが、必ずしも一致しないことに留意しなければならない。土木分野においては、発注側が土木構造物の構造や設計に関する知識を持つインハウスエンジニアを有している。そのため、建築物のように、土木構造物全体に対する要求目的を直接的に示す工事は少ない。むしろ、既報に示したように非常な困難さを伴う。

また、土木分野における性能規定導入の目的には、コスト縮減だけでなく、「価格」のみの競争(Price Only Policy)から、「技術力」を重視した競争(Best Value Policy)に転換し、良質なモノを低廉な価格でタイムリーに調達することを可能とするや、新技術開発導入のインセンティブを確保することがある。そのため、発注者により、各工事ごとに新技術導入等の検討対象が設定されることになる。この検討対象は、土木構造物全体ではなく、構成要素の1部分(例えば、シールドトンネルにおける一次覆工やセグメント)となるため、要求目的は、土木構造物ではなく、これら検討対象に対する要求となる。

さらに、土木工事においては、土木構造物が、要求性能を有することを検査・検証することが重要である。公共工事においては、会計法第29条の11の2「(前略)その受ける給付の完了の確認をするため必要な検査をしなければならない」に従い、検査・検証を適切に行う必要がある。そのため、土木工事の性能規定化は、要求性能の検査・検証を考慮したものとなる。検査・検証が、構成要素に対して実施されることを考慮すると、要求性能の整理は構成要素に着目したものとすることが有効である。

以上のことから、構成要素に対する要求性能と要求品質について、建築分野以上に詳細な階層性を示すことを目的として、土木構造物の階層化整理を行うものである。

3. シールド工事の要求性能の階層化整理

本研究における要求性能の検討は、シールド工事を事例として、トンネル全体に対する要求目的を起点に行うこととする。また、シールド工事の工程に

図-3 道路トンネルの構造設計における要求

設計項目	内 容	備 考
平面設計	平面線形と縦断線形	線形
断面の設計	内空断面の形状と寸法	内空断面
支保構造の計算 (支保工)	支保の剛性	強度
	変形余裕	変形
支保構造の計算 (覆 工)	作用荷重に対する強度	強度
	コンクリートの耐久性	耐久性
	予測困難な問題に対する安全率の確保	災害時の安全性
	コンクリートへの温度応力の影響	熱による劣化の防止
	コンクリートのひび割れによる漏水防止	漏水対策
防水工・排水工	漏水の防止	漏水対策

は、立坑の築造、シールドトンネル築造、トンネル付属設備工事、内装工事等があるが、本検討では、シールドトンネル築造のみを検討対象とする。

(1) シールドトンネルの要求目的

トンネル標準示方書〔シールド工法編〕(以下「示方書」と略す)⁽⁹⁾等においては、シールドトンネルの要求目的が明確でない。そこで、道路トンネル技術基準(構造編)・同解説⁽¹⁰⁾を参考に、シールドトンネルの要求目的を検討する。

道路トンネル技術基準(構造編)は、設計として、線形設計と断面の設計、支保構造の設計、防水工・排水工が示している。これらの内容から、トンネル築造における要求を整理すると表-3のようになる。実施工においては、これらに追加して、供用期間中の周辺環境への影響に関する要求がある。これらのことから、一般的なシールドトンネルにおいても、要求目的には、大別して強度、形状・寸法、漏水、災

表-4 シールドトンネルの要求目的

記 号	性 能
goal1	トンネルへの作用荷重(供用時の内・外荷重)に対して安全に抵抗できる、構造上の必要な強度を有している。
goal2	トンネル用途に障害となるような変形が生じない。
goal3	あらかじめ明示された地震時荷重(トンネル縦断方向荷重、横断方向荷重)に対して強度的に安全である。
goal4	トンネル外部から内部への漏水を、トンネルの排水機能で対応可能な漏水量以下に抑えることができる。
goal5	熱によるコンクリートの強度劣化を防止できる。
goal6	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、性能を維持できる。(寿命に関する要求)
goal7	浮力に対して構造上安定している。
goal8	トンネル用途に適合した内面形状と大きさを有する。
goal9	トンネル用途に適合した出来形(線形)及び仕上がり状況を有している。
goal10	供用期間中に周辺環境へ及ぼす影響が少ない。

害時の安全性、耐久性及び環境負荷の軽減があると考え、表-4のように要求目的を整理する。なお、以下の考えに基づき、強度を、強度 (goal1)、変形 (goal2)、地震 (goal3) に分類している。

1. 土圧、水圧等の主荷重と内部荷重や施工中のジャッキ推力などの施工時荷重、その他の外力に対し、必要な強度を有していることが要求される。
2. 強度と変形は相互に密接に関連しており、同一の内容が多いが、強度と剛性（変形）は別の要求であるため、要求目的としては区別する。
3. 地震時には、荷重条件が通常と異なり、地震時荷重による割り増しがあるため、強度部材が通常時で決定される場合と、地震時で決定される場合の両方がある。また、地盤条件によっては、地震時荷重を検討する必要がない場合もあるため、強度と地震時強度の要求を区別する。

また、耐久性（寿命）の要求については、その規定方法としていくつかの方法が考えられる。例えば、AASHTOの道路橋に関する基準では、設計寿命を75年と設定している⁽¹¹⁾。この基準のように供用期間を明示的に示すことは、その内容が明確になる反面、LCCの検討が、個々の設備別の検討にとどまり、シールドトンネルを含めた道路全体としての、工事及び維持管理のマネジメントや総合的品質管理につながりにくい欠点がある。また、工事と維持管理作業の施工者が異なることを想定すると、耐久性の要求は、供用期間中の各性能の確保に関する責任分担を明確にしたものでなければならない。そのため、耐久性の要求は「要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、性能を維持できる」こととし、供用期間等は、工事及び維持管理のマネジメントや総合的品質管理等を含めた設備ごとの条件等により設定することとする。

(2) 要求性能の階層化整理

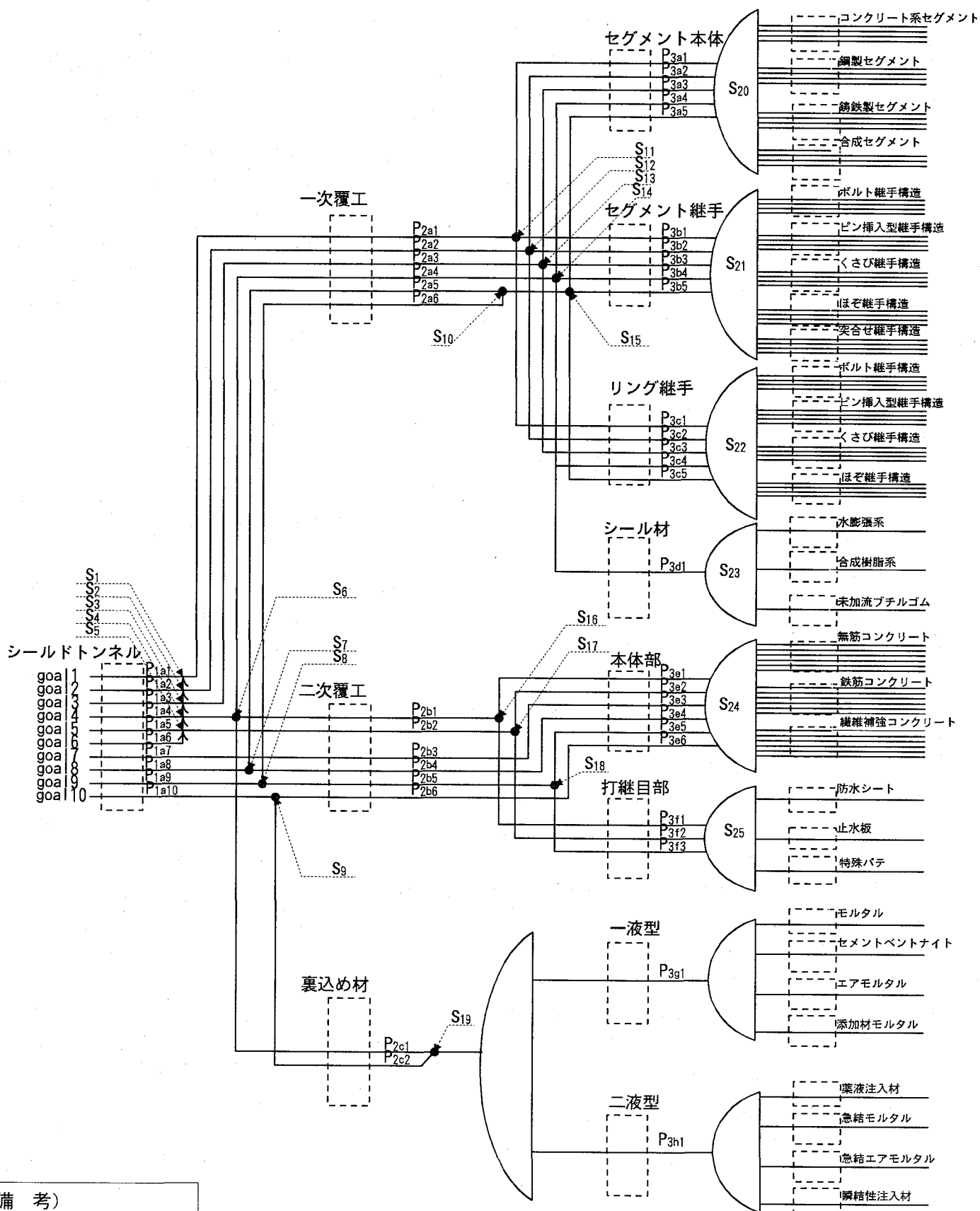
シールドトンネル全体の要求目的に基づき、各構成要素の要求性能を階層化整理する⁽¹²⁾。シールドトンネルは、その要求目的を実現するために、一次覆工、二次覆工、裏込め材が設計され、さらに、より下位の等級の構成要素が整理されている。これら

を階層化整理した結果を図-4に示す。要求性能の整理結果の1部分を表-5に示す。実際の工事において、要求性能は、その施工条件、工事対象物の条件等により、具体的なものとなるが、本検討では、シールドトンネル全般について一般的な検討としているため、その内容は比較的抽象的なものとなっている。

本検討では、シールドトンネル全体の要求目的を検討の起点としているため、シールドトンネルの要求目的と要求性能が同じものとなり、 $(P_{1ax} = goal_x : x = 1, 2, \dots, 10)$ となっている。この要求性能を実現するために、等級2の構成要素が必要な性能を規定されており、それを満足する品質を有している。同様により下位の等級においても、必要な要求性能が示されている。同一等級内での構成要素間の相互関連は、上位等級の要求から下位等級の要求への分岐Sで示している。実際に性能規定を検討するシールドトンネルの構成要素が一般的な構成と異なる場合、構成要素の相違による要求性能の検討は、構成要素が異なる等級の上位での分岐Sの条件や内容を考慮して行うことになる。階層化整理上の各要求性能の関係の例として、断面形状に関する性能 (goal8) を示す。goal8 ($= P_{1a8}$) の性能の達成のために、一次覆工は二次覆工が施工できる寸法及び内面状態である必要 (P_{2a5}) があり、二次覆工は所要の厚さを確保した上で所要の内空断面が確保されている必要 (P_{2b4}) がある。この際、要求性能 P_{2a5} 、 P_{2b4} は、施工条件等や一次覆工と二次覆工の総合的な性能によって、必ずしも双方が要求されるわけではない。二次覆工を省略したシールドトンネルの場合、断面形状に関する要求性能は、 P_{2a5} 単独で実現することになる。この時の条件と、一次覆工と二次覆工の関係が

表-6 等級間の要求性能の関係例

記号	内 容
P_{1a8}	トンネル用途に適合した内面形状と大きさを有する。
S7	【条件：二次覆工を省略する場合】一次覆工に内空断面確保が要求される。 【条件：二次覆工を行う場合】二次覆工が内空断面を確保する要求と、その外周に設置される一次覆工の要求も満足しなければならない。
P_{2a5}	【条件：二次覆工を省略する場合】トンネル用途に適合したトンネル内空の形状と大きさを侵さずに組み立てることができる。 【条件：二次覆工を行う場合】二次覆工外面と一次覆工内面が接して組み立てることができる。
P_{2b4}	トンネル用途に適合したトンネル内空の形状と大きさを有することができる。



(備考)

goal x : 要求目的

P x x x : 要求性能

S x : 分岐条件

図-4 シールドトンネルの要求性能の階層化整理

表-5 シールド工事における要求性能の整理結果(1部分)

記 号	性 能
(等 級 1)	
P _{1a1}	トンネルへの作用荷重(供用時の内・外荷重)に対して安全に抵抗できる、構造上の必要な強度を有している。
P _{1a2}	トンネル用途に障害となるような変形が生じない。
P _{1a3}	あらかじめ明示された地震時荷重(トンネル縦断方向荷重、横断方向荷重)に対して強度的に安全である。
P _{1a4}	1. トンネル外部から内部への漏水を、トンネルの排水機能で対応可能な漏水量以下に抑えることができる。 2. 【条件：下水トンネル等場合】トンネル内部から外部への漏水(流出)を完全止水することができる。
P _{1a5}	【条件：道路トンネルの場合】熱によるコンクリートの強度劣化を防止できる。
P _{1a6}	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、性能を維持できる。(寿命に関する要求)
P _{1a7}	浮力に対して構造上安定している。
P _{1a8}	トンネル用途に適合した内面形状と大きさを有する。
P _{1a9}	トンネル用途に適合した出来形(線形)及び仕上がり状況を有している。
P _{1a10}	供用期間中に周辺環境へ及ぼす影響が少ない。
(等 級 2)	
P _{2a1}	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネルへの作用荷重に対して、構造上の必要な強度を有している。
P _{2a2}	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネル用途に障害となるような変形を生じない。
P _{2a3}	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、あらかじめ明示された地震時荷重(トンネル縦断方向荷重、横断方向荷重)に対して安全に抵抗できる。
P _{2a4}	1. 要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネル外部から内部への漏水を適切な漏水量以下に抑えることができる。 2. 【条件：下水トンネル等場合】要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネル内部から外部への漏水(流出)を完全止水することができる。
P _{2a5}	【条件：二次覆工を省略する場合】トンネル用途に適合したトンネル内空の形状と大きさを侵さずに組み立てることができる。 【条件：二次覆工を行う場合】二次覆工外面と一次覆工内面が接して組み立てることができる。
P _{2a6}	目的とするトンネル線形が確保されている。 【条件：二次覆工を省略する場合】トンネル用途に適合した内面の平滑性を有している。
P _{2b1}	1. 要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネル外部から内部への漏水を、トンネルの排水機能で対応可能な漏水量以下に抑えることができる。 2. 【条件：下水トンネル等場合】要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネル内部から外部への漏水(流出)を適切な漏水量以下に抑えることができる。
P _{2b2}	【条件：道路トンネルの場合】要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、熱によるコンクリートの強度劣化を防ぐことができる。
P _{2b3}	浮力に対して浮き上がりを防止できる適切な重量である。
P _{2b4}	トンネル用途に適合したトンネル内空の形状と大きさを有することができる。
P _{2b5}	トンネル用途に適合した内面の平滑性を有している。
P _{2b6}	【条件：鉄道トンネル等、供用期間中にトンネル内部から発生する振動が環境に影響を与えることが予想される場合】適切な防振性を有する。
P _{2c1}	1. 要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネル外部から内部への漏水を適切な漏水量以下に抑えることができる。 2. 【条件：下水トンネル等場合】要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネル内部から外部への漏水(流出)を適切な漏水量以下に抑えることができる。
P _{2c2}	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、地盤変状を抑えることができる。
(等 級 3)	
P _{3a1}	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、トンネルへの作用荷重(供用時の内・外荷重及び施工時の荷重(ジャッキ推力、裏込め注入圧等))に対して安全に抵抗できる強度を有している。
P _{3a2}	要求する供用期間において、あらかじめ明示された維持管理手法により、適切な剛性(弾性係数、断面二次モーメント、断面積)を確保することができる。

S_7 として示されている。

シールドトンネルに用いる一般的な構成要素として、いくつかの可能性が考えられる場合には、図-5の分岐記号を用いて、その構成パターンを示している。例えば、セグメントの場合、コンクリート系セグメントや鋼製セグメント等のように種々のセグメントがある。

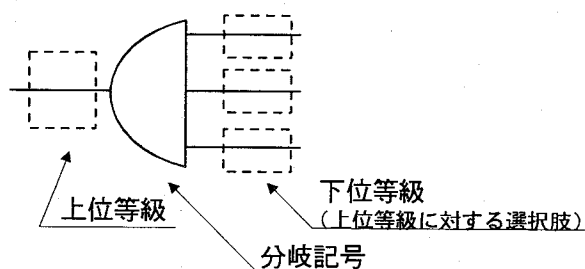


図-5 分岐記号

(3) 要求性能の階層化整理への追加

a) 法令等による強制的要求事項

シールド工事を実施する場合、個々の工事ごとの要求性能とは別に、法令等により強制的に遵守することが求められる内容がある。各シールド工事ごとの要求性能による具体的な規定項目は、先の階層化整理の結果に対する関連法令等の強制的な要求事項の位置づけに留意し、これを遵守して決定しなければならない。

b) トンネル標準示方書〔シールド工法編〕

従来の土木工事の仕様書では、準拠すべき関係技術基準類を提示している。これらが性能規定化されていない場合、土木工事の技術仕様は、要求品質で規定されていた従来の内容に対応する事項だけでなく、技術基準類に規定されていた内容が適切に示されている必要がある。

技術基準類の内容把握の例として、トンネル標準示方書〔シールド工法編〕について、その記載内容を整理し、図-4に追加した結果を図-6に示す⁽⁹⁾。図-6において、 Q_x は、 P_x に対応する要求品質の意味であり、条文番号は示方書の条文を指している。示方書においても、品質規定と考えることができる内容を多く含んでいる。示方書が性能規定化されていない場合、土木工事の仕様書において、示方書を準拠せず、必要な内容のみ技術仕様として規定するか、または、示方書を準拠しつつ、要求品質により示され

ている内容を要求性能により規定しなおすことになる。

4. まとめ

本報において、既報の性能と品質の関係の概念モデルを補足し、用語の定義に関する根拠と、階層化整理の基本的な考えと目的を説明した。既報と本報により、土木工事における技術仕様の性能規定化の技術的手法を確立するための性能と品質の概念モデルが構築できた。

そこで、この概念モデルに基づき、具体的な性能規定化検討の第1段階として、要求性能の整理について、シールド工事を事例として、検討手法を示すとともに、概念モデルの有効性を確認した。検討は、道路トンネル技術基準(構造編)・同解説を参考としてシールドトンネル全体の要求目的を検討し、各構成要素に対する要求性能を階層化整理した。土木構造物の各構成要素は複数の要求性能を有しており、構成要素間の要求性能の関係やその本来の意味は不明確になりやすい。しかし、要求性能の階層化整理を行うことにより、構成要素間の要求性能の関係と、各構成要素の有する要求性能を明確にすることが実際に可能であることが示された。

また、従来の土木工事の仕様書においては、準拠すべき関係技術基準類が提示されている。この技術基準類が性能規定化されていない場合、技術仕様の性能規定化には、これらの内容に対する対応についても検討する必要がある。本研究においては、関係技術基準類の内容把握の例として、トンネル標準示方書〔シールド工法編〕と要求性能の階層化整理の関係を示した。これにより、技術基準類の内容が、性能と品質の階層化整理の全般にわたっており、また、要求性能により示されている内容と要求品質により示されている内容の双方を含んでいる現状が把握された。

5. おわりに

本検討において、シールド工事を事例として、要求性能を階層化整理した。今後、この事例検討をさらに進めて、要求品質の整理と、要求性能と要求品質の対応の明確化を行うことにより、概念モデルについて、性能規定化のための総合的な有効性を示すとともに、土木工事の具体的な性能規定化手法を検討する予定である。

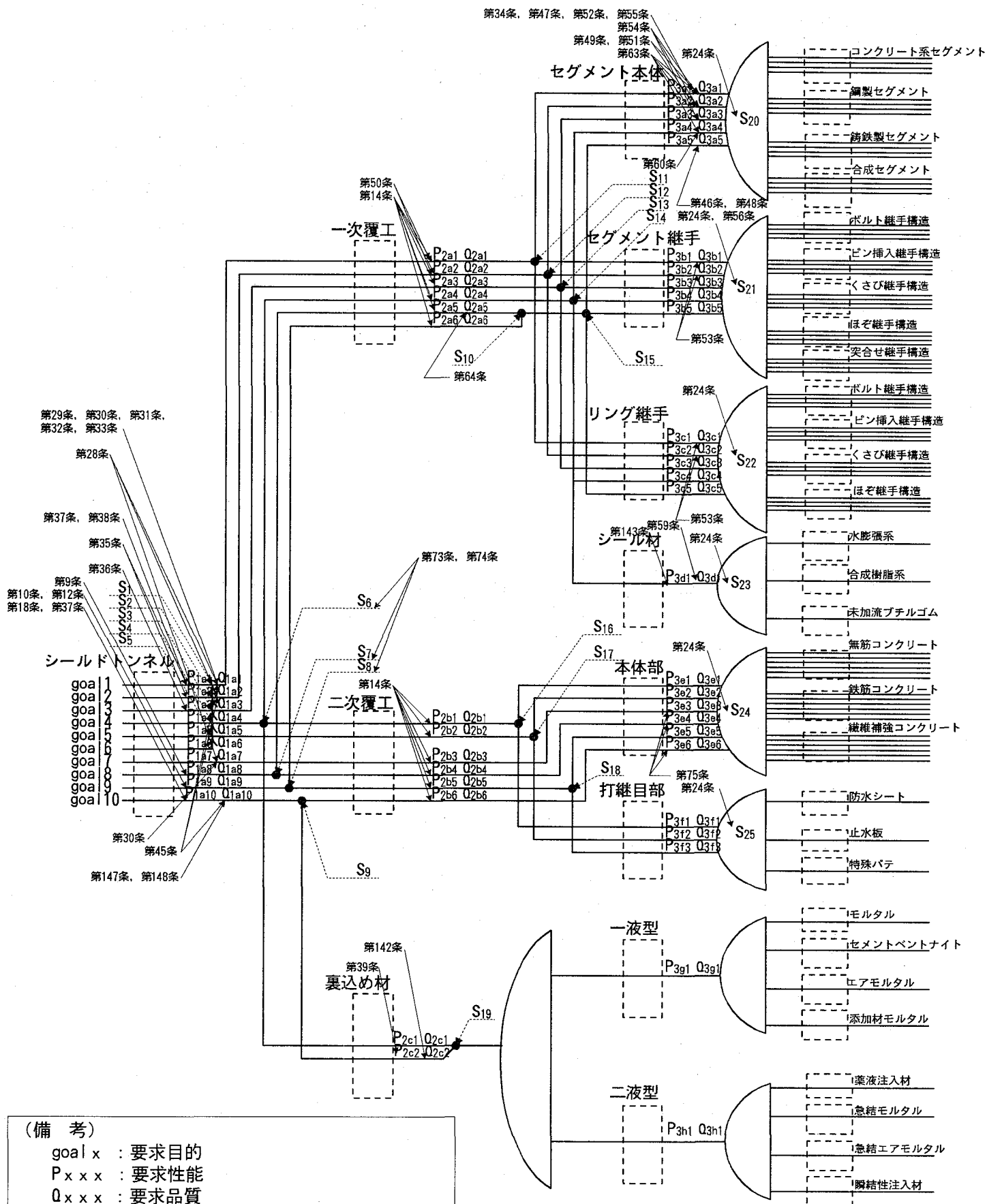


図-6 トンネル標準示方書〔シールド工法編〕の整理

また、実際に性能規定を導入すべき対象とその要求目的を決定した後、これらを起点として、検査・検証方法を考慮して、性能規定の規定項目を決定する方法についても検討する予定である。

参考文献

- (1) 田中・村松, 土木工事における品質と性能の概念モデル, pp.65-pp.72, 第16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, 1998.12.
- (2) 平野, 建築生産規範情報の構造の『性能』に着目した説明モデル, pp.3.1-pp.3.10, 平成10年度建築研究所春季研究発表会資料, 1998.6.
- (3) ISO8402 Quality management and quality assurance - Vocabulary, 1994.
- (4) ISO6240 Performance standards in building-Contents and presentation, 1980.
- (5) 設計業務共通仕様書, 建設省, 1995.9.
- (6) 土木工事共通仕様書, 建設省, 1998.3.
- (7) JIS Z 8101 品質管理用語, 1981.8.
- (8) コンクリート分野の標準化計画案に関する報告書, 日本工業標準調査会土木部会コンクリート専門委員会, 1998.3.
- (9) 土木学会トンネル工学委員会編, トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説, 社団法人土木学会, 1996.7.
- (10) 日本道路協会, 道路トンネル技術基準 (構造編)・同解説, 丸善, 1989.6.
- (11) AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, AASHTO 1996.
- (12) 田中ほか2名, シールド工事の性能規定化のための要求性能の検討, pp.190-pp.191, CS, 第54回土木学会年次講演会, 1999.9.

Method of Organizing Requirements for Performance in Civil Engineering Work Case Study of Shield Work

The adoption of performance-based standards for civil engineering is expected to meet the recent demands of international society and the diverse public demand for public works projects. The performance-based standardization of civil engineering work ordering specifications is, therefore, essential. To complete this standardization, the requirements for performance and the requirements for quality of civil engineering structures must be organized to clarify the relationships between these requirements. The results will permit the performance-based standardization of specifications by determining the requirements for performance that should indicate the specifications by setting requirements for goal and by accounting for methods of performing inspections and verifications for each civil engineering work case. But there is no technical method of achieving performance-based standardization in civil engineering.

In a previous report, we proposed a conceptual model based on a hierarchy of the relationship between performance and quality to establish a technical method for achieving performance-based standards.

In this report, we propose the first stage in a study of performance-based standardization based on the conceptual model from the earlier report and a study of a method of organizing and clarifying requirements for performance using shield work as a sample case. This study presents an example of how to hierarchically organize requirements for performance to clarify the relationships between requirements for performance in different grades and requirements for performance of each constituent grade. The results have confirmed the usefulness of the conceptual model.