

ゼーヤ水力発電所地区の地震活動度\*

V. P. SOLONENKO, V. V. NIKOLAEV, R. M. SEMENOV and A. D. SARAPULOV\*

岸本文男\*\*訳

ゼーヤ水力発電所ダムの建設はトゥククリングラ山脈を切刻しているゼーヤ河の狭い峡谷で行われている。発電所施設地区の地質条件と経済的・技術的な検討は建設事業に十分反映されていた〔5, 8〕が、地震条件は実際上考慮されていなかった。

アムール河上流流域(ゼーヤ河地区も含め)の地震活動度の研究はきわめて不十分である。1958年以前には、もっとも近い地震観測所がウラジオストック地震観測所であった。1958年と1962年に、「ヤクーツク」、「チュリマン」(以上南ヤクート地方)、「ウスチ=ニュグジャ」(アムール州北部)の各地震観測所が開設され、それによってアムール河上流流域の少なくとも第IX-X級<sup>1)</sup>の地震が記録できるようになった。そのほか、かつてこの地区近辺には、季節的な地震観測所として活動していたものにトィング村、アルダン河源頭その他広域地震観測網の資料の精度を高めるのに役立った、いくつかの観測所があった。1974年にソ連科学アカデミー極東科学センター樺太総合科学研究所は、地震条件の変化を研究する目的で、地震観測網の空白を埋めるためにゼーヤ水力発電所のダム建設予定地近くのキーロフスコエ村とボムナクに地震観測所を開設した。

機器観測の開始以前から、この地域に関して幾つかの体感地震の情報があった。ゼーヤ埠頭地区でもっとも強かった地震(1911年)の震度はVII等級<sup>1)</sup>に達していた〔3, 14〕。そのため、当初の地震帯区分に当ってはゼーヤ市近郊の小範囲がVI-VII等級地震発生危険区に入れられ、アムール河上流流域の大部分がV等級地震区に入れられた〔3〕。その後のソ連地震帯区分図〔4〕では既知

のVI-VII地震区も含めた本地域は全体として震度V等級地震帯に含められてしまった。しかし、当時すでにトゥククリングラ=ジャグダ帯が上記区分図に表わされているよりも地震の発生は活発で、しかもゼーヤ市付近にはその構造地質条件と土木地質条件から地震予測震度はIX等級にランクづけされるべきだという疑問が出されていた〔18〕。ゼーヤ水力発電所のダムサイトが地震発生ポテンシャルの高いトゥククリングラ=ジャグダ複背斜の境界近く、深部裂かへの付近に位置することについて、1967年にV. P. Solonenko はレニングラード水力発電企画院と全ソ水力発電設計院に注意を喚起し、ゼーヤ水力発電所の計画に当ってそのことが全然配慮されていないことを強調した。

1968年、全ソ地質研究所は極東地質調査所・ヤクート地質調査所と共同してアムール=ヤクート幹線道沿いに地質・地球物理総合調査を実施した。その調査の結果、ゼーヤ地区を含む調査地域が決して無地震域ではないことを確認し、記録された地震の震源は活発化した断層帯、とくにモンゴル=オホーツク深部構造断層〔24〕によるものであることを明らかにした。

1971年、アムール州の地震活動度を検討した結果にもとづいて、A. E. Dammer〔2〕はトゥククリングラ=ジャグダ山脈帯をVI等級地震発生地区に入れ、ゼーヤ市近郊地区を正確にVII等級地震発生地区と考えなくてはならない、という結論をひき出した。しかし、最近の標準ソ連地震区分図では当該地域は事実上の非地震地区に入れている〔9, 10, 13, 22〕。

構造地質、新期構造、活発化した断層、地震地質の多くの資料を考慮すれば、公式の標準地震震度〔22〕は下がり、ゼーヤ水力発電所が地震危険帯中にあると思われるような、発生地震の震度が大きいところという概念は実際上生まれない。

1969-1971年にソ連科学アカデミー シベリア総支部地殻研究所がソ連科学アカデミー シベリア総支部ヤクート支部地質研究所と共同してチャラ=トィング地区に

\* В.П. Солоненко, В.В. Николаев, Р.М. Семенов, А.Д. Сарapulов (1977) : Сейсмичность района Зейской ГЭС : Геология и Геофизика, Академия Наук СССР, Сибирское отделение, no. 7, стр. 3-8

\*\* 鉱床部

1) MSK 震度階 : 第I級を“無感, 人体に感じないで, 地震計から地震のあったことを知る”として, 第VII級を“地上及び地下のすべての構造物は大被害を受けたり, 破壊されたりする。地表の相ぼうは全く変わり, 多数の割れ目, 岩石落下, 築堤の陥没が広い範囲に生ずる”とする12階級に地震現象を分類した震度階。

おけるバイカル-アムール鉄道予定路線の地震活動度を確定するための研究を行った。そして、その地震地質学的な資料にもとづいて、トゥクリングラ山脈北西山稜地区にⅧ等級地震帯が画かれ、その根拠も明らかにされた[21, 23]。地質構造環境及び地震構造地質環境からすると、このⅧ等級地震帯はゼーヤ水力発電所・ダム地区のさらに南東に延びていると推定できる。この推定は、かつて行われた推論[18]と同じように、1972年6月13日の地震と1973年11月2日の地震( $M=5.5$ と $5.7$ ,  $I_0=Ⅷ$ 等級)によって証明された。成因的にも空間的にもこの2回の地震はトゥクリングラ山脈とジャグダ山脈の山岳構造帯の境界をなす南トゥクリングラ深部断層とウスチ=ギリユイ深部断層に密接な関係があった[17]。

地震構造地質上の位置からすると、上記山岳構造の発達は強震の発生に見合うような大体積の地殻部分への弾性応力の蓄積をもたらしている。そのような応力の負荷は発達途上の構造形態のいろいろな部分に生じ得るが、しかし一般的には断層帯に沿った変動との結びつきが強い。ゼーヤ水力発電所の場合に地震の危険がもっとも大きいのは南トゥクリングラ断層とウスチ=ギリユイ断層(トゥクリングラ断層、北トゥクリングラ断層)で、いずれもトゥクリングラ=ジャグダ ドーム=ブロック隆起体を境するものである。これらの深部断層はモンゴル=オホーツク広域構造断層の構成要素でもある。

モンゴル=オホーツク断層帯は北モンゴルからオホーツク海沿岸まで、ほぼ3,500 kmにわたって延び、その全延長にわたって大規模な構造複合体、すなわち一方ではサヤン山脈、ザバイカル地方、スタノビク山脈のカレドニア造山帯とカレリア造山帯、もう一方ではモンゴル=オホーツク褶曲帯のヘルシニア造山帯の発達を規制している。当該断層は各種のテクトナイト(マイロナイト、ダイアフライト、カタクレ=サイトなど)、羽状裂か、平行裂か、塩基性貫入岩と超塩基性貫入岩を随伴し、全地質発展期間における大型構造断層の長期にわたった応力の進化を示すすべての特徴を備えている。モンゴル=オホーツク断層のネオテクトニクス段階に大規模な凹地と隆起が形成され、新第三紀-第四紀におけるこの断層による変動が活発であったことを証明している。

この狭長大構造単位(リニアメント<sup>2)</sup>)の各部分の地震災害のポテンシャルが高いことは微小地震資料[16, 19]が証明しているところである。北モンゴルにおけるこの断層に沿った大災害をもたらす変動は、世界

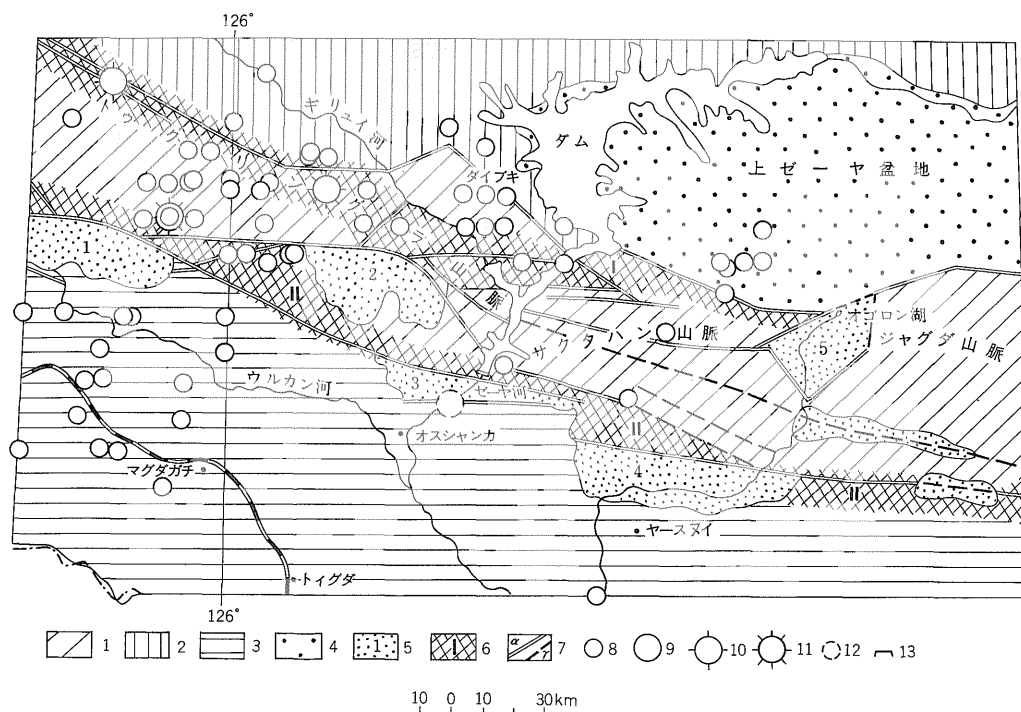
強震年表[15]に掲載されている1905年7月9日と同23日のマグニチュード8.4と8.7(Ⅺ等級とⅫ等級)の地震にその例をみることができる。更にその北東方、北モンゴルからザバイカル地方のモンゴル=オホーツク構造断層の場合になると、その構造帯の地震活動のポテンシャルはチコイ地域の最大Ⅷ-Ⅸ等級(マグニチュード5.5-6.5)、シルカ地域の最大Ⅶ等級(マグニチュード5.5)以下に下がる。それからトゥクリングラ=ジャグダ複背斜区では、地震活動のポテンシャルが再び高くなる。

強震がすでに記録されている長大な断層がその全延長にわたって強震を発生するエネルギーを等しくし、高い地震災害のポテンシャルを備えているという見解が広く普及しているが、断層それ自体が地震の原因とはならないので、このような見方は均一な構造形態の場を通っている断層の場合に限って通用し得るにすぎない。「断層即地震」という図式はほとんどすべての地震地質学的研究の基礎のようにになっているが、もはや破棄されるべきものである。実際に地震は地殻ないし上部マントルの上部と地殻の応力状態をもたらす深部過程の結果にすぎない。蓄積されたエネルギーの主要部分(決して全部ではない)の放出は地塊の運動という方法、何よりもまずコントラストの強い方法、すなわち大型断層に沿って行われるが、決して断層によるだけではない[21]。つまり、断層帯の地震活動度のポテンシャルリティを決める際には、異質な構造形態部の境界と深部過程との組合せで当該断層帯を考える必要がある。すなわち、別の構造形態部で同一の断層が地震活動のポテンシャルを異にすることがあるからである[19, 20]。このような観点からモンゴル=オホーツク構造断層の評価にとりかからなくてはならない。そうでない場合には、モンゴル=オホーツク構造断層全体(ゼーヤ水力発電所地区を含む約3,500 km)を根拠もなくⅪ-Ⅻ等級の地域に入れざるを得なくなる。

ゼーヤ水力発電所が属する地震危険帯では、羽状裂かと平行裂か、多節理区、閃緑岩とはんれい閃緑岩の大型及び小型貫入体を伴った南トゥクリングラ断層がモンゴル=オホーツク構造断層の構成体である。この南トゥクリングラ断層の古期進化史はO. S. Podkaminer[12]とN. A. Bogdanov[1]によってかなり詳しく研究されており、したがって我々は現在及び新第三紀-第四紀の構造形態の発展の中でのこの断層の役割について少し詳しく述べるだけにする。

本検討地域(第1図)では、トゥクリングラ=ジャグダ ドーム状地塊隆起、ニュグジャ=ゼーヤ山間沈降凹地(わずかな隆起傾向を備える)、比較的安定したアム

2) 日本でいうリニアメントとは全く異なる用語。日本では地形に現われたり、あるいは植生に現われている線状構造をいうが、ソ連の場合は大陸を横断する程度の、超大型の断層帯や狭大な構造帯をいう。



第1図 ネオテクトニクス・主要地震帯概図

正形態の構造

1—海拔1,400-1,500mまで隆起したドーム-地塊構造 2—海拔600-800mまで隆起した部分 3—比較的安定した部分 (海拔400-600m)

負形態の構造 4—山間盆地 5—前山盆地 (1:ウルクハン盆地, 2:エラキングラ盆地, 3:ピカン盆地, 4:デーブ盆地, 5:オゴロン盆地)

断層

6—古期断層帯 (I:ウスチ=ギリユイ断層, II:南トゥクリングラ断層) 7—新生代に活化した, 地震発生ポテンシャルの高い断層 (a:確認, b:推定) 8— $M < 4\frac{1}{2}$  (<VI級) 9— $4\frac{1}{2} < M < 4\frac{3}{4}$  (VI級) 10— $4\frac{3}{4} < M < 5\frac{1}{2}$  (VII級) 11— $5\frac{1}{2} < M < 6$  (VIII級) 12—1911年にVI-VII級地震観測点 13—ゼーヤ水力発電所

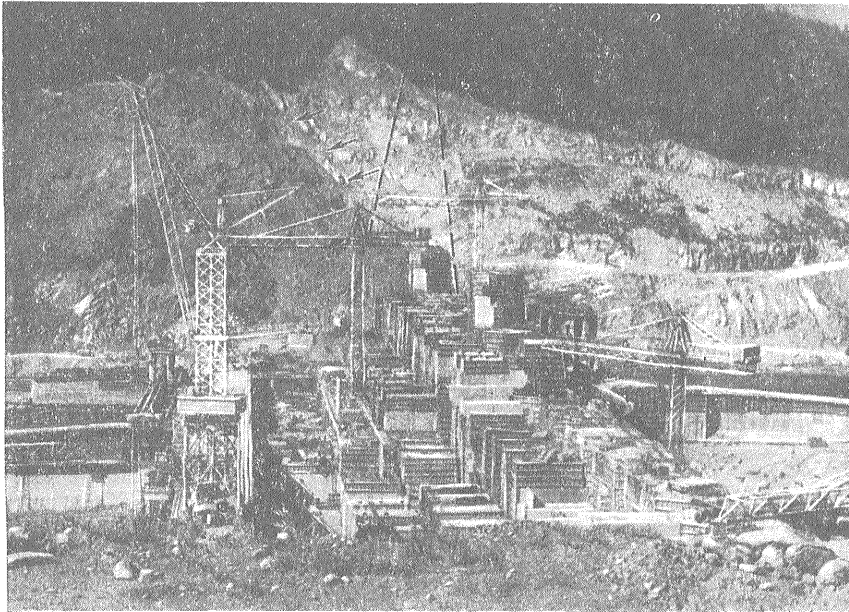
ール=ゼーヤ台地, 一連の小凹地構造が分類できる。南トゥクリングラ断層はその全延長にわたってトゥクリングラ=ジャグダ ドーム状地塊隆起の発展を規制している。また新生代アクチビゼーションは玄武岩及び安山岩質玄武岩の溢流によく示されている。しかも, 地形にはっきり現われている完新世の断層は南トゥクリングラ断層に伴われた構造変形岩帯外には出ていない。同様な現象はウスチ=ギリユイ断層でも認められる。

完新世の断層は一般に新生代小凹地群 (厚さおよそ100-120mの新第三紀-第四紀層に充填されたウルクハン凹地, ピカン凹地, デーブ凹地など) の北の境となっている。しかし試錐調査がなされていないため, これら凹地の先新生代基盤の相対的沈降値について正確に述べることができない。南トゥクリングラ断層の見かけの平均垂直落差は400mであるが, この断層が凹地を境している部分では600-700mに達している (撓曲は考えないで)。

全般的な構造史の解析 [6, 11] から考えると, トゥクリングラ=ジャグダ複背斜は地震活動度のポテンシャルが高いところとしなくてはならない。この複背斜を縁どり, かつ長期にわたって活動してきた深部断層帯はとくに強震の危険性が大きい。そのような深部断層帯の幅は断層に沿った地区の破砕の強さと変位面の立体的位置によって定まる。

ゼーヤ水力発電所にとって地震災害上もっとも危険な南トゥクリングラ断層面は北に60-70°傾斜している。この断層に沿った運動の性質, 送り面での条線の方向, 羽状裂か, 沿断層性構造の形成機構はいずれもこの断層が逆断層であることを示している。水力発電所の堰堤はその活動的な上昇翼部に建設されている。堰堤直下の結晶質岩盤の調査記録 (レニングラード水力発電企画院第8調査班資料) はそこに主としてNE-SW走向<sup>3)</sup>の数帯の

3) 原文通り。第1図には示されていない (訳者註)



第2図 ゼーヤ水力発電所堰堤線上の構造断層(矢印)。破線は完成後の堰堤の外形を示す。  
1974年 V. P. SOLOVENKO 撮映

断層帯があることを示している。当該断層は中生代後期のランプロファイア岩脈に充填されている。その岩脈は変形・転位しているが、この変形と転位は新生代のアクチビゼーション過程によるものであろう。上記の断層が可能性の大きい南トゥックリングラ断層から分岐したものであれば、南トゥックリングラ断層は左横ずれ断層ということになる。

堰堤の線上には、NE-SW断層のほかに、走向がE-Wに近く、北に約60°傾斜したもう一つの断層が記録されている。当該断層面に沿った部分の側岩は帯黄褐色の可塑的な断層粘土に変わり、当該粘土の幅は地表部から深度60mのところまでに5-10cmから35-40cmに増大している。ゼーヤ水力発電所の堰堤はこの断層に接している(第2図)。地震の強い震動が通過するか、局地的な震源になれば、弱帯に沿った地塊転位が起り得る。そして、その地塊転位が堰堤構成体中に強い剪断応力を作り出すことになる。以上のように、地震地質学的な検討の結果、ゼーヤ水力発電所地区の地震活動はⅧ等級の震度のものと判断できる。

トゥックリングラ=ジャグダ地域の地震性構造形態は、そのタイプによると、強震型のバイカル地溝構造と異なり、中程度の地震発生ポテンシャルを有するザバイカル地塊-波状構造に近い。このことはまた沿アムール上流地方の全体的な地震区分の基礎にならなくてはならない。

#### 文 献

1. Bogdanov N. A. (1960): Structure of deep fault zone in eastern slope of Tukuringra and Dzhagda mountains: BMOIP, part of Geology, 35, issue 2 (in Russian)
2. Hydrogeology of USSR: vol. XXIII, [Nedra] Press, 1971 (in Russian)
3. Gorshkov G. P. (1937): Seismicity map of USSR: in Book [Great soviet atlas of the world], v. 1, Moskwa (in Russian)
4. Gorshkov G. P. (1948): On a new map of seismic zoning of USSR territory: Report of Geophian, No. 1 (128) (in Russian)
5. Goryanskii A. G., Shpakovskii F. V. (1974): Engineering-geological conditions of Zeya hydronet construction: [Hydrotechnical construction], No. 5 (in Russian).
6. Gubin I. Ye. (1960): Regularities of seismic showings on the territory of Tadzhikstan: Press of USSR Academy of Science (in Russian)
7. Gubin I. Ye. (1974): Seismogenic fractures and their significance for seismic zoning: Geo-

- tectonics, No. 6 (in Russian)
8. Yevgrashin V. S. (1973): Construction of Zeya hydronet: 「Hydrotechnical construction」, No. 12 (in Russian)
  9. Norma and rules of construction in the seismic regions (SN-8-57): Moskwa (in Russian)
  10. Medvedev S. V. (1958): Seismic zoning map of USSR territory, 1957 year: Report of IFZ, USSR Academy of Science, No. 1 (168) (in Russian)
  11. Petrushevskii B. A. (1955): Significance of geologic phenomena by seismic zoning: Report of Geoph. Inst., USSR Academy of Science, No. 28 (155) (in Russian)
  12. Podkaminer O. S. (1959): Structure of South-Tukuringra fault on the district of planned Zeya hydroelectric-station: Information of Lengidep, No. 8 (in Russian)
  13. Situation of building in seismic districts (PSP-101-51): Moskwa, Leningrad, Stroizdat, 1951 (in Russian)
  14. Popov V.V. (1939): List of earthquakes in the territory of USSR: issue II, Siberia, Trudy of Seismological Institute of USSR Academy of Science (in Russian)
  15. Rikhter Ch. F. (1963): Elemental seismology: Moskwa (in Russian)
  16. Seismic zoning of Uran-Bator: by reducer-S. V. Medvedev, 「Nauka」 Press, 1971 (in Russian)
  17. Semenov R. M., Avdeev V. A. (1975): Zeya earthquake of 2, November, 1973: Geology and Geophysics (in Russian)
  18. Solonenko V. P. (1950): Earthquake of East Siberia: Trudy of Irkutsk University, Vol. III, ser. Geol., issue 3 (in Russian)
  19. Solonenko V. P. (1959): On the seismic zoning of Mongol People's Republic: Doklady of USSR Academy of Science: Vol. 127, No. 2 (in Russian)
  20. Solonenko V. P. (1963): Seismic zoning of East Siberia: Irkutsk (in Russian)
  21. Solonenko V. P. (1974): Seismology and earthquake prediction problem: Geology and Geophysics, No. 5 (in Russian)
  22. Building norms and rules (SNiP-A, 12-69): Moskwa, 1970 (in Russian)
  23. Kil'ko S. D., Kochetko V. M. et al. (1972): Seismotectonics and seismic zoning in territory of Baikal-Amur railroad: Informational collections of Seismology and Seismogeology, Irkutsk (in Russian)