

国内管路性能設計法の在り方について

(一財)災害科学研究所 性能設計研究会委員長 小池 武

1. はじめに

我が国の構造物設計指針に性能規定や限界状態設計法の概念が導入されて10年以上経過したが、ここ数年、現行設計指針の性能設計化への移行が趨勢として開始されつつある。すでに性能設計化した指針や基準も出てきている状況を鑑みて、水道施設耐震工法指針も今回の改訂を機会に一層本格的な性能設計化に向かうものと思われる。

しかし、性能設計が目指すものは何か、どのような性能設計が望まれるのか、性能設計を行うことでどのようなメリットが得られるのか、具体的なイメージを確認することなく、性能設計化を急ぐのは拙速と言わざるを得ない。

ここでは、性能設計法の在り方について耐震設計指針を援用して検討する。

2. 性能設計化の背景

(1) 国際化対応

貿易立国を国是とする我が国は、世界的標準化基準に則った製品の品質・性能評価を得て市場拡大を図るのが国家戦略となる。WTO/TBT協定を批准し、国内基準を国際規格に整合させるべく、国内学会・団体では設計指針の国際整合化がISO基準による性能設計化の形で進められつつある。

(2) 国内指針への対応

現行の構造物性能設計基準は性能照査と限界状態設計法を一連のものとして制定されている。設計法に関する国内基準はEurocodeと同様の内容であり、信頼性設計法はレベルIの部分係数法を採用している。

限界状態や部分係数の設定に関しても、国内基準はEurocodeに近い考え方をとっている。一方、目標信頼性指標 β や設計寿命に関しては、表1に示すように、海外では明確な基準があるが国内基準は明示された記述が見当たらない。

3. 性能設計とは何か？

(1) どんなメリットがあるのか？

- ① 構造物の目的機能に対する耐震性能が明確になる。すなわち、入力地震動に対して、どのような耐震性能を確保できるのかが、明確になる。
- ② 合理的な意思決定が可能となる。すなわち、水道システムの目標機能を向上させるには、どの施設に投資するのが最も効果的かが明確になる。

(2) 性能設計は従来設計法と何が違うのか？

従来の構造物設計である許容応力度設計法・限

表1 国際団体・日本の設計基準比較

設計基準	ISO2394	EURO	AASHTO /LRFD	土木学会 コンクリート委員会
関係国	国際	欧州	米国	日本国内
設計法	部分安全係数設計法	部分安全係数設計法	荷重抵抗係数設計法	部分安全係数設計法
信頼性指標	3.5	3.8	3.5	明解な規定無し
設計ライフサイクル	50~100	50~100	75	50~100
限界状態	使用限界、終局限界	使用限界、終局限界	使用、疲労、終局限界状態、偶発限界状態	使用限界、修復限界(復旧限界)終局限界(安全限界)
基準の分類	信頼性設計法(レベルI、レベルII)	信頼性設計法(レベルI)	荷重抵抗係数設計法	信頼性設計法(レベルI)
適用分野	国際	CEN加盟国	米国48州(2007)	日本国内
発行年	1998	1994	1994	2009

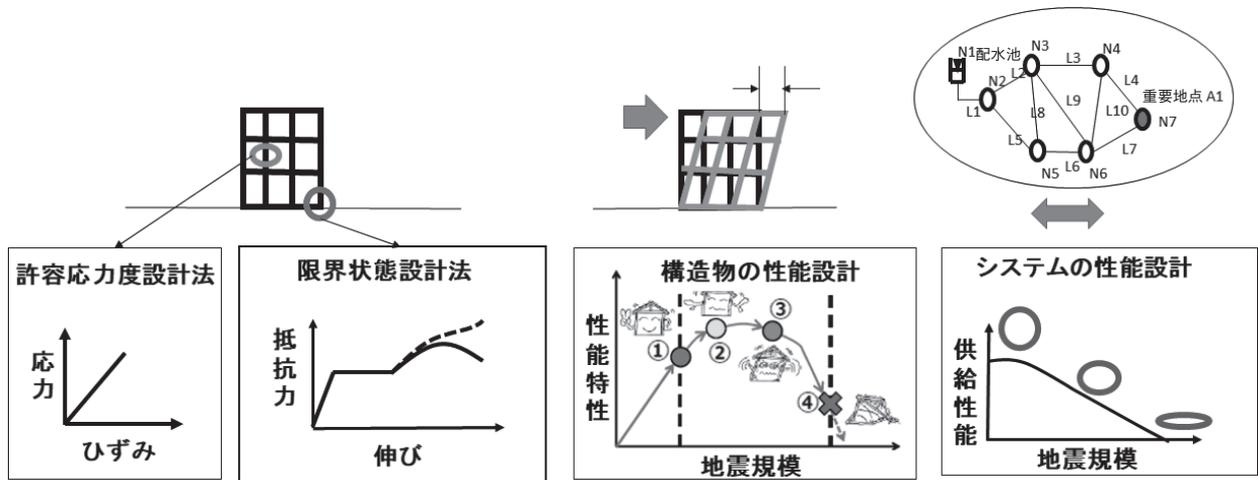


図1 各種設計法の特徴比較

表2 水道管路の耐震性能規定

耐震性能	耐震性能 1	耐震性能 2
レベル2地震動の耐震性能	—	ランクA1、ランクA2施設
連続管性能照査	弾性範囲	塑性範囲
	管体応力 ≤ 許容応力	管体ひずみ ≤ 許容ひずみ
継手管性能照査	弾性範囲	弾性範囲
	継手伸縮量 ≤ 設計照査用最大伸縮量	継手伸縮量 ≤ 設計照査用最大伸縮量

※ランクA1施設 地震後の管路は、損傷修復が軽微となる強度特性を持ち、非漏水機能を確保
 ※ランクA2施設 地震後の管路は、損傷修復が可能な強度特性を持ち、非漏水機能を確保

界状態設計法は、構造物の潜在破壊要素に注目していたが、構造物の全体挙動への設計要求・対応は曖昧であった。

性能設計では構造物挙動及び作用条件に注目した設計を行う。特に、水道システムのようなネットワークシステムでは需要端への給水可否という機能性能に注目した安全性照査が必要となる。

図1は、各種設計法の特徴比較であり、従来の設計法は構造物要素に注目し、性能設計法では構造物やシステムの挙動や性能に注目している様子を概略図として示している。

4. 現行水道管路耐震設計法の問題点

現行水道管路耐震設計法の性能設計化に向けた改訂作業が開始されたが、その前に現行設計法の持つ問題点について、十分に注意を払う必要がある。表2は、現行の設計法による管路区間の代表的な管継手の耐震安全性照査基準を示している。

しかし、一連の管路を連結して構成される管路の耐震安全性照査については何も言及していない。

すなわち、現行設計法は管路継手の耐震安全性照査法を提示しているが、管路区間の始点・終点を結ぶ管路系に対する耐震性能を評価する規定はない。結果的に、水道システムとしての給水機能を評価する規定がない。水道システムとして、非漏水機能を確保できない可能性すなわち水道システムの機能性能損傷発生確率をどの程度見込むかの規定がないことになる。

水道システムに対して性能設計を実現するには、どのようなアプローチが適切なものか、従来は、管路系統や施設ごとに定性的に重要度を分類し、その分類に応じて耐震性能水準を設定してきた。しかし、その設定が水道システムの機能性能実現とどう結びつくかの検討はなされてこなかった。

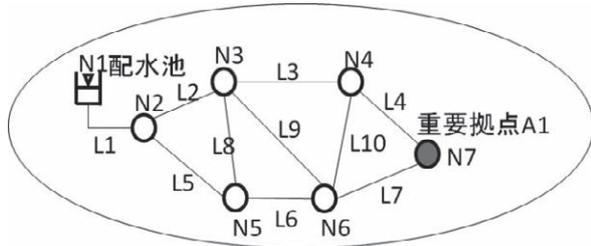


図2 水道システム重要拠点給水の概念図

今、仮に図2に示すようなネットワークが重要拠点への給水ルートであるとする、この水道給水システムが、関係する管路と施設を用いて常時および地震を含む災害時の給水機能（機能性能）を維持できるシステムを構築するのが性能設計となる。

そのためには、機能性能については、水道システムは、重要拠点A1への給水を実現確率 p_{AI} で実現するという目標を掲げることができる。また、構造性能については、各管路は管路の構造性能を満足するため、管路延長に応じた破壊確率 p_{LX} を実現しなければならないし、各施設はその構造性能を満足するため、それぞれの構造条件に応じた破壊確率 p_{NY} を実現しなければならない。

5. 性能設計での設計手順

水道システムでは、給水サービスの目標性能をたとえば表3のように設定する。この目標設定値を満足するように、管路、施設などすべての構成要素の目標達成確率が定まる。したがって、最上位の目標性能設定は重要な業務となるが、誰がどう決めるのか？この点が性能設計における最大の課題である。

最上位の目標性能を満足するため、ネットワークの連結性能解析結果に基づいて、各施設の目標破壊確率を算定し、各管路区間・個別施設に対する安全性指標を設定することはできるが、その手続きは実用的とはいえない。実用的には、各管路区間・個別施設に対する安全性指標をあらかじめ設定し、その結果としてのシステム全体の機能性

表3 水道システムの性能設計手順例

対象物	耐震性能目標	目標性能 (目標達成確率)
給水サービス	平常時安定給水 緊急時給水対応 ・事前シナリオに基づく給水対応 ・実震災下での応急給水対応	レベル2地震動に対する給水機能は、 重要施設(○○%確保) 必要施設(△△%確保) 一般施設(××%確保)
構造物 (管路、施設)	構造物・管路からの非漏水	機能性能確保のために必要な構造物安全性は(※※%)確保

能に対する達成確率が受け入れ可能な範囲にあるのかどうかを水道管理者が判断する方が容易であろう。この手順に関与する水道システムの管理者に課せられた責任は重大と言わねばならない。

6. 水道管路性能設計に求めるものは何か？

性能設計は、性能照査目標設定から最終評価まで全体プロセスが分かりやすくなくてはならない。しかし、既存の性能設計法計算プロセスは必ずしも明瞭でない。今後更なる簡便な安全性照査法が求められるが、そこでは、少なくとも以下の3項目のチェックを発注者側・設計者側で行えることが望まれる。

- 詳細設計結果の妥当性をチェックできる簡易設計計算法
- 動解析結果の妥当性をチェックできる簡易照査法
- 性能設計におけるモンテカルロシミュレーション結果の妥当性を検証する手法

7. まとめ

従来の性能設計法に関する議論は、構造物の性能設計に関するものである。しかし、水道システムは、管路系と浄水場、配水池をはじめとする各種施設をサブシステムとするネットワークシステムとして、給水機能を発揮するものである。従来、この機能性能をどう実現するかについて、性能設計の観点からの検討がなされてこなかった。そこで本稿では、水道システムの機能性能に関する性能設計の在り方について論じた。