

論文 ダム嵩上げに伴う新旧コンクリートの一体性に関する一考察

正井 資之^{*1}・嘉藤 由香利^{*2}・福崎 道康^{*3}・溝渕 利明^{*4}

要旨: ダム嵩上げ時の新旧打継部の一体性に関する研究において, 嵩上げが行われたダムより直接コアを採取し, 打継部の力学的特性について報告した研究は少ない。本研究では, 嵩上げを行ったダムから旧堤体と新堤体(嵩上げ部)の打継部を含む供試体を採取し, 直接引張試験および一面せん断試験を行った。その結果, 打継部を含む供試体の直接引張強度は, 旧堤体部および新堤体部の2/3程度, せん断強度は半分程度であった。また, 試験より得られた打継部および母材の物性値を用いて温度応力解析を行い, 嵩上げ時のダムの一体性の確認を行った。

キーワード: ダム嵩上げ, 新旧打継部, 引張強度, せん断強度, 温度応力

1. はじめに

利水拡大や治水充実に対して, 新規にダムを建設するよりも環境負荷が小さく, 建設コストを抑えられる施工法として重力式ダムの嵩上げが注目されている。この際問題となるのは新規嵩上げ部のコンクリートの水和発熱に伴う温度応力に対して既存の堤体と新規嵩上げ部の一体性をどのように確保するかにある。

嵩上げを行うダムの新旧打継部の一体性に関しては, 解析的検討や実験的検討, また測定結果に基づく検討などが報告されている^{1)~5)}。しかしながら, 実際に嵩上げを行ったダムの新旧打継部の付着特性などの力学的特性は, ほとんど把握されていないのが現状である。

本研究は, 嵩上げを行ったダムの新旧打継部の一体性を評価する目的で, 嵩上げ施工されたダムより採取したコア供試体を用いて打継部の直接引張強度試験および一面せん断強度試験を行い, 新堤体と旧堤体の母材との比較検討を行った。さらにそれらの結果を用いて嵩上げ時に生じる温度応力が新旧打継部の一体性にどのように影響するか解析的検討を行った結果についてとりまとめたものである。

2. 供試体

コア供試体は, 図 - 1 に示すように, 60 年近く前に建設されたダム堤体の下流側に堤高を 32.65m から 44m に嵩上げた M ダムから採取した。新堤体の内部配合の例を表 - 1 に示すが, 旧堤体の配合は施工が戦時中であり, 明確となっていない。

コアは, 図 - 2 に示すように新旧堤体境界面

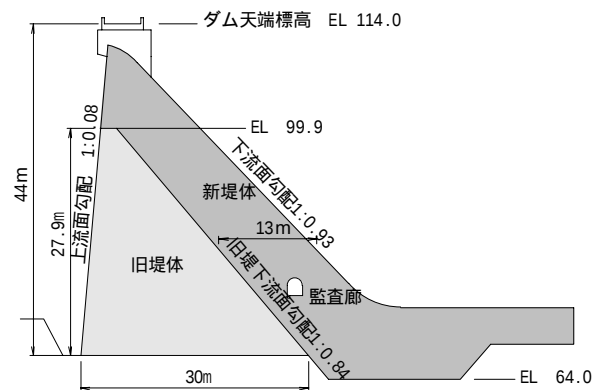


図 - 1 Mダムの断面図

表 - 1 新堤体の配合(内部配合)

Gmax (mm)	水セメント比 (%)	細骨材 率(%)	単位量(kg/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
150	69.3	25	97	140	531	1668

スランブ: 3cm 空気量: 3%

セメント: 中庸熱フライアッシュセメント(フライアッシュ30%)

*1 法政大学大学院 工学研究科建設工学専攻 (正会員)

*2 法政大学工学部 土木工学科

*3 大成建設(株)

*4 法政大学助教授 工学部土木工学科 工博 (正会員)

とボーリングの削孔角度が直角になるように監査廊から 9 本採取した。ボーリング孔の直径は 100mm であり，方向は鉛直方向と約 30° の角度であった。

打継面を含んだ供試体の数は，試験のばらつきなどを考慮した場合多いほうがよいが，本検討ではコア採取の困難さから，直接引張試験およびせん断試験とも各 3 本とした。一方，旧堤体および新堤体を対象とした母材のみの供試体は，直接引張試験，せん断試験とも各 4 本実施することとした。また，母材のせん断強度推定のための新堤体及び旧堤体のコンクリートの圧縮強度試験は各 3 本実施した。

3. 試験方法

3.1 直接引張試験

試験は図 - 3 に示すように打継部を供試体のほぼ中央になるようにコアを切断し，両端を平滑となるように整形した後，引張冶具をエポキシ樹脂で接着して，図 - 3 に示す試験機を用いて，打継部の引張強度を求めた。また，比較のために旧堤母材及び新堤母材の試験も実施した。さらに，各供試体にひずみゲージを貼り，母材の引張弾性係数を測定した。

3.2 一面せん断試験

打継部のせん断強度を試験するために，図 - 4 に示すように採取したコアを打継面がちょうどせん断面になるようにして，長さ約 200mm に切断し，周囲を高強度コンクリートで覆って打継部にせん断力が伝達するようにした。この供試体を図 - 5 に示すせん断試験装置を用い，せん断面に荷重を载荷するとともに，せん断面に直交する方向から上载荷重(対象せん断位置から上の新堤体コンクリートの自重の打継面直角方向成分に相当する荷重)を载荷し，試験を行った。また，せん断面中央部分で水平変位および垂直変位を測定した。せん断強度は，荷重の上昇が見られず変位のみが大きく変化する段階での応力状態からモールの応力円を用いて計算した。また，直接引張試験の場合と同様に旧堤

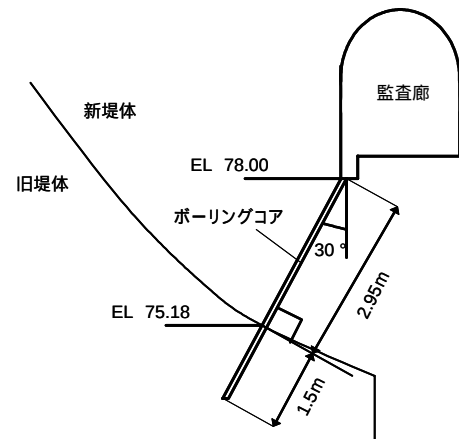


図 - 2 コア採取場所の概要

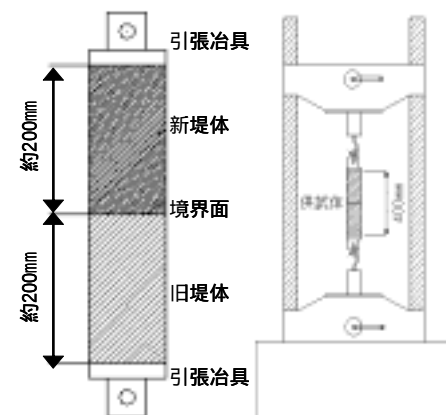


図 - 3 直接引張試験の概要

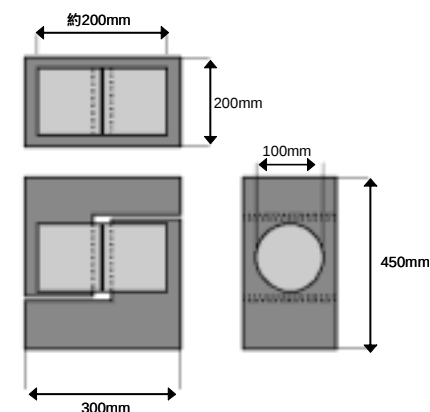


図 - 4 せん断供試体

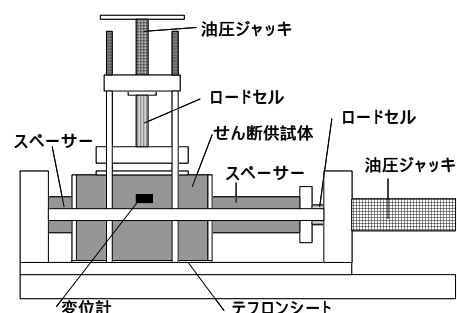


図 - 5 せん断試験

母材および新堤母材についても同様のせん断試験を行った。

3.3 母材の圧縮強度試験，弾性係数試験およびポアソン比の測定

新堤体および旧堤体の母材に対して，圧縮強度試験，弾性係数試験及びポアソン比の測定を行った。

4. 試験結果

4.1 直接引張強度

直接引張試験の結果を図 - 6 に示す。新堤母材の平均の引張強度が 1.15N/mm^2 であるのに対して，旧堤母材の平均値が 1.08N/mm^2 であり，新旧母材ともほぼ同様の値を示した。一方，打継部の引張強度は，平均で約 0.69N/mm^2 であり，母材の約 $2/3$ 程度の引張強度であった。

引張試験時での破断位置を図 - 7 に示す。図 - 7 から，破断位置は旧堤母材の供試体(No.1)で引張治具近傍の接着面付近で破断しているものの，その他の供試体は，接着面でない部位で破断する結果となった。特に，新堤母材の No.1，No.3 は，コア供試体の長さの $1/3$ の範囲内で破断する結果となった。各供試体の破断面は，写真 - 1 に示すように破断位置において大粒径の骨材がコア断面積の 50% 以上占めている場合がほとんどであり，その骨材から剥離，破断したものであると思われる。一方，打継部供試体の破断は，写真 - 2 に示すように破断のほとんどが打継面より旧堤側で生じる結果となった。また，打継部供試体の破断面には骨材とモルタル境界面の他に破断した骨材が一部で見られたことも母材の破断面とは異なる特徴であった。これは，旧堤体と新堤体を一体化させるため，旧堤表面を約 5cm チッピングしており，これによって，骨材の一部にゆりみや損傷が生じていたためと思われる。次に，引張弾性係数と引張強度の関係を図 - 8 に示す。母材の引張弾性係数は，新堤・旧堤母材とも引張強度に関係なくほぼ同様な値を示す結果となった。これは，直接引張試験の場合，引張強度の左右するのがダムのよう

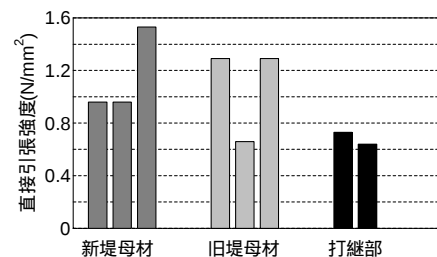


図 - 6 直接引張強度試験の結果



新堤母材 - 3

旧堤母材 - 2

写真 - 1 母材引張供試体の破断面



打継部 - 1

打継部 - 1

写真 - 2 打継部引張供試体の破断面

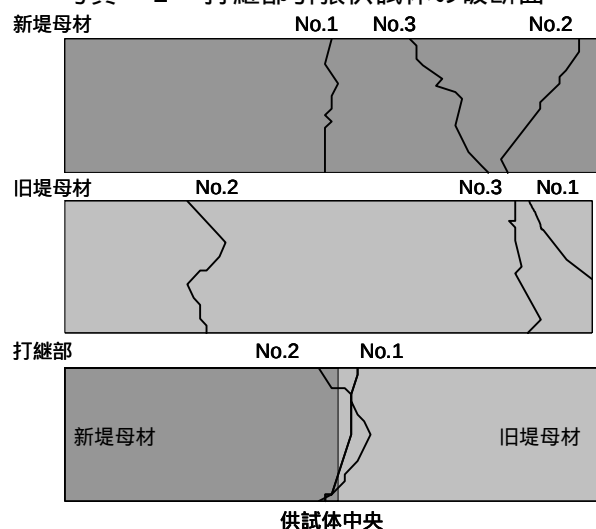


図 - 7 各供試体の破断位置

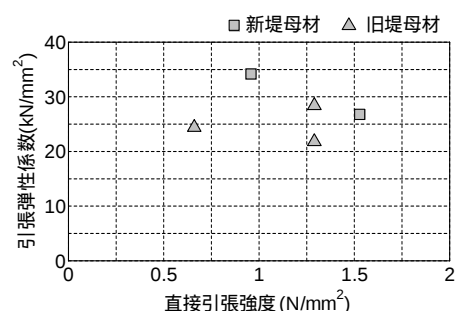


図 - 8 引張弾性係数と引張強度の関係

葉大粒径骨材を用いた低強度コンクリートの場合，骨材の界面のモルタルと骨材の付着強度であることから，新旧堤体の変形特性がそれほど変わらないものの，引張強度にばらつきが生じたためと思われる。

4.2 新旧母材の圧縮試験

新旧母材の圧縮強度試験の結果を図 - 9 および表 - 2 に示す。直接引張強度がほぼ同程度であったのに対して，旧堤母材の圧縮強度は平均値で新堤母材の約 60% であった。

圧縮弾性係数は引張弾性係数より大きい傾向にあり，新旧堤体とも圧縮強度の増加に伴い引張強度の場合と異なり一般にいわれているように弾性係数が大きくなる傾向を示した。ポアソン比については，新旧堤体ともほぼ同様の値を示した。

4.3 セン断強度

一面せん断強度試験時でのせん断荷重とせん断方向変位との関係を図 - 10 に示す。母材供試体は，初期において変位の増加とともに荷重が増加する傾向を示した。一方，打継部供試体は，母材とは異なる挙動を示し，荷重載荷直後よりすべりを生じ，その後，骨材のロッキングによって荷重が上昇するが，骨材の破断とともに荷重が低下したと思われる。

各部材のせん断強度は，モールの応力円を用いて作用する直応力が 0N/mm^2 である面のせん断応力とした。その結果を図 - 11 に示す。せん断強度は，平均値で新堤母材が 2.98N/mm^2 ，旧堤母材が 3.19N/mm^2 に対し，打継部は 1.68N/mm^2 であり母材部の 60% 前後と引張同様に母材より低い傾向にあった。

一方，せん断強度の推定値は，圧縮強度および引張強度から一般に以下の式で求められている。

$$\tau = \frac{\sqrt{f_c \cdot f_t}}{2} \quad (1)$$

ここで， f_c ：圧縮強度 f_t ：引張強度である。

(1)式に母材の直接引張強度試験と圧縮強度試験の結果を代入し，算定した。母材のせん断

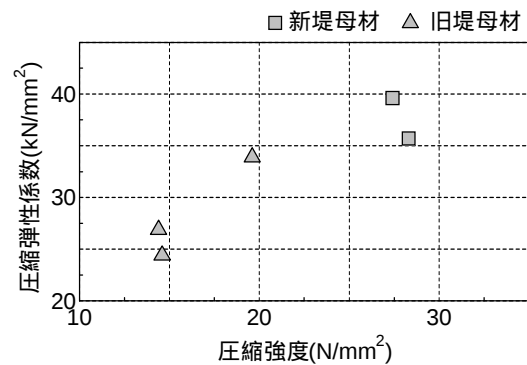


図 - 9 圧縮弾性係数と圧縮強度の関係

表 - 2 新旧母材のポアソン比

部材	ポアソン比			
	1	2	3	平均
新堤母材	0.16	0.16	-	0.16
旧堤母材	0.22	0.20	0.18	0.20

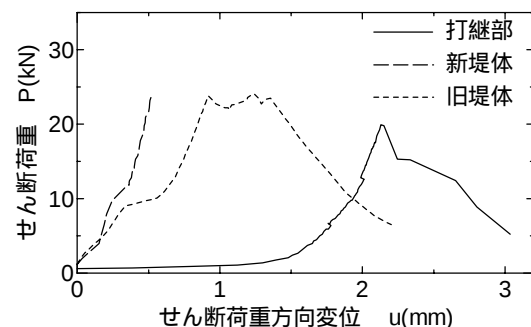


図 - 10 セン断荷重 - 荷重方向変位関係

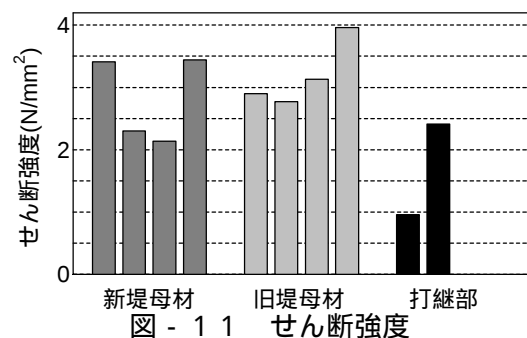


図 - 11 セン断強度



打継部 - 2 打継部 - 3
写真 - 3 打継部せん断供試体の破断面

強度の推定値の範囲を以下に示す。

新堤母材： $\tau = 2.56 \sim 3.52 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

旧堤母材： $\tau = 1.21 \sim 2.51 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

また，直応力が作用するせん断面のせん断強度は，(2)式のように推定できる。

$$\tau = \frac{f_c - f_t}{2\sqrt{f_c \cdot f_t}} \sigma + \frac{\sqrt{f_c \cdot f_t}}{2} \quad (2)$$

(2)式より得られるせん断強度 - 直応力関係を図 - 1 2 に示すとともに，供試体のせん断面に作用した直応力とせん断強度の関係を図 - 1 2 示す。新堤母材のせん断強度は，(1)(2)式で求まる推定値の範囲内にあったが，旧堤母材のせん断強度は全体的に推定値を上回る結果となった。

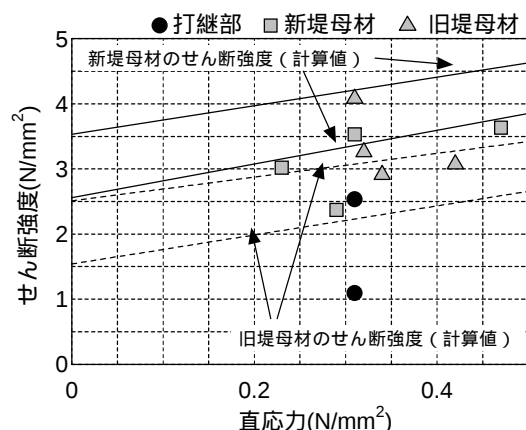


図 - 1 2 鉛直応力とせん断強度の関係

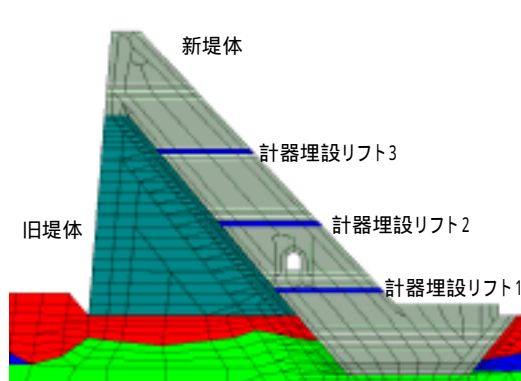


図 - 1 3 要素分割図

5. 新旧打継部の一体性の解析による検討

M ダムの打継部の一体性を評価するためには，新堤体施工時の温度応力によって新旧堤体打継部がどのような挙動を示すかを検討する必要がある。そこで，本検討では図 - 1 3 に示す 3 箇所の計器埋設リフトでの温度計測結果を基に図 - 1 4 に示すような部分モデルを用いて，新堤体の熱特性値（断熱温度上昇式および表面熱伝達率）の同定を行った。図 - 1 5 に計器リフト 2 での内部配合の同定結果を示すとともに，図 - 1 6 に新堤外部配合での同定結果を示す。また，図 - 1 7 に新堤表面部での同定結果を示す。

部分モデルでの熱特性値の算定結果および新旧打継部を中心に行った力学的特性値を用いて，新旧堤体および地盤まで考慮した全体モデルによる温度応力解析を行った。ここで，新旧打継部に関しては，直バネとせん断バネで構成された要素（直バネに関しては引張強度を超えた段階で付着切れを生じさせるようにしている）を用いて行った。新堤体は，実際の打設実績を基に打込み温度および打設日を設定した。また，外気温は現場近くで測定したものをを用いた。全体モデル解析に用いたメッシュレイアウトを図 - 1 3 に示す。

解析の結果，新旧打継部近傍の応力は，図 -

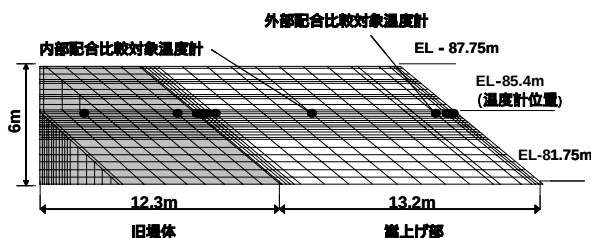


図 - 1 4 部分解析モデルの要素分割図
(計器埋設リフト 2)

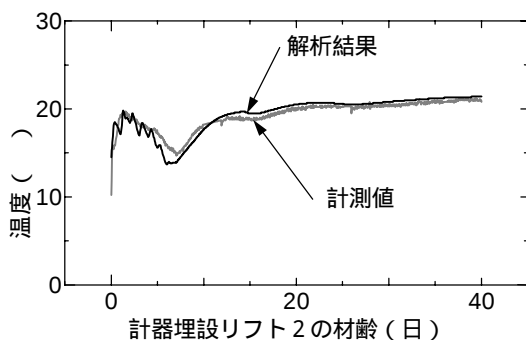


図 - 1 5 同定解析結果
(計器埋設リフト 2 内部配合)

18の最大主応力分布に示すように、打継部の引張強度を超える応力は生じなかった。また、新旧堤体打設後540日での変形図を図-19に示す。新旧打継部での付着切れは見られずダム嵩上げ時での新旧一体性が確保されていることが確認できた。

6. まとめ

対象としたダムで採取したコアを基に行った本実験の範囲では、粗骨材と供試体の寸法の問題点もあるが、本検討で得られた結果を以下に示す。

打継部の直接引張強度は、母材部の2/3程度であった。

打継部のせん断強度は、母材の55%程度であった。

以上の結果を用いた嵩上げダムの温度応力解析を行い、本検討で得られた打継部の強度特性が実際のものに近いことを確認した。

参考文献

- 1) 村川，岩永，粟津，古谷：萱瀬ダムの嵩上げに関する設計と施工計画について，ダム工学 No.17，pp.48～59，1995.3
- 2) 内田：コンクリート重力式ダムの嵩上げ工事 - 中部電力・奥矢作水力開発計画・黒田ダムの場合 - ，セメント・コンクリート No.375，pp.26～34，1978.3
- 3) 奥山，南：嵩上げダム施工と堤体挙動計測システム - 北海道新中野ダム - ，土木施工 Vol.25，No.1，pp.14～22，1984.1
- 4) 渡辺，大橋，今井，斎藤：ダム嵩上げにおけるコンクリートの打継ぎに関する実験的研究
- 5) 越智，真柴，林川，角田：ダム嵩上げ時における新旧コンクリート打継目部の応力と強度について，土木学会北海道支部論文報告集，pp.691～694

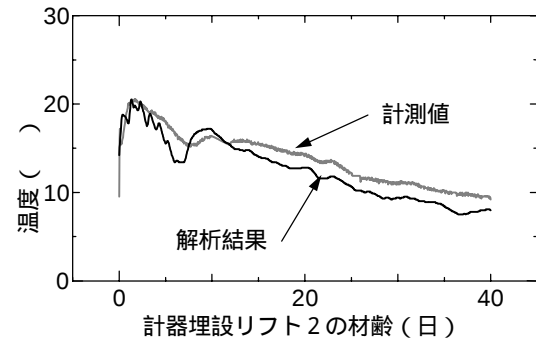


図 - 16 同定解析結果
(計器埋設リフト2 外部配合)

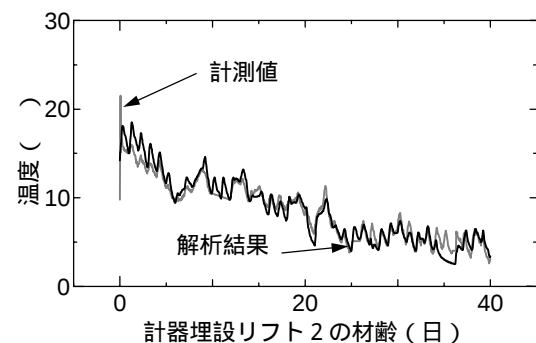


図 - 17 同定解析結果
(計器埋設リフト2 表面)

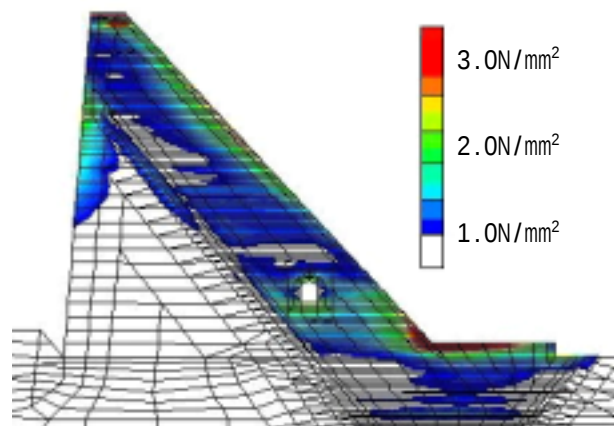


図 - 18 最大主応力分布

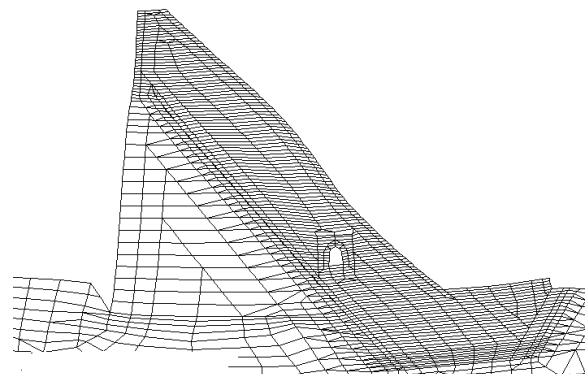


図 - 19 変形図