

日本とオーストリアの砂防堰堤設計基準における設計外力の比較

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○小林 拓也
土木研究所 平田 遼* 石井 靖雄

1.はじめに

オーストリアでは、2008年～2013年にかけて、国内初となる砂防施設の公的設計基準「ONR24800」シリーズ(以下「ONR」)を作成した。ONRは、土木構造物の構造設計法の国際標準であるEurocodeに準拠した設計基準である。本研究では、砂防施設設計における設計外力に着目し、ONRと日本の設計基準等を比較することにより、オーストリアの設計基準ONRの特徴を把握した。

2.研究方法

本研究では、オーストリアにおける砂防施設設計基準である「ONR」と、日本の「河川砂防技術基準(設計編)」(以下、「基準」)及び「土石流・流木対策設計指針」(以下、「指針」)による設計外力の種類と作用モデル及びその算定手法を比較した。また、実際の砂防堰堤を想定し、日本の堰堤の断面(台形)に対してONRと指針に基づき事例計算を行い、算定手法による差異を把握した。

3.結果

3.1.作用と作用モデル

ONRで考慮されている作用と作用モデルを図1、図2に示す。まず作用の種類に着目すると、ONRでは動水圧及び下流側の静水圧も想定している点、及び地震時の影響について堤高等で区分はせず、地震時の状況を想定して堆積物の挙動とその土圧、静水圧を考慮するものとされている点に差異がみられた(表1)。

次に作用モデルに着目すると、土石流の作用モデルにおいて、日本では堆砂圧と水圧を分類して考慮しているのに対し、ONRでは土石流の静的圧力として一体として捉えている点、及び土石流の動的圧力(日本の流体力に相当)の及ぶ範囲においても土石流の静的圧力を見こんでいる点に差異がみられた。その他の作用のモデルについてはオーストリアと日本で同じである。なお、オーストリアにおいては鉄筋コンクリート堰堤が主流であることから、L字あるいは逆T字の形状の堰堤を想定した作用モデルが想定されている。

また、ONRでは表1に示す作用の同時発生を想定するのではなく、想定する土砂移動形態、構造物に要求する機能、機能に応じて想定される堆砂状況等に応じて、想定する作用の組合せを規定している。例えば、河床の安定化(固定)機能を期待する構造物では満砂状態を想定し、満砂時の土圧、静水圧及び土石流重の組合せを考慮するとともに、一時的な状況として未満砂時を想定し、未満砂状態での土圧、静水圧及び土石流の動的及び静的圧力の組合せを考慮することなどが規定されている。日本においては、平常時、洪水時、土石流時と区分されているが、ONRでは堆砂状況等も考慮し、設計外力を想定する状況を細分化していることが特徴的である。

3.2.土石流の動的圧力の作用範囲

ONRにおける土石流の動的圧力(日本の土石流流

体力に相当)は、砂防堰堤の直上流の河道における流下断面と等面積で、水通しの下部の長方形の範囲(高さ h_{dyn} 、幅 b_{dyn})に作用するとされている(図3)。

表1 作用の種類

作用の種類	オーストリア	日本	
		堤高15m未満	堤高15m以上
自重	○	○	○
水重	○	○	○
土砂重	○	○	○
土石流重	○	○	○
底面水圧	○※1	×	×※1
揚圧力	×※1	×	○
上流側静水圧	○	○	○
下流側静水圧	○	×	×
動水圧	○	×	×
堆砂圧(土圧)	○	○	○
土石流流体力	○	○	○
礫・流木の衝撃力	○	○	○
地震時慣性力	※2	×	○
地震時動水圧	※2	×	○

※1:底面水圧の詳細についてはONRに記載がないため、揚圧力と同じものかは不明(オーストリア国内規準を参照とされている)

※2:地震時の堆積物の挙動及びその土圧、静水圧を考慮するとされている

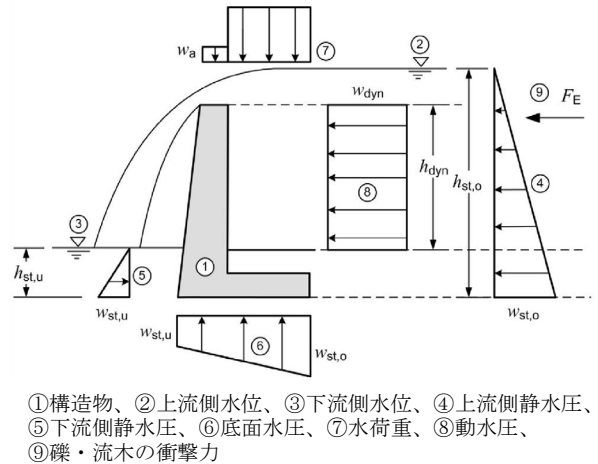
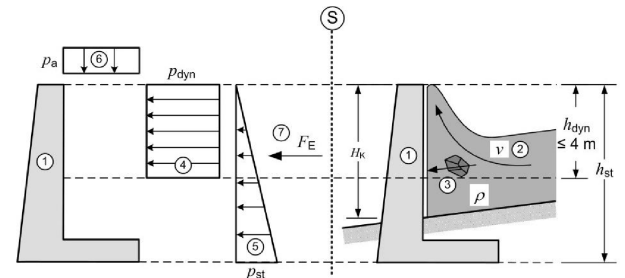


図1 ONRにおける静的および動的な水圧の作用モデル

(出典: ONR24801, 2013, Komitee 256)



① 構造物、② 土石流の流下(堰上げ)、③ 礫・流木の衝突、④ 土石流の動的圧力、⑤ 土石流の静的圧力、⑥ 土石流の荷重、⑦ 礫・流木の衝撃力

図2 ONRにおける土石流の作用モデル

(出典: ONR24801, 2013, Komitee 256)

※現: 国土交通省 砂防部保全課 土砂災害対策室

また、満砂状態を基本とする構造物を除き、土石流の動的圧力の作用高さ h_{dyn} は 2~4m として上下限值が設定されている。上流の流下断面を基とする考え方は日本とオーストリアで変わらないが、土石流水深を土石流総量及び現河床勾配に応じた流速を考慮して導く日本の手法に対し、ONR では面積のみを考慮している点が特徴的である。

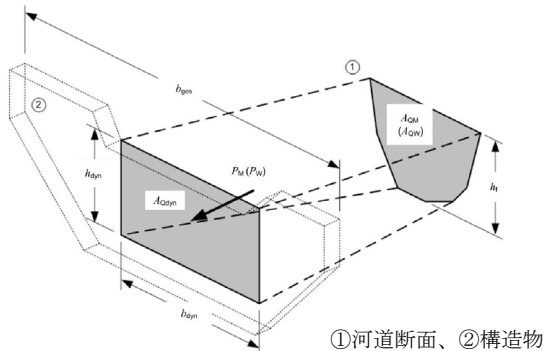


図 3 ONR における土石流流体力の作用範囲
(出典：ONR24801,2013, Komitee 256)

3.3.事例計算

日本の堰堤（台形断面）を想定し、ONR と指針に基づき事例計算を行った。堰堤の諸元は、堤高 10m、有効高 7m（根入れ 3m）と仮定し、計画降雨による清水流量は 2.71m³/s とした。また、ONR に算定式等の記載がない項目については、指針の算定式あるいは数値を準用した。なお、ONR においては、流体密度や流速等は対象とする土砂移動形態ごとに値の取り得る範囲のみが規定されており、計算式等は記載されていない。そのため、本事例では ONR で土石流（石礫型）として示された値の中央値を採用した。

試算の結果を表 2 に示す。鉛直方向の外力は ONR が 1,758 kN、指針が 1,692 kN と 3%程度の違いであったが、水平方向の外力は ONR が 758 kN、指針が 693 kN と 15%程度の違いが見られた。また、ONR による土石流の動的圧力は 150 kN となり、指針による土石流流体力の 57 kN の約 3 倍の値と算定された。

表 2 事例計算結果

設計条件	項目		ONR		土石流・流木対策施設設計指針	
			算定式（等価力）	値	算定式（等価力）	値
物性値	水の密度 (ρ_w)	kg/m ³		1,000		1,200
	泥水中堆砂密度 (γ_s)	kN/m ³	記載なし（日本の数値を準用）		$C^* (\sigma - \rho_w) g$	840
	土石流の流体密度 (ρ_M)	kg/m ³	石礫型土石流の中央値	1850	$\{\sigma \times Cd + \rho_w (1 - Cd)\} g$	1746
	コンクリートの単位体積重量 (W_c)	kN/m ³		24		22.56
設計流量	土圧係数 (C_e)	-	記載なし（日本の数値を準用）		$(1 - \sin \phi / 1 + \sin \phi) \approx 0.3$	0.3
	清水流量 (Q)	m ³ /s		2.71		2.71
	ピーク流量	m ³ /s	$Q \times IF$ (m ³ /s)	9.49		【土砂の含有を考慮した流量】 4.07 【土石流のピーク流量】 53.8
	強度係数 (IF)	-	土石流の下限値	3.5	-	-
	土石流濃度 (Cd)	-	-	-	平衡濃度式より算定	0.39
	土石流水深	m	規定値の最大値	4.00		1.20
外力	平均流速	m/s	石礫型土石流の中央値	4.5		5.20
	自重	kN	記載なし（日本の算定式を準用）	1440.0	$W_c \times V_b$ (kN/m ²)	1353.6
	水荷重	kN	$\rho_w \times g \times hu \times 10^3$ (kN/m ²)	15.5	$\gamma_w \times h$ (kN/m ²)	159.5
	土砂重	kN	記載なし（日本の算定式を準用）	13.0		111.7
	土石流重	kN	記載なし（日本の算定式を準用）	289.0		67.6
	上流側静水圧	kN	$\rho_w \times g \times hst \times 10^3$ (kN/m ²)	250.2	$\gamma_w \times h$ (kN/m ²)	580.0
	堆砂圧（土圧）	kN	記載なし（日本の算定式を準用）	63.0	$C_e \times \gamma_s \times h$ (kN/m ²)	112.7
	静的土石流圧力	kN	$\rho_M \times g \times hst \times 10^3$ (kN/m ²)	444.6	-	-
	水平成分（静的）の小計	kN	-	757.8	-	692.7
	動的土石流圧力（土石流流体力）	kN	$\rho_M \times AQ_{dyn} \times v^2 \times 10^3$ (kN)	149.9	$Kh \times (\gamma d/g) \times Dd \times v^2$ (kN/m ²)	56.7
	水平成分の合計	kN	-	907.7	-	749.4
	鉛直成分の合計	kN	-	1757.5	-	1692.4
衝撃力	kN		1000 (0.7 × 0.7m)		210.4 (0.25 × 0.25m)	

4.考察

事例計算において生じた水平方向の外力の差異は、土石流流体力の違いによる部分が多い。これは土石流流体力の作用範囲の想定の違いに起因しており、本事例では ONR に基づく計算に際し、流下断面の仮定が困難なため作用高さ h_{dyn} の最大値（4m）と仮定したことが要因である。ONR では、 h_{dyn} は専門家が設定するものと記載されており、ONR は設計手法の共通化よりも、伝統あるいは経験知を重視したうえで最小限の一般化を図った設計標準と考えられた。

また ONR は、流体密度などの算定方法等は示さず、土砂移動形態に応じて取り得る値の範囲のみを規定しており、日本の基準・指針に比べ設計技術者による判断に重きを置いた設計基準と考えられた。その一方で、ONR は作用の種類と作用モデルについては日本とほとんど変わらないが、構造物の機能や堆砂状況等に応じた作用の組合せを個別に設定している。構造物ごとに想定される状況を細分し、それらに対する安全性等を確保する設計とすることで、設計の合理化が図られているものと考えられた。

5.おわりに

ONR と日本の基準・指針の設計外力を比較した結果、外力として想定する作用の種類及び作用モデルは概ね同じであった。しかし、作用の及ぶ範囲の考え方やその算定方法には違いがみられ、事例計算をすると水平方向の外力として 15%程度の差異として表れた。

<参考文献>

- 1) ONR 24800, Komitee 256, 2009
- 2) ONR 24801, Komitee 256, 2013
- 3) ONR 24802, Komitee 256, 2011
- 4) J.Suda, J.Hübl, K.Bergmeister: Design and construction of high stressed concrete structures as protection works for torrent control in the Austrian Alps, 3rd fib international Congress, 2010
- 5) F.Rudolf-Miklau, J.Suda: Technical standards for debris flow barriers and breakers, IJEGE 2011-03,B-1, 2011