

## 岩盤地すべりブロックの上に建設中の ロックフィルダム (チェコ共和国)

野崎 保\*

ここに紹介するダムは、旧チェコスロバキアの中央北部に、現在建設中のロックフィルダムである。このダムはオストラバ市の西方30km程の位置にある。私自身はこのダムの見学をしたわけではないが、ここに紹介する内容は、1993年9月に行われた7th ICFLのField Workshop Guideに掲載されたものであり、見学の概要は伊藤他(地すべり技術 Vol.21, No.1, pp. 51-52)によっても紹介されている。このガイドブックを編集されたノボサド博士にはヨーロッパでの6th ICFL(1990)で親しくなった関係で、資料を送っていただいた。また、1994年9月にポルトガルのリスボンで開催された7th IAEGの総会で再会する機会があり、このスレッスカ・ハルタダムについてお尋ねしたところ、たまたま持参しておられたパンフレットを頂戴した。我々ダムの調査に従事する者にとっては、非常に興味のある内容なので、日本の地方誌に紹介したい旨お話ししたところ、それは有り難い話であるとおっしゃっていただいたので、博士の書かれた案内文を翻訳し紹介することにした。なお、ノボサド博士は現在地質コンサルタントとして活躍しておられるが、地すべりについて多くの論文を発表されており、現在のチェコにおける地すべり研究の第一人者といってよい方である。本ダムは、高さ64.8m、総貯水容量約217,500,000<sup>m</sup>の傾斜コア型ロックフィルダムである。

### SLEZSKA HARTAダム

Stanislav Nobosad

#### はじめに

高さ65mのSlezska Harta ダムは、チェコ共和国のMoravice川(北Moravia)にたまたま建設中である。土木地質的な調査は1964年にすでに始まっており、予備調査に関する詳細は添付のパンフレット“vodni dilo SLEZSKA HARTA”・英語版GENERALLYを参照されたい。

\*野崎技術士事務所

## ダムサイトの選定

Slezska Harta ダムサイトの選定にあたっては以下のような条件が課せられた。

- ・ Ostrava 周辺の人口密度の高い地域への上水用として Moravice 川におよそ 2 億 m<sup>3</sup> の容量の貯水池を必要とする。ダムの位置は同じ川の既設の Kruzberk ダムの貯水池の直上流にあり、最適な条件の位置であるように思われる。
- ・ ダムの位置は Kruzberk ダム貯水池の上流端とおよそ 15 km 上流の町 Bruntal を守る必要性によって限定される。このようなことから、延長およそ 4 km 間の谷の部分に、高さ 65 m のダムサイトを選定することが可能であった。
- ・ 地形的な観点からは、延長わずか 1 km の間のみが最適地であり、検討中の他の部分に関してはダムのボリュームは倍以上のものが必要とされた。

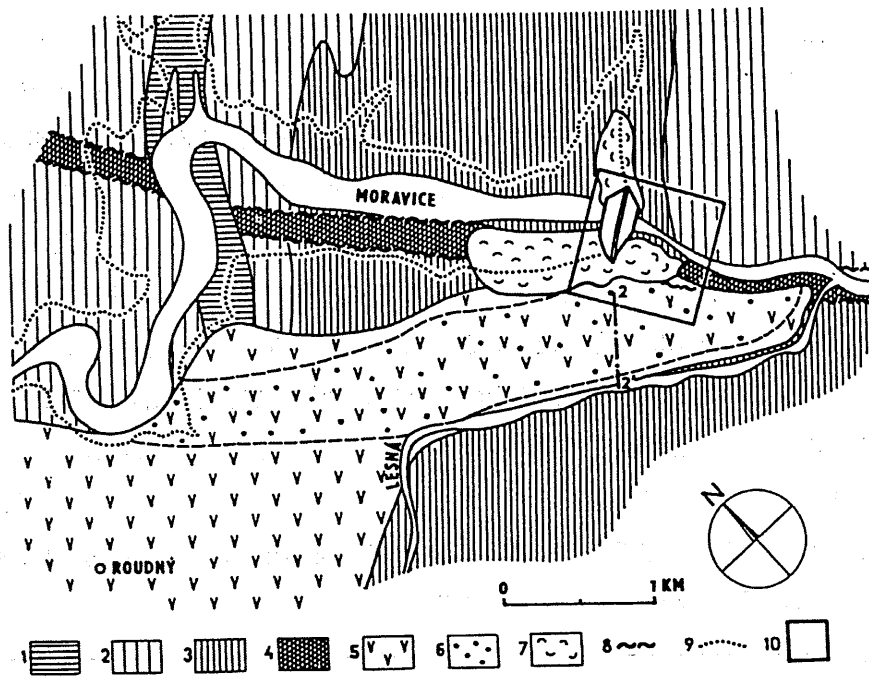


図1 調査地域の地質 (O. Horsky に著者が加筆修正した)

1. デボン紀石灰岩、2. 石炭紀砂岩 (硬砂岩)、3. 石炭紀頁岩、4. “Belsky zolm” と称される構造性断層、5. 玄武岩 (第四紀)、6. 玄武岩の下に埋積した段丘礫層の分布範囲、7. 玄武岩境界部の地すべり、8. 破碎岩の境界、9. 貯水池の範囲、10. 詳細な地球物理探査が実施された範囲 (詳細は図 2 参照)

## 峡谷部の更新世地史

玄武岩溶岩流によって形成された自然ダム

更新世初期には、Moravice 河谷の河床は現在よりもおよそ 35 m ほど高い位置にあった。対象地域においては、主に厚層を成し、褶曲した石炭紀の頁岩・砂岩層中に谷が侵食・形成された。およそ 60 万年～100 万年ほど前に、層状火山 V. Roudny の活動期が始まった (ダム

サイトからおよそ4.5km)。火山噴火は、溶岩の噴出を繰り返しながら、おそらく全域におよぶ激しい地震活動を伴っていたものと推測される。

V. Roudnyからの長い玄武岩溶岩流は繰り返しMoravice川の谷に流れ込み、高さ50～70 m、延長数kmにおよぶ自然のダムを徐々に作り上げていった。埋積された旧河床あるいは緩やかな谷壁斜面の玄武岩溶岩下では、礫、砂、ローム、ローム質崩積土などからなる河成堆積物あるいは崩積土がそのままの形で残った。自然ダムの上流側の谷中に厚く堆積した凝灰質堆積物の存在から、溶岩流によって形成された自然湛水池のレベルを推測することができた。

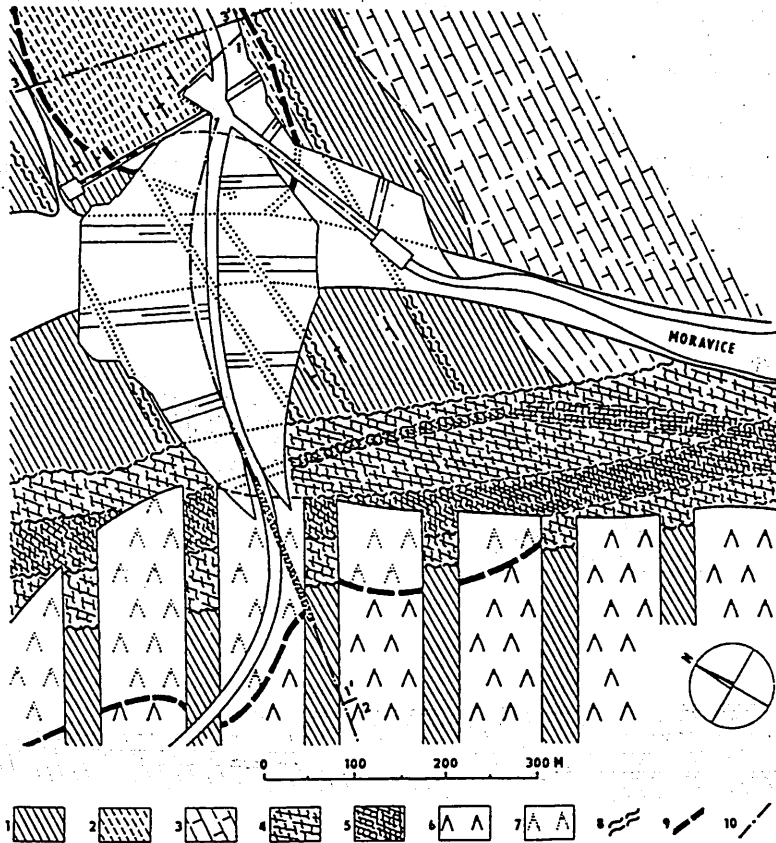


図2 広域の物理探査および選定されたサイトの詳細調査の結果に基づいて解析されたダムサイトの地質

1. 石炭紀頁岩、2. 層理面に沿った地すべりによって乱された石炭紀頁岩、3. 石炭紀砂岩、
4. “Belsky zolm”断層中の破碎岩、5. “Belsky zolm”断層中の強破碎帯、6. 玄武岩、
7. ブロッククリープによって乱された玄武岩岩体、8. 褶曲軸に平行な断層、
9. 過去に地すべりによる影響を受けた岩体のおおよその範囲、10. 地質断面線

その湛水池の形成によって結果的に生じた排水路は、全般に溶岩流の左サイドに発生し、そこには新しい谷が徐々に侵食・形成された（図1参照）。新しい谷の位置はおそらく古い谷の近隣地域において幾分地形的に低くなっていたせいで決まったものであろう。低い部分のない溶岩流の先端部分では、溶岩流と左岸側の石炭紀の岩石類からなる谷壁斜面の接触部

に新しい谷が侵食・形成された。これらの後者の条件が、結果として地形的観点からダム建設に有利な峡谷を形成した。

### 地域的な構造性断層

V. Roudny層状火山は、2つの地域的な断層である“Belsky断層”とデボン紀の岩石類からなる激しい構造帯との交差部に、おそらく関係したものであろう。

“Belsky断層”も選定されたダムサイト周辺の土木地質条件に大きな影響をもたらした(図1、2参照)。それはおそらく周辺地域における火山活動と同時期に活発に活動していたであろう。そして、対象地域の古い谷の位置を大局的に規制したのであろう。

“Belsky断層”は全体としては数100m幅の石炭紀の頁岩と砂岩からなる激しい構造帯である。それには岩盤が応力によって、構造性粘土の状態にまで変質した幅数10m単位のいくつかの破碎帯が含まれている。

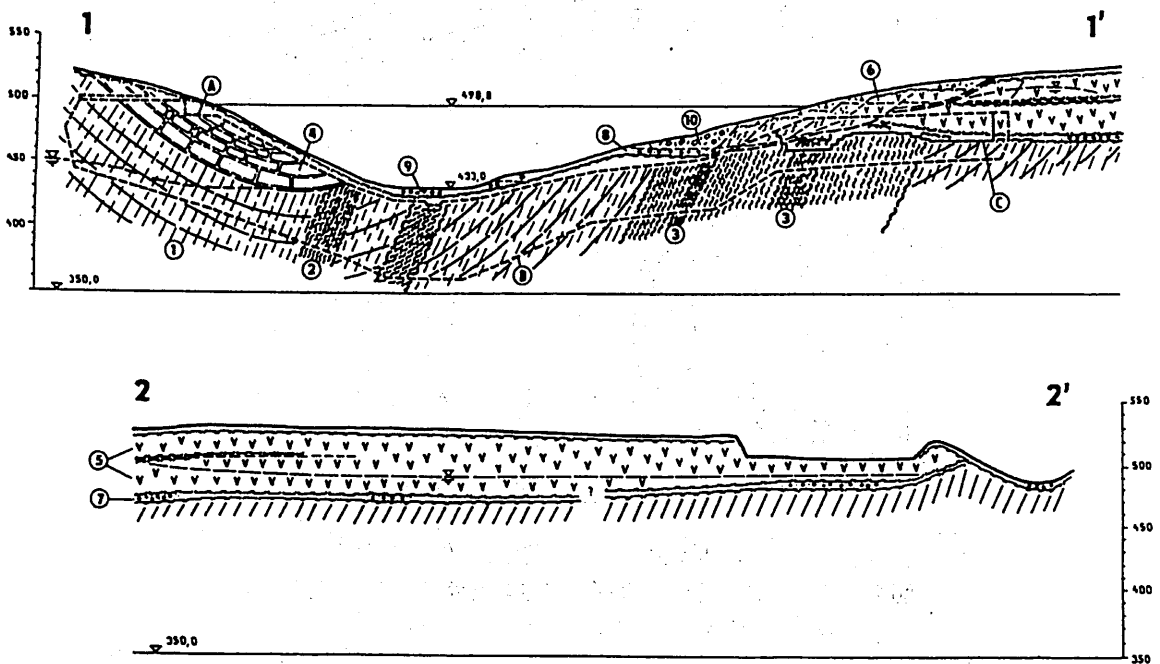


図3 地質断面 1-1:ダム軸沿い、2-2:玄武岩溶岩流沿い

1. 軸方向の劈開を伴った石炭紀頁岩の厚層、2. “Belsky zolm”断層およびそれに平行な断層中の破碎岩、3. “Belsky zolm”断層中の強破碎帯、4. 過去のすべりによって乱された頁岩の厚層、5. 玄武岩溶岩流の岩体、6. 過去のブロック移動によって乱された玄武岩溶岩流の境界、7. 玄武岩溶岩流の下に埋積された段丘礫層、8. 溶岩流による元の谷の埋積後に形成された新しい谷に堆積した段丘礫層、9. 最も新しい段丘礫層、10. 地すべり崩土(大半は玄武岩の風化ブロックとローム)、A. グラウチング坑の基礎、B. グラウチングカーテンの範囲、C. 地中粘土・コンクリート壁の範囲

## 玄武岩溶岩流の境界部の地すべりとLateral Spreading

新しく侵食形成された谷で、玄武岩がローム質の堆積物、あるいはBelsky断層帯の激しく破碎された頁岩、あるいは新しい川の岸の方に向かって層理面が傾斜している石炭紀の頁岩を覆っているところでは、しばしば玄武岩ブロックのすべりが発生した。そのような場合、一部石炭紀の劣化した複合岩体からなるが、主に玄武岩溶岩の岩体からなる地すべり崩土が新しい谷の河成堆積物を覆い、最終的には左岸側斜面の方に川を移動させた（図1、2、3参照）。川沿いの円弧型すべりの結果として、一次滑落崖から後方数100mにわたって玄武岩岩体のlateral spreadingが発達した。ダムの調査中には、円弧すべりの地形的証拠はわずかに散在する程度であった。しかし、玄武岩岩体中にシャープな滑落崖を伴ったこれらの化石地すべりは、おそらく最も新しい溶岩流のシートによって覆われてしまったのであろう。

## 石炭紀頁岩の岩盤すべり

新しい谷が侵食形成されているそのところに、左岸斜面では層理面に沿って厚い石炭紀頁岩層のすべりが発生した（図1、2、3、4参照）。その理由は以下の通りである。

- 石炭紀頁岩中の向斜構造の存在およびMoravice川の新しい侵食谷およびその左岸支流である“Hartsky potok”による適当な削剥（図4、図2の3-3断面参照）。

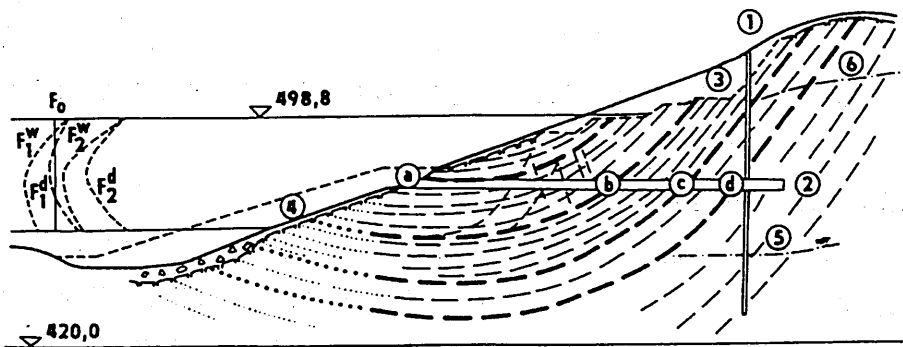


図4 Hartsky Creek地すべりの縦断方向地質断面

1. グラウチングと水圧調査のための調査ボーリング孔。
2. 調査横坑。
3. 斜面安定対策の一部として拡幅された道路のための掘削。
4. 斜面安定のための押さえ盛土。
5. 最近の地下水位（Harsky Creekの水位に支配される）。
6. 貯水位に連動する地下水位の予想最高水位。  
a. b. c. d. 横坑内で発見された過去のすべり面で、すべり面の粘土層の厚さは数cm～数10cmである。

安全率と貯水および斜面内の水位と関係は以下の通りである。

- $F_0$  : 貯水前に対策施工前の斜面の安全率 (SF)、地下水位は5の位置。  
 $F_{d1}$  : 斜面上部での貯水位レベルの掘削施工後の斜面安全率、地下水位は貯水位と同じレベル。  
 $F_{w1}$  : 同上、大雨の時期で、地下水位が予想位置まで上昇し、貯水池方向に傾斜している時。  
 $F_{d2}$ 、 $F_{w2}$  : 上記に同じ、押さえ盛土の施工後。

- 厚い石炭紀頁岩層の層理面に沿った粘土層の挟在。
- 一般には堅く厚い頁岩層が軸方向の密な劈開節理によって（最終的に、しかし少なからずその影響によって）軟質化すること。
- この過程はおそらく前述した周辺地域の激しい地震活動に影響されたものであろう。

地すべりの発達という観点からは、向斜構造に加えて、石炭紀の地層からなる岩体の最も重要な特徴は層理面に沿った粘土層の存在である（粘土層の挟在は地表下面、最大80mまでチェックされている）。これらの粘土層の厚さは数mmから数10cmまで変化する。地表からこのように深い位置に、全く新鮮な石炭紀頁岩とシャープに接触する軟質な粘土層の存在は奇妙であり異常である。慎重な地化学的鉱物学的分析によって、粘土と頁岩は同じ鉱物組成であることがわかった。したがって、その粘土層はすべて頁岩の風化物であり、始めは褶曲運動の際にコンピート層間に発生した移動の結果、機械的に破碎されたものと考えられる。この移動の結果として、最初は起伏のあった層理面が滑らかになり、数cmの破碎物質が生成された。この薄く、比較的透水性のある層は速やかに粘土になり得たが、このようにしてすでに不透水性になっていた産物は水の浸透を阻み、粘土層と接触している頁岩の風化過程をも阻んだ。ここに提起した仮説は新鮮な岩石と接する粘土層の存在および地表下深部のこの現象の発生を十分に説明している。

おそらくこのような現象は初めて観察されたものであり、安定条件の評価に関して極めて重要なことである。この時点までは、明らかに起伏のある層理面を伴った厚い石炭紀の頁岩層は、層理面沿いに比較的高いせん断抵抗を持っているものと一般には考えられていた。

#### 地球物理的方法の有用性

右岸の地すべりも（前出）、左岸谷壁斜面の石炭紀頁岩層中の岩盤すべりも典型的な地すべり地形は示していない。それは、後者の場合、過去において頁岩層が徐々に何枚かのシート状に分離して移動したせいである。双方のケース、すなわち右岸斜面の地すべりと溶岩流の境界のlateral spreadingおよび左岸斜面の岩盤すべりにおいて、地球物理的方法の広範な使用によってのみ、ダムにとって重要な岩盤の破碎状況を把握できたのである。

#### 地質的災害の評価と緩和

谷の発達史の一部である上記の地質的過程は、ダムの建設および稼働を危うくする地質的災害のタイプにも重大な影響を及ぼした。その災害のタイプとそれらの緩和のために採用された対策法について以下にレビューしておく。

## 貯水池の不透水性

玄武岩の岩盤下に埋積された段丘礫層は、土木地質家達にとって認識されたダムにとっての第一番目の脅威であった。彼らは貯水池からその斜面上にある古い段丘露頭を通して礫層に水が浸透し、結果として近隣のLesna川の谷に漏水する可能性を恐れた(図1参照)。以下のような調査結果から全体としての漏水量はさほど重大なものではないことが明らかにされた。

## ダムの右岸アバットメント

### 玄武岩溶岩の過去の重力変形に関係した安定上の問題

玄武岩岩体の円弧すべりとlateral spreadingによる玄武岩シートに境界部の破碎は重大である。ダムの右岸アバットメントからの破碎の範囲は150~200mと考えられ、岩盤すべりの下にある構造性断層帯と共に、おそらく重力性の移動の発達に関与したものであろう。それらはダム建設中に必要な掘削斜面の安定、あるいは貯水池湖岸の長期安定のいずれにとっても、重大な脅威であることを現わしている。

右岸斜面の中断にある段丘礫層のレベルでは、ロックフィルダムの基礎としては、化石地すべりの先端から最大20mにおよぶ土砂の層は取り除く必要があった(図3参照)。したがって、施工は斜面の上端から実施された。最終的にはおよそ10mの厚さの層が、3段で各々およそ20m程度の幅で徐々に掘削され、各小段は掘削後直ちにロックフィル材料で埋め戻された。この施工の間、右岸谷壁斜面の移動状況は、地表変状を把握するテープ伸縮計と、すべり面のうごきをチェックするボーリング孔内の傾斜計を使って、注意深く監視された。観測された総移動量は地表で5~10mm、すべり面で4~5mmであった。監視の結果は、一方では化石地すべりが再活動する恐れも十分にあり得るが、もう一方では提案された掘削技術とこの位置でのロックフィルダム基礎で成功しうる十分な根拠もあることを示している。

### 玄武岩岩盤の過去の重力変形に関連した透水性の問題

玄武岩ブロック中の開口亀裂中の不規則な挟在物がグラウチングの妨げになっている。玄武岩ブロック間を満たす水理学的に不安定な挟在物中、特にその下位にある埋積谷の第四紀堆積物と断層帯中の激しく乱れた石炭紀頁岩との接触部においての長期にわたる浸透流による侵食あるいは、パイピングはダムにとって重大な脅威となる可能性がある。それは最大貯水位から10m水位が下がることになり、およそ8,000万m<sup>3</sup>の貯水量の減少となる。

不透水性の確保のために、不透水性の地中壁が施工された。地中壁は粘土とコンクリートの混合体であり、厚さは2.5mである。この地中壁は化石的な重力性変動によって乱された

玄武岩溶岩とその下に埋積されている第四紀堆積物を掘り抜き、風化程度や破碎程度に応じて異なった深さで、石炭記の頁岩に基礎をおいている。地中壁の範囲は図3に示されている。

### “Belsky断層”

ダムサイト周辺の広域の繰り返しレベル測量と地表変形解析の結果、“Belsky”構造断層は最近わずかな変形活動をしている可能性の高いことがわかってきた。貯水容量が2億 $m^3$ を超えるので、湛水後にこの断層上の誘発地震活動は無視できないものがある。

誘発地震の連続的な監視体制と、断層沿いの結果として生じた変位量を繰り返し監視していくことが勧奨された。その結果はダム完成後の不備な点に関する種々の評価に役立てることができよう。

### ダムの左岸アバットメント

Moravice川やその左岸支流である“Hartsky potok”などの侵食谷は、大規模な向斜構造をなす厚い石炭紀頁岩層を横断している。そこにみられる頁岩層は、層理面に沿ったすべり面を持つ化石地すべりによって著しく乱されている。そのような乱れは斜面変動によって乱されていない頁岩層の場合よりもグラウト量が増すことになり、およそ3倍ものコストを必要としている。支流谷では湛水後に斜面変動の再活動が起こる可能性が高い。上部斜面を新しい道路やパイプラインが横断することになるので、斜面崩壊による災害を防止するために、必要な対策工が施工された（図4参照）。

勧奨された対策工は以下のようなものである。

- 上部斜面の掘削範囲の拡大
- 先端部分の押さえ盛土と
- 雨期において、貯水位まで地下水位を下げるための地表および地下の排水システム；地下水の排除のために、建設後には調査横坑も使用されるだろう（図4参照）。

### おわりに

土木地質家の一般的な仕事は、設計施工によって決定された地質環境の変化の結果として生じうるすべての予想可能な災害を事前に把握することである。一般には設計段階において、危険な点を予測をすることである。我々自身が皆往々にして、楽観的な予測が失敗を招き、施工時になってやっと災害の危険を認識するという経験を持っている。一方、これらのケースは時に高価なものとなるが、最良の土木地質的経験となる。



Slezska Hartaダムサイトの場合には、上述したすべてのタイプの地質災害が、調査中に把握されたことに、我々は満足している。複雑な地質環境に対して、ほとんど形態上の表示がみられない中で、谷の地質的形成史の深い理解と、その地域内での地球物理的方法の広範な使用が重要な役割を演じた。しかし、最も重要なことは、北部Moravice地域におけるダムの事前調査にあたって、多くの同様な問題の解決を経験していたということである。Zermaniceダムでは、盤ぶくれタイプの斜面変形 (Zaruba 1956) および礫層で満たされた旧谷への貯水池からの漏水の問題が解決された (Novosad & Rybar 1958)。Moravkaダムでは、層間の深層クリープが原因の既住の乱れによる、厚い砂岩層の極端に高透水の問題であり (Novosad 1978)、Sanceダムでは、層理面に沿った砂岩層の古い岩盤すべての再活動の問題であった (Novosad 1984)。

Slezska Hartaダムと北Moravia地方においてそれ以前に調査されたダムとの相違点は、Slezska Hartaのケースは一つのダムサイトにいろいろな種類の地質災害が異常に集中していたという事実だけである。