

第 10 章 上部構造反力

10.1 一般

下部構造の設計にあたり，地震時における上部構造からの作用荷重として，次の反力を考慮する。

(1) 地震時荷重

1) 鉛直荷重

鋼重，管内水重，積雪荷重

2) 水平荷重

(橋軸方向) 内圧による不平均力，支承の摩擦力，伸縮可撓管の作動反力

管内水重を除く鉛直荷重に起因する慣性力

(橋軸直角方向) 鉛直荷重に起因する慣性力

(2) 水平荷重の作用位置

橋軸方向は支承の底面とし，橋軸直角方向は上部構造の重心位置とする。

[解説]

地震時に水管橋の上部構造から下部構造に作用する荷重は次のとおりである。この中には道路橋とは異なった考え方の作用荷重もあるので，その点には注意を要する。

上部構造反力（支点反力）は，荷重組合せ係数と荷重係数を乗じない作用の特性値として示すことを原則とし，下部構造の耐荷性能の照査時に，作用の組合せに関する荷重組合せ係数及び荷重係数を乗じることとする。

① 鉛直荷重

鋼重，管内水重及び雪荷重を考慮する。なお，通行荷重はその載荷と地震が同時に発生する確率は小さいため考慮しないものとした。

② 水平荷重（橋軸方向）

可動支承の摩擦力は，静摩擦力とする。また，伸縮可撓管の作動反力は，ベローズ型伸縮可撓管などのように作動反力の大きいものについて考慮することとした。

なお，管内水重に起因する慣性力は橋軸方向では管壁が水を強制変位させることがないため考慮しないこととした。ただし，アーチ形状の通水管については管内水重による慣性力を考慮することとする。

③ 水平荷重（橋軸直角方向）

鋼重，管内水重及び雪荷重に起因する慣性力を考慮する。特に，管内水重については，橋軸向には考慮しないが，橋軸直角方向については考慮する点に注意を要する。

④ 橋台に作用する管内の水の地震動水圧

曲管部における内圧による不平均力としては、地震時動水圧と水撃圧のいずれか大きい方を作用させるものとする。

一般的に地震時動水圧は水撃圧より小さいことから、水撃圧を考慮した設計内圧で検討しておけばよい。しかし、地震時動水圧の影響が大きいと判断される場合は別途検討することとする。（(公社)日本水道協会の「水道施設耐震工法指針・解説」参照）

⑤ 上部構造の慣性力

レベル2地震動を考慮する設計状況に対しては、橋脚の場合は、上部構造の死荷重反力の1/2に3.2.3 設計水平震度に規定する設計水平震度を乗じた力を下部構造に対する慣性力とする。ただし、一つの橋脚上で固定支承と可動支承の両方を有する橋脚の場合は、これに従う必要はない。また、レベル2地震動を考慮する状況に対しては、橋台の場合は、支承の摩擦力とする。

レベル1地震動を考慮する設計状況に対しては、橋台及び橋脚の場合も支承の摩擦力とする。

⑥ 雪荷重

レベル1地震時に雪荷重を考慮する場合の水平方向慣性力は、水管橋の架設地点の積雪状況を踏まえ適切に考慮するものとするが、レベル2地震時の場合は、雪荷重による水平方向慣性力は考慮しないものとした。

なお、鉛直方向には、設計積雪深さを考慮するものとする。

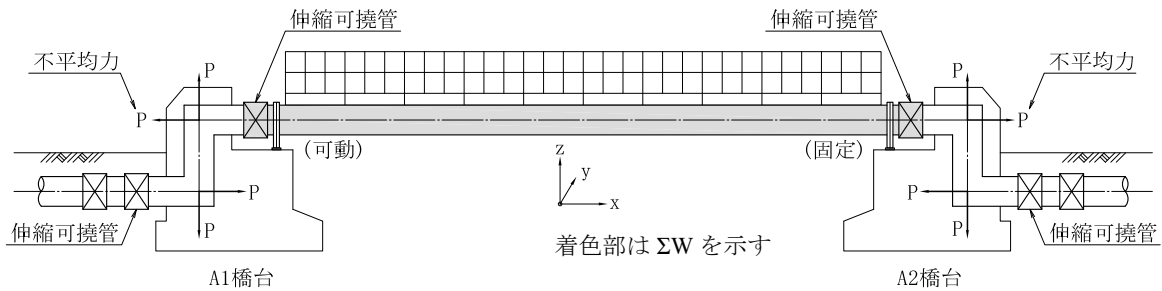
⑦ その他

風作用時の上部構造反力についてはこの基準に記載していないが、別途、WSP007の2.2.5 風荷重（WS）により算出すること。

〔参考〕 上部構造反力の計算方法

地震時の鉛直荷重に起因する慣性力もしくは静摩擦力の載荷方法は、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編」に準ずるものとし、上部構造の載荷方法を荷重毎に例示すると次のとおりである。なお、反力計算における荷重は、荷重組合せ係数及び荷重係数を乗じない作用の特性値として示している。

(1) 単純支持形式の場合



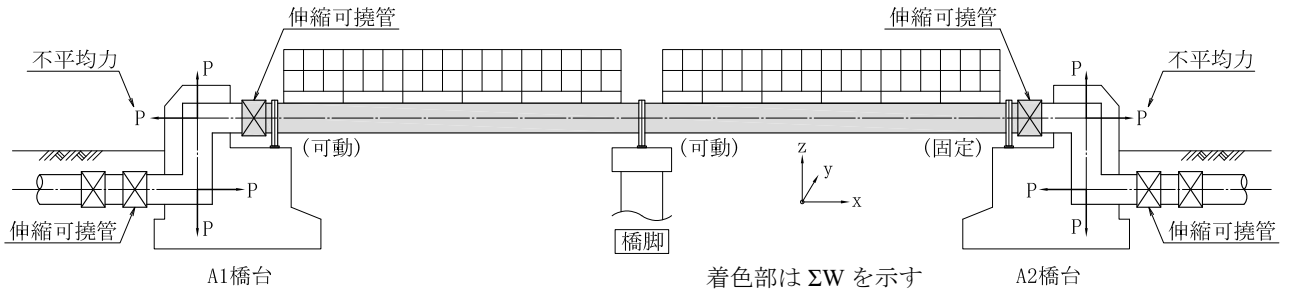
作用の区分		荷重		方向	作用荷重	
					A1 橋台(可動)	A2 橋台(固定)
永続作用 支配状況		死荷重(D)	鉛直荷重	z	1/2・ΣW	1/2・ΣW
		水平荷重	静摩擦力	x	±1/2・ΣW・μ	±1/2・ΣW・μ
		内圧(IP)	不平均力	x	P ₁ ・A	P ₁ ・A
変動作用 支配状況 及び	橋軸方向 作用時	死荷重(D)	鉛直荷重	z	1/2・ΣW	1/2・ΣW
		内圧(IP)	不平均力	x	P ₂ ・A	P ₂ ・A
		地震の影響 レベル1地震動(EQ ₁) レベル2地震動(EQ ₂)	慣性力	x	±1/2・ΣW・μ	±ΣW ₀ ・k _h
偶発作用 支配状況	橋軸直角 方向作用時	死荷重(D)	鉛直荷重	z	1/2・ΣW	1/2・ΣW
		地震の影響 レベル1地震動(EQ ₁) レベル2地震動(EQ ₂)	慣性力	y	±1/2・ΣW・k _h	±1/2・ΣW・k _h
			転倒モーメント	y	±1/2・ΣW・k _h ・H	±1/2・ΣW・k _h ・H

注記1) 上部構造による荷重の作用位置は支承底面とする。
 注記2) ベローズ伸縮管のように作動反力が大きいものは、別途考慮する。
 注記3) 雪荷重(SW)を考慮すべき地域においては、ΣWを、雪荷重を考慮したΣW_{sw}と読み替えて雪荷重による作用荷重を検討する。

(記号の説明)

- | | | | |
|-----------------|-------------------------|------------------|----------------------------|
| ΣW | : 上部構造の全重量 (kN) | ΣW _{sw} | : 雪荷重を含む全重量 (kN) |
| ΣW ₀ | : ΣW - 管内水重 (kN) | A | : 管内断面積 (mm ²) |
| μ | : 支承の静摩擦係数 | k _h | : 設計水平震度 |
| P ₁ | : 静水圧又は静水圧+水撃圧 (MPa) | H | : 支承底面より上部構造の重心位置高さ (m) |
| P ₂ | : 静水圧+水撃圧又は地震時動水圧 (MPa) | | |

(2) 等 2 径間連続支持形式の場合



作用の区分	荷重		方向	作用荷重				
				A1 橋台(可動)	橋脚(可動)	A2 橋台(固定)		
永続作用 支配状況	死荷重(D)	鉛直荷重	z	$3/16 \cdot \Sigma W$	$5/8 \cdot \Sigma W$	$3/16 \cdot \Sigma W$		
	水平荷重	静摩擦力	x	$\pm 3/16 \cdot \Sigma W \cdot \mu$	$\pm 5/8 \cdot \Sigma W \cdot \mu$	$\pm 3/16 \cdot \Sigma W \cdot \mu$		
	内圧(IP)	不均力	x	$P_1 \cdot A$	—	$P_1 \cdot A$		
変動作用 支配状況 及び 偶発作用 支配状況	橋軸方向 作用時	死荷重(D)	鉛直荷重	z	$3/16 \cdot \Sigma W$	$5/8 \cdot \Sigma W$	$3/16 \cdot \Sigma W$	
		内圧(IP)	不均力	x	$P_2 \cdot A$	—	$P_2 \cdot A$	
	橋軸直角 方向作用時	地震の影響 レベル1地震 動(EQ ₁) レベル2地震 動(EQ ₂)	慣性力	x	$\pm 3/16 \cdot \Sigma W \cdot \mu$ 又は $\pm 3/16 \cdot \Sigma W_0 \cdot k_h$ の いずれか小さい値	EQ ₁	$\pm 5/8 \cdot \Sigma W \cdot \mu$	$\pm \Sigma W_0 \cdot k_h$
				y	$\pm 3/16 \cdot \Sigma W \cdot k_h$	EQ ₂	$\pm 5/16 \cdot \Sigma W_0 \cdot k_h^e$	
橋軸直角 方向作用時	地震の影響 レベル1地震 動(EQ ₁) レベル2地震 動(EQ ₂)	転倒モーメント	y	$\pm 3/16 \cdot \Sigma W \cdot k_h \cdot H$		$\pm 5/8 \cdot \Sigma W \cdot k_h \cdot H$	$\pm 3/16 \cdot \Sigma W \cdot k_h \cdot H$	

注記 1) 上部構造による荷重の作用位置は支承底面とする。
 注記 2) ベローズ伸縮管のように作動反力が大きいものは、別途考慮する。
 注記 3) 雪荷重(SW)を考慮すべき地域においては、 ΣW を、雪荷重を考慮した ΣW_{SW} と読み替えて雪荷重による作用荷重を検討する。
 注 e) レベル 2 地震動を考慮する可動支承のみを有する橋脚については、摩擦力のみとすると耐力が低くなる場合があり、可動支承の損傷、損傷した支承がかみあうなどして静摩擦力を超える恐れがあるため、 $5/16 \Sigma W_0 \times$ 設計水平震度 ($5/8 \Sigma W_0 \cdot k_h$ の 1/2) とする。可動支承のみを有する橋台の場合は、静摩擦力とする。

(記号の説明)

ΣW : 2 径間上部構造の全重量 (kN)

ΣW_{SW} : 雪荷重を含む全重量 (kN)

ΣW_0 : ΣW - 管内水重 (kN)

A : 管内断面積 (mm²)

μ : 支承の静摩擦係数

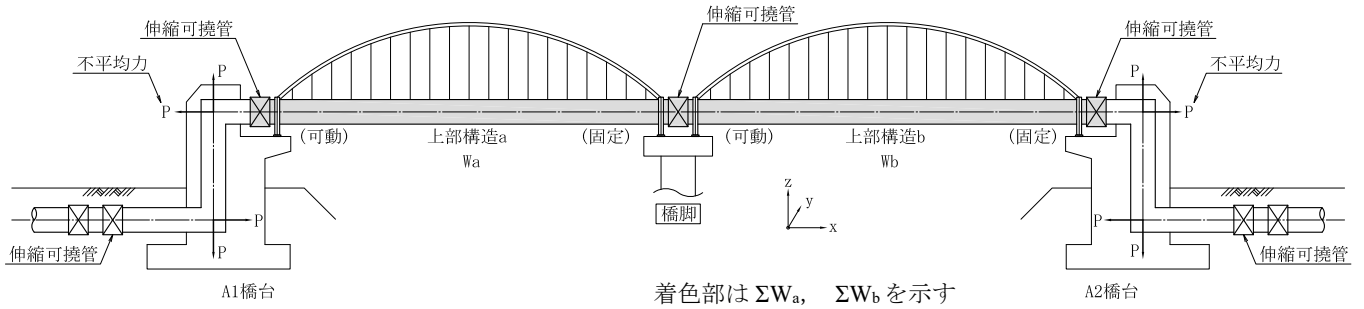
k_h : 設計水平震度

P_1 : 静水圧又は静水圧+水撃圧 (MPa)

H : 支承底面より上部構造の重心位置高さ (m)

P_2 : 静水圧+水撃圧又は地震時動水圧 (MPa)

(3) 2 径間単純支持形式の場合



作用の区分		荷重		方向	作用荷重		
					A1 橋台(可動)	橋脚(固定・可動)	A2 橋台(固定)
永続作用 支配状況	死荷重(D)	鉛直荷重	z	$1/2 \cdot \Sigma W_a$	$1/2 \cdot (\Sigma W_a + \Sigma W_b)$	$1/2 \cdot \Sigma W_b$	
	水平荷重	静摩擦力	x	$\pm 1/2 \cdot \Sigma W_a \cdot \mu$	$\pm 1/2 \cdot (\Sigma W_a - \Sigma W_b) \cdot \mu$	$\pm 1/2 \cdot \Sigma W_b \cdot \mu$	
	内圧(IP)	不平均力	x	$P_1 \cdot A$	—	$P_1 \cdot A$	
変動作用 支配状況 及び	橋軸 方向 作用時	死荷重(D)	鉛直荷重	z	$1/2 \cdot \Sigma W_a$	$1/2 \cdot (\Sigma W_a + \Sigma W_b)$	$1/2 \cdot \Sigma W_b$
		内圧(IP)	不平均力	x	$P_2 \cdot A$	—	$P_2 \cdot A$
	地震の影響 レベル1地震動 (EQ ₁) レベル2地震動 (EQ ₂)	慣性力	x	$\pm 1/2 \cdot \Sigma W_a \cdot \mu$	$\pm \Sigma W_{a0} \cdot k_h$ 又は $\pm (\Sigma W_{a0} \cdot k_h - 1/2 \Sigma W_a \cdot \mu$ $+ 1/2 \Sigma W_b \cdot \mu)$ のいずれか大きい値	$\pm \Sigma W_{b0} \cdot k_h$	
偶発作用 支配状況	橋軸 直角 方向 作用時	死荷重(D)	鉛直荷重	z	$1/2 \cdot \Sigma W_a$	$1/2 \cdot (\Sigma W_a + \Sigma W_b)$	$1/2 \cdot \Sigma W_b$
		地震の影響 レベル1地震動 (EQ ₁)	慣性力	y	$\pm 1/2 \cdot \Sigma W_a \cdot k_h$	$1/2 \cdot (\Sigma W_a + \Sigma W_b) \cdot k_h$	$\pm 1/2 \cdot \Sigma W_b \cdot k_h$
		地震の影響 レベル2地震動 (EQ ₂)	転倒モーメント	y	$\pm 1/2 \cdot \Sigma W_a \cdot k_h \cdot H_a$	$\pm 1/2 \cdot (\Sigma W_a \cdot H_a$ $+ \Sigma W_b \cdot H_b) \cdot k_h$	$\pm 1/2 \cdot \Sigma W_b \cdot k_h \cdot H_b$

注記1) 上部構造による荷重の作用位置は支承底面とする。
 注記2) ベローズ伸縮管のように作動反力が大きいものは、別途考慮する。
 注記3) 雪荷重(SW)を考慮すべき地域においては、 ΣW_a 及び ΣW_b を、雪荷重を考慮した ΣW_{aSW} 、 ΣW_{bSW} と読み替えて雪荷重による作用荷重を検討すること。

(記号の説明)

ΣW_a : 上部構造 a の全重量 (kN)

ΣW_b : 上部構造 b の全重量 (kN)

ΣW_{a0} : ΣW_a - 管内水重 (kN)

ΣW_{b0} : ΣW_b - 管内水重 (kN)

P_1 : 静水圧又は静水圧+水撃圧 (MPa)

P_2 : 静水圧+水撃圧又は地震時動水圧 (MPa)

ΣW_{aSW} : 上部構造 a 雪荷重を含む全重量 (kN)

ΣW_{bSW} : 上部構造 b 雪荷重を含む全重量 (kN)

μ : 支承の静摩擦係数

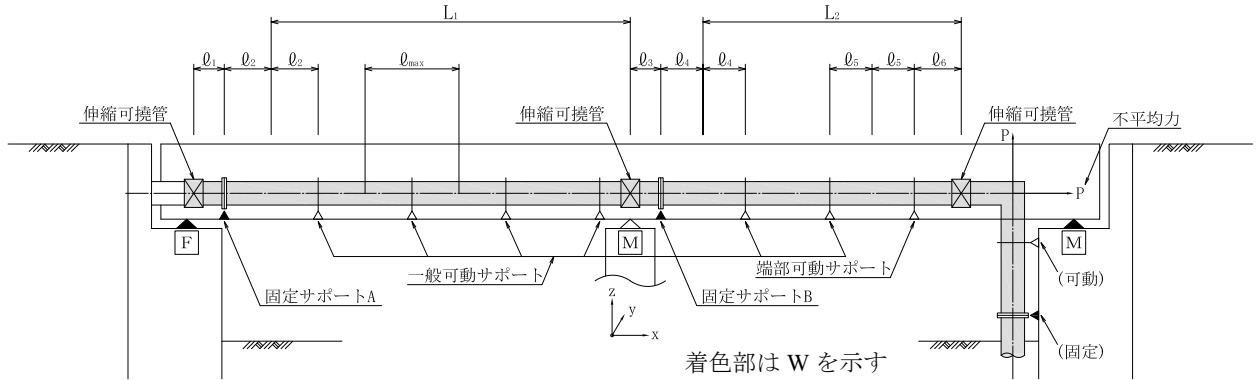
A : 管内断面積 (mm²)

k_h : 設計水平震度

H_a : 支承底面より上部構造 a の重心位置高さ (m)

H_b : 支承底面より上部構造 b の重心位置高さ (m)

(4) 道路橋添架水管橋の場合



作用の区分	荷重		方向	作用荷重					
				一般可動サポート	端部可動サポート	固定サポート(A)	固定サポート(B)	曲がり部	
永続作用 支配状況	死荷重(D)	鉛直荷重	z	$1.25 \cdot W \cdot \ell_{max}$	$1.25 \cdot W (\ell_5 + \ell_6)$	$1.25 \cdot W (\ell_1 + \ell_2)$	$1.25 \cdot W (\ell_3 + \ell_4)$	—	
	水平荷重	静摩擦力	x	$\pm 1.25 \cdot W \cdot \ell_{max} \cdot \mu$	$\pm 1.25 \cdot W (\ell_5 + \ell_6) \cdot \mu$	$\pm W \cdot \ell_1 \cdot \mu$	$\pm W \cdot \ell_2 \cdot \mu$	—	
	内圧(IP)	不平均力	x, z	—	—	—	—	$P_1 \cdot A$	
変動作用 支配状況 及び 偶発作用 支配状況	橋軸 方向 作用時	死荷重(D)	鉛直荷重	z	$\pm 1.25 \cdot W \cdot \ell_{max} \cdot (1+k_v)$	$\pm 1.25 \cdot W (\ell_5 + \ell_6) \cdot (1+k_v)$	$\pm 1.25 \cdot W (\ell_1 + \ell_2) \cdot (1+k_v)$	$\pm 1.25 \cdot W (\ell_3 + \ell_4) \cdot (1+k_v)$	—
		内圧(IP)	不平均力	x, z	—	—	—	—	$P_2 \cdot A$
	橋軸 直角 方向 作用時	地震の影響 レベル1地震動 (EQ ₁) レベル2地震動 (EQ ₂)	慣性力	x	$\pm 1.25 \cdot W \cdot \ell_{max} \cdot \mu$	$\pm 1.25 \cdot W (\ell_5 + \ell_6) \cdot \mu$	$\pm W_0 \cdot (\ell_1 + \ell_2) \cdot k_h$	$\pm W_0 \cdot (\ell_3 + \ell_4) \cdot k_h$	—
		死荷重(D)	鉛直荷重	z	$1.25 \cdot W \cdot \ell_{max} \cdot (1+k_v)$	$1.25 \cdot W (\ell_5 + \ell_6) \cdot (1+k_v)$	$1.25 \cdot W (\ell_1 + \ell_2) \cdot (1+k_v)$	$1.25 \cdot W (\ell_3 + \ell_4) \cdot (1+k_v)$	—

注記1) 表中の1.25は連続梁としての割増し係数である。

注記2) ベローズ伸縮管のように作動反力が大きいものは、別途考慮する。

注記3) 雪荷重(SW)を考慮すべき地域においては、Wを、雪荷重を考慮した W_{SW} と読み替えて雪荷重による作用荷重を検討する。

(記号の説明)

W : 単位長さ当り鉛直重量 (kN/m)

W_{SW} : 雪荷重を含む単位長さ当り (kN/m)

W_0 : ΣW - 管内水重 (kN/m)

A : 管内断面積 (mm²)

μ : 管と支承の静摩擦係数

k_h : 設計水平震度

ℓ_{max} : サポートの最大間隔 (m)

k_v : 設計鉛直震度

P_1 : 静水圧又は静水圧+水撃圧 (MPa)

P_2 : 静水圧+水撃圧又は地震時動水圧 (MPa)