

参考資料:「ダム技術NO.242」(H18.11,ダム技術センター)、「ダム日本NO.730」(H17.8,ダム技術センター)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	村山下(むらやましも)ダム
所在地 (河川名称)	東京都東大和市清水 (多摩川水系多摩川)
目的/形式	上水/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	32.6m/587.3m/836千m ³
総貯水容量/有効貯水量	12,148千m ³ /11,843千m ³
ダム事業者	東京都
着工/竣工	- /1927



2. 被災の状況(メカニズム): **該当しない**

本ダムは、被災復旧対策ではなく、既設ダムの補強対策として計画されている。

3. 補強工法の検討

表-2 地震時に保持すべき耐震水準

<耐震補強工法の基本方針>

- ①大地震が発生しても、堤体の安定性を維持し、人命及び財産に影響を与えないこと
- ②地震後にも、水源施設の機能を保持出来ること
- ③地震時に保持すべき耐震水準として、「水道施設耐震工法指針・解説」に準拠した。

地震動レベル	レベル1	レベル2
耐震水準	無被害であること。	人命に重大な影響を与えないこと。 個々の施設に軽微な被害が生じても、その機能保持が可能であること。

<立地上の制約条件>

- 村山下貯水池は東京都の原水運用上重要な施設であり、貯水池水位を長期間低下させることが難しい。また、貯水池内には多数の縄文期の遺跡が埋蔵文化財として存在しているため、貯水池内での堤体材料の採取を含め、堤体上流側での工事は最小限にとどめる必要がある。
- 堤体の下流側には、地域住民が憩いの場として利用している都立狭山公園が隣接しており、公園区域への影響を最小限とする必要がある。

＜耐震補強工法の検討＞

- 対策工法(案)として以下の6案を比較
 - ①単純押え盛土+下流ドレーン(山口貯水池と同じ工法)
 - ②ロックフィルダム
 - ③表面遮水壁型ロックフィルダム
 - ④表面遮水+上流セメント安定処理土+下流ジオテキスタイル補強盛土
 - ⑤上下流ジオテキスタイル補強土+天端セメント安定処理土
 - ⑥上流側基礎地盤改良+下流ジオテキスタイル補強盛土
- 各案を比較の結果、⑤案が適切であると判断。

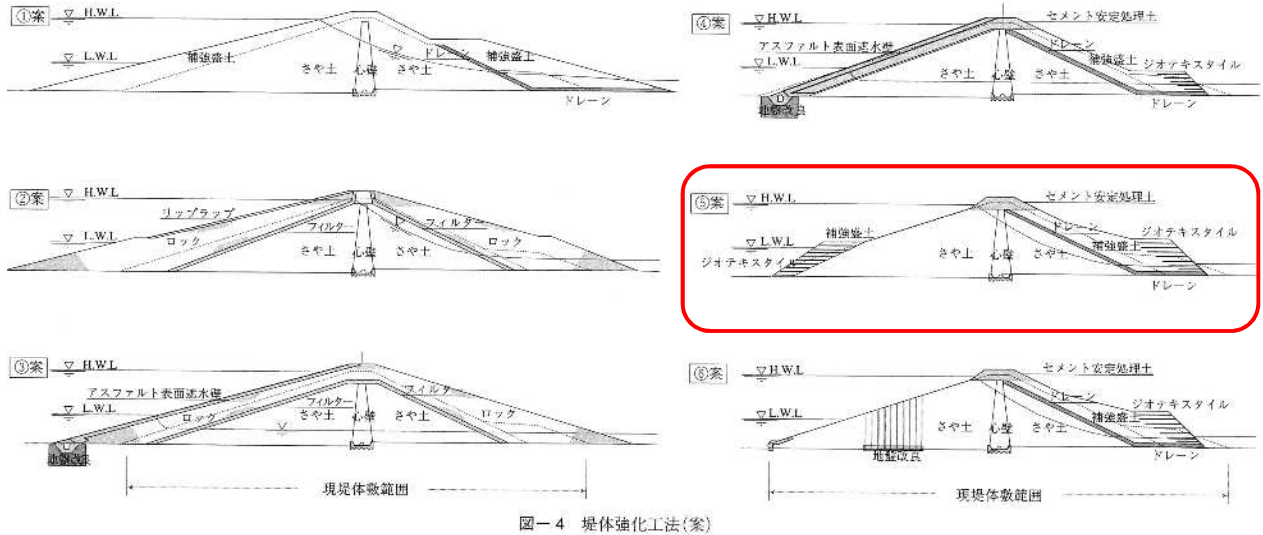


図-4 堤体強化工法(案)

＜耐震補強工法の選定＞

- 耐震補強(堤体強化)工事の標準断面図を以下に示す。また、地震時に加速度の増幅が予想される堤頂部は、盛土材料のせん断強度を高めるため、強化盛土にセメントを混合したセメント安定処理土を使用して強化する。

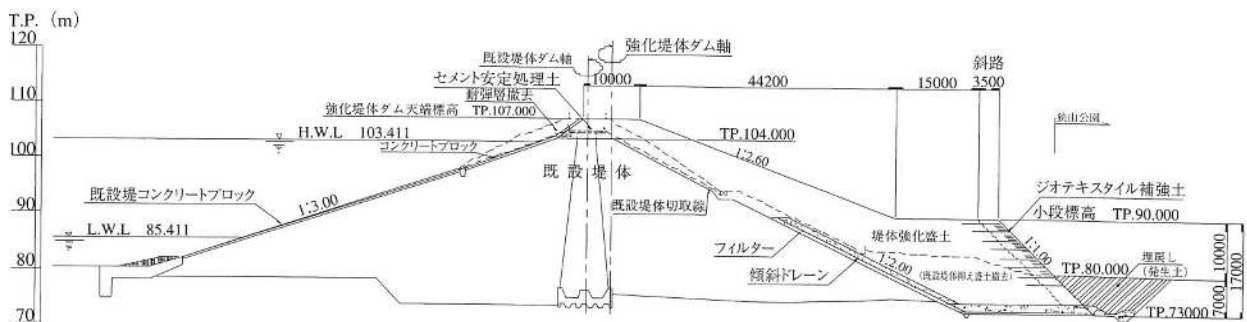


図-5 震度法による耐震設計で設定した堤体強化工法基本断面

- 整備水準(耐震性能)及び照査結果

耐震性の照査について、震度法で設計(kh=0.2、圧密非排水強度)した断面について、レベル1地震動(安政江戸地震,M6.9,直下型)、レベル2地震動(南関東地震,M7.9,海溝型、立川断層による地震動,M7.1,近傍直下型)を対象とし、動的解析による照査を実施。解析には、NewMark法(渡辺・馬場らによるすべり安定評価手法)を実施した。初期応力解析により静的応力を求めたあと、動的応力を求め、その上で動的解析によるすべり変形解析と累積損傷度理論による残留変形の予測を行った。その結果、各々のレベルに対する耐震性能を満足することを確認した。

表-4 動的解析による耐震性の評価基準

評価項目	地震動レベル	
	レベル1	レベル2
動的解析によるすべり安全率	すべり安全率を1.0以上とする	全体破壊につながるようなすべりは許容しない
残留変形量	補修を必要としない程度の沈下は許容する	軽微な補修で対応可能な程度の沈下は許容する

表-7 動的解析によるすべり変形解析結果

地震動レベル	耐震性の評価基準	対象地震動	最大応答加速度	最小すべり安全率	天端の沈下量
レベル1	すべり安全率1.0以上	安政江戸地震	422 gal	1.43	24.5 cm
レベル2	全体破壊につながるようなすべりは許容しない	南関東地震	591 gal	1.07	32.0 cm
		立川断層による地震	635 gal	1.12	27.0 cm

表-6 耐震性照査の対象地震動

地震動レベル	再現確率	対象地震	マグニチュード	最大加速度値	摘要
レベル1	約1/30年	安政江戸地震	M6.9	186.3 gal	内陸直下型地震
レベル2	約1/300年	南関東地震	M7.9	333.4 gal	海溝型地震
	—	立川断層による地震	M7.1	458.2 gal	近傍直下型地震

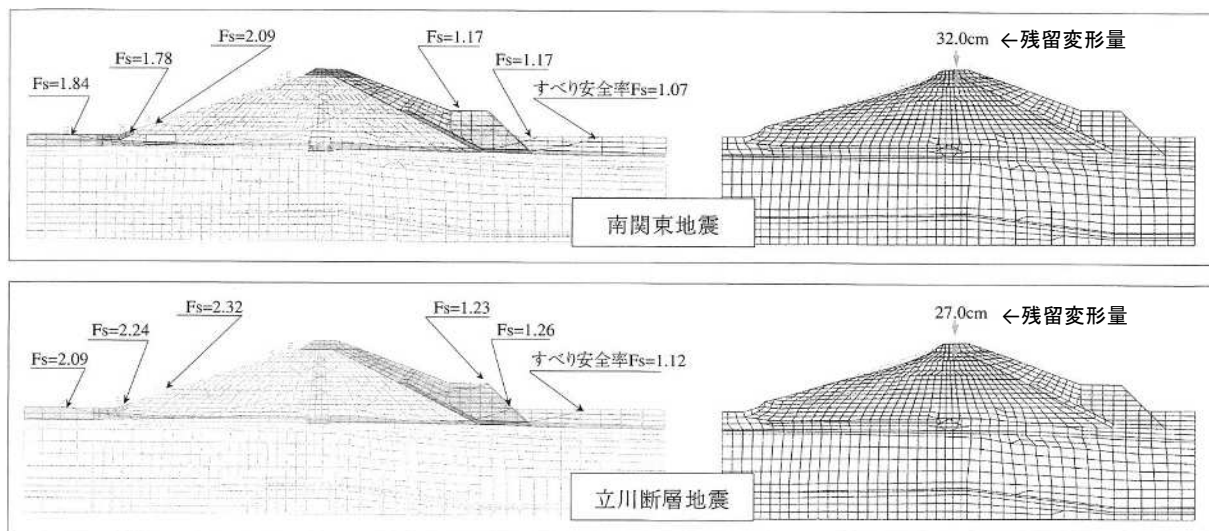


図-8 動的解析によるすべり安全率及び沈下量

<施工概要>

- 堤体補強工事は、以下のとおり(平成16年5月準備工事着工、平成21年3月堤体強化工事完了)

<1. 準備工事>

堤体強化工事に先立ち、村山下貯水池堤体天端を覆っている耐弾層(太平洋戦争中に爆撃から堤体を守るために設置された、コンクリートと玉石からなる約2.5mの保護層)の撤去工事を実施した。この他に、公園用地と工事エリアを分割する仮囲い、濁水プラントの設置、植栽の移植。その他仮設等の設置を行った。

<2. 補強盛土材料>

補強盛土材は、貯水池内に遺跡が存在すること、周辺が自然公園区域に指定されていることから貯水池周辺での材料採取が困難なため施工時に発生する既存堤体の下流さや土、押え盛土の撤去材に、購入碎石、砕砂を混合し使用した。

混合比率は、山口貯水池堤体強化工事材料の粒度(細粒分20%、砂分40%程度)を参考に乾燥重量比で「撤去材:碎石:砕砂=1:1.5:1.5」とした。同時に補強盛土は、傾斜ドレーンの効果により不飽和ゾーンとなることから、不飽和条件による基準締固めエネルギー1.5Ec、締固め度95%(湿潤側)における三軸圧縮試験結果からCcu=0.7kgf/cm²、φcu=38°とした。

＜3. 補強盛土の盛立＞

厚さ(20cm,25cm,30cm)、転圧回数をパラメータとして現場転圧試験を実施し、この結果に基づき、転圧機械10t級振動ローラ、仕上がり厚さ20cm、転圧回数8回と決定した。

補強盛土材の透水係数は、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$ と低く、一般のフィルダムのコア材に相当する材料である。そのため盛立時の間隙水圧の消散が遅いため、急速盛立を行うと、間隙水圧の増加により盛土の安定性が損なわれる恐れがあるとともに、盛立面での重機の走行・締固め作業ができなくなることがあり、本ダムのようなアースフィルダムでは堤敷幅が広く、間隙水圧の消散が遅いため、過剰間隙水圧の発生を避けるため盛立速度を制限し、施工する必要がある。

既設ダムの実績、村山下貯水池堤体形状・材料特性を考慮し、盛立速度は月平均で2.0m程度が上限であると判断し、盛立計画を策定した。

＜4. ジオテキスタイル補強盛土＞

一般的に間隙水圧の消散を促進する不織布と引張強度と補強盛土材料との摩擦を期待するジオグリッドを組合わせて使用するが、本工事では、傾斜及び水平ドレーンを設置するため、ジオグリッドのみを配置する。

施工中の安定検討であるため、材料強度は排水強度(飽和強度)に重機等の上乗荷重1.0tf/m²が作用したとして検討し、「ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル改訂版」(平成12年2月,(財)土木研究センター)を準拠した。

この結果、補強盛土の締固め仕上がり厚さ20cmからジオグリッドは9層ごとの1.8m間隔で、所要の安全率を満足するように、敷設長は8.5mで敷設する。

＜5. 品質管理(密度条件)＞

補強盛土材は、締固めエネルギー1.5Ecの最大乾燥密度の95%密度以上であれば所要のせん断強度を確保できること、現場転圧試験でこの密度は十分確保できることを考慮して、締固め度の品質管理基準を95%以上とした。



盛立状況写真



試験盛立状況写真

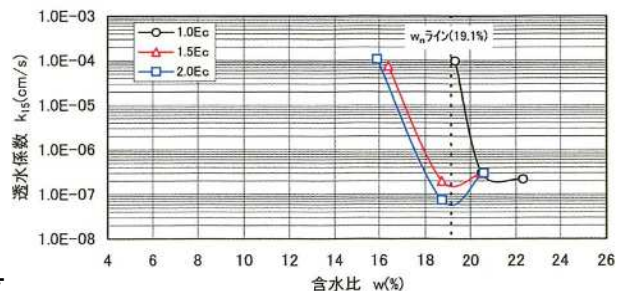
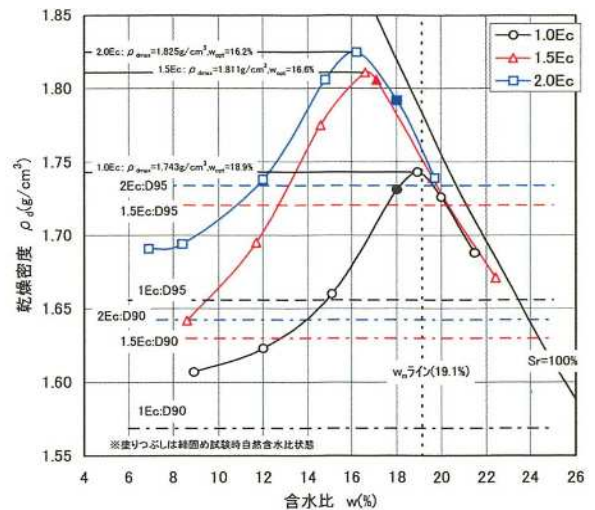


図-4 補強盛土材料の締固め・透水試験結果

参考資料:「布引ダム震災調査と災害復旧工事(第67巻、第11号(第770号)、水道協会雑誌)」「ダム日本NO.729」(H17.7,日本ダム協会)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	布引五本松(ぬのびきごほんまつ)ダム
所在地 (河川名称)	兵庫県神戸市中央区葺合町山郡 (生田川水系生田川)
目的/形式	上水/重力式コンクリートダム
堤高/堤頂長/堤体積	33.3m/110.3m/22千m ³
総貯水容量/有効貯水量	417千m ³ / 417千m ³
ダム事業者	神戸市
着工/竣工	1897/1900



2. 被災の状況(メカニズム)

(1)被災日時

- 1995(H7)年1月17日5:46 兵庫県南部地震(M7.2)

(2)被災の概要

1)堤体

- 地震前にはにじむ程度の漏水であったが、地震後新たな漏水が下流面全面にわたり発生
 - ・特に堤頂から5~10m下方に集中
- 堤頂部では両端、中央表面の土間コンクリートに最大10mm程度のひび割れ発生
 - ・地震前からの亀裂が今回の地震の揺れで拡大したもの
- 高欄の壁に水平方向のひび割れが発生し、笠木部の化粧モルタルの一部が座屈
- 監査廊に設けられている排水孔の浸透量が急増

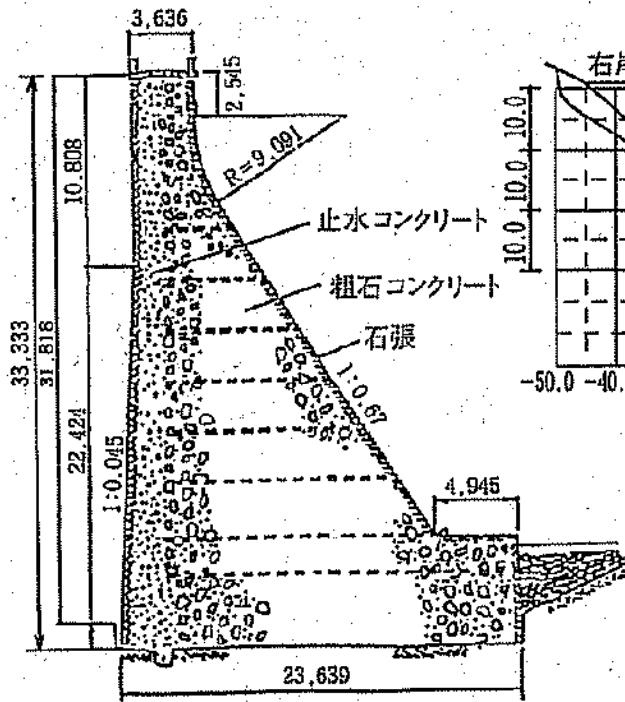


図-1 布引ダム標準断面図

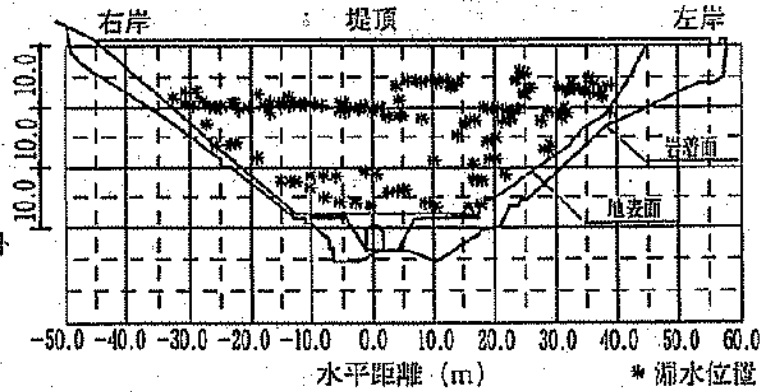


図-2 堤体下流面漏水状況図

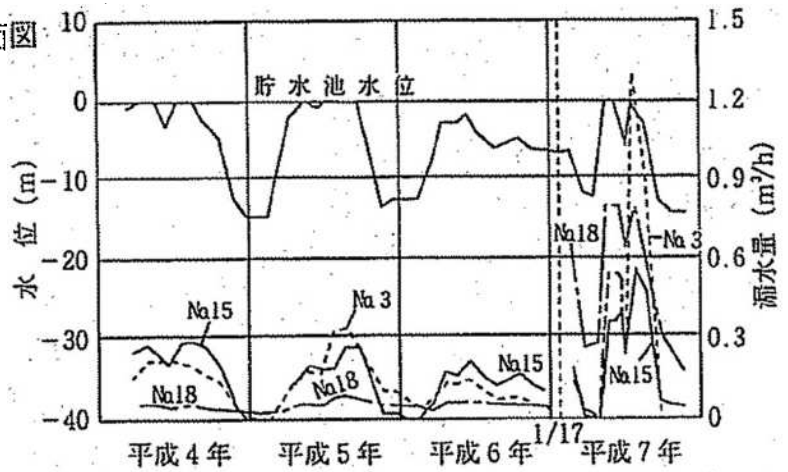


図-4 水位と漏水量の経年変化

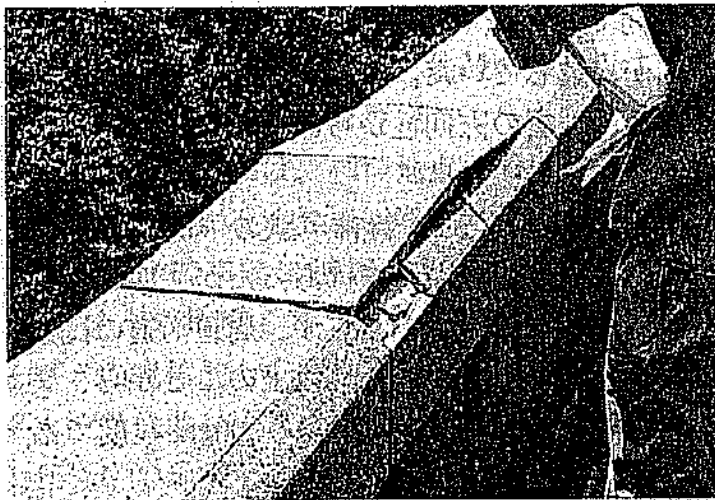


写真-2 高欄笠木部の破損状況

(3)被災のメカニズム

1)調査結果

○ 堤体下流面の漏水

- ・周辺の被害状況から基礎部の地震加速度を200galと推定し、解析を行った(堤体の高さ毎の上流側縁端応力を算出)。その結果、堤頂から約5m下付近で引張応力が発生する結果となった。
- ・なお、地震時には濁水状況にあり、水位は満水位-5.6mであった。この時に200galの地震力が作用したとして、安定計算を行った結果、転倒・滑動・圧壊に対する安全性は満足していた。

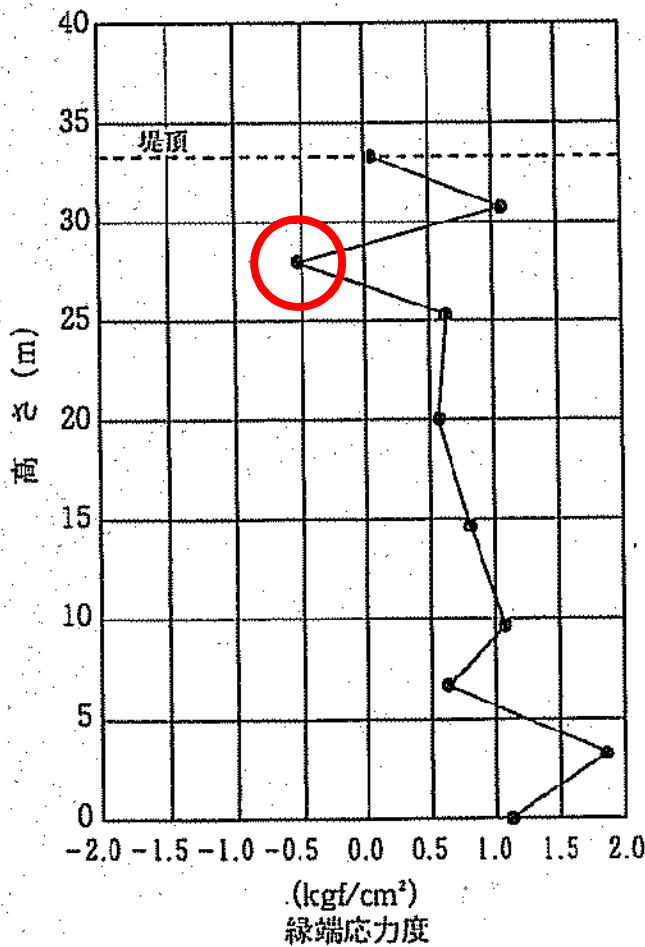


図-5 各断面高さにおける上流側縁端応力度 (入力最大加速度 200gal)

3. 復旧工法の検討

< 応急対策 >

○ 致命的な被害は受けなかったが、漏水量が大幅に増加したため、堤体の均一化と基礎岩盤の遮水機能の改善を目的に、堤体グラウト及び岩盤へのカーテングラウトを実施した。

- ・ 注入材料は高炉セメントB種を使用し、注入圧力は亀裂が拡大しないよう最高圧力を堤体 $2\sim 3\text{kgf/cm}^2$ 、岩盤 $5\sim 10\text{kgf/cm}^2$ とした。
- ・ カーテングラウチングは堤高の0.5~1.0倍までを改良範囲とし、改良目標値は「グラウチング技術指針・同解説(S58.11)」及び「ダム補修時の事例」を参考にして、2ルジオンとした。一方、堤体グラウトは着岩部までを改良範囲とし、改良目標値は定めなかった。
- ・ 堤体上流側の①、②ラインはカーテングラウトで、ライン間隔を1mとし、③~⑫ラインは堤体グラウトで、ライン間隔を2mとした。
- ・ 孔間隔は、①ラインについては1mピッチとし、昭和42年に施工したカーテングラウトと合わせて0.5mピッチとなるように配置し、②ライン以降は2mピッチとした。

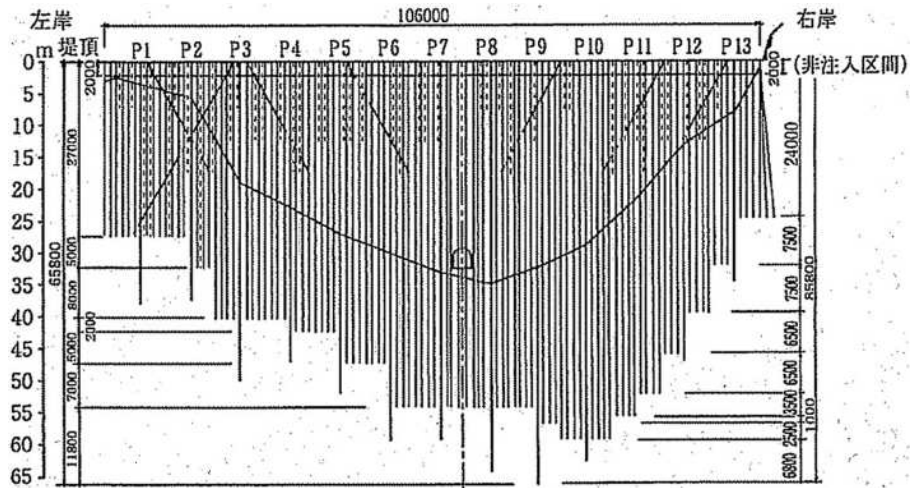


図-8 ガーデングラウト正面図

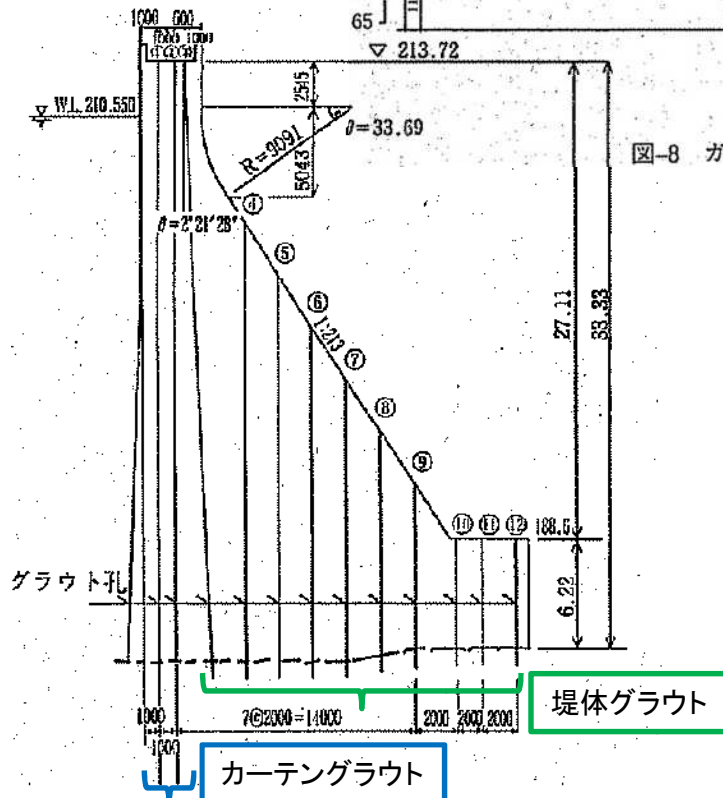


図-7 グラウト標準断面図

4. 補強工法の検討

- 明治時代に建設されたため、地震力は考慮されていない。そのため、現行のダム設計基準（建設省河川砂防技術基準（案）H9.10）に適合させる
 - ・水平震度は、震災時を $k=0.20$ とし、常時満水時地震時ではダム設計基準に則り、 $k=0.12\sim 0.15$ の上限である $k=0.15$ とした。
 - ・満水時地震時の場合、図に示すように、堤踵部で -1.89kgf/cm^2 （引張応力）が発生する。滑動安全率も $F_s=3.15 > 4$ であり設計基準を満たさない。
 - ・そのため、①発生する引張応力に対して鉄筋による補強、②プレストレスの導入による引張応力の解消、③堤体の増築による補強、について検討し、技術面及び維持管理上の点から③堤体の増築による補強とした。
 - ・増築位置は、常時満水位以下となって乾燥収縮等の問題が少なく、かつ歴史的景観に配慮して上流側とした。
 - ・増築部分のコンクリート打設は、現堤体への影響を考慮して、表面の石張りを撤去せずに行うこととしたため、新コンクリートと現堤体の間知石の一体化が問題になった。
 - ・そのため、増築部の接触面に発生する応力分布状態を有限要素法で解析し、堤体下部の打継面にアンカー筋でせん断補強することとした（補強筋不要範囲もメッシュ間隔を大きくして補強筋を配置）。
 - ・コンクリートの打設時期は真夏を避け、1回の打設量を制限した。現場の気温と打設後のコンクリート内部温度差を考慮して、冬期に打設するフィレットは打設高さを 0.75m に制限した。また、春以降は目地間隔を 15m から 7.5m に変更するなど細心の注意を払ってひび割れ防止に努めた。

表-2 現堤体形状における安定計算結果

水位条件	水位 (Kop. m)	せん断安全率 n (滑動)	判定	上流端応力 σ_u (tf/m ²) (転倒)	判定	上流端応力 σ_d (tf/m ²) (圧壊)	判定
設計洪水水位	212.790	5.90	○	-1.30	×	72.8	○
サーチャージ水位	212.540	4.99	○	-15.7	×	87.2	○
常時満水位	210.545	4.69	○	-18.0	×	90.1	○
安定条件		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

- 設計せん断強度は、過去に行ったグラウト工事での岩盤コアから大部分が新鮮で堅硬な岩（C_M級）であったため、類似地質のせん断強度を参考に $c=120\text{tf/m}^2$, $\phi=45^\circ$ とした。
- 現堤体コンクリート強度は、過去に行われた強度試験の結果から 1500tf/m^2 (150kg/cm^2) であり、安全率4で除した 375tf/m^2 を許容圧縮応力度とし、許容引張応力度 37.5tf/m^2 とした。ただし、地震時（サーチャージ水位、常時満水位には地震力を考慮することになっている。）については、それぞれ割増率1.3をかけた 488tf/m^2 および 48.8tf/m^2 とする。
- 地震力は重力式ダムの設計基準に示す設計震度 ($K=0.12\sim 0.15$) の上限値 $K=0.15$ を用いた。

表-3 補強後の安定計算結果

水位条件	水位 (Kop. m)	せん断安全率 n (滑動)	判定	上流端応力 σ_u (tf/m ²) (転倒)	判定	上流端応力 σ_d (tf/m ²) (圧壊)	判定
設計洪水水位	212.790	7.13	○	15.7	○	60.3	○
サーチャージ水位	212.540	5.94	○	4.8	○	71.2	○
常時満水位	210.545	5.51	○	1.7	○	74.4	○
安定条件		$n > 4$		$\sigma_u > 0$		$\sigma_d < \text{許容応力度}$	

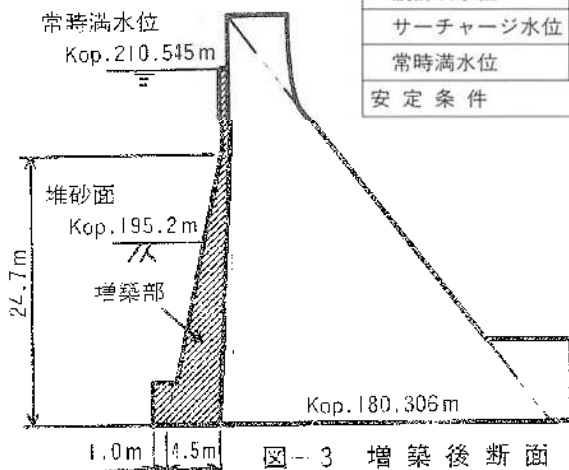


図-3 増築後断面

参考資料:新潟県資料(HP)、川西ダム等復旧検討委員会資料(新潟県)

1. 施設概要(基本諸元)

※諸元・写真は日本ダム協会HPより引用

項目	諸元
ダム名	川西(かわにし)ダム
所在地 (河川名称)	新潟県十日町市新町新田 (信濃川水系南沢川)
目的/形式	かんがい/アースダム
堤高/堤頂長/堤体積	43m/170m/348千 m^3
総貯水容量/有効貯水量	1,215千 m^3 /1,118千 m^3
ダム事業者	新潟県
着工/竣工	1972/1980

**2. 被災の状況(メカニズム)**

(1)被災日時

- 2004(H16)年10月23日17:56 新潟県中越地震(M6.8)

(2)被災の概要

1)堤体

- 堤頂部にクラック発生、上流法面ですべりが発生し、沈下亀裂が生じた。
 - ・地震により堤体表層部が上流側下方に変位
 - ・堤頂部クラックはコア材天端付近までのクラックが数カ所で発生
 - ・堤体右岸部は沈下により非越流標高が不足
 - ・すべりは表層浅部(2m以下)、ブロック張のズレは最大12cm程度

2)洪水吐

- 左岸側コンクリートが倒壊、水路内に土砂が堆積

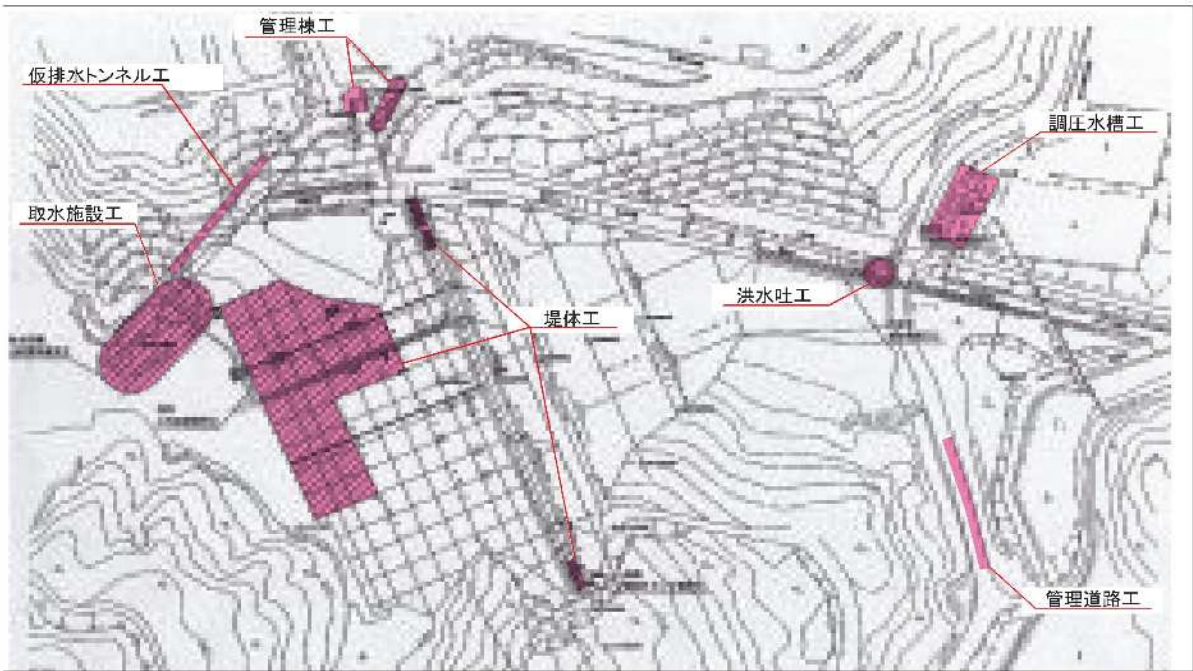
3)取水設備

- 縦壁及び取水施設受け台が破損

4)その他

- 管理施設(ITV,水位計等)が破損、付帯施設の調圧水槽、管理道路で地盤沈下により機能支障

- 復旧後の試験湛水中に、仮排水路トンネル内の土砂吐管断面に変位が発生、通廊壁部にクラック・はらみ出しが発生、天井部から漏水(新たな被災;2006(H18)2月)



川西ダム被災平面図



堤体上流法面被災状況



管理棟被災状況



洪水吐被災状況



取水施設被災状況



管理道路被災状況



仮排水トンネル道跡復旧前



調圧水槽被災状況

3. 復旧工法の検討

<工事概要>

- ・ 堤体上（堤頂）：盛土（コア材）V=156m³、舗装A=246m²
- ・ 堤体工（上流法面）：掘削・盛土（ブレンド材）V=6,660 m³、張ブロックA=3,341m²
- ・ 洪水吐工：コンクリート擁壁V=98m³
- ・ 取水施設T：コンクリート擁壁V=89.8m³、取水設備N=1式
- ・ 管理棟工：ブロック積みA=62.6m²、場内舗装A=95m²、管理棟内計器盤N=1式
- ・ 観測監視施設：ITV設備N=1式、水位計N=2基、風向風速計N=1基、設備配線N=1式
- ・ 附帯設備工：湧水水槽場内舗装A=233m²、管理道路舗装A=224m²
- ・ 仮排水トンネル上：変位抑止上（H鋼切梁）L=52m、漏水対策上（セメントミルク注入）N=41孔、ドレーン孔N=12孔

1)堤体

- 天端標高の不足する堤頂部は、被災箇所路盤50cmまで既設コア材を撤去、建設中の松葉沢ダムのコア材で盛土し、舗装復旧
- 堤体上流法面盛土材は、当初、現堤体は撤去し、松葉沢ダムの土取場材料で盛土する計画であったが、土質試験の結果、本ダム設計数値に満たないことが判明したため、現堤体材と購入砕石を混合したブレンド材を使用
- 張ブロック材はできる限り再利用

2)洪水吐

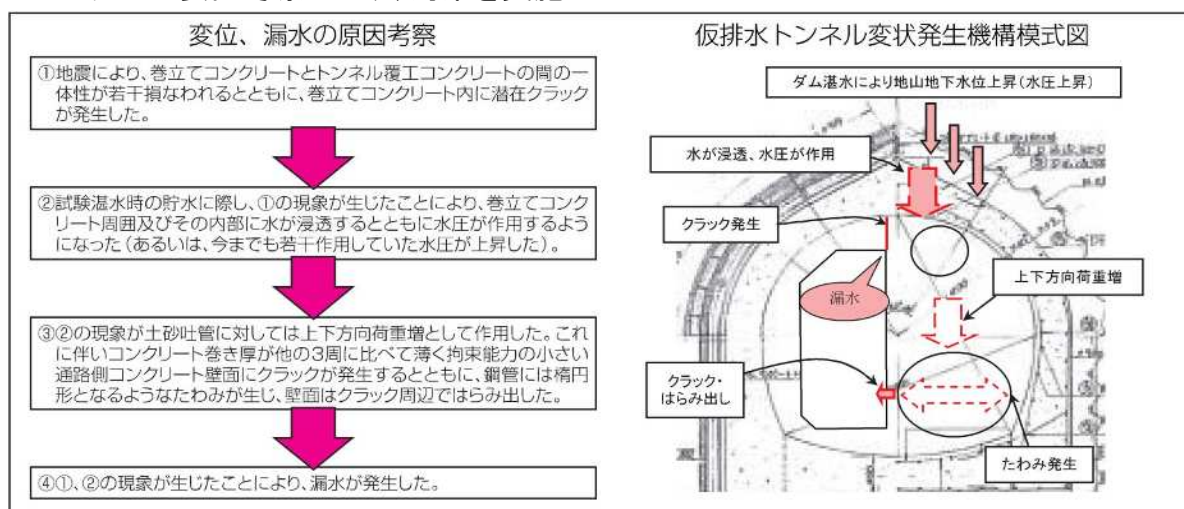
- 倒壊、変位を起こした1スパンを撤去し、新設。

3)取水設備

- 被災した豎壁は撤去せず、内側にコンクリート重力式擁壁を増設。受け台は既設に新受け台を付け足し。

4)仮排水路トンネル(新たな被災箇所)

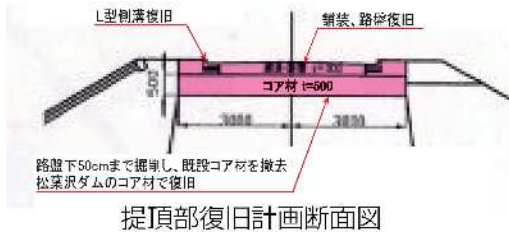
- 以下の要因考察により、対策を実施



天井部からの漏水

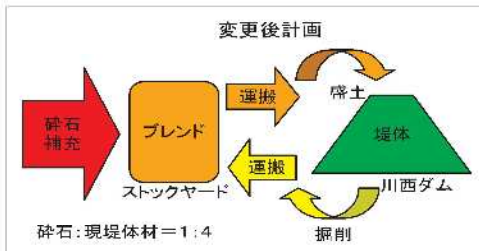
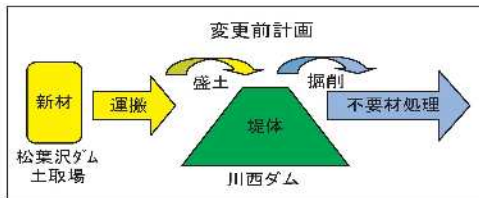


壁面のクラック、はらみ出し



堤体盛土締め固め仕様

	使用機種	まきだし厚	転圧回数
土質試験により 当初設定した仕様	8t級 振動ローラー	40cm	8回
盛土試験により 最終決定した仕様	11t級 振動ローラー	40cm	6回



堤体上流法面復旧計画変更概念図



ストックヤードでの盛土試験状況



堤体盛土状況 (11t級振動ローラー)



堤体上流法面復旧完了



管理棟復旧完了



洪水吐復旧完了



取水施設復旧完了



調圧水槽復旧完了



仮排水トンネル通廊復旧完了