

中心コア型ロックダムの相対剛性や断面形状が応力伝達特性に及ぼす影響

d 02123 早川 宗利
d 02148 山内 智之

1. 研究目的

中心コア型ロックダムでは、コア部の剛性がロック部に比べて小さい場合、ロック部からコア部に上向きのせん断力が生じ、堤体荷重が下方まで一様に伝達されない。これが、いわゆるアーチ作用であるが、その程度は堤体の相対剛性や断面形状に影響されると考えられる。一方、最近の中心コア型ロックダムではコア部を高い転圧エネルギーで締め固めるため、相対的に剛性の高いコア部が形成され、コア部にいわゆるドラッグ（下向きのせん断力）が生じ、亀裂発生等の誘因と言われている。

そこで本研究では、中心型ロックダムを対象としてFEM非線形解析を実施し、コア部とロック部の相対剛性やコア部の断面形状（コア幅・傾斜）が堤体内の応力・せん断応力並びに安全率に及ぼす影響を調べながら、亀裂発生など、堤体内の不安定化現象のメカニズムを明らかにすることを目的とする。

具体的に以下の項目について議論を進める。

- 1) 相対剛性が応力・せん断応力・安全率に及ぼす影響
- 2) コア部の断面形状（コア幅）の影響

2. 解析概要

2.1 解析手法

本研究では、非線形盛立て解析プログラムを使用するが、問題の趣旨を反映させるため、自重が全層一時に作用すると考える瞬時載荷解析を行う。

解析手法としてケースAとケースBを比較する場合とケースAの場合においてコア勾配を変化させるものである。

2.2 解析モデル

図-1 に中心コア型ロックダムの計算モデルを示す。堤幅210m、堤高50m、天端幅10m、堤体勾配1:2、コア勾配1:0.3を標準形と左半分を10層に分けて要素分割を行った。

図-2 よりロック部（硬い）コア部（軟らかい）の場合をケースAとする。図-3 よりロック部（軟らかい）コア部（硬い）の場合をケースBとする。

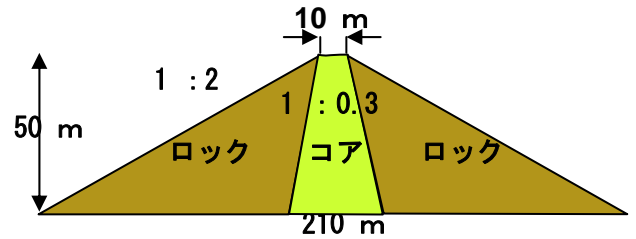


図-1 中心コア型ロックダム

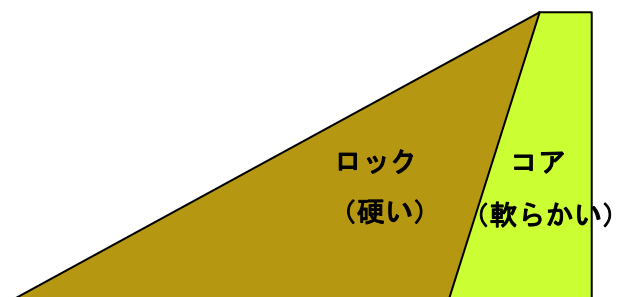


図-2 ケースA

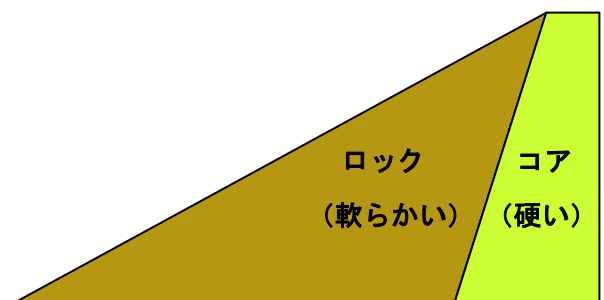


図-3 ケースB

表-1 材料物性

材質	ロック部	コア部
n	0.5	0.4
Rf	0.8	0.8
ポアソン比	0.3	0.3
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20	20
粘着力C (kPa)	15	150
摩擦角 ϕ (°)	40	10

表-2 剛性比の値（ケースA）

剛性比 (K_r / K_c)	5	2	1
ロック K_r	500	500	500
コア K_c	100	250	500

表-3 剛性比の値 (ケースB)

剛性比 (K_r / K_c)	1/5	1/2	1
ロック K_r	200	500	1000
コア K_c	1000	1000	1000

表-4 コア勾配

コア底幅 B (m)	10	20	30
コア勾配	1:0.1	1:0.3	1:0.5

2.3 計算内容

解析に使用した材料物性はすべて表-1 に示す。ケース A とケース B の違いについては表-2・3 で計算を行う。

ロック部とコア部の剛性比の違いにおいてはケース A・B の場合に着目し表-2・3 の値の剛性比で計算を行う。

コア勾配の違いについてもケース A の場合だけに着目し剛性比 $K_r/K_c=5$ で勾配は表-4 で計算を行う。

3. 計算結果と考察

3.1 中心コア型ロックダム

3.1.1 相対剛性が及ぼす影響

コア底幅 $B=20m$ (標準形) の中心コア型ダムにおいてケース A・B の堤体全体の鉛直応力の分布の違いを見るために図-4(a)(b)(c)に示す。この図は堤体の自重だけを考えてとき、それに応じて内部に現れる鉛直応力を調べた。

図-4 (b) (c) よりロックとコアの境界線で鉛直応力に大きな変化があることがそれぞれのケースにおいて分かる。このことを詳しく調べるために堤体底面における鉛直応力分布をそれぞれのケースで剛性比ごとに見ていった場合を図-5 (a) (b) に示す。それぞれのケースにおいて剛性比が増すごとにロック部とコア部の境界付近での鉛直応力の動きが激しくなっていることがわかる。

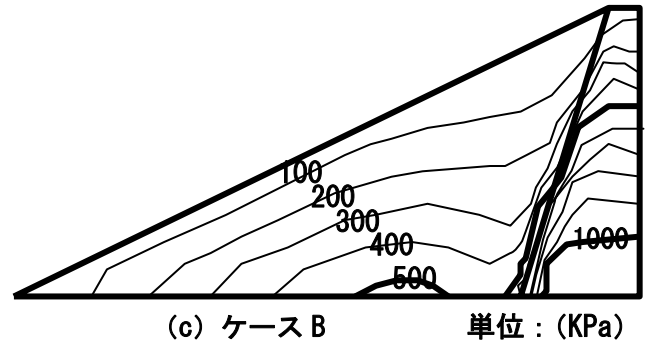
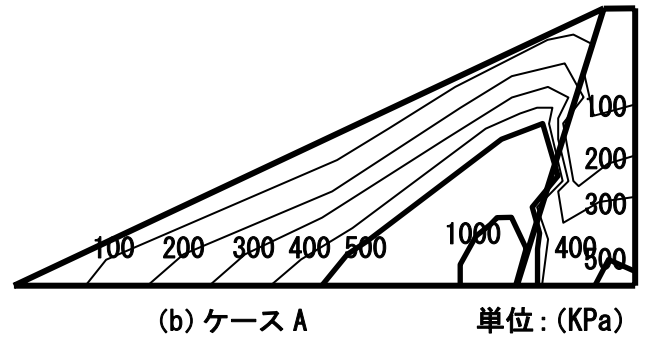
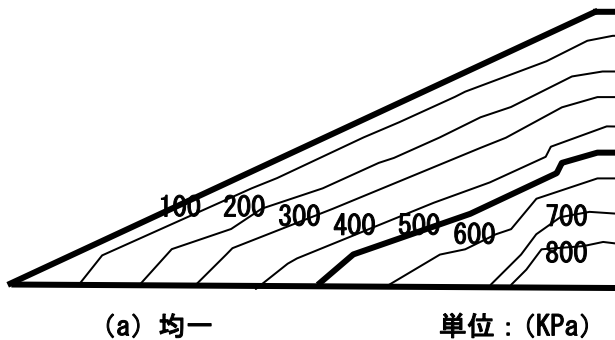


図-4 鉛直応力分布

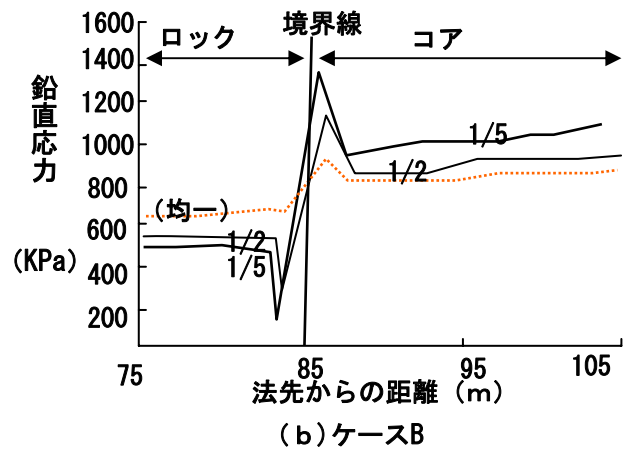
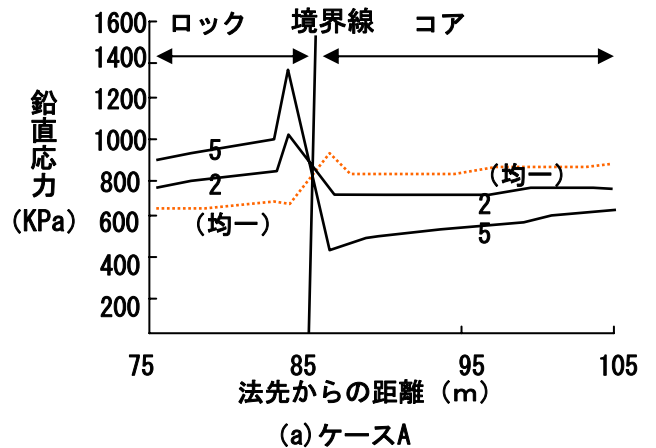
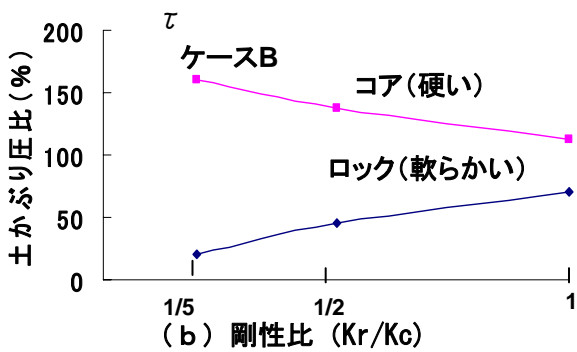
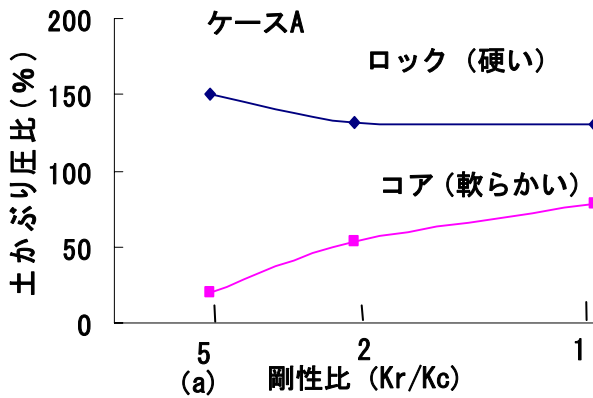


図-5 堤体底面の法先からの鉛直応力分布

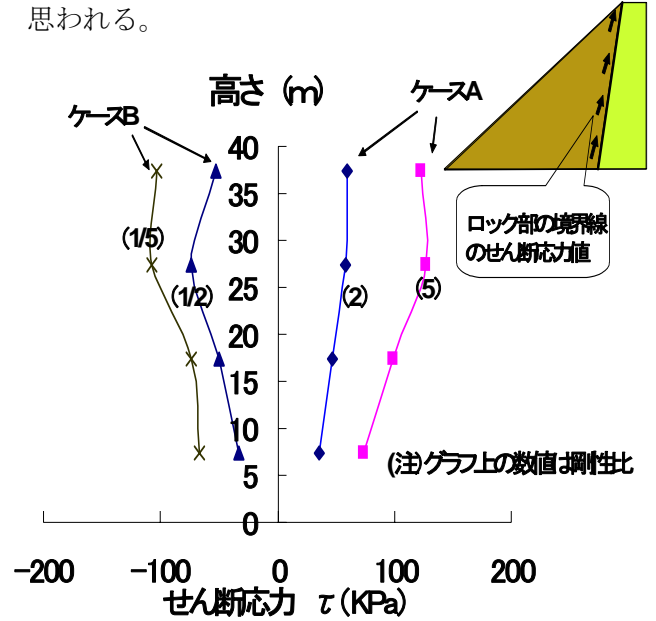
さらに詳しく調べるために、堤体底面境界面でそれぞれのケースにおいて、ケース A ではロック部最大値とコア部最小値とケース B ではコア部最大値とロック部最小値の土かぶり圧比（鉛直応力／直上土かぶり圧）を図一6(a)(b)に示した。それぞれのケースにおいて剛性比が大きくなるほど、軟らかい方の部材の土かぶり圧比が 50%を下回っていて拘束圧不足を引き起こしている。



図一6 土かぶり圧比

さらに、図一5 において部材の境界付近で鉛直応力の変化が激しかったのでロック部の境界線上でのせん断応力 (τ) を図一7 に示した。せん断応力の計算の際は上向きの力を正とした。そして、図一7 は均一の場合を標準なケースと仮定しそれぞれのケースにおいて、せん断応力 (τ) にどのような差が生じるか示したものである。この場合ロック部境界面上においてせん断応力 (τ) がケース A においてプラス方向であり上向きの力である。ケース B ではマイナス方向に変化したので、ロック部境界面上のせん断応力 (τ) は下向きである。これは、境界面においてケース A ではアーチ作用、ケース B ではドラッグが起きているといえる。そして、その程度は剛性比が大きくなるに

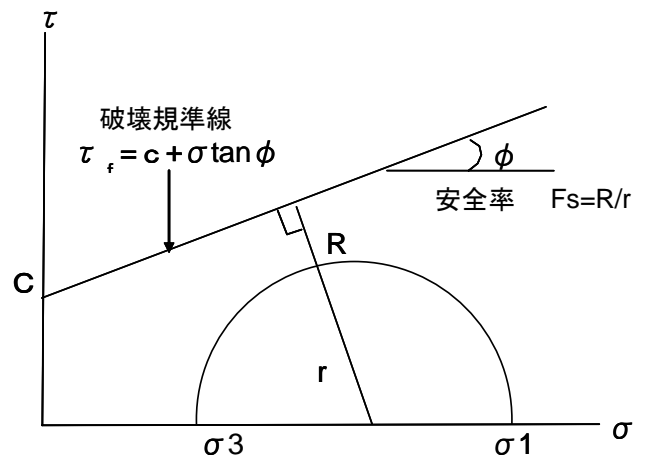
つれてそれらの現象の程度は大きくなっていると思われる。



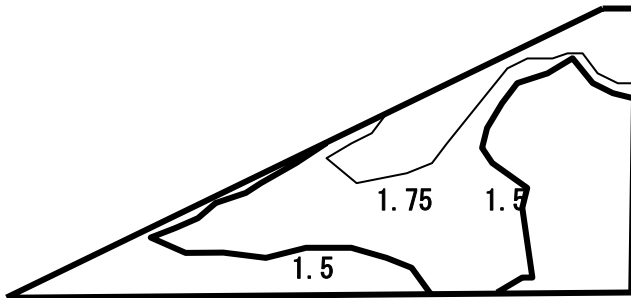
図一7 ロック部境界面上でのせん断応力

次に、安全率は相対剛性が変化することによりどのように変化していくかを検討した。安全率とは、図一8 に示すように、最大主応力 σ_1 、最小主応力 σ_3 からモール円を描き、モール円が破壊基準線に接することで破壊すると考えられる。この安全率を等値線という形で、図一9 (a) (b) (c) に示した。(a) は均一の場合。(b) はケース A の剛性比 $Kr/Kc=5$ の場合。(c) はケース B の剛性比 $Kr/Kc=1/5$ の場合。

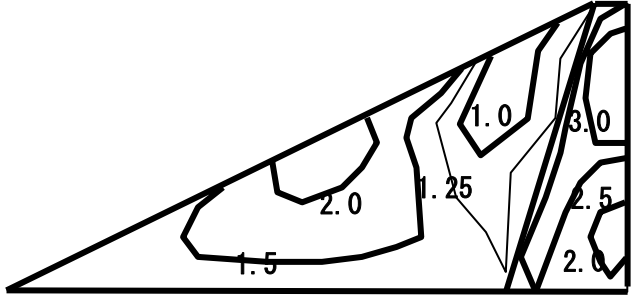
図一9 より (b) のロック部の安全率は境界付近で低く、逆に (c) のコア部が低いことがわかる。このことより、アーチ作用が起こるケース A ではロック部が危険になり、逆にドラッグが起こるケース B はコア部が危険である。



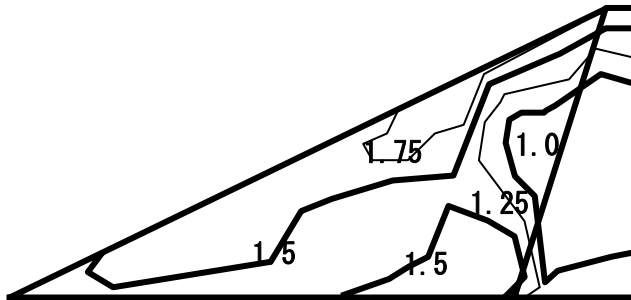
図一8 モール円と破壊基準線



(a) 均一



(b) ケース A 剛性比 ($K_r/K_c=5$)



(c) ケース B 剛性比 ($K_r/K_c=1/5$)

図-9 安全率の等値線図

3.1.2 コア部の断面形状 (コア幅) の影響

図-10 のケース A 剛性比 ($K_r/K_c=5$) の場合の鉛直応力分布に着目したとき境界線付近で激しい変化をしている。そこでコア底幅を変化させると鉛直応力が堤体底面においてどのような動きをするか図-11 に示す。

どのコア底幅についても境界面のロック側でロック内の最大値、コア側でコア内の最小値の鉛直応力をとる動きとなっている。両値は各底幅についてさほど違いは見られない。そこで土かぶり圧がどの程度伝わっているかを見るために鉛直応力 (σ_y) をその地点の土かぶり圧 (γH) で除した土かぶり圧比 ($\sigma_y/\gamma H$) を算出し、比較したものを図-12 に示す。これによると、各底幅ともにロック部では 100% 以上であり、コア底幅が狭くなるとコア部において土かぶり圧比が 50% を以下の値となっている。ロック部ではコア部の重量

を負担していて、コア部では本来かかる土かぶり圧が十分伝わっていない。これはコア部の拘束圧不足につながり、コア底幅が狭くなるほどその影響が現れている。

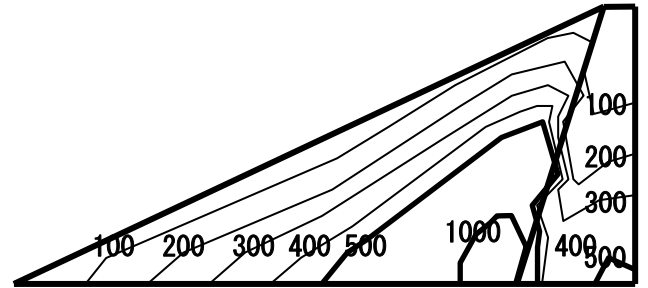


図-10 ケース A 鉛直応力分布 単位: (KPa)

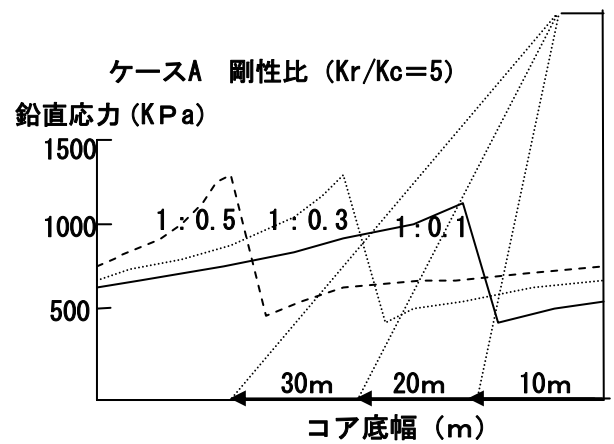


図-11 堤体底面での鉛直応力分布

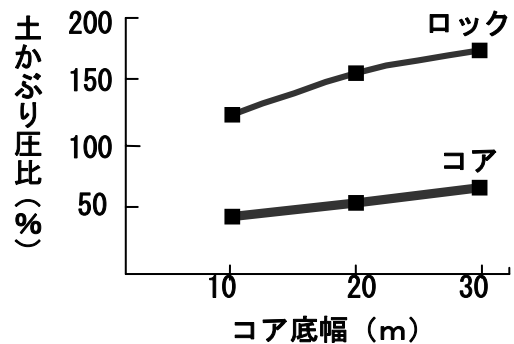


図-12 土かぶり圧比

4. 結論

- 1) 両方のケースにおいて剛性比が大きくなるほど柔らかい方の部材において拘束圧不足が進行し安全率を低下させる。
- 2) アーチ作用・ドラッグは剛性比が大きくなるほど発生する。
- 3) コア底幅が狭くなるほど拘束圧不足になる。