技術ノート

鋼製砂防構造物について⑤
――設計管理

嶋 丈示
しま じょうじ
(一財)砂防・地すべり技術センター
砂防技術研究所 技術開発研究室長

1. はじめに

構造物が出来上がるまでには、調査・計画・設計・施工といった流れがありますが、今回設計の仕方というか管理方法について述べたいと思います。何故こんな話をするかというと、砂防の分野では設計は簡単なものという扱いを受けており、世間とはちょっとずれていると感じるからです。何故そう思うのかというと、二つの理由があります。ひとつは対象とする現象が土砂災害であるということです。橋梁など、設計外力が確定的なものについては、斜張橋やゲルバー橋、版桁橋など種類も多く、解析方法もいろいろ工夫し甲斐があります。しかし、土砂災害といった自然が相手となると前提条件が変われば、設計外力など簡単に変わってしまいます。このため、砂防では計画に力を入れており、手間暇については計画8～9割、設計1～2割といったイメージではないでしょうか。

もう一つは、上述に関連して設計を簡単にするために重力式の最もシンプルな形状である台形を採用していることです。計算自体もシンプルです。橋梁なら自重の変形を考慮した支持条件や線形を考え構造計算を行い、構造計算で形状寸法が決まって最後に安定かどうかチェックの意味で安定計算があります。砂防堰堤など、設計の中心となる構造計算がありません。この台形形状も天端は3m、下流法勾配は1：0.2に固定すれば、決めるのは上流法勾配だけとなります。これは安定計算で決めますから、なんとも簡単ではないですか。この安定計算の前提条件として堤体は変形しないものと仮定しています。実際には自重のみでも堤体は変形しますが、安定計算で考慮するような変形ではありません。つまり、根入れなど地形に応じた形状にする必要はありますが、基本的には安定計算で上流法勾配を決めるという極めてシンプルな計算です。昔なら三次元ダムやアーチなど、今より多くの構造系がありましたが基準類が整備されるにつれ、それらが無くなってきたようです。

ただし、単純化しても、その設計思想はどんな構造物でも同じです。それが見えにくいためというか、見なくても済むというところがミソなのでしょうが、ここでは本来設計に必要なもの、気をつけるべき心に留めておくべきことを、改めて述べてみたいと思います。

2. 設計管理とは

性能設計とは「顧客と建設業者との間に成立する約束のあり方を示すもの」であり、次の要求性能、目標性能、保有性能の3つの定義で説明されます。「構造物の目的・用途に応じた要求を把握し（要求性能）、この要求性能を満たすように設計技術によって直接評価達成できるような数値を含んだ具体的な表現に分析・明示し（目標性能）、これを達成するために適切な設計技術を採用し設計し、この目標性能が達成されたことを確認し表示する（保有性能）」

一方、品質確保・品質保証のための国際規格であるISO9000s（シリーズ）は「不適合を防止し、顧客の満足を得ることを第一の狙いとする」ものであり、ISO9001の設計管理は次のような行為を要求事項としています。「顧客の満足するような要求事項を顕在化し、この要求事項を達成させるための目標値を設計インプットとして確定し、設計インプットが設計アウトプットに確実に反映されていることを検証し、製品が顧客の満足する性能を有していることを検査し、設計の妥当性確認を行う」。

この両者を見比べてみると、ほぼ同じことを言っていることがわかります。ここで、ISO9001を取り上げたのは、会社でISO9001を取得し、実際にISOの手順で設計

を行っているところが多いからです。その割にISO9001を有効に使っていると聞いたことがありません。そこで、ISO9001を使いこなせば、それなりの設計が成されることを、鋼製砂防構造物を例に説明したいと思います。

みなさんが取得されているISO9001はISO9000シリーズの中の一つです。ISO9000シリーズは、製品の品質を規定するものではなく、規格に適合した製品を購入するための品質管理を規格するものです。ここで、ISO9001とISO9002を比較することでISO9001の思想が理解されると思うので、少しややこしいですが説明します。

ISO9001は要求項目に設計管理を含んでおり、ISO9002には設計管理を含んでいません。つまり、9001-9002=設計となります。例えば、次のような場合を考えてみます。建設業者が工事中に図面に記載されている形状及び寸法を変更した場合、この変更は設計変更となるでしょうか。設計検証者が変更内容について設計思想に係る事項と判断した場合(デザイン・レビューを必要と判断した場合)、ISO9001で定義した設計に該当します。つまり、ISO9001でいうところの設計とは、設計者が図面通りに造るかどうかということではなく、支給された図面が顧客の要求を満足していることを検証し、図面に示されている形状および寸法がどのような機能を具現化したものかを理解し、その構造物に設計責任を感じているか、ということです。具体的にはドローイングチェンジか設計変更かの違いです。リスクが大きいものは変更、リスクが小さいものはドローイングチェンジとなります。デザインレビューが必要なものは設計変更でありISO9001です。言い換えると設計審査が必要なものが設計と言えます。それ以外は設計管理の内の照査行為に該当します。これをごく簡単に言うと、「自分が設計したものは、インプットからアウトプットまで責任を持て、そのために納得するまで検証しろ、説明責任を果たせ」となります。

3. 要求性能・目標性能・保有性能

ISO9001の要求項目は、性能設計の目標値を確定する行為となるので、構造物を設計するための施設の要求性能→目標性能→保有性能の確定の手順を踏んでいます。その確定行為の中で、「要求性能→予備設計審査」、「目標性能→設計審査」、「保有性能→妥当性の確認」を確実に行うこととなり、質の高い設計が成されるだろうと考えるからです。ただし、要求性能、目標性能、保有性能といった言葉は格好いいのですが、現状では以下のような問題もあります。

- 要求性能……性能設計の要求はクリアしていても現況の設計方法では、要求性能を専門の技士が認識しているにすぎません。例えば、強度的に必要な部材断面を求めることについては明記してありますが、この部材が機能的に何を満足しているのか内在化してしまっており、素人でも容易に理解できる表現になっていない場合がほとんどです。

- 目標性能……目標性能を評価する指針として、公的基準を用いると全国的に同じ形状・構造になってしまいます。公的基準自身の数値限定を自由度の高いものにすることが考えられますが、この場合、画一的な設計にならずに済む反面、試行錯誤による設計費のアップを考慮する必要があります。

- 保有性能……砂防の構造物が要求通りに機能しているかを確認するには、実際に土砂移動が発生するまではわからないわけです。他の土木構造物なら検査時に形状寸法を確認することで妥当性の確認が行われますが、砂防の構造物の場合、形状寸法の確認だけでは施設が機能を果たせるかを確認することはできません。このため、土砂災害が起これば調査は必須で、そのとき初めて施設の機能について妥当性の確認が行われることになります。ここで問題となるのは、計画、設計した人が必ずしも妥当性確認を行う人になるとは限らないことです。

ISO9001でいうところの設計とは、造ればそれで終わりではないこと、性能と価格が適合しているためには、設計審査、妥当性確認が不可欠であること、砂防であれば、人命を守ることが第一義であり、材料、工法のみで経済性を云々すべきではないこと、製造物責任法(P

L法）を念頭におくことです。このため、設計者の使命を明確化し、社会への貢献のインセンティブを与えるとともに、責任を果たす姿勢を形成せしめる仕組みを確立することが重要です。このために、契約書に明記されていない設計者の目標、要求項目を顕在化させ、真の顧客は地元住民であり、発注者は代理人であることを自覚し、施設の設計目標を示すことが必要となります。

4．設計管理における要求項目

施設の要求性能は計画時に設定されます。これは、要求性能を満足できる施設を頭に描いていなければ、計画も合理的かつ効果的に成されないということです。その課程で、地元住民と行政、技術者のコンセンサスを得るために、話し合いというか共通の絵姿が出来上がるはずです。ISO9001では設計審査を開き、多面的に光を当てることによって不適合を排除するように心がけます。そうすることによって、不適合を防止し、顧客の満足を得ることができるからです。

1）設計へのインプット

> 供給者は、製品に関して設計にインプットする要求事項を、適用される法規制上の要求事項も含めて明確にし、文書化し、それらの要求事項の選択の適切性を確認すること。不完全、不明確又は矛盾する要求事項は、その要求事項を課す責任者の間で解決すること。

設計インプット項目を確定するためには、次の手順を踏みます。

①まず顧客からの要求事項および適用される法規上の要求事項を満たすような施設の目的・用途を言語で表現する。

②次にこの言語で表現された要求性能を達成するために必要な構造物の機能を抽出する。

③この機能をさらに公的基準により可否判定できるように数値で表現できるまでブレイクダウンし、これを設計インプット項目とする。

④導き出された設計インプット項目の選択の適切性を確認するために、予備設計審査を開催する。

予備設計審査は、設計工程の各段階において適当な間隔で実施される設計審査の最初に行われるもので、要求性能から目標性能を抽出し、確定する重要な審査となります。その良否はその後の構造物の固有の品質を左右し、設計の実現性に影響を及ぼすからです。以降の設計審査は予備設計審査において具体化した設計目標が達成されているかどうか、あるいは指摘された問題点がすべて満足に処理されているかどうかの確認と、具体化した設計内容の検討が主体となります。つまり、この段階で十分吟味しておけば、契約書に明記されていない施設の目的・用途を顕在化させることができるため、設計変更する場合や不適合や不具合が発生した場合にも修正箇所を特定しやすく、時間やコストを大幅に省略することができます。

設計インプット項目は、「土石流・流木対策技術指針」などの基準をもとに可否判定できる数値で提示されるため、これを設計条件として設計照査を行うことができます。また、ここで確定された設計インプット項目は妥当性確認の調査項目にもなります。この数値の妥当性を調査することで、この数値を遡って目標性能が達成されているかどうかを判定できます。

鋼製透過型砂防堰堤を例にすると、たとえば顧客の要求事項を「土石流から下流の保全対象を守る」とします。この要求事項は、地元住民に砂防施設の目的を理解してもらうために、わかりやすい表現(専門用語を使わない）にします。この要求事項を達成するために施設に求められる性能を具体的に記述していくわけですが、ここでも感覚でいいのでわかりやすい言葉で表現します。

要求事項「土石流から下流の保全対象を守る」を満足するための構造物の機能は、次のように表現できるでしょう。

①充分に止められるか。

→土砂捕捉容量を確保することであり、堰堤の規模および設置位置を確定する項目です。

②確実に止められるか。

→土石流を捕捉できる機能を確定するために、土石

流の諸元、堰堤の捕捉機能を確定するための最大礫径や部材間隔を確定する項目です。

③土石流に耐えられるか。

→構造物が土石流に耐えられる構造とするために、設計外力と設計方法を確定します。また、同類の構造物が過去に土石流を受けた事例があれば、このときのデータが参考値として有効です。

④土石流発生までの空き容量を確保しておく。

④は、①の性能が確実に発揮されるための補完機能であり、透過形式の砂防堰堤を採用するための前提条件となります。このため、前提条件として次の項目を満足していることを確認しておく必要があります。

⑤平常時に土砂を下流に流してよい場所か

⑥または、生態系に配慮すべき場所か

以上の①～⑥の機能に加えて、施設が施工可能かどうかを検討します。この時点では、現場条件が不明で施工方法も確定できない場合もありますが、ここで予め検討しておけば、リスク回避の可能性が高くなります。

2）設計からのアウトプット

設計からのアウトプットは文書化し、設計インプットの要求事項に対して検証及び妥当性確認ができるような用語で表現すること。

設計アウトプットとは設計図書です。この中には次の事項が含まれます。

a) 設計インプットの要求事項を満たしている。

b) 合否判定基準を含む、または引用している。

c) 施設が安全、かつ、適切に機能するために重要な設計上の特性を明確にしている。

設計アウトプットは設計検証の対象となり、通常、設計計算書および図面により具体的数値で表現されることになります。これらの数値は法規制により、その根拠を示せるものです。法規制とは、例えば、「河川砂防技術基準」や「土石流・流木対策技術指針」、「土木工事共通仕様書」などの基準類です。

3）デザイン･レビュー（設計審査）

設計の適切な段階において、設計結果の正式、かつ、文書による審査を計画し、実施すること。各々のデザイン･レビューに参加するメンバーには、審査される設計段階に関係するすべての部門の代表者だけでなく、必要に応じて他の部門の専門家も含めること。これらの審査の記録は維持すること。

製品やシステムが複雑になり、新しい技術がシステムにとりいれられると、いかなる有能な人でもその人の個人プレーのみで仕事をしていては必ずヌケが生じたり、思慮の十分でない点が出てきます。固有の技術・知識のみに頼っていては、各個人の専門の範囲の分野のみしかカバーできません。よって、設計のアウトプットに対してその企業の各業務のベテラン（賢人）により、設計審査の場（賢人会）においてさまざまな助言をもらって検証することで、不具合を排除することができます。デザイン・レビューする項目は品質に影響を及ぼす重要な事項であるため、レビューした結果、特に問題がなかった場合でも「問題なし」とだけ記録に残すのはいただけません。なぜ問題がなかったのかの根拠を説明できるようにドキュメント（証拠書類）として記録するようにします。そうでなければ、個人が勝手に行っているだけでトレースすることができないからです。そのために、ドキュメントをせっせと作っているはずです。ドキュメントを作ることがISOだと思われている人も多いと思いますが、あくまでドキュメント作りは手段であり目的ではありません。それをはき違えると単に、面倒くさい作業となってしまいます。

たとえば、部材の安全性の照査について、安全照査の条件を厳しくすればするほど、断面はアップするため不経済になります。部材が少ない構造物は、部材一つひとつについて不確定な外力が作用しないか、または応力が発生しないか留意し、構造細目を決定します。部材が多い構造物は、各部材が機能に果たす役割の大小を吟味し、安全性と経済性を秤にかけます。土石流荷重は不確定要素が大きいため、一部材の崩壊が全体の崩壊に繋がるものは安全率も大きくなります。重要度は構造物の機能を満足するために必要なものか、また、全体に占める量がいかほどか、デザインレビューの対象となります。たとえば、構造物に占める部材の重要度と、発生が予想される土石流の規模と発生頻度が一様ではないた

め、同じ構造形式であっても全国同じ検討が必要ではなく、また、同じ土石流であっても構造形式が異なれば検討が必要になります。

4）設計検証

> 設計の適切な段階において、その設計段階からのアウトプットがその設計段階にインプットした要求事項を満たすことを確実にするため、設計検証を行うこと。設計検証の手段は記録すること。

設計検証には、必ずデザイン･レビューを加える必要があり、またデザイン・レビューに加えて、次のような活動を含めることができます。

a) 別法による計算の実施
b) 新しい設計に対する類似の証明された設計があれば、それとの比較評価
c) 試験及び実証の実施
d) 発行前の設計段階の文書の確認

5）設計の妥当性確認

> 製品が明確にされた使用者のニーズ及び／又は要求事項に適合していることを確実にするため、設計の妥当性確認を行う。

設計の妥当性確認は、通常定められた使用条件化で実施されますが、完成前の早い段階で必要になることもあります。鋼製砂防構造物の場合、仮組検査がこれにあたります。また、異なる用途が意図されている場合は、複数の妥当性確認を行うこともあります。

砂防施設の機能が目標通り達成されたことを確認するためには、例えば土石流を捕捉したかなど、実際に災害が発生しなければわからない場合が多いですから、施設の保有性能を確認するためには、施設の完成後からの各点検や追跡調査が重要な妥当性確認の行為となります。この調査結果は将来の設計に活かしていくことで、その施設の品質を高めていくことになります。

5．おわりに

以上のように、設計インプット項目を確定する行為は、要求性能から目標性能を確定する行為と同じであることと言えます。ここで留意することは、要求事項を満足させるための施設は一つではないことです。複数ある施設の中から最適な施設を一人で選択することは難しく、予備設計審査により複数の目でチェックし、選択の適切性を吟味することになります。また、施設の機能が最も高い構造物であっても、設計の妥当性を確認できない場合には品質を保証できません。このような場合、二番手、三番手の構造物であっても、現時点での技術能力を鑑み、設計の容易性（簡便性）および設計の妥当性を確認できるものであれば選択されることになります。

また、実設計を行っていく場合、基準が画一的であれば設計アウトプットも画一的にならざるを得ません。このため、施設の機能・安全性が満足されるものの画一的すぎる施設が全国に建設されてきたのも事実です。これは、公的基準に記載されていないことを設計に織り込む場合や、基準に記載されている数値を変更する場合、設計者にとって変更しがたいものがあるためです。しかし、公的基準の根底に流れている思想が、顧客の満足を得る施設を設計するための共通ルールを表現したものであることを理解すれば、設計者は設計思想と顧客の要求する機能が合致していることをデザイン・レビューで明確にすることで、数値変更も可能です。ただし、この設計が妥当性をもつか否かを、現地調査等によって確認する責任を持つ心構えが必要です。

ISO9001では、設計者に顧客が何を求めているのか確認させるシステムとなっています。設計者は、真の顧客は地元住民であることを自覚し、顧客が満足する施設を提供しているかどうかを繰り返し考えることで、合理的かつ効果的な設計を行っていく姿勢を身につけることができると思います。このため、従来の設計手法で設計された構造物であっても、顧客を意識することで性能設計への考え方を導入することになるでしょう。