

# フィルダムにおける止水トレンチの影響評価 Influence evaluation of trench on fill dam

○塚田 泰博\*・小林 晃\*・青山 咸康\*  
Yasuhiro TSUKADA, Akira KOBAYASHI and Shigeyasu AOYAMA

## 1. 研究の背景・目的

フィルダムの基礎においては、水理的安定性を確保するために止水トレンチによる止水工法がしばしば行われている。この工法により基礎の止水性を高めることができて、その一方で力学的安定性が損なわれることがある。その一つとして止水トレンチの形状・深さ等に依存して堤体内部に応力の未発達状態が発生することが知られている（アーチ作用の発生）。さらに、基礎の変形性に依存して、内部応力の未発達状態がさらに進行することも考えられる。このアーチ作用が発達する部分では貯水圧による割裂や貫孔、つまり水利破砕が発生する危険性がある。したがって、止水トレンチを有するフィルダム内に発生するアーチ作用の特性を把握することが重要になってくる。そこで、本研究では、トレンチの影響を評価すべく応力～浸透連成有限要素法を用い止水トレンチを有するフィルダムの逐次盛立解析を行う。その際、岩盤等級に基づき基礎の材料定数を決定し、止水トレンチにより発生するアーチ作用の特性について評価する。

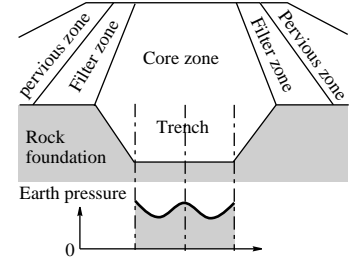


Fig.1 Earth pressure distribution at trench

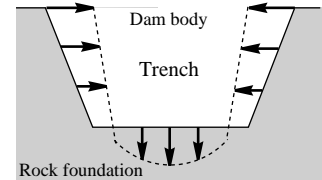


Fig.2 Deformation of rock foundation

## 2. 止水トレンチの影響

相川ダムや山王海ダムのトレンチ部分における土圧計による計測結果から、トレンチ部分の有効鉛直荷重分布は築堤完了後・試験湛水前には Fig.1 に示すような山形の分布になっている<sup>1), 2)</sup>。こうした土圧分布になる理由としては、Fig.2 に示すようなトレンチ部における岩盤変形の影響が考えられる。そこで、本研究では、ダム基礎として岩盤等級 B～D までの基礎岩盤を想定し、トレンチ部分の変形を拘束した場合としない場合に対し有限要素解析を行う。このとき、ダムの型式はゾーン型とする。また、フィルダムでは貯水による浮力や貯水位変動の影響を考慮して上流のり面の方が緩い勾配をとるが、数値解析および結果評価における簡潔さから上下流のり面勾配を同一と仮定し、平面ひずみ条件下で解析を行う。各ゾーンおよびトレンチの勾配は文献<sup>3)</sup>, <sup>4)</sup>を参考に決定し、コアゾーン 1:0.4, フィルターゾーン 1:0.7, 透水ゾーン 1:2.5, トレンチ 1:1.5, トレンチ底幅 10m とした。

Table1 Material properties of dam body

	遮水ゾーン	半透水ゾーン	透水ゾーン
単位体積重量 $\gamma_s(kN/m^3)$	22.9	22.6	22.3
先行圧縮応力 $P'_c(kPa)$	441.5	441.5	441.5
圧縮指数 $\lambda$	0.097	0.04	0.08
膨潤指数 $\kappa$	0.029	0.004	0.016
ポアソン比 $\nu$	0.33	0.3	0.3
内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	34	37	42
初期間隙比 $e_0$	0.228	0.257	0.32
透水係数 $k(m/day)$	$3.94 \times 10^{-4}$	0.31	518

Table2 Material properties of rock foundations

	岩盤等級 B	岩盤等級 $C_H$	岩盤等級 $C_M$	岩盤等級 $C_L \sim D$
ヤング係数 $E(MPa)$	9800	5880	2940	980
ポアソン比 $\nu$	0.25	0.25	0.25	0.3
初期間隙比 $e_0$	0.2	0.2	0.2	0.25
内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	60	50	40	30
粘着力 $c(MPa)$	4.9	2.94	1.47	0.49
透水係数 $k(m/day)$	$8.64 \times 10^{-7}$	$8.64 \times 10^{-6}$	$8.64 \times 10^{-5}$	$8.64 \times 10^{-5}$

## 3. 止水トレンチを有するフィルダムの築堤解析

解析手法については、盛立時の堤体内での間隙水圧の発散や消散を考慮できる応力～浸透連成有限要素法を採用した。盛立工程は逐次盛立解析により行った。有限要素メッシュは盛立完了時において Fig.3 のよう

\*京都大学大学院農学研究科；Graduate School of Agricultural Science, Kyoto Univ.

になる。堤体材料（透水・半透水・遮水ゾーン）の構成式には、Cam-clayモデルを、基礎岩盤の構成式には、線形弾性体を用いた。これらのパラメータは文献5)~8)を参考に決定し、その値をTable 1~2に示す。一方、境界条件については、岩盤の変形を考慮する際はFig.3に示すように設定した。岩盤の変形を拘束する際には、堤体と岩盤の接触面の垂直変形を拘束する（岩盤の沈下を完全に抑制する）。また、盛立工程のモデル化は盛立速度0.3m/dayとした。

#### 4. 結果と考察

Fig.4に盛立完了1年後の有効垂直応力と理論上の土被り圧の比を示す。この図から堤体中央の遮水ゾーンにおいて有効垂直応力の発生状況が未発達（有効垂直応力/土被り圧の比が1未満）になっていることが分かる。この未発達部分は、全ての解析条件下（岩盤等級B~Dと岩着部の変位固定）で発生している。これは、中央遮水ゾーンの両側の硬い半透水（フィルター）ゾーンに挟まれていることによる影響と考えられる。しかし、トレンチ部においては、フィルターゾーンの影響以上に基礎岩盤の変形性の影響が大きいものと推測できる。そのトレンチ底面の有効垂直応力と土被り圧の比の分布はFig.5に示すようになる。この図から、岩盤の変形性を考慮した場合には、Fig.1に示した実測例同様の傾向が得られていることが分かる。また、岩盤の変形性が最も小さい岩盤等級Bの岩盤基礎において有効垂直応力が最もよく発達している。その他の等級の基礎岩盤では、等級Bに比べ有効垂直応力がやや未発達になっている。一方、基礎岩盤の変形を拘束した場合には、盛立荷重が最大となる堤体中央部よりも、堤体中央から離れるほど大きくなっており、Fig.1の分布とは異なってくる。さらに、この場合は有効垂直応力の発達状態は岩盤の変形を考慮した場合よりもはるかに大きいことも分かる。以上より、基礎岩盤の変形がトレンチ底部のアーチ作用に大きく影響を及ぼしていることが分かる。そして基礎岩盤が軟弱なほどアーチ効果が大きくなるが、CH級以下の基礎岩盤では有効垂直応力の未発達度はあまり変わらず、有効垂直応力/土被り圧の比が0.6程度に収束する傾向にある。

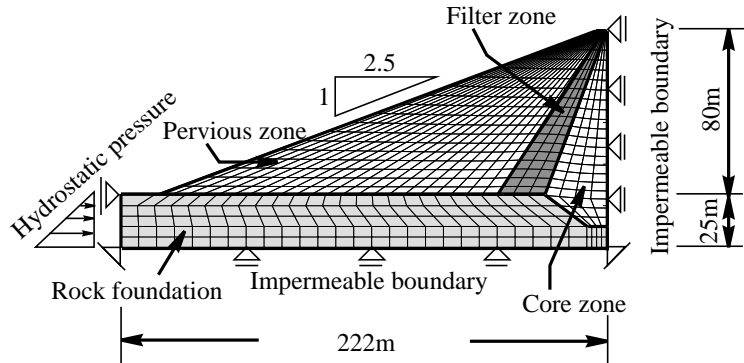


Fig.3 Finite elements mesh and boundary condition

これは、中央遮水ゾーンの両側の硬い半透水（フィルター）ゾーンに挟まれていることによる影響と考えられる。しかし、トレンチ部においては、フィルターゾーンの影響以上に基礎岩盤の変形性の影響が大きいものと推測できる。そのトレンチ底面の有効垂直応力と土被り圧の比の分布はFig.5に示すようになる。この図から、岩盤の変形性を考慮した場合には、Fig.1に示した実測例同様の傾向が得られていることが分かる。また、岩盤の変形性が最も小さい岩盤等級Bの岩盤基礎において有効垂直応力が最もよく発達している。その他の等級の基礎岩盤では、等級Bに比べ有効垂直応力がやや未発達になっている。一方、基礎岩盤の変形を拘束した場合には、盛立荷重が最大となる堤体中央部よりも、堤体中央から離れるほど大きくなっており、Fig.1の分布とは異なってくる。さらに、この場合は有効垂直応力の発達状態は岩盤の変形を考慮した場合よりもはるかに大きいことも分かる。以上より、基礎岩盤の変形がトレンチ底部のアーチ作用に大きく影響を及ぼしていることが分かる。そして基礎岩盤が軟弱なほどアーチ効果が大きくなるが、CH級以下の基礎岩盤では有効垂直応力の未発達度はあまり変わらず、有効垂直応力/土被り圧の比が0.6程度に収束する傾向にある。

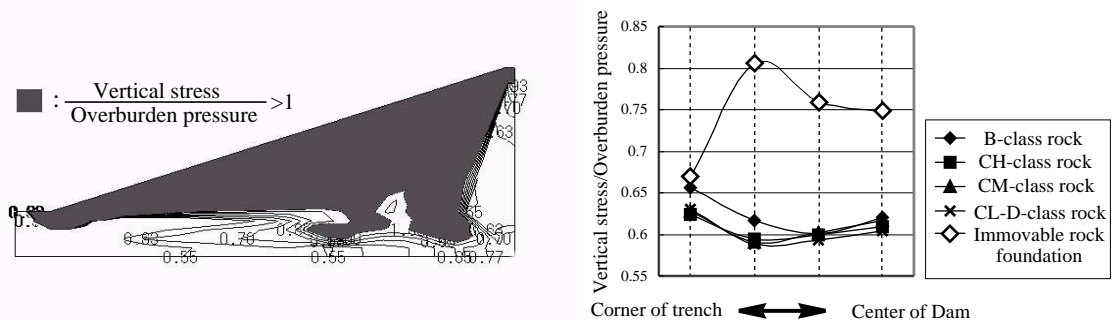


Fig.4 Development state of vertical stress (CM-class rock foundation)

Fig.5 Development state of vertical stress at bottom of trench

#### 参考文献

- 財団法人 日本農業土木総合研究所：平成9年度 東北農政局管内国営ダム技術検討委員会業務 報告書, 1997.
- 財団法人 日本農業土木総合研究所：平成9年度 東北農政局管内国営ダム技術検討委員会業務 報告書, 1996.
- 飯田隆一：土木学会編 新体系土木工学 75 ダムの設計, 1980.
- 糸林芳彦：土木学会編 新体系土木工学 76 ダムの施工, 1980.
- 現場技術者のための土と基礎シリーズ7 フィルダムの調査・設計から施工まで, 地盤工学会, 1983.
- 井上素行・内田善久・望月直也・石黒健・太田秀樹：ロックフィルダム遮水ゾーンの湛水後長期沈下メカニズム, 土木学会論文集 No.582/ -41, pp.275-284, 1997.12.
- 土質工学会編：土質試験法, 土質工学会, 1980.
- 原位置岩盤の変形およびせん断試験の指針 -解説と設計への適用-, 土木学会, 1983.