ダム貯水と地震活動 (1)

——日本の大ダムの場合——

神戸大学理学部地球科学教室 寺 島 敦

(昭和 58 年 4 月 11 日受理)

Induced Seismicity and Dam Reservoirs (1)

—The Case of Main Dams in Japan—

Tsutomu TERASHIMA

Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kobe University

(Received April 11, 1983)

The present paper is a macroscopic and qualitative research for the change of seismicity in and around dam sites before and after the impounding.

Dams sampled in this research are forty three dams with the height of dam crest more than eighty meters where the impoundment started during 1963-1976.

Seismic data used are taken from "The Seismological Bulletin of the Japan Meteorological Agency (January 1926 to October 1980)".

Seismic activities within the hypocentral distance of fifty kilometers from the centers of dams are surveyed by dividing the periods into two before and after the impounding.

The nature of seismic activity for forty three dam sites can be divided into the following three classes:

- (1) Seven dam sites where seismic activity became active after the impounding.
- (2) Twenty one dam sites where seismic activity did not change through before and after the impounding.
- (3) Fifteen dam sites where the change of seismic activity is hard to be clearly recognized by the impounding.

In some of these dam sites, earthquake swarm followed after the impounding. These earthquake swarms, however, are difficult to be connected to the impounding, because the hypocentral distances are too far as thirty to fifty kilometers. This is a subject to be solved in future.

It has generally been considered that induced seismicity is closely related to geological structure of the dam site. But, the present paper does not discuss about it and left it to a future study too.

§1. 緒 言

ダム貯水とそれに因る誘発地震とに関する最初の組織的研究は、Boulder ダム地域に就いて、Carder (1945) によつてなされた。その後の主な研究は Engineering Geology (Vol. 10, No. 2-4, 1976, Special Issue) および GUPTA and RASTOGI (1976) にまとめられている。

昭和 56 年 10 月 7 日発表

Table 1. Heights, locations, the dates of completion, pondage and storage area of dams.

NO.	DAM	HEIGHT	LOCATION		THE DATE OF COMPLETION	PONDAGE ($\times 1000\text{m}^3$)	STORAGE AREA (km^2)
		(m)	(°E)	(°N)			
1	KUROBE	186.0	137.67	36.56	MAY 1963	199285	3.49
2	NAGAWADO	155.0	137.73	36.14	MAR. 1969	123000	2.74
3	KUSAKI	140.0	139.38	36.54	MAR. 1976	60500	1.70
4	TAKANE DAIICHI	133.0	137.50	36.27	DEC. 1968	45800	1.20
5	YAGISAWA	131.0	139.06	36.92	AUG. 1967	204300	5.67
6	HITOTSUSE	130.0	131.31	32.20	JUN. 1963	261315	6.86
7	SHIMOKUBO	129.0	139.03	36.13	MAR. 1968	130000	3.27
8	KUZURYU	128.0	136.69	35.89	OCT. 1968	353000	8.90
9	KAWAMATA	120.0	139.53	36.86	OCT. 1965	87600	2.59
10	SHIMOKOJIMA	119.0	137.03	36.24	MAR. 1973	117440	2.69
11	TSURUTA	117.5	130.49	31.96	FEB. 1966	123000	3.61
12	SHIN TOYONE	116.5	137.75	35.13	MAR. 1973	53500	1.56
13	YANASE	115.0	134.11	33.58	JUN. 1965	104630	2.91
14	IKEHARA	111.0	135.97	34.38	APR. 1964	338400	8.43
15	KAJIGAWA	106.5	139.49	37.82	OCT. 1974	22500	0.60
16	SAMEURA	106.0	133.55	33.76	NOV. 1973	316000	7.50
17	MISAKUBO	105.0	137.87	35.15	MAY 1969	30000	0.84
18	KOSHIBU	105.0	137.98	35.60	MAR. 1969	58000	1.67
19	SHIN NARIWAGAWA	103.0	133.40	34.82	JUN. 1968	127500	3.60
20	NIKAPPU	102.8	142.57	42.64	OCT. 1974	145000	4.35
21	HOUHEIKYO	102.5	141.16	42.92	OCT. 1972	47100	1.50
22	TOURI	101.0	136.81	36.47	APR. 1966	31400	1.03
23	YAHAGI	100.0	137.42	35.23	MAR. 1971	80000	2.70
24	SHIMOUKE	98.0	130.99	33.19	MAR. 1972	55950	2.00
25	KUROKAWA	97.5	134.89	35.21	MAR. 1974	33387	1.09
26	MIDONO	95.5	137.75	36.15	DEC. 1970	15100	0.57
27	KISENYAMA	95.0	135.87	34.90	MAR. 1970	7230	0.30
28	OHSHIRAKAWA	95.0	136.83	36.14	DEC. 1963	14200	0.67
29	ABUGAWA	95.0	131.50	34.36	MAR. 1975	153500	4.00
30	YUDA	87.5	140.89	39.30	MAR. 1965	114160	6.30
31	SUGANO	87.0	131.90	34.14	AUG. 1965	95000	3.02
32	ISHITEGAWA	87.0	132.84	33.87	MAR. 1973	12800	0.50
33	TAISETSU	86.5	143.05	43.67	AUG. 1975	66000	2.92
34	MATSUKAWA	84.5	137.78	35.57	MAR. 1974	7400	0.29
35	MATSUBARA	83.0	130.99	33.23	MAR. 1971	54600	1.90
36	OHTORI	83.0	139.22	37.22	NOV. 1963	15800	0.89
37	SUSOHANA	83.0	138.13	36.66	APR. 1969	15000	0.58
38	UCHINOKURA	82.5	139.44	37.84	MAR. 1973	24800	1.00
39	KUROMATAGAWA DAINI	82.5	139.13	37.27	NOV. 1963	60000	2.25
40	SHOHRENJI	82.0	136.12	34.59	MAR. 1970	27200	1.04
41	ABURATANI	82.0	130.70	32.43	NOV. 1974	5420	0.23
42	YOKOYAMA	80.8	136.46	35.59	JUN. 1964	43000	1.70
43	AMEHATA	80.5	138.33	35.41	APR. 1967	13700	5.46

Fig. 1. Distribution of dams. Attached number corresponds to the number used in Table 1.

また、中国のダム誘発地震に就いては石川・尾池 (1982) の報告がある。

然るに現在まで、ダム貯水に因る地震活動の変化を、貯水前から貯水後まで調査した報告は皆無に等しい。

本報告は、日本の主要なダム地域について、その貯水前後の地震活動の変化を巨視的に調査したものである。

§2. 資 料

用いた地震資料は気象庁の地震月報 (1926・1~1980・10) である。ダム貯水に因る地震活動の変化は大規模なダムで発生すると言われている (宇津, 1977) ので、堤高 80 m 以上のダムを標本とした。更に、1961 年以降、地震月報の質が良くなったので、貯水前後の地震活動を調べる為に、ダム貯水開始が 1963 年から 1976 年までの 14 年間の 43 ダムを、ダム総覧 (日本ダム協会, 1976) より抽出した。表 1 にダム名、堤高、貯水開始時、最大貯水量、最大貯水面積とダムの経・緯度を示した。図 1 は、これ等のダムの分布図である。

§3. 調査方法

貯水前後の地震活動の変化を調べる為に、各ダムについて、

作業 1: ダムを中心にして半径 50 km の半球内に発生した地震を貯水前と貯水後とに分けて、その震央分布図と東西・南北両断面に投影した震源分布図、

作業 2: ダムを中心にして半径 50 km の半球内に発生した地震の各年毎の発生頻度、放出エネルギーおよび震源距離の図。

作業 3: ダムを中心にして半径 50 km の半球内に発生した地震の中、貯水開始時を基準として、その前後各 5 年間の地震活動を震源距離、規模、発生時で表示した図、を作成した。

作業 1 で作成した図から、ダム近傍での貯水前と貯水後との地震活動の変化をダムから見た方位と距離とで知る事が出来る。

作業 2 で作成した図から、ダム近傍での地震活動の時間的変化を知る事が出来る。

作業 3 で作成した図から、ダム貯水直前・直後の地震活動の時間的変化を知る事が出来る。

作業 1, 2 で得られた図は、ダム近傍で、貯水前にどのような地震活動の履歴を持っているか、貯水後にそれがどう変化したかの長期的流れとしての判断に役立つ。

作業 3 で得られた図は、貯水直前から直後にかけての地震活動の短期的流れとしての判断に役立つ。

作業 1, 2 および 3 で各ダムについて作成した図の例を、それぞれ図 2, 3 および 4 に示す。

§ 4. 調査結果

前節の作業 1, 2 および 3 より各ダムについて得られた三種の図を総合的に判断して、ダム貯水に因る地震活動を次の三種の型に分類する事が出来た。

型 1: 貯水に因って地震活動が活発になった地域 (7 地域)。(ダム名) 奈川渡, 九頭竜, 池原, 加治川, 矢作, 湯田, 内の倉 (図 2, 3, 4 参照)。

型 2: 貯水に因って地震活動に変化が認められなかった地域 (21 地域)。(ダム名) 黒部, 草木, 高根第一, 一ツ瀬, 下久保, 川俣, 早明浦, 小渋, 新成羽川, 新冠, 豊平峡, 黒川, 水殿, 石手川, 大雪, 松川, 裾花, 黒又川第二, 油谷, 横山, 雨畑 (図 5, 6, 7 参照)。

型 3: 貯水に因る地震活動の変化の影響を確定的に言及出来ない地域 (15 地域)。(ダム名) 矢木沢, 下小島, 鶴田, 新豊根, 魚梁瀬, 水窪, 刀利, 下釜, 喜撰山, 大白川, 阿武川, 菅野, 松原, 大鳥, 青蓮寺 (図 8, 9, 10 参照)。

型 1 に分類された地域は、湯田, 内の倉を除いて貯水開始後略 1 年以内に地震活動がダム近傍で活発化している。湯田は約 5.5 年後 (震源距離約 10 km) で、内の倉は約 3 年後 (震源

Fig. 3. Released energy and frequency distributions of earthquakes with respect to hypocentral distances in each year within 50 km around Nagawado dam. Arrow shows the start of the impounding.

Fig. 4. Occurrence time and magnitude of earthquakes which occurred within 50 km around Nagawado dam with respect to hypocentral distances from the dam during five years before and after the impounding showing by an arrow.

距離約 5 km) で活発化しているが、貯水前は全く地震活動が認められない事から、貯水に因る影響と考えて型 1 に分類した。

型 3 に分類され、地震活動の貯水に因る変化の影響を確定的に言えない地域の理由として、

理由 A: 貯水後、地震活動が活発にはなつても、ダム近傍ではなく、その活動域は震源距離にして 20 km 以遠である。

理由 B: 貯水後、近い地震が発生はしたが、貯水開始から近い地震が発生するまでに相当の年月が経っている。の二種がある。

理由 A に属するダム名は、

矢木沢: 貯水前は地震なし、貯水 2 年後より、震源距離 30 km 以遠で地震活動が活発となり、最もダムに近い地震は貯水 11 年後、震源距離 18 km で 1 個発生した。

下笠: 全期間を通じて震源距離 10 ~ 50 km で略一様な震源分布を示しているが、3 年後より、やや地震活動が活発になつた。3 年後 (震源距離 20 ~ 30 km) と 5 年後 (震源距離 40 km) に群発地震が発生した。

阿武川: 全期間を通じ震源距離 20 ~ 50 km で略一様な震源分布をしているが、貯水 2 年後より、やや活発化した。

松原: 全期間を通じ、震源距離 15 ~ 50 km で一様な震源分布を示している

が、4 年後よりやや地震活動が活発になつた。4 年後 (震源距離 25 ~ 35 km) と 6 年後 (震源距離 35 ~ 50 km) とに群発地震が発生している。全期間を通じ、ダムに最も近い地震は貯水 9 年後に 1 回 (震源距離 9 km) 発生した。

青蓮寺: 全期間を通じ、震源距離 15 ~ 50 km で一様な震源分布を示しているが、貯水 6 年後よりやや地震活動が活発になつた。の 5 ダム地域である。

Fig. 6. Released energy and frequency distributions of earthquakes with respect to hypocentral distances in each year within 50 km around Kawamata dam. Arrow shows the start of the impounding.

Fig. 7. Occurrence time and magnitude of earthquakes which occurred within 50 km around Kawamata dam with respect to hypocentral distances from the dam during five years before and after the impounding showing by an arrow.

< YAGISAWA > LAT = 36.92 °N LONG = 139.86 °E IMPOUNDING DATE - AUG. 1967 < YAGISAWA > LAT = 36.92 °N LONG = 139.86 °E IMPOUNDING DATE - AUG. 1967
 HIGHT = 131 (m) PONDAGE = 204300 (x1000 m³) STORAGE AREA = 5.67 (km²) HIGHT = 131 (m) PONDAGE = 204300 (x1000 m³) STORAGE AREA = 5.67 (km²)

*** SEISMICITY BEFORE IMPOUNDING ***

◆ JMA DATA (1926 - 1980.10) ◆
 ◆ DISTANCE < 50 km ◆
 ◆ + POSITION OF THE DAM ◆

*** SEISMICITY AFTER IMPOUNDING ***

◆ JMA DATA (1926 - 1980.10) ◆
 ◆ DISTANCE < 50 km ◆
 ◆ + POSITION OF THE DAM ◆

Fig. 8. An example of the dam site belonging to the Type 3 where the change of seismic activity by the impounding is hard to be clearly recognized. Epicentral and hypocentral distributions of NS and EW sections within 50 km around Yagisawa dam. Seismicity before and after the impounding is shown in the left and right figure, respectively.

理由 B に属するダム名は、

下小島: 全期間を通じ、震源距離 20～50 km に分布しているが、貯水 5 年後に震源距離 8 km に 1 回発生した。

鶴田: 全期間を通じ、貯水 13 年後まで殆んど地震活動はなかつたが、その後震源距離 9 km 以遠で地震活動が急に活発になった。

新豊根: 全期間を通じ、震源距離 20～50 km で一様な震源分布をしていたが、貯水 3 年後より震源距離 10～50 km の領域で地震活動が活発になった。

魚梁瀬: 全期間を通じ、貯水 4 年後まで殆んど地震活動は認められなかつたが、その後、震源距離 10～50 km で活発になった。

水窪: 全期間を通じ、震源距離 20～50 km で地震活動が認められるが、貯水 7 年後より震源分布は 10～50 km に拡大した。又、ダムに最も近い地震は貯水 11 年後に震源距離 8.5 km で 1 回発生している。

刀利: 全期間を通じ、貯水 7 年後まで殆んど地震活動は認められなかつたが、その後、調査全領域で一様に活発になった。

喜撰山: 貯水 7 年後まで、震源距離 20～50 km で一様な活動をしていたが、その後、活動域は震源距離 10～50 km に拡大した。

大白川: 全期間を通じ、貯水 6 年後までは殆んど地震活動は認められなかつたが、その後、地震活動は震源距離 40～50 km で活発になり、徐々に震源分布はダムに接近し、貯水 14 年後には震源分布は調査全領域に拡大した。ダムに最も近い地震の震源距離は 5 km である。

菅野: 全期間を通じ、貯水 6 年後まで震源距離 0～40 km の領域で地震活動は全く無かつたが、その後、調査全領域で活発になった。ダムに最も近い地震は貯水 14 年後に震源距離 4 km で発生した。

大鳥: 全期間を通じ、貯水 5 年後まで震源距離 0～40 km の領域で地震活動は全く無かつ

Fig. 9. Released energy and frequency distributions of earthquakes with respect to hypocentral distances in each year within 50 km around Yagisawa dam. Arrow shows the start of the impounding.

Fig. 10. Occurrence time and magnitude of earthquakes which occurred within 50 km around Yagisawa dam with respect to hypocentral distances from the dam during five years before and after the impounding showing by an arrow.

たが、その後活発になり、特に貯水 14 年後からは震源距離 10~50 km の領域で、より活発になった。

の 10 ダム地域である。

§5. 考 察

(1) 今回の調査は定性的な判断の域を出ないが、それでも、ダム貯水が直接の原因と考えられる地震活動の変化を幾つかのダム地域で見出す事が出来た。

(2) 約 1/3 のダム地域では、今回その因果関係がはつきりさせられなかったが、今後の定量的な調査を進める事により、その因果関係を議論する事が出来るであろう。

(3) 約 1/2 のダム地域では貯水に因る地震活動の影響は全く認められなかった。

(4) 幾つかのダム地域で、貯水後、群発地震が発生している。貯水と群発地震については、次の研究課題のひとつである。

(5) 上記 (1), (2), (3) でみられる様な、ダム貯水と地震活動との関係は、その付近の地質構造が密接に干渉していると考えられる。今後、これ等の関係を調査する事により、ダム貯水と地震活動との関係を解明する手掛りが得られるであろう。

文 献

CARDER, D. S., 1945, Seismic Investigations in the Boulder Dam Area, 1940-1944, and the Influence of Reservoir Loading on Local Earthquake Activity, Bull. Seism. Soc. Amer., **35**, 175-192.

GUPTA, H. K. and B. K. RASTOGI, 1976, Dams and Earthquakes, Elsevier, 229 pp.

石川有三・尾池和夫, 1982, 中国のダム誘発地震について, 地震 **2**, **35**, 171-181.

宇津徳治, 1977, 地震学, 共立全書, 190-191.