

トピックス

水管橋設計基準の改正について

1. はじめに

鋼管は、鋼の持つ「高強度」・「高延性」・「高靱性」という材料特性と、溶接接合による一体構造により、軽量で抜群の耐震性・水密性を実現できることから、通水管自体を桁として使用する水管橋に広く用いられています。

当協会では、1971年に水管橋設計基準（初版）を制定以降、兵庫県南部地震を契機に改定された「水道施設耐震工法指針・解説」、「道路橋示方書・同解説」等の関連基準との整合、SI単位系の導入、および水管橋形式の多様化への対応等に伴い改正を重ね、広く活用していただいています。

今回、「水管橋設計基準」の主な参照基準である「道路橋示方書」が平成29年に大幅に改定され、新たな材料や構造の採用が今後増加することも期待し、部分係数法および限界状態設計法が導入されました。これを受けて、今回「水管橋設計基準改正5版」を発刊することとなりました。

主な改正内容は、以下のとおりとなります。

- ①荷重や抵抗値のばらつきを考慮した上で、水管橋の限界状態を超えないことを確実に達成できるよう、従来の「許容応力度法」から「部分係数設計法」を導入したことにより、100年の間に水管橋が遭遇する作用組合せに対して評価することができます。
- ②水管橋の耐荷性能を確実に評価するため、水管橋の「限界状態」について新たに規定しました。
- ③水管橋の設計供用期間は、適切な維持管理が行われることを前提に100年としました。

本稿では、今回の主な改正概要とポイントについて紹介します。

2. 主な改正内容

2.1 部分係数設計法の導入

今回、水管橋の設計基準に導入される部分係数設計法は、従来の許容応力度設計法では一律で乗じていた安全率を作用側、抵抗側それぞれに対して、要因ごとに細分化して設定することで、従来法に比べ、安全性を確保しつつ、きめ細やかな設

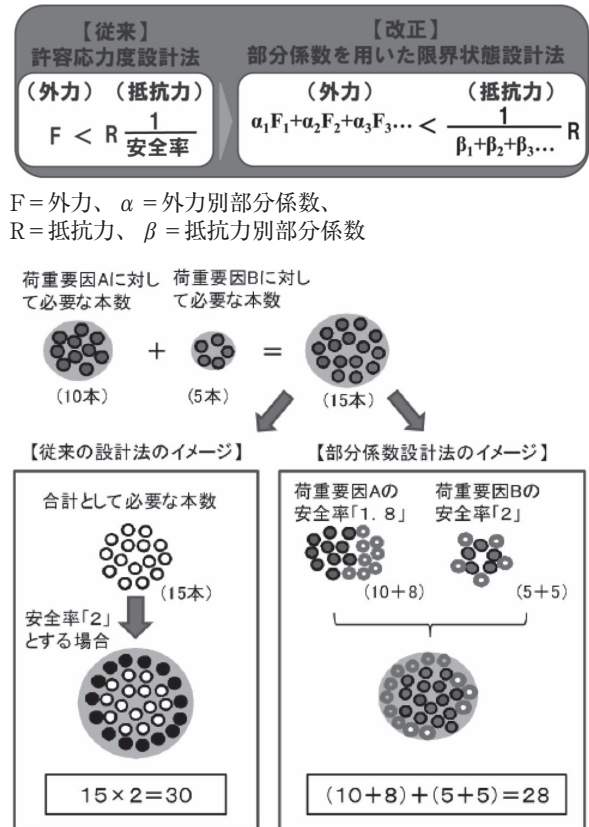


図-1 部分係数設計法のイメージ

計が可能となり、構造の合理化が図れるようになる設計手法です。(図-1 参照)

そこで、水管橋の設置環境および使用部材など、道路橋と大きく変わらないことを考慮し、部分係数および特性値は道路橋示方書に準じて設定しました。この部分係数は、統計データと信頼性理論に基づき定められたもので、作用側（荷重）と抵抗側（部材）のそれぞれに対して安全率が設定されています。

部分係数を用いた標準的な照査式は下式となり、それぞれの部分係数の種類と内容について表-1に示します。なお、式中の P_i と R は作用の荷重値や材料の物性値などを表す特性値となります。

照査式

作用側： $\sum S_i(\gamma_{pi}, \gamma_{qi}, P_i) \leq$ 抵抗側： $\xi_1 \xi_2 \phi_R R$

表－1 部分係数の種類と内容

作用側	γ_q	荷重係数	特性値に対する荷重最大値のばらつきに関する係数
	γ_p	荷重組合せ係数	同時載荷時の荷重規模補正係数
抵抗側	ξ_1	調査・解析係数	水管橋の構造をモデル化し、作用効果を算出する過程に含まれる不確実性を考慮して ΦR を補正する係数
	ξ_2	部材・構造係数	部材等の非弾性域における強度増加又は減少の特性の違いに応じて ΦR を補正する係数
	Φ_R	抵抗係数	抵抗値 R の評価に直接関係する確率統計的な信頼性の程度を考慮するための係数

2.2 水管橋の限界状態

限界状態設計法は、大地震だけでなく、様々な状況に対して構造物の限界状態（1～3）を定義することで、安全への余裕や機能状態を明確に確保することができ、多様な構造や新材料の導入が可能となる設計手法となります。

改正設計基準では、道路橋の限界状態をベースに水管橋に要求される通水機能を加味し、水管橋独自の限界状態（1～3）を規定しました。

以下、水管橋の各限界状態を示します。

- ①水管橋の限界状態1…水管橋としての荷重を支持する能力が損なわれていない、通水管の通水機能は低下していない限界の状態。
- ②水管橋の限界状態2…部分的に荷重を支持する能力の低下を生じているが、水管橋としての荷重を支持する能力に及ぼす影響は限定的で、荷重を支持する能力があらかじめ想定する範囲にあり、通水管の通水機能は損なわれていない限界の状態。
- ③水管橋の限界状態3…これを超えると構造安全性が失われ、漏水が発生する限界の状態。

2.3 水管橋設計に考慮する状況

設計で考慮する状況として以下の①から③の3種類があります。各状況に対して、水管橋が落橋、漏水等の致命的な状態などが起こらず、安全な状態であること、及び各状況に応じて必要な水管橋の機能を満足する適切な状態にあることをそれぞれ所要の信頼性で実現できるように設計します。

- ①永続作用…常時又は高い頻度で生じ、時間的変動がある場合にも、その変動幅は平均値に比較し小さい作用。（水管橋の自重、水重、内圧等）
- ②変動作用…しばしば発生し、その大きさの変動が平均値に比べ無視できず、かつ変化が偏りを有していない作用。（歩廊通行・風・雪荷重、レベル1地震等）
- ③偶発作用…極めて稀にしか発生せず、発生頻度などを統計的に考慮したり、発生に関する予測が困難である作用。ただし、一旦生じると水管橋に及ぼす影響が甚大たり得ることから社会的に無視できない。（レベル2地震動）

水管橋の耐荷性能に関する状態と状況の関係を表す性能マトリクスを表－2に示します。

水管橋の上部構造の設計では、永続作用支配状況、変動作用支配状況および偶発作用支配状況においては、いずれの場合も限界状態1かつ限界状態3に対しての安全性を確保することとしました。これは、水管橋の上部構造部材の塑性化は期待しないこととし、水管橋の限界状態2に対応する上部構造の限界状態は、限界状態1を超えないものとしたことによります。

また、作用の設定は、水管橋の設置環境を十分に考慮し、適切に行わなければなりません。当基準では、自動車荷重等の活荷重を除く、死荷重、雪荷重、温度変化の影響、風荷重、地震の影響等の作用については、水管橋と道路橋で大きく異なる

表－2 水管橋の状態と状況の性能マトリクス

状態	主として機能面からの状態		構造安全面からの状態
	荷重を支持する能力が損なわれていない、通水管の通水機能が低下していない状態	部分的に荷重を支持する能力の低下が生じているが、あらかじめ想定する範囲であり、通水管の通水機能は損なわれていない状態	致命的な状態でない（漏水が発生しない）
永続作用が支配的な状況	状態を所要の信頼性で実現する	状態を所要の信頼性で実現する	所要の安全性を確保する
変動作用が支配的な状況			
偶発作用が支配的な状況			
	▲	▲	▲
	限界状態 1	限界状態 2	限界状態 3

表-3 荷重組合せ係数および荷重係数

作用の組合せ		作用の組合せに対する荷重組合せ係数および荷重係数													
		死荷重(D)		内圧(IP)		通行荷重(L)		温度変化(TH)		雪荷重(SW)		風荷重(WS)		地震の影響(EQ)	
		Y _p	Y _q	Y _p	Y _q	Y _p	Y _q	Y _p	Y _q	Y _p	Y _q	Y _p	Y _q	Y _p	Y _q
①	永続作用	1.00	1.05	1.00	1.00					1.00	1.00				
②	変動作用	1.00	1.05	1.00	1.00	1.00	1.25								
③		1.00	1.05	1.00	1.00			1.00	1.00	1.00	1.00				
④		1.00	1.05	1.00	1.00			0.75	1.00	1.00	1.00	0.75	1.25		
⑤		1.00	1.05	1.00	1.00	0.95	1.25	0.75	1.00						
⑥		1.00	1.05	1.00	1.00					1.00	1.00	1.00	1.25		
⑦		1.00	1.05	1.00	1.00			0.50	1.00	1.00	1.00			0.50	1.00
⑧		1.00	1.05	1.00	1.00					1.00	1.00			1.00	1.00
⑨		偶発作用	1.00	1.05	1.00	1.00					1.00	1.00			1.00

ることがないことから、これらの特性値および部分係数は、平成29年度版「道路橋示方書」に準拠しました。水管橋の活荷重についてはこれまで通り、点検員分の通行荷重を考慮することとしました。また、水管橋独自の作用として挙げられる内圧については、いずれの状況においても最大静水圧および水撃圧を考慮するものとしました。

水管橋の作用組合せは表-3のとおりであり、永続作用、変動作用および偶発作用について代表される9の組合せケースについて規定しています。各ケースで、荷重係数と荷重組合せ係数が設定され、これらを各特性値に乘じ作用側数値を算出します。

水管橋の抵抗側の部分係数は、限界状態1と限界状態3それぞれに設定されており、各限界状態につき、荷重検討ケースごとに調査・解析係数、部材・構造係数、抵抗係数を適用し、抵抗側の数値を算出します。表-4に各作用の組合せにおける抵抗側係数例を示します。抵抗側も、検討ケースごとの部分係数を部材の抵抗値等に乘じて抵抗

側数値を算出し、上記の作用側数値と比較して、照査します。

2. 4 水管橋の設計供用年数

水管橋の場合は、道路橋同様、適切な維持管理が行われることを前提に100年としています。ただし、水管橋は道路橋と異なり、自動車等による活荷重の影響はなく、部材に応力振幅は生じないことから、疲労による影響は考慮しなくてもよいとしました。そのため、経年的な劣化の影響として、鋼材の腐食を考慮し、適切な維持管理が行われることを前提に、100年の耐用年数を確保することとしました。

3. まとめ

改正水管橋設計基準では、平成29年度版道路橋示方書に準拠して部分係数設計法および限界状態設計法を導入することで、従来の設計法に比べ、作用側、抵抗側それぞれに対して、安全率を要因ごとに細分化して設定することとなり、安全性を確保しつつ、きめ細やかな設計が可能となり、構造の合理化が図れます。大地震だけでなく、様々な状況に対して安全への余裕や機能状態を明確に確保することができるなど、水管橋に求める共通的な性能が明確にできるものです。さらに、水管橋の設計供用年数とした100年は、鋼材の腐食を考慮した適切な維持管理が行われることを前提にしています。

本基準が、水管橋の設計に役立てられ、安全性、耐久性、維持管理性の向上が図られれば幸いです。

表-4 各作用の組合せにおける抵抗側係数例

【限界状態 1】		
検討ケース	ξ ₁	Φ _y
①~⑦	0.90	0.85
⑧		1.00
⑨	1.00	

【限界状態 3】			
検討ケース	ξ ₁	ξ ₂	Φ _y
①~⑦	0.90	1.00 特殊鋼以外	0.85
⑧			1.00
⑨	1.00		